

**伊方発電所第3号機 使用済燃料乾式貯蔵施設設置工事
に係る設計及び工事計画認可申請書の補足説明資料**

目 次

	資料名	頁
DSF-001	伊方発電所3号機 設計及び工事計画認可申請に該当する技術基準規則の条文整理表	1
DSF-002	伊方発電所3号機 設計及び工事計画認可申請に係る添付書類の要否検討結果	7
DSF-010	伊方発電所3号機 設計及び工事計画に係る説明資料（使用済燃料乾式貯蔵容器の安全性について）	11
DSF-020	伊方発電所3号機 設計及び工事計画に係る説明資料（安全設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書）	293
DSF-030	伊方発電所3号機 設計及び工事計画に係る説明資料（発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書）	307
DSF-040	伊方発電所3号機 設計及び工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）	341

伊方発電所設計及び工事計画審査資料	
資料番号	D S F - 0 0 1
提出年月日	令和 3 年 3 月 9 日

伊方発電所 3 号機

設計及び工事計画認可申請に該当する
技術基準規則の条文整理表
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

令和 3 年 3 月
四国電力株式会社

伊方発電所3号機 使用済燃料乾式貯蔵施設 設計及び工事計画認可申請に該当する技術基準規則の条文整理表

○:対象となる条文、×:対象外の条文

技術基準規則 ^(注)	適用条文	本工事の内容に 関係あるもの	審査対象 条文	理 由
(第四条) 設計基準対象施設の地盤	○	○	○	兼用キャスクである使用済燃料乾式貯蔵容器は、基準地震動による地震力に対し十分な支持性能を有する地盤に設置することから、審査対象条文とする。
(第五条) 地震による損傷の防止	○	○	○	兼用キャスクである使用済燃料乾式貯蔵容器は、基準地震動による地震力に対してその安全性が損なわれるおそれがないように施設しなければならないことから、審査対象条文とする。
(第六条) 津波による損傷の防止	○	○	○	兼用キャスクである使用済燃料乾式貯蔵容器が基準津波によりその安全性が損なわれるおそれがないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならないことから、審査対象条文とする。
(第七条) 外部からの衝撃による損傷の防止	○	○	○	兼用キャスクである使用済燃料乾式貯蔵容器が自然現象及び人為による事象により、その安全性が損なわれないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならないことから、審査対象条文とする。
(第八条) 立入りの防止	○	○	○	使用済燃料乾式貯蔵施設においては、周辺監視区域内に設置し、人がみだりに管理区域内に立ち入らないように、適切に管理区域を設定することから、審査対象条文とする。なお、保全区域については、新たに設定しない。
(第九条) 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	○	○	○	使用済燃料乾式貯蔵施設においては、人の不法な侵入等を防止するため、適切な措置を講じなければならないことから、審査対象条文とする。
(第十条) 急傾斜地の崩壊の防止	×	×	×	伊方発電所において急傾斜地崩壊危険区域に指定された箇所はないため、審査対象条文とはならない。
(第十一条) 火災による損傷の防止	○	○	○	使用済燃料乾式貯蔵施設のうち使用済燃料乾式貯蔵容器は、放射性物質の貯蔵機能を有する機器であり、火災によりその安全性が損なわれないよう措置を講じなければならないことから、審査対象条文とする。

技術基準規則 ^(注)	適用条文	本工事の内容に関係あるもの	審査対象条文	理由
(第十二条) 発電用原子炉施設内における溢水等による損傷の防止	○	○	○	使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、放射性物質の閉じ込め機能を有する使用済燃料乾式貯蔵容器は、防護対象設備であるため、溢水の発生によりその安全性を損なうおそれがない設計とすることから、審査対象条文とする。
(第十三条) 安全避難通路等	○	○	○	使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵建屋には、容易に識別できる安全避難通路及び照明用の電源が喪失した場合においても機能を損なわない誘導灯を設置することから、審査対象条文とする。
(第十四条) 安全設備	○	○	○	使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器は、安全設備に該当し、想定される全ての環境条件において、その機能を発揮することができるよう施設しなければならないことから、審査対象条文とする。
(第十五条) 設計基準対象施設の機能	○	○	○	使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は、設計基準対象施設に該当し、その健全性及び能力を確認するため、保守点検ができるよう施設しなければならないことから、審査対象条文とする。 また、設計基準対象施設に属する安全設備である使用済燃料乾式貯蔵容器及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は、二以上の発電用原子炉施設と共用することにより安全機能を損なうおそれがないよう施設しなければならないことから、審査対象条文とする。
(第十六条) 全交流動力電源喪失対策設備	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、蓄電池その他の設計基準事故に対処するための電源設備に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第十七条) 材料及び構造	○	○	○	使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器は、クラス3機器に該当し、クラス3機器の基準を満足することを確認する必要があることから、審査対象条文とする。
(第十八条) 使用中の亀裂等による破壊の防止	○	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器は、クラス3機器に該当することから、本条文に基づき検査等を実施する。しかし、本条文は使用中の運用要求であり、設計段階において確認する条文ではないことから、審査対象条文とはならない。
(第十九条) 流体振動等による損傷の防止	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、一次冷却材又は二次冷却材を有する設備を有していないため、審査対象条文とはならない。
(第二十条) 安全弁等	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、安全弁等に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第二十一条) 耐圧試験等	○	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器は、クラス3機器に該当することから、本条文に基づき耐圧試験等を実施する。しかし、本条文は使用前事業者検査段階での要求であり、設計段階において確認する条文ではないことから、審査対象条文とはならない。

技術基準規則 ^(注)	適用条文	本工事の内容に関係あるもの	審査対象条文	理由
(第二十二條) 監視試験片	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、監視試験片に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第二十三條) 炉心等	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、炉心等に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第二十四條) 熱遮蔽材	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、熱遮蔽材に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第二十五條) 1次冷却材	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、一次冷却材に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第二十六條) 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	○	○	○	使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、兼用キャスクである使用済燃料乾式貯蔵容器は、燃料貯蔵設備に該当し、設計貯蔵期間に想定される使用条件に対して、適切な材料および構造を有し、必要な安全機能が損なわれるおそれがないよう施設しなければならないことから、審査対象条文とする。また、周辺施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計は、使用済燃料乾式貯蔵容器の密封性を監視する装置に該当し、一次蓋と二次蓋との間の圧力を監視することにより密封性を監視できることを示す必要があることから、適用条文とする。 使用済燃料乾式貯蔵施設は、使用済燃料を貯蔵することができる必要容量を有し、また取扱者以外の者がみだりに立ち入らないように施設することから、審査対象条文とする。
(第二十七條) 原子炉冷却材圧力バウンダリ	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、原子炉冷却材圧力バウンダリに該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第二十八條) 原子炉冷却材圧力バウンダリの隔離装置等	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、原子炉冷却材圧力バウンダリの隔離装置等に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第二十九條) 1次冷却材処理装置	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、一次冷却材処理装置に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第三十條) 逆止め弁	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、逆止め弁に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第三十一條) 蒸気タービン	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、蒸気タービンに該当しないため、審査対象条文とはならない。

技術基準規則 ^(注)	適用条文	本工事の内容に 関係あるもの	審査対象 条文	理 由
(第三十二条) 非常用炉心冷却設備	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、非常用炉心冷却設備に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第三十三条) 循環設備等	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、循環設備等に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第三十四条) 計測装置	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、計測装置に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第三十五条) 安全保護装置	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、安全保護装置に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第三十六条) 反応度制御系統及び原子炉停止系統	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、反応度制御系統及び原子炉停止系統に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第三十七条) 制御材駆動装置	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、制御材駆動装置に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第三十八条) 原子炉制御室等	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、原子炉制御室等に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第三十九条) 廃棄物処理設備等	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、廃棄物処理設備等に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第四十条) 廃棄物貯蔵設備等	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、廃棄物貯蔵設備等に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第四十一条) 放射性物質による汚染の防止	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設に設定する管理区域は、放射線物質により汚染されるおそれがある管理区域ではないため、審査対象条文とはならない。

○:対象となる条文、×:対象外の条文

技術基準規則 ^(注)	適用条文	本工事の内容に 関係あるもの	審査対象 条文	理 由
(第四十二条) 生体遮蔽等	○	○	○	使用済燃料乾式貯蔵施設のうち使用済燃料乾式貯蔵建屋は、線源となる兼用キャスクである使用済燃料乾式貯蔵容器を保管しており、直接線及びスカイシャイン線による工場等周辺の空間線量率が線量限度を十分下回るように施設するとともに、従事者の放射線障害を防止するために必要な生体遮蔽を適切に施設しなければならないことから、審査対象条文とする。
(第四十三条) 換気設備	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、換気設備に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第四十四条) 原子炉格納施設	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、原子炉格納施設に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第四十五条) 保安電源設備	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、保安電源設備に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第四十六条) 緊急時対策所	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、緊急時対策所に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第四十七条) 警報装置等	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、警報装置等に該当しないため、審査対象条文とはならない。
(第四十八条) 準用	×	×	×	使用済燃料乾式貯蔵施設は、補助ボイラー、ガスタービン、内燃機関又は電気設備に該当しないため、審査対象条文とはならない。

(注):第四十九条から第七十八条においては、重大事故等対処施設に係る条文であり、本設計及び工事計画において重大事故等対処施設はないため、審査対象条文とはならない。

伊方発電所設計及び工事計画審査資料	
資料番号	D S F - 0 0 2
提出年月日	令和 3 年 3 月 9 日

伊方発電所 3 号機

設計及び工事計画認可申請に係る
添付書類の要否検討結果
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

令和 3 年 3 月
四国電力株式会社

伊方3号機 使用済燃料乾式貯蔵施設設置工事に係る設計及び工事計画認可申請書の
添付書類及び本設計及び工事計画における添付の要否の検討結果

実用発電用原子炉の設置、 運転等に関する規則 別表第二添付書類	添付の要否 (○・×)	理由
各発電用原子炉施設に共通		
送電関係一覧図	×	本設計及び工事計画は、送電線に該当しないことから、対象外。
急傾斜地崩壊危険区域内において行う制限工事に係る場合は、当該区域内の急傾斜地の崩壊の防止措置に関する説明書	×	伊方発電所においては、急傾斜地崩壊危険区域の設定はないことから対象外。
工場又は事業所の概要を明示した地形図	×	本設計及び工事計画においては、既工事計画の地形に変更はないことから、対象外。
主要設備の配置の状況を明示した平面図及び断面図	○ (第1-1図)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵建屋等の配置を示すため、添付する。
単線結線図	×	本設計及び工事計画は、非常用電源設備及び常用電源設備に該当する工事ではないことから、対象外。
新技術の内容を十分に説明した書類	×	本設計及び工事計画は、新技術に該当しないことから、対象外。
発電用原子炉施設の熱精算図	×	本設計及び工事計画は、熱精算に影響を及ぼさないことから、対象外。
熱出力計算書	×	本設計及び工事計画は、熱出力に影響を及ぼさないことから、対象外。
発電用原子炉の設置の許可との整合性に関する説明書	○ (資料1)	本設計及び工事計画が設置変更許可申請書の基本方針に従った詳細設計であることを示すため、添付する。
排気中及び排水中の放射性物質の濃度に関する説明書	×	本設計及び工事計画は、排気中及び排水中の放射性物質の濃度に影響を及ぼすものではないことから、対象外。
人が常時勤務し、又は頻繁に出入する工場又は事業所内の場所における線量に関する説明書	×	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵施設において、人が常時勤務し、又は頻繁に出入する場所がないことから、対象外。
発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書	○ (資料2)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵容器が自然現象等による損傷が防止されていることについて説明するため、添付する。
排水監視設備及び放射性物質を含む排水を安全に処理する設備の配置の概要を明示した図面	×	本設計及び工事計画は、排水監視設備及び放射性物質を含む排水を安全に処理する設備に該当しないことから、対象外。
取水口及び放水口に関する説明書	×	本設計及び工事計画は、取水口及び放水口に該当しないことから、対象外。
設備別記載事項の設定根拠に関する説明書	○ (資料3)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵容器、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計及び火災防護設備の要目表記載事項の設定根拠について説明するため、添付する。
環境測定装置の構造図及び取付箇所を明示した図面	×	本設計及び工事計画は、環境測定装置に該当しないことから、対象外。
クラス1機器及び炉心支持構造物の応力腐食割れ対策に関する説明書	×	本設計及び工事計画は、クラス1機器及び炉心支持構造物に該当しないことから、対象外。
安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書	○ (資料4)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵容器及び使用済燃料乾式貯蔵建屋が使用される条件の下における健全性に関して説明するため、添付する。
発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書	○ (資料5)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵容器の火災防護に関して説明するため、添付する。
発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書	○ (資料6)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵容器の溢水防護に関して説明するため、添付する。

実用発電用原子炉の設置、 運転等に関する規則 別表第二添付書類	添付の可否 (○・×)	理由
発電用原子炉施設の蒸気タービン、ポンプ等の損壊に伴う飛散物による損傷防護に関する説明書	×	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵容器を保管する貯蔵エリアに、蒸気タービン、ポンプ等を設置しないことから、対象外。
通信連絡設備に関する説明書及び取付箇所を明示した図面	×	本設計及び工事計画は、通信連絡設備に該当する工事ではないことから、対象外。
安全避難通路に関する説明書	○ (資料7)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵建屋の安全避難通路に関して説明するため、添付する。
安全避難通路を明示した図面	○ (第1-2図)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵建屋の安全避難通路に関して説明するため、添付する。
非常用照明に関する説明書	○ (資料8)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵建屋の非常用照明について説明するため、添付する。
非常用照明の取付箇所を明示した図面	○ (第1-3図)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵建屋の非常用照明の取付箇所に関して説明するため、添付する。
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設		
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設に係る機器の配置を明示した図面	○ (第2-1図)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵容器の配置に関して説明するため、添付する。
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の系統図	×	本設計及び工事計画では、該当する系統がないことから、対象外。
耐震性に関する説明書	○ (資料9)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵容器及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震性に関して説明するため、添付する。
強度に関する説明書	○ (資料10)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵容器等の強度に関して説明するため、添付する。
構造図	○ (第2-2図)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵容器及び使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計の構造に関して説明するため、添付する。
使用済燃料貯蔵槽の温度、水位及び漏えいを監視する装置の構成に関する説明書、検出器の取付箇所を明示した図面並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書	×	本設計及び工事計画は、使用済燃料貯蔵槽に該当しないことから、対象外。
使用済燃料貯蔵用容器の密封性を監視する装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書	○ (資料11)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計に関して説明するため、添付する。
検出器の取付箇所を明示した図面	○ (第2-3図)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計の取付箇所に関して説明するため、添付する。
燃料取扱設備、新燃料貯蔵設備及び使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書	○ (資料12)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵容器の核燃料物質が臨界に達しないことに関して説明するため、添付する。
燃料体等又は重量物の落下による使用済燃料貯蔵槽内の燃料体等の破損の防止及び使用済燃料貯蔵槽の機能喪失の防止に関する説明書	×	本設計及び工事計画は、使用済燃料貯蔵槽に該当しないことから、対象外。
使用済燃料運搬用容器、使用済燃料貯蔵槽及び使用済燃料貯蔵用容器の冷却能力に関する説明書	○ (資料13)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵容器の冷却能力に関して説明するため、添付する。

実用発電用原子炉の設置、 運転等に関する規則 別表第二添付書類	添付の可否 (○・×)	理由
使用済燃料貯蔵槽の水深の遮蔽能力に関する説明書	×	本設計及び工事計画は、使用済燃料貯蔵槽に該当しないことから、対象外。
使用済燃料運搬用容器の放射線遮蔽材及び使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書	○ (資料 14)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去に関して説明するため、添付する。
兼用キャスクにあつては、外運搬規則第二十一条第二項の規定による容器の設計に関する原子力規制委員会の承認を受けたことに関する説明書	○ (資料 15)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵容器が外運搬規則第二十一条第二項の規定による容器の設計に関する原子力規制委員会の承認を受けたことに関して説明するため、添付する。
放射線管理施設		
放射線管理施設に係る機器（放射線管理用計測装置を除く。）の配置を明示した図面	○ (第 3-1 図)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵建屋の補助遮蔽の配置に関して説明するため、添付する。
放射線管理施設に係る機器（放射線管理用計測装置を除く。）の系統図	×	本設計及び工事計画では、該当する系統がないことから、対象外。
放射線管理用計測装置の構成に関する説明書	×	本設計及び工事計画は、放射線管理用計測装置に該当する設備がないことから、対象外。
放射線管理用計測装置の系統図及び検出器の取付箇所を明示した図面並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書	×	本設計及び工事計画は、放射線管理用計測装置に該当する設備がないことから、対象外。
管理区域の出入管理設備及び環境試料分析装置に関する説明書	×	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵施設内の管理区域の立入等については、既設の設備で対応する設計としており、新たな設備を設けないことから、対象外。
耐震性に関する説明書	○ (資料 9)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵建屋の補助遮蔽の耐震性に関して説明するため、添付する。
強度に関する説明書	×	本設計及び工事計画では、該当する設備がないことから、対象外。
構造図	○ (第 3-2 図)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵建屋の補助遮蔽の構造に関して説明するため、添付する。
生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書	○ (資料 16)	本設計及び工事計画では、使用済燃料乾式貯蔵建屋の補助遮蔽の放射線の遮蔽及び熱除去に関して説明するため、添付する。
中央制御室及び緊急時制御室の居住性に関する説明書	×	本設計及び工事計画は、中央制御室及び緊急時制御室に該当しないことから、対象外。
その他発電用原子炉の附属施設 火災防護設備		
火災防護設備に係る機器の配置を明示した図面	○ (第 4-1 図)	本設計及び工事計画では、火災防護設備に係る機器の配置に関して説明するため、添付する。
火災防護設備の系統図	○ (第 4-2 図)	本設計及び工事計画では、火災防護設備に係る系統に関して説明するため、添付する。
耐震性に関する説明書	○ (資料 9)	本設計及び工事計画では、火災防護設備の耐震性に関して説明するため、添付する。
強度に関する説明書	○ (資料 10)	本設計及び工事計画では、火災防護設備の強度に関して説明するため、添付する。
構造図	○ (第 4-1 図)	本設計及び工事計画では、火災防護設備の構造に関して説明するため、添付する。
設計及び工事に係る品質管理 ※		
設計及び工事に係る品質マネジメントシステムに関する説明書	○ (資料 17)	本設計及び工事計画における設計及び工事に係る品質マネジメントシステムについて説明するため、添付する。

※ 発電用原子炉施設の設計及び工事の計画に係る手続ガイドに基づく書類

-本資料のうち、枠囲みの内容は、
商業機密あるいは防護上の観点
から公開できません。

伊方発電所設計及び工事計画審査資料	
資料番号	D S F - 0 1 0
提出年月日	令和3年3月9日

伊方発電所3号機
設計及び工事計画に係る説明資料
(使用済燃料乾式貯蔵容器の安全性について)
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

令和3年3月
四国電力株式会社

資料 10～14 に係る補足説明資料

【説明する添付資料】

資料 10 強度に関する説明書

資料 11 使用済燃料貯蔵用容器の密封性を監視する装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書

資料 12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書

資料 13 使用済燃料貯蔵用容器の冷却能力に関する説明書

資料 14 使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

補足説明資料目次

1. 使用済燃料乾式貯蔵容器の収納燃料の仕様に関する補足説明資料
2. 添付資料に関する補足説明資料
 - 2-1 資料10に係る補足説明資料
 - 2-2 資料11に係る補足説明資料
 - 2-3 資料12に係る補足説明資料
 - 2-4 資料13に係る補足説明資料
 - 2-5 資料14に係る補足説明資料
 - 2-6 評価内容全般に係る補足説明資料

1. 使用済燃料乾式貯蔵容器の収納燃料の
仕様に関する補足説明資料

伊方3号機（使用済燃料乾式貯蔵建屋）設計及び工事計画に係る説明資料
 （使用済燃料乾式貯蔵容器の安全性について）

■資料No. 1. 使用済燃料乾式貯蔵容器の収納燃料の仕様に関する補足説明資料

資料 No.	補足説明資料		備考 (該当添付資料)
	(名称)	(概要)	
1-1	使用済燃料乾式貯蔵容器の収納燃料の仕様	使用済燃料乾式貯蔵容器の収納燃料の仕様の概要を示す。	資料12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書 資料13 使用済燃料貯蔵用容器の冷却能力に関する説明書 資料14 使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

1-1 使用済燃料乾式貯蔵容器の収納燃料の仕様

1. 概要

本資料は「資料 12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書」、「資料 13 使用済燃料貯蔵用容器の冷却能力に関する説明書」及び、「資料 14 使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書」の条件として使用する使用済燃料乾式貯蔵容器（以下、乾式キャスクという。）の収納燃料の仕様について説明するものである。

2. 乾式キャスクの収納物

乾式キャスク（タイプ 1）及び（タイプ 2）の収納物は、使用済燃料集合体である。

乾式キャスク（タイプ 1）及び（タイプ 2）に収納可能な PWR 燃料集合体の型式及び仕様を 1-1-1 表に示す。

燃料集合体は正方配列された燃料棒で構成され、両端及び中間部数箇所が支持格子により保持されている。燃料は低濃縮の UO_2 ペレットでジルカロイ製の被覆管の中に充填され、両端に端栓を溶接して密封されている。また、燃料には、可燃性毒物である Gd_2O_3 を含むものがある。

3. 乾式キャスクの収納配置制限

乾式キャスク（タイプ 1）及び（タイプ 2）に収納される燃料集合体は 1-1-1 図に示すとおり収納位置が制限される。乾式キャスク（タイプ 2）には、燃料集合体単独あるいは、バーナブルポイズン集合体（容器当たり最大 12 体）を挿入した状態で収納することができる。バーナブルポイズン集合体を挿入した燃料集合体は、1-1-1 図(2/2)に示す中央部に収納される。バーナブルポイズン集合体の仕様例を 1-1-2 表に示す。

また、乾式キャスク（タイプ 1）及び（タイプ 2）に収納される収納物（燃料集合体及びバーナブルポイズン集合体）の燃焼条件及び冷却日数を 1-1-3 表に示す。

1-1-1表 燃料集合体の型式及び仕様 (1/2) (乾式キャスク (タイプ1))

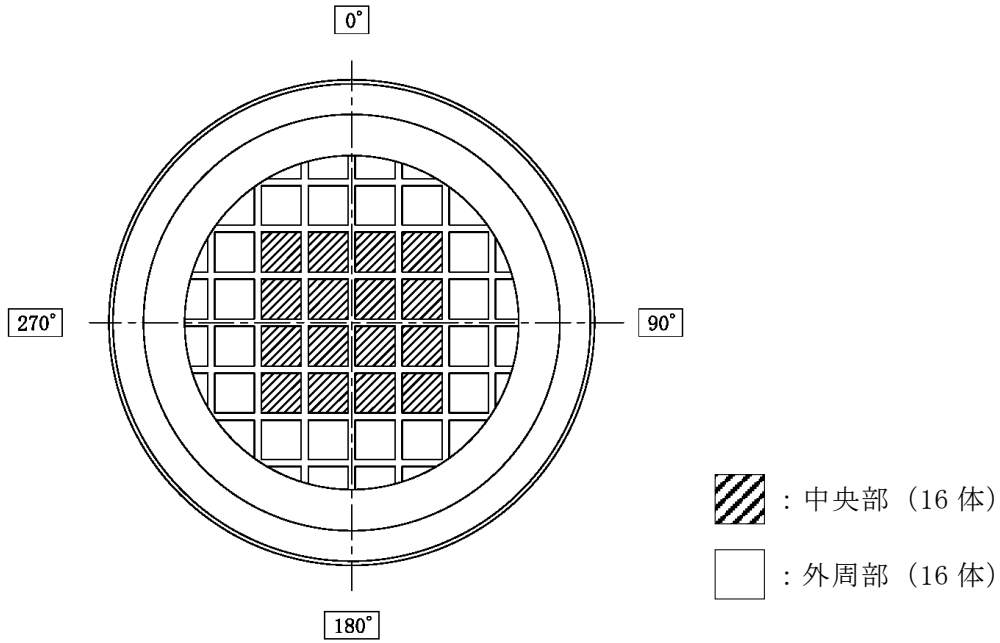
燃料集合体の 種類と型式	中央部				外周部	
	14×14 燃料					
	48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型	
	A型	B型	A型	B型	A型	B型
主要な燃料緒元						
材質						
燃料	UO ₂ (注)	UO ₂ (注)	UO ₂	UO ₂	UO ₂	UO ₂
被覆管	ジルカロイ-4	ジルカロイ-4	ジルカロイ-4	ジルカロイ-4	ジルカロイ-4	ジルカロイ-4
燃料密度 (理論密度比 %)	約 95	約 95	約 95	約 95	約 95	約 95
初期濃縮度 (U-235 wt%)	約 4.1	約 4.1	約 3.4	約 3.4	約 3.4	約 3.4
	(集合体平均)	(集合体平均)	(集合体平均)	(集合体平均)	(集合体平均)	(集合体平均)
形状						
集合体長さ(mm)	約 4100	約 4100	約 4100	約 4100	約 4100	約 4100
燃料有効長(mm)	3642	3642	3642	3642	3642	3642
燃料棒直径(mm)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
燃料棒ピッチ(mm)	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1
集合体幅(mm)	197	197	197	197	197	197
重量						
集合体重量(kg)	590 以下	590 以下	590 以下	590 以下	590 以下	590 以下
UO ₂ 重量(kg)						
ウラン重量(kg)						

(注) 可燃性毒物として Gd₂O₃ を含むものがある。

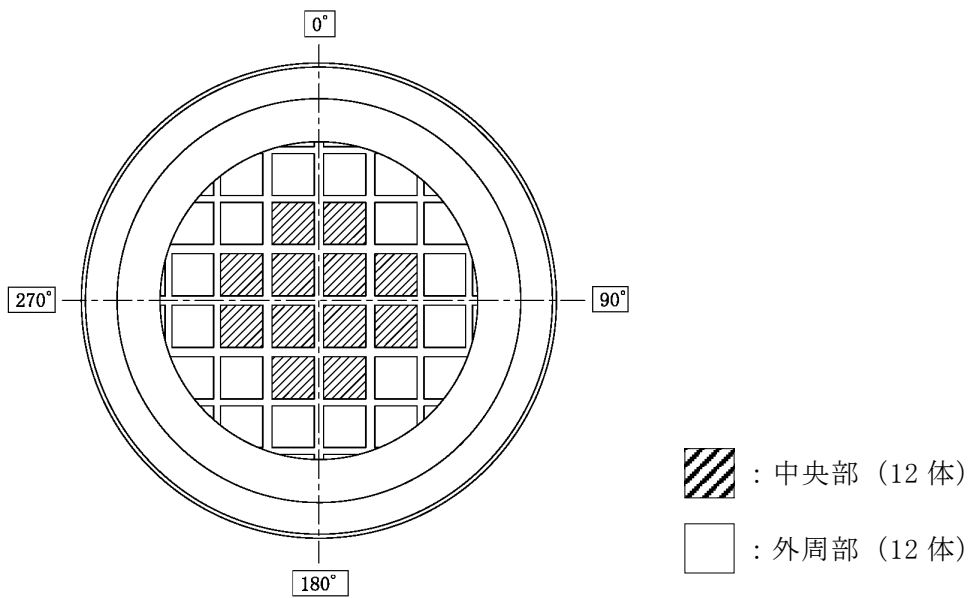
1-1-1 表 燃料集合体の型式及び仕様 (2/2) (乾式キャスク (タイプ 2))

燃料集合体の 種類と型式	17×17 燃料	
	48,000MWd/t 型	
	A型	B型
主要な燃料緒元		
材質		
燃料	UO ₂ (注)	UO ₂ (注)
被覆管	ジルカロイ-4	ジルカロイ-4
燃料密度 (理論密度比 %)	約 95	約 95
初期濃縮度 (U-235 wt%)	約 4.1 (集合体平均)	約 4.1 (集合体平均)
形状		
集合体長さ (mm)	約 4100	約 4100
燃料有効長 (mm)	3648	3648
燃料棒直径 (mm)	9.5	9.5
燃料棒ピッチ (mm)	12.6	12.6
集合体幅 (mm)	214	214
重量		
集合体重量 (kg)	680 以下	680 以下
UO ₂ 重量 (kg)		
ウラン重量 (kg)		

(注) 可燃性毒物として Gd₂O₃ を含むものがある。




1-1-1 図 燃料集合体の収納位置 (1/2) (乾式キャスク (タイプ 1))



1-1-1 図 燃料集合体の収納位置 (2/2) (乾式キャスク (タイプ 2))

1-1-2表 バーナブルポイズン集合体の仕様例

緒 元	型 式
<p>①形状、全長等</p> <p>バーナブルポイズン集合体</p> <p>外形 (mm)</p> <p>全長 (mm)</p> <p>バーナブルポイズン棒</p> <p>吸収材有効長 (mm)</p> <p>外径 (mm)</p> <p>内径 (mm)</p> <p>②重 量</p> <p>総重量 (kg)</p> <p>③材 料</p> <p>吸収材</p> <p>被覆管</p> <p>シンプルプラグ</p> <p>ホールドダウンアセンブリ</p>	<p>17×17 燃料用</p> <p>161×161</p> <p>3961</p>  <p>ホウケイ酸ガラス</p> <p>ステンレス鋼</p> <p>ステンレス鋼</p> <p>ステンレス鋼</p> <p>インコネル</p>

1-1-3表 収納物の燃焼条件及び冷却日数 (1/2) (乾式キャスク (タイプ1))

燃焼条件	燃料集合体の種類と型式		中央部		外周部	
			14×14 燃料			
			48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型	
			A型	B型	A型	B型
最高燃焼度 ^(注1) (MWd/t)			48,000 以下		39,000 以下	
平均燃焼度 ^(注2) (MWd/t)			45,000 以下			
平均比出力 (MW/t)			34.0			
冷却日数			5,479 日以上		9,131 日以上	

(注1) 最高燃焼度は燃料集合体1体の燃焼度の最大値を示す。

(注2) 平均燃焼度は中央部及び外周部に収納する全燃料集合体の燃焼度の平均値を示す。

1-1-3表 収納物の燃焼条件及び冷却日数 (2/2) (乾式キャスク (タイプ2))

燃焼条件		燃料集合体の種類と型式		17×17 燃料	
				48,000MWd/t 型	
				A型	B型
燃料集合体	最高燃焼度 ^(注1) (MWd/t)	中央部	48,000 以下		
		外周部	44,000 以下		
	平均燃焼度 ^(注2) (MWd/t)		44,000 以下		
	平均比出力 (MW/t)		38.4		
	冷却日数		5,479 日 ^(注3) 以上	6,209 日 以上	
バーナブル ポイズン 集合体	照射日数				
	冷却日数	5,479 日以上			

(注1) 最高燃焼度は燃料集合体1体の燃焼度の最大値を示す。

(注2) 平均燃焼度は収納する全燃料集合体の燃焼度の平均値を示す。

(注3) 回収ウラン燃料については、放射能量及び発熱量が、通常のウラン燃料と同等以下となる期間 (7,305 日以上) 冷却したものを収納する。

2. 添付資料に関する補足説明資料

2-1 資料 10 に係る補足説明資料

伊方3号機（使用済燃料乾式貯蔵建屋）設計及び工事計画に係る説明資料
 （使用済燃料乾式貯蔵容器の安全性について）

■資料No. 2-1 資料10に係る補足説明資料

資料 No.	補足説明資料		備考 (該当添付資料)
	(名称)	(概要)	
2-1-1	ABAQUS解析モデル	密封容器及び外筒等の強度計算で用いたABAQUS解析モデルの概要を示す。	資料10-3-2-1 密封容器の強度計算方法 資料10-3-2-4 外筒、下部端板、蓋部中性子遮蔽材カバー及び底部中性子遮蔽材カバーの強度計算方法
2-1-2	各計算条件の概要	密封容器等の強度計算における計算条件の概要を示す。	資料10-3 キャスク本体その他のキャスクを構成する部材に係る強度に関する説明書
2-1-3	長期健全性に係る各部位の温度制限値について	長期健全性に係る各部位の温度制限値を示す。	資料10-3 別紙1 使用済燃料乾式貯蔵容器を構成する部材の長期健全性について
2-1-4	アルミニウム合金の材料規定の根拠	アルミニウム合金の材料規定の根拠を示す。	資料10-3 別紙2 アルミニウム合金の材料特性について

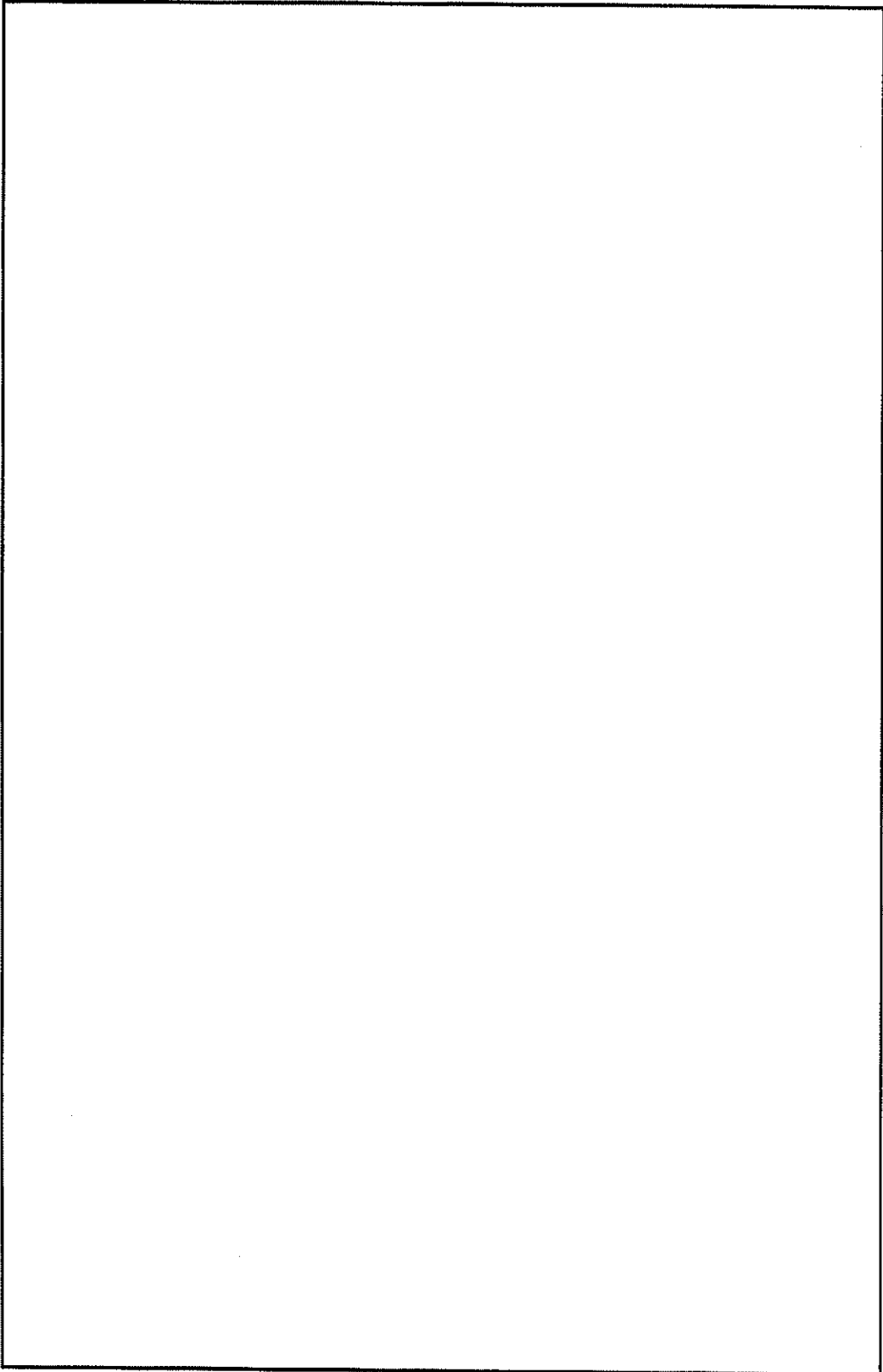
2-1-1 ABAQUS 解析モデル

1. 解析モデルの説明

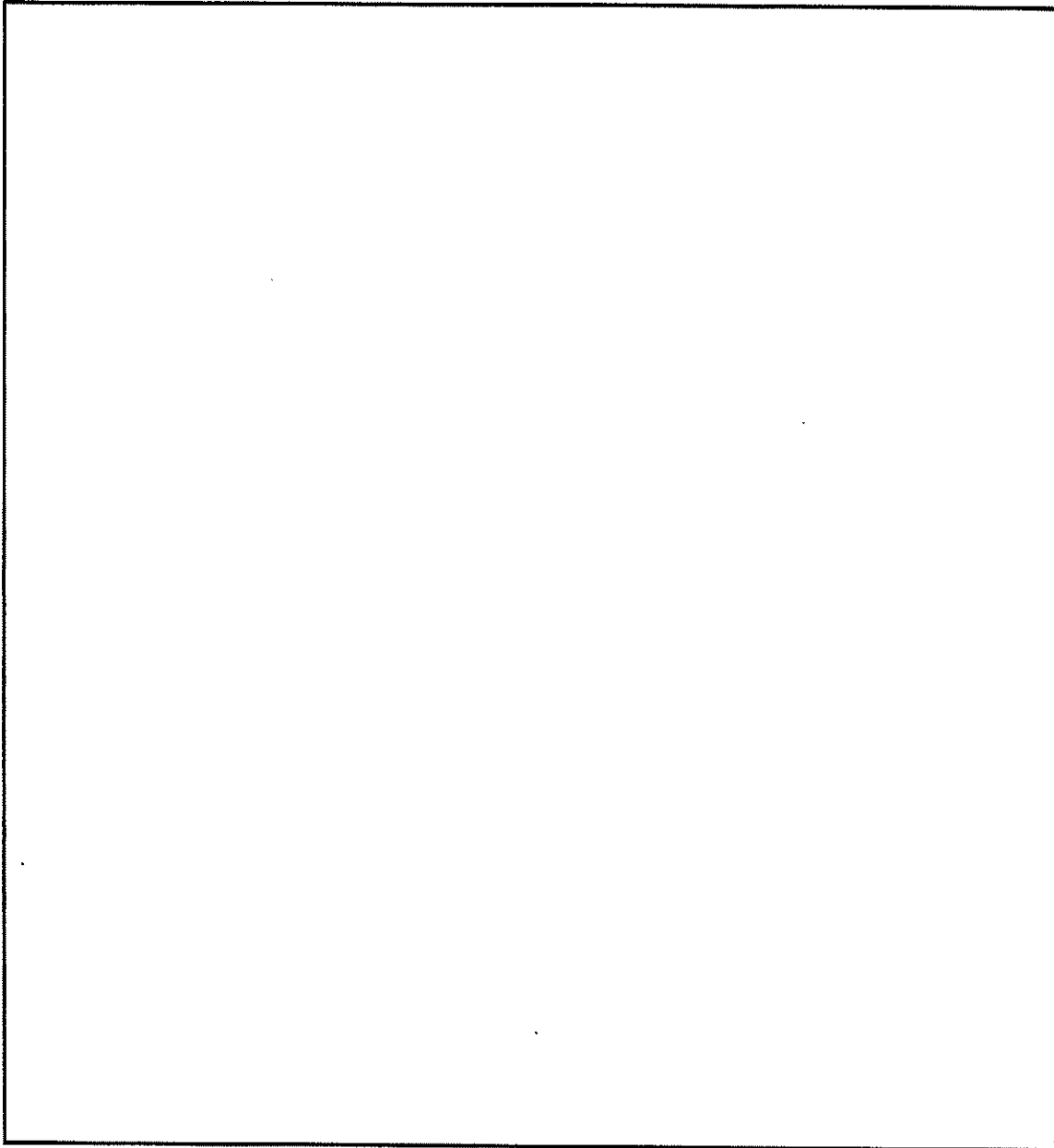
乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）の密封容器並びに外筒、下部端板、蓋部中性子遮蔽材カバー及び底部中性子遮蔽材カバーの解析は、有限要素法による構造解析コード（ABAQUS）を使用する。解析モデルを 2-1-1-1 図に示す。

解析モデルは、乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）の胴、一次蓋、二次蓋、三次蓋、外筒等によりモデル化される。モデル化範囲は、解析対象とした事象の各状態に応じた部位とした。各解析におけるモデル化範囲を 2-1-1-1 表に示す。乾式キャスクの貯蔵は、一次蓋及び二次蓋が取り付けられた状態（三次蓋は取り付けない状態）で行うため、設計時及び貯蔵時の解析は、三次蓋及び三次蓋ボルトをモデル化対象外とした。吊上げ時及び検査架台への衝突時は、乾式キャスクの取扱い中の事象である。乾式キャスクの取扱いは、三次蓋を取り付けた状態で行うため、2-1-1-1 表に示す全ての部位をモデル化範囲とした。乾式キャスクの耐圧試験は一次蓋が取り付けられた状態で行うため、二次蓋、二次蓋ボルト、三次蓋及び三次蓋ボルトをモデル化対象外とした。

また、解析モデルは、三次元の 180° 対称モデルとし、三次元固体（連続体）要素による解析モデルとする。モデル化には公称寸法を用いた。一次蓋、二次蓋及び三次蓋は蓋ボルトにより胴に接続され、蓋と胴との接触が考慮されている。なお、中性子遮蔽材は慣性力による荷重が模擬できるよう質量体として考慮した。使用済燃料集合体、バスケット及び伝熱フィンモデル化せず、使用済燃料集合体及びバスケットは、胴内部に作用する荷重として考慮し、伝熱フィンは胴の質量に考慮した。



2-1-1-1 図 解析モデル 部材定義図 (1/2) (乾式キャスク (タイプ1) の例)



2-1-1-1 図 解析モデル 部材定義図 (2/2) (乾式キャスク (タイプ 1) の例)
(2-1-1-1 図 (1/2) と異なり、一次蓋ボルト、二次蓋ボルト及び三次蓋ボルトを
同時に示した断面表示としている)

2-1-1-1 表 各解析におけるモデル化範囲

モデル化部位	モデル化範囲				
	設計時	貯蔵時	吊上げ時	検査架台 への衝突時	試験時
胴	○	○	○	○	○
胴（底板）	○	○	○	○	○
一次蓋	○	○	○	○	○
一次蓋ボルト	○	○	○	○	○
二次蓋	○	○	○	○	—
二次蓋ボルト	○	○	○	○	—
三次蓋	—	—	○	○	—
三次蓋ボルト	—	—	○	○	—
蓋部中性子 遮蔽材カバー	○	○	○	○	○
外筒	○	○	○	○	○
下部端板	○	○	○	○	○
底部中性子 遮蔽材カバー	○	○	○	○	○
トラニオン	○	○	○	○	○

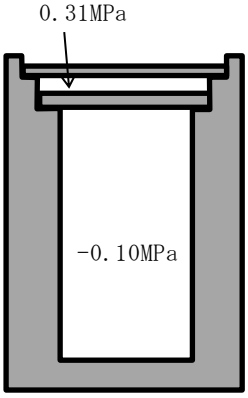
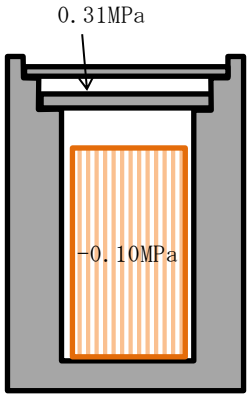
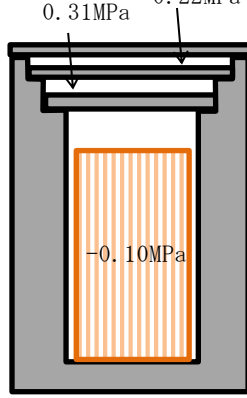
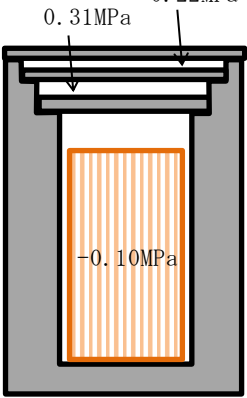
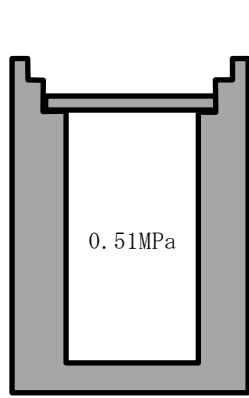
2-1-2 各計算条件の概要

1. 各計算条件の概要

乾式キャスク（タイプ1）及び乾式キャスク（タイプ2）の強度計算における計算条件の設定にあたっては、各評価事象における様態を考慮し、内圧、機械的荷重及び熱荷重を選定するとともに、各様態に応じた解析モデルを用いている。

各評価事象における計算条件の概要について、2-1-2-1表に示す。

2-1-2-1 表 各評価事象における計算条件

計算条件		評価事象				
		設計時	貯蔵時	吊上げ時	検査架台への衝突時	試験時
評価概要						
モデル化 範囲※1	二次蓋	○	○	○	○	—
	三次蓋	—	—	○	○	—
温度分布		貯蔵時	貯蔵時	輸送時	輸送時	常温
収納物※1		—	○	○	○	—
荷重条件		胴内圧力：-0.10MPa 一二次蓋間圧力：0.31MPa	胴内圧力：-0.10MPa 一二次蓋間圧力：0.31MPa 自重：1g（垂直）	胴内圧力：-0.10MPa 一二次蓋間圧力：0.31MPa 二三蓋間圧力：0.22MPa 吊上げ荷重：1.3g （垂直）	胴内圧力：-0.10MPa 一二次蓋間圧力：0.31MPa 二三蓋間圧力：0.22MPa 衝突荷重：3.4g （水平）	胴内圧力：0.51MPa 自重：1g（垂直）

※1 凡例 ○：あり —：なし

2-1-3 長期健全性に係る各部位の温度制限値について

1. はじめに

本資料は資料 10-3 別紙 1「使用済燃料乾式貯蔵容器を構成する部材の長期健全性について」における各部位の温度制限値を示すものである。

2. 温度制限値

乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）の主要な構成部位の温度制限値について 2-1-3-1 表に示す。

2-1-3-1 表 乾式キャスク（タイプ 1,2）の主要な構成部位の温度制限値

構成部材	材質	温度制限値 (°C以下)	根拠
胴、一次蓋、二次蓋	炭素鋼 (GLF1)	350	「(一社)日本機械学会、『発電用原子力設備規格 材料規格(2012年版)(JSME S NJ1-2012)』,(2012).」において設計用強度と物性値が規定されている範囲に制限する。
外筒、 蓋部中性子遮蔽材カバー	炭素鋼 (SGV480)		
トラニオン	ステンレス鋼 (SUS630)		
一次蓋ボルト、 二次蓋ボルト	合金鋼 (SNB23-3)		
下部端板、 底部中性子遮蔽材カバー	ステンレス鋼 (SUS304)	425	
バスケット	アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)	250	「三菱重工業(株)、『型式設計特定容器等の型式指定申請書 本文及び添付書類の一部補正について』,(2017).」において設計用強度と物性値が規定されている範囲に制限する。
伝熱フィン	銅 (C1020)	200	「(一財)日本規格協会、『圧力容器の設計(JIS B 8267:2015)』,(2015).」において設計用強度と物性値が規定されている範囲に制限する。
金属ガスケット	ニッケル基合金/ アルミニウム	130	「(一財)電力中央研究所、『平成21年度リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等報告書』,(2010).」において長期の健全性が確認されている範囲に制限する。
中性子遮蔽材 (蓋部、底部、側部)	樹脂 (レジン)	149	「BISCO PRODUCTS, Inc., “NS-4-FR Fire Resistant Neutron and/or Gamma Shielding Material”, (1986).」において示されているエポキシ系レジンの使用可能温度範囲に制限する。
使用済燃料被覆管	ジルカロイ	275	「総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 核燃料サイクル安全小委員会 中間貯蔵ワーキンググループ 輸送ワーキンググループ、『金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について』,(2009).」において示されている機械的劣化を防止する制限温度範囲に制限する。

2-1-4 アルミニウム合金の材料規定の根拠

1. はじめに

本資料は資料 10-3 別紙 2「アルミニウム合金の材料特性について」におけるアルミニウム合金の強度に係る規定の設定根拠を示すものである。

2. 設定根拠

乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）に使用するアルミニウム合金（MB-A3004-H112）の強度に係る規定の設定根拠については、当該材料のデータを取得した三菱重工業(株)が同社の別型式のキャスクの型式指定申請（含む補正申請）（平成 29 年 8 月 10 日付 L5-95HU131）の添付書類 8-2-4 において設計貯蔵期間（60 年）中の熱影響を考慮した強度設定等をデータパッケージとしてまとめており、その設定が妥当であることを含め認可されている。

乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）においては、認可されているキャスクと同じアルミ材を使用し、使用環境も同等でかつ使用温度範囲内であることから、同規定が使用可能である。資料 15「外運搬規則第二十一条第二項の規定による容器の設計に関する原子力規制委員会の承認を受けたことに関する説明書」に示す核燃料輸送物設計承認においても、当該材料を使用することを含めて承認を受けている。

当該データパッケージの概要及び、アルミニウム合金 MB-A3004-H112 材の設計強度の設定の考え方を、以下に概略を示す。

①データパッケージ「バスケットプレート用材料アルミニウム合金（MB-A3004-H112）について」の概要

主に、以下の材料仕様や特性、設計強度について記載されている。

- ・材料の仕様（適合規格、化学成分、機械的性質、寸法の許容差）
- ・使用条件（適用範囲、温度範囲）
- ・製造工程及び製造条件（製造方法、熱処理、品質管理）
- ・化学成分、マクロ及びミクロ組織
- ・機械的性質（常温引張特性、靱性（初期材、時効材））
- ・高温引張特性（初期材、時効材）、低温引張試験
- ・クリープ特性
- ・耐食性
- ・設計強度（設計降伏点、設計引張強さ、設計応力強さ、許容引張応力）
- ・熱物性、弾性定数、線膨張係数、照射影響

②アルミニウム合金 MB-A3004-H112 材の設計強度の設定の考え方

設計強度は、JSME「材料規格」の新規材料採用ガイドラインに準拠し、データパッケージに記載されている製品形状材料の常温試験から得られた常温規定値に、高温試験結果等を考慮して以下の通り、各温度の設計強度（設計降伏点、設計引張強さ、設計応力強さ、許容引張応力）が算出されている。

(1) 設計降伏点

JSME 発電用原子力設備規格 材料規格新規採用ガイドラインに準拠し、規定値にトレンドカーブから算出した結果を 2-1-4-1 表に示す。

なお、当該材料では、時効による強度低下を考慮するため、時効後強度比率 A_T を乗じて、各温度の設計降伏点を算出する。

2-1-4-1 表 各温度における設計降伏点 S_y (MPa)

項目 \ 温度(°C)	-40~40	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325*	350*
常温の耐力規定値 S_{Y0}	85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
耐力比 R_T (トレンドカーブ)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.963	0.901	0.814	0.705	0.582	0.459	0.356	0.298
時効後強度比率 A_T (トレンドカーブ)	0.668	0.683	0.684	0.691	0.704	0.722	0.742	0.760	0.773	0.783	0.791	0.806	0.843
$S_{Y0} \times R_T \times A_T$ (MPa) (=設計降伏点 S_y , 時効後)	56	56	56	56	56	56	56	52	46	38	30	24	21

注* : 325°C、350°Cの値は最高温度での評価値であり、規定値ではない。

R_T : 温度トレンドカーブ (1.0 を超える分は 1.0 へ修正)

$$= 5.79491 \times 10^{-13} T^5 - 1.66013 \times 10^{-10} T^4 - 8.26469 \times 10^{-8} T^3 + 2.25276 \times 10^{-5} T^2 - 1.41233 \times 10^{-3} T + 1.02372$$

S_{Y0} : 常温の耐力規定値

時効後強度比率 A_T : 初期材に対する時効後の 0.2%耐力の比 (最小値トレンドカーブ)

$$= 1.12046 \times 10^{-12} T^5 - 1.01355 \times 10^{-9} T^4 + 3.26910 \times 10^{-7} T^3 - 4.40188 \times 10^{-5} T^2 + 2.62581 \times 10^{-3} T + 0.625057$$

(2) 設計引張強さ

JSME 発電用原子力設備規格 材料規格新規採用ガイドラインに準拠し、規定値にトレンドカーブから算出した結果を 2-1-4-2 表に示す。

なお、当該材料では、時効による強度低下を考慮するため、時効後強度比率 A_T を乗じて、各温度の設計引張強さを算出する。

2-1-4-2 表 各温度における設計引張強さ S_u (MPa)

項目 \ 温度(°C)	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325*	350*
常温の引張強さ規定値 S_T	185	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
引張強さ比 R_T (トレンドカーブ)	1.000	0.999	1.000	0.983	0.932	0.852	0.750	0.636	0.522	0.421	0.341	0.284	0.245
時効後強度比率 A_T (トレンドカーブ)	0.828	0.859	0.849	0.834	0.817	0.803	0.796	0.796	0.804	0.818	0.837	0.857	0.871
$S_T \times R_T \times A_T$ (MPa) (=設計引張強さ S_u , 時効後)	153	153	153	151	140	126	110	93	77	63	52	44	39

注* : 325°C、350°Cの値は最高温度での評価値であり、規定値ではない。

R_T : 温度トレンドカーブ (1.0 を超える分は 1.0 へ修正)

$$= -1.95417 \times 10^{-12} T^5 + 2.10725 \times 10^{-9} T^4 - 7.74787 \times 10^{-7} T^3 + 1.06151 \times 10^{-4} T^2 - 5.69199 \times 10^{-3} T + 1.09402$$

S_T : 常温の引張強さ規定値

時効後強度比率 A_T : 初期材に対する時効後の引張強さの比 (最小値トレンドカーブ)

$$= -1.41195 \times 10^{-10} T^4 + 1.22362 \times 10^{-7} T^3 - 3.33818 \times 10^{-5} T^2 + 3.03301 \times 10^{-3} T + 0.771645$$

(3) 設計応力強さ

JSME 発電用原子力設備規格 材料規格新規採用ガイドラインに準拠し、(1)項及び(2)項の結果を引用し、算出した結果を 2-1-4-3 表に示す。

なお、2-1-4-3 表に示す $1.0/3S_T \times R_T \times A_T$ について、材料規格新規材料採用ガイドラインでは $1.1/3S_T \times R_T$ となっている。材料規格新規材料採用ガイドラインで採用している 1.1 倍について、アルミニウム合金では高温強度特性における動的ひずみ時効に伴う強度向上は確認されているが、全評価温度域において動的ひずみ時効に伴う強度向上が明確ではない。そのため、保守的な評価となるよう、本材料では 1.0 倍を採用する。また、当該材料では、時効による強度低下を考慮するため、時効後強度比率 A_T (2-1-4-1 表参照) 又は A_T (2-1-4-2 表参照) を乗じて、各温度の設計応力強さを算出する。

2-1-4-3 表 各温度における設計応力強さ S_m

試験温度(°C)	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325*	350*
$1/3S_T$	61.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$1.0/3S_T \times R_T \times A_T$	51.1	52.9	52.4	50.5	47.0	42.2	36.8	31.2	25.9	21.3	17.6	15.0	13.1
$2/3S_{Y0}$	56.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$2/3S_{Y0} \times R_T \times A_T$	37.8	38.7	38.8	39.1	39.9	39.4	37.9	35.0	30.9	25.8	20.6	16.3	14.2
最小値	37.8	38.7	38.8	39.1	39.9	39.4	36.8	31.2	25.9	21.3	17.6	15.0	13.1
S_m (MPa)	37	37	37	37	37	37	36	31	25	21	17	14	13

注* : 325°C、350°Cの値は最高温度での評価値であり、規定値ではない。

S_{Y0} : 常温における降伏点 (耐力) の規定値

R_T : 当該温度での降伏点 (耐力) / 常温の降伏点 (耐力)

S_T : 常温における引張強さの規定値

R_T : 当該温度での引張強さ / 常温の引張強さ

A_T : 引張強さの時効後強度比率 (初期材に対する時効後の引張強さの比)

A_T : 0.2%耐力の時効後強度比率 (初期材に対する時効後の 0.2%耐力の比)

(4) 許容引張応力

JSME 発電用原子力設備規格 材料規格新規採用ガイドラインに準拠し、クリープ試験、(1)項及び(2)項の結果を引用し、算出した結果を 2-1-4-4 表に示す。

なお、2-1-4-4 表に示す $1/4S_T$ 及び $1.0/4S_T \times R_T \times A_T$ について、材料規格新規材料採用ガイドラインでは $1/3.5S_T$ 及び $1.1/3.5S_T \times R_T$ となっている。材料規格新規材料採用ガイドラインで採用している 1.1 倍について、アルミニウム合金では高温強度特性における動的ひずみ時効に伴う強度向上は確認されているが、全評価温度域において動的ひずみ時効に伴う強度向上が明確ではない。また、係数 1/3.5 は、使用実績があり材料強度特性上の問題が生じていないことから定められた係数である。よって、保守的な評価となるよう、本材料では 1.0 倍及び係数 1/4 を採用する。

さらに、当該材料では、時効による強度低下を考慮するため、時効後強度比率 A_T (2-1-4-1 表参照) 又は A_T (2-1-4-2 表参照) を乗じて、各温度の許容引張応力を算出する。

2-1-4-4 表 各温度における許容引張応力 S

試験温度(°C)	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250	275*	300*	325*	350*
$1/4S_T$	46.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$1.0/4S_T \times R_T \times A_T$	38.3	39.7	39.3	37.9	35.2	31.7	27.6	23.4	19.4	16.0	13.2	11.2	9.9
$2/3S_{Y0}$	56.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$2/3S_{Y0} \times R_Y \times A_Y$	37.8	38.7	38.8	39.1	39.9	39.4	37.9	35.0	30.9	25.8	20.6	16.3	14.2
S_{Ravg}	-	-	92.0	67.6	49.6	36.4	26.7	19.6	14.4	(10.6)	(7.8)	(5.7)	(4.2)
S_{Rmin}	-	-	(71.2)	(51.4)	37.1	26.8	19.3	13.9	10.1	(7.3)	(5.2)	(3.8)	(2.7)
$10^{(1/n)}$	-	-	-	-	-	-	0.72	-	0.78	-	0.87	-	0.73
F_{avg}	-	-	(0.67)	(0.67)	(0.67)	(0.67)	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
$F_{avg}S_{Ravg}$	-	-	(61.7)	(45.3)	(33.2)	(24.4)	17.9	13.2	9.7	(7.1)	(5.2)	(3.8)	(2.7)
$0.8S_{Rmin}$	-	-	(57.0)	(41.1)	(29.7)	(21.4)	15.5	11.2	8.1	(5.8)	(4.2)	(3.0)	(2.2)
$1.0S_C$	-	-	(129.0)	(81.6)	(51.6)	(32.7)	20.7	13.1	(8.3)	(5.2)	(3.3)	(2.1)	(1.3)
最小値	37.8	38.7	38.8	37.9	29.7	21.4	15.5	11.2	8.1	5.2	3.3	2.1	1.3
S (MPa)	37	37	37	37	29	21	15	11	8	5	3	2	1

注* : 275°C、300°C、325°C、350°Cの値は最高温度での評価値であり、規定値ではない。

括弧内の数値 : クリープ試験及びクリープ破断試験を実施した温度以下又は応力以下における外挿値である。これらクリープ外挿値が引張特性に起因する諸値よりも小さな値となった場合(すなわち 150~175°C)においては、安全側の評価のためにクリープ外挿値を採用した。

S_{Ravg} : 100,000 時間での破断を生じる平均応力

S_{Rmin} : 100,000 時間での破断を生じる最小応力

S_C : 0.01% / 1,000 時間のクリープ速度を生じる応力の平均値

F_{avg} : S_{Ravg} に適用する係数。ただし、0.67 を超えない値とする。

$$F_{avg} = 10^{(1/n)}$$

n : 100,000 時間でのクリープ破断時間の対数と応力の対数との曲線の傾きで下式で表される負の値

$$n = \Delta \log(\text{クリープ破断時間}) / \Delta \log(\text{応力})$$

S_{Y0} : 常温における降伏点 (耐力) の規定値

R_Y : 当該温度での降伏点 (耐力) / 常温の降伏点 (耐力)

S_T : 常温における引張強さの規定値

R_T : 当該温度での引張強さ / 常温の引張強さ

A_T : 引張強さの時効後強度比率 (初期材に対する時効後の引張強さの比)

A_Y : 0.2%耐力の時効後強度比率 (初期材に対する時効後の 0.2%耐力の比)

2-2 資料 11 に係る補足説明資料

伊方3号機（使用済燃料乾式貯蔵建屋）設計及び工事計画に係る説明資料
 （使用済燃料乾式貯蔵容器の安全性について）

■資料No. 2-2 資料11に係る補足説明資料

資料 No.	補足説明資料		備考 (該当添付資料)
	(名称)	(概要)	
2-2-1	基準漏えい率及びリークテスト判定基準の評価方法及び評価結果	基準漏えい率及びリークテスト判定基準の評価方法及び結果の詳細を示す。	資料11 使用済燃料貯蔵用容器の密封性を監視する装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書
2-2-2	金属ガスケットの漏えい率の設定根拠	乾式キャスク（タイプ1）及び（タイプ2）に使用する金属ガスケットの漏えい率の設定根拠を示す。	資料11 使用済燃料貯蔵用容器の密封性を監視する装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書
2-2-3	乾式キャスク蓋間圧力の管理値及び監視頻度の設定根拠	乾式キャスク（タイプ1）及び（タイプ2）の蓋間圧力の運用上の管理値及び監視頻度の設定根拠を示す。	資料11 使用済燃料貯蔵用容器の密封性を監視する装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書

2-2-1 基準漏えい率及びリークテスト判定基準の
評価方法及び評価結果

1. 概要

本資料は、資料 11「使用済燃料貯蔵用容器の密封性を監視する装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書」において示す、乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）の基準漏えい率及びリークテスト判定基準の評価方法及び評価結果の詳細について説明するものである。

2. 評価方法及び評価結果

乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）の基準漏えい率 Q_s 及びリークテスト判定基準 Q_t の計算フローを 2-2-1-1 図に示す。また、漏えい率計算の概要を 2-2-1-2 図に示す。

乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）の基準漏えい率 Q_s は、設計貯蔵期間（60 年）経過後に、それぞれの乾式キャスク本体内部圧力の負圧が維持できるシール部の標準状態（大気圧、25°C）における漏えい率である。

基準漏えい率は、貯蔵時における乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）の温度、本体内部の空間容積及び圧力等を基に、乾式キャスク本体内部の圧力が設計貯蔵期間経過後に大気圧となるように求めた漏えい孔径 D_0 を用い、標準状態における漏えい率として算出される。基準漏えい率は、設計貯蔵期間経過後に乾式キャスク本体内部の圧力が大気圧となるための漏えい率 Q_0 に比べて小さく、保守側な設定である。基準漏えい率の計算過程を以下に示す。

時間 dt の間に乾式キャスク本体内部圧力が dP_d だけ変化する漏えい率を Q とすれば、乾式キャスク本体内部の空間容積は一定であることから、乾式キャスク本体内部圧力の時間変化は、温度の違いを考慮してボイル・シャルルの法則により次式で与えられる。

$$\frac{dP_d}{dt} = \frac{Q}{V_d} \cdot \frac{T_d}{T} \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

ここで、

- dP_d : 乾式キャスク本体内部圧力の変化 (Pa)
- T_d : 乾式キャスク本体内部温度 (K)
- Q : 乾式キャスク本体内部圧力 P_d のときのシール部漏えい率 (Pa・m³/s)
- T : 漏えい気体の温度 (K)
- V_d : 乾式キャスク本体内部の空間容積 (m³)
- t : 時間 (s)

なお、漏えい率 Q は以下のクヌッセンの式で求められる⁽¹⁾。

$$\left. \begin{aligned}
 Q &= L \cdot P_a \\
 L &= (F_c + F_m) \cdot (P_u - P_d) \\
 F_c &= \frac{\pi}{128} \times \frac{D_0^4}{a \cdot \mu} \\
 F_m &= \frac{\sqrt{2\pi R_0}}{6} \times \frac{D_0^3 \sqrt{T}}{a \cdot P_a}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

ここで、

- Q : 漏えい率 (Pa・m³/s)
- L : 圧力 P_a における体積漏えい率 (m³/s)
- F_c : 連続流のコンダクタンス係数 (m³/(Pa・s))
- F_m : 自由分子流のコンダクタンス係数 (m³/(Pa・s))
- P_u : 上流側 (蓋間) の圧力 (Pa)
- P_d : 下流側 (乾式キャスク本体内部) の圧力 (Pa)
- D_0 : 漏えい孔径 (m)
- a : 漏えい孔長 (m)
- P_a : 流れの平均圧力 (Pa) 【 $P_a = (P_u + P_d) / 2$ 】
- μ : 漏えい気体の粘性係数 (Pa・s)
- T : 漏えい気体の温度 (K)
- M : 漏えい気体の分子量 (kg/mol)
- R_0 : ガス定数 (J/(mol・K))

②式を①式に代入すると、以下となる。

$$\frac{dP_d}{dt} = \frac{T_d}{V_d \cdot T} \times \left\{ \frac{1}{2} F_c \cdot (P_u^2 - P_d^2) + F_m \cdot P_a \cdot (P_u - P_d) \right\} \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

また、上流側の圧力 P_u を一定として、③式を時間 t で積分すれば、ある時間 t における乾式キャスク本体内部圧力 $P_d = P_d(t)$ が得られる。つまり、漏えい孔径 D_0 は、以下の④式に乾式キャスク貯蔵時環境条件として 2-2-1-1 表に示す計算条件のもと⑤、⑥式を代入し、乾式キャスク本体内部圧力 P_d が燃料破損（燃料破損率 0.1%）によるガス放出を想定した圧力上昇 P_1 を考慮しても負圧を維持できる圧力（気象変化による圧力変動を考慮した大気圧： $9.7 \times 10^4 \text{ Pa}$ から P_1 （補足 1 参照）を減じた圧力）となる漏えい孔径を繰り返し計算することで算出できる。2-2-1-2 表に漏えい孔径 D_0 の計算条件及び計算結果を示す。

$$P_d(t) = \frac{P_{u0} \cdot \{F_c' \cdot (P_{u0} + P_{d0}) + F_m'\} - (F_c' \cdot P_{u0} + F_m') \cdot (P_{u0} - P_{d0}) \cdot \exp\left\{-\frac{T_d \cdot (2F_c' \cdot P_{u0} + F_m')}{V_d \cdot T} \cdot t\right\}}{F_c' \cdot (P_{u0} + P_{d0}) + F_m' + F_c' \cdot (P_{u0} - P_{d0}) \cdot \exp\left\{-\frac{T_d \cdot (2F_c' \cdot P_{u0} + F_m')}{V_d \cdot T} \cdot t\right\}} \quad \dots \textcircled{4}$$

$$F_c' = \frac{1}{2} F_c = \frac{1}{2} \times \frac{\pi}{128} \times \frac{D_0^4}{a\mu} \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

$$F_m' = F_m \cdot P_a = \frac{\sqrt{2\pi R_0}}{6} \times \frac{D_0^3 \sqrt{T}}{aP_a} \times P_a = \frac{\sqrt{2\pi R_0}}{6} \times \frac{D_0^3 \sqrt{T}}{a} \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

2-2-1-1 表 乾式キャスク本体内部圧力計算条件

	乾式キャスク (タイプ1)	乾式キャスク (タイプ2)
T _d : 乾式キャスク本体内部温度 (K)	488.15	498.15
T : 漏えい気体の温度 (K)	248.15	
V _d : 乾式キャスク本体内部の空間容積 (m ³)		
P _{uo} : 上流側の初期圧力 (Pa)	4.1 × 10 ⁵	
P _{do} : 下流側の初期圧力 (Pa)	8.0 × 10 ⁴	
a : 漏えい孔長 (m) ^(注1)	4.56 × 10 ⁻³	
D : 金属ガスケットの断面径 (m)		
H : 一次蓋の金属ガスケット溝深さ (m)		
μ : 漏えい気体 (ヘリウム) の粘性係数 (Pa・s) ⁽²⁾	1.756 × 10 ⁻⁵ (-25℃)	
M : 漏えい気体 (ヘリウム) の分子量 (kg/mol) ⁽³⁾	0.004002602	
R ₀ : ガス定数 (J/(mol・K) ⁽³⁾	8.3144598	

(注1) $a = 2 \times \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{H}{2}\right)^2}$ (2-2-1-3 図参照)

である。

2-2-1-2 表 基準漏えい率の漏えい孔径の計算条件及び計算結果

	乾式キャスク (タイプ1)	乾式キャスク (タイプ2)
P ₀ : 気象変化による圧力変動を考慮した大気 圧 (Pa)	9.7 × 10 ⁴	
P ₁ : 燃料破損による圧力上昇 (Pa)		
P _d (t=60年) : 乾式キャスク本体内部圧力 (Pa)		
D ₀ : 漏えい孔径 (m)	5.57 × 10 ⁻⁶	5.51 × 10 ⁻⁶

漏えい孔径 D_0 を基に、クヌッセンの式 (②式) により設計貯蔵期間経過後に乾式キャスク本体内部が負圧を維持できる漏えい率 Q_{01} が得られる。2-2-1-3 表に計算条件及び計算結果を示す。

2-2-1-3 表 漏えい率の計算条件及び計算結果

	乾式キャスク (タイプ 1)	乾式キャスク (タイプ 2)
P_a : 流れの平均圧力 (Pa) (注 1)	2.45×10^5	
P_{u0} : 上流側の初期圧力 (Pa)	4.1×10^5	
P_{d0} : 下流側の初期圧力 (Pa)	8.0×10^4	
Q_{01} : 漏えい率 ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$)	2.757×10^{-5}	2.647×10^{-5}

(注 1) P_a : 流れの平均圧力 (Pa) 【 $P_a = (P_u + P_d) / 2$ 】 である。

基準漏えい率 Q_s は、先に得られた漏えい孔径 D_0 の漏えい孔に対して、漏えい試験条件（標準状態）として 2-2-1-4 表に示す温度、圧力、気体の条件等をクヌッセンの式（②式）に代入して得られる。2-2-1-4 表に計算条件及び計算結果を示す。

2-2-1-4 表 基準漏えい率の計算条件及び計算結果

	乾式キャスク (タイプ 1)	乾式キャスク (タイプ 2)
D_0 : 漏えい孔径 (m)	5.57×10^{-6}	5.51×10^{-6}
a : 漏えい孔長 (m)	4.56×10^{-3}	
μ : 漏えい気体（ヘリウム）の粘性係数 (Pa·s) ⁽²⁾	1.985×10^{-5} (25°C)	
R_0 : ガス定数 (J/(mol·K)) ⁽³⁾	8.3144598	
T : 漏えい気体の温度 (K)	298.15	
M : 漏えい気体（ヘリウム）の分子量 (kg/mol) ⁽³⁾	0.004002602	
P_a : 流れの平均圧力 (Pa)	5.05×10^4	
P_{u0} : 上流側の初期圧力 (Pa)	1.01×10^5 (大気圧)	
P_{d0} : 下流側の初期圧力 (Pa)	0 (真空)	
Q_s : 基準漏えい率 (Pa·m ³ /s)	2.58×10^{-6}	2.49×10^{-6}

次に、基準漏えい率の計算と同様の方法を用いて、リークテスト判定基準を求める。基準漏えい率とリークテスト判定基準の関係を 2-2-1-4 図に示す。

リークテスト判定基準の計算においては、乾式キャスク本体内部圧力 P_d が燃料破損（燃料破損率 0.1%）によるガス放出を想定した圧力上昇 P_1 及び設計貯蔵期間経過後の蓋間空間ガス全量の流入を想定した圧力上昇 P_2 を考慮しても負圧を維持できる圧力（気象変化による圧力変動を考慮した大気圧： 9.7×10^4 Pa から P_1 及び P_2 （補足 2 参照）を減じた圧力）となる漏えい孔径 D_0 を繰り返し計算により求める。2-2-1-5 表に計算条件及び計算結果を示す。なお、2-2-1-5 表に示さない計算条件は 2-2-2-1 表と同じである。

2-2-1-5 表 リークテスト判定基準の漏えい孔径の計算条件及び計算結果

	乾式キャスク (タイプ 1)	乾式キャスク (タイプ 2)
P_0 : 気象変化による圧力変動を考慮した大気圧 (Pa)	9.7×10^4	
P_1 : 燃料破損による乾式キャスク本体内部の圧力上昇量 (Pa)	□	□
P_2 : 設計貯蔵期間経過後に蓋間空間ガスの流入を仮定した場合の乾式キャスク本体内部の圧力上昇量 (Pa)	□	□
P_d (t=60 年) : 乾式キャスク本体内部圧力 (Pa)	□	□
D_0 : リークテスト判定基準における漏えい孔径 (m)	4.86×10^{-6}	4.79×10^{-6}

漏えい孔径 D_0 を基にクヌッセンの式 (②式) により、設計貯蔵期間経過後に乾式キャスク本体内部が負圧を維持できる漏えい率 Q_{02} が得られる。2-2-1-6 表に計算条件及び計算結果を示す。

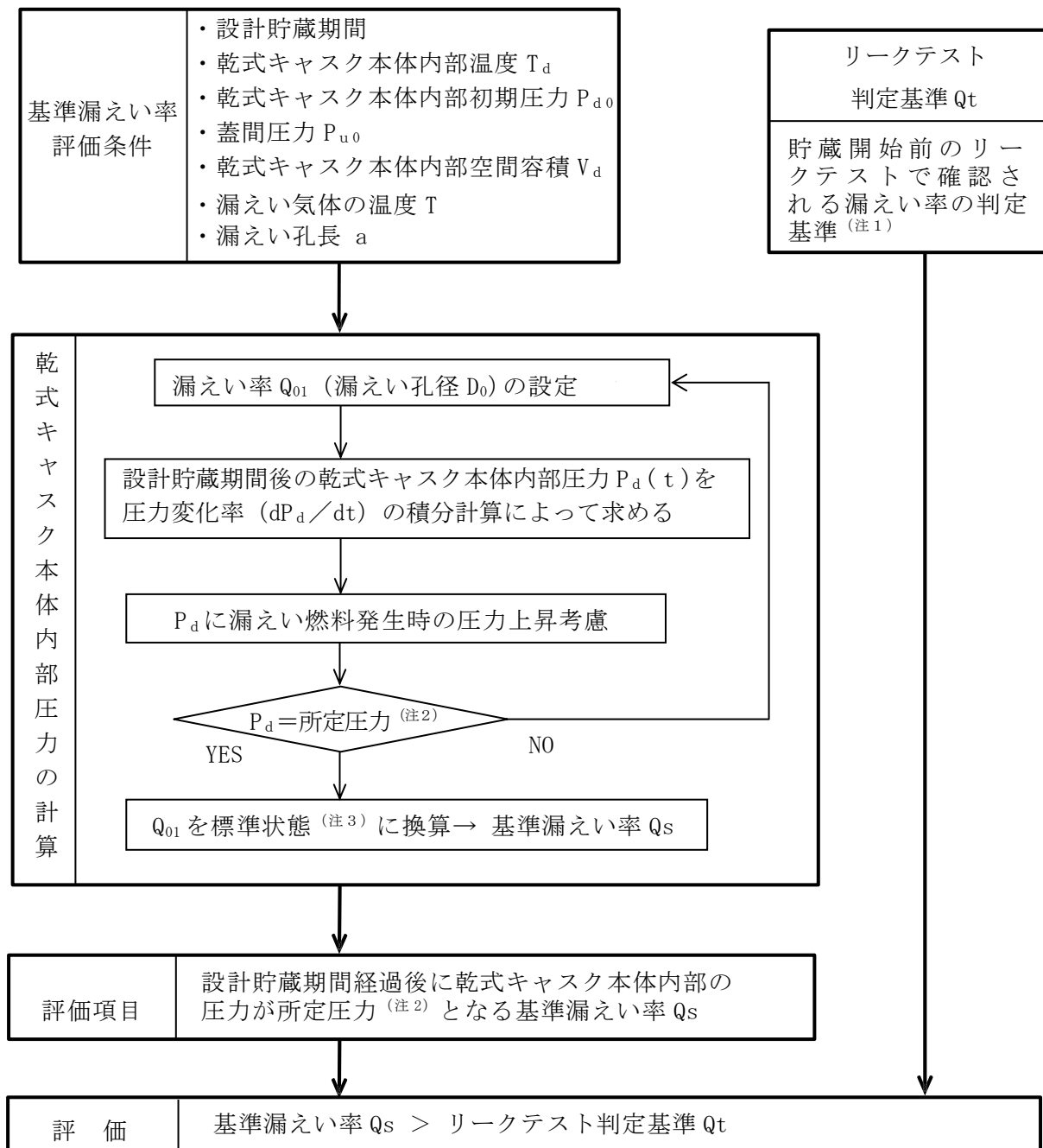
2-2-1-6 表 漏えい率の計算条件及び計算結果

	乾式キャスク (タイプ 1)	乾式キャスク (タイプ 2)
P_n : 流れの平均圧力 (Pa)	2.45×10^5	
P_u : 上流側の初期圧力 (Pa)	4.1×10^5	
P_d : 下流側の初期圧力 (Pa)	8.0×10^4	
Q_{02} : 漏えい率 ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)	1.629×10^{-5}	1.544×10^{-5}

さらに、漏えい試験条件（標準状態）における漏えい率を算出する。リークテスト判定基準 Q_t は、2-2-1-5 表に示す漏えい孔径に対して、漏えい試験条件（標準状態）として 2-2-1-4 表に示す温度、圧力、気体の条件等をクヌッセンの式（②式）に代入して得られる。2-2-1-7 表に計算条件及び計算結果を示す。

2-2-1-7 表 リークテスト判定基準 Q_t の計算条件及び計算結果

	乾式キャスク (タイプ 1)	乾式キャスク (タイプ 2)
P_a : 流れの平均圧力 (Pa)	5.05×10^4	
P_{u0} : 上流側の初期圧力 (Pa)	1.01×10^5 (大気圧)	
P_{d0} : 下流側の初期圧力 (Pa)	0 (真空)	
D_0 : リークテスト判定基準における 漏えい孔径 (m)	4.86×10^{-6}	4.79×10^{-6}
Q_t : リークテスト判定基準 ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)	1.60×10^{-6}	1.52×10^{-6}

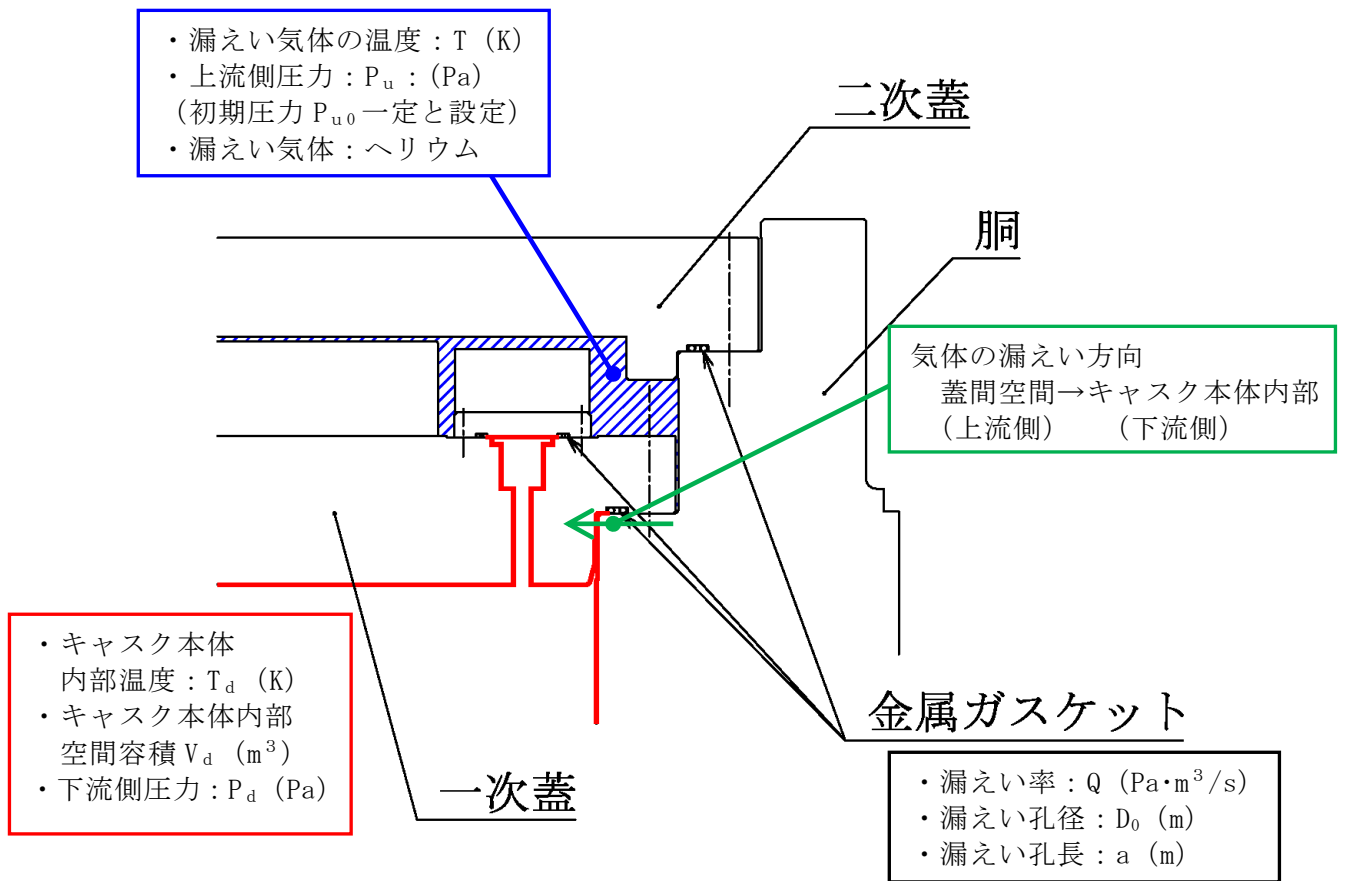


(注1) 貯蔵開始前のリークテストにおいて、一次蓋、ドレンバルブ部及びベントバルブ部の3箇所の漏えい率の合計値がリークテスト判定基準以下であることを確認する。

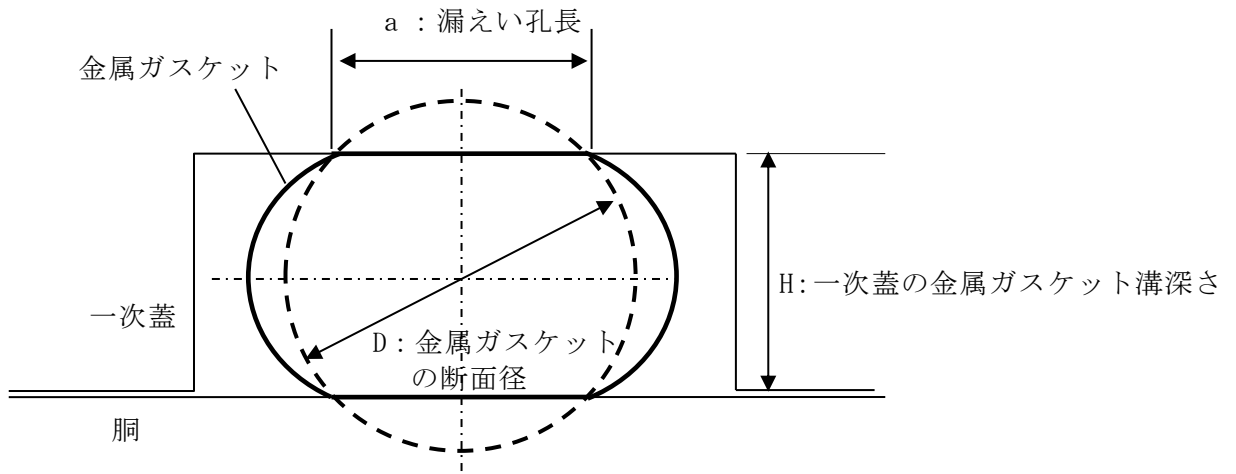
(注2) 所定圧力は、大気圧の変動を考慮する。

(注3) 周囲環境： 1.01×10^5 Pa、 25°C とする。

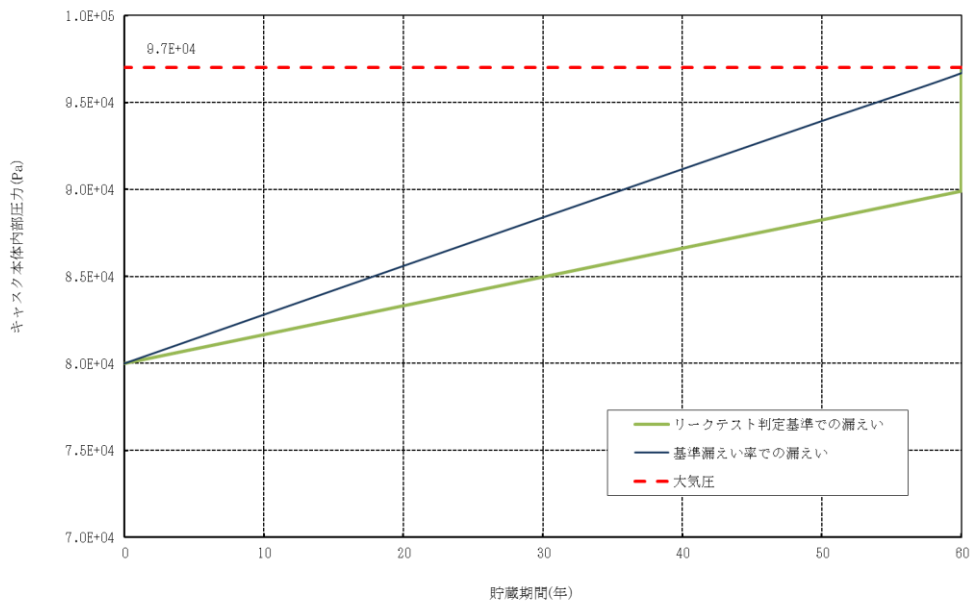
2-2-1-1 図 基準漏えい率及びリークテスト判定基準の計算フロー



2-2-1-2 図 漏えい率計算の概要

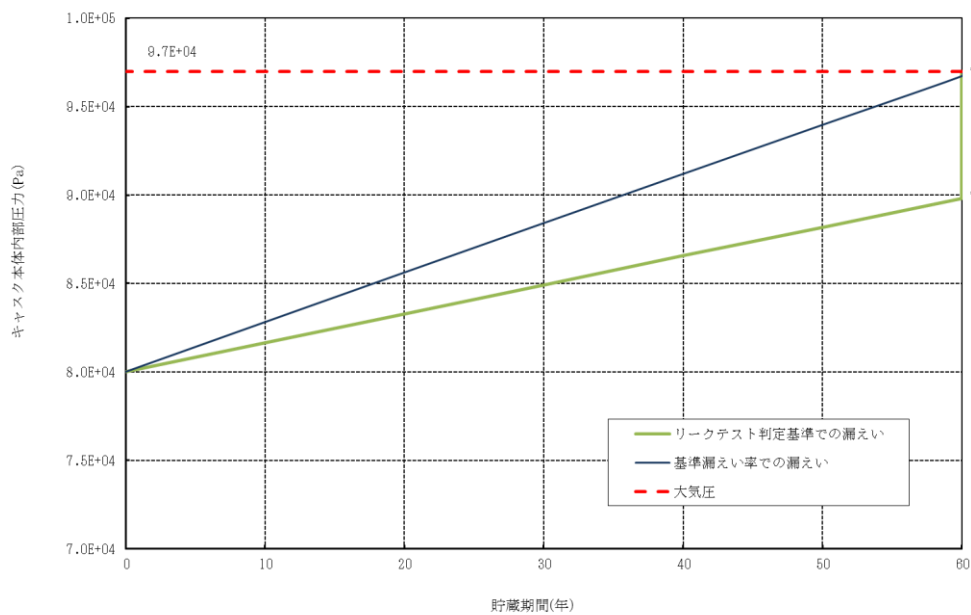


2-2-1-3 図 漏えい孔長



設計貯蔵期間経過後に蓋間空間ガス全量の流入を想定した圧力上昇を考慮

(a) 乾式キャスク (タイプ 1)



設計貯蔵期間経過後に蓋間空間ガス全量の流入を想定した圧力上昇を考慮

(b) 乾式キャスク (タイプ 2)

※基準漏えい率及びリークテスト判定基準は、標準状態に換算する前の値

2-2-1-4 図 基準漏えい率とリークテスト判定基準の関係

3. 参考文献

- (1) International Organization for Standardization, “Safe Transport of Radioactive Materials - Leakage Testing on Packages”, ISO 12807, (1996).
- (2) (一社) 日本機械学会, 「伝熱工学資料 改訂第4版」, (1986).
- (3) 自然科学研究機構 国立天文台, 「理科年表 (平成 28 年度版)」, (2015).

(補足1) 燃料破損による乾式キャスク本体内部圧力上昇量の計算

乾式キャスク本体内部の圧力上昇量 P_1 は、以下式で算出される。2-2-1-8 表に計算条件及び計算結果を示す。

$$P_1 = (P_f \times V_p) / (V_d + V_p) \dots\dots\dots \textcircled{7}$$

2-2-1-8 表 燃料破損による乾式キャスク本体内部の圧力上昇量 P_1 の計算条件及び計算結果

	乾式キャスク (タイプ1)	乾式キャスク (タイプ2)
P_f : 貯蔵中の燃料棒内圧力 (Pa) (注1)		
V_d : 乾式キャスク本体内部空間の容積 (m ³)		
V_p : 燃料棒からの放出ガス体積 (m ³) (注2)		
V_{p0} : 燃料棒のプレナム体積 (m ³)		
n : 燃料集合体 1 体あたりの燃料棒本数 (本)	179	264
N : キャスク 1 基あたりの燃料集合体収納体数 (体)	32	24
α : 燃料棒破損率 (-)	0.001	
P_1 : 乾式キャスク本体内部の圧力上昇量 (Pa)		

(注1) 貯蔵中の燃料棒内圧力 P_f は以下のとおり算出される。2-2-1-9 表に計算条件及び計算結果を示す。

$$P_f = P_0 \times T_0 / T_f$$

(注2) 燃料棒からの放出ガス体積 V_p は以下の通り算出される。

$$V_p = V_{p0} \times n \times N \times \alpha$$

2-2-1-9 表 貯蔵中の燃料棒内圧力 P_f の計算条件及び計算結果

	乾式キャスク (タイプ1)	乾式キャスク (タイプ2)
P_0 : 炉内寿命末期の燃料棒最大内圧 (Pa)		
T_0 : 貯蔵中の燃料被覆管表面温度 (K)	488.15	498.15
T_f : 炉内定格出力時の燃料被覆管表面温度 (K)		
P_f : 貯蔵中の燃料棒内圧力 (Pa)		

(補足2) 蓋間空間ガス全量の流入による乾式キャスク本体内部圧力上昇量の計算

設計貯蔵期間経過後に蓋間空間ガス全量の流入を仮定した場合の乾式キャスク本体内部の圧力上昇量 P_2 は、以下式で算出される。2-2-1-10 表に計算条件及び計算結果を示す。

$$P_2 = \frac{P_{u0} \times V_u}{V_d + V_u} \times \frac{T_d}{T} \dots\dots\dots \textcircled{8}$$

2-2-1-10 表 蓋間空間ガス全量の流入による乾式キャスク本体内部の圧力上昇量 P_2 の計算条件及び計算結果

	乾式キャスク (タイプ1)	乾式キャスク (タイプ2)
P_{u0} : 蓋間空間の初期圧力 (Pa)	4.1×10^5	
V_d : 乾式キャスク本体内部空間の容積 (m^3)	□	□
V_u : 蓋間空間の容積 (m^3)	□	□
T_d : 乾式キャスク本体内部の温度 (K)	488.15	498.15
T : 漏えい気体の温度 (K)	248.15	248.15
P_2 : 蓋間空間ガス全量の流入による乾式 キャスク本体内部の圧力上昇量 (Pa)	□	□

2-2-2 金属ガスケットの漏えい率の設定根拠

1. 概要

本資料は、資料 11 「使用済燃料貯蔵用容器の密封性を監視する装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書」において示す、乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）に使用する金属ガスケットの漏えい率の設定根拠、及びその妥当性について説明するものである。

2. 設定根拠

乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）に使用する金属ガスケットの漏えい率は、金属ガスケットメーカーカタログ値として 1×10^{-9} std. cc/sec（約 1×10^{-10} Pa・m³/s）の性能を有する金属ガスケットを使用する。

金属ガスケットの漏えい率については、（一財）電力中央研究所で実施された実機大のキャスク蓋部モデルによる約 19 年間の長期密封性能試験⁽²⁾が実施されており、金属ガスケットの漏えい率の実力値として、約 19 年間にわたり平均値 6.51×10^{-10} Pa・m³/s（標準偏差： 3.40×10^{-10} Pa・m³/s）で維持されている。

乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）に使用する金属ガスケットの漏えい率としては、上記の金属ガスケットの実力値に基づき、漏えい率平均 6.51×10^{-10} Pa・m³/s に標準偏差 3.40×10^{-10} Pa・m³/s の 3 倍を加算した 1.67×10^{-9} Pa・m³/s を、保守的に切り上げた値として、 1×10^{-8} Pa・m³/s と設定した。

3. 妥当性の説明

乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）の金属ガスケットの長期健全性については、（一財）電力中央研究所で実施された長期密封性能試験結果⁽¹⁾を基に、乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）に使用する金属ガスケットは長期貯蔵中における応力緩和による漏えい率への影響を考慮しても、設計貯蔵期間（60 年）を通じて初期の漏えい率が維持できることを示している。

また、上記に加え、2. 項に示す（一財）電力中央研究所で実施された実機大のキャスク蓋部モデルによる長期密封性能試験結果⁽²⁾からも金属ガスケットの漏えい率が維持できることを補足的に説明している。

これらの試験で使用した金属ガスケットと乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）の金属ガスケットの仕様比較を 2-2-2-1 表に示す。2-2-2-1 表に示すとおり、断面径及び内径に相違はあるが、断面径が大きいほど金属ガスケットの密封性能は高くなる傾向にあり⁽³⁾、また、周長の違いについても密封性能への影響はないことが報告されている⁽⁴⁾。乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）の金属ガスケットの長期健全性を示すにあたり、（一財）電力中央研究所の試験結果を適用することは妥当である。

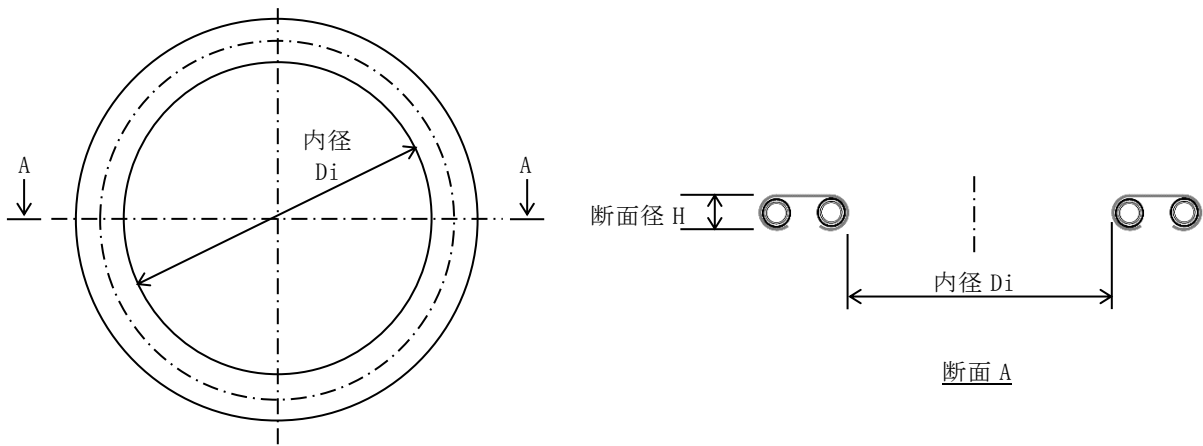
したがって、乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）の金属ガスケットの漏えい率（ 1×10^{-8} Pa・m³/s）の設定は妥当である。

2-2-2-1 表 金属ガスケットの仕様比較

項目	(一財)電力中央研究所 長期密封性能試験		乾式キャスク (タイプ1)	乾式キャスク (タイプ2)	相違点に対する評価
	要素 試験 ⁽¹⁾	実規模 試験 ⁽²⁾			
タイプ	二重被覆コイルスプリング型				相違なし
材質	外皮材：アルミニウム 内皮材：ニッケル基合金 コイルスプリング：ニッケル基合金				
断面径 (H)	一次蓋	φ 5.5mm	φ 6.1mm ^(注1)		<p>(一財)原子力発電技術機構で実施された金属ガスケットの密封性能試験において、断面径が大きいものほど高いLMP値まで濡れにくい傾向があることが報告されている⁽³⁾。 乾式キャスク(タイプ1)及び乾式キャスク(タイプ2)の金属ガスケット断面径は(一財)電力中央研究所の試験より大きく、乾式キャスク(タイプ1)及び乾式キャスク(タイプ2)の金属ガスケットの閉じ込め性能は(一財)電力中央研究所の試験で用いられたガスケットと同等以上である。</p>
	ドレン・ベントバルブカバー		—		
内径 (Di)	一次蓋	φ 176mm	φ 1767mm ^(注1)		<p>金属ガスケットの周長の違いによるクリープ変形の閉じ込め性能への影響は無いと評価されている⁽⁴⁾。したがって、内径の違いは、初期の漏えい率を長期間維持できるかという観点では影響は無い。</p>
	ドレン・ベントバルブカバー		—		

(注1) 実規模試験の断面径(H)及び内径(Di)は、漏えい率測定を実施した二次蓋の値を示す。

(2-2-2-1 図参照)



2-2-2-1 図 金属ガスケットの断面径 (H) 及び内径 (Di)

2. 参考文献

- (1) 加藤治, 伊藤千浩, 「使用済燃料貯蔵容器用ガスケットの長期密封特性」, (一財) 電力中央研究所, (1992).
- (2) (一財) 電力中央研究所, 「平成 21 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等 (中間貯蔵設備等長期健全性等試験) 報告書」, (2010).
- (3) (一財) 原子力発電技術機構, 「平成 12 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術確証試験 (乾式キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書」, (2001).
- (4) 加藤治, 伊藤千浩, 三枝利有, 「使用済燃料貯蔵キャスクの長期密封性能評価手法の開発」, 日本原子力学会誌, (1996).

2-2-3 乾式キャスク蓋間圧力の管理値
及び監視頻度の設定根拠

1. 概要

本資料は、資料 11「使用済燃料貯蔵用容器の密封性を監視する装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書」のうち、別添 1「使用済燃料貯蔵用容器の監視頻度の妥当性に関する説明書」において示す乾式キャスク蓋間圧力の管理値及び監視頻度の設定根拠について説明するものである。

乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）の一次蓋－二次蓋間圧力（以下、蓋間圧力という。）の監視頻度は、以降に示す運用上の管理値を設定した上で、乾式キャスクが内包する放射性物質が乾式キャスク外部に放出される前に密封シール部の異常を検知することができる頻度とする。なお、乾式キャスクの蓋間圧力は初期設定圧力を 0.41 MPa・abs 以下とし、乾式キャスク貯蔵時には、密封シール部の異常を検知するため、運用上の管理値を設定する。

以降に示す設定根拠に基づき、乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）では、運用上の管理値は約 0.161 MPa・abs（0.161325 MPa・abs / 60 kPa G）とし、3 ヶ月に 1 回の頻度で圧力監視を行うこととした。

2. 蓋間圧力の管理値及び監視頻度の設定

乾式キャスク蓋間空間の圧力監視に伴う管理値、及び監視頻度については、保守的に乾式キャスクの閉じ込め機能の低下を想定して、以下に示す手順で検討する。

① 蓋間圧力の初期充填圧力の検討（2.1項参照）

貯蔵中の定常状態に達した際の蓋間圧力が 0.41 MPa・abs を超えない初期蓋間圧力の最大の初期充填圧力を設定する。

② 蓋間圧力の時間変化の算出（2.2項参照）

①で設定した初期充填圧力を初期値とし、金属ガスケットの漏えい率を基準漏えい率とした場合の60年間の蓋間圧力の時間変化を算出し、蓋間圧力が大気圧に達するまでの年数を確認する。なお、蓋間圧力の時間変化は基準漏えい率が大きい乾式キャスク（タイプ1）を代表して評価する。

③ 蓋間圧力の管理値及び監視頻度の設定（2.3項参照）

②で算出した蓋間圧力の時間変化に基づき、運用上の管理値を設定し、管理値に達してから大気圧の上限に達するまでの猶予期間から圧力監視の監視頻度を設定する。

なお、本評価においては、汎用的な圧力計を使用することを想定して、電気式圧力計に加え、機械式圧力計を使用することも想定した評価条件としている。乾式キャスク（タイプ1）及び乾式キャスク（タイプ2）では、資料11に示すとおり電気式圧力計を使用するが、機械式圧力計と比較して、電気式圧力計の方が圧力計の計器誤差（機械式：±1.6%、電気式：±0.4%）、及び圧力計の最小読取目盛（機械式：5 kPa、電気式：約 2kPa）が小さく、機械式圧力計も使用することを想定した本評価方法は保守的な評価方法となる。

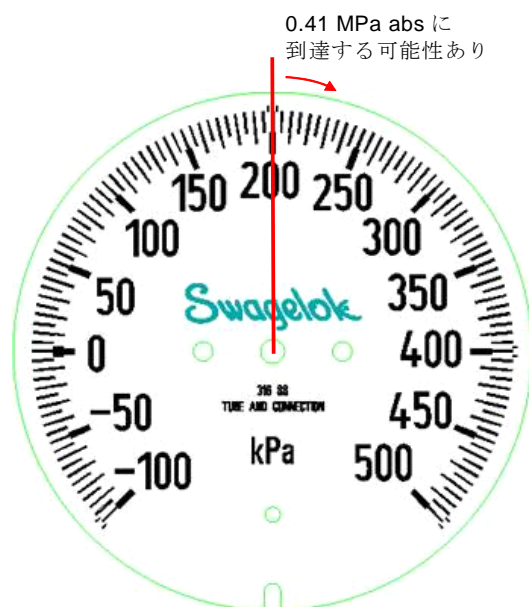
2.1 蓋間圧力の初期充填圧力の検討

初期充填圧力は、通常貯蔵中に想定される圧力変動を考慮しても、蓋の構造強度に基づく許容最大圧力 0.41 MPa・abs を超えない圧力とする必要がある。そこで、周囲環境温度、蓋間空間温度及び使用済燃料の崩壊熱量をパラメータとして、初期充填圧力を 0.301325 MPa・abs（圧力計指示値 200 kPa・G）とした場合の蓋間空間圧力を 2-2-3-1 表に示す。

同表に示す通り、10℃の環境下で初期充填圧力を 0.301325 MPa・abs とし、その後、周囲環境温度が 50℃で崩壊熱量により温度上昇した場合に蓋間圧力が最大（0.409 MPa・abs）となり、許容最大圧力 0.41 MPa・abs 以下となる。

なお、2-2-3-1 図に示す通り機械式圧力計の場合、圧力計の最小目盛が 5kPa であることから、仮に初期充填圧力を 0.306325 MPa・abs（圧力計指示値 205 kPa・G）とした場合、最大蓋間圧力は 0.416 MPa・abs となり、許容最大圧力 0.41 MPa・abs を超える結果となる（詳細は参考 1 を参照）。

以上より、蓋間圧力の初期充填圧力は 0.301325 MPa・abs とする。



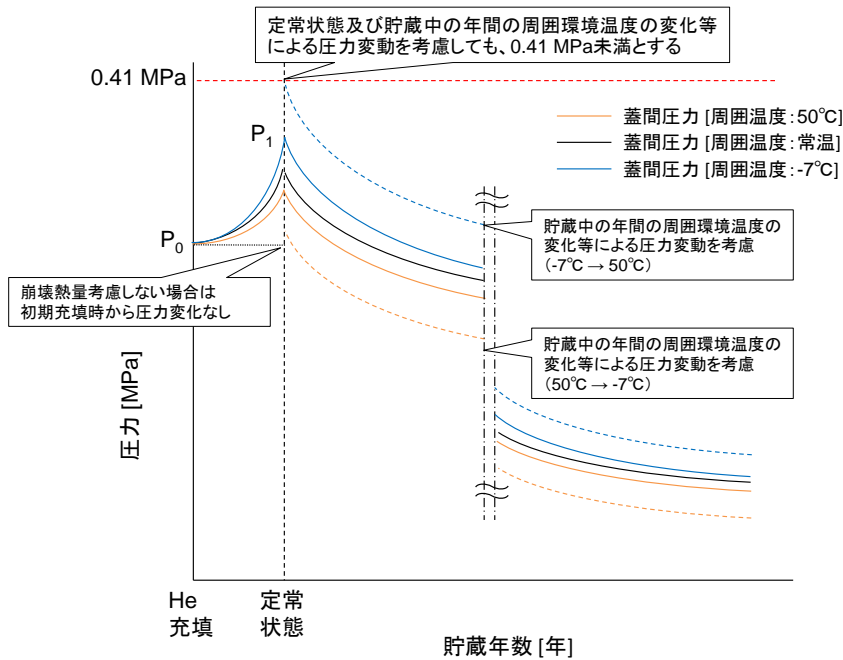
2-2-3-1 図 圧力計の目盛（機械式圧力計の場合）

2-2-3-1 表 初期充填圧力を 0.301325 MPa・abs (圧力計指示値 200 kPa・G) とした場合の蓋間圧力

評価例	FH/B 条件		乾式貯蔵施設条件			
	充填時 想定 温度 (°C)	蓋間圧力 [充填時] (MPa・abs)	周囲 環境 温度 (°C)	蓋間 温度 (°C)	蓋間圧力 ^(注2) (MPa・abs)	蓋間圧力 [計器誤差考慮] (MPa・abs)
崩壊熱量を 無視する 場合	40	0.301325 ^(注1)	50	50	0.311	0.316 [+1.6%]
			常温	常温	0.287	0.287 [0.0%]
			-7	-7	0.256	0.251 [-1.6%]
	常温	0.301325 ^(注1)	50	50	0.327	0.333 [+1.6%]
			常温	常温	0.301	0.301 [0.0%]
			-7	-7	0.269	0.264 [-1.6%]
	10	0.301325 ^(注1)	50	50	0.344	0.350 [+1.6%]
			常温	常温	0.317	0.317 [0.0%]
			-7	-7	0.283	0.278 [-1.6%]
崩壊熱量を 考慮する 場合	40	0.301325 ^(注1)	50	105	0.364	0.370 [+1.6%]
			常温	80	0.340	0.340 [0.0%]
			-7	48	0.309	0.304 [-1.6%]
	常温	0.301325 ^(注1)	50	105	0.382	0.389 [+1.6%]
			常温	80	0.357	0.357 [0.0%]
			-7	48	0.325	0.319 [-1.6%]
	10	0.301325 ^(注1)	50	105	0.402	0.409 [+1.6%]
			常温	80	0.376	0.376 [0.0%]
			-7	48	0.342	0.336 [-1.6%]

(注1) 崩壊熱量を無視する場合、蓋間温度はヘリウム充填時から変化しないため、2-2-3-2 図中の P_0 で示す圧力と同じ。

(注2) 崩壊熱量により温度上昇した後の圧力。2-2-3-2 図中の P_1 で示す圧力。



2-2-3-2 図 蓋間圧力の時間変化

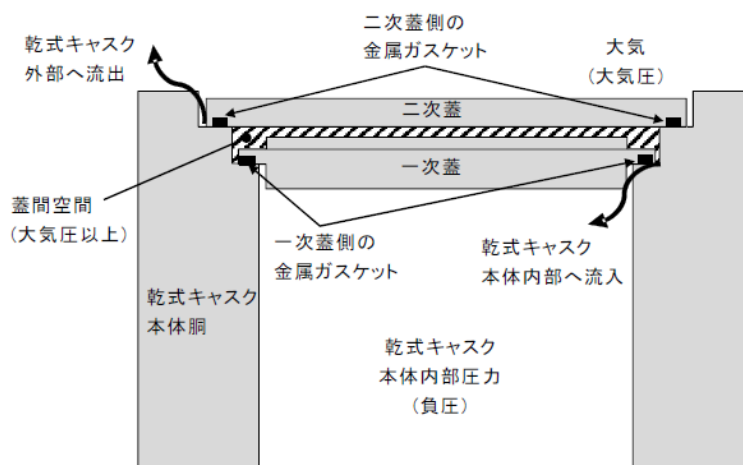
2.2 蓋間圧力の時間変化の算出

通常貯蔵中に想定される蓋間圧力の時間変化について評価する。2-2-3-3 図に蓋間空間からの漏えいの考え方を示す。蓋間圧力は以下に示す条件のもと蓋間圧力の低下を評価する。蓋間圧力及び乾式キャスク本体内部圧力の初期条件を 2-2-3-2 表及び 2-2-3-3 表に示す。ここで、同表において、蓋間圧力の時間変化の評価に適用する初期圧力を塗潰している。

<時間変化の計算条件>

- ① 金属ガスケットの漏えい率を基準漏えい率とする。
- ② 乾式キャスク蓋間空間のヘリウムガスが、一次蓋側（乾式キャスク内部）及び二次蓋側（乾式キャスク外部）の二方向から漏えいする。
- ③ ヘリウムガス充填時は、FH/B のいずれの環境温度（10～40℃）においても同じ圧力値までヘリウムガスを充填し、充填直後の蓋間温度は保守的に周囲環境温度と同じと仮定する。
- ④ 想定される全ての発熱量条件での圧力変動幅を包絡するよう、蓋間圧力は(a)崩壊熱量を見捨てる場合、(b)崩壊熱量を考慮する場合の2通りで計算する。
- ⑤ 貯蔵開始後は、周囲環境温度を-7℃～50℃の範囲で変動すると想定し、いずれの環境温度においても0.41 MPa・absを超えない圧力とする。
- ⑥ 乾式キャスク本体内部圧力は、蓋間空間からのヘリウムガス流入による圧力上昇を考慮する。
- ⑦ 圧力計の計器誤差を±1.6%とする。

上記計算条件に基づき算出した設計貯蔵期間（60年）中の蓋間圧力等の経時変化を 2-2-3-4 図に示す。2-2-3-4 図(a)は崩壊熱量を見捨てる、2-2-3-4 図(b)は崩壊熱量を考慮した場合の経時変化である。同図中の破線は、圧力計の計器誤差と周囲環境温度の変化による圧力変動を示す。2-2-3-4 図に示す通り、蓋間圧力が大気圧の上限値（0.105 MPa・abs）に最も早く到達する条件は、崩壊熱量を見捨てる場合（2-2-3-4 図(a)）で初期圧力が最も低い条件であり、貯蔵期間31年で大気圧に達する。



2-2-3-3 図 蓋間空間からの漏えいの考え方

2-2-3-2 表 蓋間圧力の初期条件 (2-2-3-1 表と同じ)

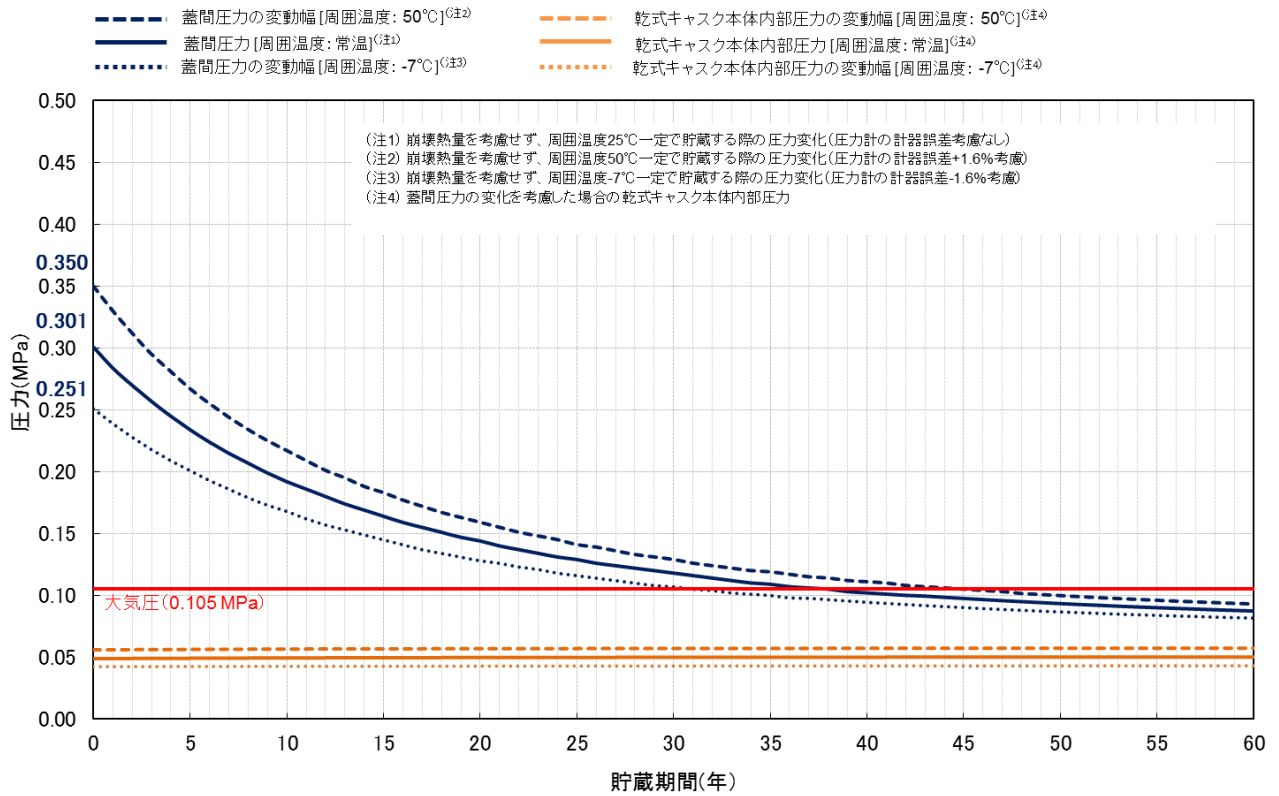
評価例	FH/B 条件		乾式貯蔵施設条件			
	充填時 想定 温度 (°C)	蓋間圧力 [充填時] (MPa・abs)	周囲 環境 温度 (°C)	蓋間 温度 (°C)	蓋間圧力 ^(注2) (MPa・abs)	蓋間圧力 [計器誤差考慮] (MPa・abs)
崩壊熱量を 無視する場合	40	0.301325 ^(注1)	50	50	0.311	0.316 [+1.6%]
			常温	常温	0.287	0.287 [0.0%]
			-7	-7	0.256	0.251 [-1.6%]
	常温	0.301325 ^(注1)	50	50	0.327	0.333 [+1.6%]
			常温	常温	0.301	0.301 [0.0%]
			-7	-7	0.269	0.264 [-1.6%]
	10	0.301325 ^(注1)	50	50	0.344	0.350 [+1.6%]
			常温	常温	0.317	0.317 [0.0%]
			-7	-7	0.283	0.278 [-1.6%]
崩壊熱量を 考慮する場合	40	0.301325 ^(注1)	50	105	0.364	0.370 [+1.6%]
			常温	80	0.340	0.340 [0.0%]
			-7	48	0.309	0.304 [-1.6%]
	常温	0.301325 ^(注1)	50	105	0.382	0.389 [+1.6%]
			常温	80	0.357	0.357 [0.0%]
			-7	48	0.325	0.319 [-1.6%]
	10	0.301325 ^(注1)	50	105	0.402	0.409 [+1.6%]
			常温	80	0.376	0.376 [0.0%]
			-7	48	0.342	0.336 [-1.6%]

(注1) 崩壊熱量を無視する場合、蓋間温度はヘリウム充填時から変化しないため、2-2-3-2 図中の P_0 で示す圧力と同じ。

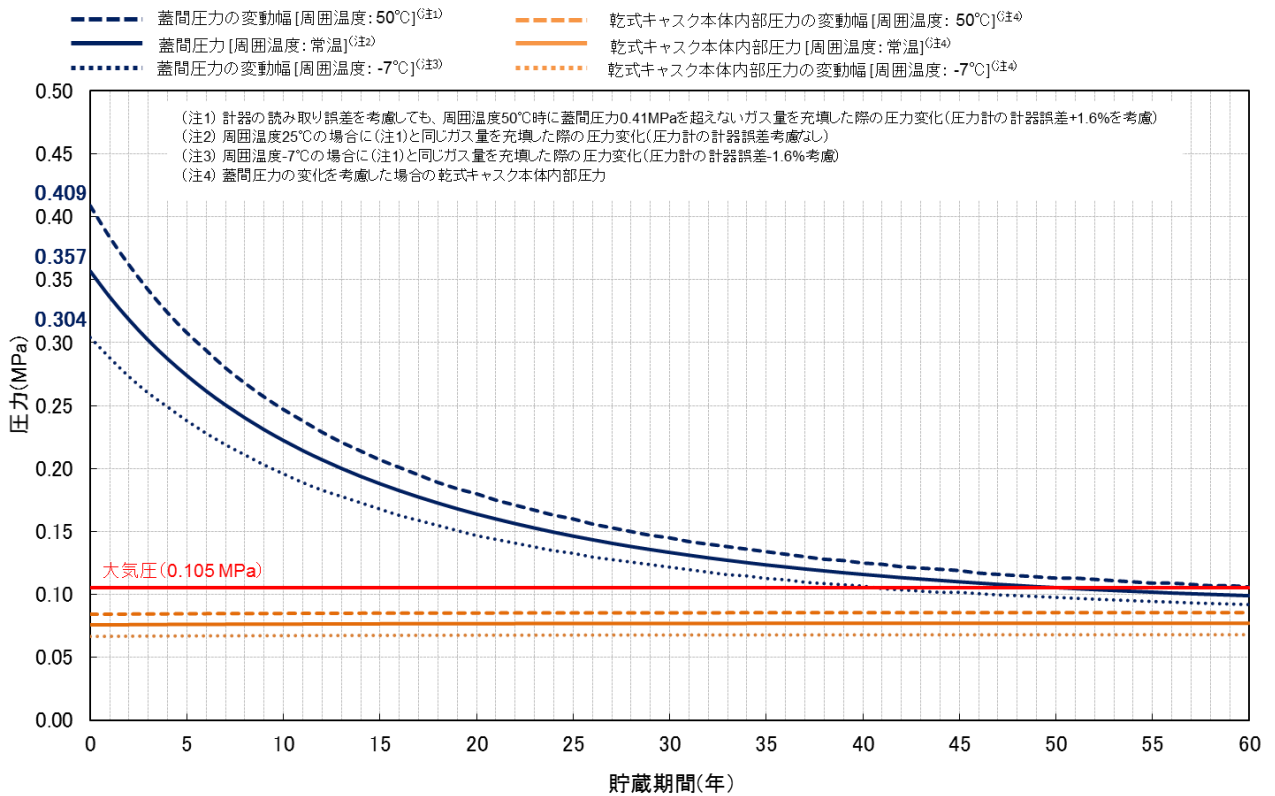
(注2) 崩壊熱量により温度上昇した後の圧力。2-2-3-2 図中の P_1 で示す圧力。

2-2-3-3 表 乾式キャスク本体内部圧力の初期条件

評価例	FH/B 条件		乾式貯蔵施設条件		
	充填時 想定 温度 (°C)	乾式キャスク 本体内部圧力 [初期充填時] (MPa・abs)	周囲 環境 温度 (°C)	乾式キャスク 本体内部温度 (°C)	乾式キャスク 本体内部圧力 (MPa・abs)
崩壊熱量を 無視する場合	40	0.049	50	50	0.051
			常温	常温	0.047
			-7	-7	0.042
	常温	0.049	50	50	0.053
			常温	常温	0.049
			-7	-7	0.044
	10	0.049	50	50	0.056
			常温	常温	0.052
			-7	-7	0.046
崩壊熱量を 考慮する場合	40	0.049	50	215	0.076
			常温	190	0.072
			-7	158	0.067
	常温	0.049	50	215	0.080
			常温	190	0.076
			-7	158	0.071
	10	0.049	50	215	0.084
			常温	190	0.080
			-7	158	0.075



(a) 崩壊熱量を無視した場合



(b) 崩壊熱量を考慮した場合

2-2-3-4 図 蓋間圧力の時間変化

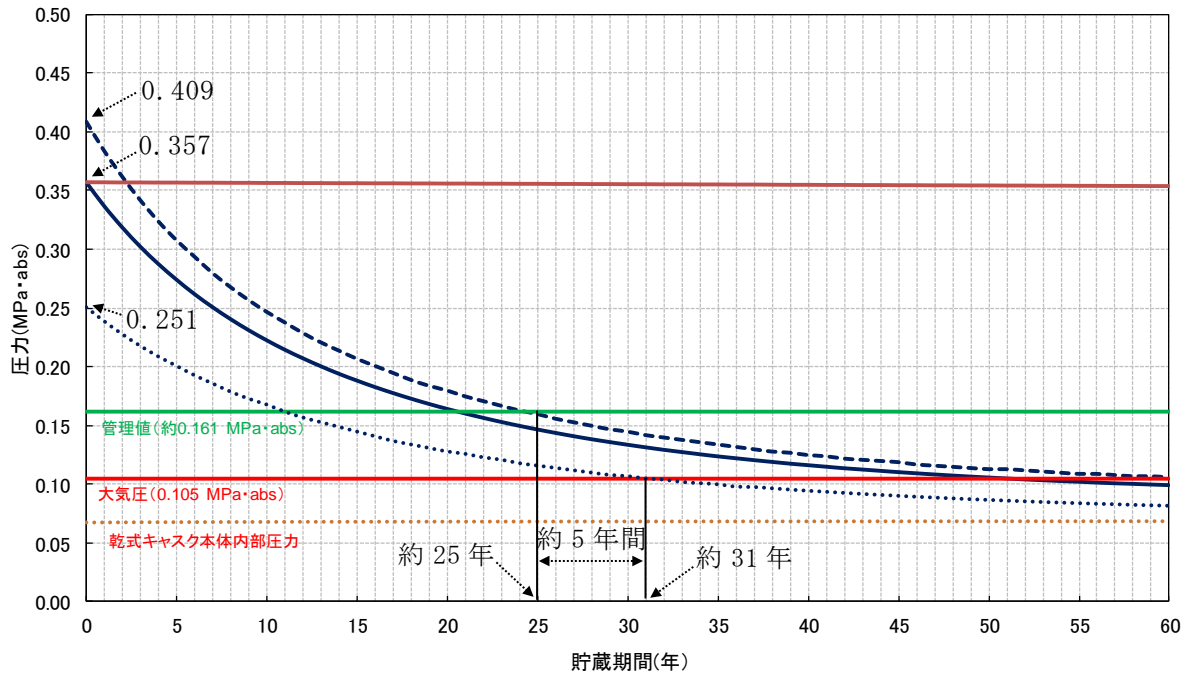
2.3 蓋間圧力の管理値及び監視頻度の設定

2-2-3-4 図の蓋間圧力の経時変化より圧力監視のための管理値を設定する。2-2-3-4 図に示す通り、周囲環境の温度変化（-7 °C～50 °C）による圧力変動を考慮すると、崩壊熱量が無視した場合（2-2-3-4 図(a)）に最も蓋間圧力は低くなり、蓋間圧力は貯蔵開始から約 31 年後に大気圧に到達する。

ここで、管理値は、仮に蓋間圧力が管理値に最も遅く到達した場合を想定しても、大気圧に到達するまでに乾式キャスクの FH/B への移送等の対応を行うまでの十分な期間として、約 5 年間を確保するものとして設定する。

2-2-3-4 図に示す経時変化に基づき、蓋間圧力が最大、及び最小となる場合を抽出した蓋間圧力の経時変化を 2-2-3-5 図に示す。このとき、大気圧到達時点から 5 年間程度の余裕を確保した場合、管理値は貯蔵期間 25 年時の蓋間圧力から設定される。貯蔵期間 25 年時で最も高い蓋間圧力は、崩壊熱量を考慮した場合で初期圧力が最も高い条件であり、0.160 MPa・abs である。そのため、圧力計の 5 kPa・G 刻みの目盛に合わせて、管理値は 0.161325 MPa・abs（圧力計指示値 60 kPa・G）と設定する（監視の観点から、圧力を高めに評価した方が、早く検知ができるため）。

なお、乾式キャスク貯蔵時に実際に使用する金属ガスケットの設計漏えい率は 1×10^{-8} Pa・m³/s であり、2-2-3-5 図に示すとおり、金属ガスケットの設計漏えい率による漏えいを考慮した場合には、設計貯蔵期間（60 年）において蓋間圧力が大気圧に到達することはない。



凡例	圧力条件
— (solid blue)	周囲環境温度25°C(崩壊熱量考慮、計器誤差なし)
- - - (dashed blue)	周囲環境温度50°C(崩壊熱量考慮、計器誤差+1.6%、ヘリウム充填時の温度影響考慮)
..... (dotted blue)	周囲環境温度-7°C(崩壊熱量考慮しない、計器誤差-1.6%、ヘリウム充填時の温度影響考慮)
— (solid red)	金属ガスケットの設計漏えい率による現実的な評価(周囲環境温度25°C、崩壊熱量考慮、計器誤差なし)
— (solid green)	管理値(約0.161MPa・abs)
— (solid red)	大気圧(0.105MPa・abs)
..... (dotted orange)	乾式キャスク本体内部圧力(周囲環境温度-7°Cの場合の乾式キャスク本体内部圧力の上昇曲線)

2-2-3-5 図 貯蔵期間中における蓋間圧力等の経時変化（蓋間圧力が最大/最小となる場合）

<参考1>

2-2-3-4 表 初期充填圧力を 0.306325 MPa・abs (圧力計指示値 205 kPa・G) とした場合の蓋間圧力

評価例	FHB 条件		乾式貯蔵施設条件			
	充填時 想定 温度 (°C)	蓋間圧力 [充填時] (MPa・abs)	周囲 環境 温度 (°C)	蓋間 温度 (°C)	蓋間圧力 ^(注2) (MPa・abs)	蓋間圧力 [計器誤差考慮] (MPa・abs)
崩壊熱量を 無視する場合	40	0.306325 ^(注1)	50	50	0.316	0.322 [+1.6%]
			常温	常温	0.292	0.292 [0.0%]
			-7	-7	0.260	0.255 [-1.6%]
	常温	0.306325 ^(注1)	50	50	0.332	0.338 [+1.6%]
			常温	常温	0.306	0.306 [0.0%]
			-7	-7	0.273	0.268 [-1.6%]
	10	0.306325 ^(注1)	50	50	0.350	0.356 [+1.6%]
			常温	常温	0.323	0.323 [0.0%]
			-7	-7	0.288	0.283 [-1.6%]
崩壊熱量を 考慮する場合	40	0.306325 ^(注1)	50	105	0.370	0.376 [+1.6%]
			常温	80	0.345	0.345 [0.0%]
			-7	48	0.314	0.308 [-1.6%]
	常温	0.306325 ^(注1)	50	105	0.389	0.396 [+1.6%]
			常温	80	0.363	0.363 [0.0%]
			-7	48	0.330	0.324 [-1.6%]
	10	0.306325 ^(注1)	50	105	0.409	0.416 [+1.6%]
			常温	80	0.382	0.382 [0.0%]
			-7	48	0.347	0.341 [-1.6%]

(注1) 崩壊熱量を無視する場合、蓋間温度はヘリウム充填時から変化しないため、2-2-3-2 図中の P_0 で示す圧力と同じ。

(注2) 崩壊熱量により温度上昇した後の圧力。2-2-3-2 図中の P_1 で示す圧力。

2-3 資料 12 に係る補足説明資料

伊方3号機（使用済燃料乾式貯蔵建屋）設計及び工事計画に係る説明資料
 （使用済燃料乾式貯蔵容器の安全性について）

■資料No. 2-3 資料12に係る補足説明資料

資料 No.	補足説明資料		備考 (該当添付資料)
	(名称)	(概要)	
2-3-1	臨界解析詳細条件	臨界解析条件の詳細を示す。	資料12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書
2-3-2	臨界解析詳細結果	臨界解析結果の詳細を示す。	資料12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書
2-3-3	臨界解析における条件設定根拠	臨界解析の解析条件の設定根拠及び妥当性を示す。	資料12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書
2-3-4	臨界解析コードSCALEを用いることの妥当性	臨界解析コードSCALEを用いることの妥当性を示す。	資料12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書
2-3-5	水位変動による臨界解析への影響	乾式キャスク内部の水位変動による臨界解析への影響を示す。	資料12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書

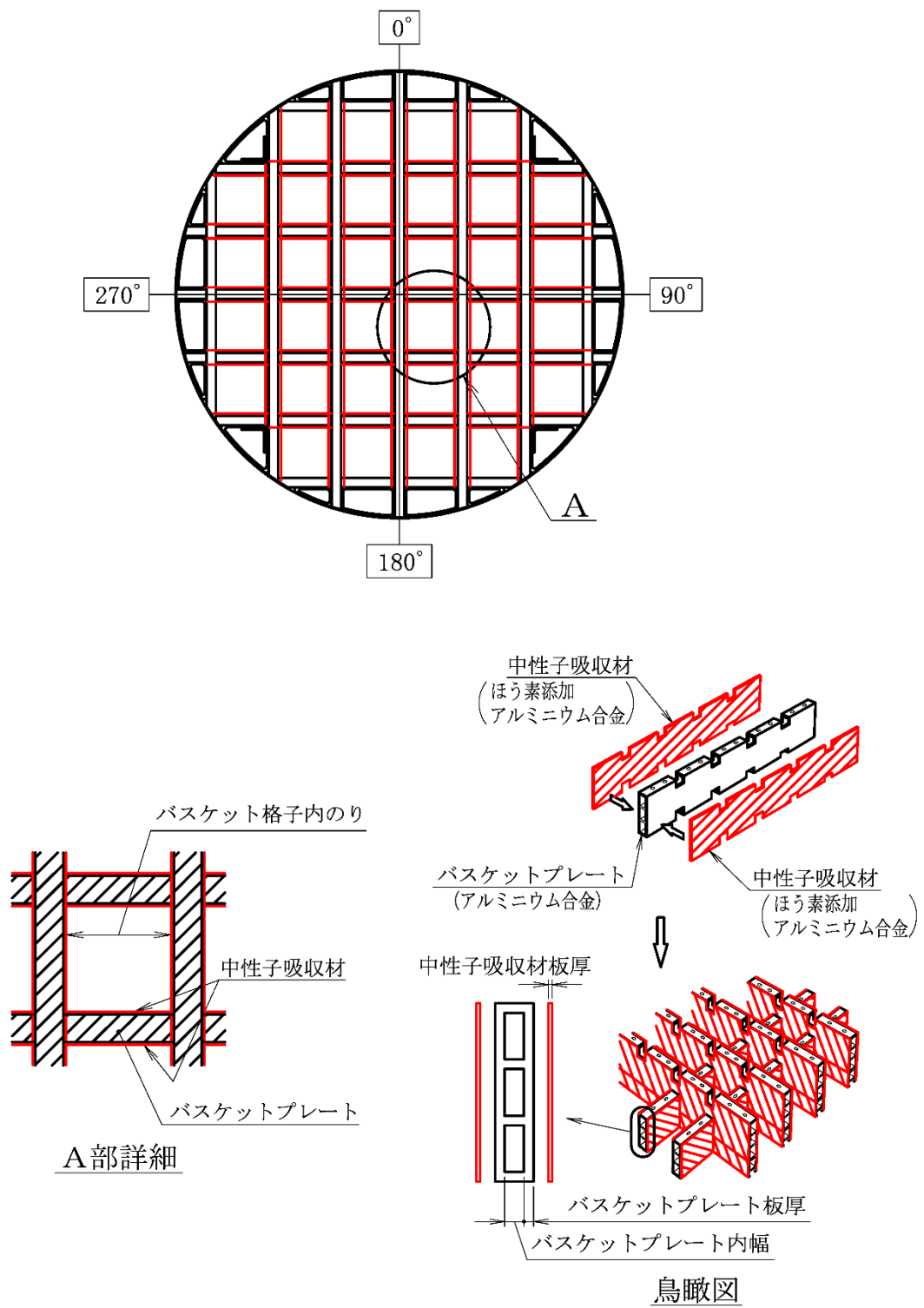
2-3-1 臨界解析詳細条件

本資料は資料 12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書における解析条件の詳細について説明するものである。

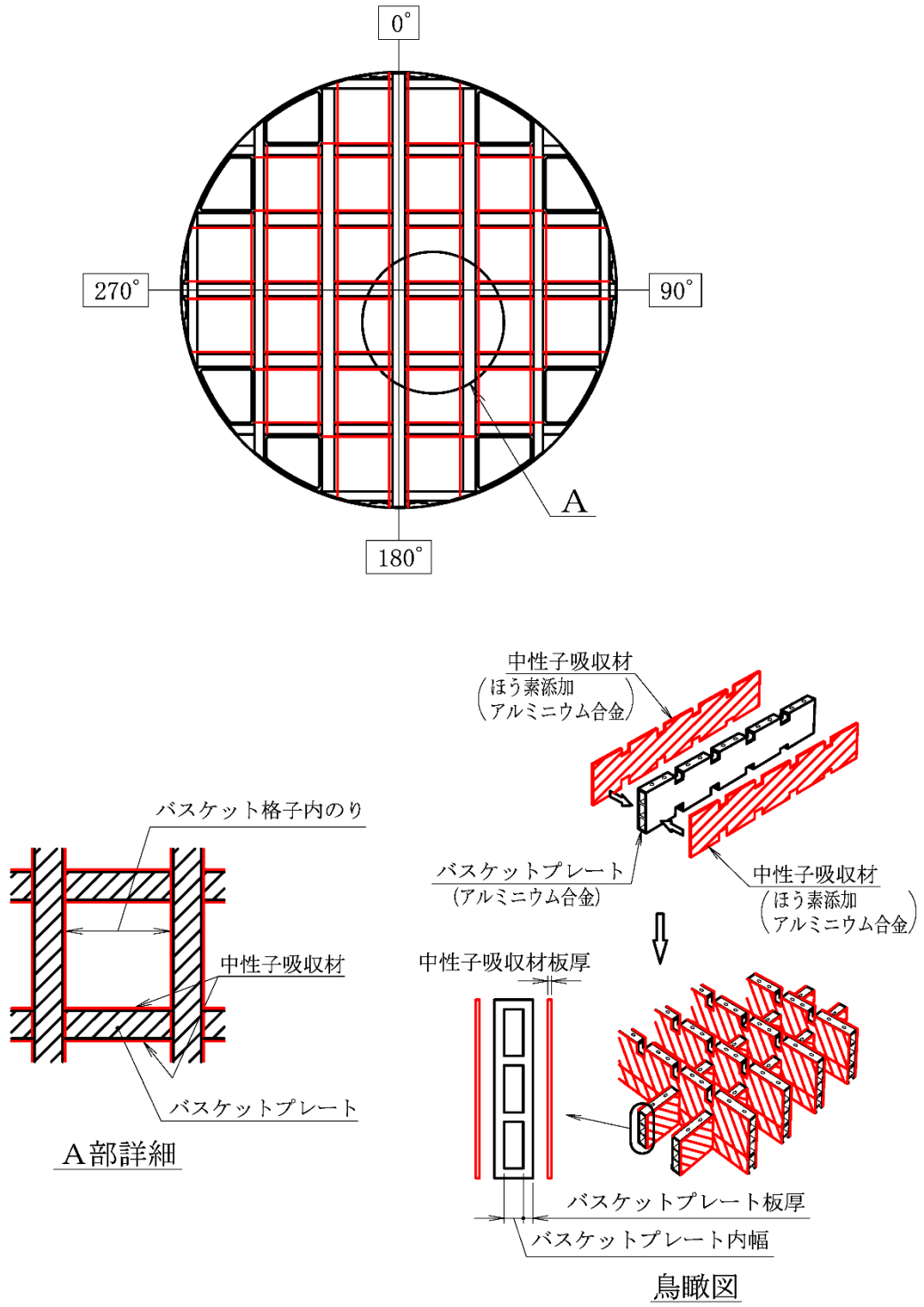
1. 臨界防止機能に関する構造

乾式キャスク（タイプ 1）及び（タイプ 2）は、臨界防止のため以下の配慮を行う。

- a. 使用済燃料集合体を収納するバスケットは格子構造とし、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持する設計とする。
- b. バスケットプレートは断面形状を中空とし、適切な位置に中性子を有効に吸収するように中性子吸収材であるほう素を含有したアルミニウム合金を配置する。（2-3-1-1 図及び 2-3-1-2 図参照）



2-3-1-1 図 乾式キャスク（タイプ 1）のバスケット構造図



2-3-1-2 図 乾式キャスク（タイプ2）のバスケット構造図

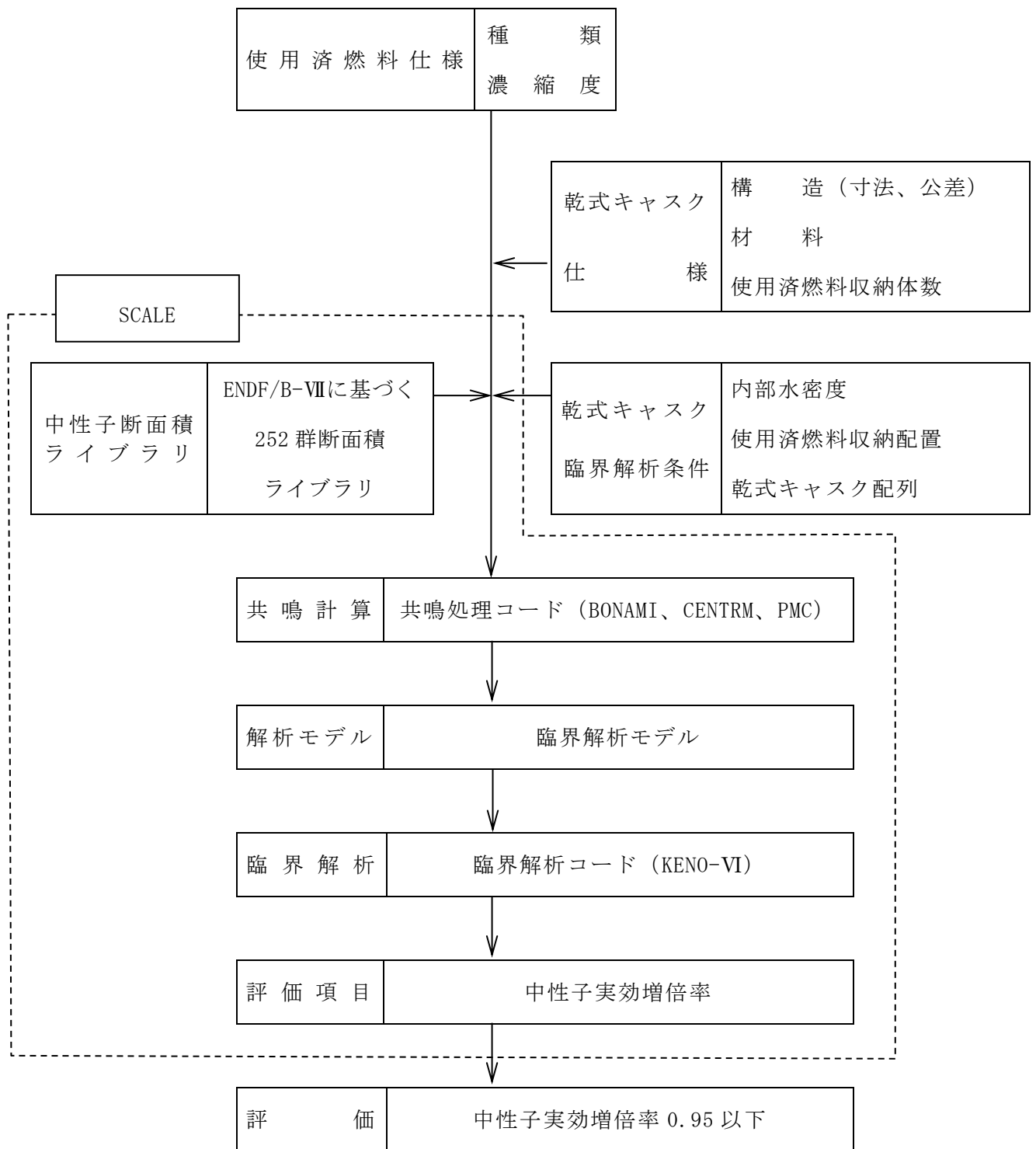
2. 臨界解析条件

2.1 設計基準

使用する臨界解析コードはモンテカルロ法であり統計誤差を伴うため、解析コードの精度等を考慮して、設計基準は中性子実効増倍率 (k_{eff}) の平均値に統計誤差 (σ) の3倍 (3σ) を加味した値が0.95以下 ($k_{eff}+3\sigma \leq 0.95$) であることとする。

2.2 臨界解析フロー

乾式キャスクは、使用済燃料集合体を収納後に内部水が排出され、さらに真空乾燥が行われる。また、密封性能を有した複数の蓋を有しており、乾式キャスク内に水が浸入することはなく、貯蔵中において乾式キャスク内は乾燥状態である。ただし、乾式キャスクへ使用済燃料集合体を収納する際には冠水することから、乾燥状態及び冠水状態の評価を実施する。臨界解析フローを2-3-1-3図に示す。



2-3-1-3 図 臨界解析フロー図

2.3 評価対象燃料及び臨界解析条件

乾式キャスク（タイプ 1）の臨界評価に用いる使用済燃料集合体の仕様は中性子実効増倍率が最も大きくなるように、中央部へ収納する燃料集合体は 14×14 燃料 48,000MWd/t 型（A型）、外周部へ収納する燃料集合体は 14×14 燃料 39,000MWd/t 型（A型）の新燃料とする。乾式キャスク（タイプ 2）の臨界評価に用いる使用済燃料集合体の仕様は中性子実効増倍率が最も大きくなるように、17×17 燃料 48,000MWd/t 型（A型）の新燃料とする。

また、臨界解析では収納する使用済燃料の濃縮度上限値を用いるとともに、燃焼度クレジットは採用しない。

臨界解析に用いる使用済燃料集合体の仕様を 2-3-1-1 表に、臨界解析条件を 2-3-1-2 表に示す。乾式キャスク及び使用済燃料集合体の実形状の三次元解析モデルを 2-3-1-4 図から 2-3-1-15 図に示す。

2-3-1-1 表 臨界解析用の使用済燃料集合体の仕様

項目	単位	乾式キャスク (タイプ 1)		乾式キャスク (タイプ 2)
		中央部	外周部	
燃料集合体の種類	-	14×14 燃料 48,000MWd/t 型 A型	14×14 燃料 39,000MWd/t 型 A型	17×17 燃料 48,000MWd/t 型 A型
燃料材質	-	二酸化ウラン		二酸化ウラン
被覆管材質	-	ジルカロイ-4 (注1)		ジルカロイ-4 (注1)
燃料密度	%理論密度	95		95
燃料棒直径	cm	1.072		0.95
ペレット直径	cm	0.929		0.819
被覆管肉厚	cm	0.062		0.057
燃料有効長	cm	364.2		364.8
燃料棒配列	-	14×14		17×17
燃料集合体当たり の燃料棒数	本	179		264
燃料棒ピッチ	cm	1.41 (注2)		1.26 (注2)
燃料集合体の幅	cm	19.74 (注3)		21.42 (注3)
初期濃縮度	wt%			

(注1) 実際の仕様はジルコニウム合金 (ジルカロイ-4) であるが、解析上は純度 100% のジルコニウムとして扱う。なお、他の合金成分 (スズ等) は中性子吸収効果がジルコニウムより大きいため、この取り扱いは保守的である。

(注2) 燃料棒ピッチ変化なしの場合。

(注3) (燃料棒ピッチ) × (燃料棒配列数) を臨界解析上の集合体の幅とする。

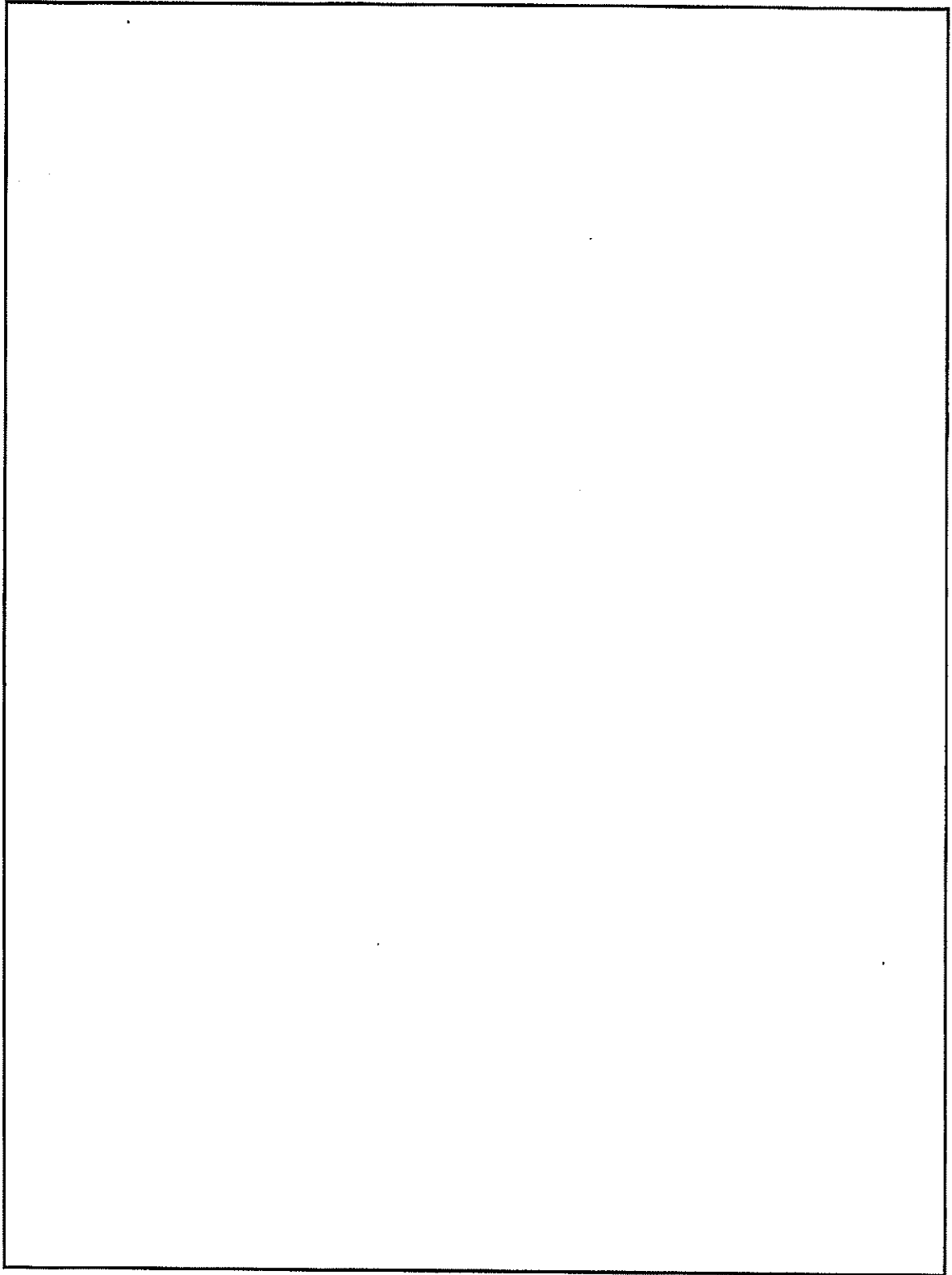
2-3-1-2 表 (1/2) 臨界解析条件

項目	内容	
臨界解析の方法	中性子実効増倍率は臨界解析コードを使用して、燃料棒単位セル計算により求まる核定数を用い、乾式キャスクの実形状をモデル化。	
解析コード	SCALE コードシステム (6.2.1) ・ 共鳴計算：BONAMI、CENTRM、PMC ・ 臨界解析：臨界解析コード KENO-VI (中性子ヒストリー数 <input type="text"/>) ・ 断面積ライブラリ：SCALE コードシステムに内蔵されている ENDF/B-VII に基づいて作成された 252 群断面積ライブラリ	
解 析 条 件	収納物	乾式キャスク (タイプ 1) : 14×14 燃料 乾式キャスク (タイプ 2) : 17×17 燃料
	濃縮度	乾式キャスク (タイプ 1) : <input type="text"/> wt% (中央部)、 <input type="text"/> wt% (外周部) 乾式キャスク (タイプ 2) : <input type="text"/> wt%
	収納体数	乾式キャスク (タイプ 1) : 32 体 乾式キャスク (タイプ 2) : 24 体
	燃料配置	乾式キャスク (タイプ 1) : 2-3-1-5 図及び 2-3-1-11 図参照 乾式キャスク (タイプ 2) : 2-3-1-8 図及び 2-3-1-14 図参照
	寸法条件 (2-3-1-4 図 ～2-3-1-15 図 参照)	バスケットプレート幅、バスケットプレート内幅、バスケット格子内のり、中性子吸収材板厚の寸法は公差を考慮、胴内径はバスケットに接するように設定。設定根拠は資料 2-3-3 参照。 なお、バスケットプレート及び中性子吸収材は中性子吸収が小さくなるように、燃料有効部の領域のみモデル化し、それ以外の部分は無視する。
	キャスク内 雰囲気	乾燥状態：真空 冠水状態：水密度 1.0g/cm ³ (キャスク内の水密度 1.0g/cm ³ とした場合に中性子実効増倍率は最大となる)
	キャスク外 雰囲気	真空 (解析モデルを完全反射境界としてキャスク外部に漏れ出た中性子が減速及び吸収されることなく反射してキャスクへ戻る)
	キャスク配列	無限配列 (キャスク周囲は完全反射境界条件)
	使用済燃料 集合体構造材	乾燥状態：真空 冠水状態：純水に置換 (構造材よりも中性子減速効果の高い純水とする)
	ほう素添加量	中性子吸収材に含まれるほう素添加量を仕様上の下限値に設定 (¹⁰ B 面密度 <input type="text"/> g/cm ²) なお、設計貯蔵期間 (60 年) 経過後の中性子吸収材に含まれるほう素の減損割合は安全側に全中性子束を用いて評価しても 10 ⁻⁵ 程度で無視し得る。
	バーナブル ポイズン集合体	無し。 (中性子吸収効果のあるバーナブルポイズン集合体は安全側に無視)
	中性子遮蔽材	側部・蓋部・底部中性子遮蔽材は安全側に真空に置換
	蓋	一次蓋及び二次蓋を考慮

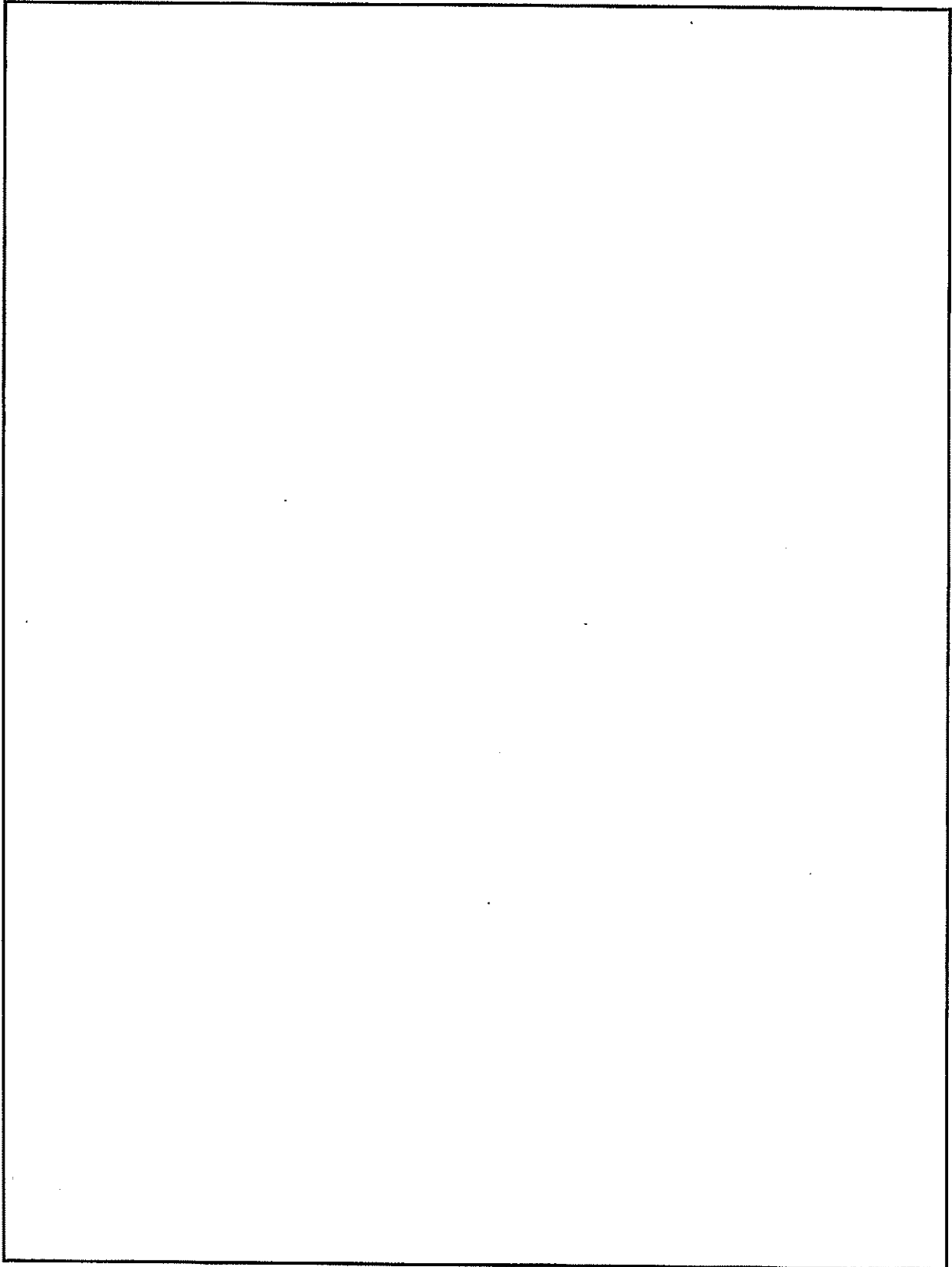
2-3-1-2 表 (2/2) 臨界解析条件

領域		密度 (g/cm ³)	元素	原子個数密度 (10 ²⁴ atoms/cm ³)		
				乾式キャスク (タイプ1)		乾式キャスク (タイプ2)
				中央部	外周部	
				14×14 燃料 48,000MWd/t 型 A型	14×14 燃料 39,000MWd/t 型 A型	17×17 燃料 48,000MWd/t 型 A型
燃料 領域	UO ₂	10.412	²³⁵ U	9.876×10 ⁻⁴	8.230×10 ⁻⁴	9.876×10 ⁻⁴
			²³⁸ U	2.224×10 ⁻²	2.241×10 ⁻²	2.224×10 ⁻²
			O	4.646×10 ⁻²	4.646×10 ⁻²	4.646×10 ⁻²
	燃料棒被覆管 制御棒案内管 計装用案内管	6.55	Zr ^(注1)	4.324×10 ⁻²		
水		1.0	H	6.686×10 ⁻²		
			O	3.343×10 ⁻²		
ほう素添加 アルミニウム合金		2.52	¹⁰ B	6.683×10 ⁻³		
			¹¹ B	2.690×10 ⁻²		
			C	1.008×10 ⁻²		
			Al	3.830×10 ⁻²		
炭素鋼		7.83	Fe	8.444×10 ⁻²		
ステンレス鋼		7.88	Cr	1.734×10 ⁻²		
			Fe	6.118×10 ⁻²		
			Ni	7.277×10 ⁻³		
アルミニウム合金		2.66	Al	5.937×10 ⁻²		

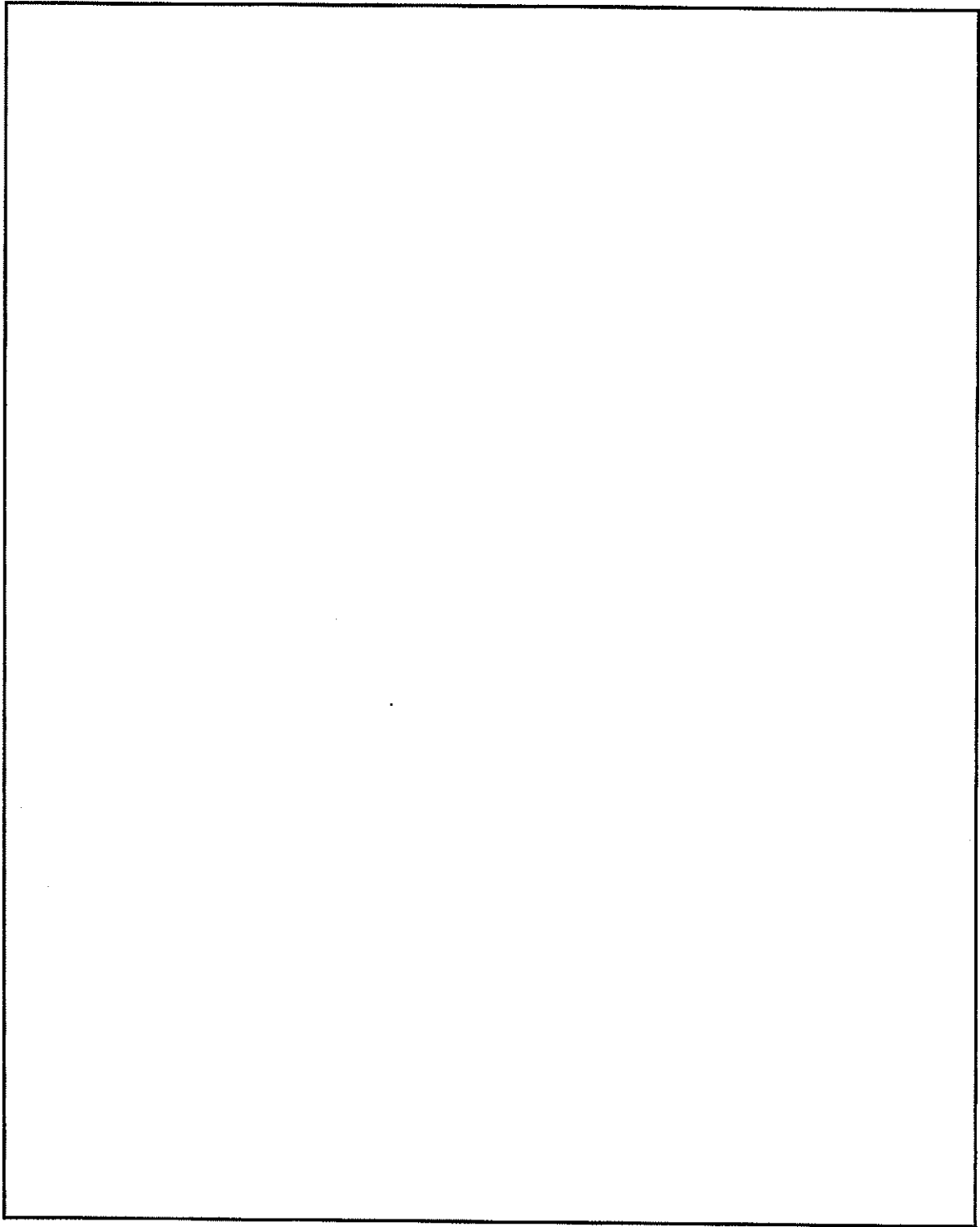
(注1) 実際の仕様はジルコニウム合金 (ジルカロイ-4) であるが、解析上は純度 100% のジルコニウムとして扱う。なお、他の合金成分 (スズ等) は中性子吸収効果がジルコニウムより大きいいため、この取扱いは保守的である。



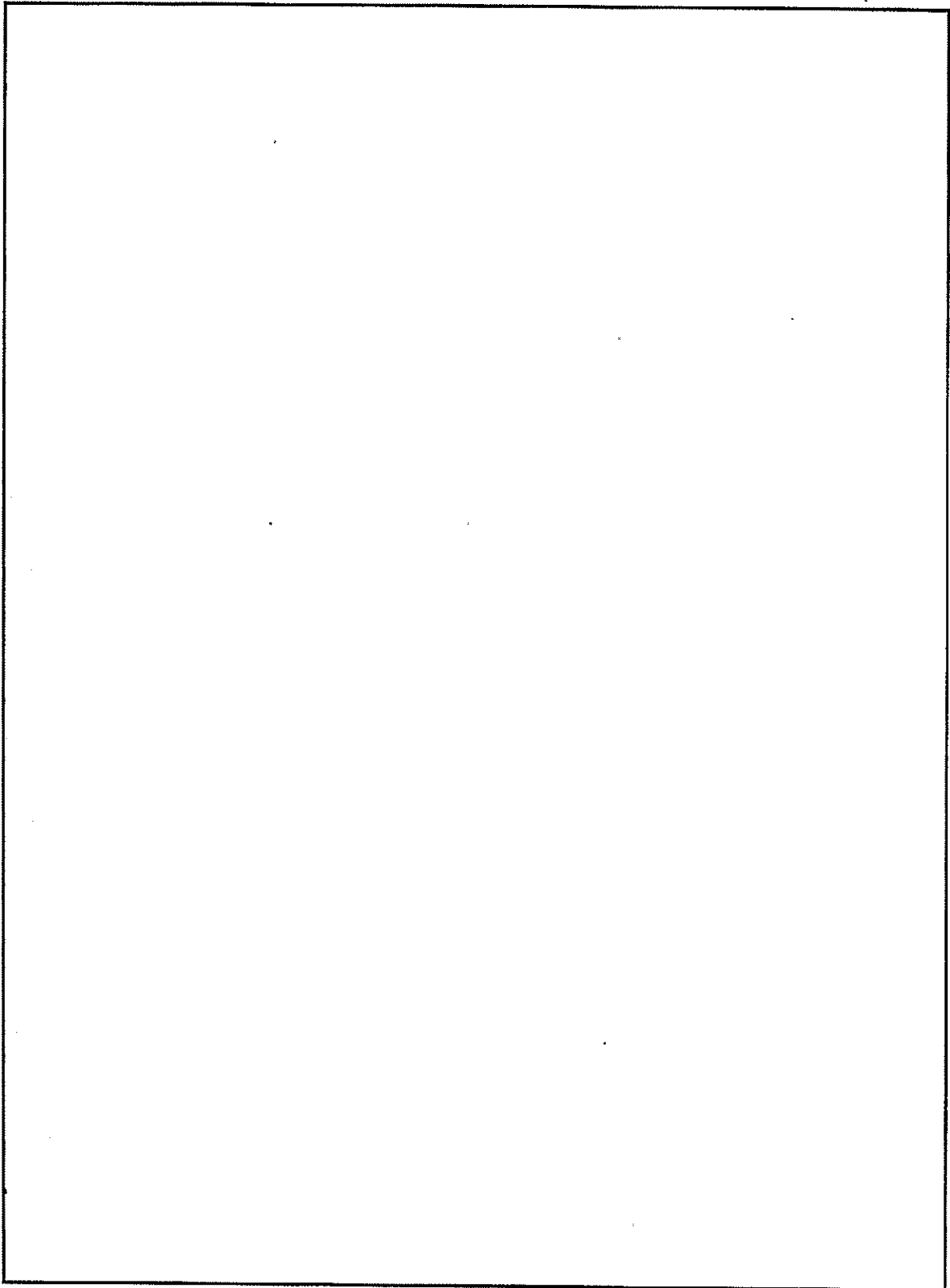
2-3-1-4 図 乾燥状態の臨界解析モデル（縦断面図）（乾式キャスク（タイプ1））



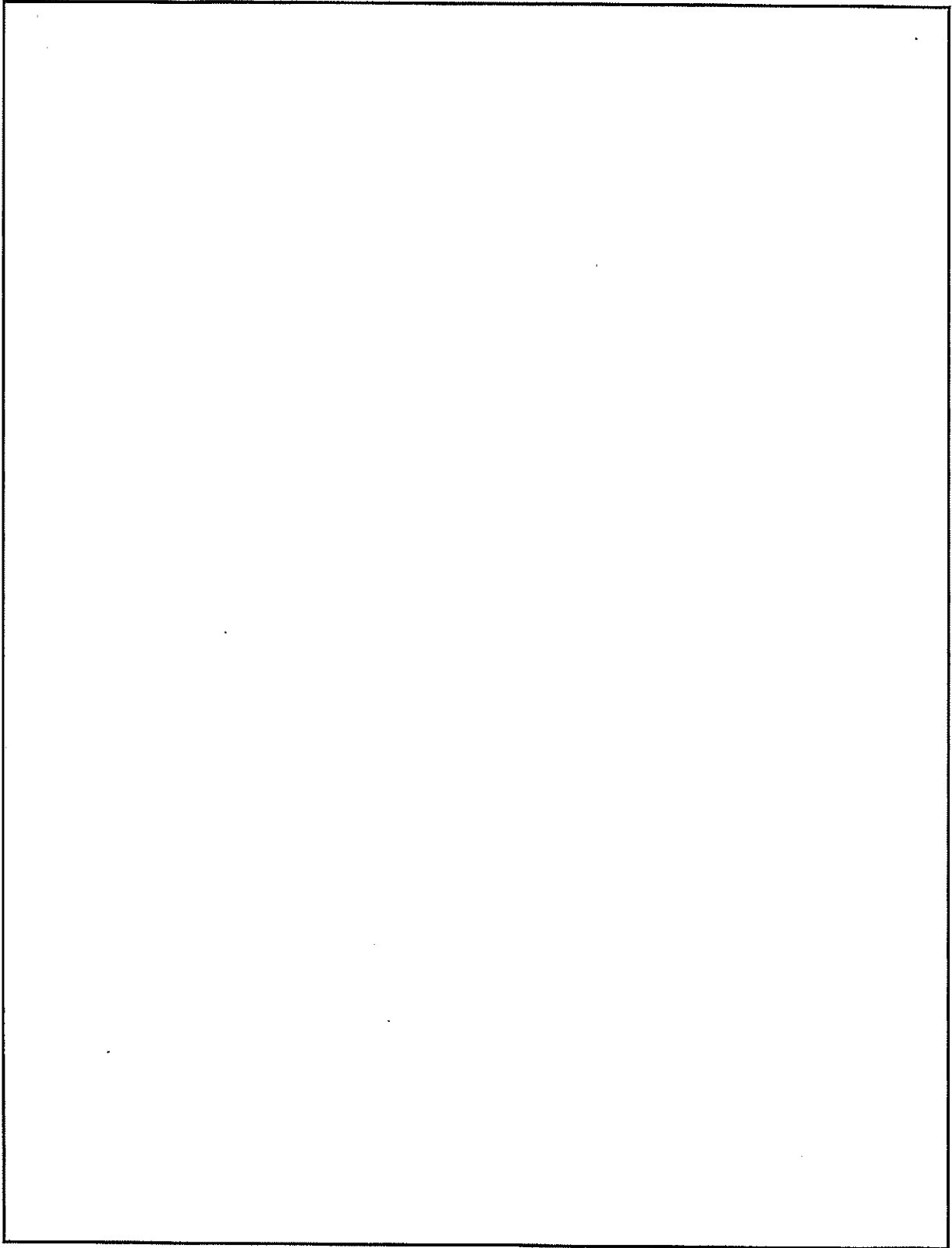
2-3-1-5 図 乾燥状態の臨界解析モデル（燃料領域横断面図）（乾式キャスク（タイプ1））



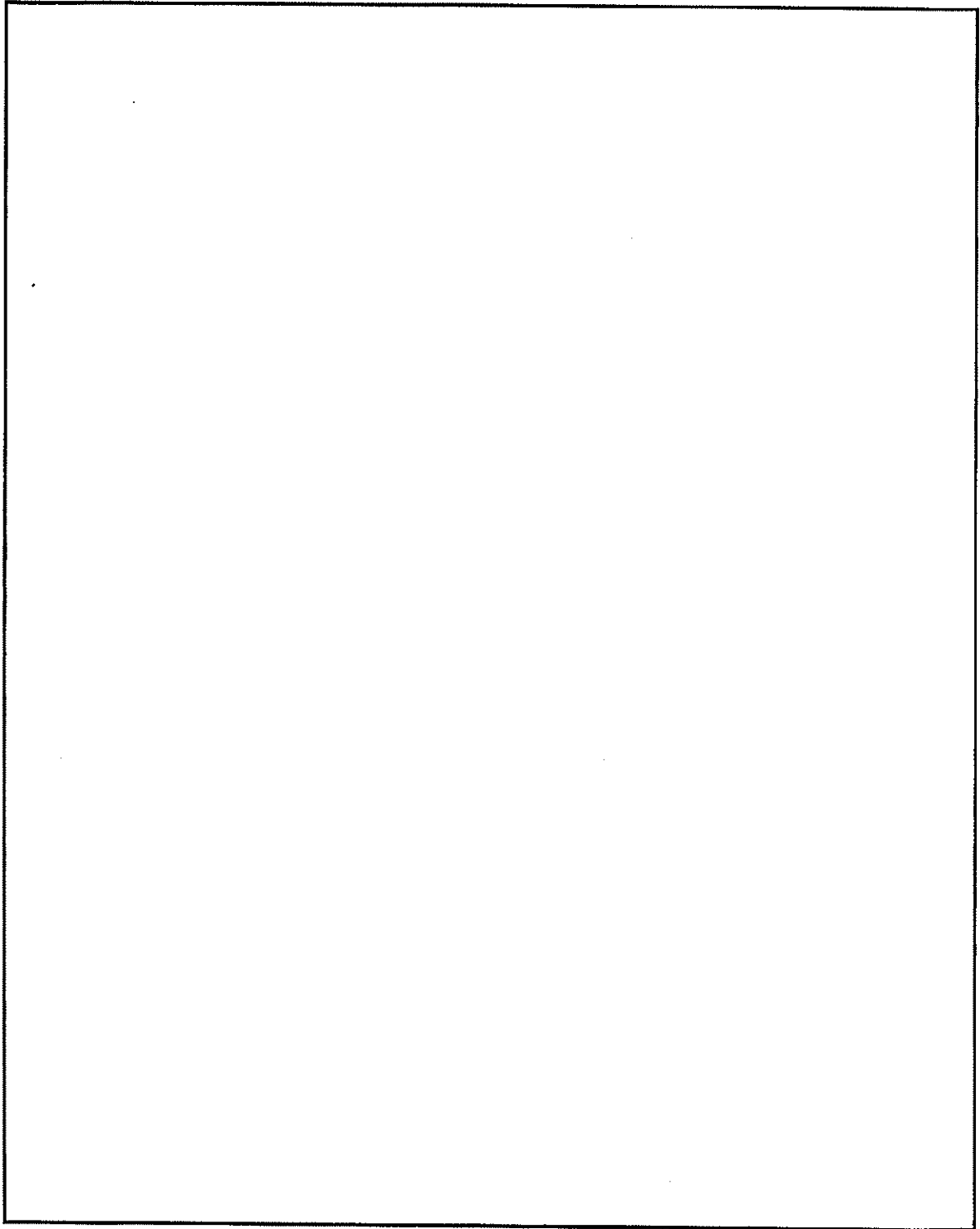
2-3-1-6 図 乾燥状態の臨界解析モデル（燃料領域拡大図）（乾式キャスク（タイプ1））



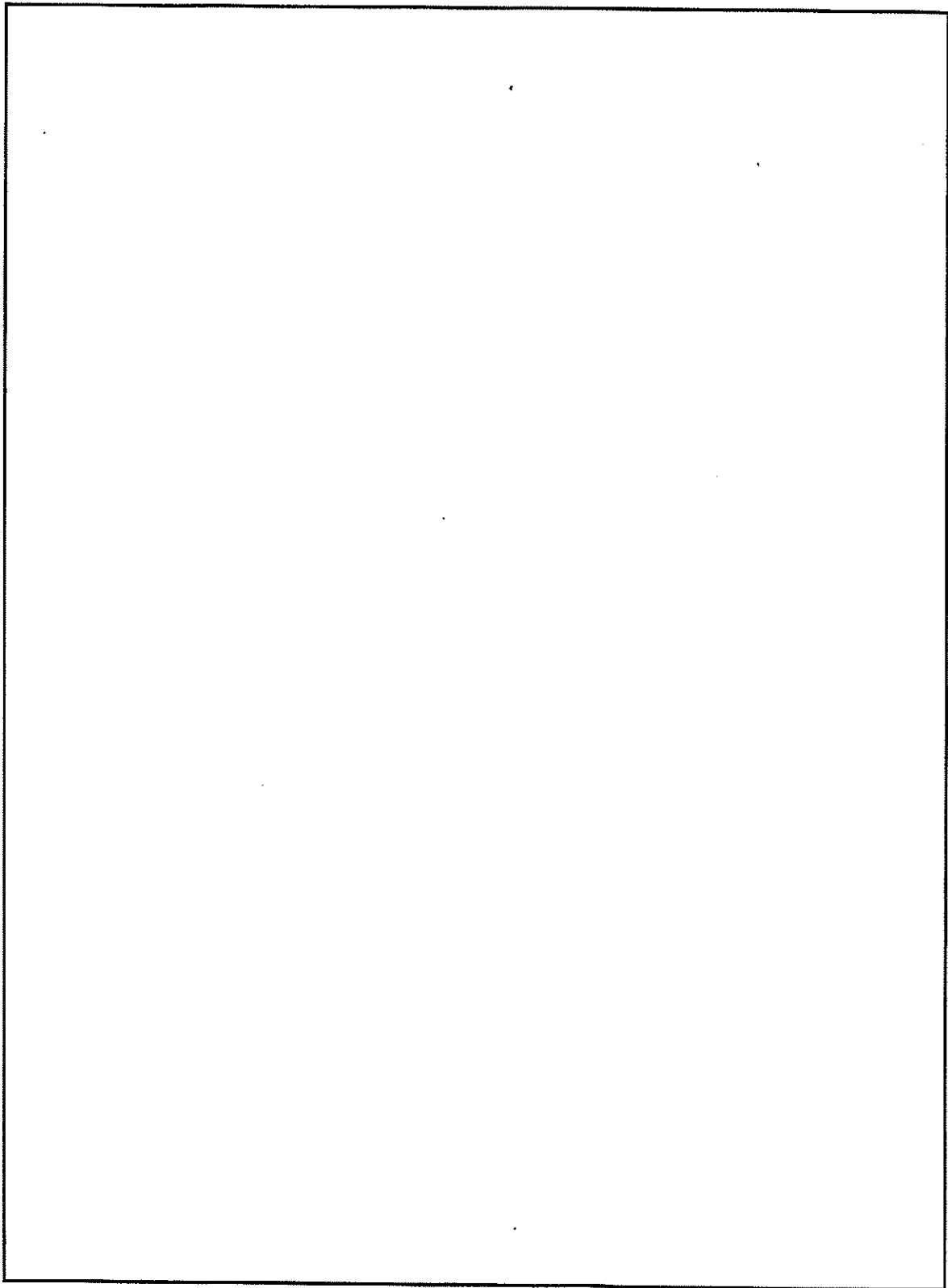
2-3-1-7 図 乾燥状態の臨界解析モデル（縦断面図）（乾式キャスク（タイプ2））



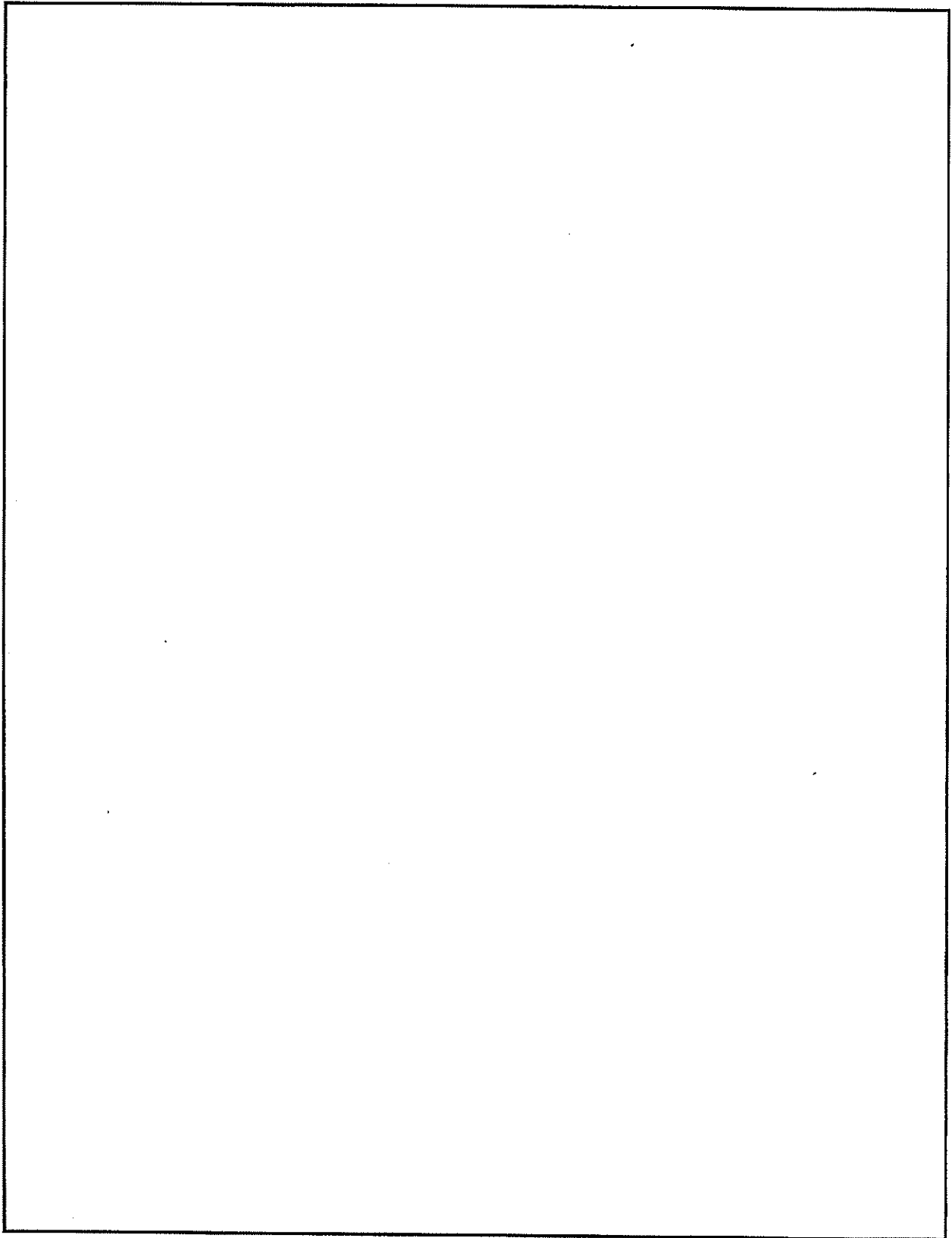
2-3-1-8 図 乾燥状態の臨界解析モデル（燃料領域横断面図）（乾式キャスク（タイプ2））



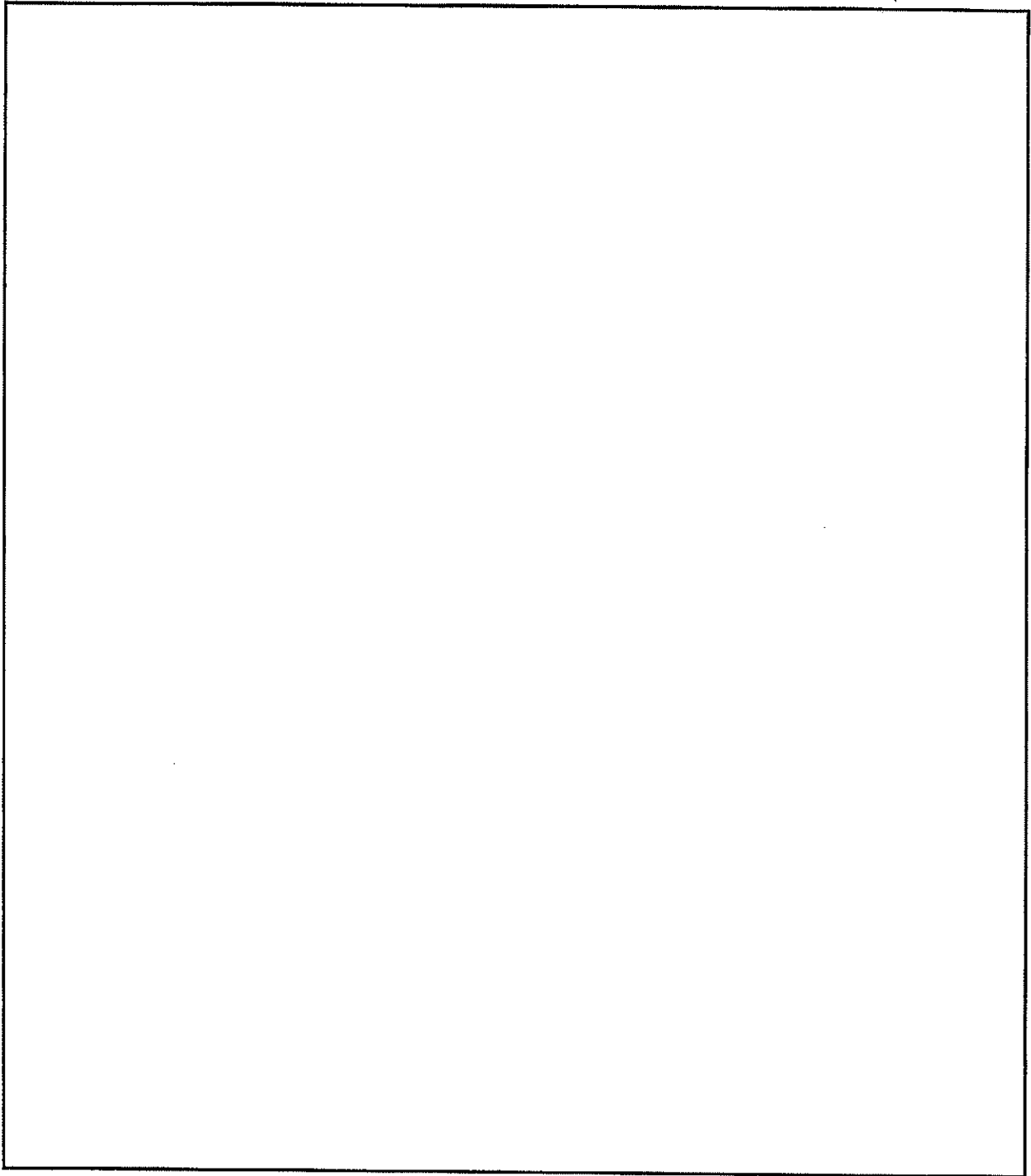
2-3-1-9 図 乾燥状態の臨界解析モデル (燃料領域拡大図) (乾式キャスク (タイプ2))



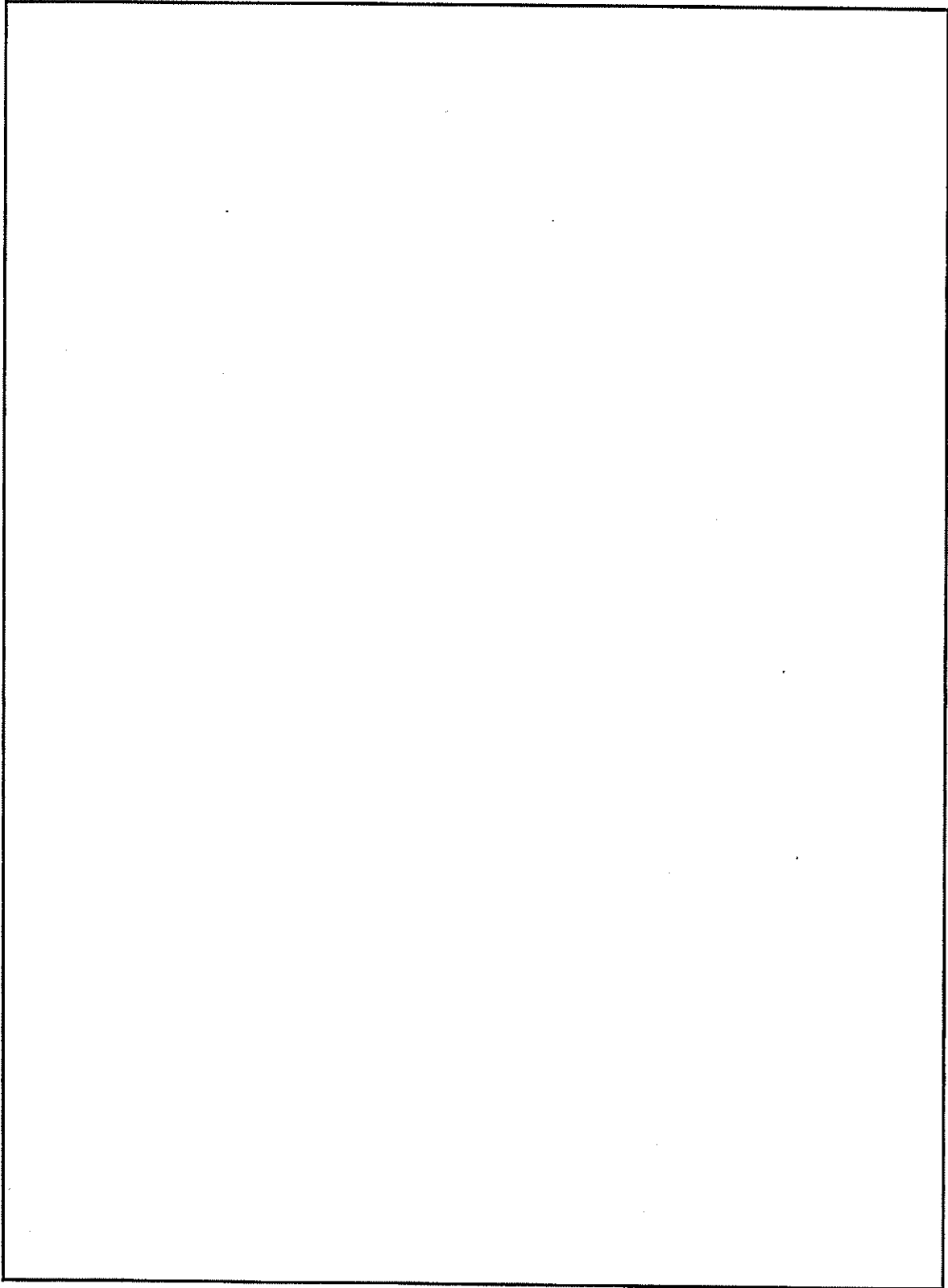
2-3-1-10 図 冠水状態の臨界解析モデル（縦断面図）（乾式キャスク（タイプ1））



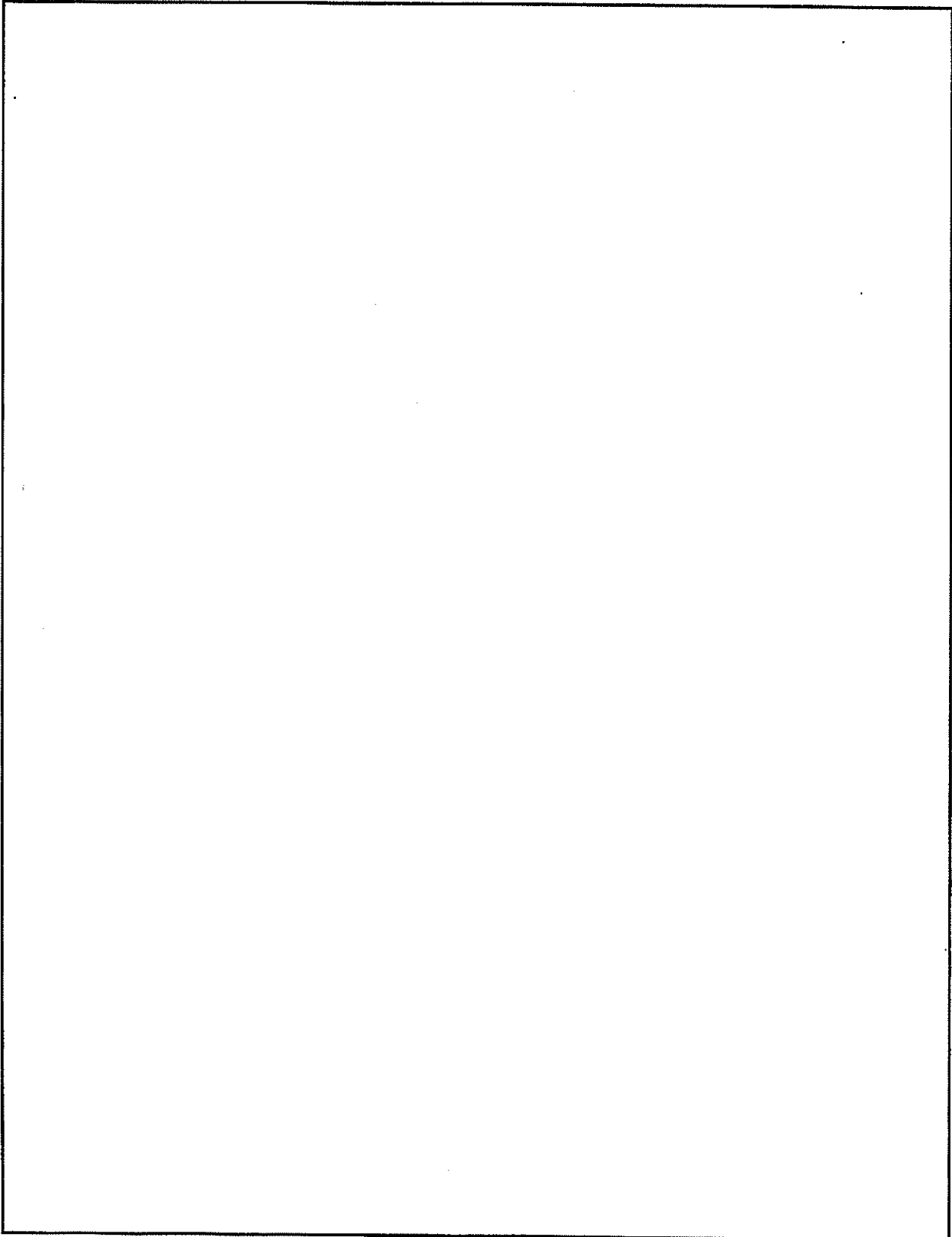
2-3-1-11 図 冠水状態の臨界解析モデル（燃料領域横断面図）（乾式キャスク（タイプ1））



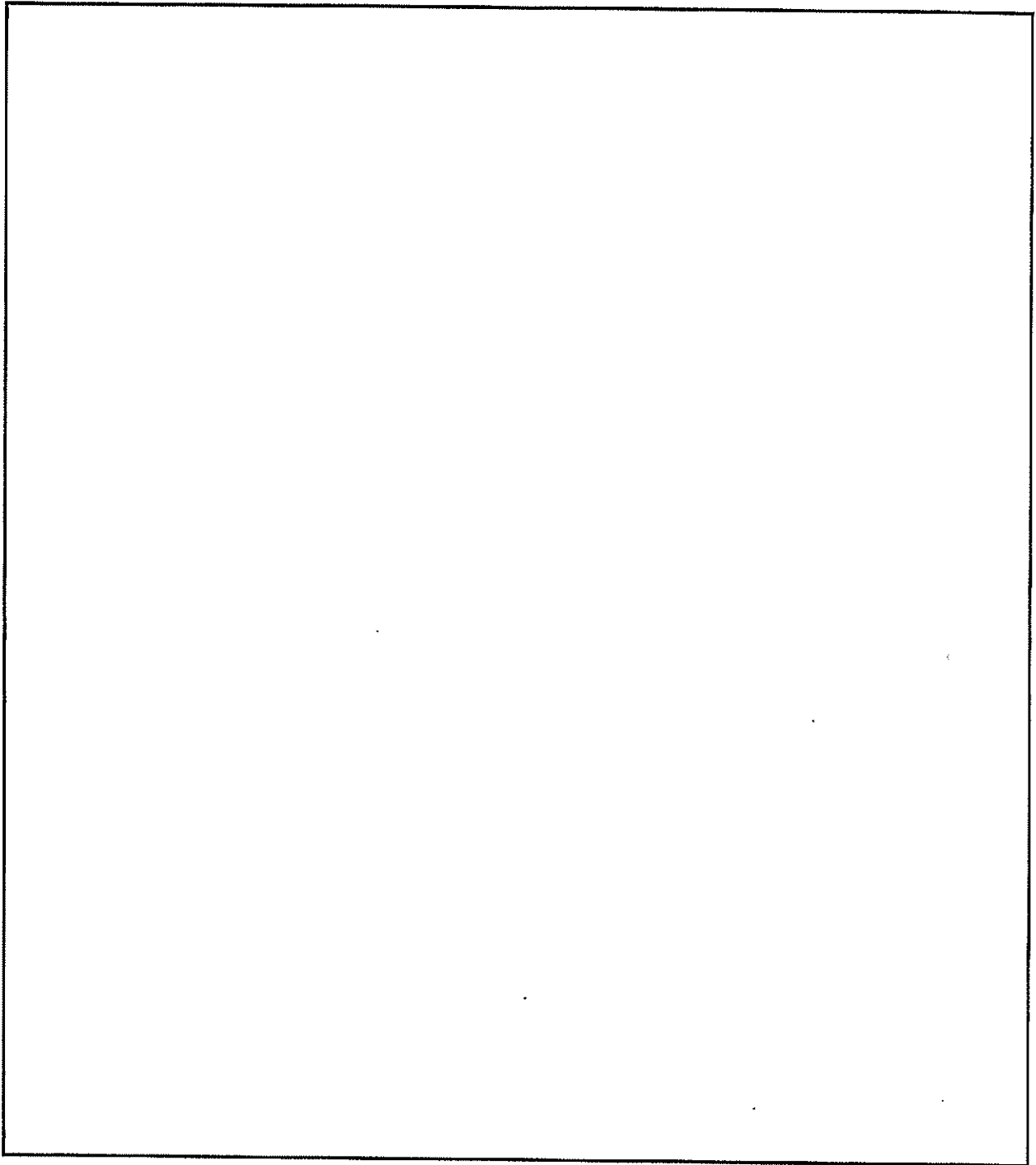
2-3-1-12 図 冠水状態の臨界解析モデル（燃料領域拡大図）（乾式キャスク（タイプ1））



2-3-1-13 図 冠水状態の臨界解析モデル（縦断面図）（乾式キャスク（タイプ2））



2-3-1-14 図 冠水状態の臨界解析モデル（燃料領域横断面図）（乾式キャスク（タイプ2））



2-3-1-15 図 冠水状態の臨界解析モデル（燃料領域拡大図）（乾式キャスク（タイプ2））

2-3-2 臨界解析詳細結果

本資料は資料 12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書における解析結果の詳細について説明するものである。

技術的に想定されるいかなる場合においても、2-3-2-1表に示すとおり、乾式キャスク（タイプ1）及び（タイプ2）の中性子実効増倍率は設計基準を満足している。

また、この結果は乾式キャスク（タイプ1）及び（タイプ2）はそれぞれ無限に配列した体系（完全反射）で解析した結果であり、乾式キャスク（タイプ1）及び（タイプ2）が乾式貯蔵建屋内で混在した場合でも、乾式キャスク（タイプ2）の評価結果に包絡されるため、乾式貯蔵建屋内での乾式キャスクの配置制限は不要である。

2-3-2-1 表 臨界解析詳細結果

項目		乾式キャスク (タイプ1)	乾式キャスク (タイプ2)	設計基準 ^(注2)
中性子実効増倍率 ^(注1)	乾燥状態	0.38769 (3 σ : 0.00045)	0.38483 (3 σ : 0.00039)	0.95 以下 ⁽¹⁾
	冠水状態	0.90779 (3 σ : 0.00129)	0.91187 (3 σ : 0.00135)	

(注1) 解析結果はモンテカルロ計算の統計誤差 (σ) の3倍を加えた値 ($k_{eff}+3\sigma$) とする。

(注2) また、文献(1)によると「十分に検証された臨界安全解析コードシステムを用いる場合には、そのコードシステムによって算出された中性子実効増倍率が0.95以下となることを満足することにより未臨界性を判定できる。」とされている。

(参考文献)

(1) 日本原子力研究所, 「臨界安全ハンドブック第2版」, JAERI 1340, (1999).

2-3-3 臨界解析における条件設定根拠

本資料は資料 12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書における解析条件の設定根拠及びその妥当性について説明するものである。

乾式キャスク（タイプ 1）及び（タイプ 2）の臨界解析における条件設定根拠を 2-3-3-1 表に示す。

また、以下の条件を変化させた際の感度を確認する。

- ✓ 燃料配置
- ✓ 以下の寸法条件
 - バスケットプレート幅
 - バスケットプレート内幅
 - バスケット格子内のり
 - 中性子吸収材板厚
- ✓ キャスク内/外雰囲気

感度解析の条件及び結果を 2-3-3-2 表及び 2-3-3-3 表に示す。感度解析結果より、臨界解析条件が安全側の条件であり、臨界解析条件の設定根拠は妥当である。

2-3-3-1 表 (1/2) 乾式キャスクの臨界解析における条件設定根拠

項目	乾燥状態における条件設定根拠	冠水状態における条件設定根拠
初期濃縮度	[乾式キャスク (タイプ1)] 初期濃縮度の最大値である <input type="checkbox"/> wt%(中央部)及び <input type="checkbox"/> wt%(外周部)としている。 [乾式キャスク (タイプ2)] 初期濃縮度の最大値である <input type="checkbox"/> wt%としている。	
燃料配置	使用済燃料集合体が最も集中する配置となる、キャスク中心偏向配置としている。	[乾式キャスク (タイプ1)] キャスクの外周バスケットプレート (資料 2-3-1 の 2-3-1-11 図; B-B 断面) には中性子吸収材が配置されていないが、外周部に収納される燃料がより濃縮度の高い中央部の燃料に近接するように配置するキャスク中心偏向配置としている。 [乾式キャスク (タイプ2)] キャスクの外周バスケットプレート (資料 2-3-1 の 2-3-1-14 図; C-C 断面) には中性子吸収材が配置されていないため、外周部に配置された使用済燃料集合体はキャスク外周、中央部に配置された使用済燃料集合体はキャスク中心偏向配置としている。
寸法条件	バスケットプレート幅：隣接する燃料との距離が短くなるように乾燥状態、冠水状態共に最小としている。 バスケットプレート内幅：バスケットプレートでの中性子吸収効果が小さくなるように最大としている (バスケットプレート幅を固定して内幅を最大とすることでバスケットプレート板厚が最小となる)。 バスケット格子内のり：隣接燃料との距離が短くなるように最小としている。	バスケットプレート内幅：バスケットプレート内幅領域での中性子の減速効果を小さくし、中性子吸収材での中性子吸収効果が小さくなるように、バスケットプレート内幅を最小としている。 バスケット格子内のり：燃料領域での熱中性子が増加するように最大としている。

2-3-3-1 表 (2/2) 乾式キャスクの臨界解析における条件設定根拠

項目	乾燥状態における条件設定根拠	冠水状態における条件設定根拠
寸法条件	中性子吸収材板厚：隣接する燃料との距離が短くなるように乾燥状態、冠水状態共に中性子吸収材板厚を最小としている。なお、中性子吸収材のほう素添加量は板厚に係わらず仕様上の下限値で一定としている。	
キャスク内雰囲気	条件により真空としている。	中性子減速効果が大きくなる、水密度最大の 1.0g/cm^3 としている。
キャスク外雰囲気	解析モデルを完全反射境界としてキャスク外部に漏れ出た中性子が減速及び吸収されることなく反射してキャスクへ戻る、真空環境としている。	
キャスク配列	解析モデルをキャスクに外接する四角柱表面で完全反射とすることにより、キャスクが無限に並ぶ配列としている。	
使用済燃料集合体構造材	ステンレス鋼製の上・下部ノズル部及びプレナム部は、中性子吸収効果を小さくするため、真空としている。	ステンレス鋼製の上・下部ノズル部及びプレナム部は、中性子減速効果がある純水としている。
ほう素添加量	中性子吸収材に含まれるほう素添加量は仕様上の下限値としている。 なお、設計貯蔵期間（60年）経過後の中性子吸収材に含まれるほう素の減損割合は安全側に全中性子束を用いて評価しても 10^{-5} 程度であり、無視し得るレベルである。	
バーナブルポイズン集合体	中性子吸収効果のあるバーナブルポイズン集合体は安全側に無視している。	
中性子遮蔽材	中性子吸収効果のある側部、蓋部、及び底部中性子遮蔽材は安全側に真空としている。	
蓋	貯蔵中は一次蓋及び二次蓋により密閉されるため、一次蓋及び二次蓋までをモデル化している。	

2-3-3-2表 感度解析条件及び解析結果(乾式キヤスク(タイプ1))

項目	乾燥状態		感度解析結果		冠水状態		感度解析結果 Δk (注3)
	感度解析条件 (注2)		Δk (注3)		感度解析条件 (注2)		
燃料配置 (2-3-3-1 図参照)	①キヤスク中心偏向配置		-		①キヤスク中心偏向配置		-
	②バスケット格子内中央配置		-0.0005		②バスケット格子内中央配置		-0.0014
	③キヤスク外周偏向配置		-0.0014		③キヤスク外周偏向配置		-0.0084
	④キヤスク外周偏向配置		-		④外周燃料外周偏向配置		-0.0009
寸法 条件 (注1)	バスケット プレート幅	①最小 (A-A, B-B 断面 <input type="text"/> cm)	-0.0005		①最小 (A-A, B-B 断面 <input type="text"/> cm)	0.0005 (注4)	
		②最大 (A-A, B-B 断面 <input type="text"/> cm)	-		②最大 (A-A, B-B 断面 <input type="text"/> cm)	-	
	バスケット プレート内幅	①最大 (A-A, B-B 断面 <input type="text"/> cm)	-0.0006		①最小 (A-A, B-B 断面 <input type="text"/> cm)	-	
		②最小 (A-A, B-B 断面 <input type="text"/> cm)	-		②最大 (A-A, B-B 断面 <input type="text"/> cm)	-	
	バスケット 格子内のり	①最小 (<input type="text"/> cm)	-0.0027		①最大 (<input type="text"/> cm)	-	
		②最大 (<input type="text"/> cm)	-		②最小 (<input type="text"/> cm)	-	
	中性子吸収材 板厚	①最小 (<input type="text"/> cm)	-0.0007		①最小 (<input type="text"/> cm)	-	
		②最大 (<input type="text"/> cm)	-		②最大 (<input type="text"/> cm)	-	
キヤスク内雰囲気	-		-		水密度 0.0~1.0g/cm ³		2-3-3-2 図参照
キヤスク外雰囲気	水密度 0.0~1.0g/cm ³		2-3-3-3 図参照		水密度 0.0~1.0g/cm ³		2-3-3-4 図参照

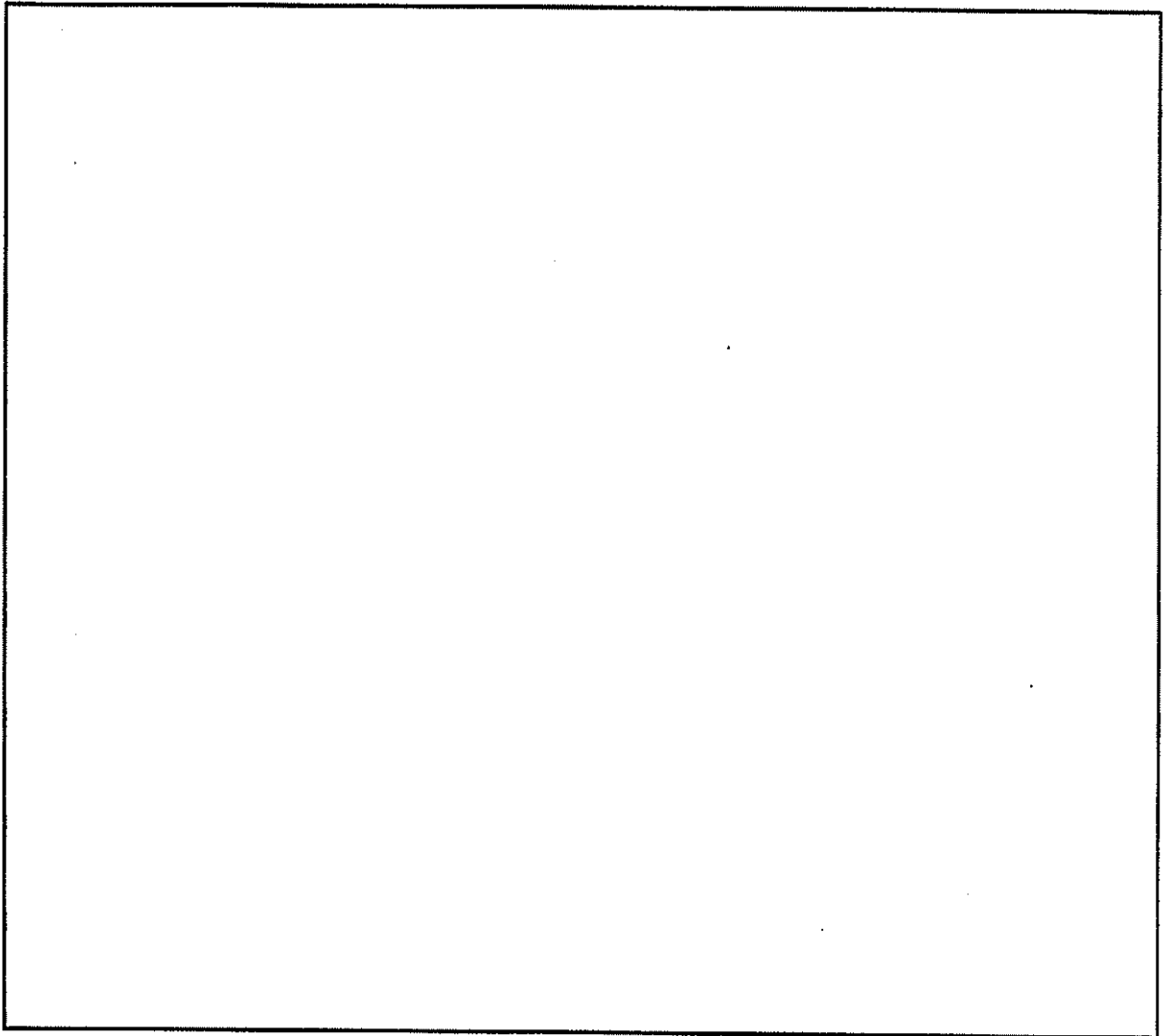
(注1) 乾燥状態は資料 2-3-1 の 2-3-1-4 図~2-3-1-6 図を、冠水状態は資料 2-3-1 の 2-3-1-10 図~2-3-1-12 図を参照。

(注2) 説明書記載の解析条件から各感度解析条件のみを変更した。各項目の①は説明書記載条件である。

(注3) 感度解析条件 (②、③及び④) での中性子実効増倍率から説明書記載の解析条件 (①) での中性子実効増倍率を差し引いた値。

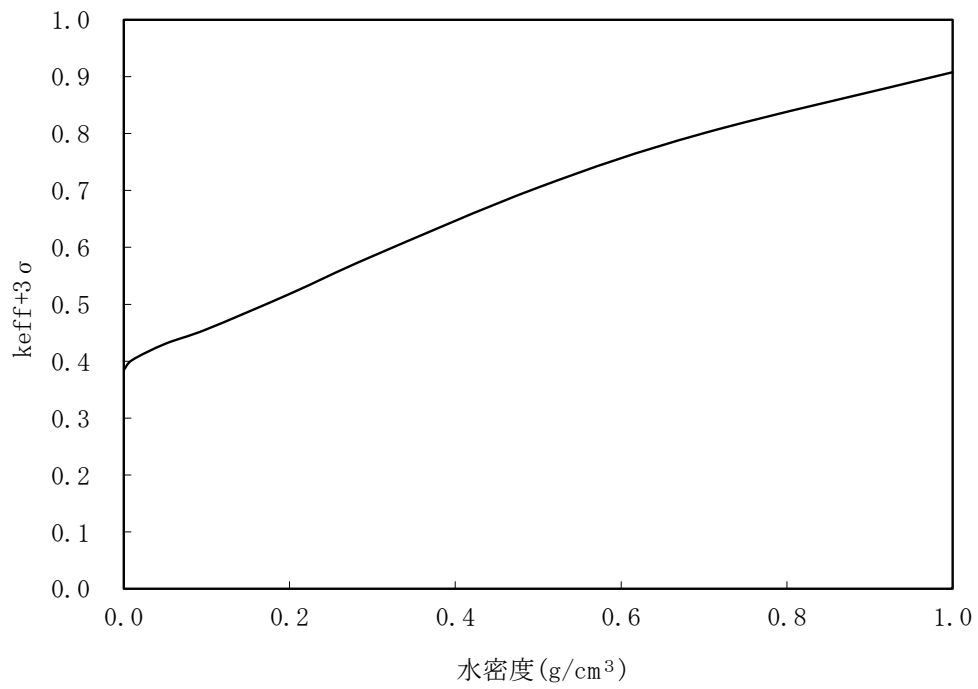
($\Delta k =$ (感度解析結果) - (説明書記載結果))

(注4) 統計誤差程度の感度であるため、バスケットプレート幅は隣接する燃料との距離が短くなるように最小を採用している。



2-3-3-1 図 燃料配置感度解析条件 (乾式キャスク (タイプ I))

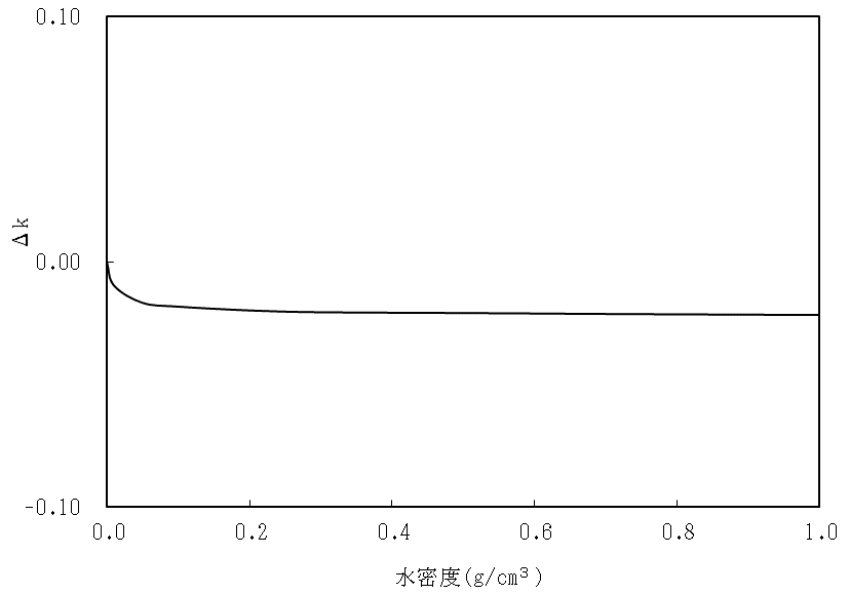
(注) 冠水状態では体系内の中性子が減速され、中性子吸収材の中性子吸収効果が大きい。
外周バスケットプレートには中性子吸収材が配置されていないため、冠水状態については外周部に配置された燃料はキャスク外周に寄せて、中央部に配置された燃料はキャスク中心偏向配置とした評価を実施した。



[補足]

水密度が上がるにつれて、中性子の減速効果が強まって熱中性子及び核分裂反応が増えて、実効増倍率が大きくなっている。

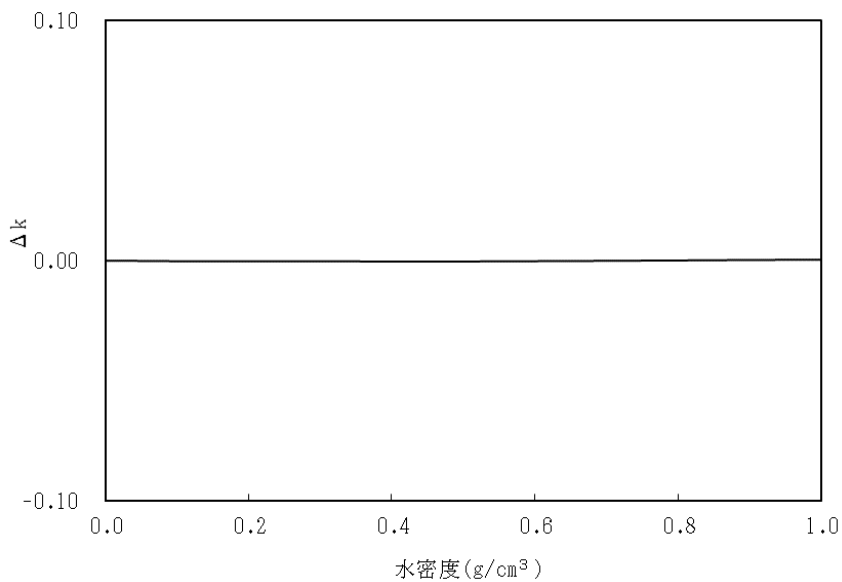
2-3-3-2 図 キャスク内雰囲気解析結果（乾式キャスク（タイプ1））



[補足]

乾燥状態ではキャスク内部での中性子の減速が弱く、キャスク外部に漏れる中性子が存在するため、水密度が上がるにつれて容器間での中性子やり取りの量が減り、実効増倍率が小さくなっている。

2-3-3-3 図 キャスク外雰囲気解析結果（乾燥状態）（乾式キャスク（タイプ1））



[補足]

冠水状態ではキャスク内部での中性子の減速が強く、キャスク外部に漏れる中性子が少ないため、水密度が上がっても容器間での中性子やり取りの量にはほとんど影響与えないため、実効増倍率も変わっていない。

2-3-3-4 図 キャスク外雰囲気解析結果（冠水状態）（乾式キャスク（タイプ1））

2-3-3-3 表 感度解析条件及び解析結果 (乾式キヤスク (タイプ2))

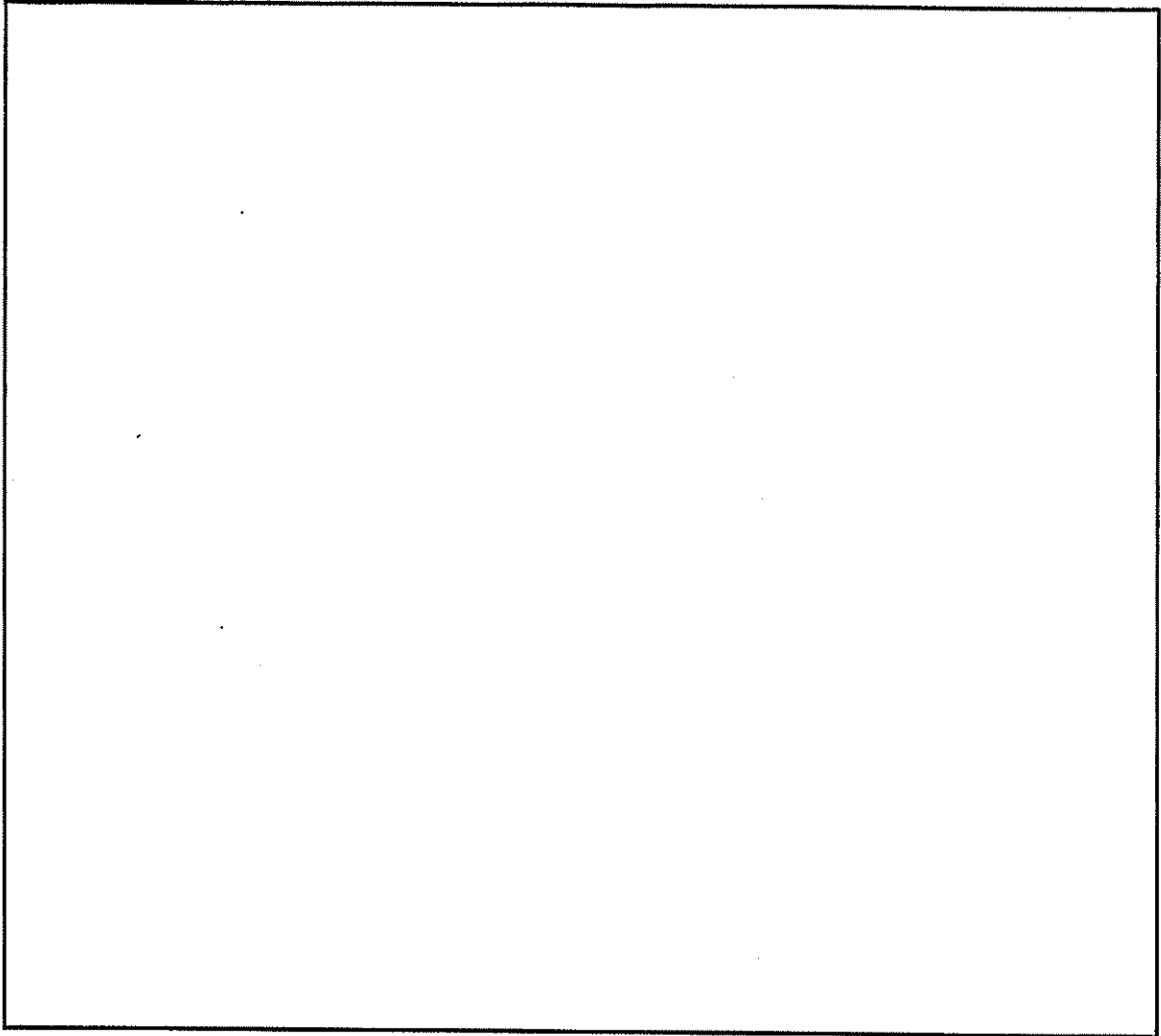
項目	乾燥状態		感度解析結果		冠水状態		感度解析結果 Δk (注3)
	感度解析条件 (注2)		Δk (注3)		感度解析条件 (注2)		
燃料配置 (2-3-3-5 図参照)	①キヤスク中心偏向配置		-		①外周燃料外周偏向配置		-
	②バスケット格子内中央配置		-0.0007		②キヤスク中心偏向配置		-0.0021
	③キヤスク外周偏向配置		-0.0016		③バスケット格子内中央配置		-0.0019
寸法 条件 (注1)	①最小 (A-A 断面 <input type="text"/> cm) (B-B、C-C 断面 <input type="text"/> cm)		-0.0006		①最小 (A-A 断面 <input type="text"/> cm) (B-B、C-C 断面 <input type="text"/> cm)		-0.0003
	②最大 (A-A 断面 <input type="text"/> cm) (B-B、C-C 断面 <input type="text"/> cm)				②最大 (A-A 断面 <input type="text"/> cm) (B-B、C-C 断面 <input type="text"/> cm)		
	①最大 (A-A 断面 <input type="text"/> cm) (B-B、C-C 断面 <input type="text"/> cm)		-0.0004		①最小 (A-A 断面 <input type="text"/> cm) (B-B、C-C 断面 <input type="text"/> cm)		-0.0029
	②最小 (A-A 断面 <input type="text"/> cm) (B-B、C-C 断面 <input type="text"/> cm)				②最大 (A-A 断面 <input type="text"/> cm) (B-B、C-C 断面 <input type="text"/> cm)		
	①最小 (<input type="text"/> cm) ②最大 (<input type="text"/> cm)		-0.0022		①最大 (<input type="text"/> cm) ②最小 (<input type="text"/> cm)		-0.0055
	①最小 (<input type="text"/> cm) ②最大 (<input type="text"/> cm)		-0.0005		①最小 (<input type="text"/> cm) ②最大 (<input type="text"/> cm)		-0.0012
キヤスク内雰囲気	-		-		水密度 0.0~1.0g/cm ³		2-3-3-6 図参照
キヤスク外雰囲気	水密度 0.0~1.0g/cm ³		2-3-3-7 図参照		水密度 0.0~1.0g/cm ³		2-3-3-8 図参照

(注1) 乾燥状態は資料 2-3-1 の 2-3-1-7 図~2-3-1-9 図を、冠水状態は資料 2-3-1 の 2-3-1-13 図~2-3-1-15 図を参照。

(注2) 説明書記載の解析条件から各感度解析条件のみを変更した。各項目の①は説明書記載条件である。

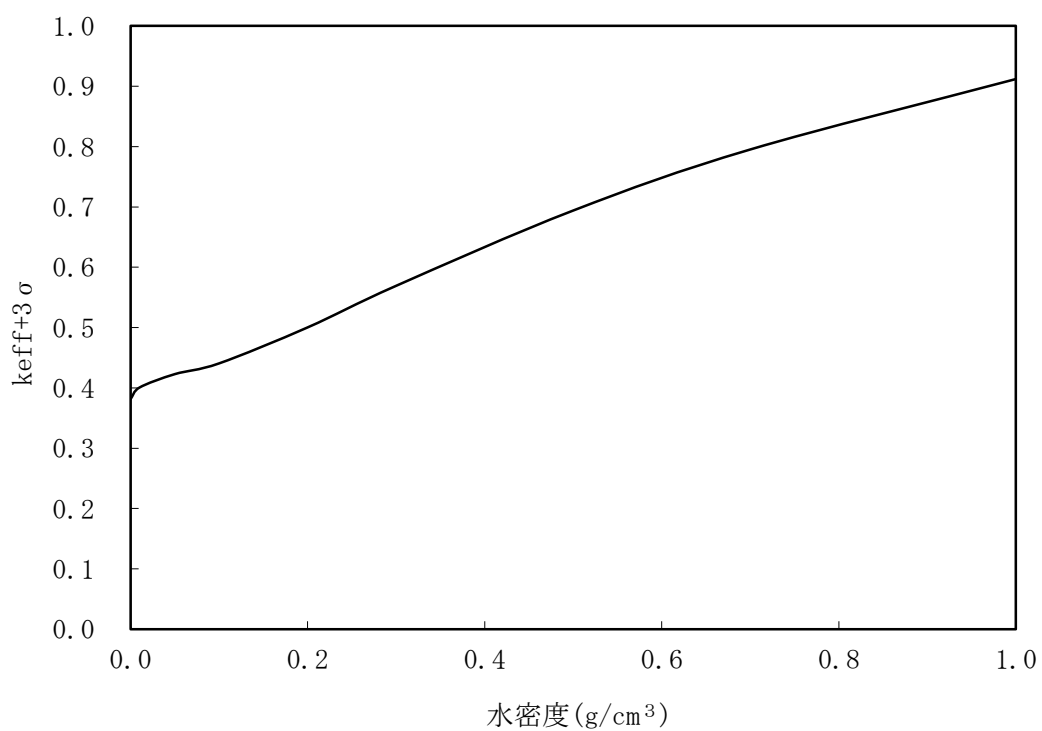
(注3) 感度解析条件 (②、③及び④) での中性子実効増倍率から説明書記載の解析条件 (①) での中性子実効増倍率を差し引いた値。

(Δk = (感度解析結果) - (説明書記載結果))



2-3-3-5 図 燃料配置感度解析条件（乾式キャスク（タイプ 2））

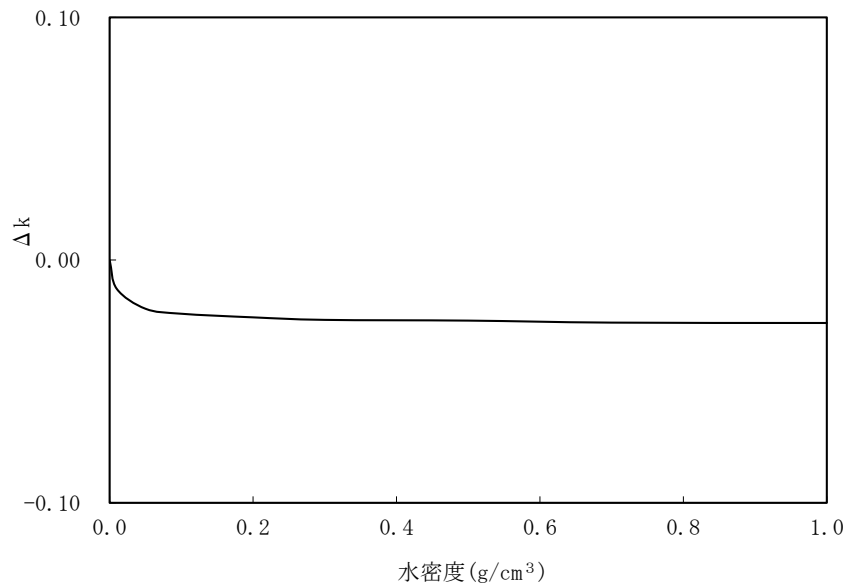
（注）冠水状態では体系内の中性子が減速され、中性子吸収材の中性子吸収効果が大きい。
外周バスケットプレートには中性子吸収材が配置されていないため、冠水状態については外周部に配置された燃料はキャスク外周に寄せて、中央部に配置された燃料はキャスク中心偏向配置とした評価を実施した。



[補足]

水密度が上がるにつれて、中性子の減速効果が強まって熱中性子及び核分裂反応が増えて、実効増倍率が大きくなっている。

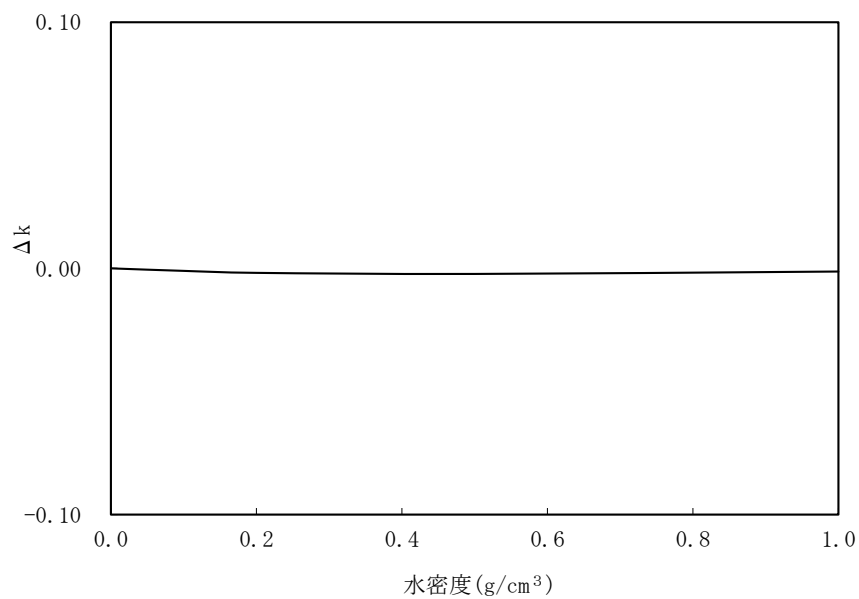
2-3-3-6 図 キャスク内雰囲気解析結果（乾式キャスク（タイプ 2））



[補足]

乾燥状態ではキャスク内部での中性子の減速が弱く、キャスク外部に漏れる中性子が存在するため、水密度が上がるにつれて容器間での中性子やり取りの量が減り、実効増倍率が小さくなっている。

2-3-3-7 図 キャスク外雰囲気解析結果（乾燥状態）（乾式キャスク（タイプ2））



[補足]

冠水状態ではキャスク内部での中性子の減速が強く、キャスク外部に漏れる中性子が少ないため、水密度が上がっても容器間での中性子やり取りの量にはほとんど影響与えないため、実効増倍率も変わっていない。

2-3-3-8 図 キャスク外雰囲気解析結果（冠水状態）（乾式キャスク（タイプ2））

2-3-4 臨界解析コード SCALE を用いることの妥当性

本資料は資料 12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書において使用する臨界解析コードの機能、計算方法、使用実績及び検証結果について説明するものである。

a. SCALE コードシステム

i 概要

臨界解析には、米国のオークリッジ国立研究所（ORNL）で開発された公開の SCALE コードシステム⁽¹⁾を用い、中性子実効増倍率の計算には同コードシステムに含まれる KENO-VI コードを用いる。

SCALE コードシステムは、米国 NRC により認証された標準解析コードであり、国内外の臨界解析の分野で幅広く使用されている。

ii 機能

SCALE コードシステムは、臨界解析に際して以下の特徴を有している。

- ・燃料及び構造材の材質組成と幾何形状を与えることにより、断面積作成から中性子実効増倍率評価まで一連の解析を実行できる。
- ・三次元輸送計算コードであり、複雑な幾何形状における臨界計算が可能である。

iii 解析フロー

SCALE コードシステムの解析フローを 2-3-4-1 図に示す。

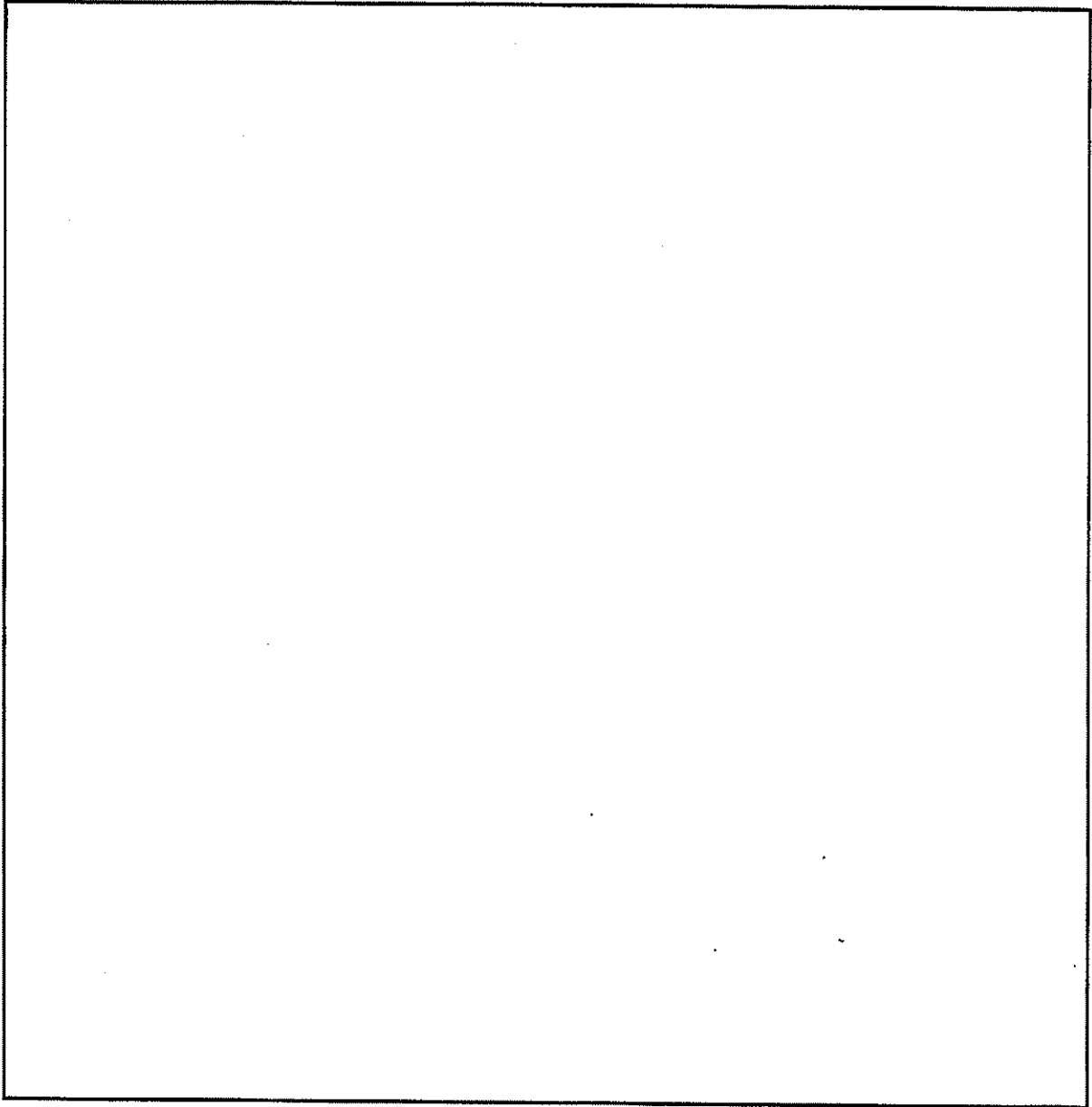
iv 使用実績及び検証

臨界解析で使用した SCALE コードシステムに対しては、乾式キャスクを構成する燃料集合体及び構造物の材質を模擬した多数の臨界実験のベンチマーク解析を実施し、その妥当性を確認している。

文献(2)に示す実験について、収納物である使用済燃料の仕様並びに下記①～⑥の条件を考慮し、ベンチマーク解析を実施する臨界実験を選定した。2-3-4-1 表に示すとおりベンチマーク解析は実験を良く再現しており、妥当な結果が得られている。

- ①燃料棒を配列した集合体が水中に単独で存在する場合
- ②複数の集合体が近接して配列する場合
- ③この集合体の配列の間に鋼板、中性子吸収材（ほう素）を含む板が存在する場合
- ④集合体に近接して反射体（鋼板、鉛）を配置した場合
- ⑤水中に中性子吸収材（ほう素）が溶解している場合
- ⑥乾式貯蔵の条件を模擬し、減速材を用いない場合

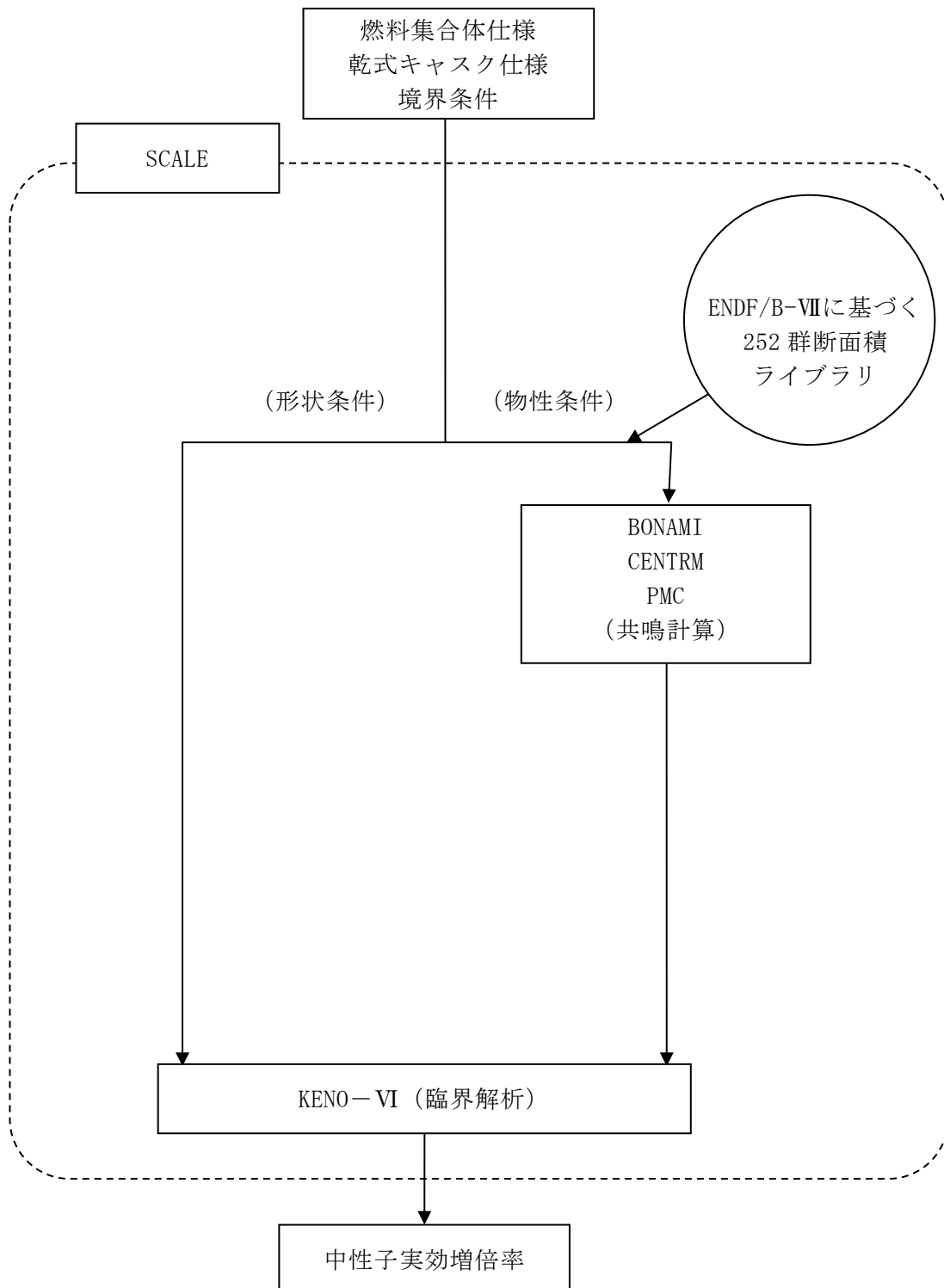
また、ベンチマーク解析対象は、次の 3 つの機関により実施された臨界実験より、合計 ケースを選定した。



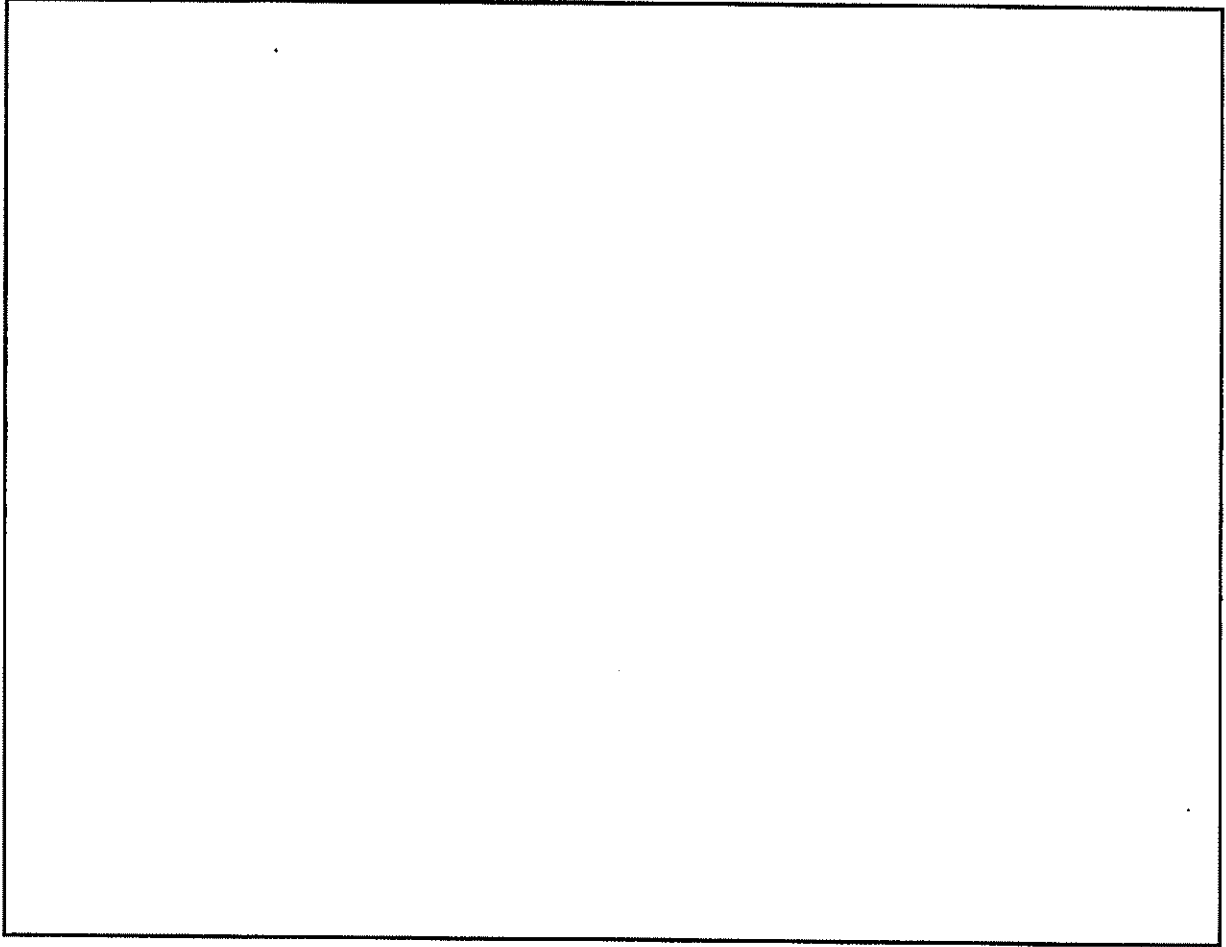
2-3-4-1表 ベンチマーク解析結果

	ケース数	平均値	標準偏差 (注1)	最大値	最小値
臨界実験 (1)		0.99961	0.00304	1.01172	0.99651
臨界実験 (2)		0.99776	0.00264	1.00055	0.99363
臨界実験 (3)		1.00279	0.00259	1.00452	0.99981
合計		0.99940	0.00309	1.01172	0.99363

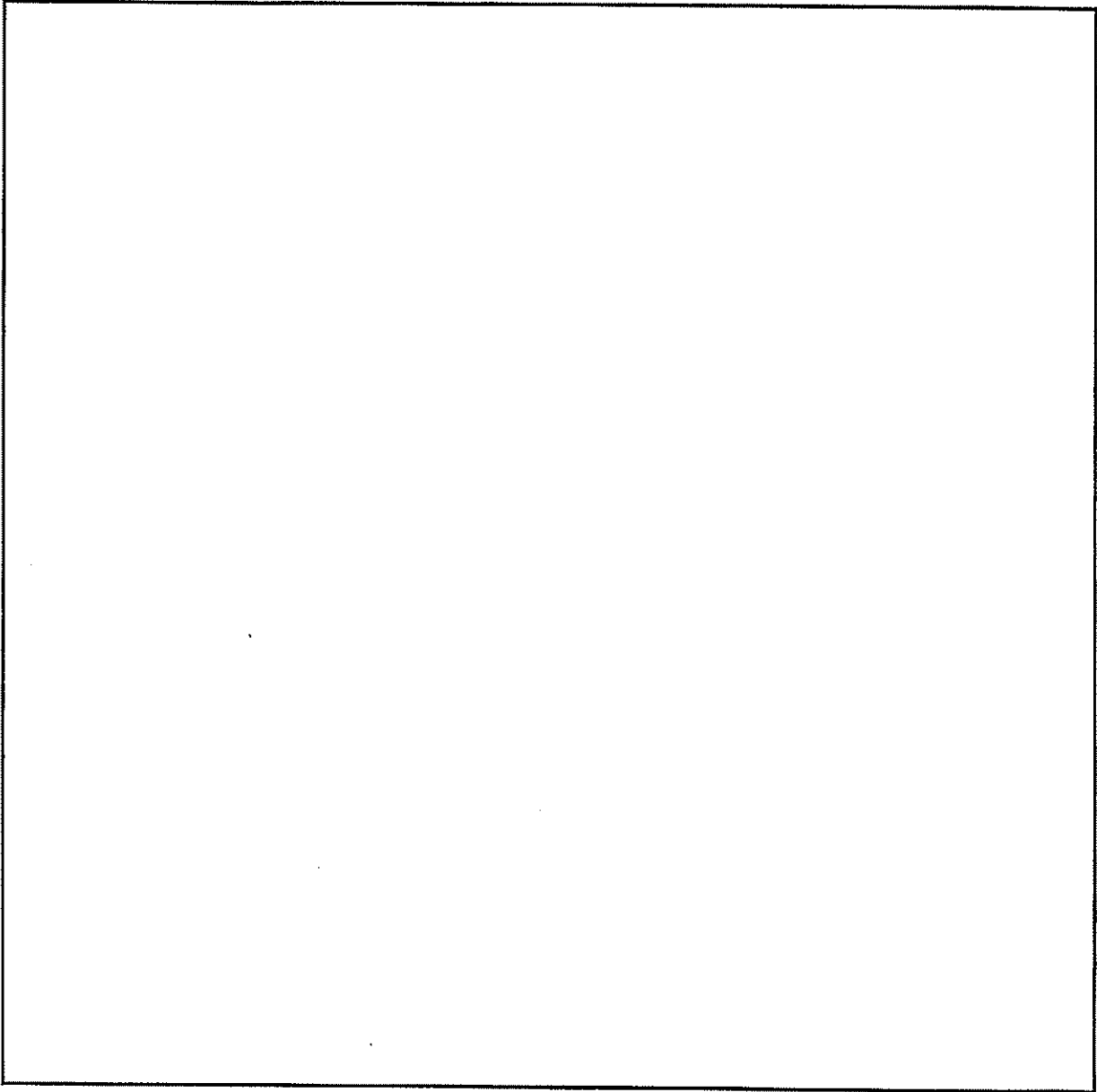
(注 1) この標準偏差は各臨界実験での複数のベンチマーク解析結果(実効増倍率)に対する標準偏差である。



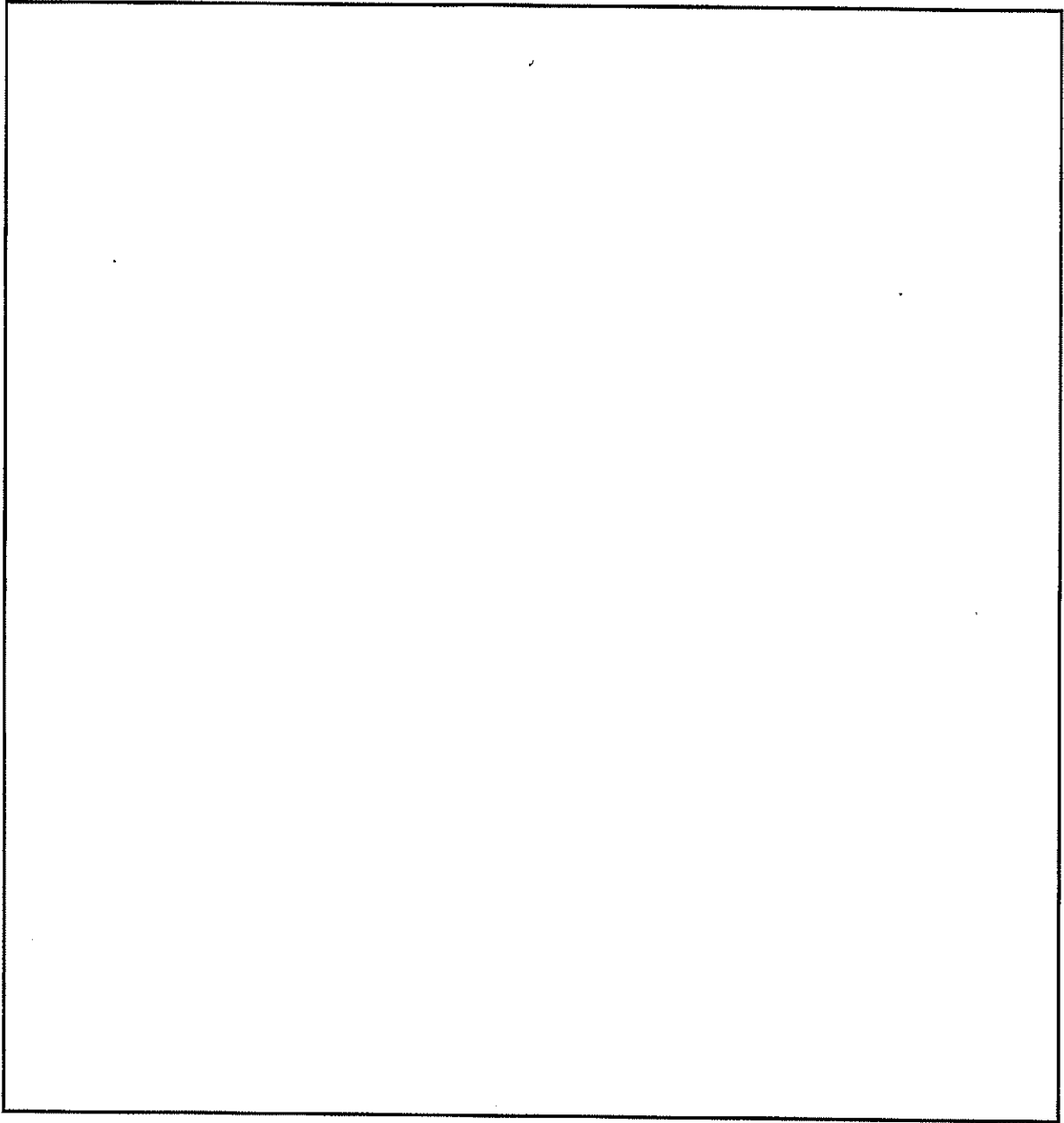
2-3-4-1 図 SCALE コードシステムの解析フロー図



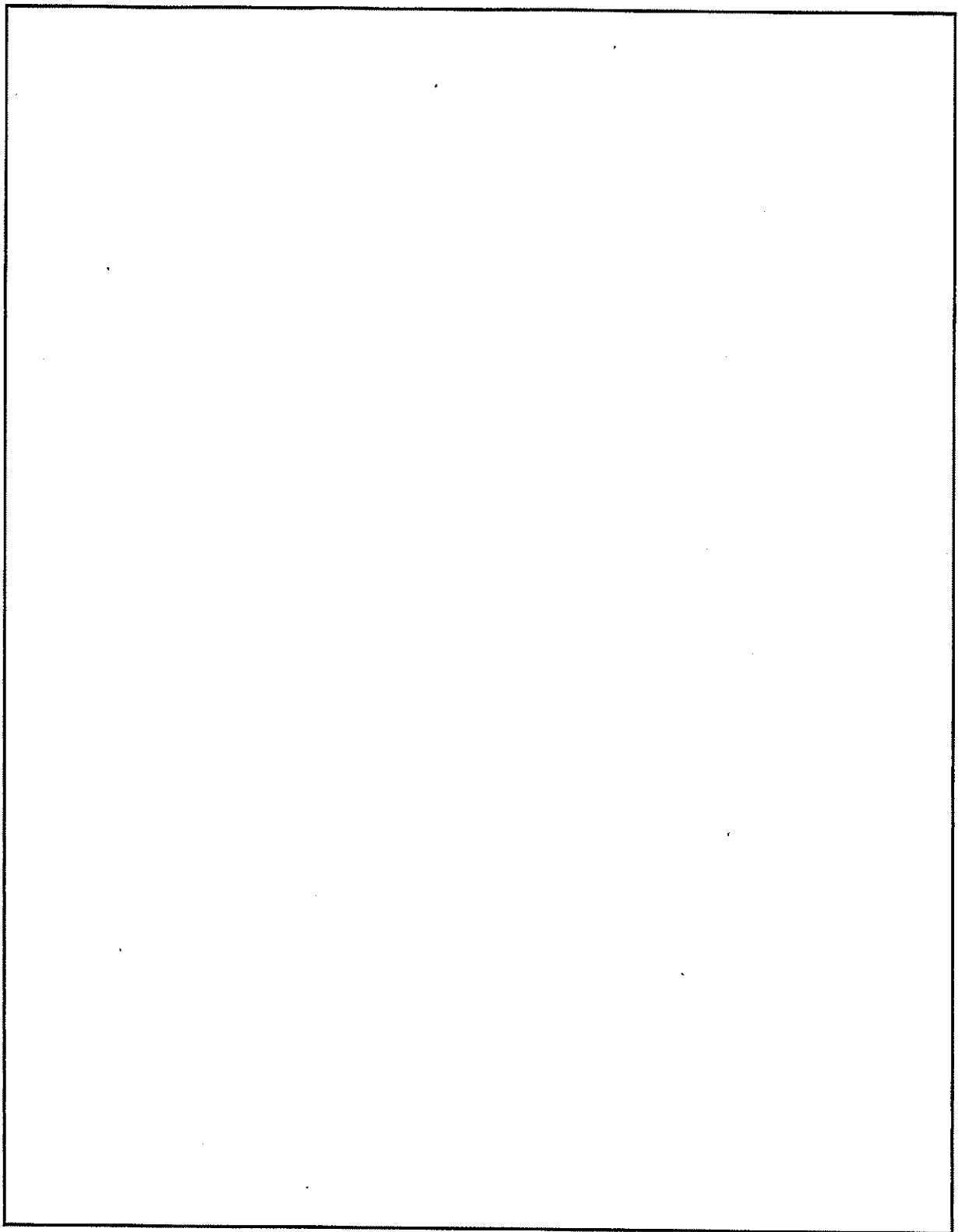
2-3-4-2 図 (1/2)  臨界実験に用いた燃料棒



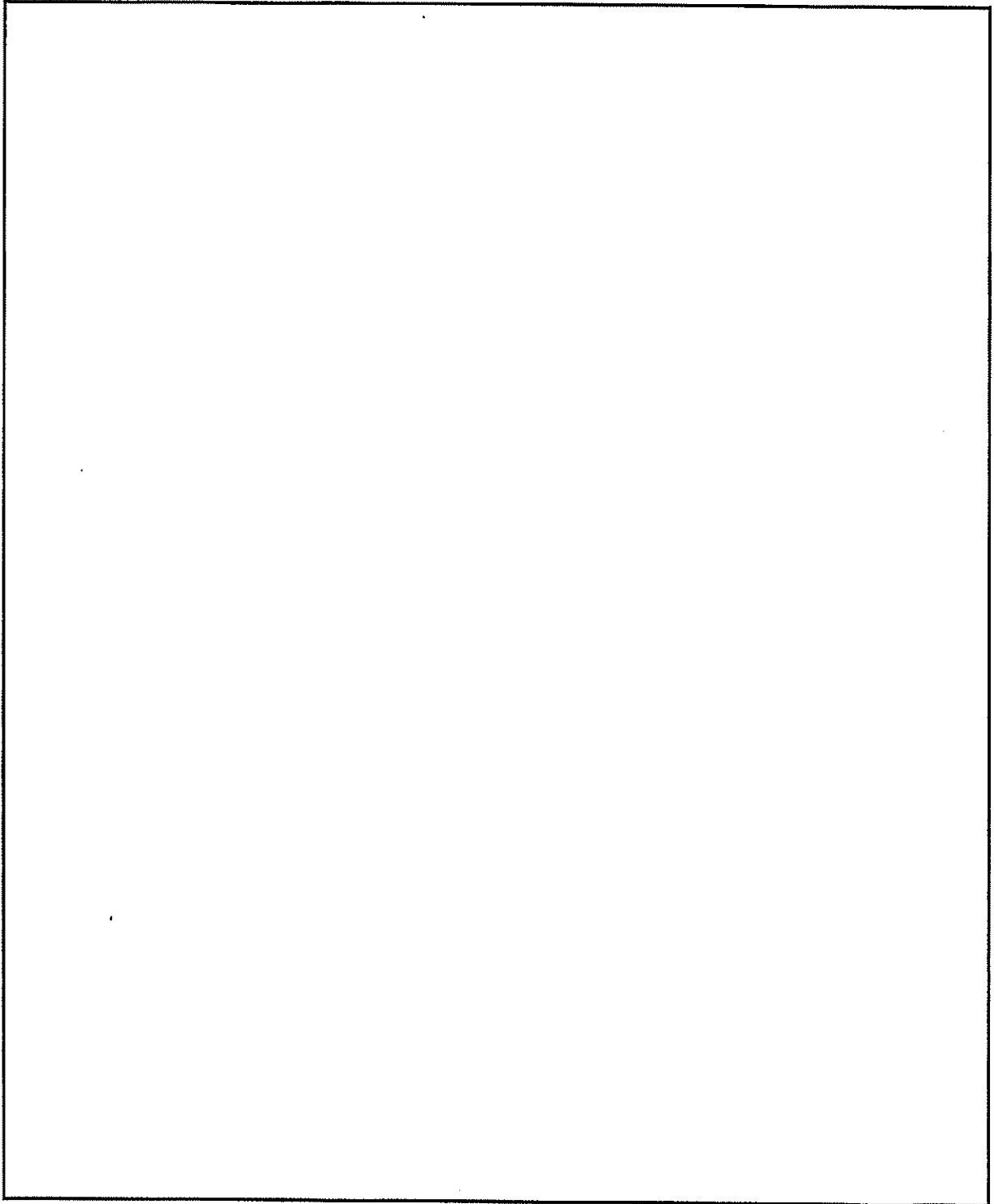
2-3-4-2 図 (2/2)  臨界実験体系 (1)



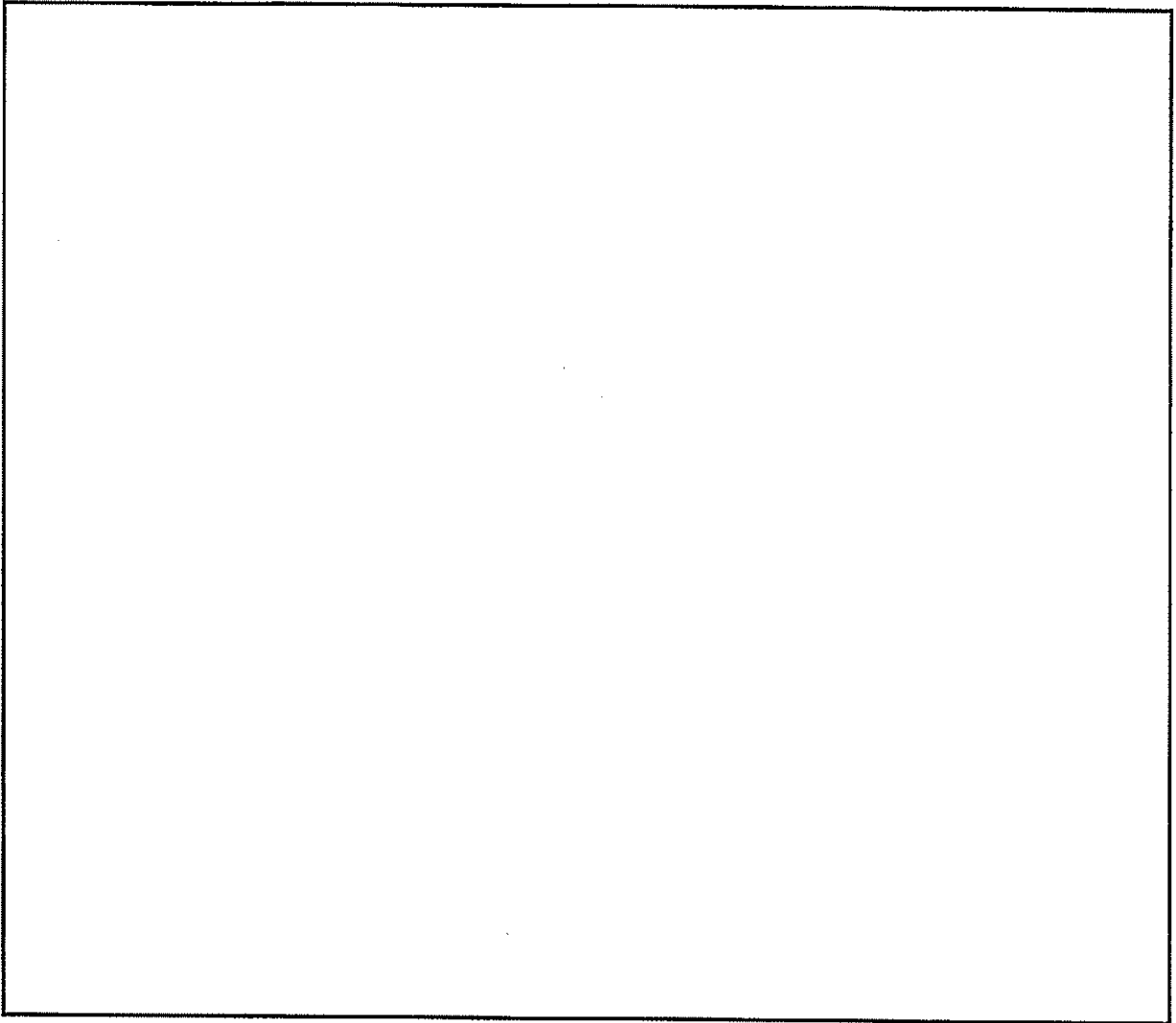
2-3-4-3 図  臨界実験体系 (2)



2-3-4-4 図  臨界実験体系 (1)



2-3-4-5 図  臨界実験体系 (2)



2-3-4-6 図 臨界実験体系

(参考文献)

- (1) B. T. Rearden and M. A. Jessee, Eds., “SCALE Code System” , ORNL/TM-2005/39, Version 6.2.1, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee (2016).
- (2) Organisation for Economic Co-operation and Development Nuclear Energy Agency, “International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments” , NEA/NSC/DOC(95)03, (2006).

2-3-5 水位変動による臨界解析への影響

1. はじめに

本資料は乾式キャスク内部の注排水作業時に想定される水位変動による臨界解析への影響について説明するものである。

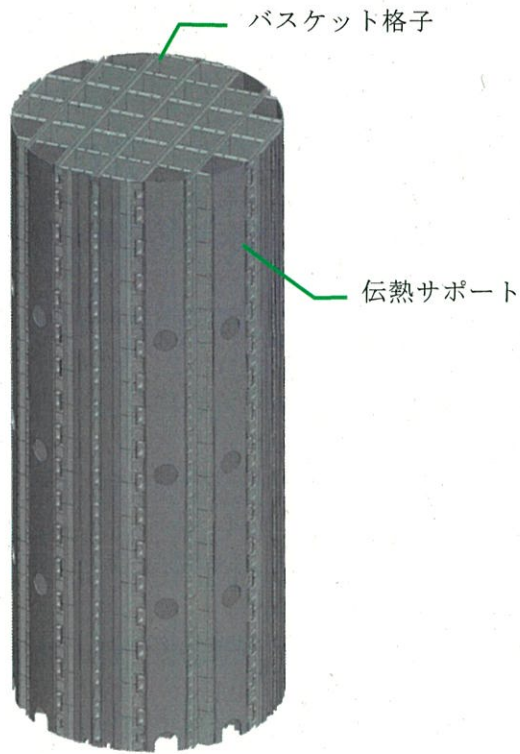
2. 水位変動時のバスケット内部の状態について

乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）のバスケットは、バスケット格子を菓子折り状に組み合わせることにより燃料集合体が収納されるセルを構成し、周辺部にキャスク本体への熱伝導を補助するため、伝熱サポートを設ける構造となっている。バスケットの構造図を 2-3-5-1 図に示す。

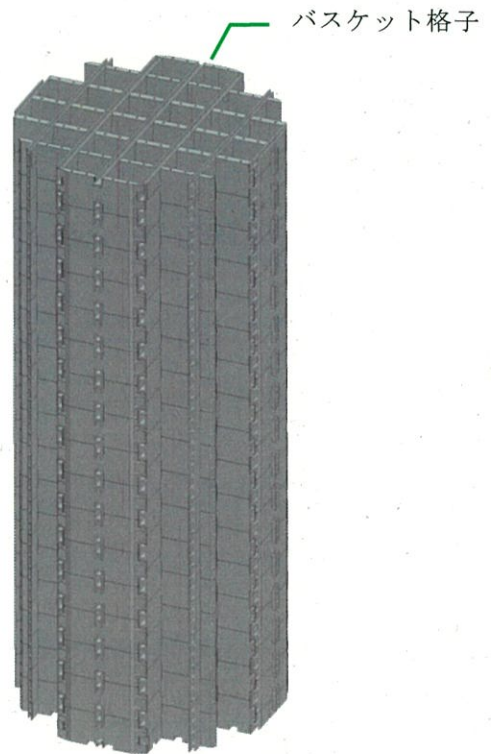
燃料集合体が収納されるバスケット格子内部及び伝熱サポートは、キャスク長手方向に空間が存在するため、注排水時に気層が局所的に留まることは無い。バスケット格子は、キャスクの長手方向に積層されるが、バスケット格子の中空構造部の水の出入りを行うために、バスケット格子の最上端から最下端まで通じた複数の通水孔が設けられており、バスケット格子の中空構造部に気層が残留しにくい構造としている。また、バスケット格子の板両端は開口しており、この部分からも水の流出入が可能な構造である。

燃料集合体を収納した状態での注排水作業は、一次蓋のドレンパイプを通じて約 1.8～2.5m³/hr 程度の非常に遅い速度で実施される。この速度では、バスケット格子 1 枚の高さ相当（約 240mm）の水位上昇（下降）には約 7～10 分を要することとなり、水位上昇（下降）速度は極めて緩慢である。

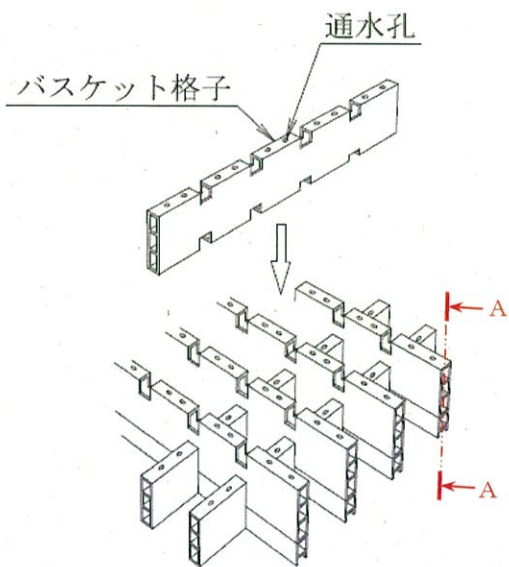
以上の通り、バスケット内外において水位差が出ないように設計上の配慮を行っていることから、バスケット内部において注水時における気層の残留または排水時における水層の残留は生じない。



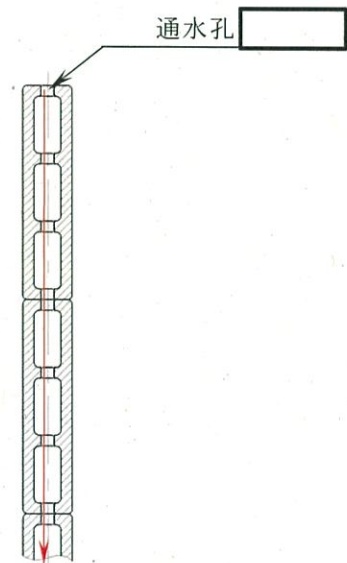
a. バスケット全体図



b. バスケット格子全体図



c. バスケット格子部分組立図

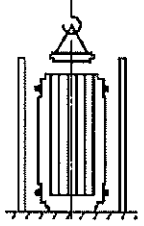
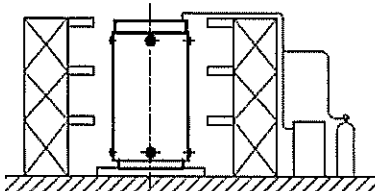
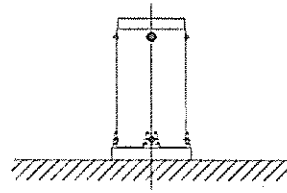


d. 通水孔詳細
(断面A-A)

2-3-5-1 図 バスケット構造 (乾式キャスク (タイプ2) の例)

3. 水位変動による臨界解析への影響について

乾式キャスク内部の水位変動に伴う実効増倍率の変化について 2-3-5-1 表に示す。水位の低下に伴い実効増倍率も低下することから、実効増倍率は冠水状態が最大である。

No.	取扱手順	実効増倍率評価結果 (3 σ 込み)
1	燃料装荷・一次蓋取付 	(冠水状態) 0.92
2	排水 真空乾燥 不活性ガス充填 	
3	貯蔵 	(乾燥状態) 0.39

2-3-5-1 表 水位変動における実効増倍率評価結果
 (乾式キャスク (タイプ 2) の例)

2-4 資料 13 に係る補足説明資料

伊方3号機（使用済燃料乾式貯蔵建屋）設計及び工事計画に係る説明資料
 （使用済燃料乾式貯蔵容器の安全性について）

■資料No. 2-4 資料13に係る補足説明資料

資料 No.	補足説明資料		備考 (該当添付資料)
	(名称)	(概要)	
2-4-1	除熱解析の詳細条件	除熱解析条件の詳細を示す。	資料13 使用済燃料貯蔵用容器の冷却能力に関する説明書
2-4-2	全体モデルに設定する径方向等価熱伝導率の算出について	径方向等価熱伝導率の算出方法を示す。	資料13 使用済燃料貯蔵用容器の冷却能力に関する説明書
2-4-3	キャスク底部熱逃げ量の算出について	キャスク全体モデルの底面に設定する熱逃げ量の算出方法を示す。	資料13 使用済燃料貯蔵用容器の冷却能力に関する説明書
2-4-4	塗装のふく射率の設定根拠について	塗装のふく射率の設定根拠を示す。	資料13 使用済燃料貯蔵用容器の冷却能力に関する説明書
2-4-5	ふく射形態係数の算出について	ふく射形態係数の算出方法を示す。	資料13 使用済燃料貯蔵用容器の冷却能力に関する説明書

2-4-1 除熱解析の詳細条件

1. はじめに

本資料は、「資料13 使用済燃料貯蔵用容器の冷却能力に関する説明書」における除熱解析の詳細条件について説明するものである。

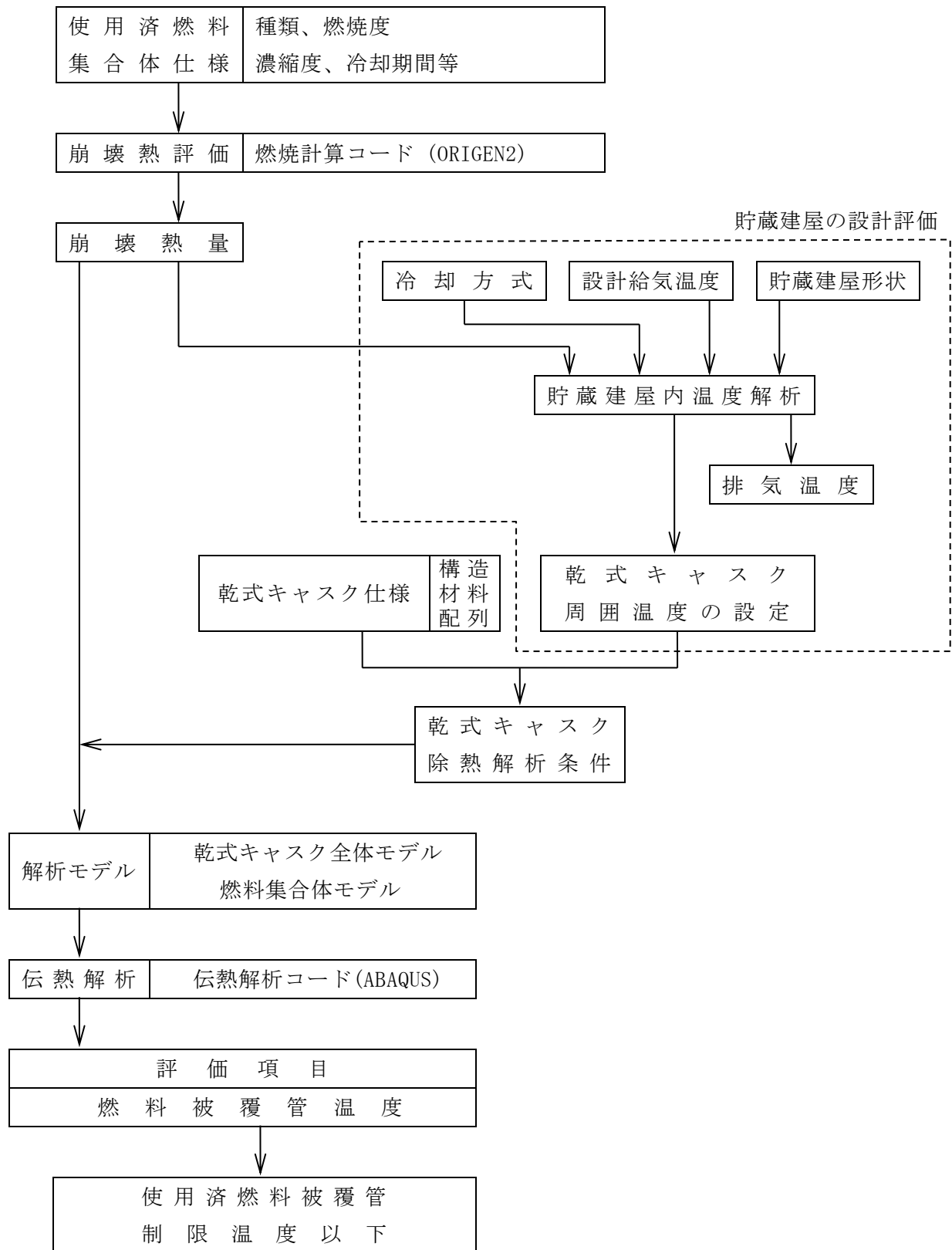
2. 除熱解析の全体フロー

乾式キャスク（タイプ1及びタイプ2）の除熱解析は、2-4-1-1図に示す除熱解析の全体フローに従って行う。

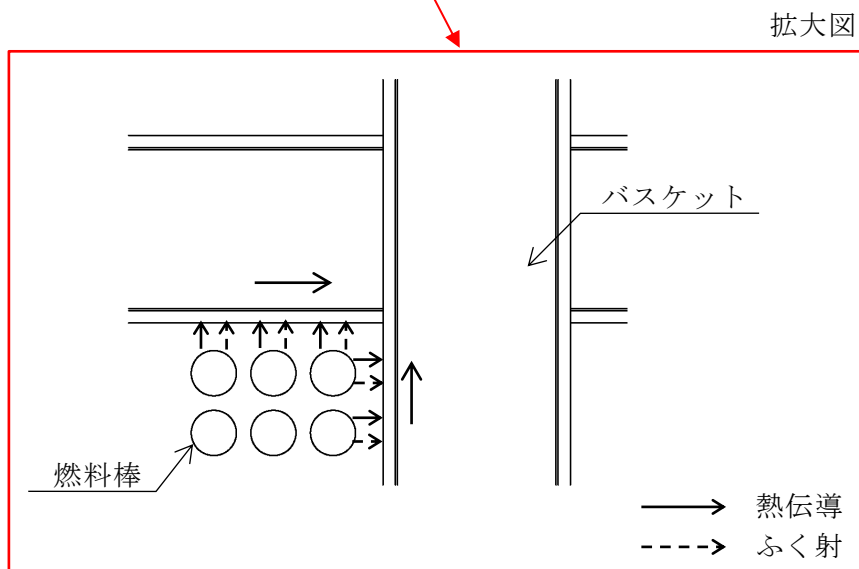
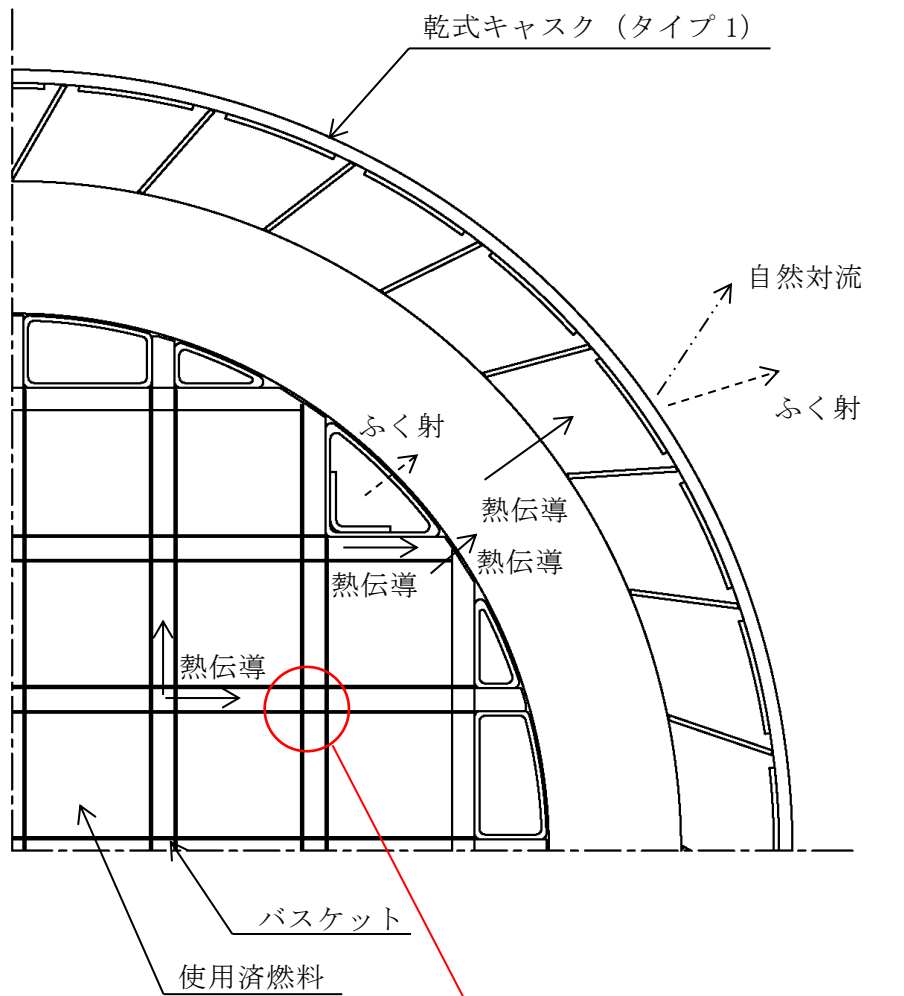
3. 伝熱形態について

乾式キャスク（タイプ1及びタイプ2）の伝熱形態を2-4-1-2図及び2-4-1-3図にそれぞれ示す。

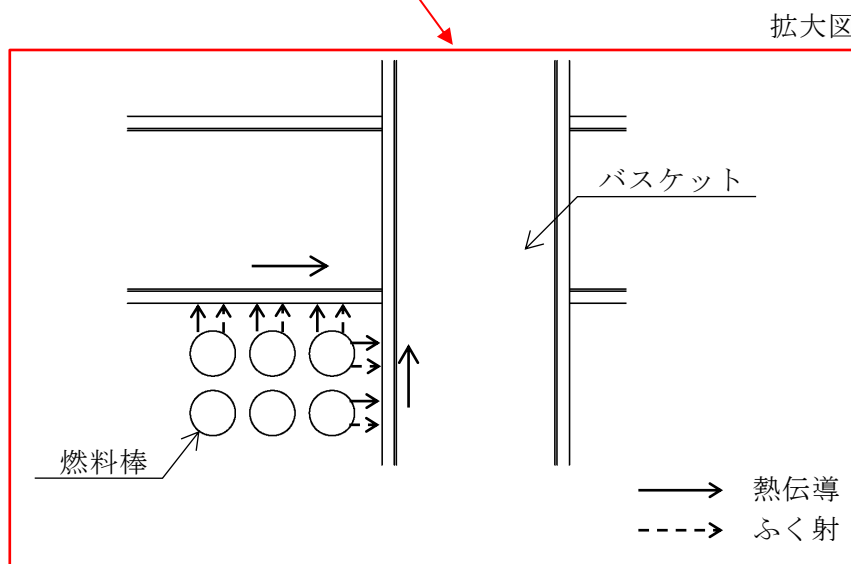
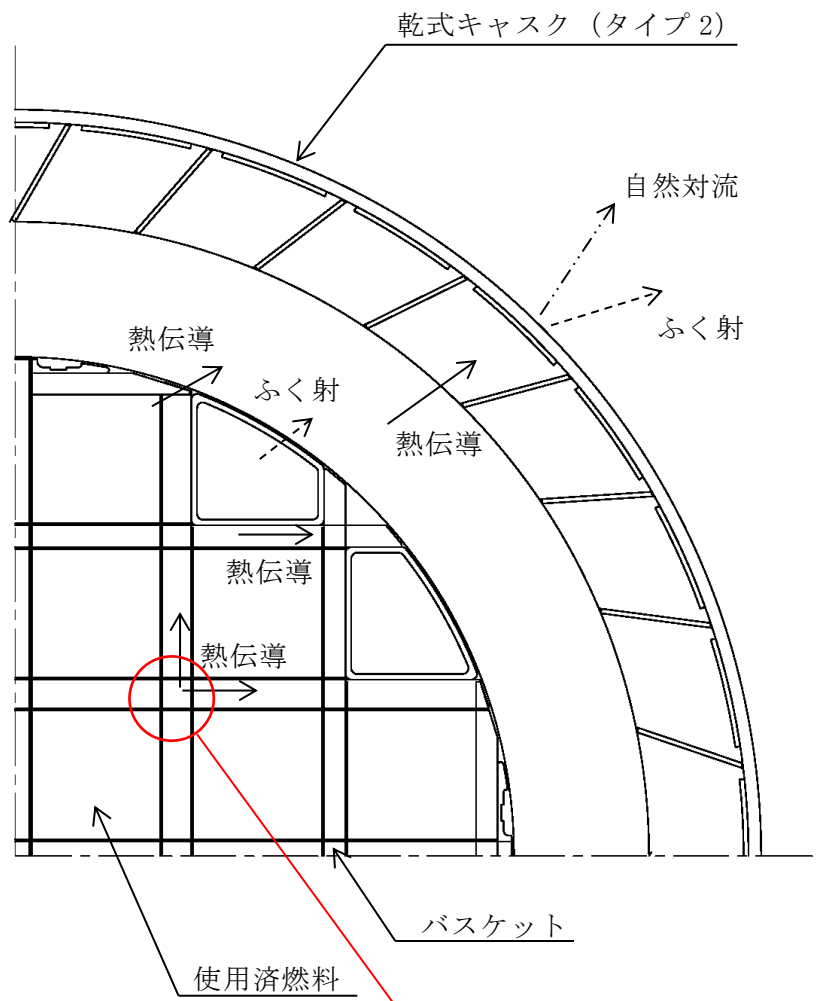
使用済燃料から発生した崩壊熱は、主に胴内に充填されたヘリウムガスの熱伝導とふく射によりバスケットに伝えられる。バスケットに伝えられた熱は、主に熱伝導によりバスケット外面に伝わり、ヘリウムガスの熱伝導とふく射により胴内面に伝えられる。続いて、胴内面に伝えられた熱は、熱伝導により胴外面に伝えられる。胴外面に伝えられた熱は、主に胴と外筒の間に設けられた銅製の伝熱フィンの熱伝導により外筒に伝えられる。外筒に伝えられた熱は、ふく射と空気の自然対流により大気に拡散される。



2-4-1-1 図 除熱解析の全体フロー図



2-4-1-2 図 乾式キャスク (タイプ 1) における伝熱形態図



2-4-1-3 図 乾式キャスク (タイプ 2) における伝熱形態図

4. 除熱解析条件

4.1 モデル化条件

除熱解析は、乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）の実形状を三次元で、使用済燃料集合体の実形状を径方向断面に二次元でモデル化し、有限要素法コード ABAQUS を用いて行う。使用した解析モデルは以下の 2 つのモデルである。

- ・乾式キャスク熱解析モデル

- ①三次元 180° 対称全体モデル（以下「全体モデル」という。）

- ・燃料被覆管熱解析モデル

- ②燃料集合体モデル

これら 2 つの解析モデルの入出力フローを 2-4-1-4 図に示す。また、各解析モデルの概要及び解析条件を以下に示す。さらに、ふく射率の詳細を 2-4-1-1 表に示す。

(1) 全体モデル

全体モデルでは、バスケット格子の内側の領域（以下「燃料集合体領域」という。）を燃料集合体構成部材（ジルカロイ、二酸化ウラン、ステンレス鋼、インコネル）及び充填気体（ヘリウム）の均質化領域としてモデル化する。燃料集合体領域の平均密度及び軸方向の平均熱伝導率は体積平均値とし、平均比熱は重量平均値とする。また、径方向の平均熱伝導率については、燃料有効部のみ燃料集合体モデルの解析結果を基に設定した等価熱伝導率とし、それ以外の領域においては体積平均値とする（資料 2-4-2 を参照）。

全体モデルの外部境界条件を 2-4-1-2 表に示す。周囲温度を 50℃、貯蔵建屋壁面温度を 65℃とし、周囲空気への自然対流熱伝達及び貯蔵建屋壁面へのふく射による放熱を考慮する。なお、乾式キャスク底面については、貯蔵架台への伝熱及び貯蔵架台からの放熱を考慮して算出した熱移動量を設定する（資料 2-4-3 を参照）。

(2) 燃料集合体モデル

燃料集合体モデルは、使用済燃料集合体の軸方向中央断面を二次元でモデル化したものであり、燃料棒の温度を評価するためのモデルである。

燃料棒には、二酸化ウラン、ヘリウムガス及びジルカロイの体積割合を考慮して均質化した物性値を設定する。

発熱条件には、PF^(注)最大領域の崩壊熱量となるように各燃料棒の発熱密度を設定する。また、境界条件には、全体モデルにおいて求められるバスケット内面の径方向温度分布を設定する。さらに、伝熱形態としては、径方向及び周方向の熱伝導及びふく射を考慮するものとし、軸方向への伝熱を無視し断熱とする。

(注) PF（ピーキングファクター）とは、使用済燃料集合体の軸方向燃焼度の平均値に対する燃焼度の比を包含する燃焼度分布を示す。

2-4-1-1 表 材料のふく射率の詳細

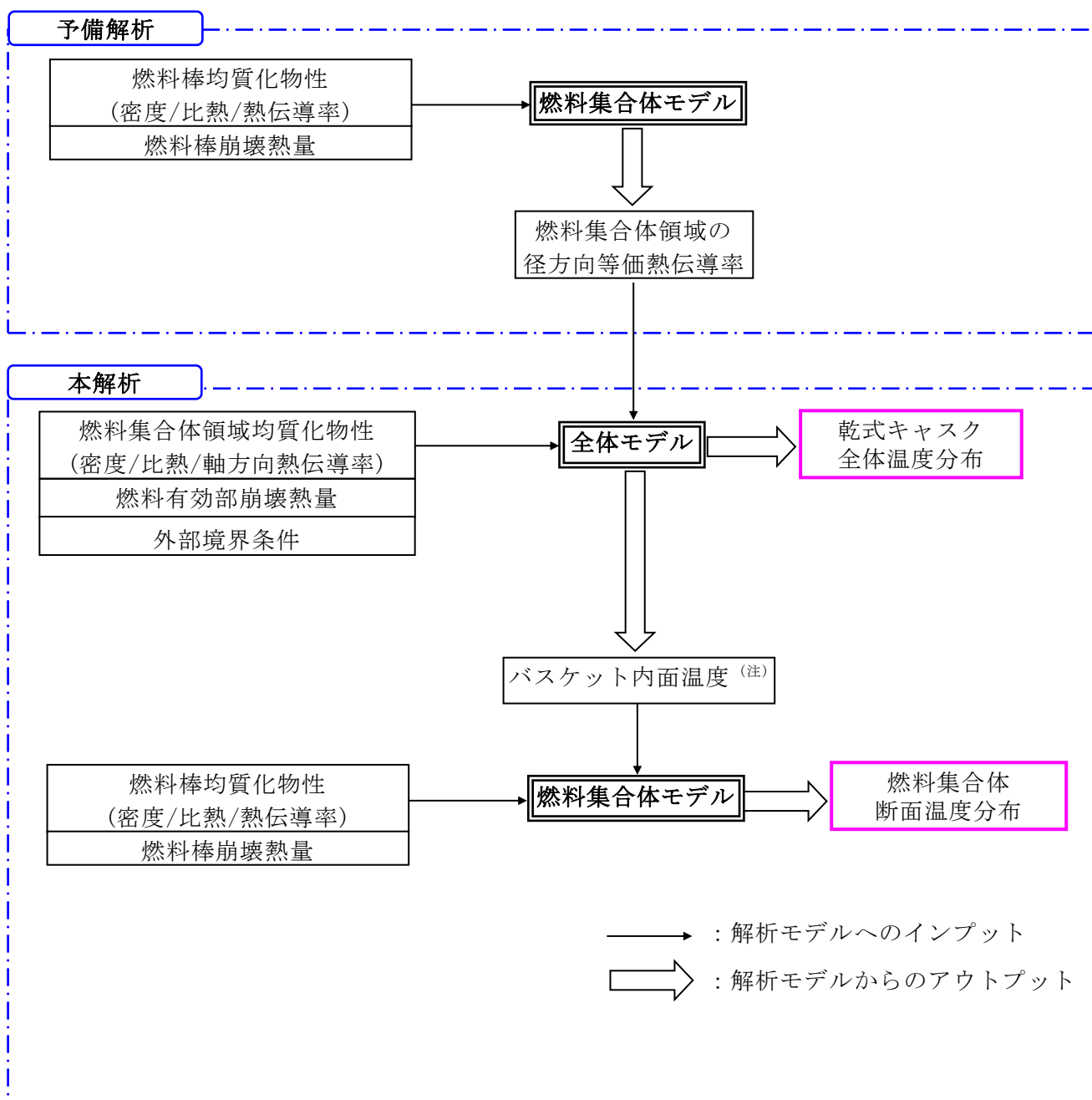
構成部材	材料	ふく射率
胴（内面）	アルミニウム（溶射面）	0.055 ⁽¹⁾
一次蓋 二次蓋	ニッケル（めっき面）	0.11 ⁽²⁾
バスケットプレート バスケットサポート	アルミニウム合金	0.055 ⁽¹⁾
中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金	0.2 ⁽²⁾⁽³⁾
外筒（外表面） 胴（外表面） 貯蔵建屋壁面	塗装	0.8 ^{(4)(注)}

(注) 塗装の設定根拠は資料 2-4-4 を参照。

2-4-1-2 表 全体モデルの外部境界条件

項目	境界条件
周囲温度	50℃
貯蔵建屋壁面温度	65℃
貯蔵建屋壁面ふく射率	0.8
乾式キャスク表面ふく射率	0.8
乾式キャスク表面から貯蔵建屋内壁面への形態係数	0.212 (注)
乾式キャスク表面熱伝達率 (側面、上面、下部端板)	資料 13 の第 2-5 表及び第 3-5 表による
底部熱移動	資料 2-4-3 による

(注) 乾式キャスク配列ピッチ寸法を保守的に 3.5m として算出した値。算出過程は資料 2-4-5 を参照。




(注) 燃料集合体モデルの境界条件として、容器モデルの最高温度をとるバスケットセル内面(中性子吸収材)の径方向温度分布を設定する。

2-4-1-4 図 除熱解析モデルの入出力フロー図

4.2 使用済燃料の崩壊熱量の設定

使用済燃料の崩壊熱量は、使用済燃料集合体の種類、燃焼度、初期濃縮度、冷却期間等を条件に燃焼計算コード ORIGEN2 を使用して求められる。

ここで、構成部材の温度評価に当たっては、使用済燃料集合体の燃焼度分布を考慮して、最大崩壊熱量（乾式キャスク（タイプ1）：14.8kW、乾式キャスク（タイプ2）：15.8kW）を上回る崩壊熱量（以下「設計崩壊熱量」という。）を設定する（乾式キャスク（タイプ1）：16.9kW、乾式キャスク（タイプ2）：18.1kW）。

乾式キャスク（タイプ1及びタイプ2）の軸方向崩壊熱量分布を 2-4-1-5 図及び 2-4-1-6 図にそれぞれ示す。これらの図は、燃料有効部を軸方向に  し、各領域（ノード）の崩壊熱量を軸方向の崩壊熱量分布として示すものである。また、乾式キャスク（タイプ1及びタイプ2）の設計崩壊熱量の設定方法を 10 頁及び 11 頁にそれぞれ示す。

乾式キャスク（タイプ 1）における設計崩壊熱量の設定方法は次式のとおりである。

$$\begin{aligned} \text{[設計崩壊熱量]} &= \text{[中央部}^{(注1)} \text{の燃料集合体（平均燃焼度}^{(注2)} \text{） 1 体当たりの崩壊熱量} \\ &\quad \text{（PF}^{(注3)} \text{ 考慮有り）}] \times 1.05^{(注4)} \times \text{[中央部の収納体数]} \\ &+ \text{[外周部}^{(注1)} \text{の燃料集合体（平均燃焼度}^{(注2)} \text{） 1 体当たりの崩壊熱量} \\ &\quad \text{（PF}^{(注3)} \text{ 考慮有り）}] \times 1.05^{(注4)} \times \text{[外周部の収納体数]} \end{aligned}$$

使用済燃料の崩壊熱量計算から、設計崩壊熱量は以下のとおり計算される。

$$\begin{aligned} \text{[設計崩壊熱量]} &= 0.6437 \text{ (kW/体)} \times 1.05 \times 16 \text{ (体)} + 0.3609 \text{ (kW/体)} \times 1.05 \times 16 \text{ (体)} \\ &= 16.9 \text{ (kW)} \end{aligned}$$

（注 1）乾式キャスク（タイプ 1）における中央部及び外周部の領域分けについては、資料 13 の第 2-5 図を参照のこと。

（注 2）乾式キャスク（タイプ 1）における平均燃焼度とは、中央部では、中央部に収納される使用済燃料集合体 16 体分の燃焼度の平均値を示す。また、外周部では、外周部に収納される使用済燃料集合体 16 体分の燃焼度の平均値を示す。

（注 3）PF（ピーキングファクター）とは、使用済燃料集合体の軸方向燃焼度の平均値に対する燃焼度の比を包含する燃焼度分布を示す。

（注 4）ORIGEN2 コードの計算結果に 5% の保守性を考慮する。

乾式キャスク（タイプ 2）における設計崩壊熱量の設定方法は次式のとおりである。

$$\begin{aligned} \text{[設計崩壊熱量]} &= \text{[燃料集合体（平均燃焼度}^{(注1)}\text{） 1 体当たりの崩壊熱量} \\ &\quad \text{（PF}^{(注2)}\text{ 考慮有り）}] \times 1.05^{(注3)} \times \text{[収納体数]} \end{aligned}$$

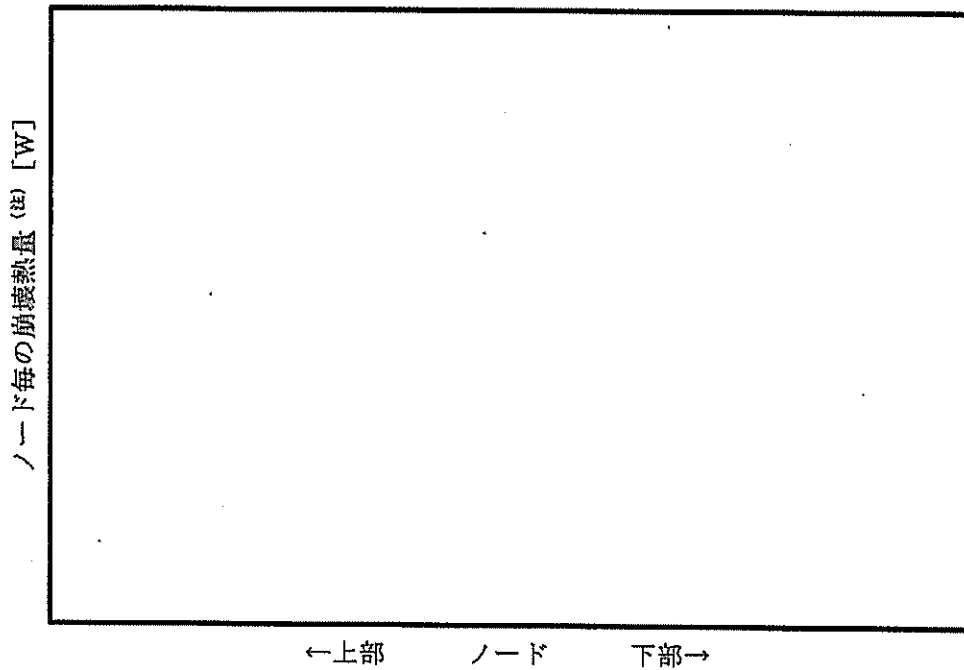
使用済燃料の崩壊熱量計算から、設計崩壊熱量は以下のとおり計算される。

$$\text{[設計崩壊熱量]} = 0.7181 \text{ (kW/体)} \times 1.05 \times 24 \text{ (体)} = 18.1 \text{ (kW)}$$

（注 1） 乾式キャスク（タイプ 2）における平均燃焼度とは、金属キャスク 1 基当たりに収納される使用済燃料集合体の燃焼度の平均値を示す。

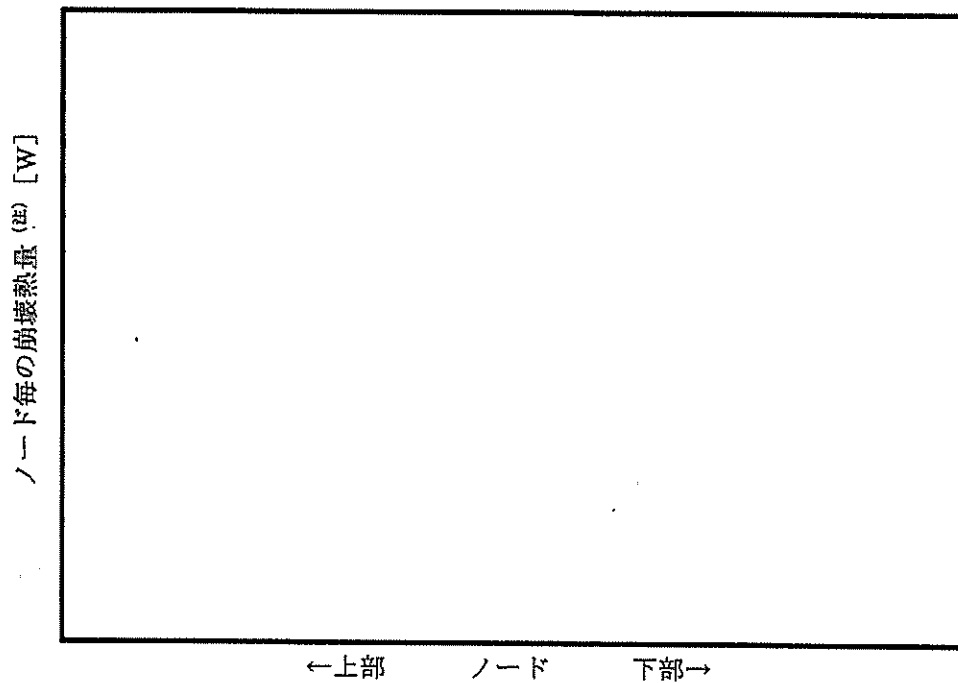
（注 2） PF（ピーキングファクター）とは、使用済燃料集合体の軸方向燃焼度の平均値に対する燃焼度の比を包含する燃焼度分布を示す。

（注 3） ORIGEN2 コードの計算結果に 5%の保守性を考慮する。



(注) 使用済燃料集合体 32 体分の崩壊熱量を示す。

2-4-1-5 図 乾式キャスク (タイプ 1) 使用済燃料集合体 (燃料有効部) の軸方向崩壊熱量分布



(注) 使用済燃料集合体 24 体分の崩壊熱量を示す。

2-4-1-6 図 乾式キャスク (タイプ 2) 使用済燃料集合体 (燃料有効部) の軸方向崩壊熱量分布

5. 引用文献

- (1) (一社)日本機械学会, 「伝熱工学資料 改訂第3版」, (1975).
- (2) J. R. Howell, R. Siegel, “Thermal Radiation Heat Transfer Fifth Edition”, Taylor & Francis Group, (2011).
- (3) 中性子吸収材メーカー資料
- (4) (一社)日本機械学会, 「伝熱工学資料 改訂第4版」, (1986).

2-4-2 全体モデルに設定する
径方向等価熱伝導率の算出について

1. はじめに

本資料は、「資料 13 使用済燃料貯蔵用容器の冷却能力に関する説明書」における乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）の径方向等価熱伝導率の算出方法を説明するものである。算出方法の詳細を 2 章に示す。

2. 算出方法

全体モデルの燃料集合体領域に設定する熱伝導率は、軸方向に体積割合を考慮して均質化した熱伝導率を設定しているのに対し、径方向は、燃料被覆管外面からバスケット内面までの熱伝導を正しく模擬するため、燃料集合体モデルによる予備解析結果と等価な熱伝導率を設定している。径方向等価熱伝導率の算出方法を以下に示す。また、参考として、乾式キャスク（タイプ 2）に収納する 17×17 燃料 48,000MWd/t 型における熱伝導率を 2-4-2-1 表に示す。

<径方向等価熱伝導率の算出方法>

全体モデルの燃料集合体領域に設定する径方向等価熱伝導率 λ_f は、燃料集合体モデルを用いたパラメータサーベイの結果から、円柱形状の内部発熱体の伝熱基礎式を正方形直角柱形状に当てはめた①式により求められる。

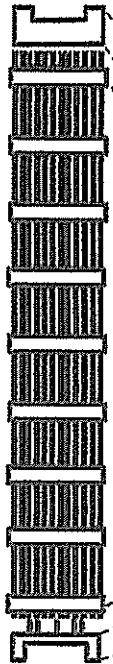
$$\lambda_f = \frac{qW^2}{K(T_1 - T_2)} \quad \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

ここで、

- λ_f : 径方向等価熱伝導率 (W/(m・K))
- q : 使用済燃料集合体の PF 最大領域における単位体積崩壊熱量 (W/m³)
- W : 燃料集合体領域外寸 (m)
- K : 係数 (-)
- T_1 : 燃料棒最高温度 (K)
- T_2 : バスケット格子又は中性子吸収材内面温度 (K)

燃料集合体モデルを用いて、 T_2 を 300K (26.85℃)、400K (126.85℃) 及び 600K (326.85℃) とした 3 ケースで T_1 を算定し、①式から温度依存性のある λ_f を設定する。

なお、各ケースで求められる λ_f の代表温度は T_1 と T_2 の平均値とし、内挿又は外挿により 300K (26.85℃)、400K (126.85℃) 及び 600K (326.85℃) における径方向等価熱伝導率を算出する。



2-4-2-1 表 全体モデルの燃料集合体領域における熱伝導率
 [乾式キャスク (タイプ2) の例]

領域	方向	熱伝導率 (W/mm·K)		
		26.85℃	126.85℃	326.85℃
上部ノズル部	軸方向及び 径方向共通	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>		
上部プレナム部				
燃料有効部	径方向			
	軸方向			
下部ギャップ部	軸方向及び 径方向共通			
下部ノズル部				

以上

2-4-3 キャスク底部熱逃げ量の算出について

1. はじめに

本資料は、「資料 13 使用済燃料貯蔵用容器の冷却能力に関する説明書」における乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）の全体モデルの底面に設定する熱逃げ量（以下、キャスク底部熱逃げ量という）の算出方法を説明するものである。算出方法の詳細を 2 章に示す。

2. キャスク底部熱逃げ量算出の詳細

キャスク底部熱逃げ量は、2-4-3-1 図に示す 2 ケースの伝熱経路において、3 章に示す参考文献[1]の式による算出値を下側に包絡した値を設定している。2 ケースの伝熱経路の詳細を以下に示す。また、伝熱経路①及び②における熱逃げ量を 2-4-3-1 表に示す。さらに、伝熱経路①及び②の熱逃げ量算出の詳細を 2.1 節及び 2.2 節にそれぞれ示す。

<伝熱経路①>

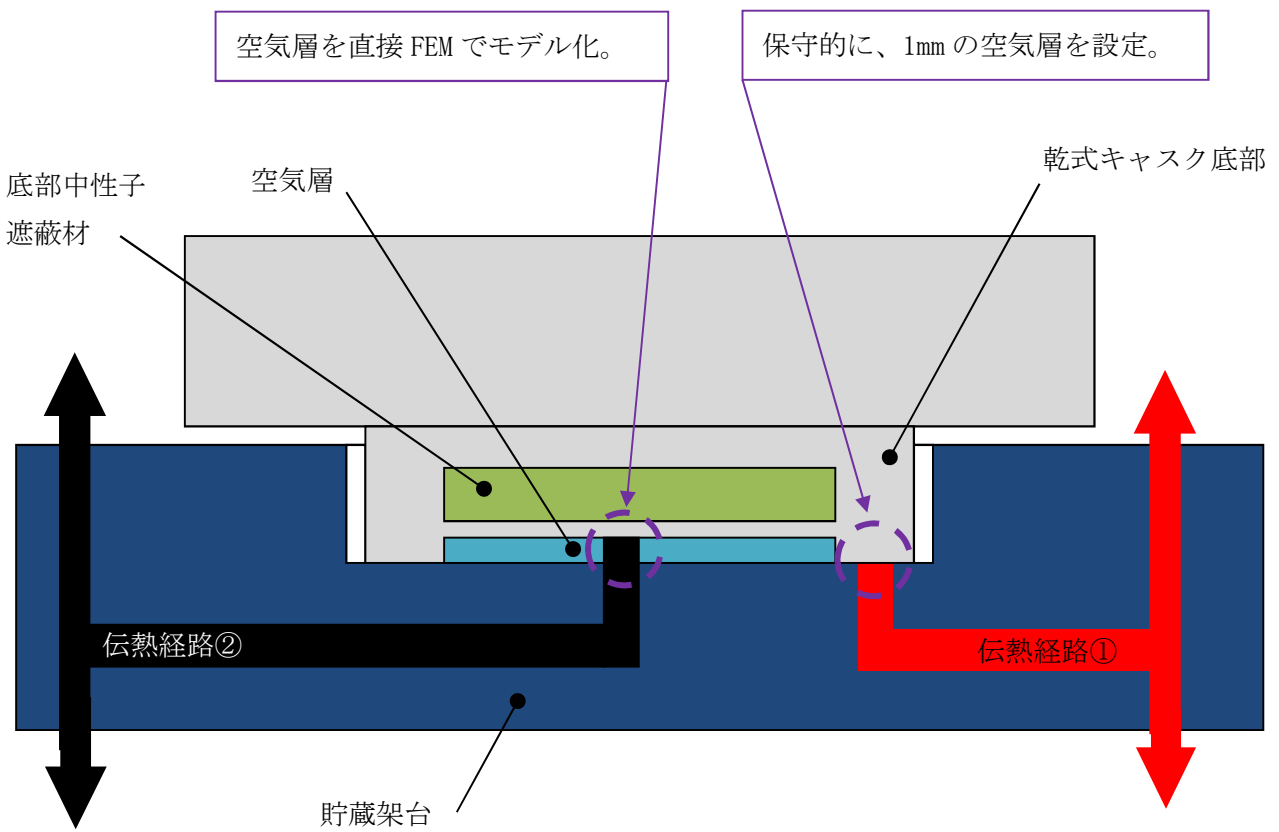
キャスク底部と貯蔵架台との接触面から熱が伝わり、貯蔵架台上下面から自然対流熱伝達により熱が大気中に逃げる経路である。なお、キャスク底部と貯蔵架台との接触面は、ほぼ完全接触に近いと考えられるが、保守的に厚さ 1mm の空気層があると仮定している。

<伝熱経路②>

底部中性子遮蔽材カバーから厚さ 10mm の空気層を介して貯蔵架台に熱が伝わり、伝熱経路①と同様に貯蔵架台上下面において自然対流熱伝達により熱が大気中に伝わる経路である。なお、三次元全体モデルにおいては、底部中性子遮蔽材カバーより下方の空気層がモデル化されており、空気層における伝熱は解析で直接解かれるため、計算では貯蔵架台の熱抵抗のみを考慮している。

2-4-3-1 表 伝熱経路①及び②における熱逃げ量

	伝熱経路①	伝熱経路②
熱逃げ量 (kW/mm ²)	4.0×10^{-7}	1.5×10^{-7}



2-4-3-1 図 キャスク底部熱逃げ量の算出向けに設定した伝熱経路について

2.1 伝熱経路①の熱逃げ量算出

伝熱経路①の熱逃げ量は、保守的に設定した厚さ 1mm の空気層と貯蔵架台の熱抵抗を直列に接続した経路として算出している。算出の詳細を以下に示す。

(1) 厚さ 1mm の空気層の熱抵抗算出

厚さ 1mm の空気層の熱抵抗は、以下の式で算出できる。

$$R_1 = \frac{\delta}{\lambda \times A} \cdot \cdot \cdot (a)$$

2-4-3-2 表に、(a)式の各記号の意味、入力値及び算出値を示す。

2-4-3-2 表 (a)式の各記号の意味、入力値及び算出値

記号	意味	数値		
		乾式キャスク (タイプ 1)	乾式キャスク (タイプ 2)	
入力値	δ	空気層の厚さ (mm)	1	
	λ	空気の熱伝導率 ^(注) (W/mm・K)	3.12×10 ⁻⁵	
	A	伝熱面積 (mm ²)	7.40×10 ⁵	8.25×10 ⁵
算出値	R_1	空気層の熱抵抗 (K/W)	4.34×10 ⁻²	3.89×10 ⁻²

(注)熱伝導率は温度に依存して変化し、空気の熱伝導率は温度が高い方が大きい。一方、熱逃げ量を考慮すると空気の温度は低下するため、評価が非保守側とならないように、熱逃げ量を考慮しても下回らない温度である 100℃の熱伝導率を設定している。

(2) 貯蔵架台の熱抵抗算出

貯蔵架台の熱抵抗は、以下の式で算出できる。

$$R_2 = \frac{1}{\sqrt{h \times P \times k \times A} \times \tanh(L \sqrt{hP/kA})} \cdot \cdot \cdot (b)$$

2-4-3-3 表に、(b)式の各記号の意味、入力値及び算出値を示す。

2-4-3-3 表 (b)式の各記号の意味、入力値及び算出値

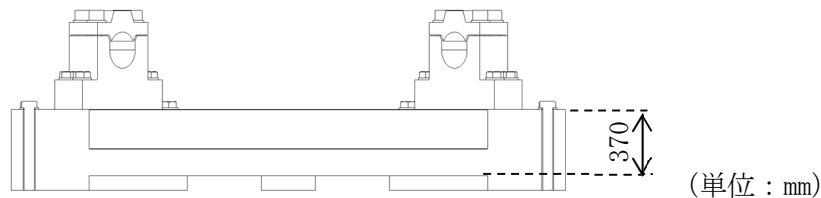
記号	意味	数値		
		乾式キャスク (タイプ 1)	乾式キャスク (タイプ 2)	
入力値	h	上向き水平平板の自然対流熱伝達率 ^(注1) (W/(mm ² ・K))		
	P	乾式キャスク底部の周長 ^(注2) (mm)		
	k	貯蔵架台(炭素鋼)の熱伝導率 ^(注3) (W/mm・K)		
	A	乾式キャスク底部の周長に貯蔵架台板厚 (370mm) ^(注4) を乗じて算出した面積(mm ²)		
	L	2-4-3-2 図に示すリングの幅 ^(注5) (mm)		
算出値	R ₂	貯蔵架台の熱抵抗 (K/W)		
		4.86×10 ⁻⁶	6961.8	6898.9
		0.04	2.57×10 ⁶	2.55×10 ⁶
		334	334	334
		8.96×10 ⁻²	9.04×10 ⁻²	

(注1) 評価が保守側となるように、乾式キャスク底部温度 100℃、周囲温度 50℃で算出した値である。

(注2) 本周長は、検討時に計画されていたキャスク底部の面取り寸法 (C5) を除いた外径で算出している。

(注3) 伝熱工学資料第4版における炭素鋼 (S35C) の値を基に、100℃の熱伝導率を保守的に下側に丸めた値である。なお、乾式キャスクから熱が伝わることで温度が上昇すると考えられるため、貯蔵架台の温度を保守的にキャスク底部温度と同じ 100℃としている。

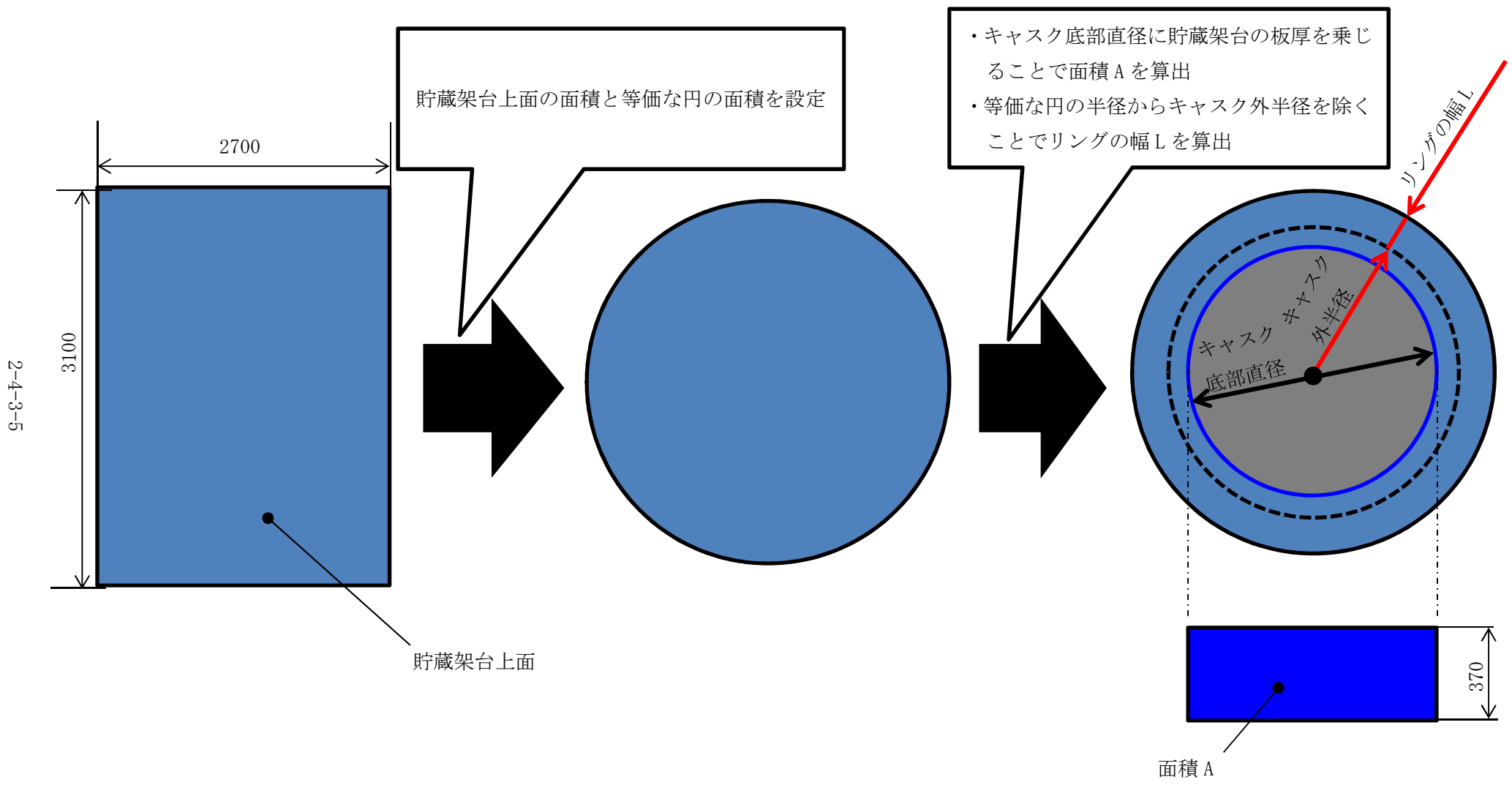
(注4) 以下の図に示す寸法である。



(注5) リングの幅は、2-4-3-2 図に示すように、貯蔵架台上面と面積が等価となる円の半径を算出した後、その縁の半径からキャスク外半径を除くことで算出する。以下に算出式を示す。

$$\text{貯蔵架台上面と面積が等価な円の半径} = \sqrt{\frac{\text{貯蔵架台長手寸法}(3100) \times \text{短手寸法}(2700)}{\pi}}$$

$$\text{リングの幅} = \text{貯蔵架台上面と面積が等価な円の半径} - \text{キャスク外半径}$$



2-4-3-2 図 面積 A 及びリングの幅 L の算出方法について

(3) 熱逃げ量算出

熱逃げ量は以下の(c)式で算出する。また、熱解析モデルには単位体積あたりの熱逃げ量を入力する。単位体積あたりの熱逃げ量は、(c)式の算出値を面積で割ることで算出した。乾式キャスク（タイプ1及びタイプ2）におけるリングの面積（熱逃げ量入力箇所）の面積、熱逃げ量、単位体積あたりの熱逃げ量（熱逃げ量を面積で割った値）、及び各キャスクの算出値を下側に包絡した入力値を2-4-3-4表に示す。

$$\text{熱逃げ量(kW)} = \frac{1}{R_1 + R_2} \times \Delta T \times \frac{1}{1000} \dots (c)$$

$$\Delta T = (\text{キャスク底面温度} - \text{周囲流体温度}) = (100 - 50) = 50 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

2-4-3-4 表 熱逃げ量の算出結果及び入力値の設定結果

項目	乾式キャスク (タイプ1)	乾式キャスク (タイプ2)	3D 熱解析モデル への入力値
2-4-3-2 図に示すリングの面積(mm ²)	7.40 × 10 ⁵	8.25 × 10 ⁵	—
熱逃げ量(kW)	0.375	0.386	—
単位面積あたりの熱逃げ量(kW/mm ²)	5.06 × 10 ⁻⁷	4.67 × 10 ⁻⁷	4.00 × 10 ⁻⁷

2.2 伝熱経路②の熱逃げ量算出

伝熱経路②の熱逃げ量は、10mmの空気層が解析モデルに直接的にモデル化されていることを踏まえ、空気層の熱抵抗は考慮せず、貯蔵架台の熱抵抗のみから算出した。以下に、算出の詳細を示す。

(1) 貯蔵架台の熱抵抗算出

貯蔵架台の熱抵抗は、以下の(d)式で算出できる。

$$R_1 = \frac{1}{\sqrt{h \times P \times k \times A} \times \tanh(L \sqrt{hP/kA})} \dots (d)$$

2-4-3-5表に、(d)式の各記号の意味、入力値及び算出値を示す。

2-4-3-5 表 (d)式の各記号の意味、入力値及び算出値

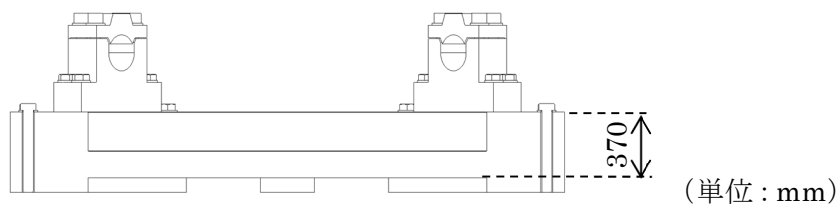
記号	意味	数値		
		乾式キャスク (タイプ 1)	乾式キャスク (タイプ 2)	
入力値	h	上向き水平平板の自然対流熱伝達率 ^(注1) (W/(mm ² ・K))		
	P	キャスク底部の周長 ^(注2) (mm)		
	k	貯蔵架台(炭素鋼)の熱伝導率 ^(注3) (W/mm・K)		
	A	乾式キャスク底部の周長に貯蔵架台板厚 (370mm) ^(注4) を乗じて算出した面積(mm ²)	2.57×10 ⁶	2.55×10 ⁶
	L	2-4-3-2 図に示すリングの幅 ^(注5) (mm)	334	334
算出値	R ₁	貯蔵架台の熱抵抗 (K/W)	8.96×10 ⁻²	9.04×10 ⁻²

(注1) 評価が保守側となるように、乾式キャスク底部温度 100℃、周囲温度 50℃で算出した値である。

(注2) 本周長は、検討時に計画されていたキャスク底部の面取り寸法 (C5) を除いた外径で算出している。

(注3) 伝熱工学資料第4版における炭素鋼 (S35C) の値を基に、100℃の熱伝導率を保守的に下側に丸めた値である。なお、乾式キャスクから熱が伝わることで温度が上昇すると考えられるため、貯蔵架台の温度を保守的にキャスク底部温度と同じ 100℃としている。

(注4) 以下の図に示す寸法である。



(注5) リングの幅は、2-4-3-2 図に示すように、貯蔵架台上面と面積が等価となる円の半径を算出した後、その縁の半径からキャスク外半径を除くことで算出する。以下に算出式を示す。

$$\text{貯蔵架台上面と面積が等価な円の半径} = \sqrt{\frac{\text{貯蔵架台長手寸法}(3100) \times \text{短手寸法}(2700)}{\pi}}$$

$$\text{リングの幅} = \text{貯蔵架台上面と面積が等価な円の半径} - \text{キャスク外半径}$$

(2) 熱逃げ量算出

熱逃げ量は以下の(e)式で算出する。また、熱解析モデルには単位面積あたりの熱逃げ量を入力する。単位面積あたりの熱逃げ量の算出値は、(e)式の算出値を面積で割ることで算出し、三次元全体モデルの入力値は、単位体積あたりの熱逃げ量の算出値を下側に包絡する値を設定している。2-4-3-6表に、乾式キャスク(タイプ1及びタイプ2)における算出値と三次元全体モデルの入力値を示す。

$$\text{熱逃げ量(kW)} = \frac{1}{R_1} \times \Delta T \times \frac{1}{1000} \cdots (e)$$

$$\Delta T = (\text{乾式キャスク底面温度} - \text{周囲流体温度}) = (100 - 50) = 50 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

2-4-3-6表 熱逃げ量の算出結果及び入力値の設定結果

項目	乾式キャスク (タイプ1)	乾式キャスク (タイプ2)	三次元全体モデル の入力値
乾式キャスク底部 中央の面積(mm ²)	3.12×10 ⁶	2.96×10 ⁶	—
熱逃げ量(kW)	0.558	0.553	—
単位面積あたりの 熱逃げ量(kW/mm ²)	1.78×10 ⁻⁷	1.86×10 ⁻⁷	1.50×10 ⁻⁷

3. 参考文献

[1] J. P. ホールマン, 「伝熱工学<上>」, (1993).

以上

2-4-4 塗装のふく射率の設定根拠について

1. はじめに

本資料は、「資料 13 使用済燃料貯蔵用容器の冷却能力に関する説明書」において使用している塗装のふく射率の設定根拠を説明するものである。詳細を 2 章に示す。

2. 塗装のふく射率の設定根拠

塗装に適用したふく射率 0.8 は、「(一社)日本機械学会、『伝熱工学資料 改訂第 4 版』, (1986).」に示された塗料のふく射率 0.7~0.9 の最大と最小の平均値である。なお、設定の妥当性を以下に示す。

<塗装にふく射率 0.8 を設定したことの妥当性>

塗装のふく射率 0.8 が設定されている構成部材は、外筒（外面）及び胴（外面）である。これらの構成部材のふく射率に係る文献値、解析入力値及び実測値を 2-4-4-1 表に示す。なお、実測値は乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）の表面に塗装予定である [] の値である。

ふく射率 0.8 は実測値（0.93）より小さいことから、乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）の内部の温度がより高く評価される。したがって、設定は妥当である。

2-4-4-1 表 材料のふく射率

構成部材	仕様	ふく射率		
		文献値	解析入力値	実測値
外筒（外面） 胴（外面）	塗装	0.7~0.9 (注 1)	0.8	0.93 (注 2)
貯蔵建屋壁面				

(注 1) 「(一社)日本機械学会、『伝熱工学資料 改訂第 4 版』, (1986).」に示される塗料のふく射率の最大と最小の値。

(注 2) 乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）の表面に塗装予定である [] の実測値。

(注 3) 「(一社)日本機械学会、『伝熱工学資料 改訂第 4 版』, (1986).」に示される値。

以上

2-4-5 ふく射形態係数の算出について

1. はじめに

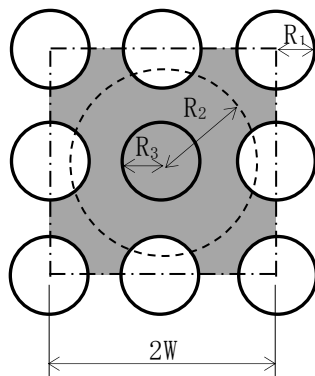
本資料は、「資料 13 使用済燃料貯蔵用容器の冷却能力に関する説明書」における乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）の全体モデルに設定しているふく射形態係数の算出方法を説明するものである。

2. ふく射形態係数の算出方法

乾式キャスク表面から貯蔵建屋内壁面へのふく射形態係数は、乾式キャスク側面から貯蔵建屋の天井及び床面へのふく射形態係数として求める。以下に、このふく射形態係数の算出方法を示す。

初めに、2-4-5-1 図の乾式キャスクの貯蔵配置に示すように、中心に配置された対象の乾式キャスク（以下「対象キャスク」という。）の周囲の乾式キャスク（以下「周囲キャスク」という。）で囲まれた空間（一辺が $2W$ の正方形の空間）のうち、周囲キャスクを除く面積（2-4-5-1 図の灰色のエリア）の等価断面半径 R_2 を①式で求める。

$$R_2 = \sqrt{4W^2 / \pi - 3 \times R_1^2} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$



R_1	: 周囲キャスクの半径 (注1)
R_2	: 等価断面半径
R_3	: 対象キャスクの半径
W	: 周囲キャスクとの間隔 (3.5m) (注2)

(注 1) 保守的に、対象キャスクの半径よりも大きい 1.35m を設定。

(注 2) 伊方発電所の乾式貯蔵施設におけるキャスクピッチは 3.8m であるが、保守的に 3.5m に設定。

2-4-5-1 図 乾式キャスクの貯蔵配置

次に、乾式キャスク表面から貯蔵建屋内壁面へのふく射形態係数は、引用文献[1]の付属書 AT に基づき、円環フィン形状の形態係数を求める式を用いて算出する。算出式及び各ふく射面の定義をそれぞれ②式から⑤式及び 2-4-5-2 図に示す。ここで、周囲キャスクの高さを L とし、 b に R_3 を、 a に R_2 を、 c に L を代入して、2 面より 3 面への形態係数 F_{23} を求める。形態係数の算出条件及び結果を 2-4-5-1 表に示す。

以上から、乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）表面から貯蔵建屋内壁面へのふく射形態係数は、2-4-5-1 表の 2 面から 3 面への形態係数 F_{23} (0.212) となる。

$$\left\{ \begin{array}{l} A_n \cdot F_{nk} = A_k \cdot F_{kn} \\ \sum_n F_{kn} = 1.0 \end{array} \right. \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

n=1, 2, 3, ...M

ここで、

A_n : n 面の面積 (m²)

F_{kn} : k 面より n 面への形態係数 (-)

$$F_{12} = \frac{1}{X} - \frac{1}{\pi X} \left[\cos^{-1} \frac{B}{A} - \frac{1}{2Y} \left\{ \sqrt{(A+2)^2 - (2X)^2} \cos^{-1} \left[\frac{B}{XA} \right] + B \sin^{-1} \left[\frac{1}{X} \right] - \frac{\pi A}{2} \right\} \right] \dots \textcircled{3}$$

$$F_{11} = 1 - \frac{1}{X} + \frac{2}{\pi X} \tan^{-1} \left[\frac{2\sqrt{X^2-1}}{Y} \right] - \frac{Y}{2\pi X} \left[\frac{\sqrt{4X^2+Y^2}}{Y} \sin^{-1} \left\{ \frac{4(X^2-1) + (Y^2/X^2)(X^2-2)}{Y^2 + 4(X^2-1)} \right\} - \sin^{-1} \left[\frac{X^2-2}{X^2} \right] + \frac{\pi}{2} \left[\frac{\sqrt{4X^2+Y^2}}{Y} - 1 \right] \right] \dots \textcircled{4}$$

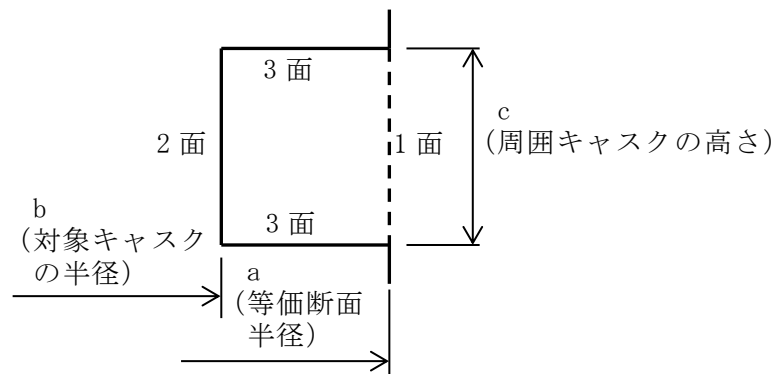
$$F_{13} = 1 - F_{12} - F_{11} \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

ここに、 $X = a/b$

$Y = c/b$

$A = X^2 + Y^2 - 1$

$B = Y^2 - X^2 + 1$



2-4-5-2 図 各ふく射面の定義

2-4-5-1 表 形態係数の算出条件及び結果

算出条件	形状 (m)	R ₁	1.35
		a (R ₂)	3.183
		b (R ₃)	1.298
		c (L)	6
		W	3.5
	面積 (m ²)	A ₁	119.99
		A ₂	48.93
		A ₃	53.06
	算出結果	2面の形態係数 (-)	F ₂₃

3. 引用文献

- [1] 日本原子力学会標準「使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物 輸送容器の安全設計及び検査基準:2013」, (2014).

2-5 資料 14 に係る補足説明資料

伊方3号機（使用済燃料乾式貯蔵建屋）設計及び工事計画に係る説明資料
 （使用済燃料乾式貯蔵容器の安全性について）

■資料No. 2-5 資料14に係る補足説明資料

資料 No.	補足説明資料		備考 (該当添付資料)
	(名称)	(概要)	
2-5-1	遮蔽解析詳細条件	遮蔽解析条件の詳細を示す。	資料14 使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書
2-5-2	遮蔽解析詳細結果	遮蔽解析結果の詳細を示す。	資料14 使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書
2-5-3	燃焼計算コードORIGEN2を用いることの妥当性	燃焼計算コードORIGEN2を用いることの妥当性を示す。	資料14 使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書
2-5-4	二次元輸送計算コードDOT3.5を用いることの妥当性	二次元輸送計算コードDOT3.5を用いることの妥当性を示す。	資料14 使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書
2-5-5	JENDL-3.3に基づく断面積ライブラリを適用することの妥当性	JENDL-3.3に基づく断面積ライブラリを適用することの妥当性を示す。	資料14 使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書
2-5-6	トラニオン部の線束接続計算の妥当性	本体モデルからトラニオン部モデルへの線束接続計算の妥当性を示す。	資料14 使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

2-5-7	中性子実効増倍率の設定について	線源強度評価に用いる中性子実効増倍率の設定方法を示す。	資料14 使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書
2-5-8	中性子源スペクトルを ²³⁹ Puの核分裂スペクトルで代表させる設定の妥当性	中性子源スペクトルを ²³⁹ Puの核分裂スペクトルで代表させる設定の妥当性を示す。	資料14 使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書
2-5-9	三次元解析による二次元解析モデル設定の妥当性確認	三次元解析による二次元解析モデル設定の妥当性を示す。	資料14 使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書
2-5-10	一次蓋のドレン・ベントバルブ及び二次蓋のモニタリングポートの影響	一次蓋のドレン・ベントバルブ及び二次蓋のモニタリングポートの影響を示す。	資料14 使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書
2-5-11	異なる燃料型式収納時の線量当量率評価	異なる燃料型式収納時の線量当量率評価を示す。	資料14 使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

2-5-1 遮蔽解析詳細条件

本資料は資料 14「使用済燃料貯蔵容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書」に関する説明書において使用する、遮蔽解析条件の詳細について説明するものである。

1. 使用済燃料集合体の放射線源強度について

使用済燃料集合体の放射線源強度（以下、「線源強度」という。）は、「燃料有効部からのガンマ線及び中性子」、「使用済燃料集合体構造材及びバーナブルポイズン集合体からの放射化ガンマ線」に分けて計算する。

使用済燃料集合体の線源強度計算方法及び条件を 2-5-1-1 表から 2-5-1-3 表に示す。また、2-5-1-4 表に燃料集合体の種類と型式毎の線源強度を示す。

2-5-1-4 表より、乾式キャスク（タイプ 1）については構造材放射化ガンマ線源強度が高い（燃料有効部からのガンマ線及び中性子源強度は A 型と B 型で同値）14×14 燃料（B 型）を収納した場合を対象として、乾式キャスク（タイプ 2）については燃料有効部ガンマ線源強度及び燃料有効部中性子源強度が高い 17×17 燃料 48,000MWd/t 型（A 型）を収納した場合を対象として、2-5-1-1 図に示す使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納位置を考慮して遮蔽解析を実施した。

上記の燃料に対する燃料有効部のエネルギーごとのガンマ線源強度及び中性子源スペクトルを 2-5-1-5 表及び 2-5-1-6 表に示す。

2-5-1-1 表 使用済燃料集合体及びバーナブルポイズン集合体の線源強度計算方法及び条件

項目	計算方法	計算条件
燃料有効部からのガンマ線及び中性子	<p>燃焼計算コード ORIGEN2.2UPJ を用い、ガンマ線及び中性子源強度を計算。使用済燃料集合体の軸方向燃焼度分布（以下「ピーキングファクター」という。）を考慮。また、中性子については実効増倍率を考慮。</p>	<p>燃料条件：2-5-1-2 表参照（乾式キャスク（タイプ1）） 2-5-1-3 表参照（乾式キャスク（タイプ2））</p> <p>解析コード：ORIGEN2.2UPJ（資料2-5-3 参照）</p> <p>ライブラリ：PWRU50 ライブラリ（48,000MWd/t 型） PWRU ライブラリ（39,000MWd/t 型）</p> <p>ピーキングファクター：2-5-1-2 図参照</p> <p>実効増倍率：0.30（資料2-5-7 参照）</p>
使用済燃料集合体構造材及びバーナブルポイズン集合体からの放射化ガンマ線	<p>使用済燃料集合体構造材及びバーナブルポイズン集合体の⁵⁹Co含有量に従い、放射化計算式に基づき⁵⁹Coから⁶⁰Coへの放射化量を計算。</p>	<p>放射化計算式</p> $A = N_0 \sigma \phi \{1 - \exp(-\lambda T_1)\} \times \exp(-\lambda T_2)$ <p>A：放射化核種（⁶⁰Co）の放射能（Bq）</p> <p>N₀：ターゲット核種（⁵⁹Co）の個数（atoms）</p> <p>σ：2200m/s の中性子による⁵⁹Coの（n, γ）反応断面積（cm²）</p> <p>φ：炉内照射熱中性子束（n/(cm²・s)）</p> <p>λ：⁶⁰Coの崩壊定数（3.6001×10⁻⁴/日）</p> <p>T₁：照射日数（日）（2-5-1-3 表参照）</p> <p>T₂：冷却日数（日）（2-5-1-3 表参照）</p>

2-5-1-2 表 使用済燃料集合体の線源強度計算条件
(乾式キャスク (タイプ 1))

項 目		14×14 燃料 48,000MWd/t 型		14×14 燃料 39,000MWd/t 型	
		A 型	B 型	A 型	B 型
燃焼度 (MWd/t)	中央部	48,000		39,000	
	外周部	—			
平均比出力 (MW/t) (注 1)		34.0			
照射 日数 (日)	使用済燃料 集合体	中央部			
		外周部			
初期濃縮度 (%) (注 2)					
冷却日数 (日)		5,479		9,131	
ウラン重量 (kg/体)					
(上部)					
ピーキングファクター (注 3)					
(下部)					

(注 1) 比出力は定格出力に相当する炉平均値を用いた。

(注 2) 初期濃縮度は最低濃縮度とした。

(注 3) ノードは燃料有効部を軸方向に したものである。2-5-1-2 図参照

2-5-1-3 表 使用済燃料集合体及びバーナブルポイズン集合体の線源強度計算条件
(乾式キャスク (タイプ 2))

項 目			17×17 燃料 48,000MWd/t 型	
			A 型	B 型
燃焼度 (MWd/t)	中央部	48,000		
	外周部	44,000		
平均比出力 (MW/t) (注 1)			38.4	
照射 日数 (日)	使用済燃料 集合体	中央部		
		外周部		
バーナブルポイズン 集合体				
初期濃縮度 (%) (注 2)				
冷却日数 (日)			5,479	6,209
ウラン重量 (kg/体)				
(上部)				
ピーキングファクター (注 3)				
(下部)				

(注 1) 比出力は定格出力に相当する炉平均値を用いた。

(注 2) 初期濃縮度は最低濃縮度とした。

(注 3) ノードは燃料有効部を軸方向に したものである。2-5-1-2 図参照。

2-5-1-4 表(1/2) 燃料集合体の種類と型式毎の線源強度 (乾式キャスク (タイプ 1))

(金属キャスク 1 基当たり)

項目	14×14 燃料 ^(注 1)	
	A 型	B 型
燃料有効部ガンマ線 (photons/s)	1.043×10^{17}	1.043×10^{17}
構造材放射化ガンマ線 (⁶⁰ Co TBq)	2.320×10^2	3.242×10^2
燃料有効部中性子 ^(注 2) (n/s)	1.167×10^{10}	1.167×10^{10}

(注 1) 中央部 16 体の燃焼度を 48,000MWd/t、外周部 16 体の燃焼度を 39,000MWd/t とした金属キャスク 1 基当たりの線源強度である。

(注 2) 記載値は実効増倍率 k_{eff} を考慮した全中性子源強度である。

2-5-1-4 表(2/2) 燃料集合体の種類と型式毎の線源強度 (乾式キャスク (タイプ2))

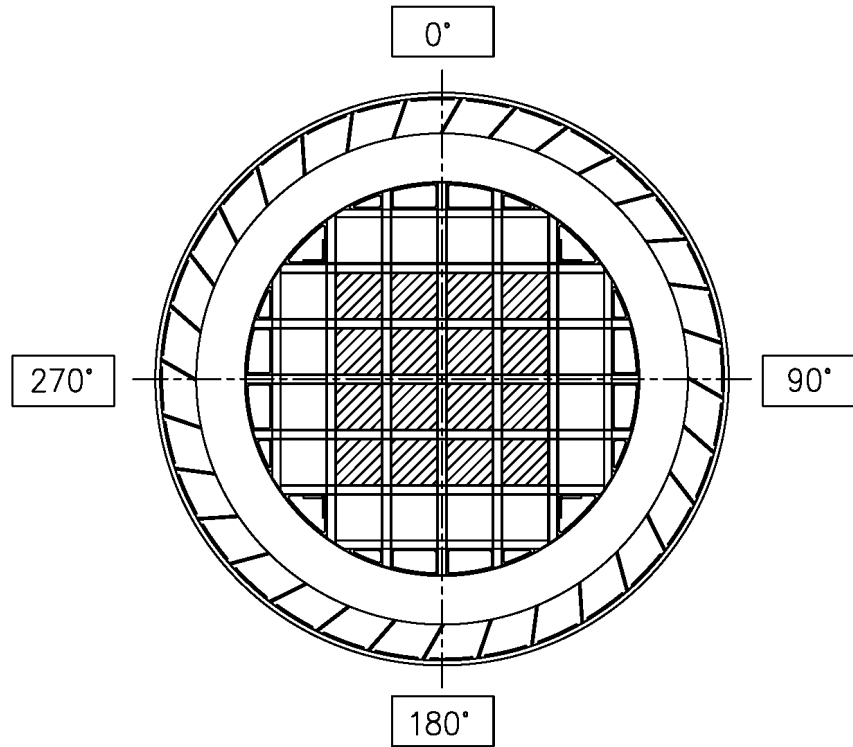
(金属キャスク 1 基当たり)


項目	17×17 燃料 48,000MWd/t 型 ^(注1)	
	A 型	B 型
燃料有効部ガンマ線 (photons/s)	1.073×10^{17}	1.007×10^{17}
構造材放射化ガンマ線 ^(注2) (⁶⁰ Co TBq)	5.922×10^2	6.024×10^2
燃料有効部中性子 ^(注3) (n/s)	1.205×10^{10}	1.120×10^{10}


(注 1) 中央部 12 体の燃焼度を 48,000MWd/t、外周部 12 体の燃焼度を 44,000MWd/t とした金属キャスク 1 基当たりの線源強度である。

(注 2) バーナブルポイズン集合体の放射化線源を考慮した値である。

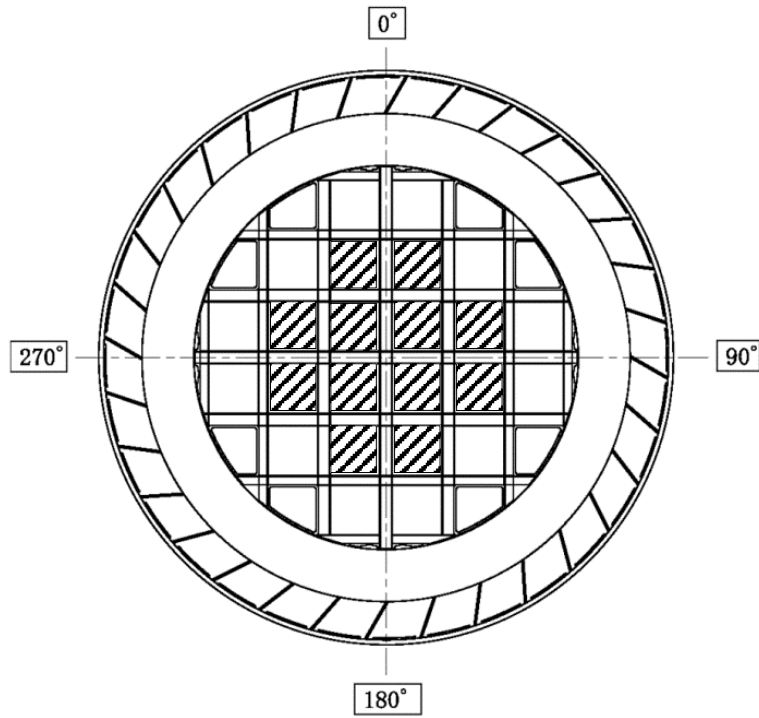
(注 3) 記載値は実効増倍率 k_{eff} を考慮した全中性子源強度である。





 : 燃焼度が 48,000MWd/t の使用済燃料集合体の収納位置 (16 体)

 : 燃焼度が 39,000MWd/t の使用済燃料集合体の収納位置 (16 体)

2-5-1-1 図(1/2) 使用済燃料集合体の収納位置条件 (乾式キャスク (タイプ 1))



-  : 燃焼度が 48,000MWd/t の使用済燃料集合体の収納位置 (12 体)
 (バーナブルポイズン集合体の挿入を考慮)
-  : 燃焼度が 44,000MWd/t の使用済燃料集合体の収納位置 (12 体)

2-5-1-1 図(2/2) 使用済燃料集合体の収納位置条件 (乾式キャスク (タイプ 2))

2-5-1-5 表(1/2) 燃料有効部のエネルギーごとのガンマ線源強度
(乾式キャスク (タイプ 1))

(金属キャスク 1 基当たり)

エネルギー 群数	平均エネルギー (MeV)	燃料有効部 (photons/s)		
		中央部	外周部	合計
1	0.01	1.657×10^{16}	1.061×10^{16}	2.717×10^{16}
2	0.025	3.335×10^{15}	2.099×10^{15}	5.435×10^{15}
3	0.0375	4.309×10^{15}	2.616×10^{15}	6.924×10^{15}
4	0.0575	3.358×10^{15}	2.263×10^{15}	5.621×10^{15}
5	0.085	1.891×10^{15}	1.154×10^{15}	3.044×10^{15}
6	0.125	1.826×10^{15}	9.508×10^{14}	2.777×10^{15}
7	0.225	1.574×10^{15}	9.742×10^{14}	2.549×10^{15}
8	0.375	6.689×10^{14}	4.021×10^{14}	1.071×10^{15}
9	0.575	2.867×10^{16}	1.816×10^{16}	4.683×10^{16}
10	0.85	1.306×10^{15}	3.302×10^{14}	1.636×10^{15}
11	1.25	8.923×10^{14}	3.047×10^{14}	1.197×10^{15}
12	1.75	2.738×10^{13}	1.009×10^{13}	3.747×10^{13}
13	2.25	1.497×10^{10}	6.432×10^8	1.562×10^{10}
14	2.75	7.996×10^9	3.954×10^9	1.195×10^{10}
15	3.5	7.694×10^8	2.383×10^8	1.008×10^9
16	5.0	2.493×10^8	1.018×10^8	3.511×10^8
17	7.0	2.874×10^7	1.174×10^7	4.048×10^7
18	9.5	3.302×10^6	1.349×10^6	4.651×10^6
合計		6.442×10^{16}	3.987×10^{16}	1.043×10^{17}

2-5-1-5 表 (2/2) 燃料有効部のエネルギーごとのガンマ線源強度
(乾式キャスク (タイプ 2))

(金属キャスク 1 基当たり)

エネルギー 群数	平均エネルギー (MeV)	燃料有効部 (photons/s)		
		中央部	外周部	合計
1	0.01	1.433×10^{16}	1.337×10^{16}	2.770×10^{16}
2	0.025	2.888×10^{15}	2.710×10^{15}	5.599×10^{15}
3	0.0375	3.729×10^{15}	3.445×10^{15}	7.174×10^{15}
4	0.0575	2.903×10^{15}	2.725×10^{15}	5.628×10^{15}
5	0.085	1.636×10^{15}	1.528×10^{15}	3.165×10^{15}
6	0.125	1.581×10^{15}	1.445×10^{15}	3.027×10^{15}
7	0.225	1.363×10^{15}	1.275×10^{15}	2.637×10^{15}
8	0.375	5.802×10^{14}	5.452×10^{14}	1.125×10^{15}
9	0.575	2.481×10^{16}	2.278×10^{16}	4.759×10^{16}
10	0.85	1.142×10^{15}	1.003×10^{15}	2.145×10^{15}
11	1.25	7.743×10^{14}	6.784×10^{14}	1.453×10^{15}
12	1.75	2.373×10^{13}	2.089×10^{13}	4.463×10^{13}
13	2.25	1.395×10^{10}	1.289×10^{10}	2.684×10^{10}
14	2.75	6.962×10^9	5.818×10^9	1.278×10^{10}
15	3.5	6.777×10^8	5.046×10^8	1.182×10^9
16	5.0	2.157×10^8	1.477×10^8	3.634×10^8
17	7.0	2.487×10^7	1.703×10^7	4.190×10^7
18	9.5	2.857×10^6	1.957×10^6	4.814×10^6
合計		5.576×10^{16}	5.152×10^{16}	1.073×10^{17}

2-5-1-6 表(1/5) 中性子源スペクトル

エネルギー群数	上限エネルギー (eV)	スペクトル ^(注)
1	1.964×10^7	0.0
2	1.733×10^7	7.107×10^{-6}
3	1.691×10^7	7.117×10^{-6}
4	1.649×10^7	2.368×10^{-5}
5	1.568×10^7	3.835×10^{-5}
6	1.492×10^7	2.686×10^{-5}
7	1.455×10^7	3.351×10^{-5}
8	1.419×10^7	4.165×10^{-5}
9	1.384×10^7	5.111×10^{-5}
10	1.350×10^7	1.392×10^{-4}
11	1.284×10^7	1.018×10^{-4}
12	1.252×10^7	1.017×10^{-4}
13	1.221×10^7	2.917×10^{-4}
14	1.162×10^7	4.082×10^{-4}
15	1.105×10^7	5.613×10^{-4}
16	1.051×10^7	7.571×10^{-4}
17	1.000×10^7	1.002×10^{-3}
18	9.512×10^6	1.303×10^{-3}
19	9.048×10^6	1.668×10^{-3}
20	8.607×10^6	2.101×10^{-3}
21	8.187×10^6	2.608×10^{-3}
22	7.788×10^6	3.191×10^{-3}
23	7.408×10^6	3.853×10^{-3}
24	7.047×10^6	4.592×10^{-3}
25	6.703×10^6	1.708×10^{-3}
26	6.592×10^6	3.698×10^{-3}
27	6.376×10^6	6.293×10^{-3}
28	6.065×10^6	7.243×10^{-3}
29	5.770×10^6	8.251×10^{-3}
30	5.488×10^6	9.302×10^{-3}
31	5.221×10^6	1.039×10^{-2}
32	4.966×10^6	1.151×10^{-2}
33	4.724×10^6	1.263×10^{-2}
34	4.493×10^6	2.859×10^{-2}
35	4.066×10^6	3.286×10^{-2}

(注) ^{239}Pu の核分裂スペクトルを MATXS-LIB-J33 の中性子 175 群構造に振り分けたものである。

なお、本スペクトルの設定については資料 2-5-8 に示す。

2-5-1-6 表 (2/5) 中性子源スペクトル

エネルギー群数	上限エネルギー (eV)	スペクトル ^(注)
36	3.679×10^6	3.674×10^{-2}
37	3.329×10^6	1.965×10^{-2}
38	3.166×10^6	2.042×10^{-2}
39	3.012×10^6	2.108×10^{-2}
40	2.865×10^6	2.165×10^{-2}
41	2.725×10^6	2.214×10^{-2}
42	2.592×10^6	2.252×10^{-2}
43	2.466×10^6	1.517×10^{-2}
44	2.385×10^6	3.833×10^{-3}
45	2.365×10^6	3.812×10^{-3}
46	2.346×10^6	7.657×10^{-3}
47	2.307×10^6	1.535×10^{-2}
48	2.231×10^6	2.310×10^{-2}
49	2.123×10^6	2.312×10^{-2}
50	2.019×10^6	2.305×10^{-2}
51	1.921×10^6	2.290×10^{-2}
52	1.827×10^6	2.267×10^{-2}
53	1.738×10^6	2.236×10^{-2}
54	1.653×10^6	2.200×10^{-2}
55	1.572×10^6	2.160×10^{-2}
56	1.496×10^6	2.115×10^{-2}
57	1.423×10^6	2.059×10^{-2}
58	1.353×10^6	2.010×10^{-2}
59	1.287×10^6	1.947×10^{-2}
60	1.225×10^6	1.892×10^{-2}
61	1.165×10^6	1.827×10^{-2}
62	1.108×10^6	3.460×10^{-2}
63	1.003×10^6	1.367×10^{-2}
64	9.616×10^5	1.834×10^{-2}
65	9.072×10^5	1.502×10^{-2}
66	8.629×10^5	1.437×10^{-2}
67	8.209×10^5	1.372×10^{-2}
68	7.808×10^5	1.309×10^{-2}
69	7.427×10^5	1.247×10^{-2}
70	7.065×10^5	1.186×10^{-2}

(注) ^{239}Pu の核分裂スペクトルを MATXSLIB-J33 の中性子 175 群構造に振り分けたものである。

なお、本スペクトルの設定については資料 2-5-8 に示す。

2-5-1-6 表 (3/5) 中性子源スペクトル

エネルギー群数	上限エネルギー (eV)	スペクトル ^(注)
71	6.721×10^5	1.127×10^{-2}
72	6.393×10^5	1.070×10^{-2}
73	6.081×10^5	1.014×10^{-2}
74	5.784×10^5	9.605×10^{-3}
75	5.502×10^5	9.086×10^{-3}
76	5.234×10^5	8.591×10^{-3}
77	4.979×10^5	1.576×10^{-2}
78	4.505×10^5	1.401×10^{-2}
79	4.076×10^5	6.397×10^{-3}
80	3.877×10^5	6.017×10^{-3}
81	3.688×10^5	1.097×10^{-2}
82	3.337×10^5	9.670×10^{-3}
83	3.020×10^5	1.040×10^{-3}
84	2.985×10^5	3.887×10^{-4}
85	2.972×10^5	7.998×10^{-4}
86	2.945×10^5	2.159×10^{-3}
87	2.873×10^5	4.115×10^{-3}
88	2.732×10^5	7.463×10^{-3}
89	2.472×10^5	3.378×10^{-3}
90	2.352×10^5	3.160×10^{-3}
91	2.237×10^5	2.955×10^{-3}
92	2.128×10^5	2.763×10^{-3}
93	2.024×10^5	2.581×10^{-3}
94	1.926×10^5	2.411×10^{-3}
95	1.832×10^5	2.254×10^{-3}
96	1.742×10^5	2.100×10^{-3}
97	1.657×10^5	1.964×10^{-3}
98	1.576×10^5	1.828×10^{-3}
99	1.500×10^5	1.709×10^{-3}
100	1.426×10^5	1.590×10^{-3}
101	1.357×10^5	1.485×10^{-3}
102	1.291×10^5	1.384×10^{-3}
103	1.228×10^5	1.287×10^{-3}
104	1.168×10^5	1.202×10^{-3}
105	1.111×10^5	2.653×10^{-3}

(注) ^{239}Pu の核分裂スペクトルを MATXS-LIB-J33 の中性子 175 群構造に振り分けたものである。

なお、本スペクトルの設定については資料 2-5-8 に示す。

2-5-1-6 表(4/5) 中性子源スペクトル

エネルギー群数	上限エネルギー (eV)	スペクトル ^(注)
106	9.804×10^4	2.219×10^{-3}
107	8.652×10^4	7.446×10^{-4}
108	8.250×10^4	5.458×10^{-4}
109	7.950×10^4	1.324×10^{-3}
110	7.200×10^4	7.861×10^{-4}
111	6.738×10^4	1.744×10^{-3}
112	5.656×10^4	6.216×10^{-4}
113	5.248×10^4	8.958×10^{-4}
114	4.631×10^4	7.457×10^{-4}
115	4.087×10^4	8.384×10^{-4}
116	3.431×10^4	2.982×10^{-4}
117	3.183×10^4	3.831×10^{-4}
118	2.850×10^4	1.659×10^{-4}
119	2.700×10^4	1.020×10^{-4}
120	2.606×10^4	1.347×10^{-4}
121	2.479×10^4	6.373×10^{-5}
122	2.418×10^4	6.142×10^{-5}
123	2.358×10^4	1.712×10^{-4}
124	2.188×10^4	2.461×10^{-4}
125	1.931×10^4	3.741×10^{-4}
126	1.503×10^4	2.577×10^{-4}
127	1.171×10^4	7.100×10^{-5}
128	1.060×10^4	1.066×10^{-4}
129	9.119×10^3	1.222×10^{-4}
130	7.102×10^3	8.411×10^{-5}
131	5.531×10^3	5.787×10^{-5}
132	4.307×10^3	2.564×10^{-5}
133	3.707×10^3	1.416×10^{-5}
134	3.355×10^3	1.219×10^{-5}
135	3.035×10^3	1.050×10^{-5}
136	2.747×10^3	4.685×10^{-6}
137	2.613×10^3	4.348×10^{-6}
138	2.485×10^3	7.778×10^{-6}
139	2.249×10^3	6.696×10^{-6}
140	2.035×10^3	1.294×10^{-5}

(注) ^{239}Pu の核分裂スペクトルを MATXS-LIB-J33 の中性子 175 群構造に振り分けたものである。

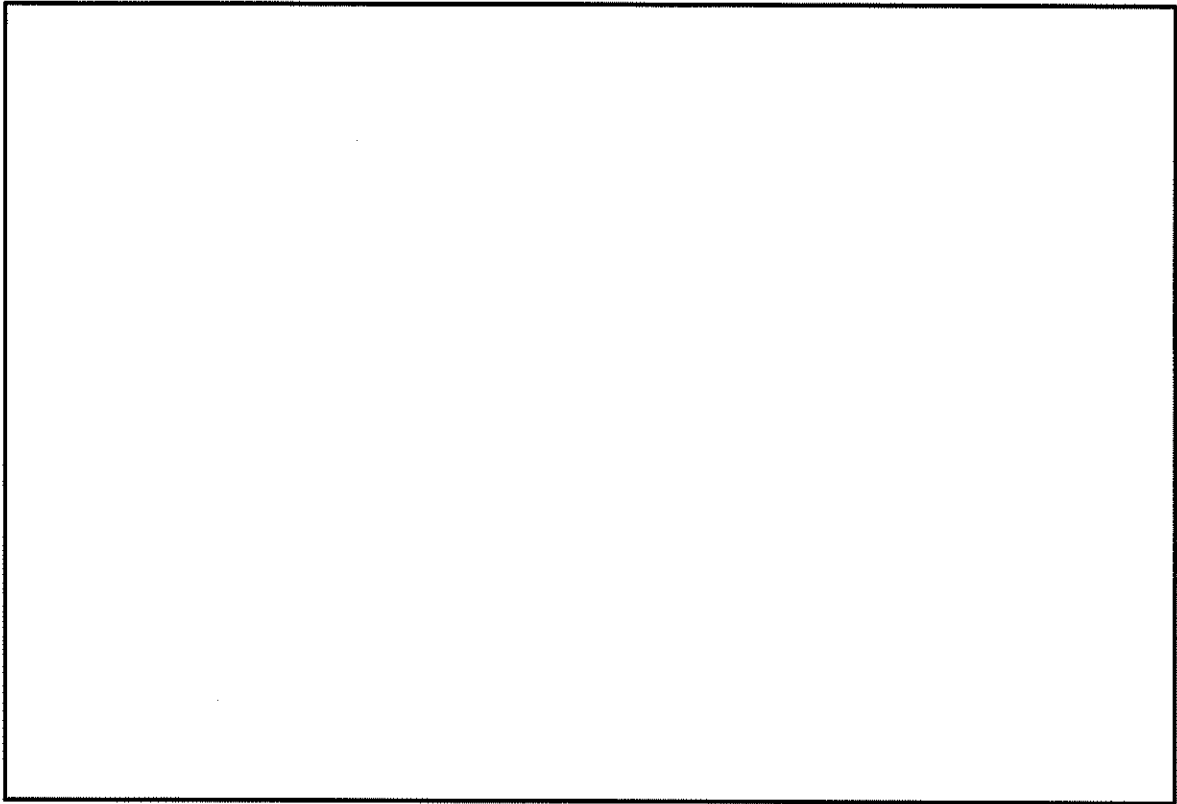
なお、本スペクトルの設定については資料 2-5-8 に示す。

2-5-1-6 表 (5/5) 中性子源スペクトル

エネルギー群数	上限エネルギー (eV)	スペクトル ^(注)
141	1.585×10^3	8.896×10^{-6}
142	1.234×10^3	6.116×10^{-6}
143	9.611×10^2	4.204×10^{-6}
144	7.485×10^2	2.890×10^{-6}
145	5.830×10^2	1.986×10^{-6}
146	4.540×10^2	1.365×10^{-6}
147	3.536×10^2	9.385×10^{-7}
148	2.754×10^2	6.450×10^{-7}
149	2.145×10^2	4.433×10^{-7}
150	1.670×10^2	3.047×10^{-7}
151	1.301×10^2	2.094×10^{-7}
152	1.013×10^2	1.439×10^{-7}
153	7.889×10^1	9.893×10^{-8}
154	6.144×10^1	6.799×10^{-8}
155	4.785×10^1	4.673×10^{-8}
156	3.727×10^1	3.201×10^{-8}
157	2.902×10^1	2.218×10^{-8}
158	2.260×10^1	1.517×10^{-8}
159	1.760×10^1	1.043×10^{-8}
160	1.371×10^1	7.168×10^{-9}
161	1.068×10^1	4.925×10^{-9}
162	8.315×10^0	3.385×10^{-9}
163	6.476×10^0	2.327×10^{-9}
164	5.044×10^0	1.599×10^{-9}
165	3.928×10^0	1.099×10^{-9}
166	3.059×10^0	7.657×10^{-10}
167	2.382×10^0	5.087×10^{-10}
168	1.855×10^0	3.568×10^{-10}
169	1.445×10^0	2.452×10^{-10}
170	1.125×10^0	1.686×10^{-10}
171	8.764×10^{-1}	1.158×10^{-10}
172	6.826×10^{-1}	7.961×10^{-11}
173	5.316×10^{-1}	5.472×10^{-11}
174	4.140×10^{-1}	1.060×10^{-10}
175	1.000×10^{-1}	1.427×10^{-11}

(注) ^{239}Pu の核分裂スペクトルを MATXS-LIB-J33 の中性子 175 群構造に振り分けたものである。

なお、本スペクトルの設定については資料 2-5-8 に示す。



2-5-1-2 図 ピークングファクターの設定

2. 遮蔽解析のモデル化について

遮蔽解析では、従来の使用済燃料輸送キャスクの遮蔽解析で実績のある二次元輸送計算コード DOT3.5 により、R-Z 体系の有限円筒モデル（以下、「本体モデル」という。）について評価している。ただし、有限円筒モデルで直接モデル化できない使用済燃料集合体、バスケット、トラニオン等は、構造上の特徴を考慮して、均質化あるいは線束接続によって評価している。なお、本体モデルは、キャスク中央付近で二分割しており、頭部評価モデルにおいては使用済燃料集合体が一次蓋に接した状態として、線源である使用済燃料集合体から評価点までの距離が短い保守的なモデルとしている。

解析に用いたモデル図を乾式キャスク（タイプ 1）については 2-5-1-3 図から 2-5-1-6 図に、乾式キャスク（タイプ 2）については 2-5-1-7 図から 2-5-1-10 図に示し、モデル化の手法を以下に示す。

(1) 燃料領域

2-5-1-11 図に示すとおり、燃料領域については、使用済燃料集合体とバスケットを均質化してモデル化している。中央部及び外周部燃料領域について、実形状と同等となるように、それぞれの燃料領域の断面積と等価な面積となる円（円筒）にモデル化している。

なお、均質化では留め具（ワッシャ、ボルト、ナット）は無視しており、均質化領域に空孔が存在する場合は空孔の体積も考慮して均質化している。また、バーナブルポイズン集合体は、放射化線源強度のみ考慮し、構造材としての遮蔽効果は無視している。

(2) バスケット外周部

燃料領域より外側のバスケットは、円周方向に不均一な厚さとなっている構造であることから、バスケット外周部（燃料領域より外側から胴内面までの領域）の密度を密度係数で調整している。バスケット外周部の密度補正係数は、2-5-1-11 図及び 2-5-1-12 図に示すとおり、キャスク水平断面 X-Y 体系のモデルにて算出した円周方向のキャスク表面から 1 m 離れた位置の最大線量当量率と、無限円筒モデルでの最大線量当量率が同等となるように設定し、本体モデルに反映している。したがって、本体モデルにおける線量当量率は、実形状における最大線量当量率を包絡する設定となる。

(3) 胴、側部中性子遮蔽材及び外筒

2-5-1-11 図に示すとおり、胴、側部中性子遮蔽材及び外筒については、円筒としてモデル化している。

なお、側部中性子遮蔽材に伝熱フィンがある領域では、伝熱フィンは均質化している。

(4) トラニオン部の評価手法

トラニオン部については、DOT3.5 を用いて実形状を模擬して別途モデル化し、評価している。

2-5-1-13 図に示すとおり、トラニオンを無視した本体モデルにて得られたトラニオン底面付近の線束を、別途モデル化した R-Z 体系のトラニオンモデルに接続している。トラニオン部は、トラニオン中心を通る断面でトラニオン底面及びキャスク本体の一部を含めモデル化している。

トラニオン部の線量当量率は、トラニオン有りモデルとトラニオン無しモデルの線量当量率結果より、線種ごとの線量当量率結果の比を補正值として求め、本体モデルの線量当量率にその補正值を乗じて評価している。

トラニオン部の線束接続計算の妥当性を資料 2-5-6 に示す。

(5) 解析モデルの入力条件への不確かさの考慮について

解析モデルの入力条件への不確かさとして以下のとおり考慮している。

①構成部材密度

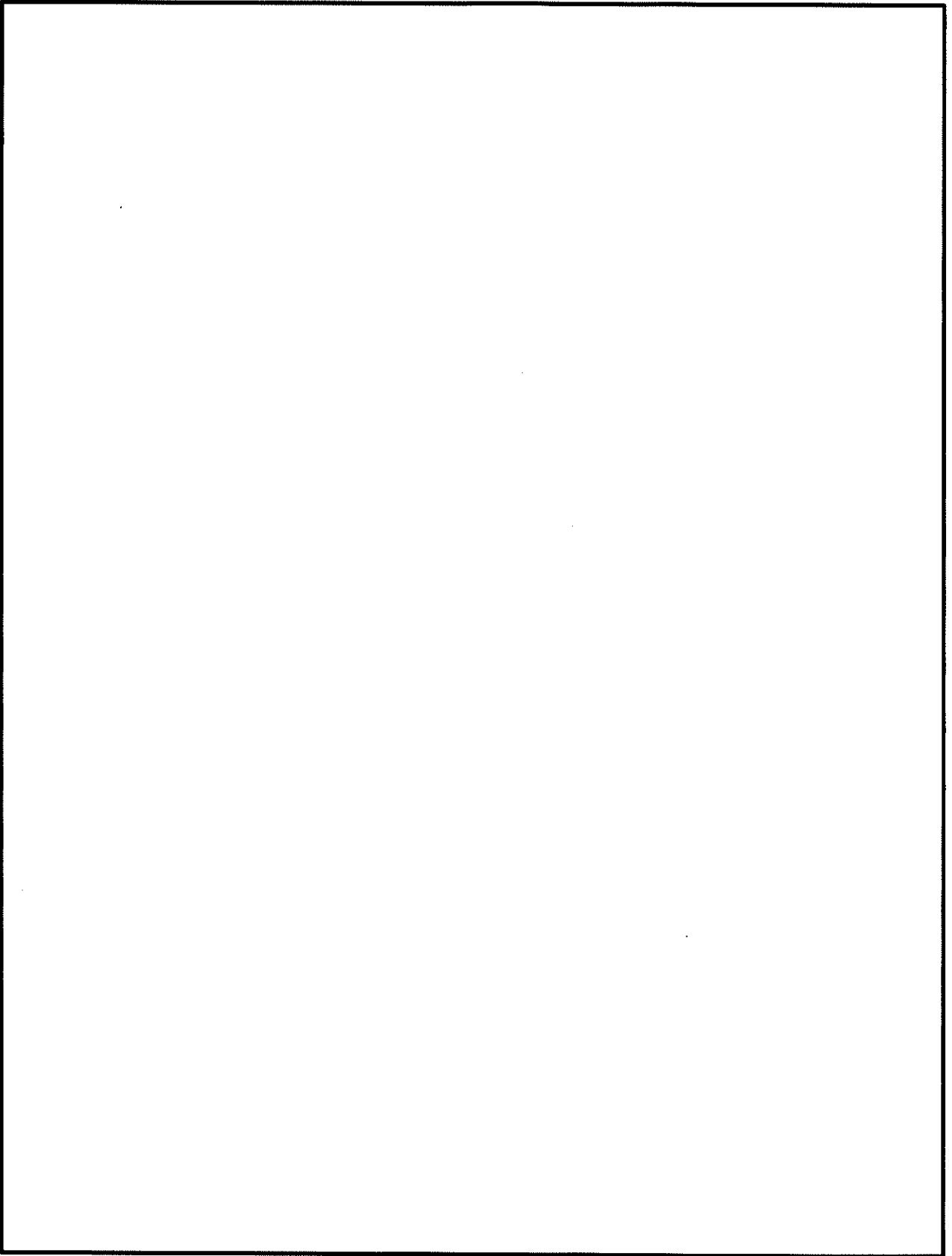
最低保証密度を使用して原子個数密度を設定。

②寸法公差

解析モデルの各種寸法は公称寸法でモデル化するが、各構成部材の寸法公差については最小厚さを密度係数（＝最小寸法／公称寸法）で考慮。

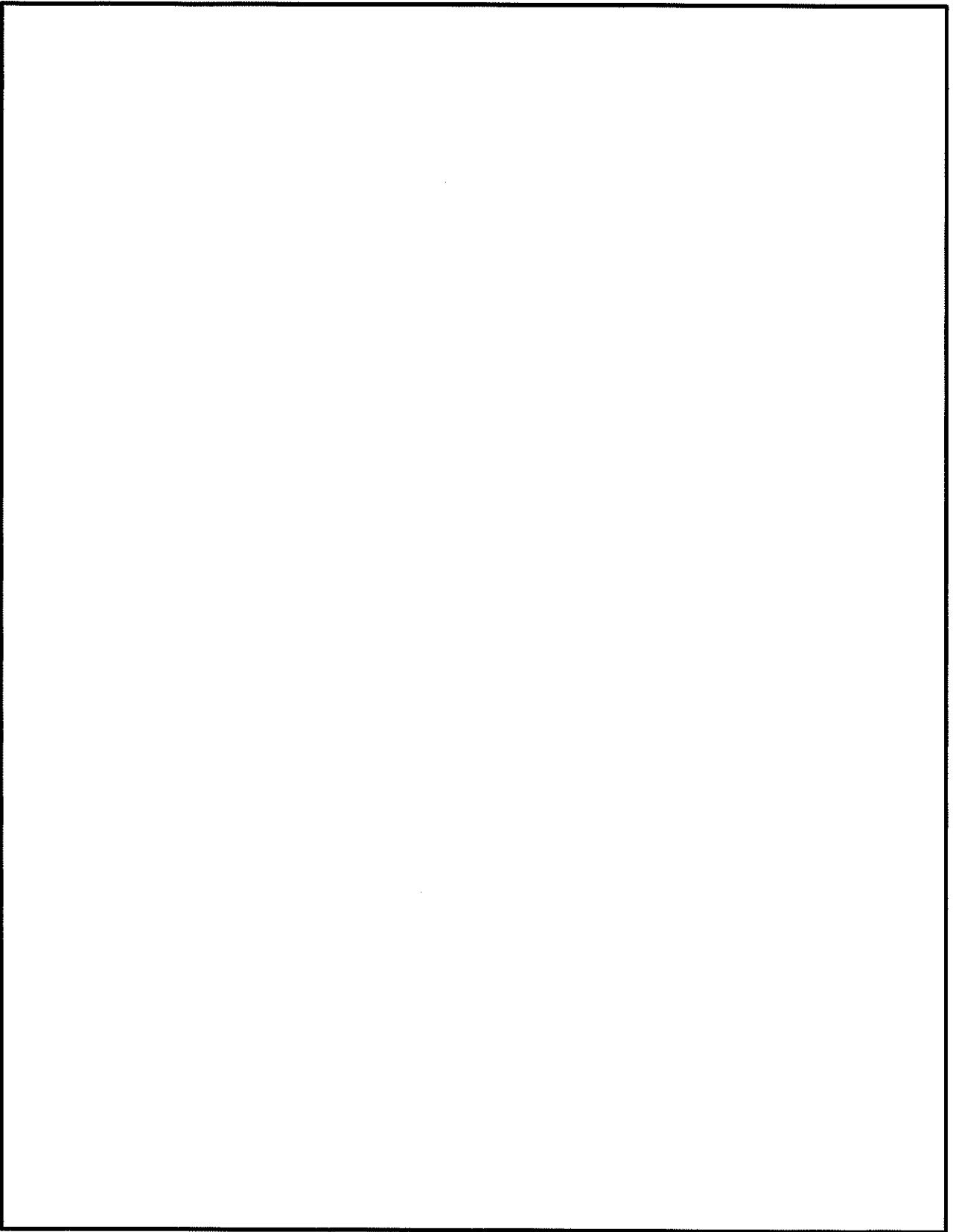
(6) モデル設定の妥当性について

R-Z 体系の有限円筒モデル設定について、三次元モデルで入力・解析可能な解析コード MCNP5 による評価結果との比較検証を実施し、モデル設定の妥当性を確認している（資料 2-5-9 及び資料 2-5-10）。



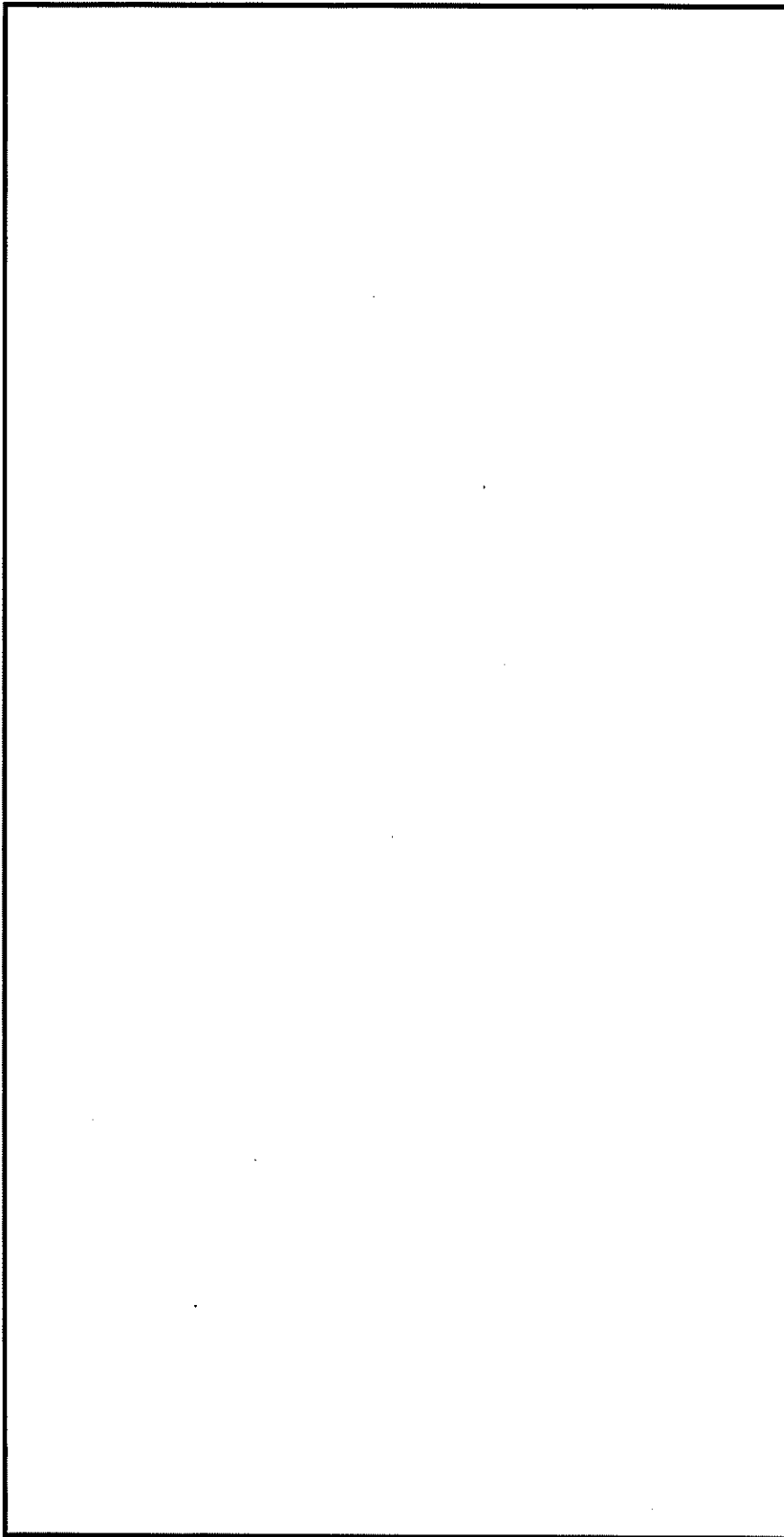
2-5-1-3 図 貯蔵時の解析モデル（頭部）（乾式キャスク（タイプ1））

2-5-1-19



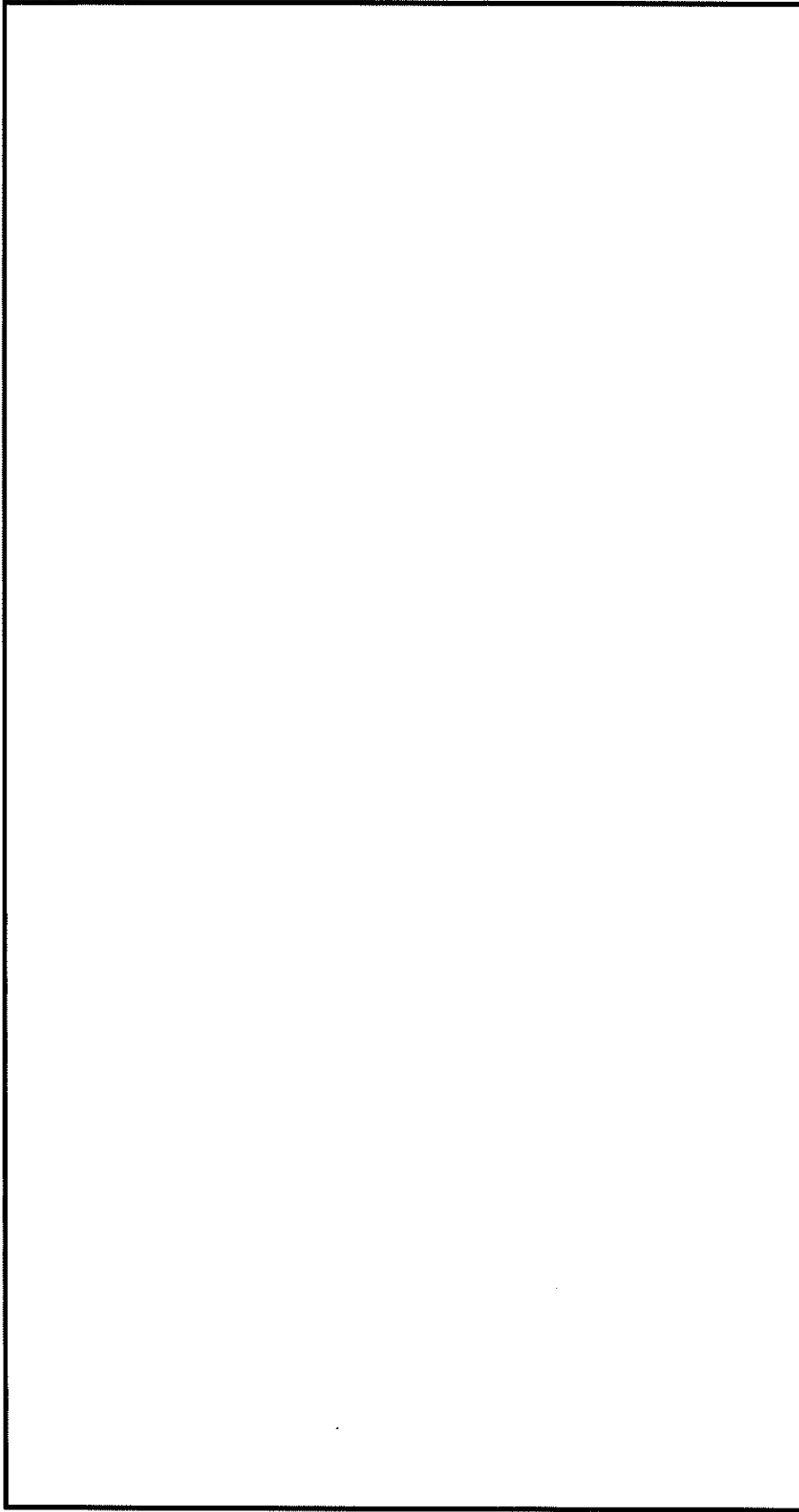
2-5-1-4 図 貯蔵時の解析モデル（底部）（乾式キャスク（タイプ1））

2-5-1-20



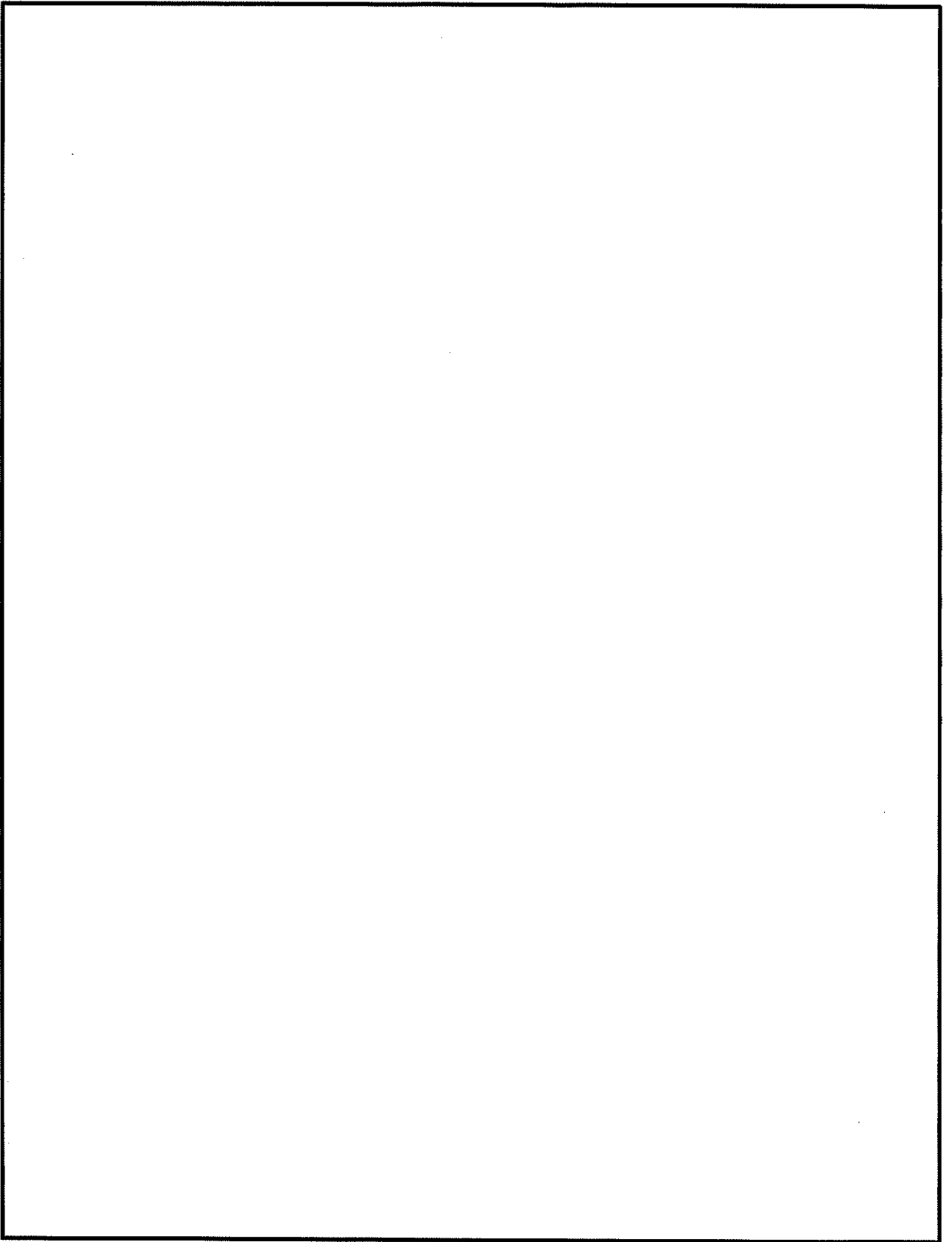
2-5-1-5 図 貯蔵時の解析モデル (上部トランニオン部) (乾式キヤスク (タイプ1))

2-5-1-21



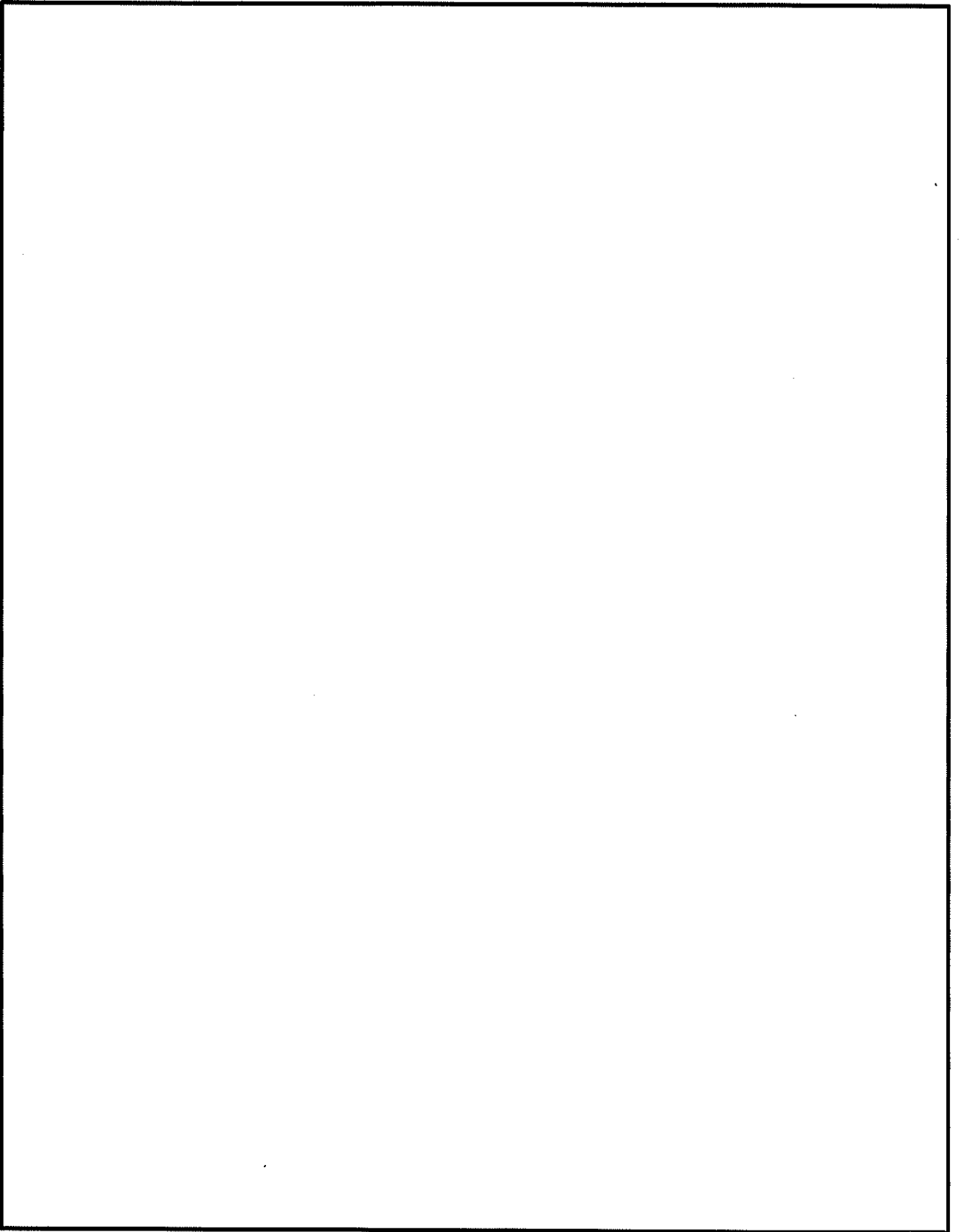
2-5-1-6 図 貯蔵時の解析モデル (下部トラニオン部) (乾式キャスク (タイプ1))

2-5-1-22



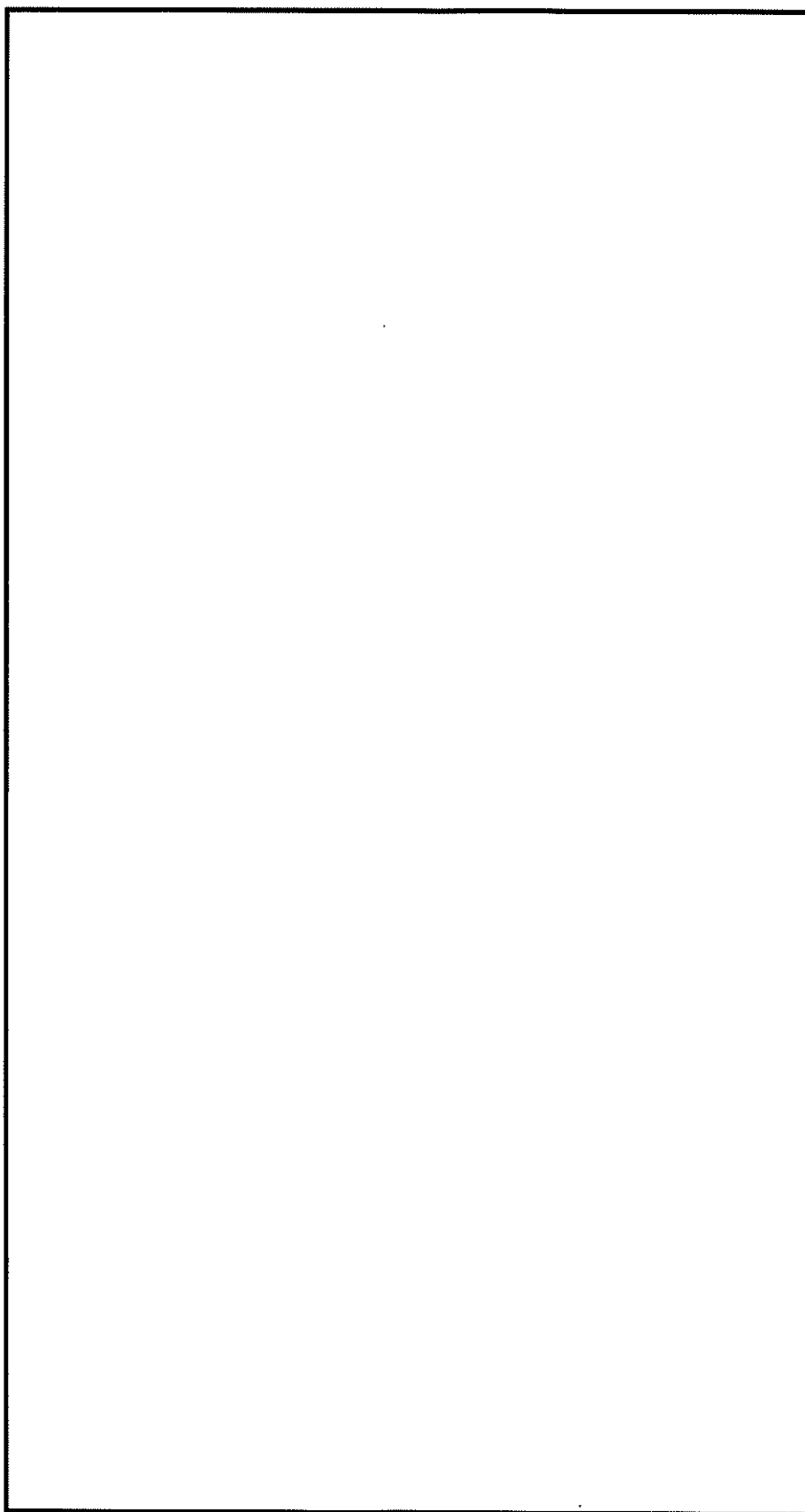
2-5-1-7 図 貯蔵時の解析モデル（頭部）（乾式キャスク（タイプ2））

2-5-1-23

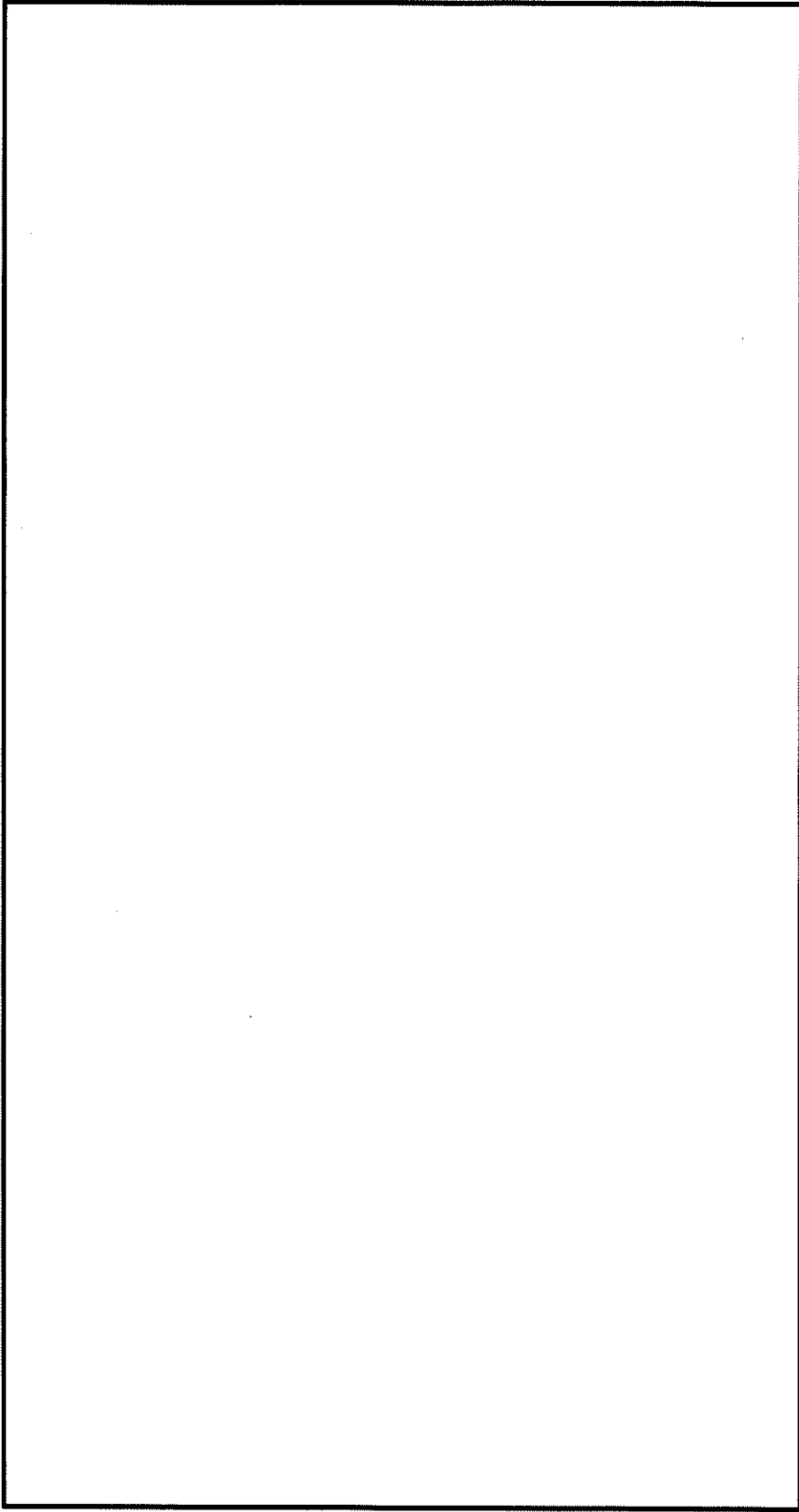


2-5-1-8 図 貯蔵時の解析モデル（底部）（乾式キャスク（タイプ2））

2-5-1-24

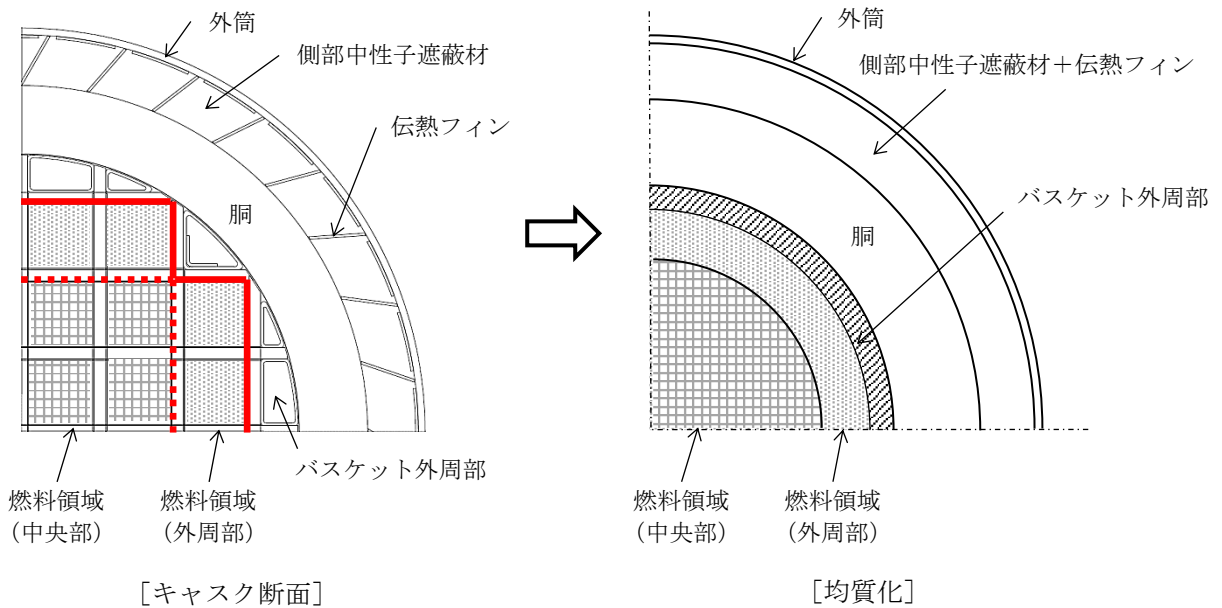


2-5-1-9 図 貯蔵時の解析モデル (上部トラニオン部) (乾式キャスク (タイプ2))

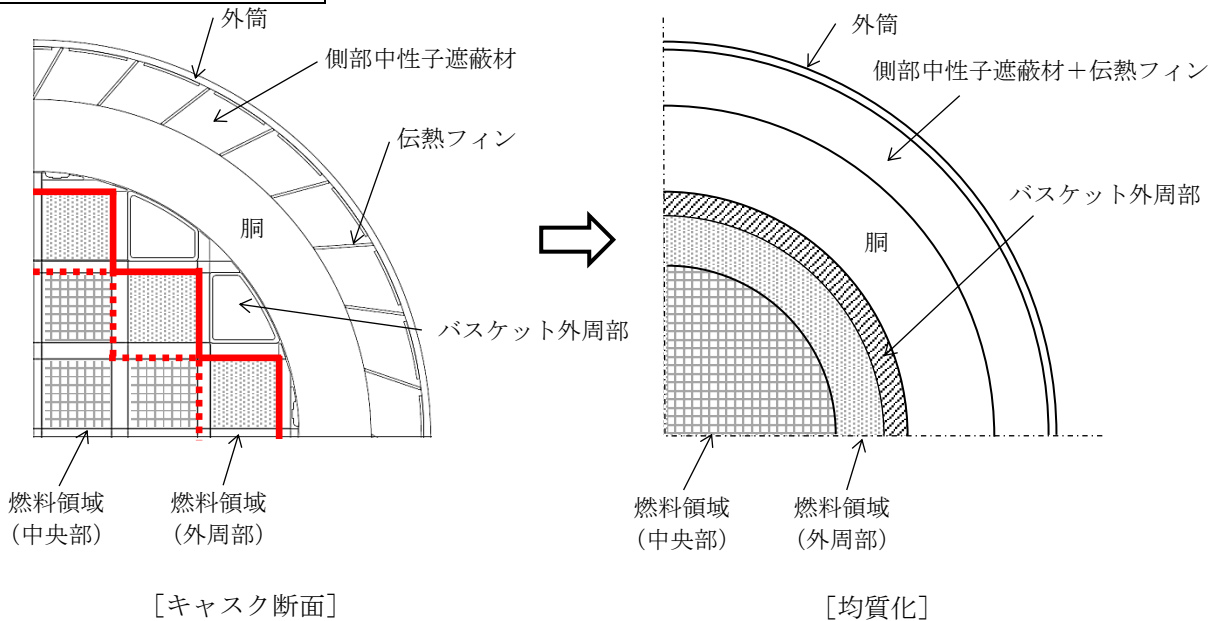


2-5-1-10 図 貯蔵時の解析モデル (下部トラニオン部) (乾式キャスク (タイプ2))

乾式キャスク (タイプ1)

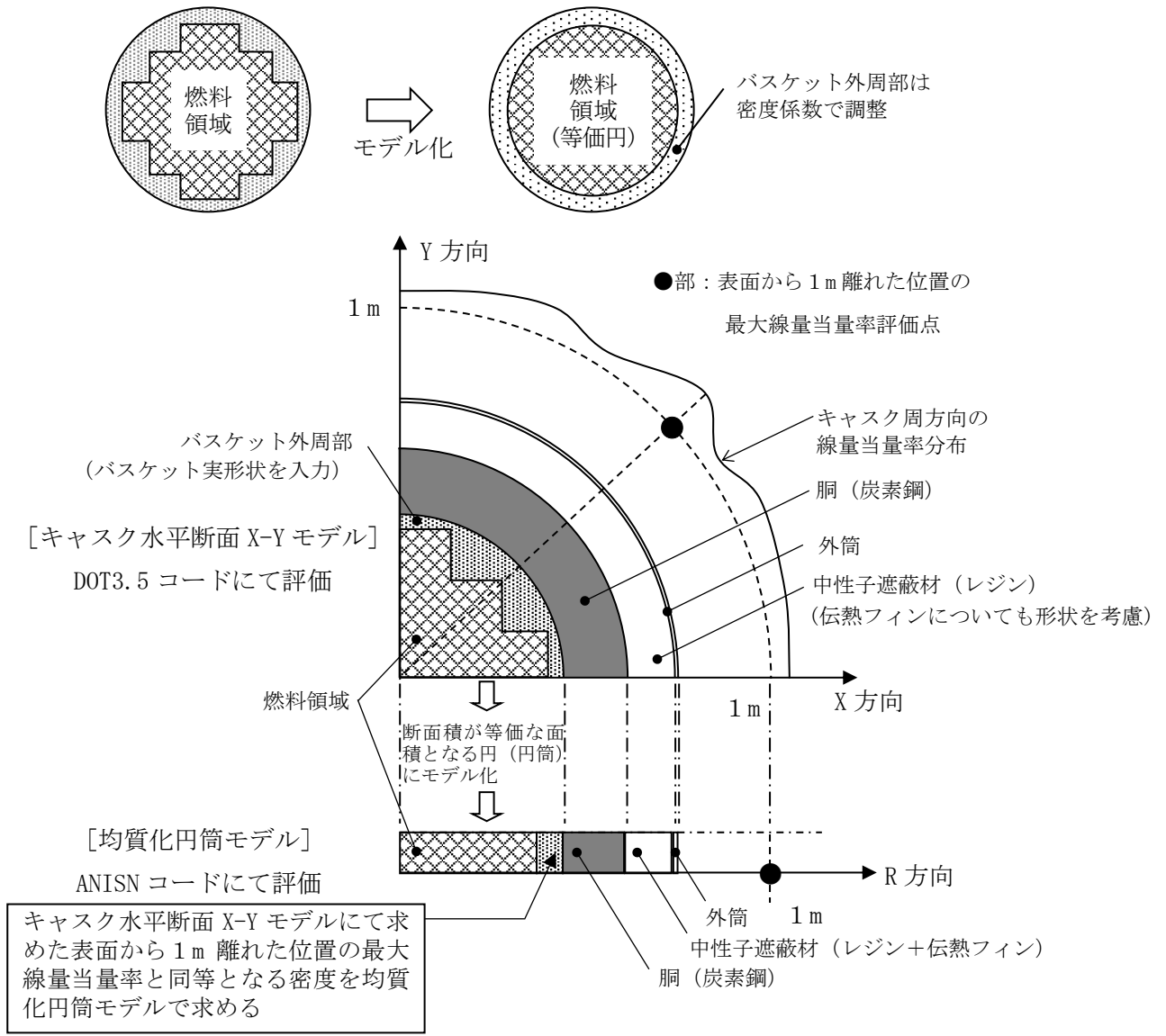


乾式キャスク (タイプ2)



遮蔽解析モデルへの入力
 本体モデルの解析では、円筒形状での入力となるため、燃料領域の断面積と等価な面積となる円 (円筒) にモデル化している。その際、燃料領域は使用済燃料集合体とバスケットを均質化した物性値を設定した。

2-5-1-11 図 キャスク中央断面の実形状と解析モデル



バスケット外周部の均質化

バスケット外周部は円周方向に不均一な厚さとなっている構造であることから、本体モデルでは以下に示す手法により、バスケット外周部の密度を設定している。

(i) キャスク水平断面 X-Y モデル遮蔽解析

キャスク水平断面 X-Y モデルによる表面から 1m 離れた位置での最大線量当量率を算出する。

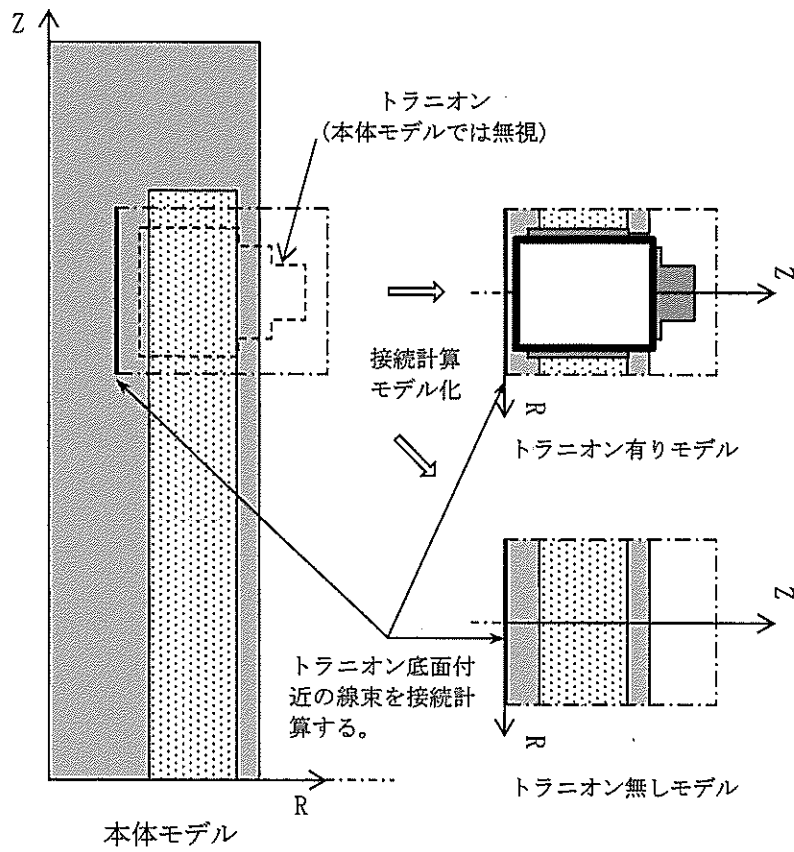
※算出位置を表面から 1m 離れた位置としているのは、表面位置に比べ、資料 14 の 2.1 設計基準に示した要求事項である基準線量当量率に対する裕度が少ないためである。

(ii) キャスク均質化円筒モデル遮蔽解析

2-5-1-11 図により設定した均質化モデルにて、表面から 1m 離れた位置での線量当量率が (i) で算出した最大線量当量率と同等となるバスケット外周部の密度係数を算出する。

(ii) にて算出したバスケット外周部の密度係数を用いることで、実形状の最大線量当量率を包絡する結果を得ることができる。

2-5-1-12 図 バスケット外周部のモデル化について



トラニオン部の線量当量率 = (本体モデル) × (トラニオン有りモデル) / (トラニオン無しモデル)

2-5-1-13 図 トラニオン部の線束接続計算の概略図

3. 中性子遮蔽材の質量減損について

中性子遮蔽材であるレジンの長期使用による質量減損は、劣化パラメータにより次式で表される。

$$\Delta w = 5.69 \times 10^{-4} \times E_p - 19.2 \quad 1)$$

ここで、

- Δw : 中性子遮蔽材の質量減損率 (%)
- E_p : 劣化パラメータ = $T \times (77.6 + \ln(t))$
- T : 中性子遮蔽材温度 (K)
- t : 中性子遮蔽材加熱時間 (h)

設計貯蔵期間中の温度の低下を保守的に考慮すると、設計貯蔵期間経過時までの中性子遮蔽材の質量減損率は乾式キャスク（タイプ 1）は約 1.8 %、乾式キャスク（タイプ 2）は約 2.0 %となる。これを保守的に 2.5 %の質量減損があるとして評価した。

- 1) (財) 原子力発電技術機構, 「平成 14 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等（金属キャスク貯蔵技術確証試験）報告書」, (2003).

4. 異なる燃料型式収納時の線量当量率評価について

2-5-1-4 表に示す遮蔽解析対象外の燃料型式について、遮蔽解析対象燃料に線源強度が包絡されるだけでなく線量当量率も包絡されることの確認を資料 2-5-11 に示す。

2-5-2 遮蔽解析詳細結果

本資料は資料 14「使用済燃料貯蔵容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書」に関する説明書において使用する、遮蔽解析結果の詳細について説明するものである。

乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）の表面及び表面から 1 m 離れた位置の各評価点方向において、最大線量当量率となる位置を 2-5-2-1 図に示し、対応する最大線量当量率評価結果を 2-5-2-1 表に示す。また、2-5-2-1 表に対応する各評価点方向における線量当量率の分布図を 2-5-2-2 図及び 2-5-2-3 図に示す。

乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）の表面及び表面から 1 m 離れた位置における線量当量率は、それぞれ 2 mSv/h 及び 100 μ Sv/h 以下となることを確認した。

2-5-2-1 表(1/2) 線量当量率評価結果 (乾式キャスク (タイプ1))

(単位: μ Sv/h)

評価点			頭部			側部	底部		
			軸方向	径方向	径方向 (トランニオン部)		径方向	径方向 (トランニオン部)	軸方向
			①	③a	③b		⑤	⑦a	⑦b
表面	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	<0.1	4.8	93.0	3.0	4.0	8.2
		構造材放射化	0.4	0.7	85.2	11.5	6.2	11.7	112.7
		二次ガンマ線	0.7	1.6	5.7	24.4	7.1	4.5	12.4
	中性子		262.8	592.3	1022.9	55.1	1548.1	925.5	44.7
	合計		264.0	594.7	1118.6	184.0	1564.4	945.7	178.0
評価点			②	④a	④b	⑥	⑧a	⑧b	⑩
表面から 1 m	ガンマ線	燃料有効部	0.2	22.3	21.7	41.4	8.8	7.3	2.9
		構造材放射化	3.7	28.1	22.7	6.7	6.5	4.8	34.5
		二次ガンマ線	0.4	5.0	5.0	9.7	2.8	2.6	3.4
	中性子		50.6	23.8	34.4	22.1	51.1	60.9	20.2
	合計		54.9	79.2	83.8	79.9	69.2	75.6	61.0

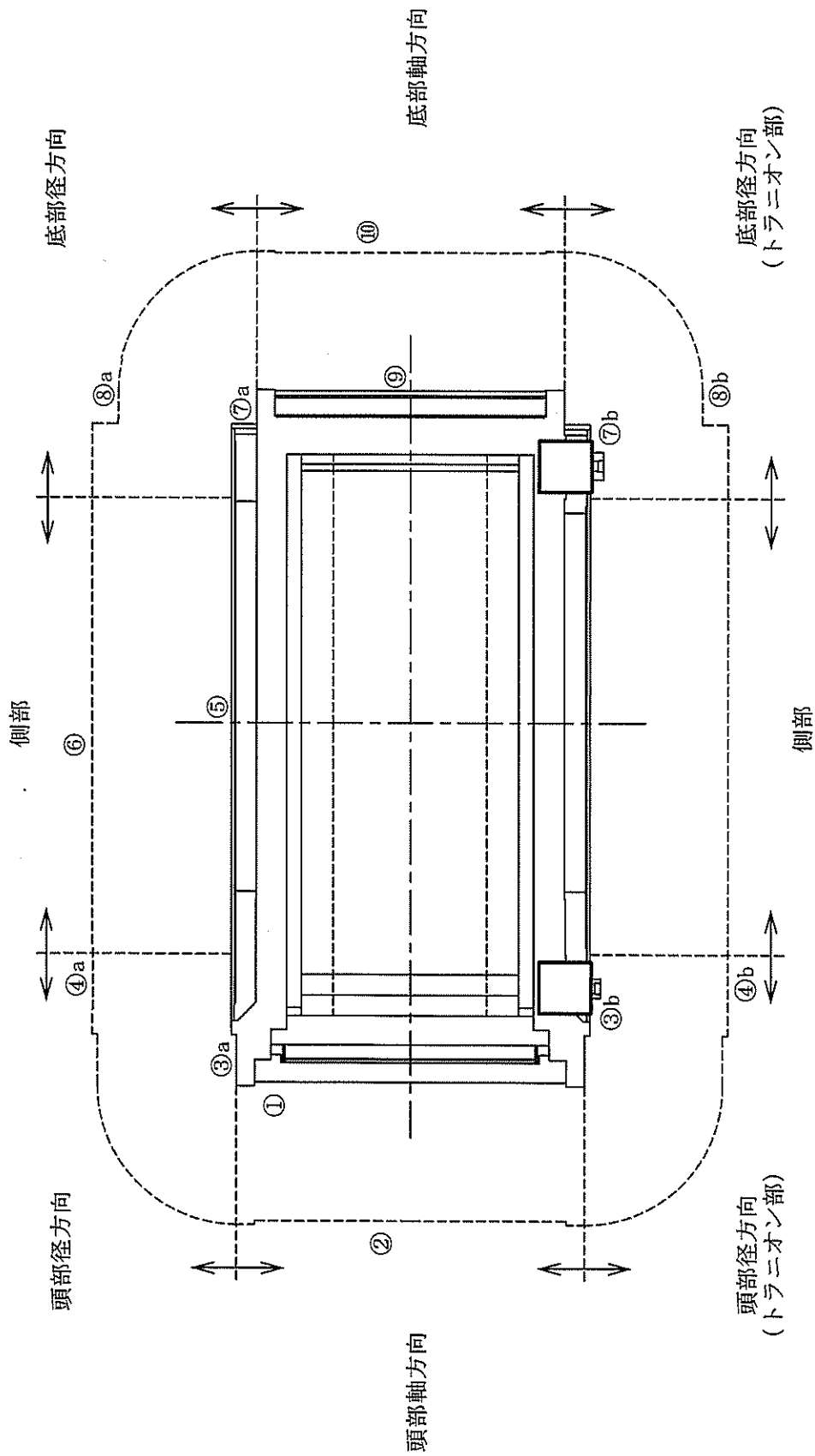
(注)0.1 未満の値は 0.1 として合計に考慮した。

2-5-2-1 表(2/2) 線量当量率評価結果 (乾式キャスク (タイプ2))

(単位: μ Sv/h)

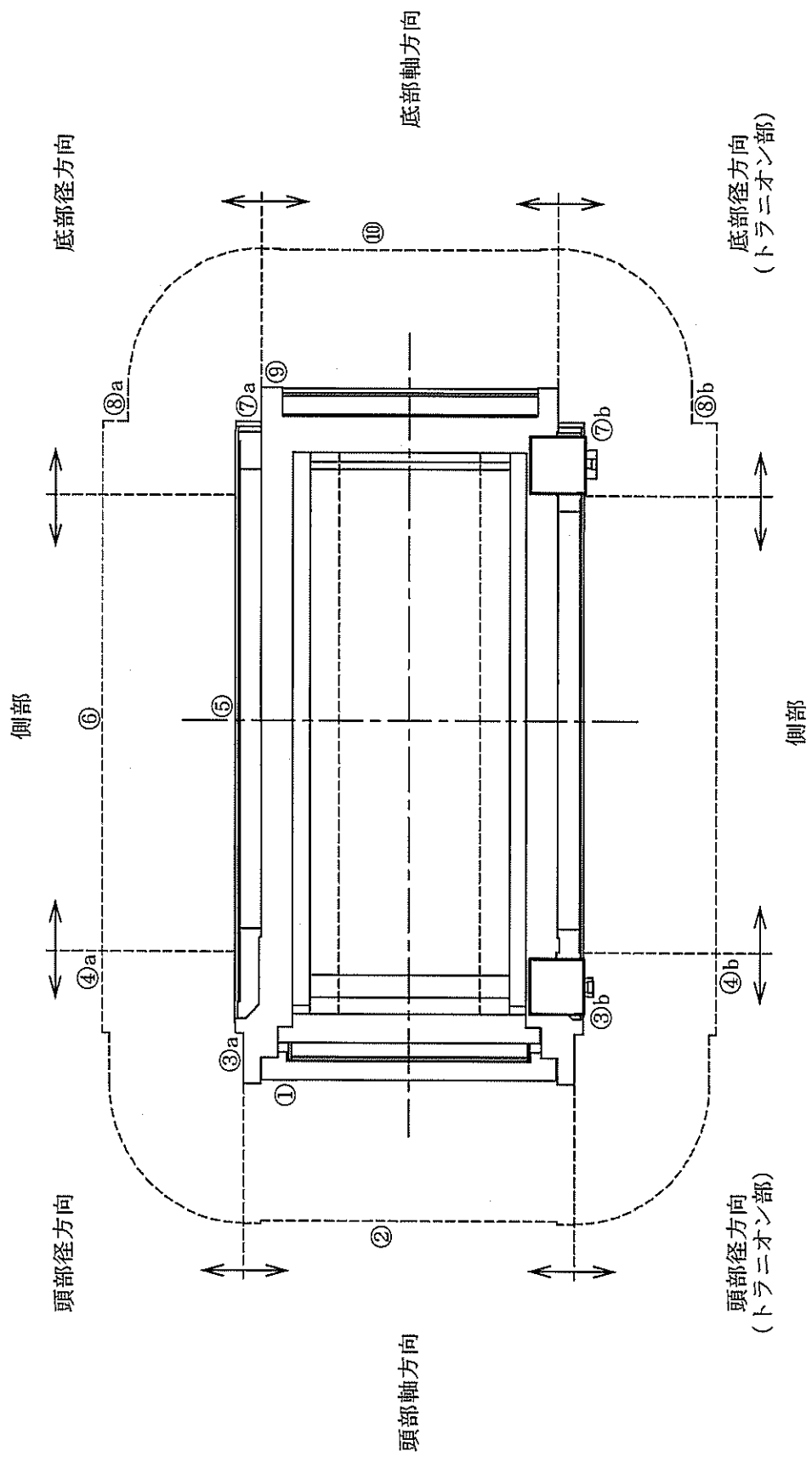
評価点			頭部			側部	底部		
			軸方向	径方向	径方向 (トランニオン部)		径方向	径方向 (トランニオン部)	軸方向
			①	③a	③b		⑤	⑦a	⑦b
表面	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	<0.1	8.0	100.7	4.0	5.4	<0.1
		構造材放射化	0.4	1.1	103.0	25.9	6.6	13.4	0.3
		二次ガンマ線	0.8	2.3	5.7	25.7	7.4	4.8	0.9
	中性子		333.7	804.2	741.4	45.1	1807.3	1108.3	222.6
	合計		335.0	807.7	858.1	197.4	1825.3	1131.9	223.9
評価点			②	④a	④b	⑥	⑧a	⑧b	⑩
表面から 1 m	ガンマ線	燃料有効部	0.3	22.5	22.6	44.8	9.0	7.9	4.9
		構造材放射化	3.5	20.1	20.9	12.5	7.4	6.1	28.8
		二次ガンマ線	0.4	5.4	5.4	10.4	3.0	2.8	3.6
	中性子		64.8	23.2	32.7	18.3	56.6	66.3	23.1
	合計		69.0	71.2	81.6	86.0	76.0	83.1	60.4

(注)0.1 未満の値は 0.1 として合計に考慮した。



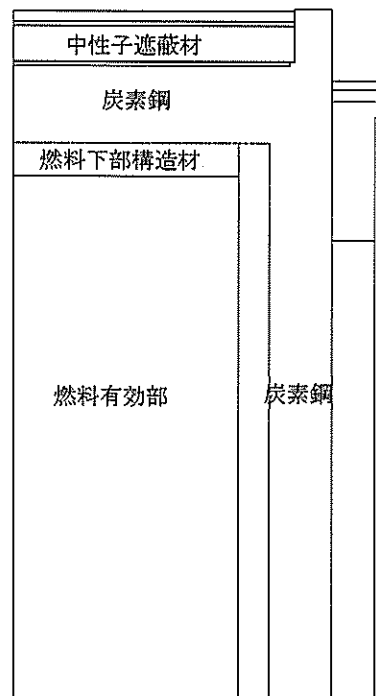
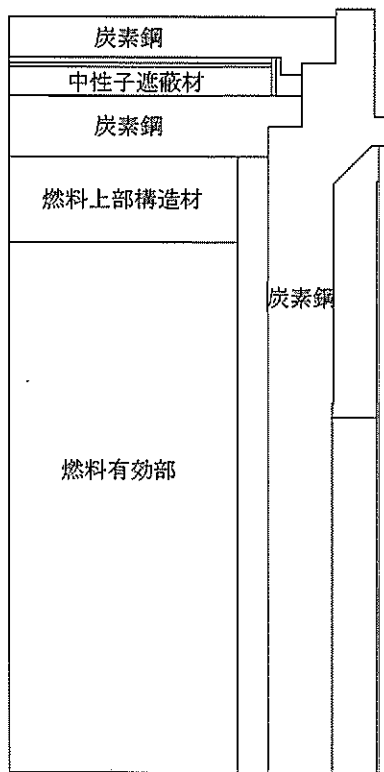
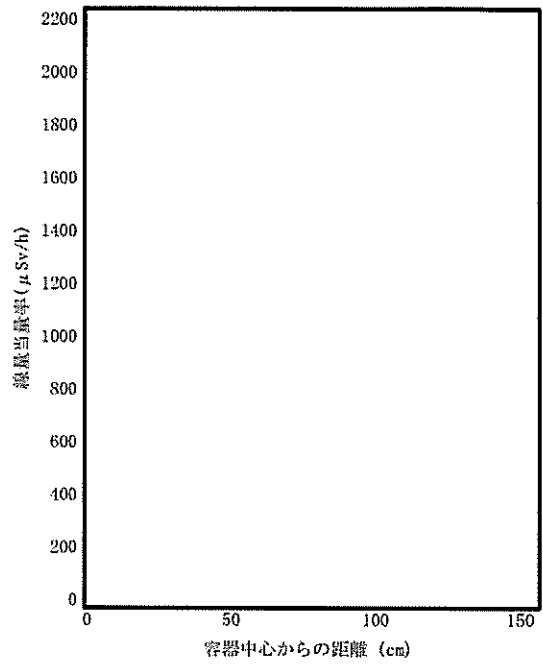
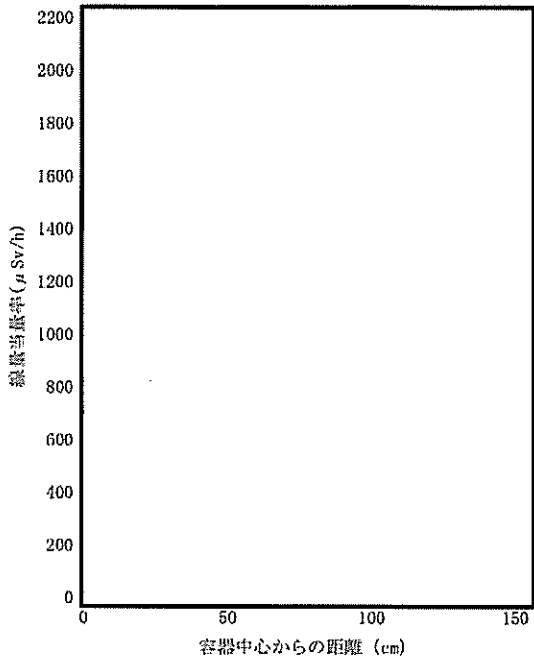
(注)①～⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示しており、その結果を2-5-2-1表(1/2)に示す。

2-5-2-1 図(1/2) 線量当量率評価点及び最大線量当量率位置 (乾式キャスク (タイプ1))



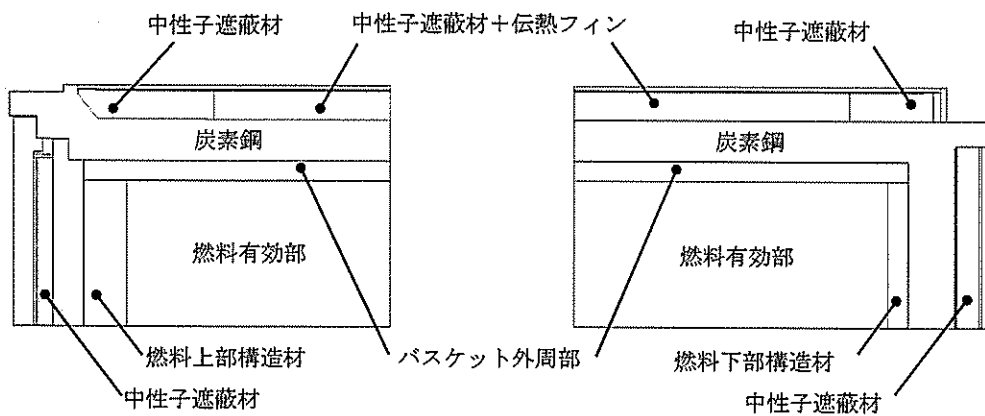
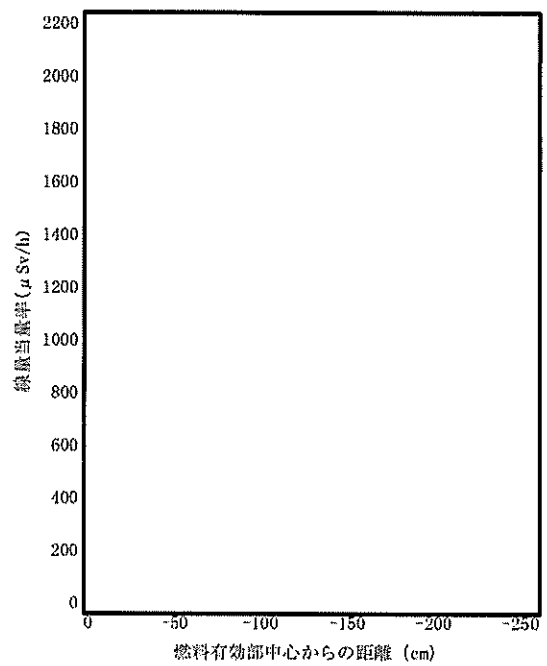
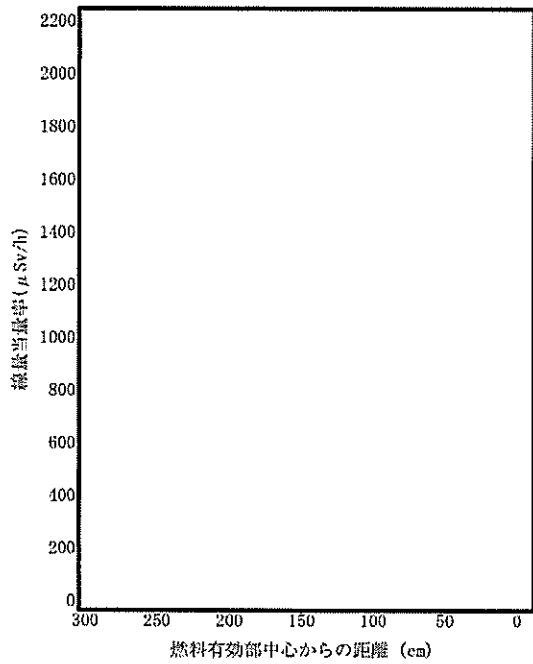
(注)①～⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示しており、その結果を2-5-2-1表(2/2)に示す。

2-5-2-1 図(2/2) 線量当量率評価点及び最大線量当量率位置 (乾式キャスク (タイプ2))

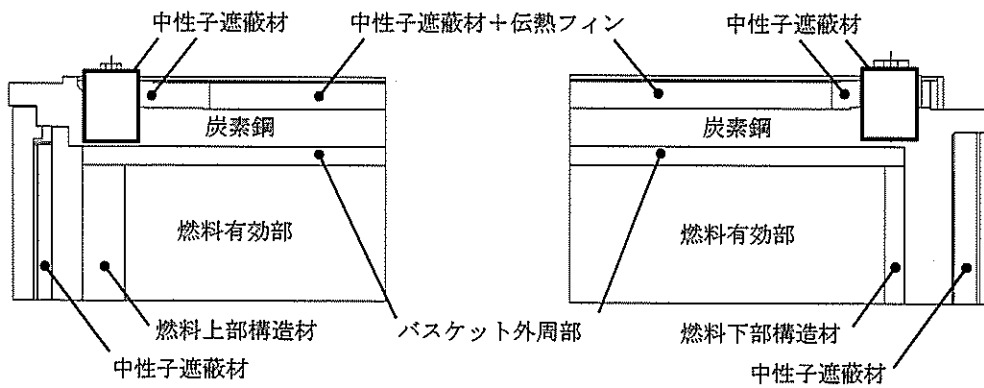
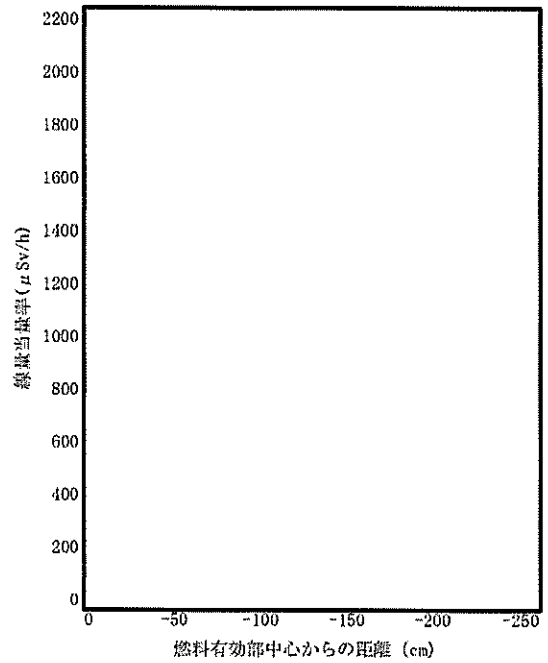
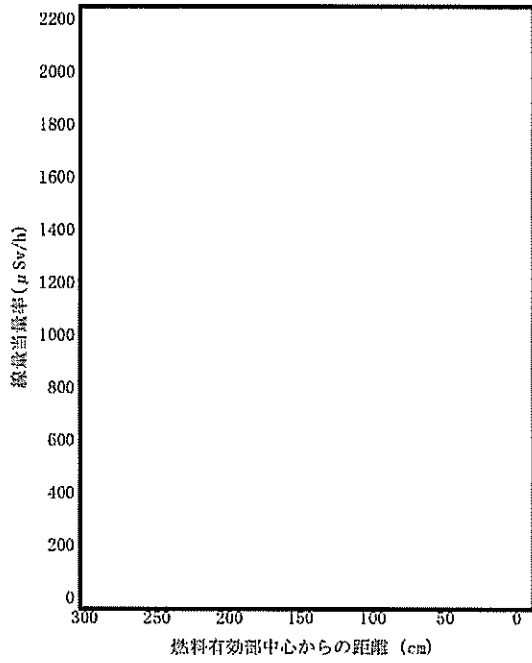


2-5-2-2 図(1/6) 表面の線量当量率分布 (頭部軸方向・底部軸方向)
(乾式キャスク (タイプ1))

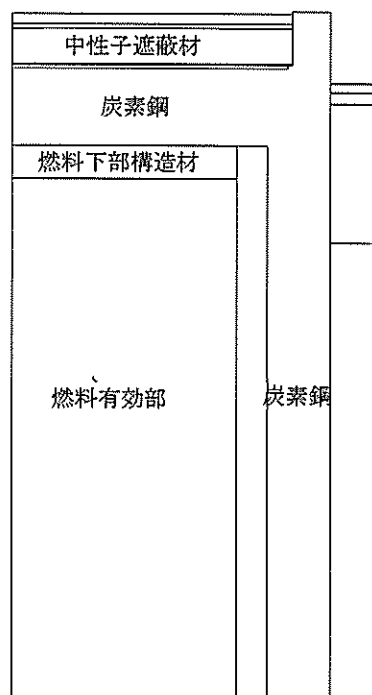
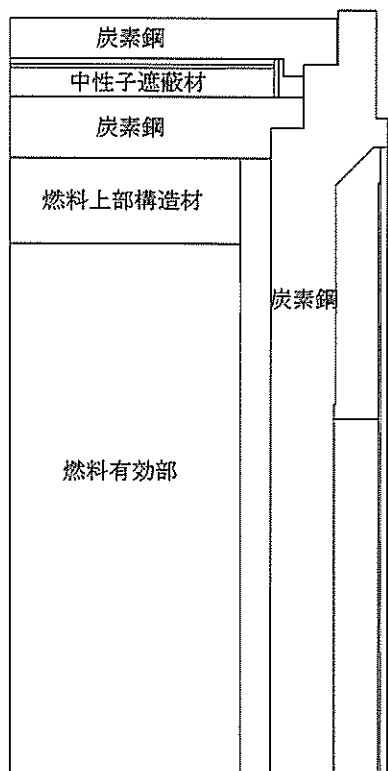
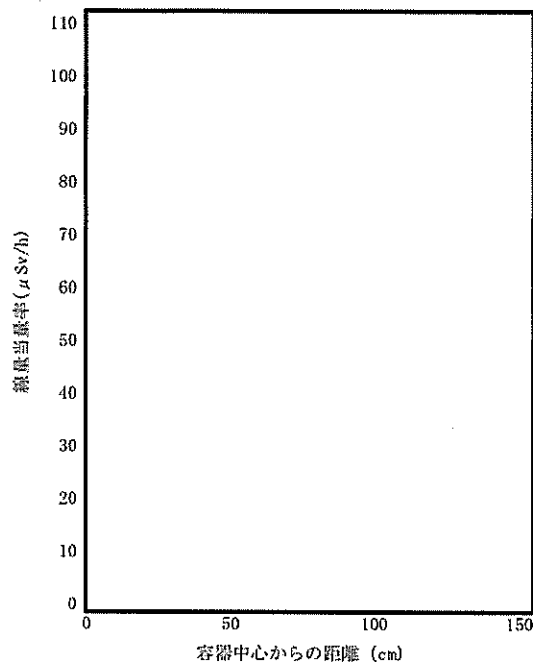
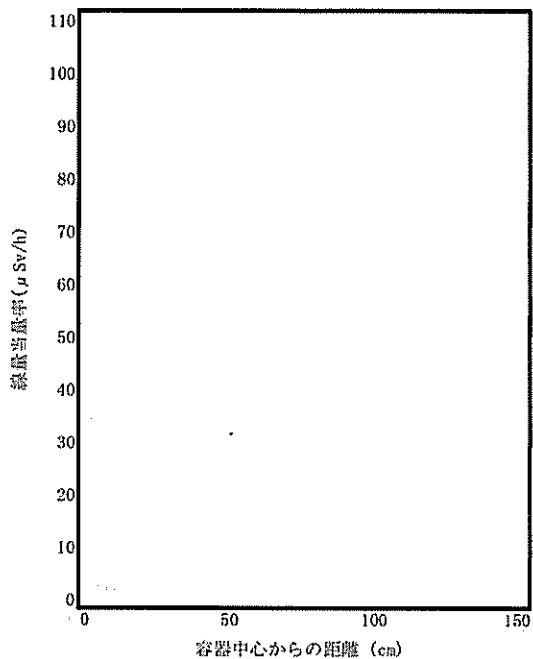
2-5-2-6



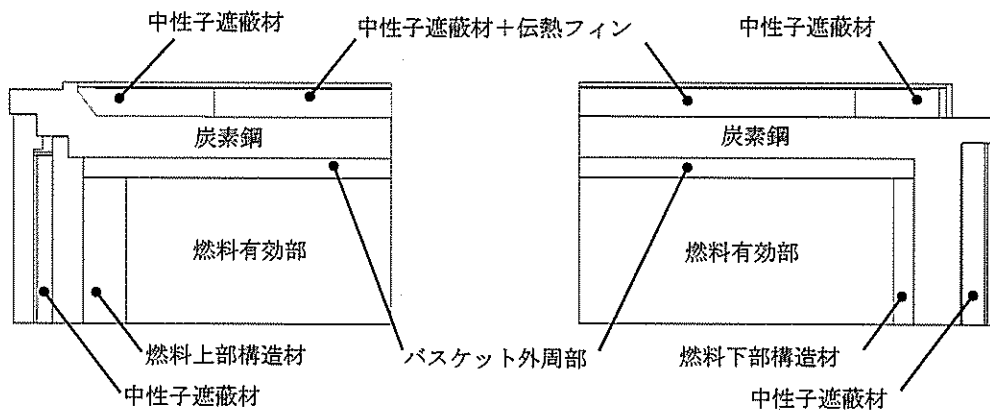
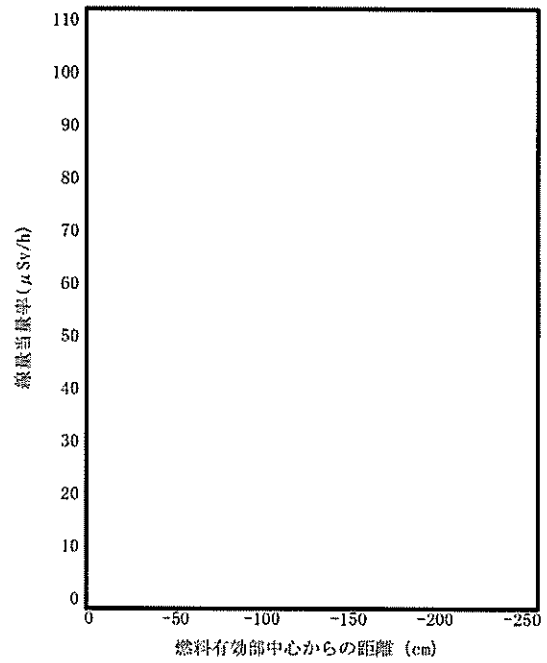
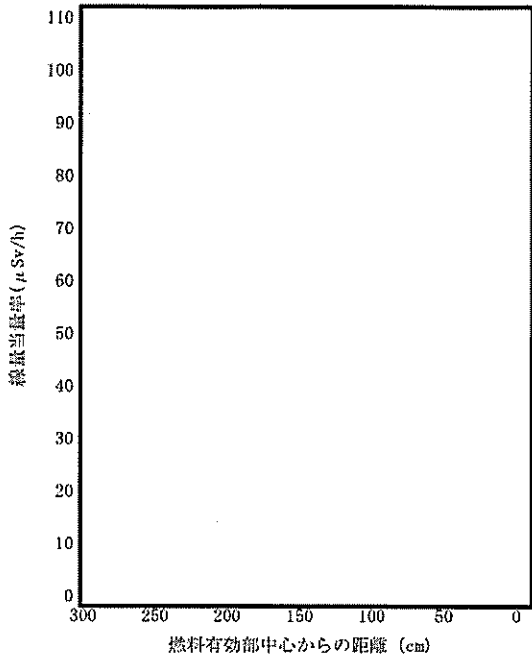
2-5-2-2 図(2/6) 表面の線量当量率分布 (頭部径方向・側部・底部径方向)
(乾式キャスク (タイプ1))



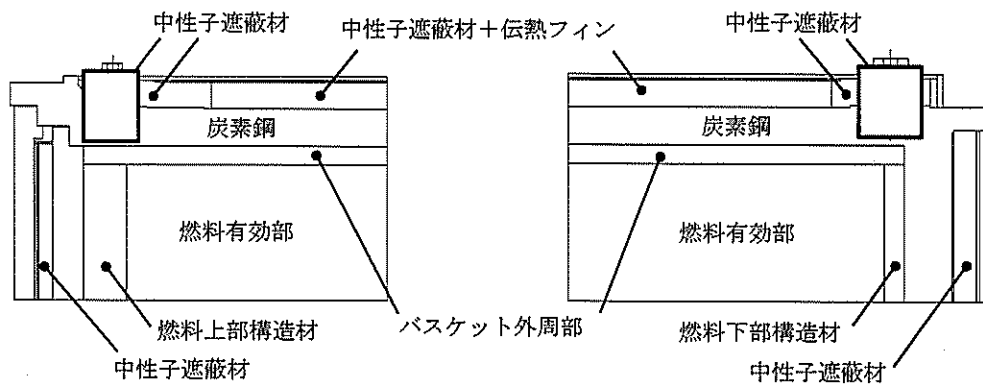
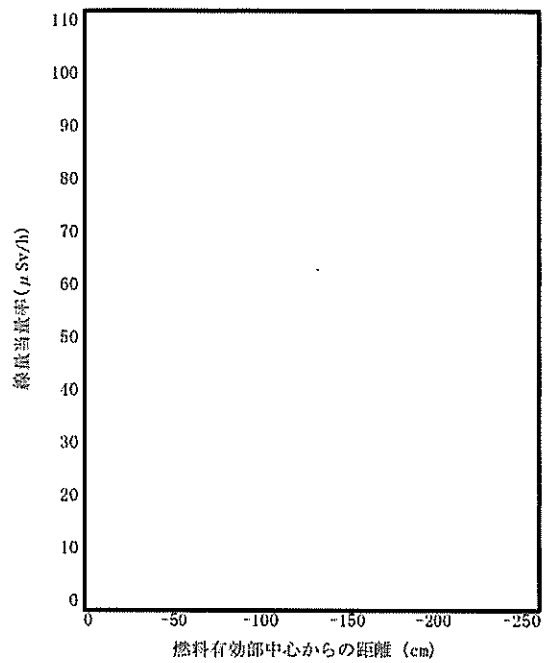
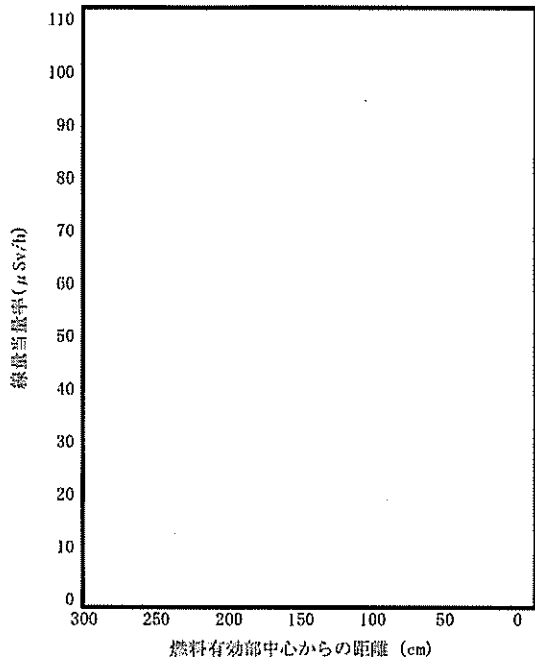
2-5-2-2 図(3/6) 表面の線量当量率分布 (トランニオン方向)
(乾式キャスク (タイプ1))



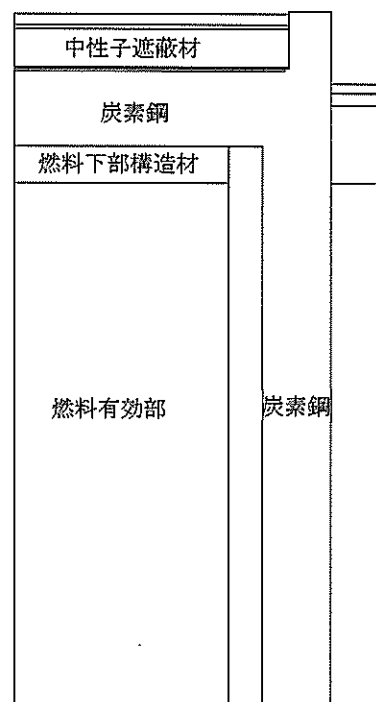
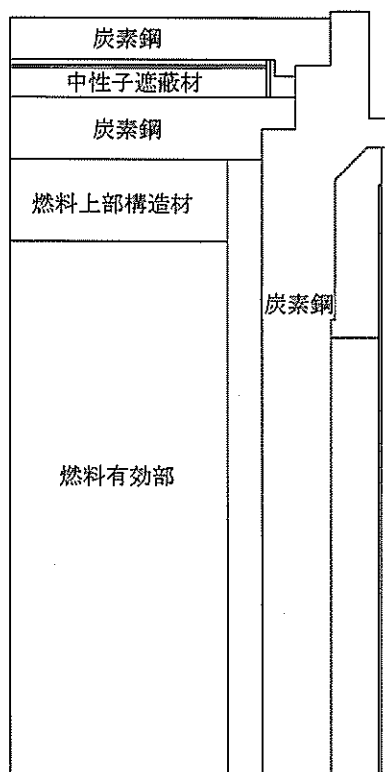
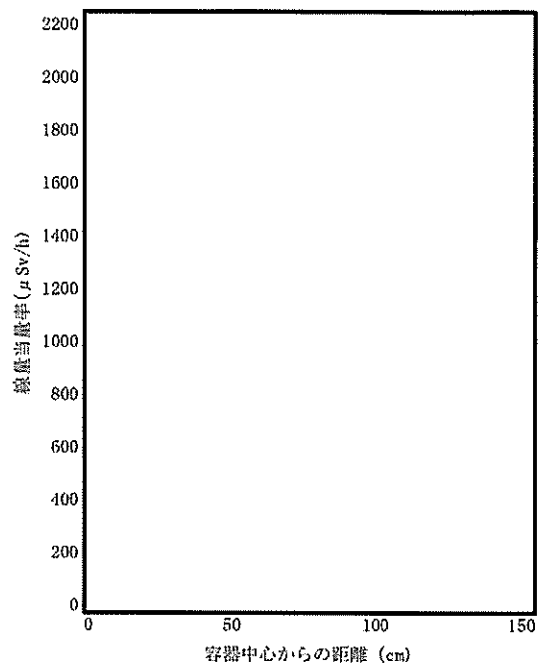
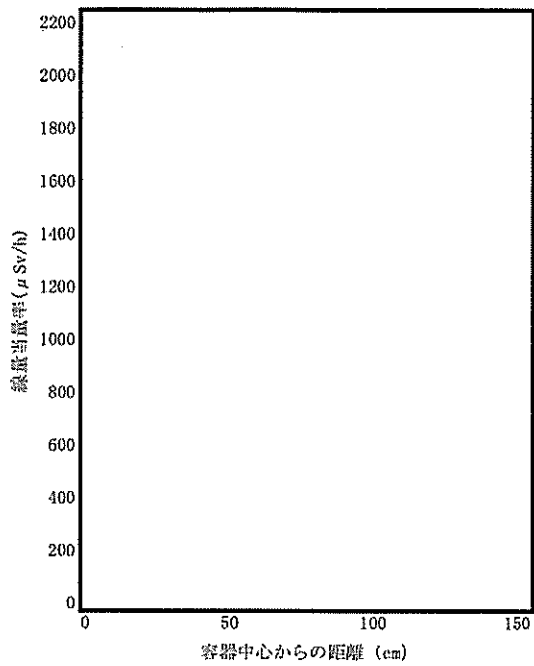
2-5-2-2 図(4/6) 表面から1m離れた位置の線量当量率分布(頭部軸方向・底部軸方向)
(乾式キャスク(タイプ1))



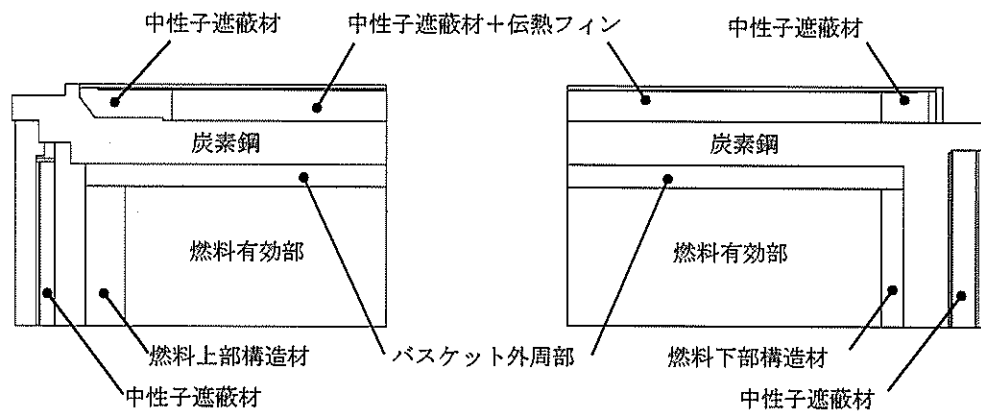
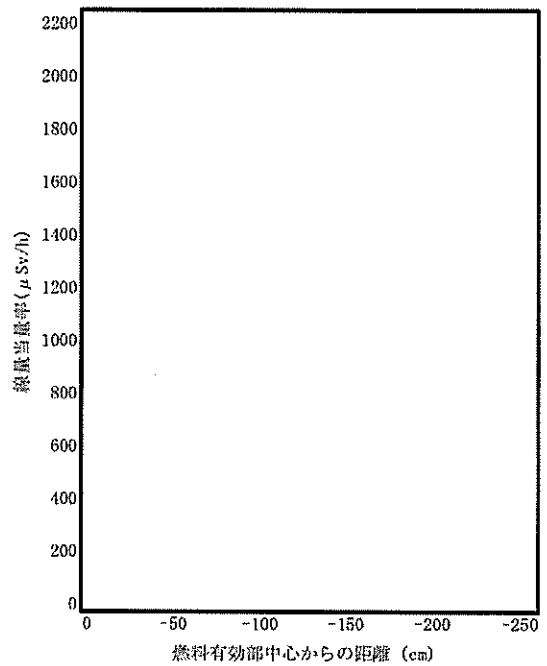
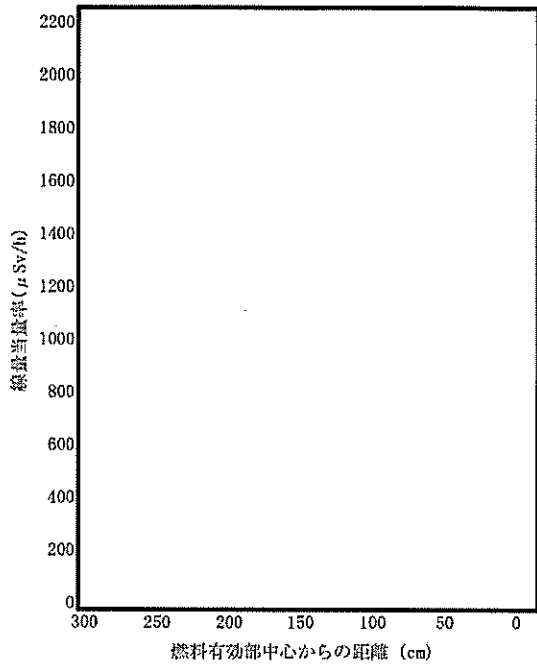
2-5-2-2 図(5/6) 表面から1m離れた位置の線量当量率分布(頭部径方向・側部・底部径方向)
(乾式キャスク(タイプ1))



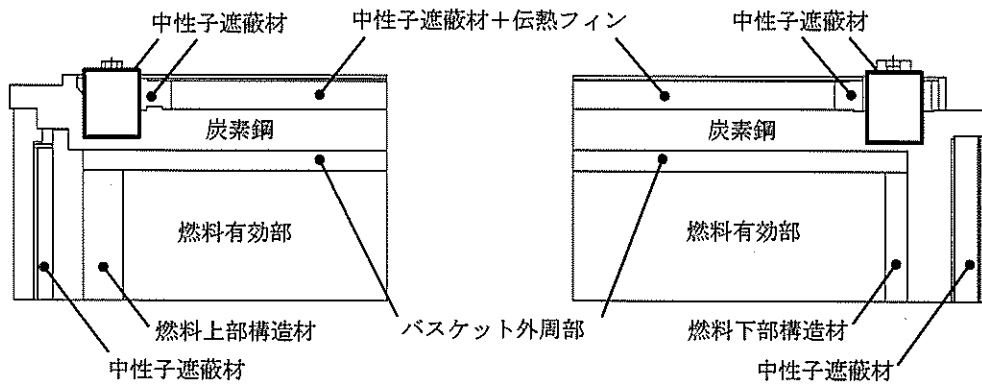
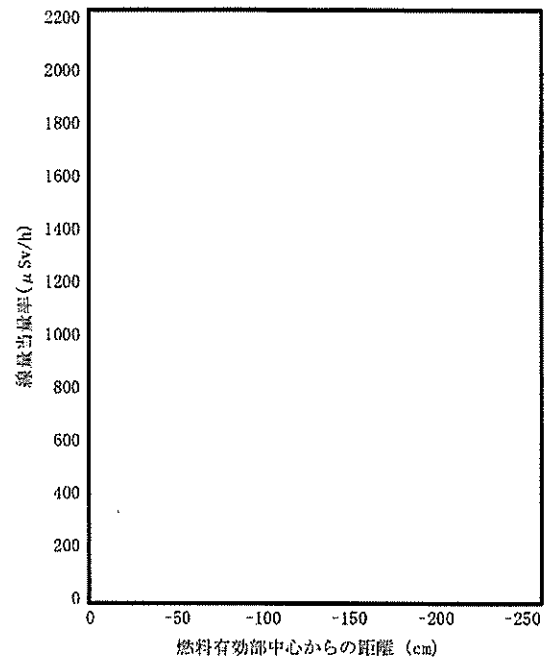
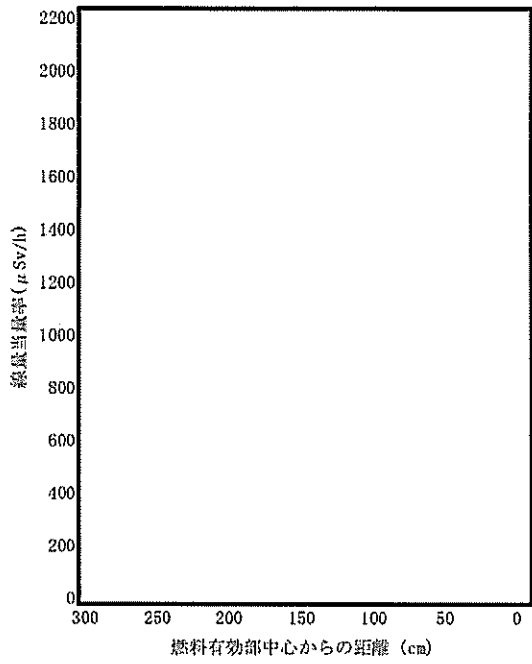
2-5-2-2 図(6/6) 表面から1m離れた位置の線量当量率分布 (トランニオン方向)
(乾式キャスク (タイプ1))



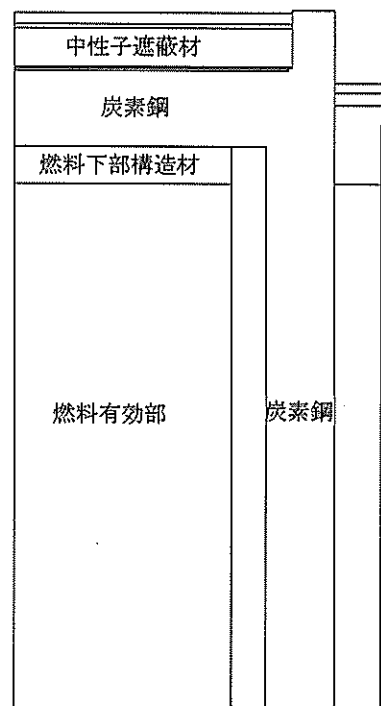
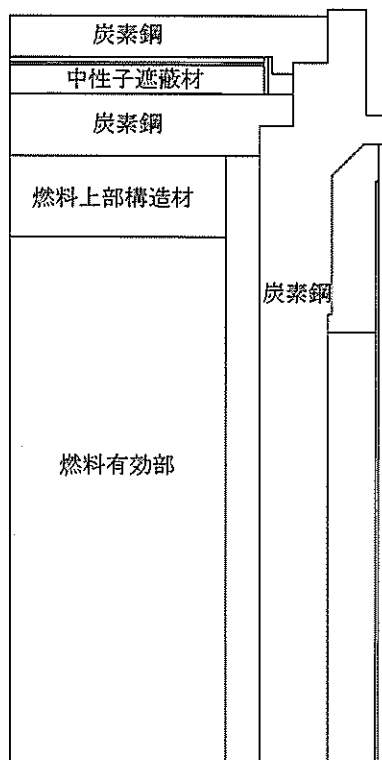
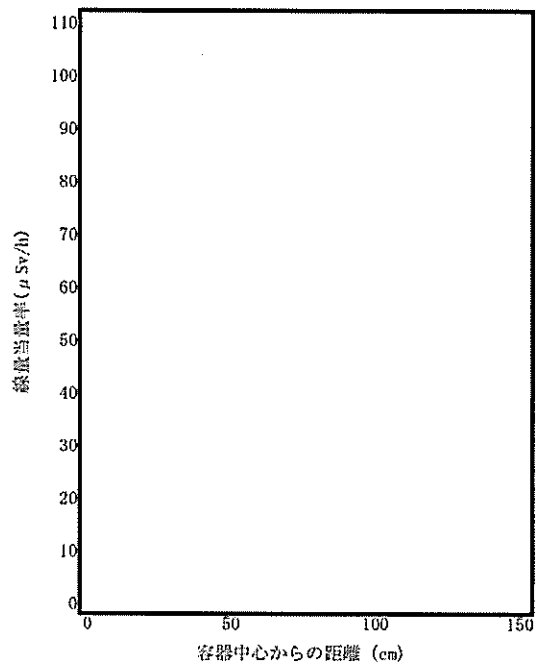
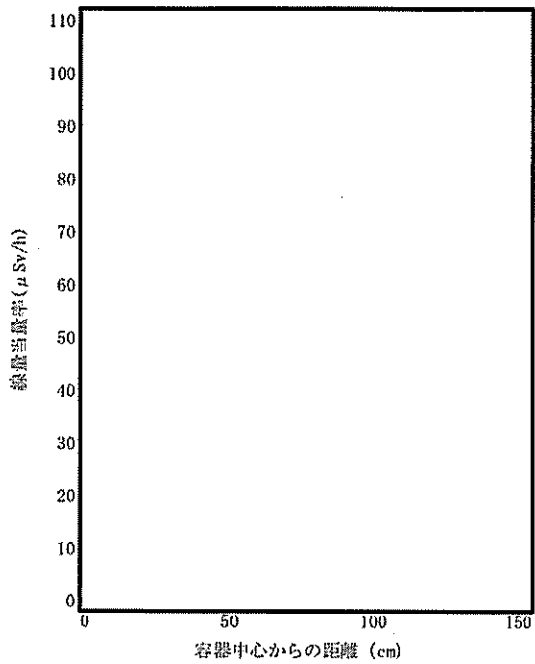
2-5-2-3 図(1/6) 表面の線量当量率分布 (頭部軸方向・底部軸方向)
(乾式キャスク (タイプ2))



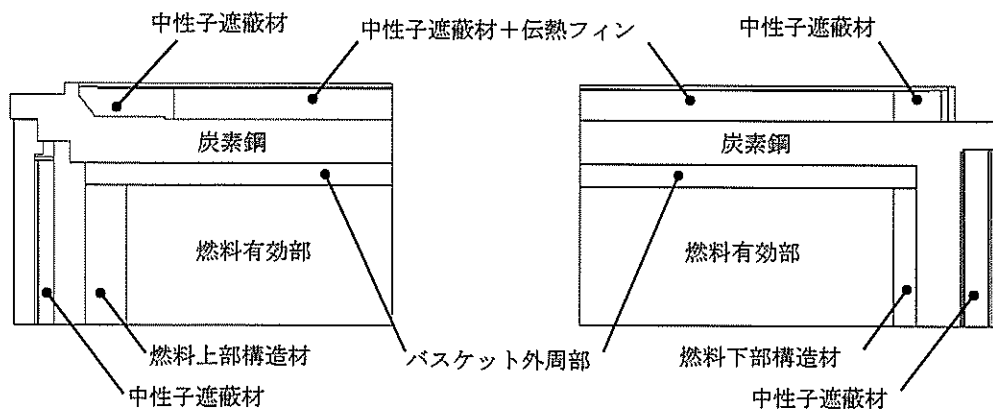
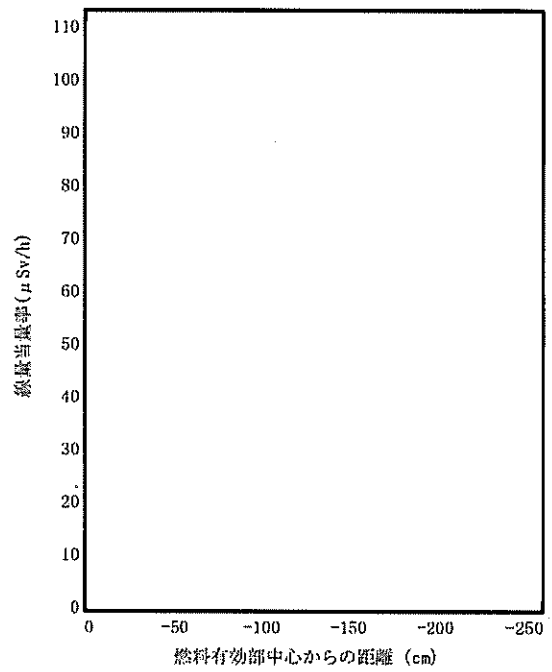
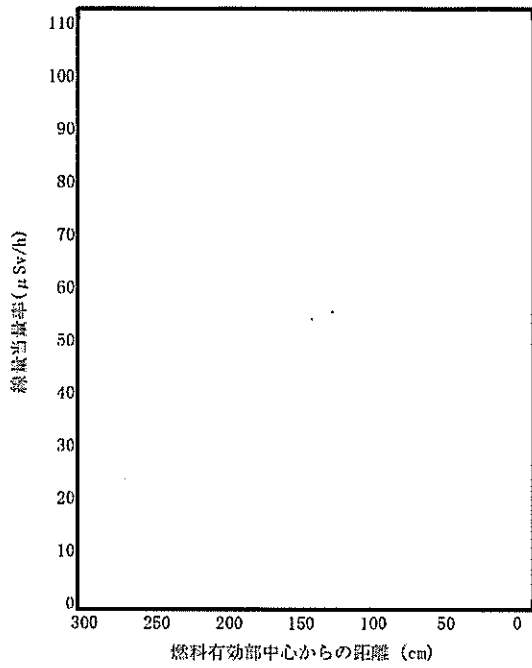
2-5-2-3 図(2/6) 表面の線量当量率分布 (頭部径方向・側部・底部径方向)
(乾式キャスク (タイプ2))



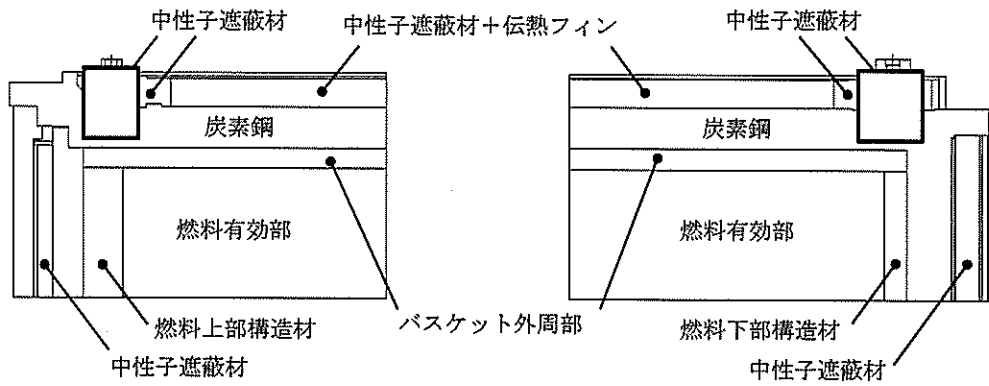
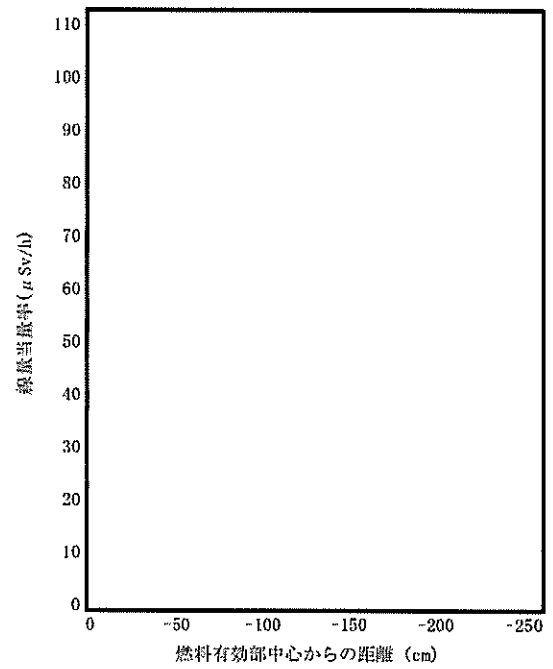
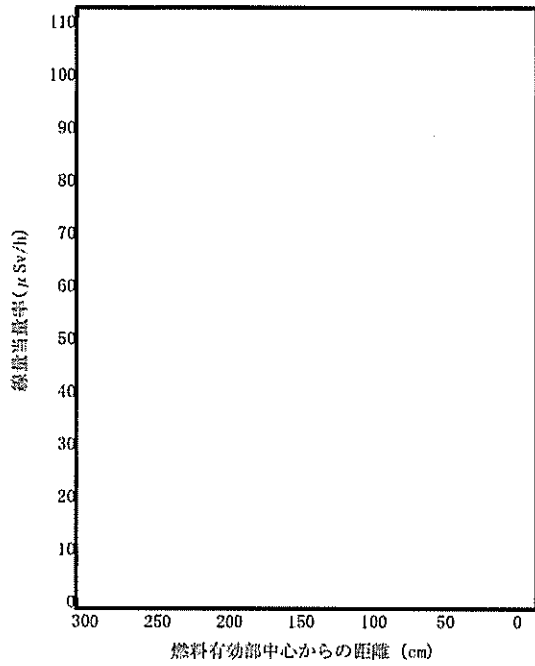
2-5-2-3 図(3/6) 表面の線量当量率分布 (トランニオン方向)
(乾式キャスク (タイプ2))



2-5-2-3 図(4/6) 表面から1m離れた位置の線量当量率分布(頭部軸方向・底部軸方向)
(乾式キャスク(タイプ2))



2-5-2-3 図(5/6) 表面から 1m 離れた位置の線量当量率分布 (頭部径方向・側部・底部径方向)
(乾式キャスク (タイプ 2))



2-5-2-3 図(6/6) 表面から1m離れた位置の線量当量率分布(トランニオン方向)
(乾式キャスク(タイプ2))

2-5-3 燃焼計算コード ORIGEN2 を用いることの妥当性

本資料は資料 14「使用済燃料貯蔵容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書」に関する説明書において使用する、燃焼計算コード ORIGEN2 を用いることの妥当性について説明するものである。

燃焼計算コード ORIGEN2 は、原子燃料施設の放射線源強度（以下、「線源強度」という。）計算及び崩壊熱計算に広く使用されており、使用済燃料輸送キャスクの線源強度計算及び崩壊熱計算等に豊富な実績がある。

ORIGEN2 の計算結果と ANS 標準崩壊熱の比較を 2-5-3-1 図に示す。2-5-3-1 図に示すように、ORIGEN2 計算値と ANS 標準崩壊熱は一致しており、ORIGEN2 を使用済燃料輸送キャスクの線源強度計算及び崩壊熱計算に適用することは妥当である。

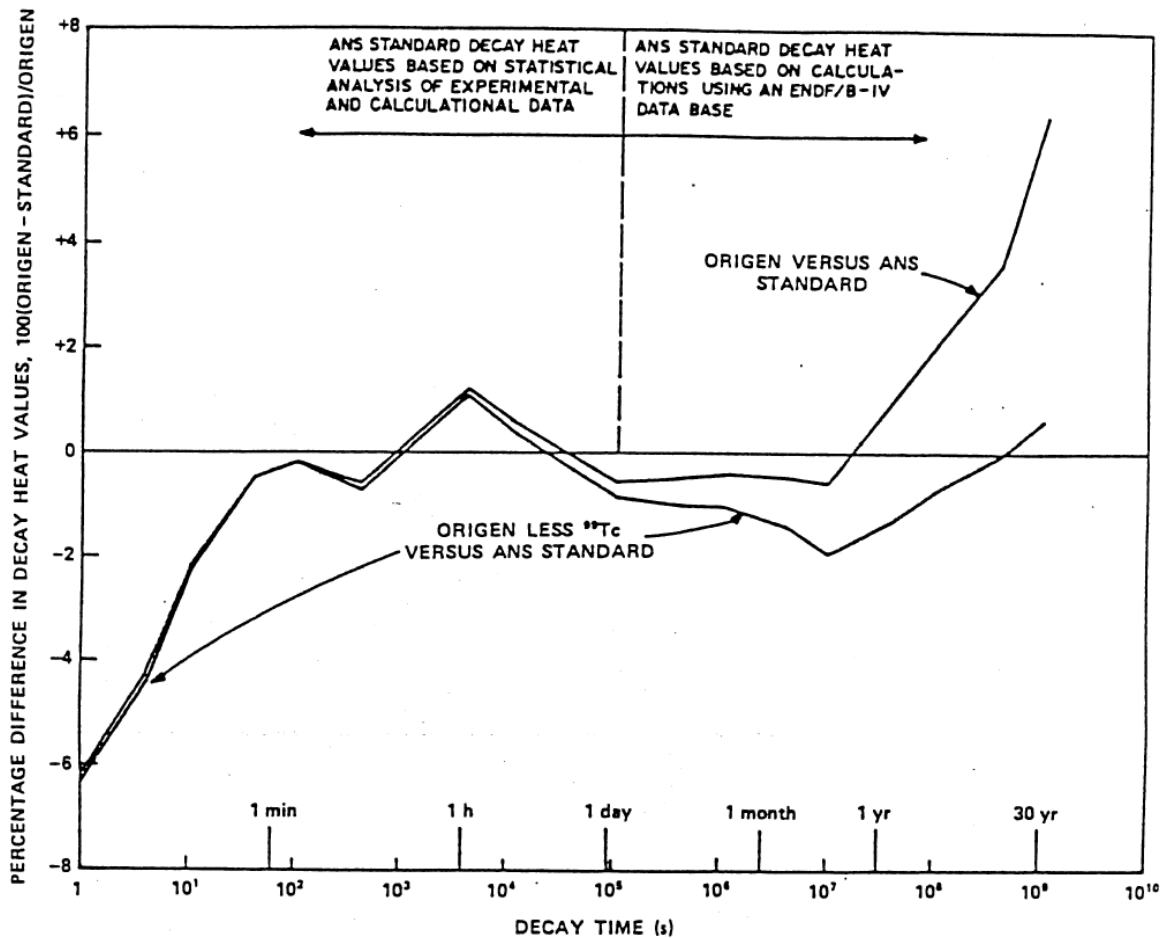


Fig. 3. Differences between ORIGEN2 and ANS Standard 5.1 decay heat values for 10^{13} -s irradiation of ^{235}U .

(注)ORIGEN2 の崩壊熱は、ANS 標準崩壊熱と比較して、15 年以上（乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）に収納される使用済燃料集合体の冷却期間）の年数に対して高めの値となっている。この理由は、ANS 標準崩壊熱は ^{99}Tc を考慮していないためである。したがって、 ^{99}Tc を除いた崩壊熱を比較するとよい一致を示している。

- 1) A. G. Croff, "ORIGEN2: A Versatile Computer Code for Calculating the Nuclide Compositions and Characteristics of Nuclear Materials", Nuclear Technology, Vol. 62, (1983).

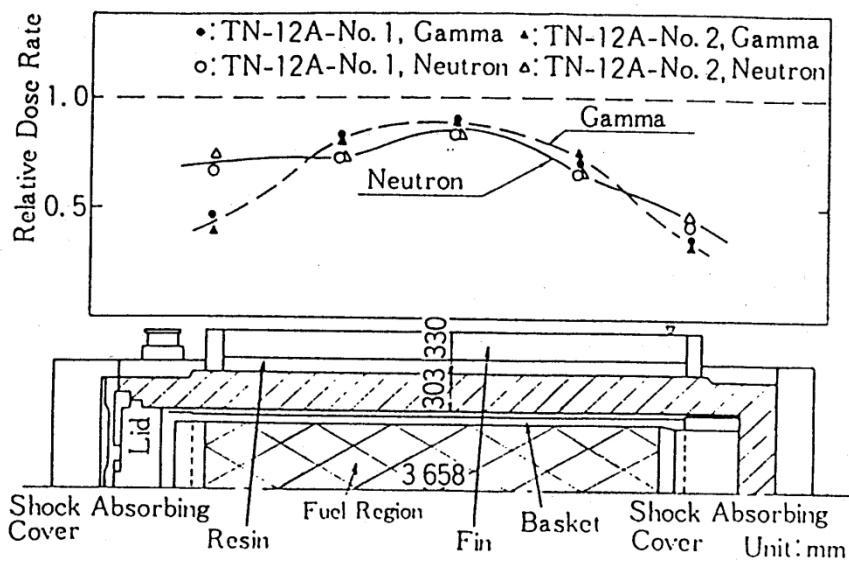
2-5-3-1 図 ORIGEN2 コードの検証例¹⁾

2-5-4 二次元輸送計算コード DOT3.5 を
用いることの妥当性

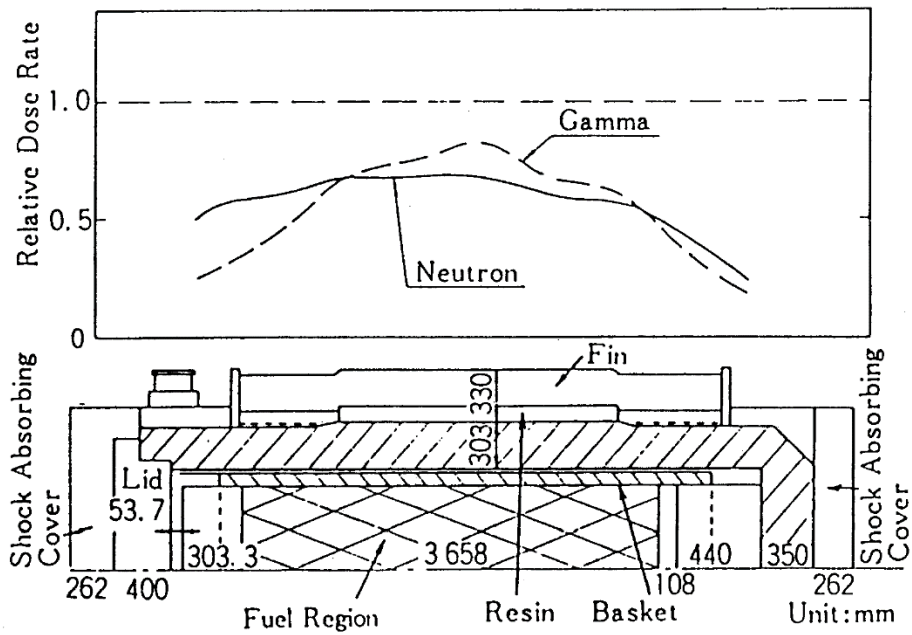
本資料は資料 14「使用済燃料貯蔵容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書」に関する説明書において使用する、二次元輸送計算コード DOT3.5 を用いることの妥当性について説明するものである。

二次元輸送計算コード DOT3.5 は、原子力施設の遮蔽解析に広く使用されており、使用済燃料輸送キャスクの遮蔽解析に豊富な実績がある。

ガンマ線及び中性子について DOT3.5 で解析した使用済燃料輸送キャスクの解析値と測定値の比較を 2-5-4-1 図及び 2-5-4-2 図に示す（解析値を 1.0 とした場合の測定値の相対比を示している）。2-5-4-1 図及び 2-5-4-2 図に示すとおり、解析値は測定値を上回っており、DOT3.5 をキャスク体系に適用することは妥当である。



2-5-4-1 図 DOT3.5 の検証例 (その1) ¹⁾



2-5-4-2 図 DOT3.5 の検証例 (その2) ¹⁾

1) (一社) 日本原子力学会, 「中性子遮蔽設計ハンドブック」, (1993).

2-5-5 JENDL-3.3に基づく断面積ライブラリを
適用することの妥当性

本資料は資料 14「使用済燃料貯蔵容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書」に関する説明書において使用する、JENDL-3.3 に基づく断面積ライブラリを適用することの妥当性について説明するものである。

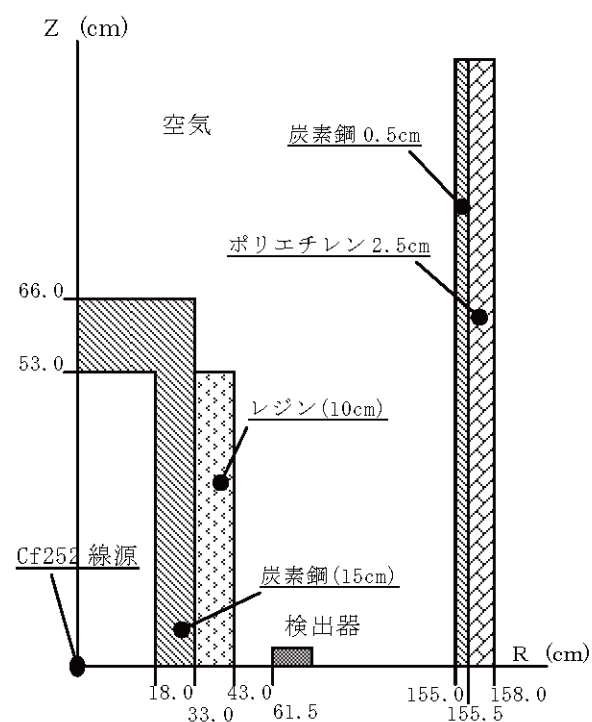
JENDL-3.3¹⁾ に基づく断面積ライブラリについては、以下に示す文献にて妥当性が確認されている。

なお、(1)及び(2)にて JENDL-3.3 に基づく断面積ライブラリの適用の妥当性について説明し、(3)にて本評価で用いた MATXSLIB-J33²⁾ の詳細について説明する。

(1)海上技術安全研究所（以下、「海技研」という。）によるベンチマーク計算について

海技研は評価済核データ JENDL-3.3 に基づく輸送容器遮蔽評価用断面積ライブラリ SFCX-J33 について、輸送容器体系で遮蔽透過実験を実施し、測定した線量当量率を用いたベンチマーク計算及び検証を実施している³⁾。

この検証での計算モデル及び計算結果を 2-5-5-1 図に示す。測定値と SFCX-J33 による計算値は中性子、ガンマ線共によく一致しており、JENDL-3.3 に基づく断面積ライブラリは輸送容器体系での線量当量率評価に適合することが確認されている。



輸送容器体系ベンチマーク計算結果

項目	線量当量率 (μ Sv/h)			
	中性子	ガンマ線		
		2次 ガンマ	²⁵² Cf ガンマ	合計
測定値	28.4	-	-	2.52
計算値	28.8	2.49	0.19	2.68

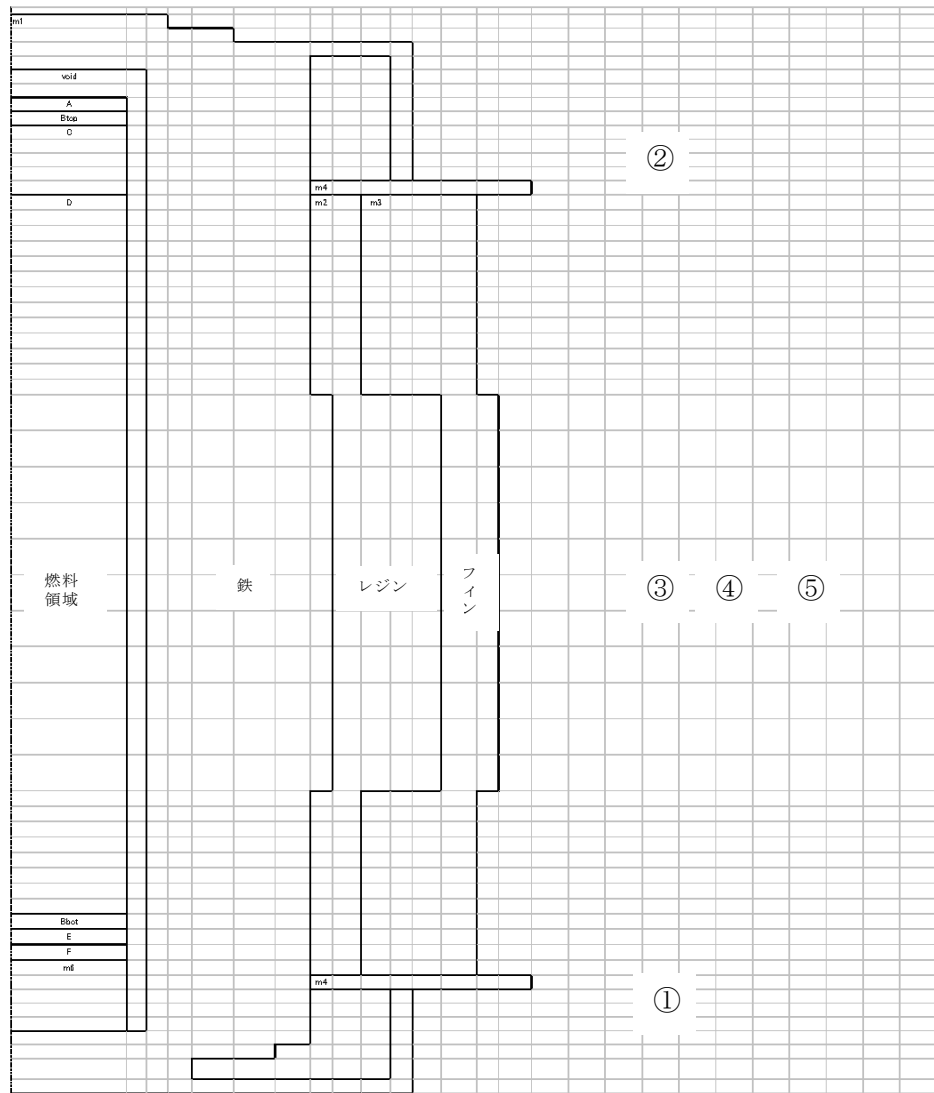
2-5-5-1 図 輸送容器体系の計算モデル及びベンチマーク計算結果

(2) TN-12 型使用済燃料輸送キャスクを用いたベンチマーク計算について

TN-12 型使用済燃料輸送キャスクに使用済燃料集合体を装荷した際の中性子及びガンマ線の線量当量率測定結果と DOT3.5 コードを用いた評価結果との比較を実施している⁴⁾。

DOT3.5 コードで用いている断面積ライブラリは SFCX-J33 である。

2-5-5-2 図に示すとおり、測定値と SFCX-J33 による計算値は使用済燃料集合体を装荷した輸送容器体系においてもよく一致しており、JENDL-3.3 に基づく断面積ライブラリは輸送容器体系での線量当量率評価に適合することが確認されている。



(単位：μSv/h)

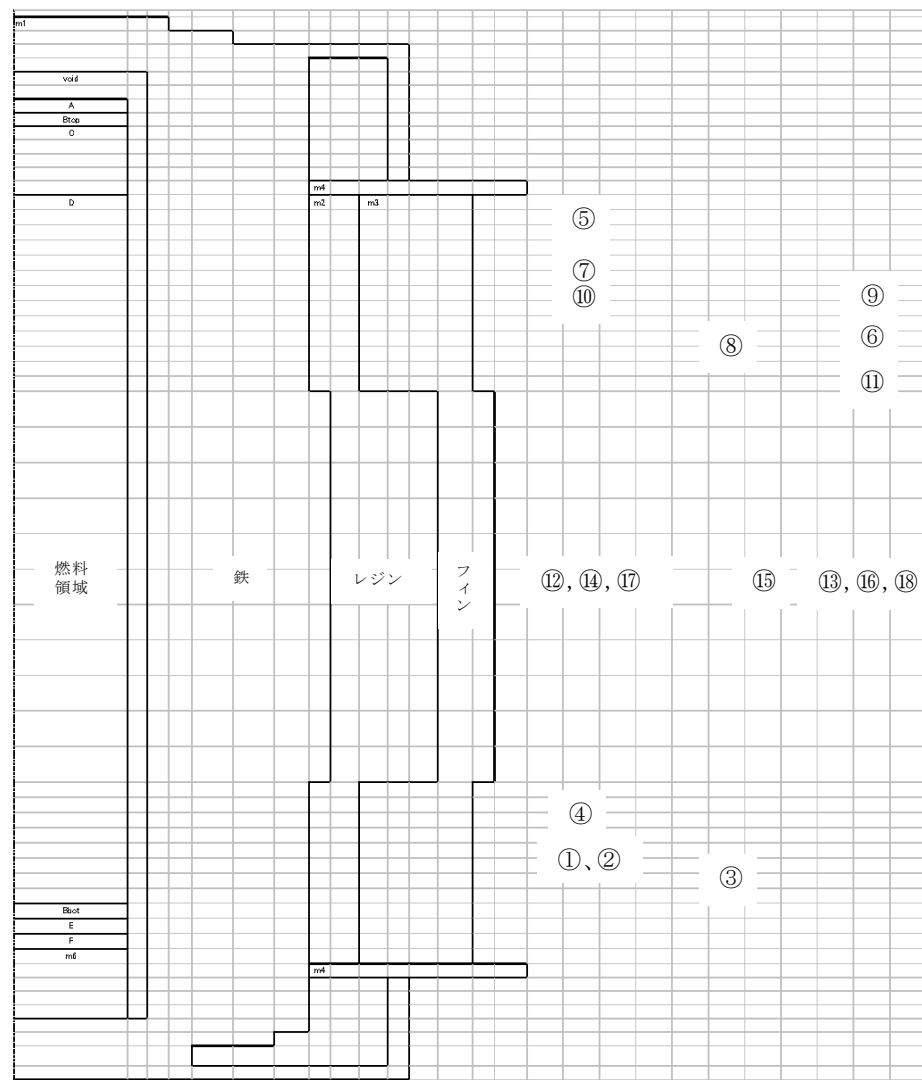
評価点 番号	測定値	計算値 (注)
①	35.0	32.72
②	59.3	61.42
③	52.9	78.07
④	28.6	36.14
⑤	19.0	20.97

(注)DOT3.5 コードの計算値はフィン効果補正を考慮。

2-5-5-2 図(1/2) 中性子計算モデル及びベンチマーク計算比較

(単位：μSv/h)

2-5-5-4



評価点 番号	測定値	計算値 ^(注)
①	150.0	196.41
②	162.0	196.41
③	54.0	53.92
④	145.0	206.54
⑤	210.0	256.82
⑥	39.0	36.99
⑦	248.0	263.84
⑧	80.0	72.45
⑨	42.0	35.59
⑩	210.0	262.87
⑪	38.0	39.70
⑫	80.0	136.07
⑬	31.0	40.66
⑭	97.0	136.07
⑮	49.0	67.04
⑯	33.0	40.66
⑰	79.0	136.07
⑱	31.0	40.66

(注)DOT3.5 コードの計算値はフィン効果補正を考慮。

2-5-5-2 図(2/2) ガンマ線計算モデル及びベンチマーク計算比較

(3) MATXSLIB-J33 の詳細について

MATXSLIB-J33 は、DOT3.5 等の輸送計算コード用に、JENDL-3.3 に基づく断面積ライブラリとして、日本原子力研究所にて整備されたものである。MATXSLIB-J33 を用いた断面積ライブラリの作成条件は 2-5-5-1 表に示すとおりであり、多群ライブラリ処理コード TRANSX-2.15⁵⁾ を用いて、輸送計算コード用に中性子 175 群、ガンマ線 42 群のエネルギー群構造に変換され作成されている。

なお、TRANSX-2.15 については公開されている修正パッチ⁶⁾ を適用したものをを用いている。

JENDL-3.3 の信頼性は遮蔽性能に関するベンチマーク解析で確認済である。

2-5-5-1 表 MATXSLIB-J33 を用いた断面積ライブラリの作成条件

多群ライブラリ処理コード	TRANSX-2.15
エネルギー群数	中性子 175 群、ガンマ線 42 群
自己遮蔽因子	考慮
transport correction	diagonal

【参考文献】

- 1) K. Shibata, et al., “Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-3:JENDL-3.3”, J. Nucl. Sci. Technol. 39,1125, (2002).
- 2) K. Kosako, et al., “The Libraries FSXLIB and MATXSLIB Based on JENDL-3.3”, JAERI-Data/Code 2003-011, (2003).
- 3) 大西世紀 ほか, 「²⁵²Cf 核分裂中性子源を用いた遮へい透過実験及び二次元離散座標計算コードによる輸送容器評価用断面積セット SFCX-J33 の適用性に関する研究」, 海上技術安全研究所報告 第 7 巻 第 3 号 研究報告, (2007).
- 4) 浅見光史 ほか, 「放射性物質輸送容器のモンテカルロ法による遮蔽安全評価手法ガイドライン原案の策定」, 海上技術安全研究所報告 第 13 巻 第 1 号 研究調査資料, (2013).
- 5) R. E. MacFarlane, “TRANSX2:A Code for Interfacing MATXS Cross-Section Libraries to Nuclear Transport Codes”, LA-12312-MS, (1992).
- 6) International Atomic Energy Agency Nuclear Data Services, “TRANSX patches”, <https://www-nds.iaea.org/fendl20/transx-patches.htm>,

2-5-6 トラニオン部の線束接続計算の妥当性

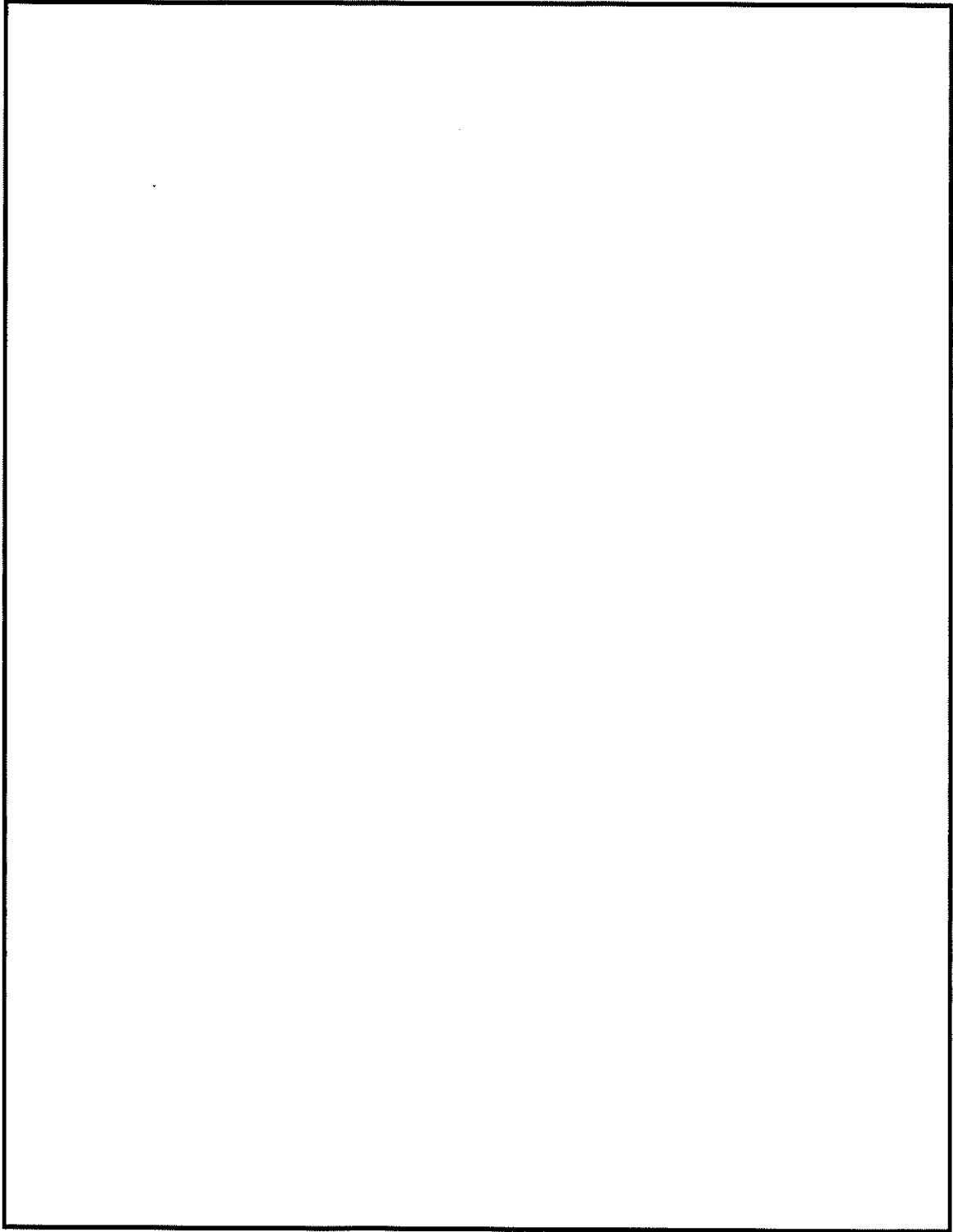
本資料は資料 14「使用済燃料貯蔵容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書」に関する説明書において使用する、本体モデルからトラニオン部モデルへの線束接続計算の妥当性について説明するものである。

1. トラニオン部の計算について

トラニオン部解析モデルの線束接続の概要については 2-5-1-13 図に示すとおりである。線束接続計算の詳細及び妥当性について以下に示す。

2. 計算条件

- ・本体モデルからトラニオン部への線束接続位置を 2-5-6-1 図から 2-5-6-4 図に示す。
- ・その他条件は本体モデルと同じである。



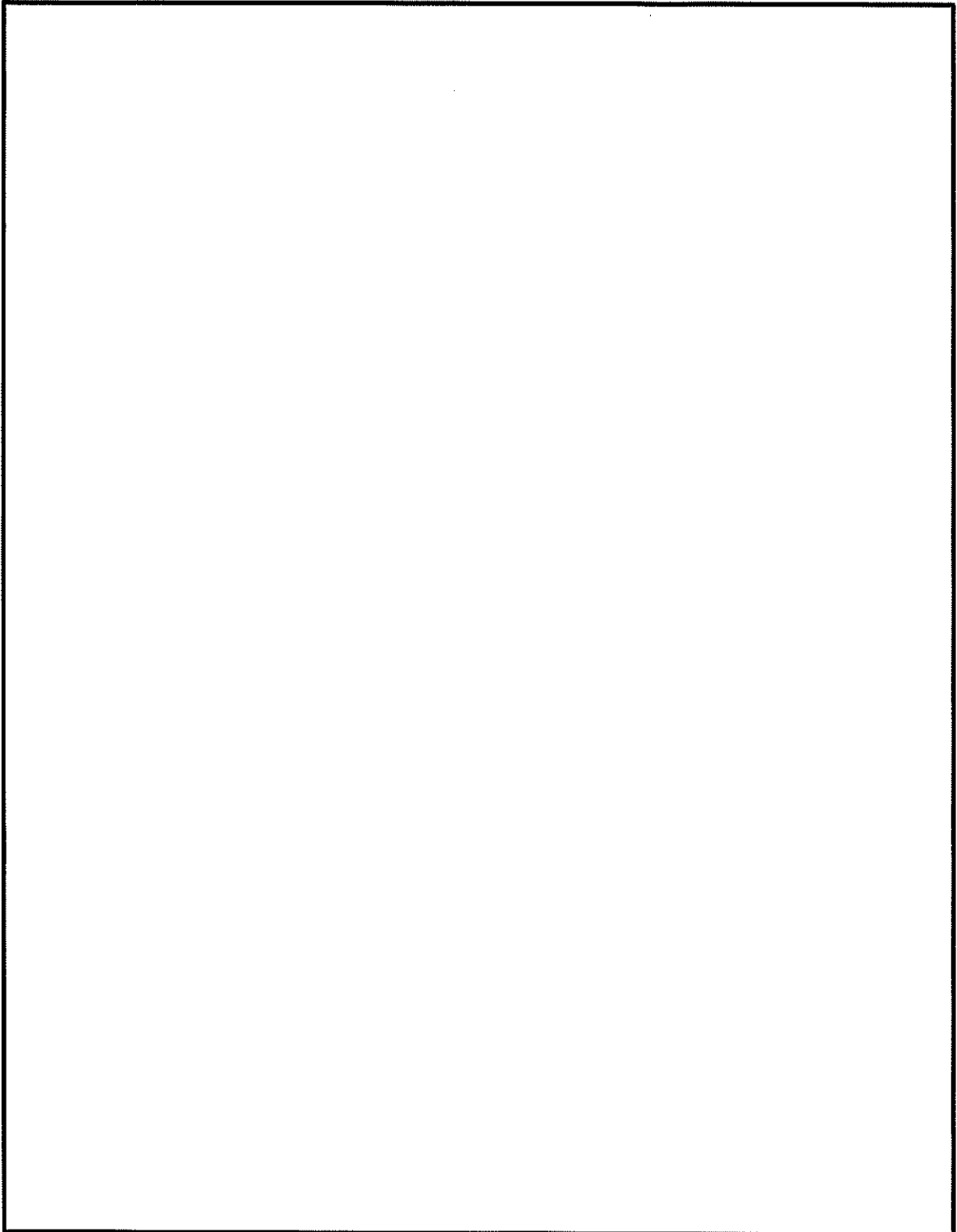
2-5-6-1 図 トラニオン線束接続位置（頭部）（乾式キャスク（タイプ1））

2-5-6-2



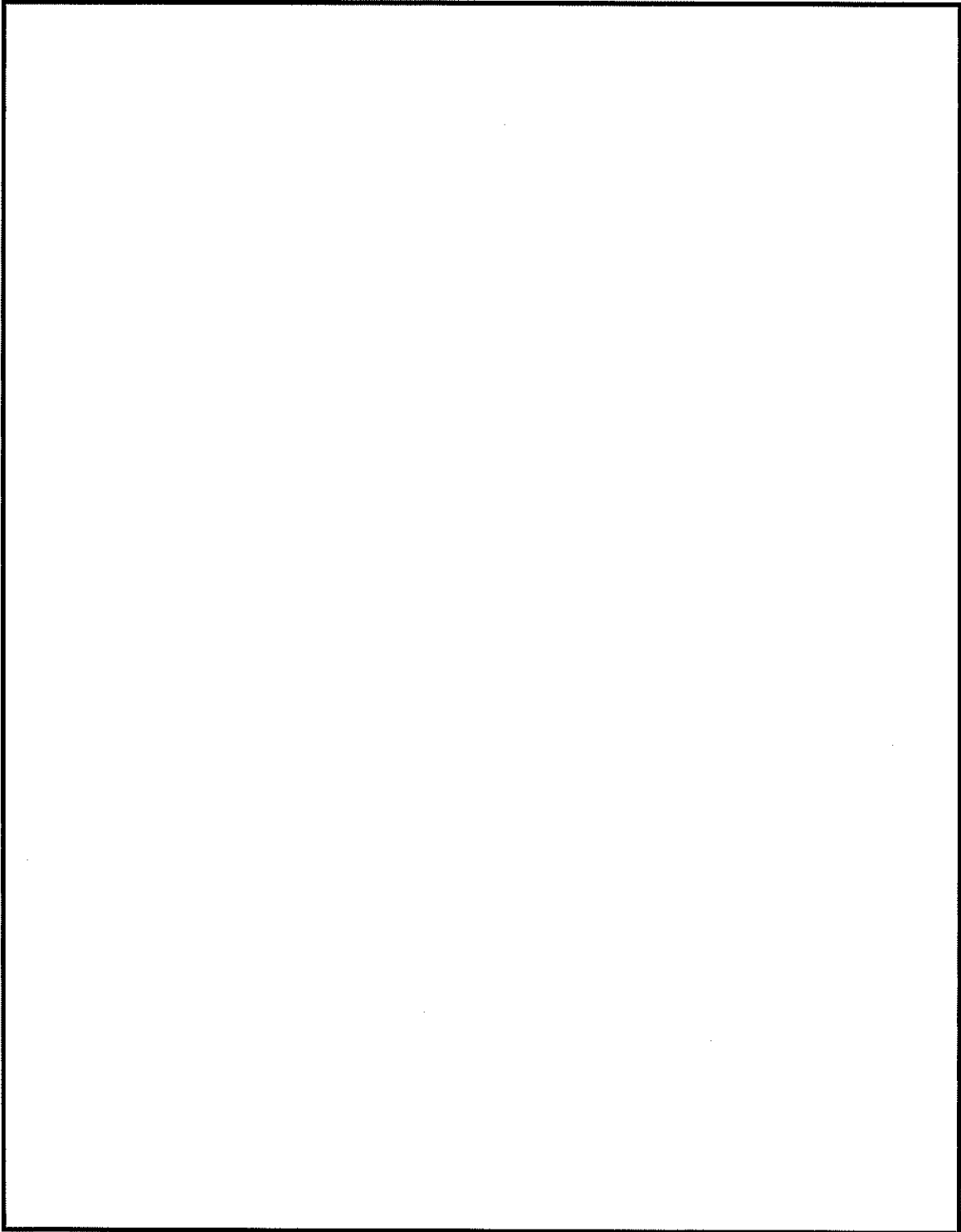
2-5-6-2 図 トラニオン線束接続位置（底部）（乾式キャスク（タイプ1））

2-5-6-3



2-5-6-3 図 トラニオン線束接続位置（頭部）（乾式キャスク（タイプ2））

2-5-6-4



2-5-6-4 図 トラニオン線束接続位置（底部）（乾式キャスク（タイプ2））

2-5-6-5

3. トラニオン部の線量当量率評価方法

トラニオン部の線量当量率は、本体モデルにおけるトラニオン部の線量当量率に、別途トラニオン有りモデル/無しモデルで算出した線量当量率補正値を乗じて評価している。

補正値は以下の手順で算出している。

ステップー1

トラニオン有りモデルとトラニオン無しモデルを用いた線束接続計算より、表面及び表面から1m離れた位置の線量当量率を算出する。

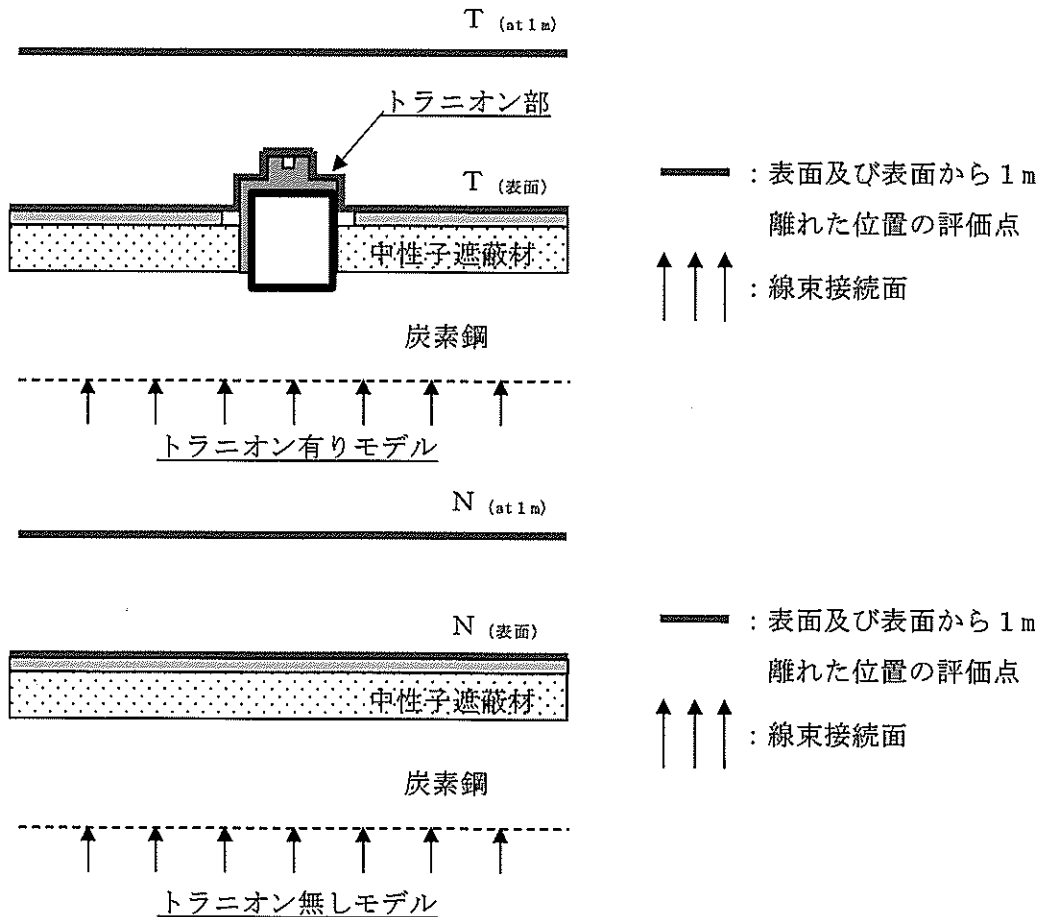
各モデル及び位置の線量当量率を2-5-6-5図に示すとおり定義する。

トラニオン有りモデル：表面の線量当量率を $T_{(表面)}$

表面から1m離れた位置の線量当量率を $T_{(at 1m)}$

トラニオン無しモデル：表面の線量当量率を $N_{(表面)}$

表面から1m離れた位置の線量当量率を $N_{(at 1m)}$



2-5-6-5 図 トラニオン部の線量当量率の定義

2-5-6-6

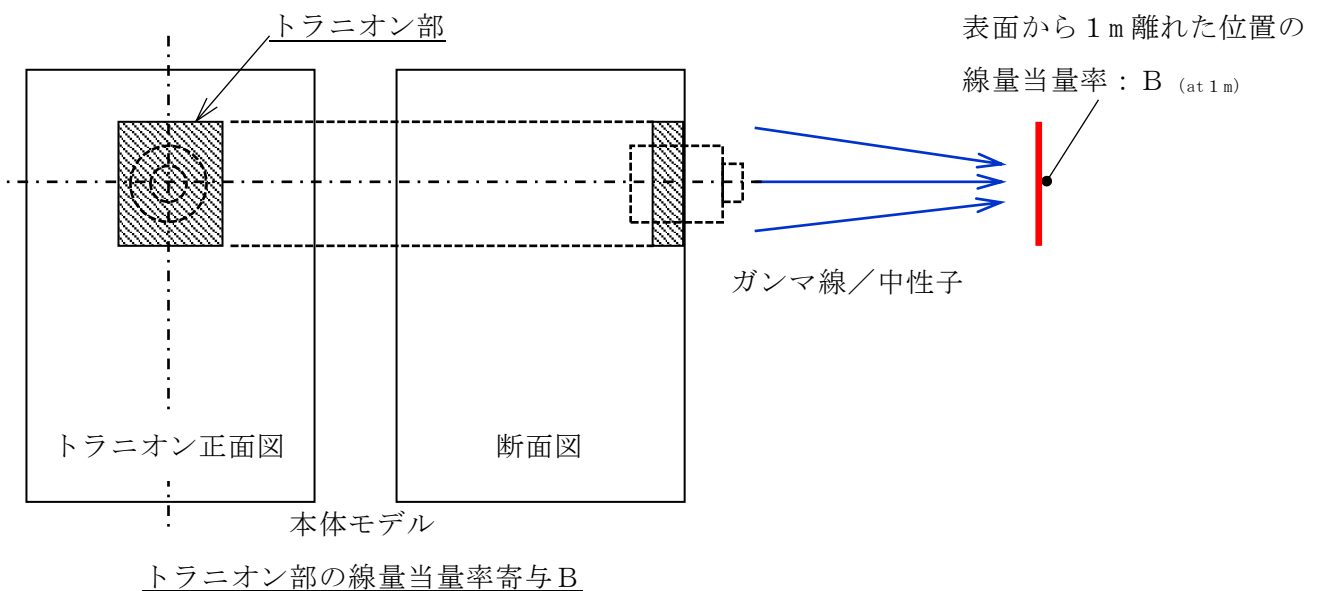
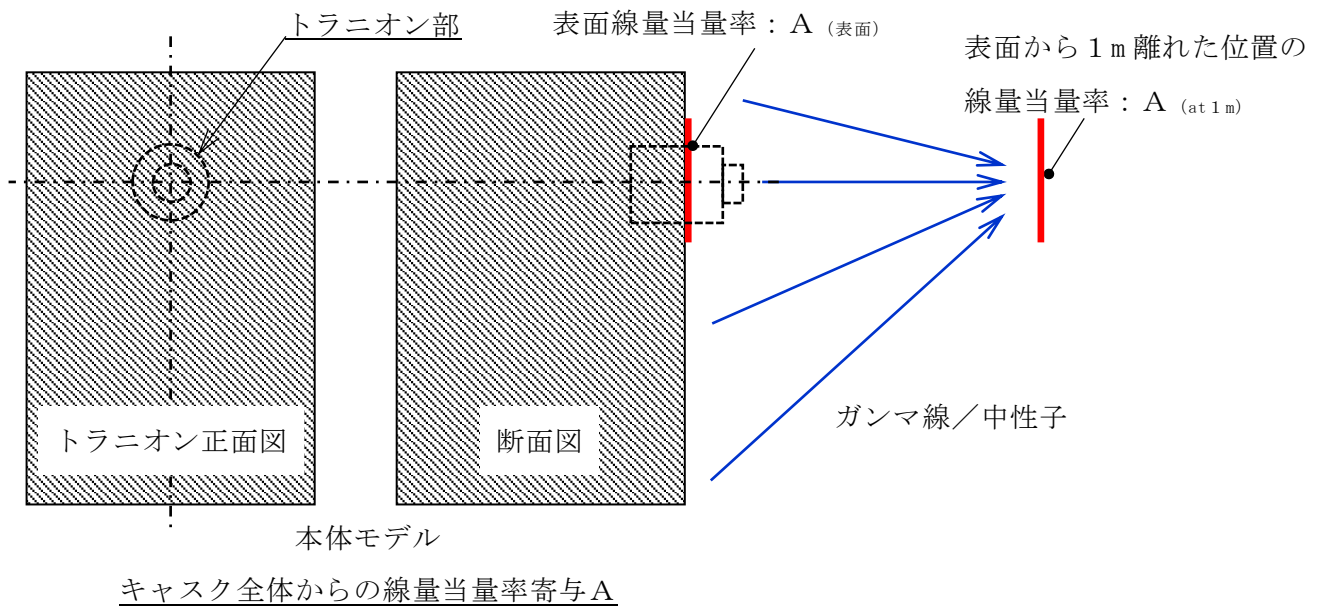
ステップー2

本体モデルからトランニオン部の線量当量率に寄与する範囲を 2-5-6-6 図に示すとおり定義する。

本体モデルの表面の線量当量率： $A_{(表面)}$

本体モデルの表面から 1 m 離れた位置の線量当量率： $A_{(at 1m)}$

本体モデルのトランニオン範囲より寄与する表面から 1 m 離れた位置の線量当量率： $B_{(at 1m)}$



2-5-6-6 図 トランニオン部の線量当量率に寄与する範囲の定義

ステップー3

ステップー1、2の結果から下式により頭部径方向（トラニオン部）及び底部径方向（トラニオン部）の線量当量率を算出する。

表面線量当量率は評価点近傍からの寄与で決まるため、以下のとおり線量当量率補正值を考慮する。

$$\text{トラニオン部表面の線量当量率} : A_{(\text{表面})} \times (T_{(\text{表面})} / N_{(\text{表面})})$$

表面から1m離れた位置の線量当量率はキャスク全体からの寄与で決まるため、以下のとおり線量当量率補正值を考慮する。

トラニオン部表面から1m離れた位置の線量当量率：

$$A_{(\text{at } 1\text{m})} - B_{(\text{at } 1\text{m})} + (B_{(\text{at } 1\text{m})} \times (T_{(\text{at } 1\text{m})} / N_{(\text{at } 1\text{m})}))$$

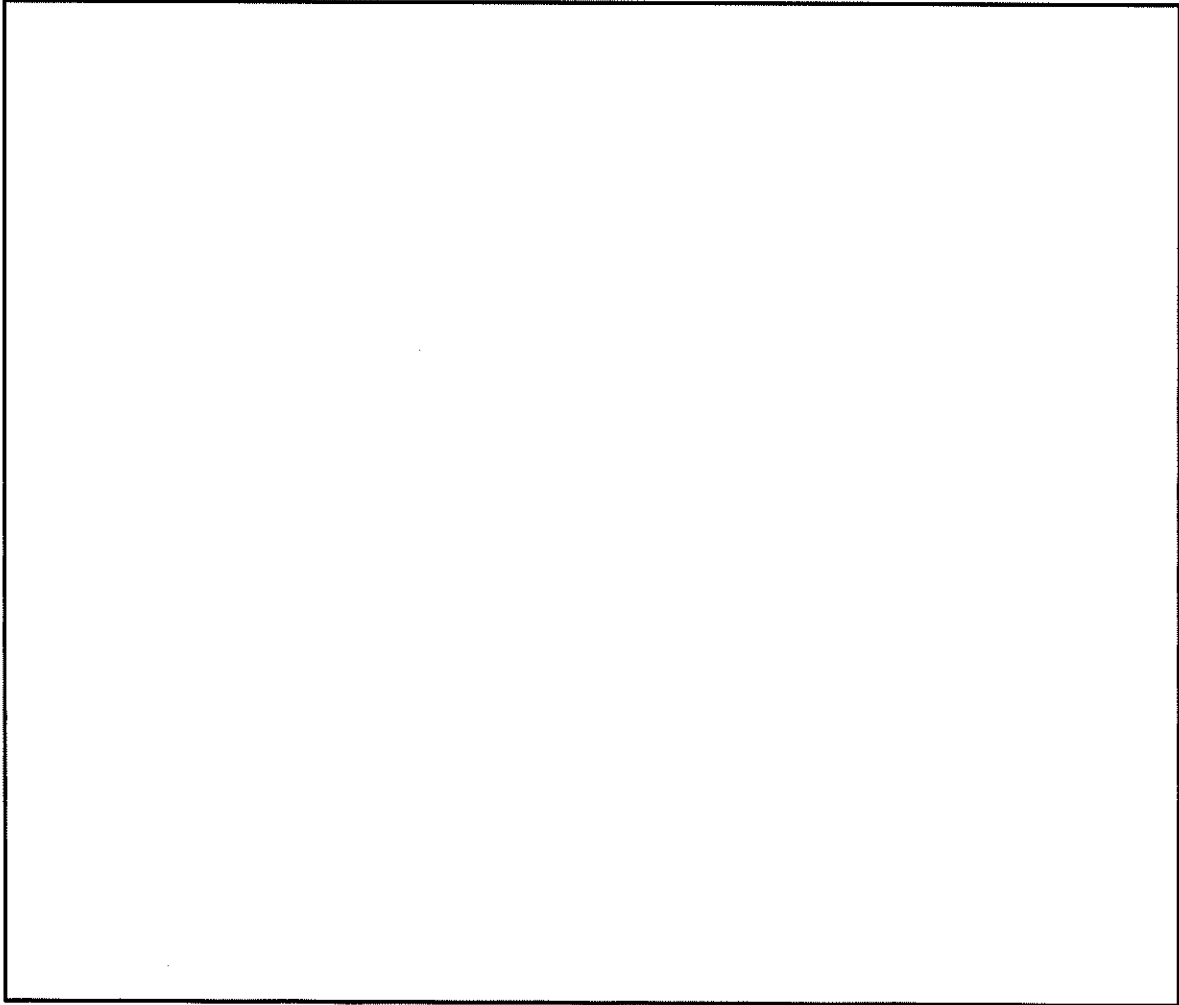
4. 線束接続計算の妥当性

トラニオン部の線束接続計算の解析モデルは、トラニオン中心位置から燃料有効部側に100cm程度の範囲までモデル化しており、線束はその範囲で接続している。本体モデル、トラニオン有りモデル、トラニオン無しモデルの線量当量率を比較することで、線束接続計算の妥当性確認を行った。線量当量率を2-5-6-7図から2-5-6-18図に示す^(注)。

下記に示すとおり、トラニオン部の線束接続計算は妥当である。

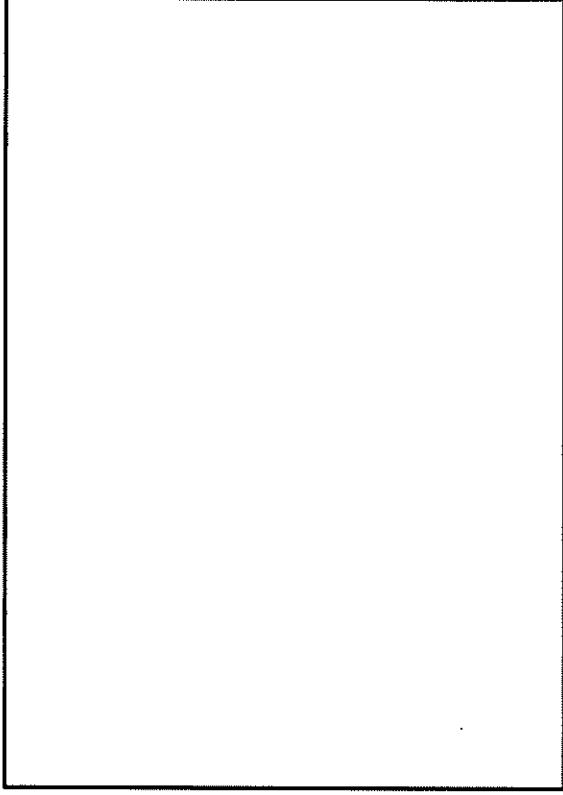
- ・2-5-6-7図から2-5-6-18図より、本体モデルの線束接続位置の線量当量率分布と、トラニオン有りモデル、トラニオン無しモデルの線束接続面の線量当量率分布が一致している。
- ・トラニオン有りモデルとトラニオン無しモデルの本体胴から外筒までの線量当量率分布について、トラニオン形状による線量当量率の影響が無い範囲(トラニオン位置から離れた位置)は、線量当量率分布が一致している。(本体胴の線束接続範囲の設定は妥当)

(注)燃料有効部ガンマ線及び中性子を対象として確認結果を示す。

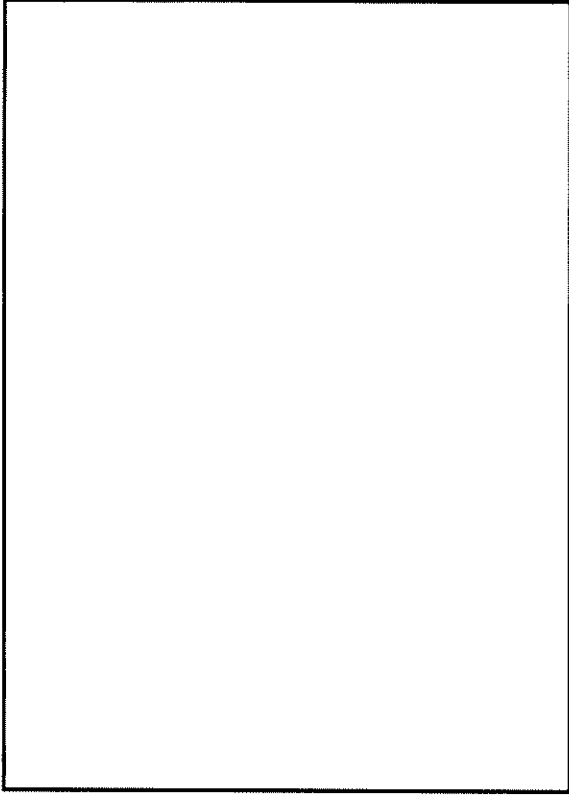


2-5-6-7 図 燃料有効部ガンマ線 本体モデル (頭部) (乾式キヤスク (タイプ1))

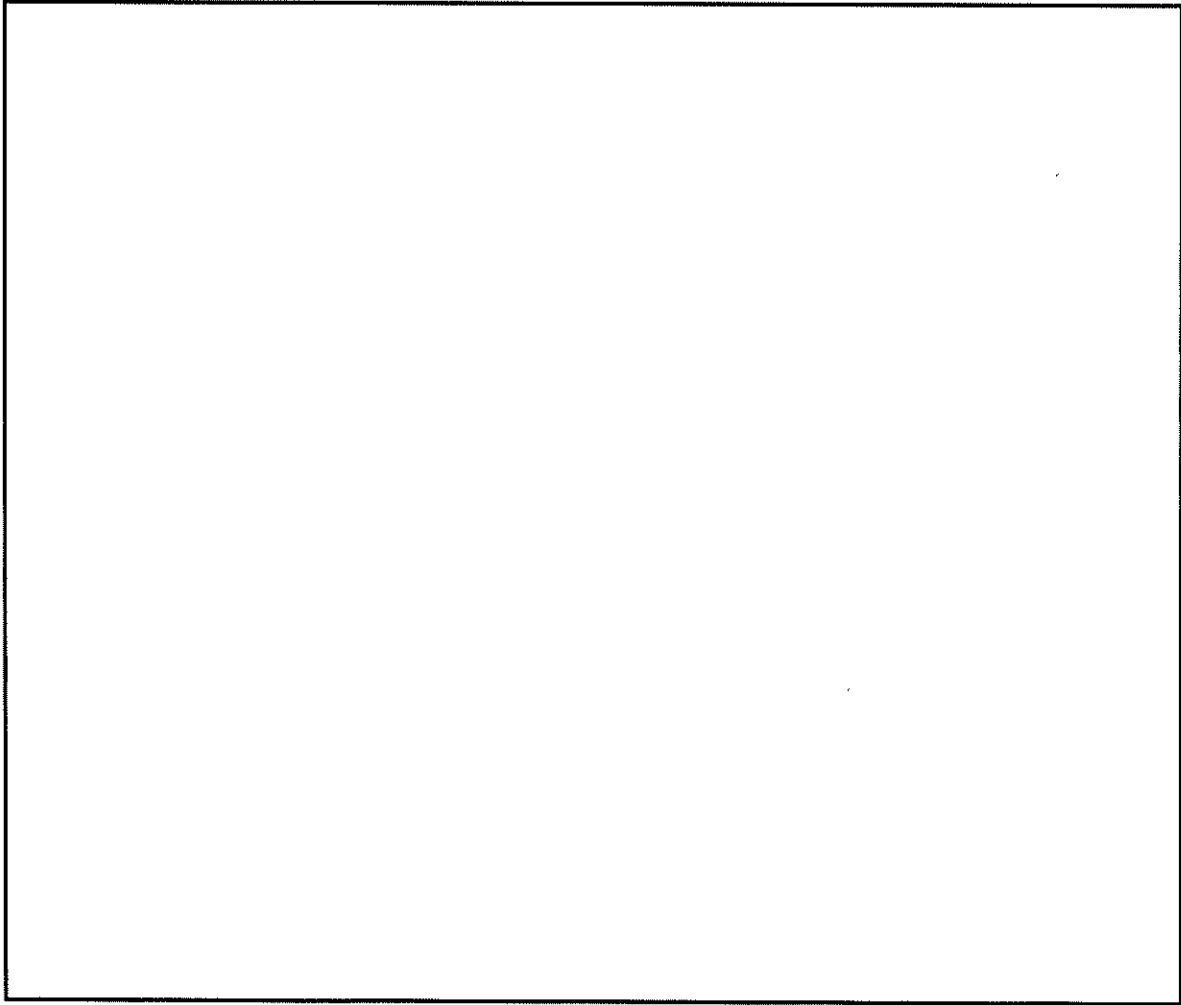
2-5-6-10



2-5-6-8 図 燃料有効部ガンマ線 トラニオン有りモデル (乾式キヤスク (タイプ1))

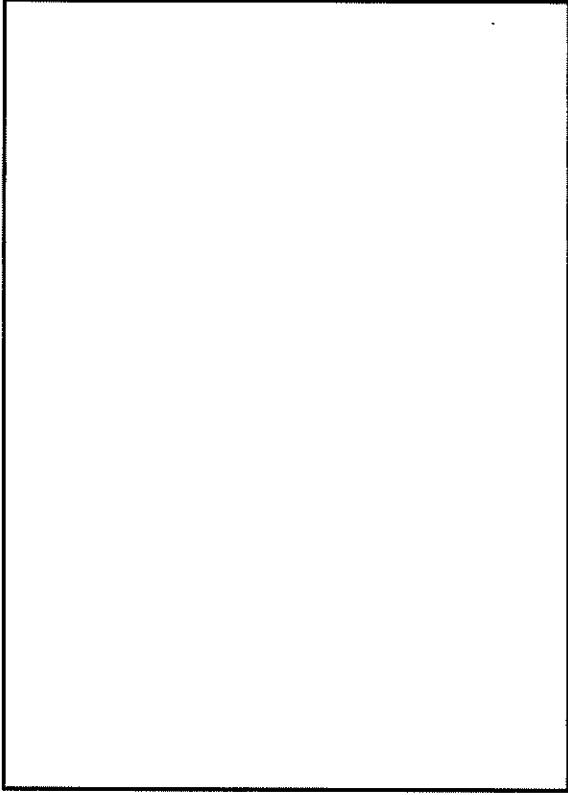


2-5-6-9 図 燃料有効部ガンマ線 トラニオン無しモデル (乾式キヤスク (タイプ1))

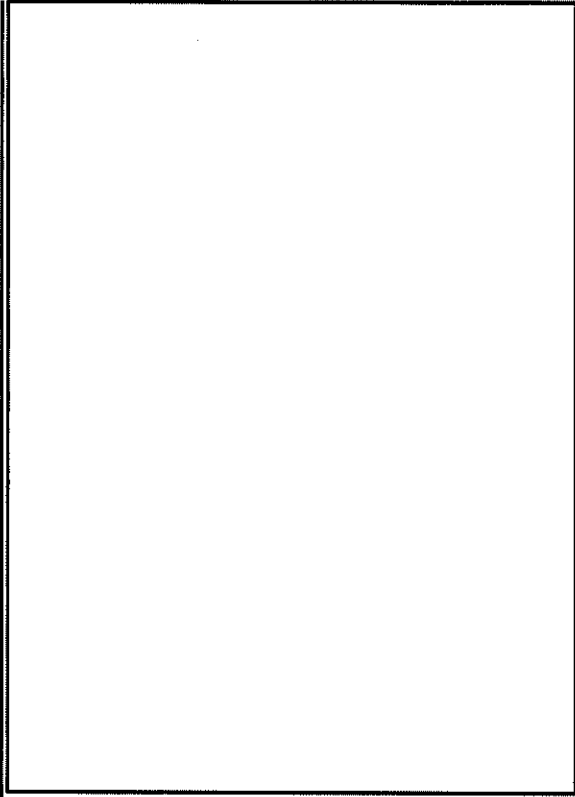


2-5-6-10 図 中性子 本体モデル (頭部) (脱式キャスク (タイプ1))

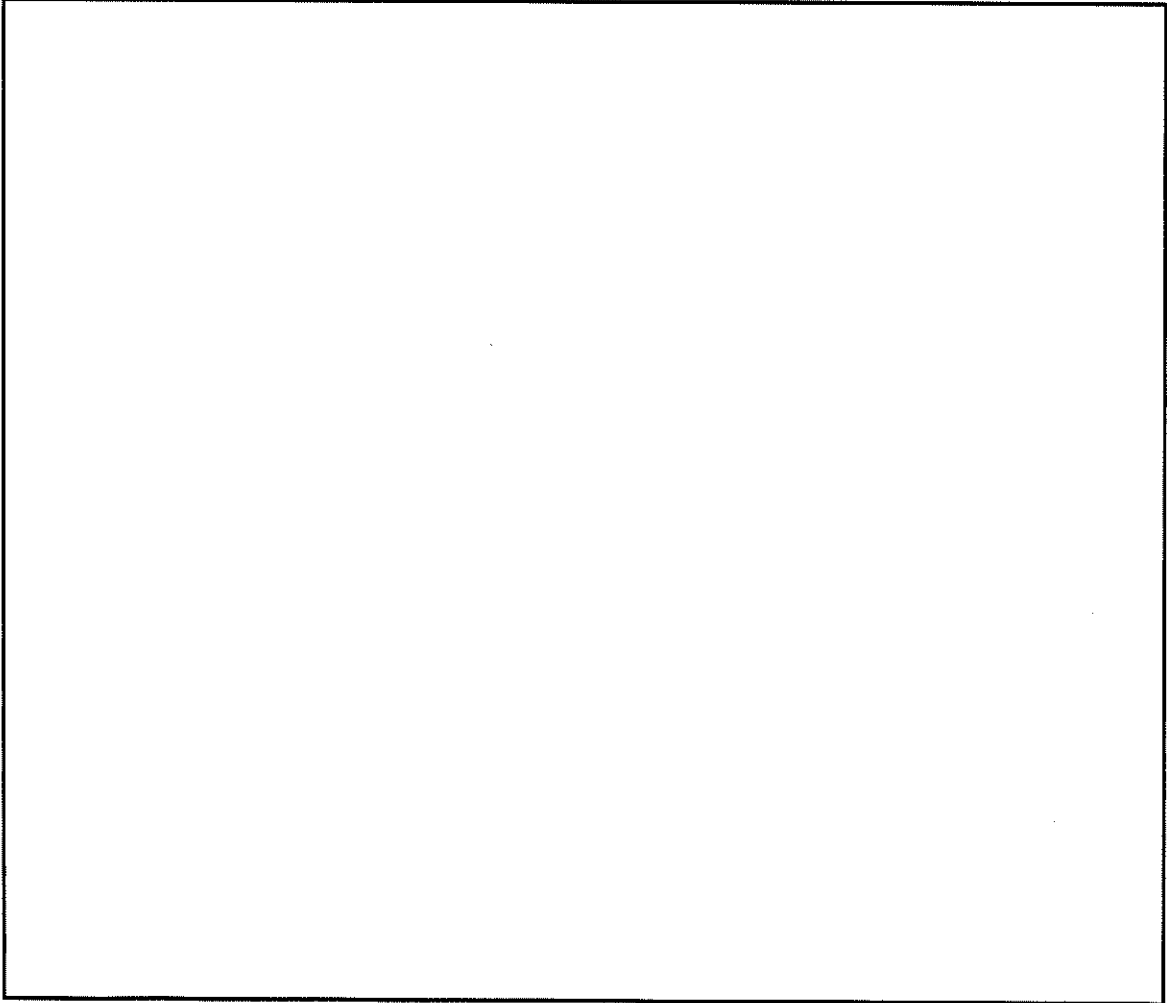
2-5-6-11



2-5-6-11 図 中性子 トラニオン有りモデル (脱式キャスク (タイプ1))

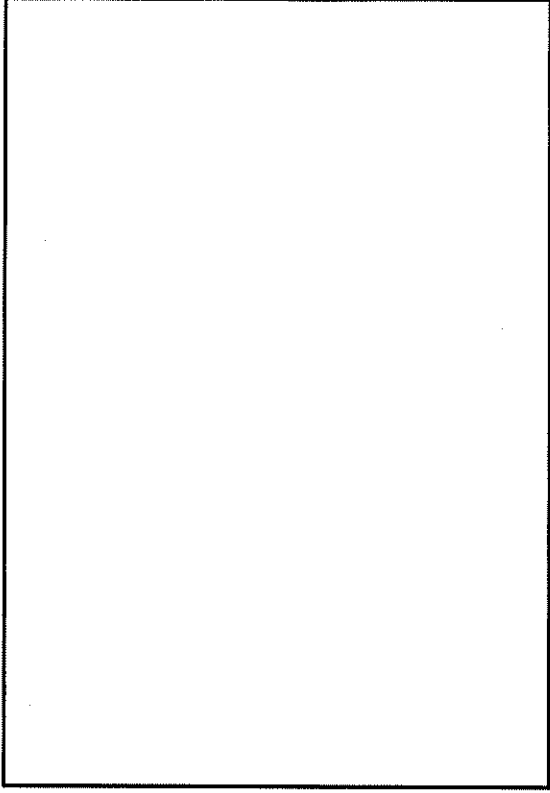


2-5-6-12 図 中性子 トラニオン無しモデル (脱式キャスク (タイプ1))

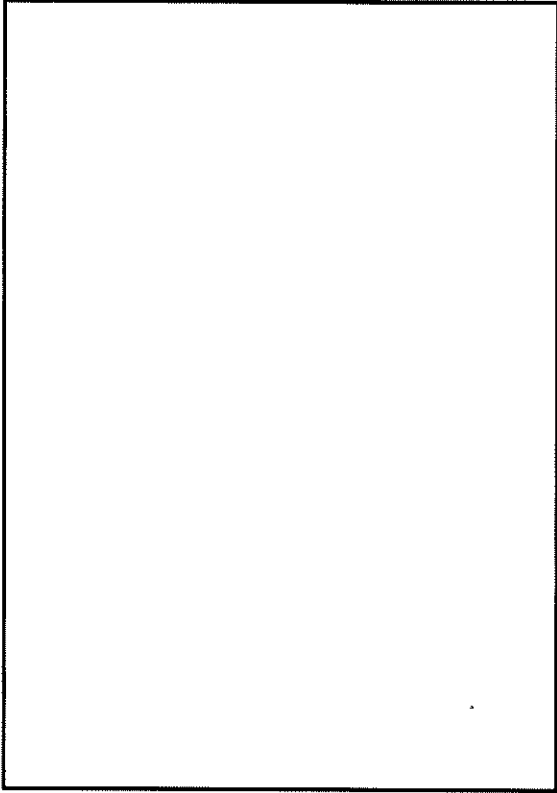


2-5-6-13 図 燃料有効部ガンマ線 本体モデル (頭部) (脱式キャスク (タイプ2))

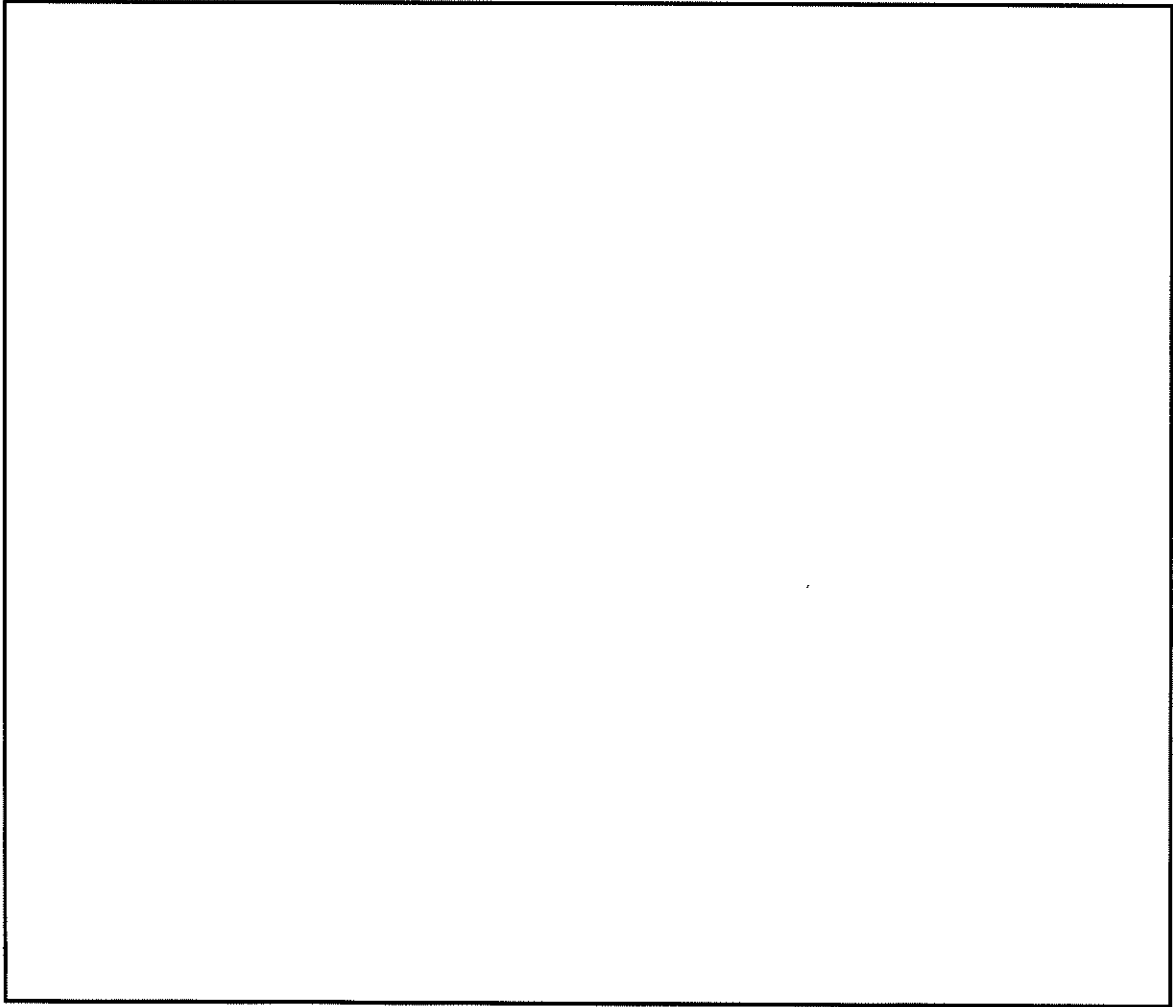
2-5-6-12



2-5-6-14 図 燃料有効部ガンマ線 トラニオン有りモデル (脱式キャスク (タイプ2))

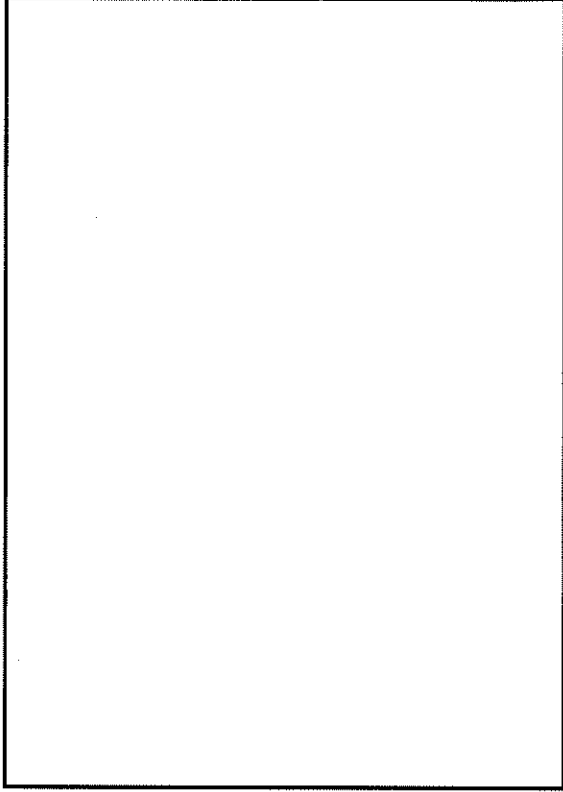


2-5-6-15 図 燃料有効部ガンマ線 トラニオン無しモデル (脱式キャスク (タイプ2))

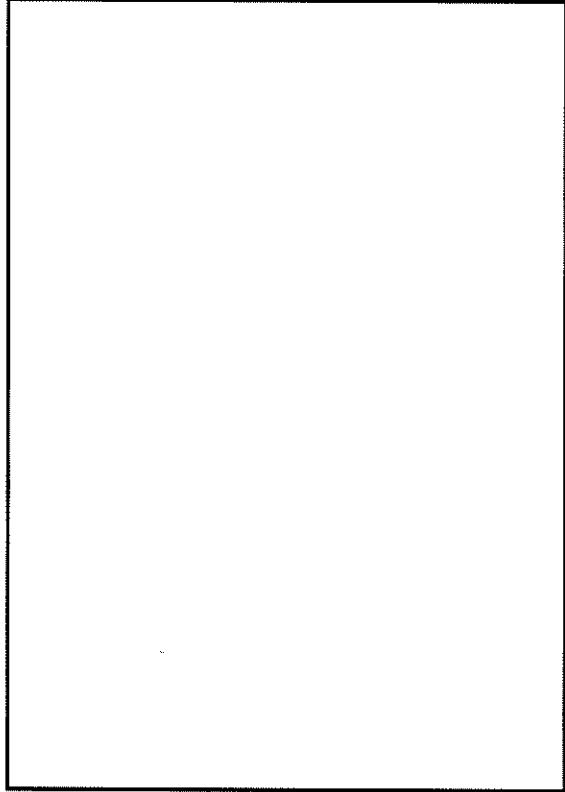


2-5-6-16 図 中性子 本体モデル (頭部) (乾式キャスク (タイプ2))

2-5-6-13/E



2-5-6-17 図 中性子 トラニオン有りモデル (乾式キャスク (タイプ2))



2-5-6-18 図 中性子 トラニオン無しモデル (乾式キャスク (タイプ2))

2-5-7 中性子実効増倍率の設定について

本資料は資料 14「使用済燃料貯蔵容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書」に関する説明書において使用する、線源強度評価に用いる中性子実効増倍率の設定方法について説明するものである。

中性子源強度は、体系の増倍効果を考慮して次式のとおり求める。

$$N_s = N_0 / (1 - keff)$$

ここで、

N_0 : キャスク 1 基当たりの一次中性子源強度

$keff$: 使用済燃料集合体を収納した場合のキャスクの実効増倍率

上記のとおり、乾燥状態において使用済燃料集合体を収納した場合のキャスクの実効増倍率を求め、中性子源強度に考慮した。実効増倍率の評価に用いた各使用済燃料集合体の条件、評価結果、及び線源強度設定に用いた実効増倍率を 2-5-7-1 表に示す。

なお、実効増倍率は、ORIGEN2.2UPJ コードにより、燃焼に伴う核分裂性物質の減少及び中性子の吸収に対して寄与が大きな核分裂生成物の生成量を求め、これらを考慮した核種組成を用いて、臨界解析で用いる KENO-VI コードにより求めた。なお、考慮している核種¹⁾は以下のとおりである。

アクチニド : ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu

核分裂生成物 : ^{99}Tc , ^{103}Rh , ^{131}Xe , ^{133}Cs , ^{143}Nd , ^{145}Nd , ^{147}Pm , ^{147}Sm , ^{149}Sm , ^{151}Sm , ^{152}Sm , ^{153}Eu , ^{155}Gd

- 1) (一社)日本原子力学会, 「使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物輸送容器の安全設計及び検査基準: 2013」, (2014).

2-5-7-1 表 実効増倍率評価条件及び評価結果

項目	14×14 燃料 (乾式キャスク (タイプ 1))	17×17 燃料 (乾式キャスク (タイプ 2))
ウラン重量 (kg/体)		
初期濃縮度 (%)		
燃焼度 (MWd/t)	39,000	44,000
比出力 (MW/t)		
冷却日数 (日)	9,131	5,479
実効増倍率 ^(注)		
遮蔽解析用実効増倍率	0.30	0.30

(注) 実効増倍率評価結果に統計誤差の 3 倍を足した値。

2-5-8 中性子源スペクトルを ^{239}Pu の
核分裂スペクトルで代表させる設定の妥当性

本資料は資料 14「使用済燃料貯蔵容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書」に関する説明書において使用する、中性子源スペクトルを ^{239}Pu の核分裂スペクトルで代表させる設定の妥当性について説明するものである。

中性子源スペクトルを ^{239}Pu の核分裂スペクトルで代表させる設定の妥当性について下記に示す。

使用済燃料からの主要な中性子源としては、以下の 3 つが挙げられる。

1. 一次中性子源である自発核分裂による中性子
2. 一次中性子源である (α, n) 反応による中性子
3. 二次中性子源である核分裂反応により増倍される中性子

このうち、一次中性子源においては、2-5-8-1 図に示すとおり使用済燃料の場合、冷却期間が数十年までの間は自発核分裂による中性子が支配的である。また、乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）の収納使用済燃料集合体の中性子源強度は 2-5-8-1 表及び 2-5-8-2 表に示すとおりであり、2-5-8-1 図に示したとおり自発核分裂による中性子が支配的である。

2-5-8-1 表 乾式キャスク（タイプ 1）の収納使用済燃料集合体の中性子源強度
（金属キャスク 1 基当たり）

		燃料有効部		
		中央部	外周部	合計
一次中性子源強度 No (n/s)	(α, n) 反応	1.094×10^8	7.003×10^7	1.794×10^8
	自発核分裂	5.674×10^9	2.314×10^9	7.988×10^9
	合計	5.783×10^9	2.384×10^9	8.167×10^9

2-5-8-2 表 乾式キャスク（タイプ 2）の収納使用済燃料集合体の中性子源強度
（金属キャスク 1 基当たり）

		燃料有効部		
		中央部	外周部	合計
一次中性子源強度 No (n/s)	(α , n) 反応	9.369×10^7	7.472×10^7	1.684×10^8
	自発核分裂	4.909×10^9	3.360×10^9	8.269×10^9
	合計	5.003×10^9	3.435×10^9	8.437×10^9

よって、中性子源スペクトルの候補は下記の 3 つとなる（主要な核分裂核種）。

- ① Cm の自発核分裂反応
- ② ^{239}Pu の核分裂反応
- ③ ^{235}U の核分裂反応

ここで、Cm の自発核分裂及び ^{239}Pu ・ ^{235}U の核分裂による中性子源スペクトルの比較を 2-5-8-2 図及び 2-5-8-3 図に示す。

2-5-8-2 図に示すとおり、 ^{242}Cm 、 ^{244}Cm の自発核分裂による中性子源スペクトルに対して ^{239}Pu の核分裂による中性子源スペクトルのほうがより高エネルギー成分が多い。

また、2-5-8-3 図に示すとおり、 ^{235}U の核分裂による中性子源スペクトルに対しても ^{239}Pu の核分裂による中性子源スペクトルが高エネルギー成分が多い。

よって、中性子源スペクトルを ^{239}Pu の核分裂スペクトルで代表させる設定は保守側の設定であり妥当である。

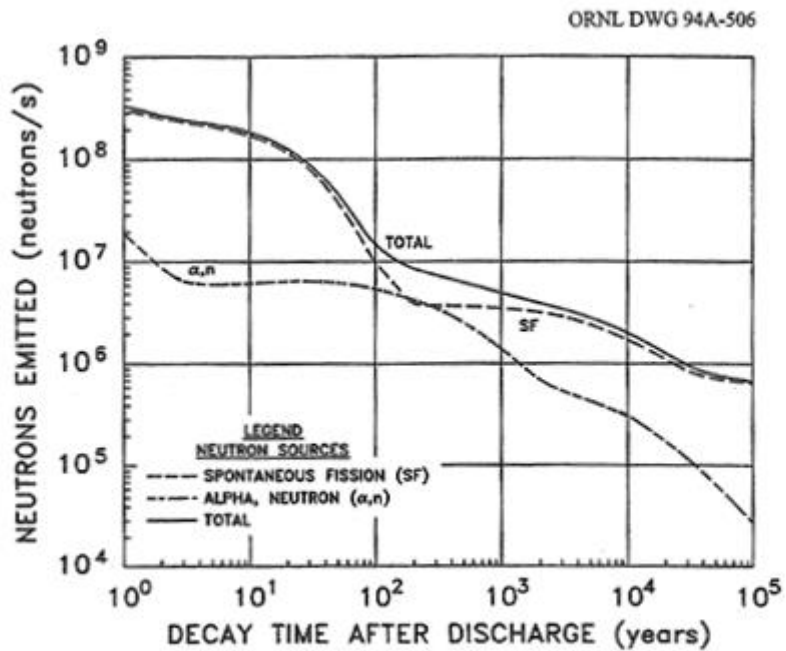


Fig. 9.2. Neutrons emitted by 1 metric ton of initial heavy metal (MTIHM): PWR/33,000 MWd/MTU.
Source: ref. 24.

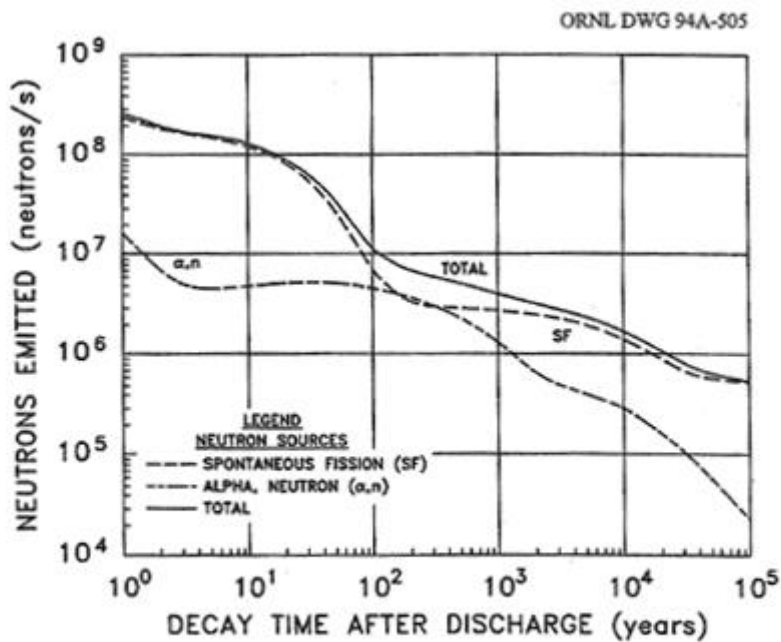
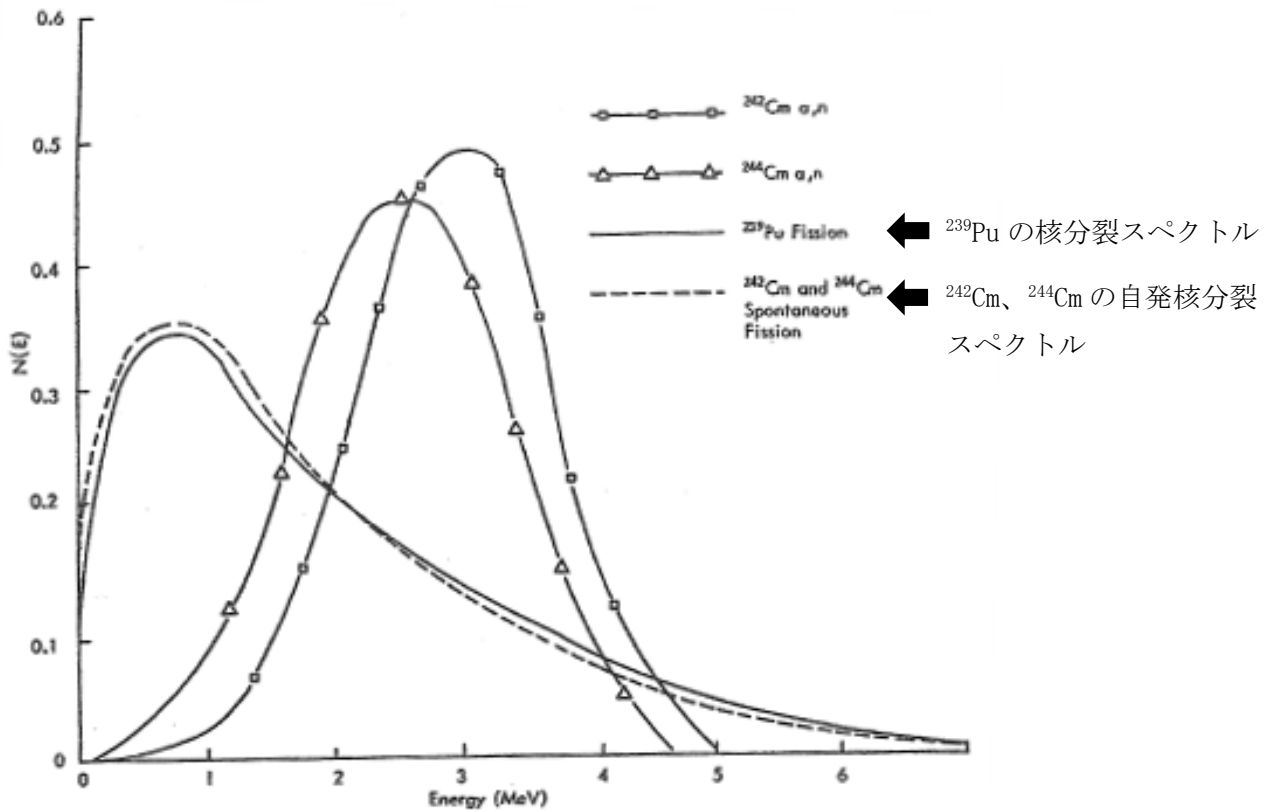


Fig. 9.3. Neutrons emitted by 1 metric ton of initial heavy metal (MTIHM): BWR/27,500 MWd/MTU.
Source: ref. 24.

出典 L. B. Shappert, et al., "The Radioactive Materials Packaging Handbook",
ORNL/M-5003, Oak Ridge National Laboratory, 9-9, (1998).

2-5-8-1 図 自発核分裂及び (α, n) 反応に伴う中性子源強度と冷却期間との関係



Neutron emission spectra for several sources.

出典 H. S. Bailey, R. N. Evatt, G. L. Gyorey, et al., “Neutron Shielding Problems in the Shielding of High Burnup Thermal Reactor Fuel”, Nuclear Technology, ANS, 17, 222, (1973).

2-5-8-2 図 ^{239}Pu の核分裂、Cm の自発核分裂中性子源スペクトルの比較

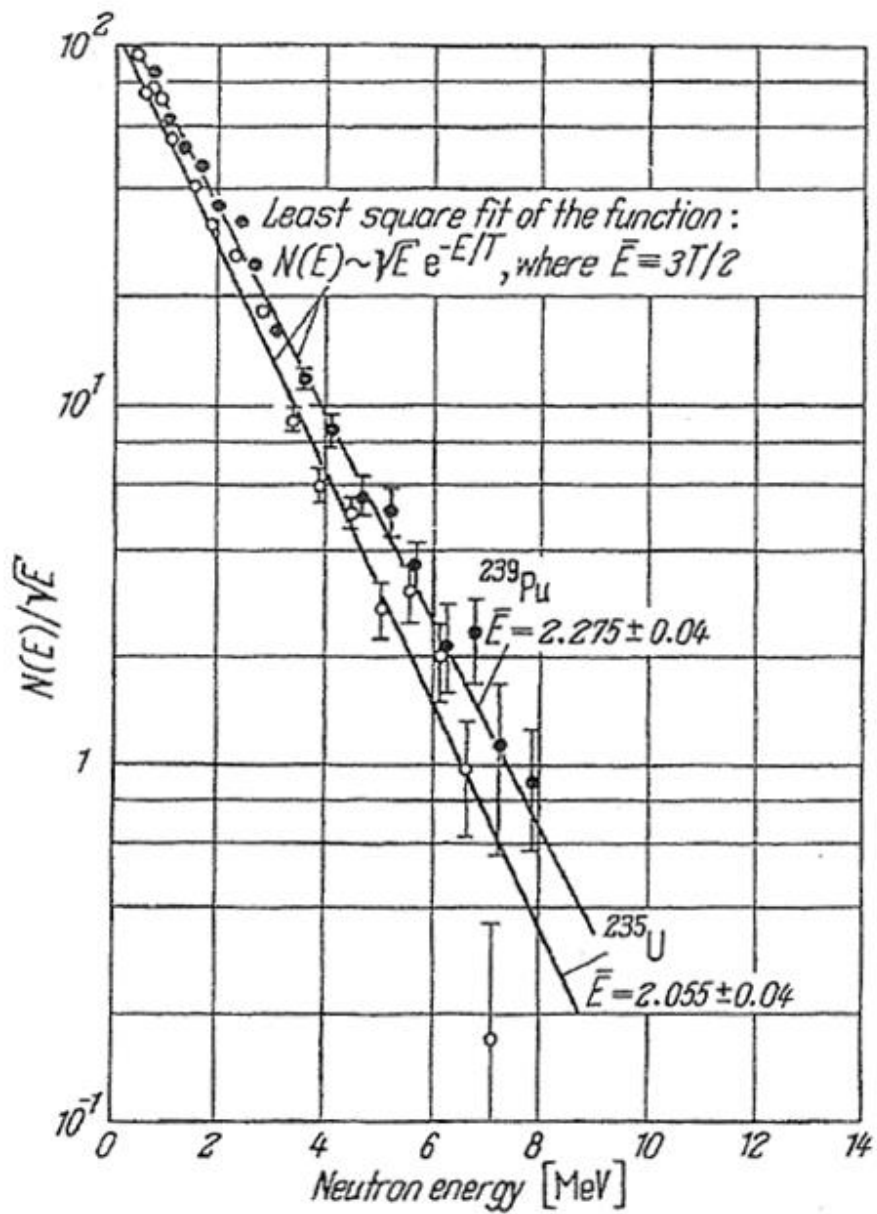


Fig. 2.3.-2. Typical measured fission neutron spectra of $^{235}\text{U} + n_{th}$ and $^{239}\text{Pu} + n_{th}$.

出典 E. D. Arnold, R. G. Jaeger, et. al., "Engineering Compendium on Radiation Shielding", Volume I Shielding Fundamentals and Methods, Springer-Verlag, Germany, 69 (1968).

2-5-8-3 図 ^{239}Pu 、 ^{235}U の核分裂中性子源スペクトルの比較

2-5-9 三次元解析による二次元解析モデル設定の
妥当性確認

本資料は資料 14「使用済燃料貯蔵容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書」に関する説明書において使用する、三次元解析による二次元解析モデル設定の妥当性について説明するものである。

DOT3.5 による二次元モデル解析（以下、「DOT3.5 解析」という。）の解析モデル設定の妥当性を、MCNP5 による三次元モデル解析（以下、「MCNP 解析」という。）による評価結果との比較にて確認した。

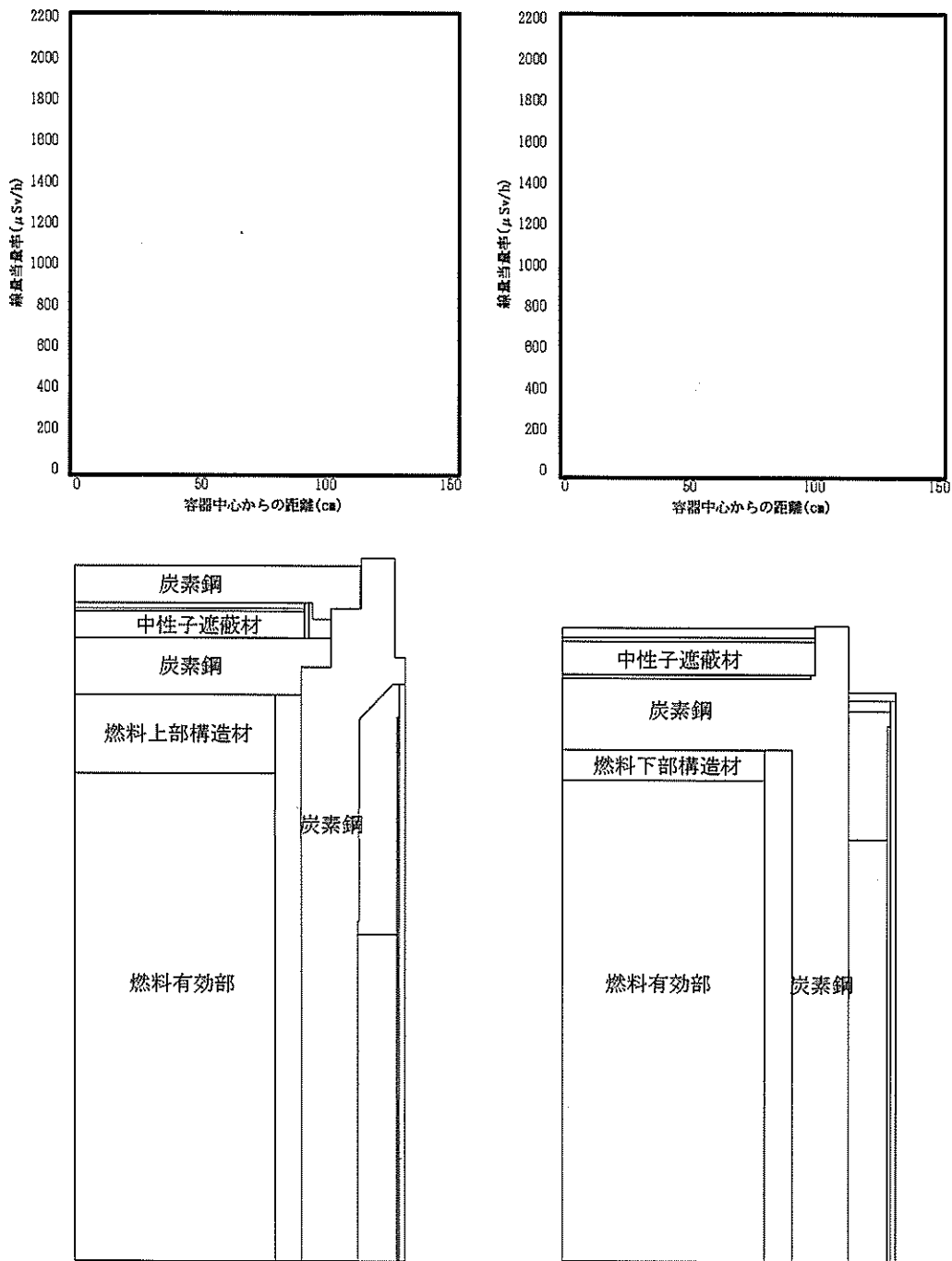
MCNP 解析の主要な評価条件は、2-5-9-1 表に示すとおりである。

DOT3.5 解析及び MCNP 解析における頭部、側部、底部方向の線量当量率分布の比較を 2-5-9-1 図から 2-5-9-8 図に示す。

2-5-9-1 図から 2-5-9-8 図に示すとおり、DOT3.5 解析結果が MCNP 解析結果を包絡する、または同等の結果であり、DOT3.5 解析結果及び解析モデル設定は妥当であることを確認した。

2-5-9-1 表 MCNP 解析の主要な評価条件

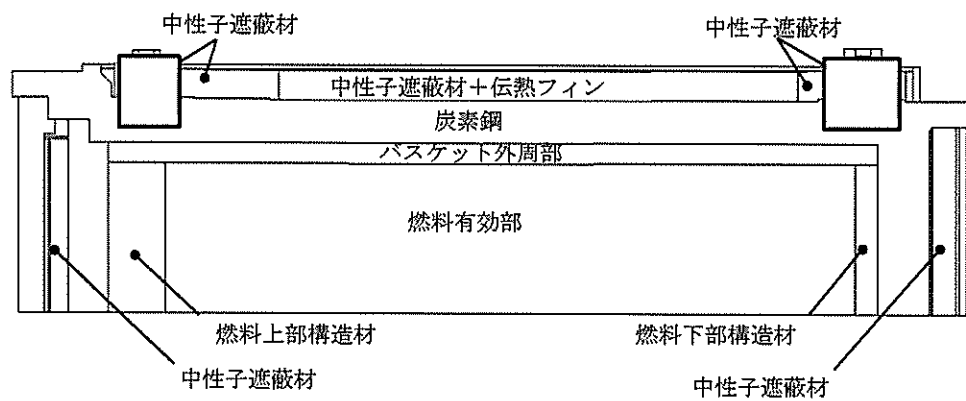
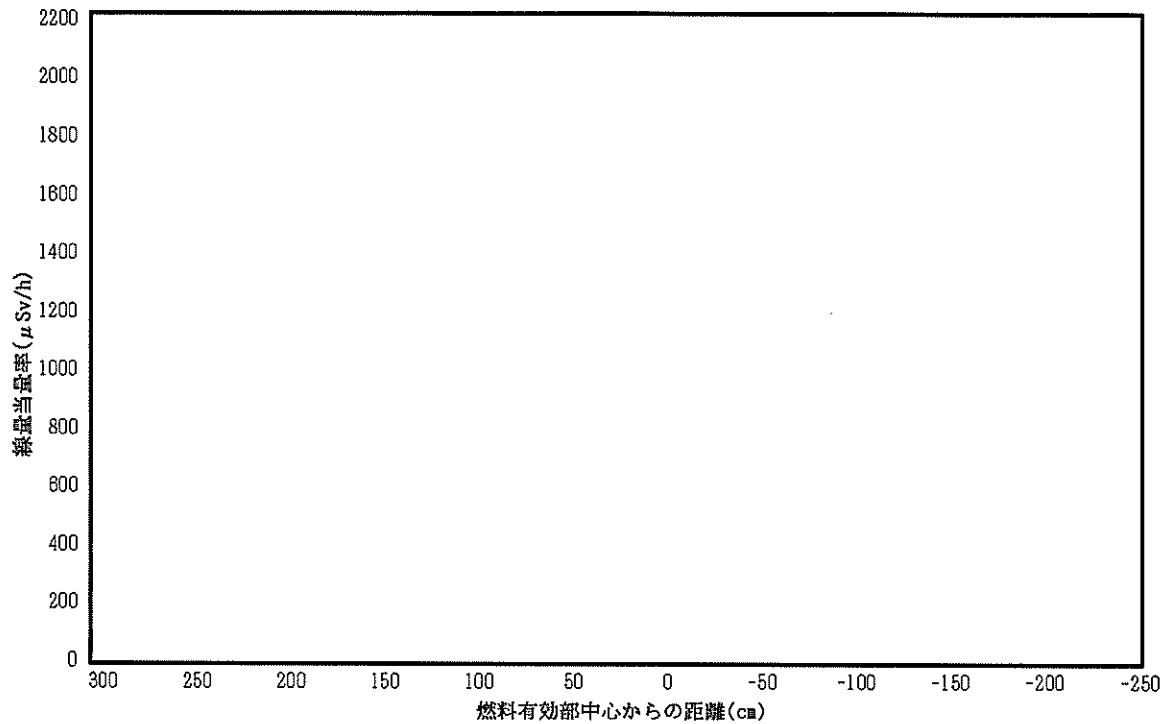
項目		解析条件
解析コード		MCNP5 Ver1.60
断面積ライブラリ		FSXLIB-J33 (中性子) MCPLIB84 (ガンマ線)
燃料有効部	群構造	ORIGEN 群構造 (18 群)
ガンマ線源強度	スペクトル	ORIGEN 評価値
構造材放射化 ガンマ線源強度	群構造	1.17MeV 1.33MeV
	スペクトル	1.17MeV : 50% 1.33MeV : 50%
中性子源強度	群構造	連続エネルギー
	スペクトル	Watt 型 ^{239}Pu 核分裂スペクトル
タリー		メッシュタリー
分散低減法		ウェイト・ウィンドウ



(注)DOT3.5 解析値と MCNP 解析値の比較用に、一次蓋ドレン・ベントバルブ及び二次蓋モニタリングポートの無い方向の MCNP 解析値とした (一次蓋ドレン・ベントバルブ及び二次蓋モニタリングポートの影響は資料 2-5-10 にて確認)。

2-5-9-1 図 表面の線量当量率分布 (頭部軸方向・底部軸方向) (乾式キャスク (タイプ 1))

2-5-9-2



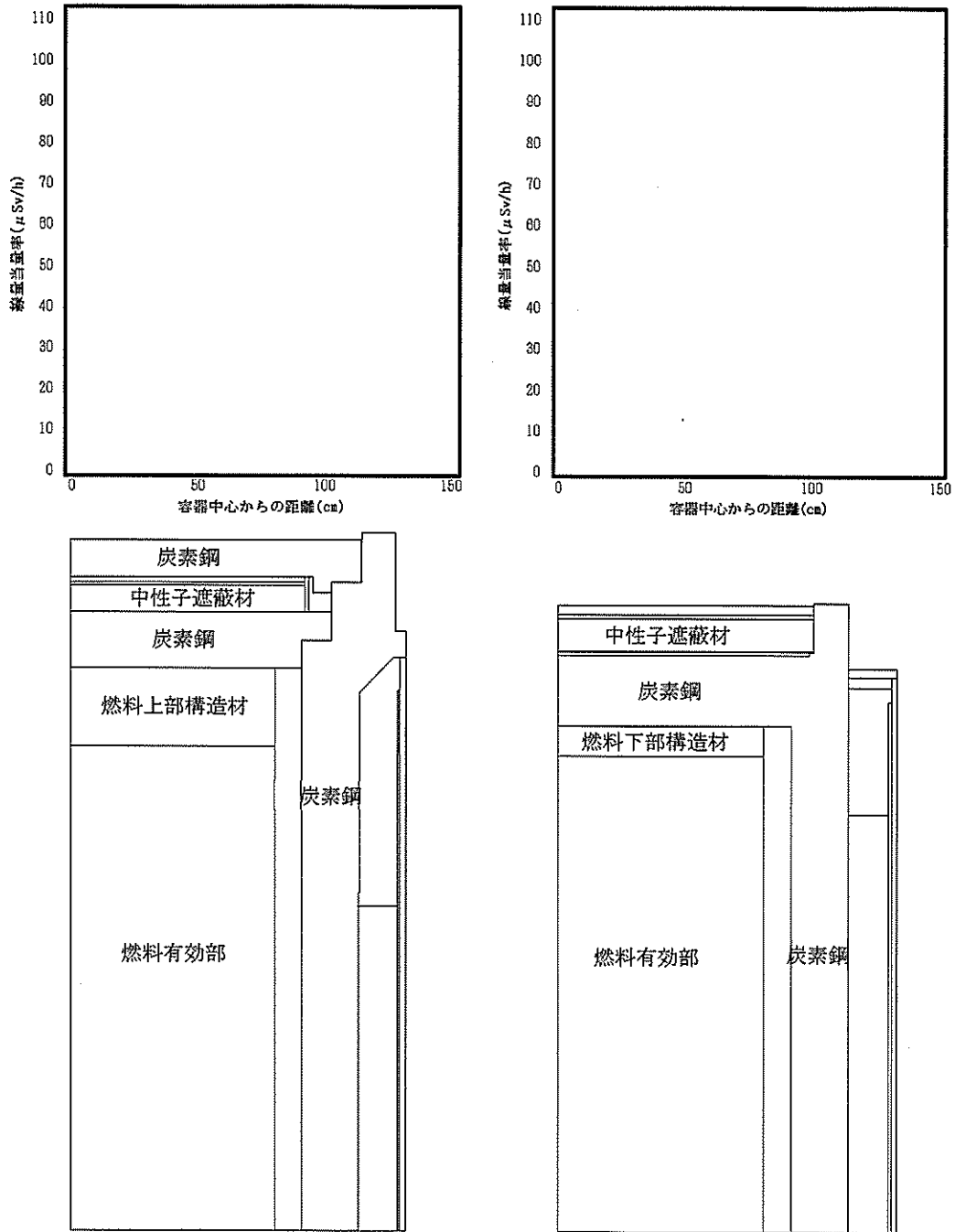
(注1) DOT3.5 解析値と MCNP 解析値の比較用に、周方向の最大となる方向の MCNP 解析値とした (トランニオン方向も含まれる)。

(注2) 頭部径方向・側部・底部径方向の線量当量率分布にトランニオン方向の分布を重ねて明示した。

2-5-9-2 図 表面の線量当量率分布

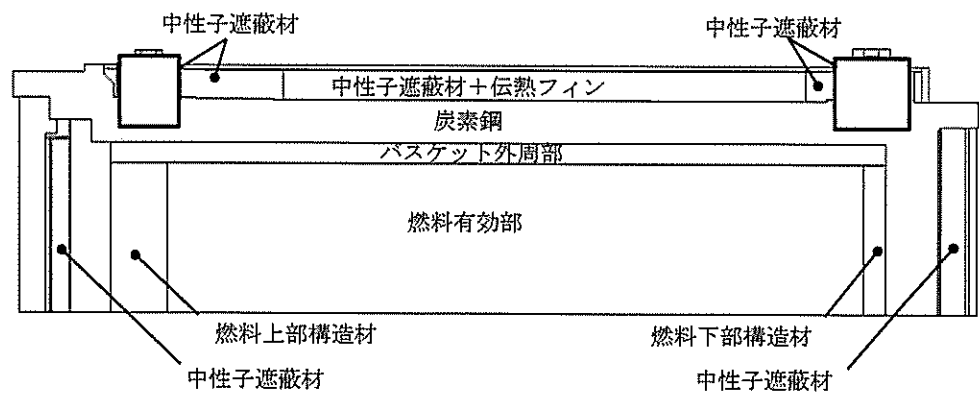
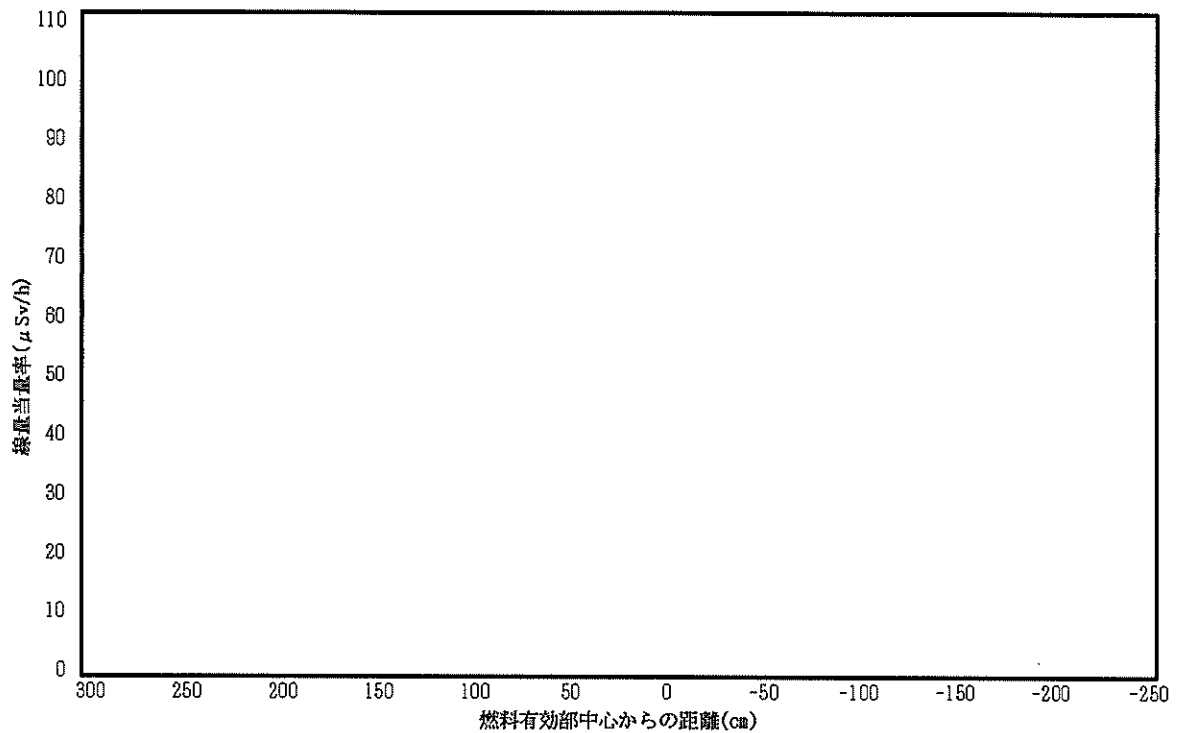
(頭部径方向・側部・底部径方向 (トランニオン方向含む))

(乾式キャスク (タイプ1))



(注)DOT3.5 解析値と MCNP 解析値の比較用に、一次蓋ドレン・ベントバルブ及び二次蓋モニタリングポートの無い方向の MCNP 解析値とした (一次蓋ドレン・ベントバルブ及び二次蓋モニタリングポートの影響は資料 2-5-10 にて確認)。

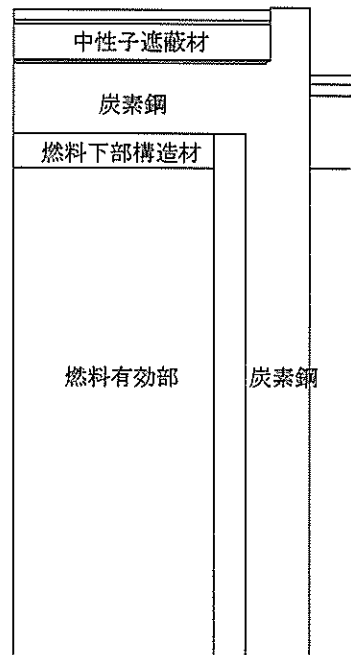
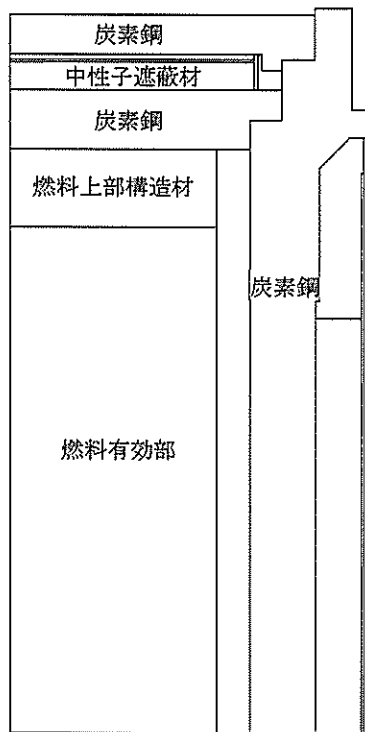
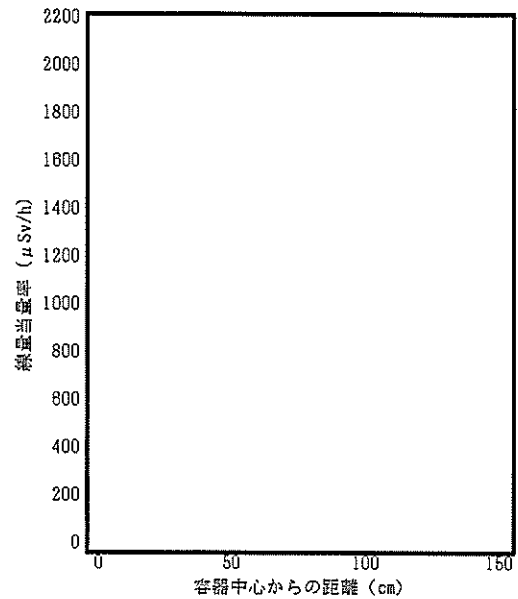
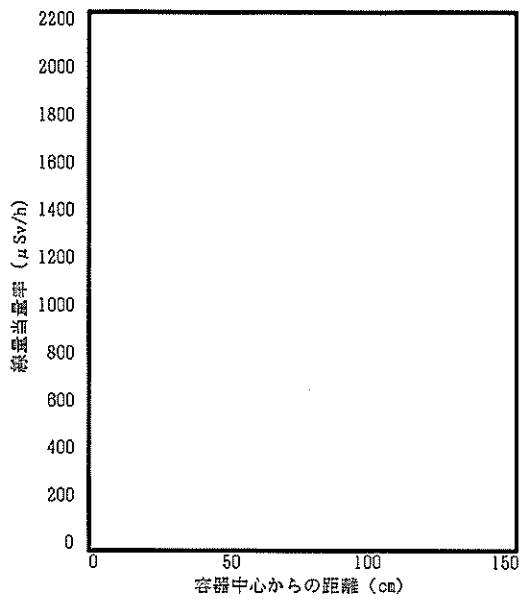
2-5-9-3 図 表面から 1m 離れた位置の線量当量率分布
(頭部軸方向・底部軸方向) (乾式キャスク (タイプ 1))



(注1) DOT3.5 解析値と MCNP 解析値の比較用に、周方向の最大となる方向の MCNP 解析値とした (トランニオン方向も含まれる)。

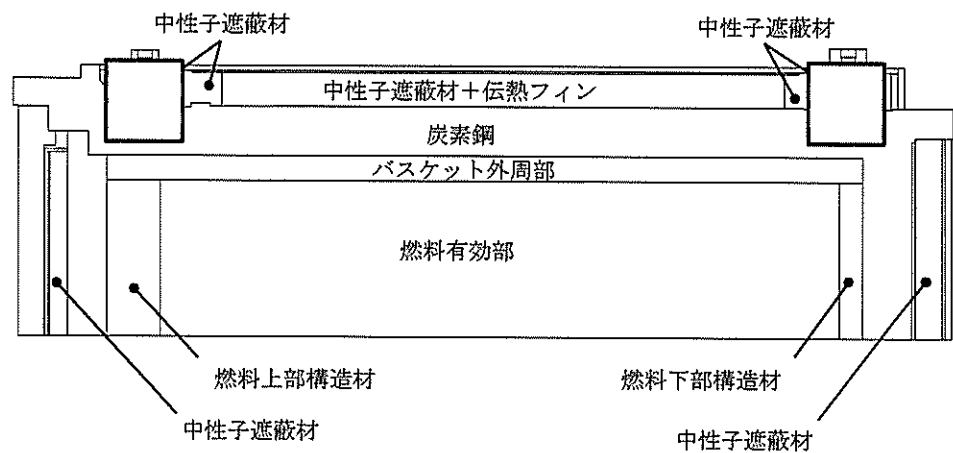
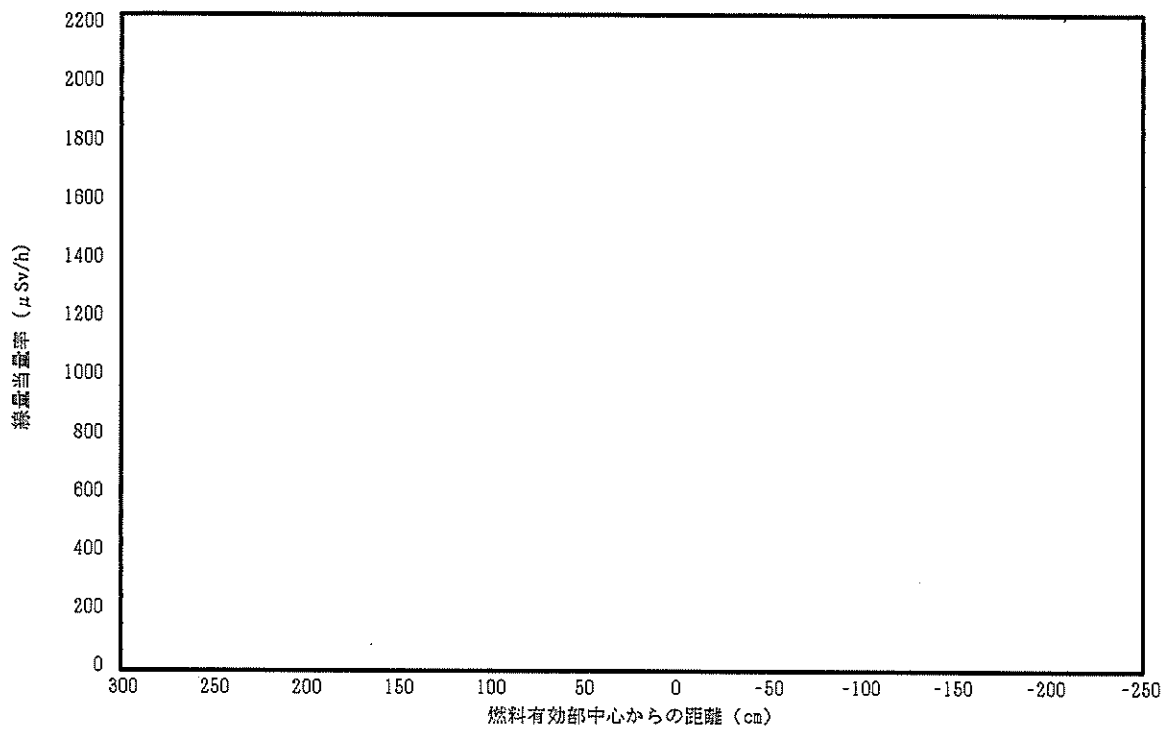
(注2) 頭部径方向・側部・底部径方向の線量当量率分布にトランニオン方向の分布を重ねて明示した。

2-5-9-4 図 表面から 1 m 離れた位置の線量当量率分布
(頭部径方向・側部・底部径方向 (トランニオン方向含む))
(乾式キャスク (タイプ 1))



(注) DOT3.5 解析値と MCNP 解析値の比較用に、一次蓋ドレン・ベントバルブ及び二次蓋モニタリングポートの無い方向の MCNP 解析値とした (一次蓋ドレン・ベントバルブ及び二次蓋モニタリングポートの影響は資料 2-5-10 にて確認)。

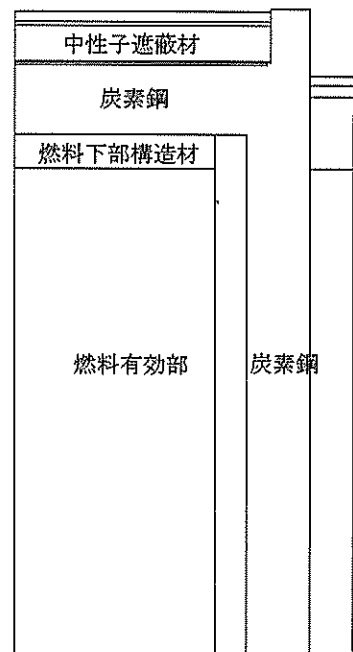
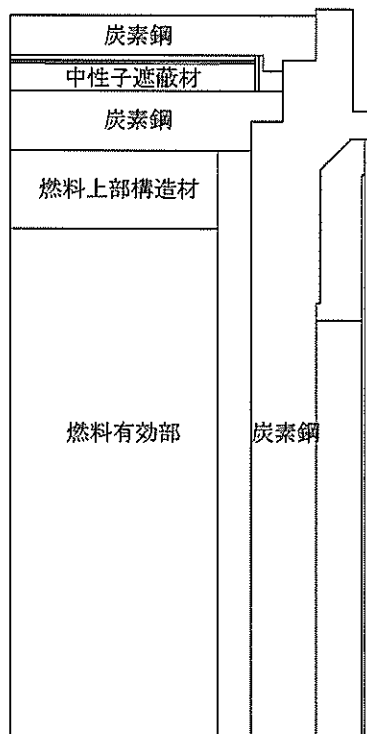
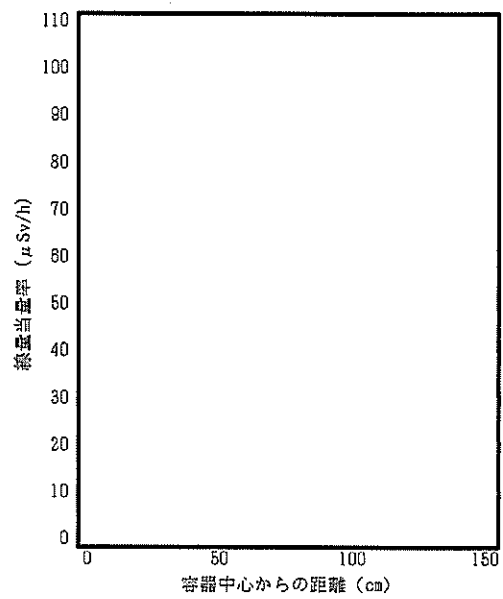
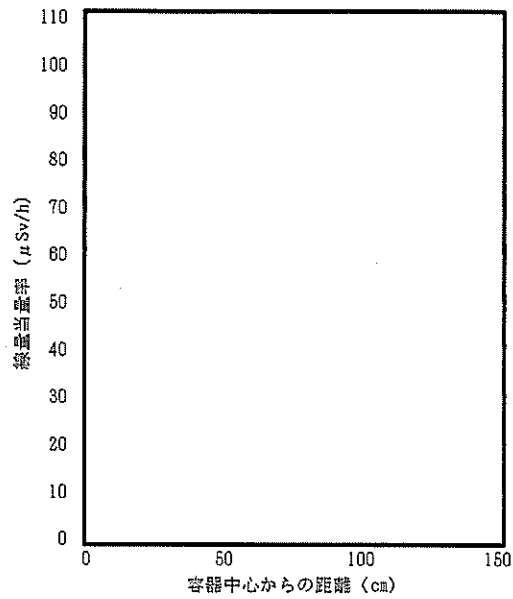
2-5-9-5 図 表面の線量当量率分布 (頭部軸方向・底部軸方向) (乾式キャスク (タイプ 2))



(注 1) DOT3.5 解析値と MCNP 解析値の比較用に、周方向の最大となる方向の MCNP 解析値とした (トランニオン方向も含まれる)。

(注 2) 頭部径方向・側部・底部径方向の線量当量率分布にトランニオン方向の分布を重ねて明示した。

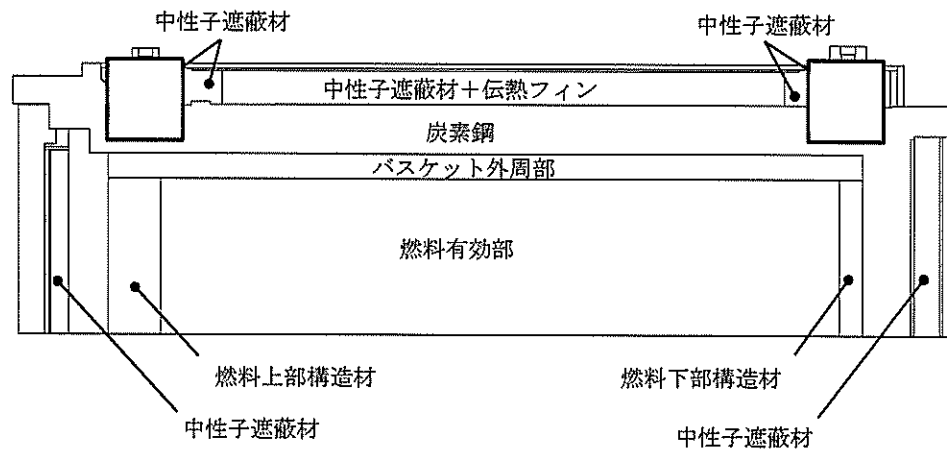
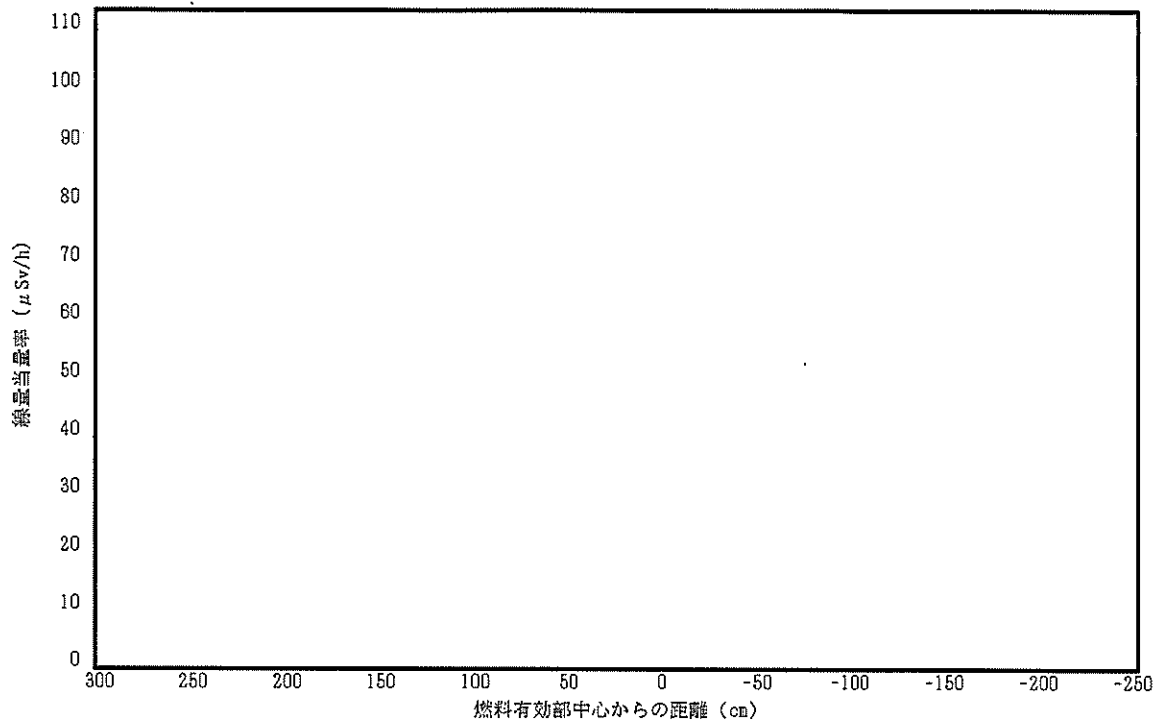
2-5-9-6 図 表面の線量当量率分布
(頭部径方向・側部・底部径方向 (トランニオン方向含む))
(乾式キャスク (タイプ 2))



(注)DOT3.5 解析値と MCNP 解析値の比較用に、一次蓋ドレン・ベントバルブ及び二次蓋モニタリングポートの無い方向の MCNP 解析値とした（一次蓋ドレン・ベントバルブ及び二次蓋モニタリングポートの影響は資料 2-5-10 にて確認）。

2-5-9-7 図 表面から 1 m 離れた位置の線量当量率分布
(頭部軸方向・底部軸方向) (乾式キャスク (タイプ 2))

2-5-9-8



(注1) DOT3.5 解析値と MCNP 解析値の比較用に、周方向の最大となる方向の MCNP 解析値とした (トランニオン方向も含まれる)。

(注2) 頭部径方向・側部・底部径方向の線量当量率分布にトランニオン方向の分布を重ねて明示した。

2-5-9-8 図 表面から 1m 離れた位置の線量当量率分布
 (頭部径方向・側部・底部径方向 (トランニオン方向含む))
 (乾式キャスク (タイプ 2))

2-5-10 一次蓋のドレン・ベントバルブ及び
二次蓋のモニタリングポートの影響

本資料は資料 14「使用済燃料貯蔵容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書」に関する説明書において使用する、一次蓋のドレン・ベントバルブ及び二次蓋のモニタリングポートの影響について説明するものである。

一次蓋のドレン・ベントバルブ及び二次蓋のモニタリングポートの線量当量率評価結果への影響について、三次元解析コード MCNP5 を用いて確認した（DOT3.5 解析では当該形状はモデル化していない）。

ドレン・ベントバルブ及びモニタリングポートの構造図及び評価点位置を 2-5-10-1 図から 2-5-10-4 図に示す。MCNP 解析の主要な評価条件は 2-5-10-1 表に示すとおりである。

MCNP 解析と DOT3.5 解析の線量当量率評価結果の比較を 2-5-10-2 表に示す。

ドレン・ベントバルブ部においては、MCNP 解析が DOT3.5 解析の線量当量率評価結果より約 3% 高くなるが、DOT3.5 解析の最大線量当量率結果（底部径方向）に対しては下回る。

以上より、ドレン・ベントバルブ及びモニタリングポートによる線量当量率結果への有意な影響は無い。

2-5-10-1 表 MCNP 解析の主要な評価条件

項目		解析条件
解析コード		MCNP5 Ver1.60
断面積ライブラリ		FSXLIB-J33（中性子） MCPLIB84（ガンマ線）
燃料有効部 ガンマ線源強度	群構造	ORIGEN 群構造（18 群）
	スペクトル	ORIGEN 評価値
構造材放射化 ガンマ線源強度	群構造	1.17MeV 1.33MeV
	スペクトル	1.17MeV : 50% 1.33MeV : 50%
中性子源強度	群構造	連続エネルギー
	スペクトル	Watt 型 ²³⁹ Pu 核分裂スペクトル
タリー		メッシュタリー
分散低減法		ウェイト・ウィンドウ

2-5-10-2 表(1/2) ドレン・ベントバルブ及びモニタリングポート位置の
線量当量率比較 (乾式キャスク (タイプ 1))

(単位 : $\mu\text{Sv/h}$)

評価点			MCNP 解析		DOT3.5 解析	
			バルブ部	モニタリング ポート部	最大線量当量率	
					頭部軸方向	全体
表面	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	1.9	<0.1	3.0
		構造材放射化	0.8	43.9	0.4	6.2
		二次ガンマ線	0.7	1.1	0.7	7.1
	中性子		221.9	57.5	262.8	1548.1
	合計		223.5	104.4	264.0	1564.4
	基準値		2,000			

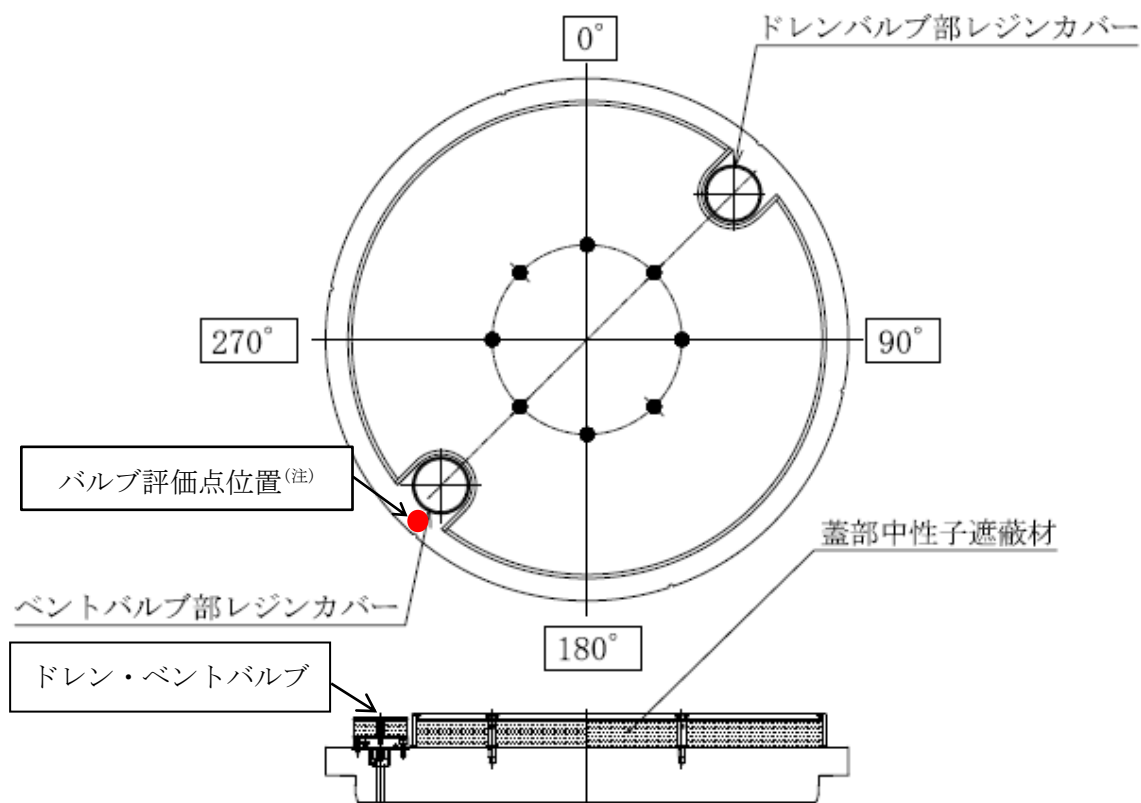
(注)0.1 未満の値は 0.1 として合計に考慮した。

2-5-10-2 表(2/2) ドレン・ベントバルブ及びモニタリングポート位置の
線量当量率比較 (乾式キャスク (タイプ 2))

(単位 : $\mu\text{Sv/h}$)

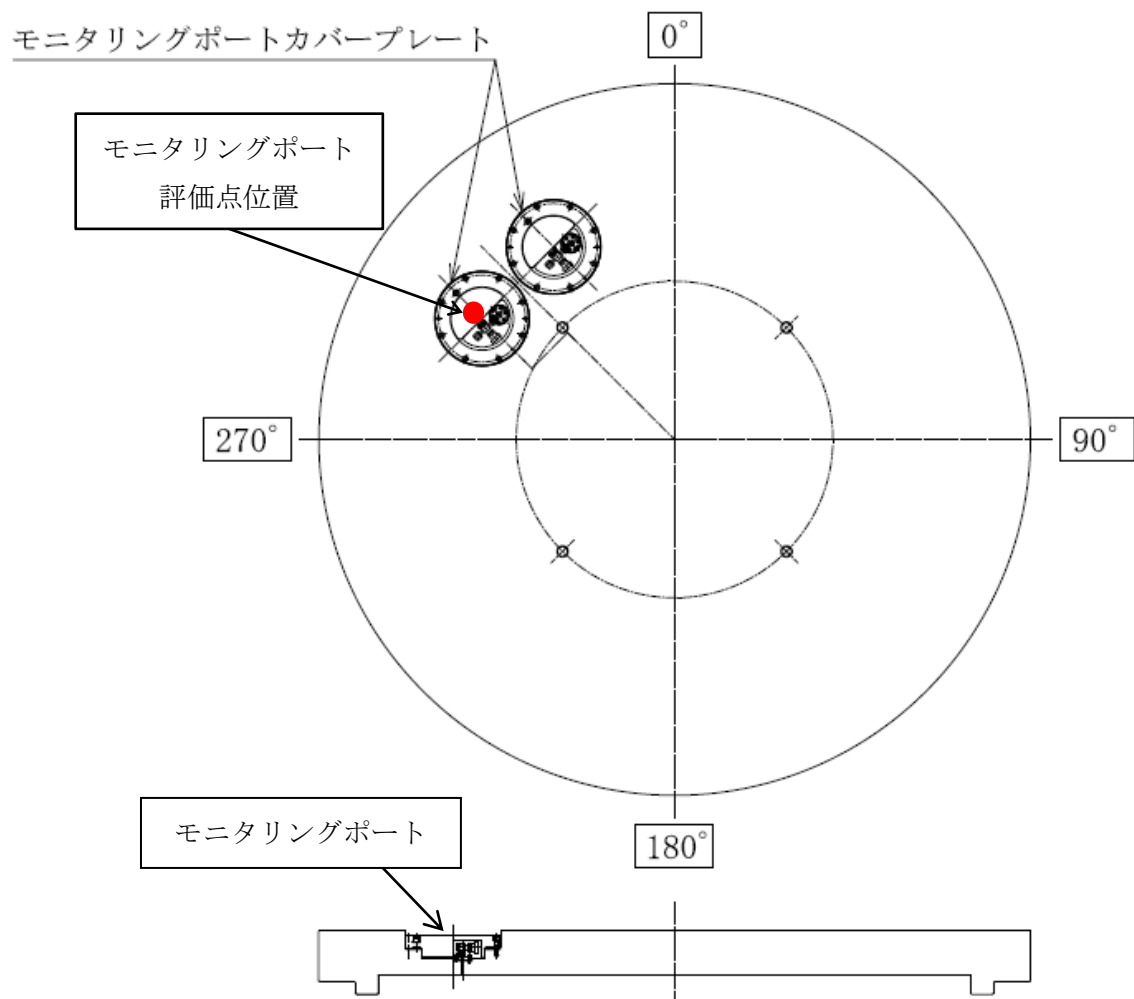
評価点			MCNP 解析		DOT3.5 解析	
			バルブ部	モニタリング ポート部	最大線量当量率	
					頭部軸方向	全体
表面	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	1.8	<0.1	4.0
		構造材放射化	1.1	25.7	0.4	6.6
		二次ガンマ線	1.2	1.4	0.8	7.4
	中性子		341.3	99.7	333.7	1807.3
	合計		343.7	128.6	335.0	1825.3
	基準値		2,000			

(注)0.1 未満の値は 0.1 として合計に考慮した。

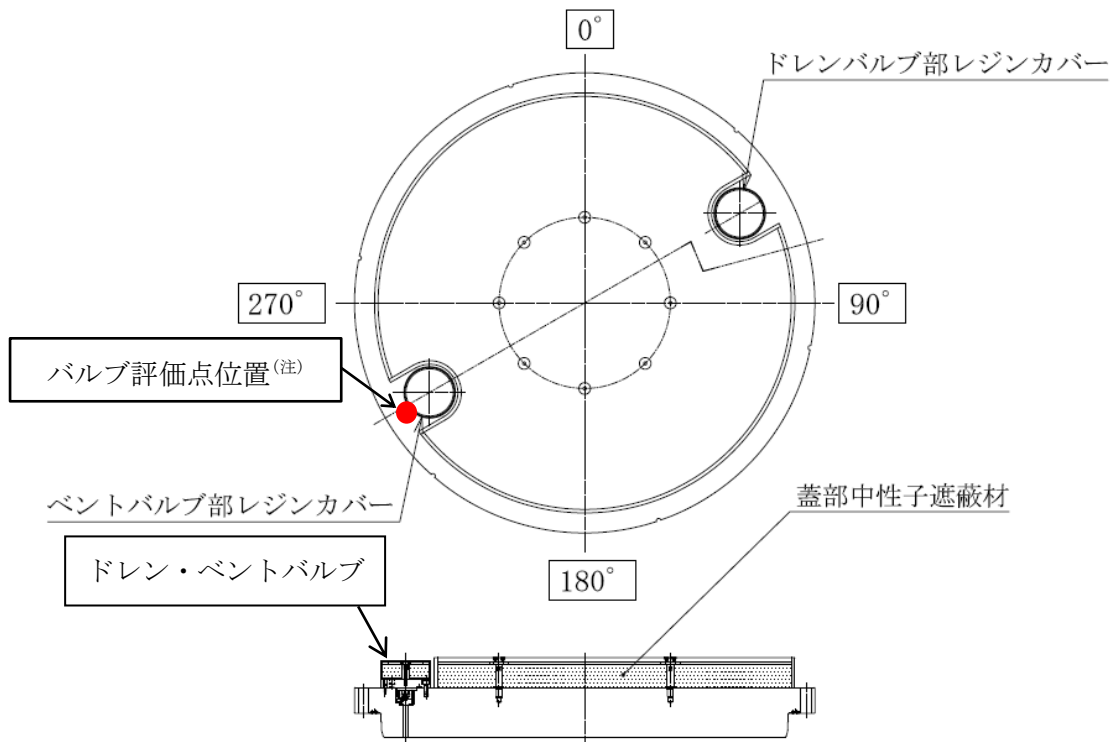


(注) 当該位置に対する表面（二次蓋外面）の評価点を指す。
ドレンバルブとベントバルブで形状は同じである。

2-5-10-1 図 一次蓋のドレン・ベントバルブ構造図及び評価点位置
(乾式キャスク (タイプ 1))

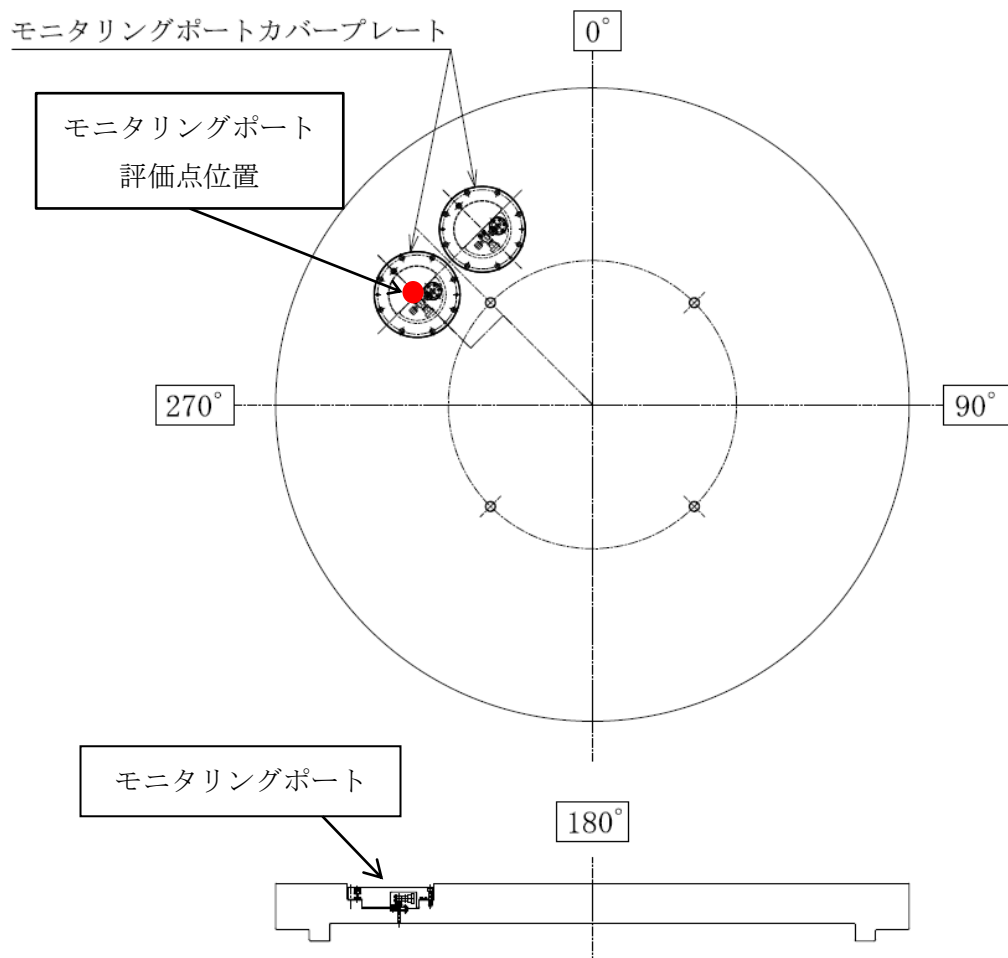


2-5-10-2 図 二次蓋のモニタリングポート構造図及び評価点位置
(乾式キャスク (タイプ1))



(注) 当該位置に対する表面（二次蓋外面）の評価点を指す。
ドレンバルブとベントバルブで形状は同じである。

2-5-10-3 図 一次蓋のドレン・ベントバルブ構造図及び評価点位置
(乾式キャスク (タイプ 2))



2-5-10-4 図 二次蓋のモニタリングポート構造図及び評価点位置
(乾式キャスク (タイプ2))

2-5-11 異なる燃料型式収納時の線量当量率評価

本資料は資料 14「使用済燃料貯蔵容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書」に関する説明書において使用する、異なる燃料型式収納時の線量当量率評価について説明するものである。

資料 2-5-2 では、放射線源強度（以下、「線源強度」という。）の高い下記に示す使用済燃料集合体を収納した場合を対象として線量当量率評価を実施した。

乾式キャスク（タイプ 1）：14×14 燃料（B 型）

乾式キャスク（タイプ 2）：17×17 燃料 48,000MWd/t 型（A 型）

異なる燃料型式を収納した場合の線量当量率が資料 2-5-2 に示す線量当量率に包絡されることを確認するため、下記に示す使用済燃料集合体を収納した場合を対象として線量当量率評価を実施した。

乾式キャスク（タイプ 1）：14×14 燃料（A 型）

乾式キャスク（タイプ 2）：17×17 燃料 48,000MWd/t 型（B 型）

各燃料型式の最大線量当量率結果の比較を 2-5-11-1 表及び 2-5-11-2 表に示す。また、最大線量当量率となる評価点位置の概略図を 2-5-11-1 図から 2-5-11-4 図に示す。

2-5-11-1 表及び 2-5-11-2 表のとおり、乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）において、異なる燃料型式収納時は、資料 2-5-2 で対象とした燃料型式収納時の表面及び表面から 1 m 離れた位置における最大線量当量率に包絡される。

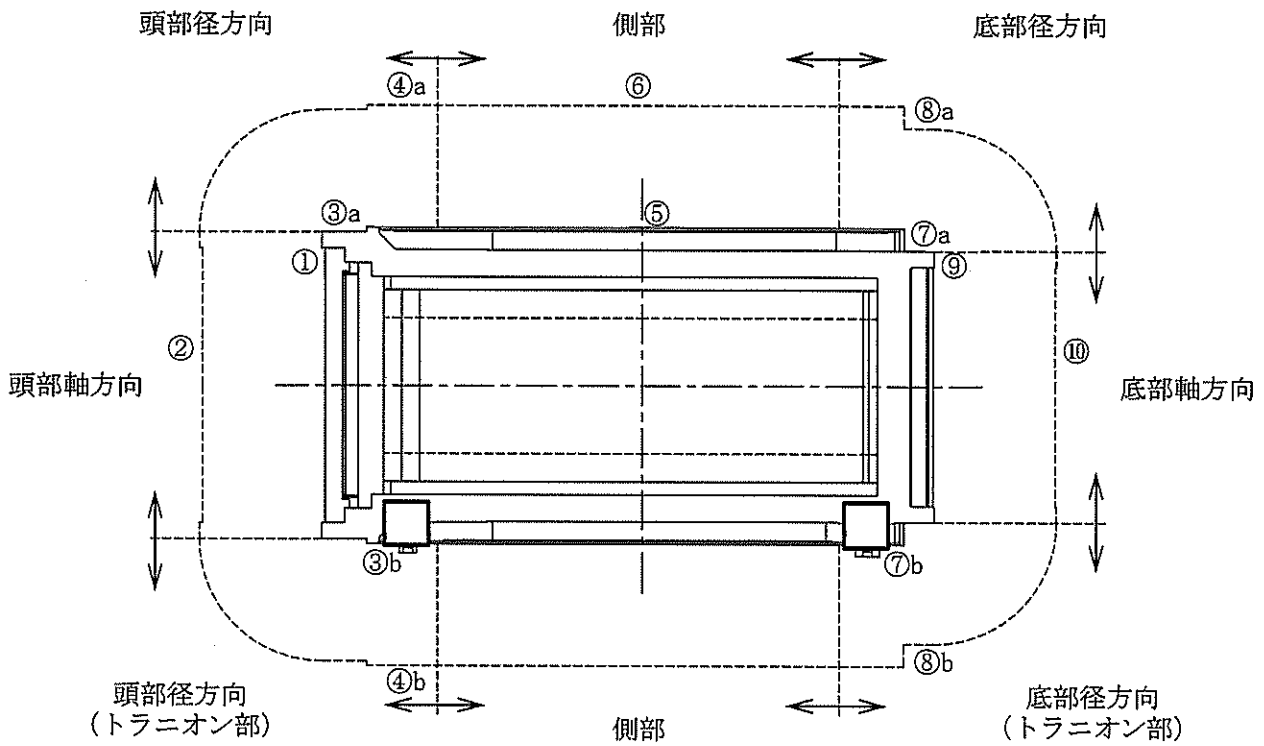
2-5-11-1 表 14×14 燃料（A型）／14×14 燃料（B型）収納時の最大線量当量率比較（乾式キャスク（タイプ1））

（単位：μSv/h）

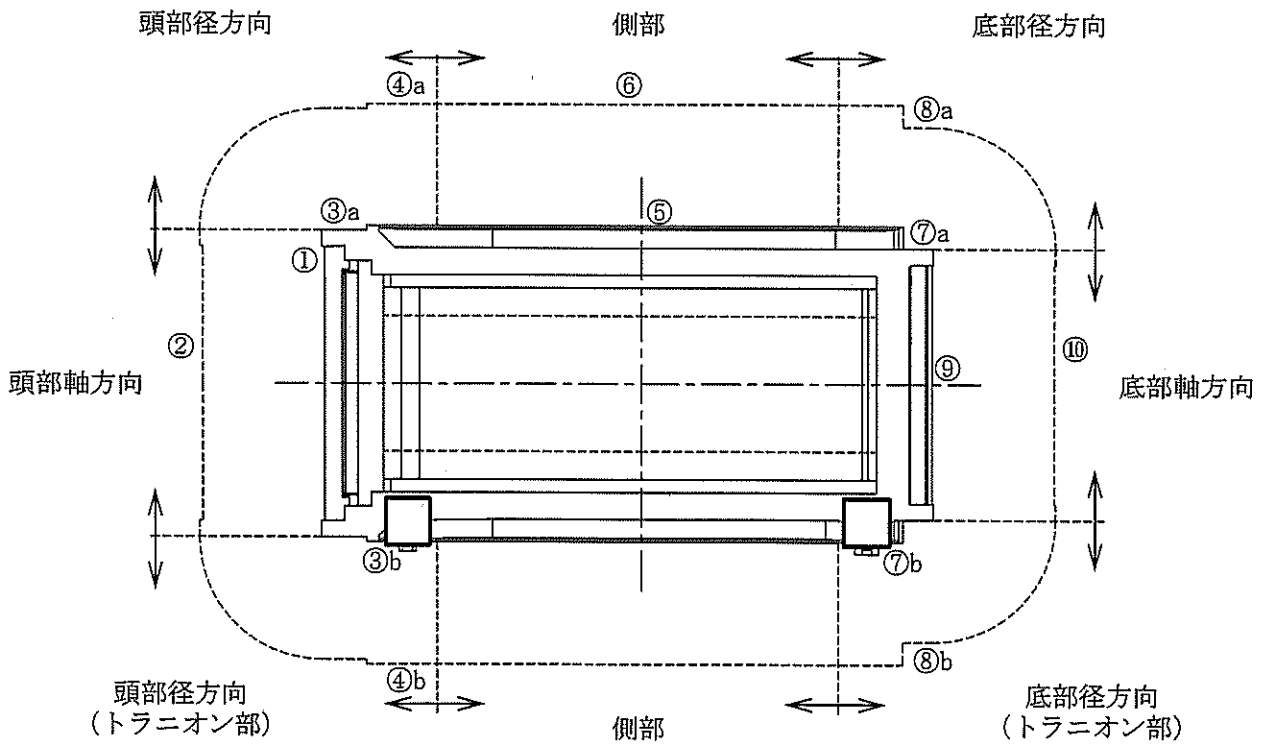
評価点			頭部					側部		底部						
			軸方向		径方向		径方向 (トランニオン部)			径方向		径方向 (トランニオン部)		軸方向		
			①		③a		③b		⑤		⑦a		⑦b		⑨	
			A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型
表面	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	5.0	4.8	91.8	93.0	3.0	3.0	4.0	4.0	<0.1	8.2
		構造材放射化	0.3	0.4	0.4	0.7	46.3	85.2	15.6	11.5	7.2	6.2	13.7	11.7	0.2	112.7
		二次ガンマ線	0.7	0.7	1.6	1.6	5.7	5.7	24.1	24.4	7.0	7.1	4.4	4.5	0.7	12.4
		中性子	258.8	262.8	585.5	592.3	949.3	1022.9	54.6	55.1	1534.4	1548.1	922.7	925.5	167.0	44.7
		合計	259.9	264.0	587.6	594.7	1006.3	1118.6	186.1	184.0	<u>1551.6</u>	<u>1564.4</u>	944.8	945.7	168.0	178.0
評価点			②		④a		④b		⑥		⑧a		⑧b		⑩	
A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	
表面から 1 m	ガンマ線	燃料有効部	0.2	0.2	22.1	22.3	21.5	21.7	40.9	41.4	7.9	8.8	6.6	7.3	3.1	2.9
		構造材放射化	1.9	3.7	17.3	28.1	14.4	22.7	8.0	6.7	7.5	6.5	5.7	4.8	15.0	34.5
		二次ガンマ線	0.4	0.4	5.0	5.0	4.9	5.0	9.6	9.7	2.6	2.8	2.5	2.6	3.4	3.4
		中性子	50.3	50.6	23.4	23.8	33.4	34.4	21.9	22.1	51.8	51.1	60.8	60.9	20.1	20.2
		合計	52.8	54.9	67.8	79.2	74.2	<u>83.8</u>	<u>80.4</u>	79.9	69.8	69.2	75.6	75.6	41.6	61.0

(注)0.1 未満の値は 0.1 として合計に考慮した。

下線で示す値は、表面及び表面から 1 m 離れた位置における線量当量率の最大値である。



2-5-11-1 図 最大線量当量率評価点位置の概略図 (A型燃料) (乾式キャスク (タイプ1))



2-5-11-2 図 最大線量当量率評価点位置の概略図 (B型燃料) (乾式キャスク (タイプ1))

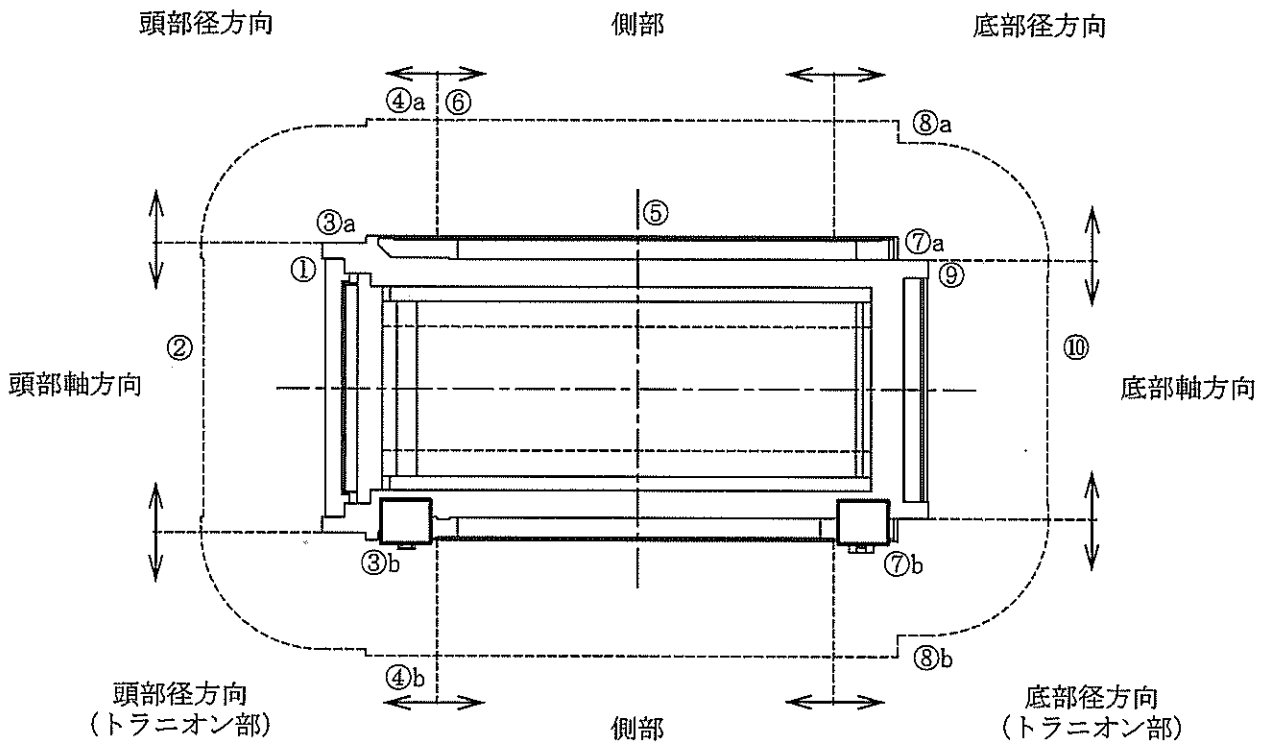
2-5-11-3

2-5-11-2 表 17×17 燃料 48,000Mwd/t 型 (B型) / 17×17 燃料 48,000Mwd/t 型 (A型) 収納時の最大線量当量率比較 (乾式キャスク (タイプ 2))
(単位: μ Sv/h)

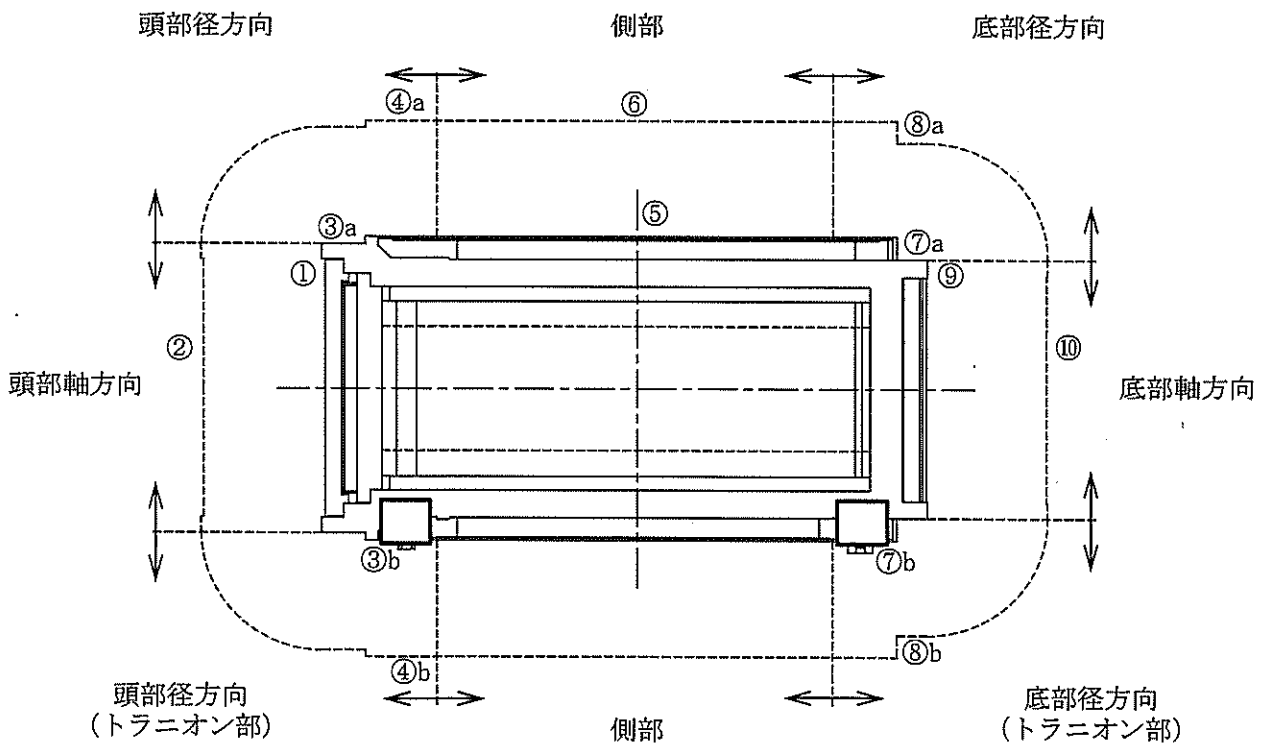
評価点			頭部					側部		底部						
			軸方向		径方向		径方向 (トランニオン部)			径方向		径方向 (トランニオン部)		軸方向		
			①		③a		③b		⑤		⑦a		⑦b		⑨	
			B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型
表面	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	6.3	8.0	84.8	100.7	3.4	4.0	4.7	5.4	<0.1	<0.1
		構造材放射化	1.0	0.4	1.9	1.1	183.8	103.0	17.2	25.9	10.7	6.6	22.1	13.4	0.5	0.3
		二次ガンマ線	0.8	0.8	2.1	2.3	5.2	5.7	23.8	25.7	6.9	7.4	4.5	4.8	0.8	0.9
	中性子		303.6	333.7	731.3	804.2	655.5	741.4	41.9	45.1	1698.9	1807.3	1021.8	1108.3	208.5	222.6
	合計		305.5	335.0	735.4	807.7	850.8	858.1	167.7	197.4	<u>1719.9</u>	<u>1825.3</u>	1053.1	1131.9	209.9	223.9
評価点			②		④a		④b		⑥		⑧a		⑧b		⑩	
B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	
表面から 1 m	ガンマ線	燃料有効部	0.2	0.3	19.0	22.5	19.2	22.6	20.4	44.8	7.6	9.0	6.6	7.9	4.3	4.9
		構造材放射化	5.7	3.5	30.6	20.1	32.0	20.9	29.6	12.5	9.7	7.4	7.8	6.1	48.2	28.8
		二次ガンマ線	0.4	0.4	5.1	5.4	5.0	5.4	5.3	10.4	2.7	3.0	2.6	2.8	3.3	3.6
	中性子		59.1	64.8	21.0	23.2	29.5	32.7	20.3	18.3	54.1	56.6	63.3	66.3	21.7	23.1
	合計		65.4	69.0	75.7	71.2	<u>85.7</u>	81.6	75.6	<u>86.0</u>	74.1	76.0	80.3	83.1	77.5	60.4

(注) 0.1 未満の値は 0.1 として合計に考慮した。

下線で示す値は、表面及び表面から 1 m 離れた位置における線量当量率の最大値である。



2-5-11-3 図 最大線量当量率評価点位置の概略図 (B型燃料) (乾式キャスク (タイプ2))



2-5-11-4 図 最大線量当量率評価点位置の概略図 (A型燃料) (乾式キャスク (タイプ2))

2-5-11-5/E

2-6 評価内容全般に係る補足説明資料

伊方3号機（使用済燃料乾式貯蔵建屋）設計及び工事計画に係る説明資料
 （使用済燃料乾式貯蔵容器の安全性について）

■資料No. 2-6 評価内容全般に係る補足説明資料

資料 No.	補足説明資料		備考 (該当添付資料)
	(名称)	(概要)	
2-6-1	核燃料輸送物設計承認申請書における評価との比較について	本申請における評価内容及び核燃料輸送物設計承認申請書における評価内容の比較を示す。	資料10-3 キャスク本体その他のキャスクを構成する部材に係る強度に関する説明書 資料11 使用済燃料貯蔵用容器の密封性を監視する装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書 資料12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書 資料13 使用済燃料貯蔵用容器の冷却能力に関する説明書 資料14 使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

2-6-1 核燃料輸送物設計承認申請書における
評価との比較について

1. はじめに

本申請における乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）は兼用キャスクであり、資料 15「外運搬規則第二十一条第二項の規定による容器の設計に関する原子力規制委員会の承認を受けたことに関する説明書」に示す通り、核燃料輸送物設計承認（以下「設計承認」という。）を受けている。

本資料は、本申請における資料 10～資料 14 において記載している各評価内容と設計承認申請書において輸送物の安全性を示すための評価内容との比較を示すものである。

2. 設計承認申請書における評価との比較について

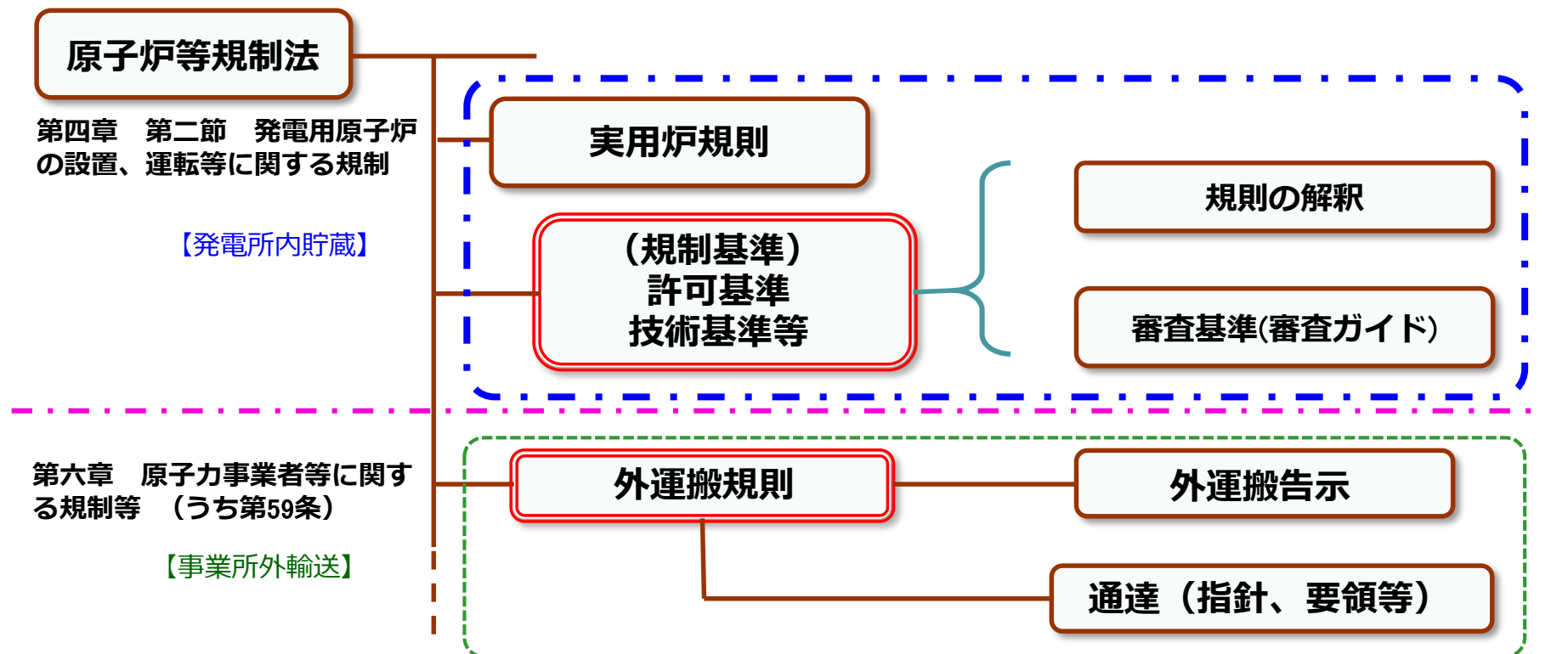
本申請における評価内容と設計承認申請書における評価内容との比較を別紙「乾式キャスク（輸送・貯蔵兼用）の許認可概要」に示す。

乾式キャスク(輸送・貯蔵兼用)の許認可概要 (設置許可・設工認／設計承認の比較について)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので
公開することはできません。

1. 乾式キャスクの許認可体系
2. 乾式キャスクの概要
3. 乾式キャスクの解析比較

1. 乾式キャスクの許認可体系



原子炉等規制法 …… 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律 (昭和32年6月10日法律第166号)

实用炉規則 …… 实用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則 (昭和53年12月28日通商産業省令第77号)

規制基準 …… 实用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則 (平成25年6月28日原子力規制委員会規則第5号)

…… 实用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則 (平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号)

審査基準(審査ガイド) …… 原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド

(平成31年3月13日原規技発第1903131号)

外運搬規則 …… 核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則 (昭和53年12月28日 総理府令 第57号)

外運搬告示 …… 核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示

(平成2年11月28日 科学技術庁告示 第5号)

1. 乾式キャスクの許認可体系

【乾式キャスクの適合性説明の必要な条文】

【発電所内貯蔵】

**(規制基準)
許可基準
技術基準等**

(略)位置、構造及び設備の基準に関する規則		乾式キャスクの適合性
第16条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	○(未臨界、除熱、遮蔽、閉じ込め)

(略)技術基準に関する規則		乾式キャスクの適合性
第26条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	○(未臨界、除熱、遮蔽閉じ込め、構造強度)

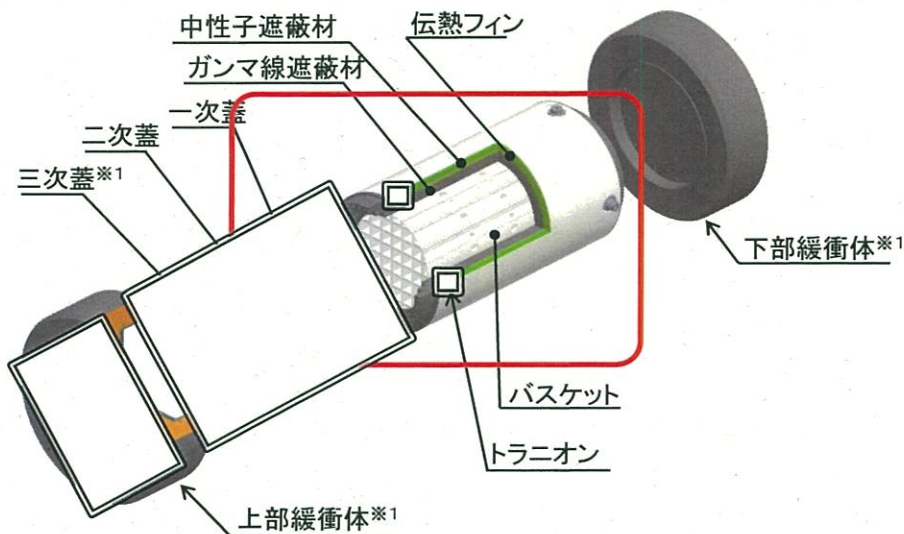
【事業所外輸送】

外運搬規則

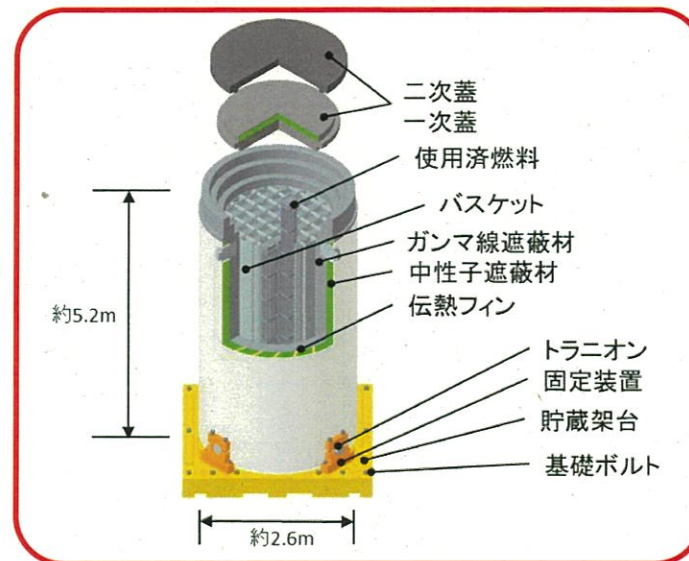
(略)事業所の外における運搬に関する規則		乾式キャスクの適合性
第3条	核燃料輸送物として運搬できる核燃料物質等の運搬	○(核燃料物質の仕様)
第6条	BM型輸送物に係る技術上の基準 (⇒第5条、第4条を引用)	○(遮蔽、閉じ込め、除熱、構造強度)
第11条	核分裂性物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準	○(未臨界)

2. 乾式キャスクの概要（構成部材）

乾式キャスクの鳥かん図(タイプ1(輸送状態)の例)



乾式キャスクの鳥かん図(タイプ1(貯蔵状態)の例)



乾式キャスク構成部材の材質

	乾式キャスク(タイプ1) 【MSF-32P型】の材質※2	乾式キャスク(タイプ2) 【MSF-24P型】の材質※2
胴	炭素鋼	炭素鋼
外筒	炭素鋼	炭素鋼
中性子遮蔽材	レジン	レジン
一次蓋、二次蓋	炭素鋼	炭素鋼
一次蓋、二次蓋シール	金属ガスケット	金属ガスケット
バスケット構造材	アルミニウム合金および炭素鋼	アルミニウム合金
バスケット中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金	ほう素添加アルミニウム合金
三次蓋※1	ステンレス鋼	ステンレス鋼
三次蓋シール※1	ゴムOリング	ゴムOリング
緩衝体※1	ステンレス鋼及び木材	ステンレス鋼及び木材

共通

※1 輸送時のみ装着

※2 乾式キャスク構成部材の長期健全性も含め、共通。

2. 乾式キャスクの概要 (収納条件)

収納条件(乾式キャスク(タイプ1); 14×14型燃料32体収納)

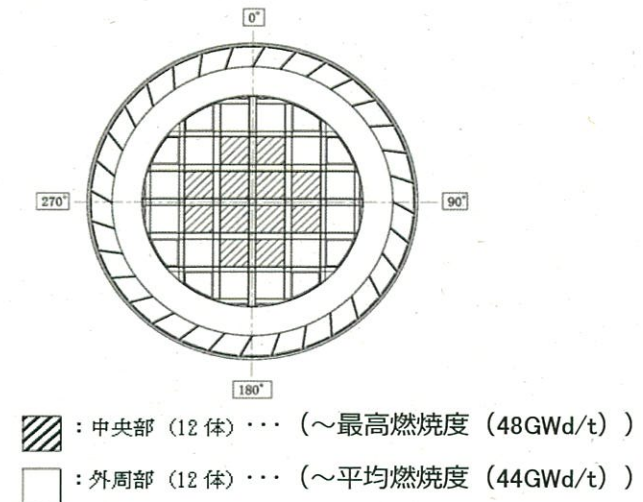
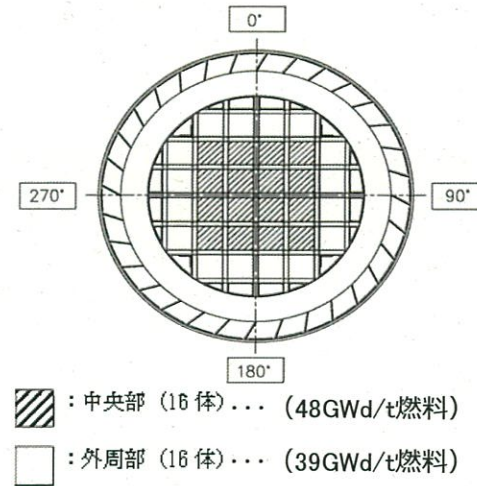
燃料集合体の種類と型式	中央部				外周部	
	14×14燃料※					
	48,000MWd/t型		39,000MWd/t型		39,000MWd/t型	
燃焼条件	A型	B型	A型	B型	A型	B型
最高燃焼度 ^(注1) (MWd/t)	48,000以下		39,000以下		39,000以下	
平均燃焼度 ^(注2) (MWd/t)	45,000以下				33,000以下	
冷却日数	5,479日以上				9,131日以上	

収納条件(乾式キャスク(タイプ2); 17×17型燃料24体収納)

燃料集合体の種類と型式		17×17燃料※	
		48,000MWd/t型	
燃焼条件		A型	B型
燃料集合体	最高燃焼度 ^(注1) (MWd/t)	中央部	48,000以下
		外周部	44,000以下
	平均燃焼度 ^(注2) (MWd/t)	44,000以下	
	冷却日数	5,479日 ^(注3) 以上	6,209日 以上
バーナブル ポイズン 集合体	照射日数	5,479日以上	
	冷却日数		

※ 燃料被覆管の長期健全性も含め、共通。

共通

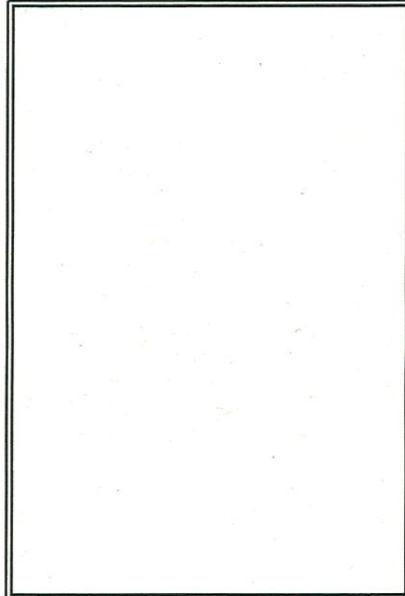


3. 乾式キャスクの解析比較

構造解析 (強度評価)

項目		設計承認における評価内容	設工認における評価内容
解析方法	容器本体 胴 一次蓋 二次蓋 三次蓋 外筒 等	解析コードによる評価 解析コード: ABAQUS (汎用FEM) 解析モデル: 三次元180° 対称モデル ※一部評価式による評価	同左
	バスケット・ ドラニオン	評価式による評価	同左
	貯蔵架台	—	評価式による評価
解析条件 (荷重計算方法)	設計条件	—	設計時 (最高使用圧力)
	供用状態A	輸送時	貯蔵時 吊上げ時
	" B	一般の試験条件 (0.3m落下: 解析コードによる評価)	検査架台衝突時 (評価式による評価)
	" C	—	—
	" D	特別の試験条件 (9m落下: 解析コードによる評価)	—
	その他	200m浸漬	試験時
判定基準		密封部: 変形を弾性域に抑えること その他: 供用状態A,Bにおいて変形を弾性域に抑えること、供用状態Dにおいて安全機能に影響がないこと <外運搬規則第4条第2号、第6条第2号、第6条第3号、第11条第2号の規定に基づく各種評価の前提となる輸送物の状態を評価するため、金属キャスク構造規格等の民間規格に基づき設定>	同左 (供用状態Dは該当なし) <技術基準規則第26条の規定に基づく安全機能評価の前提となる乾式キャスクの状態を評価するため、金属キャスク構造規格等の民間規格に基づき設定>

共通



乾式キャスク (タイプ1)
応力計算解析モデル



3. 乾式キャスクの解析比較

除熱解析

項目	設計承認における評価内容			設工認における評価内容	
	輸送時		特別の試験条件 (火災条件)	貯蔵時	
	最高温度評価	近接表面温度評価			
解析方法	解析コード	ABAQUS(汎用FEM)		同左	
	各部温度	三次元180° 対称全体モデル		同左	
	燃料最高温度	二次元燃料集合体モデル		同左	
解析条件	収納物発熱量	収納対象燃料に軸方向燃焼度分布を考慮したもの 〔16.9kW(タイプ1)〕 〔18.1kW(タイプ2)〕		同左	
	周囲温度	38℃ (太陽光あり)	38℃ (太陽光なし)	800℃×30分 (太陽光あり)	50℃(施設内) (太陽光なし)
	姿勢	横置き		縦置き	
	緩衝体の有無	あり	あり	あり	なし
	緩衝体の変形	なし	なし	あり	—
判定基準	各部の熱的健全性 <外運搬規則第5条第4号、第6条第4号、第11条第3号の規定を満足するよう輸送物各部の長期健全性が担保できる温度を基準として設定>			同左 <技術基準規則第26条第2項第6号二の規定を満足するよう長期健全性が担保できる温度を基準として設定>	
	—	近接可能表面が 85℃以下 <外運搬規則第6条第2号ハに規定>	—	—	

共通

乾式キャスク (タイプ1)
熱解析モデル (全体モデル)

3. 乾式キャスクの解析比較

閉じ込め解析

項目	設計承認における評価内容		設工認における評価内容	
	一般の試験条件	特別の試験条件	基準漏えい率設定	リークテスト判定基準設定
解析方法	評価対象部位 (密封境界)	三次蓋 ゴムOリング	一次蓋 金属ガスケット	
	評価内容	放射性物質の漏えい量	設計貯蔵期間(60年)中において胴内を負圧に維持するための金属ガスケットの漏えい率	
	解析方法	共通		同左
	評価対象核種	^3H 、 ^{85}Kr	- (Heガス)	
解析条件	漏えいの経路	三次蓋内部から大気への漏えい	一二次蓋間(圧力一定)から一次蓋内部への漏えい	同左 (基準漏洩率設定の条件に加え、一二次蓋間ガスの全量流入に伴う圧力上昇分を考慮)
	燃料破損率 (胴内圧上昇の考慮条件)	0.1%	100%	0.1%
判定基準	放射性物質漏洩量 A_2 値 $\times 10^{-6}/\text{h}$ 以下 <外運搬規則第6条第2号ロ、 外運搬告示第15条に規定>	放射性物質漏洩量 A_2 値/week以下 <外運搬規則第6条第3号ロ、 外運搬告示第17条に規定>	基準漏えい率 > リークテスト判定基準 > 金属ガスケットの性能 <技術基準規則第26条第2項第6号イ、審査ガイド2.4に規定>	

A_2 値：核種ごとに、告示で定められる放射エネルギーの制限値

3. 乾式キャスクの解析比較

遮蔽解析

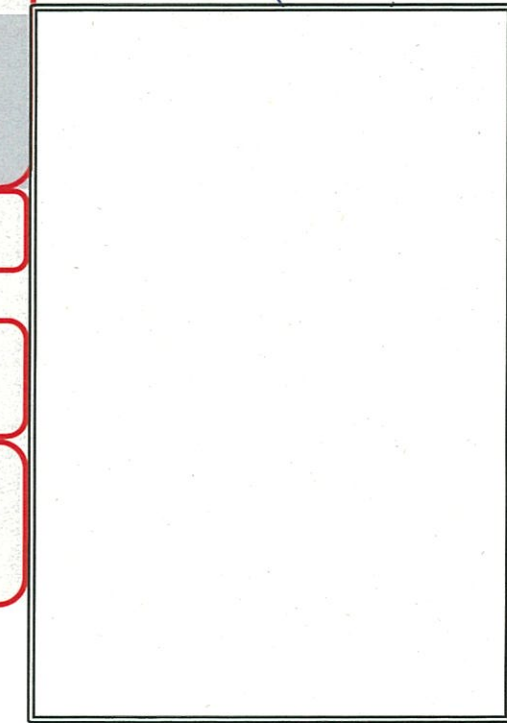
項目	設計承認における評価内容			設工認における評価内容	
	輸送時	一般の試験条件	特別の試験条件	貯蔵時	
解析方法	解析コード	DOT3.5			同左
	解析モデル	(二次元軸対称) ①頭部1/2モデル ②底部1/2モデル ③トラニオン部詳細モデル			同左
解析条件	緩衝体の有無	あり (距離のみ考慮)	あり (距離のみ考慮)	なし	なし
	緩衝体の変形 (中性子遮蔽体)	なし	あり	(全損)	—
判定基準	線量当量率 (mSv/h)	2 (@表面) 0.1 (@1m) <外運搬規則第5条第7号、第5条第8号に規定>	2 (@表面) — <外運搬規則第5条第9号に規定>	— 10 (@1m) <外運搬規則第6条第3号イに規定>	同左 (輸送時) <審査ガイド2.2に規定>

共通

キャスク表面の位置

一般の試験条件

輸送時



乾式キャスク (タイプ1)

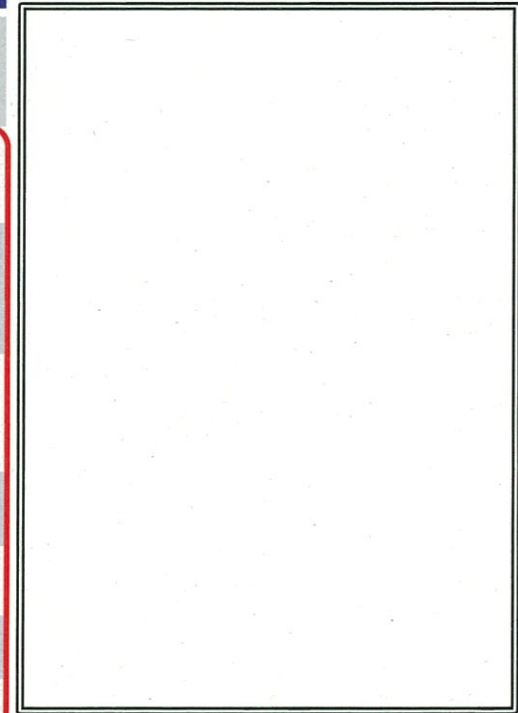
遮蔽解析モデル (頭部モデル)



3. 乾式キャスクの解析比較

臨界解析

項目	設計承認における評価内容		設工認における評価内容	
	特別の試験条件 (輸送時・一般の 試験条件を包絡)	取扱時※1	貯蔵時	取扱時※1
解析方法	解析コード	SCALEコードシステム	同左	共通
	解析モデル	三次元モデル (中性子遮蔽材、緩衝体、三次蓋を 無視)	同左	
解析条件	濃縮度	タイプ1(中央部:U濃縮度 <input type="text"/> %、 外周部:U濃縮度 <input type="text"/> %) タイプ2(U濃縮度 <input type="text"/> %)	同左	
	燃料状態	①健全 ②一部変形考慮	健全	同左(健全のみ)
	内部雰囲気	乾燥※2	冠水	同左(乾燥) 同左(冠水)
	外部境界	無限配列	同左	同左
判定基準	中性子 実効増倍率	≤ 0.95 <外運搬規則第11条第2号の規定を満足する よう文献を基に設定>	同左	<技術基準規則第26条第2号第1号の規 定を満足するよう文献を基に設定>



乾式キャスク (タイプ1)
臨界解析モデル (縦断面図)

- ※1 使用済燃料ピットエリアでの燃料装荷作業等、容器内が水で満たされた状態を想定している。
 ※2 安全側の評価として、15 m 浸漬試験による胴内への5000cm³の浸水を仮定し、この水が均一に分散している条件にて評価している。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
商業機密あるいは防護上の観点
から公開できません。

伊方発電所設計及び工事計画審査資料	
資料番号	D S F - 0 2 0
提出年月日	令和3年3月9日

伊方発電所3号機
設計及び工事計画に係る説明資料
(安全設備が使用される条件の下における
健全性に関する説明書)
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

令和3年3月
四国電力株式会社

資料 4 に係る補足説明資料

【説明する添付資料】

資料 4 安全設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書

補足説明資料目次

	頁
1. 第14条, 15条に対する適合性の整理表 （使用済燃料乾式貯蔵施設の健全性評価）	資4補-1-1
2. 環境条件における機器の健全性評価の手法について （環境条件に関する健全性評価手法の補足説明）	資4補-2-1

1. 第14, 15条に対する適合性の整理表
(使用済燃料乾式貯蔵施設の健全性評価)

本資料は 14, 15 条への適合に必要な設計方針を示すものであり、その記載要領を資 4 補-1-i ~ ii に示す。

番号	項目	記載内容
(1)	施設区分	対応する「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則 別表第2」の施設区分を記載。
(2)	設備分類	対応する設備分類（設計基準対象施設、安全施設、重要施設、重要安全施設）を選択。
(3)	設備名称	設備名称を記載。
(4)	単一故障時の機能達成 （多重性又は多様性及び 独立性）	技術基準規則第14条第1項に該当する安全設備については、多重性又は多様性及び独立性を考慮することを記載。
(5)	環境条件における健全性 （温度等）	供用期間中に想定される温度、圧力、湿度及び放射線の環境条件と、本資料説明対象設備の設計値との比較により健全性を記載。 環境条件は資料4第2.2節による。 設計値は(17)において評価手法の分類を示しており、各評価手法の内容は本補足説明資料2.において記載。
(6)	環境条件における健全性 （屋外天候）	屋外設置設備については、屋外の環境条件を考慮することを記載。
(7)	環境条件における健全性 （放射線（人））	現地操作が必要な設備について、現地の環境条件を考慮することを記載。
(8)	環境条件における健全性 （海水）	海水通水の有無を記載するとともに、通水するものは問題ない材料であることを記載。
(9)	環境条件における健全性 （電磁波）	電磁波による影響に対する健全性を記載。
(10)	環境条件における健全性 （荷重）	想定される荷重に対しても機能発揮できることの方針を記載。
(11)	環境条件における健全性 （他設備からの影響）	地震、火災等により想定される波及的影響で機能喪失しないことを記載。
(12)	環境条件における健全性 （冷却材の性状）	冷却材を有する設備について、水質管理基準を定めて水質を管理すること、ストレーナ等を設置することにより異物の影響を防止する設計であることを記載。
(13)	試験・検査	想定する試験・検査項目を明確にし、それらが可能であることを記載。
(14)	悪影響防止（飛散物）	蒸気タービン、発電機及び内部発生エネルギーの高い流体を内蔵する弁の破損及び配管の破断並びに高速回転機器の損壊に伴う飛散物が想定される場合は、飛散物により安全性を損なわないことを記載する。
(15)	共用又は相互接続の禁止	共用しないことを記載。
(16)	共用又は相互接続による 安全性による影響の低減	二以上の発電用原子炉施設と共用し、又は相互に接続する場合には、発電用原子炉施設の安全性を損なわないように施設することを記載。
(17)	関連図書	配置図、構造図等の添付図は、(4)～(16)の内容を直接的に説明するものではないが、設備の大概イメージを確認できるものを記載。 添付資料は、(4)～(16)の内容をより詳細な設計を説明した資料を記載。

伊方発電所 第3号機 第14, 15条に対する適合性の整理表

		(1) 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設		(2) (設計基準対象施設 安全施設 重要施設・重要安全施設)		(17) 関連図書		
				(3) 使用済燃料乾式貯蔵容器 (タイプ1) (1, 2, 3号機共用)				
第14条	第1項	重要施設	単一故障時の機能達成 多重性又は多様性、及び独立性	(4) ・該当しない		-		
	第2項	安全施設	環境条件における健全性	温度	(5) ・環境温度(50℃) ≤ 設計値 <input type="text"/>		【設置場所】: 屋内 【環境温度】: 資料4 【設計値】: 評価手法1	
				圧力	(5) ・環境圧力(大気圧) ≤ 設計値 <input type="text"/>		【環境圧力】: 資料4 【設計値】: 評価手法1	
				湿度	(5) ・環境湿度(100%) ≤ 設計値 <input type="text"/>		【環境湿度】: 資料4 【設計値】: 評価手法2	
				屋外天候	(6) ・屋内に設置		【配置図】: 第2-1-1図	
				放射線(機器)	(5) ・環境放射線(≤3mGy/h) ≤ 設計値 <input type="text"/>		【環境放射線】: 資料4 【設計値】: 評価手法1	
				放射線(人)	(7) ・「試験・検査」にて示す作業に支障がないように、遮蔽設計等により放射線量が高くないように設計し、作業可能な設計とする		・資料14 ・資料16	
				海水	(8) ・海水を通水しない		-	
				電磁波	(9) ・安全機能の維持のために、電磁波に対する考慮が必要な機器を有しておらず、電磁的障害による影響を受けない		-	
	荷重	(10) ・地震による荷重に対して機能を有効に発揮できる設計としている		・資料9				
	他設備からの影響	(11) ・地震の波及的影響によりその機能を喪失しないように、技術基準規則第5条「地震による損傷の防止」に基づく設計とする (11) ・火災の波及的影響によりその機能を喪失しないように、技術基準規則第11条「火災による損傷の防止」に基づく設計とする (11) ・溢水の火災の波及的影響によりその機能を喪失しないように、技術基準規則第12条「溢水による損傷の防止」に基づく設計とする		・資料9 ・資料5 ・資料6				
	冷却材の性状	(12) ・冷却材を有さない		-				
	第15条	第2項	設計基準対象施設	試験・検査 (検査性、系統構成等)	(13) ・使用済燃料乾式貯蔵容器の一次蓋と二次蓋との間の圧力を、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計により監視することにより、使用済燃料乾式貯蔵容器の閉じ込め機能を適切に監視できる設計とする ・使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計により使用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能を監視できる設計とする ・使用済燃料乾式貯蔵建屋の貯蔵エリアにおいて、使用済燃料乾式貯蔵容器の周辺に点検用歩廊を設置し、点検・保守のために荷付きが可能な設計とする		-	
第4項				設計基準対象施設	悪影響防止 その他(飛散物)	(14) ・該当しない		-
第5項		重要安全施設	共用又は相互接続の禁止	(15) ・該当しない		-		
第6項		安全施設	共用又は相互接続による安全性による影響の低減	(16) ・1号及び2号機用の燃料である14×14型燃料専用設計されており、3号設備であるタイプ1及び2号機の使用済燃料を収納するために、1, 2, 3号機共用とすることによって、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全性を損なわない。		-		

伊方発電所 第3号機 第14, 15条に対する適合性の整理表

核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設			(設計基準対象施設・安全施設・重要施設・重要安全施設)	関連図書		
			使用済燃料乾式貯蔵容器(タイプ1)(1,2,3号機共用)			
第14条	第1項	重要施設	多重性又は多様性、及び独立性	・該当しない	-	
		単一故障時の機能達成				
	第2項	安全施設	環境条件における健全性	温度	・環境温度(50℃) ≤ 設計値 <input type="text"/>	【設置場所】: 屋内 【環境温度】: 資料4 【設計値】: 評価手法1
				圧力	・環境圧力(大気圧) ≤ 設計値 <input type="text"/>	【環境圧力】: 資料4 【設計値】: 評価手法1
				湿度	・環境湿度(100%) ≤ 設計値 <input type="text"/>	【環境湿度】: 資料4 【設計値】: 評価手法2
				屋外天候	・屋内に設置	【配置図】: 第2-1-1~3 図
				放射線(機器)	・環境放射線(≤3mGy/h) ≤ 設計値 <input type="text"/>	【環境放射線】: 資料4 【設計値】: 評価手法1
				放射線(人)	・「試験・検査」にて示す作業に支障がないように、遮蔽設計等により放射線量が高くないように設計し、作業可能な設計とする	・資料14 ・資料16
				海水	・海水を通水しない	-
				電磁波	・安全機能の維持のために、電磁波に対する考慮が必要な機器を有しておらず、電磁的障害による影響を受けない	-
				荷重	・地震による荷重に対して機能を有効に発揮できる設計としている	・資料9
				他設備からの影響	・地震の波及的影響によりその機能を喪失しないように、技術基準規則第5条「地震による損傷の防止」に基づく設計とする	・資料9
					・火災の波及的影響によりその機能を喪失しないように、技術基準規則第11条「火災による損傷の防止」に基づく設計とする ・溢水の火災の波及的影響によりその機能を喪失しないように、技術基準規則第12条「溢水による損傷の防止」に基づく設計とする	・資料5 ・資料6
				冷却材の性状	・冷却材を有さない	-
第15条	第2項	設計基準対象施設	試験・検査(検査性、系統構成等)	・使用済燃料乾式貯蔵容器の一次蓋と二次蓋との間の圧力を、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計により監視することにより、使用済燃料乾式貯蔵容器の閉じ込め機能を適切に監視できる設計とする ・使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計により使用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能を監視できる設計とする ・使用済燃料乾式貯蔵建屋の貯蔵エリアにおいて、使用済燃料乾式貯蔵容器の周辺に点検用歩廊を設置し、点検・保守のために寄付きが可能な設計とする	-	
	第4項	設計基準対象施設	悪影響防止	その他(飛散物)	・該当しない	-
	第5項	重要安全施設	共用又は相互接続の禁止	・該当しない	-	
	第6項	安全施設	共用又は相互接続による安全性による影響の低減	・1号及び2号機用の燃料である14×14型燃料専用設計されており、3号設備であるタイプ1を1号及び2号機の使用済燃料を収納するために、1,2,3号機共用とすることによって、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全性を損なわない。	-	

伊方発電所 第3号機 第14, 15条に対する適合性の整理表

核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設			(設計基準対象施設 <input type="checkbox"/> 安全施設 <input type="checkbox"/> 重要施設 <input type="checkbox"/> 重要安全施設)	関連図書			
			使用済燃料乾式貯蔵容器 (タイプ2)				
第14条	第1項	重要施設	単一故障時の機能達成	多重性又は多様性、及び独立性	・該当しない	-	
		第2項	安全施設	環境条件における健全性	温度	・環境温度(50℃) ≤ 設計値 <input type="text"/>	・環境温度(50℃) ≤ 設計値 <input type="text"/>
	圧力				・環境圧力(大気圧) ≤ 設計値 <input type="text"/>	・環境圧力(大気圧) ≤ 設計値 <input type="text"/>	【環境圧力】: 資料4 【設計値】: 評価手法1
	湿度				・環境湿度(100%) ≤ 設計値 <input type="text"/>	・環境湿度(100%) ≤ 設計値 <input type="text"/>	【環境湿度】: 資料4 【設計値】: 評価手法2
	屋外天候				・屋内に設置	・屋内に設置	【配置図】: 第2-1-1~3図
	放射線(機器)				・環境放射線(≤3mGy/h) ≤ 設計値 <input type="text"/>	・環境放射線(≤3mGy/h) ≤ 設計値 <input type="text"/>	【環境放射線】: 資料4 【設計値】: 評価手法1
	放射線(人)				・「試験・検査」にて示す作業に支障がないように、遮蔽設計等により放射線量が高くないように設計し、作業可能な設計とする	・「試験・検査」にて示す作業に支障がないように、遮蔽設計等により放射線量が高くないように設計し、作業可能な設計とする	・資料14 ・資料16
	海水				・海水を通水しない	・海水を通水しない	-
	電磁波				・安全機能の維持のために、電磁波に対する考慮が必要な機器を有しておらず、電磁的障害による影響を受けない	・安全機能の維持のために、電磁波に対する考慮が必要な機器を有しておらず、電磁的障害による影響を受けない	-
	荷重				・地震による荷重に対して機能を有効に発揮できる設計とする	・地震による荷重に対して機能を有効に発揮できる設計とする	・資料9
	他設備からの影響				・地震の波及的影響によりその機能を喪失しないように、技術基準規則第5条「地震による損傷の防止」に基づく設計とする ・火災の波及的影響によりその機能を喪失しないように、技術基準規則第11条「火災による損傷の防止」に基づく設計とする ・溢水の火災の波及的影響によりその機能を喪失しないように、技術基準規則第12条「溢水による損傷の防止」に基づく設計とする	・地震の波及的影響によりその機能を喪失しないように、技術基準規則第5条「地震による損傷の防止」に基づく設計とする ・火災の波及的影響によりその機能を喪失しないように、技術基準規則第11条「火災による損傷の防止」に基づく設計とする ・溢水の火災の波及的影響によりその機能を喪失しないように、技術基準規則第12条「溢水による損傷の防止」に基づく設計とする	・資料9 ・資料5 ・資料6
	冷却材の性状				・冷却材を有さない	・冷却材を有さない	-
	第15条				第2項	設計基準対象施設	試験・検査(検査性、系統構成等)
		第4項	設計基準対象施設	悪影響防止	その他(飛散物)	・該当しない	-
第5項		重要安全施設	共用又は相互接続の禁止	・該当しない	-		
第6項		安全施設	共用又は相互接続による安全性による影響の低減	・該当しない	-		

伊方発電所 第3号機 第14,15条に対する適合性の整理表

核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設		(設計基準対象施設 安全施設 ・重要施設・重要安全施設)		関連図書		
		使用済燃料乾式貯蔵建屋 (1, 2, 3号機共用)				
第14条	第1項	重要施設	単一故障時の機能達成	多重性又は多様性、及び独立性	・該当しない	-
			第2項	安全施設	環境条件における健全性	温度
	圧力	・環境圧力(大気圧) ≤ 設計値 <input type="text"/>				【環境圧力】: 資料4 【設計値】: 評価手法1
	湿度	・環境湿度(100%) ≤ 設計値 <input type="text"/>				【環境湿度】: 資料4 【設計値】: 評価手法1
	屋外天候	・屋外の環境条件を考慮				【配置図】: 第1-1-1図
	放射線(機器)	・環境放射線(≤1mGy/h) ≤ 設計値 <input type="text"/>				【環境放射線】: 資料4 【設計値】: 評価手法1
	放射線(人)	・「試験・検査」にて示す作業に支障がないように、遮蔽設計等により放射線量が高くなるように設計し、作業可能な設計とする				・資料14 ・資料16
	海水	・海水を通水しない				-
	電磁波	・安全機能の維持のために、電磁波に対する考慮が必要な機器を有しておらず、電磁的障害による影響を受けない				-
	荷重	・自然現象(地震、風(台風)、竜巻、積雪及び火山の影響)による荷重評価を行い、それぞれの荷重及びこれらの荷重の組合せにも機能を有効に発揮できる設計とする (荷重の組合せに対する設計については、資料2に示す)	・資料2			
他設備からの影響	・地震の波及的影響によりその機能を喪失しないように、技術基準規則第5条「地震による損傷の防止」に基づく設計とする ・火災の波及的影響によりその機能を喪失しないように、技術基準規則第11条「火災による損傷の防止」に基づく設計とする	・資料9 ・資料5				
冷却材の性状	・冷却材を有さない	-				
第15条	第2項	設計基準対象施設	試験・検査(検査性、系統構成等)	・使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計により使用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能を阻害していないことを監視できる設計とする ・建屋給排気口の閉塞の有無等の外観の確認が可能な設計とする	-	
	第4項	設計基準対象施設	悪影響防止	その他(飛散物)	・該当しない	-
	第5項	重要安全施設	共用又は相互接続の禁止	・該当しない	-	
第6項	安全施設	共用又は相互接続による安全性による影響の低減	・1号及び2号機用並びに3号機の使用済燃料は、それぞれの使用済燃料専用設計された使用済燃料乾式貯蔵容器(1, 2号機用: タイプ1、3号機用: タイプ2)に収納し、使用済燃料乾式貯蔵建屋に貯蔵することから、使用済燃料乾式貯蔵建屋は、1, 2, 3号機共用とすることによって、使用済燃料乾式貯蔵施設の除熱機能及び遮蔽機能を損なわない。 ・火災区域構造物は、共用する火災区域を設定するために必要な構造物により構成する設計とすることから、1, 2, 3号機共用とすることによって、発電用原子炉の安全性を損なわない。	-		

2. 環境条件における機器の健全性評価の手法について

【既工事計画 補足説明資料 (CP-150) を参照】

安全設備が使用される条件において機器が有効に機能を発揮することについては、各設備が「実用発電用原子炉及びその付属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）の関連各条項に適合することを、設備ごとに「伊方発電所 第3号機 第14, 15条に対する適合性の整理表」（以下「整理表」という。）の形にまとめ、適合性を確認している。

整理表中の確認項目のうち、環境条件における健全性に係る項目（第14条第2項）を除く項目に関しては、整理表に記載された内容及び本設工認の資料4その他工認図書を参照することにより適合性を確認することができる。一方、環境条件における健全性に係る項目に関しては、整理表に記載された内容及び本設工認図書を参照するほか、類型化して整理した適合性確認の手法（以下「類型化による適合性確認手法」という。）を用いて機器の適合性を確認する。本資料は、類型化による適合性確認手法について補足的に説明するものである。なお、評価手法の考え方については、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画による。

環境条件における健全性に関して確認する項目のうち、圧力、温度、湿度、放射線の4項目は、類型化による適合性確認手法により確認する項目である。機器の適合性確認、すなわち、使用される条件において機能を発揮できることの確認は、場所における環境条件と機器の環境耐性を比較することを基本手法としているが、類型化による適合性確認手法は、機器の環境耐性の評価に適用している。以下に、温度、圧力、湿度、放射線の4項目に係る適合性の確認の手法について説明する。

1. 温度に係る適合性評価手法

確認の手法は、機器周囲温度の許容値や機器の最高使用温度を機器の温度耐性値とし、環境温度と機器の温度耐性値を比較する方法によるものとする。

環境温度と比較する機器の温度耐性値は、下記の評価手法を用いる。

評価手法 1

温度仕様（機器周囲温度の許容値、最高使用温度）

2. 圧力に係る適合性評価手法

確認の手法は、機器雰囲気圧力の許容値を機器の圧力耐性値とし、環境圧力と機器の圧力耐性値を比較する方法によるものとする。

環境圧力と比較する機器の圧力耐性値は、下記の評価手法を用いる。

評価手法 1

圧力仕様（機器雰囲気圧力の許容値）

3. 湿度に係る適合性評価手法

確認の手法は、機器雰囲気湿度の許容値を機器の湿度耐性値とし、環境湿度と機器の湿度耐性値を比較する方法によるものとする。

環境湿度と比較する機器の湿度耐性値は、下記の評価手法を用いる。

評価手法 1

湿度仕様

※評価対象の機器のうち、次のような設計がなされている機器については、機器の湿度耐性値は相対湿度100%とした。

- ・屋外での使用を前提として設計されている機器

評価手法 2

機器の周囲湿度の許容値は、機器の寿命程度の期間（十数年～数十年）程度の雰囲気暴露期間を想定して設定されたものであるため、機器の湿度耐性値は相対湿度100%とする。

4. 放射線に係る適合性評価手法

確認の手法は、環境放射線量率と線量率で表した機器の放射線耐性を比較する方法によるものとする。

環境放射線条件と比較する機器の放射線耐性値は、下記の評価手法を用いる。

評価手法 1

金属材料又はコンクリートのみで構成している設備は、当該設備に期待する期間において放射線により機能を損なう構造でないことは明らかであるため、健全性が維持できるとする。このとき設計値は、便宜上、環境条件と同値としておく。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
商業機密あるいは防護上の観点
から公開できません。

伊方発電所設計及び工事計画審査資料	
資料番号	D S F - 0 3 0
提出年月日	令和 3 年 3 月 9 日

伊方発電所 3 号機

設計及び工事計画に係る説明資料
(発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書)
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

令和 3 年 3 月
四国電力株式会社

資料 5 に係る補足説明資料

【説明する添付資料】

資料 5 発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書

目 次

	頁
1. 基本事項に係るもの……………	資 5 補-1
1.1 使用済燃料乾式貯蔵容器の配置を明示した図面……………	資 5 補-1
2. 火災の発生防止に係るもの……………	資 5 補-6
2.1 潤滑油の漏えい及び拡大防止対策について……………	資 5 補-6
2.2 潤滑油の引火点、室内温度及び機器運転時の温度について……………	資 5 補-8
2.3 建屋内装材の使用状況について……………	資 5 補-9
2.4 使用済燃料乾式貯蔵容器周辺火災時における影響評価について…	資 5 補-11
3. 火災の感知消火に係るもの……………	資 5 補-15
3.1 火災感知器の設置条件について……………	資 5 補-15
3.2 消火用水供給系及び移動式消火設備について……………	資 5 補-17
4. 火災防護計画に係るもの……………	資 5 補-22
添付資料-1 設計承認における乾式キャスクの熱的試験について……………	資 5 補-24
添付資料-2 設置変更許可申請における使用済燃料乾式貯蔵施設の 火災防護に係る該当箇所……………	資 5 補-27

1. 基本事項に係るもの

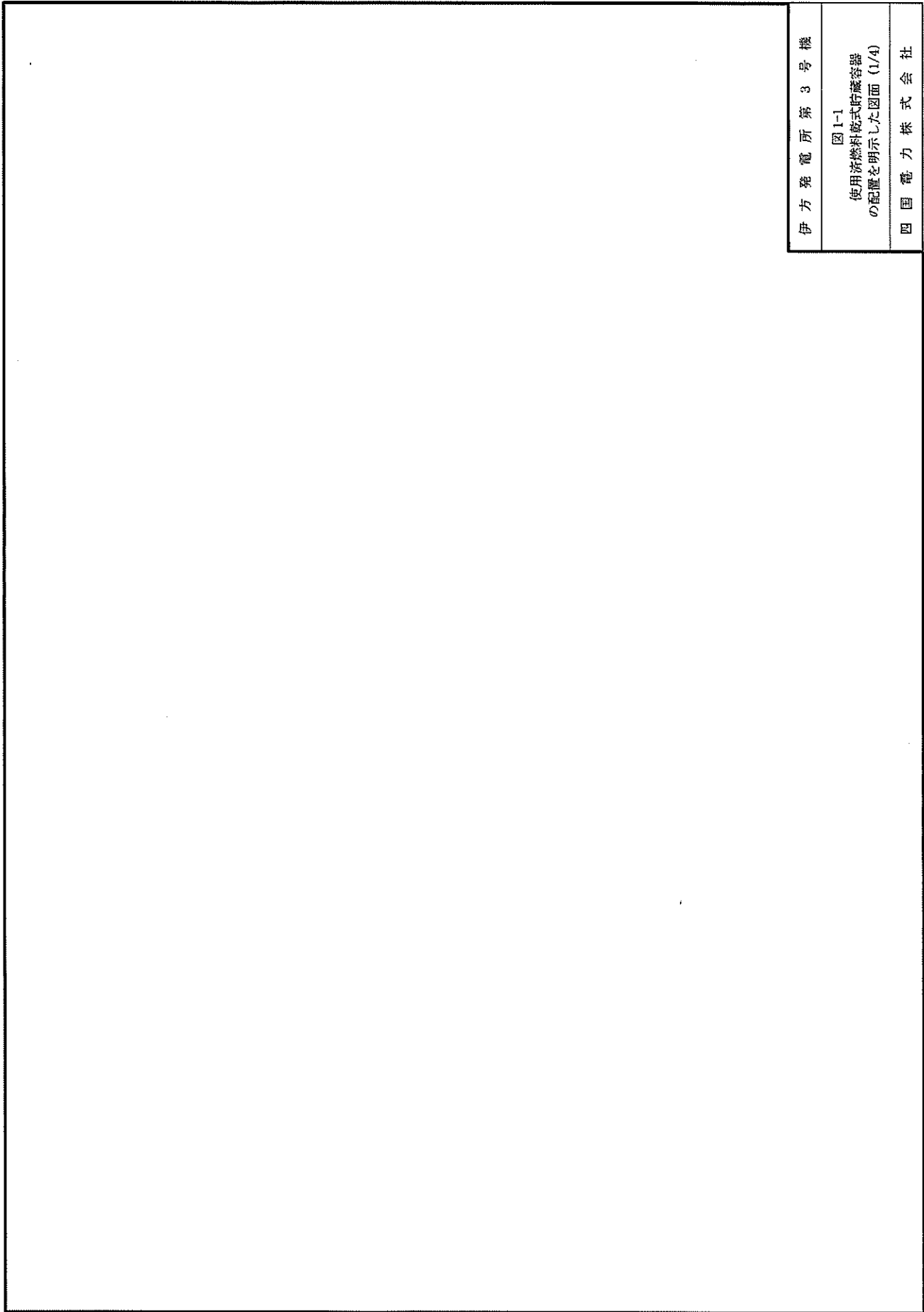
1.1 使用済燃料乾式貯蔵容器の配置を明示した図面

(1) 目的

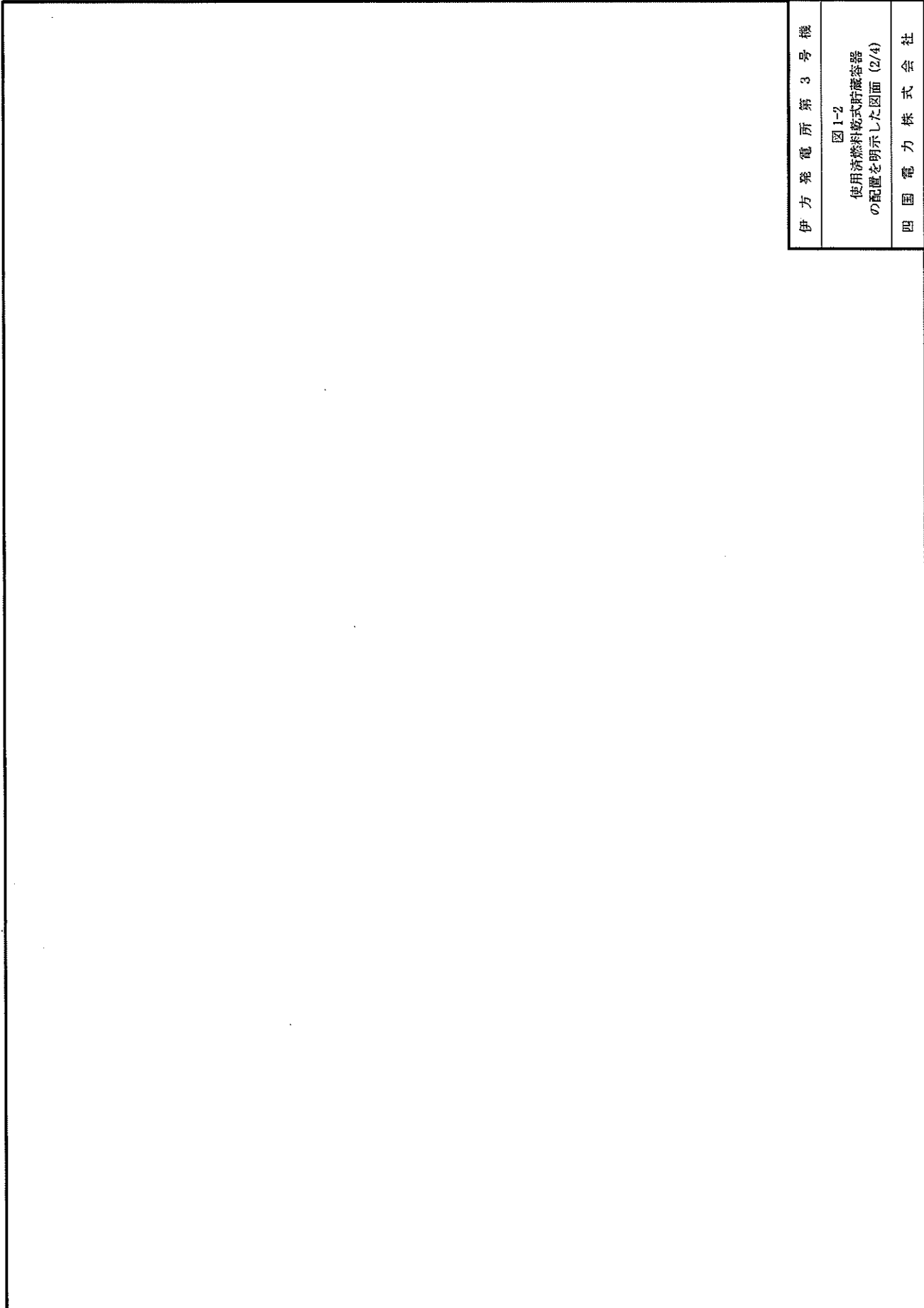
本資料は、発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書3. に示す使用済燃料乾式貯蔵容器の配置を説明するために、補足資料として添付するものである。

(2) 内容

使用済燃料乾式貯蔵容器の配置及び火災感知器の配置を、次頁以降の図1-1～図1-4に示す。



伊方発電所第3号機
図1-1
使用済燃料乾式貯蔵容器
の配置を明示した図面(1/4)
四国電力株式会社



伊方発電所第3号機

図1-2
使用済燃料乾式貯蔵容器
の配置を明示した図面(2/4)

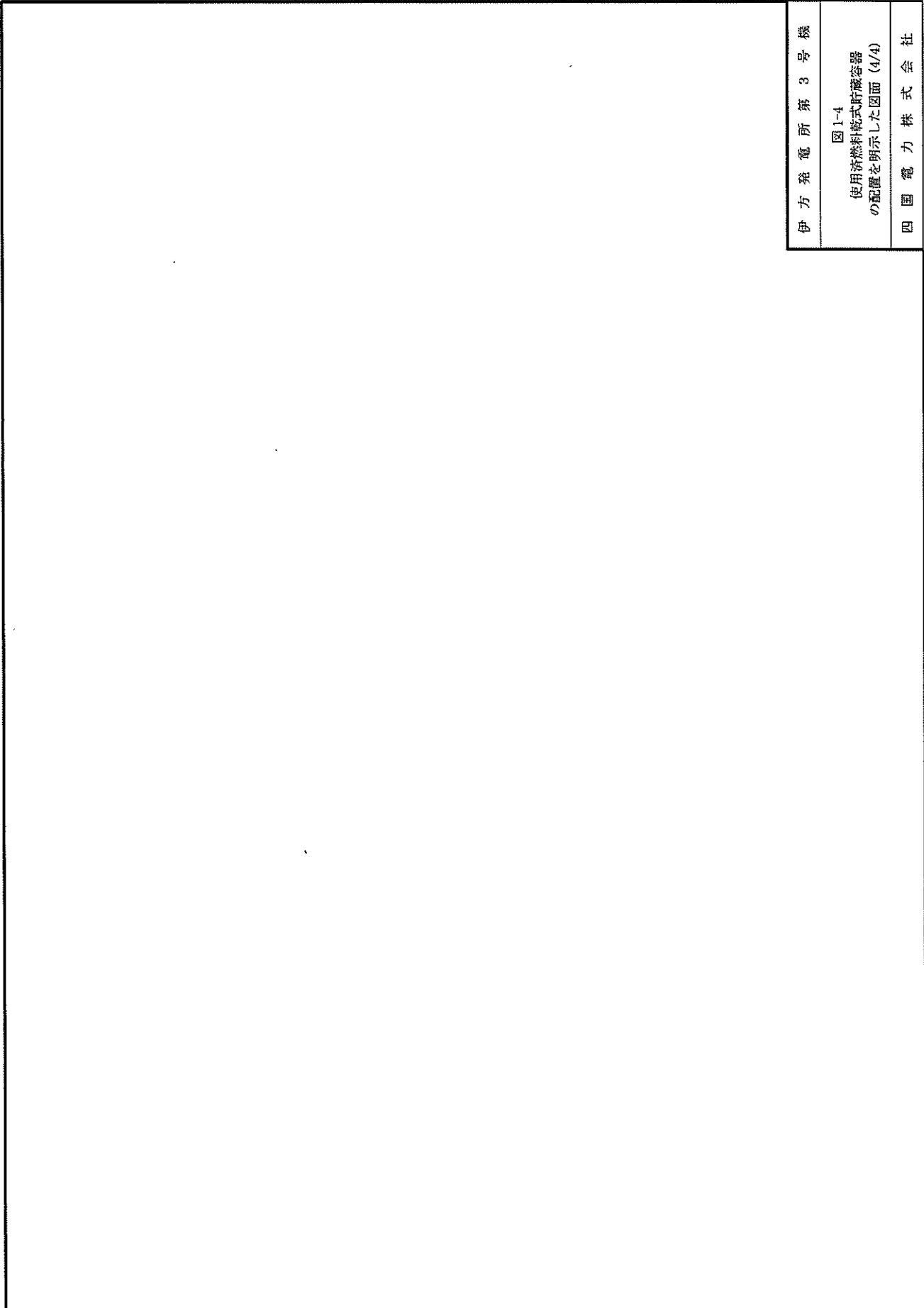
四国電力株式会社



伊方発電所第3号機

図1-3
使用済燃料乾式貯蔵容器
の配置を明示した図面 (3/4)

四国電力株式会社



伊方発電所第3号機

図1-4
使用済燃料乾式貯蔵容器
の配置を明示した図面(4/4)

四国電力株式会社

2. 火災の発生防止に係るもの

2.1 潤滑油の漏えい及び拡大防止対策について

(1) 目的

本資料は、発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書4.1(1)a.項(a)に示す潤滑油を内包する設備から油が漏えいした際の拡大防止対策について説明するためのものである。

(2) 油内包機器の油保有量

表2-1に使用済燃料乾式貯蔵建屋内に設置する油内包機器の油量を火災区画ごとに示す。

表 2-1 油内包機器リスト

火災区画 (番号)	階層	油内包機器	油量
	—	—	—
	—	使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン	300L
		使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車 (エアパレット)	48L
		スライディングドア (駆動用モータ)	1L 以下
		作業架台用電動ホイスト	1L 以下
	1 階	電気盤室 1 空調装置	4.5L
	2 階	電気盤室 2 空調装置	4.5L
	3 階	使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車用 エアコンプレッサ	36L
	4 階	ユーティリティエリア用電動ホイスト	2L

(3) 必要な堰について

火災区域を構成する使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁から油が流れないこと及び使用済燃料乾式貯蔵容器を保管する使用済燃料乾式貯蔵建屋-1に他の火災区画から油が流れないように堰を設けて油の拡大防止をする設計とする。

堰は各火災区画にある油内包機器から油が全量流出した場合でも油が他の区画に広がらない高さの堰もしくは溝形の堰を設置する。(図2-1参照)

a. 堰 (高さによる拡大防止)

表 2-1 にある油内包機器から床に油が漏えいした場合、他の火災区画に拡大しないためには少なくとも 1mm の高さ^{※1}の堰があれば油拡大防止を図れるが、油が粘度を持っており一様に広がらない場合を想定し、十分な高さを持つ 25mm 以上を堰の高さに設定する。

なお、使用済燃料乾式貯蔵建屋-3 は 1 階に火災区域外へつながる開口部があることから、上階で漏えいした油が 1 階へ流れた場合を想定し、最も厳しくなる 1 階の床面に全ての油が漏えいした場合であっても必要な堰の高さは 1mm 以下となり、上記の結果に十分に包絡される。

b. 堰 (溝による拡大防止)

ドレンピットや溝のように漏えいした油を他の火災区域へ流出しないよう回収できる堰についても a. 項と同じく各区画にある最大の油が全量流出した場合でも油が他の区画に広がらない堰を設置する設計とする。

※1 油が漏えいした際の高さの計算は、油内包機器の油量 (m³) を保守的に構築物等による欠損を考慮した床面積 (m²) で割って計算している。最も厳しい評価となるのは、使用済燃料乾式貯蔵建屋-2 内の全油内包機器から全量漏えいした場合であり、 $0.35\text{m}^3/400\text{m}^2=0.88\text{mm}$ となり、端数を切り上げて 1mm としている。

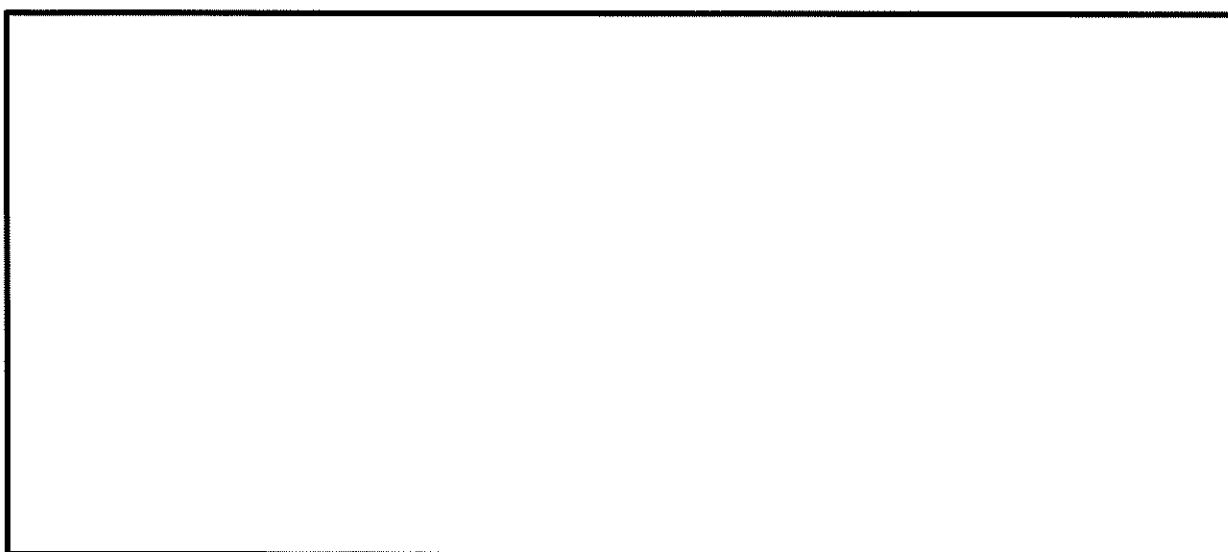


図 2-1 堰の配置図

2.2 潤滑油の引火点、室内温度及び機器運転時の温度について

(1) 目的

本資料は、発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書4.1(1)a.項に示す火災区域（区画）内に設置する油内包機器に使用している潤滑油は、その引火点が油内包機器を設置する室内温度よりも十分高く、機器運転時の温度よりも高いため、可燃性蒸気とならないことを説明するため、補足資料として添付するものである。

(2) 内容

潤滑油の引火点、室内温度及び機器運転時の温度について、以下に示す。

(3) 潤滑油の引火点、室内温度及び機器運転時の温度

使用済燃料乾式貯蔵施設を設置する火災区域（区画）内に設置する油内包機器に使用している潤滑油の引火点が、各火災区域（区画）の室内温度（空調設計上の上限値である室内設計温度）及び機器運転時の潤滑油温度（運転時の最高使用温度）に対し十分高いことを確認した。

表2-2に主要な潤滑油内包機器に使用している潤滑油の引火点、室内温度及び機器運転時の温度を示す。

表 2-2 主要な潤滑油の引火点、室内温度及び機器運転時の温度

潤滑油品種	潤滑油内包機器	引火点 [°C]	室内温度 [°C]	機器運転時の 潤滑油温度 [°C]
ギヤー油 (ISO VG220)	使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン	200	40	50
油圧作動油 (ISO VG32)	使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車（エアパレット）	220	40	60

2.3 建屋内装材の使用状況について

(1) 目的

本資料は、使用済燃料乾式貯蔵建屋に使用する建屋内装材が不燃性材料であることを、発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書4.2(1)b.項及び4.2(2)a.項並びに本資料の別紙1に示すフローに基づき確認した結果を示すために、補足資料として添付するものである。

(2) 内容

使用済燃料乾式貯蔵建屋に使用している建屋内装材が不燃性材料であることを確認した結果を、表2-3に示す。

表2-3 使用済燃料乾式貯蔵建屋の建屋内装材の不燃性判定結果

種類	材 料	使用箇所				結 果	備 考
		天 井	壁	床	鉄 部		
塗 料	合成樹脂エマルジ ョン系塗料		○			使用可	不燃認定 ^(注1)
	合成樹脂系塗料				○	使用可	不燃認定 ^(注1)
	エポキシ樹脂系塗 料		○	○		使用可	代替材料 ^(注3)
内 装 材	静電気帯電防止タ イル			○		使用可	防災認定 ^(注2)

(注1) 不燃認定：建築基準法に基づき、不燃材料の認定を受けたもの

(注2) 防災認定：消防法に基づき認定を受けた防災物品

(注3) 代替材料：「技術基準に関する規則第十一条項ロ(1)の適用(代替材料)」に該当

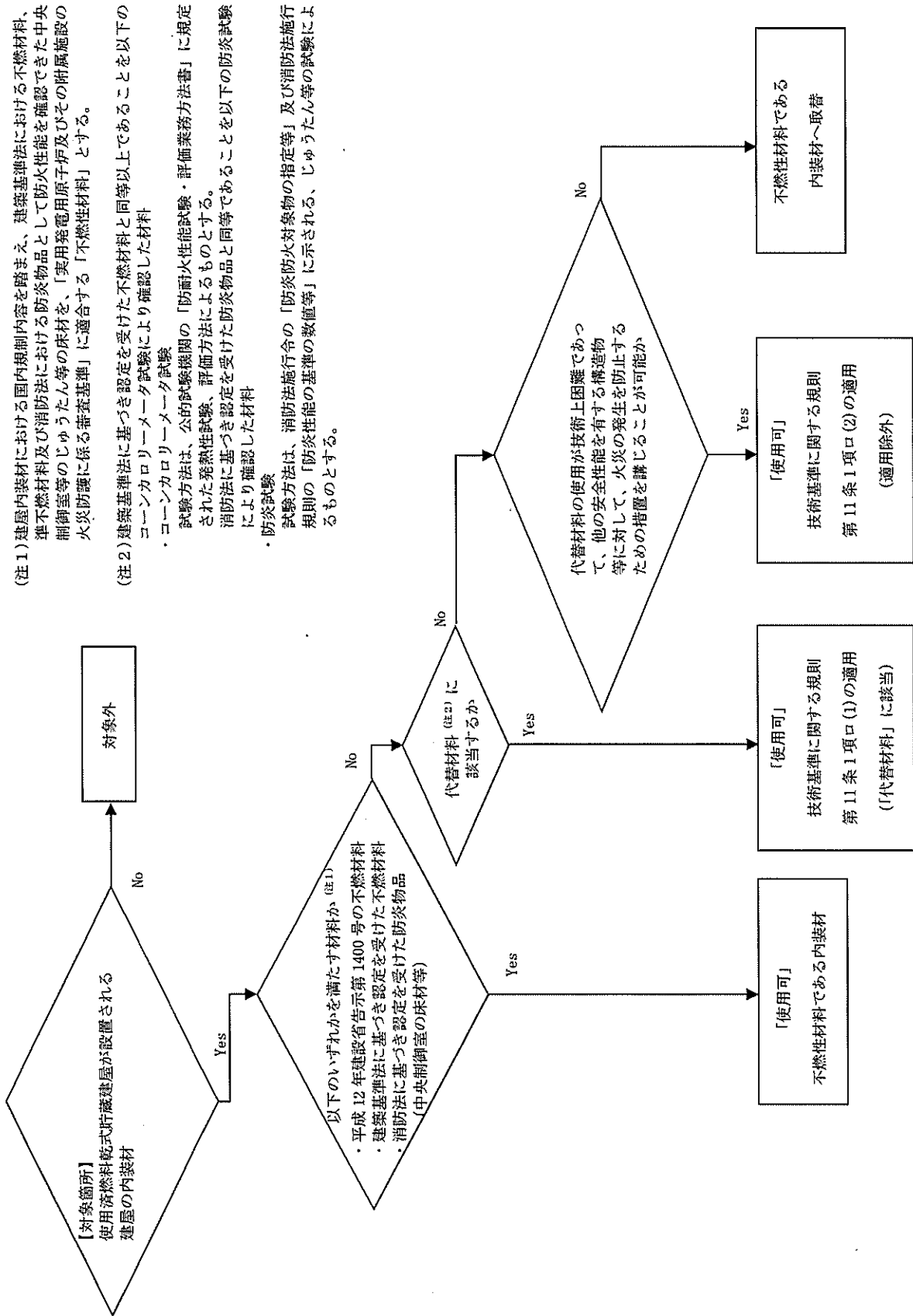


図 2-2 建屋内装材適合状況確認フロー

2.4 使用済燃料乾式貯蔵容器周辺火災時における影響評価について

(1) 目的

本資料は、発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書4. に示す火災発生防止対策のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器（以下「乾式キャスク」という。）周辺で、万一、火災が発生した場合においても、乾式キャスクが「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準」にて要求される放射性物質の貯蔵にあたっての閉じ込め機能を損なわないことについて説明するため、補足説明資料として添付するものである。

(2) 乾式キャスク周辺火災の仮定

乾式キャスク周辺火災の想定について、乾式キャスクの貯蔵にあたっては、「4. 火災防護計画に係るもの」に示すとおり、油を内包する設備を設置しない火災区画（使用済燃料乾式貯蔵建屋-1）に貯蔵する設計であること、また、油を内包する設備の保守点検作業等も発生することがないように、各設備を同火災区画に配置しない設計であることから、平時は乾式キャスク周辺での火災は想定し難い。

乾式キャスクを使用済燃料乾式貯蔵建屋において搬入・搬出する作業を実施する場合、乾式キャスクは油を内包する使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車（以下「乾式キャスク搬送台車」という。）を使用するが、万一、火災が発生した場合でも作業エリアに常時作業員がいることで、人により早期の火災感知及び消火が可能である。

ここで、乾式キャスクの閉じ込め機能の火災影響を確認する観点から、乾式キャスクが火災に暴露する最も厳しいケースとして、乾式キャスク搬送台車使用時に乾式キャスク搬送台車からの油漏えいに伴う火災を想定する。

(3) 乾式キャスク周辺火災の影響評価

乾式キャスク搬送台車の火災としては、同台車に油圧装置（ジャッキ・ポンプ）が6台設置されており、油圧装置6台（合計48L）から同時に油が漏えいし、火災に至るものとする。油漏えい量は、内部火災影響評価ガイドの「燃焼する油量を内包油量の10%と仮定する。」こと及び「95L以下の漏えいでは、プール深さを0.7mmとする。」に従い、保守的に4.8L（燃料面積6.9m²）と設定し、漏えい量から得られる火災燃焼時間は約14秒となる。

上述の結果を踏まえ、火災発生時における乾式キャスクの貯蔵時の閉じ込め機能への影響は、保守的に核燃料輸送物設計承認（以下「設計承認」という。）で確認した車両火災による評価結果により影響を確認する。

具体的には、乾式キャスク搬送台車から油が漏えいした場合の火災によって、約14秒間乾式キャスクが火炎に暴露する状況を仮定し、乾式キャスクの貯蔵時

の閉じ込め機能への影響を、設計承認で確認した車両火災による評価結果から、保守的に算出する。

まず、乾式キャスクは兼用キャスクであることから、別途、外運搬規則^{※1}に基づく設計承認を取得している。

設計承認では、BM型核分裂性輸送物として、告示^{※2}に定められた試験が必要であり、その試験には、火災事故条件下に置かれる熱的試験として、乾式キャスクが車両火災によって火炎に暴露する状況を想定（800℃で30分間）し、評価している。（添付資料1参照）

※1 核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則

※2 核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示

次に、上述の設計承認における評価をもとに、乾式キャスクが約14秒間火炎に暴露する状況を仮定し、乾式キャスク各部の温度を保守的に算出する。

設計承認における車両火災の評価結果（添付資料1）のうち初期の外筒温度の経時変化について、乾式キャスク（タイプ1）と乾式キャスク（タイプ2）の温度上昇量は等しいため、乾式キャスク（タイプ2）を例として、表2-4及び図2-3に示す。なお、外筒温度は、直接火炎にさらされる外筒表面のうち最高温度となる点としている。

表2-4及び図2-3に示すとおり、火災発生から14.3秒間において、外筒温度が約20℃上昇している。

表 2-4 火災初期の外筒温度（乾式キャスク（タイプ2））

時間(秒)	外筒(最高温度)(℃)
0	84
14.3	104

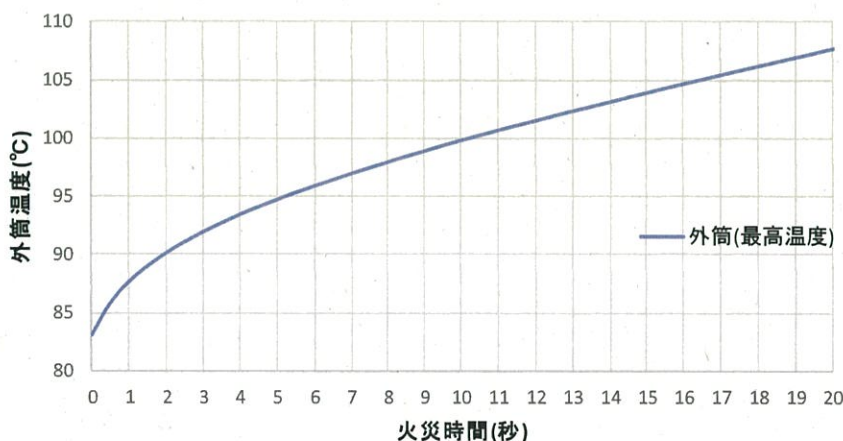


図 2-3 火災初期の外筒温度の経時変化（乾式キャスク（タイプ2））

表2-5に示すとおり、上述の上昇温度20℃を乾式キャスク搬送台車の火災による乾式キャスク(タイプ1)及び乾式キャスク(タイプ2)の閉じ込め機能部材の温度上昇量として適用し、内部火災による閉じ込め機能部材の温度を算出するとともに、制限温度(設計貯蔵期間(60年)に亘り各部材の健全性を維持できる温度)を下回ることを確認した。

なお、胴、一次蓋及び一次蓋金属ガスケットは、乾式キャスク構成部材の位置関係において、外筒と比べて乾式キャスクの内側に位置し、火災による温度上昇量は比較的小さいため、胴、一次蓋及び一次蓋金属ガスケットに対して上昇温度20℃を適用することは、胴、一次蓋及び一次蓋金属ガスケットの温度評価としては保守的である。

表2-5 内部火災による閉じ込め機能部材への温度影響

型式	機能	評価部位	貯蔵時温度(℃)	火災影響			制限温度(℃)
				想定する温度上昇量 ^{※3} (℃)	評価温度(℃)	判定	
乾式キャスク(タイプ2)(MSF-24P型)	閉じ込め	胴 ^{※1}	147	+20	167	○	350
		一次蓋蓋板	109	+20	129	○	350
		一次蓋金属ガスケット ^{※2}	109	+20	129	○	130
		一次蓋ボルト	110	+20	130	○	350
乾式キャスク(タイプ1)(MSF-32P型)	閉じ込め	胴 ^{※1}	143	+20	163	○	350
		一次蓋蓋板	108	+20	128	○	350
		一次蓋金属ガスケット ^{※2}	108	+20	128	○	130
		一次蓋ボルト	109	+20	129	○	350

※1：胴(フランジ部)、胴(本体部)、胴(底部)のうち最も温度の高い胴(底部)の温度

※2：ポートカバーの金属ガスケットも考慮し、フランジ部の金属ガスケットより温度の高い一次蓋蓋板の温度

※3：設計承認の熱的試験(800℃×30分)において最高温度を示す評価点(外筒)における、火災発生から約14秒後の温度上昇量を適用

以上より、乾式キャスク周辺火災（乾式キャスク搬送台車から油が漏えいした場合の火災）を仮定したとしても、閉じ込め機能部材の温度は、設計貯蔵期間(60年)に亘り各部材の健全性を維持できる温度以下となり、乾式キャスクの閉じ込め機能を維持できることを確認した。

なお、乾式キャスクの遮蔽機能を有する中性子遮蔽材等についても、火災の影響がないことを確認している。

また、使用済燃料乾式貯蔵建屋-1において、設計承認で確認している乾式キャスクの車両火災（800℃で30分間）のような火災の発生は想定し難いが、同様な火災が発生したとしても、消防法に基づく火災感知設備により発電所構内に常駐する消防要員が早期に現場に急行できるため、火災発生から30分以内に、消防法に基づく消火設備（消火器、屋内消火栓）を用いた初期消火活動、必要に応じた消防自動車を用いた消火活動によって早期の火災事象の鎮圧が可能である。

3. 火災の感知消火に係るもの

3.1 火災感知器の設置条件について

(1) 目的

本資料は、発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書5.1(1)に示す火災感知器が使用済燃料乾式貯蔵建屋における環境条件等の設置条件を考慮した設計となっていることを説明するため、補足資料として添付するものである。

火災感知器の配置は、「1.1 使用済燃料乾式貯蔵容器の配置を明示した図面」の図1-1～図1-4に示す。

(2) 内容

a. 放射線による影響

火災感知器は、放射線による火災感知器の故障が考え得るため、使用済燃料乾式貯蔵エリアの設置条件と、既設建屋における放射線環境下で使用実績のある火災感知器の設置条件を比較する。

本申請の添付資料4「安全設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」にて説明しているとおり、乾式キャスク等の周辺の環境条件等に対する健全性は、使用済燃料乾式貯蔵建屋に想定される放射線を乾式キャスクからの放射線を考慮した放射線(1mGy/h以下)に設定した場合においても必要な安全機能が発揮できる設計としている。

火災感知器の使用実績として、既設建屋のうち格納容器内の一部、体積制御タンク室等の1mGy/hを超えるエリア(ループ室等の高線量エリアを除く)において、放射線による故障の実績はないことから、本申請にて設置する火災感知において、放射線による感知機能に影響はない。

b. 消防法の設置条件への適合

火災感知器は消防法に基づきアナログ式の煙感知器、アナログ式の熱感知器又は非アナログ式の炎感知器のいずれかを設置することとし、設置高さ、部屋面積等を考慮した消防法の設置条件を満足する設計とする。火災感知器の設置個数例は表 3-1 に示すとおりであり、具体的な選定理由は以下に説明する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋-1について、貯蔵区画及び通路部は天井高さが最大11mであるため煙感知器を選定し、給気エリア及び排気エリアは、外気の影響を考慮し赤外線式の炎感知器を選定している。

使用済燃料乾式貯蔵建屋-2は、天井高さが19.3mであり、監視範囲が広範囲となるため赤外線式の炎感知器を選定している。また、干渉物による未監視エリアがないよう天井部の感知器に加え、壁面にも赤外線式の炎感知器を設置している。

使用済燃料乾式貯蔵建屋-3は、各部屋の天井高さは8m未満であり、設置さ

れる機器に応じて煙感知器又は熱感知器を設置している。階段部は、床面から15m間隔で煙感知器を設置している。

表3-1 使用済燃料乾式貯蔵建屋における火災感知器の設置個数例

火災区画名称 (番号)	エリア名称	天井高さ (m)	面積(m ²)	煙感知器 (個)	熱感知器 (個)	炎感知器 (個)
	貯蔵区画	11.0	1080	16	-	-
	通路部	7.9	326	5	-	-
	給気エリア	10.8	229	-	-	8
	排気エリア	10.1	168	-	-	4
	-	19.3	634	-	-	16
	各部屋 (通路含む)	3.2~5.2	647	12	3	-
	階段部	19.2	24	2	-	-

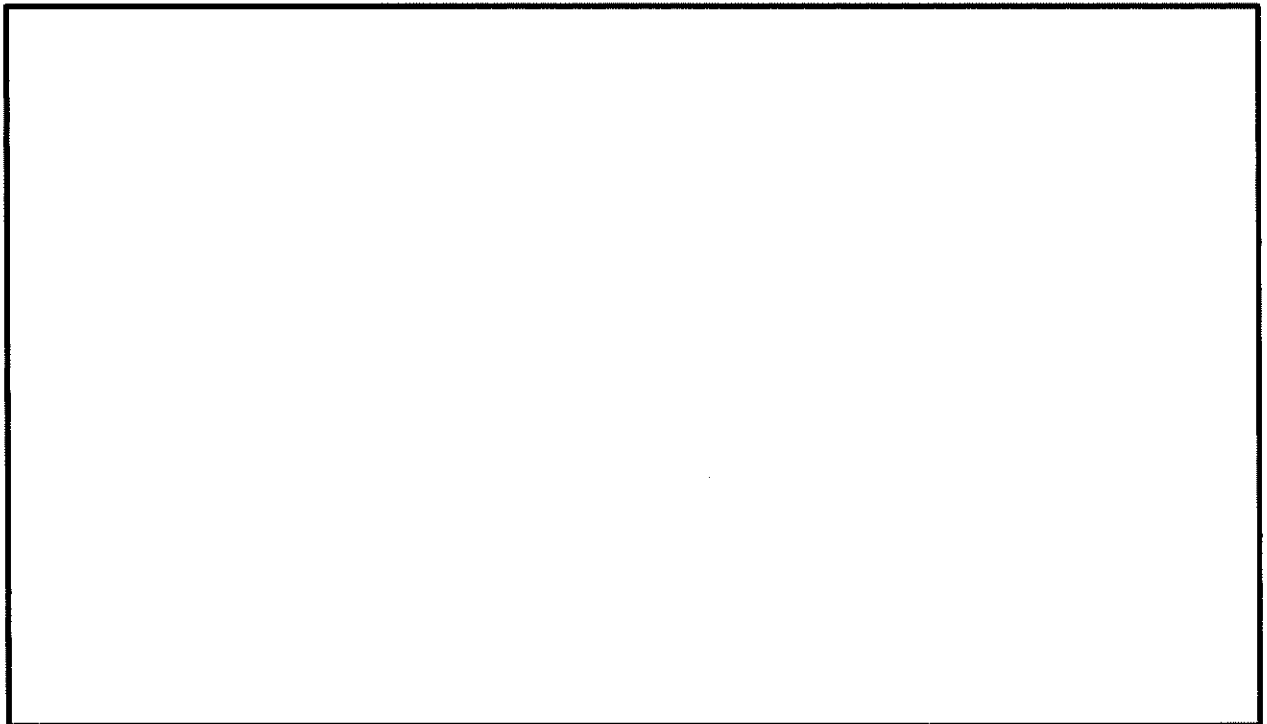


図3-1 使用済燃料乾式貯蔵建屋-1の火災感知器設置イメージ

3.2 消火用水供給系及び移動式消火設備について

(1) 目的

本資料は、発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書5.1(3)に示す消火設備の設計のうち、消火用水供給系及び移動式消火設備の設計を説明するため、補足資料として添付するものである。

(2) 内容

a. 消火用水供給系

消火用水供給系の水源は、平ばえ消火タンク（約 150m³）及び原水貯槽（約 600m³）を各 1 基設置し、静水頭により消火水を供給する設計としている。

平ばえ消火タンク及び原水貯槽は、最大放出量である 2 本の屋外消火栓を同時に使用して消火することを想定し、屋外消火栓に必要な圧力及び必要な流量（350L/min）で、消火を 2 時間継続した場合の水量（84m³）を確保する設計としている。

消火栓は、使用済燃料乾式貯蔵建屋-1、2、3 のそれぞれの火災区画に設置する。

なお、使用済燃料乾式貯蔵建屋に設置する消火栓は屋内消火栓であるため、屋内消火栓に必要な圧力及び必要な流量（130L/min）で、2 本同時に 2 時間消火を継続した場合の水量（31.2m³）を確保する設計とし、上述の屋外消火栓の水源容量に包含される。

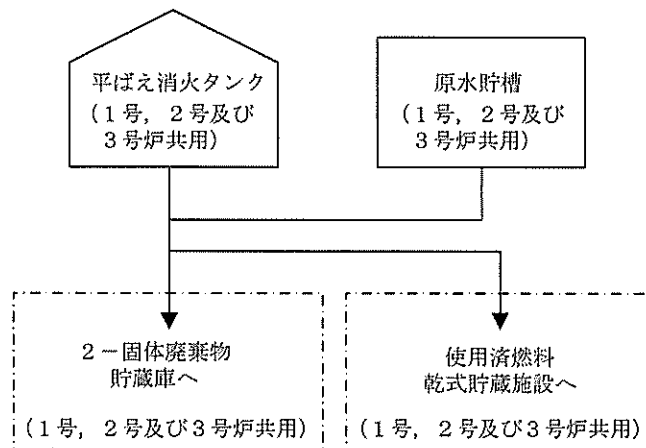


図3-2 消火栓設備系統図

b. 移動式消火設備の配備

移動式消火設備は、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第 83 条の 5 に基づき、消火ホース等の資機材を備え付けている化学消防自動車（1 台）及び水槽付消防自動車（1 台）を配備している。これらの

消防自動車は、火災区域（区画）内に設置する潤滑油内包機器における油火災に対応するため、400L/minの泡放射を同時に2口行うことが可能な能力を有する。

また、化学消防自動車（1台）及び水槽付消防自動車（1台）を火災現場に配置して消火活動を実施する場合に備え、発電所構内に24時間常駐の消防要員を8名以上配置している。



化学消防自動車



水槽付消防自動車

表3-2 移動式消火設備の仕様

項目		仕様	
車種		化学消防自動車Ⅱ型	水槽付消防自動車Ⅰ型
消火剤	消火剤	水又は泡消火液	水
	水槽/薬槽容量	2.4m ³ /0.5m ³ 以上	1.5m ³ /—
	消火原理	冷却及び窒息	冷却
	薬液濃度	3%	—
	消火剤の特徴	水:消火剤の確保が容易 泡水溶液:水に比べ少ない 消火剤で効果が大きい	消火剤の確保が容易
消火設備	適用規格	消防法その他関係法令	消防法その他関係法令
	放水能力	水:2.0m ³ /min以上 (泡消火については、薬液濃度維持のため 0.8m ³ /min)	水:2.0m ³ /min以上 (泡消火はピックアップノズルを使用)
	放水圧力	0.85MPa	0.85MPa
	ホース長	20m×20本	20m×20本
	水槽への給水	消火栓、防火水槽 他	消火栓、防火水槽 他

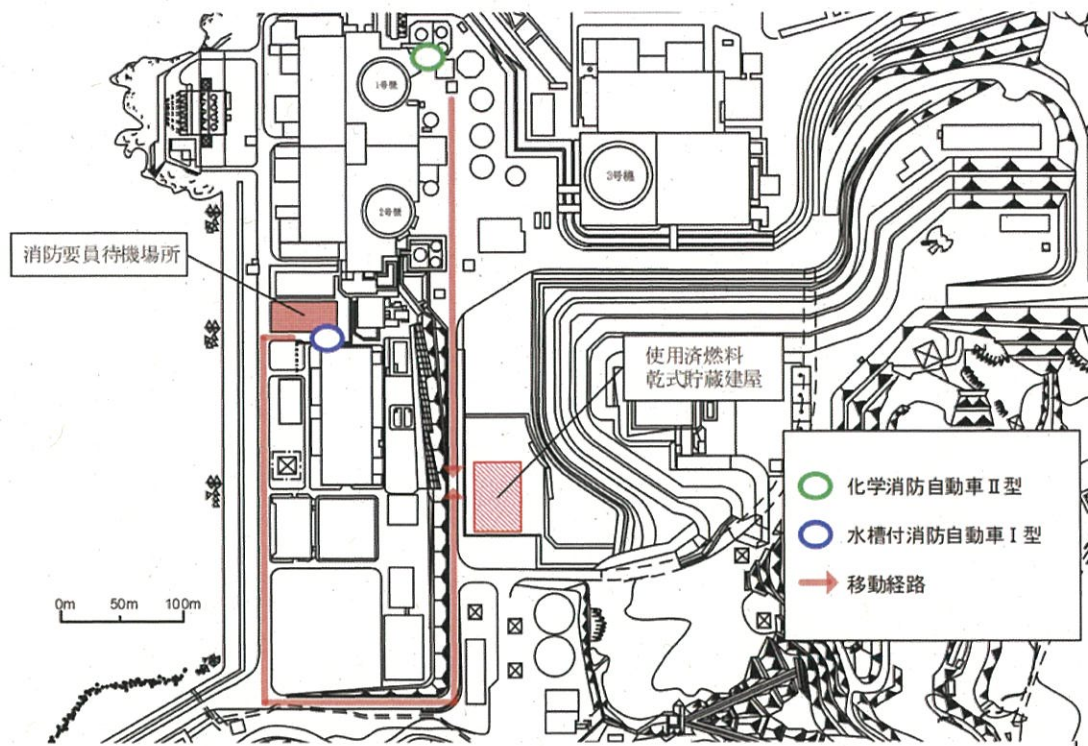


図3-3 移動式消火設備の配置図

c. 消火栓及び消火器の配置

消火栓及び消火器は、使用済燃料乾式貯蔵建屋-1、2、3 のそれぞれの火災区画に設置する。（図 3-4-1～図 3-4-4 参照）

消火栓は、消火栓から半径 25m の範囲における消火活動を考慮した設計とする。

消火器は、普通火災、油火災、電気火災に対応可能であるABC粉末消火器を設置する。

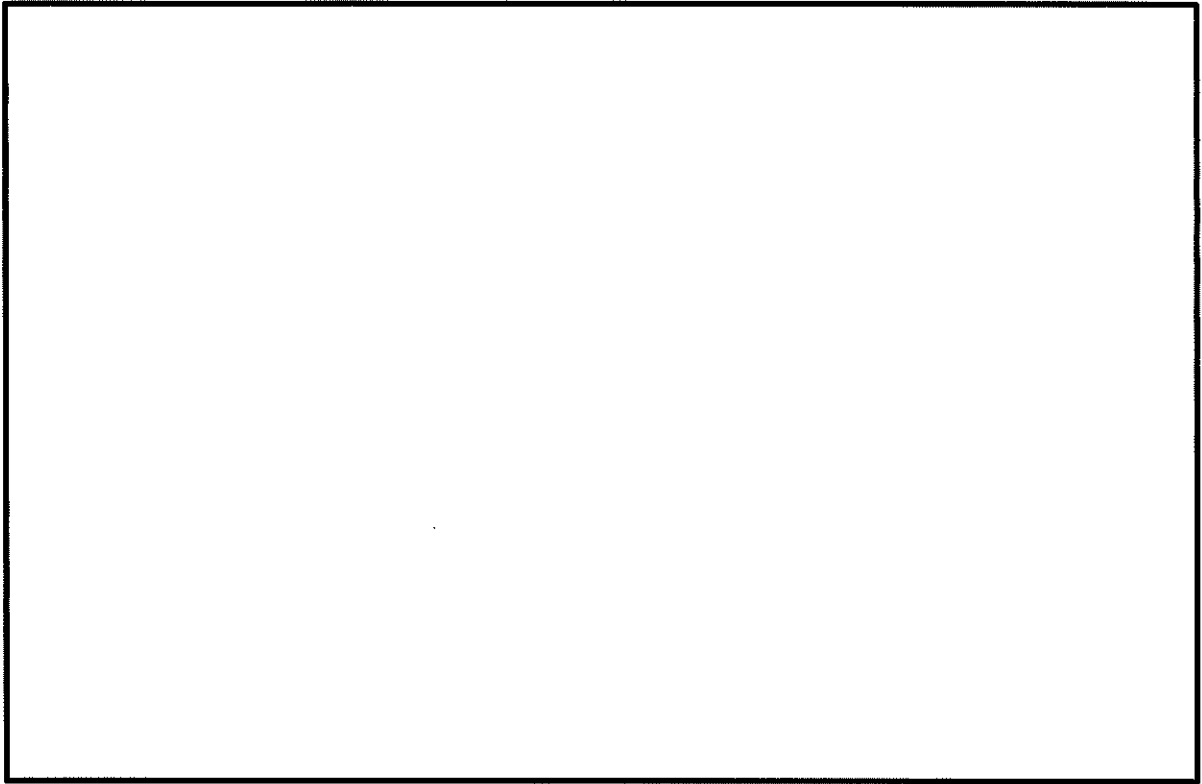


図3-4-1 消火設備等の配置図 (EL. 25.3m)

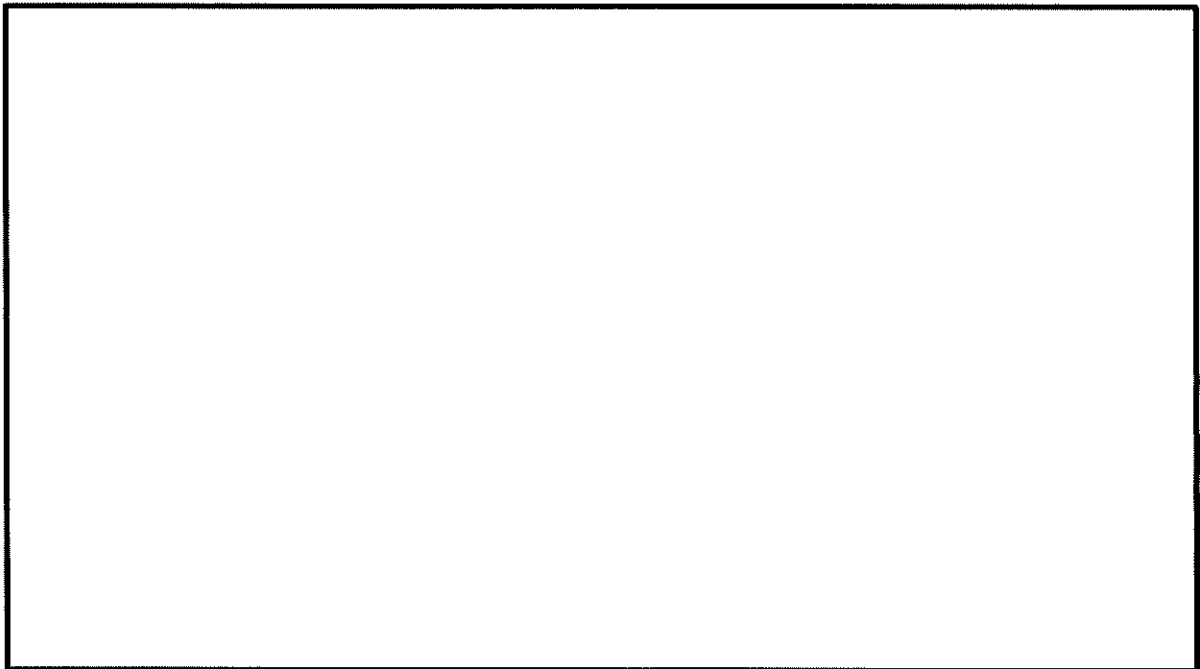


図3-4-2 消火設備等の配置図 (EL. 31.3m)

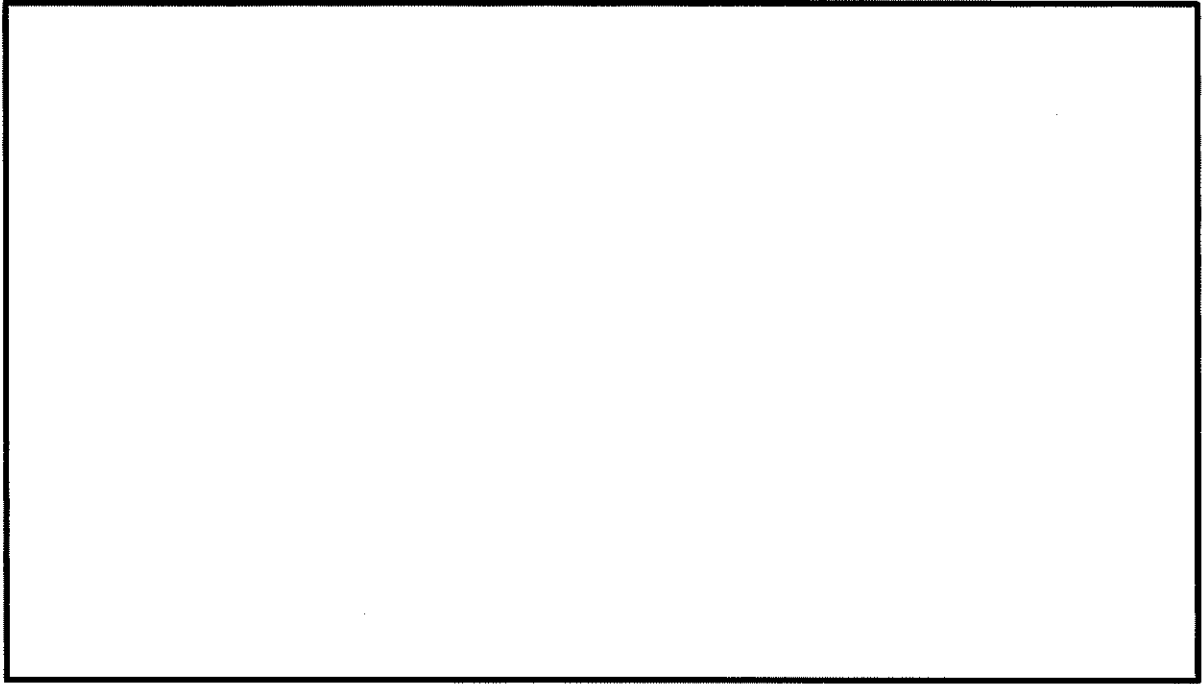


図 3-4-3 消火設備等の配置図 (37.1m)

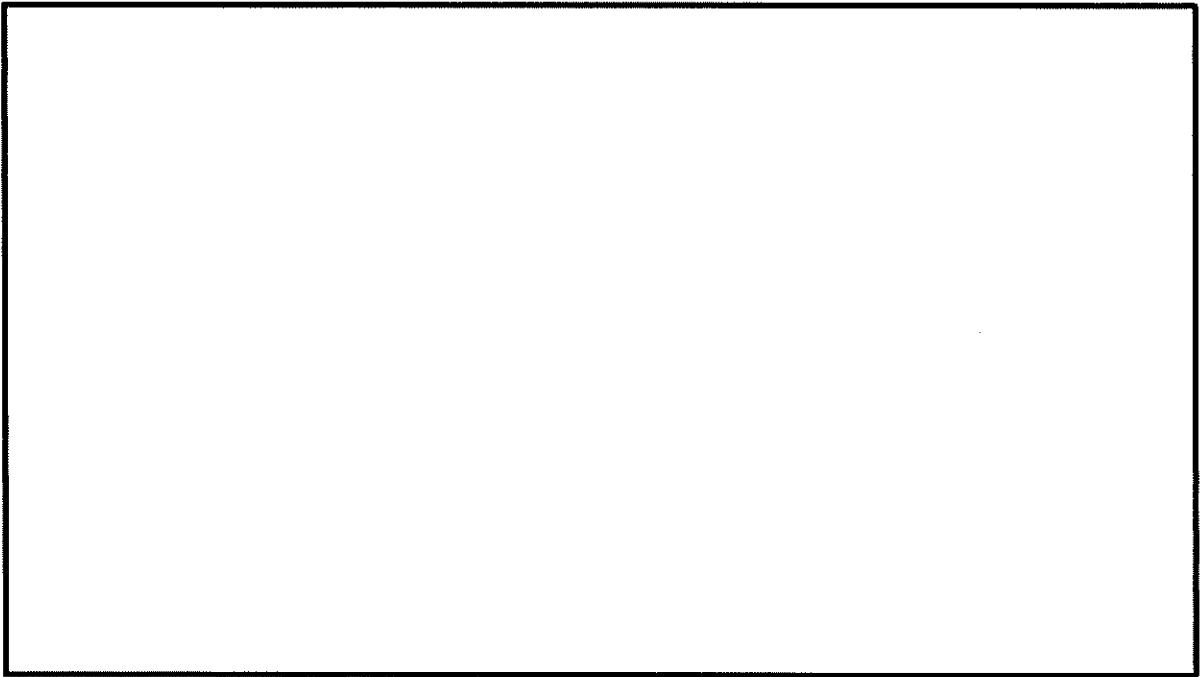


図 3-4-4 消火設備等の配置図 (EL. 40.9m)

4. 火災防護計画に係るもの

(1) 目的

本資料は、発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書6.に示す火災防護計画に定める事項の具体的な内容を説明するため、補足資料として添付するものである。

(2) 内容

a. 乾式キャスク貯蔵準備作業中の火災防護対策について

乾式キャスク貯蔵準備作業中は、作業エリアに常時作業員がいることで、万一の火災発生時には人により早期の火災感知及び消火が可能である。

また、輸送車両等の油漏れ及び火災発生時には、発電所構内に常駐する消防要員にて対応する。

b. 使用済燃料乾式貯蔵建屋-1の火災防護上の整理について

乾式キャスクを貯蔵する使用済燃料乾式貯蔵建屋-1における火災防護上の整理について、以下の表4-1のとおりとする。

本表に示すとおり、乾式キャスクは金属製であり、その他の設置機器についても使用済燃料乾式貯蔵建屋-1において、乾式キャスクへ影響を及ぼすような発火源を極力排除し、可燃物の保管も禁止することから、火災による安全機能への影響は考えにくい。

表 4-1 機器・機材に対する火災防護上の整理表

機器・機材	火災防護上の整理
乾式キャスク	金属容器であり発火源とはならない。
監視用計器	機械式計器又は可搬の電気式計器を使用することとしている。機械式計器は不燃材料で構成され、電気式計器は常時通電しない。
一般照明	通常時は主管電源を切っておき、使用済燃料乾式貯蔵建屋-1 入域時のみ電源を入れる運用とする。また、過電流保護装置により故障時には、電流をしゃ断すること、乾式キャスクに近接するような一般照明がないこと、及び可燃物の保管を禁止するエリアとする。
消火設備用照明器具、誘導灯	過電流保護装置により故障時には電流をしゃ断すること、乾式キャスクに近接するような消火設備用照明器具、誘導灯がないこと、及び可燃物の保管を禁止するエリアとする。
ケーブル	専用の電線管で布設する。
火災感知器	消防法に基づき設置する。
消火器、屋内消火栓	プラントと同様の設計とする。
使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車（エアパレット）	貯蔵準備作業時には、電気駆動の使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車（エアパレット）を使用済燃料乾式貯蔵建屋-1 にて使用するが、常時作業員がいることで、万一の火災発生時には、人により早期の火災感知及び消火が可能である。

設計承認における乾式キャスクの熱的試験について

1. 設計承認申請における乾式キャスクの車両火災の想定

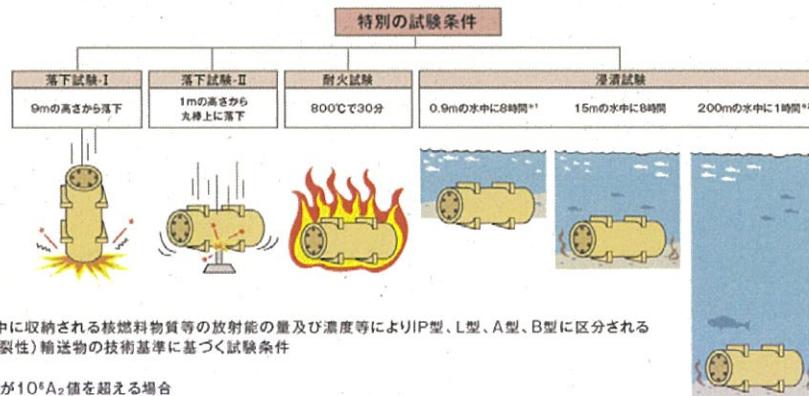
本申請における乾式キャスクは兼用キャスクであり、別途、外運搬規則^{※1}に基づく核燃料輸送物設計承認（以下「設計承認」という。）を取得していることについて、本申請の添付資料15「外運搬規則第二十一条第二項の規定による容器の設計に関する原子力規制委員会の承認を受けたことに関する説明書」にて説明している。

設計承認申請においては、BM型核分裂性輸送物として、告示^{※2}に定められた試験条件を踏まえ、以下の点を含め、外運搬規則への適合性を説明している。

- ・BM型輸送物における特別の試験条件（輸送時の過酷事故条件）として、落下試験-I（9 mの高さから落下）、落下試験-II（1 mの高さから丸棒上に落下）を想定した構造解析に引き続いて、火災事故条件下に置かれるものとし、熱的試験として車両火災（800℃で30分間）を想定した評価として、ABAQUS コードを用いた熱解析（非定常解析）を実施することにより、火災時の輸送物各部の温度を評価し、構成部品の健全性に与える影響を示すとともに、後続解析への条件を示している。
- ・上述の落下試験（構造解析）及び熱的試験（熱解析）による輸送物の状態を踏まえ、遮蔽解析及び閉じ込め評価を行い、外運搬規則に定める要件（遮蔽、閉じ込め機能に係る要求）に適合することを確認している。

※1 核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則

※2 核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示



2. 設計承認における火災事故（800℃で 30 分間）に係る説明概要について（MSF-24P 型；乾式キャスク（タイプ 2）の例）

設計承認の特別の試験条件における熱解析結果を図 1 及び図 2 並びに表 1 及び表 2 に示す。

一次蓋金属ガスケットの温度は、火災発生から約 19 時間後に 137℃となり、設計貯蔵期間(60 年)に亘り金属ガスケットの健全性を維持できる使用可能温度(130℃)は上回るものの、使用限度約 1 年における使用可能温度(190℃)は下回る。

また、胴内圧と一二次蓋間圧力の大小関係は、特別の試験条件及び貯蔵時と同様に、一二次蓋間圧力の方が大きい。

以上より、設計承認の特別の試験条件においても、使用限度約 1 年において貯蔵時の閉じ込め機能を維持できる。

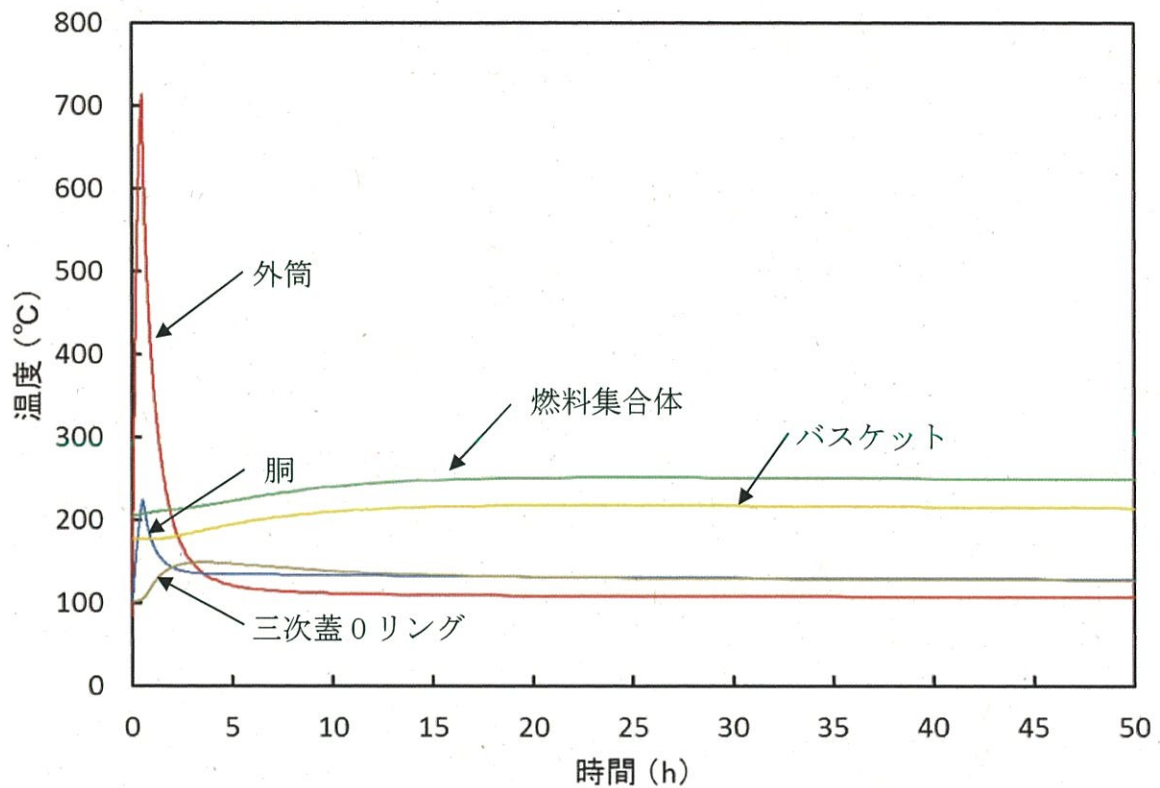


図 1. 特別の試験条件の時刻歴温度変化

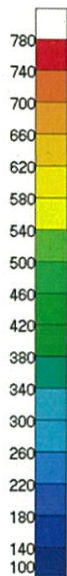
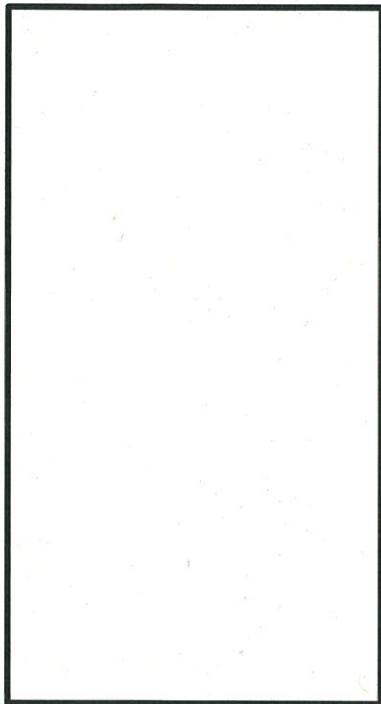


表 1. 特別の試験条件における最高温度

部位	温度(°C)	最高温度 算出時間(h)
外筒	714	0.500
胴	224	0.524
バスケット	218	22.1
燃料集合体	254	25.1
一次蓋 金属ガスケット	137	19.1

図 2. 特別の試験条件の全体モデル温度分布
(火災発生から30分後)

表 2. 胴内圧及び一二次蓋間圧力

項目	圧力(MPa)	
	胴内圧	一二次蓋間圧力
特別の試験条件	0.307	0.420
貯蔵時※	0.08(貯蔵開始時) ～ 0.097(最大値)	0.161(管理値) ～ 0.41(最大値)

※ 使用済燃料貯蔵用容器の密封性を監視する装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書 (設計及び工事計画認可申請 資料 11)

設置変更許可申請における使用済燃料乾式貯蔵施設の火災防護に係る該当箇所

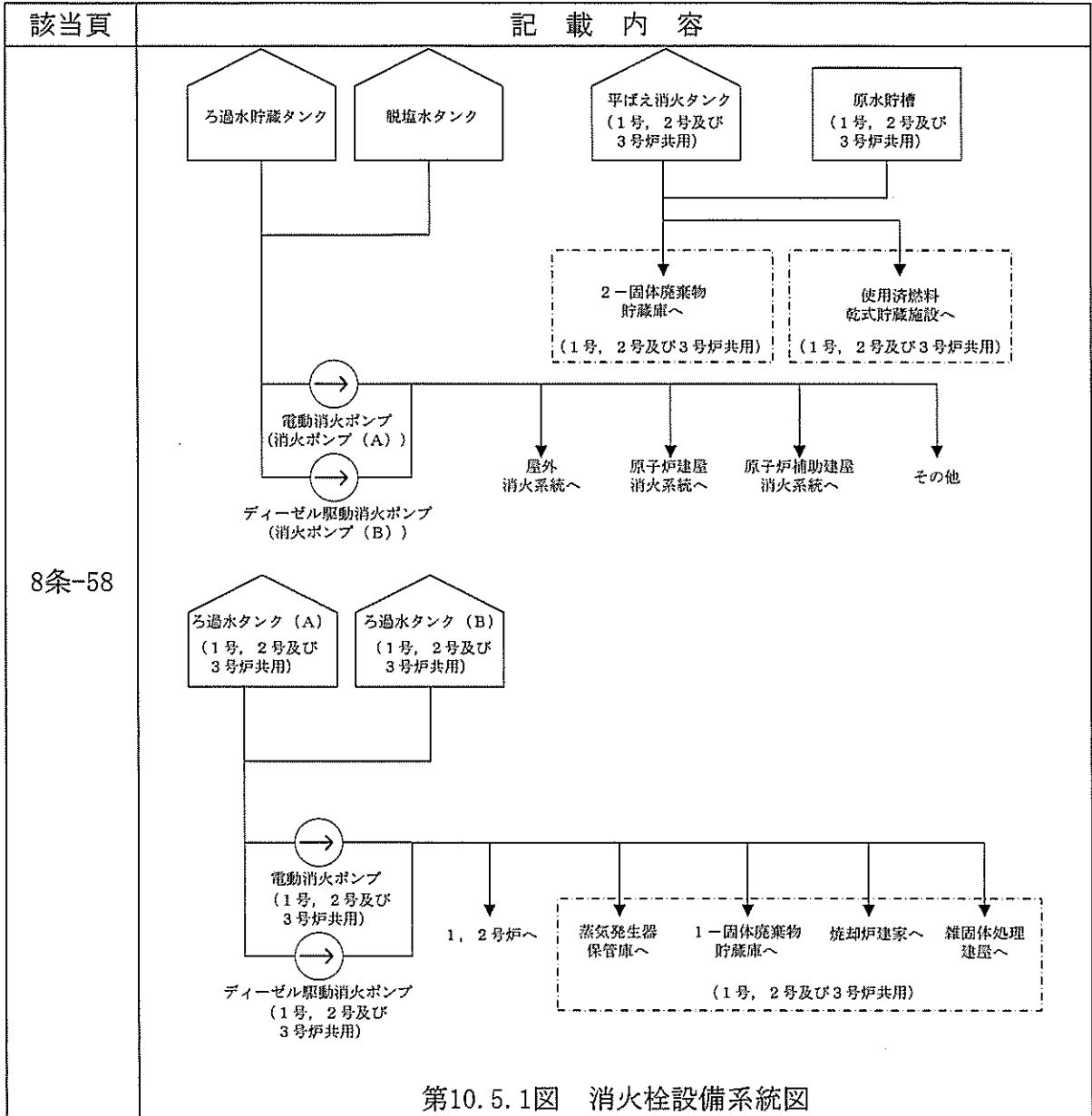
設置変更許可申請の該当箇所（まとめ資料から抜粋）

該当頁	記載内容
8条-21	<p>使用済燃料乾式貯蔵施設は、以下に示すとおり消防法に基づき火災感知器を設置する。</p> <p>(a) 使用済燃料乾式貯蔵施設</p> <p>使用済燃料乾式貯蔵施設は、保管する使用済燃料乾式貯蔵容器が金属製で十分な耐火能力を有しており、使用済燃料乾式貯蔵施設貯蔵エリアは、可燃物を置かず発火源を極力排除した設計とすることから、火災による安全機能への影響は考えにくい。</p> <p>したがって、使用済燃料乾式貯蔵施設は、消防法に基づき火災感知器を設置する。</p>
8条-27 ～ 8条-28	<p>(e) 使用済燃料乾式貯蔵施設の消火設備</p> <p>使用済燃料乾式貯蔵施設は、保管する使用済燃料乾式貯蔵容器が金属製で十分な耐火能力を有しており、使用済燃料乾式貯蔵施設貯蔵エリアは、可燃物を置かず発火源を極力排除した設計とすることから、火災による安全機能への影響は考えにくい。</p> <p>したがって、使用済燃料乾式貯蔵施設は、消火器及び屋内消火栓を設置する設計とする。</p> <p>(中略)</p> <p>したがって、使用済樹脂貯蔵タンク室、使用済樹脂タンク室及び脱塩塔室は、消火器及び屋内消火栓を除く消火設備を設置しない設計とする。</p>
8条-28 ～ 8条-29	<p>(c) 2－固体廃棄物貯蔵庫及び使用済燃料乾式貯蔵施設の消火用水供給系</p> <p>消火用水供給系の水源は、平ばえ消火タンク（約 150m³）及び原水貯槽（約 600m³）を各 1 基設置し、静水頭により消火水を供給する設計とする。</p>
8条-30	<p>(c) 2－固体廃棄物貯蔵庫及び使用済燃料乾式貯蔵施設に消火水を供給するための水源</p> <p>消火用水供給系の水源である平ばえ消火タンク及び原水貯槽は、2本の屋外消火栓を同時に使用して消火することを想定し、屋外消火栓に必要な圧力及び必要な流量（350L/min）で、消火を2時間継続した場合の水量（84m³）を確保する設計とする。</p>

該当頁	記 載 内 容
8条-31	<p>1. 消火栓の配置</p> <p>安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画に設置する消火栓は，消防法施行令第 11 条（屋内消火栓設備に関する基準）及び第 19 条（屋外消火栓設備に関する基準）に準拠し，原子炉建屋及び原子炉補助建屋内は消火栓から半径 15m の範囲，使用済燃料乾式貯蔵建屋，焼却炉建家及び雑固体処理建屋内は消火栓から半径 25m の範囲，屋外は消火栓から半径 40m の範囲における消火活動を考慮した設計とする。</p>
8条-43 ～ 8条-44	<p>(3) 適合性説明</p> <p>(火災による損傷の防止)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>第八条 設計基準対象施設は、火災により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、火災の発生を防止することができ、かつ、早期に火災発生を感知する設備（以下「火災感知設備」という。）及び消火を行う設備（以下「消火設備」といい、安全施設に属するものに限る。）並びに火災の影響を軽減する機能を有するものでなければならない。</p> </div> <p>適合のための設計方針</p> <p>1 について</p> <p>設計基準対象施設である使用済燃料乾式貯蔵施設は，火災により発電用原子炉施設の安全性を損なわないよう，火災発生防止，火災感知及び消火並びに火災の影響軽減の措置を講じるものとする。</p> <p>(1) 火災発生防止</p> <p>使用済燃料乾式貯蔵施設は，不燃性又は難燃性材料と同等以上の性能を有するものである場合若しくは他の安全機能を有する構築物，系統及び機器において火災が発生することを防止するための措置が講じられている場合を除き，不燃性又は難燃性材料を使用した設計とする。</p> <p>電気系統については，必要に応じて，過電流継電器等の保護装置と遮断器の組み合わせ等により，過電流による過熱，焼損の防止を図るとともに，必要な電気設備に接地を施す。</p> <p>落雷や地震により火災が発生する可能性を低減するため，避雷設備を設けるとともに，安全上の重要度に応じた耐震設計を行う。</p> <p>(2) 火災感知及び消火</p>

該当頁	記 載 内 容
	<p>使用済燃料乾式貯蔵施設貯蔵エリアは、保管する使用済燃料乾式貯蔵容器が金属製で十分な耐火能力を有しており、その他の設置機器についても使用済燃料乾式貯蔵施設貯蔵エリアにおいて、使用済燃料乾式貯蔵容器へ影響を及ぼすような発火源を極力排除し、可燃物の保管も禁止する。</p> <p>使用済燃料乾式貯蔵施設取扱エリア等は、主要な機器が不燃物で構成され、使用済燃料乾式貯蔵容器貯蔵準備作業中は、常時作業員がいることで、万一の火災発生時には、人により早期の火災感知及び消火が可能である。</p> <p>したがって、火災による安全機能への影響は考えにくいことから使用済燃料乾式貯蔵施設は、消防法に基づき火災感知設備、消火器及び屋内消火栓を設置する設計とする。</p> <p>輸送車両等の油漏れ及び火災発生時には、自衛消防隊にて対応する。</p> <p>(3) 火災の影響軽減のための対策</p> <p>使用済燃料乾式貯蔵施設は、放射性物質の貯蔵機能を有する構築物、系統及び機器を設置する耐火壁に囲まれた火災区域であり、他の火災区域と隣接しない。</p>
8条-48	<p>j. 使用済燃料乾式貯蔵施設</p> <p>使用済燃料乾式貯蔵施設には、アナログ式の煙感知器、アナログ式の熱感知器又は非アナログ式の炎感知器（赤外線）を設置する。</p>
8条-50	<p>(c) 火災による安全機能への影響は考えにくい火災区域に設置する消火設備</p> <p>(c-1) 使用済燃料乾式貯蔵施設</p> <p>使用済燃料乾式貯蔵施設には、消火器及び屋内消火栓設備を設置する。</p>
8条-51	<p>10.5.1.4 主要仕様</p> <p>(1) 火災感知設備</p> <p>火災感知設備の火災感知器の概略を第 10.5.2 表に示す。</p>

該当頁	記載内容																																																				
8条-56	<p style="text-align: center;">第10.5.2表 火災感知設備の火災感知器の概略</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">火災感知器の設置箇所</th> <th colspan="2">火災感知器の設置型式</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">一般エリア</td> <td>煙感知器^{※2}</td> <td>熱感知器^{※2}</td> </tr> <tr> <td></td> <td>炎感知器（赤外線）^{※1.2}</td> </tr> <tr> <td></td> <td>熱感知器^{※2}</td> <td>炎感知器（赤外線）^{※1.2}</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">原子炉格納容器</td> <td rowspan="2">煙感知器</td> <td>熱感知器</td> </tr> <tr> <td>熱感知器^{※1}</td> </tr> <tr> <td>熱感知器</td> <td>防爆型熱感知器^{※1}</td> </tr> <tr> <td>体積制御タンク室及び蓄電池室</td> <td>防爆型煙感知器^{※1}</td> <td>防爆型熱感知器^{※1}</td> </tr> <tr> <td>海水ポンプエリア及び補助給水タンクエリア</td> <td>防爆型熱感知器^{※1}</td> <td>屋外仕様 炎感知器（赤外線）^{※1}</td> </tr> <tr> <td>燃料油貯油槽エリア及び重油タンクエリア</td> <td>防爆型熱感知器^{※1}</td> <td>屋外仕様 炎感知器（赤外線）^{※1}</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">焼却炉建家</td> <td rowspan="2">煙感知器 （1号、2号及び3号炉共用）</td> <td>熱感知器 （1号、2号及び3号炉共用）</td> </tr> <tr> <td>炎感知器（赤外線）^{※1} （1号、2号及び3号炉共用）</td> </tr> <tr> <td>熱感知器 （1号、2号及び3号炉共用）</td> <td>炎感知器（赤外線）^{※1} （1号、2号及び3号炉共用）</td> </tr> <tr> <td></td> <td>防爆型煙感知器^{※1} （1号、2号及び3号炉共用）</td> <td>防爆型熱感知器^{※1} （1号、2号及び3号炉共用）</td> </tr> <tr> <td>原子炉建屋、原子炉補助建屋通路部、ほう酸タンク室及び換気空調設備室</td> <td>煙感知器</td> <td>熱感知器 光ファイバ温度監視装置</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">海水管トレンチ室</td> <td>煙感知器</td> <td>光ファイバ温度監視装置</td> </tr> <tr> <td>防爆型熱感知器^{※1}</td> <td>屋外仕様 炎感知器（赤外線）^{※1}</td> </tr> <tr> <td>中央制御室フロアケーブルダクト及び1次系計装盤室フロアケーブルダクト</td> <td>煙感知器</td> <td>光ファイバ温度監視装置</td> </tr> <tr> <td>中央制御盤内及び工学的安全施設作動設備内（安全防護系シーケンス盤）</td> <td colspan="2">高感度煙検出設備</td> </tr> <tr> <td>使用済燃料乾式貯蔵施設</td> <td colspan="2">煙感知器、熱感知器、炎感知器（赤外線）^{※1}</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：非アナログ式の火災感知器 ※2：1 - 固体廃棄物貯蔵庫，2 - 固体廃棄物貯蔵庫，蒸気発生器保管庫及び雑固体処理建屋内の1号，2号及び3号炉共用を含む。</p>	火災感知器の設置箇所	火災感知器の設置型式		一般エリア	煙感知器 ^{※2}	熱感知器 ^{※2}		炎感知器（赤外線） ^{※1.2}		熱感知器 ^{※2}	炎感知器（赤外線） ^{※1.2}	原子炉格納容器	煙感知器	熱感知器	熱感知器 ^{※1}	熱感知器	防爆型熱感知器 ^{※1}	体積制御タンク室及び蓄電池室	防爆型煙感知器 ^{※1}	防爆型熱感知器 ^{※1}	海水ポンプエリア及び補助給水タンクエリア	防爆型熱感知器 ^{※1}	屋外仕様 炎感知器（赤外線） ^{※1}	燃料油貯油槽エリア及び重油タンクエリア	防爆型熱感知器 ^{※1}	屋外仕様 炎感知器（赤外線） ^{※1}	焼却炉建家	煙感知器 （1号、2号及び3号炉共用）	熱感知器 （1号、2号及び3号炉共用）	炎感知器（赤外線） ^{※1} （1号、2号及び3号炉共用）	熱感知器 （1号、2号及び3号炉共用）	炎感知器（赤外線） ^{※1} （1号、2号及び3号炉共用）		防爆型煙感知器 ^{※1} （1号、2号及び3号炉共用）	防爆型熱感知器 ^{※1} （1号、2号及び3号炉共用）	原子炉建屋、原子炉補助建屋通路部、ほう酸タンク室及び換気空調設備室	煙感知器	熱感知器 光ファイバ温度監視装置	海水管トレンチ室	煙感知器	光ファイバ温度監視装置	防爆型熱感知器 ^{※1}	屋外仕様 炎感知器（赤外線） ^{※1}	中央制御室フロアケーブルダクト及び1次系計装盤室フロアケーブルダクト	煙感知器	光ファイバ温度監視装置	中央制御盤内及び工学的安全施設作動設備内（安全防護系シーケンス盤）	高感度煙検出設備		使用済燃料乾式貯蔵施設	煙感知器、熱感知器、炎感知器（赤外線） ^{※1}	
	火災感知器の設置箇所	火災感知器の設置型式																																																			
	一般エリア	煙感知器 ^{※2}	熱感知器 ^{※2}																																																		
			炎感知器（赤外線） ^{※1.2}																																																		
		熱感知器 ^{※2}	炎感知器（赤外線） ^{※1.2}																																																		
	原子炉格納容器	煙感知器	熱感知器																																																		
			熱感知器 ^{※1}																																																		
		熱感知器	防爆型熱感知器 ^{※1}																																																		
	体積制御タンク室及び蓄電池室	防爆型煙感知器 ^{※1}	防爆型熱感知器 ^{※1}																																																		
	海水ポンプエリア及び補助給水タンクエリア	防爆型熱感知器 ^{※1}	屋外仕様 炎感知器（赤外線） ^{※1}																																																		
	燃料油貯油槽エリア及び重油タンクエリア	防爆型熱感知器 ^{※1}	屋外仕様 炎感知器（赤外線） ^{※1}																																																		
	焼却炉建家	煙感知器 （1号、2号及び3号炉共用）	熱感知器 （1号、2号及び3号炉共用）																																																		
			炎感知器（赤外線） ^{※1} （1号、2号及び3号炉共用）																																																		
		熱感知器 （1号、2号及び3号炉共用）	炎感知器（赤外線） ^{※1} （1号、2号及び3号炉共用）																																																		
		防爆型煙感知器 ^{※1} （1号、2号及び3号炉共用）	防爆型熱感知器 ^{※1} （1号、2号及び3号炉共用）																																																		
原子炉建屋、原子炉補助建屋通路部、ほう酸タンク室及び換気空調設備室	煙感知器	熱感知器 光ファイバ温度監視装置																																																			
海水管トレンチ室	煙感知器	光ファイバ温度監視装置																																																			
	防爆型熱感知器 ^{※1}	屋外仕様 炎感知器（赤外線） ^{※1}																																																			
中央制御室フロアケーブルダクト及び1次系計装盤室フロアケーブルダクト	煙感知器	光ファイバ温度監視装置																																																			
中央制御盤内及び工学的安全施設作動設備内（安全防護系シーケンス盤）	高感度煙検出設備																																																				
使用済燃料乾式貯蔵施設	煙感知器、熱感知器、炎感知器（赤外線） ^{※1}																																																				
8条-48	<p>(3) 消火設備</p> <p>原子炉の安全停止に必要な機器等を設置する火災区域又は火災区画並びに放射性物質貯蔵等の機器等を設置する火災区域の火災を早期に消火するために、すべての火災区域の消火活動に対処できるように、「1.6.1.3 (2) c. 消火用水供給系の多重性又は多様性の考慮」に基づき消火栓設備を設置する。消火栓設備の系統構成を第10.5.1図に示す。</p>																																																				



本資料のうち、枠囲みの内容は、
商業機密あるいは防護上の観点
から公開できません。

伊方発電所設計及び工事計画審査資料	
資料番号	DSF-040
提出年月日	令和3年3月9日

伊方発電所3号機
設計及び工事計画に係る説明資料
(耐震性に関する説明書)
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

令和3年3月
四国電力株式会社

資料 9 に係る補足説明資料

【説明する添付資料】

資料 9 耐震性に関する説明書

目 次

1. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について
2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算について
3. 周辺施設等の波及的影響の検討について
4. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果について

資料 9 に係る補足説明資料

【説明する添付資料】

資料 9 耐震性に関する説明書

目 次

1. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について
2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算について
3. 周辺施設等の波及的影響の検討について
4. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果について

1. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について

伊方3号機（使用済燃料乾式貯蔵建屋）設計及び工事計画に係る説明資料
（耐震性に関する説明書）

■資料No. 1 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について

資料 No.	補足説明資料		備考 (該当添付資料)
	(名称)	(概要)	
1-1	地震荷重と風荷重、積載荷重と積雪荷重の比較	耐震計算における地震荷重と風荷重及び積載荷重と積雪荷重の比較結果を示す。	資料9-12-1 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析
1-2	鉄筋コンクリート部の減衰定数を3%とした地震応答解析結果	鉄筋コンクリート部の減衰定数を3%とした地震応答解析結果を示す。	資料9-12-1 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析
1-3	地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果	地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を示す。	資料9-12-1 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析
1-4	地震応答解析における耐震壁のスケルトンカーブの設定	地震応答解析において考慮した耐震壁のせん断スケルトンカーブの設定方法を示す。	資料9-12-1 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析
1-5	地震応答解析モデルの固定・積載荷重	地震応答解析モデルにおける固定・積載荷重等の設定方法を示す。	資料9-12-1 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について

1-1 地震荷重と風荷重、積載荷重と積雪荷重の比較

目 次

	頁
1. 概要	1-1-1
2. 地震荷重と風荷重の比較	1-1-3
2.1 速度圧の算定	1-1-3
2.2 荷重の比較	1-1-10
3. 積載荷重と積雪荷重の比較	1-1-14
4. まとめ	1-1-15
(参考)地震応答解析モデル及び解析手法の概要について	1-1-16

1. 概要

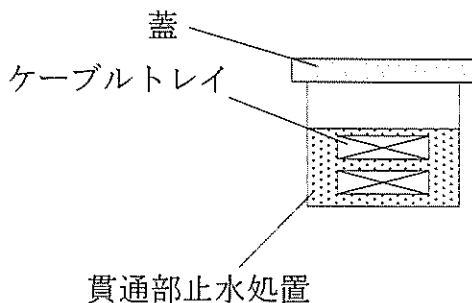
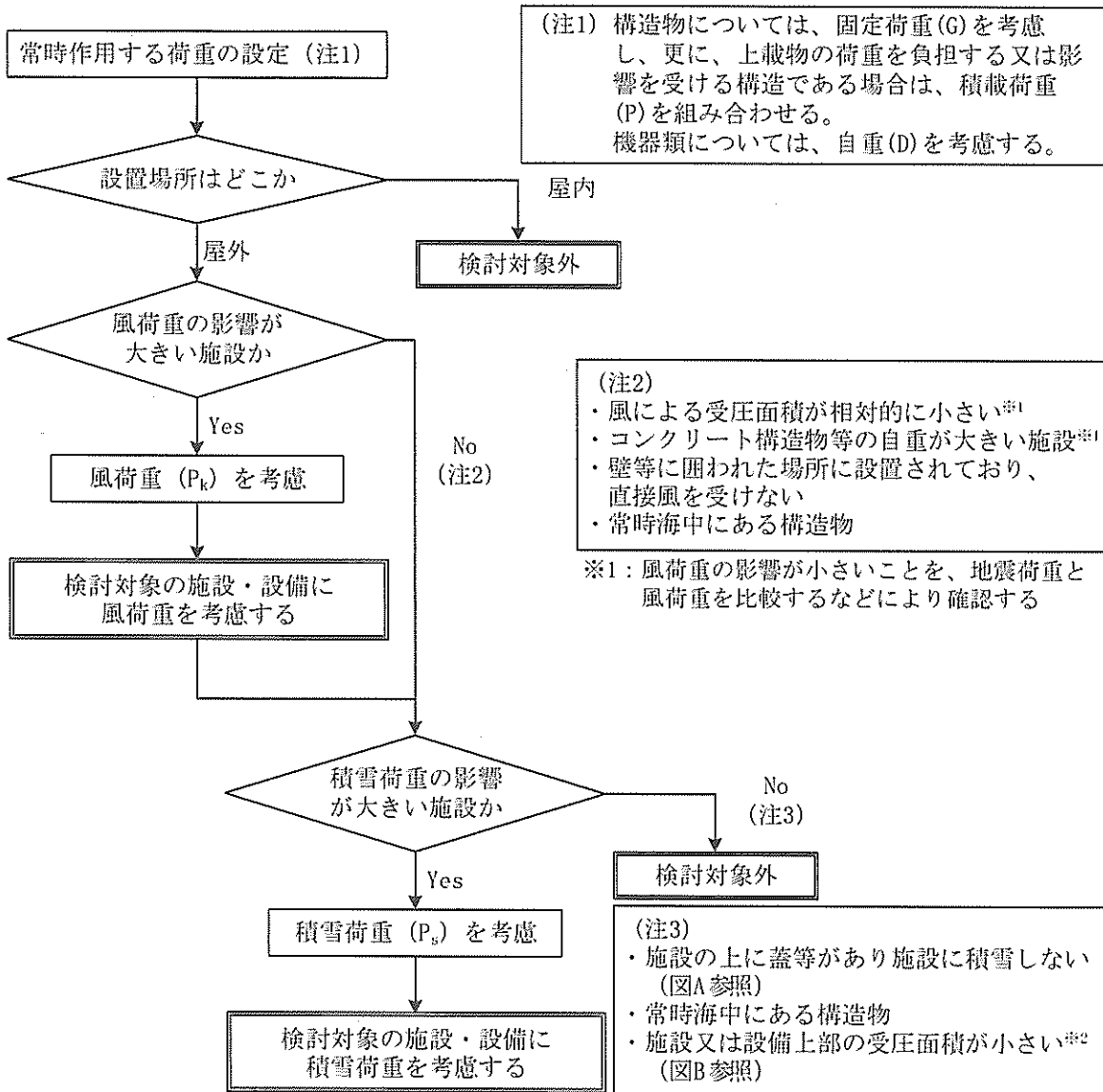
資料9-9「機能維持の基本方針」において、風荷重については、鉄筋コンクリート構造物などの自重が大きい施設を除いて、地震力と組み合わせることとしている。本資料は、地震応答解析を実施する使用済燃料乾式貯蔵建屋について、地震荷重と風荷重との比較を行い、風荷重の影響が小さいことを確認することで、風荷重と地震荷重との組合せを考慮する必要がないことを説明するものである。

また、資料9-9「機能維持の基本方針」において、積雪荷重については、積雪による受圧面積が小さい施設、又は埋設構造物など常時の荷重に対して積雪荷重の割合が無視できる施設を除き、地震力と組み合わせることとしている。本資料は、地震応答解析を実施する使用済燃料乾式貯蔵建屋について、積雪荷重が積載荷重に包絡されることを確認することで、積雪荷重と地震荷重との組合せは、積載荷重と地震荷重との組合せで考慮されることを説明するものである。

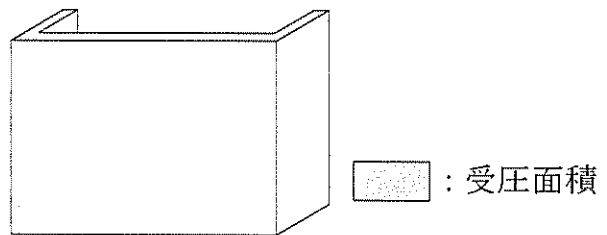
耐震計算における風荷重及び積雪荷重の設定フローを第1-1図に示す。

なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」



図A: 蓋等により積雪しない場合の例



図B: 上部の受圧面積が小さい場合の例

第1-1図 耐震計算における風荷重及び積雪荷重の設定フロー

2. 地震荷重と風荷重の比較

2.1 速度圧の算定

使用済燃料乾式貯蔵建屋の風荷重の評価条件である速度圧を表2-1表に示す。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図及び概略断面図を第2-1図及び第2-2図に示す。

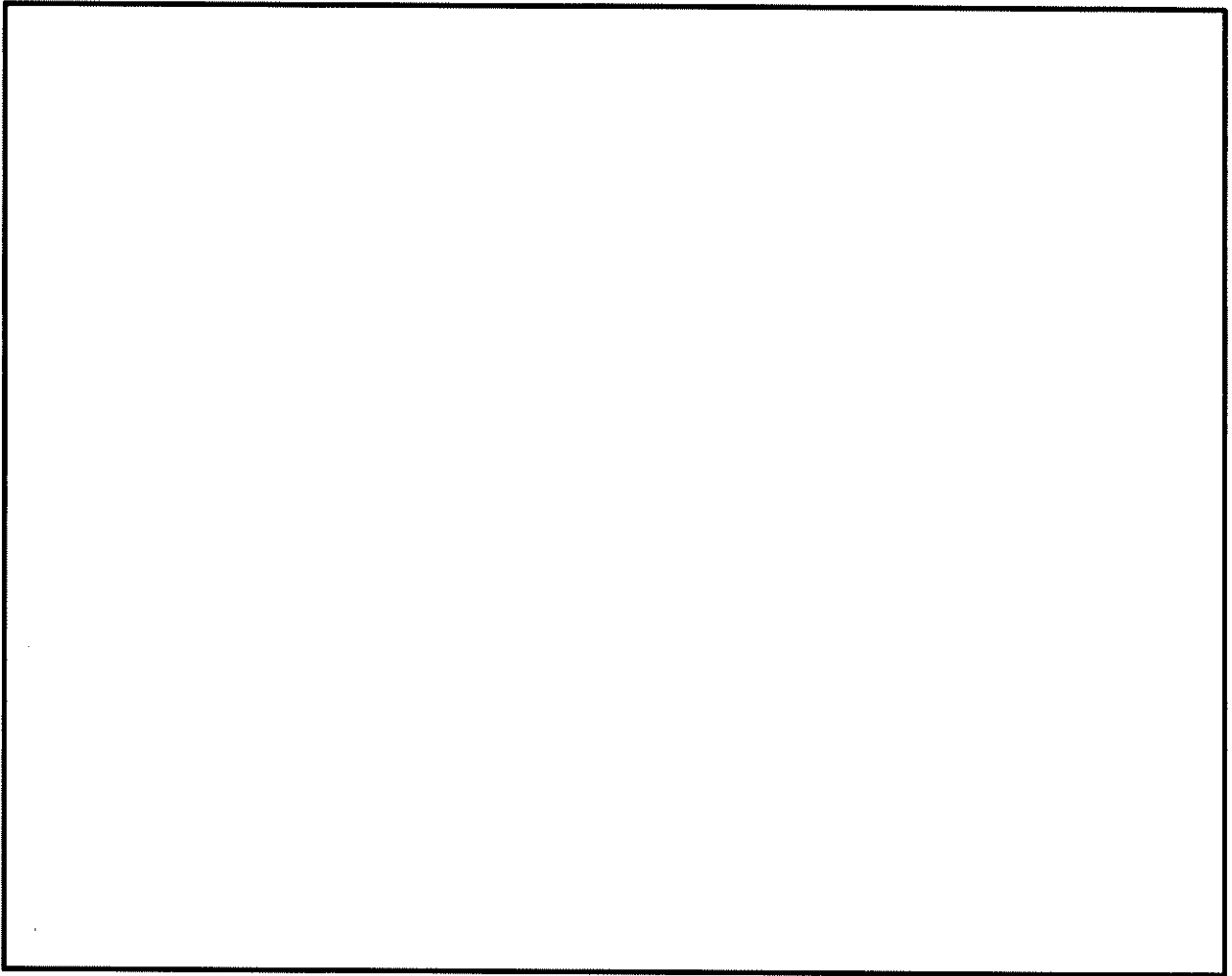
第2-1表 速度圧

	基準風速 V_0 (m/s)	全高H (m)	Z_G (m)	α	ガスト 影響係数G	速度圧q (N/m^2)
使用済燃料乾式 貯蔵建屋	34		350	0.15	1.0	848

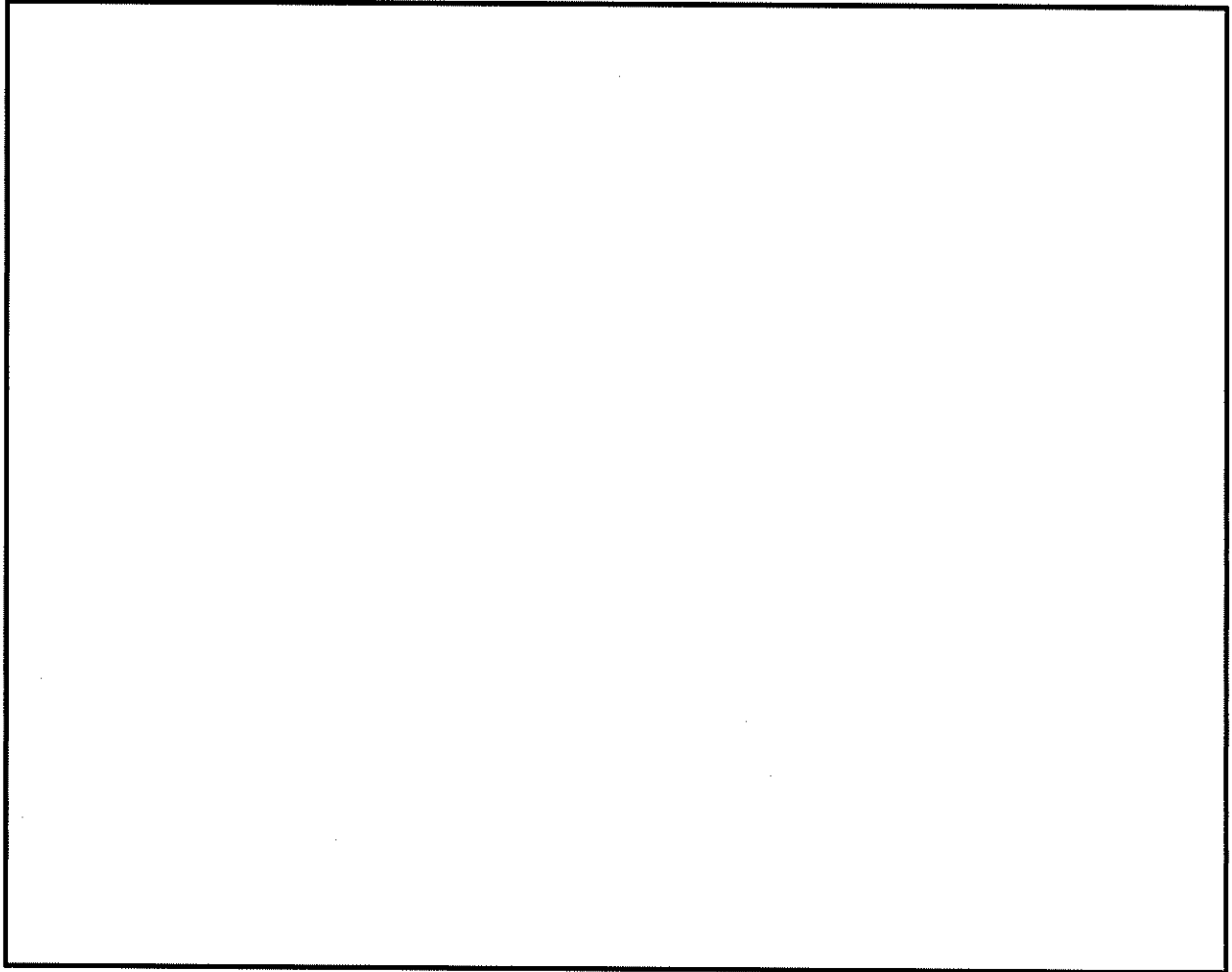
(注) 伊方発電所敷地状況より、地表面粗度区分はIIとする。

H : GLを基準として設定する。

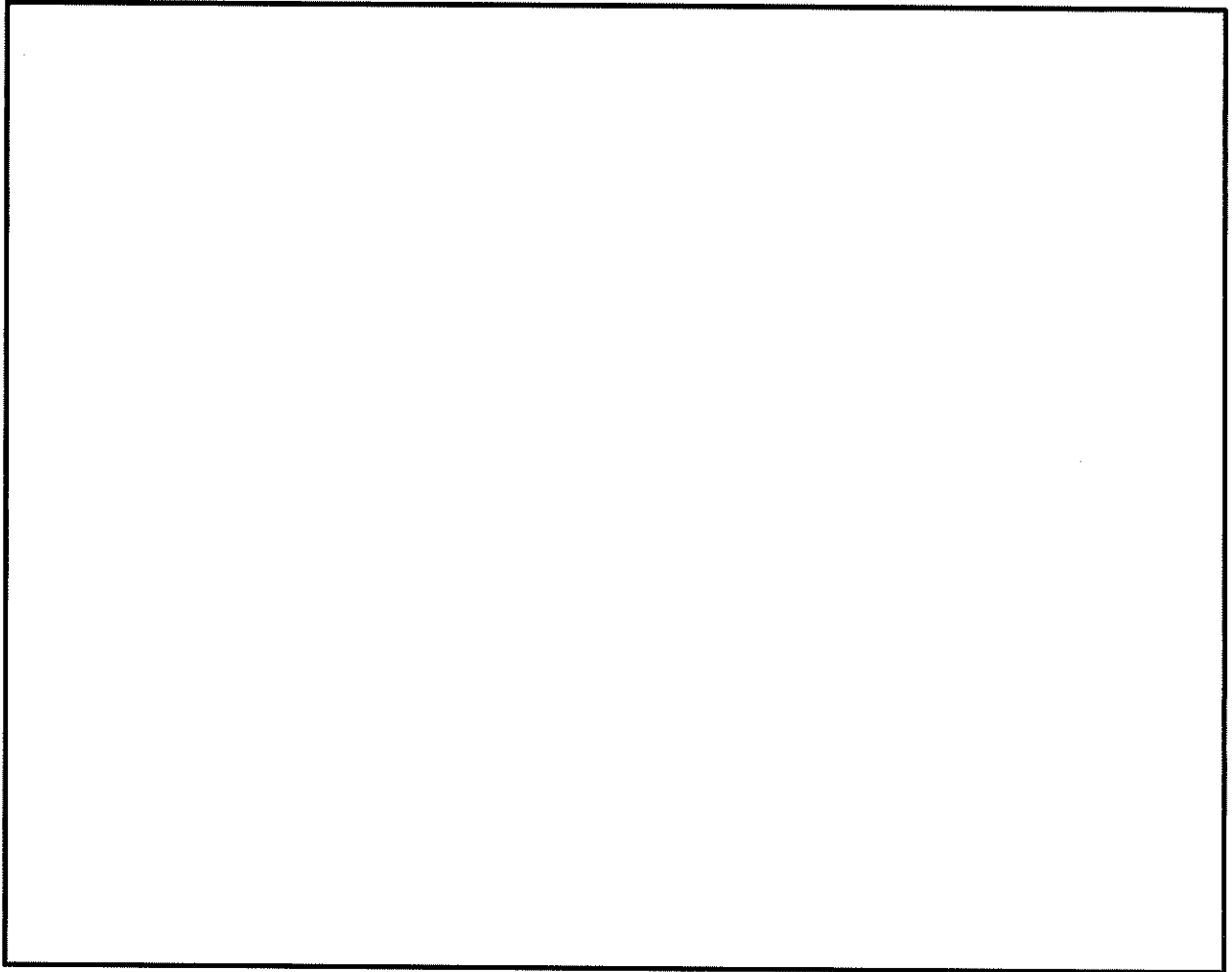
Z_G 、 α : 地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
地震と組み合わせる場合のガスト影響係数は1.0とする。



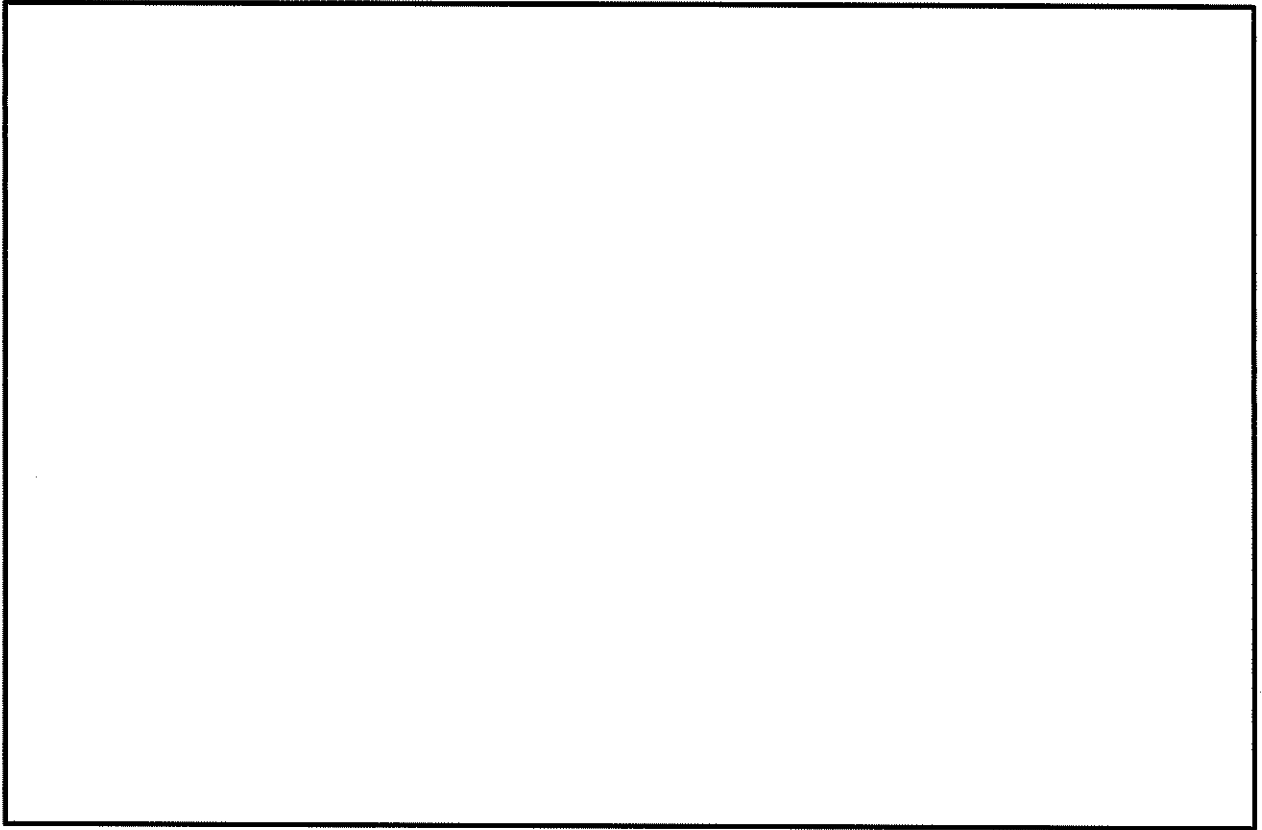
第2-1図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図



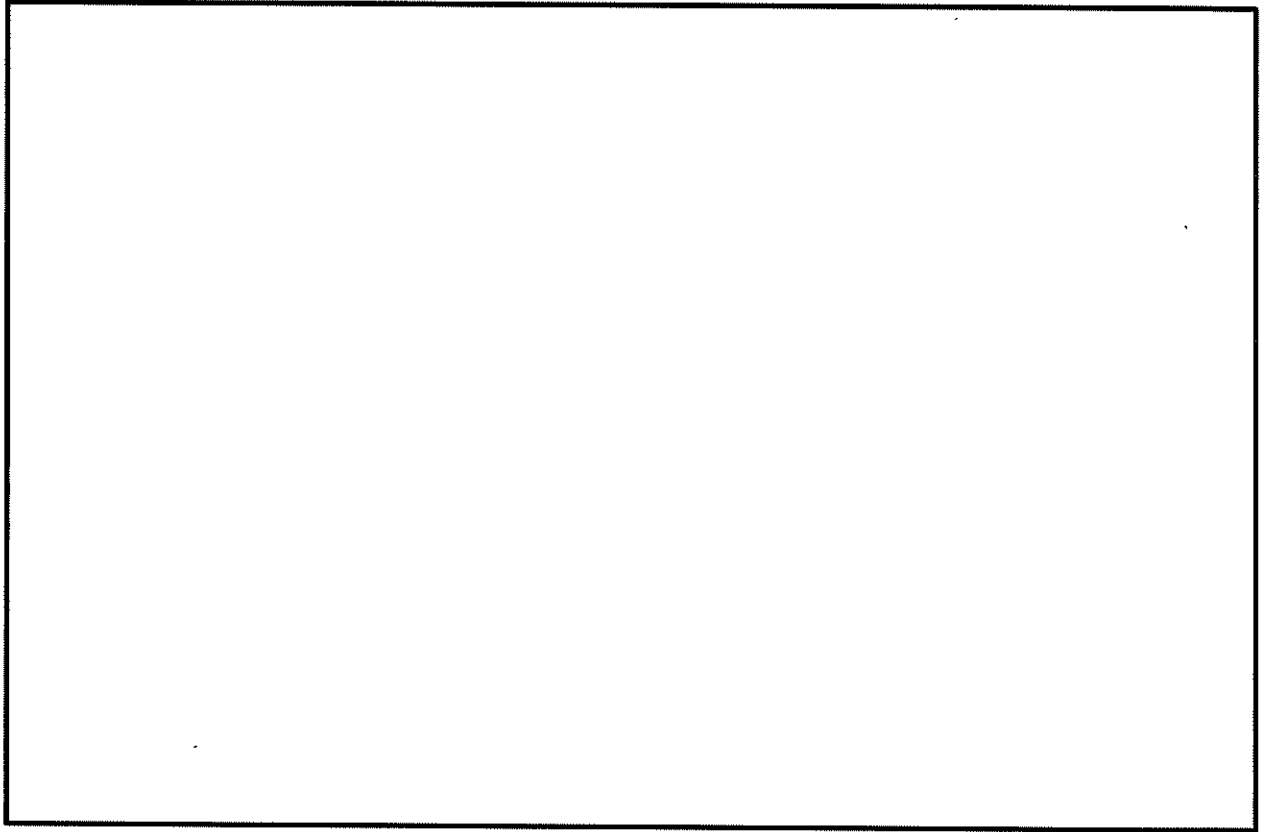
第2-1図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図



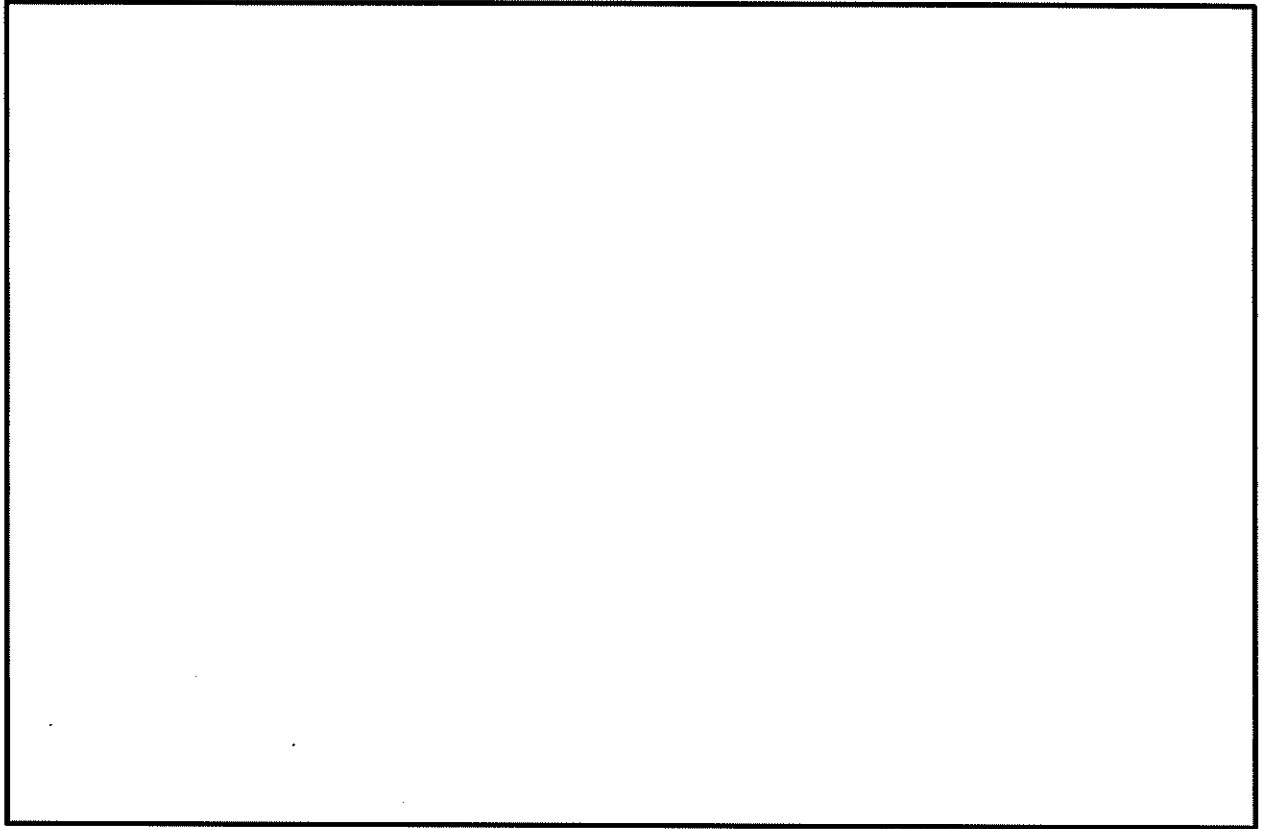
第2-1図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図



第2-2図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (A-A断面)



第 2-2 図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (B-B 断面)

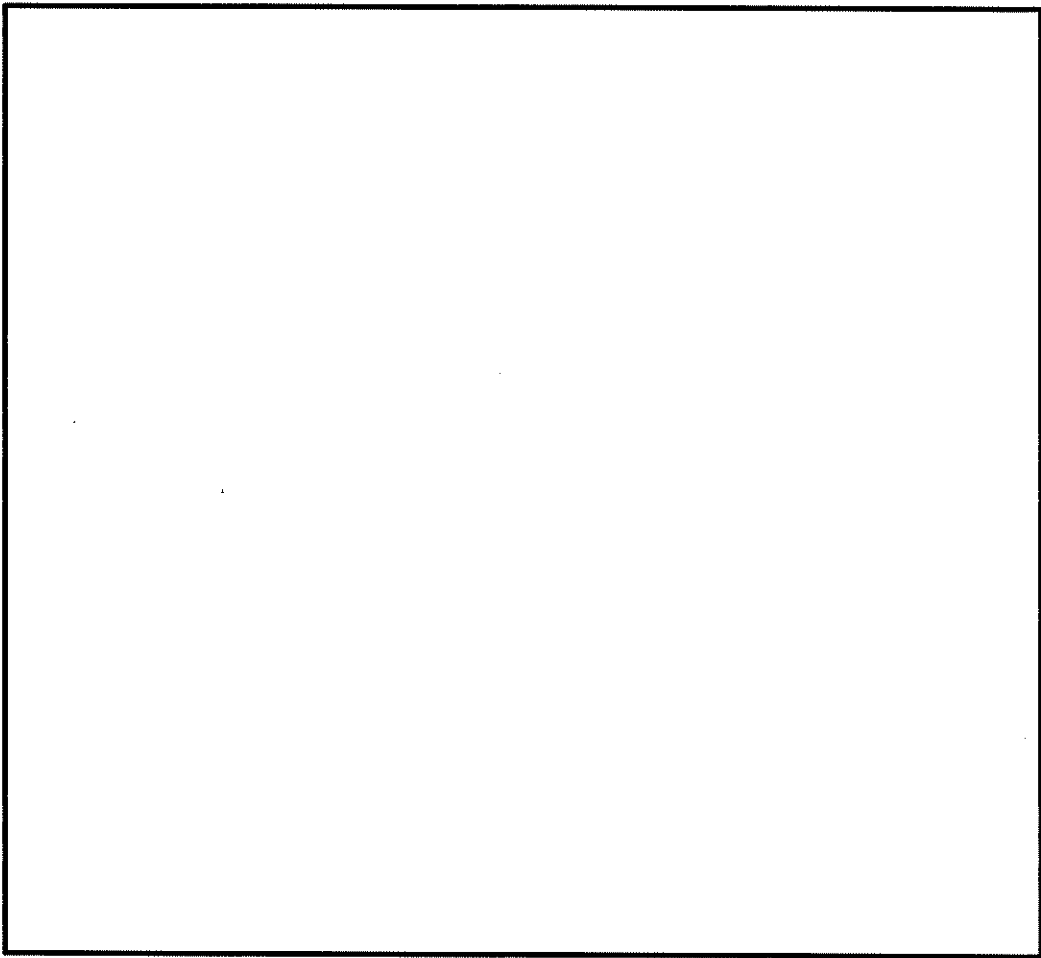


第 2-2 図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (C-C 断面)

2.2 荷重の比較

風荷重による層せん断力について、第2-1表に示す速度圧に基づき算出する。ここで、風荷重による層せん断力は、風荷重により発生する建屋の地震応答解析モデルにおける部材の層せん断力である。また、地震荷重による層せん断力は、基準地震動 S_s に対する地震応答解析より得られた最大応答せん断力である。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデルを第2-3図に示す。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋の風荷重を第2-2表、風荷重による層せん断力と地震荷重による層せん断力の比較を第2-3表に示す。



第2-3図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデル（水平方向）

第2-2表 (1/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の風荷重 (EW方向)

質点 番号	高さ EL. (m)	風力係数 C		受圧面積 A (m ²)	速度圧q (N/m ²)	風荷重 (kN)
		風上	風下			
1		0.800	-0.4	407	848	414
2		0.748	-0.4	225	848	219
3		0.689	-0.4	268	848	248
4		0.636	-0.4	191	848	168
5		0.567	-0.4	373	848	306

第2-2表 (2/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の風荷重 (NS方向)

質点 番号	高さ EL. (m)	風力係数 C		受圧面積 A (m ²)	速度圧q (N/m ²)	風荷重 (kN)
		風上	風下			
1		0.800	-0.4	353	848	359
2		0.748	-0.4	296	848	288
3		0.689	-0.4	152	848	140
4		0.636	-0.4	134	848	118
5		0.567	-0.4	280	848	230

第2-3表 (1/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の層せん断力の比較 (EW方向)

部材 番号	風荷重による 層せん断力 ① ($\times 10^3$ kN)	地震荷重による 層せん断力 ② ($\times 10^3$ kN)	層せん断力比 ②/①
1	0.41	82	198
2	0.63	146	231
3	0.88	278	316
4	1.05	344	328
5	1.35	418	309

第2-3表 (2/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の層せん断力の比較 (NS方向)

部材 番号	風荷重による 層せん断力 ① ($\times 10^3$ kN)	地震荷重による 層せん断力 ② ($\times 10^3$ kN)	層せん断力比 ②/①
1	0.36	77	214
2	0.65	136	210
3	0.79	260	330
4	0.91	322	356
5	1.14	393	346

3. 積載荷重と積雪荷重の比較

積載荷重と積雪荷重の比較を第3-1表に示す。

第3-1表 積雪荷重及び積載荷重の比較

	地震荷重と組合 せる積雪荷重 ①※ (N/m ²)	地震荷重と組合 せる積載荷重 ② (N/m ²)	荷重比 ②/①
使用済燃料乾式 貯蔵建屋	140	3000	21.4

※：建築基準法の多雪区域における積雪荷重及び地震荷重の組合せを適用して「愛媛県垂直積雪量に関する規則」（平成12年6月1日規則第42号）による伊方町の垂直積雪量20cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮して算出。

4. まとめ

本資料では、地震応答解析を実施する使用済燃料乾式貯蔵建屋について、地震荷重と風荷重を比較した結果、風荷重の影響が小さいことから風荷重と地震荷重との組合せを考慮する必要はないことを確認した。また、積雪荷重が積載荷重に包絡されることから、積雪荷重と地震荷重との組合せは、積載荷重と地震荷重との組合せで考慮されることを確認した。

(参考) 地震応答解析モデル及び解析手法の概要について

1. 概要

本資料は、使用済燃料乾式貯蔵建屋について、地震応答解析モデル及び解析手法の概要を説明するものである。

2. 地震応答解析モデル及び解析手法の概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデル及び解析手法の概要について、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-16-5「原子炉補助建屋の地震応答解析」における伊方3号機原子炉補助建屋と併せて参考2-1表に示す。

参考 2-1 表 地震応答解析モデル及び解析手法の概要

項目		使用済燃料乾式貯蔵建屋	伊方3号機原子炉補助建屋	備考
解析手法		・サブストラクチャ法（入力地震動と地盤ばねを別々に評価）を用いた時刻歴応答解析（非線形）	・同左	
解析コード		・TDAPIII Ver. 3.08	・TDAPIII Ver. 3.03	
構造物のモデル化	モデル	・水平方向：一軸多質点系 曲げせん断棒モデル （直交2方向をモデル化） ・鉛直方向：一軸多質点系軸棒モデル	・水平方向：多軸多質点系 曲げせん断棒モデル （直交2方向をモデル化） ・鉛直方向：多軸多質点系軸棒モデル	
	材料物性	・コンクリートのヤング係数、ポアソン比 $E=2.44 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、 $\nu=0.2$	・コンクリートのヤング係数、ポアソン比 $E=2.34 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、 $\nu=0.2$	①
	剛性評価	・面内壁：層のせん断及び曲げ剛性に考慮 ・面外壁：層の曲げ剛性に考慮 ・床、基礎：剛床仮定で質点に縮約	・面内壁：同左 ・面外壁：同左 ・床、基礎：同左	
	減衰定数	・RC：5%	・同左	
地盤のモデル化	底面ばね	・水平方向：水平及び回転ばねを考慮 ・鉛直方向：鉛直ばねを考慮	・水平方向：同左 ・鉛直方向：同左	②
	側面ばね	・水平方向：考慮せず ・鉛直方向：考慮せず	・水平方向：同左 ・鉛直方向：同左	
非線形特性	耐震壁	・水平方向：考慮 ・鉛直方向：考慮せず	・水平方向：同左 ・鉛直方向：同左	②
	地盤	・水平方向：基礎浮上りによる非線形考慮 ・鉛直方向：考慮せず	・水平方向：同左 ・鉛直方向：同左	
入力地震動	入力方法	・地盤ばねを介して入力 ・水平、鉛直方向の地震動による解析をそれぞれ実施	・同左	③
	算定方法	・基準地震動を元に、1次元波動論により引き戻し、2次元FEM解析により立ち上げて算定	・基準地震動を直接入力	
材料物性等の不確かさ		・RC減衰：耐震設計に反映（3%） ・地盤物性：耐震設計に反映（ $\pm\sigma$ ） ・Fc実強度：影響検討	・RC減衰：考慮せず ・地盤物性：同左 ・Fc実強度：同左	④ ⑤

①：原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説（（社）日本建築学会、2005制定）に基づき設定。

②：原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991追補版（（社）日本電気協会）に基づき設定。

③：使用済燃料乾式貯蔵建屋の建屋基礎底面 は、基準地震動の解放基礎表面 よりも上部に位置していることなどを踏まえ、基準地震動を立ち上げて入力地震動を算定。

④：RC減衰について、使用済燃料乾式貯蔵建屋は、耐震性向上の観点からRC減衰を3%とした場合も考慮。

伊方3号機原子炉補助建屋は、伊方3号機の工事計画認可申請（平成28年3月23日付け原規規発第1603231号認可）において、RC減衰を5%とすることの妥当性を確認。

⑤：Fc実強度について、伊方3号機原子炉補助建屋は、剛性の増分に対し耐力の増分が大きいことから保守的に考慮しないこととしており、伊方3号機の工事計画認可申請（平成28年3月23日付け原規規発第1603231号認可）において影響がないことを確認している。使用済燃料乾式貯蔵建屋についても同資料の知見により影響がないことを確認している。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について

1-2 鉄筋コンクリート部の減衰定数を3%とした

地震応答解析結果

目 次

	頁
1. 概要	1-2-1
2. 地震応答解析結果	1-2-1
(参考)機器・配管系の耐震性への影響評価	

1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析は、第1-1表に示す材料物性の不確かさ等を考慮しており、鉄筋コンクリート部の減衰定数は5%を基本ケースとし、耐震性向上の観点から3%とした場合についても考慮している。

本資料は、鉄筋コンクリート部の減衰定数を3%とした地震応答解析結果を示すものである。

なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」

第1-1表 材料物性の不確かさ等を考慮した地震応答解析ケース

ケース名	地盤のせん断波速度 V_s ※ (m/s)		鉄筋コンクリート部の 減衰定数 h (%)
基本	1,700	2,700	5
$V_s+1\sigma$	1,836 (1.08)	2,916 (1.08)	5
$V_s-1\sigma$	1,564 (0.92)	2,484 (0.92)	5
減衰 3%	1,700	2,700	3

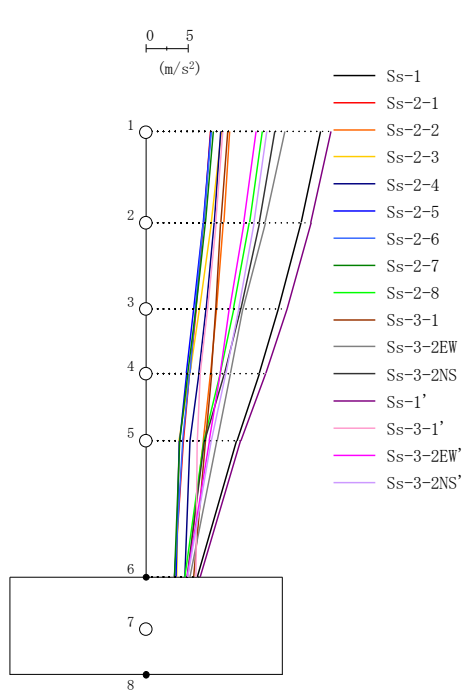
※：基礎底面の地盤ばねの算定に用いた地盤のせん断波速度。

()内は基本ケースに対する比率。

 は本資料で示す減衰定数を3%とした解析ケース。

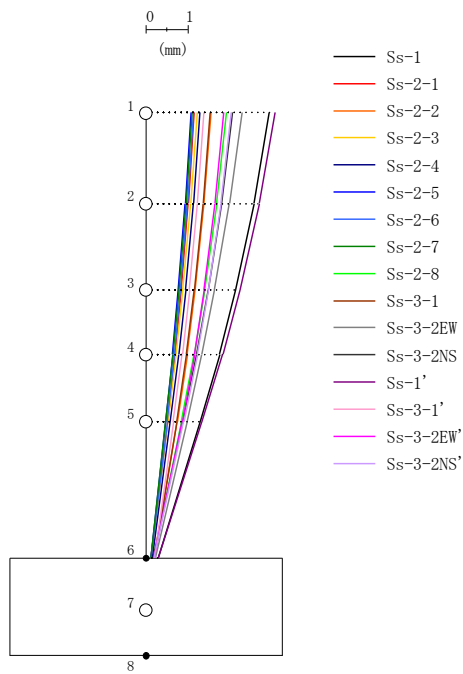
2. 地震応答解析結果

減衰定数を3%とした基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果を第2-1図～第2-16図及び第2-1表に示す。



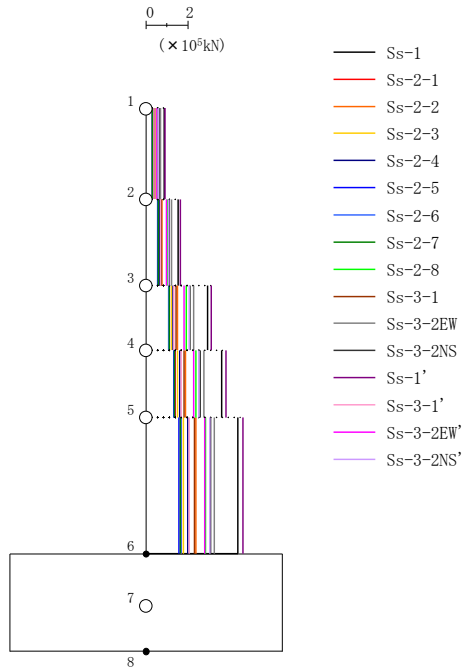
(m/s ²)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
20.96	7.71	10.01	9.08	8.98	7.82	7.81	8.14	13.95	9.79	16.71	15.48	22.22	9.27	13.23	14.50
18.63	6.94	9.32	7.86	8.21	6.88	6.94	7.19	12.42	8.97	14.33	13.61	19.79	8.43	11.75	12.97
15.90	6.03	8.50	6.43	7.26	5.76	5.96	6.05	10.53	8.40	11.63	11.36	16.92	7.40	10.03	11.11
13.60	5.29	7.79	5.30	6.40	4.87	5.29	5.07	8.90	7.87	10.16	9.43	14.36	6.54	8.94	9.59
10.92	4.55	6.93	4.02	5.33	4.03	4.47	4.09	6.95	7.12	8.56	7.07	11.38	6.19	7.61	7.84
6.23	3.48	5.06	3.74	4.71	3.63	3.47	3.46	4.66	5.71	5.34	5.00	6.55	6.03	4.91	5.03

第2-1図 Ss 減衰3%ケース EW方向 最大応答加速度



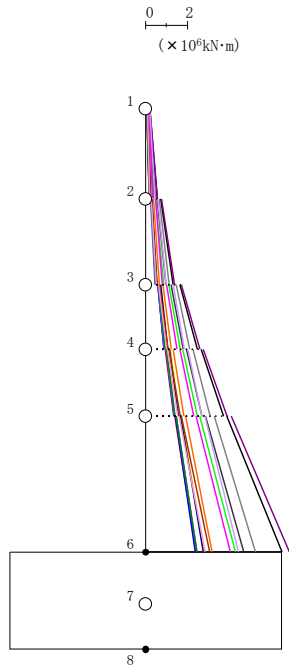
(mm)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.958	1.151	1.569	1.237	1.301	1.080	1.135	1.104	1.942	1.539	2.306	2.079	3.102	1.402	1.875	2.055
2.596	1.018	1.400	1.079	1.151	0.947	0.999	0.967	1.703	1.372	2.008	1.817	2.720	1.246	1.664	1.808
2.154	0.854	1.188	0.888	0.964	0.785	0.837	0.799	1.412	1.164	1.651	1.497	2.254	1.051	1.403	1.504
1.768	0.708	0.995	0.725	0.797	0.644	0.696	0.652	1.160	0.976	1.348	1.220	1.847	0.878	1.167	1.237
1.299	0.530	0.754	0.529	0.590	0.473	0.522	0.475	0.854	0.744	0.996	0.885	1.352	0.663	0.876	0.912
0.295	0.130	0.202	0.126	0.168	0.121	0.125	0.126	0.193	0.207	0.234	0.175	0.310	0.206	0.205	0.205

第2-2図 Ss 減衰3%ケース EW方向 最大応答変位



($\times 10^5 \text{kN}$)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.88	0.33	0.42	0.39	0.38	0.33	0.33	0.34	0.58	0.42	0.72	0.65	0.93	0.39	0.55	0.61
1.57	0.59	0.77	0.68	0.68	0.58	0.59	0.60	1.03	0.76	1.25	1.15	1.66	0.71	0.98	1.10
2.96	1.13	1.52	1.25	1.31	1.09	1.12	1.13	1.94	1.47	2.29	2.14	3.13	1.36	1.84	2.07
3.65	1.40	1.91	1.52	1.63	1.33	1.38	1.39	2.39	1.84	2.78	2.61	3.86	1.70	2.29	2.55
4.41	1.71	2.40	1.80	2.00	1.59	1.69	1.66	2.87	2.34	3.29	3.11	4.65	2.09	2.84	3.08

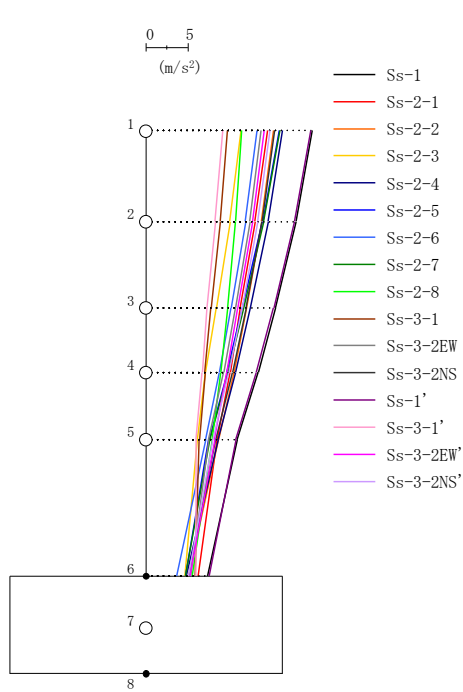
第2-3図 Ss 減衰3%ケース EW方向 最大応答せん断力



- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

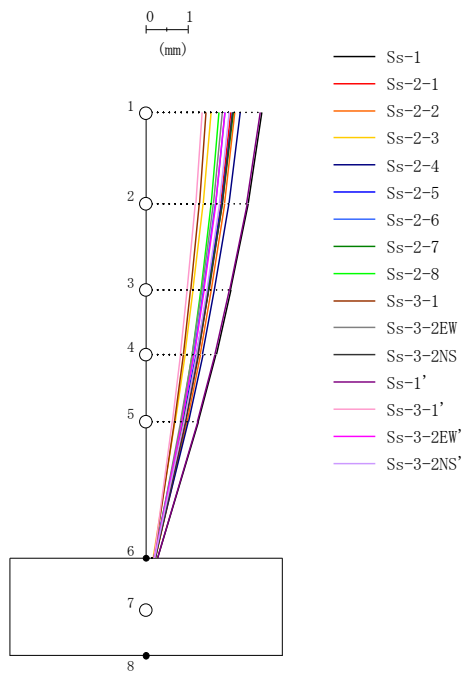
(×10 ⁶ kN·m)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.21	0.09	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.09	0.14	0.10	0.21	0.17	0.22	0.11	0.18	0.20
0.57	0.20	0.28	0.25	0.25	0.21	0.21	0.21	0.38	0.23	0.49	0.42	0.59	0.22	0.35	0.44
0.74	0.27	0.38	0.34	0.34	0.28	0.27	0.28	0.49	0.29	0.67	0.55	0.77	0.29	0.49	0.61
1.33	0.47	0.66	0.59	0.58	0.49	0.49	0.50	0.89	0.57	1.14	0.98	1.40	0.53	0.81	1.01
1.67	0.60	0.85	0.76	0.76	0.62	0.62	0.63	1.12	0.67	1.49	1.26	1.75	0.64	1.04	1.34
2.51	0.90	1.25	1.12	1.10	0.92	0.94	0.95	1.67	1.09	2.14	1.85	2.64	1.03	1.54	1.87
2.67	0.95	1.34	1.20	1.19	0.98	1.00	1.01	1.79	1.14	2.31	1.99	2.80	1.08	1.65	2.03
3.75	1.36	1.85	1.65	1.61	1.38	1.41	1.42	2.50	1.69	3.14	2.74	3.94	1.58	2.32	2.70
3.93	1.42	1.95	1.74	1.71	1.45	1.47	1.50	2.62	1.75	3.32	2.89	4.12	1.64	2.43	2.88
6.58	2.45	3.22	2.82	2.79	2.40	2.48	2.49	4.35	3.11	5.29	4.72	6.91	2.89	4.08	4.50

第2-4図 Ss 減衰3%ケース EW方向 最大応答曲げモーメント



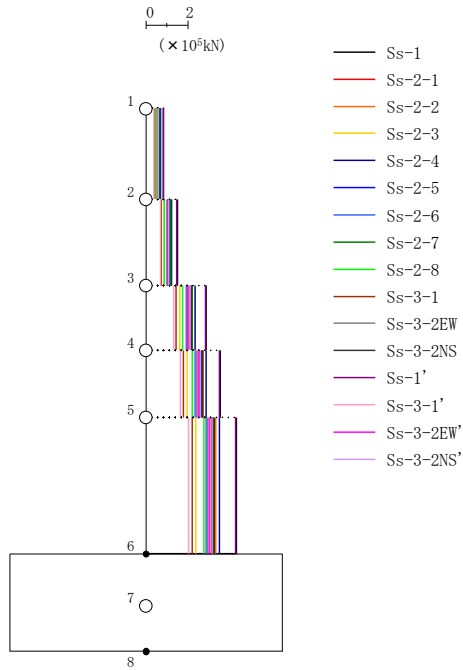
																(m/s ²)
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'	
19.95	14.64	15.34	11.43	16.41	15.95	13.37	16.06	11.48	9.79	13.84	15.41	19.74	9.27	14.20	14.87	
18.00	13.10	13.88	10.08	14.69	14.00	11.96	14.11	10.77	8.93	12.48	13.91	17.79	8.34	12.80	13.39	
15.52	11.29	12.07	8.44	12.54	11.60	10.21	11.71	9.83	7.85	10.73	12.01	15.32	7.31	11.03	11.53	
13.47	10.11	10.58	7.15	10.79	9.75	8.83	9.86	9.01	7.11	9.35	10.38	13.27	6.77	9.72	9.94	
10.97	8.58	8.75	6.19	8.67	7.56	7.17	7.68	7.98	6.41	7.55	8.39	10.80	6.03	8.25	8.03	
7.42	6.32	5.16	4.69	4.83	4.80	3.69	4.77	5.59	5.93	5.38	5.23	7.57	6.00	5.26	5.11	

第2-5図 Ss 減衰3%ケース NS方向 最大応答加速度



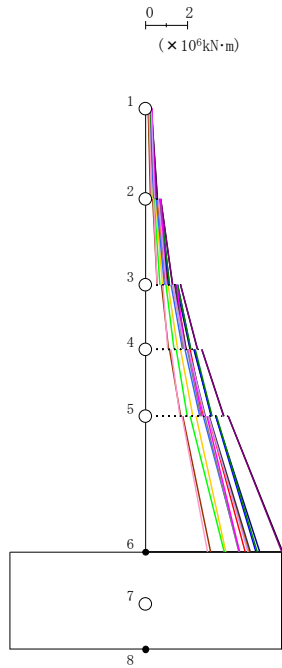
(mm)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.786	2.045	2.141	1.574	2.270	2.074	1.893	2.102	1.751	1.443	1.835	2.074	2.749	1.343	1.904	2.009
2.459	1.810	1.897	1.383	2.000	1.813	1.672	1.839	1.568	1.287	1.625	1.831	2.426	1.194	1.687	1.774
2.036	1.506	1.578	1.139	1.652	1.480	1.385	1.503	1.325	1.081	1.348	1.518	2.007	0.998	1.401	1.471
1.689	1.256	1.315	0.942	1.368	1.213	1.152	1.233	1.118	0.910	1.118	1.264	1.663	0.838	1.164	1.224
1.261	0.950	0.989	0.703	1.020	0.889	0.866	0.906	0.858	0.696	0.833	0.952	1.242	0.639	0.876	0.922
0.281	0.232	0.228	0.180	0.216	0.194	0.198	0.197	0.226	0.204	0.209	0.225	0.277	0.202	0.215	0.217

第2-6図 Ss 減衰3%ケース NS方向 最大応答変位



(× 10 ⁵ kN)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.85	0.61	0.64	0.49	0.70	0.67	0.57	0.68	0.49	0.42	0.58	0.64	0.84	0.40	0.59	0.62
1.52	1.10	1.16	0.87	1.25	1.19	1.02	1.20	0.89	0.75	1.03	1.15	1.50	0.71	1.06	1.11
2.89	2.08	2.21	1.62	2.36	2.20	1.93	2.22	1.76	1.45	1.96	2.19	2.85	1.35	2.02	2.11
3.58	2.58	2.74	1.99	2.91	2.69	2.39	2.72	2.21	1.81	2.43	2.71	3.53	1.68	2.51	2.60
4.35	3.14	3.36	2.39	3.52	3.22	2.90	3.26	2.78	2.23	2.96	3.30	4.29	2.04	3.05	3.16

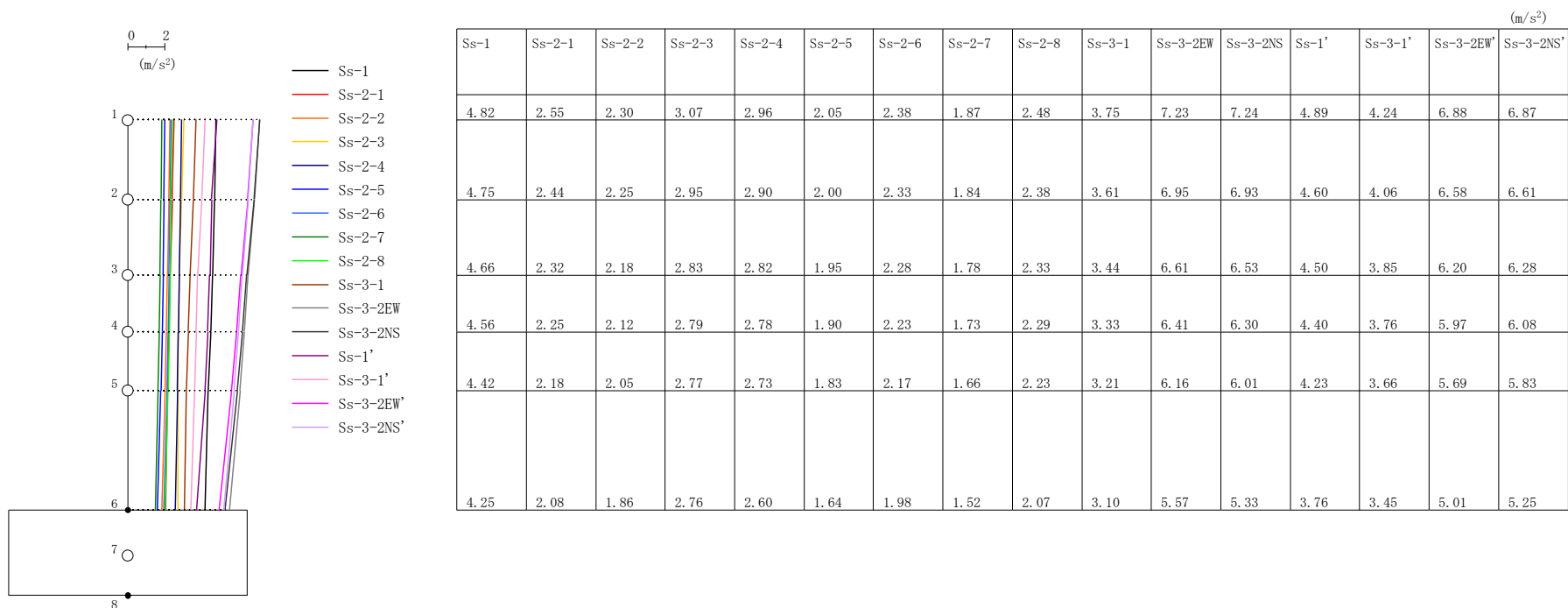
第2-7図 Ss 減衰3%ケース NS方向 最大応答せん断力



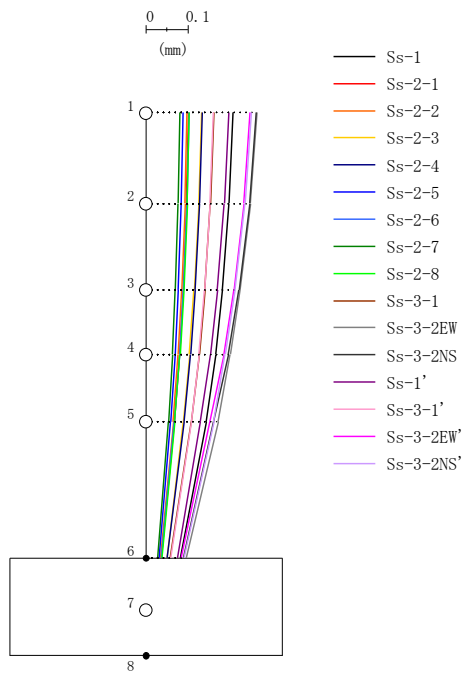
- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

(×10 ⁶ kN·m)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.27	0.24	0.18	0.16	0.25	0.23	0.17	0.23	0.16	0.15	0.31	0.30	0.28	0.16	0.33	0.28
0.57	0.47	0.43	0.35	0.49	0.50	0.40	0.50	0.32	0.25	0.45	0.45	0.57	0.28	0.48	0.44
0.76	0.66	0.58	0.48	0.68	0.70	0.54	0.70	0.44	0.37	0.70	0.69	0.76	0.41	0.75	0.64
1.33	1.04	1.01	0.81	1.13	1.15	0.93	1.15	0.72	0.58	0.97	1.02	1.33	0.59	1.01	1.01
1.71	1.45	1.32	1.09	1.49	1.55	1.23	1.55	0.98	0.77	1.43	1.40	1.72	0.87	1.53	1.33
2.52	1.96	1.92	1.55	2.16	2.17	1.77	2.18	1.37	1.11	1.83	1.95	2.53	1.10	1.90	1.92
2.72	2.16	2.08	1.69	2.34	2.38	1.93	2.39	1.50	1.18	2.01	2.10	2.73	1.24	2.09	2.09
3.78	2.81	2.85	2.27	3.20	3.17	2.63	3.19	2.03	1.72	2.67	2.91	3.77	1.67	2.74	2.86
4.00	3.03	3.03	2.43	3.41	3.40	2.80	3.42	2.14	1.79	2.86	3.08	4.00	1.75	2.95	3.04
6.61	4.80	4.98	3.87	5.52	5.33	4.54	5.38	3.78	3.13	4.49	5.06	6.58	2.98	4.52	4.94

第2-8図 Ss 減衰3%ケース NS方向 最大応答曲げモーメント

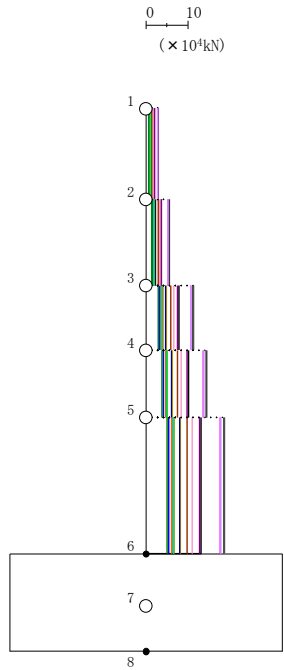


第2-9図 S_s 減衰3%ケース 鉛直方向 (EW断面) 最大応答加速度



(mm)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.210	0.103	0.100	0.133	0.136	0.089	0.104	0.082	0.105	0.163	0.267	0.265	0.199	0.162	0.251	0.253
0.200	0.098	0.095	0.127	0.129	0.085	0.099	0.078	0.100	0.155	0.251	0.249	0.188	0.154	0.236	0.238
0.185	0.090	0.086	0.116	0.119	0.078	0.090	0.071	0.091	0.142	0.226	0.224	0.172	0.141	0.212	0.214
0.168	0.081	0.078	0.105	0.108	0.070	0.081	0.065	0.083	0.128	0.203	0.199	0.155	0.128	0.188	0.190
0.145	0.069	0.066	0.089	0.092	0.060	0.069	0.055	0.070	0.109	0.174	0.163	0.131	0.109	0.154	0.163
0.082	0.038	0.035	0.051	0.051	0.033	0.038	0.029	0.039	0.059	0.097	0.090	0.076	0.059	0.085	0.091

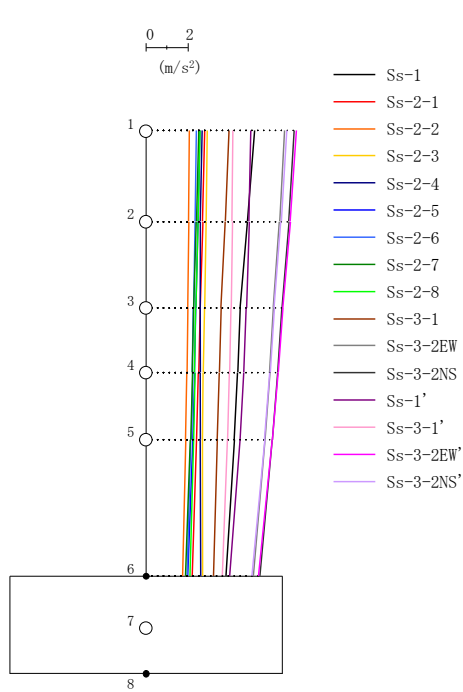
第2-10図 Ss 減衰3%ケース 鉛直方向 (EW断面) 最大応答変位



- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

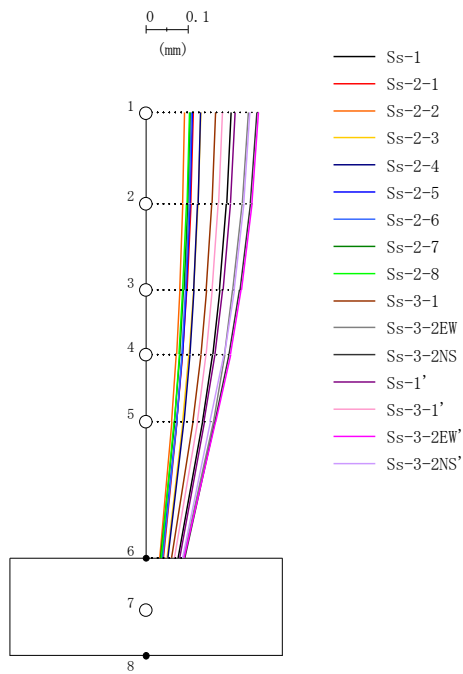
(×10 ⁴ kN)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.04	1.08	0.97	1.30	1.26	0.87	1.01	0.79	1.05	1.60	3.05	3.06	2.07	1.79	2.91	2.90
3.80	1.99	1.81	2.40	2.34	1.62	1.88	1.48	1.94	2.95	5.62	5.62	3.77	3.30	5.35	5.34
7.88	4.03	3.73	4.89	4.82	3.32	3.88	3.04	3.95	5.99	11.40	11.35	7.63	6.67	10.78	10.84
10.19	5.17	4.80	6.32	6.24	4.28	5.02	3.92	5.12	7.69	14.64	14.54	9.86	8.57	13.80	13.91
13.31	6.71	6.25	8.28	8.16	5.57	6.55	5.10	6.69	9.96	18.97	18.77	12.85	11.14	17.81	18.01

第2-11図 Ss 減衰3%ケース 鉛直方向 (EW断面) 最大応答軸力



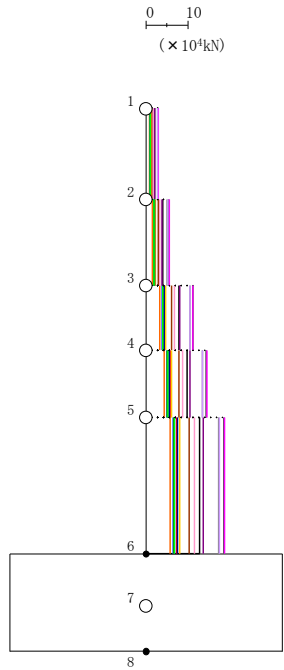
(m/s ²)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
5.22	2.84	2.11	2.94	2.71	2.60	2.42	2.54	2.61	3.99	6.64	7.12	5.04	4.19	7.23	6.75
4.88	2.73	2.07	2.89	2.62	2.51	2.36	2.43	2.52	3.81	6.41	6.86	4.95	4.14	6.94	6.48
4.52	2.60	2.02	2.81	2.62	2.41	2.29	2.31	2.40	3.60	6.12	6.53	4.83	4.08	6.56	6.15
4.41	2.53	1.97	2.75	2.62	2.35	2.24	2.24	2.35	3.52	5.94	6.33	4.71	4.02	6.34	5.95
4.25	2.45	1.92	2.73	2.62	2.26	2.18	2.15	2.28	3.42	5.71	6.08	4.53	3.93	6.07	5.70
3.85	2.24	1.77	2.73	2.64	2.01	2.00	1.92	2.11	3.24	5.15	5.49	4.04	3.69	5.41	5.07

第2-12図 Ss 減衰3%ケース 鉛直方向 (NS断面) 最大応答加速度



(mm)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.204	0.115	0.094	0.131	0.131	0.113	0.109	0.106	0.104	0.167	0.246	0.266	0.214	0.183	0.270	0.250
0.194	0.108	0.089	0.125	0.125	0.107	0.104	0.100	0.098	0.159	0.231	0.250	0.203	0.174	0.255	0.235
0.177	0.099	0.081	0.114	0.116	0.098	0.095	0.091	0.089	0.145	0.209	0.225	0.185	0.159	0.229	0.212
0.160	0.089	0.074	0.104	0.106	0.088	0.087	0.082	0.080	0.132	0.189	0.200	0.166	0.145	0.204	0.188
0.136	0.074	0.063	0.089	0.092	0.075	0.074	0.069	0.068	0.113	0.162	0.167	0.140	0.124	0.168	0.154
0.078	0.042	0.034	0.051	0.053	0.040	0.040	0.035	0.038	0.061	0.090	0.094	0.081	0.069	0.092	0.088

第2-13図 Ss 減衰3%ケース 鉛直方向 (NS断面) 最大応答変位

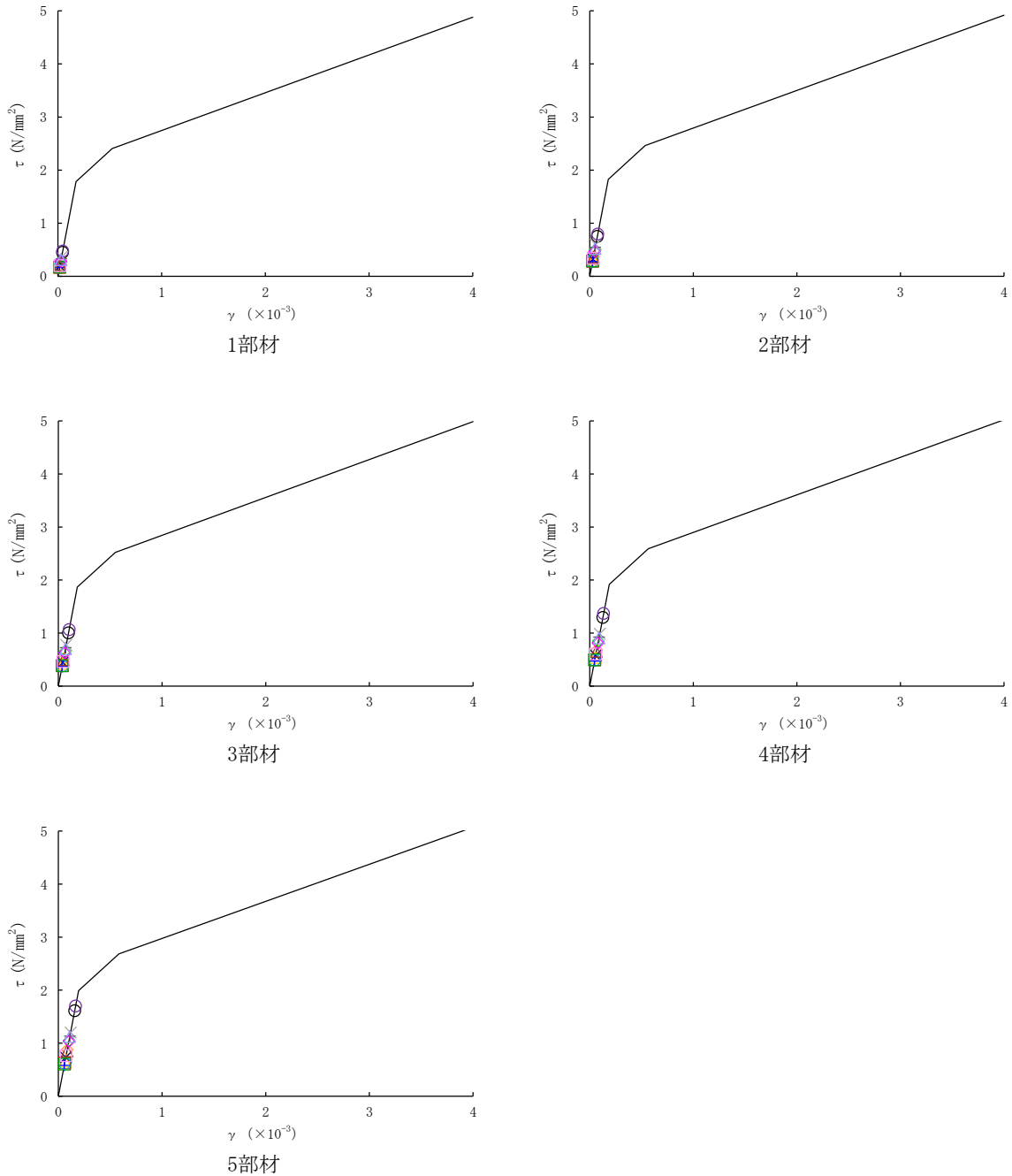


- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

(×10 ⁴ kN)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.21	1.20	0.89	1.25	1.15	1.11	1.03	1.08	1.11	1.69	2.80	3.01	2.14	1.77	3.06	2.85
4.02	2.22	1.66	2.31	2.11	2.05	1.91	1.99	2.04	3.10	5.17	5.54	3.97	3.30	5.63	5.25
7.90	4.51	3.43	4.77	4.38	4.18	3.94	4.03	4.16	6.26	10.53	11.26	8.21	6.87	11.38	10.65
9.94	5.79	4.44	6.16	5.72	5.37	5.08	5.17	5.36	8.04	13.53	14.46	10.60	8.90	14.60	13.66
12.93	7.52	5.79	8.06	7.57	6.97	6.62	6.70	6.97	10.45	17.54	18.73	13.79	11.67	18.87	17.67

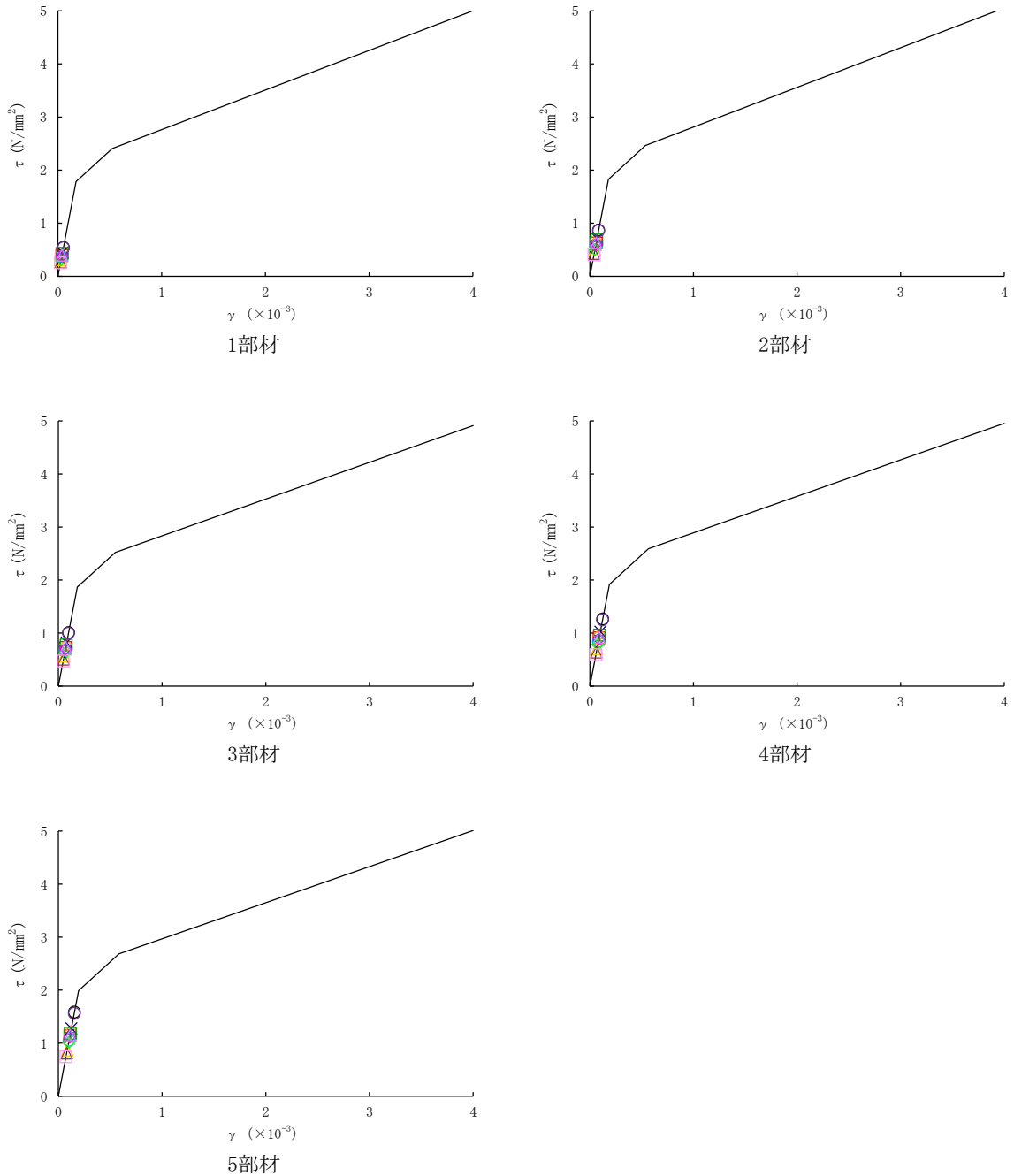
第2-14図 Ss 減衰3%ケース 鉛直方向 (NS断面) 最大応答軸力

○ : Ss-1	□ : Ss-2-1	◇ : Ss-2-2	△ : Ss-2-3	× : Ss-2-4	+ : Ss-2-5
○ : Ss-2-6	□ : Ss-2-7	◇ : Ss-2-8	△ : Ss-3-1	× : Ss-3-2EW	+ : Ss-3-2NS
○ : Ss-1'	□ : Ss-3-1'	◇ : Ss-3-2EW'	△ : Ss-3-2NS'		



第2-15図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(Ss 減衰3%ケース EW方向)

○ : Ss-1	□ : Ss-2-1	◇ : Ss-2-2	△ : Ss-2-3	× : Ss-2-4	+ : Ss-2-5
○ : Ss-2-6	□ : Ss-2-7	◇ : Ss-2-8	△ : Ss-3-1	× : Ss-3-2EW	+ : Ss-3-2NS
○ : Ss-1'	□ : Ss-3-1'	◇ : Ss-3-2EW'	△ : Ss-3-2NS'		



第2-16図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(Ss 減衰3%ケース NS方向)

第2-1表 (1/2) 最大接地圧 S_s 減衰3%ケース

地震動	方向		最大接地圧※ (kN/m ²)
S _s -1	EW	鉛直上向き	552
		鉛直下向き	578
	NS	鉛直上向き	530
		鉛直下向き	564
S _s -2-1	EW	鉛直上向き	335
		鉛直下向き	369
	NS	鉛直上向き	424
		鉛直下向き	461
S _s -2-2	EW	鉛直上向き	377
		鉛直下向き	408
	NS	鉛直上向き	425
		鉛直下向き	456
S _s -2-3	EW	鉛直上向き	337
		鉛直下向き	382
	NS	鉛直上向き	380
		鉛直下向き	426
S _s -2-4	EW	鉛直上向き	342
		鉛直下向き	388
	NS	鉛直上向き	452
		鉛直下向き	495
S _s -2-5	EW	鉛直上向き	327
		鉛直下向き	356
	NS	鉛直上向き	429
		鉛直下向き	465
S _s -2-6	EW	鉛直上向き	333
		鉛直下向き	367
	NS	鉛直上向き	416
		鉛直下向き	452
S _s -2-7	EW	鉛直上向き	332
		鉛直下向き	358
	NS	鉛直上向き	435
		鉛直下向き	467

※：最大接地圧は、組合せ係数法（組合せ係数0.4）により算定した最大値を示す。

第2-1表 (2/2) 最大接地圧 S_s 減衰3%ケース

地震動	方向		最大接地圧※ (kN/m ²)
S _s -2-8	EW	鉛直上向き	421
		鉛直下向き	456
	NS	鉛直上向き	389
		鉛直下向き	423
S _s -3-1	EW	鉛直上向き	363
		鉛直下向き	415
	NS	鉛直上向き	345
		鉛直下向き	400
S _s -3-2EW	EW	鉛直上向き	452
		鉛直下向き	524
	NS	鉛直上向き	387
		鉛直下向き	467
S _s -3-2NS	EW	鉛直上向き	411
		鉛直下向き	489
	NS	鉛直上向き	421
		鉛直下向き	500
S _s -1'	EW	鉛直上向き	581
		鉛直下向き	594
	NS	鉛直上向き	524
		鉛直下向き	561
S _s -3-1'	EW	鉛直上向き	345
		鉛直下向き	398
	NS	鉛直上向き	334
		鉛直下向き	395
S _s -3-2EW'	EW	鉛直上向き	398
		鉛直下向き	473
	NS	鉛直上向き	390
		鉛直下向き	471
S _s -3-2NS'	EW	鉛直上向き	407
		鉛直下向き	486
	NS	鉛直上向き	415
		鉛直下向き	490

※：最大接地圧は、組合せ係数法（組合せ係数0.4）により算定した最大値を示す。

(参考) 機器・配管系の耐震性への影響評価

1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析において、鉄筋コンクリート部の減衰定数を3%とした場合の機器・配管系の耐震性への影響について検討した。

2. 検討

2.1 検討方針

使用済燃料乾式貯蔵建屋に設置する機器・配管系の設計に使用している床応答曲線について、鉄筋コンクリート部の減衰定数を3%とした場合のケースによる床応答曲線と今回工認モデルによる床応答曲線を比較し、その影響を確認する。

2.2 検討内容

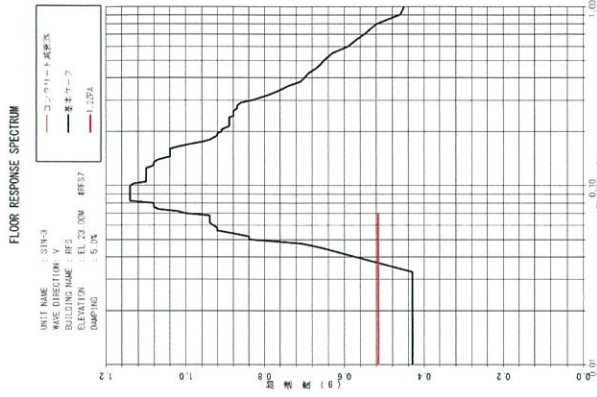
今回申請設備である使用済燃料乾式貯蔵容器への影響を検討するために、使用済燃料乾式貯蔵容器が設置される使用済燃料乾式貯蔵建屋について、建屋解析モデルを鉄筋コンクリート部の減衰定数を3%としたケースの床応答曲線と、今回工認モデルによる床応答曲線を比較する。

今回工認モデルによる応答を上回る周期帯における使用済燃料乾式貯蔵容器の固有周期の有無を調査し、その周期帯に固有周期が有る場合は応答増分（コンクリート部の減衰定数を3%としたケースの床応答曲線の読取值/今回工認モデルによる設計用床応答曲線の読取值）と使用済燃料乾式貯蔵容器が有する耐震裕度（許容値/発生値）の比較から、使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性への影響を確認する。

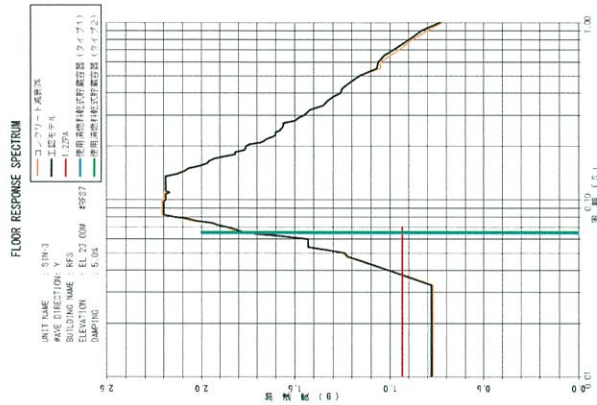
3. 考察

今回申請設備である使用済燃料乾式貯蔵容器の設置場所である質点7のコンクリート部の減衰定数を3%としたケースの床応答曲線と今回工認モデルによる設計用床応答曲線の比較結果を参考1図に示す。

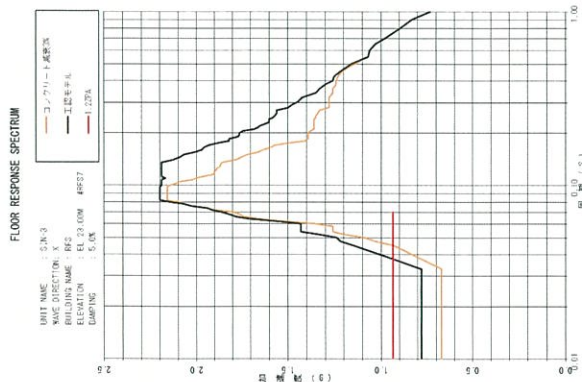
使用済燃料乾式貯蔵容器の固有周期が有る周期帯において、コンクリート部の減衰定数を3%としたケースの応答が今回工認モデルの応答を上回ることが確認されたが、応答増分と設備が有する耐震裕度を比較した結果、耐震性への影響はないと判断できた。



RFS07-V 方向



RFS07-Y 方向



RFS07-X 方向

方向		説明
水平	X 方向	応答が超過する周期帯に固有周期がある設備はない。 コンクリート減衰3%としたケースの応答が超過する周期帯に固有周期がある設備はない。最大1.02で備として、使用済燃料乾式貯蔵容器が該当するが、その応答増分は最大1.02であり、資料9-13-1-1「使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震計算書(タイプ1)」に示す発生値と許容値から算出する最小裕度1.61、または資料9-13-1-2「使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震計算書(タイプ2)」に示す発生値と許容値から算出する最小裕度1.61に比べて小さいため、耐震性に影響はないと判断できる。
	Y 方向	応答が超過する周期帯に固有周期がある設備はない。
鉛直		応答が超過する周期帯に固有周期がある設備はない。

参考 1 図 建屋床応答への影響 (RFS07)

鉛直方向モデル

水平方向モデル

4. まとめ

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析において、建屋解析モデルを鉄筋コンクリート部の減衰定数を3%としたケースの応答は、使用済燃料乾式貯蔵容器の固有値の有る周期帯において今回工認モデルによる応答を上回るが、応答増分と設備が有する耐震裕度の比較により、耐震性に有意な影響はないことを確認した。

これより、使用済燃料乾式貯蔵建屋の建屋解析モデルを、鉄筋コンクリート部の減衰定数を3%とした場合において、使用済燃料乾式貯蔵建屋に設置される使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性に有意な影響はないことを確認した。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について

1-3 地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

目 次

	頁
1. 概要	1-3-1
2. 地震応答解析結果	1-3-1
(参考)機器・配管系の耐震性への影響評価	

1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析は、第1-1表に示す材料物性の不確かさ等を考慮しており、地盤物性の不確かさは、資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」において、基礎底面の地盤ばねの算定に用いた地盤のせん断波速度を基本ケースとし、同一岩盤等級である伊方発電所3号機の建設時に試掘坑内で実施した弾性波試験結果に基づき、地盤のせん断波速度の変動係数（標準偏差／平均値）である0.08を変動の比率として考慮している。

本資料は、地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を示すものである。
 なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」

第1-1表 材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析ケース

ケース名	地盤のせん断波速度 V_s ※ (m/s)		鉄筋コンクリート部の 減衰定数 h (%)
基本	1,700	2,700	5
$V_s+1\sigma$	1,836 (1.08)	2,916 (1.08)	5
$V_s-1\sigma$	1,564 (0.92)	2,484 (0.92)	5
減衰3%	1,700	2,700	3

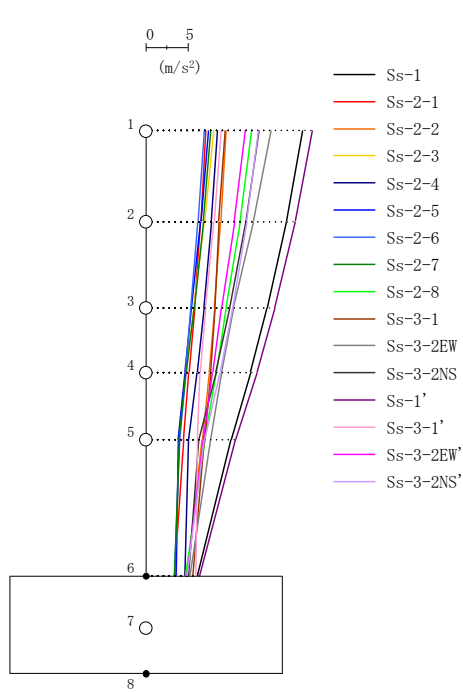
※：基礎底面の地盤ばねの算定に用いた地盤のせん断波速度。

()内は基本ケースに対する比率。

 は本資料で示す地盤物性の不確かさを考慮した解析ケース。

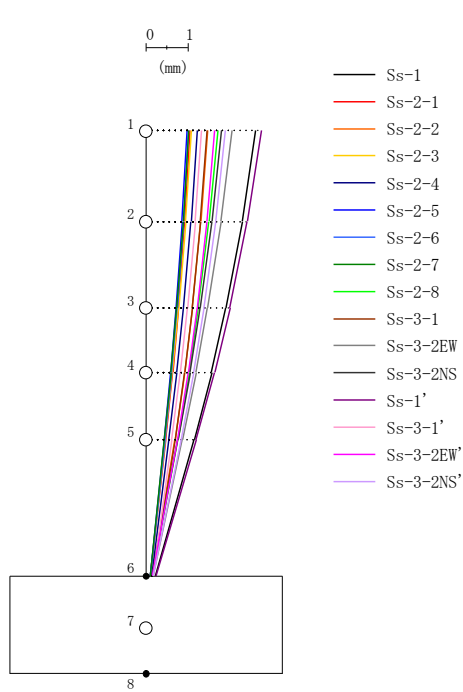
2. 地震応答解析結果

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地盤物性の不確かさを考慮した基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果について、 $V_s+1\sigma$ ケースの解析結果を第2-1図～第2-16図及び第2-1表に、 $V_s-1\sigma$ ケースの解析結果を第2-17図～第2-32図及び第2-2表に示す。



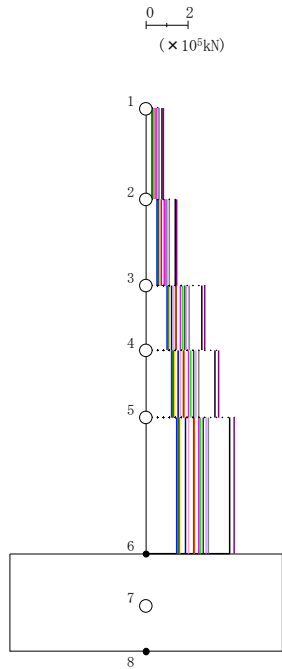
(m/s ²)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
18.79	7.18	9.64	8.13	8.63	7.49	7.04	7.80	12.72	9.56	15.06	13.61	20.00	9.02	11.98	13.52
16.86	6.61	9.01	7.03	7.90	6.59	6.29	6.89	11.34	8.79	12.93	12.02	17.94	8.19	10.64	12.11
14.56	5.87	8.25	5.76	6.99	5.50	5.43	5.79	9.64	8.30	10.52	10.10	15.47	7.19	9.06	10.40
12.58	5.19	7.58	4.75	6.17	4.72	4.81	4.85	8.48	7.77	9.08	8.41	13.31	6.53	8.04	8.90
10.22	4.55	6.76	3.89	5.16	3.90	4.06	4.02	7.11	7.03	7.75	6.33	10.74	6.22	6.93	7.06
6.21	3.45	4.97	3.71	4.71	3.61	3.44	3.44	4.76	5.67	5.28	5.09	6.45	6.02	4.99	4.99

第2-1図 Ss Vs+1σ ケース EW方向 最大応答加速度



(mm)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.637	1.057	1.481	1.101	1.231	0.994	1.025	1.038	1.726	1.479	2.075	1.814	2.772	1.340	1.653	1.911
2.318	0.934	1.320	0.960	1.088	0.871	0.904	0.908	1.515	1.316	1.807	1.588	2.435	1.189	1.467	1.681
1.926	0.783	1.119	0.789	0.911	0.720	0.754	0.749	1.260	1.112	1.484	1.310	2.021	1.001	1.236	1.398
1.581	0.649	0.934	0.643	0.752	0.596	0.622	0.611	1.043	0.929	1.209	1.067	1.657	0.832	1.027	1.148
1.159	0.483	0.704	0.467	0.555	0.443	0.461	0.443	0.773	0.705	0.880	0.773	1.211	0.624	0.767	0.843
0.235	0.111	0.170	0.106	0.142	0.103	0.105	0.107	0.165	0.175	0.186	0.151	0.246	0.177	0.166	0.172

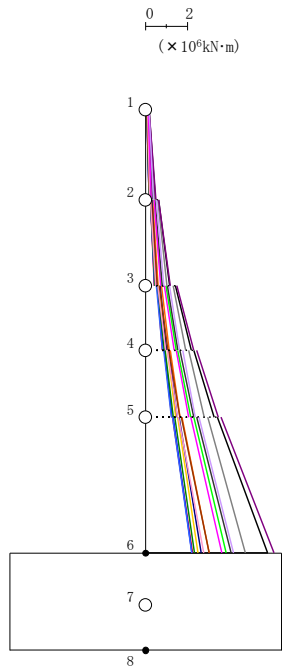
第2-2図 Ss Vs+1σ ケース EW方向 最大応答変位



- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

(× 10 ⁵ kN)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.79	0.31	0.40	0.35	0.36	0.31	0.30	0.32	0.53	0.41	0.65	0.57	0.83	0.38	0.49	0.58
1.41	0.55	0.74	0.61	0.65	0.55	0.54	0.57	0.94	0.74	1.14	1.01	1.49	0.69	0.88	1.03
2.68	1.05	1.46	1.12	1.25	1.02	1.02	1.07	1.77	1.45	2.09	1.88	2.83	1.33	1.65	1.95
3.31	1.31	1.84	1.37	1.56	1.25	1.26	1.32	2.17	1.81	2.54	2.31	3.50	1.66	2.06	2.40
4.03	1.60	2.32	1.62	1.92	1.49	1.54	1.58	2.63	2.29	3.01	2.75	4.25	2.04	2.55	2.91

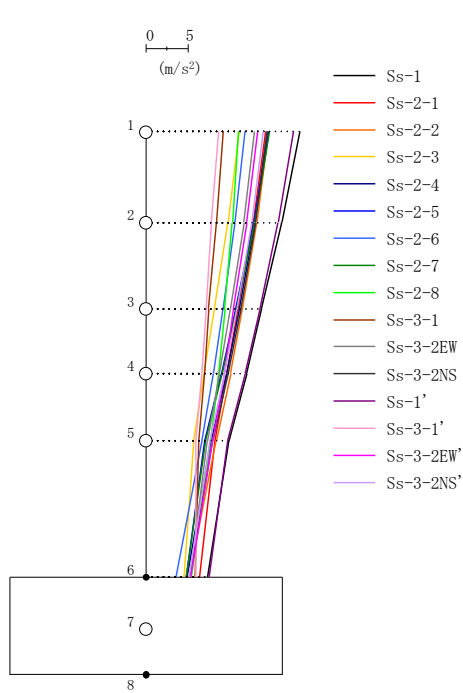
第2-3図 Ss Vs+1σ ケース EW方向 最大応答せん断力



- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

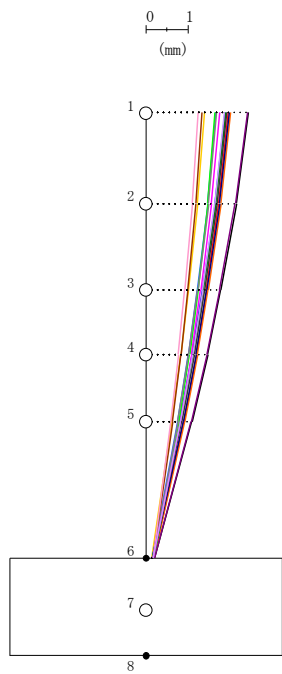
(×10 ⁶ kN·m)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.18	0.08	0.10	0.09	0.10	0.08	0.07	0.08	0.12	0.09	0.19	0.15	0.18	0.10	0.16	0.18
0.49	0.19	0.26	0.23	0.24	0.19	0.18	0.20	0.33	0.22	0.45	0.36	0.51	0.21	0.31	0.39
0.63	0.26	0.34	0.30	0.32	0.26	0.24	0.26	0.43	0.27	0.60	0.47	0.66	0.27	0.42	0.54
1.16	0.45	0.60	0.53	0.56	0.46	0.44	0.48	0.78	0.56	1.03	0.83	1.22	0.52	0.73	0.90
1.45	0.59	0.77	0.68	0.72	0.58	0.55	0.60	0.98	0.66	1.34	1.07	1.52	0.62	0.92	1.18
2.21	0.84	1.14	1.00	1.04	0.87	0.84	0.90	1.47	1.07	1.94	1.57	2.32	1.00	1.39	1.67
2.35	0.91	1.22	1.07	1.12	0.93	0.89	0.96	1.57	1.12	2.09	1.68	2.46	1.05	1.48	1.81
3.33	1.26	1.69	1.48	1.52	1.30	1.27	1.35	2.21	1.66	2.84	2.35	3.50	1.54	2.08	2.41
3.48	1.31	1.77	1.56	1.62	1.36	1.33	1.42	2.32	1.72	3.01	2.47	3.65	1.60	2.18	2.56
5.89	2.27	3.08	2.53	2.67	2.25	2.25	2.36	3.87	3.06	4.81	4.12	6.20	2.82	3.67	4.22

第2-4図 Ss Vs+1σ ケース EW方向 最大応答曲げモーメント



(m/s ²)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
18.44	14.34	14.73	11.18	14.56	14.73	11.91	14.80	11.07	9.30	13.04	14.59	17.67	8.77	13.46	14.08
16.29	12.87	13.34	9.86	13.07	12.96	10.69	13.04	10.38	8.50	11.76	13.19	15.85	7.89	12.14	12.70
13.87	11.06	11.61	8.25	11.20	10.77	9.27	10.86	9.49	7.54	10.12	11.40	13.70	7.26	10.52	10.96
12.09	9.72	10.20	6.99	9.68	9.08	8.13	9.17	8.71	7.04	8.82	9.88	11.93	6.72	9.46	9.48
9.95	8.29	8.46	5.76	7.85	7.10	6.75	7.18	7.74	6.35	7.40	8.03	9.79	6.00	8.04	7.70
7.40	6.44	5.25	4.58	4.98	4.90	3.65	4.86	5.50	5.92	5.33	5.34	7.56	5.99	5.42	5.23

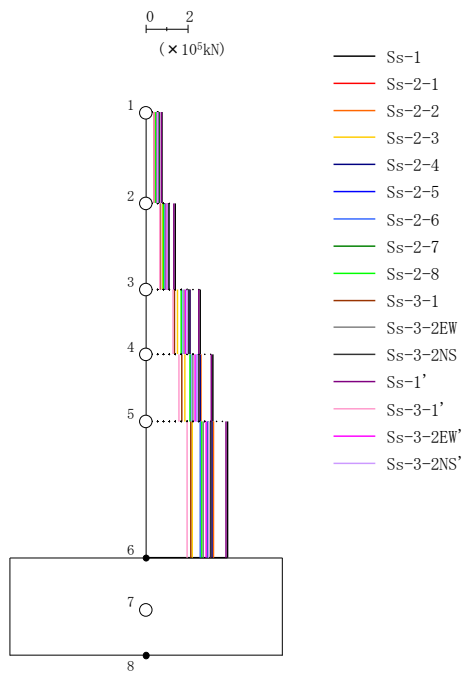
第2-5図 Ss Vs+1σ ケース NS方向 最大応答加速度



- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

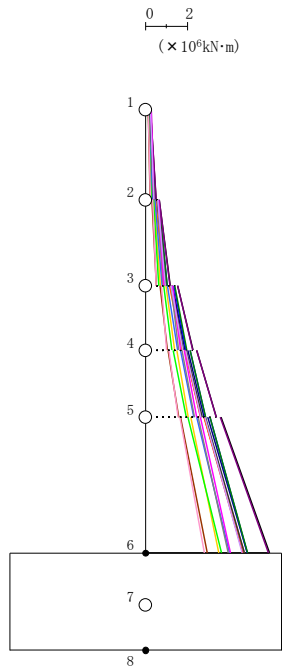
(mm)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.463	1.982	2.034	1.416	2.011	1.902	1.687	1.925	1.661	1.357	1.701	1.945	2.433	1.261	1.773	1.876
2.174	1.754	1.801	1.244	1.772	1.663	1.489	1.685	1.485	1.209	1.506	1.714	2.146	1.120	1.572	1.652
1.797	1.457	1.496	1.023	1.462	1.357	1.233	1.376	1.252	1.013	1.248	1.414	1.773	0.934	1.319	1.362
1.488	1.213	1.244	0.845	1.209	1.112	1.024	1.128	1.053	0.850	1.033	1.167	1.467	0.781	1.104	1.123
1.107	0.912	0.932	0.628	0.899	0.813	0.767	0.827	0.802	0.646	0.767	0.863	1.091	0.595	0.833	0.831
0.223	0.202	0.193	0.147	0.176	0.156	0.163	0.158	0.190	0.176	0.170	0.184	0.220	0.174	0.178	0.178

第2-6図 Ss $V_{s+1}\sigma$ ケース NS方向 最大応答変位



(× 10 ⁵ kN)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.79	0.60	0.62	0.46	0.62	0.62	0.52	0.62	0.47	0.40	0.54	0.60	0.76	0.38	0.56	0.58
1.40	1.08	1.11	0.81	1.12	1.10	0.92	1.11	0.86	0.72	0.97	1.08	1.34	0.68	1.00	1.05
2.61	2.05	2.12	1.52	2.11	2.03	1.75	2.05	1.70	1.39	1.84	2.07	2.55	1.30	1.90	1.99
3.20	2.54	2.64	1.86	2.61	2.49	2.16	2.52	2.14	1.74	2.28	2.56	3.16	1.61	2.36	2.46
3.91	3.10	3.23	2.24	3.17	2.99	2.63	3.02	2.69	2.14	2.77	3.12	3.85	2.00	2.89	3.00

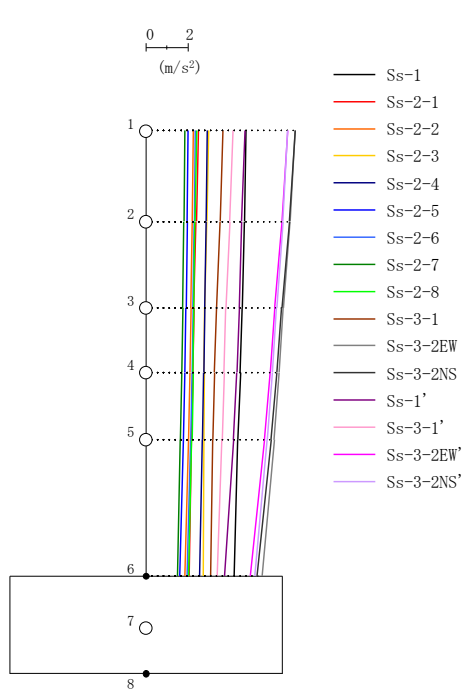
第2-7図 Ss Vs+1 σ ケース NS方向 最大応答せん断力



- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

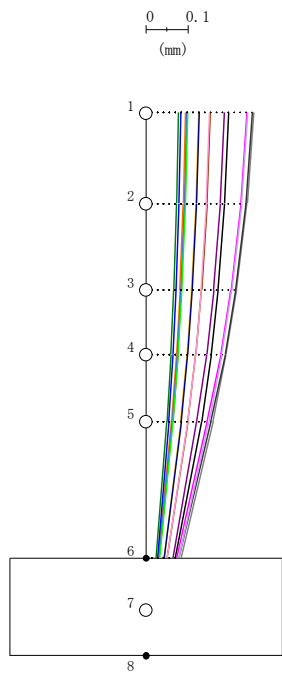
($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.25	0.21	0.15	0.15	0.21	0.21	0.14	0.21	0.14	0.13	0.27	0.27	0.24	0.15	0.29	0.25
0.51	0.41	0.39	0.32	0.43	0.46	0.35	0.46	0.28	0.22	0.40	0.41	0.51	0.25	0.42	0.41
0.68	0.58	0.51	0.43	0.58	0.63	0.47	0.63	0.39	0.33	0.62	0.62	0.69	0.38	0.65	0.59
1.21	0.93	0.93	0.74	1.00	1.04	0.82	1.05	0.65	0.55	0.86	0.96	1.20	0.54	0.90	0.95
1.56	1.26	1.18	0.98	1.31	1.40	1.07	1.40	0.87	0.70	1.25	1.28	1.56	0.79	1.32	1.24
2.30	1.79	1.78	1.40	1.91	1.98	1.57	1.99	1.26	1.05	1.62	1.84	2.29	1.04	1.70	1.81
2.48	1.92	1.91	1.52	2.07	2.16	1.70	2.17	1.34	1.11	1.77	1.98	2.47	1.13	1.87	1.96
3.43	2.67	2.69	2.06	2.84	2.89	2.34	2.91	1.96	1.63	2.37	2.74	3.41	1.58	2.46	2.69
3.63	2.83	2.84	2.20	3.02	3.09	2.48	3.11	2.04	1.70	2.53	2.91	3.61	1.66	2.65	2.85
5.96	4.69	4.78	3.53	4.92	4.88	4.06	4.92	3.65	2.98	3.98	4.78	5.93	2.83	4.09	4.65

第2-8図 Ss Vs+1 σ ケース NS方向 最大応答曲げモーメント



(m/s ²)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
4.82	2.51	2.29	3.01	2.93	2.03	2.37	1.86	2.45	3.71	7.15	7.16	4.76	4.19	6.81	6.80
4.74	2.42	2.24	2.93	2.88	1.99	2.33	1.82	2.37	3.57	6.91	6.88	4.59	4.03	6.53	6.57
4.64	2.31	2.16	2.83	2.82	1.93	2.27	1.77	2.31	3.40	6.60	6.51	4.48	3.84	6.18	6.27
4.54	2.25	2.11	2.80	2.78	1.88	2.22	1.72	2.27	3.30	6.40	6.29	4.37	3.76	5.96	6.08
4.40	2.18	2.04	2.78	2.72	1.81	2.16	1.65	2.21	3.21	6.16	6.01	4.21	3.66	5.68	5.83
4.23	2.07	1.86	2.75	2.60	1.63	1.98	1.52	2.06	3.11	5.57	5.32	3.77	3.44	5.00	5.24

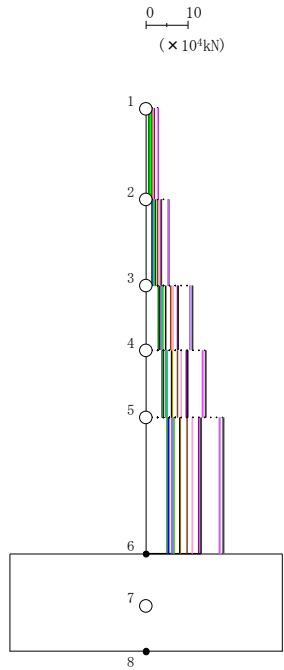
第2-9図 Ss Vs+1σ ケース 鉛直方向 (EW断面) 最大応答加速度



- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

(mm)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.199	0.099	0.095	0.127	0.128	0.085	0.099	0.078	0.100	0.155	0.258	0.257	0.189	0.154	0.243	0.245
0.189	0.093	0.090	0.121	0.122	0.080	0.094	0.074	0.095	0.147	0.243	0.241	0.179	0.146	0.228	0.230
0.174	0.085	0.082	0.110	0.111	0.073	0.085	0.067	0.087	0.134	0.218	0.216	0.163	0.133	0.205	0.206
0.157	0.077	0.074	0.099	0.101	0.066	0.077	0.060	0.078	0.120	0.193	0.191	0.146	0.120	0.181	0.183
0.134	0.065	0.062	0.084	0.085	0.055	0.064	0.051	0.065	0.101	0.162	0.156	0.122	0.101	0.147	0.152
0.071	0.033	0.030	0.044	0.044	0.028	0.033	0.025	0.034	0.051	0.085	0.079	0.066	0.052	0.074	0.080

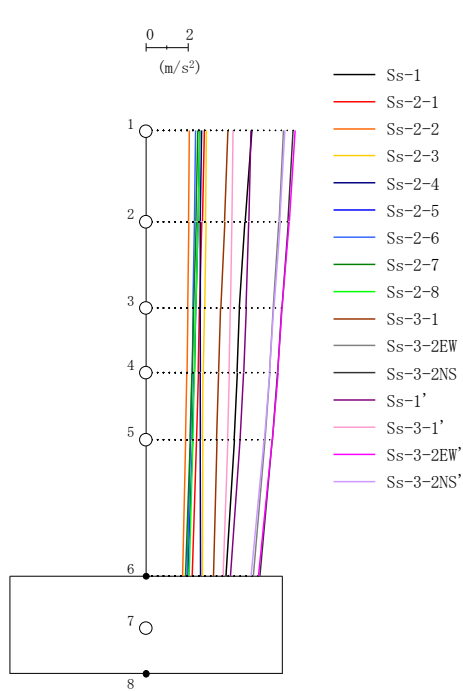
第2-10図 Ss Vs+1σ ケース 鉛直方向 (EW断面) 最大応答変位



- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

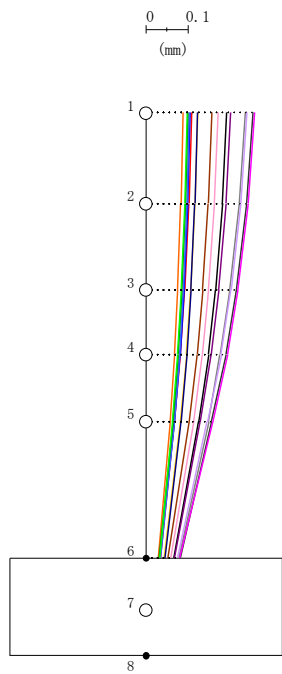
(× 10 ⁴ kN)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.03	1.06	0.97	1.28	1.24	0.87	1.00	0.79	1.04	1.58	3.00	3.01	2.01	1.76	2.86	2.85
3.78	1.96	1.80	2.37	2.32	1.60	1.87	1.46	1.92	2.92	5.54	5.54	3.67	3.25	5.27	5.27
7.83	4.00	3.70	4.87	4.80	3.29	3.86	3.02	3.93	5.94	11.28	11.23	7.59	6.60	10.67	10.72
10.12	5.14	4.77	6.30	6.21	4.24	4.99	3.89	5.08	7.64	14.50	14.40	9.80	8.49	13.67	13.78
13.21	6.67	6.21	8.26	8.14	5.53	6.51	5.06	6.64	9.89	18.81	18.61	12.76	11.06	17.66	17.86

第2-11図 Ss Vs+1σ ケース 鉛直方向 (EW断面) 最大応答軸力



(m/s ²)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
5.09	2.80	2.10	2.93	2.68	2.58	2.40	2.51	2.58	3.94	6.59	7.07	5.04	4.19	7.16	6.68
4.77	2.71	2.06	2.88	2.61	2.49	2.35	2.41	2.50	3.78	6.38	6.82	4.94	4.14	6.89	6.44
4.50	2.60	2.01	2.81	2.61	2.39	2.28	2.29	2.39	3.59	6.11	6.51	4.80	4.07	6.54	6.14
4.39	2.53	1.96	2.75	2.62	2.33	2.23	2.22	2.34	3.51	5.93	6.32	4.68	4.01	6.33	5.94
4.24	2.44	1.91	2.73	2.62	2.24	2.16	2.13	2.27	3.40	5.70	6.08	4.51	3.92	6.06	5.68
3.83	2.23	1.76	2.72	2.63	2.00	1.99	1.90	2.09	3.24	5.15	5.48	4.04	3.69	5.40	5.06

第2-12図 Ss Vs+1σ ケース 鉛直方向 (NS断面) 最大応答加速度



- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

(mm)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.194	0.110	0.089	0.125	0.123	0.107	0.104	0.101	0.100	0.158	0.238	0.257	0.204	0.173	0.261	0.242
0.184	0.104	0.084	0.119	0.118	0.101	0.098	0.095	0.094	0.150	0.224	0.242	0.193	0.164	0.246	0.228
0.167	0.094	0.077	0.108	0.108	0.092	0.090	0.087	0.085	0.137	0.201	0.218	0.175	0.150	0.221	0.205
0.150	0.084	0.069	0.098	0.099	0.083	0.081	0.078	0.076	0.123	0.178	0.193	0.157	0.135	0.196	0.181
0.126	0.070	0.058	0.083	0.084	0.070	0.068	0.065	0.063	0.104	0.151	0.157	0.131	0.115	0.160	0.148
0.067	0.036	0.030	0.044	0.046	0.034	0.035	0.031	0.033	0.053	0.079	0.083	0.070	0.060	0.081	0.077

第2-13図 Ss Vs+1σ ケース 鉛直方向 (NS断面) 最大応答変位

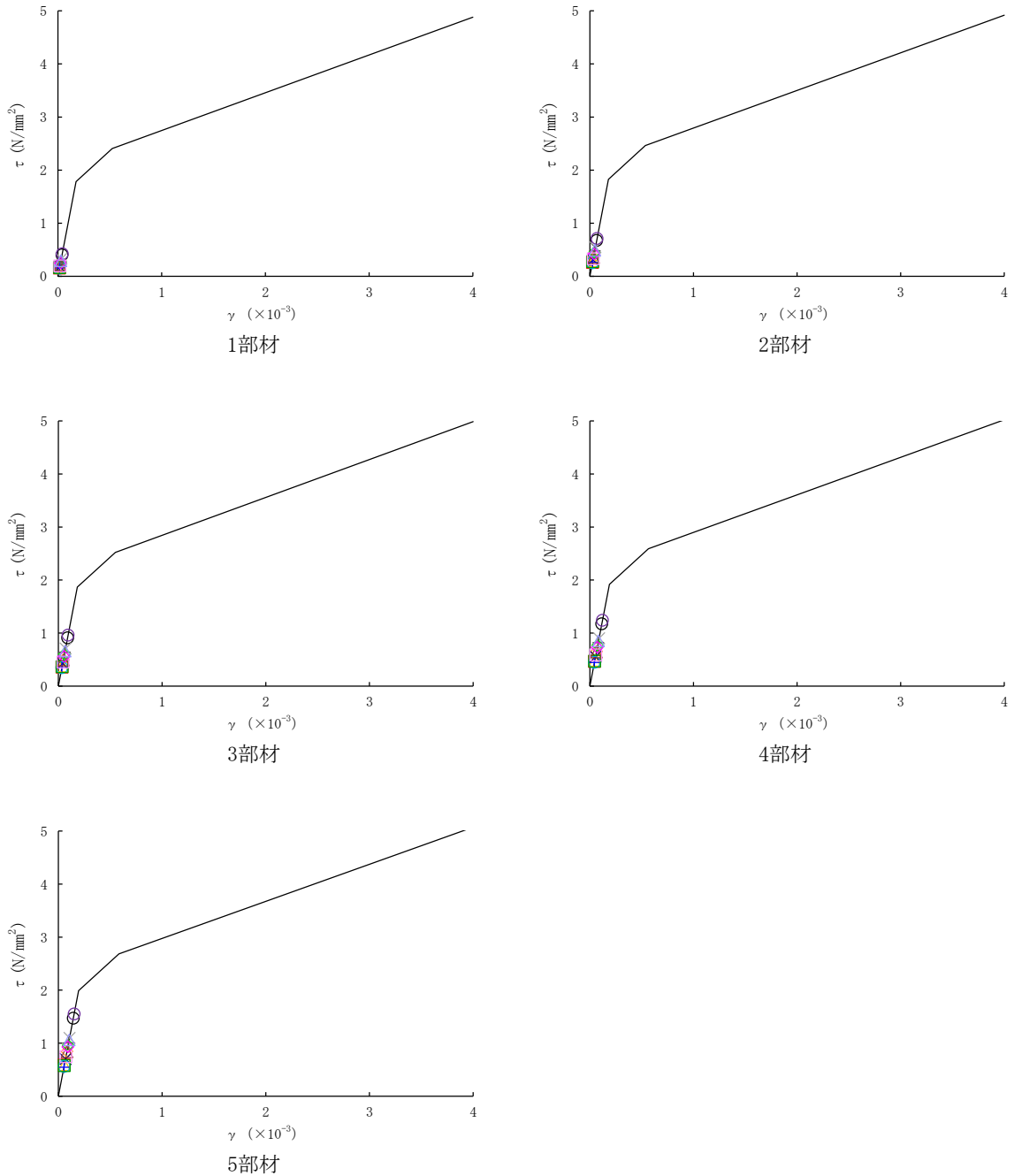


- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

(×10 ⁴ kN)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.15	1.18	0.89	1.23	1.13	1.10	1.02	1.07	1.09	1.66	2.76	2.96	2.13	1.75	3.01	2.81
3.91	2.19	1.65	2.29	2.08	2.03	1.90	1.97	2.02	3.06	5.11	5.47	3.95	3.28	5.56	5.18
7.69	4.47	3.42	4.73	4.38	4.15	3.92	4.00	4.13	6.20	10.42	11.15	8.16	6.82	11.27	10.54
9.86	5.75	4.42	6.12	5.71	5.34	5.06	5.14	5.32	7.97	13.41	14.33	10.53	8.83	14.47	13.53
12.84	7.48	5.76	8.06	7.56	6.93	6.59	6.65	6.92	10.37	17.40	18.58	13.70	11.58	18.72	17.52

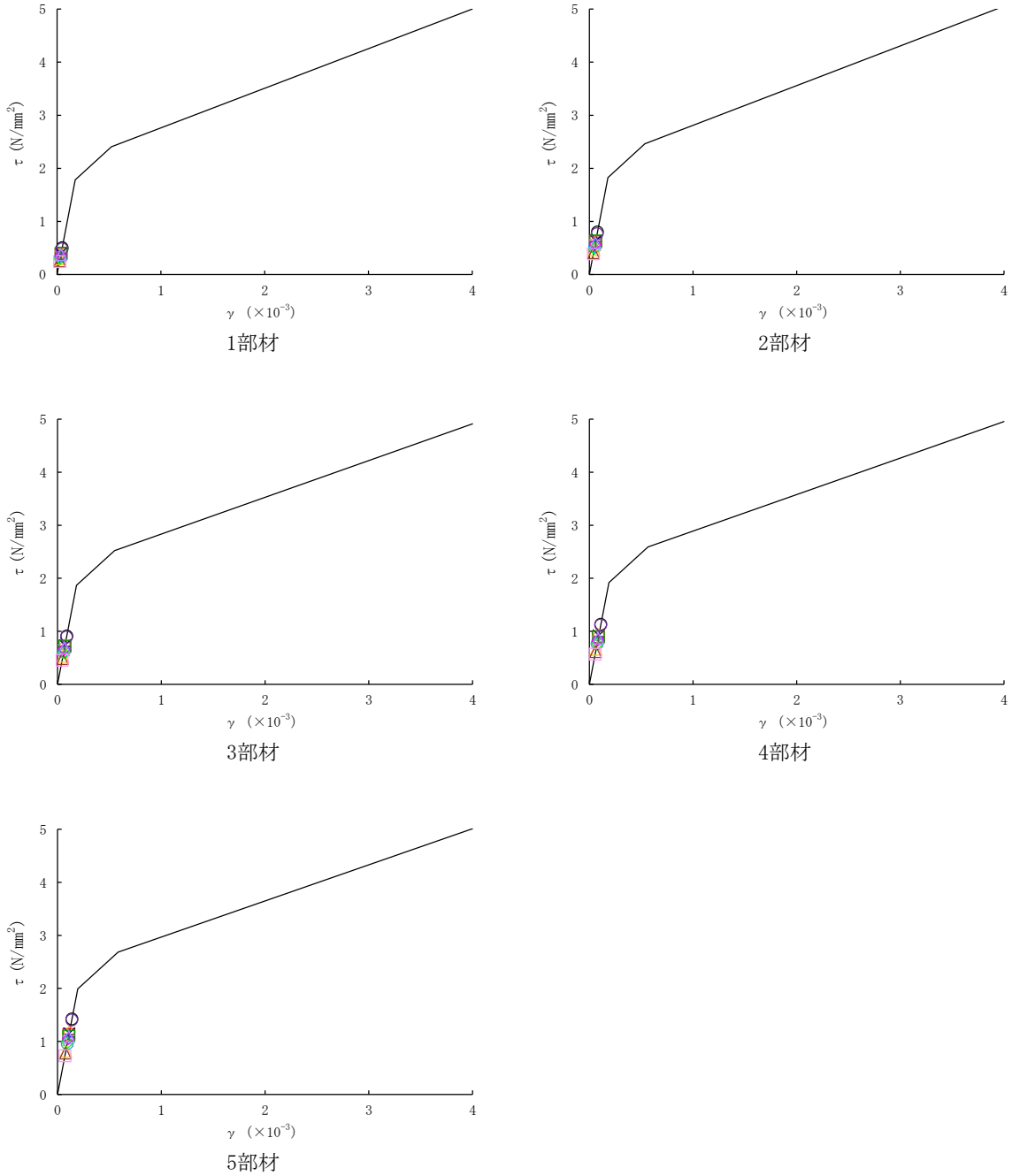
第2-14図 Ss Vs+1σ ケース 鉛直方向 (NS断面) 最大応答軸力

○ : Ss-1	□ : Ss-2-1	◇ : Ss-2-2	△ : Ss-2-3	× : Ss-2-4	+ : Ss-2-5
○ : Ss-2-6	□ : Ss-2-7	◇ : Ss-2-8	△ : Ss-3-1	× : Ss-3-2EW	+ : Ss-3-2NS
○ : Ss-1'	□ : Ss-3-1'	◇ : Ss-3-2EW'	△ : Ss-3-2NS'		



第2-15図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(Ss Vs+1σ ケース EW方向)

○ : Ss-1	□ : Ss-2-1	◇ : Ss-2-2	△ : Ss-2-3	× : Ss-2-4	⊕ : Ss-2-5
○ : Ss-2-6	□ : Ss-2-7	◇ : Ss-2-8	△ : Ss-3-1	× : Ss-3-2EW	⊕ : Ss-3-2NS
○ : Ss-1'	□ : Ss-3-1'	◇ : Ss-3-2EW'	△ : Ss-3-2NS'		



第2-16図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(Ss Vs+1σ ケース NS方向)

第2-1表 (1/2) 最大接地圧 S_s V_{s+1}σ ケース

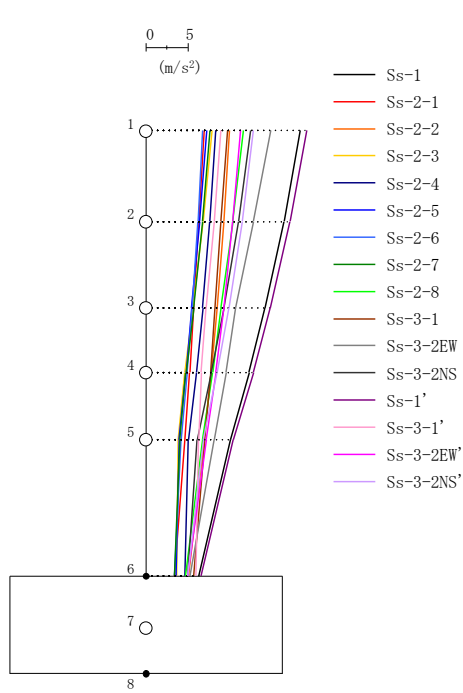
地震動	方向		最大接地圧※ (kN/m ²)
S _s -1	EW	鉛直上向き	501
		鉛直下向き	547
	NS	鉛直上向き	479
		鉛直下向き	531
S _s -2-1	EW	鉛直上向き	328
		鉛直下向き	361
	NS	鉛直上向き	411
		鉛直下向き	448
S _s -2-2	EW	鉛直上向き	370
		鉛直下向き	401
	NS	鉛直上向き	421
		鉛直下向き	452
S _s -2-3	EW	鉛直上向き	324
		鉛直下向き	370
	NS	鉛直上向き	365
		鉛直下向き	411
S _s -2-4	EW	鉛直上向き	338
		鉛直下向き	384
	NS	鉛直上向き	424
		鉛直下向き	471
S _s -2-5	EW	鉛直上向き	320
		鉛直下向き	349
	NS	鉛直上向き	414
		鉛直下向き	450
S _s -2-6	EW	鉛直上向き	323
		鉛直下向き	357
	NS	鉛直上向き	395
		鉛直下向き	431
S _s -2-7	EW	鉛直上向き	323
		鉛直下向き	349
	NS	鉛直上向き	419
		鉛直下向き	452

※：最大接地圧は、組合せ係数法（組合せ係数0.4）により算定した最大値を示す。

第2-1表 (2/2) 最大接地圧 S_s V_{s+1} σ ケース

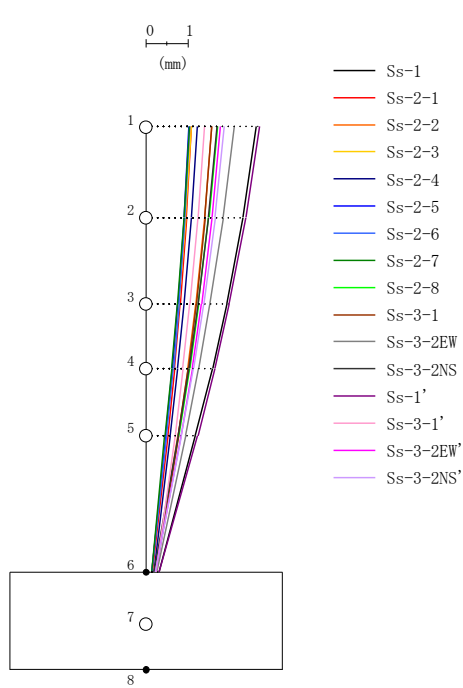
地震動	方向		最大接地圧※ (kN/m ²)
S_s -2-8	EW	鉛直上向き	401
		鉛直下向き	436
	NS	鉛直上向き	383
		鉛直下向き	417
S_s -3-1	EW	鉛直上向き	359
		鉛直下向き	413
	NS	鉛直上向き	338
		鉛直下向き	394
S_s -3-2EW	EW	鉛直上向き	421
		鉛直下向き	503
	NS	鉛直上向き	366
		鉛直下向き	448
S_s -3-2NS	EW	鉛直上向き	375
		鉛直下向き	458
	NS	鉛直上向き	389
		鉛直下向き	474
S_s -1'	EW	鉛直上向き	518
		鉛直下向き	556
	NS	鉛直上向き	474
		鉛直下向き	530
S_s -3-1'	EW	鉛直上向き	341
		鉛直下向き	395
	NS	鉛直上向き	327
		鉛直下向き	389
S_s -3-2EW'	EW	鉛直上向き	374
		鉛直下向き	451
	NS	鉛直上向き	370
		鉛直下向き	453
S_s -3-2NS'	EW	鉛直上向き	393
		鉛直下向き	476
	NS	鉛直上向き	385
		鉛直下向き	465

※：最大接地圧は、組合せ係数法（組合せ係数0.4）により算定した最大値を示す。



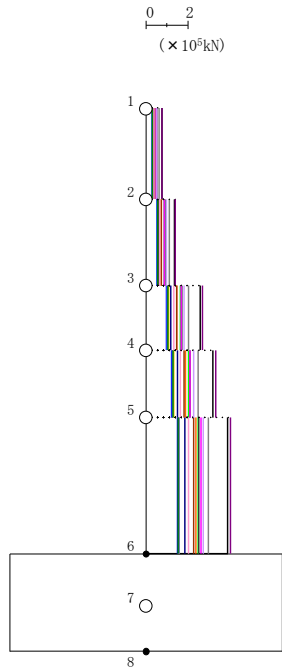
(m/s ²)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
18.50	6.98	10.00	7.96	8.40	7.36	6.80	7.70	11.74	9.81	15.02	12.57	19.28	9.01	11.38	12.90
16.57	6.33	9.33	6.90	7.70	6.49	6.25	6.81	10.45	9.00	12.92	11.13	17.29	8.22	10.43	11.57
14.31	5.72	8.53	5.68	6.84	5.50	5.58	5.75	9.00	8.30	10.77	9.38	14.93	7.25	9.39	9.97
12.40	5.28	7.83	4.70	6.07	4.85	4.99	4.83	8.02	7.78	9.63	7.86	12.91	6.66	8.42	8.58
10.14	4.72	6.97	3.92	5.11	4.02	4.26	4.11	6.82	7.06	8.20	6.18	10.49	6.33	7.23	6.93
6.34	3.48	5.09	3.75	4.70	3.64	3.47	3.47	4.78	5.71	5.31	5.07	6.64	6.03	5.00	5.04

第2-17図 Ss Vs-1σ ケース EW方向 最大応答加速度



(mm)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.647	1.102	1.588	1.102	1.239	1.027	1.060	1.048	1.718	1.592	2.123	1.717	2.724	1.405	1.782	1.885
2.330	0.979	1.419	0.964	1.099	0.913	0.942	0.918	1.512	1.422	1.853	1.509	2.396	1.252	1.583	1.663
1.942	0.829	1.208	0.796	0.924	0.770	0.796	0.760	1.263	1.211	1.529	1.257	1.995	1.062	1.338	1.390
1.601	0.695	1.015	0.652	0.767	0.642	0.665	0.623	1.052	1.021	1.264	1.044	1.654	0.891	1.118	1.150
1.186	0.530	0.775	0.480	0.585	0.484	0.503	0.456	0.796	0.786	0.955	0.783	1.250	0.702	0.845	0.856
0.319	0.156	0.238	0.145	0.192	0.142	0.144	0.149	0.219	0.241	0.261	0.198	0.329	0.244	0.226	0.230

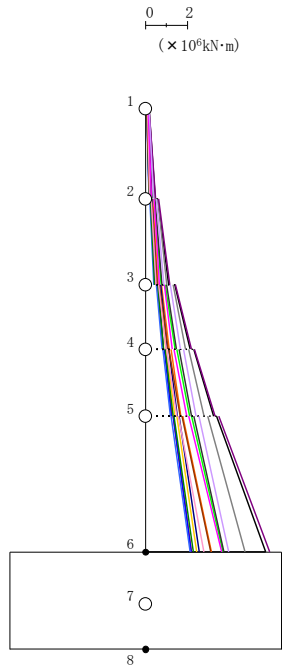
第2-18図 Ss Vs-1σ ケース EW方向 最大応答変位



- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

(× 10 ⁵ kN)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.77	0.30	0.42	0.34	0.35	0.30	0.29	0.32	0.50	0.42	0.64	0.52	0.80	0.38	0.48	0.55
1.37	0.54	0.76	0.59	0.63	0.54	0.52	0.56	0.89	0.76	1.13	0.92	1.43	0.69	0.88	0.98
2.61	1.04	1.50	1.09	1.22	1.00	1.02	1.06	1.67	1.48	2.07	1.72	2.71	1.33	1.71	1.85
3.23	1.29	1.90	1.33	1.52	1.24	1.27	1.30	2.06	1.85	2.51	2.12	3.35	1.66	2.14	2.29
3.93	1.59	2.39	1.58	1.88	1.53	1.58	1.56	2.51	2.30	3.01	2.53	4.07	2.04	2.65	2.77

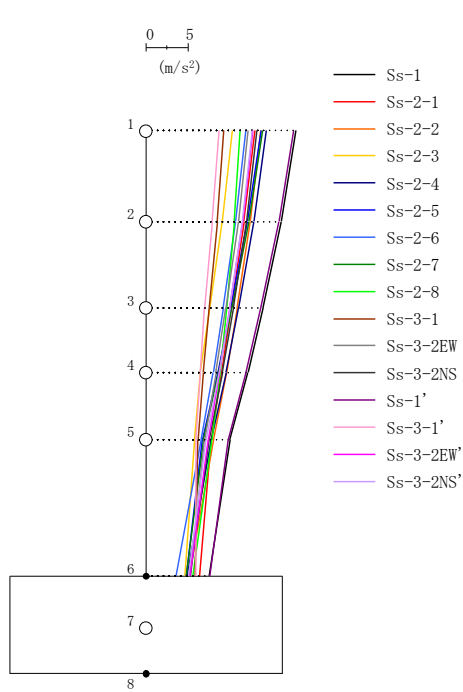
第2-19図 Ss Vs-1 σ ケース EW方向 最大応答せん断力



- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

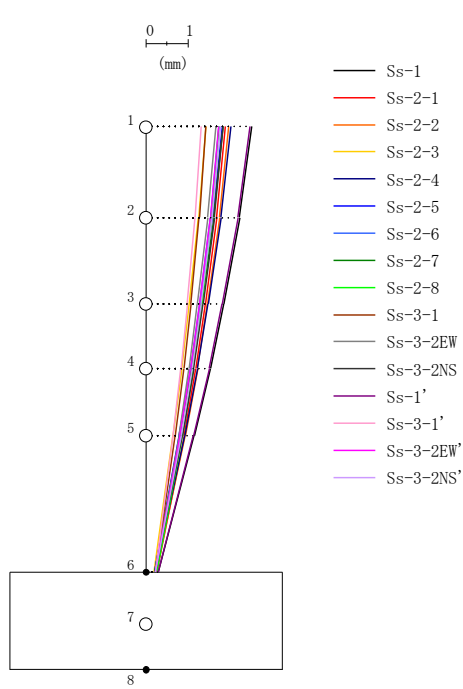
	(×10 ⁶ kN·m)															
	Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
	0.18	0.09	0.11	0.08	0.10	0.08	0.07	0.08	0.12	0.09	0.18	0.16	0.18	0.10	0.16	0.18
	0.48	0.20	0.26	0.22	0.24	0.20	0.17	0.20	0.32	0.23	0.44	0.34	0.49	0.21	0.31	0.40
	0.62	0.27	0.35	0.29	0.33	0.27	0.22	0.27	0.41	0.28	0.59	0.46	0.63	0.28	0.44	0.54
	1.14	0.47	0.61	0.51	0.56	0.46	0.42	0.47	0.75	0.57	1.02	0.79	1.18	0.51	0.69	0.90
	1.43	0.61	0.79	0.66	0.73	0.60	0.52	0.61	0.95	0.67	1.34	1.03	1.47	0.63	0.94	1.20
	2.17	0.88	1.16	0.97	1.05	0.87	0.79	0.89	1.42	1.09	1.92	1.50	2.24	0.99	1.31	1.68
	2.32	0.95	1.24	1.04	1.14	0.94	0.84	0.95	1.52	1.15	2.08	1.61	2.38	1.04	1.40	1.83
	3.27	1.28	1.72	1.44	1.54	1.27	1.20	1.33	2.13	1.70	2.82	2.21	3.37	1.53	2.01	2.44
	3.43	1.36	1.81	1.52	1.64	1.35	1.26	1.40	2.24	1.76	2.99	2.34	3.53	1.59	2.09	2.60
	5.78	2.24	3.18	2.47	2.61	2.22	2.18	2.33	3.74	3.14	4.78	3.79	5.97	2.82	3.68	4.03

第2-20図 Ss Vs-1σ ケース EW方向 最大応答曲げモーメント



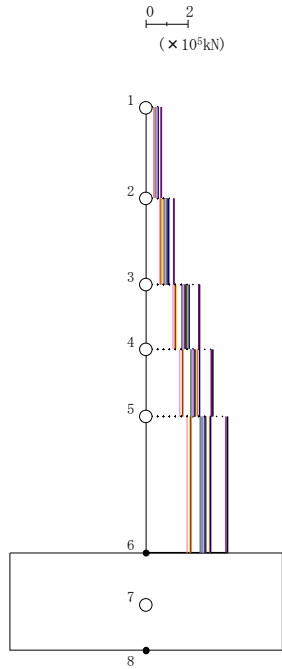
(m/s ²)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
17.99	13.12	13.79	10.37	14.45	13.88	12.01	13.99	11.30	9.39	12.23	13.33	17.71	8.81	12.81	12.80
16.24	11.78	12.55	9.17	12.98	12.22	10.79	12.34	10.59	8.61	11.09	12.10	15.96	7.97	11.62	11.60
14.04	10.22	10.99	7.69	11.15	10.18	9.29	10.30	9.68	7.61	9.61	10.54	13.79	7.06	10.09	10.09
12.25	9.06	9.72	6.55	9.67	8.61	8.10	8.74	8.89	6.90	8.42	9.21	12.02	6.57	8.84	8.80
10.10	7.83	8.17	5.84	7.88	6.77	6.67	6.90	7.91	6.27	7.04	7.58	9.90	6.03	7.50	7.25
7.57	6.45	5.25	4.66	4.98	4.86	3.64	4.83	5.63	5.94	5.41	5.28	7.70	6.03	5.32	5.15

第2-21図 Ss Vs-1σ ケース NS方向 最大応答加速度



(mm)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.544	1.914	1.994	1.438	2.040	1.827	1.751	1.860	1.761	1.435	1.683	1.861	2.499	1.329	1.743	1.793
2.247	1.704	1.773	1.267	1.802	1.600	1.550	1.630	1.580	1.284	1.484	1.650	2.207	1.186	1.550	1.590
1.864	1.430	1.485	1.049	1.494	1.310	1.291	1.337	1.340	1.085	1.229	1.378	1.830	0.998	1.293	1.327
1.550	1.204	1.246	0.872	1.242	1.078	1.080	1.101	1.135	0.919	1.039	1.155	1.521	0.843	1.080	1.112
1.165	0.925	0.950	0.658	0.933	0.795	0.819	0.815	0.878	0.711	0.801	0.881	1.142	0.660	0.823	0.848
0.311	0.265	0.252	0.202	0.232	0.208	0.209	0.208	0.265	0.241	0.228	0.237	0.305	0.238	0.233	0.228

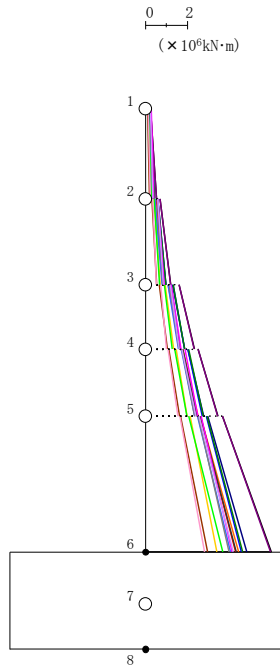
第2-22図 Ss Vs-1σ ケース NS方向 最大応答変位



- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

($\times 10^5$ kN)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.76	0.56	0.58	0.43	0.61	0.58	0.51	0.58	0.48	0.40	0.51	0.55	0.75	0.38	0.53	0.53
1.36	1.00	1.04	0.77	1.09	1.02	0.92	1.04	0.87	0.73	0.90	0.99	1.34	0.68	0.95	0.94
2.59	1.88	1.99	1.44	2.07	1.90	1.75	1.93	1.72	1.40	1.72	1.89	2.54	1.30	1.81	1.81
3.21	2.34	2.48	1.77	2.57	2.33	2.16	2.37	2.17	1.75	2.14	2.35	3.15	1.62	2.26	2.25
3.92	2.87	3.06	2.14	3.12	2.80	2.64	2.85	2.73	2.17	2.62	2.87	3.84	1.98	2.76	2.75

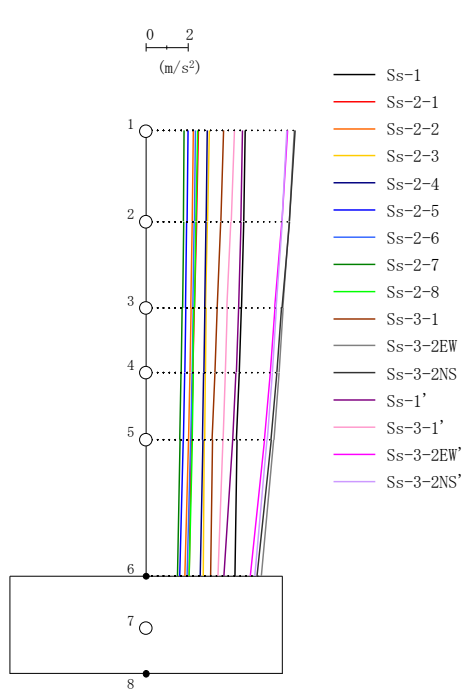
第2-23図 Ss Vs-1 σ ケース NS方向 最大応答せん断力



- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

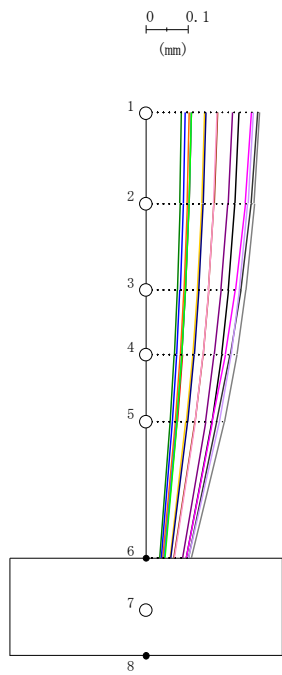
($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.24	0.19	0.15	0.14	0.20	0.20	0.15	0.20	0.15	0.13	0.26	0.27	0.24	0.14	0.27	0.27
0.53	0.38	0.36	0.31	0.43	0.43	0.35	0.44	0.30	0.22	0.37	0.40	0.53	0.24	0.40	0.38
0.71	0.54	0.48	0.43	0.58	0.60	0.48	0.60	0.42	0.31	0.58	0.61	0.72	0.36	0.61	0.60
1.23	0.87	0.87	0.72	0.99	0.99	0.83	1.00	0.68	0.55	0.85	0.87	1.22	0.54	0.91	0.86
1.62	1.18	1.10	0.97	1.31	1.34	1.09	1.35	0.93	0.67	1.18	1.25	1.62	0.76	1.24	1.21
2.35	1.67	1.67	1.38	1.90	1.88	1.58	1.89	1.30	1.06	1.62	1.67	2.34	1.03	1.73	1.64
2.55	1.80	1.79	1.50	2.06	2.05	1.72	2.07	1.42	1.12	1.78	1.81	2.54	1.10	1.90	1.78
3.50	2.49	2.53	2.03	2.82	2.75	2.36	2.77	2.01	1.64	2.38	2.50	3.47	1.58	2.51	2.44
3.72	2.65	2.67	2.17	3.01	2.94	2.51	2.97	2.10	1.71	2.55	2.65	3.70	1.66	2.70	2.60
6.07	4.34	4.50	3.45	4.88	4.63	4.09	4.68	3.74	3.01	4.03	4.38	6.00	2.85	4.19	4.24

第2-24図 Ss Vs-1 σ ケース NS方向 最大応答曲げモーメント



(m/s ²)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
4.77	2.52	2.29	3.06	2.94	2.02	2.37	1.84	2.47	3.73	7.13	7.15	4.64	4.24	6.80	6.78
4.70	2.43	2.23	2.97	2.89	1.97	2.32	1.81	2.39	3.60	6.89	6.87	4.56	4.08	6.53	6.55
4.59	2.33	2.16	2.88	2.82	1.92	2.26	1.76	2.32	3.44	6.58	6.51	4.44	3.89	6.18	6.25
4.50	2.26	2.11	2.85	2.78	1.87	2.22	1.71	2.28	3.33	6.39	6.29	4.33	3.80	5.96	6.06
4.36	2.19	2.04	2.82	2.73	1.81	2.15	1.64	2.22	3.20	6.14	6.00	4.17	3.69	5.68	5.82
4.26	2.09	1.87	2.77	2.60	1.64	1.98	1.51	2.07	3.10	5.56	5.32	3.75	3.45	5.00	5.23

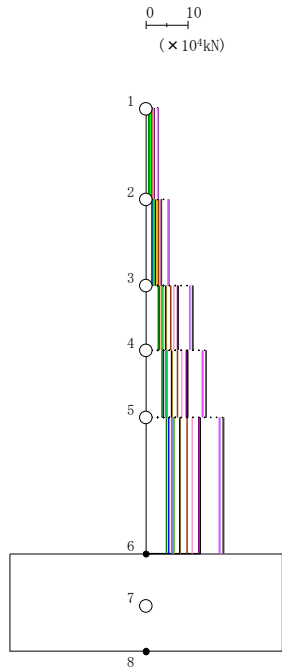
第2-25図 Ss Vs-1σ ケース 鉛直方向 (EW断面) 最大応答加速度



- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

(mm)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.224	0.110	0.104	0.141	0.144	0.094	0.109	0.086	0.110	0.172	0.274	0.268	0.207	0.171	0.254	0.257
0.214	0.104	0.099	0.134	0.137	0.089	0.104	0.082	0.105	0.163	0.260	0.253	0.197	0.163	0.239	0.245
0.198	0.096	0.091	0.123	0.127	0.082	0.095	0.075	0.096	0.150	0.239	0.228	0.181	0.150	0.215	0.225
0.182	0.087	0.083	0.112	0.116	0.075	0.087	0.069	0.088	0.137	0.218	0.203	0.164	0.137	0.192	0.205
0.159	0.075	0.071	0.097	0.101	0.065	0.074	0.059	0.075	0.118	0.189	0.170	0.144	0.118	0.159	0.177
0.097	0.044	0.041	0.059	0.061	0.038	0.045	0.034	0.046	0.067	0.110	0.103	0.088	0.068	0.096	0.103

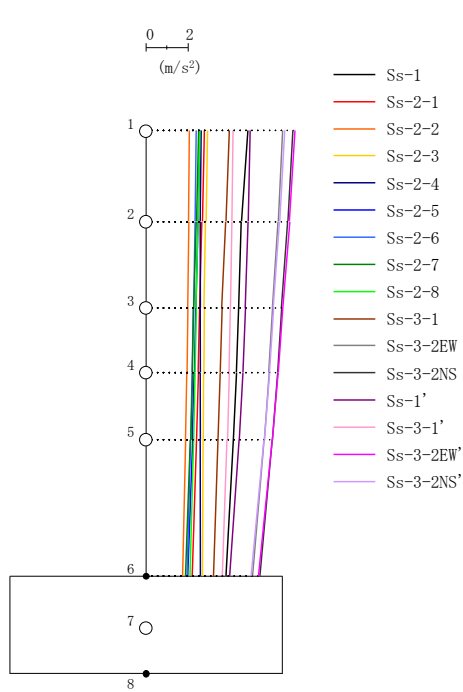
第2-26図 Ss Vs-1σ ケース 鉛直方向 (EW断面) 最大応答変位



- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

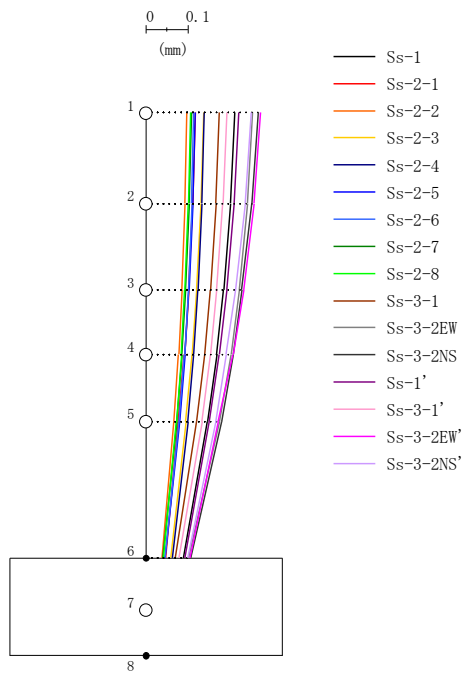
(× 10 ⁴ kN)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.01	1.07	0.97	1.30	1.25	0.86	1.00	0.78	1.05	1.59	3.00	3.01	1.96	1.79	2.87	2.85
3.75	1.97	1.80	2.41	2.32	1.60	1.87	1.45	1.94	2.94	5.54	5.55	3.65	3.29	5.28	5.27
7.77	4.02	3.70	4.95	4.80	3.27	3.86	2.99	3.97	5.99	11.28	11.25	7.54	6.70	10.69	10.72
10.04	5.16	4.77	6.40	6.22	4.22	4.98	3.86	5.11	7.69	14.50	14.42	9.73	8.61	13.69	13.77
13.11	6.70	6.22	8.39	8.15	5.49	6.50	5.02	6.65	9.96	18.80	18.63	12.66	11.20	17.67	17.85

第2-27図 Ss Vs-1σ ケース 鉛直方向 (EW断面) 最大応答軸力



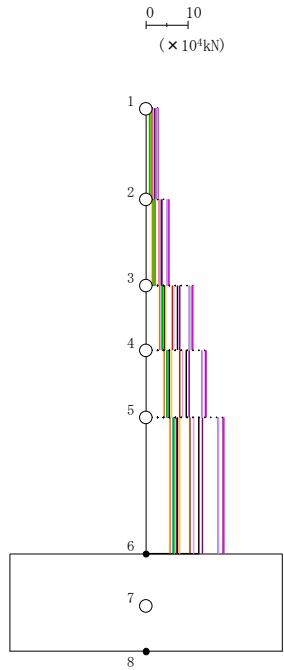
(m/s ²)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
4.90	2.79	2.11	2.95	2.67	2.58	2.41	2.53	2.61	4.00	6.56	7.06	5.00	4.17	7.16	6.66
4.60	2.70	2.07	2.88	2.63	2.50	2.36	2.43	2.52	3.84	6.35	6.82	4.90	4.12	6.90	6.43
4.47	2.59	2.01	2.81	2.63	2.40	2.28	2.31	2.42	3.65	6.09	6.51	4.77	4.05	6.55	6.13
4.36	2.53	1.97	2.79	2.63	2.33	2.24	2.24	2.36	3.56	5.91	6.32	4.64	3.99	6.34	5.93
4.21	2.44	1.91	2.77	2.63	2.24	2.17	2.15	2.29	3.45	5.68	6.07	4.47	3.90	6.06	5.67
3.86	2.23	1.77	2.74	2.64	2.01	2.00	1.92	2.11	3.24	5.13	5.48	4.03	3.69	5.41	5.06

第2-28図 Ss Vs-1σ ケース 鉛直方向 (NS断面) 最大応答加速度



(mm)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.214	0.119	0.099	0.139	0.140	0.118	0.116	0.110	0.107	0.176	0.256	0.270	0.223	0.194	0.275	0.253
0.203	0.113	0.094	0.133	0.135	0.113	0.110	0.105	0.102	0.168	0.244	0.255	0.212	0.185	0.260	0.239
0.187	0.103	0.087	0.122	0.125	0.104	0.102	0.096	0.094	0.155	0.224	0.230	0.194	0.170	0.235	0.216
0.170	0.093	0.079	0.111	0.116	0.094	0.093	0.087	0.086	0.141	0.204	0.209	0.176	0.156	0.210	0.193
0.148	0.079	0.068	0.096	0.101	0.081	0.081	0.074	0.074	0.122	0.176	0.181	0.152	0.135	0.174	0.168
0.090	0.048	0.040	0.059	0.063	0.046	0.047	0.040	0.043	0.071	0.102	0.107	0.094	0.079	0.106	0.100

第2-29図 Ss Vs-1σ ケース 鉛直方向 (NS断面) 最大応答変位

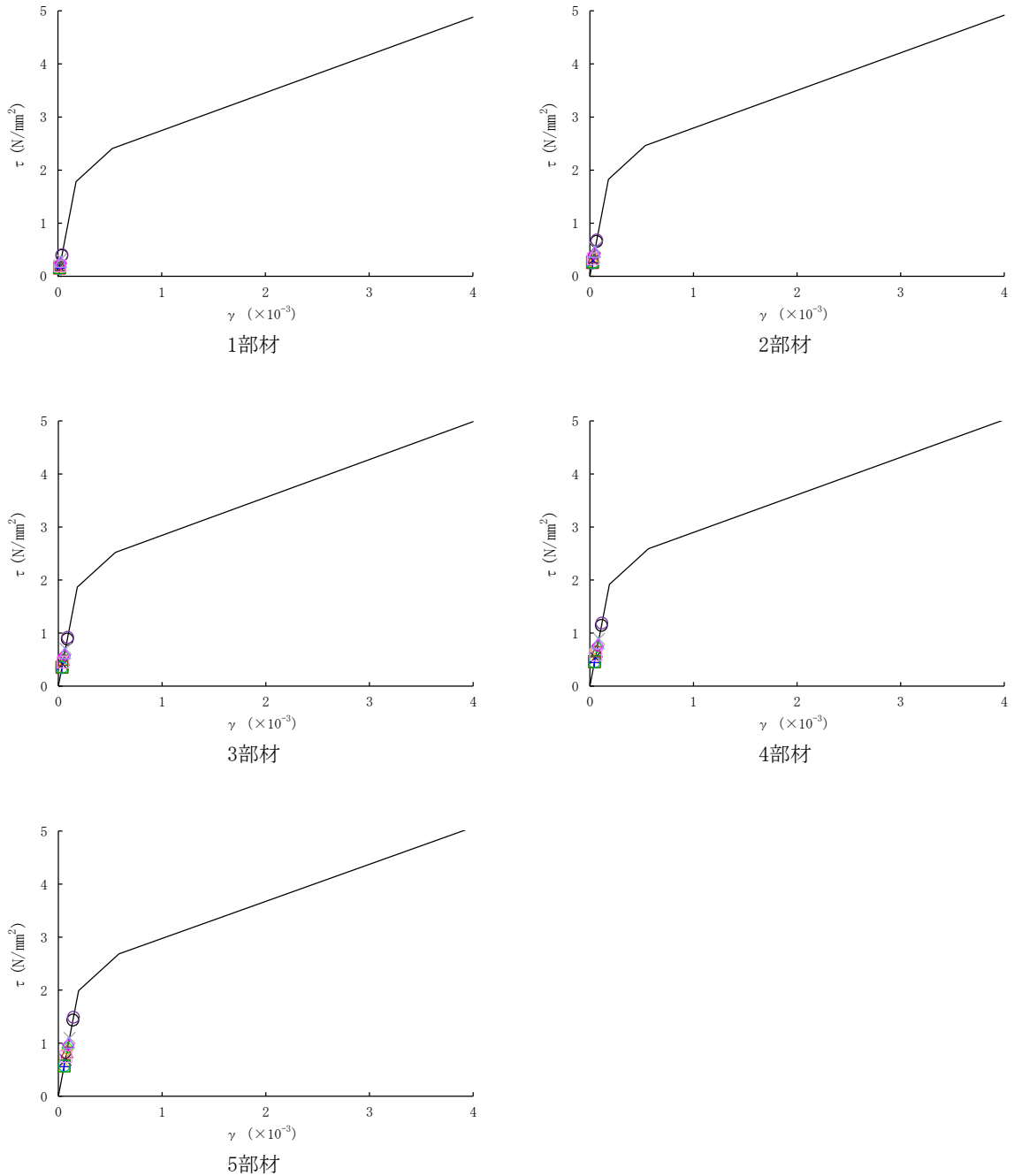


- Ss-1
- Ss-2-1
- Ss-2-2
- Ss-2-3
- Ss-2-4
- Ss-2-5
- Ss-2-6
- Ss-2-7
- Ss-2-8
- Ss-3-1
- Ss-3-2EW
- Ss-3-2NS
- Ss-1'
- Ss-3-1'
- Ss-3-2EW'
- Ss-3-2NS'

(×10 ⁴ kN)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.07	1.18	0.89	1.26	1.13	1.10	1.03	1.08	1.11	1.69	2.76	2.97	2.11	1.77	3.02	2.81
3.78	2.19	1.66	2.33	2.09	2.04	1.91	1.99	2.05	3.11	5.10	5.49	3.93	3.27	5.57	5.18
7.60	4.47	3.43	4.81	4.40	4.16	3.93	4.04	4.18	6.32	10.41	11.17	8.11	6.81	11.31	10.54
9.80	5.75	4.43	6.23	5.74	5.36	5.07	5.18	5.38	8.12	13.38	14.35	10.46	8.82	14.51	13.53
12.76	7.47	5.78	8.19	7.60	6.95	6.61	6.71	6.99	10.54	17.36	18.60	13.61	11.55	18.76	17.50

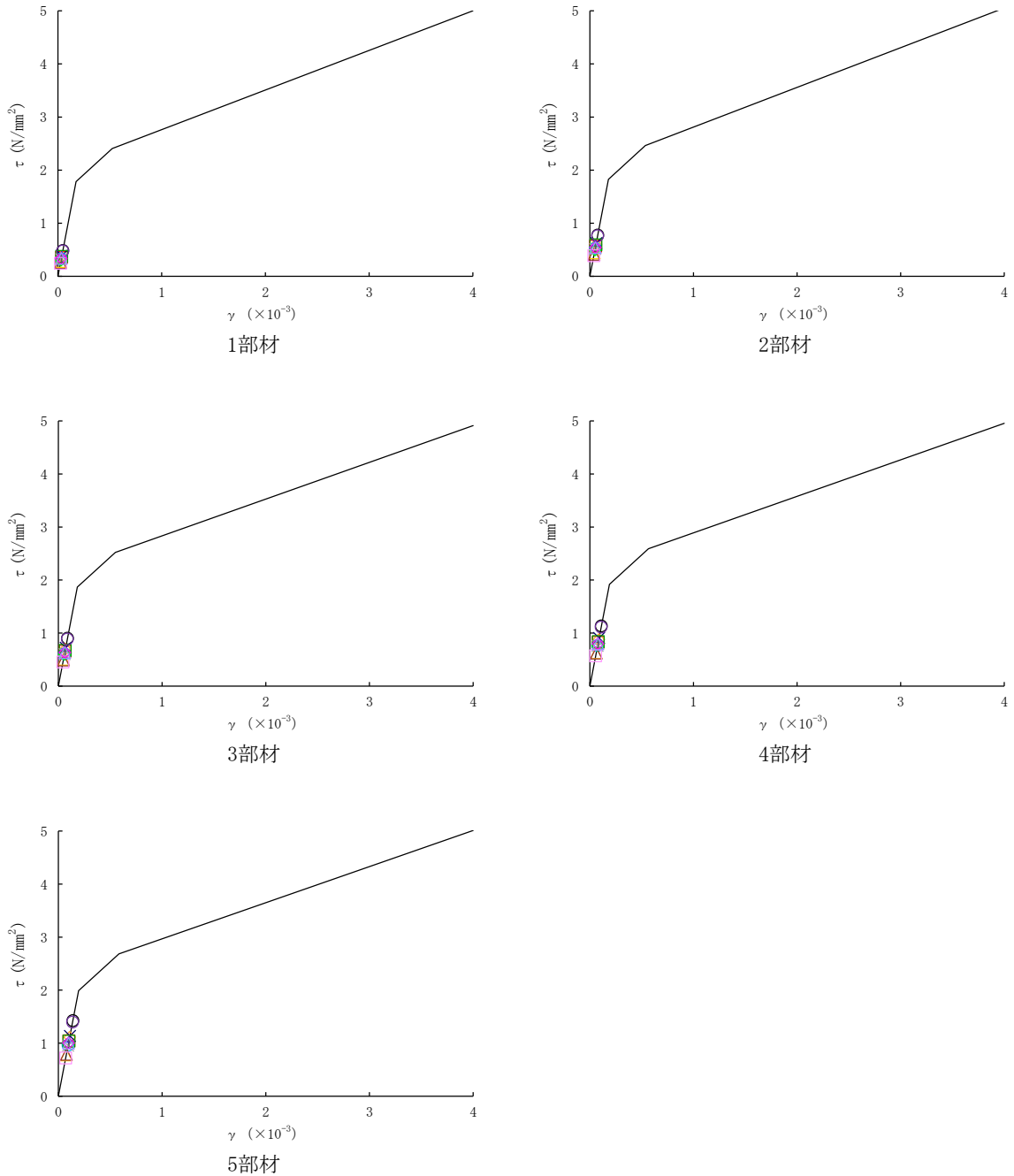
第2-30図 Ss Vs-1σ ケース 鉛直方向 (NS断面) 最大応答軸力

○ : Ss-1	□ : Ss-2-1	◇ : Ss-2-2	△ : Ss-2-3	× : Ss-2-4	⊕ : Ss-2-5
○ : Ss-2-6	□ : Ss-2-7	◇ : Ss-2-8	△ : Ss-3-1	× : Ss-3-2EW	⊕ : Ss-3-2NS
○ : Ss-1'	□ : Ss-3-1'	◇ : Ss-3-2EW'	△ : Ss-3-2NS'		



第2-31図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(Ss Vs-1 σ ケース EW方向)

○ : Ss-1	□ : Ss-2-1	◇ : Ss-2-2	△ : Ss-2-3	× : Ss-2-4	⊕ : Ss-2-5
○ : Ss-2-6	□ : Ss-2-7	◇ : Ss-2-8	△ : Ss-3-1	× : Ss-3-2EW	⊕ : Ss-3-2NS
○ : Ss-1'	□ : Ss-3-1'	◇ : Ss-3-2EW'	△ : Ss-3-2NS'		



第2-32図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(Ss Vs-1σ ケース NS方向)

第2-2表 (1/2) 最大接地圧 S_s V_s-1σ ケース

地震動	方向		最大接地圧※ (kN/m ²)
S _s -1	EW	鉛直上向き	485
		鉛直下向き	537
	NS	鉛直上向き	475
		鉛直下向き	527
S _s -2-1	EW	鉛直上向き	326
		鉛直下向き	360
	NS	鉛直上向き	400
		鉛直下向き	437
S _s -2-2	EW	鉛直上向き	373
		鉛直下向き	404
	NS	鉛直上向き	407
		鉛直下向き	437
S _s -2-3	EW	鉛直上向き	319
		鉛直下向き	364
	NS	鉛直上向き	363
		鉛直下向き	408
S _s -2-4	EW	鉛直上向き	336
		鉛直下向き	381
	NS	鉛直上向き	418
		鉛直下向き	465
S _s -2-5	EW	鉛直上向き	322
		鉛直下向き	350
	NS	鉛直上向き	399
		鉛直下向き	434
S _s -2-6	EW	鉛直上向き	323
		鉛直下向き	357
	NS	鉛直上向き	395
		鉛直下向き	430
S _s -2-7	EW	鉛直上向き	327
		鉛直下向き	353
	NS	鉛直上向き	406
		鉛直下向き	436

※：最大接地圧は、組合せ係数法（組合せ係数0.4）により算定した最大値を示す。

第2-2表 (2/2) 最大接地圧 Ss Vs-1σ ケース

地震動	方向		最大接地圧※ (kN/m ²)
Ss-2-8	EW	鉛直上向き	393
		鉛直下向き	427
	NS	鉛直上向き	386
		鉛直下向き	419
Ss-3-1	EW	鉛直上向き	365
		鉛直下向き	415
	NS	鉛直上向き	340
		鉛直下向き	394
Ss-3-2EW	EW	鉛直上向き	418
		鉛直下向き	496
	NS	鉛直上向き	370
		鉛直下向き	446
Ss-3-2NS	EW	鉛直上向き	370
		鉛直下向き	448
	NS	鉛直上向き	390
		鉛直下向き	470
Ss-1'	EW	鉛直上向き	521
		鉛直下向き	557
	NS	鉛直上向き	468
		鉛直下向き	525
Ss-3-1'	EW	鉛直上向き	342
		鉛直下向き	393
	NS	鉛直上向き	329
		鉛直下向き	388
Ss-3-2EW'	EW	鉛直上向き	383
		鉛直下向き	455
	NS	鉛直上向き	375
		鉛直下向き	455
Ss-3-2NS'	EW	鉛直上向き	385
		鉛直下向き	463
	NS	鉛直上向き	385
		鉛直下向き	460

※：最大接地圧は、組合せ係数法（組合せ係数0.4）により算定した最大値を示す。

(参考) 機器・配管系の耐震性への影響評価

1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析において、地盤物性の不確かさを考慮した場合の機器・配管系の耐震性への影響について検討した。

2. 検討

2.1 検討方針

使用済燃料乾式貯蔵建屋に設置する機器・配管系の設計に使用している床応答曲線について、地盤物性の不確かさを考慮したケースによる床応答曲線と今回工認モデルによる床応答曲線を比較し、地盤物性の不確かさによる影響を確認する。

2.2 検討内容

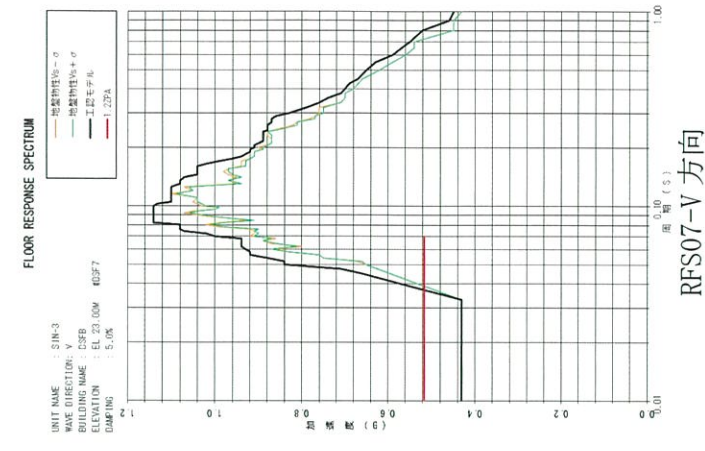
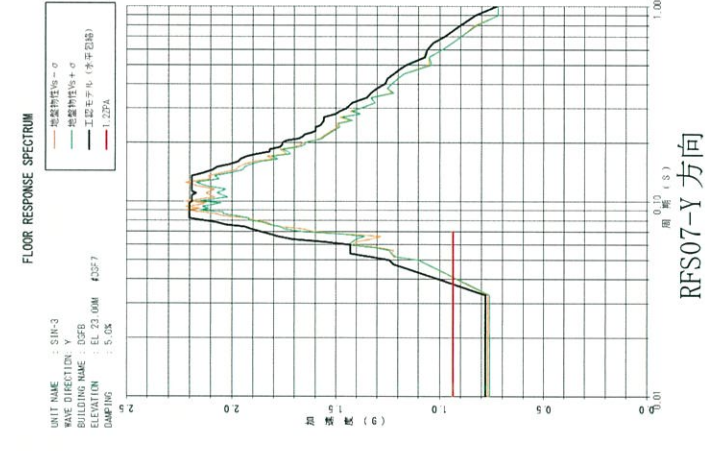
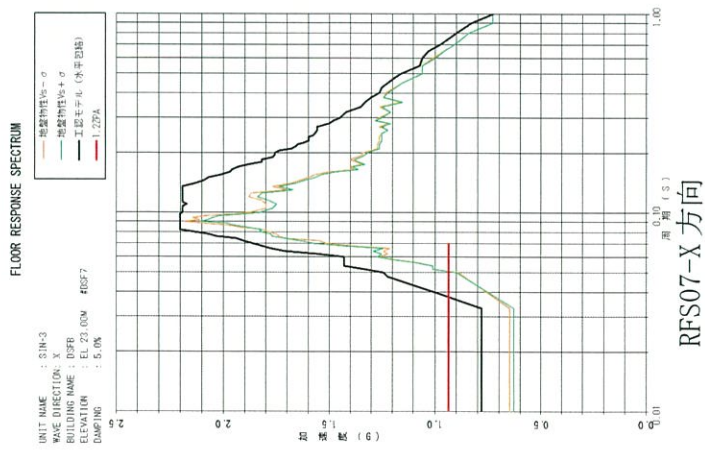
今回申請設備である使用済燃料乾式貯蔵容器への影響を検討するために、使用済燃料乾式貯蔵容器が設置される使用済燃料乾式貯蔵建屋について、建屋解析モデルを地盤物性の不確かさを考慮し、せん断波速度 $V_s \pm \sigma$ としたケースの床応答曲線と、今回工認モデルによる床応答曲線を比較する。

今回工認モデルによる応答を上回る周期帯における使用済燃料乾式貯蔵容器の固有周期の有無を調査し、その周期帯に固有周期が有る場合は応答増分（地盤物性の不確かさを考慮した床応答曲線の読取值/今回工認モデルによる設計用床応答曲線の読取值）と使用済燃料乾式貯蔵容器が有する耐震裕度（許容値/発生値）の比較から、使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性への影響を確認する。

3. 考察

今回申請設備である使用済燃料乾式貯蔵建屋の設置場所である質点7の地盤物性の不確かさを考慮し、せん断波速度 $V_s \pm \sigma$ としたケースの床応答曲線と今回工認モデルによる設計用床応答曲線の比較結果を参考1図に示す

使用済燃料乾式貯蔵容器の固有周期が有る周期帯において、地盤物性の不確かさを考慮し、せん断波速度 $V_s \pm \sigma$ としたケースの応答は今回工認モデルの応答に包絡されており、耐震性への影響はないと判断できた。



--	--

説明	
水平	応答が超過する周期帯に使用済燃料乾式貯蔵容器の固有周期はない。
鉛直	応答が超過する周期帯に使用済燃料乾式貯蔵容器の固有周期はない。

水平方向モデル

鉛直方向モデル

参考 1 図 建屋床応答への影響 (RFS07)

4. まとめ

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析において、建屋解析モデルの地盤物性の不確かさを考慮し、せん断波速度 $V_s \pm \sigma$ としたケースの応答は、使用済燃料乾式貯蔵建屋に設置する使用済燃料乾式貯蔵容器の固有値の有る周期帯だが、今回工認モデルによる応答に包絡されることを確認した。

これより、使用済燃料乾式貯蔵建屋の建屋解析モデルの地盤物性の不確かさを考慮した場合において、使用済燃料乾式貯蔵建屋に設置される使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性に有意な影響はないことを確認した。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について

1-4 地震応答解析における耐震壁の スケルトンカーブの設定

目 次

	頁
1. 概要	1-4-1
2. 耐震壁の非線形特性の設定について	1-4-2
2.1 第1折点の設定	1-4-3
2.2 第2折点の設定	1-4-3
2.3 終局点の設定	1-4-4
3. 使用済燃料乾式貯蔵建屋のせん断スケルトンカーブ の設定について	1-4-5
3.1 水平モデル	1-4-5
3.2 使用材料の物性値	1-4-7
3.3 せん断スケルトンカーブの諸数値	1-4-8
4. まとめ	1-4-19

1. 概要

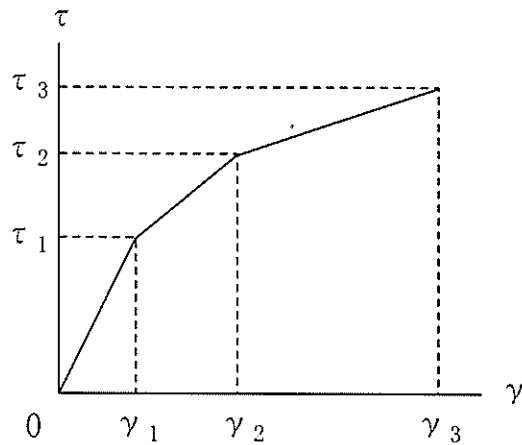
使用済燃料乾式貯蔵建屋については、鉄筋コンクリート造の耐震壁を主体とした構造物であるため、使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析においては、鉄筋コンクリート造耐震壁の非線形特性を考慮している。本資料は、これらの耐震壁のせん断スケルトンカーブの設定について説明するものである。

なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」

2. 耐震壁の非線形特性の設定について

耐震壁のせん断応力度-せん断ひずみ関係 (τ - γ 関係) は、「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991追補版((社)日本電気協会)」(以下「JEAG4601-1991」という。)に基づき、トリリニア型スケルトンカーブとする。せん断応力度-せん断ひずみ関係を第2-1図に示す。



- τ_1 : 第1折点のせん断応力度
- τ_2 : 第2折点のせん断応力度
- τ_3 : 終局点のせん断応力度
- γ_1 : 第1折点のせん断ひずみ
- γ_2 : 第2折点のせん断ひずみ
- γ_3 : 終局点のせん断ひずみ (4.0×10^{-3})

第2-1図 せん断応力度-せん断ひずみ関係

2.1 第1折点の設定

せん断スケルトンカーブの第1折点は、JEAG4601-1991に基づき、SI単位系に換算した以下の式より算出している。

$$\tau_1 = \sqrt{0.31\sqrt{F_c}(0.31\sqrt{F_c} + \sigma_v)}$$

$$\gamma_1 = \tau_1 / G$$

ここで、

- F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)
- G : コンクリートのせん断弾性係数 (N/mm²)
- σ_v : 縦軸応力度 (N/mm²) [圧縮を正とする。]

2.2 第2折点の設定

せん断スケルトンカーブの第2折点は、JEAG4601-1991に基づき、以下の式より算出している。

$$\tau_2 = 1.35 \tau_1$$

$$\gamma_2 = 3 \gamma_1$$

2.3 終局点の設定

せん断スケルトンカーブの終局点は、JEAG4601-1991に基づき、SI単位系に換算した以下の式より算出している。

$\tau_s \leq 1.4\sqrt{F_c}$ の場合

$$\tau_3 = \left\{ 1 - \tau_s / (1.4\sqrt{F_c}) \right\} \tau_0 + \tau_s$$

$\tau_s > 1.4\sqrt{F_c}$ の場合

$$\tau_3 = 1.4\sqrt{F_c}$$

$$\gamma_3 = 4.0 \times 10^{-3}$$

ここで、

$$\tau_0 = (0.94 - 0.56M/QD)\sqrt{F_c}$$

ただし、 $M/QD > 1$ のとき $M/QD = 1$

$$\tau_s = (P_v + P_H) \cdot_s \sigma_y / 2 + (\sigma_v + \sigma_H) / 2$$

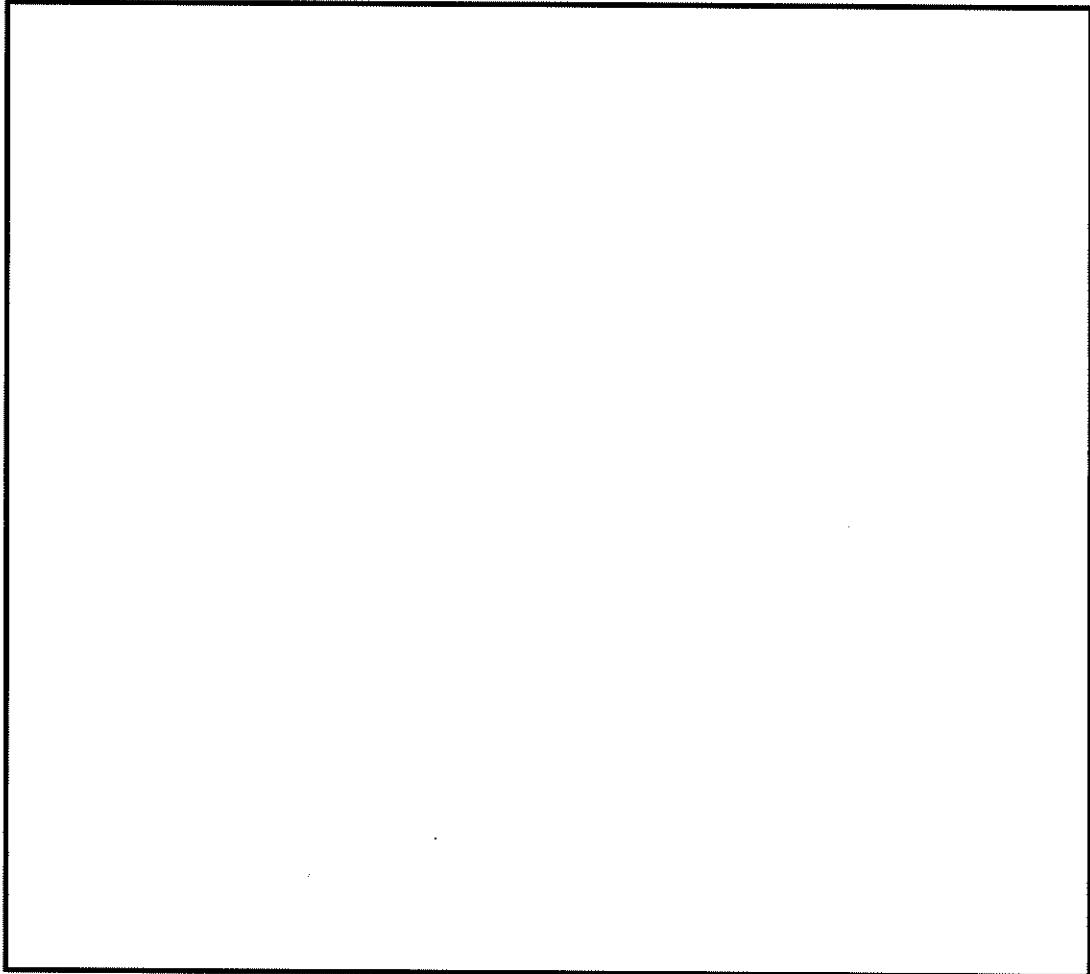
ここで、

- F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)
- P_v, P_H : 縦、横筋比 (実数)
- σ_v, σ_H : 縦、横軸応力度 (N/mm^2) [圧縮を正とする。]
- ${}_s \sigma_y$: 鉄筋降伏応力度 (N/mm^2)
- M/QD : シアスパン比

3. 使用済燃料乾式貯蔵建屋のせん断スケルトンカーブの設定について

3.1 水平モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮して基礎底面に地盤の水平及び回転ばねを設けた多質点系の曲げせん断棒モデルとしている。地震応答解析モデルを第3-1図、解析モデルの諸元を第3-1表に示す。



第3-1図 地震応答解析モデル（水平方向）

第3-1表 (1/2) 地震応答解析モデル諸元

質点 番号	質点位置 EL (m)	重量 (kN)
1		41,600
2		36,500
3		86,400
4		49,900
5		69,400
7		44,4000

第3-1表 (2/2) 地震応答解析モデル諸元

部材 番号	せん断断面積 (m ²)		断面積 (m ²)
	EW 方向	NS 方向	
1	196	156	316
2	209	175	348
3	295	287	522
4	282	283	491
5	274	275	484

3.2 使用材料の物性値

地震応答解析に用いる使用済燃料乾式貯蔵建屋の使用材料の物性値を第3-2表及び第3-3表に示す。

第3-2表 使用材料の物性値（コンクリート）

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
コンクリート： $F_c=30$ (N/mm ²)	2.44×10^4	1.02×10^4	5

第3-3表 使用材料の物性値（鉄筋）

使用材料	降伏応力度 σ_y (N/mm ²)
鉄筋：SD345	345
鉄筋：SD390	390

3.3 せん断スケルトンカーブの諸数値

(1) 第1折点

各部材におけるせん断スケルトンカーブの第1折点の設定根拠を第3-4表に示す。

第3-4表 せん断スケルトンカーブ (Q-γ 関係) (第1折点)

(a) EW方向

部材番号	設計基準強度 F _c (N/mm ²)	せん断弾性係数G (N/mm ²)	当該部分が支える重量 (kN)	せん断断面積 (m ²)	断面積 (m ²)	縦軸応力度 σ _v ^(注1) (N/mm ²)	Q ₁ ^(注2) (kN)	γ ₁
1	30	1.02×10 ⁴	41,600	196	316	0.132	3.50×10 ⁵	1.75×10 ⁻⁴
2	30	1.02×10 ⁴	78,100	209	348	0.224	3.82×10 ⁵	1.79×10 ⁻⁴
3	30	1.02×10 ⁴	164,500	295	522	0.315	5.51×10 ⁵	1.83×10 ⁻⁴
4	30	1.02×10 ⁴	214,400	282	491	0.437	5.44×10 ⁵	1.88×10 ⁻⁴
5	30	1.02×10 ⁴	283,800	274	484	0.586	5.45×10 ⁵	1.95×10 ⁻⁴

(注1) 縦軸応力度 σ_v = 当該部分が支える重量 / 断面積

(注2) Q₁ = せん断断面積 × τ₁

(b) NS方向

部材番号	設計基準強度 F _c (N/mm ²)	せん断弾性係数G (N/mm ²)	当該部分が支える重量 (kN)	せん断断面積 (m ²)	断面積 (m ²)	縦軸応力度 σ _v ^(注1) (N/mm ²)	Q ₁ ^(注2) (kN)	γ ₁
1	30	1.02×10 ⁴	41,600	156	316	0.132	2.78×10 ⁵	1.75×10 ⁻⁴
2	30	1.02×10 ⁴	78,100	175	348	0.224	3.20×10 ⁵	1.79×10 ⁻⁴
3	30	1.02×10 ⁴	164,500	287	522	0.315	5.36×10 ⁵	1.83×10 ⁻⁴
4	30	1.02×10 ⁴	214,400	283	491	0.437	5.44×10 ⁵	1.88×10 ⁻⁴
5	30	1.02×10 ⁴	283,800	275	484	0.586	5.48×10 ⁵	1.95×10 ⁻⁴

(注1) 縦軸応力度 σ_v = 当該部分が支える重量 / 断面積

(注2) Q₁ = せん断断面積 × τ₁

(2) 第2折点

各部材におけるせん断スケルトンカーブの第2折点の設定根拠を第3-5表に示す。

第3-5表 せん断スケルトンカーブ (Q- γ 関係) (第2折点)

(a) EW方向

部材 番号	Q_2 (注1) (kN)	γ_2 (注2)
1	4.73×10^5	5.24×10^{-4}
2	5.16×10^5	5.36×10^{-4}
3	7.44×10^5	5.49×10^{-4}
4	7.34×10^5	5.65×10^{-4}
5	7.36×10^5	5.84×10^{-4}

(注1) $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

(注2) $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

(b) NS方向

部材 番号	Q_2 (注1) (kN)	γ_2 (注2)
1	3.75×10^5	5.24×10^{-4}
2	4.32×10^5	5.36×10^{-4}
3	7.24×10^5	5.49×10^{-4}
4	7.35×10^5	5.65×10^{-4}
5	7.40×10^5	5.84×10^{-4}

(注1) $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

(注2) $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

(3) 終局点

終局点は、「2.3 終局点の設定」に基づき、各層の終局せん断応力度を算出する。シアスパン比 M/QD は、安全側に一律1.0とし、 σ_H は0.0としている。なお、各部材については、耐震壁ごとに終局せん断耐力を算出し、それらを合計することにより層の終局せん断耐力を算出している。

3~5部材におけるせん断スケルトンカーブの終局点の設定根拠を第3-6表に示す。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋の各耐震壁の配筋を示したものを第3-2図及び第3-7表に示す。

第3-6表 (1/4) せん断スケルトンカーブ ($Q-\gamma$ 関係) (終局点)
(a) 3部材 EW方向

位置	せん断面積 (m ²)	鉄筋比		σ_v (N/mm ²)	M/QD	Q ₃ (kN)	γ_3
		P _V	P _H				
1通り A~D通り間	84.00	0.0096	0.0096	0.315	1.00	4.125 × 10 ⁵	
1通り+2750 A~B通り間	2.87	0.0101	0.0101		1.00	1.358 × 10 ¹	
1通り+12550 A~B通り間	4.69	0.0101	0.0101		1.00	2.224 × 10 ¹	
1通り+17050 A~B通り間	3.45	0.0101	0.0101		1.00	1.635 × 10 ¹	
2通り A~D通り間	62.81	0.0096	0.0096		1.00	3.085 × 10 ⁵	
3通り A~D通り間	24.84	0.0107	0.0107		1.00	1.300 × 10 ⁵	
4通り A~D通り間	24.84	0.0107	0.0107		1.00	1.300 × 10 ⁵	
5通り A~D通り間	24.84	0.0107	0.0107		1.00	1.300 × 10 ⁵	
6通り A~D通り間	63.00	0.0096	0.0096		1.00	3.094 × 10 ⁵	
合計						1.470 × 10 ⁶	

第3-6表 (2/4) せん断スケルトンカーブ (Q- γ 関係) (終局点)
(b) 4部材 EW方向

位置	せん断断面積 (m ²)	鉄筋比		σ_v (N/mm ²)	M/QD	Q ₃ (kN)	γ_3
		P _v	P _h				
1通り A~D通り間	84.00	0.0096	0.0096	0.437	1.00	4.163 × 10 ⁵	
1通り+2750 A~B通り間	2.71	0.0101	0.0101		1.00	1.298 × 10 ⁴	
1通り+12550 A~B通り間	3.78	0.0101	0.0101		1.00	1.808 × 10 ⁴	
1通り+17050 A~B通り間	3.45	0.0101	0.0101		1.00	1.650 × 10 ⁴	
2通り A~D通り間	58.30	0.0096	0.0096		1.00	2.889 × 10 ⁵	
3通り A~D通り間	22.55	0.0107	0.0107		1.00	1.190 × 10 ⁵	
4通り A~D通り間	22.55	0.0107	0.0107		1.00	1.190 × 10 ⁵	
5通り A~D通り間	22.55	0.0107	0.0107		1.00	1.190 × 10 ⁵	
6通り A~D通り間	63.00	0.0096	0.0096		1.00	3.122 × 10 ⁵	
合計						1.420 × 10 ⁶	4.0 × 10 ⁻³

(c) 5部材 EW方向

位置	せん断断面積 (m ²)	鉄筋比		σ_v (N/mm ²)	M/QD	Q ₃ (kN)	γ_3		
		P _v	P _h						
1通り A~D通り間	84.00	0.0096	0.0096	0.586	1.00	4.209 × 10 ⁵			
1通り D~D+3050通り間	1.15	0.0101	0.0101		1.00	5.564 × 10 ³			
1通り+2750 A~B通り間	2.85	0.0101	0.0101		1.00	1.377 × 10 ⁴			
1通り+9050 A~B通り間	4.46	0.0101	0.0101		1.00	2.156 × 10 ⁴			
1通り+12550 A~B通り間	3.62	0.0101	0.0101		1.00	1.753 × 10 ⁴			
1通り+17050 A~B通り間	3.45	0.0101	0.0101		1.00	1.669 × 10 ⁴			
2通り A~D通り間	50.45	0.0096	0.0096		1.00	2.528 × 10 ⁵			
2通り D~D+3050通り間	1.15	0.0101	0.0101		1.00	5.564 × 10 ³			
3通り A~D通り間	20.04	0.0107	0.0107		1.00	1.069 × 10 ⁵			
4通り A~D通り間	20.04	0.0107	0.0107		1.00	1.069 × 10 ⁵			
5通り A~D通り間	20.04	0.0107	0.0107		1.00	1.069 × 10 ⁵			
6通り B~C通り間	63.00	0.0096	0.0096		1.00	3.156 × 10 ⁵			
合計						1.390 × 10 ⁶		4.0 × 10 ⁻³	

第3-6表 (3/4) せん断スケルトンカーブ (Q- γ 関係) (終局点)
(d) 3部材 NS方向

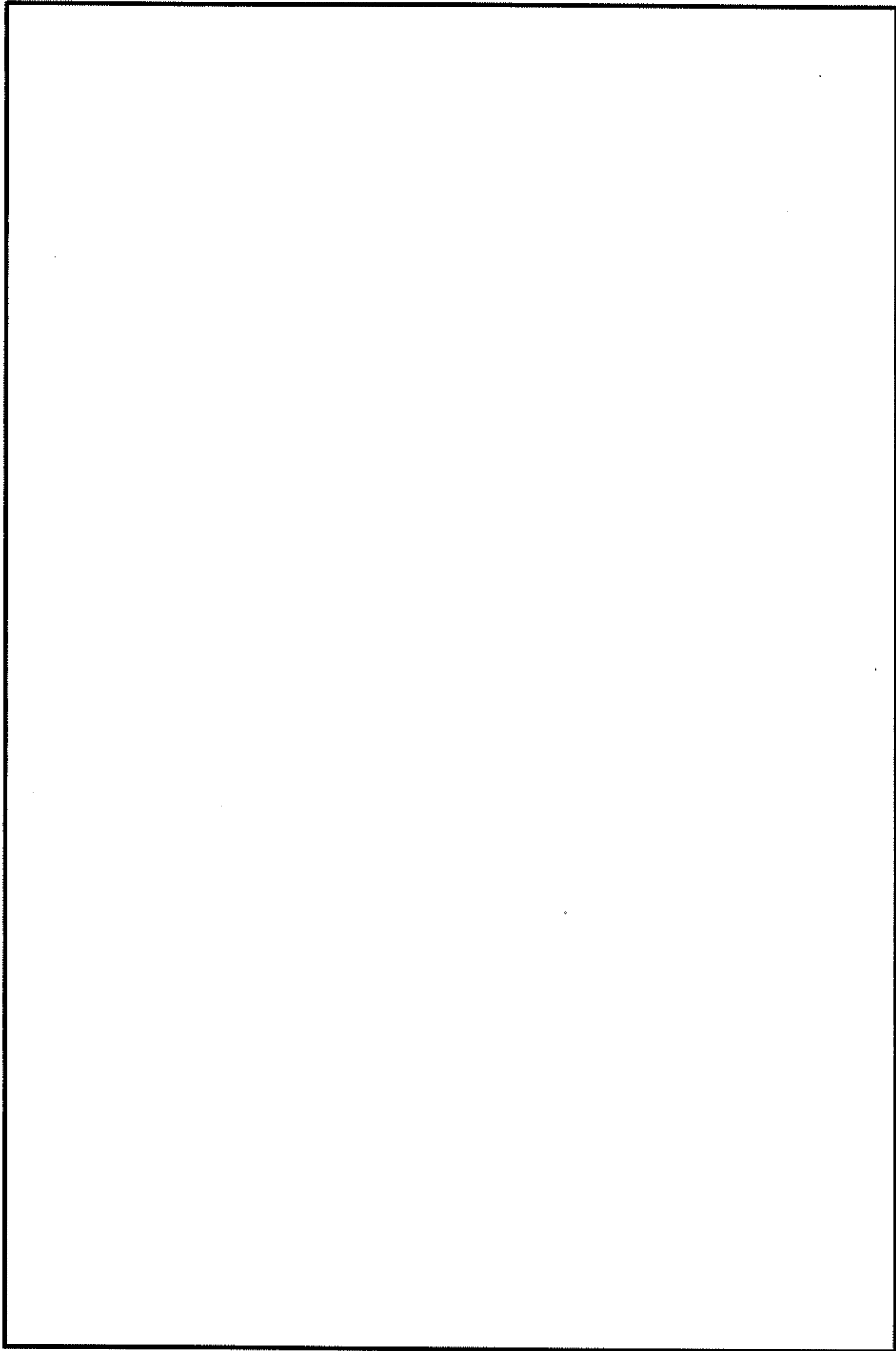
位置	せん断面積 (m ²)	鉄筋比		σ_v (N/mm ²)	M/QD	Q ₃ (kN)	γ_3
		P _v	P _H				
A通り 1~6通り間	75.90	0.0096	0.0096	0.315	1.00	3.727 × 10 ⁵	
A通り+3150 2~6通り間	56.55	0.0096	0.0096		1.00	2.777 × 10 ⁵	
A通り+5200 1~2通り間	1.97	0.0101	0.0101		1.00	9.332 × 10 ³	
A通り+5900 1~2通り間	2.50	0.0101	0.0101		1.00	1.185 × 10 ⁴	
A通り+8550 1~2通り間	18.10	0.0099	0.0099		1.00	9.071 × 10 ⁴	
C通り+12250 2~6通り間	56.55	0.0096	0.0096		1.00	2.777 × 10 ⁵	
D通り 1~6通り間	75.90	0.0096	0.0096		1.00	3.727 × 10 ⁵	
合計						1.410 × 10 ⁶	4.0 × 10 ⁻³

(e) 4部材 NS方向

位置	せん断面積 (m ²)	鉄筋比		σ_v (N/mm ²)	M/QD	Q ₃ (kN)	γ_3
		P _v	P _H				
A通り 1~2通り間	74.09	0.0096	0.0096	0.437	1.00	3.672 × 10 ⁵	
A通り+3150 2~6通り間	56.55	0.0096	0.0096		1.00	2.802 × 10 ⁵	
A通り+5200 1~2通り間	2.00	0.0101	0.0101		1.00	9.568 × 10 ³	
A通り+5900 1~2通り間	2.11	0.0101	0.0101		1.00	1.010 × 10 ⁴	
A通り+8550 1~2通り間	18.24	0.0099	0.0099		1.00	9.224 × 10 ⁴	
C通り+12250 2~6通り間	56.55	0.0096	0.0096		1.00	2.802 × 10 ⁵	
D通り 1~6通り間	73.73	0.0096	0.0096		1.00	3.654 × 10 ⁵	
合計						1.400 × 10 ⁶	4.0 × 10 ⁻³

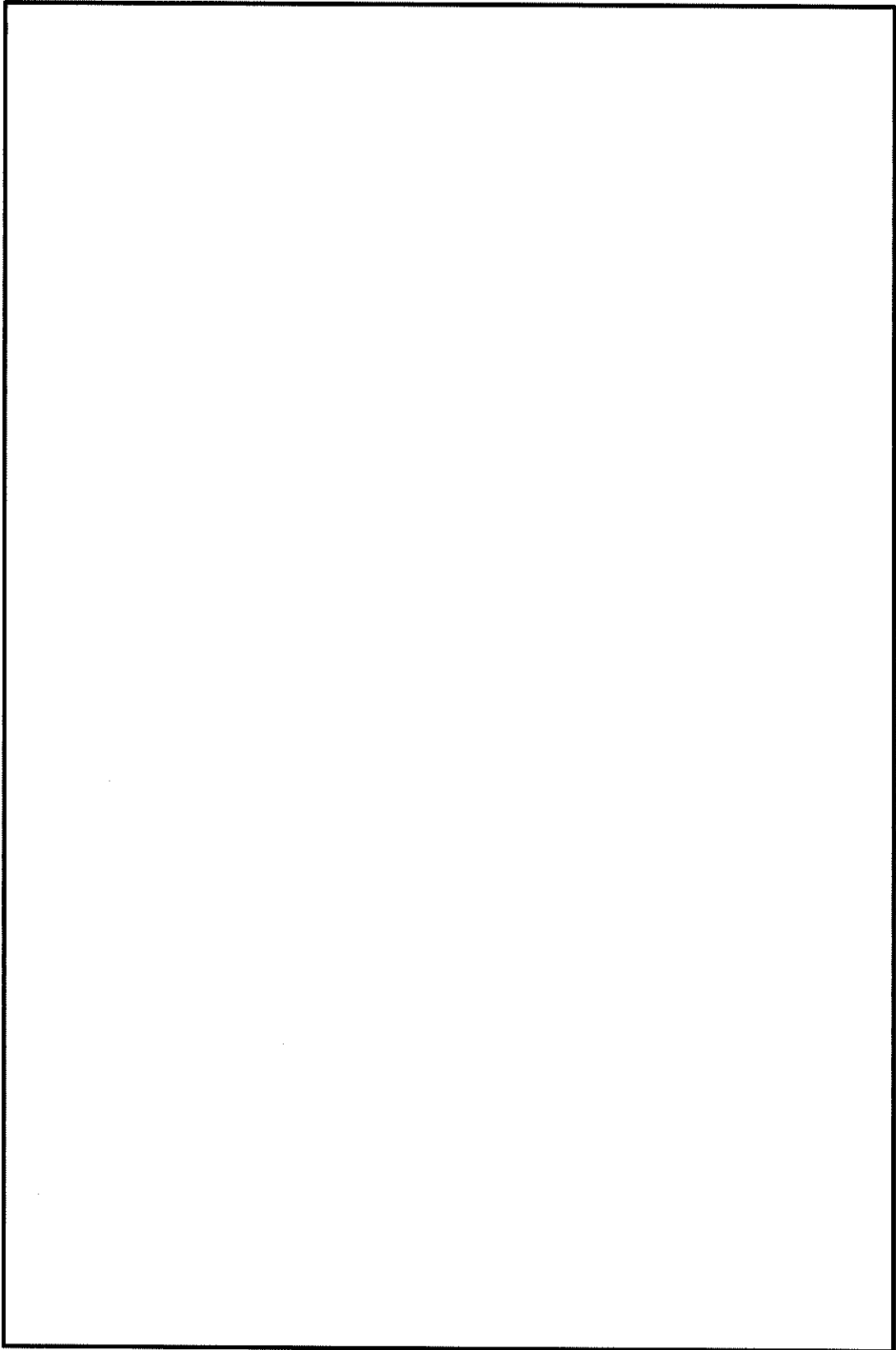
第3-6表 (4/4) せん断スケルトンカーブ (Q- γ 関係) (終局点)
(f) 5部材 NS方向

位置	せん断面積 (m ²)	鉄筋比		σ_v (N/mm ²)	M/QD	Q ₃ (kN)	γ_3
		P _V	P _H				
A通り 1~6通り間	85.36	0.0096	0.0096	0.586	1.00	4.277 × 10 ⁵	
A通り+3150 2~6通り間	41.67	0.0096	0.0096		1.00	2.088 × 10 ⁵	
A通り+5200 1~2通り間	1.99	0.0101	0.0101		1.00	9.606 × 10 ³	
A通り+5900 1~2通り間	2.29	0.0101	0.0101		1.00	1.109 × 10 ⁴	
A通り+6250 1~2通り間	1.76	0.0101	0.0101		1.00	8.519 × 10 ³	
A通り+8550 1~2通り間	17.83	0.0099	0.0099		1.00	9.112 × 10 ⁴	
C通り+12250 2~6通り間	41.67	0.0096	0.0096		1.00	2.088 × 10 ⁵	
D通り 1~6通り間	76.47	0.0096	0.0096		1.00	3.831 × 10 ⁵	
D通り+2800 1~2通り間	6.89	0.0101	0.0101		1.00	3.334 × 10 ⁴	
合計						1.380 × 10 ⁶	4.0 × 10 ⁻³



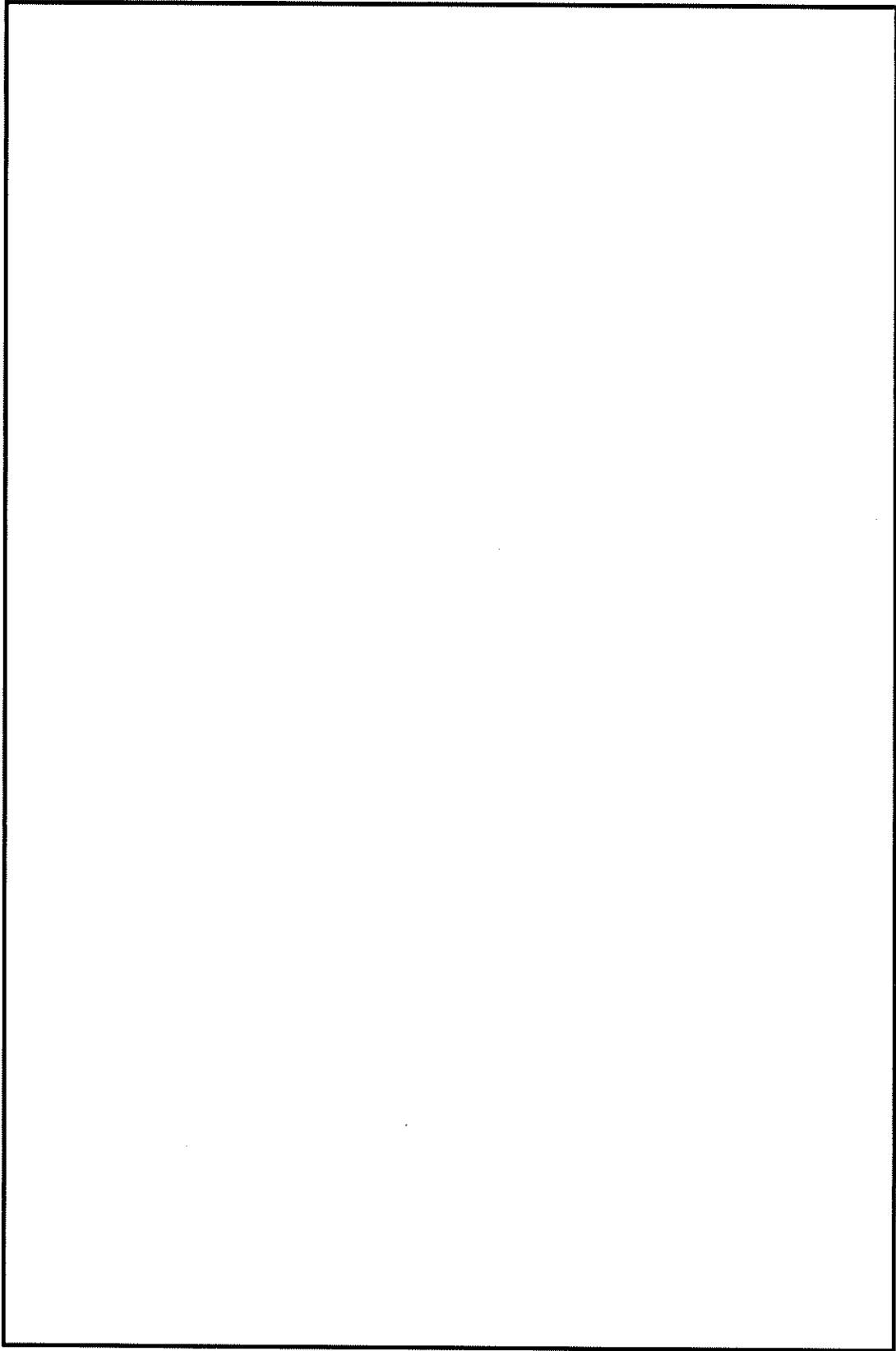
第3-2図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震壁の配筋図





第3-2図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震壁の配筋図





第3-2図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震壁の配筋図



第 3-7 表 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震壁の配筋一覧

記号 <small>(注1)</small>	縦筋 <small>(注2)</small>	横筋 <small>(注2)</small>

(注1) 記号に含まれる数値は壁厚 (cm) を表す。

(注2) 配筋はすべてダブル配筋とする。

4. まとめ

使用済燃料乾式貯蔵建屋におけるせん断スケルトンカーブの設定について整理した。算出したせん断スケルトンカーブの諸数値を第4-1表に示す。

第4-1表 (1/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋のせん断スケルトンカーブ
(Q- γ 関係 EW方向)

部材 番号	第1折点		第2折点		終局点	
	Q ₁ (kN)	γ_1	Q ₂ (kN)	γ_2	Q ₃ (kN)	γ_3
1	3.50×10^5	1.75×10^{-1}	4.73×10^5	5.24×10^{-1}	9.59×10^5	4.00×10^{-3}
2	3.82×10^5	1.79×10^{-1}	5.16×10^5	5.36×10^{-1}	1.03×10^6	4.00×10^{-3}
3	5.51×10^5	1.83×10^{-1}	7.44×10^5	5.49×10^{-1}	1.47×10^6	4.00×10^{-3}
4	5.44×10^5	1.88×10^{-1}	7.34×10^5	5.65×10^{-1}	1.42×10^6	4.00×10^{-3}
5	5.45×10^5	1.95×10^{-1}	7.36×10^5	5.84×10^{-1}	1.39×10^6	4.00×10^{-3}

第4-1表 (2/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋のせん断スケルトンカーブ
(Q- γ 関係 NS方向)

部材 番号	第1折点		第2折点		終局点	
	Q ₁ (kN)	γ_1	Q ₂ (kN)	γ_2	Q ₃ (kN)	γ_3
1	2.78×10^5	1.75×10^{-1}	3.75×10^5	5.24×10^{-1}	7.80×10^5	4.00×10^{-3}
2	3.20×10^5	1.79×10^{-1}	4.32×10^5	5.36×10^{-1}	8.86×10^5	4.00×10^{-3}
3	5.36×10^5	1.83×10^{-1}	7.24×10^5	5.49×10^{-1}	1.41×10^6	4.00×10^{-3}
4	5.44×10^5	1.88×10^{-1}	7.35×10^5	5.65×10^{-1}	1.40×10^6	4.00×10^{-3}
5	5.48×10^5	1.95×10^{-1}	7.40×10^5	5.84×10^{-1}	1.38×10^6	4.00×10^{-3}

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について

1-5 地震応答解析モデルの固定・積載荷重

目 次

	頁
1. 概要	1-5-1
2. 重量の設定方法	1-5-2
2.1 固定荷重	1-5-3
2.2 積載荷重	1-5-5
3. 地震応答解析モデルの質点重量の内訳について	1-5-12

1. 概要

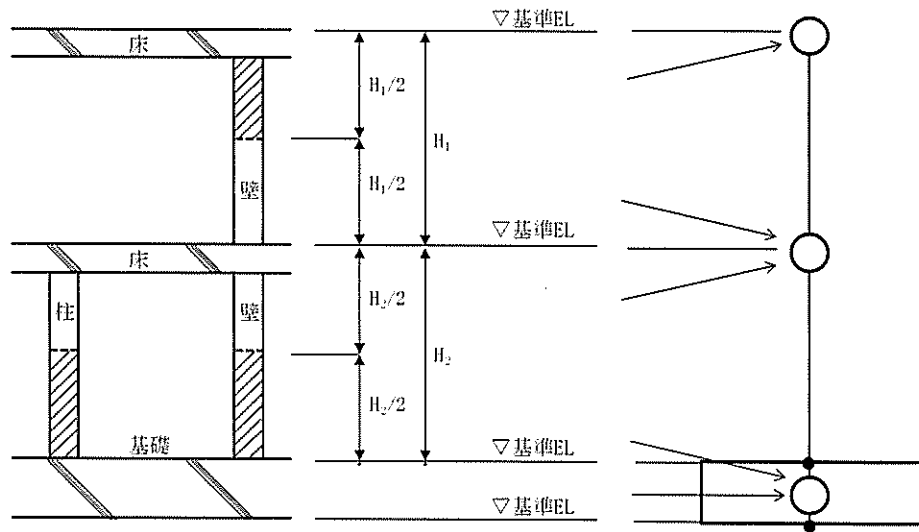
本資料は、今回設工認における地震応答解析モデルの固定・積載荷重等の設定方法について説明するものである。

なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」

2. 重量の設定方法

地震応答解析モデルにおいて質点重量は各階床位置に集中しているものとし、階高の1/2の高さを基準に上下階に振り分けて算出する。また、基礎については、基礎厚の1/2の高さを基準に基礎上端及び下端位置に振り分けて算出する。質点重量の振り分けの概念図を第2-1図に示す。



第2-1図 質点重量の振り分けの概念図

2.1 固定荷重

使用済燃料乾式貯蔵建屋の固定荷重を第2-1表に、その他固定荷重の詳細を第2-2図に示す。

第2-1表 (1/3) 固定荷重 (床、屋根及び壁)

部位	固定荷重(kN/m ²)	備考
床 (貯蔵エリア)	$24.00^{※1}t + 1.2^{※2}$	t : 部材厚さ (m)
屋根 (貯蔵エリア)	$24.00^{※1}t + 3.0^{※3}$	
壁	$24.00^{※1}t$	

※1 : 鉄筋コンクリートの単位体積重量

※2 : その他固定荷重 (フカシコン 第2-2図参照)

※3 : その他固定荷重 (防水押えコンクリート、防水層等 第2-2図参照)

第2-1表 (2/3) 固定荷重 (基礎)

部位	固定荷重(kN/m ²)	備考
基礎 (貯蔵エリア)	$24.00^{※1}t + 7.2^{※2}$	t : 部材厚さ (m)

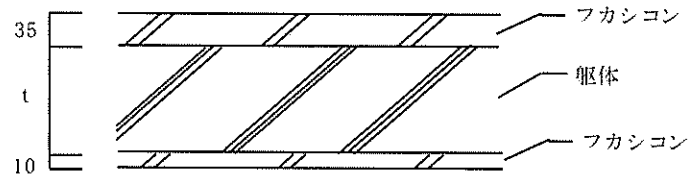
※1 : 鉄筋コンクリートの単位体積重量

※2 : その他固定荷重 (フカシコン 第2-2図参照)

第2-1表 (3/3) 固定荷重 (クレーン自重)

部位	固定荷重
クレーン自重(kN)	1,883

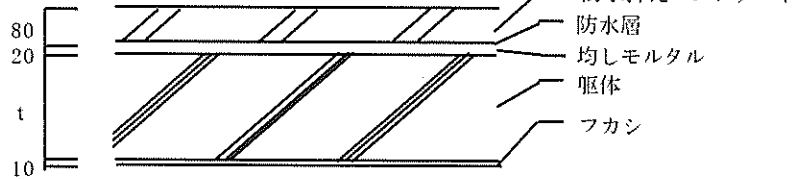
(単位：mm)



$$\left. \begin{array}{l} \text{フカシコン (上端)} : 0.9 \quad (24(\text{kN/m}^3) \times 0.035(\text{m})) \\ \text{フカシコン (下端)} : 0.3 \quad (24(\text{kN/m}^3) \times 0.01(\text{m})) \end{array} \right\} 1.2 \quad (\text{kN/m}^2)$$

(a) 床

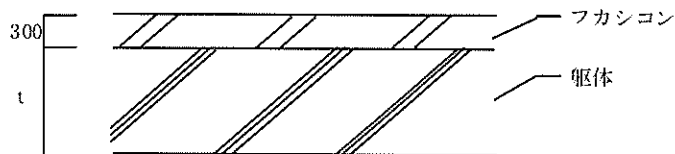
(単位：mm)



$$\left. \begin{array}{l} \text{防水押えコンクリート} : 2.0 \quad (24(\text{kN/m}^3) \times 0.08(\text{m})) \\ \text{均しモルタル} : 0.5 \quad (24(\text{kN/m}^3) \times 0.02(\text{m})) \\ \text{防水層} : 0.2 \\ \text{フカシ} : 0.3 \quad (24(\text{kN/m}^3) \times 0.01(\text{m})) \end{array} \right\} 3.0 \quad (\text{kN/m}^2)$$

(b) 屋根

(単位：mm)



$$\text{フカシコン} : 7.2 \quad (24(\text{kN/m}^3) \times 0.3(\text{m})) \quad (\text{kN/m}^2)$$

(c) 基礎

第 2-2 図 その他固定荷重

2.2 積載荷重

使用済燃料乾式貯蔵建屋の積載荷重を第2-2表に示す。また、各階の機器・配管サポート荷重を第2-3図に示す。第2-3図において、機器荷重については代表的なものを示す。

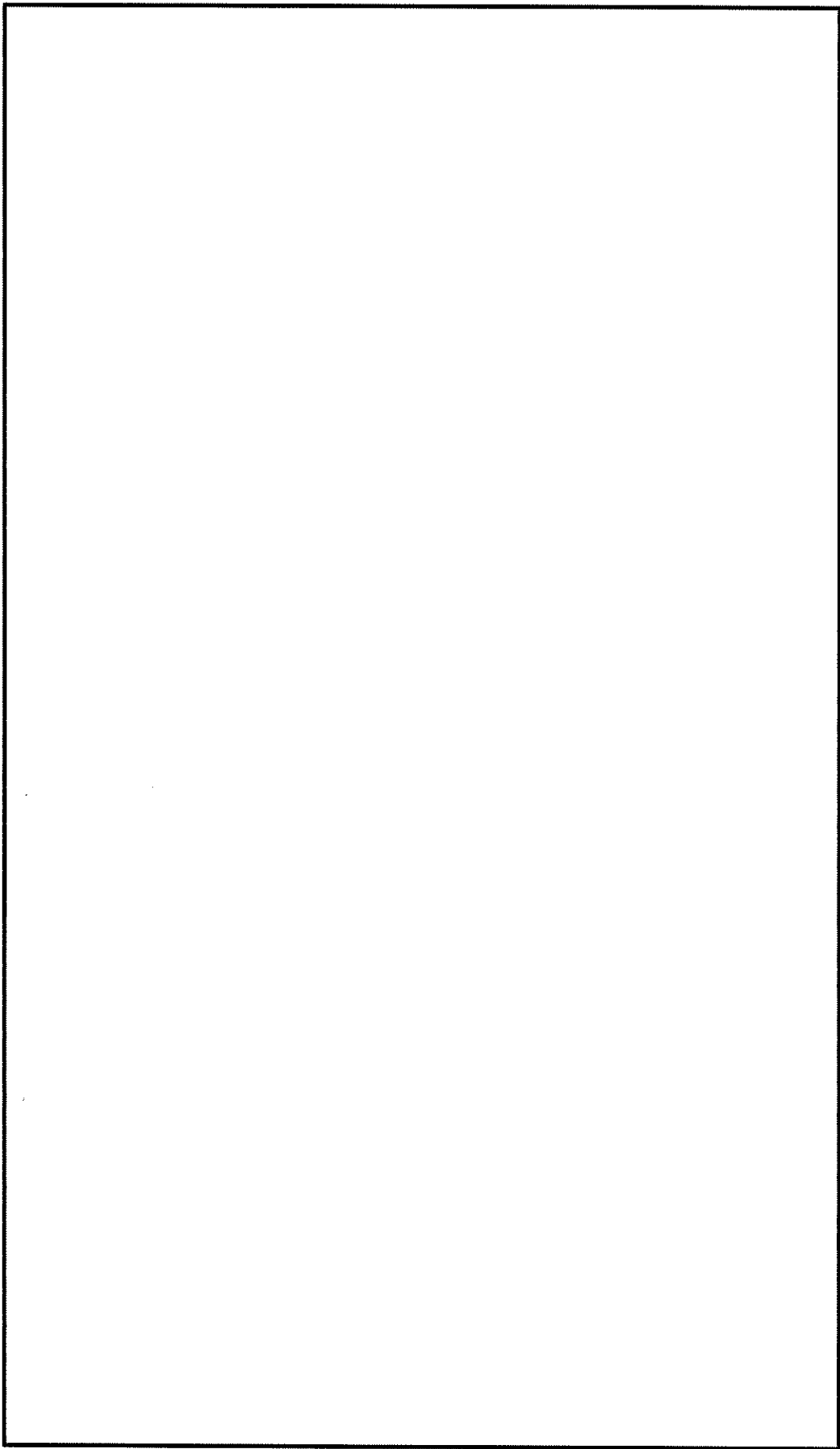
なお、積雪荷重については積載荷重を下回るため、地震荷重及び積載荷重の組合せで考慮される。積雪荷重の算定方法及び積雪荷重と積載荷重の比較は、補足説明資料1-1「地震荷重と風荷重、積載荷重と積雪荷重の比較」に示す。

第2-2表 積載荷重 (床及び屋根)

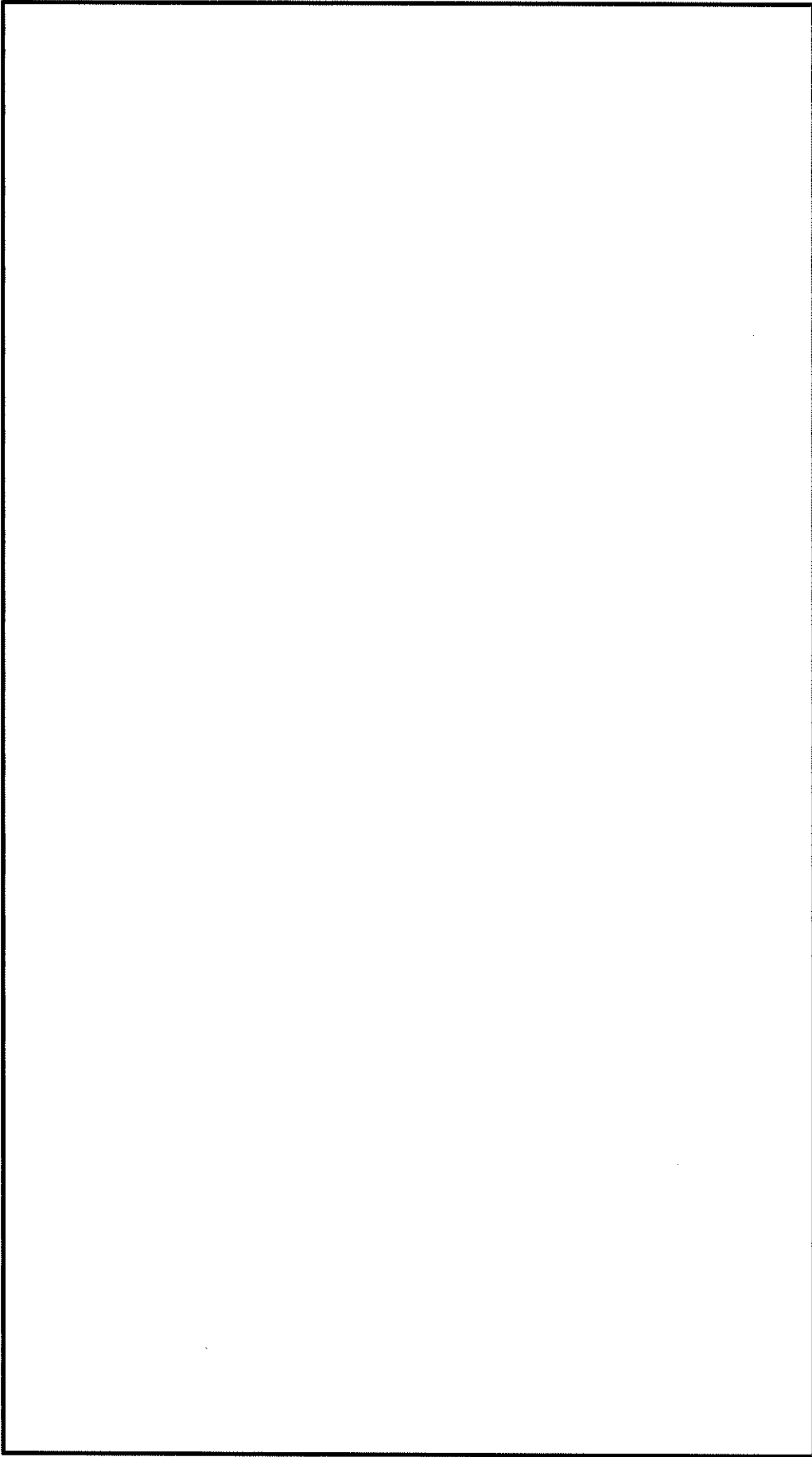
部位	積載荷重 (kN/m ²)
床	機器+配管サポート+1.2 ^{※1}
屋根	機器+配管サポート+3.0 ^{※2}
基礎張出部	5.4


※1：建築基準法施行令第85条に基づく積載荷重 (0.6kN/m²) を含む荷重

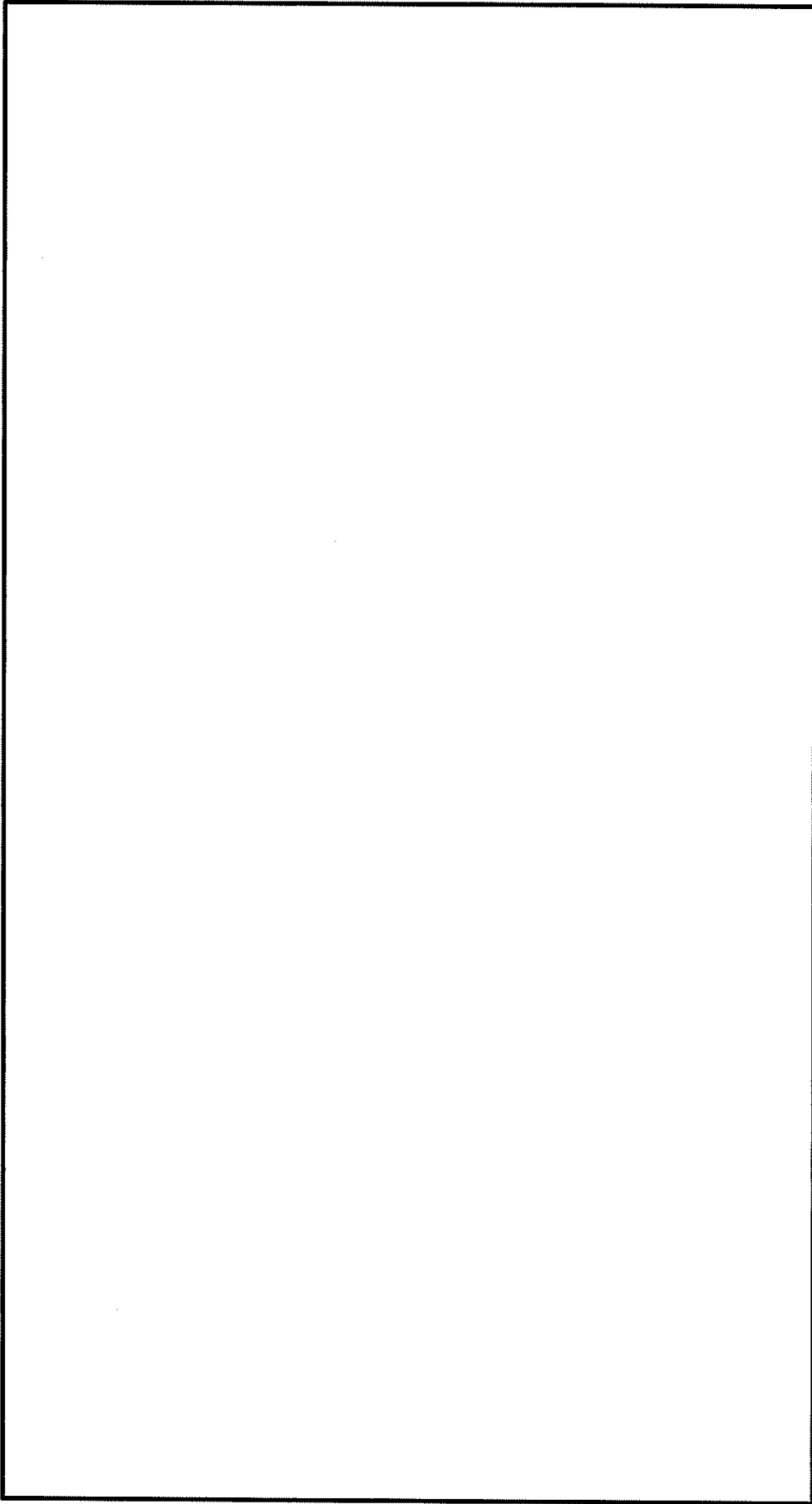
※2：建築基準法施行令第85条に基づく積載荷重 (0.6kN/m²) + 建築基準法施行令第86条に基づく積雪荷重 (0.14kN/m²) を含む荷重



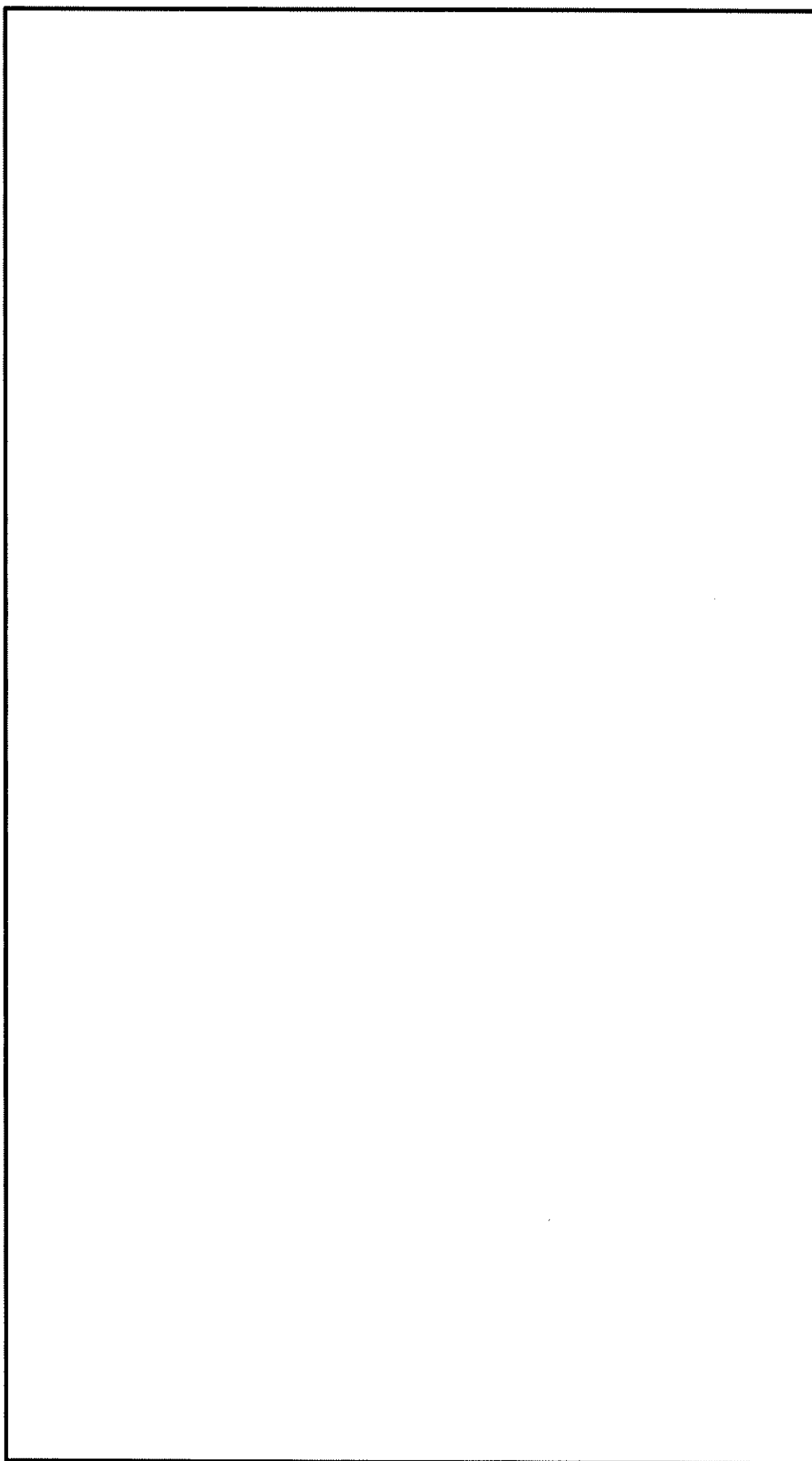
第2-3図 (1/6) 機器・配管サポート荷重



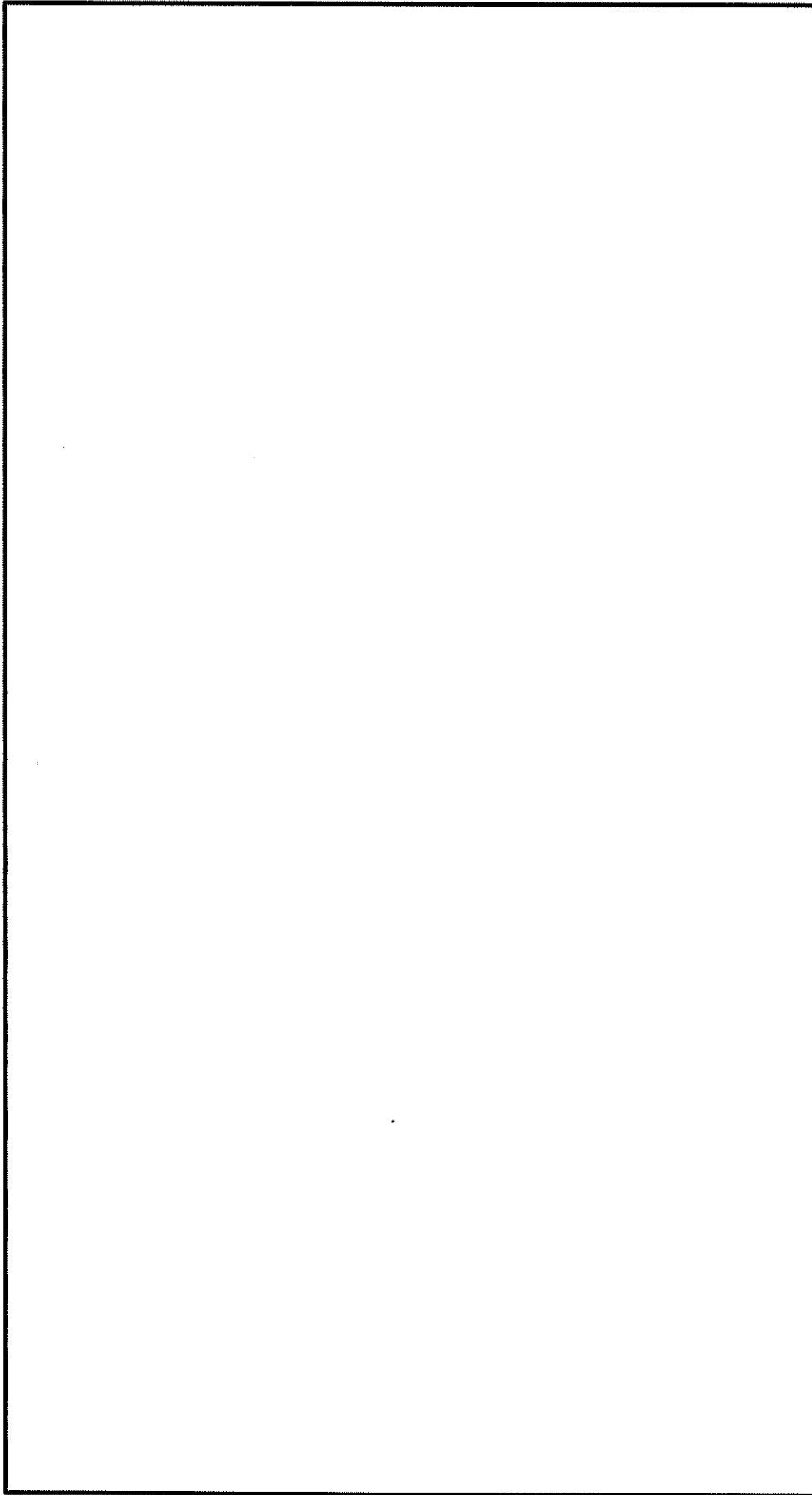
第2-3図 (2/6) 機器・配管サポート荷重 



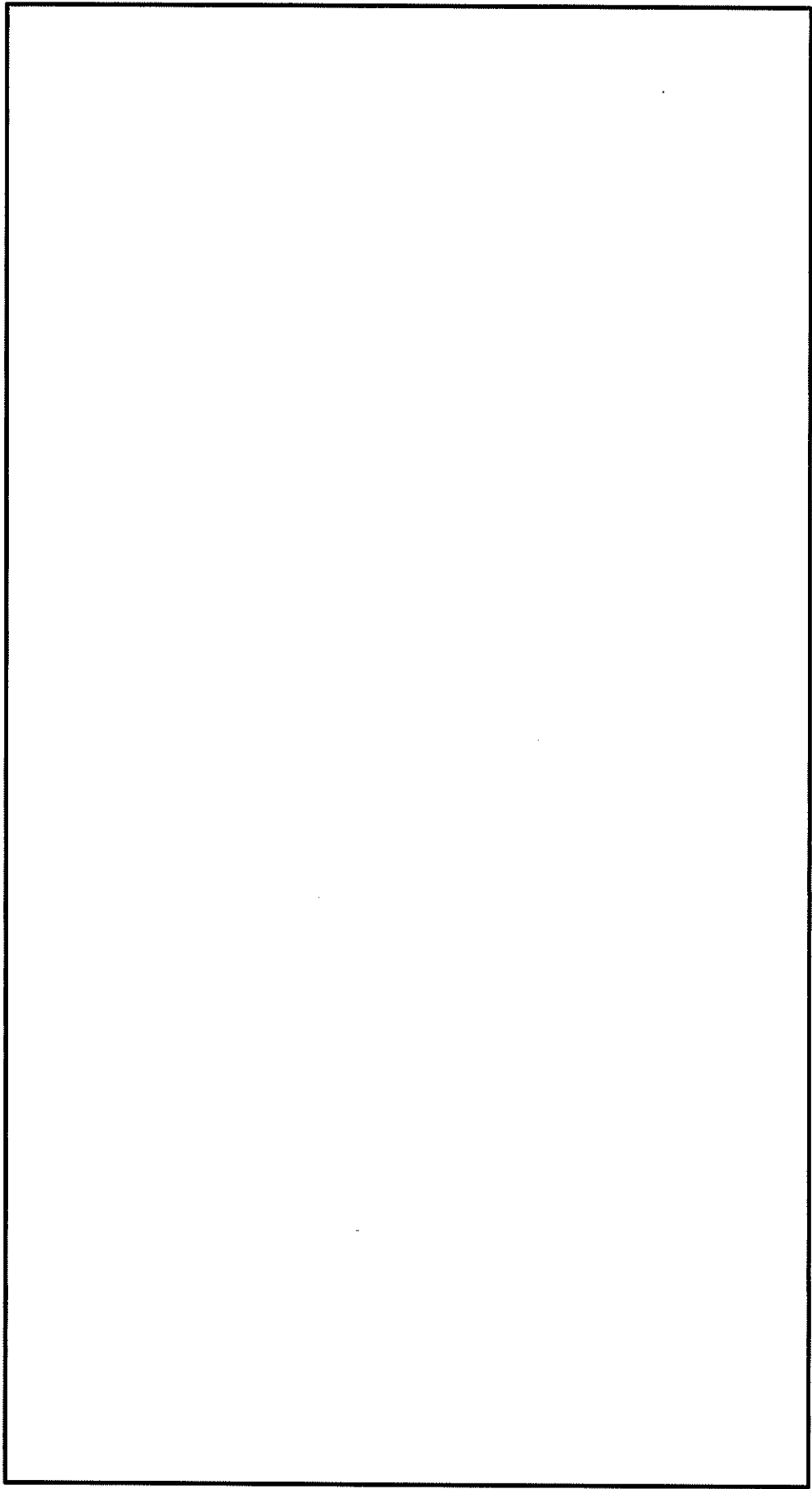
第2-3 図 (3/6) 機器・配管サポート荷重



第2-3図 (4/6) 機器・配管サポート荷重



第2-3図 (5/6) 機器・配管サポータ荷重



第2-3図 (6/6) 機器・配管サポート荷重

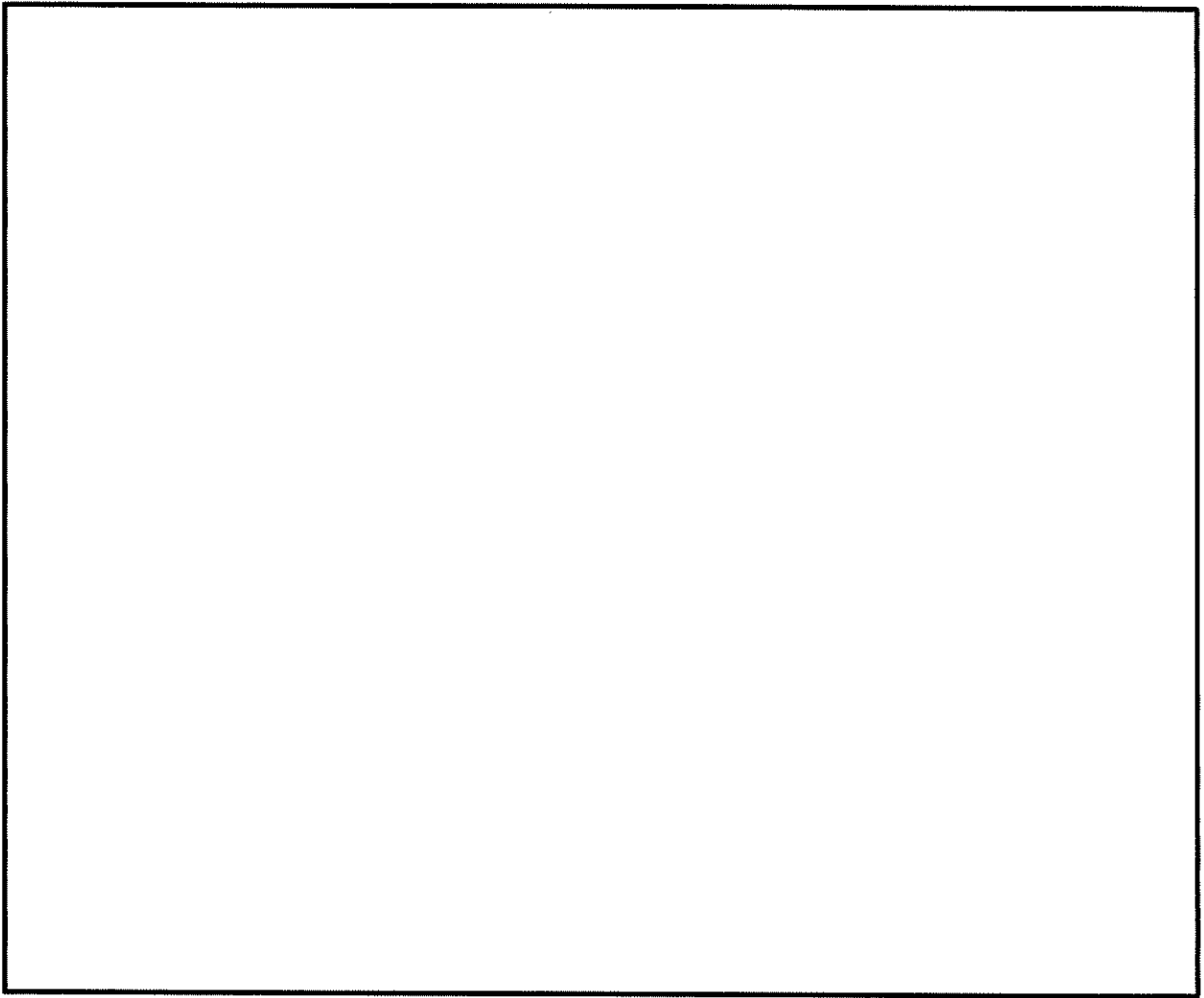
3. 地震応答解析モデルの質点重量の内訳について

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデルにおける質点重量の内訳を第3-1表に示す。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデルを第3-1図、地震応答解析モデルの諸元を第3-2表に示す。

第3-1表 地震応答解析モデルにおける質点重量の内訳

質点番号		1	2	3	4	5	7
固定荷重	壁、床等※1	38,656	35,471	77,795	48,714	62,598	367,917
積載荷重	機器	1,075	147	2,802	0	4,421	66,632
	配管 サポート等	1,788	790	5,799	1,180	2,359	9,128
合計		41,600	36,500	86,400	49,900	69,400	444,000

※1：デッキプレート、防水仕上を含む。



第 3-1 図 地震応答解析モデル (水平方向)

第 3-2 表 地震応答解析モデル諸元 (水平方向)

部位	質点 番号	質点位置 EL (m)	重量 (kN)	回転慣性 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	
				EW方向	NS方向
上部 構造物	1		41,600	61.1	121
	2		36,500	53.6	106
	3		86,400	128	251
	4		49,900	73.4	145
	5		69,400	103	202
基礎	7		444,000	1,100	1,300
総重量			727,800		

2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算について

伊方3号機（使用済燃料乾式貯蔵建屋）設計及び工事計画に係る説明資料
（耐震性に関する説明書）

■資料No. 2 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算について

資料 No.	補足説明資料		備考 (該当添付資料)
	(名称)	(概要)	
2-1	応力解析におけるモデル化及び境界条件の考え方	耐震評価に用いる応力解析モデルについて、モデル化及び境界条件の概要を示す。	資料9-12-2 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算書
2-2	応力解析における断面の評価部位の選定	応力解析モデルを用いた耐震評価における断面の評価部位の選定結果を示す。	資料9-12-2 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算書
2-3	地震荷重の入力方法	応力解析モデルへ入力する地震荷重の設定及び入力方法を示す。	資料9-12-2 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算書
2-4	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出と、抽出された部位の影響評価結果を示す。	資料9-15 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果
2-5	応力解析モデル及び解析手法の概要について	応力解析モデル及び解析手法の概要を示す。	資料9-12-2 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算書

使用済燃料乾式貯建屋の耐震計算について

2-1 応力解析におけるモデル化及び境界条件の考え方

目 次

	頁
1. 概要	2-1-1
2. 応力解析におけるモデル化及び境界条件	2-1-1

1. 概要

本資料は、使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算に関して説明するものであり、今回設工認において、応力解析モデルを用いた評価を行っている基礎の応力解析手法についての概要を示すものである。

なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-12-2「使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算書」

2. 応力解析におけるモデル化及び境界条件

使用済燃料乾式貯蔵建屋の応力解析におけるモデル化及び境界条件を第2-1表に示す。

第2-1表 使用済燃料乾式貯蔵建屋の応力解析におけるモデル化及び境界条件

応力解析モデルの概要	応力解析モデルの境界条件
<div data-bbox="228 320 762 689" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="395 705 587 734">図-1 全体鳥瞰図</p> <div data-bbox="228 745 762 1115" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="379 1160 603 1189">図-2 基礎の鳥瞰図</p>	<p data-bbox="794 324 1114 353">○基礎と上部構造物との境界</p> <ul data-bbox="826 360 1460 504" style="list-style-type: none"> ・基礎は、厚さ方向の中心位置にシェル要素でモデル化し上部構造物と剛体要素を介して接続しており、上部構造物からの荷重の伝達や上部構造物の剛性による拘束を考慮している。 <p data-bbox="794 510 1034 539">○基礎と地盤との境界</p> <ul data-bbox="826 546 1460 763" style="list-style-type: none"> ・基礎下端には、支持地盤を表現する地盤ばねを設けている。なお、浮上りを生じている部分の基礎下端の地盤反力はないものとして解析を行う。具体的には、基礎下端の鉛直ばねに引張が生じた箇所について、基礎が浮き上がっているものとし、鉛直及び水平ばねと基礎下端の接続を切り離し、応力を負担しないものとして解析を行う。 <p data-bbox="794 770 1166 799">○地盤ばねの設定方法 (Ss地震時)</p> <ul data-bbox="826 806 1460 949" style="list-style-type: none"> ・水平ばね：JEAG4601-1991[※]に基づき、振動アドミタンス理論により、地盤の動的物性値を用いて評価した水平ばねを離散化 ・鉛直ばね：同上的方法により評価した回転ばねを離散化 <p data-bbox="794 956 1114 985">○地盤ばねの設定方法 (常時)</p> <ul data-bbox="826 992 1460 1135" style="list-style-type: none"> ・水平ばね：JEAG4601-1991に基づき、振動アドミタンス理論により、地盤の静的物性値を用いて評価した水平ばねを離散化 ・鉛直ばね：同上的方法により評価した鉛直ばねを離散化
<p data-bbox="215 1234 384 1263">○モデル化範囲</p> <ul data-bbox="247 1270 762 1339" style="list-style-type: none"> ・使用済燃料乾式貯蔵建屋の上部構造物と基礎を含む建屋全体をモデル化 <p data-bbox="215 1346 336 1375">○使用要素</p> <ul data-bbox="247 1382 651 1451" style="list-style-type: none"> ・屋根、床、壁及び基礎：シェル要素 ・はり：はり要素 	<div data-bbox="810 1211 1358 1496" data-label="Diagram"> </div> <p data-bbox="986 1473 1369 1503">※：水平2方向及び鉛直方向の3方向のばねを設定</p> <p data-bbox="986 1525 1257 1554">図-3 地盤ばね設定位置</p>

※：原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991追補版（（社）日本電気協会）

使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算について

2-2 応力解析における断面の評価部位の選定

目 次

	頁
1. 概要	2-2-1
2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎の断面評価部位の選定	2-2-2

1. 概要

本資料は、使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算に関して説明するものであり、今回設
工認において、応力解析モデルを用いた評価を行っている基礎の断面の評価要素及び
評価部材の選定結果について示すものである。

なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-12-2「使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算書」

2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎の断面評価部位の選定

今回設工認における断面の評価結果は、基礎において、評価項目・方向ごとに、配筋量に対する必要鉄筋量の比率又は許容値に対する発生値の比率が最大となる要素を選定し示している。

本資料では、分類領域を踏まえ、評価項目・方向ごとに、配筋量に対する必要鉄筋量の比率又は許容値に対する発生値の比率が最大となる結果と位置を示す。

また、基礎において、配筋量に対する必要鉄筋量の比率又は許容値に対する発生値の比率が最大となる評価結果における応力コンター図を示す。

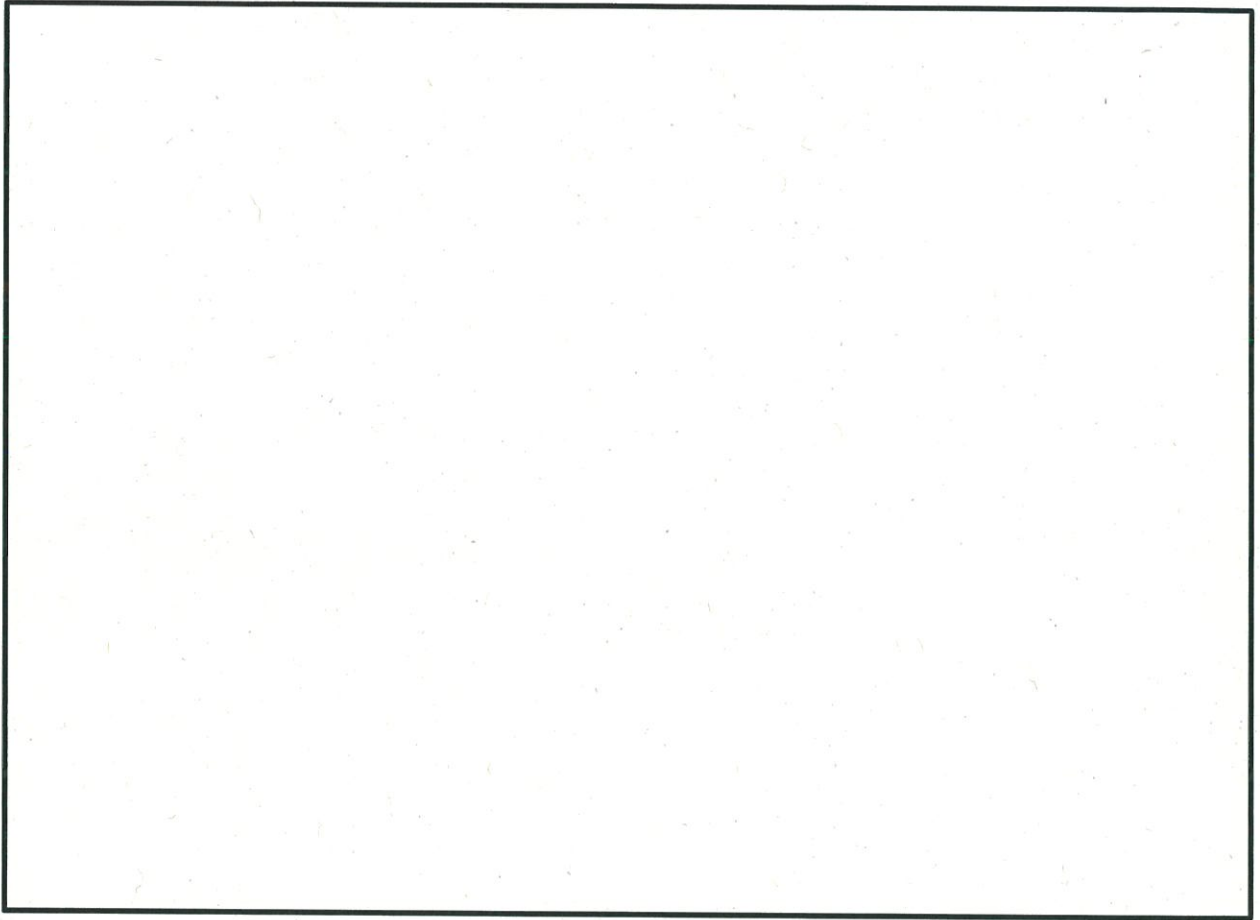
使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図及び概略断面図を第2-1図及び第2-2図に、荷重の組合せケースを第2-1表に、分類領域ごとの配筋一覧を第2-2表に、配筋の分類領域図を第2-3図に示す。また、断面の評価における応力の方向を第2-4図に示す。

Ss地震時に対する評価結果をそれぞれ第2-3表に、評価結果の位置を第2-5図に示す。評価結果の応力コンター図を第2-6図及び第2-7図に示す。

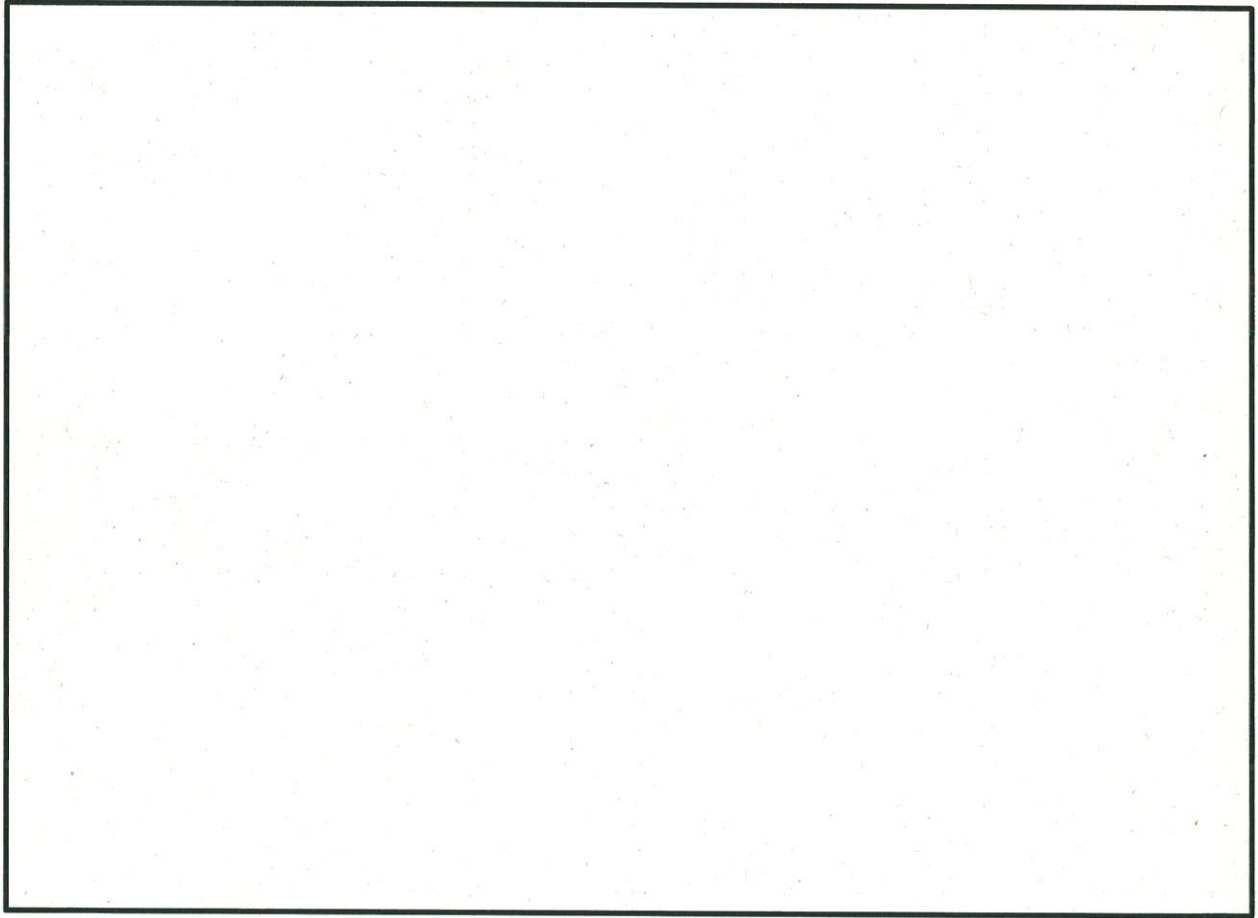
第2-1表の荷重の組合せケースに示す記号の説明については以下に示す。

GP	:	固定・積載荷重		
C ₀	:	長期キャスク荷重		
K _{SWE} [※]	:	Ss地震時	W→E方向	地震力
K _{SSN} [※]	:	Ss地震時	S→N方向	地震力
K _{S_{DU}(EW)} [※]	:	Ss地震時	鉛直方向	地震力 (EW断面)
K _{S_{DU}(NS)} [※]	:	Ss地震時	鉛直方向	地震力 (NS断面)
C _{SWE} [※]	:	Ss地震時	W→E方向	地震時荷重によるキャスク反力
C _{SSN} [※]	:	Ss地震時	S→N方向	地震時荷重によるキャスク反力
C _{S_{DU}} [※]	:	Ss地震時	鉛直方向	地震時荷重によるキャスク反力

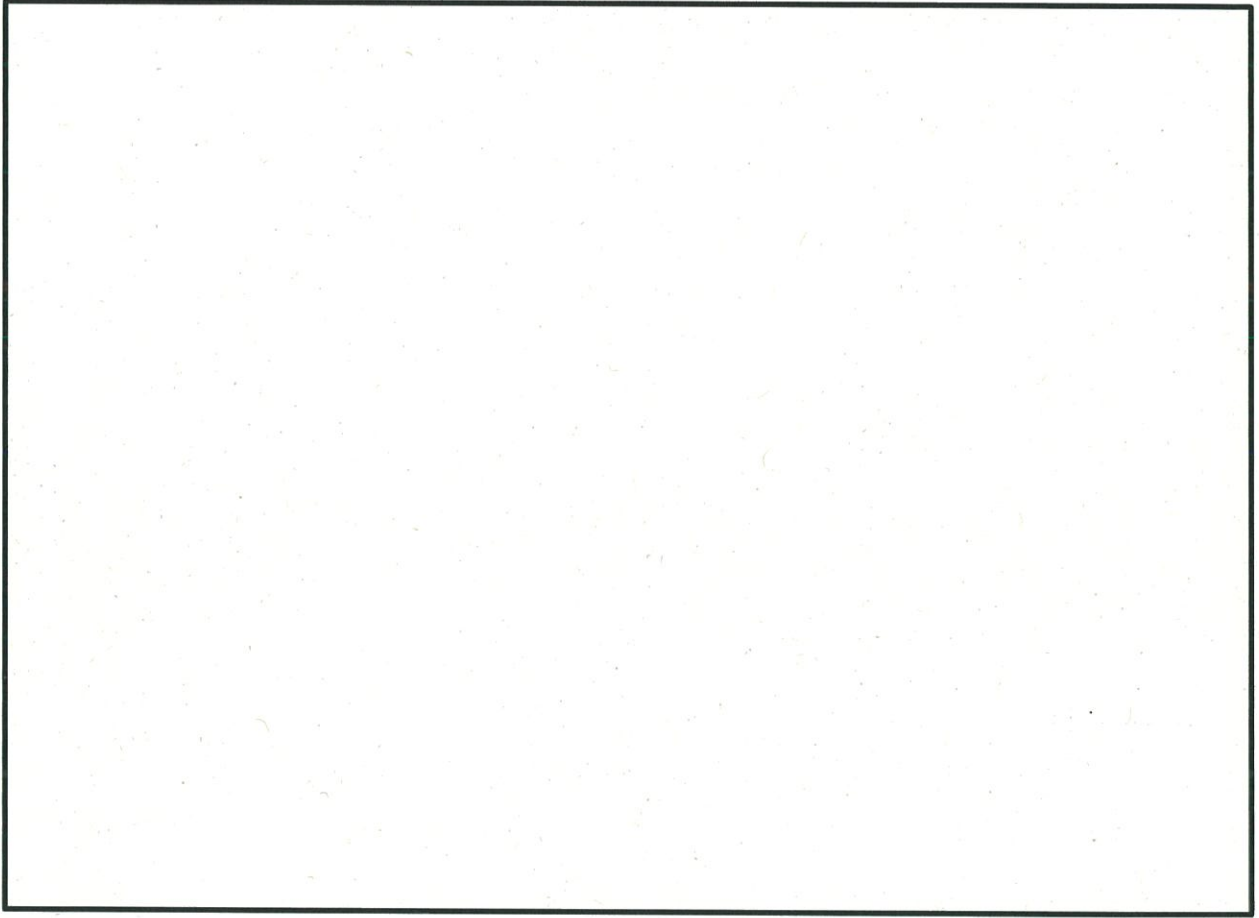
※：加力方向により絶対値の差異はないため、計算上の座標軸を基本として、W→E方向、S→N方向及び鉛直上向きを「+」、E→W方向、N→S方向及び鉛直下向きを「-」とする。



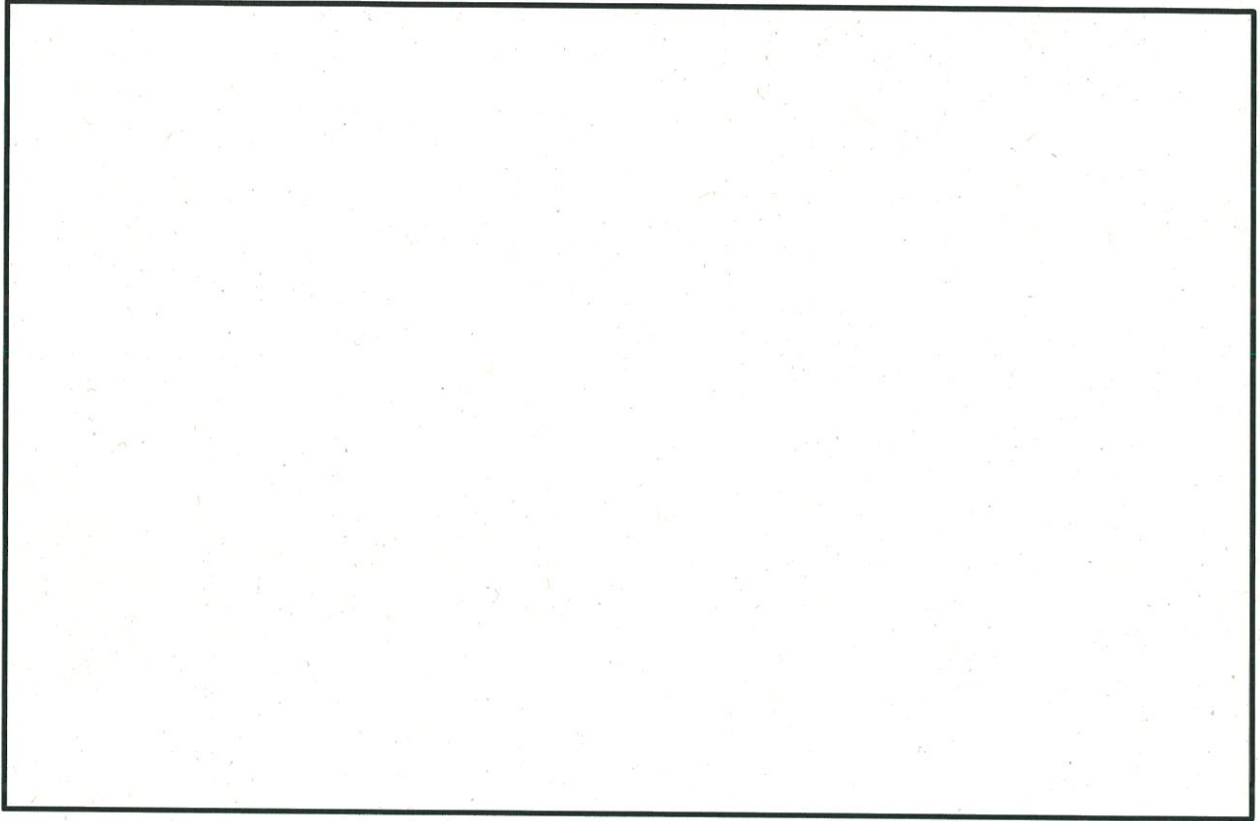
第2-1図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図



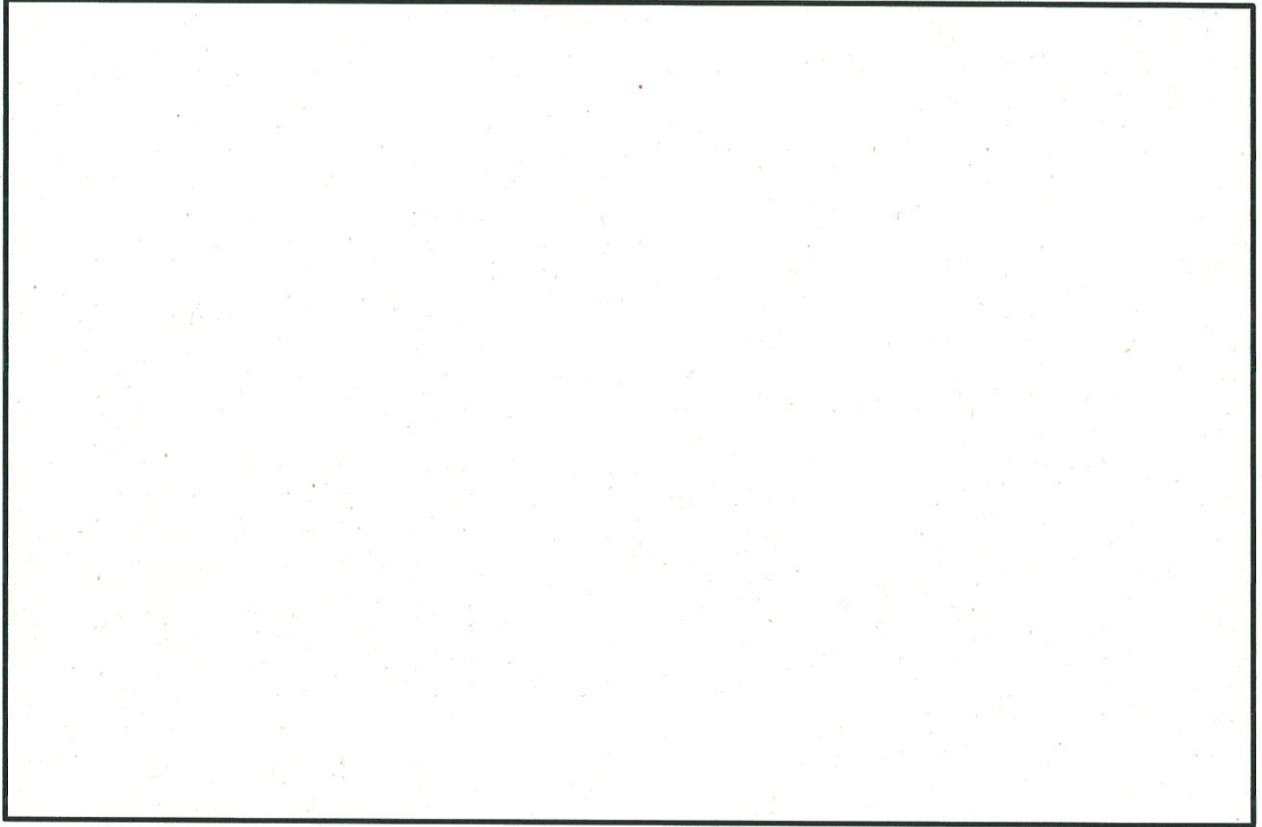
第2-1図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図



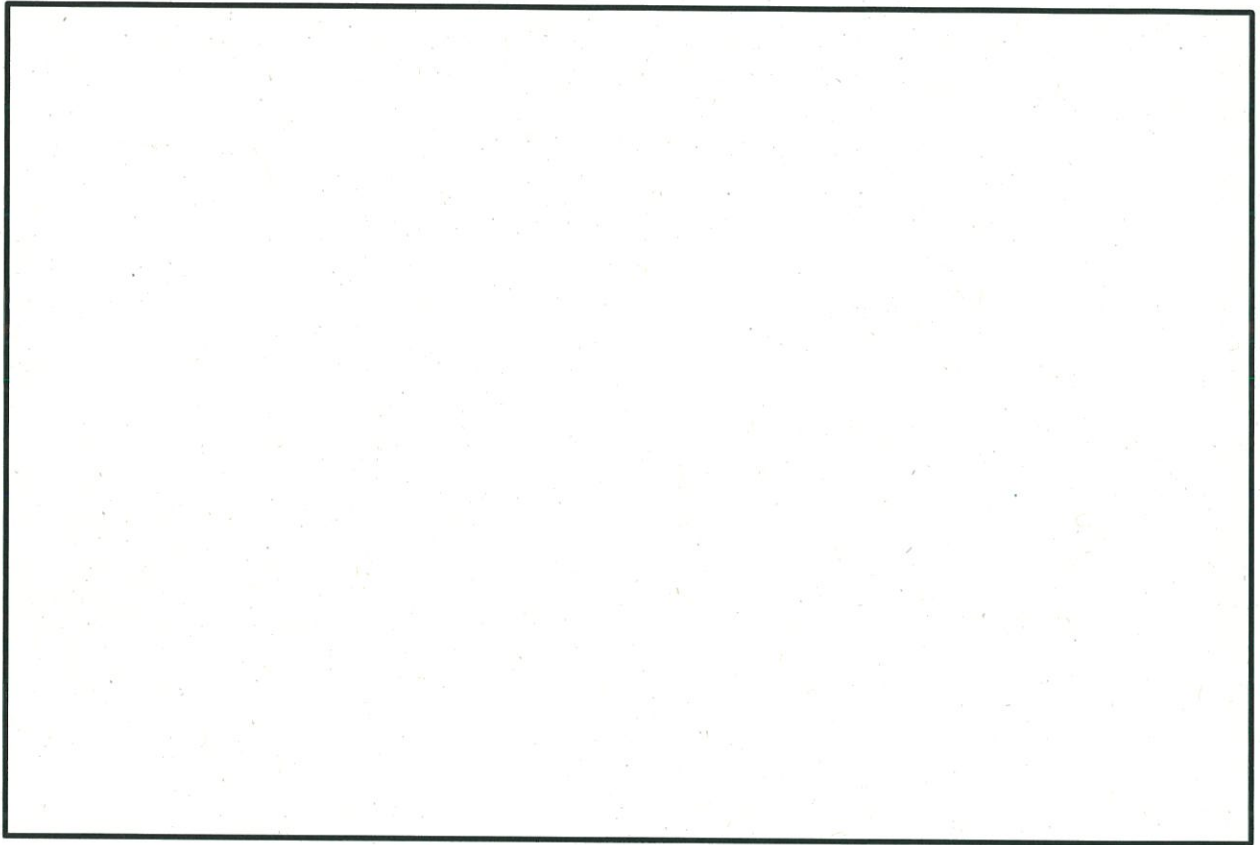
第2-1図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図



第2-2図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (A-A断面)



第2-2図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (B-B断面)



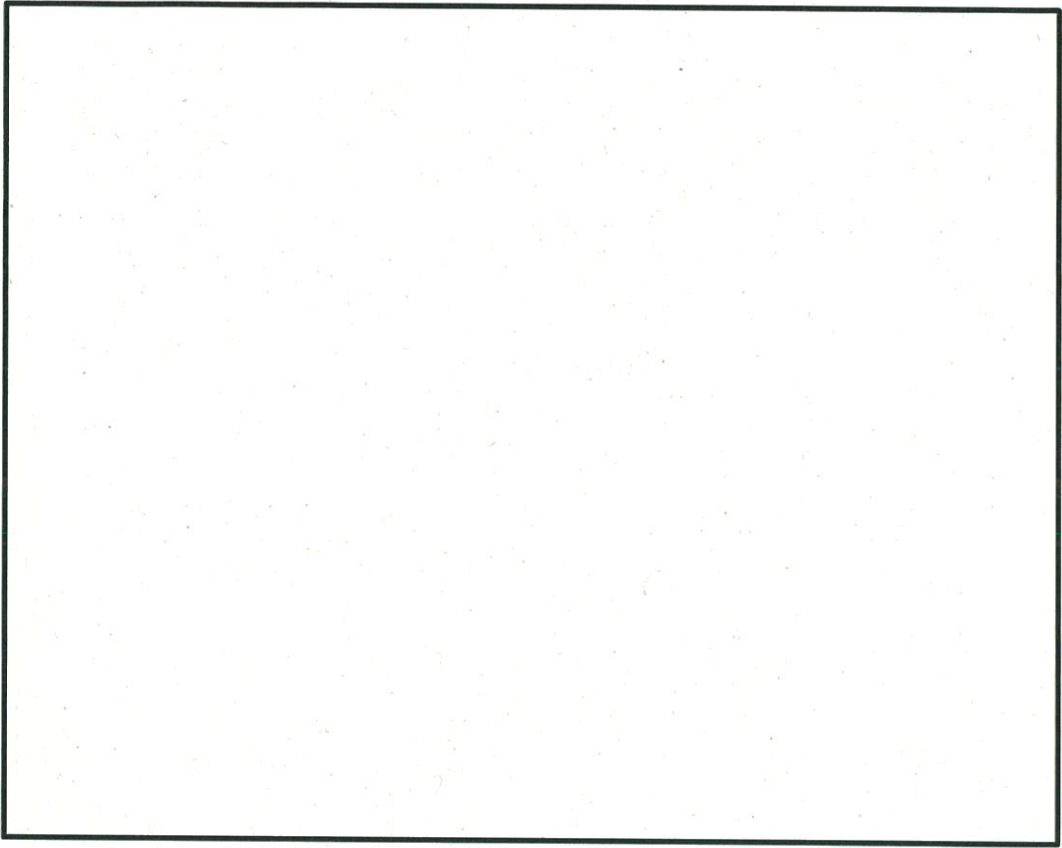
第2-2図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (C-C断面)

第2-1表 荷重の組合せケース (Ss地震時)

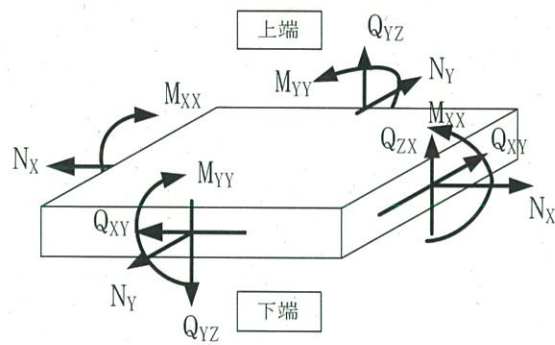
組合せ 係数	加力方向		ケース No.	荷重の組合せケース
	水平	鉛直		
水平1.0 鉛直0.4	W→E	下	1	$GP+C_0+1.0K_{SWE}+1.0C_{SWE}-0.4K_{SDU(EW)}-0.4C_{SDU}$
	E→W		2	$GP+C_0-1.0K_{SWE}-1.0C_{SWE}-0.4K_{SDU(EW)}-0.4C_{SDU}$
	W→E	上	3	$GP+C_0+1.0K_{SWE}+1.0C_{SWE}+0.4K_{SDU(EW)}+0.4C_{SDU}$
	E→W		4	$GP+C_0-1.0K_{SWE}-1.0C_{SWE}+0.4K_{SDU(EW)}+0.4C_{SDU}$
	S→N	下	5	$GP+C_0+1.0K_{SSN}+1.0C_{SSN}-0.4K_{SDU(NS)}-0.4C_{SDU}$
	N→S		6	$GP+C_0-1.0K_{SSN}-1.0C_{SSN}-0.4K_{SDU(NS)}-0.4C_{SDU}$
	S→N	上	7	$GP+C_0+1.0K_{SSN}+1.0C_{SSN}+0.4K_{SDU(NS)}+0.4C_{SDU}$
	N→S		8	$GP+C_0-1.0K_{SSN}-1.0C_{SSN}+0.4K_{SDU(NS)}+0.4C_{SDU}$
水平0.4 鉛直1.0	W→E	下	9	$GP+C_0+0.4K_{SWE}+0.4C_{SWE}-1.0K_{SDU(EW)}-1.0C_{SDU}$
	E→W		10	$GP+C_0-0.4K_{SWE}-0.4C_{SWE}-1.0K_{SDU(EW)}-1.0C_{SDU}$
	W→E	上	11	$GP+C_0+0.4K_{SWE}+0.4C_{SWE}+1.0K_{SDU(EW)}+1.0C_{SDU}$
	E→W		12	$GP+C_0-0.4K_{SWE}-0.4C_{SWE}+1.0K_{SDU(EW)}+1.0C_{SDU}$
	S→N	下	13	$GP+C_0+0.4K_{SSN}+0.4C_{SSN}-1.0K_{SDU(NS)}-1.0C_{SDU}$
	N→S		14	$GP+C_0-0.4K_{SSN}-0.4C_{SSN}-1.0K_{SDU(NS)}-1.0C_{SDU}$
	S→N	上	15	$GP+C_0+0.4K_{SSN}+0.4C_{SSN}+1.0K_{SDU(NS)}+1.0C_{SDU}$
	N→S		16	$GP+C_0-0.4K_{SSN}-0.4C_{SSN}+1.0K_{SDU(NS)}+1.0C_{SDU}$

第2-2表 分類領域ごとの配筋一覧 (基礎)

部位	領域	厚さ (mm)	主筋 (SD390)		鉄筋量 (mm ² /m)	面外せん断補強筋 (SD345)
			位置	方向		
基礎						



第2-3図 配筋の分類領域図 



[記号の説明]

軸力	: N_x, N_y
曲げモーメント	: M_{xx}, M_{yy}
面内せん断力	: Q_{xy}
面外せん断力	: Q_{zx}, Q_{yz}

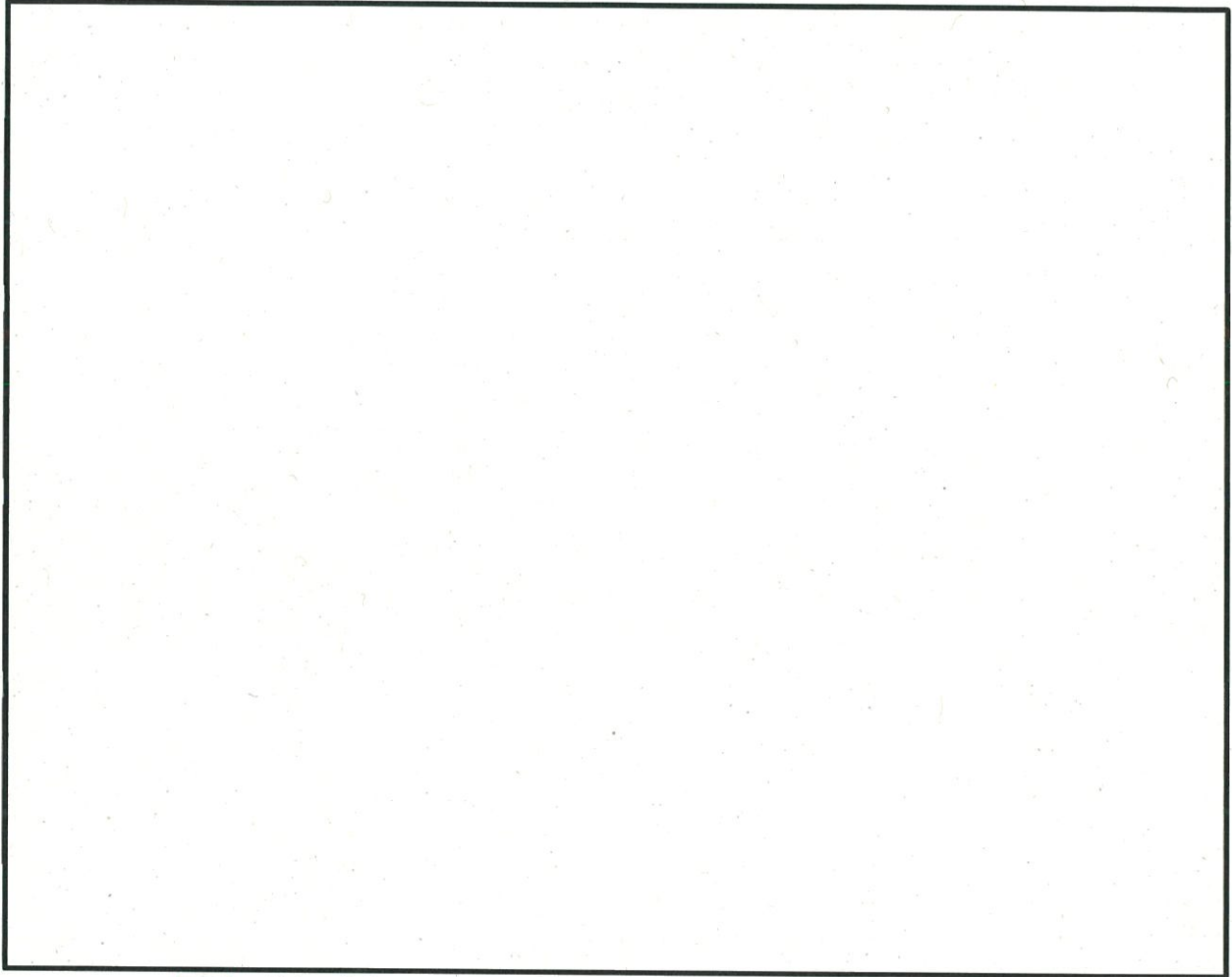
第2-4図 応力の方向



第2-3表 評価結果 Ss地震時（基礎）


分類領域	方向	軸力+曲げモーメント+面内せん断力			面外せん断力		
		要素番号	荷重の組合せケース	解析結果 ／ 許容値	要素番号	荷重の組合せケース	解析結果 ／ 許容値
	EW	3232504	7	0.44	3234002	4	0.45
	NS	3234103	6	0.47	3230706	8	0.61
	EW	3232643	8	0.61	3231402	3	0.43
	NS	3232402	6	0.49	3234332	7	0.64
	EW	3233217	2	0.20	3234122	4	0.29
	NS	3234119	3	0.13	3234119	8	0.36
	EW	3234714	1	0.42	3234801	4	0.68
	NS	3230602	8	0.60	3230606	8	0.61
	EW	3230544	2	0.44	3230544	3	0.58
	NS	3230544	2	0.03	3230544	3	0.04
	EW	3234701	1	0.48	3234701	4	0.67
	NS	3230501	8	0.23	3230401	3	0.30
	EW	3231013	6	0.06	3231013	3	0.41
	NS	3231011	4	0.10	3230813	8	0.57

(注1) は、耐震計算書において示した評価結果

(注2) 赤字部は、基礎において配筋量に対する必要鉄筋量の比率または許容値に対する発生値の比率が最大となる評価結果であり、この評価結果における応力コンター図を第2-6図に示す。

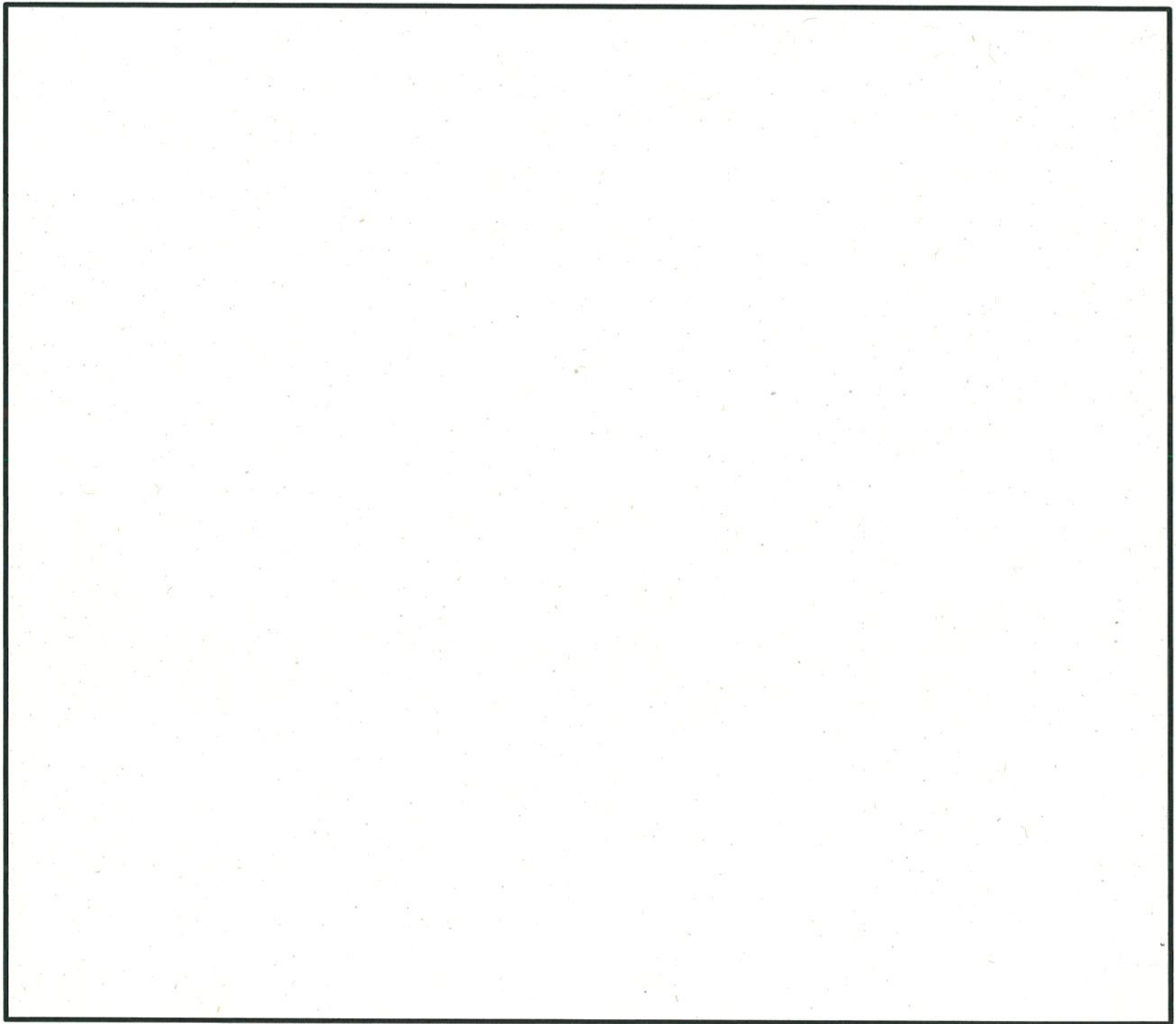




 : 軸力+曲げモーメント+面内せん断力
 : 面外せん断力

(注1)  は、耐震計算書において示した評価結果

(注2) 赤字部は、基礎において配筋量に対する必要鉄筋量の比率または許容値に対する発生値の比率が最大となる評価結果であり、この評価結果における応力コンター図を示す。

第2-5図 (1/5) 評価結果の位置 

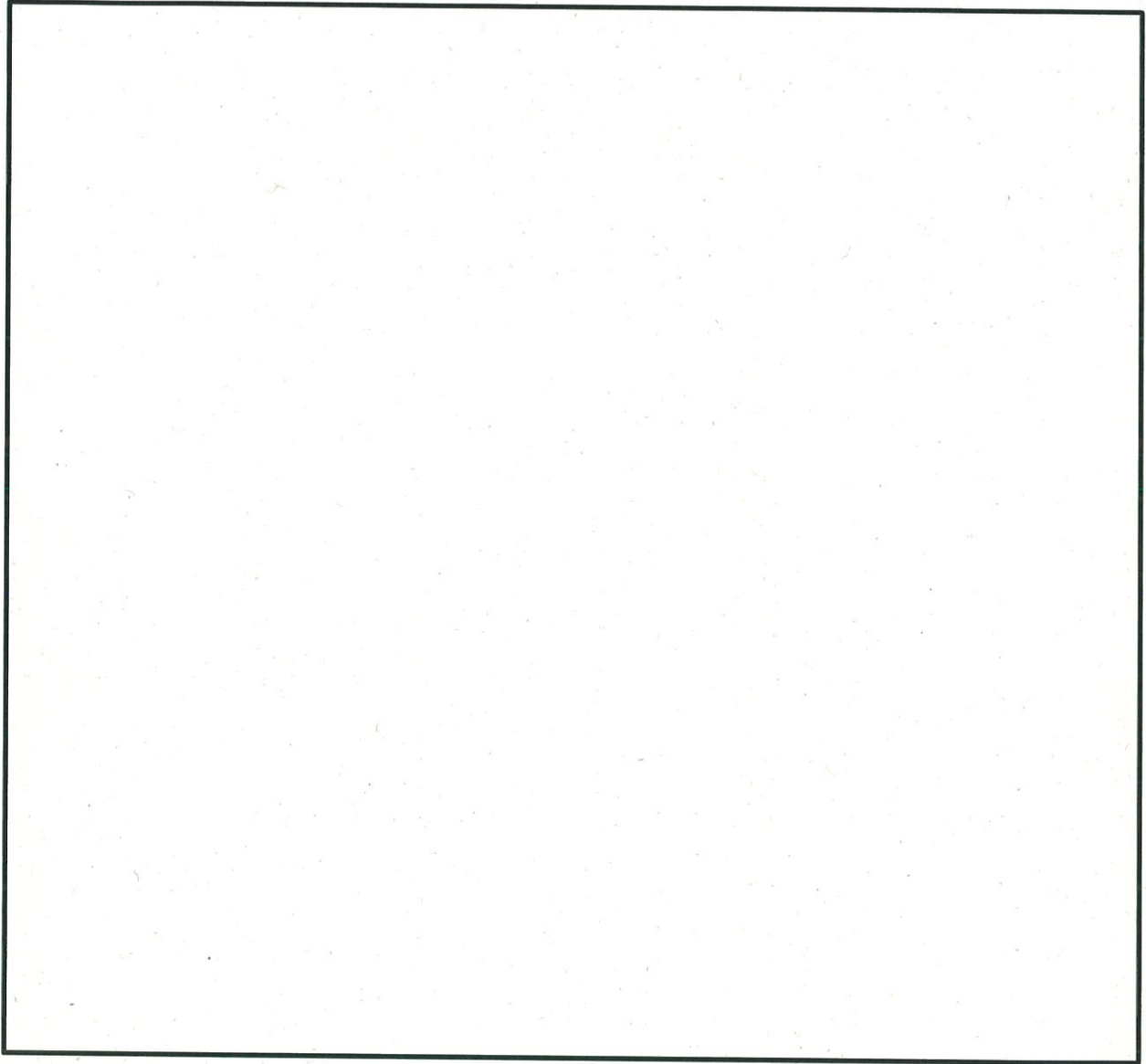




-  : 軸力+曲げモーメント+面内せん断力
-  : 面外せん断力


(注1)  は、耐震計算書において示した評価結果

(注2) 赤字部は、基礎において配筋量に対する必要鉄筋量の比率または許容値に対する発生値の比率が最大となる評価結果であり、この評価結果における応力コンター図を示す。

第2-5図 (2/5) 評価結果の位置 

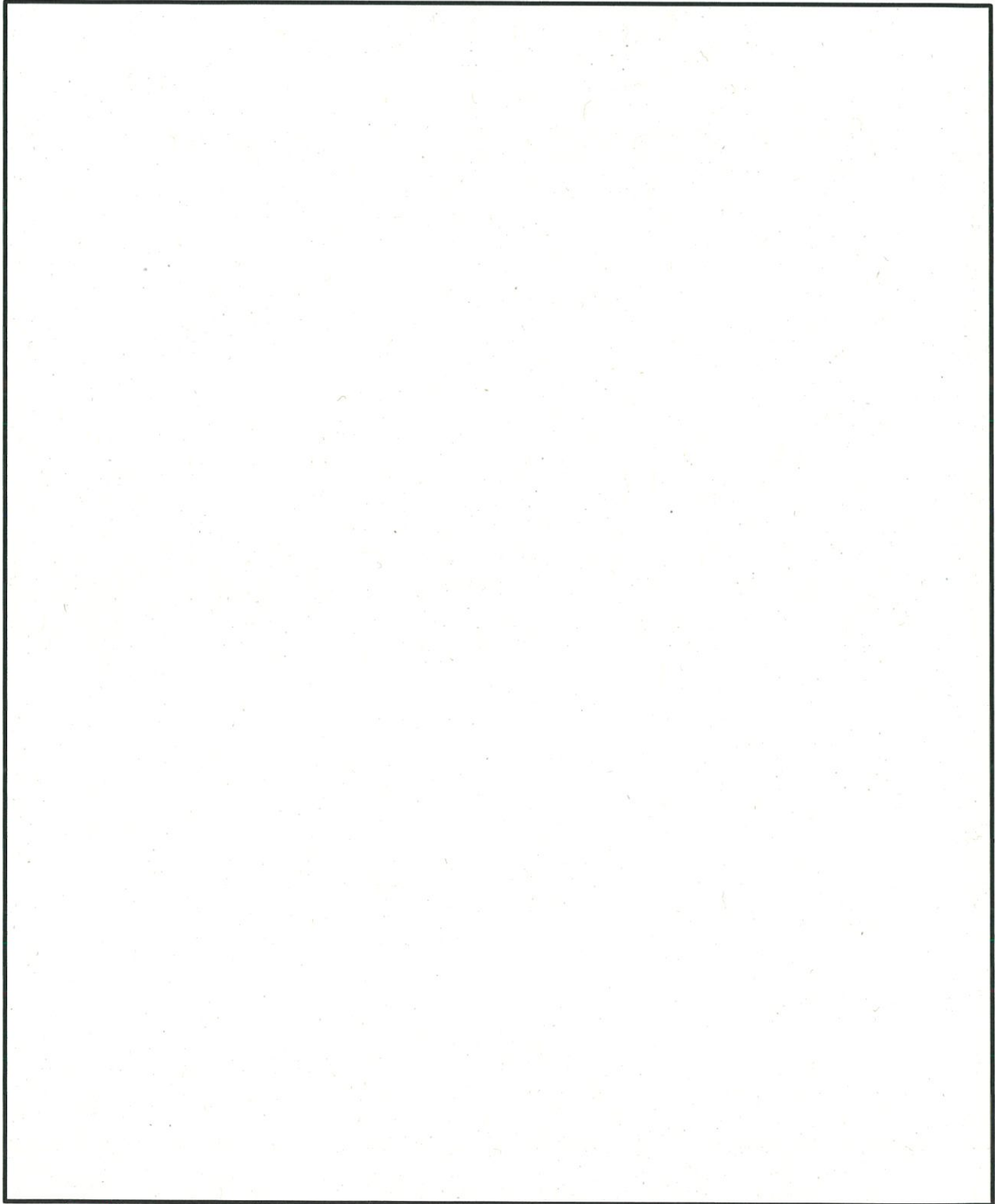




-  : 軸力+曲げモーメント+面内せん断力
-  : 面外せん断力

(注1)  は、耐震計算書において示した評価結果

(注2) 赤字部は、基礎において配筋量に対する必要鉄筋量の比率または許容値に対する発生値の比率が最大となる評価結果であり、この評価結果における応力コンター図を示す。

第2-5図 (3/5) 評価結果の位置 

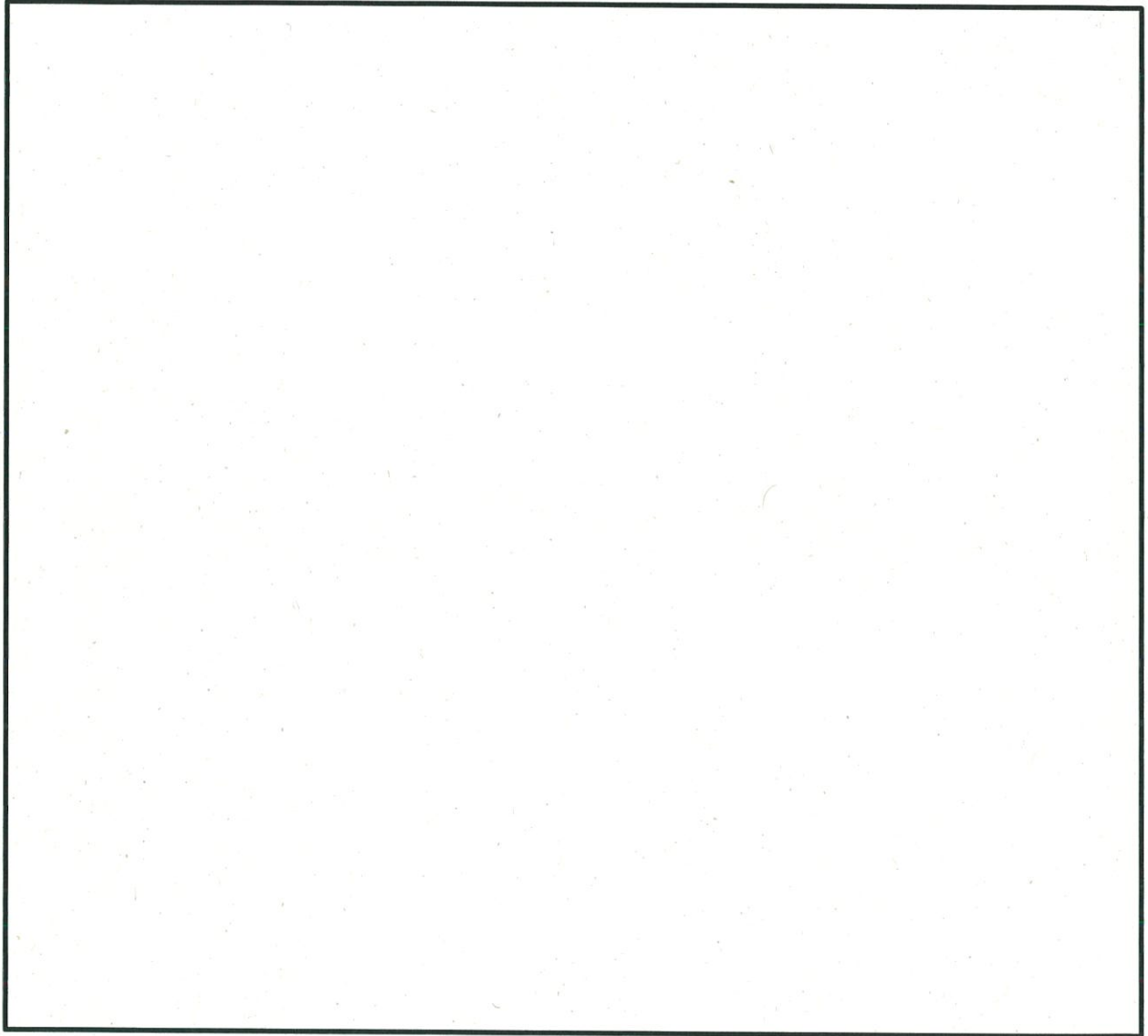


 : 軸力+曲げモーメント+面内せん断力
 : 面外せん断力

(注1)  は、耐震計算書において示した評価結果

(注2) 赤字部は、基礎において配筋量に対する必要鉄筋量の比率または許容値に対する発生値の比率が最大となる評価結果であり、この評価結果における応力コンター図を示す。

第2-5図 (4/5) 評価結果の位置 

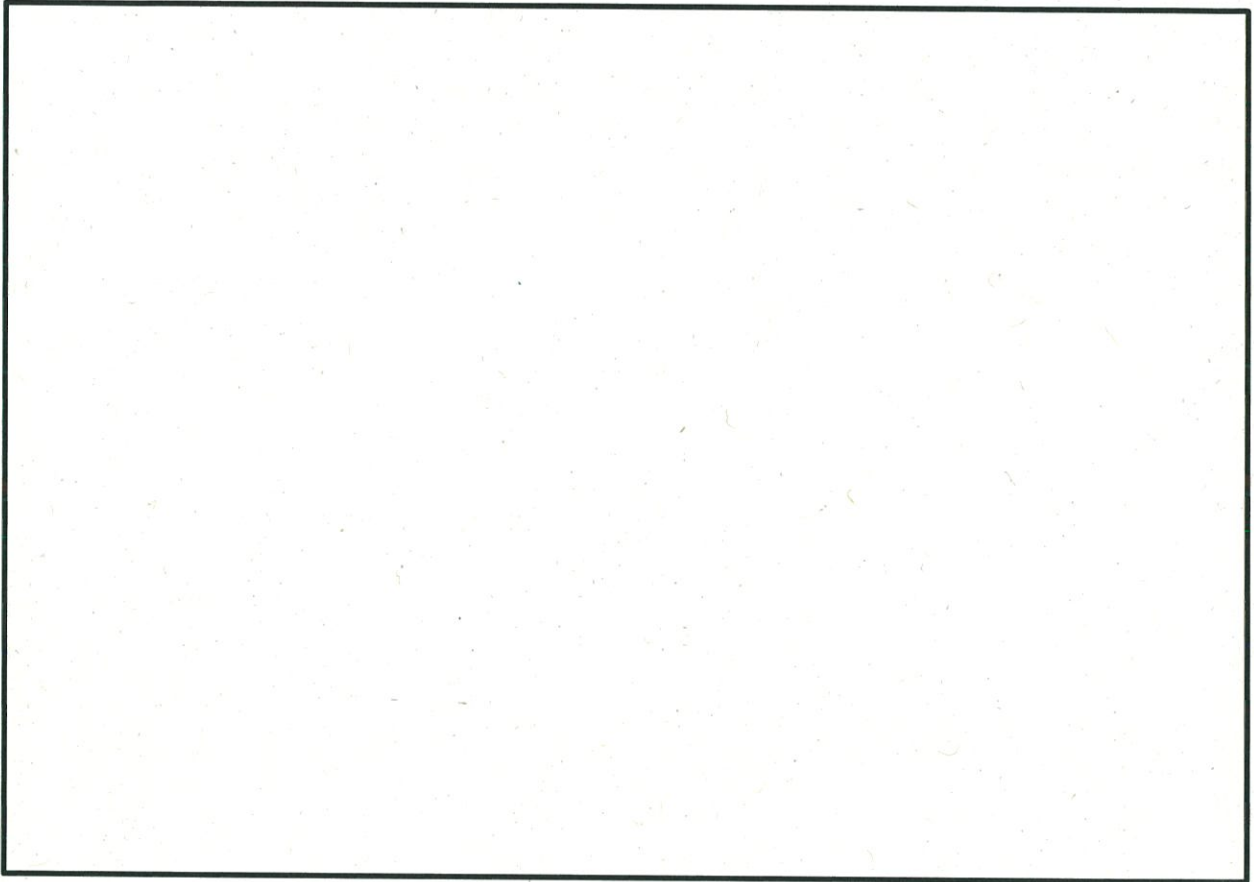


- : 軸力+曲げモーメント+面内せん断力
- : 面外せん断力

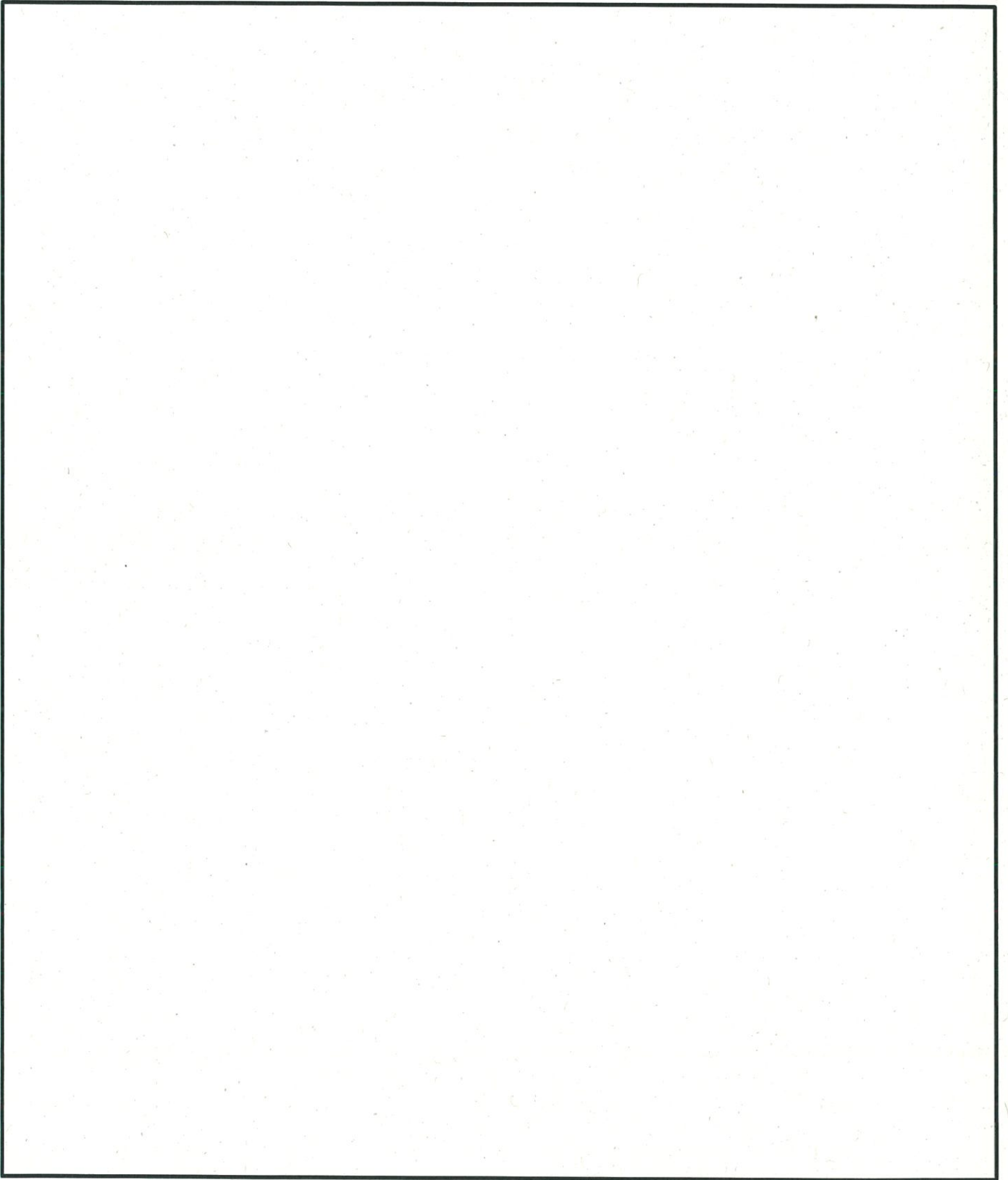
(注1) は、耐震計算書において示した評価結果

(注2) 赤字部は、基礎において配筋量に対する必要鉄筋量の比率または許容値に対する発生値の比率が最大となる評価結果であり、この評価結果における応力コンター図を示す。

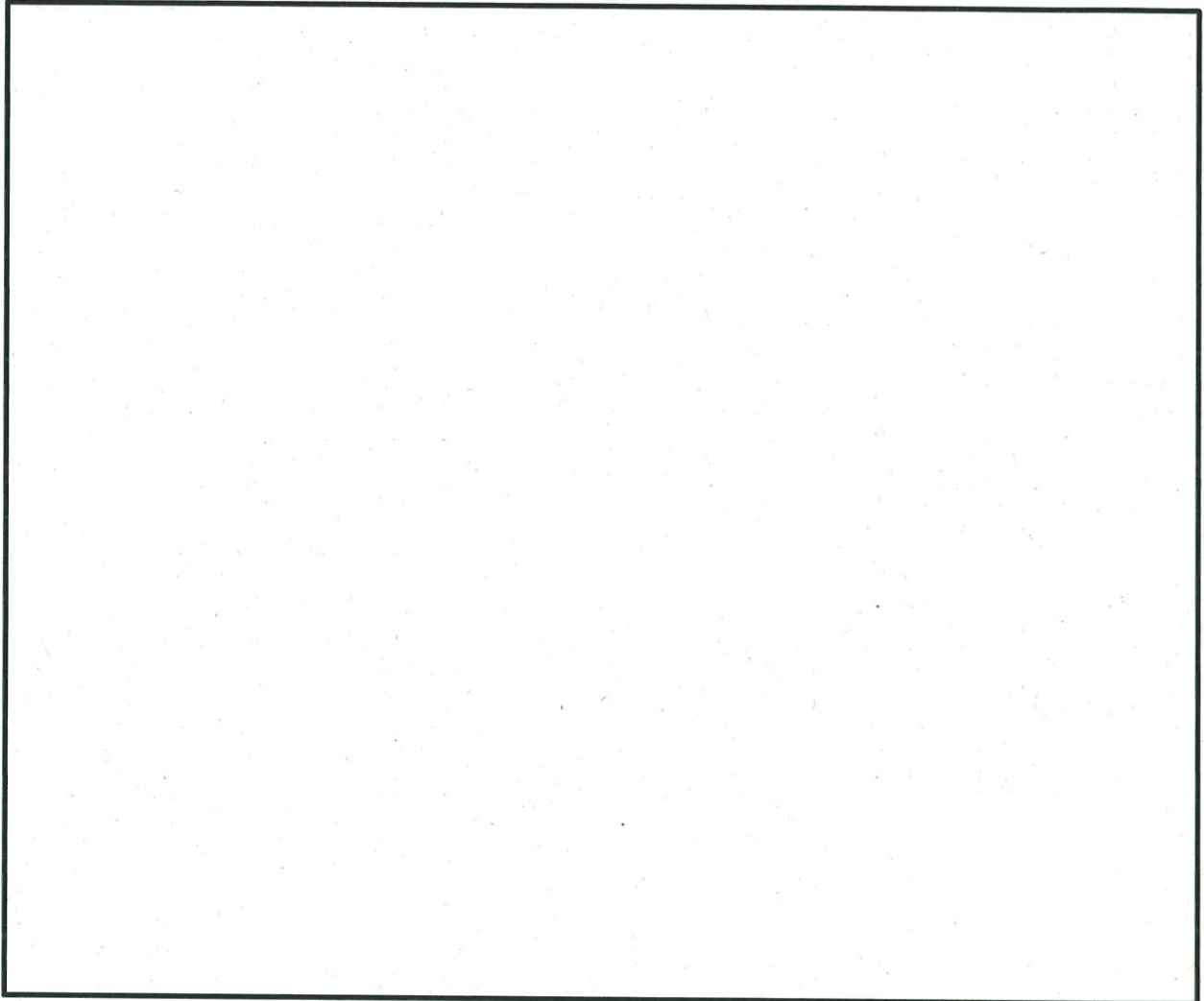
第2-5図 (5/5) 評価結果の位置



第2-6図 (1/2) 配筋量に対する必要鉄筋量の比率又は許容値に対する発生値の比率
が最大となる評価結果の応力コンター図
(基礎 EW方向 Ss地震時 荷重の組み合わせケースNo. 8)



第2-6図 (2/2) 配筋量に対する必要鉄筋量の比率又は許容値に対する発生値の比率
が最大となる評価結果の応力コンター図
(基礎 EW方向 Ss地震時 荷重の組み合わせケースNo. 8)



第2-7図 配筋量に対する必要鉄筋量の比率又は許容値に対する発生値の比率が
最大となる評価結果の応力コンター図
(基礎 EW方向 Ss地震時 荷重の組み合わせケースNo. 4)

使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算について

2-3 地震荷重の入力方法

目 次

	頁
1. 概要	2-3-1
2. 地震荷重の入力方法	2-3-1
2.1 水平地震力及び鉛直地震力	2-3-1
2.2 キャスク反力	2-3-5

1. 概要

本資料は、使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算に関して説明するものであり、今回設工認において、応力解析モデルを用いた評価を行っている基礎の地震荷重の入力方法について示すものである。

なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-12-2「使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算書」

2. 地震荷重の入力方法

地震荷重は、水平地震力、鉛直地震力及び乾式キャスクからの反力（以下「キャスク反力」という。）により構成される。また、地震荷重は、資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」において実施している地震応答解析結果を用いて算出する。

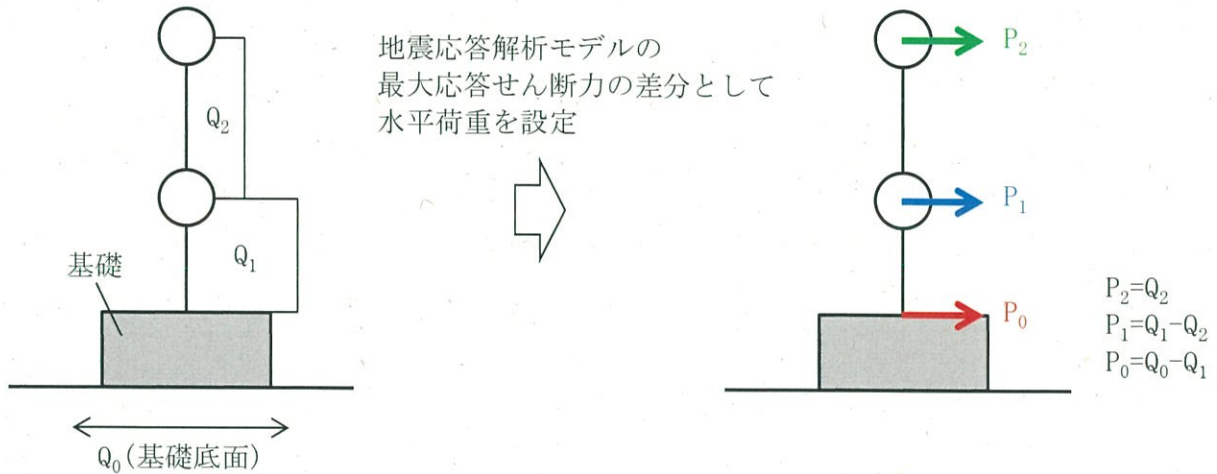
2.1 水平地震力及び鉛直地震力

水平地震力及び鉛直地震力は、FEMモデルの各層及び基礎底面に生じるせん断力、曲げモーメント及び軸力が、地震応答解析結果における地震力（せん断力、曲げモーメント及び軸力）をそれぞれ包絡し設定した設計用地震力と等価になるように設定する。なお、設計用地震力は、材料物性のばらつき等を考慮した各ケースにおける基準地震動 S_s （ S_s-1 、 S_s-2 及び S_s-3 ）に対する地震応答解析結果の最大値を部材ごとに包絡して算出する。

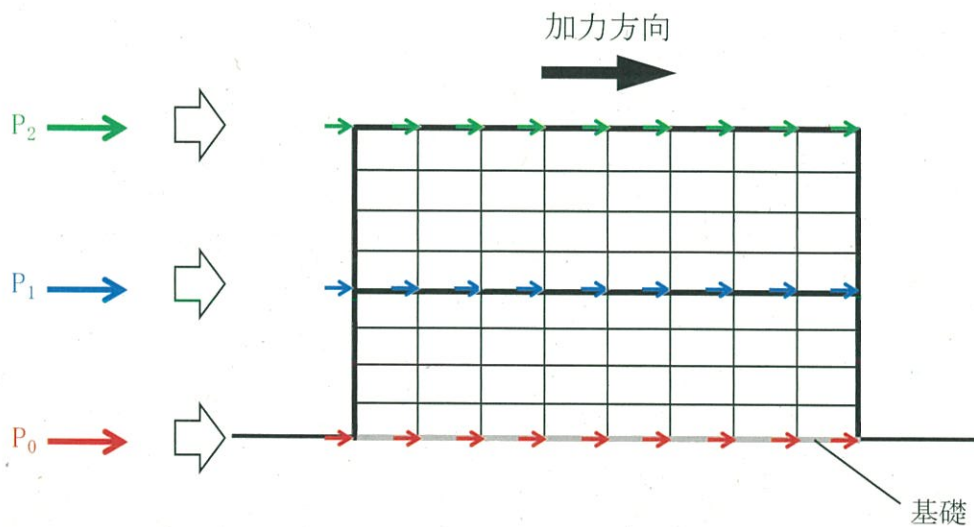
2.1.1 せん断力

せん断力については、基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果における各層の最大応答せん断力に相当する水平力を、各質点位置に対応する各節点の支配領域に応じて分配し、節点力として入力する。

地震荷重（せん断力）の入力概念図を第2-1図に示す。



(a) 地震荷重の設定方法（最大応答せん断力 Q_n と水平荷重 P_n の関係）



上部構造物及び基礎について、モデル上の各節点における支配領域に応じた節点力として入力する。

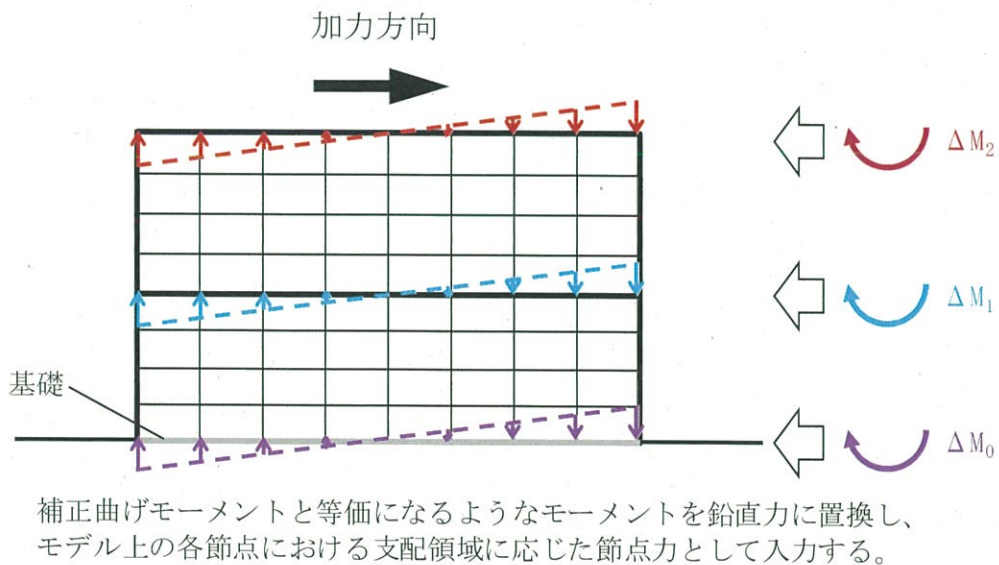
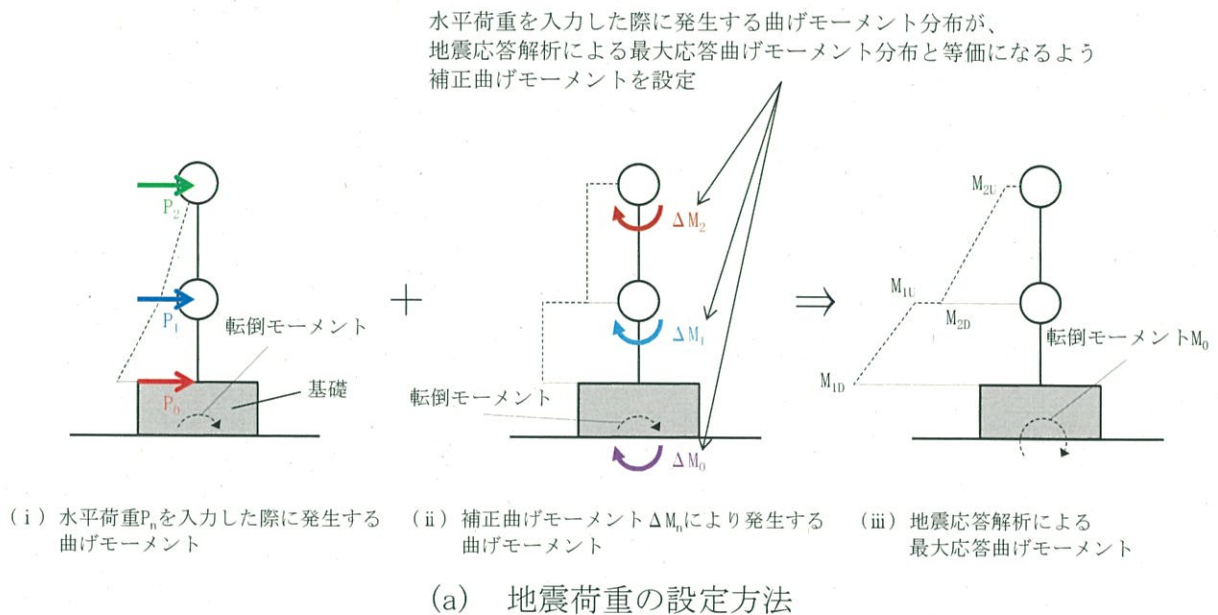
(b) FEMモデルに作用させる水平力

第2-1図 地震荷重の入力概念図（せん断力）

2.1.2 曲げモーメント

曲げモーメントについては、基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果における各質点位置の最大応答曲げモーメントから水平荷重により各床高さに発生する曲げモーメントを差し引いた値を、各質点位置に対応する各節点に鉛直方向の節点力として入力する。

地震荷重（曲げモーメント）の入力概念図を第2-2図に示す。



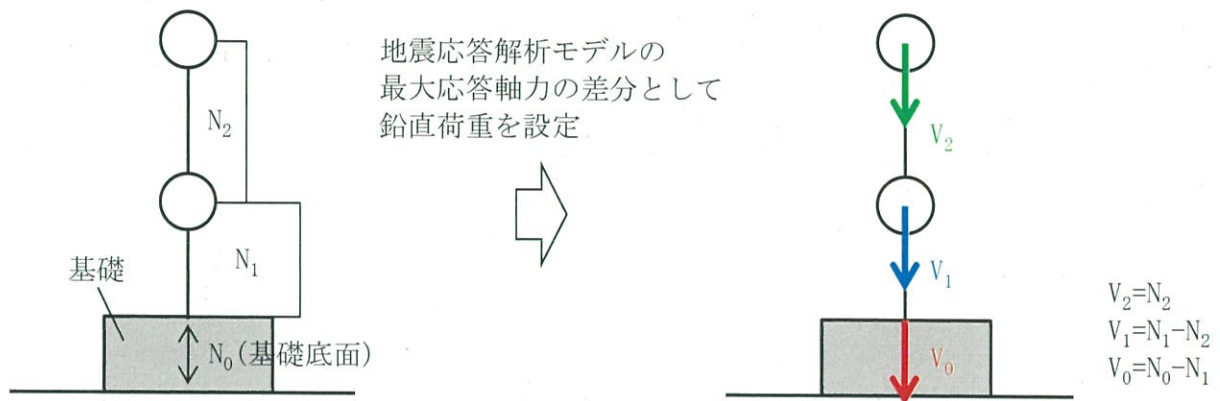
(b) FEMモデルに作用させる鉛直力

第2-2図 地震荷重の入力概念図（曲げモーメント）

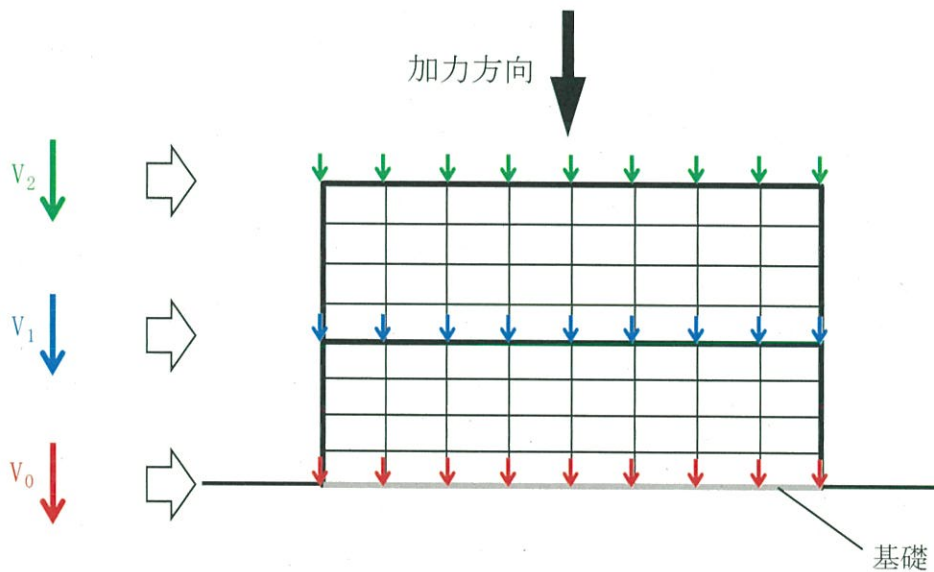
2.1.3 軸力

軸力については、基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果における各層の最大応答軸力に相当する鉛直力を、各質点位置に対応する各節点の支配領域に応じて分配し、鉛直方向の節点力として入力する。

地震荷重（軸力）の入力概念図を第2-3図に示す。



(a) 地震荷重の設定方法（最大応答軸力 N_n と鉛直荷重 V_n の関係）



上部構造物及び基礎について、モデル上の各節点における支配領域に応じた節点力として入力する。

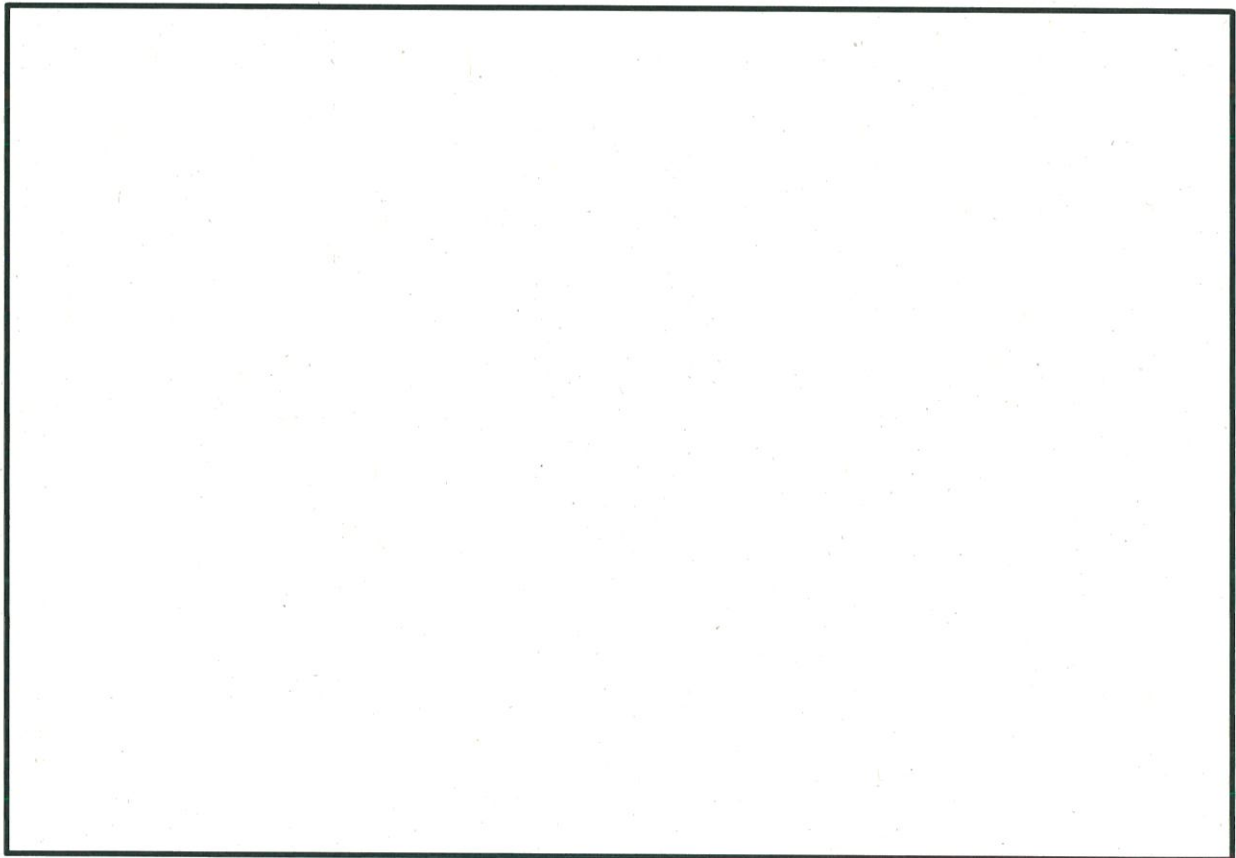
(b) FEMモデルに作用させる鉛直力

第2-3図 地震荷重の入力概念図（軸力）

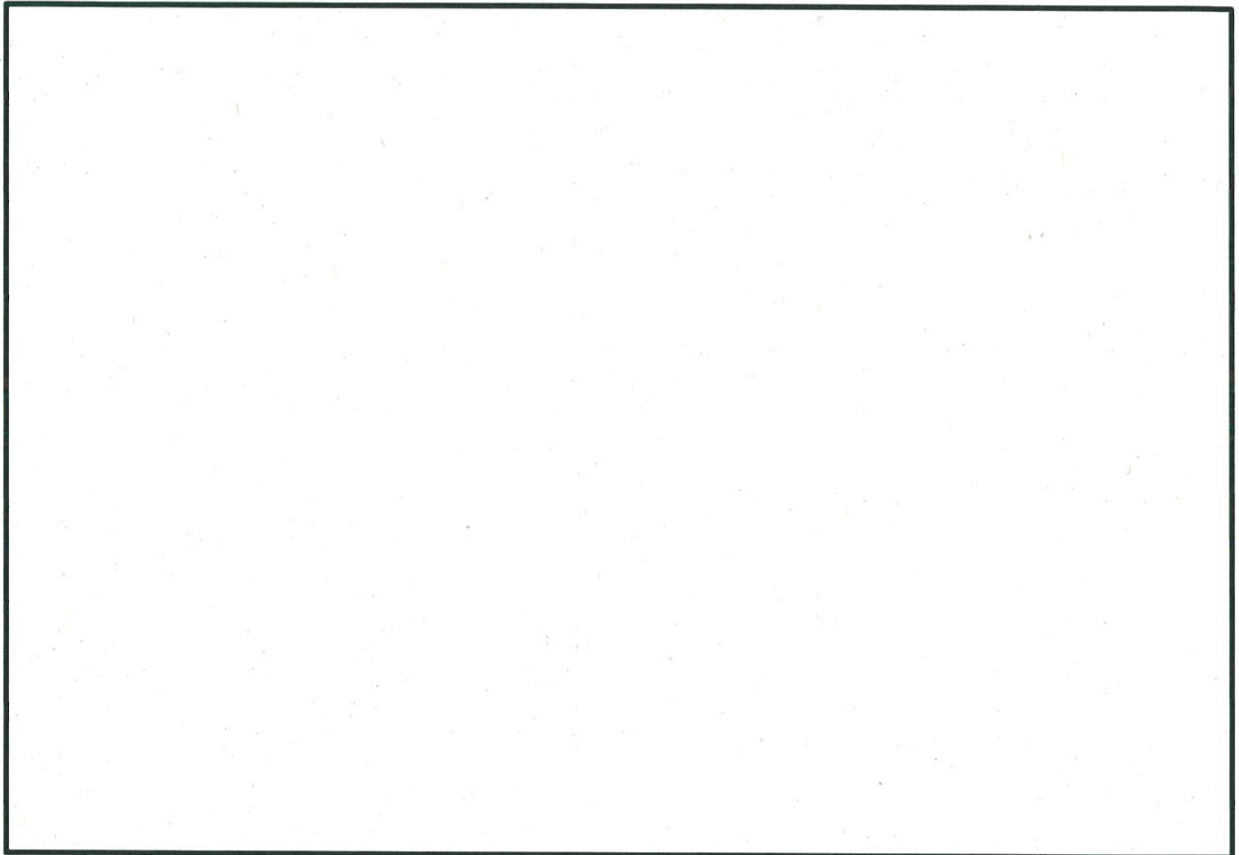
2.2 キャスク反力

キャスク反力は、乾式キャスクを設置している節点に節点力として入力する。

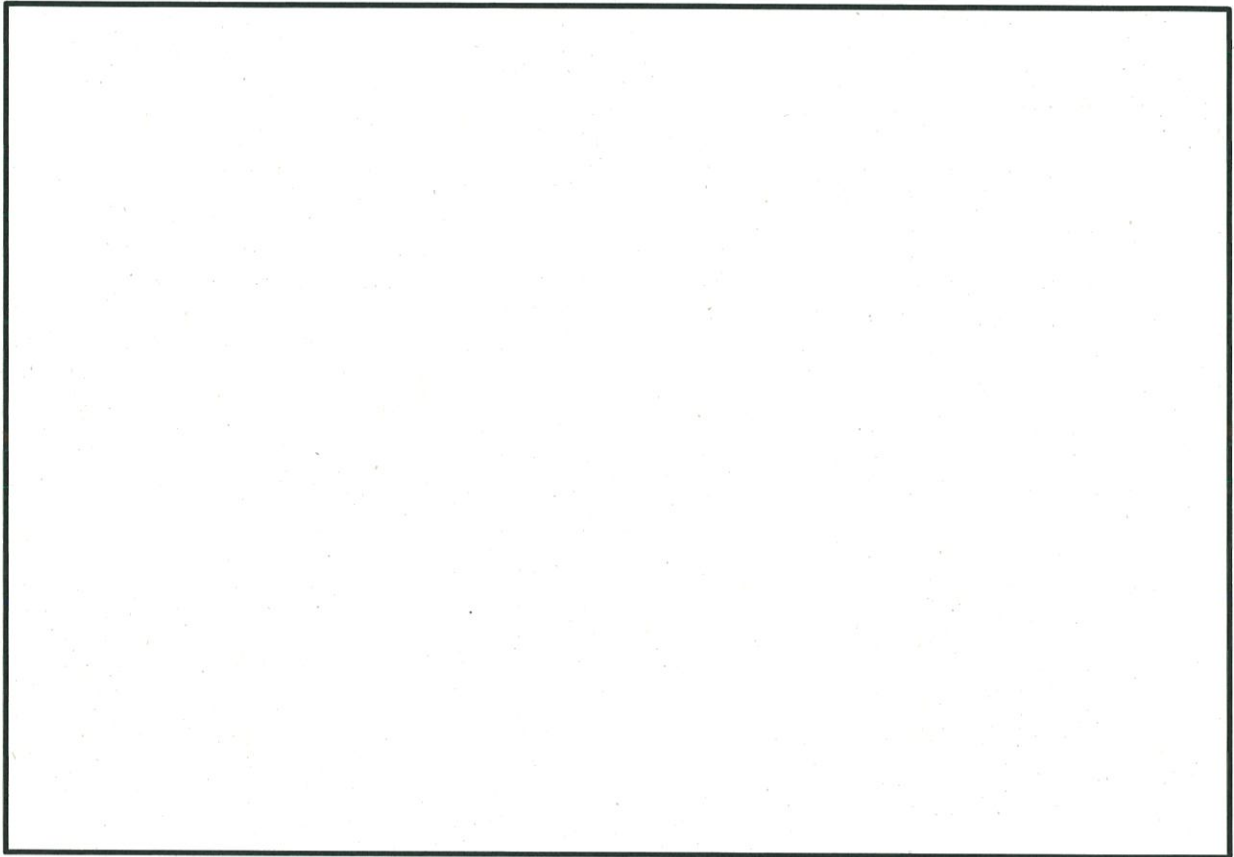
キャスク反力の入力概念図を第2-4図及び第2-5図に示す。また、長期キャスク荷重の入力概念図を第2-6図に参考として示す。



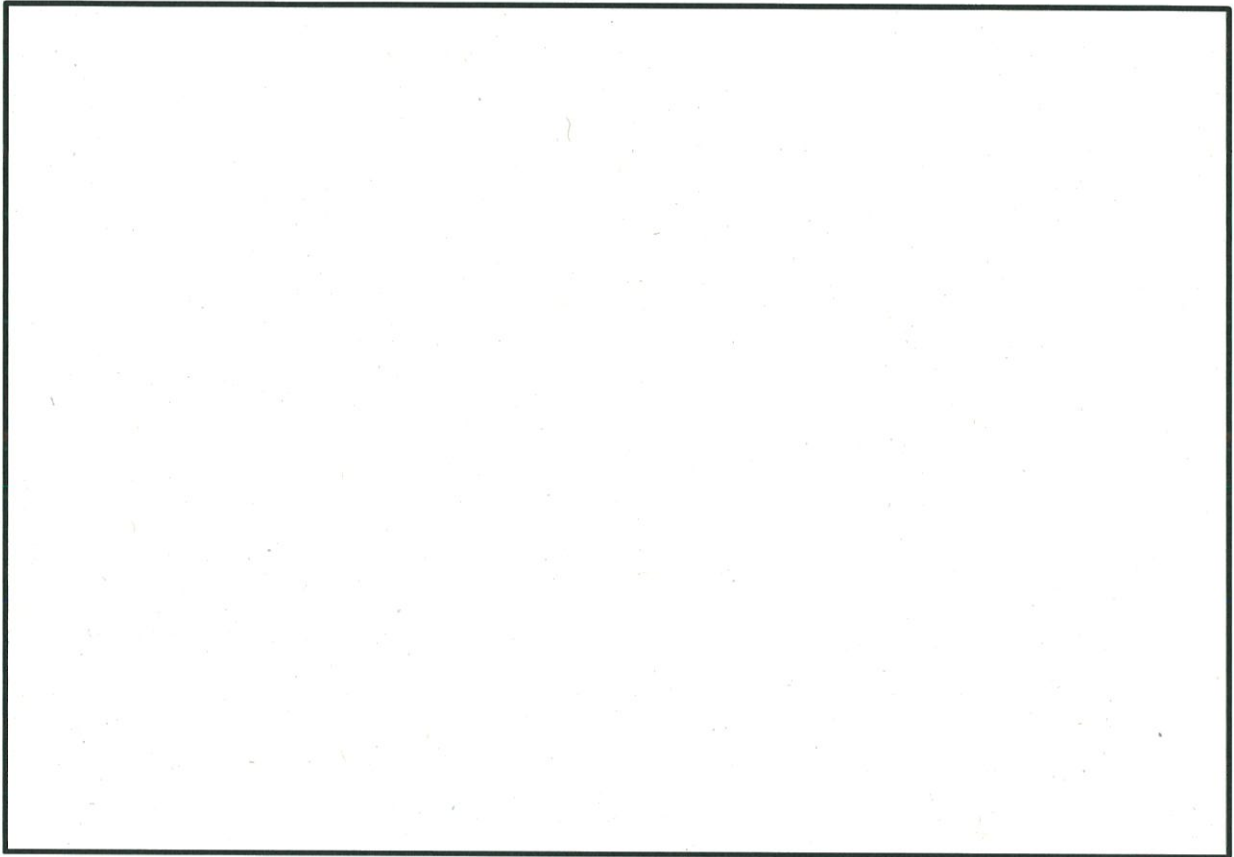
第2-4図(1/2) 水平地震力 (NS方向) によるキャスク反力の入力概念図
(キャスク反力 S→N)



第2-4図(2/2) 水平地震力 (EW方向) によるキャスク反力の入力概念図
(キャスク反力 E→W)



第2-5図 鉛直地震力によるキャスク反力の入力概念図
(キャスク反力 鉛直上向き)



第2-6図 長期キャスク荷重の入力概念図 (参考)

使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算について

2-4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ

に関する影響評価

目 次

	頁
1. 概要	2-4-1
2. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる 地震動	2-4-2
3. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価	2-4-3
3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計の考え方	2-4-3
3.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	2-4-5
3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価部位の抽出	2-4-8
3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の 抽出結果	2-4-20
3.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価	2-4-22
3.6 基礎の評価	2-4-23

1. 概要

資料9-15「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」では、資料9-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に基づき、水平2方向及び鉛直方向地震力により施設が有する耐震性に及ぼす影響について、令和2年3月26日付け原規規発第2003261号にて認可された工事計画の資料17-17「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」で評価した建屋（以下「既認可建屋」という。）に、使用済燃料乾式貯蔵建屋を加えて評価した結果を説明している。

本資料は、使用済燃料乾式貯蔵建屋について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出について説明するとともに、抽出された部位の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果を説明する。

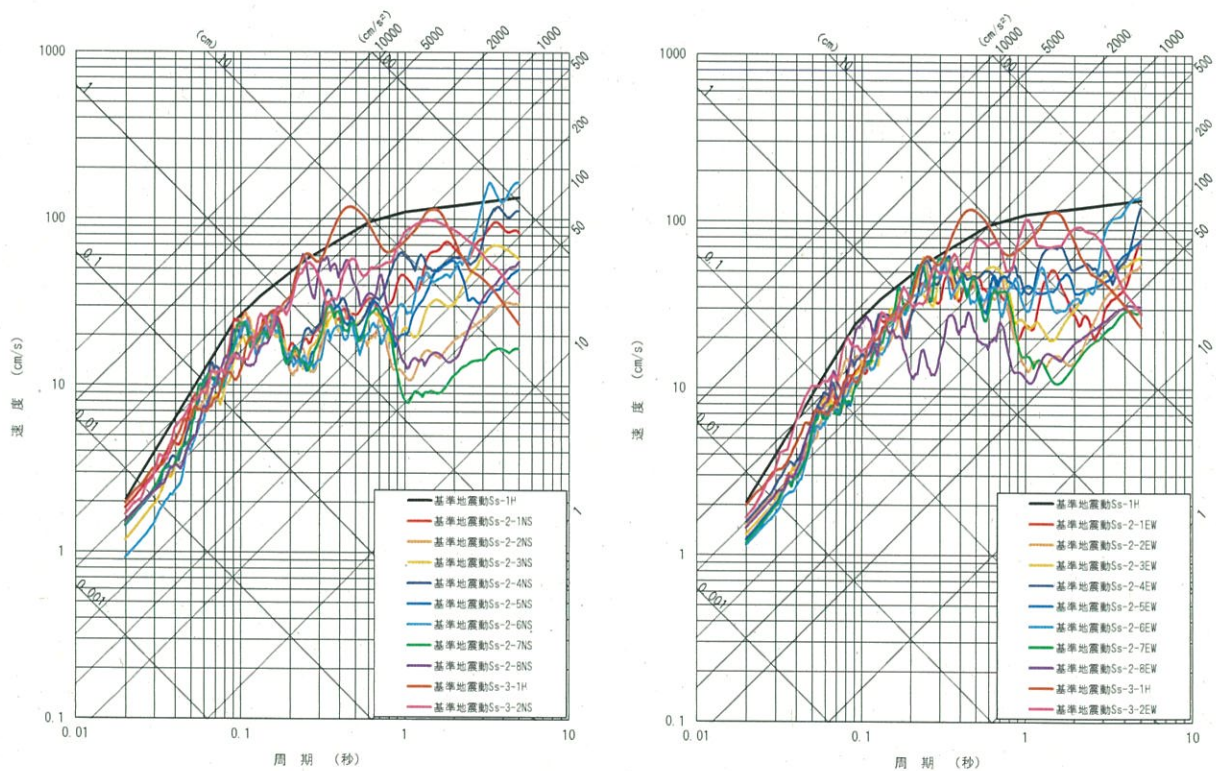
なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-15「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」

2. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

伊方発電所の基準地震動Ssは、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」のうち、応答スペクトルに基づく地震動としてSs-1、断層モデルを用いた手法による地震動としてSs-2-1～Ss-2-8を策定している。また、「震源を特定せず策定する地震動」として基準地震動Ss-3-1～Ss-3-2を策定している。基準地震動Ss-1～Ss-3の応答スペクトル（水平方向）を第2-1図に示す。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価には、基準地震動Ss-1～Ss-3を用いる。ここで、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動は、複数の基準地震動における地震動の特性及び包絡関係を、施設の特性による影響も考慮した上で確認し、本影響評価に用いる。



第2-1図 基準地震動の応答スペクトル（水平方向）

3. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価

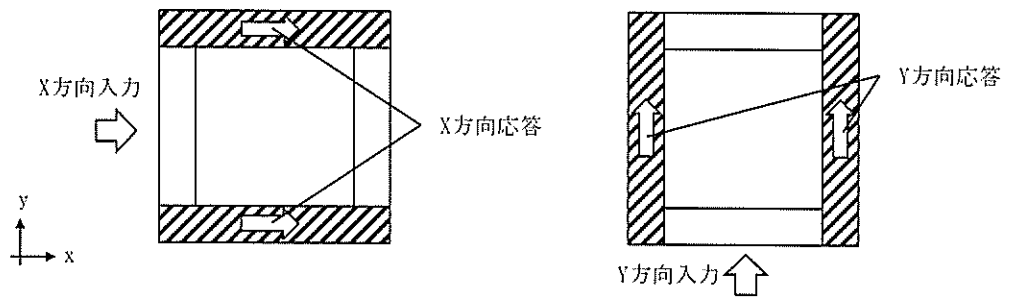
3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計の考え方

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、使用済燃料乾式貯蔵容器（以下「乾式キャスク」という。）を45基 収容することができる鉄筋コンクリート造の構造物であり、使用済燃料乾式貯蔵建屋貯蔵エリア（以下「貯蔵エリア」という。）、使用済燃料乾式貯蔵建屋取扱エリア（以下「取扱エリア」という。）などから構成されている。

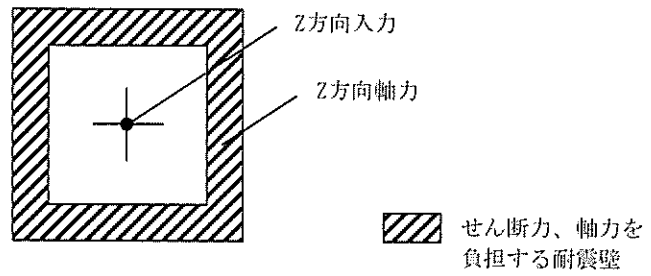
主要構造は、鉄筋コンクリート造の耐震壁を主体としており、貯蔵エリアの耐震壁には冷却空気取入れのための開口がある。

水平方向の地震力に対しては、せん断力について評価することを基本とし、作用するせん断力は、地震時に生じる力の流れが明解となるように、直交する2方向に釣合いよく配置された鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行っている。地震応答解析は、水平2方向の耐震壁に対してそれぞれ剛性を評価し、各水平方向に対して解析を実施している。したがって、使用済燃料乾式貯蔵建屋に対し水平2方向の入力がある場合、各方向から作用するせん断力を負担する部位が異なるため、水平2方向の入力がある場合の評価は、水平1方向にのみ入力がある場合と同等な評価となる。また、鉛直方向の地震力に対しては、軸力について評価することを基本とし、地震応答解析は、主な耐震要素である耐震壁の鉛直方向の剛性を評価し、鉛直方向に対して解析を実施している。入力方向ごとの耐震要素について、第3.1-1図に示す。

これを踏まえ、使用済燃料乾式貯蔵建屋の応力解析による耐震評価は、地震応答解析により算出された応答を水平1方向及び鉛直方向に組み合わせて評価を行っている。



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

第 3.1-1 図 入力方向ごとの耐震要素

3.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

使用済燃料乾式貯蔵建屋について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した場合に影響を受ける可能性がある部位の評価を行う。

対象とする部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性から、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある部位を抽出する。

応答特性から抽出された、水平2方向の地震力の組合せによる影響を受ける可能性がある部位は、資料9-12-2「使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算書」に示す荷重を水平2方向及び鉛直方向に組み合わせ、各部位に発生する応力を算出し、各部位が有する耐震性への影響を確認する。

各部位が有する耐震性への影響が確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

影響評価のフローを第3.2-1図に示す。

(1) 影響評価部位の抽出

① 耐震評価上の構成部位の整理

使用済燃料乾式貯蔵建屋における耐震評価上の構成部位を整理し、使用済燃料乾式貯蔵建屋において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認する。

② 応答特性の整理

使用済燃料乾式貯蔵建屋における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性を整理する。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理する。

③ 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

整理した耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性のうち、荷重の組合せによる応答特性を検討する。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、荷重の組合せによる応答特性により、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

④ 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、3次元的な応答特性を検討する。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、3次元的な応答特性により、有する耐震性への影響が想

定される部位を抽出する。

⑤ 3次元FEMモデルによる精査

3次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位について、3次元FEMモデルを用いた精査を実施し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

また、3次元的な応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位についても、局所応答の観点から、3次元FEMモデルによる精査を実施し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

(2) 影響評価手法

⑥ 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価においては、評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、荷重を適切に組み合わせることで、各部位の設計上の許容限界に対する評価を実施し、各部位が有する耐震性への影響を評価する。

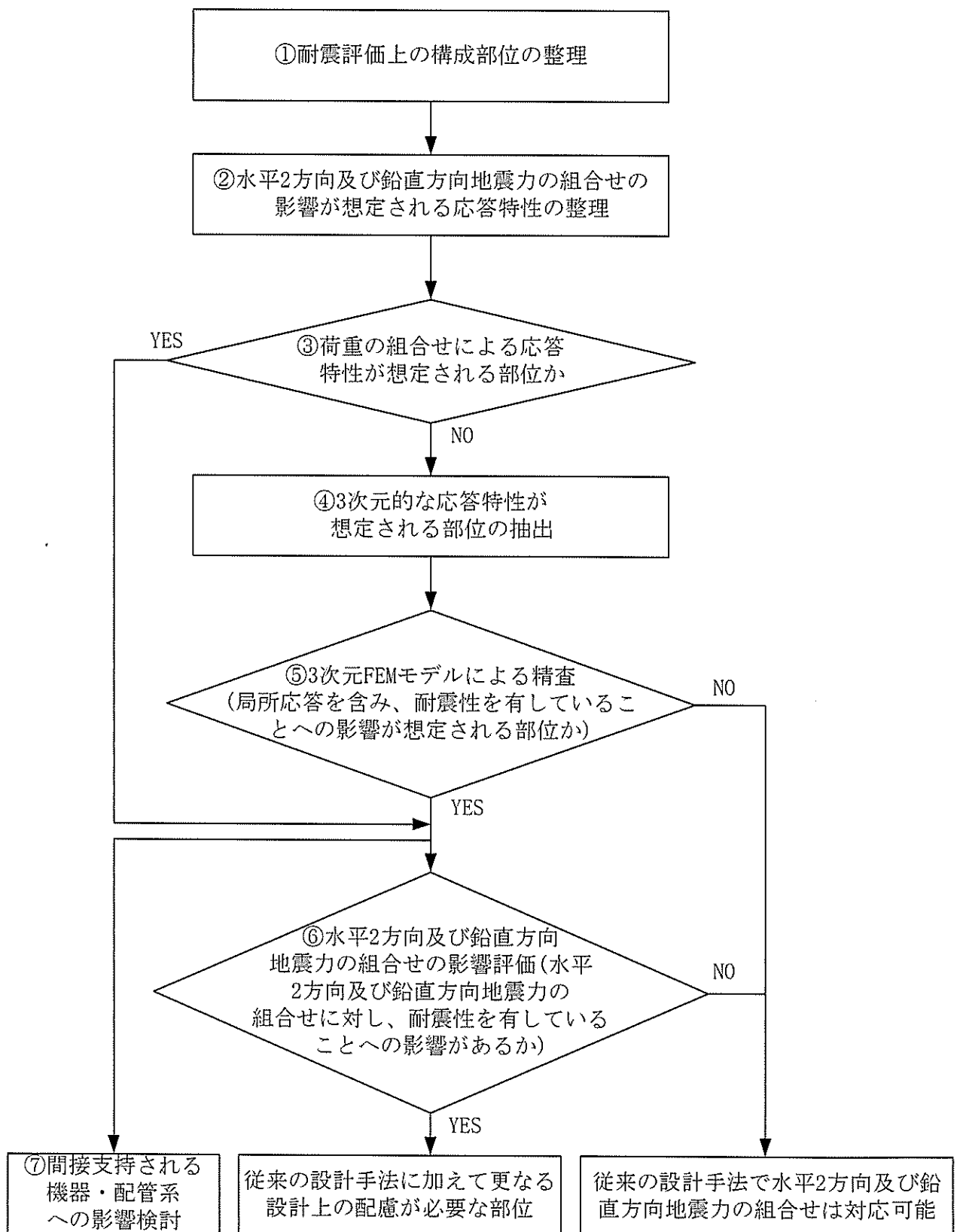
荷重の組合せにおいては、資料9-12-2「使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算書」に示す水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価で設定した荷重を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 Regulatory Guide 1.92^(注)の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、組合せ係数法(1.0:0.4:0.4)に基づいて設定する。

(注) Regulatory Guide (RG) 1.92 “Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis”

⑦ 機器・配管系への影響検討

「(1) 影響評価部位の抽出」において評価対象として抽出された部位が機器・配管系の間接支持機能を有する場合、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる当該部位の応答値への影響を確認する。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる当該部位の応答値への影響が確認された場合、機器・配管系の影響評価に反映する。



第 3. 2-1 図 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響検討のフロー

3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価部位の抽出

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震評価上の構成部位を整理し、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を既認可建屋と併せて第3.3-1表に示す。

第3.3-1表 建物・構築物^(注1)における耐震評価上の構成部位の整理

耐震評価部位	原子炉建屋					原子炉補助建屋	緊急時対策所	タービン建屋 ^(注2)	外周コンクリート壁(1号機) ^(注2)	待機所 ^(注2)	非常用ガスタービン発電機建屋	使用済燃料乾式貯蔵建屋	
	外周コンクリート壁	内部コンクリート	原子炉周辺補機棟	燃料取扱棟									
				使用済燃料ピット	鉄骨部 ^(注2)								
RC造	RC造	RC造	RC造	S造	RC造	RC造	S造	RC造	RC造	RC造	RC造		
柱	一般部	—	—	○	—	○	○	—	○	—	—	—	—
	隅部	—	—	○	—	○	○	—	○	—	—	—	—
	地下部	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
梁	一般部	—	—	○	—	○	○	—	○	—	—	—	○
	地下部	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—
壁	一般部	○	○	○	○	—	○	○	—	○	○	○	○
	斜め部	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	地下部	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	○	—	—	○	—	—	—	—
	水密扉	—	—	○ ^(注3)	—	—	○ ^(注3)	—	—	—	—	—	—
床屋根	一般部	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○	○	
基礎	矩形	○					○	○	○	—	○	○	○
	円形	—					—	—	—	○	—	—	—

凡例 ○：対象となる部位あり、—：対象となる部位なし

(注1) 耐震重要施設及びその間接支持構造物、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する建物・構築物

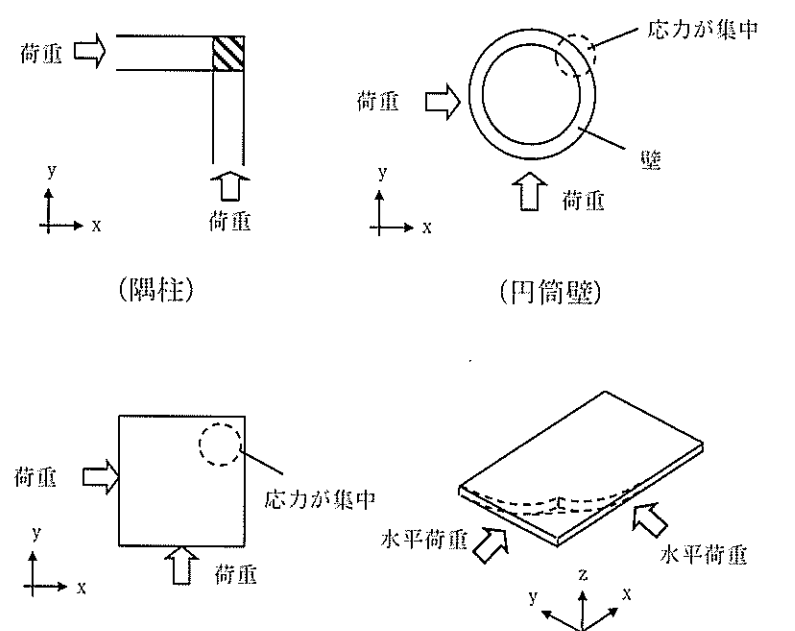
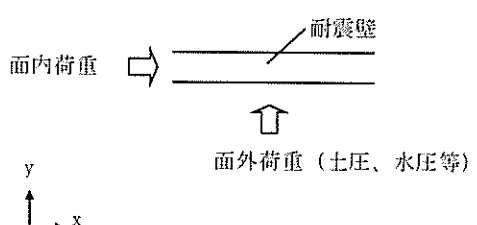
(注2) (注1)のうち、波及的影響防止のために耐震評価を実施する建物・構築物

(注3) 海水ピットポンプ室に設置している水密扉を含む。

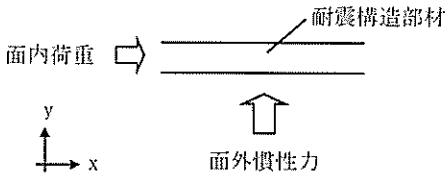
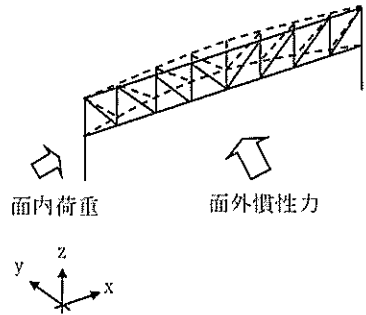
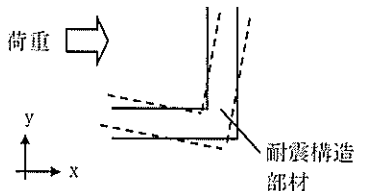
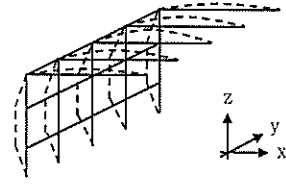
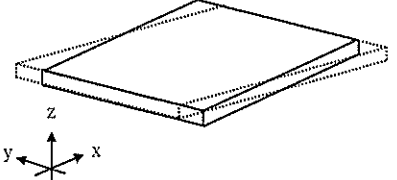
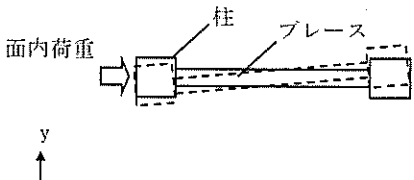
(2) 応答特性の整理

使用済燃料乾式貯蔵建屋における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を第3.3-2表及び第3.3-3表に示す。また、応答特性を踏まえ、耐震評価上の構成部位に対する水平2方向入力の考え方を第3.3-4表に示す。

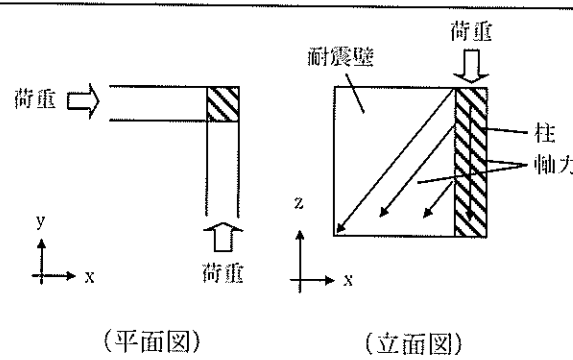
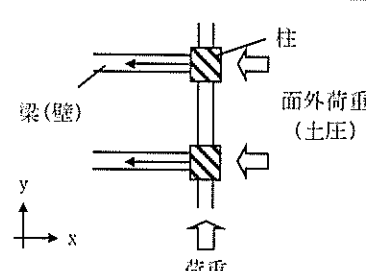
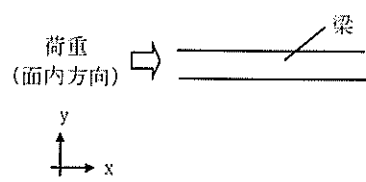
第3.3-2表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性
(荷重の組合せによる応答特性)

荷重の組合せによる 応答特性		影響想定部位
①-1	直交する水平2 方向の荷重 が、応力とし て集中	<p>応力の集中する隅柱等</p> <p>(例)</p>  <p>(隅柱) (円筒壁)</p> <p>(矩形の基礎版)</p>
①-2	面内方向の荷 重を負担しつ つ、面外方向 の荷重が作用	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を負担するピット等</p> <p>(例)</p>  <p>耐震壁</p> <p>面内荷重</p> <p>面外荷重 (土圧、水圧等)</p>

第3.3-3表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性
(3次元的な応答特性)

3次元的な応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位</p> <p>(例)</p>  <p>面内荷重 → 耐震構造部材</p> <p>↑ 面外慣性力</p> <p>(耐震構造部材)</p>  <p>面内荷重 → 面外慣性力</p> <p>(トラス)</p>
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方向に励起される振動</p>	<p>塔状構造物などを含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物</p> <p>(例)</p>  <p>荷重 → 耐震構造部材</p> <p>(壁)</p>  <p>(鉄骨架構)</p>  <p>(床・屋根)</p>  <p>面内荷重 → 柱 → ブレース</p> <p>(ブレース)</p>

第3.3-4表 (1/2) 耐震評価上の各部位に対する水平2方向入力のかえ方

耐震評価上の構成部材		水平2方向入力のかえ方
柱	一般部	耐震壁付の構造の場合、水平入力による影響は小さい。
	隅部 (端部含む)	<p>直交する地震荷重が同時に作用。 ただし、耐震壁付きの隅柱は軸力が耐震壁に分散されることで、影響は小さい。</p>  <p>(平面図) (立面図)</p>
	地下部	<p>外周部耐震壁付のため、水平入力による影響は小さい。 土圧が作用する方向にあるはり及び壁が応力を負担することで、水平面外入力による影響は小さい。</p>  <p>梁(壁) 柱 面外荷重(土圧) 荷重</p>
一般部	<p>1方向のみ地震荷重を負担し、床による面外地震荷重負担による影響は小さい。 吹き抜け部にある梁の面外地震荷重の影響未把握。</p>  <p>荷重(面内方向) 梁</p>	
鉄骨トラス	1方向のみ地震荷重を負担するため水平入力による影響は小さい。床による拘束があるため、面外荷重の影響は小さい。	

第3.3-4表 (2/2) 耐震評価上の各部位に対する水平2方向入力のかえ方

耐震評価上の構成部材		水平2方向入力のかえ方	
壁	一般部	1方向のみ地震荷重を負担することを基本。直交する方向（面外）、ねじれによる荷重増分は影響未把握。	
	斜め部	<p>1方向地震荷重は角度に応じた等価なせん断剛性としたひずみで評価。 直交する方向（面外）、ねじれによる荷重増分は影響未把握。</p> <p>(水平に対し、45°の壁を例示)</p>	
	地下部	<p>地下部分の耐震壁は、直交する方向からの地震時面外土圧荷重も受ける。</p>	
	鉄骨ブレース	水平は1方向のみの地震荷重を負担するため、2方向入力による影響は小さい。ただし、ねじれによる荷重増分の影響については確認が必要。	
床・屋根	一般部	<p>四方が壁等で固定された床スラブは、水平方向に変形しにくい構造のため、水平地震力の影響は小さい。ただし、ねじれによる荷重増分の影響は確認が必要。</p>	
	基礎版(矩形)	<p>水平2方向の地震力により、応力が集中するため確認が必要。</p>	
	基礎版(円形)	<p>鉄筋が放射状に配置されており、円周方向に同一断面としていることから方向性はない。ただし、上部構造物による影響未把握。</p>	
基礎			

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

第3.3-1表に示す使用済燃料乾式貯蔵建屋における耐震評価上の構成部位のうち、第3.3-2表に示す荷重の組合せによる応答特性により、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を既認可建屋と併せて第3.3-5表に示す。

応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位として、基礎を抽出した。

a. 壁

矩形の壁は、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。

b. 床及び屋根

床及び屋根は、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。

また、①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位も存在しない。

c. 基礎

①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位としては、矩形の基礎が考えられる。

矩形の基礎を有する使用済燃料乾式貯蔵建屋は、隅部への応力集中が考えられるため、①-1に該当するものとして抽出した。

また、①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、基礎は該当しない。

d. 梁

梁は、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。

また、①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位も存在しない。

第3. 3-5表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出（荷重の組合せによる応答特性によるスクリーニング）

耐震評価部位	原子炉建屋						原子炉補助建屋	緊急時対策所	タービン建屋	外周コンクリート壁（1号機）	待機所	非常用ガスタービン発電機建屋	使用済燃料乾式貯蔵建屋
	外周コンクリート壁	内部コンクリート	原子炉周辺補機棟	燃料取扱棟		RC造							
				使用済燃料ピット	鉄骨部								
RC造	RC造	RC造	RC造	S造	RC造	RC造	S造	RC造	RC造	RC造	RC造		
柱	一般部	-	-	該当なし	-	該当なし	該当なし	-	該当なし	-	-	-	-
	隅部	-	-	該当なし	-	①-1要	該当なし	-	①-1要	-	-	-	-
	地下部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
梁	一般部	-	-	該当なし	-	該当なし	該当なし	-	該当なし	-	-	-	該当なし
	地下部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	鉄骨トラス	-	-	-	-	-	-	-	該当なし	-	-	-	-
壁	一般部	①-1要	該当なし	該当なし	①-2要	-	該当なし	該当なし	-	①-1要	該当なし	該当なし	該当なし
	斜め部	-	該当なし	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	地下部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	①-2要	-
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	該当なし	-	-	該当なし	-	-	-	-
	水密扉	-	-	該当なし	-	-	該当なし	-	-	-	-	-	-
床屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	-	該当なし	該当なし	該当なし	
基礎	矩形	①-1要					①-1要	①-1要	該当なし	-	該当なし	①-1要	①-1要
	円形	-					-	-	-	該当なし	-	-	-

凡例 要：評価必要

①-1：応答特性「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

第3.3-1表に示す使用済燃料乾式貯蔵建屋における耐震評価上の構成部位のうち、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、第3.3-3表に示す3次元的な応答特性により、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を既認可建屋と併せて第3.3-6表に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位及び応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する部位として、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位は抽出されなかった。

a. 壁

壁について②-1の部位及び②-2の部位の検討を行う。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、面外慣性力の影響が大きくなるような大スパン又は吹抜部の壁は存在しないため、②-1の部位には該当しない。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋の壁は、直交する2方向に釣合いよく耐震壁が配置されており、ねじれ振動の影響が懸念されるような構造ではないため、②-2の部位に関しても該当しない。

b. 床及び屋根

床及び屋根は、釣り合いよく壁が配置されているため、②-1の部位及び②-2の部位に該当しない。

c. 基礎

基礎は、(3)で抽出されている。

d. 梁

梁は、剛性の高い床や耐震壁が付帯しており、面外方向の変形を抑制することから、②-1及び②-2には該当しない。

第3.3-6表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出（3次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング）

耐震評価部位	原子炉建屋					原子炉補助建屋	緊急時対策所	タービン建屋 (注2)	外周コンクリート壁 (1号機)	待機所	非常用ガスタービン発電機建屋	使用済燃料乾式貯蔵建屋	
	外周コンクリート壁	内部コンクリート	原子炉周辺補機棟	燃料取扱棟									
				使用済燃料ピット	(注1)鉄骨部								
RC造	RC造	RC造	RC造	S造	RC造	RC造	S造	RC造	RC造	RC造	RC造		
柱	一般部	-	-	不要	-	不要	不要	-	不要	-	-	-	-
	隅部	-	-	不要	-	要	不要	-	要	-	-	-	-
	地下部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
梁	一般部	-	-	不要	-	不要	不要	-	不要	-	-	-	不要
	地下部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	鉄骨トラス	-	-	-	-	-	-	-	不要	-	-	-	-
壁	一般部	要	②-2要	②-1要	要	-	②-1要	不要	-	要	不要	不要	不要
	斜め部	-	②-2要	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	地下部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	要	-
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	不要	-	-	不要	-	-	-	-
	水密扉	-	-	不要	-	-	不要	-	-	-	-	-	-
床屋根	一般部	不要(注3)	不要	不要	不要	不要	不要	不要	-	不要	不要	不要	
基礎	矩形	要					要	要	不要	-	不要	要	要
	円形	-					-	-	-	不要	-	-	-

凡例 要：荷重の組合せによる応答特性によるスクリーニングで抽出済み

不要：評価不要

②-1：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」

②-2：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

(注1) S造については、大スパンの梁を有し、下部に耐震Sクラスである使用済燃料ピットがある燃料取扱棟（鉄骨部）は3次元FEMモデルによる精査を行う。

(注2) 平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-18-2における評価内容に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響はないと判断できることから、影響評価対象外とする。

(注3) 外周コンクリート壁ドーム部については壁部の3次元的な応答特性に伴う影響が考えられるため、3次元FEMモデルによる精査を行う。

(5) 3次元FEMモデルによる精査

使用済燃料乾式貯蔵建屋について、3次元的な応答特性が想定される部位のうち、応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位及び応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する部位として、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位は抽出されなかった。

さらに、耐震評価部位全般に対し、局所的な応答について、3次元FEMモデルによる精査を行った。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、直交する2方向に配置された耐震壁を主な耐震要素としており、構造特性については、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-19「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」の補足説明資料-9において局所応答の検討を行った原子炉補助建屋と類似している。このため、同資料の知見を用いて、使用済燃料乾式貯蔵建屋の局所応答に対する3次元FEMモデルによる精査を行った。

同資料では、原子炉建屋及び原子炉補助建屋について、水平1方向入力時に対する水平2方向及び鉛直方向入力時の応答値の増分を考慮した局所応答の影響を検討した結果、建屋が有する耐震性への影響は想定されず、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価が必要な部位は抽出されなかった。

以上のことから、使用済燃料乾式貯蔵建屋についても、建屋が有する耐震性への影響が小さいと判断できることから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を行う必要がある部位は抽出しない。3次元FEMモデルを用いた精査の結果を第3.3-7表に示す。

第3.3-7表 3次元FEMモデルを用いた精査

耐震評価部位	評価対象 ^(注)	3次元的な応答特性 (②-1、②-2)	3次元FEMモデルを用いた精査方法	3次元FEMモデルを用いた精査結果
耐震評価部位全般	<ul style="list-style-type: none"> ・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・<u>原子炉建屋</u> ・<u>原子炉補助建屋</u> 	局所的な応答	水平2方向及び鉛直方向入力時の応答の、水平1方向入力時の応答に対する増分が小さいことを確認	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる、原子炉建屋及び原子炉補助建屋の有する耐震性への影響は想定されないため抽出しない。

(注) 下線を代表して評価する。

3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出結果

(1) 影響評価部位の抽出結果

使用済燃料乾式貯蔵建屋において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定されるとして抽出した部位を既認可建屋と併せて第3.4-1表に示す。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎については、応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位として抽出されるものの、建屋規模が大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋及び原子炉補助建屋を代表として、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

ここで、原子炉建屋及び原子炉補助建屋の基礎に対する影響評価については、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-19「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」において、水平2方向及び鉛直方向地震力に対して、建物・構築物が有する耐震性への影響がないことを確認している。

なお、耐震性向上の観点から、使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎についても、「3.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価」に基づき実施し、評価結果を「3.6 基礎の評価」に示す。

(2) 機器・配管系への影響の可能性のある部位の抽出結果

使用済燃料乾式貯蔵建屋において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響から、機器・配管系への影響の可能性のある部位について検討した。

基礎は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより応力が集中する部位であるが、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため機器・配管系への影響の可能性はない。

第3.4-1表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位

応答特性	耐震評価部位		対象建物・構築物 ^(注)	代表評価部位
	柱	隅部		
①-1	柱	隅部	・ <u>燃料取扱棟（鉄骨部）</u>	—
	壁	一般部	・ <u>外周コンクリート壁（円筒部）</u> ・ 外周コンクリート壁（1号機）	基準地震動Ssに対する余裕が小さい外周コンクリート壁（円筒部）を評価する。
		基礎	矩形	・ <u>原子炉建屋</u> ・ <u>原子炉補助建屋</u> ・ 緊急時対策所 ・ 非常用ガスタービン発電機建屋 ・ 使用済燃料乾式貯蔵建屋
①-2	壁	一般部	・ <u>使用済燃料ピット</u>	上部に床などの拘束がなく、また、面外荷重（水圧）が作用する使用済燃料ピットの壁を評価する。
		地下部	・ 非常用ガスタービン発電機建屋	

凡例 ①-1：応答特性「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

(注) 下線は評価する建物・構築物を示す。

3.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価

「3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出結果」で抽出された使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎について、基準地震動 S_s を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を評価する。評価は、資料9-12-2「使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算書」の解析モデル及び地震力を用いる。評価に用いる地震動を第3.5-1表に示す。

影響評価に用いる地震力は、基準地震動 S_s の各方向地震成分により、個別に計算した最大応答値を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 Regulatory Guide 1.92^(注)の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法(1.0 : 0.4 : 0.4)に基づいて評価する。また、本検討が水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の評価を目的としていること及び耐震設計において水平方向地震力が支配的であることを踏まえ、組合せは鉛直方向地震力の係数0.4のケースに対して検討を実施する。

(注) Regulatory Guide (RG) 1.92 “Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis”

第3.5-1表 評価に用いる地震動

耐震評価部位	影響評価に用いる地震動	備考
基礎	基準地震動 S_s	資料9-12-2と同様の地震力を用いるため、 S_s-1 ～ S_s-3 の地震力を包絡して用いる。

3.6 基礎の評価

3.6.1 検討概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎は、直交する水平2方向の荷重が応力として集中する部位であり、隅部等に応力が集中する可能性がある。

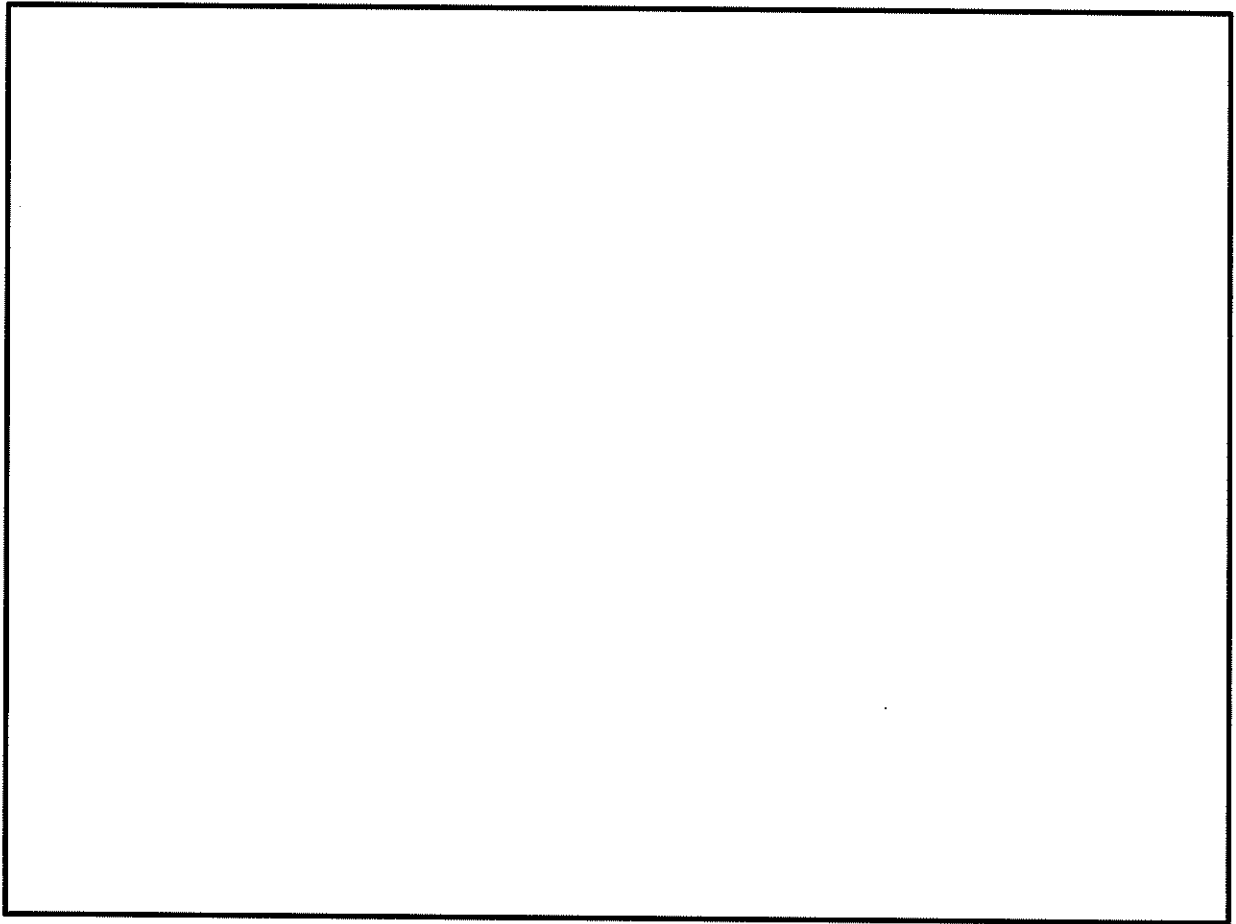
検討は、使用済燃料乾式貯蔵建屋の各部位に対して、3次元FEMモデルを用いて、地震力を水平2方向及び鉛直方向から作用させた場合の検討を実施する。


使用済燃料乾式貯蔵建屋は、乾式キャスクを45基収容することができる鉄筋コンクリート造の構造物であり、貯蔵エリア、取扱エリアなどから構成されている。

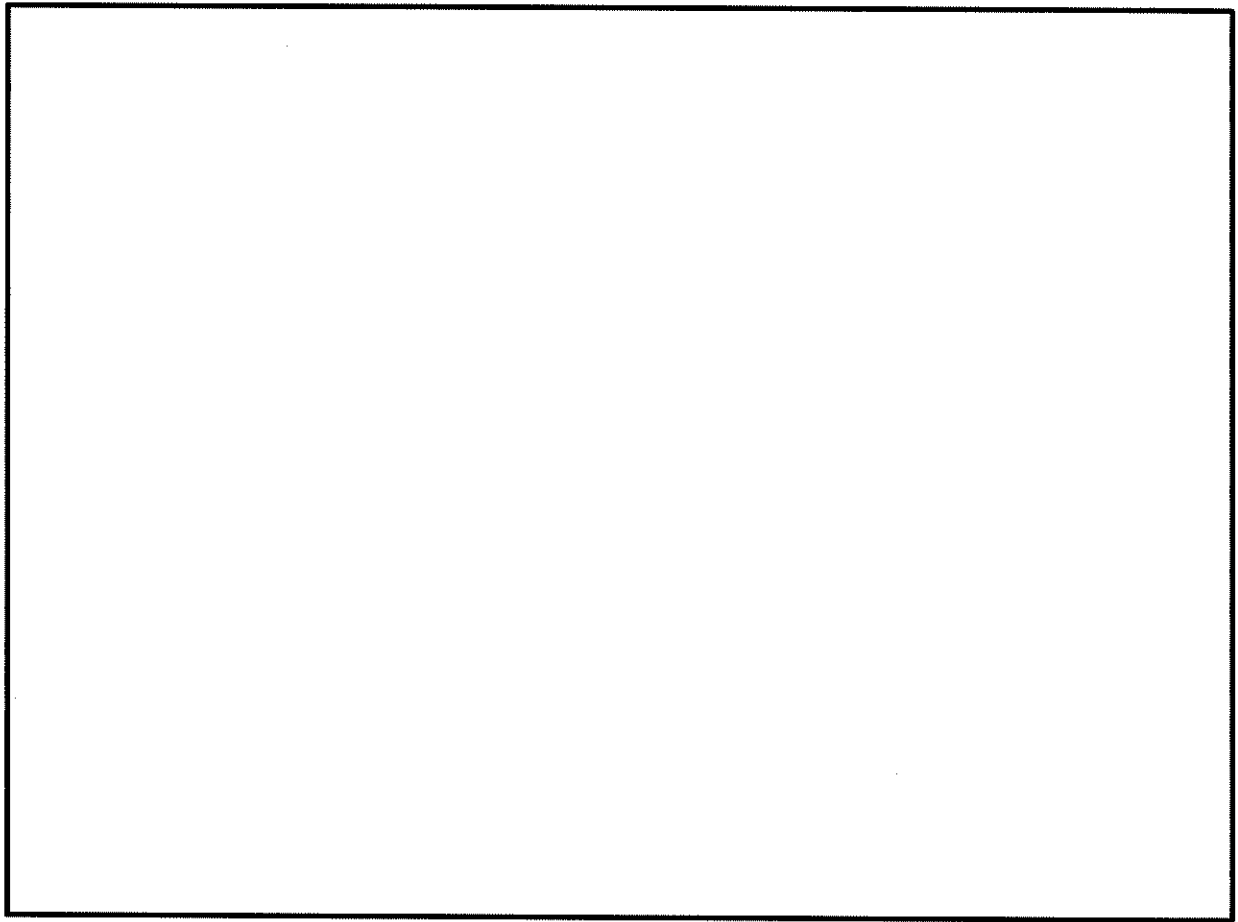
主要構造は、鉄筋コンクリート造の耐震壁を主体としており、貯蔵エリアの耐震壁には冷却空気取入れのための開口がある。

建屋は、基礎を介して直接岩盤に支持されている。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図及び概略断面図を第3.6-1図及び第3.6-2図に示す。

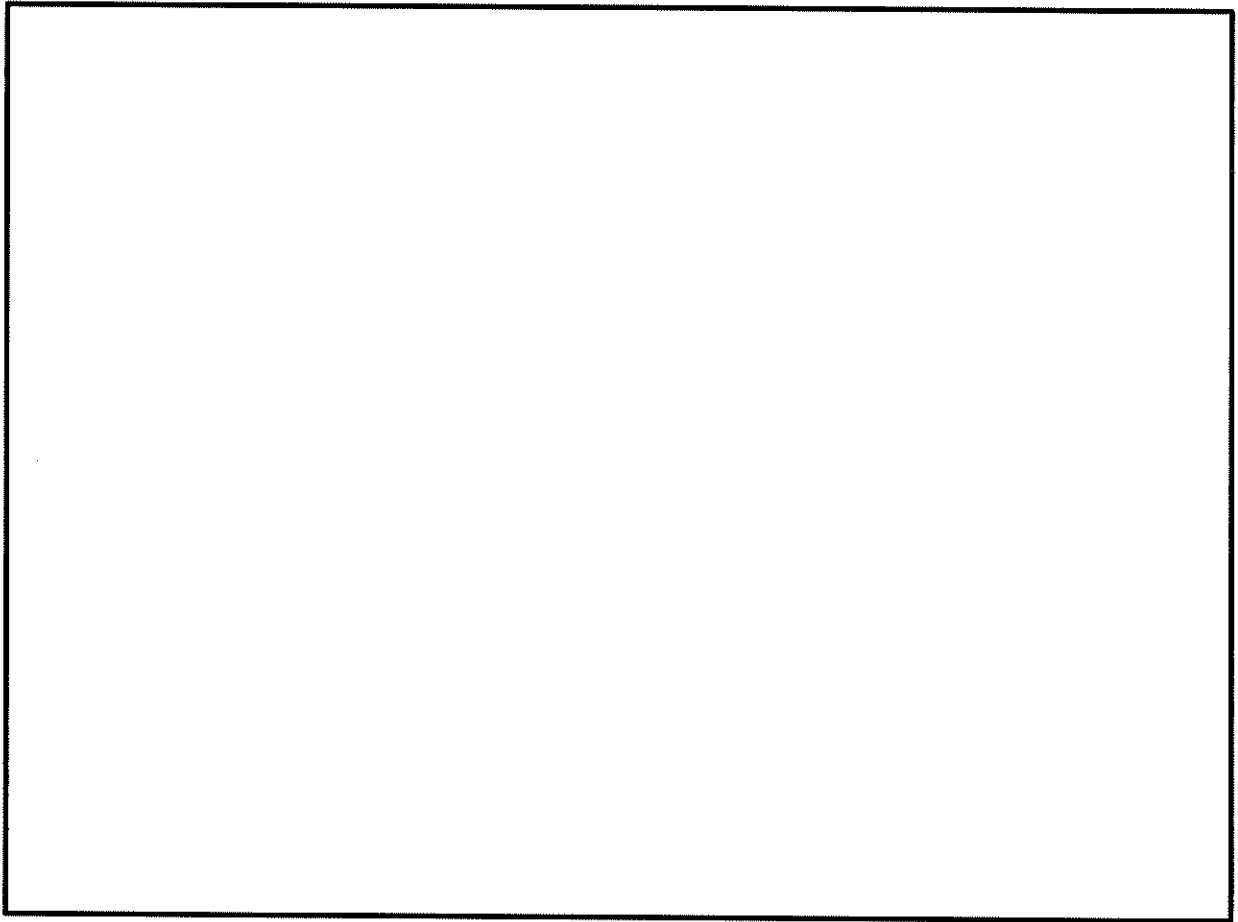



第3.6-1図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図 

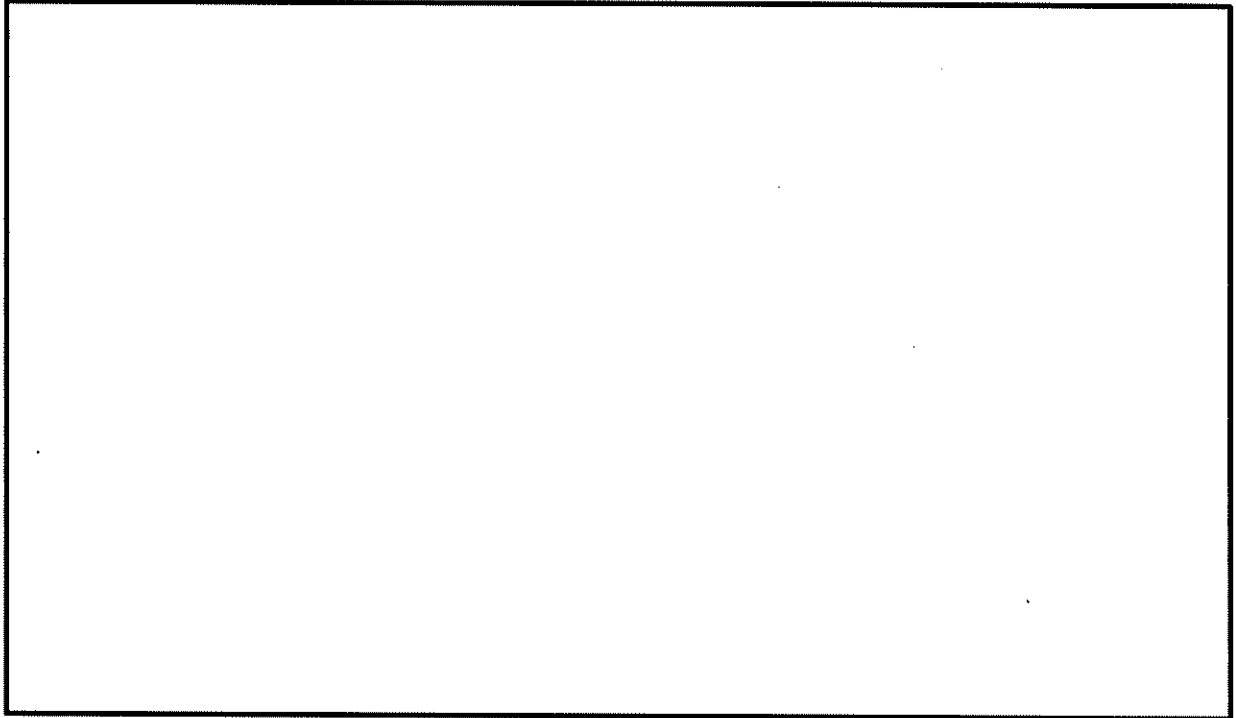


第3.6-1図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図

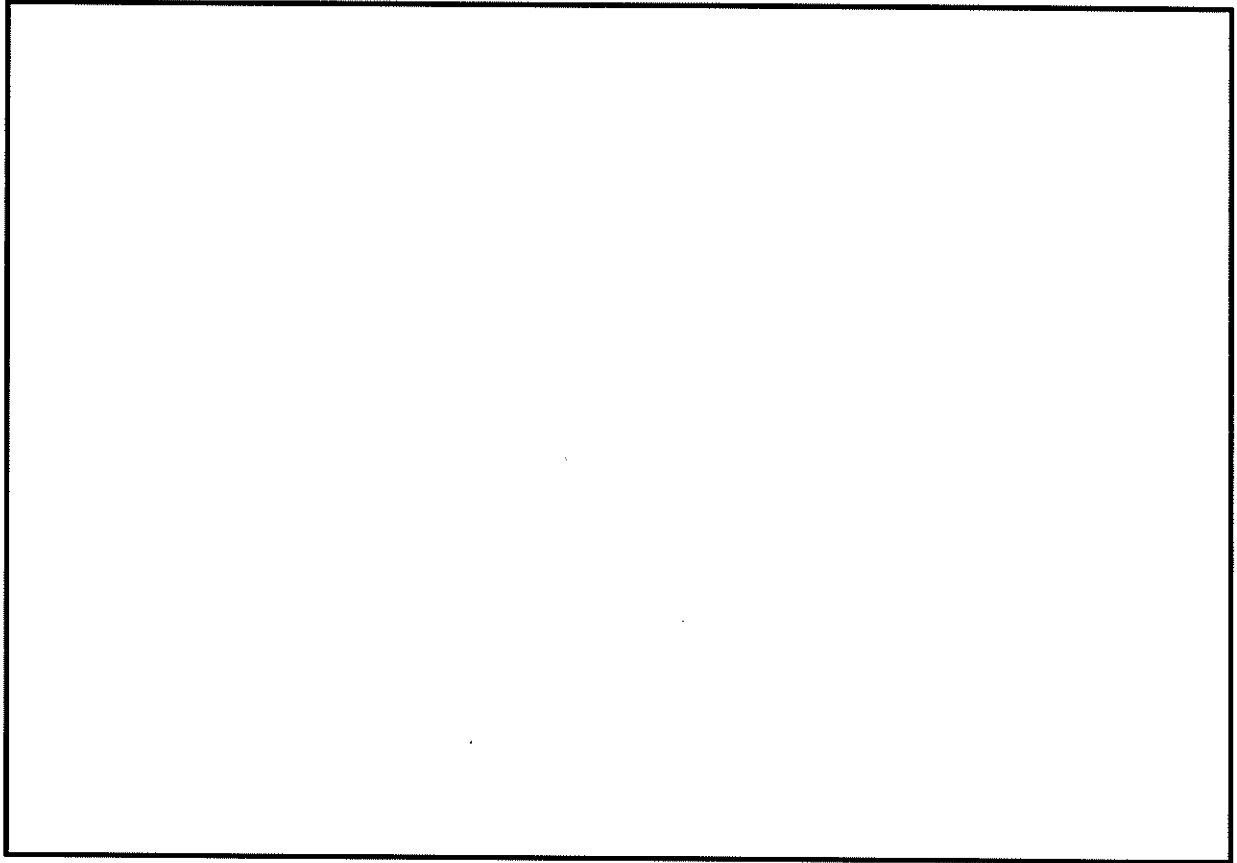




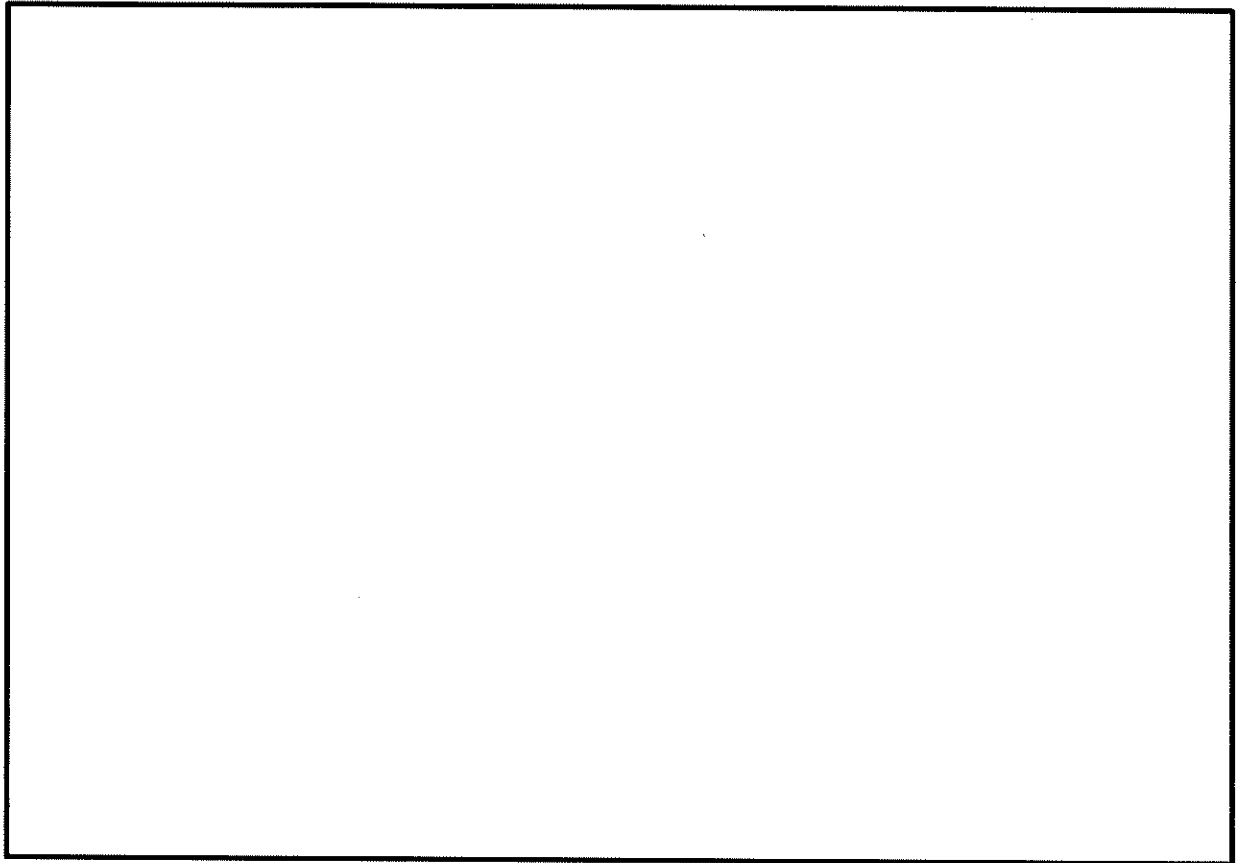
第3.6-1図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図 



第3.6-2図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (A-A断面)



第3.6-2図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (B-B断面)



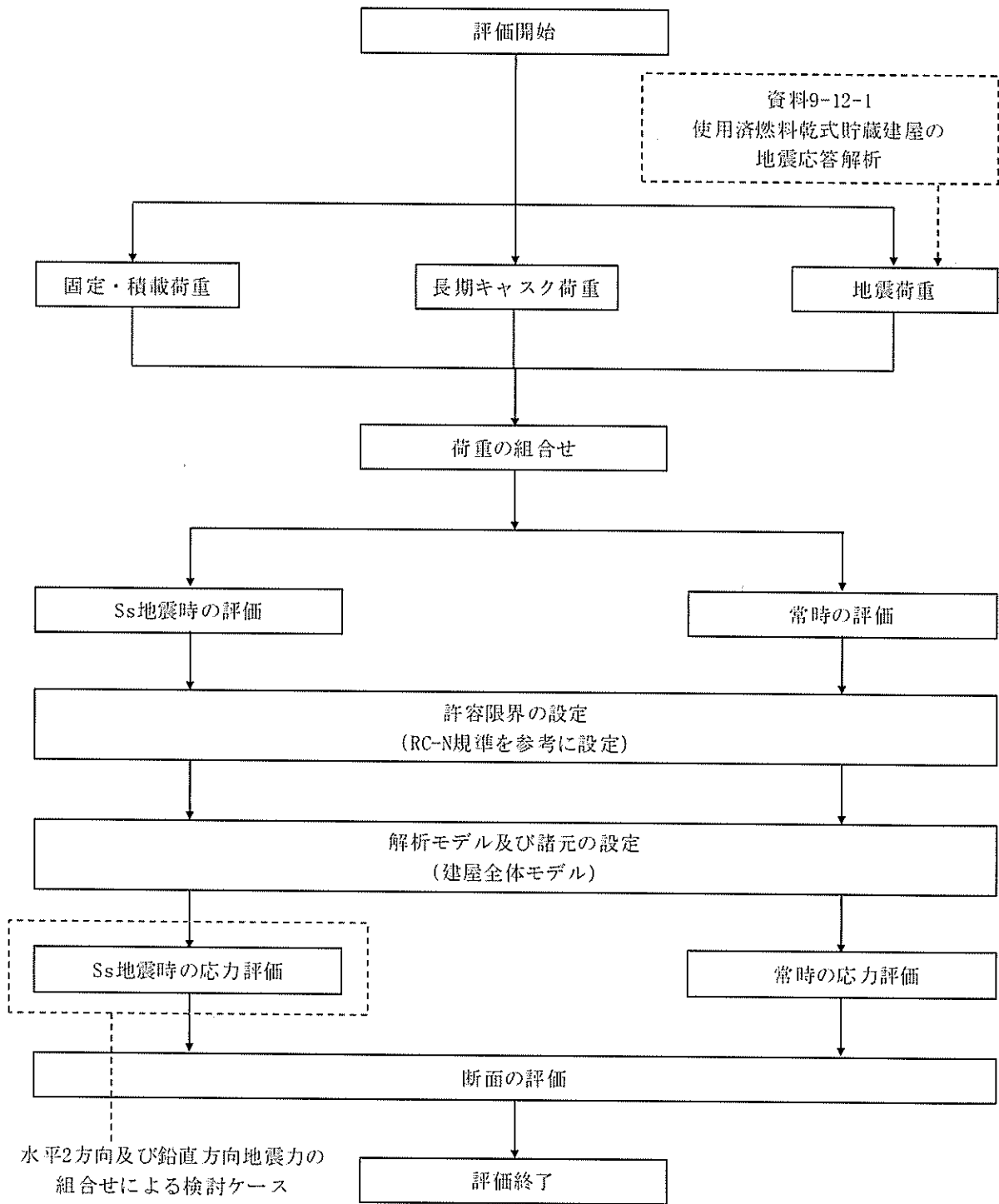
第3.6-2図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (C-C断面)

3.6.2 検討方針

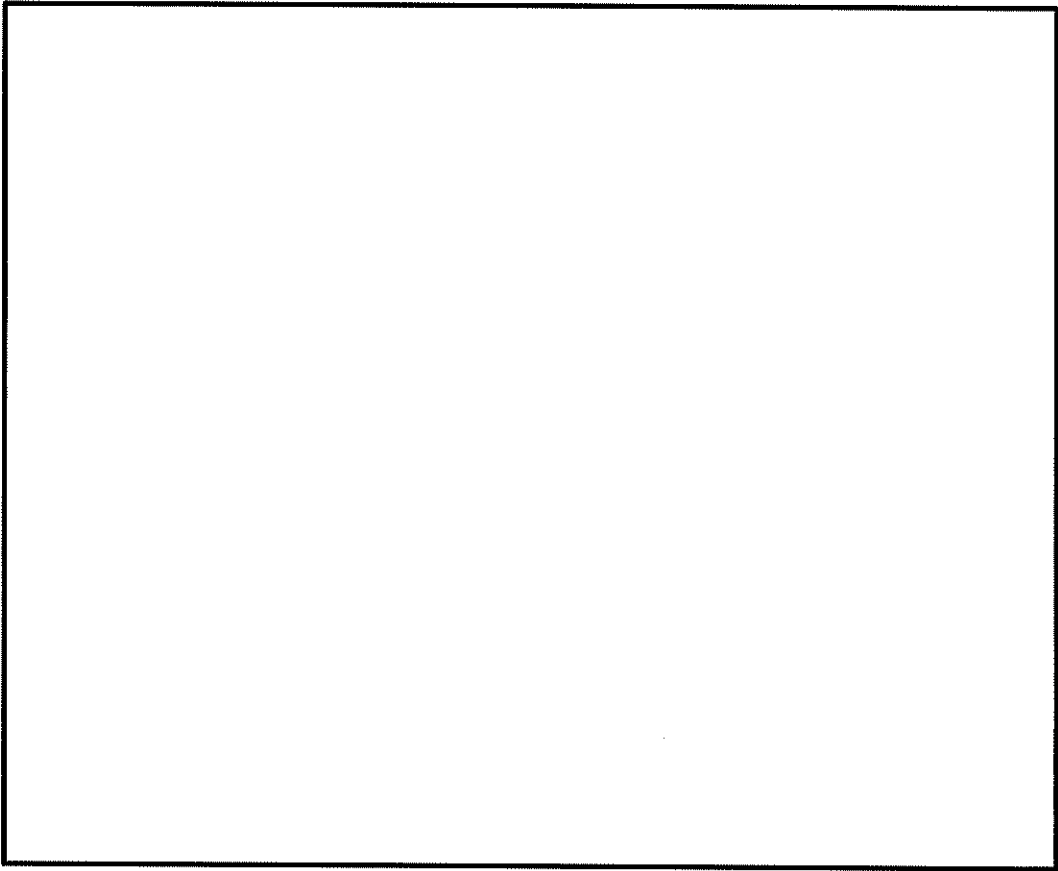
水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、直交する水平2方向の荷重が応力として集中する部位である基礎の評価を実施する。

評価は、使用済燃料乾式貯蔵建屋の屋根、床、壁及び基礎を含めた建屋全体の3次元FEMモデルを用い、基準地震動 S_s による地震力が作用する状態（以下「 S_s 地震時」という。）において、地震荷重を水平2方向及び鉛直方向に対して作用させた弾性応力解析に基づき、地震荷重と地震荷重以外の荷重の組合せの結果、基礎に発生する応力が、原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会、2005制定）（以下「RC-N規準」という。）を参考に設定した許容限界を超えないことを確認する。評価に用いる動的地震力は、資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」による結果を用いて算出する。

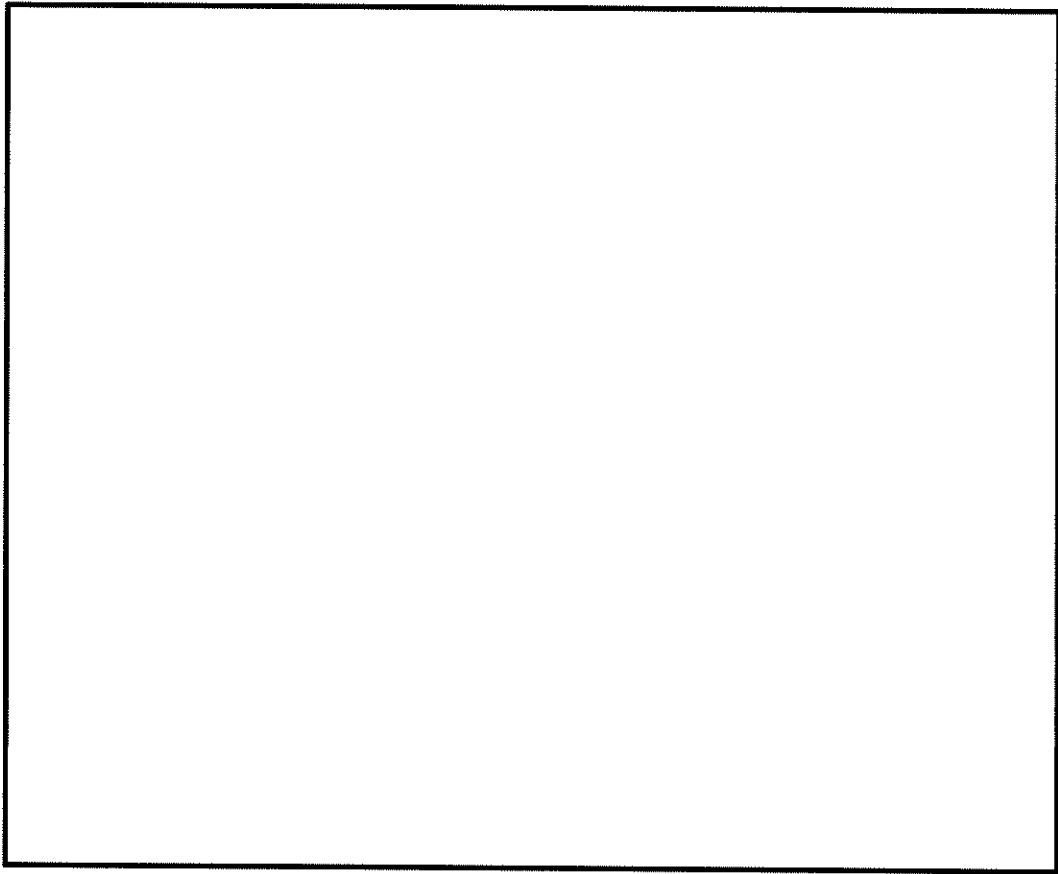
使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価フローを第3.6-3図に、資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」における地震応答解析モデルを第3.6-4図及び第3.6-5図に、動的地震力に考慮する地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析ケースを第3.6-1表に示す。



第 3.6-3 図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価フロー



第 3.6-4 図 地震応答解析モデル (水平方向)



第3.6-5図 地震応答解析モデル（鉛直方向）

第3.6-1表 材料物性の不確かさ等を考慮した地震応答解析ケース

ケース名	地盤のせん断波速度 V_s ※ (m/s)		鉄筋コンクリート部の 減衰定数 h (%)
基本	1,700	2,700	5
$V_s+1\sigma$	1,836 (1.08)	2,916 (1.08)	5
$V_s-1\sigma$	1,564 (0.92)	2,484 (0.92)	5
減衰3%	1,700	2,700	3

※：資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」において、基礎底面の地盤ばねの算定に用いた地盤のせん断波速度。

() 内は基本ケースに対する比率。

3.6.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、資料9-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。なお、使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価において、積雪荷重は積載荷重に包絡されることから、地震荷重及び積載荷重の組合せで考慮される。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋が鉄筋コンクリート構造物であり自重の大きな施設であることから、風荷重の影響は小さいと判断し、地震荷重及び風荷重の組合せは考慮しない。

(1) 荷重

a. 固定荷重(G)及び積載荷重(P)

固定荷重及び積載荷重を第3.6-2表及び第3.6-3表に示す。

第3.6-2表(1/3) 固定荷重 (床、屋根及び壁)

部位	固定荷重(kN/m ²)	備考
床 (貯蔵エリア)	24.00t+1.2	t : 部材厚さ (m)
屋根 (貯蔵エリア)	24.00t+3.0	
壁	24.00t	

第3.6-2表(2/3) 固定荷重 (基礎)

部位	固定荷重(kN/m ²)	備考
基礎 (貯蔵エリア)	24.00t+7.2	t : 部材厚さ (m)

第3.6-2表 (3/3) 固定荷重 (クレーン自重)

部位	固定荷重
クレーン自重(kN)	1,883

第3.6-3表 積載荷重 (床及び屋根)

部位	積載荷重(kN/m ²)
床	機器+配管サポート+1.2
屋根	機器+配管サポート+3.0
基礎張出部	5.4

b. 長期キャスク荷重 (C₀)

長期キャスク荷重を第3.6-4表に示す。

第3.6-4表 長期キャスク荷重

部位	長期キャスク荷重(kN/基)
乾式キャスク：45基	1,177
乾式キャスク架台： 45基	197

c. 地震荷重(Ks)

地震荷重は、水平地震力、鉛直地震力及び乾式キャスクからの反力(以下「キャスク反力」という。)により構成される。

(a) Ss地震荷重(Ks)

Ss地震荷重のうち水平地震力及び鉛直地震力は、地震応答解析結果における動的地震力より設定する。

水平地震荷重(水平地震力によるキャスク反力を含む)と鉛直地震荷重(鉛直地震力によるキャスク反力を含む)の組合せは、組合せ係数法を用いて次のとおりとする。

- ① $1.0 \times \text{EW方向地震荷重} + 0.4 \times \text{NS方向地震荷重}$
 $+ 0.4 \times \text{鉛直地震荷重}$
- ② $0.4 \times \text{EW方向地震荷重} + 1.0 \times \text{NS方向地震荷重}$
 $+ 0.4 \times \text{鉛直地震荷重}$

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを第3.6-5表に示す。

第3.6-5表 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
Ss地震時	$GP + C_0 + K_s$

GP : 固定・積載荷重

C_0 : 長期キャスク荷重

K_s : Ss地震荷重

3.6.4 使用材料の許容応力度

RC-N規準に基づくコンクリート及び鉄筋の許容応力度を第3.6-6表及び第3.6-7表に示す。

第3.6-6表 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

設計基準強度 F_c	短期	
	圧縮	せん断
30	20.00	1.18

第3.6-7表 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

鉄筋種類	短期	
	引張及び圧縮	せん断補強
SD345	345	345
SD390	390	390

3.6.5 解析モデル及び諸元

(1) モデル化の基本方針

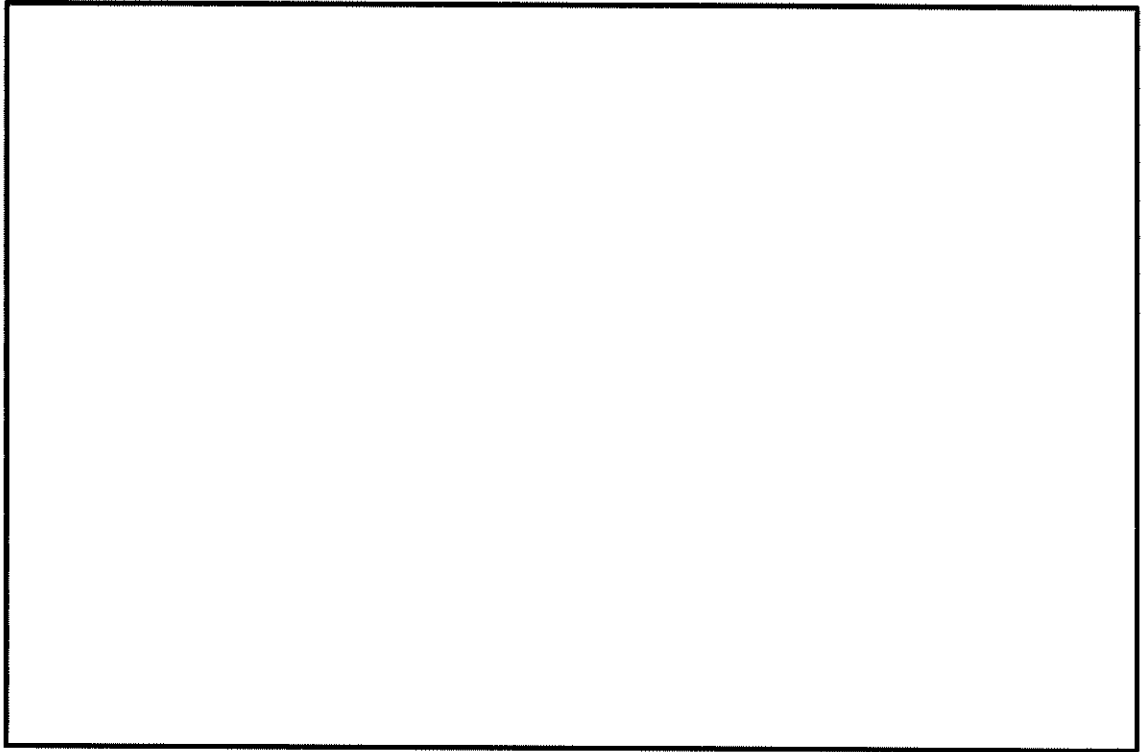
a. 基本方針

応力解析は、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析とする。解析モデルは、使用済燃料乾式貯蔵建屋の上部構造物と基礎を含めた建屋全体モデルとする。解析モデルを第3.6-6図及び第3.6-7図に示す。モデルの節点数は13245、要素数は17454である。

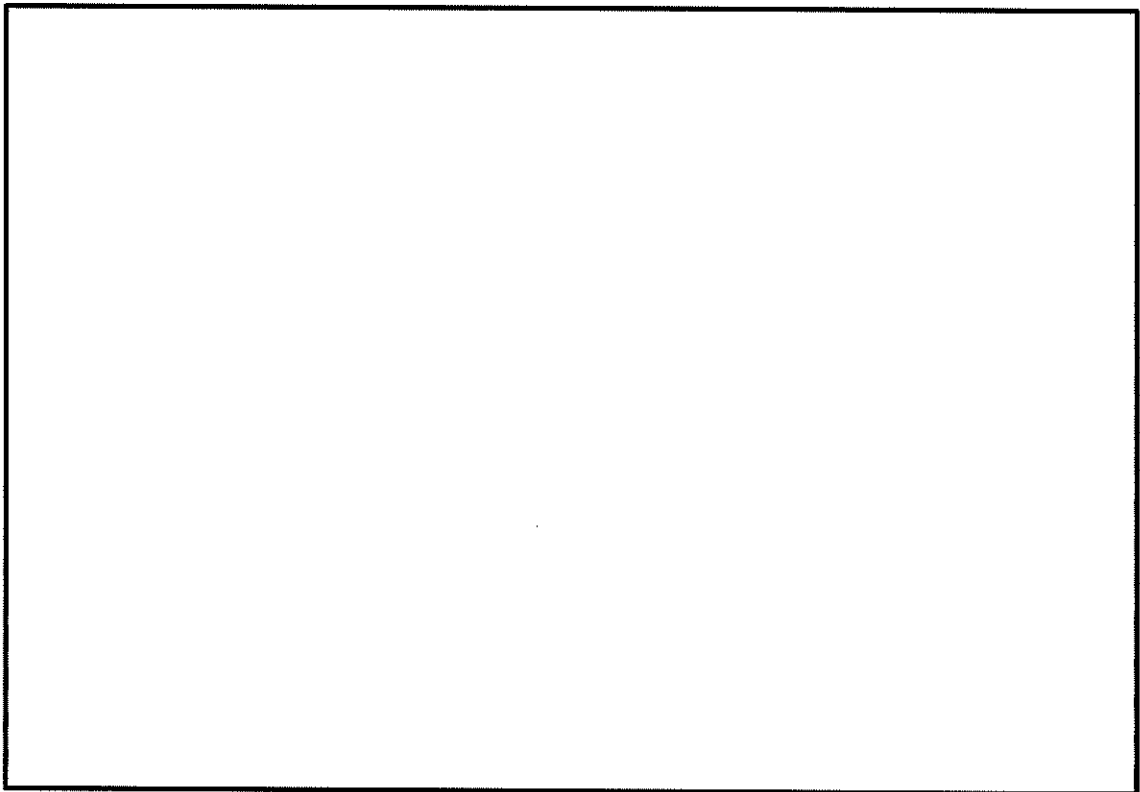
応力解析には、解析コード「NX NASTRAN」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、資料9別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

b. 使用要素

解析モデルに使用するFEM要素は、屋根、床、壁及び基礎について面材として扱いシェル要素、はりをはり要素とする。



第3.6-6図 建屋全体モデル



第3.6-7図 建屋全体モデル（基礎の鳥瞰図）

c. 境界条件

応力の算定に用いる基礎底面地盤の鉛直及び水平ばねは、以下の方法で求まる地盤反力係数に各ばねの水平投影面積による支配面積を乗じて設定する。また、浮上りを生じている部分の基礎下端の地盤反力はないものとして解析を行う。

鉛直方向地盤反力係数 $k_v = {}_0K_R / J$ (kN/m³)

水平方向地盤反力係数 $k_s = {}_0K_S / A$ (kN/m³)

ここで、

${}_0K_R$ 、 ${}_0K_S$: JEAG4601-1991に基づき、振動アドミタンス理論により、地盤の動的物性値を用いて評価した回転ばね定数及び水平ばね定数

J : 基礎底面の断面2次モーメント (m⁴)

A : 基礎底面の面積 (m²)

${}_0K_R$ 、 ${}_0K_S$ の値は、資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」において設定している値を用いる。地盤ばね定数の算出に用いる地盤の動的物性値を第3.6-8表に、算出した基礎底面の地盤ばね定数を第3.6-9表に示す。

第3.6-8表 地盤の動的物性値 (Ss 地震時)

地層 EL (m)	地盤のせん断波速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 (kN/m ³)	ポアソン比
	1,700	29.4	0.34
	2,700	29.4	0.34

第3.6-9表 地盤ばね定数 (Ss 地震時)

水平ばね	${}_0K_S$	ばね定数 (kN/m)	
		EW 方向	NS 方向
		2.19×10^9	2.17×10^9
回転ばね	${}_0K_R$	ばね定数 (kN · m/rad)	
		EW 方向	NS 方向
		1.99×10^{12}	2.25×10^{12}

(2) 解析諸元

基礎について、RC-N規準に基づくコンクリート及び鉄筋の物性値を第3.6-10表に示す。

第3.6-10表 (1/2) コンクリートの物性値

設計基準強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
30	2.44×10 ⁴	0.2

第3.6-10表 (2/2) 鉄筋の物性値

鉄筋種類	ヤング係数 E (N/mm ²)
SD345 SD390	2.05×10 ⁵

3.6.6 評価方法

(1) 応力解析方法

基礎について、Ss地震時に対して3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を行う。

a. 荷重ケース

Ss地震時の応力は、組合せるべき荷重を全て同時に作用させて応力解析を行う。

単独荷重の記号を以下に示す。

GP	:	固定・積載荷重
C ₀	:	長期キャスク荷重
K _{SWE} ^{**}	:	Ss地震時 W→E方向 地震力
K _{SSN} ^{**}	:	Ss地震時 S→N方向 地震力
K _{S_{DU}(EW)} ^{**}	:	Ss地震時 鉛直方向 地震力 (EW断面)
K _{S_{DU}(NS)} ^{**}	:	Ss地震時 鉛直方向 地震力 (NS断面)
C _{SWE} ^{**}	:	Ss地震時 W→E方向 地震時荷重によるキャスク反力
C _{SSN} ^{**}	:	Ss地震時 S→N方向 地震時荷重によるキャスク反力
C _{S_{DU}} ^{**}	:	Ss地震時 鉛直方向 地震時荷重によるキャスク反力

※：加力方向により絶対値の差異はないため、計算上の座標軸を基本として、W→E方向、S→N方向及び鉛直上向きを「+」、E→W方向、N→S方向及び鉛直下向きを「-」とする。

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースは、米国 Regulatory Guide 1.92の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) に基づいて評価する。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる荷重の組合せケースを第3.6-11表に示す。また、参考として、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる荷重の組合せケースを第3.6-12表に示す。

第 3.6-11 表 荷重の組合せケース (水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

組合せ 係数	加力方向			ケース No.	荷重の組合せケース
	EW	NS	鉛直		
EW1.0 NS0.4 鉛直 0.4	W→E	S→N	下	2-1	$GP+C_0+1.0K_{SWE}+1.0C_{SWE}+0.4K_{SSX}+0.4C_{SSX}-0.4K_{SDI(EW)}-0.4C_{SDI}$
			上	2-2	$GP+C_0+1.0K_{SWE}+1.0C_{SWE}+0.4K_{SSX}+0.4C_{SSX}+0.4K_{SDI(EW)}+0.4C_{SDI}$
	E→W		下	2-3	$GP+C_0-1.0K_{SWE}-1.0C_{SWE}+0.4K_{SSX}+0.4C_{SSX}-0.4K_{SDI(EW)}-0.4C_{SDI}$
			上	2-4	$GP+C_0-1.0K_{SWE}-1.0C_{SWE}+0.4K_{SSX}+0.4C_{SSX}+0.4K_{SDI(EW)}+0.4C_{SDI}$
	W→E	N→S	下	2-5	$GP+C_0+1.0K_{SWE}+1.0C_{SWE}-0.4K_{SSX}-0.4C_{SSX}-0.4K_{SDI(EW)}-0.4C_{SDI}$
			上	2-6	$GP+C_0+1.0K_{SWE}+1.0C_{SWE}-0.4K_{SSX}-0.4C_{SSX}+0.4K_{SDI(EW)}+0.4C_{SDI}$
	E→W		下	2-7	$GP+C_0-1.0K_{SWE}-1.0C_{SWE}-0.4K_{SSX}-0.4C_{SSX}-0.4K_{SDI(EW)}-0.4C_{SDI}$
			上	2-8	$GP+C_0-1.0K_{SWE}-1.0C_{SWE}-0.4K_{SSX}-0.4C_{SSX}+0.4K_{SDI(EW)}+0.4C_{SDI}$
EW0.4 NS1.0 鉛直 0.4	W→E	S→N	下	2-9	$GP+C_0+0.4K_{SWE}+0.4C_{SWE}+1.0K_{SSX}+1.0C_{SSX}-0.4K_{SDI(NS)}-0.4C_{SDI}$
			上	2-10	$GP+C_0+0.4K_{SWE}+0.4C_{SWE}+1.0K_{SSX}+1.0C_{SSX}+0.4K_{SDI(NS)}+0.4C_{SDI}$
	E→W		下	2-11	$GP+C_0-0.4K_{SWE}-0.4C_{SWE}+1.0K_{SSX}+1.0C_{SSX}-0.4K_{SDI(NS)}-0.4C_{SDI}$
			上	2-12	$GP+C_0-0.4K_{SWE}-0.4C_{SWE}+1.0K_{SSX}+1.0C_{SSX}+0.4K_{SDI(NS)}+0.4C_{SDI}$
	W→E	N→S	下	2-13	$GP+C_0+0.4K_{SWE}+0.4C_{SWE}-1.0K_{SSX}-1.0C_{SSX}-0.4K_{SDI(NS)}-0.4C_{SDI}$
			上	2-14	$GP+C_0+0.4K_{SWE}+0.4C_{SWE}-1.0K_{SSX}-1.0C_{SSX}+0.4K_{SDI(NS)}+0.4C_{SDI}$
	E→W		下	2-15	$GP+C_0-0.4K_{SWE}-0.4C_{SWE}-1.0K_{SSX}-1.0C_{SSX}-0.4K_{SDI(NS)}-0.4C_{SDI}$
			上	2-16	$GP+C_0-0.4K_{SWE}-0.4C_{SWE}-1.0K_{SSX}-1.0C_{SSX}+0.4K_{SDI(NS)}+0.4C_{SDI}$

第 3.6-12 表 荷重の組合せケース (水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

組合せ 係数	加力方向		ケース No.	荷重の組合せケース
	水平	鉛直		
水平1.0 鉛直0.4	W→E	下	1	$GP+C_0+1.0K_{SWE}+1.0C_{SWE}-0.4K_{SDL(EW)}-0.4C_{SDL}$
	E→W		2	$GP+C_0-1.0K_{SWE}-1.0C_{SWE}-0.4K_{SDL(EW)}-0.4C_{SDL}$
	W→E	上	3	$GP+C_0+1.0K_{SWE}+1.0C_{SWE}+0.4K_{SDL(EW)}+0.4C_{SDL}$
	E→W		4	$GP+C_0-1.0K_{SWE}-1.0C_{SWE}+0.4K_{SDL(EW)}+0.4C_{SDL}$
	S→N	下	5	$GP+C_0+1.0K_{SSN}+1.0C_{SSN}-0.4K_{SDL(NS)}-0.4C_{SDL}$
	N→S		6	$GP+C_0-1.0K_{SSN}-1.0C_{SSN}-0.4K_{SDL(NS)}-0.4C_{SDL}$
	S→N	上	7	$GP+C_0+1.0K_{SSN}+1.0C_{SSN}+0.4K_{SDL(NS)}+0.4C_{SDL}$
	N→S		8	$GP+C_0-1.0K_{SSN}-1.0C_{SSN}+0.4K_{SDL(NS)}+0.4C_{SDL}$
水平0.4 鉛直1.0	W→E	下	9	$GP+C_0+0.4K_{SWE}+0.4C_{SWE}-1.0K_{SDL(EW)}-1.0C_{SDL}$
	E→W		10	$GP+C_0-0.4K_{SWE}-0.4C_{SWE}-1.0K_{SDL(EW)}-1.0C_{SDL}$
	W→E	上	11	$GP+C_0+0.4K_{SWE}+0.4C_{SWE}+1.0K_{SDL(EW)}+1.0C_{SDL}$
	E→W		12	$GP+C_0-0.4K_{SWE}-0.4C_{SWE}+1.0K_{SDL(EW)}+1.0C_{SDL}$
	S→N	下	13	$GP+C_0+0.4K_{SSN}+0.4C_{SSN}-1.0K_{SDL(NS)}-1.0C_{SDL}$
	N→S		14	$GP+C_0-0.4K_{SSN}-0.4C_{SSN}-1.0K_{SDL(NS)}-1.0C_{SDL}$
	S→N	上	15	$GP+C_0+0.4K_{SSN}+0.4C_{SSN}+1.0K_{SDL(NS)}+1.0C_{SDL}$
	N→S		16	$GP+C_0-0.4K_{SSN}-0.4C_{SSN}+1.0K_{SDL(NS)}+1.0C_{SDL}$

c. 荷重の入力方法

(a) 固定荷重及び積載荷重

応力解析モデルの各節点における支配領域の固定・積載荷重に応じた節点力として入力する。なお、節点力は地震応答解析モデルの各質点位置に対応した各節点に入力する。

(b) 長期キャスク荷重

長期キャスク荷重を乾式キャスクが設置される位置に節点力として入力する。乾式キャスクが設置される位置を第3.6-8図に示す。

(c) 地震荷重

イ. 水平及び鉛直地震力

水平地震力は、地震応答解析結果における動的地震力のうち、各部材のせん断力及び曲げモーメントをそれぞれ包絡し設定する。せん断力は水平力に置換し応力解析モデル上の各節点における支配領域に応じた節点力として入力し、曲げモーメントは鉛直力に置換し各節点における支配領域に応じた節点力として入力する。

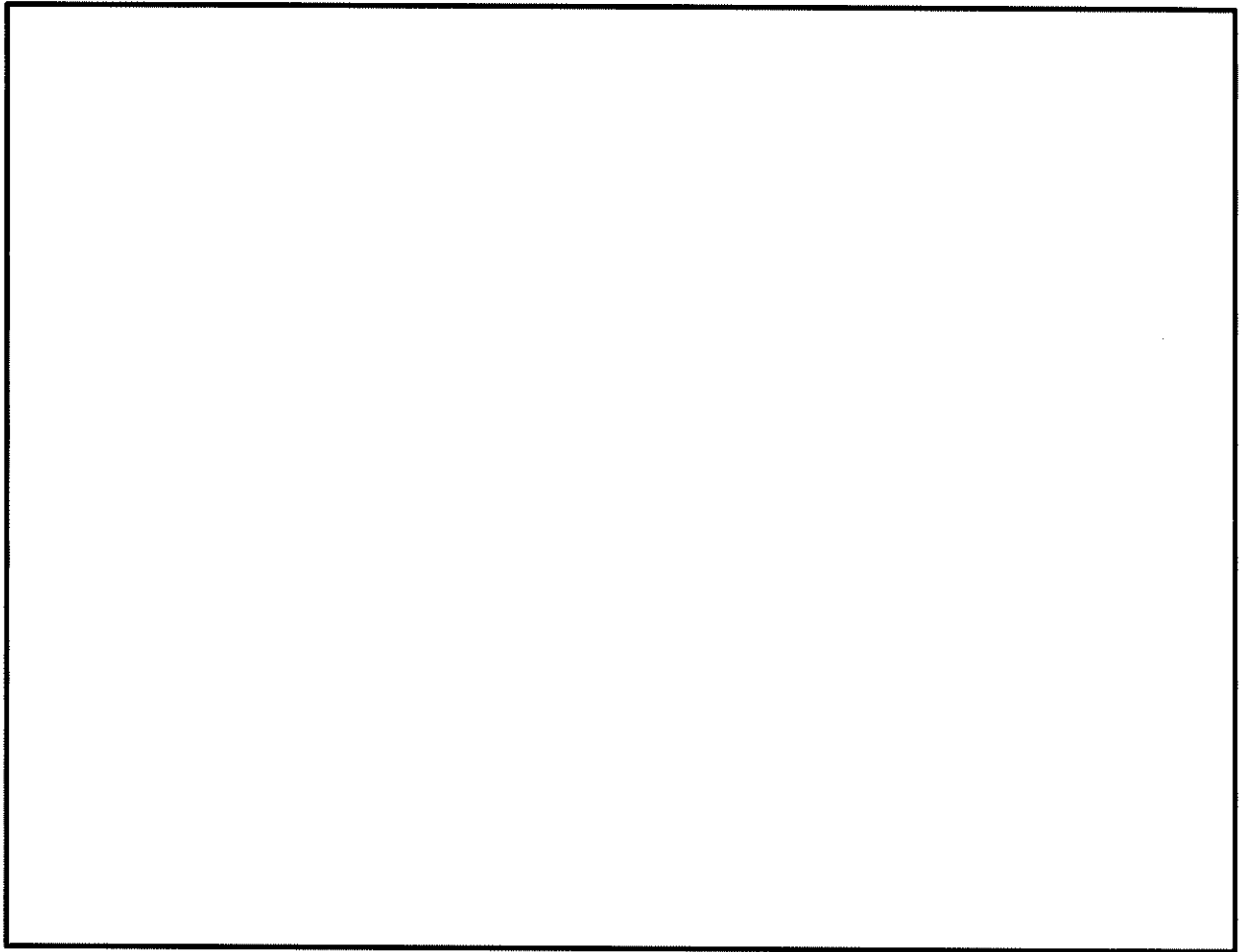
鉛直地震力は、地震応答解析結果における動的地震力のうち、各部材の軸力を包絡し設定する。軸力は鉛直力に置換し応力解析モデル上の各節点における支配領域に応じた節点力として入力する。

なお、節点力は地震応答解析モデルの各質点位置に対応した各節点に入力する。また、水平及び鉛直地震力は、第3.6-1表に示す材料物性の不確かさ等を考慮した各ケースにおけるSs-1、Ss-2及びSs-3の最大値を包絡して用いる。

Ss地震時において応力解析モデルに入力する地震力を第3.6-13表～第3.6-15表に示す。

ロ. キャスク反力

キャスク反力は、キャスクが設置される位置に節点力として入力する。なお、キャスク反力は、水平方向は拡幅した設計用床応答曲線、鉛直方向は設計用の最大床加速度を1.2倍した値に基づき算定していることから、基本ケースの値を用いる。キャスク反力を第3.6-16表に示す。



第3.6-8図 キャスク設置位置

第3.6-13表 (1/2) 水平地震力 せん断力 EW方向 (Ss地震時)

($\times 10^3$ kN)

部位	部材 番号	EL. (m)	最大応答せん断力				設計用 地震力
			基本 [※]	$V_{s+1\sigma}$ [※]	$V_{s-1\sigma}$ [※]	減衰3% [※]	
上部 構造物	1		82.0	83.5	79.8	93.3	93.3
	2		146.5	149.2	142.6	166.1	166.1
	3		278.2	283.3	270.9	313.4	313.5
	4		343.9	350.0	334.9	385.7	385.7
	5		417.9	424.9	407.4	465.4	465.4
基礎底面	7		652.0	657.9	641.4	705.3	705.3

※：Ss-1、Ss-2及びSs-3の最大値。

第3.6-13表 (2/2) 水平地震力 せん断力 NS方向 (Ss地震時)

($\times 10^3$ kN)

部位	部材 番号	EL. (m)	最大応答せん断力				設計用 地震力
			基本 [※]	$V_{s+1\sigma}$ [※]	$V_{s-1\sigma}$ [※]	減衰3% [※]	
上部 構造物	1		76.7	78.8	75.8	84.9	84.9
	2		136.4	140.0	135.9	152.0	152.1
	3		259.9	260.8	258.8	289.1	289.2
	4		322.1	320.3	320.8	357.7	357.8
	5		393.1	390.7	391.7	435.4	435.4
基礎底面	7		623.0	617.9	623.4	674.0	674.1

※：Ss-1、Ss-2及びSs-3の最大値。

第3.6-14表 (1/2) 水平地震力 曲げモーメント EW方向 (Ss地震時)

($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)

部位	部材 番号	EL. (m)	最大応答曲げモーメント				
			基本*	$V_{S+1\sigma}$ *	$V_{S-1\sigma}$ *	減衰3%*	設計用 地震力
上部 構造物	1U		18.6	18.6	18.5	22.1	22.1
	1D		50.4	51.2	49.2	59.4	59.4
	2U		64.9	65.8	63.3	77.1	77.1
	2D		120.6	122.5	117.5	140.2	140.2
	3U		149.9	151.6	146.6	174.6	174.7
	3D		228.9	232.1	223.6	263.7	263.7
	4U		243.3	246.5	238.0	280.3	280.3
	4D		345.1	350.1	337.2	394.5	394.5
	5U		360.4	365.4	352.6	411.7	411.8
	5D		611.1	620.3	597.1	690.9	691.0
基礎底面	—		851.5	865.8	832.9	953.7	953.8

(注) 部材番号におけるUは部材上端位置、Dは下端位置を示す。

※ : Ss-1、Ss-2及びSs-3の最大値。

第3.6-14表 (2/2) 水平地震力 曲げモーメント NS方向 (Ss地震時)

($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)

部位	部材 番号	EL. (m)	最大応答曲げモーメント				
			基本 [※]	$V_{s+1\sigma}$ [※]	$V_{s-1\sigma}$ [※]	減衰3% [※]	設計用 地震力
上部 構造物	1U		28.4	29.0	27.4	33.4	33.4
	1D		52.3	51.5	52.7	57.1	57.2
	2U		70.6	69.1	71.6	76.3	76.4
	2D		121.9	121.0	122.8	133.2	133.2
	3U		159.6	156.3	161.8	171.6	171.6
	3D		232.7	230.0	235.1	252.6	252.7
	4U		251.5	248.0	254.8	272.5	272.6
	4D		346.8	342.6	349.7	377.5	377.5
	5U		367.8	362.9	371.7	400.2	400.2
	5D		603.6	596.0	606.7	661.4	661.5
基礎底面	—		850.7	840.5	854.0	943.5	943.5

(注) 部材番号におけるUは部材上端位置、Dは下端位置を示す。

※ : Ss-1、Ss-2及びSs-3の最大値。

第3.6-15表 (1/2) 鉛直地震力 軸力 EW断面 (Ss地震時)

($\times 10^3$ kN)

部位	部材 番号	EL. (m)	最大応答軸力				
			基本*	$V_{s+1\sigma}$ *	$V_{s-1\sigma}$ *	減衰3%*	設計用 地震力
上部 構造物	1		30.1	30.1	30.1	30.6	30.6
	2		55.5	55.4	55.5	56.2	56.3
	3		112.8	112.8	112.8	114.0	114.1
	4		145.0	145.0	145.0	146.4	146.5
	5		188.1	188.1	188.0	189.7	189.7
基礎底面	7		437.2	437.5	436.6	440.2	440.2

※：Ss-1、Ss-2及びSs-3の最大値。

第3.6-15表 (2/2) 鉛直地震力 軸力 NS断面 (Ss地震時)

($\times 10^3$ kN)

部位	部材 番号	EL. (m)	最大応答軸力				
			基本*	$V_{s+1\sigma}$ *	$V_{s-1\sigma}$ *	減衰3%*	設計用 地震力
上部 構造物	1		30.2	30.1	30.2	30.6	30.6
	2		55.7	55.6	55.7	56.3	56.3
	3		112.9	112.7	113.1	113.8	113.9
	4		144.9	144.7	145.1	146.0	146.0
	5		187.5	187.2	187.6	188.7	188.7
基礎底面	7		431.7	431.7	431.4	434.2	434.2

※：Ss-1、Ss-2及びSs-3の最大値。

第3.6-16表 キャスク反力 (Ss地震時)

	キャスク反力 (Ss地震時) (kN/基)
$C_{S_{NE}}$	3900
$C_{S_{SN}}$	3900
$C_{S_{DU}}$	1000

(2) 断面の評価方法

断面の評価には、解析コード「DANSANPRO」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、資料9 別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

a. 軸力、曲げモーメント及び面内せん断力

Ss 地震時及び常時に対する評価において、RC-N 規準に基づき、評価対象部位に生じる軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による必要鉄筋量が、配筋量を超えないことを確認する。

この際、軸力及び曲げモーメントによる必要鉄筋量 (a_t) は、軸力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱（コンクリートに対する鉄筋のヤング係数比は13とする）として算出する。また、面内せん断力による必要鉄筋量 (a_s) は、評価対象部位に生じる面内せん断力が、コンクリートの許容せん断力以上となる場合において、生じる面内せん断力を鉄筋で全て負担するものとして算出する。なお、Ss地震時における軸力及び曲げモーメントに対する必要鉄筋量は、「技術基準解説書」に基づき、鉄筋の引張強度を1.1倍として算定する。

$$\frac{a_t + a_s/2}{a} \leq 1$$

ここで、

a_t : 軸力及び曲げモーメントによる必要鉄筋量 (mm^2)

a_s : 面内せん断力による必要鉄筋量 (mm^2)

$$a_s = \frac{Q}{f_t}$$

Q : 面内せん断力 (N)

f_t : 鉄筋のせん断補強用許容引張応力度 (N/mm^2)

a : 片側配筋量 (mm^2)

b. 面外せん断力

Ss地震時に対する評価において、RC-N規準に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$\frac{Q}{Q_A} \leq 1$$

ここで、

Q : 面外せん断力 (N)

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

$$Q_A = bj\alpha f_s$$

b : 断面の幅 (mm)

j : 応力中心間距離 (= (7/8)d) (mm)

d : 有効せい (mm)

α : せん断スパン比による割増係数

なお、引張軸応力度が2N/mm²を超える場合は考慮しない (α = 1とする)

$$\alpha = \frac{4}{\frac{M}{Qd} + 1} \quad \text{かつ} \quad 1 \leq \alpha \leq 2$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

f_s : コンクリートの許容せん断応力度 (N/mm²)

ただし、Ss地震時において、せん断補強筋を考慮する場合の許容せん断力Q_Aは次式により算出する。

$$Q_A = bj\{\alpha f_s + 0.5v f_t (p_w - 0.002)\}$$

v f_t : せん断補強筋のせん断補強用許容引張応力度 (N/mm²)

p_w : せん断補強筋比

3.6.7 断面の評価結果

Ss地震時における断面の評価結果は、基礎について、評価項目・方向ごとに、配筋量に対する必要鉄筋量の比率又は許容値に対する発生値の比率が最大となる要素を選定し示す。

断面の評価における各要素の配筋について、分類領域ごとの配筋一覧を第3.6-17表に、配筋の分類領域図を第3.6-9図に示す。また、断面の評価における応力の方向を第3.6-10図に示す。

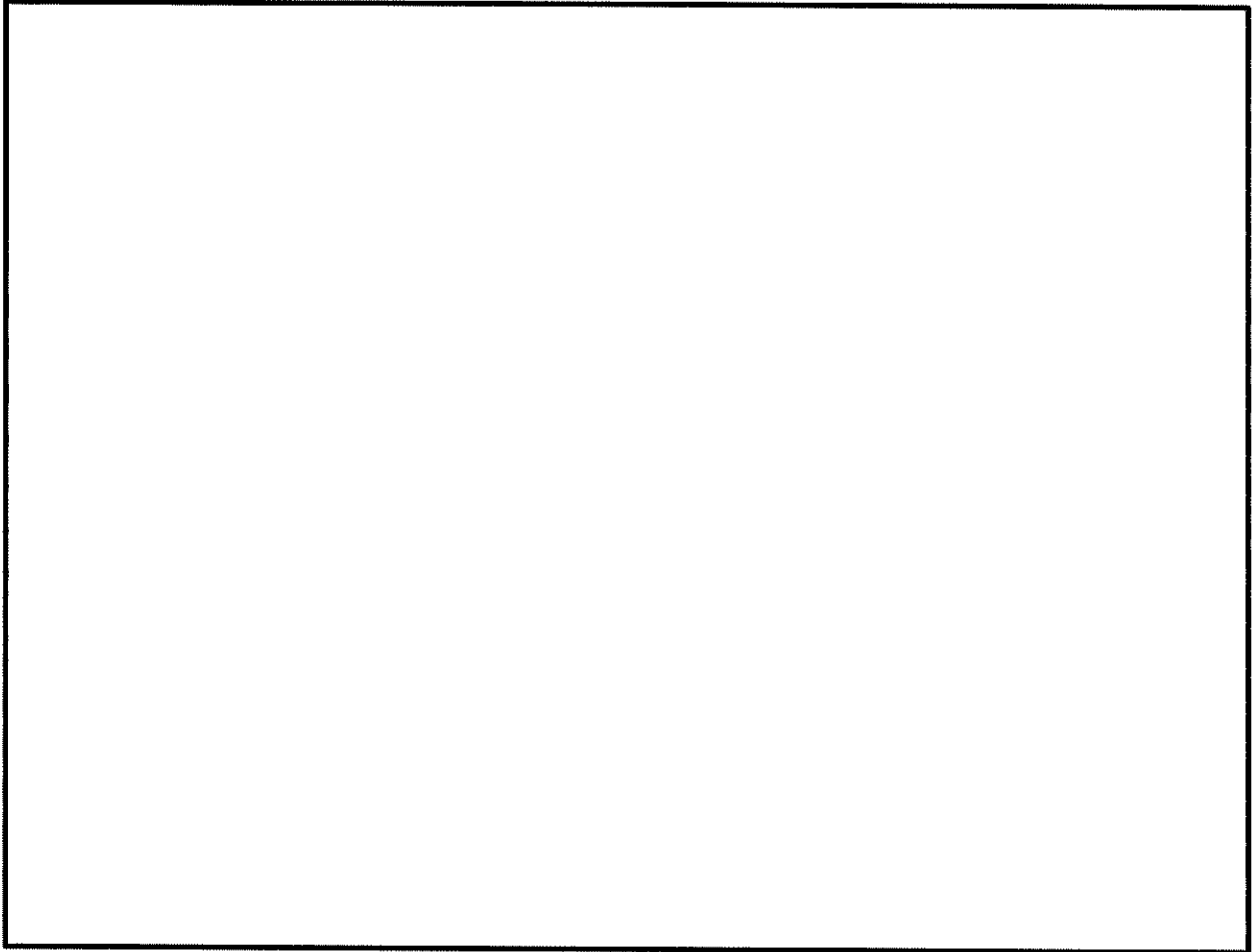
Ss地震時における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価結果を第3.6-18表に、評価結果の位置を第3.6-11図に示す。また、比較用として水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価結果も併せて示している。


評価の結果、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による必要鉄筋量が配筋量を超えないこと並びに面外せん断力が許容値を超えないことを確認した。

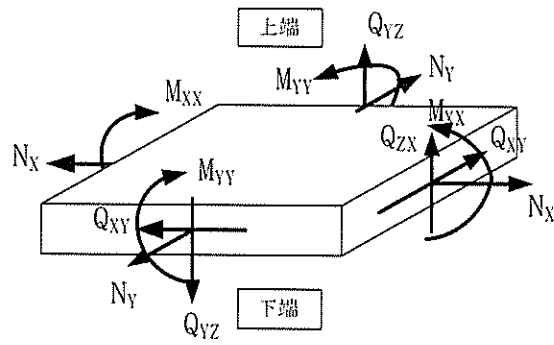
水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する断面の評価結果と水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する断面の評価結果とを比較すると、基礎の検定値の最大値は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて0.8（領域 、面外せん断力）であり、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて0.68（領域 、面外せん断力）となり、検定値は同等又は増加傾向であることを確認した。

第3.6-17表 分類領域ごとの配筋一覧（基礎）

部 位	領域	厚さ (mm)	主筋 (SD390)		鉄筋量 (mm ² /m)	面外せん断補強筋 (SD345)
			位置	方向		
基礎						



第3.6-9図 配筋の分類領域図 



[記号の説明]

軸力	: N_x, N_y
曲げモーメント	: M_{xx}, M_{yy}
面内せん断力	: Q_{xy}
面外せん断力	: Q_{zx}, Q_{yz}

第3.6-10図 応力の方向

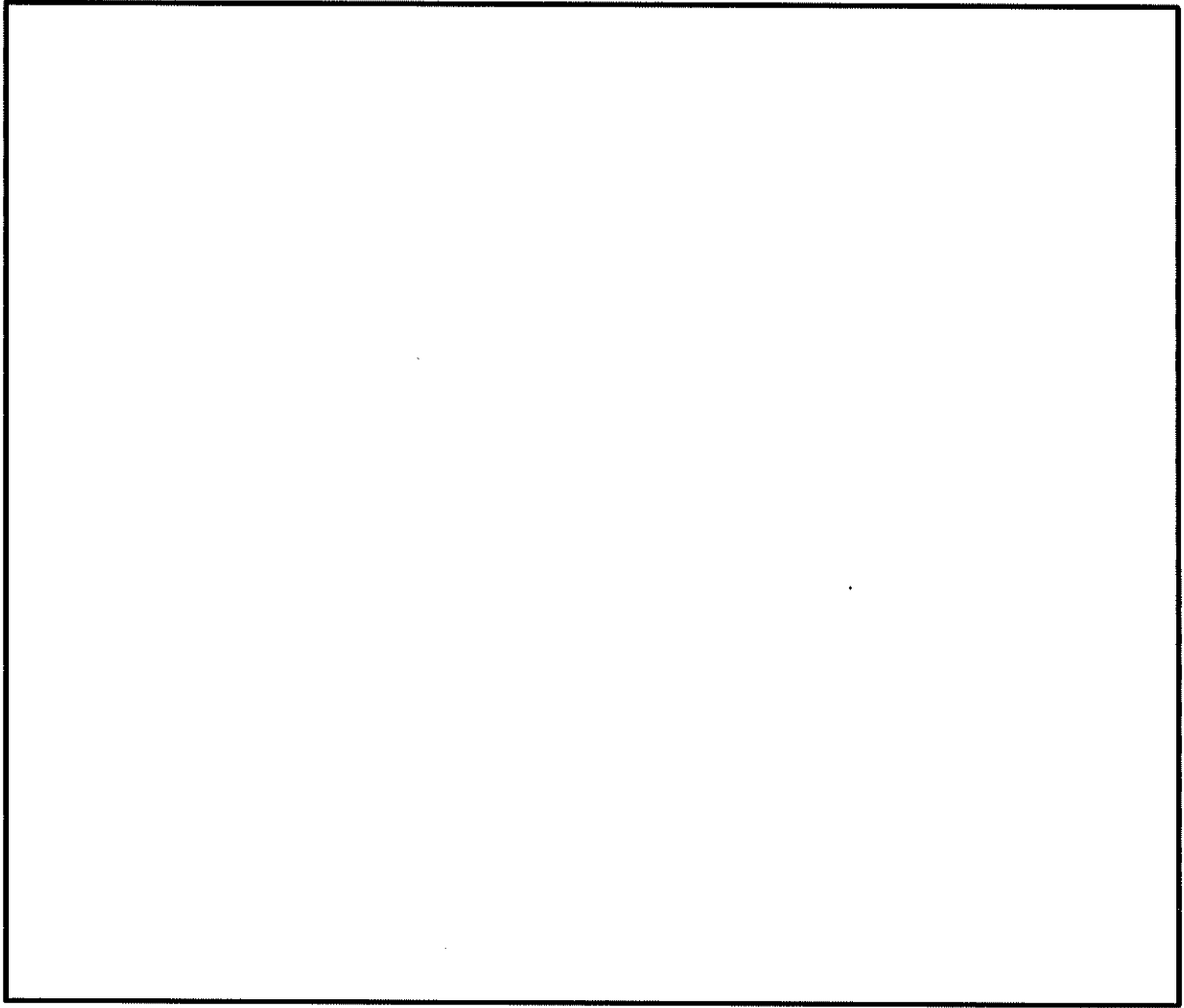
第3.6-18表 評価結果 (Ss地震時)

(a) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ (基礎)

	評価項目	方向	要素番号	① 解析結果	② 許容値	①/②	判定
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	鉄筋量 (mm ² /m)	EW	3233932			0.78	可
		NS	3233932			0.78	可
面外せん断力	面外 せん断力 (×10 ³ kN/m)	EW	3234714			0.80	可
		NS	3234339			0.75	可

(b) 水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ (基礎)

	評価項目	方向	要素番号	① 解析結果	② 許容値	①/②	判定
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	鉄筋量 (mm ² /m)	EW	3232643			0.61	可
		NS	3230602			0.60	可
面外せん断力	面外 せん断力 (×10 ³ kN/m)	EW	3234801			0.68	可
		NS	3234332			0.64	可



第3.6-11図 評価結果の位置（基礎）

3.6.8 検討のまとめ

基礎は直交する水平2方向の荷重が応力として集中する部位であり、隅部等に応力が集中する可能性があり、水平2方向の地震力の影響を受ける。このため、使用済燃料乾式貯蔵建屋について、耐震性向上の観点から、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析に基づき、Ss地震時において地震力を水平2方向及び鉛直方向に作用させた場合の検討を行った。

検討の結果、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による必要鉄筋量が配筋量を超えないこと並びに面外せん断力が許容値を超えないことを確認した。また、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価結果と比較すると、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、検定値は同等又は増加傾向であることを確認した。

以上より、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎が有する耐震性への影響はないことを確認した。

使用済燃料乾式貯建屋の耐震計算について

2-5 応力解析モデル及び解析手法の概要について

目 次

	頁
1. 概要	2-5-1
2. 応力解析モデル及び解析手法の概要	2-5-2

1. 概要

本資料は、使用済燃料乾式貯蔵建屋について、応力解析モデル及び解析手法の概要を説明するものである。

なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-12-2 「使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算書」

2. 応力解析モデル及び解析手法の概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋の応力解析モデル及び解析手法の概要について、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-16-6「原子炉補助建屋の耐震計算書」における伊方3号機原子炉補助建屋と併せて第2-1表に示す。

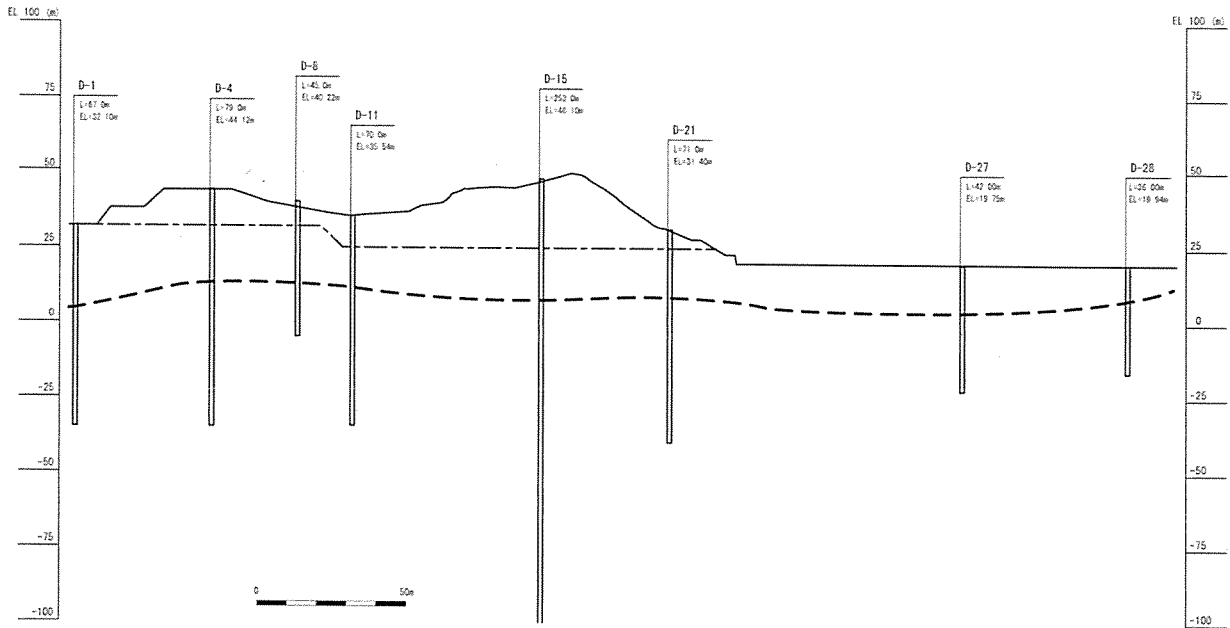
第2-1表 応力解析モデル及び解析手法の概要

項目		使用済燃料乾式貯蔵建屋	伊方3号機原子炉補助建屋	備考	
解析手法		・3次元FEMモデルを用いた静的弾性応力解析	・同左		
解析コード		・NX NASTRAN Ver 11.0.2	・MSC NASTRAN Ver 2013.1.0		
モデル化	モデル(要素)	・3次元FEMによりモデル化 壁(シェル)、床(シェル)、基礎(シェル) はり(ビーム)	・同左 壁(シェル)、柱(ビーム)、はり(ビーム)、床(シェル)、基礎(リット)		
	材料物性	・コンクリートのヤング係数、ポアソン比 $E=2.44 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、 $\nu=0.2$	・コンクリートのヤング係数、ポアソン比 $E=2.34 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、 $\nu=0.2$	①	
	境界条件	・地盤と基礎の境界に地盤ばねを考慮 (基礎浮上り考慮)	・同左		
荷重の組合せ		・ $GP+C_0+Ks$ GP: 固定・積載荷重 Ks: 地震荷重 C_0 : 長期キヤスク荷重	・ $GP+Ks$ GP: 固定・積載荷重 Ks: 地震荷重	②	
荷重の設定	固定・積載	・モデル化範囲の固定・積載荷重を考慮	・同左		
	長期キヤスク荷重	・乾式キヤスクの長期荷重を考慮	・— (該当なし)		
	地震荷重	地震力	・地震時の固定・積載荷重に対する慣性力を考慮 (地震応答解析結果に基づき算定)	・同左	
		キヤスク反力	・地震時に作用する乾式キヤスクの反力を考慮	・— (該当なし)	
評価手法		・Ss 地震時: 機能維持	・Ss 地震時: 同左	③	
水平2方向		・評価対象: 矩形基礎 ・評価方法: 水平2方向+鉛直方向の荷重を考慮 (組合せ係数法 1.0:0.4:0.4)	・評価対象: 同左 ・評価方法: 同左		

①: 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会、2005制定) に基づき設定。

②: 地下水位が静水頭として作用するような環境にない (使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎底面は) ため、揚圧力等の水圧は作用しない。(次ページ図参照)

③: 機能維持について、使用済燃料乾式貯蔵建屋は、原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会、2005制定) に基づく終局強度を許容限界として設定。伊方3号機原子炉補助建屋は、発電用原子力設備規格コンクリート製原子炉格納容器規格 ((社) 日本機械学会、2003) に基づく荷重状態IVの許容値を許容限界として設定。



第 3.9.22 図 乾式貯蔵建屋設置位置付近の地下水位調査結果

※伊方発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書（令和 2 年 9 月 16 日付け原規規発第 2009168 号許可）添付書類六より抜粋

3. 周辺施設等の波及的影響の検討について

目 次

	頁
1. 概要	3-1
2. 波及的影響に関する評価方針	3-2
2.1 基本方針	3-2
2.2 周辺施設等の抽出方法	3-2
2.3 影響評価方法	3-2
2.4 運転状態等による評価対象の考え方	3-3
3. 事象検討	3-4
3.1 別記4に記載された事項に基づく事象検討	3-4
3.2 地震被害事例に基づく事象の検討	3-5
3.3 周辺斜面の崩壊による影響評価	3-5
4. 使用済燃料乾式貯蔵容器等の確認	3-6
5. 周辺施設等の抽出及び影響評価方法	3-7
5.1 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響	3-7
5.2 使用済燃料乾式貯蔵容器間の相互影響	3-11
5.3 使用済燃料乾式貯蔵容器等と周辺施設等との相互影響	3-13
6. 周辺施設等の抽出	3-19
6.1 屋外施設の評価対象の抽出	3-19
6.2 屋内施設の評価対象の抽出	3-21
6.3 接続部の評価対象の抽出	3-21
7. 影響評価結果	3-24
7.1 屋外施設の評価結果	3-24
7.2 屋内施設の評価結果	3-24
7.3 接続部の評価結果	3-24
8. まとめ	3-26

1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋内の使用済燃料乾式貯蔵容器、その直接支持構造物及び間接支持構造物は、周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の波及的影響によって、それぞれの安全機能及び支持機能を損なわないことについて、設計図書類を用いた机上検討及び現地調査（プラントウォークダウン）による敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、必要な評価を実施することとしている。

ここで、使用済燃料乾式貯蔵建屋内の使用済燃料乾式貯蔵容器、その直接支持構造物及び間接支持構造物を合わせて「使用済燃料乾式貯蔵容器等」と定義し、それぞれの安全機能及び支持機能を合わせて「使用済燃料乾式貯蔵容器等の有する機能」と定義する。また、周辺施設等とは、使用済燃料乾式貯蔵容器等の有する機能を維持するために必要な機能を有していない使用済燃料乾式貯蔵建屋内に設置する周辺施設及び使用済燃料乾式貯蔵容器等の有する機能を維持するために必要な機能を有していない設備、並びに使用済燃料乾式貯蔵建屋周辺に位置する施設をいう。

なお、使用済燃料乾式貯蔵容器等については全て本設計及び工事計画による新設の施設であることから、設計（工事計画）段階における周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の抽出については、設計図書類を用いた机上検討により行うこととし、現地調査（プラントウォークダウン）については、工事段階において実施する。工事段階の現地調査では設計段階で検討した配置・補強等が設計どおりに施工されていることを確認する。

2. 波及的影響に関する評価方針

2.1 基本方針

波及的影響評価は以下に示す方針に基づき実施する。

- (1) 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」の別記4（以下「別記4」という。）に記載された3つの事項を基に、検討すべき事象を整理する。また、原子力発電所の地震被害情報を基に、別記4の3つの事項以外に検討すべき事象の有無を確認する。
- (2) (1)で整理した検討事項をもとに、使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器を抽出する。
- (3) (2)で抽出された周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器について、配置、設計、運用上の観点から使用済燃料乾式貯蔵容器等への影響評価を実施する。

2.2 周辺施設等の抽出方法

使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の抽出は、設計図書類を用いた机上検討による敷地全体を俯瞰した調査・検討により実施する。

(1) 机上検討

伊方発電所構内配置図、機器配置図、系統図等の設計図書類を用いて、使用済燃料乾式貯蔵容器等の配置状況を確認する。

次に設計図書類を用いて、使用済燃料乾式貯蔵容器等の周辺に位置する周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器のうち、波及的影響を及ぼすおそれのあるものを抽出する。

2.3 影響評価方法

波及的影響を及ぼすおそれがあるとして抽出された周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器について、影響評価により使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なわないことを確認する。

影響評価において、抽出された周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器が耐震性を有していることの確認によって使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なわないことを確認する場合、適用する地震動（以下「検討用地震動」という。）は、原則として使用済燃料乾式貯蔵容器等の設計に用いる地震動又は地震力とする。

2.4 運転状態等による評価対象の考え方

使用済燃料乾式貯蔵容器の運転状態等には、貯蔵時、取扱時があり、各状態において要求される使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を考慮して波及的影響評価を実施する。

貯蔵時は、周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の波及的影響も考慮したうえで、基準地震動に対して安全機能を損なわないことを確認する。

取扱い時は、JEAG4601・補-1984において地震と組み合わせるべき事象に対する発生頻度及びその状態の継続時間の考え方を準用し、基準地震動と組み合わせるべき状態において、周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の波及的影響も考慮したうえで、安全機能を損なわないことを確認する。

3. 事象検討

3.1 別記4に記載された事項に基づく事象検討

別記4に記載された3つの事項を基に、具体的な事象を整理する。

- ① 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響
 - (1) 地盤の不等沈下による影響
 - ・ 地盤の不等沈下による周辺施設等の傾きや倒壊に伴う使用済燃料乾式貯蔵容器等への衝突
 - (2) 建屋等の相対変位による影響
 - ・ 使用済燃料乾式貯蔵建屋と周辺施設等の相対変位による使用済燃料乾式貯蔵建屋への衝突、又は建屋等の渡り配管の損傷

- ② 使用済燃料乾式貯蔵容器間の相互影響
 - ・ 使用済燃料乾式貯蔵容器の変位に伴う隣接した使用済燃料乾式貯蔵容器等への衝突

- ③ 使用済燃料乾式貯蔵容器等と周辺施設等との相互影響（周辺施設等の損傷、転倒、落下等による使用済燃料乾式貯蔵容器等への影響を含む。）
 - (1) 損傷、転倒及び落下等の観点による設計（屋外）
 - ・ 屋外の周辺施設等の転倒、落下、倒壊に使用済燃料乾式貯蔵建屋への衝突
 - (2) 損傷、転倒及び落下等の観点による設計（屋内）
 - ・ 屋内の周辺施設等の転倒、落下、倒壊に使用済燃料乾式貯蔵容器等への衝突
 - (3) 接続部の影響
 - ・ 使用済燃料乾式貯蔵容器等に接続する周辺施設等の損傷

3.2 地震被害事例に基づく事象の検討

地震被害事例に基づく事象の検討については、原子力施設情報公開ライブラリ（NUCIA：ニューシア）から、同公開ライブラリに登録された地震を対象に原子力発電所の被害情報を抽出し、これらの地震被害の発生要因（原因）から、波及的影響の具体的な検討事象となる被害要因がないか定期的に検討しており、波及的影響の具体的な検討事象に加えるべき新たな被害要因がないことを確認している。

3.3 周辺斜面の崩壊による影響評価

使用済燃料乾式貯蔵建屋については、基準地震動 S_s による地震力により周辺斜面の崩壊の影響がないことが確認された場所に設置する。具体的にはJEAG4601-1987の安定性評価の対象とすべき斜面や、土砂災害防止法での土砂災害警戒区域の設定離間距離を参考に、個々の斜面高を踏まえて対象斜面を抽出する。

上記に基づく対象斜面の抽出とその耐震安定性評価については、設置（変更）許可申請書（令和2年9月16日許可）に記載しており、使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能に対して影響ないことを確認していることから本検討の対象外とする。

4. 使用済燃料乾式貯蔵容器等の確認

今回、波及的影響評価を実施するに当たって、防護対象となる使用済燃料乾式貯蔵容器等のうち、屋外施設一覧を第4-1表に、屋内施設一覧を第4-2表に示す。

第4-1表 屋外施設一覧表

No.	設備名	区分
001	使用済燃料乾式貯蔵建屋	Sクラス施設の間接支持構造物

第4-2表 屋内施設一覧表

No.	設備名	区分	設置建屋
E01	使用済燃料乾式貯蔵容器等	Sクラス施設	使用済燃料乾式貯蔵建屋

5. 周辺施設等の抽出及び影響評価方法

3. 項で整理した各検討事象を基に、使用済燃料乾式貯蔵容器等への波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出及び評価フローを作成し、当該フローに基づき、影響評価を実施する。

5.1 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響

(1) 地盤の不等沈下による影響

第5-1-1図のフローに従い、使用済燃料乾式貯蔵容器等の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等を抽出し、波及的影響を検討する。

a. 周辺施設等の抽出

地盤の不等沈下による周辺施設等の傾きや倒壊を想定しても使用済燃料乾式貯蔵容器等に衝突しない程度の十分な離隔距離をとって配置されていることを確認し、離隔距離が十分でない周辺施設等を抽出する。

b. 耐震性の確認

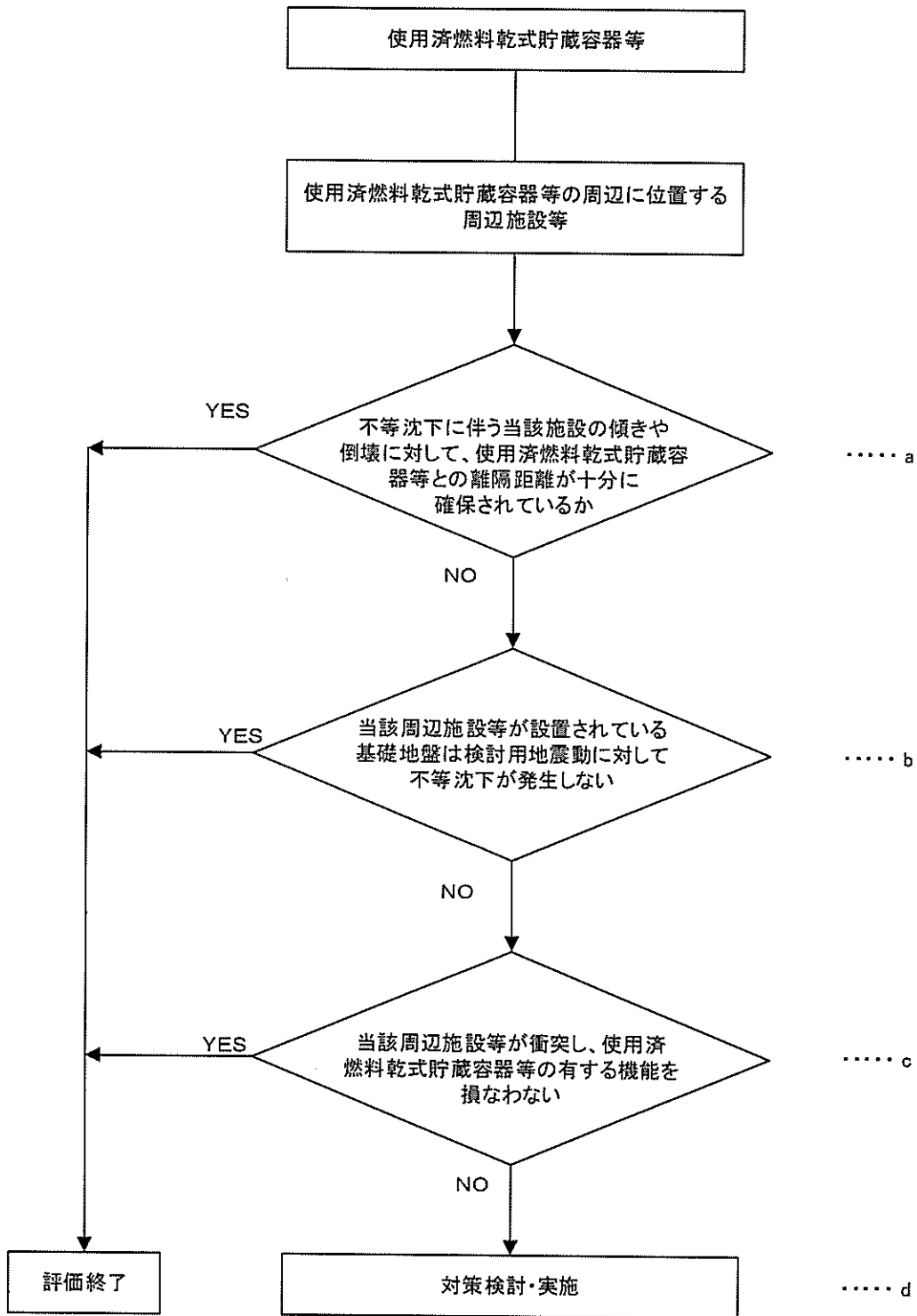
a. で抽出した周辺施設等について、検討用地震動に対して、基礎地盤が十分な支持性能を持つ岩盤に設置されていることの確認により、不等沈下しないことを確認する。

c. 不等沈下に伴う波及的影響の評価

b. で地盤の不等沈下のおそれが否定できない周辺施設等については、傾きや倒壊を想定し、使用済燃料乾式貯蔵容器等への影響を確認し、使用済燃料乾式貯蔵容器等の有する機能を損なわないことを確認する。

d. 対策検討

c. で使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なうおそれが否定できない周辺施設等に対して、基礎地盤の補強や周辺の地盤改良等を行い、不等沈下による周辺施設等の波及的影響を防止する。



第5-1-1図 不等沈下により使用済燃料乾式貯蔵容器等へ影響を及ぼすおそれのある
周辺施設等の抽出及び評価フロー

(2) 建屋等の相対変位による影響

第5-1-2図のフローに従い、使用済燃料乾式貯蔵容器等の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等を抽出し、波及的影響を検討する。

a. 周辺施設等の抽出

地震による周辺施設等との相対変位を想定しても使用済燃料乾式貯蔵建屋に衝突しない程度の十分な離隔距離をとって配置されていることを確認し、離隔距離が十分でない周辺施設等を抽出する。

また、使用済燃料乾式貯蔵建屋と周辺施設等を渡って敷設されている配管等を抽出する。

b. 耐震性の確認

a. で抽出した周辺施設等について、検討用地震動に対して、建屋の相対変位による使用済燃料乾式貯蔵建屋への衝突がないことを確認する。

また、建屋等の相対変位の考慮が必要な場合には、建屋等を渡って敷設されている配管等が建屋境界にて破損することを想定する。

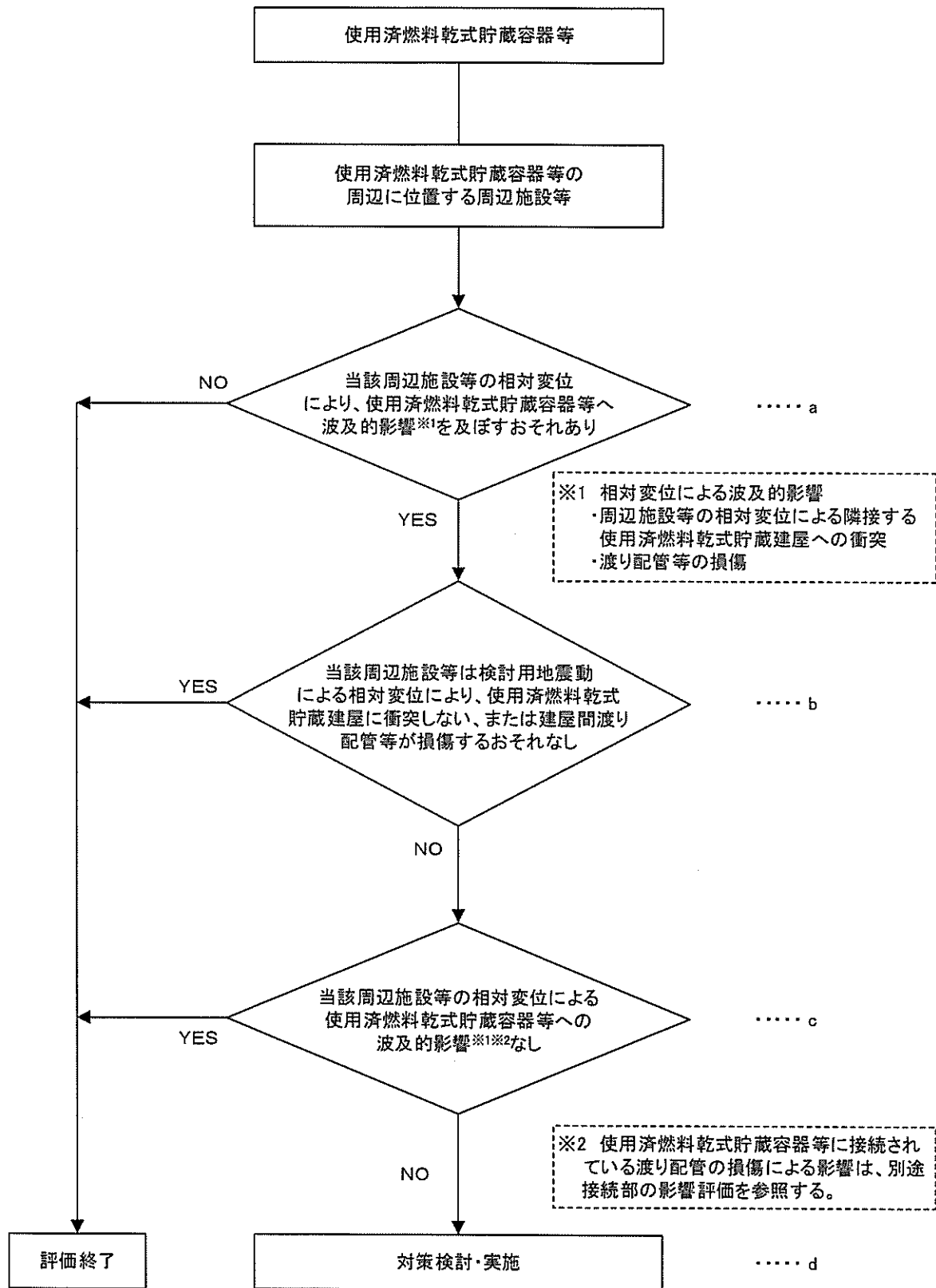
c. 相対変位に伴う波及的影響の評価

b. で衝突のおそれが否定できない周辺施設等について、衝突部分の接触状況を確認し、建屋全体又は局部評価を実施し、衝突に伴い、使用済燃料乾式貯蔵建屋の機能を損なうおそれがないことを確認する。

また、建屋等を渡って敷設されている配管等の破損により、使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なうおそれがないことを確認する。

d. 対策検討

c. で使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なうおそれが否定できない周辺施設等に対して、建屋の補強等を行い、建屋の相対変位等による周辺施設等の波及的影響を防止する。



第5-1-2図 相対変位により使用済燃料乾式貯蔵容器等へ影響を及ぼすおそれのある
周辺施設等の抽出及び評価フロー

5.2 使用済燃料乾式貯蔵容器間の相互影響

第5-2図のフローに従い、使用済燃料乾式貯蔵容器等と隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器を抽出し、波及的影響を検討する。

a. 隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の抽出

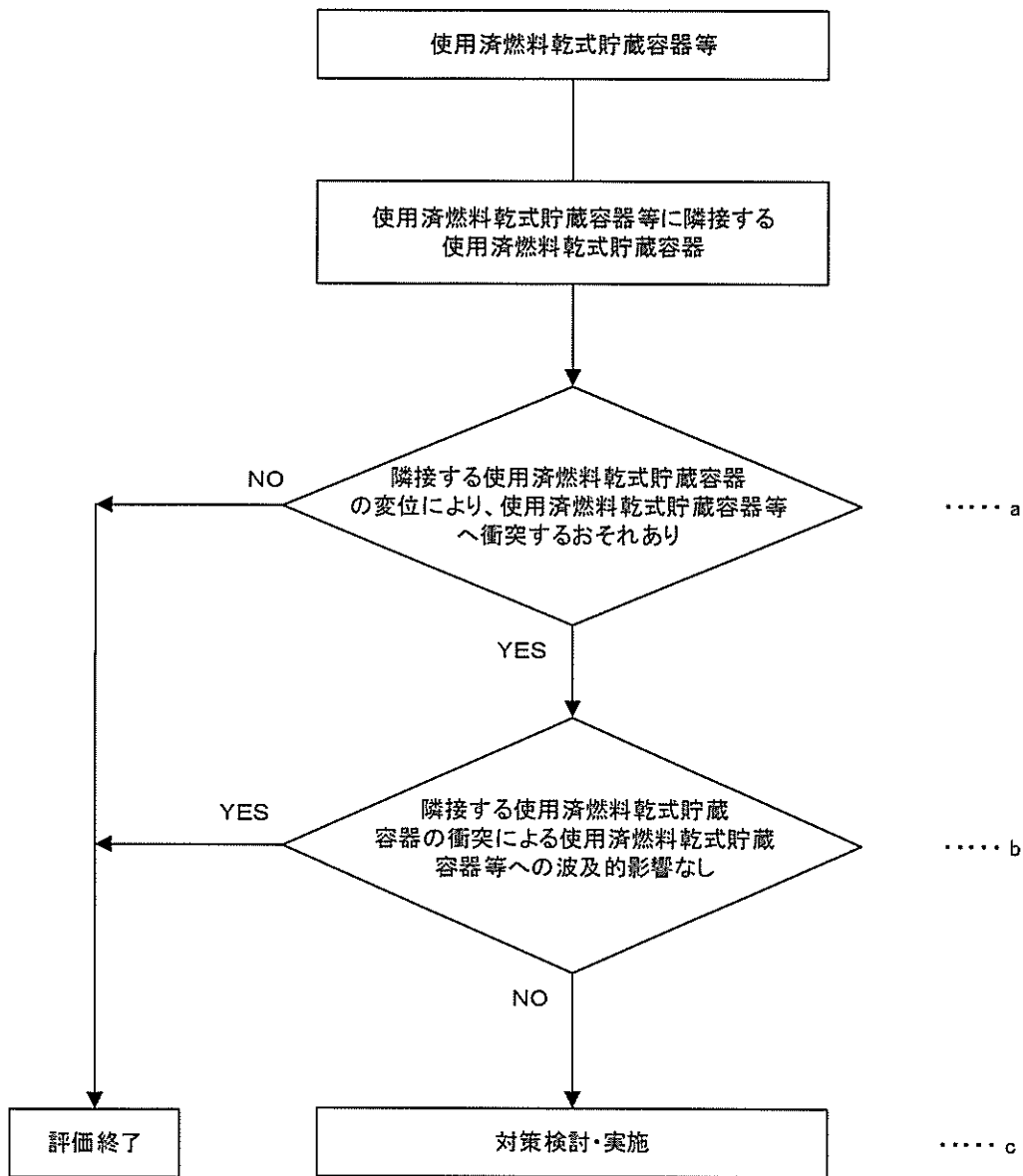
検討用地震動による使用済燃料乾式貯蔵容器の変位を想定しても隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器等に衝突しない程度の十分な離隔距離をとって配置されていることを確認し、離隔距離が十分でない使用済燃料乾式貯蔵容器を抽出する。

b. 使用済燃料乾式貯蔵容器の衝突に伴う波及的影響の評価

a. で抽出された使用済燃料乾式貯蔵容器について、構造上の特徴、使用済燃料乾式貯蔵容器等との位置関係、重量比等を踏まえて、衝突を想定した場合の使用済燃料乾式貯蔵容器等への影響を評価し、使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なうおそれがないことを確認する。

c. 対策検討

b. で衝突を想定した場合に使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能への影響が否定できなかった使用済燃料乾式貯蔵容器について、検討用地震動による変位を想定しても、衝突が生じないように、離隔距離を十分に確保する等の対策により波及的影響を防止する。



第5-2図 使用済燃料乾式貯蔵容器等と隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の抽出及び評価フロー

5.3 使用済燃料乾式貯蔵容器等と周辺施設等との相互影響

(1) 損傷、転倒及び落下等による影響（屋外）

第5-3-1図のフローに従い、使用済燃料乾式貯蔵建屋の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等を抽出し、波及的影響を検討する。

a. 周辺施設等の抽出

周辺施設等の抽出にあたって、周辺施設等の損傷、転倒及び落下等を想定しても使用済燃料乾式貯蔵建屋に衝突しない程度の十分な距離をとって配置されていることを確認する。離隔距離が十分でない場合には、転倒防止措置等の対策を適切に実施していることを確認する。

以上の確認ができなかった周辺施設等を、損傷、転倒及び落下等により、使用済燃料乾式貯蔵建屋に波及的影響を及ぼすおそれのあるものとして抽出する。

b. 損傷、転倒及び落下等に伴う波及的影響の評価

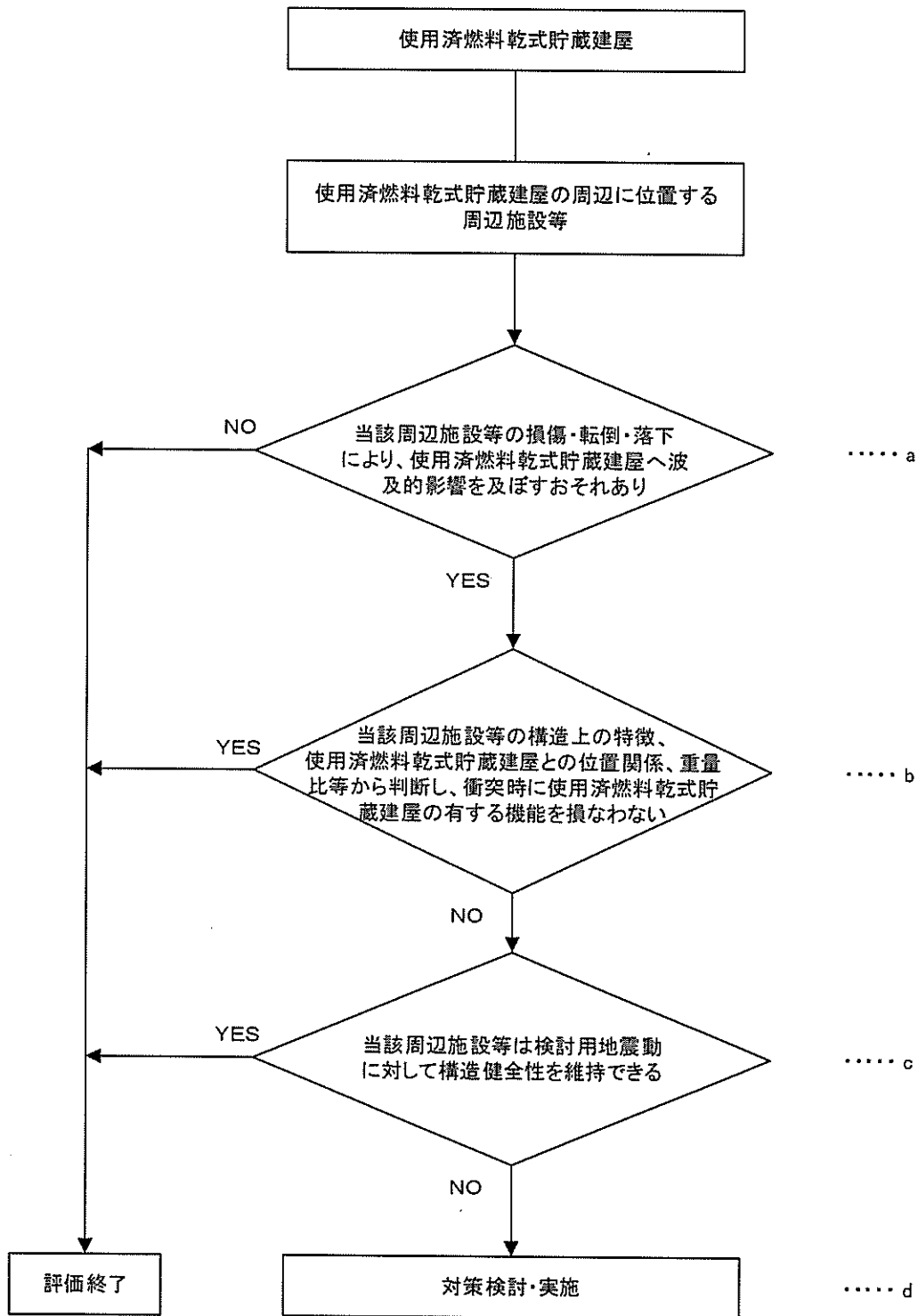
a. で抽出された周辺施設等について、構造上の特徴、使用済燃料乾式貯蔵建屋との位置関係、重量比等を踏まえて、損傷、転倒及び落下等を想定した場合の使用済燃料乾式貯蔵建屋への影響を評価し、使用済燃料乾式貯蔵建屋の機能を損なうおそれがないことを確認する。

c. 耐震性の確認

b. で損傷、転倒及び落下等を想定した場合に使用済燃料乾式貯蔵建屋の機能への影響が否定できない周辺施設等について、検討用地震動に対して、損傷、転倒及び落下等が生じないように、構造健全性が維持できることを確認する。

d. 対策検討

c. で構造健全性の維持を確認できなかった周辺施設等について、検討用地震動に対して健全性を維持できるように構造の改造、使用済燃料乾式貯蔵建屋と周辺施設等との間に衝撃に耐えうる緩衝体の設置、周辺施設等の移設等により波及的影響を防止する。



第5-3-1図 損傷、転倒及び落下により使用済燃料乾式貯蔵建屋へ影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出及び評価フロー

(2) 損傷、転倒及び落下等による影響（屋内）

第5-3-2図のフローに従い、屋内の使用済燃料乾式貯蔵容器等の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等を抽出し、波及的影響を検討する。

a. 周辺施設等の抽出

周辺施設等の抽出にあたって、周辺施設等の損傷、転倒及び落下等を想定しても使用済燃料乾式貯蔵容器等に衝突しない程度の十分な距離をとって配置されていることを確認する。離隔距離が十分でない場合には、落下防止措置等を適切に実施していることを確認する。

以上の確認ができなかった周辺施設等を、損傷、転倒及び落下等により、使用済燃料乾式貯蔵容器等に波及的影響を及ぼすおそれのあるものとして抽出する。

b. 損傷、転倒及び落下等に伴う波及的影響の評価

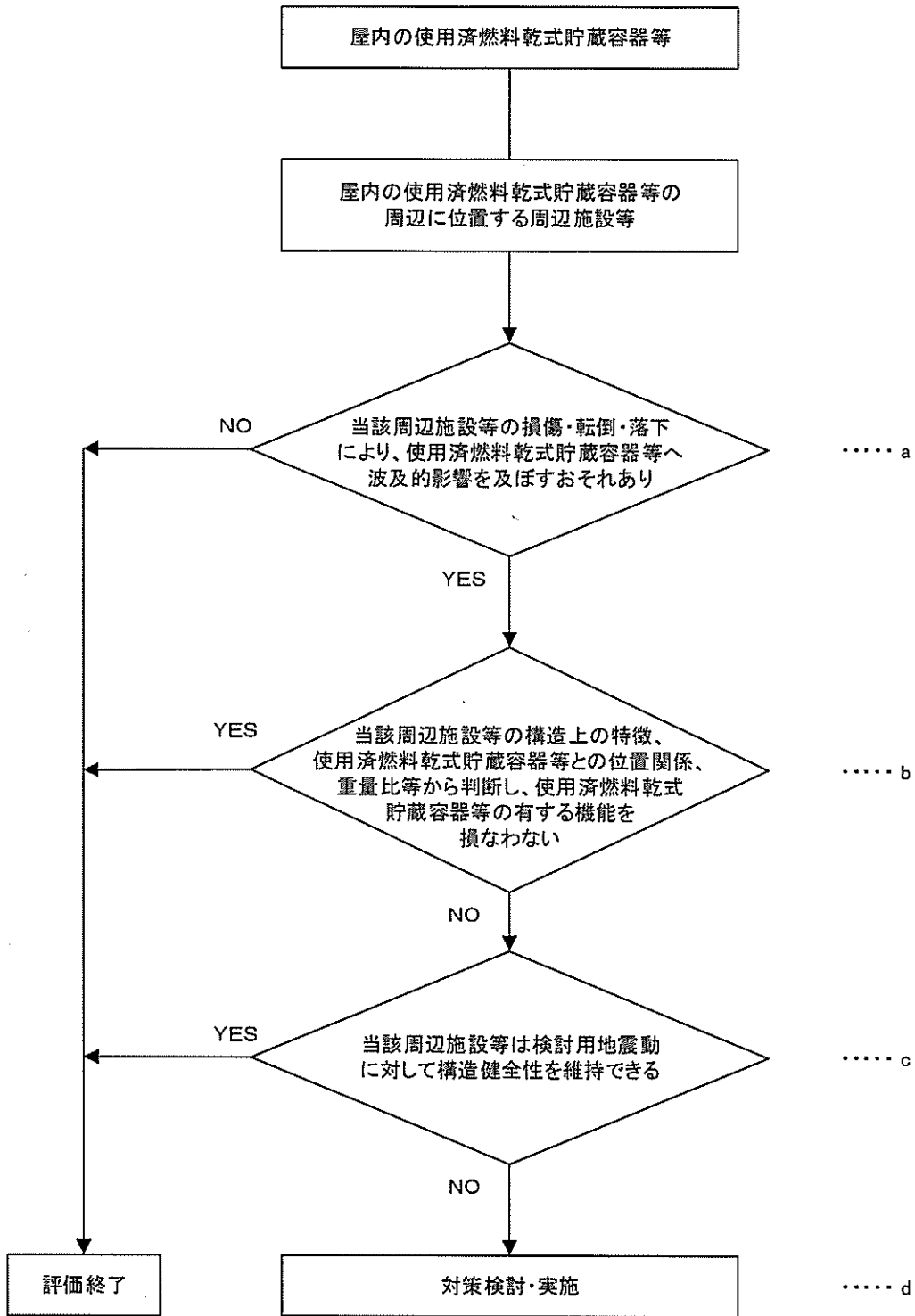
a. で抽出された周辺施設等について、構造上の特徴、使用済燃料乾式貯蔵容器等との位置関係、重量比等を踏まえて、損傷、転倒及び落下等を想定した場合の使用済燃料乾式貯蔵容器等への影響を評価し、使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なうおそれがないことを確認する。

c. 耐震性の確認

b. で損傷、転倒及び落下等を想定した場合に使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能への影響が否定できない周辺施設等について、検討用地震動に対して、損傷、転倒及び落下等が生じないように、構造健全性が維持できることを確認する。

d. 対策検討

c. で構造健全性の維持を確認できなかった周辺施設等について、検討用地震動に対して健全性を維持できるように構造の改造、使用済燃料乾式貯蔵容器等と周辺施設等との間に衝撃に耐えうる緩衝体の設置、周辺施設等の移設等により波及的影響を防止する。



第5-3-2図 損傷、転倒及び落下により屋内の使用済燃料乾式貯蔵容器等へ影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出及び評価フロー

(3) 接続部における相互影響

第5-3-3図のフローに従い、使用済燃料乾式貯蔵容器等と接続する周辺施設等を抽出し、波及的影響を検討する。

a. 接続部の抽出

使用済燃料乾式貯蔵容器等と周辺施設等が接続する箇所を抽出する。

b. 影響評価対象の選定

a. で抽出した接続部のうち、耐震Sクラス設計の弁又はダンパにより常時閉隔離されているものは、接続する周辺施設等が破損した場合においても健全性は確保されるため、評価対象外とする。

c. 影響評価

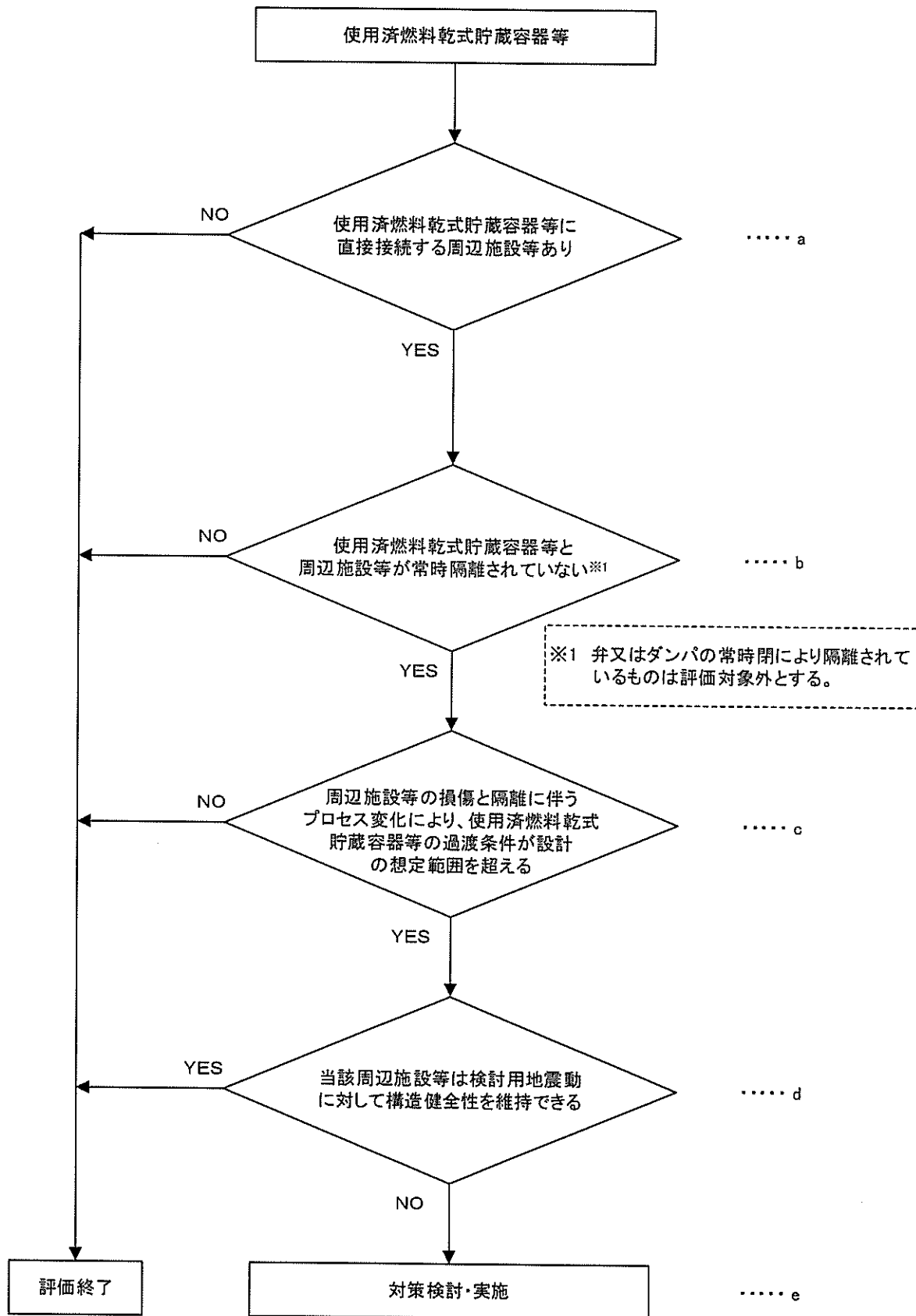
b. で抽出した周辺施設等について、周辺施設等が損傷した場合の系統隔離等に伴うプロセス変化による使用済燃料乾式貯蔵容器等の過渡条件が設計の想定範囲内であることを確認する。

d. 耐震性の確認

c. で設計の想定範囲を超えるものについて、検討用地震動に対して、構造健全性が維持され、内部流体の内包機能等の必要な機能を維持できることを確認する。

e. 対策検討

d. で使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なうおそれが否定できない周辺施設等について、検討用地震動に対して健全性を維持できるように構造の改造、接続部から使用済燃料乾式貯蔵容器等の配管・ダクト側に同じく健全性を維持できる隔離弁の設置等により、波及的影響を防止する。



第5-3-3図 使用済燃料乾式貯蔵容器等と接続する周辺施設等の抽出及び評価フロー

6. 周辺施設等の抽出

使用済燃料乾式貯蔵容器等への波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出は、屋外施設、屋内施設、接続部に分けて実施し、屋外施設については別記4の①及び③の観点、屋内施設については①、②及び③の観点、接続部については③の観点から評価対象となる周辺施設等を抽出した。

6.1 屋外施設の評価対象の抽出

6.1.1 抽出手順

使用済燃料乾式貯蔵建屋の配置図を第6-1図に示す。（配置図上の番号は第4-1表の整理番号に該当する）。

(1) 地盤の不等沈下による影響

第5-1-1図のフローに従い、机上検討をもとに、使用済燃料乾式貯蔵容器等のうち使用済燃料乾式貯蔵建屋に対して、地盤の不等沈下により波及的影響を及ぼすおそれがある周辺施設等を抽出する。

(2) 建屋等の相対変位による影響

第5-1-2図のフローに従い、机上検討をもとに、使用済燃料乾式貯蔵容器等のうち使用済燃料乾式貯蔵建屋に対して、建屋等の相対変位により波及的影響を及ぼすおそれがある周辺施設等を抽出する。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋と周辺施設等を渡って敷設されている配管等を抽出する。

(3) 施設の損傷、転倒及び落下等による影響

第5-3-1図のフローに従い、机上検討及び現地調査をもとに、使用済燃料乾式貯蔵建屋に対して、損傷、転倒及び落下等により影響を及ぼすおそれがある周辺施設等を抽出する。

6.1.2 抽出結果

使用済燃料乾式貯蔵建屋への波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出結果を、第6-1表に示す。

(1) 地盤の不等沈下による影響

机上検討の結果、使用済燃料乾式貯蔵容器等に影響を及ぼす可能性がある周辺施設等は無かった。

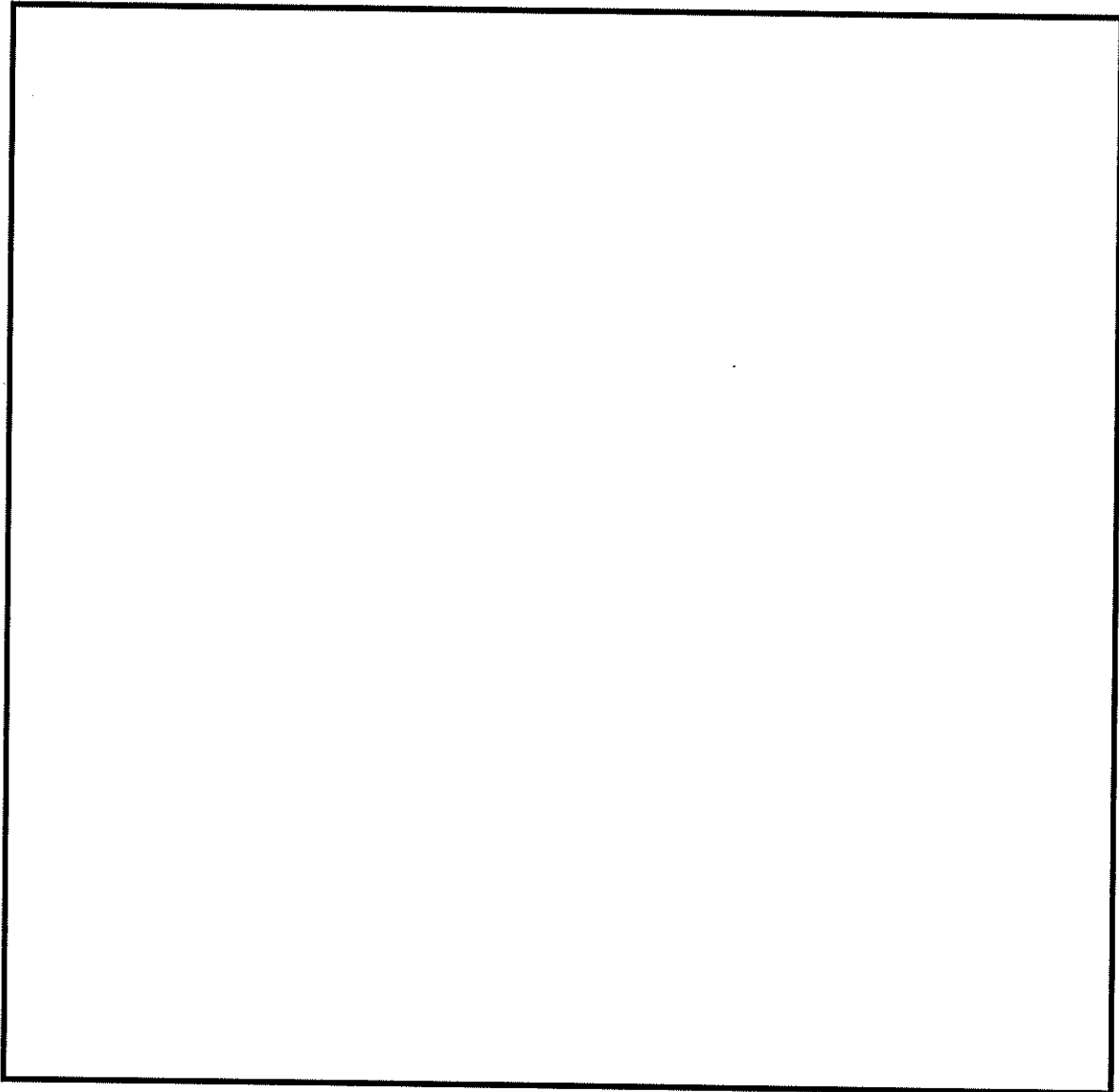
(2) 建屋の相対変位による影響

机上検討の結果、使用済燃料乾式貯蔵容器等に影響を及ぼす可能性がある周辺施設等は無かった。

また、今回申請範囲には使用済燃料乾式貯蔵建屋と周辺施設等を渡って敷設される配管等はないことを確認した。

(3) 施設の損傷、転倒及び落下等による影響

机上検討の結果、使用済燃料乾式貯蔵容器等に影響を及ぼす可能性がある周辺施設等は無かった。



第6-1図 使用済燃料乾式貯蔵建屋配置図

6.2 屋内施設の評価対象の抽出

6.2.1 抽出手順

使用済燃料乾式貯蔵容器等の配置図を第6-2図及び第6-3図に示す。(配置図上の番号は第4-2表の整理番号に該当する)。

(1) 地盤の不等沈下による影響

第5-1-1図のフローに従い、机上検討をもとに、使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して、地盤の不等沈下により波及的影響を及ぼすおそれがある周辺施設等を抽出する。

(2) 建屋等の相対変位による影響

第5-1-2図のフローに従い、机上検討をもとに、使用済燃料乾式貯蔵建屋と周辺施設等を渡って敷設されている配管等を抽出する。

(3) 使用済燃料乾式貯蔵容器間の相互影響

第5-2図のフローに従い、机上検討をもとに、使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して、変位により波及的影響を及ぼすおそれがある使用済燃料乾式貯蔵容器を抽出する。

(4) 施設の損傷、転倒及び落下等による影響

第5-3-2図のフローに従い、机上検討をもとに、屋内に設置される使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して、損傷、転倒及び落下等により影響を及ぼす可能性のある周辺施設等を抽出する。

使用済燃料乾式貯蔵容器等の配置図を第6-2図及び第6-3図に示す(配置図上の番号は第4-2表の整理番号に該当する)。

6.2.2 抽出結果

(1) 地盤の不等沈下による影響

机上検討の結果、使用済燃料乾式貯蔵容器等に影響を及ぼす可能性がある周辺施設等は無かった。

(2) 建屋の相対変位による影響

机上検討の結果、今回申請範囲には使用済燃料乾式貯蔵建屋と周辺施設等を渡って敷設される配管等はないことを確認した。

(3) 使用済燃料乾式貯蔵容器間の相互影響

机上検討の結果、使用済燃料乾式貯蔵容器等に影響を及ぼす可能性がある隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器は無かった。

(4) 施設の損傷、転倒及び落下等による影響

机上検討の結果、抽出された周辺施設等を第6-1表に示す。

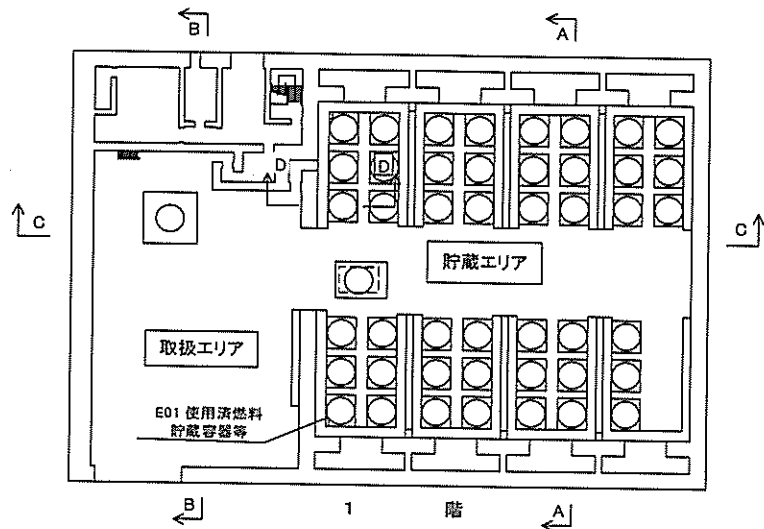
6.3 接続部の評価対象の抽出

6.3.1 抽出手順

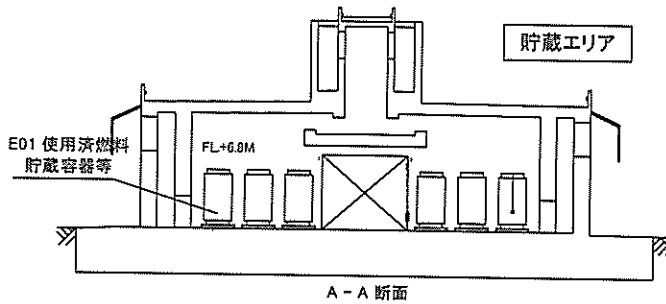
第5-3-3図のフローに従い、机上検討をもとに、使用済燃料乾式貯蔵容器等と接続する周辺施設等のうち、周辺施設等の損傷又は隔離によるプロセス変化により使用済燃料乾式貯蔵容器等に影響を及ぼす可能性がある周辺施設等を抽出する。

6.3.2 抽出結果

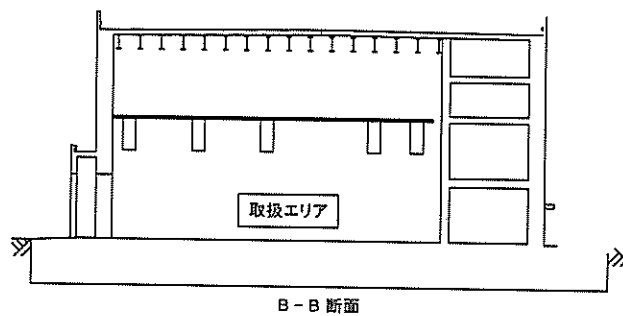
机上検討の結果、使用済燃料乾式貯蔵容器等に影響を及ぼす可能性がある周辺施設等は無かった。



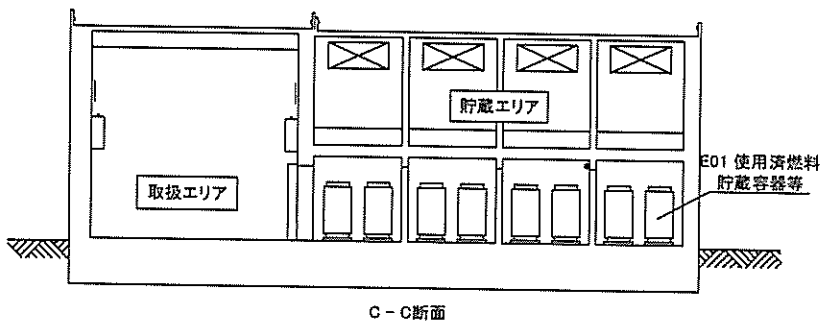
第 6-2 図 使用済燃料乾式貯蔵建屋 平面図



A - A 断面



B - B 断面



C - C 断面

第 6-3 図 使用済燃料乾式貯蔵建屋 断面図

第6-1表 使用済燃料乾式貯蔵容器等へ波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等

No.	施設	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等	波及的影響のおそれ (○:あり、×:なし)	備考
				損傷・転倒・落下	
O01	使用済燃料乾式貯蔵建屋	-	-	×	
E01	使用済燃料乾式貯蔵容器等	使用済燃料乾式貯蔵建屋	使用済燃料乾式貯蔵建屋(上屋)	○	

7. 影響評価結果

7.1 屋外施設の評価結果

6.1の抽出の結果、波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等として抽出されるものはなかった。

7.2 屋内施設の評価結果

6.2で抽出された周辺施設等による使用済燃料乾式貯蔵容器等への波及的影響の評価結果を第7-1表に示す。

7.3 接続部の評価結果

6.3の抽出の結果、波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等として抽出されるものはなかった。

第7-1表 屋内施設の評価結果

屋内施設	波及的影響を及ぼすおそれのある 周辺施設等	評価結果	備考
使用済燃料乾式 貯蔵容器等	使用済燃料乾式貯蔵建屋（上屋）	建屋の構造物全体としての変形性能評価を行 い、基準地震動 S_s に対して建屋が倒壊に至ら ないことを確認した。	設工認資料 9-14-2 参照

8. まとめ

今回申請範囲の使用済燃料乾式貯蔵容器等への周辺施設等の波及的影響について、別記4に記載された事項を踏まえ、考慮すべき事象を検討した上で、敷地全体を俯瞰した調査・検討を実施し、波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等を抽出した。

抽出した周辺施設等について、影響評価を実施した結果、使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等はないことを確認した。影響評価のうち、耐震評価が必要として添付資料に耐震計算書を添付している周辺施設等を、第8-1表に整理する。

第8-1表 抽出した周辺施設等のうち耐震評価を実施する施設

検討事象	対象施設	波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等	検討用地震動	設工認資料
③使用済燃料乾式貯蔵容器等と周辺施設等との相互影響	使用済燃料乾式貯蔵容器等	使用済燃料乾式貯蔵建屋（上屋）	Ss	9-14-2

4. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する
影響評価結果について

目 次

	頁
1. 検討の目的	4-1
2. 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動	4-2
3. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価	4-3
3.1 建物・構築物	4-3
3.2 機器・配管系	4-3
別紙1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価結果	

1. 検討の目的

「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号）」（以下「技術基準」という。）にて、要求されている水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せについて、「耐震設計に係る工認審査ガイド」に示す内容を踏まえ、水平2方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関し、従来の設計手法での水平1方向及び鉛直方向地震力に対する配慮に加え、更なる設計上の配慮が必要となる可能性のあるものを抽出して影響を評価する。

耐震設計に係る工認審査ガイド（抜粋）

3.5.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せ（4.4.2及び5.5.2も同様）

水平2方向及び鉛直方向の地震力による応力の組合せを適切に行っていることを確認する。

(1) 動的な地震力の組合せ

水平2方向及び鉛直方向の地震力による応力の組合せを簡易的に行う際には、各方向の入力地震動の位相特性や建物・構築物の構造、応答特性に留意し、非安全側の評価にならない組合せ方法を適用していること。

なお、各方向の入力地震動の位相特性や建物・構築物の三次元応答特性により応答の同時性を考慮する必要がある場合は、各方向の各時刻歴での応答を逐次重ね合わせる等の方法により、応答の同時性を考慮していること。

2. 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動

水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価には、基準地震動 S_s-1 ～ S_s-3 を用いる。

ここで、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動は、複数の基準地震動における地震動の特性及び包絡関係を、施設の特性による影響も考慮した上で確認し、本影響評価に用いる。

3. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価

3.1 建物・構築物

建物・構築物の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出、及び抽出された部位の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果については「補足説明資料2-4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価」にて、補足説明する。

3.2 機器・配管系

3.2.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計の考え方

機器・配管系における従来の水平方向及び鉛直方向の組合せによる設計手法では、建物・構築物の振動特性を考慮し、変形するモードが支配的となり応答が大きくなる方向（応答軸方向）に基準地震動を入力して得られる各方向の地震力（床応答）を用いている。

設備配置及び応答軸の概念図を図3.2-1に示す。

応答軸（強軸・弱軸）が明確となっている設備の耐震評価においては、水平各方向の地震力を包絡し、変形モードが支配的となる応答軸方向に入力するなど、従来評価において保守的な取り扱いを基本としている。

一方、応答軸が明確となっていない設備で3次元的な広がりを持つ設備の耐震評価においては、基本的に3次元のモデル化を行っており、建物・構築物の応答軸方向の地震力をそれぞれ入力し、この入力により算定される荷重や応力のうち大きい方を用いて評価を実施している。

さらに、応答軸以外の振動モードが生じにくい構造の採用、応答軸以外の振動モードが生じ難いサポート設計の採用といった構造上の配慮等を保守的に行うなど、水平方向の入力に対して配慮した設計としている。

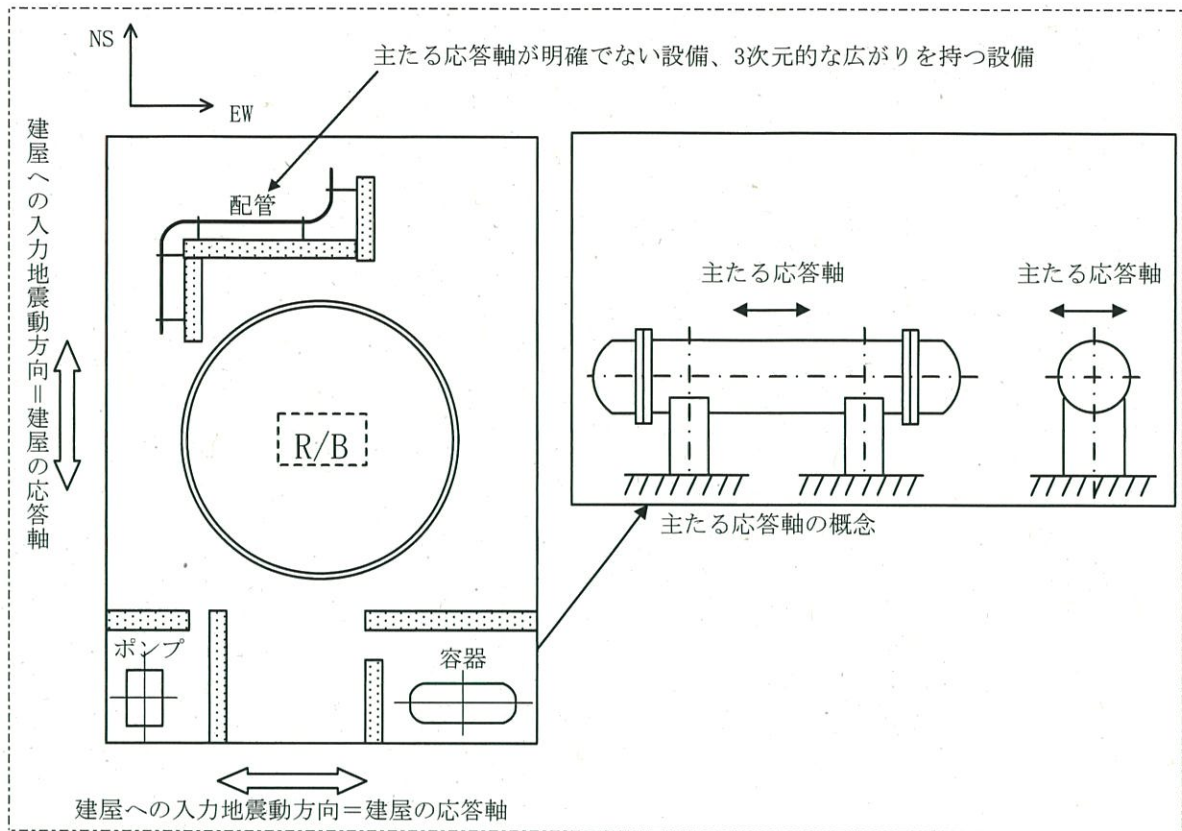


図3.2-1 設備配置及び応答軸の概念図

3.2.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価方針

機器・配管系において、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合に影響を受ける可能性がある設備（部位）の評価を行う。

評価対象は、今回申請対象の使用済燃料乾式貯蔵容器及び貯蔵架台並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備とする。

対象とする設備を分類し、それぞれの構造上の特徴により荷重の伝達方向、その荷重を受ける構造部材の配置及び構成等により水平2方向の地震力による影響を受ける可能性のある設備（部位）を抽出する。

構造上の特徴により影響の可能性のある設備（部位）は、水平2方向及び鉛直方向地震力による影響の検討を実施する。水平各方向の地震力が1:1で入力された場合の発生値を従来の評価結果の荷重又は算出応力等を水平2方向及び鉛直方向に整理して組み合わせる又は新たな解析等により高度化した手法を用いる等により、水平2方向の地震力による設備（部位）に発生する荷重や応力を算出する。

これらの検討により、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた荷重や応力の結果が従来の発生値と同等である場合は影響のない設備として抽出せず、従来の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される場合は、設備が有する耐震性への影響を確認する。

設備が有する耐震性への影響が確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

今回の水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価は、基準地震動 $Ss-1$ ～ $Ss-3$ を包絡した設計用床応答曲線により行う。また、水平各方向の地震動は、それぞれの位相を変えた地震動を用いることを基本とするが、保守的な手法も用いる場合もある。

3.2.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

機器・配管系において、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性があり、水平1方向及び鉛直方向の従来評価に加え、更なる設計上の配慮が必要な設備について、構造及び発生値の増分の観点から抽出し、影響を評価する。影響評価は従来設計で用いている質点系モデルによる評価結果を用いて行うことを基本とする。影響評価のフローを図3.2-2に示す。

① 評価対象となる設備の整理

今回申請対象の機器・配管系並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備を評価対象とし、代表的な機種毎に分類し整理する。(図3.2-2①)

② 構造上の特徴による抽出

機種毎に構造上の特徴から水平2方向の地震力が重複する観点、もしくは応答軸方向以外の振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点にて検討を行い、水平2方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出する。(図3.2-2②)

③ 発生値の増分による抽出

水平2方向の地震力による影響の可能性のある設備に対して、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

また、建物・構築物の検討により、機器・配管系への影響の可能性のある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

影響の検討は、機種毎の分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備(部位)を対象とする。(図3.2-2③)

なお、耐震評価は基本的小おむね弾性範囲で留まる体系であることに加え、国内と海外の機器の耐震解析は、基本的に線形モデルにて実施している等類似であり、水平2方向及び鉛直方向の位相差は機器の応答にも現れることから、米国Regulatory Guide1.92の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する際は、地震時に水平2方向及び鉛直方向それぞれの最大応答が同時に発生する可能性は極めて低いとした考え方であるSquare-Root-of-the-Sum-of-the-Squares法(以下「非同時性を考慮したSRSS法」という。)を適用する。

④ 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価

③の検討において算出された荷重や応力を用いて、設備が有する耐震性への影響を確認する。(図3.2-2④)

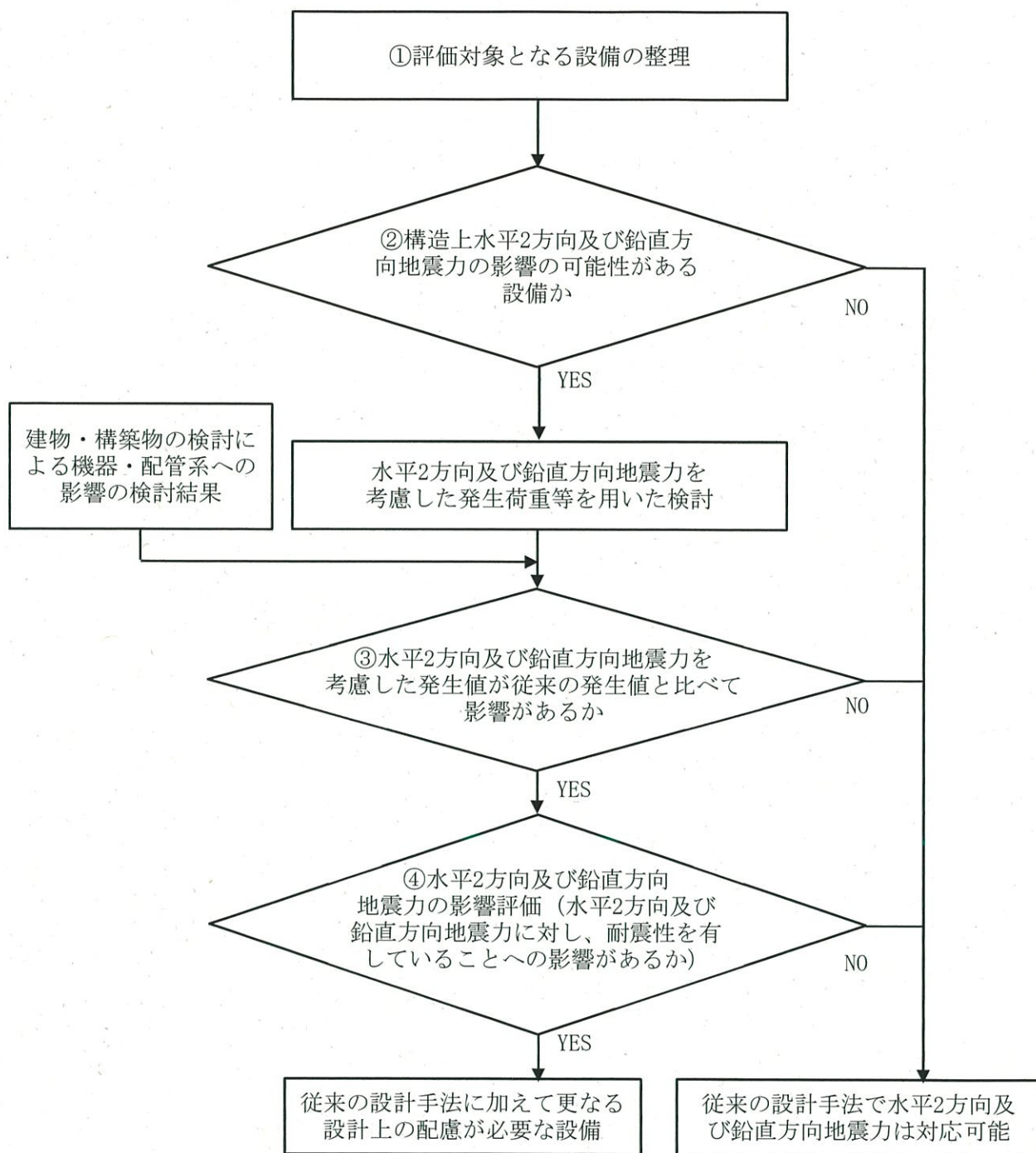


図3. 2-2 水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した影響評価のフロー

3.2.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

評価対象設備を機種毎に分類した結果を表3.2-1に示す。機種毎に分類した設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から水平2方向の地震力及び鉛直方向地震力による影響を以下の項目により検討し、影響の可能性のある設備を抽出した。

表3.2-1 水平2方向及び鉛直方向入力の影響検討対象設備

設備	部位	
使用済燃料乾式貯蔵容器	容器本体	洞
		洞（底板）
		一次蓋シール部（洞側）
		外筒
		下部端板
		底部中性子遮蔽材カバー
		伝熱フィン
	一次蓋	一次蓋
		一次蓋シール部（蓋側）
		一次蓋ボルト
		蓋部中性子遮蔽材カバー
		カバープレート
		カバープレートボルト
	二次蓋	二次蓋
		二次蓋ボルト
	トラニオン	トラニオン
バスケット	バスケット	
貯蔵架台	押さえボルト	
	トラニオン押さえ	
	固定装置固定ボルト	
	基礎ボルト	

(1) 水平2方向の地震力が重複する観点

水平1方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重複した場合、水平2方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものを抽出する。以下の場合、水平2方向の地震力による影響が軽微な設備であると整理した。（別紙1-1参照）

- a. 水平2方向の地震力を受けた場合でも、その構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの
貯蔵架台の基礎ボルト（引張）は、水平2方向の地震力を想定した場合においても、その構造により水平1方向の地震力と同程度の地震

力しか負担しないことから、水平2方向の影響が軽微であるものとして分類した。

- b. 水平2方向の地震力を受けた場合、その構造により最大応力の発生箇所が異なるもの

使用済燃料乾式貯蔵容器の容器本体（胴及び伝熱フィン以外）、一次蓋、二次蓋は、水平2方向の地震力を想定した場合、それぞれの水平方向地震力に応じて応力が最大となる箇所があることから、最大応力の発生箇所が異なり、水平2方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものとして分類した。

- c. 水平2方向の地震を組み合わせても水平1方向の地震による応力と同等といえるもの

使用済燃料乾式貯蔵容器の伝熱フィンは、水平2方向の地震力を想定した場合においても、その構造により水平1方向の地震力と同程度の地震力しか負担しないことから、水平2方向の影響が軽微であるものとして分類した。

- d. 従来評価にて保守性を考慮しており、水平2方向及び鉛直方向地震力による影響を考慮しても影響が軽微であるもの
今回申請設備の各部位について、該当するものは無い。

- (2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じ、さらに新たな応力成分が作用する可能性のある設備を抽出する。

今回申請設備の各部位について、該当するものは無い。

- (3) 地震力を水平2方向入力としたことによる発生応力等の増分の観点

(1) (2)にて影響の可能性のある設備について、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の設計手法による発生値と比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

水平1方向に対する水平2方向の地震力による発生値の増分の検討は、機種毎の分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする。水平2方向の地震力の組合せは米国Regulatory Guide1.92

の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として非同時性を考慮したSRSS法により組合せ、発生値の増分を算出する。増分の算出は、従来の評価で考慮している保守性により増分が低減又は包絡されることも考慮する。

- ・従来の評価データを用いた簡易的な算出や、地震・地震以外の応力に分離可能なものは地震による発生値のみを組み合わせ、地震以外の応力と組み合わせ算出する。
- ・設備（部位）によっては解析等で求められる発生荷重より大きな設計荷重を用いているものもあるため、上記組合せによる発生値を設計荷重が上回ることを確認したものは水平2方向の地震力による発生値の増分はないものとして扱う。
- ・応答軸が明確な設備で、設備の応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きへ地震力を入力している場合は、耐震性への影響が懸念されないものとして扱う。

使用済燃料乾式貯蔵容器（容器本体（胴）、トラニオン、バスケット）、貯蔵架台（押さえボルト、トラニオン押さえ、固定装置固定ボルト、基礎ボルトせん断）は、応答軸が明確な設備であり、設備の応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きへ地震力を入力しているため、耐震性への影響の懸念はないと整理した。

3.2.5 建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出

建物・構築物の影響評価において、機器・配管系への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念されるものは抽出されなかった。

3.2.6 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

3.2.4(1)及び(2)で抽出した結果を別紙1-1、3.2.4(3)で抽出した結果を別紙1-2に示す。

3.2.7 まとめ

使用済燃料乾式貯蔵容器及び貯蔵架台における水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性がある設備（部位）について、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を確認した結果、水平2方向及び鉛直方向地震力の増分による耐震性への影響の懸念がある設備（部位）は抽出されなかった。

以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力については、設備が有する耐震性に影響がないことを確認した。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価結果

①・②機器・配管系の耐震評価における水平2方向及び鉛直方向入力の影響有無整理結果

表1 構造強度評価 (1/2)

設備	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて保守性を考慮しており水平2方向の地震力を考慮しても影響が軽微であるもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード (ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4項(2)に対応)		
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由	
使用済燃料乾式貯蔵容器	容器本体	胴	一次応力 (膜、膜+曲げ)	○	—	トランニオン取り付け部近傍においては、1方向の地震においても軸直角方向の評価点へも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。	×	—
			一次+二次応力	○	—	トランニオン取り付け部近傍においては、1方向の地震においても軸直角方向の評価点へも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。	×	—
		胴 (底板)	一次応力 (膜、膜+曲げ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
			一次+二次応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
		一次蓋シール部 (胴側)	一次応力 (膜、膜+曲げ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
			一次+二次応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
		外筒	一次応力 (引張、せん断、圧縮、曲げ、組合せ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
			一次+二次応力 (引張圧縮、せん断、曲げ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
		下部端板	一次応力 (引張、せん断、圧縮、曲げ、組合せ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
			一次+二次応力 (引張圧縮、せん断、曲げ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
		底部中性子遮蔽材カバー	一次応力 (引張、せん断、圧縮、曲げ、組合せ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
			一次+二次応力 (引張圧縮、せん断、曲げ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
	一次蓋	一次蓋	一次応力 (膜、膜+曲げ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
			一次+二次応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
		一次蓋シール部 (蓋側)	一次応力 (膜、膜+曲げ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
			一次+二次応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
		一次蓋ボルト	平均引張応力 平均引張応力+曲げ応力	△	B	ボルトは円周配置であり、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
		蓋部中性子遮蔽材カバー	一次応力 (引張、せん断、圧縮、曲げ、組合せ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
			一次+二次応力 (引張圧縮、せん断、曲げ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
		カバープレート	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
		カバープレートボルト	平均引張応力 平均引張応力+曲げ応力	△	B	ボルトは円周配置であり、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—

①・②機器・配管系の耐震評価における水平2方向及び鉛直方向入力の構造上の影響有無整理結果

表1 構造強度評価 (2/2)

設備	部位		応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて保守性を考慮しており水平2方向の地震力を考慮しても影響が軽微であるもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード (ねじれ振動等) が生じる観点 (3.2.4項(2)に対応)	
							振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由
使用済燃料乾式貯蔵容器	二次蓋	二次蓋	一次応力 (膜、膜+曲げ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点がり異なり影響は軽微である。	×	—
			一次+二次応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点がり異なり影響は軽微である。	×	—
		二次蓋ボルト	平均引張応力 平均引張応力+曲げ応力	△	B	ボルトは円周配置であり、地震方向毎に最大応力点がり異なり影響は軽微である。	×	—
	トラニオン	せん断	○	—	トラニオンにおいては、1方向の地震においても軸直角方向のトラニオンへも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。	×	—	
		曲げ	○	—	トラニオンにおいては、1方向の地震においても軸直角方向のトラニオンへも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。	×	—	
		支圧	○	—	トラニオンにおいては、1方向の地震においても軸直角方向のトラニオンへも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。	×	—	
貯蔵架台	押さえボルト	引張	○	—	1方向の地震においても軸直角方向のトラニオン押さえ及び固定装置へも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。	×	—	
	トラニオン押さえ	曲げ	○	—	1方向の地震においても軸直角方向のトラニオン押さえ及び固定装置へも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。	×	—	
		せん断	○	—	1方向の地震においても軸直角方向のトラニオン押さえ及び固定装置へも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。	×	—	
	固定装置 固定ボルト	引張	○	—	1方向の地震においても軸直角方向のトラニオン押さえ及び固定装置へも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。	×	—	
	基礎ボルト	引張	△	A	基礎ボルト・取付ボルトは矩形配置であり、水平2方向入力の入力に対角方向に転倒することなく、2方向入力の影響は軽微である。	×	—	
		せん断	○	—	水平地震力は貯蔵架台取付面の摩擦力により取付部に伝達することを基本としている。ここで、水平地震力が上回るものに対しては、据付ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。	×	—	
組合せ		○or△	—	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。	×	—		

①・②機器・配管系の耐震評価における水平2方向及び鉛直方向入力の影響有無整理結果

表2 動的機能維持評価

設備	部位	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて保守性を考慮しており水平2方向の地震力を考慮しても影響がないといえるもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード (ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4項(2)に対応)	
					振動モードの発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと理由
使用済燃料乾式貯蔵容器	伝熱フィン	△	C	鉛直方向荷重が支配的であるため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
	バスケット	○	—	バスケットセル (曲げ、せん断) については、水平2方向入力の影響を受ける。	×	—

③水平2方向及び鉛直方向の地震力による増分影響検討結果

表1 構造強度評価

設備	部位		応答軸が明確か (3.2.4項(3)に対応) ○: 応答軸が明確 ×: 応答軸が明確でない設備 【別紙1-2補足①、②】	応力分類	従来発生値 (水平1方向及び鉛直方向)	発生値 (水平2方向及び鉛直方向)	発生値の増分 (=発生値(水平2方向及び鉛直方向)÷従来発生値(水平1方向及び鉛直方向))	増分の判定 ○: 影響が軽微 ×: 影響が無視できない	発生値(水平2方向)の算出方法 (3.2.4項(3)に対応するが、発生値の組合せ方法はより詳細な区分としている。) ①: 応力をSRSS(必要に応じて地震・地震以外に分離) ②: X・Y方向別々の応力をSRSS(地震・地震以外は分離せず) ③: X・Y方向別々の地震による応力をSRSSし、地震以外の応力と足し合わせ ④: 標準設計荷重が水平2方向荷重を上回ることを確認(発生値、裕度は従来から不変) ⑤: その他(算出方法を記載)
	容器本体	胴							
使用済燃料乾式貯蔵容器	容器本体	胴	○	-	-	-	-	-	-
	トラニオン		○	-	-	-	-	-	-
貯蔵架台	押さえボルト		○	-	-	-	-	-	-
	トラニオン押さえ		○	-	-	-	-	-	-
	固定装置	固定ボルト	○	-	-	-	-	-	-
	基礎ボルト		○	-	-	-	-	-	-

③水平2方向及び鉛直方向の地震力による増分影響検討結果

表2 動的機能維持評価

設備	部位	応答軸が明確か (3.2.4項(3)に対応) ○: 応答軸が明確 ×: 応答軸が明確でない設備 【別紙1-2補足②】	応答加速度 (水平1方向)	応答加速度 (水平2方向)	発生値の増分 (=発生値(水平2方向)÷従来発生値(水平1方向及び))	増分の判定 ○: 影響が軽微 ×: 影響が無視できない	発生値(水平2方向)の算出方法 (3.2.4項(3)に対応するが、発生値の組合せ方法はより詳細な区分としている。) ①: 応力をSRSS(必要に応じて地震・地震以外に分離) ②: X・Y方向別々の応力をSRSS(地震・地震以外は分離せず) ③: X・Y方向別々の地震による応力をSRSSし、地震以外の応力と足し合わせ ④: 標準設計荷重が水平2方向荷重を上回ることを確認(発生値、裕度は従来から不変) ⑤: その他(算出方法を記載)
使用済燃料乾式貯蔵容器	バスケット	○	-	-	-	-	-

水平 2 方向の影響検討結果（円筒形容器）

1. はじめに

本資料は、水平地震動が水平2方向に作用した場合の円筒形容器に対する影響検討結果をFEMで確認した結果をまとめたものである。容器については、3.2項にて説明している通り、X方向地震とY方向地震とでは最大応力点が異なるため、それぞれの地震による応力を組合せても影響軽微としている。本資料には、3.2項にて説明していることを解析にて確認することを目的として、円筒形容器のFEMモデルを用いた解析を実施した結果を示す。ここで、本検討は胴板の応力強さ対象としたものである。具体的な確認項目として、以下2点を確認した。① X方向地震とZ方向地震とで最大応力点が異なることの確認。② 最大応力点以外に、X方向地震とZ方向地震による応力を組合せた場合に影響のあるような点があるかを確認。

2. 評価検討

評価検討モデルを図1に示す。検討方法を以下に示す。

- ・ 検討方法：水平地震力 2.63G を、X 方向（90° 方向）へ入力。
周方向の 90° 方向から 270° 方向にかけて応力分布を確認。
- ・ 検討モデル：使用済燃料乾式貯蔵容器をソリッド要素にてモデル化
- ・ 拘束点：下部トラニオン、胴底面
- ・ 荷重条件：モデル座標の X 方向に 2.63G、Y 方向に 0.69G の静的加速度
- ・ 解析手法：静的解析
- ・ 対象部位及び応力：胴板に対する組合せ応力

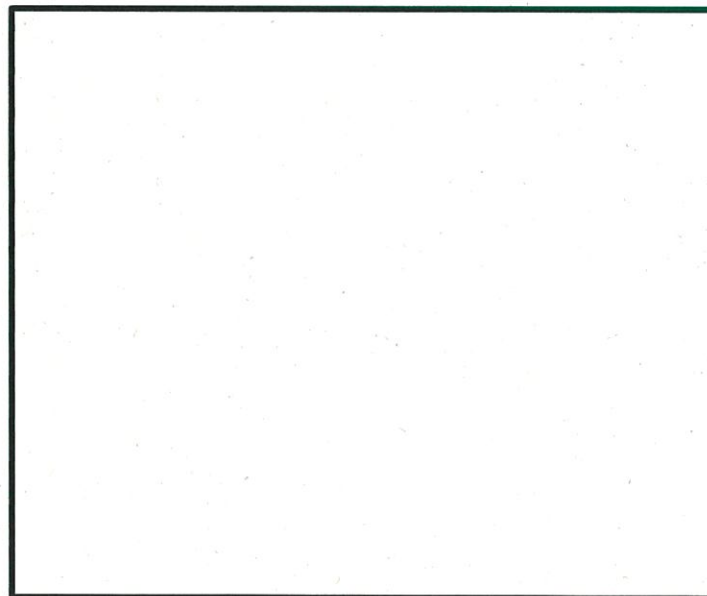


図 1 評価検討モデル

3. 検討結果

胴板中央部における地震時のミーゼス応力コンター図を図2に示す。この結果より、最大応力点は 135° 位置に発生していることが分かる。 $-Z$ 方向へ水平地震力を入力した場合は、最大応力点は 225° 位置に発生することは円筒形容器であることから明白であり、最大応力点が異なることについて確認できた。

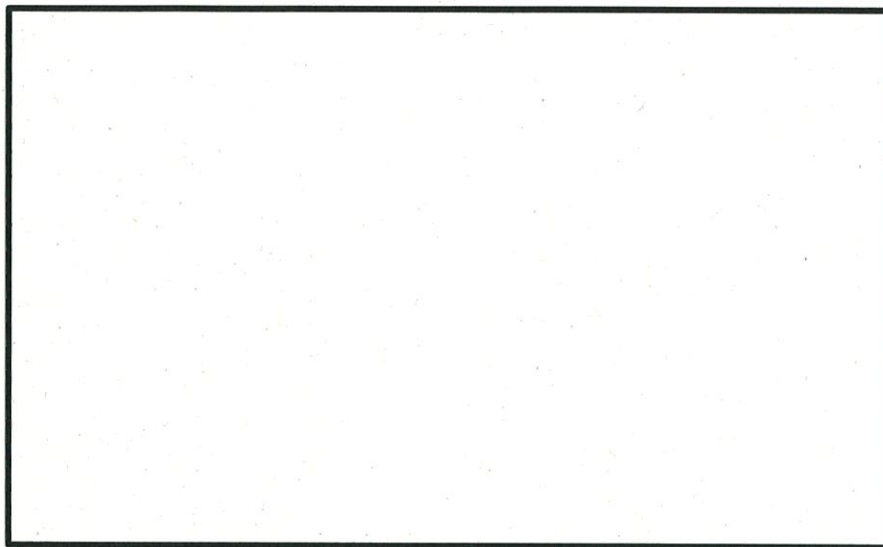
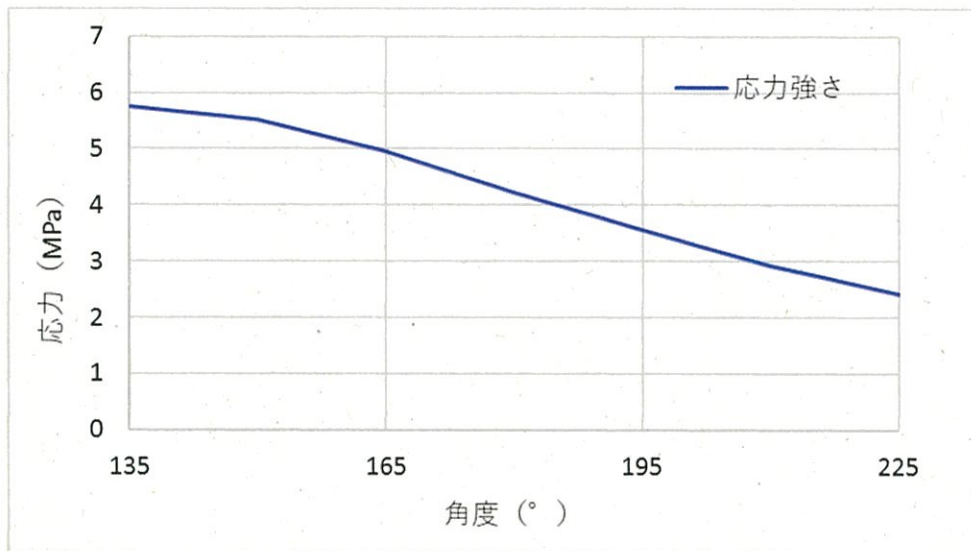


図 2 地震時ミーゼス応力コンター図

表 1 地震時の周方向応力分布

	X 方向へ入力した場合 応力 [MPa]	Y 方向へ入力した場合 応力 [MPa]	2 方向を考慮した場合※ 応力 [MPa]
135° 方向	5.74	2.42	6.23
180° 方向	4.22	4.22	5.97
225° 方向	2.42	5.74	6.23

$$\text{※2 方向を考慮した応力} = \sqrt{\text{X 方向入力時応力}^2 + \text{Y 方向入力時応力}^2}$$



以上より、中間点の水平2方向地震時応力は最大応力以下の結果となり、円筒形構造に対する水平2方向地震時の影響は軽微であることが確認できる。また、水平1方向の地震時の応力に対して水平2方向地震時を考慮した場合、組合せ応力は若干上回るが数%程度であり、水平各方向1:1にて想定していることも考慮し、影響は軽微であると考えられる。

本検討においては地震力のみでの応力値であり、耐震評価においては水平地震の影響を受けない応力（自重や鉛直地震による応力）が含まれるため、X方向へ入力した場合の応力に対する2方向を考慮した場合の応力の比率は小さくなる。

水平2方向の地震力を考慮した場合でも設備の有する
耐震性に対して影響がないことについて
～応答軸が明確である設備～

1. はじめに

本資料は、応答軸が明確である設備について、水平2方向の地震力を考慮した場合においても設備の有する耐震性に対して影響がないことを説明するものである。

2. 設備の有する耐震性に対して影響がないことの説明

従来設計手法として、設備の応答軸の方向、あるいは厳しい応力が発生する向きを有した設備があり、このような設備については解析上の地震力の入力をNS方向・EW方向を包絡した地震力（床応答曲線など）を用いてX方向及びY方向から入力し、最も大きな評価結果を用いる等、保守的な評価を実施している場合がある。このような応答軸が明確な設備については、水平2方向の地震力による従来設計手法への影響が懸念されるようなことはないと考え。その理由を以下に示す。

●設備の有する耐震性に対して影響がないことの理由

応答軸（設備の弱軸・強軸）の方向、あるいは厳しい応力が発生する向きが明確である設備にて、建物・構築物の応答であるNS・EW方向の応答を機器の応答軸（図1X、Y方向）へ入力している場合、水平1方向入力としては当然厳しい入力を用いた評価がなされていると考える。さらに、機器の配置方向とは無関係に機器の応答軸へ地震力を入力している設備や水平方向を包絡した応答を用いるなどの保守性も考慮している。

応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きが明確である設備について、水平2方向の地震力を想定した場合、2方向の地震力が合成されるとすると、最大値が同時に発生する場合、最大で $\sqrt{2}$ 倍の大きさの入力となることが考えられるが、これらはそれぞれの応答軸方向に応答が分解され、強軸側の応答は十分に小さくなることから、実質的には弱軸方向に1方向を入力した評価で用いている応答レベルと同等となる。

さらに各方向における最大値の生起時刻の非同時性を考慮すると、さらにその影響は小さくなり、弱軸1方向入力による評価と大きく変わらない結果となる。

なお、2. で述べたとおり、応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きが明確である設備について、設計手法として、地震力の入力をNS方向・EW方向を包絡した地震力（床応答曲線など）を用いて保守的な評価を実施している場合も考えると、応答軸が明確な設備については、水平2方向の地震力を考慮した場合においても影響軽微であることが分かる。

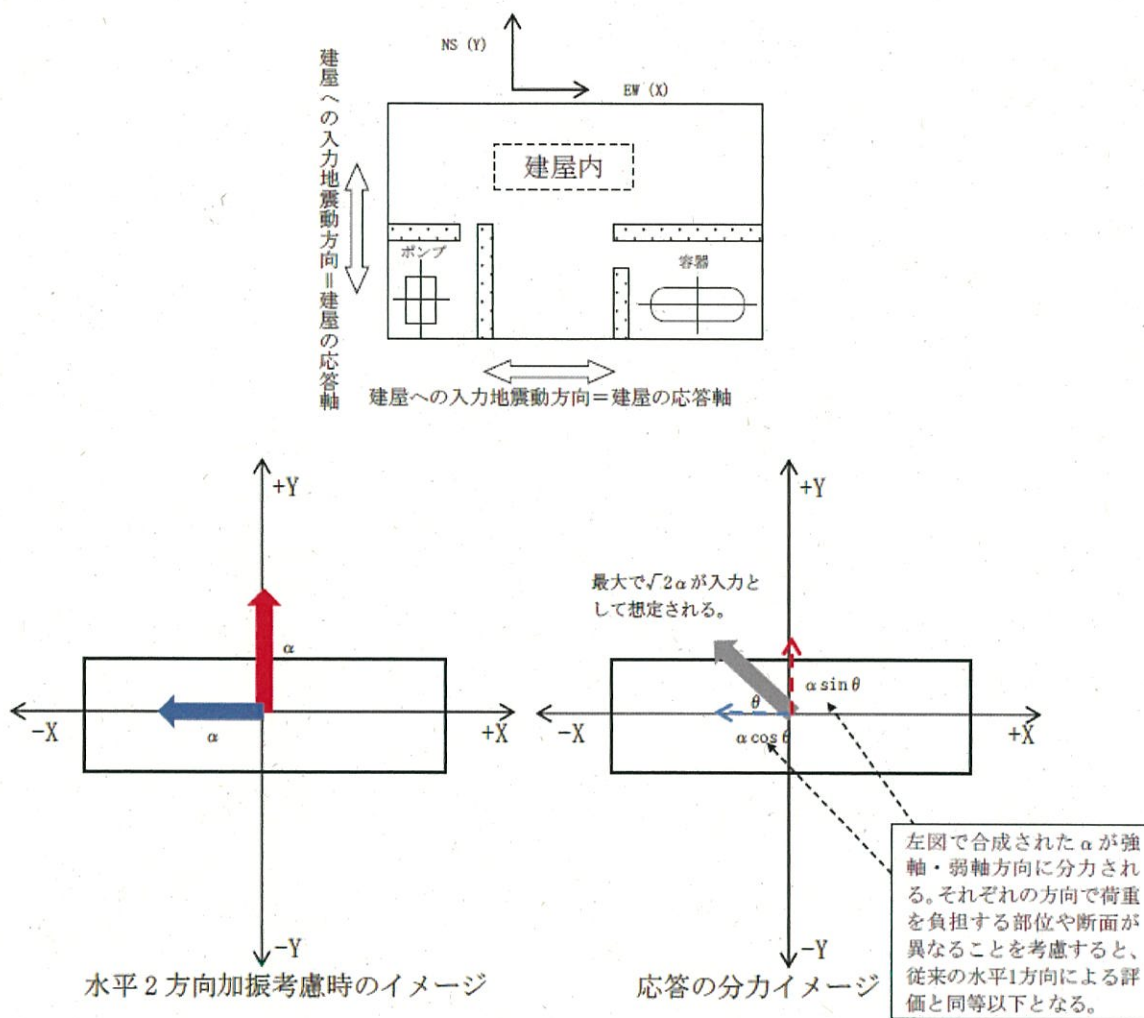
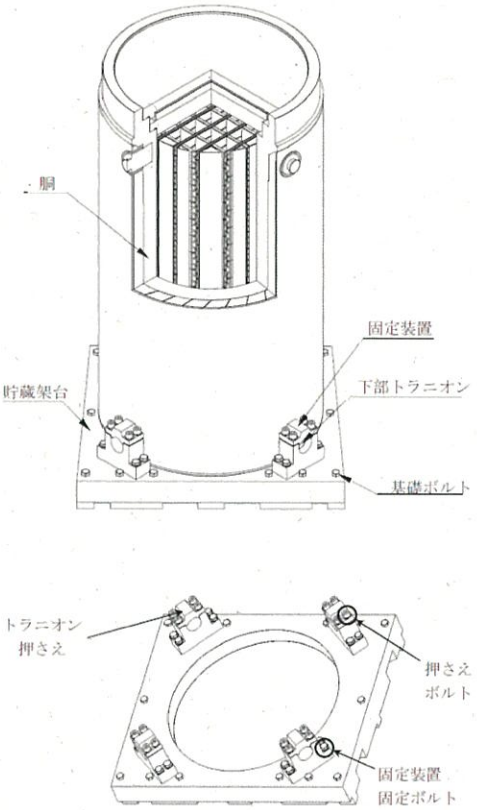
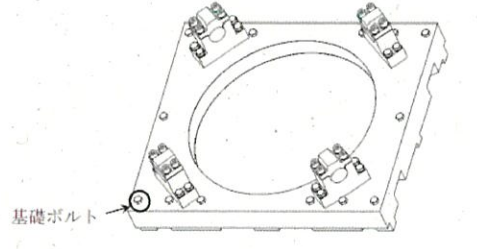


図1 水平2方向加振考慮時の応答イメージ

●設備の有する耐震性に対して影響がないことの理由

本考えは設備の応答軸の方向と入力方向の関係によるものであることから、部位・応力分類によらず、各設備の耐震評価における入力方法によって影響軽微か否かを判断できると考える。表1に使用済燃料乾式貯蔵容器及び貯蔵架台に対する本考え方の説明を示す。

表 1 応答軸が明確な評価部位について

評価部位	構造図	説明	備考
<p>胴、下部トランニオン、固定装置 固定ボルト、押さえボルト、トランニオン押さえ</p>		<p>使用済燃料乾式貯蔵容器は、4つの下部トランニオンを介して、貯蔵架台の固定装置により、直交する水平2方向に支持されている。地震力は下部トランニオンを介して入力されるため、応答軸は明確である。この応答軸の方向に地震力を入力した評価を実施している。</p>	<p>NS・EW 包絡FRSを用いている。</p>
<p>基礎ボルト</p>		<p>貯蔵架台は矩形に配置されたボルトにて支持されている。対角方向の剛性が高く、水平地震力に対して斜め方向へ転倒することなく、弱軸/強軸方向にしか応答せず、その方向に地震を入力した評価を実施している。</p>	<p>NS・EW 包絡FRSを用いている。</p>

評価部位	構造図	説明	備考
バスケット		<p>バスケットは、バスケットプレートを菓子折りに組んだ構造であり、直交するバスケットプレート同士で水平2方向に支持されている。地震力はバスケットプレート同士の支持点を介して入力されるため、応答軸は明確である。この応答軸の方向に地震力を入力した評価を実施している。</p>	<p>NS・EW 包絡FRS を用いている。</p>