

玄海原子力発電所 審査資料	
資料番号	D R Y - 1 - 8
提出年月日	2020年12月22日

玄海原子力発電所

設置許可基準規則への適合性について (使用済燃料乾式貯蔵施設)

< 補足説明資料 >

2020年12月

九州電力株式会社

本資料においては、使用済燃料乾式貯蔵施設について、「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」（以下「設置許可基準規則」という。）への適合方針を説明する。

< 目 次 >

3 条 設計基準対象施設の地盤

4 条 地震による損傷の防止

5 条 津波による損傷の防止

6 条 外部からの衝撃による損傷の防止

7 条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

8 条 火災による損傷の防止

9 条 溢水による損傷の防止等

11 条 安全避難通路等

12 条 安全施設

16 条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

29 条 工場等周辺における直接線等からの防護

30 条 放射線からの放射線業務従事者の防護

- ・ 添付資料 1

使用済燃料乾式貯蔵施設の設置に伴う条文の整理表

- ・ 添付資料 2

使用済燃料貯蔵量の推移

- ・ 添付資料 3

先行電力との乾式貯蔵施設に関する差異

4 条
地震による損傷の防止

< 目 次 >

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

- (1) 位置, 構造及び設備
- (2) 安全設計方針
- (3) 適合性説明

1.2 気象等

1.3 設備等

1.4 手順等

2. 地震による損傷の防止

(別添1) 使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震設計方針

(別添2) 使用済燃料乾式貯蔵容器及び貯蔵架台の耐震評価について

(別添3) 使用済燃料乾式貯蔵施設に対する波及的影響の検討について

(別添4) 貯蔵建屋の耐震重要度分類の整理について

(参考1) 乾式キャスク内の燃料集合体の全数破損及び乾式キャスクの閉じ込め機能喪失を想定した場合の敷地等境界線量に与える影響評価について

(参考2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋のうち遮蔽機能を有する部位について

(参考3) 搬送台車の波及的影響について

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

(1) 耐震構造

本発電用原子炉施設は、次の方針に基づき耐震設計を行い、設置許可基準規則に適合するように設計する。

(i) 設計基準対象施設の耐震設計

設計基準対象施設については、耐震重要度分類に応じて、適用する地震力に対して、以下の項目に従って耐震設計を行う。

a. 耐震重要施設は、基準地震動による地震力に対して、安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。

b. 設計基準対象施設は、地震により発生するおそれがある安全機能の喪失及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度に応じて、耐震重要度分類を以下のとおり、Sクラス、Bクラス又はCクラスに分類し、それぞれに応じた地震力に十分耐えられるように設計する。

Sクラス：地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの

Bクラス：安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラス施設と比べ小さい施設

Cクラス：Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設

c. Sクラスの施設（e.に記載のもののうち、津波防護機能を有する設備（以下「津波防護施設」という。）、浸水防止機能を有する設備（以下「浸水防止設備」という。）及び敷地における津波監視機能を有する施設（以下「津波監視設備」という。）を除く。）、Bクラス及びCクラスの施設は、建物・構築物については、地震層せん断力係数 C_1 に、それぞれ3.0、1.5及び1.0を乗じて求められる水平地震力、機器・配管系については、それぞれ3.6、1.8及び1.2を乗じた水

平震度から求められる水平地震力に十分に耐えられるように設計する。建物・構築物及び機器・配管系ともに、おおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。

ここで、地震層せん断力係数 C_i は、標準せん断力係数 C_0 を0.2以上とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

ただし、土木構造物の静的地震力は、Cクラスに適用される静的地震力を適用する。

Sクラスの施設（e.に記載のものうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）については、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。鉛直地震力は、建物・構築物については、震度0.3以上を基準とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる鉛直震度、機器・配管系については、これを1.2倍した鉛直震度より算定する。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

- d. Sクラスの施設（e.に記載のものうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）は、基準地震動による地震力に対して安全機能が保持できるように設計する。建物・構築物については、構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有し、建物・構築物の終局耐力に対し妥当な安全余裕を有するように設計する。機器・配管系については、その施設に要求される機能を保持するように設計し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないように、また、動的機器等については、基準地震動による応答に対して、その設備に要求される機能を保持するように設計する。

また、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。建物・構築物については、発生する応力に対して、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。機器・配管系については、応答が全体的におおむね弾性状態に留まるように設計する。

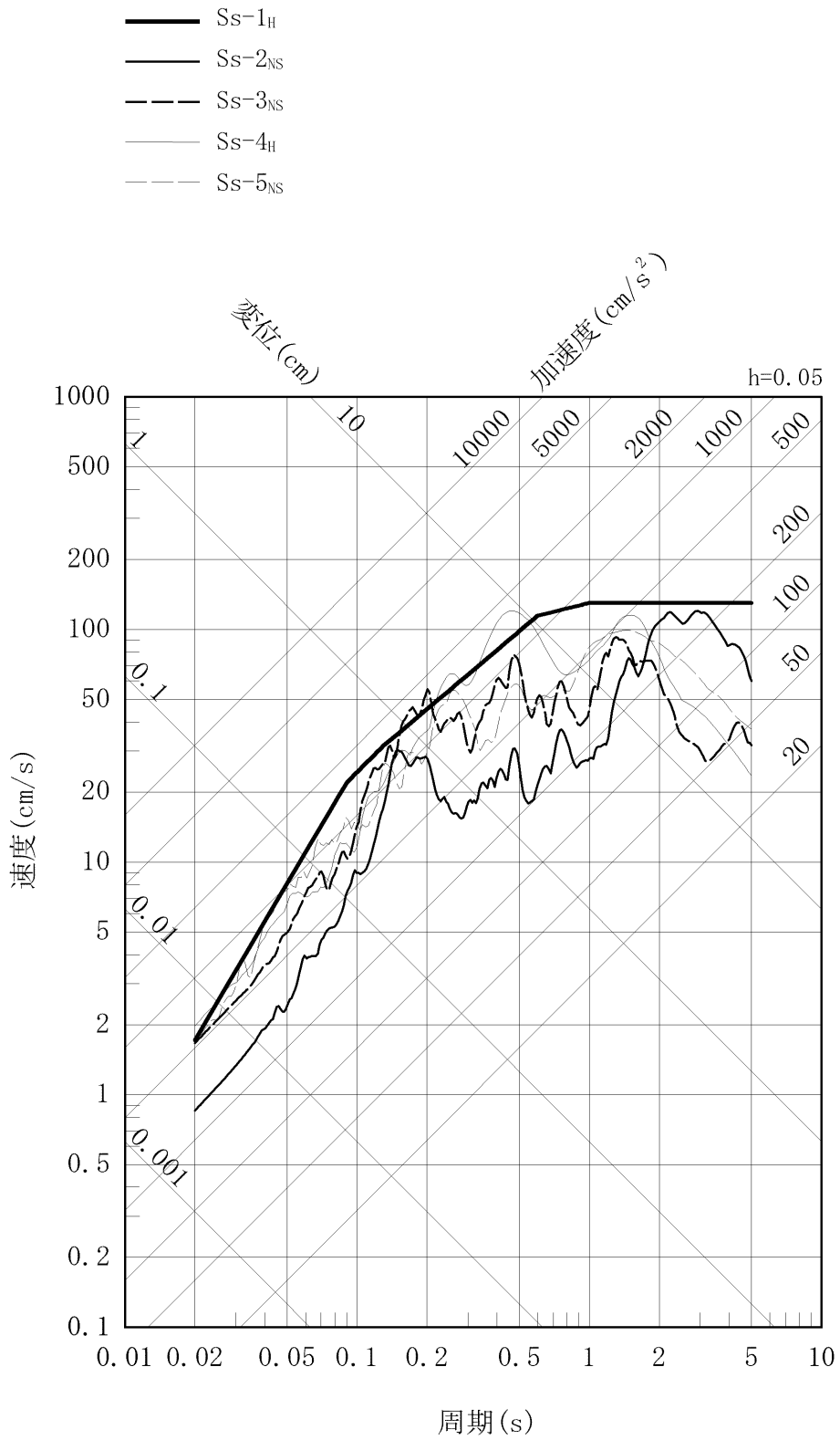
なお、基準地震動及び弾性設計用地震動による地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定するものとする。

基準地震動は、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動及び震源を特定せず策定する地震動について、敷地の解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定する。策定した基準地震動の応答スペクトルを第5.1図～第5.3図に、時刻歴波形を第5.4図～第5.8図に示す。解放基盤表面は、3号炉及び4号炉の地質調査の結果から、0.7km/s以上のS波速度(1.35km/s)を持つ堅固な岩盤が十分な広がりを持つ深さを持っていることが確認されているため、原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋基礎底版位置のEL. -15.0mとする。

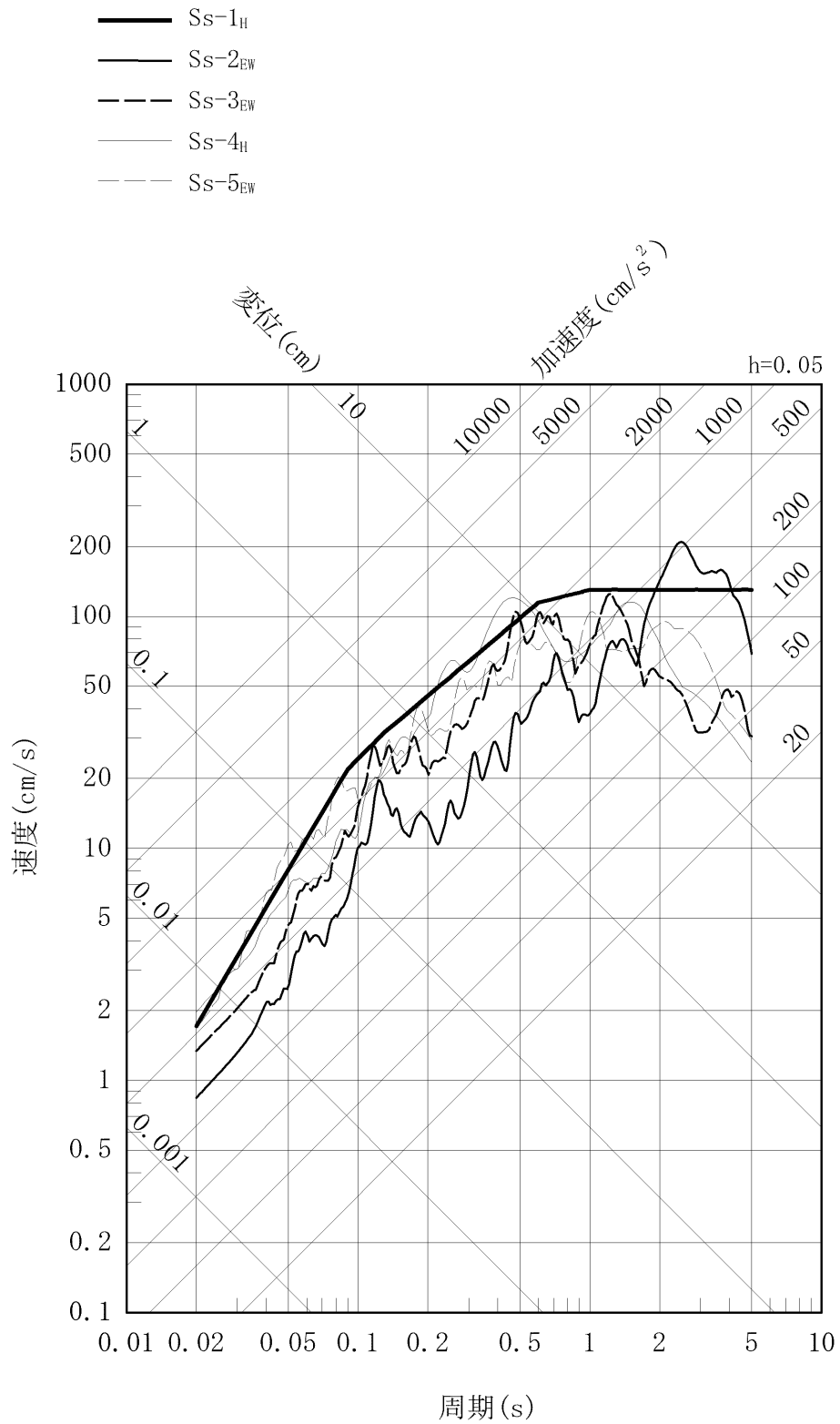
また、弾性設計用地震動は、基準地震動との応答スペクトルの比率が目安として0.5を下回らないような値に余裕を持たせ、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和56年7月20日原子力安全委員会決定、平成13年3月29日一部改訂）」における基準地震動 S_1 を踏まえ、工学的判断から基準地震動に係数0.6を乗じて設定する。

なお、Bクラスの施設のうち、共振のおそれのある施設については、弾性設計用地震動に2分の1を乗じた地震動によりその影響についての検討を行う。建物・構築物及び機器・配管系ともに、おおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。

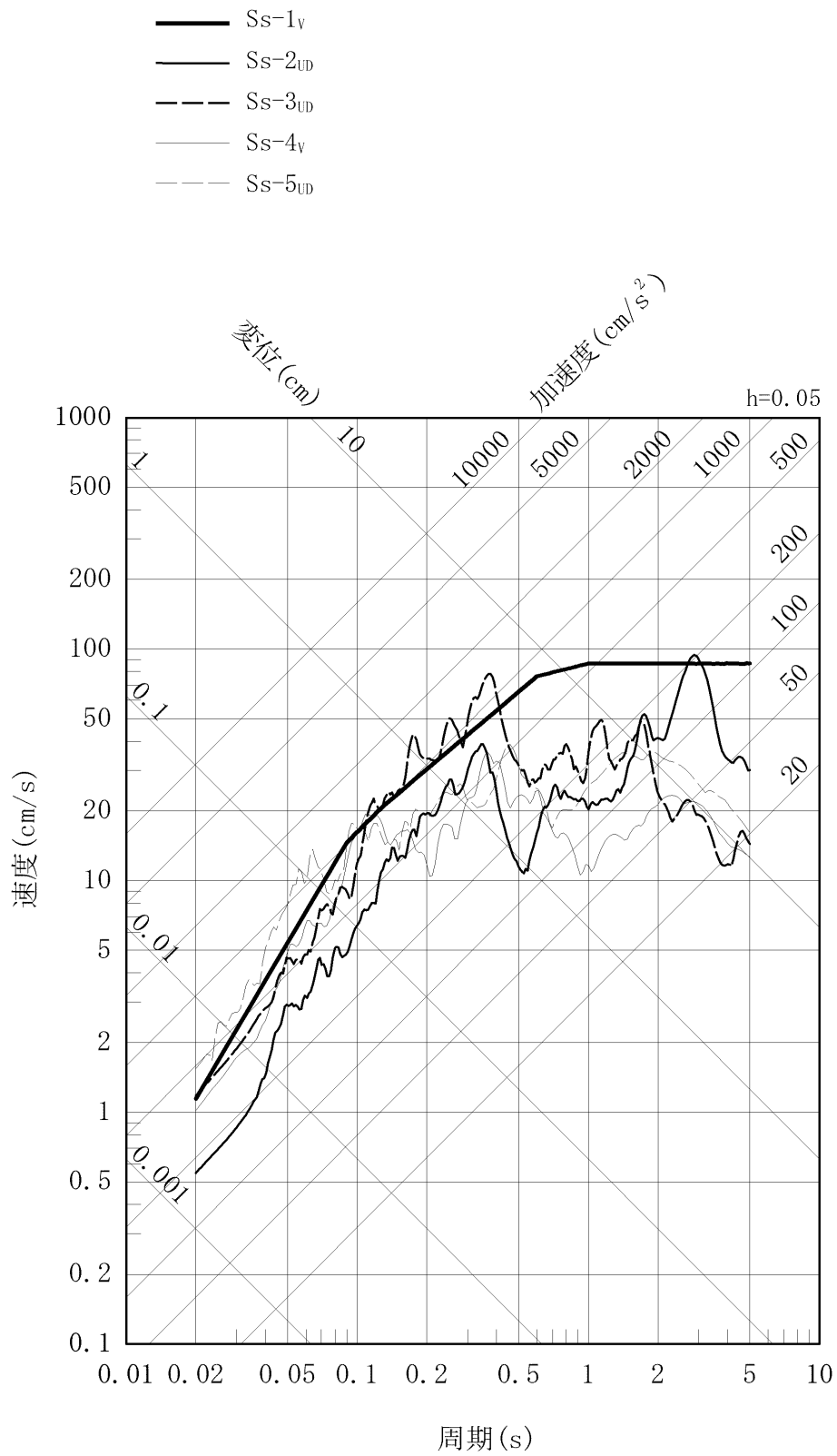
- e. 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物及び使用済燃料乾式貯蔵容器は、基準地震動による地震力に対して、それぞれの施設及び設備に要求される機能が保持できるように設計する。
- f. 耐震重要施設は、耐震重要度分類の下位のクラスに属する施設の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。また、使用済燃料乾式貯蔵容器は、周辺施設等の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。波及的影響の評価に当たっては、敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、事象選定及び影響評価を行う。なお、影響評価においては、耐震重要施設又は使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力を適用する。
- g. 炉心内の燃料被覆材の放射性物質の閉じ込めの機能については、以下のとおり設計する。
- 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態に留まるように設計する。
- 基準地震動による地震力に対して、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないように設計する。



第 5.1 図 基準地震動の応答スペクトル (水平方向 : NS)

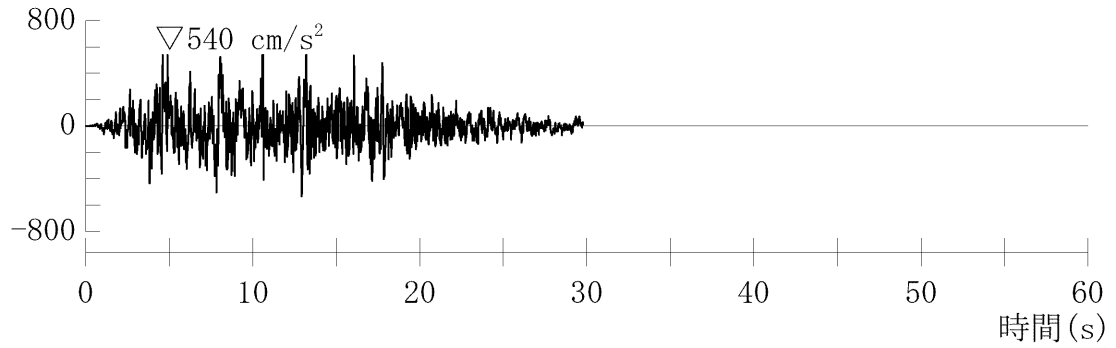


第 5.2 図 基準地震動の応答スペクトル (水平方向 : EW)



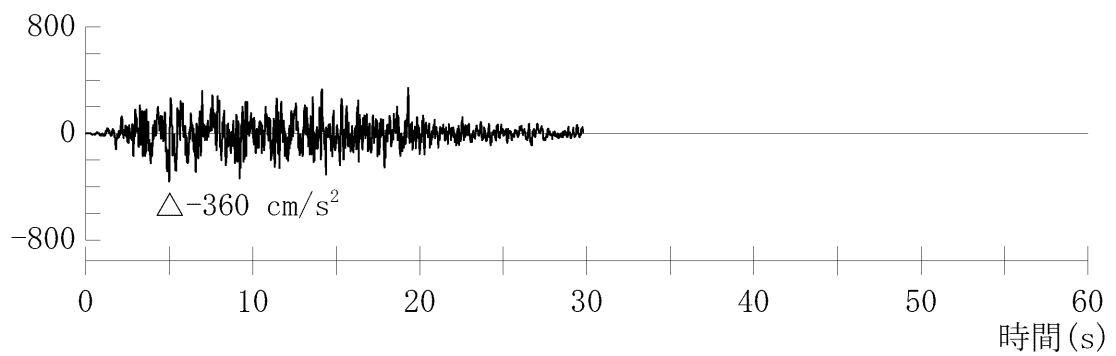
第 5.3 図 基準地震動の応答スペクトル (鉛直方向)

加速度 (cm/s^2)



加速度 (水平方向 : Ss-1_H)

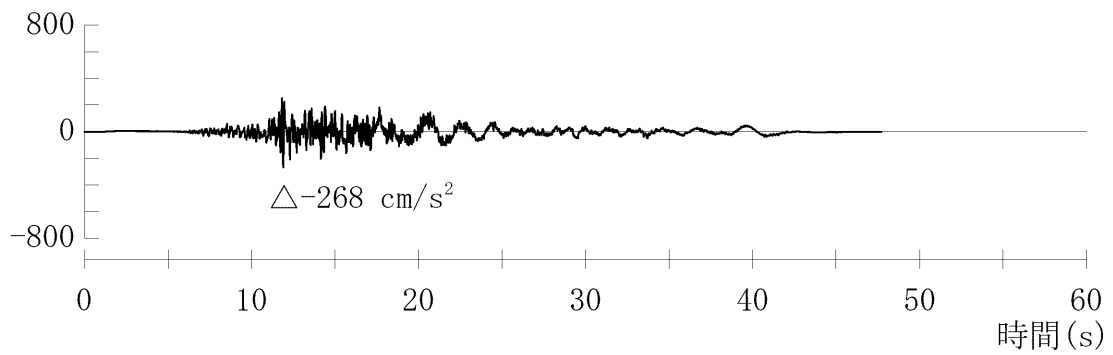
加速度 (cm/s^2)



加速度 (鉛直方向 : Ss-1_V)

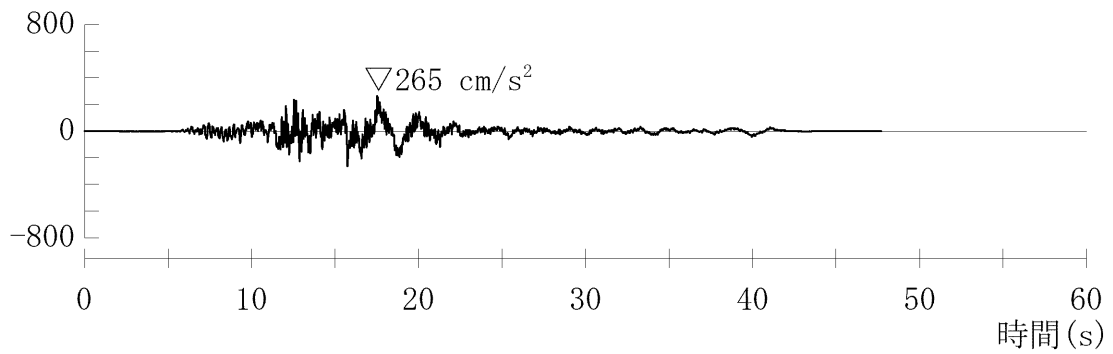
第 5.4 図 基準地震動 Ss-1 の設計用模擬地震波の時刻歴波形

加速度 (cm/s^2)



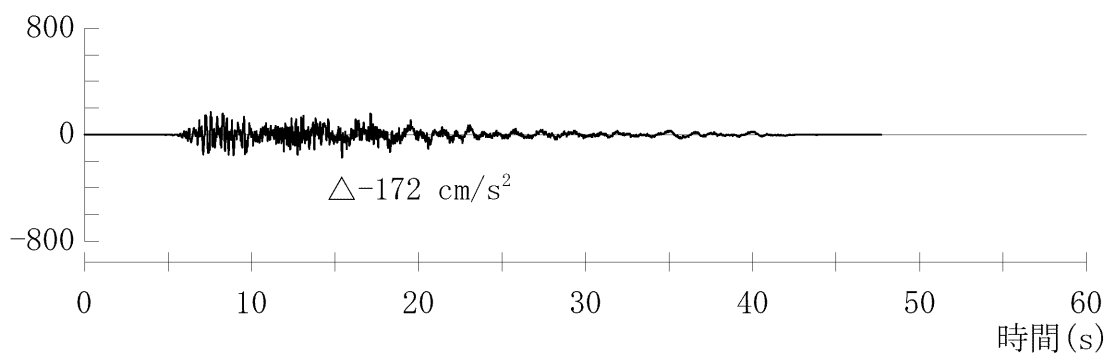
加速度 (水平方向 : SS-2_{NS})

加速度 (cm/s^2)



加速度 (水平方向 : SS-2_{EW})

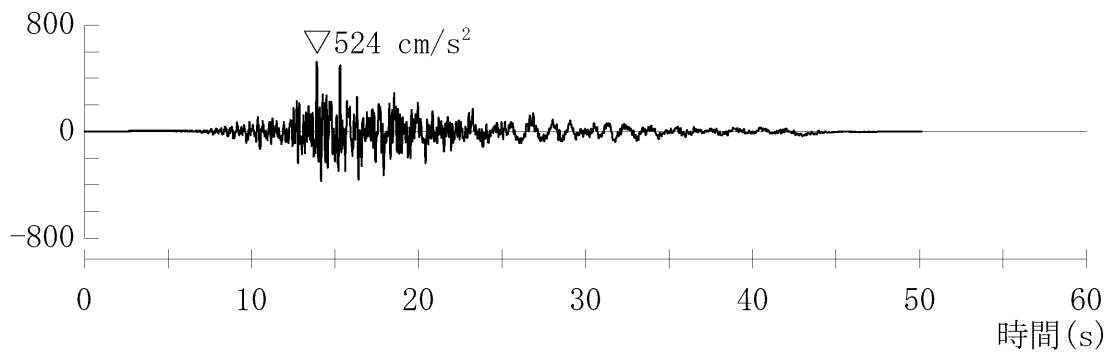
加速度 (cm/s^2)



加速度 (鉛直方向 : SS-2_{UD})

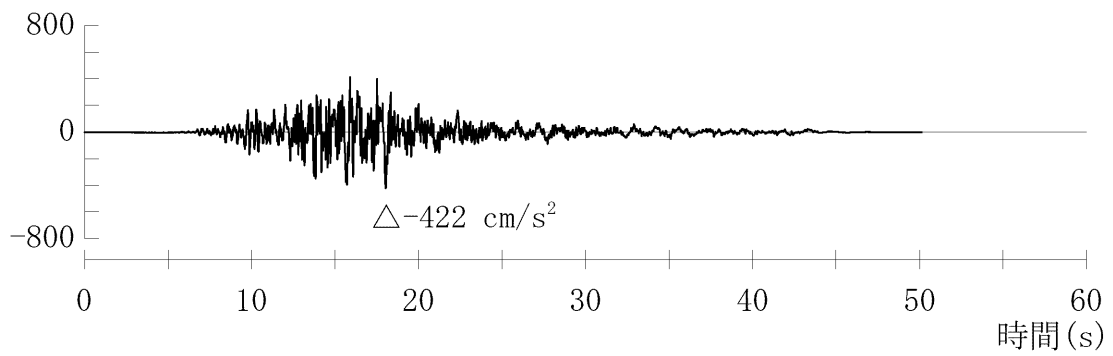
第 5.5 図 基準地震動 SS-2 の時刻歴波形

加速度 (cm/s^2)



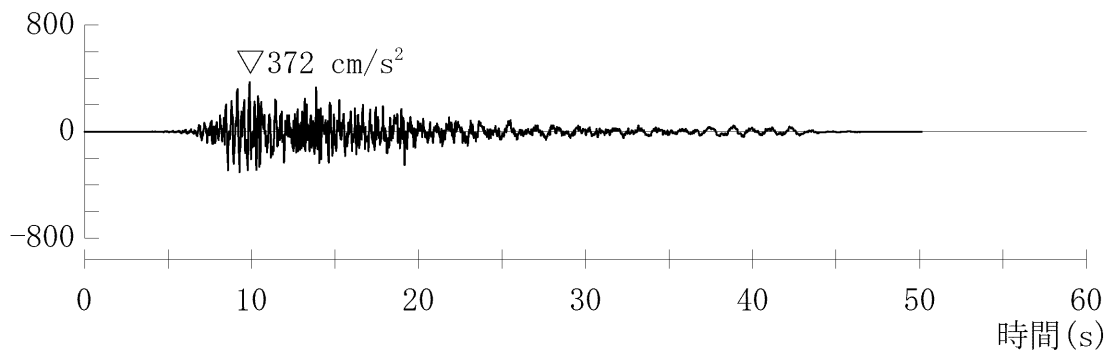
加速度 (水平方向 : SS-3_{NS})

加速度 (cm/s^2)



加速度 (水平方向 : SS-3_{EW})

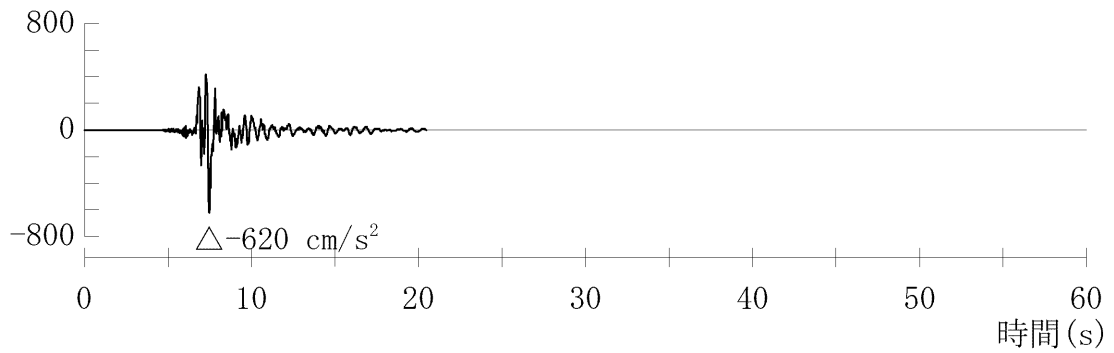
加速度 (cm/s^2)



加速度 (鉛直方向 : SS-3_{UD})

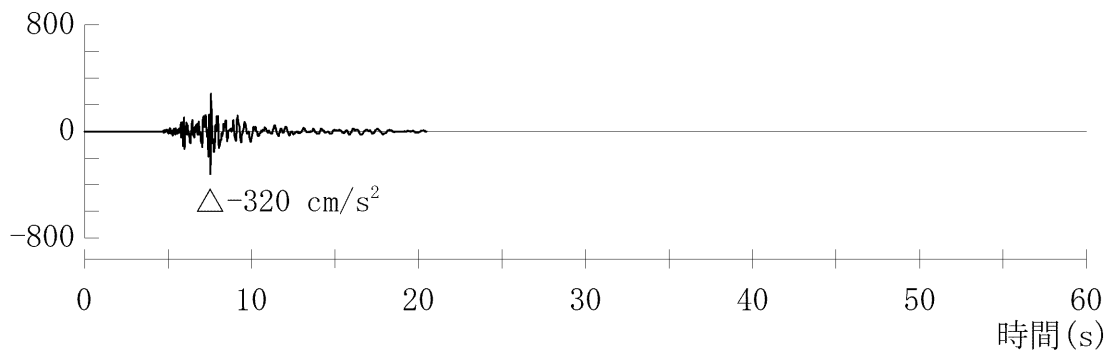
第 5.6 図 基準地震動 SS-3 の時刻歴波形

加速度 (cm/s^2)



加速度 (水平方向 : Ss-4_H)

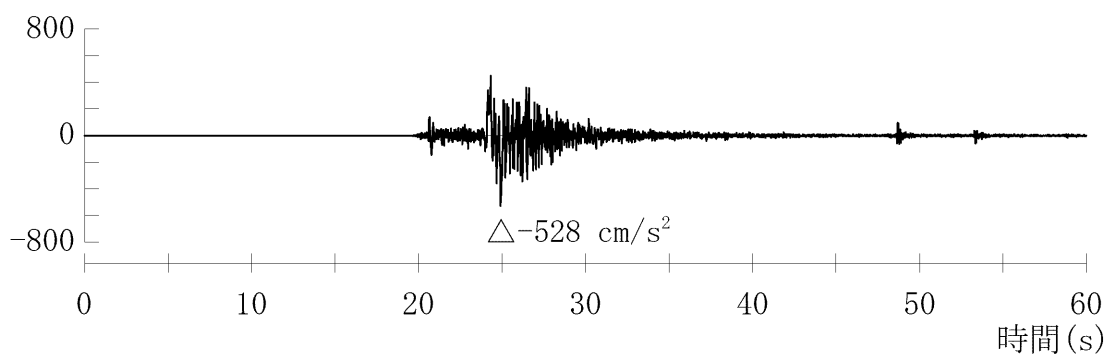
加速度 (cm/s^2)



加速度 (鉛直方向 : Ss-4_V)

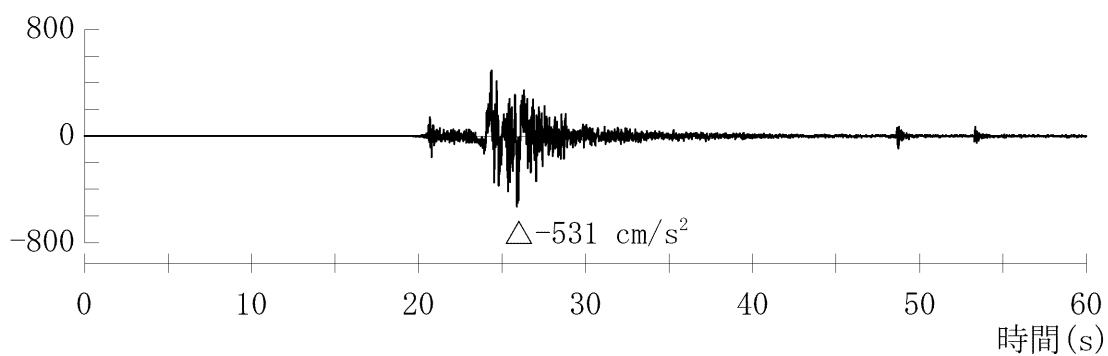
第 5.7 図 基準地震動 Ss-4 の時刻歴波形

加速度 (cm/s^2)



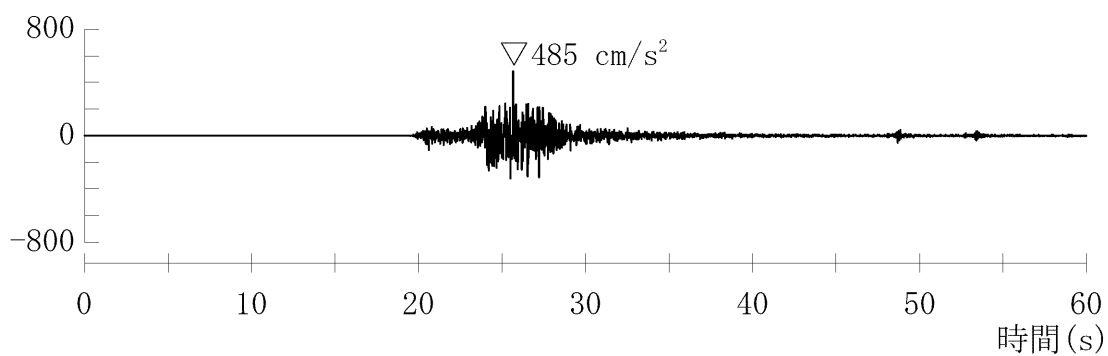
加速度 (水平方向 : SS-5_{NS})

加速度 (cm/s^2)



加速度 (水平方向 : SS-5_{EW})

加速度 (cm/s^2)



加速度 (鉛直方向 : SS-5_{UD})

第 5.8 図 基準地震動 SS-5 の時刻歴波形

(2) 安全設計方針

1.4 耐震設計

1.4.1 設計基準対象施設の耐震設計

1.4.1.1 設計基準対象施設の耐震設計の基本方針

設計基準対象施設の耐震設計は、以下の項目に従って行う。

- (1) 地震により生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの（以下「耐震重要施設」という。）及び使用済燃料乾式貯蔵容器は、その供用中に当該施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力に対して、その安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。
- (2) 設計基準対象施設は、地震により発生するおそれがある安全機能の喪失（地震に伴って発生するおそれがある津波及び周辺斜面の崩壊等による安全機能の喪失を含む。）及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度（以下「耐震重要度」という。）に応じて、耐震重要度分類をSクラス、Bクラス又はCクラスに分類し、それぞれに応じた地震力に十分に耐えられるように設計する。
- (3) 建物・構築物については、耐震重要度分類の各クラスに応じて算定する地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する地盤に設置する。

なお、建物・構築物とは、建物、構築物及び土木構造物（屋外重要土木構造物及びその他の土木構造物）の総称とする。

また、屋外重要土木構造物とは、耐震安全上重要な機器・配管系の間接支持機能、若しくは非常時における海水の通水機能を求められる土木構造物をいう。
- (4) Sクラスの施設（(6)に記載のもののうち、津波防護機能を有する設備（以下「津波防護施設」という。）、浸水防止機能を有する設備（以下「浸水防止設備」という。）、敷地における津波監視機能を有する施設（以下「津波監視設備」という。）及び使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。）は、基準地震動による地震力に対して、その安全機能が保持できるように設計する。

また、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられる設計とする。
- (5) Sクラスの施設（(6)に記載のもののうち、津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備及び使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。）については、静的地震力は、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。

また、基準地震動及び弾性設計用地震動による地震力は、水平2方向及び

鉛直方向について適切に組み合わせて算定するものとする。なお、水平2方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用し、影響が考えられる施設、設備については許容限界の範囲内に留まることを確認する。

- (6) 屋外重要土木構造物、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備、浸水防止設備が設置された建物・構築物並びに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、構造全体として変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有するとともに、それぞれの施設及び設備に要求される機能が保持できる設計とする。なお、基準地震動の水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せについては、上記（5）と同様とする。

また、重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を含む。）を津波から防護するための津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物についても同様の設計方針とする。

- (7) Bクラスの施設は、静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。

また、共振のおそれのある施設については、その影響についての検討を行う。その場合、検討に用いる地震動は、弾性設計用地震動に2分の1を乗じたものとする。なお、当該地震動による地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定するものとし、Sクラス施設と同様に許容限界の範囲内に留まることを確認する。

- (8) Cクラスの施設は、静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。

- (9) 耐震重要施設は、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。また、使用済燃料乾式貯蔵容器は、周辺施設等の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。

- (10) 設計基準対象施設の構造計画及び配置計画に際しては、地震の影響が低減されるように考慮する。

- (11) 炉心内の燃料被覆材の放射性物質の閉じ込めの機能については、以下のとおり設計する。

弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態に留まるように設計する。

基準地震動による地震力に対して、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないように設計する。

1.4.1.2 耐震重要度分類

設計基準対象施設の耐震重要度を、次のように分類する。

(1) Sクラスの施設

地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいものであり、次の施設を含む。

- ・原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系
- ・使用済燃料を貯蔵するための施設
- ・原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設
- ・原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設
- ・原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設
- ・原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設
- ・放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設であり、上記の「放射性物質の放散を直接防ぐための施設」以外の施設
- ・津波防護施設及び浸水防止設備
- ・津波監視設備

(2) Bクラスの施設

安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラスの施設と比べ小さい施設であり、次の施設を含む。

- ・原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、1次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設
- ・放射性廃棄物を内蔵している施設（ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和53年通商産業省令第77号）」第2条第2項第6号に規定する「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。）
- ・放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設

- ・使用済燃料を冷却するための施設
- ・放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、Sクラスに属さない施設

(3) Cクラスの施設

Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設である。

上記に基づくクラス別施設を第1.4.1表に示す。

なお、同表には当該施設を支持する構造物の支持機能が維持されることを確認する地震動及び波及的影響を考慮すべき施設に適用する地震動についても併記する。

1.4.1.3 地震力の算定方法

設計基準対象施設の耐震設計に用いる地震力の算定は以下の方法による。

(1) 静的地震力

静的地震力は、Sクラスの施設（津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備及び使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。）、Bクラス及びCクラスの施設に適用することとし、それぞれ耐震重要度分類に応じて次の地震層せん断力係数 C_i 及び震度に基づき算定する。

a. 建物・構築物

水平地震力は、地震層せん断力係数 C_i に、次に示す施設の耐震重要度分類に応じた係数を乗じ、さらに当該層以上の重量を乗じて算定するものとする。

Sクラス 3.0

Bクラス 1.5

Cクラス 1.0

ここで、地震層せん断力係数 C_i は、標準せん断力係数 C_0 を0.2以上とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

また、必要保有水平耐力の算定においては、地震層せん断力係数 C_i に乘じる施設の耐震重要度分類に応じた係数は、Sクラス、Bクラス及びCクラスともに1.0とし、その際に用いる標準せん断力係数 C_0 は1.0以上とする。

Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。鉛直地震力は、震度0.3以上を基準とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮し、高さ方向に一定

として求めた鉛直震度より算定するものとする。

ただし、土木建造物の静的地震力は、安全上適切と認められる規格及び基準を参考に、Cクラスに適用される静的地震力を適用する。

b. 機器・配管系

静的地震力は、上記a. に示す地震層せん断力係数 C_i に施設の耐震重要度分類に応じた係数を乗じたものを水平震度として、当該水平震度及び上記a. の鉛直震度をそれぞれ20%増しとした震度より求めるものとする。

なお、Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力は同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

上記a. 及びb. の標準せん断力係数 C_0 等の割増係数の適用については、耐震性向上の観点から、一般産業施設及び公共施設等の耐震基準との関係を考慮して設定する。

(2) 動的地震力

動的地震力は、Sクラスの施設、屋外重要土木建造物及びBクラスの施設のうち共振のおそれのあるものに適用することとし、基準地震動及び弾性設計用地震動から定める入力地震動を入力として、動的解析により水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定する。なお、地震力の組合せについては水平2方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用するものとし、影響が考えられる施設、設備に対して、許容限界の範囲内に留まることを確認する。

Bクラスの施設のうち共振のおそれのあるものについては、弾性設計用地震動から定める入力地震動の振幅を2分の1にしたものによる地震力を適用する。

屋外重要土木建造物、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備、浸水防止設備が設置された建物・構築物並びに使用済燃料乾式貯蔵容器については、基準地震動による地震力を適用する。

添付書類六「7.5 地震」に示す基準地震動は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定し、年超過確率は、 10^{-4} ～ 10^{-6} 程度である。

また、弾性設計用地震動は、基準地震動との応答スペクトルの比率が目安として0.5を下回らないよう基準地震動に係数0.6を乗じて設定する。ここで、係数0.6は工学的判断として、原子炉施設の安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率が0.5程度であるという知見⁽⁹⁾を踏まえ、さらに「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和56年7月20日原子力安全

委員会決定、平成 13 年 3 月 29 日一部改訂)」における基準地震動 S_1 の応答スペクトルをおおむね下回らないよう配慮し、余裕を持たせた値とする。また、建物・構築物及び機器・配管系ともに 0.6 を採用することで、弾性設計用地震動に対する設計に一貫性をとる。なお、弾性設計用地震動の年超過確率は、 $10^{-3} \sim 10^{-5}$ 程度である。弾性設計用地震動の応答スペクトルを第 1.4.1 図～第 1.4.3 図に、弾性設計用地震動の時刻歴波形を第 1.4.4 図～第 1.4.8 図に、弾性設計用地震動と基準地震動 S_1 の応答スペクトルの比較を第 1.4.9 図に、弾性設計用地震動と解放基盤表面における地震動の一樣ハザードスペクトルの比較を第 1.4.10 図及び第 1.4.11 図に示す。

a. 入力地震動

解放基盤表面は、3 号炉及び 4 号炉の地質調査の結果から、 0.7km/s 以上の S 波速度 (1.35km/s) を持つ堅固な岩盤が十分な広がりを持つていることが確認されているため、原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋基礎底板位置の EL. -15.0m としている。

建物・構築物の地震応答解析における入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動及び弾性設計用地震動を基に、対象建物・構築物の地盤条件を適切に考慮したうえで、必要に応じ 2 次元 FEM 解析又は 1 次元波動論により、地震応答解析モデルの入力位置で評価した入力地震動を設定する。地盤条件を考慮する場合には、地震動評価で考慮した敷地全体の地下構造との関係にも留意し、地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮する。また、必要に応じ敷地における観測記録による検証や最新の科学的・技術的知見を踏まえ設定する。

b. 地震応答解析

(a) 動的解析法

i. 建物・構築物

動的解析による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性及び適用限界等を考慮のうえ、適切な解析法を選定するとともに、建物・構築物に応じた適切な解析条件を設定する。動的解析は、スペクトルモーダル解析法又は時刻歴応答解析法による。また、3 次元応答性状等の評価は、時刻歴応答解析法による。

建物・構築物の動的解析に当たっては、建物・構築物の剛性はそれらの形状、構造特性等を十分考慮して評価し、集中質点系等に置換した解析モデルを設定する。

動的解析には、建物・構築物と地盤との相互作用を考慮するものとし、解析モデルの地盤のばねは、基礎版の平面形状、地盤の剛性等を考慮して定める。設計用地盤定数は、原則として、弾性波試験による

ものを用いる。

地盤－建物・構築物連成系の減衰定数は、振動エネルギーの地下逸散及び地震応答における各部のひずみレベルを考慮して定める。

基準地震動及び弾性設計用地震動に対する応答解析において、主要構造要素がある程度以上弾性範囲を超える場合には、実験等の結果に基づき、該当する建物部分の構造特性に応じて、その弾塑性挙動を適切に模擬した復元力特性を考慮した応答解析を行う。

また、Sクラスの施設を支持する建物・構築物の支持機能を検討するための動的解析において、施設を支持する建物・構築物の主要構造要素がある程度以上弾性範囲を超える場合には、その弾塑性挙動を適切に模擬した復元力特性を考慮した応答解析を行う。

応答解析に用いる材料定数については、地盤の諸定数も含めて材料のばらつきによる変動幅を適切に考慮する。また、必要に応じて建物・構築物及び機器・配管系の設計用地震力に及ぼす影響を検討する。

原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋については、3次元FEM解析等から、建物・構築物の3次元応答性状及び機器・配管系への影響を評価する。

屋外重要土木構造物の動的解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる連成系の地震応答解析手法とし、地盤及び構造物の地震時における非線形挙動の有無や程度に応じて、線形、等価線形又は非線形解析のいずれかに行う。

なお、地震力については、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定する。

ii. 機器・配管系

動的解析による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性及び適用限界等を考慮のうえ、適切な解析法を選定するとともに、解析条件として考慮すべき減衰定数、剛性等の各種物性値は、適切な規格及び基準又は試験等の結果に基づき設定する。

機器の解析に当たっては、形状、構造特性等を考慮して、代表的な振動モードを適切に表現できるよう質点系モデル、有限要素モデル等に置換し、設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法又は時刻歴応答解析法により応答を求める。配管系については、熱的条件及び口径から高温配管又は低温配管に分類し、その仕様に応じて適切なモデルに置換し、設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法又は時刻歴応答解析法により応答を求める。スペクトルモーダル解析法及び時刻歴応答解析法の選択に当たっては、衝突・すべり等の

非線形現象を模擬する観点又は既往研究の知見を取り入れ実機の挙動を模擬する観点で、建物・構築物の剛性及び地盤物性の不確かさへの配慮をしつつ時刻歴応答解析法を用いる等、解析対象とする現象、対象設備の振動特性・構造特性等を考慮し適切に選定する。

また、設備の3次元的な広がりを踏まえ、適切に応答を評価できるモデルを用い、水平2方向及び鉛直方向の応答成分について適切に組み合わせるものとする。

なお、剛性の高い機器は、その機器の設置床面の最大応答加速度の1.2倍の加速度を震度として作用させて地震力を算定する。

(3) 設計用減衰定数

応答解析に用いる減衰定数は、安全上適切と認められる規格及び基準、既往の振動実験、地震観測の調査結果等を考慮して適切な値を定める。

なお、建物・構築物の応答解析に用いる鉄筋コンクリートの減衰定数の設定については、既往の知見に加え、既施設の地震観測記録等により、その妥当性を検討する。

また、地盤と屋外重要土木構造物の連成系地震応答解析モデルの減衰定数については、地中構造物としての特徴、同モデルの振動特性を考慮して適切に設定する。

1.4.1.4 荷重の組合せと許容限界

設計基準対象施設の耐震設計における荷重の組合せと許容限界は以下による。

(1) 耐震設計上考慮する状態

地震以外に設計上考慮する状態を次に示す。

a. 建物・構築物

(a) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常自然条件下におかれている状態

ただし、運転状態には通常運転時、運転時の異常な過渡変化時を含むものとする。

(b) 設計基準事故時の状態

発電用原子炉施設が設計基準事故時にある状態

(c) 設計用自然条件

設計上基本的に考慮しなければならない自然条件（風、積雪等）

b. 機器・配管系

(a) 通常運転時の状態

発電用原子炉の起動、停止、出力運転、高温待機、燃料取替え等が計画
的又は頻繁に行われた場合であって運転条件が所定の制限値以内にある
運転状態

(b) 運転時の異常な過渡変化時の状態

通常運転時に予想される機械又は器具の単一の故障若しくはその誤作
動又は運転員の単一の誤操作及びこれらと類似の頻度で発生すると予想
される外乱によって発生する異常な状態であって、当該状態が継続した場
合には炉心又は原子炉冷却材圧力バウンダリの著しい損傷が生ずるおそ
れがあるものとして安全設計上想定すべき事象が発生した状態

(c) 設計基準事故時の状態

発生頻度が運転時の異常な過渡変化より低い異常な状態であって、当該
状態が発生した場合には発電用原子炉施設から多量の放射性物質が放出
するおそれがあるものとして安全設計上想定すべき事象が発生した状態

(d) 設計用自然条件

設計上基本的に考慮しなければならない自然条件（風、積雪等）

(2) 荷重の種類

a. 建物・構築物

(a) 発電用原子炉のおかれている状態にかかわらず常時作用している荷重、
すなわち固定荷重、積載荷重、土圧、水圧及び通常の気象条件による荷
重

(b) 運転時の状態で施設に作用する荷重

(c) 設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重

(d) 地震力、風荷重、積雪荷重等

ただし、運転時の状態及び設計基準事故時の状態での荷重には、機器・
配管系から作用する荷重が含まれるものとし、地震力には、地震時土圧、
機器・配管系からの反力、スロッシング等による荷重が含まれるものとし
る。

b. 機器・配管系

(a) 通常運転時の状態で施設に作用する荷重

(b) 運転時の異常な過渡変化時の状態で施設に作用する荷重

(c) 設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重

(d) 地震力、風荷重、積雪荷重等

(3) 荷重の組合せ

地震力と他の荷重との組合せは次による。

a. 建物・構築物（c.に記載のもののうち、津波防護施設、浸水防止設備及
び津波監視設備を除く。）

- (a) Sクラスの建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時（通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時）に施設に作用する荷重と地震力とを組み合わせる。
- (b) Sクラスの建物・構築物については、常時作用している荷重及び設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重のうち長時間その作用が続く荷重と弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力とを組み合わせる。
- (c) Bクラス及びCクラスの建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時の状態で施設に作用する荷重と動的地震力又は静的地震力とを組み合わせる。

b. 機器・配管系（c. に記載のものを除く。）

- (a) Sクラスの機器・配管系については、通常運転時の状態で施設に作用する荷重と地震力とを組み合わせる。
- (b) Sクラスの機器・配管系については、運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態のうち地震によって引き起こされるおそれのある事象によって施設に作用する荷重と地震力とを組み合わせる。
- (c) Sクラスの機器・配管系については、運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態のうち地震によって引き起こされるおそれのない事象であっても、いったん事故が発生した場合、長時間継続する事象による荷重は、その事故事象の発生確率、継続時間及び地震動の年超過確率の関係を踏まえ、適切な地震力と組み合わせる。
- (d) Bクラス及びCクラスの機器・配管系については、通常運転時の状態で施設に作用する荷重及び運転時の異常な過渡変化時の状態で施設に作用する荷重と、動的地震力又は静的地震力とを組み合わせる。

c. 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物

- (a) 津波防護施設及び浸水防止設備が設置された建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時の状態で施設に作用する荷重と基準地震動による地震力とを組み合わせる。
- (b) 浸水防止設備及び津波監視設備については、常時作用している荷重及び運転時の状態で施設に作用する荷重等と基準地震動による地震力とを組み合わせる。

なお、上記 c. (a)、(b) については、地震と津波が同時に作用する可能性について検討し、必要に応じて基準地震動による地震力と津波による荷重の組合せを考慮する。また、津波以外による荷重については、「(2) 荷重の種類」に準じるものとする。

d. 荷重の組合せ上の留意事項

- (a) Sクラスの施設に作用する地震力のうち動的地震力については、水平2方向と鉛直方向の地震力とを適切に組み合わせ算定するものとする。
- (b) ある荷重の組合せ状態での評価が明らかに厳しいことが判明している場合には、その他の荷重の組合せ状態での評価は行わないことがある。
- (c) 複数の荷重が同時に作用する場合、それらの荷重による応力の各ピークの生起時刻に明らかなずれがあることが判明しているならば、必ずしもそれぞれの応力のピーク値を重ねなくてもよいものとする。
- (d) 上位の耐震重要度分類の施設を支持する建物・構築物の当該部分の支持機能を確認する場合においては、支持される施設の耐震重要度分類に応じた地震力と常時作用している荷重、運転時の状態で施設に作用する荷重及びその他必要な荷重とを組み合わせる。

なお、第1.4.1表に対象となる建物・構築物及びその支持機能が維持されていることを検討すべき地震動等について記載する。

(4) 許容限界

各施設の地震力と他の荷重とを組み合わせた状態に対する許容限界は次のとおりとし、安全上適切と認められる規格及び基準又は試験等で妥当性が確認されている許容応力等を用いる。

a. 建物・構築物（c. に記載のもののうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）

(a) Sクラスの建物・構築物

i. 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

ただし、1次冷却材喪失事故時に作用する荷重との組合せ（原子炉格納容器バウンダリにおける長期的荷重との組合せを除く。）に対しては、下記ii. に示す許容限界を適用する。

ii. 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有し、建物・構築物の終局耐力に対して妥当な安全余裕を持たせることとする。

なお、終局耐力は、建物・構築物に対する荷重又は応力を漸次増大していくとき、その変形又はひずみが著しく増加するに至る限界の最

大耐力とし、既往の実験式等に基づき適切に定めるものとする。

(b) Bクラス及びCクラスの建物・構築物 ((e) 及び (f) に記載のものを除く。)

上記 (a) i. による許容応力度を許容限界とする。

(c) 耐震重要度分類の異なる施設を支持する建物・構築物 ((e) 及び (f) に記載のものを除く。)

上記 (a) ii. を適用するほか、耐震重要度分類の異なる施設を支持する建物・構築物が、変形等に対してその支持機能を損なわないものとする。

なお、当該施設を支持する建物・構築物の支持機能が損なわれないことを確認する際の地震動は、支持される施設に適用される地震動とする。

(d) 建物・構築物の保有水平耐力 ((e) 及び (f) に記載のものを除く。)

建物・構築物については、当該建物・構築物の保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して耐震重要度分類に応じた安全余裕を有していることを確認する。

(e) 屋外重要土木構造物

i. 静的地震力との組合せに対する許容限界

安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

ii. 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

構造部材の曲げについては、曲げ耐力、限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみに対して妥当な安全余裕を持たせることとし、構造部材のせん断については、せん断耐力に対して妥当な安全余裕を持たせることを基本とする。ただし、構造部材の曲げ、せん断に対する上記の許容限界に代わり、許容応力度を適用することで、安全余裕を考慮する場合もある。

なお、それぞれの安全余裕については、各施設の機能要求等を踏まえ設定する。

(f) その他の土木構造物

安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

b. 機器・配管系 (c. に記載のものを除く。)

(a) Sクラスの機器・配管系

i. 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

応答が全体的におおむね弾性状態に留まることとする。

ただし、1次冷却材喪失事故時に作用する荷重との組合せ（原子炉格納容器バウンダリ及び非常用炉心冷却設備等における長期的荷重との組合せを除く。）に対しては、下記ii. に示す許容限界を適用する。

ii. 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないように応力、荷重等を制限する値を許容限界とする。

また、地震時又は地震後に動的機能が要求される機器等については、基準地震動による応答に対して、実証試験等により確認されている機能確認済加速度等を許容限界とする。

(b) Bクラス及びCクラスの機器・配管系

応答が全体的におおむね弾性状態に留まることとする。

(c) 燃料集合体

地震時に作用する荷重に対して、燃料集合体の1次冷却材流路を維持できること及び過大な変形や破損を生ずることにより制御棒の挿入が阻害されることがないことを確認する。

(d) 燃料被覆材

炉心内の燃料被覆材の放射性物質の閉じ込めの機能については、以下のとおり確認する。

通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態に留まることを確認する。

通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないことを確認する。

(e) 使用済燃料乾式貯蔵容器

自重その他の貯蔵時に想定される荷重と、基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件に対して、当該使用済燃料乾式貯蔵容器に要求される機能を保持することを以下のとおり確認する。

密封境界部については、おおむね弾性状態に留まることを確認する。

使用済燃料乾式貯蔵容器の臨界防止機能を担保しているバスケットについては、臨界防止上有意な変形を起こさないことを確認する。

密封境界部以外の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を

有することを確認する。

- c. 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物

津波防護施設及び浸水防止設備が設置された建物・構築物については、当該施設及び建物・構築物が構造全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能（津波防護機能及び浸水防止機能）が保持できることを確認する。

浸水防止設備及び津波監視設備については、その設備に要求される機能（浸水防止機能及び津波監視機能）が保持できることを確認する。

- d. 基礎地盤の支持性能

- (a) Sクラスの建物・構築物及びSクラスの機器・配管系（(b)に記載のものうち、津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備及び使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。）の基礎地盤

- i. 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

接地圧が、安全上適切と認められる規格及び基準等による地盤の極限支持力度に対して妥当な余裕を有することを確認する。

- ii. 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

接地圧に対して、安全上適切と認められる規格及び基準等による地盤の短期許容支持力度を許容限界とする。

- (b) 屋外重要土木構造物、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備、浸水防止設備が設置された建物・構築物並びに使用済燃料乾式貯蔵容器の基礎地盤

- i. 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

接地圧が、安全上適切と認められる規格及び基準等による地盤の極限支持力度に対して妥当な余裕を有することを確認する。

- (c) Bクラス及びCクラスの建物・構築物、Bクラス及びCクラスの機器・配管系並びにその他の土木構造物の基礎地盤

上記 (a) ii. による許容支持力度を許容限界とする。

1.4.1.5 設計における留意事項

- (1) 耐震重要施設

耐震重要施設は、耐震重要度分類の下位のクラスに属する施設（以下「下位クラス施設」という。）の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。

波及的影響については、耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力を適用して評価を行う。なお、地震動又は地震力の選定に当たっては、施設の配置状況、使用時間等を踏まえて適切に設定する。また、波及的影響においては水平2方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用する場合に影響を及ぼす可能性のある施設、設備を選定し評価する。

波及的影響評価に当たっては、以下 a.～d. をもとに、敷地全体を俯瞰した調査・検討等を行い、耐震重要施設の安全機能への影響がないことを確認する。なお、原子力発電所の地震被害情報をもとに、以下 a.～d. 以外に検討すべき事項がないかを確認し、新たな検討事項が抽出された場合には、その観点を追加する。

a. 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

(a) 不等沈下

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して不等沈下により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。

(b) 相対変位

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力による下位クラス施設と耐震重要施設の相対変位により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。

b. 耐震重要施設と下位クラス施設との接続部における相互影響

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、耐震重要施設に接続する下位クラス施設の損傷により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。

c. 建屋内における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、建屋内の下位クラス施設が損傷、転倒及び落下等により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。

d. 建屋外における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響

(a) 耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、建屋外の下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。

(b) 耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、耐震重要施設の周辺斜面が崩壊しないことを確認する。

(2) 使用済燃料乾式貯蔵容器

使用済燃料乾式貯蔵容器は、周辺施設等の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。

波及的影響の評価に当たっては、以下の3つの観点をもとに、敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を損なわないことを確認する。なお、原子力発電所の地震被害情報をもとに、3つの観点以外に検討すべき事項がないか確認し、新たな検討事項が抽出された場合には、その観点を追加する。

影響評価には、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力を適用して評価を行うこととし、地震動又は地震力の選定に当たっては、施設の配置状況、使用時間等を踏まえて適切に設定する。また、水平2方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用する場合の影響も考慮して評価する。

a. 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

(a) 不等沈下

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力による周辺施設等の設置地盤の不等沈下により、その安全機能を損なわないように設計する。

(b) 相対変位

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力による周辺施設等との相対変位により、その安全機能を損なわないように設計する。

b. 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は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力による隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器との相互影響により、その安全機能を損なわないように設計する。

c. 使用済燃料乾式貯蔵容器と周辺施設等との相互影響

(a) 周辺施設等の損傷、転倒及び落下等による使用済燃料乾式貯蔵容器への影響

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力による周辺施設等の損傷、転倒及び落下等により、その安全機能を損なわないように設計する。

また、周辺施設等のうち、使用済燃料乾式貯蔵建屋は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力により、損壊しないように設計する。

(b) 周辺斜面の崩壊

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力によって生じるおそれがある周辺の斜面の崩壊に

対して、その安全機能が損なわれるおそれがない場所に設置する。

なお、上記(1)及び(2)の検討に当たっては、溢水、火災の観点からも波及的影響がないことを確認する。

上記の観点で検討した波及的影響を考慮する施設を、第 1.4.1 表中に「波及的影響を考慮すべき施設」として記載する。

1.4.1.6 構造計画と配置計画

設計基準対象施設の構造計画及び配置計画に際しては、地震の影響が低減されるように考慮する。

建物・構築物は、原則として剛構造とし、重要な建物・構築物は、地震力に対し十分な支持性能を有する地盤に支持させる。剛構造としない建物・構築物は、剛構造と同等又はそれを上回る耐震安全性を確保する。

機器・配管系は、応答性状を適切に評価し、適用する地震力に対して構造強度を有する設計とする。配置に自由度のあるものは、耐震上の観点からできる限り重心位置を低くし、かつ、安定性のよい据付け状態になるよう配置する。

また、建物・構築物の建屋間相対変位を考慮しても、建物・構築物及び機器・配管系の耐震安全性を確保する設計とする。

下位クラス施設は原則、耐震重要施設に対して離隔をとり配置する若しくは基準地震動に対し構造強度を保つようにし、耐震重要施設の安全機能を損なわない設計とする。

1.4.4 主要施設の耐震構造

1.4.4.8 使用済燃料乾式貯蔵建屋（1号、2号、3号及び4号炉共用）

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、地上2階、地下1階であり、平面が約48m×約62mの鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造）の建物で、基礎は岩盤上に設置される。

1.4.4.13 その他

その他の機器・配管については、運転荷重、地震荷重、熱膨張による荷重を考慮して、必要に応じてスナバ、リジットハンガ、その他の支持装置を使用して耐震的にも熱的にも安全な設計とする。

1.4.5 地震検知による耐震安全性の確保

(1) 地震感知器

原子炉保護設備の1つとして地震感知器を設け、ある程度以上の地震が起こった場合に原子炉を自動的に停止させる。トリップ設定値は弾性設計用地震動の加速度レベルに余裕を持たせた値とする。原子炉保護設備は、フェイル・セーフ設備とするが、地震以外のショックによって原子炉をトリップさせないよう配慮する。

地震感知器は、基盤の地震動をできるだけ直接的に検出するため建物基礎版の位置、また主要な機器が配置されている代表的な床面に設置する。なお、設置に当たっては試験及び保守が可能な原子炉補助建屋の適切な場所に設置する。

(2) 地震観測等による耐震性の確認

発電用原子炉施設のうち安全上特に重要なものに対しては、地震観測網を適切に設置し、地震観測等により振動性状の把握を行い、それらの測定結果に基づく解析等により施設の機能に支障のないことを確認していくものとする。

地震観測を継続して実施するために、地震観測網の適切な維持管理を行う。

第 1.4.1 表 クラス別施設 (1 / 8)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備 (注1)		補助設備 (注2)		直接支持構造物 (注3)		間接支持構造物 (注4)		波及的影響を考慮すべき施設 (注5)		
		適用範囲	クラス	適用範囲	クラス	適用範囲	クラス	適用範囲	適用範囲	適用範囲	適用範囲	
Sクラス	(i) 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系	原子炉容器	S	・隔離弁を閉とするに必要な電気及び計装設備	S	原子炉容器・蒸気発生器・1次冷却材ポンプ・加圧器の支持構造物	S	内部コンクリート	Ss	格納容器ポーラックレーン	Ss	
		原子炉冷却材圧力バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁	S									機器・配管、電気計装設備等の支持構造物
	(ii) 使用済燃料を貯蔵するための施設	使用済燃料ピット	S	-	-	S	機器等の支持構造物	S	原子炉周辺建屋	Ss	使用済燃料ピット	Ss
		使用済燃料ラック	S									
(iii) 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設	制御棒クラスタ及び制御棒クラスタ駆動装置 (トリップ機能に関する部分)	制御棒クラスタ	S	炉心支持構造物及び制御棒クラスタ案内管	S	機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	内部コンクリート	Ss	格納容器ポーラックレーン	Ss	
		制御棒クラスタ駆動装置 (トリップ機能に関する部分)	S									非常用電源 (燃料油系含む) 及び計装設備
(iv) 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設	主蒸気・主給水設備 (主給水逆止弁より蒸気発生器2次側を経て、主蒸気隔離弁まで)	主給水逆止弁	S	原子炉補助機冷却水設備 (当該主要設備に係わるもの)	S	機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	内部コンクリート	Ss	格納容器ポーラックレーン	Ss	
		主給水逆止弁	S									非常用電源 (燃料油系含む) 及び計装設備
		補助給水設備	S	燃料取替用水タンク	S	機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	燃料取替用水タンク	Ss	燃料取替用水補助タンク	Ss	
		復水タンク	S	炉心支持構造物 (炉心冷却に直接影響するもの)	S	機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物	Ss	1次系純水タンク	Ss	
		余熱除去設備	S	非常用電源 (燃料油系含む) 及び計装設備	S	機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	非常用電源の燃料油系を支持する構造物	Ss	廃棄物処理建屋	Ss	
										タービン建屋	Ss	
										その他	Ss	

第 1.4.1 表 クラス別施設 (2 / 8)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備 (注1)		補助設備 (注2)		直接支持構造物 (注3)		間接支持構造物 (注4)		波及的影響を考慮すべき施設 (注5)	
		適用範囲	クラス	適用範囲	クラス	適用範囲	クラス	適用範囲	検討用 地震動 (注6)	適用範囲	検討用 地震動 (注6)
Sクラス	(v) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設	適用範囲	S	適用範囲	S	適用範囲	S	適用範囲	Ss	適用範囲	Ss
			S	原子炉補機冷却水設備(当該主要設備に係わるもの) 原子炉補機冷却海水設備 中央制御室の遮へいと空調設備 非常用電源(燃料油系含む)及び計装設備	S	機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	原子炉周辺建屋 原子炉補助建屋 海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物 燃料取替用水タンク建屋 非常用電源の燃料油系を支持する構造物	Ss Ss Ss Ss Ss	燃料取替用水補助タンク 1次系純水タンク 廃棄物処理建屋 タービン建屋 その他	Ss Ss Ss Ss Ss
Sクラス	(vi) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、圧力障壁となり放射性質の放散を直接防ぐための施設	適用範囲	S	適用範囲	-	適用範囲	S	適用範囲	Ss	適用範囲	Ss
			S	原子炉格納容器 原子炉格納容器バウンダリに属する配管・弁	-	機器・配管等の支持構造物	S	原子炉周辺建屋 原子炉補助建屋	Ss Ss	廃棄物処理建屋 タービン建屋 その他	Ss Ss Ss
			S	隔離弁を閉とするに必要な電気及び計装設備	S	電気計装設備の支持構造物	S	原子炉周辺建屋 原子炉補助建屋	Ss Ss	廃棄物処理建屋 タービン建屋 その他	Ss Ss Ss

第 1.4.4.1 表 クラス別施設 (3 / 8)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備 (注1)		補助設備 (注2)		直接支持構造物 (注3)		間接支持構造物 (注4)		波及的影響を考慮すべき施設 (注5)	
		適用範囲	クラス	適用範囲	クラス	適用範囲	クラス	適用範囲	検査用 地震動 (注6)	適用範囲	検査用 地震動 (注6)
S クラス	(vii) 放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設であり、上記(vi)の「放射性物質の放散を直接防ぐための施設」以外の施設	原子炉格納容器スプレイ設備 燃料取替用水タンク アニュラシール アニュラス空気浄化設備 排気筒 安全補機室空気浄化設備	S S S S S S	原子炉補機冷却水設備(当該主要設備に係わるもの) 原子炉補機冷却海水設備 非常用電源(燃料油系含む)及び計装設備	S S S	機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	原子炉格納容器 原子炉周辺建屋 原子炉補助建屋 燃料取替用水タンク建屋 海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物 非常用電源の燃料油系を支持する構造物	Ss Ss Ss Ss Ss Ss	燃料取替用水補助タンク 1次系純水タンク 廃棄物処理建屋 タービン建屋 その他	Ss Ss Ss Ss Ss
		海水ポンプエリア 防護壁 海水ポンプエリア水密扉 取水ピット搬入口蓋 原子炉周辺建屋水密扉 原子炉補助建屋水密扉	S S S S S	—	—	機器等の支持構造物	S	原子炉周辺建屋 原子炉補助建屋 海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物	Ss Ss Ss	廃棄物処理建屋 タービン建屋 循環水ポンプモータ その他	Ss Ss Ss Ss
		津波監視カメラ 取水ピット水位計	S S	非常用電源(燃料油系含む)及び計装設備	S	機器、電気計装設備等の支持構造物	S	原子炉周辺建屋 原子炉補助建屋 海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物 非常用電源の燃料油系を支持する構造物	Ss Ss Ss Ss	廃棄物処理建屋 タービン建屋 その他	Ss Ss Ss

第 1.4.1 表 クラス別施設 (4 / 8)

耐震重要度 分類	機能別分類	(注1) 主要設備		(注2) 補助設備		(注3) 直接支持構造物		(注4) 間接支持構造物		波及的影響を考慮すべき施設 (注5)	
		適用範囲	クラス	適用範囲	クラス	適用範囲	クラス	適用範囲	クラス	適用範囲	検討用 地震動 (注6)
Sクラス	(x) その他	・使用済燃料ピット 水補給設備 (非常 用)	S	・非常用電源 (燃料 油系含む) 及び計 装設備	S	・機器・配管、電気 計装設備等の支持 構造物	S	・原子炉周辺建屋 ・原子炉補助建屋 ・非常用電源の燃料 油系を支持する構 造物	Ss Ss Ss	・廃棄物処理建屋 ・タービン建屋 ・その他	Ss Ss Ss
		・炉内構造物	S	—	—	—	—	—	—	—	—

第 1.4.4.1 表 クラス別施設 (5 / 8)

耐震重要度 分類	機能別分類	主 要 設 備 (注1)		補 助 設 備 (注2)		直 接 支 持 構 造 物 (注3)		間 接 支 持 構 造 物 (注4)		波及的影響を考慮すべき施設 (注5)	
		適用範囲	クラス	適用範囲	クラス	適用範囲	クラス	適用範囲	適用範囲	適用範囲	適用範囲
Bクラス	(i) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されている、1次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設	<ul style="list-style-type: none"> 化学体積制御設備のうち、抽出系と余剰抽出系 	B	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管等の支持構造物 	B	<ul style="list-style-type: none"> 内部コンクリート 原子炉周辺建屋 原子炉補助建屋 	<ul style="list-style-type: none"> SB SB SB 	—	—
	(ii) 放射性廃棄物を内蔵している施設 (ただし、内蔵量が少ないか又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が周辺監視区域外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く)	<ul style="list-style-type: none"> 放射性廃棄物廃棄施設、ただし、Cクラスに属するものは除く 	B	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管等の支持構造物 	B	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉周辺建屋 原子炉補助建屋 廃棄物処理建屋 雑固体溶解処理建屋 	<ul style="list-style-type: none"> SB SB SB SB 	—	—
	(iii) 放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設	<ul style="list-style-type: none"> 使用済燃料ピット水浄化冷却設備 (浄化系) 化学体積制御設備のうち、S及びCクラスに属する以外のもの 放射線低減効果の大きい遮へい 燃料取扱棟クレーン 使用済燃料ピットクレーン 燃料取替クレーン 燃料移送装置 	B B B B B B B	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管等の支持構造物 	B	<ul style="list-style-type: none"> 内部コンクリート 原子炉周辺建屋 原子炉補助建屋 	<ul style="list-style-type: none"> SB SB SB 	—	—

第 1.4.4.1 表 クラス別施設 (6 / 8)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備 (注1)		補助設備 (注2)		直接支持構造物 (注3)		間接支持構造物 (注4)		波及的影響を考慮すべき施設 (注5)	
		適用範囲	クラス	適用範囲	クラス	適用範囲	クラス	適用範囲	クラス	適用範囲	検討用地震動 (注6)
Bクラス	(iv) 使用済燃料を冷却するための施設	・使用済燃料ピット水浄化冷却設備 (冷却系)	B	・原子炉補機冷却水設備 (当該主要設備に係わるもの) ・原子炉補機冷却海水設備 ・電気計装設備	B B B	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	B	・原子炉周辺建屋 ・原子炉補助建屋 ・海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物	SB SB SB	—	—
	(v) 放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、Sクラスに属さない施設	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

第 1.4.4.1 表 クラス別施設 (7 / 8)

耐震重要度 分類	機能別分類	主 要 設 備 (注1)		補 助 設 備 (注2)		直 接 支 持 構 造 物 (注3)		間 接 支 持 構 造 物 (注4)		波 及 的 影 響 を 考 慮 す べ き 施 設 (注5)	
		適用範囲	クラス	適用範囲	クラス	適用範囲	クラス	適用範囲	検討用 地震動 (注6)	適用範囲	検討用 地震動 (注6)
Cクラス	(i) 原子炉の反応度を制御するための施設でS及びBクラスに属さない施設	・制御棒クラスタ駆動装置 (トリップ機能に関する部分を除く)	C	—	クラス	C	・電気計装設備の支持構造物	・内部コンクリート ・原子炉周辺建屋 ・原子炉補助建屋	SC SC SC	—	—
	(ii) 放射性物質を内蔵しているか、又はこれに関連した施設でS及びBクラスに属さない施設	・試料採取設備 ・床ドレン系 ・洗浄排水処理系 ・固化処理装置より下流の固体廃棄物取扱設備 (貯蔵庫を含む) ・ペイラ ・雑固体溶融処理設備のうち、溶融炉、セラミックファイタルタを除外 ・化学体積制御設備のうち、ほう酸補給タンク廻り ・液体廃棄物処理設備のうち、ほう酸回収装置、蒸留水側及び廃液蒸発装置、蒸留水側 ・原子炉補給水設備 ・新燃料貯蔵設備 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋 (注8) ・その他	C C C C C C	—	—	C	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	・内部コンクリート ・原子炉周辺建屋 ・原子炉補助建屋 ・廃棄物処理建屋 ・雑固体溶融処理建屋 ・固体廃棄物貯蔵庫 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋	SC SC SC SC SC SC SC	—	—

第 1.4.4.1 表 クラス別施設 (8 / 8)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備 (注1)		補助設備 (注2)		直接支持構造物 (注3)		間接支持構造物 (注4)		波及的影響を考慮すべき施設 (注5)	
		適用範囲	クラス	適用範囲	クラス	適用範囲	クラス	適用範囲	検査用 地震動 (注6)	適用範囲	検査用 地震動 (注6)
Cクラス	(iii) 原子炉施設ではあるが、放射線安全に関係しない施設	<ul style="list-style-type: none"> ・蒸気タービン設備 ・原子炉補機冷却水設備 ・補助ボイラ及び補助蒸気設備 ・消火設備 ・主発電機・変圧器 ・空調設備 ・蒸気発生器ブロータウン系 ・所内用圧縮空気設備 ・格納容器ポークレーン ・代替緊急時対策所 ・緊急時対策所 (緊急時対策棟内) ・その他 	C C C C C C C C C C C C C		クラス	<ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	C	<ul style="list-style-type: none"> ・内部コンクリート ・原子炉周辺建屋 ・原子炉補助建屋 ・廃棄物処理建屋 ・雑固体溶融処理建屋 ・タービン建屋 ・代替緊急時対策所 ・緊急時対策所 (緊急時対策棟内) 	SC SC SC SC SC SC SC SC SC		

(注1) 主要設備とは、当該機能に直接的に関連する設備をいう。

(注2) 補助設備とは、当該機能に間接的に関連し、主要設備の補助的役割を持つ設備をいう。

(注3) 直接支持構造物とは、主要設備、補助設備に直接取り付けられる支持構造物、若しくはこれらの設備の荷重を直接的に受ける支持構造物をいう。

(注4) 間接支持構造物とは、直接支持構造物から伝達される荷重を受ける構造物 (建物・構築物) をいう。

(注5) 波及的影響を考慮すべき施設とは、下位の耐震クラスに属するものの破損等によって上位の分類に属するものに波及的影響を及ぼすおそれのある施設をいう。

(注6) Ss：基準地震動により定まる地震力

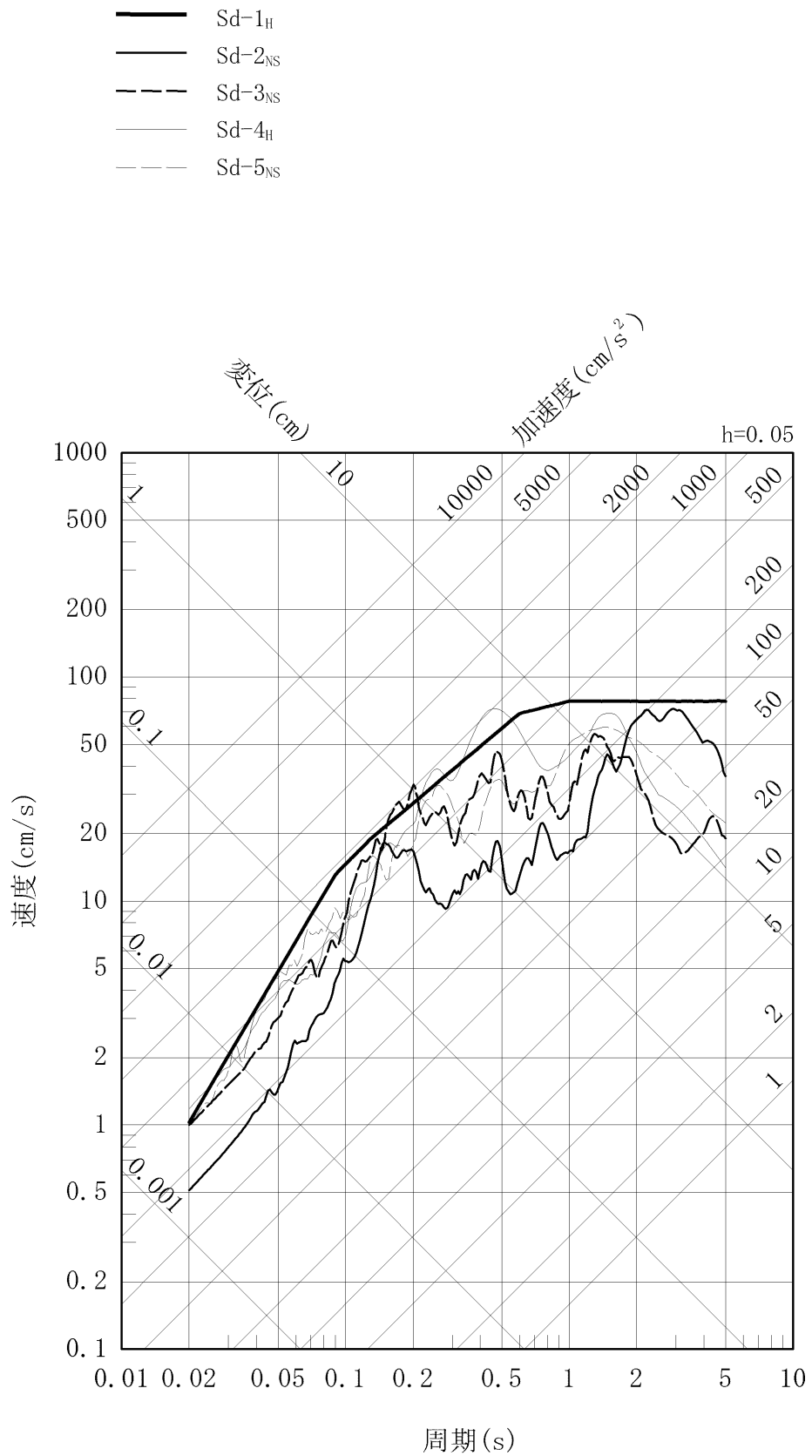
Sd：弾性設計用地震動により定まる地震力

Sb：Bクラス施設に適用される地震力

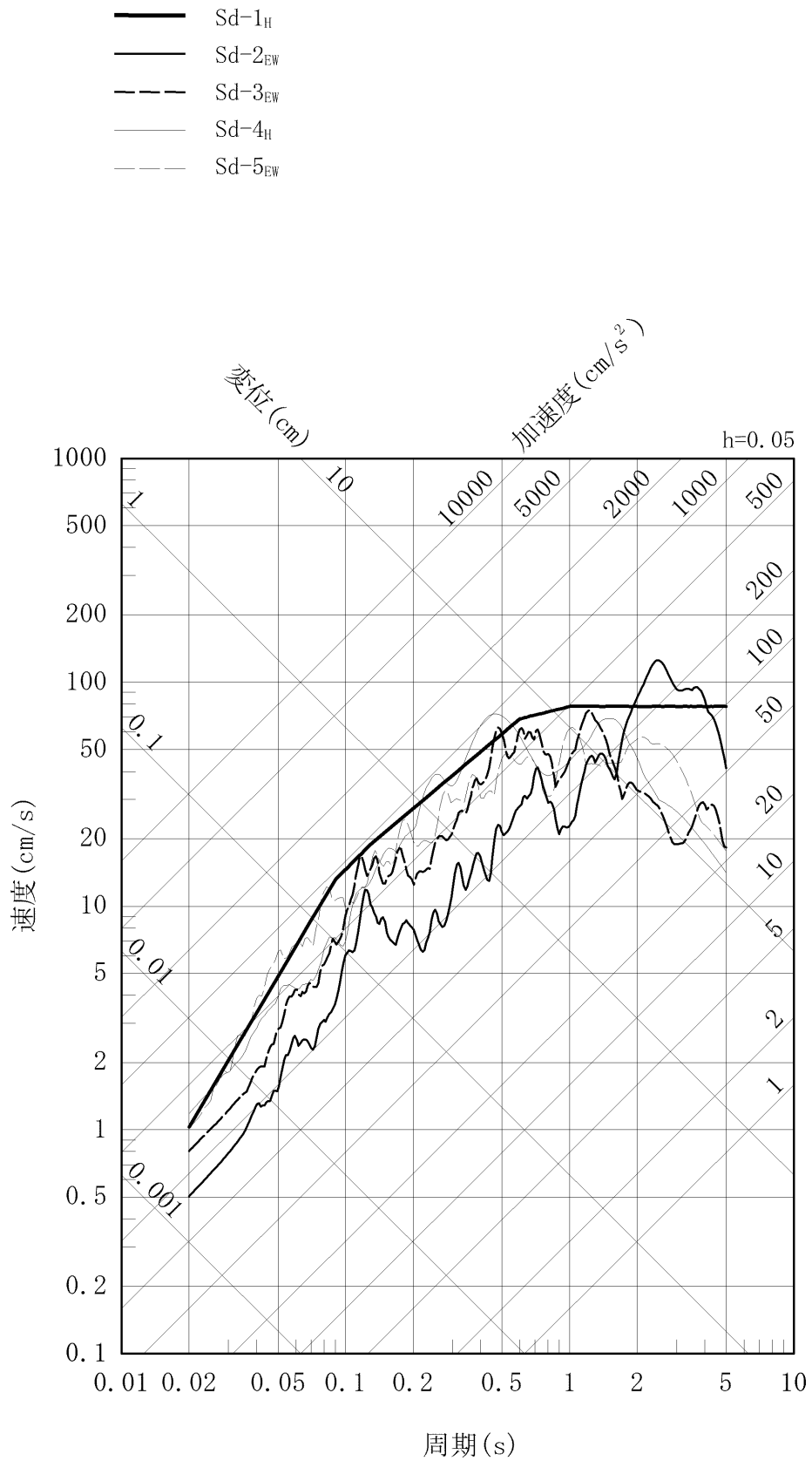
Sc：Cクラス施設に適用される静的地震力

(注7) 基準地震動 Ss による地震力に対して、機能を保持できるものとする。

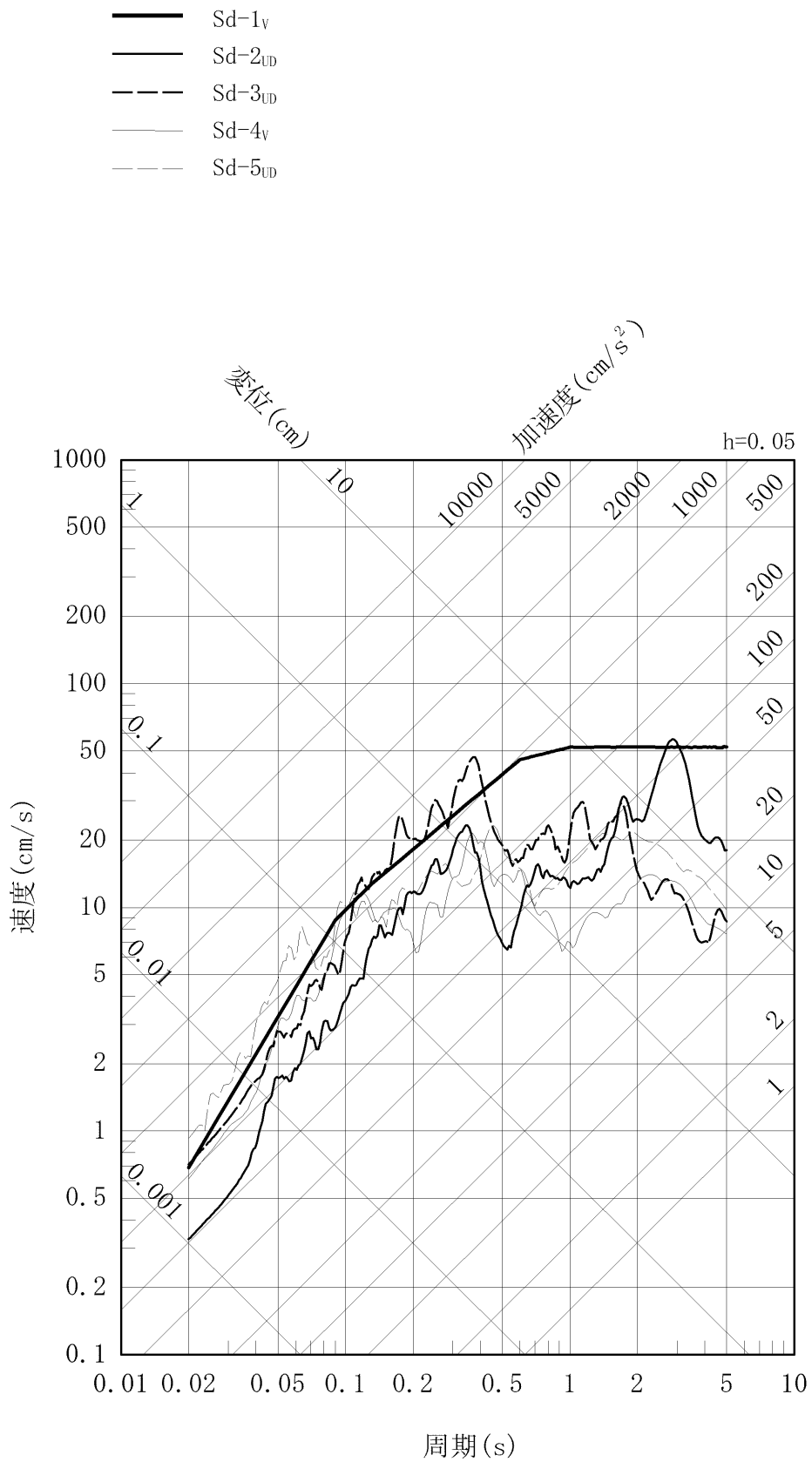
(注8) 使用済燃料乾式貯蔵建屋のうち遮へい機能を期待するものに限る。使用済燃料乾式貯蔵施設の周辺施設 (使用済燃料乾式貯蔵容器支持部、基礎を除く。) のうち使用済燃料乾式貯蔵建屋以外については、耐震重要度Cクラスに準じた設計とする。



第 1. 4. 1 図 弾性設計用地震動の応答スペクトル (水平方向 : NS)

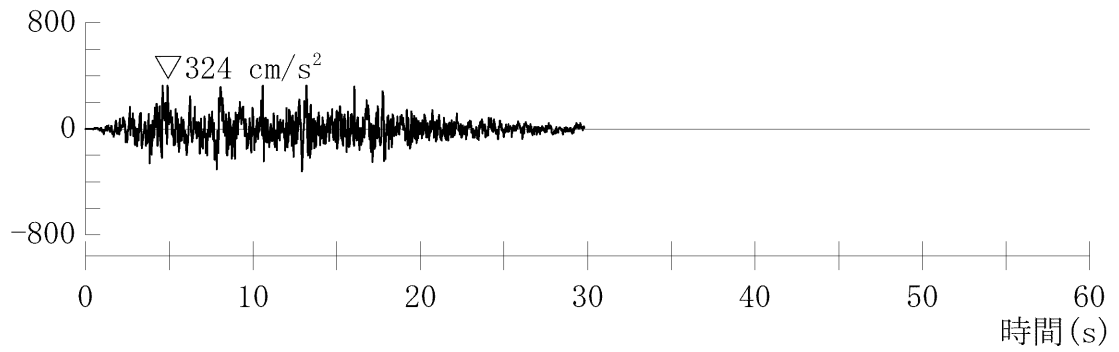


第 1. 4. 2 図 弾性設計用地震動の応答スペクトル (水平方向 : EW)



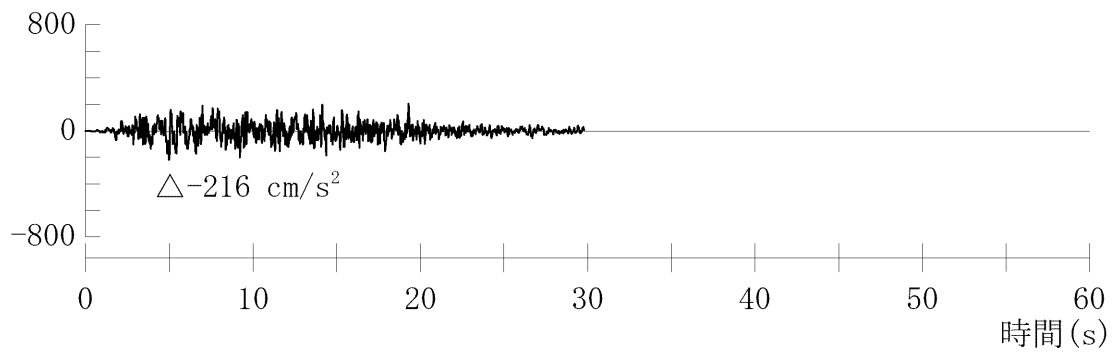
第 1.4.3 図 弾性設計用地震動の応答スペクトル (鉛直方向)

加速度 (cm/s^2)



加速度 (水平方向 : Sd-1_H)

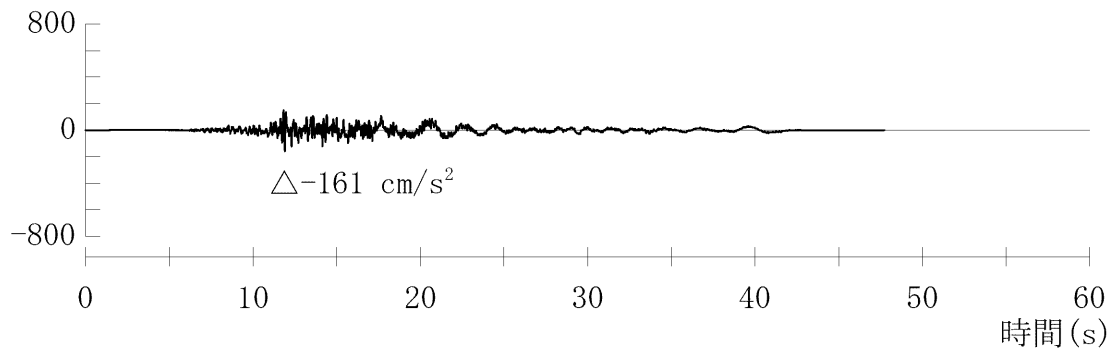
加速度 (cm/s^2)



加速度 (鉛直方向 : Sd-1_V)

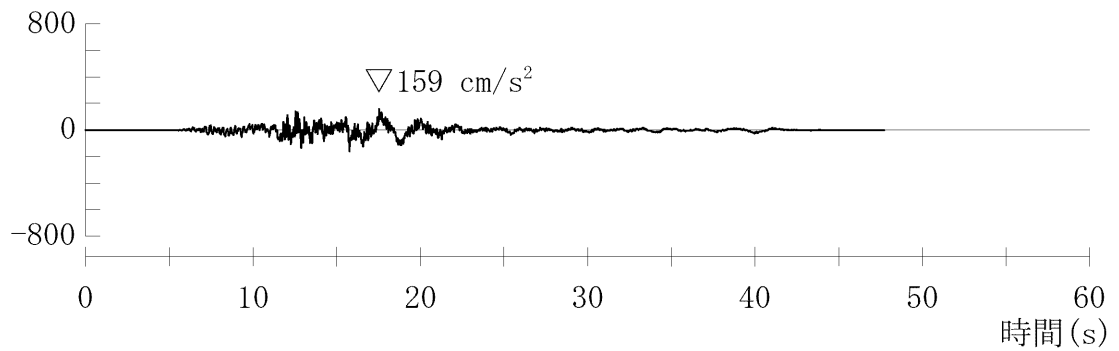
第 1.4.4 図 弾性設計用地震動 Sd-1 の時刻歴波形

加速度 (cm/s²)



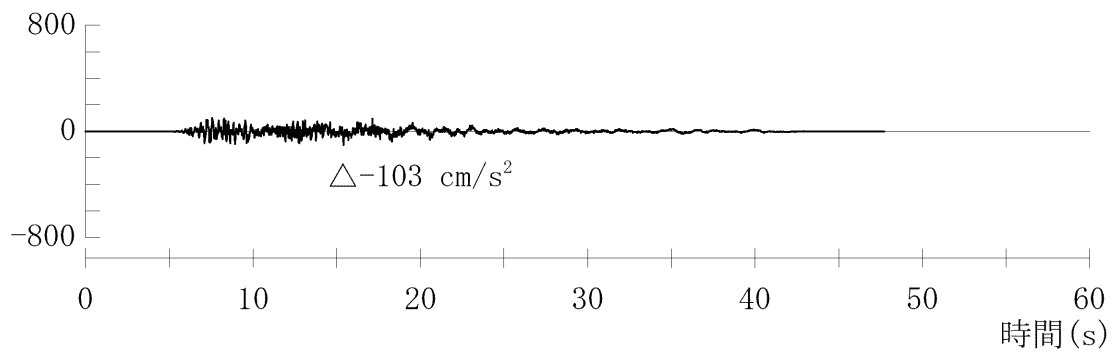
加速度 (水平方向 : Sd-2_{NS})

加速度 (cm/s²)



加速度 (水平方向 : Sd-2_{EW})

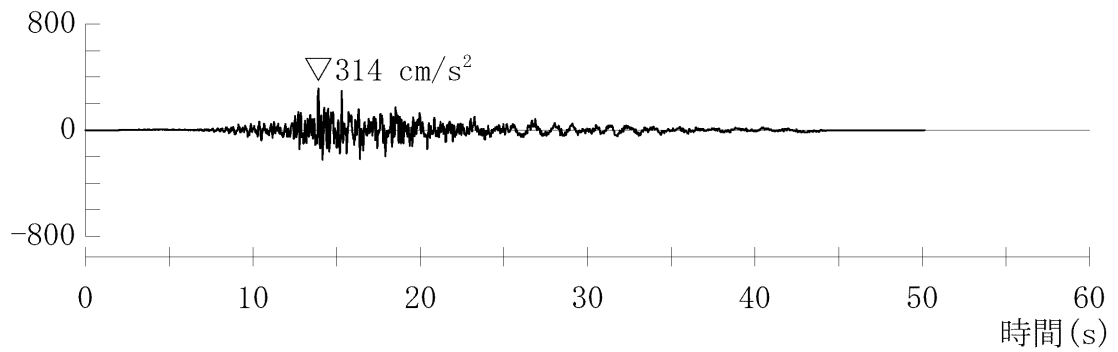
加速度 (cm/s²)



加速度 (鉛直方向 : Sd-2_{UD})

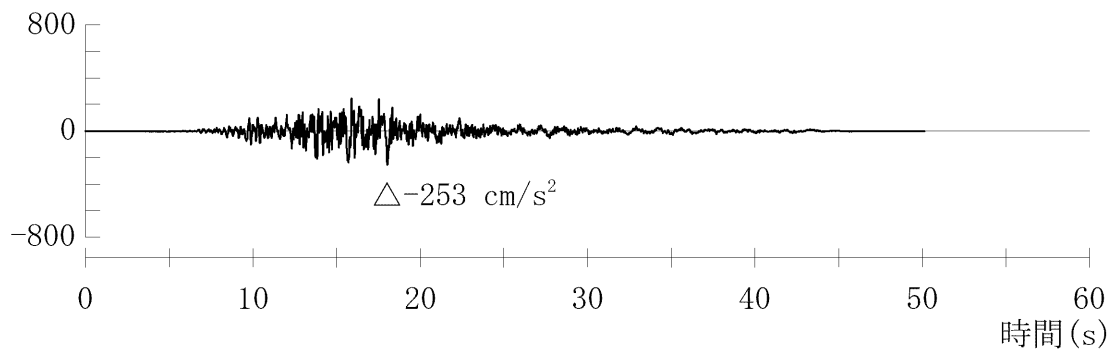
第 1.4.5 図 弾性設計用地震動 Sd-2 の時刻歴波形

加速度 (cm/s^2)



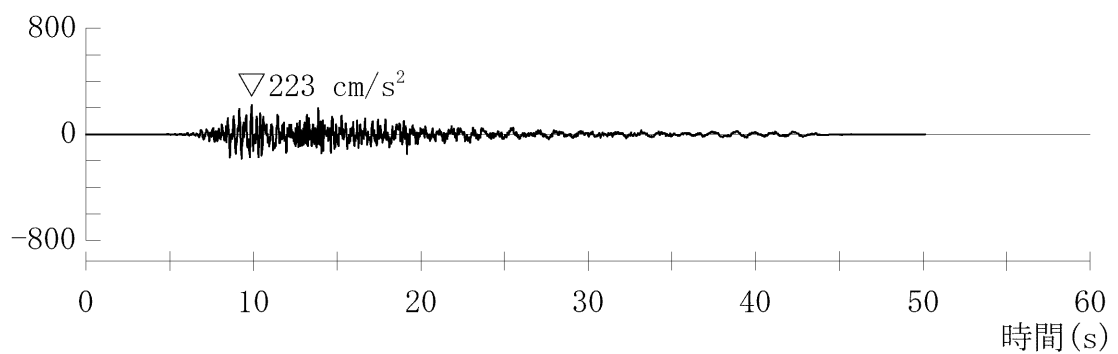
加速度 (水平方向 : Sd-3_{NS})

加速度 (cm/s^2)



加速度 (水平方向 : Sd-3_{EW})

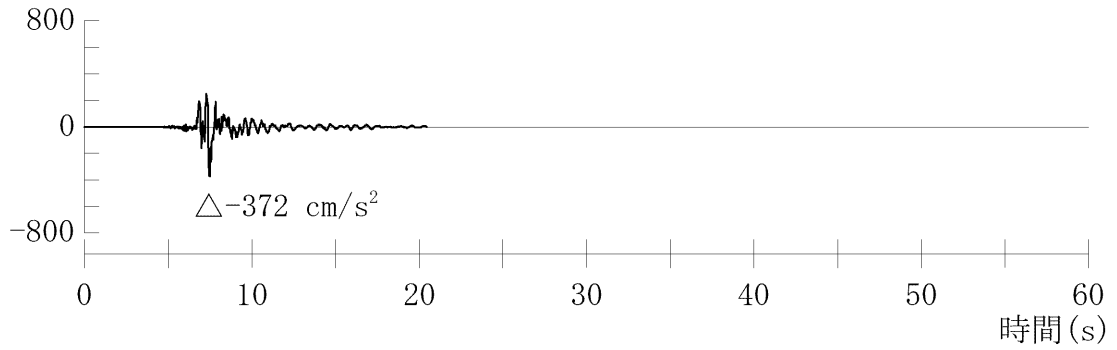
加速度 (cm/s^2)



加速度 (鉛直方向 : Sd-3_{UD})

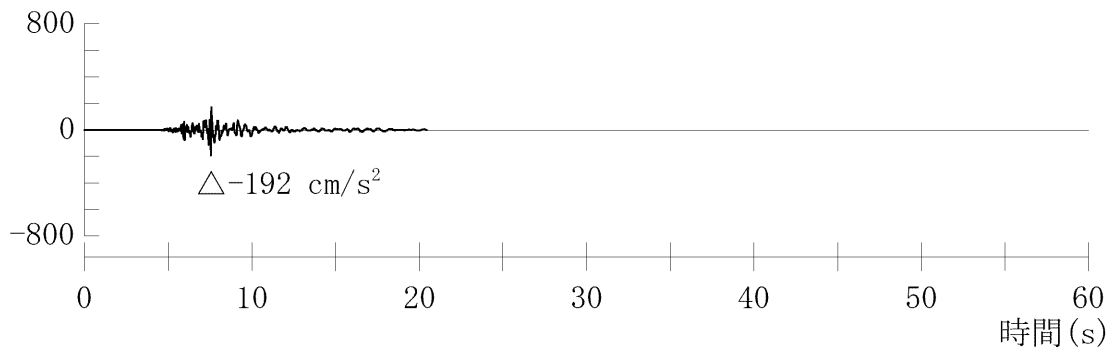
第 1.4.6 図 弾性設計用地震動 Sd-3 の時刻歴波形

加速度 (cm/s^2)



加速度 (水平方向 : Sd-4_H)

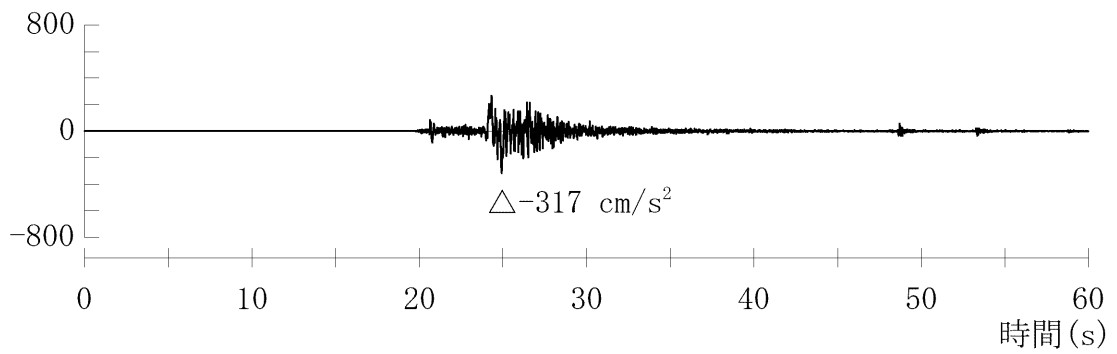
加速度 (cm/s^2)



加速度 (鉛直方向 : Sd-4_V)

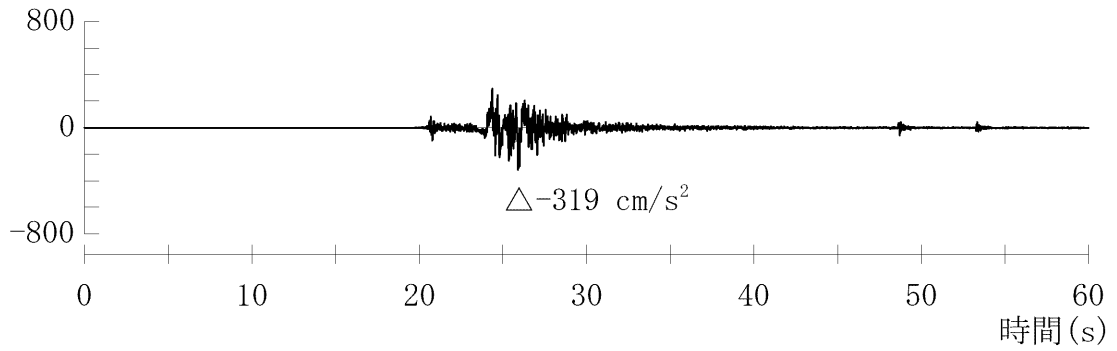
第 1.4.7 図 弾性設計用地震動 Sd-4 の時刻歴波形

加速度 (cm/s²)



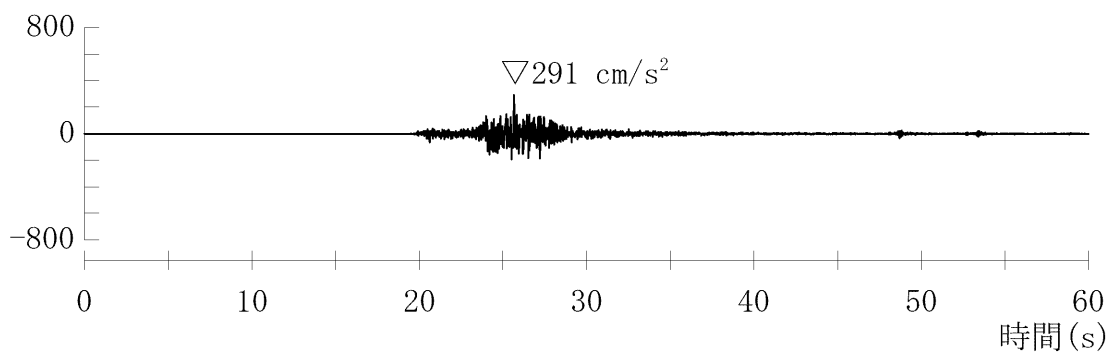
加速度 (水平方向 : Sd-5_{NS})

加速度 (cm/s²)



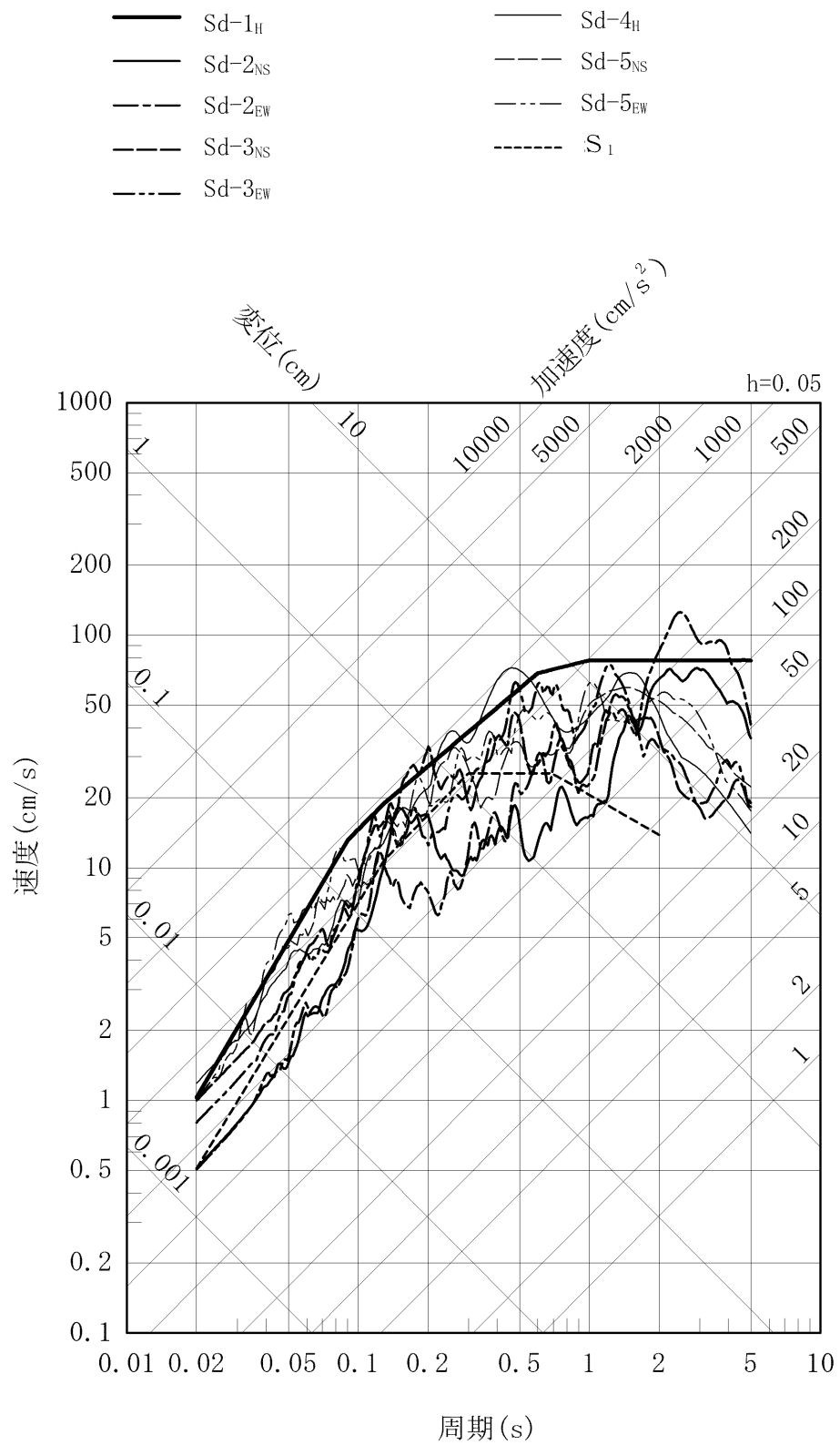
加速度 (水平方向 : Sd-5_{EW})

加速度 (cm/s²)

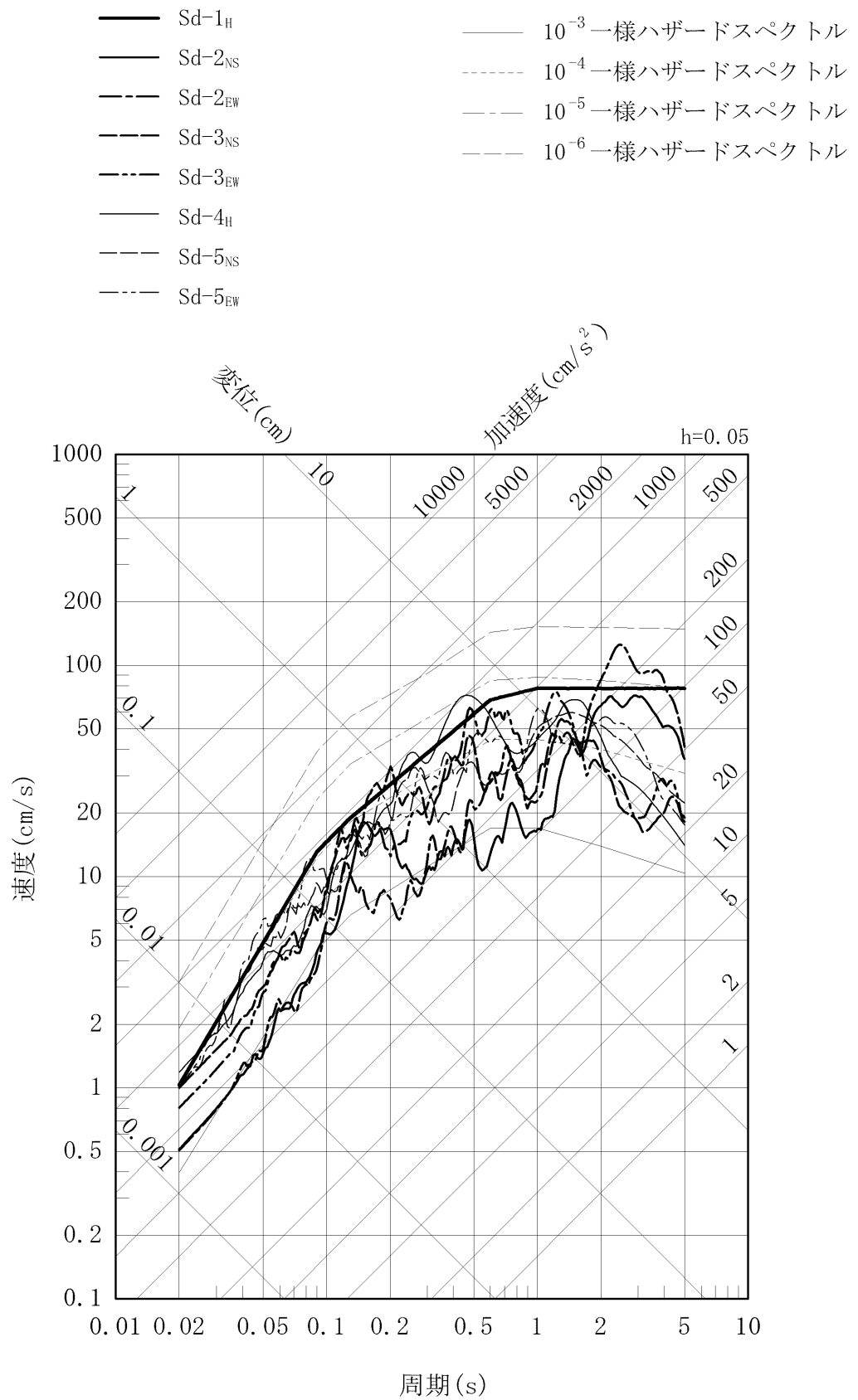


加速度 (鉛直方向 : Sd-5_{UD})

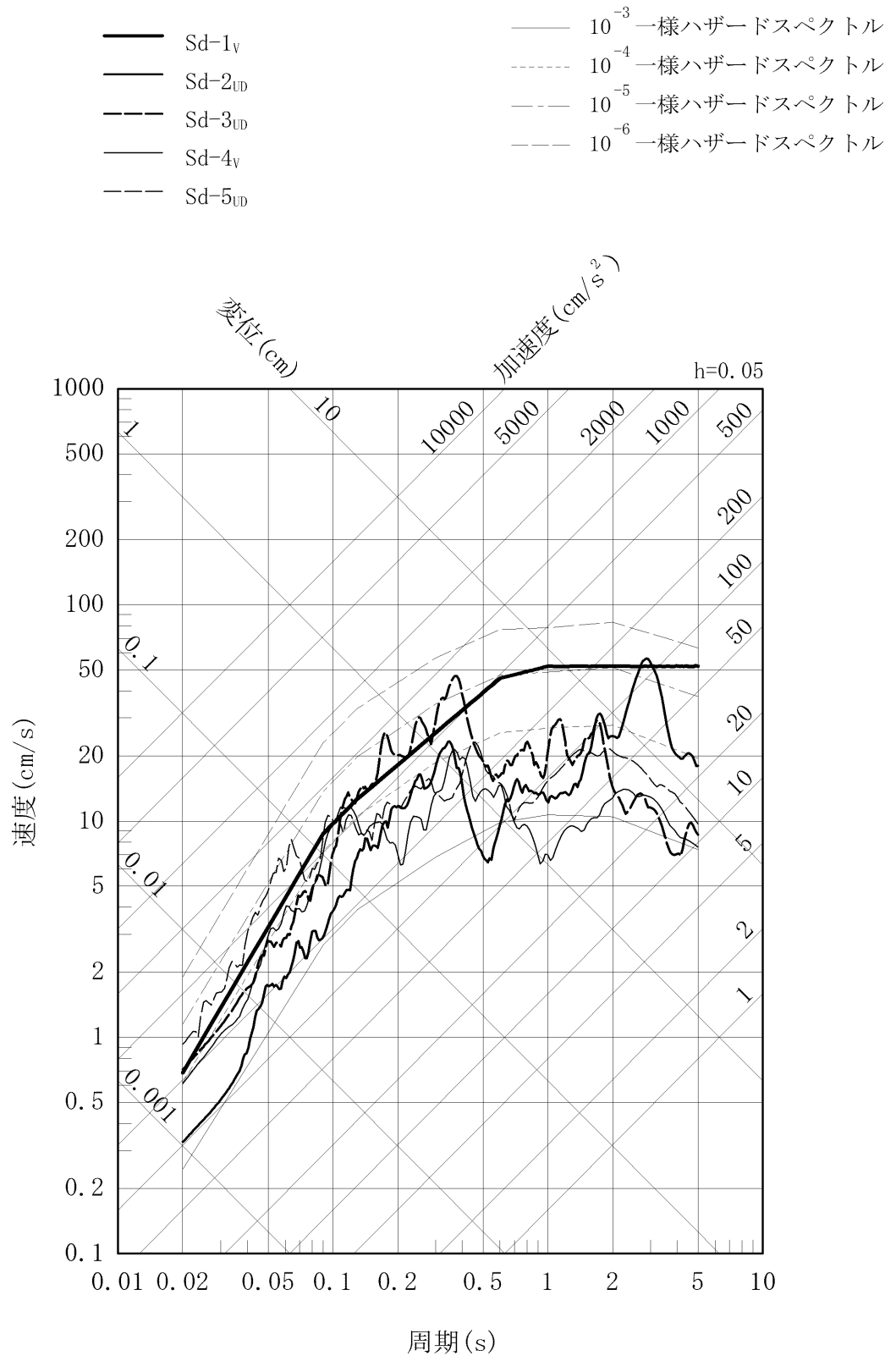
第1.4.8図 弾性設計用地震動Sd-5の時刻歴波形



第 1. 4. 9 図 弾性設計用地震動と旧耐震指針における
基準地震動 S₁ の比較 (水平方向)



第 1.4.10 図 弾性設計用地震動の応答スペクトル及び解放基盤表面における地震動の一様ハザードスペクトルの比較 (水平方向)



第 1.4.11 図 弾性設計用地震動の応答スペクトル及び解放基盤表面における地震動の一様ハザードスペクトルの比較 (鉛直方向)

1.13 参考文献

(9) 「静的地震力の見直し（建築編）に関する調査報告書（概要）」

（社）日本電気協会 電気技術調査委員会原子力発電耐震設計特別調査委員会建築部
会 平成6年3月

(3) 適合性説明

(地震による損傷の防止)

第四条 設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。
2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。
6 兼用キャスクは、次のいずれかの地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。
一 兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定めるもの
二 基準地震動による地震力
7 兼用キャスクは、地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

適合のための設計方針

1 について

使用済燃料乾式貯蔵施設は、耐震重要度分類をSクラス、Bクラス又はCクラスに分類し、それぞれに応じた地震力に対しておおむね弾性範囲の設計を行う。

なお、耐震重要度分類及び地震力については、「2 について」に示すとおりである。

2 について

使用済燃料乾式貯蔵施設は、地震により発生するおそれがある安全機能の喪失（地震に伴って発生するおそれがある津波及び周辺斜面の崩壊等による安全機能の喪失を含む。）及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度に応じて、以下のとおり、耐震重要度分類をSクラス、Bクラス又はCクラスに分類し、それぞれに応じた地震力を算定する。

(1) 耐震重要度分類

Sクラス：地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を

軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの

Bクラス：安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラスの施設と比べ小さい施設

Cクラス：Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設

(2) 地震力

上記(1)のSクラスの施設(津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備及び使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。)、Bクラス及びCクラスの施設に適用する地震力は以下のとおり算定する。

なお、Sクラスの施設については、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力を適用する。

a. 静的地震力

静的地震力は、Sクラス、Bクラス及びCクラスの施設に適用することとし、それぞれ耐震重要度分類に応じて次の地震層せん断力係数 C_i 及び震度に基づき算定する。

(a) 建物・構築物

水平地震力は、地震層せん断力係数 C_i に、次に示す施設の耐震重要度分類に応じた係数を乗じ、さらに当該層以上の重量を乗じて算定するものとする。

Sクラス 3.0

Bクラス 1.5

Cクラス 1.0

ここで、地震層せん断力係数 C_i は、標準せん断力係数 C_0 を0.2以上とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。鉛直地震力は、震度0.3以上を基準とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求めた鉛直震度より算定するものとする。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

(b) 機器・配管系

耐震重要度分類の各クラスの地震力は、上記(a)に示す地震層せん断力係数 C_i に施設の耐震重要度分類に応じた係数を乗じたものを水平震度とし、当該水平震度及び上記(a)の鉛直震度をそれぞれ20%増しとした震度より求めるものとする。

なお、Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力は同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とす

る。

b. 弾性設計用地震動による地震力

弾性設計用地震動による地震力は、Sクラスの施設に適用する。

弾性設計用地震動は、添付書類六「7.5 地震」に示す基準地震動に工学的判断から求められる係数0.6を乗じて設定する。

また、弾性設計用地震動による地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせたものとして算定する。

なお、Bクラスの施設のうち、共振のおそれのある施設については、弾性設計用地震動に2分の1を乗じた地震動によりその影響についての検討を行う。当該地震動による地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定するものとする。

6 について

使用済燃料乾式貯蔵容器については、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切な地震動、すなわち添付書類六「7.5 地震」に示す基準地震動による地震力に対して、安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。

基準地震動による地震力は、基準地震動を用いて、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせたものとして算定する。

なお、使用済燃料乾式貯蔵容器については、周辺施設等の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。

7 について

使用済燃料乾式貯蔵容器については、基準地震動による地震力によって生じるおそれがある周辺の斜面の崩壊に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない場所に設置する。

1.2 気象等

該当なし

1.3 設備等

該当なし

1.4 手順等

該当なし

2. 地震による損傷の防止

(別添 1) 使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震設計方針

(別添 2) 使用済燃料乾式貯蔵容器及び貯蔵架台の耐震評価について

(別添 3) 使用済燃料乾式貯蔵施設に対する波及的影響の検討について

(別添 4) 貯蔵建屋の耐震重要度分類の整理について

使用済燃料乾式貯蔵施設の
耐震設計方針

1. 耐震設計の基本方針

設計基準対象施設である使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震設計は、以下の項目に従って行う。

(1) 使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震設計

使用済燃料乾式貯蔵施設については、耐震重要度分類に応じて、適用する地震力に対して、以下の項目に従って耐震設計を行う。

- a. 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（支持部含む。）は、Sクラスの施設に分類し、基準地震動による地震力に対して、設備に要求される機能が保持できるように設計する。
- b. 使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、特段の機能を要求する周辺施設は、設備に要求される機能が保持できるように設計する。
- c. 使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、特段の機能を要求しない周辺施設は、Cクラスの施設に準拠し、建物・構築物については、地震層せん断力係数 C_i に、1.0を乗じて求められる水平地震力、機器・配管系については、1.2を乗じた水平震度から求められる水平地震力に十分に耐えられるように設計する。建物・構築物及び機器・配管系ともに、おおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。
ここで、地震層せん断力係数 C_i は、標準せん断力係数 C_0 を0.2以上とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる値とする。
- d. 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、周辺施設等の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。波及的影響の評価に当たっては、敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、事象選定及び影響評価を行う。なお、影響評価においては使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力を適用する。

(2) 適用規格

適用する規格としては、既往工認で適用実績がある規格のほか、最新の規格基準についても技術的妥当性及び適用性を示した上で適用可能とする。

既往工認で実績のある適用規格を以下に示す。

- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」（社）日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・

補-1984」(社)日本電気協会

- ・「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
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((一社) 日本機械学会、2012年版)
- ・発電用原子力設備規格 材料規格 ((一社) 日本機械学会、2012年版)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－ ((社) 日本建築学会、1999改定)
- ・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)
- ・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－ ((社) 日本建築学会、2005改定)
- ・鉄骨鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説 －許容応力度設計と保有水平耐力－ ((社) 日本建築学会、2001改定)
- ・建築耐震設計における保有耐力と変形性能 ((社) 日本建築学会、1990改定)
- ・建築基礎構造設計指針 ((社) 日本建築学会、2001改定)
- ・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)
- ・使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格 (2007年度版) ((一社) 日本機械学会、2007年版)

2. 耐震重要度分類

使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震重要度分類について、第1表に示す。

3. 地震力の算定方法

使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震設計に用いる地震力の算定方法は、以下のとおりとする。

(1) 静的地震力

静的地震力は、耐震重要度分類に応じて、施設に適用する静的地震力を適用する。

(2) 動的地震力

動的地震力は、基準地震動から定める入力地震動を入力として、動的解析により水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定する。なお、地震力の組合せについては水平2方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用するものとし、影響が考えられる場合には許容限界の範囲内に留まることを確認する。

また、使用済燃料乾式貯蔵施設について、適用する地震力に対して、要求される機能及び構造健全性が維持されることを確認するため、当該施設の構造を適切にモデル化した上での地震応答解析若しくは加振試験、又はその両方を実施する。

(3) 設計用減衰定数

使用済燃料乾式貯蔵施設の応答解析に用いる設計用減衰定数は、安全上適切と認められる規格及び基準、既往の振動実験、地震観測の調査結果等を考慮して適切な値を定める。

4. 荷重の組合せと許容限界

使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震設計における荷重の組合せと許容限界は以下による。

(1) 耐震設計上考慮する状態

地震以外に設計上考慮する状態を次に示す。

a. 使用済燃料乾式貯蔵建屋

- ・使用済燃料乾式貯蔵容器が貯蔵されている状態

使用済燃料乾式貯蔵容器が貯蔵状態にあり、通常自然条件下におかれている状態

ただし、使用済燃料乾式貯蔵容器貯蔵時には、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時を含むものとする。

- ・設計基準事故時の状態

発電用原子炉施設が設計基準事故時にある状態

- ・設計用自然条件

設計上基本的に考慮しなければならない自然条件（積雪、風等）

b. 使用済燃料乾式貯蔵容器

- ・使用済燃料乾式貯蔵容器が貯蔵されている状態

- ・使用済燃料乾式貯蔵容器貯蔵時の異常な過渡変化時の状態

使用済燃料乾式貯蔵容器貯蔵時に予想される機器の単一の故障若しくはその誤作動又は運転員の単一の誤操作及びこれらと類似の頻度

で発生すると予想される外乱によって発生する異常な状態であつて、当該状態が継続した場合には炉心又は原子炉冷却材圧力バウンダリの著しい損傷が生じるおそれがあるものとして安全設計上想定すべき事象が発生した状態

- ・設計基準事故時の状態
発生頻度が運転時の異常な過渡変化より低い異常な状態であつて、当該状態が発生した場合には発電用原子炉施設から多量の放射性物質が放出するおそれがあるものとして安全設計上想定すべき事象が発生した状態
- ・設計用自然条件
設計上基本的に考慮しなければならない自然条件（積雪、風等）

(2) 荷重の種類

a. 使用済燃料乾式貯蔵建屋

- ・使用済燃料乾式貯蔵容器が貯蔵されている状態で常時作用している荷重、すなわち固定荷重、積載荷重、土圧、水圧及び通常の気象条件による荷重
- ・設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重
- ・地震力、風荷重、積雪荷重等
ただし、使用済燃料乾式貯蔵容器貯蔵時には、通常運転時、運転時の荷重には、機器・配管系から作用する荷重が含まれるものとし、地震力には、地震時土圧、機器・配管系からの反力、スロッシング等による荷重が含まれるものとする。

b. 使用済燃料乾式貯蔵容器

- ・使用済燃料乾式貯蔵容器が貯蔵されている状態で作用する荷重
- ・使用済燃料乾式貯蔵容器貯蔵時の異常な変化時の状態で作用する荷重
- ・設計基準事故時の状態で作用する荷重
- ・地震力、風荷重、積雪荷重等

(3) 荷重の組合せ

地震力と他の荷重との組合せは次による。

a. 使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料乾式貯蔵容器の貯蔵時に常時作用している荷重及び、使用済燃料乾式貯蔵容器の貯蔵時の状態で作用する荷重と静的地震力とを組み合わせる。

b. 使用済燃料乾式貯蔵容器

使用済燃料乾式貯蔵容器の貯蔵時の状態で作用する荷重と地震力とを組み合わせる。

c. Cクラスの機器・配管系

使用済燃料乾式貯蔵容器の貯蔵時の状態で作用する荷重と、静的地震力とを組み合わせる。

d. 荷重の組合せ上の留意事項

- (a) 使用済燃料乾式貯蔵容器に作用する地震力のうち動的地震力については、水平2方向と鉛直方向の地震力とを適切に組み合わせ算定するものとする。
- (b) ある荷重の組合せ状態での評価が明らかに厳しいことが判明している場合には、その他の荷重の組合せ状態での評価は行わないことがある。
- (c) 複数の荷重が同時に作用する場合、それらの荷重による応力の各ピークの生起時刻に明らかになずれがあることが判明しているならば、必ずしもそれぞれの応力のピーク値を重ねなくてもよいものとする。
- (d) 使用済燃料乾式貯蔵容器を支持する使用済燃料乾式貯蔵建屋の当該部分の支持機能を確認する場合には、基準地震動と常時作用している荷重及びその他必要な荷重とを組み合わせる。
- (e) 地震と組み合わせる自然現象として、風及び積雪を考慮し、風荷重及び積雪荷重については、施設の設置場所、構造等を考慮して、地震荷重と組み合わせる。

(4) 許容限界

使用済燃料乾式貯蔵施設の地震力と他の荷重とを組み合わせた状態に対する許容限界は次のとおりとし、安全上適切と認められる規格及び基準又は試験等で妥当性が確認されている許容応力等を用いる。

a. 使用済燃料乾式貯蔵建屋

(a) Cクラス施設としての許容限界

建築基準法などの安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

(b) 使用済燃料乾式貯蔵容器を支持する施設としての許容限界

構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有し、使用済燃料乾式貯蔵建屋の終局耐力に対して妥当

な安全余裕を持たせることとする。なお、終局耐力は、使用済燃料乾式貯蔵建屋に対する荷重又は応力を漸次増大していくとき、その変形又は歪みが著しく増加するに至る限界の最大耐力とし、既往の実験式等に基づき適切に定めるものとする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器がそれを支持する使用済燃料乾式貯蔵建屋の変形等に対して、その支持機能を損なわないものとする。

(c) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の保有水平耐力

必要保有水平耐力に対して耐震重要度に応じた安全余裕を有していることを確認する。

b. 使用済燃料乾式貯蔵容器

自重その他の貯蔵時に想定される荷重と、基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件に対して、当該使用済燃料乾式貯蔵容器に要求される機能を保持することを以下のとおり確認する。

密封境界部については、おおむね弾性状態に留まることを確認する。

使用済燃料乾式貯蔵容器の臨界防止機能を担保しているバスケットについては、臨界防止上有意な変形を起こさないことを確認する。

密封境界部以外の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを確認する。

c. Cクラスの機器・配管系

応答が全体的におおむね弾性状態に留まることとする。

d. 基礎地盤の支持性能

基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界は、接地圧が、安全上適切と認められる規格及び基準等による地盤の極限支持力度に対して妥当な余裕を有することを確認する。

静的地震力との組合せに対する許容限界は、接地圧に対して、安全上適切と認められる規格及び基準等による地盤の短期許容支持力度を許容限界とする。

5. 設計における留意事項

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周辺施設等の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。

波及的影響の評価に当たっては、以下の3つの観点をもとに、敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を損なわな

いことを確認する。なお、原子力発電所の地震被害情報をもとに、3つの観点以外に検討すべき事項がないか確認し、新たな検討事項が抽出された場合には、その観点を追加する。

影響評価には、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力を適用して評価を行うこととし、地震動又は地震力の選定に当たっては、施設の配置状況、使用時間等を踏まえて適切に設定する。また、水平2方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用する場合の影響も考慮して評価する。

(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

a. 不等沈下

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力による周辺施設等の設置地盤の不等沈下により、その安全機能を損なわないように設計する。

b. 相対変位

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力による周辺施設等との相対変位により、その安全機能を損なわないように設計する。

(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は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力による隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器との相互影響により、その安全機能を損なわないように設計する。

(3) 使用済燃料乾式貯蔵容器と周辺施設等との相互影響

a. 周辺施設等の損傷、転倒及び落下等による衝突

影響使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力による周辺施設等の損傷、転倒及び落下等により、その安全機能を損なわないように設計する。

b. 周辺斜面の崩壊

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵容器の設計に用いる地震動又は地震力によって生じるおそれがある周辺の斜面の崩壊に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない場所に設置する。

なお、上記検討に当たっては、地震に起因する溢水及び火災の観点からも波及的影響がないことを確認する。

6. 構造計画と配置計画

使用済燃料乾式貯蔵施設の構造計画に際しては、地震の影響が低減されるように考慮する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、原則として剛構造とし、重要な建物・構築物は、地震力に対し十分な支持性能を有する地盤に支持させる。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、貯蔵時の応答性状を適切に評価し、適用する地震力に対して転倒しない設計とする。

周辺施設等は、原則、使用済燃料乾式貯蔵容器に対して離隔をとり配置するか、若しくは基準地震動に対し構造強度を確保することにより、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を損なわない設計とする。

第1表 耐震重要度分類

【 】内は、検討用地震動を示す。

耐震クラス 設備名称	S	C	間接支持構造物
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設 3 使用済燃料貯蔵設備	使用済燃料乾式貯蔵容器 <small>(注1)</small>		使用済燃料乾式貯蔵建屋【Ss】
放射線管理施設 3 生体遮蔽装置		補助遮へい（使用済燃料乾式貯蔵建屋）	使用済燃料乾式貯蔵建屋【Sc】
その他発電用原子炉の附属施設 4 火災防護設備 1 火災区域構造物及び火災区画構造物 2 消火設備		使用済燃料乾式貯蔵建屋 消火設備配管	使用済燃料乾式貯蔵建屋【Sc】 使用済燃料乾式貯蔵建屋【Sc】

(注1) 基準地震動Ssによる地震力に対して、機能を保持できるものとする。

使用済燃料乾式貯蔵容器及び貯蔵架台の
耐震評価について

目次

1. 概要	4 条-別添 2-1
2. 基本方針	4 条-別添 2-2
2.1 構造の説明	4 条-別添 2-2
2.2 評価方針	4 条-別添 2-4
3. 耐震評価箇所	4 条-別添 2-5
3.1 乾式キャスクの耐震評価箇所	4 条-別添 2-5
3.2 貯蔵架台の耐震評価箇所	4 条-別添 2-6
4. 地震応答解析	4 条-別添 2-7
5. 乾式キャスクの応力評価方法	4 条-別添 2-8
5.1 基本方針	4 条-別添 2-8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	4 条-別添 2-8
5.3 評価方法	4 条-別添 2-9
6. 貯蔵架台の応力評価方法	4 条-別添 2-13
6.1 基本方針	4 条-別添 2-13
6.2 荷重の組合せ及び許容応力	4 条-別添 2-13
6.3 評価方法	4 条-別添 2-14

1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵容器（以下「乾式キャスク」という。）及び貯蔵架台の耐震評価は、以下に示す規格及びガイドに従い乾式キャスク及び貯蔵架台の地震応答解析及び応力評価を行い、乾式キャスク及び貯蔵架台に発生する応力が許容値以下となることを確認する。

本資料では乾式キャスクの耐震評価方針及び耐震評価方法を示し、耐震評価結果は工事計画にて示す。

- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1987) (日本電気協会 1987年8月)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1991 追補版) (日本電気協会 1991年12月)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編(JEAG 4601・補-1984) (日本電気協会 1984年9月)
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2012年版) (JSME S NC1-2012) (日本機械学会 2012年12月)
- ・ 発電用原子力設備規格 材料規格(2012年版) (JSME S NJ1-2012) (日本機械学会 2012年12月)
- ・ 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 (原子力規制委員会 2019年3月)
- ・ 使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(2007年度版) ((一社) 日本機械学会、2007年版)

2. 基本方針

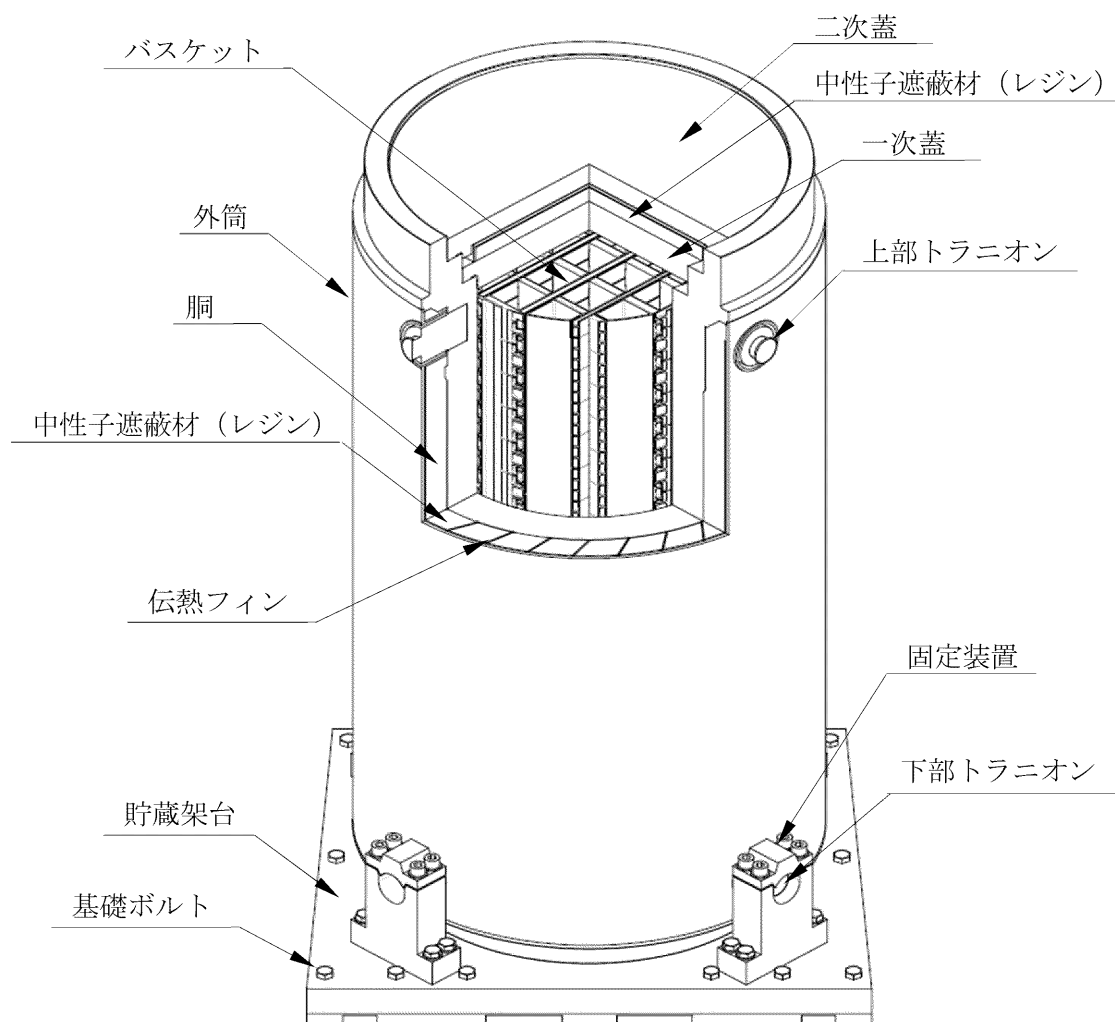
2.1 構造の説明

玄海原子力発電所の乾式キャスクは、基礎に固定した貯蔵架台に設置し、4つの下部トラニオンを固定する方式としている。

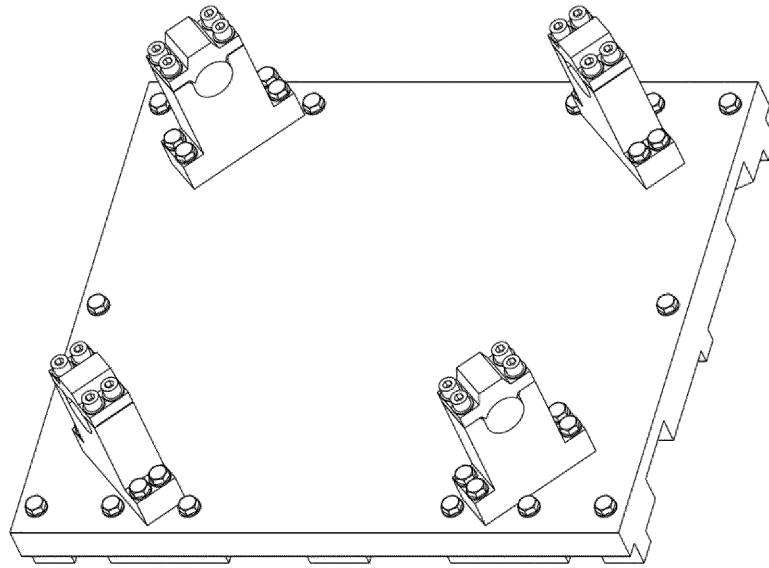
玄海原子力発電所に設置する乾式キャスクの構造を第2-1図に、今回の貯蔵方式における貯蔵架台の構造を第2-2図に示す。

乾式キャスク及び貯蔵架台は、基準地震動 S_s による地震力に対してその安全機能が損なわれるおそれがないように、以下の構造としている。

- ・乾式キャスクは、4つの下部トラニオンを固定する構造とする。
- ・貯蔵架台は、使用済燃料乾式貯蔵建屋（以下「貯蔵建屋」という。）床面に埋め込まれた支持金物に対して、基礎ボルトで固定される構造とする。



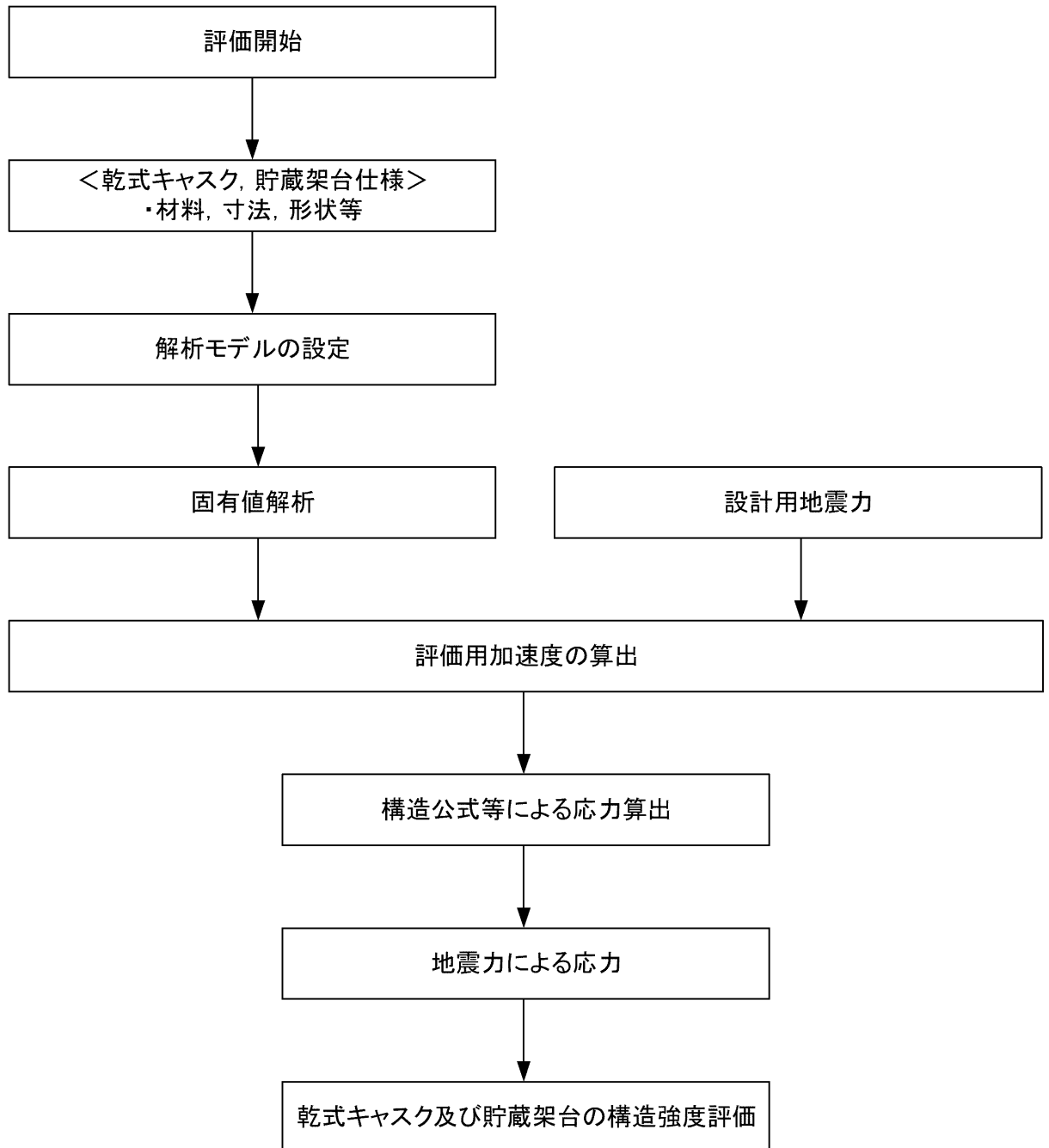
第2-1図 乾式キャスクの構造



第2-2図 貯蔵架台の構造

2.2 評価方針

乾式キャスク及び貯蔵架台の応力評価は、「2.1 構造の説明」にて示す乾式キャスク及び貯蔵架台の構造を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「4. 地震応答解析」で算定した荷重による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 乾式キャスクの応力評価方法」及び「6. 貯蔵架台の応力評価方法」にて示す方法にて確認することで実施する。乾式キャスク及び貯蔵架台の耐震評価フローを第2-3図に示す。



第2-3図 乾式キャスク及び貯蔵架台の耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

本資料で提示する耐震評価箇所については設計及び工事計画認可申請書で評価する部位のうち、代表的な部位を示しており、設計及び工事計画認可申請書の段階では、網羅的に耐震評価を実施する。

なお、その他の部位についても、許認可実績がある構造公式等を用いる方法で評価可能である。

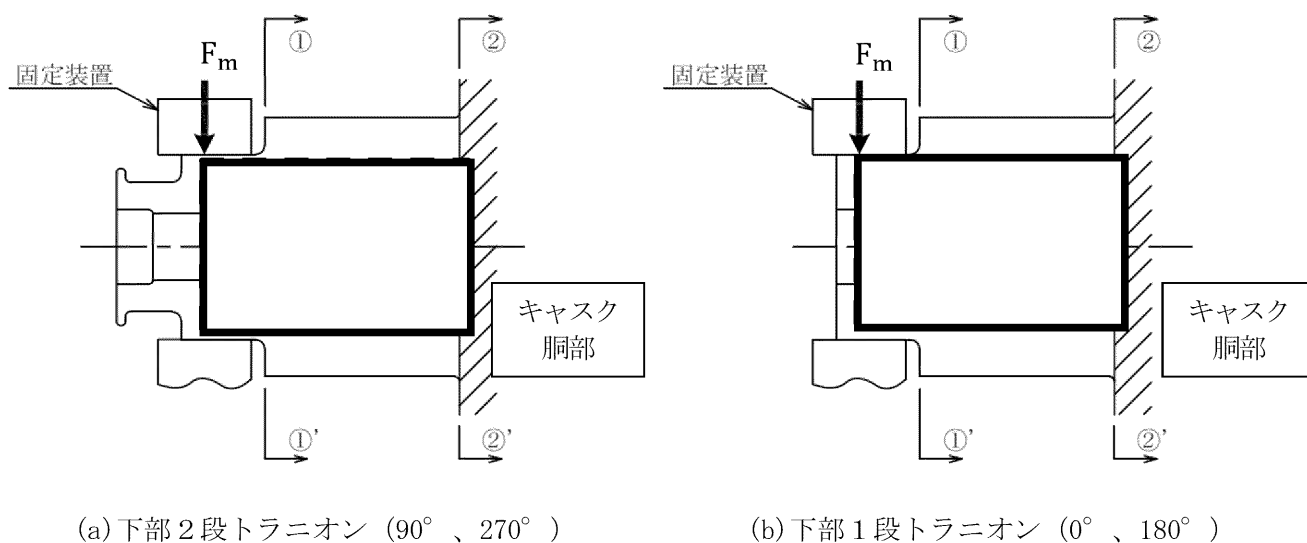
3.1 乾式キャスクの耐震評価箇所

乾式キャスクの耐震評価箇所を第3-1図に示す。

下部トラニオンには、2段トラニオンと、1段トラニオンがあるが、第3-1図に示すとおり、貯蔵架台の固定装置により固定される位置及び胴との接続部から固定位置までの形状は、2段トラニオンと1段トラニオンで同じであるため、解析モデルは共通である。

評価箇所については、貯蔵時の乾式キャスクの安全機能を維持する観点で、固定部であるトラニオンを対象として応力発生箇所を考慮して選定する。

(第3-1表参照)



第3-1図 トラニオンの耐震評価箇所

第3-1表 乾式キャスクの耐震評価箇所及び評価内容

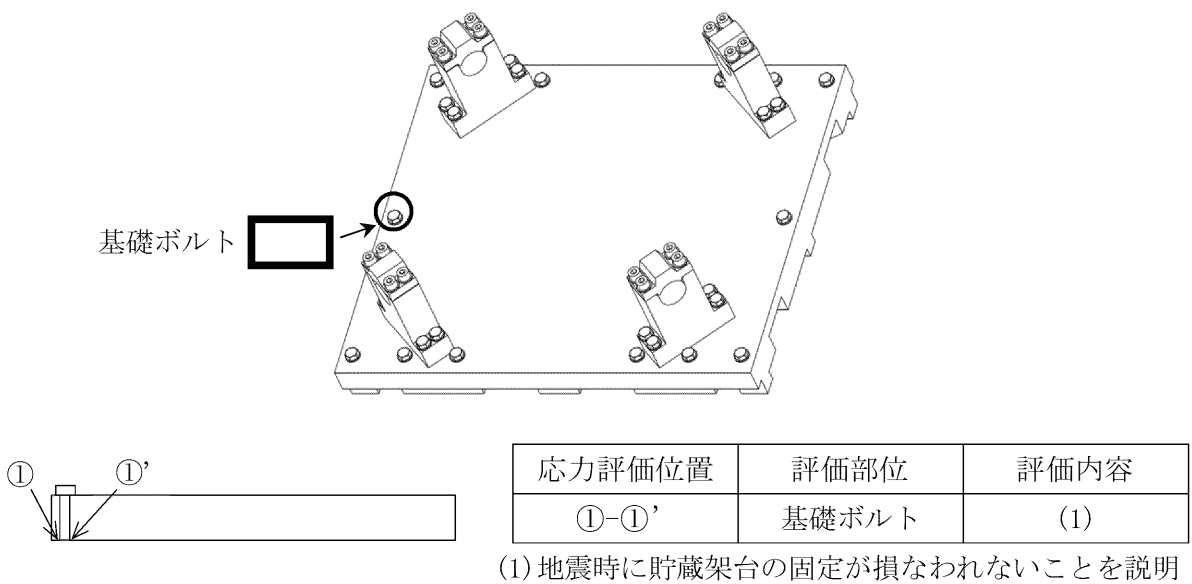
耐震評価箇所		評価内容
①-①'	トラニオン	支持機能を維持できることを評価
②-②'		

☐☐：商業機密に係る事項のため公開できません

3.2 貯蔵架台の耐震評価箇所

貯蔵架台の耐震評価箇所を第3-2図に示す。

貯蔵架台は、貯蔵架台の固定が損なわれないように基礎ボルトを評価断面として選定する。



第 3-2 図 貯蔵架台の耐震評価箇所

☐☐ : 商業機密に係る事項のため公開できません

4. 地震応答解析

乾式キャスク及び貯蔵架台の応力解析に用いる評価用加速度を算定するため、固有値解析を実施する。乾式キャスクは、下部トラニオンを介して貯蔵架台に固定され、貯蔵架台は基礎ボルトを介して床面に固定される。固有振動数を計算するに当たり、乾式キャスクと貯蔵架台の固定方法を考慮した解析モデルを作成し、固有振動数を評価する。また、耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

ここで、固有振動数が 30Hz 以上である場合は最大床加速度の 1.2 倍を、30Hz 未満である場合は設計用床応答曲線からの読み値と最大床加速度の 1.2 倍を比較し、大きい方の値を用いて評価を行う。

5. 乾式キャスクの応力評価方法

5.1 基本方針

乾式キャスクは、「3. 耐震評価箇所」に示す安全機能を維持するための部位について、構造公式より応力評価を行う。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

乾式キャスクはトラニオンで固定されており、剛結合されているため、「4. 地震応答解析」で算出した荷重を与えて評価を行う。乾式キャスクのトラニオンの許容応力は、許容応力状態 IV_{AS} の許容限界（「原子力発電所耐震設計技術指針」、「発電用原子力設備規格設計・建設規格(2012年版)」及び「発電用原子力設備規格材料規格(2012年版)」を基に設定）を適用する。

乾式キャスクのトラニオンの荷重の組合せ及び許容応力状態を第 5-1 表に、許容応力を第 5-2 表に示す。

なお、乾式キャスクのトラニオン以外の部位の許容応力についても、「原子力発電所耐震設計技術指針」、「発電用原子力設備規格設計・建設規格(2012年版)」及び「発電用原子力設備規格材料規格(2012年版)」を基に設定する。

第 5-1 表 乾式キャスクの荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵設備	乾式キャスク	S	クラス3容器	D+P+M+Ss	IV_{AS}

(注) 耐震評価箇所であるトラニオンは、支持構造物であるため、その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

第5-1表 許容応力

許容応力状態	許容限界 ^(注)			
	一次応力		一次+二次応力	
	せん断	曲げ	せん断	曲げ
IV_{AS}	$1.5f_s^*$	$1.5f_b^*$	$3f_s$	$3f_b$
			$\left[\begin{array}{l} Ss地震動のみによる \\ 応力振幅について評価する。 \end{array} \right]$	

(注) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

5.3 評価方法

(1) 一次応力

(a) せん断応力

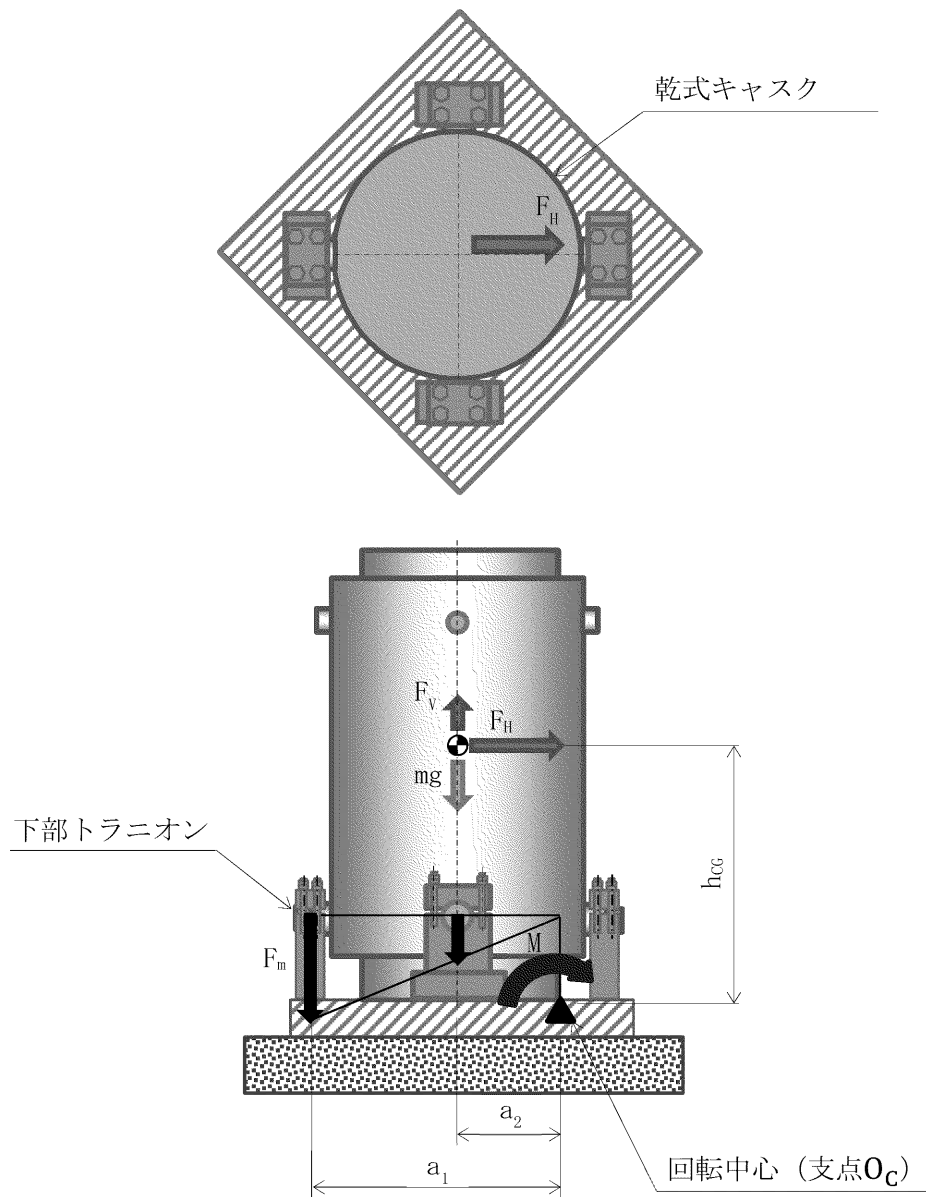
最大応力が発生する箇所は第 3-1 図に示す下部トラニオンの評価位置①-①’

又は②-②' である。水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生するせん断応力 ($\tau_{①, ②}$) は、次式で計算される。また、地震力により下部トラニオンに作用する荷重 (F_m) は、地震時に乾式キャスクに作用する回転モーメントのつり合いより、次式のとおり計算される。(第 5-1 図参照)

$$\left. \begin{aligned} \tau_{①, ②} &= \frac{F_m}{A_{①, ②}} \\ F_m &= \frac{F_H \cdot h_{CG} + (F_V - mg) \cdot a_2}{\left(a_1 + 2 \cdot \frac{a_2^2}{a_1}\right)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.1)$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

- F_H : 水平方向荷重 (N)
- F_V : 鉛直方向荷重 (N)
- m : 貯蔵時における乾式キャスクの質量 (kg)
- g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)
- h_{CG} : 乾式キャスクの底面から重心までの高さ (mm)
- a_1 : 回転支点 O_C から下部トラニオン固定装置の中心までの距離 (mm)
- a_2 : 回転支点 O_C から乾式キャスクの中心までの距離 (mm)
- F_m : 地震力により下部トラニオンに作用する荷重 (N)
- $A_{①}$: 評価位置①-①' の断面積 (mm²)
- $A_{②}$: 評価位置②-②' の断面積 (mm²)



第5-1図 地震時に作用する荷重の解析モデル^(注)

(注) 貯蔵架台とトラニオンの方位は、地震力により下部トラニオンに作用する荷重 F_m が最大となる関係としている。

(b) 曲げ応力

最大応力が発生する箇所は第 3-1 図に示す下部トラニオンの評価位置①-①' 又は②-②' である。水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生する曲げ応力 ($\sigma_{b①, ②}$) は、トラニオンを片持ち梁としてモデル化し、次式で計算される。また、地震力により下部トラニオンに作用する荷重 (F_m) は、地震時に乾式キャスクに作用する回転モーメントのつり合いより、次式のとおり計算される (第 5-1 図参照)。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{b①, ②} &= \frac{M_{①, ②}}{Z_{①, ②}} \\ M_{①, ②} &= F_m \cdot L_{①, ②} \\ F_m &= \frac{F_H \cdot h_{CG} + (F_V - mg) \cdot a_2}{\left(a_1 + 2 \cdot \frac{a_2^2}{a_1}\right)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.2)$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

- $M_{①, ②}$: 曲げモーメント (N・mm)
- F_H : 水平方向荷重 (N)
- F_V : 鉛直方向荷重 (N)
- m : 貯蔵時における乾式キャスクの質量 (kg)
- g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)
- F_m : 地震力により下部トラニオンに作用する荷重 (N)
- a_1 : 回転支点 O_C から下部トラニオン固定装置中心までの距離 (mm)
- a_2 : 回転支点 O_C から乾式キャスクの中心までの距離 (mm)
- h_{CG} : 乾式キャスクの底面から重心までの高さ (mm)
- $Z_{①}$: 評価位置①-①' の断面係数 (mm³)
- $Z_{②}$: 評価位置②-②' の断面係数 (mm³)
- $L_{①}$: 評価位置①-①' と荷重作用位置との距離 (mm)
- $L_{②}$: 評価位置②-②' と荷重作用位置との距離 (mm)

(c) 組合せ応力（曲げ応力とせん断応力）

最大応力が発生する箇所は第3-1図に示す下部トラニオンの評価位置 ①-①' 又は②-②' である。曲げ応力 ($\sigma_{b①, b②}$) とせん断応力 ($\tau_{①, ②}$) との組合せ応力 ($\sigma_{T①, T②}$) は、次式で計算される。

$$\sigma_{T①, T②} = \sqrt{\sigma_{b①, b②}^2 + 3 \cdot \tau_{①, ②}^2} \dots \dots \dots (5.3)$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

- $\sigma_{b①, b②}$: (5.1) 式で計算される値
- $\tau_{①, ②}$: (5.2) 式で計算される値

(2) 一次+二次応力

(a) せん断応力

地震力によるせん断応力 ($\tau_{①, ②}$) の全振幅は、(5.1) 式で求めたせん断応力 ($\tau_{①, ②}$) の2倍とする。

(b) 曲げ応力

地震力による曲げ応力 ($\sigma_{b①, b②}$) の全振幅は、(5.2) 式で求めた曲げ応力 ($\sigma_{b①, b②}$) の2倍とする。

6. 貯蔵架台の応力評価方法

6.1 基本方針

貯蔵架台は、「3. 耐震評価箇所」に示す安全機能を維持するための部位について、構造公式より応力評価を行う。

6.2 荷重の組合せ及び許容応力

貯蔵架台は基礎ボルトで固定されており、「4. 地震応答解析」で算出した荷重を与えて評価を行う。

貯蔵架台の評価部位の許容応力は、許容応力状態 IV_{AS} の許容限界（「原子力発電所耐震設計技術指針」、「発電用原子力設備規格設計・建設規格(2012年版)」及び「発電用原子力設備規格材料規格(2012年版)」を基に設定）を適用する。

貯蔵架台の荷重の組合せ及び許容応力状態を第6-1表に、許容応力を第6-2表に示す。

なお、基礎ボルト以外の部位の許容応力についても、「原子力発電所耐震設計技術指針」、「発電用原子力設備規格設計・建設規格(2012年版)」及び「発電用原子力設備規格材料規格(2012年版)」を基に設定する。

第6-1表 貯蔵架台の荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵設備	貯蔵架台	S	— (注)	D+P+M+Ss	IV_{AS}

(注) その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

第6-2表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 (注) (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV_{AS}	$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$

(注) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

6.3 評価方法

貯蔵架台は、一体構造物であり、乾式キャスクのトラニオンを固定している。

また、基礎ボルトで貯蔵建屋床面と固定し、乾式キャスクを設置した貯蔵架台の横ずれを防止している。

以上のことから、「3. 耐震評価箇所」に示す基礎ボルトについて、応力評価を行う。

なお、架台の定着部は、原則としてボルトの限界引き抜き力に対して、コンクリート設計基準強度及びせん断力算定断面積による引き抜き耐力が上回るよう埋込深さを算定することで、基礎ボルトに対して十分な余裕を持つように設計する。

基礎ボルトの発生応力は、第 6-1 図に示すようにモーメントのつり合いより算出した荷重より、構造公式を用いて求める。応力算出式を以下に示す。

$$M = F_H h_{Vg} + (F_V - mg) h_{Hg} \quad (6.1)$$

$$F_T = \frac{M}{\left(\frac{I_1^2}{I_0} \cdot 2 + I_0 \cdot 6\right)} \quad (6.2)$$

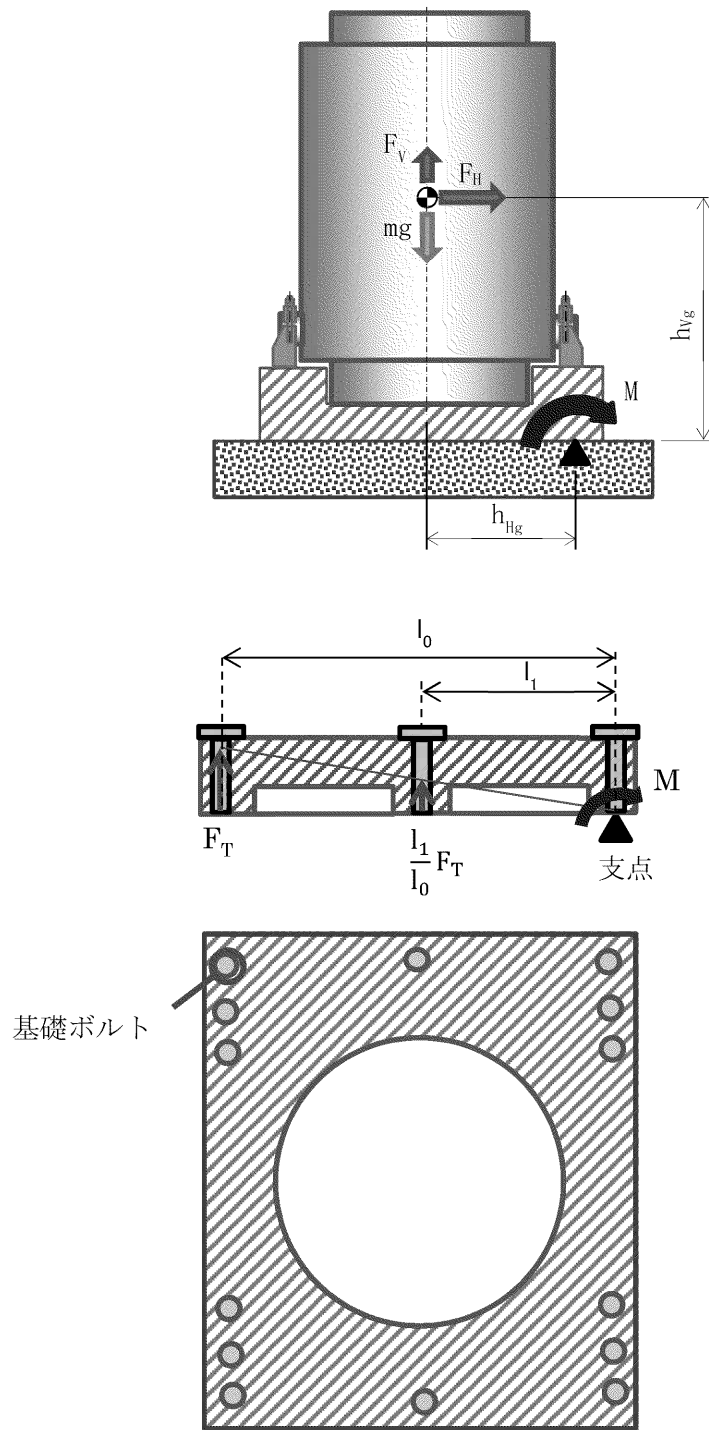
$$\sigma_t = \frac{F_T}{0.75 \cdot A_b} \quad (6.3)$$

$$F_\tau = \frac{F_H}{N} \quad (6.4)$$

$$\sigma_\tau = \frac{F_\tau}{0.75 \cdot A_b} \quad (6.5)$$

ここで、

- M : 貯蔵架台に生じる回転モーメント (N・m)
- F_H : 水平方向荷重 (N)
- F_V : 鉛直方向荷重 (N)
- m : 貯蔵時における乾式キャスク及び貯蔵架台の質量 (kg)
- g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)
- h_{Vg} 、 h_{Hg} : 支点から重心までの水平及び鉛直方向距離 (m)
- F_T : 基礎ボルト 1 本あたりの引張荷重 (N)
- σ_t : 基礎ボルト 1 本あたりの引張応力 (MPa)
- I_0 、 I_1 : 支点から基礎ボルトまでの距離 (m)
- A_b : 基礎ボルトの軸部断面積 (mm²)
- F_τ : 基礎ボルト 1 本あたりのせん断荷重 (N)
- N : 基礎ボルトの本数 (本)
- σ_τ : 基礎ボルト 1 本あたりのせん断応力 (MPa)



第 6-1 図 基礎ボルトの応力算出に用いる諸元

使用済燃料乾式貯蔵施設に対する
波及的影響の検討について

1. 概要

「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」（以下「設置許可基準規則」という。）の解釈の別記4第4条において、兼用キャスクが、周辺施設からの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計するよう要求されている。

玄海原子力発電所の使用済燃料乾式貯蔵施設（以下「乾式貯蔵施設」という。）において、兼用キャスクである使用済燃料乾式貯蔵容器（以下「乾式キャスク」という。）が周辺施設等からの波及的影響によって安全機能を損なわないように設計することとし、ここではその設計方針について示す。

2. 波及的影響の検討方針

波及的影響の検討は以下に示す方針に基づき実施する。

- (1) 設置許可基準規則の解釈の別記4第4条に記載された3つの事項をもとに、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もとに、3つの事項以外に検討すべき事項がないか確認し、新たな検討事項が抽出された場合には、その事項を追加する。

- (2) (1)で整理した検討事象をもとに、乾式キャスクに対して波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等^{*}を抽出する。

※ 使用済燃料乾式貯蔵建屋（以下「貯蔵建屋」という。）内に設置する周辺施設及び乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な機能を有していない設備、並びに貯蔵建屋周辺に位置する施設を対象とする。また、乾式キャスク間の相互影響を考慮し、隣接する乾式キャスクも対象とする。

- (3) (2)で抽出された周辺施設等について、配置、設計、運用上の観点から乾式キャスクの安全機能への影響評価を実施する。

3. 事象検討

3.1 設置許可基準規則の解釈の別記4に基づく事象の検討

設置許可基準規則の解釈の別記4第4条に記載された3つの事項をもとに、以下に具体的な検討事象を整理する。

- 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) 不等沈下に伴う周辺施設等の傾きや倒壊による貯蔵建屋との衝突
 - (2) 地震時の建屋間相対変位による貯蔵建屋との衝突
 - (3) 不等沈下や相対変位による建屋間渡り配管等の損傷
- ② 乾式キャスク間の相互影響
 - (1) 隣接する乾式キャスク同士の衝突
- ③ 乾式キャスクと周辺施設等との相互影響（周辺施設の損傷、転倒、落下等による乾式キャスクへの影響を含む。）
 - (1) 貯蔵建屋外の周辺施設等の損傷、転倒、落下等による貯蔵建屋との衝突
 - (2) 貯蔵建屋内の周辺施設等の損傷、転倒、落下等による乾式キャスクとの衝突
 - (3) 乾式キャスクに接続する周辺施設等の損傷による相互影響
 - (4) 油又は水等を内包する周辺施設等の損傷による火災・溢水

3.2 地震被害事例に基づく事象の検討

また、上記の事項の他に考慮すべき事項がないかを確認するため、原子力施設情報公開ライブラリー（NUC I A）に登録された以下の地震を対象に被害情報を確認する。

（対象とした情報）

- ・ 宮城県沖地震（女川原子力発電所：平成17年8月）
- ・ 能登半島地震（志賀原子力発電所：平成19年3月）
- ・ 新潟県中越沖地震（柏崎刈羽原子力発電所：平成19年7月）
- ・ 駿河湾地震（浜岡原子力発電所：平成21年8月）
- ・ 東北地方太平洋沖地震（女川原子力発電所、東海第二発電所、福島第二発電所：平成23年3月 ※NUC I A最終報告を対象とした。）

被害事象とその要因を整理した結果、別記4の3つの観点以外に特に追加すべき事項がないことを確認した。

3.3 火災、溢水による影響評価

地震に起因する火災、溢水に対して安全機能を有する施設への影響については、設置許可基準規則第8条（火災による損傷の防止）及び第9条（溢水による損傷の防止）において適合性を確認するため、ここでは検討の対象外とする。

4. 抽出対象

貯蔵建屋内の輸送荷姿以外で静置している乾式キャスク（支持部及び基礎を含む。）
に対して波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等を抽出する。

5. 波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出方法及び影響評価方法

3項で整理した各検討事象に基づき、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影響評価フローを作成し、当該フローに基づき検討を行う。検討事象とフローの整理を第5-1表に示す。

第5-1表 検討事象とフローの整理

検討事象		フロー
①不等沈下又は相対変位による影響	(1) 不等沈下による衝突	第5-2表
	(2) 相対変位による衝突	第5-3表
	(3) 渡り配管等の損傷	第5-4表
②乾式キャスク間の相互影響	(1) 乾式キャスク同士の衝突	第5-5表
③乾式キャスクと周辺施設等との相互影響	(1) 損傷、転倒、落下等による衝突 (建屋外)	第5-6表
	(2) 損傷、転倒、落下等による衝突 (建屋内)	第5-7表
	(3) 接続部の影響	第5-8表

第5-2表 検討フロー（不等沈下による衝突）

フロー	説明
<pre> graph TD Start[貯蔵建屋の周辺に位置する施設] --> D1{不等沈下に伴う当該施設の傾きや倒壊に対して、貯蔵建屋との離隔距離が十分に確保されているか} D1 -- YES --> End1[評価終了] D1 -- NO --> D2{当該施設の設置地盤は基準地震動に対して不等沈下が発生するか} D2 -- NO --> End1 D2 -- YES --> D3{当該施設の構造や重量等から判断し、衝突時に貯蔵建屋の構造強度に影響を及ぼすおそれがあるか※1} D3 -- YES --> End2[対策検討・実施] D3 -- NO --> End1 </pre> <p>..... a</p> <p>..... b</p> <p>..... c</p> <p>..... d</p> <p>..... e</p> <p>※1 防護対象は乾式キャストであるが、貯蔵建屋が倒壊すれば乾式キャストに影響を及ぼすことを考慮し、ここでは貯蔵建屋の構造強度への影響を確認する。</p>	<p>a. 貯蔵建屋の周辺に位置する施設を検討対象とする。</p> <p>b. 地盤の不等沈下に伴う当該施設の傾きや倒壊に対して、貯蔵建屋に衝突しない程度に十分な離隔距離をとって配置されているかを確認する。</p> <p>c. 当該施設の設置地盤は、基準地震動に対して十分な支特性能を持つ岩盤であるかを確認する。</p> <p>d. 当該施設の構造や重量等から判断し、傾きや倒壊により貯蔵建屋に衝突した場合に、貯蔵建屋の構造強度に影響を及ぼすおそれがあるかを確認する。</p> <p>e. 貯蔵建屋の構造強度に影響を及ぼすおそれがある施設に対して、十分な離隔距離の確保や基礎地盤の改良工事等を行い、不等沈下による波及的影響を防止する。</p>

第5-3表 検討フロー (相対変位による衝突)

フロー	説明
<pre> graph TD Start[貯蔵建屋の周辺に位置する施設] --> D1{基準地震動による相対変位量 に対して、貯蔵建屋との離隔距離が 十分に確保されているか} D1 -- YES --> End1[評価終了] D1 -- NO --> D2{当該施設の構造や重量等から 判断し、衝突時に貯蔵建屋の構造強度 に影響を及ぼすおそれがあるか※1} D2 -- YES --> End2[対策検討・実施] D2 -- NO --> End1 </pre> <p>..... a</p> <p>..... b</p> <p>..... c</p> <p>..... d</p> <p>※1 防護対象は乾式キャスクであるが、貯蔵建屋が倒壊すれば乾式キャスクに影響を及ぼすことを考慮し、ここでは貯蔵建屋の構造強度への影響を確認する。</p>	<p>a. 貯蔵建屋の周辺に位置する施設を検討対象とする。</p> <p>b. 基準地震動による相対変位量に対して、貯蔵建屋に衝突しない程度に十分な離隔距離をとって配置されているかを確認する。</p> <p>c. 当該施設の構造や重量等から判断し、相対変位により貯蔵建屋に衝突した場合に、貯蔵建屋の構造強度に影響を及ぼすおそれがあるかを確認する。</p> <p>d. 貯蔵建屋の構造強度に影響を及ぼすおそれがある施設に対して、十分な離隔距離の確保等を行い、相対変位による波及的影響を防止する。</p>

第5-4表 検討フロー (渡り配管等の損傷)

フロー	説明
<pre> graph TD Start[貯蔵建屋と他施設間の渡り配管等] --> D1{渡り配管等の損傷により乾式キャスクの安全機能※を損なうことがあるか} D1 -- NO --> End[Evaluation completed] D1 -- YES --> D2{基準地震動による不等沈下や相対変位に対して、渡り配管等の構造健全性を維持できるか} D2 -- YES --> End D2 -- NO --> Action[対策検討・実施] </pre>	<p>a. 貯蔵建屋と他施設間の渡り配管や電路を検討対象とする。</p> <p>b. 不等沈下や相対変位が生じた場合には渡り配管や電路が損傷することが考えられるため、これらが損傷した場合に、乾式キャスクの安全機能を損なうことがあるかを確認する。</p> <p>c. 基準地震動による不等沈下や相対変位に対して、渡り配管や電路の構造健全性を維持できるかを確認する。</p> <p>d. 乾式キャスクの安全機能を担保するため必要な渡り配管や電路に対して、不等沈下や相対変位を考慮した設計を行い、波及的影響を防止する。</p>

第5-5表 検討フロー（乾式キヤスク同士の衝突）

フロー	説明
<pre> graph TD A[隣接する乾式キヤスク] --> B{基準地震動による変位量※1に対して 乾式キヤスク同士の離隔距離が 十分に確保されているか} B -- YES --> C[評価終了] B -- NO --> D{乾式キヤスク同士の衝突により 乾式キヤスクの安全機能※2が損なわれるか} D -- YES --> E[対策検討・実施] D -- NO --> C </pre> <p>..... a</p> <p>..... b</p> <p>..... c</p> <p>..... d</p>	<p>a. 隣接する乾式キヤスクを検討対象とする。</p> <p>b. 基準地震動による乾式キヤスクの変位量（振れ幅）に対して、乾式キヤスク同士が衝突しない程度に十分な離隔距離をとって配置されているかを確認する。</p> <p>c. 乾式キヤスク同士の衝突により、安全機能を損なうことがあるかを確認する。</p> <p>d. 乾式キヤスク間の離隔距離を十分に確保する等の対策を行い、乾式キヤスク間の相互影響による波及的影響を防止する。</p>

第5-6表 検討フロー（損傷、転倒、落下等による衝突（建屋外））

フロー	説明
<pre> graph TD Start[貯蔵建屋の周辺に位置する施設] --> D1{当該施設の損傷、転倒、落下等 に対して、貯蔵建屋との離隔距離が 十分に確保されているか} D1 -- YES --> End1[評価終了] D1 -- NO --> D2{当該施設の構造や重量等から 判断し、衝突時に貯蔵建屋の構造強度 に影響を及ぼすおそれがあるか※1} D2 -- YES --> D3{当該施設は基準地震動に対して 構造健全性を維持できるか} D2 -- NO --> End1 D3 -- YES --> End1 D3 -- NO --> End2[対策検討・実施] </pre> <p>..... a</p> <p>..... b</p> <p>..... c</p> <p>..... d</p> <p>..... e</p> <p>※1 防護対象は乾式キャスクであるが、貯蔵建屋が倒壊すれば乾式キャスクに影響を及ぼすため、ここでは貯蔵建屋の構造強度への影響を確認する。</p>	<p>a. 貯蔵建屋の周辺に位置する施設を検討対象とする。</p> <p>b. 当該施設の損傷、転倒、落下等に対して、貯蔵建屋に衝突しない程度に十分な離隔距離をとって配置されているかを確認する。</p> <p>c. 当該施設の構造や重量等から判断し、損傷、転倒、落下等により貯蔵建屋に衝突した場合、貯蔵建屋の構造強度に影響を及ぼすおそれがあるかを確認する。</p> <p>d. 当該施設が、地震時に損傷、転倒、落下等が生じないことを確認するため、基準地震動に対して構造健全性を維持できるかを確認する。</p> <p>e. 基準地震動に対して構造健全性を維持できない施設に対して、十分な離隔距離の確保や耐震補強工事等を行い、損傷、転倒、落下等による波及的影響を防止する。</p>

第5-7表 検討フロー（損傷、転倒、落下等による衝突（建屋内））

フロー	説明
<pre> graph TD Start[貯蔵建屋内に設置する周辺施設等] --> D1{当該施設の損傷、転倒、落下等 に対して、乾式キヤスクとの離隔距離が 十分に確保されているか} D1 -- YES --> End[Evaluation completed] D1 -- NO --> D2{当該施設の構造や重量等から 判断し、衝突時に乾式キヤスクの構造 強度に影響を及ぼすおそれがあるか} D2 -- YES --> D3{当該施設は基準地震動に対して 構造健全性を維持できるか} D2 -- NO --> End D3 -- YES --> End D3 -- NO --> Measure[対策検討・実施] </pre>	<p>a. 貯蔵建屋内に設置する周辺施設及び乾式キヤスクの安全機能を維持するために必要な機能を有していない設備を検討対象とする。</p> <p>b. 当該施設の損傷、転倒、落下等に対して、乾式キヤスクに衝突しない程度に十分な離隔距離をとって配置されているかを確認する。</p> <p>c. 当該施設の構造や重量等から判断し、損傷、転倒、落下等により乾式キヤスクに衝突した場合、乾式キヤスクの構造強度に影響を及ぼすおそれがあるかを確認する。</p> <p>d. 当該施設が、地震時に損傷、転倒、落下等が生じないことを確認するため、基準地震動に対して構造健全性を維持できるかを確認する。</p> <p>e. 基準地震動に対して構造健全性を維持できない施設に対して、十分な離隔距離の確保や耐震補強工事等を行い、損傷、転倒、落下等による波及的影響を防止する。</p>

第5-8表 検討フロー (接続部の影響)

フロー	説明
<pre> graph TD A[乾式キヤスクに接続される周辺施設 a] --> B{当該施設の損傷により、 乾式キヤスクの安全機能※を 損なうおそれがあるか} B -- NO --> C[評価終了] B -- YES --> D[※1 乾式キヤスクの安全機能 ・臨界防止機能 ・遮震機能 ・除熱機能 ・閉じ込め機能] D --> E{当該施設は基準地震動に対して 構造健全性を維持できるか} E -- YES --> C E -- NO --> F[対策検討・実施 d] </pre>	<p>a. 乾式キヤスクに接続される周辺施設を検討対象とする。</p> <p>b. 当該施設の損傷により、乾式キヤスクの安全機能を損なうおそれがあるかを確認する。</p> <p>c. 当該施設が、地震時に損傷しないことを確認するため、基準地震動に対して構造健全性を維持できるかを確認する。</p> <p>d. 基準地震動に対して構造健全性を維持できない施設に対して、耐震補強工事等を行い、損傷による波及的影響を防止する。</p>

6. 周辺施設等の抽出結果

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、屋内施設に分けて実施する。

6.1 屋外施設

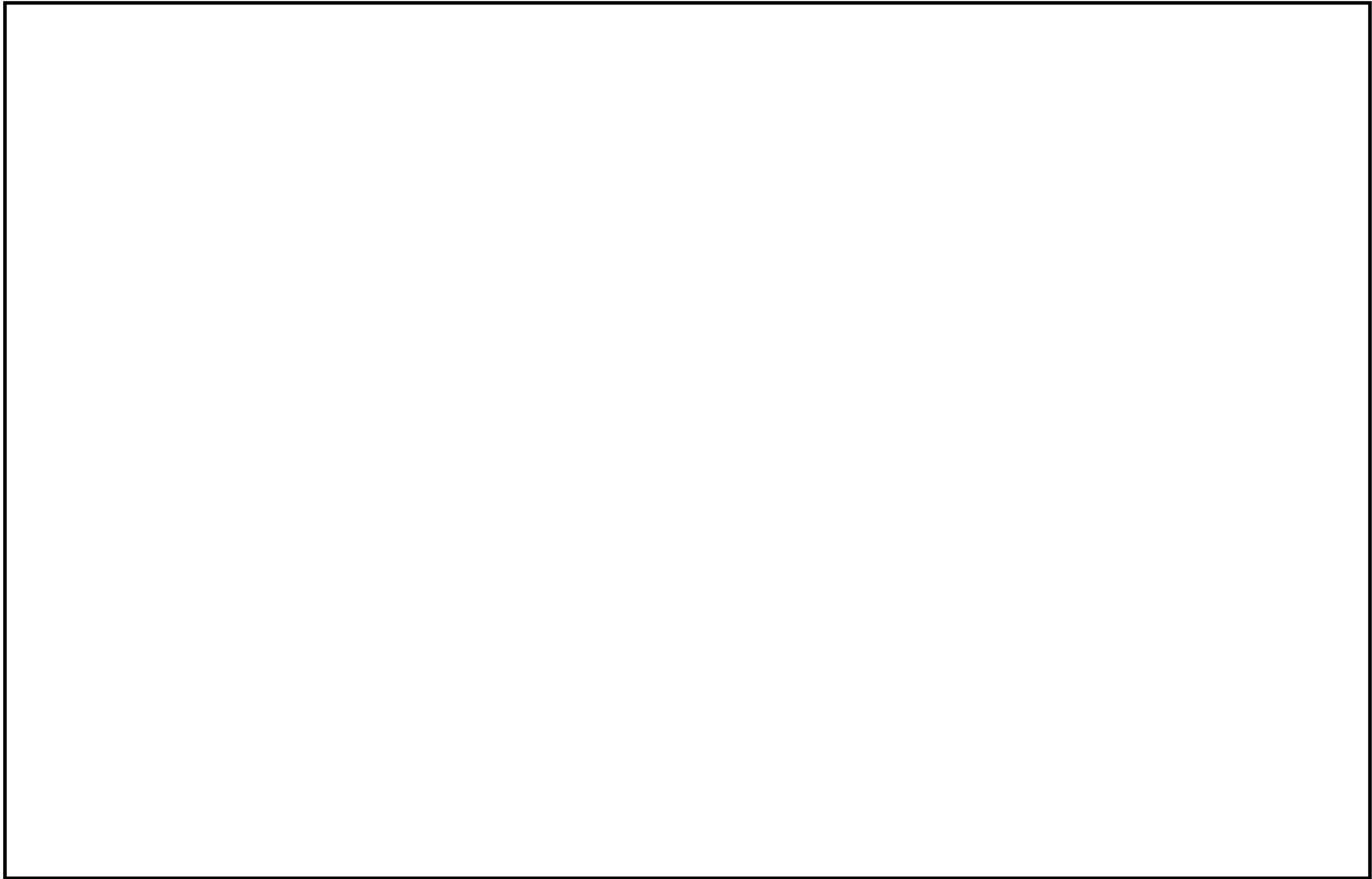
第 6-1 図に示す構内配置図より、以下に示す貯蔵建屋の周辺に位置する施設を抽出し、5 項に示す①及び③の観点の検討フローに基づき、貯蔵建屋及び乾式キャスクに対して波及的影響を及ぼすことがないことを確認する。

貯蔵建屋の周辺には隣接する施設がないため、①の観点により抽出される屋外施設はない。


一方、③の観点により抽出される施設は以下のとおり。

(1) 送電鉄塔

送電鉄塔（500kV 送電鉄塔(No.3) [高さ 97.6m]、) は、貯蔵建屋に対して十分な離隔距離を有していることから、③の観点で波及的影響を及ぼすおそれはない。



第 6-1 図 波及的影響を及ぼすおそれのある屋外施設(不等沈下、相対変位、損傷・転倒・落下影響関連)

: 防護上の観点から公開できません

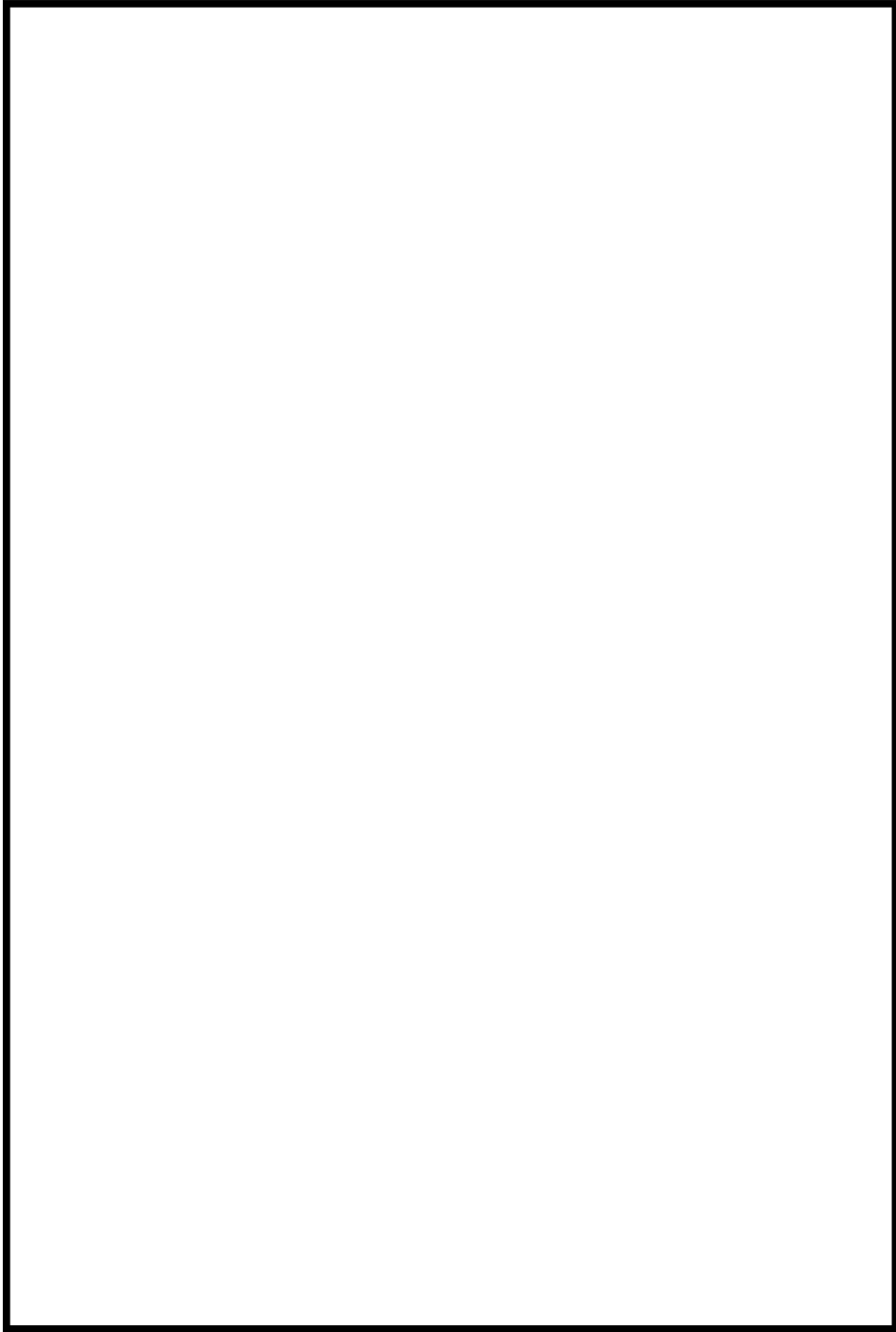
6.2 屋内施設

第 6-2 図及び第 6-3 図に示す貯蔵建屋内配置図より、第 6-1 表に示す貯蔵建屋内に設置する周辺施設等を抽出し、5 項に示す①及び③の観点の検討フローに基づき、乾式キャスクに対して波及的影響を及ぼさない設計とする。


また、隣接する乾式キャスクを対象とし、5 項に示す②の観点の検討フローに基づき、乾式キャスクに対して波及的影響を及ぼさない設計とする。

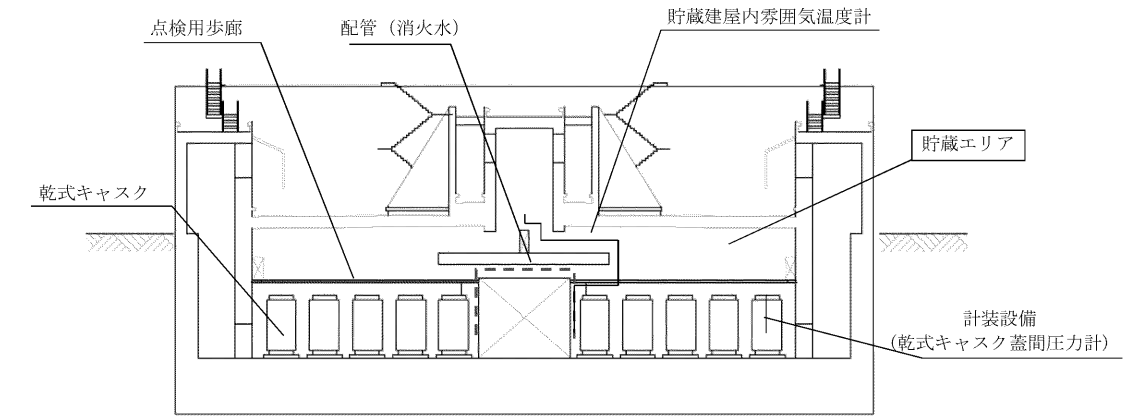
第 6-1 表 貯蔵建屋内に設置する周辺施設等

検討対象の設備	配置	対象とする 検討事象
貯蔵建屋	ー (全体)	③(2)
天井クレーン	取扱エリア	③(2)
搬送台車 (エアパレット)	取扱エリア、貯蔵エリ ア	③(2)
検査架台	取扱エリア	③(2)
点検用歩廊	貯蔵エリア	③(2)
計装設備	貯蔵エリア	③(2)、③(3)
周辺施設へのユーティリティ設備 (電気供給、換気空調)	ユーティリティエリア	③(2)
周辺施設へのユーティリティ設備 (圧 縮空気供給)	取扱エリア	③(2)
渡り配管 (消火水) 及び渡り電路	屋外～取扱エリア	①(3)
配管 (消火水) 及び電路	取扱エリア、貯蔵エリ ア	③(2)
隣接する乾式キャスク	貯蔵エリア	②(1)

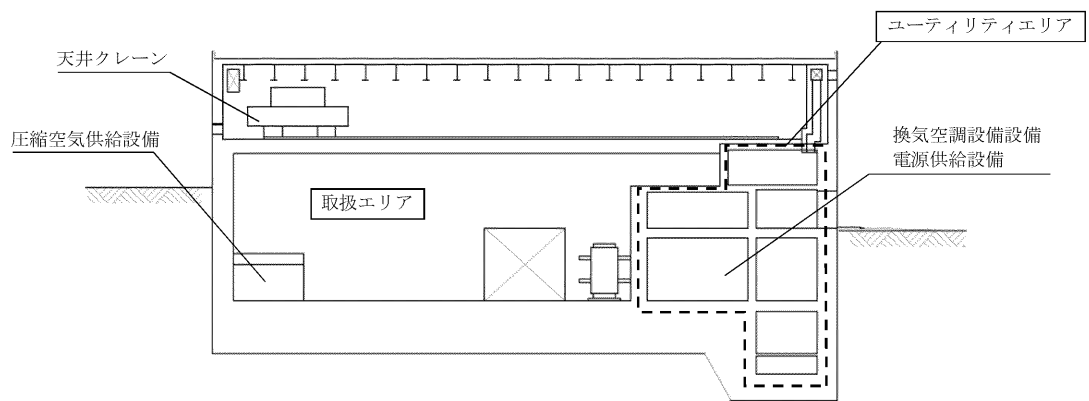


第 6-2 図 貯蔵建屋 平面図

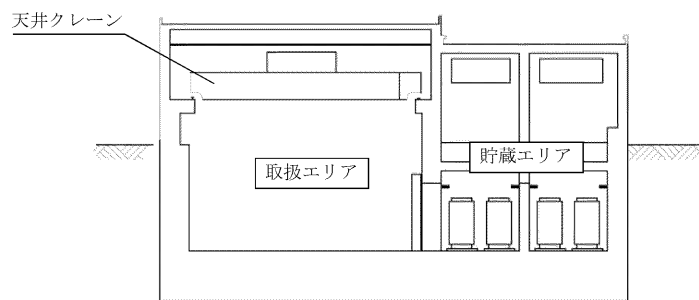
: 防護上の観点から公開できません



A-A 断面



B-B 断面



C-C 断面

第 6-3 図 貯蔵建屋 断面図

抽出した周辺施設等が乾式キャスクに対して波及的影響を及ぼさないように、以下のとおり設計する。

(1) 貯蔵建屋

貯蔵建屋は、離隔距離を確保するなどの配置上の対策は困難であり、地震により損壊した場合に、壁及び天井部が乾式キャスクに衝突することにより、乾式キャスクの安全機能に波及的影響を及ぼすおそれがある。このため、貯蔵建屋は基準地震動 S_s に対して損壊しない設計とする。(第 6-2 図)

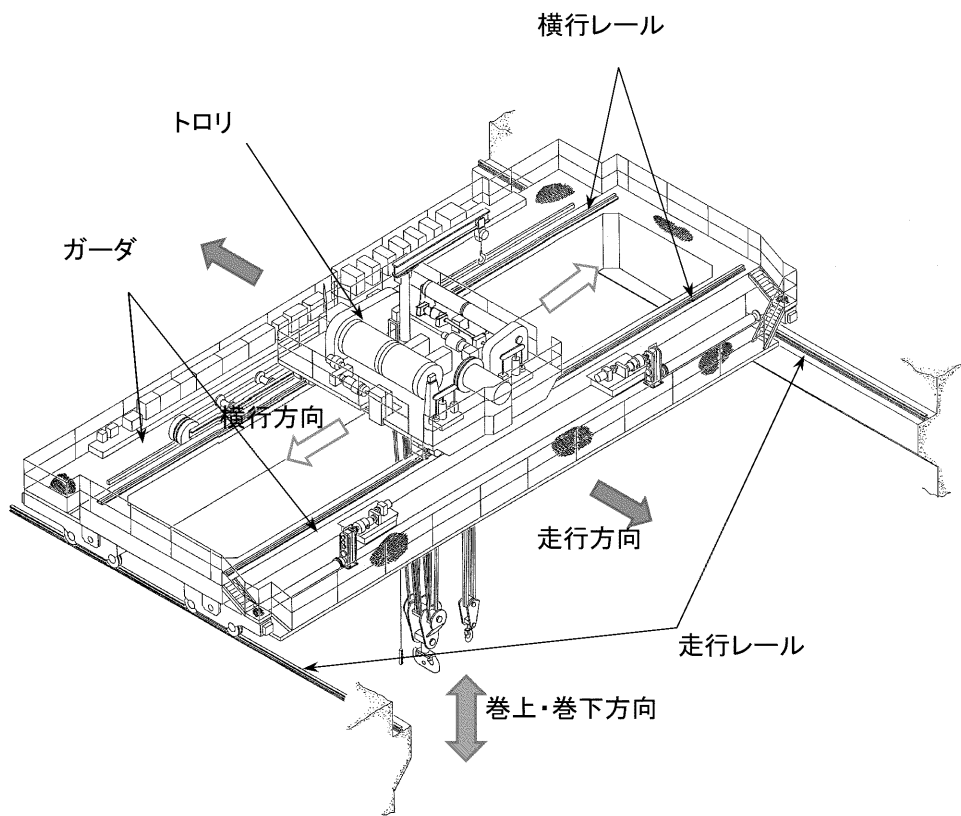
(2) 天井クレーン

天井クレーンの構造図を第 6-4 図に示す。

天井クレーンは、取扱エリアにおいて乾式キャスクを取り扱うために当該キャスクの上方に移動する。

乾式貯蔵建屋は自然現象等に対して頑健な建屋であり、建屋崩落に伴う天井クレーンの落下は生じない設計とすることから頑健な建屋との幾何学的構造から天井クレーンは落下しないと設計とすることに加え、クレーン等安全規則、クレーン構造規格等に基づき、吊荷の落下防止措置、クレーンの落下防止対策等を講じ、基準地震動 S_s が作用した場合であっても波及的影響を及ぼさない設計とする。

なお、貯蔵時の乾式キャスクに対しては波及的影響を及ぼさないように、貯蔵エリアには走行レールを敷設せず、貯蔵エリア上を走行することができない構造としている。(第 6-3 図 C-C 断面)



第 6-4 図 乾式貯蔵建屋天井クレーンの構造イメージ図

(3) 搬送台車（エアパレット）

搬送台車は、乾式キャスクを取扱エリアから貯蔵エリアに搬送するものであり、乾式キャスクは貯蔵架台に載せた状態で搬送される。

なお、仮に搬送台車が搬送中に逸走した場合には、貯蔵されている乾式キャスクの貯蔵架台と、搬送台車または搬送中の貯蔵架台が衝突するおそれがあるが、その際に乾式キャスク同士が衝突しないように、衝突時の乾式キャスクの接近量[※]に対して貯蔵架台端部と乾式キャスク間の水平距離を十分に確保する設計とする。（第 6-2 図）

※：乾式キャスクは貯蔵架台に固定されていることから、衝突時には搬送台車及び乾式キャスク（貯蔵架台含む）が一体で傾く。この場合の貯蔵中の乾式キャスクへの接近量は、直立状態の乾式キャスク端部から、傾いた後の乾式キャスク端部までの水平距離を指す。

(4) 検査架台

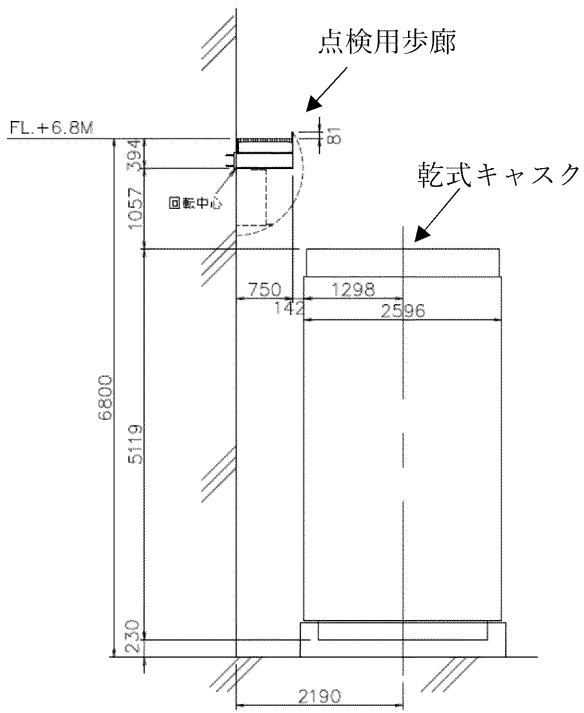
検査架台は、乾式キャスクの検査等のため、乾式キャスクの周囲に配置されるものである。

検査架台については設置許可基準規則第 16 条（燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設）において、乾式キャスクと検査架台の衝突を想定しても、乾式キャスクの安全機能に影響がないことを確認しているため、損傷した場合にも乾式キャスクの安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。（第 6-2 図）

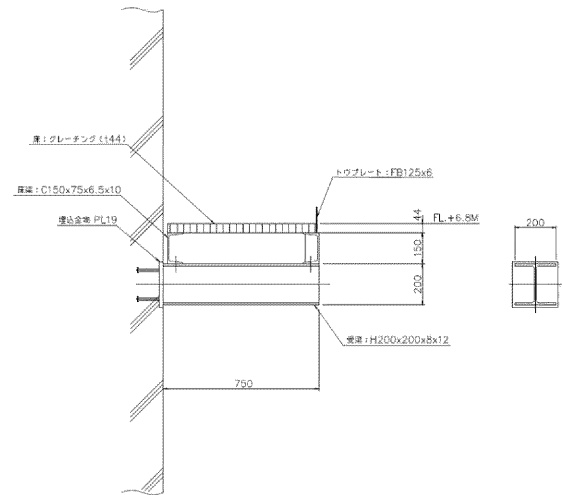
(5) 点検用歩廊

点検用歩廊は、貯蔵状態の乾式キャスクの点検等のため、貯蔵中の乾式キャスクの周囲に設置される。点検用歩廊は、貯蔵中の乾式キャスクへの波及的影響を及ぼさないように、乾式キャスクに衝突しない配置とする。

具体的には、点検用歩廊は、第 6-5 図に示すとおり設置することとしており、構造上最も弱い付け根部が損傷すると、乾式キャスクから遠ざかる方向に破壊が進むよう配置する。（第 6-2 図、第 6-3 図 A-A 断面、第 6-5 図）



キャスクと点検用歩廊の位置関係



点検用歩廊拡大図

第 6-5 図 点検用歩廊詳細図

(6) 計装設備

a. 乾式キャスク蓋間圧力計

乾式キャスク蓋間圧力計は、貯蔵状態の乾式キャスクの一次蓋と二次蓋間の圧力を監視するため、乾式キャスク蓋部及び胴部に設置される。乾式キャスク蓋間圧力計又はその計装配管が損傷した場合においても、乾式キャスクのバウンダリは維持される設計とする。(第6-3図A-A断面)

b. 貯蔵建屋内雰囲気温度計

貯蔵建屋内雰囲気温度計を構成する設備は、建屋内の雰囲気温度を監視するため、建屋排気口付近に設置される。温度計を構成する設備は軽量であり、乾式キャスク内部との接続はないため、損傷した場合にも乾式キャスクの安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。(第6-3図A-A断面)

(7) 周辺施設へのユーティリティ設備

周辺施設へのユーティリティ設備は、主に天井クレーン、エアパレット等への電気・圧縮空気供給設備、作業用の給排気ファンが該当し、主にユーティリティエリアに設置され、乾式キャスクに衝突しない配置としていることから、ユーティリティ設備の転倒及び落下等を想定しても、乾式キャスクの安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。(第6-2図、第6-3図B-B断面)

(8) 渡り配管（消火水）及び渡り電路

乾式貯蔵施設への消火水の給水又は給電のため、貯蔵建屋外から貯蔵建屋内へ渡り配管（消火水）及び渡り電路を設置する。乾式キャスクは自然循環による空冷式であるため、渡り配管（消火水）及び渡り電路が損傷した場合にも乾式キャスクの安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。

(9) 配管（消火水）及び電路

乾式貯蔵施設への消火水の給水又は給電のため、取扱エリア及び貯蔵エリア内に配管（消火水）及び電路を設置する。配管（消火水）及び電路は乾式キャスクに衝突しない程度に、十分離隔距離を確保する設計方針としていることから、配管（消火水）、電路の転倒及び落下等を想定しても乾式キャスクの安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。

配管（消火水）及び電路のうち、設計が確定している配管（消火水）の配置を第6-2図、第6-3図に示す。

(第6-2図、第6-3図C-C断面)

(10) 隣接する乾式キャスク

乾式キャスクを固定するトラニオン及び貯蔵架台の基礎ボルトが基準地震動 S_s に対して支持機能を維持することにより、乾式キャスクが転倒及び移動せず、隣接する乾式キャスクと衝突するおそれの無い設計とする。

7. 検討結果

乾式貯蔵施設の設置にあたって、乾式キャスクが、周辺施設等からの波及的影響によって安全機能を損なわないように設計することとする。

波及的影響として検討すべき事象に基づき、波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出した結果、6項に示す施設又は設備が抽出されたため、当該施設又は設備の設計にあたっては必要な設計上の配慮を行うこととする。このうち、貯蔵建屋及び天井クレーンについては、基準地震動 S_s に対して損壊しない設計とすることで、乾式キャスクへの波及的影響を及ぼさない設計とすることから、設計及び工事計画認可申請においてその耐震計算書を示す。

以 上

使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震重要度分類の整理について

1. 耐震重要度分類の整理

使用済燃料乾式貯蔵建屋（遮へい機能に係る範囲）は設置許可基準規則の別記2を踏まえ、以下に示す理由により耐震重要度分類をCクラスに分類している。

- ・ 設置許可基準規則の別記2において、Bクラスの項目には除外規定も含め「放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設」、「放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、Sクラスに属さない施設」と記載されている。また、Cクラスは「Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設をいう。」とされている。
- ・ 使用済燃料乾式貯蔵建屋は、設置許可基準規則の別記4に記載のとおり乾式キャスクは閉じ込め機能を担保する部位は外力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えることとなっており、放射性物質の外部放散を抑制するための機能（閉じ込め機能）を使用済燃料乾式貯蔵建屋に求めておらず、その機能を有しない。よって、「放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、Sクラスに属さない施設」には該当しない。
- ・ 耐震重要度分類の設定においては、「耐震設計に係る工認審査ガイド」に「JEAG4601*の規定を参考に耐震設計上の重要度分類を適用していること」とされており、設置許可基準規則の別記2とJEAG4601の耐震重要度分類は同等の内容が記載されているため、JEAG4601が適用可能となっている。JEAG4601にはCクラスの対象設備として「放射性物質を内蔵しているか、又はこれに関連した施設でSクラス、Bクラスに属さない施設」が示されている。

※ JEAG4601：「原子力発電所 耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補 - 1984」

なお、破損による影響を定量的に示す観点から、参考として次項にその確認結果を示す。

2. 影響確認について

2.1 確認方法

使用済燃料乾式貯蔵建屋の破損による公衆に与える放射線の影響確認のため、使用済燃料乾式貯蔵建屋がない状態を想定した場合であっても、敷地等境界評価点での線量が周辺監視区域外における線量限度である 1 mSv/y を下回ることを確認する。

確認方法としては、設置許可基準規則第 29 条で示す平常時における敷地等境界における線量評価結果より、使用済燃料乾式貯蔵建屋がない場合の結果を算出する。

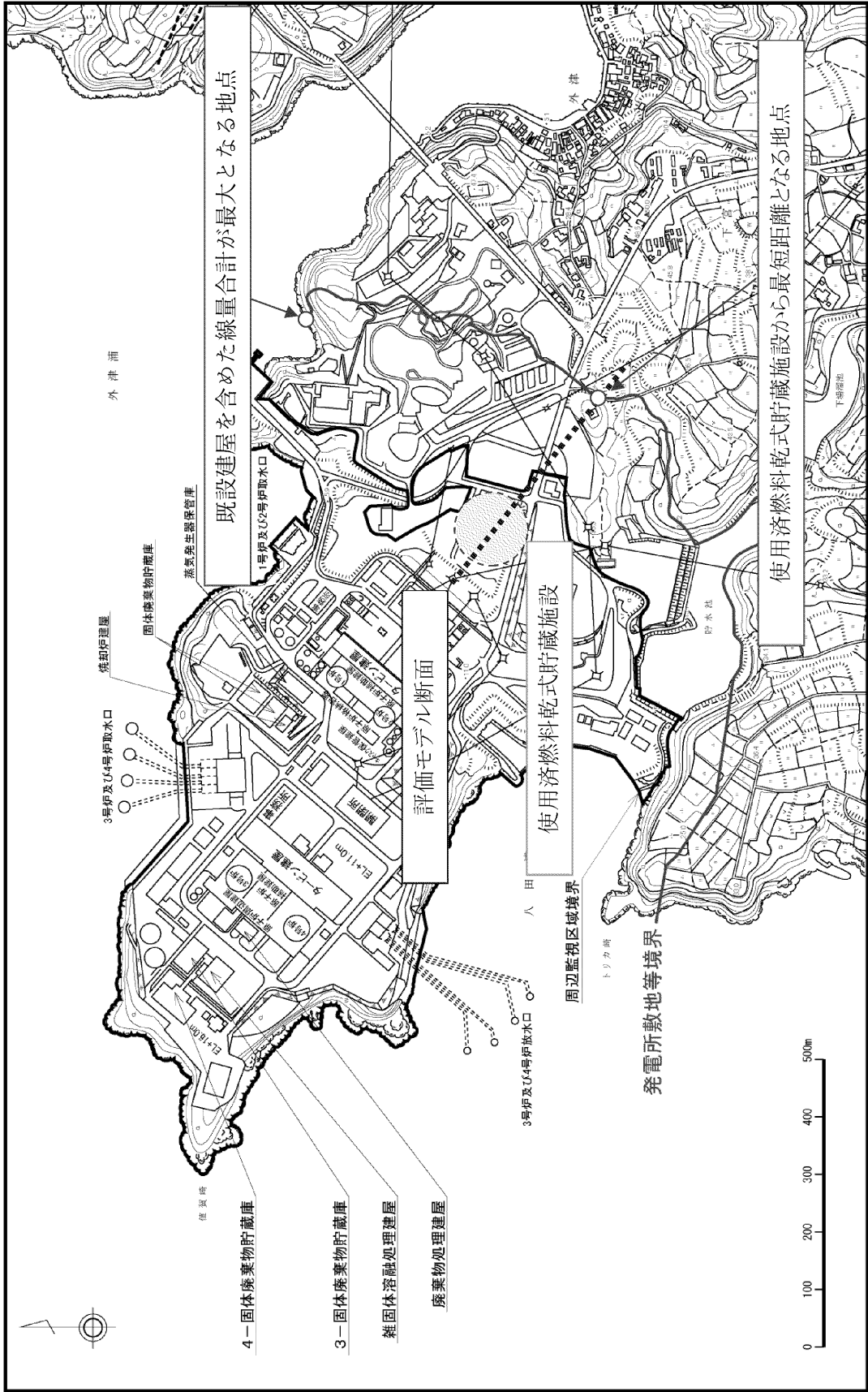
2.2 確認結果

表 1 に確認結果を示す。表 1 に示すとおり年間を通して使用済燃料乾式貯蔵建屋がない状態を想定した場合であっても、線量限度である 1 mSv/y を下回っており、Cクラスに分類することは妥当である。

表 1 使用済燃料乾式貯蔵建屋がない場合の敷地等境界の線量まとめ

保管物名	使用済燃料乾式貯蔵建屋がない場合 の線量 ($\mu \text{ Sv/y}$)
乾式キャスク (40 基)	約 130^*

※玄海原子力発電所敷地等境界での評価地点のうち、乾式貯蔵施設からの最短距離となる地点 (下図参照) における既設建屋の線量 (約 $12 \mu \text{ Sv/y}$) との合算。



乾式キャスク内の燃料集合体の全数破損
及び乾式キャスクの閉じ込め機能喪失を想定した場
合の敷地等境界線量に与える影響評価について

乾式キャスク内の燃料集合体が全数破損し、乾式キャスクの閉じ込め機能が喪失した場合を想定し、敷地等境界線量に与える影響評価を行った。評価条件は別紙－1に示す。

評価の結果、当該事象における敷地等境界線量は、表1のとおり線量限度（1 mSv）未満^{*}である。

よって、仮に当該事象が生じても、敷地内にある使用済燃料ピットへ搬送し、閉じ込め機能を修復することにより、閉じ込め機能の異常に対して対応することが可能である。

※ 「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」の以下の【確認内容】を参考に、判断基準を1 mSv/yとした。

【確認内容】

“閉じ込め機能の異常に対し、適切な期間内で使用済燃料の取出しや詰替え及び使用済燃料貯蔵槽への移送を行うこと、これら実施に係る体制を適切に整備すること等、閉じ込め機能の修復性に関して考慮がなされていること。” “貯蔵建屋などを設置する場合は、貯蔵建屋等の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下した場合においても、必要に応じて土嚢による遮蔽の追加等の適切な手段による応急復旧を行うことにより、工場等周辺の実効線量が敷地全体で線量限度（1 mSv/y）を超えないこと。この場合において、応急復旧による遮蔽機能の回復を期待する場合には、その実施に係る体制を適切に整備すること。”

表1 敷地等境界線量の評価結果

評価項目	評価結果(mSv)
外部被ばくによる実効線量	約0.019
内部被ばくによる実効線量	約0.73
合計	約0.75

敷地等境界線量への影響評価に係る評価条件について

乾式キャスク 1 基について、内部の燃料集合体が全数破損し、乾式キャスクの閉じ込め機能が喪失した場合を想定し、以下のとおり敷地等境界の実効線量に与える影響を評価した。

1. 評価方法

評価対象核種は、核燃料輸送物設計承認申請（以下、「設計承認」という。）の密封評価において対象としている H-3 及び Kr-85 とする。なお、設計承認の密封評価において、インベントリの大きい MSF-24P を代表として評価する。被ばく経路は、それぞれ呼吸摂取による内部被ばく及び放射性雲からの外部被ばくとし、以下の式を用いて計算した。

（呼吸摂取による内部被ばく）

$$D_B = B_\gamma \cdot K_R \cdot (\chi / Q) \cdot Q_H$$

D_B : 呼吸摂取による実効線量 (mSv)

B_γ : 成人の呼吸率 (m^3 / s)

K_R : 呼吸摂取による H-3 の実効線量係数 (mSv/Bq)

Q_H : H-3 の大気放出量 (Bq)

χ / Q : 相対濃度 (s / m^3)

（放射性雲からの外部被ばく）

$$E_\gamma = K_1 \cdot Q_N \cdot (D / Q)$$

E_γ : 外部 γ 線による実効線量 (Sv)

K_1 : 空気カーマから実効線量への換算係数 (=1Sv/Gy)

Q_N : Kr-85 の大気放出量 (γ 線エネルギー 0.5MeV 換算) (Bq)

D / Q : γ 線エネルギー 0.5MeV 換算における相対線量 (Gy/Bq)

2. 評価条件

各評価条件及びその選定理由を第1表に示す。

第1表 評価条件

項目	評価条件	選定理由
キャスク型式	MSF-24P型キャスク	インベントリの大きいMSF-24P型キャスクからの漏えいを想定する
燃料仕様	17×17型 平均燃焼度44GWd/t	許認可解析条件と同じ
冷却期間	15年	同上
燃料被覆管破損の想定	100%	キャスク1基分の全数燃料被覆管破損を想定する
放出放射エネルギー	H-3 : 1.31×10^{14} Bq (gross値) Kr-85 : 1.93×10^{15} Bq (gross値) Kr-85 : 8.49×10^{12} Bq (ガンマ線0.5MeV換算値)	ペレットからのFPガス放出率を100%とする (設計承認における密封評価のインベントリ条件を引用)
実効放出継続時間	1時間	大気拡散条件として、保守的に最も短い実効放出継続時間を設定
放出箇所	地上	
評価点	第1図のとおり	敷地等境界において実効線量が最大となる点を選定
大気拡散条件 相対濃度 χ/Q 相対線量 D/Q	6.2×10^{-4} s/m ³ 2.3×10^{-18} Gy/Bq	「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に基づき算出
呼吸率	3.33×10^{-4} m ³ /s (成人・活動時)	「発電所用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」による
実効線量係数	H-3 : 2.7×10^{-8} mSv/Bq (成人)	「(財)電力中央研究所 廃止措置工事環境影響評価ハンドブック (第3次版)」による




第1図 評価地点

使用済燃料乾式貯蔵建屋のうち遮蔽機能を有する部位について

使用済燃料乾式貯蔵建屋のうち遮へい機能を期待する部位を図 1～図 9 中灰色部として示す。



図 1 EL. 13.6m 平面

: 防護上の観点から公開できません

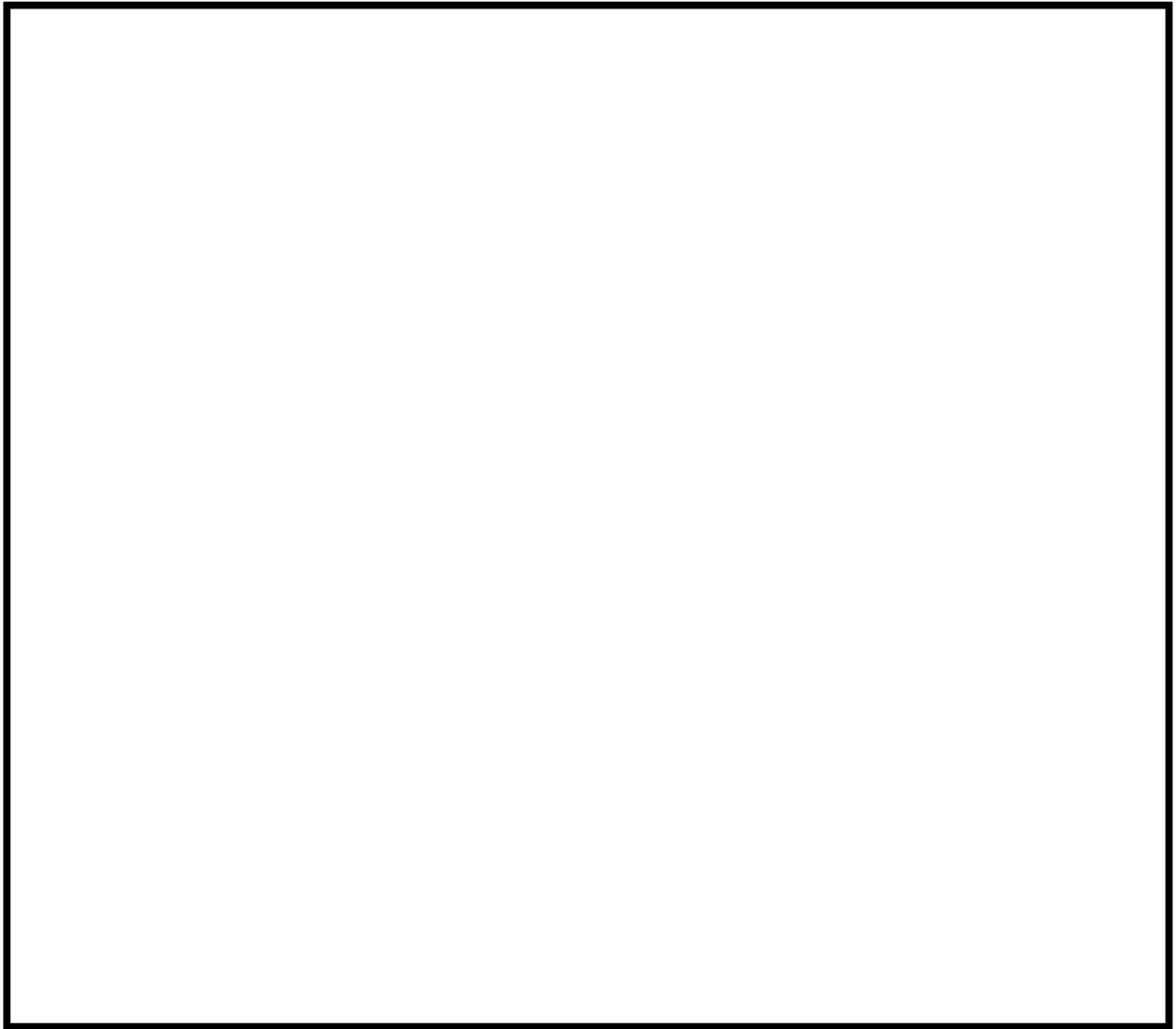




図 2 EL. 20.6m 平面

: 防護上の観点から公開できません

4条-参考2-2



図 3 EL. 24. 6m 平面

: 防護上の観点から公開できません

4 条-参考 2-3

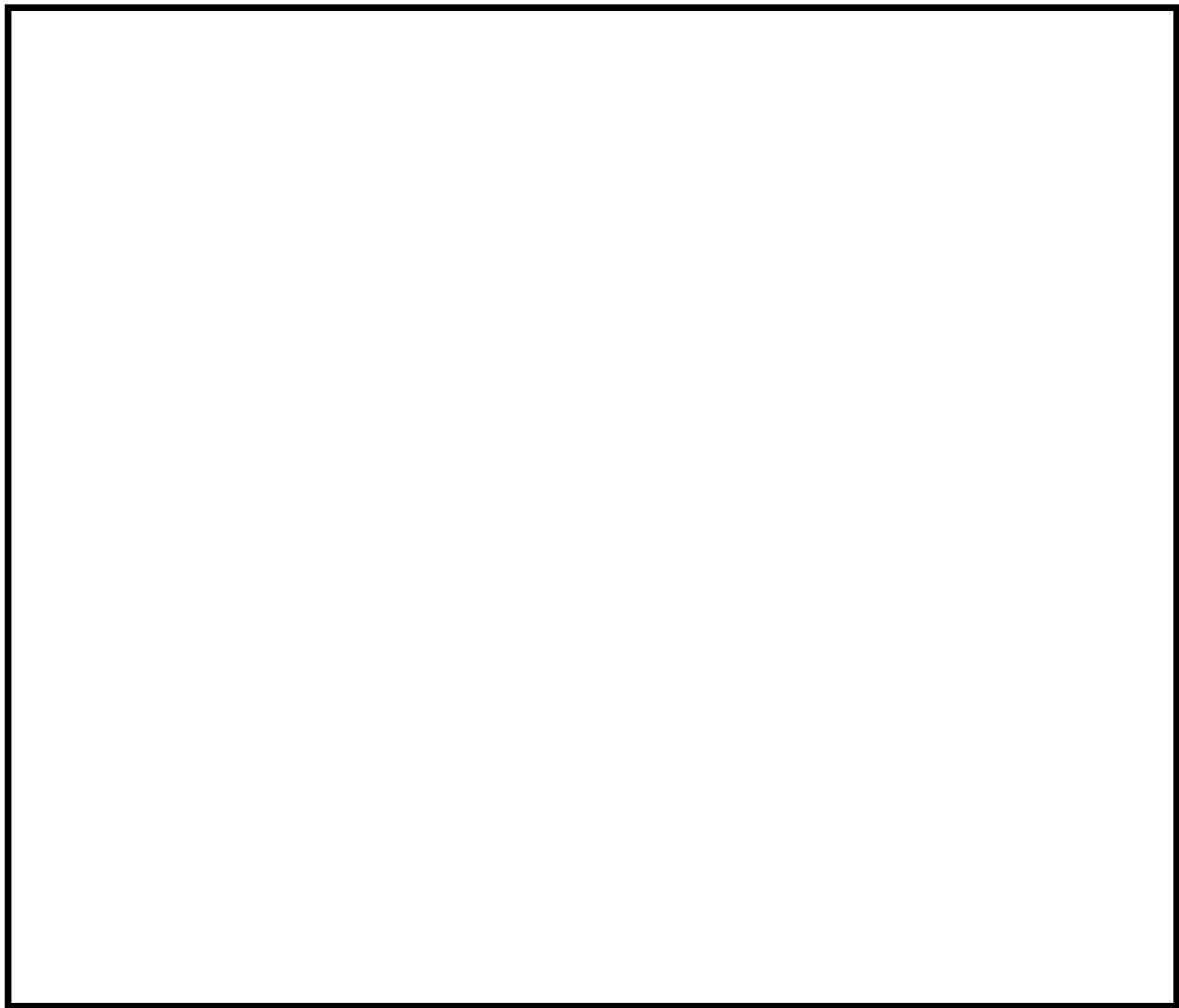



図 4 EL. 26. 0m/28. 6m 平面

: 防護上の観点から公開できません

4 条-参考 2-4

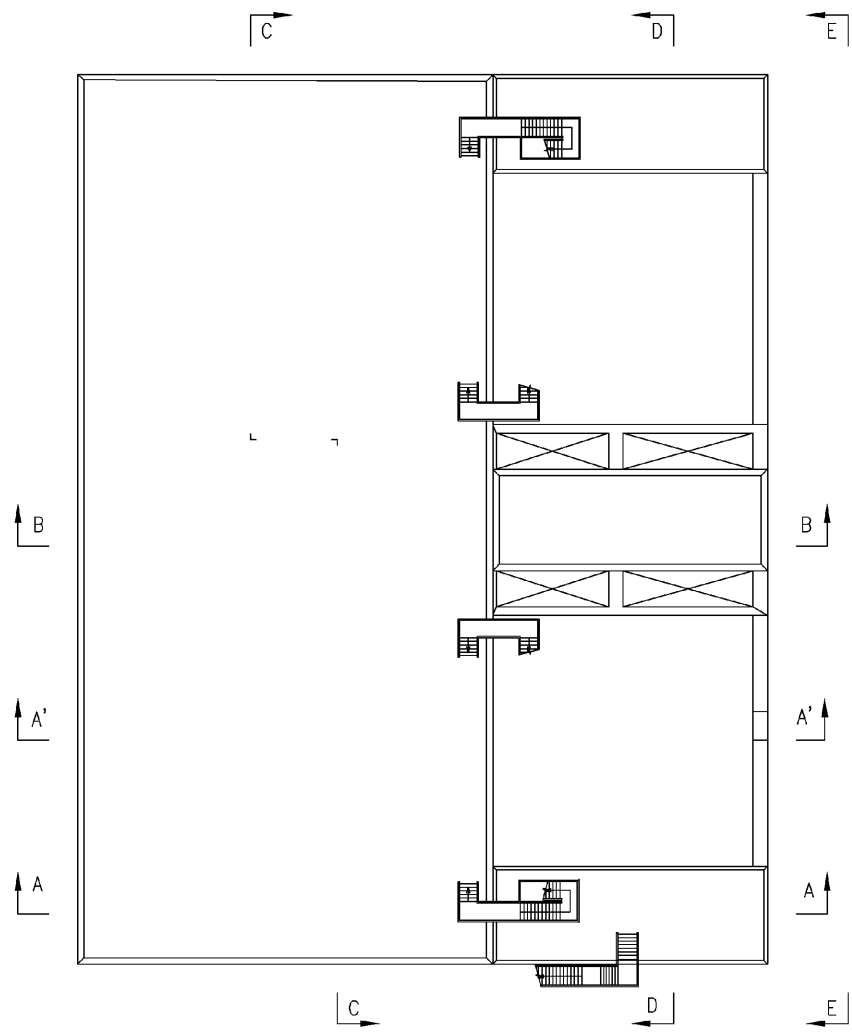


图 5 EL. 36.8m 平面

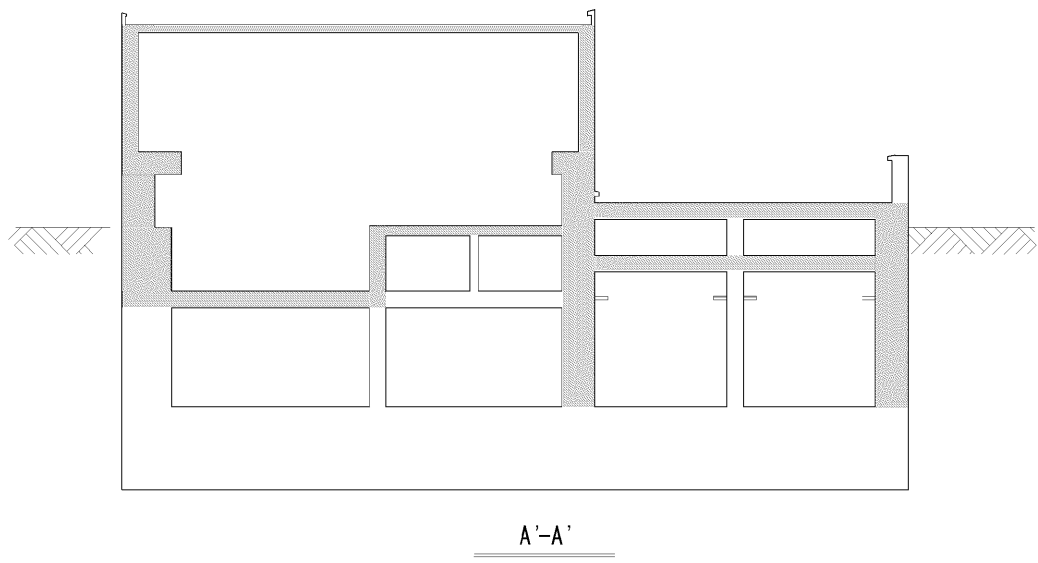
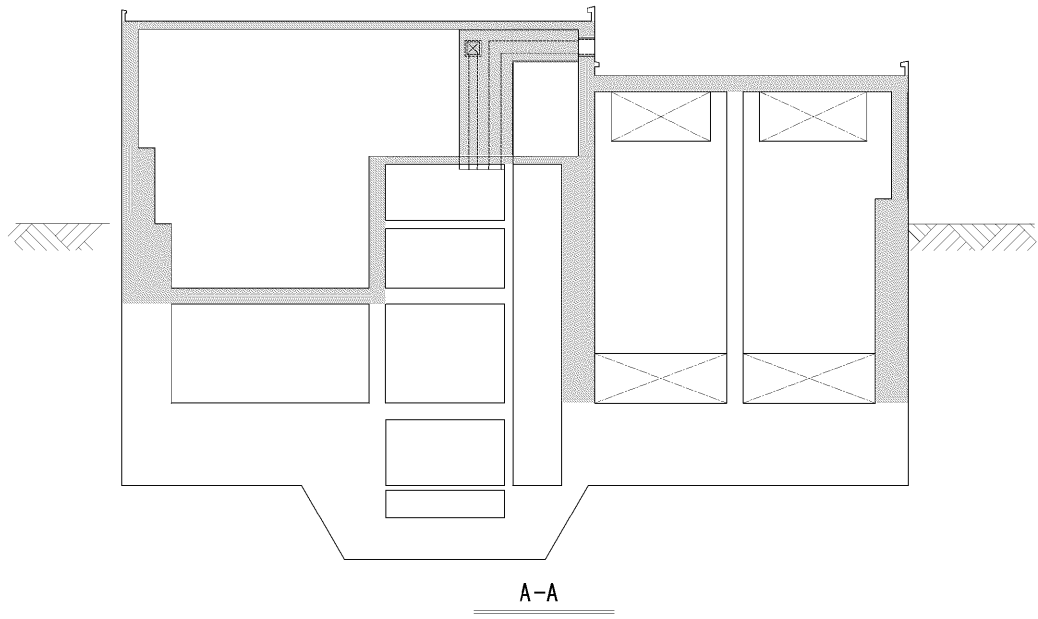
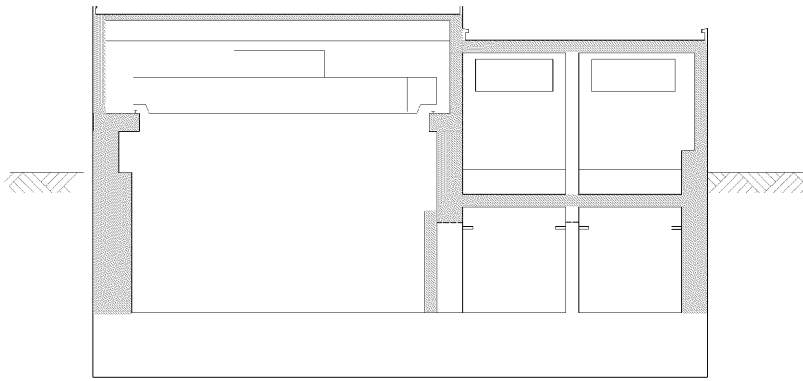
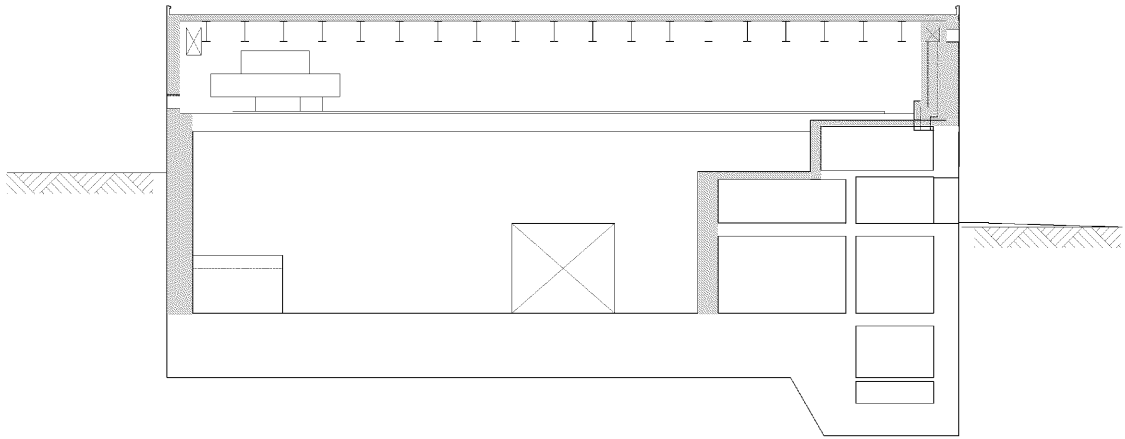


図6 A-A断面及びA'-A'断面

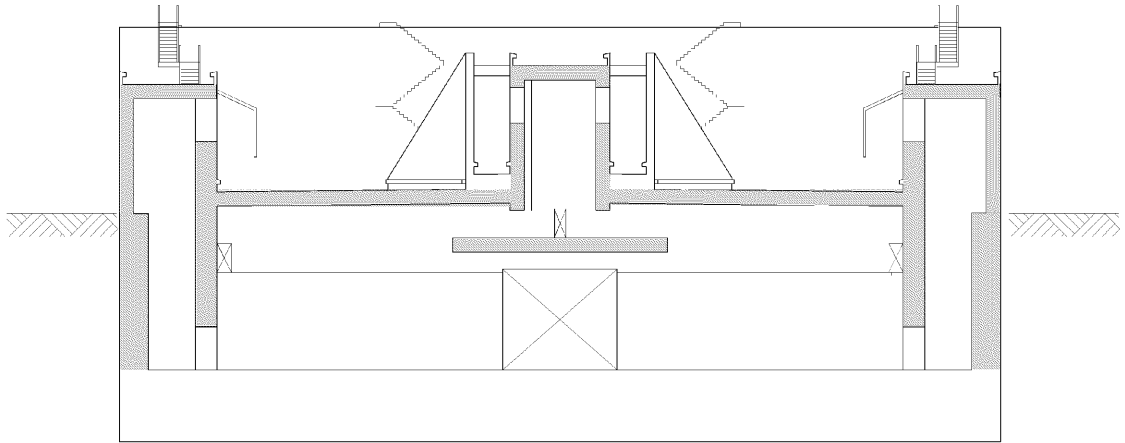


B-B



C-C

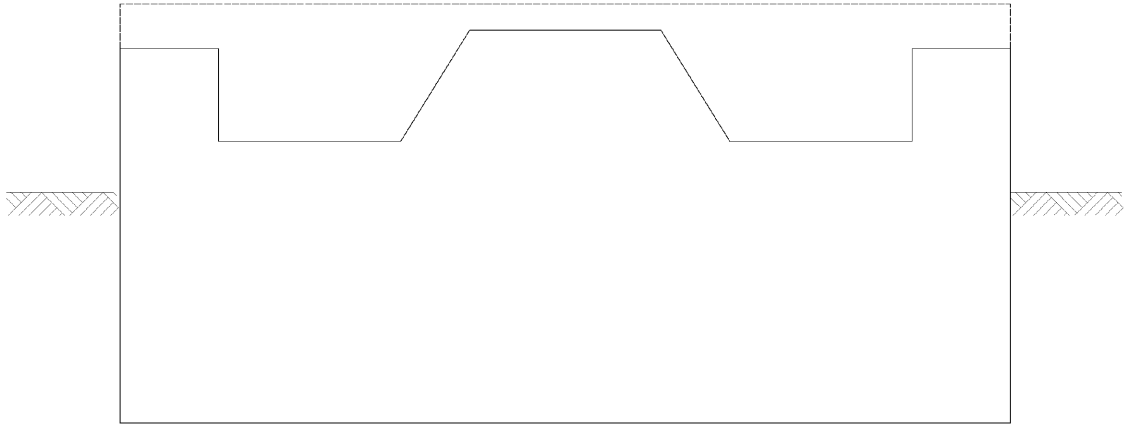
図7 B-B断面及びC-C断面



D-D

图 8 D-D 断面

4 条—参考 2—8



E-E

图9 E-E 断面

搬送台車の波及的影響について

1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵施設（以下、「乾式貯蔵施設」という。）において、使用済燃料乾式貯蔵容器（以下、「乾式キャスク」という。）を乾式貯蔵容器搬送台車（以下、「搬送台車」という。）で搬送中に地震が生じた場合に、隣接する乾式キャスクに波及的影響を及ぼさないことを示す。

2. 搬送中の乾式キャスクの貯蔵架台での固定条件

乾式キャスクは、図 1 及び図 2 に示すように、貯蔵架台に設置し、4 つの下部トラニオンを固定した状態で搬送する。このため、搬送中であっても、乾式キャスクが貯蔵架台から浮き上がることはない。

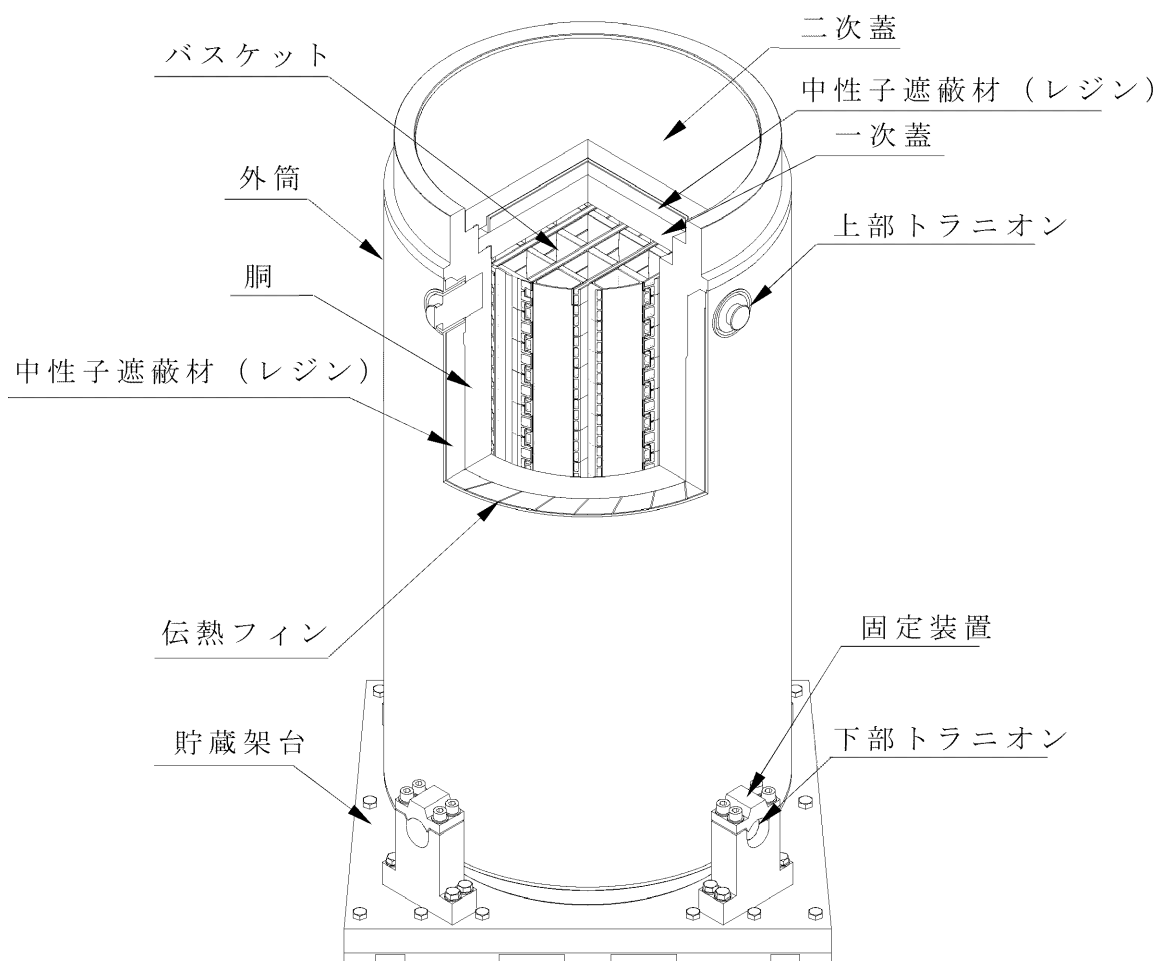


図 1 貯蔵架台設置時の乾式キャスク

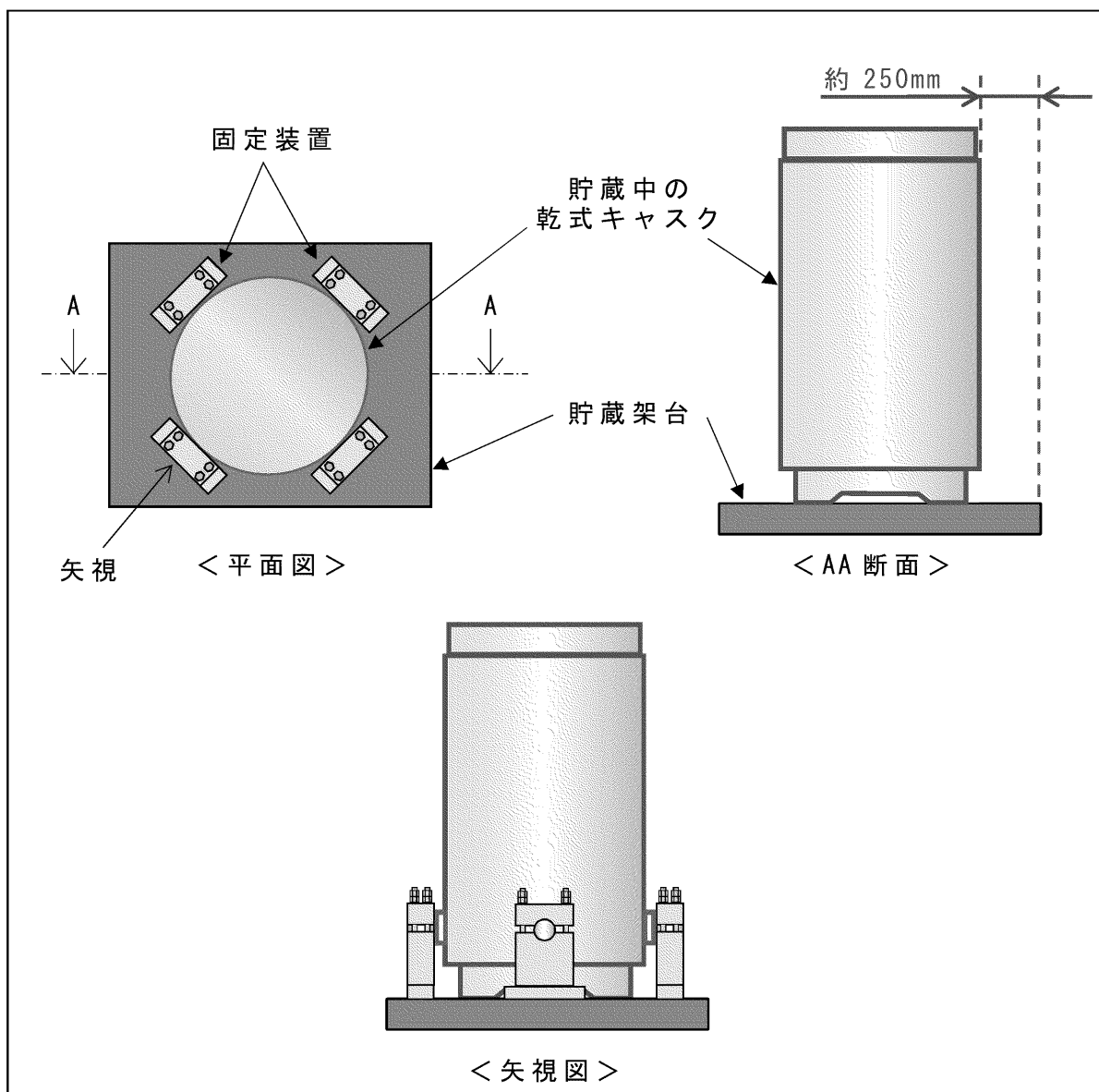


図 2 貯蔵架台により支持された乾式キャスクの状態

3. 搬送中の乾式キャスクに対する波及的影響の検討

乾式キャスクの貯蔵時においては、キャスク間の離隔距離を十分確保しており、また、搬送中においても過度に寄りつくことはないため、地震による接触は想定していない。

但し、波及的影響の観点から、搬送中と貯蔵中の乾式キャスクの貯蔵架台の衝突による搬送中の乾式キャスクの転倒、及び、乾式キャスクの傾倒による衝突を想定して、波及的影響を検討する。

4. 乾式キャスクの転倒及び乾式キャスク同士の衝突の確認

乾式キャスクが、建屋床面の地震速度と同じ速度で運動して貯蔵中の乾式キャスクに衝突しても、搬送中の乾式キャスクが転倒しないこと、また、貯蔵中の乾式キャスクと衝突しないことを確認する。

4.1 確認方針

転倒及び衝突の確認方法、クライテリア等は、設置許可基準規則第16条補足説明資料参考3「貯蔵中の乾式キャスクの転倒防止（エアパレット搬送時含む）について」と同様である。

確認にあたっては、以下を考慮した。

- ① 設計及び工事計画認可向けの乾式貯蔵建屋応答解析における基礎上面（乾式キャスク設置位置）の最大速度を包絡する値を設定
- ② 水平方向及び鉛直方向の速度については $S_{s-1} \sim S_{s-5}$ の最大速度を包絡する速度を設定。なお、水平方向は水平 X 方向及び水平 Y 方向の 2 方向を包絡する最大速度を適用
- ③ 水平 2 方向を考慮し、水平速度を $\sqrt{2}$ 倍

4.2 確認用速度

確認に適用する速度を表 1 に示す。

表 1 確認用速度

方向	確認用速度 [m/s]
水平	1.0
鉛直	0.6

4.2 確認方法

本確認では、設置許可基準規則第16条補足説明資料参考3の「搬送台車の搬送速度」を「設計及び工事計画認可向けの乾式貯蔵建屋応答解析における基礎上面（乾式キャスク設置位置）

の最大速度を包絡し、更に係数を乗じた速度^(※)とし、当該資料と同様、以下、(1)～(3)式を用いて確認を行う。

(※) 保守的な確認とするため、「設計及び工事計画認可向けの乾式貯蔵建屋応答解析における基礎上面（乾式キャスク設置位置）の最大速度」（但し、水平方向については、更に「搬送台車の搬送速度」を追加）を1.2倍した値

$$\frac{1}{2}m(\sqrt{2} \times V_{SH})^2 + \frac{1}{2}m(V_{SV})^2 = mgh_2 - mgh_1 \dots (1)$$

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{h_2}{R_A}\right) - \beta \dots (2)$$

$$\Delta x = x_1 - R_B \times \cos(\gamma + \theta) \dots (3)$$

ここで、

m ：乾式キャスク（貯蔵架台含む）の重量^(注1) [kg]

V_{SH} ：水平方向速度 [m/s]

（[設計及び工事計画認可向けの乾式貯蔵建屋応答解析における基礎上面（乾式キャスク設置位置）の最大速度＋搬送台車の搬送速度]*1.2）

V_{SV} ：鉛直方向速度 [m/s]

（設計及び工事計画認可向けの乾式貯蔵建屋応答解析における基礎上面（乾式キャスク設置位置）の最大速度*1.2）

g ：重力加速度^(注1) [m/s²]

h_1 ：衝突直後の状態における、回転中心を基準高さとした乾式キャスク（貯蔵架台含む）の重心高さ^(注1) [m]

h_2 ：衝突して傾いた状態における、回転中心を基準高さとした乾式キャスク（貯蔵架台含む）の重心高さ [m]

θ ：乾式キャスク（貯蔵架台含む）の傾き角 [°]

R_A ：回転中心から乾式キャスク（貯蔵架台含む）の重心までの距離^(注1) [m]

β : 回転中心をとる水平面及び直線 R_A で構成される角度 ^(注1) [°]

Δx : 搬送中の乾式キャスクの傾き量 [mm]

x_1 : 貯蔵架台側面と乾式キャスクとの距離 ^(注1) [mm]

R_B : 回転中心と搬送中の乾式キャスクの外筒上端との距離 ^(注1) [mm]

γ : 回転中心をとる水平面及び直線 R_B で構成される角度 ^(注1) [°]

(注1) 設置許可基準規則第16条補足説明資料参考3の計算に使用した値と同じ。なお、図3-1～図3-4に寸法及び角度の記号の該当箇所を示す。

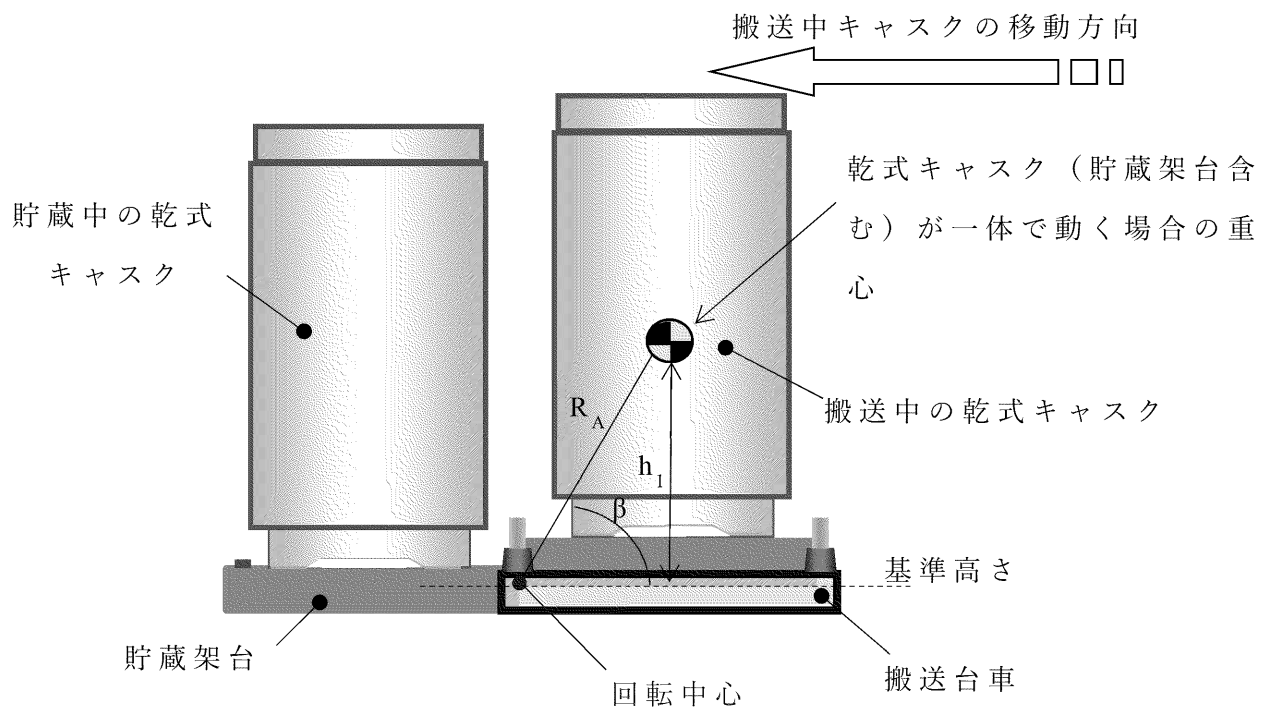


図 3-1 R_A 、 β 及び h_1 について (衝突直後)

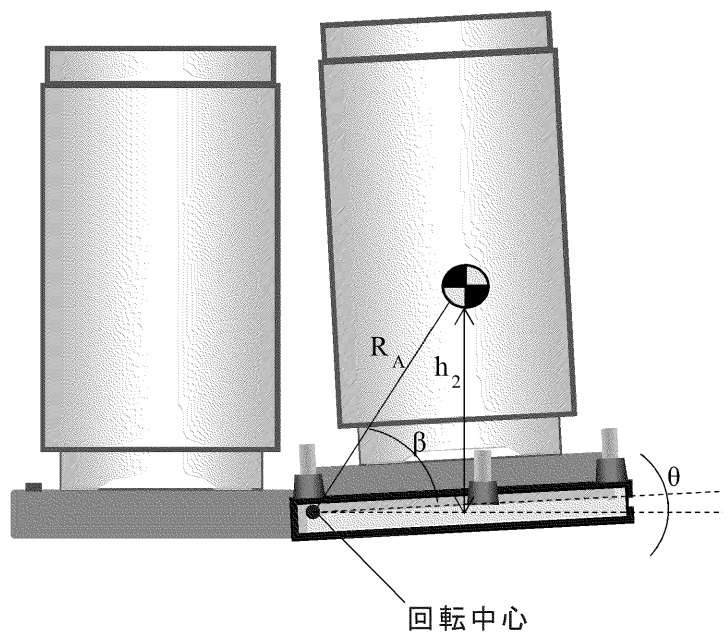


図 3-2 R_A 、 β 、 h_2 及び θ について (傾き後)

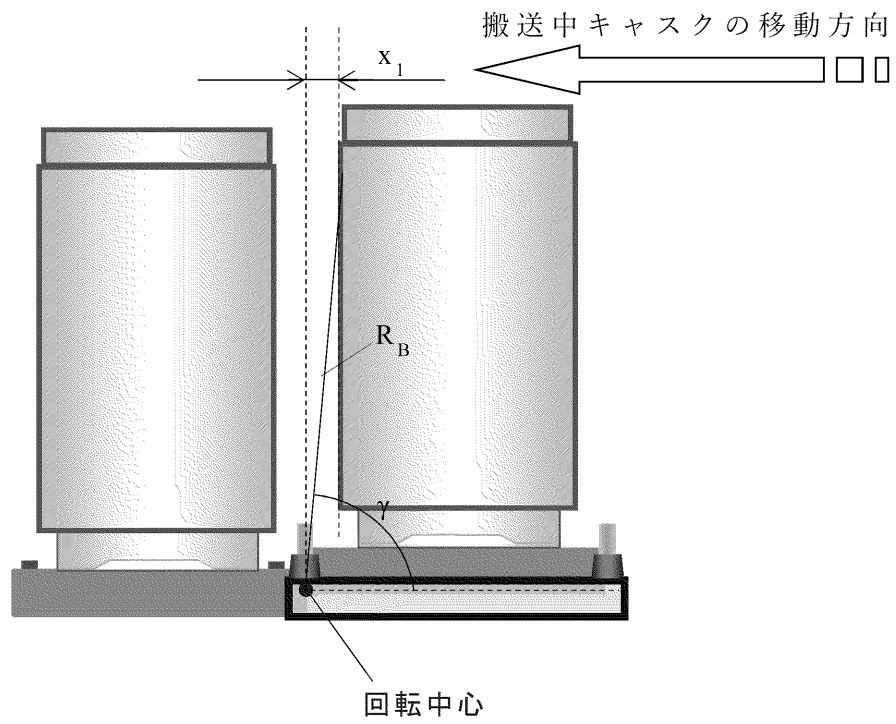


図 3-3 x_1 、 R_B 及び γ について（衝突直後）

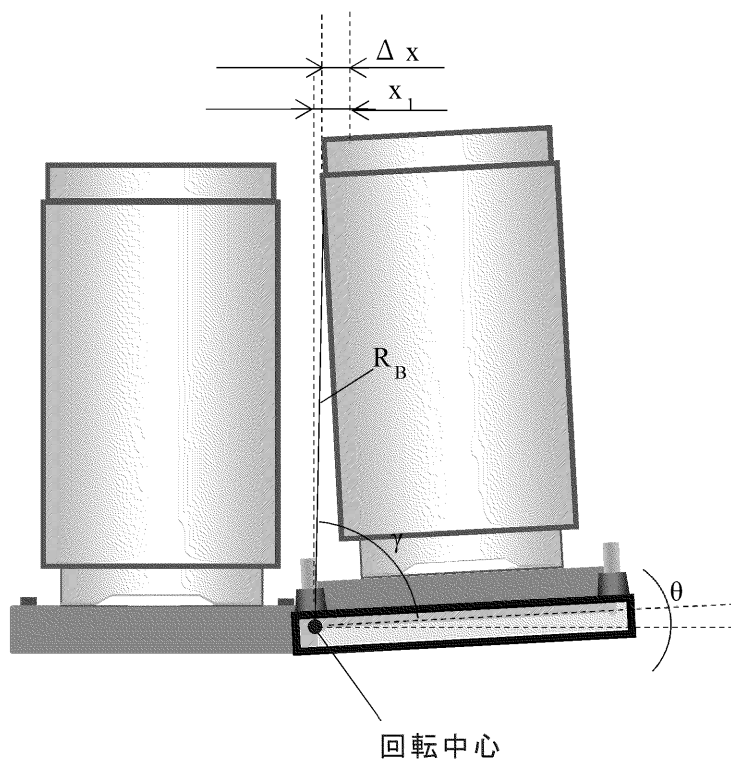


図 3-4 Δx 、 x_1 、 R_B 、 γ 及び θ について（傾き後）

4条-参考3-7

4.3 確認結果

確認用速度（表1を参照）による確認結果を表2に示す。傾き角及び傾き量は共にクライテリア（傾き角：約□、傾き量：約500mm）以下であり、地震によって波及的影響を及ぼさないことを確認した。

表2 搬送中の乾式キャスクの傾き角及び傾き量

キャスク 型式	搬送中の乾式キャスクの傾 き角[°]		搬送中の乾式キャスクの 傾き量[mm]	
	地震時	クライテリア	地震時	クライテリア
MSF-24P	□	□	405	500

□:商業機密に係る事項のため公開できません

6 条

外部からの衝撃による損傷の防止

本資料においては、使用済燃料乾式貯蔵施設について、設置許可基準規則第6条への適合方針を説明する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋に係る設置許可基準規則の要求事項である第6条1項及び3項への適合方針を「第6条：使用済燃料乾式貯蔵建屋に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部事象）」に示す。

また、使用済燃料乾式貯蔵容器に係る設置許可基準規則の要求事項である第6条4項1号への適合方針を「第6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）」に示し、第6条4項2号及び6項への適合方針を「第6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）」に示す。

○設置許可基準規則

（外部からの衝撃による損傷の防止）

第六条 安全施設（兼用キャスクを除く。）は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

3 安全施設（兼用キャスクを除く。）は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。以下「人為による事象」という。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

4 兼用キャスクは、次に掲げる自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

一 兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの

二 想定される森林火災

6 兼用キャスクは、次に掲げる人為による事象に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

一 工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発

二 工場等の周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある火災

〈目 次〉

1. 使用済燃料乾式貯蔵建屋に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部事象）
2. 使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）
3. 使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）

第6条：使用済燃料乾式貯蔵建屋に係る外部からの衝撃による損傷の防止
(外部事象)

<目 次>

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

1.2 気象等

1.3 設備等

2. 外部からの衝撃による損傷の防止 (外部事象)

(別添資料1) 外部事象の考慮について (使用済燃料乾式貯蔵建屋)

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

ロ 発電用原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

(a) 外部からの衝撃による損傷の防止

安全施設（使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。）は、発電所敷地で想定される洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災及び高潮の自然現象（地震及び津波を除く。）又は地震及び津波を含む自然現象の組合せに遭遇した場合において、自然事象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地で想定される自然現象のうち、洪水、地滑りについては、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、「兼用キャスクが安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示（平成31年4月2日原子力規制委員会決定）」（以下「兼用キャスク告示」という。）に定める竜巻及び発電所敷地で想定される森林火災に対して安全機能を損なわない設計とする。

また、自然現象の組合せにおいては、地震、津波、風（台風）、積雪及び火山の影響による荷重の組合せを設計上考慮する。

上記に加え、重要安全施設は、科学的技術的知見を踏まえ、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力について、それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮して適切に組み合わせる。

また、安全施設（使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。）は、発電所敷地又はその周辺において想定される飛来物（航空機落下等）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突及び電磁的障害の発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち、飛来物（航空機落下）については、確率的要因により設計上考慮する必要はない。また、ダムの崩壊については、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地又はその周辺において想定される爆発及び近隣工場等の火災に対して安全機能を損なわない設計とする。

ここで、想定される自然現象及び発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

(2) 安全設計方針

1.1 安全設計の方針

1.1.1 安全設計の基本方針

1.1.1.4 外部からの衝撃

発電所敷地で想定される自然現象については、網羅的に抽出するために国内外の基準や文献等^{(1)～(8)}に基づき事象を収集し、海外の選定基準⁽⁸⁾を考慮のうえ、敷地及び敷地周辺の自然環境を基に地震、津波、洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災及び高潮を選定する。

安全施設（兼用キャスクである使用済燃料乾式貯蔵容器（以下「使用済燃料乾式貯蔵容器」という。）を除く。）は、これらの自然現象（地震及び津波を除く。）又は地震及び津波を含む自然現象の組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても、安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地で想定される自然現象のうち、洪水、地滑りについては、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、「兼用キャスクが安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示（平成31年4月2日原子力規制委員会決定）」（以下「兼用キャスク告示」という。）に定める竜巻及び発電所敷地で想定される森林火災に対して安全機能を損なわない設計とする。

また、自然現象の組合せにおいては、地震、津波、風（台風）、積雪及び火山の影響による荷重の組合せを設計上考慮する。

上記に加え、重要安全施設は、科学的技術的知見を踏まえ、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力について、それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮し、適切に組み合わせる。

発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）については、網羅的に抽出するために国内外の基準や文献等^{(1)～(8)}に基づき事象を収集し、海外の選定基準⁽⁸⁾を考慮のうえ、敷地及び敷地周辺の状況を基に飛来物（航空機落下等）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突及び電磁的障害を選定する。

安全施設（使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。）は、これらの発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの

(故意によるものを除く。) に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち、飛来物(航空機落下)については、確率的要因により設計上考慮する必要はない。また、ダムの崩壊については、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地又はその周辺において想定される爆発及び近隣工場等の火災に対して安全機能を損なわない設計とする。

ここで、想定される自然現象及び発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの(故意によるものを除く。)に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等(重大事故等対処設備を含む。)への措置を含める。

(3) 適合性説明

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第六条 安全施設(兼用キャスクを除く。)は、想定される自然現象(地震及び津波を除く。次項において同じ。)が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

3 安全施設(兼用キャスクを除く。)は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの(故意によるものを除く。以下、「人為による事象」という。)に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

4 兼用キャスクは、次に掲げる自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

一 兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの

二 想定される森林火災

6 兼用キャスクは、次に掲げる人為による事象に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

一 工場用内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発

二 工場等の周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある火災

適合のための設計方針

1 について

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地で想定される自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

3 について

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地又はその周辺で想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であつて人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

4 について

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地で想定される自然現象のうち竜巻及び森林火災が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。ここで、発電所敷地で想定される自然現象のうち竜巻及び森林火災に対して、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なわないために必要な使用済燃料乾式貯蔵容器以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。また、発電所敷地で想定される自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として使用済燃料乾式貯蔵容器で生じ得る環境条件を考慮する。

以下にこれら自然現象に対する設計方針を示す。

(1) 竜巻

使用済燃料乾式貯蔵容器は、兼用キャスク告示に定める最大風速100m/sの竜巻が発生した場合においても、竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた荷重等に対して安全機能を損なわないために、竜巻防護対策を行う。

a. 竜巻防護対策

設計飛来物が飛来し、竜巻防護施設が安全機能を損なわないように、以下の対策を行う。

- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋により、使用済燃料乾式貯蔵容器を防護し構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

(2) 森林火災

森林火災については、過去10年間の気象条件を調査し、発電所から直線距離で10kmの間に発火点を設定し、森林火災シミュレーション（FARSITE）を用いて影響評価を実施し、影響評価に基づいた防火帯

幅を確保すること等により、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

また、使用済燃料乾式貯蔵容器は外気を取り入れる設備でないため、ばい煙等発生時の二次的影響を受けない。

6 について

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）のうち、爆発及び近隣工場等の火災に対して安全機能を損なわない設計とする。ここで、発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なわないために必要な使用済燃料乾式貯蔵容器以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

(1) 爆 発

発電所敷地外10km以内の範囲において、爆発により安全施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、爆発による使用済燃料乾式貯蔵容器への影響については考慮する必要はない。

また、発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、唐津市及び玄海町に主要な産業施設があるが、これらの産業施設は発電所からの離隔距離が確保されており、さらに、これらの産業施設と発電所の間には標高約120mの山林の障壁があり、ガス爆発による爆風圧による影響を受けるおそれはない。

(2) 近隣工場等の火災

a. 石油コンビナート施設の火災

発電所敷地外10km以内の範囲において、火災により使用済燃料乾式貯蔵容器に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、火災による使用済燃料乾式貯蔵容器への影響については考慮する必要はない。

また、発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、唐津市及び玄海町に主要な産業施設があるが、これらの産業施設は発電所からの離隔距離が確保されており、

さらに、これらの産業施設と発電所の間には標高約120mの山林の障壁があり、火災時の熱輻射による影響を受けるおそれはない。

発電用原子炉施設から南東へ約1 kmのところにある一般国道204号線があるが、付近に石油コンビナート施設等はないことから、大量の危険物を輸送する可能性はない。このため、一般国道204号線上で車両火災が発生したとしても、使用済燃料乾式貯蔵容器に影響はない。

b. 発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災

発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災発生時の輻射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

c. 航空機墜落による火災

発電所敷地内への航空機墜落に伴う火災発生時の輻射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

d. 発電所港湾内に入港する船舶の火災

発電所港湾内に入港する船舶の火災発生時の輻射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

e. 二次的影響（ばい煙等）

使用済燃料乾式貯蔵容器は外気を取り入れる設備でないため、石油コンビナート施設の火災、発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災、航空機墜落による火災及び発電所港湾内に入港する船舶の火災に伴うばい煙等発生時の二次的影響を受けない。

1.13 参考文献

- (1) DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES (FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI-12-06 August 2012)
- (2) 「日本の自然災害」 国会資料編纂会 1998年

- (3) Specific Safety Guide(SSG-3) “Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants” IAEA, April 2010
- (4) 「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の解釈」(制定：平成25年6月19日)
- (5) NUREG/CR-2300 “PRA Procedures Guide” ,NRC, January 1983
- (6) 「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」(制定：平成25年6月19日)
- (7) B. 5. b Phase2&3 Submittal Guideline
(NEI-06-12 December 2006) -2011.5 NRC公表
- (8) ASME/ANS RA-Sa-2009 “Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications”
- (9) 「静的地震力の見直し(建築編)に関する調査報告書(概要)」
(社)日本電気協会 電気技術調査委員会原子力発電耐震設計
特別調査委員会建築部会 平成6年3月
- (10) 「原子力発電所の火災防護指針 JEAG4607-2010」
(社)日本電気協会 2010
- (11) 「雷雨とメソ気象」大野久雄、東京堂出版、2001
- (12) 「一般気象学」小倉義光、東京大学出版会
- (13) 「広域的な火山防災対策に係る検討会(第3回)(資料2)」
- (14) 「シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状」武若耕司、
コンクリート工学、vol. 42、2004
- (15) 「火山環境における金属材料の腐食」出雲茂人、末吉秀一他、
防食技術 Vol. 39、1990
- (16) 「原田和典 建築火災のメカニズムと火災安全設計」
財団法人 日本建築センター

1.2 気象等

変更なし

1.3 設備等

該当なし

外部事象の考慮について
(使用済燃料乾式貯蔵建屋)

目 次

1. 設計方針
 - 1.1 自然現象（地震及び津波を除く。）に対する設計
 - 1.2 人為事象に対する設計

2. 自然現象の組合せについて

（資料）

- － 1 気象データの追加調査について

1. 設計方針

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、外部からの衝撃による損傷の防止について、平成29年1月18日付け原規規発第1701182号にて許可された設置変更許可（以下「既許可」という。）の設計方針と同様に、以下のとおり設計する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は安全重要度分類のクラス3施設として設計するため、安全上必要な措置により必要な機能を確保する等の対応を行うことで安全機能を損なわない設計とする。

なお、竜巻及び外部火災（森林火災、爆発及び近隣工場等の火災）については、安全重要度分類のクラス2施設である乾式キャスクを内包する施設として設計する。

各事象に対する使用済燃料乾式貯蔵建屋の設計方針については、以下のとおり設計する。各事象に対する設計方針を第1表に示す。

1.1 自然現象（地震及び津波を除く。）に対する設計

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地で想定される洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災及び高潮の自然現象（地震及び津波を除く。）又は地震及び津波を含む自然現象の組合せに遭遇した場合において、自然事象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地で想定される自然現象のうち、洪水、地滑りについては、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

また、自然現象の組合せにおいては、風（台風）、積雪及び火山の影響による荷重の組合せを設計上考慮する。

1.2 人為事象に対する設計

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地又はその周辺において想定される飛来物（航空機落下等）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突及び電磁的障害の発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち、飛来物（航空機落下）については、使用済燃料乾式貯蔵容器に対して設置許可基準規則第6条6項に要求がなく、使用済燃料乾式貯蔵建屋は、航空機落下評価基準^{*}に基づく標的面積とする安全上重要な構築物等に該当しないため、既許可の航空機落下確率評価（約 6.4×10^{-8} 回/炉・年（3号炉）及び約 5.9×10^{-8} 回/炉・年（4号炉））に変更がなく防護設計の要否判断の基準である 10^{-7} 回/炉・年を超えないことから確率的要因により設計上考慮する必要はない。また、ダムの崩壊については、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

※「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価について」（平成14・07・29原院第4号（平成14年7月30日原子力安全・保安院制定））

第1表 各事象に対する使用済燃料乾式貯蔵建屋の設計方針について

事象		各事象に対する設計方針等
自然現象	風（台風）	敷地付近で観測された最大瞬間風速は、平戸特別地域気象観測所（2000年2月まで平戸測候所）での観測記録（1951～2012年）によれば、53.2m/s（1987年8月31日）である。 風荷重を建築基準法に基づき設定し、それに対し機械的強度を有することにより安全機能を損なうことのない設計とする。
	竜巻	乾式キャスクを内包する建屋とし「6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）」に記載。
	凍結	平戸特別地域気象観測所での観測記録（1951～2012年）によれば、最低気温は-5.8℃（1977年2月16日）である。 安全機能に係る屋外機器で凍結のおそれのあるものは設置しない。
	降水	平戸特別地域気象観測所の観測記録（1951～2012年）によれば、日最大1時間降水量は125.5mm（1999年9月2日）である。 降水に対して、構内排水路で集水し海域へ排出を行うことにより、安全機能を損なうことのない設計とする。
	積雪	平戸特別地域気象観測所での観測記録（1951～2000年2月）によれば、最大積雪量は12cm（1959年1月18日）である。 積雪荷重を建築基準法に基づき設定し、それに対し機械的強度を有することにより安全機能を損なうことのない設計とする。
	落雷	高さ20mを超えない建屋とし、建築基準法に基づく避雷設備は設置しない設計とする。
	火山の影響	クラス3施設として設計するため、安全上必要な措置により必要な機能を確保する等の対応を行うことで安全機能を損なわない設計とする。
	生物学的事象	小動物の侵入に対しては、屋外設置の端子箱貫通部等へのシールを行うことにより、安全機能を損なうことのない設計とする。
	森林火災	乾式キャスクを内包する建屋として「6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）」に記載。
	高潮	高潮の影響がない敷地の整地レベルであるEL.+24.5mに設置することにより、高潮により安全機能を損なうことのない設計とする。
人為事象	爆発	乾式キャスクを内包する建屋として「6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）」に記載。
	近隣工場等の火災	乾式キャスクを内包する建屋として「6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）」に記載。
	有毒ガス	乾式貯蔵建屋は居住性の確保を必要としないため、有毒ガスを考慮する必要はない。
	船舶の衝突	船舶の衝突の影響を受けることのない敷地高さ（EL.+24.5m）に設置する設計とする。
	電磁的障害	発電用原子炉施設で発生する電磁干渉や無線電波干渉等により機能が喪失しない。

2. 自然現象の組合せについて

設置許可基準規則第6条解釈第3項において、安全施設に対して設計上の考慮を要する自然現象の組合せについて要求がある。

自然現象の組合せについては、組み合わせた事象が安全施設に及ぼす影響について、個々の事象の設計に包含されること、同時に発生するとは考えられないこと、又は個々の自然現象が与える影響より緩和されることを確認していることから、荷重以外の自然現象の組合せにより使用済燃料乾式貯蔵建屋の安全機能は損なわれない。

自然現象による荷重の組合せに対して、既許可にて風（台風）、積雪及び火山による荷重の組合せを設計上考慮することとしている。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、安全重要度分類のクラス3施設として設計するため、安全上必要な措置により必要な機能を確保する等の対応を行うことで自然現象による荷重の組合せにより安全機能を損なわない設計とする。

気象データの追加調査について

1. 概要

既許可における気象データのうち統計データから最大値等を設置しているものについて、今回申請時点における気象データを追加調査し、既許可からの変更の有無を確認する。

(1) 風（台風）、凍結（最低気温）、降水及び積雪について

最寄の気象官署である平戸特別地域気象観測所の1951年～2020年における風（台風）等の気象データについて確認したところ、最大瞬間風速は53.2m/s(1987年8月31日)、最低気温は-5.8℃(1977年2月16日)、日最大1時間降水量は125.5mm(1999年9月2日)、最大積雪量は12cm(1959年1月18日)であった。

(2) 気象データの比較

既許可における気象データと、今回申請時点における気象データを比較したところ、風(台風)、凍結（最低気温）、降水量（日最大1時間）、積雪について変更がなかった。（詳細は第1表のとおり）

最寄りの気象官署の1951年～2020年における日最高気温等の観測記録（累年順位）を第2表～第6表に示す。

第1表 設置許可申請における気象データの比較

要素	気象官署の場所	統計期間	原規規発第 1701182 号 設置変更許可	統計期間	今回申請
最大瞬間風速	平戸	1951年1月～2012年12月	53.2m/s(1987年8月31日)	1951年1月～2020年11月	原規規発第 1701182 号 設置変更許可の値と同じ
最低気温	平戸	同上	-5.8°C(1977年2月16日)	同上	同上
日最大1時間降水	平戸	同上	125.5mm(1999年9月2日)	同上	同上
最大積雪量	平戸	1951年1月～2000年2月	12cm(1959年1月18日)	1951年1月～2000年2月	同上

* : 2000年3月以降は、平戸特別地域気象観測所となったため、積雪量について観測をしていない。
注 : 太枠は要素ごとの最大値または最小値を示す。

第2表 日最高・日最低気温の累年順位

平戸特別地域気象観測所
統計期間：1951～2020

順位	月												年	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
日最高気温	値(°C)	18.7	20.4	22.3	25.7	29.3	30.7	34.4	35.1	33.6	30.0	24.7	23.1	35.1
	起年日	1953 10	2010 24	2004 29	1998 28	2003 29	2004 20	2018 22	1960 7	2010 1	2016 3	1979 1	2018 4	1960 8月7日
	値(°C)	18.6	20.0	21.7	25.6	28.4	30.5	33.9	34.8	32.8	29.2	24.4	21.0	34.8
日最低気温	起年日	2002 15	2004 21	2015 17	2005 30	2000 25	1978 18	2012 18	1985 8	1981 1	2005 1	2005 6	1953 2	1985 8月8日
	値(°C)	18.5	19.7	21.7	25.1	27.9	30.4	33.8	34.8	32.8	29.1	24.3	20.6	34.8
	起年日	2020 7	2009 13	1952 18	2018 22	2013 24	2011 25	2018 26	1953 16	1967 2	2019 2	1996 9	1954 1	1953 8月16日
日最低気温	値(°C)	-5.7	-5.8	-4.0	1.8	7.8	12.4	16.1	18.4	13.6	5.9	1.7	-3.6	-5.8
	起年日	1970 5	1977 16	1977 5	1962 4	2014 7	1978 1	1976 8	1977 23	1973 28	1986 31	1970 30	1973 24	1977 2月16日
	値(°C)	-5.3	-5.1	-4.0	2.0	8.0	12.7	16.1	18.6	13.8	7.6	2.0	-3.2	-5.7
日最低気温	起年日	1967 15	1981 26	1977 4	1972 2	1965 1	1981 3	1969 10	2019 25	1965 29	1980 31	1966 30	1967 28	1970 1月5日
	値(°C)	-5.0	-4.4	-2.3	2.4	8.2	13.0	16.8	18.7	14.0	7.7	2.8	-2.7	-5.3
	起年日	1967 16	1977 15	1958 3	1972 1	1980 2	2008 1	1976 7	2001 30	1965 28	2002 30	1966 27	1976 27	1967 1月15日

第3表 日最小湿度の累年順位

平戸特別地域気象観測所
統計期間：1951～2020

順位	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
1	値 (%)	21	23	11	11	13	21	37	29	31	25	10	24	10
	起年日	1951 31	2005 14	2004 28	2004 29	2005 11	1990 22	2014 29	2017 28	1987 27	2003 22	2005 10	1999 11	2005 11月10日
2	値 (%)	24	23	16	14	18	21	42	40	32	29	22	25	11
	起年日	2006 3	2002 18	2015 26	2004 17	2019 10	1980 5	1994 20	1990 1	2020 20	2005 22	1994 3	1982 15	2004 4月29日
3	値 (%)	26	24	16	15	19	23	44	41	33	29	24	26	11
	起年日	2006 22	2008 23	1984 25	2009 30	1992 3	1981 3	1978 28	1969 24	2011 22	1977 22	1979 2	1999 27	2004 3月28日

第4表 日・1時間最大降水量の累年順位

平戸特別地域気象観測所
統計期間：1951～2020

順位	月												年	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
日降水量	1	107.8	92.5	103.0	237.6	226.0	359.5	406.9	365.5	222.0	197.8	151.5	100.5	406.9
		1967 28	1979 22	1979 29	1955 15	1998 11	1953 25	1959 13	2011 23	1997 6	1951 14	1978 12	1996 4	1959 7月13日
	2	107.5	85.5	99.0	173.0	164.5	275.0	300.0	329.5	207.0	142.5	136.2	79.5	365.5
		2016 29	1989 16	2020 27	2006 10	1995 14	1953 4	1957 25	1980 29	1999 2	2016 8	1966 13	2015 10	2011 8月23日
	3	96.0	81.0	98.5	152.5	159.4	229.0	294.5	292.5	198.5	139.5	123.0	73.0	359.5
		1972 24	1976 28	2012 23	2017 17	1963 10	1985 25	1989 28	2019 28	2016 28	2011 21	2001 29	2019 1	1953 6月25日
1時間降水量	1	59.5	35.0	42.5	67.1	78.0	88.0	108.0	114.5	125.5	60.5	53.2	53.5	125.5
		1972 24	2004 28	2020 27	1964 25	1998 11	2016 20	1989 28	2011 23	1999 2	1962 10	1964 1	1996 4	1999 9月2日
	2	30.0	34.0	40.0	54.4	57.0	83.5	104.0	86.0	75.0	48.0	51.0	25.0	114.5
		2020 23	1979 23	2012 23	1955 15	2016 3	2018 29	1982 23	2019 28	2004 16	2016 8	1957 10	2016 22	2011 8月23日
	3	30.0	34.0	37.4	43.5	57.0	73.0	90.0	79.5	72.1	47.0	45.5	25.0	108.0
		1990 29	1979 22	1953 10	2017 17	1992 15	1985 25	1959 15	2014 15	1962 3	2013 10	1972 3	1992 7	1989 7月28日

第5表 日最大瞬間風速の累年順位

平戸特別地域気象観測所
統計期間：1951～2020

順位	月												年	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	値 (m/s)	31.1	32.3	27.6	30.0	25.0	34.6	42.7	53.2	49.5	42.5	28.9	28.5	53.2
	風向 (16方位)	北西	南	北	南	南	南東	南南東	南	北西	北北東	北北東	北西	南
	起年日	1968 14	1965 20	1965 17	1987 21	1961 28	2003 19	1991 29	1987 31	1991 27	1951 14	1962 16	2005 17	1987 8月31日
2	値 (m/s)	30.2	30.0	27.3	26.1	24.8	29.2	34.1	44.3	42.8	34.6	28.1	28.3	49.5
	風向 (16方位)	北	北	西北西	北	北北東	南	南東	南南東	南東	北	北西	北西	北西
	起年日	2002 2	1968 15	1977 4	1985 12	1988 7	1963 20	1989 28	1993 10	2020 7	1951 15	1995 7	2005 22	1991 9月27日
3	値 (m/s)	29.0	29.9	26.5	25.4	24.7	26.8	33.4	42.4	42.8	32.7	25.6	27.0	44.3
	風向 (16方位)	北西	北北西	南	南	南	北	南南東	北	北北西	北	北	北西	南南東
	起年日	1965 11	1992 1	1967 26	1974 7	1990 31	1997 28	1974 6	2004 30	1991 14	2004 20	1967 20	2005 21	1993 8月10日

第6表 月最深積雪の累年順位

平戸特別地域気象観測所
統計期間：1951～2000

順位	月	1	2	3	11	12	年
1	値 (cm)	12	7	2	-	6	12
	起年日	1959 18	1966 6	1972 4	-	1967 30	1959 1月18日
2	値 (cm)	6	6	2	-	2	7
	起年日	1963 22	1968 21	1969 13	-	1996 1	1966 2月6日
3	値 (cm)	5	3	-	-	1	6
	起年日	1990 24	1978 1	-	-	1980 29	1968 2月21日

第6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止
(竜巻)

<目 次>

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

1.2 気象等

1.3 設備等

2. 外部からの衝撃による損傷の防止 (竜巻)

(別添資料1) 竜巻に対する防護 (使用済燃料乾式貯蔵容器)

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

ロ 発電用原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

(a) 外部からの衝撃による損傷の防止

(a-1) 安全施設は、想定される竜巻が発生した場合においても、作用する設計荷重に対して、その安全機能を損なわない設計とする。また、安全施設は、過去の竜巻被害状況及び玄海原子力発電所のプラント配置から想定される竜巻に随伴する事象に対して、安全機能を損なわない設計とする。

竜巻に対する防護設計を行うための設計竜巻の最大風速は、 100m/s とし、設計荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物が安全施設に衝突する際の衝撃荷重を組み合わせた設計竜巻荷重、並びに、安全施設に常時作用する荷重、運転時荷重及びその他竜巻以外の自然現象による荷重等を適切に組み合わせたものとして設定する。

安全施設の安全機能を損なわないようにするため、安全施設に影響を及ぼす飛来物の発生防止対策を実施するとともに、作用する設計荷重に対する安全施設の構造健全性の維持、安全施設を内包する区画の構造健全性の確保、若しくは、飛来物による損傷を考慮し安全上支障のない期間での修復等の対応、又は、それらを適切に組み合わせた設計とする。

飛来物の発生防止対策として、飛来物となる可能性のあるもののうち、資機材、車両等については飛来した場合の運動エネルギー又は貫通力が設定する設計飛来物である鋼製材（長さ 4.2m ×幅 0.3m ×奥行き 0.2m 、質量 135kg 、飛来時の水平速度 51m/s 、飛来時の鉛直速度 34m/s ）より大きなものに対し、固縛、固定、竜巻防護施設等からの離隔、建屋内収納又は撤去を実施する。

(2) 安全設計方針

1.8 竜巻防護に関する基本方針

1.8.1 設計方針

(1) 竜巻に対する設計の基本方針

安全施設が竜巻に対して、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な各種の機能を損なわないよう、基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重を適切に設定し、以下の事項に対して対策を行い、建屋による防護、構造健全性の維持、代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。

また、安全施設は、設計荷重による波及的影響によって安全機能を損なわない設計とする。

- a. 飛来物の衝突による施設の貫通及び裏面剥離
- b. 設計竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重を組み合わせた設計竜巻荷重及びその他の組合せ荷重(常時作用している荷重、運転時荷重、竜巻以外の自然現象による荷重及び設計基準事故時荷重)を適切に組み合わせた設計荷重
- c. 竜巻による気圧の低下
- d. 外気と繋がっている箇所への風の流入

竜巻から防護する施設としては、安全施設が竜巻の影響を受ける場合においても、発電用原子炉施設の安全性を確保するために、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス1、クラス2及びクラス3に該当する構築物、系統及び機器とする。竜巻から防護する施設のうちクラス1、クラス2に該当する構築物、系統及び機器を竜巻における防護対象施設(以下「竜巻防護施設」という。)として竜巻による影響を評価し設計する。また、竜巻防護施設を内包する施設についても同様に竜巻による影響を評価し設計する。クラス3に属する施設は、損傷する場合を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な設計とすることにより、安全機能が維持されることから、竜巻による影響を評価する対象から除外する。竜巻防護施設については、「1.8.1(3) 竜巻防護施設」にて記載する。竜巻防護施設を内包する施設については、「1.8.1(4) 竜巻防護施設を内包する施設」にて記載する。竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設については、「1.8.1(5) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設」にて記載する。

竜巻に対する防護設計を行う、竜巻防護施設、竜巻防護施設を内包する施

設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設を「竜巻防護施設等」という。

竜巻防護施設の安全機能を損なわないようにするため、竜巻防護施設に影響を及ぼす飛来物の発生防止対策を実施するとともに、作用する設計荷重に対する竜巻防護施設の構造健全性の維持、竜巻防護施設を内包する区画の構造健全性の確保若しくは飛来物による損傷を考慮し安全上支障のない期間での修復等の対応又はそれらを適切に組み合わせた設計とする。

屋外に設置する竜巻防護施設の構造健全性の維持又は竜巻防護施設を内包する区画の構造健全性の確保において、それらを防護するために設置する竜巻における防護対策施設（以下「竜巻防護対策施設」という。）は、竜巻防護ネット、防護鋼板等から構成し、飛来物から竜巻防護施設を防護できる設計とする。

(2) 設計竜巻の設定

「添付書類六 7.9 竜巻」において設定した基準竜巻の最大風速は 92m/s とする。

設計竜巻の設定に際して、玄海原子力発電所は敷地が平坦であるため、地形効果による風の増幅を考慮する必要はないことを確認したが、基準竜巻の最大風速を安全側に切り上げて、安全施設（使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。）に対する設計竜巻の最大風速は 100m/s とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器に対する設計竜巻の最大風速は、兼用キャスク告示に定める 100m/s とする。

(3) 竜巻防護施設

竜巻防護施設は、建屋又は構築物（以下「建屋等」という。）に内包され、外気と繋がっておらず設計竜巻荷重の影響から防護される施設（以下「建屋等に内包され防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）」という。）、建屋等に内包されるが設計竜巻荷重の影響から防護が期待できない施設（以下「建屋等に内包されるが防護が期待できない施設」という。）、建屋等に内包されるため、設計竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重の影響から防護されるが、外気と繋がっており設計竜巻の気圧差による荷重の影響を受ける施設（以下「建屋内の施設で外気と繋がっている施設」という。）及び設計竜巻荷重の影響を受ける屋外施設（以下「屋外施設」という。）に分類し、以下のように抽出する。

・建屋等に内包され防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）

・建屋等に内包されるが防護が期待できない施設

建屋等に内包されるが防護が期待できない施設は、「1.8.1 (4) 竜巻防護施設を内包する施設」として抽出した建屋等の構造健全性の評価を行い、建屋等に内包されるが防護が期待できない施設を抽出する。

・建屋内の施設で外気と繋がっている施設及び屋外施設

建屋内の施設で外気と繋がっている施設を以下のとおり抽出する。

・換気空調設備（アニュラス空気浄化系、安全補機室空気浄化系、中央制御室空調系、格納容器排気系、安全補機開閉器室空調系、ディーゼル発電機室換気系、中間補機棟空調系及び試料採取室排気系の外気と繋がるダクト及び外気との境界となるダンパ・バタフライ弁）

竜巻防護施設のうち、屋外施設を以下のとおり抽出する。

・海水ポンプ（配管及び弁を含む。）

・海水ストレーナ

・排気筒

(4) 竜巻防護施設を内包する施設

竜巻防護施設を内包する主な施設を、以下のとおり抽出する。

・原子炉格納容器（原子炉容器他を内包する建屋）

・原子炉周辺建屋（使用済燃料ピット他を内包する建屋）

・原子炉補助建屋（余熱除去ポンプ他を内包する建屋）

・燃料取替用水タンク建屋（燃料取替用水タンク他を内包する建屋）

・燃料油貯油そう基礎（燃料油貯油そうを内包する構築物）

・燃料油貯蔵タンク基礎（燃料油貯蔵タンクを内包する構築物）

・海水ポンプエリア防護壁（海水ポンプ他を内包する構築物）

・海水ポンプエリア水密扉（海水ポンプ他を内包する構築物）

・使用済燃料乾式貯蔵建屋（使用済燃料乾式貯蔵容器を内包する建屋）

(5) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護施設又は竜巻防護施設を内包する施設に隣接し倒壊等により竜巻防護施設に影響を及ぼし得る施設並びに建屋等による防護が期待できない竜巻防護施設の附属施設及び外気と繋がっている施設が設計荷重による損傷により竜巻防護施設の機能維持に影響を及ぼし得る施設を竜巻防護施設

設に波及的影響を及ぼし得る施設とする。

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設としては、施設の高さと、竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設との距離を考慮して、竜巻による施設の倒壊により竜巻防護施設又は竜巻防護施設を内包する施設を損傷させる可能性がある施設を竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

また、建屋等による防護が期待できない竜巻防護施設の附属施設及び竜巻防護施設を内包する区画で外気と繋がっている換気空調設備を竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

(竜巻による倒壊により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設)

- ・廃棄物処理建屋
- ・タービン建屋
- ・橋型クレーン

(建屋等による防護が期待できない竜巻防護施設の附属施設)

- ・主蒸気逃がし弁 (消音器)
- ・主蒸気安全弁 (排気管)
- ・タービン動補助給水ポンプ (蒸気大気放出管)
- ・ディーゼル発電機 (吸気消音器、排気消音器、燃料油貯油そうべント管、燃料油貯蔵タンクベント管及びタンクローリ)

(建屋等による防護が期待できない竜巻防護施設を内包する区画で外気と繋がっている換気空調設備)

- ・換気空調設備 (蓄電池室排気系の外気と繋がるダクト及び外気との境界となるダンパ)

(6) 設計飛来物の設定

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、発電所構内の資機材、車両等の設置状況を踏まえ、竜巻防護施設等に衝突する可能性のある飛来物を抽出する。

竜巻防護施設等 (使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。) への設計飛来物は、運動エネルギー及び貫通力を踏まえ、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参照して鋼製材を設定する。

使用済燃料乾式貯蔵容器への設計飛来物については、発電所敷地内外からの飛来物を考慮し、飛来した場合の運動エネルギー及び貫通力を踏まえ大型車

両を設定する。なお、浮き上がらないが横滑りする可能性のある資機材については、摩擦や転倒により運動エネルギーが大幅に減衰するため考慮しない。

第1.8.1表に玄海原子力発電所における設計飛来物を示す。

飛来物の発生防止対策については、プラントウォークダウンにより抽出した飛来物や持ち込まれる資機材、車両等の寸法、質量及び形状から飛来の有無を判断し、運動エネルギー及び貫通力を考慮して、衝突時に建屋等又は竜巻防護対策施設に与えるエネルギーが設計飛来物によるものより大きく、竜巻防護施設を防護ができない可能性があるものは固縛、固定、竜巻防護施設、竜巻防護施設を内包する施設及び竜巻防護対策施設からの離隔、建屋内収納又は撤去の対策を実施し、確実に飛来物とならない運用とする。

(7) 荷重の組合せと許容限界

竜巻に対する防護設計を行うため、竜巻防護施設等に作用する設計竜巻荷重の算出、設計竜巻荷重の組合せの設定、設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定及び許容限界について以下に示す。

a. 竜巻防護施設等に作用する設計竜巻荷重

設計竜巻により竜巻防護施設等に作用する荷重として「風圧力による荷重 (W_w)」、「気圧差による荷重 (W_p)」及び「設計飛来物による衝撃荷重 (W_m)」を以下に示すとおり算出する。

(a) 風圧力による荷重 (W_w)

設計竜巻の最大風速による荷重であり、「建築基準法施行令」(昭和25年11月16日政令第338号)、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」及び建設省告示1454号(平成12年5月31日)に準拠して、次式のとおり算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで、

W_w : 風圧力による荷重

q : 設計用速度圧

G : ガスト影響係数 (=1.0)

C : 風力係数 (施設の形状や風圧力が作用する部位 (屋根・壁等) に応じて設定する。)

A : 施設の受圧面積

$$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$$

ここで、

ρ : 空気密度

V_D : 設計竜巻の最大風速

ただし、竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として算定されるが、鉛直方向の風圧力に対してせい弱と考えられる竜巻防護施設等が存在する場合には、鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮した設計とする。

(b) 気圧差による荷重 (W_p)

外気と隔離されている区画の境界部が気圧差による圧力影響を受ける設備及び竜巻防護施設を内包する施設の建屋壁、屋根等においては、設計竜巻による気圧低下によって生じる竜巻防護施設等の内外の気圧差による圧力荷重が発生し、保守的に「閉じた施設」を想定し次式のとおり算出する。

$$W_p = \Delta P_{\max} \cdot A$$

ここで、

W_p : 気圧差による荷重

ΔP_{\max} : 最大気圧低下量

A : 施設の受圧面積

(c) 設計飛来物による衝撃荷重 (W_M)

飛来物の衝突方向及び衝突面積を考慮して設計飛来物が竜巻防護施設等に衝突した場合の影響が大きくなる向きで衝撃荷重を算出する。

b. 設計竜巻荷重の組合せ

竜巻防護施設等の設計に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重 (W_W)、気圧差による荷重 (W_p) 及び設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) を組み合わせた複合荷重とし、複合荷重 W_{T1} 及び W_{T2} は米国原子力規制委員会の基準類を参考として、以下のとおり設定する。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

なお、竜巻防護施設等には、 W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させる。

c. 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重は、以下のとおり設定する。

(a) 竜巻防護施設等に常時作用する荷重及び運転時荷重

竜巻防護施設等に作用する荷重として、自重等の常時作用する荷重及び内圧等の運転時荷重を適切に組み合わせる。

(b) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻は、積乱雲及び積雲に伴って発生する現象であり⁽¹¹⁾、積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は、雷、雪、ひょう及び雨である。これらの自然現象の組合せにより発生する荷重は、以下のとおり設計竜巻荷重に包絡されることから、設計竜巻荷重と組み合わせる荷重として考慮しない。

i. 雷

竜巻と雷が同時に発生する場合においても、雷によるプラントへの影響は、雷撃であるため雷による設計竜巻荷重への影響はない。

ii. 雪

影響の程度として竜巻は、数分程度の極めて短い期間、積雪は年間でも冬季に限定された数日である。竜巻通過前に積雪があったとしても大部分は竜巻の風により吹き飛ばされるため、雪による荷重は十分小さく設計竜巻荷重に包絡される。

iii. ひょう

ひょうは、積乱雲から降る直径5mm以上の氷の粒であり、仮に直径10cm程度の大きさのひょうを想定した場合、その質量は約0.5kgである。

竜巻とひょうが同時に発生する場合においても、10cm程度のひょうの終端速度は 59m/s ⁽¹²⁾、運動エネルギーは約0.9kJであり、設計飛来物の運動エネルギーと比べ十分に小さく、ひょうの衝突による荷重は設計竜巻荷重に包絡される。

iv. 雨

竜巻と雨が同時に発生する場合においても、雨水により屋外施設に荷重の影響を与えることはなく、また降雨による荷重は十分小さいため、設計竜巻荷重に包絡される。

(c) 設計基準事故時荷重

竜巻防護施設は、設計竜巻によって安全機能を損なわない設計とするため、設計竜巻と設計基準事故は独立事象となる。

設計竜巻と設計基準事故が同時に発生する頻度は十分小さいことから、設計基準事故時荷重と設計竜巻荷重との組合せは考慮しない。

仮に、風速が低く発生頻度が高い竜巻と設計基準事故が同時に発生する場合、竜巻防護施設等のうち設計基準事故時荷重が生じる設備として

は動的機器である海水ポンプが考えられるが、設計基準事故時においても海水ポンプの圧力及び温度が変わらず、運転時荷重が変化することはないため、設計基準事故により考慮すべき荷重はなく、竜巻と設計基準事故時荷重の組合せは考慮しない。

d. 許容限界

建屋・構築物の設計において、設計飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離発生の有無の評価については、貫通及び裏面剥離が発生する限界厚さと部材の最小厚さを比較することにより行う。さらに、設計荷重により、発生する変形又は応力が以下の法令、規格、基準、指針類等に準拠し算定した許容限界を下回る設計とする。

- ・ 建築基準法
- ・ 日本工業規格
- ・ 日本建築学会及び土木学会等の基準・指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1987（日本電気協会）
- ・ 震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針（日本建築防災協会）
- ・ 時刻歴応答解析 建築物性能評価業務方法書（日本建築センター）
- ・ 日本機械学会の基準・指針類
- ・ 原子力エネルギー協会（NEI）の基準・指針類

系統及び機器の設計において、設計飛来物の衝突による貫通の有無の評価については、貫通が発生する限界厚さと部材の最小厚さを比較することにより行う。設計飛来物が貫通することを考慮する場合には、設計荷重に対して防護対策を考慮した上で、系統及び機器に発生する応力が以下の規格、基準及び指針類に準拠し算定した許容応力度等に基づく許容限界を下回る設計とする。

- ・ 日本工業規格
- ・ 日本機械学会の基準・指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1987（日本電気協会）

(8) 竜巻防護施設等の防護設計方針

竜巻防護施設等の設計荷重に対する防護設計方針を以下に示す。

a. 竜巻防護施設のうち、建屋等に内包され防護される施設（外気と繋が

っている施設を除く。)

竜巻防護施設のうち、建屋等に内包され防護される施設(外気と繋がっている施設を除く。)は、建屋等による防護により設計荷重による影響を受けない設計とする。

ただし、建屋等による防護が期待できない場合には「b. 竜巻防護施設のうち、建屋等に内包されるが防護が期待できない施設」のとおりとする。

- b. 竜巻防護施設のうち、建屋等に内包されるが防護が期待できない施設
建屋等に内包される竜巻防護施設のうち、建屋等が設計竜巻の影響により健全性が確保されず、貫通又は裏面剥離が発生し安全機能を損なう可能性がある場合には、竜巻防護対策施設又は運用による竜巻防護対策を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

- c. 竜巻防護施設のうち、建屋内の施設で外気と繋がっている施設及び屋外施設

建屋に内包され防護される竜巻防護施設のうち、外気と繋がる施設は、設計荷重の影響を受けても、安全機能を損なわない設計とする。

屋外の竜巻防護施設は、設計荷重による影響により安全機能を損なわない設計とする。安全機能を損なう場合には、竜巻防護対策施設又は運用による竜巻防護対策を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

- d. 竜巻防護施設を内包する施設

竜巻防護施設を内包する施設は、設計荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部(扉類)の破損により内包される竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突に対しては、貫通及び裏面剥離の発生により内包される竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

- e. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設については、設計荷重による影響を受ける場合においても竜巻防護施設に影響を与えないように、設備又は運用による竜巻防護対策を実施することにより、竜巻防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

以上の竜巻防護施設等の防護設計を考慮して、設計竜巻から防護する施設及び竜巻対策等を第1.8.2表に、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設及び竜巻対策等を第1.8.3表に、竜巻防護施設を内包する施

設及び竜巻対策等を第1.8.4表に示す。

(9) 竜巻防護施設を内包する施設の設計

竜巻防護施設を内包する施設の設計においては、設計荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損により施設内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により施設内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

- a. 原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、原子炉補助建屋、燃料取替用水タンク建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋

設計荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損により当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

ただし、設計荷重による影響を受け、屋根、壁及び開口部（扉類）が損傷し当該建屋内の竜巻防護施設の安全機能を損なう可能性がある場合には、当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわないかを評価し、安全機能を損なう可能性がある場合には、竜巻防護対策施設又は運用による竜巻防護対策を実施する。

- b. 燃料油貯油そう基礎及び燃料油貯蔵タンク基礎

設計飛来物が衝突した際に、設計飛来物の貫通を防止するとともに、当該構築物内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

- c. 海水ポンプエリア防護壁及び海水ポンプエリア水密扉

設計荷重に対して、構造健全性を維持し当該構築物内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突に対しては、貫通又は裏面剥離の発生により、当該構築物内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

(10) 竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設的设计

竜巻防護施設は、構造健全性を損なわないこと又は取替・補修が可能なことにより、安全機能を損なわない設計とする。また、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設は、構造健全性を維持すること、設計上の要求を維持すること又は安全上支障のない期間での修復等の対応により、竜巻防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 竜巻防護施設のうち、建屋等に内包され防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）

建屋等内の竜巻防護施設（外気と繋がっている施設を除く。）は、原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、原子炉補助建屋、燃料取替用水タンク建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋、燃料油貯油そう基礎、燃料油貯蔵タンク基礎、海水ポンプエリア防護壁又は海水ポンプエリア水密扉に内包され、設計荷重から防護されることによって、安全機能を損なわない設計とする。

b. 竜巻防護施設のうち、建屋等に内包されるが防護が期待できない施設

原子炉周辺建屋のうち燃料取扱棟は、設計飛来物の衝突に対して壁に貫通が発生することを想定し、燃料取扱棟内部の竜巻防護施設で、設計荷重により影響を受ける可能性がある使用済燃料ピットが安全機能を損なわない設計とする。

また、原子炉周辺建屋及び原子炉補助建屋については、設計荷重により、開口部の開放又は開口部建具に貫通が発生することを考慮し、開口部建具付近の竜巻防護施設のうち、設計飛来物の衝突により影響を受ける可能性があるディーゼル発電機他が安全機能を損なわない設計とする。

(a) 使用済燃料ピット

設計飛来物が原子炉周辺建屋のうち燃料取扱棟の壁を貫通し使用済燃料ピットに侵入すると想定した場合でも、設計飛来物の衝撃荷重により、使用済燃料ピットのライニング及びコンクリートの一部が損傷して、

ピット水が漏えいすることはほとんどなく、使用済燃料ピットの冷却機能及び遮へい機能に影響しないことにより使用済燃料ピットが安全機能を損なわない設計とし、使用済燃料ピット水による減速及び使用済燃料ラックにより、使用済燃料ラックに保管される燃料集合体の構造健全性が維持される設計とする。

(b) ディーゼル発電機他

ディーゼル発電機他は、設計飛来物が原子炉周辺建屋又は原子炉補助建屋の開口部建具を貫通し、ディーゼル発電機他に衝突し影響を受けることを考慮して、原子炉周辺建屋及び原子炉補助建屋の開口部（竜巻防護施設を設置している区画の出入口扉、点検扉等）に竜巻防護対策施設を設置することにより、設計飛来物のディーゼル発電機他への衝突を防止し、ディーゼル発電機他の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

c. 竜巻防護施設のうち、建屋内の施設で外気と繋がっている施設及び屋外施設

(a) 換気空調設備（アニュラス空気浄化系、安全補機室空気浄化系、中央制御室空調系、格納容器排気系、安全補機開閉器室空調系、ディーゼル発電機室換気系、中間補機棟空調系及び試料採取室排気系の外気と繋がるダクト及び外気との境界となるダンパ・バタフライ弁）

換気空調設備が原子炉周辺建屋及び原子炉補助建屋に内包されていること並びに竜巻防護対策施設により防護されることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。気圧差による荷重に対して、換気空調設備の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

(b) 海水ポンプ（配管及び弁を含む。）

海水ポンプ（配管及び弁を含む。）は、設計飛来物に対して竜巻防護対策施設による竜巻防護対策を行う。また、風圧力による荷重、気圧差による荷重、海水ポンプ（配管及び弁を含む。）に常時作用する荷重及び運転時荷重に対して構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

(c) 海水ストレーナ

海水ストレーナは、設計飛来物に対して竜巻防護対策施設による竜巻防護対策を行う。また、風圧力による荷重、気圧差による荷重、海水ストレーナに常時作用する荷重及び運転時荷重に対して構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

(d) 排気筒

排気筒は、設計飛来物の衝突による損傷を考慮して、補修が可能な設計とすることにより、設計基準事故時における安全機能を損なわない設計とする。

d. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

(a) 主蒸気安全弁（排気管）

主蒸気安全弁（排気管）は、風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対して、構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とし、設計飛来物の衝突による損傷を考慮して、補修等が可能な設計とすることにより主蒸気安全弁に波及的影響を及ぼさない設計とする。

(b) 主蒸気逃がし弁（消音器）

主蒸気逃がし弁（消音器）は、風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対して、構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とし、設計飛来物の衝突による損傷を考慮して、補修等が可能な設計とすることにより主蒸気逃がし弁に波及的影響を及ぼさない設計とする。

(c) タービン動補助給水ポンプ（蒸気大気放出管）

タービン動補助給水ポンプ（蒸気大気放出管）は、風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対して、構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とし、設計飛来物の衝突による損傷を考慮して、補修等が可能な設計とすることによりタービン動補助給水ポンプに波及的影響を及ぼさない設計とする。

(d) ディーゼル発電機（吸気消音器、排気消音器、燃料油貯油そうべント

管、燃料油貯蔵タンクベント管及びタンクローリ)

ディーゼル発電機（吸気消音器、排気消音器、燃料油貯油そうベント管及び燃料油貯蔵タンクベント管）は、風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対して、構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とし、設計飛来物の衝突による損傷を考慮して、補修等が可能な設計とすることによりディーゼル発電機に波及的影響を及ぼさない設計とする。

また、ディーゼル発電機（タンクローリ）は、飛来物が衝突したとしても、貫通及び裏面剥離を生じない部材厚さがあり、さらに風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重に耐え得る強度を有するタンクローリの車庫等の中に設置し、タンクローリ 2 台を確実に確保することによりディーゼル発電機に波及的影響を及ぼさない設計とする。

(e) 廃棄物処理建屋及びタービン建屋

廃棄物処理建屋及びタービン建屋については、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重に対して倒壊により竜巻防護施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

(f) 橋型クレーン

橋型クレーンは、竜巻の襲来が予想される場合には、運転を中止し、停留位置に固定することにより、橋型クレーンが損傷したとしても海水ポンプ（配管及び弁を含む。）及び海水ストレーナに衝突しない離隔を確保し、海水ポンプ（配管及び弁を含む。）及び海水ストレーナに波及的影響を及ぼさない設計とする。

(g) 換気空調設備（蓄電池室排気系の外気と繋がるダクト及び外気との境界となるダンパ）

換気空調設備のうち飛来物により損傷する可能性のある施設は、設計飛来物に対して竜巻防護対策施設による竜巻防護対策を行う。

換気空調設備が竜巻防護施設を内包する施設である原子炉補助建屋（3号炉）及び原子炉周辺建屋（4号炉）に内包されていること並びに竜巻防護対策施設によって防護されることを考慮すると、設計竜巻荷重のうち風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。換気空調設備は、気圧差による荷重に対して、換気空調設備の構造健全

性を維持し安全機能を損なわない設計とし、竜巻防護施設である蓄電池に波及的影響を及ぼさない設計とする。

(11) 竜巻随件事象に対する評価

竜巻随件事象は、過去の竜巻被害状況及び玄海原子力発電所のプラント配置から、想定される事象として、火災、溢水及び外部電源喪失を抽出し、事象が発生する場合においても、竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

a. 火 災

竜巻随件事象として、竜巻による飛来物が建屋開口部付近の発火性又は引火性物資を内包する機器に衝突する場合、屋外の危険物タンク等に飛来物が衝突する場合の火災が想定される。建屋内については、飛来物が侵入する場合でも、建屋開口部付近には、原子炉施設の安全機能を損なう可能性がある発火性又は引火性物質を内包する機器はなく、また、竜巻防護施設を設置している区画の開口部は竜巻防護対策施設により飛来物が侵入することはない。

建屋外については、屋外にある危険物タンク等からの火災がある。竜巻防護施設は外部火災防護施設に包含されていることから、火災源と外部火災防護施設の位置関係を踏まえて火災の影響を評価した上で、外部火災防護施設が安全機能を損なわない設計とすることを「1.10 外部火災防護に関する基本方針」に記載する。

火災が発生した場合は、火災防護計画に定める火災発生時の対応を実施することから、竜巻防護施設が安全機能を損なうことはない。

b. 溢 水

竜巻随件事象として、竜巻による飛来物が建屋開口部付近の溢水源に衝突する場合、屋外タンクに飛来物が衝突する場合の溢水が想定される。

竜巻防護施設を内包する建屋内については、設計竜巻により飛来物が侵入する場合でも、建屋開口部付近に飛来物が衝突し、原子炉施設の安全機能を損なう可能性がある溢水源がないこと、また、竜巻防護施設を設置している区画の開口部は竜巻防護対策施設により飛来物が侵入することはないことから、設計竜巻により建屋内に溢水が発生することはないこと、建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なうことはない。

建屋外については、竜巻による飛来物の衝突による屋外タンクの破損に

伴う溢水を想定し、溢水防護対象設備のうち溢水の影響を受ける設備が安全機能を損なわない設計とすることを「1.7 溢水防護に関する基本方針」に記載する。

c. 外部電源喪失

設計竜巻又は設計竜巻と同時に発生する雷又はダウンバーストの影響により外部電源喪失が発生する場合には、設計竜巻に対してディーゼル発電機の構造健全性を維持することにより、外部電源喪失の影響がなく竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

1.8.2 手順等

竜巻に対する防護については、竜巻に対する影響評価を行い、安全施設が安全機能を損なわないよう手順等を定める。

- (1) 屋外の作業区画で飛散する恐れのある資機材、車両等については、飛来時の運動エネルギー等を評価し、竜巻防護施設への影響の有無を確認する。竜巻防護施設へ影響を及ぼす資機材、車両等については、固縛、固定、竜巻防護施設、竜巻防護施設を内包する施設及び竜巻防護対策施設から離隔、建屋内収納又は撤去する。これら飛来物発生防止対策について手順を定める。
- (2) 竜巻の襲来が予想される場合及び竜巻襲来後において、竜巻防護施設を防護するための操作・確認、補修等が必要となる事項について手順を定める。

第 1.8.1 表 玄海原子力発電所における設計飛来物

飛来物の種類	寸法 (m)	質量 (kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)
鋼製材	長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2	135	51	34
大型車両	長さ×幅×高さ 12.0×2.5×3.75	15,400	42	28

第 1.8.2 表 設計竜巻から防護する施設及び竜巻対策等 (1 / 2)

設計竜巻から防護する施設	竜巻の最大風速条件	飛来物対策	防護施設	想定する設計飛来物	手順等	
海水ポンプ(配管及び弁含む。)海水ストレーナ	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> ・ 固縛 ・ 固定 ・ 竜巻防護施設他との隔離 ・ 建屋内収納 ・ 撤去 	施設を内包する施設 竜巻防護対策施設	—	水密扉の閉止確認	
排気筒			—	鋼製材	補修	
使用済燃料ピット			—	鋼製材	—	
ディーゼル発電機他			—	施設を内包する施設 増厚した防護扉他	—	防護扉の閉止確認

第 1.8.2 表 設計竜巻から防護する施設及び竜巻対策等 (2 / 2)

設計竜巻から防護する施設	竜巻の最大風速条件	飛来物対策	防護施設	想定する設計飛来物	手順等
換気空調設備(アニュラス空気浄化系、安全補機室空気浄化系、中央制御御室空調系、格納容器排気系、安全補機室換気機室空調系、ディーゼル発電機室換気系、中間補機棟空調系及びダクト及び外気排気系の外気と繋がるダクト及び外気との境界となるダンプ・パタフライ弁)	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> • 固縛 • 固定 • 竜巻防護施設他との離隔 • 建屋内収納 • 撤去 	施設を内包する施設	—	—
クラス 1 及びクラス 2 に属する施設のうち上記以外の建屋・構築物内の施設			施設を内包する施設	—	—
クラス 3 に属する施設			—	—	代替設備の確保、補修・取替等

第1.8.3表 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設及び竜巻対策等（1／2）

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	竜巻の最大風速条件	飛来物対策	防護施設	想定する設計飛来物	手順等
廃棄物処理建屋 タービン建屋	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> • 固縛 • 固定 • 竜巻防護施設他との隔離 • 建屋内収納 • 撤去 	—	鋼製材	—
橋型クレーン			—	鋼製材	竜巻襲来が予測される場合の運転停止及び停置位置への移動
換気空調設備（蓄電池室排気系の外気と繋がるダクト及び外気との境界となるダンパ）			施設を内包する施設 防護扉他	—	防護扉の閉止確認

第1.8.3表 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設及び竜巻対策等（2／2）

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	竜巻の最大風速条件	飛来物対策	防護施設	想定する設計飛来物	手順等
主蒸気逃がし弁（消音器） 主蒸気安全弁（排気管） タービン補助給水ポンプ（蒸気放気管） ディーゼル発電機（吸気消音器、排気消音器、燃料油貯蔵タンク排気管及び燃料油貯蔵タンク排気管）	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> ・ 固縛 ・ 固定 ・ 竜巻防護施設他との離隔 ・ 建屋内収納 ・ 撤去 	—	鋼製材	補修等
ディーゼル発電機（タンクローリ）			車庫等 入口扉	—	入口扉の閉止確認

第1.8.4表 竜巻防護施設を内包する施設及び竜巻対策等

竜巻防護施設を内包する施設	竜巻の最大風速条件	飛来物対策	防護施設	想定する設計飛来物	手順等
原子炉格納容器 原子炉周辺建屋 原子炉補助建屋 燃料取替用水タンク 燃料貯蔵タンク 燃料貯蔵タンク 海水ポンプ 海水ポンプ	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> • 固縛 • 固定 • 竜巻防護施設 他との分離 • 建屋内収納 • 撤去 	—	鋼製材	—

(3) 適合性説明

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第六条 安全施設（兼用キャスクを除く。）は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

3 安全施設（兼用キャスクを除く。）は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。以下「人為による事象」という。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

4 兼用キャスクは、次に掲げる自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

一 兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの

二 想定される森林火災

6 兼用キャスクは、次に掲げる人為による事象に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

一 工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発

二 工場等の周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある火災

適合のための設計方針

1 について

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地で想定される自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

3 について

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地又はその周辺で想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

4 について

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地で想定される自然現象のうち竜巻及び森林火災が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。ここで、発電所敷地で想定される自然現象のうち竜巻及び森林火災に対して、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なわないために必要な使用済燃料乾式貯蔵容器以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。また、発電所敷地で想定される自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として使用済燃料乾式貯蔵容器で生じ得る環境条件を考慮する。

以下にこれら自然現象に対する設計方針を示す。

(1) 竜巻

使用済燃料乾式貯蔵容器は、兼用キャスク告示に定める最大風速100m/sの竜巻が発生した場合においても、竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた荷重等に対して安全機能を損なわないために、竜巻防護対策を行う。

a. 竜巻防護対策

設計飛来物が飛来し、竜巻防護施設が安全機能を損なわないように、以下の対策を行う。

・使用済燃料乾式貯蔵建屋により、使用済燃料乾式貯蔵容器を防護し構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

(2) 森林火災

森林火災については、過去10年間の気象条件を調査し、発電所から直線距離で10kmの間に発火点を設定し、森林火災シミュレーション（FARSITE）を用いて影響評価を実施し、影響評価に基づいた防火帯幅を確保すること等により、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

また、使用済燃料乾式貯蔵容器は外気を取り入れる設備でないため、ばい煙等発生時の二次的影響を受けない。

6 について

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）のうち、爆発及び近隣工場等の火災に対して安全機能を損なわない設計とする。ここで、発電所敷地又はその周辺において想定され

る発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なわないために必要な使用済燃料乾式貯蔵容器以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

(1) 爆 発

発電所敷地外10km以内の範囲において、爆発により安全施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、爆発による使用済燃料乾式貯蔵容器への影響については考慮する必要はない。

また、発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、唐津市及び玄海町に主要な産業施設があるが、これらの産業施設は発電所からの離隔距離が確保されており、さらに、これらの産業施設と発電所の間には標高約120mの山林の障壁があり、ガス爆発による爆風圧による影響を受けるおそれはない。

(2) 近隣工場等の火災

a. 石油コンビナート施設の火災

発電所敷地外10km以内の範囲において、火災により使用済燃料乾式貯蔵容器に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、火災による使用済燃料乾式貯蔵容器への影響については考慮する必要はない。

また、発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、唐津市及び玄海町に主要な産業施設があるが、これらの産業施設は発電所からの離隔距離が確保されており、さらに、これらの産業施設と発電所の間には標高約120mの山林の障壁があり、火災時の熱輻射による影響を受けるおそれはない。

発電用原子炉施設から南東へ約1kmのところにある一般国道204号線があるが、付近に石油コンビナート施設等はないことから、大量の危険物を輸送する可能性はない。このため、一般国道204号線上で車両火災が発生したとしても、使用済燃料乾式貯蔵容器に影響はない。

b. 発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災

発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災発生時の輻射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

c. 航空機墜落による火災

発電所敷地内への航空機墜落に伴う火災発生時の輻射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

d. 発電所港湾内に入港する船舶の火災

発電所港湾内に入港する船舶の火災発生時の輻射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

e. 二次的影響（ばい煙等）

使用済燃料乾式貯蔵容器は外気を取り入れる設備でないため、石油コンビナート施設の火災、発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災、航空機墜落による火災及び発電所港湾内に入港する船舶の火災に伴うばい煙等発生時の二次的影響を受けない。

1.2 気象等

7.9 竜巻

7.9.1 竜巻

竜巻影響評価は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(以下「ガイド」という。)を参照して実施する。

安全施設(兼用キャスクである使用済燃料乾式貯蔵容器(以下「使用済燃料乾式貯蔵容器」という。))を除く。)に対する基準竜巻及び設計竜巻の設定は、竜巻検討地域の設定、基準竜巻の最大風速の設定及び設計竜巻の最大風速の設定の流れで実施する。

使用済燃料乾式貯蔵容器に対する設計竜巻の最大風速は、「兼用キャスクが安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示(平成31年4月2日原子力規制委員会決定)」に定める100m/sとする。

7.9.1.1 竜巻検討地域の設定

玄海原子力発電所が立地する地域と、気象条件の類似性の観点及び局所的な地域性の観点で検討を行い、竜巻検討地域を設定する。

(1) 気象総観場毎の整理

気象条件の類似性の観点では、気象総観場毎の竜巻発生場所を整理し、玄海原子力発電所と類似の地域を抽出する。気象総観場は、気象庁「竜巻等の突風データベース」の総観場を基に、独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究の成果(以下「東京工芸大学委託成果」という。)⁽¹⁾を参考に、低気圧、台風、停滞前線、局地性降雨(局地性擾乱、雷雨含む)、季節風及びその他の6つに分類する。なお、低気圧には、気圧の谷、暖気の移流、寒気の移流及び前線(停滞前線除く)を含めている(第7.9.1.1図)。

低気圧起因の竜巻は日本全国で発生しており、地域性はないと判断する(第7.9.1.2図)。

次に、停滞前線起因の竜巻は、北海道を除く地域で発生している(第7.9.1.3図)。同様に、台風起因の竜巻は九州から太平洋側の地域で発生している(第7.9.1.4図)。残る局地性降雨、季節風及びその他の竜巻は、日本全国で発生していると判断する。

(2) 抽出した地域を対象とした竜巻発生頻度等の分析

竜巻発生 の地域性が見られる停滞前線起因と台風起因の発生エリアの

重なりを考慮すると、九州・山口及び太平洋側沿岸において類似性がある。そこで、この九州・山口及び太平洋側沿岸を基本として、竜巻の発生頻度の観点から竜巻検討地域の検討を行う。

九州・山口及び太平洋側沿岸の海岸線から海側陸側各 5 km の範囲を対象として、単位面積当りの竜巻発生数のエリア毎の比較を示す（第 7.9.1.5 図及び第 7.9.1.1 表）。なお、竜巻の数は、台風に限定せず全ての気象要因による発生数である。

これらより、九州から太平洋側沿岸に拡げていくと、九州（沖縄県含む）、山口県、高知県、徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県、神奈川県、東京都、千葉県及び茨城県に当る①+②+③+④のケースが単位面積当りの竜巻発生数が最も大きくなる。

次に、各ケースに含まれる F スケールが比較的大きな竜巻（F1～F2 以上）の発生数について、九州（沖縄県含む）から茨城県（①+②+③+④のケース）まで拡げることで F2～F3 などの大きな竜巻も取込めていることがわかる（第 7.9.1.2 表）。

(3) 集中地域における竜巻の発生頻度の確認

局所的な地域性の観点では、独立行政法人原子力安全基盤機構「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」⁽²⁾に、全国 19 個の竜巻集中地域が示されており、玄海原子力発電所は、いずれの集中地域にも含まれない。なお、玄海原子力発電所に最も近い集中地域⑧（第 7.9.1.6 図）について、海側陸側各 5 km の範囲を対象とした単位面積当りの竜巻発生数及び F スケール規模の大きい竜巻の発生状況の分析結果から、単位面積当りの竜巻発生数は、九州（沖縄県含む）から茨城県（①+②+③+④のケース）の地域を若干上回るものの、F スケール規模の大きな竜巻が発生していないことを確認している（第 7.9.1.3 表、第 7.9.1.4 表）。

(4) 竜巻検討地域

九州（沖縄県含む）、山口県、高知県、徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県、神奈川県、東京都、千葉県及び茨城県の海岸線から、陸側及び海側それぞれ 5 km の範囲を竜巻検討地域に設定する（面積約 $8.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ）。第 7.9.1.7 図に竜巻検討地域を示す。

7.9.1.2 基準竜巻の最大風速の設定

基準竜巻の最大風速は、過去に発生した竜巻による最大風速（ V_{B1} ）及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（ V_{B2} ）のうち、大きな風速を設定する。

(1) 過去に発生した竜巻による最大風速（ V_{B1} ）

過去に発生した竜巻による最大風速の設定に当たっては、現時点では、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の最大風速を、十分な信頼性のあるデータ等に基づいて評価できるだけの知見を有していないことから、日本で過去に発生した竜巻の観測データを用いて設定する。

なお、今後も地域特性に関する検討、新たな知見の収集やデータの拡充などに取り組み、より信頼性のある評価が可能なように努力する。

日本で過去に発生した最大の竜巻はF3 スケールである。F3 スケールにおける風速 $70\text{m/s} \sim 92\text{m/s}$ であることから、その最大風速を基に過去に発生した最大の竜巻の最大風速 V_{B1} を 92m/s とする。第 7.9.1.5 表に日本における F3 スケールの竜巻一覧を示す。

(2) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

竜巻最大風速のハザード曲線は、ガイドに従い、既往の算定方法に基づき、具体的には、東京工芸大学委託成果⁽¹⁾を参照して算定する。本評価は、竜巻データの分析、竜巻風速、被害幅及び被害長さの確率密度分布の算定、相関係数の算定、並びにハザード曲線の算定によって構成される。

竜巻最大風速のハザード曲線の算定は、竜巻検討地域（海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km 全域の範囲）の評価及び竜巻検討地域を海岸線に沿って 1 km 範囲ごとに細分化した場合の評価の 2 通りで算定し、そのうち大きな風速を設定する。

a. 海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km 全域の評価

本評価では、竜巻検討地域外で発生して竜巻検討地域内に移動した陸上発生竜巻も発生数にカウントする。被害幅及び被害長さは、それぞれ被害全幅及び被害全長を用いる。

b. 竜巻の発生頻度の分析

気象庁「竜巻等の突風データベース」をもとに、1961 年～2012 年 6 月までの 51.5 年間の統計量を F スケール別に算出する。なお、観測体制の変遷による観測データ品質のばらつきを踏まえ、以下の (a)～(c) の基本的な考え方に基づいて整理を行う。

(a) 被害が小さくて見過ごされやすい F0 及び F スケール不明竜巻に対しては、観測体制が強化された 2007 年以降の年間発生数及び標準偏差を用いる。

(b) 被害が比較的軽微な F1 竜巻に対しては、観測体制が整備された 1991 年以降の年間発生数及び標準偏差を用いる。

(c) 被害が比較的大きく見逃されることがないと考えられる F2 及び F3

竜巻に対しては、観測記録が整備された 1961 年以降の全期間の年間発生数及び標準偏差を用いる。

また、F スケール不明の竜巻については、以下の取扱いを行う。

陸上で発生した竜巻（以下「陸上竜巻」という。）及び海上で発生して陸上へ移動した竜巻については、被害があつて初めてその F スケールが推定されるため、陸上での F スケール不明の竜巻は、被害が少ない F0 竜巻と見なす。

海上で発生しその後上陸しなかった竜巻（以下「海上竜巻」という。）については、その竜巻のスケールを推定することは困難であることから、「海岸線から海上 5 km の範囲における海上竜巻の発生特性が、海岸線から内陸 5 km の範囲における陸上竜巻の発生特性と同様である。」という仮定に基づいて各 F スケールに分類する。その結果、F スケール不明の海上竜巻の取扱いにより、第 7.9.1.6 表のとおり観測実績に対して保守性を高めた評価としている。

c. 年発生数の確率密度分布の設定

ハザード曲線の評価に当たって竜巻の発生がポアソン過程に従うと仮定し、使用する竜巻年発生数の確率密度分布はポリヤ分布を採用する。

竜巻年発生数の確率分布の設定には、ポアソン分布とポリヤ分布が考えられる。

ポアソン分布は、生起確率が正確に分からないが稀な現象の場合に有用な分布である。一方、ポリヤ分布は、発生状況が必ずしも独立でない稀現象（ある現象が生ずるのは稀であるが、一旦ある現象が発生するとその周囲にもその現象が生じやすくなる性質）の場合に有用な分布である（例えば、伝染病の発生件数）。台風や前線により竜巻が発生した場合、同時多発的に複数の竜巻が発生する状況が考えられるため、ポリヤ分布の方が実現象をより反映できると考えられる。

また、国内を対象とした竜巻の年発生数の分布の適合性に関する検討結果は、東京工芸大学委託成果⁽¹⁾に示されており、陸上竜巻及び海上竜巻の両方の発生数について、ポリヤ分布の適合性がポアソン分布に比べて優れているとしている。

玄海原子力発電所の竜巻検討地域で発生した竜巻を対象に、発生数に関するポアソン分布及びポリヤ分布の適合性を評価した結果、竜巻検討地域においても、ポリヤ分布の適合性がポアソン分布に比べて優れている。

d. 竜巻風速、被害幅及び被害長さの確率分布並びに相関係数

竜巻検討地域における 51.5 年間の竜巻の発生数、被害幅及び被害長さ

を基に、確率密度分布についてはガイド及びガイドが参考としている東京工芸大学委託成果⁽¹⁾を参照し、対数正規分布に従うものとする(第7.9.1.8～10図)。

なお、疑似的な竜巻の作成に伴う被害幅又は被害長さの情報がない竜巻には、被害幅又は被害長さを有する竜巻の観測値を与えている。その際は、被害幅又は被害長さが大きいほうから優先的に用いることで、被害幅又は被害長さの平均値が大きくなるように工夫しているとともに、被害幅又は被害長さが0のデータについては計算に用いておらず、保守的な評価を行っている。

このように、前述のFスケール不明の竜巻の取扱い等も含め、データについては保守的な評価となる取扱いを行っている。

また、1961年以降の観測データのみを用いて、竜巻風速、被害幅及び被害長さについて相関係数を求める(第7.9.1.7表)。

e. 竜巻影響エリアの設定

竜巻影響エリアは、玄海原子力発電所3号炉及び4号炉はツインプラントであり建屋及び設備が隣接しているため、3号炉及び4号炉の合計値として評価することとする。玄海原子力発電所3号炉及び4号炉の評価対象施設の面積(第7.9.1.8表)及び設置位置を考慮して、評価対象施設を包絡する円形のエリア(直径360m、面積約 $10.2 \times 10^4 \text{m}^2$)として設定する(第7.9.1.11図)。

なお、竜巻影響エリアを円形とするため、竜巻の移動方向には依存性は生じない。

f. ハザード曲線の算定

T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率を求め、ハザード曲線を求める。

前述のとおり、竜巻の年発生数の確率密度分布としては、ポリヤ分布の適合性が高い。ポリヤ分布は式(a)で示される(Wen and Chu⁽³⁾)。

$$P_r(N) = \frac{(\nu T)^N}{N!} (1 + \beta \nu T)^{-(N+1/\beta)} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (a)$$

ここで、Nは竜巻の年発生数、 ν は竜巻の年平均発生数、Tは年数である。 β は分布パラメータであり式(b)で示される。

$$\beta = \left(\frac{\sigma^2}{\nu} - 1 \right) \times \frac{1}{\nu} \quad (b)$$

ここで、 σ は竜巻の年発生数の標準偏差である。

竜巻影響評価となる対象構造物が風速 V_0 以上の竜巻に遭遇する事象を D と定義し、竜巻影響評価の対象構造物が 1 つの竜巻に遭遇し、その竜巻の風速が V_0 以上となる確率を $R(V_0)$ とした時、 T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率は式 (c) で示される。

$$P_{V_0,T}(D) = 1 - [1 + \beta \nu R(V_0)T]^{1/\beta} \quad (c)$$

この $R(V_0)$ は、竜巻影響評価の対象地域の面積を A_0 (つまり竜巻検討地域の面積約 $8.5 \times 10^4 \text{ km}^2$)、1 つの竜巻の風速が V_0 以上となる面積を $DA(V_0)$ とすると式 (d) で示される。

$$R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \quad (d)$$

ここで、 $E[DA(V_0)]$ は $DA(V_0)$ の期待値を意味する。

本評価では、以下のようにして $DA(V_0)$ の期待値を算出し、式 (d) により $R(V_0)$ を推定して、式 (c) により $P_{V_0,T}(D)$ を求める。風速を V 、被害幅を w 、被害長さを l 及び移動方向を α とし、 $f(V, w, l)$ 等の同時確率密度関数を用いると、 $DA(V_0)$ の期待値は、式 (e) で示される (Garson et al. (4))。

$$\begin{aligned} E[DA(V_0)] = & \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\ & + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty H(\alpha) l f(V, l, \alpha) dV dl d\alpha \\ & + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) G(\alpha) f(V, w, \alpha) dV dw d\alpha \\ & + S \int_{V_0}^\infty f(V) dV \end{aligned} \quad (e)$$

ここで、 $H(\alpha)$ 及び $G(\alpha)$ は、それぞれ竜巻の被害長さ及び被害幅方

向に沿った面に竜巻影響評価対象構造物を投影した時の長さである。竜巻影響エリアを円形で設定しているため、H及びGともに竜巻影響エリアの直径 360m で一定（竜巻の移動方向に依存しない）となる。Sは竜巻影響エリアの面積（直径 360m の円の面積：約 $10.2 \times 10^4 \text{m}^2$ ）を表す。円の直径をLとした場合の計算式は式（f）で示される。

$$\begin{aligned}
 E[DA(V_0)] = & \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\
 & + L \int_0^\infty \int_0^\infty l f(V, l) dV dl \\
 & + L \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw \\
 & + S \int_{V_0}^\infty f(V) dV
 \end{aligned} \tag{f}$$

また、風速の積分範囲の上限値は、ハザード曲線の形状が不自然にならない程度に大きな値として、120m/s に設定する。

また、 $W(V_0)$ は、竜巻の被害幅のうち風速が V_0 を超える部分の幅であり、式（g）で示される。この式により、被害幅内の風速分布に応じて被害様相に分布がある（被害幅の端ほど風速が小さくなる）ことが考慮されている（Garson et al. ⁽⁴⁾、Garson et al. ⁽⁵⁾）。

$$W(V_0) = \left(\frac{V_{\min}}{V_0} \right)^{1/1.6} w \tag{g}$$

ここで、係数の 1.6 について、既往の研究では、例えば 0.5 又は 1.0 などの値も提案されている。ガイドにて参照している Garson et al. ⁽⁵⁾では、観測値が不十分であるため保守的に 1.6 を用いることが推奨されており、本評価でも 1.6 を用いる。また、玄海原子力発電所の竜巻影響評価では、ランキン渦モデルによる竜巻風速分布に基づいて設計竜巻の特性値等を設定している。ランキン渦モデルは、高さ方向によって風速及び気圧が変化しないため、地表から上空まで式（g）を適用できる。なお、式（g）において係数を 1.0 とした場合がランキン渦モデルに該当する。

また、 V_{\min} は、Gale intensity velocity と呼ばれ、被害が発生し始める風速に位置づけられる。Garson et al. ⁽⁵⁾では、 $V_{\min} = 40 \text{mph} \doteq 18 \text{m/s}$ ($1 \text{mph} \doteq 1.61 \text{km/h}$) を提案している。米国気象局 NWS (National

Weather Service) では、Gale intensity velocity は34~47ノット (17.5~24.2m/s) とされている。また、気象庁が使用している風力階級では、風力9は大強風 (strong gale : 20.8~24.4m/s) と分類されており、風力9では「屋根瓦が飛ぶ。人家に被害が出始める。」とされている。

以上を参考に、本評価においては、 $V_{min}=25\text{m/s}$ とする。なお、この値はF0 (17~32m/s) のほぼ中央値に相当する。

海岸線から陸側及び海側それぞれ5km 全域を対象に算定したハザード曲線より、年超過確率 10^{-5} における風速を求めると、69.7m/s となる (第7.9.1.12図)。

g. 1km 範囲ごとに細分化した評価

1km 範囲ごとに細分化した評価は、1km 幅は変えずに順次ずらして移動するケース (短冊ケース) を設定して評価する。評価の条件として、被害幅及び被害長さは、それぞれ1km 範囲内の被害幅及び被害長さを用いている。上記評価条件に基づいて、海岸線から陸側及び海側それぞれ5km 全域の評価と同様の方法でハザード曲線を算定する。

これら算定したハザード曲線より、年超過確率 10^{-5} における風速を求めると、陸側4~5km を対象とした場合の76.0m/s が最大となる (第7.9.1.13図)。

h. 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

海側及び陸側それぞれ5km 全域の評価と、1km 範囲ごとに細分化した評価を比較して、竜巻最大風速のハザード曲線により設定する最大風速 V_{B2} は、ガイドを参考に年超過確率 10^{-5} に相当する風速とし、76.0m/s とする (第7.9.1.14図)。

(3) 基準竜巻の最大風速 (V_B)

過去に発生した竜巻による最大風速 $V_{B1}=92\text{m/s}$ 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 $V_{B2}=76.0\text{m/s}$ より、玄海原子力発電所における基準竜巻の最大風速 V_B は 92m/s とする。

7.9.1.3 設計竜巻の最大風速の設定

発電所が立地する地域の特性として、周辺の地形や竜巻の移動方向を考慮して、基準竜巻の最大風速の割り増しを検討し、設計竜巻の最大風速を設定する。

(1) 玄海原子力発電所周辺の地形

玄海原子力発電所敷地周辺の地形を第 7.9.1.15 図に示す。

Forbes⁽⁶⁾によると、下り斜面又は山裾で竜巻の強さは増すことが確認されている。また、Lewellen⁽⁷⁾では、山及び谷の地形を考慮したシミュレーションを行い、Forbes⁽⁶⁾の知見と合致する結果を得ている。

玄海原子力発電所の敷地内は、海側からも陸側からも高低差は小さくほぼ平坦であり、敷地境界外では、陸側から海側に向かってごく緩やかに下がっているが、前述の知見である下り斜面又は山裾に該当する地形は存在しない。

(2) 九州北部地域で過去に発生した竜巻の移動方向

玄海原子力発電所が立地する九州北部地域で過去に発生した竜巻のうち、移動方向が記録されている 8 個の竜巻について、移動方向の実績を整理する（第 7.9.1.16 図）。

その結果、北北東～南向きに集中しており、陸側から発電所に到来する方向（西向きに移動する方向）を記録した竜巻は確認されていない。

竜巻の移動方向の分析結果から、玄海原子力発電所への竜巻の進入ルートは、地形が平坦な海側からとなる可能性が高い（第 7.9.1.17 図）。

(3) 設計竜巻の最大風速

玄海原子力発電所において、地形効果による竜巻の増幅を考慮する必要はないと考えるが、基準竜巻の最大風速の数値を安全側に切り上げて、設計竜巻の最大風速は 100m/s とする。

7.9.1.4 設計竜巻の特性値の設定

設計竜巻の特性値は、設計竜巻の最大風速（ V_D ）より米国 NRC の基準類⁽⁸⁾を参考として、ランキン渦モデルを仮定して設定する。（第 7.9.1.9 表）

(1) 設計竜巻の移動速度（ V_T ）

設計竜巻の移動速度（ V_T ）は、以下の算定式を用いて V_D から V_T を算定する。

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

(2) 設計竜巻の最大接線風速（ V_{Rm} ）

設計竜巻の最大接線風速（ V_{Rm} ）は、米国 NRC の基準類⁽⁸⁾を参考として、以下の算定式を用いて算定する。

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

(3) 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m)

設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m) は、日本における竜巻の観測記録をもとに提案された竜巻モデル⁽¹⁾に準拠して以下の値を用いる。

$$R_m = 30 \text{ (m)}$$

(4) 設計竜巻の最大気圧低下量 (ΔP_{max})

設計竜巻の最大気圧低下量 (ΔP_{max}) は、米国 NRC の基準類⁽⁸⁾を参考として、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて設定する。

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

ここで、 ρ は空気密度 ($1.22\text{kg}/\text{m}^3$) を示す。

(5) 設計竜巻の最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{max}$)

設計竜巻の最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{max}$) は、米国 NRC の基準類⁽⁸⁾を参考として、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて設定する。

$$(dp/dt)_{max} = (V_T/R_m) \cdot \Delta P_{max}$$

第 7.9.1.1 表 単位面積当りの竜巻発生数の比較

		面積 (km ²)	竜巻数 (個)	単位面積当り発生数 (個/年/km ²)
①	九州 (沖縄含)	51.3×10 ³	197	7.46×10 ⁻⁵
①+②	九州 (沖縄含)、山口県、高知県	60.9×10 ³	235	7.49×10 ⁻⁵
①+② +③	九州 (沖縄含)、山口県、高知県、 <u>徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県</u>	74.0×10 ³	288	7.56×10 ⁻⁵
①+② +③+④	九州 (沖縄含)、山口県、高知県、 <u>徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県、神奈川県、東京都、千葉県、茨城県</u>	85.4×10 ³	336	7.64×10 ⁻⁵
①+② +③+④ +⑤	九州 (沖縄含)、山口県、高知県、 <u>徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県、神奈川県、東京都、千葉県、茨城県、福島県、宮城県</u>	89.5×10 ³	339	7.35×10 ⁻⁵

第 7.9.1.2 表 Fスケール「F1~F2」以上の竜巻発生数の比較

		発生数 (個)				
		F1~F2	F2	F2~F3	F3	計
①	九州 (沖縄含)	7	16	2	0	25
①+②	九州 (沖縄含)、山口県、高知県	10	18	2	0	30
①+② +③	九州 (沖縄含)、山口県、高知県、 <u>徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県</u>	14	21	3	1	39
①+② +③+④	九州 (沖縄含)、山口県、高知県、 <u>徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県、神奈川県、東京都、千葉県、茨城県</u>	20	26	5	1	52
①+② +③+④ +⑤	九州 (沖縄含)、山口県、高知県、 <u>徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県、神奈川県、東京都、千葉県、茨城県、福島県、宮城県</u>	20	26	5	1	52

第 7.9.1.3 表 気象要因抽出地域と集中地域の単位面積当りの竜巻発生数の比較

	面積 (km ²)	竜巻発生数 (個)	単位面積当り発生数 (個/年/km ²)
① + ② + ③ + ④	85.4 × 10 ³	336	7.64 × 10 ⁻⁵
集中地域 ⑧	3.2 × 10 ³	14	8.44 × 10 ⁻⁵

第 7.9.1.4 表 気象要因抽出地域と集中地域の F スケールごとの竜巻発生数の比較

	発生数 (個)				
	F1~F2	F2	F2~F3	F3	計
① + ② + ③ + ④	20	26	5	1	52
集中地域 ⑧	1	1	0	0	2

第 7.9.1.5 表 日本における F3 スケールの竜巻一覧
(1961 年～2012 年 6 月)

発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	発生場所
1971 年 07 月 07 日 07 時 50 分	35 度 52 分 45 秒	139 度 40 分 13 秒	埼玉県浦和市
1990 年 12 月 11 日 19 時 13 分	35 度 25 分 27 秒	140 度 17 分 19 秒	千葉県茂原市
1999 年 09 月 24 日 11 時 07 分	34 度 42 分 4 秒	137 度 23 分 5 秒	愛知県豊橋市
2006 年 11 月 07 日 13 時 23 分	43 度 58 分 39 秒	143 度 42 分 12 秒	北海道網走支庁佐呂間町
2012 年 05 月 06 日 12 時 35 分	36 度 6 分 38 秒	139 度 56 分 44 秒	茨城県常総市

第 7.9.1.6 表 竜巻発生数の分析結果

竜巻検討地域 (海岸±5km)	発生数の統計	陸上で発生した竜巻						海上で発生して陸上へ移動した竜巻						海上竜巻	総計
		F0	F1	F2	F3	F不明	小計	F0	F1	F2	F3	F不明	小計	F不明	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	38	76	30	3	14	161	13	40	19	3	7	82	98	341
	平均値(年)	0.74	1.48	0.58	0.06	0.27	3.13	0.25	0.78	0.37	0.06	0.14	1.59	1.90	6.62
	標準偏差(年)	1.85	1.50	0.73	0.24	0.66	2.98	0.52	1.28	0.63	0.24	0.40	1.75	4.78	8.07
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	38	47	12	1	10	108	13	30	9	0	5	57	98	263
	平均値(年)	1.77	2.19	0.56	0.05	0.47	5.02	0.61	1.40	0.42	0.00	0.23	2.65	4.56	12.23
	標準偏差(年)	2.56	1.72	0.75	0.22	0.92	3.58	0.67	1.73	0.67	0.00	0.43	2.07	6.63	10.00
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	27	10	1	0	6	44	7	3	0	0	3	13	73	130
	平均値(年)	4.91	1.82	0.18	0.00	1.09	8.00	1.27	0.55	0.00	0.00	0.55	2.36	13.27	23.64
	標準偏差(年)	3.73	1.73	0.43	0.00	1.64	5.08	0.80	0.58	0.00	0.00	0.58	1.25	9.12	14.87
疑似 51.5年間 (各竜巻)	期間内総数	253	113	30	3	57	456	66	72	19	3	29	189	684	1,329
	平均値(年)	4.91	2.19	0.58	0.06	1.09	8.83	1.27	1.40	0.37	0.06	0.55	3.64	13.27	25.74
	標準偏差(年)	3.73	1.72	0.73	0.24	1.64	4.48	0.80	1.73	0.63	0.24	0.58	2.10	9.12	10.38

分析結果に基づいて整理した竜巻の発生数

疑似 51.5年間 (全竜巻)	統計	F0	F1	F2	F3	F不明	小計
	期間内総数	870	355	94	11	0	1,330
	平均値(年)	16.89	6.89	1.83	0.21	0.00	25.83
	標準偏差(年)	6.51	3.22	1.31	0.44	0.00	7.40

第 7.9.1.7 表 竜巻風速、被害幅及び被害長さの相関係数

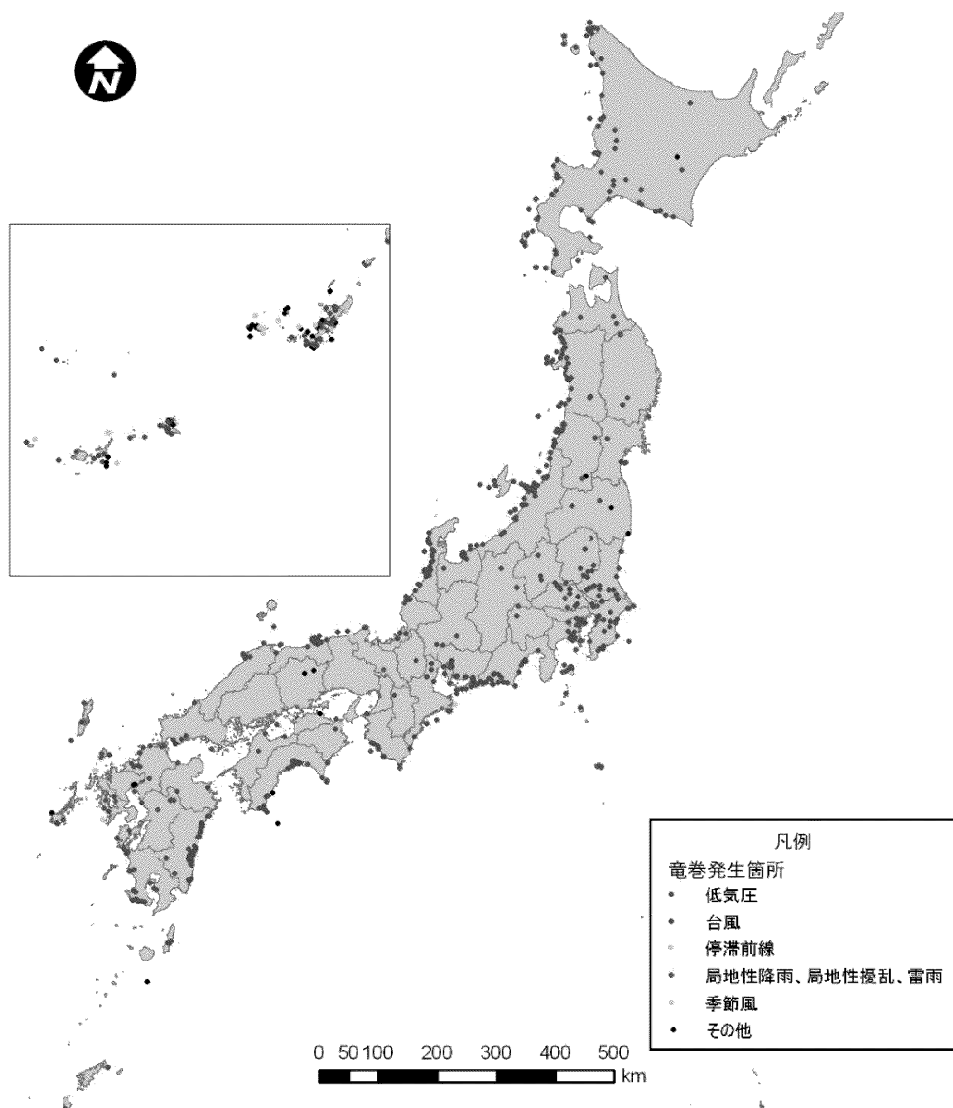
相関係数	風速 (m/s)	被害幅(m)	被害長さ(km)
風速(m/s)	1.000	0.412	0.436
被害幅(m)	—	1.000	0.403
被害長さ(km)	—	—	1.000

第 7.9.1.8 表 評価対象施設の面積

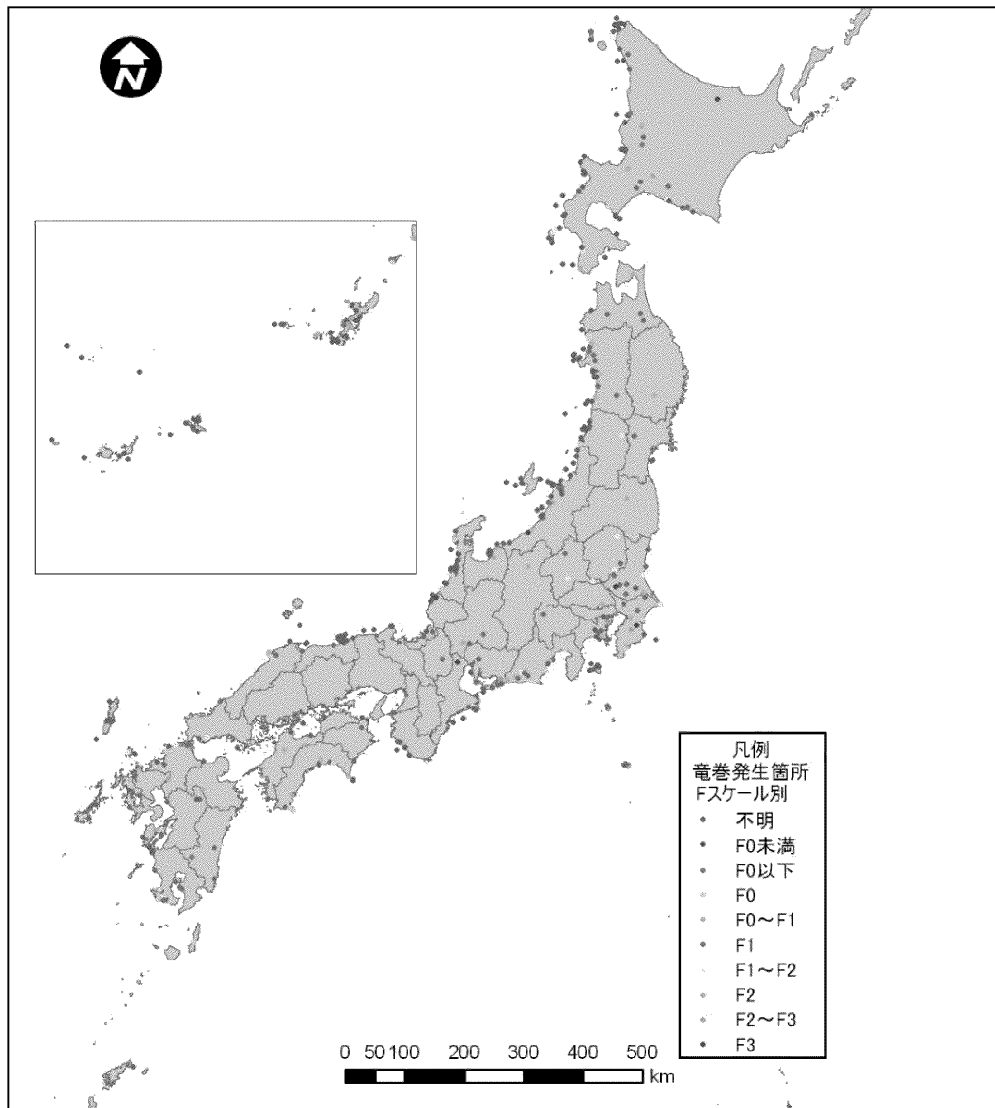
評価対象施設	設置面積 (m ²)		
	3号	4号	計
原子炉格納容器	1,550	1,550	3,100
原子炉周辺建屋	4,510	6,030	10,540
原子炉補助建屋	5,900	—	5,900
タービン建屋	6,570	6,060	12,630
燃料取替用水タンク建屋	1,120	—	1,120
廃棄物処理建屋	1,000	—	1,000
海水ポンプエリア	500	500	1,000
燃料油貯油そう基礎	200	200	400
燃料油貯蔵タンク基礎	230	230	460
合計	21,580	14,570	36,150

第 7.9.1.9 表 設計竜巻の特性値

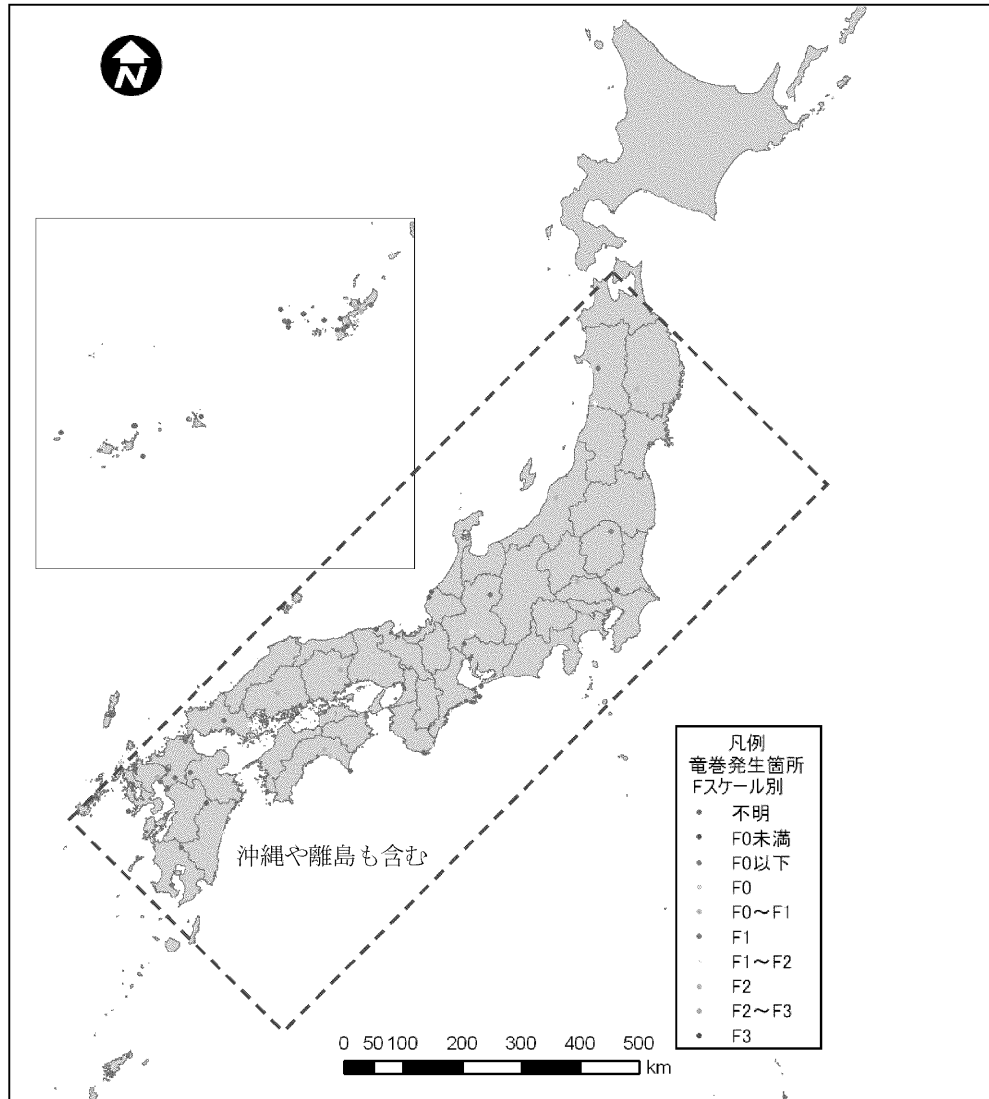
最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線 風速 V_{Rm} (m/s)	最大接線 風速半径 R_m (m)	最大気圧 低下量 ΔP_{max} (hPa)	最大気圧 低下率 $(d_p/d_t)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	89	45



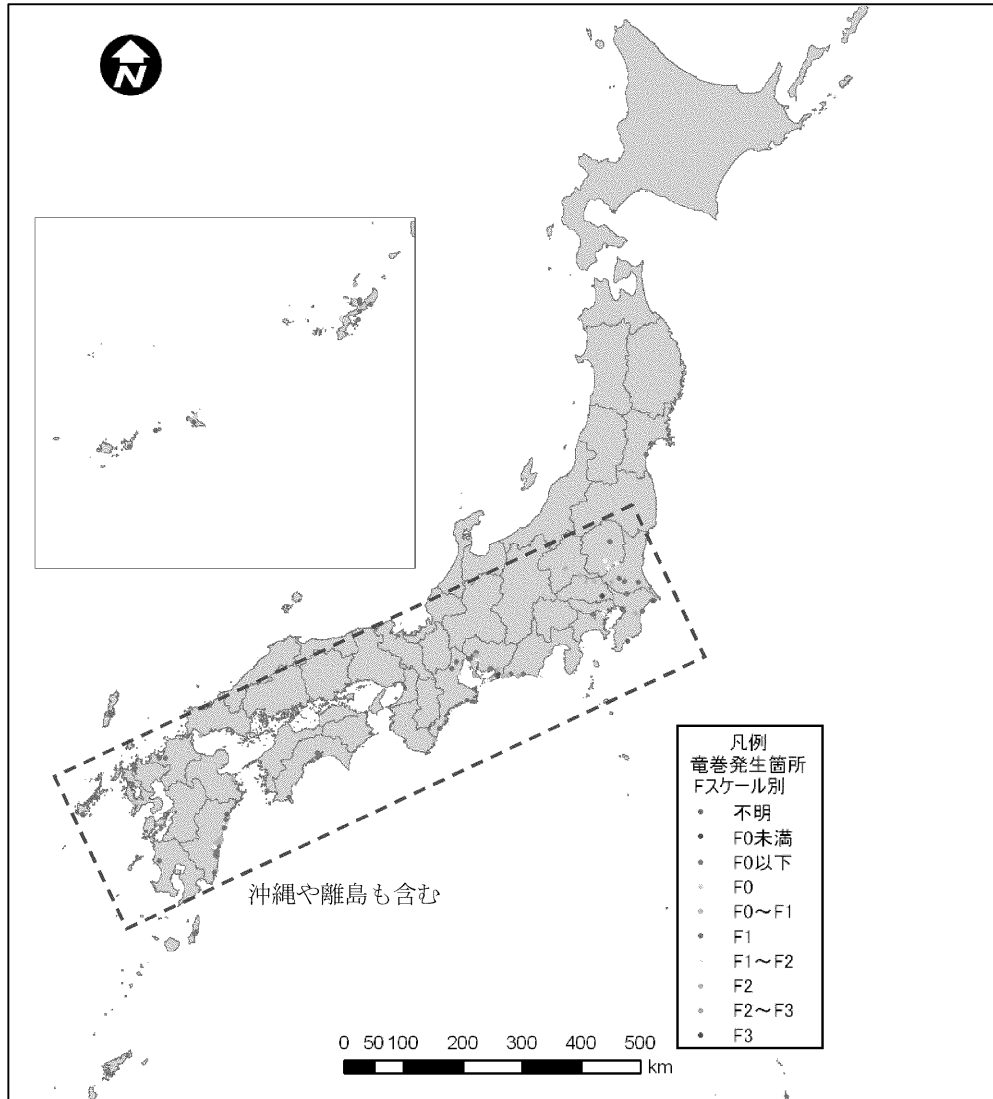
第 7.9.1.1 図 気象要因別の竜巻発生位置



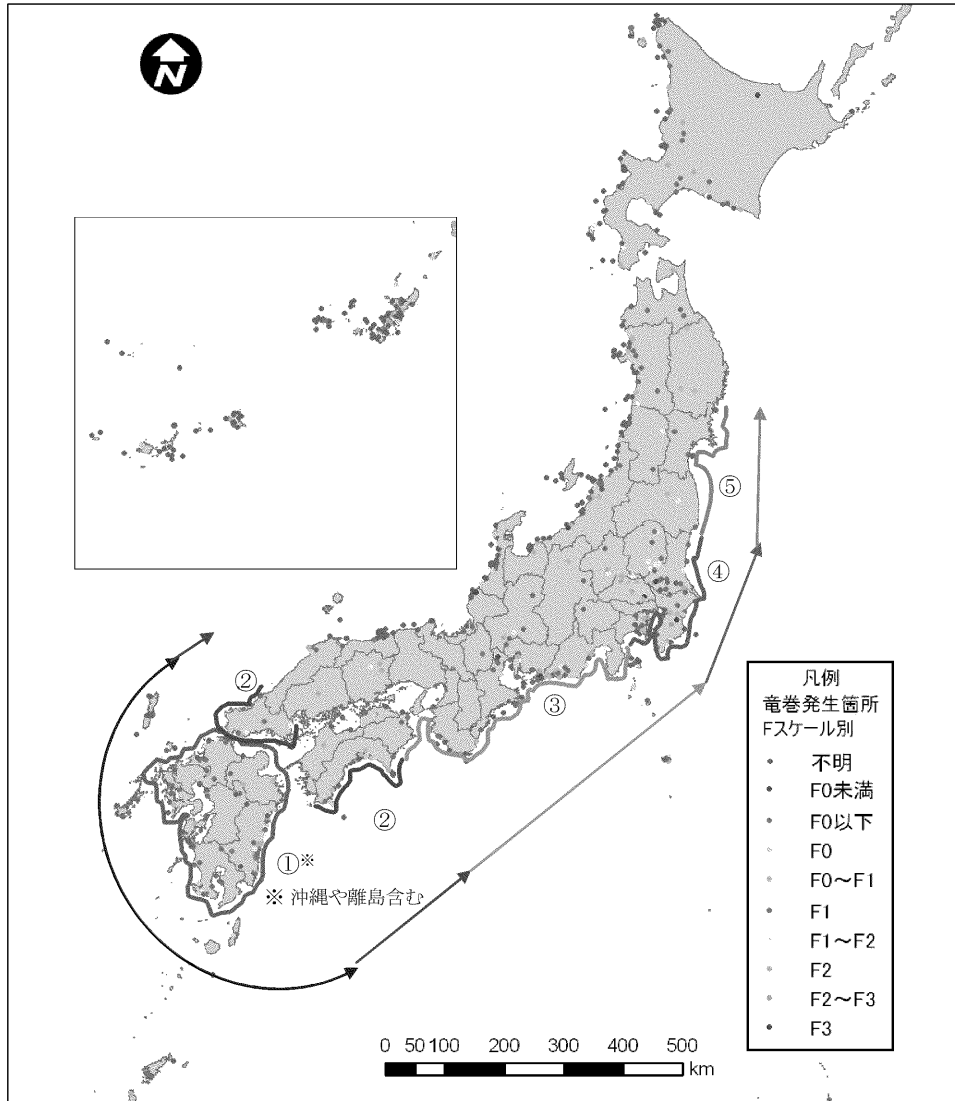
第 7.9.1.2 図 竜巻発生位置（低気圧起因）



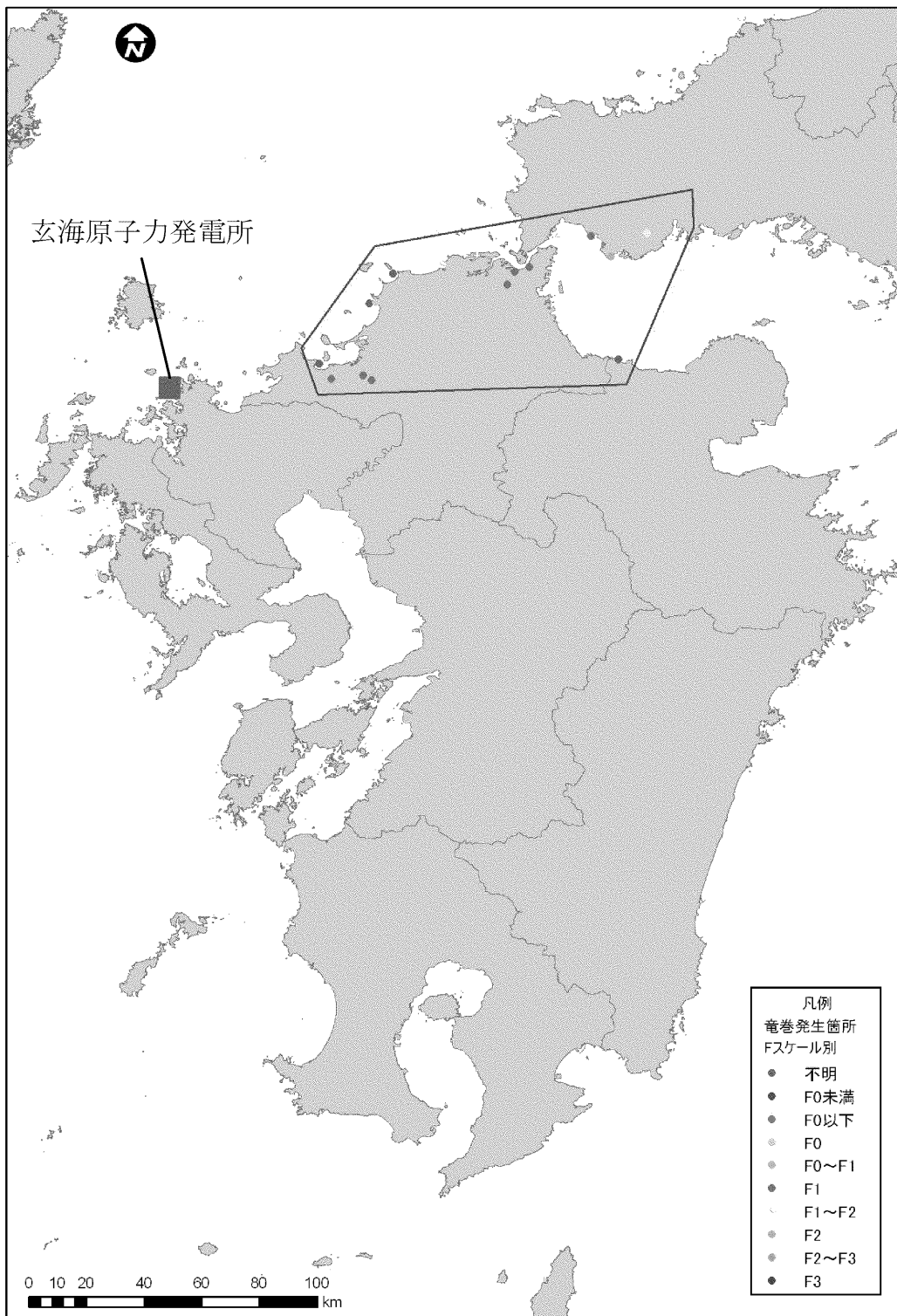
第 7.9.1.3 図 竜巻発生位置 (停滞前線起因)



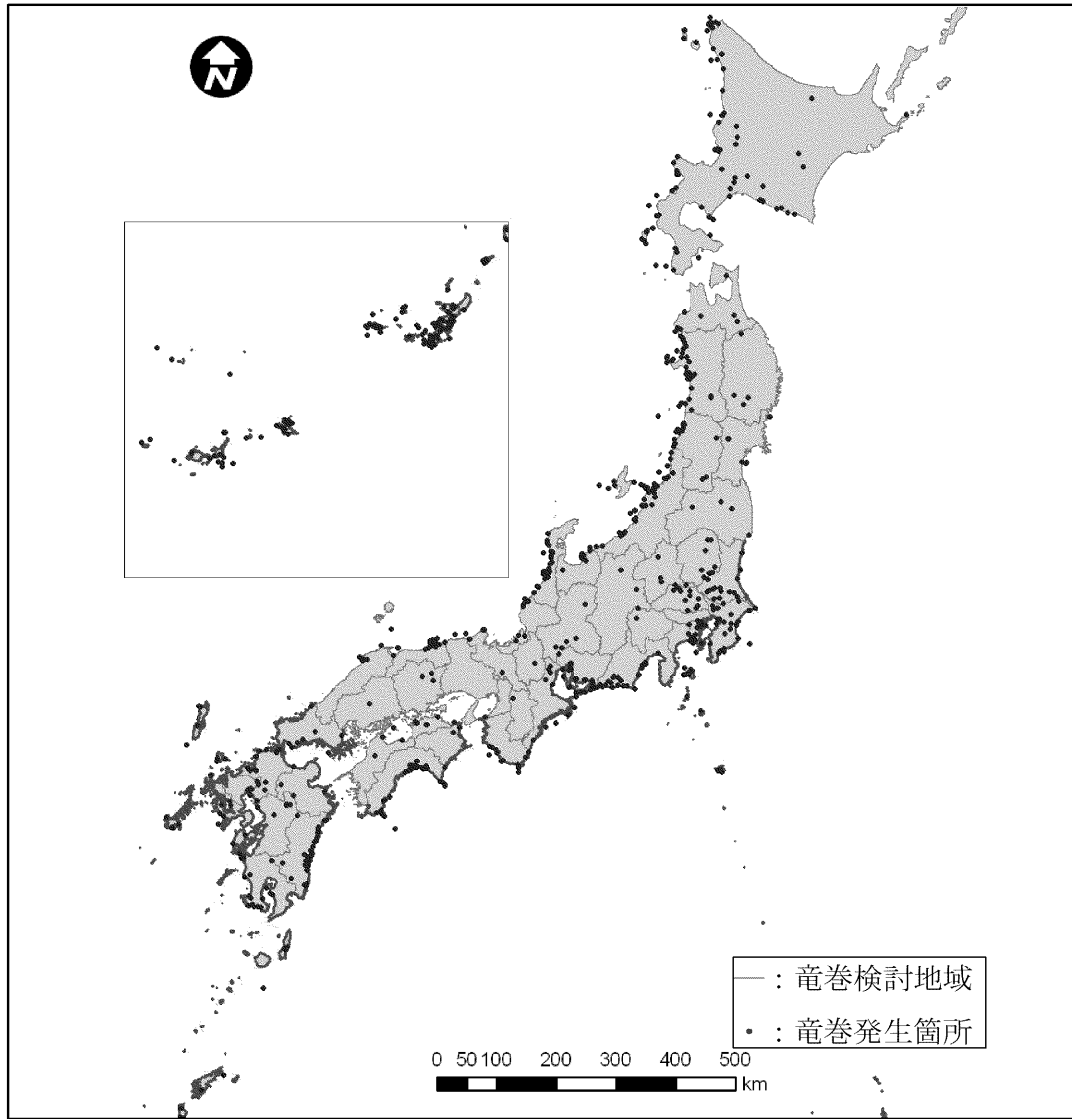
第 7.9.1.4 図 竜巻発生位置（台風起因）



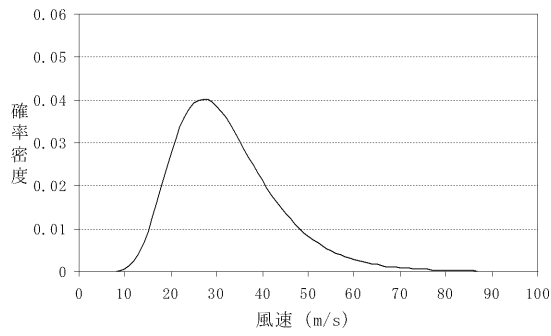
第 7.9.1.5 図 Fスケール別の竜巻発生位置



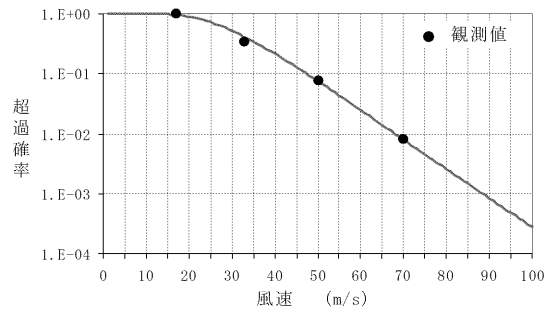
第 7.9.1.6 図 集中地域⑧における F スケール別竜巻発生位置



第 7.9.1.7 図 竜巻検討地域

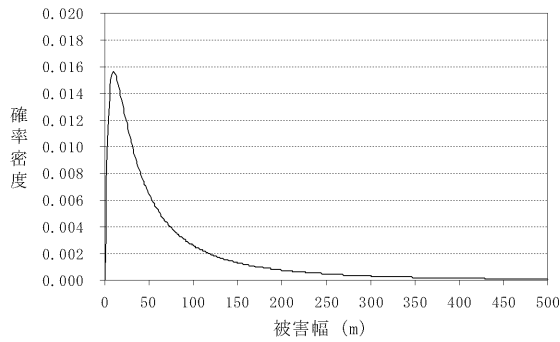


確率密度分布

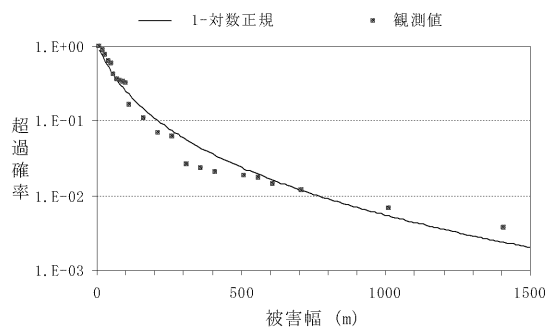


超過確率

第7.9.1.8図 風速の確率密度分布と超過確率

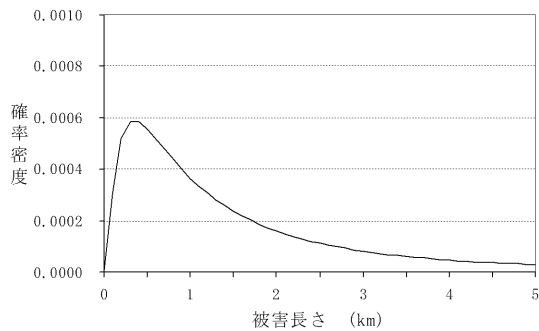


確率密度分布

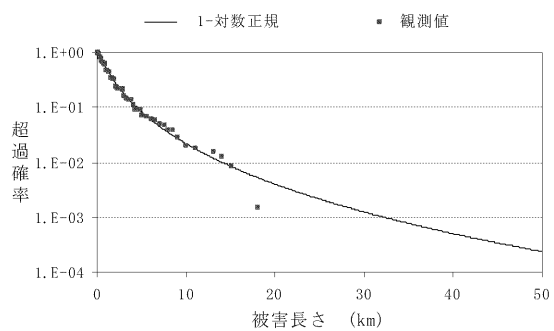


超過確率

第7.9.1.9図 被害幅の確率密度分布と超過確率

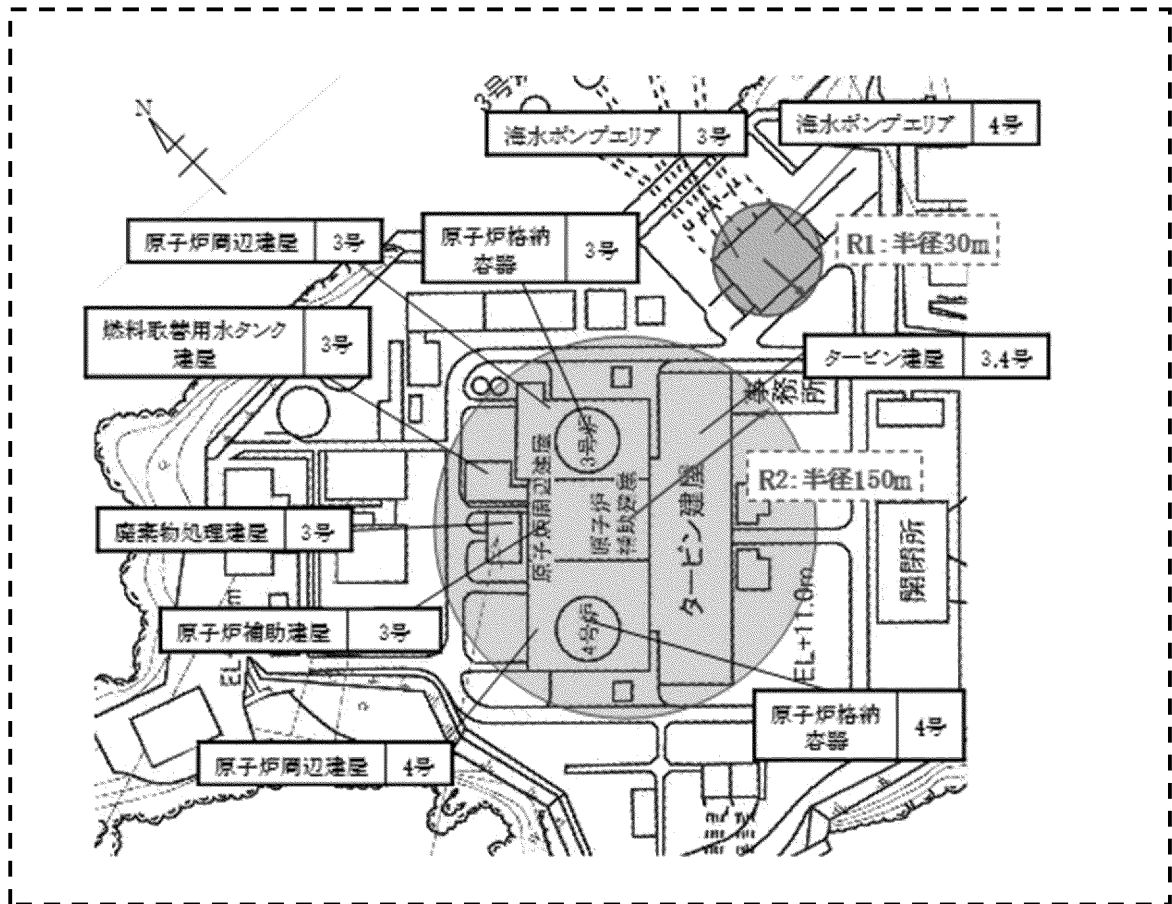


確率密度分布

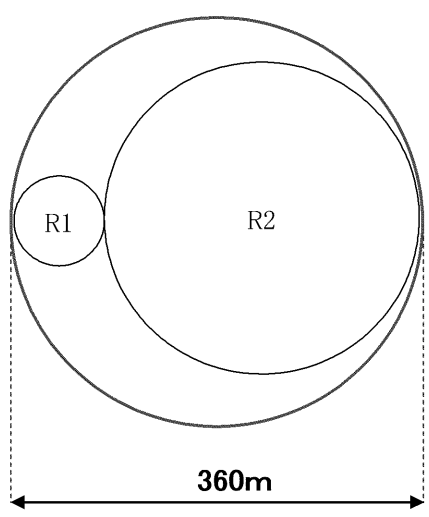


超過確率

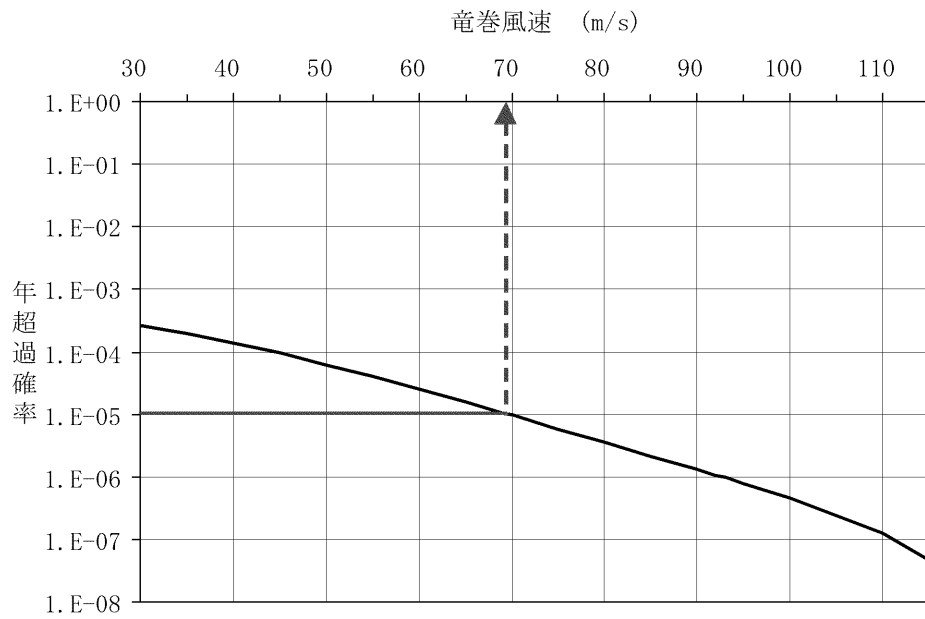
第7.9.1.10図 被害長さの確率密度分布と超過確率



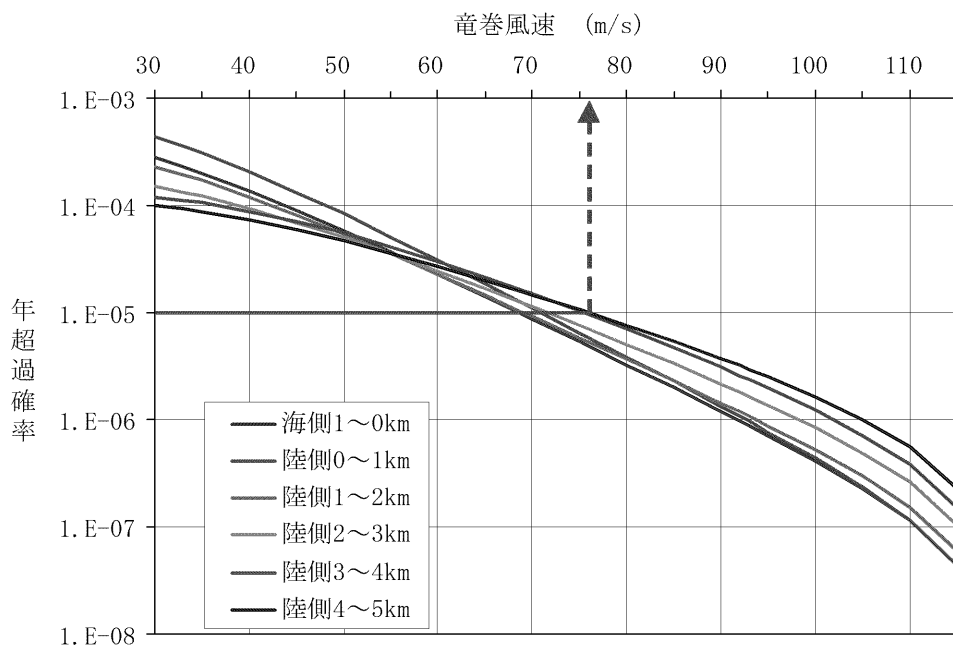
計算上の取扱い



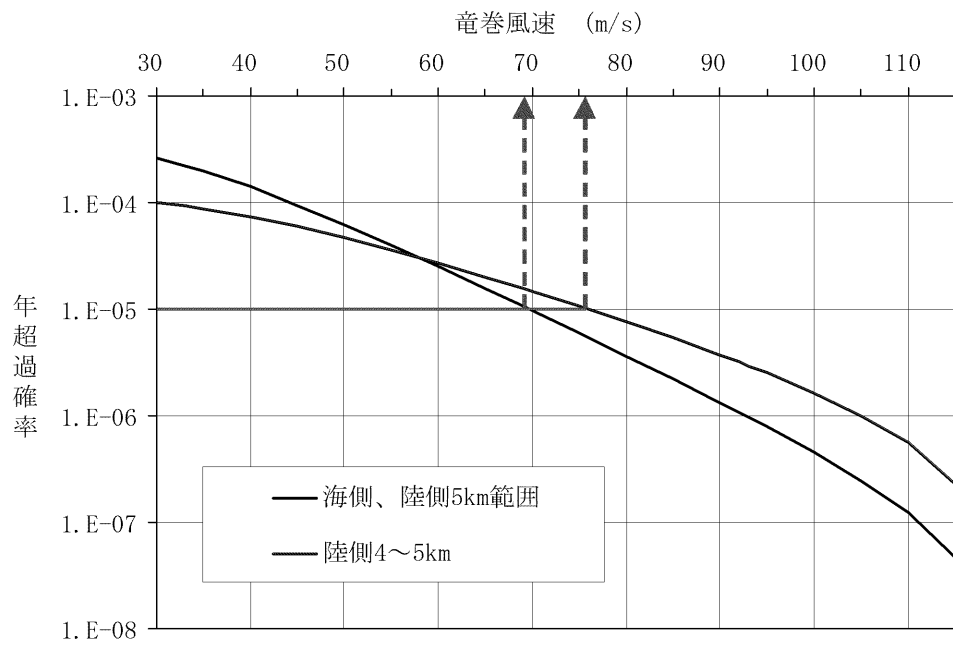
第 7.9.1.11 図 竜巻影響エリア



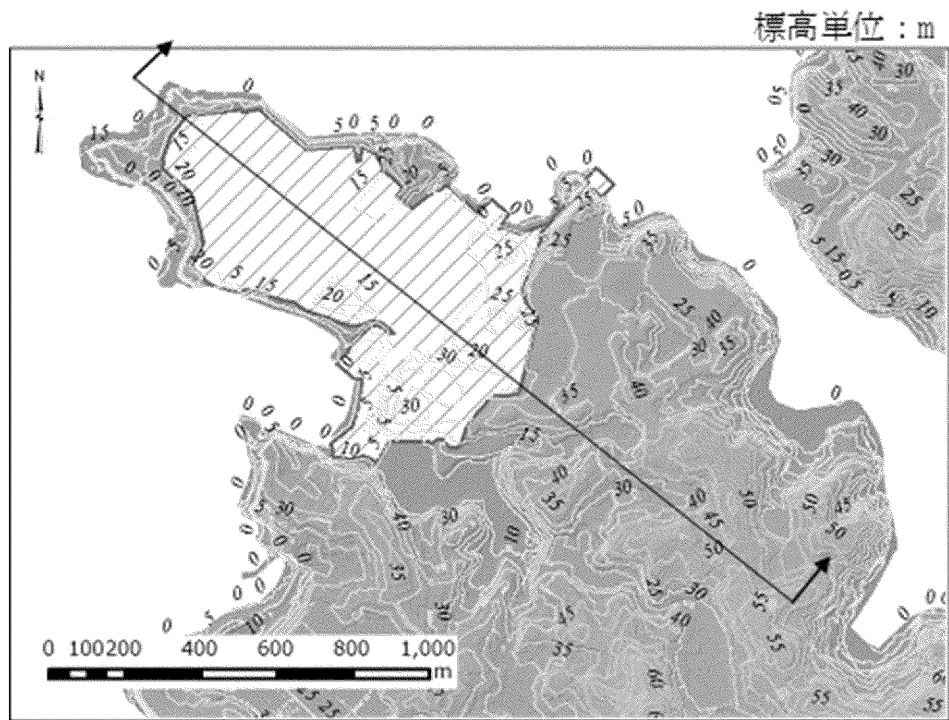
第 7.9.1.12 図 竜巻最大風速のハザード曲線（海側、陸側 5 km 範囲）



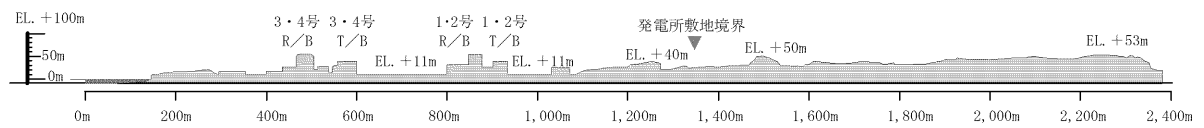
第 7.9.1.13 図 竜巻最大風速のハザード曲線（1 km 範囲）



第 7.9.1.14 図 竜巻最大風速のハザード曲線

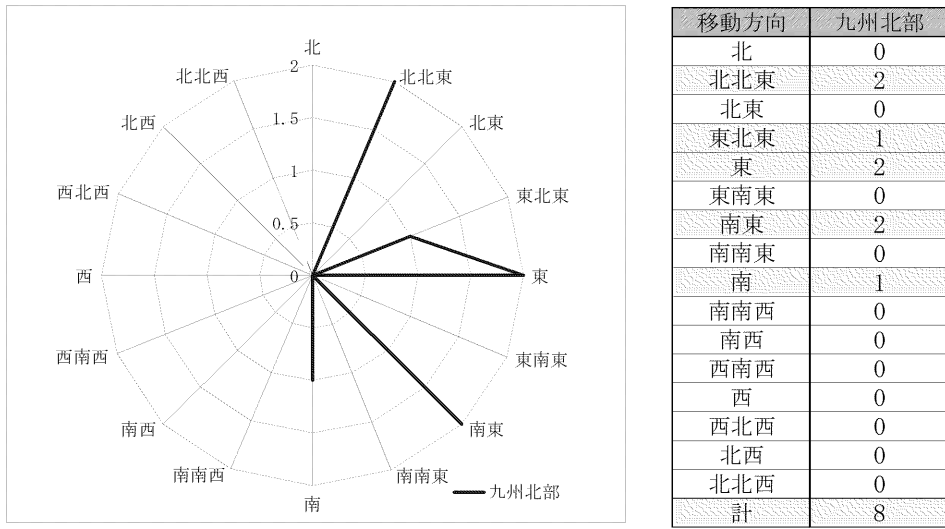


発電所周辺平面図

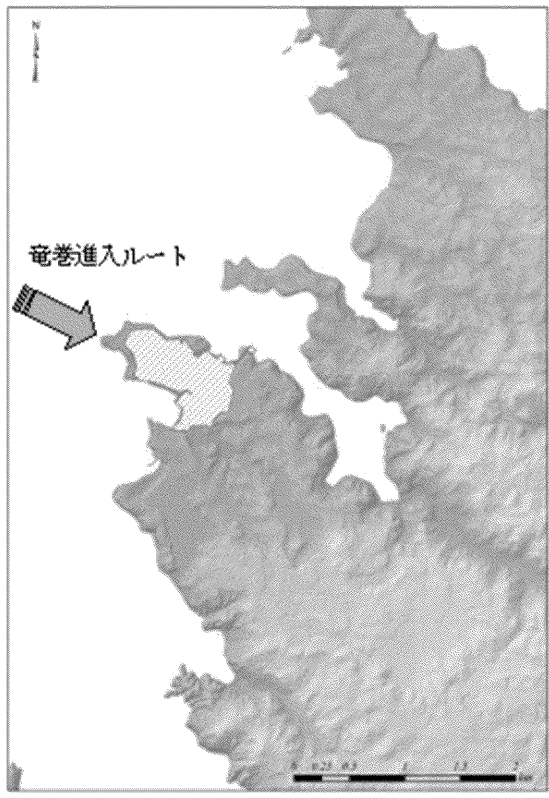


発電所周辺断面図

第 7.9.1.15 図 玄海原子力発電所敷地周辺の地形



第 7.9.1.16 図 九州北部で過去に発生した竜巻の移動方向



第 7.9.1.17 図 玄海原子力発電所の位置と竜巻の移動方向

7.9.2 参考文献

- (1) 東京工芸大学 (2011) : 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究、独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究報告書
- (2) 独立行政法人原子力安全基盤機構 (2013) : 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド (案) 及び解説
- (3) Wen. Y. K and Chu. S. L. (1973) : Tornado Risks and Design Wind Speed. Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.99, No. ST12, pp. 2409-2421.
- (4) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A. (1975) : Tornado Design Winds Based on Risk. Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 101, No. ST9, pp. 1883-1897.
- (5) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A. (1975) : Tornado Risk Evaluation using Wind Speed Profiles. Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 101, No. ST5, pp. 1167-1171
- (6) Forbes, G. S. (1998) : Topographic Influences on Tornadoes in Pennsylvania, 19th Conference on Severe Local Storms, American Meteorological Society, Minneapolis, MN, pp. 269-272.
- (7) Lewellen, D. C. (2012) : Effects of Topography on Tornado Dynamics: A Simulation Study, 26th Conference on Severe Local Storms, American Meteorological Society, Nashville, TN, 4B.1.
- (8) U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION : REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision 1, March 2007

1.3 設備等

該当なし

竜巻に対する防護
(使用済燃料乾式貯蔵容器)

<目 次>

1. 基本方針
 - 1.1 基本事項
 - 1.2 評価対象施設

2. 基準竜巻・設計竜巻の設定

3. 竜巻影響評価
 - 3.1 評価概要
 - 3.2 評価対象施設
 - 3.3 設計荷重の設定
 - 3.4 施設の構造健全性の確認
 - 3.5 竜巻随件事象に対する考慮

(資料)

- － 1 設計飛来物の選定と評価に使用するパラメータ
- － 2 建屋、構築物等の構造健全性の確認
- － 3 使用済乾式貯蔵施設の竜巻防護設計方針について

1. 基本方針

1.1 基本事項

使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、安全施設が竜巻に対して、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な各種の機能を損なわないよう、基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重を適切に設定し、建屋による防護、構造健全性の維持及び代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。

また、安全施設は、設計荷重による波及的影響によって安全機能を損なわない設計とする。

竜巻及びその随件事象等によって発電用原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であることを評価するため、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(以下「ガイド」という。)に基づき、安全機能が維持されることを確認する。

1.2 評価対象施設

1.2.1 設計竜巻から防護する施設

設計竜巻から防護する施設としては、安全施設が設計竜巻の影響を受ける場合においても、発電用原子炉施設の安全性を確保するために、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス1、クラス2及びクラス3の構築物、系統及び機器とする。

設計竜巻から防護する施設のうち、クラス3に属する施設は損傷する場合を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とすることから、クラス1及びクラス2に属する構築物、系統及び機器を竜巻防護施設とする。

竜巻防護施設は以下に分類する。

- ・建屋又は構築物(以下「建屋等」という。)に内包され防護される施設(外気と繋がっている施設を除く。)
- ・建屋等に内包されるが防護が期待できない施設
- ・屋外施設及び建屋内の施設で外気と繋がっている施設

また、竜巻防護施設を内包する建屋及び構築物は、「竜巻防護施設を内包する施設」として抽出する。

使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、竜巻防護施設の抽出結果を表1.2.1に示す。

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(以下「乾式キャスク」という。)は原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されないものであって、放射性物質を貯蔵する機能を有する安全重要度分類クラス2の設備であることから、乾式キャスク*を竜巻防護施設として抽出した。

※:支持部及び基礎を含む。

表 1.2.1 使用済燃料乾式貯蔵施設の竜巻防護施設の抽出

設備	兼用キャスクガイドでの設備分類	安全重要度分類	竜巻防護施設
乾式キャスク※	兼用キャスク, 周辺施設（支持部及び基礎）	PS-2	○
計装設備	周辺施設	—	
クレーン類	周辺施設	—	
使用済燃料乾式貯蔵建屋等 (貯蔵建屋（遮蔽壁含む）)	周辺施設	PS-3	

※:支持部及び基礎を含む。

使用済燃料乾式貯蔵施設から図 1.2.1 の抽出フローにより、評価対象施設として使用済燃料乾式貯蔵建屋を抽出した。抽出結果を表 1.2.2 に示す。

表 1.2.2 評価対象施設

分類	施設・設備名
竜巻防護施設を内包する施設	使用済燃料乾式貯蔵建屋 (乾式キャスクを内包する建屋)

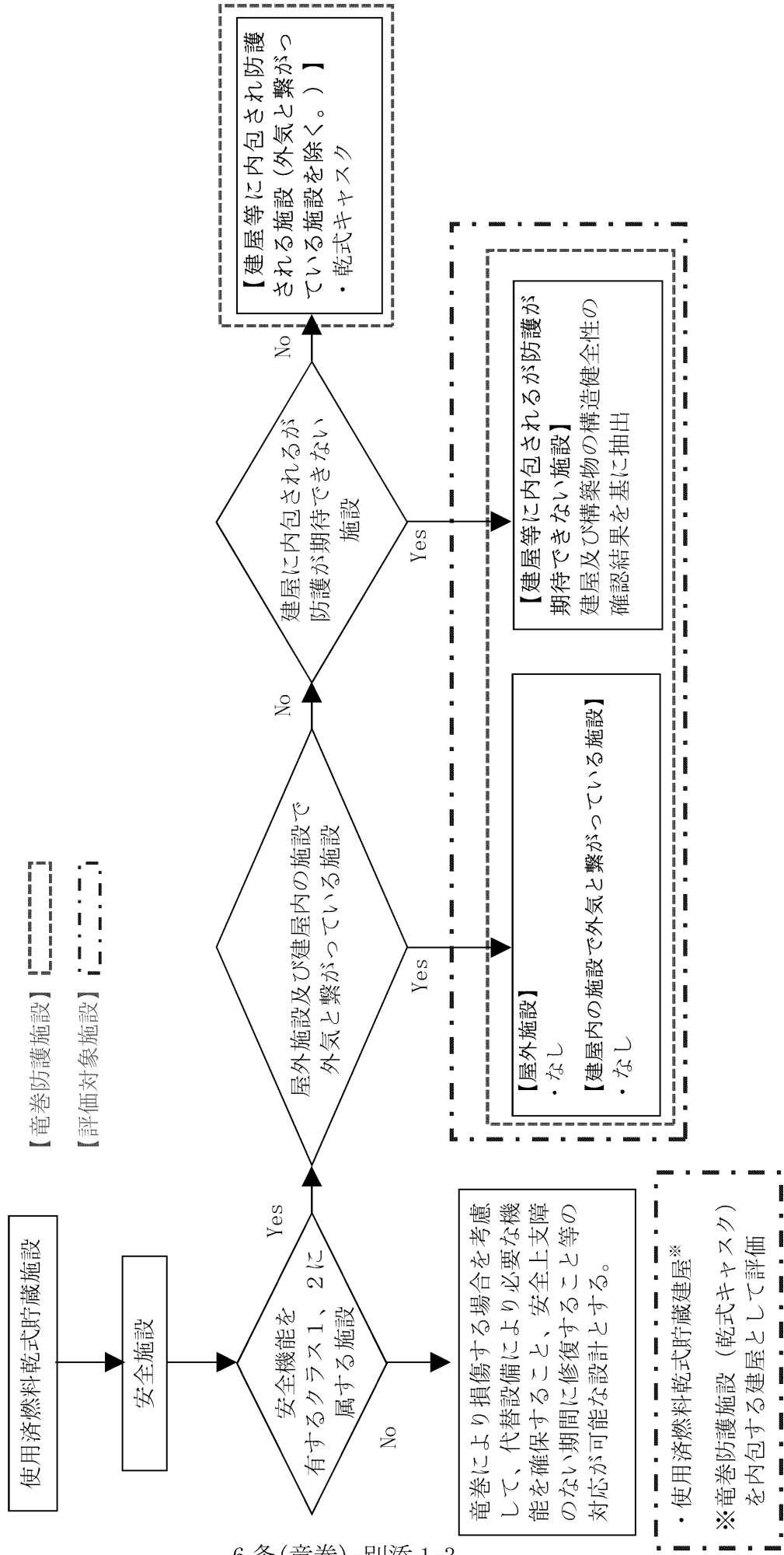


図 1.2.1 評価対象施設抽出フロー

1. 2. 2 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

(1) 抽出方針

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設は、当該施設の破損により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性が否定できない施設とする。

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設としては、施設の高さと、竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設との距離を考慮して、竜巻による施設の倒壊により竜巻防護施設を損傷させる可能性がある施設を竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

また、建屋等による防護が期待できない竜巻防護施設の附属施設及び竜巻防護施設を内包する区画で外気と繋がっている換気空調設備を竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

(2) 抽出結果

竜巻防護施設を内包する施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋までの距離と施設の高さを考慮して、施設倒壊により竜巻防護施設である乾式キャスクに波及的影響を及ぼし得る施設として抽出した構築物及び機器を表 1. 2. 3、図 1. 2. 2 に示す。施設倒壊により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として送電線鉄塔が抽出されたが、使用済燃料乾式貯蔵建屋までの距離と送電線鉄塔の高さから、波及的影響評価対象に該当しない。


使用済燃料乾式貯蔵建屋は、建屋側面に設けられた単純な開口部からなる給気口から建屋上部に設けられた単純な開口部からなる排気口に向かって空気の流れが自然発生するよう設計されており、竜巻による破損により乾式キャスクに影響を与える可能性のある換気空調設備は設置しない。また、乾式キャスクに屋外から連結する吸排気管はないことから、竜巻防護施設である乾式キャスクに波及的影響を及ぼし得る換気空調設備等はない。

表 1. 2. 3 施設倒壊により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出

構築物及び機器		近傍の竜巻防護施設又は竜巻防護施設を内包する施設	竜巻防護施設又は竜巻防護施設を内包する施設までの最短距離	鉄塔高さ	波及的影響評価対象
EL. 20m	送電線鉄塔 (玄海原子力線 No. 1)	使用済燃料乾式貯蔵建屋	約 92m	約 45m	対象外
	送電線鉄塔 (500kV)		約 138m	約 98m	対象外
	送電線鉄塔 (220kV)		約 117m	約 37m	対象外
	送電線鉄塔 (66kV)		約 92m	約 26m	対象外



図 1.2.2 施設倒壊により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

: 防護上の観点から公開できません

2. 設計竜巻の設定

設計竜巻の最大風速 V_D 及び特性値は以下のとおり設定する。

(1) 設計竜巻の最大風速 V_D

乾式キャスクに対する設計竜巻の最大風速は、「兼用キャスクが安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示（平成31年4月2日原子力規制委員会決定）」に定める 100m/s とする。

(2) 設計竜巻の特性値

設計竜巻の最大風速は既許可と同じ 100m/s であることから、設計竜巻の特性値は既許可と同じ値を用いる。（表2.1）

表2.1 設計竜巻の特性値（ $V_D=100\text{m/s}$ ）

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線 風速 V_{Rm} (m/s)	最大接線 風速半径 R_m (m)	最大気圧 低下量 ΔP_{max} (hPa)	最大気圧 低下率 $(d_p/d_t)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	89	45

3. 竜巻影響評価

3.1 評価概要

既許可と同様、以下の方針で評価を行う。

- (1) 設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組合せ荷重）を適切に設定する。
- (2) 設計荷重に対して評価対象施設の構造健全性等の評価を行い、必要に応じ対策を行うことで安全機能が維持されることを確認する。

3.2 評価対象施設

「1.2 評価対象施設」に示したとおりとする。

3.3 設計荷重の設定

3.3.1 設計竜巻荷重の設定

設計竜巻の最大風速 V_D 等における設計竜巻荷重を以下のとおり設定する。

(1) 設計竜巻の風圧力による荷重 (W_w)

設計竜巻の水平方向の最大風速によって施設（屋根含む。）に作用する風圧力による荷重(W_w)は、「建築基準法施行令」（昭和25年11月16日政令第338号）、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」及び建設省告示1454号（平成12年5月31日）に準拠して、次式のとおり算出する。

なお、ガスト影響係数(G)は $G=1.0$ 、風力係数(C)は施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根・壁等）に応じて設定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

W_w ：風圧力による荷重

q ：設計用速度圧

G ：ガスト影響係数(=1.0)

C ：風力係数

A ：施設の受圧面積

$$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$$

ρ ：空気密度

V_D ：設計竜巻の最大風速

(2) 設計竜巻による鉛直方向の風圧力による荷重

屋根スラブについては、鉛直方向の風圧力に対する健全性の確認を行う。

- (3) 設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設内外の気圧差による荷重 (W_p)

設計竜巻による評価対象施設内外の気圧差による荷重は、最大気圧低下量 (ΔP_{max}) に基づき設定する。

$$W_p = \Delta P_{max} \cdot A$$

W_p : 気圧差による荷重

ΔP_{max} : 最大気圧低下量

A : 施設の受圧面積

- (4) 設計竜巻による飛来物が評価対象施設に衝突する際の衝撃荷重の設定 (W_M)

①設計飛来物の選定

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、発電所構内の資機材、車両等の設置状況を踏まえ、竜巻防護施設等に衝突する可能性のある飛来物を抽出する。

乾式キャスクに対する設計飛来物は、運動エネルギー及び貫通力を踏まえ、大型車両を設定する。

表3.3.1に乾式キャスクにおける設計飛来物の諸元を示す。

②設計飛来物の速度設定

速度の設定にあたっては、設計飛来物の運動方程式等を用いて速度等を算出している。

③衝撃荷重の設定 (W_M)

表3.3.1の設計飛来物等について、衝突方向（天井部への衝突は鉛直、側面部への衝突は水平）を考慮して竜巻防護施設等に衝突した場合の評価対象物の質量及び速度により衝撃荷重 (W_M) を算出する。

表 3.3.1 玄海原子力発電所における設計飛来物の諸元 ($V_D=100\text{m/s}$)

飛来物の種類	大型車両
サイズ(m)	長さ×幅×奥行
	12×2.5×3.75
質量(kg)	15,400
最大水平速度(m/s)	42
最大鉛直速度(m/s)	28
運動エネルギー(水平)(kJ)	13,600
運動エネルギー(鉛直)(kJ)	6,050

(5) 設計竜巻荷重の組合せ

評価対象施設の評価に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻の風圧力による荷重 (W_W)、気圧差による荷重 (W_P) 及び設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) を組み合わせた複合荷重とし、複合荷重 W_{T1} 及び W_{T2} は米国原子力規制委員会の基準類を参考として、以下の式により算定する。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$$

W_{T1} , W_{T2} : 設計竜巻による複合荷重

W_W : 設計竜巻の風圧力による荷重

W_P : 設計竜巻の気圧差による荷重

W_M : 設計飛来物による衝撃荷重

なお、評価対象施設には W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ施設の特徴に合わせて作用させる。

3.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重は、以下のとおりとする。

(1) 評価対象施設に常時作用する荷重、運転時荷重

評価対象施設に自重等の常時作用する荷重及び内圧等の運転時荷重を適切に組み合わせる。

(2) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻は積乱雲及び積雲に伴って発生する現象であり^{※1}、積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は、雷、雪、ひょう及び雨である。これらの自然現象の組合せにより発生する荷重は、以下のとおり設計竜巻荷重に包絡されることから、設計竜巻荷重と組み合わせる荷重として考慮しない。

なお、竜巻と同時に発生する自然現象については、今後も継続的に新たな知見等の収集に取り組み、必要な事項については適切に反映を行う。

①雷

竜巻と雷が同時に発生する場合においても、雷によるプラントへの影響は、雷撃であるため雷による設計竜巻荷重への影響はない。

②雪

影響の程度として竜巻は数分程度の極めて短い期間、積雪は年間でも冬季に限定された数日である。竜巻通過前に積雪があったとしても大部分は竜巻の風により吹き飛ばされるため、雪による荷重は十分小さく設計竜巻荷重に包絡される。

③ひょう

ひょうは、積乱雲から降る直径5mm以上の氷の粒であり、仮に直径10cm程度の大きさのひょうを想定した場合、その重量は約0.5kgである。

竜巻とひょうが同時に発生する場合においても、10cm程度のひょうの終端速度は59m/s^{※2}、運動エネルギーは約0.9kJであり、設計飛来物の運動エネルギーと比べ十分に小さく、ひょうの衝突による荷重は設計竜巻荷重に包絡される。

④雨

竜巻と雨が同時に発生する場合においても、雨水により屋外施設に荷重の影響を与えることはなく、また降雨による荷重は十分小さいため、設計竜巻荷重に包絡される。

※1：雷雨とメソ気象 大野久雄、東京堂出版

※2：一般気象学 小倉義光、東京大学出版会

(3) 設計基準事故時荷重

評価対象施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋には、考慮すべき設計基準事故による荷重はない。

3.4 施設の構造健全性の確認

3.4.1 概要

設計竜巻の最大風速 V_D 等に基づき設定した設計竜巻荷重及びその他組合せ荷重を適切に組み合わせた設計荷重に対して、評価対象施設、あるいは竜巻防護施設を内包する区画の構造健全性が維持されて安全機能が維持されることを確認する。

3.4.2 建屋及び構築物の構造健全性の確認

設計荷重に対して、建屋及び構築物の構造健全性が維持されて安全機能が維持されることを確認する。

(1) 設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定

竜巻防護施設を内包する施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設に対し、建屋及び構築物の形状や特徴等を反映して設定した設計荷重によって評価対象施設に生じる変形や応力等を算定する。

①複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} に対する評価

設計竜巻による複合荷重 W_{T1} (W_P)、 W_{T2} ($W_W + 0.5W_P + W_M$) により生じるせん断ひずみ、層間変形角又は応力等を算定する。

②設計飛来物の衝突に対する評価

飛来物衝突による貫通及び裏面剥離厚さを算定する。

「①複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} に対する評価」及び「②設計飛来物の衝突に対する評価」の評価結果より竜巻防護施設を内包する区画の健全性が維持できない場合は、竜巻防護施設への影響評価を実施する。

(2) 構造健全性の確認結果

①竜巻防護施設を内包する施設

(a) 複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} に対する評価

i. 構造骨組の評価

地震応答解析モデルにおける部材ごとに算定したせん断ひずみ又は層間変形角が、許容限界を超えないことを確認する。

ii. 外壁及び屋根の評価

設計竜巻による複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} により生じる鉄筋等のひずみが、許容限界を超えないことを確認する。

また、屋根に発生する応力が、許容限界を超えないことを確認した。

(b) 設計飛来物の衝突に対する評価

i. 建屋の外壁及び屋根

飛来物の衝突に対する貫通又は裏面剥離を生じないための必要最小厚さと、建屋の外壁又は屋根の最小厚さを比較し、貫通又は裏面剥離を生じないことを確認する。

②竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

1.2.2 より、施設倒壊により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として送電線鉄塔が抽出されたが、使用済燃料乾式貯蔵建屋までの距離と送電線鉄塔の高さから、波及的影響評価対象に該当しない。

3.5 竜巻随件事象に対する評価

竜巻を起因とする二次的影響として、火災、溢水、外部電源喪失事象が考えられる。

火災については、6条（外部火災）において説明する。

溢水については、竜巻防護施設である乾式キャスクは単純で頑丈な構造の金属製の静的機器（容器）であり、外部から動力の供給を必要としないため、溢水事象を想定しても必要とされる安全機能を損なわないことから、溢水から防護すべき対象設備に該当しない。また、屋外の水タンク等から使用済燃料乾式貯蔵建屋は離れており、水タンク破損等による溢水はT.P.+24.5mに設置した使用済燃料乾式貯蔵建屋周りに滞留することはない、T.P.+11.0mの敷地に向かって流れることから問題になることはない。

外部電源喪失事象については、竜巻防護施設である使用済燃料乾式貯蔵容器は電源を必要としないため、問題になることはない。

設計飛来物の選定と評価に使用するパラメータ

目 次

1. 設計飛来物選定の考え方

2. 設計飛来物の選定

3. 設計飛来物の速度等

添付資料1 空力パラメータ、飛来物の運動エネルギーの算出式

添付資料2 想定飛来物の運動方程式

添付資料3 設計飛来物の浮き上がりに関する評価について

1. 設計飛来物選定の考え方

乾式貯蔵施設に対する設計飛来物は、発電所構内外からの飛来物を考慮し、風圧力による荷重によって大きな運動エネルギー及び高い貫通力を与えるものを設計飛来物として選定する。

2. 設計飛来物の選定

設計飛来物は、ウォークダウンにて浮き上がる資機材等のうち最も大きな運動エネルギー及び高い貫通力を与える飛来物を選定した。選定結果については、表 2.1 に示す。

表2.1 設計飛来物の選定結果 [$V_0=100\text{m/s}$] (1/3)

分類	名称	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	質量 (kg)	空力 ハ [°] ラ [°] ダ ^{※1} (m^2/kg)	浮き上がり 有無 ○：浮く ×：浮かない	運動 エネルギー (kJ)	貫通力 (mm)	飛散距離 ^{※2} (m)	備考
柔(一部脚)	塊状	2.4	2.6	6	2300	0.01040	○	3213	7	340	竜巻影響評価ガイド記載
柔(一部脚)	塊状	6.99	2.04	2.58	3813	0.00650	○	4363	9	310	想定資機材
柔(一部脚)	塊状	11.99	2.49	3.75	15370	0.00361	○	13513	13	222	想定資機材
柔(一部脚)	塊状	17.345	2.49	2.481	18980	0.00257	×	13703	17	162	
柔(一部脚)	塊状	13.43	3	3.99	40110	0.00174	×	20635	16	98	
柔(一部脚)	塊状	7.61	2.49	2.76	14690	0.00210	×	9108	12	128	
柔(一部脚)	塊状	8.175	2.26	3.04	5080	0.00652	○	5821	9	310	
柔	塊状	3.658	2.438	2.591	6000	0.00272	○	4495	8	171	
柔	塊状	6.058	2.438	2.896	9000	0.00289	○	6998	10	182	
柔	塊状	3.4	1.5	1.92	1110	0.00863	○	1432	6	332	
柔	塊状	5.25	1.81	1.12	1251	0.00918	○	1657	7	335	
柔	塊状	4.88	2.27	2.15	3000	0.00582	○	3275	7	297	
柔(一部脚)	塊状	8.14	2.85	3.48	20675	0.00196	×	12033	12	116	

※1:空力ハ[°]ラ[°]ダが0.0025以上で浮き上がる。

※2:空力ハ[°]ラ[°]ダが0.04以上又は0.00077未満は飛散距離は計算値外になるので「-」としている。

表2.1 設計飛来物の選定結果 [$V_0=100\text{m/s}$] (2/3)

分類	名称	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	質量 (kg)	空力 ハ [°] ラ [°] ク [°] (m^2/kg)	浮き上がり 有無 ○：浮く ×：浮かない	運動 エネルギー (kJ)	貫通力 (mm)	飛散距離 ^{※2} (m)	備考
大	高機動型作業車	5.755	2.3	3	14000	0.00176	×	7303	10	100	
大	直流電源用発電機	3.7	2.25	2.475	5040	0.00302	○	4023	8	190	
大	変圧器車	5.31	2.08	3.15	7300	0.00310	○	5919	9	195	
大	移動式大容量ポンプ車	12.75	2.495	3.5	35000	0.00161	×	16320	16	86	
大	代替緊急時対策所用 空気浄化フィルター	2.8	1.2	2.1	3300	0.00235	×	2238	8	146	
中	代替緊急時対策所用 空気浄化ファン	0.91	0.69	0.955	290	0.00491	○	295	4	273	
大	水中ポンプ用発電機	3.88	1.855	1.795	2310	0.00500	○	2362	7	276	
大	消防車(化学車)	7.08	2.28	2.85	7550	0.00374	○	6755	10	228	
大	可搬型ダイゼール 注入ポンプ車	9.29	2.49	3.7	21846	0.00202	×	13041	13	121	
大	タンクローリ(14kl)	9.27	2.49	2.915	9284	0.00408	○	8657	11	243	
大	フォークリフト	5.38	1.48	2.25	7280	0.00212	×	4546	11	129	
大	中容量発電機車	17.6	3.7	5.399	52050	0.00228	×	34511	17	141	
大	ホース展開回収車	8.38	2.49	3.28	12200	0.00306	○	9809	12	192	

※1:空力ハ[°]ラ[°]ク[°]が0.0026以上で浮き上がる。

※2:空力ハ[°]ラ[°]ク[°]が0.04以上又は0.00077未満は飛散距離は計算領域外になるので「-」としている。

表2.1 設計飛来物の選定結果 [$V_0=100\text{m/s}$] (3/3)

分類	名称	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	質量 (kg)	空力 パラメータ ^{※1} (m^2/kg)	浮き上がり 有無 ○：浮く ×：浮かない	運動 エネルギー (kJ)	貫通力 (mm)	飛散距離 ^{※2} (m)	備考
乗(一部脚)	塊状 警察車両(パトカー)	4.86	1.78	1.72	1620	0.00818	○	2043	7	329	
乗(一部脚)	塊状 消防車(タンク車)	7.5	2.49	2.85	7720	0.00403	○	7159	10	241	
乗(一部脚)	塊状 警察車両(装甲車)	5.26	2.13	2.62	7330	0.00275	○	5534	10	174	
乗(一部脚)	塊状 高压発電機車	6.83	2.15	3.36	7700	0.00384	○	6981	10	233	
乗(一部脚)	塊状 大型化学高所放水車	10.03	2.49	3.52	18885	0.00241	×	13048	14	151	
乗(一部脚)	塊状 トラック(三菱ふそうスーパー パワーグレート：カーゴ)	11.99	2.49	3.255	24890	0.00204	×	15030	15	123	
乗(一部脚)	塊状 10tダンプトラック(いすゞ ギガ)	7.73	2.49	3.4	19905	0.00179	×	10559	12	102	
乗(一部脚)	塊状 ハイエース	5.38	1.88	2.285	3240	0.00544	○	3437	8	288	
乗(一部脚)	塊状 キャラバン	5.23	1.88	2.285	3330	0.00517	○	3455	8	281	
剛	塊状 コンクリートウエイト	3	1.4	1.4	13600	0.00050	×	1606	7	-	
剛	塊状 コンクリートウエイト	1.5	1.5	1.5	7800	0.00057	×	201	2	-	

※1:空力パラメータが0.0026以上で浮き上がる。

※2:空力パラメータが0.04以上又は0.00077未満は飛散距離は計算領域外になるので「-」としている。

3. 設計飛来物の速度等

大型車両については、玄海原子力発電所におけるウォークダウンによる敷地全体を俯瞰した調査・検討結果及び構外からの飛来物の検討結果に基づき、設計飛来物の運動方程式等を用いて速度等を算出している。

本評価においては、大型車両の速度（水平：42m/s、鉛直：28m/s）の運動エネルギーの耐力で竜巻防護対策施設及び竜巻防護施設を内包する施設の設計及び健全性評価を実施している。

設計飛来物のパラメータを表 3.1 に示す。

表 3.1 玄海原子力発電所における設計飛来物の速度 ($V_D=100\text{m/s}$)

飛来物の種類		大型車両
サイズ(m)		長さ×幅×奥行き
		12×2.5×3.75
質量(kg)		15,400
評価に用いる 飛来物の諸元	最大水平速度 (m/s)	42
	最大鉛直速度 (m/s)	28
	運動エネルギー(水平) (kJ)	13,600
	運動エネルギー(鉛直) (kJ)	6,050
	貫通限界厚さ(水平) (mm)	13
	貫通限界厚さ(鉛直) (mm)	8

空力パラメータ、飛来物の運動エネルギーの算出式

竜巻の気流性状をランキン渦と仮定し、空気力学モデルによる運動方程式に基づき飛来物の水平最大速度を算出する知見は数が少ない。

想定飛来物の運動エネルギー及び空力パラメータ等の算出はガイドの参考文献（3）※¹を参照することにより、保守的な設定ができると考えられるためガイドの参考文献を活用した。

1. 空力パラメータ

空力パラメータの算出式は（1）式により算出する。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{c(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3)}{m} \dots (1)$$

ここで、 m ：飛来物の質量、 A_1, A_2, A_3 ：飛来物の受圧面積、

c ：係数（0.33）、 C_{D1}, C_{D2}, C_{D3} は飛来物の抗力係数であり、飛来物の形状より表 1.1 とする。

また、 $A_1 = \text{長さ} \times \text{幅}$ 、 $A_2 = \text{幅} \times \text{高さ}$ 、 $A_3 = \text{高さ} \times \text{長さ}$ とする。

浮き上がり条件については添付資料 3 に示す。

表 1.1 飛来物の抗力係数

想定飛来物形状	c	C_{D1}	C_{D2}	C_{D3}
塊状物体	0.33	2.0	2.0	2.0
板状物体	0.33	2.0	1.2	1.2
棒状物体	0.33	2.0	0.7	0.7

2. 飛来物の運動エネルギー

飛来物の運動エネルギーは（2）式により算出する。

$$\text{運動エネルギー} = \frac{mV_{\max}^2}{2} \dots (2)$$

※¹：東京工芸大学：「平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」、独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書、平成 23 年 2 月

想定飛来物の運動方程式

1. 飛来物の最大速度、飛散距離及び飛散高さ

竜巻影響評価において飛来物の最大速度、飛散距離及び飛散高さは、竜巻による風速場の中での飛来物の軌跡を計算する。

仮定する風速場は鉛直方向には構造が変化しないランキン渦とし、その風速場の中で、質点系にモデル化した飛来物が、相対速度の2乗に比例した抗力を受けるものとし、想定飛来物の運動方程式は(1)式*1にて求められる。

$$m\ddot{x}(t) = \frac{1}{2} \rho C_D A (V(x(t)) - \dot{x}(t)) |V(x(t)) - \dot{x}(t)| - mgJ \cdots (1)$$

m : 飛来物の質量、 A : 代表面積、

C_D : 抗力係数 (3方向の面積で重みづけした平均)

$x(t)$: 時刻 t での飛来物の位置

$\dot{x}(t)$: 時刻 t での飛来物の速度

$\ddot{x}(t)$: 時刻 t での飛来物の加速度

$V(x(t))$: 時刻 t での飛来物位置での風速

ρ : 空気密度、 g : 重力加速度、 J : 重力方向成分のみ 1、他成分は 0 ベクトル
評価においては時間刻みを 0.01 秒とし、(1) 式を離散化することで計算をした。

図 1.1 に飛来物軌跡評価のイメージを示す。

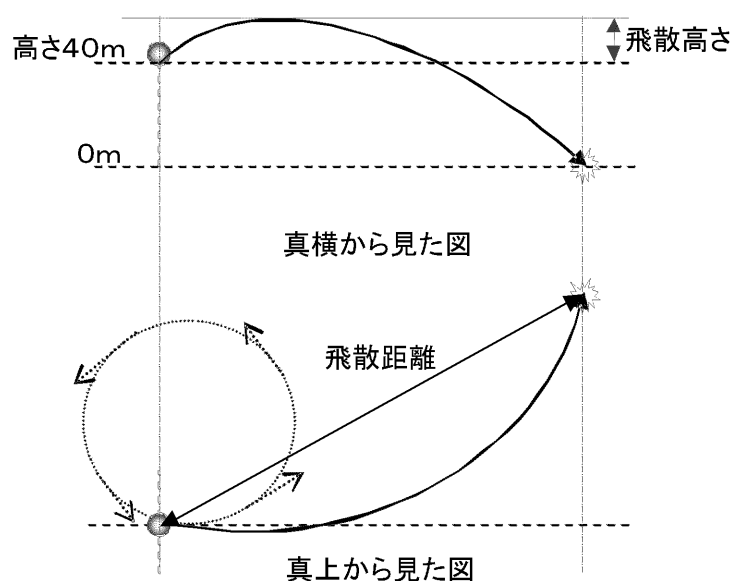


図 1.1 飛来物の軌跡評価イメージ

飛来物となりうる物体は、現実には地上面に設置されている。

本評価における飛来物放出の初期位置は高さ 40mと浮上しており、ランキン渦の各風速成分を受けることになり、初期状態から上昇流を受けることになる。また、地上面と接触していないため、飛来物の横移動に関して摩擦係数を考慮するようなことはしていない。

以上より、本評価における飛来物の最大速度、飛散距離及び飛散高さは保守的な評価と考える。

※1 : Simiu, E. and Cordes, M., NBSIR 76-1050. Tornado-Borne Missile Speeds, 1976

2. 本評価の妥当性について

想定飛来物の運動方程式を使って、文献「東京工芸大学、“平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究(平成 22 年度)竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究”、独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究 成果報告書、平成 23 年 2 月」の p. 237 に示されている竜巻条件に相当する計算条件にて、「飛来物最大水平速度」 V_h^{\max} を求め双方を比較した論文が日本流体力学会年会 2013 にて発表^{※2}されている。

図 2.1 に論文より抜粋した文献との比較を示す。

本論文の結論に、「LES 解析結果に基づく非定常風速場を用いる既往研究結果との比較により、竜巻風速場が飛来物速度に与える影響について評価したところ、物体特性 $C_D A/m$ の大小によって V_h^{\max} の相対的な大小関係が逆転する傾向が見られるが、竜巻の風速場をランキン渦でモデル化した場合の結果は LES 解析結果に基づく結果と良く整合することが判明した。」と報告されている。

※2 : 「移動ランキン渦モデルによる竜巻飛来物速度の評価」電中研：江口 譲、杉本 聡一郎、服部 康男、平口 博丸

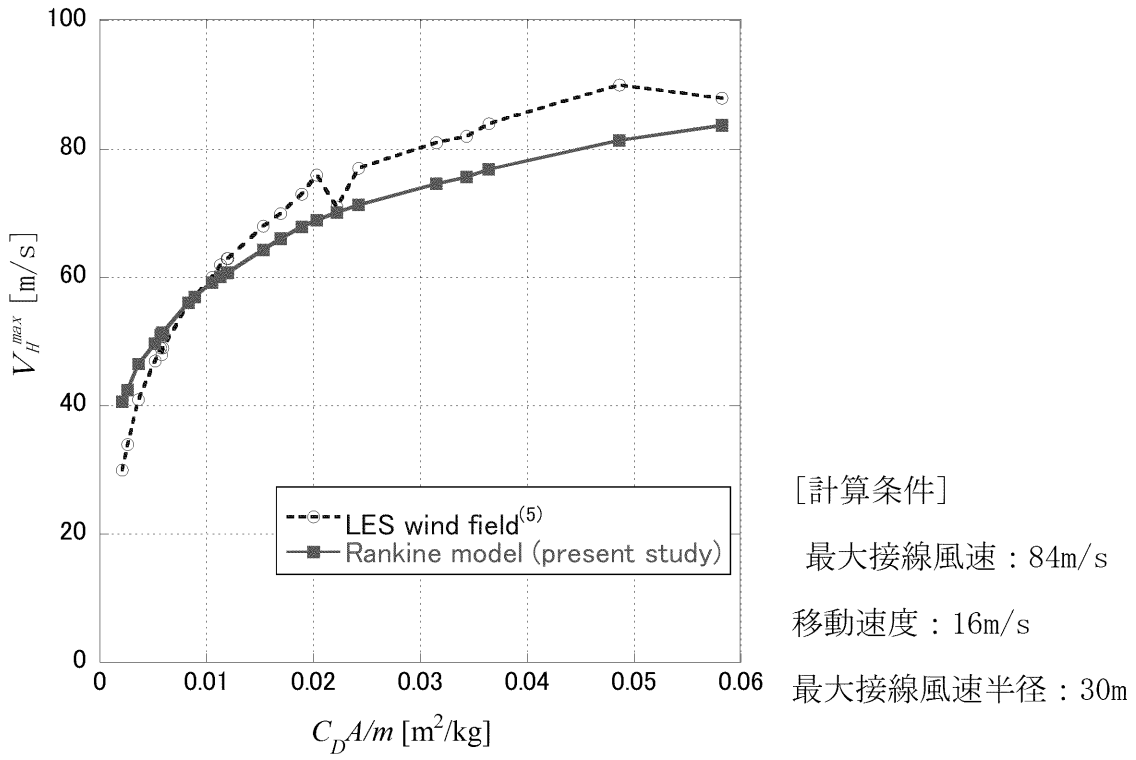


図 2.1 文献との比較

設計飛来物の浮き上がりに関する評価について

1. 浮き上がり条件及び考察

(1) 浮き上がり条件

a. 想定飛来物の計算概要

竜巻の風速場はランキン渦モデルから得られる周方向風速 V_θ に径方向 V_r 、上昇風速 V_z 、移動方向 V_{tr} を加えたものとしている。(図 1.1)

$$V_r = \frac{1}{\sqrt{5}} V_{rot}$$

$$V_\theta = \frac{2}{\sqrt{5}} V_{rot}$$

$$V_z = \frac{4}{3\sqrt{5}} V_{rot}$$

$$V_{rot} = \begin{cases} \frac{r}{R_m} V_m & \text{if } 0 \leq r \leq R_m \\ \frac{R_m}{r} V_m & \text{if } R_m \leq r \end{cases}$$

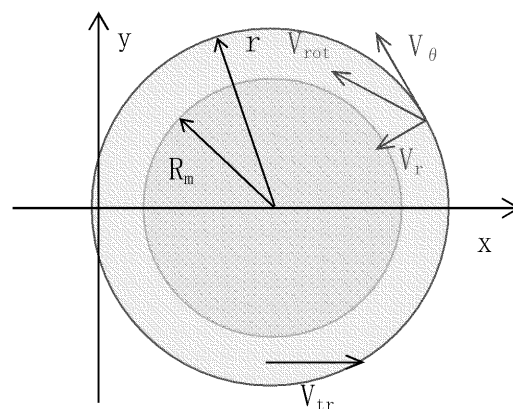


図 1.1 ランキン渦モデルのベクトル図

ただし、 $V_{rot} = \sqrt{V_\theta^2 + V_r^2}$ 、 $(V_\theta, V_r, V_z) = V_\theta(1, 1/2, 2/3)$ の関係^{*1}があり、静止観測者からみた最大水平風速 V_D は、以下で計算される。

$$V_D = V_m + V_{tr}$$

V_θ ：渦の周方向風速、 V_r ：渦の半径方向風速、 V_z ：渦の上昇風速、

V_{tr} ：渦の移動速度、 V_{rot} ：渦の旋回風速、

R_m ：渦コア半径（渦の水平風速が最大となる半径）、 V_m ：渦の最大旋回風速

※1:文献「J. R. McDonald, K. C. Mehta, and J. E. Minor “Tornado-Resistant Design of nuclear Power-Plant Structures (NUCLEAR SAFETY, Vol. 15, No. 4, July-August 1974)」において以下のように示されている。

$$V_r = \frac{1}{2} V_\theta, \quad V_z = \frac{2}{3} V_\theta$$

従って、

$$V_{rot} = \sqrt{V_r^2 + V_\theta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} V_\theta\right)^2 + V_\theta^2} = \frac{\sqrt{5}}{2} V_\theta \text{ より}$$

$$V_\theta = \frac{2}{\sqrt{5}} V_{rot}$$

よって

$$V_z = \frac{2}{3} V_\theta = \frac{4}{3\sqrt{5}} V_{rot}$$

b. 想定飛来物の運動方程式（添付資料2再掲）

竜巻は時刻 $t = 0$ において原点に位置し、 x 方向に一定移動速度 V_{tr} で移動するものとする。

想定飛来物の運動方程式は (1) (1) (2) 式にて求める。

$$m\ddot{x}(t) = \frac{1}{2} \rho C_D A (V(x(t)) - \dot{x}(t)) |V(x(t)) - \dot{x}(t)| - mgJ \cdots (1)$$

m : 飛来物の質量

A : 代表面積

C_D : 抗力係数（3方向の面積で重みづけした平均）

$x(t)$: 時刻 t での飛来物の位置

$\dot{x}(t)$: 時刻 t での飛来物の速度

$\ddot{x}(t)$: 時刻 t での飛来物の加速度

$V(x(t))$: 時刻 t での飛来物位置での風速

ρ : 空気密度

g : 重力加速度

J : 重力方向成分のみ 1 のベクトル、他の成分は 0 ベクトル

c. 計算条件

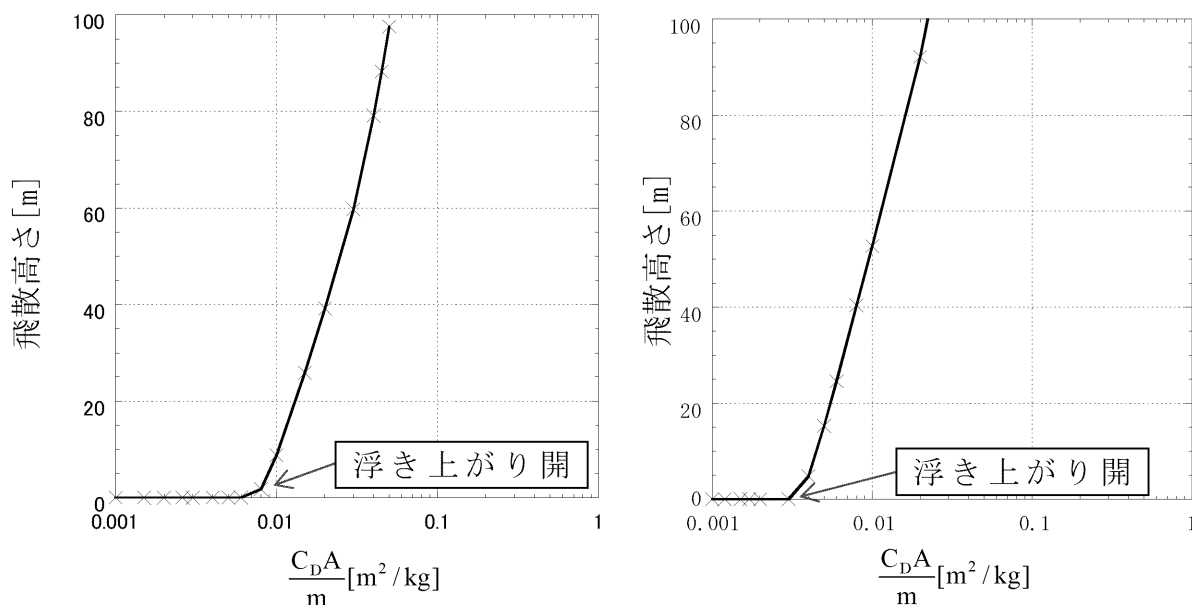
竜巻風速 F 2 ($V_D = 69\text{m/s}$) 及び ($V_D = 100\text{m/s}$) の諸元を表 1.1 に示す。

表 1.1 竜巻風速 F 2 ($V_D = 69\text{m/s}$) 及び ($V_D = 100\text{m/s}$) の諸元

諸元	記号	F 2 (69m/s) 竜巻	100m/s 竜巻
最大風速 (m/s)	V_D	69	100
移動速度 (m/s)	V_{tr}	10	15
最大旋回風速 (m/s)	V_m	59	85
最大風速半径 (m)	R_m	30	30
空気密度 (kg/m^3)	ρ	1.22	
重力加速度 (m/s^2)	g	9.80665	

d. 計算結果

空力パラメータ ($C_D A/m$) と飛散 (浮き上がり) 高さの関係は図 1.2 になる。



(a) F 2 ($V_D=69\text{m/s}$) 竜巻

(b) ($V_D=100\text{m/s}$) 竜巻

図 1.2 空力パラメータと飛散高さの関係

e. 浮き上がり条件

飛散 (浮き上がり) 高さが正となる条件は理論的に (2) 式となる。

$$\frac{C_D A}{m} \geq \frac{2g}{\rho \frac{4V_m}{3\sqrt{5}} \sqrt{V_D^2 + \left(\frac{4V_m}{3\sqrt{5}}\right)^2}} \dots \dots (2)$$

竜巻風速 (F 2 : $V_D=69\text{m/s}$) の場合 : $C_D A/m=0.0059$

竜巻風速 ($V_D=100\text{m/s}$) の場合 : $C_D A/m=0.0028$

浮き上がり条件を表 1.2 に示す。

表 1.2 浮き上がり条件

項 目	F 2 (69m/s) 竜巻	100m/s 竜巻
空力パラメータ $C_D A/m$	0.0059 以上	0.0028 以上 [※]

※飛来物発生防止対策においては、保守的に空力パラメータ 0.0026m²/kg 以上の資機材等に対して対策を実施する。

(2) 考察

空力パラメータを用いた資機材等の浮き上がりと飛散状況について、気象庁藤田スケールにおける被害状況に記述されている自動車を対象として比較をする。

a. 乗用車の空力パラメータ

(乗用車の寸法及び質量)

長さ×幅×奥行き(高さ) : $4.6 \times 1.6 \times 1.4$ [m]

質量 (m) : 2,000 [kg]

(空力パラメータ算出式) ⁽³⁾

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{0.33(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3)}{m}$$

$$C_{D1} = C_{D2} = C_{D3} = 2.0$$

$$A_1 = 4.6 \times 1.6, \quad A_2 = 1.6 \times 1.4, \quad A_3 = 4.6 \times 1.4$$

$$\text{乗用車の空力パラメータ } (C_D A/m) = \underline{0.0053} [\text{m}^2/\text{kg}]$$

b. 理論式と藤田スケール (Fスケール) の被害指標と比較

藤田スケール (Fスケール) の被害指標 (気象庁HPより) を表 1.3 に示す。

① F 2 レベル (風速 69m/s) の場合

浮き上がり条件が 0.0059 以上であり、ほぼ同じ値であり、乗用車が浮き始める状態になっていると考えられる。(横滑り距離 : 139m)

藤田スケール被害状況では、「自動車が道から吹き飛ばされる。」となっている。

② F 4 レベル (風速 100m/s) の場合

浮き上がり条件が 0.0028 以上であり、乗用車の空力パラメータが大きいので、浮き上がりする状態になっていると考えられる。(飛散距離 : 284m)

藤田スケール被害状況では、「自動車は何十メートルも空中飛行する。」となっている。

以上、空力パラメータを用いた飛散状況については、気象庁藤田スケールにおける被害状況と比較して保守的な結果になると判断できる。

表 1.3 藤田スケールによる被害指標（気象庁HPより）

スケール	風 速	被 害 指 標
F0	17 ～32m/s (約15 秒間の平均)	テレビアンテナなどの弱い構造物が倒れる。小枝が折れ、根の浅い木が傾くことがある。非住家が壊れるかもしれない。
F1	33 ～49m/s (約10 秒間の平均)	屋根瓦が飛び、ガラス窓が割れる。ビニールハウスの被害甚大。根の弱い木は倒れ、強い木の幹が折れたりする。走っている自動車が横風を受けると、道から吹き落とされる。
F2	50 ～69m/s (約7 秒間の平均)	住家の屋根がはぎとられ、弱い非住家は倒壊する。大木が倒れたり、ねじ切られる。自動車が道から吹き飛ばされ、汽車が脱線することがある。
F3	70 ～92m/s (約5 秒間の平均)	壁が押し倒され住家が倒壊する。非住家はバラバラになって飛散し、鉄骨づくりでもつぶれる。汽車は転覆し、自動車が持ち上げられて飛ばされる。森林の大木でも、大半は折れるか倒れるかし、引き抜かれることもある。
F4	93 ～116m/s (約4 秒間の平均)	住家がバラバラになってあたりに飛散し、弱い非住家は跡形なく吹き飛ばされてしまう。鉄骨づくりでもペシャンコ。列車が吹き飛ばされ、自動車は何十メートルも空中飛行する。1 トン以上もある物体が降ってきて、危険この上もない。
F5	117 ～142m/s (約3 秒間の平均)	住家は跡形もなく吹き飛ばされるし、立木の皮がはぎとられてしまったりする。自動車、列車などが持ち上げられて飛行し、とんでもないところまで飛ばされる。数トンもある物体がどこからともなく降ってくる。

【参考文献】

- (1) Simiu, Emil, and Robert H. Scanlan, Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, August 1996.
- (2) Simiu and M. Cordes, NBSIR 76-1050. Tornado-Borne Missile Speeds, 1976.
- (3) 東京工芸大学: 「平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究(平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」、独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究 成果報告書、平成 23 年 2 月

2. 設計飛来物の浮き上がりに関する考え方の保守性について

飛来物の軌跡評価は図 2.1 に示すように、竜巻の風速場に地上 40m 地点に飛来物を置き、これを起点として軌跡評価を実施している。(添付資料 2)

飛来物が受ける竜巻風速は以下となる。

(条件) 竜巻最大風速半径 (Rm) = 30m

竜巻旋回風速 (Vm) = 85m/s

$$V_r = \frac{1}{\sqrt{5}} V_{rot} = 38.1 \text{ m/s}$$

$$V_\theta = \frac{2}{\sqrt{5}} V_{rot} = 76.1 \text{ m/s}$$

$$V_z = \frac{4}{3\sqrt{5}} V_{rot} = \underline{50.7 \text{ m/s}}$$

$$V_{rot} = 85 \text{ m/s}$$

(V_r、V_θ、V_z、V_{rot} の考え方は資料 5-添付資料 3-1 1. 項参照)

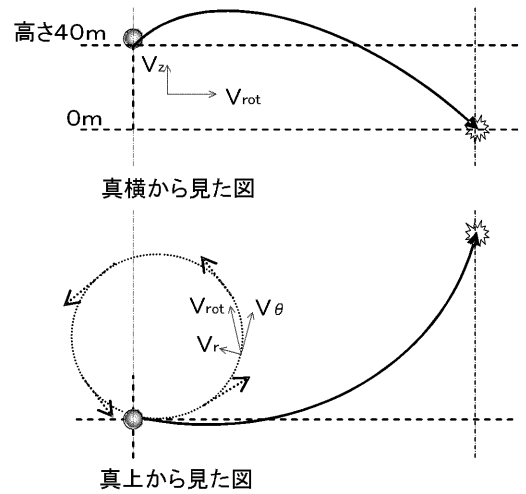


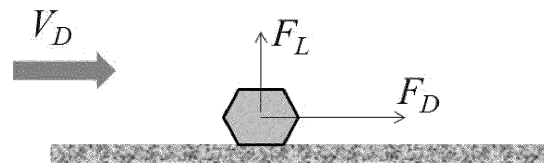
図 2.1 飛来物の軌跡イメージ (風向きベクトル記載)

飛来物の軌跡評価において、飛来物は風速 50.7m/s の上昇流を受けている。

物体が揚力により浮き上がりする条件は以下で表される。

$$F_L = \frac{\rho V_D^2 c_L a}{2} > mg$$

① 図 2.2 地上物体が受ける風圧力による荷重



ここで、c_Lは地上での揚力係数、aは地上での見附面積である。

一方、1. (1) . e の (2) 式で V_m=0.85 V_D (V_r=0.15 V_D) の関係を用いると (2) 式は以下ようになる。

$$\frac{C_D A}{m} \geq \frac{2g}{\rho \frac{17V_D}{15\sqrt{5}} \sqrt{V_D^2 + \left(\frac{17V_D}{15\sqrt{5}}\right)^2}} = \frac{2g}{\rho \frac{17\sqrt{1414}V_D^2}{1125}} \approx 3.52 \frac{g}{\rho V_D^2} \quad \text{②}$$

そこで、①式の左辺が式②の左辺の形になるように変形して (以下)、両者を比較する。

$$\frac{C_D A}{m} \geq 2 \left(\frac{C_D A}{c_L a} \right) \frac{g}{\rho V_D^2} \quad \text{③}$$

従って、(2) 式が地上物体の浮き上がり条件として保守的に適用できる条件は以下のようになる。

$$\frac{C_D A}{c_L a} > \frac{3.52}{2} = 1.76 \quad \text{④}$$

ここで、例として、直径 d 、長さ $14.1d$ の円柱の場合について、式④の成立性を確認する。図 2.3 (出展 : EPRI NP-748) より、

$$C_{La} = 0.2 \times d \times 14.1d = 2.8d^2$$

と算出される。

また、

$$C_{DA} = 0.33(0.7 \times d \times 14.1d + 0.7 \times d \times 14.1d + 2.0 \times \pi \times (d/2)^2) = 7.1d^2$$

であることから、

$C_{DA}/C_{La} = 7.1/2.8 = 2.5$ となり、式④を満たす。従って、(2) 式は地上に置かれた円柱の浮き上がり条件としても保守的に適用できることが分かる。また、一般的に、地上風は地面の影響により減速するため、式④自体に保守性があるので、他の物体に対しても保守的に適用しうるものと考えられる。

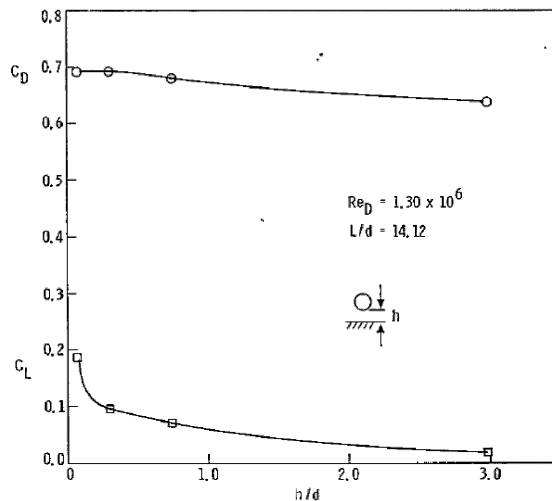


Fig. 3-19. Effect of distance from ground plane on the drag and lift coefficients of open circular cylinder (length/diameter = 14.1) normal to flow ($\psi = 90^\circ$) in supercritical Reynolds Number regime

(出典 : Wind Field and Trajectory Models for Tornado Propelled Objects, EPRI NP-748, p.3-23, 1978.)

図 2.3 円柱の場合の揚力係数と浮き上がり高さの関係図