

【資料 1】

- 〈4/27 監視チームにおける議論のまとめ〉
2. 安全対策(津波対策)について
② 津波対策で示すべき事項について
・増打ち補強の妥当性
・波力計算において想定する設備設計の保守性
〈5/25 監視チームにおける議論のまとめ〉
1.HAW 建家健全性評価(波力、余震重畳)について
① 資料1全般について
②HAW 建屋 の設計津波に対する 健全性評価につ
いて

HAW 建家健全性評価(波力、余震重畳)について

【概要】

○高放射性廃液貯蔵場(HAW)における設計津波に対する建家外壁の強度評価について、波力及び余震との重畳を踏まえた津波荷重に対し構造強度を維持して建家内に浸水させないことを示す。

○HAW1F 南側外壁 [] については、部材耐力を超えることから、外壁の増打ち補強を行う計画でありその方針を示す(外壁補強工事については令和2年7月変更申請予定)。

○第41回東海再処理施設安全監視チーム会合における指摘事項を踏まえ、5月末に提出予定の補正書を修正した。修正箇所を下線に示す。

- ・「漂流物影響軽減設備」を「漂流物の影響防止施設」として記載した。
- ・コーキング材等による止水処理に対しては試験により妥当性を確認する旨を追記した。
- ・分離精製工場(MP)の性能目標に係る記載については、防護柵と同様の記載に修正した。また、防護柵及びMPそのものが壊れて漂流物とならない旨の説明を追記した。
- ・防護柵の設計について、支柱間を繋ぐワイヤに関する設計上の位置付けを明確にした。
- ・屋外監視カメラの要求性能について、余震ではなく廃止措置計画用設計地震動に対して機能維持する旨の説明を追記した。
- ・屋外監視カメラについて、機能喪失した場合の記載があるが、機能喪失から津波襲来までの間に機能修復できるとする説明を補足した。

○評価において使用する波力算定用津波高さについて、評価の前提となる条件の考え方を補正書「別添6-1-3-2 Ⅲ-1」に追記した。

○敷地内への津波の浸水を許容するものの、建物内への浸水を許容しないという設計とすることを踏まえて、関連する規準類(参考等を含む)との関係を補正書に追記した。

○想定条件等に含まれる不確かさについて、評価結果において適切な余裕を有していることを追記した。

令和2年5月28日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

I 高放射性廃液貯蔵場(HAW)の津波防護に関する施設の設計方針

1. 概要

本資料は、別添 6-1-3-1 「I-1 耐津波設計の基本方針」に基づき、高放射性廃液貯蔵場(HAW)の津波防護に関する施設・設備の分類、要求機能及び性能目標を明確にし、各施設・設備の機能設計及び構造強度設計に関する設計方針について説明するものである。

2. 設計の基本方針

高放射性廃液貯蔵場(HAW)に影響を与える可能性がある廃止措置計画用設計津波(以下「設計津波」という。)の発生により、別添 6-1-3-1 「I-1 耐津波設計の基本方針」にて設定する設計津波から防護する設備がその安全機能を維持するために必要な機能を損なうおそれがないようにするため、津波防護に関する施設を設置する。津波防護に関する施設は、別添 6-1-3-1 「III 入力津波の設定」で設定する入力津波に対して、その機能が維持できる設計とする。

津波防護に関する施設の設計にあたっては、津波防護対策を実施する目的や施設の分類を踏まえて、施設分類ごとの要求機能を整理するとともに、施設ごとに機能設計上の性能目標及び構造強度設計上の性能目標を定める。

津波防護に関する施設の構造強度設計上の性能目標を達成するため、施設ごとに設計方針を示す。

津波防護に関する施設の設計フローを図 2-1 に示す。

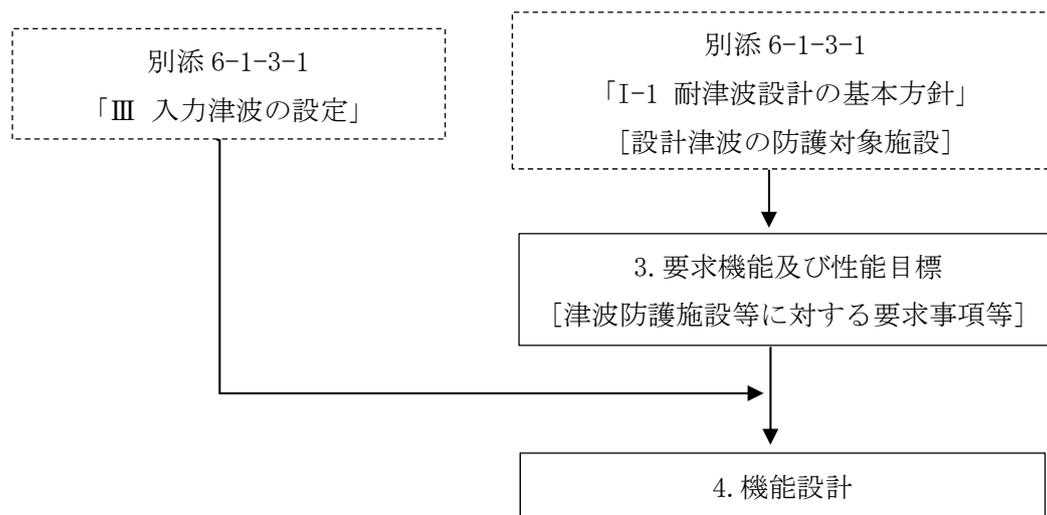


図 2-1 施設の設計フロー

3. 要求機能及び性能目標

津波防護対策を実施する目的は、設計津波から防護する設備の安全機能が損なわれるおそれがないこととする。また、施設の分類については、設計津波の津波防護施設、設計津波の浸水防止設備、漂流物の影響防止施設及び設計津波遡上状況等監視設備に分類する。

設計津波の遡上波の敷地への浸水、余震、高放射性廃液貯蔵場（HAW）へ到達する可能性のある漂流物の調査結果を踏まえ、施設分類ごとの要求機能を整理するとともに、施設分類ごとの機能設計上の性能目標及び構造強度上の性能目標を設定する。

(1) 施設分類

a. 設計津波の津波防護施設

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の建家外壁は、設計津波の建家内への浸水に対する障壁となることから、建家外壁等を設計津波の津波防護施設と位置付ける。

b. 設計津波の浸水防止設備

設計津波の津波防護施設である建家外壁の開口部には、設計津波の建家内への浸水を防止するため、浸水防止扉を設置していることから、浸水防止扉を設計津波の浸水防止設備と位置付ける。

c. 漂流物の影響防止施設

設計津波の津波防護施設である建家外壁の周辺には、船舶等の重量物が建家外壁に衝突した場合の影響が大きいと考えられる大型の漂流物の影響を軽減するため津波漂流物防護柵の設置を計画していることから、津波漂流物防護柵を漂流物の影響防止施設と位置付ける。

また、高放射性廃液貯蔵場（HAW）北側に隣接する分離精製工場（MP）は、設計地震動による地震力や設計津波による波圧、漂流物の衝突を考慮した場合においても倒壊しない見通しであり、令和2年11月までに行う詳細評価において十分な構造強度を有することを確認したうえで、漂流物の影響防止施設として期待する。

d. 設計津波遡上状況等監視設備

設計津波の遡上状況等を監視する機能を有する設備を設計津波遡上状況等監視設備と位置付ける。

(2) 施設の配置

津波防護に関する施設について、設計津波の津波防護施設、設計津波の浸水防止設備、漂流物の影響防止施設及び設計津波遡上状況等監視設備の配置を図3-1に示す。なお、漂流物影響軽減施設の配置については、津波漂流物防護柵の詳細設計を踏まえ令和3年1月に見直す。

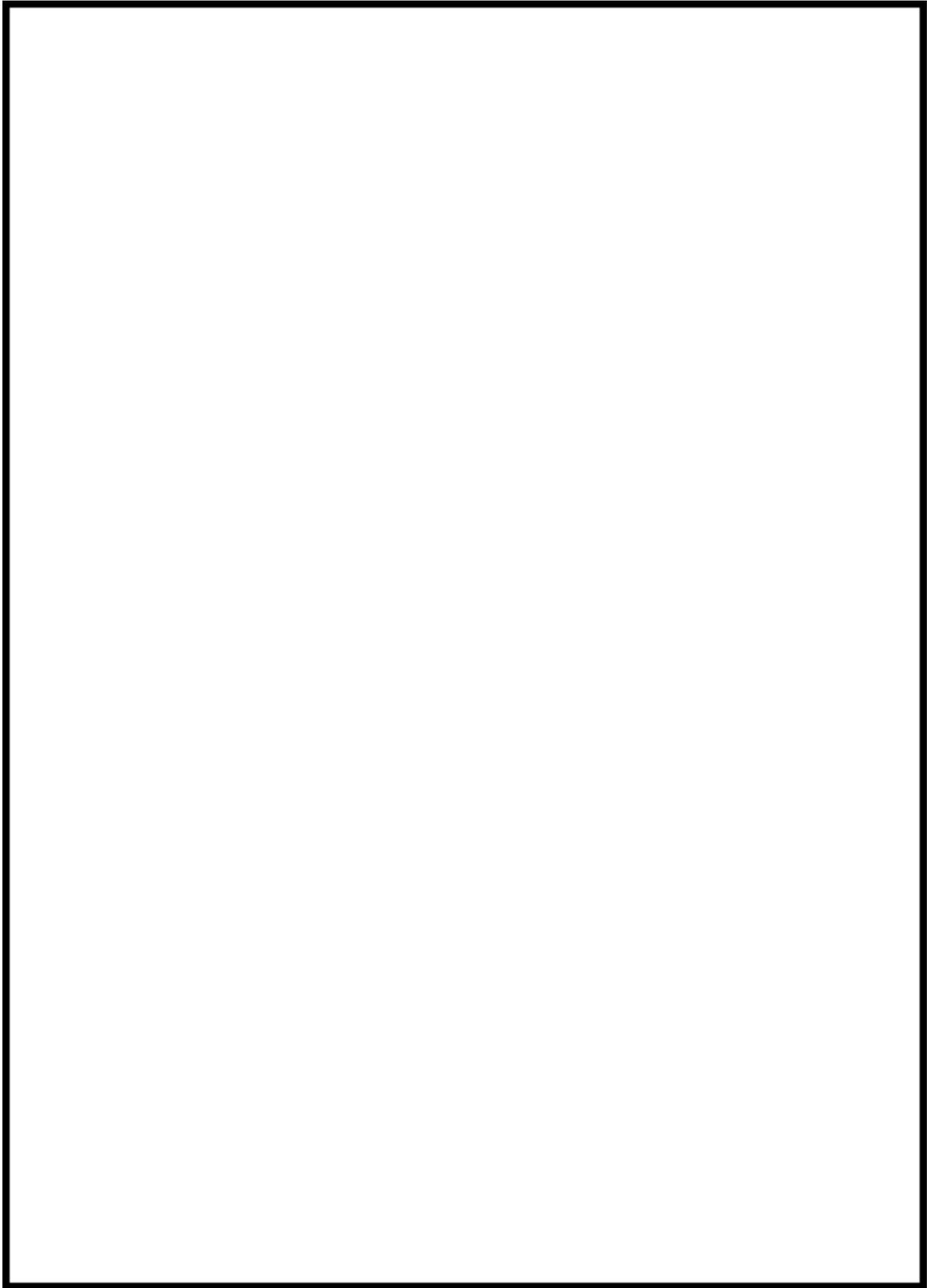


図 3-1 津波防護に関する施設の配置 (2/3)

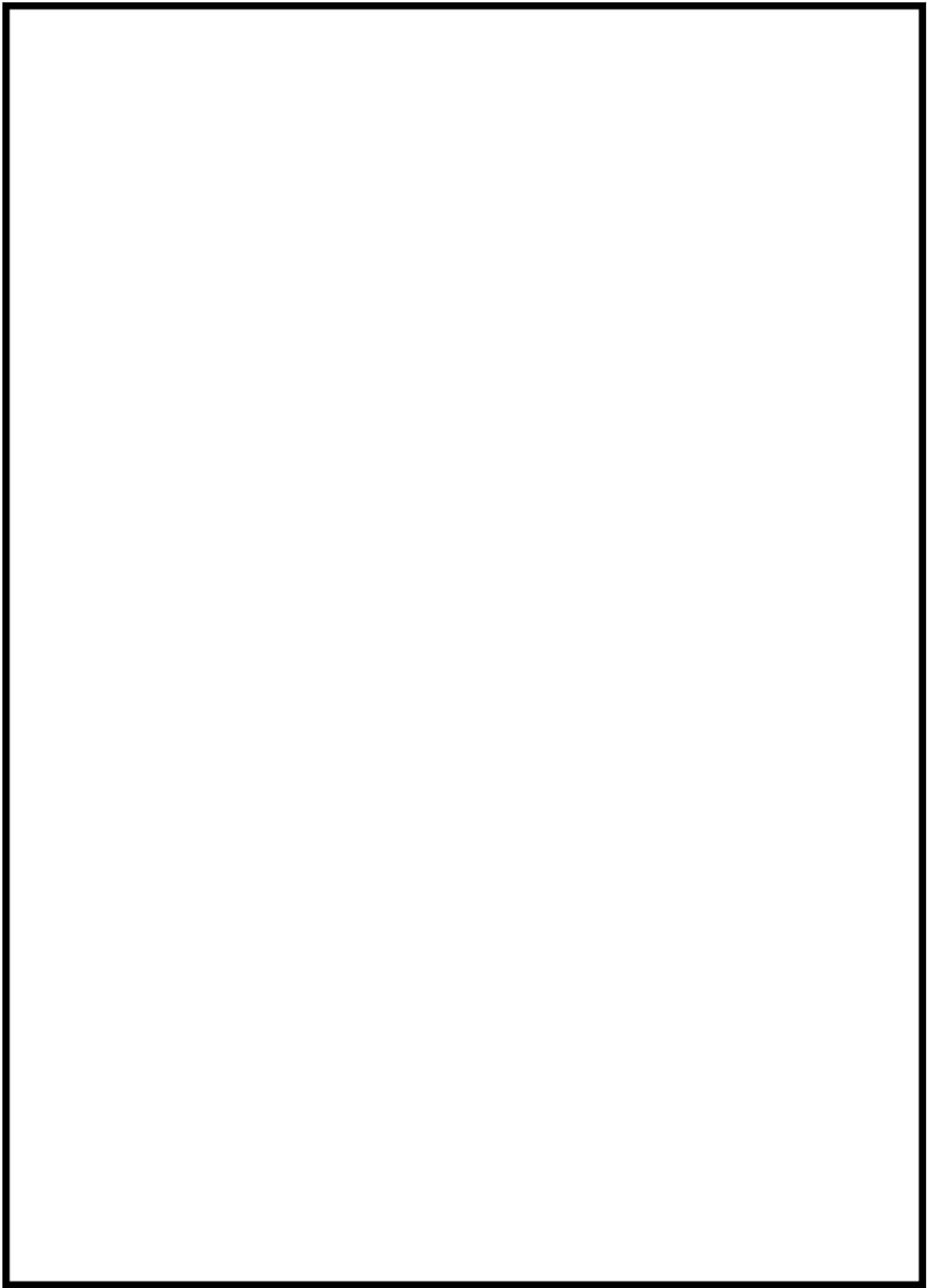


図 3-1 津波防護に関する施設の配置 (3/3)

3.1 設計津波の津波防護施設

(1) 施設

- a. 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の建家外壁

(2) 要求機能

設計津波の津波防護施設は、入力津波に対し、余震、漂流物の影響防止施設によって捕捉される船舶等の大きな漂流物を除く漂流物（以下「建家設計用漂流物」という。）の衝突、風及び積雪による荷重を適切に組み合わせて考慮した場合においても、設計津波による建家内への浸水を防止することが要求される。

(3) 性能目標

- a. 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の建家外壁

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の建家外壁は、設計津波の遡上波に対し、余震、建家設計用漂流物の衝突、風及び積雪による荷重を適切に組み合わせて考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を考慮した高さまで止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。

当該建家外壁は、岩盤に支持される鉄筋コンクリート製の基礎と鉄筋コンクリート製の躯体で構成する。津波後の再使用性を考慮し、想定する荷重に対し、主要な構造部材が構造健全性を保持する設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

また、T21 トレンチ、連絡管路及び T15 トレンチ（以下「トレンチ等」という。）は、設計津波の遡上波に対し、余震を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を考慮した高さまで止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。

これらトレンチ等は、鉄筋コンクリート製の躯体で構成する。津波後の再使用性を考慮し、想定する荷重に対し、主要な構造部材が構造健全性を保持することを構造強度設計上の性能目標とする。

さらに、設計津波に対し、当該建家の外壁貫通部を介して浸水することを防止するため、当該建家の外壁貫通部の設置箇所に想定される津波高さに余裕を考慮した高さに対する止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。

3.2 設計津波の浸水防止設備（浸水防止扉）

(1) 施設

- a. 高放射性廃液貯蔵場（HAW）（南側 1 階）の片開きスイング扉
- b. 高放射性廃液貯蔵場（HAW）（北側 1 階）の片開きスイング扉
- c. 高放射性廃液貯蔵場（HAW）（南側 1 階）の横引き扉
- d. 高放射性廃液貯蔵場（HAW）（南側 3 階）の片開きスイング扉
- e. 高放射性廃液貯蔵場（HAW）（南側 3 階）の閉止板（盾式角落し）

(2) 要求機能

浸水防止設備は、入力津波に対し、余震、建家設計用漂流物の衝突、風及び積雪による荷重を適切に組み合わせて考慮した場合においても、設計津波による建家外壁の開口部からの浸水を防止することが要求される。

(3) 性能目標

浸水防止設備の扉枠と扉の接触面は、止水ゴムを施工し、接触面からの浸水を防止する構造とする。設計津波の遡上波に対し、余震、建家設計用漂流物の衝突、風及び積雪による荷重を適切に組み合わせて考慮した場合においても、当該扉を介して建家内に浸水することを防止するため、当該扉の設置箇所に想定される津波高さに余裕を考慮した止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。

浸水防止設備は、鋼製の扉を、扉枠を介して建家外壁開口部にアンカーボルトで固定し、支持する構成とする。津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材が、想定する荷重に対し、構造健全性を保持することを構造強度設計上の性能目標とする。

3.3 漂流物の影響防止施設

(1) 施設

- a. 津波漂流物防護柵
- b. 分離精製工場 (MP)

(2) 要求機能

漂流物の影響防止施設は、入力津波に対し、余震、船舶等の漂流物の衝突、風及び積雪による荷重を適切に組み合わせて考慮した場合においても、設計津波により漂流が想定される漂流物の津波防護施設への影響を軽減^{*}することが要求される。

※ 別添 6-1-3-1「V 漂流可能性のある漂流物の選定」の基本方針に従う。

(3) 性能目標

a. 津波漂流物防護柵

津波漂流物防護柵は、設計津波の遡上波に対し、余震、船舶等の漂流物の衝突、風及び積雪による荷重を適切に組み合わせて考慮した場合においても、設計津波により漂流が想定される船舶等の重量物の衝突による高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の建家外壁等への影響を軽減^{*}することを機能設計上の性能目標とする。

津波漂流物防護柵は、鋼製の支柱、必要に応じて支柱間にワイヤーロープを設置し、支柱の下部は岩盤等に支持される構成とする。

支柱は、設計津波の遡上波に対し、想定する荷重を考慮しても、主要な構造部材は構造健全性を保持する設計とし、ワイヤーロープは、漂流物が衝突した際にワイヤーロープが衝撃を緩和することで漂流物を捕捉する設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

※ 別添 6-1-3-1「V 漂流可能性のある漂流物の選定」の基本方針に従う。重量の大きい、水素タンク、小型船舶、中型バスは、津波漂流物防護柵により捕捉し、津波漂流物防護柵をすり抜ける可能性がある防砂林 (流木) は、建家外壁である津波防護施設で防護することとし、それぞれの設計において考慮すべき代表漂流物とする。

なお、津波漂流物防護柵は、設計地震動及び設計津波に対して耐性を有する設計とすることから漂流物となることはない。

b. 分離精製工場 (MP)

分離精製工場 (MP) は、設計津波の遡上波に対し、余震、船舶等の漂流物の衝突、風及び積雪による荷重を適切に組み合わせて考慮した場合においても、設計津波により漂流が想定される船舶等の重量物の衝突による高放射性廃液貯蔵

場(HAW)の建家外壁等への影響を軽減[※]することを機能設計上の性能目標とする。

当該建家は、岩盤に支持される鉄筋コンクリート製の基礎と鉄筋コンクリート製の躯体で構成されていること、想定する荷重に対し、一部外壁等が損傷する場合であっても、建家の倒壊及び浮き上がりがないことを確認し、当該建家のセル等の主要な躯体により、設計津波により漂流が想定される船舶等の重量物が漂流物として高放射性廃液貯蔵場(HAW)の建家外壁等へ到達することを防止する障壁となることを構造強度設計上の性能目標とする。

※ 別添 6-1-3-1「V 漂流可能性のある漂流物の選定」の基本方針に従う。重量の大きい、水素タンク、小型船舶、中型バスは、津波漂流物防護柵により捕捉し、津波漂流物防護柵をすり抜ける可能性がある防砂林(流木)は、建家外壁である津波防護施設で防護することとし、それぞれの設計において考慮すべき代表漂流物とする。

なお、分離精製工場(MP)については、建家外壁等の部材が部分的に損壊し漂流物となる可能性があるが、令和2年11月までに行う詳細評価において代表漂流物の選定結果に影響を与えないことを確認する。

3.4 設計津波遡上状況等監視設備

(1) 施設

屋外監視カメラ

(2) 要求機能

設計津波遡上状況等監視設備は、設計地震動に対する耐震性を確保すること、また、入力津波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪による荷重を適切に組み合わせ考慮した場合においても、設計津波の遡上状況等の状態を監視できることが要求される。

(3) 性能目標

屋外監視カメラ本体は、設計地震動に対する耐震性を確保すること、また、カメラ架台は剛構造として分離精製工場(MP)の建家屋上に固定し、分離精製工場(MP)は、設計地震動による地震力や設計津波による波圧、漂流物の衝突を考慮した場合においても十分な構造強度を有することを構造強度設計上の性能目標とする。

また、屋外監視カメラは、昼夜問わず敷地への津波の襲来状況を監視できること、機能喪失した場合には、監視可能な状態に速やかに復旧できることを機能設計上の性能目標とする。

4. 機能設計

別添 6-1-3-1「Ⅲ 入力津波の設定」で設定している入力津波に対し、「3. 要求機能及び性能目標」で設定している津波防護に関する施設の機能設計上の性能目標を達成するために、各施設の機能設計の方針を定める。

設計方針においては、止水処置等を確認する高さが設計津波の最大水位に対して、余裕を考慮した高さとなっていることを確認するため、高潮ハザードの再現期間 100 年に対する期待値 T.P. +1.44 m と、朔望平均満潮位 T.P. +0.61 m 及び潮位のばらつき 0.18 m (別添 6-1-3-1「Ⅲ 入力津波の設定」表 3-1) の合計との差である 0.65 m を参照する裕度として設定する。

高潮ハザードの再現期間 100 年に対する期待値については、観測地点「茨城港日立港区」における 40 年 (1971 年～2010 年) の潮位観測記録に基づき求めた最高潮位の超過発生確率を参照する。図 4-1 に観測地点「茨城港日立港区」における最高潮位の超過発生確率、表 4-1 に観測地点「茨城港日立港区」における 40 年 (1971 年～2010 年) の年最高潮位を示す。

なお、再処理施設では、東日本大震災後の緊急安全対策において、土木学会評価(原子力発電所の津波評価技術(平成 14 年))において近隣に襲来すると想定した津波高さ(4.9 m)に、福島第一発電所に襲来した津波高さと土木学会評価が当該発電所付近に襲来すると予想した津波高さの差(9.5 m)を加えた高さ(14.4 m)の津波が襲来すると想定し、高放射性廃液貯蔵場(HAW)の浸水防止扉の設置等の対策を実施した。

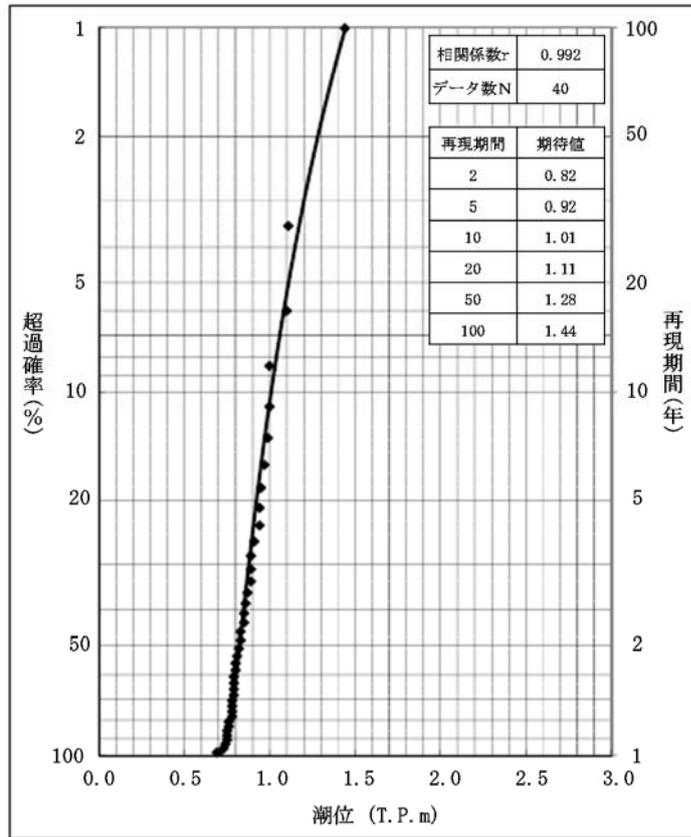


図 4-1 観測地点「茨城港日立港区」における最高潮位の超過発生確率

表 4-1 観測地点「茨城港日立港区」における 40 年（1971 年～2010 年）の年最高潮位

表 年最高潮位（日立港）

年	年	年最高潮位				潮位(m)
		月	日	時	分	
昭和46年	1971	9	1	15	0	0.89
昭和47年	1972	11	21	15	0	0.80
昭和48年	1973	10	28	16	0	0.73
昭和49年	1974	1	10	16	30	0.85
昭和50年	1975	9	8	17	10	0.76
昭和51年	1976	9	28	17	50	0.83
昭和52年	1977	9	19	19	30	0.86
昭和53年	1978	9	17	3	40	0.79
昭和54年	1979	10	7	16	40	1.00
昭和55年	1980	12	24	16	40	1.11
昭和56年	1981	10	2	17	40	0.78
昭和57年	1982	10	20	6	0	0.80
昭和58年	1983	9	9	5	0	0.75
昭和59年	1984	10	27	16	40	0.79
昭和60年	1985	8	31	4	0	0.87
		11	14	15	50	0.87
昭和61年	1986	10	8	17	40	0.94
		9	17	21	0	0.74
昭和62年	1987	2	4	7	40	0.74
		9	16	17	50	0.94
昭和63年	1988	9	16	17	50	0.94
昭和64年	1989	8	6	18	50	0.99
平成2年	1990	10	8	17	10	0.89
平成3年	1991	10	13	17	50	1.00
平成4年	1992	9	11	3	10	0.85
平成5年	1993	11	14	15	10	0.69
平成6年	1994	10	22	16	40	0.78
平成7年	1995	11	24	16	0	0.75
平成8年	1996	9	22	22	40	0.79
平成9年	1997	9	19	17	20	0.91
平成10年	1998	11	17	14	40	0.75
平成11年	1999	10	27	17	0	0.83
平成12年	2000	9	4	19	0	0.76
		12	11	15	0	0.76
平成13年	2001	8	22	5	40	0.79
平成14年	2002	10	1	21	40	1.10
平成15年	2003	10	26	15	50	0.81
平成16年	2004	9	30	4	50	0.78
平成17年	2005	12	5	17	0	0.82
平成18年	2006	10	7	3	35	1.44
平成19年	2007	7	16	3	55	0.95
平成20年	2008	12	14	15	50	0.78
平成21年	2009	10	8	16	55	0.97
平成22年	2010	9	25	16	25	0.89

4.1 津波防護施設

津波防護施設は、「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1 津波防護施設 (3) 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針としている。

(1) 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の建家外壁

機能設計上の性能目標を達成するため、岩盤に支持される鉄筋コンクリート製の基礎と鉄筋コンクリート製の躯体で構成される当該建家外壁は、設計津波の最大水位に参照する裕度を考慮した高さ (T.P.+14.2 m) を超える T.P.+14.4 m までの止水性を保持する設計とする。

構造強度設計上の性能目標を達成するため、設計津波の遡上波 (波力算定用津波高さ : T.P.+12.1 m) に対して耐性を有する設計とする。発生する浮力については、設計津波の最高水位 (浮力算定用津波高さ : T.P.+13.6 m) を考慮する。建家設計用漂流物による荷重は、津波漂流物防護柵による効果を期待する。当該建家周辺の地盤は地盤改良による効果を期待する。

また、トレンチ等が鉄筋コンクリート製の躯体、鉄遮蔽体で構成することにより、止水性を有する設計となっていること、建家外壁と当該境界部の接続部からの漏水による影響及び漏水時の排水対策について確認する (添付資料 6-1-3-2-1 「高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 建家貫通部からの浸水の可能性について」)。

機能設計上の性能目標を達成するため、当該建家外壁の貫通部が、設計津波の最大水位に参照する裕度を考慮した高さ (T.P.+14.2 m) を超える高さ (T.P.+14.4 m) までシール材等での止水処置されていることを確認するとともに、構造強度設計上の性能目標を達成するため、当該建家外壁の貫通部のうち、貫通部に作用する津波荷重が大きくなる建家 1 階に位置し貫通部の面積が大きい箇所を対象に、設計津波の遡上波に伴う津波荷重に対し、有意な漏えいを生じないことを模擬試験体による耐圧試験により確認する。また、当該建家外壁の貫通部からの漏水による影響及び漏水時の排水対策について確認する (添付資料 6-1-3-2-1 「高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 建家貫通部からの浸水の可能性について」)。

4.2 浸水防止設備 (浸水防止扉)

浸水防止設備 (浸水防止扉) は、「3. 要求機能及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (3) 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針としている。

機能設計上の性能目標を達成するため、十分な支持性能を有する高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の建家外壁に設置する扉枠との境界に水密ゴムを挟んで鋼製の扉を固定

する構造とする浸水防止扉は、設計津波の最大水位に参照する裕度を考慮した高さ (T.P. +14.2 m) を超える高さ (T.P. +14.4 m) まで止水性を保持する設計とする。

また、高放射性廃液貯蔵場(HAW)の建家外壁と浸水防止扉の扉枠との接続部が、設計津波の最大水位に参照する裕度を考慮した高さ (T.P. +14.2 m) を超える高さ (T.P. +14.4 m) までシール材等での止水処置により、止水性を有する設計となっていること、設計津波の遡上波による波圧を考慮した漏えい試験により有意な漏えいが生じないことを確認した方法にて施工していること、当該外壁貫通部からの漏水による影響及び漏水時の排水対策について確認する。

構造強度設計上の性能目標を達成するため、設計津波の遡上波(波力算定用津波高さ : T.P. +12.1 m) に対して耐性を有する設計とする。また、扉枠と扉の接触面が、設計津波の遡上波による波圧を考慮した漏えい試験により有意な漏えいが生じないことを確認した方法にて施工していること、当該部からの漏水による影響及び漏水時の排水対策について確認する。

4.3 漂流物の影響防止施設

漂流物の影響防止施設は、「3. 要求機能及び性能目標」の「3.3 漂流物影響軽減 (3) 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針とする。

(1) 津波漂流物防護柵

機能設計上の性能目標を達成するため、津波漂流物防護柵は、鋼製の支柱、必要に応じて支柱間にワイヤーロープを設置する構成とし、支柱の下部は岩盤等に支持される設計とする。

構造強度設計上の性能目標を達成するため、支柱の下部は、主な再処理施設の支持地盤である砂質泥岩層又は強固に改良した地盤に設置し、設計地震動に対する耐震性を確保する。また、支柱については、船舶等の重量物が漂流物として1本の支柱へ直接衝突する等の最も厳しい条件において、ある程度塑性変形を生じ、漂流物が複数回衝突する場合であっても支柱としての機能を保持し、隣接する支柱が弾性範囲内で津波漂流物防護柵を支持する設計とする。津波漂流物防護柵に設けるワイヤーロープは、津波漂流物対策施設設計ガイドラインに従い、漂流物が衝突した際にワイヤーロープが衝撃を緩和することで漂流物を捕捉する設計とする。

これらの設計によって、設計津波により漂流が想定される船舶等の重量物を捕捉することで漂流物の衝突による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の建家外壁等への影響を軽減させる設計※となっていることを確認する。

※ 小型船舶は総トン数 20 トン未満の船舶であり、総トン数 19 トンを超える小型

船舶が入港することも考えられる。船舶等の大型の漂流物は津波漂流物防護柵で捕捉することから、津波漂流物防護柵の設計荷重を20トン相当にすることにより保守性を確保する。設計津波の時刻歴波形から津波の繰り返しの遡上はないことから、最大荷重の漂流物が津波漂流物防護柵の同一箇所に繰り返し衝突することはない。

(2) 分離精製工場(MP)

機能設計上の性能目標を達成するため、分離精製工場(MP)は、岩盤に支持される鉄筋コンクリート製の基礎と鉄筋コンクリート製の躯体で構成する設計としている。

構造強度設計上の性能目標を達成するため、分離精製工場(MP)は、設計津波の遡上波に対し、余震、船舶等の漂流物の衝突、風及び積雪による荷重に対し、外壁等が一部損傷する場合であっても建家全体が倒壊することなく主要な構造部材は構造健全性を保持し、浮き上がるおそれのない設計とする。なお、分離精製工場(MP)は、設計地震動による地震力や設計津波による波圧、漂流物の衝突を考慮した場合においても倒壊しない見通しであり、令和2年11月までに行う詳細評価において十分な構造強度を有することを確認する。

これらの設計によって、設計津波により漂流が想定される船舶等の漂流物の衝突による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の建家外壁等への影響を軽減させる設計となっていることを確認する。

4.4 津波監視設備

津波監視設備は、「3. 要求機能及び性能目標」の「3.4 津波監視設備 (3) 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計状況を確認している(添付資料6-1-3-2-2「屋外監視カメラについて」)。

(1) 屋外監視カメラ

機能設計上の性能目標を達成するため、屋外監視カメラは、設計津波の遡上波に対し、波力及び漂流物の影響を受けない位置に設置し昼夜を問わず監視可能な設計としている。また、カメラ本体からの映像信号を電路により分離精製工場(MP)中央制御室に設置する監視モニタに伝送し、中央制御室にて監視可能な設計としている。電路については、波力や漂流物の影響を受けない箇所に設置し、電源は設計津波の遡上波の影響を受けない分離精製工場(MP)に設けた無停電電源装置、カセットボンベ式ポータブル発電機等から給電できる設計としている。

また、屋外監視カメラは、設計地震動により機能喪失した場合には速やかに復旧できるよう要員の常駐する分離精製工場(MP)に設置している。分離精製工場(MP)の屋内(5階~6階)に敷設している通信ケーブルの一部は、可とう電線管に収納

して施工しており耐震性を有していないため、映像信号の伝送経路において通信ケーブルが損傷する場合には、中央制御室に設置した監視モニターと分離精製工場（MP）屋上外壁に固定されている中継用 HUB ボックスとを直接接続する設計としており、監視可能な状態に速やかに復旧する。また、屋外監視カメラの本体及び付属機器は、その機能が機能喪失した場合に速やかに復旧できるように、予備品を確保するとともに取替え可能な設計としている。復旧時間は、設計津波の遡上波が高放射性廃液貯蔵場（HAW）に襲来するまでの時間を目安とし、要員による対応が目安時間内に実施できることを確認する。

さらに、監視機能が維持できない場合には設計津波の遡上高さを上回る建家屋上等から目視により施設周辺を監視する代替措置により対応することができることを確認する。

構造強度設計上の性能目標を達成するため、設計地震動に対し屋外監視カメラ本体は、十分な耐震性を有する設計としており、カメラ架台は剛構造として分離精製工場（MP）の建家屋上に固定している。分離精製工場（MP）は、設計地震動による地震力や設計津波による波圧、漂流物の衝突を考慮した場合においても倒壊しない見通しであり、令和 2 年 11 月までに行う詳細評価において十分な構造強度を有することを確認する。

Ⅲ-1 設計津波に対する津波防護施設の強度評価

1. 概要

本資料は、別添 6-1-3-2 「I 津波防護に関する施設（高放射性廃液貯蔵場（HAW））の設計方針」に基づき、津波荷重及び余震を考慮した荷重に対して、高放射性廃液貯蔵場（HAW）が構造強度・止水性を保持することを説明するものである。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）が建家であることから「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」※（以下「津波避難ビル等の指針」という。）に基づき強度評価を行う。

津波避難ビル等の指針に基づき、許容限界は終局耐力を基本とする。なお、建家外壁については、要求機能が止水性の確保であること及び津波後の再使用性を考慮し、許容限界を終局耐力から短期許容応力に読み替えて評価を行う。

※「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」－2011年11月17日「津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について（技術的助言）」（国住指第2570号）の別添

2. 一般事項

2.1 位置

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の位置を図 2-1 に示す。

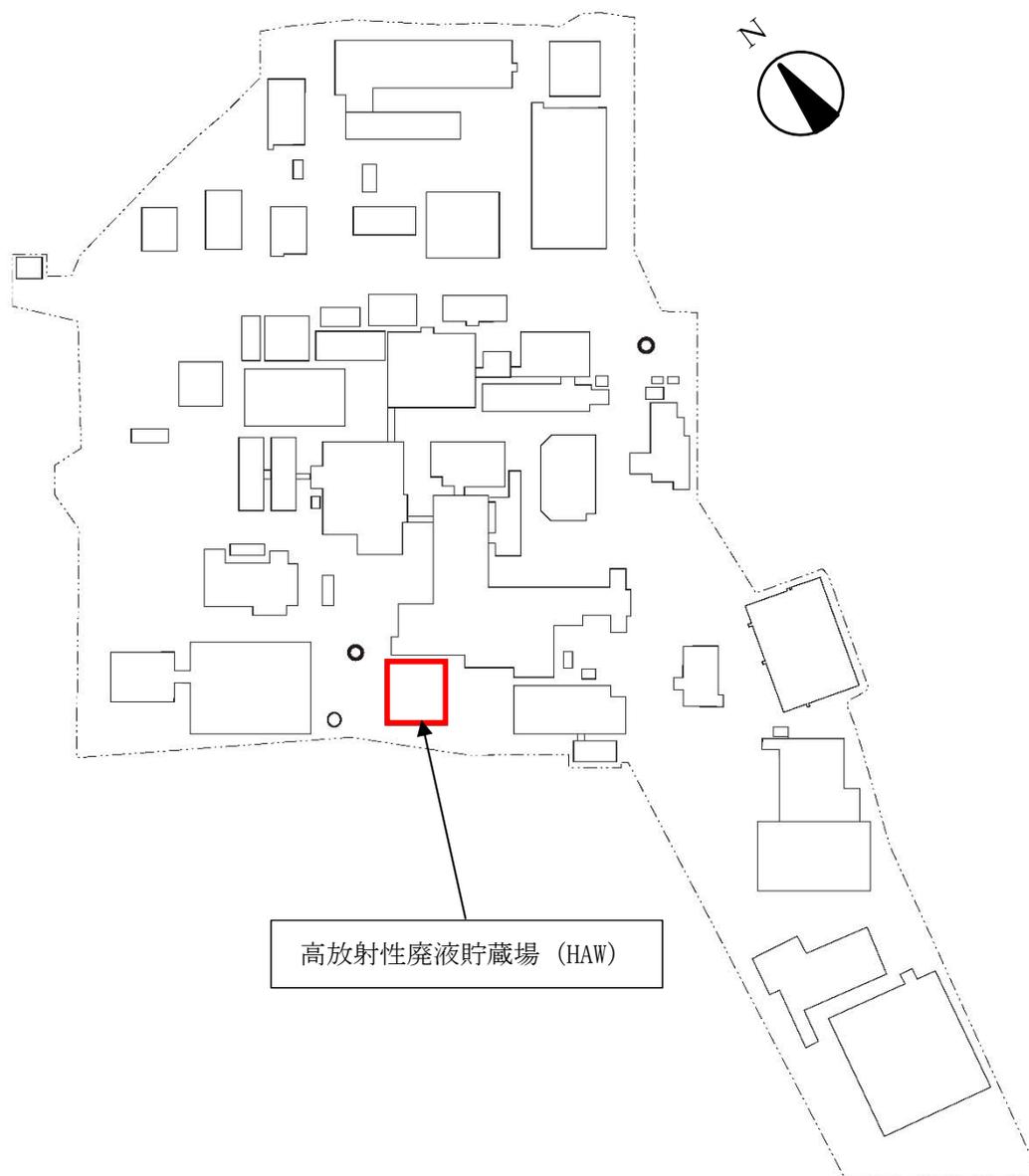


図 2-1 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の位置

2.2 構造概要



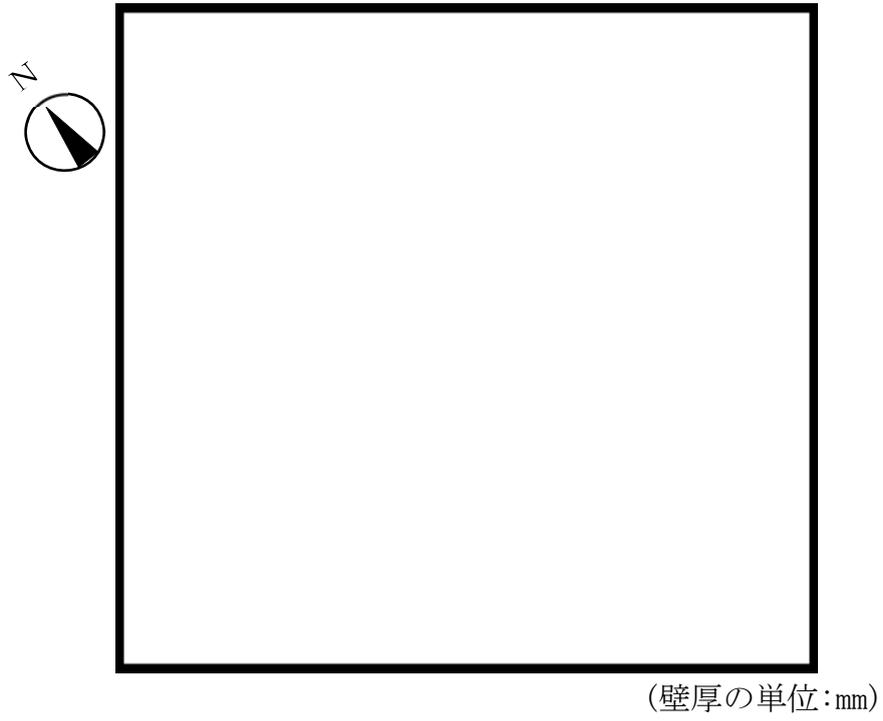


図 2-2 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 平面図 (地下1階)

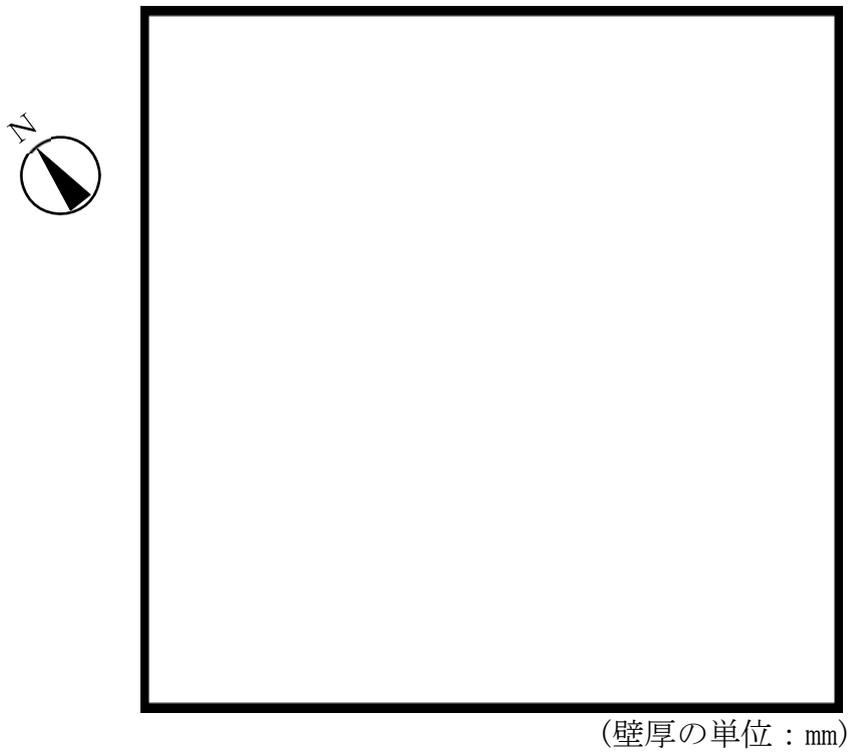


図 2-3 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 平面図 (1階)



图 2-4 高放射性废液貯藏場 (HAW) 断面図 (NS 断面)



图 2-5 高放射性废液貯藏場 (HAW) 断面図 (EW 断面)

2.3 評価方針

評価に当たっては「津波避難ビル等の指針」に基づき、高放射性廃液貯蔵場(HAW)の建家及び基礎地盤が設計津波による津波荷重等を考慮した荷重に対して構造強度を有することを確認する。

また、別添6-1-3-2『I 津波防護に関する施設「高放射性廃液貯蔵場(HAW)」の設計方針』に基づき、建家外壁が止水性を損なわないことを確認する。

評価項目を表2-1に示す。

表 2-1 評価項目

評価方針	評価項目	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	建家の健全性 (保有水平耐力)	各階の層せん断力が、 各階の許容限界以下であることを確認	保有水平耐力
	基礎地盤の支持性能 (接地圧)	接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力度
止水性を損なわないこと	部材の健全性 (建家外壁)	発生応力(曲げモーメント、せん断)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力

2.4 適用基準

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の強度評価において、適用する基準等を以下に示す。

- (1) 東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針（2011年11月17日「津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について（技術的助言）」（国住指第2570号）の別添）
- (2) 津波避難ビル等の構造上の要件の解説（国総研資料 第673号，平成24年）
- (3) 建築基準法・同施行令
- (4) 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書（建築行政情報センター・日本建築防災協会編集，2015年）
- (5) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，2018年）
- (6) 建築物荷重指針・同解説（日本建築学会，2015年）
- (7) 道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅴ耐震設計編）・同解説（日本道路協会，平成29年）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の強度評価の計算に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の強度評価計算に用いる記号（1/3）

記号	定義
h	波力算定用津波高さ：G.L. +6.1 m (T.P. +12.1 m)
α	水深係数
h'	浮力算定用津波高さ：G.L. +7.6 m (T.P. +13.6 m)
α_{SR}	最大応答水平加速度
P	漂流物衝突荷重
W_1	漂流物重量
V_1	流速
Qu	保有水平耐力
H	層せん断力を算定する対象階の下端の高さ
σ_u	極限支持力度
Ma	建家外壁の短期許容曲げモーメント
a_t	既存断面の引張鉄筋断面積
f_t	引張鉄筋の短期許容引張応力度
j	応力中心間距離（7/8d）
d	部材の有効せい
T	鉄筋コンクリート外壁の壁厚
d_t	引張縁から引張鉄筋重心までの距離
Q_{AS}	建家外壁の短期許容せん断力
b	壁幅
f_s	コンクリートの短期許容せん断応力度
wf_t	せん断補強筋の短期許容引張応力度
p_w	せん断補強筋比
α'	せん断スパン比 $M/(Q \cdot d)$ による割増係数
M	建家外壁に生じる曲げモーメント
Q	建家外壁に生じるせん断力
Q_T	各荷重の組合せによる層せん断力
E	余震による層せん断力

表 3-1 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の強度評価計算に用いる記号 (2/3)

記号	定義
$P(z)$	水深 z における地震時動水圧
z	水面からの浸水深
ρ_o	海水の単位体積重量
k_h	水平震度
k	荷重増分係数
R	波力による層せん断力
h_T	水深係数 (α) × 波力算定用津波高さ (h)
x	G. L. ± 0 m からの高さ
$w(x)$	G. L. ± 0 m からの高さ x の位置での波圧
$B(x)$	G. L. ± 0 m からの高さ x の位置での受圧面の幅
σ	接地圧
B	建家幅
L	建家長さ
F	地反力
A	接地圧係数
e	偏心距離
Q_z	浮力
W_B	建家総重量
Pv'	浸水時の動水圧による集中荷重
Mv'	浸水時の動水圧による転倒モーメント
Mv	余震による転倒モーメント
F_u	最大応答軸力
hg	G. L. ± 0 m から基礎底面までの距離
M_t	波力による転倒モーメント
P'	波力による集中荷重
w	波圧
M_t'	漂流物衝突荷重による転倒モーメント
H_B	建家全高
M_s	三角形分布荷重による曲げモーメント
M_e	等分布荷重による曲げモーメント

表 3-1 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の強度評価計算に用いる記号 (3/3)

記号	定義
l	壁高さ
h_1	G. L. ± 0 m から上階スラブ下端までの高さ
h_2	G. L. ± 0 m から対象階の床面上端までの高さ
h_3	h_2 から平方根分布荷重の重心位置までの高さ
P_1	平方根分布荷重の合力
M_s'	平方根分布荷重による曲げモーメント
Q_s'	平方根分布荷重によるせん断力
Q_s	三角形分布荷重によるせん断力
Q_e	等分布荷重によるせん断力
M_e'	余震による曲げモーメント
w_3	余震による等分布荷重
Q_e'	余震によるせん断力
ρ	鉄筋コンクリートの単位体積重量
M_p	漂流物衝突荷重による曲げモーメント
Q_p	漂流物衝突荷重によるせん断力
g	重力加速度
M_w	静水圧による曲げモーメント
Q_w	静水圧によるせん断力
M_w'	動水圧による曲げモーメント
Q_w'	動水圧によるせん断力
M_R	波力による曲げモーメント
Q_R	波力によるせん断力
W	動水圧による層せん断力

3.2 評価部位

(1) 保有水平耐力評価

保有水平耐力評価は、建家各階を評価対象とする。保有水平耐力評価の概念図を図 3-1 に示す。

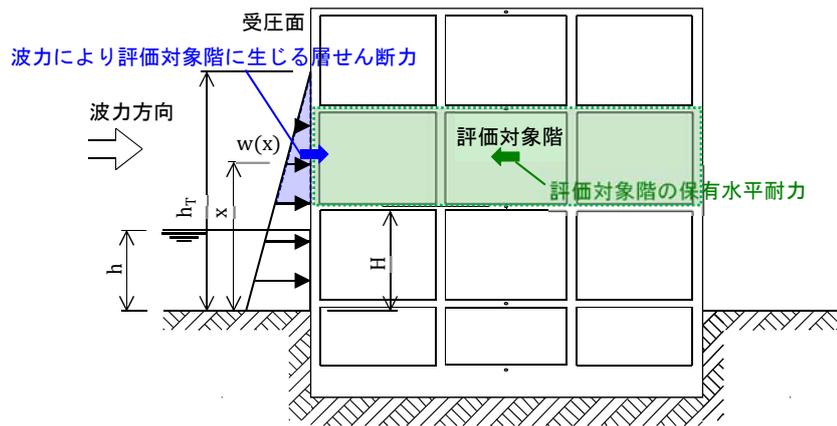


図 3-1 保有水平耐力評価の概念図

(2) 接地圧の評価

接地圧の評価は、建家を支持する基礎地盤を評価対象とする。接地圧の評価の概念図を図 3-2 に示す。

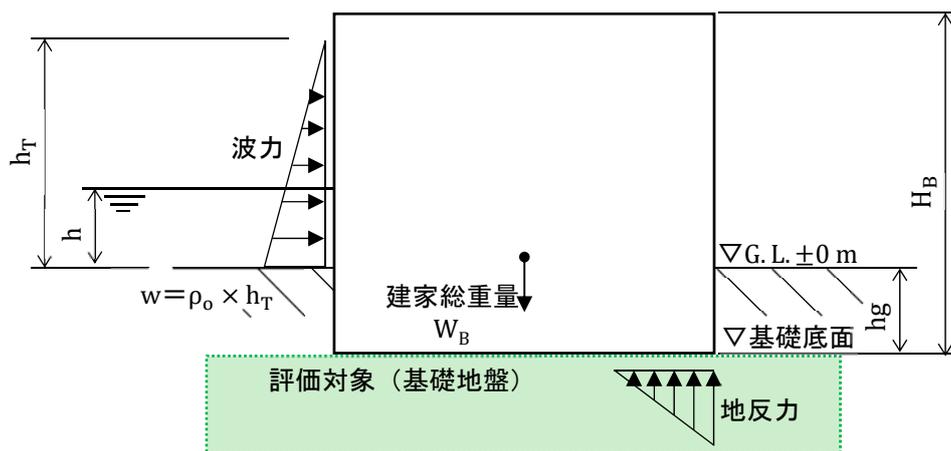


図 3-2 接地圧の評価の概念図

(3) 建家外壁の健全性評価

建家外壁の健全性評価は、図 3-3 に示す波力算定用津波高さ G.L. +6.1 m (T.P. +12.1 m) 以下の外壁を評価対象とする。

高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の外壁は、地下階から地上 2 階まで同厚・同配筋で構成されており、波力は下階の方が大きいため、1 階の無開口壁 (A-1) を評価対象とする。また、開口部の波力は開口部横の壁が負担するため、開口部横の壁 (B-1, B-2) を別途評価対象とする。

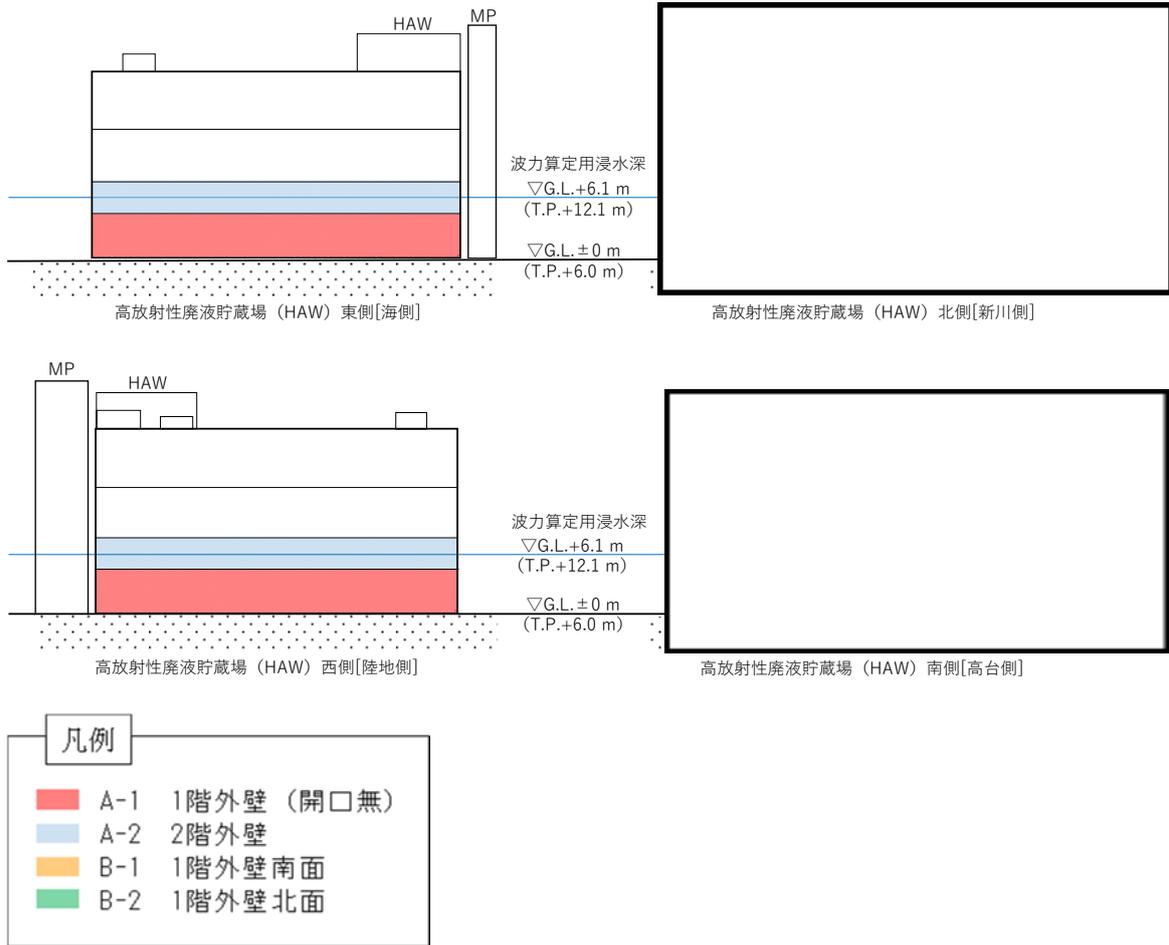


図 3-3 評価対象とする外壁

3.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重

① 津波による波力 (P_R)

津波による波力については、高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の地表面から波力算定用津波高さ h^{*1} までの高さを考慮して算定する。算定に当たっては、静水圧及び動水圧の影響として水深係数 $\alpha=3.0^{*2}$ を考慮する。

② 津波浸水時の浮力 (P_Q)

津波浸水時の浮力については、高放射性廃液貯蔵場 (HAW) における基礎底面から浮力算定用津波高さ h'^{*1} までの高さを考慮して算定する。

③ 津波浸水時の水圧 (P_W, P_W')

津波浸水時の水圧については、高放射性廃液貯蔵場 (HAW) における地表面から浮力算定用津波高さ h'^{*1} までの高さによる静水圧 (P_W) 及び動水圧 (余震時) (P_W') を考慮する。

④ 余震による荷重 (P_E)

余震による荷重として、別添 6-1-3-2 「II 余震による地震応答解析」の応答値 (加速度, せん断力, 転倒モーメント, 最大応答軸力) による慣性力を考慮する。

⑤ 漂流物衝突荷重 (P_P)

別添 6-1-3-1 「V 漂流可能性のある漂流物の算定 3.2 津波防護施設において考慮すべき代表漂流物」の津波漂流物防護柵をすり抜ける可能性がある防砂林として、0.55 t の流木 *3 を想定し、「道路橋示方書 (I 共通編・V 耐震設計編)・同解説」 (以下「道路橋示方書」という。) の算定式に基づく荷重を考慮する。

⑥ 風荷重

風荷重については、建築基準法施行令 (昭和 25 年政令第 338 号) の規定に基づき組合せを考慮しない。

⑦ 積雪荷重

積雪荷重については、建築基準法施行令 (昭和 25 年政令第 338 号) の規定に基づき特定行政庁が指定する区域に該当しないため考慮しない。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せは、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を参考として、津波到達時に生じる津波による波力と余震による荷重及び津波による波力と漂流物衝突荷重の同時作用を考慮する。上記2 ケースに加えて、津波到達後、建家の周囲が浸水することから、浸水時の浮力と余震による荷重及び水圧の同時作用を考慮する。

表 3-2 に荷重の組合せ、表 3-3 に荷重算定条件を示す。

① ケース 1 (浮力+余震+水圧, $P_Q + P_E + P_W + P_W'$)

津波到達後、高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の周囲が浸水した状況において、余震が発生することを想定する。外力として津波浸水時の浮力と静水圧、動水圧 (余震時) 及び余震による慣性力を同時に作用させる。静水圧 (P_W) は、建家両側から作用するため、保有水平耐力と接地圧の評価時は考慮しない。

② ケース 2 (波力+余震, $P_R + P_E$)

津波到達時に、余震が発生することを想定する。外力として津波による波力と余震による慣性力を同時に作用させる。地下水位による浮力を考慮する。

③ ケース 3 (波力+漂流物衝突荷重, $P_R + P_P$)

津波到達時に、漂流物が衝突することを想定する。外力として津波による波力と漂流物衝突荷重を同時に作用させる。地下水位による浮力を考慮する。

表 3-2 荷重の組合せ

荷重の組合せ	
<p>ケース 1 (浮力+余震+水圧, $P_Q + P_E + P_w + P_w'$)</p> <p>津波到達後、建家周囲が浸水した状況において、余震が発生することを想定する。</p>	<p>余震 P_E</p> <p>高放射性廃液貯蔵場 (HAW)</p> <p>▽浮力算定用津波高さ T.P. +13.6 m</p> <p>静水圧* P_w</p> <p>動水圧 P_w'</p> <p>▽地表面 T.P. +6.0 m</p> <p>基礎底面</p> <p>↑浮力 P_Q</p> <p>※静水圧は建家両側から作用するため、保有水平耐力と接地圧の評価時は考慮しない。</p>
<p>ケース 2 (波力+余震, $P_R + P_E$)</p> <p>津波到達時、余震が発生することを想定する。</p>	<p>余震 P_E</p> <p>高放射性廃液貯蔵場 (HAW)</p> <p>▽波力算定用津波高さ T.P. +12.1 m</p> <p>▽地表面 T.P. +6.0 m</p> <p>基礎底面</p> <p>↑地下水位による浮力</p> <p>波力 P_R</p>
<p>ケース 3 (波力+漂流物衝突荷重, $P_R + P_P$)</p> <p>津波到達時、漂流物が衝突することを想定する。</p>	<p>高放射性廃液貯蔵場 (HAW)</p> <p>▽波力算定用津波高さ T.P. +12.1 m</p> <p>▽地表面 T.P. +6.0 m</p> <p>基礎底面</p> <p>↑地下水位による浮力</p> <p>漂流物衝突荷重 P_P</p> <p>波力 P_R</p>

表 3-3 荷重算定条件

荷重の組合せ	評価項目	荷重算定条件
ケース 1 (浮力+余震+水圧, $P_Q + P_E + P_w + P_w'$)	建家の健全性 (保有水平耐力)	○浮力 浮力算定用津波高さ : T.P. +13.6 m ^{※1} 海水の単位体積重量 : 10.1 kN/m ³
	基礎地盤の支持性能 (接地圧)	○余震 (Sd-D) 水平加速度 (α_{SR}) : 5.0 m/s ² ※4
	部材の健全性 (建家外壁)	○水圧 浮力算定用津波高さ : T.P. +13.6 m ^{※1} 水平震度 (k_h) : 0.5 ^{※4}
ケース 2 (波力+余震, $P_R + P_E$)	建家の健全性 (保有水平耐力)	○波力 波力算定用津波高さ : T.P. +12.1 m ^{※1} 海水の単位体積重量 : 10.1 kN/m ³
	基礎地盤の支持性能 (接地圧)	○余震 (Sd-D) 水平加速度 (α_{SR}) : 5.0 m/s ² ※4
	部材の健全性 (建家外壁)	
ケース 3 (波力+漂流物衝突荷重, $P_R + P_P$)	建家の健全性 (保有水平耐力)	○波力 波力算定用津波高さ : T.P. +12.1 m ^{※1} 海水の単位体積重量 : 10.1 kN/m ³
	基礎地盤の支持性能 (接地圧)	○漂流物 代表漂流物 : 0.55 t の流木 ^{※3} 算定式 : 道路橋示方書
	部材の健全性 (建家外壁)	$P = 0.1 \times W_1 \times V_1 = 2.8 \text{ kN}$ W_1 : 流送物の重量 (漂流物重量) 5.4 kN V_1 : 表面流速 5.2 m/s ^{※1}

※1 別添 6-1-3-1 「Ⅲ 入力津波の設定」

浮力算定用津波高さ : 入力津波の最高水位

波力算定用津波高さ : 進行波による津波高さ

※2 津波避難ビル等の構造上の要件の解説 (国総研資料第 673 号, 平成 24 年)

※3 船舶や車両等の大型の漂流物に対しては, 津波漂流物防護柵の設置等の対策により捕捉し, 建家外壁への到達を防止する。流木や瓦礫等の比較的小型の漂流物は, 建家外壁に到達することを考慮する。別添 6-1-3-1 「Ⅴ 漂流可能性のある漂流物の選定 3.2 津波防護施設において考慮すべき代表漂流物」

※4 別添 6-1-3-2 「Ⅱ 余震による地震応答解析」

3.4 許容限界

(1) 使用材料

許容限界は「津波避難ビル等の指針」に基づき、終局耐力を基本とする。なお、建家外壁の許容限界については、要求機能が止水性の確保であること及び津波後の再使用性を考慮して短期許容応力とする。

強度評価に用いる使用材料は既往の設計及び工事の方法の認可「再処理施設に関する設計及び工事の方法(その25)」に基づき設定する。使用材料を表3-4に示す。

表 3-4 使用材料

使用材料	短期許容応力度
コンクリート 設計基準強度： $F_c 20.6 \text{ N/mm}^2$ ($F_c 210 \text{ kgf/cm}^2$)	せん断 1.03 N/mm^2
鉄筋 SD30 ($F = 3000 \text{ kgf/cm}^2$)	引張 295 N/mm^2

(2) 保有水平耐力

既往の「再処理施設に関する設計及び工事の方法(その25)」の保有水平耐力(Q_u)を表3-5に示す。

表 3-5 保有水平耐力

方向	高さ H (m)	階	保有水平耐力 Q_u (kN)
NS		5	7443
		4	142716
		3	203390
		1	433846
		B1	433846
EW		5	8738
		4	94624
		3	201605
		1	415871
		B1	415871

(3) 接地圧の評価の極限支持力度

極限支持力度は、基礎地盤における平板載荷試験（「再処理施設に関する設計及び工事の方法（その 25）」）に基づき長期許容支持力度 80 tf/m^2 とし、「国土交通省告示第 1113 号：平成 13 年 7 月 2 日（最終改訂 平成 19 年 9 月 告示第 1232 号）」に基づき 3 倍して算定した。

極限支持力度（ σ_u ）を表 3-6 に示す。

表 3-6 極限支持力度

評価項目	極限支持力度 σ_u (kN/m ²)
接地圧	2350

(4) 建家外壁の短期許容応力

建家外壁の許容限界は「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に基づき算定する。

短期許容曲げモーメント (M_a) 及び短期許容せん断力 (Q_{AS}) の算定式を以下に示す。

$$M_a = a_t f_t j$$

- M_a : 短期許容曲げモーメント
- a_t : 既存断面の引張鉄筋断面積
- f_t : 引張鉄筋の短期許容引張応力度
- j : 応力中心間距離 (7/8d)
- d : 部材の有効せい

$$d = T - d_t$$

- T : 鉄筋コンクリート外壁の壁厚
- d_t : 引張縁から引張鉄筋重心までの距離

$$Q_{AS} = bj \left\{ \frac{2}{3} \alpha' f_s + 0.5 w f_t (p_w - 0.002) \right\}$$

ただし, $\alpha' = \left(\frac{4}{\frac{M}{Qd} + 1} \right)$ かつ $(1 \leq \alpha' \leq 2)$

- Q_{AS} : 短期許容せん断力
- b : 壁幅
- f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度
- $w f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度
- p_w : せん断補強筋比
- α' : せん断スパン比 $M/(Q \cdot d)$ による割増係数
- M : 建家外壁に生じる曲げモーメント
- Q : 建家外壁に生じるせん断力

3.5 評価方法

(1) 保有水平耐力評価

各荷重の組合せによる層せん断力を算定し、既往の設計及び工事の方法の認可「再処理施設に関する設計及び工事の方法（その25）」に基づく保有水平耐力（ Q_u ）と比較する。

① ケース1（浮力+余震+水圧）

a. 余震による層せん断力

余震による層せん断力は、別添 6-1-3-2 「Ⅱ 余震による地震応答解析」において算定した、各階の最大応答せん断力を用いる。

b. 動水圧による層せん断力

動水圧は道路橋示方書を参考として、ウエスタガードの補正式に基づいて算定する。水平震度 k_h は別添 6-1-3-2 「Ⅱ 余震による地震応答解析」において算定した、浮力算定用津波高さ以下の最大応答加速度（質点 4：470 cm/s^2 ）を保守的に 0.5 とする。

$$W = \int_0^{h'-H} P(z) dz \times B$$

$$P(z) = \frac{7}{8} \rho_0 k_h \sqrt{h' \cdot z}$$

W : 動水圧による層せん断力

$P(z)$: 水深 z における地震時動水圧

ρ_0 : 海水の単位体積重量

k_h : 水平震度

h' : 浮力算定用津波高さ

H : 層せん断力を算定する下端の高さ

z : 水面からの浸水深

B : 建家幅（NS 評価時）

※ EW 評価時は L : 建家長さをを用いる。

② ケース2 (波力+余震)

余震による層せん断力は「①ケース1 (浮力+余震+水圧) a. 余震による層せん断力」と同様に用いる。

a. 波力による層せん断力

波力による層せん断力 (R) は、「津波避難ビル等の構造上の要件の解説 (国総研資料第673号, 平成24年)」により算定する。

算定の考え方を図 3-4に示す。

$$R = \int_H^{h_T} w(x) \times B(x) dx$$

R : 波力による層せん断力

h_T : 水深係数 (α) × 波力算定用津波高さ (h)

H : 層せん断力を算定する対象階の下端の高さ
(地震応答解析モデルの質点高さに合わせる)

x : G.L. ±0 m からの高さ

w(x) : G.L. ±0 m からの高さ x の位置での波圧

$$w(x) = \rho_o (h_T - x)$$

B(x) : G.L. ±0 m からの高さ x の位置での受圧面の幅

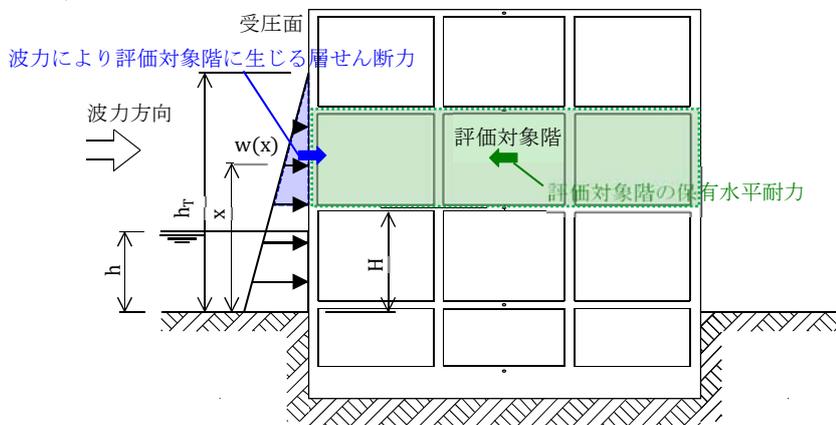


図 3-4 波力による層せん断力算定の考え方

③ ケース3 (波力+漂流物衝突荷重)

波力による層せん断力は「②ケース2 (波力+余震) a. 波力による層せん断力」と同様に算定する。

a. 漂流物衝突荷重による層せん断力

漂流物衝突荷重は、「道路橋示方書」により算定する。

$$P = 0.1 \times W_1 \times V_1$$

P : 漂流物衝突荷重

W_1 : 流送物の重量 (漂流物重量)

V_1 : 表面流速

漂流物衝突荷重は、保守的に全ての階に作用させ、層せん断力を算定する。

(2) 接地圧の評価

接地圧の評価は、各荷重の組合せによる接地圧 (σ) を算定し、極限支持力度 (σ_u) と比較する。

接地圧は下式により算定する。

$$\sigma = A \cdot F / (B \cdot L)$$

σ : 接地圧

B : 建家幅

L : 建家長さ

F : 地反力

A : 接地圧係数

偏心率 e/L が $1/6$ 以下の場合 ($e/L \leq 1/6$)

$$A = 1 + 6e/L$$

偏心率 e/L が $1/6$ より大きい場合 ($e/L > 1/6$)

$$A = 2 / \{ 3 \times (0.5 - e/L) \}$$

e : 偏心距離

① ケース1 (浮力+余震+水圧)

余震による荷重は、別添 6-1-3-2 「II 余震による地震応答解析」において算定した、転倒モーメント及び最大応答軸力を用いる。余震の水平慣性力と鉛直慣性力は組合せ係数法に従い、水平 1.0、鉛直 0.4 で組み合わせる。鉛直力に対しては、上向きに作用した場合と下向きに作用した場合について検討する。

浸水時の動水圧による集中荷重は、道路橋示方書のウエスタガードの補正式に基づいて算定する。

算定の考え方を図 3-5 に示す。

$$e = (Mv' + Mv) / F$$

Mv : 余震による転倒モーメント

Mv' : 浸水時の動水圧による転倒モーメント

F : 地反力

$$Mv' = Pv' \cdot (2/5 \cdot h' + h_g)$$

$$Pv' = \frac{7}{12} \rho_0 k_h h' \times B^{\ast}$$

Pv' : 浸水時の動水圧による集中荷重

ρ_0 : 海水の単位体積重量

k_h : 水平震度

h' : 浮力算定用津波高さ

h_g : G.L.±0 m から基礎底面までの距離

B : 建家幅 (NS 評価時)

※ EW 評価時は L : 建家長さをを用いる。

地反力 F の算定式

上向き : 水平 - 0.4 × 鉛直の地反力計算

$$F = W_B - Qz - 0.4 \times Fu$$

下向き : 水平 + 0.4 × 鉛直の地反力計算

$$F = W_B - Qz + 0.4 \times Fu$$

W_B : 建家総重量

Qz : 浮力 (津波浸水時)

Fu : 最大応答軸力

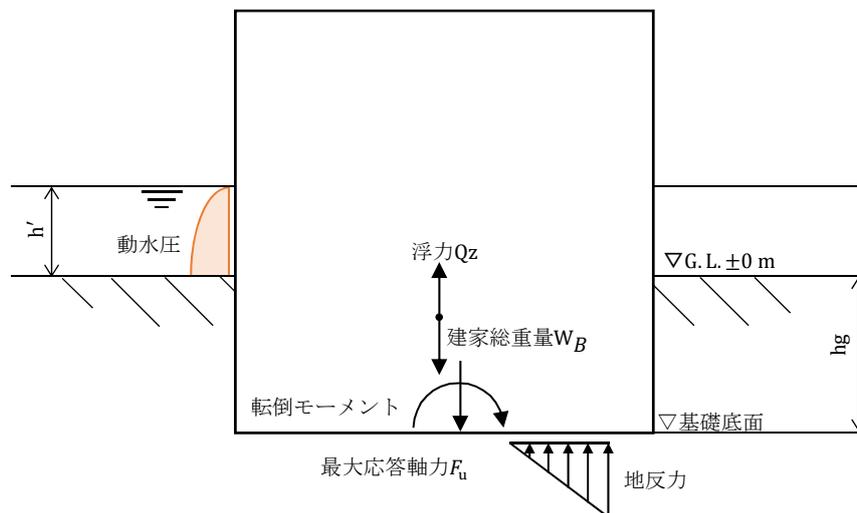


図 3-5 接地圧の評価 : ケース 1 (浮力+余震+水圧) の考え方

② ケース2 (波力+余震)

余震による転倒モーメント，最大応答軸力及び水平慣性力と鉛直慣性力の組合せ係数法はケース1 (浮力+余震+水圧) と同様に考慮する。

地下水位による浮力を考慮し，波力と余震は，保守的に同じ方向に作用するものとする。

算定の考え方を図 3-6 に示す。

$$e = (M_t + M_v) / F$$

M_v : 余震による転倒モーメント

M_t : 波力による転倒モーメント

F : 地反力

$$M_t = P' \cdot (h_T/3 + h_g)$$

$h_T/3$: 波力の作用位置

P' : 波力による集中荷重

$$P' = w \cdot B \cdot h_T/2$$

w : 波圧

$$w = \rho_o \cdot h_T$$

地反力 F の算定式

上向き : 水平 - 0.4 × 鉛直の地反力計算

$$F = W_B - Q_z - 0.4 \times F_u$$

下向き : 水平 + 0.4 × 鉛直の地反力計算

$$F = W_B - Q_z + 0.4 \times F_u$$

W_B : 建家総重量

Q_z : 浮力 (地下水位)

F_u : 最大応答軸力

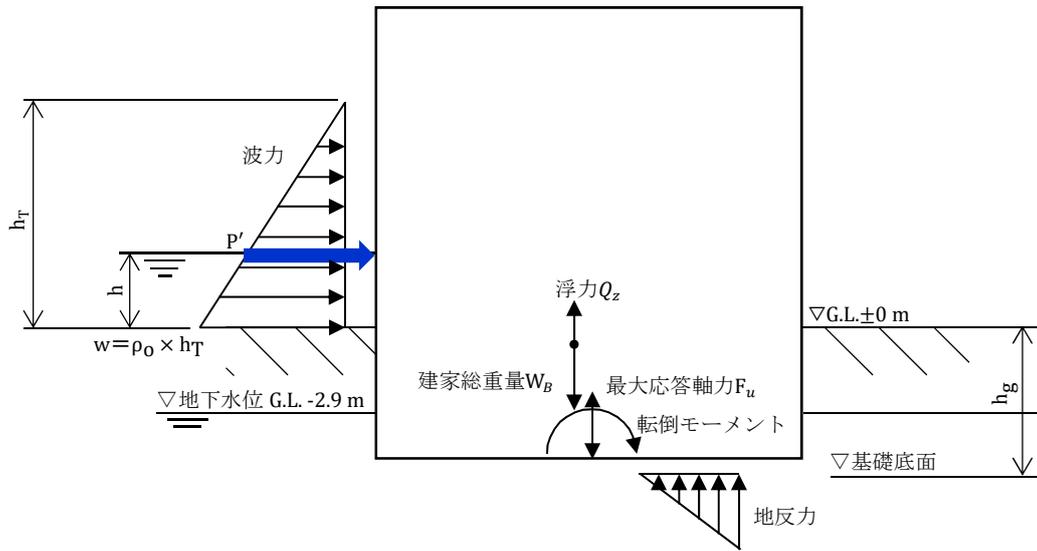


図 3-6 接地圧の評価：ケース 2（波力+余震）の考え方

③ ケース3 (波力+漂流物衝突荷重)

波力による転倒モーメント及び地下水位による浮力はケース 2 (波力+余震)と同様に考慮する。

漂流物衝突荷重は、保守的に津波と同じ方向に作用するものとし、衝突する箇所 (荷重が作用する箇所) は、対象とする建家の最上階位置に作用するものと仮定する。

算定の考え方を図 3-7 に示す。

$$e = (Mt + Mt') / F$$

Mt : 波力による転倒モーメント

Mt' : 漂流物衝突荷重による転倒モーメント

$$Mt' = P \cdot H_B$$

P : 漂流物衝突荷重

H_B : 建家全高

F : 地反力

地反力 F の算定式

$$F = W_B - Qz$$

W_B : 建家総重量

Qz : 浮力 (地下水位)

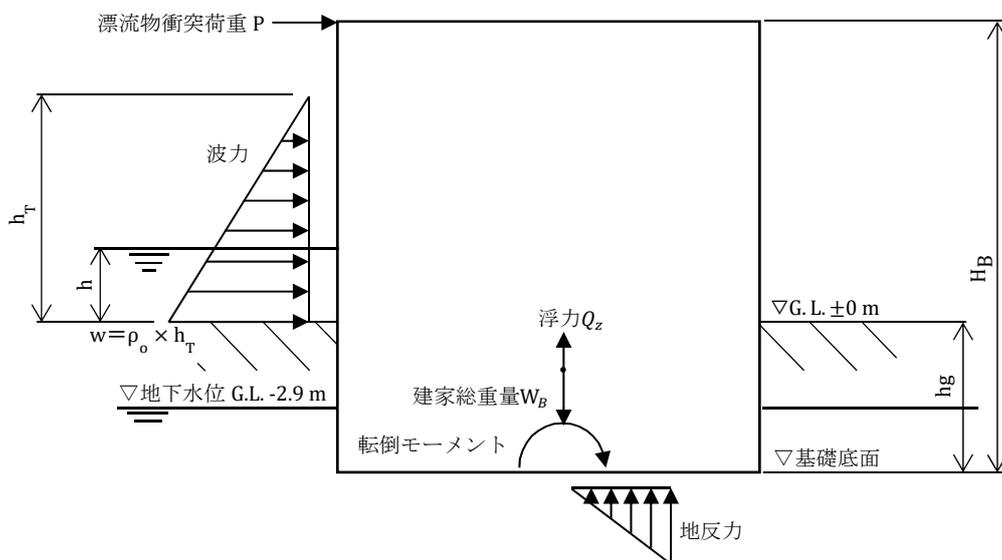


図 3-7 接地圧の評価：ケース 3 (波力+漂流物衝突荷重) の考え方

(3) 建家外壁の健全性評価

建家外壁は上下階のスラブで拘束されているため、両端固定の一方向版として検討することとし、単位幅による評価を基本とする。

各荷重の組合せに対して、対象とする建家外壁に生じる応力を算定し、短期許容曲げモーメント (M_a) と、短期許容せん断力 (Q_{AS}) との比較を行う。

① ケース1 (浮力+余震+水圧)

a. 余震の慣性力による応力

余震の慣性力による応力は下式により算定する。

余震による曲げモーメント Me'

$$Me' \text{ (中央)} = \frac{w_3 \cdot l^2}{24}$$

$$Me' \text{ (下端)} = \frac{w_3 \cdot l^2}{12}$$

余震によるせん断力 Qe'

$$Qe' = \frac{w_3 \cdot l}{2}$$

w_3 : 余震による荷重

$$w_3 = \frac{\rho \cdot T \cdot \alpha_{SR}}{g}$$

ρ : 鉄筋コンクリートの単位体積重量

T : 鉄筋コンクリート外壁の壁厚

α_{SR} : 最大応答加速度

l : 壁高さ

g : 重力加速度

b. 津波浸水時の静水圧による応力

津波浸水時の静水圧による応力算定の考え方を図 3-8に示す。台形分布荷重を三角形分布荷重と等分布荷重の応力の足し合わせにより求める。算定式を以下に示す。

静水圧による曲げモーメント M_W

$$M_W = M_s + M_e$$

M_s : 三角形分布荷重による曲げモーメント

M_e : 等分布荷重による曲げモーメント

三角形分布荷重による曲げモーメント算定式

$$M_s \text{ (中央)} = 0.043l \left\{ \rho_o \frac{l^2}{2} \right\}$$

$$M_s \text{ (下端)} = \frac{l}{10} \left\{ \rho_o \frac{l^2}{2} \right\}$$

等分布荷重による曲げモーメント算定式

$$M_e \text{ (中央)} = \rho_o (h' - h_1) \frac{l^2}{24}$$

$$M_e \text{ (下端)} = \rho_o (h' - h_1) \frac{l^2}{12}$$

静水圧によるせん断力 Q_w

$$Q_w = Q_s + Q_e$$

Q_s : 三角形分布荷重によるせん断力

Q_e : 等分布荷重によるせん断力

三角形分布荷重によるせん断力算定式

$$Q_s = \frac{7}{10} \left\{ \rho_o \frac{l^2}{2} \right\}$$

等分布荷重によるせん断力算定式

$$Q_e = \rho_o (h' - h_1) \frac{l}{2}$$

l : 壁高さ

h_1 : G. L. ± 0 m から上階のスラブ下端までの高さ

h' : 浮力算定用津波高さ

ρ_o : 海水の単位体積重量



図 3-8 建家外壁の津波浸水時の静水圧による応力算定の考え方

c. 津波浸水時の動水圧による応力

津波浸水時の動水圧による応力算定の考え方を図 3-9 に示す。算定式を以下に示す。

動水圧による曲げモーメント M_W'

$$M_W' = M_s' + M_e$$

M_s' : 平方根分布荷重による曲げモーメント

M_e' : 等分布荷重による曲げモーメント

平方根分布荷重による曲げモーメント算定式

$$M_s' \text{ (中央)} = 2 \cdot P_1 \cdot h_3^2 \cdot (l - h_3)^2 / l^3$$

$$M_s' \text{ (下端)} = P_1 \cdot h_3 \cdot (l - h_3)^2 / l^2$$

M_s' (中央) : 中央の平方根分布荷重による曲げモーメント

M_s' (下端) : 下端の平方根分布荷重による曲げモーメント

$$P_1 = \frac{7}{8} \rho_0 k_h \sqrt{h'} \times \int_{h'-h_1}^{h'-h_2} (\sqrt{z} - \sqrt{h' - h_1}) dz$$

P_1 : 平方根分布の合力

h_3 : h_2 から平方根分布荷重の重心位置までの高さ ($h_3 = 1.37 \text{ m}$)

ρ_0 : 海水の単位体積重量

k_h : 水平震度

h' : 浮力算定用津波高さ

h_2 : G. L. $\pm 0 \text{ m}$ から対象階の床面上端までの高さ

z : 水面からの浸水深

h_1 : G. L. $\pm 0 \text{ m}$ から上階のスラブ下端までの高さ

l : 壁高さ

等分布荷重による曲げモーメント算定式

$$M_e \text{ (中央)} = \frac{7}{8} \rho_0 k_h \sqrt{h' \cdot (h' - h_1)} \times \frac{l^2}{24}$$

$$M_e \text{ (下端)} = \frac{7}{8} \rho_0 k_h \sqrt{h' \cdot (h' - h_1)} \times \frac{l^2}{12}$$

動水圧によるせん断力 Q_w'

$$Q_w' = Q_s + Q_e$$

Q_s : 平方根分布荷重によるせん断力

Q_e : 等分布荷重によるせん断力

平方根分布荷重によるせん断力算定式

$$Q_s = P_1 \cdot (l - h_3)^2 \cdot (2 \cdot h_3 + l) / l^3$$

等分布荷重によるせん断力算定式

$$Q_e = \frac{7}{8} \rho_0 k_h \sqrt{h' \cdot (h' - h_1)} \times \frac{l}{2}$$



図 3-9 建家外壁の津波浸水時の動水圧による応力算定の考え方

② ケース2 (波力+余震)

余震による応力は「①ケース1 (浮力+余震+水圧) a. 余震の慣性力による応力」と同様に算定する。

a. 波力による応力

波力による曲げモーメント及びせん断力の算定の考え方を，図 3-10に示す。台形分布荷重を，三角形分布荷重と等分布荷重の応力の足し合わせにより求める。算定式を以下に示す。

波力による曲げモーメント M_R

$$M_R = M_s + M_e$$

M_s : 三角形分布荷重による曲げモーメント

M_e : 等分布荷重による曲げモーメント

三角形分布荷重による曲げモーメント算定式

$$M_s \text{ (中央)} = 0.043l \left\{ \rho_0 \frac{l^2}{2} \right\}$$

$$M_s \text{ (下端)} = \frac{l}{10} \left\{ \rho_0 \frac{l^2}{2} \right\}$$

等分布荷重による曲げモーメント算定式

$$M_e \text{ (中央)} = \rho_0(h_T - h_1) \frac{l^2}{24}$$

$$M_e \text{ (下端)} = \rho_0(h_T - h_1) \frac{l^2}{12}$$

波力によるせん断力 Q_R

$$Q_R = Q_s + Q_e$$

Q_s : 三角形分布荷重によるせん断力

Q_e : 等分布荷重によるせん断力

三角形分布荷重によるせん断力算定式

$$Q_s = \frac{7}{10} \left\{ \rho_o \frac{l^2}{2} \right\}$$

等分布の荷重によるせん断力算定式

$$Q_e = \rho_o (h_T - h_1) \frac{l}{2}$$

l : 壁高さ

h_1 : G. L. ± 0 m から上階スラブ下端までの高さ

h_T : 水深係数 (α) \times 波力算定用津波高さ (h)

ρ_o : 海水の単位体積重量

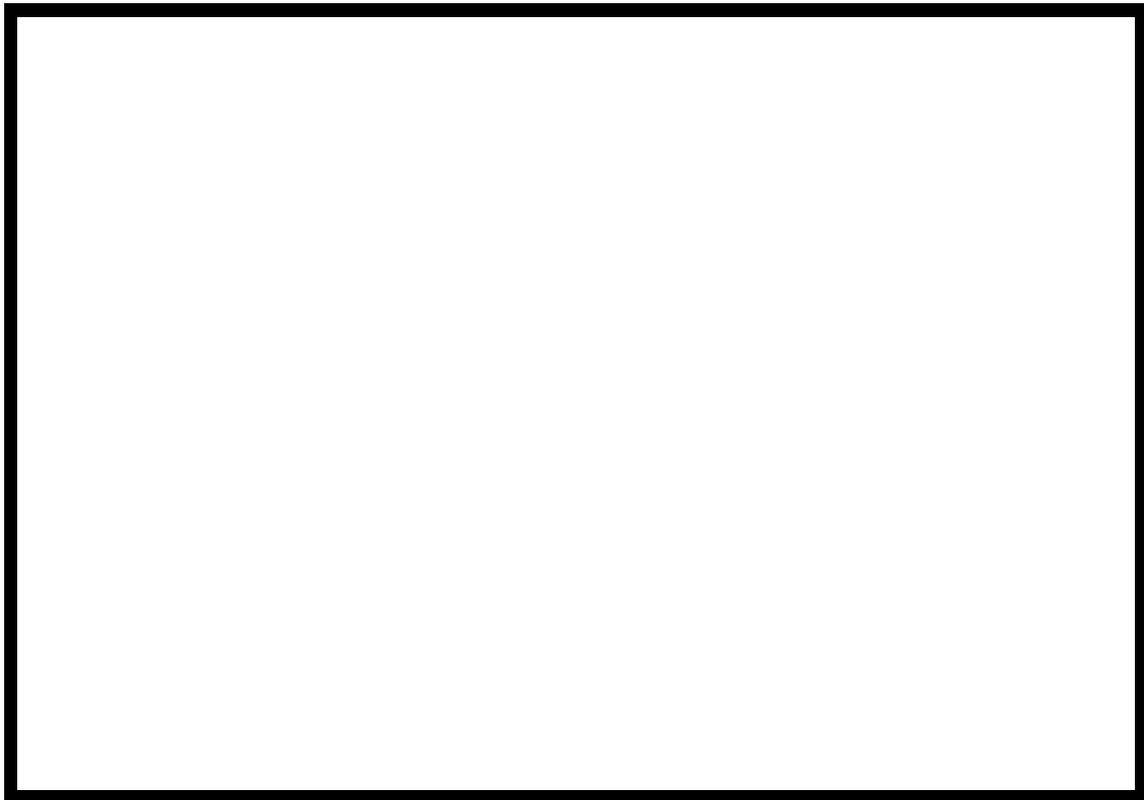


図 3-10 建家外壁の波力による応力算定の考え方

③ ケース3 (波力+漂流物衝突荷重)

波力による応力は「②ケース2 (波力+余震) a. 波力による応力」と同様に算定する。

a. 漂流物の衝突による応力

漂流物衝突荷重の作用位置は、検討内容に応じて保守的となるように設定する。

図 3-11 に漂流物衝突荷重の作用位置設定の考え方を示す。

漂流物衝突荷重は、部材端部の曲げ検討時には部材下端部から壁高さの1/3の位置に、部材中央の曲げ検討時には中央に作用させる。

せん断検討時には、対象部材の端部に作用させる。

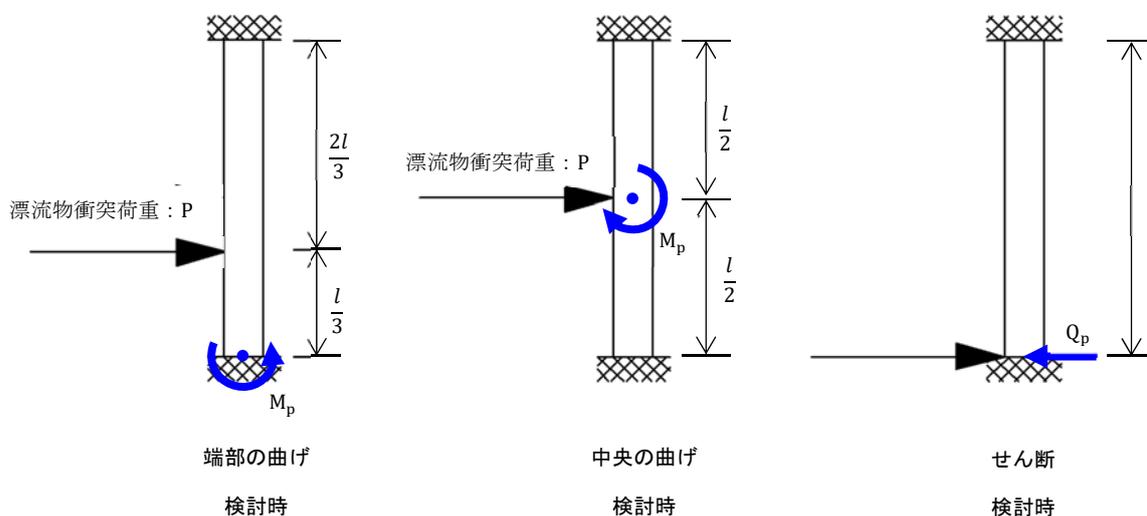


図 3-11 漂流物衝突荷重の作用位置設定の考え方

漂流物衝突荷重による応力は下式により算定する。

漂流物衝突荷重による曲げモーメント M_p

$$M_p (\text{下端}) = \frac{4Pl}{27}$$

$$M_p (\text{中央}) = \frac{Pl}{8}$$

P : 漂流物衝突荷重

l : 壁高さ

漂流物衝突荷重によるせん断力 Q_p

$$Q_p = P$$

④ 開口部を有する外壁の評価方法

開口部を有する外壁については、有効負担幅により評価を行う。

各荷重の組合せ荷重による応力は、単位幅の外壁の荷重に荷重増分係数を乗じて算定する（漂流物衝突荷重を除く）。

a. 有効負担幅

外壁の両側が開口部に接する外壁については、開口部間の外壁の幅を有効負担幅とする。

外壁の片側が開口部に接する外壁については、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」を踏まえ、開口端から壁厚さの2倍の範囲を有効負担幅とする。

b. 荷重増分係数

荷重増分係数の考え方を図 3-12及び図 3-13に示す。

荷重増分係数は、単位幅の外壁に対する有効負担幅と開口幅の1/2との和の比率とする。



図 3-12 開口部を有する外壁の荷重増分係数の考え方（1階外壁南面）



図 3-13 開口部を有する外壁の荷重増分係数の考え方 (1階外壁北面)

4. 評価条件

4.1 ケース1（浮力+余震+水圧）の評価条件

ケース1（浮力+余震+水圧）検討時の評価に用いる条件を表4-1に示す。

表4-1 ケース1（浮力+余震+水圧）の評価条件（1/2）

記号	定義	数値		単位
B	建家幅	34.9		m
L	建家長さ	36.6		m
l	壁高さ	3.99 ^{※5}		m
T	鉄筋コンクリート外壁の壁厚	0.6		m
—	鉄筋コンクリート外壁の壁筋	D22@200D		—
—	鉄筋コンクリート外壁の B-1, B-2 (<input type="text"/>) の開口補強筋	B-1 1階外壁南面 <input type="text"/> : 6-D22		
		B-2 1階外壁北面 <input type="text"/> : 6-D22		
ρ	鉄筋コンクリートの単位体積重量	24.0		kN/m ³
ρ_0	海水の単位体積重量	10.1		kN/m ³
h'	浮力算定用津波高さ ^{※1}	7.6		m
α	水深係数 ^{※2}	3		—
h _g	G. L. ±0 m から基礎底面までの距離	6.0		m
k _h	水平震度 ^{※4}	0.5		—
α_{SR}	最大応答加速度 ^{※4}	5.0		m/s ²
保有水平耐力評価の諸元				
E	余震による層せん断力	各階の層せん断力は ^{※4} による		kN
接地圧評価の諸元				
W _B	建家総重量	395,609		kN
Q _Z	浮力（津波浸水時）	175,455		kN
F _u	最大応答軸力 ^{※4}	101,191		kN
M _V	余震による転倒モーメント ^{※4}	NS	2,135,747	kN・m
		EW	2,086,001	
M _V '	浸水時の動水圧による転倒モーメント	NS	53,682	kN・m
		EW	56,297	

表 4-1 ケース 1 (浮力+余震+水圧) の評価条件 (2/2)

記号	定義	数値	単位
建家外壁評価の諸元			
評価部位：A-1 1階外壁 (<input type="checkbox"/>)			
k	荷重増分係数	1.000	—
M_e'	余震による曲げモーメント	9.8	kN・m
M_w	静水圧による曲げモーメント	74.0	kN・m
M_w'	動水圧による曲げモーメント	42.3	kN・m
Q_e'	余震によるせん断力	14.7	kN
Q_w	静水圧によるせん断力	119.3	kN
Q_w'	動水圧によるせん断力	59.9	kN
評価部位：B-1 1階外壁南面 (<input type="checkbox"/>)			
k	荷重増分係数	2.765	—
M_e'	余震による曲げモーメント	27.1	kN・m
M_w	静水圧による曲げモーメント	204.7	kN・m
M_w'	動水圧による曲げモーメント	117.0	kN・m
Q_e'	余震によるせん断力	40.6	kN
Q_w	静水圧によるせん断力	330.0	kN
Q_w'	動水圧によるせん断力	165.6	kN
評価部位：B-2 1階外壁北面 (<input type="checkbox"/>)			
k	荷重増分係数	1.715	—
M_e'	余震による曲げモーメント	16.8	kN・m
M_w	静水圧による曲げモーメント	126.9	kN・m
M_w'	動水圧による曲げモーメント	72.5	kN・m
Q_e'	余震によるせん断力	25.2	kN
Q_w	静水圧によるせん断力	204.7	kN
Q_w'	動水圧によるせん断力	102.7	kN

※1 別添 6-1-3-1 「Ⅲ 入力津波の選定」

※2 津波避難ビル等の構造上の要件の解説 (国総研資料第 673 号, 平成 24 年)

※4 別添 6-1-3-2 「Ⅱ 余震による地震応答解析」

※5 1階外壁南面の評価部位の壁高さ:4.19 m

4.2 ケース2（波力+余震）の評価条件

ケース2（波力+余震）検討時の評価に用いる条件を表4-2に示す。

表4-2 ケース2（波力+余震）の評価条件（1/2）

記号	定義	数値	単位	
B	建家幅	34.9	m	
L	建家長さ	36.6	m	
l	壁高さ	3.99 ^{※5}	m	
—	鉄筋コンクリート外壁の壁筋	D22@200D	—	
—	鉄筋コンクリート外壁の B-1, B-2 () の開口補強筋	B-1 1階外壁南面 () : 6-D22		
		B-2 1階外壁北面 () : 6-D22		
ρ	鉄筋コンクリートの単位体積重量	24.0	kN/m ³	
ρ_0	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³	
h	波力算定用津波高さ ^{※1}	6.1	m	
α	水深係数 ^{※2}	3	—	
h_T	水深係数×波力算定用津波高さ	18.3	m	
h_g	G.L. ±0 m から基礎底面までの距離	6.0	m	
α_{SR}	最大応答加速度 ^{※4}	5.0	m/s ²	
保有水平耐力評価の諸元				
E	余震による層せん断力	各階の層せん断力は※4による	kN	
接地圧評価の諸元				
W_B	建家総重量	395,609	kN	
Q_Z	浮力（地下水位）	39,994	kN	
F_u	最大応答軸力	101,191	kN	
M_t	波力による転倒モーメント	NS	714,178	kN・m
		EW	748,966	
M_V	余震による転倒モーメント ^{※4}	NS	2,135,747	kN・m
		EW	2,086,001	

表 4-2 ケース 2 (波力+余震) の評価条件 (2/2)

記号	定義	数値	単位
建家外壁評価の諸元			
評価部位：A-1 1階外壁 (<input type="checkbox"/>)			
k	荷重増分係数	1.000	—
M_R	波力による曲げモーメント	217.4	kN・m
M_e'	余震による曲げモーメント	9.8	kN・m
Q_R	波力によるせん断力	334.9	kN
Q_e'	余震によるせん断力	14.7	kN
評価部位：B-1 1階外壁南面 (<input type="checkbox"/>)			
k	荷重増分係数	2.765	—
M_R	波力による曲げモーメント	601.1	kN・m
M_e'	余震による曲げモーメント	27.1	kN・m
Q_R	波力によるせん断力	926.1	kN
Q_e'	余震によるせん断力	40.6	kN
評価部位：B-2 1階外壁北面 (<input type="checkbox"/>)			
k	荷重増分係数	1.715	—
M_R	波力による曲げモーメント	372.8	kN・m
M_e'	余震による曲げモーメント	16.8	kN・m
Q_R	波力によるせん断力	574.4	kN
Q_e'	余震によるせん断力	25.2	kN

※1 別添 6-1-3-1 「Ⅲ 入力津波の選定」

※2 津波避難ビル等の構造上の要件の解説 (国総研資料第 673 号, 平成 24 年)

※4 別添 6-1-3-2 「Ⅱ 余震による地震応答解析」

※5 1階外壁南面の評価部位の壁高さ:4.19 m

4.3 ケース3（波力+漂流物衝突荷重）の評価条件

ケース3（波力+漂流物衝突荷重）検討時の評価に用いる条件を表4-3に示す。

表4-3 ケース3（波力+漂流物衝突荷重）の評価条件（1/2）

記号	定義	数値		単位
B	建家幅	34.9		m
L	建家長さ	36.6		m
l	壁高さ	3.99 ^{*5}		m
—	鉄筋コンクリート外壁の壁筋	D22@200D		—
—	鉄筋コンクリート外壁の B-1, B-2 (<input type="text"/>) の開口補強筋	B-1 1階外壁南面 (<input type="text"/>) : 6-D22		
		B-2 1階外壁北面 (<input type="text"/>) : 6-D22		
H _B	建家全高	28.44		m
ρ ₀	海水の単位体積重量	10.1		kN/m ³
h	波力算定用津波高さ ^{*1}	6.1		m
α	水深係数 ^{*2}	3		—
h _T	水深係数×波力算定用津波高さ	18.3		m
h _g	G.L. ±0 m から基礎底面までの距離	6.0		m
保有水平耐力評価の諸元				
P	漂流物衝突荷重（各階共通）	2.8		kN
接地圧評価の諸元				
W _B	建家総重量	395,609		kN
Q _Z	浮力（地下水位）	39,994		kN
M _t	波力による転倒モーメント	NS	714,178	kN・m
		EW	748,966	
M _t '	漂流物による転倒モーメント	NS	80	kN・m
		EW	80	

表 4-3 ケース 3 (波力+漂流物衝突荷重) の評価条件 (2/2)

記号	定義	数値	単位
建家外壁評価の諸元			
評価部位：A-1 1階外壁 (<input type="checkbox"/>)			
k	荷重増分係数	1.000	—
M_R	波力による曲げモーメント	217.4	kN・m
M_P	漂流物による曲げモーメント	1.7	kN・m
Q_R	波力によるせん断力	334.9	kN
Q_P	漂流物によるせん断力	2.8	kN
評価部位：B-1 1階外壁南面 (<input type="checkbox"/>)			
k	荷重増分係数	2.765	—
M_R	波力による曲げモーメント	601.1	kN・m
M_P	漂流物による曲げモーメント	1.7	kN・m
Q_R	波力によるせん断力	926.1	kN
Q_P	漂流物によるせん断力	2.8	kN
評価部位：B-2 1階外壁北面 (<input type="checkbox"/>)			
k	荷重増分係数	1.715	—
M_R	波力による曲げモーメント	372.8	kN・m
M_P	漂流物による曲げモーメント	1.7	kN・m
Q_R	波力によるせん断力	574.4	kN
Q_P	漂流物によるせん断力	2.8	kN

※1 別添 6-1-3-1 「Ⅲ 入力津波の選定」

※2 津波避難ビル等の構造上の要件の解説 (国総研資料第 673 号, 平成 24 年)

※5 1階外壁南面の評価部位の壁高さ:4.19 m

5. 評価結果

5.1 ケース1（浮力+余震+水圧）の強度評価結果

(1) 保有水平耐力

ケース1（浮力+余震+水圧）に対する保有水平耐力の評価結果を表5-1に示す。各層に生じる層せん断力はいずれも保有水平耐力以下であることを確認した。

表5-1 保有水平耐力評価結果ケース1（浮力+余震+水圧）

方向	評価高さ H (m)	階	保有水平耐力 Qu (kN)	余震 E (kN)	水圧 W (kN)	層せん断力 $Q_T = E + W$ (kN)	検定比 Q_T/Q_u
NS		5	7443	2856	0	2856	0.39
		4	142716	24340	0	24340	0.18
		3	203390	51810	0	51810	0.26
		1	433846	109600	5834	115434	0.27
		B1	433846	141800	5938	147738	0.35
EW		5	8738	2726	0	2726	0.32
		4	94624	24450	0	24450	0.26
		3	201605	51670	0	51670	0.26
		1	415871	109100	6118	115218	0.28
		B1	415871	141200	6228	147428	0.36

(2) 接地圧

ケース 1 (浮力+余震+水圧) に対する接地圧の評価結果を表 5-2, 表 5-3 に示す。

浮力と余震及び水圧による転倒モーメントが作用した場合に発生する接地圧は極限支持力度以下であることを確認した。

表 5-2 接地圧評価結果 (上向き 0.4×鉛直)

ケース 1 (浮力+余震+水圧)

評価項目	極限支持力度 σ_u (kN/m ²)	転倒方向	接地圧 σ (kN/m ²)	検定比 σ/σ_u
接地圧	2350	NS	561	0.24
		EW	592	0.26

表 5-3 接地圧評価結果 (下向き 0.4×鉛直)

ケース 1 (浮力+余震+水圧)

評価項目	極限支持力度 σ_u (kN/m ²)	転倒方向	接地圧 σ (kN/m ²)	検定比 σ/σ_u
接地圧	2350	NS	503	0.22
		EW	514	0.22

(3) 建家外壁

ケース 1 (浮力+余震+水圧) に対する建家外壁の健全性評価結果を表 5-4 に示す。

1 階外壁 () 及び 1 階外壁北面 () の応力は短期許容応力以下であるが、1 階外壁南側 () の発生するせん断力は短期許容応力を超えており、補強が必要である。

表 5-4 建家外壁評価結果ケース 1 (浮力+余震+水圧)

評価対象部位		短期許容曲げモーメント Ma (kN・m)	曲げモーメント M (kN・m)	検定比 M/Ma
A-1 1 階外壁	[]	273.7	126.1	0.47
B-1 1 階外壁南面		383.2	391.6	1.03
B-2 1 階外壁北面		437.9	216.2	0.50

評価対象部位		短期許容せん断力 Q _{AS} (kN)	せん断力 Q (kN)	検定比 Q/Q _{AS}
A-1 1 階外壁	[]	602.9	193.9	0.33
B-1 1 階外壁南面		440.2	573.3	1.31
B-2 1 階外壁北面		723.7	332.6	0.46

5.2 ケース2（波力+余震）の強度評価結果

(1) 保有水平耐力

ケース2（波力+余震）に対する保有水平耐力の評価結果を表5-5に示す。各層に生じる層せん断力はいずれも保有水平耐力以下であることを確認した。

表5-5 保有水平耐力評価結果ケース2（波力+余震）

方向	評価高さ H (m)	階	保有水平耐力 Qu (kN)	波力 R (kN)	余震 E (kN)	層せん断力 $Q_T = R + E$ (kN)	検定比 Q_T/Qu
NS		5	7443	0	2856	2856	0.39
		4	142716	4180	24340	28520	0.20
		3	203390	18121	51810	69931	0.35
		1	433846	58450	109600	168050	0.39
		B1	433846	59023	141800	200823	0.47
EW		5	8738	0	2726	2726	0.32
		4	94624	4384	24450	28834	0.31
		3	201605	19004	51670	70674	0.36
		1	415871	61297	109100	170397	0.41
		B1	415871	61898	141200	203098	0.49

(2) 接地圧

ケース 2 (波力+余震) に対する接地圧の評価結果を表 5-6, 表 5-7 に示す。波力と余震による転倒モーメントが作用した場合に発生する接地圧は極限支持力度以下であることを確認した。

表 5-6 建家の接地圧に関する評価結果 (上向き 0.4×鉛直)

ケース 2 (波力+余震)

評価項目	極限支持力度 σ_u (kN/m ²)	方向	接地圧 σ (kN/m ²)	検定比 σ/σ_u
接地圧	2350	NS	650	0.28
		EW	679	0.29

表 5-7 建家の接地圧に関する評価結果 (下向き 0.4×鉛直)

ケース 2 (波力+余震)

評価項目	極限支持力度 σ_u (kN/m ²)	方向	接地圧 σ (kN/m ²)	検定比 σ/σ_u
接地圧	2350	NS	681	0.29
		EW	701	0.30

(3) 建家外壁

ケース 2 (波力+余震) に対する建家外壁の健全性評価結果を表 5-8 に示す。

1 階外壁 () 及び 1 階外壁北面 () の応力は短期許容応力以下であるが、1 階外壁南側 () の発生する曲げモーメント及びせん断力は短期許容応力を超えており、補強が必要である。

表 5-8 建家外壁の健全性評価結果ケース 2 (波力+余震)

評価対象部位		短期許容曲げモーメント Ma (kN・m)	曲げモーメント M (kN・m)	検定比 M/Ma
A-1 1 階外壁		273.7	227.2	0.84
B-1 1 階外壁南面		383.2	697.7	1.83
B-2 1 階外壁北面		437.9	389.6	0.89

評価対象部位		短期許容せん断力 Q _{AS} (kN)	せん断力 Q (kN)	検定比 Q/Q _{AS}
A-1 1 階外壁		603.1	349.6	0.58
B-1 1 階外壁南面		440.6	1023.3	2.33
B-2 1 階外壁北面		723.8	599.6	0.83

5.3 ケース3（波力+漂流物衝突荷重）の強度評価結果

(1) 保有水平耐力

ケース3（波力+漂流物衝突荷重）に対する保有水平耐力の評価結果を表5-9に示す。各層に生じる層せん断力はいずれも保有水平耐力以下であることを確認した。

表5-9 保有水平耐力評価結果ケース3（波力+漂流物衝突荷重）

方向	評価高さ H (m)	階	保有水平 耐力 Q_u (kN)	波力 R (kN)	漂流物 衝突荷重 P (kN)	層せん断力 $Q_T = R + P$ (kN)	検定比 Q_T/Q_u
NS		5	7443	0	2.8	3	0.01
		4	142716	4180	2.8	4183	0.03
		3	203390	18121	2.8	18124	0.09
		1	433846	58450	2.8	58453	0.14
		B1	433846	59023	2.8	59026	0.14
EW		5	8738	0	2.8	3	0.01
		4	94624	4384	2.8	4387	0.05
		3	201605	19004	2.8	19007	0.10
		1	415871	61297	2.8	61300	0.15
		B1	415871	61898	2.8	61901	0.15

(2) 接地圧

ケース3（波力+漂流物衝突荷重）に対する接地圧の評価結果を表5-10に示す。波力と漂流物衝突荷重による転倒モーメントが作用した場合に発生する接地圧は極限支持力度以下であることを確認した。

表5-10 建家の接地圧に関する評価結果ケース3（波力+漂流物衝突荷重）

評価項目	極限支持力度 σ_u (kN/m ²)	方向	接地圧 σ (kN/m ²)	検定比 σ/σ_u
接地圧	2350	NS	370	0.16
		EW	379	0.17

(3) 建家外壁

ケース 3 (波力+漂流物衝突荷重) に対する建家外壁の健全性評価結果を表 5-11 に示す。

1 階外壁 () 及び 1 階外壁北面 () の外壁の応力は短期許容応力以下であるが、1 階外壁南側 () の発生する曲げモーメント及びせん断力は短期許容応力を超えており、補強が必要である。

表 5-11 建家外壁の健全性評価結果ケース 3 (波力+漂流物衝突荷重)

評価対象部位		短期許容曲げモーメント Ma (kN・m)	曲げモーメント M (kN・m)	検定比 M / Ma
A-1 1 階外壁		273.7	219.0	0.81
B-1 1 階外壁南面		383.2	669.5	1.75
B-2 1 階外壁北面		437.9	374.4	0.86

評価対象部位		短期許容せん断力 Q _{AS} (kN)	せん断力 Q (kN)	検定比 Q/Q _{AS}
A-1 1 階外壁		604.8	337.7	0.56
B-1 1 階外壁南面		441.0	983.5	2.23
B-2 1 階外壁北面		724.4	577.2	0.80

5.4 評価のまとめ

高放射性廃液貯蔵場（HAW）は、ケース 1（浮力＋余震＋水圧）、ケース 2（波力＋余震）、ケース 3（波力＋漂流物衝突荷重）の荷重条件に対して、保有水平耐力の検定比は最大 0.49、接地圧の検定比は最大 0.30 であり、許容限界（終局耐力）以下であることを確認した。また、建家外壁のうち 1 階外壁（）及び 1 階外壁北面（）についても検定比は最大 0.89 であり、許容限界（短期許容応力）以下であることを確認した。

建家外壁の評価において、余震や漂流物による荷重は、津波による波力と比較して十分小さく、また、津波による波力算定に用いる津波高さについては「港湾構造物なし、周辺建家なし」とし、潮位変動に基づき潮位のばらつきを考慮した値とするなど、安全側となる荷重の設定を行っており、1 階外壁（開口無）及び 1 階外壁北面（開口有）も含め、耐津波設計上の裕度を有している。

一方、1 階外壁南面（）の応力は、ケース 1, 2, 3 いずれにおいても許容限界を超えるため、当該部位に対しコンクリートの増打ち補強を実施する。具体的な補強方法については、令和 2 年 7 月に変更申請を行う。

外壁補強に係る補足説明を「添付資料 6-1-3-2-3 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の外壁の補強について」に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家貫通部からの浸水の可能性について

【概要】

- 本文 5.2 トレンチ等を除く壁貫通配管等の点検にモルタルの耐圧試験の実施状況を追記し追記箇所を下線にて示す。
- 図 15 モルタル充填の耐圧試験の実施状況(R2.5.8 実施)を追加。

令和2年5月28日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

高放射性廃液貯蔵場(HAW) 建家貫通部からの浸水の可能性について

1. はじめに

「耐津波設計に係る工認審査ガイド」において、「津波が流入する可能性について検討した上で、流入の可能性のある経路(扉, 開口部, 貫通部等)を特定し, それらに対して浸水対策を施すこと。」とあり, 高放射性廃液貯蔵場(HAW)に対して浸水の可能性のある経路について確認した。

2. 確認対象箇所

2.1 トレンチ及び連絡管路

高放射性廃液貯蔵場(HAW)では分離精製工場(MP)と高放射性廃液の取り合いを連絡管路(地上), 低放射性廃液の取り合いはトレンチ(T15; 地下)を介して行っている。また, ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟と高放射性廃液貯蔵場(HAW)との高放射性廃液の取り合いはトレンチ(T21; 地下)を介して行っている。

これらのトレンチや連絡管路(以下, トレンチ等)の配置を図1に示す。

2.2 壁貫通部

高放射性廃液貯蔵場(HAW) 建家外壁を貫通する配管等は, 地下1階から屋上までに約100箇所あり, これらのうち, 廃止措置計画用設計津波の最大浸水高さT.P.+14.2 mまでに位置する壁貫通配管等は7か所である。

これらの壁貫通部の施工状態等について図2～図6に示す。

2.3 扉及びシャッター部

高放射性廃液貯蔵場(HAW) 外壁の扉及びシャッター部には, 緊急安全対策として T.P.+14.4 mの範囲で浸水防止扉を設置しており, 1階に3箇所, 3階に2箇所の計5箇所に設置している。

これらの浸水防止扉の設置状態について図7に示す。

3. 浸水の可能性のある経路の構造

3.1 トレンチ及び連絡管路

高放射性廃液貯蔵場(HAW)と接続するトレンチ及び連絡管路の構造を以下に示す。

(1) T21 トレンチ(図 8 参照)

T21 トレンチは, 高放射性廃液貯蔵場(HAW)とガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟間の T.P.+約 2 m～T.P.+約 8 m に設置されており, 内部には高放射性廃液をガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟に送液する配管及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟から受入れる配管が敷設されている。T21 トレンチは鉄筋コンクリート製(厚さ:頂板 1.4 m, 側壁 1.2 m, 底板 1 m)であり, 繋ぎ目には, アスフ

アルト系目地剤が充填されてシーリング材等により止水処置が施されている。T21 トレンチ内には、2 重管(550A SUS304L 製)が設置され、その中に高放射性廃液の送液配管(50A SUS304ULC 製)及び除染配管(40A SUS304LTP 製)等を配置している。また、トレンチ内にはドレン配管が敷設されており、地下浸透水等が発生した際は、ドレン配管を通り、ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の2重スラブへ流入する。

2重配管の先端は、高放射性廃液貯蔵場(HAW)側の高放射性廃液貯蔵セルの壁(コンクリート厚さ 1.7 m)及び、ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟側の固化セルの壁(コンクリート厚さ 1.4 m)に埋め込まれた金属プレート(厚さ:ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟側 20 mm, 高放射性廃液貯蔵場(HAW)側 16 mm)に溶接して閉止処置していることから、建家内に浸水しない構造となっている。

(2)連絡管路(図 9 参照)

連絡管路は高放射性廃液貯蔵場(HAW)と分離精製工場(MP)間の T.P.+約 9 m~T.P.+約 12 m に設置されており、内部には高放射性廃液を分離精製工場(MP)に送液する配管及び高放射性廃液貯蔵場(HAW)へ受入れる配管が敷設されている。連絡管路は、鉄筋コンクリート製(厚さ 0.55 m)であり、内側に鉄遮蔽体(厚さ 0.45 m)が施された構造である。連絡管路は高放射性廃液貯蔵場(HAW)の一部として建設され、高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家との間に隙間はない。一方、連絡管路と分離精製工場(MP)の接続箇所はコーキング剤等が充填されており浸水を防止している。また、連絡管路内にドレン配管はない。

連絡管路には、2重管(600A SUS304L 製)が設置されており、その中に高放射性廃液の送液配管(SUS304L 製)及び除染配管(SUS304L 製)を配置している。

2重管の先端の内、高放射性廃液貯蔵場(HAW)側は中間貯蔵セルの壁(コンクリート厚さ約 1.5 m)に埋め込まれており、分離精製工場(MP)側は高放射性廃液貯蔵セルの壁(コンクリート厚さ 1.5 m)に埋め込まれた遮へい体と2重管の間に金属プレート(厚さ:12 mm)を介し、それぞれを溶接して閉止処置をしていることから、建家内に浸水しない構造となっている。

(3)T15トレンチ(図 10 参照)

T15トレンチは高放射性廃液貯蔵場(HAW)から分離精製工場(MP)間の T.P.+約 2 m~T.P.+約 6 m に設置されており、高放射性廃液貯蔵場(HAW)から低放射性廃液を送液する配管が敷設されている。T15トレンチは鉄筋コンクリート製(厚さ 0.5 m)であり、2重管(SUS304L 製)が設置されており、その中に送液配管(SUS304L 製)を配置している。T15トレンチは高放射性廃液貯蔵場(HAW)の一部として建設され、高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家との間に隙間はない。一方、T15トレンチと分離精製工場(MP)の接続箇所はコーキング剤等が充填されており浸水を防止している。また、トレンチ内にドレン配管はない。2重管の高放射性廃液貯蔵場(HAW)側の先端は、溶接により完全に閉止処置され2重管は高放射性廃液貯蔵場(HAW)の高放射性廃液貯蔵セルの壁(コンクリート厚さ 1.9 m)に埋め込まれている。2重管の分離精製工場(MP)側の先端は開放された状態でセルの壁(コンクリート厚さ約 0.6 m)に埋め込まれており、セル壁に埋め込まれた金属プレートと溶接されていることから、建家内に浸水しない構造となっている。

3.2 壁貫通部

高放射性廃液貯蔵場(HAW) 建家外壁を貫通する配管等の施工状態について、現場調査及び図書による確認結果を図2～図6に示す。

すべての壁貫通配管等において、モルタル及びシーリング材による止水措置が施されていることを確認した。

3.3 扉及びシャッター部

高放射性廃液貯蔵場(HAW)に設置している浸水防止扉は、T.P.+14.4 mまでの浸水を想定し、最大浸水深の3倍の水圧が浸水防止扉に作用するものとして設計・施工している。

4. トレンチ及び連絡管路の耐震性

4.1 T21 トレンチ

T21トレンチ(図8)は、高放射性廃液貯蔵場(HAW) 建家とガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟建家間の約30 mを結ぶ地下洞道であるため、設計用地震動に対する応答について二次元FEMを用いて詳細な評価を実施し、耐震性を確認した(資料3-2「建物・構築物及び機器・配管系の構造(耐震性)に関する説明書」参照)。

4.2 連絡管路及び T15 トレンチ

高放射性廃液貯蔵場(HAW) 建家と分離精製工場(MP)建家間を、それぞれ地上と地表面付近の地下で結ぶ連絡管路(図9)及びT15トレンチ(図10)は鉄筋コンクリート構造でHAW建家側に一体で取り付けられており、長さが約1.4 mと短い。そのため、地震時においては高放射性廃液貯蔵場(HAW) 建家と一体で振動することになり、高放射性廃液貯蔵場(HAW) 建家と分離精製工場(MP)建家それぞれの建家振動挙動の違いによって分離精製工場(MP)建家に衝突するおそれがある。そこで、設計地震動において生じる高放射性廃液貯蔵場(HAW) 建家と分離精製工場(MP)建家の最大相対変位を時刻歴応答解析により評価した。評価においては、各建家の地震時の変位の同時性を無視し、それぞれの建家の最大変位の絶対値を加算して相対変位とすることで保守的な評価とした。

その結果、表1に示すように設計地震動によって生じる建家間の最大相対変位(暫定値)は連絡管路及びT15トレンチの分離精製工場(MP)建家取り付け位置に設けられているクリアランス以内であり、地震時に連絡管路及びT15トレンチが分離精製工場(MP)建家躯体に衝突して損傷することはないことを確認した。

5. 貫通部等の点検

5.1 トレンチ等の点検(図 11, 図 12, 図 13 参照)

津波襲来時における、トレンチ等と接するセル壁及び建屋内壁等の健全性を令和2年5月

末までに確認する。

評価として

- ①トレンチ等と接する高放射性廃液貯蔵場(HAW)セル壁の健全性評価(最大浸水深においてセル壁が水圧に耐えることの確認)
- ②トレンチ等と接する高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家内壁の健全性評価(最大浸水深においてトレンチ等の内壁が水圧に耐えることの確認)
- ③トレンチ等の内部の2重管(T15, 連絡管路)の健全性評価(最大浸水深において2重管が水圧に耐えることの確認)

5.2 トレンチ等を除く壁貫通配管等の点検

トレンチ等を除く壁貫通配管等に対して以下の点検・評価を実施した。

- ①高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家外壁貫通部の健全性評価(津波波力が作用する外壁の壁貫通部のシール材等が波力に耐えることを確認)

・シール材の水圧試験(令和2年3月実施)の実施状況を図14に示す。

津波波力を上回る0.5 MPaの水圧をかけても、シール材からの漏れのないことを確認した。

・モルタルの水圧試験(令和2年5月実施)の実施状況を図15に示す。

津波波力を上回る0.5 MPaの水圧をかけても、モルタル材からの漏れのないことを確認した。

なお、トレンチ等の構造上、建家内に浸水することは考えにくいですが、建家内に浸水した場合の影響については別紙に示す。

試験条件

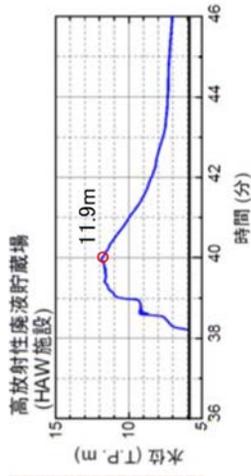
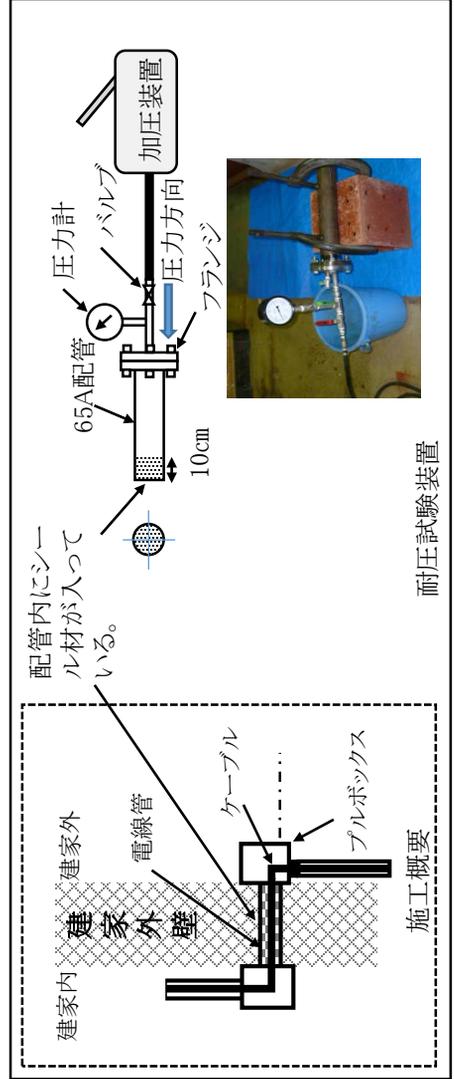
項目	条件	設定理由	備考
試験圧力	0.5 MPa	・津波波力を上回る0.5 MPaとした。	
保持時間	60分	津波の最大浸水深の時刻歴解析結果を踏まえ、保守的に設定。(図A参照)	
配管径	65A配管 (SS材)	本シール材を使用した貫通配管で一番低層階にある最大の配管を模擬している。	図4 No.3 (制御ケーブル電線管)
シール材充填量	約10 cm 充填	十分保守的な条件設定で、HAW外壁厚さ約62 cmに対して、1/5以下の充填量(厚さ)とした量。	

試験結果

試験圧力	判断基準	結果
0.5 MPa	<ul style="list-style-type: none"> ・圧力低下の無いこと ・シール部からの水漏れが無いこと 	<ul style="list-style-type: none"> ・圧力低下なし ・水漏れなし

【試験結果の評価】

津波を想定した水圧をかけても漏洩が無いことを確認した。



図A HAW施設における浸水深の時刻歴解析結果



水圧0.5 MPaを保持



60分保持後、シール材部より水漏れのないことを確認

図14 シール材(難燃性気密防水材料)の耐圧試験の実施状況(R2.3.25実施)

試験条件

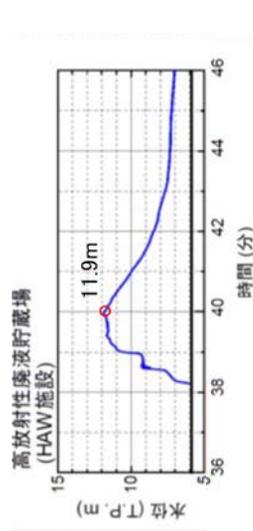
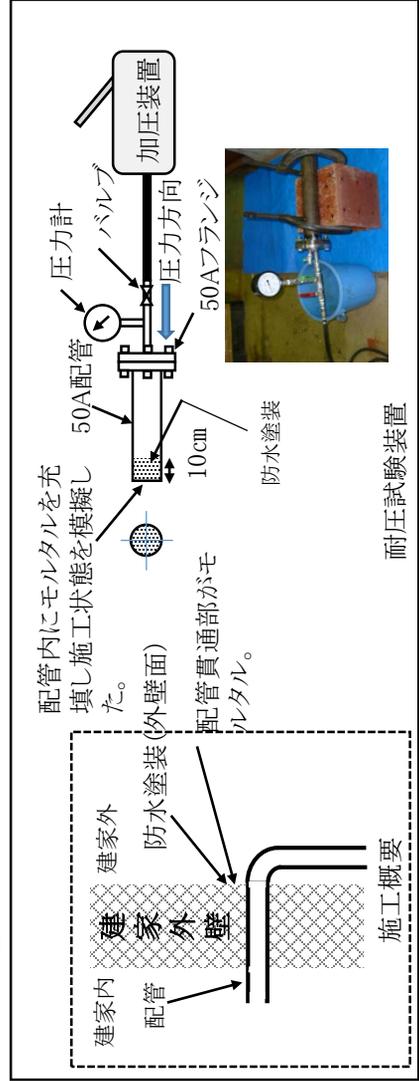
項目	条件	設定理由	備考
試験圧力	0.5MPa	・津波波力を上回る0.5MPaとした。	
保持時間	60分	津波の最大浸水深の時刻歴解析結果を踏まえ、保守的に設定。(図A参照)	
配管径	50A配管(SS材)	貫通配管で一番低層階にある最大の配管を模擬している。	図5 No.2 (非放射性廃液配管)
モルタル充填量	約10cm充填	十分保守的な条件設定で、HAW外壁厚さ約62cmに対して、1/5以下の充填量(厚さ)とした量。	

試験結果

試験圧力	判断基準	結果
0.5MPa	<ul style="list-style-type: none"> ・圧力低下の無いこと ・モルタルからの水漏れが無いこと 	<ul style="list-style-type: none"> ・圧力低下なし ・水漏れなし

【試験結果の評価】

津波を想定した水压をかけて漏洩の有無について確認した。



図A HAW施設における浸水深の時刻歴解析結果



水圧0.5MPa保持



60分保持後、モルタル部からの水漏れ及びびにじみなし

図15 モルタル充填の耐圧試験の実施状況(R2.5.8実施)

屋外監視カメラについて

【概要】

- 屋外監視カメラの構成と復旧方法について別添を追加。

令和2年5月28日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

別添

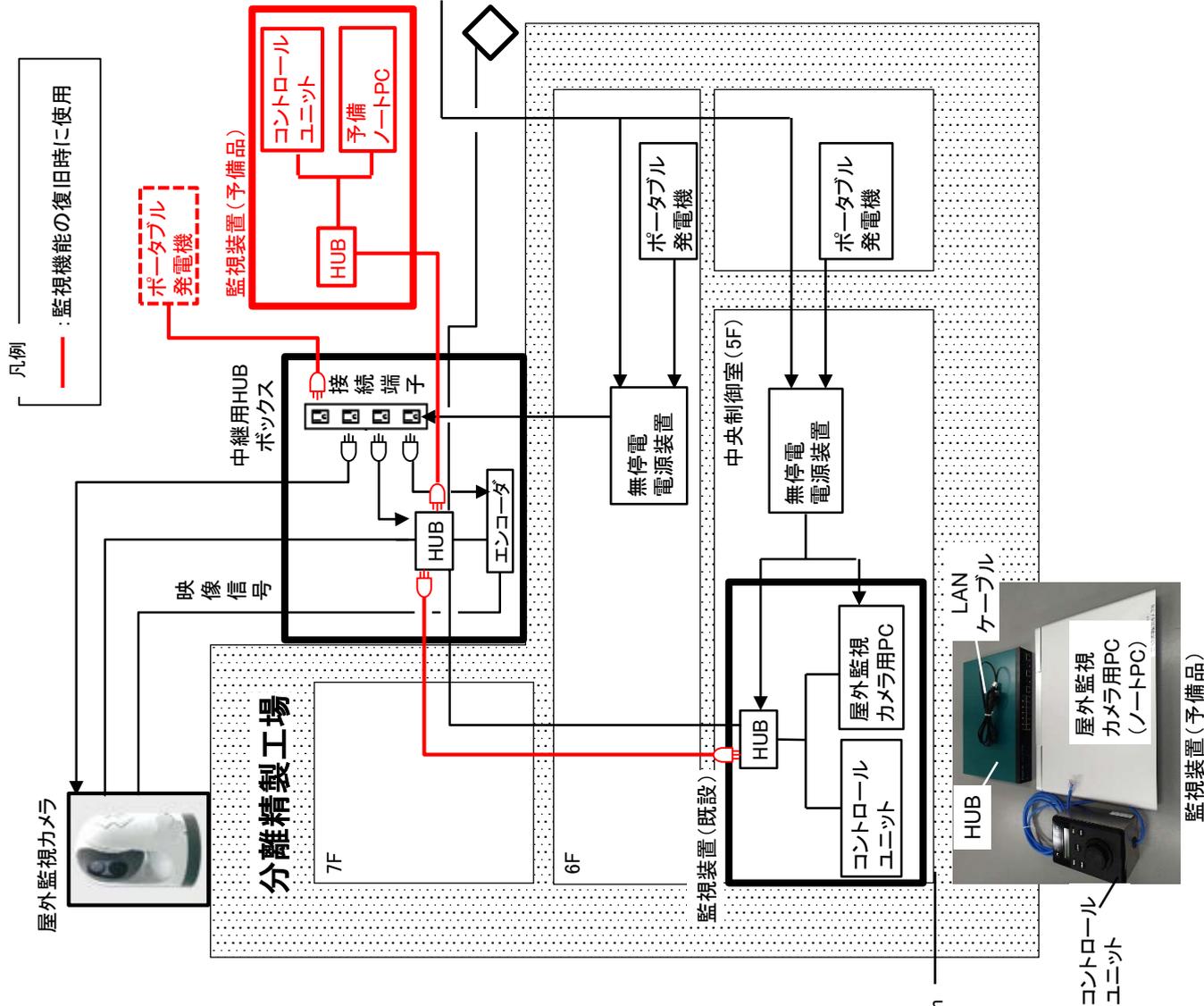
屋外監視カメラの構成と復旧方法

屋外監視カメラは、設計地震動により機能喪失した場合には速やかに復旧できるように要員の常駐する分離精製工場(MP)に設置している。

分離精製工場(MP)の屋内(5階～6階)に敷設している通信ケーブルの一部は、可とう電線管に収納して施工しており耐震性を有していないため、映像信号の伝送経路において通信ケーブルが損傷する場合には、中央制御室に設置した監視モニタと分離精製工場(MP)屋上外壁に固定されている中継用 HUB ボックスとを直接接続する設計としており、監視可能な状態に速やかに復旧する。

また、屋外監視カメラの本体及び付属機器は、その機能が機能喪失した場合に速やかに復旧できるように、予備品を確保するとともに取替え可能な設計としている。

以上



屋外監視カメラ等の耐震性

- ・屋外監視カメラ本体は、水平方向9 G、垂直方向15 Gの耐衝撃性能を有している。屋外監視カメラの架台は剛構造であり、1000ガル相当の地震動に耐え得る据付ボルトで分離精製工場屋上に固定している。
- ・分離精製工場建家は、設計地震動による地震力や設計津波による波圧、漂流物の衝突を考慮した場合においても倒壊しない見通しであり、令和2年11月までに行う詳細評価において十分な構造強度を有することを確認する。
- ・屋外のケーブル類は電線管に収納し、定ピッチスパン法で算出した固有振動数20 Hz以上になるサポーター間隔で分離精製工場の外壁に固定している。

旧PCDF管理棟駐車場の可搬型発電機から給電

無線アンテナ(現場指揮所へ伝送)

監視機能の復旧

- ・屋外監視カメラ本体、監視措置、エンコーダが故障した場合は、速やかに予備品と交換し、監視機能を復旧する。
- ・屋内のケーブル類が機能喪失した場合※1は、屋内に配備済のポータブル発電機1台と予備の監視装置を分離精製工場屋上に運搬し、中継用HUBボックスの接続端子、HUBに直接接続することで、監視機能を復旧する。

※1 屋内のケーブルの一部は既存のケーブルラック、ダクトの上にPF管を用いて配線されており、屋内の監視装置等の機器は固定していないため、地震動で機能喪失する可能性を考慮。なお、中継用HUBボックスのHUBから、中央制御室のHUBまでLANケーブル(約100 m)を引き直し、監視機能を復旧させることも可能。