

5. 浸水防護施設の設計における補足説明

5.1 耐津波設計における現場確認プロセスについて

5.1 耐津波設計における現場確認プロセスについて

(1) はじめに

耐津波設計を行うに当たって現場確認を要するプロセスとして、遡上解析に必要となる敷地モデルの作成プロセスと耐津波設計の入力条件等（各施設及び設備の配置，寸法等）の設定プロセスの2つがある。現場確認を含めたこれらのプロセスをそれぞれ以下に示す。

(2) 遡上解析に関する敷地モデルの作成プロセス

a. 基準要求

【第五条】

設置許可基準規則第五条（津波による損傷の防止）においては，設計基準対象施設は，その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないことを要求されている。また，解釈の別記3により，遡上波の到達防止に当たっては，敷地及び敷地周辺の地形とその標高などを考慮して，敷地への遡上の可能性を検討することが規定されている。

当該基準要求を満足するにあたっては，「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」において，遡上解析上，影響を及ぼすものの考慮が要求されており，具体的には，敷地及び敷地周辺の地形とその標高，伝播経路上の人工構造物を考慮した遡上解析を実施することとしている。

b. 作成プロセス

上記要求事項を満足するために，図 5.1-1 に示すフローに従って敷地モデルを作成した。次の(a)～(d)にプロセスの具体的内容を示す。

(a) 敷地及び敷地周辺の地形とその標高のモデル化

敷地及び敷地周辺の地形とその標高について，QMS 図書として維持管理されている図面等を確認し，遡上域のメッシュサイズを踏まえて，適切な形状にモデル化を行った。

(b) 津波伝播経路上の人工構造物の調査

敷地において津波伝播経路上に存在する人工構造物として抽出すべき対象物をあらかじめ定義し調査を実施した。

具体的な対象物は，耐震性や耐津波性を有する恒設の人工構造物である。その他の津波伝播経路上の人工構造物については，構造物が存在することで津波の影響軽減効果が生じ，遡上範囲を過小に評価する可能性があることから，遡上解析上，保守的な評価となるよう対象外とした。

イ. 図面等による調査

上記で定義した対象物となる既設の人工構造物については，高さ，面積について，QMS 図書として維持管理されている図面等の確認を実施した。また，将来設置される

計画がある人工構造物のうち、上記で定義した対象物に該当するものについては、計画図面等により調査を実施した。

海底地形及び陸域の地形については、一般財団法人 日本水路協会の最新の地形データ及び国土地理院発行の最新の地形図からデータを抽出した。発電所敷地内の地形及び構造物のデータについては、建設時の工事竣工図からデータを抽出した。

ロ. 現場確認

上記イ. で実施した図面等による調査において確認した既設の人工構造物については、社員による現場ウォークダウンにより図面等と相違ないことを確認した。また、図面に反映されていない人工構造物について、遡上解析に影響する変更がないことを確認した。

発電所敷地における構造物、地盤などの変位及び変形については、発電所における定期保守業務で特定地点の計測を実施し、有意な変位及び変形がないことを確認した。

(c) 敷地モデルの作成

(b)で実施した調査結果を踏まえ、敷地モデルの作成を実施した。

(d) 敷地モデルの管理

遡上解析に係る地形の改変や人工構造物の新設等の変更が生じれば、必要に応じ上記(a)及び(b)に戻り再度モデルを構築する。

c. 現場確認記録の品質保証上の取り扱い

現場確認手順及び確認結果の記録について、品質保証記録として管理する。

d. 今後の対応

今後、改造工事等により、津波伝播経路上の敷地の状況（地形の改変、人工構造物の新設等）が変更となる場合は、その変更が耐津波設計の評価に与える影響の有無を検討し、必要に応じて遡上解析を再度実施する。

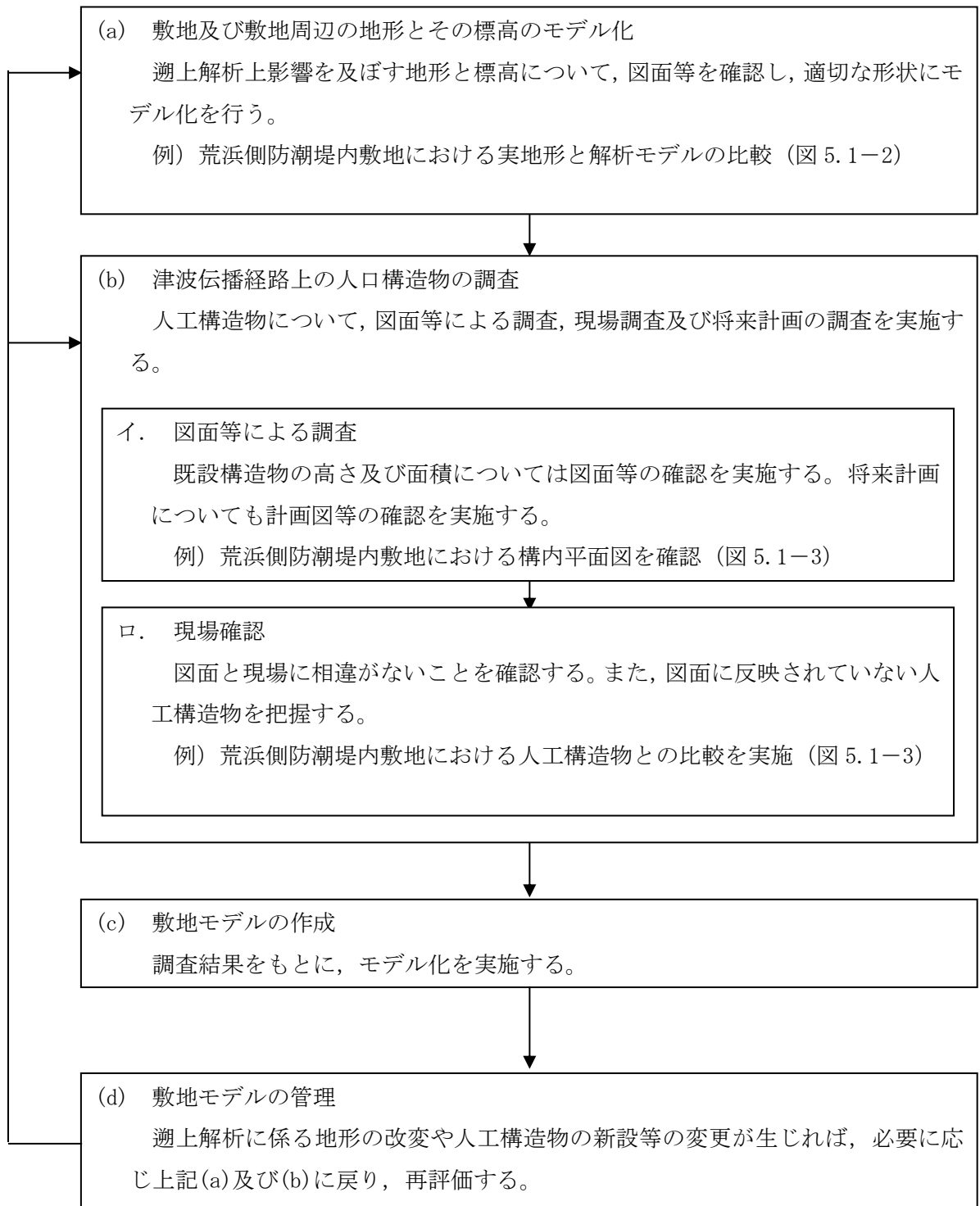
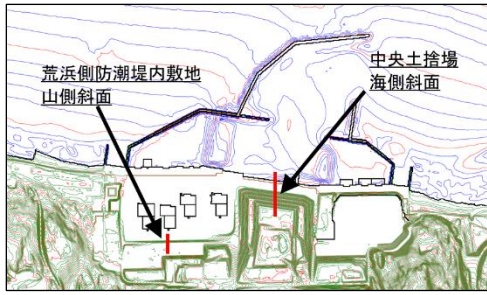
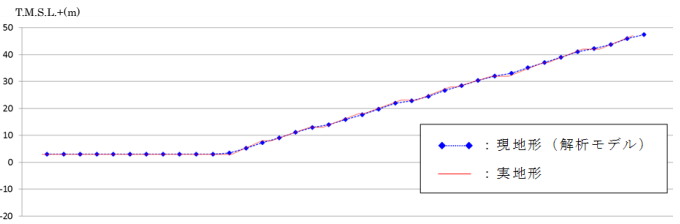


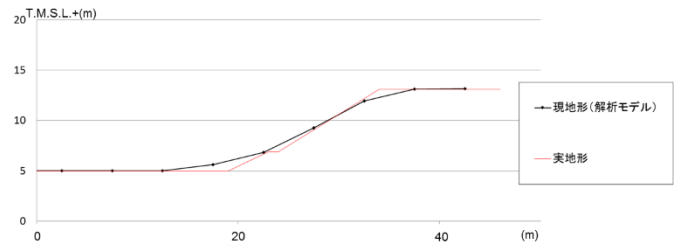
図 5.1-1 敷地モデルの作成プロセスフロー図



平面図



中央土捨場海側斜面のモデル化



荒浜側防潮堤内山側斜面のモデル化

図 5.1-2 解析モデルの確認例

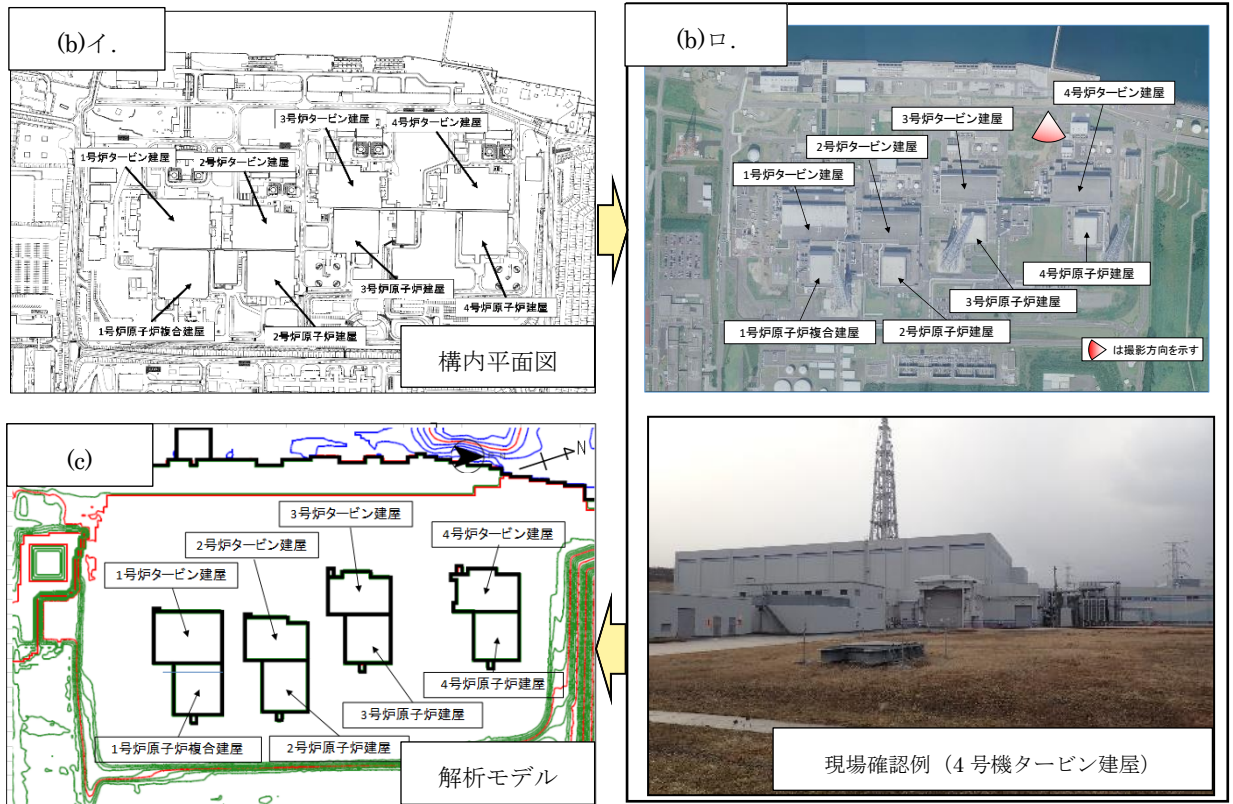


図 5.1-3 調査による確認例

(3) 耐津波設計に関する入力条件等の設定プロセス

a. 基準要求

【第五条】

設置許可基準規則第五条（津波による損傷の防止）においては、設計基準対象施設は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないことを要求されている。また、解釈の別記3及び「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」において、敷地への浸水の可能性のある経路の特定、バイパス経路からの流入経路の特定、取水・放水施設や地下部等における漏水の可能性の検討、浸水想定範囲の境界における浸水の可能性のある経路の特定、浸水防護重点化範囲への浸水の可能性のある経路の特定及び漂流物の可能性の検討を行うこととしている。

【第四十条】

設置許可基準規則第四十条（津波による損傷の防止）においては、重大事故等対処施設は、基準津波に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないことを要求しており、解釈は同解釈の別記3に準じるとしている。

b. 入力条件等の設定プロセス

上記要求事項を満足するために、図 5.1-4 に示すフローに従って耐津波設計において必要となる入力条件等を設定した。次の(a)～(c)にプロセスの具体的内容を示す。なお、本資料において、設計基準対象施設の津波防護対象設備と重大事故等対処施設の津波防護対象設備を併せて、「津波防護対象設備」とする。

(a) 入力条件等の設定・確認

耐津波設計において必要となる入力条件等は、下記イ.及びロ.のとおり設定し、確認する。

イ. 図面等による入力条件等の調査及び設定

耐津波設計に係る各施設・設備について、図面等を用いて設置箇所・寸法等を確認し、入力条件等を設定する。

ロ. 現場確認

イ.で実施した図面等による調査により設定した入力条件等について、現場ウォークダウンにより現場と相違ないことを確認する。

各施設・設備等における入力条件等の設定及び確認内容の詳細を以下に記載する。

(イ). 津波防護対象設備について

設置許可基準規則第五条及び第四十条においては、設計基準対象施設の安全機能及び重大事故等対処施設の重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないことが要求されている。そのため、津波防護対象設備を設定し、想定している建屋及び区画以外に津波防護対象設備が設置されていないことを確認する。

(ロ). 外郭防護 1 (遡上波の地上部からの到達及び流入防止) について

津波防護対象設備を内包する建屋及び区画は、基準津波による遡上波が到達しない十分高い場所に設置する、または、津波防護施設及び浸水防止設備を設置することで流入を防止することが要求されている。そのため、各施設・設備が設置されている敷地高さを調査し、基準津波による遡上波が到達しない十分高い場所に設置されていること又は津波防護施設及び浸水防止設備により流入を防止されていることを確認する。また、浸水対策が必要となる箇所については、現場状況を確認する。

(ハ). 外郭防護 1 (取水路、放水路等の経路からの流入防止) について

取水路、放水路等の経路から津波が流入する可能性を検討し特定すること及び必要に応じて浸水対策を行うことが要求されている。そのため、海水が流入する可能性のある経路を網羅的に調査し、特定する。また、浸水対策が必要となる箇所については、現場状況を確認する。

(ニ). 外郭防護 2 (漏水による重要な安全機能への影響防止) について

取水・放水設備の構造上の特徴等を考慮して、取水・放水施設や地下部等における漏水の可能性を検討すること、浸水想定範囲の境界において浸水の可能性のある経路及び浸水口（扉、開口部、貫通口等）を特定すること並びに特定した経路及び浸水口に対して浸水対策を施し、浸水範囲を限定することが要求されている。そのため、漏水の可能性並びに浸水想定範囲の境界における浸水の可能性のある経路及び浸水口を調査し、特定する。浸水想定範囲内に津波防護対象設備がある場合は、その重要な安全機能又は重大事故等に対処する機能に影響を与える閾値（機能喪失高さ）を調査し、設定する。また、浸水対策が必要となる箇所については、現場状況を確認する。

(ホ). 内郭防護（重要な安全機能を有する施設の隔離）について

浸水防護重点化範囲への浸水の可能性のある経路及び浸水口（扉、開口部、貫通

口等)を特定し,それらに対して浸水対策を施すことが要求されている。そのため,浸水の可能性のある経路及び浸水口を特定し,浸水対策が必要な箇所の現場状況を確認する。

(へ). 漂流物について

基準津波に伴う取水口付近の漂流物については,遡上解析結果における取水口付近を含む敷地前面及び遡上域の寄せ波及び引き波の方向及び速度の変化を分析した上で,漂流物の可能性を検討することが要求されている。そのため,遡上解析を踏まえた上で漂流物調査を網羅的に行い,取水性に影響を与えないことを確認する。

(b) 耐津波設計の成立性の確認

上記(a)で実施した設定・確認結果を踏まえ,耐津波設計の成立性を確認する。また,新たに必要となる浸水対策がある場合は,実施する。

(c) 入力条件等の管理

設備改造等により耐津波設計の入力条件等が変更となる可能性がある場合は,必要に応じ上記(a)に戻り,再評価する。

(4) 現場確認記録の品質保証上の取り扱い

現場確認手順及び確認結果の記録について,品質保証記録として管理する。

(5) 今後の対応

今後,改造工事等により,耐津波設計に用いる入力条件等の変更が生じた場合,その変更が耐津波設計の評価に与える影響の有無を検討し,必要に応じて入力条件等の再設定・再確認を実施する。

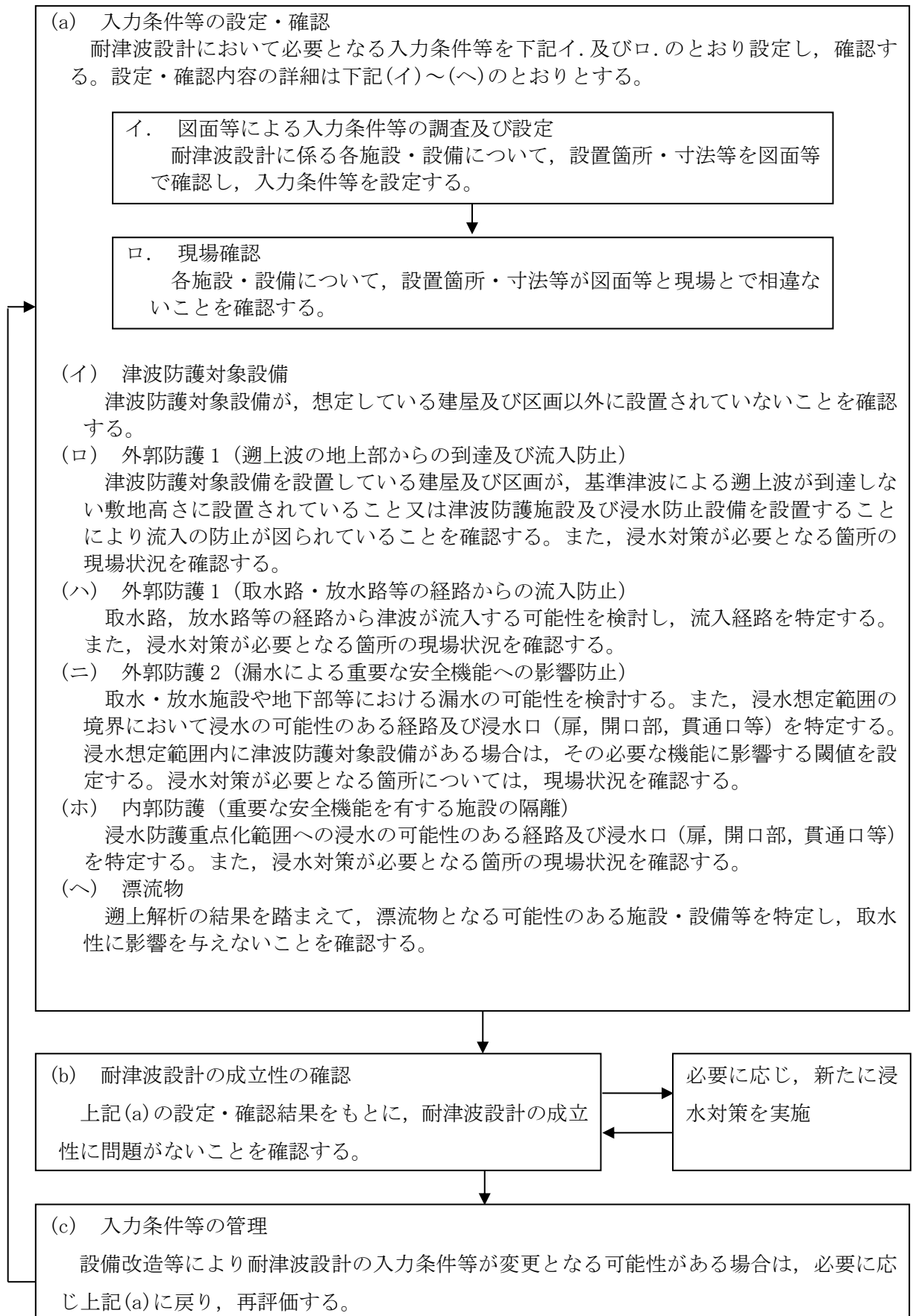


図 5.1-4 入力条件等の設定プロセスフロー図

5.2 津波監視設備の設備構成及び電源構成について

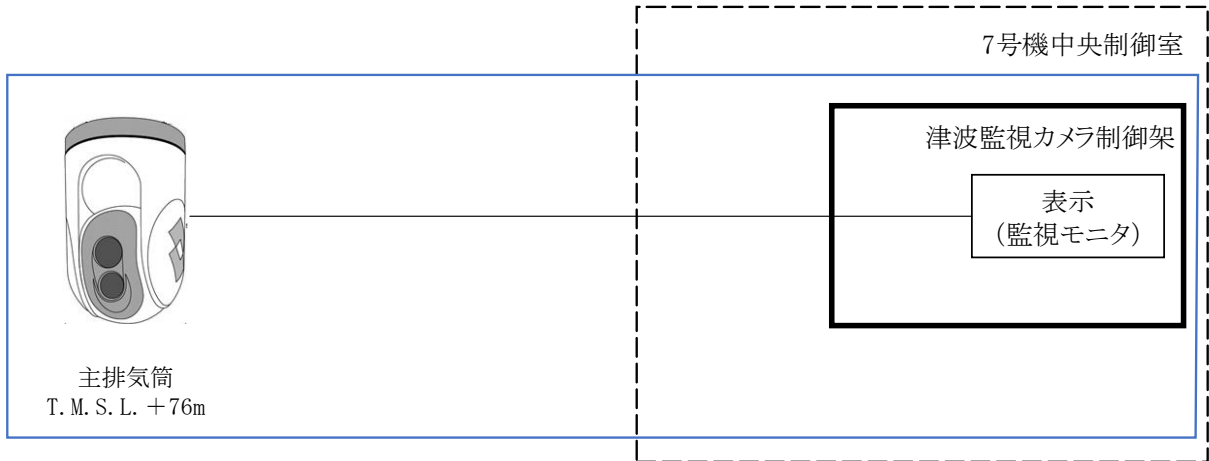
5.2 津波監視設備の設備構成及び電源構成について

(1) 津波監視設備の設備構成

本資料は、津波監視設備の中央制御室での監視機能及び非常用電源設備からの給電を説明するものである。

津波監視カメラは非常用電源設備のバイタル分電盤から給電し、映像信号を中央制御室へ伝送する設計とする。また、取水槽水位計は非常用電源設備の直流 125V 主母線盤から給電し、中央制御室で監視可能な設計とする。

津波監視カメラの概略構成図を図 5.2-1 に、取水槽水位計の概略構成図を図 5.2-2 に示す。また、津波監視設備の概略電源構成図を図 5.2-3 に、津波監視設備の配置図を図 5.2-4 に示す。



: 基準地震動 S_s による地震力に対し、機能維持する範囲

図 5.2-1 津波監視カメラの概略構成図

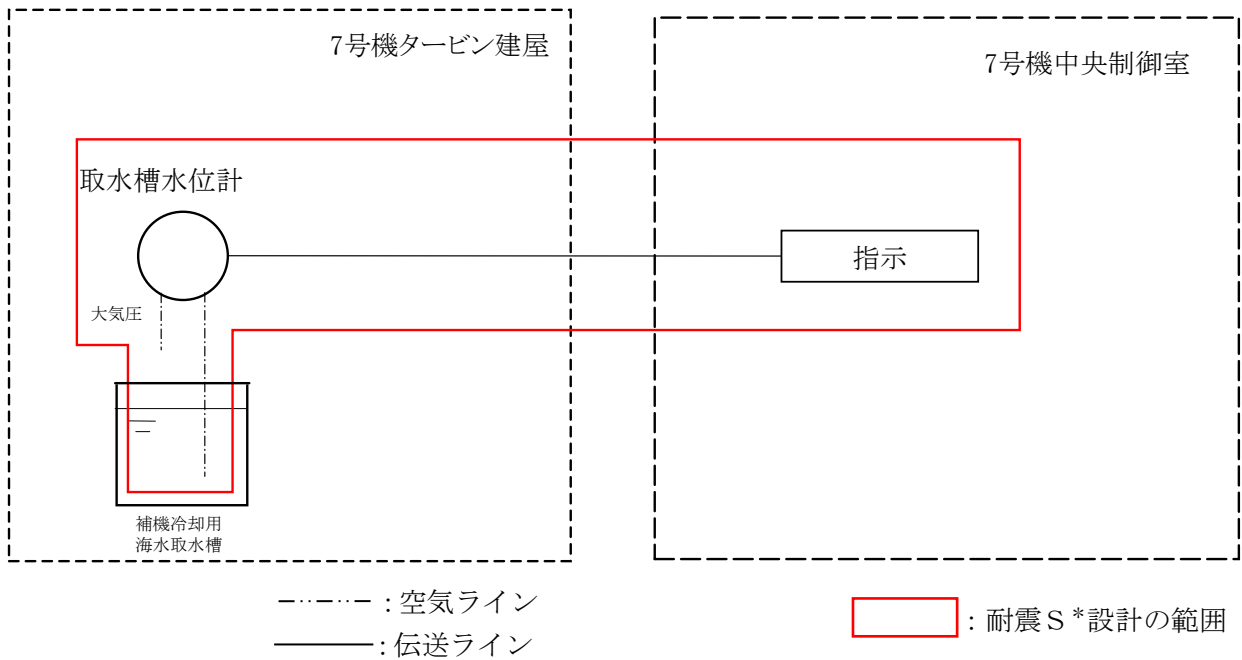


図 5.2-2 取水槽水位計の概略構成図

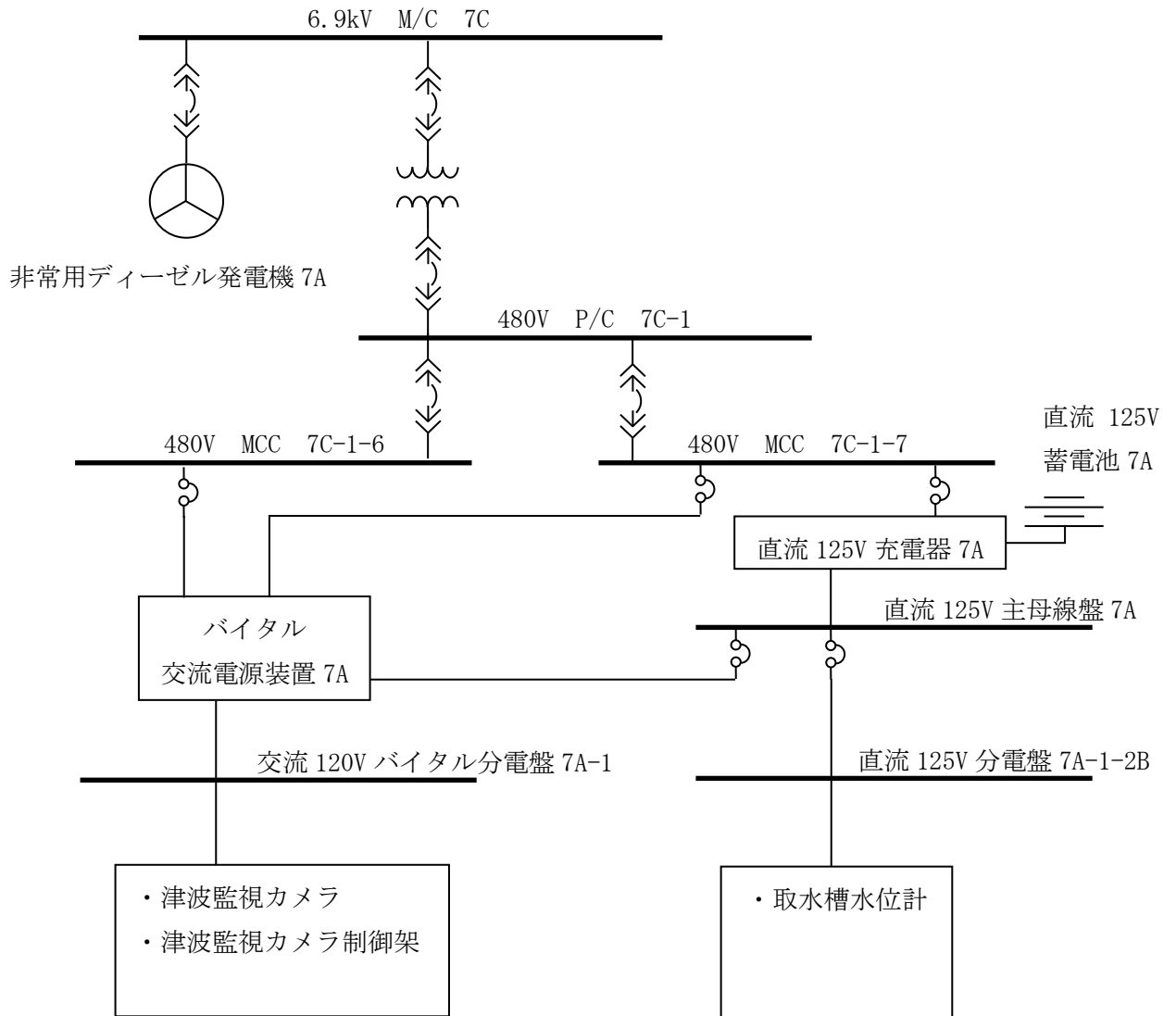


図 5.2-3 津波監視設備の概略電源構成図

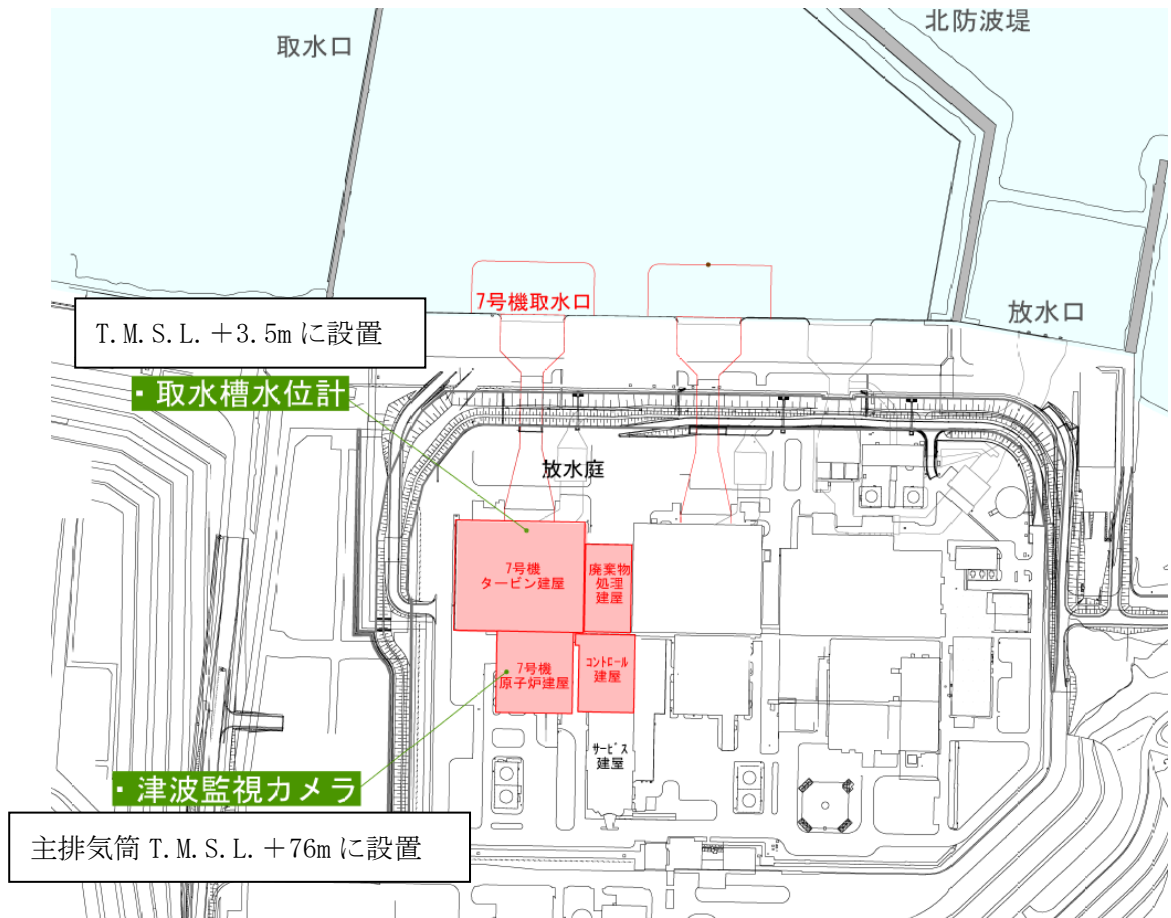


図 5.2-4 津波監視設備の配置図

(参考資料)

津波監視設備の5号機原子炉建屋内緊急時対策所での監視について

(1) 津波監視設備の設計について

津波監視設備は、耐津波設計に係る工認審査ガイドで要求されている、以下の【規制基準における要求事項等】を満たす設計とする必要がある。

【規制基準における要求事項等】

津波監視設備については、津波の影響（波力、漂流物の衝突等）に対して、影響を受けにくい位置への設置、影響の防止策・緩和策等を検討し、入力津波に対して津波監視機能が十分に保持できるよう設計すること。

そのため、柏崎刈羽7号機では上記要求を満足する津波監視設備として、津波監視カメラ及び取水槽水位計を設置することとしており、監視場所は運転及び事故時操作を行う7号機中央制御室としている。

津波監視設備は、中央制御室にて監視することを基本としているが、5号機原子炉建屋内緊急時対策所でも現場状況の確認が可能となるように、5号機原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部・高気密室）に自主設備として監視設備を設置する。図1及び図2に概要図を示す

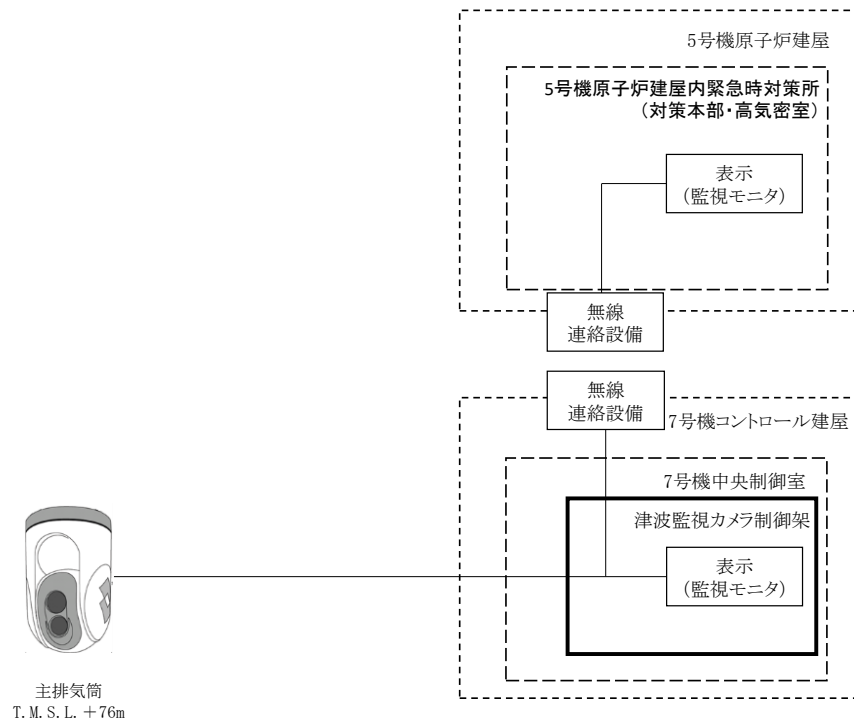


図1 津波監視カメラの概略構成図

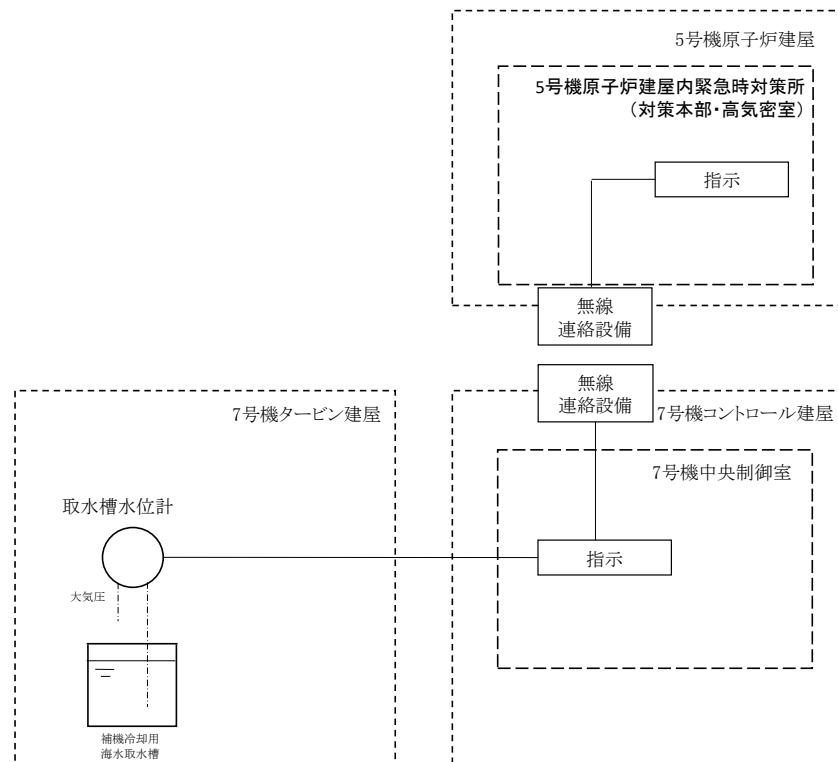


図2 取水槽水位計の概略構成図

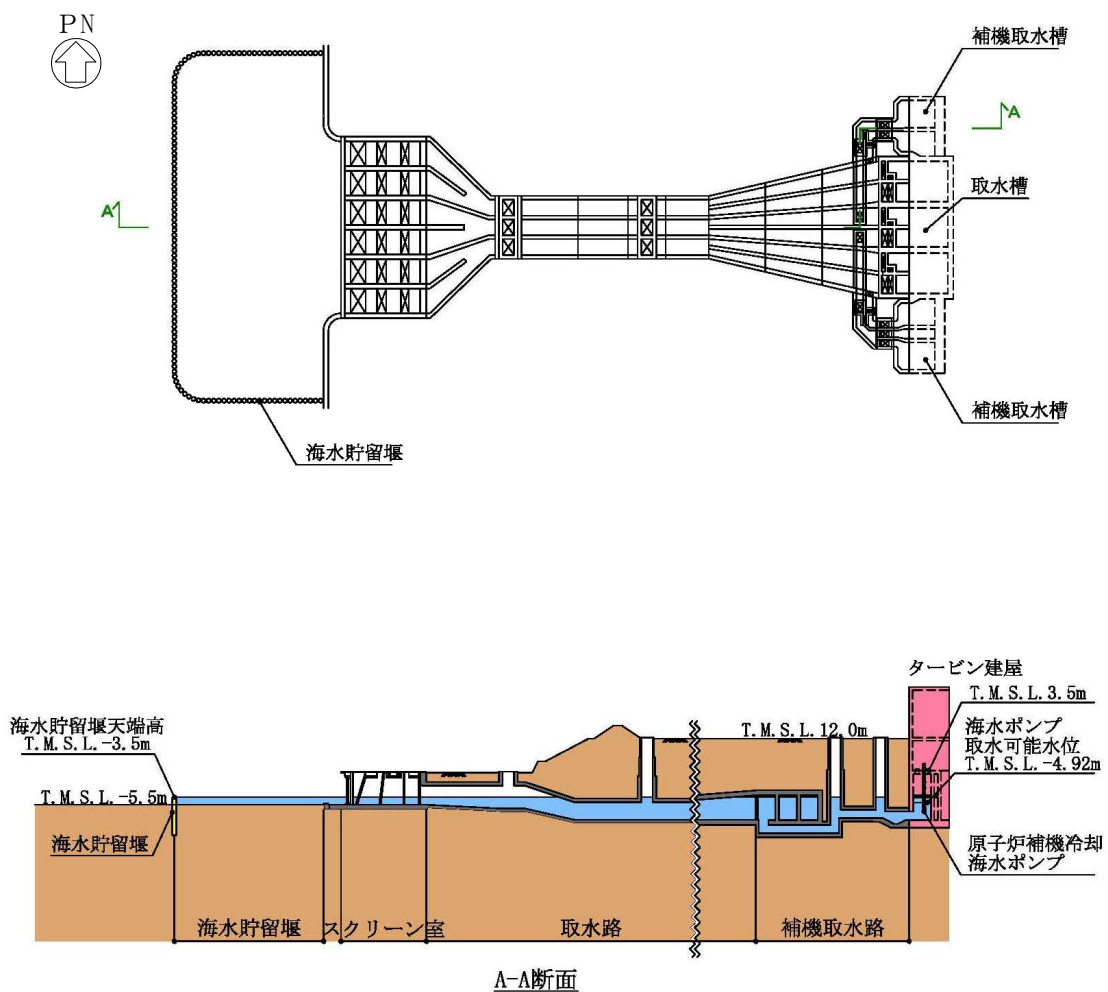
5.3 スロッシングによる海水貯留堰貯水量に対する影響評価について

5.3 スロッシングによる海水貯留堰貯水量に対する影響評価について

(1) 概要

7号機海水貯留堰内の貯水に対して、スロッシングによる溢水量が海水貯留堰貯水量へ与える影響を評価する。具体的な評価方法は、津波引波時の余震によるスロッシングによって発生する海水貯留堰からの溢水量を算定し、海水貯留堰の有効容量（約8000m³、原子炉補機冷却海水ポンプの運転継続可能時間約44分）から溢水量を減じた場合における原子炉補機冷却海水ポンプの運転継続可能時間が引波の継続時間（海水貯留堰外側の海水位が海水貯留堰天端を下回る時間約16分）に対して十分に余裕があることを確認する。また、スクリーン室奥における水位時刻歴を確認し、原子炉補機冷却海水ポンプの取水可能限界水位を下回っていないことを確認する。

海水貯留堰の平面図及び断面図を図5.3-1に、海水貯留堰鳥瞰図を図5.3-2に示す。また、補機取水槽内の水位時刻歴を図5.3-3に示す。



注：東京湾平均海面（以下、「T.M.S.L.」という。）

図5.3-1 海水貯留堰平面図及び断面図

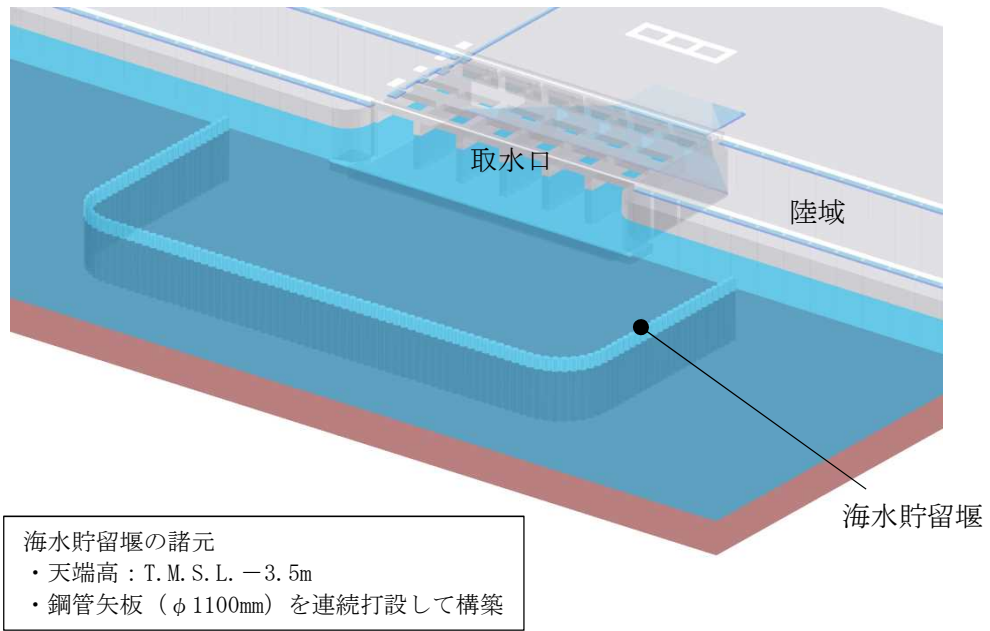


図 5.3-2 海水貯留堰鳥瞰図

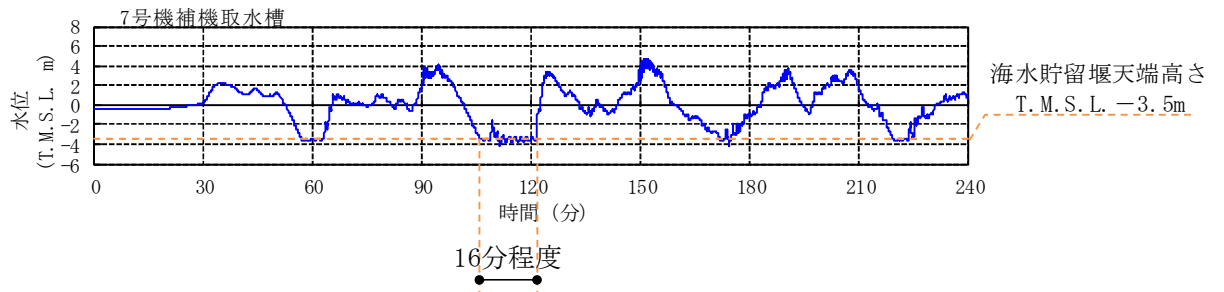


図 5.3-3 補機取水槽内の水位時刻歴

(2) 評価方針

スロッシングによる海水貯留堰貯水量に対する影響評価は、図 5.3-4 の評価フローのとおり実施する。

初めに、スロッシング解析に用いる海底面の加速度時刻歴を選定する。そして選定した海底面の加速度時刻歴を用いて OpenFOAM によるスロッシング解析を行い、スロッシングによる海水貯留堰貯水量に対する影響を評価する。検討項目は以下の 2 通りである。

a. 検討項目 1 (貯水量が確保されることを確認)

本震後の引波によって海水貯留堰外側の海水位が海水貯留堰天端を下回る時間(約 16 分)に余震が重畳することを想定し、スロッシング解析により海水貯留堰からの溢水量を算出する。ここでは、海水貯留堰の有効容量(8000m³、原子炉補機冷却海水ポンプの運転継続可能時間 44 分)から溢水量を減じた貯水量に対する原子炉補機冷却海水ポンプの運転継続可能な時間が、引波継続時間(約 16 分)に対して十分に余裕があることを確認する。

なお、スロッシング解析の溢水量の算定においては、スロッシングによる溢水量を保守的に算出するため、スロッシング解析時間は引波により海水貯留堰外側の海水位が海水貯留堰天端を下回る継続時間(約 16 分)よりも長い 20 分間(1200 秒間)とする。

b. 検討項目 2 (取水可能限界水位を下回らないことを確認)

スクリーン室奥でのスロッシングによる水位変動の時刻歴波形を算出し、余震継続時間内における海水貯留堰内水位が原子炉補機冷却海水ポンプの設計取水可能水位(T.M.S.L.-4.92m)を下回っていないことを確認する。

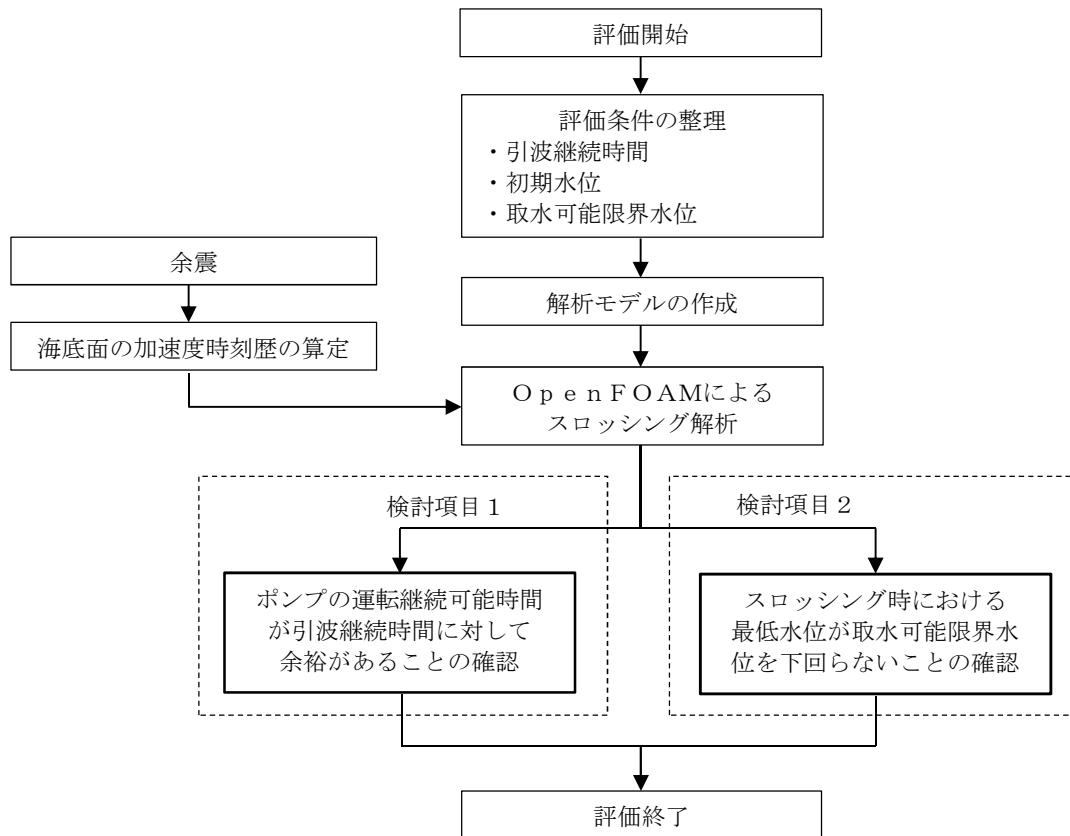


図 5.3-4 評価フロー

(3) 入力地震動の策定

a. 地震動の引き上げ手法

入力地震動は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面（T.M.S.L. -155m）で定義される余震（S_d-1）を1次元波動論により地震応答解析モデルの底面位置（T.M.S.L. -80m）で評価したものをを用いる。なお、津波と組み合わせる余震の算定方針や余震としてS_d-1を設定することについては、V-3-別添3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」及びKK7 補足-028-08「浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料」1.1「地震と津波の組合せで考慮する荷重について」に示す。

入力地震動算定の概念図を図5.3-5に、入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図5.3-6及び図5.3-7に示す。入力地震動の設定における地盤モデルは、原子炉建屋の耐震性評価に用いた地盤モデルと同様のものをを用いる。

入力地震動の算定には、解析コード「SLOK ver2.0」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地震応答解析モデル底面位置（T.M.S.L. -80m）から評価位置（海底面 T.M.S.L. -5.5m）までの海底面の加速度時刻歴については、1次元地震応答解析（FLIP）により行うものとする。

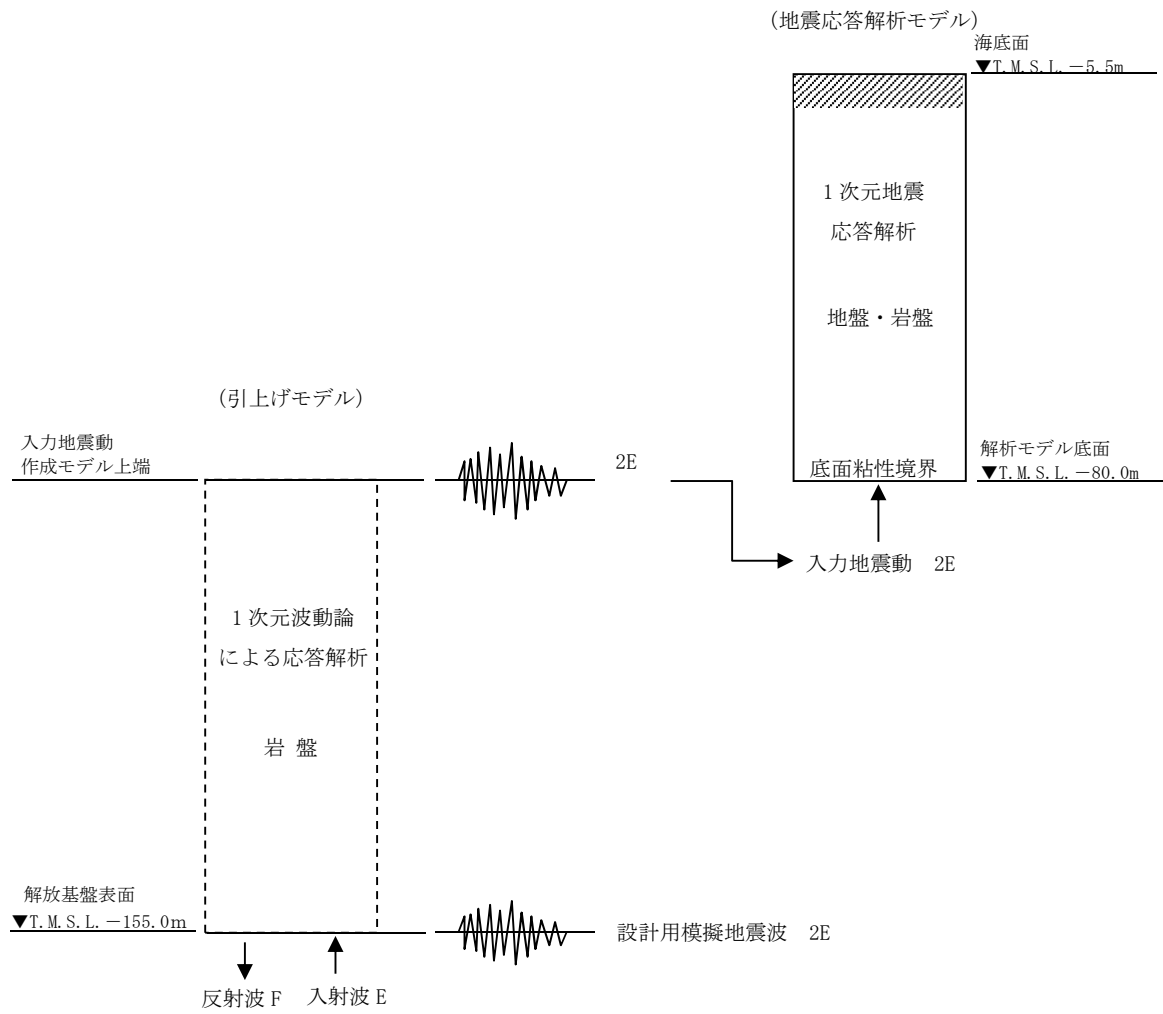
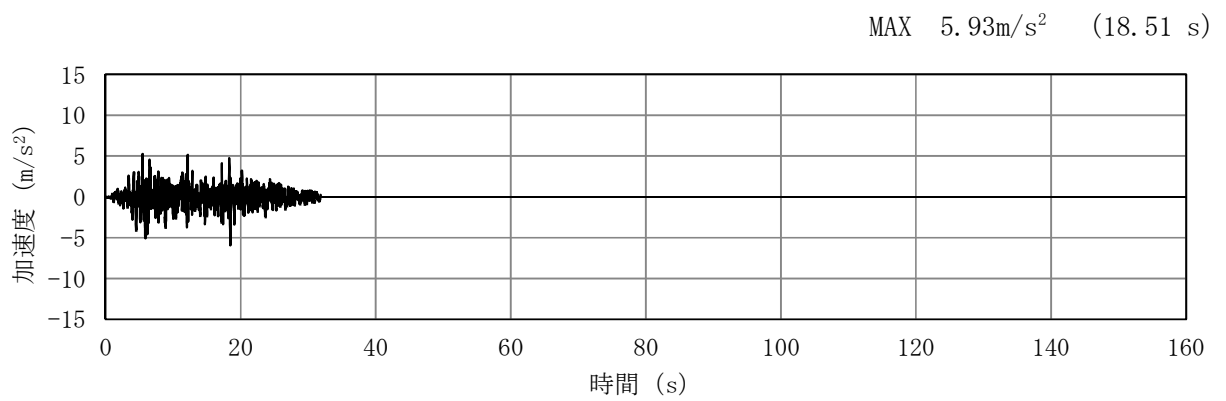
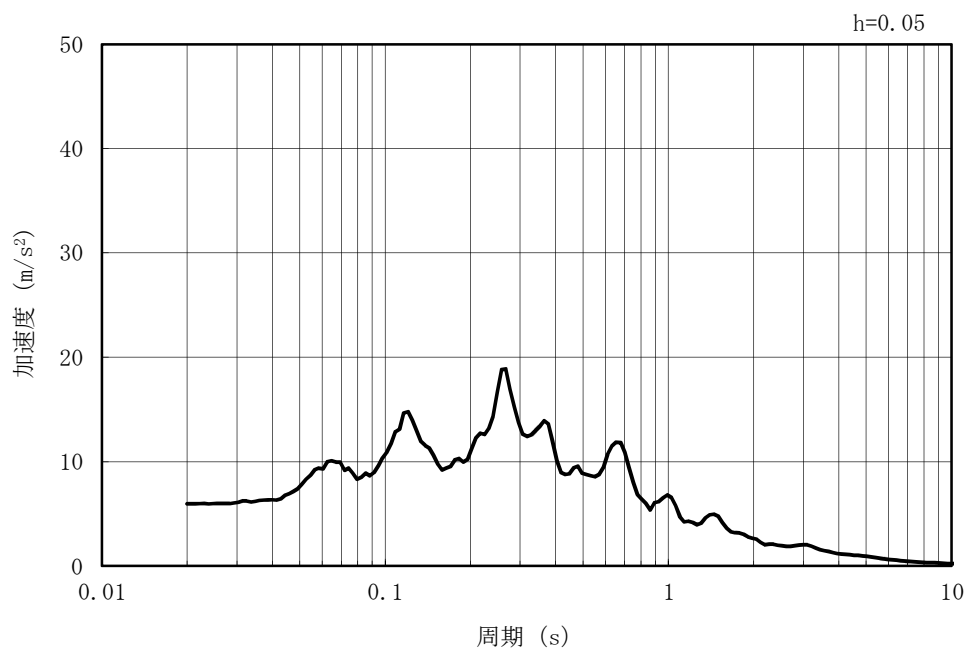


図 5.3-5 入力地震動算定の概念図

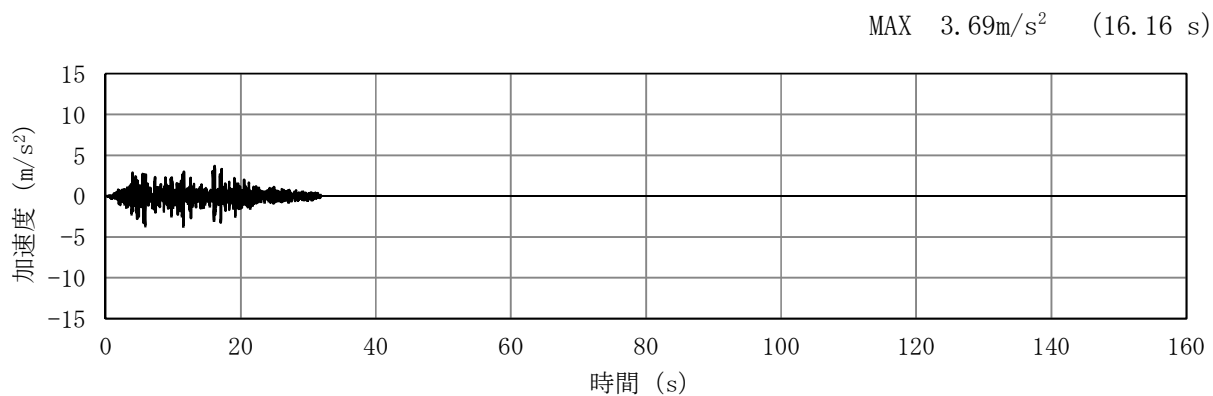


(a) 加速度時刻歴波形

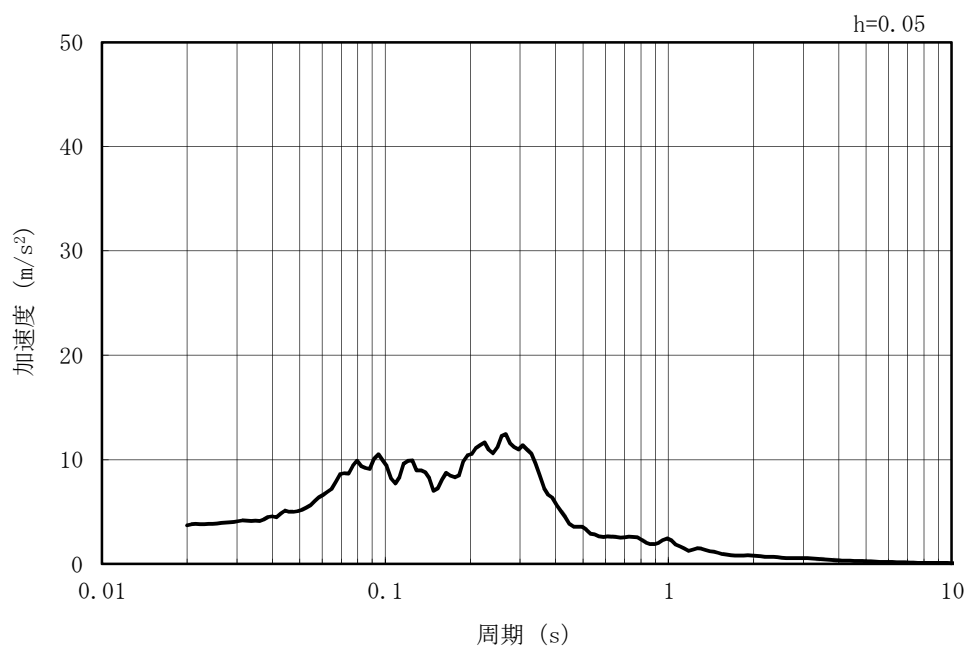


(b) 加速度応答スペクトル

図 5.3-6 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S d -1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 5.3-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : S d -1)

b. 評価対象断面位置

スロッシング解析は、海水貯留堰からの溢水量を評価することが目的なので、海水貯留堰設置位置の地層構成に着目し、評価対象断面位置を選定した。

海水貯留堰は、取水口前面の海中に設置する鋼管矢板を連結した構造物であり、取水護岸に接続している。鋼管矢板の根入れは8mであり、西山層もしくは古安田層中の粘性土に直接設置される。評価対象断面位置を図5.3-8に、地質断面図を図5.3-9及び図5.3-10に示す。また、それぞれの図に地層構成抽出箇所を併せて示す。

海水貯留堰設置位置では、南北方向では南に向かって岩盤上面標高が低くなり、東西方向では、東に向かって岩盤上面標高が深くなっている。岩盤上面標高が深い方が余震時における海水貯留堰への応答が大きいと考えられるため、評価対象断面としてB-B断面（断面②）を、海水貯留堰の応答の影響度合いを確認するため、評価対象断面としてA-A断面（断面①）をそれぞれ選定した。地層構成に着目した抽出箇所に基づく地震応答解析モデル図を図5.3-11に示す。

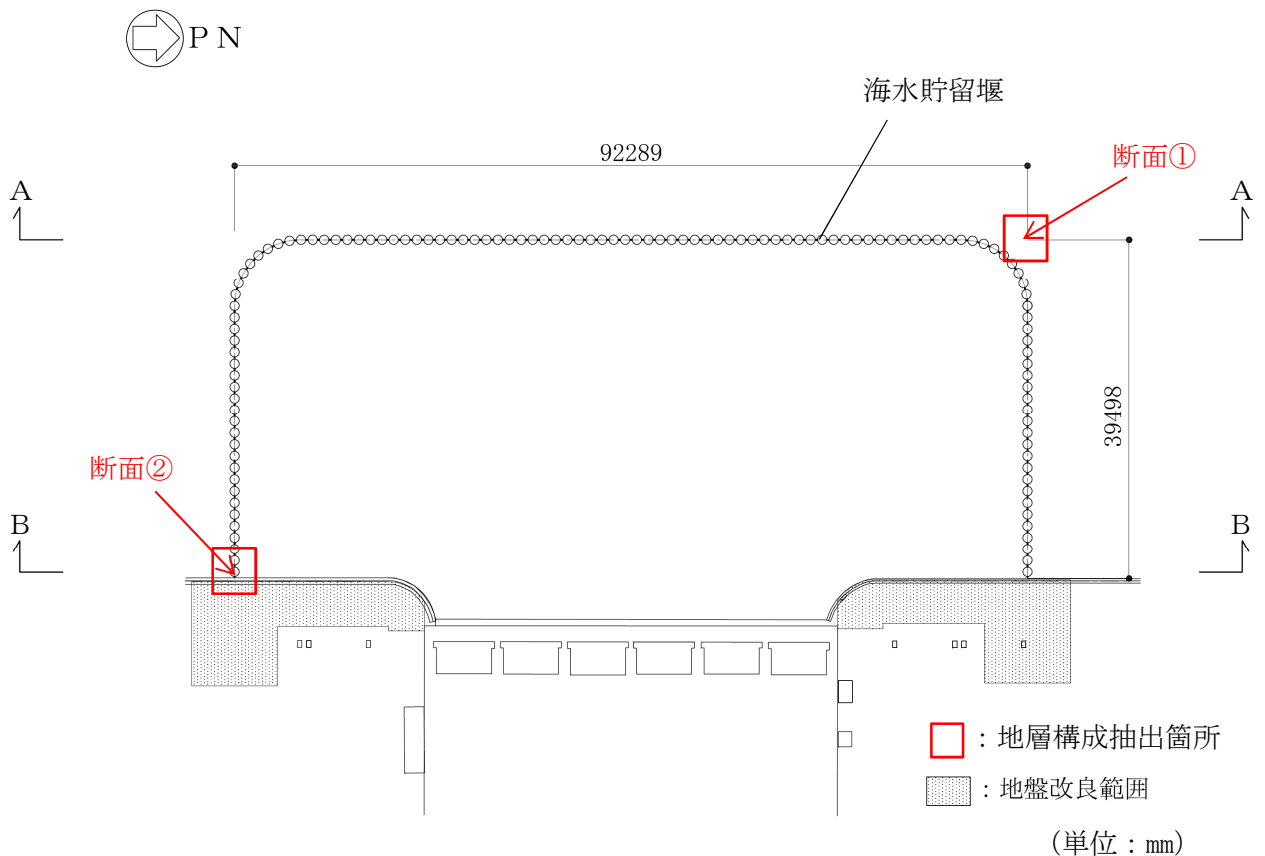


図 5.3-8 評価対象断面位置図

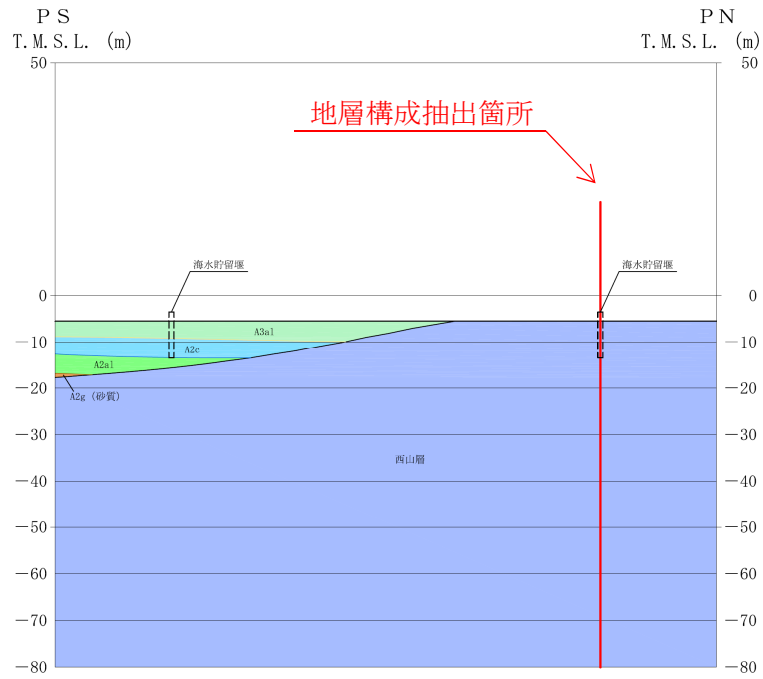


图 5.3-9 地質断面图 (A-A断面图)

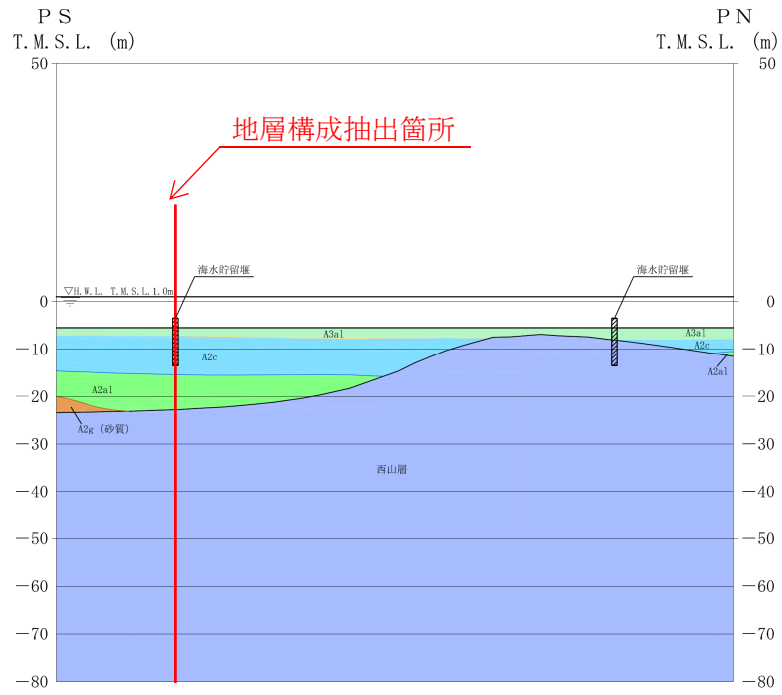
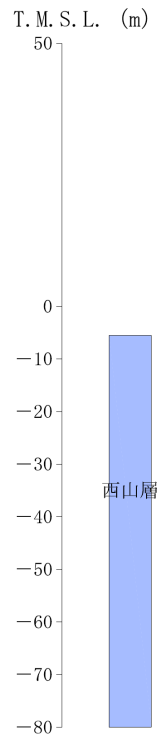
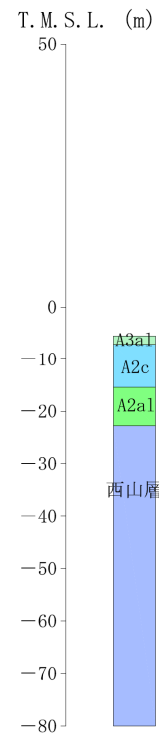


图 5.3-10 地質断面图 (B-B断面图)



(a) 断面①



(b) 断面②

図 5.3-11 地震応答解析モデル図 (地層構成抽出箇所)

c. 地盤物性値

地盤の物性値は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤の解析用物性値一覧を表 5.3-1 及び表 5.3-2 に示す。

表 5.3-1 地盤の解析用物性値一覧（非液状化検討対象層）

物性値		地層区分	古安田層		
			A3a1 層	A2c 層	A2a1 層
物理特性	密度	ρ (g/cm ³)	1.81	1.80	1.88
	間隙率	n	0.52	0.52	0.48
変形特性	動せん断弾性係数	G_{ma} (kN/m ²)	9.57×10^4	1.39×10^5	1.61×10^5
	基準平均有効拘束圧	σ_{ma}' (kN/m ²)	94.0	140.0	170.0
	ポアソン比	ν	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値	h_{max}	0.162	0.110	0.147
強度特性	粘着力	c' (kN/m ²)	29.2	113.0	82.8
	内部摩擦角	ϕ' (°)	34.2	27.9	28.7

表 5.3-2 地盤の解析用物性値一覧（西山層）

物性値		地層区分	西山層	
			T. M. S. L. -33.0m 以浅	T. M. S. L. -33.0m ~ -90.0m
物理特性	密度	ρ (g/cm ³)	1.73	1.69
	間隙率	n	0.56	0.56
変形特性	動せん断弾性係数	G_{ma} (kN/m ²)	4.16×10^5	4.75×10^5
	基準平均有効拘束圧	σ_{ma}' (kN/m ²)	98.0	98.0
	ポアソン比	ν	0.33	0.33
	減衰定数の上限値	h_{max}	0.257	0.257
強度特性	粘着力	c' (kN/m ²)	1370-5.04Z*	1370-5.04Z*
	内部摩擦角	ϕ' (°)	0.0	0.0

注記* : Zは、標高 (m) を示す。

d. 海底面の加速度時刻歴の選定

(a) 海底面の加速度時刻歴の選定の概要

スロッシング解析に用いる海底面の加速度時刻歴は、地盤の物性のばらつきを考慮したものとする。また、「容器構造設計指針・同解説（日本建築学会）」では、スロッシング波高は速度応答スペクトルに比例するとされている。このため、海底面（T.M.S.L. -5.5m）における速度応答スペクトルを比較して、海底面の加速度時刻歴の選定を行う。

(b) 海底面の加速度時刻歴の選定に用いる地盤物性

海底面の加速度時刻歴の選定で考慮する地盤物性は表 5.3-3 に示す 3 ケースとする。なお、海水貯留堰への応答の影響が大きいと考えられる表層部（古安田層）について、地盤物性のばらつきを考慮する。

表 5.3-3 地震動の選定において考慮する地盤物性検討ケース

	①	②	③
解析ケース	基本ケース	地盤物性のばらつきを考慮（+1 σ ）した解析ケース	地盤物性のばらつきを考慮（-1 σ ）した解析ケース
地盤剛性の設定	地盤剛性（平均値）	地盤剛性（+1 σ ）	地盤剛性（-1 σ ）

(c) 水面の1次固有周期の算出

海水貯留堰の長さの異なる4つの断面について、加振方向を考慮して水面の1次固有周期を算出する。算出には「容器構造設計指針・同解説（日本建築学会）¹⁾」に示されている以下の式を用いる。検討に用いた4断面の位置を図5.3-12、1次固有周期算定結果を表5.3-4に示す。算定の結果、海水貯留堰の固有周期はA-A、B-B、C-C、D-Dの各断面について約41秒、29秒、18秒、3秒である。

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$\omega^2 = \sqrt{\frac{5}{2}} \cdot \frac{g}{l} \cdot \tanh\left(\sqrt{\frac{5}{2}} \cdot \frac{h}{l}\right)$$

ここに T : 1次固有周期(s)

ω : 1次固有円振動数(1/s)

g : 重力加速度(m/s²)

l : 水槽の幅の半分(m) (貝代10cm考慮)

h : 水深(m)

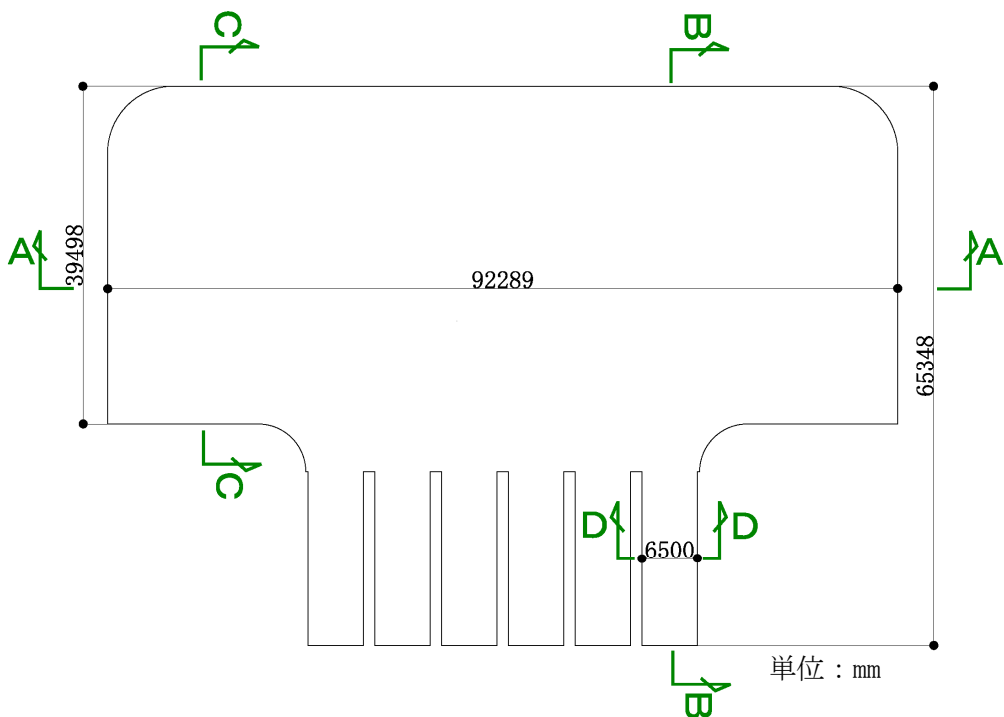


図 5.3-12 水槽形状の考え方

表 5.3-4 1次固有周期算定結果

項目	記号	単位	A-A 断面	B-B 断面	C-C 断面	D-D 断面	備考
水槽の幅	2 l	m	92.089	65.148	39.298	6.300	貝代 10cm 考慮
	l	m	46.045	32.574	19.649	3.150	
貯留堰天端標高		T.M.S.L.m	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	
底面標高		T.M.S.L.m	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	
水深	h	m	2.0	2.0	2.0	2.0	
重力加速度	g	m/s ²	9.80665	9.80665	9.80665	9.80665	
固有円振動数	ω	rad/s	0.152	0.215	0.355	1.938	
固有周期	T	s	41.35	29.27	17.71	3.24	

(d) 海底面の速度応答スペクトル

スロッシング解析モデル下端に入力する海底面の加速度時刻歴を選定するため、別途実施した1次元地震応答解析で得られた海底面 (T.M.S.L. -5.5m) における速度応答スペクトルを比較したものを図5.3-13に示す。なお、このときの減衰定数 h は「JEAG4601-1987 原子力発電所耐震設計技術指針 (日本電気協会)²⁾」に示される液体の揺動の設計用減衰定数に従い、0.5%とした。速度応答スペクトルは、全てのケースにおいて周期0.61秒から0.63秒で最大となり、断面②の③地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース (以下、「断面②- 1σ ケース」という。) で最大となる。また、海水貯留堰の固有周期帯である約41秒, 29秒, 18秒, 3秒に着目すると、いずれの周期帯でも断面②- 1σ ケースが最大ケースであることから、スロッシング解析に用いる海底面の加速度時刻歴は断面②- 1σ ケースによるものとした。

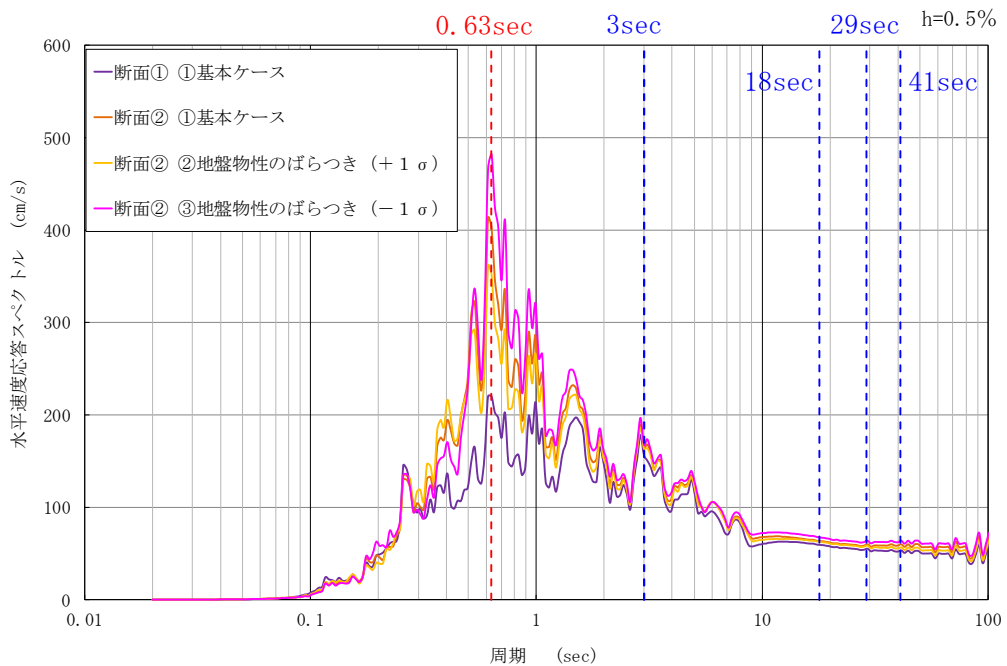


図 5.3-13 速度応答スペクトル (水平方向)

(4) 3次元スロッシング解析による7号機海水貯留堰の溢水量の算定

a. 初期水位

スロッシング解析の初期水位は、海水貯留堰天端高である T.M.S.L. -3.5m と、引波の継続時間中に原子炉補機冷却海水ポンプによる取水が継続された場合の水位 (T.M.S.L. -4.13m) の2ケースを考慮する。原子炉補機冷却海水ポンプによる取水時間は、引波の継続時間の16分間とする。

本解析では、余震後においても貯水量が確保されること、及び余震時に取水可能限界水位を下回らないことを検討する。ここでは検討項目1、検討項目2とする。検討項目1については、海水貯留堰内水位が高い場合に溢水量が大きくなるため、初期水位を T.M.S.L. -3.5m として検討する。一方、検討項目2については、海水貯留堰内水位が低い場合に厳しい条件となるため、初期水位を T.M.S.L. -4.13m として検討する。

なお、16分間原子炉補機冷却海水ポンプによる取水が行われた場合の水位は以下の計算によって求めた。解析に用いる初期水位を表5.3-5に示す。

$$\begin{aligned} 16 \text{ 分間の水位低下量} &= (\text{原子炉補機冷却海水ポンプ取水量} \times 16 \text{ 分}) / \text{有効貯水面積} \\ &= (180\text{m}^3/\text{分} \times 16 \text{ 分}) / 4599\text{m}^2 \\ &= 0.626\text{m} \end{aligned}$$

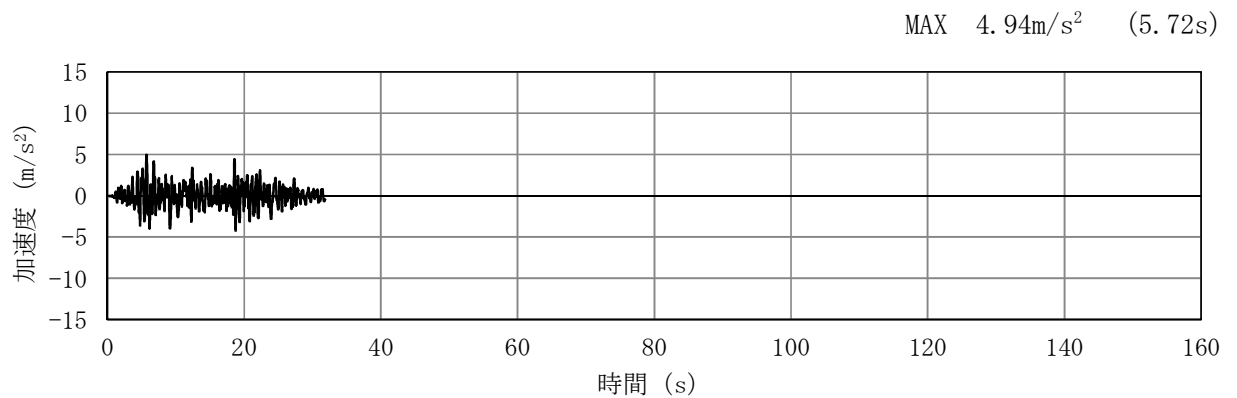
$$\begin{aligned} 16 \text{ 分間原子炉補機冷却海水ポンプによる取水が行われた場合の水位} \\ &= \text{海水貯留堰天端高} - 16 \text{ 分間の水位低下量} \\ &= \text{T.M.S.L.} - 3.5\text{m} - 0.626\text{m} \\ &= \text{T.M.S.L.} - 4.126\text{m} \rightarrow \underline{\text{T.M.S.L.} - 4.13\text{m}} \end{aligned}$$

表 5.3-5 初期水位の設定

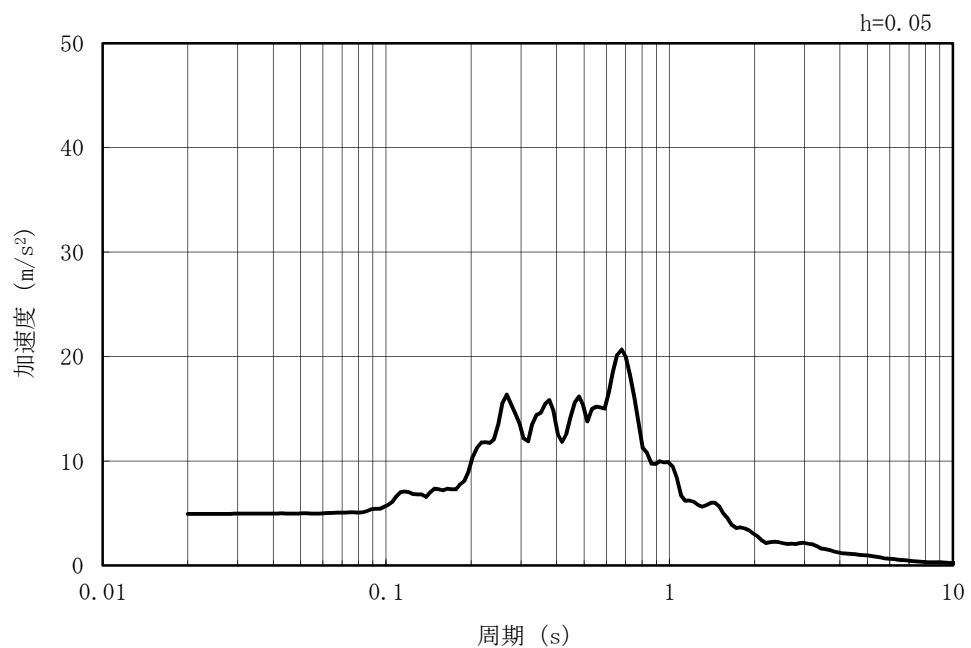
対象検討項目	初期水位	備考
検討項目1：貯水量が確保されることを確認	T.M.S.L. -3.5m	海水貯留堰天端標高
検討項目2：取水可能限界水位を下回らないことを確認	T.M.S.L. -4.13m	16分間原子炉補機冷却海水ポンプによる取水が行われた場合の水位

b. 海底面の加速度時刻歴

スロッシング解析モデル下端（海底面）の加速度時刻歴は「(3) 入力地震動の策定」で示したとおり、断面②-1σケースを選定する。加速度時刻歴及び加速度応答スペクトル（水平方向及び鉛直方向）を図5.3-14及び図5.3-15に示す。余震として用いるS d-1の水平成分は方向を持たないため、検討項目1では護岸直角方向（東西方向）に加振した場合と護岸平行方向（南北方向）に加振した場合の2ケースに対してスロッシング解析を実施する。検討項目2では検討項目1の結果を踏まえて、より最低水位が低くなる護岸直角方向のスロッシング解析を実施する。

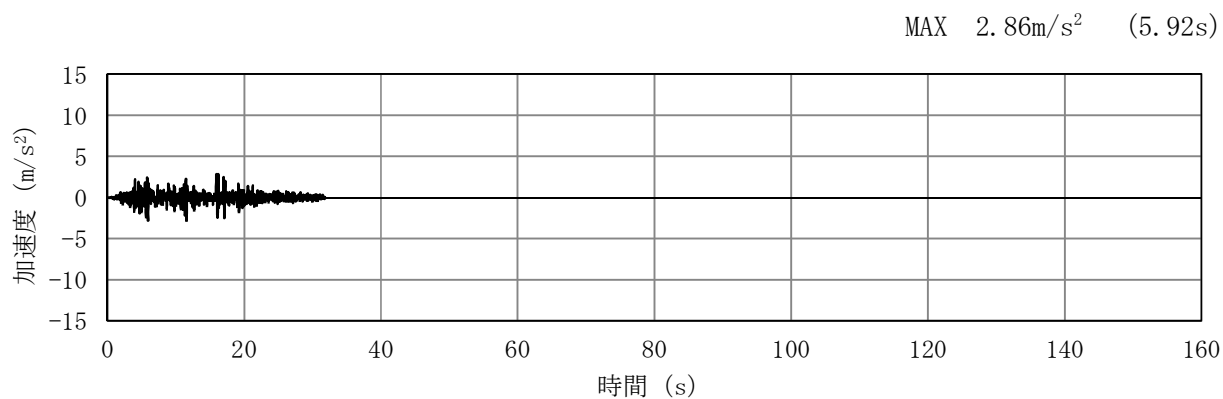


(a) 加速度時刻歴波形

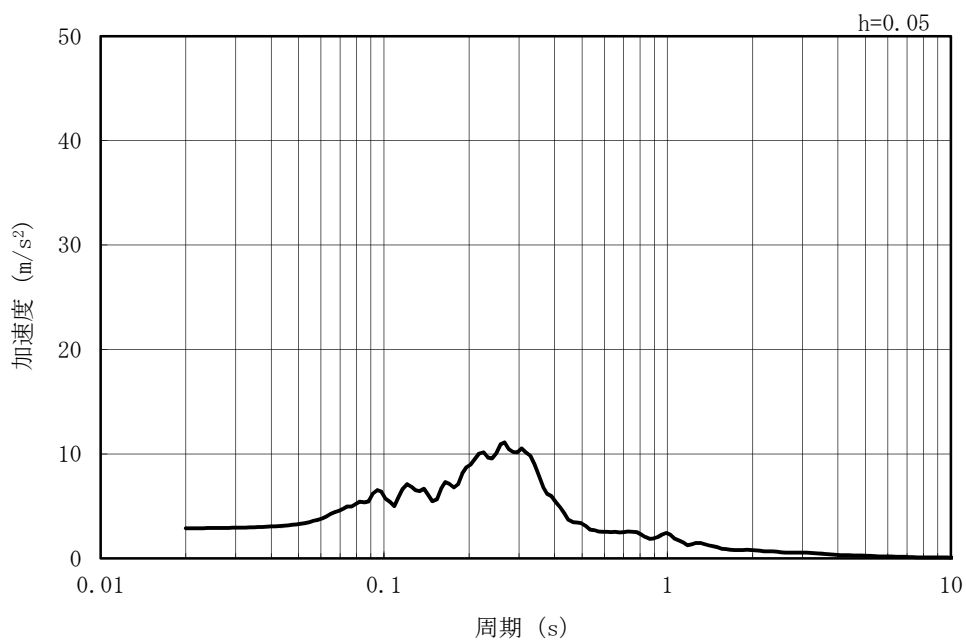


(b) 加速度応答スペクトル

図5.3-14 海底面の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
（水平方向：S d-1 ③地盤物性のばらつき（-1σ）を考慮した解析ケース）



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 5.3-15 海底面の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
 (鉛直方向：S d-1 ③地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

c. 解析条件

海水貯留堰のスロッシングの影響を評価するため、オープンソースの有限体積法 (Finite Volume Method) に基づいた解析コード `OpenFOAM` を用いた 3 次元解析を実施する。

本検討では、VOF 法による 2 相流解析ソルバー `interFOAM` を用いる。計算メッシュ全体に加速度時刻歴を入力することにより、計算領域内部の気相 (空気) 及び液相 (海水) の挙動を解析する。

解析条件を表 5.3-6 に示す。また、スロッシング解析モデルと水位時刻歴波形の抽出位置 (①～⑨) を図 5.3-16 に示す。スロッシング現象は入力地震動の卓越周期と海水貯留堰の内容水の固有周期が一致することによって共振が発生し、内容水が激しく揺れる現象である。「(c) 水面の 1 次固有周期の算出」で示した固有周期の算定式から、水槽の幅が小さいほど固有周期が短くなり入力地震動の卓越周期 0.63 秒に近くなるため、解析モデルは海水貯留堰からスクリーン室までのモデル化とした。

ただし、取水路全体 (取水口～海水ポンプ室) をモデル化した場合に、海水貯留堰で発生するスロッシングの影響によって、原子炉補機冷却海水ポンプ位置の水位が取水限界水位を下回る可能性も考慮し、別途取水路全体をモデル化した管路解析モデルを用いて管路内水位変動解析を実施し、原子炉補機冷却海水ポンプ位置の応答水位を確認することにより、モデル化範囲の妥当性を確認する。(参考資料 2) 「管路内水位応答解析による原子炉補機冷却海水ポンプ位置の水位の算定」に示す。

表 5.3-6 解析条件

モデル化範囲	<ul style="list-style-type: none"> ● 海水貯留堰からスクリーン室まで
境界条件	<ul style="list-style-type: none"> ● 上部は開放とし、他は壁による境界（ノンスリップ）を設定。
溢水量	<ul style="list-style-type: none"> ● スロッシングにより海水貯留堰外側に溢れ出た海水の体積を溢水量として計上する。
初期水位	<ul style="list-style-type: none"> ● 検討項目 1 : T. M. S. L. -3.5m ● 検討項目 2 : T. M. S. L. -4.13m
入力地震波	<ul style="list-style-type: none"> ● 「(3) 入力地震動の策定」で示した、余震による海底面の加速度時刻歴波形を入力地震波とする。
計算時間	<ul style="list-style-type: none"> ● 20 分間 (1200 秒間) (検討項目 1) ● 3 分間 (180 秒間) (検討項目 2)
解析コード	<ul style="list-style-type: none"> ● OpenFOAM 3.0.1 ● オープンソースの流体解析ソフトウェアであり、実験結果等との比較を行い、スロッシング現象を精度よく計算できることが確認されている。
海水の物性値	<ul style="list-style-type: none"> ● 動粘性係数 $1.05 \times 10^{-6} [\text{m}^2/\text{s}]$ ● 密度 $1024 [\text{kg}/\text{m}^3]$ <p>鈴木ら(1980)³⁾に基づき設定。</p>
水位抽出位置	<ul style="list-style-type: none"> ● 海水貯留堰天端を超える様子を参考として確認するために、海水貯留堰北端、東端及び西端を代表点として①～③の 3 点（各壁の中央）を水位抽出位置とする。（検討項目 1） ● スクリーン室奥での水位変動を確認するために、スクリーン室奥の④～⑨の 6 点を水位抽出位置とする。（検討項目 2）
その他	<ul style="list-style-type: none"> ● スクリーンなどの機器については、溢水量を保守的に考慮するためにモデル化しない。 ● 格子サイズは $25\text{cm} \times 25\text{cm} \times 25\text{cm}$ を基本とする。 ● 海水貯留堰鋼管矢板はモデル簡略化のため海水貯留堰内側の壁面形状を直線（隅角部は曲線）としてモデル化する。

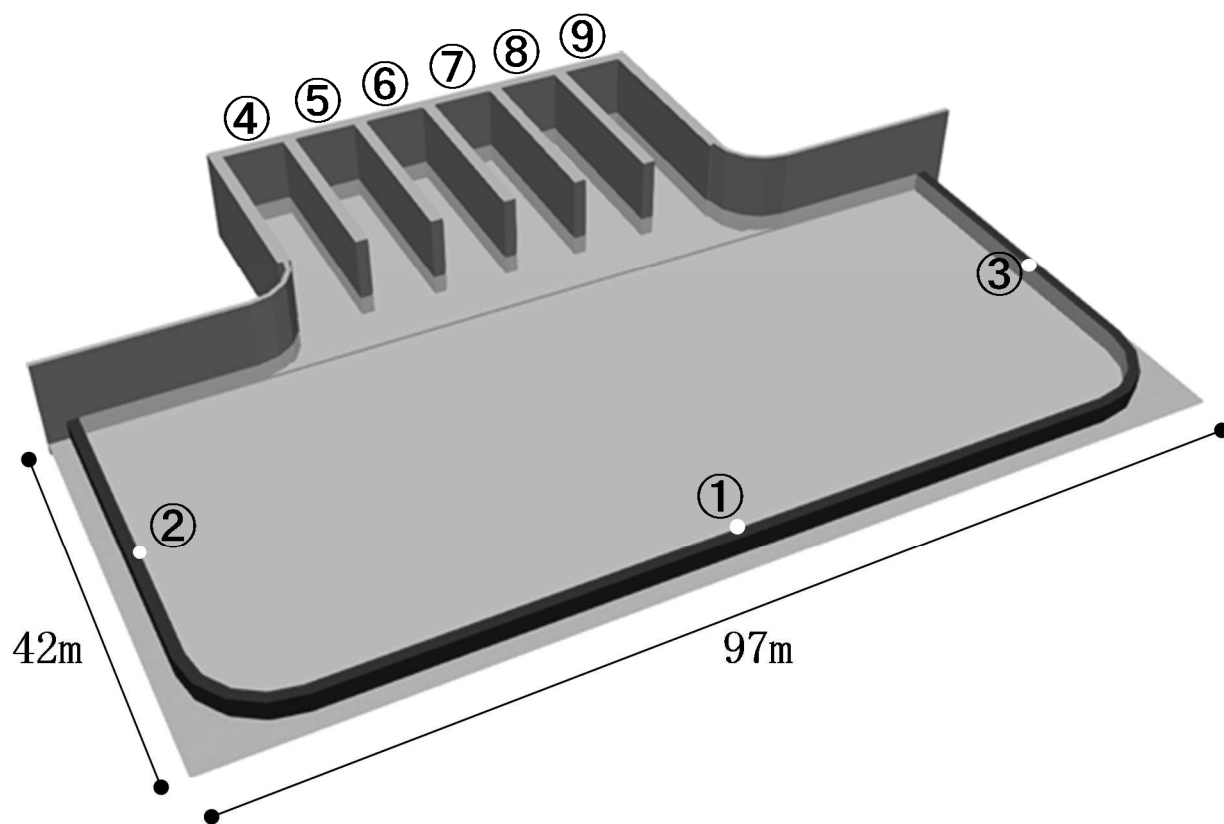


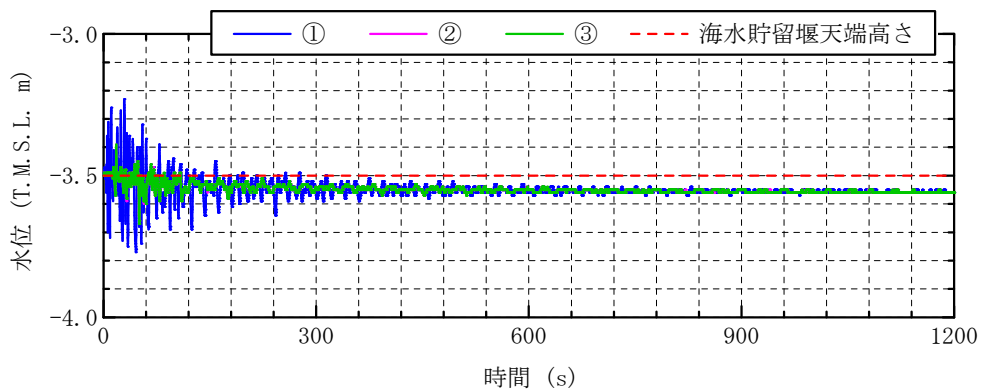
図 5.3-16 スロッシング解析モデル(OpenFOAM) (①～⑨は水位抽出位置)

d. 解析結果

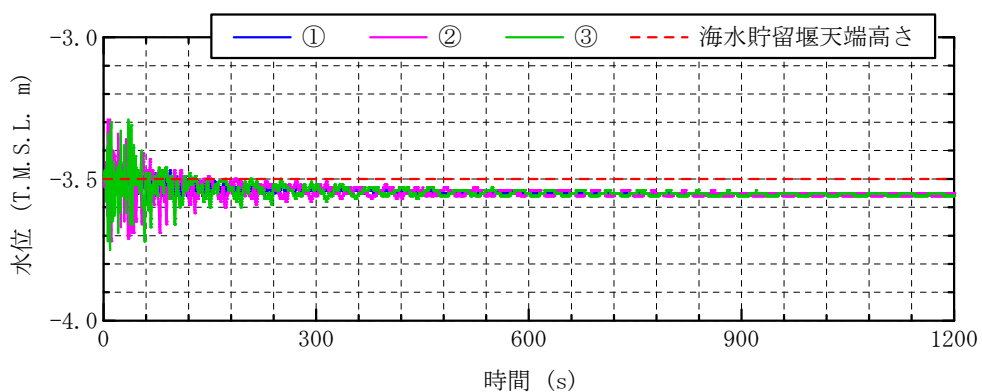
(a) 検討項目 1

海水貯留堰の水位抽出位置 (①～③) におけるスロッシング時の水位時刻歴を図 5.3-17, 溢水量の時間変化を図 5.3-18, スロッシングによる 20 分間の溢水量を表 5.3-7 に示す。溢水量はいずれの加振方向についても単調に増加しており, 20 分間の溢水量は護岸直角方向では 351m^3 , 護岸平行方向では 338m^3 である。また, 水位抽出位置で最高水位となる時間の水位分布を図 5.3-19 に示す。なお, 水平加振方向: 護岸直角では水位抽出位置①で最高水位 T. M. S. L. -3.23m , 水平加振方向: 護岸平行では水位抽出位置③で最高水位 T. M. S. L. -3.29m である。

また, 水平 2 方向同時加振によるスロッシングの影響評価については, (参考資料 3) 「水平 2 方向同時加振による影響評価」に示す。

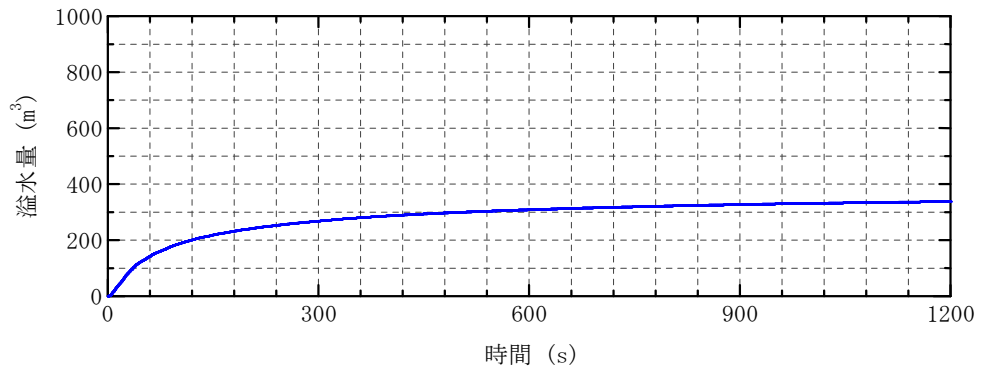


(a) 水平加振方向: 護岸直角

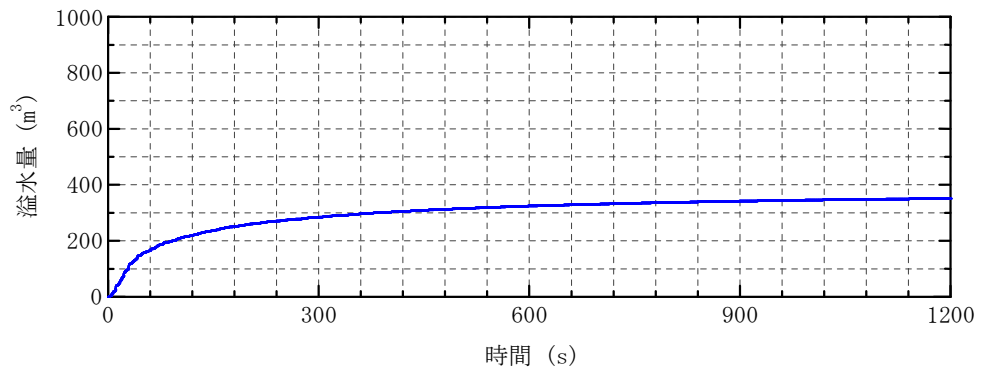


(b) 水平加振方向: 護岸平行

図 5.3-17 海水貯留堰位置におけるスロッシング時の水位時刻歴



(a) 水平加振方向：護岸直角

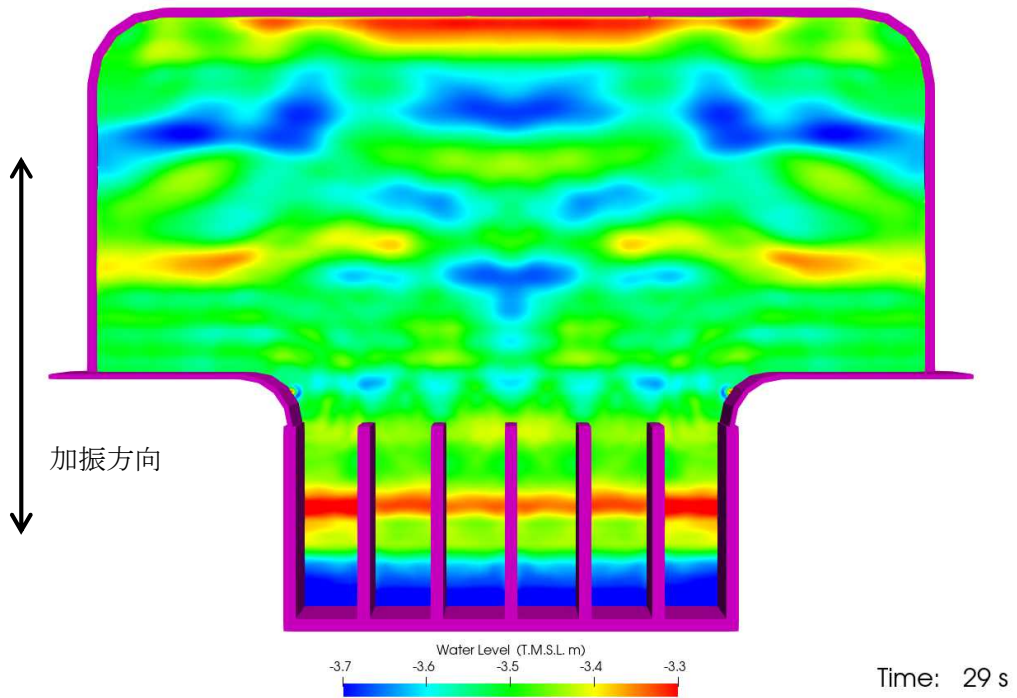


(b) 水平加振方向：護岸平行

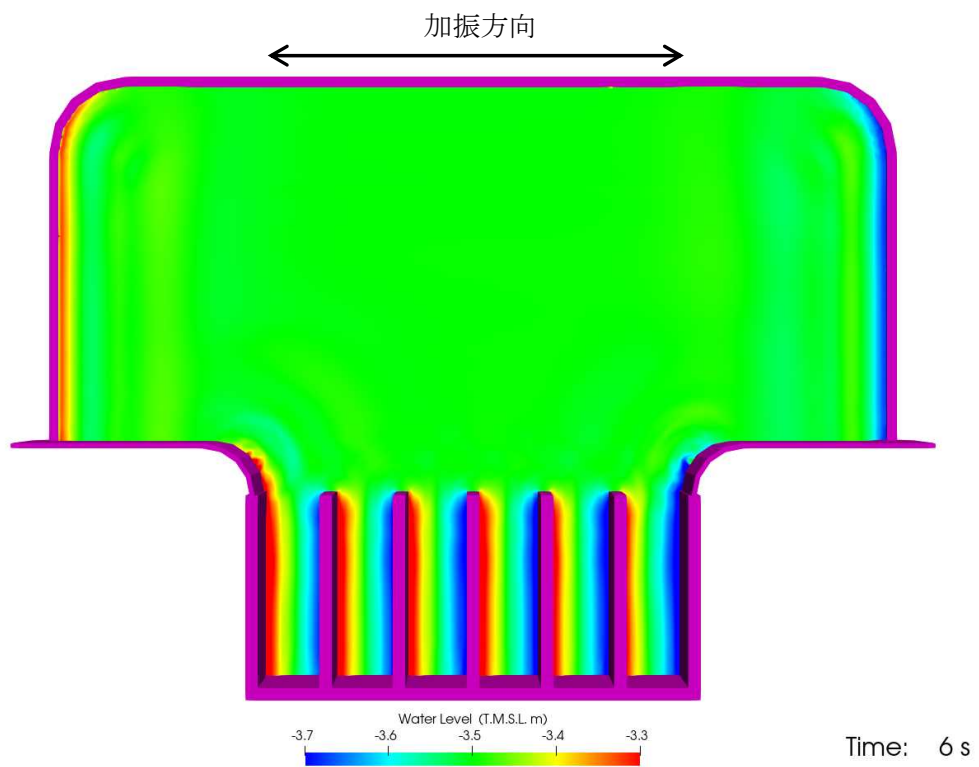
図 5.3-18 スロッシングによる溢水量の時間変化

表 5.3-7 スロッシングによる 20 分間の溢水量

加振方向	溢水量
(a) 護岸直角方向に加振	351m ³
(b) 護岸平行方向に加振	338m ³



(a) 水平加振方向：護岸直角（29 秒時）

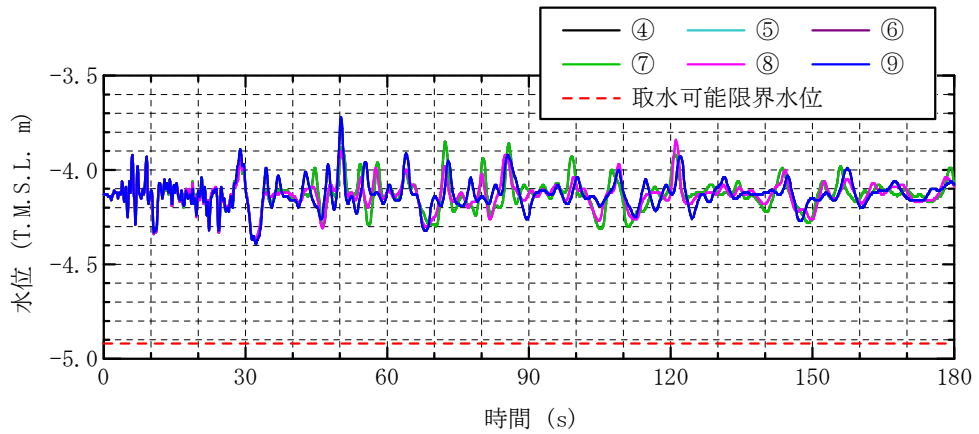


(b) 水平加振方向：護岸平行（6 秒時）

図 5.3-19 スロッシング時の水位分布

(b) 検討項目 2

スクリーン室奥の水位抽出位置（④～⑨）におけるスロッシング時の水位時刻歴を図 5.3-20、スロッシング時の最低水位を表 5.3-8 に示す。なおスロッシング解析時間は、検討項目 1 の結果を踏まえて水位の振れ幅が大きい 180 秒間とした。なお、検討項目 2 では初期水位を低く設定しているためスロッシングによる溢水は生じていない。



水平加振方向：護岸直角

図 5.3-20 スクリーン室奥における水位時刻歴波形

表 5.3-8 スロッシング時の最低水位

評価位置	最低水位 (T. M. S. L. m)
④	-4.39
⑤	-4.37
⑥	-4.38
⑦	-4.38
⑧	-4.37
⑨	-4.39

e. 評価結果

(a) 検討項目 1

スロッシングによる 20 分間の溢水量は 351m^3 であり、スロッシングによる溢水を考慮した原子炉補機冷却海水ポンプの運転継続可能時間は約 42 分となる。よって、スロッシングによる溢水を考慮しても、海水貯留堰外側の海水位が海水貯留堰天端を下回る時間の約 16 分に対して十分な貯水量が確保されていることを確認した。

スロッシングによる 20 分間の溢水量 = 351m^3

溢水を考慮した原子炉補機冷却海水ポンプの運転継続可能時間

$$\begin{aligned} &= (\text{有効容量} - \text{溢水量}) \div \text{原子炉補機冷却海水ポンプ取水量} \\ &= (8000\text{m}^3 - 351\text{m}^3) \div 180\text{m}^3/\text{分} \\ &= 42.49 \text{ 分} \rightarrow \underline{42 \text{ 分}} > 16 \text{ 分} \end{aligned}$$

(b) 検討項目 2

スクリーン室奥でのスロッシング時の最低水位は約 T. M. S. L. -4.4m である。よって、スロッシングによる溢水及び水面の揺動を考慮した場合においても、海水貯留堰内水位が原子炉補機冷却海水ポンプの取水可能限界水位 (T. M. S. L. -4.92m) を下回らないことを確認した。

スロッシング時の最低水位 = T. M. S. L. -4.39m

$$\rightarrow \underline{\text{T. M. S. L. -4.4m}} > \text{T. M. S. L. -4.92m}$$

(5) 参考文献

- 1) 「容器構造設計指針・同解説」日本建築学会，2010年
- 2) 「JEAG4601-1987 原子力発電所耐震設計技術指針」日本電気協会 電気技術基準調査委員会，1987年
- 3) 鈴木博・長嶋昭：高圧力下における海水の粘性係数，日本機械学会論文集（B編）46巻408号，pp. 1574-1582，1980

漂流物の堆積による海水貯留堰貯水量への影響について

(1) 概要

本参考資料では、海水貯留堰内に漂流物が堆積する可能性を考慮し、その堆積物により減少する海水貯留堰の貯水量について評価を行った。本評価においては、余震時のスロッシングにより発生する溢水量も加味し、堆積物及びスロッシングによる貯水量の減少分を考慮したとしても、原子炉補機冷却海水ポンプの運転可能時間が引き波の継続時間（海水貯留堰外側の海水位が海水貯留堰天端を下回る時間約 16 分）に対して十分に余裕があることを確認した。

(2) 漂流物の堆積が海水貯留堰の貯水量（有効容量）に与える影響

a. 堆積する漂流物の設定、堆積量の算出

(a) 砂の堆積量の設定について

7号機取水口前面（下降側）における入力津波の時刻歴波形を図 5.3-参 1-1 に示す。ここでは、海水貯留堰外側の海水位が海水貯留堰天端を下回る時間（地震発生 120 分後）における海水貯留堰内の砂の堆積量を砂移動解析により算出した。

「補足 3.1 砂移動による影響確認について」の結果を踏まえ、粒径による違いは7号機取水口前面の砂の堆積厚さに影響を与えないことから、粒径は平均粒径（D50）（基本ケース）とし、防波堤が健全な状態と損傷した状態を考慮して防波堤の有無をモデル化した砂移動解析を実施した。

地震発生 120 分後における7号機海水貯留堰内の砂の堆積量を図 5.3-参 1-2 に示す。この結果より、地震発生 120 分後における7号機海水貯留堰内の砂の堆積量は防波堤の有無に影響されず、350m³程度と評価される。

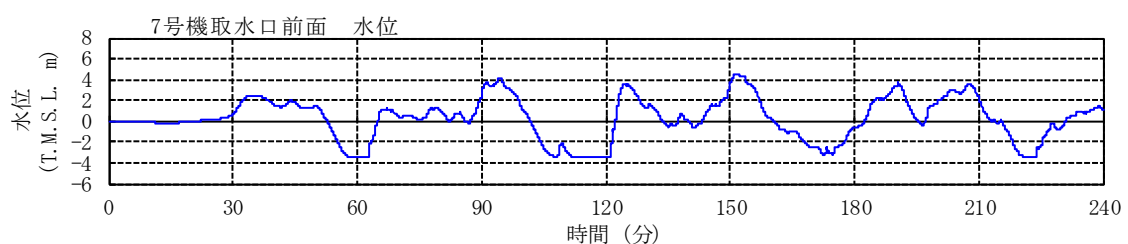


図 5.3-参 1-1 7号機取水口前面（下降側）における入力津波の時刻歴波形

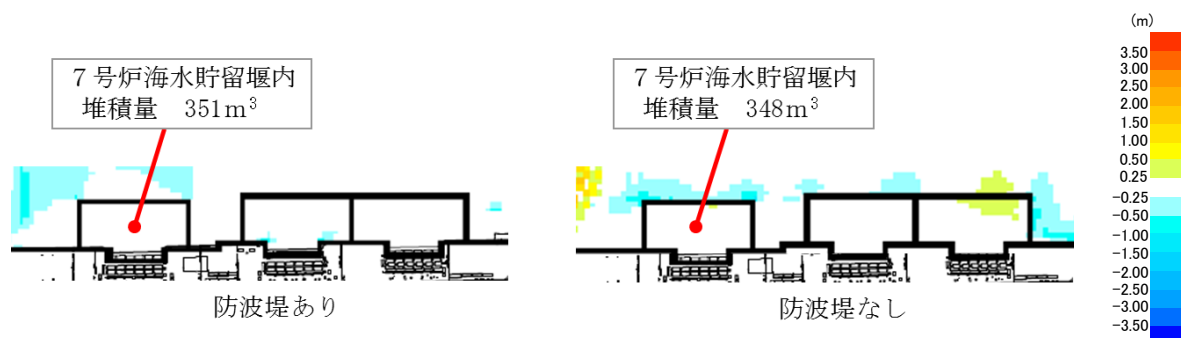


図 5.3-参 1-2 7号機海水貯留堰内の砂の堆積量と堆積浸食分布図

(b) 漂流物の堆積量の設定について

7号機取水口（海水貯留堰位置）への到達の可能性のある施設・設備等については「補足 4.2 漂流物による影響確認について」において、抽出、評価を行っている。具体的には、表 4.2-20 において海水貯留堰へ到達すると整理した「結果【Ⅲ】」及び「結果【B】」となる施設・設備等が7号機取水口に到達し得る漂流物となるが、整理すると表 5.3-参 1-1 に示すとおりとなる。

これらの施設・設備等が海水貯留堰内部へ選択的に集中し、堆積するとは考えにくいですが、保守的に表 5.3-参 1-1 の施設・設備等が海水貯留堰内に全て堆積すると仮定し、漂流物の堆積による有効容量の減少分（堆積量）を算出した。

なお、堆積量の算出パターンは図 5.3-参 1-3 に示すとおりになっており、パターン①及びパターン②については、海水貯留堰内部に堆積した際に有効貯水量から差し引かれる体積部に該当する部分を減少分と想定し、表 4.2-12 の整理で「寸法・容量」を建築面積で整理している施設・設備については、パターン③として示すとおり、建物が破損等により面積が減少することが想定されるが、ここでは保守的にその面積分の海水貯留堰有効容量（施設・設備等の面積×海水貯留堰有効高さ[7号機 1.42m]）が減少分となると仮定して堆積量を算出した。

また、表 5.3-参 1-1 に施設・設備等のうち、「資機材」に分類される「単管パイプ、足場板等」及び「その他一般構築物」に分類される「監視カメラ、拡声器、標識等」の比較的体積の小さい施設・設備等については、基本的に海水貯留堰の下部の有効貯水量の算出対象外の範囲に（T.M.S.L. -5.5m~-4.92m：堆積物分を差し引いた容量で 1373m³）堆積し、有効貯水量に与える影響は軽微であるため、堆積量の算出対象から除外した。加えて、船舶については、海上を航行、停泊しているものを考慮するため、有効貯水量に与える影響は軽微であり、堆積量の算出対象から除外した。図 5.3-参 1-4 に7号機海水貯留堰断面図を示す。

滑動により海水貯留堰内部に堆積する可能性のある施設・設備等については、「補足 4.7 漂流物衝突を考慮した津波防護施設の設計について」内の表 4.7-2 「陸域」に該当する施設・設備等を考慮することとするが、上記漂流による堆積と同様に「資機材」及び「その他一般構築物」については基本的に海水貯留堰の下部の有効貯水量の算出対象外の範囲に堆積し、有効貯水量に与える影響は軽微であるため、堆積量の算出対象から除外した。

(c) 海水貯留堰内部への堆積量について

「(a) 砂の堆積量の設定について」及び「(b) 漂流物の堆積量の設定について」において設定した砂及び、漂流物について海水貯留堰内へ堆積すると想定し、有効貯水量への影響評価を行った。砂については、350m³（海水貯留堰面積：3496m²より 0.1m 堆積すると想定）をベースとして海水貯留堰内に堆積させ、その上に漂流物が堆積するとしている。表 5.3-参 1-1 に漂流物の合計堆積量を、堆積のイメージ図を図 5.3-参 1-2 に示す。

表 5.3-参 1-1 海水貯留堰内部に堆積する可能性のある施設・設備等

種類	設備名称	個数	寸法			堆積量 算出 パターン	有効貯水量 に対する 堆積量 (m^3)
			$S_1 = (\text{①の縦} \times \text{横})$		高さ h(m)		
			縦(m)	横(m)			
船舶	温排水水温調査作業船 (ゴムボート)	—*1					
	港湾設備保守作業船 (ゴムボート)	—*1					
	発電所近傍で航行不能となった船舶	—*1					
防波堤	捨石	—*2					
建屋	6/7号機取水電源室	1	$S_3 (m^2) = \text{建築面積約 } 182m^2$			③	258.44
	5号機取水電源室	1	$S_3 (m^2) = \text{建築面積約 } 84m^2$			③	119.28
	5号機放水口サンプリング建屋	1	$S_3 (m^2) = \text{建築面積約 } 53m^2$			③	75.26
	大湊側少量危険物保管庫	1	$S_3 (m^2) = \text{建築面積約 } 59m^2$			③	83.78
車両	軽自動車	5*5	3.39	1.47	1.64	②	28.91
	バキューム車	5*5	10.00	2.50	3.50	②	377.50
資機材	ユニットハウス①	2	5.44	2.30	2.60	①	35.54
	ユニットハウス②	1	3.60	1.84	2.60	①	9.41
	ユニットハウス③	1	5.44	2.30	2.60	①	17.77
	ユニットハウス④	5	4.63	2.46	2.14	①	80.87
	工具収納棚	1	1.00	1.80	1.70	②	2.20
	洗浄機①	2	1.05	0.60	0.80	②	0.41
	洗浄機②	2	1.05	0.60	0.80	②	0.41
	単管パイプ, 足場板等	—*3					
その他一般構築物	監視カメラ, 拡声器, 標識等	—*3					
	合計堆積量 (m^3)					1089.74*4	

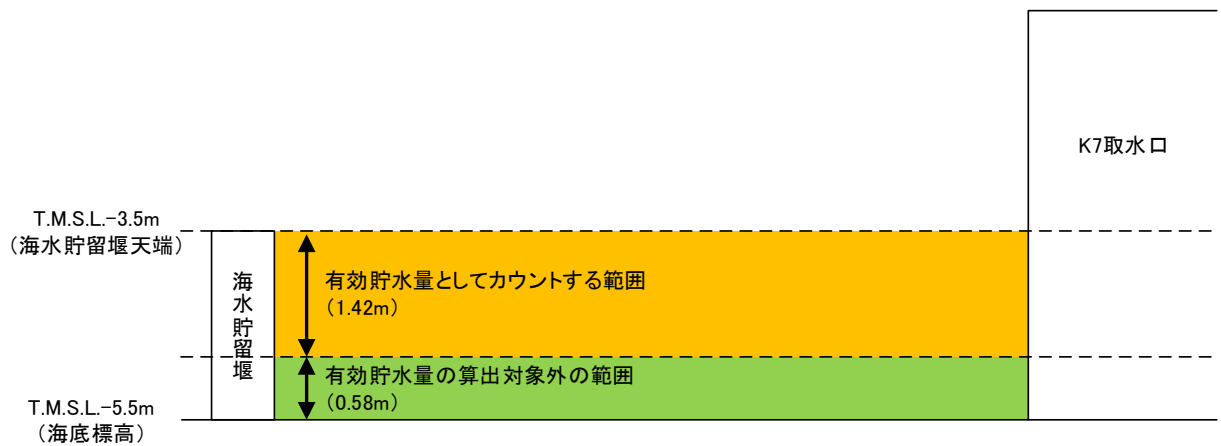
注記*1: 海上を航行, 停泊するものであるため, 堆積量の算出対象外とした。

注記*2: 漂流形態が滑動であり貯留堰内に堆積しないため, 堆積量の算出対象外とした。

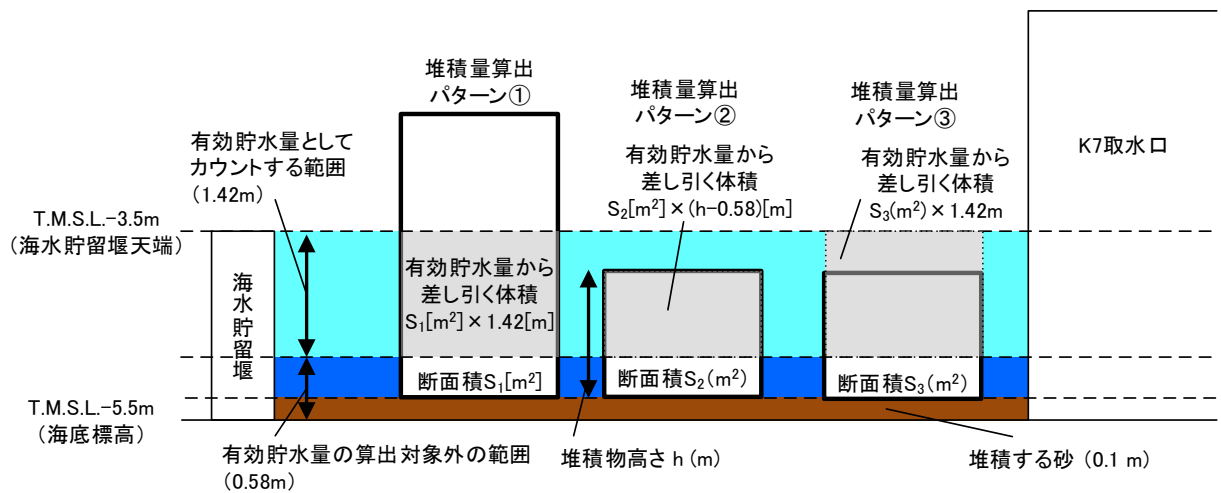
注記*3: 有効貯水量の算出対象外の範囲に堆積すると考えられたため, 堆積量の算出対象外とした。

注記*4: 各項目の堆積量の値を表記上切り上げているため, 表の合計値と異なっている。

注記*5: 軽自動車, バキューム車については保守的に5台分の容積分を堆積量として考慮する。



(1) 海水貯留堰断面



(2) 堆積パターン

図 5.3-参 1-3 堆積量算出パターン

表 5.3-参 1-2 海水貯留堰内の容量について

海水貯留堰有効貯水量	漂流物堆積量	海水貯留堰有効貯水量 (堆積物考慮)	有効貯水量の算出対象外の容量 (堆積物考慮)
m ³	m ³	m ³	m ³
4964	1089.74	3874.26	1373
上図との関連性			
オレンジ部	灰色部	水色部	濃い青部

注記：海水貯留堰面積は 3496m²

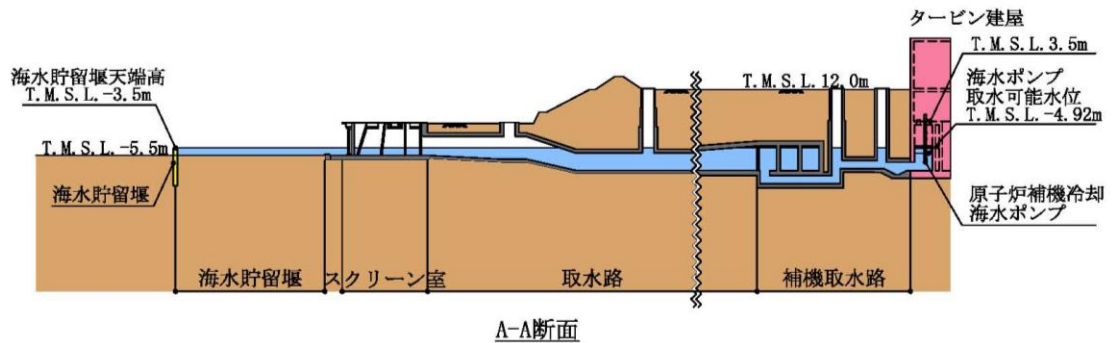
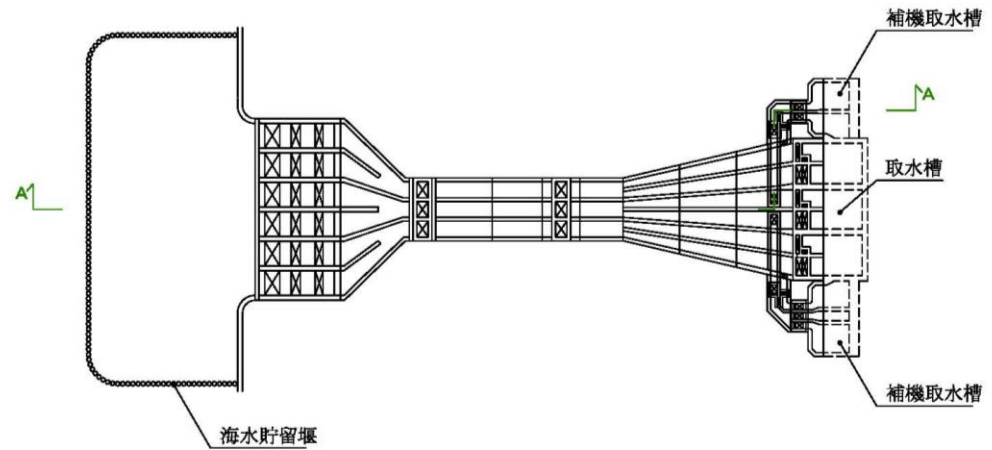


図 5.3-参 1-4 7号機海水貯留堰断面図

- b. 漂流物の堆積量が海水貯留堰貯水量（有効容量）に与える影響の評価結果
- a. で設定した漂流物の堆積量とスロッシングによる溢水量を考慮した場合の原子炉補機冷却海水ポンプの運転可能時間について評価を行った。堆積量及び溢水量を考慮した場合でも原子炉補機冷却海水ポンプの運転継続可能時間は約 36 分となる。よって、漂流物の堆積及びスロッシングによる溢水を考慮しても、海水貯留堰外側の海水位が海水貯留堰天端を下回る時間の約 16 分に対して十分な貯留量が確保されていることを確認した。

$$\begin{aligned} \text{全貯水量（有効容量）} *1 &= 8000\text{m}^3 \\ \text{スロッシングによる溢水量} &= 351\text{m}^3 \\ \text{漂流物の堆積量} &= 1089.74\text{m}^3 \rightarrow 1090\text{m}^3 \end{aligned}$$

注記*1：海水貯留堰，スクリーン室，取水路，補機取水路の有効貯水量の合計容量

$$\begin{aligned} &\text{堆積及び溢水を考慮した原子炉補機冷却海水ポンプの運転継続可能時間} \\ &= (\text{有効容量} - \text{堆積量} - \text{溢水量}) \div \text{原子炉補機冷却海水ポンプ取水量} \\ &= (8000\text{m}^3 - 1090\text{m}^3 - 351\text{m}^3) \div 180\text{m}^3/\text{分} \\ &= 36.43 \text{分} \rightarrow 36 \text{分} > 16 \text{分} \\ &(\text{容量換算での比較}) : (6559\text{m}^3) > (2880\text{m}^3) \end{aligned}$$

管路内水位応答解析による原子炉補機冷却海水ポンプ位置の水位の算定

1. 概要

海水貯留堰で発生するスロッシングによる水面揺動が，取水路内を伝搬して原子炉補機冷却海水ポンプ位置の水位に与える影響を確認することを目的として，取水路全体の管路解析モデルを用いた管路内水位応答解析を実施した。評価にあたっては，海水貯留堰で発生するスロッシングの影響によって，原子炉補機冷却海水ポンプ位置の水位がスロッシング継続時に設計取水可能水位（T.M.S.L. -4.92m）を下回っていないことを確認する。

また，本解析によって計算される原子炉補機冷却海水ポンプ位置の最低水位が，本編で実施したスロッシング解析結果から推定する同位置の最低水位（海水貯留堰の最低水位と同じとみなす）を下回らないことを確認することによって，海水貯留堰からスクリーン室までの範囲をモデル化したスロッシング解析モデルによる評価に保守性があることを示す。

2. 基礎方程式

管路内水位応答解析では、非定常の開水路及び管路流れの連続式・運動方程式を用いた。

【開水路】

・運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left(\frac{n^2 |v|v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v|v}{2g} \right) = 0$$

・連続式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

【管路】

・運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left(\frac{n^2 |v|v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v|v}{2g} \right) = 0$$

・連続式

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

ここに、 t : 時間 Q : 流量 v : 流速 x : 管底に沿った座標

A : 流水断面積

H : 圧力水頭+位置水頭 (管路の場合), 位置水頭 (開水路の場合)

z : 管底高 g : 重力加速度

n : マニングの粗度係数 R : 径深

Δx : 管路の流れ方向の長さ f : 局所損失係数

【水槽及び立坑部】

$$A_p \frac{dH_p}{dt} = Q_s$$

ここに A_p : 水槽の平面積 (水位の関数となる)

H_p : 水槽水位

Q_s : 水槽へ流入する流量の総和

t : 時間

3. 解析条件

耐津波設計における管路内水位応答解析では、不確かさの考慮として、表 5.3 参 2-1 に示すとおり 8 ケースのパラメータスタディを実施し、津波水位への影響を確認している。

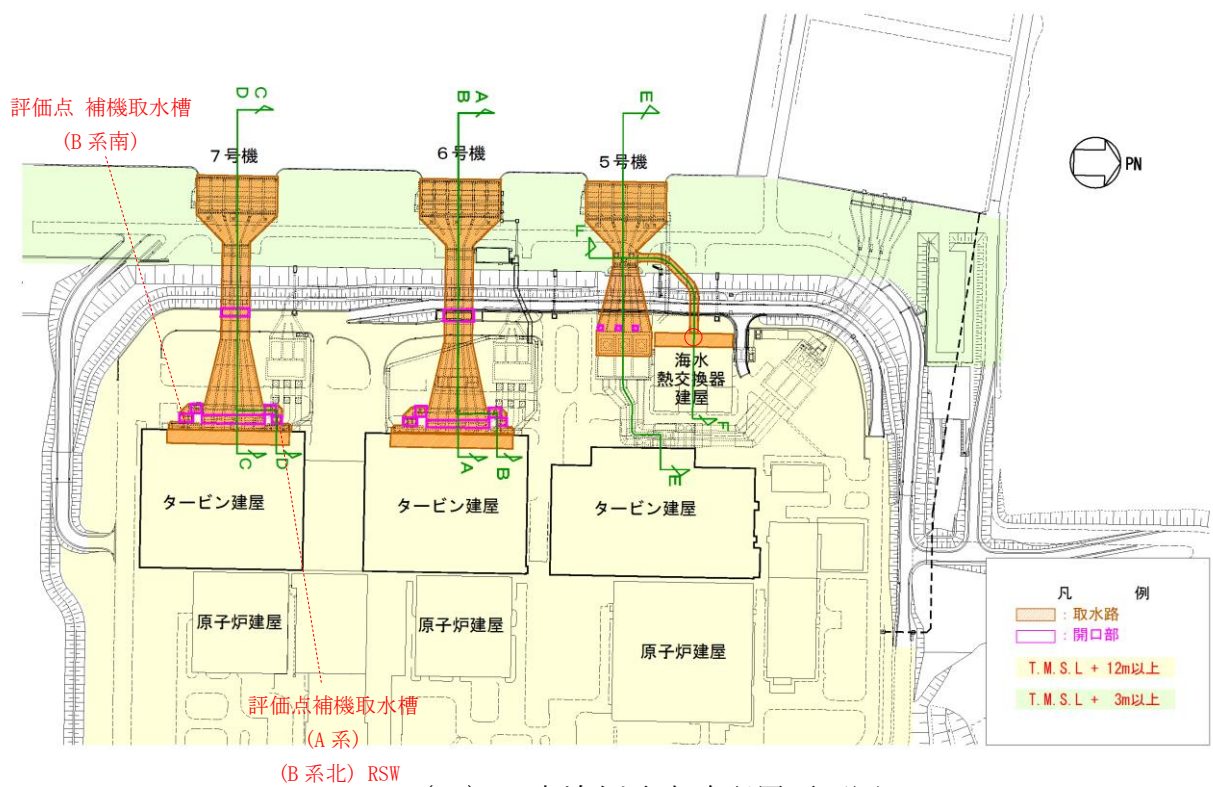
管路解析の解析条件を表 5.3 参 2-2，取水路の構造図を図 5.3 参 2-1，管路解析モデルを図 5.3 参 2-2 に示す。

表 5.3 参 2-1 計算ケース

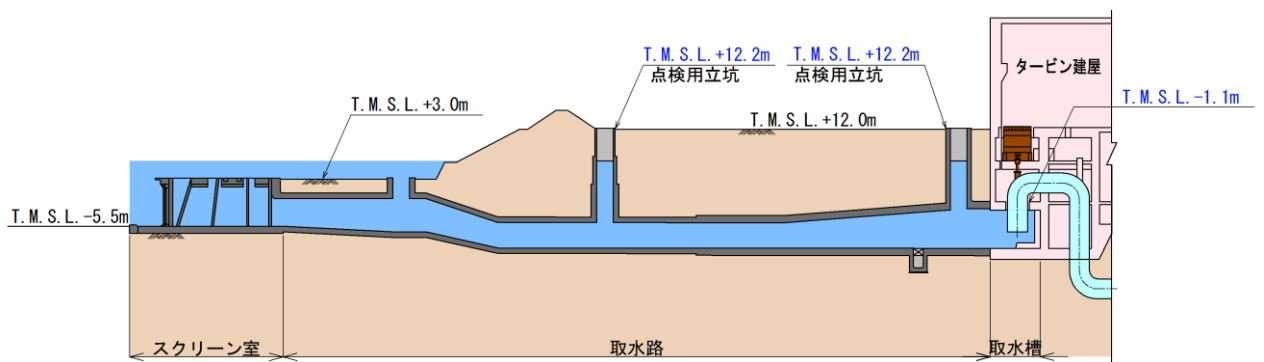
ケース	スクリーン損失の有無	貝付着の有無	原子炉補機冷却海水ポンプ稼働の有無
1	なし	あり (n=0.02)	なし (流量 0 m ³ /s)
2	なし	あり (n=0.02)	あり (流量 3 m ³ /s)
3	あり	あり (n=0.02)	なし (流量 0 m ³ /s)
4	あり	あり (n=0.02)	あり (流量 3 m ³ /s)
5	なし	なし (n=0.015)	なし (流量 0 m ³ /s)
6	なし	なし (n=0.015)	あり (流量 3 m ³ /s)
7	あり	なし (n=0.015)	なし (流量 0 m ³ /s)
8	あり	なし (n=0.015)	あり (流量 3 m ³ /s)

表 5.3 参 2-2 管路解析における解析条件

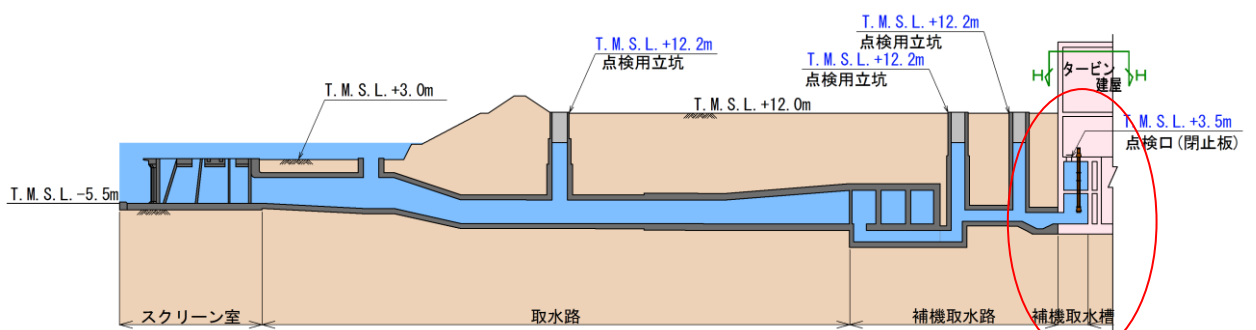
計算時間間隔 Δt	0.005 秒	
取水条件	ポンプ種類	ポンプ稼働条件
	CWP(循環水ポンプ)	0 (m ³ /h)
	RSW(原子炉補機冷却海水ポンプ)	0.5 (m ³ /s/台) × 6 台 = 3 (m ³ /s)
	TSW(タービン補機冷却海水ポンプ)	0 (m ³ /h)
摩擦損失係数 (マンニングの粗度係数)	$n=0.02\text{m}^{-1/3}\cdot\text{s}$ (貝付着あり) $n=0.015\text{m}^{-1/3}\cdot\text{s}$ (貝付着なし)	
貝の付着代	貝代 10cm を考慮	
局所損失係数	電力土木技術協会(1995) : 火力・原子力発電所土木構造物の設計—増補改訂版— 千秋信一(1967) : 発電水力演習, 土木学会(1999) : 水理公式集 [平成 11 年版] による	



(1) 大湊側取水路配置平面図



(2) 7号機 C-C 断面図



(3) 7号機 D-D 断面図

図 5.3 参 2-1 取水路の構造

評価点 補機取水槽
(A系)
(B系北)
(B系南)

評価点 補機取水槽
 (A系)
 (B系北)
 (B系南)

【入力波形】 スロッシング解析結果

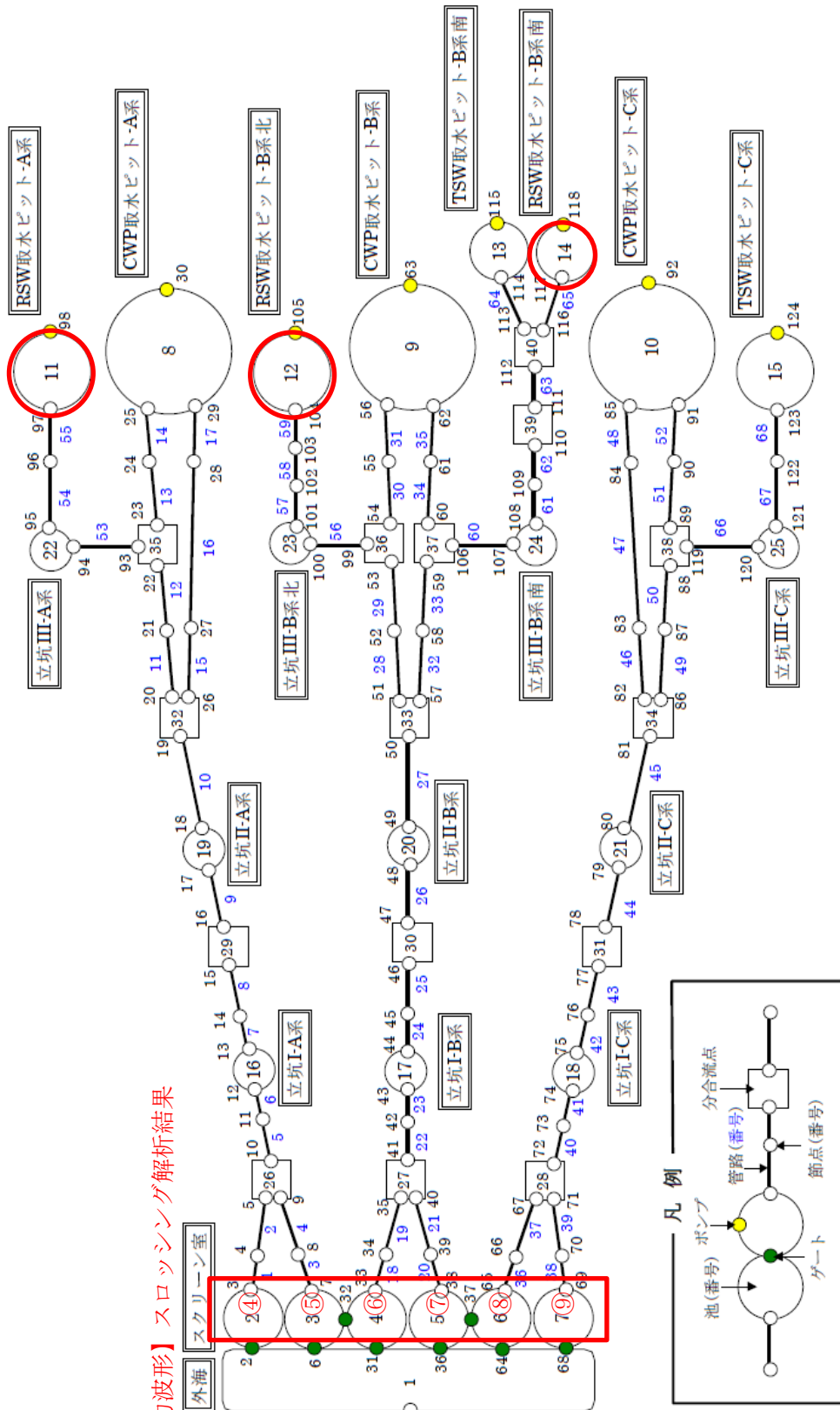
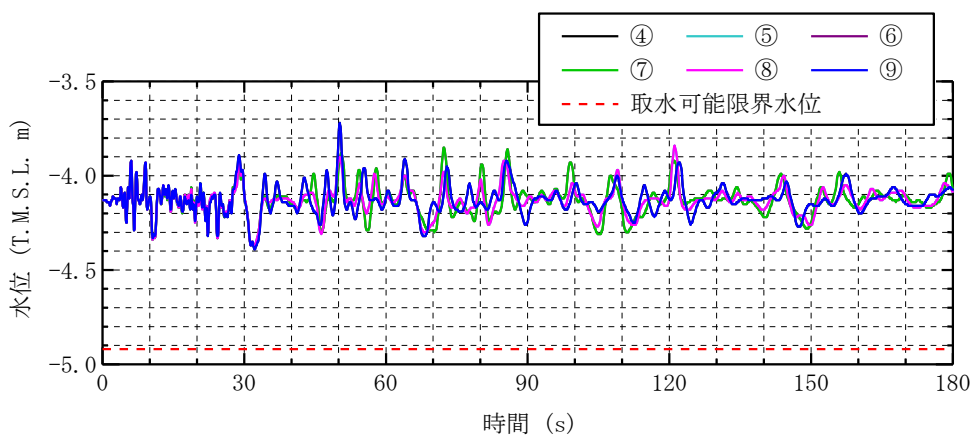


図 5.3 参 2-2 7号機取水路の管路解析モデル

4. 入力波形

管路内水位応答解析の入力波形は、図 5.3 参 2-3 に示すスロッシング解析で得られたスクリーン室位置の水位時刻歴波形を用いる。



水平加振方向：護岸直角

図 5.3 参 2-3 スクリーン室奥における水位時刻歴波形【再掲】

5. 解析結果

管路内水位応答解析で得られた原子炉補機冷却海水ポンプ位置の水位時刻歴波形を図 5.3 参 2-4 から図 5.3 参 2-11, 最低水位を表 5.3 参 2-3 から表 5.3 参 2-10 に示す。なお, ここではスクリーン室位置④から⑨で最低水位が最も低いスクリーン室④及び⑨を比較対象とした。

解析の結果, 原子炉補機冷却海水ポンプ位置の最低水位は, ケース 1 と 5 の RSW_B 系北位置の T. M. S. L. -4.26m であり, いずれのケースについてもスクリーン室位置の最低水位を下回っておらず, 取水可能限界水位 (T. M. S. L. -4.92m) も下回らないことを確認した。なお, スクリーン室位置と原子炉補機冷却海水ポンプ位置で波形の卓越周期が大きく異なるのは, 取水路内の損失や, 固有周期が長いと考えられる取水路内で周期の短い波が伝搬しにくいことが要因であると考えられる。

以上のことから, 海水貯留堰からスクリーン室までをモデル化したスロッシング解析の水位変動に基づいて原子炉補機冷却海水ポンプ位置の最低水位を推定する方法が, 保守性という観点から妥当であることも確認できた。

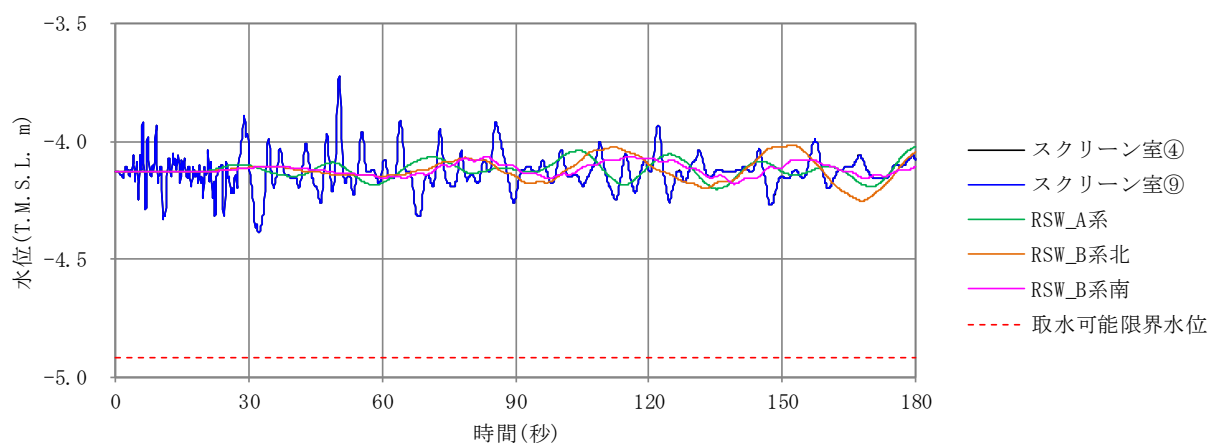


図 5.3 参 2-4 原子炉補機冷却海水ポンプ位置の水位時刻歴波形
 (ケース 1 : スクリーン損失なし, 貝付着あり, 原子炉補機冷却海水ポンプ稼働なし)

表 5.3 参 2-3 最低水位

(ケース 1 : スクリーン損失なし, 貝付着あり, 原子炉補機冷却海水ポンプ稼働なし)

評価位置	最低水位 (T. M. S. L. m)
スクリーン室④	-4.39
スクリーン室⑨	-4.39
RSW_A 系	-4.21
RSW_B 系北	-4.26
RSW_B 系南	-4.11

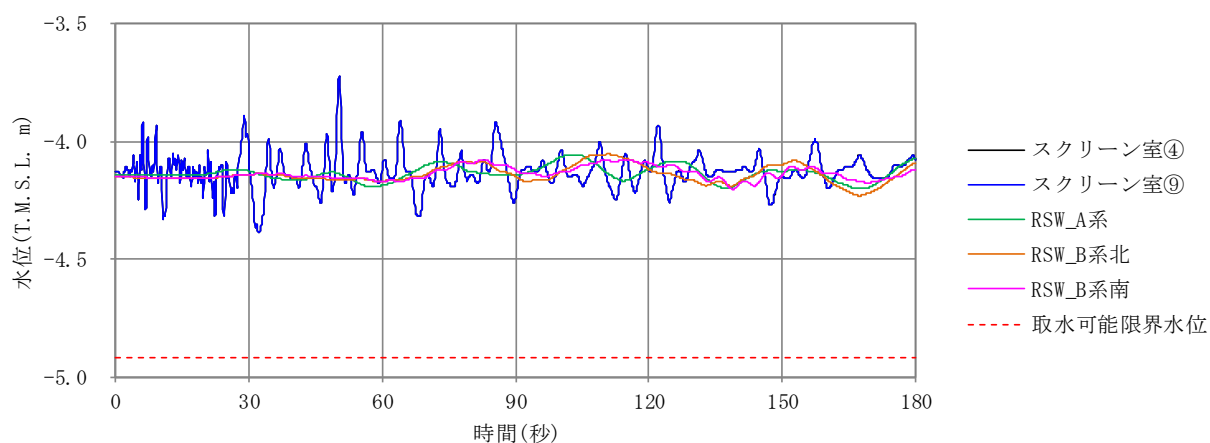


図 5.3 参 2-5 原子炉補機冷却海水ポンプ位置の水位時刻歴波形
 (ケース 2: スクリーン損失なし, 貝付着あり, 原子炉補機冷却海水ポンプ稼働あり)

表 5.3 参 2-4 最低水位

(ケース 2: スクリーン損失なし, 貝付着あり, 原子炉補機冷却海水ポンプ稼働あり)

評価位置	最低水位 (T. M. S. L. m)
スクリーン室④	-4.39
スクリーン室⑨	-4.39
RSW_A 系	-4.21
RSW_B 系北	-4.24
RSW_B 系南	-4.21

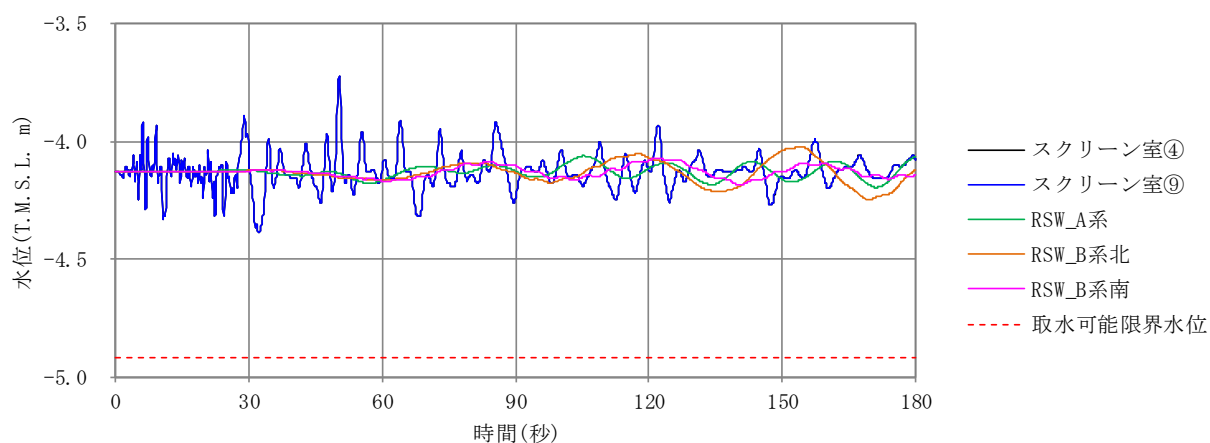


図 5.3 参 2-6 原子炉補機冷却海水ポンプ位置の水位時刻歴波形
 (ケース 3: スクリーン損失あり, 貝付着あり, 原子炉補機冷却海水ポンプ稼働なし)

表 5.3 参 2-5 最低水位

(ケース 3: スクリーン損失あり, 貝付着あり, 原子炉補機冷却海水ポンプ稼働なし)

評価位置	最低水位 (T. M. S. L. m)
スクリーン室④	-4.39
スクリーン室⑨	-4.39
RSW_A 系	-4.20
RSW_B 系北	-4.25
RSW_B 系南	-4.19

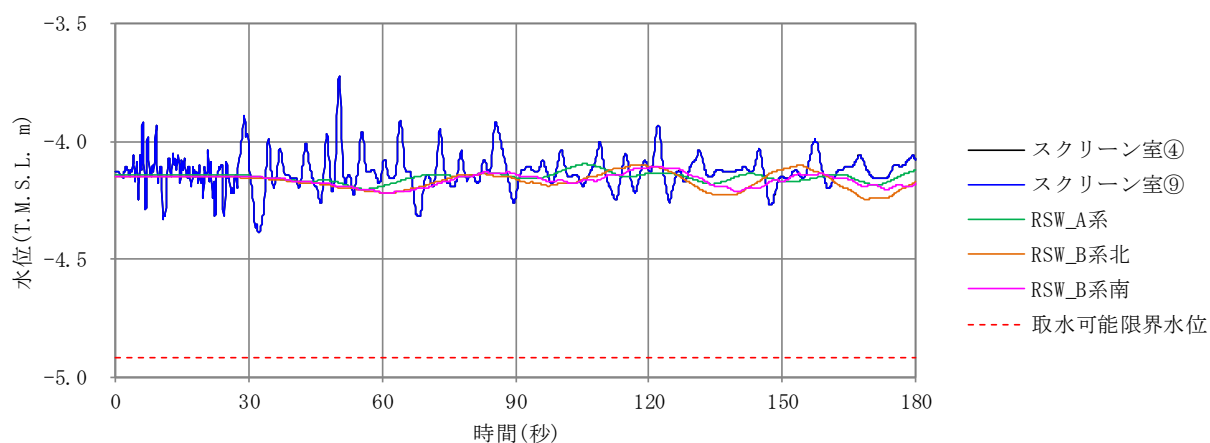


図 5.3 参 2-7 原子炉補機冷却海水ポンプ位置の水位時刻歴波形
 (ケース 4: スクリーン損失あり, 貝付着あり, 原子炉補機冷却海水ポンプ稼働あり)

表 5.3 参 2-6 最低水位

(ケース 4: スクリーン損失あり, 貝付着あり, 原子炉補機冷却海水ポンプ稼働あり)

評価位置	最低水位 (T. M. S. L. m)
スクリーン室④	-4.39
スクリーン室⑨	-4.39
RSW_A 系	-4.21
RSW_B 系北	-4.25
RSW_B 系南	-4.22

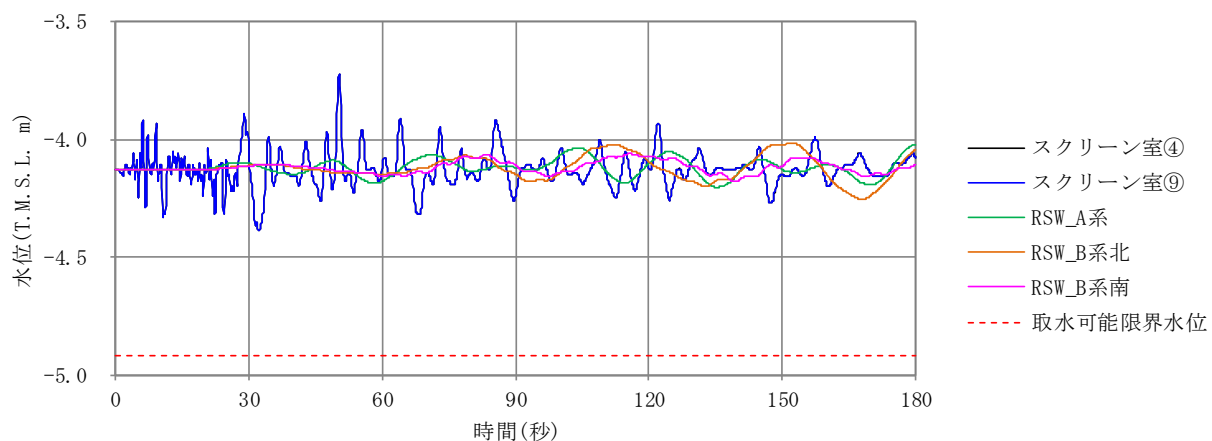


図 5.3 参 2-8 原子炉補機冷却海水ポンプ位置の水位時刻歴波形
 (ケース 5: スクリーン損失なし, 貝付着なし, 原子炉補機冷却海水ポンプ稼働なし)

表 5.3 参 2-7 最低水位

(ケース 5: スクリーン損失なし, 貝付着なし, 原子炉補機冷却海水ポンプ稼働なし)

評価位置	最低水位 (T. M. S. L. m)
スクリーン室④	-4.39
スクリーン室⑨	-4.39
RSW_A 系	-4.21
RSW_B 系北	-4.26
RSW_B 系南	-4.19

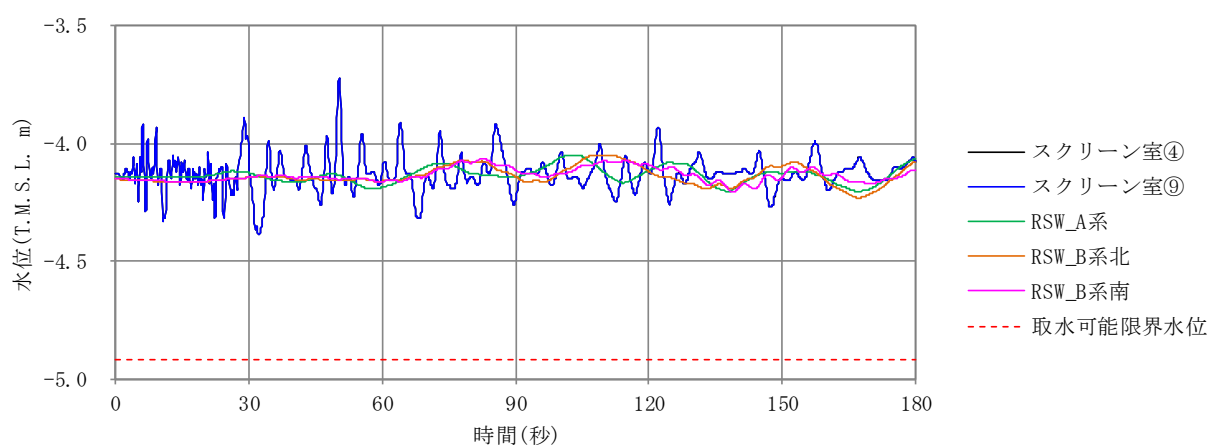


図 5.3 参 2-9 原子炉補機冷却海水ポンプ位置の水位時刻歴波形
 (ケース 6: スクリーン損失なし, 貝付着なし, 原子炉補機冷却海水ポンプ稼働あり)

表 5.3 参 2-8 最低水位

(ケース 6: スクリーン損失なし, 貝付着なし, 原子炉補機冷却海水ポンプ稼働あり)

評価位置	最低水位 (T. M. S. L. m)
スクリーン室④	-4.39
スクリーン室⑨	-4.39
RSW_A 系	-4.21
RSW_B 系北	-4.24
RSW_B 系南	-4.21

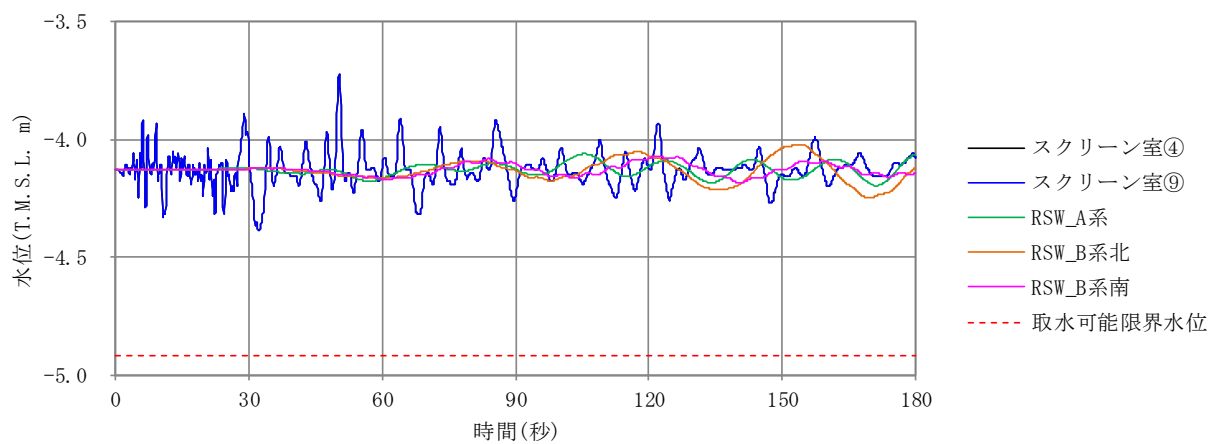


図 5.3 参 2-10 原子炉補機冷却海水ポンプ位置の水位時刻歴波形
 (ケース 7: スクリーン損失あり, 貝付着なし, 原子炉補機冷却海水ポンプ稼働なし)

表 5.3 参 2-9 最低水位

(ケース 7: スクリーン損失あり, 貝付着なし, 原子炉補機冷却海水ポンプ稼働なし)

評価位置	最低水位 (T. M. S. L. m)
スクリーン室④	-4.39
スクリーン室⑨	-4.39
RSW_A 系	-4.20
RSW_B 系北	-4.25
RSW_B 系南	-4.19

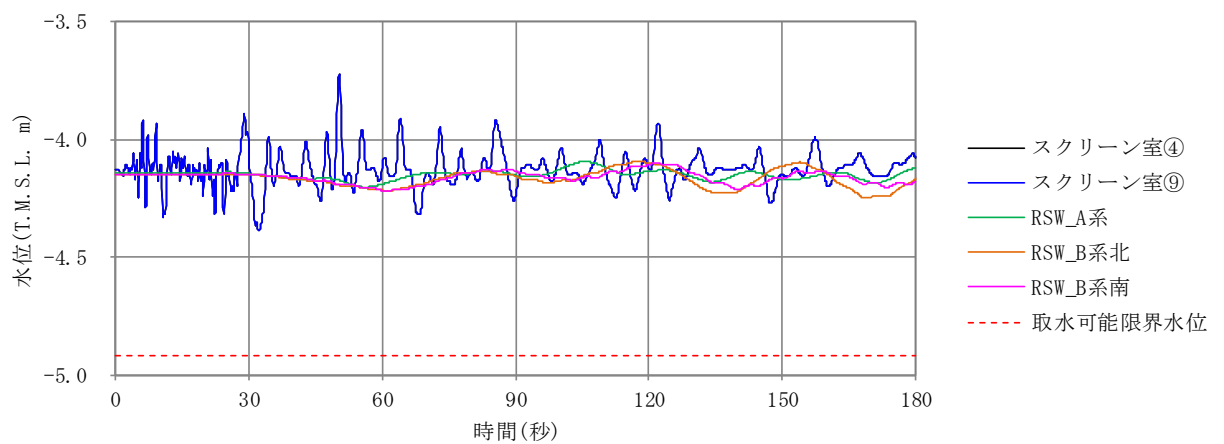


図 5.3 参 2-11 原子炉補機冷却海水ポンプ位置の水位時刻歴波形
 (ケース 8: スクリーン損失あり, 貝付着なし, 原子炉補機冷却海水ポンプ稼働あり)

表 5.3 参 2-10 最低水位

(ケース 8: スクリーン損失あり, 貝付着なし, 原子炉補機冷却海水ポンプ稼働あり)

評価位置	最低水位 (T. M. S. L. m)
スクリーン室④	-4.39
スクリーン室⑨	-4.39
RSW_A 系	-4.21
RSW_B 系北	-4.25
RSW_B 系南	-4.22

水平 2 方向同時加振による影響評価

1. 概要

「5.3 スロッシングによる海水貯留堰貯水量に対する影響評価について」では、水平成分に方向を持たない余震 (S d-1) を入力地震波として、海水貯留堰を護岸直角方向 (東西方向) に加振した場合と護岸平行方向 (南北方向) に加振した場合の 2 ケースのスロッシング解析を実施し、それぞれの結果を整理した。

本参考資料では、スロッシングによる溢水量及び水位低下量を保守的に評価するため、護岸直角方向 (東西方向) と護岸平行方向 (南北方向) の 2 方向に同位相の余震を入力し、水平 2 方向に同時加振した場合の溢水への影響を評価する。

スロッシング解析モデルと水位時刻歴波形の抽出位置 (①~⑨) を図 5.3 参 3-1、解析条件を表 5.3 参 3-1 に示す。

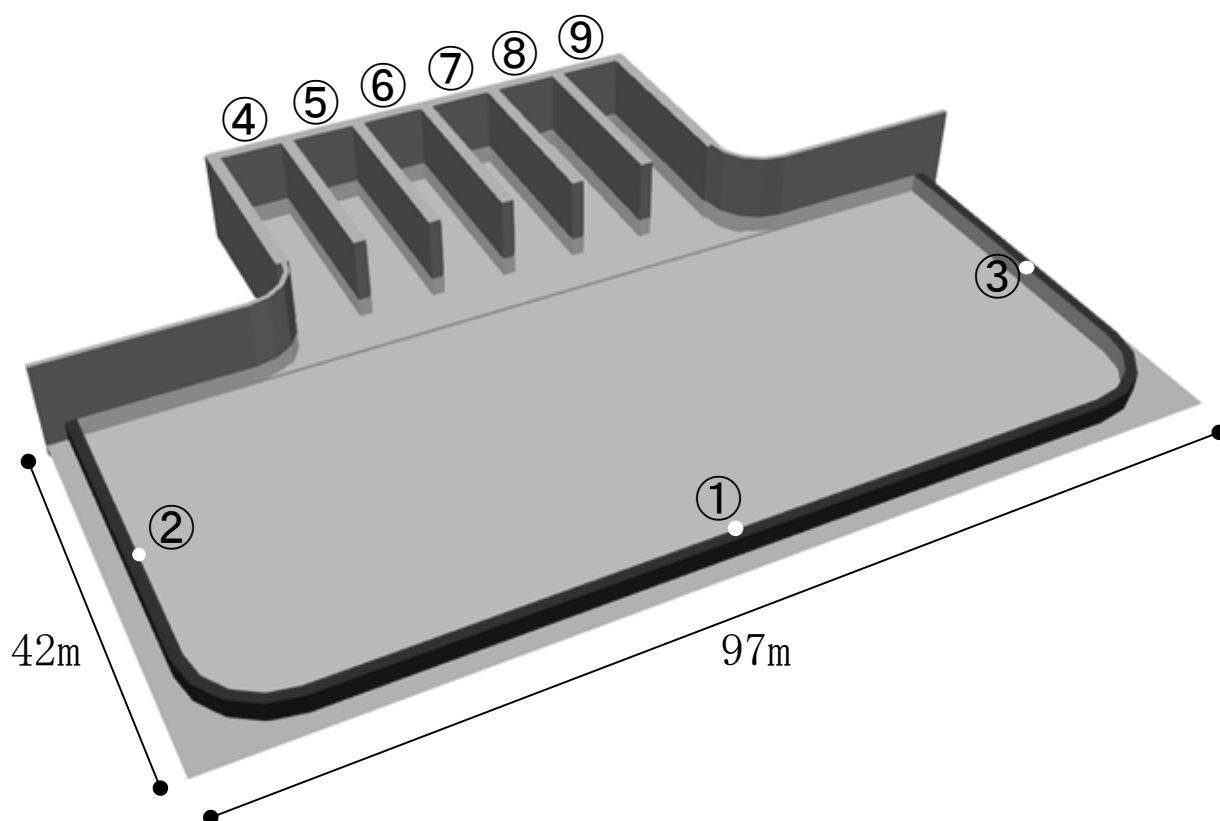


図 5.3 参 3-1 スロッシング解析モデル (OpenFOAM) (①~⑨は水位抽出位置) 【再掲】

表 5.3 参 3-1 解析条件【再掲】

モデル化範囲	<ul style="list-style-type: none"> ● 海水貯留堰からスクリーン室まで
境界条件	<ul style="list-style-type: none"> ● 上部は開放とし，他は壁による境界（ノンスリップ）を設定。
溢水量	<ul style="list-style-type: none"> ● スロッシングにより海水貯留堰外側に溢れ出た海水の体積を溢水量として計上する。
初期水位	<ul style="list-style-type: none"> ● 検討項目 1 : T. M. S. L. -3.5m ● 検討項目 2 : T. M. S. L. -4.13m
入力地震波	<ul style="list-style-type: none"> ● 「(3) 入力地震動の策定」で示した，余震による海底面の加速度時刻歴波形を入力地震波とする。
計算時間	<ul style="list-style-type: none"> ● 20 分間（1200 秒間）（検討項目 1） ● 3 分間（180 秒間）（検討項目 2）
解析コード	<ul style="list-style-type: none"> ● OpenFOAM 3.0.1 ● オープンソースの流体解析ソフトウェアであり，実験結果等との比較を行い，スロッシング現象を精度よく計算できることが確認されている。
海水の物性値	<ul style="list-style-type: none"> ● 動粘性係数 $1.05 \times 10^{-6} [\text{m}^2/\text{s}]$ ● 密度 $1024 [\text{kg}/\text{m}^3]$ <p>鈴木ら(1980)に基づき設定。</p>
水位抽出位置	<ul style="list-style-type: none"> ● 海水貯留堰天端を超える様子を参考として確認するために，海水貯留堰北端，東端及び西端を代表点として①～③の 3 点（各壁の中央）を水位抽出位置とする。（検討項目 1） ● スクリーン室奥での水位変動を確認するために，スクリーン室奥の④～⑨の 6 点を水位抽出位置とする。（検討項目 2）
その他	<ul style="list-style-type: none"> ● スクリーンなどの機器については，溢水量を保守的に考慮するためにモデル化しない。 ● 格子サイズは $25\text{cm} \times 25\text{cm} \times 25\text{cm}$ を基本とする。 ● 海水貯留堰鋼管矢板はモデル簡略化のため海水貯留堰内側の壁面形状を直線（隅角部は曲線）としてモデル化する。

2. 解析結果

2.1 検討項目 1

水平 2 方向同時加振した場合の溢水量を考慮しても、海水貯留堰外側の海水位が海水貯留堰天端高を下回る時間の約 16 分に対して、十分な貯留量が確保されていることを確認する。

水平 2 方向同時加振した場合の海水貯留堰位置におけるスロッシング時の水位時刻歴グラフを図 5.3 参 3-2 に示す。また、スロッシングによる 20 分間の溢水量を図 5.3 参 3-3、表 5.3 参 3-2 に示す。溢水量は単調に増加しており、スロッシングによる 20 分間の溢水量は 369m³ である。また、水位抽出位置で最高水位となる時間の水位分布を図 5.3 参 3-4 に示す。なお、水位抽出位置①で最高水位 T. M. S. L. -3.24m である。

この結果に基づいて海水貯留堰の有効容量からスロッシングによる溢水量を除外したときの原子炉補機冷却海水ポンプの運転継続可能時間は約 42 分となる。したがって、水平 2 方向同時加振によるスロッシングを考慮しても、海水貯留堰外側の海水位が海水貯留堰天端を下回る時間の約 16 分に対して、十分な貯留量が確保されていることが確認できた。

スロッシングによる 20 分間の溢水量 = 369m³ (水平 2 方向同時加振によるスロッシング)

溢水を考慮した非常用海水

$$\begin{aligned} \text{ポンプの運転継続可能時間} &= (\text{有効容量} - \text{溢水量}) \div \text{非常用海水ポンプ取水量} \\ &= (8000\text{m}^3 - 369\text{m}^3) \div 180\text{m}^3/\text{分} \\ &= 42.39 \text{ 分} \rightarrow \underline{42 \text{ 分}} > 16 \text{ 分} \end{aligned}$$

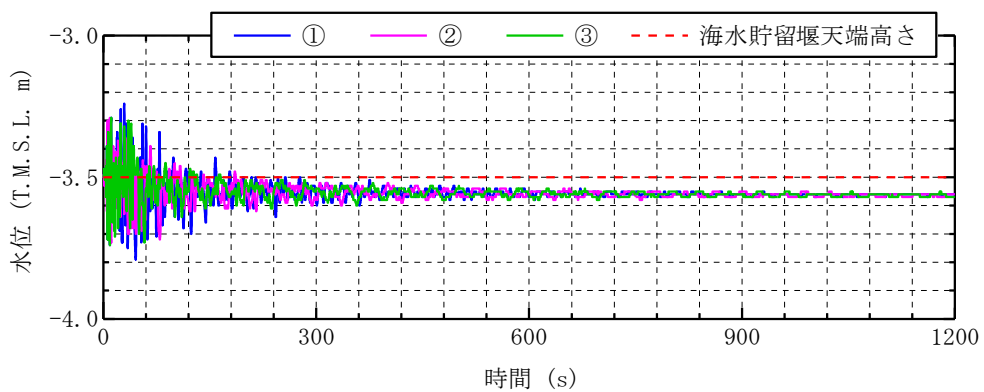


図 5.3 参 3-2 海水貯留堰位置における水位時刻歴波形（水平 2 方向同時加振）

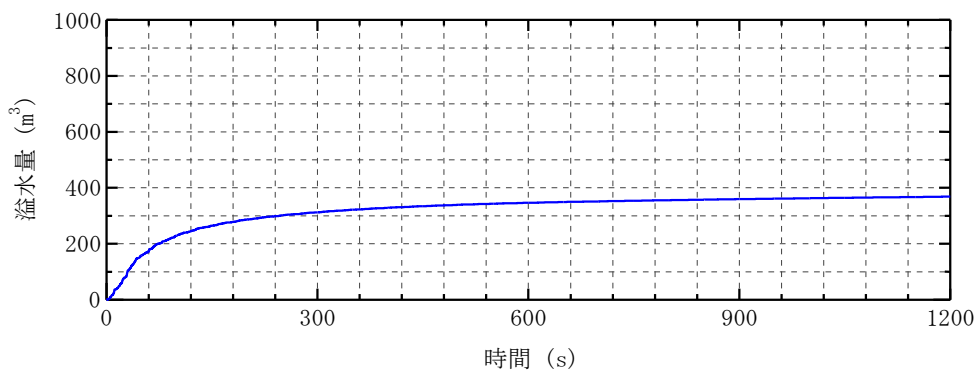


図 5.3 参 3-3 スロッシングによる溢水量の時間変化（水平 2 方向同時加振）

表 5.3 参 3-2 スロッシングによる 20 分間の溢水量

加振方向	溢水量
水平 2 方向同時加振	369m ³

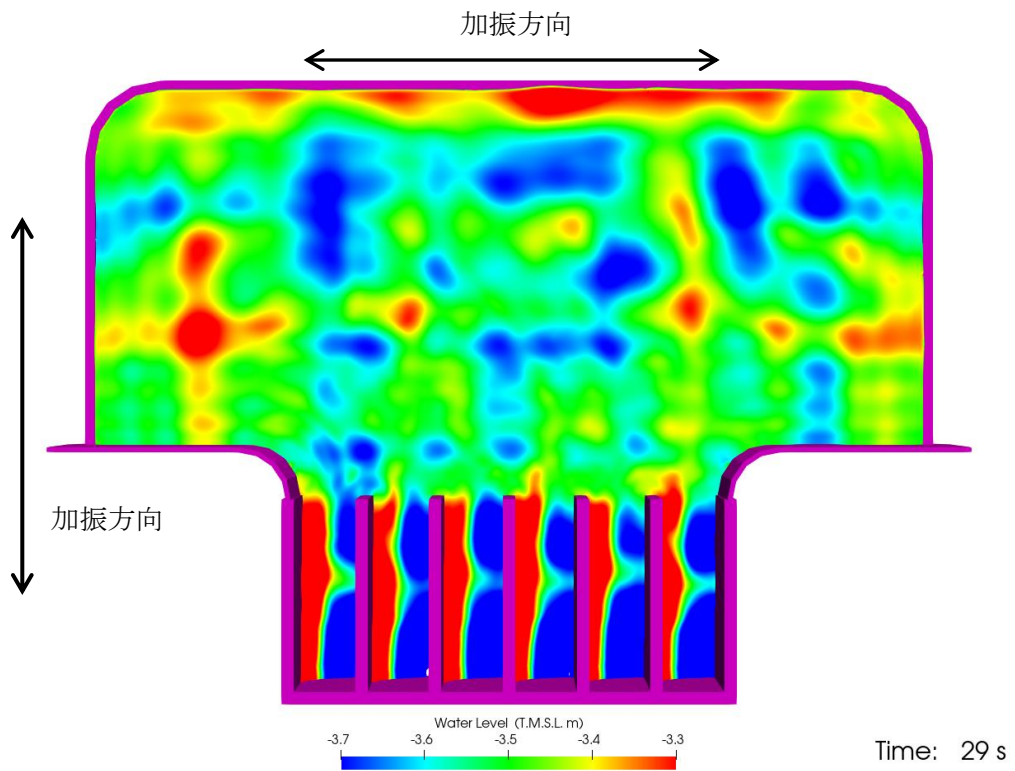


図 5.3 参 3-4 スロッシング時の水位分布 (水平 2 方向同時加振 : 29 秒時)

2.2 検討項目 2

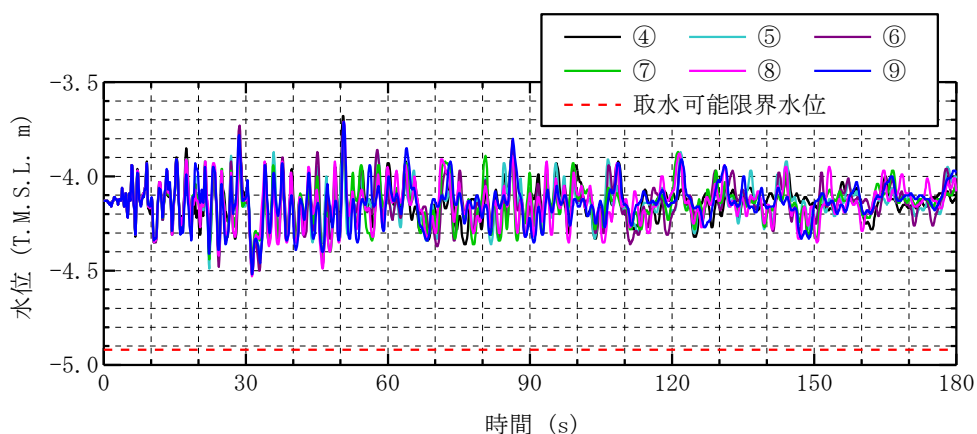
水平 2 方向同時加振した場合の水位変動を考慮しても、海水貯留堰内水位が原子炉補機冷却海水ポンプの取水可能限界水位 (T. M. S. L. -4.92m) を下回らないことを確認する。

スクリーン室奥の水位抽出位置 (④~⑨) におけるスロッシング時の水位時刻歴を図 5.3 参 3-5 に示す。また、スロッシング時の最低水位を表 5.3 参 3-3 に示す。

スクリーン室奥でのスロッシング時の最低水位は約 T. M. S. L. -4.6m である。よって、スロッシングによる溢水及び水面の揺動を考慮しても、海水貯留堰内水位が原子炉補機冷却海水ポンプの取水可能限界水位 (T. M. S. L. -4.92m) を下回らないことを確認した。

スロッシング時の最低水位 = T. M. S. L. -4.6m

→ T. M. S. L. -4.6m > T. M. S. L. -4.92m



水平 2 方向同時加振

図 5.3 参 3-5 スクリーン室奥における水位時刻歴波形

表 5.3 参 3-3 スロッシング時の最低水位

評価位置	最低水位 (T. M. S. L. m)
④	-4.51
⑤	-4.52
⑥	-4.52
⑦	-4.50
⑧	-4.54
⑨	-4.53

3. 加振方向別の溢水量の整理

ここでは、護岸直角方向（東西方向）に加振した場合と護岸平行方向（南北方向）に加振した場合のそれぞれの溢水量を整理した。

スロッシングによる 20 分間の溢水量は、護岸直角方向（東西方向）に加振した場合で 351m^3 、護岸平行方向（南北方向）に加振した場合で 338m^3 である。参考としてそれぞれの溢水量を足し合わせた場合でも、溢水量の和は 689m^3 であり、溢水量の和を除外したときの非常用海水ポンプの運転継続可能時間は約 40 分となる。この場合においても、海水貯留堰外側の海水位が海水貯留堰天端を下回る時間の約 16 分に対して、十分な貯留量が確保されている。

5.4 浸水防護施設の漏えい試験について

5.4 浸水防護施設の漏えい試験について

(1) 取水槽閉止板

取水槽閉止板は津波による水圧が生じた場合の浸水防止機能の確認として、実機を模擬した試験体により漏えい試験を実施している。

a. 漏えい試験の目的

取水槽閉止板に津波による水圧が生じた場合に漏えいが生じないことを確認する。

b. 対象取水槽閉止板

漏えい試験対象取水槽閉止板を表 5.4-1 に示す。

取水槽閉止板は全て同一形式のものであるため、試験については津波による想定水頭圧を考慮し、保守的となる条件で行う。

表 5.4-1 漏えい試験対象取水槽閉止板

名称		寸法(mm)		面積(m ²)	津波による想定水頭(m)*
		たて	横		
外 郭	タービン補機冷却用海水取水槽閉止板	950	950	0.9025	5.5
	補機冷却用海水取水槽(A)閉止板	950	950	0.9025	5.5
	補機冷却用海水取水槽(B)閉止板	950	950	0.9025	5.5
	補機冷却用海水取水槽(C)閉止板	950	950	0.9025	5.5

注記*：津波による想定水頭＝設計水位－取水槽閉止板設置高さ

設計水位：津波に対する取水槽閉止板の設計水位は T. M. S. L. +9.0m

取水槽閉止板設置高さ：T. M. S. L. +3.5m

c. 試験条件

漏えい試験の条件は、津波による想定水頭から保守的に設定し、34.5m (0.35MPa) とし、試験時間は60分とした。図5.4-1に漏えい試験概要図を示す。

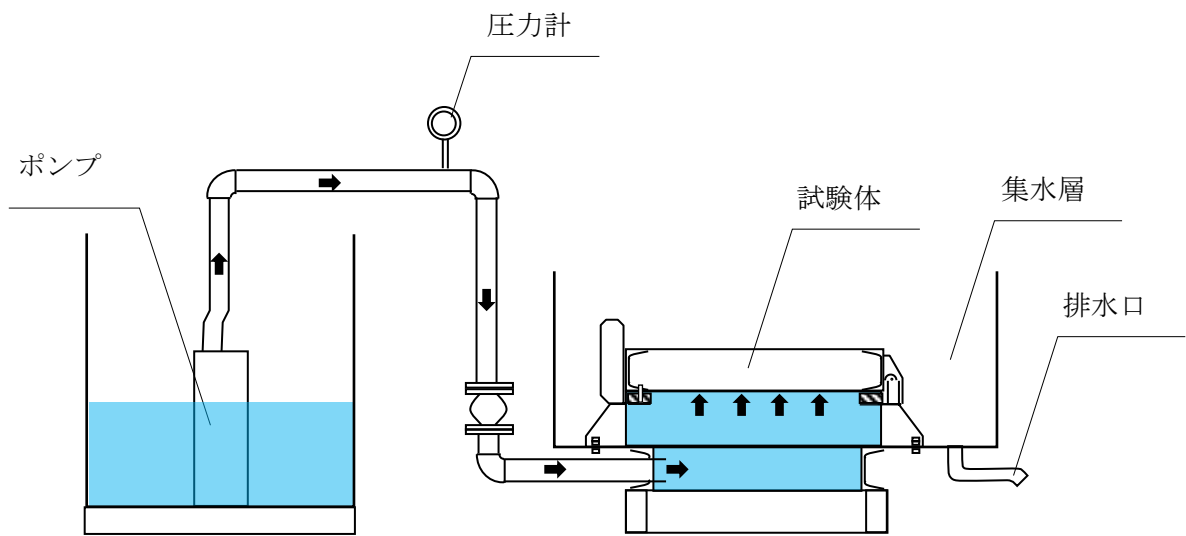


図 5.4-1 漏えい試験概要図（取水槽閉止板）

d. 試験結果

試験の結果，試験体より漏えいがないことを確認した。

5.5 津波による溢水に対して浸水対策を実施する範囲の考え方について

5.5 津波による溢水に対して浸水対策を実施する範囲の考え方について

(1) 概要

本資料は、津波による溢水に対して浸水対策を実施する範囲の考え方を説明するものである。

(2) 津波による溢水で発生する溢水量及び浸水水位と溢水の発生を想定するエリア

「津波による溢水の重要な安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能への影響防止（内郭防護）に係る評価」では、津波による溢水を考慮した浸水範囲及び溢水量を算出し、浸水防護重点化範囲へ浸水する可能性の有無を評価している。

7号機で想定している津波による溢水は、以下の(a)～(c)のエリアにおける溢水を想定している。

- (a) タービン建屋内の復水器を設置するエリアにおける溢水（内部溢水）
- (b) タービン補機冷却水系熱交換器を設置するエリアにおける溢水（内部溢水）
- (c) タービン建屋内の循環水ポンプを設置するエリアにおける溢水
（津波による溢水も発生）

(a)～(c)のエリアにおける合計溢水量とそれによる浸水水位を表5.5-1にまとめ、(a)～(c)の溢水の発生を想定するエリアを図5.5-1に示す。

表 5.5-1 (a)～(c)のエリアにおける合計溢水量及び浸水水位

エリア	合計溢水量(m ³)	浸水水位 T. M. S. L. (m)
(a)	約 23750	約+2.40
(b)	約 2080	約-0.80
(c)	約 4649	約+11.85 (津波による溢水の浸水高さ T. M. S. L. +7.2m)

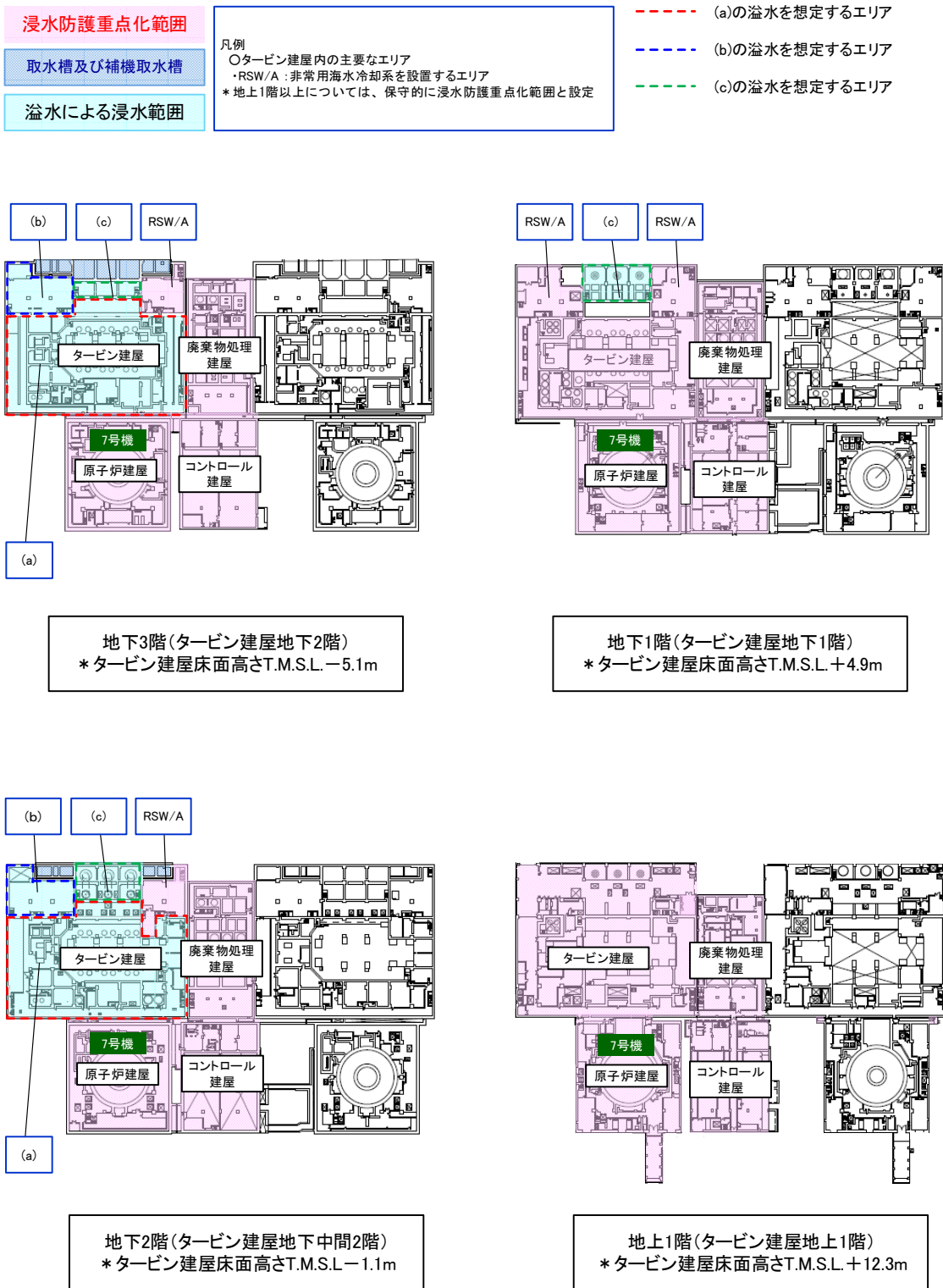


図 5.5-1 (a)～(c)の溢水の発生を想定するエリア

(3) 津波による溢水の浸水水位に対し浸水対策を実施する範囲

(2)で示したように(a)～(c)のエリアでは津波による溢水が想定され、これらの浸水水位に対して浸水防護重点化範囲への浸水を防止するため、浸水対策を実施する。浸水水位はそれ自体に保守性を含んでいる値となっているが、浸水対策範囲の設定には設計上の裕度を考慮している。裕度を考慮した浸水対策範囲の考え方と浸水対策範囲について表 5.5-2 にまとめる。

表 5.5-2 (a)～(c)のエリアにおける浸水対策を実施する範囲とその考え方

エリア	浸水水位 T. M. S. L. (m)	浸水対策範囲 T. M. S. L. (m)	浸水対策を実施する範囲の考え方
(a)	約+2.40	+3.5 以下	浸水水位に対して約 0.5mの加算を基本的な考えとし、さらに扉、開口部、貫通部等の配置状況も踏まえ対策工事範囲の切りの良い高さを設定。
(b)	約-0.80	±0.0 以下	浸水水位に対して約 0.5mの加算を基本的な考えとし、さらに扉、開口部、貫通部等の配置状況も踏まえ対策工事範囲の切りの良い高さを設定。
(c)	約+11.85	+12.3 以下	浸水水位に対して対策工事範囲の切りの良い、タービン建屋1階 T. M. S. L. +12.3m までの高さとして設定。

タービン建屋内での海水配管等の破断想定箇所について

(1) 概要

7号機で想定している溢水は、以下の(a)～(c)のエリアにおける溢水を想定している。

- (a) タービン建屋内の復水器を設置するエリアにおける溢水
- (b) タービン補機冷却水系熱交換器を設置するエリアにおける溢水
- (c) タービン建屋内の循環水ポンプを設置するエリアにおける溢水

それぞれのエリアにおける海水配管等の破損想定箇所を図 5.5-参 1-1 に示す。

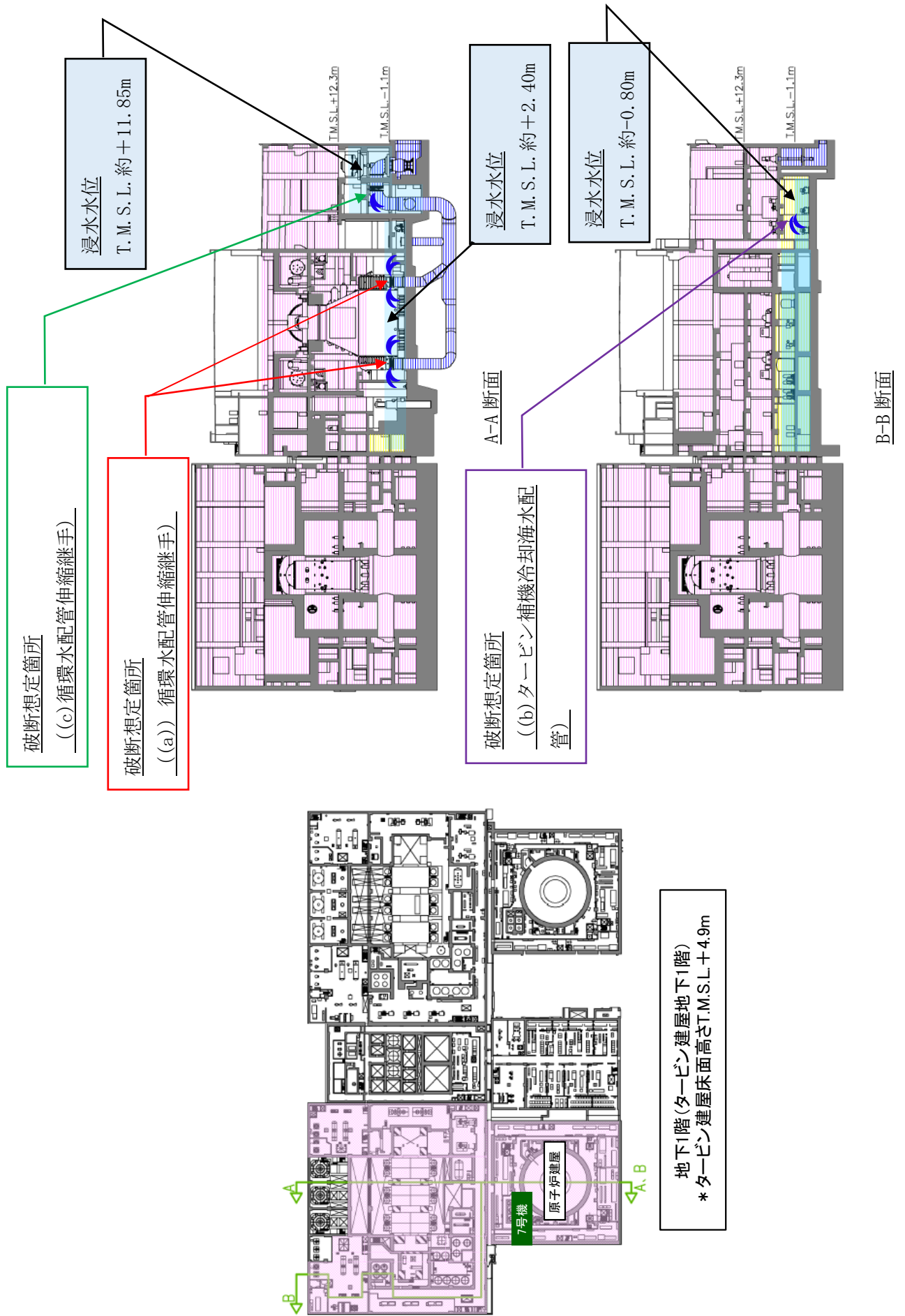


図5.5-1 タービン建屋内における溢水イメージと破断箇所

5.6 復水器水室出入口弁の津波に対する健全性について

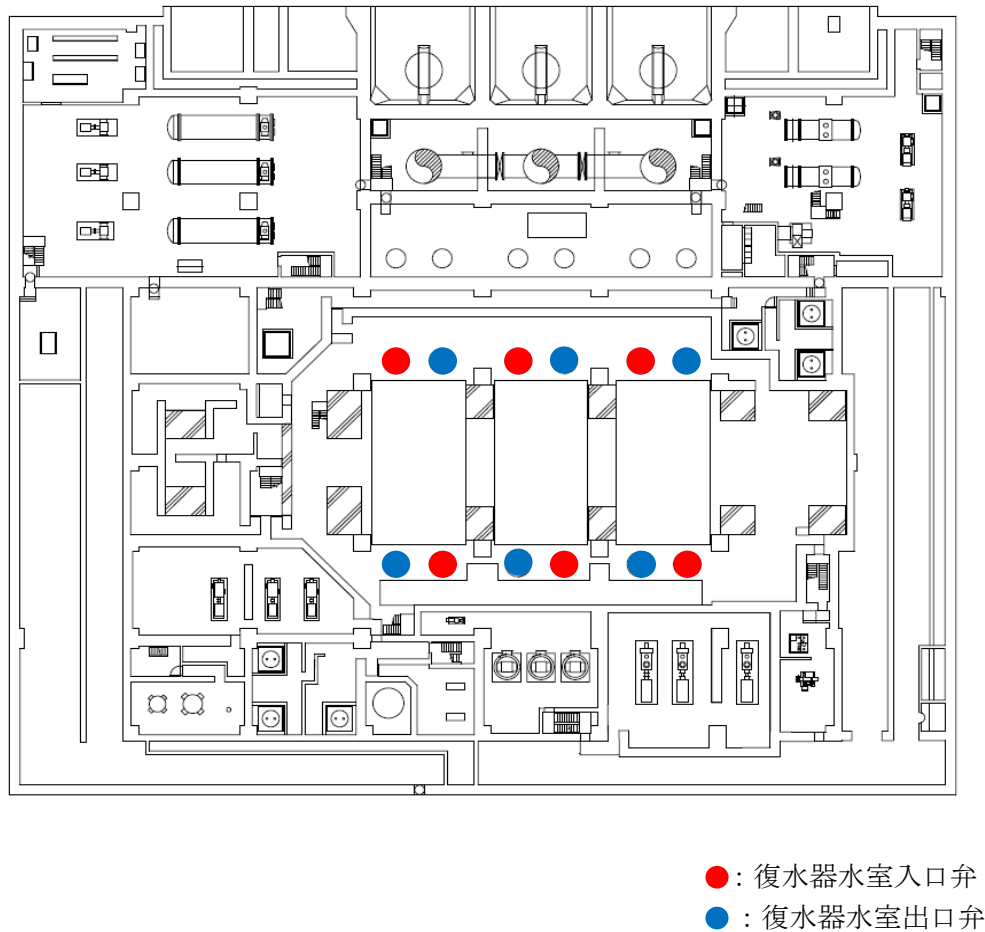
1. 概要

本資料は、内部溢水対策となる復水器水室出入口弁が、溢水発生後の津波による浸水荷重（以下「津波荷重」という。）及び余震を考慮した荷重に対し、構造健全性を有することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 配置計画

対象施設となる復水器水室出入口弁の配置計画を図2-1に示す。



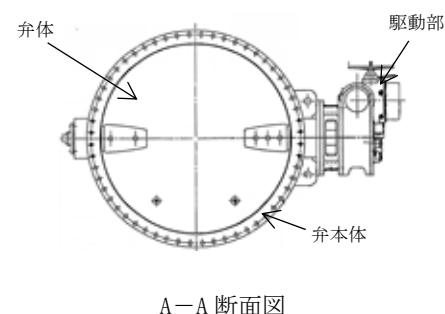
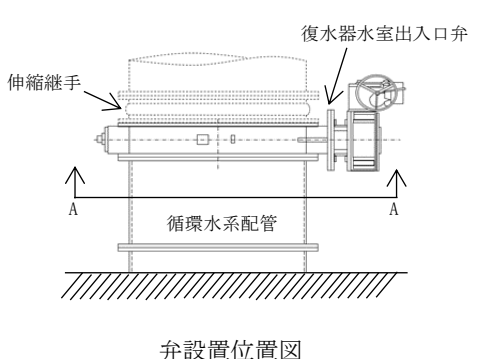
タービン建屋 T.M.S.L. -5100mm

図2-1 配置計画

2.2 構造計画

復水器水室出入口弁は、電動バタフライ弁であり、弁体を回転し弁座に密着することで止水する。電動バタフライ弁の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
復水器水室出入口弁	電動バタフライ弁	弁体を含む弁本体, 弁体を電動にて駆動する駆動部で構成される。	循環水配管に設置され, 配管に支持される。	 <p>A-A 断面図</p>  <p>弁設置位置図</p>

3. 評価震度

3.1 評価震度の解析方法

解析モデルは、V-2-別添 2-5「復水器水室出入口弁の耐震性についての計算書」と同一とする。

3.2 設計震度の計算条件

(1) 設計条件

評価対象	最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (°C)	外径 (mm)	配管厚さ (mm)	材料	縦弾性係数 (MPa)
復水器水室入口弁	0.37	40	2626.0	13.0	SS400	201667
復水器水室出口弁	0.35	40	2626.0	13.0	SS400	201667

(2) 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線はV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定した弾性設計用地震動 (Sd) のものを用いる。また、減衰定数はV-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

建屋・構築物	標高	減衰定数 (%)
タービン建屋	T. M. S. L. -5100 mm	0.5

3.3 設計震度の計算結果

復水器水室入口弁弁体部の評価震度を以下に示す。

適用する地震動等	S d		
	応答水平震度* ¹		応答鉛直震度* ¹
動的解析結果	X 方向	Z 方向	Y 方向
		1.79	1.82
動的震度* ²	0.48		0.44

注記*1：動的解析から得られる各方向の震度。

*2：剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から設置床の最大応答加速度を 1.2 倍した震度 (1.2ZPA)

復水器水室出口弁弁体部の評価震度を以下に示す。

適用する地震動等	S d		
	応答水平震度* ¹		応答鉛直震度* ¹
動的解析結果	X 方向	Z 方向	Y 方向
		1.79	1.82
動的震度* ²	0.48		0.44

注記*1：動的解析から得られる各方向の震度。

*2：剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から設置床の最大応答加速度を 1.2 倍した震度 (1.2ZPA)

各モードの固有周期及び刺激係数

(1) 復水器水室入口弁及び循環水配管

モード	固有周期(s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次	0.113	0.832	0.086	0.461
2 次	0.110	0.520	0.000	0.937

注記*：刺激係数は、固有ベクトルの最大値を 1 で正規化して得られる値を示す。

(2) 復水器水室出口弁及び循環水配管

モード	固有周期(s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次	0.112	0.828	0.086	0.459
2 次	0.110	0.520	0.000	0.938

注記*：刺激係数は、固有ベクトルの最大値を 1 で正規化して得られる値を示す。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の設定

(a) 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重として、津波流入を想定した流速成分による荷重と、経路からの津波に伴う水位を用いた静水圧を考慮し、以下の式より算出する。

$$P_t = 1/2 \cdot C_p \cdot \rho_0 \cdot U^2 + \rho_0 \cdot g \cdot H$$

P_t : 突き上げ津波荷重

ρ_0 : 海水の密度

U : 流速 (津波流速を保守側に設定)

C_p : 抗力係数 (2.01*)

g : 重力加速度

H : 評価高さ (最高津波高さ－設置位置高さ)

* 出典: 津波漂流物対策ガイドライン 表-3.4.7 抗力係数 (H26.3 沿岸技術研究センター)

(b) 余震荷重 ($K S_d$)

余震荷重は、弾性設計用地震動 S_d に伴う力とする。

余震に伴う加速度で弁体に発生する慣性力と、余震による動水圧荷重を考慮し、以下の式より算出する。弁体 (閉止状態) 及び配管の内面に加わる圧力荷重として評価。

$$K S_d = m \cdot g \cdot \alpha_v / A + \rho_0 \cdot \alpha_v \cdot g \cdot H$$

$K S_d$: 余震荷重

m : 弁体部質量

g : 重力加速度

α_v : 弁体部の鉛直方向余震震度

A : 弁体受圧面投影面積 ($= \pi D_i^2 / 4$ D_i : 配管内径)

ρ_0 : 海水の密度

H : 評価高さ (最高津波高さ－設置位置高さ)

(c) 固定荷重 (D)

常時作用する荷重として、弁体の自重を考慮する。

4.2 荷重の組合せ

復水器水室出入口弁の強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 復水器水室出入口弁の強度評価にて考慮する荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ
浸水防護施設	復水器水室出入口弁	$D + P_t + K S_d^{*1*2}$

注記*1 : Dは固定荷重, P_t は突き上げ津波荷重, $K S_d$ は余震荷重を示す。

*2 : 固定荷重 (D) 及び余震荷重 ($K S_d$) の組み合わせが, 強度評価上, 突き上げ津波荷重 (P_t) を緩和する方向に作用する場合, 保守的にこれらを組み合わせない評価を実施する。

4.3 許容限界

復水器水室出入口弁については, 水圧試験により確認した圧力を許容値として用いる。

表 4-2 復水器水室出入口弁 許容限界

評価部位	水圧試験の圧力 (MPa)
復水器水室入口弁	0.37
復水器水室出口弁	0.35

4.4 計算条件

復水器水室出入口弁の構造健全性評価に用いる計算条件を表 4-3～表 4-5 に示す。

表 4-3 復水器水室出入口弁の構造健全性評価に用いる計算条件

弁体の材質	弁体の質量 m_1 (kg)	弁体受圧面の外径 (配管内径) D_1 (mm)
SS400	4000	2600

重力加速度 g (m/s^2)	海水の密度 ρ_0 (kg/m^3)
9.80665	1030

表 4-4 復水器水室出入口弁の構造健全性評価に用いる流速条件

	復水器水室入口弁	復水器水室出口弁
突き上げ津波荷重評価流速 $U(m/s)$	2.0	1.0

注記：復水器水室出入口弁が閉止されている状態では、弁体部に流れはないが、保守側に取放水路の立抗部開放空間の水位上昇速度を用いる。

表 4-5 復水器水室出入口弁の構造健全性評価に用いる評価高さ

	T. M. S. L. (m)	
	復水器水室入口弁	復水器水室出口弁
最高津波高さ*1	7.2	10.3
設置位置高さ*2	-5.1	-5.1
評価高さ H	12.3	15.4

注記*1：「取水路からの津波の流入評価結果」のうち循環水系取水路点検用立抗の入力津波高さ、及び「放水路からの津波の流入評価結果」のうち循環水系放水庭の入力津波高さ（V-1-1-3-2-4 入力津波による津波防護対象設備への影響評価）。

*2：保守的に復水器水室出入口弁を設置する床高さとする。

5. 評価結果

5.1 評価結果

(1) 構造健全性評価

復水器水室出入口弁の構造健全性評価結果を表5-1に示す。発生圧力が、有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した水圧試験圧力以下であることから、評価部位である復水器水室出入口弁の弁体部が構造健全性を有することを確認した。

表5-1 復水器水室出入口弁の構造健全性評価結果

評価部位	発生圧力 (MPa)	水圧試験の圧力 (MPa)
復水器水室入口弁	0.18	0.37
復水器水室出口弁	0.22	0.35

5.7 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の津波に対する健全性について

1. 概要

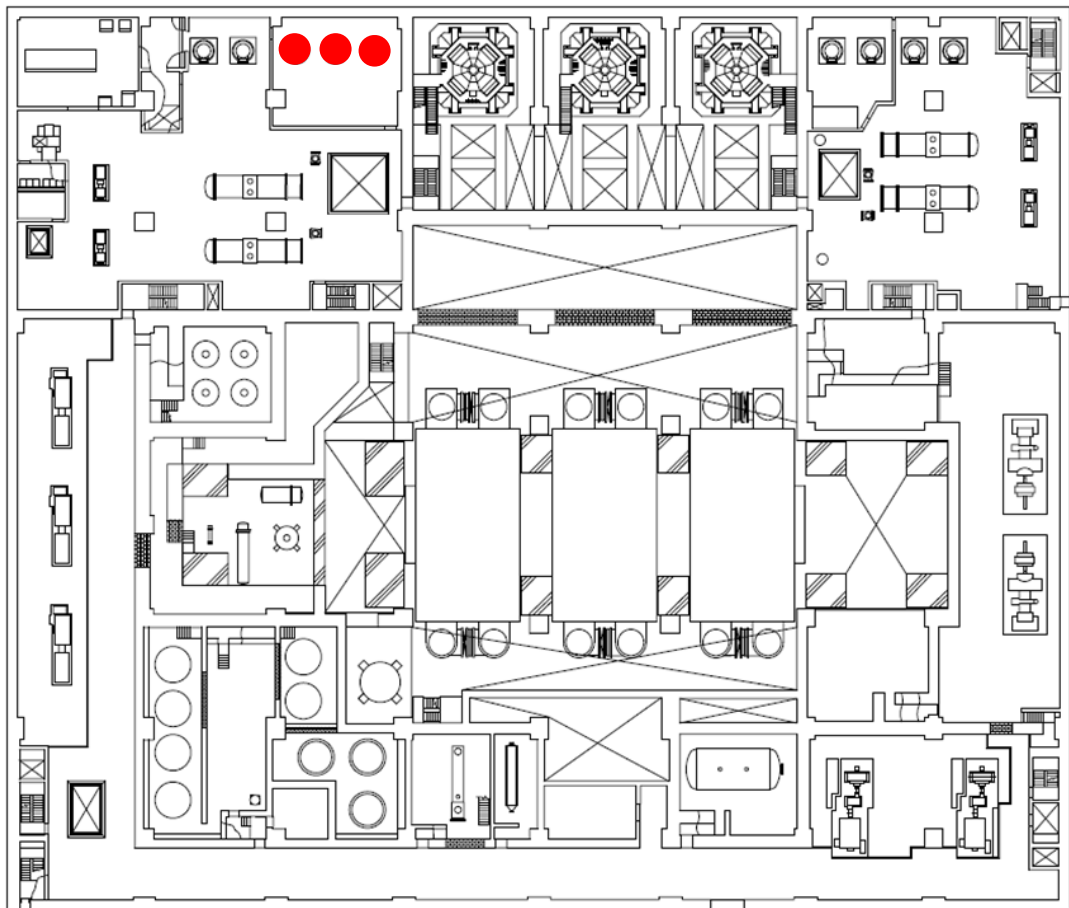
本資料は、内部溢水対策となるタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁が、溢水発生後の津波による浸水荷重（以下「津波荷重」という。）及び余震を考慮した荷重に対し、構造健全性を有することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 配置計画

強度評価の対象施設となるタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の配置計画を図2-1に示す。

また、タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁設置エリアと浸水防護重点化範囲の関係について図2-2に示す。



●:タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁

* 設置床高さは T. M. S. L. 3500mm

タービン建屋 T. M. S. L. 4900mm

図2-1 配置計画

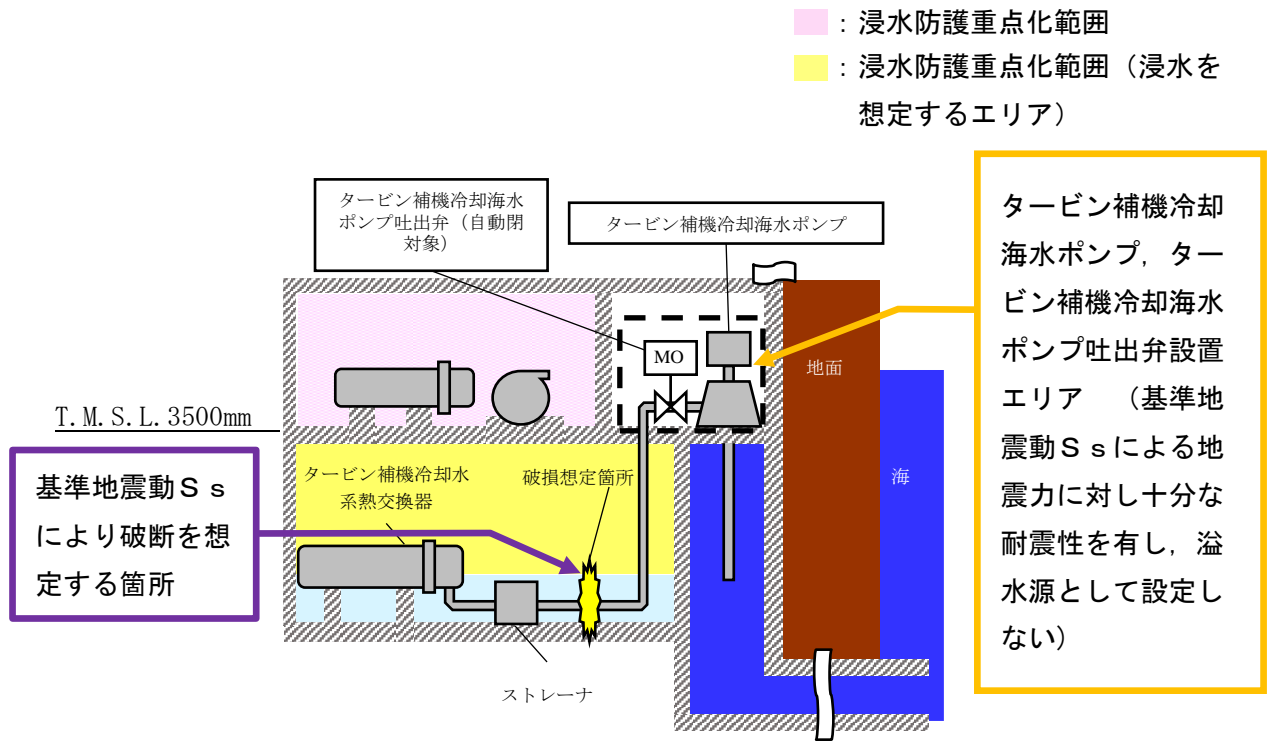
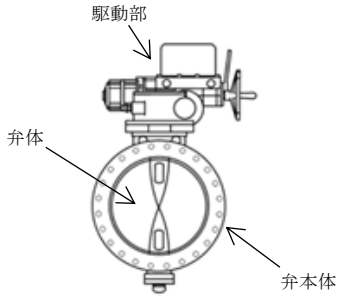
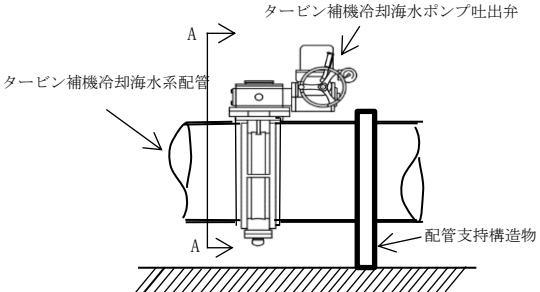


図 2-2 タービン補機冷却海水系 浸水防護重点化範囲 説明図

2.2 構造計画

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁は、電動バタフライ弁であり、弁体を回転し弁座に密着することで止水する。電動バタフライ弁の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁	電動バタフライ弁	弁体を含む弁本体, 弁体を電動にて駆動する駆動部で構成される。	タービン補機冷却海水系配管に設置され, 配管にて支持される。配管については, 支持構造物にて支持される。	 <p>A-A 断面図</p>  <p>弁設置位置図</p>

3. 評価震度

3.1 評価震度の解析方法

解析モデルは、V-2-別添 2-7「タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性についての計算書」と同一とする。

3.2 設計震度の計算条件

(1) 設計条件

評価対象	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	配管厚さ (mm)	材料	縦弾性係数 (MPa)
タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁	0.65	40	609.6	9.5	SM400B	202333

(2) 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線はV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定した弾性設計用地震動 (Sd) のものを用いる。また、減衰定数はV-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

建屋・構築物	標高	減衰定数 (%)
タービン建屋	T. M. S. L. 12300 mm	2.0
タービン建屋	T. M. S. L. 4900 mm	2.0
タービン建屋	T. M. S. L. -1100 mm	2.0
タービン建屋	T. M. S. L. -5100 mm	2.0

3.3 設計震度の計算結果

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁弁体部の評価震度を以下に示す。

適用する地震動等	S d		
	応答水平震度* ¹		応答鉛直震度* ¹
動的解析結果	X 方向	Z 方向	Y 方向
		0.033	0.003
動的震度* ²	0.67		0.48

注記*1：動的解析から得られる各方向の震度。

*2：剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から設置床の最大応答加速度を1.2倍した震度（1.2ZPA）

各モードの固有周期及び刺激係数

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁及び配管

モード	固有周期(s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次	0.102	0.233	0.032	1.038
2 次	0.081	0.437	1.104	0.401
3 次	0.065	0.219	1.010	0.018
4 次	0.064	0.152	1.079	0.673
5 次	0.062	1.038	0.357	0.184
6 次	0.061	0.869	0.434	0.090
7 次	0.058	0.436	1.268	0.767
8 次	0.055	0.403	0.530	0.186

注記*：刺激係数は、固有ベクトルの最大値を1で正規化して得られる値を示す。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の設定

(a) 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重として、津波流入を想定した流速成分による荷重と、経路からの津波に伴う水位を用いた静水圧を考慮し、以下の式より算出する。

$$P_t = 1/2 \cdot C_p \cdot \rho_0 \cdot U^2 + \rho_0 \cdot g \cdot H$$

P_t : 突き上げ津波荷重

ρ_0 : 海水の密度

U : 流速 (津波流速を保守側に設定)

C_p : 抗力係数 (2.01*)

g : 重力加速度

H : 評価高さ (最高津波高さ－設置位置高さ)

*出典:津波漂流物対策ガイドライン 表-3.4.7 抗力係数 (H26.3 沿岸技術研究センター)

(b) 余震荷重 ($K S_d$)

余震荷重は、V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 S_d に伴う力とする。

余震に伴う加速度で弁体に発生する慣性力と、余震による動水圧荷重を考慮し、以下の式より算出する。弁体 (閉止状態) 及び配管の内面に加わる圧力荷重として評価。

$$K S_d = m \cdot g \cdot \alpha_H / A + \rho_0 \cdot \alpha_v \cdot g \cdot H$$

$K S_d$: 余震荷重

m : 弁体部質量

g : 重力加速度

α_H : 弁体部の配管軸方向余震震度

A : 弁体受圧面投影面積 ($= \pi D_i^2 / 4$ D_i : 配管内径)

ρ_0 : 海水の密度

α_v : 評価部位の鉛直方向震度

H : 評価高さ (最高津波高さ－設置位置高さ)

(c) 固定荷重 (D)

常時作用する荷重として、弁本体及び配管の自重を考慮する。

(弁体は水平配管に設置されるため、弁体の配管軸方向荷重評価 (内圧と重畳する方向) については 0 となる。)

4.2 荷重の組合せ

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の強度評価にて考慮する荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ
浸水防護施設	タービン補機冷却海水ポンプ 吐出弁	$D + P_t + K S_d$ *1*2

注記*1 : Dは固定荷重, P_t は突き上げ津波荷重, $K S_d$ は余震荷重を示す。

*2 : 固定荷重 (D) 及び余震荷重 ($K S_d$) の組み合わせが, 強度評価上, 突き上げ津波荷重 (P_t) を緩和する方向に作用する場合, 保守的にこれらを組み合わせない評価を実施する。

4.3 許容限界

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁については, 水圧試験により確認した圧力を許容値として用いる。

表 4-2 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁 許容限界

評価部位	水圧試験の圧力 (MPa)
タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁	0.65

4.4 計算条件

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の構造健全性評価に用いる計算条件を表 4-3～表 4-5 に示す。

表 4-3 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の構造健全性評価に用いる計算条件

弁体の材質	弁体の質量 m_1 (kg)	弁体受圧面の外径 (配管内径) D_1 (mm)
FCD450	110	600

重力加速度 g (m/s^2)	海水の密度 ρ_0 (kg/m^3)
9.80665	1030

表 4-4 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の構造健全性評価に用いる流速条件

	タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁
突き上げ津波荷重評価流速 $U(m/s)$	1.0

注記：タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁が閉止されている状態では、弁体部に流れはないが、保守側に補機取水槽の水位上昇速度を用いる。

表 4-5 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の構造健全性評価に用いる評価高さ

	T. M. S. L. (m)
	タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁
最高津波高さ*1	8.2
設置位置高さ*2	3.5
評価高さ H	4.7

注記* *1：「取水路の管路解析の結果」のうちタービン補機冷却海水ポンプが設置されている補機取水槽 (B 系南) TSW と (C 系) の最高水位 (KK7 補足-019-2 津波への配慮に関する説明書に係る補足説明資料 1.5 入力津波の不確かさの考慮について)。

*2：保守的にタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁を設置する床高さとする。

5. 評価結果

5.1 評価結果

(1) 構造健全性評価

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の構造健全性評価結果を表 5-1 に示す。発生圧力が、有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した水圧試験圧力以下であることから、評価部位であるタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の弁体部が構造健全性を有することを確認した。

表5-1 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の構造健全性評価結果

評価部位	発生圧力 (MPa)	水圧試験の圧力 (MPa)
タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁	0.08	0.65

6. 工事計画変更認可後の変更手続き

6.1 工事計画変更認可後の変更手続きの可否について

6.1 工事計画変更認可後の変更手続きの要否について

「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」及び「耐津波設計に係る工認審査ガイド」に基づき、実施した耐津波影響評価において、工事計画変更認可後の変更手続きの要否に着目して工認記載ポイントを整理した。耐津波に関する工事計画変更認可後の変更申請対象項目の抽出について表 6.1-1 に示す。

表 6.1-1 耐津波に関する工事計画変更認可後の変更申請対象項目の抽出について

耐津波評価		評価の考え方	工認変更 (下記の条件となった場合に工認の変更手続きが必要)		(参考) 計算結果	工認記載ポイント		評価頻度 (本文及び保安規定)
						本文(基本設計方針)	説明書	
入力津波の設定	基準津波の波源	<ul style="list-style-type: none"> 津波防護対策の基本となる入力津波の設定について、基準津波の波源より、敷地の形状を考慮して入力津波を策定する 	<ul style="list-style-type: none"> 基準津波が基準津波 1 (日本海東縁部 (2 領域モデル) + 海底地すべり (S-2)) 基準津波 2 (日本海東縁部 (2 領域モデル) 及び基準津波 3 (海域の活断層 ((5 断層連動モデル) + 海底地すべり (LS-2)) から変更となった場合 (設置許可の変更) 	<ul style="list-style-type: none"> 基準津波は設置許可で設定 敷地形状は敷地及びその周辺の建物、設備等を考慮してモデル化する 	基準津波 1, 基準津波 2 及び基準津波 3 の時刻歴波形	<ul style="list-style-type: none"> 設置許可を受けた基準津波波源から、各設備の設置位置における入力津波高さを策定する方法の概要を記載 	<ul style="list-style-type: none"> 設置許可を受けた基準津波を基に、入力津波として遡上波及び経路からの津波について策定方針を詳細に記載 具体的には、入力津波の設定に必要なモデルの作成、津波作成手法、評価条件や設定に必要なばらつきや、地殻変動量、計算上の不確かさ等の考慮の考え方を記載 	<ul style="list-style-type: none"> 定期的*に新知見の確認を行い新知見が得られた場合に基準津波の評価 定期的に入力津波の策定条件、策定方法の変更の有無確認
			<ul style="list-style-type: none"> 入力津波の設定方法が変更となった場合。(工認変更) 					
津波防護対策	外郭防護(要目対象外)	<ul style="list-style-type: none"> 外郭として必要な範囲を設定するため、入力津波による津波防護対象設備への影響を評価し浸水防止設備を設置する範囲を設定する 浸水想定範囲の浸水量評価を行い漏水による必要な機能への影響の有無を評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> 各地点における入力津波と参照する裕度(高潮)の合計値が、外郭防護で設定する許容津波高さを超える場合 	<ul style="list-style-type: none"> 定期的な評価を行い、外郭防護で設定する許容津波高さを超えない場合は工認不要 	各地点の入力津波高さ： T. M. S. L. +6.9m ~ T. M. S. L. +10.3m 参照する裕度(高潮)：T. M. S. L. +0.43m	<ul style="list-style-type: none"> 外郭防護として浸水防止設備を設置する範囲について、各地点の入力津波に対し、設計上の裕度を考慮することを記載 	<ul style="list-style-type: none"> 浸水防止設備に対して評価条件、方法、結果について記載 	<ul style="list-style-type: none"> 定期的に入力条件となる入力津波の変更確認または浸水防護施設改造時の都度
	内郭防護(要目対象外)	<ul style="list-style-type: none"> 内郭として必要な範囲を設定するため、浸水防護重点化範囲への浸水の可能性の有無を評価する 	<ul style="list-style-type: none"> 津波の流入及び溢水による冠水により、浸水防護重点化範囲への浸水の可能性がある場合 	<ul style="list-style-type: none"> 定期的な評価を行い、内郭防護で設定する高さを超えない場合は工認不要 	(1) 復水器エリア ①津波の流入及び溢水の冠水による浸水高さ「(以下「浸水高さ」という。)」： T. M. S. L. 約+2.40m ②浸水防護重点化範囲浸水対策高さ「(以下「対策高さ」という。)」：T. M. S. L. +3.5m まで 上記より①<② (2) 循環水ポンプエリア ①浸水高さ：T. M. S. L. 約+11.85m ②対策高さ：T. M. S. L. +12.3m まで 上記より①<② (3) タービン補機熱交換器エリア ①浸水高さ：T. M. S. L. 約-0.80m ②対策高さ：T. M. S. L. ±0.0m まで 上記より①<②	<ul style="list-style-type: none"> 内郭防護として浸水防止設備による対策の範囲において、浸水評価結果に設計上の裕度を考慮することを記載 	<ul style="list-style-type: none"> 内郭防護としての溢水の浸水量の評価条件、方法、結果を記載 	

表 6.1-1 耐津波に関する工事計画変更認可後の変更申請対象項目の抽出について

耐津波評価	評価の考え方	工認変更 (下記の条件となった場合に工認の変更手続きが必要)		(参考) 計算結果	工認記載ポイント		評価頻度 (本文及び保安規定)
					本文(基本設計方針)	説明書	
漂流物	<ul style="list-style-type: none"> 浸水防護施設に考慮する衝突荷重を算定するための漂流物の特定を評価する 	<ul style="list-style-type: none"> 漂流物の評価方法が変更となった場合 	<ul style="list-style-type: none"> 衝突荷重の条件となる漂流物の重量が変更となった場合でも、各防護設備の許容値を満足する場合は工認不要 	説明書記載の漂流物選定フロー参照	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉補機冷却海水ポンプの取水性及び取水口の通水性が確保されることを記載 	<ul style="list-style-type: none"> 具体的な漂流物の抽出条件, 方針, 方法, 結果を記載 浸水防護施設への漂流物による衝突評価の条件, 方法, 結果を記載 (衝突評価の条件となる漂流対象物の特定, 形状, 重量, 寸法を記載) 	<ul style="list-style-type: none"> 定期的に入力津波の変更の確認, または漂流物の評価方法, 条件の変更有無の確認

注記* : 年1回程度

設計変更により自主対策設備となった浸水防護施設について

(1) 概要

設置変更許可における設計変更において、図1に示すタービン建屋内のタービン補機冷却水系熱交換器エリアにおける溢水量低減のため、タービン補機冷却海水ポンプの停止及びタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁を閉止するインターロックの設置を行う方針とした。

そのため溢水量の低減に伴い、図2に示す通りタービン建屋の地下1階まで津波による溢水が到達することがなくなり、タービン建屋地下1階に設置した浸水防護施設（浸水防止ダクト，止水ハッチ及び一部の水密扉）が自主対策設備となることを設置変更許可の設計変更において説明した。

この参考資料では、それら自主対策設備についての設置箇所，概要について説明を行う。

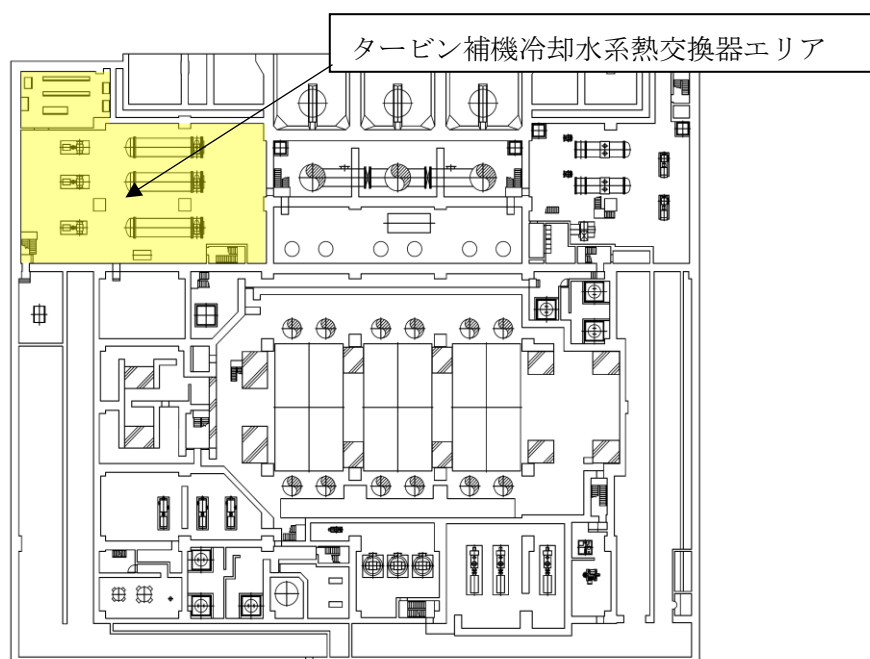


図1 タービン建屋横断面図（地下2階 T.M.S.L. -5100）

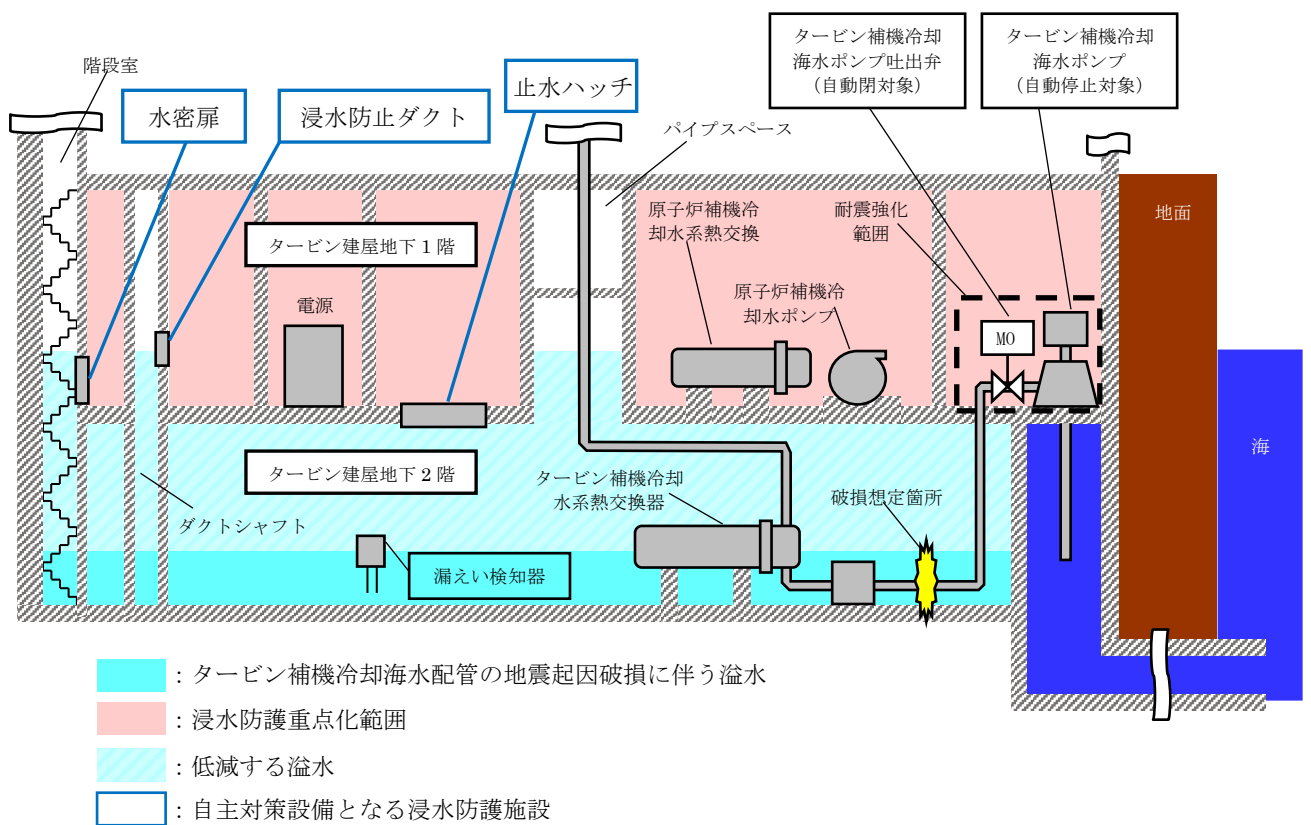
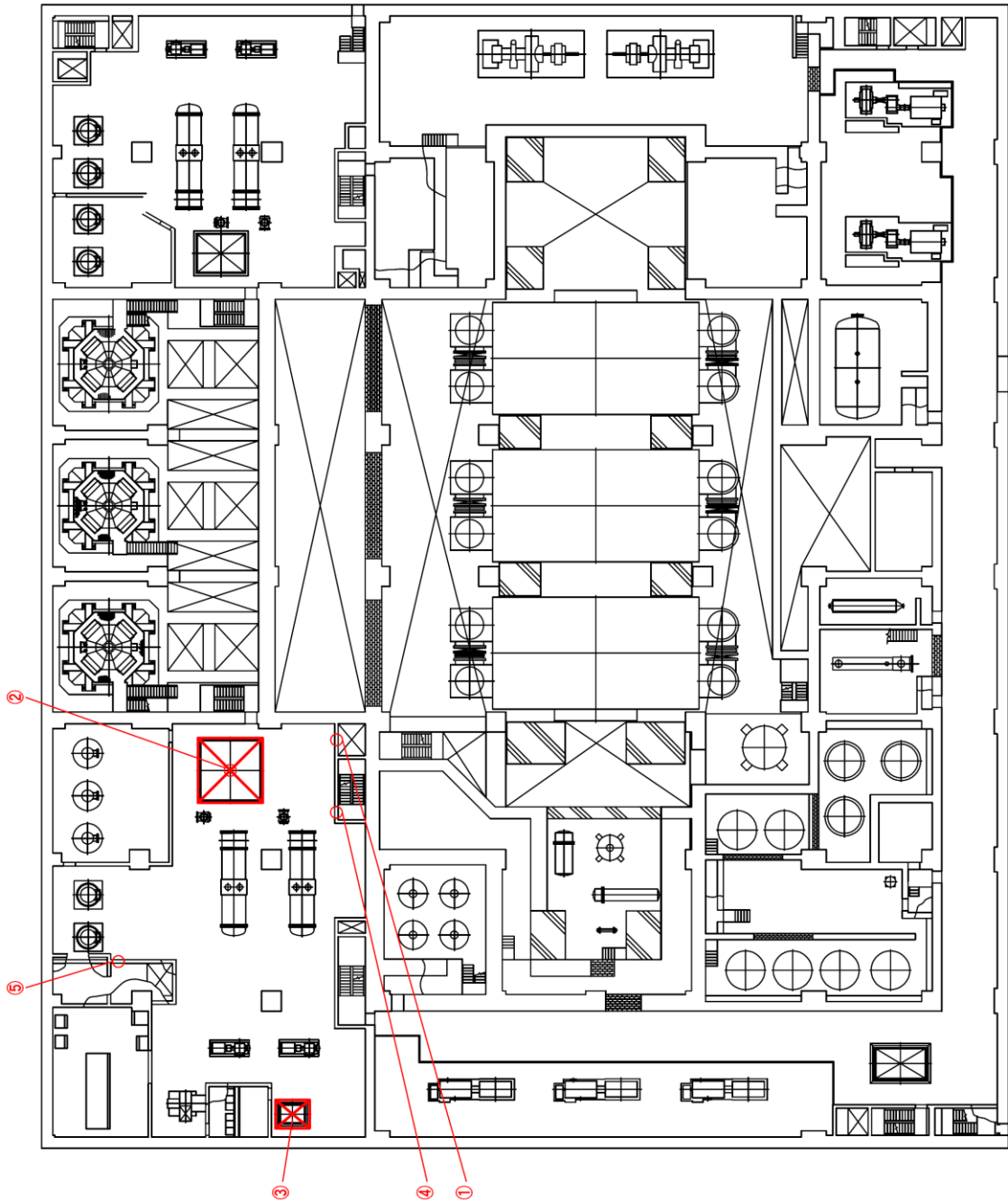


図2 タービン建屋浸水イメージ図（地下2階 T.M.S.L. -5100～地下1階 T.M.S.L. +3500）

(2) 自主対策設備の配置

自主対策設備となった浸水防護施設（浸水防止ダクト、止水ハッチ及び一部の水密扉）の配置について図3に示す。また、自主対策設備の概要及び構造について以下に示す。



①	原子炉補給冷却水系 (B系) 熱交換器・ポンプ室 浸水防止ダクト
②	原子炉補給冷却系 (B系) 熱交換器・ポンプ室 止水ハッチ1
③	原子炉補給冷却系 (B系) 熱交換器・ポンプ室 止水ハッチ2
④	タービン建屋地下1階南階段室 水密扉
⑤	原子炉補給冷却海水系 (B系), タービン補給冷却海水系配管室 水密扉

図3 自主対策設備の配置 (タービン建屋地下1階 T.M.S.L.4900)

a. 浸水防止ダクト

「津波による溢水の重要な安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能への影響防止（内郭防護）」に示す浸水防護重点化範囲への浸水経路，浸水口となり得る空調ダクト（ダクトシャフト）の排気口に対して，浸水防護重点化範囲への浸水を防止することを目的として排気口の位置を上方に移すため，浸水防止設備として浸水防止ダクトを設置している。構造について図4に示す。

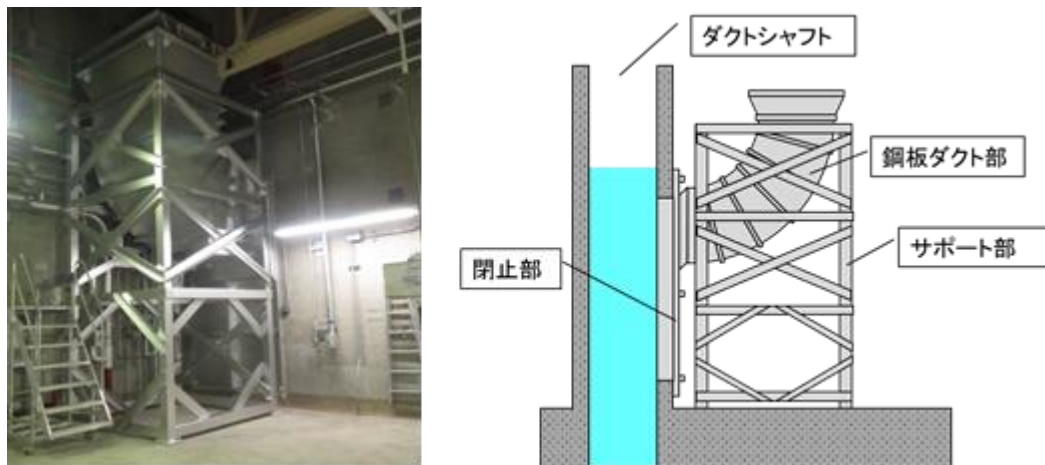


図4 浸水防止ダクトの外観及び構造

b. 止水ハッチ

「津波による溢水の重要な安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能への影響防止（内郭防護）」に示す浸水防護重点化範囲への浸水経路，浸水口となり得る機器搬入口に対して，浸水防止設備として止水ハッチを設置している。構造について図5に示す。

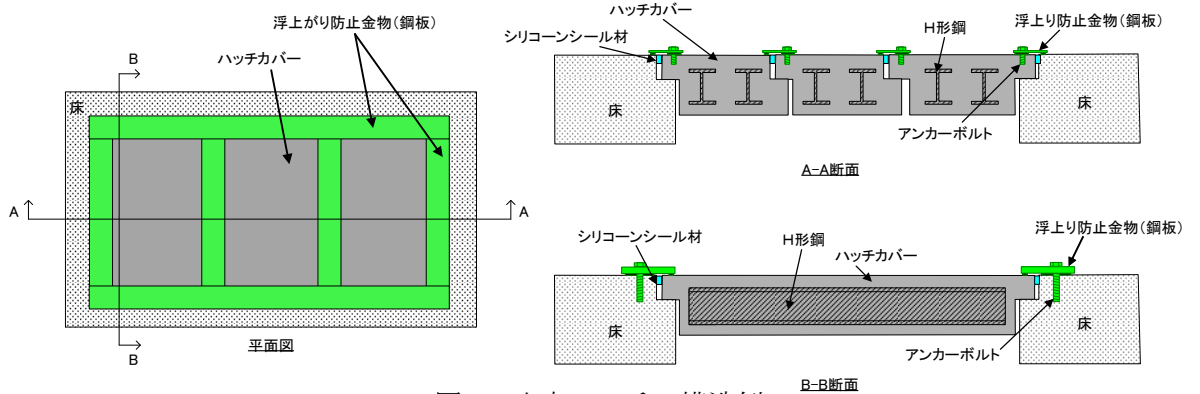


図5 止水ハッチの構造例

c. 水密扉

「津波による溢水の重要な安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能への影響防止（内郭防護）」に示す浸水防護重点化範囲への浸水経路，浸水口となり得る扉部に対して，浸水防止設備として水密扉を設置している。構造について図6に示す。

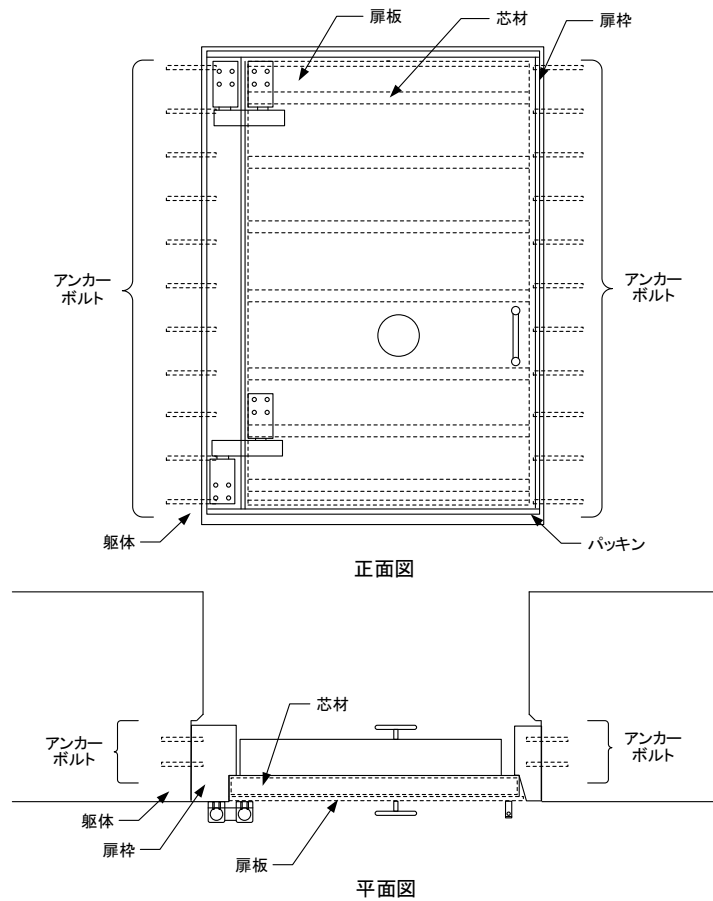


図6 水密扉構造例