

東海第二発電所

確率論的リスク評価（P R A）について (津波レベル 1 P R A)

平成 28 年 6 月
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

目 次

1. 事故シーケンスグループ等の選定に係る P R A の実施範囲と評価対象 について……………	1- 1
2. 「P R A の説明における参照事項」に基づく構成について……………	2- 1
3. レベル 1 P R A	
3.1 内部事象 P R A	
3.1.1 出力運転時 P R A ……………	3.1.1- 1
3.1.2 停止時 P R A ……………	3.1.2- 1
3.2 外部事象 P R A	
3.2.1 地震 P R A ……………	3.2.1- 1
3.2.2 津波 P R A ……………	3.2.2- 1
3.2.2.1 対象プラントと事故シナリオ……………	3.2.2- 1
(1) 対象とするプラントの説明……………	3.2.2- 1
(2) 津波により炉心損傷に至る事故シナリオと分析……………	3.2.2- 4
3.2.2.2 確率論的津波ハザード……………	3.2.2- 9
(1) 確率論的津波ハザード評価の方法……………	3.2.2- 9
(2) 確率論的津波ハザード評価に当たっての主要な仮定……………	3.2.2- 9
(3) 確率論的津波ハザード評価結果……………	3.2.2-10
3.2.2.3 建屋・機器フラジリティ……………	3.2.2-10
(1) 評価対象と損傷モードの設定……………	3.2.2-10
(2) フラジリティ評価結果……………	3.2.2-10
3.2.2.4 事故シーケンス……………	3.2.2-11
(1) 起因事象……………	3.2.2-11

(2)	成功基準	3. 2. 2-12
(3)	事故シーケンス	3. 2. 2-13
(4)	システム信頼性解析	3. 2. 2-13
(5)	人的過誤	3. 2. 2-13
(6)	炉心損傷頻度	3. 2. 2-14

4. レベル 1 . 5 P R A

4. 1 内部事象 P R A

4. 1. 1 出力運転時 P R A 4. 1. 1- 1



:本日提示資料

別 紙

別紙 3.2.2.1-1	プラントウォークダウンのチェックの観点について
別紙 3.2.2.1-2	津波襲来時の原子炉停止手順について
別紙 3.2.2.1-3	基準津波に伴う砂移動について
別紙 3.2.2.1-4	事故シナリオの分析で引き波を除外する考え方について
別紙 3.2.2.1-5	建屋・機器リストの抽出の考え方について
別紙 3.2.2.1-6	建屋・機器リストの設備の設置高さの根拠について
別紙 3.2.2.2-1	確率論的津波ハザード評価に関する検討
別紙 3.2.2.3-1	防潮堤に対する漂流物の衝突影響評価に用いる漂流物の選定について
別紙 3.2.2.3-2	防潮堤及び津波流入経路止水対策の耐力について
別紙 3.2.2.3-3	津波による敷地内浸水解析について
別紙 3.2.2.3-4	建屋内浸水評価について
別紙 3.2.2.4-1	外部電源の取扱いについて

表

第 3.2.2.1-1 表	津波 P R A で収集した情報及び主な情報源
第 3.2.2.1-2 表	プラントウォークダウン結果
第 3.2.2.1-3 表	津波による事故シナリオの抽出結果
第 3.2.2.1-4 表	津波による影響を受ける建屋・機器及び発生する起因 事象
第 3.2.2.1-5 表	建屋・機器リスト
第 3.2.2.3-1 表	建屋・機器フラジリティ評価結果
第 3.2.2.4-1 表	津波高さによるシナリオ分類
第 3.2.2.4-2 表	起因事象発生後の人的過誤
第 3.2.2.4-3 表	津波区分ごとの炉心損傷頻度
第 3.2.2.4-4 表	事故シーケンスグループごとの炉心損傷頻度
第 3.2.2.4-5 表	感度解析結果

図

第 3.2.2-1 図	津波 P R A の評価フロー
第 3.2.2.1-1 図	プラントの設備配置の概略図
第 3.2.2.1-2 図	プラントウォークダウン対象機器の選定フロー
第 3.2.2.1-3 図	プラントウォークダウン用チェックシート（残留熱除去系海水ポンプの例）
第 3.2.2.1-4 図	事故シナリオの明確化及び起因事象の分析結果
第 3.2.2.3-1 図	機器等のフラジリティ曲線（波力，没水，被水）
第 3.2.2.4-1 図	評価対象となる事故シナリオと起因事象
第 3.2.2.4-2 図	階層イベントツリー
第 3.2.2.4-3 図	最終ヒートシンク喪失のイベントツリー
第 3.2.2.4-4 図	津波区分ごとの炉心損傷頻度への寄与割合
第 3.2.2.4-5 図	事故シーケンスグループごとの炉心損傷頻度への寄与割合
第 3.2.2.4-6 図	不確実さ解析結果
第 3.2.2.4-7 図	感度解析（事故シーケンスグループごとの全炉心損傷頻度への寄与割合）

3.2.2 津波PRA

津波PRAは、一般社団法人日本原子力学会が発行した「原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2011」（以下「津波PRA学会標準」という。）を参考に評価を実施し、各実施項目については「PRAの説明における参照事項」（原子力規制庁 平成25年9月）の記載事項への適合性を確認した。津波PRAの評価フローを第3.2.2-1図に示す。

なお、今回の津波PRAでは、津波単独の影響のみを評価しており、地震と津波等の重畳事象は対象としていない。

3.2.2.1 対象プラントと事故シナリオ

(1) 対象とするプラントの説明

a. 機器・システムの配置及び形状・設備容量

津波PRAの実施に当たり、内部事象出力運転時レベル1PRAにおいて収集した設計、運転・保守管理の情報に加え、耐津波設計やプラント配置の特徴等を踏まえて、津波固有に考慮すべき関連情報を配置関連設計図書等により収集・分析した。津波PRAで収集した情報及び情報源を第3.2.2.1-1表に示す。

収集したプラント情報に基づき、津波PRAの評価対象設備として、内部事象出力運転時レベル1PRAの評価対象とした設備のほか、耐津波設計としての設計基準対象施設である津波防護施設及び浸水防止設備を選定した。

プラントの設備配置の概略図を第3.2.2.1-1図に示す。また、津波防護施設及び浸水防止設備の概要を以下に示す。

- (a) 基準津波による遡上波が設計基準対象施設の設置された敷地に到達及び流入することを防止するために、発電所を取り囲む形で高さ T.P. +20m（敷地前面東側）～T.P. +18m（敷地側面北側・南側）の防潮堤を設置
- (b) 海と接続する取水路及び放水路等の経路並びに海水ポンプ室及び原子炉建屋への浸水の可能性がある経路（扉，開口部，貫通口等）からの津波の流入を防止するため，浸水対策を実施

b. プラントウォークダウン

- (a) プラントウォークダウンの実施手順

津波 P R A では，上記 a. において第 3.2.2.1-1 表に示した情報をもとにシナリオを想定しているが，机上検討では確認が難しいプラント情報の取得及び検討した事故シナリオの妥当性を確認するため，以下に示す観点からプラントウォークダウン実施要領書及びチェックシートを作成し，プラントウォークダウンを実施した。（別紙 3.2.2-1-1）

- i) 津波影響の確認
- ii) 間接的被害の可能性の確認

- (b) プラントウォークダウン対象機器の選定

プラントウォークダウンの実施に当たっては，上記(a)に示した観点を考慮して，プラントウォークダウン対象機器の選定フローを作成し，以下に示す機器を調査対象として選定した。プラントウォークダウン対象機器の選定フローを第 3.2.2.1-2 図に示す。

- i) 津波影響の確認

- ・津波が原子炉建屋の 1 階床面高さである E.L. +8.2m に到達した場合，建屋内浸水が生じ，建屋内の機器が没水，被水により

機能喪失するものと仮定している。このため、後述(2) c. に示す建屋・機器リスト（事故シナリオの明確化及び起因事象の分析結果に基づき抽出した、津波防護施設、浸水防止設備、起因事象を引き起こす設備及び起因事象を緩和する設備のリスト）に記載されているもののうち、原子炉建屋外の機器、原子炉建屋外壁の貫通部等を調査対象とした。

- ・原子炉建屋内の機器を津波の影響から防護するため、建屋外壁（地下トレンチ取り合い部及び隣接する建屋境界含む。）は建屋バウンダリとしての機能が要求される。このため、原子炉建屋の1階床面高さであるE. L. +8.2m以下の範囲に存在する建屋外壁の貫通部等を調査対象とした。

ii) 間接的被害の可能性の確認

- ・津波襲来時に屋外に設置されている機器の津波の波力による離脱、移動等に起因して生じる干渉及び衝突等の間接的な被害の影響を確認するため、漂流物となる可能性のある機器等を調査対象とした。

(c) プラントウォークダウン結果

プラントウォークダウン用チェックシートに基づき、上記(b)で選定した機器を対象に調査を実施した。調査結果の例として、残留熱除去系海水ポンプを対象としたチェックシートを第3.2.2.1-3図に示す。また、プラントウォークダウン結果を第3.2.2.1-2表に示す。第3.2.2.1-2表に示したとおり、プラントウォークダウンによって、津波PRAの評価上特に問題となる箇所は見当たらなかった。

c. 今回実施した津波 P R A の前提条件等について

今回実施した津波 P R A について、主に留意すべき点について以下に示す。

- (a) 原子炉は、津波襲来前に地震により自動停止する可能性が高く、自動停止しない場合においても、地震発生から津波襲来までの時間余裕の間に原子炉を手動停止することから、津波襲来時には原子炉は停止しているものとする。(別紙 3.2.2.1-2)
- (b) 地震が安全上重要な設備に及ぼす影響は考慮せず、津波による影響のみを評価する。
- (c) 起因事象に対する対応は、設計基準事故対象設備による対応を基本とし、これまでに整備した A M 策及び緊急安全対策並びに重大事故等対処設備については、期待しないものとする。
- (d) 原子炉建屋の 1 階床面高さである E. L. +8.2m に津波が到達した場合は、津波が建屋内に浸水し、建屋内の機器が没水、被水により機能喪失するものと仮定した。

(2) 津波により炉心損傷に至る事故シナリオと分析

a. 事故シナリオの広範な分析・選定及び事故シナリオのスクリーニング

津波特有の事故シナリオを広範に分析・選定するため、津波 P R A 学会標準を参考に、考慮すべき影響として以下に示す直接的影響及び間接的影響を抽出した。

- (a) 直接的影響
 - i) 浸水による設備の没水、被水
 - ii) 津波波力、流体力、浮力
 - iii) 海底砂移動

- iv) 引き波による水位低下
- (b) 間接的影響
 - i) 洗掘
 - ii) 漂流物の衝突
 - iii) 津波による高ストレス
 - iv) 作業環境の悪化

その上で、直接的影響又は間接的影響ごとに、影響を受ける可能性のある設備と、考えられる事故シナリオを抽出した。津波による事故シナリオの抽出結果を第 3.2.2.1-3 表に示す。

なお、直接的影響のうち、海底砂移動及び引き波による水位低下、間接的影響のうち、津波による高ストレス及び作業環境の悪化については、以下の理由から事故シナリオの対象外とした。

- ・海底砂移動

海底砂移動に関して事故シナリオを検討するためには、取水口が閉塞する津波高さの評価結果が必要となるが、現状では定量的な評価をする手法が整備されていないことから、津波 P R A 学会標準^{※1}に従い、今回の津波 P R A においては評価の対象外とした。なお、基準津波に伴う砂移動については評価を行っており、海水ポンプ室取水口の開口高さに比べて取水口前面における砂の堆積厚が小さいこと、最大堆積量分布から取水口前面の砂の堆積は局所的であることから、閉塞することはないことを確認している。(別紙 3.2.2.1-3)

※1：「炉心損傷に至るまでの事故進展が不明確、あるいは評価技術が十分でないと判断される事故シナリオについては、定量的なスクリーニングに比重をおいて判断せざるを得ないことに留意する。スクリーニングで除外されない事故シナリオを、事故シーケンス評価の対象とするか、または、留意事項として報告書等に記載する等、評価技術の成熟度を考慮した取扱いとする。」(津波 P R A 学会標準 6.2 項より抜粋)

- ・引き波による水位低下

海水の潮位が低下して、海水を水源とするポンプ（非常用海水ポンプ※²及び常用海水ポンプ※³）の取水障害が発生し、キャビテーションでポンプが機能喪失することとなる。その後の事象進展は、押し波により非常用海水ポンプ又は常用海水ポンプが損傷して発生するシナリオと同じであり、新たな事故シーケンスを発生させるものではないため、対象外とした。（別紙 3.2.2.1-4）

- ・津波による高ストレス

緩和設備の操作失敗に係る人的過誤確率の評価において考慮するため対象外とした。

- ・作業環境の悪化

事象発生後の作業環境悪化を考慮しなければならない設備（可搬型設備等）には期待していないため、対象外とした。

b. 事故シナリオの明確化及び起因事象の分析

上記 a. における事故シナリオの抽出結果に基づき、津波特有の原因によって炉心損傷に至る事故シナリオを明確化するとともに、明確化した事故シナリオを対象に津波を起因として炉心損傷に至る起因事象を分析した。事故シナリオの明確化及び起因事象の分析結果を第 3.2.2.1-4 表及び第 3.2.2.1-4 図に示す。

また、抽出した起因事象のスクリーニングの過程を以下に示す。

○津波の遡上高さ：～E. L. +8.2m

津波の敷地内浸水の影響等により海水ポンプ室への浸水が生じ、

※2：残留熱除去系海水ポンプ（RHR Sポンプ）、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ（DG SWポンプ）、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ（HPCS-DG SWポンプ）
※3：循環水ポンプ、補機冷却系海水ポンプ

以下の事象が発生する。

- ・ 循環水ポンプの機能喪失による「①復水器真空度喪失」
- ・ 非常用海水ポンプの機能喪失による「②最終ヒートシンク喪失」
- ・ 補機冷却系海水ポンプの機能喪失による「⑤タービン・サポート系故障」

これらの事象は、海水ポンプ室への浸水に伴い同時に発生するが、津波襲来前に原子炉は既に停止しており、津波 P R A の評価では①、⑤の事象に伴い機能喪失する給・復水系に期待していないことから、緩和設備の機能喪失の要因となる「最終ヒートシンク喪失」を想定して評価する。

○津波の遡上高さ： E. L. +8.2m～

敷地内へ浸水した津波が E. L. +8.2m 以上の高さに到達した場合、上記の事象に加え、以下の事象が発生する。

- ・ 変圧器機能喪失による外部電源喪失及び最終ヒートシンク喪失の重畳による「③全交流動力電源喪失」
- ・ 「④ 復水貯蔵タンクの機能喪失、燃料移送系機能喪失」
- ・ タービン建屋内機器機能喪失による「⑤タービン・サポート系故障」
- ・ 「⑥原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失」

これらの事象は、津波が E. L. +8.2m 以上の敷地高さまで到達するような場合に発生するが、津波 P R A の評価では、原子炉建屋内浸水に伴う原子炉建屋内機器が機能喪失し、全交流動力電源喪失及び全緩和設備の機能喪失により直接的に炉心損傷に至る「原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失」を想定して評価する。

この結果、スクリーニングで除外されずに残った事故シナリオによる起因事象としては、「最終ヒートシンク喪失」及び「原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失」の2事象が選定された。

また、「原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失」は、津波が原子炉建屋1階床面の高さである E.L. +8.2m に達した場合に建屋内浸水が生じるものとしている。

選定された起因事象の説明を以下に示す。

(a) 最終ヒートシンク喪失

- i) 津波の敷地内浸水の影響（防潮堤越流）、津波波力の影響（防潮堤及び防潮扉の損傷、放水路止水機能喪失、取水路止水機能喪失等）により、海水ポンプ室浸水が生じ、非常用海水ポンプの機能喪失による最終ヒートシンク喪失に至る。

(b) 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失

- i) 津波の敷地内浸水の影響（防潮堤越流）、津波波力の影響（防潮堤及び防潮扉の損傷、放水路止水機能喪失、取水路止水機能喪失並びに取水路止水機能喪失に引き続く原子炉建屋外壁部止水機能喪失）により、原子炉建屋内浸水が生じ、複数の緩和機能喪失に至る。
- ii) 津波波力の影響、漂流物の衝突の影響（原子炉建屋損傷、排気筒損傷に引き続く原子炉建屋損傷）により、原子炉建屋内浸水が生じ、複数の緩和機能喪失に至る。

c. 建屋・機器リストの作成

上記 b. における起因事象の分析結果に基づき、津波 P R A の評価対象として、津波防護施設、浸水防止設備、起因事象を引き起こす設備及

び起因事象を緩和する設備を選定して、建屋・機器リストを作成した。

建屋・機器リストを第 3.2.2.1-5 表に示す。(別紙 3.2.2.1-5, 別紙 3.2.2.1-6)

3.2.2.2 確率論的津波ハザード

(1) 確率論的津波ハザード評価の方法

確率論的津波ハザード評価については、津波 P R A 学会標準, 土木学会 (2002, 2009, 2011), 原子力安全基盤機構 (2014), 地震調査研究推進本部 (2012a, 2012b) 等を踏まえて実施した。また, 2011 年東北地方太平洋沖地震の発生に伴い, 当該地震の発生領域に蓄積していたひずみはほぼ解消し, 今後数百年オーダーの期間に, プレート境界部で 2011 年東北地方太平洋沖地震と同程度の規模のすべりの発生が起こる可能性は小さいことも考慮した。

評価の全体方針を別紙 3.2.2.2-1 の p. 2, 3 に示す。

(2) 確率論的津波ハザード評価に当たっての主要な仮定

評価対象とする津波発生領域は, 敷地に与える津波の影響が大きい日本海溝沿いの海域とした。津波発生領域は, 津波 P R A 学会標準, 土木学会 (2009) 等 に示される領域を参考に設定した。ただし, 三陸沖北部から房総沖の領域については, 2011 年東北地方太平洋沖地震から得られた知見を踏まえ, 典型的なプレート間地震と津波地震の連動型地震も考慮した。

津波発生領域の設定及びロジックツリーを別紙 3.2.2.2-1 の p. 4~9 に示す。

(3) 確率論的津波ハザード評価結果

基準津波の策定位置，防潮堤位置及び取水口前面において算出した津波ハザード曲線の評価結果を別紙 3.2.2.2-1 の p. 10～13 に示す。

3.2.2.3 建屋・機器フラジリティ

(1) 評価対象と損傷モードの設定

3.2.2.1(2) b. における起因事象の分析結果（第 3.2.2.1-4 図）及び 3.2.2.1(2) c. で作成した建屋・機器リスト（第 3.2.2.1-4 表）に基づき，評価対象設備の考慮すべき影響（損傷モード）ごとにフラジリティを検討した。なお，事故シナリオのスクリーニングにおいて対象外とした，海底砂移動及び引き波による水位低下については除外している。建屋・機器のフラジリティ評価結果を第 3.2.2.3-1 表に示す。（別紙 3.2.2.3-1，別紙 3.2.2.3-2，別紙 3.2.2.3-3）

評価対象設備のフラジリティ検討の結果，津波防護施設及び浸水防止設備については波力を，また，起因事象を引き起こす設備及び起因事象を緩和する設備については没水，被水を津波による支配的な損傷モードとして抽出した。

(2) フラジリティ評価結果

抽出した評価対象設備に対する波力，没水，被水の損傷モードについては，津波が評価対象設備を損傷又は評価対象設備に到達する津波高さに達した時点で，当該設備が確率 1.0 で損傷すると仮定し，フラジリティ曲線は，第 3.2.2.3-1 図に示すステップ状とした。

上記を踏まえた建屋・機器のフラジリティ評価結果について，津波高さの区分ごとに整理した。

- a. 非常用海水ポンプは、津波高さが防潮堤高さである T.P. +20m を超えた時点で没水、被水により機能喪失する。
- b. 原子炉建屋内機器は、津波高さが T.P. +23m を超えた時点で原子炉建屋内浸水が生じ、没水、被水により機能喪失する。(別紙 3.2.2.3-4)

3.2.2.4 事故シーケンス

(1) 起因事象

a. 津波高さごとのシナリオ分類

津波高さに応じたプラントへの影響を識別するため、津波高さと敷地内浸水深の関係及び建屋・機器フラジリティを考慮し、プラントへの影響が同等となる津波高さを分類した。分類した津波区分において発生する起因事象及び事故シナリオについて、第 3.2.2.4-1 表及び第 3.2.2.4-1 図に示す。また、以下に各区分の特徴を示す。

なお、津波高さ T.P. +20m 以下の津波については、プラントへの影響がないため、津波を起因として炉心損傷に至る事故シーケンスはない。

(a) 津波区分 1 (津波高さ T.P. +20m～T.P. +23m)

防潮堤位置における津波高さが T.P. +20m を超過する場合、津波が防潮堤を越流し、敷地内浸水が発生する。本区分では、R H R S ポンプ、D G S W ポンプ及び H P C S - D G S W ポンプが没水、被水して、起因事象「最終ヒートシンク喪失」が発生する。

(b) 津波区分 2 (津波高さ T.P. +23m～)

津波高さ T.P. +23m を超過する場合、原子炉建屋 1 階床面高さまで津波が到達し、原子炉建屋内への浸水が発生することにより起因事象「原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失」が発生し、直接炉心損傷に至る。なお、本区分では起動変圧器及び予備変圧器の機能喪失

による外部電源喪失に伴い、全交流電源喪失も併せて発生する。

b. 階層イベントツリーについて

選定した起因事象及び津波区分をもとに、津波により発生する起因事象の影響の大きさを考慮することで階層イベントツリーを作成し、評価を行った。

津波 P R A の階層イベントツリーを第 3.2.2.4-2 図に示す。階層イベントツリーの各ヘディング及び分岐構造に関する考え方は以下のとおりである。

(a) 原子炉建屋内浸水

防潮堤を越流した津波による原子炉建屋への浸水の有無を分岐として設定した。津波 P R A では、原子炉建屋外壁扉及び建屋内の止水対策に期待していないため、津波が原子炉建屋 1 階床面高さである E. L. +8.2m に到達した時点で建屋内への浸水が発生し、建屋内の全緩和設備が機能喪失すると仮定している。このため、イベントツリー上では原子炉建屋内浸水後のヘディングの分岐は設けず、直接炉心損傷に至るものとした。

(b) 最終ヒートシンク喪失

防潮堤を越流した津波による非常用海水ポンプの機能喪失の有無を分岐として設定した。

(2) 成功基準

炉心損傷防止の成功基準は、内部事象出力運転時レベル 1 P R A と津波 P R A で相違ないため、内部事象出力運転時レベル 1 P R A で設定した成功基準を用いることができる。ただし、津波襲来までに原子炉は停止して

いることから、原子炉停止機能については評価対象とはせず考慮しない。

使命時間については、内部事象出力運転時レベル 1 P R A と同様に 24 時間とし、機器や外部電源の復旧には期待していない。

(3) 事故シーケンス

津波により発生する起因事象「最終ヒートシンク喪失」のイベントツリーを第 3.2.2.4-3 図に示す。「最終ヒートシンク喪失」については、いずれのシーケンスも炉心損傷に至るが、高圧炉心冷却系である R C I C の成否により事故シーケンスが異なるため、圧力バウンダリ健全性（逃がし安全弁再閉鎖）及び高圧炉心冷却をヘディングとしてイベントツリーを展開している。なお、圧力バウンダリ健全性（逃がし安全弁再閉鎖）のヘディングについては、逃がし安全弁再閉鎖失敗により R C I C の駆動蒸気が喪失し、R C I C が機能喪失することを考慮して設定したものである。

(4) システム信頼性解析

システムの非信頼度は、内部事象出力運転時レベル 1 P R A と同様の評価を用いた。

(5) 人的過誤

a. 起因事象発生前の人的過誤

事象発生前における設備の試験・保守作業終了後の復旧忘れ等であり、津波による影響を考慮する必要がないため、内部事象出力運転時レベル 1 P R A と同様の評価を用いた。

b. 起因事象発生後の人的過誤

事象発生後における対応操作に対する過誤であり、内部事象出力運転時レベル 1 P R A と同様の対応操作の過誤を想定している。ただし、過誤確率の評価においては、津波襲来後に対応する作業であることを考慮し、内部事象出力運転時レベル 1 P R A と比較して高いストレスレベルを仮定した。起因事象発生後の人的過誤確率を第 3.2.2.4-2 表に示す。

(6) 炉心損傷頻度

a. 炉心損傷頻度の算出に用いた方法

津波 P R A では、計算コード RiskSpectrum®PSA を用いて、フォールトツリー結合法により事故シーケンスを定量化し、炉心損傷頻度を算出した。

b. 炉心損傷頻度評価結果

(a) 津波区分ごとの評価結果

津波区分ごとの評価結果及び炉心損傷頻度に対する寄与割合を第 3.2.2.4-3 表及び第 3.2.2.4-4 図に示す。

津波の影響による全炉心損傷頻度（点推定値）は約 $3.5\text{E-}05$ /炉年となり、津波区分 1（津波高さ T.P. +20m～T.P. +23m）が約 69%を占め支配的となった。

(b) 事故シーケンスグループごとの評価結果

事故シーケンスグループごとの炉心損傷頻度及び炉心損傷頻度に対する寄与割合を第 3.2.2.4-4 表及び第 3.2.2.4-5 図に示す。事故シーケンスグループごとの炉心損傷頻度は「崩壊熱除去機能喪失（TW）」の寄与割合が約 68%と最も大きく、次いで「原子炉建屋内浸水による

複数の緩和機能喪失（全交流動力電源喪失（T B U））」の寄与割合が約 31%と大きくなった。主要な事故シーケンスの概要を以下に示す。

i) 崩壊熱除去機能喪失（T W）

本シーケンスの炉心損傷頻度は、約 $2.4\text{E-}05$ ／炉年であり、炉心損傷頻度の約 68%を占める。本シーケンスは、津波区分 1（津波高さ T.P. +20m～T.P. +23m）において「最終ヒートシンク喪失」が発生し、崩壊熱除去機能喪失により炉心損傷に至る。

ii) 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失（全交流動力電源喪失（T B U））

本シーケンスの炉心損傷頻度は、約 $1.1\text{E-}05$ ／炉年であり、炉心損傷頻度の約 31%を占める。本シーケンスは、津波区分 2（津波高さ T.P. +23m～）における津波により、原子炉建屋内浸水及び全交流電源喪失が発生し、複数の緩和設備が機能喪失して炉心損傷に至る。

c. 重要度解析，不確実さ解析，感度解析

(a) 重要度解析

津波 P R A の重要度解析については、評価対象となる津波高さ以上（T.P. +20m～）では、必ず炉心損傷に至るため、重要度解析を実施しても有用な情報は得られないと判断し、実施していない。

(b) 不確実さ解析

確率論的津波ハザードの不確かさを考慮し、不確実さ解析を実施した。不確実さ解析の結果を第 3.2.2.4-6 図に示す。全炉心損傷頻度の平均値は約 $3.6\text{E-}05$ ／炉年となり、点推定値とほぼ同値となった。また、T.P. +20m を超える津波高さでは、確率論的津波ハザードの不確

かさが非常に大きいものとなっている。

(c) 感度解析

ベースケースでは地震による直接的影響がないものとして評価しているが、大規模な地震時には地震耐力の小さい外部電源設備が損傷している可能性があることから、津波襲来前に地震により外部電源が喪失すると仮定した感度解析を実施した。(別紙 3.2.2.4-1)

感度解析結果を第 3.2.2.4-5 表及び第 3.2.2.4-7 図に示す。評価対象となる津波高さ (T.P. +20m～) では緩和設備がなくなり必ず炉心損傷に至るため、全炉心損傷頻度は変わらない。一方、事故シーケンスグループについては、地震による外部電源喪失を仮定したことにより津波区分 1 (津波高さ T.P. +20m～T.P. +23m) の範囲においても全交流電源喪失に至るため、「全交流動力電源喪失」の事故シーケンスグループが全炉心損傷頻度の 100%を占め、支配的となった。

d. まとめ

東海第二発電所の津波 P R Aを実施した結果、全炉心損傷頻度の点推定値は、約 $3.5\text{E-}05$ /炉年となった。事故シーケンスとしては、「最終ヒートシンク喪失」が発生し、崩壊熱除去機能喪失により炉心損傷に至るシーケンス「崩壊熱除去機能喪失 (TW)」が最も寄与割合が多く、次いで津波が原子炉建屋内に浸水し、「原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失 (全交流動力電源喪失 (TBU))」により炉心損傷に至るシーケンスの寄与割合が大きくなった。

また、感度解析として地震により外部電源が喪失していると仮定した場合の評価を行った。その結果、外部電源の有無により事故シーケンスは異なるものの、評価対象となる津波高さでは非常用海水系が機能喪失

し、緩和設備がなくなるため、全炉心損傷頻度は変わらないことを確認した。

なお、海底砂移動による海水取水機能障害の影響については、事故シナリオの検討で現時点では評価技術が十分でないことから評価対象外としているが、リスク要因となり得ることに留意する必要がある。

第3.2.2.1-1 表 津波PRAで収集した情報及び主な情報源

項目	PRA評価作業	収集すべき情報	主な情報源
1	対象プラントと事故シナリオ	津波PRAの実施に当たり必要とされる設計・運転管理に関する基本的な情報	- 内部事象出力運転時レベル1PRAで収集した図書（原子炉設置許可申請書，工事計画認可申請書，保安規定等） - 津波固有に考慮すべき関連図書（配管施工図，据付図，外形図，配置図，原子炉建屋一般配置図等） - プラントウォークダウン報告書
2	確率論的津波ハザード	評価対象サイトに影響を与え得る津波を発生させる地震発生様式に関する情報	下記の参考文献※
3	建屋・機器フラジリティ	- プラント固有の建屋・機器の耐力評価及び応答評価に関する情報 - 浸水解析結果	上記項目1の情報源
4	事故シナリオ a) 事故シナリオ及び起因事象の分析 b) 事故シナリオの分析 ・成功基準の設定 ・イベントツリーの作成 c) システムのモデル化 d) 事故シナリオの定量化	- 津波時に想定されるプラント状態での必要な情報 - 安全系等のシステム使用条件 - システムの現実的な性能 - 運転員による緩和操作 - 評価対象プラントに即した機器故障モード，運転状態 - 評価結果の妥当性を確認できる情報	- 上記項目1の情報源 - 既往のPRA情報

※：・土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2002)：原子力発電所の津波評価技術
・土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2009)：確率論的津波ハザード解析の方法（案）
・土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2011)：確率論的津波ハザード解析の方法
・原子力安全基盤機構(2014)：確率論的手法に基づく基準津波策定手引き
・地震調査研究推進本部地震調査委員会(2012a)：三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価（第二版）について
・地震調査研究推進本部地震調査委員会(2012b)：今後の地震動ハザード評価に関する検討～2011年・2012年における検討結果

第 3.2.2.1-2 表 プラントウォークダウン結果

No.	機器名称等※ ¹	津波影響の確認					間接的な被害の可能性の確認		総合評価
		対象機器の図面（配置図・構造図等）との相違※ ²		屋外の構造物、機器の波力に対する耐力※ ²			津波襲来時に建物の外部にある設備の津波等による離脱、移動等により生じる衝突の可能性があるかどうか		
		図面から想定した設置高さ（フロア）と相違無い	対象建屋貫通部が、図面等から想定した状況（貫通孔の有無、水密化処理の有無、設置高さ）と相違ない	基礎ボルト（又は設置面溶接部）及び支持構造物に外観上の異常（腐食・亀裂等）はない	対象機器周辺の配管に外観上の異常（腐食・亀裂等）はない	海水ポンプ室開口部・貫通部及び原子炉建屋貫通部の開口部・貫通部の止水状態に外観上の異常はない			
1	残留熱除去系海水系※ ³	Y	N/A	Y	Y	N/A	N/A※ ⁶	N/A※ ⁶	問題なし
2	非常用ディーゼル発電機用海水系※ ²	Y	N/A	Y	Y	N/A	N/A※ ⁶	N/A※ ⁶	問題なし
3	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系※ ³	Y	N/A	Y	Y	N/A	N/A※ ⁶	N/A※ ⁶	問題なし
4	循環ポンプ	Y	N/A	Y	Y	N/A	N/A※ ⁶	N/A※ ⁶	問題なし
5	補機冷却系海水ポンプ	Y	N/A	Y	Y	N/A	N/A※ ⁶	N/A※ ⁶	問題なし
6	海水ポンプ室開口部・貫通部	N/A	Y	N/A	N/A	Y	N/A※ ⁷	N/A※ ⁷	問題なし
7	原子炉建屋外壁貫通部（原子炉建屋、タービン建屋）※ ⁴	N/A	Y	N/A	N/A	Y	N/A※ ⁷	N/A※ ⁷	問題なし
8	起動変圧器、予備変圧器	Y	N/A	N/A※ ⁵	N/A※ ⁵	N/A	N/A※ ⁸	N/A※ ⁸	問題なし
9	復水貯蔵タンク	Y	N/A	N/A※ ⁵	N/A※ ⁵	N/A	N/A※ ⁸	N/A※ ⁸	問題なし
10	燃料移送系	Y	N/A	N/A※ ⁵	N/A※ ⁵	N/A	N/A※ ⁸	N/A※ ⁸	問題なし
11	排気筒	Y	N/A	N/A※ ⁵	N/A※ ⁵	N/A	N/A※ ⁸	N/A※ ⁸	問題なし

【凡例】 Y：YES N：NO U：調査不可 N/A：対象外

※1：第 3.2.2.1-2 図のプラントウォークダウン対象機器の選定フローにより抽出される新規設置設備（防潮堤、防潮扉及び放水路止水対策）は、プラントウォークダウンの対象外とする。

※2：津波が、原子炉建屋 1 階床面高さである E.L. + 8.2m に到達した時点で、原子炉建屋内浸水が生じ、建屋内の機器が没水、被水により機能喪失すると仮定しているため、高さ E.L. + 8.2m までの範囲について確認した。

※3：海水ポンプ及び海水ポンプ室内の関連機器を含む。

※4：地下トレンチ及び取り合い部及び隣接する建屋境界を含む。

※5：津波が、E.L. + 8.2m に到達した時点で、原子炉建屋内浸水が生じ、建屋内の機器が没水、被水により機能喪失するため調査対象外とした。

※6：漂流物の衝突等による間接的な被害が生じる前に、没水、被水により当該機器は機能喪失するため調査対象外とした。

※7：漂流物の衝突等による間接的な被害が生じる前に、原子炉建屋内浸水が生じ、建屋内機器の没水、被水により機能喪失するため、調査対象外とした。

※8：漂流物の衝突等による間接的な被害が生じる前に、原子炉建屋内浸水が生じ、建屋内機器の没水、被水により機能喪失するため、調査対象外とした。

第 3.2.2.1-3 表 津波による事故シナリオの抽出結果 (1/5)

津波の影響	影響の種類	建屋・構築物、機器・配管系への影響	影響を受ける可能性のある設備	考えられるシナリオ
直接的	1. 浸水による設備の没水，被水	建屋・構築物、機器の動的機能喪失 電気設備の発電／送電機能喪失	(1) 循環水ポンプ	① 津波の防潮堤越流により海水ポンプ室浸水が生じ、循環水ポンプの機能喪失による復水器真空度喪失が発生する。
			(2) 補機冷却系海水ポンプ	① 津波の防潮堤越流により海水ポンプ室浸水が生じ、補機冷却系海水ポンプの機能喪失によるタービン・サポート系故障が発生する。
			(3) 非常用海水系※1	① 津波の防潮堤越流により海水ポンプ室浸水が生じ、非常用海水ポンプの機能喪失による最終ヒートシンク喪失が発生する。
			(4) 起動変圧器，予備変圧器	① 津波の防潮堤越流により敷地内浸水が生じ、起動変圧器及び予備変圧器の機能喪失による外部電源喪失が発生する。
			(5) 燃料移送ポンプ	① 津波の防潮堤越流により敷地内浸水が生じ、燃料移送ポンプの機能喪失による燃料移送系機能喪失が発生する。
			(6) タービン建屋内機器	① 津波の防潮堤越流によりタービン建屋内浸水が生じ、タービン建屋内機器の機能喪失によるタービン・サポート系故障が発生する。
			(7) 原子炉建屋内機器	① 津波の防潮堤越流により原子炉建屋内浸水が生じ、複数の緩和系機器の機能喪失が発生する。
	2. 津波波力，流れ，体力，浮力	建屋・構築物，機器の構造的損傷	(8) 防潮堤及び防潮扉	① 津波波力により防潮堤及び防潮扉が損傷する。 ② ①により海水ポンプ室浸水，敷地浸水，タービン建屋内浸水及び原子炉建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1. 浸水による設備の没水，被水と同じ。
			(9) 放水路止水対策（構内排水路止水対策含む）	① 津波波力により放水路止水機能が喪失する。 ② ①により海水ポンプ室浸水，敷地浸水，タービン建屋内浸水及び原子炉建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1. 浸水による設備の没水，被水と同じ。

※1：非常用海水系とは，残留熱除去系海水ポンプ（RHR Sポンプ），非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ（DGS Wポンプ），高圧炉心スプレイスディーゼル発電機用海水ポンプ（HPCS-DGS Wポンプ）及び海水ポンプ室内の関連機器を含む。以下，同じ。

第 3.2.2.1-3 表 津波による事故シナリオの抽出結果 (2/5)

津波の 影響	影響の 種類	建屋・構築物、機器 ・配管系への影響	影響を受ける可 能性のある設備	考えられるシナリオ
直接的	2. 津波波 力，流 体力， 浮力 (つづき)	建屋・構築物，機器・ 配管系の構造的損傷 (つづき)	(10) 取水路止水 対策（海水取 水ピット止 水対策含む）	①津波波力により取水路止水機能が喪失する。 ②①により海水ポンプ室浸水，敷地浸水，タービン建屋内浸水及び原子炉建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1．浸水による設備の没水，被水と同じ。
			(11) 原子炉建屋 外壁部止水 対策	①津波波力により取水路止水機能が喪失し，引き続き原子炉建屋外壁部止水対策の機能が喪失する。 ②①により原子炉建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1．浸水による設備の没水，被水の(7)原子炉建屋内機器と同じ。
			(12) 起動変圧器， 予備変圧器	①津波波力により起動変圧器及び予備変圧器が損傷する。
			(13) 復水貯蔵タ ンク	②①により，変圧器機能喪失が生じ，外部電源喪失が発生する。 ①津波波力により復水貯蔵タンク機能が損傷する。 ②①により，復水貯蔵タンク機能喪失が生じ，これを水源とする機器の機能喪失が発生する。
			(14) 燃料移送系 ※2	①津波波力により燃料移送ポンプが損傷する。 ②①により，燃料移送系機能喪失が生じ，非常用ディーゼル発電機の機能喪失が発生する。
			(15) タービン建 屋	①津波波力によりタービン建屋が損傷する。 ②①によりタービン建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1．浸水による設備の没水，被水の(6)タービン建屋内機器と同じ。
			(16) 原子炉建屋	①津波波力により原子炉建屋が損傷する。 ②①により原子炉建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1．浸水による設備の没水，被水の(7)原子炉建屋内機器と同じ。

※2：燃料移送系とは，燃料移送ポンプ及び関連設備を含む。以下，同じ。

第 3.2.2.1-3 表 津波による事故シナリオの抽出結果 (3/5)

津波の影響	影響の種類	建屋・構築物、機器・配管系への影響	影響を受ける可能性のある設備	考えられるシナリオ
直接的	2. 津波波力，流体力，浮力（つづき）	建屋・構築物，機器・配管系の構造的損傷（つづき）	(17) 排気筒	① 津波波力により排気筒が損傷する。 ② ①によりタービン建屋が損傷し，タービン建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1. 浸水による設備の没水，被水の(6)タービン建屋内機器と同じ。 ③ ①により原子炉建屋が損傷し，原子炉建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1. 浸水による設備の没水，被水の(7)原子炉建屋内機器と同じ。
			(18) 循環水ポンプ	① 海底砂移動により海水取水機能障害が生じ，循環水ポンプの機能喪失が発生する。
			(19) 補機冷却系海水ポンプ	① 海底砂移動により海水取水機能障害が生じ，補機冷却系海水ポンプの機能喪失によるタービン・サポート系故障が発生する。
	3. 海底砂移動※3	海水取水設備の機能喪失	(20) 非常用海水ポンプ	① 海底砂移動による海水取水機能障害が生じ，非常用海水ポンプの機能喪失による最終ヒートシンク喪失が発生する。
			(21) 循環水ポンプ	① 引き波による水位低下により海水取水機能障害が生じ，循環水ポンプの機能喪失による復水器真空度喪失が発生する。
			(22) 補機冷却系海水ポンプ	① 引き波による水位低下により海水取水機能障害が生じ，補機冷却系海水ポンプの機能喪失によるタービン・サポート系故障が発生する。
			(23) 非常用海水ポンプ	① 引き波による水位低下により海水取水機能障害が生じ，非常用海水ポンプの機能喪失による最終ヒートシンク喪失が発生する。
	4. 引き波による水位低下※4	海水取水設備の機能喪失		

※3：海底砂移動は，現時点では評価技術が十分でないため，津波 P R A 学会標準に従い，今回の津波 P R A においては評価の対象外とした。

※4：引き波による水位低下は，押し波により非常用海水ポンプ又は非常用海水ポンプが損傷して発生するシナリオと同じであり，新たな事故シナリオを発生させるものではないため，対象外とした。

第 3.2.2.1-3 表 津波による事故シナリオの抽出結果 (4/5)

津波の影響	影響の種類	建屋・構築物、機器・配管系への影響	影響を受ける可能性のある設備	考えられるシナリオ
間接的	5. 洗掘	建屋・構築物、機器・配管系の構造的損傷	(24) 防潮堤及び防潮扉	① 洗掘により防潮堤・防潮扉が損傷する。 ② ①により海水ポンプ室浸水，敷地浸水，タービン建屋内浸水及び原子炉建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1. 浸水による設備の没水，被水と同じ。
	6. 漂流物の衝突	建屋・構築物，機器・配管系の構造的損傷	(25) 防潮堤・防潮扉	① 漂流物の衝突により防潮堤・防潮扉が損傷する。 ② ①により海水ポンプ室浸水，敷地浸水，タービン建屋内浸水及び原子炉建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1. 浸水による設備の没水，被水と同じ。
			(26) 起動変圧器，予備変圧器	① 漂流物の衝突により起動変圧器及び予備変圧器が損傷する。 ② ①により，変圧器機能喪失が生じ，外部電源喪失が発生する。
			(27) 復水貯蔵タンク	① 津波波力により復水貯蔵タンク機能喪失が生じ，これを水源とする機器の機能喪失が発生する。 ② ①により，復水貯蔵タンク機能喪失が生じ，これを水源とする機器の機能喪失が発生する。
			(28) 燃料移送系※2	① 漂流物の衝突により燃料移送ポンプが損傷する。 ② ①により，燃料移送系機能喪失が生じ，非常用ディーゼル発電機の機能喪失が発生する。
			(29) タービン建屋	① 漂流物の衝突によりタービン建屋が損傷する。 ② ①によりタービン建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1. 浸水による設備の没水，被水の(6)タービン建屋内機器と同じ。
			(30) 原子炉建屋	① 漂流物の衝突により原子炉建屋が損傷する。 ② ①により原子炉建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1. 浸水による設備の没水，被水の(7)原子炉建屋内機器と同じ。

第 3.2.2.1-3 表 津波による事故シナリオの抽出結果 (5/5)

津波の 影響	影響の 種類	建屋・構築物，機器 ・配管系への影響	影響を受ける可 能性のある設備	考えられるシナリオ
間接的	6. 漂流物 の衝突 (つづき)	建屋・構築物，機器・ 配管系の構造的損傷 (つづき)	(31) 排気筒	① 漂流物の衝突により排気筒が損傷する。 ② ①によりタービン建屋が損傷し，タービン建屋内浸水が生じる。その後のシナリオは，1．浸水による設備の没水，被水の (6)タービン建屋内機器と同じ。 ③ ①により原子炉建屋が損傷し，原子炉建屋内浸水が生じる。そ の後のシナリオは，1．浸水による設備の没水，被水の(7)原 子炉建屋内機器と同じ。
	7. 津波に よる高 ストレ ス	運転員等の操作失敗	—	① 津波による高ストレスは，緩和設備の操作失敗に係る人的過誤 確率の評価において考慮するため，シナリオから除外する。
	8. 作業環 境の悪 化	運転員等の回復操作 失敗	—	① 事象発生後の作業環境悪化を考慮しなければならない設備(可 搬型設備等)については期待していないため，シナリオから除 外する。

第3.2.2.1-4表 津波による影響を受ける建屋・機器及び発生する起因事象

津波の遡上高さ	津波による影響を受ける建屋・機器	起因事象※
～E. L. + 8.2m	・ 循環水ポンプ ・ 非常用海水ポンプ (R H R S, D G S W, H P C S - D G S W) ・ 補機冷却系海水ポンプ	・ (① 復水器真空度喪失) ・ ② 最終ヒートシンク喪失 ・ (⑤ タービン・サポート系喪失)
E. L. + 8.2m～	・ 起動変圧器，予備変圧器 ・ 燃料移送系 ・ 復水貯蔵タンク ・ タービン建屋 ・ 原子炉建屋	・ (① 復水器真空度喪失) ・ (② 最終ヒートシンク喪失) ・ (⑤ タービン・サポート系喪失) ・ (③ 全交流動力電源喪失) (外部電源喪失＋最終ヒートシンク喪失) ・ (④ －) (燃料移送系，復水貯蔵タンク損傷に伴う 緩和設備の機能喪失) ・ ⑥ 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失

※：下線の起因事象は、津波の遡上高さが高くなることにより新たに発生する起因事象となる。

また、()内の起因事象は、同時に発生する可能性があるが、他の起因事象で発生する影響に包含される起因事象となる

第 3.2.2.1-5 表 建屋・機器リスト (1/2)

区 分		No.	建屋・機器（系統）名称		設置場所※ ¹	設置場所 の高さ※ ¹ (E. L.)
津波防護施設及び浸水防止設備		1	防潮堤及び防潮扉	－	屋外	－
		2	放水路止水対策（構内排水路止水対策含む）	－	屋外	－
		3	取水路止水対策（海水取水ピット止水対策含む）	－	海水ポンプ室及び屋外	－
		4	原子炉建屋外壁部（地下部分）止水対策（隣接する建屋境界部含む）	－	原子炉建屋及び屋外	－
起因事象を引き起こす設備		5	残留熱除去系海水系（海水ポンプ及び関連機器含む）	ポンプ	海水ポンプ室	+0.8m
		6	非常用ディーゼル発電機用海水系（海水ポンプ及び関連機器含む）	ポンプ	海水ポンプ室	+0.8m
		7	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系（海水ポンプ及び関連機器含む）	ポンプ	海水ポンプ室	+0.8m
		8	循環水ポンプ	ポンプ	海水ポンプ室	+0.8m
		9	補機冷却系海水ポンプ	ポンプ	海水ポンプ室	+0.8m
		10	起動変圧器，予備変圧器	変圧器	屋外	+8.2m
		11	原子炉建屋	1 階床面	－	+8.2m
		12	タービン建屋	1 階床面	－	+8.2m
		13	排気筒	排気筒	屋外	+8.5m
起因事象を緩和する設備	フロントライン系	14	高圧炉心スプレイ系	ポンプ，電動弁，空調機	原子炉建屋（地下2階）	－4.0m
		15	原子炉隔離時冷却系	ポンプ，タービン，電動弁，器具，分電盤	原子炉建屋（地下2階）	－4.0m
		16	低圧炉心スプレイ系	ポンプ，電動弁，空調機	原子炉建屋（地下2階）	－4.0m
		17	低圧注水系（残留熱除去系）	ポンプ，電動弁，空調機	原子炉建屋（地下2階）	－4.0m
		18	自動減圧系	制御盤	原子炉建屋（2階）	+18.0m
	サポート系	19	復水貯蔵タンク	タンク	屋外	+3.0m
		20	燃料移送系	タンク，ポンプ	屋外	+8.3m
		21	直流電源系	分電盤	原子炉建屋（地下2階）	－4.0m
		22	非常用交流電源系	ディーゼル発電設備	原子炉建屋（地下2階）	－4.0m

第 3.2.2.1-5 表 建屋・機器リスト (2/2)

区 分		No.	建屋・機器（系統）名称		設置場所※ ¹	設置場所 の高さ※ ¹ (E. L.)
起 因 事 象 を 緩 和 す る 設 備	サ ポ ー ト 系	23	残留熱除去系海水系（海水ポン プ及び関連機器含む）	ポンプ	海水ポンプ室	+ 0. 8m
		24	残留熱除去系海水系（原子炉建 屋内設置機器）	熱交換器	原子炉建屋 （地下 2 階）	－ 4. 0m
		25	非常用ディーゼル発電機用海水 系（海水ポンプ及び関連機器含 む）	ポンプ	海水ポンプ室	+ 0. 8m
		26	非常用ディーゼル発電機用海水 系（原子炉建屋附属棟内設置機 器）	熱交換器	原子炉建屋 （地下 2 階）	－ 4. 0m
		27	高圧炉心スプレイ系ディーゼル 発電機用海水系（海水ポンプ及 び関連機器含む）	ポンプ	海水ポンプ室	+ 0. 8m
		28	高圧炉心スプレイ系ディーゼル 発電機用海水系（原子炉建屋内 設置機器）	熱交換器	原子炉建屋 （地下 2 階）	－ 4. 0m

※1：設置場所の高さは、工事計画認可申請書、配管施工図、配置図、据付図等を元に調査し、没水・被水による機能喪失に着目して、当該機器の設置床面の高さを記載している。（別紙 3.2.2.1-6）

なお、複数の機器が異なる高さに設置されている場合は、今回の津波 P R A の評価の前提条件を踏まえ、以下の方針で記載している。

<海水ポンプ室>

防潮堤越流により、海水ポンプ室内の機器が没水、被水するため、複数の機器が異なる高さに設置されている場合は、最も低い位置に設置されている設備の設置床面の高さを記載している。

<原子炉建屋>

原子炉建屋の1階床面高さである E.L.+8.2m に津波が到達した場合は、津波が建屋内に浸水し、建屋内の機器が没水、被水により機能喪失するものと仮定していることから、複数の機器が異なる高さに設置されている場合は、最も低い位置に設置されている設備の設置床面の高さを記載している。

<建屋本体>

原子炉建屋及びタービン建屋については、地上1階の床面高さとしている。

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果 (1/11)

区分	No.	設備名称	津波損傷モード		建屋・機器フラジリティ	備考
津波防護施設及び浸水防止設備	1	防潮堤及び防潮扉	没水，被水	—	津波の敷地内浸水を防止するものであり，没水，被水では機能喪失しないため，評価対象外とした。	
			波力，流体力，浮力	(○)	防潮堤は，原子炉建屋が浸水する津波高さまで健全である。なお，本損傷モードの発生前に津波の防潮堤越流による没水，被水により，起因事象を引き起こす設備及び起因事象を緩和する設備が機能喪失する。	※1
			洗掘	(○)	機能喪失要因となる可能性があるが，洗掘防止対策を講じる設計としているため，支配的な損傷モードとならない。	
			漂流物	(○)	機能喪失要因となる可能性があるが，漂流物の衝突を考慮した設計としているため，支配的な損傷モードとならない。	※1
			没水，被水	—	津波の敷地内浸水を防止するものであり，没水，被水では機能喪失しないため，評価対象外とした。	
	2	放水路止水対策(構内排水路止水対策含む)	波力，流体力，浮力	(○)	機能喪失要因となる可能性があるが，防潮堤耐力を超える津波を考慮した設計としている。なお，本損傷モードの発生前に津波の防潮堤越流による没水，被水により，起因事象を引き起こす設備及び起因事象を緩和する設備が機能喪失する。	※1
			洗掘	—	放水ピット及び構内排水路には，洗掘は生じないため，評価対象外とした。	
			漂流物	—	放水ピット及び構内排水路には，漂流物は衝突しないため，評価対象外とした。	

※1：別紙 3.2.2.3-1「防潮堤に対する漂流物の衝突影響評価の選定について」及び別紙 3.2.2.3-2「防潮堤及び津波流入経路止水対策の耐力について」参照。

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果 (2/11)

区分	No.	設備名称	津波損傷モード	建屋・機器フラジリティ	備考
津波防護施設及び浸水防止設備 (つづき)	3	取水路止水対策（海水取水ピット止水対策含む）	没水，被水	津波の海水ポンプ室及び敷地内浸水を防止するものであり，没水，被水では機能喪失しないため，評価対象外とした。	
			波力，流体力，浮力	機能喪失要因となる可能性があるが，防潮堤耐力を超える津波を考慮した設計としている。なお，本損傷モードの発生前に津波の防潮堤越流による没水，被水により，起因事象を引き起こす設備及び起因事象を緩和する設備が機能喪失する。	※1
			洗掘	海水ポンプ室及び海水取水ピットには，洗掘は生じないため，評価対象外とした。	
			漂流物	海水ポンプ室及び海水取水ピットには，漂流物は衝突しないため，評価対象外とした。	
			没水，被水	津波の原子炉建屋内浸水を防止するものであり，没水，被水では機能喪失しないため，評価対象外とした。	
起因事象を引き起こす設備	4	原子炉建屋（地下部分）止水対策（隣接する建屋境界を含む）	波力，流体力，浮力	機能喪失要因となる可能性があるが，取水路止水対策が損傷した場合に生じるものであるため，可能性は小さいと想定した。	
			洗掘	原子炉建屋地下部であり，洗掘の影響は生じないため，評価対象外とした。	
			漂流物	原子炉建屋地下トレンチ取り合い部及び隣接建屋境界に対する止水対策であり，漂流物は衝突しないため，評価対象外とした。	
			没水，被水	防潮堤高さ T.P. + 20m を超える津波の越流により，海水ポンプ室浸水が生じ，機能喪失する。	
			波力，流体力，浮力	本損傷モードの発生前に没水，被水により残留熱除去系海水系は機能喪失するため，評価対象外とした。	
	5	残留熱除去系海水ポンプ及び海水ポンプ室内関連機器含む）	洗掘	海水ポンプ室内であり，洗掘は生じないため，評価対象外とした。	
			漂流物	海水ポンプ室内であり，漂流物は衝突しないため，評価対象外とした。	

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果 (3/11)

区分	No.	設備名称	津波損傷モード	建屋・機器フラジリティ	備考
起因事象を 引き起こす 設備 (つづき)	6	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び海水ポンプ室内関連機器含む)	没水, 被水	防潮堤高さ T.P. + 20m を超える津波の越流により, 海水ポンプ室浸水が生じ, 機能喪失する。	
			波力, 流体 力, 浮力	本損傷モードの発生前に没水, 被水により非常用ディーゼル発電機用海水系は機能喪失するため, 評価対象外とした。	
			洗掘	海水ポンプ室内であり, 洗掘は生じないため, 評価対象外とした。	
			漂流物	海水ポンプ室内であり, 漂流物は衝突しないため, 評価対象外とした。	
	7	高圧炉心システムディーゼル発電機用海水ポンプ及び海水ポンプ室内関連機器含む)	没水, 被水	防潮堤高さ T.P. + 20m を超える津波の越流により, 海水ポンプ室浸水が生じ, 機能喪失する。	
			波力, 流体 力, 浮力	本損傷モードの発生前に没水, 被水により高圧炉心システムディーゼル発電機用海水系は機能喪失するため, 評価対象外とした。	
			洗掘	海水ポンプ室内であり, 洗掘は生じないため, 評価対象外とした。	
			漂流物	海水ポンプ室内であり, 漂流物は衝突しないため, 評価対象外とした。	
	8	循環水ポンプ	没水, 被水	防潮堤高さ T.P. + 20m を超える津波の越流により, 海水ポンプ室浸水が生じ, 機能喪失する。	
			波力, 流体 力, 浮力	本損傷モードの発生前に没水, 被水により循環水ポンプは機能喪失するため, 評価対象外とした。	
			洗掘	海水ポンプ室内であり, 洗掘は生じないため, 評価対象外とした。	
			漂流物	海水ポンプ室内であり, 漂流物は衝突しないため, 評価対象外とした。	

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果 (4/11)

区分	No.	設備名称	津波損傷モード		建屋・機器フラジリティ	備考
			没水，被水	○		
起因事象を 引き起こす 設備 (つづき)	9	補機冷却系 海水ポンプ	波力，流体 力，浮力	—	防潮堤高さ T.P. + 20m を超える津波の越流により，海水ポンプ室 浸水が生じ，機能喪失する。	
			洗掘	—	本損傷モードの発生前に没水，被水により補機冷却系海水ポンプ は機能喪失するため，評価対象外とした。	
			漂流物	—	海水ポンプ室内であり，洗掘は生じないため，評価対象外とした。	
					海水ポンプ室内であり，漂流物は衝突しないため，評価対象外と した。	
	10	起動変圧 器，予備変 圧器	没水，被水	(○)	機能喪失要因となる可能性があるが，本損傷モードが発生する津 波高さで没水，被水により原子炉建屋内浸水が生じ，原子炉建屋 内機器が機能喪失する。	
			波力，流体 力，浮力	(○)	機能喪失要因となる可能性があるが，本損傷モードの発生前に没 水，被水により原子炉建屋内浸水が生じ，原子炉建屋内機器が機 能喪失する。	
			洗掘	(○)	同上	
			漂流物	(○)	同上	

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果 (5/11)

区分	No.	設備名称	津波損傷モード		建屋・機器フラジリティ	備考
起因事象を 引き起こす 設備 (つづき)	11	原子炉建屋	没水，被水 (浸水)	○	防潮堤位置における津波高さ T.P. + 23m を超える津波により，原子炉建屋 1 階床面高さである E.L. + 8.2m まで津波が到達した場合，原子炉建屋内浸水が生じ，原子炉建屋内機器の機能喪失が発生する。	※2
					機能喪失要因となる可能性はあるが，本損傷モードの発生前に没水，被水により原子炉建屋内浸水が生じ，原子炉建屋内機器は機能喪失が発生する。	
					原子炉建屋は岩盤上に設置されているため，支配的な損傷モードとならない。	
					機能喪失要因となる可能性はあるが，本損傷モード発生前に没水，被水により機能喪失が発生する。	
					機能喪失要因となる可能性はあるが，本損傷モードが発生する津波高さで没水，被水により原子炉建屋内浸水が生じ，原子炉建屋内機器が機能喪失する。	
	12	タービン建屋	没水，被水 (浸水)	(○)	機能喪失要因となる可能性はあるが，本損傷モードの発生前に没水，被水により原子炉建屋内浸水が生じ，原子炉建屋内機器は機能喪失が発生する。	
					タービン建屋は岩盤上に設置されているため，支配的な損傷モードとならない。	
					機能喪失要因となる可能性はあるが，本損傷モード発生前に没水，被水により機能喪失が発生する。	
					機能喪失要因となる可能性はあるが，本損傷モード発生前に没水，被水により機能喪失が発生する。	
					機能喪失要因となる可能性はあるが，本損傷モード発生前に没水，被水により機能喪失が発生する。	

※2：別紙 3.2.2.3-3「津波による敷地内浸水解析について」参照。以下，同じ。

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果 (6/11)

区分	No.	設備名称	津波損傷モード		建屋・機器フラジリティ	備考
			没水，被水	—		
起因事象を 引き起こす 設備 (つづき)	13	排気筒	波力，流体 力，浮力	(○)	機能喪失要因となる可能性があるが，本損傷モード発生前に没水，被水により原子炉建屋内浸水が生じ，原子炉建屋内機器が機能喪失する。	
			洗掘	(○)	同上	
			漂流物	(○)	同上	
			没水，被水	○	防潮堤位置における津波高さ T.P. + 23m を超える津波により，原子炉建屋 1 階床面高さである E.L. + 8.2m まで津波が到達すると，建屋内浸水により機能喪失する。	※2
起因事象を 緩和する 設備	14	高圧炉心ス プレイ系	波力，流体 力，浮力	—	原子炉建屋内に設置されているため，評価対象外とした。	
			洗掘	—	同上	
			漂流物	—	同上	
			没水，被水	○	防潮堤位置における津波高さ T.P. + 23m を超える津波により，原子炉建屋 1 階床面高さである E.L. + 8.2m まで津波が到達すると，建屋内浸水により機能喪失する。	※2
			波力，流体 力，浮力	—	原子炉建屋内に設置されているため，評価対象外とした。	
			洗掘	—	同上	
			漂流物	—	同上	

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果 (7/11)

区分	No.	設備名称	津波損傷モード		建屋・機器フラジリティ	備考
			没水，被水	○		
起因事象を緩和する設備（つづき）	16	低圧炉心スプレイス	波力，流体力，浮力	－	防潮堤位置における津波高さ T.P. + 23m を超える津波により，原子炉建屋 1 階床面高さである E.L. + 8.2m まで津波が到達すると，建屋内浸水により機能喪失する。	※2
			洗掘	－	原子炉建屋内に設置されているため，評価対象外とした。	
			漂流物	－	同上	
			漂流物	－	同上	
	17	低圧注水系（残留熱除去系）	没水，被水	○	防潮堤位置における津波高さ T.P. + 23m を超える津波により，原子炉建屋 1 階床面高さである E.L. + 8.2m まで津波が到達すると，建屋内浸水により機能喪失する。	※2
			波力，流体力，浮力	－	原子炉建屋内に設置されているため，評価対象外とした。	
			洗掘	－	同上	
			漂流物	－	同上	
	18	自動減圧系	没水，被水	○	防潮堤位置における津波高さ T.P. + 23m を超える津波により，原子炉建屋 1 階床面高さである E.L. + 8.2m まで津波が到達すると，建屋内浸水により機能喪失する。	※2
			波力，流体力，浮力	－	原子炉建屋内に設置されているため，評価対象外とした。	
			洗掘	－	同上	
			漂流物	－	同上	

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果 (8/11)

区分	No.	設備名称	津波損傷モード		建屋・機器フラジリティ	備考
			没水，被水	(○)		
起因事象を緩和する設備（つづき）	19	復水貯蔵タンク	波力，流体力，浮力	(○)	機能喪失要因となる可能性はあるが，本損傷モードの発生前に没水，被水により原子炉建屋内浸水が生じ，原子炉建屋内機器が機能喪失する。	
			洗掘	(○)	同上	
			漂流物	(○)	同上	
			没水，被水	(○)	機能喪失要因となる可能性はあるが，本損傷モードの発生前に没水，被水により原子炉建屋内浸水が生じ，原子炉建屋内機器が機能喪失する。	
	20	燃料移送系	波力，流体力，浮力	(○)	同上	
			洗掘	(○)	同上	
			漂流物	(○)	同上	

第 3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果 (9/11)

区分	No.	設備名称	津波損傷モード		建屋・機器フラジリティ	備考
			没水, 被水	○		
起因事象を緩和する設備（つづき）	21	直流電源系	波力, 流体力, 浮力	—	原子炉建屋内に設置されているため, 評価対象外とした。	※2
			洗掘	—	同上	
			漂流物	—	同上	
			没水, 被水	○	防潮堤位置における津波高さ T.P. + 23m を超える津波により, 原子炉建屋 1 階床面高さである E.L. + 8.2m まで津波が到達すると, 建屋内浸水により機能喪失する。	
	22	非常用交流電源系	波力, 流体力, 浮力	—	原子炉建屋内に設置されているため, 評価対象外とした。	※2
			洗掘	—	同上	
			漂流物	—	同上	
			没水, 被水	○	防潮堤高さ T.P. + 20m を超える津波の越流により, 海水ポンプ室浸水が生じ, 機能喪失する。	
	23	残留熱除去系（海水ポンプ及び海水ポンプ室内関連機器含む）	波力, 流体力, 浮力	—	本損傷モードの発生前に没水, 被水により残留熱除去系は機能喪失するため, 評価対象外とした。	
			洗掘	—	海水ポンプ室内であり, 洗掘は生じないため, 評価対象外とした。	
			漂流物	—	海水ポンプ室内であり, 漂流物は衝突しないため, 評価対象外とした。	

第3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果（10／11）

区分	No.	設備名称	津波損傷モード		建屋・機器フラジリティ	備考
			没水，被水	○		
起因事象を緩和する設備（つづき）	24	残留熱除去系（原子炉建屋内機器）	波力，流体	—	防潮堤位置における津波高さ T.P. + 23m を超える津波により，原子炉建屋 1 階床面高さである E.L. + 8.2m まで津波が到達すると，建屋内浸水により機能喪失する。	※2
			力，浮力	—	原子炉建屋内に設置されているため，評価対象外とした。	
			洗掘	—	同上	
			漂流物	—	同上	
	25	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び海水室内関連機器含む）	没水，被水	○	防潮堤高さ T.P. + 20m を超える津波の越流により，海水ポンプ室浸水が生じ，機能喪失する。	
			波力，流体	—	本損傷モードの発生前に没水，被水により非常用ディーゼル発電機用海水系は機能喪失するため，評価対象外とした。	
			洗掘	—	海水ポンプ室内であり，洗掘は生じないため，評価対象外とした。	
			漂流物	—	海水ポンプ室内であり，漂流物は衝突しないため，評価対象外とした。	
	26	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ（原子炉建屋附属棟内機器）	没水，被水	○	防潮堤位置における津波高さ T.P. + 23m を超える津波により，原子炉建屋 1 階床面高さである E.L. + 8.2m まで津波が到達すると，建屋内浸水により機能喪失する。	※2
			波力，流体	—	原子炉建屋内に設置されているため，評価対象外とした。	
			洗掘	—	同上	
			漂流物	—	同上	

第3.2.2.3-1 表 建屋・機器フラジリティ評価結果（11／11）

区分	No.	設備名称	津波損傷モード		建屋・機器フラジリティ	備考
			津波損傷モード	建屋・機器フラジリティ		
起因事象を緩和する設備（つづき）	27	高圧炉心システム プレイゼル発電機 海水ポンプ及び海水ポンプ室内関連機器を含む）	没水，被水	○	防潮堤高さ T.P. + 20m を超える津波の越流により，海水ポンプ室浸水が生じ，機能喪失する。	
			波力，流体浮力	－	本損傷モードの発生前に没水，被水により機能喪失するため，評価対象外とした。	
			洗掘	－	海水ポンプ室内であり，洗掘は生じないため，評価対象外とした。	
			漂流物	－	海水ポンプ室内であり，漂流物は衝突しないため，評価対象外とした。	
	28	高圧炉心システム プレイゼル発電機 海水ポンプ室内関連機器を含む）	没水，被水	○	防潮堤位置における津波高さ T.P. + 23m を超える津波により，原子炉建屋 1 階床面高さである E.L. + 8.2m まで津波が到達すると，建屋内浸水により機能喪失する。	※2
		高圧炉心システム プレイゼル発電機 海水ポンプ室内関連機器を含む）	波力，流体浮力	－	原子炉建屋内に設置されているため，評価対象外とした。	
			洗掘	－	同上	
			漂流物	－	同上	

＜津波損傷モードにおける記号凡例＞

- ：当該損傷モードが機器の機能喪失の支配的な要因になる。
- (○)：当該損傷モードは機器の機能喪失要因となる可能性があるが，当該損傷モード発生前に他の損傷モードにより機能喪失する又は支配的な損傷モードとされないあるいは可能性が小さい。
- －：当該損傷モードにより機器は機能喪失しない又は対象外。

第 3.2.2.4-1 表 津波高さによるシナリオ分類

津波区分	津波高さ	津波による影響を受ける建屋・機器	起因事象
津波区分 1	T. P. + 20m～T. P. + 23m	・ 非常用海水ポンプ機能喪失	・ 最終ヒートシンク喪失
津波区分 2	T. P. + 23m～	・ 非常用海水ポンプ機能喪失 ・ 起動変圧器，予備変圧器機能喪失 ・ 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失	・ 原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失

第 3.2.2.4-2 表 起因事象発生後の人的過誤

起因事象発生後の人的過誤	余裕時間	ストレスファクタ※		過誤確率 (平均値) [／d]	エラー ファクタ
		認知	操作		
原子炉水位制御操作失敗	30 分	5	2	3. 3E-03	5. 0
水源切替操作失敗	30 分	5	2	3. 3E-03	5. 0
起動信号共通原因故障時	注水不能認知失敗	5	-	2. 1E-03	10. 0
	高圧注水系起動操作失敗	-	5	6. 2E-03	3. 0

※：内部事象出力運転時レベル 1 P R A と比較して 1 段階高いストレスレベルのストレスファクタを設定。

第3.2.2.4-3 表 津波区分ごとの炉心損傷頻度

津波区分	津波高さ	津波発生頻度 (/年)	炉心損傷頻度 (/炉年)	寄与割合
津波区分 1	T. P. + 20m ~ T. P. + 23m	2. 4E-05	2. 4E-05	68. 6%
津波区分 2	T. P. + 23m ~	1. 1E-05	1. 1E-05	31. 4%
全炉心損傷頻度			3. 5E-05	100. 0%

第3.2.2.4-4 表 事故シナリオグループごとの炉心損傷頻度

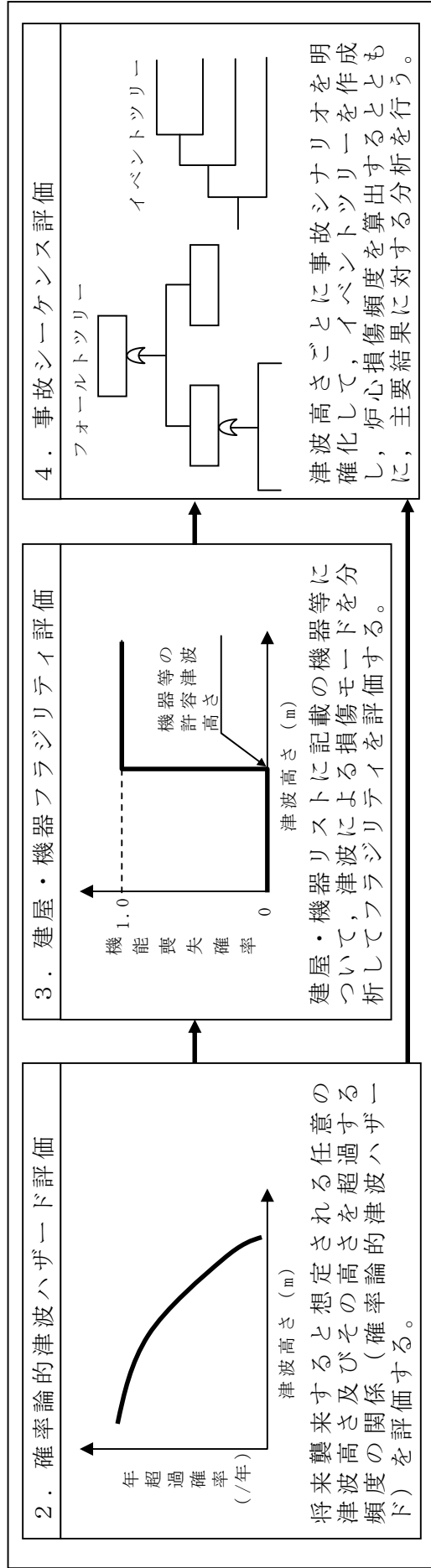
事故シナリオグループ		津波区分	炉心損傷頻度 (/炉年)	寄与割合
高圧・低圧注水機能喪失	T Q U V	津波区分 1	2. 1E-07	0. 6%
崩壊熱除去機能喪失	T W	津波区分 1	2. 4E-05	68. 0%
原子炉建屋内浸水による 複数の緩和機能喪失 (全交流動力電源喪失)	T B U	津波区分 2	1. 1E-05	31. 4%
全炉心損傷頻度			3. 5E-05	100%

第 3. 2. 2. 4-5 表 感度解析結果

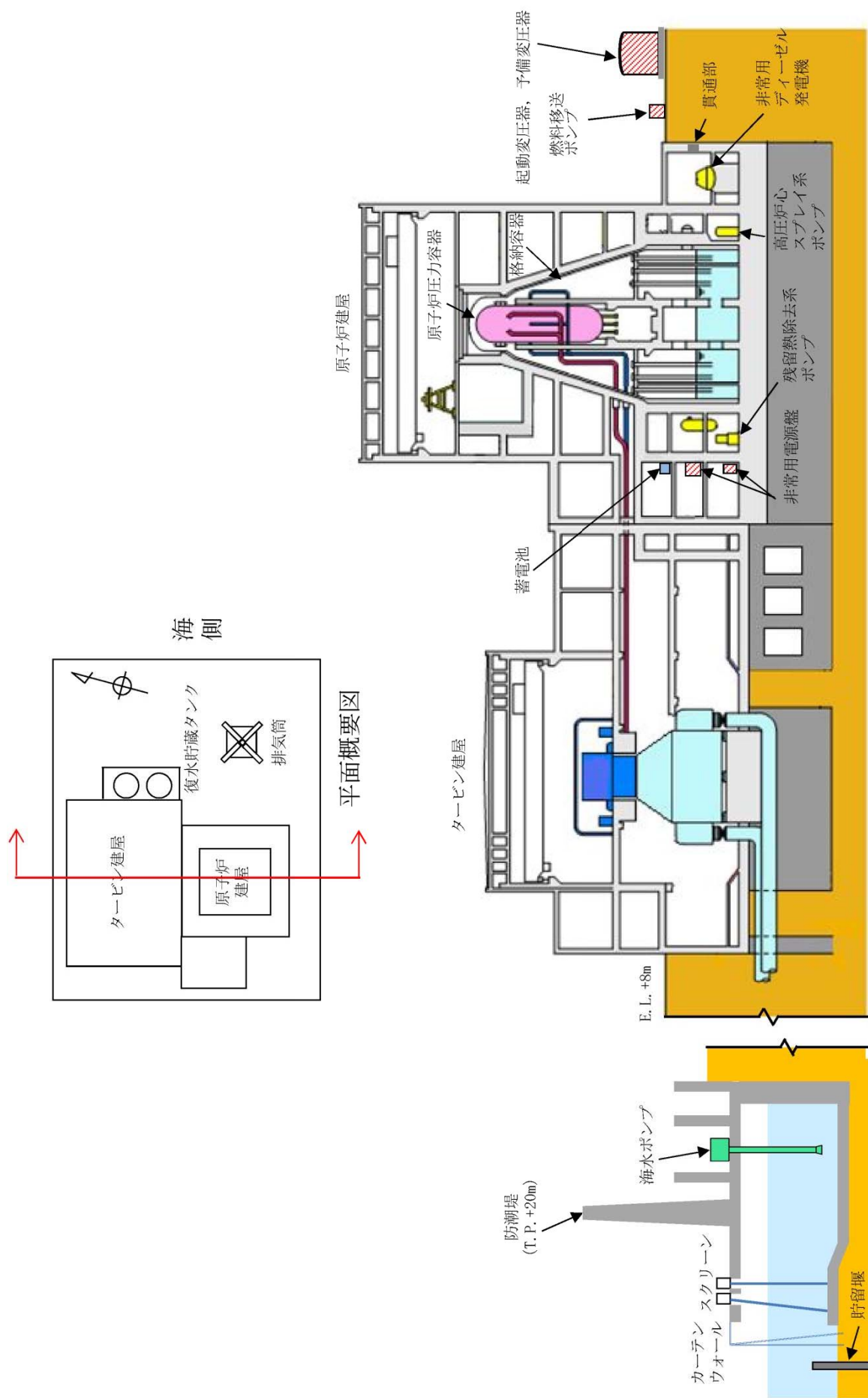
事故シーケンスグループ		津波区分	炉心損傷頻度 (／炉年)	寄与割合
全交流動力電源喪失	長期 T B	津波区分 1	2. 4E-05	68. 0%
	T B U	津波区分 1	8. 1E-08	0. 2%
	T B P	津波区分 1	1. 3E-07	0. 4%
原子炉建屋内浸水による 複数の緩和機能喪失 (全交流動力電源喪失)		津波区分 2	1. 1E-05	31. 4%
全炉心損傷頻度			3. 5E-05	100%

1. 評価対象プラントと事故シナリオ

(1) 対象とするプラントの説明 ◆ プラント関連情報の収集・分析 津波PRAに必要な設計、運転・保守管理情報、津波固有に考慮すべき関連情報を収集し、対象設備の設計及び津波による影響を把握する。 ◆ プラントウォークダウンの実施 上記では確認が難しいプラント情報の取得及び事故シナリオの妥当性確認のため、プラントウォークダウンを実施する。	(2) 炉心損傷に至る事故シナリオと分析 ◆ 事故シナリオの広範な分析・選定及び事故シナリオのスクリーニング 津波の直接的・間接的影響を受ける設備と考えられる事故シナリオの抽出及び事故シナリオのスクリーニングを実施する。 ◆ 事故シナリオの明確化及び起因事象の分析 津波特有の原因による事故シナリオの明確化及び起因事象の分析を実施する。 ◆ 建屋・機器リストの作成 起因事象の分析結果に基づき建屋・機器リストを作成する。
--	--



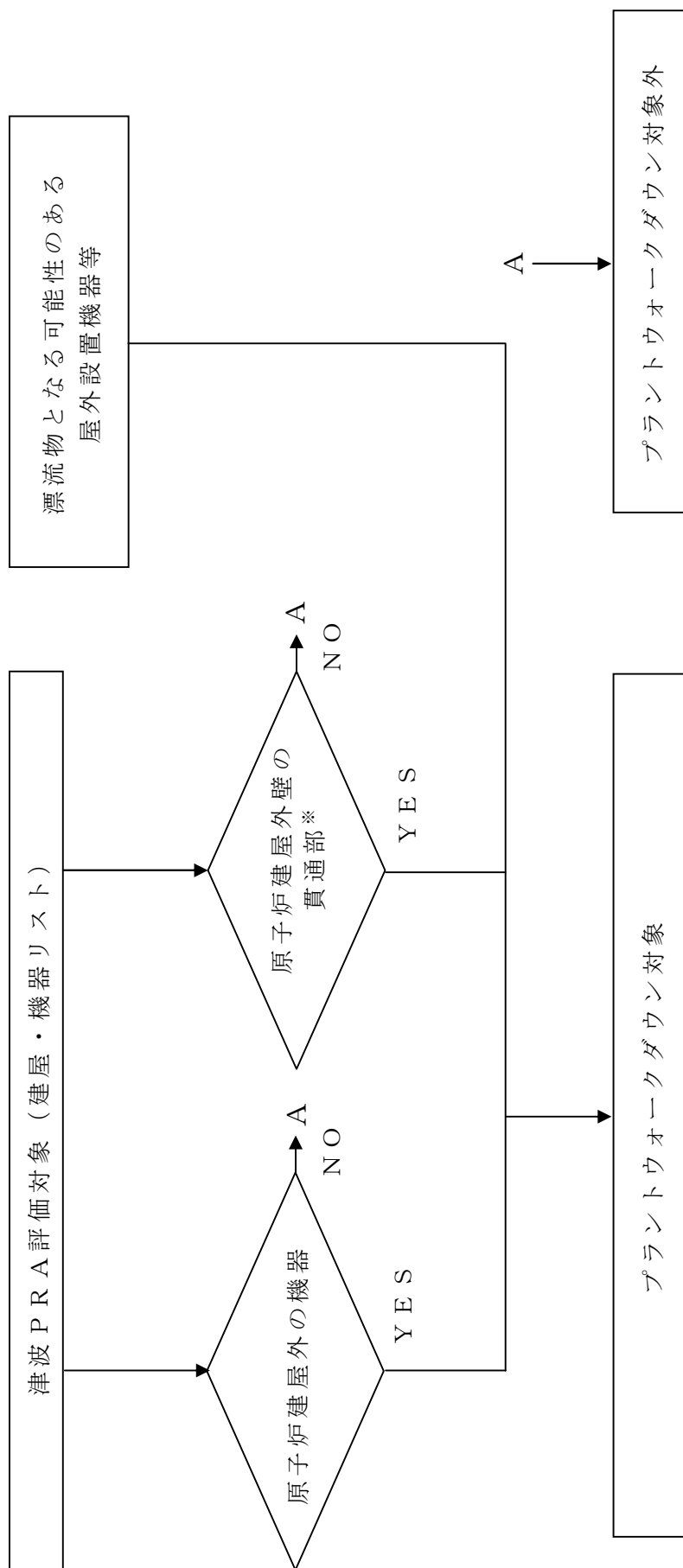
第 3.2.2-1 図 津波PRAの評価フロー



第 3.2.2.1-1 図 プラントの設備配置の概略図

津波影響の確認

間接的被害の確認



※：原子炉建屋1階床面高さE.L. + 8.2m以下の範囲

第3.2.2.1-2図 プラントウオークダウン対象機器の選定フロー

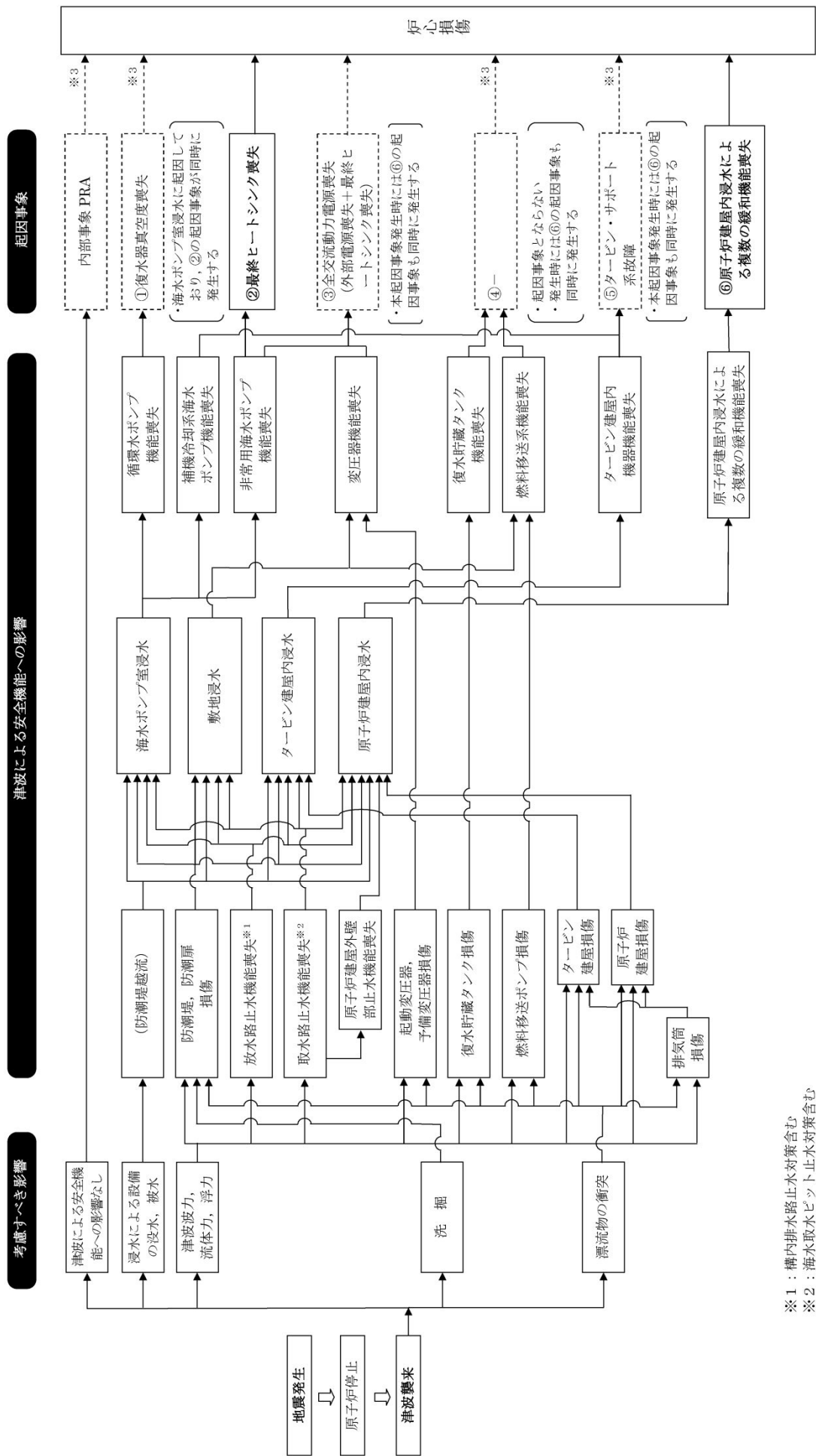
現地調査表 (調査日 2014/8/25)

【東海第二発電所】屋外			No. 1
ウォークダウン対象機器名称		残留熱除去系海水ポンプA	
調査対象の設置場所		海水ポンプ室	
		PP: ☒ 内・外	
			
No	確認内容	評価	備考
1	対象機器の図面（配置図・構造図等）と相違点はないか	問題なし	—
2	屋外の構造物・機器については、その周辺環境も含め、潜在的に波力に対する耐力を大きく低減させるような問題点はないか。 a. 基礎ボルト（又は設置面溶接部）、及び支持構造物に外観上の異常（腐食・亀裂等）は無い b. 対象機器周辺の配管に外観上の異常（腐食・亀裂等）は無い	問題なし	—
3	津波襲来時に建物外部にある設備の津波による離脱、移動等起因して生じる干渉及び衝突の間接的な被害の可能性はないか。	問題なし	—
		評価	問題なし 備考
		—	

考察

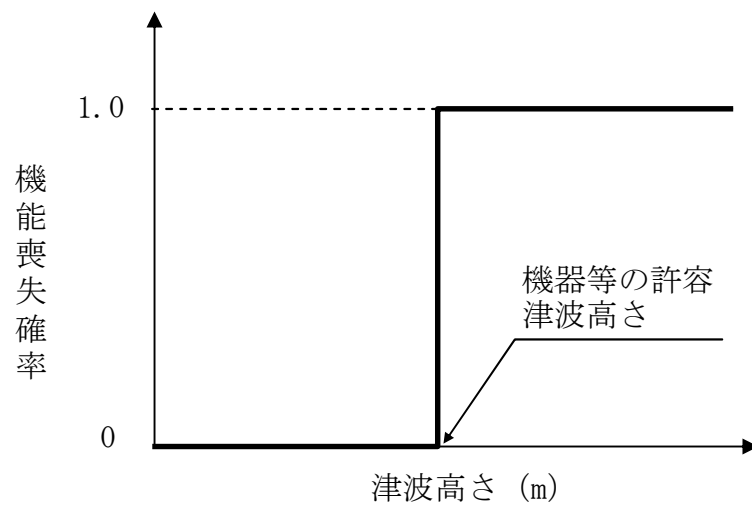
- ・設置位置は防潮堤設置予定位置に隣接している。ポンプの上部は大気開放状態であるため、防潮堤を越えた海水が流れ込むと考えられる。
- ・基礎ボルトの状態に問題はなく、津波による機器の離脱及び移動の可能性は低い。
- ・間接的な影響を及ぼす対象物はなし。

第 3.2.2.1-3 図 プラントウォークダウン用チェックシート（残留熱除去系海水ポンプの例）

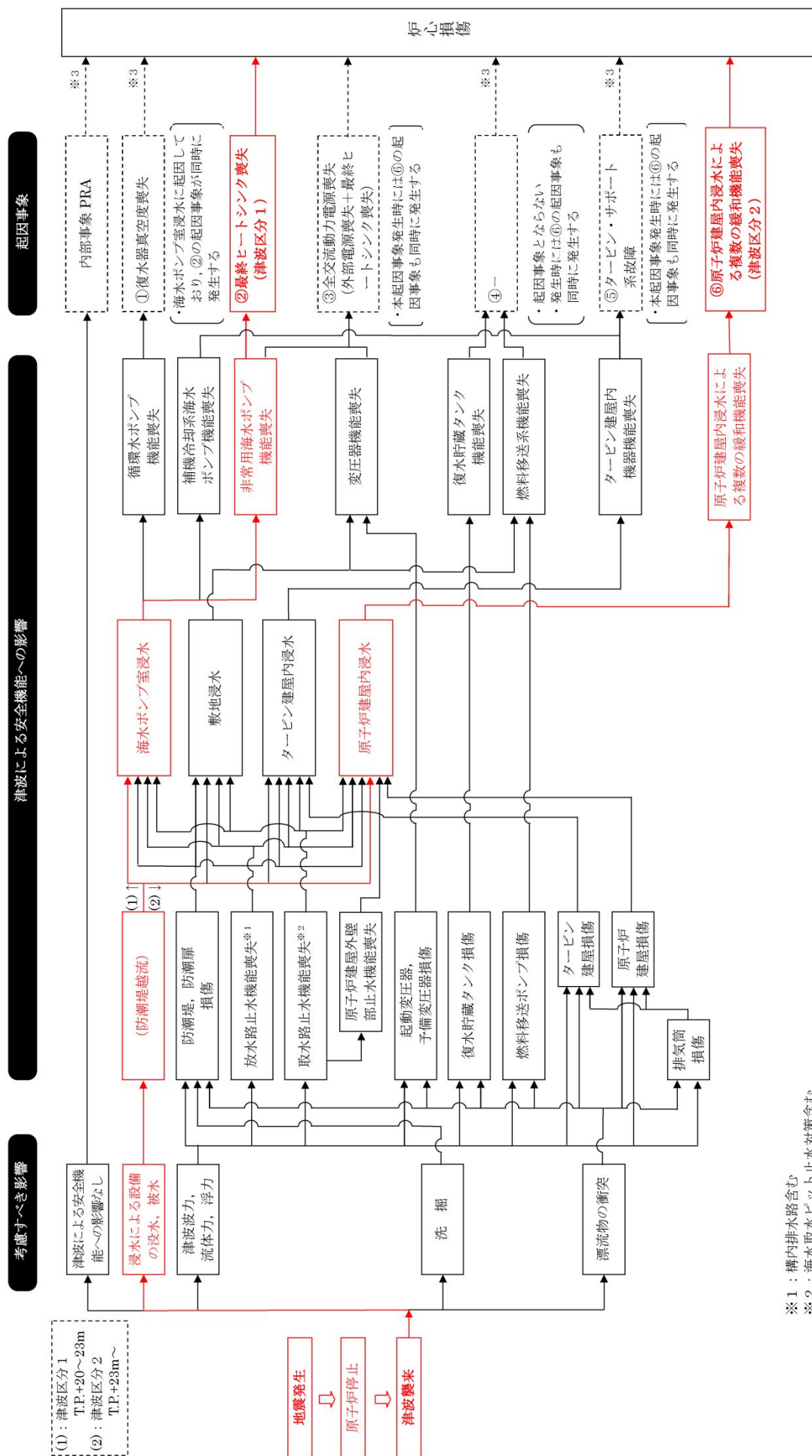


第 3.2.2.1-4 図 事故シナリオの明確化及び起因事象の分析結果

※ 1 : 構内排水路止水対策含む
 ※ 2 : 海水取水ピット止水対策含む
 ※ 3 : 緩和设备のランダム故障又は他の起因事象との重量により炉心損傷に至る



第 3. 2. 2. 3-1 図 機器等のフラジリティ曲線（波力，没水，被水）



第3.2.2.4-1 図 評価対象となる事故シナリオと起因事象

※1：構内排水路含む
 ※2：海水取水ピット止水対策含む
 ※3：緩和設備のランダム故障又は他の起因事象との重量により炉心損傷に至る

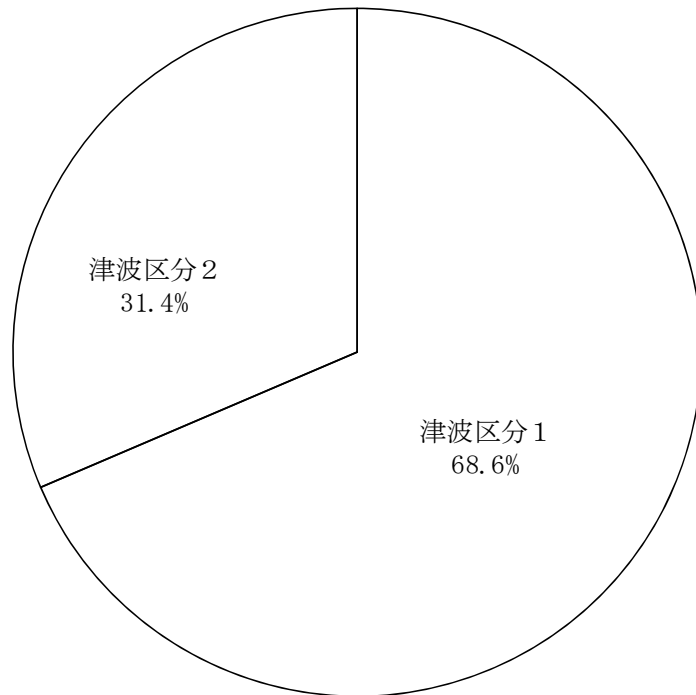
津波	原子炉建屋内浸水 (T. P. +23m～)	最終ヒートシンク喪失 (T. P. +20m～23m)	発生する起因事象
		発生なし	ー 最終ヒートシンク喪失 原子炉建屋内浸水による 複数の緩和機能喪失※
	発生なし		
		発生	
	発生		

※：炉心損傷直結のためイベントツリーは展開しない

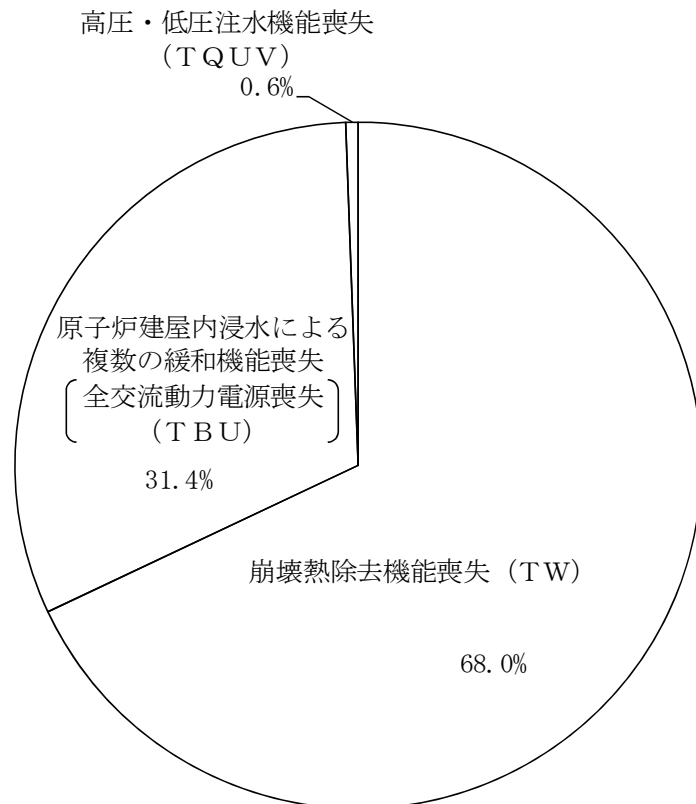
第 3.2.2.4-2 図 階層イベントツリー

最終ヒートシンク喪失	圧力バウンダリ健全性 (逃がし安全弁再閉鎖)	高圧炉心冷却	事故シーケンスグループ
		成功	崩壊熱除去機能喪失 高圧・低圧注水機能喪失 高圧・低圧注水機能喪失
	成功		
		失敗	
	失敗		

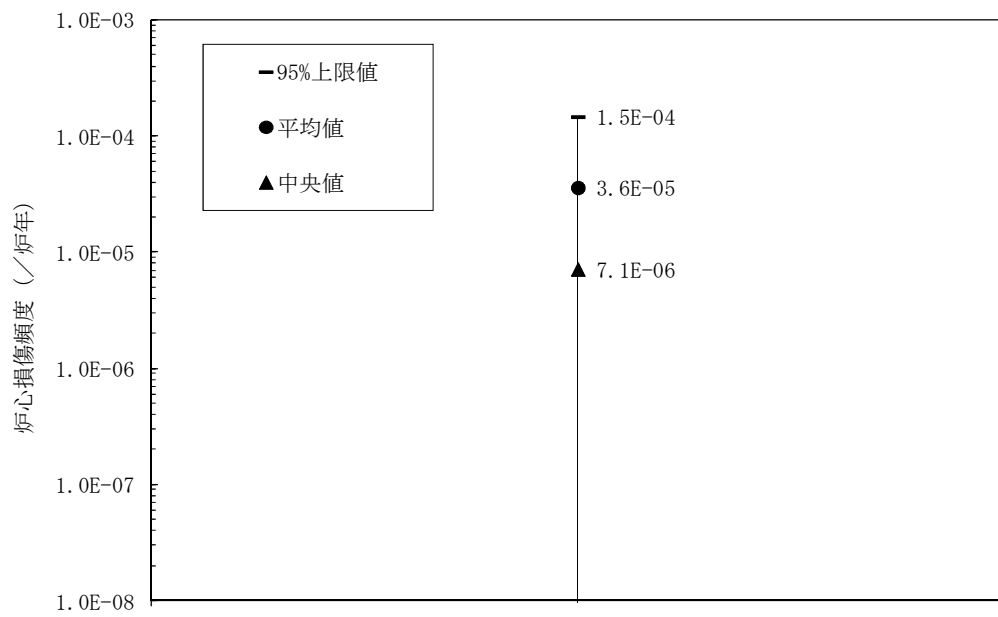
第 3.2.2.4-3 図 最終ヒートシンク喪失のイベントツリー



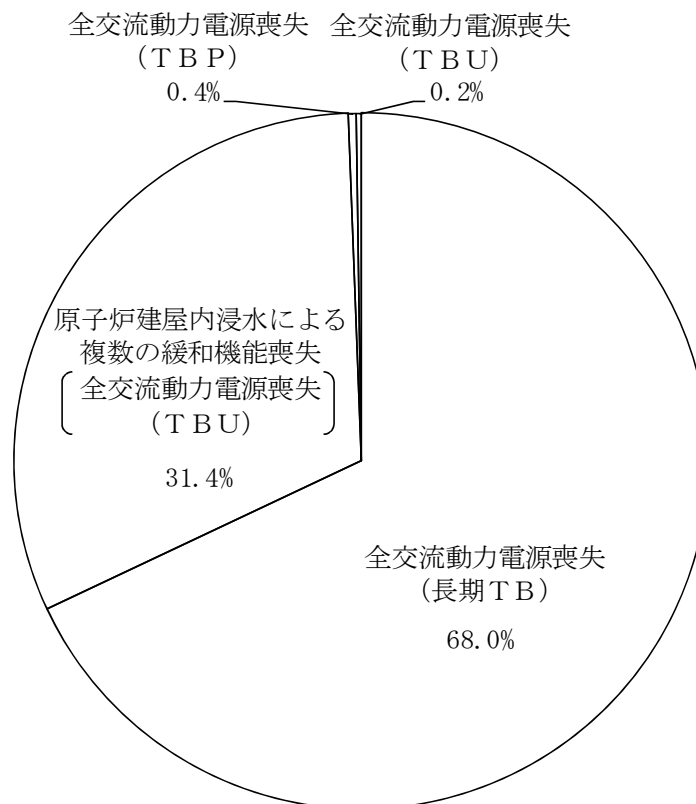
第 3.2.2.4-4 図 津波区分ごとの炉心損傷頻度への寄与割合



第 3.2.2.4-5 図 事故シーケンスグループごとの炉心損傷頻度への寄与割合



第 3.2.2.4-6 図 不確実さ解析結果



第 3.2.2.4-7 図 感度解析

(事故シーケンスグループごとの全炉心損傷頻度への寄与割合)

プラントウォークダウンのチェックの観点について

1. はじめに

津波 P R A におけるプラントウォークダウンで確認すべきチェック項目の具体的内容について、以下に示す。これらの項目をチェックシートに整理し、プラントウォークダウンを実施した。

2. 調査対象機器

プラントウォークダウンの調査対象機器は、以下の種類に分類されることから、これらの種類毎にチェックの観点を整理した。

- ・ 津波の影響を受ける可能性のある屋外設置機器
- ・ 建屋外壁開口部・貫通部（海水ポンプ室含む）

3. チェックの観点

3.1 津波の影響を受ける可能性のある屋外設置機器

(1) 対象機器の図面（配置図・構造図等）と相違点は無いか

- 対象機器が、図面等から想定した設置高さ（フロア）と相違無いかチェックを行い、相違無ければチェックシートにチェックする。合わせて、対象機器の損傷部位の高さ（浸水口高さ）より低い位置に損傷要因となる部位は無いかをチェックする。
- 必要に応じて、対象機器や当該部位の写真を撮影し、エビデンスを残す。

(2) 屋外の構築物・機器については、その周辺環境も含め、潜在的に波力に対する耐力を大きく低減させるような問題点はないか。

a. 基礎ボルト（又は設置面溶接部），及び支持構造物に外観上の異常（腐食・亀裂等）は無い（ボルトの場合は締め付けについても確認）

➤以下の点に合致していることが目視にて確認できれば，ボルトの締め付けは妥当であると判断し，チェックシートにチェックする。

- ーボルトに引かれている合いマークがずれていない
- ーボルトに塗られているペンキに割れや剥がれがない
- ースプリングワッシャーやダブルナットによるゆるみ止めがされている

- ーボルトを緩ませるような振動が発生する機器ではない

➤海水ポンプのように，海水に浸水している箇所がある設備について，防潮堤を越流する前に海水ポンプの基礎ボルトに緩みがあった場合，海水ポンプのフランジ部からの漏えいにより，海水ポンプの没水・被水が発生する可能性があることから，基礎ボルトの外観上を確認する。

➤起動変圧器，予備変圧器，復水貯蔵タンク，燃料移送系，排気筒のように敷地に設置されている設備に関しては，設置高さに津波高さが到達した場合には没水・被水することとしていることから基礎ボルトの外観上の確認は対象外とする。

➤必要に応じて，基礎ボルト（または設置面溶接部），及び支持構造物（ボルトの締め付け含む）が確認できる写真を撮影し，エビデンスとして残す。

b. 対象機器周辺の配管に外観上の異常（腐食・亀裂等）は無い
か

- 海水ポンプ周辺の海水配管において、外観上の異常（フランジ部からの漏えい、配管本体の腐食、亀裂等）があった場合には、想定される津波高さ以下で対象設備の没水・被水が発生するため、外観上の異常の有無を確認し、チェックシートにチェックする。
- 起動変圧器，予備変圧器，復水貯蔵タンク，燃料移送系，排気筒のように敷地に設置されている設備に関しては、設置高さに津波高さが到達した場合には没水・被水することとしていることから配管の外観上の確認は対象外とする。
- 必要に応じて、当該配管の写真を撮影し、エビデンスとして残す。

(3) 津波襲来時に建物外部にある設備の津波による離脱，移動等に
起因して生じる干渉及び衝突の間接的な被害の可能性はないか。

- プラントウォークダウンの対象とした機器は、漂流物の衝突等による間接的な被害が生じる前に、没水、被水により当該機器以外の機器が機能喪失するか、建屋内機器で漂流物による被害が生じる可能性がない機器であるため、本観点からの調査は対象外とする。なお、防潮堤の機能に関わる漂流物に関しては別途検討する。

3.2 建屋外壁開口部・貫通部（海水ポンプ室含む）

(1) 対象建屋貫通部の図面（配置図等）に対し，貫通孔の有無，水

密処理の有無，高さをチェックする。

- 対象建屋貫通部が，図面等から想定した状況（貫通孔の有無，水密処理の有無，設置高さ）と相違無いかチェックを行い，相違無ければチェックシートにチェックする。
- 必要に応じて，対象の建屋貫通部，写真を撮影し，エビデンスとして残す。

(2) 対象建屋貫通部の止水状態に外観上の異常は無いか

- (1)において，水密処理の有無を確認しているが，経年劣化を考慮したときの止水状態に外観上の異常は無いかを確認する。

津波襲来時の原子炉停止手順について

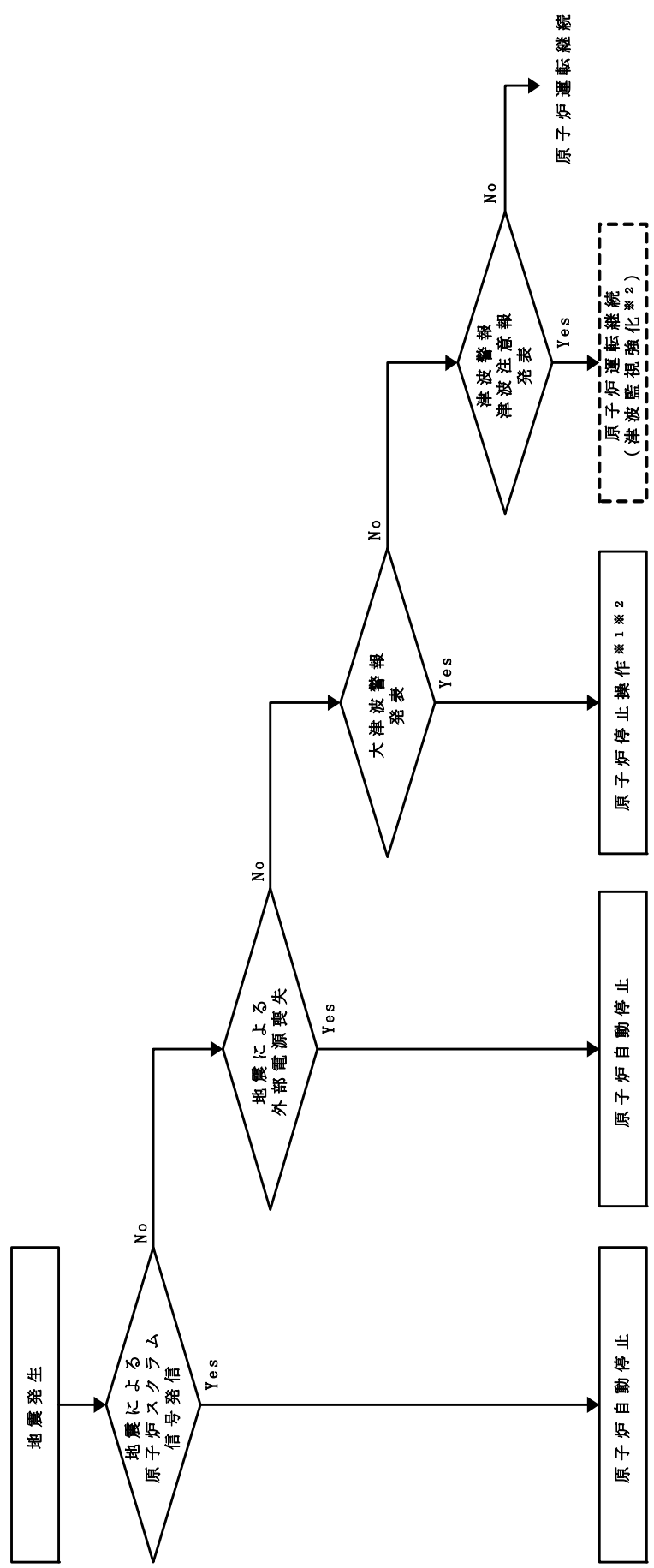
東海第二発電所近傍で大きな地震が発生した場合、当該地震を検知して原子炉は自動スクラムする。また、地震により外部電源が喪失した場合、原子炉は自動スクラムする。そのため、震源が近い地震により津波が発生するような場合は、津波襲来時までに原子炉は既に停止していると考えられる。

また、震源が遠い地震の場合等、地震によって原子炉が自動停止に至らずに津波が襲来する場合を想定し、以下の手順を整備する。

- ・ 大津波警報が発表された場合は、原則として原子炉停止操作を開始する^{注)}。
- ・ 津波警報又は津波注意報が発表された場合は、取水ピット水位計や津波監視カメラ等により津波監視を強化する。
- ・ 引き波により海水取水ピット水位が循環水ポンプの取水可能下限水位（T.P.-1.59m：設計値）まで低下した場合等、原子炉の運転継続に支障がある場合に、原子炉を手動停止する。

注) 大津波警報が誤報であった場合、及び震源が遠い地震に伴う津波であって到達津波が到達するまでの間に大津波警報が解除又は見直された場合を除く

上記手順に則った津波襲来時の原子炉停止手順のフローを図 1 に示す。



※1：大津波警報が誤報であった場合及び震源が遠い地震に伴う津波であって、到達津波が到達するまでの間大津波警報が解除又は見直された場合を除く

※2：取水ピット水位が循環水ポンプの取水可能下限水位（T.P.-1.59m（設計値））まで低下した場合等，原子炉の運転継続に支障がある場合は，原子炉を手動停止する

図1 津波襲来時の原子炉停止手順のフロー

基準津波に伴う砂移動について

東海第二発電所 津波評価について

平成27年12月8日
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、 は商業機密又は防護上の観点から公開できません。



1

目 次

1. 津波評価の概要
2. 地震に起因する津波の評価
3. 地震以外に起因する津波の評価
4. 基準津波の選定
5. 基準津波の選定結果の検証
6. 超過確率の参照
7. 耐津波設計
 - 7.1 非常用海水冷却系の取水性
 - 7.2 津波の二次的な影響による非常用海水冷却系の機能維持の確認
8. 参考文献

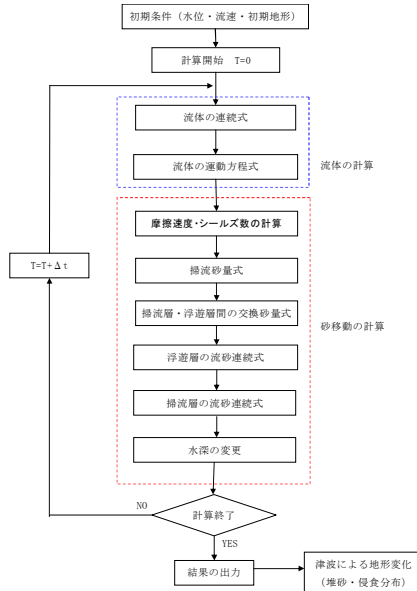


2

(1) 概要

- ・津波水位変動以外の事象に対する評価として、基準津波に伴う砂移動について評価を実施する。
- ・砂移動モデルにあたっては、藤井他(1998)及び高橋他(1999)の手法に基づき、数値シミュレーションを実施した。

【数値シミュレーションのフロー】



	藤井ほか(1998)の手法	高橋ほか(1999)の手法
地盤高の連続式	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \alpha \left(\frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{E-S}{\sigma(1-\lambda)} = 0$	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{E-S}{\sigma} \right) = 0$
浮遊砂濃度連続式	$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(UC)}{\partial x} - \frac{E-S}{D} = 0$	$\frac{\partial(C_s D)}{\partial t} + \frac{\partial(MC_s)}{\partial x} - \frac{E-S}{\sigma} = 0$
流砂量式	小林ほか(1996)の実験式 $Q = 80\tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$	高橋ほか(1999)の実験式 $Q = 21\tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$
巻き上げ量の算定式	$E = \frac{(1-\alpha)Qw^2\sigma(1-\lambda)}{Uk_z \left[1 - \exp\left\{ -\frac{wD}{k_z} \right\} \right]}$	$E = 0.012\tau_*^2 \sqrt{sgd} \cdot \sigma$
沈降量の算定式	$S = wC_b$	$S = wC_s \cdot \sigma$
摩擦速度の計算式	log-wake 則 ($u_* / U = \kappa / \{\ln(h/Z_0) - 1\}$ に wake 関数を付加した式)を鉛直方向に積分した式より算出	マニング則より算出 $u_* = \sqrt{gn^2 U U / D^{1/3}}$

ここで、表中の記号は以下の意味を示す。

Z : 水深変化量 (m) t : 時間 (s) x : 平面座標 Q : 単位幅、単位時間当たりの掃流砂量 ($m^3/s/m$) τ : シールドズ数
 α : 砂の密度 $\sigma = \alpha / \rho = 1$ d : 砂の粒径 g : 重力加速度 (m/s^2) ρ : 海水の密度 (g/cm^3) U : 流速 (m/s)
 D : 全水深 (m) $M = U \times D$ (m^2/s) λ : 空隙率 n : Manning の粗度係数
 α : 局所的な外力のみに移動を支配される成分が全流砂量に占める比率 (=0.1 藤井ほか(1998)より)
 w : 土粒子の沈降速度 (Babey 式より算出) (m/s) Z_0 : 粗度高さ ($=k_s/30$) (m)
 k_s : 鉛直拡散係数 ($=0.2 \kappa u_* h$ 藤井ほか(1998)より) (m^2/s) k_z : 相当粗度 ($=7.66m^{1/3}$) (m)
 κ : カルマン定数 (=0.4, 藤井ほか(1998)より) h : 水深 (m)
 C_s : 浮遊砂濃度、底面浮遊砂濃度 (浮遊砂濃度連続式より算出) (kg/m^3) C_b : 浮遊砂体積濃度 (浮遊砂濃度連続式より算出)
log-wake 則: 対数則 $u_* / U = \kappa / \{\ln(h/Z_0) - 1\}$ に wake 関数 (藤井ほか(1998)より) を付加した式



3

(2) 解析条件

	設定値	備考
砂移動モデル	・藤井他(1998)によるモデル ・高橋他(1999)によるモデル	
空間格子間隔	沖合4320m→2160m→720m→沿岸域240m→敷地周辺80m→40m→20m→10m→5mへ順次細分化	
計算時間間隔	0.05秒	
マニングの粗度係数	0.03 $m^{-1/3} \cdot s$	土木学会(2002)
浮遊砂体積濃度上限値	・藤井他(1998)の手法 1%, 5% ・高橋他(1999)の手法 1%	
砂の粒径	0.15mm	底質調査より設定
砂粒の密度	2.72 g/cm^3	底質調査より設定
空隙率	0.4	高橋他(1992)
海水の密度	1.03 g/cm^3	理科年表より設定
潮位条件※	上昇側: T.P.+0.81m 下降側: T.P.-0.61m	
計算時間	地震発生後240分間(4時間)	
初期砂層厚	無限	

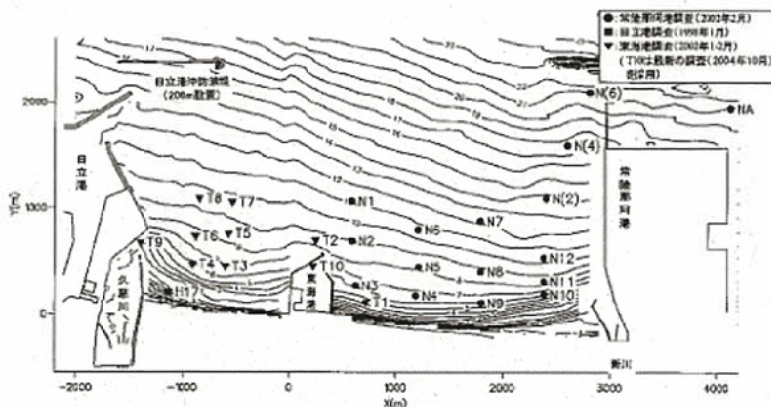
※: 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動量を考慮



4

(2) 解析条件(粒径, 密度の設定)

- ・ 砂の諸元については、茨城県(2005)を参考に設定した。
- ・ 中央粒径について、全26地点の平均値で0.183mmとなるが、他の地点と傾向の異なるH17, N(4), N(6)地点を除いた23点の平均値は0.147mmとなるため、本解析で用いる中央粒径は0.15mmとした。
- ・ 密度についても同様に、全26地点の平均値で2.715g/cm³となるが、他の地点と傾向の異なるH17, N(4), N(6)地点を除いた23点の平均値は2.724g/cm³となるため、本解析で用いる密度は2.72g/cm³とした。



資料採取位置	密度(g/cm ³)	中央粒径(mm)
N1	2.758	0.11
N2	2.760	0.12
N3	2.755	0.13
N4	2.816	0.14
N5	2.805	0.13
N6	2.733	0.12
N7	2.788	0.13
N8	2.752	0.11
N9	2.729	0.14
N10	2.703	0.16
N11	2.681	0.11
N12	2.703	0.11
N(2)	2.757	0.13
T1	2.719	0.15
T2	2.727	0.16
T3	2.700	0.15
T4	2.680	0.18
T5	2.694	0.17
T6	2.685	0.14
T7	2.699	0.13
T8	2.666	0.31
T9	2.679	0.16
T10	2.670	0.18
平均値	2.72	0.15



5

(3) 解析結果

取水口前面における砂の堆積厚は、最大で1.22mであるが、最大堆積量分布から、取水口前面の砂の堆積は局所的であること、海水ポンプ室取水口の開口高さは8.35mあり、閉塞することはないことから通水に影響はない。

取水口前面における堆積厚

基準津波	高橋他(1999) 浮遊砂体積上限濃度:1%	藤井他(1998) 浮遊砂体積上限濃度:1%	藤井他(1998) 浮遊砂体積上限濃度:5%
水位上昇側	1.22m	0.03m	0.03m
水位下降側	0.98m	0.11m	0.15m



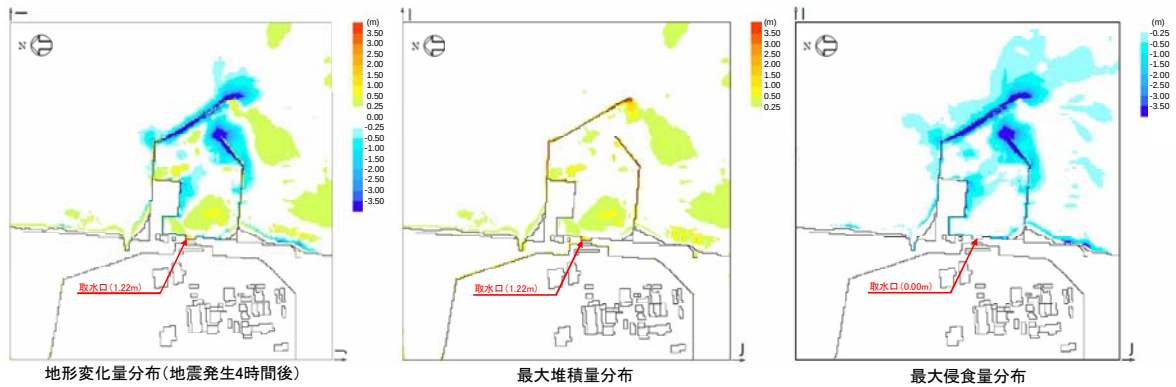
最大堆積量分布



6

(3) 解析結果(高橋他(1999), 浮遊砂体積上限濃度:1%, 水位上昇側)

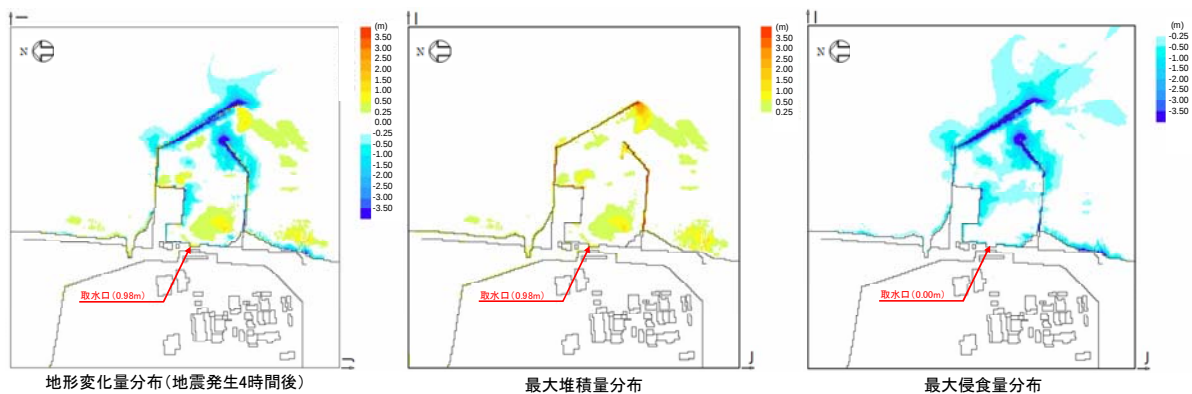
取水口前面における砂の堆積高
1.22 m



7

(3) 解析結果(高橋他(1999), 浮遊砂体積上限濃度:1%, 水位下降側)

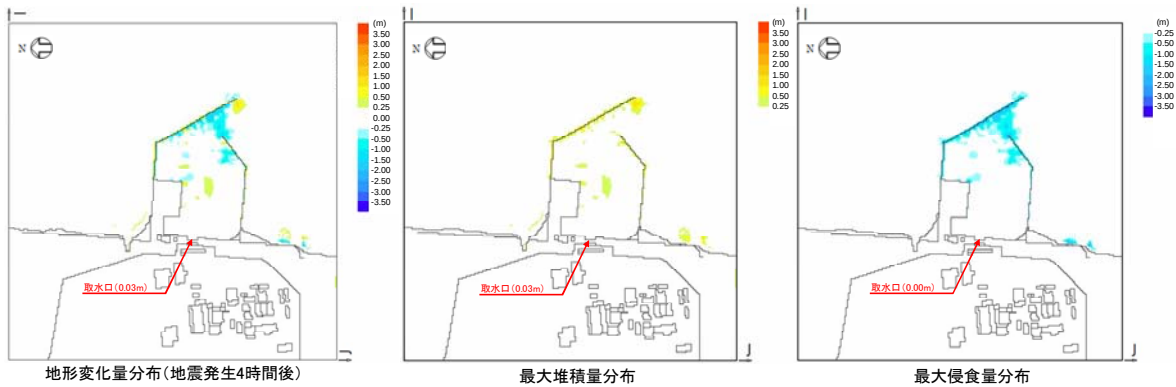
取水口前面における砂の堆積高
0.98 m



8

(3) 解析結果(藤井他(1998), 浮遊砂体積上限濃度:1%, 水位上昇側)

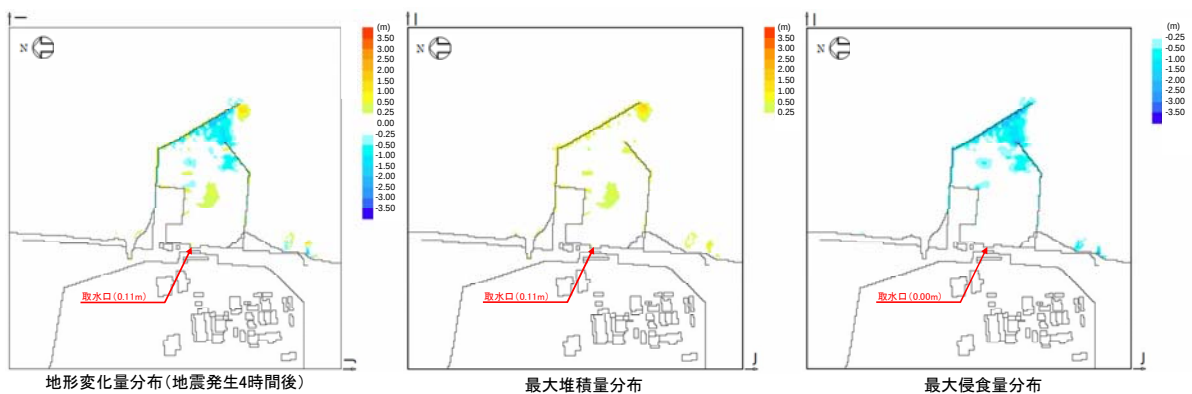
取水口前面における砂の堆積高
0.03 m



9

(3) 解析結果(藤井他(1998), 浮遊砂体積上限濃度:1%, 水位下降側)

取水口前面における砂の堆積高
0.11 m



10

(3) 解析結果(藤井他(1998), 浮遊砂体積上限濃度:5%, 水位上昇側)

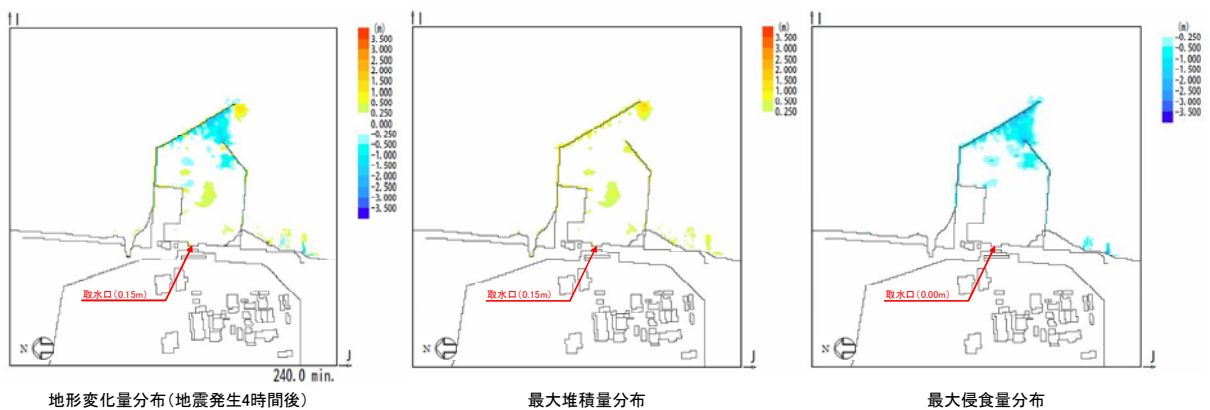
取水口前面における砂の堆積厚
0.03 m



11

(3) 解析結果(藤井他(1998), 浮遊砂体積上限濃度:5%, 水位下降側)

取水口前面における砂の堆積厚
0.15 m



12

事故シナリオの分析で引き波を除外する考え方について

1. 目的

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」第5条（津波による損傷の防止）の解釈別記3において，水位変動に伴う取水性低下による重要な安全機能への影響を防止するため，非常用海水冷却系については，基準津波による水位の低下に対して海水ポンプが機能保持でき，かつ，冷却に必要な海水が確保できる設計であることを要求している。

本規制要求を満足させるため，東海第二発電所では，引き波時においても非常用海水ポンプ※¹の運転が継続可能なように，設計基準対象設備として，取水口前面の海中に貯留堰を設置する計画としている。貯留堰の概略構造を図1に示す。貯留堰については，天端高さをT.P.－4.9mとすることで，引き波時においても非常用海水ポンプ全台が30分間程度の運転が継続可能なように，有効貯留量として約2,370m³の海水が貯留できる容量を有する設計としている。

このため，設計基準の引き波に対する非常用海水ポンプの健全性は維持されるものと言える。以下では，津波PRAの評価において，設計基準の引き波を下回る津波を想定した場合に対しても，貯留堰の設計を踏まえて，非常用海水ポンプの取水性が確保できる設計であることを確認することにより，事故シナリオの分析で引き波を除外可能であることを示す。

※1：非常用海水ポンプ：残留熱除去系海水ポンプ，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ

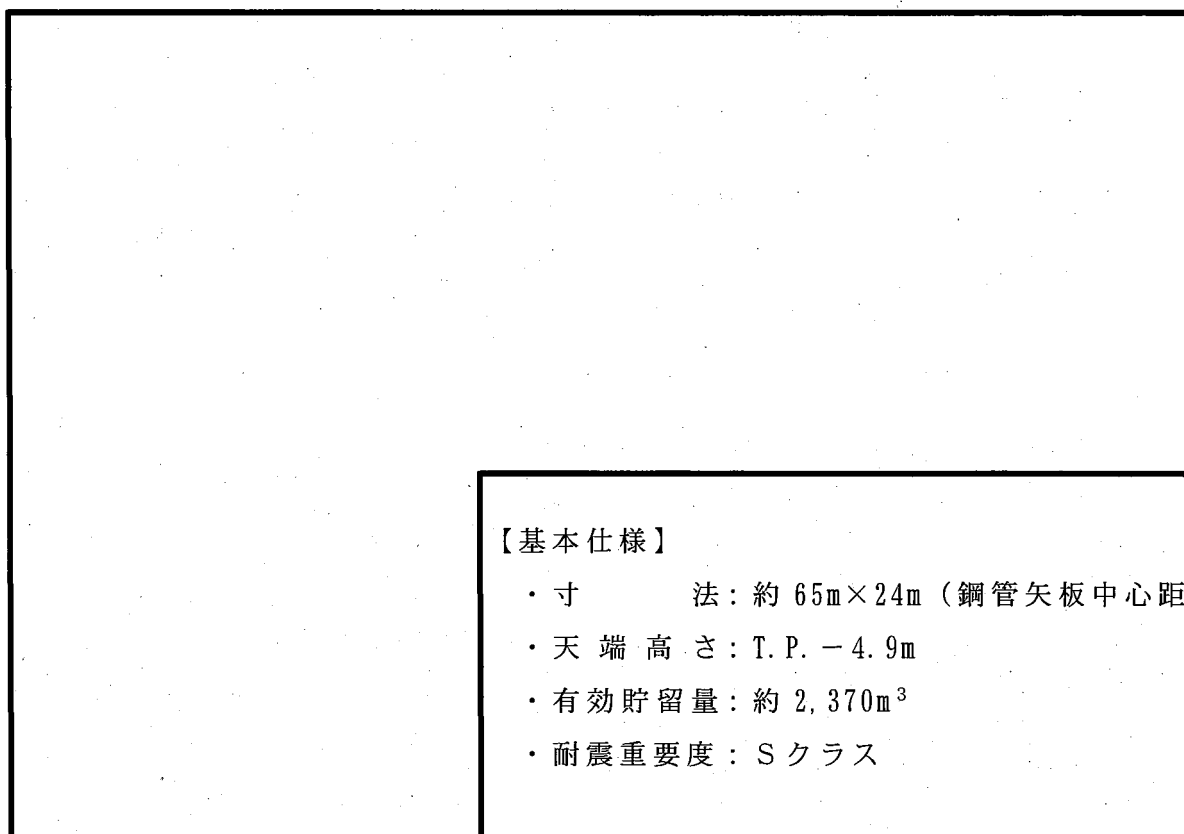


図 1 貯留堰の概略構造

2. 引き波時の最低水位と低下時間

一般に想定する津波の高さを高くするほど引き波の水位も低くなることから、本評価では、基準津波高さを上回る津波として、別紙 3. 2. 2. 3-3 において敷地内浸水解析により原子炉建屋に到達すると評価した T. P. + 24m 津波の水位挙動に着目して評価を行う。T. P. + 24m 津波は、防潮堤前面高さ T. P. + 20m を上回ることから、そもそも押し波が防潮堤を越流して非常用海水ポンプが没水、被水して機能喪失することになるものの、ここでは保守性を確保した評価として、取水継続性を検討することとする。

T. P. + 24m 津波の防潮堤取水口前面における水位の時刻歴波形を図 2 に示す。図 2 において引き波の最低水位は T. P. - 6. 1m となっており、最低水位の近傍で水位が貯留堰天端高さ（T. P. - 4. 9m）を下

回る時間は約 5 分間となっている。

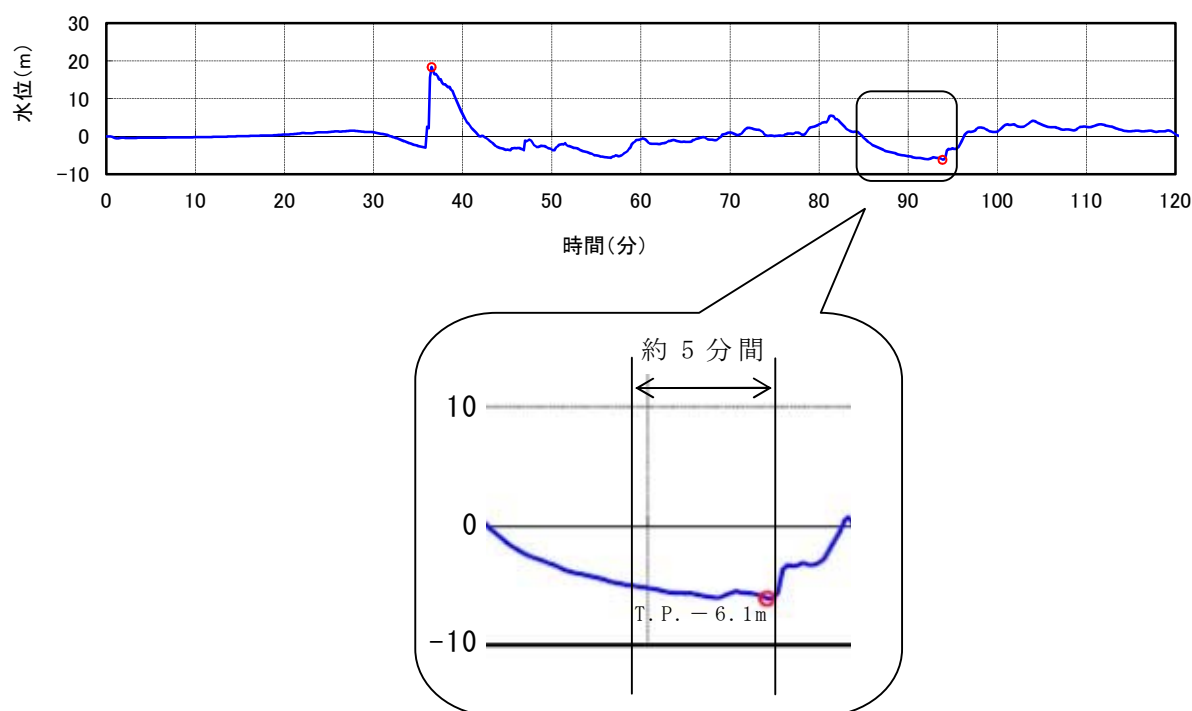


図 2 T. P. +24m 津波の水位の時刻歴波形と
最低水位時拡大図（取水口前面）

3. 貯留堰による非常用海水ポンプの運転継続可能時間の評価

(1) 評価内容及び方法

取水ピットは、非常用海水ポンプと常用海水ポンプ※²で共用している。このため、引き波により取水ピットの水位が停止警報設定値に達した場合には、常用系の循環水ポンプ及び補機冷却系海水ポンプを停止する運用としているが、ここでは、非常用海水ポンプ全台が運転状態の場合の運転継続可能時間とともに、常用海水ポンプの停止に失敗したことを想定した状態、つまり、非常用及び常用海水ポンプ全台が運転状態の場合における非常用海水ポン

※²：常用海水ポンプ：循環水ポンプ及び補機冷却系海水ポンプ

プの運転継続可能時間を評価した。

(2) 評価条件

非常用海水ポンプの運転継続可能時間の評価に当たり，非常用海水ポンプ及び常用海水ポンプの取水量は，各々のポンプの定格容量とした。非常用海水ポンプ及び常用海水ポンプの取水量を表 1 に示す。

また，安全側の評価となるよう常用海水ポンプは，ポンプ呑口下端まで取水可能とし，水位がポンプ呑口下端を下回った時点で停止するものとした。海水ポンプの取水可能水位を表 2 に示す。

表 1 非常用海水ポンプ及び常用海水ポンプの取水量

海水ポンプ	区分	台数	取水量 (m ³ /h)	
			1 台 当たり	合計
残留熱除去系海水ポンプ	非常用	4 (2 系統)	886	3,544
非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ		2 (2 系統)	273	546
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ		1 (1 系統)	233	233
循環水ポンプ	常用	3 (3 系統)	74,200	222,600
補機冷却系海水ポンプ		3※1 (3 系統)	2,838	5,676

※1：1 台は予備機。このため，取水量の合計は 2 台分の値としている。

表 2 海水ポンプの取水可能水位

海水ポンプ	区分	取水可能水位 (呑口部水位)
残留熱除去系海水ポンプ	非常用	T. P. - 5.42m ^{※1}
		T. P. - 5.66m ^{※2}
非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ		T. P. - 6.08m ^{※1}
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ		T. P. - 6.08m ^{※1}
循環水ポンプ	常用	T. P. - 1.59m (T. P. - 5.20m)
補機冷却系海水ポンプ		T. P. - 5.08m ^{※1} (T. P. - 6.51m)

※1：日本機械学会標準「ポンプの吸込水槽の模型試験法」(JSME S 004-1984)

吸込水槽の標準形状に対する最小没水深さによる値

※2：実機ポンプを用いた水理実験結果に基づく値

(3) 評価結果

評価の結果，非常用海水ポンプは，常用海水ポンプが停止かつ非常用海水ポンプ全台が運転状態の場合で約 30 分間，非常用及び常用海水ポンプ全台が運転状態の場合で約 8 分間，運転継続可能であることを確認した。これらの時間は，いずれも引き波の水位が貯留堰の天端高さ (T. P. - 4.9m) を下回る時間である 5 分間を上回っている。

a. 常用海水ポンプ停止条件での評価

①貯留堰内に貯留される有効貯留量：約 2,370m³

②非常用海水ポンプ全台の取水量：4,323m³/h

③非常用海水ポンプの運転継続時間：約 30 分

$$\cdot \text{約 } 2,370\text{m}^3 \text{ (①)} \div 4,323\text{m}^3/\text{h} \text{ (②)} = 32.8 \text{ 分}$$

b. 常用海水ポンプ運転継続条件での評価

①循環水ポンプ停止までに取水される貯留堰内の水量

: 約 940m^3

②非常用及び常用海水ポンプ全台の合計取水量

: $232,599\text{m}^3/\text{h}$

③循環水ポンプ停止までの時間: 0 分 13 秒

・ $\text{約 } 940\text{m}^3 \text{ (①)} / 232,599\text{m}^3/\text{h} \text{ (②)} = 0 \text{ 分 } 13 \text{ 秒}$

④循環ポンプ停止後に貯留堰に貯留されている有効貯留量

: $1,430\text{m}^3$

⑤非常用及び常用海水ポンプ（循環水ポンプ除く）全台の

取水量: $9,999\text{m}^3/\text{h}$

⑥非常用海水ポンプの運転継続時間: 約 8 分

・ $1,430\text{m}^3 \text{ (④)} / 9,999\text{m}^3/\text{h} \text{ (⑤)} = \text{約 } 8.58 \text{ 分}$

3. 事故シナリオの分析で引き波を除外する考え方

上述の検討により，敷地内浸水解析により原子炉建屋に到達すると評価した T.P. +24m 津波の引き波の水位が貯留堰の天端高さ(T.P. -4.9m)を下回る約 5 分間に対し，非常用海水ポンプの取水継続時間が十分長いことから，基準津波高さを上回る津波の引き波に対しても非常用海水ポンプの取水性が確保できることを確認した。

また，押し波が T.P. +20m を超えた時点で，防潮堤を越流し，非常用海水ポンプが機能喪失することから，引き波により非常用海水ポンプが機能喪失する事故シナリオは，押し波による事故シナリオに包含されると考えられるため考慮は不要である。

以上を踏まえ，事故シナリオの分析において引き波を除外した。

建屋・機器リストの抽出の考え方について

1. 津波PRA学会標準の規定

津波PRA学会標準には、建屋・機器リストの作成に関する以下の規定があり、東海第二発電所の建屋・機器リストについても、当該規定に基づき作成を行っている。

(津波PRA学会標準 6.5 項抜粋部)

6.5 建屋・機器リストの作成

6.3 事故シナリオの明確化と 6.4 起因事象の分析に基づき、9. 事故シーケンス評価に必要な建屋・機器リストを作成する。このリストは、図 6.5-1 に示す津波PRAの一連の作業の中で調整・利用される。建屋・機器リストの作成に関連する作業項目には、5. プラント構成・特性及びサイト状況の調査、6. 事故シナリオの同定、8. 建屋・機器フラジリティ評価、9. 事故シーケンス評価がある。

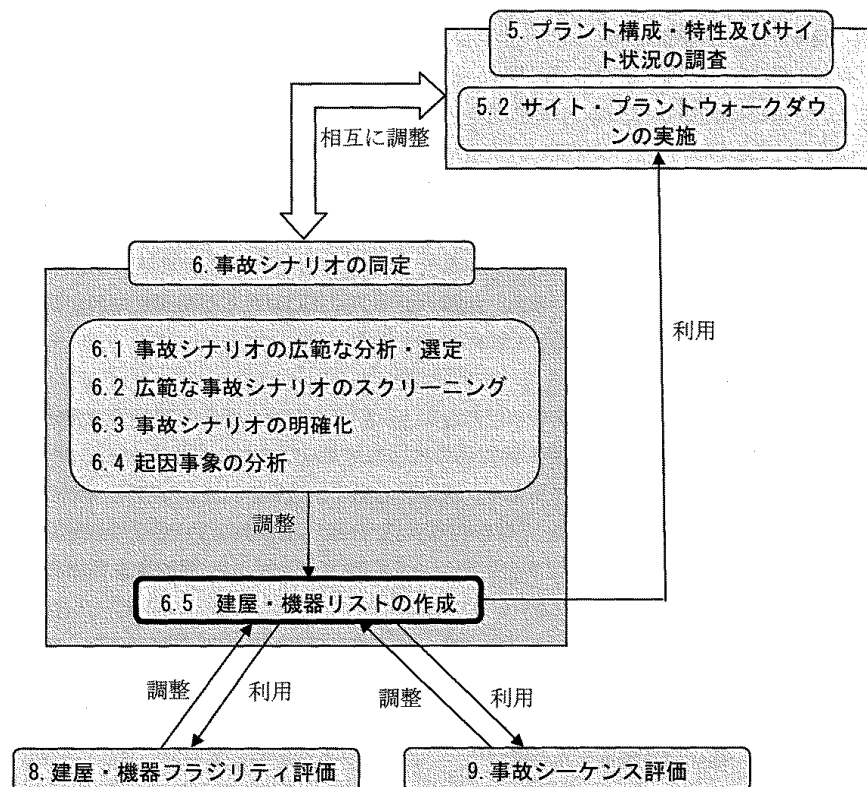


図 6.5-1 建屋・機器リストの調整・利用の流れ

2. 建屋・機器リストの作成手順

津波 P R A 学会標準の評価の流れに従い、「6.1 事故シナリオの広範な分析・選定」及び「6.2 広範な事故シナリオのスクリーニング」を行い、「6.3 事故シナリオの明確化」及び「6.4 起因事象の分析」の結果に基づき、津波 P R A の評価対象として、津波防護施設、浸水防止設備、起因事象を引き起こす設備及び起因事象を緩和する設備を選定して、「6.5 建屋・機器リストの作成」を行った。各設備区分に該当する設備の抽出の考え方を以下に示す。

(1) 津波防護施設及び浸水防止設備

設計基準対象設備である、防潮堤、防潮扉、放水路止水対策、取水路止水対策及び原子炉建屋外壁部止水対策 (E. L. +8.2m 以下※³) を抽出した。

(2) 起因事象を引き起こす設備

事故シナリオの明確化及び起因事象の分析結果 (図 1) に基づき、起因事象を引き起こす設備を抽出した。

(3) 起因事象を緩和する設備

設計基準対象設備である緩和設備を抽出対象とし、内部事象出力運転時レベル 1 P R A において考慮する緩和設備 (表 1) を抽出した。ただし、津波到達前に原子炉が停止していることから、緩和設備のうちスクラム系は対象外とした。

3. 建屋・機器リスト

2. の作成手順に基づき作成した建屋・機器リストを表 2 に示す。

※3：原子炉建屋外壁部止水対策のうち、E. L. +8.2m 以下の地下部については、屋外タンク破損や降雨等による水の原子炉建屋内への流入を防止するため、設計基準対象設備として止水対策を行っている。なお、E. L. +8.2m 以上の地上部については、緊急安全対策で設置した止水対策であり、設計基準対象設備として位置付けていない。

4. プラントウォークダウンへの活用

津波PRA学会標準には、建屋・機器リストのプラントウォークダウンへの利用に関して以下の規定があり、東海第二発電所のプラントウォークダウン対象機器の選定の際にも活用している。

(津波PRA学会標準 6.5 項抜粋部)

作成した建屋・機器リストは、8. 建屋・機器フラジリティ評価、9. 事故シーケンス評価に利用する他、5. プラント構成・特性及びサイト状況の調査のサイト・プラントウォークダウンへの利用も有用であり、評価手順に拘らず、一連の作業の中で相互に調整し利用すべきものであることに留意し、必要に応じてフィードバックを行う。

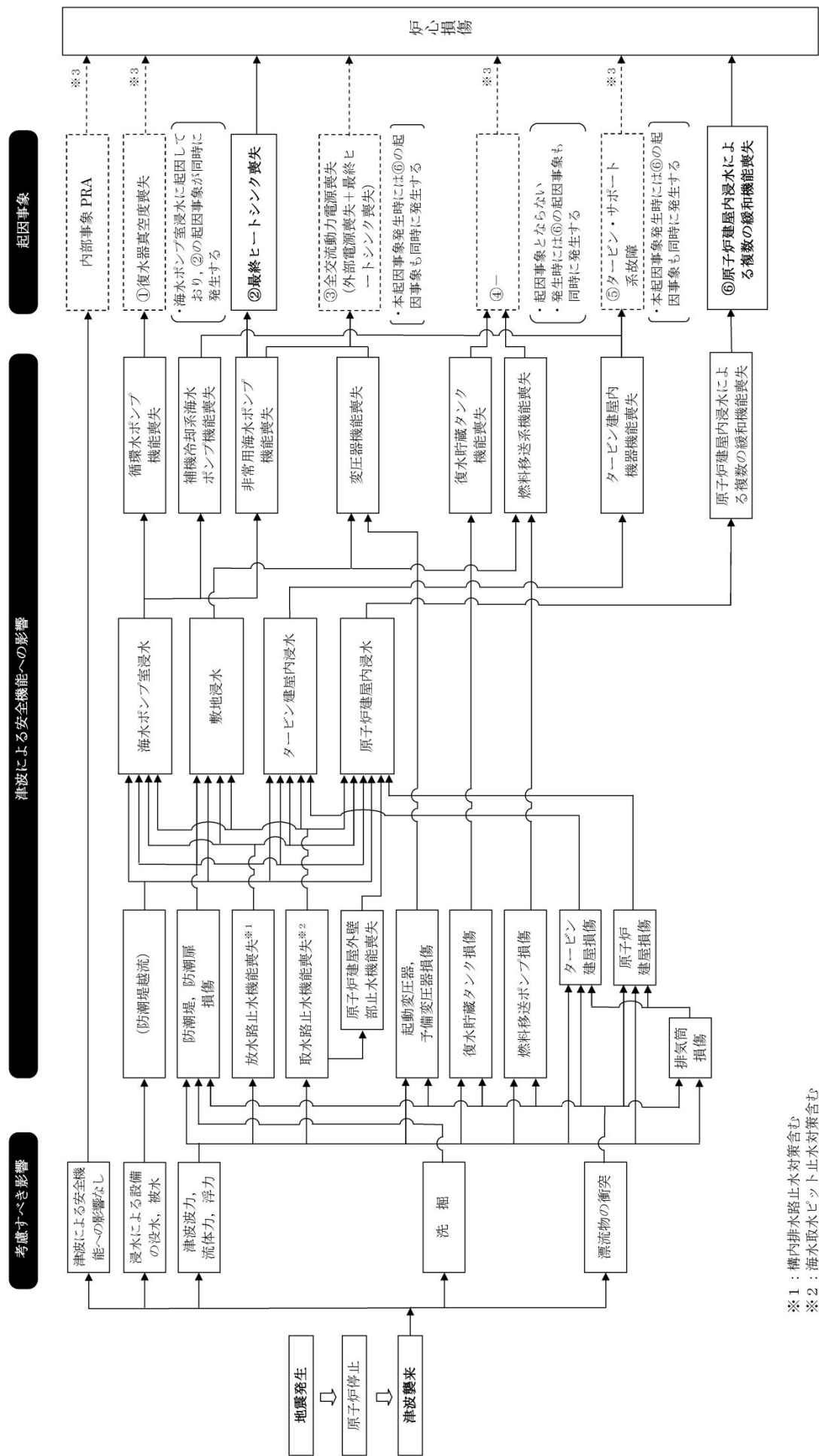


図1 (第3.2.2.1-4 図) 事故シナリオの明確化及び起因事象の分析結果

※1：構内排水路止水対策含む
 ※2：海水取水ピット止水対策含む
 ※3：緩和设备のランダム故障又は他の起因事象との重量により炉心損傷に至る

表 1 内部事象出力運転時レベル 1 P R A で考慮する代表的な緩和設備

機能及びシステム名		システムの概要
炉心冷却機能		
高圧炉心スプレイ系 (HPCS)		原子炉水位異常低下 (レベル 2) 又はドライウエル圧力高の信号で自動起動し、電動駆動のポンプにより、復水貯蔵タンク又はサブプレッション・プールから高圧～低圧状態の原子炉に注水する。
原子炉隔離時冷却系 (RCIC)		原子炉水位異常低下 (レベル 2) の信号で自動起動し、蒸気タービン駆動のポンプにより、復水貯蔵タンク又はサブプレッション・プールから原子炉に注水する。
低圧炉心スプレイ系 (LPCS)		原子炉水位異常低下 (レベル 1) 又はドライウエル圧力高の信号で自動起動し、電動駆動のポンプにより、サブプレッション・プールから低圧状態の原子炉に注水する。
低圧注水系 (LPCI) (残留熱除去系 (RHR))		LPCI は RHR の機能の 1 つであり、原子炉水位異常低下 (L1) 又はドライウエル圧力高の信号で自動起動し、電動駆動のポンプにより、サブプレッション・プールから低圧状態の原子炉に注水する。
自動減圧系 (逃がし安全弁) (ADS)		原子炉水位異常低下 (L1) 及びドライウエル圧力高の信号により、ADS 機能を有する逃がし安全弁 (S/R 弁) を自動開放して原子炉圧力を低下させる。
格納容器除熱機能		
残留熱除去系 (RHR) (格納容器スプレイ冷却モード/サブプレシ ョン・プール冷却モード)		格納容器スプレイ冷却モードは RHR の機能の 1 つであり、サブプレッション・プール水を RHR の熱交換器で冷却し、ドライウエル内及びサブプレッション・チェンバ内にスプレイすることで格納容器内の温度、圧力を低減させる。 サブプレッション・プール冷却モードは RHR の機能の 1 つであり、サブプレッション・プール水を RHR の熱交換器で冷却し、再びサブプレッション・プールへ戻すことによりサブプレッション・プールの温度を低減させる。
安全機能のサポート機能		
残留熱除去系海水系 (RHR S) 非常用ディーゼル発電機海水系 (DGSW) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系 (HPCS-DGSW)		直接海水を供給することで、各々の補機を冷却する。 RHR S : LPCS, RHR 等 DGSW : DG-2C/2D HPCS-DGSW : HPCS, HPCS-DG
[交流電源] 非常用ディーゼル発電機 (DG) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 (HPCS-DG) 燃料移送系		外部電源の喪失等を受けて自動起動し、非常用機器に給電する。
直流電源 (DC)		RCIC やディーゼル発電機の起動、逃がし安全弁の電磁弁や遮断器の開閉等の非常用機器の制御に用い る。

表 2 (第 3.2.2.1-5 表) 建屋・機器リスト (1/2)

区 分	No.	建屋・機器 (系統) 名称		設置場所※ ¹	設置場所 の高さ※ ¹ (E.L.)
津波防護施設及び浸水防止設備	1	防潮堤及び防潮扉	—	屋外	—
	2	放水路止水対策 (構内排水路止水対策含む)	—	屋外	—
	3	取水路止水対策 (海水取水ピット止水対策含む)	—	海水ポンプ室及び屋外	—
	4	原子炉建屋外壁部 (地下部分) 止水対策 (隣接する建屋境界部含む)	—	原子炉建屋及び屋外	—
起因事象を引き起こす設備	5	残留熱除去系海水系 (海水ポンプ及び関連機器含む)	ポンプ	海水ポンプ室	+0.8m
	6	非常用ディーゼル発電機用海水系 (海水ポンプ及び関連機器含む)	ポンプ	海水ポンプ室	+0.8m
	7	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系 (海水ポンプ及び関連機器含む)	ポンプ	海水ポンプ室	+0.8m
	8	循環水ポンプ	ポンプ	海水ポンプ室	+0.8m
	9	補機冷却系海水ポンプ	ポンプ	海水ポンプ室	+0.8m
	10	起動変圧器, 予備変圧器	変圧器	屋外	+8.2m
	11	原子炉建屋	1 階床面	—	+8.2m
	12	タービン建屋	1 階床面	—	+8.2m
	13	排気筒	排気筒	屋外	+8.5m
起因事象を緩和する設備	14	高圧炉心スプレイ系	ポンプ, 電動弁, 空調機	原子炉建屋 (地下 2 階)	-4.0m
	15	原子炉隔離時冷却系	ポンプ, タービン, 電動弁, 器具, 分電盤	原子炉建屋 (地下 2 階)	-4.0m
	16	低圧炉心スプレイ系	ポンプ, 電動弁, 空調機	原子炉建屋 (地下 2 階)	-4.0m
	17	低圧注水系 (残留熱除去系)	ポンプ, 電動弁, 空調機	原子炉建屋 (地下 2 階)	-4.0m
	18	自動減圧系	制御盤	原子炉建屋 (2 階)	+18.0m
	19	復水貯蔵タンク	タンク	屋外	+3.0m
	20	燃料移送系	タンク, ポンプ	屋外	+8.3m
	21	直流電源系	分電盤	原子炉建屋 (地下 2 階)	-4.0m
	22	非常用交流電源系	ディーゼル発電設備	原子炉建屋 (地下 2 階)	-4.0m

表 2 (第 3.2.2.1-5 表) 建屋・機器リスト (2/2)

区 分		No.	建屋・機器（系統）名称		設置場所※ ¹	設置場所 の高さ※ ¹ (E. L.)
起 因 事 象 を 緩 和 す る 設 備	サ ポ ー ト 系	23	残留熱除去系海水系（海水ポン プ及び関連機器含む）	ポンプ	海水ポンプ室	+ 0. 8m
		24	残留熱除去系海水系（原子炉建 屋内設置機器）	熱交換器	原子炉建屋 （地下 2 階）	－ 4. 0m
		25	非常用ディーゼル発電機用海水 系（海水ポンプ及び関連機器含 む）	ポンプ	海水ポンプ室	+ 0. 8m
		26	非常用ディーゼル発電機用海水 系（原子炉建屋附属棟内設置機 器）	熱交換器	原子炉建屋 （地下 2 階）	－ 4. 0m
		27	高圧炉心スプレイ系ディーゼル 発電機用海水系（海水ポンプ及 び関連機器含む）	ポンプ	海水ポンプ室	+ 0. 8m
		28	高圧炉心スプレイ系ディーゼル 発電機用海水系（原子炉建屋内 設置機器）	熱交換器	原子炉建屋 （地下 2 階）	－ 4. 0m

※1: 設置場所の高さは、工事計画認可申請書、配管施工図、配置図、据付図等を元に調査し、没水・被水による機能喪失に着目して、当該機器の設置床面の高さを記載している。(別紙 3.2.2.1-6)

なお、複数の機器が異なる高さに設置されている場合は、今回の津波 P R A の評価の前提条件を踏まえ、以下の方針で記載している。

< 海水ポンプ室 >

防潮堤越流により、海水ポンプ室内の機器が没水、被水するため、複数の機器が異なる高さに設置されている場合は、最も低い位置に設置されている設備の設置床面の高さを記載している。

< 原子炉建屋 >

原子炉建屋の1階床面高さである E.L.+8.2m に津波が到達した場合は、津波が建屋内に浸水し、建屋内の機器が没水、被水により機能喪失するものと仮定していることから、複数の機器が異なる高さに設置されている場合は、最も低い位置に設置されている設備の設置床面の高さを記載している。

< 建屋本体 >

原子炉建屋及びタービン建屋については、地上1階の床面高さとしている。

建屋・機器リストの設備の設置高さの根拠について

1. はじめに

建屋・機器リストに記載している設置場所の高さの設定の考え方について，原子炉隔離時冷却系（以下「R C I C」という。）を例に以下で説明する。

2. 設置場所の高さの設定方法

(1) R C I C 関連機器の抽出

基本系統図及び電気計装図を元に，R C I C の機能維持に必要な機器を抽出しリスト化する。R C I C の機器リストを表 1 に示す。

(2) 各機器の設置場所の高さの調査

工事計画認可申請書，配管施工図，据付図，外形図，配置図，原子炉建屋一般配置図等を用いて，各機器が設置されている原子炉建屋の階層を特定し，当該階層の床面高さを設置場所の高さとする。各機器の設置場所の高さを表 1 に，R C I C ポンプ／タービンの設置高さを示した機器配置図を図 1 に示す。

(3) R C I C の設置場所の高さの特定

R C I C は複数の階層に設置されていることから，最も低い階層である原子炉建屋地下 2 階の床面高さ E.L. -4.0m を，R C I C の設置場所の高さと設定する。

表1 R C I C 関連機器リスト

総称名	機器名称	設置場所	設置場所の 高さ (E. L.)
ポンプ	RCIC ポンプ	原子炉棟地下2階	－4.0m
タービン	RCIC タービン	原子炉棟地下2階	－4.0m
弁	RCIC 注入弁	原子炉棟4階	＋29.0m
	RCIC 外側隔離弁	原子炉棟3階	＋20.3m
	RCIC タービン排気弁	原子炉棟地下1階	＋2.0m
	RCIC 蒸気供給弁	原子炉棟地下2階	－4.0m
	：	：	：
器具	RCIC DIV-I 計装ラック	原子炉棟地下1階	＋2.0m
	RCIC PUMP DISCHARGE FLOW (伝送器)	原子炉棟地下2階	－4.0m
	RCIC TURBINE CONTROL BOX	電気室上部3階	＋23.0m
	：	：	：
直流M C C	直流 125V MCC 2A-2	原子炉棟4階	＋29.0m
	直流 125V MCC 2A-1	原子炉棟地下1階	＋2.0m
蓄電池	直流 125V 蓄電池(2A)	電気室1階	＋8.2m
充電器	直流 125V 充電器(2A)	電気室1階	＋8.2m
配電盤	直流 125V 配電盤(2A)	電気室1階	＋8.2m
分電盤	直流 125V 分電盤(2A-1)	電気室1階	＋8.2m
	直流 125V 分電盤(2A-2-1)	電気室地下2階	－4.0m

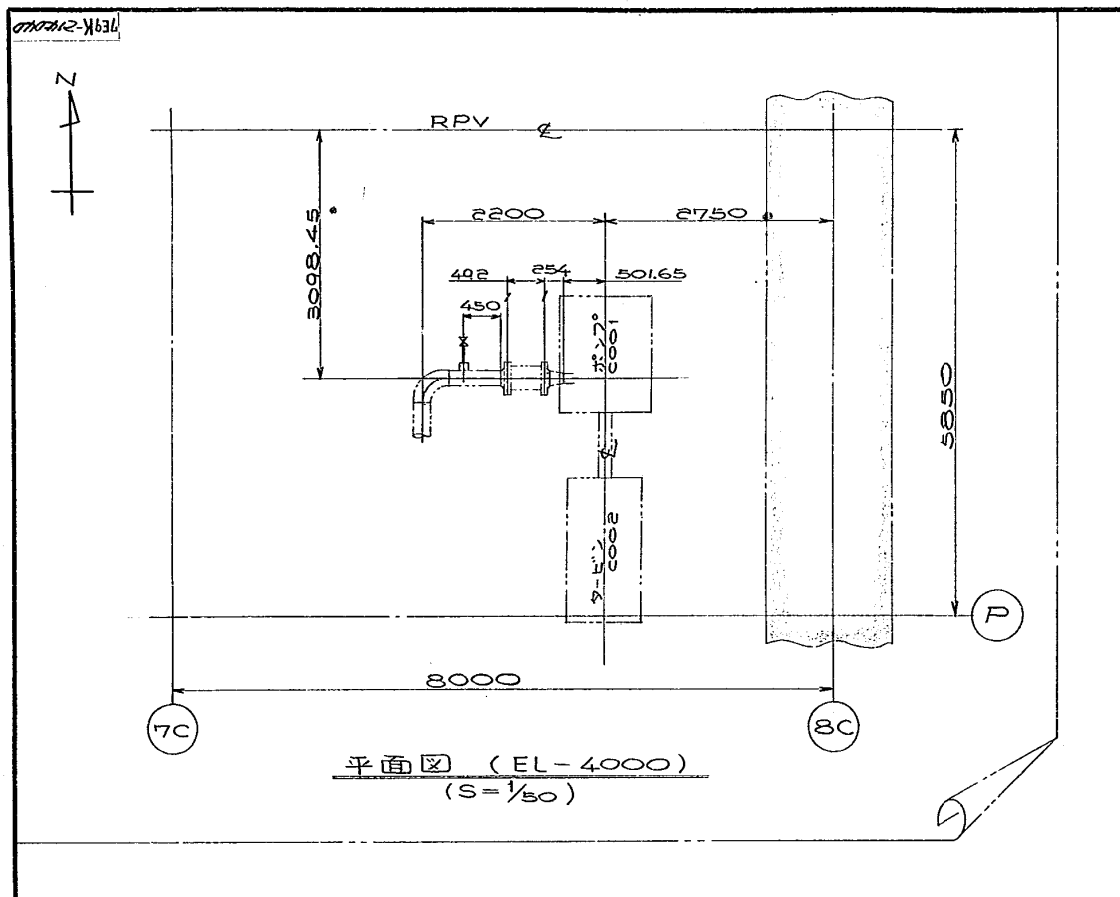


図1 RCICポンプ／タービンの機器配置図

確率論的津波ハザード評価に関する検討

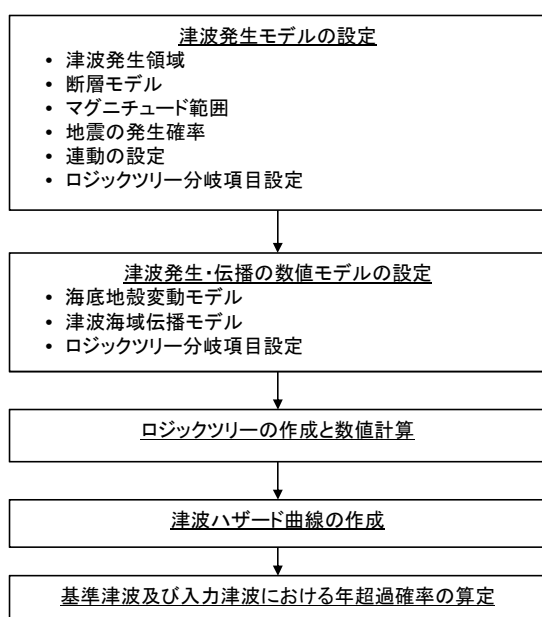
1. 評価方針
2. ロジックツリーの概要
3. ロジックツリーの作成
4. 津波ハザード評価
5. 参考文献



1

1. 評価方針

- 確率論的津波ハザード評価については、津波PRA学会標準、土木学会(2002, 2009, 2011)、原子力安全基盤機構(2014)、地震調査研究推進本部(2012a, 2012b)等を踏まえて実施した。
- また、2011年東北地方太平洋沖地震の発生に伴い、当該地震の発生領域に蓄積していたひずみはほぼ解消し、今後数百年オーダーの期間に、プレート境界部で2011年東北地方太平洋沖地震と同程度の規模のすべりの発生が起こる可能性は小さいことも考慮した。



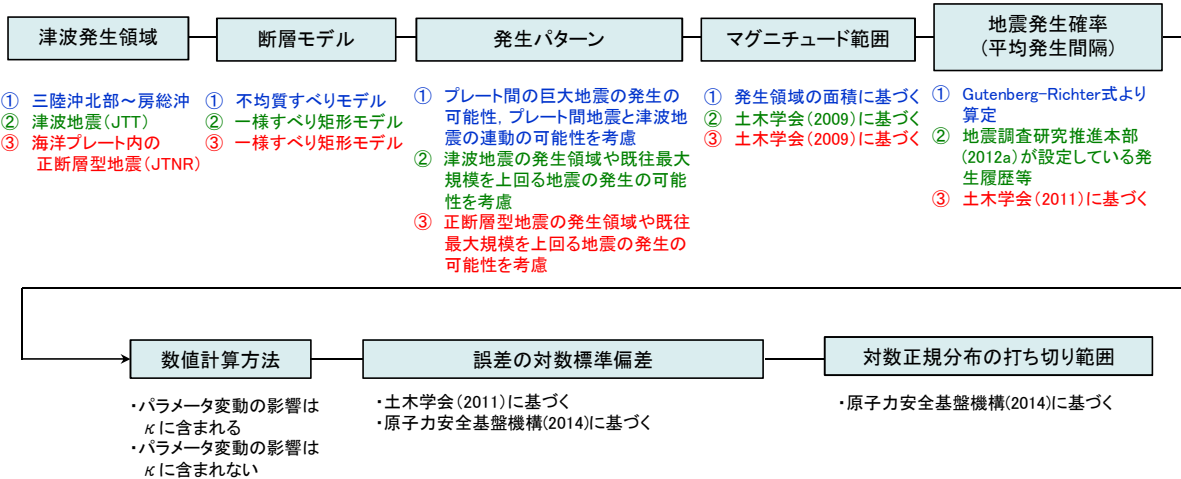
考慮する不確実さ		考慮方法
偶然的 不確実さ	現実に存在しているが、 現状では予測不可能と 考えられるばらつき	津波水位の確率分 布で考慮
認識論的 不確実さ	研究が進展すれば確 定できるが現状では予 測不可能なもの	ロジックツリーの分 岐で考慮



2

2. ロジックツリーの概要

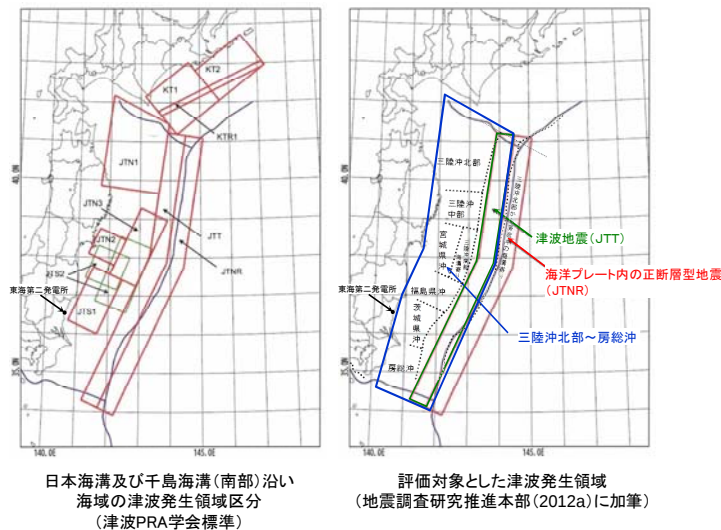
- ロジックツリーの作成にあたっては、津波PRA学会標準、土木学会（2009、2011）等に基づき設定することを基本とし、三陸沖北部から房総沖の領域については、2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見を踏まえ、典型的なプレート間地震と津波地震の連動型地震も考慮した。
- ロジックツリーの分岐については、津波PRA学会標準及び土木学会（2011）に基づき設定することを基本とした。（専門家活用水準3）
- ロジックツリーの重みについては、具体的数値が示されている土木学会（2009）に基づき設定することを基本とした。（専門家活用水準3）
- 上記については、2011年東北地方太平洋沖地震以前に得られた知見に基づくものであることから、それ以降に得られた知見の収集・分析を行い、新たにロジックツリーを設定した。なお、これらの重みについては、現時点の知見からは分岐の重み配分を判断するのが困難な場合は津波PRA学会標準に基づき重みを均等配分とし、保守的な評価として設けた分岐については重みを0.1とした。（専門家活用水準1）



3

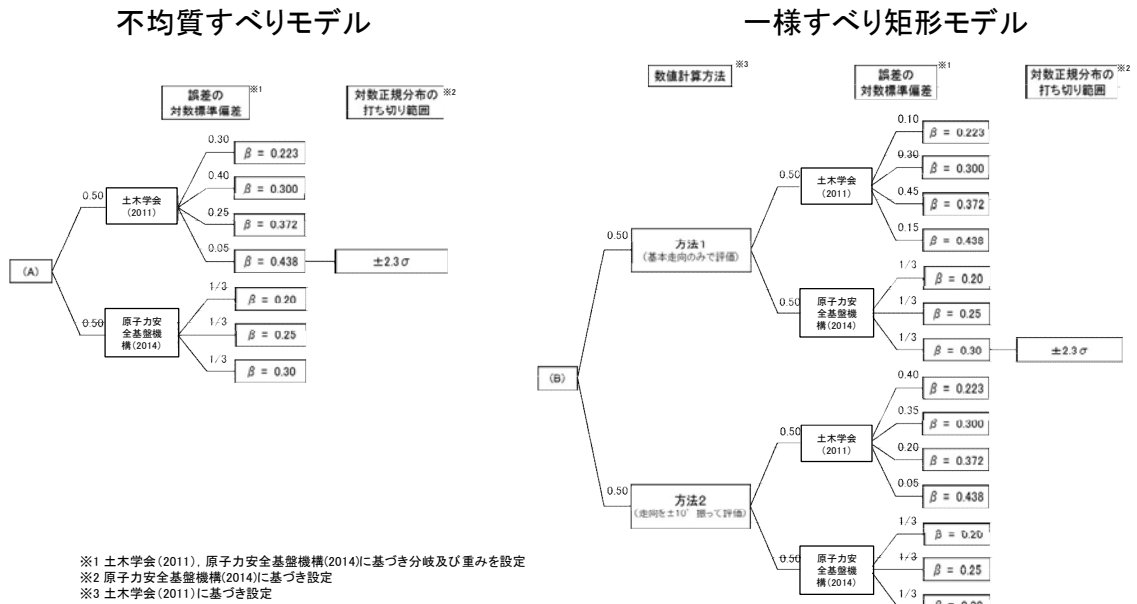
3. ロジックツリーの作成(津波発生領域の設定)

- 評価対象とする津波発生領域は、敷地に与える津波の影響が大きい日本海溝沿いの海域とした。
- 津波発生領域は、津波PRA学会標準、土木学会（2009）等に示される領域を参考に設定した。
- ただし、三陸沖北部から房総沖の領域については、2011年東北地方太平洋沖地震から得られた知見を踏まえ、典型的なプレート間地震と津波地震の連動型地震も考慮した。



4

3. ロジックツリーの作成(津波推定値のばらつきの分岐)

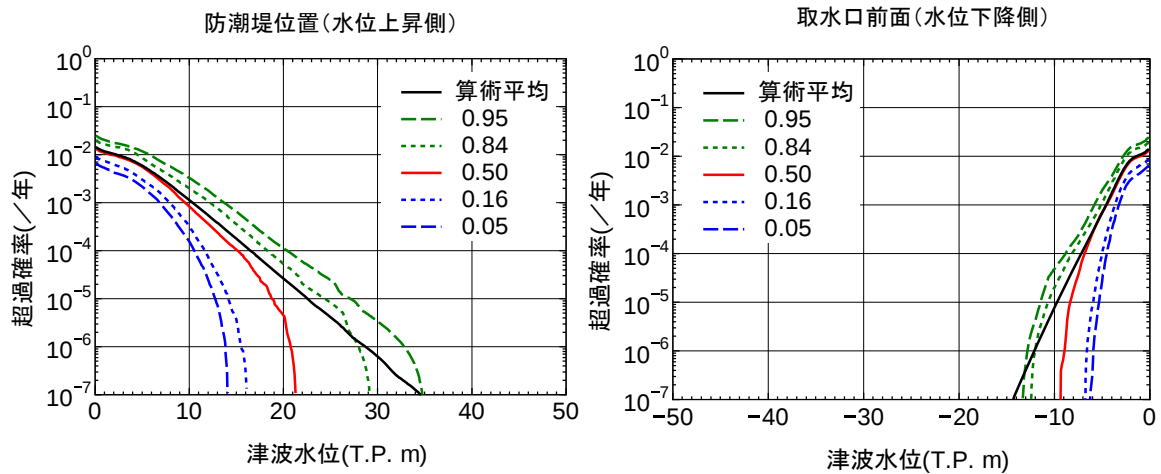


9

4. 津波ハザード評価

- 防潮堤位置(水位上昇側)及び取水口前面(水位下降側)における平均ハザード曲線は以下のとおりである。
 - ✓ 最高水位の年超過確率は 10^{-4} 程度
 - ✓ 最低水位の年超過確率は 10^{-3} 程度

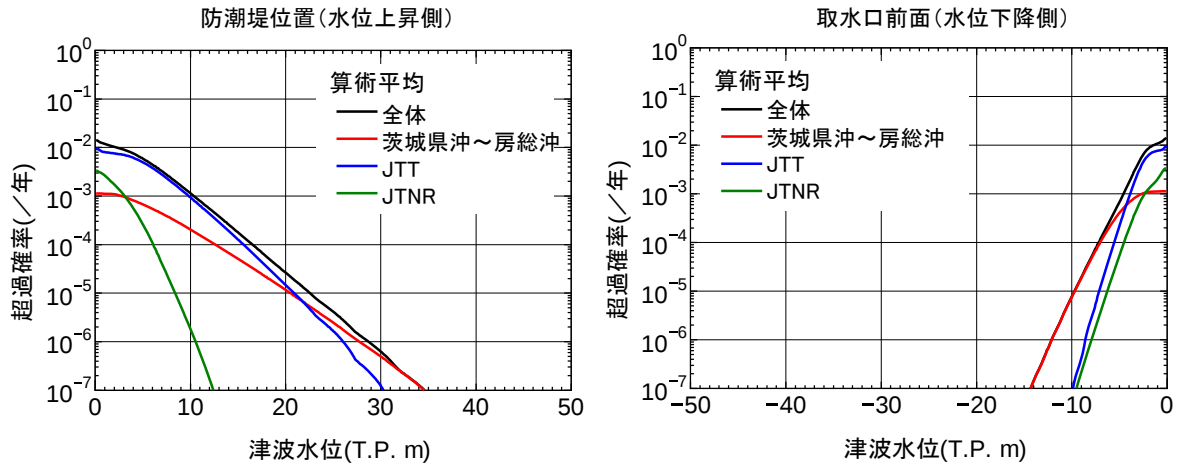
■フラクタルハザード曲線



10

4. 津波ハザード評価

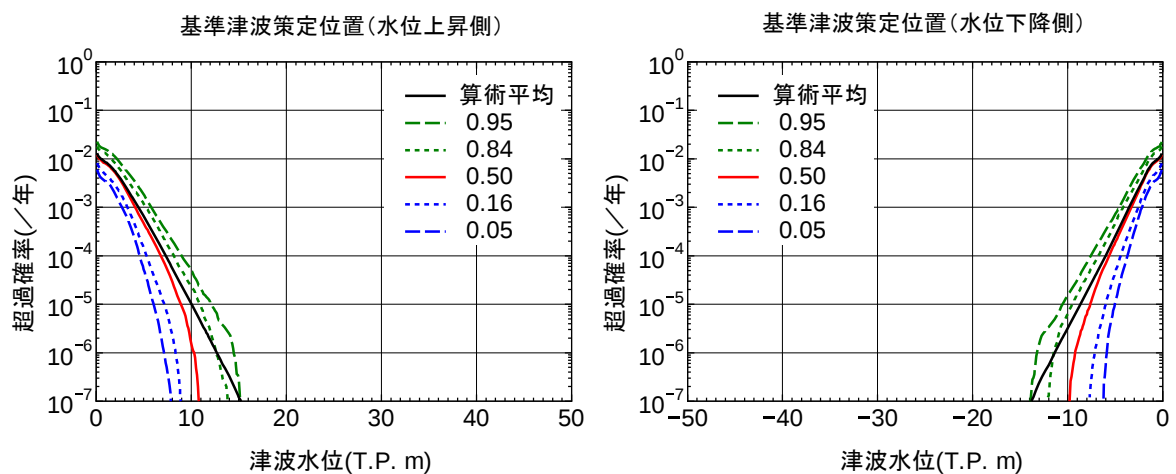
■波源別ハザード曲線



11

4. 津波ハザード評価

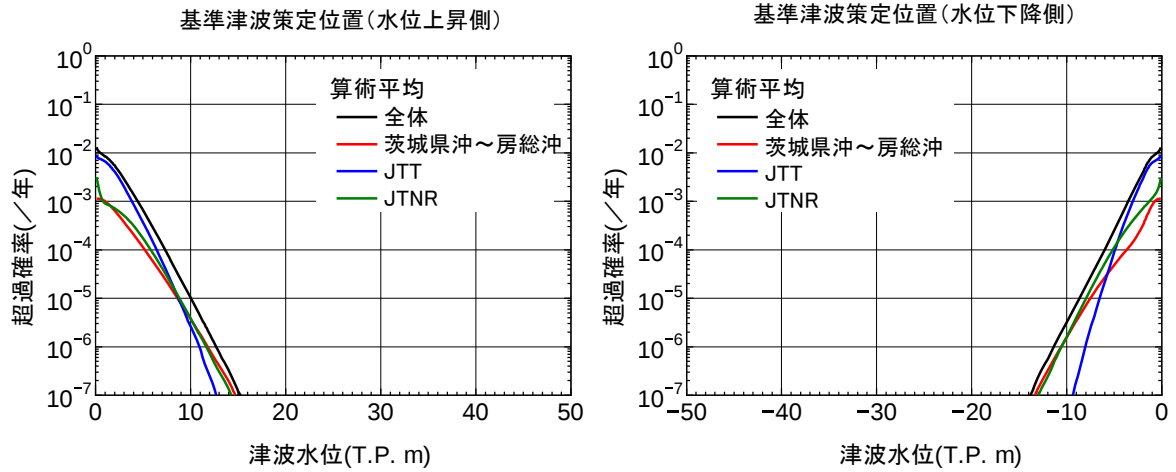
■フラクタイルハザード曲線



12

4. 津波ハザード評価

■波源別ハザード曲線



13

5. 参考文献

- ・ 日本原子力学会(2012): 原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準:2011
- ・ 土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2002): 原子力発電所の津波評価技術
- ・ 土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2009): 確率論的津波ハザード解析の方法(案)
- ・ 土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2011): 確率論的津波ハザード解析の方法
- ・ 原子力安全基盤機構(2014): 確率論的手法に基づく基準津波策定手引き
- ・ 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2012a): 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について
- ・ 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2012b): 今後の地震動ハザード評価に関する検討～2011年・2012年における検討結果



14

防潮堤に対する漂流物の衝突影響評価に用いる漂流物の選定について

1. はじめに

起因事象の分析結果に基づく機器脆弱性評価に当たり、防潮堤の漂流物の衝突による影響を評価するため、考慮すべき漂流物を選定する必要がある。このため、発電所敷地内及び発電所敷地外を対象に、漂流物となる可能性のある施設・設備（発電所港湾施設に接岸する船舶含む。以下同じ。）について広範な調査を実施し、漂流物の衝突による影響評価に用いる漂流物を選定した。

2. 漂流物調査・選定フローの策定

防潮堤に対する漂流物の衝突影響評価に先立ち、漂流物となり得る施設・設備の抽出及び選定を行うため、漂流物の調査・選定フローを図 1 に示すとおり作成した。以下に調査・選定フローの概要を示す。

【ステップ 1】基準津波の流向の確認及び漂流物の移動量の評価

基準津波の数値計算により得られた流向ベクトルより、発電所周辺海域の津波の流向を確認するとともに、発電所に向かう津波の継続時間から漂流物の移動量を評価する。

【ステップ 2】漂流物選定のための調査対象範囲の設定

基準津波の流向ベクトル及び津波の移動量に基づき、防潮堤に対する漂流物の衝突影響評価に用いる漂流物の選定のための調査範囲を設定する。

【ステップ 3】発電所敷地内及び発電所敷地外の調査並びに漂流物となり得る施設・設備の抽出（スクリーニング）

設定した調査範囲内に存在する施設・設備について、設計図書、ウォークダウン及び関係箇所への聞き取りにより調査し、調査結果について、発電所敷地内、発電所敷地外ごとに、また、種別ごとに区分して整理する。

調査結果で確認された施設・設備に対して、図 1 に示したスクリーニング条件に基づき、漂流物となり得る施設・設備を抽出する。

【ステップ 4】漂流物の衝突影響評価に用いる漂流物の選定

ステップ 3 で抽出された漂流物となり得る施設・設備のうち、最大の重量物を漂流物の衝突影響評価に用いる漂流物として選定する。

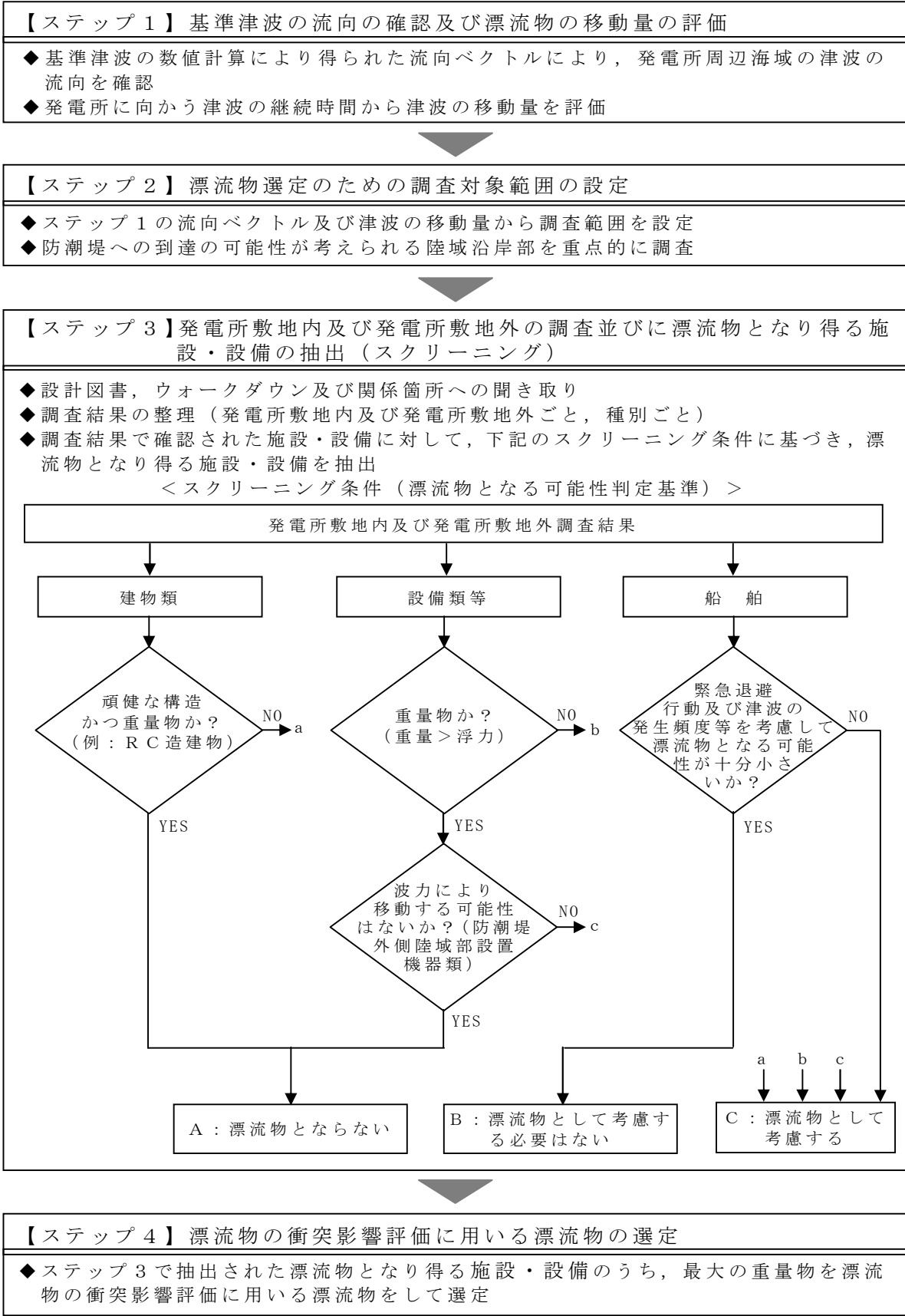


図 1 漂流物の調査・選定フロー

3. 漂流物の選定

3.1 基準津波の流向の確認及び漂流物の移動量の評価【ステップ1】

(1) 基準津波の流向の確認

基準津波の発電所周辺海域の流向ベクトルを図2に示す。発電所前面の海岸線は、南北方向に広がりを持っているため、発電所に襲来する津波は、発電所敷地前面において敷地の南北の方向に振り分けられ、発電所周辺陸域に遡上する。



図2 発電所周辺海域の流向ベクトル

(2) 漂流物の移動量の評価

基準津波の波源特性から、発電所敷地に向かう津波の継続時間を評価した。

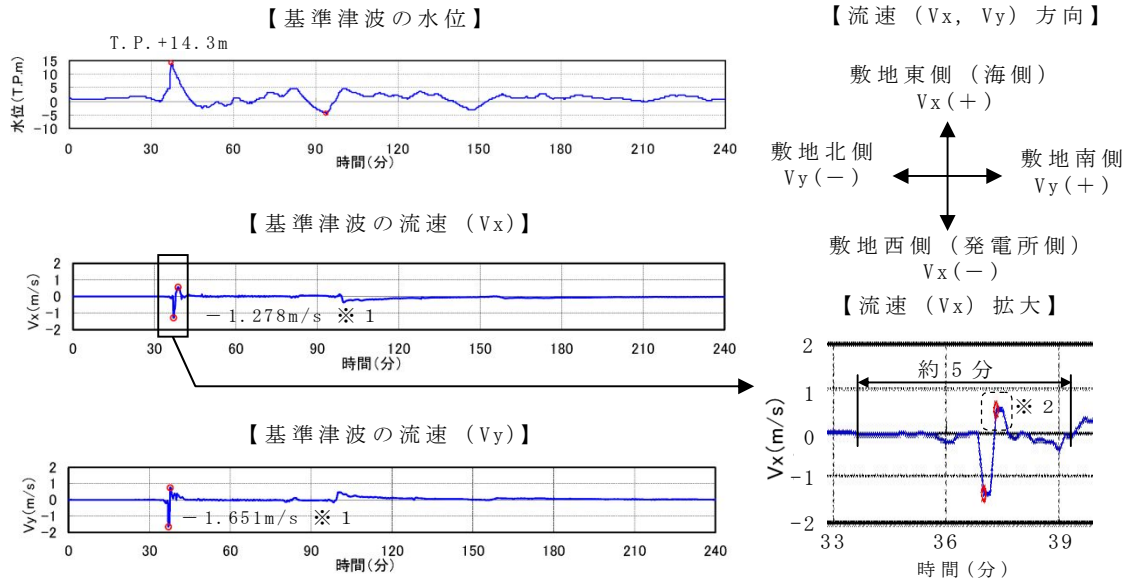
① 基準津波の波源特性

取水口前面における基準津波の水位、流速の時刻歴波形を図3に示す。図3より基準津波の波源特性は以下のとおりである。

- ・基準津波の取水口前面における時刻歴波形から、漂流物の衝突による影響評価において考慮する津波は、地震発生37分

40 秒後に到達する第 1 波である。

- ・ 第 1 波の発電所に向かう津波の継続時間は約 5 分である。
- ・ 第 1 波の最大流速は約 2.1m/s である。



※ 1 : 流速は, V_x (-) 成分と V_y (-) 成分の合成として 2.1m/s とした。

$$\text{流速} = [(-1.278\text{m/s})^2 + (-1.651\text{m/s})^2]^{0.5}$$

$$= 2.09\text{m/s} \Rightarrow 2.1\text{m/s}$$

※ 2 : 敷地東側 (海側) に流向が変化 (引き波) するが, 保守的に発電所に向かう津波の継続時間として扱い約 5 分とした。

図 3 取水口前面における基準津波の水位, 流速の時刻歴波形

②漂流物の移動量

漂流物は, 基準津波の第 1 波の発電所に向かう津波の継続時間中に発生するものとし, 上記①に示した基準津波の波源特性から, 漂流物の移動量を 0.63 km と評価した。

- ・ 漂流物の移動量

= 発電所に向かう津波の継続時間 × 津波の流速

= 5 分 × 2.1m/s × 60

= 630m (0.63 km)

3.2 漂流物選定のための調査対象範囲の設定【ステップ2】

3.1 (1) における基準津波の流向ベクトルを勘案すると、発電所敷地外の陸域沿岸部からの漂流物が発電所敷地に漂流する可能性は小さいと考えられる。しかし、本評価においては、3.1(2)で算出した漂流物の移動量の評価に基づき、発電所敷地周辺を含めて調査範囲を設定することとし、漂流物の移動量 0.63 km を 0.7 km に切り上げ、安全側の余裕を考慮して、発電所周辺半径 1.4 km を漂流物の選定の調査範囲に設定した。漂流物選定のための調査範囲を図 4 に示す。

なお、調査範囲は、防潮堤への到達の可能性のある陸域沿岸部を重点的に調査し、標高、地形から取水口付近への到達の可能性が小さいと判断される陸域部は除外している（図 4 参照）。



図 4 漂流物の調査範囲

3.3 発電所敷地内及び発電所敷地外の調査並びに漂流物となり得る施設・設備の抽出（スクリーニング）【ステップ3】

上記 3.2 で設定した調査範囲に基づき，発電所敷地内及び発電所敷地外に存在する施設・設備について，設計図書，ウォークダウン及び関係者への聞き取りにより調査した。以下に調査結果を発電所敷地内（防潮堤外側）と発電所敷地外で分けして整理した結果を示す。

(1) 発電所敷地内における漂流物調査結果(平成 27 年 3 月調査実施)

建物・構築物は，鉄筋コンクリート造建物として検潮室，海水電解装置建屋，物揚場倉庫等，鉄骨造建物としてメンテナンスセンター，輸送本部建屋及び輸送本部倉庫，その他，再利用物品を保管する再利用物品置場テント等がある。

機械装置類としては，港湾ジブクレーン，除塵装置（回転バースクリーン，トラベリングスクリーン），除塵装置制御盤，海水電解装置等が存在する。

その他，発電所敷地の北側には海上監視レーダー設置用鉄塔，防砂林等，沖合には東海発電所取水鋼管標識ブイがある。

発電所港湾施設に定期的に接岸する船舶としては，使用済燃料輸送船，低レベル放射性廃棄物運搬船（以下「燃料等輸送船」という。）がある。また，港湾内における浚渫作業を考慮すると，不定期ではあるが浚渫作業用台船が港湾内に入港する。

上記調査の結果，確認された施設・設備が津波により漂流物となり得るかについて，図 1 に示した漂流物の調査・選定フローにおけるスクリーニング条件に基づき抽出した。発電所敷地内に存

在する施設・設備の調査結果並びに漂流物となり得る施設・設備の抽出結果を添付資料 1 に示す。

(2) 発電所敷地外における漂流物調査結果

発電所敷地外の北側には、鉄筋コンクリート造建物、防砂林等が存在するが、その他に考慮すべき施設・設備は存在しなかった（平成 27 年 3 月調査実施）。また、発電所敷地外の南側には、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が存在するため、同敷地内に存在する施設・設備について調査した（平成 27 年 3 月調査実施）。

なお、発電所敷地から北方約 4km の位置に久慈漁港が、発電所敷地から南方約 9km の位置に磯崎漁港が存在する。このため、漁船が発電所付近で操業することを考慮し、漁協への聞き取り調査を実施した（平成 28 年 1 月調査実施）。

上記調査の結果、確認された施設・設備が津波により漂流物となり得るかについて、図 1 に示した漂流物の調査・選定フローにおけるスクリーニング条件に基づき抽出した。発電所敷地外に存在する施設・設備の調査結果並びに漂流物となり得るものの抽出結果を添付資料 2 に示す。なお、3.1 (1) において示した基準津波の流向ベクトルから、発電所敷地外において漂流物化する施設・設備は、それぞれ西側に流され、防潮堤に衝突する可能性は小さいと考えられるが、漂流物化する施設・設備を、防潮堤に対する漂流物の衝突影響評価に用いる漂流物として考慮した。

3.4 漂流物の衝突影響評価に用いる漂流物の選定【ステップ4】

(1) 漂流物となり得る施設・設備の種別毎の最大重量物

上記 3.3 の結果から, 発電所敷地内及び発電所敷地外において漂流物となり得る施設・設備について整理した結果を表 1 に示す。

表 1 漂流物となり得る施設・設備の最大重量物

区分	種別	対象物（最大重量物）	重量
発電所敷地内	施設・設備 （船舶を除く）	回転バースクリーン	約 8.2t
	船舶	浚渫作業船（台船）	約 44t
発電所敷地外	施設・設備 （船舶を除く）	自家用車両	約 3t
	船舶	5t 級漁船	約 15t

(2) 漂流物の衝突影響評価に用いる漂流物の選定

表 1 より, 防潮堤の漂流物衝突影響評価の際に用いる漂流物として, 最大重量である浚渫作業船（台船）（約 44 トン）を選定する。

発電所敷地内に存在する施設・設備の調査結果並びに
漂流物となり得る施設・設備の抽出結果

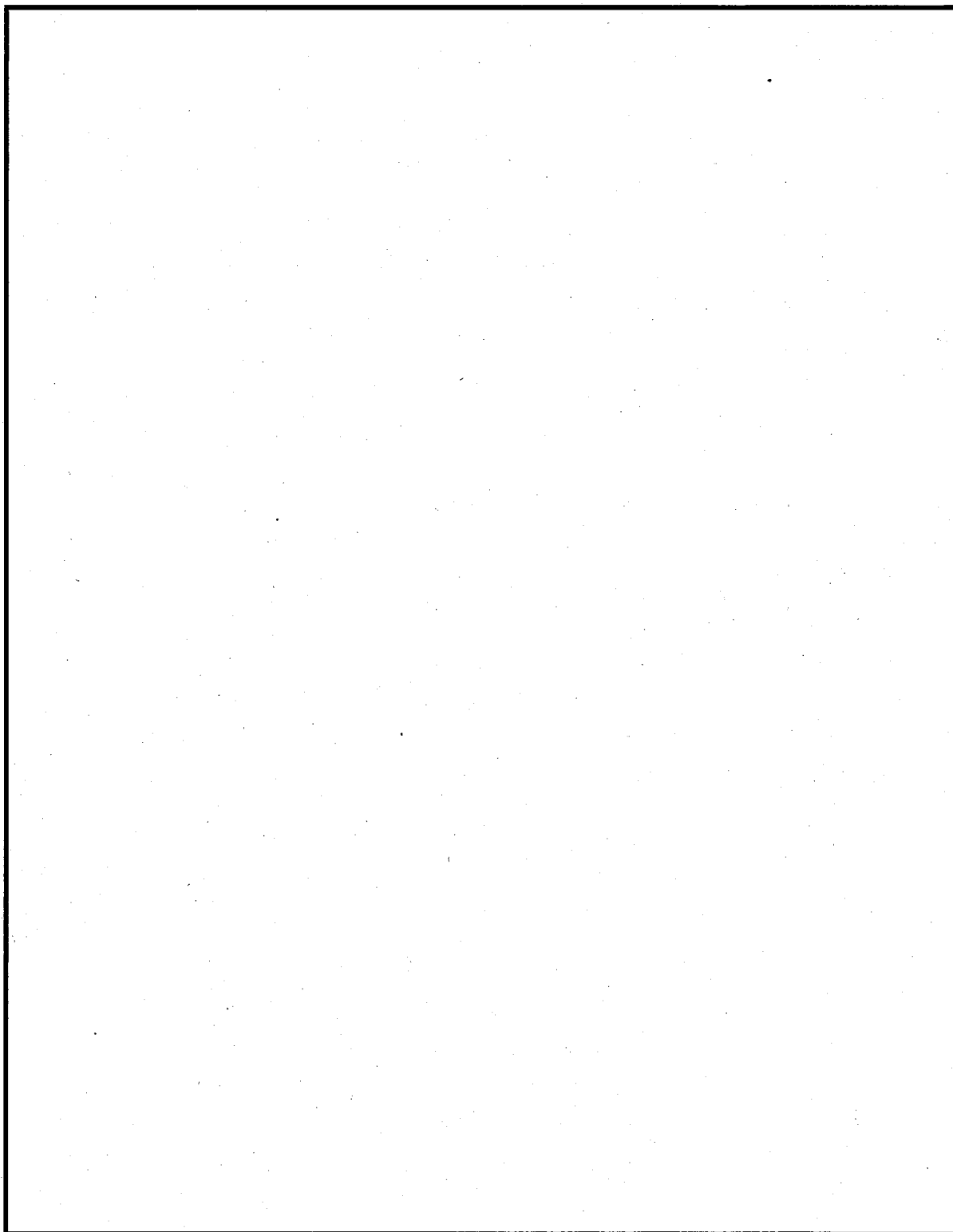


図1 発電所敷地内に存在する施設・設備配置図

表1 発電所敷地内に存在する施設・設備の調査結果並びに
漂流物となり得る施設・設備の抽出結果まとめ表 (1/2)

	番 号	種 類	場 所	数 量	重 量 (t)※ ¹	評 価	分 類	
建 物 類 等	①	検潮室	発 電 所 構 内	1	－ (RC 造)	・RC造建物等であり， 構造的に頑健かつ重 量物であるため，漂 流物とならない。	A	
	②	海水電解装置建屋		1	－ (RC 造)			
	③	物揚場倉庫		1	－ (RC 造)			
	④	放水口モニター室		1	－ (RC 造)			
	⑤	北防波堤灯台		1	－ (RC 造)			
	⑥	復水冷却用水路 スクリーン室		1	－ (RC 造)			
	⑦	塩素処理施設		1	－ (RC 造)			
	⑧	放水口放射能測定 機器上屋		1	－ (RC 造)			
	⑨	ロータリースクリーン室		1	－ (RC 造)			
	⑩	主ゲート		1	－ (RC 造)			
	⑪	次亜塩素酸ソーダ注入室		1	－ (RC 造)			
	⑫	メンテナンスセンター	1	－ (S造)	・本体（鉄骨）並びに 建屋内設置物又は保 管物のうち重量物 は，漂流物となら ない。 ・外装板並びに軽量な 設置物又は保管物 は，波力により破損， 移動すると考えられ るため，漂流物とし て考慮する。	A C		
	⑬	輸送本部建屋	1	－ (S造)				
	⑭	輸送本部倉庫	1	－ (S造)				
	設 備 類 等	⑮	再利用物品置場 テント	1	－	・テント本体及び軽量 な保管物は，波力に より破損，移動する と考えられるため， 漂流物として考慮す る。 ・重量物は津波により 移動する可能性がな いため，漂流物とな らない。	C A	
⑯		港湾ジブクレーン	1	約370	・重量物であり，基礎 が固定されており， また，波力により移 動する可能性がない ため，漂流物となら ない。			A
⑰		クレーン荷重試験用 ウェイト	119	最大 約15.4				
⑱		クレーン荷重試験用吊具	11	最大 約8.2				
⑲		使用済燃料輸送用 専用吊具	1	約12.0				
⑳		オイルフェンス巻取機	1	約4.0				
㉑		海上監視レーダー 設置用鉄塔	1	約37		・浮力により浮く可能 性があるため，漂流 物として考慮する。 （基礎ボルト等で固 定されているものも あるが，津波により 破損することを前提 とした。）	C	
㉒		除塵装置制御盤	1	約0.3				
㉓		屋外照明灯	9	約0.09 （頭柱灯）				
			10	約0.15（ハ イウェイ灯）				
㉔		PP フェンス	一式	－ （約1800m）				
㉕		水路変圧器函	1	約0.6				
㉖	放水口モニター	1	約0.1					

表1 発電所敷地内に存在する施設・設備の調査結果並びに
漂流物となり得る施設・設備の抽出結果まとめ表 (2/2)

	番号	種類	場所	数量	重量(t)※1	評価	分類
設 備 類 等	㉔	回転バースクリーン	発 電 所 構 内	8	約8.2	・重量物であるが、防潮堤近傍に設置されており、波力により移動する可能性のあるため、漂流物として考慮する。 (基礎ボルト等で固定されているものもあるが、津波により破損することを前提とした。)	C
	㉕	トラベリングスクリーン		8	約7.5		
	㉖	潜用水防護柵		2	約2.5		
	㉗	海水電解装置		2	約0.4 (ストレナ)		
				4	約0.2 (脱気筒)		
				36	約0.15 (電解槽)		
	㉘	放水口サンプルポンプ		3	約0.1		
	㉙	放射性液体廃棄物希釈水ポンプ		2	約0.2		
	㉚	使用済燃料輸送用区画器具保管箱		1	約2.0		
	㉛	鉄製防護柵		一式	— (約400m)		
	㉜	自動販売機	1	約0.42	・浮力により浮く可能性があるため、漂流物として考慮する。	C	
	㉝	オイルフェンス	1	約1.6			
	㉞	標 識	1	約1.0			
	㉟	防砂林		多数	約0.3	・津波による倒木が考えられるため、漂流物として考慮する。	C
㊱	取水鋼管標識ブイ	沖 合	1	約0.5	・波力によりチェーンが破損する可能性があるため、漂流物として考慮する。	C	
船 舶	㊲	使用済燃料輸送船	東 海 港 湾 内	1	約5000	・緊急退避行動及び津波の発生頻度等を考慮すると、漂流物となる可能性が十分小さいため、漂流物として考慮する必要はない。 (添付資料3参照)	B
	㊳	低レベル放射性固体廃棄物輸送船		1	約4000		
	㊴	浚渫作業船 (台船)			1	約44	・自航不可であり、緊急退避が困難なため、漂流物として考慮する。

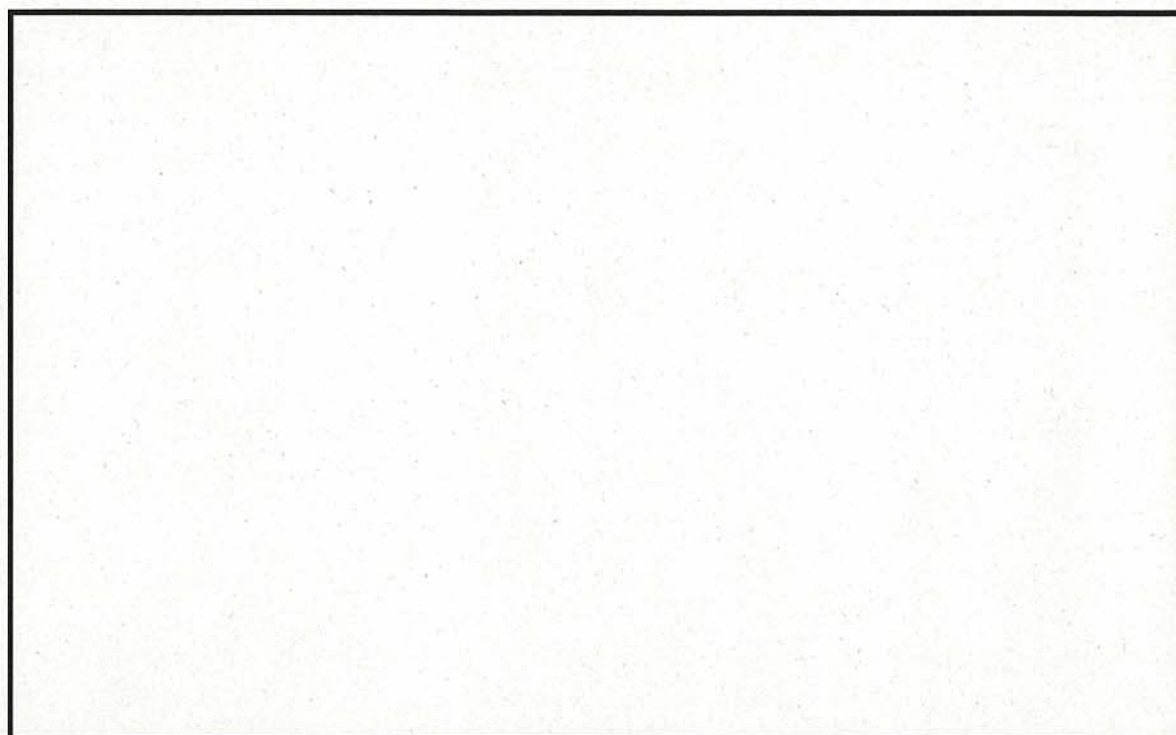
※1: 設備等の重量は1台当たりの重量を示す。

【分類】 A: 漂流物とならない
B: 漂流物として考慮する必要はない
C: 漂流物として考慮する

発電所敷地外に存在する施設・設備の調査結果並びに
漂流物となり得る施設・設備の抽出結果

1. 発電所敷地外北側

発電所敷地外に存在する施設・設備の調査結果のうち、北側の配置図を図1に、まとめ表を表1に示す。



 : 建物类等 (①)

 : 設備类等

 : 設備类等のうち防砂林 (③)

図1 発電所敷地外に存在する施設・設備配置図
(発電所敷地外北側)

表1 発電所敷地外に存在する施設・設備の調査結果並びに
漂流物となり得る施設・設備の抽出結果まとめ表

【発電所敷地外北側】

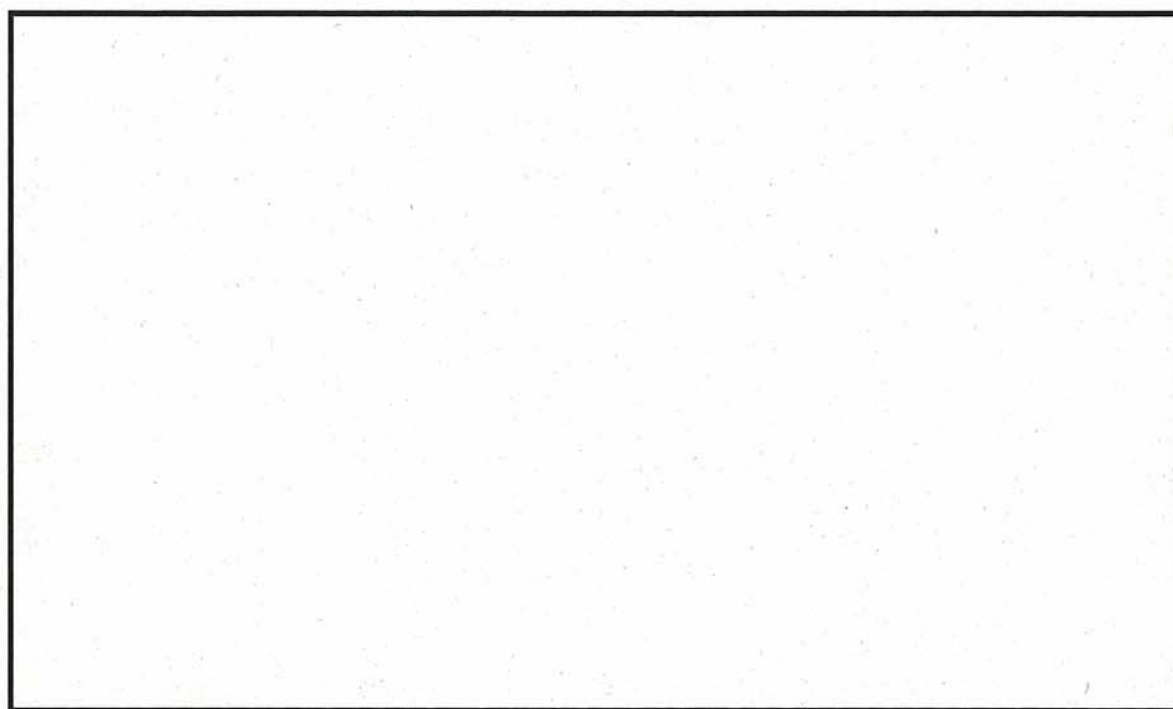
	番号	種類	場所	数量	重量(t)	評価	分類
建物 類等	①	東海村衛生センター	発電所 敷地外 北側	1	— (RC造)	・RC造建物であり、構造的に頑健かつ重量物であるため、漂流物とならない。	A
設備 類等	②	防護柵(木製)		一式	— (約500m)	・浮力により浮く可能性があるため、防潮堤近傍に設置※ ¹ されているものは、漂流物として考慮する。	C
	③	防砂林		多数	約0.3		
	④	墓石等		一式	—	・石材であり、重量物のため、漂流物とならない。	A

※1: 陸域部に遡上する津波の流向ベクトル(「3.1(1)基準津波の流向の確認」図2参照。)を考慮すると、発電所敷地北側において漂流物化する施設・設備は、同陸域部の西側に流され、防潮堤に衝突する可能性は小さいと考えられるが、保守的に防潮堤から500mの範囲において漂流物化する施設・設備を、防潮堤に対する漂流物の衝突影響評価に用いる漂流物として考慮する。

【分類】A: 漂流物とならない
B: 漂流物として考慮する必要はない
C: 漂流物として考慮する

2. 発電所敷地外南側（日本原子力研究開発機構内敷地）

発電所敷地外に存在する施設・設備の調査結果のうち、南側（日本原子力研究開発機構内敷地）の配置図を図2に、まとめ表を表2に示す。



 : 建物類等のうち建物・構築物 (①)

 : 建物類等のうち倉庫 (②)

 : 建物類等のうちテント (③)

 : 設備類等

 : 設備類等のうち自家用車両 (㊟)

 : 設備類等のうち防砂林 (㊿)

図2 発電所敷地外に存在する施設・設備配置図
(発電所敷地外南側（日本原子力研究開発機構内敷地）)

表2 発電所敷地外に存在する施設・設備の調査結果並びに
漂流物となり得る施設・設備の抽出結果まとめ表（1/2）
【発電所敷地外南側（日本原子力研究開発機構内敷地）】

3. 発電所敷地外（東海港沖合）

発電所敷地外に存在する施設・設備の調査結果のうち，東海港沖合のまとめ表を表3に示す。

表3 発電所敷地外に存在する施設・設備の調査結果並びに漂流物となり得る施設・設備の抽出結果まとめ表

【東海港沖合】

	番号	種類	場所	数量	重量(t)	評価	分類
船舶	—	漁船	東海港 沖合	—	約15 〔5t級〕 漁船	・発電所敷地から北方約4km及び南方9kmに漁港が存在する。このため，漁船が発電所付近で操業することを考慮し，津波襲来時に漂流するものと仮定して，漁協への聞き取り調査結果に基づき5t級漁船を漂流物として考慮する。	C

【分類】 A：漂流物とならない
B：漂流物として考慮する必要はない
C：漂流物として考慮する

防潮堤に対する漂流物衝突影響評価における燃料等輸送船の扱い

1. はじめに

防潮堤に対する漂流物の衝突影響評価に先立つ発電所敷地内調査の結果，発電所港湾施設に接岸する船舶として燃料等輸送船が抽出された。このため，燃料等輸送船が漂流物となる可能性について評価した。

2. 燃料等輸送船が漂流物となる可能性の評価

燃料等輸送船が津波襲来時に漂流物になり得るかについて，緊急退避行動及び津波の発生頻度等の観点から評価した。

(1) 燃料等輸送船の緊急退避行動の観点からの評価

発電所敷地内には港湾施設として物揚岸壁があり，燃料等輸送船が停泊する。図1に燃料等輸送船の入港から出港までの主な輸送行程を示す。

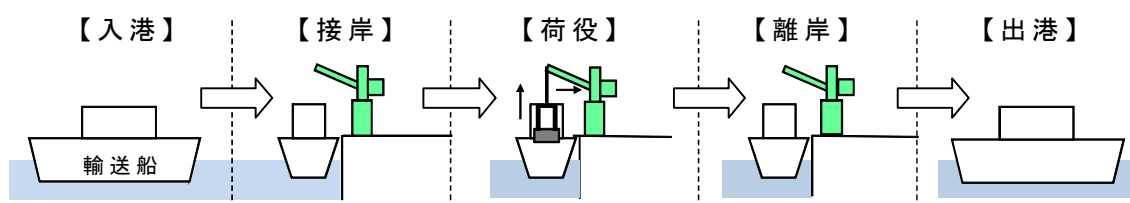
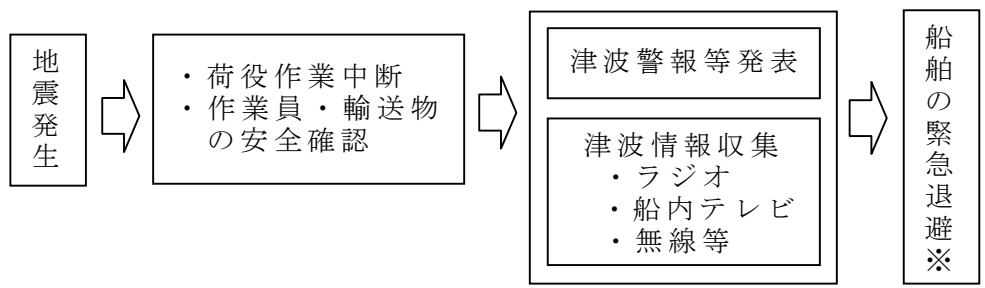


図1 燃料等輸送船の主な輸送行程

燃料等輸送船は，港湾施設に停泊中に津波警報等発表時には，緊急退避を行うこととしており，2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえ，輸送に先立ち，図2に示す緊急退避フローを取り込んだマニュアルを整備することとしている。また，燃料等輸送船の緊急退避についての当社と船会社の運用の関係性は図3に示すとおり

であり，これら一連の対応を行うため，当社は，当社と船会社間の連絡体制を整備するとともに，地震・津波発生時の緊急対応マニュアルを整備し，緊急退避訓練を実施することとしている。



※津波到達時間等を考慮し船長が判断・指示

図2 燃料等輸送船の緊急退避フロー

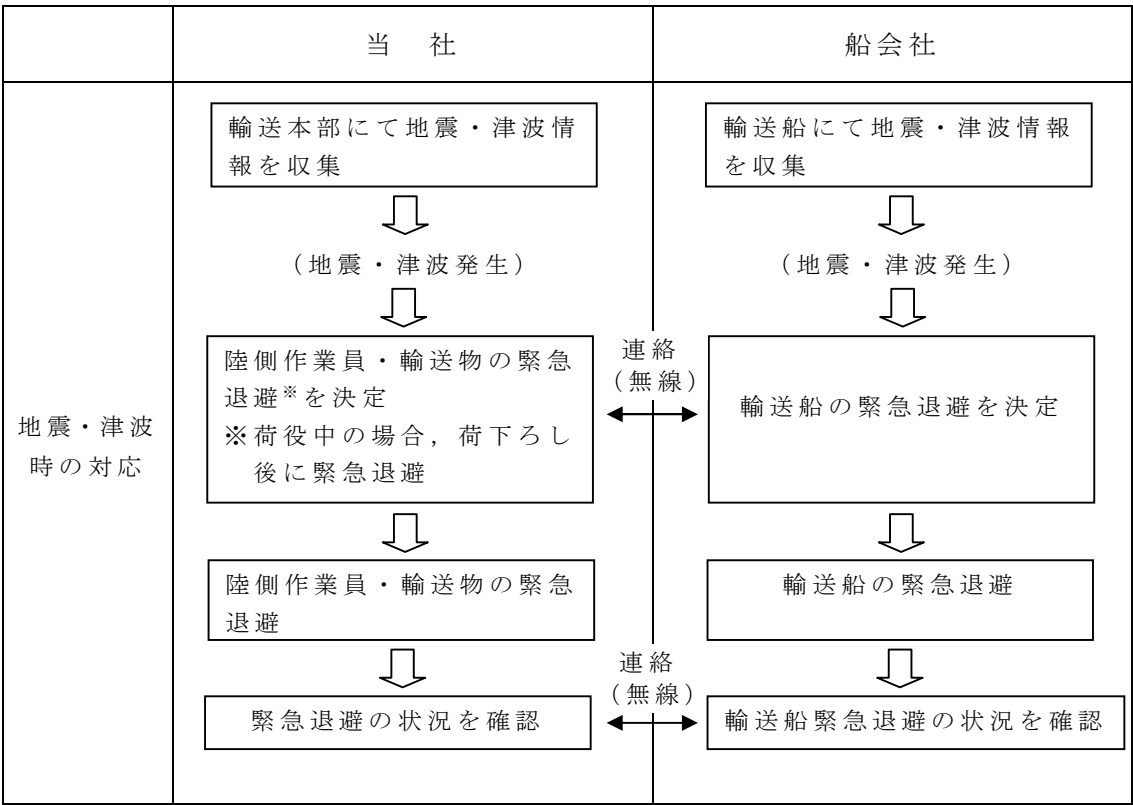


図3 燃料等輸送船の緊急退避時の当社と船会社の運用の関係性

(2) 津波の発生頻度等の観点からの評価

津波襲来時に燃料等輸送船が緊急退避開始までに最も時間を要するのは、輸送船と輸送物が干渉し得る「荷役」行程中である。しかし、「荷役」行程中の津波の襲来を想定した場合においても、緊急退避が可能となるまでの時間（係留索解らん完了）は、図4に示すとおり地震発生から約13分であり、基準津波の到達（約37分）前に緊急退避は可能である。

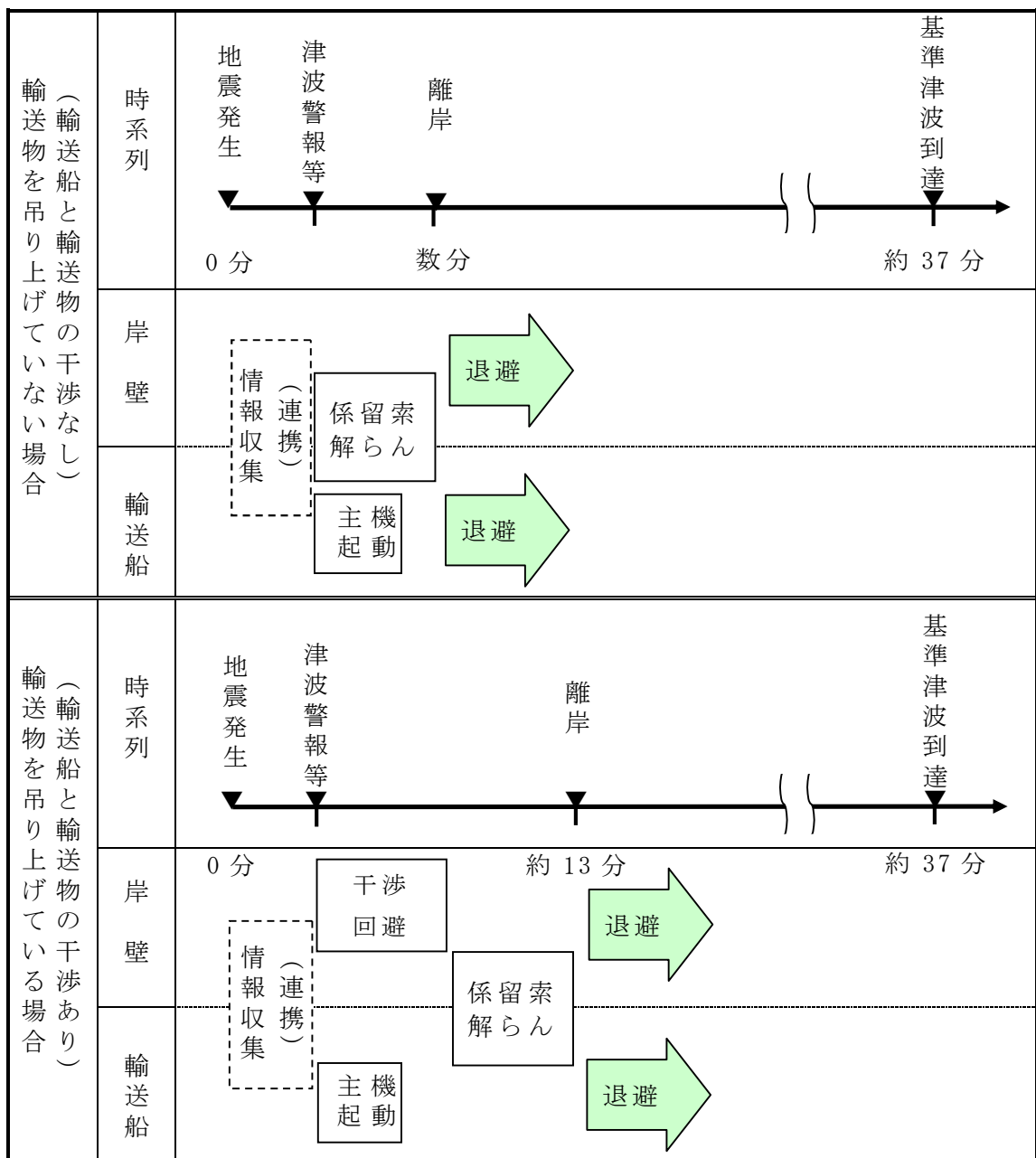


図 4 津波襲来と緊急退避時間

このため、本評価においては、緊急退避が可能となる前に到達する早い津波^{※1}（地震発生から13分以内）の発生頻度を評価した。

評価の結果、図5に示すとおり、防潮堤前面の護岸（T.P.+3.11m）高さを超える津波が発生する水位の年超過確率は、極めて小さいことが分かった。また、上記年超過確率に燃料等輸送船の年間の停泊時間を考慮すると、さらに燃料等輸送船が漂流物となる発生頻度は小さくなる。

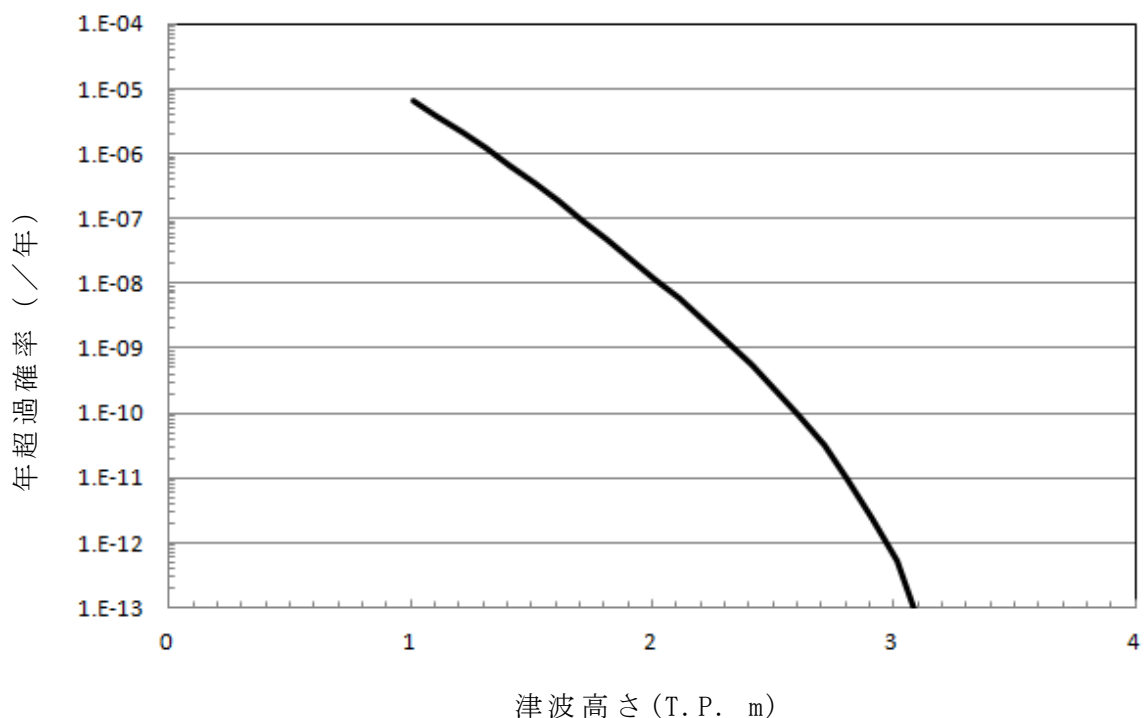


図 5 早い津波[※]が発生する水位の年超過確率

※：係留索解らん前（地震発生から13分以内）に到達する津波

※1：早い津波の波源領域は、設定時間（地震発生から13分）以内に発電所構内に津波が到達する可能性のある茨城県沖から房総沖のプレート間地震の発生領域（津波地震発生領域を除く）とする。（図6）

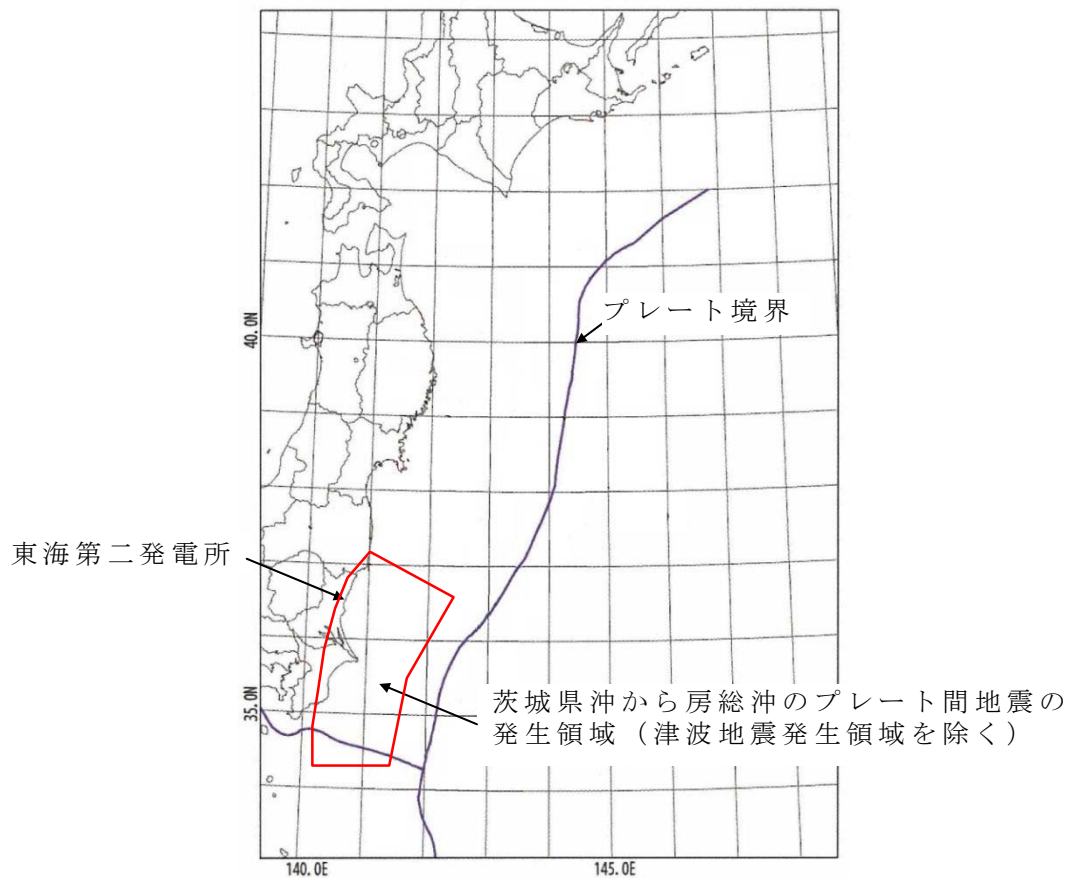


図 6 波源位置

3. まとめ

燃料等輸送船が津波襲来時に漂流物となる可能性について評価した。緊急退避行動の観点からは、緊急退避に係るマニュアル及び当社と船会社間の連絡体制を整備するとともに、緊急退避訓練によりマニュアルの実効性を確認することとしている。また、津波の発生頻度等の観点からは、燃料等輸送船が緊急退避可能となる前に到達する早い津波を想定しても、防潮堤前面の護岸高さを超える津波水位の年超過確率は極めて小さく、また、燃料等輸送船の年間停泊時間を考慮すると、さらに発生頻度は小さくなる。

以上より、燃料等輸送船は、防潮堤に対する漂流物衝突影響評価において、漂流物として考慮する必要はないと判断される。

防潮堤及び津波流入経路止水対策の耐力について

1. 防潮堤の耐力

(1) 防潮堤の概要

防潮堤は、基準津波による遡上波の地上部から敷地への到達又は流入を防止するため、敷地全体を取り囲む形で設置する津波防護施設であり、天端高さは敷地前面東側で T.P. +20m、敷地側面北側及び南側で T.P. +18m である。

その総延長は約 2.3 km であり、海水ポンプエリア（約 0.3 km）及びその他敷地周辺エリア（約 1.8 km）並びに敷地南側狭隘部エリア（約 0.2 km）からなる。

海水ポンプエリアについては、鉄筋コンクリート造の地中連続壁を基礎構造とし、鋼製壁及び鉄筋コンクリート壁（以下「RC 壁」という。）の上部構造である。また、その他敷地周辺エリアについては、セメント改良土による盛土構造、敷地南側狭隘部エリアについては、鋼管杭を基礎とした鉄筋コンクリート造の上部構造である。

防潮堤の配置図を図 1 に示す。

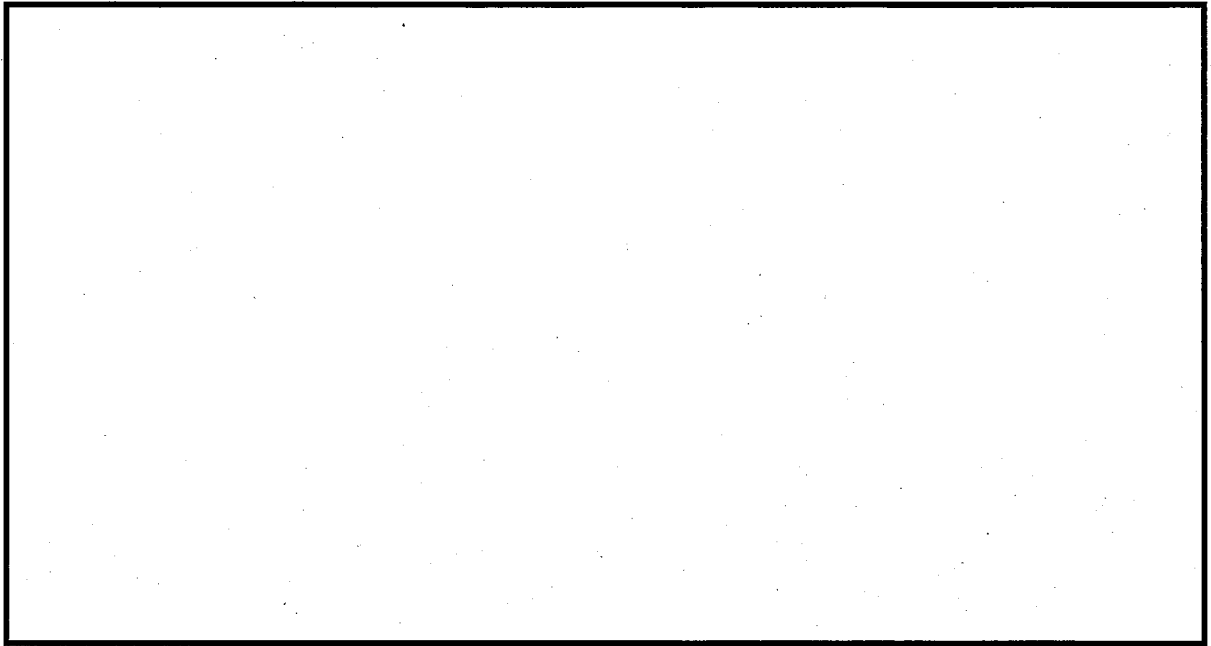


図 1 防潮堤配置図

(2) 評価条件

防潮堤の耐力評価に当たっては、基準津波による津波シミュレーションにおいて、津波高さが最も高く、かつ敷地高さの低い、防潮堤への津波波力が最も大きくなる海水ポンプエリア周辺に着目し R C 壁を選定するとともに、防潮堤の構造形式が異なる盛土を対象に耐力を評価した。

防潮堤耐力の評価に際しては、防潮堤位置における基準津波高さ T.P. + 17.2m に対して、防潮堤天端高さと同じ T.P. + 20.0m の津波高さ及び敷地浸水解析の解析条件とした T.P. + 24.0m の津波高さの波力を条件とした。また、漂流物としては、別紙 3.2.2.3-1 において浚渫作業用台船約 44 トンを選定したが、ここでは保守的に 60 トンとした。

評価を行った海水ポンプエリア周辺の防潮堤配置図及び断面図を図 2～図 4 に示す。

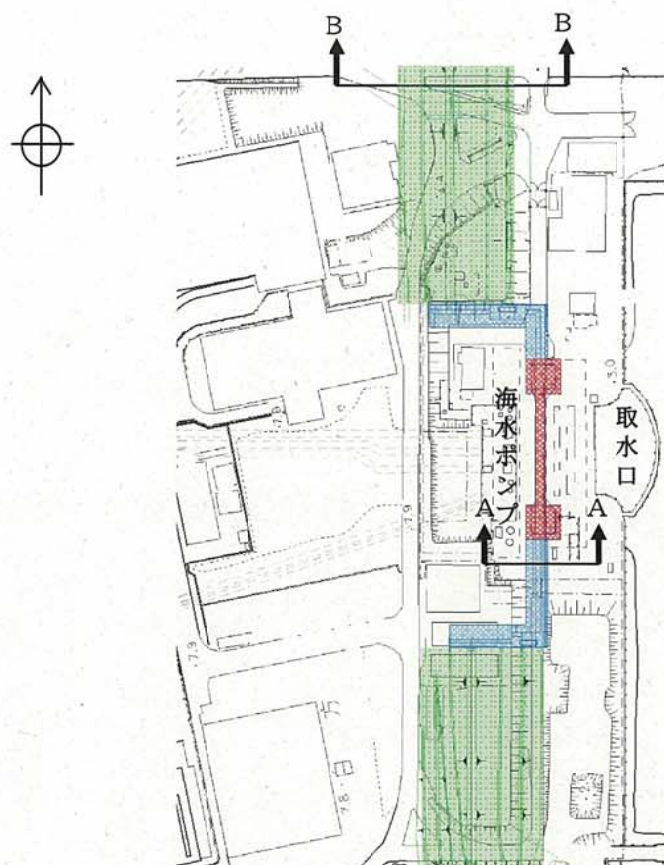


図 2 海水ポンプエリア周辺防潮堤配置図

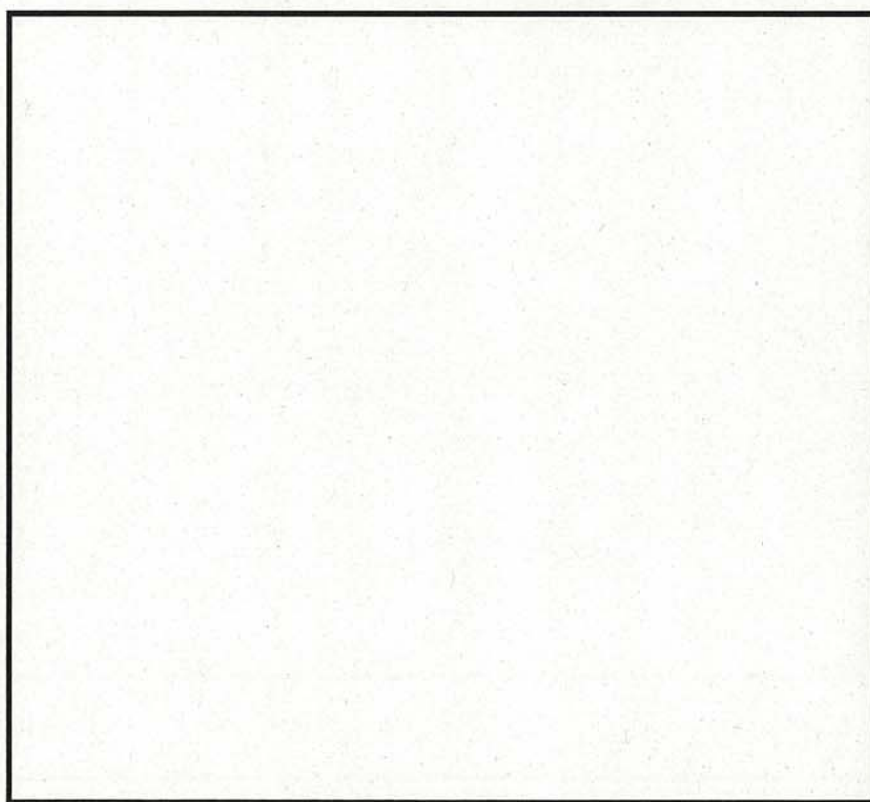


図 3 RC壁部断面図 (A-A断面)

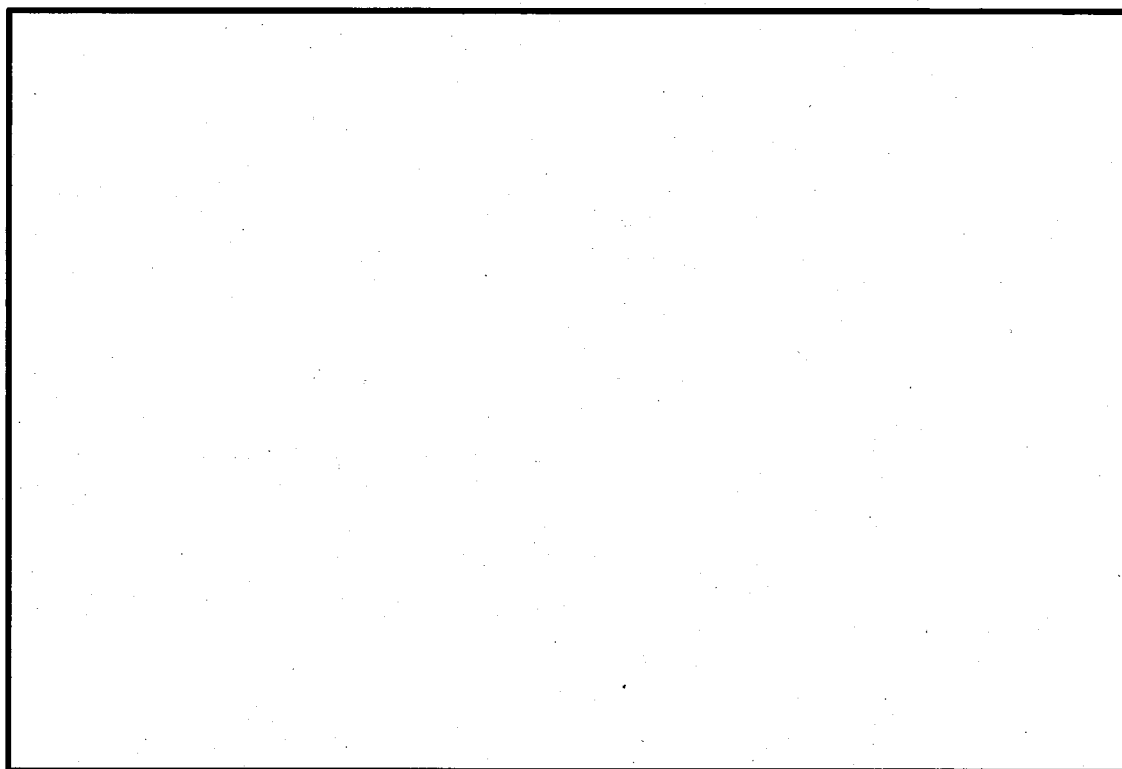


図 4 盛土部断面図（B－B断面）

(3) 津波高さにおける耐力評価結果

a. 海水ポンプエリア R C 壁部

津波高さ T. P. + 20. 0m 及び T. P. + 24. 0m に対する評価結果を表 1 に示す。全ての評価断面で照査値が 1. 0 を下回っている。

表 1 R C 壁部の評価結果（耐力作用比）

評価断面	曲げ		せん断	
	津波高さ T. P. + 20. 0m	津波高さ T. P. + 24. 0m	津波高さ T. P. + 20. 0m	津波高さ T. P. + 24. 0m
R C 壁部 (A－A断面)	0. 53	0. 79	0. 53	0. 72

b. 盛土部

津波高さ T.P. + 20.0m 及び T.P. + 24.0m に対する評価結果を表 2 に示す。すべり安全率はいずれも 1.0 を上回り十分な耐力を有している。

表 2 盛土部の評価結果（すべり安全率）

評価断面	すべり安全率	
	津波高さ T.P. + 20.0m	津波高さ T.P. + 24.0m
盛土部 (B - B 断面)	3.85	2.75

2. 津波流入経路止水対策

(1) 敷地への津波の流入の可能性のある経路（流入経路）の特定

取水路・放水路等の構造に基づき、海域に接続する水路から敷地への津波の流入する可能性のある経路として、取水路、海水取水ピット用取水路、放水路、構内排水路及びその他の経路（防潮堤貫通部等）を特定した。

特定した流入経路を表 3 に、配置図を図 5 示す。なお、特定した津波流入経路については、いずれも浸水防止対策を講じるか、現状設備の強度評価を行うこととしている。これらの津波流入経路に対する止水対策の具体的な内容について、表 3 に整理した。

(2) 津波流入経路止水対策の耐力設計条件

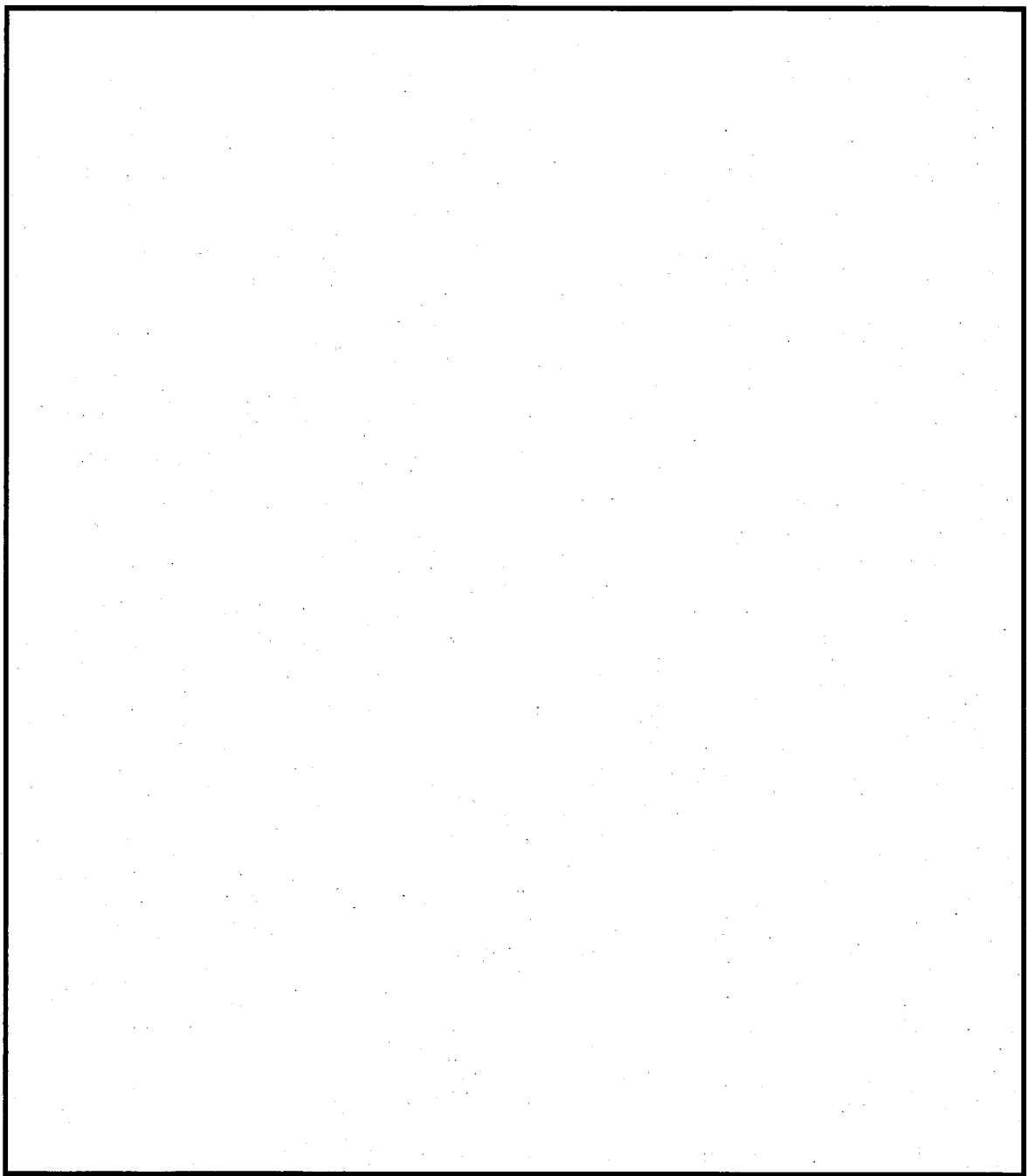
津波流入経路止水対策の耐力設計に際しては、敷地浸水解析の解析条件とした T.P. + 24.0m を超える津波を考慮した設計とする計画である。

表 3 特定した流入経路に対する止水対策(1/2)

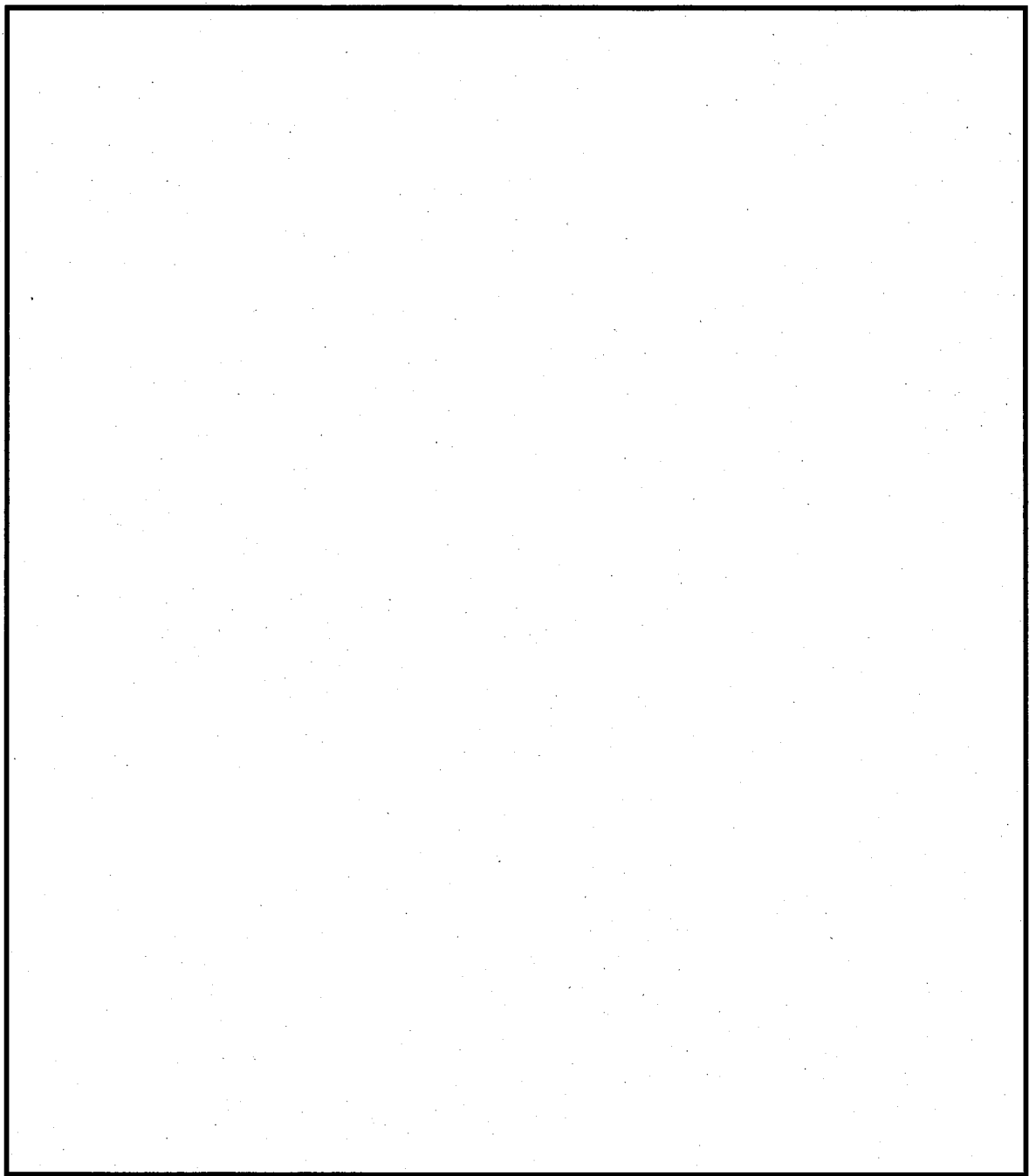
系 統	流入経路	状 況	止水対策
a. 取水路	①取水路点検用開口部	当該経路から津波が流入する可能性があるため、開口部に対し、浸水防止蓋を設置する。	浸水防止蓋
	②非常用海水ポンプグラントドレン排出配管	当該経路から津波が流入する可能性があるため、逆止弁を設置する。	逆止弁
	③非常用海水ポンプグラントドレン排出配管及び非常用海水ポンプグラントド減圧配管基礎フランジ貫通部	当該貫通部は、ポンプ基礎フランジとフランジ取り合いで、取付ボルトにより密着させる構造であるため、十分な水密性がある。	—
	④常用海水ポンプグラントド減圧配管基礎フランジ貫通部		
	⑤非常用海水ポンプ及び非常用海水ポンプ据付面（スクリーン洗浄水ポンプ及び海水電解装置用海水ポンプ含む）	据付面のポンプ基礎フランジは、ベースプレートとフランジ取り合いで、基礎ボルトにより密着させる構造であるため、十分な水密性がある。	—
	⑥取水ピット水位計据付面	水位計フランジは、鋼製スリーブの取付座とフランジ取り合いで、取付ボルトで密着させる構造であるため、十分な水密性がある。	—
(b) 循環水系	①取水ピット空気抜き配管	取水ピット空気抜き配管から津波が流入する可能性があるため、当該配管に逆止弁を設置する。	逆止弁
	②循環水ポンプ据付面	据付面のポンプ基礎フランジは、ベースプレートとフランジ取り合いで、基礎ボルトにより密着させる構造であるため、十分な水密性がある。	—
b. S A用海水ピット用取水路	① S A用海水ピット開口部	当該経路から津波が流入する可能性があるため、開口部に対し、浸水防止蓋を設置する。	浸水防止蓋

表 3 特定した流入経路に対して実施する止水対策 (2/2)

系 統	流入経路	状 況	止水対策
c. 放水路	①放水ピット上部開口部	当該経路から津波が流入する可能性があるため、開口部に対し、逆流防止設備を設置する。	逆流防止設備
	②海水配管 (放水ピット接続部)	当該配管貫通部から津波が流入する可能性があるため、止水措置を実施する。	貫通部止水処置
	③海水配管 (放水路接続部)		
	①放水ピット上部開口部 (c. (a)①と同じ)	当該経路から津波が流入する可能性があるため、開口部に対し、逆流防止設備を設置する	逆流防止設備
	②循環水管 (放水ピット接続部)	循環水管の放水ピット壁貫通部は、コンクリート巻き立て (穴仕舞) となっており、津波は流入しない。	—
	①液体廃棄物処理系放水管 ②排ガス洗浄廃液処理設備放水管	当該配管貫通部から津波が流入する可能性があるため、止水措置を実施する。	貫通部止水処置
d. 構内排水路	③構内排水路排水管	当該配管から津波が流入する可能性があるため、逆流防止設備を設置する。	逆流防止設備
	①集水枡等	当該経路から津波が流入する可能性があるため、構内排水路に対し、逆流防止設備を設置する。	逆流防止設備
e. その他	①防潮堤及び防潮扉のコンクリート躯体下部を貫通する電線管、配管等 (予備貫通部含む)	当該電線管・配管等貫通部から津波が流入する可能性があるため、止水処置と同等の穴仕舞を実施する。	貫通部止水処置
	②東海発電所 (廃止措置中) 取水路及び放水路	敷地前面東側の防潮堤 (盛土) は、東海発電所の取水路及び放水路上に設置することから、取水路及び放水路を經由した津波が敷地に流入する可能性があるため、取水路及び放水路にコンクリートを充填し閉鎖する。	コンクリートを充填し閉鎖



第 5 図 特定した流入経路の配置図 (1/2)



第 5 図 特定した流入経路の配置図 (2/2)

津波による敷地内浸水解析について

1. はじめに

基準津波による遡上波の敷地内への到達又は流入を防止するため、津波防護施設として敷地を取り囲む形で防潮堤を設置する計画である。また、海と接続する取水路、放水路等からの津波の浸水を防止するため、津波防護施設として放水ピット開口部に放水ピット逆流防止設備を設置するとともに、浸水防止設備として海水ポンプエリア等、敷地への津波の流入の可能性のある経路を特定して、貫通部等に対して止水措置等を講じることとしている。

このため、基準津波が地上部又は地下部から敷地内に到達又は流入することはないが、防潮堤高さを超える津波が襲来した場合には、敷地内への浸水が生じることから、基準津波を超える津波の襲来を想定した敷地内浸水解析を実施した。

2. 浸水解析条件

(1) 防潮堤高さ

基準津波による防潮堤位置における最高水位は、海水ポンプエリア近傍で T.P. + 17.2m である。このため、防潮堤高さは、海岸側防潮堤で T.P. + 20m、敷地側面及び背面で T.P. + 18m としている。

(2) 敷地内浸水想定

上記(1)のとおり、海岸側の防潮堤高さは T.P. + 20m であるため、津波の遡上波を含む津波高さが T.P. + 20m までは、敷地内に津波が流入することはない。

しかし、防潮堤高さ T.P. +20m を超える津波の襲来を想定すると、津波は防潮堤を越流し始め、まず、海水ポンプ室内に津波が流入し、非常用海水ポンプの機能喪失を引き起こす。さらに、津波高さが高くなると、原子炉建屋が設置されている E.L. +8m 盤の敷地まで津波が到達し、原子炉建屋地上 1 階の床面高さ E.L. +8.2m を超えると原子炉建屋内への流入が生じる。

原子炉建屋地上 1 階の床面高さ E.L. +8.2m に到達する津波高さを確認するため、T.P. +24m 及び T.P. +23m の津波の襲来を想定した場合の敷地内の浸水解析を実施した。

なお、防潮堤は別紙 3.2.2.3-2 に示すとおり T.P. +24m 津波に対する耐力を有している。また、海と接続する取水路、放水路等からの津波の浸水対策については、T.P. +24m の津波に対しても、機能保持できる設計とするため、取水路、放水路等からの津波の浸水は生じない。

(3) 入力津波の作成

日本海溝沿いのプレート間地震 (Mw8.7) による津波の波源を、防潮堤位置において T.P. +24m 程度となるように、津波波源モデルのすべり量 (約 1.48 倍) を調整させたものを T.P. +24m 津波とした。防潮堤位置の最高水位地点を図 1 に、防潮堤位置の最高水位地点の時刻歴波形を図 2 に示す。

また、T.P. +23m 津波に対しても、同様の手順により作成した。

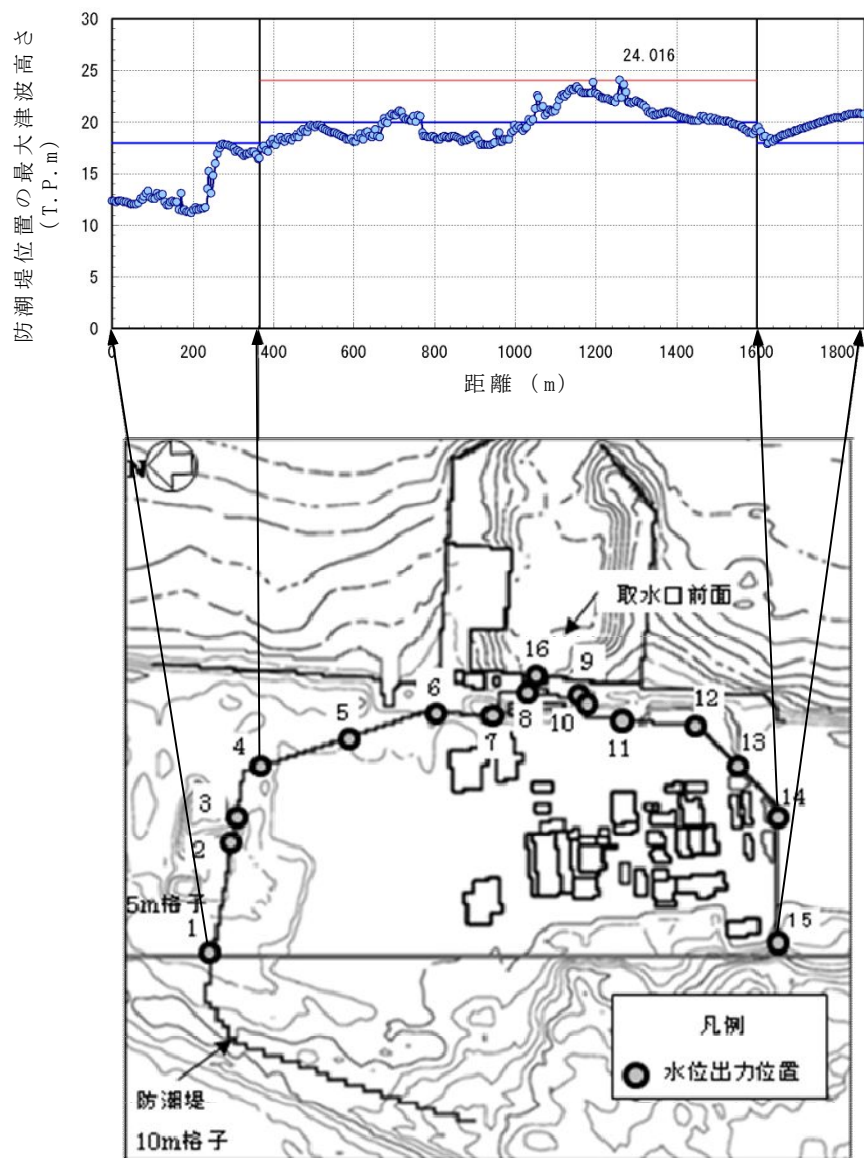


図 1 防潮堤位置の最高水位地点

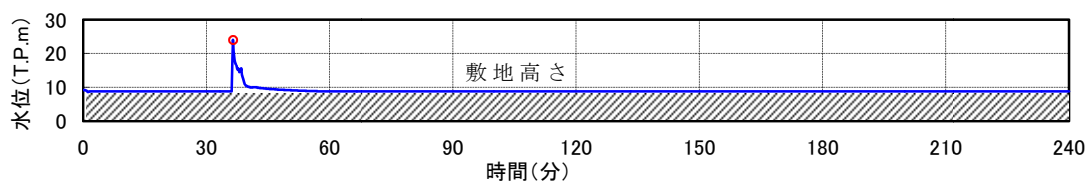


図 2 防潮堤位置の最高水位地点の時刻歴波形

(4) 敷地内浸水の検討

上記(3)で作成した T.P. + 24m 津波及び T.P. + 23m 津波を用いて、敷地内への浸水解析を実施した。

敷地内浸水解析に当たっては、敷地内に存在する建物・構築物等をモデル化し、原子炉建屋が設置されている E.L. + 8m 盤の敷地における津波の最大浸水深を求めた。なお、最大浸水深の算定に当たっては、安全側の評価となるように防潮堤を越流した津波は全量敷地内に留まるものとし、排出施設等からの排出は考慮しないこととした。

3. 敷地内浸水解析結果

(1) T.P. + 24m 津波による敷地内浸水解析結果

T.P. + 24m 津波の襲来を想定し、敷地内浸水解析を実施した。

その結果、原子炉建屋の設置されている E.L. + 8m 盤の敷地における津波の最大浸水深は約 0.3m となった。

これに対し、原子炉建屋地上 1 階の床面高さは E.L. + 8.2m であるため、T.P. + 24m 津波の襲来を想定した場合には、原子炉建屋の入口扉から建屋内への津波の流入が生じ、建屋内の設備の機能喪失が生じる。T.P. + 24m 津波による敷地内における最大浸水深分布を図 3 に示す。

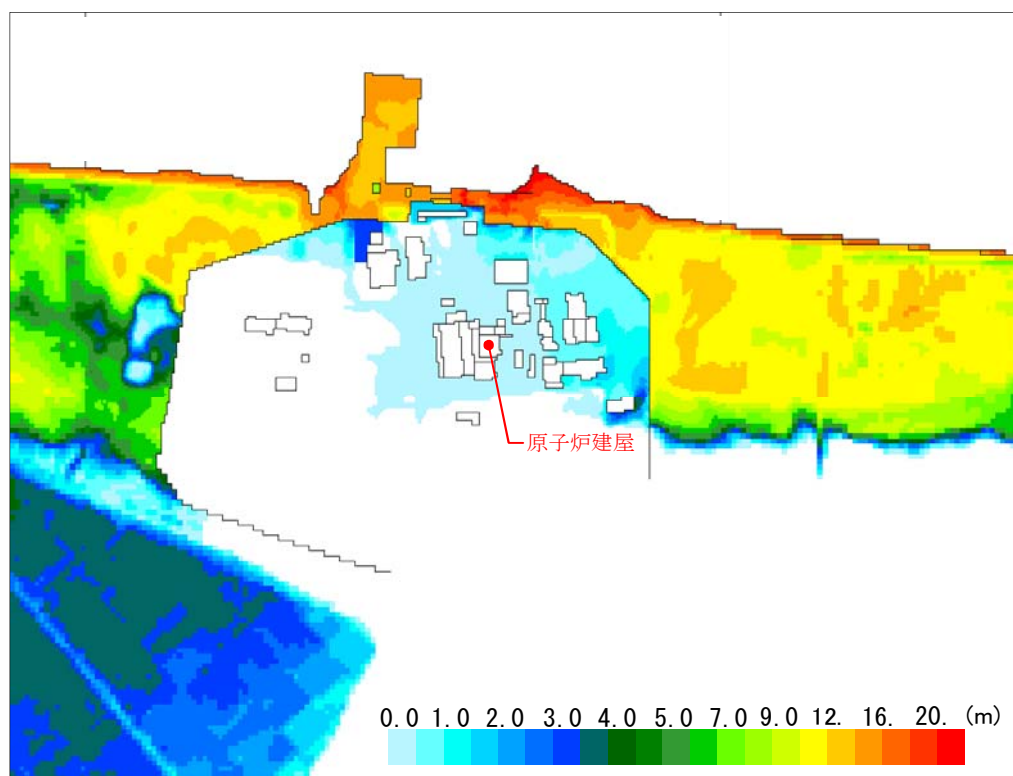


図 3 敷地内における最大浸水深分布

(2) T.P. + 23m 津波による敷地内浸水解析結果

上記(1)の T.P. + 24m 津波による敷地内浸水解析の結果，E.L. + 8m 盤の敷地の最大浸水深は約 0.3m であったため，T.P. + 23m 津波の襲来を想定した敷地内浸水解析を実施した。

この結果，T.P. + 23m 津波では原子炉建屋が設置されている E.L. + 8m 盤の敷地に津波は到達しないことを確認した。T.P. + 23m 津波による敷地内における最大浸水深分布を図 4 に示す。

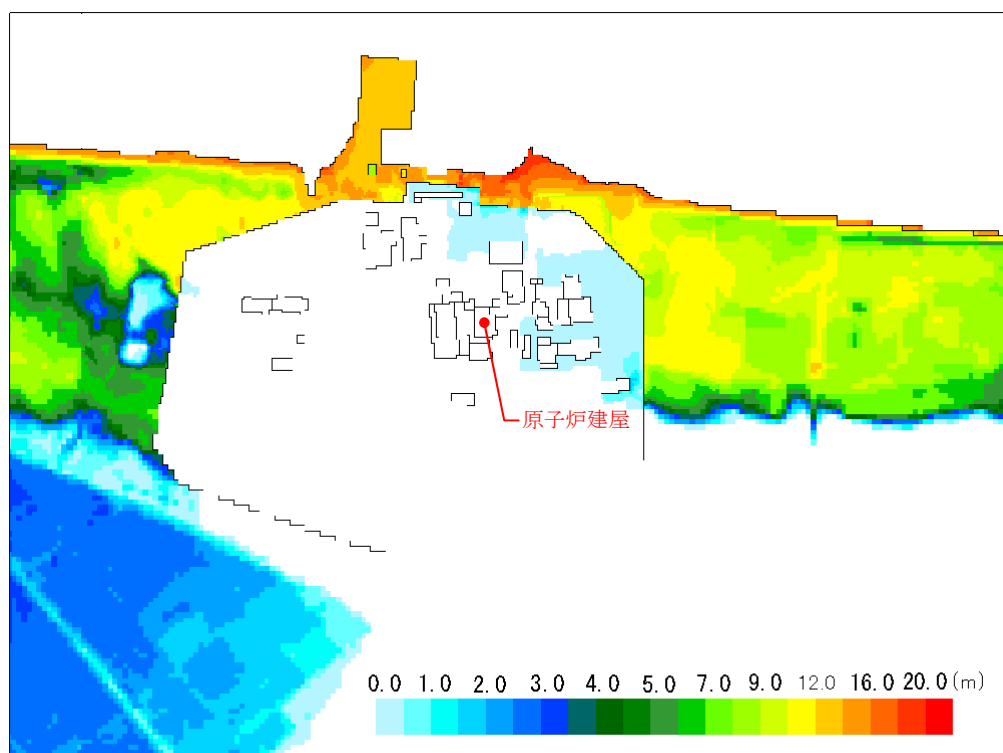


図 4 敷地内における最大浸水深分布

4. まとめ

防潮堤高さ T.P. + 20m を超える津波の襲来を想定した敷地内浸水解析を実施した。解析結果は以下のとおりである。

- ・ T.P. + 23m までの津波では，原子炉建屋が設置されている E.L. + 8m 盤の敷地に津波は到達しないため，建屋内の設備は機能喪失しない。
- ・ T.P. + 23m～T.P. + 24m 未満の津波では，原子炉建屋内への津波の流入が生じ，建屋内の設備が機能喪失する可能性がある。
- ・ T.P. + 24m 以上の津波では，原子炉建屋 1 階床面 (E.L. + 8.2m) まで津波が到達するため，原子炉建屋の入口扉から津波が流入し，建屋内の設備が機能喪失する。

以上の解析結果を踏まえ，津波 P R A の評価においては，保守的

に T.P. + 23m により原子炉建屋への流入が生じ、建屋内の設備が機能喪失するものとして、津波区分を設定することとした。

建屋内浸水評価について

津波 P R A の評価では、原子炉建屋外壁扉及び建屋内の止水対策等に期待しない条件で評価を行っている。そのため、津波が防潮堤を越流し、原子炉建屋 1 階床面高さである E.L. +8.2m に到達すると、原子炉建屋内への浸水が生じ、「原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失」により直接炉心損傷に至るものとして評価している。

以下に、直接炉心損傷に至るものとして評価した事象について、建屋内浸水を考慮した場合のシナリオを分析した結果を示す。

1. 建屋内浸水評価対象設備の選定

敷地内浸水により、建屋内浸水前に下記の設備及びこれらをサポート系として用いる設備が機能喪失しているため、「最終ヒートシンク喪失」及び「全交流動力電源喪失」状態となっていることから、建屋内浸水評価の対象は原子炉隔離時冷却系（以下「R C I C」という。）のみとなる。

< 建屋内浸水前に津波により機能喪失している設備等 >

- ・ 非常用海水ポンプ（残留熱除去系海水ポンプ、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ）
- ・ 起動変圧器，予備変圧器

このため、評価対象機器を R C I C の機能維持に必要な設備とし、機能維持に必要な設備とその設置場所を表1に示す。

これらの評価対象設備が設置されている区画のうち、津波浸水を考慮する箇所は、原子炉棟の地下1階共通エリア，地下2階 R C I C

ポンプ室，電気室の1階，地下1階，地下2階となるため，この区画に着目して評価を実施する。

表1 R C I C系機能維持に必要な設備の配置

設置場所		主な設備
原子炉棟 4 階	E. L. + 29. 0m	RCIC 注入弁
		直流 125V MCC (2A-2)
		:
原子炉棟 3 階	E. L. + 20. 3m	RCIC 外側隔離弁
原子炉棟 地下 1 階 共通エリア	E. L. + 2. 0m	RCIC タービン排気弁
		RCIC DIV-I 計装ラック
		直流 125V MCC (2A-1)
		:
原子炉棟 地下 2 階 R C I C ポンプ室	E. L. - 4. 0m	RCIC ポンプ
		RCIC タービン
		RCIC 蒸気供給弁
		RCIC PUMP DISCHARGE FLOW (伝送器)
		:
電気室上部 3 階 空調機械室	E. L. + 23. 0m	RCIC TURBINE CONTROL BOX
電気室 1 階	E. L. + 8. 2m	直流 125V 蓄電池 (2A)
		直流 125V 充電盤 (2A)
		直流 125V 配電盤 (2A)
		直流 125V 分電盤 (2A-1)
電気室 地下 2 階	E. L. - 4. 0m	直流 125V 分電盤 (2A-2-1)

2. 原子炉建屋への浸水経路の特定

(1) 原子炉棟

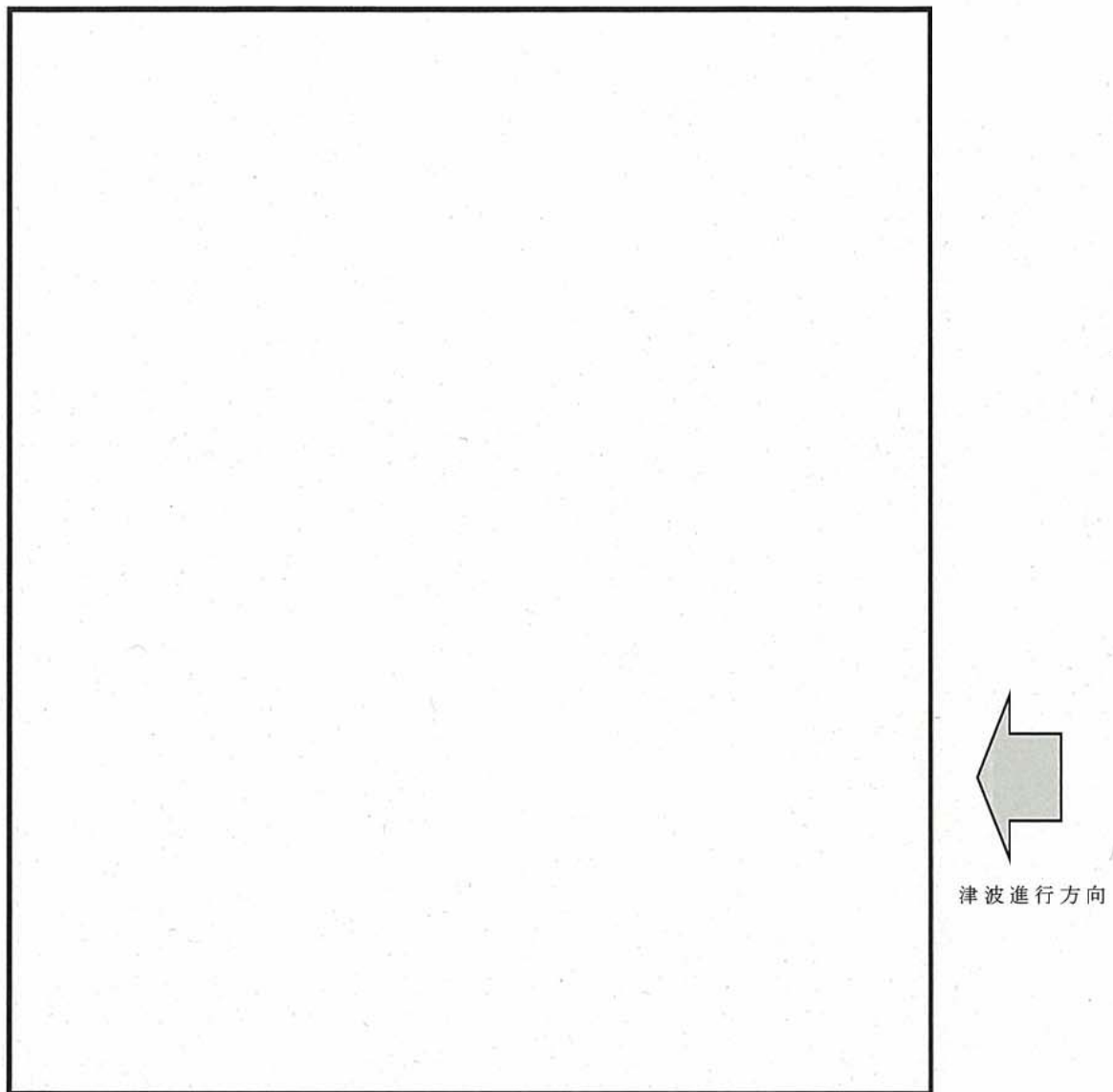
原子炉棟への浸水経路としては、直接の浸水経路として、原子炉建屋大物搬入口からの浸水を考慮する。また、隣接する建屋からの浸水として、廃棄物処理棟を経由した浸水を考慮する。廃棄物処理棟への浸水経路は、建屋外壁部からの直接浸水とタービン建屋経由の経路がある（図 1 参照）。

原子炉棟へ浸水した海水は、階段やエレベータ部からの流下経路を伝い、原子炉棟の地下 1 階共通エリア、地下 2 階 R C I C ポンプ室へと浸水するため、当該エリアに設置されている R C I C の機能維持に必要な設備の没水・被水により、R C I C の機能喪失に至る（図 2 から図 4 参照）。

(2) 電気室

電気室への浸水経路としては、建屋外壁部からの浸水として、直接の浸水経路となる電気室機器搬入口（E.L. + 9.0m）がある。また、隣接する建屋からの浸水として、サービス建屋とディーゼル発電機室から連絡扉を経由した浸水を考慮する（図 1 参照）。

電気室へ浸水した海水は、階段からの流下経路を伝い、電気室の地下 1 階、地下 2 階へと浸水するため、当該エリアに設置されている R C I C の機能維持に必要な設備の没水・被水により、R C I C の機能喪失に至る（図 2 から図 4 参照）。



：評価対象設備が設置されているエリア



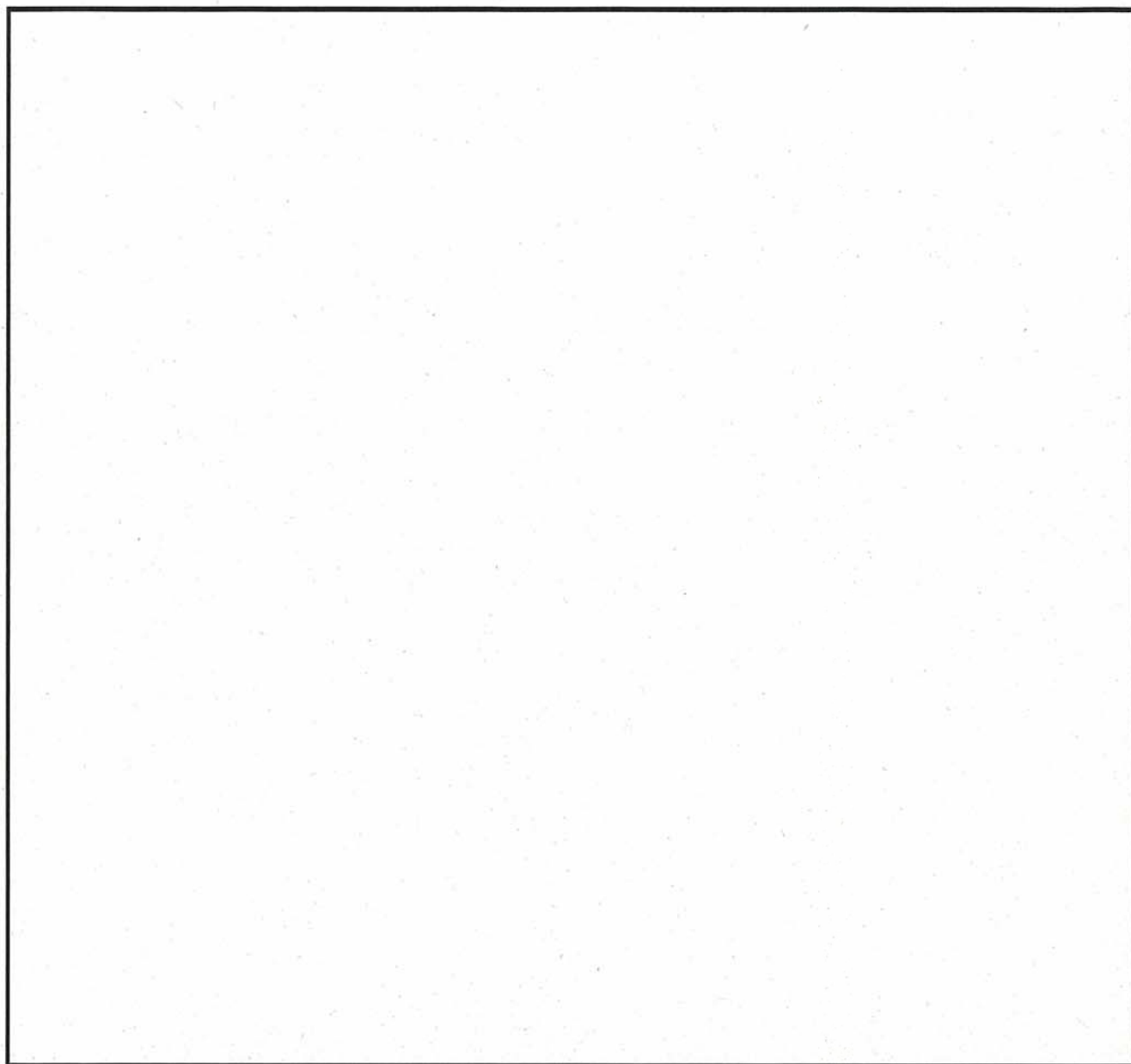
：津波により浸水するエリア



：大物搬入口，人員用扉等からの浸水経路

* 原子炉建屋外壁扉及び建屋内の止水対策等は考慮しない。

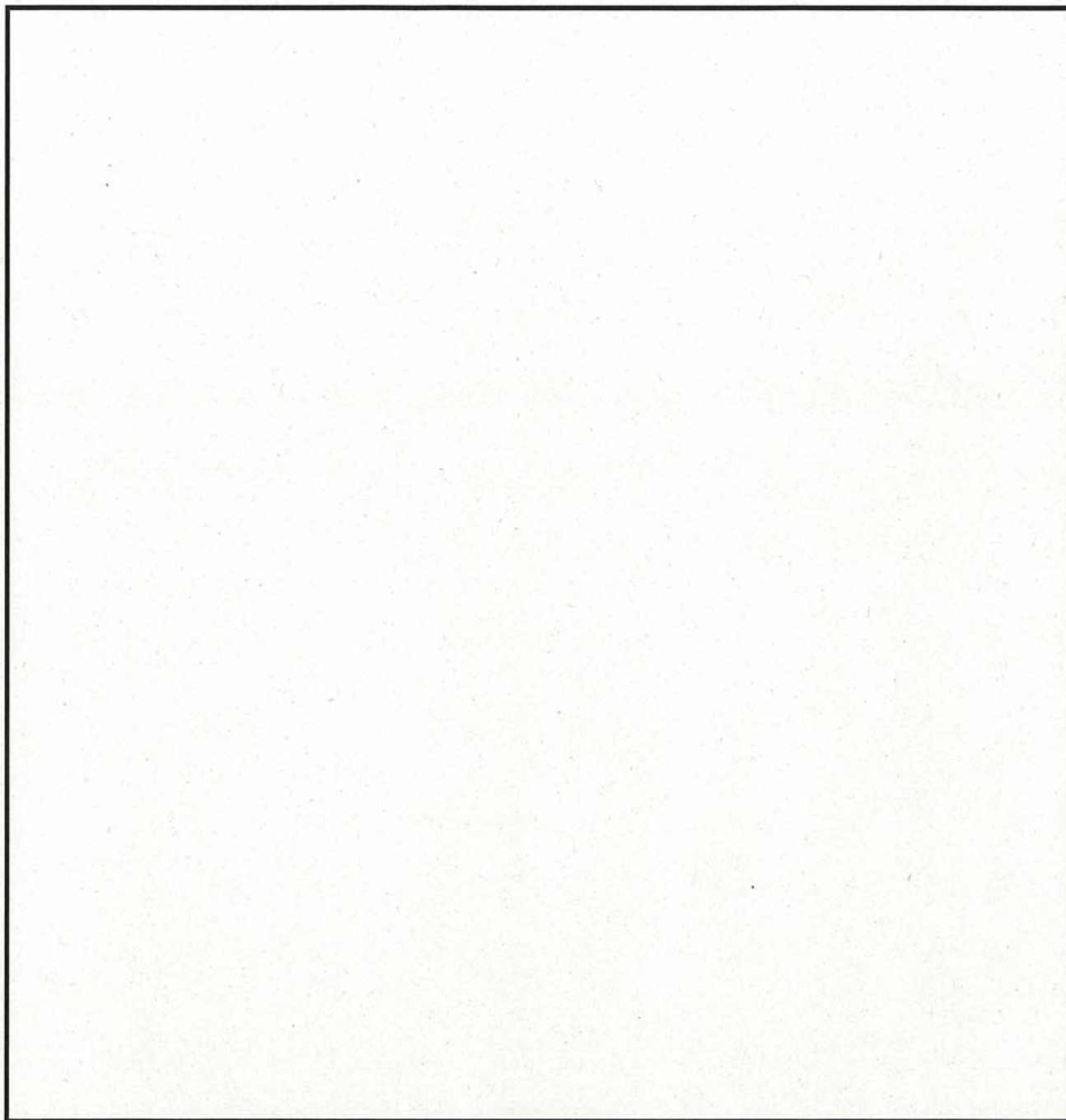
図 1 東海第二発電所 原子炉建屋配置



-  : 評価対象設備が設置されているエリア
-  : 大物搬入口, 人員用扉等からの浸水経路
-  : 階段・エレベータ部等からの流下経路
-  : 津波により浸水するエリア

* 原子炉建屋外壁扉及び建屋内の止水対策等は考慮しない。

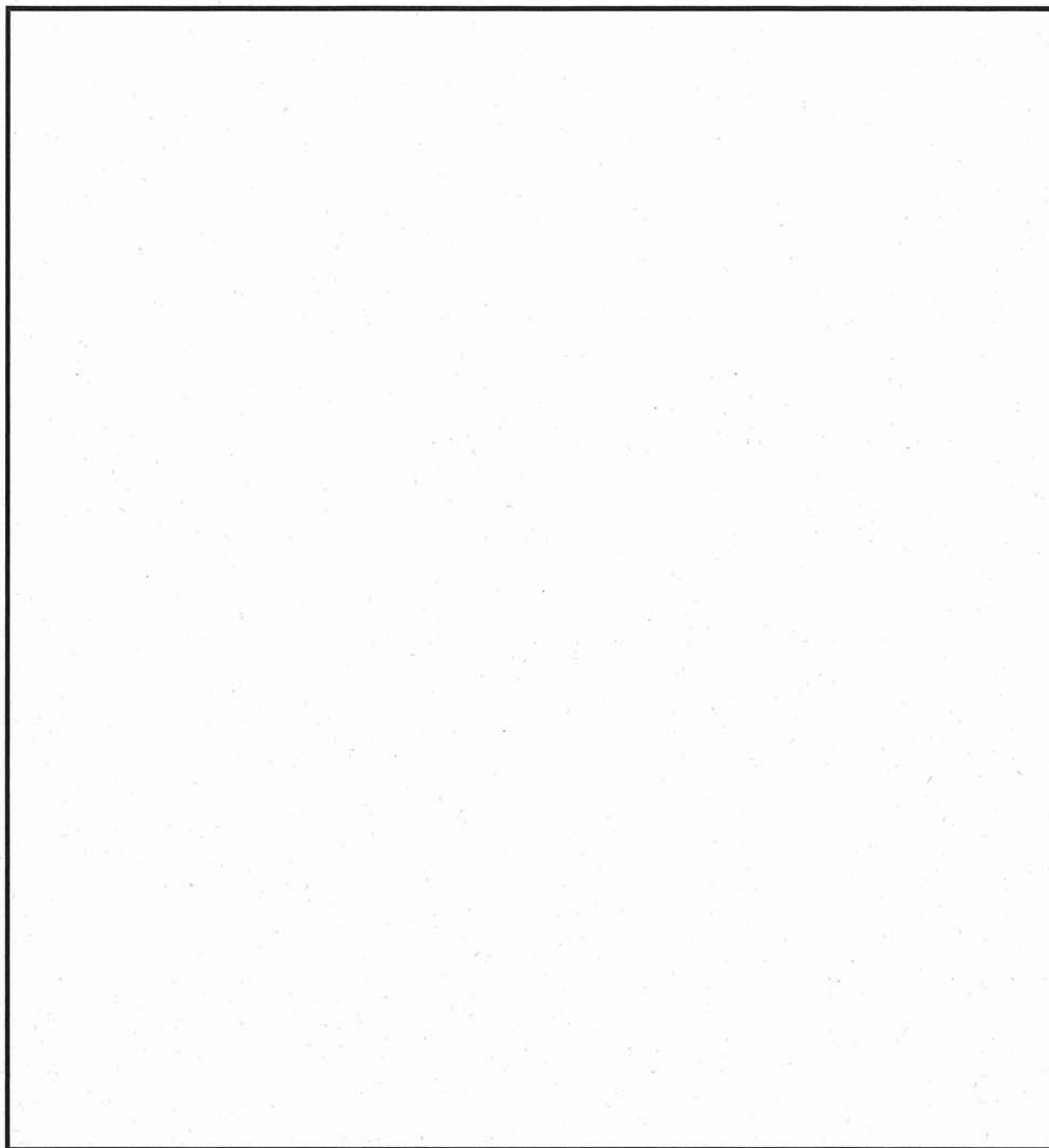
図 2 東海第二発電所 原子炉建屋地上 1 階 (E. L. + 8. 2m)



-  : 評価対象設備が設置されているエリア
-  : 大物搬入口，人員用扉等からの浸水経路
-  : 階段・エレベータ部等からの流下経路
-  : 津波により浸水するエリア

* 原子炉建屋外壁扉及び建屋内の止水対策等は考慮しない。

図 3 東海第二発電所 原子炉建屋地下 1 階 (E. L. + 2.0m)



: 評価対象設備が設置されているエリア



: 大物搬入口，人員用扉等からの浸水経路



: 津波により浸水するエリア

* 原子炉建屋外壁扉及び建屋内の止水対策等は考慮しない。

図 4 東海第二発電所 原子炉建屋地下 2 階 (E. L. - 4. 0m)

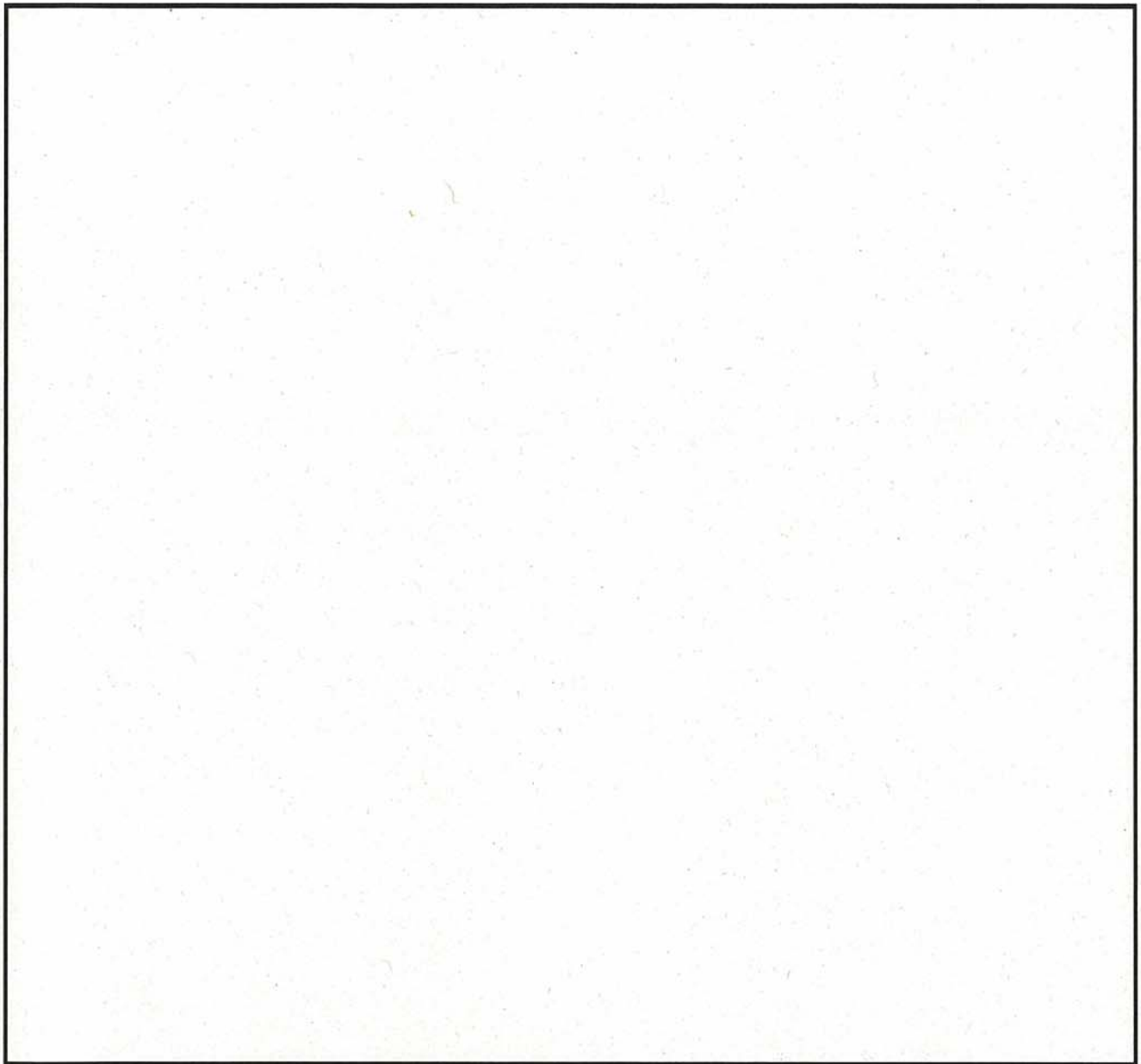
3. 内部溢水対策の考慮

原子炉建屋における内部溢水に対する設計基準対象設備として期待している水密扉の配置を，図 5 から図 7 に示す。

また，隣接する建屋からの浸水については，内部溢水対策として水密扉を設置しているが，大物搬入口からの原子炉建屋への浸水に対しては，原子炉建屋 1 階床面高さ (E.L. + 8.2m) が，敷地高さ (E.L. + 8.0m) に比べ 0.2m 高く，建屋外からの流入を防止できることから，堰等は設けていない。このため，原子炉建屋の 1 階床面高さ (E.L. + 8.2m) に津波が到達する場合，大物搬入口より，原子炉建屋内に海水が浸水する。

原子炉建屋内の浸水経路については，水密扉により R C I C ポンプ室等は防護されるが，大物搬入口から浸水した海水が，原子炉棟地下 1 階の共通エリアに浸水するため，当該エリアに設置されている R C I C の機能維持に必要な設備の没水・被水により，R C I C の機能喪失に至る。

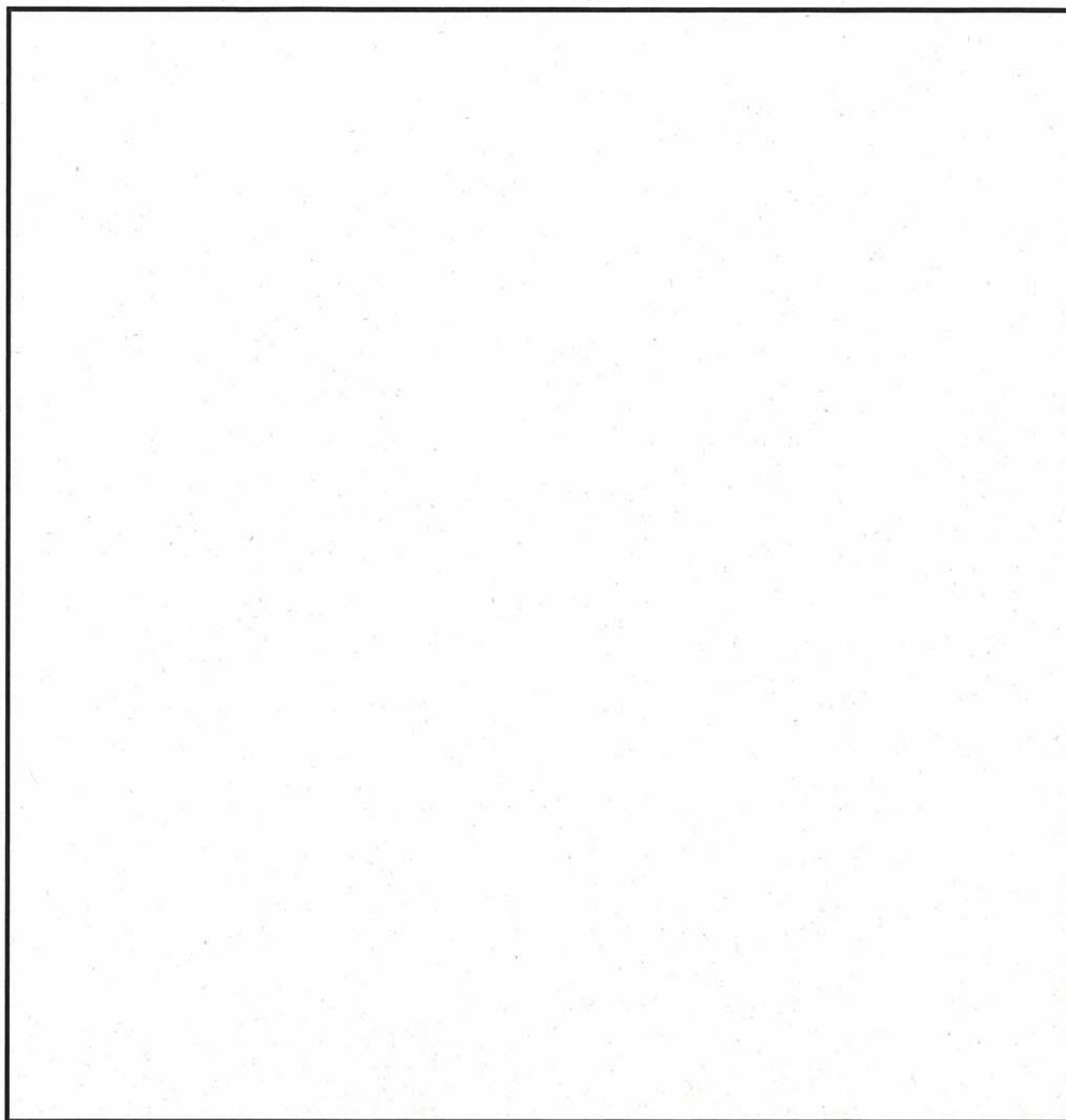
内部溢水評価において設計基準対象設備としている水密扉を期待した場合の浸水範囲を，図 5 から図 7 に示す。なお，電気室については，津波が電気室機器搬入口の高さ (E.L. + 9.0m) に到達した時点から浸水する。



-  : 評価対象設備が設置されているエリア
-  : 大物搬入口，人員用扉等からの浸水経路
-  : 内部溢水評価で設計基準対象設備としている水密扉
-  : 水密扉で浸水が防止される浸水経路
-  : 階段・エレベータ部等からの流下経路
-  : 津波により浸水するエリア

* 原子炉建屋外壁扉及び建屋内の止水対策等は考慮しない。

図 5 東海第二発電所 原子炉建屋地上 1 階 (E. L. + 8. 2m)



: 評価対象設備が設置されているエリア



: 大物搬入口，人員用扉等からの浸水経路



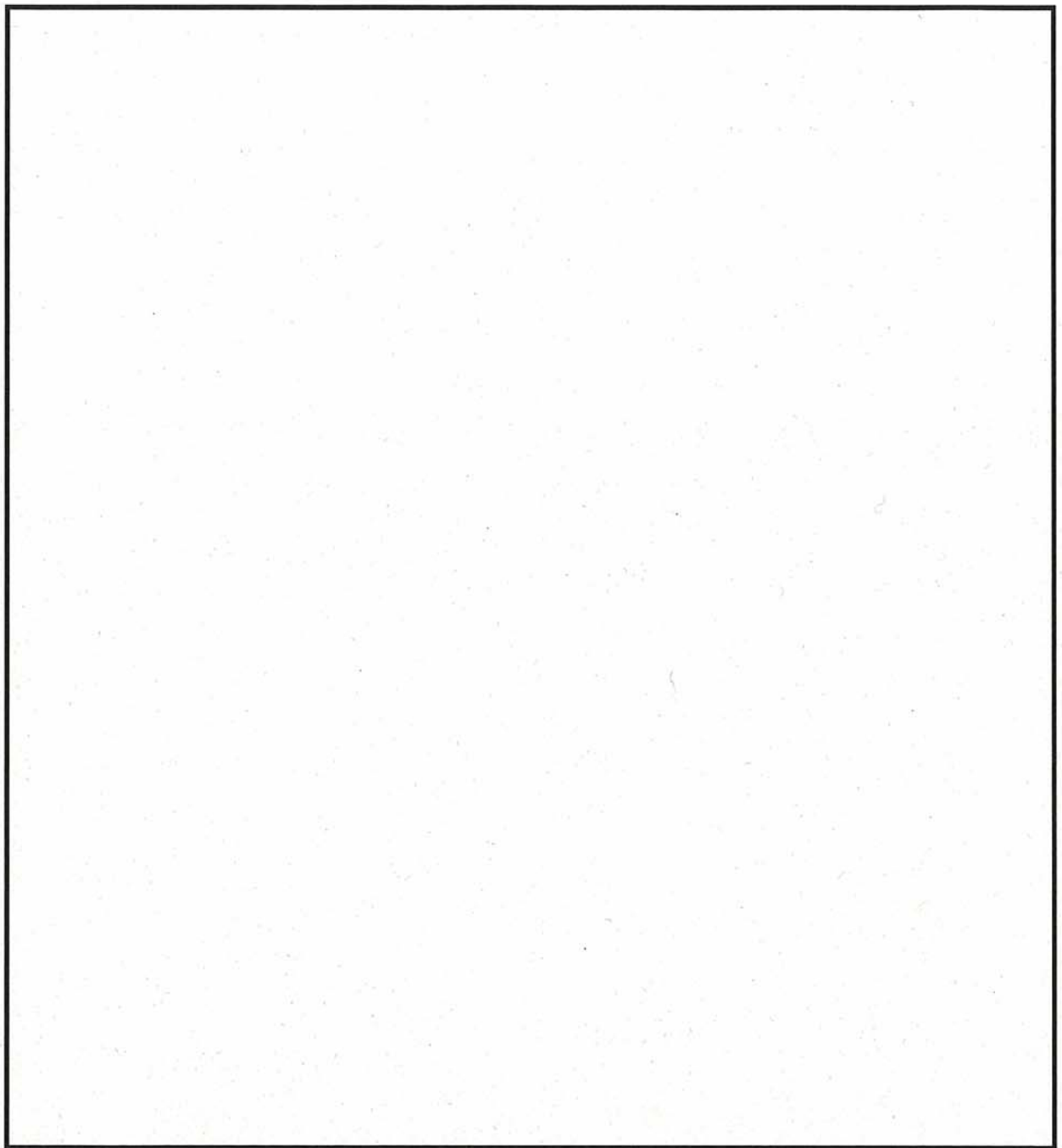
: 階段・エレベータ部等からの流下経路



: 津波により浸水するエリア

* 原子炉建屋外壁扉及び建屋内の止水対策等は考慮しない。

図 6 東海第二発電所 原子炉建屋地下 1 階 (E. L. + 2.0m)



: 評価対象設備が設置されているエリア



: 大物搬入口，人員用扉等からの浸水経路



: 内部溢水評価で設計基準対象設備としている水密扉



: 水密扉で浸水が防止される浸水経路



: 津波により浸水するエリア

* 原子炉建屋外壁扉及び建屋内の止水対策等は考慮しない。

図 7 東海第二発電所 原子炉建屋地下 2 階 (E. L. - 4.0m)

4. 建屋内浸水を考慮した場合のシナリオ

直接炉心損傷に至るものとして評価している津波高さT.P. + 23mを超過する事象について，建屋内浸水を考慮したシナリオの分析をした場合，全交流動力電源喪失時に原子炉建屋内への浸水によりR C I Cの機能喪失に至ることから，事故シーケンスグループとしては，「T B U」によって炉心損傷に至るものとして分類される。

外部電源の取扱いについて

1. 東海第二発電所の外部電源系統の概要

275kV 送電線 2 回線は、約 17km 離れた東京電力パワーグリッド株式会社那珂変電所（以下「那珂変電所」という。）に接続している。また、154kV 送電線 1 回線は、約 9km 離れた東京電力パワーグリッド株式会社茨城変電所（以下「茨城変電所」という。）に接続している。送電系統図を図 1 に示す。

上記 2 ルート 3 回線の送電線により、万一、那珂変電所が停止した場合でも、東京電力パワーグリッド株式会社 154kV 原子力 1 号線を経由するルートで東海第二発電所に電力を供給することが可能である。また、茨城変電所が停止した場合には、那珂変電所を経由するルートで、東海第二発電所に電力を供給することが可能である。

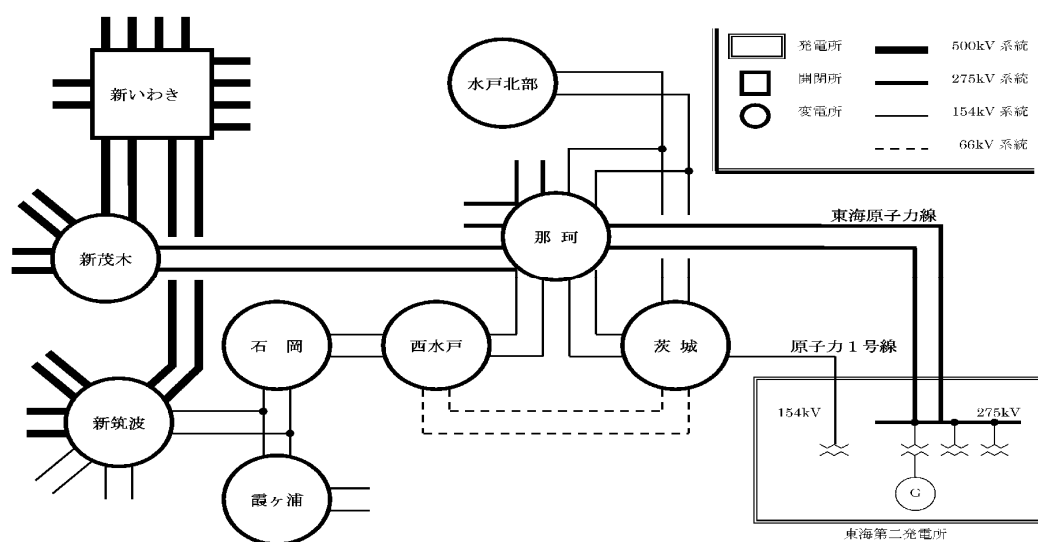


図 1 送電系統図

2. 津波 P R A における外部電源の取扱い

(1) 津波 P R A 学会標準における外部電源の取扱い

外部電源の取扱いについて、津波 P R A 学会標準では次のように記載されている。

1. 適用範囲

(略)

軽水型原子力発電所は地震発生前には出力運転状態にあるとする。地震によって安全上重要な機器・システム，建物の機能喪失につながる損傷はない，すなわち，地震による直接的影響はないとする。(略) ただし，外部電源についてはその喪失も考慮する。【解説 1.2 外部電源喪失の考慮 参照】地震によって外部電源喪失以外の直接的影響がある場合の津波に起因するリスク評価については適用範囲外とする。(略)

解説 1 適用範囲について

1.2 外部電源喪失の考慮

大規模の地震時には，外部電源系統が損傷する可能性が小さくはない。従って，地震による直接的な影響がないことを前提として津波 P R A を実施するとしても，外部電源が利用できない場合のリスクとの比較によってその影響を評価しておくことが期待されるであろう。地震に起因するリスク評価において，外部電源の脆弱性を地震パラメータに関して評価している。それを津波 P R A において，外部電源喪失確率として用いるべきとの意見もあるが，津波 P R A ではリスク評価パラメータは津波高さであり，地震の規模と津波の規模は一対一に対応しない。従って，外部電源の地震時脆弱性を津波 P R A にて用いることはできない。よって，地震によって外部電源が既に喪失している条件でのリスク評価を，別途実施することを求めた。

(2) 東海第二発電所の津波 P R A における外部電源の取扱い

a. 発電所内部の外部電源設備に対する津波影響

東海第二発電所の津波 P R A では、防潮堤高さ T.P. + 20m を超え敷地内浸水が発生する津波高さを評価対象としている。

外部電源からの受電設備である起動変圧器 (275kV) 及び予備変圧器 (154kV) は屋外に設置されている機器であるが、防潮堤位置で T.P. + 23m の高さまでの津波 (以下「津波高さ T.P. + 23m の津波」という。) では没水・被水しないことを敷地内浸水解析により確認している。(別紙 3.2.2.3-3 参照)

b. 発電所外部の外部電源設備に対する津波影響

東海第二発電所外部の送電設備に対する津波の影響については、那珂変電所、茨城変電所は津波高さ T.P. + 23m の津波を考慮した場合でも影響のない高所に位置していることから、津波による影響はないものとする。

また、東海第二発電所周辺の送電ルートへの影響については、154kV 送電線 1 回線は津波による影響はないと考えられるものの、275kV 送電線 2 回線は津波高さ T.P. + 23m の津波により浸水する箇所に送電鉄塔が設置されているため、275kV 送電線 2 回線からの外部電源は喪失する可能性がある (図 2)。

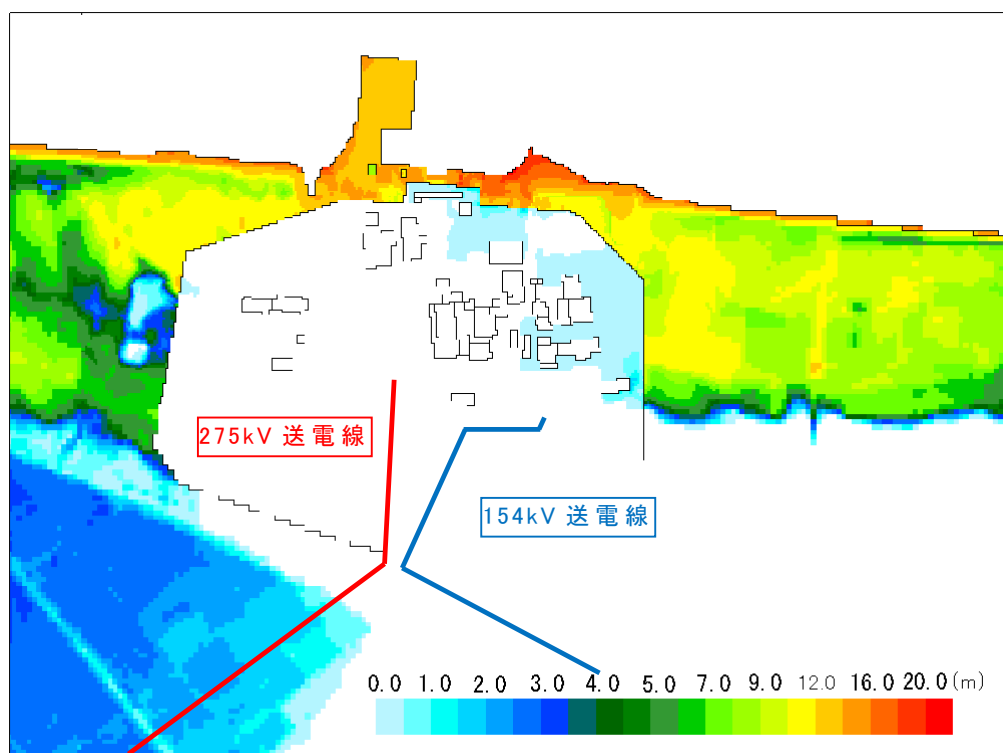


図 2 津波高さ T.P. + 23m の津波による東海第二発電所周辺への影響

c. 外部電源の有無に関する感度解析

a. 及び b. に示したとおり，津波高さ T.P. + 23m の津波を考慮した場合においても，154kV 送電線及び予備変圧器を介した外部電源に期待できるものと考えられることから，ベースケースにおいては，津波区分 1 (T.P. + 20m～T.P. + 23m) では外部電源に期待し，津波区分 2 (T.P. + 23m～) では外部電源が喪失するものとして評価している。

また，津波 P R A 学会標準の記載を踏まえ，津波襲来前の地震により外部電源が喪失すると仮定した場合の感度解析を実施している。その結果，外部電源の有無により事故シーケンスは異なるものの，評価対象となる津波高さ (T.P. + 20m～) では緩和設備がなくなり必ず炉心損傷に至るため，全炉心損傷頻度は

変わらないことを確認している。

なお、津波 P R A より抽出した事故シーケンスに対する対策については、地震及び津波の影響により外部電源が喪失する可能性があることを考慮し、外部電源に依存しない対策（常設代替高圧電源装置から重大事故等対処設備への給電が可能な設計）としている。