

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-01-0140-1_改1
提出年月日	2020年8月31日

補足-140-1 【津波への配慮に関する説明書の補足説明資料】

目次

1. 入力津波の評価
 - 1.1 潮位観測記録の考え方について
 - 1.2 遡上・浸水域の考え方について
 - 1.3 港湾内の局所的な海面の励起について
 - 1.4 管路解析モデルについて
 - 1.5 入力津波の不確かさの考慮について
 - 1.6 津波シミュレーションにおける解析モデルについて
 - 1.7 非常用取水設備内に貯留される水量の算定について
2. 津波防護対象設備
 - 2.1 津波防護対象設備の選定及び配置について
3. 取水性に関する考慮事項
 - 3.1 砂移動による影響確認について
 - 3.2 除塵装置の取水性への影響について
 - 3.3 非常用海水ポンプの波力に対する強度評価について
4. 漂流物に関する考慮事項
 - 4.1 設計に用いる遡上波の流速について
 - 4.2 取水口付近の漂流物に対する取水性
 - 4.3 漂流物による衝突荷重について
5. 設計における考慮事項
 - 5.1 地震と津波の組合せで考慮する荷重について
 - 5.2 耐津波設計における現場確認プロセスについて
 - 5.3 津波防護に関する施設の機能設計・構造設計に係る許容限界について
 - 5.4 津波波圧の算定に用いた規格・基準類の適用性について
 - 5.5 スロッシングによる貯水量に対する影響評価
 - 5.6 津波防護施設の強度計算における津波荷重，余震荷重及び衝突荷重の組合せについて
 - 5.7 浸水防護施設の評価における衝突荷重，風荷重及び積雪荷重について
 - 5.8 強度計算における津波時及び重畳時の荷重作用状況について
 - 5.9 耐震及び耐津波設計における許容限界について
 - 5.10 津波防護施設の設計における評価対象断面の選定について
 - 5.11 地殻変動後の津波襲来時における海水ポンプの取水性への影響について
 - 5.12 浸水防護施設のアンカーボルトの設計について

5.13 強度計算に用いた規格・基準類の適用性について

5.14 自然現象を考慮する浸水防護施設の選定について

5.15 浸水量評価について

5.16 強度評価における津波荷重等の鉛直方向荷重の考え方について

1. 入力津波の評価

1.1 潮位観測記録の考え方について

1.1.1 潮位のばらつきに関する評価

(1) 潮位観測記録の検討

基準津波の策定において使用した朔望平均潮位は、気象庁鮎川検潮所（以下「鮎川検潮所」という。）の潮位観測記録（1986年～1990年）に基づいている。表 1.1-1 に基準津波の策定で使用した朔望平均潮位を示す。なお、O.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.)-0.74m である。

表 1.1-1 基準津波の策定で使用した朔望平均潮位

	基準津波の策定で使用した朔望平均潮位
朔望平均満潮位	O.P. +1.43m
朔望平均干潮位	O.P. -0.14m

設定した潮位のばらつき等を把握するために、基準津波の策定で使用した鮎川検潮所の潮位観測記録を用いて評価を実施した。

鮎川検潮所は、女川原子力発電所の南方約 11km に位置している。図 1.1-1 に観測地点の位置を示す。

評価の結果、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（以下「3.11 地震」という。）発生前の 5 ヶ年（2006 年 1 月～2010 年 12 月）における朔望平均潮位の標準偏差は、満潮位において 0.13m、干潮位において 0.15m となった。図 1.1-2 に各月の朔望平均潮位の推移、表 1.1-2 に潮位観測記録に基づく朔望平均潮位に関するデータ分析結果を示す。

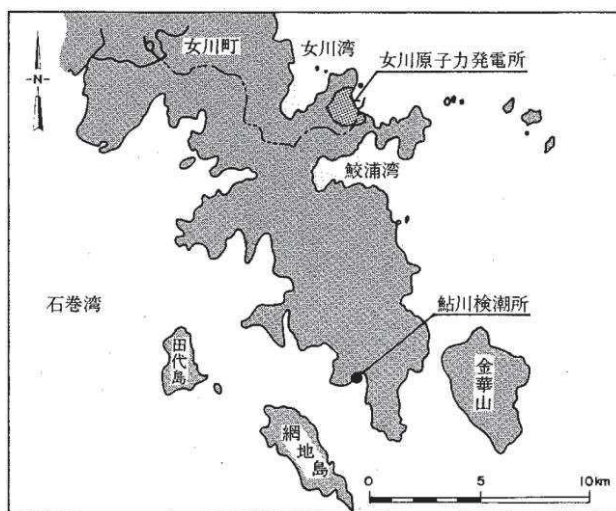


図 1.1-1 観測地点の位置

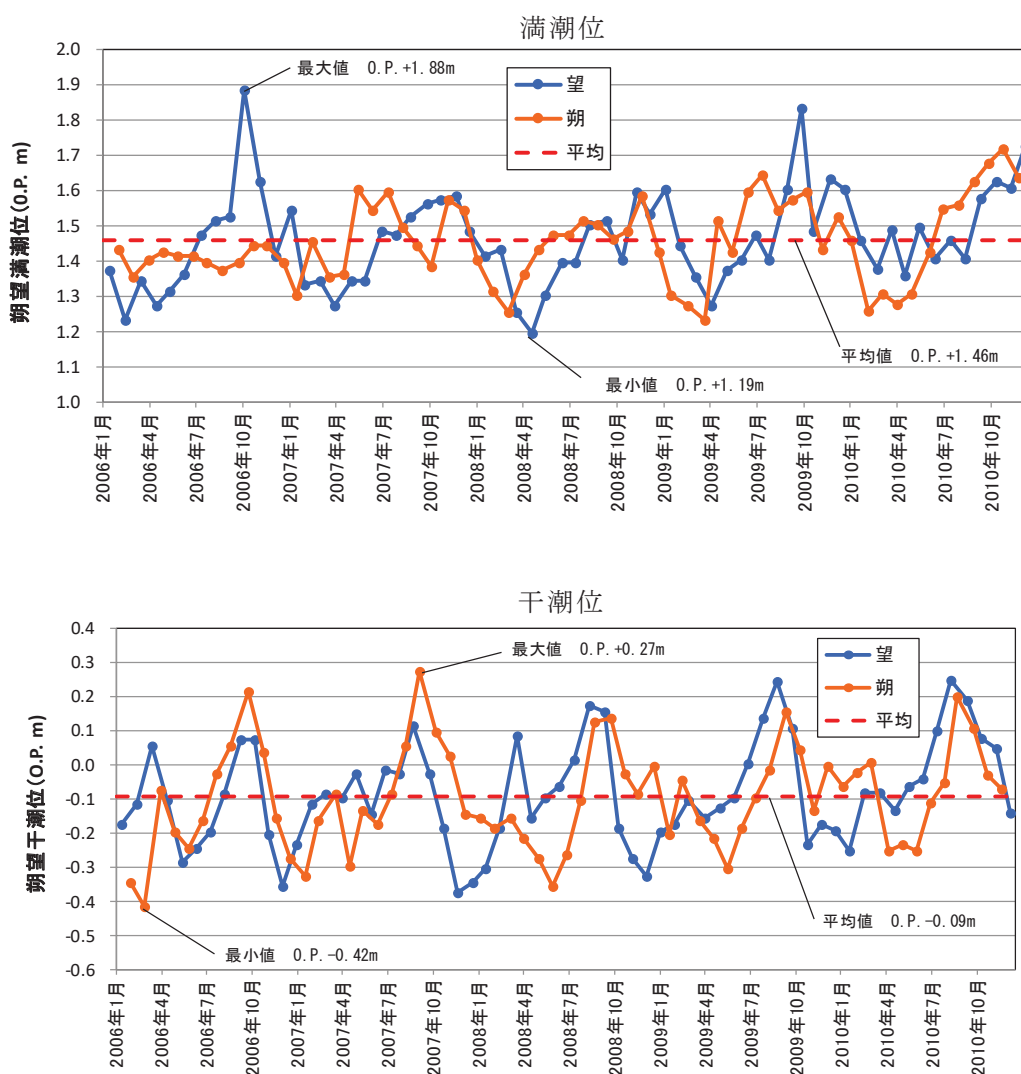


図 1.1-2 各月の朔望平均満潮位・干潮位の推移* (2006年1月～2010年12月)

* : 日本海洋データセンターホームページで公開されている 2006年1月～2010年12月の潮位を利用。潮位は朔望の前2日，後4日の期間における最高・最低の潮位。

表 1.1-2 2006年1月～2010年12月における朔望平均潮位*

	満潮位	干潮位
最大值	O. P. +1.88m	O. P. +0.27m
平均値	O. P. +1.46m	O. P. -0.09m
最小値	O. P. +1.19m	O. P. -0.42m
標準偏差	0.13m	0.15m

* : 日本海洋データセンターホームページで公開されている 2006年1月～2010年12月の潮位を利用。潮位は朔望の前2日，後4日の期間における最高・最低の潮位。

(2) 潮位のばらつきの考慮について

朔望平均潮位について、基準津波の策定で使用した朔望平均潮位（1986年～1990年）と3.11地震発生前の5ヵ年（2006年1月～2010年12月）の朔望平均潮位の比較を表1.1-3に示す。両者の比較の結果、朔望平均満潮位の差は0.03m、朔望平均干潮位の差は0.05mであり、両者に有意な差は見られないが、入力津波の評価に用いる朔望平均潮位の設定にあたっては、保守的な設定になるよう基準津波の策定で使用した朔望平均潮位（1986年～1990年）と3.11地震発生前の5ヵ年（2006年1月～2010年12月）の朔望平均潮位の差（表1.1-3）及び3.11地震発生前の5ヵ年（2006年1月～2010年12月）の朔望平均潮位の標準偏差（表1.1-2）を潮位のばらつきとして考慮する。

水位上昇側については、基準津波の策定で使用した朔望平均満潮位 O. P. +1.43m に対して、潮位観測記録との差分+0.03m 及び満潮位の標準偏差 0.13m の合計である+0.16m を水位変動の評価における上昇側潮位のばらつきとして考慮する。

水位下降側については、基準津波の策定で使用した朔望平均干潮位 O. P. -0.14m に対して、潮位観測記録との差分+0.05m から干潮位の標準偏差 0.15m の合計である-0.10m を水位変動の評価における下降側潮位のばらつきとして考慮する。

潮位のばらつきに対する考慮方法を図 1.1-3 に、入力津波の評価で考慮する朔望平均潮位を表 1.1-4 に示す。

表1.1-3 基準津波の策定で使用した朔望平均満潮位（1986年～1990年）と3.11地震発生前の5ヵ年（2006年～2010年）の朔望平均潮位*の比較

	基準津波の策定で使用した朔望平均満潮位（1986年～1990年） (A)	3.11地震発生前の5ヵ年（2006年～2010年）の朔望平均潮位(B)	(B)-(A)
朔望平均満潮位	O. P. +1.43m	O. P. +1.46m	0.03m
朔望平均干潮位	O. P. -0.14m	O. P. -0.09m	0.05m

*：日本海洋データセンターホームページで公開されている2006年1月～2010年12月の潮位を利用。潮位は朔望の前2日、後4日の期間における最高・最低の潮位。

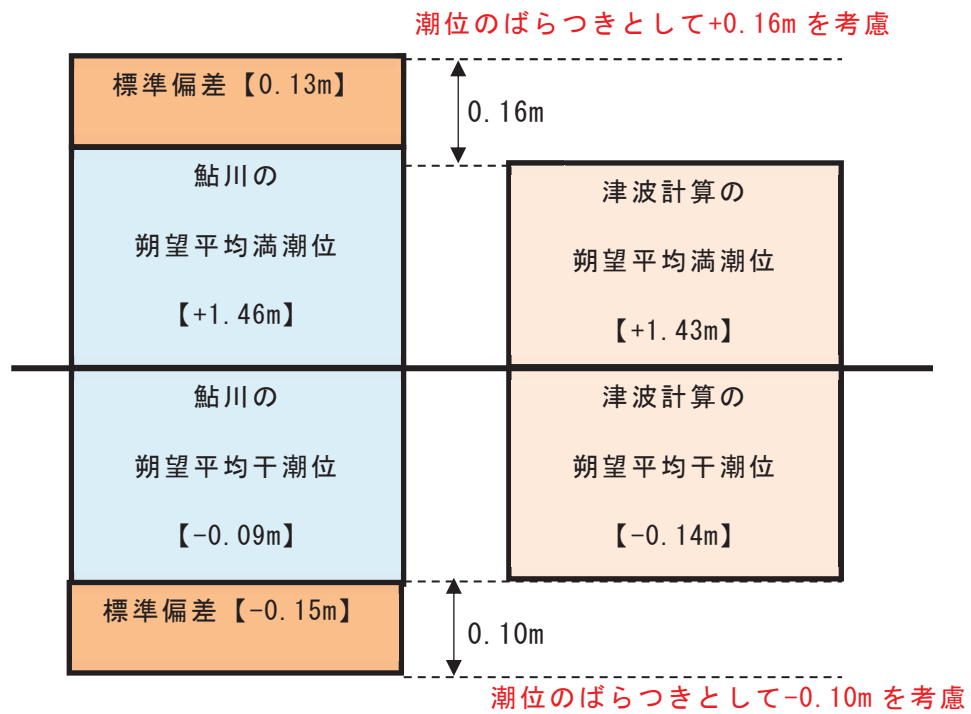


図1.1-3 潮位のばらつきに対する考慮方法

表 1.1-4 入力津波の評価で考慮する朔望平均潮位

	基準津波の策定で使用 した朔望平均潮位 (1986年～1990年)	3.11地震発生前の5ヵ年(2006 年～2010年)の潮位分析結果		入力津波 評価に用い る朔望平均 潮位
		朔望平均潮位	標準偏差	
朔望平均 満潮位	O. P. +1.43m	O. P. +1.46m	0.13m	O. P. +1.59m
朔望平均 干潮位	O. P. -0.14m	O. P. -0.09m	0.15m	O. P. -0.24m

1.1.2 観測記録の抽出期間の妥当性について

基準津波の策定で使用した潮位は、鮎川検潮所の潮位観測記録（1986年～1990年）に基づき設定している。

潮位記録の抽出期間の妥当性を確認するため、1970年～2010年における年平均潮位の推移を整理した結果を図1.1-4に示す。なお、鮎川検潮所では3.11地震の発生まで長期的な地盤沈下が発生していたことが知られているが、潮位観測記録は地盤変動の影響や長期的な海面水位の変化による変動を補正するため、平均潮位や測量成果を用いて、観測基準面が適宜見直されている。平均潮位の変化について線形近似を実施し、潮位の変化量を算定した結果、データの分析を行った41年間で+16cm（+0.4cm/年）であり、緩やかな上昇傾向が見られるものの、急激な変化は認められないことから、入力津波に用いる潮位条件用のデータ抽出期間として妥当であることを確認した。

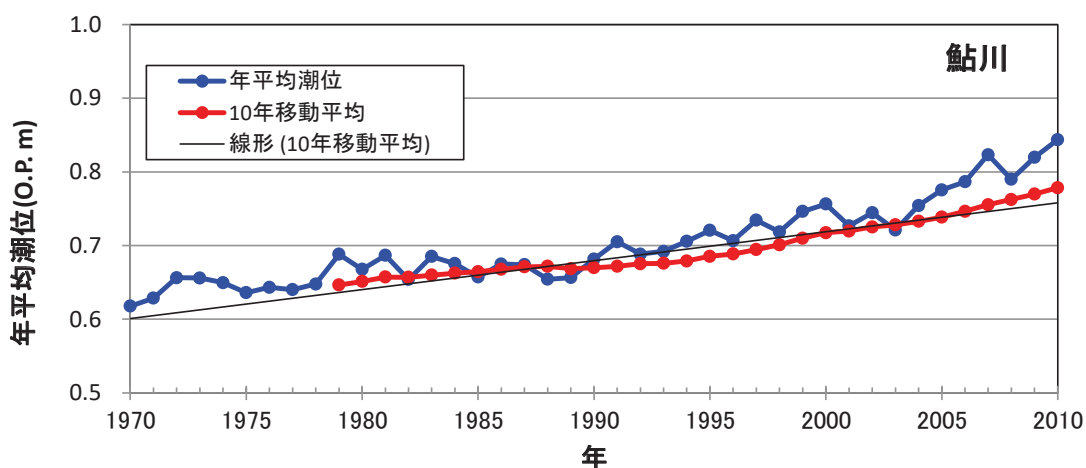


図 1.1-4 年平均潮位*の推移（1970年～2010年）

*：日本海洋データセンターホームページで公開されている年平均潮位を利用。

1.1.3 鮎川検潮所と女川原子力発電所港湾内の潮位観測記録の比較について

鮎川検潮所では1967年11月～2011年3月まではフロート式水位計を、2012年12月からは電波式水位計を用いており、女川原子力発電所では水晶式（圧力式）水位計を用いている。2011年3月までの女川原子力発電所港湾内の潮位計設置位置及び概略図を図1.1-5に示す。

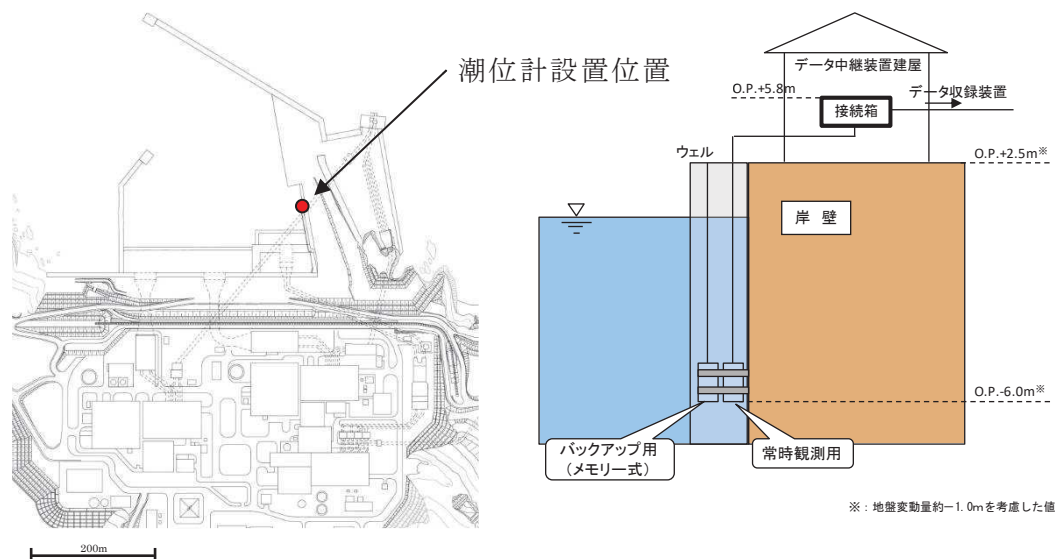


図 1.1-5 女川原子力発電所港湾内の潮位計設置位置及び潮位計概略図（2011年3月まで）

過去1年間（2010年）における女川原子力発電所の潮位観測記録と鮎川検潮所の潮位観測記録における日最高・最低潮位の比較を図1.1-6に示す。

女川原子力発電所と鮎川検潮所では日最高潮位で年間平均0.10m、日最低潮位で年間平均0.15mの潮位差が生じているが、この要因は鮎川検潮所の観測基準面の標高が2003年（10.7cm）及び2010年（0.7cm）に見直しされた影響によるものである。

観測基準面の見直しは、測量成果の反映及び平均潮位の推移等により行われており、鮎川検潮所では、2003年以前においても適宜見直しが行われている。鮎川検潮所におけるこれまでの観測基準面の履歴を表1.1-5に示す。

一方、女川原子力発電所で観測している潮位は、発電所の運用管理上、敷地・施設に対する相対的な関係の確認を目的としたものであり、地殻変動による沈降は、管理上問題となる不等沈下を伴うものではないことから、鮎川検潮所のような見直しは行っていない。なお、津波評価のように敷地の沈降が評価に影響する場合には、その沈降を評価に反映している。

女川原子力発電所の潮位観測記録に、2003年と2010年に行われた観測基準面の見直し分11.4cmの補正を加えた結果、鮎川検潮所潮位と同等になることを確認した（図1.1-7）。観測基準面と東京湾平均海面の関係を図1.1-8に、鮎川検潮所観測基準面の見直しに伴う観測潮位の関係を図1.1-9に示す。

以上から、女川原子力発電所潮位と鮎川検潮所潮位に有意な差はないことを確認した。

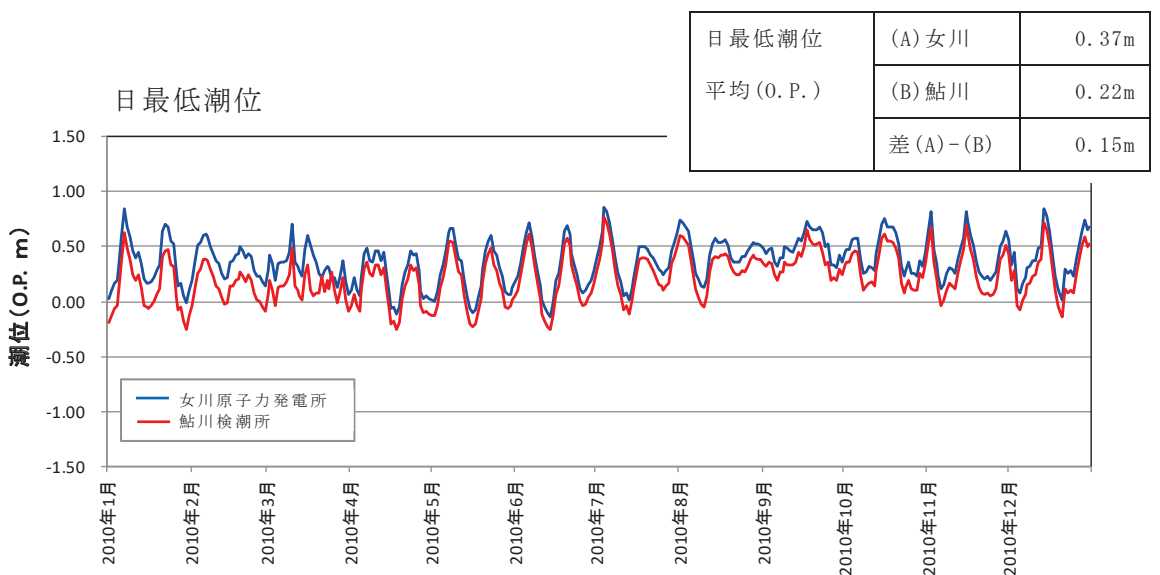
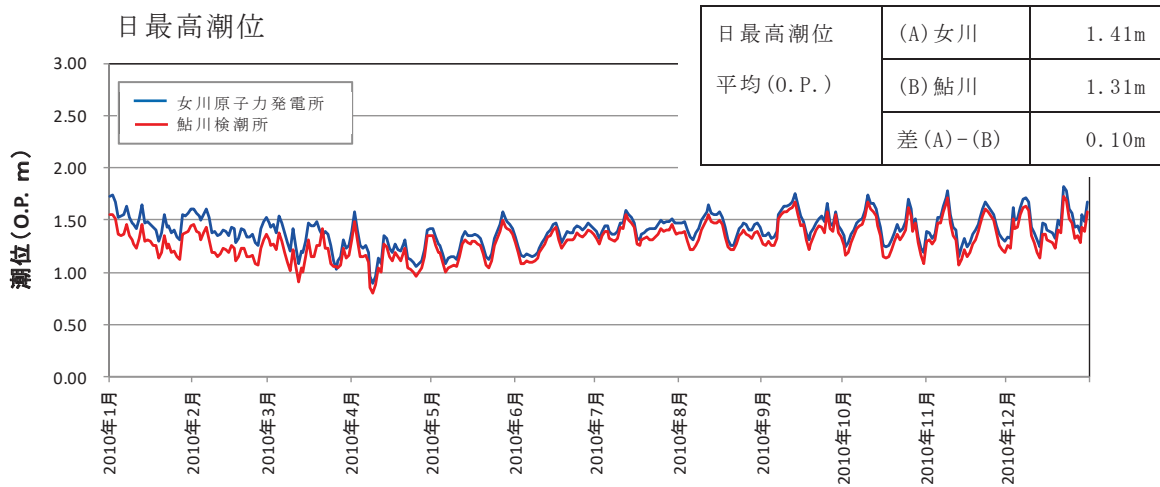


図 1.1-6 女川原子力発電所と鮎川検潮所*の日最高・最低潮位の比較

* : 日本海洋データセンターホームページで公開されている 2010 年 1 月～12 月の潮位を利用。

表 1.1-5 鮎川検潮所における観測基準面の履歴（気象庁*）

期間	球分体の高さ (センチ)		観測基準面 の標高 (センチ)	備考
	観測基準面 (DL) 上	標高上		
1924-	-	-	-	DL=井戸側基準点下 520.5 センチ
1949-	415.2	269.1	-146.1	
1957-	415.2	269.4	-145.8	
1958-	415.2	269.6	-145.6	
1960-	415.2	269.5	-145.7	
1962-	415.2	260.8	-154.4	
1963-	415.2	265.0	-150.2	
1965-	415.2	265.1	-150.1	
1967-	464.6	314.3	-150.3	
1969-	464.6	290.7	-173.9	
1979-	464.6	287.7	-176.9	
2003-	464.6	277.0	-187.6	基本水準点測量成果の 2000 年度 平均成果への改定
2010-	464.6	276.3	-188.3	
2011.03.11-	464.6	173.8	-290.8	東北地方太平洋沖地震に伴う地盤 変動。 有効期間は 3 月 11 日 15 時～
2012.12.18-	571.0	280.2	-290.8	東北地方太平洋沖地震の津波によ り被災した検潮所建屋の建替工事 及び観測機器の取付・調整完了に伴 い運用を再開
2017-	571.0	310.1	-260.9	国土地理院による水準点改算を反映

*:気象庁ホームページで公開されている鮎川検潮所の「基準面の履歴」に一部加筆。

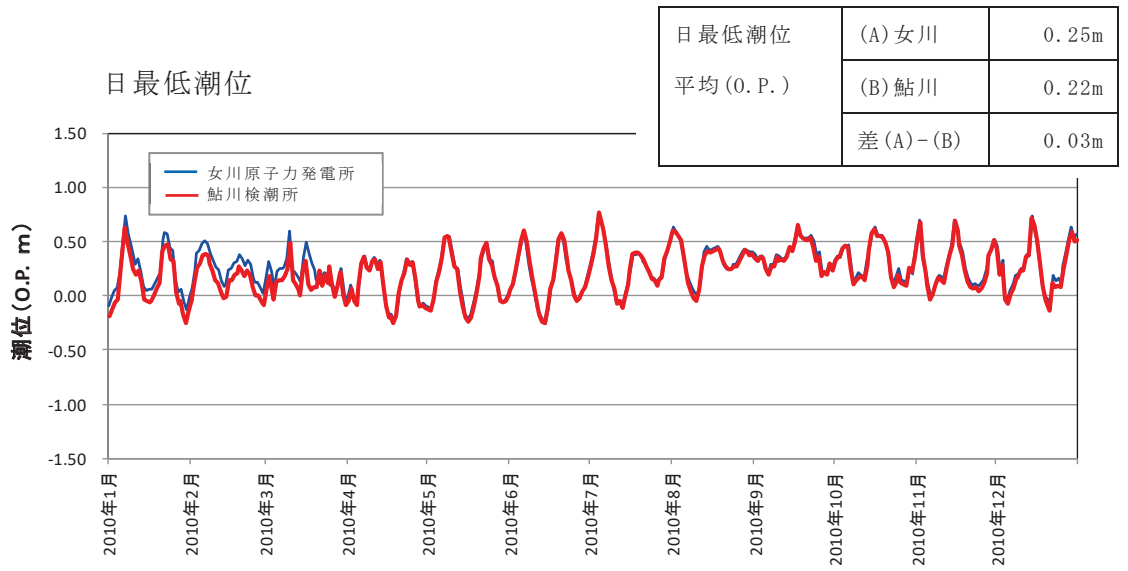
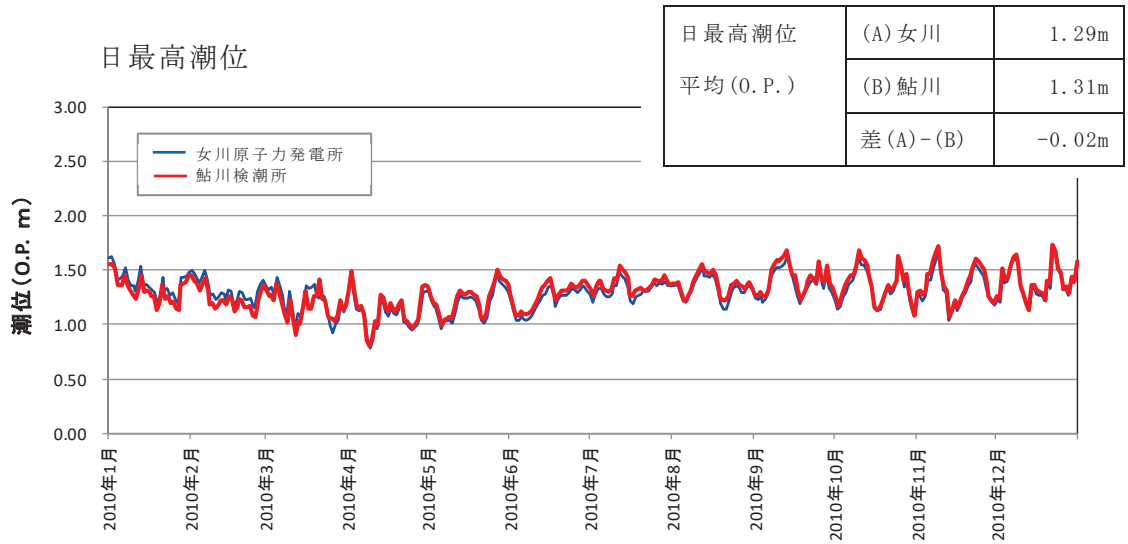


図 1.1-7 女川原子力発電所*¹と鮎川検潮所*²の日最高・最低潮位の比較（補正後）

* 1：実潮位に、鮎川検潮所の観測基準面見直し分 11.4cm を考慮した値。

* 2：日本海洋データセンターホームページで公開されている 2010 年 1 月～12 月の潮位を利用。

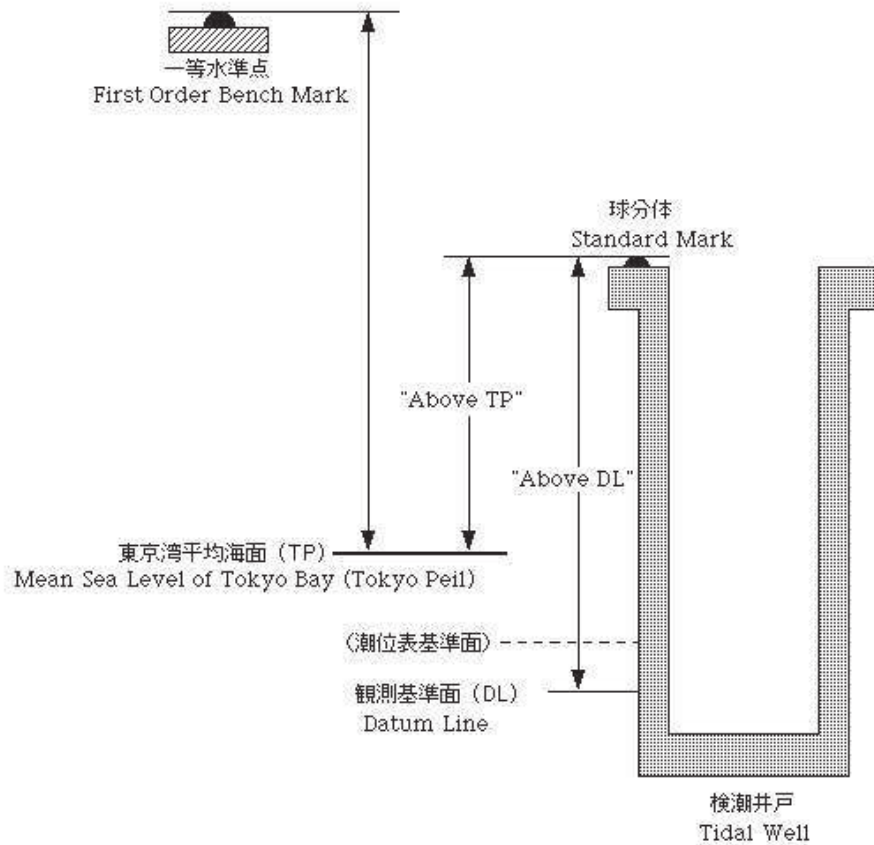


図 1.1-8 観測基準面と東京湾平均海面の関係*

* : 気象庁ホームページ「潮位観測情報解説」より

潮位計設置時	2002年まで	2003年以降
<p>潮位観測は、観測基準面から海面までの距離を計測することで、潮位を算出する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 敷地が沈降 ⇒ 潮位を高く算出 敷地が隆起 ⇒ 潮位を低く算出 <p>←→ : 観測基準面から海面までの距離</p>	<p>敷地が沈降することで、観測基準面から海面までの距離が増大する。潮位は元の観測基準面から算出するため、観測潮位(見かけ上の潮位)が上昇。</p>	<p>・鮎川検潮所 2003年に観測基準面を見直し、敷地沈降に伴う観測潮位(見かけ上の潮位)の上昇分を解消。</p> <p>・女川原子力発電所 観測基準面の見直しは行われていない。したがって、観測潮位差が発生。</p>

図 1.1-9 鮎川検潮所観測基準面の見直しに伴う観測潮位の関係

1.1.4 3.11地震後の潮位記録について

鮎川検潮所の最新の観測記録（2013年1月1日～2017年12月31日）を用いて、基準津波の策定で使用した朔望平均潮位に影響がないかを確認した。なお、鮎川検潮所の潮位観測記録の整理にあたっては、鮎川検潮所が位置する牡鹿半島は3.11地震に伴う余効変動が継続していることを踏まえ、国土地理院（2018）*による地殻変動量（高さ）を用いて補正した。

鮎川検潮所の最新の観測記録（2013年1月1日～2017年12月31日）を用いた朔望平均満潮位は O.P. +1.35m、朔望平均干潮位は O.P. -0.10m であり、基準津波の策定で使用した朔望平均潮位と有意な差は見られないことを確認した。

朔望平均潮位に関するデータ分析の結果を表 1.1-6、図 1.1-10 に示す。また、3.11地震発生前の5ヵ年（2006年～2010年）、至近5ヵ年（2013年～2017年）及び基準津波の策定で使用した朔望平均潮位（1986年～1990年）の比較を表 1.1-7 に示す。なお、本検討は地震後の影響を評価するために観測記録の補正を行っていることから、観測記録の扱いについては参考とする。

*：国土地理院（2018）：特集・平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震から7年

表 1.1-6 朔望平均潮位に関するデータ分析*（2013年1月～2017年12月）

	満潮位	干潮位
最大値	O.P. +1.63m	O.P. +0.24m
平均値	O.P. +1.35m	O.P. -0.10m
最小値	O.P. +1.14m	O.P. -0.42m
標準偏差	0.10m	0.13m

*：気象庁ホームページで公開されている2013年1月～2017年12月の潮位を利用。潮位は朔望の前2日、後4日の期間における最高・最低の潮位。

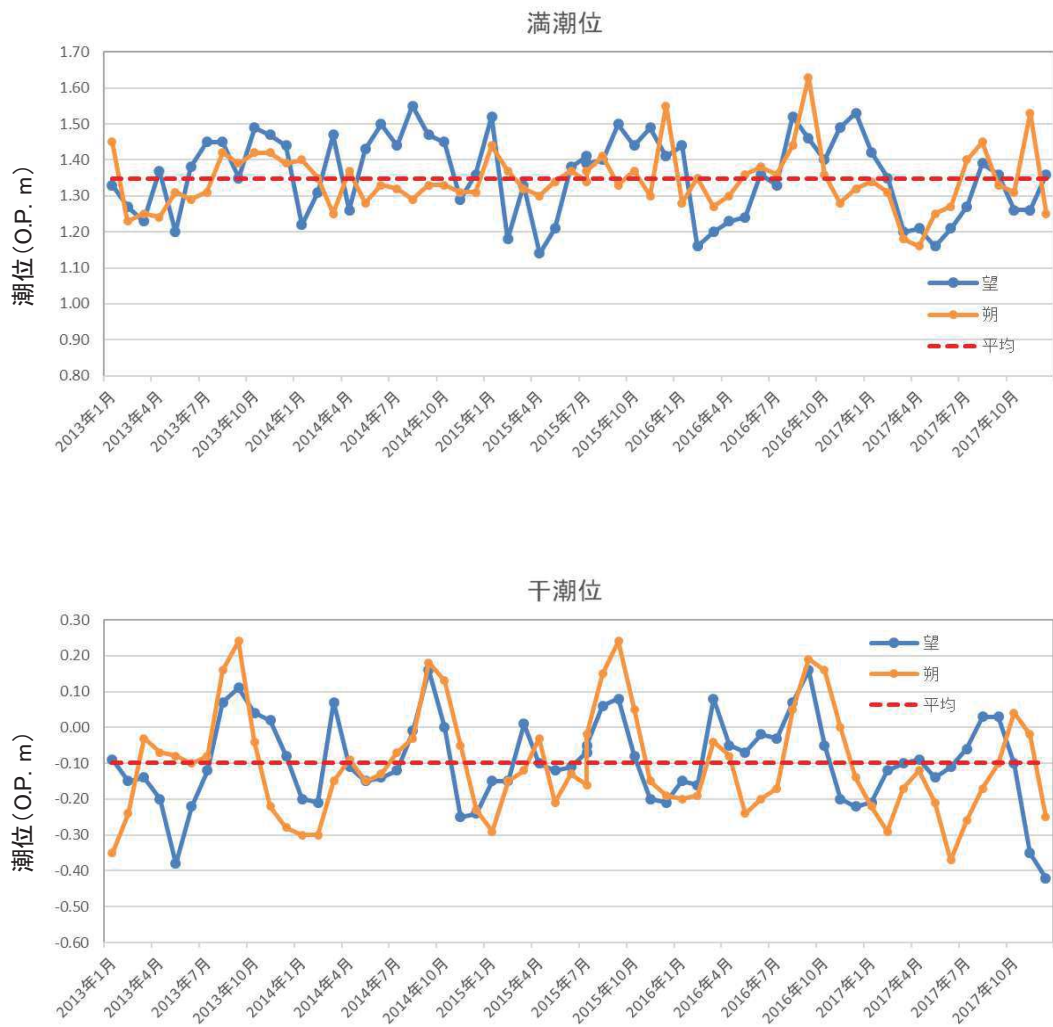


図 1.1-10 各月の朔望平均満潮位・干潮位の推移* (2013年1月～2017年12月)

* : 気象庁ホームページで公開されている2013年1月～2017年12月の潮位を利用。

潮位は朔望の前2日、後4日の期間における最高・最低の潮位。

表 1.1-7 3.11 地震発生前の 5 ヶ年（2006 年～2010 年），至近 5 ヶ年（2013 年～2017 年）*及び基準津波の策定で使用した朔望平均潮位（1986 年～1990 年）の比較

	基準津波の策定 で使用した朔望 平均潮位（1986 年～1990 年） (A)	3.11 地震発生前 の 5 ヶ年（2006 年～2010 年）の 朔望平均潮位 (B)	至近 5 ヶ年 （2013 年～2017 年）の朔望平均 潮位 (C)	(B) - (A)	(C) - (A)
朔望平均 満潮位	O. P. +1. 43m	O. P. +1. 46m	O. P. +1. 35m	0. 03m	-0. 08m
朔望平均 干潮位	O. P. -0. 14m	O. P. -0. 09m	O. P. -0. 10m	0. 05m	0. 04m

*：気象庁ホームページで公開されている 2013 年 1 月～2017 年 12 月の潮位を利用。

潮位は朔望の前 2 日，後 4 日の期間における最高・最低の潮位。

1.2 遡上・浸水域の考え方について

(1) 遡上・浸水域の評価の考え方

基準津波の遡上・浸水域の評価（以下「数値シミュレーション」という。）に当たっては、遡上解析を実施し、遡上波の敷地への到達（回り込みによるものを含む。）の可能性を検討する必要があることから、安全側の評価となるよう、以下の条件を考慮して数値シミュレーションを実施する。

a. 地震に起因する地形変化等の影響の考慮

基準地震動 S_s に伴う地形変化及び標高変化が生じる可能性があり、遡上・浸水域に影響を及ぼす可能性があるため、基準地震動 S_s による地形変化及び標高変化の有無を数値シミュレーションの条件として考慮する。地形変化としては基準地震動 S_s による防波堤の損傷が、標高変化については液状化等に伴う地盤沈下が、遡上・浸水域に影響を及ぼす可能性があるため、数値シミュレーションの条件として考慮する。

地震による地殻変動が遡上・浸水域に影響を及ぼす可能性があるため、基準津波の波源である岩手県沖南部から茨城県沖におけるプレート間地震（基準断層モデル③）による広域的な地殻変動を数値シミュレーションの条件として考慮する。なお、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震（以下「3.11地震」という。）により牡鹿半島全体が約1m沈下し、その後は隆起（余効変動）が継続しているが、1mの沈下を考慮する。

b. 潮位の考慮

朔望平均満潮位・干潮位及び潮位のばらつきについては、数値シミュレーションにより求めた津波水位に加えることで考慮する。

(2) 地震に起因する変状による地形変化等の考え方について

a. 基準地震動 S_s に伴う地形変化の考え方について

基準地震動 S_s による人工構造物の形状変化については、地震による防波堤の損壊を想定し、防波堤がある場合とない場合について、数値シミュレーションを実施する。

b. 基準地震動 S_s に伴う標高変化の考え方について

基準地震動 S_s に伴う標高変化については、敷地内の盛土・旧表土を対象に、揺すり込み及び液状化に伴う沈下を仮定し、入力津波の算定に影響する、防潮堤より海側の地盤面が1m沈下した状態を考慮する。

c. 地震による地殻変動の考え方について

地震による地殻変動については、基準津波の波源である岩手県沖南部から茨城県沖におけるプレート間地震（基準断層モデル③）による広域的な地殻変動量として、0.72mの陸域の沈降を考慮した設計とする。

なお、3.11地震により牡鹿半島全体が約1m沈下し、その後は隆起（余効変動）が継続しているが、1mの沈下を考慮する。

(3) 数値シミュレーションにおける解析モデルについて

基準津波による敷地周辺の遡上・浸水域の評価における数値シミュレーションモデルにつ

いては、遡上解析に影響を及ぼす斜面や護岸、取水口、放水口等の地形とその標高及び伝播経路上の人工構造物の設置状況を考慮し、遡上域の格子サイズ（敷地内：5～10m、敷地周辺：5～93m）に合わせた形状にモデル化する。

a. 敷地及び敷地周辺の地形及び標高

敷地沿岸域及び海底地形は、一般財団法人日本水路協会による海底地形デジタルデータ（2016）（3.11地震に伴う広域的な地殻変動による約1mの沈降を考慮）、平成23年5月に実施した深浅測量等による地形データを使用し、陸域では、3.11地震後に整備された国土地理院5mDEMデータ等を使用する。また、護岸、取水口、放水口等の諸元及び敷地標高については、発電所の竣工図等を使用する。

b. 伝播経路上の人工構造物

既設の人工構造物については、発電所の竣工図等で調査し、将来設置される計画がある人工構造物については、計画図等により調査した。

竣工図等による調査において確認した既設の人工構造物は、現場ウォークダウンにより竣工図等と相違ないことを確認した。また、竣工図等に反映されていない人工構造物は、数値シミュレーションに影響する変更がないことを確認した。

c. 数値シミュレーションにおける解析モデルの作成

上記bにおいて実施した調査結果を踏まえ、数値シミュレーションに影響を及ぼす人工構造物を考慮し、遡上・伝播経路の状態に応じてモデルを作成した。モデルの作成に当たっては、伝播経路上の人工構造物のうち、防波堤について考慮した。

図1.2-1に数値シミュレーションにおける解析モデルを示す。

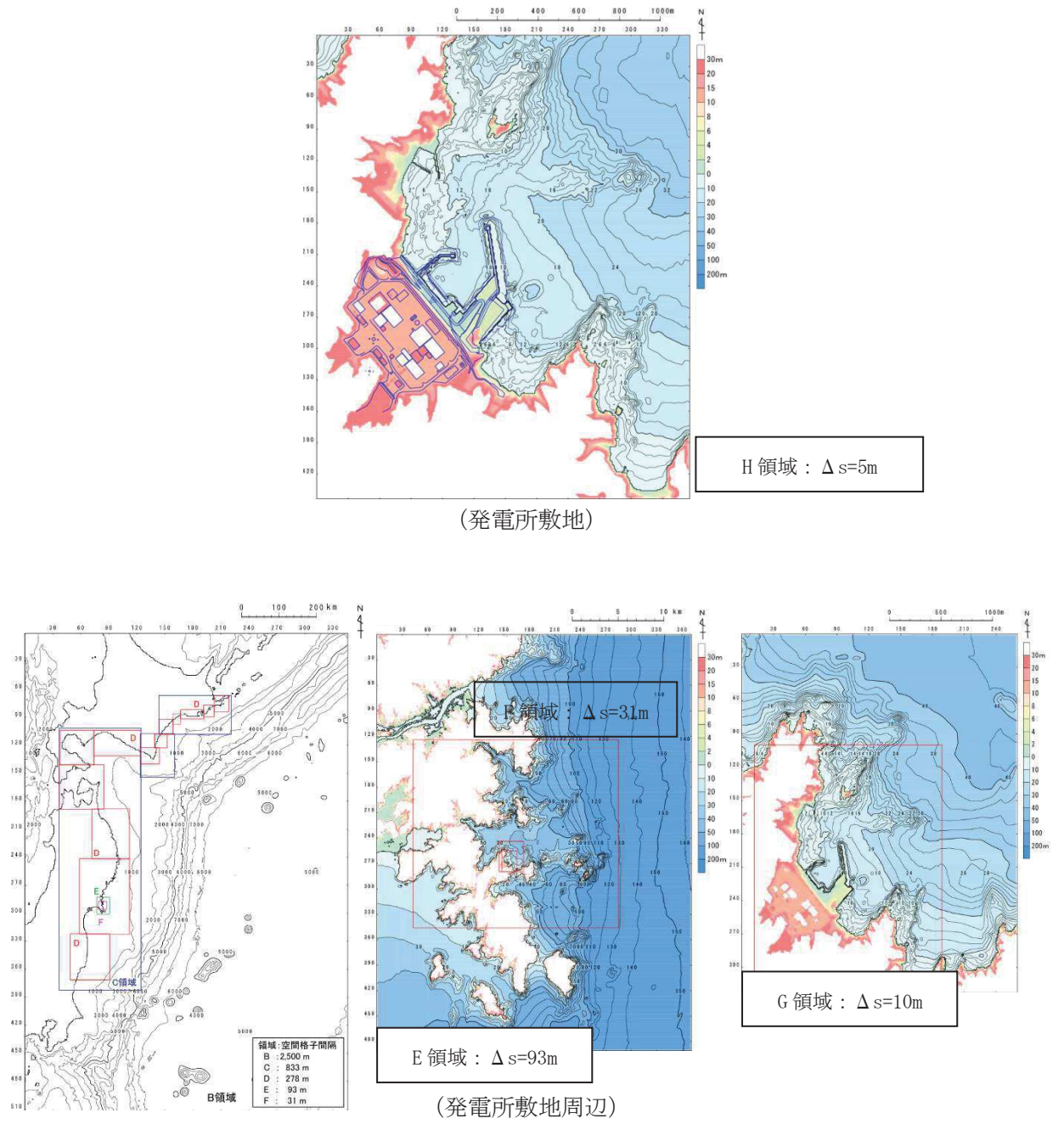


図 1.2-1 数値シミュレーションにおける解析モデル

(4) 数値シミュレーション結果

数値シミュレーションの結果として、図 1.2-2 に基準津波による最大水位上昇量分布を示す。津波は、津波防護施設の設置により津波防護対象設備（非常用取水設備を除く。）を内包する建屋及び区画が設置された敷地には遡上しない結果となった。

以下に、基準地震動 S_s に伴う地形変化及び標高変化が遡上・浸水域へ与える影響を示す。

a. 基準地震動 S_s に伴う標高変化の影響について

基準地震動 S_s に伴う標高変化の影響として、基準地震動 S_s によって地盤面を沈下させた場合とさせない場合（以下「現地形（地盤沈下なし）」及び「1m 沈下（地盤沈下あり）」という。）の影響を示す。図 1.2-2 から、全体的に有意な差はないが、現地形（地盤沈下なし）に比べ、1m 沈下（地盤沈下あり）では、防潮堤前面での最大水位上昇量が僅かに大きくなることが確認された。

b. 基準地震動 S_s に地形変化の影響について

基準地震動 S_s に伴う地形変化の影響として、防波堤がある場合とない場合（以下「防波堤あり」及び「防波堤なし」という。）の影響を示す。図 1.2-3 から、防波堤の有無により最大水位上昇量分布に僅かな変化が認められ、上昇側水位へ影響を与えることが確認された。なお、防波堤ありでは、防波堤による渦状の流れが生じ、この流れにより局所的に津波水位が大きくなる範囲が生じる。一方、防波堤なしでは、津波水位が一様に上昇し、局所的に津波水位が大きくなる範囲が生じないため、防波堤ありと比較して津波水位が低い。

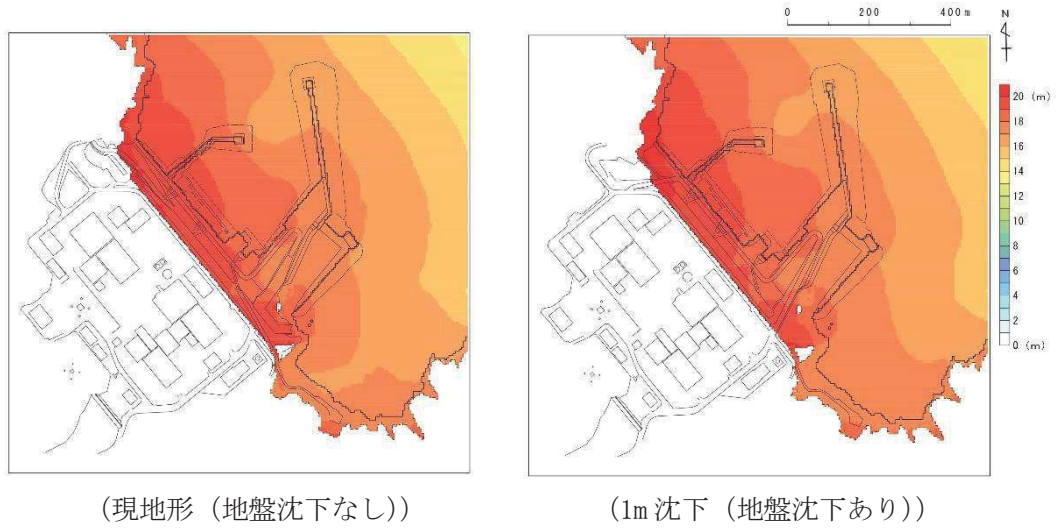


図 1.2-2 地盤沈下の有無に対する最大水位上昇量分布の比較
(基準津波 (水位上昇側), 防波堤あり)

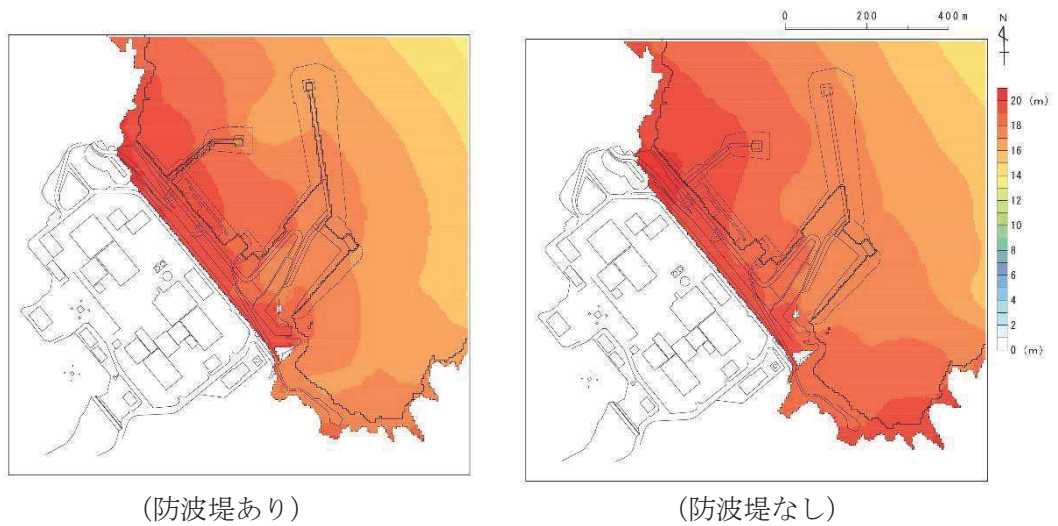


図 1.2-3 防波堤の有無に対する最大水位上昇量分布の比較
(基準津波 (水位上昇側), 現地形 (地盤沈下なし))

(参考1) 敷地内の遡上経路の沈下量算定評価について

1. 検討方針

基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイドに基づき、地震に起因する変状による地形、河川流路の変化に対して、敷地への遡上経路に及ぼす影響を検討する。

護岸付近の地盤及び敷地は、揺すり込み及び液状化に伴う地盤の沈下が想定されることから、図1に示す範囲の沈下量を算定し、基準津波による敷地周辺の遡上及び浸水域の評価への影響を確認する。

揺すり込みに伴う沈下として、不飽和地盤の揺すり込みによる沈下量を算定する。液状化に伴う沈下量は、飽和地盤（飽和盛土及び飽和旧表土）における過剰間隙水圧の消散に伴う沈下と基準地震動 S_s に対する残留変形量（沈下量）に分けて算定する。

不飽和地盤における揺すり込み及び飽和地盤における過剰間隙水圧消散に伴う沈下については、Ishihara ほか（1992）の地盤の相対密度に応じた最大せん断ひずみと体積ひずみ（沈下率）の関係を用いて地震後の過剰間隙水圧の消散に伴う排水沈下量を算定する。

残留変形量（沈下量）については、二次元有効応力解析（解析コード「FLIP Ver7.3.0_2」）により沈下量を算定する。

液状化の評価対象として取り扱う盛土、旧表土の有効応力解析に用いる液状化パラメータは、液状化試験結果に基づいて、地盤のばらつき等を考慮し保守的に下限値となるように設定した。

盛土、旧表土の液状化試験結果から設定した、解析上の液状化強度曲線を図2に示す。

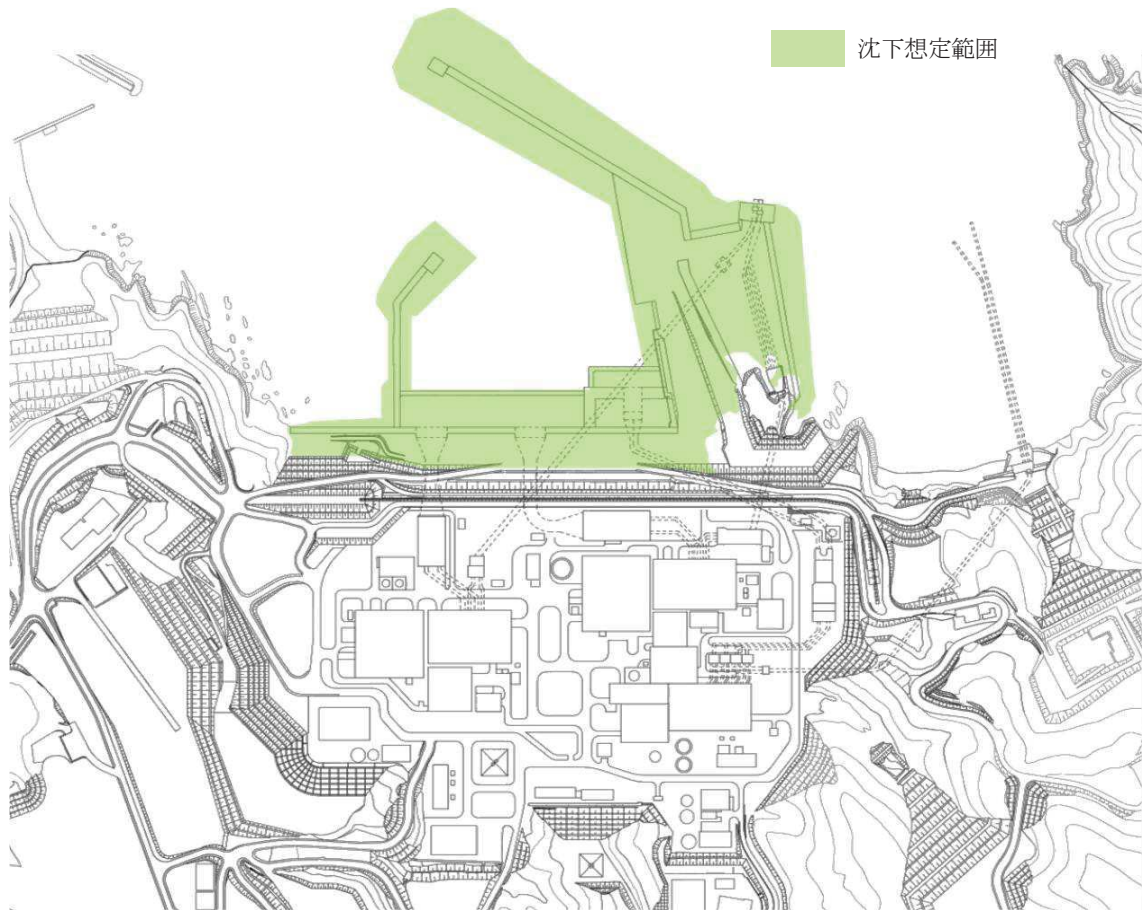


図1 沈下量検討範囲

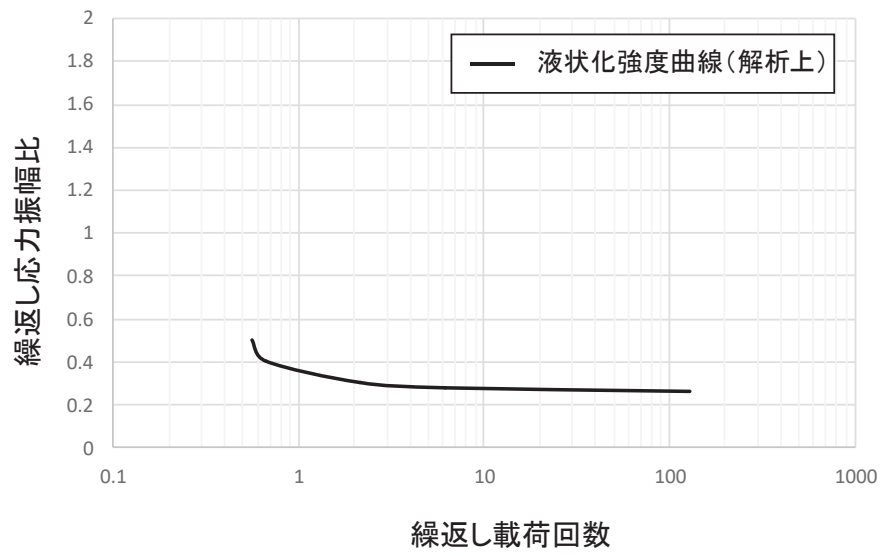
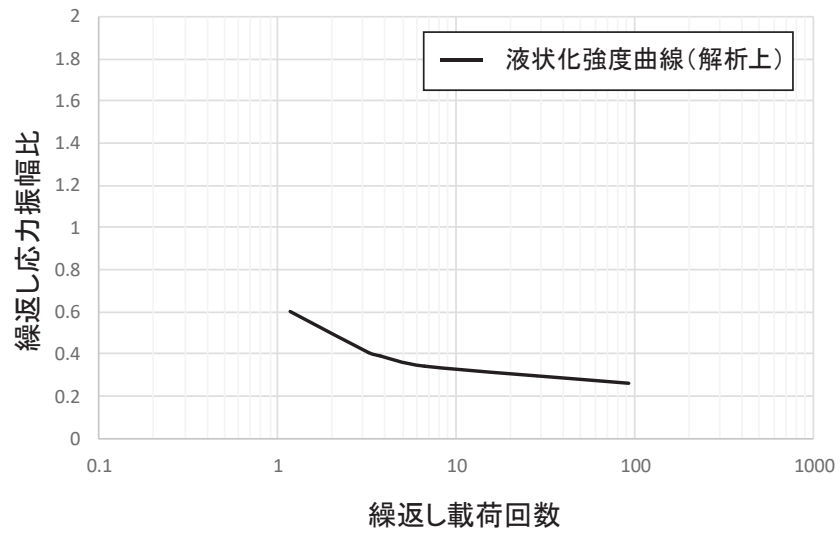


図2 液状化強度曲線 (上：盛土，下：旧表土)

2. 検討内容

(1) 沈下量算定断面

護岸付近の不飽和地盤における揺すり込み及び飽和地盤における過剰間隙水圧消散に伴う沈下量は、護岸付近の防潮堤を縦断・直交する地質断面図に基づき算定した。平面図及び地質断面図を図3及び図4に示す。なお、防潮堤の沈下対策・安定性向上対策として、改良地盤及び置換コンクリートを追加設置しているが、防潮堤より海側の広範囲の沈下量を保守的に算定する観点から、対策実施前の地質断面図により評価した。

沈下量を算出する断面は、岩盤が深い位置にあり（盛土・旧表土が厚く堆積）、かつ沈下率が大きい旧表土が厚く分布する断面（②-②'断面）を抽出した。

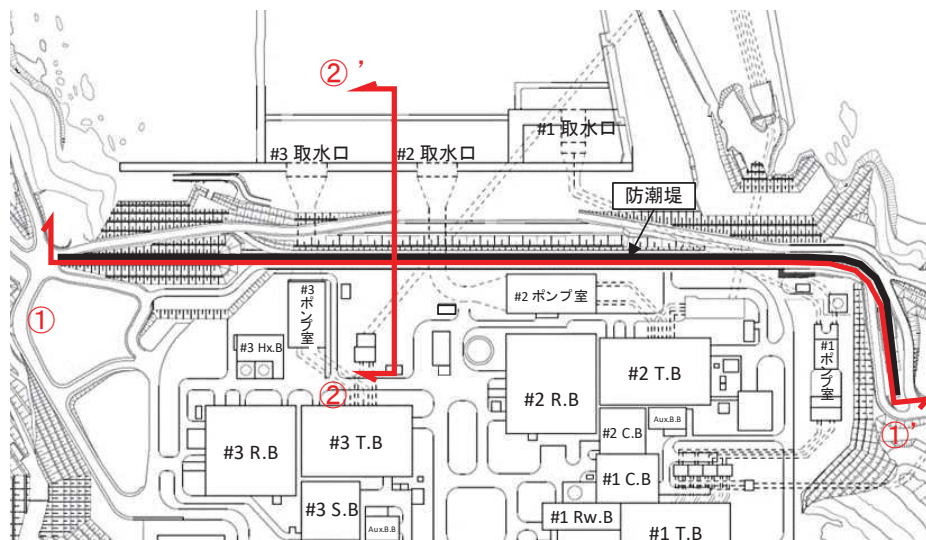


図3 平面図

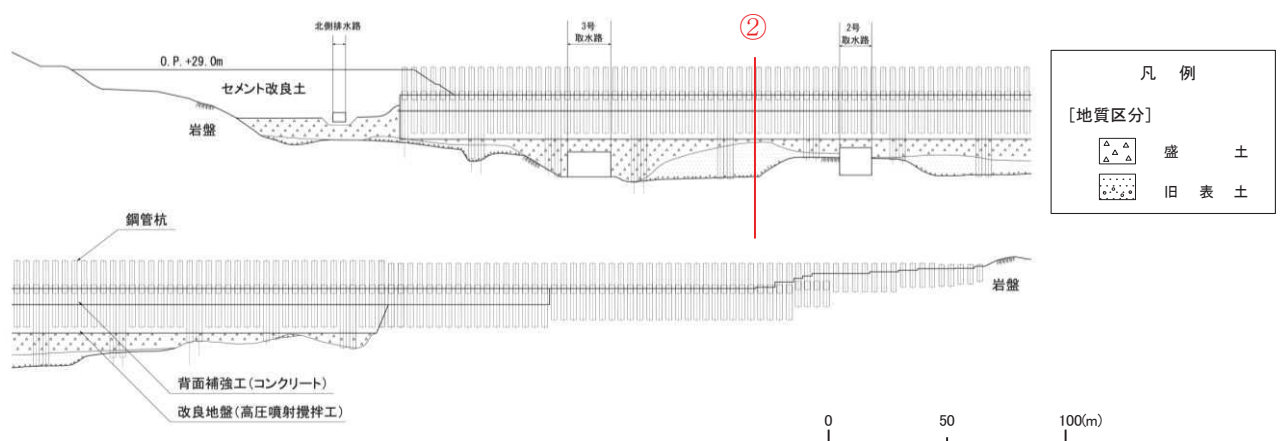


図4(1) 地質断面図(①-①'断面)

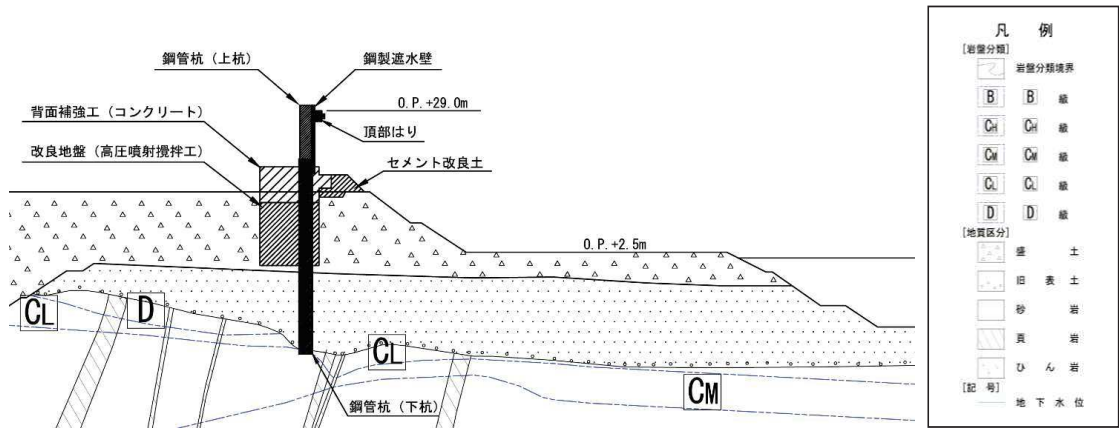


図4(2) 地質断面図(②-②' 断面)

(2) 有効応力解析による残留沈下量

防潮堤前面の残留沈下量を二次元有効応力解析により算定した。解析モデルを図5に示す。地盤については地質区分に基づき平面ひずみ要素でモデル化し、鋼管杭ははり要素でモデル化した。

防潮堤の下方は改良地盤及び置換コンクリートにより地下水を遮断する形になるため、防潮堤より海側の敷地には地下水位低下設備の影響は及ばず、入力津波の算定に考慮する敷地の沈下の影響検討に用いる地下水位は朔望平均満潮位0.P.+1.43mとし、地下水位低下設備の効果を考慮しない設計とする。入力地震動は、盛土・旧表土の過剰間隙水圧上昇に伴う剛性低下の影響を考慮し、基準地震動 S_s のうち継続時間が最も長く、剛性低下に伴う残留変形が大きくなると考えられる S_s-D1 を代表波として採用し、一次元波動論によって解析モデル下端位置で評価した波形を用いた。

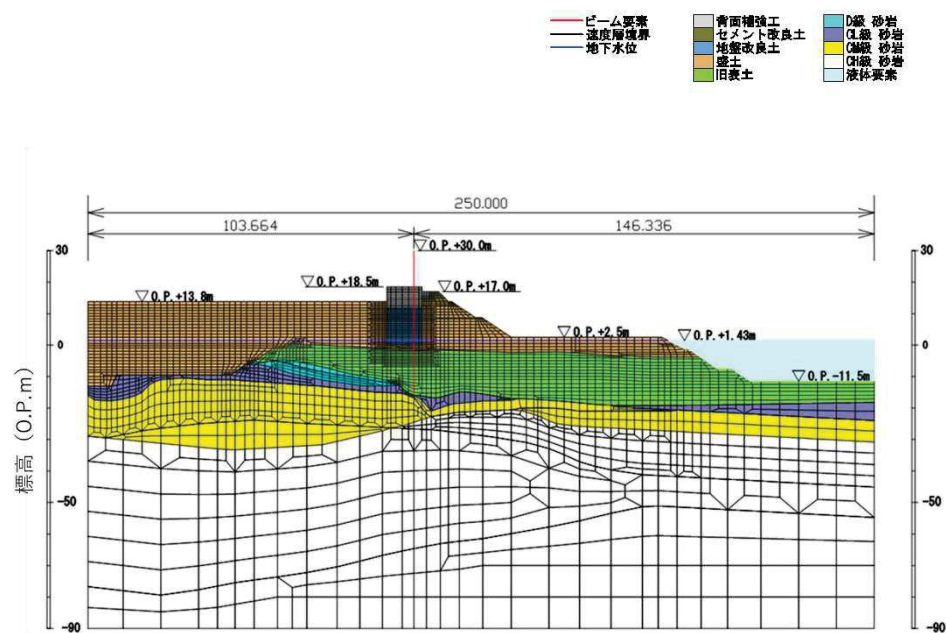


図5 解析モデル図

(3) 不飽和地盤における揺すり込み及び飽和地盤における過剰間隙水圧消散に伴う沈下

不飽和地盤における揺すり込み及び飽和地盤における過剰間隙水圧消散に伴う沈下量の算定は、有効応力解析を実施した地点で行った。

沈下率は、Ishiharaほか(1992)の地盤の相対密度に応じた最大せん断ひずみと体積ひずみ(沈下率)の関係から設定した。排水沈下量の算定フローを図6に示す。

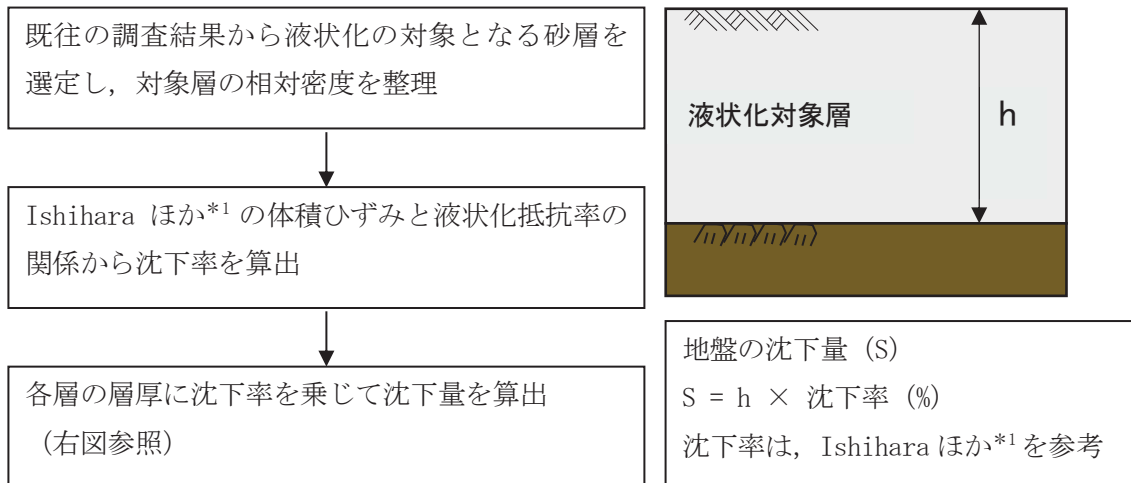


図6 飽和地盤における過剰間隙水圧消散に伴う沈下量の算定フロー

なお、不飽和地盤の揺すり込み沈下量は、飽和地盤が完全に液状化した後の再圧密による体積収縮量と等しいと仮定し算定する。

これは海野ほか*2による、繰返しせん断による体積収縮量は応力履歴に依存せず、せん断ひずみ履歴により決定され、同一のせん断ひずみ履歴を与えると不飽和地盤と飽和地盤の体積収縮量は等しくなることが示されているという知見を援用したものである。

過剰間隙水圧消散及び揺すり込みによる沈下量算定の対象層として、盛土・旧表土を選定した。各層の沈下率は、図7に示すIshiharaほか*1の地盤の相対密度に応じた体積ひずみと液状化抵抗率の関係から算出した。

盛土・旧表土の相対密度の調査位置及び調査結果を図8, 9及び表1に示す。調査結果から沈下率の算出に用いる盛土・旧表土の相対密度は保守的に90%, 60%とした。

体積ひずみと液状化抵抗率の関係において、体積ひずみが最大となっている領域の飽和土は、完全に液状化した後の再圧密によって、粒子が再配列され間隙が最も小さくなった状態を示しており、地震時のせん断ひずみ履歴による体積圧縮の最大値を示していると考えられる。飽和地盤の沈下率は、液状化判定によらずこの完全に液状化した状態を想定し、盛土は1.4%, 旧表土は2.8%とした。

なお、体積ひずみと液状化抵抗率の関係から算出した沈下率は、東北地方太平洋沖地震における女川原子力発電所の沈下実績(最大沈下率推定1.28%)を包含している。

*1: Kenji Ishihara and Mitsutoshi Yoshimine (1992) : Evaluation Of Settlements In Sand Deposits Following Liquefaction During Earthquakes , Soils and Foundations Vol. 32

*2: 海野寿康, 風間基樹, 渦岡良介, 仙頭紀明 (2006) : 同一繰返しせん断履歴における乾燥砂と飽和砂の体積収縮量の関係, 土木学会論文集C, Vol. 62

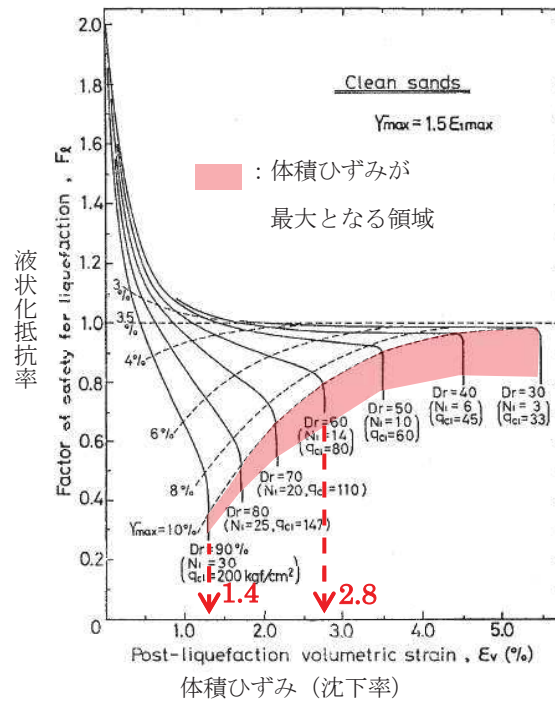


図7 体積ひずみと液状化抵抗率の関係 (Ishiharaほか(1992)に加筆)

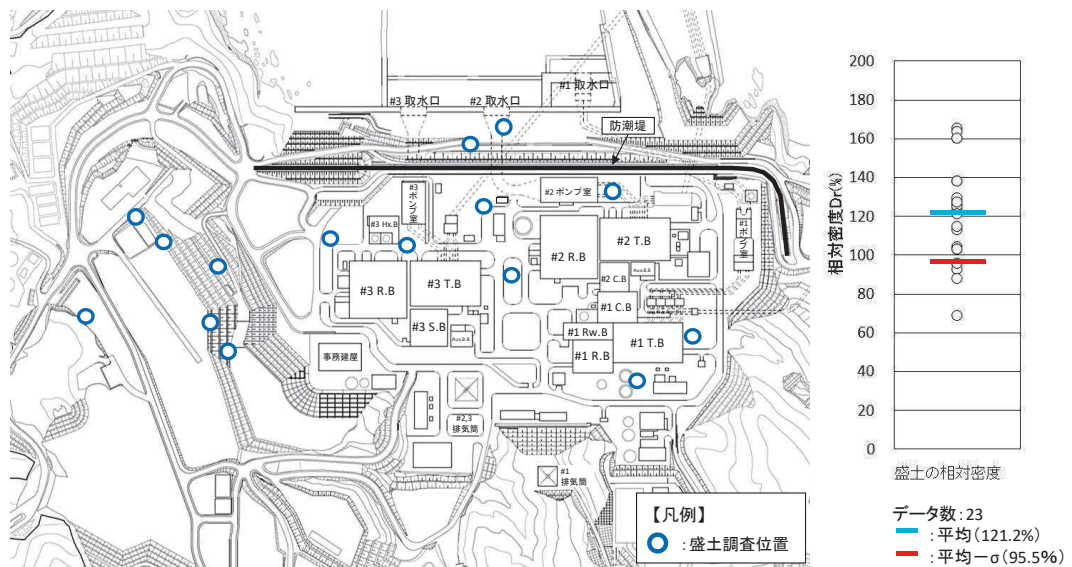


図8 盛土の相対密度調査位置図及び調査結果

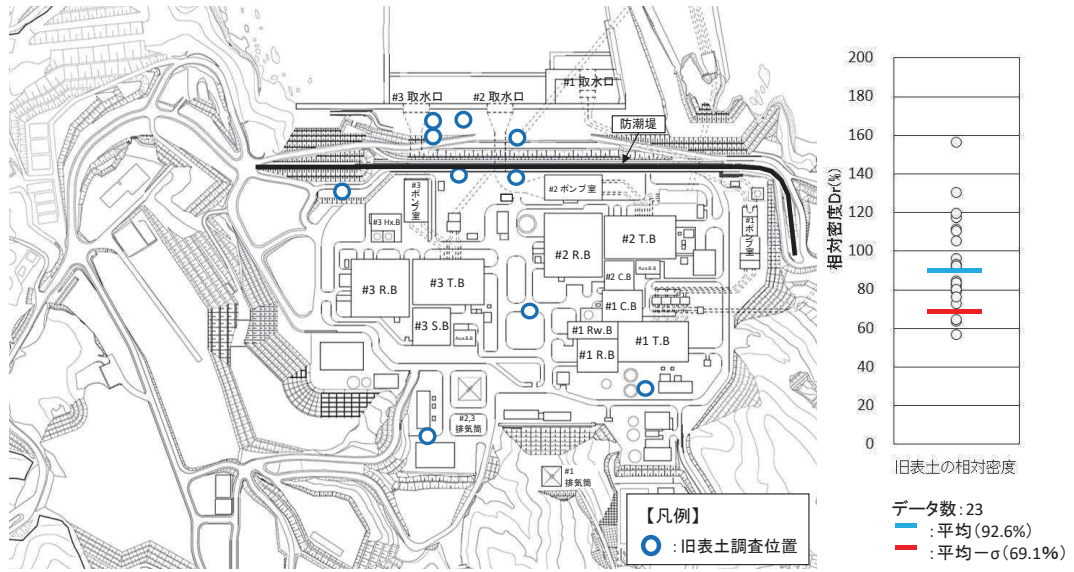


図9 旧表土の相対密度調査位置図及び調査結果

表1 盛土及び旧表土の相対密度の調査結果

地層	相対密度 (%)	
	平均値	平均値 - σ
盛土	121.2	95.5
旧表土	92.6	69.1

3. 検討結果

(1) 有効応力解析による残留沈下量

解析結果を図10に示す。護岸の海側への変位に伴い、局所的に1m程度の変位が生じているものの、おおむね1m以下の沈下量であり、側方流動による沈下への影響は小さい（平均沈下量0.07m）。

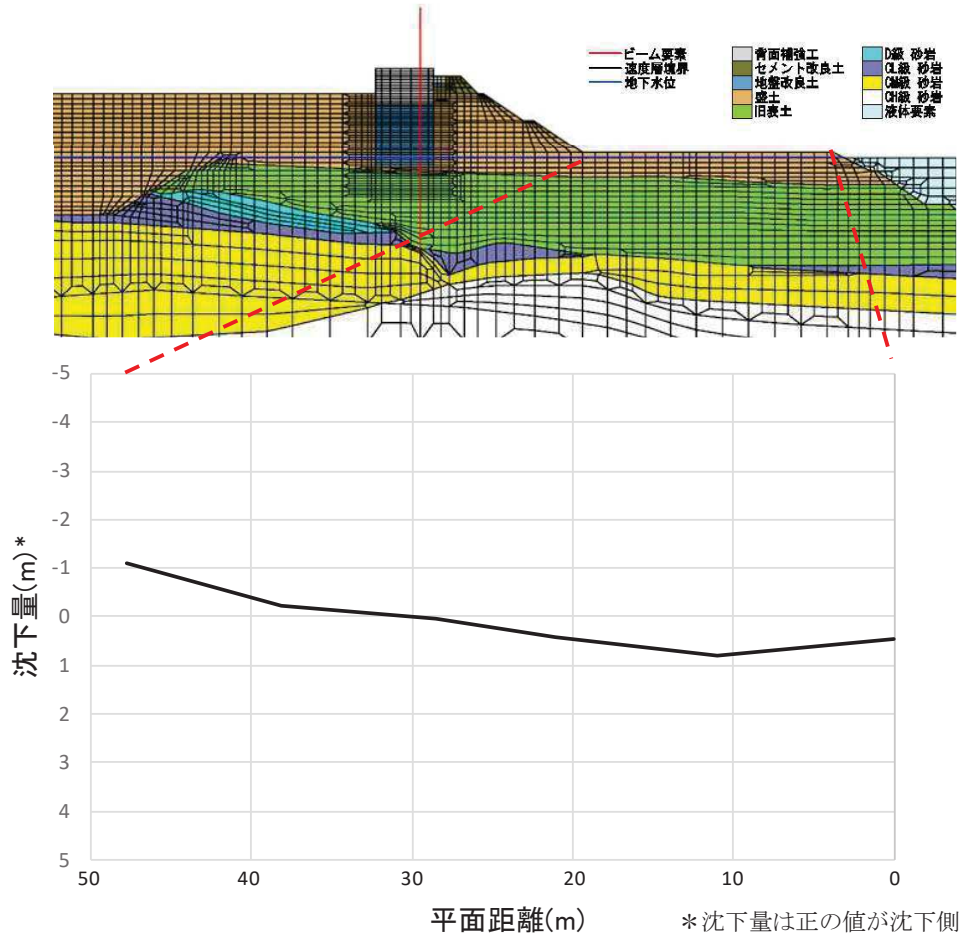


図10 解析結果

(2) 不飽和地盤における揺すり込み及び飽和地盤における過剰間隙水圧消散に伴う沈下

各層の層厚と沈下率から算出した沈下量の分布を図11に示す。平均沈下量は0.51m、最大沈下量は0.52mとなった。

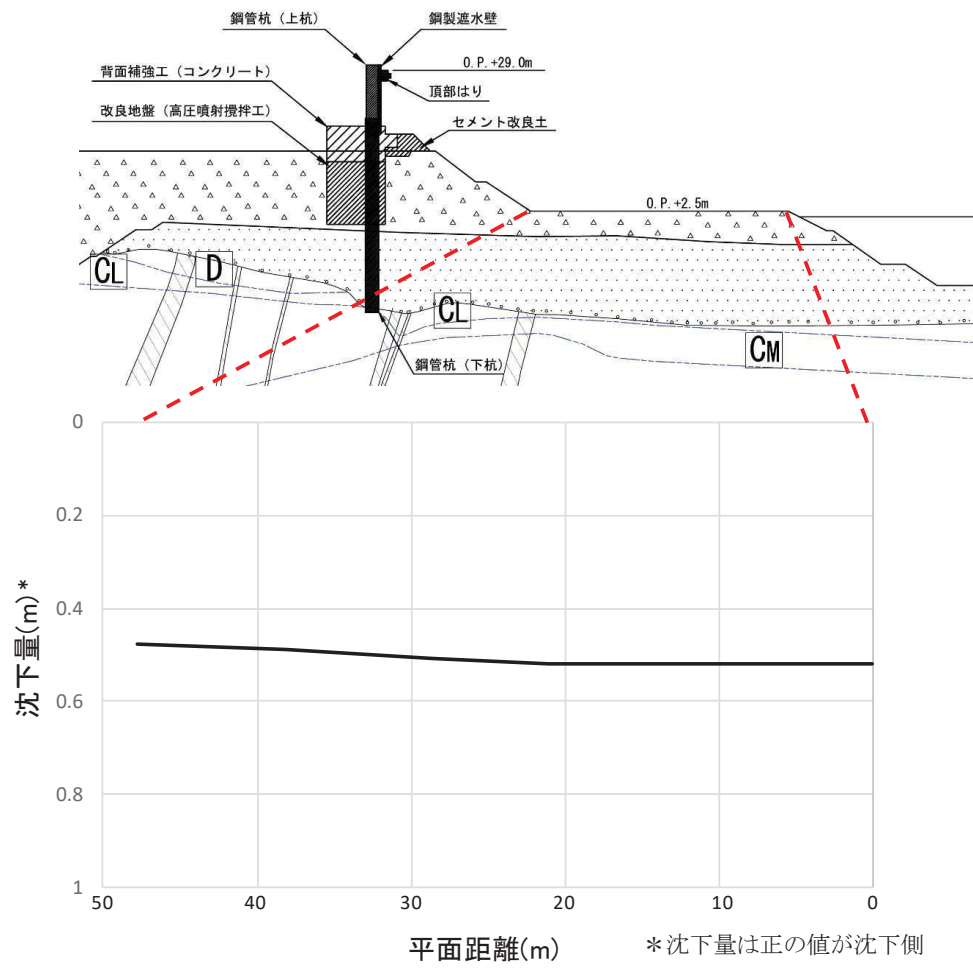


図 11 護岸付近の不飽和地盤における揺すり込み及び飽和地盤における過剰間隙水圧消散に伴う沈下量(②-②' 断面)

(3) 敷地の地表面沈下量算定

基準地震動 S_s による残留沈下量に、揺すり込み及び飽和地盤における過剰間隙水圧消散に伴う沈下量を加えた地表面沈下量を図 12 に示す。護岸付近の一部で局所的に 1m を超える沈下が生じているものの、地表面沈下量はおおむね 1m 以内である（平均沈下量 0.57m）ことから、津波遡上解析における敷地前面の沈下量について、すべての範囲を 1m に設定し津波評価の地形モデルとして反映する。

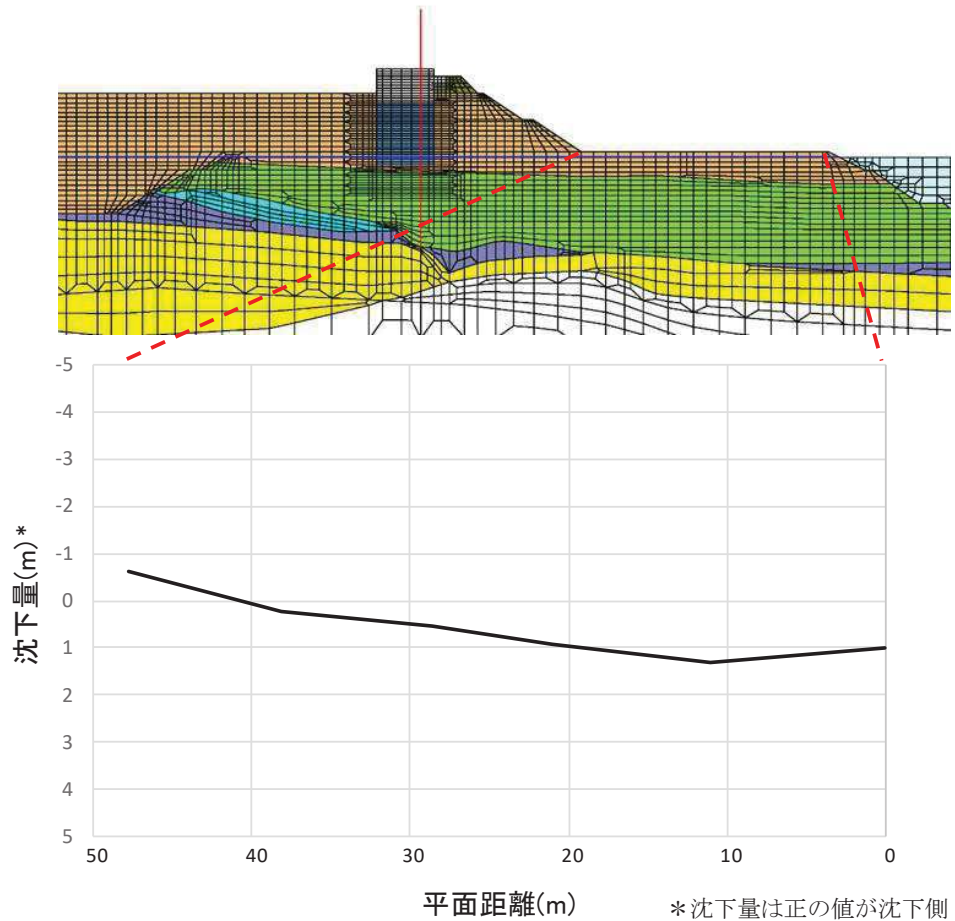


図 12 地表面沈下量

(参考 2) 3.11 地震に伴う地殻変動の影響について

1. 3.11 地震前後の地盤変位量

3.11 地震前後における地盤変動を把握するため、構内の水準点（3 点）を対象に水準測量を実施した。測量を実施した水準点の位置を図 1 に、測量結果による構内水準点標高の経年変化を表 1 に示す。

敷地内の地盤変位量は、構内 3 箇所の水準点においてほぼ同値であり、不等沈下の影響はなく、一様に変位している。

地震後の平成 23 年 11 月の測量では地震前（平成 23 年 2 月）に比べて約 1m 沈降していたが、平成 29 年 4 月の測量では平成 23 年 11 月の測量に比べ約 30cm 隆起している。

2. 津波防護設計における地殻変動量の考慮

津波防護設計においては、約 1m の沈降が発生していることを考慮した設計とし、敷地高さや施設高さ等に沈降量を考慮することとする。

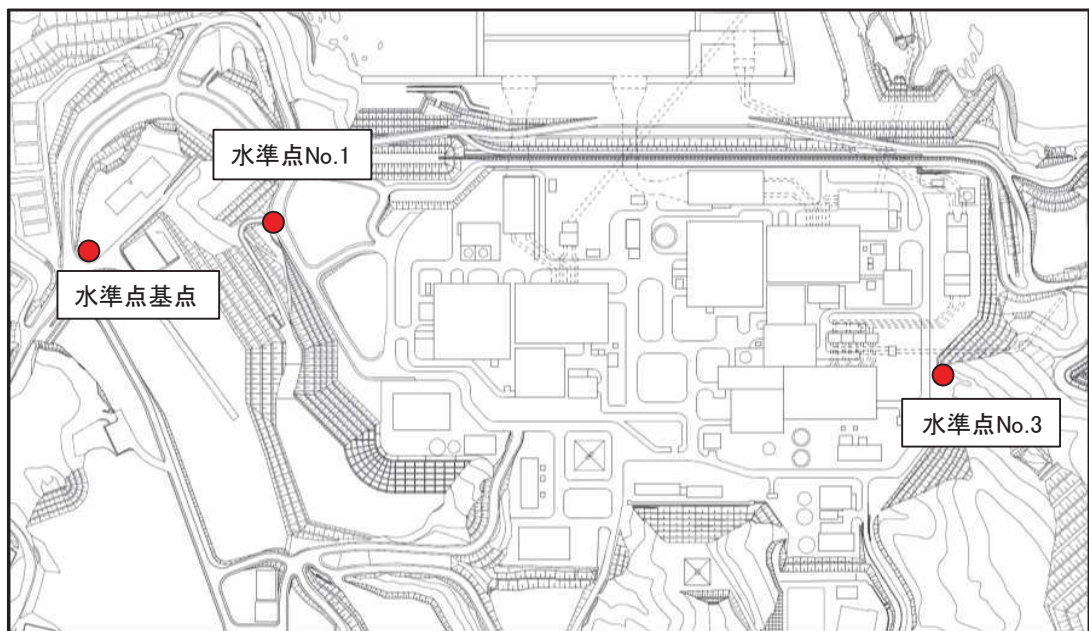


図1 水準測量実施位置図

表1 構内水準点標高の経年変化

測点	地震前(A) 平成 23 年 2 月	地震後(B) 平成 23 年 11 月	地震後(C) 平成 29 年 4 月	地盤変位量 (B)-(A)	地盤変位量 (C)-(A)
水準点 基点	O. P. +58. 226m (T. P. +57. 486m)	O. P. +57. 264m (T. P. +56. 524m)	O. P. +57. 572m (T. P. +56. 832m)	-0. 962m	0. 308m
水準点 No. 1	O. P. +27. 223m (T. P. +26. 483m)	O. P. +26. 252m (T. P. +25. 512m)	O. P. +26. 559m (T. P. +25. 819m)	-0. 971m	0. 307m
水準点 No. 3	O. P. +16. 088m (T. P. +15. 348m)	O. P. +15. 115m (T. P. +14. 375m)	O. P. +15. 424m (T. P. +14. 684m)	-0. 973m	0. 309m

1.3 港湾内の局所的な海面の励起について

基準津波策定位置を図 1.3-1 に、基準津波による発電所周辺における最大水位上昇量分布及び水位時刻歴波形の評価位置を図 1.3-2 に、基準津波策定位置、港口部及び港奥に位置する第 1 号機～第 3 号機取水口前面における水位時刻歴波形を図 1.3-3 及び図 1.3-4 に示す。

基準津波策定位置と港口部の水位時刻歴波形（図 1.3-3 及び図 1.3-4）の比較から、局所的な海面の固有振動による励起は生じていない。

発電所周辺の最大水位上昇量分布（図 1.3-2）から、沖側から敷地に近づくほど最大水位上昇量が大きくなる傾向があるが、港口部と港奥で最大水位上昇量の分布に大きな差異や偏りはなく、局所的な水位の高まりも見られない。

また、発電所周辺における各地点の水位時刻歴波形（図 1.3-4）の比較から、港口部に比べ港奥に位置する取水口前面の方が水位上昇量のピーク値が大きくなる傾向にあるものの、各評価地点により周期特性や時間経過に伴う減衰傾向に大きな差はなく、港湾内の海面の固有振動による局所的な励起は生じていない。

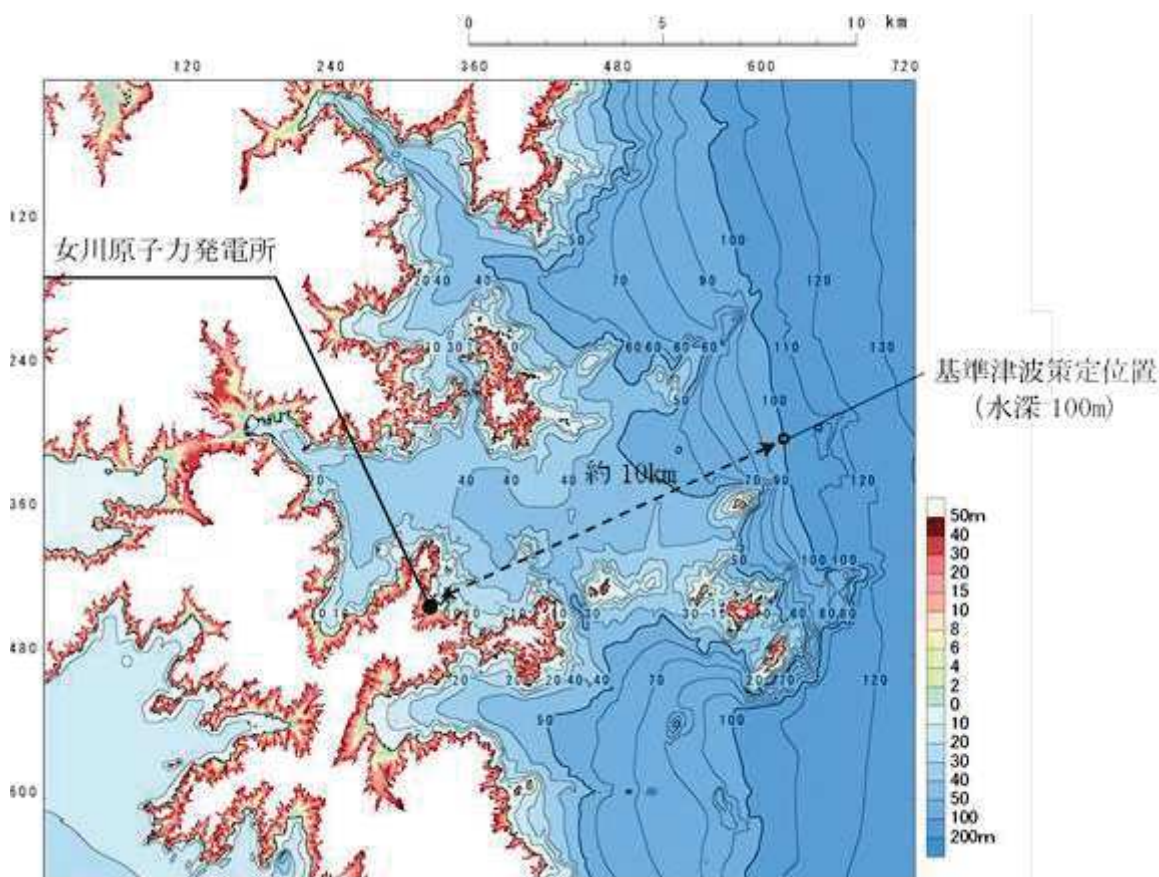


図 1.3-1 基準津波策定位置

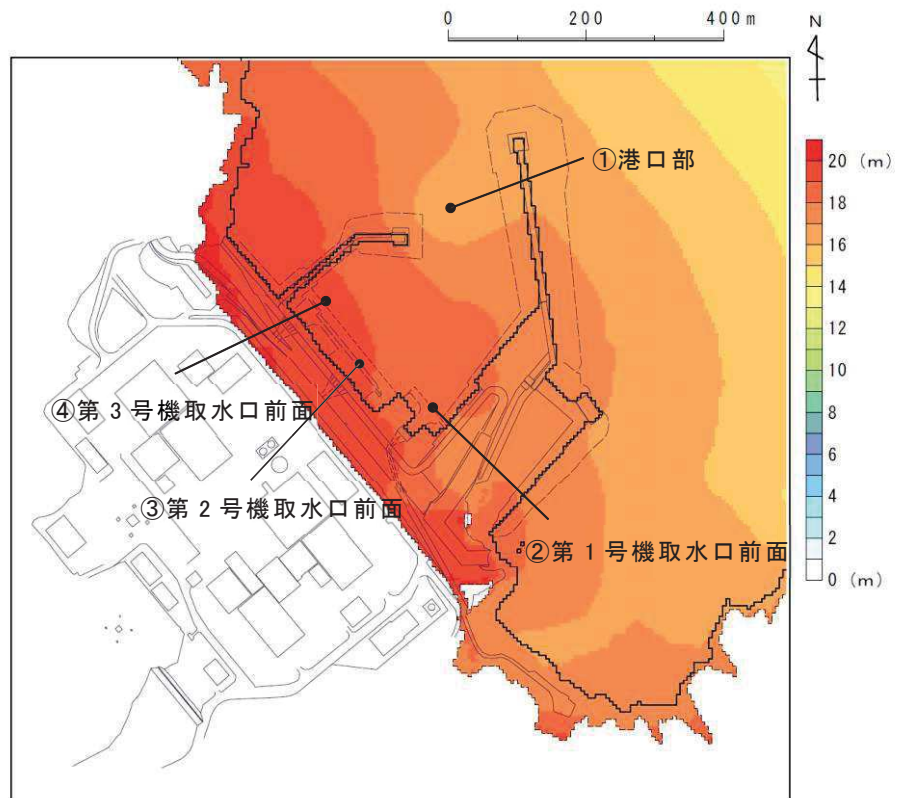


図 1.3-2 最大水位上昇量分布及び水位時刻歴波形評価位置
(基準津波 (水位上昇側))

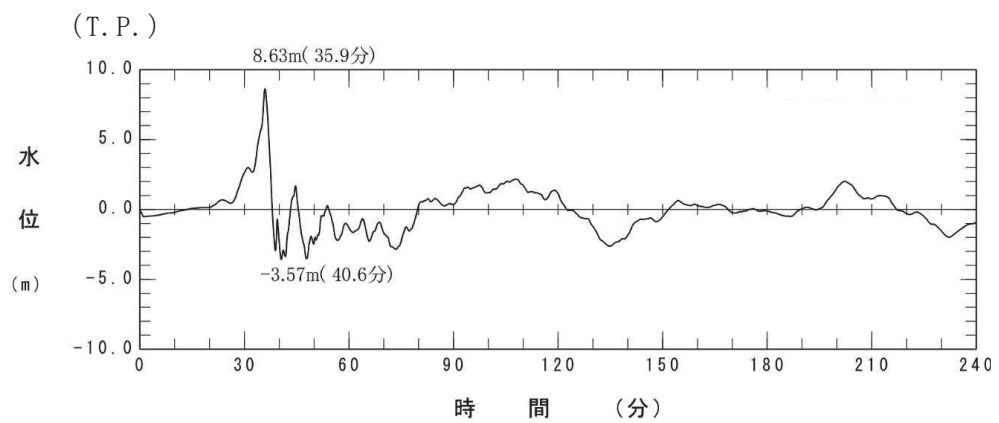


図 1.3-3 基準津波策定位置における水位時刻歴波形
(基準津波 (水位上昇側))

(T. P.)

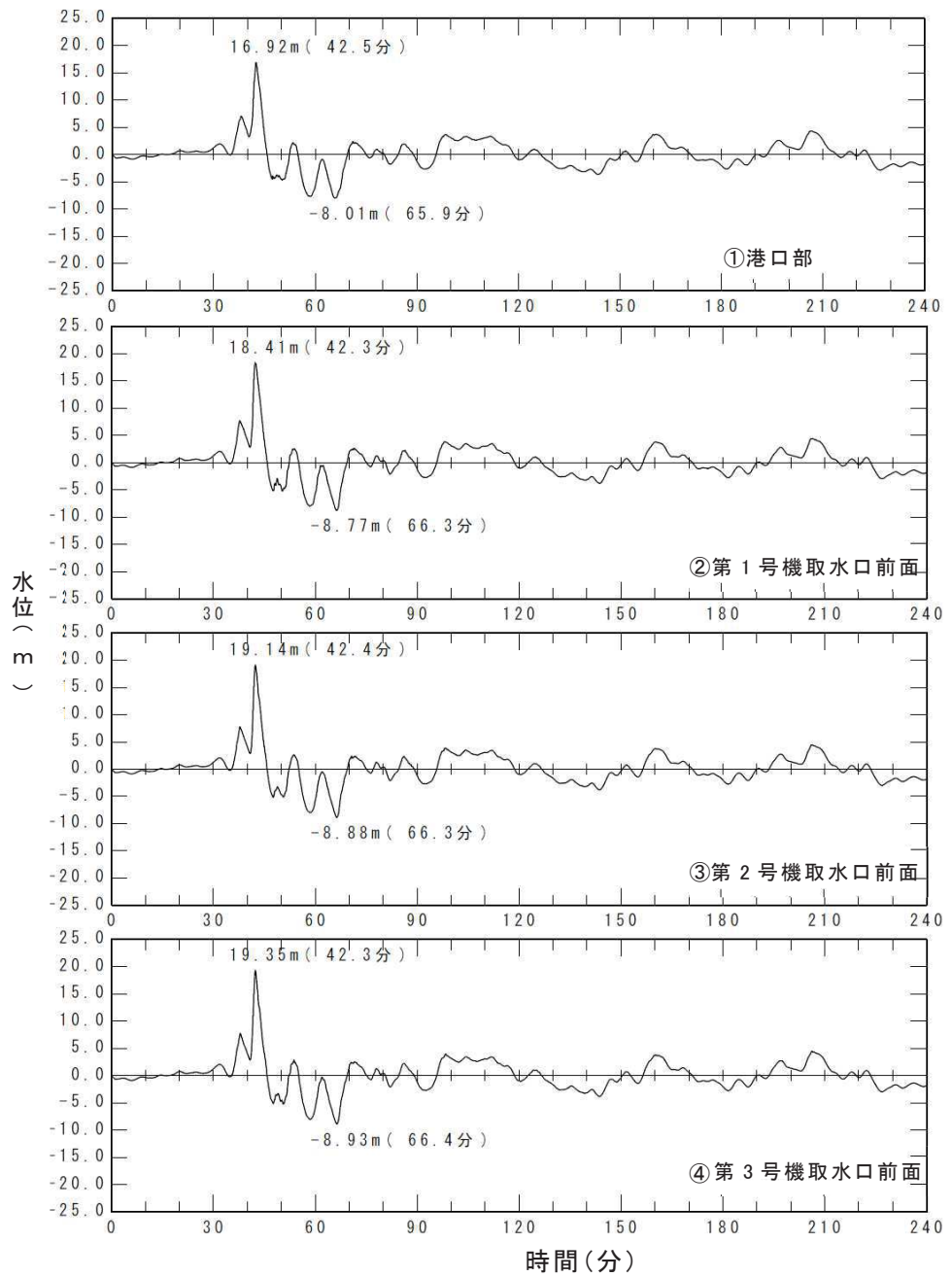


図 1.3-4 各評価地点における水位時刻歴波形
(基準津波 (水位上昇側))

1.4 管路解析モデルについて

1.4.1 はじめに

海洋から取水路及び放水路を経て各評価地点までの水路の水理特性を考慮した管路解析を実施した。女川原子力発電所の取水設備（取水口～取水路～海水ポンプ室）及び放水設備（放水口～放水路～放水立坑）の構造について図 1.4-1 に取放水路配置平面図，図 1.4-2 に各取放水路断面図，図 1.4-3 に各取放水路縦断面図を示す。

解析モデルについて，女川原子力発電所の各取放水路の流れは，各取放水設備の構造と基準津波による水位変動の関係から，開水路流れと管路流れ（満管状態）が共存する。この流れに適用可能な計算手法について，土木学会（2016）ではスロットモデルによる計算手法（例えば，大谷ほか（1998））を示していることから，同モデルが女川原子力発電所の各取放水設備に適用できることを確認した上で（詳細は 1.4.2（2）に記載），同モデルを採用した。また，入力波形について，水位上昇側の評価は基準津波（水位上昇側）を，水位下降側の評価は基準津波（水位下降側）を用いた。

なお，本章は，管路解析手法や解析条件等の詳細を補足するものであることから，防潮壁平面配置等の変更前の設備形状及び復旧・改修工事に伴う地形改変前の地形データを用いて説明する。

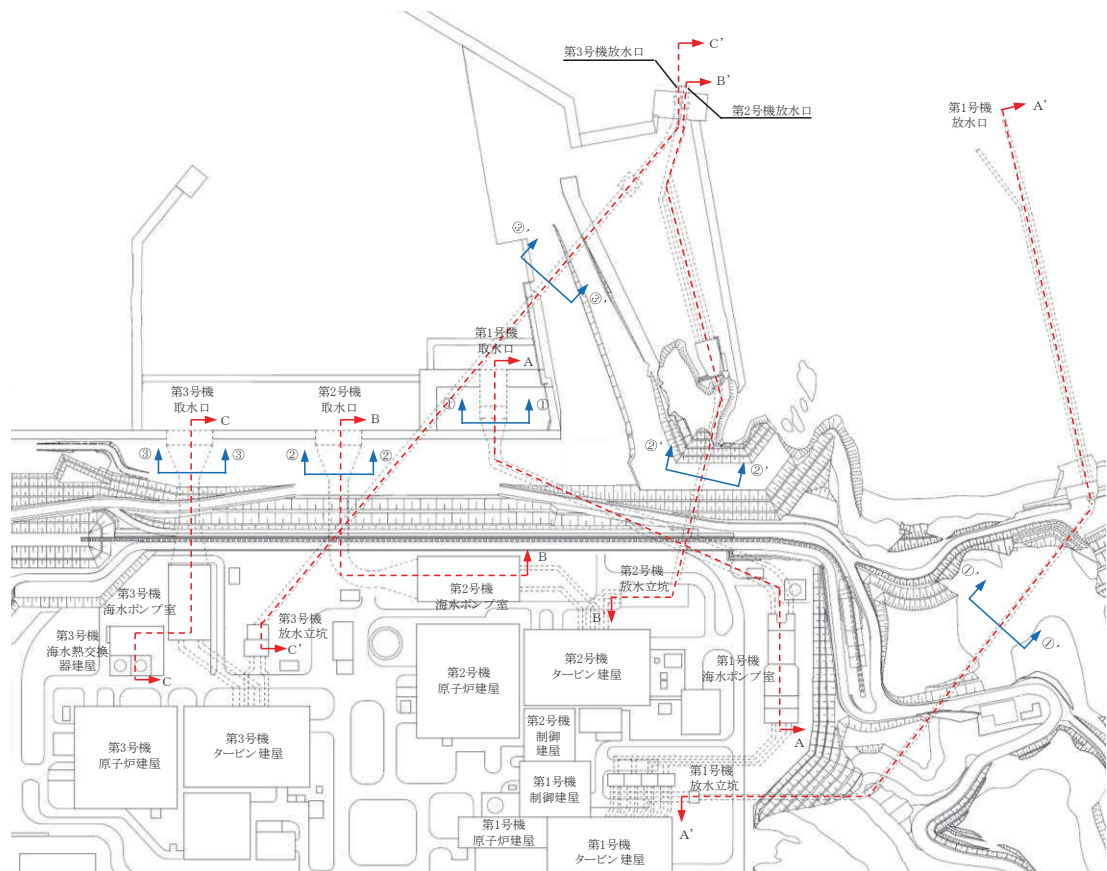


図 1.4-1 取放水路配置平面図

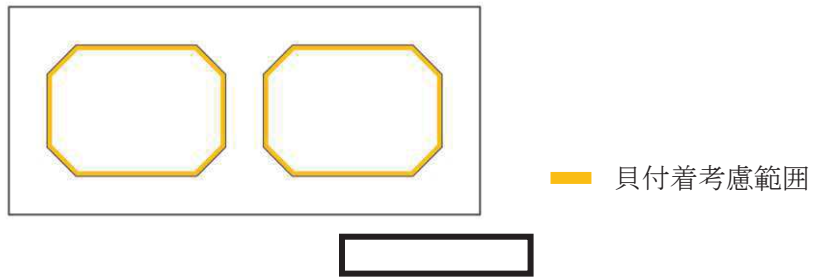


図 1.4-2 (1) 第 1 号機取水路 ①-①断面図

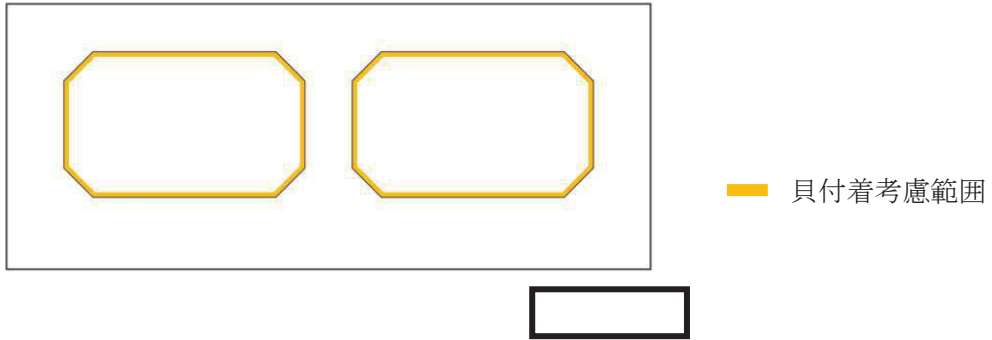


図 1.4-2 (2) 第 2 号機取水路 ②-②断面図

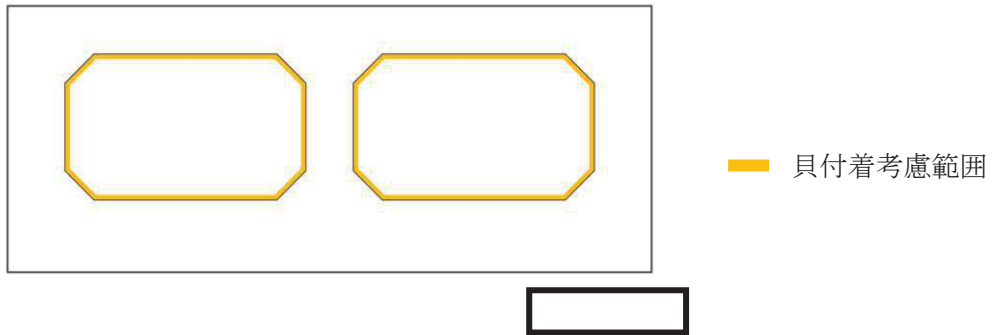


図 1.4-2 (3) 第 3 号機取水路 ③-③断面図

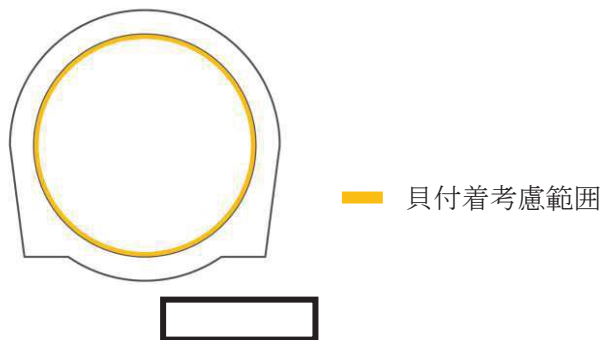


図 1.4-2 (4) 第 1 号機放水路 ①'-①' 断面図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

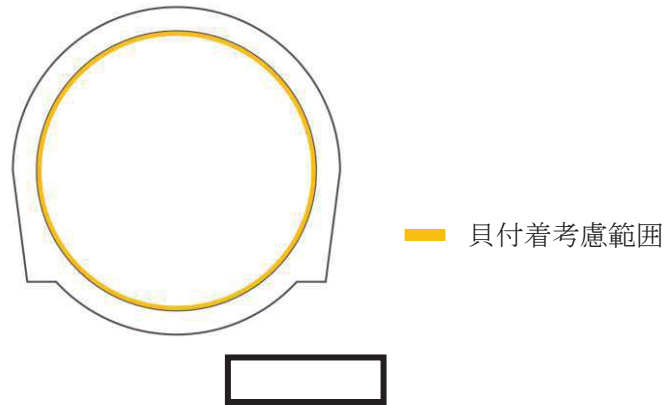


図 1.4-2 (5) 第 2 号機放水路 ②' -②' 断面図

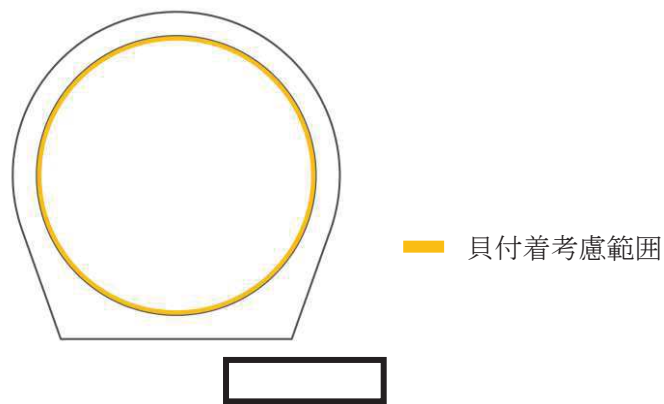


図 1.4-2 (6) 第 3 号機放水路 ③' -③' 断面図

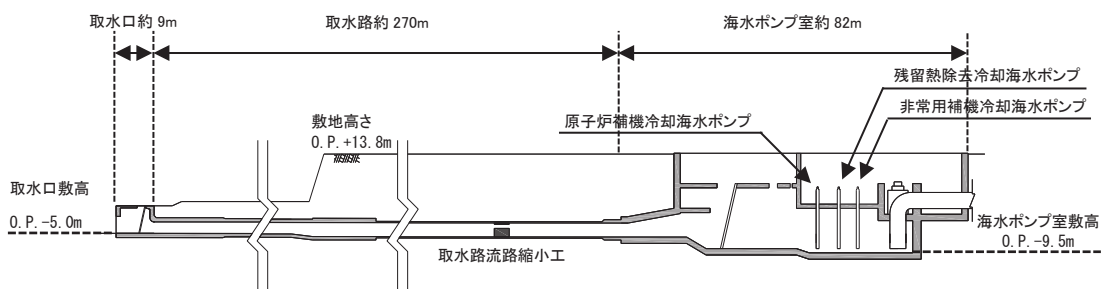


図 1.4-3 (1) 水路縦断面図 (第 1 号機取水路 A-A 断面図)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

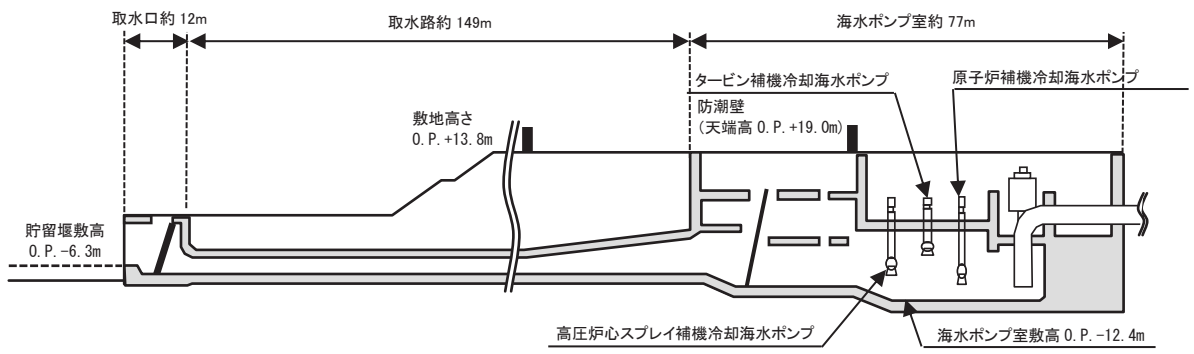


図 1.4-3 (2) 水路縦断面図 (第 2 号機取水路 B-B 断面図)

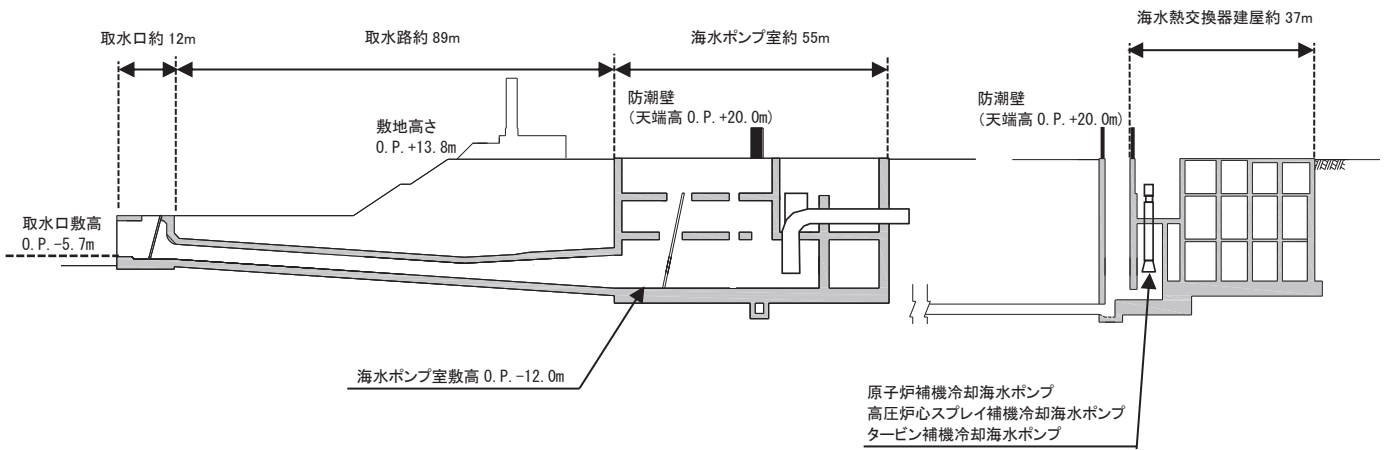


図 1.4-3 (3) 水路縦断面図 (第 3 号機取水路 C-C 断面図)

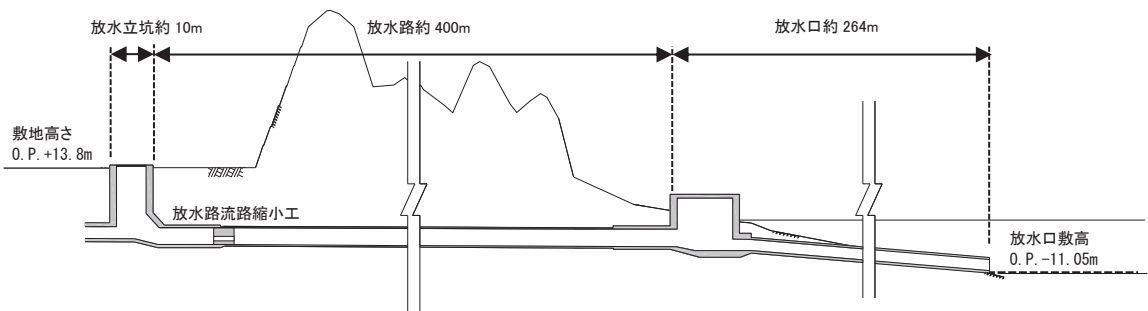


図 1.4-3 (4) 水路縦断面図 (第 1 号機放水路 A'-A' 断面図)

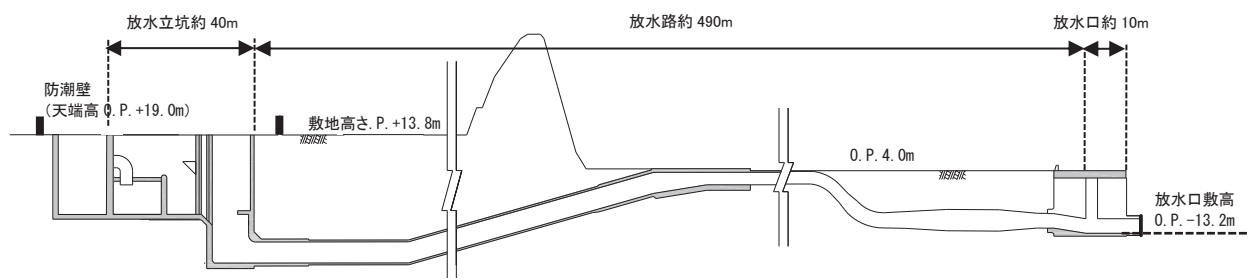


図 1. 4-3 (5) 水路縦断面図 (第 2 号機放水路 B' -B' 断面図)

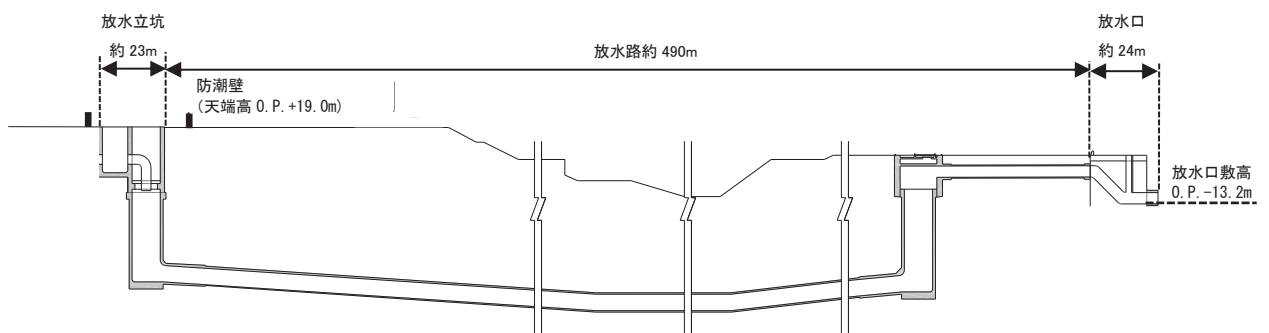


図 1. 4-3 (6) 水路縦断面図 (第 3 号機放水路 C' -C' 断面図)

1.4.2 管路解析手法について

(1) 基礎方程式について

開水路流れの基礎方程式は、土木学会（2016）に基づき以下の連続式及び運動方程式を用いた。なお、図 1.4-4 に円形断面及び矩形断面における各変数の取り扱いを示す。

a. 一次元開水路非定常流の連続式及び運動方程式

・運動方程式

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

・連続式

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

ここに、 $h > D$ の場合： $A = A_0 + B_s(h - D)$ 、 $B_s = \frac{gA_0}{c^2} h$

$h \leq D$ の場合： $A = \text{流水面積}$ （図 1.4-5）

A	: 流水面積 (m ²)	n	: マニングの粗度係数 (m ^{-1/3} s)
A_0	: 管断面積 (m ²)	ΔL	: 局所損失区間の長さ (m)
B_s	: 仮想スロット幅 (m)	x	: 底面に沿った座標 (m)
H	: 水位 (ピエゾ水頭) (m)	Q	: 流量 (m ³ /s)
c	: 圧力伝播速度 (m/s)	g	: 重力加速度 (m/s ²)
	(=100m/s (土木学会 (2016)))		
t	: 時間 (s)	R	: 径深* (m)
v	: 流速 (m/s)	f	: 局所損失係数
h	: 水深 (圧力水頭 (m))	D	: 水路高 (m)

* : 管路 (満水) 状態と開水路状態における径深の算出方法は以下のとおり。また、径深の算定にあたっての流水面積及び潤辺 (水と水路壁面とが接する周辺の長さ) の取り扱いを図 1.4-5 に示す。

- ・管路 (満水) 状態における径深 R (m) = 流水面積 A (= A_0) (m²) ÷ 潤辺 S (m)
- ・開水路状態における径深 R (m) = 流水面積 A (m²) ÷ 潤辺 S (m)

b. 海水ポンプ室、放水立坑の連続式

$$A_H \frac{dH_P}{dt} = Q_N - Q_P$$

ここに、	H_P	: 水位 (m)	Q_N	: 流入流量 (m ³ /s)
	A_H	: 水面面積 (m ²)	Q_P	: ポンプ流量 (m ³ /s)
				(取水側: +, 放水側: -)

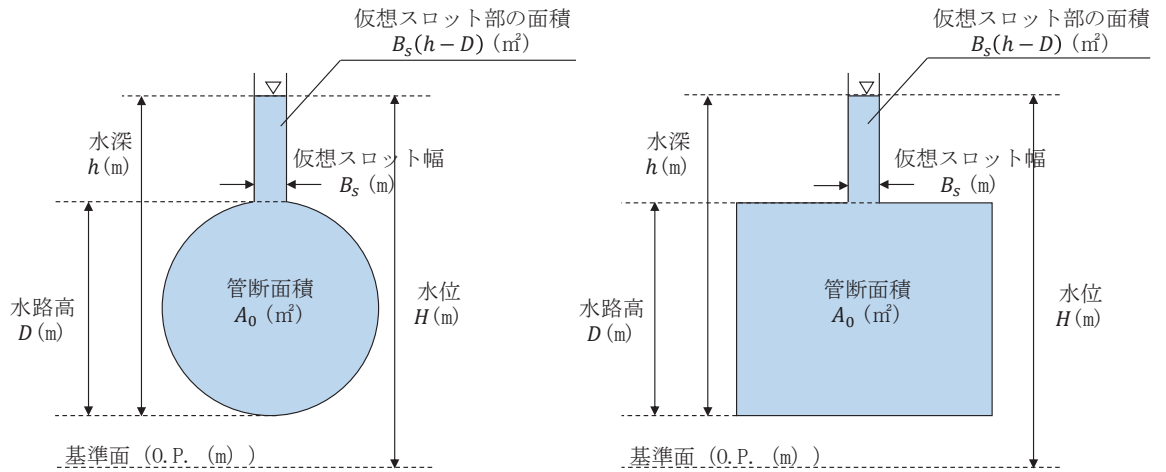
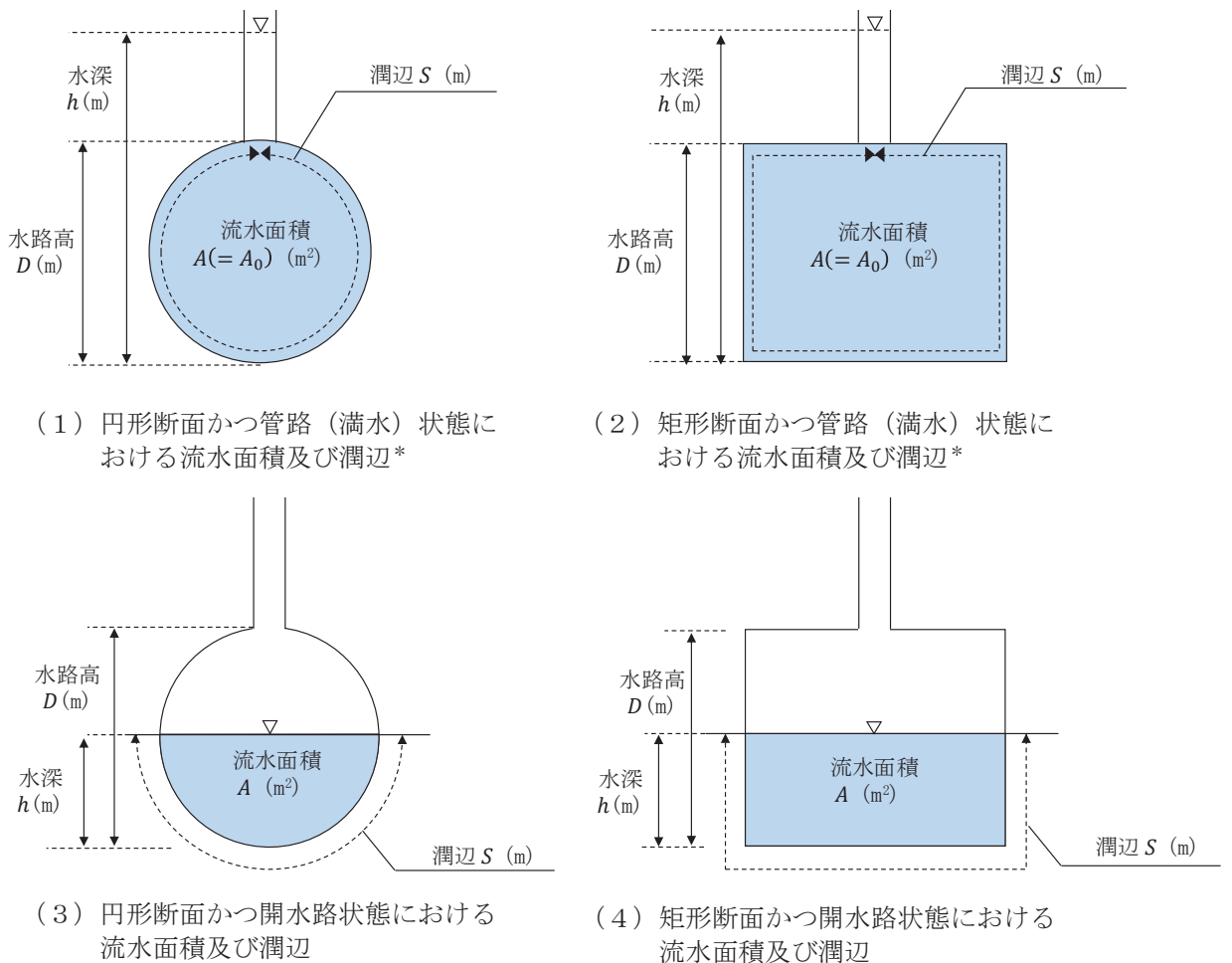


図 1.4-4 各変数の取り扱い（左：円形断面，右：矩形断面）

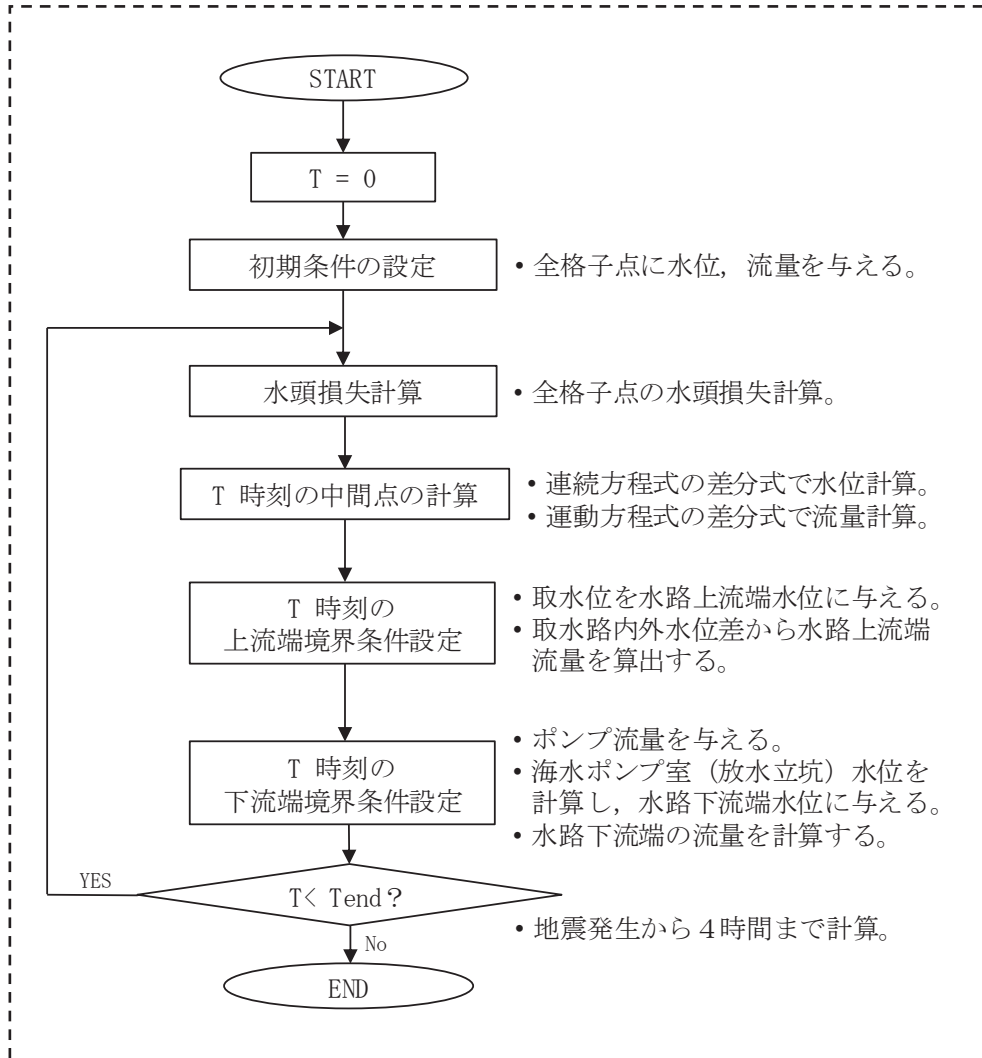


*：摩擦損失を安全側に算定するため、潤辺の算定にあたってはスロット部を計上しない。

図 1.4-5 各断面における流水面積及び潤辺の算定方法

c. 解析フローチャートについて

以下の解析フローチャートに基づき解析を実施した。



(2) スロットモデルの適用妥当性について

各取放水路内の流れは、各取放水設備の構造と基準津波による水位変動の関係から、開水路流れと管路流れ（満管状態）が共存するためスロットモデルを適用している。津波襲来時における管路状態の概念図を図 1.4-6 に示す。スロットモデルは管の上部に仮想スロットを設定することにより、管路区間も開水路流れとして取り扱うモデル（全区間で開水路の一次元不定流の式を適用するモデル）であり、水理模型実験との比較からその適用性が検証されている（例えば、大谷ほか（1998））。なお、スロットモデルは先行サイト（高浜発電所 1～4 号炉，大飯発電所 3・4 号炉，美浜発電所 3 号炉）の審査においても適用実績がある。

ここでは、各取放水設備に、スロットモデルを適用することの妥当性を確認するため、大谷ほか（1998）による水理模型実験と計算値の比較内容をレビューするとともに、各取放水設備を対象とした管路流れの一次元不定流解析を実施した。

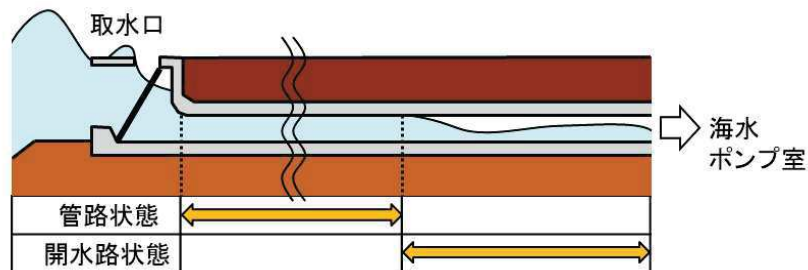


図 1.4-6 津波襲来時の管路状態の概念図

a. 各取放水路内の流れについて（第2号機取水路の例）

基準津波（水位上昇側）による第2号機取水口前面における水位時刻歴波形を図1.4-7に、また管路解析による地震発生後①55分頃、②57分頃、③58分頃の水路状態を図1.4-8、表1.4-1に示す。

取水口前面の津波水位が取水路天端を上回る時刻と下回る時刻が混在することにより、取水路内は管路流れ（満管状態）と開水路流れが共存していることを確認した。

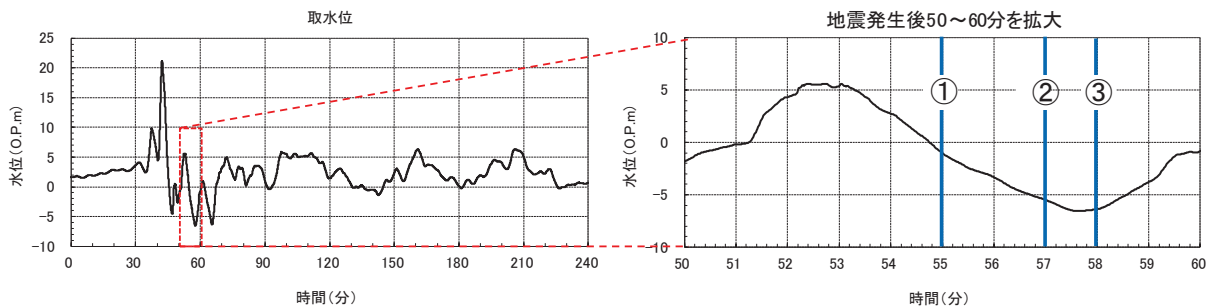


図1.4-7 基準津波（水位上昇側）による第2号機取水口前面時刻歴波形

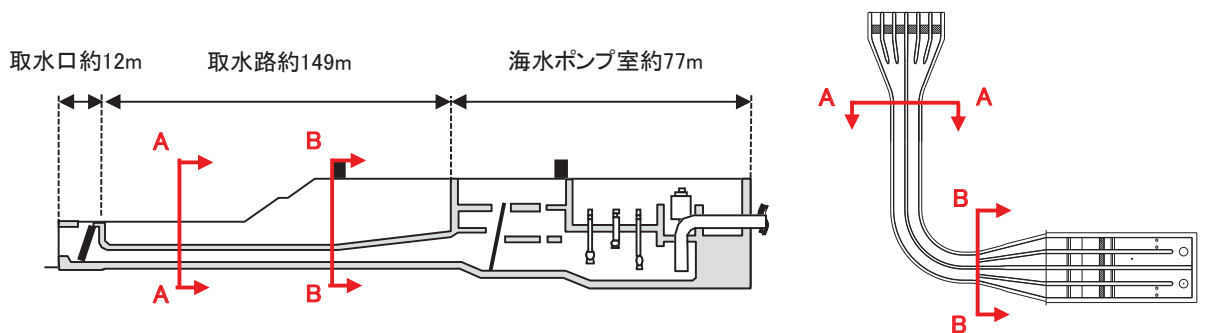


図1.4-8 (1) 第2号機取水設備縦断面図

図1.4-8 (2) 第2号機取水設備平面図

表1.4-1 第2号機取水路内の水位変化

	時刻①(55分頃)	時刻②(57分頃)	時刻③(58分頃)
A-A断面			
B-B断面			

b. スロットモデルに関する既往知見（大谷ほか（1998））のレビュー

スロットモデルの適用妥当性を確認するため、大谷ほか（1998）による水理模型実験結果とスロットモデルによる計算値の比較内容についてレビューを行った。

スロットモデルは、開水路流れと管路流れ（満管状態）が共存する流れ場を良好に再現しており、管路区間にスロットモデルを適用することは妥当であることを確認した。

【大谷ほか（1998）要約】

- ・ 図 1.4-9 に示す水路模型の上流側に配置したバルブの開閉により水路内に段波を発生させ、その伝播の様子を水位計（A部：開水路区間）、圧力計（B部、C部：管路区間）により計測。
- ・ 図 1.4-10 に水理模型実験とスロットモデルを用いた計算結果の比較を示す。①②③は、バルブ閉による段波の伝播の様子を時系列で示したもの。④は、管路区間 B部に設置したピット 2 水位最大時の水面形状を示したもの。
- ・ 各時系列における計算値は、管路区間を含めた水路全体の段波の伝播の様子を良好に再現していることを確認した。なお、スロットモデルを用いた計算ではピット 2 での噴出の高さが過大となっているが、計算ではピット内の鉛直方向の速度水頭及びエネルギー損失水頭を考慮していないことが要因である*。

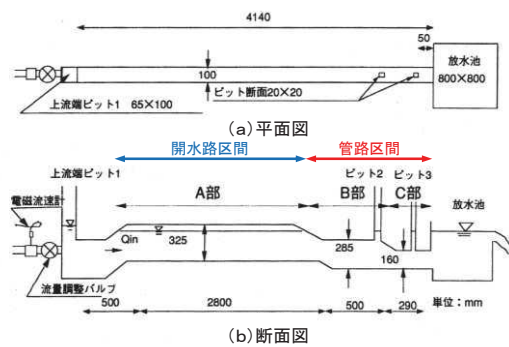


図 1.4-9 水理模型実験の概要

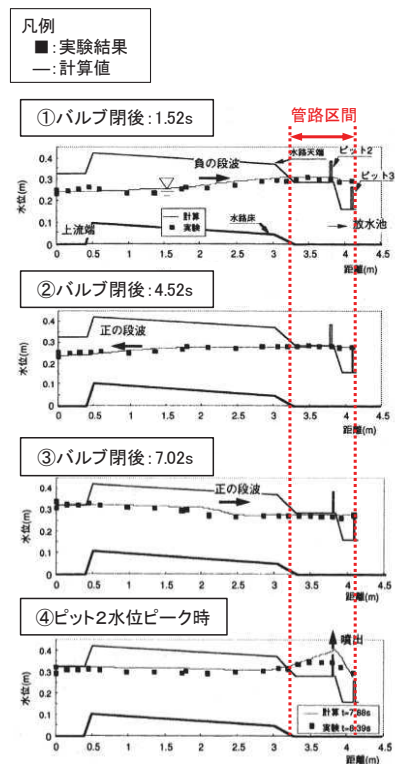


図 1.4-10 水理模型実験結果と計算値の比較

*：ピット 2 の鉛直方向の水位変動について、スロットモデルを用いた計算では鉛直方向の速度水頭とエネルギー損失を考慮していないため、水理模型実験よりも高い水位が生じた。

c. スロットモデルの適用妥当性について

管路解析において、管路区間にスロットモデルを適用することの妥当性を確認するため、全区間管路状態となる範囲（地震発生後、最高水位が含まれる 45 分まで）について各取水設備の入力津波決定ケースを対象に、管路流れ（管路モデル）の一次元不定流解析を実施し、スロットモデルによる解析結果と比較した。主な解析条件を表 1.4-2 に、解析結果を表 1.4-3 に示す。

検討の結果、管路モデルの解析結果に対し、スロットモデルの解析結果の方が若干水位が高くなっているが、両者に有意な差はなく、管路区間にスロットモデルを適用することは妥当であることを確認した。

表 1.4-2 主な解析条件

項目	解析条件
検討対象津波	基準津波（水位上昇側）
地震による地形変化	防波堤：あり（第 1 号機）、なし（第 2・3 号機） 護岸付近の敷地の沈下：1 m 沈下
潮位条件	朔望平均満潮位：0. P. +1. 43m 潮位のばらつき：+0. 16m
地殻変動	沈降を考慮（+0. 72m）
管路状態	貝付着：なし スクリーン損失：なし

表 1.4-3 解析結果の比較

取水設備 （海水ポンプ室）	取水口前面 の最高水位	管路モデル （A）	スロットモデル （B）	(B) - (A)
第 1 号機	0. P. +20. 66m	0. P. +10. 34m	0. P. +10. 38m	+0. 04m
第 2 号機	0. P. +21. 12m	0. P. +18. 05m	0. P. +18. 06m	+0. 01m
第 3 号機	0. P. +21. 65m	0. P. +18. 90m	0. P. +18. 95m	+0. 05m

1.4.3 解析条件について

(1) 管路解析で考慮する不確かさについて

管路解析を行う上での不確かさの考慮として、表 1.4-4 に示す各項目についてパラメータスタディを実施し、入力津波の選定及び津波水位への影響を確認した。

表 1.4-4 管路解析で考慮する不確かさ

	内容
1	貝付着の有無* ¹
2	スクリーン損失の有無* ²

*1：各放水路は、1系統のみであるとともに水深が深いこと等から抜水点検できない構造となっており、清掃は行わない。また、清掃可能な箇所である放水立坑について「貝付着なし」とすると、津波溢水に対する容量が大きくなり、水位低減に寄与することから「貝付着あり」を基本条件とする。

*2：第2号機補機放水路は、基準津波時に逆流防止設備により遮断されるため、補機冷却系海水ポンプ流量が水位に与える影響はない。

(2) 解析条件について

a. 解析条件について

管路解析の解析条件を表 1.4-5 に示す。

表 1.4-5 管路解析の解析条件（津波時）

計算領域	取水路：取水口～海水ポンプ室（第 1， 2 号機） 取水口～海水ポンプ室～海水熱交換器建屋（第 3 号機） 放水路：放水口～放水立坑
計算時間間隔 Δt	0.0001 秒
潮位のばらつき	+0.16m（上昇側）， -0.10m（下降側）
地殻変動	地盤沈下量（+0.72m）を考慮（上昇側）， 保守的に考慮しない（下降側）
取水条件	ポンプ稼動条件* 第 1 号機：補機冷却系海水ポンプ通常運転（1 台運転）：1,920m ³ /hr 第 2 号機：補機冷却系海水ポンプ通常運転（4 台運転）：8,300m ³ /hr 第 3 号機：補機冷却系海水ポンプ通常運転（4 台運転）：7,800m ³ /hr ポンプ切り替え条件 第 1 号機：海水ポンプ室水位 O.P. -1.43m 以下で停止（0m ³ /hr） 第 2 号機：海水ポンプ室水位 O.P. -1.98m 以下で 2 台運転（3,800m ³ /hr）に切替え 第 3 号機：海水ポンプ室水位 O.P. -2.125m 以下で 2 台運転（3,800m ³ /hr）に切替え
放水条件 （ポンプ流量）	第 1， 3 号機：補機冷却系海水ポンプ流量がそのまま放水されるものとして設定 第 2 号機：0m ³ /hr（補機放水経路途中にフラップゲートが設置されていることから，0m ³ /hr とする。）
摩擦損失係数 （マンニングの粗度係数）	n=0.015m ^{-1/3} s（貝付着なし） n=0.018m ^{-1/3} s（貝付着あり）
貝の付着代	取水路：10cm（第 1 号機）， 15cm（第 2， 3 号機） 放水路：10cm（第 1， 2， 3 号機）
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 千秋信一（1967）：発電水力演習 土木学会（1999）：土木学会水理公式集（平成 11 年版）
基準津波	基準津波（水位上昇側） 基準津波（水位下降側）
考慮する潮位	上昇側：朔望平均満潮位（O.P. +1.43m） 下降側：朔望平均干潮位（O.P. -0.14m）
計算時間	地震発生から 4 時間

*：津波襲来時には CWP は停止していることから，補機冷却系海水ポンプの運転のみ考慮する。

b. 上流側境界条件について

土木学会（2016）では、「津波による取水設備および放水設備の水位変動の計算方法は、取水口または放水口での計算津波波形を水位境界条件として行うのが一般的である。」としている（図 1.4-11）。

また、佐藤ほか（2017）は、発電所に津波が襲来した際の取放水路等を介した敷地内への溢水量評価について、一次元管路モデルを適用することの妥当性の検証を目的に、水理模型実験結果との比較を行っている。その際、上流側の境界条件として外海の水位変動を与えており、良好な再現性を得ている（図 1.4-12）。

以上から、取放水口前面における入力津波波形を管路解析の上流側境界条件とし、接近流速は考慮しない。

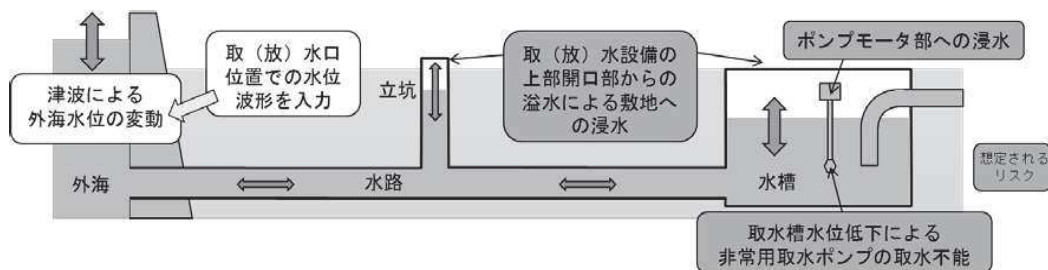


図 1.4-11 管路解析の概要図（土木学会（2016））

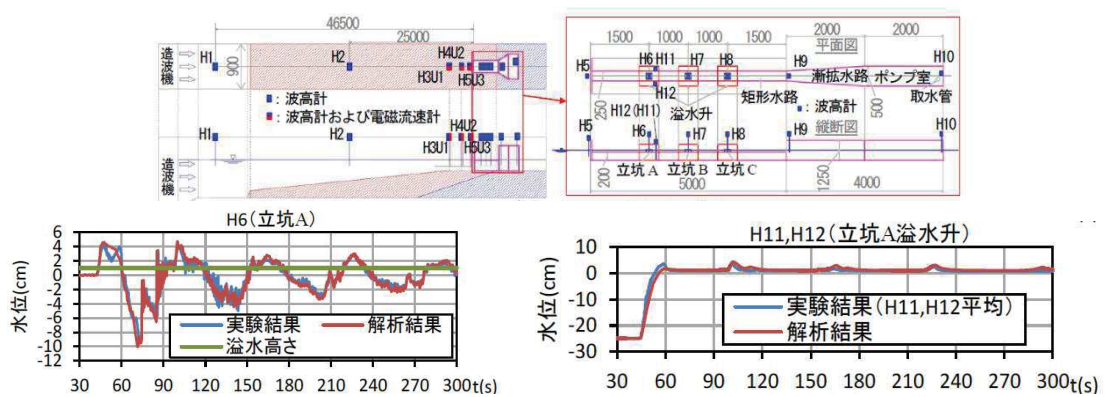


図 1.4-12 佐藤ほか（2017）の水理模型実験装置及び解析結果と実験結果との比較

1.4.4 摩擦損失及び局所損失について

(1) 各取放水設備の解析モデルに用いた摩擦損失及び局所損失について

表 1.4-6 及び図 1.4-13 に各取放水設備の解析モデルに用いた各損失を示す。また、表 1.4-7～11 及び図 1.4-14～17 に各取放水設備の損失水頭表の整理結果を示す。

表 1.4-6 損失水頭算定公式

	公式	係数	根拠
流入損失	$h_e = f_e \frac{V_2^2}{2g}$	f_e : 流入損失係数 V_2 : 流入後の流速 (m/s)	千秋信一 (1967), p81~82
流出損失	$h_o = f_o \frac{V^2}{2g}$	f_o : 流出損失係数 (=1.0) V : 流出前の流速 (m/s)	土木学会 (1999), p.375
摩擦損失	$h_f = n^2 \cdot V^2 \frac{L}{R^{4/3}}$	V : 平均流速 (m/s) L : 水路の長さ (m) R : 水路の径深 (m) n : 粗度係数 ($m^{-1/3} \cdot s$)	電力土木技術協会 (1995), p.788, p.829
急拡損失	$h_{se} = f_{se} \frac{V_1^2}{2g}$	f_{se} : 急拡損失係数 V_1 : 急拡前の流速 (m/s)	千秋信一 (1967), p.82
急縮損失	$h_{sc} = f_{sc} \frac{V_2^2}{2g}$	f_{sc} : 急縮損失係数 V_2 : 急縮後の流速 (m/s)	千秋信一 (1967), p82~83
漸拡損失	$h_{ge} = f_{ge} f_{se} \frac{V_1^2}{2g}$	f_{ge} : 漸拡損失係数 f_{se} : 急拡損失係数 V_1 : 漸拡前の流速 (m/s)	千秋信一 (1967), p.83
漸縮損失	$h_{gc} = f_{gc} \frac{V_2^2}{2g}$	f_{gc} : 漸縮損失係数 V_2 : 漸縮後の流速 (m/s)	千秋信一 (1967), p83~84
屈折損失	$h_{be} = f_{be} \frac{V^2}{2g}$ $f_{be} = 0.946 \sin^2 \frac{\alpha}{2} + 2.05 \sin^4 \frac{\alpha}{2}$	f_{be} : 屈折損失係数 V : 管内平均流速 (m/s) α : 屈折角 (°)	千秋信一 (1967), p.88
曲がり損失	$h_b = f_{b1} \times f_{b2} \times \frac{V^2}{2g}$	f_{b1} : 曲がりの曲率半径 ρ と管径 D との比によって決まる損失係数 ただし, 曲がりの中心角が 90° の場合 f_{b2} : 任意の曲がり中心角 θ の場合の損失と 中心角が 90° の場合の損失との比 V : 管内平均流速 (m/s)	千秋信一 (1967), p86~88
バースクリーン損失	$h_{r1} = f_{r1} \frac{V_1^2}{2g}$	f_{r1} : スクリーン損失係数 V_1 : スクリーン上流側での平均流速 (m/s)	千秋信一 (1967), p94~96
トラベリングスクリーン損失	$h_{r2} = f_{r2} \frac{V_1^2}{2g}$	f_{r2} : スクリーン損失係数 V_1 : スクリーン上流側での平均流速 (m/s)	電力土木技術協会 (1995), p.832
狭窄部	$k = \frac{ v_p v_p}{2g}$ $= \frac{1}{2g(C_d F_p)^2} fv - Q (fv - Q)$	v_p : 制水口通過流速 (m/s) F_p : 制水口の面積 (m^2) C_d : 制水口の流量係数 f : 圧力水路内の断面積 (m^2) v : 圧力水路内の流速 (m/s) Q : 水車使用水量 (m^3/s)	千秋信一 (1967), p290~293

注：引用文献を以下に示す

- ・ 土木学会 (1999) : 土木学会水理公式集 (平成 11 年版)
- ・ 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
- ・ 千秋信一 (1967) : 発電水力演習

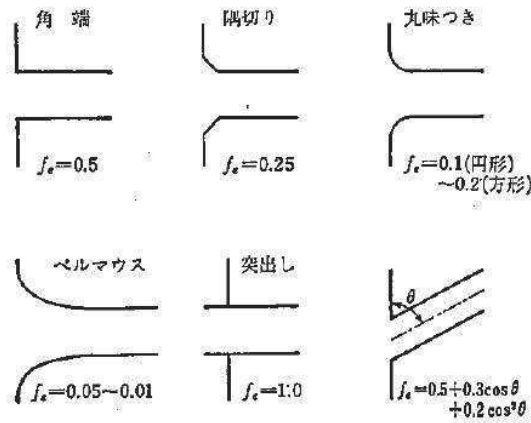


図 1.4-13 流入口形状と流入損失係数 (千秋信一 (1967), p81~82)

表 1.4-7 取水路の貝等の付着代と粗度係数
(電力土木技術協会 (1995), p. 788)

取水路の形式	断面流速	貝等の付着代	粗度係数
暗渠	0.8~2.2m/s	0~20cm (0, 5, 10cmが多い)	0.014~0.027 (0.015, 0.020が多い)
管路	2.0~3.6m/s	0~10cm	0.015~0.018

表 1.4-8 急拡損失係数 (千秋信一 (1967), p. 82)

D_1/D_2	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	(1.0)
f_{se}	1.00	0.98	0.92	0.82	0.70	0.56	0.41	0.26	0.13	0.04	(0)

D_1 : 急拡前の管径(m), D_2 : 急拡後の管径(m)

表 1.4-9 急縮損失係数 (千秋信一 (1967), p82~83)

D_2/D_1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	(1.0)
f_{sc}	0.50	0.50	0.49	0.49	0.46	0.43	0.38	0.29	0.18	0.07	(0)

D_1 : 急縮前の管径(m), D_2 : 急縮後の管径(m)

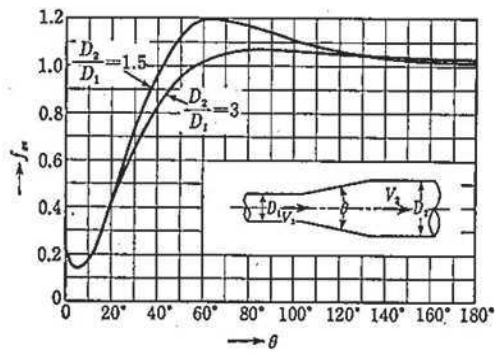


図 1.4-14 漸拡損失係数 (千秋信一 (1967), p. 83) *

D_1, D_2 : 漸拡前後の管径(m), V_1, V_2 : 漸拡前後の平均流速(m/s), θ : 漸拡部の開き

(* : 本施設では矩形断面管の漸拡に上記の図による値を適用する。矩形断面と同様の断面積を持つ円管を仮定して, 半径 D_1, D_2 を算出した。)

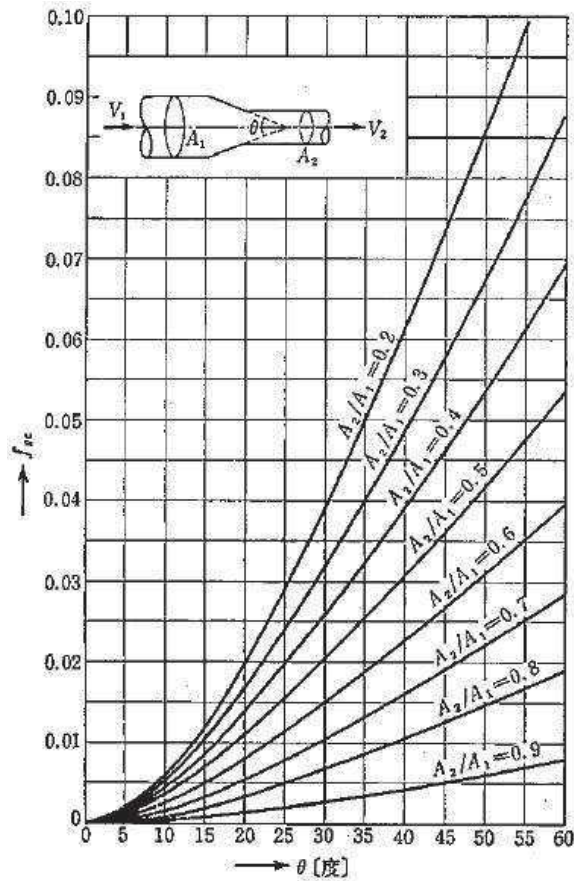


図 1.4-15 漸縮損失係数 (千秋信一 (1967), p83~84) *

A_1, A_2 : 漸縮前後の管断面積(m²), V_1, V_2 : 漸縮前後の平均流速(m/s), θ : 漸縮部の開き

(* : 本施設では矩形断面管の漸縮に上記の図による値を適用する。矩形断面と同様の断面積を持つ円管を仮定して, 管断面積 A_1, A_2 を算出した。)

表 1.4-10 屈折損失係数 (千秋信一 (1967), p. 88)

α°	15	30	45	60	90	120
f_{bc}	0.022	0.073	0.183	0.365	0.99	1.86

α : 屈折角

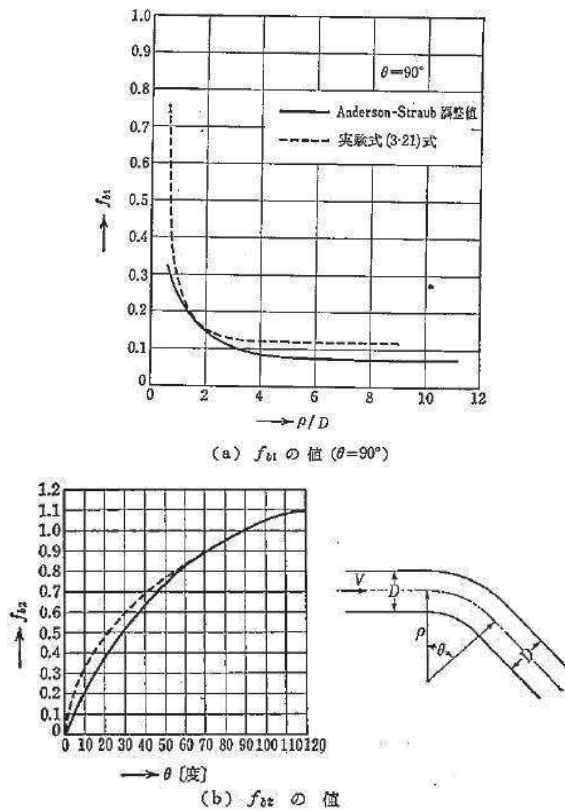


図 1.4-16 曲がりの損失係数 (千秋信一 (1967), p86~88)

f_{b1} : 曲がりの曲率半径 ρ と管径 D との比によって決まる損失係数。ただし、曲がりの中心角が 90° の場合

f_{b2} : 任意の曲がり中心角 θ の場合の損失と中心角が 90° の場合の損失との比

表 1.4-11 (1) 取水路の損失水頭表

(第1号機取水路, スクリーンによる損失あり, 補機冷却系海水ポンプ通常運転: 1,920m³/hr)

区分	損失番号・名称	局所損失発生位置 (m)	局所損失係数等 (貝代なし/貝代あり)	断面積 (貝代なし) (m ²)	定常時流速 (貝代なし) (m/s)	定常時損失水頭 (貝代なし) (m)
取水口	①ピアー	0.00	0.920	57.000	0.005	0.000
	②バースクリーン	0.00	0.059	52.000	0.005	0.000
取水路	③流入	0.00	0.500	24.392	0.011	0.000
	④漸縮	0.00~16.00	0.003	10.028	0.027	0.000
	⑤曲がり	20.51~44.25	0.143/0.132	10.028	0.027	1.E-05
	⑥急縮	245.05	0.489 (貝代なし)	0.789	0.338	3.E-03
	⑦急拡	248.55	0.825 (貝代なし)	0.789	0.338	5.E-03
	⑧曲がり	252.49~270.29	0.160/0.144	8.587	0.031	1.E-05
	⑨流出	282.55	1.000	8.587	0.031	5.E-05
	⑩摩擦	0.00~282.55	0.015/0.018	—*	—*	6.E-04
海水ポンプ室	⑪トラベリングスクリーン	282.55	1.030 (前面)	17.391	0.008	0.000
			1.100 (背面)	17.391	0.008	0.000

* : 水路内で断面積及び流速が変化することから整理上「—」としている。

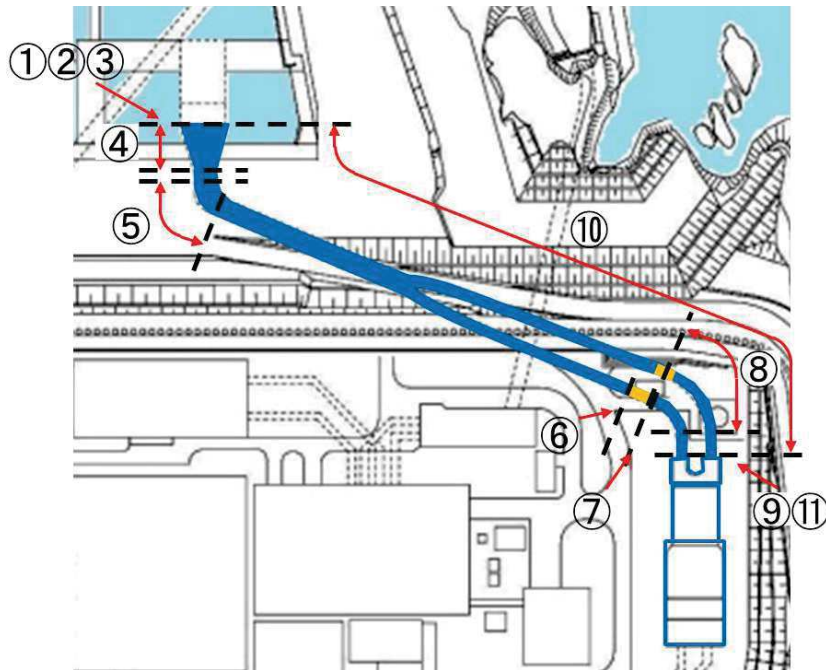


図 1.4-17 (1) 損失発生位置 (平面図)

表 1.4-11 (2) 取水路の損失水頭表 (第2号機取水路, スクリーンによる損失あり, 循環水ポンプ通常運転: 199,440m³/hr + 補機冷却系海水ポンプ通常運転: 8,300m³/hr)

区分	損失番号・名称	局所損失発生位置 (m)	局所損失係数等 (貝代なし/貝代あり)	断面積 (貝代なし) (m ²)	定常時流速 (貝代なし) (m/s)	定常時損失水頭 (貝代なし) (m)
取水口	①ピア-	0.00	0.920	128.700	0.224	3.E-03
	②バースクリーン	0.00	0.052	108.720	0.265	2.E-04
取水路	③流入	0.00	0.500	36.212	0.797	2.E-02
	④漸縮	0.00~24.50	0.002	15.086	1.913	4.E-04
	⑤曲がり	73.57~112.84	0.195/0.166	15.086	1.913	4.E-02
	⑥漸拡	118.19~148.19	0.112/0.116	15.085	1.913	2.E-02
	⑦流出	148.19	1.000	70.959	0.407	8.E-03
	⑧摩擦	0.00~148.19	0.015/0.018	-*1	-*1	1.E-01
海水ポンプ室	⑨トラベリングスクリーン	148.19	1.030 (前面)	25.713	0.561	2.E-02
			1.100 (背面)	25.671	0.562	2.E-02
	⑩狭窄	148.19	1.000	-*2	-*2	-*2

* 1 : 断面積及び流速が水路内で変化することから整理上「-」としている。

* 2 : 津波水位が海水ポンプ室フロア狭窄位置 (O.P. +6.87m) に達した際に生じる損失であり, 定常時は同水位に達しない。

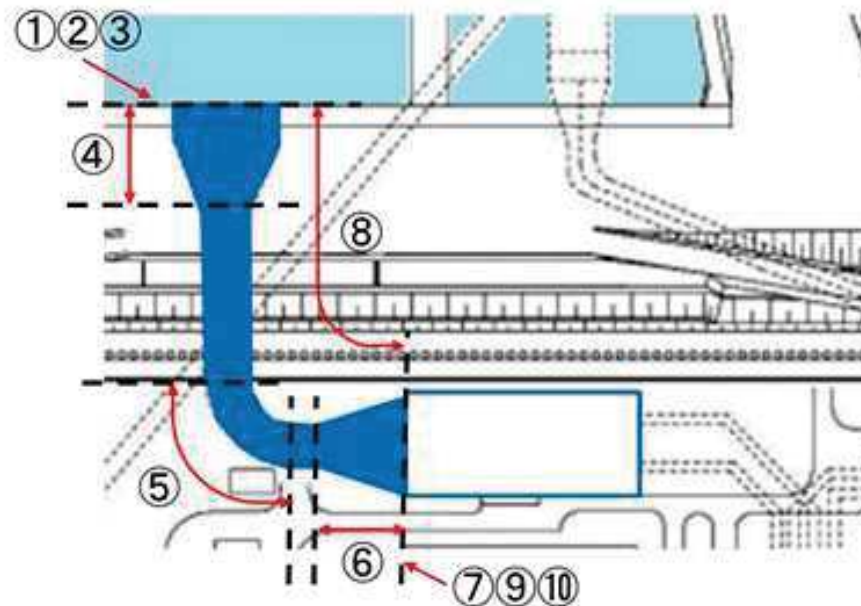


図 1.4-17 (2) 損失発生位置 (平面図)

表 1.4-11 (3) 取水路の損失水頭表 (第3号機取水路, スクリーンによる損失あり, 循環水ポンプ通常運転: 202, 600m³/hr + 補機冷却系海水ポンプ通常運転: 7, 800m³/hr)

区分	損失番号・名称	局所損失発生位置 (m)	局所損失等 (貝代なし/貝代あり)	断面積 (貝代なし) (m ²)	定常時流速 (貝代なし) (m/s)	定常時損失水頭 (貝代なし) (m)
取水口	①ピア-	0.00	0.920	118.800	0.246	4.E-03
	②バースクリーン	0.00	0.087	93.120	0.314	4.E-04
取水路	③流入	0.00	0.500	36.166	0.808	2.E-02
	④漸縮	0.00~24.50	0.002	15.091	1.937	4.E-04
	⑤漸拡	58.12~88.12	0.112/0.116	15.123	1.933	2.E-02
	⑥流出	88.12	1.000	71.450	0.409	9.E-03
	⑦摩擦	0.00~88.12	0.015/0.018	-*1	-*1	4.E-02
海水ポンプ室	⑧トラベリングスクリーン	88.12	1.120 (前面)	29.938	0.488	1.E-02
			1.050 (背面)	29.906	0.489	1.E-02
	⑨狭窄	88.12	1.000	-*2	-*2	-*2

* 1 : 断面積及び流速が水路内で変化することから整理上「-」としている。

* 2 : 津波水位が海水ポンプ室フロア狭窄位置 (O. P. +6.87m) に達した際に生じる損失であり, 定常時は同水位に達しない。

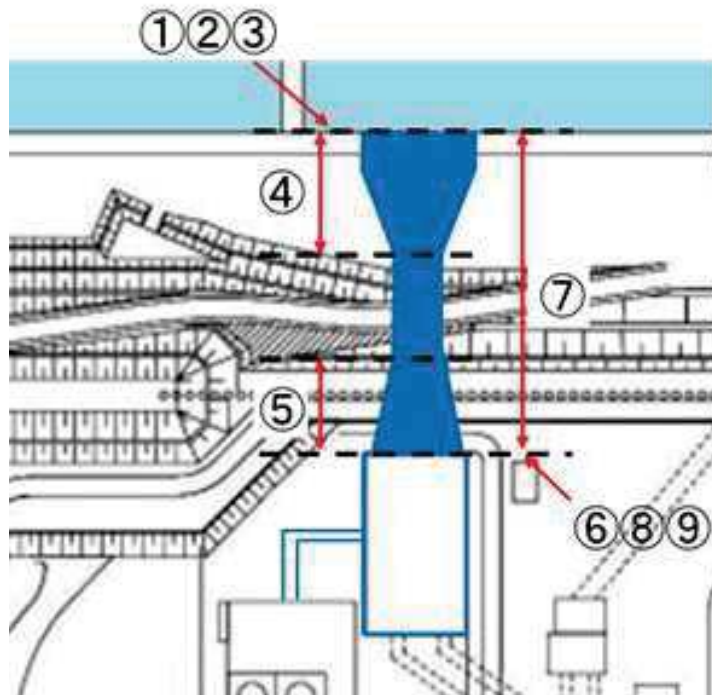


図 1.4-17 (3) 損失発生位置 (平面図)

表 1.4-11 (4) 放水路の損失水頭表

(第 1 号機放水路, 補機冷却系海水ポンプ通常運転: 1,920m³/hr)

区分	損失番号・名称	局所損失発生位置 (m)	局所損失係数等 (貝代あり)	断面積 (貝代あり) (m ²)	定常時流速 (貝代あり) (m/s)	定常時損失水頭 (貝代あり) (m)
放水路	①流出	0.00	1.000	7.688	0.069	3.E-04
	②漸縮	3.00~6.00	0.002	7.689	0.069	0.000
	③屈折	26.00	0.051	12.458	0.043	0.000
	④屈折	32.00	0.070	12.495	0.043	1.E-05
	⑤漸縮	267.37~271.67	0.006	12.365	0.043	0.000
	⑥漸拡	271.67~277.97	0.336	15.258	0.035	2.E-05
	⑦曲がり	279.43~290.13	0.102	15.258	0.035	1.E-05
	⑧曲がり	508.24~599.00	0.100	15.254	0.035	1.E-05
	⑨急拡	646.36	0.974 (貝代なし)	0.198	2.689	4.E-01
	⑩急縮	651.36	0.499 (貝代なし)	0.198	2.689	2.E-01
	⑪流入	679.00	0.500	15.261	0.035	3.E-05
	⑫摩擦	0.00~679.00	0.018	-*	-*	2.E-01

* : 水路内で断面積及び流速が変化することから整理上「-」としている。

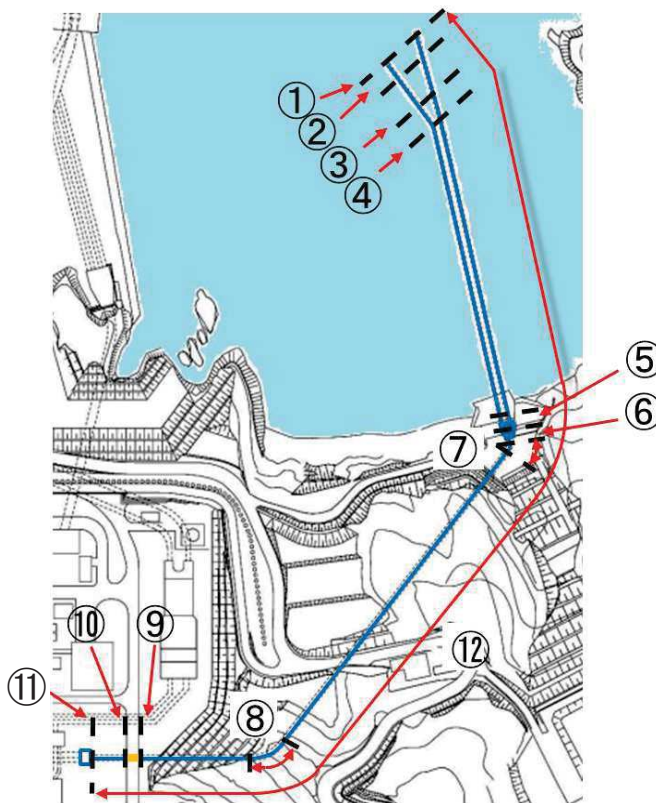


図 1.4-17 (4) 損失発生位置 (平面図)

表 1.4-11 (5) 放水路の損失水頭表 (第2号機放水路, 循環水ポンプ通常運転 :
199,440m³/hr + 補機冷却系海水ポンプ通常運転 : 8,300m³/hr)

区分	損失番号・名称	局所損失発生位置 (m)	局所損失係数等 (貝代あり)	断面積 (貝代あり) (m ²)	定常時流速 (貝代あり) (m/s)	定常時損失水頭 (貝代あり) (m)
放水路	①流出	0.00	1.000	14.594	3.953	8.E-01
	②屈折	15.50	0.006	14.595	3.951	5.E-03
	③屈折	24.00	0.012	14.576	3.954	1.E-02
	④漸縮	28.50~39.00	0.004	11.443	5.041	5.E-03
	⑤曲がり	55.10~64.67	0.102	24.855	2.321	3.E-02
	⑥漸縮	59.88~85.79	0.022	13.769	4.171	2.E-02
	⑦曲がり	81.07~90.51	0.108	17.262	3.338	6.E-02
	⑧曲がり	236.93~256.38	0.091	24.652	2.340	3.E-02
	⑨屈折	354.72	0.006	25.088	2.300	2.E-03
	⑩流入	398.72	0.500	25.092	2.300	1.E-01
	⑪摩擦	0.00~398.72	0.018	-*	-*	9.E-01

* : 水路内で断面積及び流速が変化することから整理上「-」としている。

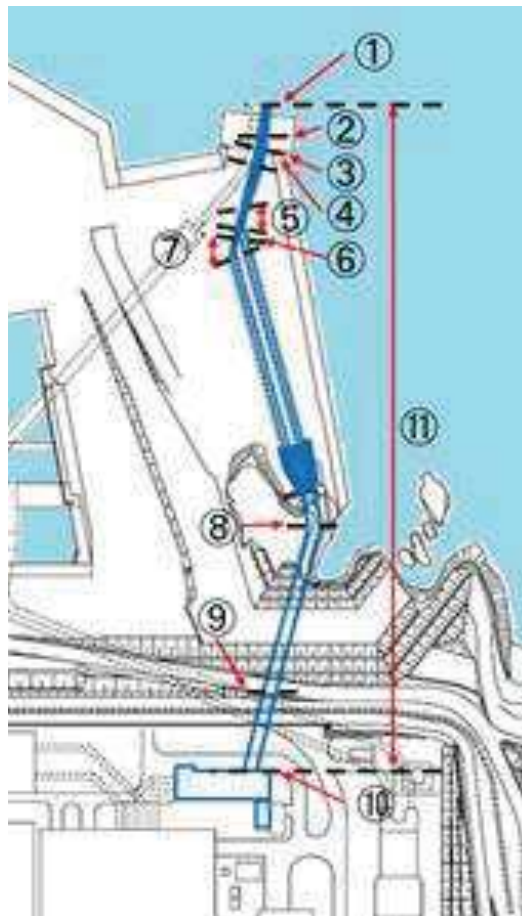


図 1.4-17 (5) 損失発生位置 (平面図)

表 1.4-11 (6) 放水路の損失水頭表 (第3号機放水路,
循環水ポンプ通常運転: 202,600m³/hr + 補機冷却系海水ポンプ通常運転: 7,800m³/hr)

区分	損失番号・名称	局所損失発生位置 (m)	局所損失係数等 (貝代あり)	断面積 (貝代あり) (m ²)	定常時流速 (貝代あり) (m/s)	定常時損失水頭 (貝代あり) (m)
放水路	①流出	0.00	1.000	13.826	4.226	9.E-01
	②屈折	12.80	0.183	13.826	4.160	2.E-01
	③屈折	26.24	0.183	13.706	4.157	2.E-01
	④曲がり	27.94~47.30	0.082	13.705	4.261	8.E-02
	⑤急縮, 屈折	82.21	1.473	103.857	0.551	2.E-02
	⑥急拡	95.01	0.291	75.924	0.766	9.E-03
	⑦急拡, 屈折	128.41	1.366	25.635	2.205	3.E-01
	⑧屈折	261.58	0.001	25.801	2.265	3.E-04
	⑨屈折	350.65	0.001	25.803	2.265	3.E-04
	⑩急縮, 屈折	554.9	1.307	78.142	0.739	4.E-02
	⑪流入	584.75	0.500	75.963	0.769	2.E-02
	⑫摩擦	0.00~584.75	0.018	-*	-*	1.E+00

* : 水路内で断面積及び流速が変化することから整理上「-」としている。

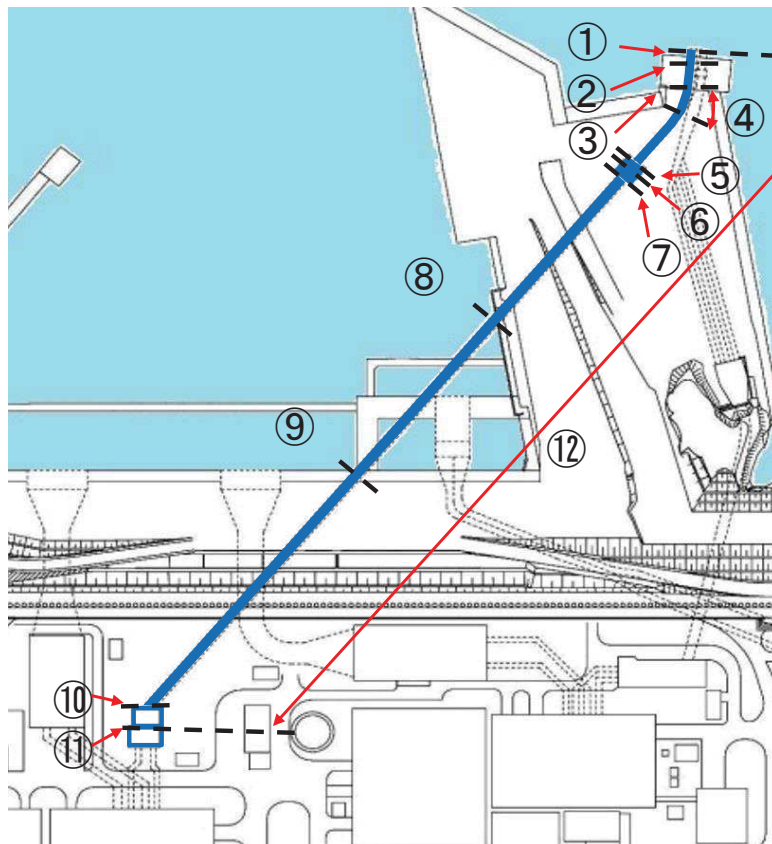


図 1.4-17 (6) 損失発生位置 (平面図)

(2) 津波時における各損失係数の適用妥当性について

摩擦損失係数については、電力土木技術協会（1995）を踏まえ、マンニング則を適用している。土木学会（1999）によると、摩擦損失は Darcy-Weisbach 式により与えられ、摩擦損失係数 f は摩擦抵抗則（摩擦損失係数とレイノルズ数 Re の関係式）により計算されるとしている。

局所損失については、電力土木技術協会（1995）、千秋信一（1967）、土木学会（1999）を踏まえて設定している。千秋信一（1967）によると「各局所損失水頭算定式について、対象となる流れは十分に乱れの発達した乱流状態である。」としている。

以上を踏まえ、通常時及び津波時における各取放水路内の流速からレイノルズ数を整理し、得られたレイノルズ数を用いて、津波時における摩擦損失係数及び局所損失係数の適用妥当性を確認した。

a. レイノルズ数について

土木学会（1999）に示されるレイノルズ数の算定式を以下に示す。

本検討においては、土木学会（1999）を参考にレイノルズ数が 3000 以上を乱流状態と定義した。

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

ここに、 Re ：レイノルズ数、 V ：流速（m/s）、 D ：管径*¹（m）

ν ：動粘性係数*²（m²/s）

* 1：以下の方法により、レイノルズ数の算定に用いる管径 D を算定する（本間・安芸（1962））。

- ・ 円形断面で管路（満水）状態の場合には、管の内径 D を用いる。
- ・ 上記以外（矩形断面、開水路状態）の場合には、各断面の径深 R （流水面積 A / 潤辺 S ）を用いて、管径 $D = 4R$ として算定する。

（補足）

本検討で算定する管径 D は、一次元開水路非定常流の運動方程式で用いる水路高 D （図 1.4-5）とは定義が異なる。

* 2：水（海水）、20°C の動粘性係数として 0.000001（m²/s）を用いる。

b. 通常時における各取放水路内のレイノルズ数について

各取放水路内で局所損失を考慮している位置での流速を用いてレイノルズ数を整理した結果を図 1.4-18 及び表 1.4-12 に示す。なお、第 1 号機取放水路内については取放水路流路縮小工の設置位置についても整理した。

整理の結果、いずれの水路においてもレイノルズ数 Re は $10^4 \sim 10^7$ 程度であり、全て乱流状態であることを確認した。

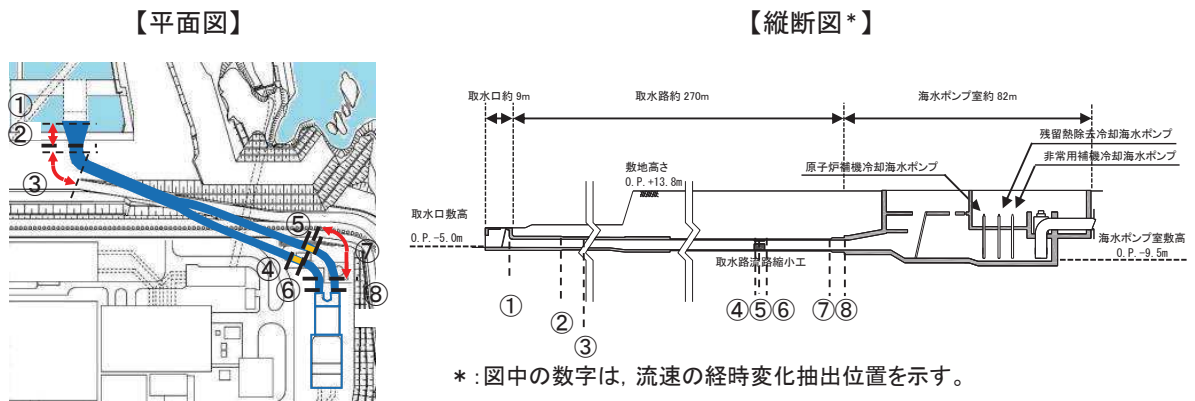


図 1.4-18 (1) 水の流れ確認位置 (第 1 号機取水路)

表 1.4-12 (1) レイノルズ数確認結果 (第 1 号機取水路)

(補機冷却系海水ポンプ通常運転 : 1,920m³/hr)

区分	位置	位置* (m)	断面積 (m ²)	流速 (m/s)	レイノルズ数
第 1 号機 取水路	①流入／流出損失考慮位置	0.00	24.39	0.01	4.54E+04
	②漸縮／漸拡損失考慮位置	0.00～16.00	10.03	0.03	8.30E+04
	③曲がり損失考慮位置	20.51～44.25	10.03	0.03	8.30E+04
	④急縮／急拡損失考慮位置	245.05	0.79	0.34	3.39E+05
	⑤流路縮小工貫通部	246.55	0.79	0.34	3.39E+05
	⑥急拡／急縮損失考慮位置	248.55	0.79	0.34	3.39E+05
	⑦曲がり損失考慮位置	252.49～270.29	8.59	0.03	1.03E+05
	⑧流出／流入損失考慮位置	282.55	8.59	0.03	1.03E+05

* 取水口からの位置 (距離)

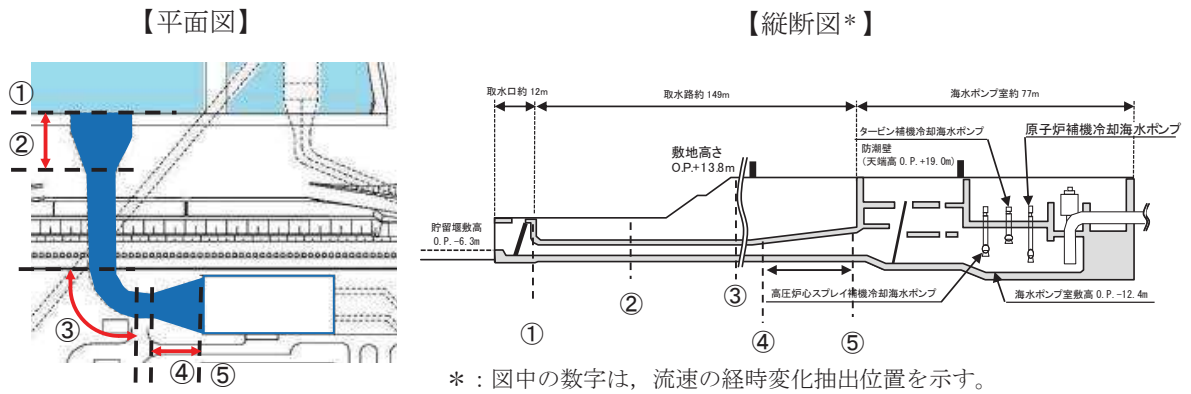


図 1.4-18 (2) 水の流れ確認位置 (第 2 号機取水路)

表 1.4-12 (2) レイノルズ数確認結果 (第 2 号機取水路)
 (循環水ポンプ通常運転 : 199,440m³/hr + 補機冷却系海水ポンプ通常運転 : 8,300m³/hr)

区分	位置	位置* (m)	断面積 (m ²)	流速 (m/s)	レイノルズ数
第 2 号機 取水路	①流入／流出損失考慮位置	0.00	36.21	0.80	4.41E+06
	②漸縮／漸拡損失考慮位置	0.00～24.50	15.09	1.91	7.17E+06
	③曲がり損失考慮位置	73.57～112.84	15.09	1.91	7.17E+06
	④漸拡／漸縮損失考慮位置	118.19～148.19	15.09	1.91	7.17E+06
	⑤流出／流入損失考慮位置	148.19	70.96	0.41	3.11E+06

* 取水口からの位置 (距離)

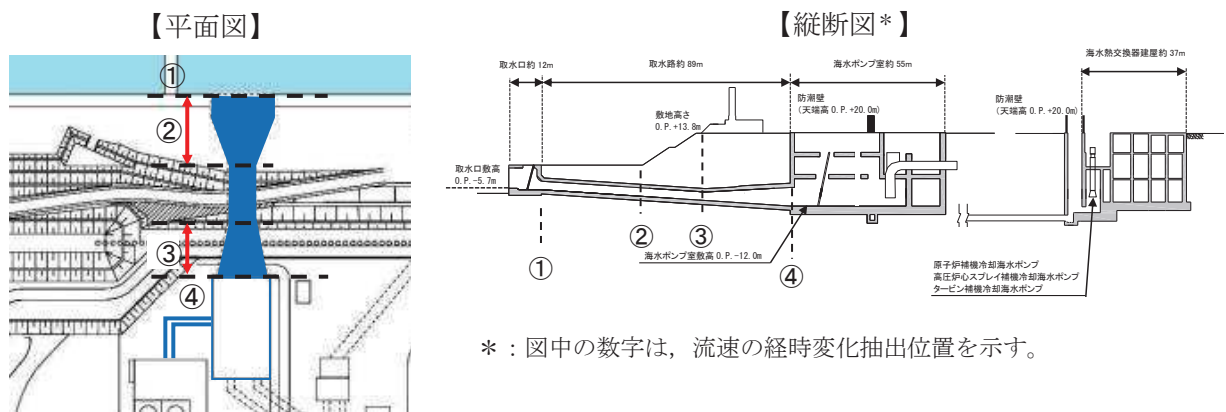


図 1.4-18 (3) 水の流れ確認位置 (第3号機取水路)

表 1.4-12 (3) レイノルズ数確認結果 (第3号機取水路)
(循環水ポンプ通常運転 : 202,600m³/hr + 補機冷却系海水ポンプ通常運転 : 7,800m³/hr)

区分	位置	位置* (m)	断面積 (m ²)	流速 (m/s)	レイノルズ数
第3号機 取水路	①流入/流出損失考慮位置	0.00	36.17	0.81	4.48E+06
	②漸縮/漸拡損失考慮位置	0.00~24.50	15.09	1.94	7.26E+06
	③漸拡/漸縮損失考慮位置	58.12~88.12	15.12	1.93	7.25E+06
	④流出/流入損失考慮位置	88.12	71.45	0.41	3.13E+06

* 取水口からの位置 (距離)

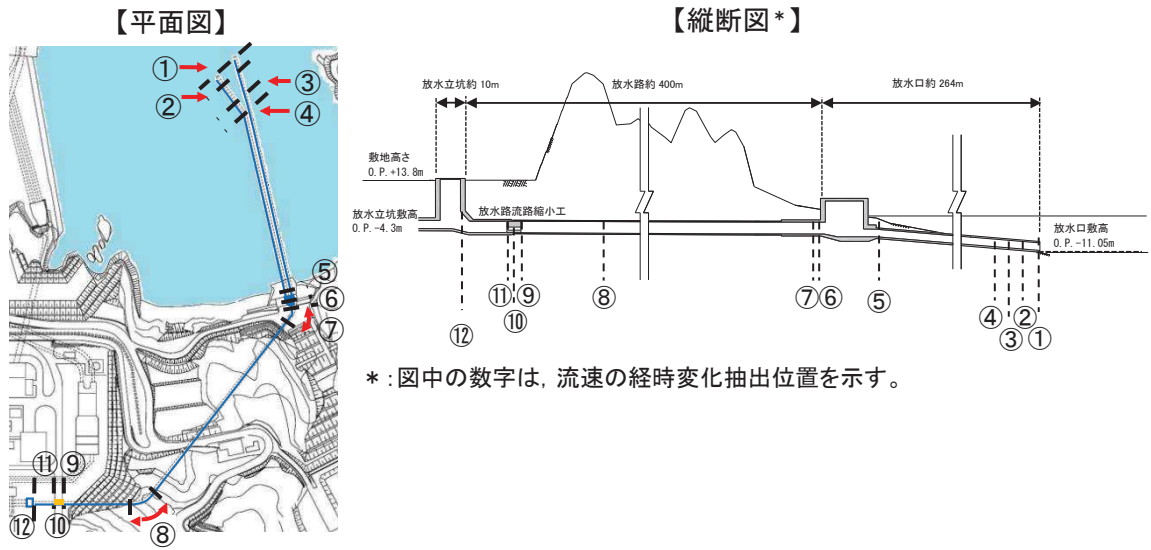


図 1.4-18 (4) 水の流れ確認位置 (第 1 号機放水路)

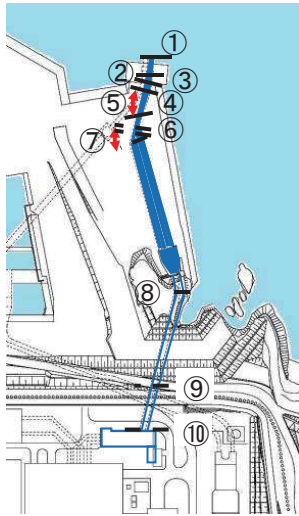
表 1.4-12 (4) レイノルズ数確認結果 (第 1 号機放水路)

(補機冷却系海水ポンプ通常運転 : 1,920m³/hr)

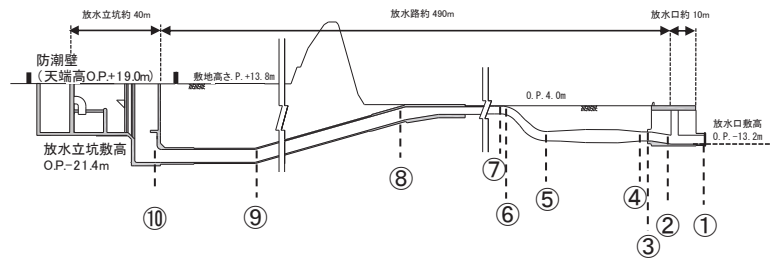
区分	位置	位置* (m)	断面積 (m ²)	流速 (m/s)	レイノルズ数
第 1 号機 放水路	①流入／流出損失考慮位置	0.00	7.69	0.07	2.17E+05
	②漸拡／漸縮損失考慮位置	3.00～6.00	7.69	0.07	2.17E+05
	③屈折損失考慮位置	26.00	12.46	0.04	1.70E+05
	④屈折損失考慮位置	32.00	12.50	0.04	1.70E+05
	⑤漸拡／漸縮損失考慮位置	267.37～271.67	12.37	0.04	1.71E+05
	⑥漸縮／漸拡損失考慮位置	271.67～277.97	15.26	0.03	1.54E+05
	⑦曲がり損失考慮位置	279.43～290.13	15.26	0.03	1.54E+05
	⑧曲がり損失考慮位置	508.24～599.00	15.25	0.03	1.54E+05
	⑨急縮／急拡損失考慮位置	646.36	0.20	2.71	1.36E+06
	⑩流路縮小工貫通部	648.86	0.20	2.69	1.35E+06
	⑪急拡／急縮損失考慮位置	651.36	0.20	2.69	1.35E+06
	⑫流出／流入損失考慮位置	679.00	15.26	0.03	1.54E+05

* 放水口からの位置 (距離)

【平面図】



【縦断図*】



* : 図中の数字は、流速の経時変化抽出位置を示す。

図 1.4-18 (5) 水の流れ確認位置 (第2号機放水路)

表 1.4-12 (5) レイノルズ数確認結果 (第2号機放水路)

(循環水ポンプ通常運転 : 199,440m³/hr + 補機冷却系海水ポンプ通常運転 : 8,300m³/hr)

区分	位置	位置* (m)	断面積 (m ²)	流速 (m/s)	レイノルズ数
第2号機 放水路	①流入／流出損失考慮位置	0.00	14.59	3.95	1.50E+07
	②屈折損失考慮位置	15.50	14.60	3.95	1.50E+07
	③屈折損失考慮位置	24.00	14.58	3.96	1.50E+07
	④漸拡／漸縮損失考慮位置	28.50~39.00	11.44	5.04	1.92E+07
	⑤曲がり損失考慮位置	55.10~64.67	24.86	2.32	1.31E+07
	⑥漸縮／漸拡損失考慮位置	59.88~85.79	13.77	4.19	1.75E+07
	⑦曲がり損失考慮位置	81.07~90.51	17.26	3.34	1.57E+07
	⑧曲がり損失考慮位置	236.93~256.38	24.65	2.34	1.31E+07
	⑨屈折損失考慮位置	354.72	25.09	2.30	1.30E+07
	⑩流出／流入損失考慮位置	398.72	25.09	2.30	1.30E+07

* 放水口からの位置 (距離)

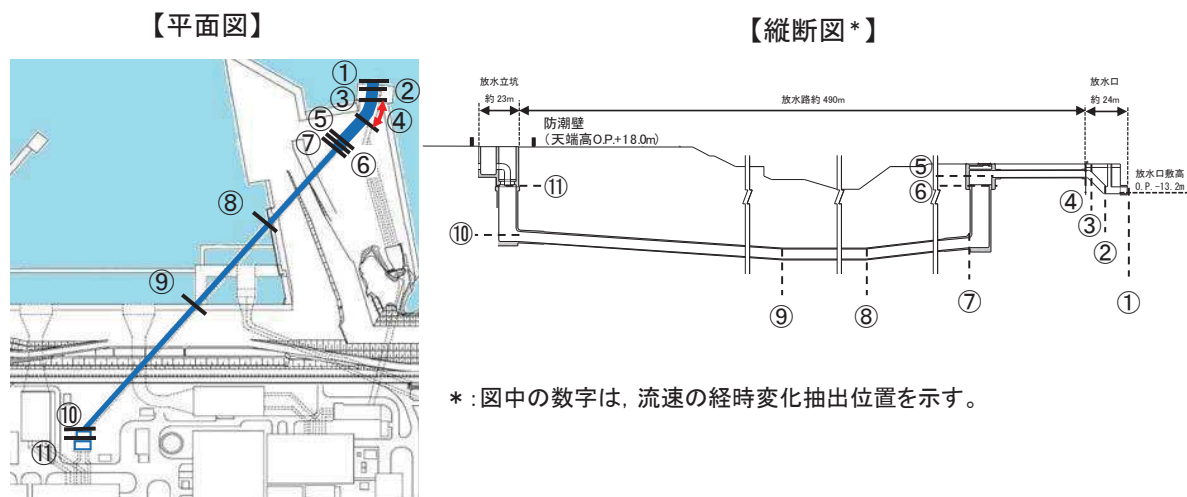


図 1.4-18 (6) 水の流れ確認位置 (第3号機放水路)

表 1.4-12 (6) レイノルズ数確認結果 (第3号機放水路)
(循環水ポンプ通常運転 : 202,600m³/hr + 補機冷却系海水ポンプ通常運転 : 7,800m³/hr)

区分	位置	位置* (m)	断面積 (m ²)	流速 (m/s)	レイノルズ数
第3号機 放水路	①流入／流出損失考慮位置	0.00	13.83	4.23	1.56E+07
	②屈折損失考慮位置	12.80	13.83	4.23	1.56E+07
	③屈折損失考慮位置	26.24	13.71	4.26	1.58E+07
	④曲がり損失考慮位置	27.94~47.30	13.71	4.26	1.58E+07
	⑤急拡, 屈折／急縮, 屈折 損失考慮位置	82.21	103.86	0.56	5.58E+06
	⑥急縮／急拡損失考慮位置	95.01	75.92	0.77	7.57E+06
	⑦急縮, 屈折／急拡, 屈折 損失考慮位置	128.41	25.64	2.28	1.30E+07
	⑧屈折損失考慮位置	261.58	25.80	2.27	1.30E+07
	⑨屈折損失考慮位置	350.65	25.80	2.27	1.30E+07
	⑩急拡, 屈折／急縮, 屈折 損失考慮位置	554.9	78.14	0.75	7.46E+06
	⑪流出／流入損失考慮位置	584.75	75.96	0.77	7.57E+06

* 放水口からの位置 (距離)

表 1.4-12 (7) 流速及びレイノルズ数の確認結果

位置		流速 (m/s)	レイノルズ数	状態
第 1 号機取水路	流入／流出損失考慮位置	0.01	4.54E+04	乱流
	流路縮小工貫通部	0.34	3.39E+05	乱流
第 2 号機取水路	流出／流入損失考慮位置	0.41	3.11E+06	乱流
第 3 号機取水路	流出／流入損失考慮位置	0.41	3.13E+06	乱流
第 1 号機放水路	曲がり損失考慮位置	0.03	1.54E+05	乱流
	流路縮小工貫通部	2.69	1.35E+06	乱流
第 2 号機放水路	屈折損失考慮位置	2.30	1.30E+07	乱流
第 3 号機放水路	急拡, 屈折／急縮, 屈折 損失考慮位置	0.56	5.58E+06	乱流

c. 津波時における各取放水路内のレイノルズ数について

各取放水路内で局所損失を考慮している位置（図 1.4-18）における流速の経時変化を用いて（図 1.4-19）、最大流速に対応する最大レイノルズ数を整理した結果を表 1.4-13 に示す。なお、各取放水設備においてレイノルズ数が最大となる局所損失考慮位置の流速及びレイノルズ数を整理した結果を表 1.4-14 に示す。

整理の結果、いずれの水路においてもレイノルズ数 Re は $10^5 \sim 10^7$ 程度であり、全て乱流状態であることを確認した。

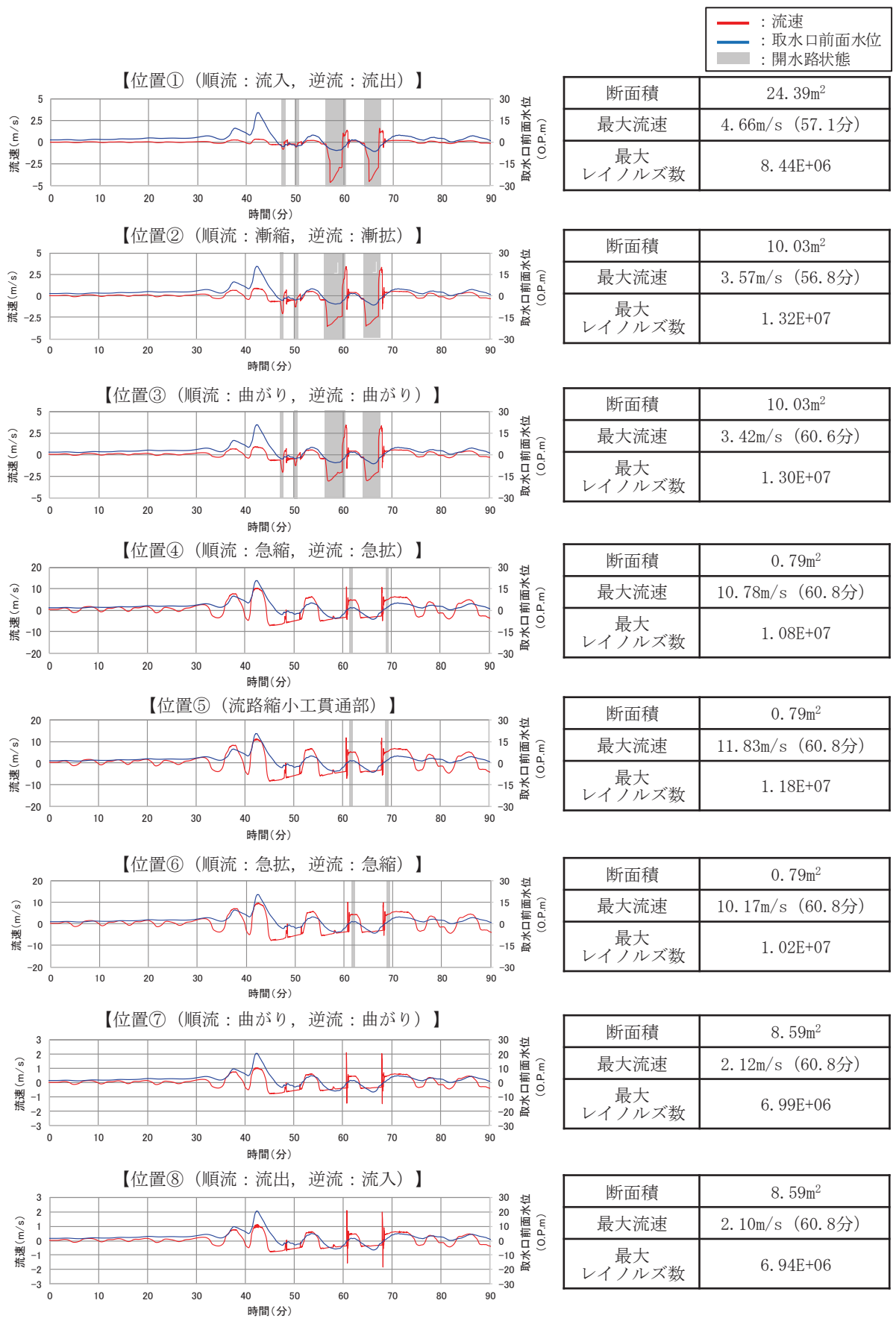


図 1.4-19 (1) 流速の経時変化 (第 1 号機取水路)

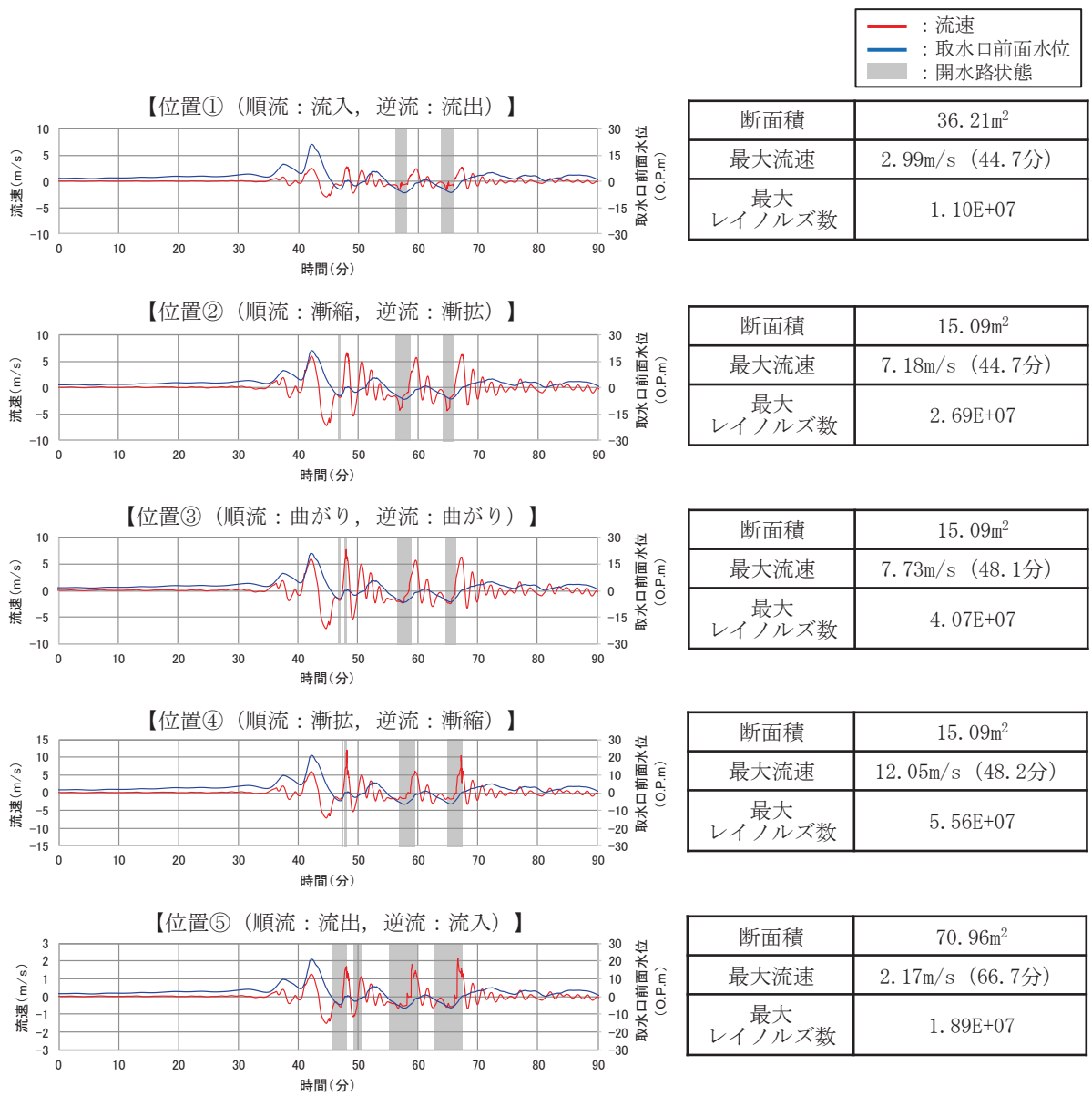


図 1.4-19 (2) 流速の経時変化 (第2号機取水路)

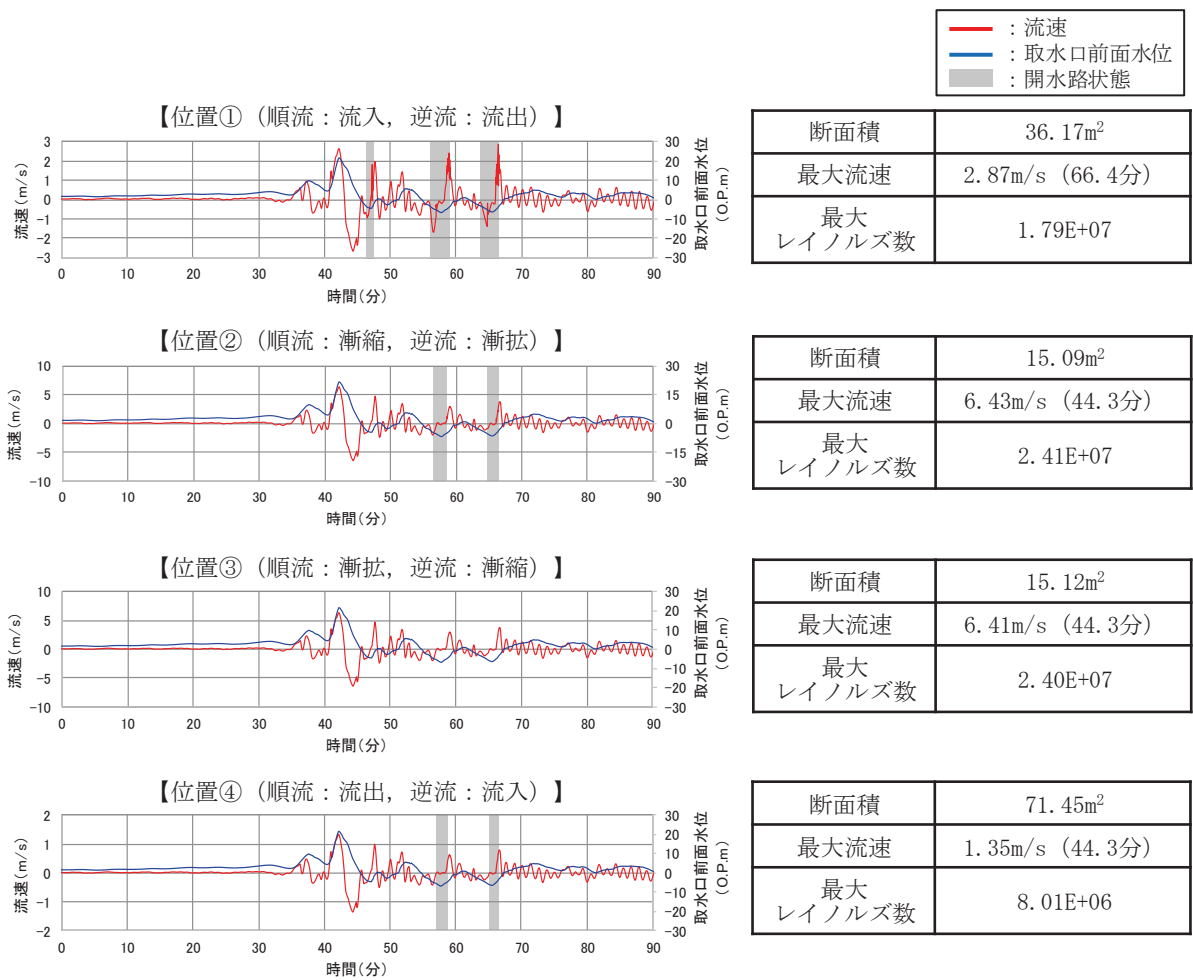


図 1.4-19 (3) 流速の経時変化（第3号機取水路）

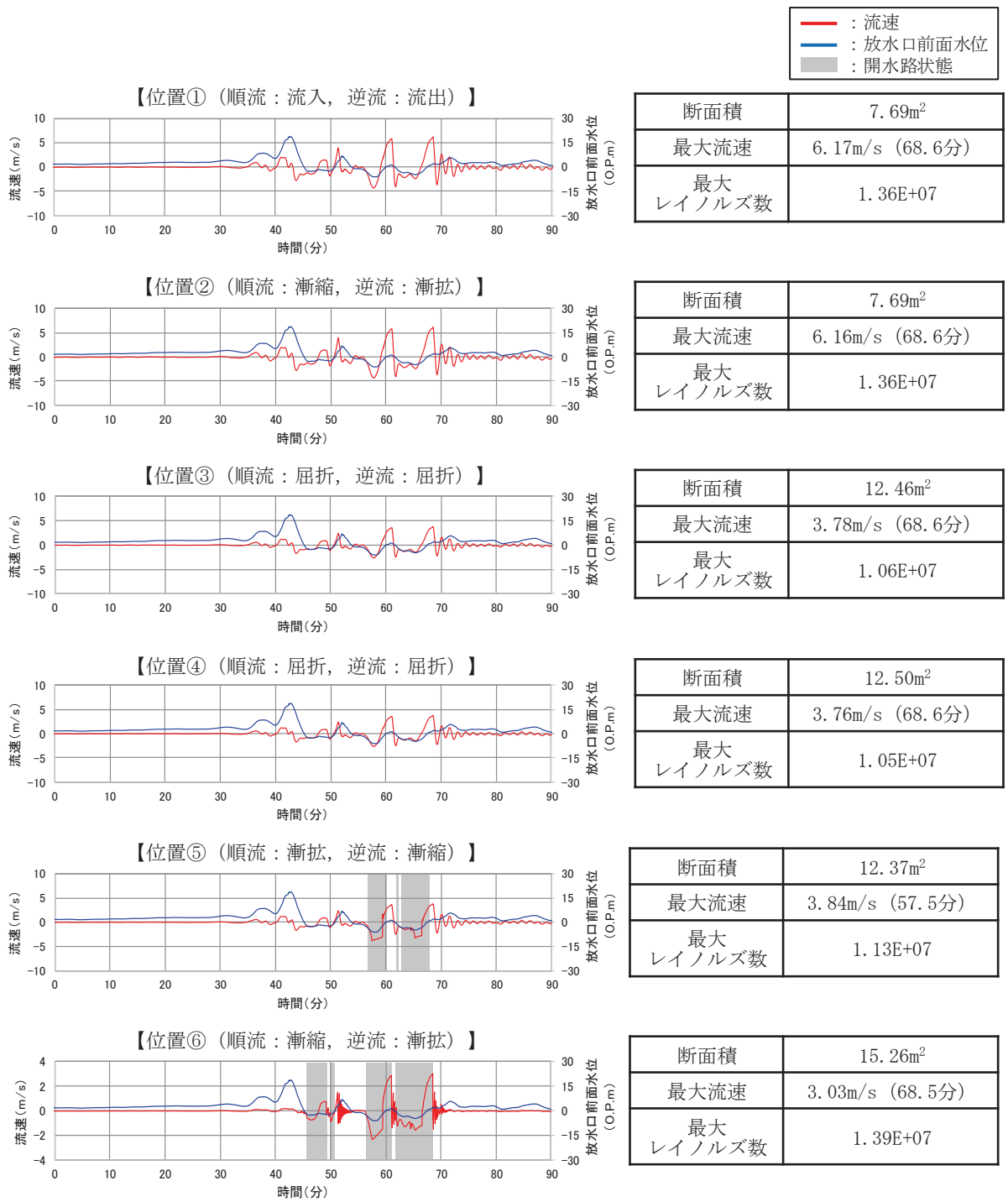


図 1.4-19 (4) 流速の経時変化 (第1号機放水路 (1))

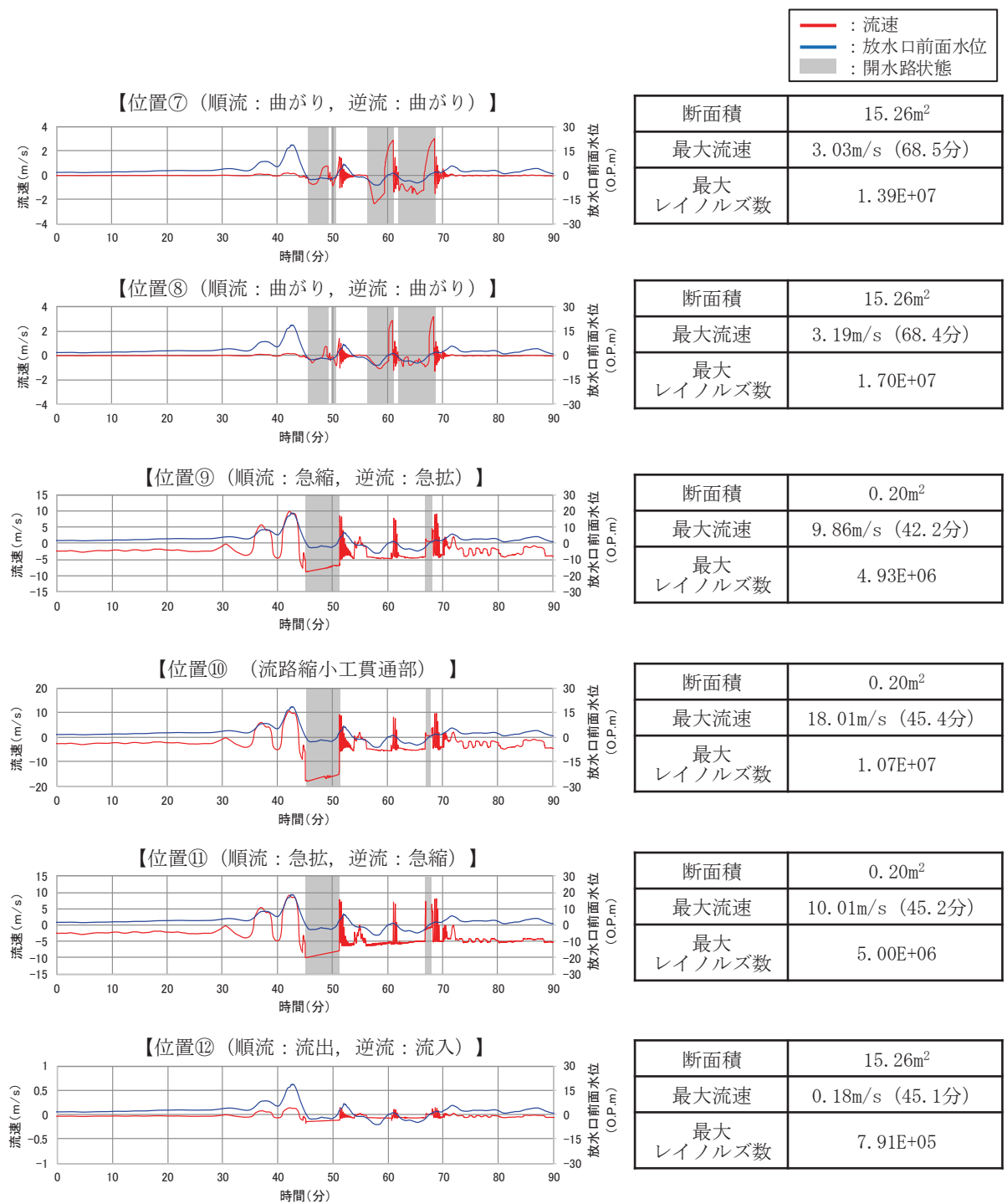


図 1.4-19 (5) 流速の経時変化 (第1号機放水路 (2))

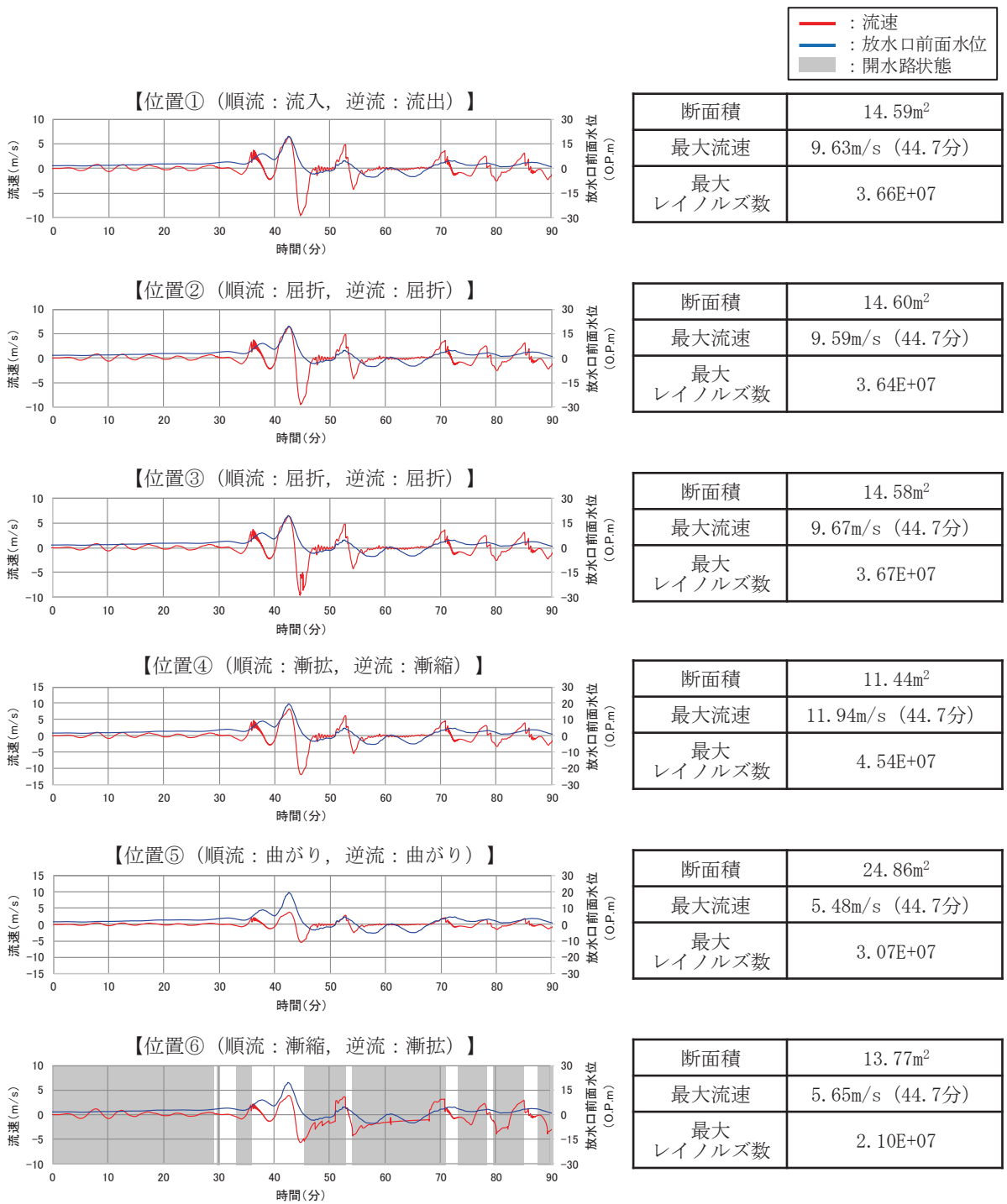


図 1.4-19 (6) 流速の経時変化 (第2号機放水路 (1))

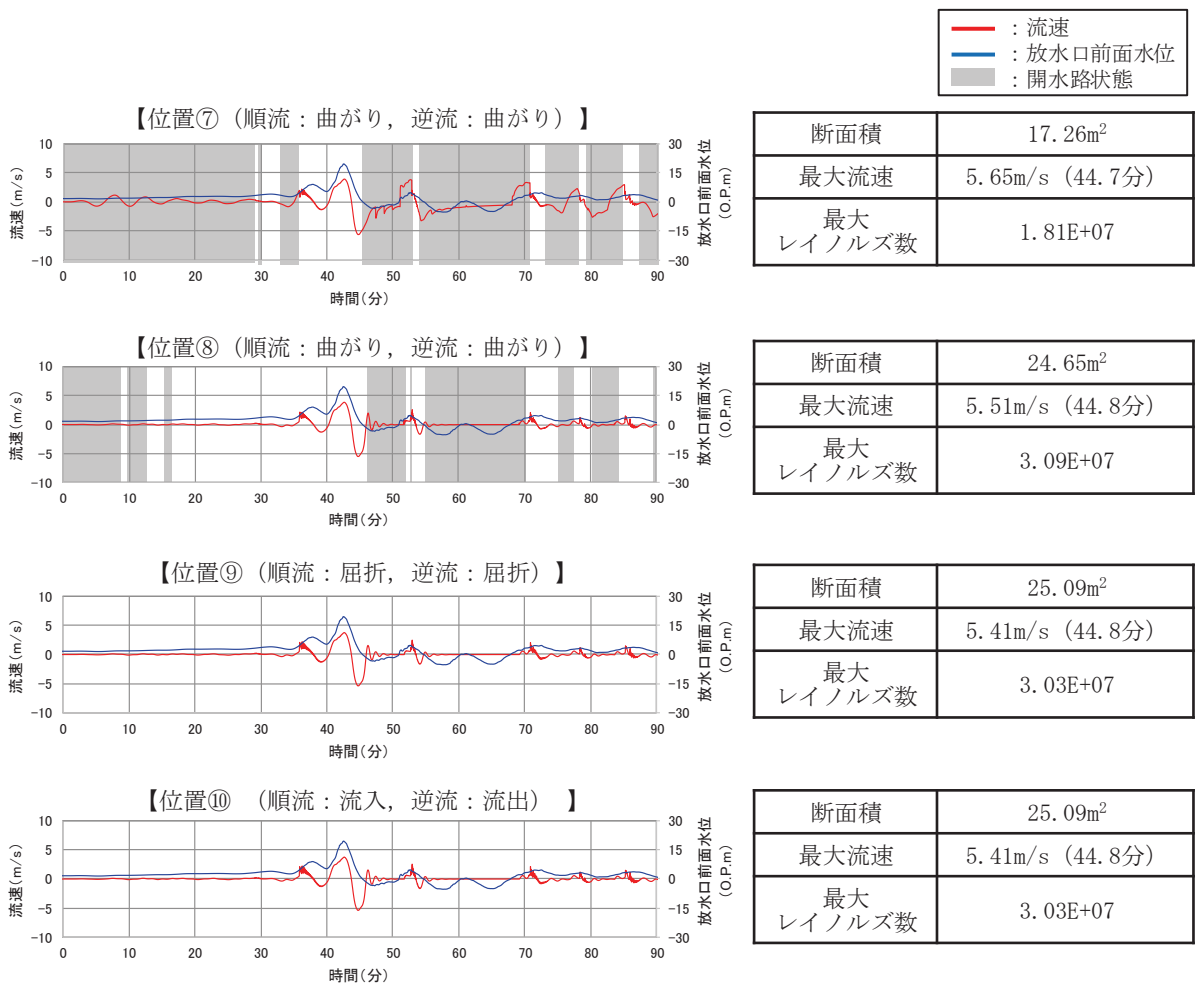


図 1.4-19 (7) 流速の経時変化 (第2号機放水路 (2))

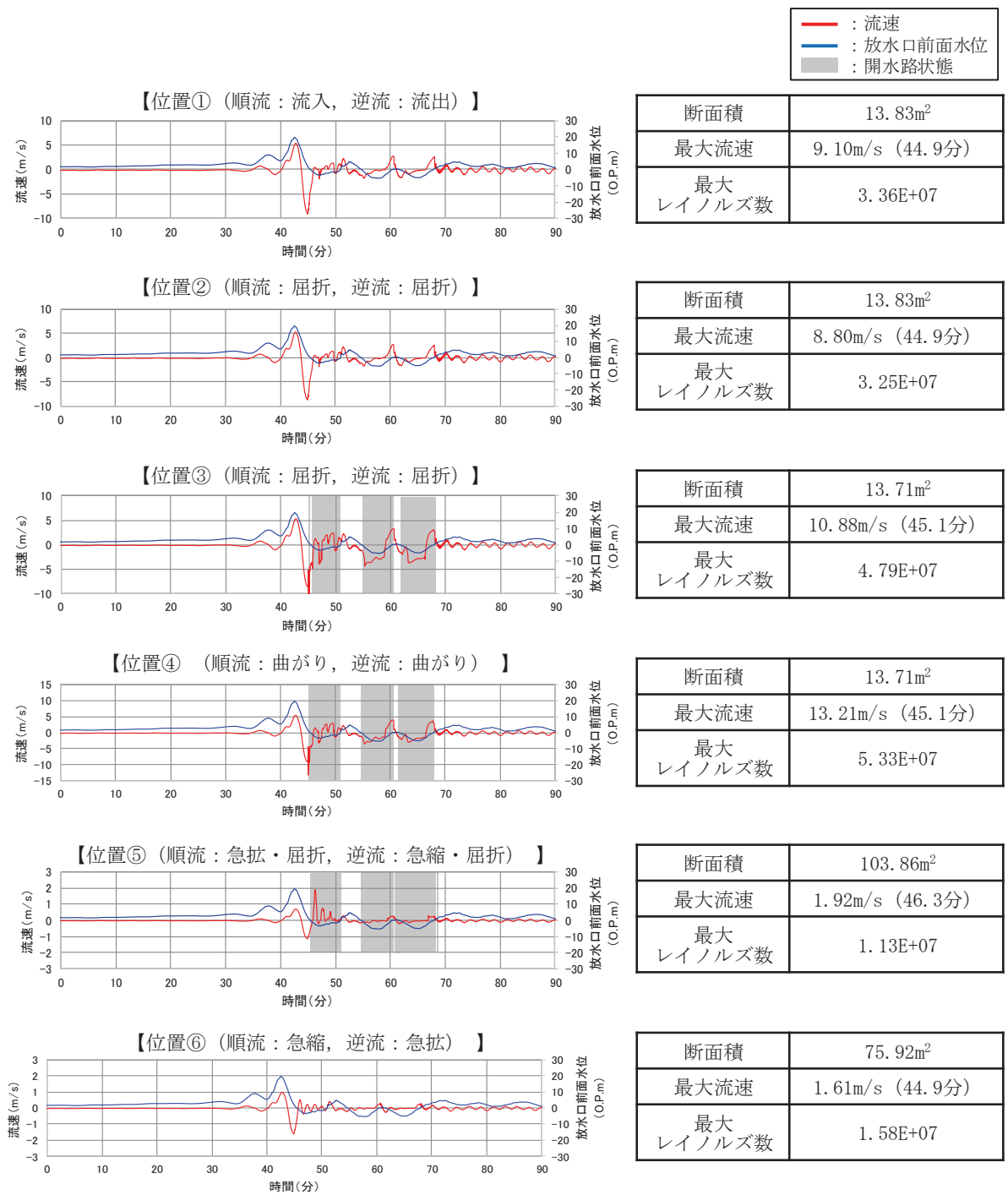


図 1.4-19 (8) 流速の経時変化 (第3号機放水路 (1))

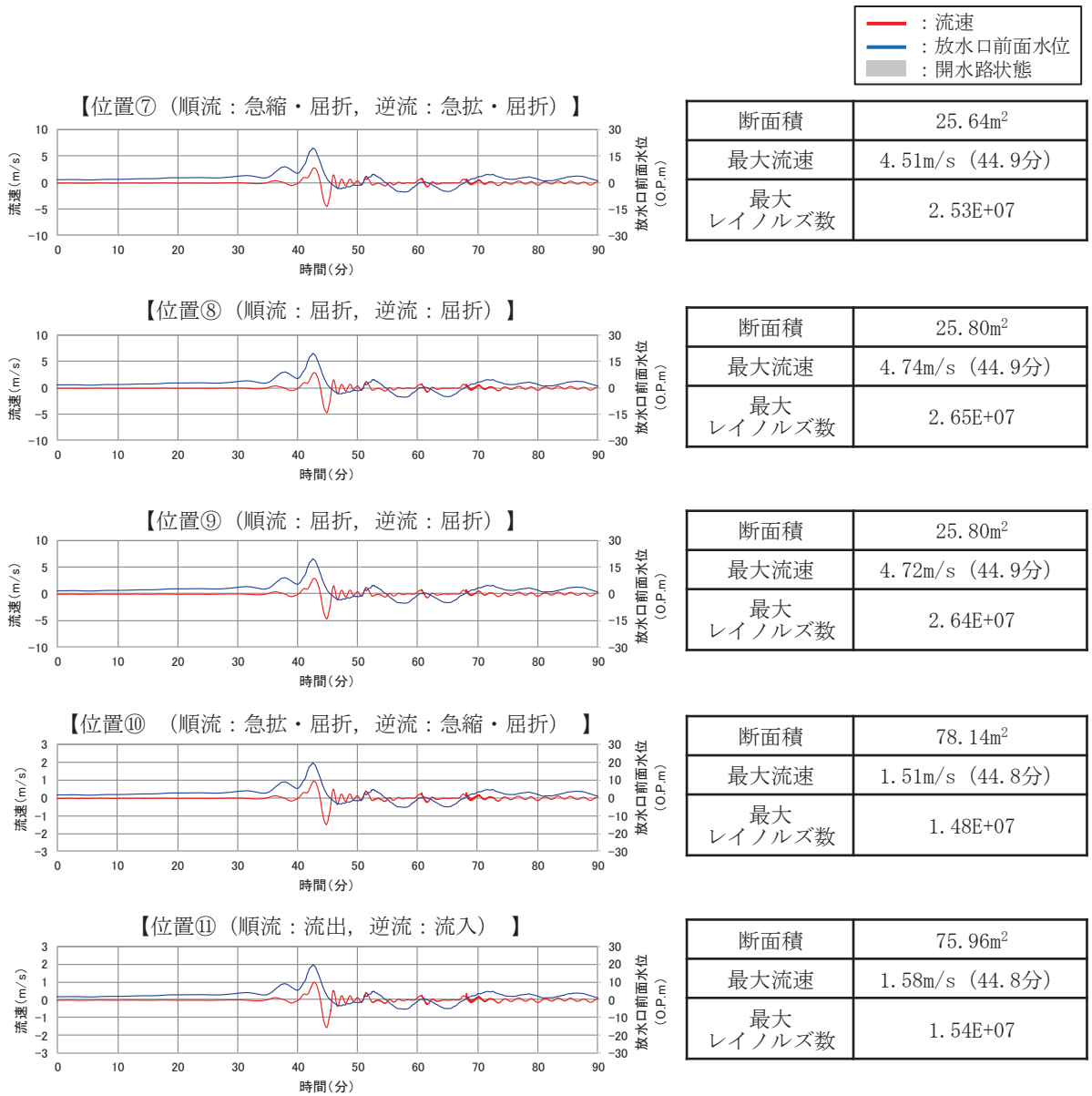


図 1.4-19 (9) 流速の経時変化（第3号機放水路（2））

表 1.4-13 (1) 最大流速, 最大レイノルズ数及び最大損失水頭 (第1号機取水路)

区分	損失番号・名称 (順流/逆流)	位置*1 (m)	局所損失係数等 (順流/逆流)	最大流速 (m/s)	最大レイノルズ数	最大損失 水頭 (m)
第1号機 取水路	①流入/流出	0.00	0.500/1.000	4.66	8.44E+06	1.11
	②漸縮/漸拡	0.00~16.00	0.003/0.049	3.57	1.32E+07	0.03
	③曲がり	20.51~44.25	0.143	3.42	1.30E+07	0.09
	④急縮/急拡	245.05	0.489/0.825	10.78	1.08E+07	3.49
	⑤流路縮小工 貫通部)	—*2	—*2	11.83	1.18E+07	—*2
	⑥急拡/急縮	248.55	0.825/0.489	10.17	1.02E+07	5.89
	⑦曲がり	252.49~270.29	0.160	2.12	6.99E+06	0.04
	⑧流出/流入	282.55	1.000/0.500	2.10	6.94E+06	0.23
	⑨摩擦	0.00~282.55	0.015	—*3	—*3	3.22

*1: 取水口からの位置 (距離)

*2: 流路縮小工貫通部は損失ではないため, 流速の経時変化のみ

*3: 水路内の全計算格子で算出されることから「—」としている。

表 1.4-13 (2) 最大流速, 最大レイノルズ数及び最大損失水頭 (第2号機取水路)

区分	損失番号・名称 (順流/逆流)	位置*1 (m)	局所損失係数等 (順流/逆流)	最大流速 (m/s)	最大レイノルズ数	最大損失 水頭 (m)
第2号機 取水路	①流入/流出	0.00	0.500 / 1.000	2.99	1.10E+07	0.46
	②漸縮/漸拡	0.00~24.50	0.002 / 0.048	7.18	2.69E+07	0.13
	③曲がり	73.57~112.84	0.195	7.73	4.07E+07	0.59
	④漸拡/漸縮	118.19~148.19	0.112/0.006	12.05	5.56E+07	0.83
	⑤流出/流入	148.19	1.000 / 0.500	2.17	1.89E+07	0.24
	⑥摩擦	0.00~148.19	0.015	—*2	—*2	1.33

*1 : 取水口からの位置 (距離)

*2 : 水路内の全計算格子で算出されることから「—」としている。

表 1.4-13 (3) 最大流速, 最大レイノルズ数及び最大損失水頭 (第3号機取水路)

区分	損失番号・名称 (順流/逆流)	位置*1 (m)	局所損失係数等 (順流/逆流)	最大流速 (m/s)	最大レイノルズ数	最大損失 水頭 (m)
第3号機 取水路	①流入/流出	0.00	0.500 / 1.000	2.87	1.79E+07	0.37
	②漸縮/漸拡	0.00~24.50	0.002 / 0.048	6.43	2.41E+07	0.10
	③漸拡/漸縮	58.12~88.12	0.112/0.006	6.41	2.40E+07	0.23
	④流出/流入	88.12	1.000 / 0.500	1.35	8.01E+06	0.09
	⑤摩擦	0.00~88.12	0.015	—*2	—*2	0.50

*1 : 取水口からの位置 (距離)

*2 : 水路内の全計算格子で算出されることから「—」としている。

表 1.4-13 (4) 最大流速, 最大レイノルズ数及び最大損失水頭 (第 1 号機放水路)

区分	損失番号・名称 (順流/逆流)	位置*1 (m)	局所損失係数等 (順流/逆流)	最大流速 (m/s)	最大レイノルズ数	最大損失 水頭 (m)
第1号機 放水路	①流入/流出	0.00	0.500/1.000	6.17	1.36E+07	0.97
	②漸拡/漸縮	3.00~6.00	0.030/0.002	6.16	1.36E+07	0.06
	③屈折	26.00	0.051	3.78	1.06E+07	0.04
	④屈折	32.00	0.070	3.76	1.05E+07	0.05
	⑤漸拡/漸縮	267.37~271.67	0.049/0.006	3.84	1.13E+07	0.04
	⑥漸縮/漸拡	271.67~277.97	0.043/0.336	3.03	1.39E+07	0.09
	⑦曲がり	279.43~290.13	0.102	3.03	1.39E+07	0.05
	⑧曲がり	508.24~599.00	0.100	3.19	1.70E+07	0.05
	⑨急縮/急拡	646.36	0.499/0.974	9.86	4.93E+06	16.12
	(⑩流路縮小工 貫通部)	—*2	—*2	18.01	1.07E+07	—*2
	⑪急拡/急縮	651.36	0.974/0.499	10.01	5.00E+06	8.26
	⑫流出/流入	679.00	1.000/0.500	0.18	7.91E+05	0.001
	⑬摩擦	0.00~679.00	0.018	—*3	—*3	9.32

*1 : 取水口からの位置 (距離)

*2 : 流路縮小工貫通部は損失ではないため, 流速の経時変化のみ

*3 : 水路内の全計算格子で算出されることから「—」としている。

表 1.4-13 (5) 最大流速, 最大レイノルズ数及び最大損失水頭 (第2号機放水路)

区分	損失番号・名称 (順流/逆流)	位置*1 (m)	局所損失係数等 (順流/逆流)	最大流速 (m/s)	最大レイノルズ数	最大損失 水頭 (m)
第2号機 放水路	①流入/流出	0.00	0.500/1.000	9.63	3.66E+07	4.73
	②屈折	15.50	0.006	9.59	3.64E+07	0.03
	③屈折	24.00	0.012	9.67	3.67E+07	0.06
	④漸拡/漸縮	28.50~39.00	0.062/0.004	11.94	4.54E+07	0.22
	⑤曲がり	55.10~64.67	0.102	5.48	3.07E+07	0.16
	⑥漸縮/漸拡	59.88~85.79	0.000/0.022	5.65	2.10E+07	0.04
	⑦曲がり	81.07~90.51	0.108	5.65	1.81E+07	0.18
	⑧曲がり	236.93~256.38	0.091	5.51	3.09E+07	0.14
	⑨屈折	354.72	0.006	5.41	3.03E+07	0.01
	⑩流出/流入	398.72	1.000/0.500	5.41	3.03E+07	0.75
	⑪摩擦	0.00~398.72	0.018	—*2	—*2	4.39

*1 : 取水口からの位置 (距離)

*2 : 水路内の全計算格子で算出されることから「—」としている。

表 1.4-13 (6) 最大流速, 最大レイノルズ数及び最大損失水頭 (第3号機放水路)

区分	損失番号・名称 (順流/逆流)	位置* ¹ (m)	局所損失係数等 (順流/逆流)	最大流速 (m/s)	最大レイノルズ数	最大損失 水頭 (m)
第3号機 放水路	①流入/流出	0.00	0.500/1.000	9.10	3.36E+07	4.22
	②屈折	12.80	0.183	8.80	3.25E+07	0.72
	③屈折	26.24	0.183	10.88	4.79E+07	1.10
	④曲がり	27.94~47.30	0.082	13.21	5.33E+07	0.73
	⑤急拡, 屈折/ 急縮, 屈折	82.21	1.823/1.473	1.92	1.13E+07	0.34
	⑥急縮/急拡	95.01	0.309/0.291	1.61	1.58E+07	0.04
	⑦急縮, 屈折/ 急拡, 屈折	128.41	1.307/1.366	4.51	2.53E+07	1.42
	⑧屈折	261.58	0.001	4.74	2.65E+07	0.001
	⑨屈折	350.65	0.001	4.72	2.64E+07	0.001
	⑩急拡, 屈折/ 急縮, 屈折	554.90	1.366/1.307	1.51	1.48E+07	0.15
	⑪流出/流入	584.75	1.000/0.500	1.58	1.54E+07	0.06
	⑫摩擦	0.00~584.75	0.018	—* ²	—* ²	4.36

* 1 : 取水口からの位置 (距離)

* 2 : 水路内の全計算格子で算出されることから「—」としている。

表 1.4-14 最大流速及び最大レイノルズ数の確認結果

位置		最大流速 (m/s)	最大レイノルズ数	状態
第1号機取水路	漸縮/漸拡損失考慮位置	3.57	1.32E+07	乱流
	流路縮小工貫通部	11.83	1.18E+07	乱流
第2号機取水路	漸拡/漸縮損失考慮位置	12.05	5.56E+07	乱流
第3号機取水路	漸縮/漸拡損失考慮位置	6.43	2.41E+07	乱流
第1号機放水路	曲がり損失考慮位置	3.19	1.70E+07	乱流
	流路縮小工貫通部	18.01	1.07E+07	乱流
第2号機放水路	漸拡/漸縮損失考慮位置	11.94	4.54E+07	乱流
第3号機放水路	曲がり損失考慮位置	13.21	5.33E+07	乱流

d. 津波時における摩擦損失係数の適用妥当性について

各取放水設備においてレイノルズ数が最大となる断面（表 1.4-14）を対象に、レイノルズ数 Re と Moody のダイヤグラムの比較から、津波時における適用妥当性を確認する。なお、第 1 号機取水路流路縮小工貫通部及び第 1 号機放水路流路縮小工貫通部についても確認する。

各取放水設備の確認結果を図 1.4-20 に示す。

津波時の取放水設備内のレイノルズ数は、 $Re=10^5\sim 10^7$ 程度であり、Moody のダイヤグラムの適用範囲内にあることを確認した。

また、管路解析で用いている摩擦損失係数は Moody のダイヤグラムから得られる摩擦損失係数とおおむね同程度であり、マンニングの粗度係数を津波時に適用することは妥当であることを確認した。

なお、通常運転時のレイノルズ数は $Re=10^4\sim 10^7$ 程度であり津波時よりもレイノルズ数が小さくなるものの、Moody のダイヤグラムの適用範囲内にある。また、通常運転時における摩擦損失係数についても、Moody のダイヤグラムから得られる摩擦損失係数とおおむね同程度であることを確認した。

【摩擦損失係数に関する確認内容】

- ① 管路解析で用いているマンニングの粗度係数から得られる摩擦損失係数の算定
 - ・ マンニングの粗度係数 n と各局所損失位置におけるレイノルズ数の算定に用いた管径 D を用いて（1）式から摩擦損失係数を算定。

$$f = \frac{124.5n^2}{D^{1/3}} \quad \dots \quad (1)$$

- ② 相対粗度から得られる摩擦損失係数の算定
 - ・ 管路解析で用いているマンニングの粗度係数 n に相当する絶対粗度 k （土木学会（1999）（表 1.4-15））と各局所損失位置におけるレイノルズ数の算定に用いた管径 D から相対粗度（ k/D ）を算定し、Moody のダイヤグラムから摩擦損失係数を算定。

表 1.4-15 絶対粗度とマンニングの粗度係数の関係（土木学会（1999））

表 4-3.2 流量式の係数*

絶対粗度 (m)	C_H	C_T	n
1×10^{-6}	150.9	34.44	0.00983
2×10^{-6}	150.8	34.41	0.00984
5×10^{-6}	150.4	34.31	0.00986
1×10^{-5}	149.7	34.16	0.00990
2×10^{-5}	148.4	33.88	0.00997
5×10^{-5}	145.2	33.17	0.01017
1×10^{-4}	141.1	32.26	0.01044
2×10^{-4}	135.2	30.96	0.01085
5×10^{-4}	124.8	28.66	0.01168
1×10^{-3}	115.3	26.57	0.01258
2×10^{-3}	104.9	24.27	0.01374
5×10^{-3}	90.5	21.07	0.01578
1×10^{-2}	79.4	18.58	0.01787

*太字で示される範囲が各流量式の適用範囲

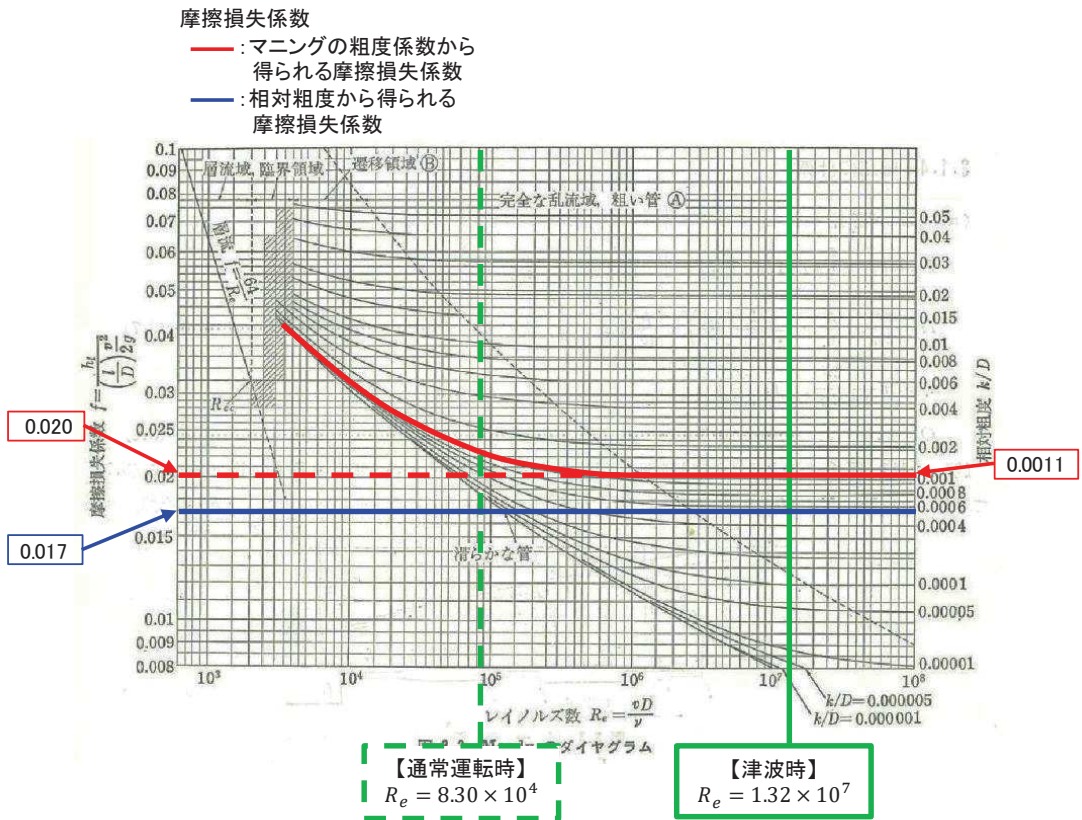


図 1.4-20 (1) 第 1 号機取水路：漸縮／漸拡損失考慮位置

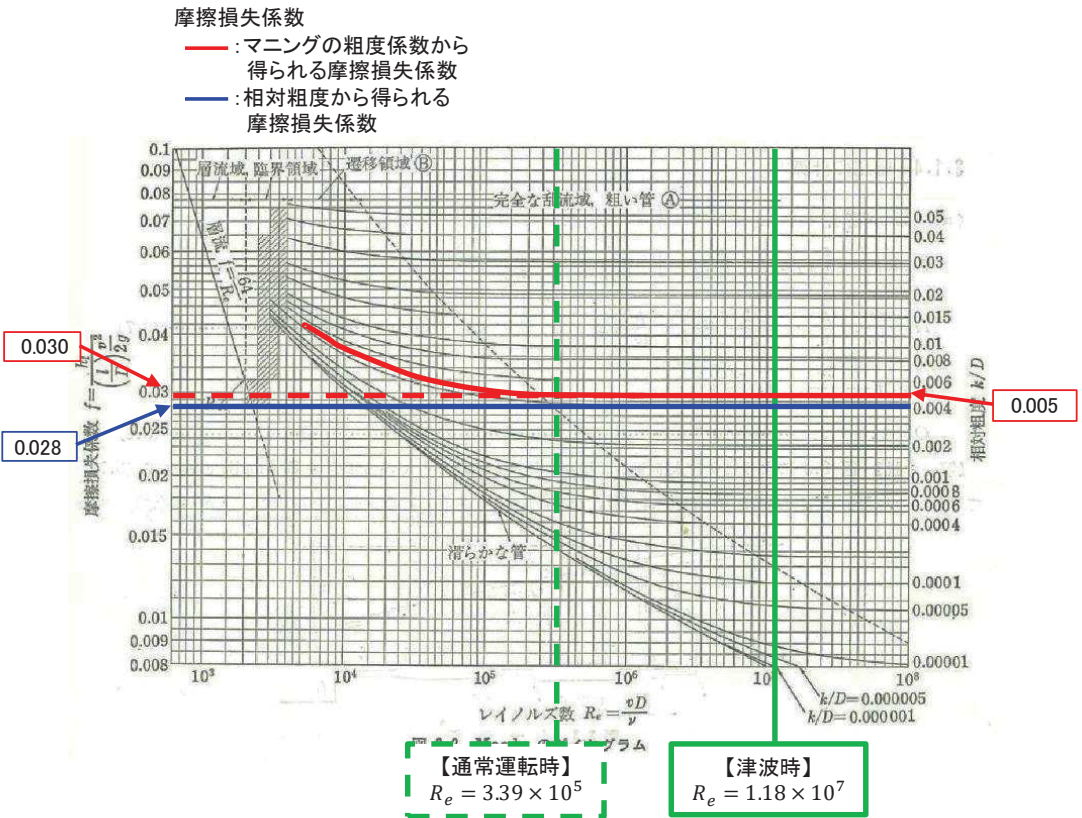


図 1.4-20 (2) 第 1 号機取水路：流路縮小工貫通部

摩擦損失係数

- (赤線) : マニングの粗度係数から得られる摩擦損失係数
- (青線) : 相対粗度から得られる摩擦損失係数

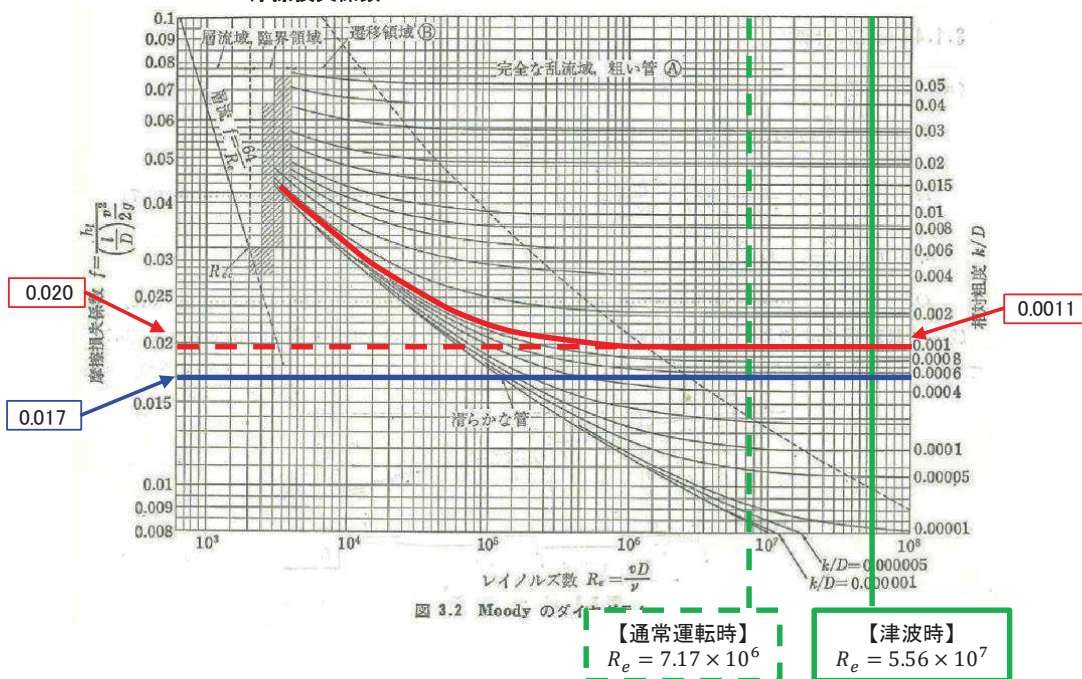


図 1.4-20 (3) 第 2 号機取水路：漸拡／漸縮損失考慮位置

摩擦損失係数

- (赤線) : マニングの粗度係数から得られる摩擦損失係数
- (青線) : 相対粗度から得られる摩擦損失係数

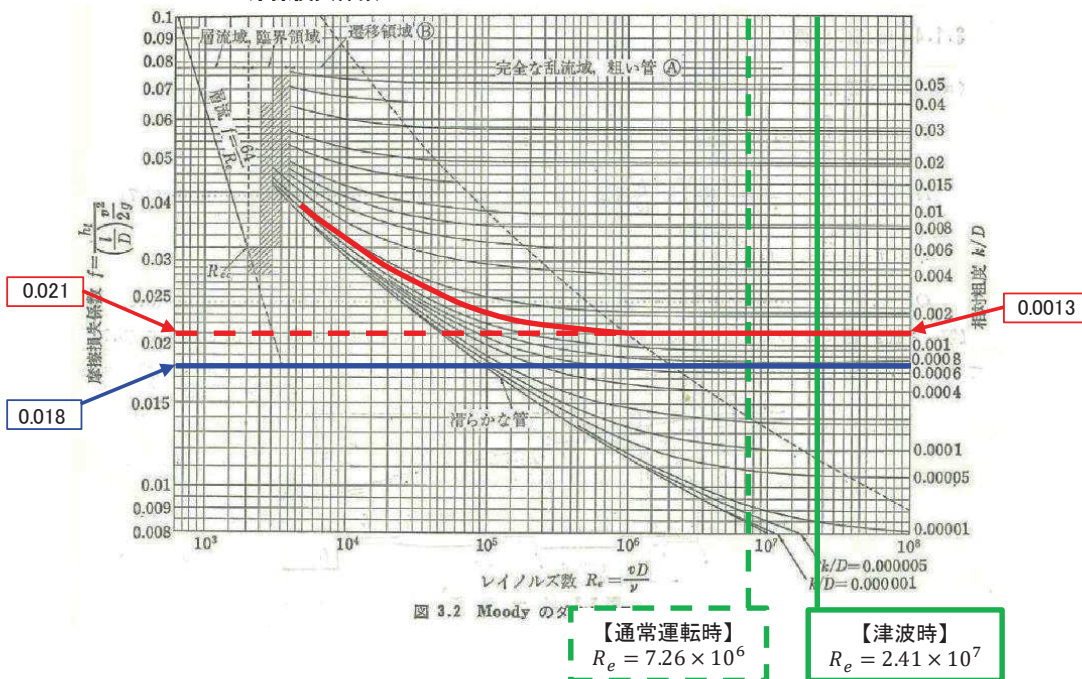


図 1.4-20 (4) 第 3 号機取水路：漸縮／漸拡損失考慮位置

摩擦損失係数

- : マニングの粗度係数から得られる摩擦損失係数
- : 相対粗度から得られる摩擦損失係数

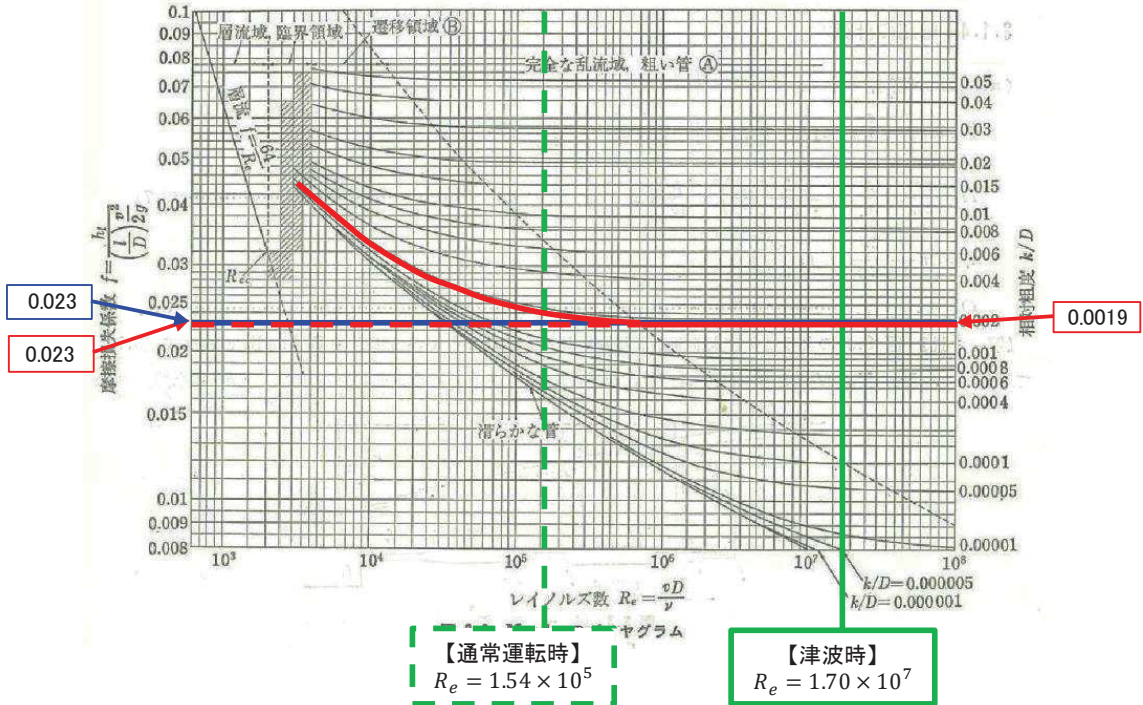


図 1.4-20 (5) 第1号機放水路：曲がり損失考慮位置

摩擦損失係数

- : マニングの粗度係数から得られる摩擦損失係数
- : 相対粗度から得られる摩擦損失係数

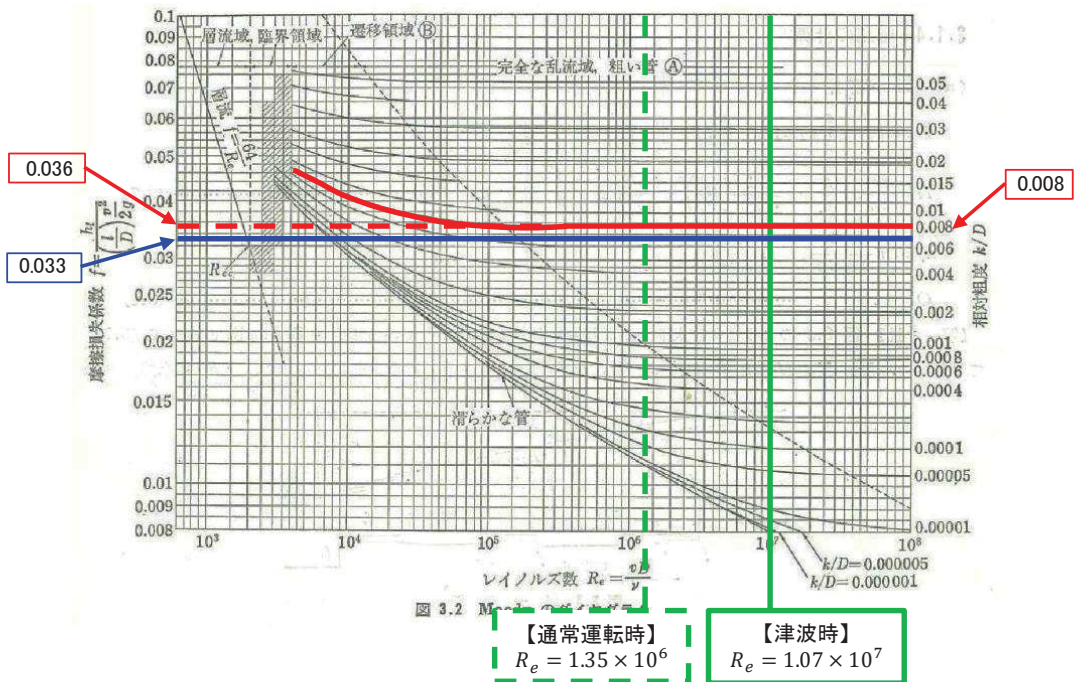


図 1.4-20 (6) 第1号機放水路：流路縮小工貫通部

摩擦損失係数

- : マニングの粗度係数から得られる摩擦損失係数
- : 相対粗度から得られる摩擦損失係数

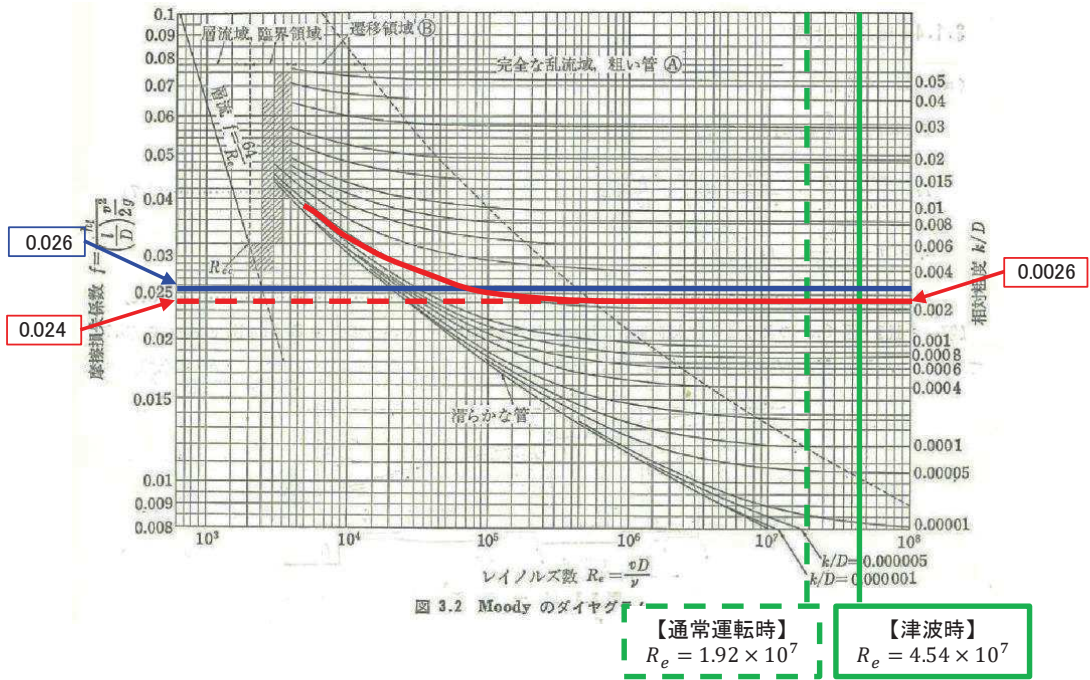


図 1.4-20 (7) 第 2 号機放水路：漸拡／漸縮損失考慮位置

摩擦損失係数

- : マニングの粗度係数から得られる摩擦損失係数
- : 相対粗度から得られる摩擦損失係数

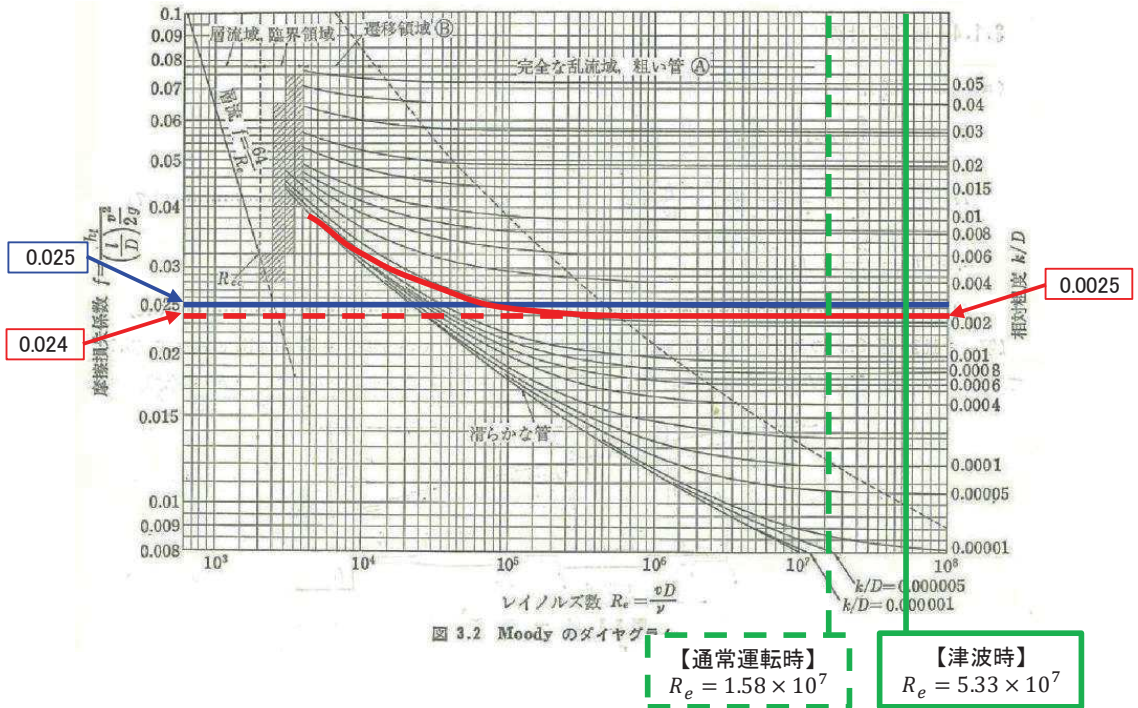


図 1.4-20 (8) 第 3 号機放水路：曲がり損失考慮位置

e. 津波時における局所損失係数の適用妥当性について

津波時における局所損失係数の適用妥当性を確認するため、津波を対象とした一次元管路モデルに関する既往知見（佐藤ほか（2017））をレビューするとともに、水力発電所（水圧鉄管）のレイノルズ数は一般に $1 \times 10^7 \sim 5 \times 10^7$ 程度であり、電力土木技術協会（1995）、土木学会（1999）等に表示される局所損失係数を用いて設計していることを踏まえ、津波時のレイノルズ数が水力発電所（水圧鉄管）のレイノルズ数とおおむね同程度であるかを確認した。

(a) 津波を対象とした一次元管路モデルに関する既往知見（佐藤ほか（2017））のレビュー

佐藤ほか（2017）は、津波を対象とした水理模型実験と各局所損失を考慮した一次元管路モデルによる計算結果を比較している。

一次元管路モデルに適用している局所損失係数は、土木学会（1999）に表示される局所損失係数（流入，流出，漸拡，漸縮）を用いるとともに、同一断面で異なる局所損失が発生する際は、各局所損失係数を組合せて解析を実施している（漸拡+流出，漸縮+流入）。

水理模型実験結果と上記による一次元管路モデルの計算結果はおおむね整合していることから、土木学会（1999）に表示される局所損失を津波時に適用することは妥当であるとともに、局所損失の組合せを適用することについても妥当であることを確認した。

【佐藤ほか (2017) 要約】

- ・ 実験水路の下流端に取放水設備として開水路形状の漸拡水路とポンプ室の実験模型を設置し、実験水路の上流端に設置した造波機から波を発生させ、実験模型の立坑やポンプ室に設置した波高計で水位を計測 (図 1.4-21)。
- ・ 取放水設備区間のみ数値解析モデルを作成し、局所損失係数として水路への流入損失、漸拡水路の漸拡損失、ポンプ室への流出損失のほか、矩形水路から取水口への流入出損失を考慮した次元管路モデルの溢水量算定手法の適用妥当性について検証を行っている。次元管路モデルにより解析手法の主な解析条件を図 1.4-22 に示す。
- ・ 水理模型実験結果と解析結果の比較を図 1.4-23 に示す。水路から立坑の流入出による損失をモデル化に含めた結果、周期 10 秒などの短周期側のケースにおいて各立坑の水位波形の再現性が向上した。また、各立坑溢水量の大小関係は実験とおおむね整合しており、本手法でおおむね良好な再現性が得られることを確認できた。

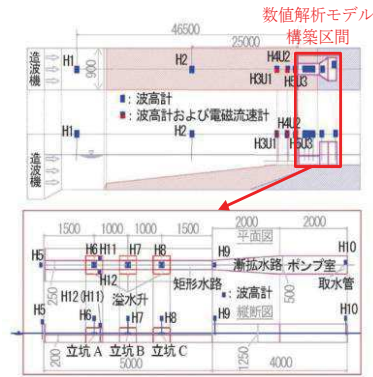


図 1.4-21 実験水路及び取放水設備の模型図



図 1.4-22 解析モデル (上)、解析条件 (下)

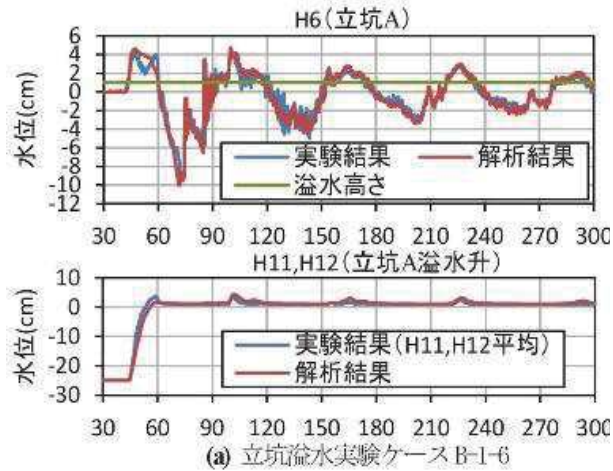


図 1.4-23 実験結果と解析結果の比較

(b) 津波時と通常時の各取放水路内のレイノルズ数の比較

管路解析に用いている局所損失のうち曲がり損失及び屈折損失について、津波時のレイノルズ数 $10^6 \sim 10^7$ であり、水力発電所（水圧鉄管）の一般的なレイノルズ数 $1 \times 10^7 \sim 5 \times 10^7$ 程度と同程度であることから、電力土木技術協会（1995）等に表示される上記局所損失を津波時に適用することは妥当と考えられる。

なお、上記津波時のレイノルズ数は通常時とおおむね同程度*であることを確認した（表 1.4-16）。

*：第1号機取水路及び第1号機放水路については、通常運転時の流量（補機冷却系海水ポンプ 通常運転=1,920m³/hr）が小さいため、流速及びレイノルズ数が津波時よりも小さくなるが、津波時のレイノルズ数は第2号機取水路、第2号機放水路及び第3号機放水路とおおむね同程度である。

表 1.4-16 (1) 曲がり損失を考慮している断面位置での通常運転時と津波時のレイノルズ数の比較

区分	損失番号	位置* (m)	津波時		通常時		
			最大流速 (m/s)	最大レイノルズ*数	流速 (m/s)	レイノルズ*数	
取水路	第1号機	③	20.51~44.25	3.42	1.30E+07	0.03	8.30E+04
		⑦	252.49~270.29	2.12	6.99E+06	0.03	1.03E+05
	第2号機	③	73.57~112.84	7.73	4.07E+07	1.91	7.17E+06
放水路	第1号機	⑦	279.43~290.13	3.03	1.39E+07	0.03	1.54E+05
		⑧	508.24~599.00	3.19	1.70E+07	0.03	1.54E+05
	第2号機	⑤	55.10~64.67	5.48	3.07E+07	2.32	1.31E+07
		⑦	81.07~90.51	5.65	1.81E+07	3.34	1.57E+07
		⑧	236.93~256.38	5.51	3.09E+07	2.34	1.31E+07
	第3号機	④	27.94~47.30	13.21	5.33E+07	4.26	1.58E+07

*：各取放水口からの位置（距離）

表 1.4-16 (2) 屈折損失を考慮している断面位置での通常運転時と津波時のレイノルズ数の比較

区分	損失番号	位置* (m)	津波時		通常運転時		
			最大流速 (m/s)	最大レイノルズ数	流速 (m/s)	レイノルズ数	
放水路	第1号機	③	26.00	3.78	1.06E+07	0.04	1.70E+05
		④	32.00	3.76	1.05E+07	0.04	1.70E+05
	第2号機	②	15.50	9.59	3.64E+07	3.95	1.50E+07
		③	24.00	9.67	3.67E+07	3.96	1.50E+07
		⑨	354.72	5.41	3.03E+07	2.30	1.30E+07
	第3号機	②	12.80	8.80	3.25E+07	4.23	1.56E+07
		③	26.24	10.88	4.79E+07	4.26	1.58E+07
		⑤	82.21	1.92	1.13E+07	0.56	5.58E+06
		⑦	128.41	4.51	2.53E+07	2.28	1.30E+07
		⑧	261.58	4.74	2.65E+07	2.27	1.30E+07
⑨		350.65	4.72	2.64E+07	2.27	1.30E+07	
	⑩	554.90	1.51	1.48E+07	0.75	7.46E+06	

* : 各放水口からの位置 (距離)

f. まとめ

以下の検討から、津波時における摩擦損失係数及び局所損失係数の適用妥当性を確認した。

- ・ 摩擦損失係数について、取放水設備内で確認されたレイノルズ数 Re と Moody のダイヤグラムの比較から、マンニングの粗度係数を津波時に適用することの妥当性を確認した。
- ・ 局所損失係数について、佐藤ほか (2017) による津波を対象とした水理模型実験と各局所損失を考慮した次元管路モデルによる解析結果の比較内容をレビューするとともに、水力発電所 (水圧鉄管) のレイノルズ数と津波時のレイノルズ数の比較から、電力土木技術協会 (1995) に示される局所損失係数を津波時に適用することの妥当性を確認した。

1.4.5 入力波形の抽出位置について

(1) 入力波形の抽出位置について

基準津波の評価では、波源特性の不確かさを考慮した多数のパラメータスタディを実施することから、各ケースによって港湾内における津波の流れが異なることを踏まえ、水位評価範囲を広めに設定した（図 1.4-24）。

一方で、管路解析に用いる水位抽出位置は、周辺構造物からの反射波や海底地形の影響が少なくなるように各取放水口の中央から離隔をとって設定した（図 1.4-25，図 1.4-26）。

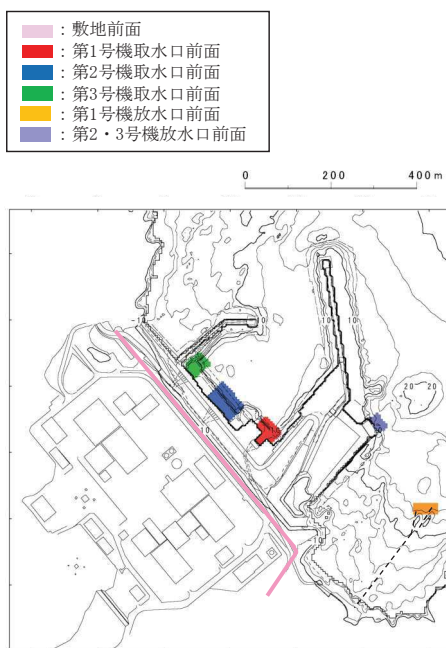


図 1.4-24 基準津波における水位評価範囲



図 1.4-25 管路解析に用いる入力波形抽出位置

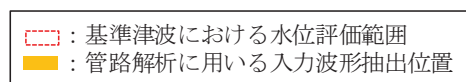


図 1.4-26 取水口前面における水位抽出位置（概念図）

(2) 入力波形の抽出位置の妥当性について

基準津波の水位評価範囲は、管路解析に用いる入力波形の抽出位置よりも広範囲に設定しているため、管路解析に用いる入力波形の最高（最低）水位よりもわずかに高い（低い）。

上記差が入力津波高さに及ぼす影響を確認するため、基準津波の水位評価範囲における最高（最低）水位位置の時刻歴波形を用いた管路解析を実施した。管路解析に用いる入力波形抽出位置と基準津波評価における最高水位抽出位置の関係及び各時刻歴波形を用いた入力津波高さの比較を図 1.4-27、図 1.4-28 に示す。検討の結果、各取放水口前面の最高（最低）水位の差が入力津波高さに及ぼす影響はないことを確認した。

これは、各取放水口前面における最高（最低）水位は地形の影響を受けるためわずかな差が生じているものの、管路解析に用いる水位時刻歴波形としてはほぼ一致しているためと考えられる（表 1.4-17、表 1.4-18）。

以上の検討から、管路解析に用いる入力波形の抽出位置の妥当性を確認した。

●:①管路解析に用いる時刻歴波形抽出位置, ●:②取放水口前面最高水位評価位置

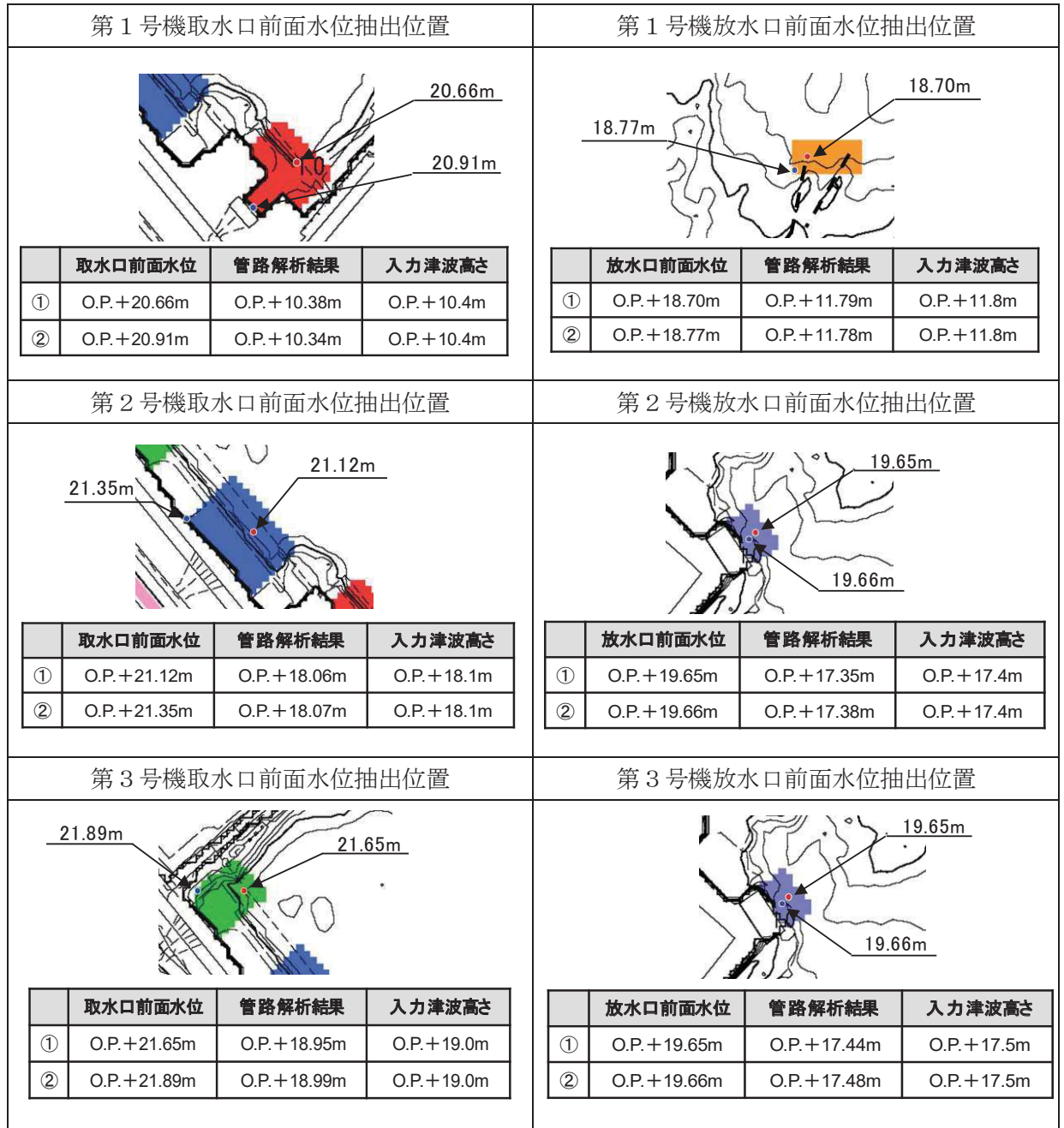


図 1.4-27 管路解析に用いる入力波形抽出位置と基準津波評価における最高水位抽出位置及び各時刻歴波形を用いた入力津波高さの評価（水位上昇側）

- : ①管路解析に用いる時刻歴波形抽出位置
- : ②取水口前面最低水位評価位置

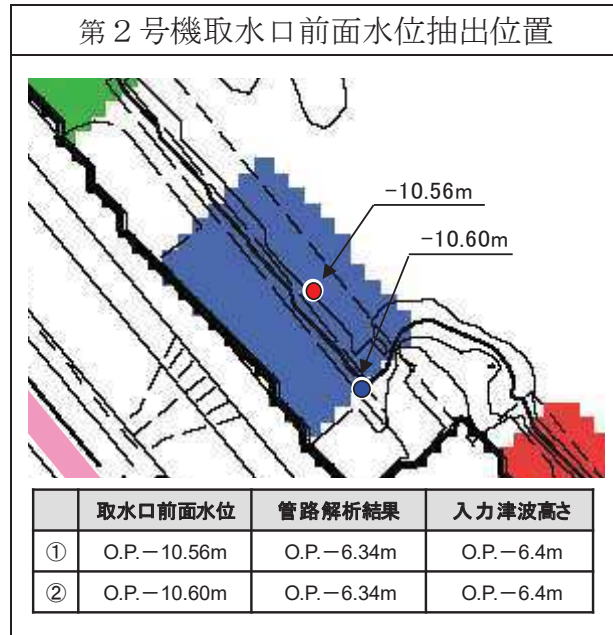


図 1. 4-28 管路解析に用いる入力波形抽出位置と基準津波評価における最高水位抽出位置及び各時刻歴波形を用いた入力津波高さの評価（水位下降側）

表 1.4-17 (1) 取水口前面水位時刻歴波形及び海水ポンプ室水位時刻歴波形の比較 (水位上昇側)

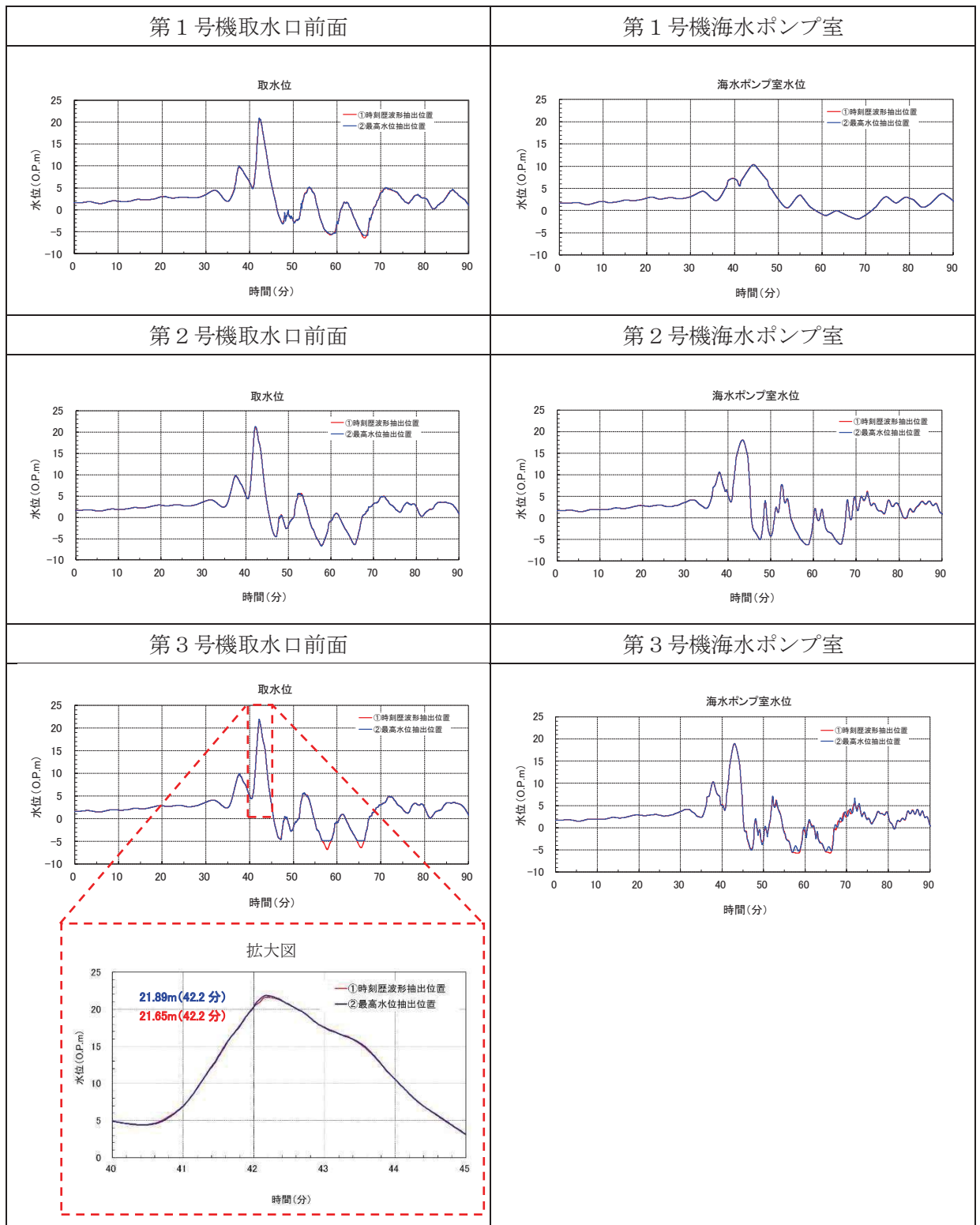


表 1.4-17 (2) 放水口前面水位時刻歴波形及び放水立坑水位時刻歴波形の比較 (水位上昇側)

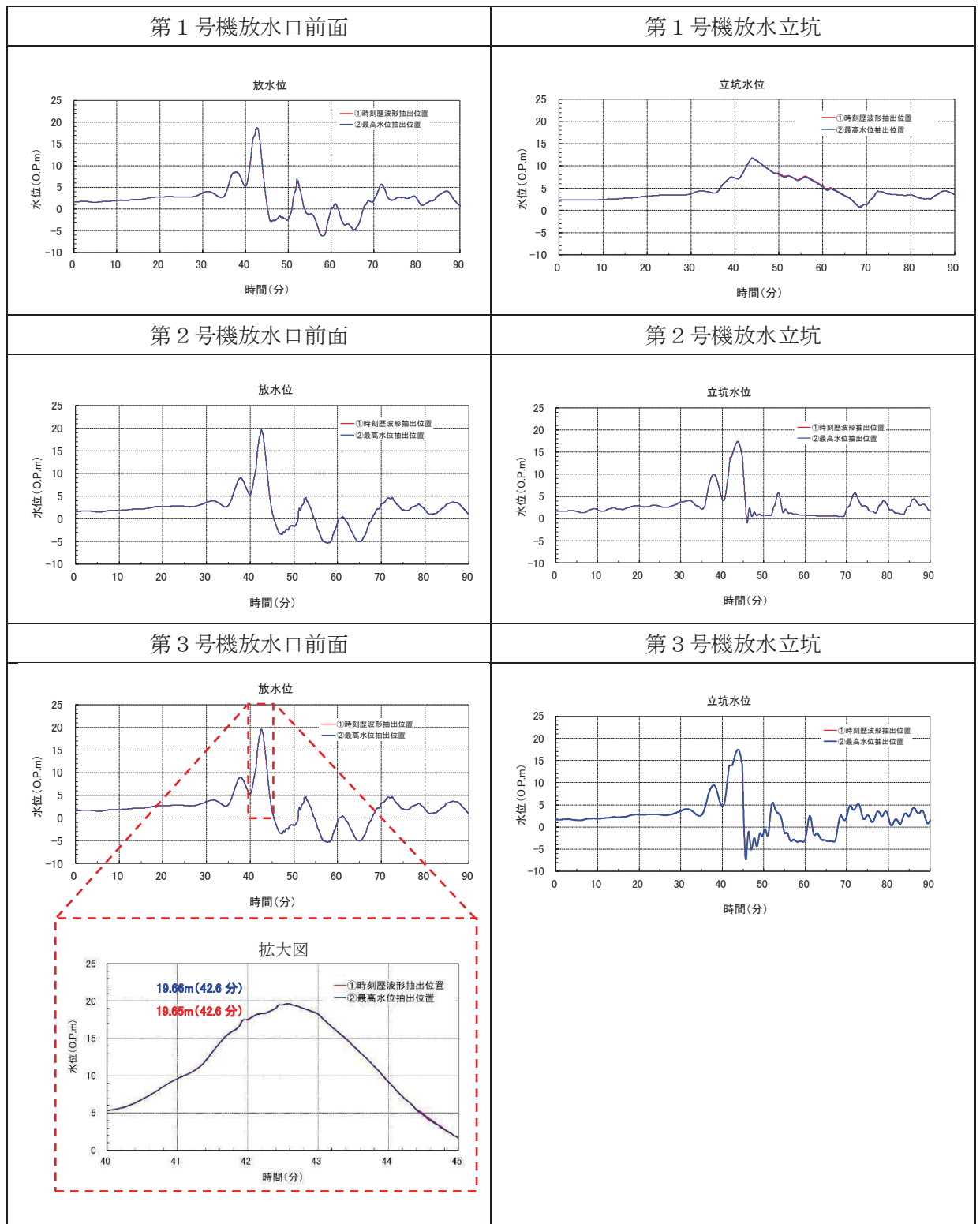
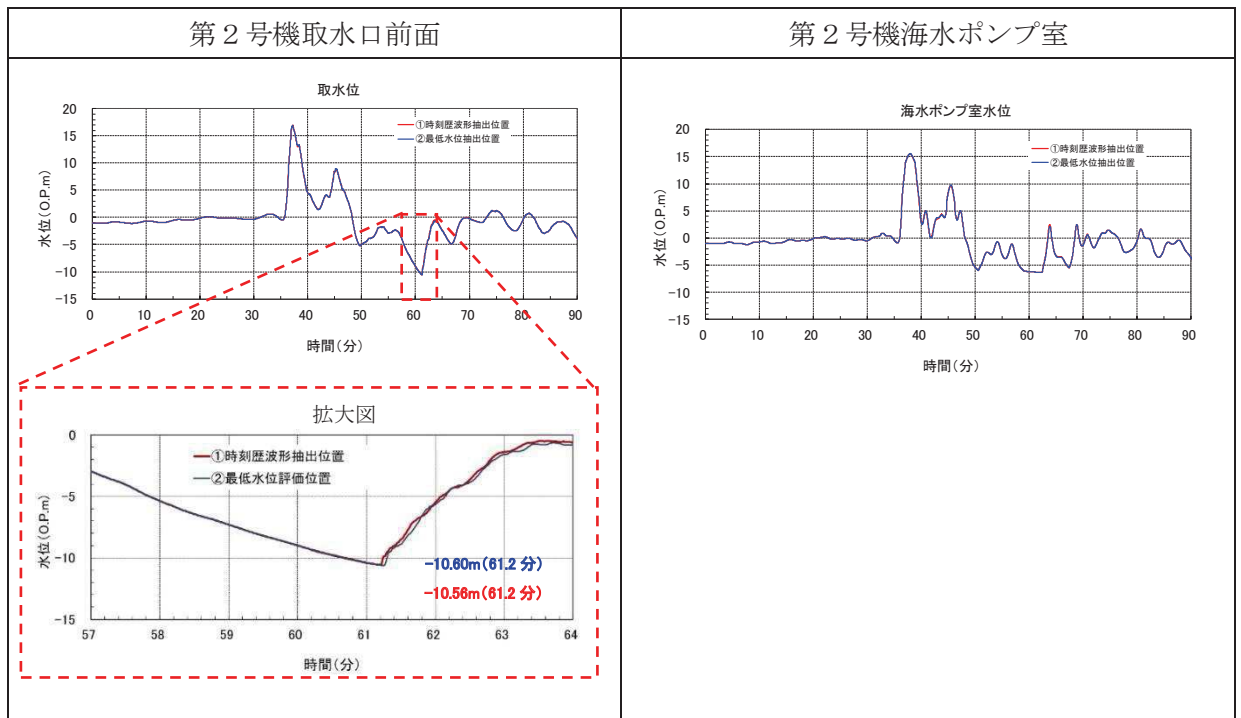


表 1.4-18 取水口前面水位時刻歴波形及び海水ポンプ室水位時刻歴波形の比較（水位下降側）



(参考 1) 津波襲来時における取放水路内の水位変動と流速の関係について

1. はじめに

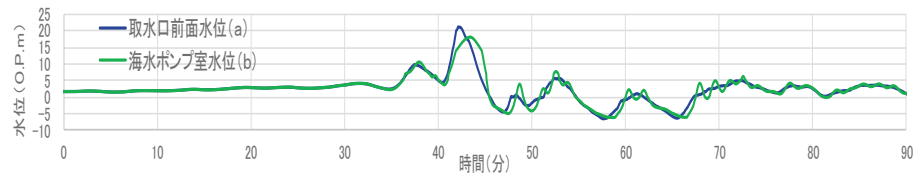
「1.4.4(2)c. 津波時における各取放水路内のレイノルズ数について」の検討において、各取放水設備の流速の経時変化に係るデータ整理の結果、第1波以降に最大流速が発生する取放水設備が見られたことから、津波襲来時における取放水路内の水位変動と流速の関係を整理した。なお、本整理は、一般的な水路構造である第2号機取水路及び取放水路流路縮小工が設置される第1号機取水路を対象に行った。

2. 第2号機取水路の流れ

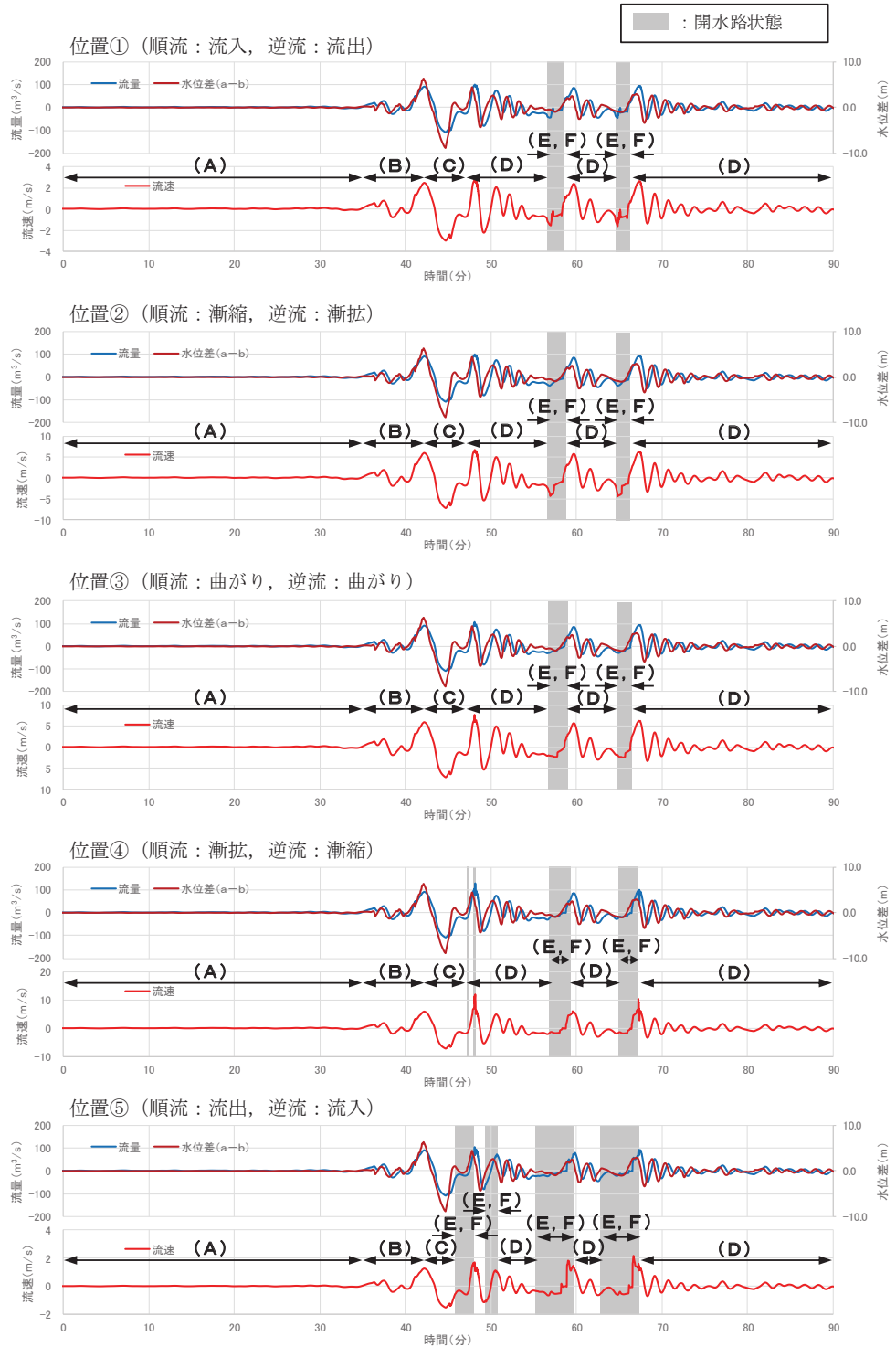
第2号機取水路は一般的な水路構造であり、津波襲来によって後述する(A)～(F)のように水路内の流況が変化する。

水路内が全区間管路(満水)状態の場合は、取水口前面と海水ポンプ室の水位差の変動に応じた流速が水路内に発生する。また、水路内に開水路状態が発生する場合は、水路内の水深(流積)が変化することから、その水深変化(流積変化)に応じた流速が発生する。

取水口前面水位と海水ポンプ室の時刻歴波形の比較、両者の水位差と流量の経時変化及びそれらに対応する流速の経時変化について図1に示す。



【取水口前面水位と海水ポンプ室の時刻歴波形の比較】

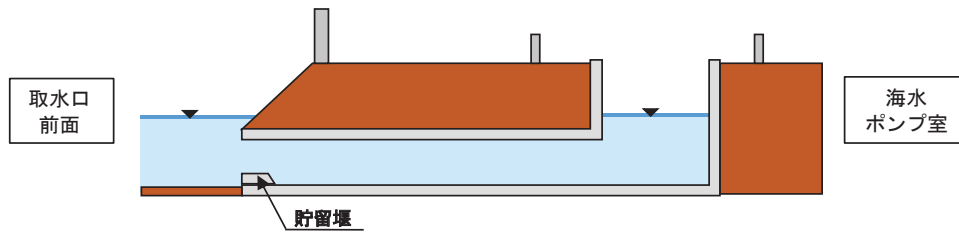


【取水口前面及び海水ポンプ室の水位差と流量の経時変化及びそれらに対応する流速の経時変化】

図1 第2号機取水路における各パラメータの経時変化

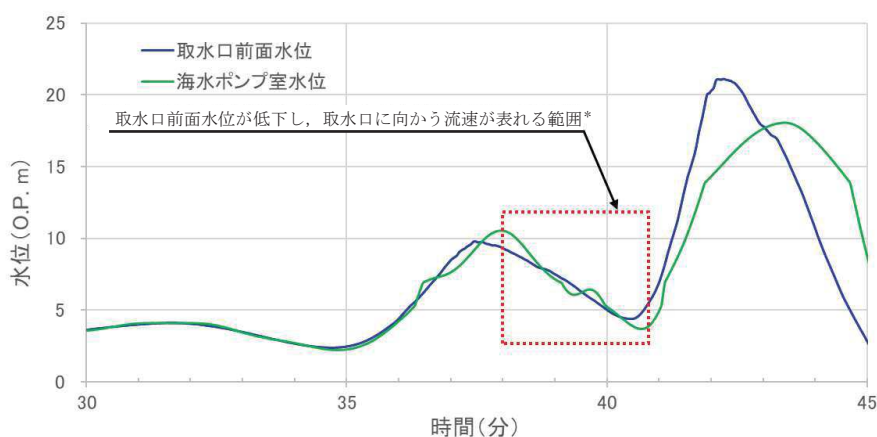
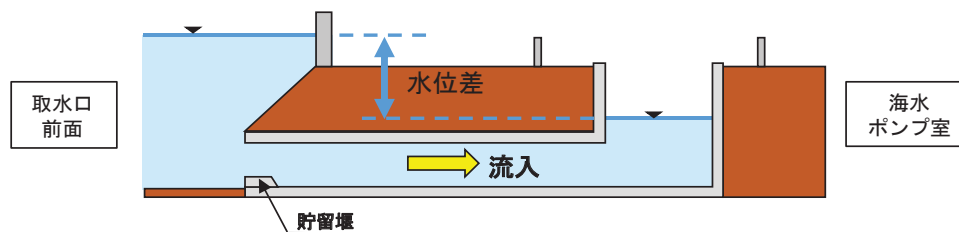
(A) 津波襲来前【管路（満水）状態】

- ・ 取水口前面と海水ポンプ室の水位は同程度であるため、水路内に大きな流速は発生しない。



(B) 第1波押し波時【管路（満水）状態】

- ・ 津波の襲来に伴い取水口前面水位が上昇し、取水口前面と海水ポンプ室に水位差が生じるため、海水ポンプ室へ海水が流入することにより、海水ポンプ室の水位が上昇する。
- ・ 水路内は管路（満水）状態のため、両者の水位差の変動に応じた流速が発生する。
- ・ なお、基準津波の第1波は複数の波の重なり合いによる二段型波形が特徴であり、取水口前面水位は上昇・下降を繰り返しながら最高水位に到達する。そのため、取水口前面水位が低下し、海水ポンプ室水位が取水口前面水位を上回る状態が断続的に発生することにより、区間（B）（第1波押し波時）においても水路内では取水口に向かう流速が発生することがある（図2）。



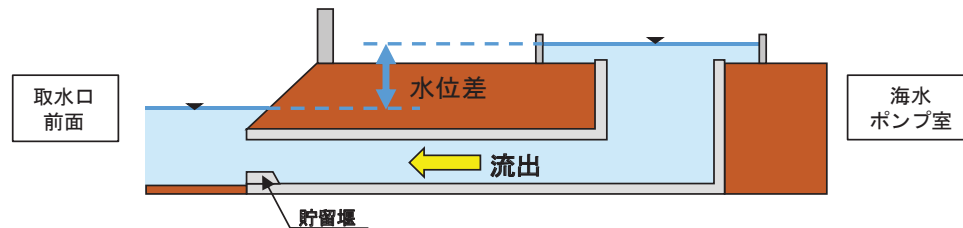
*：海水ポンプ室水位は、取水路と海水ポンプ室接続部の流入出量と海水ポンプ室内の標高に応じた容積の関係から算定される。

海水ポンプ室は、標高に応じて容積が変化するため（図1.4-3(2)）、海水ポンプ室水位が高い範囲（容積が小さい範囲）の水位は、水位が低い範囲（容積が大きい範囲）の水位と比較して、変化しやすい。

図2 第1波押し波時における取水口前面水位と海水ポンプ室水位の比較
（図1の地震発生後30分～45分の拡大図）

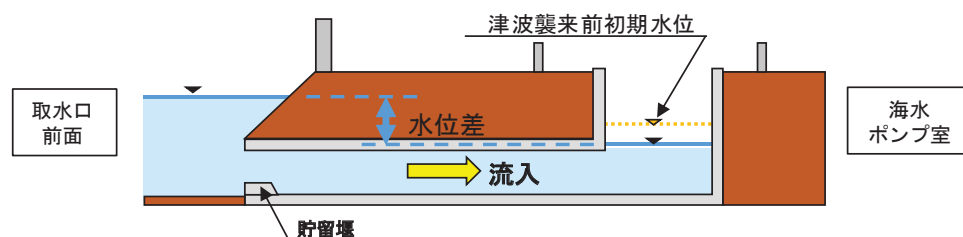
(C) 第1波引き波時【管路（満水）状態】

- ・ 引き波に伴い取水口前面水位が低下するが、海水ポンプ室水位は水位が高い状態のため水位差が生じ、取水口から海水が流出する。
- ・ 水路内は管路（満水）状態のため、両者の水位差の変動に応じた流速が発生する。



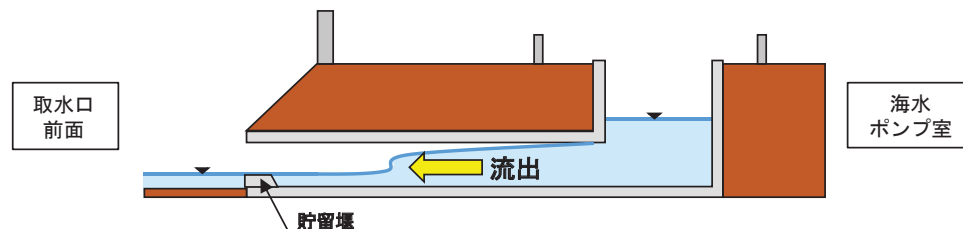
(D) 第2波以降【管路（満水）状態】

- ・ 津波の繰り返しの襲来に伴い取水口前面と海水ポンプ室に水位差が生じる。
- ・ 水路内は管路（満水）状態のため、両者の水位差の変動に応じた流速が発生する。
- ・ なお、津波が水路内に流入する際、海水ポンプ室水位が津波襲来前の初期水位よりも低下していることから、第1波と同程度の流入量が生じても、海水ポンプ室水位は第1波と比較して小さくなる。



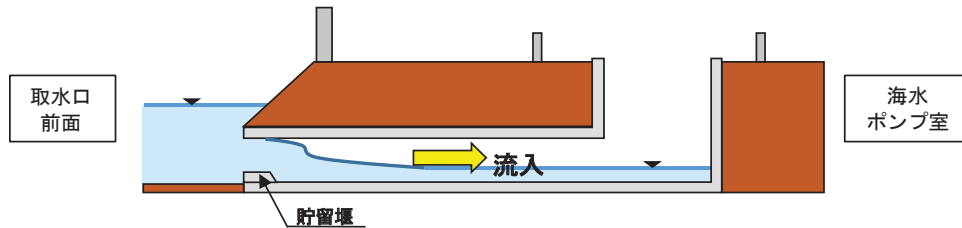
(E) 第2波以降【管路（満水）状態から開水路状態への遷移時】

- ・ 引き波に伴い取水口前面水位が取水路天端高さを下回ると、取水口側の水路内は開水路状態になる。
- ・ 管路（満水）状態から開水路状態への遷移時は、水路内の水深（流積）が浅くなる（小さくなる）ことから、その水深に応じた流速が発生する（管路（満水）状態における取水口前面と海水ポンプ室の水位差の変動に応じた流速とは異なる）。



(F) 第2波以降【開水路状態から管路（満水）状態への遷移時】

- ・ 押し波に伴い取水口前面水位が取水路天端高さを上回ると、取水口側の水路内は再び管路（満水）状態になる。取水口前面と海水ポンプ室の水位差は第1波の水位差よりも小さいが、海水ポンプ室側には開水路区間が存在するため、第1波と同程度の流量が生じる。
- ・ 水路内は開水路状態のまま海水ポンプ室方向への流れに転じ、水深（流積）に応じた流速が発生する。その後、管路（満水）状態に遷移し、取水口前面と海水ポンプ室の水位差の変動に応じた流速が発生する。



3. 第1号機取水路の流れ

第1号機取水路は、津波襲来によって後述する(A)～(F')のように水路内の流況が変化するが、取放水路流路縮小工の設置及び貯留堰が設置されていないことにより、第2号機取水路の水位変動及び流速変化とは流況が異なる。

水路内が全区間管路(満水)状態の場合は、取水口前面と海水ポンプ室の水位差の変動に応じた流速が発生するものの、取放水路流路縮小工の設置により海水の流入出が抑制されるため、取放水路流路縮小工より取水口側と海水ポンプ室側では、第2号機取水路と比較して流速は小さい。水路内に開水路状態が発生する場合は、水路内の水深(流積)が変化することから、その水深変化(流積変化)に応じた流速が発生するが、第1号機取水路は、貯留堰が設置されていないため、管路(満水)状態から開水路状態に遷移する際(又は、開水路状態から管路(満水)状態に遷移する際)に、水路内の水深(流積)及び流速が急激に変化する。

取水口前面水位と海水ポンプ室の時刻歴波形の比較、両者の水位差と流量の経時変化及びそれらに対応する流速の経時変化について図3に示す。なお、各局所損失水頭考慮位置(位置①～⑧)における流速の経時変化は同じ傾向を示すものの、取放水路流路縮小工より取水口側で、第1波押し波時よりも第2波以降で流速が極端に大きくなることから、取水口側の局所損失水頭考慮位置(位置①)を代表に示す。

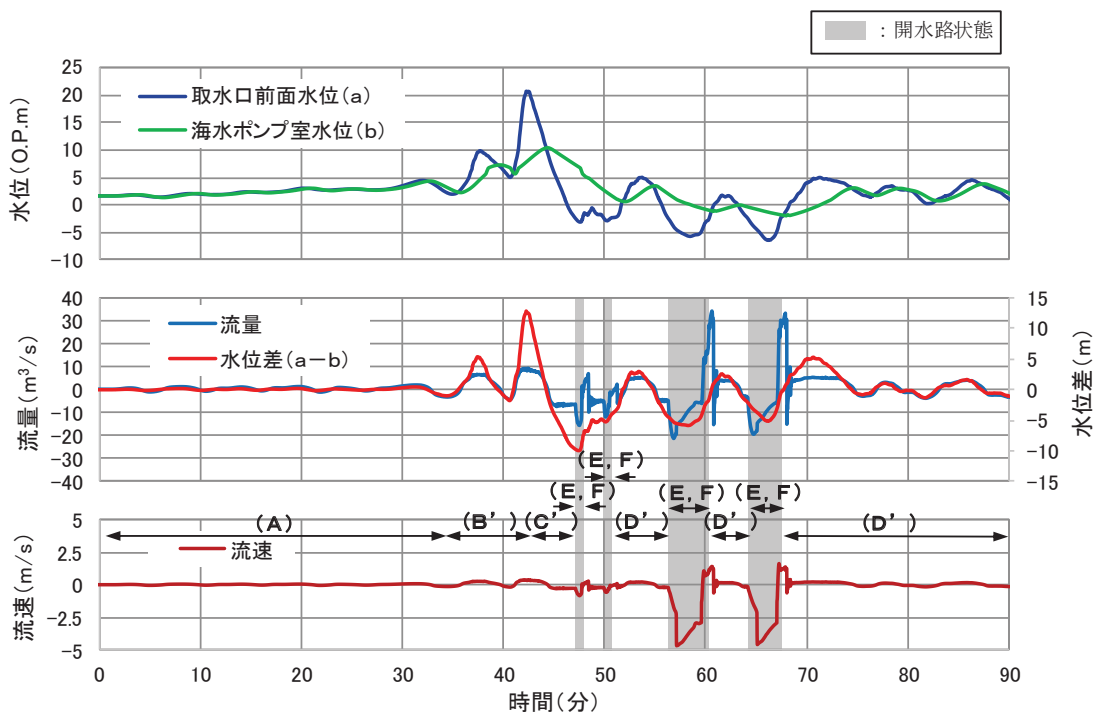
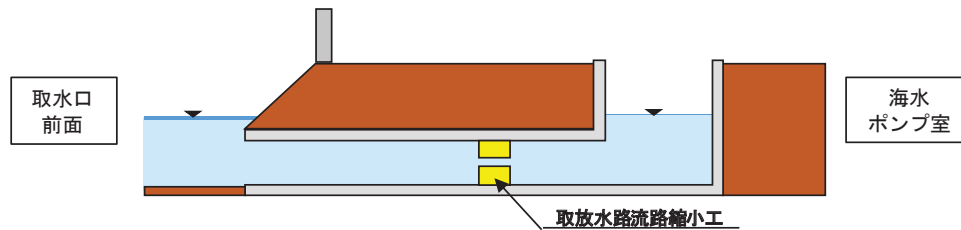


図3 第1号機取水路 損失水頭考慮位置：位置①(順流：流入，逆流：流出)における各パラメータの経時変化

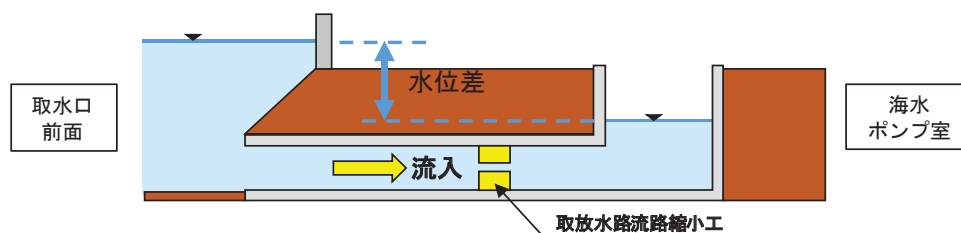
(A) 津波襲来前【管路（満水）状態】

- ・ 取水口前面と海水ポンプ室の水位差は同程度であるため、水路内に大きな流速は発生しない。



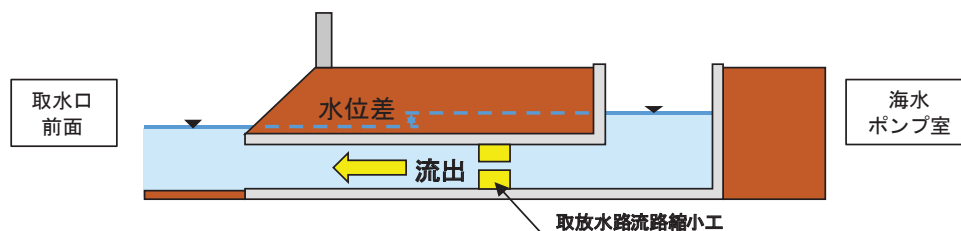
(B') 第1波押し波時【管路（満水）状態】

- ・ 津波の襲来に伴い取水口前面水位が上昇するが、取放水路流路縮小工の設置により海水ポンプ室への海水の流入が抑制される。
- ・ 水路内は管路（満水）状態のため、両者の水位差の変動に応じた流速が発生するものの、上記の流入抑制の影響により第2号機取水路と比較して流速は小さい。



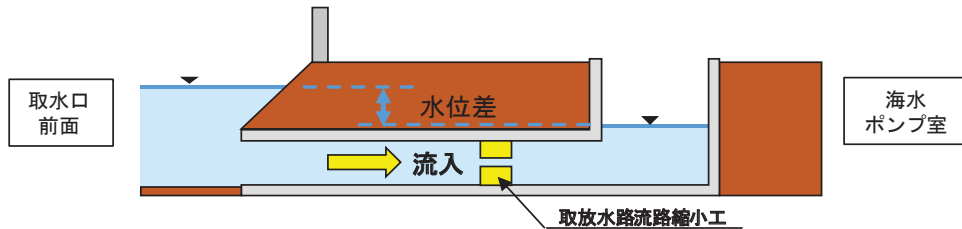
(C') 第1波引き波時【管路（満水）状態】

- ・ 引き波に伴い取水口前面水位が低下するが、取放水路流路縮小工の設置により取水口前面への海水の流出が抑制される。
- ・ 水路内は管路（満水）状態のため、両者の水位差の変動に応じた流速が発生するものの、上記の流出抑制の影響により第2号機取水路と比較して流速は小さい。



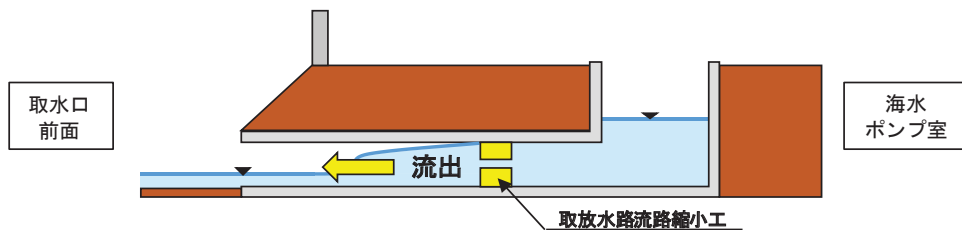
(D') 第2波以降【管路（満水）状態】

- ・ 津波の繰り返しの襲来に伴い取水口前面と海水ポンプ室に水位差が生じるが、取放水路流路縮小工の設置により海水の流入出が抑制される。
- ・ 水路内は管路（満水）状態のため、両者の水位差の変動に応じた流速が発生するものの、上記の流入出抑制の影響により第2号機取水路と比較して流速は小さい。



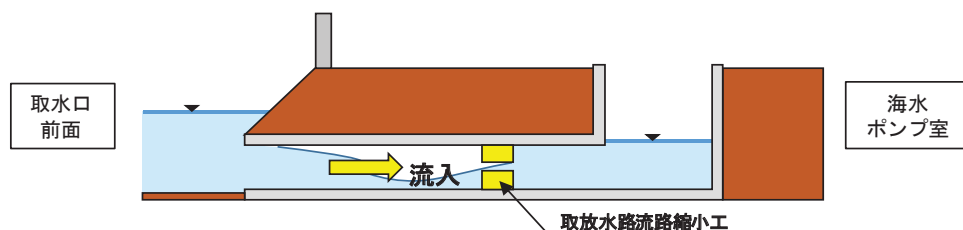
(E') 第2波以降【管路（満水）状態から開水路状態への遷移時】

- ・ 引き波に伴い取水口前面水位が取水路天端高さを下回ると、水路内は開水路状態になる。
- ・ 管路（満水）状態から開水路状態への遷移時は、水路内の水深（流積）が浅くなる（小さくなる）ことから、その水深に応じた流速が発生するが、第1号機取水路は貯留堰が設置されていないため、第2号機取水路と比較して水路内の水深（流積）及び流速が急激に変化する。



(F') 第2波以降【開水路状態から管路（満水）状態への遷移時】

- ・ 押し波に伴い取水口前面水位が取水路天端高さを上回ると、水路内は再び管路（満水）状態になる。
- ・ 水路内は開水路状態のまま海水ポンプ室方向への流れに転じ、水深（流積）に応じた流速が発生するが、第1号機取水路は貯留堰が設置されていないため、第2号機取水路と比較して水路内の水深（流積）及び流速が急激に変化する。その後、管路（満水）状態に遷移し、取水口前面と海水ポンプ室の水位差の変動に応じた流速が発生する。



4. まとめ

一般的な水路構造である第2号機取水路及び取放水路流路縮小工が設置される第1号機取水路を対象に津波襲来時における管路内の流況から、水位変動と流速の関係を以下のとおり整理した。

- ・ 水路内が全区間管路（満水）状態の場合は、取水口前面と海水ポンプ室の水位差の変動に応じた流速が水路内に発生する。なお、第1号機取水路は、取放水路流路縮小工の設置により海水の流出入が抑制されることから、第2号機取水路と比較して流速は小さい。
- ・ 水路内に開水路状態が発生する場合は、水路内の水深（流積）が変化することから、その水深変化（流積変化）に応じた流速が発生する。なお、第1号機取水路は、貯留堰が設置されていないため、管路（満水）状態から開水路状態に遷移する際（又は、開水路状態から管路（満水）状態に遷移する際）に、水路内の水深（流積）及び流速が急激に変化する。

(参考2) 津波防護施設（防潮壁，取放水路流路縮小工）の形状が津波水位に与える影響について

1. はじめに

取水路，放水路等の経路から敷地に津波を流入させない設計とするため，外郭防護として第2号機及び第3号機取放水設備には防潮壁を，第1号機取放水設備には取放水路流路縮小工を設置するが（以下「現状評価」という。），各津波防護施設が海水ポンプ室及び放水立坑位置での最高水位に与える影響を確認するため，各防護施設の形状を変化させたパラメータスタディを実施した。

2. 検討内容

防潮壁，取放水路流路縮小工の代わりに各海水ポンプ室及び放水立坑位置に仮想的な無限壁を設置した形状（以下「無限壁」という。）で最高水位を算出し，現状評価の最高水位との比較から，各津波防護施設が最高水位に与える影響を確認する。なお，「1.5 入力津波の不確かさの考慮について」に示すように，防潮壁の詳細設計を反映した平面線形等を踏まえて防潮壁面積を変更（拡大）しているが，本評価においては入力津波決定ケースとなる防潮壁平面線形等変更前の条件で検討を行った。

各取放水設備及び津波防護施設の概要を図1～図5に示す。

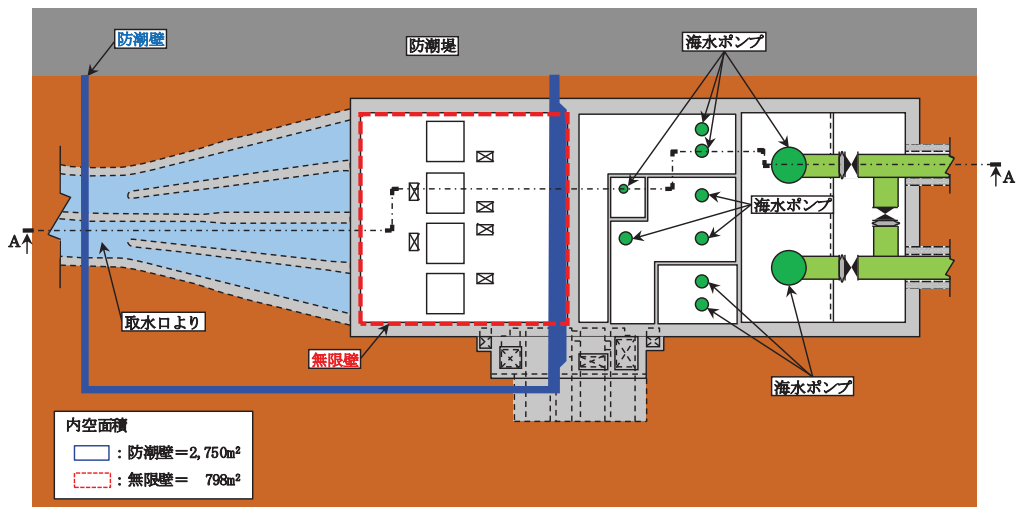


図1 (1) 第2号機海水ポンプ室平面図

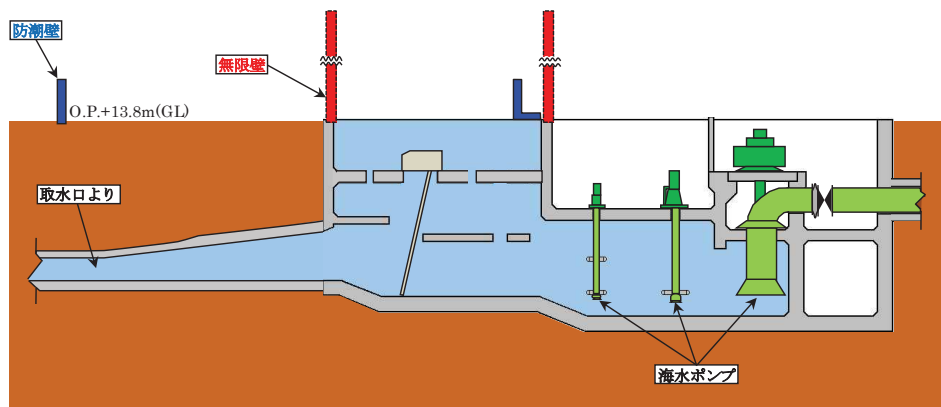


図1 (2) 第2号機海水ポンプ室縦断面図 (A-A 断面)

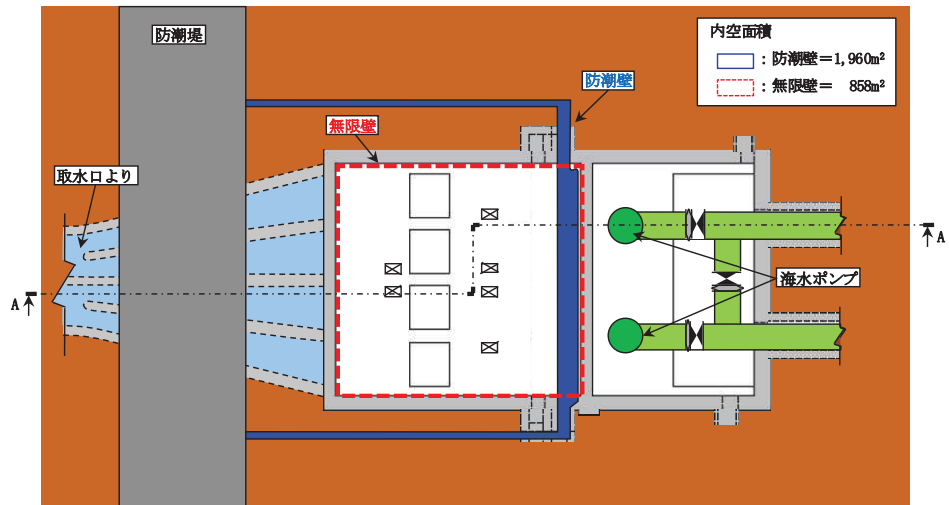


図 2 (1) 第 3 号機海水ポンプ室平面図

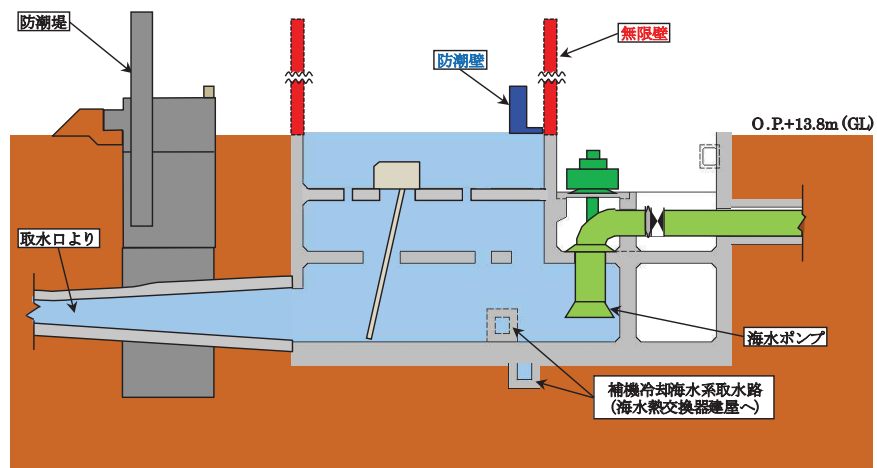


図 2 (2) 第 3 号機海水ポンプ室縦断図 (A-A 断面)

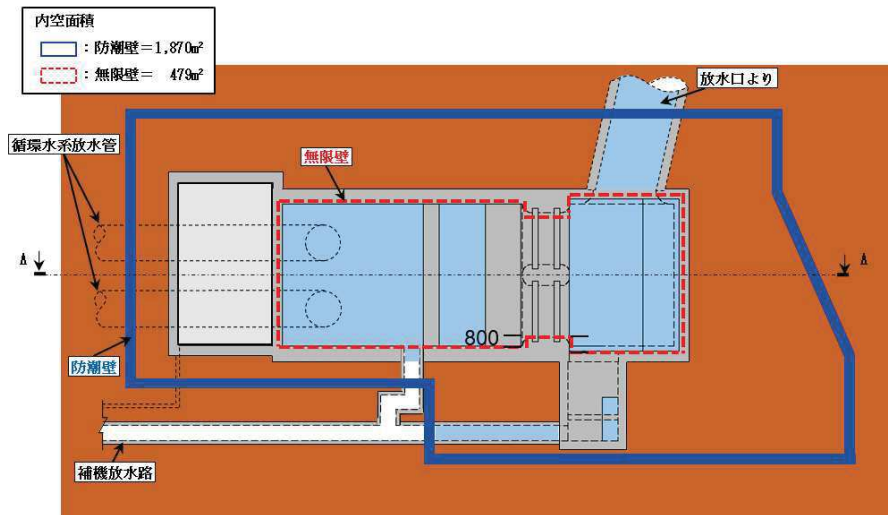


図 3 (1) 第 2 号機放水立坑平面図

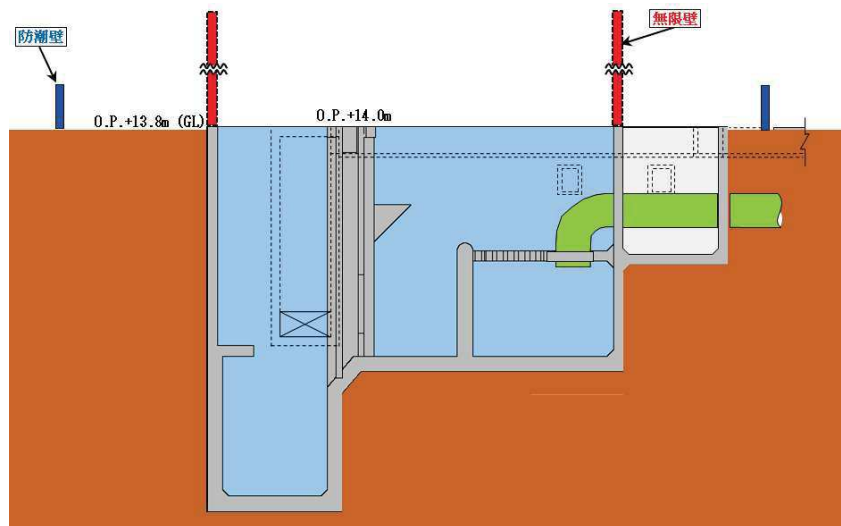


図 3 (2) 第 2 号機放水立坑縦断図 (A-A 断面)

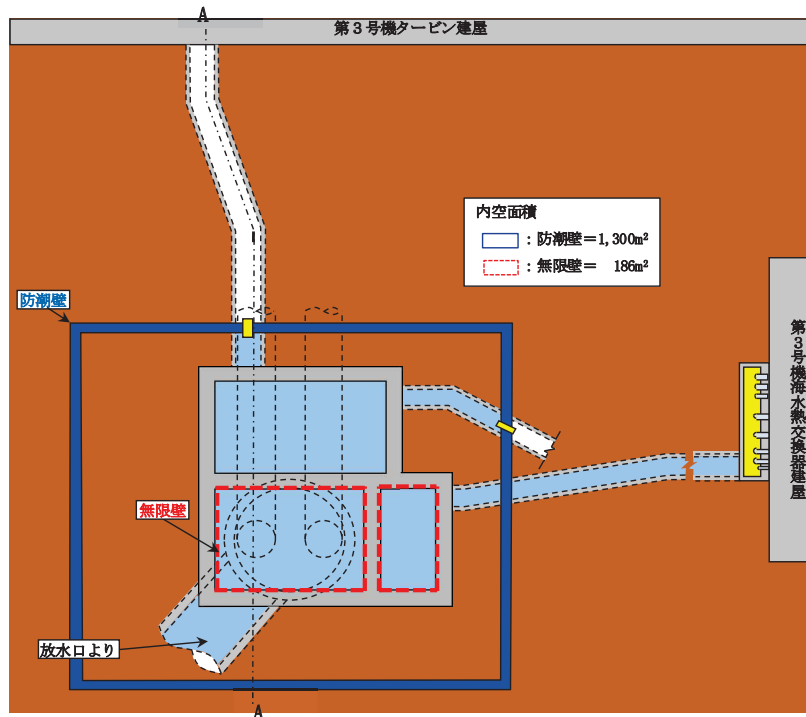


図 4 (1) 第 3 号機放水立坑平面図

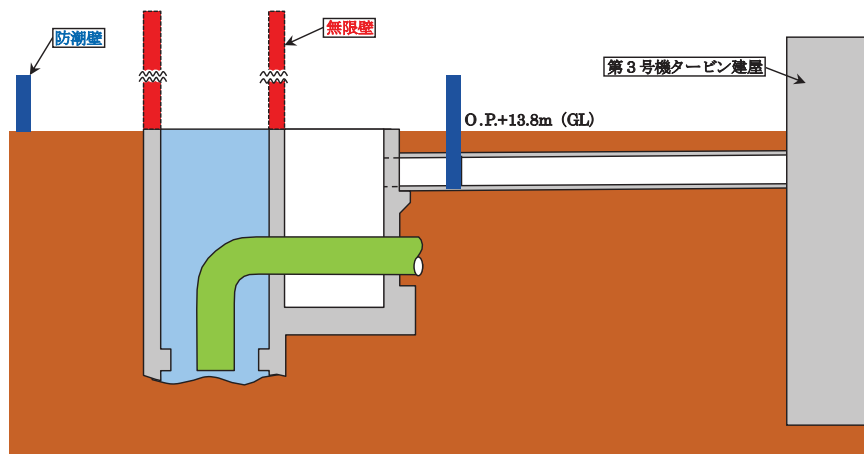


図 4 (2) 第 3 号機放水立坑縦断面図 (A-A 断面)

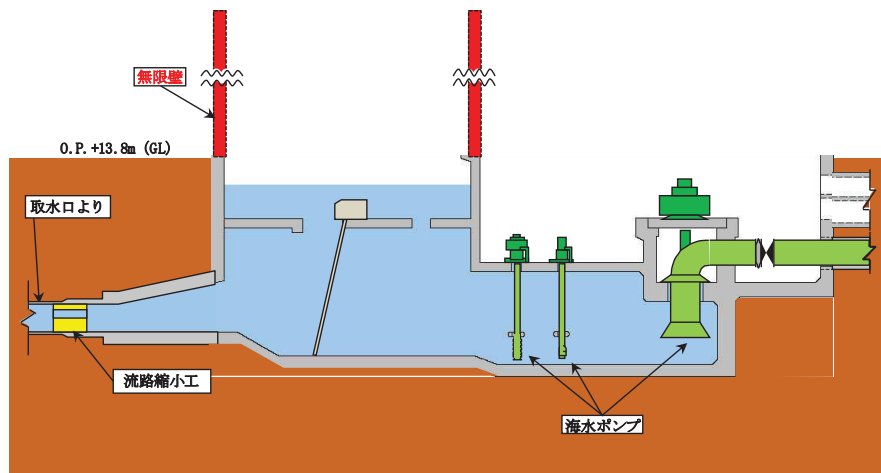


図 5 (1) 第 1 号機海水ポンプ室縦断図

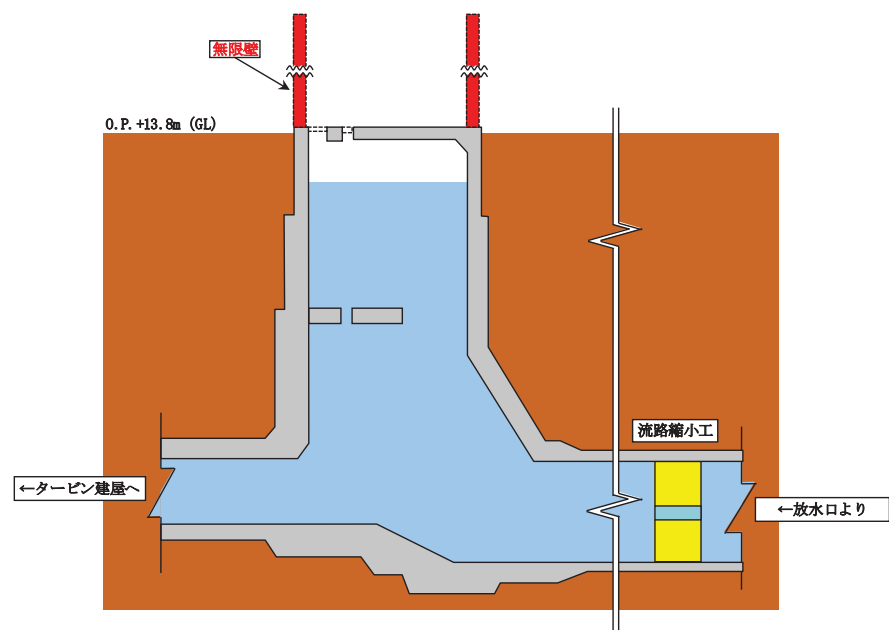


図 5 (2) 第 1 号機放水立坑縦断図

3. 検討結果

(1) 第2号及び第3号機防潮壁の影響

第2号及び第3号機海水ポンプ室及び放水立坑位置における最高水位の検討結果を表1、表2に示す。

無限壁での海水ポンプ室及び放水立坑位置の最高水位は、取放水口前面（外海）の水位と同程度または水位が上昇するが、実際には海水ポンプ室及び放水立坑の周囲に防潮壁を設置することで、地上部の防潮壁に囲まれるエリアに大容量の水を貯留することが可能となり、2.37m～4.52m水位が低下することを確認した。なお、第2号機と第3号機の水位低下量の差は、各防潮壁の内空面積の違いが主な要因と考えられる。

表1 第2号及び第3号機取水設備における最高水位

	取水口前面 最高水位 (O. P. m)	海水ポンプ室最高水位 (O. P. m)		
		無限壁 (A)	現状評価 (B)	差 (B) - (A)
第2号機	+21.12	+21.74	+18.06	-3.68
第3号機	+21.65	+21.32	+18.95	-2.37

表2 第2号及び第3号機放水設備における最高水位

	放水口前面 最高水位 (O. P. m)	放水立坑最高水位 (O. P. m)		
		無限壁 (A)	現状評価 (B)	差 (B) - (A)
第2号機	+19.65	+21.87	+17.35	-4.52
第3号機	+19.65	+21.84	+17.44	-4.40

(2) 第1号機取放水路流路縮小工の影響

第1号機海水ポンプ室及び放水立坑位置における最高水位の検討結果を表3、表4に示す。

無限壁での海水ポンプ室及び放水立坑位置の最高水位は、取放水口前面（外海）の水位と同程度または水位が上昇するが、実際には取放水路内部に流路縮小工を設置することで、急縮、急拡、摩擦による抵抗（損失）が発生し、9.03m～9.58m水位が低下することを確認した。

表3 第1号機取水設備における最高水位

	取水口前面 最高水位 (O.P.m)	海水ポンプ室最高水位 (O.P.m)		
		無限壁 (A)	現状評価 (B)	差 (B) - (A)
第1号機	+20.66	+19.96	+10.38	-9.58

表4 第1号機放水設備における最高水位

	放水口前面 最高水位 (O.P.m)	放水立坑最高水位 (O.P.m)		
		無限壁 (A)	現状評価 (B)	差 (B) - (A)
第1号機	+18.70	+20.82	+11.79	-9.03

(参考3) 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備の設計に用いる流速について

1. 津波防護施設 (取放水路流路縮小工)

第1号機取水路及び放水路に設置する流路縮小工の設計で考慮する浸水津波荷重の算出に用いる水平流速の検討について使用する各取放水路流路縮小工前面, 貫通部及び背面における最大水平流速を表1に示す。入力津波高さが有する数値計算上の不確かさのうち基準地震動 S_s に伴う標高変化(地盤沈下)については, 入力津波高さに与える影響が大きい「現地形(沈下なし)」の条件とした(詳細は, 「1.5 入力津波の不確かさの考慮について」に示す)。

表1(1) 最大水平流速 (取放水路流路縮小工 (第1号機取水路), 水位上昇側)

防波堤	標高変化 (地盤沈下)	敷地前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる 地殻変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	最大水平流速 (m/s)						
								前面	貫通部	背面				
あり	現地形 (沈下なし)	+18.41	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり	あり	1.16	11.14	2.53				
							なし	1.18	11.13	2.65				
						なし	あり	1.13	12.35	2.38				
							なし	1.13	12.33	2.51				
なし		現地形 (沈下なし)				+18.39	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり	あり	1.16	11.14	2.53
											なし	1.16	11.12	2.53
										なし	あり	1.19	13.03	2.63
											なし	1.19	13.01	2.69

表1(2) 最大水平流速 (取放水路流路縮小工 (第1号機放水路), 水位上昇側)

防波堤	標高変化 (地盤沈下)	敷地前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる 地殻変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	最大水平流速 (m/s)		
								前面	貫通部	背面
あり	現地形 (沈下なし)	+18.41	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり	あり	0.14	10.85	1.21
							なし	0.14	10.72	6.46
なし		+18.39				あり	あり	0.15	11.49	0.92
							なし	0.15	11.49	0.92

2. 浸水防止設備（逆止弁付ファンネル，浸水防止蓋）

第2号機及び第3号機海水ポンプ室に設置する逆止弁付ファンネル，第3号機海水熱交換器建屋及び第3号機補機冷却海水系放水ピットに設置する浸水防止蓋の設計で考慮する突き上げ津波荷重の算出に用いる鉛直流速の検討について使用する各取放水設備位置の最大鉛直流速を表2に示す。なお，鉛直上向き，下向きの流速のうち最大値（絶対値）を最大鉛直流速とした。また，入力津波高さが有する数値計算上の不確かさのうち基準地震動S_sに伴う標高変化（地盤沈下）については，入力津波高さに与える影響が大きい「1m沈下（沈下あり）」の条件とした（詳細は，「1.5 入力津波の不確かさの考慮について」に示す）。

表2(1) 最大鉛直流速（第2号機海水ポンプ室，水位上昇側）

防波堤	標高変化 (地盤沈下)	敷地前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる 地殻変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	最大鉛直 流速 (m/s)
あり	1m沈下	+19.15	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり	あり	0.56
							なし	0.61
なし	1m沈下	+18.81				あり	あり	0.61
							なし	0.67
なし	1m沈下	+18.81				なし	あり	0.79
							なし	0.81
なし	1m沈下	+18.81	なし	あり	0.84			
				なし	0.86			

表2(2) 最大鉛直流速（第3号機海水ポンプ室，水位上昇側）

防波堤	標高変化 (地盤沈下)	敷地前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる 地殻変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	最大鉛直 流速 (m/s)
あり	1m沈下	+19.36	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり	あり	0.48
							なし	0.53
なし	1m沈下	+19.34				なし	あり	0.48
							なし	0.57
なし	1m沈下	+19.34				あり	あり	0.67
							なし	0.70
なし	1m沈下	+19.34	なし	あり	0.69			
				なし	0.72			

表 2(3) 最大鉛直流速（第 3 号機海水熱交換器建屋，水位上昇側）

防波堤	標高変化 (地盤沈下)	敷地前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる 地殻変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	最大鉛直 流速 (m/s)
あり	1m沈下	+19.36	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり	あり	0.48
							なし	0.53
						なし	あり	0.48
							なし	0.57
なし	1m沈下	+19.34				あり	あり	0.67
							なし	0.70
						なし	あり	0.69
							なし	0.72

表 2(4) 最大鉛直流速（第 3 号機補機冷却系放水ピット，水位上昇側）

防波堤	標高変化 (地盤沈下)	敷地前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる 地殻変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	最大鉛直 流速 (m/s)
あり	1m沈下	+17.21	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり	あり	0.64
							なし	0.64
なし	1m沈下	+17.34				あり	あり	0.63
							なし	0.63

3. 津波監視設備（取水ピット水位計）

第2号機海水ポンプ室に設置する取水ピット水位計の設計で考慮する突き上げ津波荷重の算出に用いる鉛直流速の検討について使用する第2号機海水ポンプ室の最大鉛直流速を表3に示す。なお、鉛直上向き、下向きの流速のうち最大値（絶対値）を最大鉛直流速とした。また、入力津波高さが有する数値計算上の不確かさのうち基準地震動S_sに伴う標高変化（地盤沈下）については、入力津波高さに与える影響が大きい「1m沈下（沈下あり）」の条件とした（詳細は、「1.5入力津波の不確かさの考慮について」に示す）。

表3 最大鉛直流速（第2号機海水ポンプ室，水位上昇側）

防波堤	標高変化 (地盤沈下)	敷地前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる 地殻変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	最大鉛直 流速 (m/s)
あり	1m沈下	+19.15	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり	あり	0.56
							なし	0.61
						なし	あり	0.61
							なし	0.67
なし	1m沈下	+18.81	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり	あり	0.79
							なし	0.81
						なし	あり	0.84
							なし	0.86

1.5 入力津波の不確かさの考慮について

(1) 考慮の程度の妥当性についての検討の方針

津波防護施設及び浸水防止設備の設計においては、入力津波高さに影響を与え得る条件についてパラメータスタディを実施し、入力津波高さが有するパラメータによる影響を考慮する。入力津波高さが有するパラメータによる影響については、各施設・設備の設置位置で算定された津波高さを安全側に評価することで考慮している。

入力津波高さに影響を与え得る要因のうち、パラメータスタディの実施対象である「敷地の地形及び敷地周辺の人工構造物等のパラメータによる影響（遡上解析におけるパラメータによる影響及び管路解析におけるパラメータによる影響）（以下「パラメータによる影響」という。）」の妥当性については、各評価点における基本ケースによる水位と最も水位が高くなったケースによる水位を比較することで確認する。

(2) 検討の対象

検討の対象設備を表 1.5-1 に示す。

表 1.5-1 検討の対象設備

津波対策設備		設備分類	対象
発電所敷地全体	防潮堤（鋼管式鉛直壁） 防潮堤（盛土堤防）	津波防護 施設	○
第2号機海水ポンプ室 第2号機放水立坑 第3号機海水ポンプ室 第3号機海水熱交換器建屋 第3号機放水立坑	防潮壁（第2号機海水ポンプ室） 防潮壁（第2号機放水立坑） 防潮壁（第3号機海水ポンプ室） 防潮壁（第3号機海水熱交換器建屋） 防潮壁（第3号機放水立坑）		○
発電所敷地全体	取放水路流路縮小工（第1号機取水路） 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）		○
第2号機海水ポンプ室	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側） 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）	浸水防止 設備	○
	貫通部止水処置 （防潮堤（鋼管式鉛直壁）横断部）		○
	浸水防止蓋		○
第2号機海水ポンプ室	逆止弁付ファンネル		○
	貫通部止水処置		○
	補機冷却海水系放水路逆流防止設備		○
第2号機放水立坑	貫通部止水処置		○
	浸水防止蓋		○
第3号機海水ポンプ室	逆止弁付ファンネル		○
	貫通部止水処置		○
	水密扉		○
第3号機海水熱交換器建屋	浸水防止蓋		○
	浸水防止蓋		○
第3号機放水立坑	浸水防止蓋	○	
	貫通部止水処置	○	

(3) 入力津波高さが有する数値計算上の不確かさについて

a. 入力津波高さに影響を与え得る要因

(a) 朔望平均潮位

水位上昇側に対しては朔望平均満潮位 0.P. +1.43m, 水位下降側に対しては朔望平均干潮位 0.P. -0.14m を考慮し, 基準津波の水位を算出している。

(b) 入力津波の波源としている地震により生じる地殻変動

入力津波の波源としている地震により生じる地殻変動として, 水位上昇側に対しては, 東北地方太平洋沖型の地震 (基準断層モデル③) で生じる 0.72m の沈降を考慮する。

水位下降側に対しては, 安全側の評価となるよう, 東北地方太平洋沖型の地震 (基準断層モデル②) で生じる 0.77m の沈降を考慮していない。

(c) 潮位のばらつき

水位上昇側の潮位のばらつき +0.16m については, 遡上解析により求めた上昇側の津波水位に加えることで考慮している。

水位下降側の潮位のばらつき -0.10m については, 遡上解析により求めた下降側の津波水位に加えることで考慮している。

(d) 敷地の地形及び敷地周辺の人工構造物等のパラメータによる影響

入力津波高さが有する敷地の地形及び敷地周辺の人工構造物等のパラメータによる影響として, 以下のものを考慮する。

<遡上解析におけるパラメータによる影響>

- ・基準地震動 S_s に伴う防波堤の損傷の有無による影響
- ・基準地震動 S_s に伴う標高変化 (地盤沈下) の有無による影響

<管路解析におけるパラメータによる影響>

- ・貝付着の有無による影響
- ・スクリーンによる損失の有無による影響

(e) その他の影響

その他の影響として, 以下のものを考慮する。

<詳細設計を反映した防潮壁平面線形等の影響>

- ・防潮壁の詳細設計を反映した平面線形等を踏まえ, 防潮壁平面線形等の変更の有無による影響を考慮する。防潮壁の詳細設計を反映した防潮壁面積 (変更前後) を表 1.5-2 に示す。

<敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変の影響>

- ・2011年東北地方太平洋沖地震に伴い被災した地域では防波堤・防潮堤の建設工事や住宅の高台移転等を目的とした造成工事が進められていることを踏まえ, 復旧・改

修工事に伴う地形改変の有無による影響を考慮する。

表 1.5-2 防潮壁の詳細設計を反映した防潮壁面積（変更前後）

防潮壁	変更前	変更後
防潮壁（第2号機海水ポンプ室）	2750m ²	2870m ²
防潮壁（第2号機放水立坑）	1960m ²	2030m ²
防潮壁（第3号機海水ポンプ室）	1870m ²	2650m ²
防潮壁（第3号機放水立坑）	1300m ²	1820m ²

b. 入力津波高さが有するパラメータによる影響の考慮の程度

潮位のばらつき、敷地の地形及び敷地周辺の人工構造物等のパラメータによる影響及びその他の影響を考慮した各施設・設備の設置位置における入力津波高さの算定式は以下の式で表される。

$$\text{入力津波高さ} = \text{①} + \text{②} + \text{③} + \text{④}$$

① 基準津波

- ・朔望平均潮位
- ・入力津波の波源としている地震により生じる地殻変動

② 潮位のばらつき

③ 敷地の地形及び敷地周辺の人工構造物等のパラメータによる影響

④ その他の影響

表 1.5-3 に各施設・設備の設置位置における流入、遡上に伴う入力津波高さと、潮位のばらつき、敷地の地形及び敷地周辺の人工構造物等のパラメータによる影響及びその他の影響の考え方を示す。また、パラメータによる影響の入力津波高さに対する考慮の程度についても表 1.5-3 に合わせて示す。

表 1.5-3 (1) 各施設・設備の設計・評価に用いる入力津波高さに対する
パラメータによる影響の考慮の程度

設置位置	津波対策設備	設備分類	入力津波高さ (水位上昇側)	パラメータによる影響の 考慮の程度	パラメータによる 影響で考慮した 条件
発電所 敷地全体	・防潮堤 ・取放水路 流路縮小工	津波防護 施設		+0.45m	<ul style="list-style-type: none"> ・防波堤の有無 ・標高変化（地盤沈下）の有無
	・屋外排水路 逆流防止設備 ・貫通部止水 処置（防潮堤）	浸水防止 設備			
第2号機 海水ポンプ 室	防潮壁	津波防護 施設		+0.87m	<ul style="list-style-type: none"> ・防波堤の有無 ・標高変化（地盤沈下）の有無 ・貝付着の有無 ・スクリーン損失の有無
	・浸水防止蓋 ・逆止弁付 ファンネル ・貫通部止水 処置	浸水防止 設備			
第2号機 放水立坑	防潮壁	津波防護 施設		+0.26m	<ul style="list-style-type: none"> ・防波堤の有無 ・標高変化（地盤沈下）の有無
	・逆流防止 設備 ・貫通部止水 処置	浸水防止 設備			

* 1 : 朔望平均満潮位，入力津波の波源としている地震により生じる地殻変動を考慮した津波高さ

* 2 : 敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変の前後における遡上解析結果又は管路解析結果の差分

* 3 : 防潮壁平面線形等の変更前後及び敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変の前後における遡上解析結果又は管路解析結果の差分

* 4 : 遡上解析により求めた津波水位に潮位のばらつき+0.16mを加えることで考慮

表 1.5-3 (2) 各施設・設備の設計・評価に用いる入力津波高さに対する
パラメータによる影響の考慮の程度

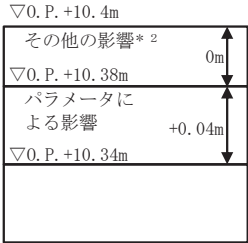
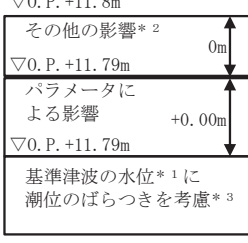
設置位置	津波対策設備	設備分類	入力津波高さ (水位上昇側)	パラメータによる影響の 考慮の程度	パラメータによる 影響で考慮した 条件
第3号機 海水ポンプ 室	防潮壁	津波防護 施設		+0.69m	<ul style="list-style-type: none"> 防波堤の有無 標高変化（地盤沈下）の有無 貝付着の有無 スクリーン損失の有無
	<ul style="list-style-type: none"> 浸水防止蓋 逆止弁付ファンネル 貫通部止水処置 	浸水防止 設備			
第3号機 海水熱交換 器建屋	防潮壁	津波防護 施設		+0.72m	<ul style="list-style-type: none"> 防波堤の有無 標高変化（地盤沈下）の有無 貝付着の有無 スクリーン損失の有無
	<ul style="list-style-type: none"> 水密扉 浸水防止蓋 	浸水防止 設備			
第3号機 放水立坑	防潮壁	津波防護 施設		+0.27m	<ul style="list-style-type: none"> 防波堤の有無 標高変化（地盤沈下）の有無 スクリーン損失の有無
	<ul style="list-style-type: none"> 浸水防止蓋 貫通部止水処置 	浸水防止 設備			

* 1 : 朔望平均満潮位，入力津波の波源としている地震により生じる地殻変動を考慮した津波高さ

* 2 : 防潮壁平面線形等の変更前後及び敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変の前後における遡上解析結果又は管路解析結果の差分

* 3 : 遡上解析により求めた津波水位に潮位のばらつき+0.16mを加えることで考慮

表 1.5-3 (3) 各施設・設備の設計・評価に用いる入力津波高さに対する
パラメータによる影響の考慮の程度

経路からの津波評価	入力津波高さ (水位上昇側)	パラメータ による影響の 考慮の程度	パラメータによる 影響で考慮した 条件
第1号機海水ポンプ室		+0.04m	<ul style="list-style-type: none"> ・防波堤の有無 ・標高変化（地盤沈下）の有無 ・貝付着の有無 ・スクリーン損失の有無
第1号機放水立坑		+0.00m	<ul style="list-style-type: none"> ・防波堤の有無 ・標高変化（地盤沈下）の有無 ・スクリーン損失の有無

* 1 : 朔望平均満潮位, 入力津波の波源としている地震により生じる地殻変動を考慮した津波高さ

* 2 : 敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変の前後における遡上解析結果又は管路解析結果の差分

* 3 : 遡上解析により求めた津波水位に潮位のばらつき+0.16mを加えることで考慮

表 1.5-3 (4) 各施設・設備の設計・評価に用いる入力津波高さに対する
パラメータによる影響の考慮の程度

非常用海水ポンプの取水性評価	入力津波高さ (水位下降側)	パラメータ による影響の 考慮の程度	パラメータによる 影響で考慮した 条件
取水口位置	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>基準津波の水位*¹ ▽0. P. -10. 52m</p> <p>パラメータによる影響 -0. 97m</p> <p>▽0. P. -11. 49m</p> <p>潮位のばらつき -0. 10m</p> <p>▽0. P. -11. 59m</p> <p>その他の影響*² -0. 14m</p> <p>▽0. P. -11. 73m</p> <p>▽0. P. -11. 8m</p> </div>	-0. 97m	<ul style="list-style-type: none"> ・ 防波堤の有無 ・ 標高変化（地盤沈下）の有無
第2号機海水ポンプ室位置	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>基準津波の水位*¹に 潮位のばらつきを考慮*⁴ ▽0. P. -6. 18m</p> <p>パラメータによる影響 -0. 16m</p> <p>▽0. P. -6. 34m</p> <p>その他の影響*³ -0. 03m</p> <p>▽0. P. -6. 37m</p> <p>▽0. P. -6. 4m</p> </div>	-0. 16m	<ul style="list-style-type: none"> ・ 防波堤の有無 ・ 標高変化（地盤沈下）の有無 ・ 貝付着の有無 ・ スクリーン損失の有無

* 1 : 朔望平均干潮位を考慮した津波高さ

* 2 : 敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変の前後における遡上解析結果または管路解析結果の差分

* 3 : 防潮壁平面線形等の変更前後及び敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変の前後における遡上解析結果又は管路解析結果の差分

* 4 : 遡上解析により求めた津波水位に潮位のばらつき-0.10mを加えることで考慮

c. パラメータによる影響が入力津波高さに与える影響

(a) 遡上解析におけるパラメータによる影響

イ. 基準地震動 S_s に伴う防波堤の損傷の有無による影響

基準地震動 S_s による人工構造物の形状変化として（詳細は、「1.2 遡上・浸水域の考え方について」に記載）、地震による防波堤の損壊を想定し、防波堤がある場合とない場合（以下「防波堤あり」及び「防波堤なし」という。）を考慮する。なお、パラメータによる影響の考慮の程度に関する検討に当たっては、現地形状を考慮し、遡上の影響については、「防波堤あり、現地形（地盤沈下なし）」を基本ケースとした。

発電所敷地全体（防潮堤）への遡上の影響について、水位上昇側（防潮堤前面）及び水位下降側（第2号機取水口前面）の遡上解析結果一覧を表 1.5-4 に示す。評価の結果、水位上昇側については、防波堤なしの場合に比べ、防波堤ありの場合の方が津波高さは高くなる傾向にある。また、水位下降側については、防波堤ありの場合に比べ、防波堤なしの場合の方が津波高さは低くなる傾向にある。

ロ. 基準地震動 S_s に伴う標高変化（地盤沈下）の影響

基準地震動 S_s に伴う地形標高変化（地盤沈下）として（詳細は、「1.2 遡上・浸水域の考え方について」に記載）、揺すり込み及び液状化に伴う沈下を仮定し、入力津波の算定に影響する防潮堤より海側の地盤面が沈下しない場合と 1m 沈下する場合（以下「現地形」及び「1m 沈下」という。）を考慮する。なお、パラメータによる影響の考慮の程度に関する検討に当たっては、現地形状を考慮し、遡上の影響については、「現地形、防波堤あり」を基本ケースとした。

発電所敷地全体（防潮堤）への遡上の影響について、水位上昇側（防潮堤前面）及び水位下降側（第2号機取水口前面）の遡上解析結果一覧を表 1.5-4 に示す。評価の結果、水位上昇側については、現地形の場合に比べ、1m 沈下の場合の方が津波高さは高くなる傾向にある。また、水位下降側については、1m 沈下の場合に比べ、現地形の場合の方が津波高さは低くなる傾向にある。

「イ. 基準地震動 S_s に伴う防波堤の損傷の有無による影響」及び「ロ. 基準地震動 S_s に伴う標高変化（地盤沈下）の影響」に示した影響評価結果から、基本ケースの水位と評価点毎の最高水位または最低水位の差異を遡上解析におけるパラメータによる影響として考慮することとし、水位上昇側（防潮堤前面）については+0.45m、水位下降側（第2号機取水口前面）については-0.97mとした。

表 1.5-4 (1) 遡上解析結果一覧 (水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	敷地前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均潮位 (O. P. m)	潮位のばらつき (m)	地震により生 じる地殻変動 (m)	水位 (O. P. m)
発電所 敷地全体	あり*	現地形*	+21.58*	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	+23.89*
		1m沈下	+22.03				+24.34
	なし	現地形	+20.64				+22.95
		1m沈下	+21.19				+23.50

* : 基本ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-4 (2) 遡上解析結果一覧 (水位下降側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	取水口前面 最大水位 下降量 (m)	朔望平均潮位 (O. P. m)	潮位のばらつき (m)	地震により生 じる地殻変動 (m)	水位 (O. P. m)
第2号機 取水口前面	あり*	現地形*	-10.38*	朔望平均 干潮位 -0.14	-0.10	沈降を 考慮しない	-10.62*
		1m沈下	-10.36				-10.60
	なし	現地形	-11.35				-11.59
		1m沈下	-11.32				-11.56

* : 基本ケース

: 解析ケースの最低水位

(b) 管路解析におけるパラメータによる影響

イ. 防波堤の有無による影響

パラメータによる影響の考慮の程度に関する検討に当たっては、現地形状態を考慮し、「現地地形、防波堤あり、貝付着あり、スクリーン損失あり」を基本ケースとした。

水位上昇側（各取放水設備）及び水位下降側（第2号機海水ポンプ室）の管路解析の結果一覧を表1.5-5に示す。評価の結果、第2・3号機海水ポンプ室及び第2・3号機放水立坑については、防波堤ありの場合に比べ、防波堤なしの場合の方が津波高さは高くなる傾向にあり、第1号機海水ポンプ室及び第1号機放水立坑については、防波堤なしの場合に比べ、防波堤ありの場合の方が津波高さは高くなる傾向にある。また、水位下降側については、防波堤なしの場合に比べ、防波堤ありの場合の方が津波高さは低くなる傾向にある。

ロ. 地形標高変化（地盤沈下）の影響

パラメータによる影響の考慮の程度に関する検討に当たっては、現地形状態を考慮し、「現地地形、防波堤あり、貝付着あり、スクリーン損失あり」を基本ケースとした。

水位上昇側（各取放水設備）及び水位下降側（第2号機海水ポンプ室）の管路解析の結果一覧を表1.5-5に示す。評価の結果、第2・3号機海水ポンプ室及び第2・3号機放水立坑については、現地形の場合に比べ、1m沈下の場合の方が津波高さは高くなる傾向にある。第1号機海水ポンプ室については、両者に有意な差は認められず、第1号機放水立坑については、1m沈下の場合に比べ、現地形の場合の方が津波高さは高くなる傾向にある。また、水位下降側については、両者に有意な差は認められない。

ハ. 貝付着の有無による影響

定期点検等で清掃を実施する各取水路を対象に、貝付着がある場合とない場合（以下「貝付着あり」及び「貝付着なし」という。）を考慮する。なお、パラメータによる影響の考慮の程度に関する検討に当たっては、現地形状態を考慮し、「防波堤あり、現地地形（地盤沈下なし）、スクリーン損失あり」を基本ケースとした。

水位上昇側（各取水設備）及び水位下降側（第2号機海水ポンプ室）の管路解析の結果一覧を表1.5-5に示す。評価の結果、水位上昇側については、貝付着ありの場合に比べ、貝付着なしの場合の方が津波高さは高くなる傾向にある。また、水位下降側についても、貝付着ありの場合に比べ、貝付着なしの場合の方が津波高さは低くなる傾向にある。

二. スクリーン損失の有無による影響

取水口及び海水ポンプ室に設置しているスクリーンが管路解析に係る第1・2・3号機海水ポンプ室及び第1・3号機放水立坑を対象に、スクリーンがある場合とない場合（以下「スクリーン損失あり」及び「スクリーン損失なし」という。）を考慮する。なお、パラメータによる影響の考慮の程度に関する検討に当たっては、現地形状態を考慮し、「防波堤あり、現地地形（地盤沈下なし）、貝付着あり」を基本ケースとした。

水位上昇側（検討対象設備）及び水位下降側（第2号機海水ポンプ室）の管路解析の結果一覧を表1.5-5に示す。評価の結果、水位上昇側について、第2・3号機海水ポンプ室は、スクリーン損失ありの場合に比べ、スクリーン損失なしの方が津波高さは高くなる傾向にあり、第1号機海水ポンプ室及び第1・3号機放水立坑については、両者に差は認められない。また、水位下降側については、スクリーン損失の有無で水位の傾向は異なるが、その差は非常に小さく、有意な差は認められない。

「イ.防波堤の有無による影響」、「ロ.地形標高変化（地盤沈下）の影響」、「ハ.貝付着の有無による影響」及び「ニ.スクリーン損失の有無による影響」に示した影響評価結果から、基本ケースの水位と評価点毎の最高水位及び最低水位の差異を管路解析におけるパラメータによる影響として考慮することとし、水位上昇側について、第2号機海水ポンプ室は+0.87m、第2号機放水立坑は+0.26m、第3号機海水ポンプ室は+0.69m、第3号機熱交換器建屋は+0.72m、第3号機放水立坑は+0.27m、第1号機海水ポンプ室は+0.04m、第1号放水立坑は影響なしとした。また、水位下降側について、第2号機海水ポンプ室は-0.16mとした。

表 1.5-5 (1) 管路解析結果一覧 (第2号機海水ポンプ室, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	取水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均潮位 (O. P. m)	潮位のばらつき (m)	地震により生 じる地殻変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	水位 (O. P. m)
第2号機 海水ポンプ室	あり*	現地形*	+19.14*	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり*	あり*	+17.19*
								なし	+17.24
		なし	あり				+17.54		
			なし				+17.60		
		あり	あり				+17.31		
			なし				+17.35		
	なし	現地形	+18.91	なし	あり	+17.65			
					なし	+17.71			
		あり	あり	+17.63					
			なし	+17.68					
		なし	あり	+17.98					
			なし	+18.03					
		あり	あり	+17.67					
			なし	+17.71					
なし	あり	+18.01							
	なし	+18.06							

* : 基本ケース

■ : 解析ケースの最高水位

表 1.5-5 (2) 管路解析結果一覧 (第2号機放水立坑, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	放水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均潮位 (O. P. m)	潮位のばらつき (m)	地震により生 じる地殻変動 (m)	貝付着*1	スクリーン 損失*2	水位 (O. P. m)
第2号機 放水立坑	あり*3	現地形*3	+17.07*3	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり*3	—	+17.09*3
		1m沈下	+17.21				あり	—	+17.17
	なし	現地形	+17.18				あり	—	+17.32
		1m沈下	+17.34				あり	—	+17.35

*1 : 1系統のみであるとともに水深が深いこと等から抜水点検できない構造となっており, 清掃は行わない。また, 清掃可能な箇所である放水立坑について「貝付着なし」とすると, 津波溢水に対する容量が大きくなり, 水位低減に寄与することから, 「貝付着あり」を基本条件とする。

*2 : 第2号機補機放水路は, 基準津波時に逆流防止設備により遮断されるため, 補機冷却系海水ポンプ流量が水位に与える影響はない。

*3 : 基本ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-5 (3) 管路解析結果一覧 (第3号機海水ポンプ室, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	取水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均潮位 (O. P. m)	潮位のばらつき (m)	地震により生 じる地殻変動 (m)	貝附着	スクリーン 損失	水位 (O. P. m)
第3号機 海水ポンプ室	あり*	現地形*	+19.35*	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり*	あり*	+18.26*
								なし	+18.32
		なし	あり				あり	+18.48	
							なし	+18.55	
		あり	1m沈下				+19.36	あり	+18.36
								なし	+18.42
	なし	現地形	+19.55	なし	あり	+18.59			
					なし	+18.66			
		あり	1m沈下	+19.34	あり	+18.65			
					なし	+18.71			
		なし	あり	あり	+18.87				
				なし	+18.93				
		あり	なし	あり	+18.67				
				なし	+18.73				
なし	あり	あり	+18.89						
		なし	+18.95						

* : 基本ケース

■ : 解析ケースの最高水位

表 1.5-5 (4) 管路解析結果一覧 (第3号機海水熱交換器建屋, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	取水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均潮位 (O. P. m)	潮位のばらつき (m)	地震により生 じる地殻変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	水位 (O. P. m)
第3号機 海水熱交換器 建屋	あり*	現地形*	+19.35*	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり*	あり*	+18.21*
								なし	+18.27
		なし	あり				+18.46		
			なし				+18.53		
		あり	あり				+18.31		
			なし				+18.37		
	なし	現地形	+19.55	+19.36	なし	あり	+18.57		
						なし	+18.64		
		あり	あり	+18.60					
			なし	+18.66					
		なし	あり	+18.85					
			なし	+18.91					
あり	あり	+18.62							
	なし	+18.68							
なし	あり	+18.87							
	なし	+18.93							

* : 基本ケース

■ : 解析ケースの最高水位

表 1.5-5 (5) 管路解析結果一覧 (第3号機放水立坑, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	放水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均潮位 (O. P. m)	潮位のばらつき (m)	地震により生 じる地殻変動 (m)	貝付着*1	スクリーン 損失	水位 (O. P. m)
第3号機 放水立坑	あり*2	現地形*2	+17.07*2	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり*2	あり*2	+17.17*2
			なし					+17.17	
		1m沈下	+17.21				あり	あり	+17.28
			なし					+17.28	
	なし	現地形	+17.18				あり	あり	+17.40
								なし	+17.40
		1m沈下	+17.34				あり	あり	+17.44
								なし	+17.44

*1 : 1系統のみであるとともに水深が深いこと等から抜水点検できない構造となっており, 清掃は行わない。また, 清掃可能な箇所である放水立坑について「貝付着なし」とすると, 津波溢水に対する容量が大きくなり, 水位低減に寄与することから, 「貝付着あり」を基本条件とする。

*2 : 基本ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-5 (6) 管路解析結果一覧 (第1号機海水ポンプ室, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	取水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均潮位 (O. P. m)	潮位のばらつき (m)	地震により生 じる地殻変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	水位 (O. P. m)
第1号機 海水ポンプ室	あり*	現地形*	+18.41*	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり*	あり*	+10.34*
								なし	+10.34
		なし	あり				あり	+10.38	
							なし	+10.38	
		あり	なし				あり	+10.34	
							なし	+10.34	
	なし	現地形	+18.39	+18.35	なし	あり	あり	+10.38	
							なし	+10.38	
		1m沈下	+18.47	あり	あり	+10.30			
					なし	+10.30			
		なし	あり	あり	+10.34				
				なし	+10.34				
		あり	なし	あり	+10.31				
				なし	+10.31				
なし	あり	あり	+10.34						
		なし	+10.34						

* : 基本ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-5 (7) 管路解析結果一覧 (第 1 号機放水立坑, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	放水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均潮位 (O. P. m)	潮位のばらつき (m)	地震により生 じる地殻変動 (m)	貝付着*1	スクリーン 損失	水位 (O. P. m)	
第 1 号機 放水立坑	あり*2	現地形*2	+16.39*2	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり*2	あり*2	+11.79*2	
		1m沈下	+16.70					なし	+11.79	
	なし	あり	現地形				+17.71	あり	あり	+11.76
			1m沈下				+17.60		なし	+11.76
		あり	あり				+11.61	あり	+11.61	
			あり				+11.58	あり	+11.58	
	あり	なし	+11.58				なし	+11.58		

* 1 : 1 系統のみであるとともに水深が深いこと等から抜水点検できない構造となっており、清掃は行わない。また、清掃可能な箇所である放水立坑について「貝付着なし」とすると、津波溢水に対する容量が大きくなり、水位低減に寄与することから、「貝付着あり」を基本条件とする。

* 2 : 基本ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-5 (8) 管路解析結果一覧 (第2号機海水ポンプ室, 水位下降側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	取水口前面 最大水位 下降量 (m)	朔望平均潮位 (O.P.m)	潮位のばらつき (m)	地震により生 じる地殻変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	水位 (O.P.m)
第2号機 海水ポンプ室	あり*	現地形*	-10.30*	朔望平均 干潮位 -0.14	-0.10	沈降を 考慮しない	あり*	あり*	-6.18*
								なし	-6.18
		なし	あり				-6.33		
			なし				-6.33		
	あり	あり	-6.18						
		なし	-6.19						
	なし	あり	-6.33						
		なし	-6.34						
	なし	あり	現地形	-11.33	あり	-6.16			
					なし	-6.15			
		なし			あり	-6.32			
					なし	-6.34			
		あり			あり	-6.16			
					なし	-6.17			
		なし			あり	-6.32			
					なし	-6.34			

* : 基本ケース

: 解析ケースの最高水位

(c) その他の影響による影響

イ. 防潮壁平面線形等の変更の影響

防潮壁の詳細設計を反映した平面線形等が関係する第2・3号機海水ポンプ室及び第2・3号機放水立坑を対象に、変更がある場合とない場合（以下「平面線形等の変更あり」及び「平面線形等の変更なし」という。）を考慮する。防潮壁平面線形等の変更による影響の程度に関する検討に当たっては、管路解析のパラメータによる影響を考慮した最大ケースの条件を基本ケースとした。

水位上昇側（第2・3号機海水ポンプ室、第2・3号機放水立坑）及び水位下降側（第2号機海水ポンプ室）の管路解析の結果一覧を表1.5-6に示す。評価の結果、水位上昇側について、平面線形等の変更ありの場合に比べ、平面線形等の変更なしの方が津波高さは高くなる。水位下降側については、平面線形等の変更なしの場合に比べ、平面線形等の変更ありの場合の方が津波高さは低くなる傾向にある。

ロ. 敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変の影響

2011年東北地方太平洋沖地震に伴い被災した敷地周辺地域で進められている復旧・改修工事に伴う地形改変として、地形改変がある場合とない場合（以下「地形改変あり」及び「地形改変なし」という。）を考慮する。復旧・改修工事に伴う地形改変の影響の程度に関する検討に当たっては、遡上解析及び管路解析のパラメータによる影響を考慮した最大ケースの条件を基本ケースとした。なお、管路解析については、防潮壁の平面線形等の変更を考慮した。

水位上昇側及び水位下降側の結果一覧を表1.5-7に示す。評価の結果、水位上昇側について、発電所敷地全体については、地形改変ありの場合に比べ、地形改変なしの場合の方が津波高さは高くなる傾向にある。第2号機海水ポンプ室及び第2・3号機放水立坑については、両者に有意な差は認められず、第1・3号機海水ポンプ室及び第1号機放水立坑については、地形改変ありの場合に比べ、地形改変なしの場合の方が津波高さは高くなる傾向にある。また、水位下降側については、第2号機取水口前面及び第2号機海水ポンプ室ともに、地形改変なしの場合に比べ、地形改変ありの場合の方が津波高さは低くなる傾向にある。

「イ. 防潮壁平面線形等の変更の影響」及び「ロ. 敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変の影響」に示した影響評価結果から、基本ケースの水位と評価点毎の最高水位又は最低水位の差異をその他の影響として考慮することとし、水位上昇側については、有意な差は認められない、もしくは水位が低くなることから考慮しないこととし、水位下降側については、第2号機海水ポンプ室の水位が低くなることから -0.03m の影響を考慮することとした。防潮壁の詳細設計に伴う防潮壁平面線形等の変更前後、敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変前後の津波高さ一覧を表1.5-8に示す。

表 1.5-6 (1) 管路解析結果一覧 (第2号機海水ポンプ室, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	取水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる地殻 変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	防潮壁 平面線形等 の変更	水位 (O. P. m)
第2号機 海水ポンプ室	あり	現地形	+19.14	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	なし	なし	なし	+17.60
									あり	+17.52
		1m沈下	+19.15						なし	+17.71
									あり	+17.63
	なし*	現地形	+18.91				なし	+18.03		
							あり	+17.94		
		1m沈下*	+18.81*				なし*	+18.06*		
							あり	+17.98		

* : 管路解析のパラメータによる影響を考慮した最大ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-6 (2) 管路解析結果一覧 (第 2 号機放水立坑, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	放水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる地殻 変動 (m)	貝付着*1	スクリーン 損失*2	防潮壁 平面線形等 の変更	水位 (O. P. m)
第 2 号機 放水立坑	あり	現地形	+17.07	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり	—	なし	+17.09
		1m沈下	+17.21						あり	+16.33
									なし	+17.17
		あり	+16.39							
	なし*3	現地形	+17.18				あり	なし	+17.32	
		1m沈下*3	+17.34*3					あり	+16.50	
								なし*3	+17.35*3	
		あり	+16.52							

* 1 : 1 系統のみであるとともに水深が深いこと等から抜水点検できない構造となっており, 清掃は行わない。また, 清掃可能な箇所である放水立坑について「貝付着なし」とすると, 津波溢水に対する容量が大きくなり, 水位低減に寄与することから, 「貝付着あり」を基本条件とする。

* 2 : 第 2 号機補機放水路は, 基準津波時に逆流防止設備により遮断されるため, 補機冷却系海水ポンプ流量が水位に与える影響はない。

* 3 : 管路解析のパラメータによる影響を考慮した最大ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-6 (3) 管路解析結果一覧 (第3号機海水ポンプ室, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	取水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる地殻 変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	防潮壁 平面線形等 の変更	水位 (O. P. m)
第3号機 海水ポンプ室	あり	現地形	+19.35	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	なし	なし	なし	+18.55
									あり	+18.45
		1m沈下	+19.36						なし	+18.66
									あり	+18.56
	なし*	現地形	+19.55				なし	+18.93		
							あり	+18.83		
		1m沈下*	+19.34*				なし*	+18.95*		
							あり	+18.85		

* : 管路解析のパラメータによる影響を考慮した最大ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-6 (4) 管路解析結果一覧 (第3号機海水熱交換器建屋, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	取水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる地殻 変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	防潮壁 平面線形等 の変更	水位 (O. P. m)
第3号機 海水熱交換器 建屋	あり	現地形	+19.35	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	なし	なし	なし	+18.53
									あり	+18.43
		1m沈下	+19.36						なし	+18.64
									あり	+18.54
	なし*	現地形	+19.55				なし	+18.91		
							あり	+18.81		
		1m沈下*	+19.34*				なし*	+18.93*		
							あり	+18.83		

* : 管路解析のパラメータによる影響を考慮した最大ケース

■ : 解析ケースの最高水位

表 1.5-6 (5) 管路解析結果一覧 (第3号機放水立坑, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	放水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる地殻 変動 (m)	貝付着*1	スクリーン 損失	防潮壁 平面線形等 の変更	水位 (O. P. m)
第3号機 放水立坑	あり	現地形	+17.07	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり	なし	なし	+17.17
									あり	+16.41
		1m沈下	+17.21				なし	+17.28		
							あり	+16.50		
	なし*2	現地形	+17.18				なし	+17.40		
							あり	+16.59		
		1m沈下*2	+17.34*2				なし*2	+17.44*2		
							あり	+16.62		

*1 : 1系統のみであるとともに水深が深いこと等から抜水点検できない構造となっており、清掃は行わない。また、清掃可能な箇所である放水立坑について「貝付着なし」とすると、津波溢水に対する容量が大きくなり、水位低減に寄与することから、「貝付着あり」を基本条件とする。

*2 : 管路解析のパラメータによる影響を考慮した最大ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-6 (6) 管路解析結果一覧 (第2号機海水ポンプ室, 水位下降側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	取水口前面 最大水位 下降量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる地殻 変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	防潮壁 平面線形等 の変更	水位 (O. P. m)
第2号機 海水ポンプ室	あり*	現地形	-10.30	朔望平均 干潮位 -0.14	-0.10	沈降を 考慮しない	なし	なし	なし	-6.33
		あり	-6.36							
	なし	1m沈下*	-10.32*				なし*	なし*	なし*	-6.34*
		あり	-6.36							
	なし	現地形	-11.33				なし	なし	なし	-6.34
		あり	-6.34							
	なし	1m沈下	-11.28				なし	なし	なし	-6.34
		あり	-6.34							

* : 管路解析のパラメータによる影響を考慮した最大ケース

■ : 解析ケースの最高水位

表 1.5-7 (1) 遡上解析結果一覧 (水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	復旧・改修 工事に伴う 地形改変	敷地前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均潮位 (O. P. m)	潮位のばらつき (m)	地震により生 じる地殻変動 (m)	水位 (O. P. m)
発電所 敷地全体	あり*	現地形	なし	+21.58	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	+23.89
			あり	+21.43				+23.74
		1m沈下*	なし*	+22.03*				+24.34*
			あり	+21.85				+24.16
	なし	現地形	なし	+20.64				+22.95
			あり	+20.61				+22.92
		1m沈下	なし	+21.19				+23.50
			あり	+20.92				+23.23

* : 遡上解析のパラメータによる影響を考慮した最大ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-7 (2) 遡上解析結果一覧 (水位下降側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	復旧・改修 工事に伴う 地形改変	取水口前面 最大水位 下降量 (m)	朔望平均潮位 (O. P. m)	潮位のばらつき (m)	地震により生 じる地殻変動 (m)	水位 (O. P. m)
第2号機 取水口前面	あり	現地形	なし	-10.38	朔望平均 干潮位 -0.14	-0.10	沈降を 考慮しない	-10.62
			あり	-10.50				-10.74
		1m沈下	なし	-10.36				-10.60
			あり	-10.53				-10.77
	なし*	現地形*	なし*	-11.35*				-11.59*
			あり	-11.49				-11.73
		1m沈下	なし	-11.32				-11.56
			あり	-11.45				-11.69

* : 遡上解析のパラメータによる影響を考慮した最大ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-7 (3) 管路解析結果一覧 (第2号機海水ポンプ室, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	復旧・改修 工事に伴う 地形改変	取水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる地殻 変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	防潮壁 平面線形等 の変更	水位 (O. P. m)
第2号機 海水ポンプ室	あり	現地形	なし	+19.14	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	なし	なし	あり	+17.52
			あり	+19.09							+17.52
		1m沈下	なし	+19.15						あり	+17.63
			あり	+19.10							+17.63
	なし*	現地形	なし	+18.91				あり	+17.94		
			あり	+18.91					+17.95		
		1m沈下*	なし	+18.81*				あり*	+17.98*		
			あり	+18.81					+17.98		

* : 管路解析のパラメータによる影響を考慮した最大ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-7 (4) 管路解析結果一覧 (第 2 号機放水立坑, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	復旧・改修 工事に伴う 地形改変	放水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる地殻 変動 (m)	貝付着*1	スクリーン 損失*2	防潮壁 平面線形等 の変更	水位 (O. P. m)
第 2 号機 放水立坑	あり	現地形	なし	+17.07	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり	—	あり	+16.33
			あり	+17.00							+16.33
		1m沈下	なし	+17.21							+16.39
			あり	+17.18							+16.39
	なし*3	現地形	なし	+17.18				+16.50			
			あり	+17.15				+16.50			
		1m沈下*3	なし*3	+17.34*3				+16.52*3			
			あり	+17.28				+16.52			

* 1 : 1 系統のみであるとともに水深が深いこと等から抜水点検できない構造となっており, 清掃は行わない。また, 清掃可能な箇所である放水立坑について「貝付着なし」とすると, 津波溢水に対する容量が大きくなり, 水位低減に寄与することから, 「貝付着あり」を基本条件とする。

* 2 : 第 2 号機補機放水路は, 基準津波時に逆流防止設備により遮断されるため, 補機冷却系海水ポンプ流量が水位に与える影響はない。

* 3 : 管路解析のパラメータによる影響を考慮した最大ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-7 (5) 管路解析結果一覧 (第3号機海水ポンプ室, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	復旧・改修 工事に伴う 地形改変	取水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる地殻 変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	防潮壁 平面線形等 の変更	水位 (O. P. m)
第3号機 海水ポンプ室	あり	現地形	なし	+19.35*	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	なし	なし	あり	+18.45
			あり	+19.28							+18.40
		1m沈下	なし	+19.36						あり	+18.56
			あり	+19.28							+18.51
	なし*	現地形	なし	+19.55				なし	なし	あり	+18.83
			あり	+19.48							+18.78
		1m沈下*	なし	+19.34				なし*	なし*	あり*	+18.85*
			あり	+19.26							+18.80

* : 管路解析のパラメータによる影響を考慮した最大ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-7 (6) 管路解析結果一覧 (第3号機海水熱交換器建屋, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	復旧・改修 工事に伴う 地形改変	取水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる地殻 変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	防潮壁 平面線形等 の変更	水位 (O. P. m)		
第3号機 海水熱交換器 建屋	あり	現地形	なし	+19.35*	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	なし	なし	あり	+18.43		
			あり	+19.28							+18.38		
		1m沈下	なし	+19.36						なし	なし	あり	+18.54
			あり	+19.28									+18.49
	なし*	現地形	なし	+19.55				なし	なし	あり	+18.81		
			あり	+19.48							+18.76		
		1m沈下*	なし	+19.34				なし*	なし*	あり*	+18.83*		
			あり	+19.26							+18.78		

* : 管路解析のパラメータによる影響を考慮した最大ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-7 (7) 管路解析結果一覧 (第3号機放水立坑, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	復旧・改修 工事に伴う 地形改変	放水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる地殻 変動 (m)	貝付着*1	スクリーン 損失	防潮壁 平面線形等 の変更	水位 (O. P. m)			
第3号機 放水立坑	あり	現地形	なし	+17.07	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり	なし	あり	+16.41			
			あり	+17.00							+16.41			
		1m沈下	なし	+17.21					あり	なし	あり	+16.50		
			あり	+17.18								+16.50		
	なし*2	現地形	なし	+17.18				あり	なし	あり	+16.59			
			あり	+17.15							+16.59			
		1m沈下*2	なし*2	+17.34*2							あり*2	なし*2	あり*2	+16.62*2
			あり	+17.28										+16.62

*1 : 1系統のみであるとともに水深が深いこと等から抜水点検できない構造となっており、清掃は行わない。また、清掃可能な箇所である放水立坑について「貝付着なし」とすると、津波溢水に対する容量が大きくなり、水位低減に寄与することから、「貝付着あり」を基本条件とする。

*2 : 管路解析のパラメータによる影響を考慮した最大ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-7 (8) 管路解析結果一覧 (第1号機海水ポンプ室, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	復旧・改修 工事に伴う 地形改変	取水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる地殻 変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	防潮壁 平面線形等 の変更*1	水位 (O. P. m)
第1号機 海水ポンプ室	あり*2	現地形	なし	+18.41	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	なし	なし	—	+10.38
			あり	+18.37							+10.37
		1m沈下*2	なし*2	+18.35*2							+10.38*2
			あり	+18.35							+10.37
	なし	現地形	なし	+18.39				+10.34			
			あり	+18.42				+10.32			
		1m沈下	なし	+18.47				+10.34			
			あり	+18.43				+10.33			

*1 : 該当設備なし。

*2 : 管路解析のパラメータによる影響を考慮した最大ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-7 (9) 管路解析結果一覧 (第 1 号機放水立坑, 水位上昇側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	復旧・改修 工事に伴う 地形改変	放水口前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均 潮位 (O. P. m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる地殻 変動 (m)	貝付着*1	スクリーン 損失	防潮壁 平面線形等 の変更*2	水位 (O. P. m)	
第 1 号機 放水立坑	あり*3	現地形*3	なし*3	+16.39*3	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり*3	なし*3	—	+11.79*3	
			あり	+16.40							+11.77	
		1m沈下	なし	+16.70							あり	+11.76
			あり	+16.71							あり	+11.74
	なし	現地形	なし	+17.71				あり	+11.61			
			あり	+17.74				あり	+11.58			
		1m沈下	なし	+17.60				あり	なし	—	+11.58	
			あり	+17.63							+11.56	

※1 : 1 系統のみであるとともに水深が深いこと等から抜水点検できない構造となっており、清掃は行わない。また、清掃可能な箇所である放水立坑について「貝付着なし」とすると、津波溢水に対する容量が大きくなり、水位低減に寄与することから、「貝付着あり」を基本条件とする。

※2 : 該当設備なし。

*3 : 管路解析のパラメータによる影響を考慮した最大ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-7 (10) 管路解析結果一覧 (第2号機海水ポンプ室, 水位下降側)

設定位置	防波堤	標高変化 (地盤沈下)	復旧・改修 工事に伴う 地形改変	取水口前面 最大水位 下降量 (m)	朔望平均 潮位 (O.P.m)	潮位の ばらつき (m)	地震により 生じる地殻 変動 (m)	貝付着	スクリーン 損失	防潮壁 平面線形等 の変更	水位 (O.P.m)			
第2号機 海水ポンプ室	あり*	現地形*	なし*	-10.30*	朔望平均 干潮位 -0.14	-0.10	沈降を 考慮しない	なし*	なし*	あり*	-6.36*			
			あり	-10.46							-6.37			
		1m沈下	なし	-10.32						なし	なし	あり	-6.36	
			あり	-10.46									-6.37	
	なし	現地形	なし	-11.33				なし	なし	あり	-6.34			
			あり	-11.47							-6.35			
		1m沈下	なし	-11.28							なし	なし	あり	-6.34
			あり	-11.38										-6.35

* : 管路解析のパラメータによる影響を考慮した最大ケース

■ : 解析ケースの最高水位

表 1.5-8 (1) 防潮壁の詳細設計に伴う防潮壁平面線形等の変更前後、敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変前後の津波高さ一覧（水位上昇側）

設定位置	防潮壁平面線形等 (O.P.)		復旧・改修工事に伴う 地形改変 (O.P.)		その他の 影響*3	
	変更前	変更後*1	変更前	変更後*2		
防潮堤 (鋼管式鉛直壁)	—	—	+24.34m	+24.16m	0m (-0.18m)	
防潮堤 (盛土堤防)	—	—	+24.34m	+24.16m	0m (-0.18m)	
防潮壁 (第2号機海水ポンプ室)	+18.06m	+17.98m	+18.06m	+17.98m	0m (-0.08m)	
防潮壁 (第2号機放水立坑)	+17.35m	+16.52m	+17.35m	+16.52m	0m (-0.83m)	
防潮壁 (第3号機海水ポンプ室)	+18.95m	+18.85m	+18.95m	+18.80m	0m (-0.15m)	
防潮壁 (第3号機熱交換器建屋)	+18.93m	+18.83m	+18.93m	+18.78m	0m (-0.15m)	
防潮壁 (第3号機放水立坑)	+17.44m	+16.62m	+17.44m	+16.62m	0m (-0.82m)	
取放水路流路縮小工 (第1号機取水路)	—	—	+24.34m	+24.16m	0m (-0.18m)	
取放水路流路縮小工 (第1号機放水路)	—	—	+24.34m	+24.16m	0m (-0.18m)	
屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤南側)	—	—	+24.34m	+24.16m	0m (-0.18m)	
屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側)	—	—	+24.34m	+24.16m	0m (-0.18m)	
貫通部止水処置 (防潮堤(鋼管式鉛直壁)横断部)	—	—	+24.34m	+24.16m	0m (-0.18m)	
第2号機 海水ポンプ室	浸水防止蓋	+18.06m	+17.98m	+18.06m	+17.98m	0m (-0.08m)
	逆止弁付 ファンネル					
	貫通部止水処置					
第2号機 放水立坑	逆流防止設備	+17.35m	+16.52m	+17.35m	+16.52m	0m (-0.83m)
	貫通部止水処置					
第3号機 海水ポンプ室	浸水防止蓋	+18.95m	+18.85m	+18.95m	+18.80m	0m (-0.15m)
	逆止弁付 ファンネル					
	貫通部止水処置					
第3号機海水熱 交換器建屋	水密扉	+18.93m	+18.83m	+18.93m	+18.78m	0m (-0.15m)
	浸水防止蓋					
第3号機 放水立坑	浸水防止蓋	+17.44m	+16.62m	+17.44m	+16.62m	0m (-0.82m)
	貫通部止水処置					
第1号機海水ポンプ室	—	—	+10.38m	+10.37m	0m (-0.01m)	
第1号機放水立坑	—	—	+11.79m	+11.77m	0m (-0.02m)	

*1：防潮壁平面線形等の変更前の決定ケースの条件と同一の条件。

*2：敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変の決定ケースの条件と同一の条件。

*3：防潮壁平面線形等及び敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変の影響を考慮した値。

表 1.5-8 (2) 防潮壁の詳細設計に伴う防潮壁平面線形等の変更前後、敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変前後の津波高さ一覧（水位下降側）

設定位置	防潮壁平面線形等 (O. P.)		復旧・改修工事に伴う 地形改変 (O. P.)		その他の 影響*3
	変更前	変更後*1	変更前	変更後*2	
第2号機取水口前面	—	—	-11.59m	-11.73m	-0.14m
第2号機海水ポンプ室	-6.34m	-6.36m	-6.36m	-6.37m	-0.03m

*1：防潮壁平面線形等の変更前の決定ケースの条件と同一の条件。

*2：敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変の決定ケースの条件と同一の条件。

*3：防潮壁平面線形等及び敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変の影響を考慮した値。

(d) パラメータによる影響が入力津波高さに与える影響のまとめ

「(a)遡上解析におけるパラメータによる影響」、「(b)管路解析におけるパラメータによる影響」及び「(c)その他の影響による影響」の結果を踏まえ設定した各施設・設備の設置位置における設計又は評価に用いる入力津波高さ一覧を表 1.5-9 に示す。

表 1.5-9 各施設・設備の設置位置における設計又は評価に用いる入力津波高さ一覧

区分	設定位置	入力津波高さ	
水位 上昇側	防潮堤（鋼管式鉛直壁）	0. P. +24. 4m ^{*1}	
	防潮堤（盛土堤防）	0. P. +24. 4m ^{*1}	
	防潮壁（第2号機海水ポンプ室）	0. P. +18. 1m ^{*2}	
	防潮壁（第2号機放水立坑）	0. P. +17. 4m ^{*3}	
	防潮壁（第3号機海水ポンプ室）	0. P. +19. 0m ^{*4}	
	防潮壁（第3号機海水熱交換器建屋）	0. P. +19. 0m ^{*5}	
	防潮壁（第3号機放水立坑）	0. P. +17. 5m ^{*6}	
	取放水路流路縮小工（第1号機取水路）	0. P. +24. 4m ^{*1}	
	取放水路流路縮小工（第1号機放水路）	0. P. +24. 4m ^{*1}	
	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）	0. P. +24. 4m ^{*1}	
	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）	0. P. +24. 4m ^{*1}	
	貫通部止水処置（防潮堤（鋼管式鉛直壁）横断部）	0. P. +24. 4m ^{*1}	
	第2号機海水ポンプ室	浸水防止蓋	0. P. +18. 1m ^{*2}
		逆止弁付ファンネル	
		貫通部止水処置	
	第2号機放水立坑	補機冷却海水系放水路 逆流防止設備	0. P. +17. 4m ^{*3}
		貫通部止水処置	
	第3号機海水ポンプ室	浸水防止蓋	0. P. +19. 0m ^{*4}
		逆止弁付ファンネル	
		貫通部止水処置	
第3号機海水熱交換器建屋	水密扉	0. P. +19. 0m ^{*5}	
	浸水防止蓋		
第3号機放水立坑	浸水防止蓋	0. P. +17. 5m ^{*6}	
	貫通部止水処置		
第1号機海水ポンプ室		0. P. +10. 4m ^{*7}	
第1号機放水立坑		0. P. +11. 8m ^{*8}	
水位 下降側	第2号機取水口前面	0. P. -11. 8m ^{*9}	
	第2号機海水ポンプ室	0. P. -6. 4m ^{*10}	

表 1.5-9 各施設・設備の設置位置における設計又は評価に用いる入力津波高さ一覧の注記を以下に示す。

- * 1 入力津波高さは、津波高さが最大となる「防波堤あり」、「1m 沈下（地盤沈下あり）」、「地形改変なし」の条件として設定している。また、潮位変動として「朔望平均満潮位（0.P.+1.43m）」、「潮位のぼらつき（0.16m）」、地殻変動として「東北地方太平洋沖型の地震（基準断層モデル③）で生じる地殻変動（0.72mの沈降）」を考慮している。
- * 2 入力津波高さは、津波高さが最大となる「防波堤なし」、「1m 沈下（地盤沈下あり）」、「貝付着なし」、「スクリーン損失なし」、「防潮堤平面線形等変更なし」、「地形改変なし」の条件として設定している。また、潮位変動として「朔望平均満潮位（0.P.+1.43m）」、「潮位のぼらつき（0.16m）」、地殻変動として「東北地方太平洋沖型の地震（基準断層モデル③）で生じる地殻変動（0.72mの沈降）」を考慮している。
- * 3 入力津波高さは、津波高さが最大となる「防波堤なし」、「1m 沈下（地盤沈下あり）」、「貝付着あり」、「スクリーン損失なし」、「防潮堤平面線形等変更なし」、「地形改変なし」の条件として設定している。また、潮位変動として「朔望平均満潮位（0.P.+1.43m）」、「潮位のぼらつき（0.16m）」、地殻変動として「東北地方太平洋沖型の地震（基準断層モデル③）で生じる地殻変動（0.72mの沈降）」を考慮している。
- * 4 入力津波高さは、津波高さが最大となる「防波堤なし」、「1m 沈下（地盤沈下あり）」、「貝付着なし」、「スクリーン損失なし」、「防潮堤平面線形等変更なし」、「地形改変なし」の条件として設定している。また、潮位変動として「朔望平均満潮位（0.P.+1.43m）」、「潮位のぼらつき（0.16m）」、地殻変動として「東北地方太平洋沖型の地震（基準断層モデル③）で生じる地殻変動（0.72mの沈降）」を考慮している。
- * 5 入力津波高さは、津波高さが最大となる「防波堤なし」、「1m 沈下（地盤沈下あり）」、「貝付着なし」、「スクリーン損失なし」、「防潮堤平面線形等変更なし」、「地形改変なし」の条件として設定している。また、潮位変動として「朔望平均満潮位（0.P.+1.43m）」、「潮位のぼらつき（0.16m）」、地殻変動として「東北地方太平洋沖型の地震（基準断層モデル③）で生じる地殻変動（0.72mの沈降）」を考慮している。
- * 6 入力津波高さは、津波高さが最大となる「防波堤なし」、「1m 沈下（地盤沈下あり）」、「貝付着あり」、「スクリーン損失なし」、「防潮堤平面線形等変更なし」、「地形改変なし」の条件として設定している。また、潮位変動として「朔望平均満潮位（0.P.+1.43m）」、「潮位のぼらつき（0.16m）」、地殻変動として「東北地方太平洋沖型の地震（基準断層モデル③）で生じる地殻変動（0.72mの沈降）」を考慮している。
- * 7 入力津波高さは、津波高さが最大となる「防波堤あり」、「1m 沈下（地盤沈下あり）」、「貝付着なし」、「スクリーン損失なし」、「地形改変なし」の条件として設定している。また、潮位変動として「朔望平均満潮位（0.P.+1.43m）」、「潮位のぼらつき（0.16m）」、地殻変動として「東北地方太平洋沖型の地震（基準断層モデル③）で生じる地殻変動（0.72mの沈降）」を考慮している。
- * 8 入力津波高さは、津波高さが最大となる「防波堤あり」、「現地形（地盤沈下なし）」、「貝付着あり」、「スクリーン損失なし」、「地形改変なし」の条件として設定している。また、潮位変動として「朔望平均満潮位（0.P.+1.43m）」、「潮位のぼらつき（0.16m）」、地殻変動として

「東北地方太平洋沖型の地震（基準断層モデル③）で生じる地殻変動（0.72mの沈降）」を考慮している。

- * 9 入力津波高さは、津波高さが最低となる「防波堤なし」,「現地形（地盤沈下なし）」,「地形改変あり」の条件として設定している。また,潮位変動として「朔望平均干潮位(0.P. -0.14m)」,「潮位のばらつき(0.10m)」を考慮し,地殻変動として「東北地方太平洋沖型の地震（基準断層モデル②）で生じる地殻変動（0.77mの沈降）」は考慮していない。
- * 10 入力津波高さは、津波高さが最大となる「防波堤あり」,「現地形（地盤沈下なし）」,「貝付着なし」,「スクリーン損失なし」,「防潮堤平面線形等変更あり」,「地形改変あり」の条件として設定している。また,潮位変動として「朔望平均干潮位(0.P. -0.14m)」,「潮位のばらつき(0.10m)」を考慮し,地殻変動として「東北地方太平洋沖型の地震（基準断層モデル②）で生じる地殻変動（0.77mの沈降）」は考慮していない。

1.6 津波シミュレーションにおける解析モデルについて

1.6.1 概要

津波に伴う水位変動の評価は、線形長波理論及び非線形長波理論に基づき、差分スキームとしてスタッガード格子、リーブ・フロッグ法を採用した平面二次元モデルによる津波シミュレーションプログラムを採用している。

津波シミュレーションに用いる解析モデルについては、基準津波で使用した解析モデルを用いており、敷地周辺（計算格子間隔93m～5m）の領域は陸上遡上境界条件、それ以外の領域は完全反射条件としている。

津波シミュレーションの概略及び詳細の計算条件並びに計算格子を表1.6-1、図1.6-1に示す。地形のモデル化に当たっては、陸上地形は、国土地理院のDEMデータ等による地形データを、海底地形は、日本水路協会（2016）による海底地形デジタルデータを用いた。また、取放水設備の諸元及び発電所敷地等については、発電所の竣工図を用いた。なお、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震（以下「3.11地震」という。）の発生に伴い発電所付近は、広域的な地殻変動により約1mの沈降したことから、発電所付近の陸上地形については地震後に整備された国土地理院5mDEMデータを使用し、海底地形については日本水路協会（2016）による海底地形デジタルデータを一律に1.1m補正するとともに、平成23年5月に実施した深浅測量結果を用いた。

3.11地震に伴う地殻変動量の考慮方法を表1.6-2に示す。

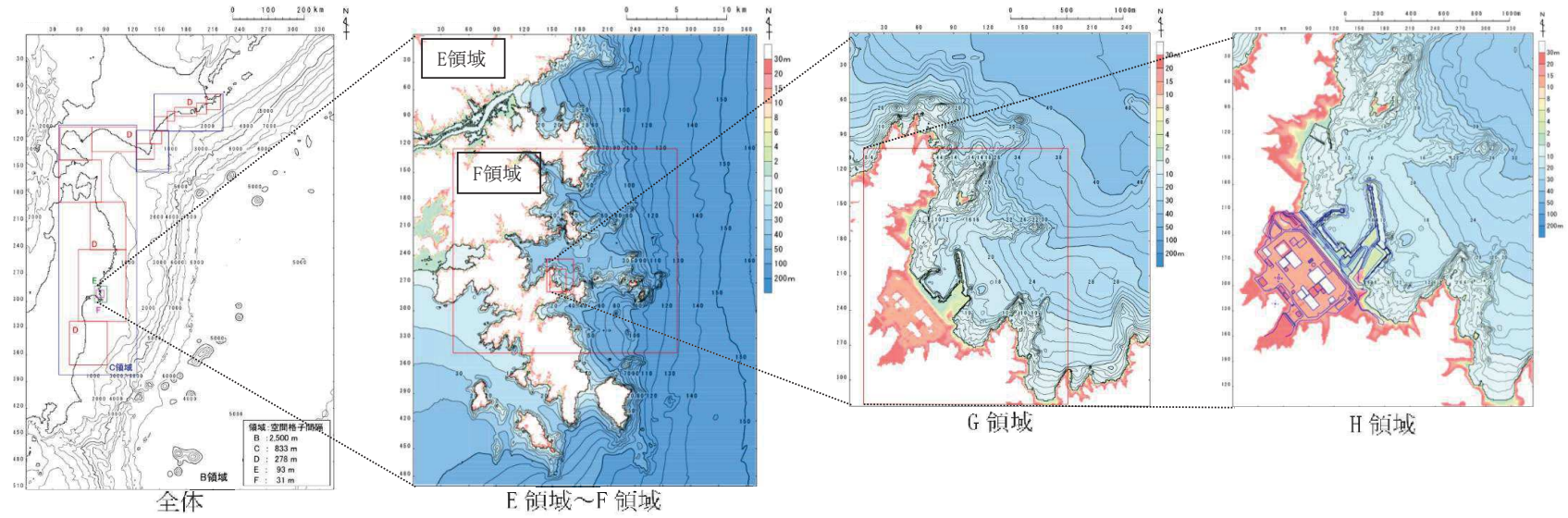
また、重要な安全機能を有する施設の設置された敷地（O.P. +13.8m）に基準津波による遡上波を到達、流入させないため、津波防護施設として設置する防潮堤をモデルに反映した。水位上昇側の評価に当たっては、防潮堤前面、第1号機～第3号機取水口前面、第1号機及び第2・3号機放水口前面を津波水位出力位置とした。水位下降側については、取水路内の水位変動に伴う非常用海水ポンプの取水性を評価することから、第2号機取水口前面を津波水位の出力位置とした。津波シミュレーションによる津波水位評価点の位置を図1.6-2に示す。

表1.6-1 津波シミュレーションの概略及び詳細計算手法

項目	条件	備考
解析領域	北海道から神奈川までの太平洋 (南北約1,300km, 東西約870km)	
メッシュ構成	B領域：2,500m→C領域：833m→D領域：278m →E領域：93m→F領域：31m→G領域：10m→H領域： 5m	
基礎方程式	B領域：線形長波理論 C～H領域：非線形長波理論	
計算スキーム	スタaggerド格子, リープ・フロッグ法	後藤・小川 (1982) の方法
初期海面変動量	Mansinha and Smylie (1971) の方法	
境界条件	沖合：後藤・小川 (1982) の自由透過の条件 陸域：敷地周辺 (計算格子間隔93m～5m) の領域は 小谷ほか (1998) の陸上遡上境界条件 それ以外は完全反射条件	
越流条件	防波堤：本間公式 (1940) 護岸：相田公式 (1977)	
海底摩擦係数	マンニングの粗度係数 ($n=0.03m^{-1/3}s$)	土木学会 (2016)
水平渦動粘性係数	考慮していない ($K_h=0$)	
計算時間間隔	$\Delta t=0.1$ 秒	C. F. L. 条件を満たす ように設定
計算時間	津波発生後4時間	十分な計算時間とな るように設定
潮位条件	T. P. $\pm 0.0m$	

表1.6-2 3.11地震に伴う地殻変動量の考慮

	E 領域	F 領域	G 領域	H 領域
陸域	地震後に整備された国土地理院 5mDEM データ			
海域		日本水路協会 M7000 データ (2016) を一律に 1.1m*沈下 させた。 * : F 領域全体をカバーする平均的な沈下量		東北電力深淺測量 データ (H23.5 測量)



	B領域	C領域	D領域	E領域	F領域	G領域	H領域
空間格子間隔	2.5 km	833 m	278 m	93 m	31 m	10m	5m
陸側境界条件	完全反射			小谷ほか (1998) の遡上境界条件			

図 1.6-1 計算格子と陸側の境界条件

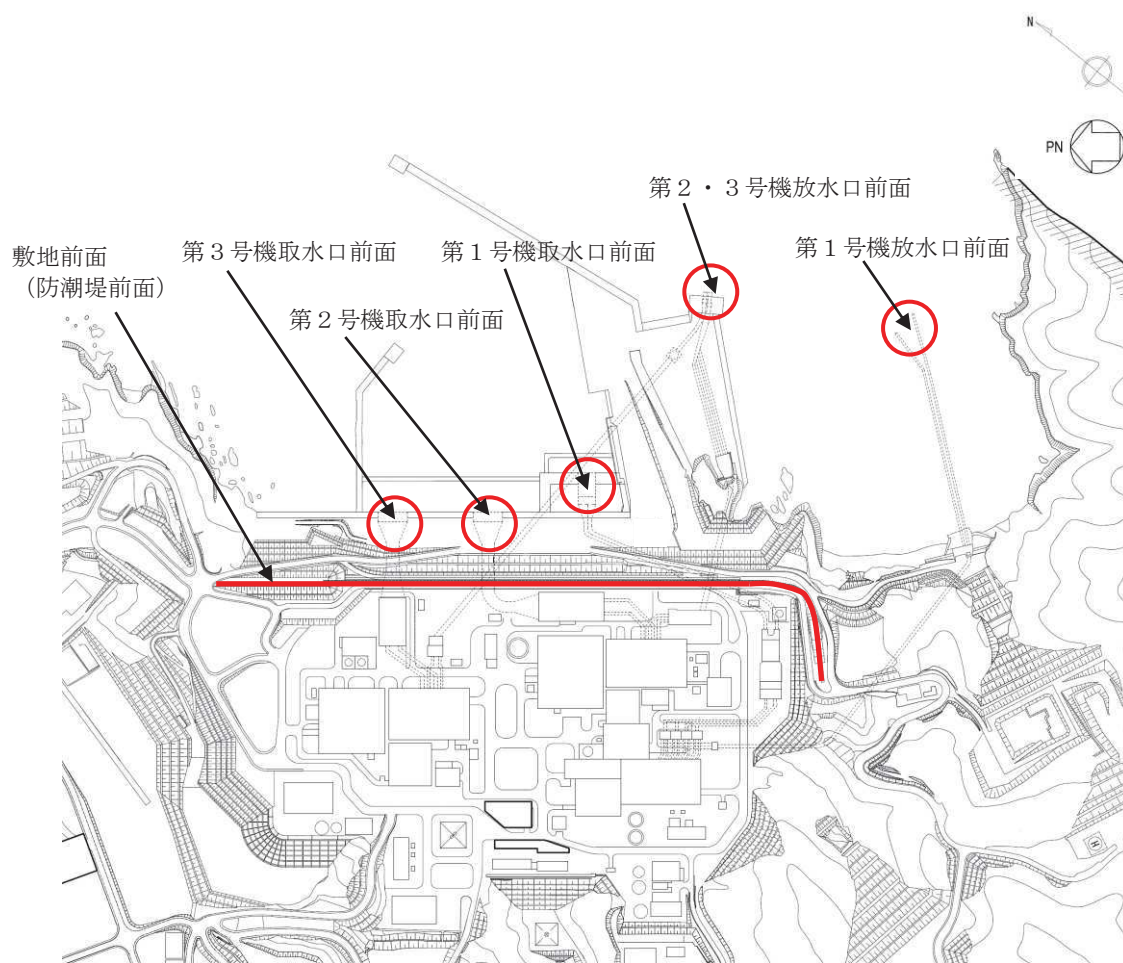


図1.6-2 津波水位評価点出力位置

1.6.2 発電所周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変の考慮

3.11地震に伴い被災した地域では防波堤・防潮堤の建設工事や住宅の高台移転等を目的とした造成工事が進められていることを踏まえ、復旧・改修工事に伴う地形改変を反映した地形を作成し、入力津波評価を実施している。宮城県における防潮堤の建設計画を図1.6-3に示す。

津波解析における陸側の境界条件について、図1.6-1に示したとおりE領域以下で遡上解析を実施しているが、それよりも外側のB～D領域では海岸線を完全反射条件としており、復旧・改修工事に伴う地形改変の影響はない。また、女川湾周辺の地形の状況を図1.6-4に、女川湾内における基準津波（水位上昇側）による押し波時の流況と引き波時の流況を図1.6-5に示す。女川原子力発電所はリアス海岸南部の女川湾湾口部に位置するが、女川湾に襲来する津波は、押し波時は女川湾の真東から襲来し引き波時は押し波時と逆方向になり、東西方向の流れが卓越する特徴を有する。また、女川湾周辺の地形（雄勝湾、鮫ノ浦湾）は女川湾と同様に湾地形を呈していることから、女川湾はその周辺地形からの反射波の影響を受けにくい。以上から、女川湾の範囲における復旧・改修工事に伴う地形改変を反映した。

地形データに反映する工事計画は、将来計画も含む復旧・改修工事計画を反映して作成した。

海域では、女川町等の各地区の海岸線において防潮堤の建設計画があることから、これらを地形データに反映した。各建設計画の概要を図1.6-6に示す。

陸域では、各地区において住宅の高台移転等を目的とした地形改変を伴う造成工事計画があり、その規模は女川町中心部が最も大きい。また、女川町中心部以外の地区で計画されている工事は、女川町中心部と同様に女川原子力発電所よりも湾奥に位置するが、その規模は女川町中心部と比較して小さいとともに、前面の海岸線では前述したとおり防潮堤が建設される計画であることから、入力津波評価及び漂流物評価に与える影響は小さいと考えられる。以上を踏まえ、女川町中心部並びに発電所付近に位置する小屋取地区の造成工事計画を地形データに反映した。女川町中心部における造成計画を図1.6-7に、女川町中心部を含む各地区の造成計画を図1.6-8に示す。

以上の各復旧・工事計画を反映して作成した地形データを図1.6-9に、作成した地形と現状評価の地形の差分を図1.6-10に示す。

宮城県における防潮堤災害復旧・復興の進捗状況

宮城県では、復旧・復興事業を実施するほぼ全ての箇所で着手済み、約6割の213箇所で完成済み。



図1.6-3 海岸線における防潮堤建設計画（令和2年2月末）（宮城県（2020））

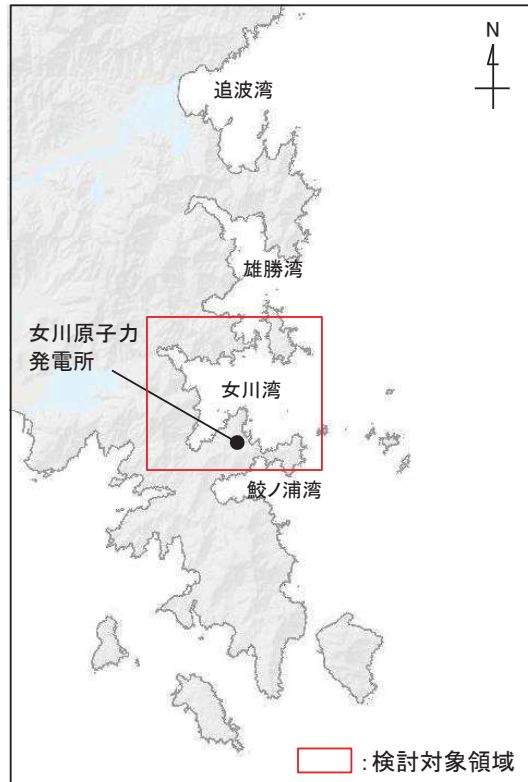
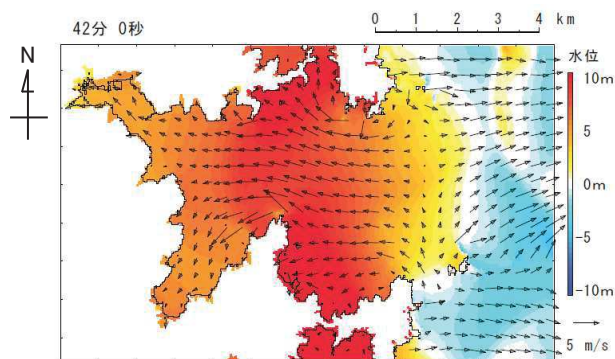
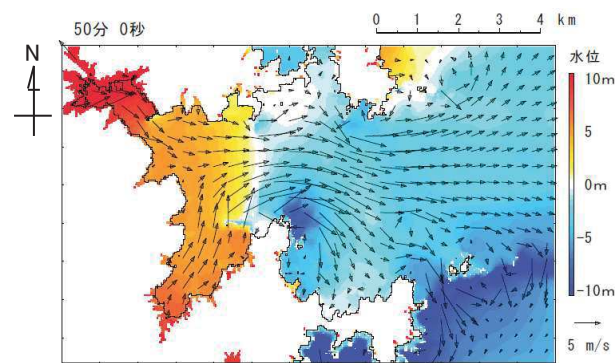


図 1.6-4 女川湾周辺の地形（E領域：遡上解析範囲）



押し波時の流況（地震発生 42 分後）



引き波時の流況（地震発生 50 分後）

図 1.6-5 女川湾内における基準津波（水位上昇側）

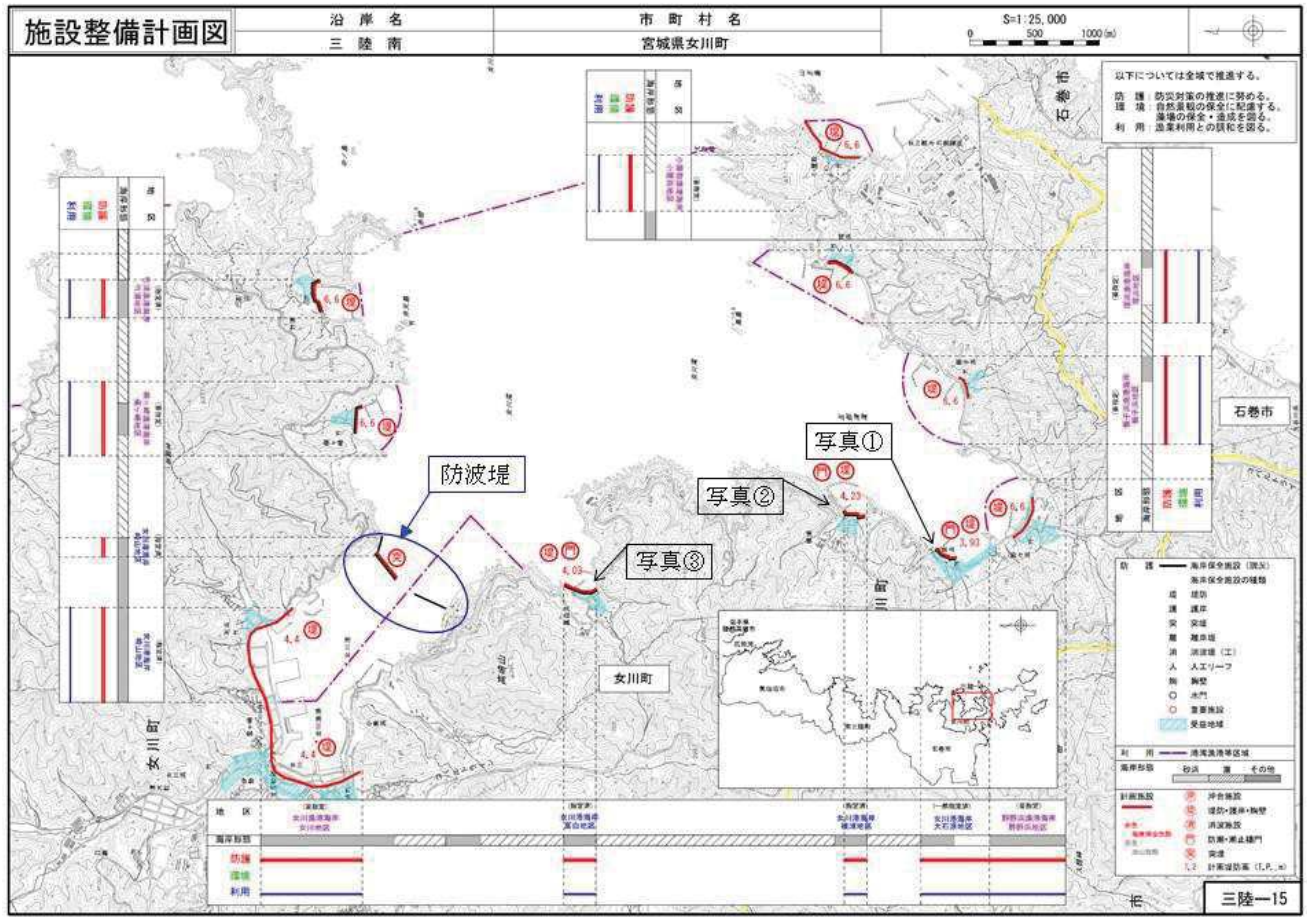


図 1.6-6 三陸南沿岸海域保全基本計画（宮城県（2016）に一部加筆）

■ 堤防建設状況

（石巻港湾事務所（2018））



完成区間（H28.10現在）

写真①：大石原地区



完成区間（H28.10現在）

写真②：横浦地区



完成区間（H28.10現在）

写真③：高白浜地区

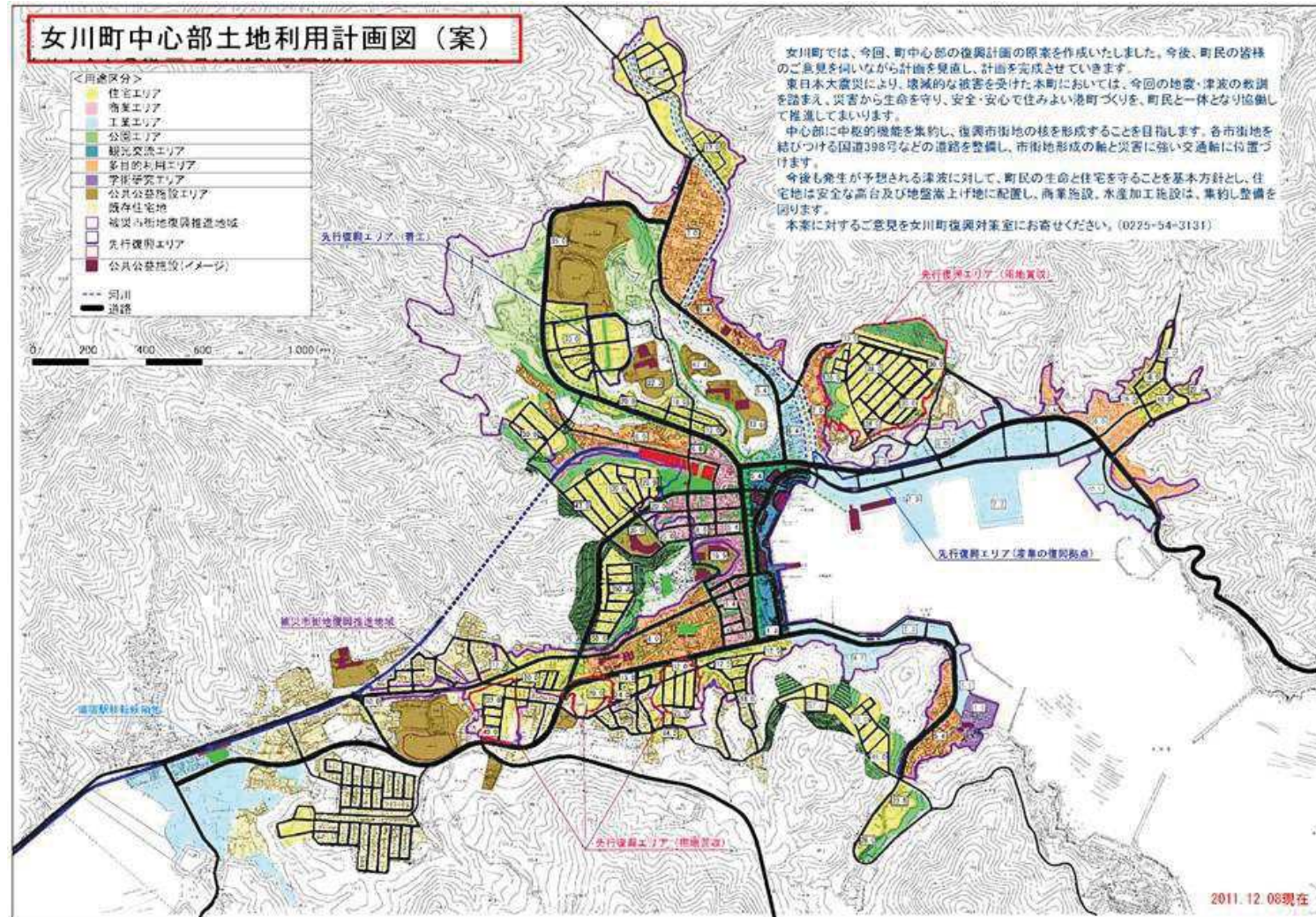


図 1.6-7 女川町中心部土地利用計画図*（女川町（2012））

*：女川町復興まちづくり説明会資料（第1回（2012）～第14回（2016））に基づき作成

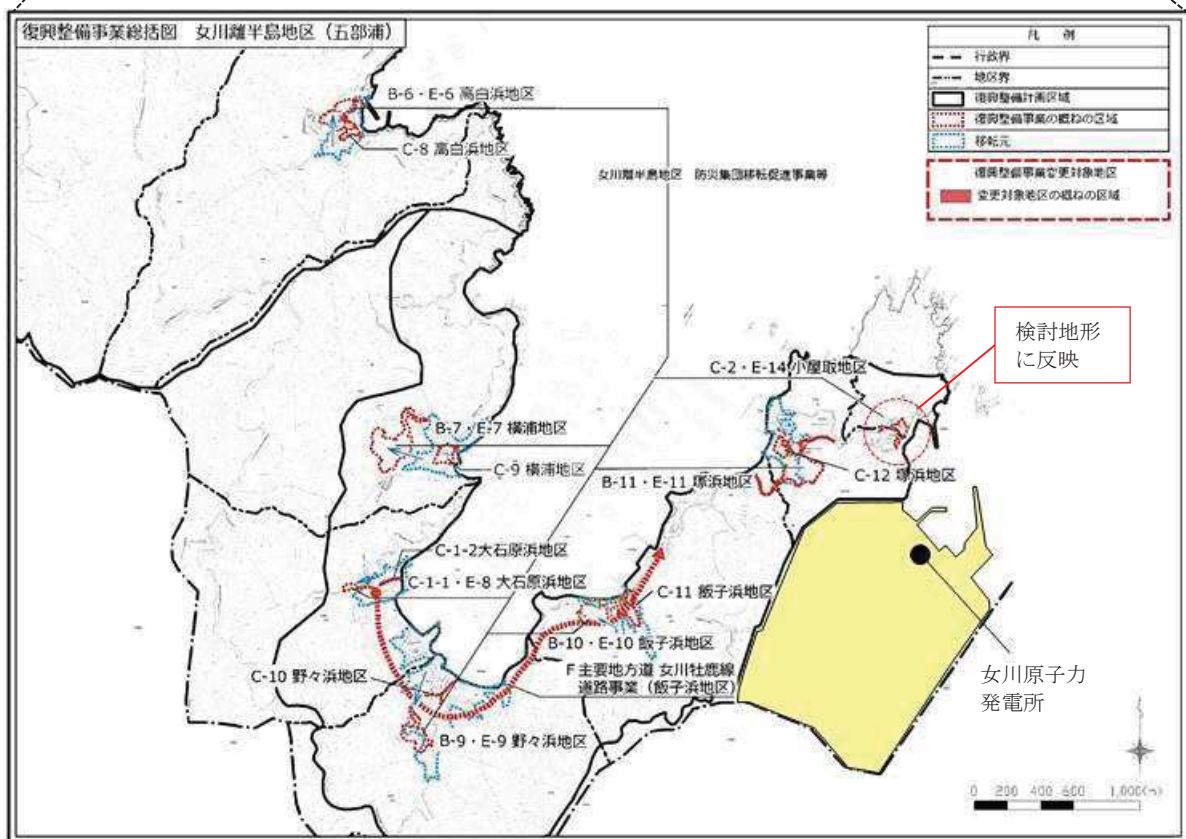
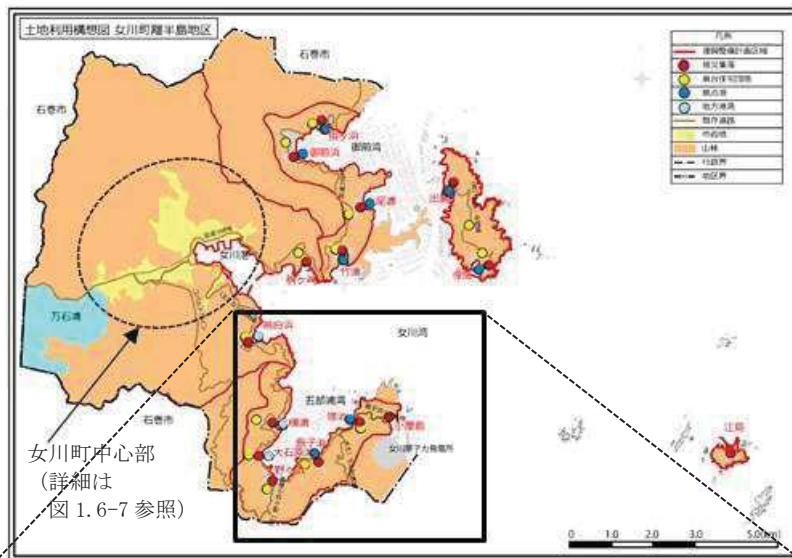


図 1.6-8 女川湾周辺における土地利用構想図
(女川町 (2018) に一部加筆)

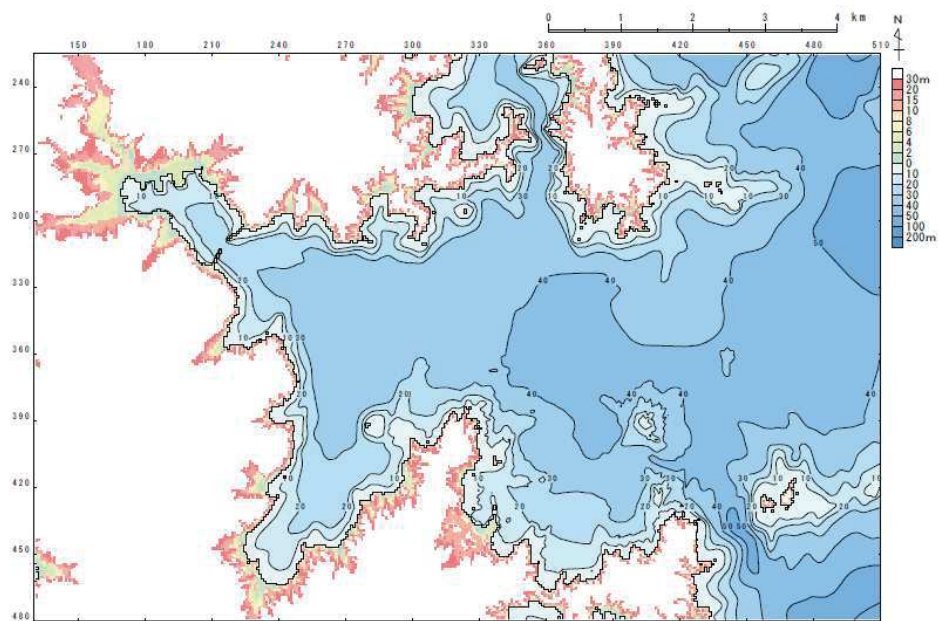


図 1.6-9 工事計画を反映した地形データ

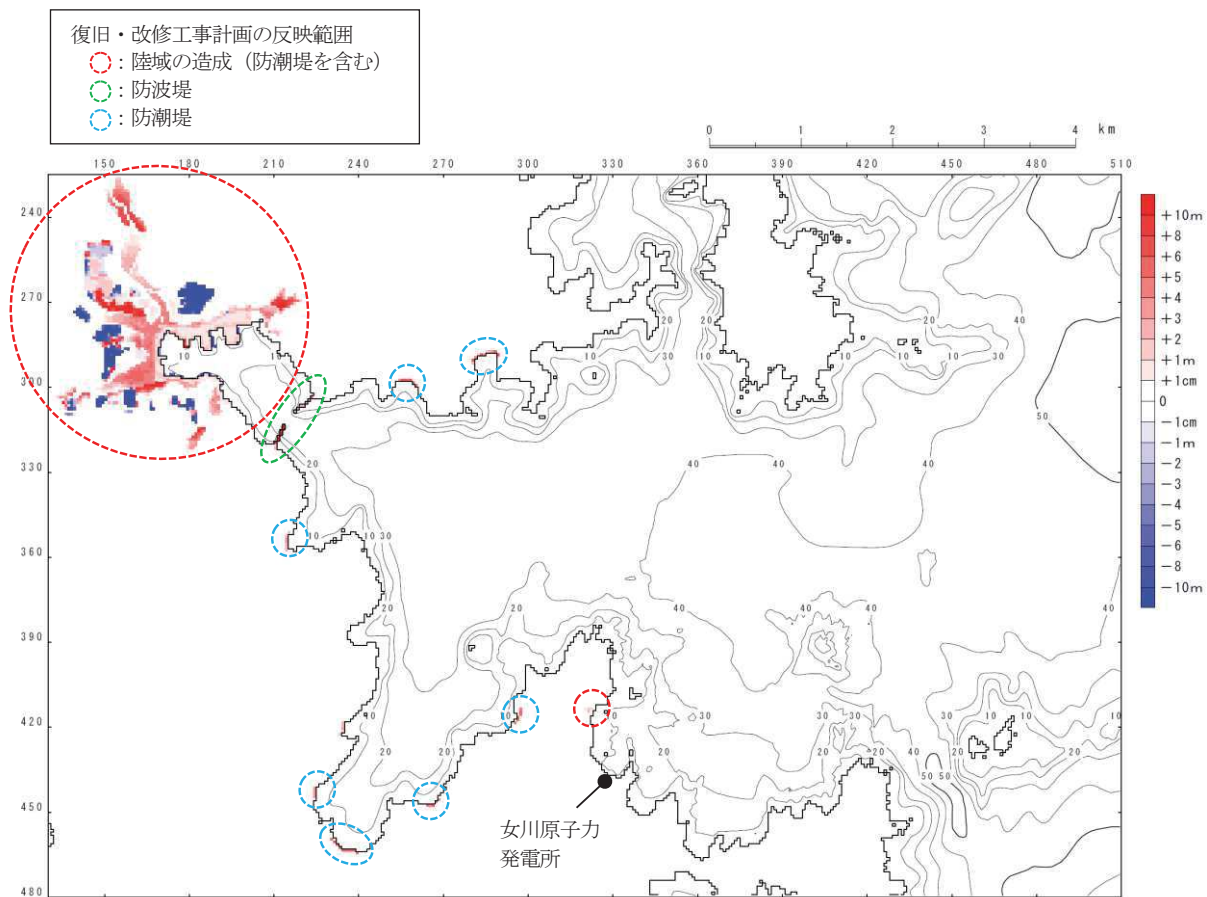


図 1.6-10 差分図 (工事計画を反映した地形－現状評価の地形)

1.7 非常用取水設備内に貯留される水量の算定について

貯留量の算定については、貯留堰が取水口、取水路及び海水ポンプ室底部より上部に位置することから、貯留堰高さからの水深を考慮した非常用取水設備（貯留堰、取水口、取水路及び海水ポンプ室）内の貯留量を算出している。なお、非常用取水設備内の貯留量の算出においては、ハンチ部及び15cmの貝付着代による減分を考慮する。

取水口（貯留堰）の水面面積、取水路内の各区分における水面面積（①～⑧）、海水ポンプ室内のうちA-1水路及びB-2水路の各区分における水面面積（①～④）、A-2水路及びB-1水路の各区分における水面面積（①～⑦）と貯留堰高さからの水深に基づき算出した水量を表1.7-1に示す。また、非常用取水設備の平面図及び断面図を図1.7-1に示す。

表 1.7-1 非常用取水設備内に貯留される水量

区分	水面面積(m ²)	水深(m)	体積(m ³) [A]	減分(m ³) [B]	貯留量(m ³) [A-B]	
取水口（貯留堰）	204.00	1.20	244.80	67.32	177.48	
取水路	①	211.26	1.20	253.51	78.20	175.31
	②	216.58	1.20	259.90	53.40	206.50
	③	490.70	1.20	588.84	144.27	444.57
	④	392.70	1.20	471.24	115.45	355.79
	⑤	53.50	1.20	64.20	15.73	48.47
	⑥	105.00	1.20	126.00	44.92	81.08
	⑦	39.99	1.20	47.99	14.79	33.20
	⑧	299.47	1.20	359.36	94.39	264.97
海水ポンプ室 (A-1, B-2)	①	27.00	1.30	35.10	7.80	27.30
	②	36.45	1.30~2.65	71.98	12.49	59.49
	③	525.15	2.65	1391.65	77.32	1314.33
	④	209.10	2.65	554.12	29.25	524.87
海水ポンプ室 (A-2, B-1)	①	13.96	0~1.03	7.21	5.07	2.14
	②	13.04	1.03~2.00	19.76	6.17	13.59
	③	116.10	2.00	232.20	58.70	173.50
	④	8.78	2.00~2.65	20.41	4.94	15.47
	⑤	39.34	2.65	104.25	11.58	92.67
	⑥	54.68	2.65	144.90	11.15	133.75
	⑦	97.74	2.65	259.01	14.39	244.62
計					4389.10	

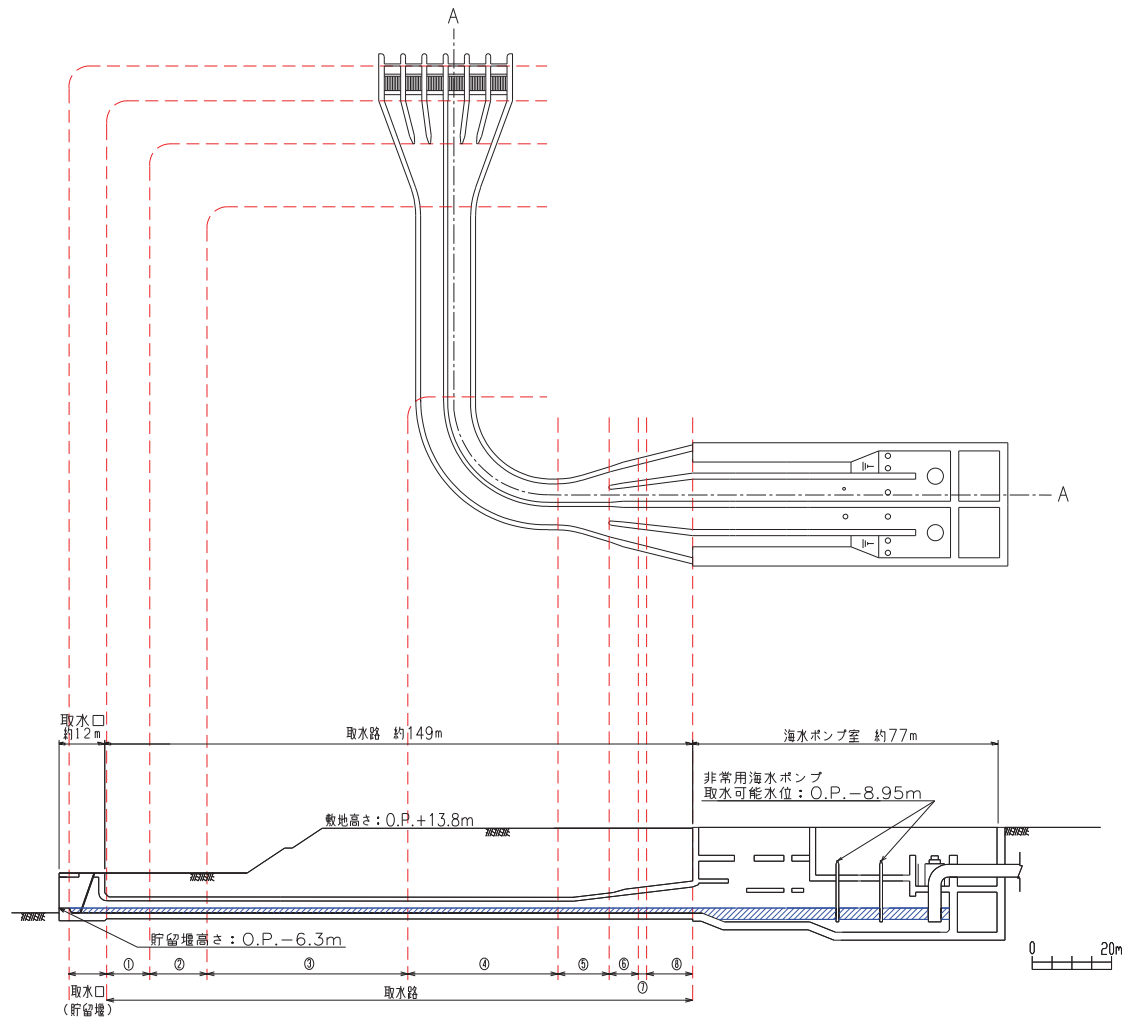


図 1.7-1 (1) 非常用取水設備の平面図及び縦断面図 (A-A) (取水口 (貯留堰) ~ 取水路)

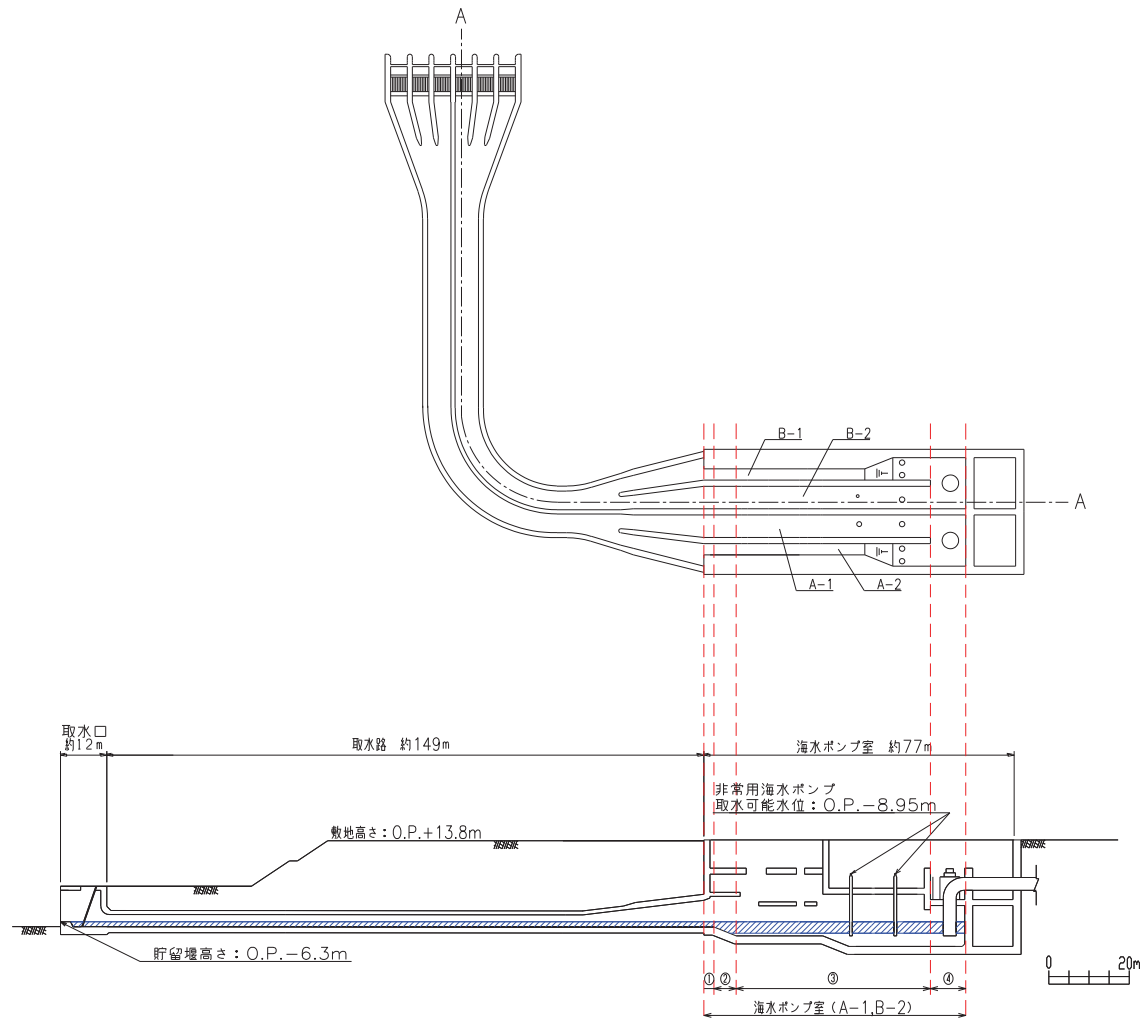


図 1.7-1 (2) 非常用取水設備の平面図及び縦断面図 (A-A) (海水ポンプ室 (A-1, B-2))

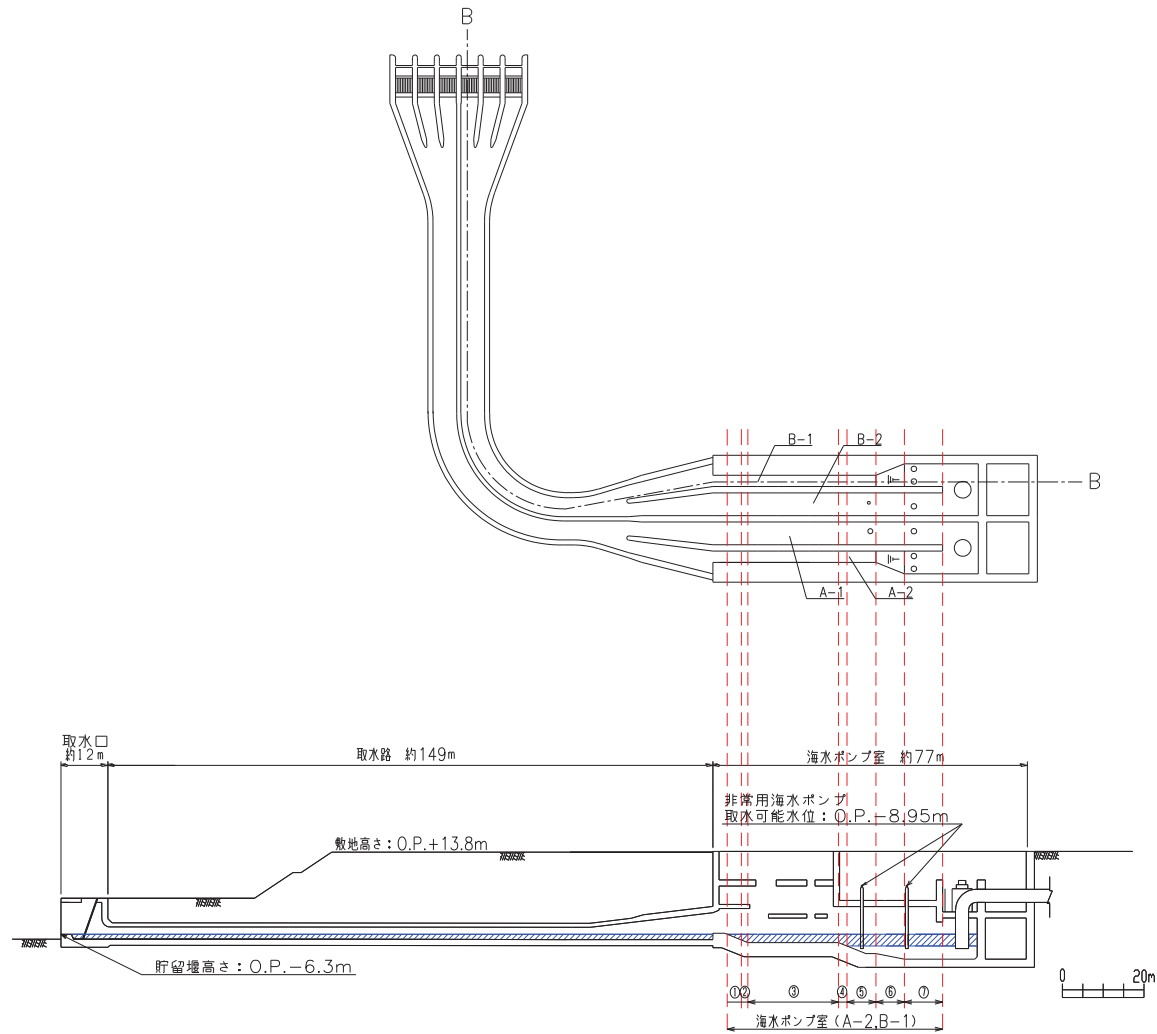


図 1.7-1 (3) 非常用取水設備の平面図及び縦断面図 (B-B) (海水ポンプ室 (A-2, B-1))

2. 津波防護対象設備

2.1 津波防護対象設備の選定及び配置について

(1) 基準津波に対する津波防護対象設備の選定

基準津波に対する設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の津波防護対象設備の選定の考え方及び対象となる範囲を以下に示す。

a. 設計基準対象施設の津波防護対象設備の選定

設置許可基準規則第5条（津波による損傷の防止）において、「設計基準対象施設は、基準津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない」となっており、設計基準対象施設のうち、安全機能を有する設備を津波から防護することを要求している。このため、津波から防護を検討する対象となる設備は、設計基準対象施設のうち安全機能を有する設備（クラス1、クラス2及びクラス3設備）である。

また、設置許可基準規則の解釈別記3では、津波から防護する設備として、耐震Sクラスに属する設備（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）が要求されている。

以上から、津波からの防護を検討する対象となる設備は、クラス1、クラス2及びクラス3設備並びに耐震Sクラスに属する設備（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）とする。このうち、クラス3設備については、安全評価上その機能を期待する設備は、津波に対してその機能を維持できる設計とし、その他の設備は損傷した場合を考慮して、代替設備により必要な機能を確保する等の対応を行う設計とする。

これより、津波から防護する設備は、クラス1及びクラス2設備並びに耐震Sクラスに属する設備（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）とする。

また、設計基準対象施設の津波防護対象設備（非常用取水設備を除く。）を内包する建屋及び区画として、原子炉建屋、タービン建屋、制御建屋、海水ポンプ室補機ポンプエリア、軽油タンクエリア（軽油タンク、燃料移送ポンプ）、緊急時対策建屋、復水貯蔵タンク及び排気筒を設定し、海水ポンプ室補機ポンプエリア、軽油タンクエリア及び復水貯蔵タンクから原子炉建屋に接続する配管を敷設する地下構造物（以下「トレンチ」という。）や排気筒連絡ダクトは敷地の地下部に設定する。

b. 重大事故等対処施設の津波防護対象設備の選定

設置許可基準規則第40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ものでなければならない。」ことを要求している。

設置許可基準規則第43条（重大事故等対処設備）における可搬型重大事故等対処設備の接続口、保管場所及び機能保持に対する要求事項を満足するため、可搬型重大事故等対処設備についても津波防護の対象とする。

これより、津波から防護する設備は、重大事故等対処施設（可搬型重大事故等対処設備を含む。）とする。

また、重大事故等対処施設の津波防護対象設備（非常用取水設備を除く。）を内包する建屋及び区画として、原子炉建屋、制御建屋、海水ポンプ室補機ポンプエリア、軽油タンクエ

リア（軽油タンク，燃料移送ポンプ），復水貯蔵タンク，排気筒，緊急時対策建屋，緊急用電気品建屋，ガスタービン発電設備タンクピット，可搬型重大事故等対処設備保管場所である第1保管エリア，第2保管エリア，第3保管エリア及び第4保管エリアを設定し，トレンチ及び排気筒連絡ダクトは敷地の地下部に設定する。

(2) 津波防護対象設備の選定結果

「(1) 基準津波に対する津波防護対象設備の選定」において選定した設計基準対象施設の津波防護対象設備（非常用取水設備を除く。）を内包する建屋及び区画，重大事故等対処施設の津波防護対象設備（非常用取水設備を除く。）を内包する建屋及び区画を以下に示す。

津波防護対象設備を内包する建屋及び区画の一覧を表2.1-1，その配置を図2.1-1に示す。また，具体的な津波防護対象設備のリストを表2.1-2，その配置を図2.1-2に示す。

表 2.1-1 津波防護対象設備を内包する建屋及び区画の一覧

津波防護対象設備	基準津波	
	設計基準 対象施設	重大事故等 対処施設
原子炉建屋	○	○
制御建屋	○	○
タービン建屋	○	-
軽油タンクエリア	○	○
海水ポンプ室補機ポンプエリア	○	○
復水貯蔵タンク	○	○
トレンチ	○	○
排気筒	○	○
排気筒連絡ダクト	○	○
第1保管エリア	-	○
第2保管エリア	-	○
第3保管エリア	-	○
第4保管エリア	-	○
緊急用電気品建屋	-	○
緊急時対策建屋	○	○
ガスタービン発電設備タンクピット	-	○

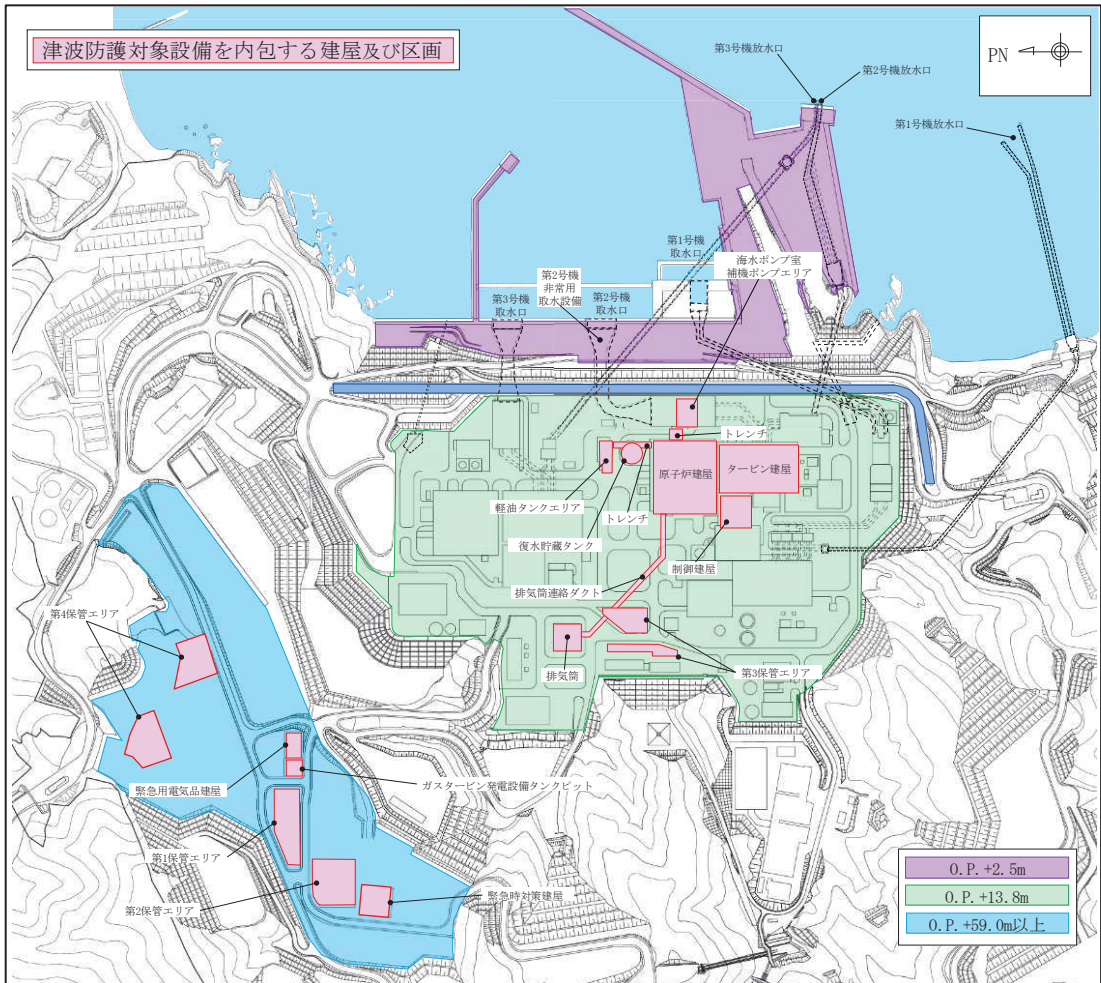


図 2.1-1 津波防護対象設備を内包する建屋及び区画の配置

表 2.1-2 主な津波防護対象設備リスト (1/12)

機器	設置場所	設置高さ (O. P. m)	図示 番号
1. 原子炉本体			
原子炉圧力容器	原子炉格納容器	—	—
2. 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設			
(1) 燃料取扱設備			
燃料交換機	原子炉建屋	+32.2	2-1
原子炉建屋クレーン	原子炉建屋	+40.2	2-2
(2) 新燃料貯蔵設備			
新燃料貯蔵庫	原子炉建屋	+32.2	2-3
(3) 使用済燃料貯蔵施設			
使用済燃料プール	原子炉建屋	+32.2	2-4
キャスクピット	原子炉建屋	+32.2	2-5
使用済燃料貯蔵ラック	原子炉建屋	+32.2	2-6
制御棒／破損燃料貯蔵ラック	原子炉建屋	+32.2	2-7
(4) 使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備			
燃料プール冷却浄化系主配管	原子炉建屋	—	—
燃料プール冷却浄化系主要弁	原子炉建屋	—	—
燃料プール代替注水系主配管	原子炉建屋	—	—
燃料プールのスプレイ系主配管	原子炉建屋	—	—
放射性物質拡散抑制系主配管	第 1, 4 保管エリア	+59.0 以上	2-8

表 2.1-2 主な津波防護対象設備リスト (2/12)

機器	設置場所	設置高さ (O. P. m)	図示 番号
3. 原子炉冷却系統施設			
(1) 原子炉冷却材再循環設備			
原子炉再循環ポンプ	原子炉格納容器	—	—
原子炉再循環系主配管	原子炉格納容器	—	—
原子炉再循環系主要弁	原子炉格納容器	—	—
(2) 原子炉冷却材の循環設備			
主蒸気逃がし安全弁	原子炉格納容器	—	—
主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ	原子炉格納容器	—	—
主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ	原子炉格納容器	—	—
主蒸気系主配管	原子炉格納容器	—	—
	原子炉建屋	—	—
主蒸気系主要弁	原子炉格納容器	—	—
	原子炉建屋	—	—
復水給水系主配管	原子炉格納容器	—	—
	原子炉建屋	—	—
復水給水系主要弁	原子炉格納容器	—	—
	原子炉建屋	—	—
(3) 残留熱除去設備			
残留熱除去系ポンプ	原子炉建屋	-9.1	3-1
残留熱除去系熱交換器	原子炉建屋	+14.0	3-2
残留熱除去系ストレーナ	原子炉格納容器	—	—
残留熱除去系主配管	原子炉格納容器	—	—
	原子炉建屋	—	—
残留熱除去系主要弁	原子炉格納容器	—	—
	原子炉建屋	—	—

表 2.1-2 主な津波防護対象設備リスト (3/12)

機器	設置場所	設置高さ (O. P. m)	図示 番号
(4) 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備			
高圧炉心スプレイ系ポンプ	原子炉建屋	-9.1	3-3
高圧炉心スプレイ系ストレーナ	原子炉格納容器	-	-
高圧炉心スプレイ系主配管	原子炉格納容器	-	-
	原子炉建屋	-	-
	トレンチ	-	-
高圧炉心スプレイ系主要弁	原子炉格納容器	-	-
	原子炉建屋	-	-
低圧炉心スプレイ系ポンプ	原子炉建屋	-9.1	3-4
低圧炉心スプレイ系ストレーナ	原子炉格納容器	-	-
低圧炉心スプレイ系主配管	原子炉格納容器	-	-
	原子炉建屋	-	-
低圧炉心スプレイ系主要弁	原子炉格納容器	-	-
高圧代替注水系タービンポンプ	原子炉建屋	-1.8	3-5
高圧代替注水系主配管	原子炉格納容器	-	-
	原子炉建屋	-	-
高圧代替注水系主要弁	原子炉格納容器	-	-
	原子炉建屋	-	-
直流駆動低圧注水系ポンプ	原子炉建屋	-9.1	3-6
低圧代替注水系主配管	原子炉格納容器	-	-
	原子炉建屋	-	-
低圧代替注水系主要弁	原子炉格納容器	-	-
	原子炉建屋	-	-

表 2.1-2 主な津波防護対象設備リスト (4/12)

機器	設置場所	設置高さ (O. P. m)	図示 番号
代替循環冷却ポンプ	原子炉建屋	-9.1	3-7
代替循環冷却系主配管	原子炉格納容器	-	-
	原子炉建屋	-	-
代替循環冷却系主要弁	原子炉格納容器	-	-
	原子炉建屋	-	-
大容量送水ポンプ (タイプ I)	第 1, 2, 3, 4 保管エリア	+13.8 以上	3-8
大容量送水ポンプ (タイプ II)	第 1, 2, 4 保管エリア	+13.8 以上	3-9
代替水源移送系主配管	原子炉建屋	-	-
代替水源移送系主要弁	原子炉建屋	-	-
(5) 原子炉冷却材補給設備			
原子炉隔離時冷却系ポンプ (蒸気タービン含む)	原子炉建屋	-9.1	3-10, 3-11
原子炉隔離時冷却系主要弁	原子炉格納容器	-	-
	原子炉建屋	-	-
原子炉隔離時冷却系主配管	原子炉格納容器	-	-
	原子炉建屋	-	-
復水貯蔵タンク	屋外	+13.8	3-12

表 2.1-2 主な津波防護対象設備リスト (5/12)

機器	設置場所	設置高さ (O. P. m)	図示 番号
(6) 原子炉補機冷却設備			
原子炉補機冷却水ポンプ	原子炉建屋	-9.1	3-13
原子炉補機冷却水系熱交換器	原子炉建屋	-9.1	3-14
原子炉補機冷却水系主配管	原子炉建屋	-	-
原子炉補機冷却水系主要弁	原子炉建屋	-	-
原子炉補機冷却海水ポンプ	海水ポンプ室	+2.0	3-15
原子炉補機冷却海水系ストレーナ	原子炉建屋	-9.1	3-16
原子炉補機冷却海水系主配管	原子炉建屋	-	-
	海水ポンプ室	-	-
	トレンチ	-	-
原子炉補機冷却海水系主要弁	原子炉建屋	-	-
	海水ポンプ室	-	-
高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	原子炉建屋	-9.1	3-17
高圧炉心スプレイ補機冷却水系熱交換器	原子炉建屋	-9.1	3-18
高圧炉心スプレイ補機冷却水系主配管	原子炉建屋	-	-
高圧炉心スプレイ補機冷却水系主要弁	原子炉建屋	-	-
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	海水ポンプ室	+2.0	3-19
高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ	海水ポンプ室	+5.35	3-20
高圧炉心スプレイ補機冷却海水系主配管	原子炉建屋	-	-
	海水ポンプ室	-	-
	トレンチ	-	-
高圧炉心スプレイ補機冷却海水系主要弁	原子炉建屋	-	-
	海水ポンプ室	-	-
原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット	第 1, 3, 4 保管エリア	+13.8 以上	3-21
原子炉補機代替冷却水系主配管	原子炉建屋	-	-
原子炉補機代替冷却水系主要弁	原子炉建屋	-	-

表 2.1-2 主な津波防護対象設備リスト (6/12)

機器	設置場所	設置高さ (O. P. m)	図示 番号
(7) 原子炉冷却材浄化設備			
原子炉冷却材浄化系主配管	原子炉格納容器	—	—
	原子炉建屋	—	—
原子炉冷却材浄化系主要弁	原子炉格納容器	—	—
	原子炉建屋	—	—
4. 計測制御系統施設			
(1) 制御材			
制御棒	原子炉格納容器	—	—
(2) 制御材駆動装置			
制御棒駆動機構	原子炉格納容器	—	—
水圧制御ユニット	原子炉建屋	+5.0	4-1
制御棒駆動水圧系主配管	原子炉格納容器	—	—
	原子炉建屋	—	—
制御棒駆動水圧系主要弁	原子炉建屋	—	—
(3) ほう酸水注入設備			
ほう酸水注入系ポンプ	原子炉建屋	+21.5	4-2
ほう酸水注入系貯蔵タンク	原子炉建屋	+21.5	4-3
ほう酸水注入系主配管	原子炉建屋	—	—
	原子炉格納容器	—	—
ほう酸水注入系主要弁	原子炉建屋	—	—
	原子炉格納容器	—	—

表 2.1-2 主な津波防護対象設備リスト (7/12)

機器	設置場所	設置高さ (O. P. m)	図示 番号
(4) 計測装置			
起動領域モニタ	原子炉格納容器	—	—
出力領域モニタ	原子炉格納容器	—	—
地震加速度検出器	原子炉建屋	−9.1, +5.0	4-4
原子炉冷却制御盤	制御建屋	+22.5	4-5
原子炉制御盤	制御建屋	+22.5	4-6
原子炉補機制御盤	制御建屋	+22.5	4-7
放射線モニタ盤	制御建屋	+22.5	4-8
出力領域モニタ盤	制御建屋	+22.5	4-9
T I P 制御盤	制御建屋	+22.5	4-10
原子炉保護系盤	制御建屋	+22.5	4-11
制御棒監視制御盤	制御建屋	+22.5	4-12
原子炉系温度記録計盤	制御建屋	+22.5	4-13
原子炉系補助盤	制御建屋	+22.5	4-14
出力領域モニタ補助盤	制御建屋	+22.5	4-15
自動減圧系盤	制御建屋	+22.5	4-16
格納容器内雰囲気モニタ盤	制御建屋	+22.5	4-17
I T V 監視盤	制御建屋	+22.5	4-18
原子炉系計装ラック	原子炉建屋	+5.0, +14.0	4-19
原子炉再循環系計装ラック	原子炉建屋	+5.0	4-20
主蒸気流量計装ラック	原子炉建屋	+5.0	4-21
残留熱除去系計装ラック	原子炉建屋	−9.1, −1.8	4-22
高圧炉心スプレイ系計装ラック	原子炉建屋	−1.8	4-23
低圧炉心スプレイ系計装ラック	原子炉建屋	−1.8	4-24
原子炉隔離時冷却系計装ラック	原子炉建屋	−9.1, −1.8	4-25
ドライウェル圧力計装ラック	原子炉建屋	+21.5	4-26

表 2.1-2 主な津波防護対象設備リスト (8/12)

機器	設置場所	設置高さ (O. P. m)	図示 番号
格納容器内雰囲気モニタ	原子炉格納容器	+21.5	4-27
スクラム排出容器水位	原子炉建屋	+5.0	4-28
残留熱除去系熱交換器入口温度	原子炉建屋	+14.0	4-29
残留熱除去系熱交換器出口温度	原子炉建屋	+14.0	4-30
主蒸気管トンネル温度	原子炉建屋	+5.0, +19.5	4-31
サプレッションプール水温度	原子炉格納容器	—	—
5. 放射性廃棄物の廃棄施設			
液体廃棄物処理設備主配管	原子炉格納容器	—	—
	原子炉建屋	—	—
液体廃棄物処理設備主要弁	原子炉格納容器	—	—
	原子炉建屋	—	—
気体廃棄物処理系活性炭式希ガスホールドアップ装置	タービン建屋	-0.2	5-1
排気筒	屋外	+13.8	5-2
6. 放射線管理施設			
(1) 放射線管理用計測装置			
主蒸気管放射線モニタ	原子炉建屋	+14.0	6-1
燃料取替エリア放射線モニタ	原子炉建屋	+32.2	6-2
原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタ	原子炉建屋	+26.2	6-3
格納容器内雰囲気放射線モニタ	原子炉格納容器	+5.0, -1.8	6-4
緊急時対策所可搬型エリアモニタ	緊急時対策建屋	+59.0 以上	6-5
(2) 換気設備			
中央制御室再循環送風機	制御建屋	+0.5	6-6
中央制御室再循環フィルタ装置	制御建屋	+0.5	6-7
中央制御室送風機	制御建屋	+0.5	6-8
中央制御室排風機	制御建屋	+0.5	6-9
換気設備主配管	原子炉建屋	—	—
	制御建屋	—	—
	排気筒連絡ダクト	—	—
換気設備主要弁	原子炉建屋	—	—

表 2.1-2 主な津波防護対象設備リスト (9/12)

機器	設置場所	設置高さ (O. P. m)	図示 番号
(3) 生体遮蔽装置			
原子炉遮蔽壁	原子炉建屋	—	—
中央制御室遮蔽壁	制御建屋	—	—
中央制御室待避所遮蔽壁	原子炉建屋	—	—
緊急時対策所遮蔽壁	緊急時対策建屋	—	—
7. 原子炉格納施設			
(1) 原子炉格納容器			
原子炉格納容器	原子炉建屋	−9.1	7-1
サブプレッションチェンバ出入口	原子炉建屋	−1.8	7-2
機器搬出入用ハッチ	原子炉建屋	+5.0	7-3
所員用エアロック	原子炉建屋	+14.0	7-4
配管貫通部	原子炉建屋	—	—
電気配線貫通部	原子炉建屋	—	—
(2) 原子炉建屋			
原子炉建屋原子炉棟	原子炉建屋	—	—
原子炉建屋大物搬入口	原子炉建屋	—	—
原子炉建屋エアロック	原子炉建屋	—	—
(3) 圧力低減設備その他の安全設備			
ベント管	原子炉格納容器	—	—
真空破壊装置	原子炉格納容器	—	—
ドライウェルスプレイ管	原子炉格納容器	—	—
サブプレッションチェンバスプレイ管	原子炉格納容器	—	—
原子炉格納容器下部注水系主配管	原子炉格納容器	—	—
	原子炉建屋	—	—
原子炉格納容器代替スプレイ冷却系主配管	原子炉格納容器	—	—
	原子炉建屋	—	—

表 2.1-2 主な津波防護対象設備リスト (10/12)

機器	設置場所	設置高さ (O. P. m)	図示 番号
可燃性ガス濃度制御系再結合装置	原子炉建屋	+21.5	7-5
可燃性ガス濃度制御系主配管	原子炉建屋	—	—
可燃性ガス濃度制御系主要弁	原子炉建屋	—	—
静的触媒式水素再結合装置	原子炉建屋	+32.2	7-6
原子炉格納容器フィルタベント系主配管	原子炉格納容器	—	—
	原子炉建屋	—	—
原子炉格納容器フィルタベント系主要弁	原子炉格納容器	—	—
	原子炉建屋	—	—
原子炉格納容器調気系主配管	原子炉建屋	—	—
原子炉格納容器調気系主要弁	原子炉建屋	—	—
非常用ガス処理系排風機	原子炉建屋	+21.5	7-7
非常用ガス処理系フィルタ装置	原子炉建屋	+21.5	7-8

表 2.1-2 主な津波防護対象設備リスト (11/12)

機器	設置場所	設置高さ (O. P. m)	図示 番号
8. その他発電用原子炉の附属施設			
(1) 非常用電源設備			
非常用ディーゼル発電設備内燃機関	原子炉建屋	+14.0	8-1
非常用ディーゼル発電設備燃料設備	原子炉建屋	+24.8	8-2
	軽油タンクエリア	+13.8	8-3
	トレンチ	—	—
非常用ディーゼル発電設備発電機	原子炉建屋	+14.0	8-4
静止形無停電電源装置	制御建屋	+7.0	8-5
125V 蓄電池	原子炉建屋	+19.9	8-6
	制御建屋	+0.5,	8-7
		+7.0,	
+10.4			
所内母線・所内母線連絡用 6.9kV 遮断器	原子炉建屋	+5.0	8-8
負荷用 6.9kV 遮断器	原子炉建屋	+5.0	8-9
ディーゼル発電機用 6.9kV 遮断器	原子炉建屋	+5.0	8-10
パワーセンタ	制御建屋	+0.5, +7.0	8-11
	原子炉建屋	+5.0	8-12
モータコントロールセンタ	制御建屋	+7.0	8-13
	原子炉建屋	+5.0, +14.0	8-14
メタルクラッド開閉装置	原子炉建屋	+5.0	8-15
動力変圧器	原子炉建屋	+5.0	8-16
非常用電源ケーブル	原子炉建屋	—	—
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備内燃機関	原子炉建屋	+14.0	8-17
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料設備	原子炉建屋	+24.8	8-18
	軽油タンクエリア	+13.8	8-3
	トレンチ	—	—
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備発電機	原子炉建屋	+14.0	8-19
ガスタービン発電設備ガスタービン	緊急用電気品建屋	+59.0 以上	8-20

表 2.1-2 主な津波防護対象設備リスト (12/12)

機器	設置場所	設置高さ (O. P. m)	図示 番号
ガスタービン発電設備燃料設備	ガスタービン発電 設備タンクピット	+59.0 以上	8-21
ガスタービン発電設備発電機	ガスタービン発電 設備タンクピット	+59.0 以上	8-22
可搬型代替交流電源設備内燃機関	第 2, 3, 4 保管エリア	+13.8 以上	8-23
可搬型代替交流電源設備燃料設備	第 2, 3, 4 保管エリア	+13.8 以上	8-24
可搬型代替交流電源設備発電機	第 2, 3, 4 保管エリア	+13.8 以上	8-25
可搬型代替直流電源設備内燃機関	第 2, 3, 4 保管エリア	+13.8 以上	8-26
可搬型代替直流電源設備燃料設備	第 2, 3, 4 保管エリア	+13.8 以上	8-27
可搬型代替直流電源設備発電機	第 2, 3, 4 保管エリア	+13.8 以上	8-28
緊急時対策所ディーゼル発電設備(電源車) 内燃機関	緊急時対策建屋	+59.0 以上	8-29
緊急時対策所ディーゼル発電設備(電源車) 燃料設備	緊急時対策建屋	+59.0 以上	8-30
緊急時対策所ディーゼル発電設備(電源車) 発電機	緊急時対策建屋	+59.0 以上	8-31

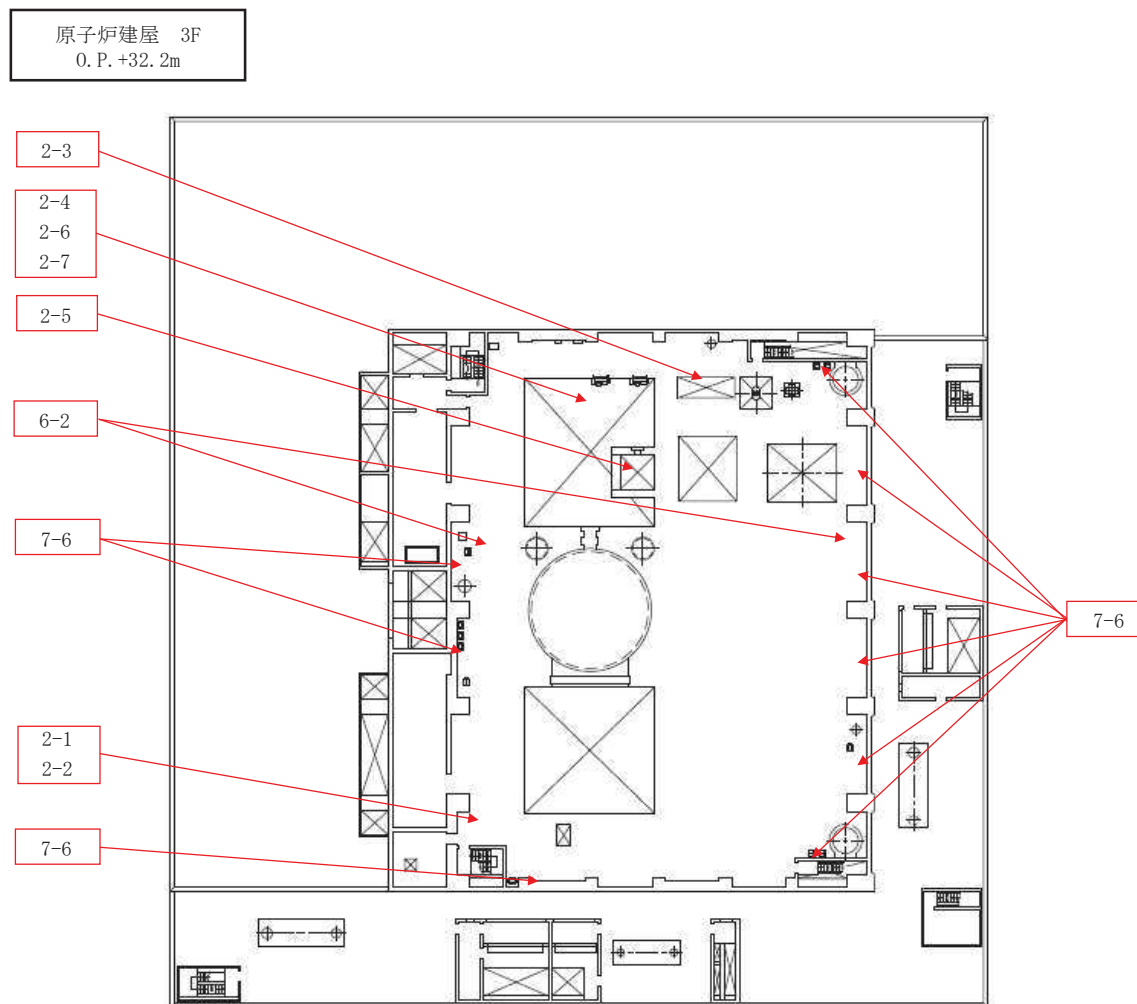


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (1/14)

原子炉建屋 2F
O.P. +21.5m

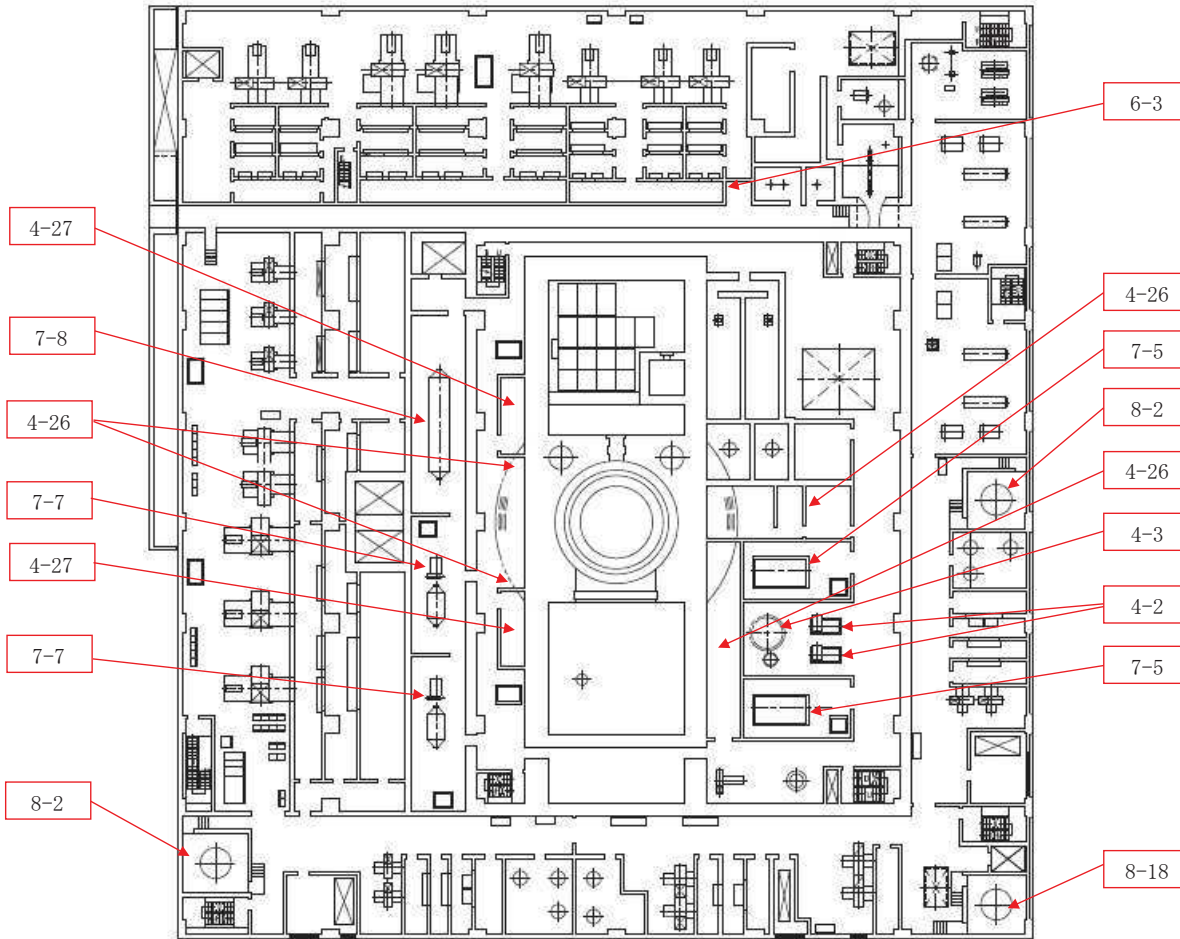


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (2/14)

原子炉建屋 M2F

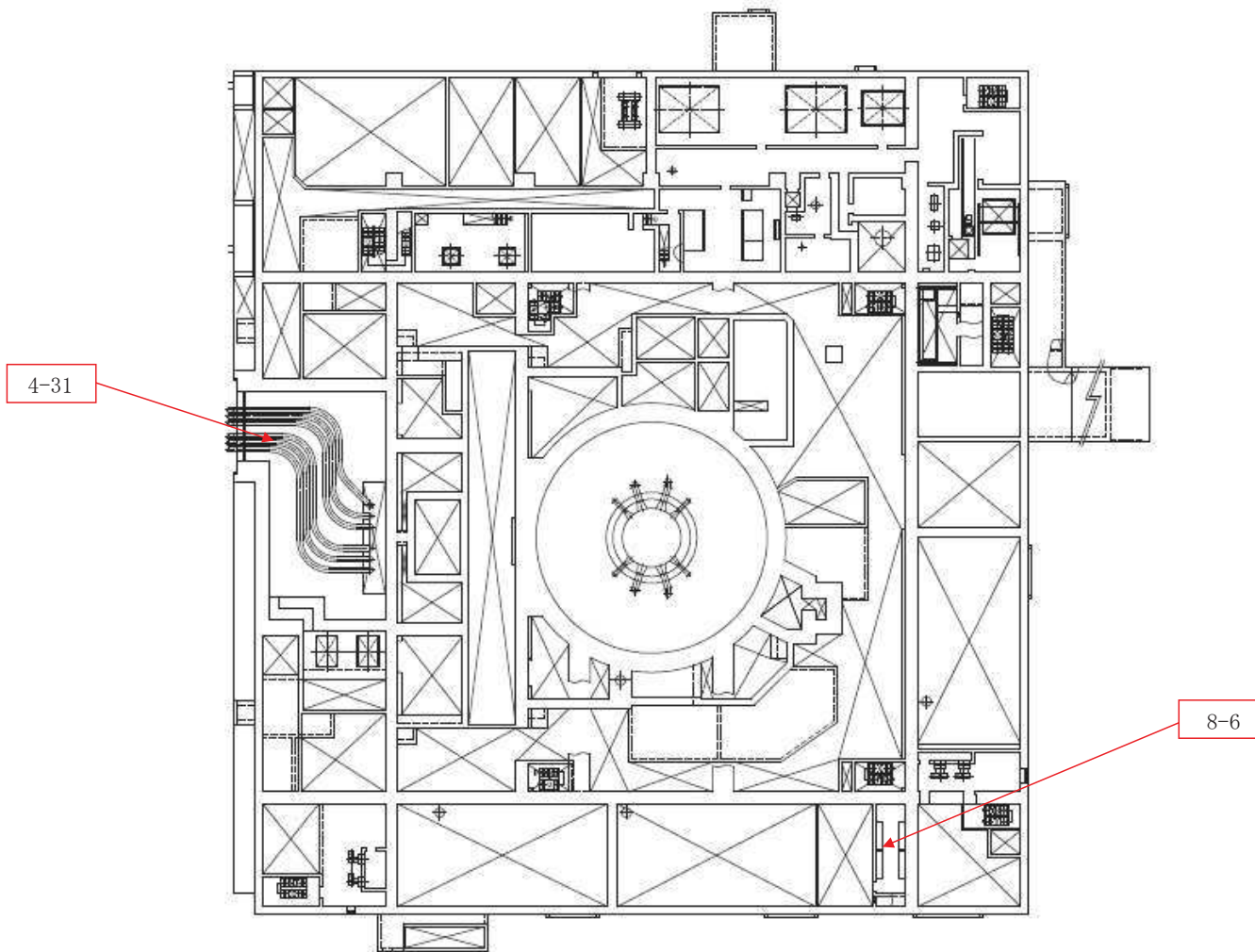


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (3/14)

原子炉建屋 1F
O. P. +14. 1m

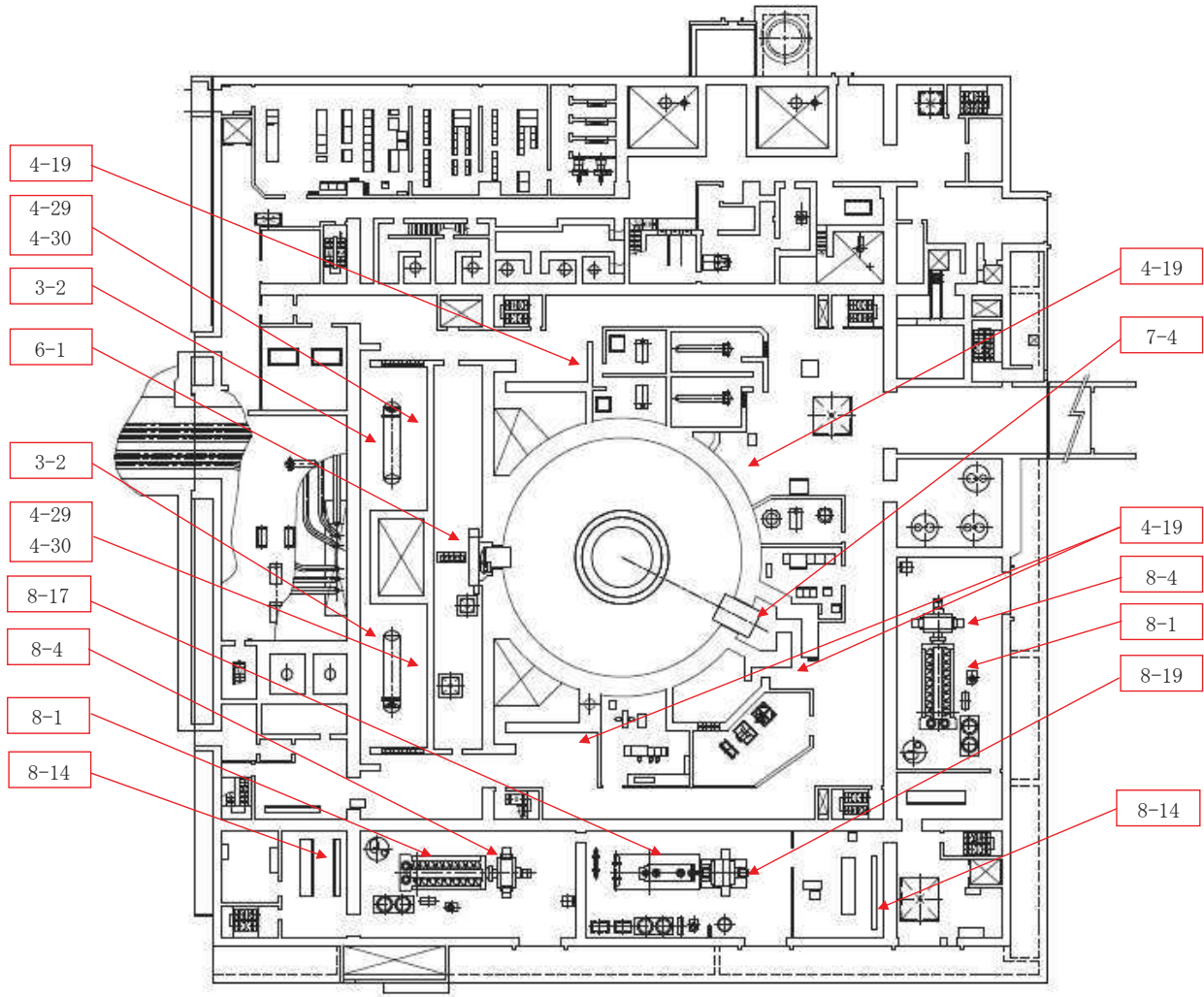


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (4/14)

原子炉建屋 B1F
O. P. +5.0m

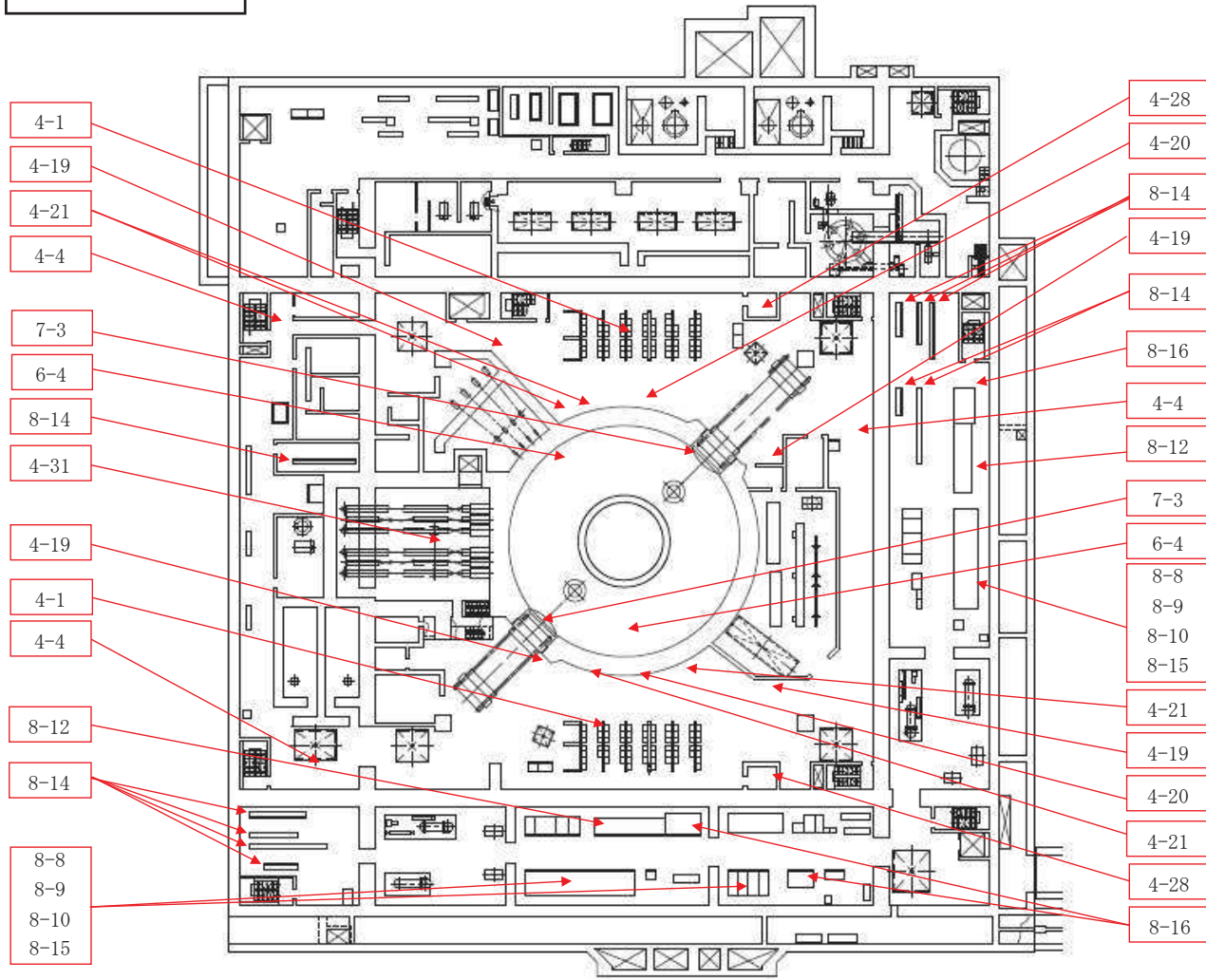


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (5/14)

原子炉建屋 B2F
O. P. -1.8m

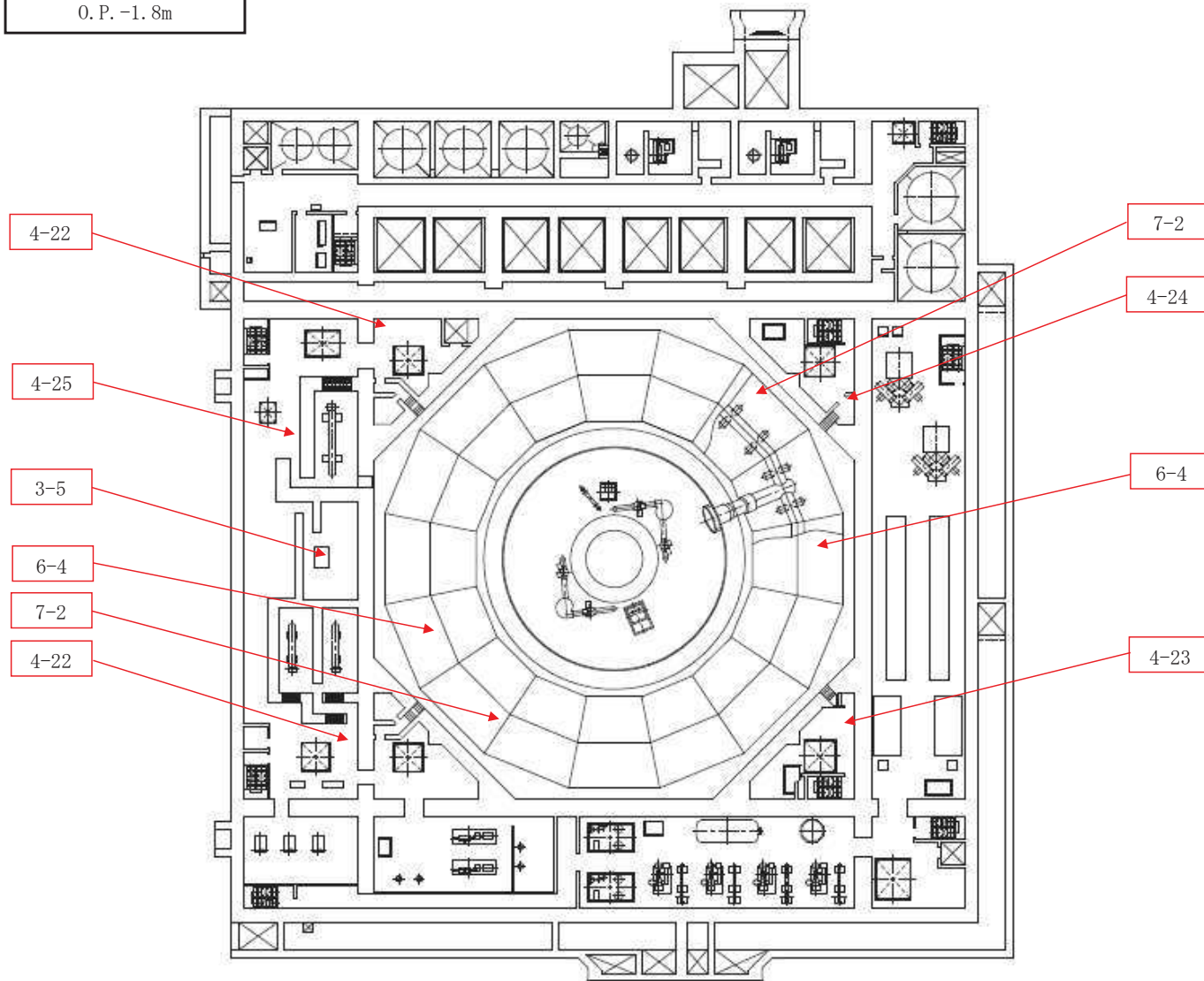


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (6/14)

原子炉建屋 B3F
O. P. -9.1m

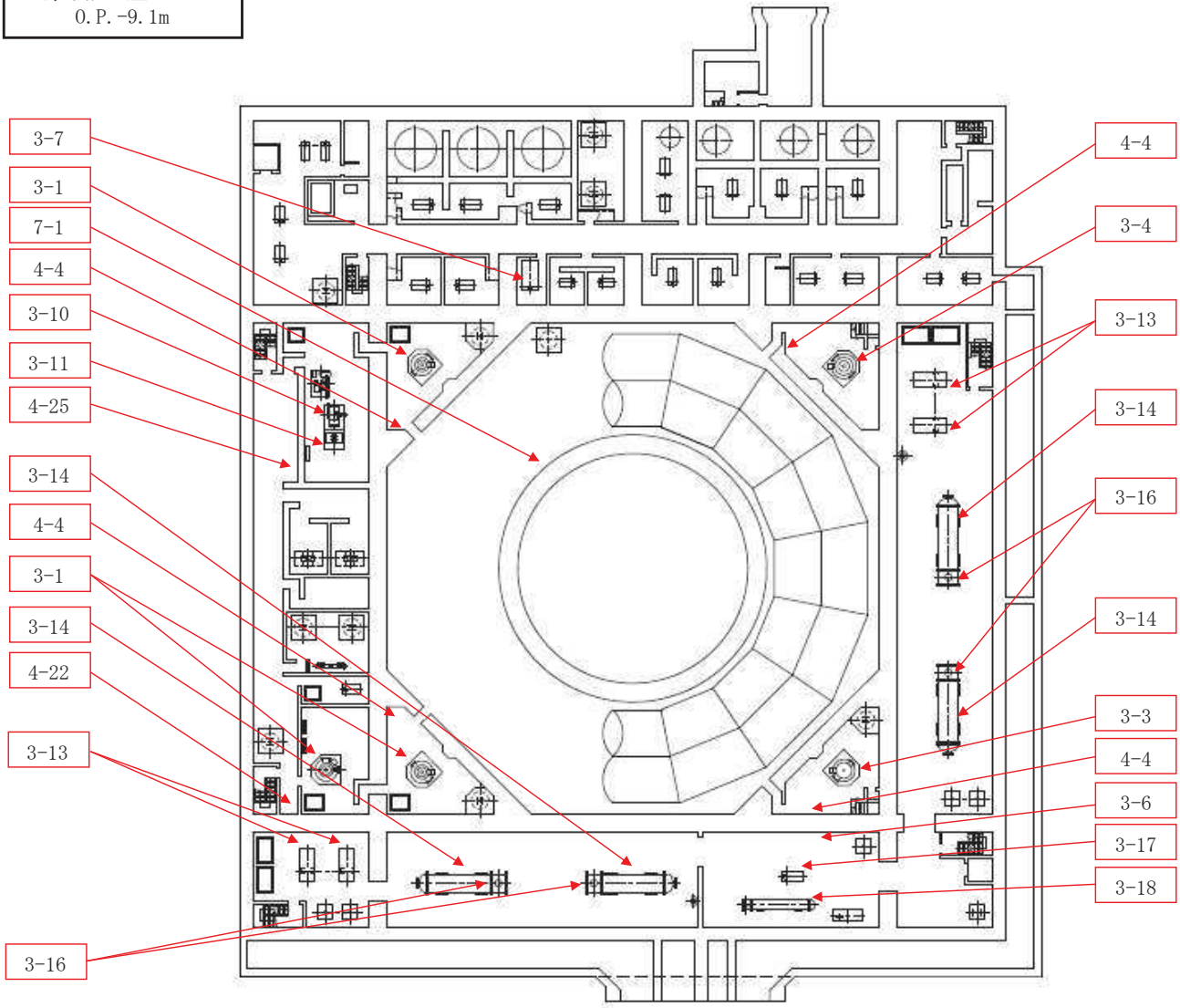
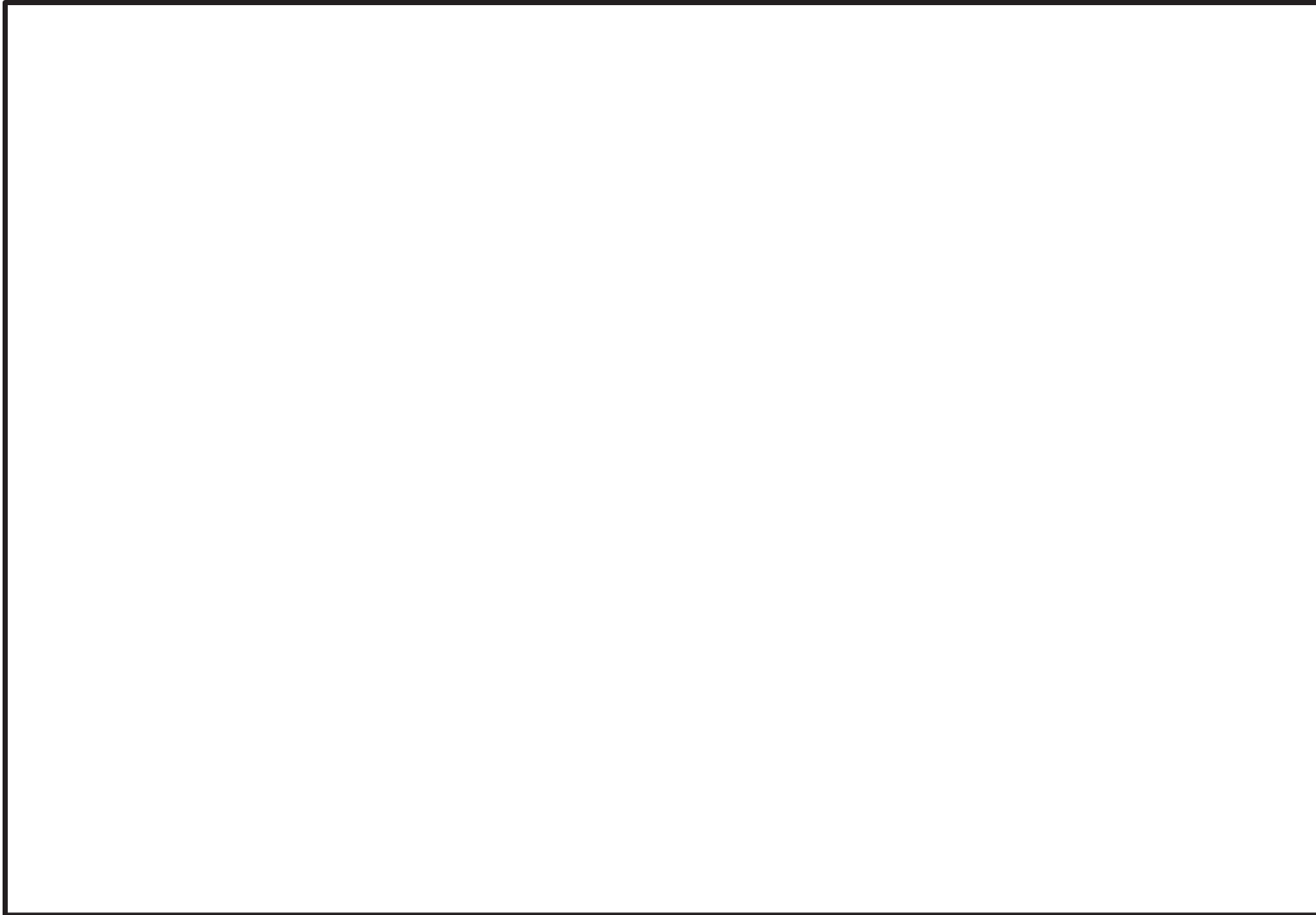


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (7/14)



枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (8/14)

制御建屋 M2F
O. P. +10. 4m

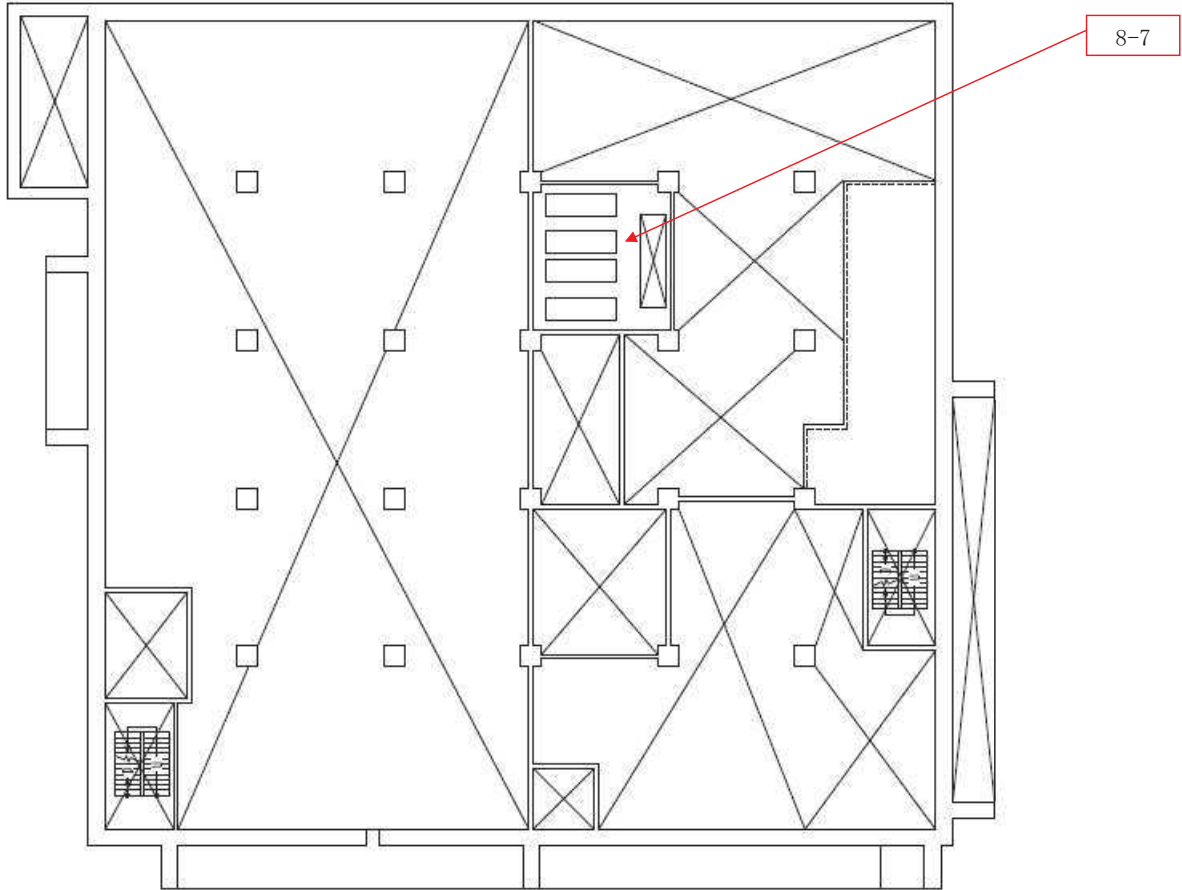


図 2. 1-2 主な津波防護対象設備の配置 (9/14)

制御建屋 B1F
O. P. +7.0m

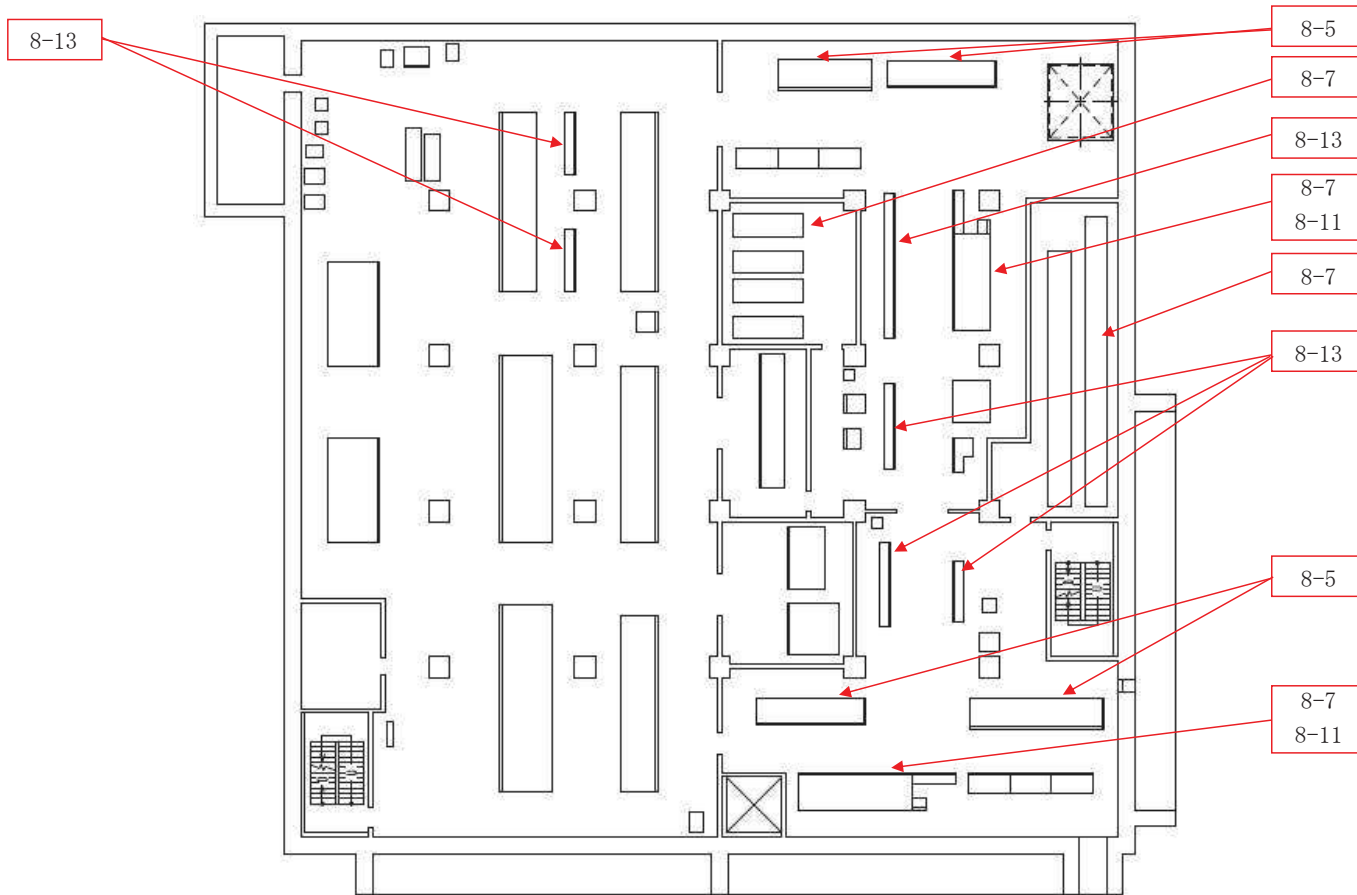


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (10/14)

制御建屋 B2F
O. P. +0.5m

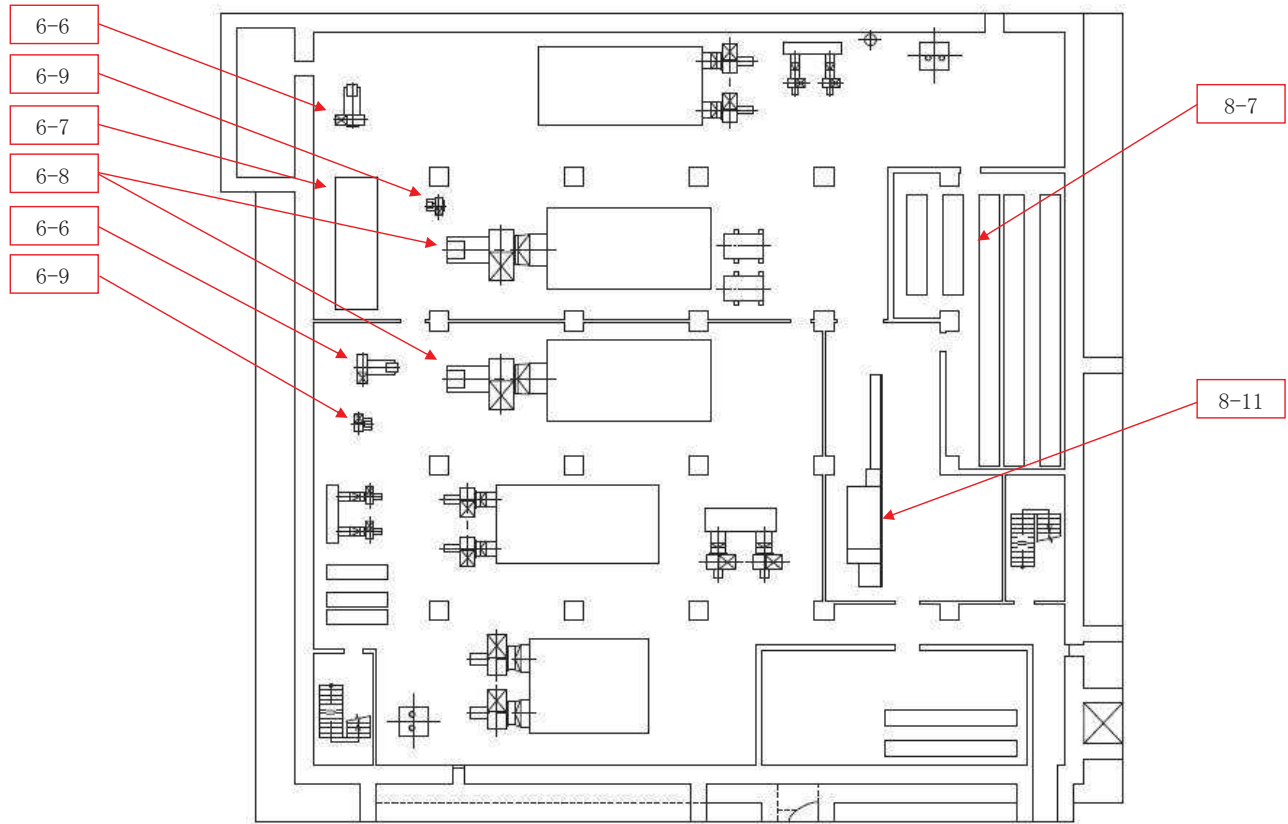


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (11/14)

タービン建屋 B2F
O. P. -0.2m

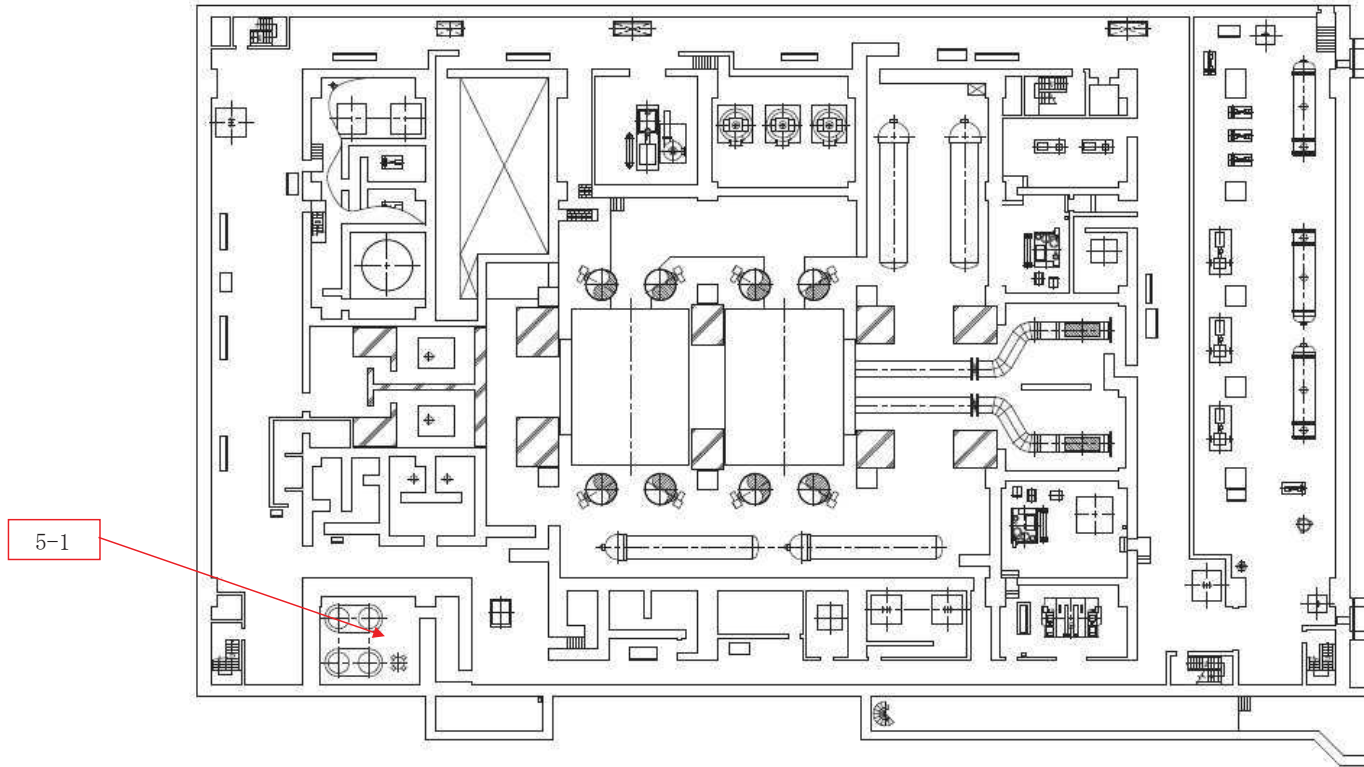
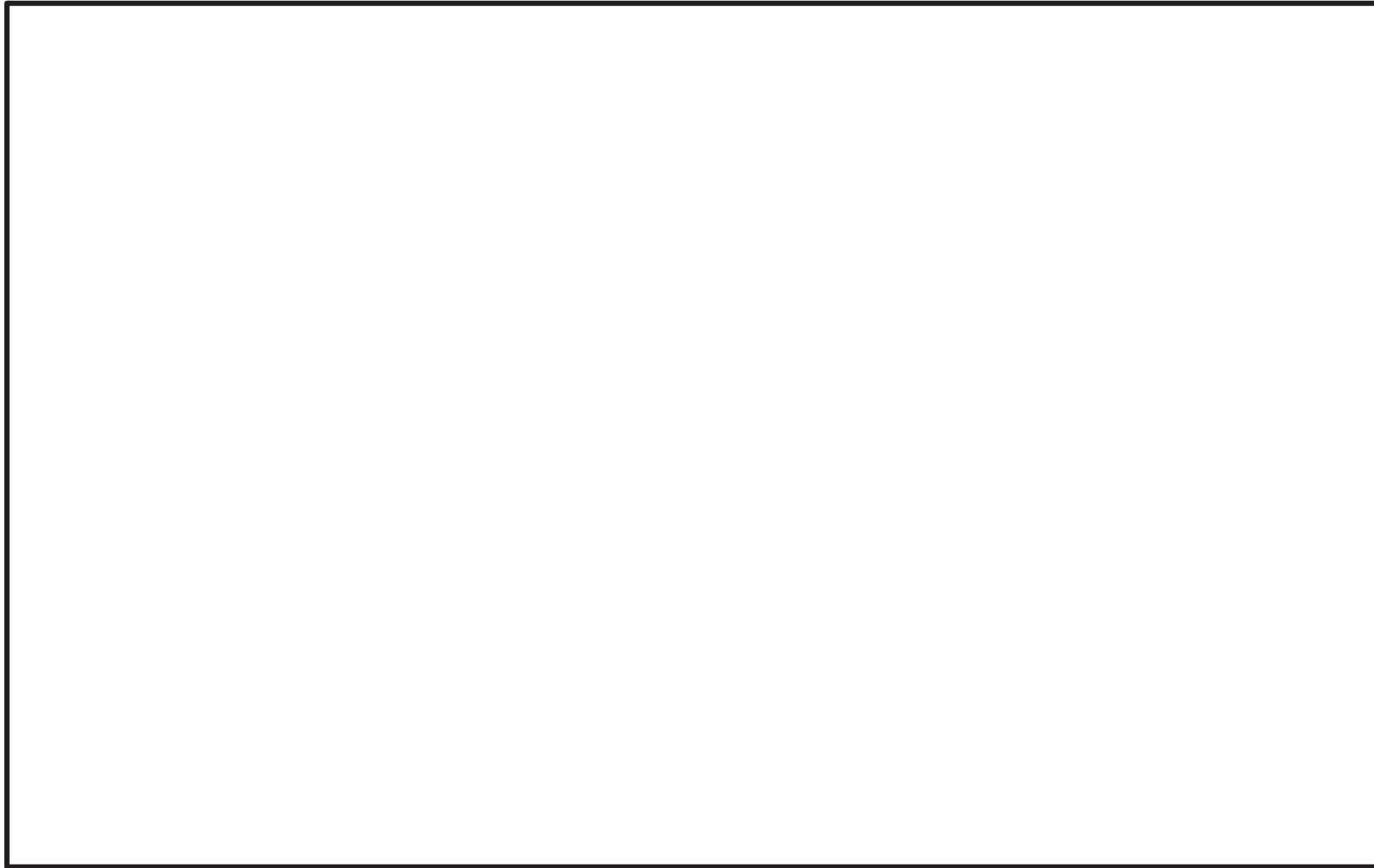


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (12/14)



枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (13/14)

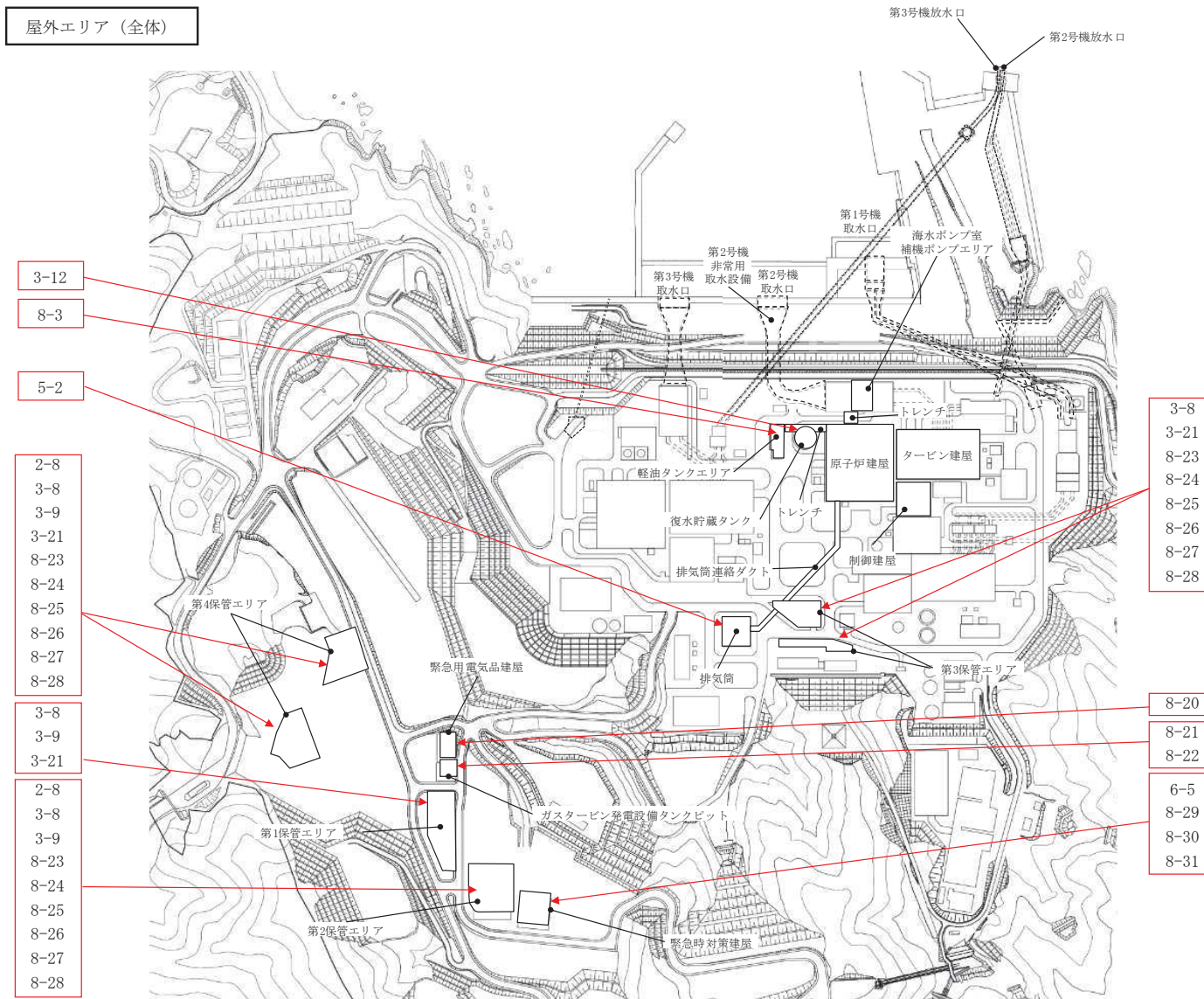


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (14/14)

3. 取水性に関する考慮事項

3.1 砂移動による影響確認について

津波の二次的な影響による非常用海水冷却系の機能保持確認として、津波に伴う砂移動により、非常用海水冷却系の通水性が確保できること、浮遊砂の混入に対して海水ポンプが機能保持できることを確認する。

具体的には、原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ（以下「非常用海水ポンプ」という。）を対象に、基準津波による砂移動に対して、取水口及び取水路の通水性が確保できること、非常用海水ポンプ及び非常用海水系が浮遊砂の混入に対して機能保持できること、非常用海水ポンプ軸受の浮遊砂に対する耐性を確認する。

以下、3.1.1において非常用海水ポンプの砂移動による影響評価を示す。

3.1.1 非常用海水ポンプの砂移動による影響評価

(1) 基準津波による砂移動評価における解析条件

砂移動評価における解析条件（粒径の違い、防波堤の有無）について、以下の影響評価を実施した。

- a. 砂移動評価における粒径の違いによる堆積厚さへの影響評価
- b. 防波堤をモデル化しない状態での堆積厚さへの影響評価

影響評価結果を踏まえて設定した解析条件による第2号機取水口前面における砂の堆積厚さは、最大で約0.3mとなった。

津波襲来後における取水口前の海底面は0.P. -8.3m（0.P. -7.5mに基準津波による地盤沈下量0.72mを考慮した値）である。これに対して、貯留堰高さは0.P. -7.1m（0.P. -6.3mに基準津波による地盤沈下量0.72mを考慮した値）であり、海底面高さより約1.2m高い位置にある。

以上のことから、基準津波による水位変動に伴う海底の砂の移動が取水口及び取水路の通水性に影響がないことを確認した。

また、上記の評価のほか、以下に示す評価を実施した。

- c. 平均粒径よりも大きな粒径を有する砂の浮遊可能性評価

この結果、平均粒径よりも粒径が大きい砂ほど浮遊しにくいことを確認した。

以下に、a.～c.の評価結果を示す。

- a. 砂移動評価における粒径の違いによる堆積厚さへの影響評価

砂移動評価における粒径の違いによる堆積厚さへの影響を確認するため、粒径のパラメータスタディを実施した。

検討は、基本ケースである敷地周辺海域の平均粒径0.215mm (D_{50})に加えて、10%粒径 (D_{10})及び90%粒径 (D_{90})を粒径としたケースを追加した。検討ケース

を表 3.1.1-1 に示す。各試料採取地点の粒径加積曲線より、 D_{10} 相当は 0.146mm、 D_{90} 相当は 0.389mm に設定した。試料採取地点を図 3.1.1-1、各試料採取地点の粒径加積曲線を図 3.1.1-2 に示す。

砂移動評価は、基本ケースにおいて、堆積厚さが厚く評価された高橋ほか(1999)の方法を用いた。取水口前面の砂の堆積厚さの評価結果を表 3.1.1-2、最大堆積厚分布図を図 3.1.1-3 に示す。

図 3.1.1-3 から、粒径を変えることにより評価地点によって堆積厚さに変動はあるものの、第 2 号機取水口前面における最大堆積厚さ(約 0.3m)については変化がなく、粒径の違いによる堆積厚さへの影響は小さいことを確認した。

表 3.1.1-1 検討ケース

粒径	備考
0.215mm	D_{50} , 基本ケース (既往ケース)
0.389mm	D_{90} 相当
0.146mm	D_{10} 相当

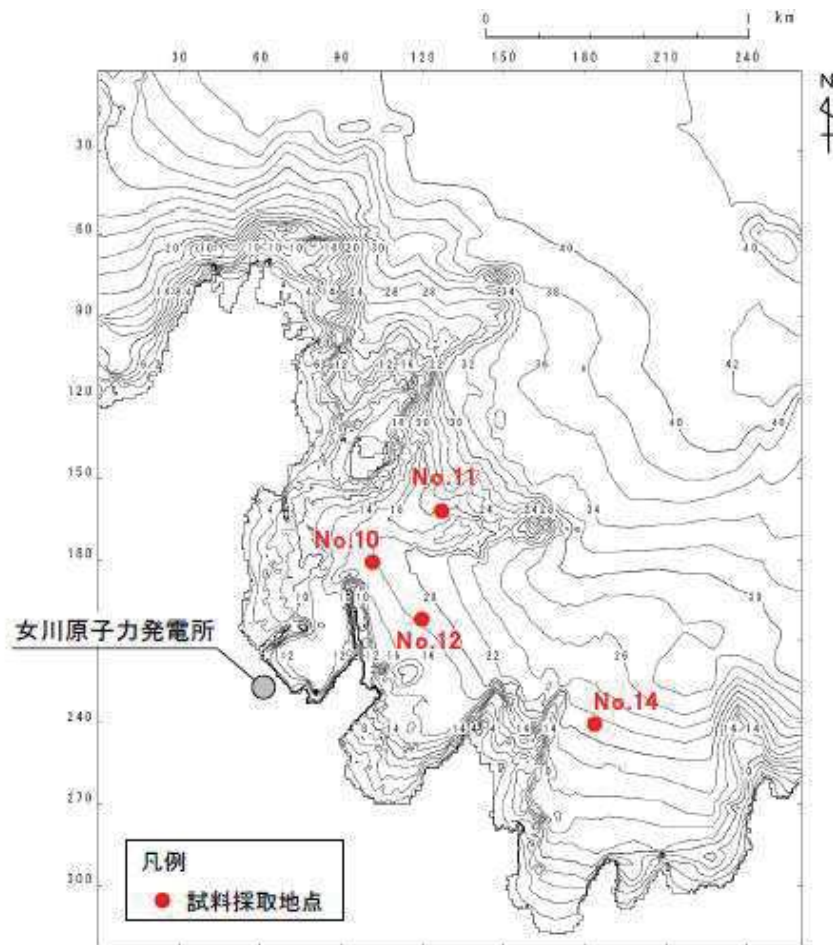


図 3.1.1-1 試料採取地点

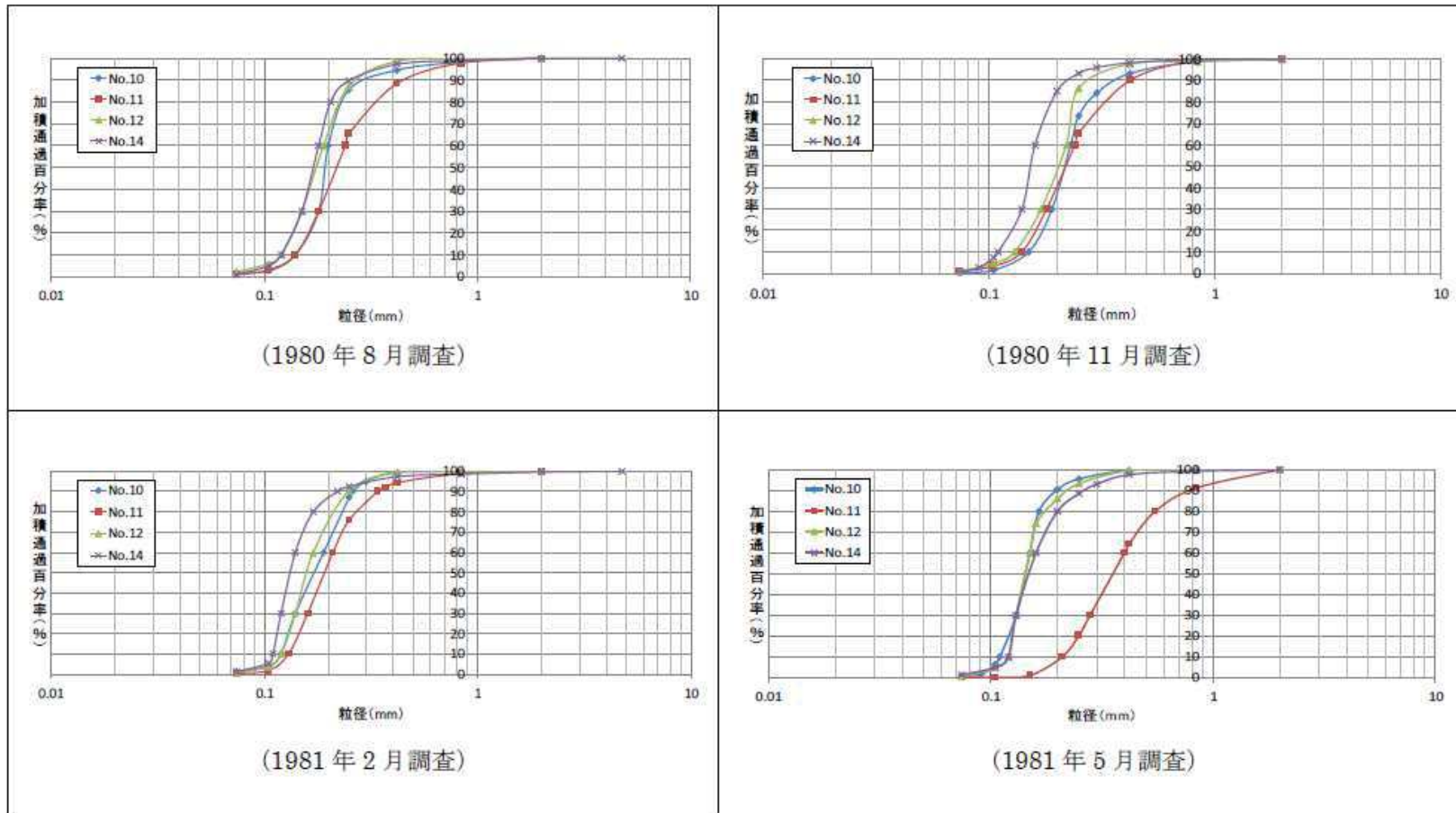


図3.1.1-2 (1) 粒径加積曲線

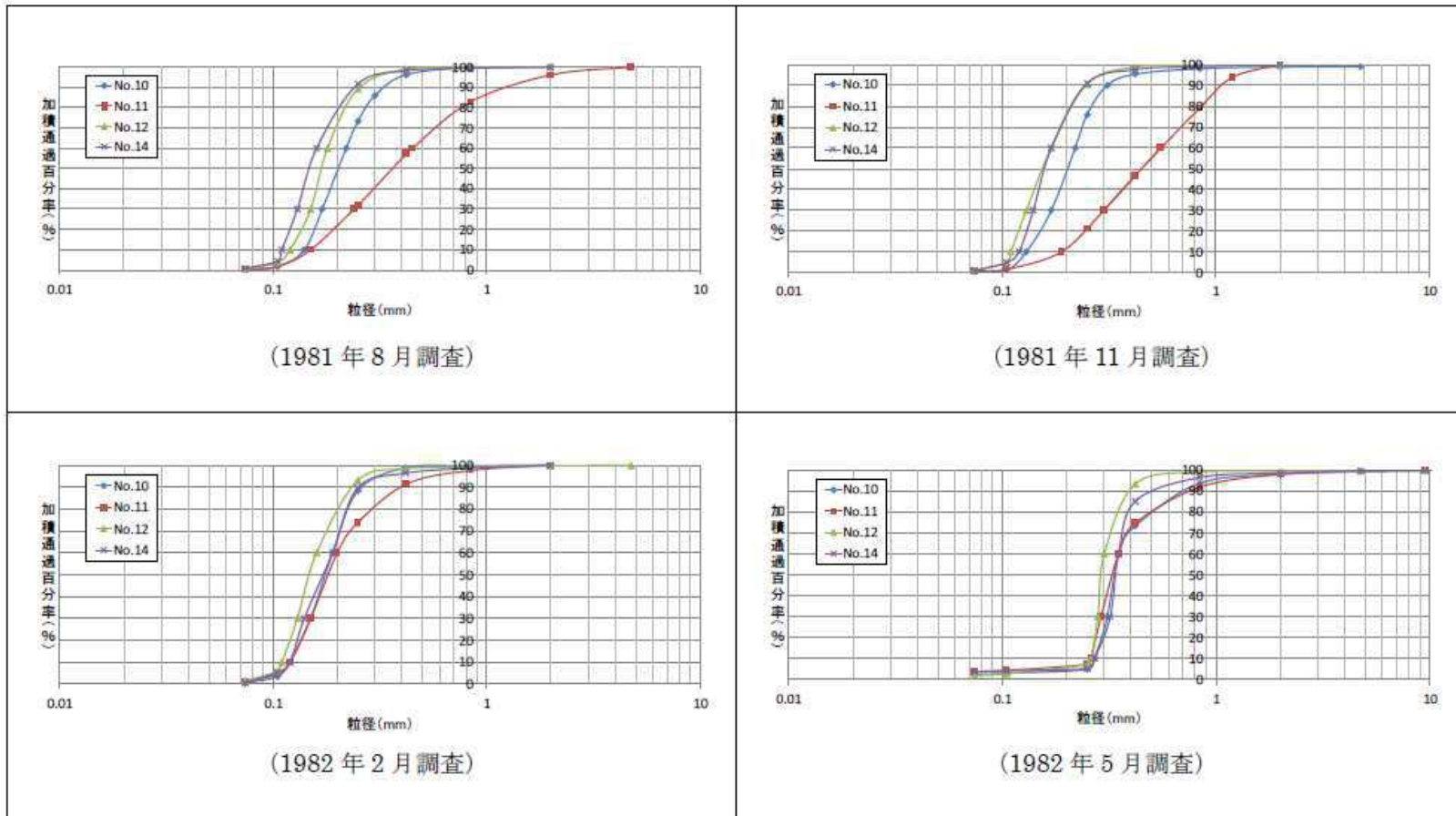


図3.1.1-2 (2) 粒径加積曲線

表3.1.1-2 取水口前面の砂の堆積厚さ

	波源モデル	粒径	取水口前面堆積厚さ (m)		
			第1号機	第2号機	第3号機
基準津波 (水位上昇側)	海溝側強調モデル	D50 相当 (0.215mm)	0.17	0.22	0.19
		D90 相当 (0.389mm)	0.14	0.24	0.22
		D10 相当 (0.146mm)	0.16	0.20	0.16
基準津波 (水位下降側)	すべり量割増モデル	D50 相当 (0.215mm)	0.34	0.18	0.30
		D90 相当 (0.389mm)	0.22	0.09	0.35
		D10 相当 (0.146mm)	0.27	0.16	0.30

注1：取水口前面の堆積厚さは、取水路横断方向の堆積厚さの最大値とした。

注2：高橋ほか（1999），浮遊砂濃度の上限値 1%

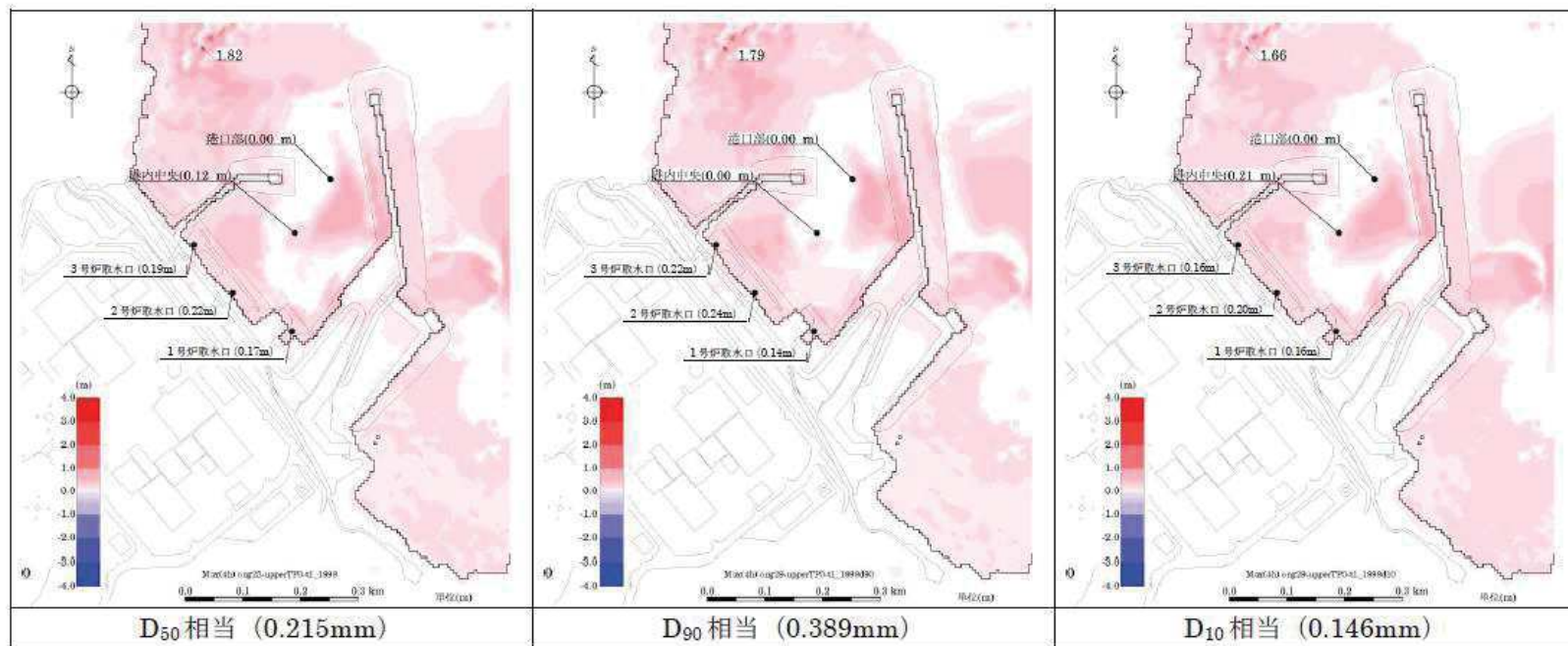


図3.1.1-3 (1) 最大堆積厚分布図 (基準津波：水位上昇側)

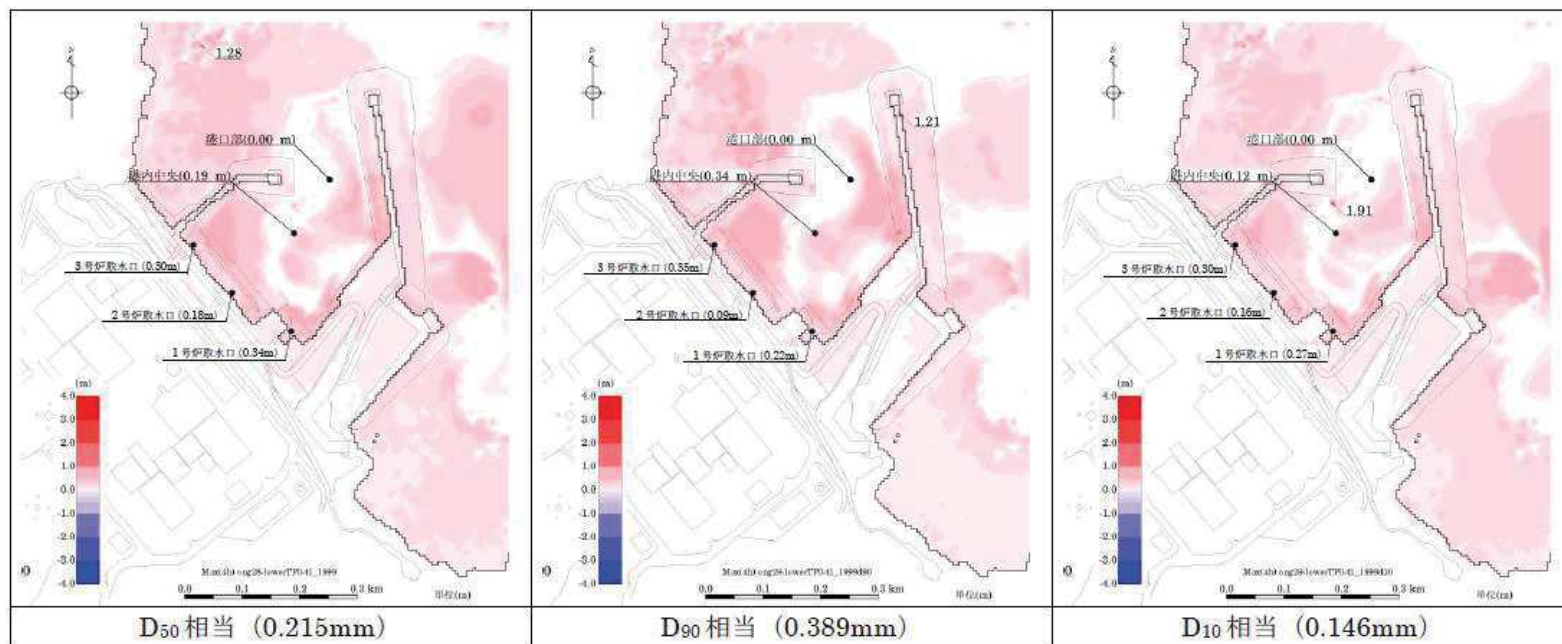


图3.1.1-3 (2) 最大堆積厚分布図 (基準津波：水位下降側)

b. 防波堤をモデル化しない状態での堆積厚さへの影響評価

砂移動評価においては，防波堤は健全な状態として解析を実施している。ここでは，影響評価として，地震時における防波堤の損傷を考慮して，保守的に防波堤をモデル化しない状態とした砂移動解析を実施し，取水口前面における堆積厚さへの影響を検討した。なお，解析条件は「a. 砂移動評価における粒径の違いによる堆積厚さへの影響評価」と同様に，高橋ほか（1999），浮遊砂上限濃度 1%とし，平均粒径を用いて実施した。

取水口前面における堆積厚さの評価結果を表 3.1.1-3，防波堤の有無による最大堆積厚布図を図 3.1.1-4 に示す。図 3.1.1-4 から，防波堤の有無による敷地周辺海域の砂の堆積厚さの分布に変化があるものの，第 2 号機取水口前面における最大堆積厚さ（約 0.3m）については変化がなく，防波堤の有無による堆積厚さへの影響は小さいことを確認した。

表3.1.1-3 防波堤の有無による取水口前面の堆積厚さ

	波源モデル	防波堤	取水口前面堆積厚さ (m)		
			第 1 号機	第 2 号機	第 3 号機
基準津波 (水位上昇側)	海溝側強調モデル	あり	0.17	0.22	0.19
		なし	0.03	0.14	0.13
基準津波 (水位下降側)	すべり量割増モデル	あり	0.34	0.18	0.30
		なし	0.08	0.16	0.20

注 1：取水口前面の堆積厚さは，取水路横断方向の堆積厚さの最大値とした。

注 2：高橋ほか（1999），浮遊砂濃度の上限値 1%

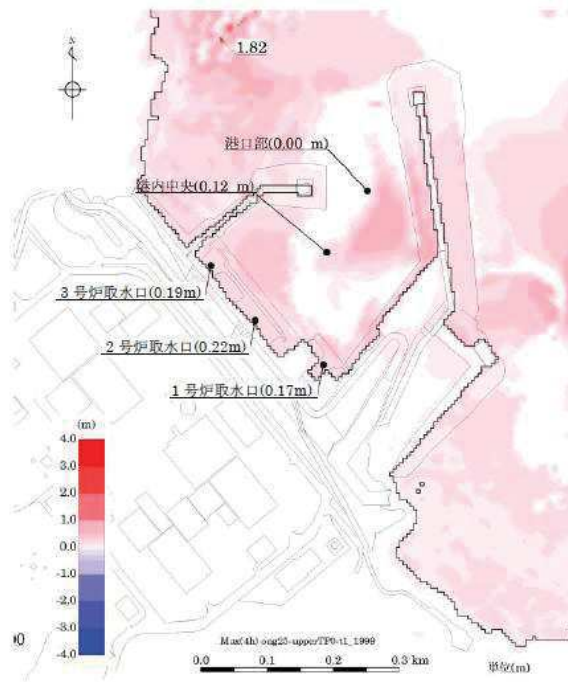


図3.1.1-4 (1) 最大堆積厚分布図（防波堤あり：水位上昇側）

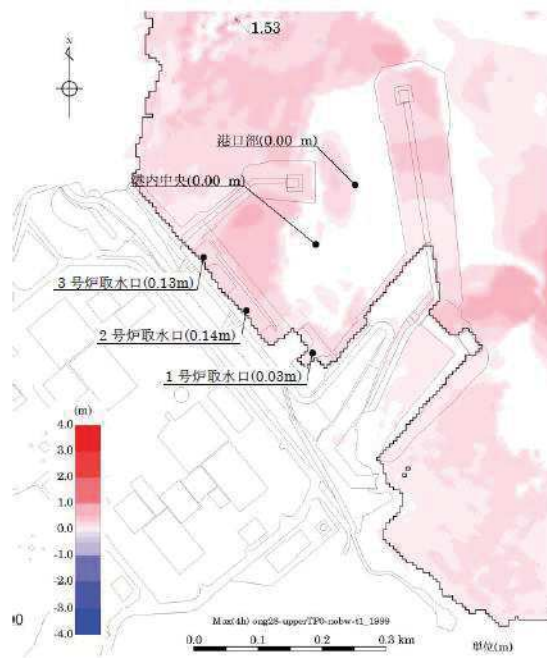


図3.1.1-4 (2) 最大堆積厚分布図（防波堤なし：水位上昇側）

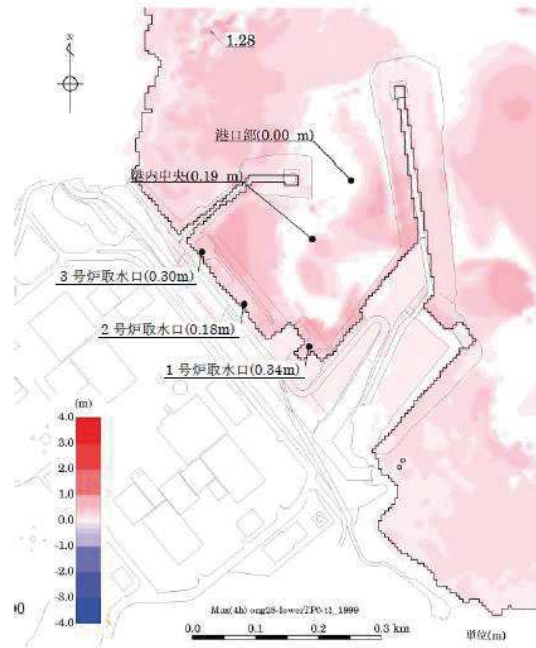


図3.1.1-4 (3) 最大堆積厚分布図 (防波堤あり：水位下降側)

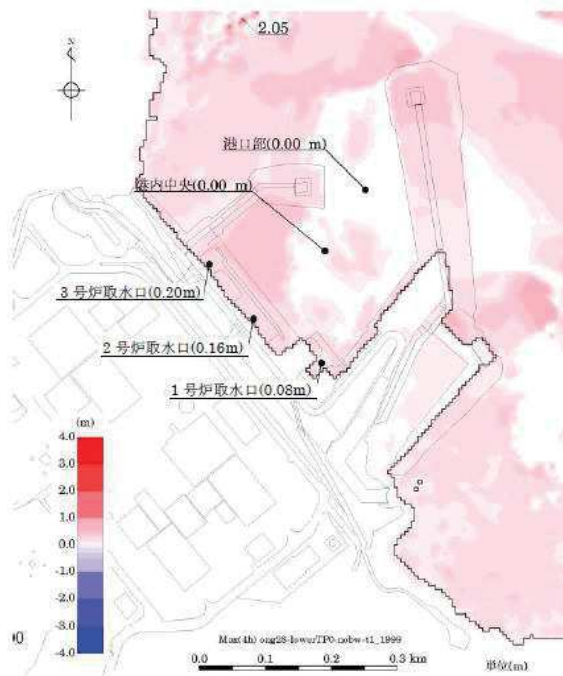


図3.1.1-4 (4) 最大堆積厚分布図 (防波堤なし：水位下降側)

c. 平均粒径よりも大きな粒径を有する砂の浮遊可能性評価

非常用海水ポンプによる取水とともに海水系に混入する微小な浮遊砂は、ポンプ出口の海水ストレーナを通過し、各熱交換器を経て、最終的に放水路から放水される。大きな粒径を有する砂が供給される場合は、非常用海水ポンプの軸固着又は、海水系機器の閉塞が懸念されることから、ここでは平均粒径よりも大きな粒径を有する砂の浮遊可能性について、一般的な技術知見を用いて評価を実施した。

砂移動に関する技術知見としては、①沈降速度、②移動形態、③底面摩擦速度の関係がある。

① 沈降速度 (Rubey 式 (河川・海岸の砂移動で一般的に使用))

$$\frac{w_f}{\sqrt{sgd}} = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36\nu^3}{sgd^3}} - \sqrt{\frac{36\nu^2}{sgd^3}}$$

wf : 土砂の沈降速度, s : 土砂の水中比重, g : 重力加速度 (=9.8),
d : 土砂の粒径, ν : 水の動粘性係数 ($\approx 1.0 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$)

② 移動形態 (荒井・清水「現場のための水理学3」)*

掃流卓越領域..... $\frac{u^*}{wf} < 1.08$

掃流・浮遊の混在領域..... $1.08 < \frac{u^*}{wf} < 1.67$

浮遊卓越領域..... $1.67 < \frac{u^*}{wf}$

* 土砂粒子の浮遊速度と沈降速度の関係から導出した理論式。

③ 底面摩擦速度 (岩垣式 (河川・海岸の砂移動で一般的に使用))

$$\begin{aligned} d \geq 0.303 \text{ cm} ; u_{*c}^2 &= 80.9d \\ 0.118 \leq d \leq 0.303 \text{ cm} ; &= 134.6d^{31/32} \\ 0.0565 \leq d \leq 0.118 \text{ cm} ; &= 55.0d \\ 0.0065 \leq d \leq 0.0565 \text{ cm} ; &= 8.41d^{11/32} \\ d \leq 0.0065 \text{ cm} ; &= 226d \end{aligned}$$

u*c : 底面摩擦速度

①～③を摩擦速度と粒径の関係で整理すると図 3.1.1-5 となり、平均粒径よりも大きな粒径を有する砂は浮遊しにくい。

女川原子力発電所のサイト条件を踏まえた上で、平均粒径よりも大きな粒径を有する砂の浮遊可能性について考察した。対象地点については、海水ポンプ室の閉塞性への影響を踏まえ、取水口前面とした。

まず、浮遊可能性の検討に必要な摩擦速度を算出した。摩擦速度の算出に当たっては、砂移動による砂の堆積量が大きい上昇側の基準津波における取水口前面の流速と全水深を用いた。

$$u_* = \sqrt{gn^2U|U|/D^{1/3}} \quad (\text{マニング則})$$

摩擦速度は u_* で表される。ここで、 n はマニングの粗度係数、 U は流速、 D は全水深である。マニングの粗度係数は $n : 0.03\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ (土木学会 2016) を用いた。流速 U 及び全水深 D については、最大流速時における流速 (1.9m/s) と全水深 (27.0m)、最高水位時における流速 (1.3m/s) と全水深 (28.3m) 及び最低水位時における流速 (0.3m/s) と全水深 (0.2m) とした。

計算の結果、最大流速時の摩擦速度は 10.4cm/s、最高水位時の摩擦速度は 7.1cm/s、最低水位時の摩擦速度は 3.5cm/s となった。これらを考慮すると、取水口前面の摩擦速度は主に 3.5~10.4cm/s の範囲内になると考えられる。

粒径については粒径加積曲線の結果から、女川原子力発電所前面における平均粒径 (D_{50}) は 0.215mm であり、 D_{90} 相当は 0.389mm である。

摩擦速度と粒径の関係から、最大流速時及び最高水位の場合、平均粒径 (D_{50}) では浮遊卓越となるが D_{90} 相当では最高水位の場合に浮遊・掃流混在となる。よって、女川原子力発電所のサイト条件を踏まえても、粒径が大きい砂ほど浮遊しにくいと考えられる。

なお、非常用海水ポンプの軸受には、異物混入による軸受の損傷を防止するため、異物逃がし溝 (最小約 2.5mm) が設けられている。砂の粒径の 90% を占める D_{90} 相当でも粒径は 0.389mm であり、最小約 2.5mm を大きく下回る。このため、非常用海水ポンプの取水時に浮遊砂の一部がポンプ軸受に混入したとしても、異物逃がし溝から排出される構造となっている。

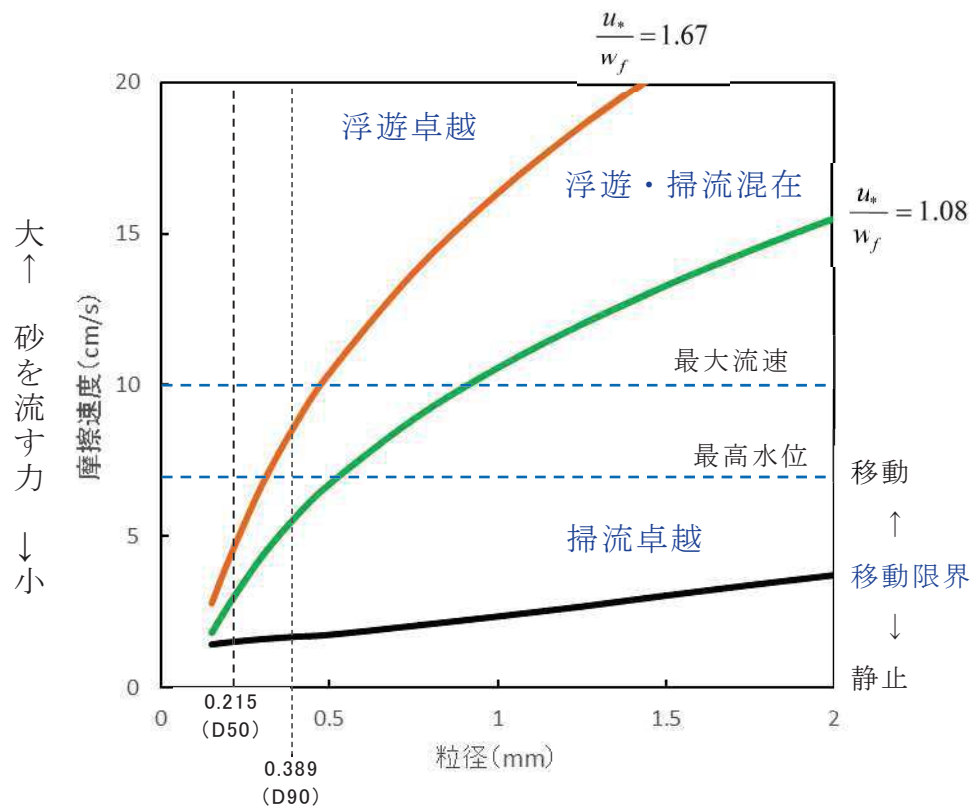


図 3.1.1-5 摩擦速度と粒径の関係

(2) 砂混入時の非常用海水ポンプへの影響評価

a. 砂混入時の非常用海水ポンプ取水機能維持の確認

基準津波による浮遊砂については、除塵装置で除去することが困難であることから、非常用海水ポンプそのものが運転時の砂の混入に対して、軸固着することなく機能保持できる設計であることを以下のとおり確認した。

非常用海水ポンプの軸受には、異物混入による軸受の損傷を防止するため、異物逃がし溝（テフロン軸受：原子炉補機冷却海水ポンプ 4.5mm，高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ 2.5mm，ゴム軸受：原子炉補機冷却海水ポンプ 5.5mm，高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ 5mm）が設けられている。このため、非常用海水ポンプの取水時に浮遊砂の一部がポンプ軸受に混入したとしても、異物逃がし溝から排出される構造となっている。非常用海水ポンプの軸受配置図を図 3.1.1-6 に示す。

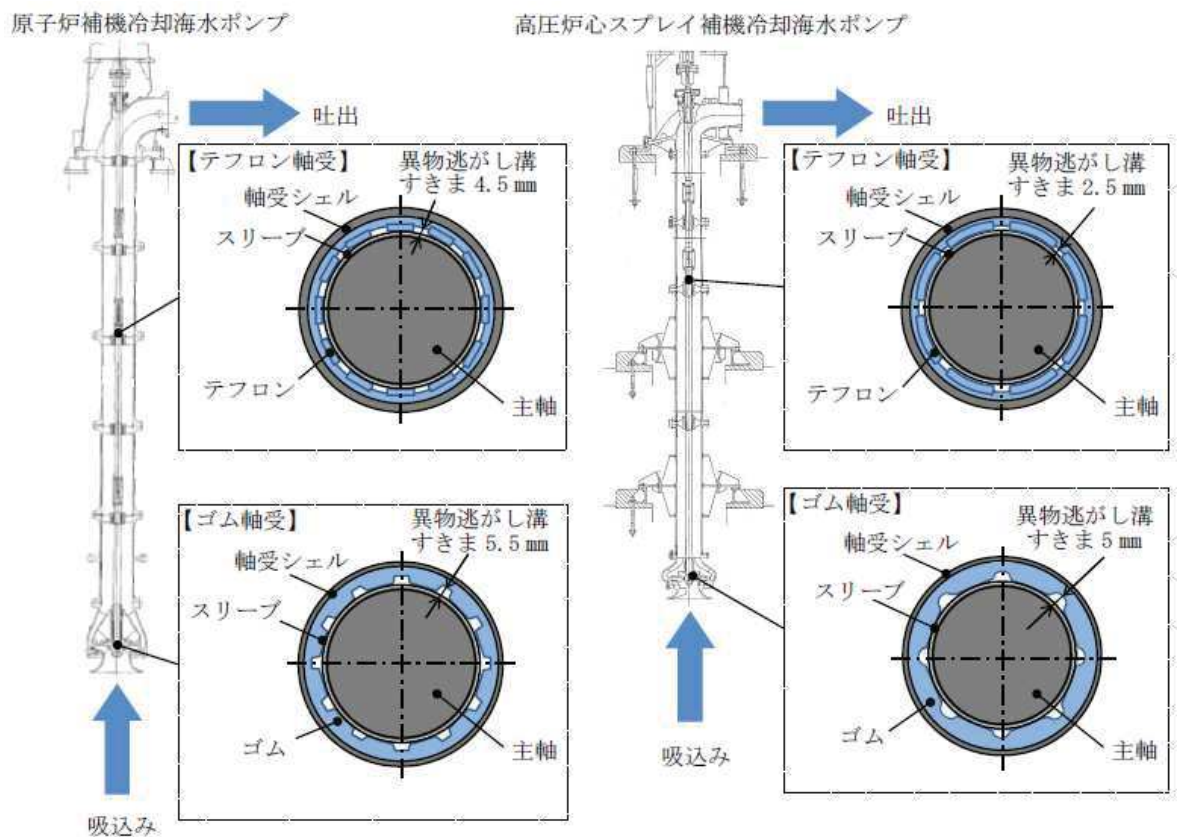


図 3.1.1-6 非常用海水ポンプ軸受配置図

これに対して、「(1)a. 砂移動評価における粒径の違いによる堆積厚さへの影響評価」に示したとおり発電所前面の海域を含む周辺の砂の平均粒径は約0.2mmで、数ミリ以上の粒子はごくわずかである。また、「(1)c. 平均粒径よりも大きな粒径を有する砂の浮遊可能性評価」に示したとおり、そもそも粒径数ミリの砂は浮遊し難いものであることを踏まえると、大きな粒径の砂はほとんど混入しないと考えられる。このため、非常用海水ポンプは、砂の混入に対して軸固着することはなく取水機能は維持できる。

また、砂の混入による軸受摩耗の評価として、後述のとおり、非常用海水ポンプの軸受を模擬した供試材を用いた軸受摩耗試験を実施し、ゴム軸受及びテフロン軸受に十分な浮遊砂耐性があることを確認している。

b. 混入した浮遊砂に対する取水性確保（系統の評価）

非常用海水ポンプによる取水とともに海水系に混入する微小な浮遊砂は、ポンプ出口の海水ストレーナを通過し、各熱交換器を経て、最終的に放水路から放水される。

海水系の各機器の最小流路幅は、各熱交換器の伝熱管内径23mmであり、発電所前面の海域を含む周辺の砂の平均粒径である約0.2mmに対して十分大きい。このため、海水系の各機器の閉塞の可能性はないものと考えられ、非常用海水ポンプの取水機能は維持できる。

図3.1.1-7に非常用海水ポンプの概略系統図、表3.1.1-4に各熱交換器の最小流路幅を示す。

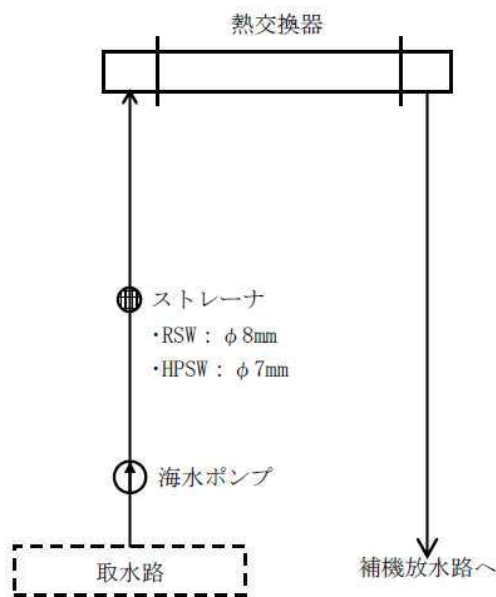


図 3.1.1-7 非常用海水ポンプの概略系統図

表 3.1.1-4 各熱交換器の最小流路幅

機器名称	伝熱管内径 (mm)
原子炉補機冷却系熱交換器	23.0
高圧炉心スプレイ補機 冷却系熱交換器	23.0

c. 非常用海水ポンプ軸受の浮遊砂耐性

非常用海水ポンプは、海水取水時に海水中に含まれる浮遊砂を吸い込み、軸受隙間に入り込む可能性を考慮し、砂が混入してもこれを排出することで機能維持可能な設計としている（図 3.1.1-6）。また、これまでの運転実績から、浮遊砂混入によるトラブルは発生していない。

しかしながら、津波発生時は、津波により海底の砂が巻き上げられ、通常よりも浮遊砂環境が厳しくなる可能性があることから、試験装置を用い、高濃度の浮遊砂濃度を模擬した試験を実施し、非常用海水ポンプ軸受の耐性を評価した。

評価の結果、基準津波時の浮遊砂が軸受に巻き込まれたとしても、軸受摩耗量は許容直径摩耗量以内であり、軸受の許容直径摩耗量に到達するまでの裕度（寿命）は原子炉補機冷却海水ポンプで 3 倍以上、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプで 4 倍以上であるため、非常用海水ポンプ軸受の浮遊砂耐性に問題ない。以下に非常用海水ポンプ軸受の浮遊砂耐性の評価結果を示す。

(a) 軸受摩耗試験

各砂濃度（0.5wt%，1.0wt%，1.5wt%）を連続注入した場合の軸受及びスリーブの摩耗量を測定することを目的に軸受摩耗試験を実施した。図 3.1.1-8 に軸受摩耗試験装置の概要、表 3.1.1-5 に試験条件を示す。

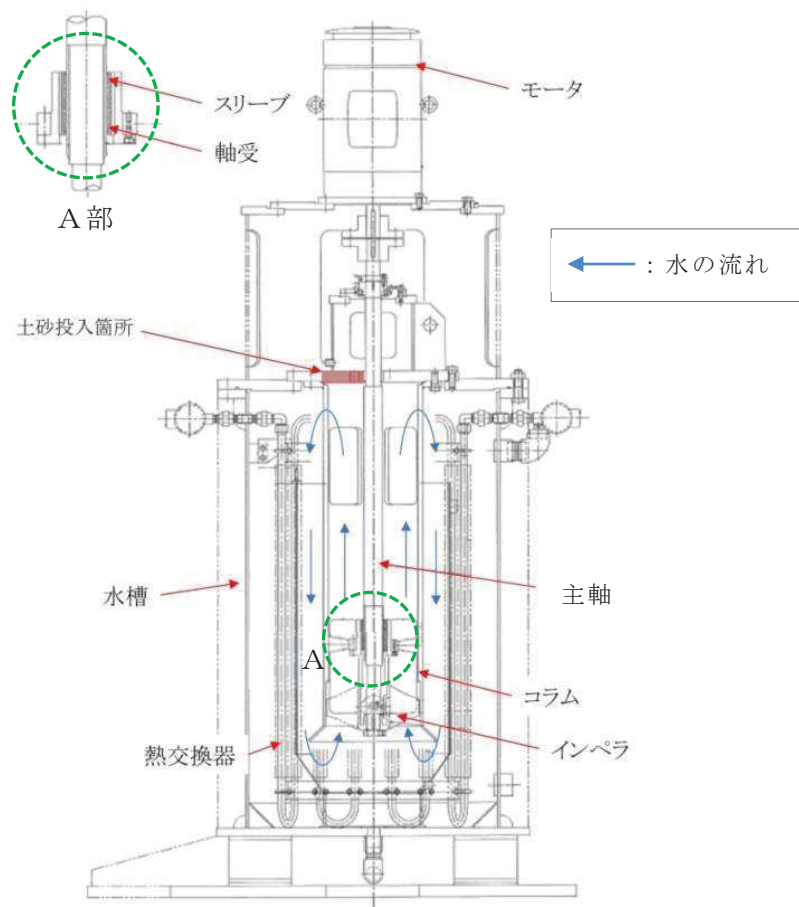


図 3.1.1-8 軸受摩耗試験装置概要図

表 3.1.1-5 軸受摩耗試験条件

項目	試験条件
試験砂濃度 [wt%]	0.5, 1.0, 1.5
使用砂	第2号機取水口前面より採取した砂
軸受材料	テフロン

非常用海水ポンプの軸受にはゴム軸受とテフロン軸受の2種類を使用しており、各材質毎の軸受摩耗量は軸受メーカーでの軸受摩耗試験結果（図3.1.1-9）及び公開文献「立軸ポンプ用セラミック軸受に関する研究」（図3.1.1-10）においてゴム軸受に比べてテフロン軸受の摩耗量が大きい試験結果となっている。

よって、摩耗量の大きいテフロン軸受を代表として選定し軸受摩耗試験を実施した。

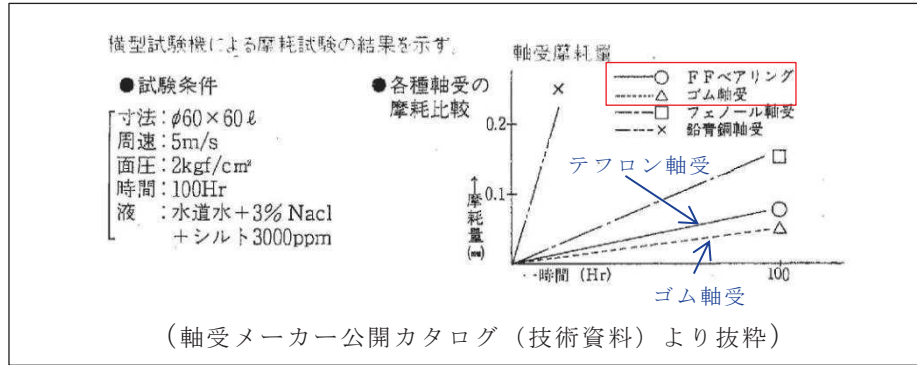


図3.1.1-9 軸受メーカー摩耗試験結果

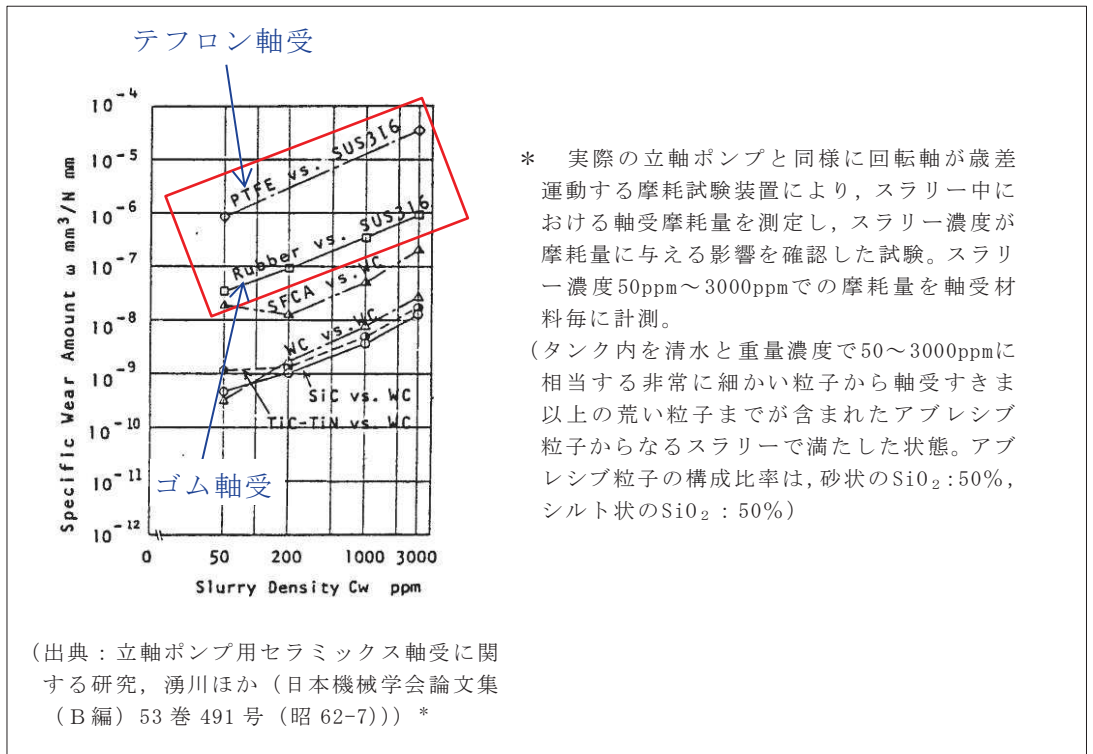


図 3.1.1-10 ポンプ軸受摩耗量

各砂濃度での試験結果から得た軸受及びスリーブの摩耗量を用いて、算出式(①)により軸受及びスリーブの比摩耗量 ω を算出する。算出結果を表3.1.1-6に示す。

$$\omega = \frac{M}{F \cdot L} \dots (①)$$

ω : 比摩耗量 (mm³/N·m)

M: 摩耗体積 (mm³)

F: 軸受荷重 (N)

L: 走行距離 (m)

表 3.1.1-6 各浮遊砂濃度における比摩耗量算出結果

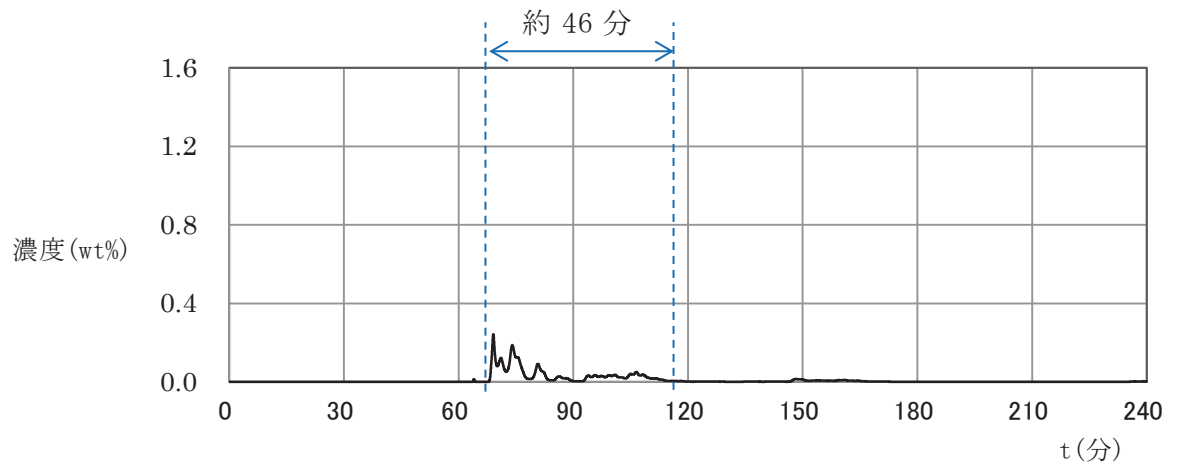
	比摩耗量 (mm ³ /N・m)	
	軸受	スリーブ
試験浮遊砂濃度 0.5wt%	3.28×10^{-4}	2.01×10^{-4}
試験浮遊砂濃度 1.0wt%	3.02×10^{-3}	3.31×10^{-3}
試験浮遊砂濃度 1.5wt%	6.30×10^{-3}	7.25×10^{-3}

(b) 基準津波時の軸受等摩耗量評価方法

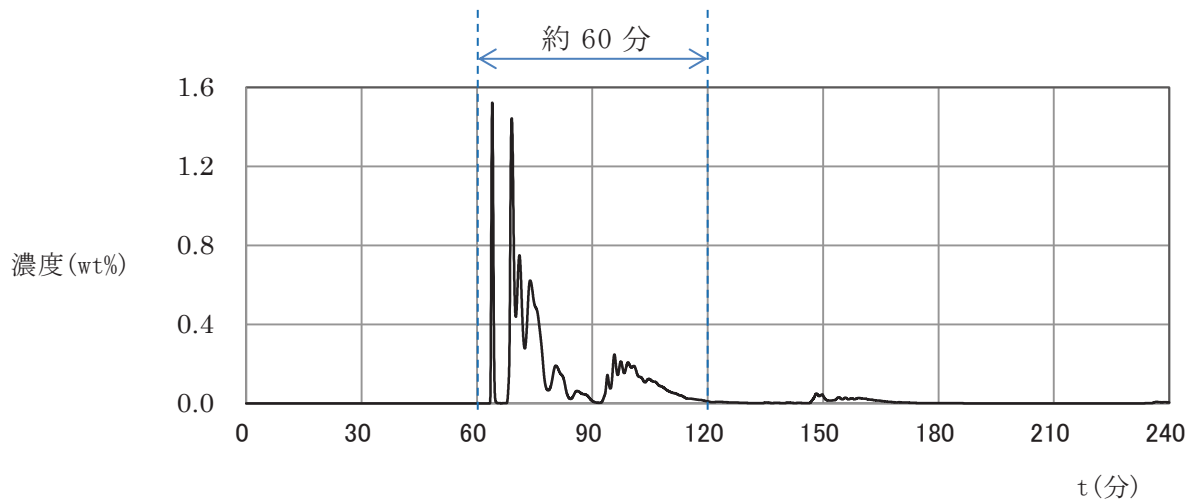
軸受摩耗試験結果から求めた軸受及びスリーブの比摩耗量を用いて、基準津波時における「高橋ほか(1999)の手法(上限浮遊砂体積濃度1%)」による砂移動解析結果から浮遊砂が発生した時間での実機海水ポンプ軸受直径摩耗量及びスリーブ直径摩耗量を求める。求めた軸受直径摩耗量とスリーブ直径摩耗量の和がポンプ軸受とスリーブの許容直径摩耗量以内であることを確認する。許容直径摩耗量とは摺動面隙間(許容最大)から軸受及びスリーブ製作時最大公差を減じたものである。

また、1サイクル運転後に津波が襲来した場合を想定し、軸受直径摩耗量及びスリーブ直径摩耗量には、海水ポンプ1サイクル運転後の軸受部隙間(1サイクル運転後隙間増加量)を加えた保守的な評価とする。この隙間は、過去の点検記録から各軸受部(原子炉補機冷却海水ポンプ軸受部7箇所、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ軸受部9箇所)の隙間量を平均化した中で最大となる値を用いた。

なお、浮遊砂平均濃度は浮遊砂濃度に変化が現れる時間から浮遊砂濃度が減少し収束する時間(原子炉補機冷却海水系:約46分間、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系:約60分間)における浮遊砂濃度を平均化し算出した。原子炉補機冷却海水ポンプ近傍で0.05wt%、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ近傍で0.17wt%となり、これらの浮遊砂平均濃度を用いることとする。海水ポンプ室の浮遊砂濃度を図3.1.1-11に示す。



原子炉補機冷却海水ポンプ位置濃度



高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ位置濃度

図 3.1.1-11 海水ポンプ室浮遊砂濃度

(c) 摩耗量評価結果

軸受摩耗試験より得られた 0.5wt%における比摩耗量を用いて、式 (①) を展開した式 (②, ③) にて非常用海水ポンプの軸受直径摩耗量 (mm) 及びスリーブ直径摩耗量 (mm) を算出し、それらの和に1サイクル運転後の隙間増加量を加えた合計隙間が許容直径摩耗量以内であることを確認する。摩耗量算出結果を表 3.1.1-7 に示す。

$$\text{軸受直径摩耗量} \quad : \quad \Delta c_1 = \omega_1 \cdot F \cdot L / (n \cdot B \cdot A / 2) \quad \dots \quad (②)$$

$$\text{スリーブ直径摩耗量} \quad : \quad \Delta c_2 = \omega_2 \cdot F \cdot L / (\pi \cdot d \cdot A / 2) \quad \dots \quad (③)$$

ω_1 : 軸受比摩耗量 ($\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$)

ω_2 : スリーブ比摩耗量 ($\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$)

F : 実機軸受荷重 (N)

L : 走行距離 (m)

A : 軸受摺動幅 (mm) (図 3.1.1-12 参照)

B : テフロンセグメント幅 (mm) (図 3.1.1-12 参照)

d : 軸受内径 (mm)

n : テフロンセグメント数 (個)

参考

比摩耗量 :

$$\omega = M / F \cdot L \quad (①)$$

軸受摩耗体積 M_1 :

$$M_1 = n \cdot A \cdot B \cdot \Delta c_1 / 2$$

スリーブ摩耗体積 M_2 :

$$M_2 = \pi \cdot d \cdot A \cdot \Delta c_2 / 2$$

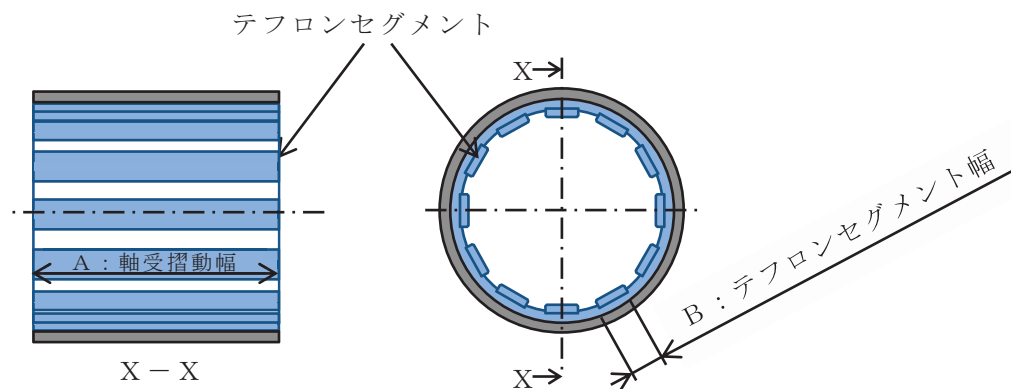


図 3.1.1-12 軸受詳細図

表 3.1.1-7 摩耗量算出結果

	原子炉補機冷却海水ポンプ	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ
① Δc_1 : 軸受直径摩耗量 (mm)	0.03	0.04
② Δc_2 : スリーブ直径摩耗量 (mm)	0.01	0.02
③ C_c : 1 サイクル運転後隙間増加量 (mm)	0.14	0.06
④ C : 合計隙間 (①+②+③) (mm)	0.18	0.12
⑤ C' : 許容直径摩耗量 (mm)	0.63	0.38
⑥ ⑤-④ : 隙間余裕 (mm)	0.45	0.26
⑦ ⑥/③ : 裕度	3.21	4.33

(d) 軸受寿命評価

軸受摩耗量評価より求めた軸受，スリーブの摩耗量合計と 1 サイクル運転後の隙間増加量より，軸受とスリーブの許容直径摩耗量に到達するまでの裕度を確認し，軸受寿命を評価した。

この結果，軸受とスリーブの許容直径摩耗量に到達するまでの裕度（寿命）は原子炉補機冷却海水ポンプで 3 倍以上，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプで 4 倍以上であることを確認した。

(e) 結果

女川原子力発電所第 2 号機の非常用海水ポンプの軸受は，基準津波時に海水に含まれる浮遊砂が混入しても，軸受部に設けられた異物逃がし溝（テフロン軸受：原子炉補機冷却海水ポンプ 4.5mm，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ 2.5mm，ゴム軸受：原子炉補機冷却海水ポンプ 5.5mm，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ 5mm）から浮遊砂を連続排出することにより，取水機能は維持できることを確認した。

なお，基準津波時の浮遊砂が軸受に巻き込まれたとしても，軸受摩耗量は許容直径摩耗量以内であり，軸受の許容直径摩耗量に到達するまでの裕度（寿命）は原子炉補機冷却海水ポンプポンプで 3 倍以上，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプで 4 倍以上であるため，基準津波収束以降も取水機能は維持できることを確認した。

3.2 除塵装置の取水性への影響について

取水口及び海水ポンプ室には、除塵装置として固定式バースクリーン及びトラベリングスクリーンが設置されており、基準津波による水位差に対して構造健全性が確保され、原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ（以下「非常用海水ポンプ」という。）の取水性へ影響を及ぼさないことを確認する。また、除塵装置については、低耐震クラス（Cクラス）設備であることから津波の原因となる地震による破損の可能性が考えられることから、その影響についても確認する。

(1) 除塵装置の構造

除塵装置は、取水する海水中の塵芥を除去するために、取水口に固定式バースクリーン、海水ポンプ室にトラベリングスクリーンを設置している。図 3.2-1 に除塵装置の配置図、図 3.2-2 に除塵装置の概略構造図を示す。

固定式バースクリーンは、鋼材を溶接により格子状に接合した固定バー枠構造であり、取水口 1 区画当たり 8 分割された固定バー枠からなる。固定バー枠の上端及び下端は取水口に支持され、中間部分は中間受桁により支持される。

トラベリングスクリーンは、バスケット（バー枠又は網枠）がキャリングチェーンにより接合された構造であり、キャリングチェーンは上部の駆動機構により回転する。下部スプロケットは海水ポンプ室、上部スプロケットは駆動装置に支持される。

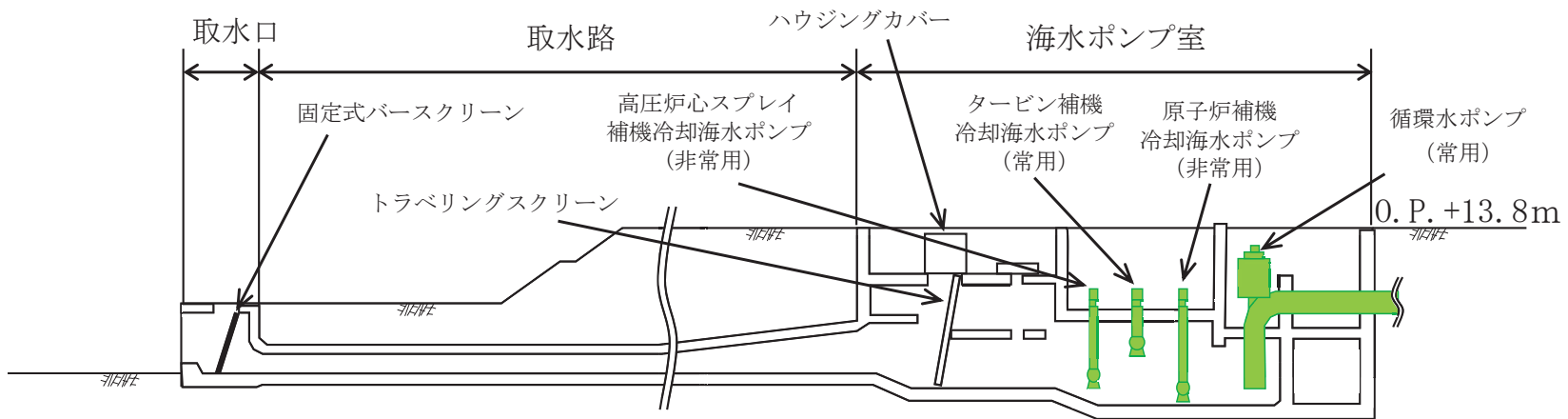


図 3.2-1 除塵装置配置図

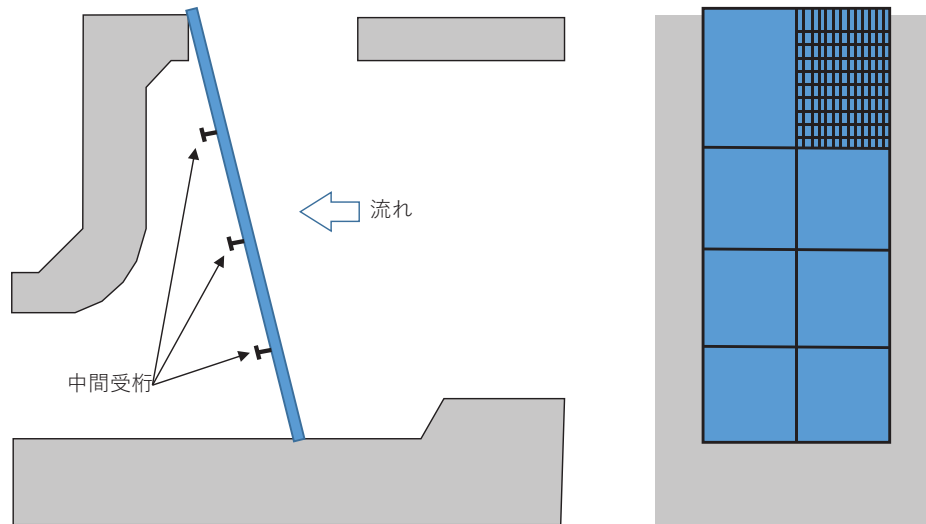


図 3.2-2 除塵装置概略構造図（固定式バースクリーン）

(2) 構造健全性評価

以下に、基準津波に対する除塵装置の構造健全性を評価し、非常用海水ポンプの取水性への影響について確認した結果を示す。

a. 評価条件

- (a) 取水路内の津波流速は、取水路の管路解析により得られた固定式バースクリーン及びトラベリングスクリーンの位置での流速である 2.7m/s 及び 3.2m/s を適用する。
- (b) 固定式バースクリーン位置での流速 2.7m/s 及びトラベリングスクリーン位置での流速 3.2m/s において、除塵装置に生じる水位差（損失水頭）が設計水位差内に収まっていることを確認するとともに、構造部材の強度評価を実施する。

b. 評価結果

以下に、除塵装置の基準津波に対する構造健全性の評価結果及び非常用取水ポンプの取水性への影響の確認結果を示す。

固定式バースクリーン及びトラベリングスクリーンは、設計水位差内であった。

また、固定式バースクリーン及びトラベリングスクリーンに対して、基準津波により生じる水位差によって発生する荷重又は応力を評価した。その結果、各スクリーンの許容値以下であることを確認した。

表 3.2-1 に除塵装置の取水性影響評価結果を示す。

表 3.2-1 除塵装置の取水性影響評価結果

設備	部材	発生水位差／設計水位差	判定
固定式バースクリーン	バースクリーン	0.1(m)／1.0(m)	○
	中間受桁	0.1(m)／1.0(m)	○
トラベリングスクリーン	バスケット	1.2(m)／1.5(m)	○
	キャリングチェーン	1.2(m)／1.5(m)	○

(3) 地震による破損に対する評価

除塵装置は低耐震クラス（Cクラス）設備であることから津波の原因となる地震に対して健全性は保証されていないため、地震により除塵装置が破損し、変形あるいは分離・脱落し取水路内で堆積した場合でも、除塵装置は本来、通水を前提とした設備であり、主たる構成要素であるバスケットが隙間の多い構造であることから取水路を閉塞させることはないものと考えられる。

したがって、取水口呑口の断面寸法と非常用海水ポンプに必要な取水路の通水量を考慮すると、除塵装置の変形や分離による堆積により非常用海水ポンプに必要な通水性が損なわれることはないものと考えられる。

また、分離・脱落した構成部材が内空を有していない鋼材であるため、取水路内又は海水ポンプ室内の底面に沈降することから、非常用海水ポンプに影響を与えることはないと考えられる。

3.3 非常用海水ポンプの波力に対する強度評価について

津波発生時の押し波を受けた際の非常用海水ポンプの健全性を評価する。

(1) 評価条件

- a. 取水路の管路解析により算出された海水ポンプ室の流速 0.95m/s を基に、保守的に 1.10m/s と設定し、非常用海水ポンプに作用する流体力（抗力）を算出する。
- b. 非常用海水ポンプに作用する流体力は、定常的な流れがポンプに作用すると仮定して、発生荷重を評価する。
- c. 除塵装置を設置しているため、流木、がれき等の影響は想定しないものとする。
- d. 非常用海水ポンプの流体力を受ける範囲として、据付フランジ下端～吸込みベルマウス下端に流体力を受けるものとして評価を実施する。

(2) 評価部位

ポンプ基礎ボルト、中間支持台基礎ボルト及び揚水管（コラムパイプ）に発生する荷重及び応力を評価する。

(3) 押し波によりポンプに発生する流体力

据付フランジより下部に津波が影響することを想定し、流体力を検討した。非常用海水ポンプのベルマウス及び揚水管（コラムパイプ）を円筒形状と仮定し、流速を抑制する構造物（コンクリート躯体等）は無視して評価する。

流体力は流体中の円柱に働く抗力を求める式により、以下のとおり評価できる。

$$D = \frac{1}{2} C_d \cdot \rho \cdot U^2 \cdot A$$

D : 抗力（揚水管（コラムパイプ）に作用する荷重）

C_d : 抗力係数（原子炉補機冷却海水ポンプ：0.4,

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ：1.1）

ρ : 密度（1030kg/m³）

U : 流速

A : 流れに垂直な投影面積

本来海水ポンプ室内構造物により全面に対して流れが作用することはないが、図 3.3-1 に示すように据付フランジ下端から吸込みベルマウス下端までの範囲全体に作用するとして評価する。

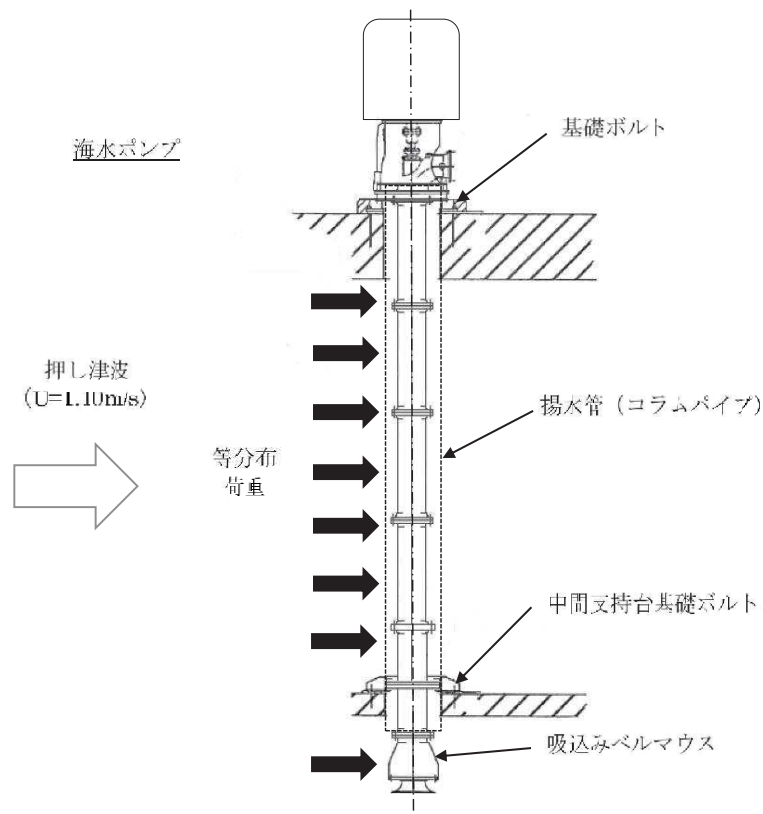


図3.3-1 ポンプへの津波の作用範囲

(4) 評価対象に作用する荷重と応力

揚水管 (コラムパイプ) に津波時の流速 U (1.10m/s) で流体力 (抗力) が作用する場合の抗力 D は表 3.3-1 となる。

a. 原子炉補機冷却海水ポンプ

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{1}{2} C_d \cdot \rho \cdot U^2 \cdot A \\
 &= 0.5 \times 0.4 \times 1030 \times 1.10^2 \times 8.622 \\
 &= 2149 \text{ [N]}
 \end{aligned}$$

b. 高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{1}{2} C_d \cdot \rho \cdot U^2 \cdot A \\
 &= 0.5 \times 1.1 \times 1030 \times 1.10^2 \times 3.230 \\
 &= 2214 \text{ [N]}
 \end{aligned}$$

表 3.3-1 津波により作用する抗力（据付フランジから下部）

	原子炉補機冷却海水ポンプ	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ
揚水管（コラムパイプ）外径（m）		
据付フランジ下部から吸込みベルマウス下端までの長さ（m）		
投影面積 A (m ²)	8.622	3.230
抗力 D (N)	2149	2214

(5) 据付フランジ部及び中間支持台に発生する荷重

原子炉補機冷却海水ポンプ，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの中間支持台は，原子炉補機冷却海水ポンプ 1 箇所，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ 2 箇所となっている。以下に示す評価条件で評価を行う。

- a. 据付フランジ部（基礎台）で，津波の荷重を受け持つ，片持ちはりモデルによる保守的な評価を行う。図 3.3-2 及び図 3.3-3 に評価モデルを示す。
- b. 津波の流速は「(1) 評価条件」で示した流速，揚水管（コラムパイプ）の抗力は表 3.3-1 に示す抗力を用いる。

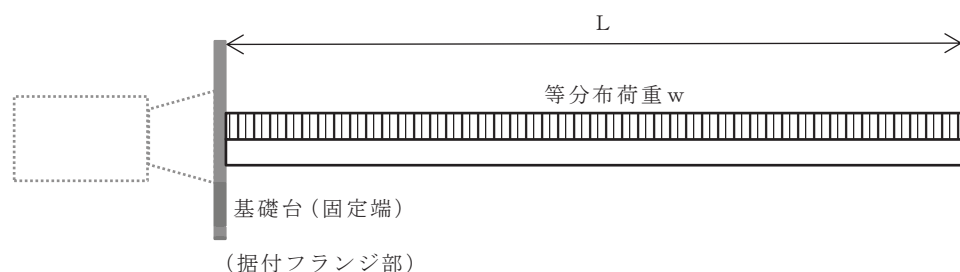


図 3.3-2 基礎ボルトに発生する荷重の評価モデル

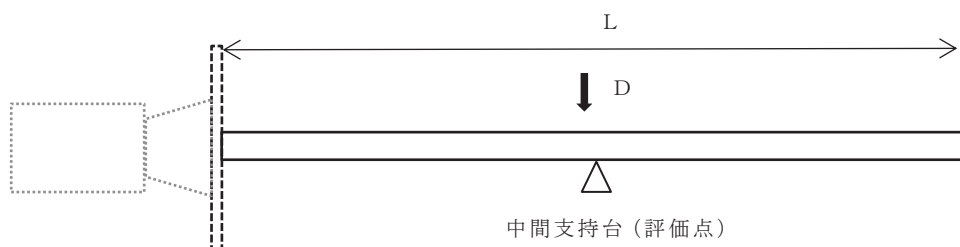


図 3.3-3 中間支持台に発生する荷重の評価モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

- c. 上記 a. 及び b. より，津波による単位長さあたりの等荷重 w ，片持ちはりの付け根に生じるせん断 Q_B 及び曲げモーメント M_B 並びに中間支持台に作用するせん断力 Q_S は，以下のとおり評価できる。また，表 3.3-2 に評価結果を示す。

$$w = \frac{D}{L}$$

$$Q_B = D = w L$$

$$M_B = \frac{w L^2}{2}$$

$$Q_S = D = w L$$

w : 津波による単位長さたりにかかる荷重

L : 揚水管（コラムパイプ）全長

Q_B : 片持ちはりの付け根に生じるせん断力

M_B : 片持ちはりの付け根に生じる曲げモーメント

Q_S : 中間支持台に生じるせん断力

- (a) 原子炉補機冷却海水ポンプ

$$w = \frac{D}{L} =$$

$$Q_B = D = w L = 2149 \text{ [N]}$$

$$M_B = \frac{w L^2}{2} =$$

$$Q_S = D = w L = 2149 \text{ [N]}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(b) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

$$w = \frac{D}{L} = \boxed{}$$

$$Q_B = D = w L = 2214 \text{ [N]}$$

$$M_B = \frac{w L^2}{2} = \boxed{}$$

$$Q_S = D = w L = 2214 \text{ [N]}$$

表 3.3-2 津波により基礎ボルト，中間支持台および揚水管（コラムパイプ）に作用する荷重

	原子炉補機冷却海水ポンプ	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ
津波による単位長さあたりにかかる荷重 w (N/m)	$\boxed{}$	
揚水管（コラムパイプ）全長 L (m)		
片持ちはりの付け根に生じるせん断力 Q_B (N)	2149	2214
片持ちはりの付け根に生じる曲げモーメント M_B (Nm)	1.461×10^4	1.337×10^4
中間支持台に生じるせん断力 Q_S (N)	$\boxed{}$	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(6) 中間支持台の基礎ボルトの評価

原子炉補機冷却海水ポンプの中間支持台の基礎ボルトにかかるせん断応力 τ_s は、中間支持台（評価点）が 1 カ所であるため、中間支持台基礎ボルト全数で荷重を受けると仮定する。

なお、中間支持台と揚水管（コラムパイプ）はボルトで固定されておらず、直接支持しない構造であるため、水平方向に振れた場合を想定し、水平方向のせん断応力をボルトに考慮して評価する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの中間支持台基礎ボルトにかかるせん断応力 τ_s は、中間支持台（評価点）は 2 カ所あるが、荷重を保守的に 1 点支持と仮定し基礎ボルト全数で受けると仮定する。

各中間支持台基礎ボルトにかかる、せん断応力は以下のとおり評価できる。また、表 3.3-3 に評価結果を示す。

$$\tau_s = \frac{Q_s}{n \times A_s}$$

A_s : 中間支持台基礎ボルトの断面積

n : 中間支持台基礎ボルトの本数

τ_s : 中間支持台基礎ボルトに発生するせん断応力

a. 原子炉補機冷却海水ポンプ

$$\tau_s = \frac{Q_s}{n \times A_s} =$$

b. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

$$\tau_s = \frac{Q_s}{n \times A_s} =$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3.3-3 中間支持台基礎ボルトに発生するせん断応力

	原子炉補機冷却海水ポンプ	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ
中間支持台基礎ボルト呼び径		
中間支持台基礎ボルト材質		
中間支持台基礎ボルト本数 n (本 (サポート 1 箇所当り))		
中間支持台基礎ボルトに発生するせん断応力 τ_s (MPa)		

(7) ポンプ基礎ボルトの評価

a. ポンプ基礎ボルトの引張応力

揚水管 (コラムパイプ) に津波による流体力が作用した場合のポンプ基礎ボルトの引張応力を算出するため、据付フランジ部 (基礎台) を固定端として、据付フランジ部 (基礎台) から全長に荷重が作用すると仮定し、先端部を自由端として、据付フランジ部 (基礎台) でのモーメントを算出し、ポンプ基礎ボルトの引張応力を求める。図 3.3-4 に評価モデルを示す。

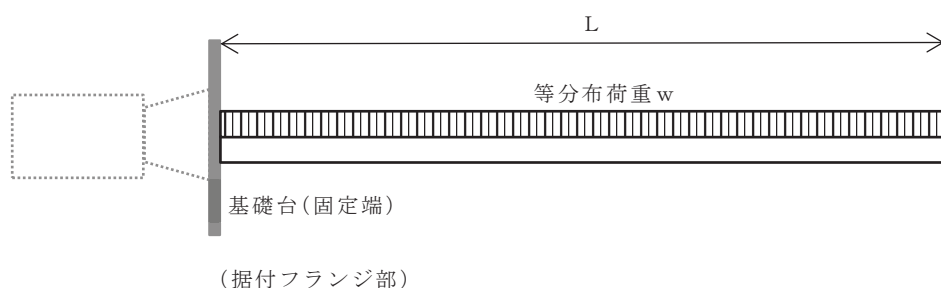


図 3.3-4 基礎ボルトに発生する荷重の評価モデル

評価条件について以下に示す。

- ① 基礎台を固定端とし、吸い込みベルマウスまでの距離 L で評価する。
- ② L の範囲に分布荷重が作用するものとし、「(5) 据付フランジ部及び中間支持台に発生する荷重」での津波による荷重 (等分布荷重) w と同じとする。
- ③ 基礎台より上部の影響は考慮しない。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

- ④ ポンプ基礎ボルトに発生する引張応力は、以下の条件で算出する。
- ・ 機器の質量は考慮しないものとする。
 - ・ ボルトの初期締付力は考慮しないものとする。
 - ・ ポンプの据付フランジとポンプベースの摩擦は考慮しないものとする。

以上より、津波による流体力が作用した場合のポンプ基礎ボルトの引張応力 σ_B は、以下のとおり評価できる。また、表 3.3-4 に評価結果を示す。

片持ち張りの付け根（基礎台）に作用するモーメント。

$$M_B = \frac{w L^2}{2}$$

ポンプ基礎ボルトに発生する引張力は F_B となり、次式で求める。

$$F_B = \frac{M_B}{\frac{3}{8} n D_B}$$

このとき、ポンプ基礎ボルトに発生する引張応力 σ_B は、次式で求める。

$$\sigma_B = \frac{F_B}{A_B}$$

M_B ：基礎台に作用するモーメント

F_B ：基礎ボルトにかかる引張力

n ：基礎ボルト本数

D_B ：基礎ボルトのボルトピッチ円の直径

σ_B ：ポンプ基礎ボルトに発生する最大引張応力

A_B ：基礎ボルトの断面積

(a) 原子炉補機冷却海水ポンプ

$$F_B = \frac{M_B}{\frac{3}{8} n D_B} =$$

$$\sigma_B = \frac{F_B}{A_B} =$$

(b) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

$$F_B = \frac{M_B}{\frac{3}{8} n D_B} =$$

$$\sigma_B = \frac{F_B}{A_B} =$$

表 3.3-4 ポンプ基礎ボルトに発生する引張応力

	原子炉補機冷却海水ポンプ	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ
ポンプ基礎ボルト呼び径		
ポンプ基礎ボルト材質		
ポンプ基礎ボルト本数 n (本)		
基礎台に作用するモーメント M_B (Nm)		
ポンプ基礎ボルトの最大引張力 F_B (N)		
ポンプ基礎ボルトの引張応力 σ_B (MPa)		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. ポンプ基礎ボルトのせん断応力

揚水管（コラムパイプ）に津波による流体力が作用した場合のポンプ基礎ボルトのせん断応力を算出するため、据付フランジ部（基礎台）から吸込みベルマウス下端までに荷重が作用すると仮定し、ポンプ基礎ボルト全数で荷重を受けるものとして、次式により求める。また、表 3.3-5 に評価結果 n を示す。

$$\tau_B = \frac{Q_B}{n \times A_B}$$

τ_B : ポンプ基礎ボルトに発生するせん断応力

(a) 原子炉補機冷却海水ポンプ

$$\tau_B = \frac{Q_B}{n \times A_B} =$$

(b) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

$$\tau_B = \frac{Q_B}{n \times A_B} =$$

表 3.3-5 ポンプ基礎ボルトに発生するせん断応力

	原子炉補機冷却海水ポンプ	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ
ポンプ基礎ボルトのせん断応力 τ_B (MPa)	<input style="width: 100%; height: 100%; border: 1px solid black;" type="text"/>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(8) 揚水管（コラムパイプ）の評価

揚水管（コラムパイプ）に発生する一次一般膜応力の算出は、中間支持台を考慮せず揚水管（コラムパイプ）全長に働くモーメント M_B を用い次式により求める。また、表 3.3-6 に評価結果を示す。

$$\sigma_{CP} = \text{MAX} (\sigma_{be} + \sigma_Z + \sigma_{ZP}, \sigma_{\theta p})$$

ここで、 σ_{be} 、 σ_Z 、 σ_{ZP} 、 $\sigma_{\theta p}$ は、以下の式で計算される。

$$\sigma_{be} = \frac{M_B}{Z}$$

$$\sigma_Z = \frac{W \cdot g}{A_{CP}}$$

$$\sigma_{ZP} = \frac{P_0 d_2}{4t}$$

$$\sigma_{\theta p} = \frac{P_0 d_2}{2t}$$

σ_{be} ：揚水管（コラムパイプ）の曲げ応力

σ_Z ：自重による軸方向応力

σ_{ZP} ：内圧による軸方向応力

$\sigma_{\theta p}$ ：内圧による周方向応力

Z ：断面係数

W ：質量（内水含む）

g ：重力加速度

A_{CP} ：揚水管（コラムパイプ）の断面積

P_0 ：最高使用圧力

d_2 ：揚水管（コラムパイプ）の内径

t ：揚水管（コラムパイプ）の肉厚

a. 原子炉補機冷却海水ポンプ

$$\sigma_{be} = \frac{M_B}{Z} = \boxed{}$$

$$\sigma_Z = \frac{W \cdot g}{A_{CP}} = \boxed{}$$

$$\sigma_{ZP} = \frac{P_0 d_2}{4 t} = \boxed{}$$

$$\sigma_{\theta p} = \frac{P_0 d_2}{2 t} = \boxed{}$$

$$\sigma_{CP} = \text{MAX} (\sigma_{be} + \sigma_Z + \sigma_{ZP}, \sigma_{\theta p}) = \boxed{} \\ = \boxed{}$$

b. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

$$\sigma_{be} = \frac{M_B}{Z} = \boxed{}$$

$$\sigma_Z = \frac{W \cdot g}{A_{CP}} = \boxed{}$$

$$\sigma_{ZP} = \frac{P_0 d_2}{4 t} = \boxed{}$$

$$\sigma_{\theta p} = \frac{P_0 d_2}{2 t} = \boxed{}$$

$$\sigma_{CP} = \text{MAX} (\sigma_{be} + \sigma_Z + \sigma_{ZP}, \sigma_{\theta p}) = \boxed{} \\ = \boxed{}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3.3-6 ポンプ揚水管（コラムパイプ）に発生する一次一般膜応力

	原子炉補機冷却海水ポンプ	高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ
揚水管（コラムパイプ）の 厚さ（一般部） t （m）		
揚水管（コラムパイプ）の 内径 d_2 （m）		
揚水管（コラムパイプ）の 断面係数 Z	3.579×10^{-3}	4.703×10^{-3}
揚水管（コラムパイプ）の 一次一般膜応力 σ_{CP} （MPa）		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(9) 非常用海水ポンプの波力に対する評価

押し波条件（津波の流速 1.10m/s）において，原子炉補機冷却海水ポンプ，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプに発生する応力は許容応力以下であり，ポンプの健全性は確保される。評価結果を表 3.3-7 及び表 3.3-8 に示す。

表 3.3-7 評価結果一覧（原子炉補機冷却海水ポンプ）

評価部位	材料	項目	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
基礎ボルト		せん断		
		引張		
中間支持台 基礎ボルト		せん断		
揚水管 (コラムパイプ)		一次一般膜		

表 3.3-8 評価結果一覧（高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ）

評価部位	材料	項目	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
基礎ボルト		せん断		
		引張		
第一中間支持台 基礎ボルト*		せん断		
第二中間支持台 基礎ボルト*		せん断		
揚水管 (コラムパイプ)		一次一般膜		

* 中間支持台のせん断応力は，それぞれ評価点の中間支持台のみで津波の全荷重を受けるモデルにて計算しており，発生応力は各中間支持台で同一となる。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 漂流物に関する考慮事項

4.1 設計に用いる遡上波の流速について

津波による漂流物の漂流速度は、津波流速に支配されると考えられるが文献*1によれば、津波による漂流物の漂流流速は、津波の表面流速（津波流速）よりも小さいとされている（図4.1-1）。文献*2, 3によれば、漂流物の衝突直前の漂流流速 v (m/s) と水の表面流速 U (m/s) の比率 α について、漂流流速 v は表面流速（津波流速） U に対して0~60%に低下するとされている。文献*3で述べられている比重0.6の漂流物の場合の表面流速に対する漂流流速 v の比率 α の確率分布を図4.1-2に示す。図4.1-2のとおり、 $\alpha = v/U = 0.1$ （10%程度）以下において相対頻度が最も高いことを示している。

これらの知見はあるが、津波防護施設の設計のための漂流物荷重算定に用いる漂流流速 v は $\alpha = v/U = 1.0$ （100%）となるように設定する。また、津波流速は津波遡上シミュレーションにより得られる値を用いる。

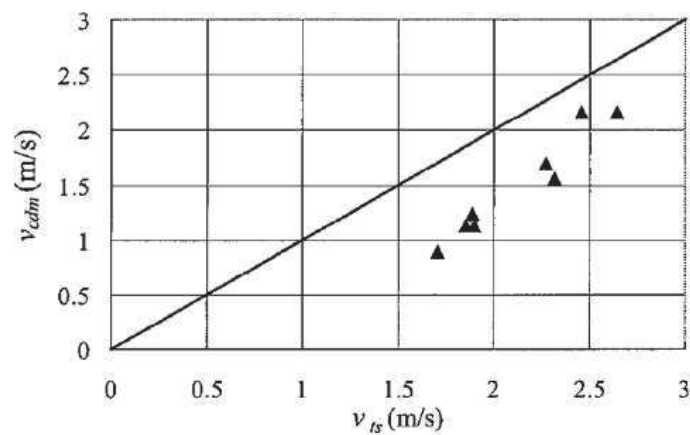


図 4.1-1 浸水流速 v_{ts} と最大漂流速度 v_{cdm} の関係

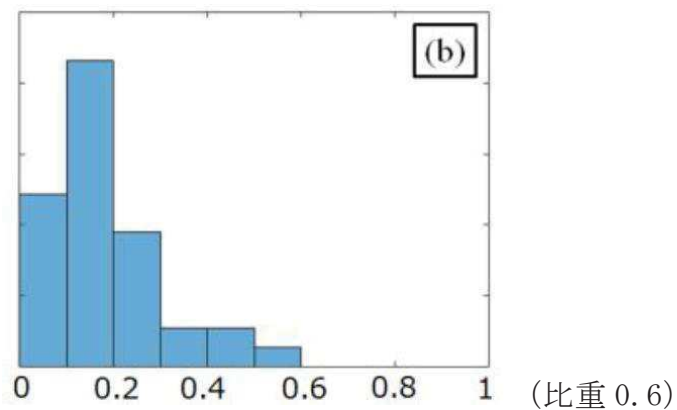


図 4.1-2 構造物模型に衝突する漂流物の速度比率 $\alpha(= v/U)$ の確率分布
(甲斐田・木原(2016)に一部追記)

注記 *1：有川太郎，大坪大輔，中野史丈，下迫健一郎，石川信隆（2007）：遡上津波によるコンテナ漂流力に関する大規模実験，海岸工学論文集，第54巻，p. 846-850

- *2 : 甲斐田秀樹, 木原直人 (2017) : 原子力発電所における津波漂流物の影響評価技術－現状調査とその適用に関する考察－研究報告, o 16010, 電力中央研究所報告
- *3 : 甲斐田秀樹, 木原直人 (2016) : 陸上遡上津波中の漂流物挙動に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 第 72 卷 2 号, p. I_1159-I_1164

4.2 取水口付近の漂流物に対する取水性

目次

- 4.2.1 検討対象施設・設備の抽出範囲の設定
 - ①発電所周辺地形の把握
 - ②基準津波の流速及び流向の把握
 - ③検討対象施設・設備の抽出範囲の設定
- 4.2.2 検討対象施設・設備の抽出
 - ①発電所敷地内における東北地方太平洋沖地震に伴う津波の漂流物の特徴及び実績の把握
 - ②女川町及び女川湾における東北地方太平洋沖地震に伴う津波の漂流物の特徴及び実績の把握
 - ③女川湾と類似した地形における東北地方太平洋沖地震に伴う津波の漂流物の特徴及び実績の把握
 - ④検討対象施設・設備の抽出
- 4.2.3 取水性への影響評価
 - ①発電所敷地内における人工構造物の調査結果（調査分類A）
 - ②漁港・集落・海岸線の人工構造物の調査結果（調査分類B）
 - ③海上に設置された人工構造物の抽出（調査分類C）
 - ④船舶の調査結果（調査分類D）
 - ④-1 船舶（定期航路船舶等）
 - ④-2 船舶（燃料等輸送船）
 - ④-3 船舶（作業船，貨物船等）
- 4.2.4 漂流物に対する取水性への影響評価

参考資料

- （参考1）津波漂流物の調査要領について
- （参考2）津波の流況を踏まえた防波堤の取水口到達可能性評価について
- （参考3）燃料等輸送船の係留索の耐力について
- （参考4）燃料等輸送船の喫水と津波高さの関係について
- （参考5）輸送物及び輸送車両の漂流物評価について

4.2 取水口付近の漂流物に対する取水性

基準津波の遡上解析結果によると、取水口付近の敷地を含む防潮堤海側の O.P. +約 2.5m の敷地に遡上する。また、基準地震動 S_s による地盤面の沈下や潮位のばらつき (+0.16m) を考慮した場合、防潮堤前面では O.P. +24.4m となる。この結果に基づき、発電所周辺を含め、基準津波により漂流物となる可能性がある施設・設備が、取水機能を有する安全設備等の取水性及び津波防護施設の機能に影響を及ぼさないことを確認した。取水性に影響を及ぼす可能性のある漂流物の評価概要を図 4.2-1 に示す。

発電所周辺地形及び基準津波の流向・流速の特徴を把握した上で、検討対象施設・設備の抽出範囲を設定するとともに、検討対象施設・設備の抽出範囲における東北地方太平洋沖地震に伴う津波の漂流物の特徴及びその実績を把握し、検討対象施設・設備の抽出を行った。また、発電所周辺と類似した地形での漂流物の特徴及びその実績も把握し、漂流物の種類について反映した。

これら発電所での特徴及び東北地方太平洋沖地震に伴う津波の漂流物を把握した上で、漂流物の検討フローを策定し、抽出した施設・設備について、漂流（滑動を含む）する可能性、取水口前面に到達する可能性及び取水口前面が閉塞する可能性についてそれぞれ検討を行い、非常用海水ポンプの取水性への影響を評価した。

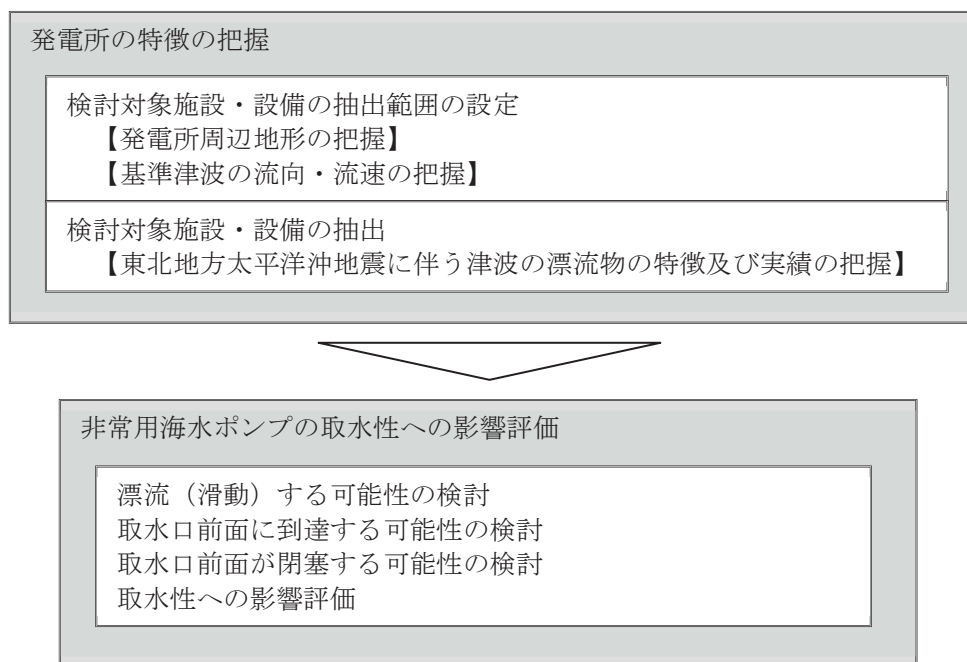


図 4.2-1 原子炉補機冷却海水系及び高压炉心スプレィ補機冷却海水系の取水性に影響を及ぼす可能性のある漂流物の評価概要

なお、人工構造物^{*1}の位置、形状等に変更が生じた場合は、取水機能を有する安全設備等の取水性又は津波防護施設等の機能に影響を及ぼす可能性があるため、施設・設備等の設置状況を定期的(1[回/年]以上)に確認する。設置状況の確認結果により必要に応じて図 4.2-1 の漂流物評価フローに基づき、漂流物調査及び評価を実施する方針とする。また、発電所の施設・設備の改造や追加設置^{*2}を行う場合においても、その都度、取水機能を有する安全設備等の取水性又は津波防護施設等の機能への影響評価を行う。

*1：港湾施設，河川堤防，海岸線の防波堤，防潮堤等，海上設置物，津波遡上域の建物・構築物，敷地前面海域における通過船舶等

*2：「核原料物質，核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」第43条の3の9（工事の計画の認可）及び第43条の3の10（工事の計画の届出）に基づき申請する工事のうち，「改造の工事」又は「修理であって性能又は強度に影響を及ぼす工事」を含む。

4.2.1 検討対象施設・設備の抽出範囲の設定

発電所周辺地形及び基準津波の流向・流速について，その特徴を把握した上で，検討対象施設・設備の抽出範囲を設定する。

①発電所周辺地形の把握

女川原子力発電所は，東北地方太平洋側のリアス海岸の南端部に位置する牡鹿半島の女川湾南側に立地している。

また，発電所は女川湾の湾口部に位置し，発電所よりも西側の湾の奥側には複数の漁港や女川町等の市街地が形成されている。

女川原子力発電所の周辺地形について，図 4.2-2 に示す。

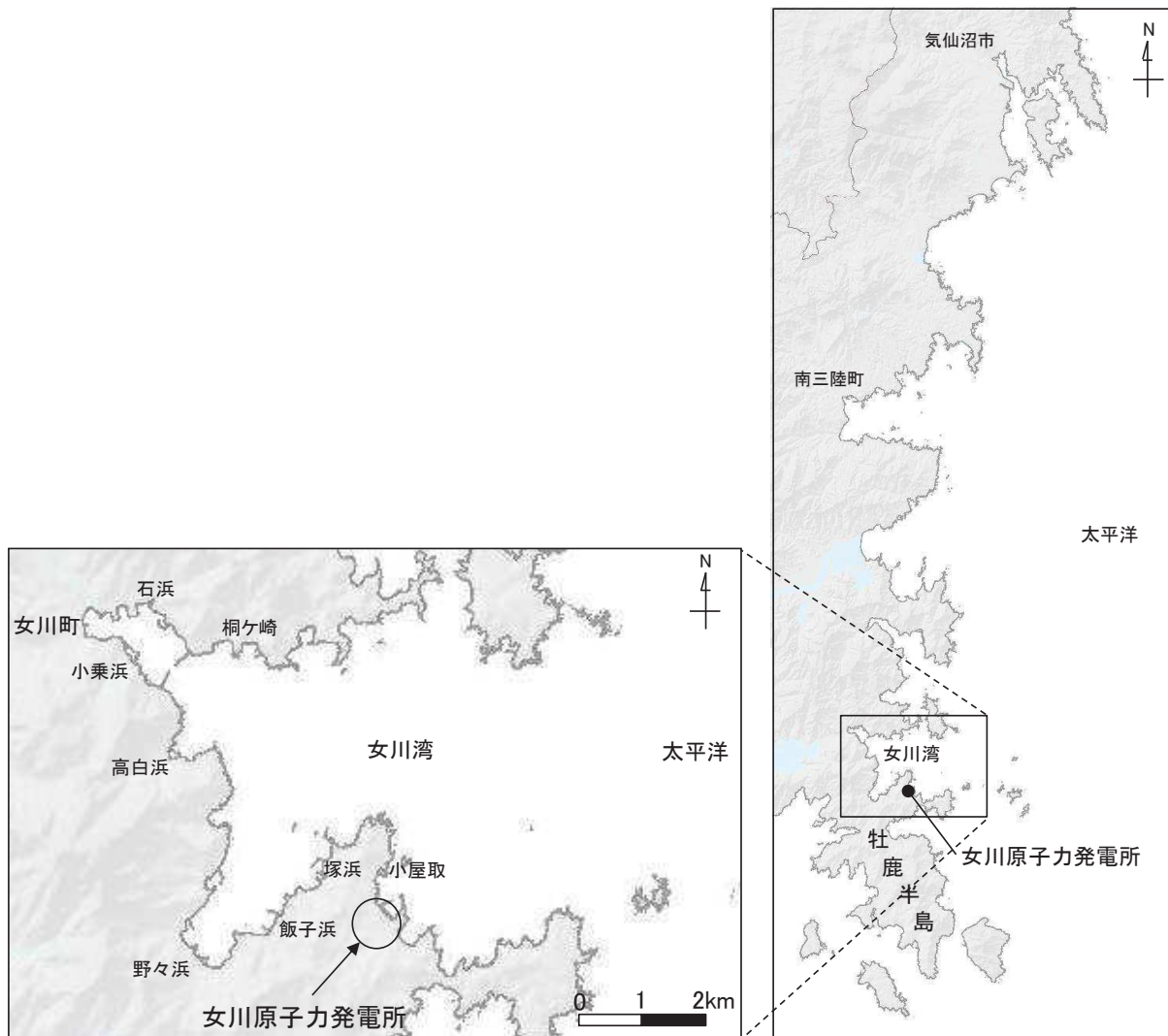


図 4.2-2 女川原子力発電所周辺の地形

②基準津波の流速及び流向の把握

基準津波の波源を図 4.2-3 に、流速及び流向を図 4.2-4、図 4.2-5 に示す。

上昇側の基準津波は、発電所の東方より襲来し、地震発生約 36 分後に敷地前面に到達する。発電所港湾内へは、まず港湾口より進入し、約 6 分後（地震発生約 42 分後）に水位がおおむね最大となり、5m/s 以上の流速が確認される。その約 3 分後（地震発生約 45 分後）に引き波に転ずる。さらに、その 5 分後（地震発生約 50 分後）には、女川湾全体で引き波に転じ、それ以降は津波襲来時と逆方向の沖合いへ向かう流向が卓越している。その一部では、発電所に向かう流れも確認されるが、沖合いへ向かう流速に比べて小さい。

下降側の基準津波は、発電所の東方より襲来し、地震発生約 36 分後に敷地前面に到達し、5m/s 以上の流速が確認される。発電所港湾内へは、まず港湾口より進入し、約 2 分後（地震発生約 38 分後）に最大となり、その約 10 分後（地震発生約 48 分後）に引き波に転ずる。また、女川湾全体でも引き波に転ずる。さらにその 3 分後

(地震発生約 51 分後)には、津波襲来時と逆方向の流速が卓越している。その一部では、発電所に向かう流れも確認されるが、沖合いへ向かう流速に比べて小さい。

発電所港湾内の主たる流れは、上昇側と下降側のいずれの基準津波においても、港湾口からの寄せ波時の海水の流入、引き波時の流出によるものである。

また、発電所防波堤の有無による影響についても検討を行った。図 4.2-6 に防波堤なしにおける発電所近傍（基準津波上昇側、下降側）の流速及び流向を示す。

発電所防波堤ありでは寄せ波時に防波堤をまわり込んで津波が襲来し、引き波では港口を通過して港外へ流れている。一方、発電所防波堤なしでは寄せ波が直接発電所敷地に押し寄せ、引き波では防波堤がないことから、沖へ一様に流れていることを確認した。

なお、寄せ波時における防潮堤前面での流速は、発電所防波堤ありの結果よりも発電所防波堤なしの方が大きくなっていることを確認した。特に、下降側の基準津波では防潮堤前面での流速が 5m/s 以上となっており、防潮堤へ向かう流れとなっていることを確認した。

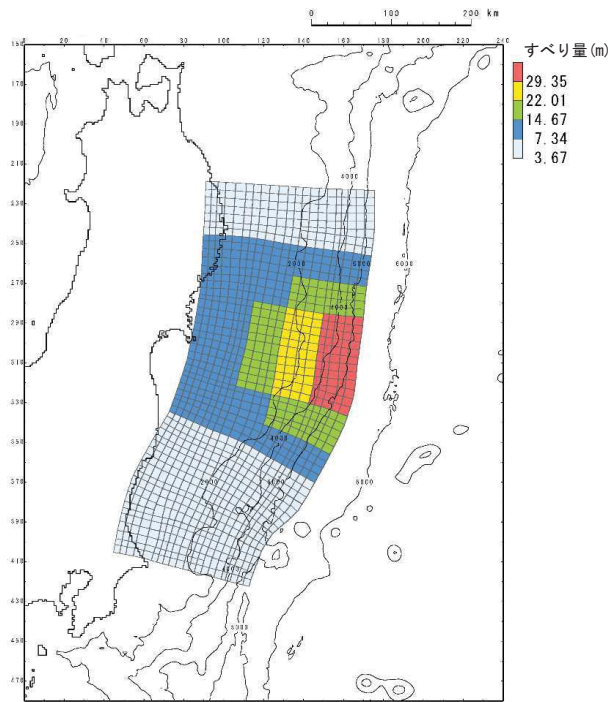


図 4.2-3(1) 女川原子力発電所の基準津波（水位上昇側）
 （東北地方太平洋沖型の地震、

宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル（海溝側強調モデル）

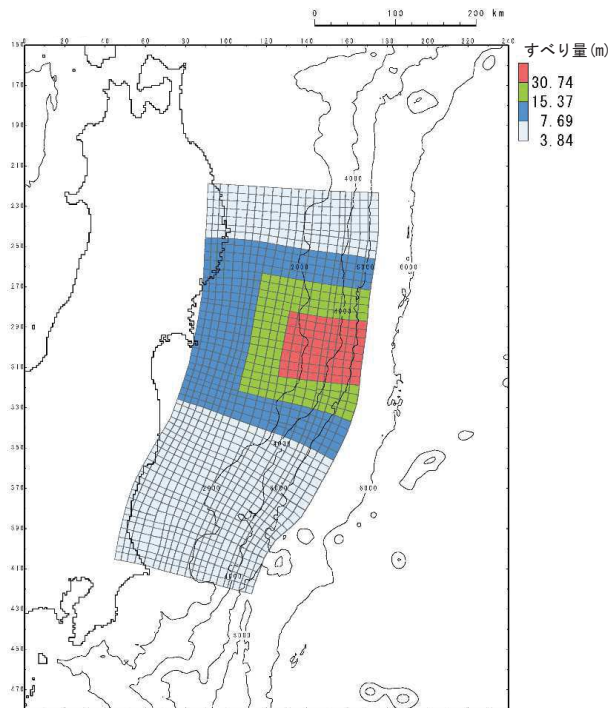
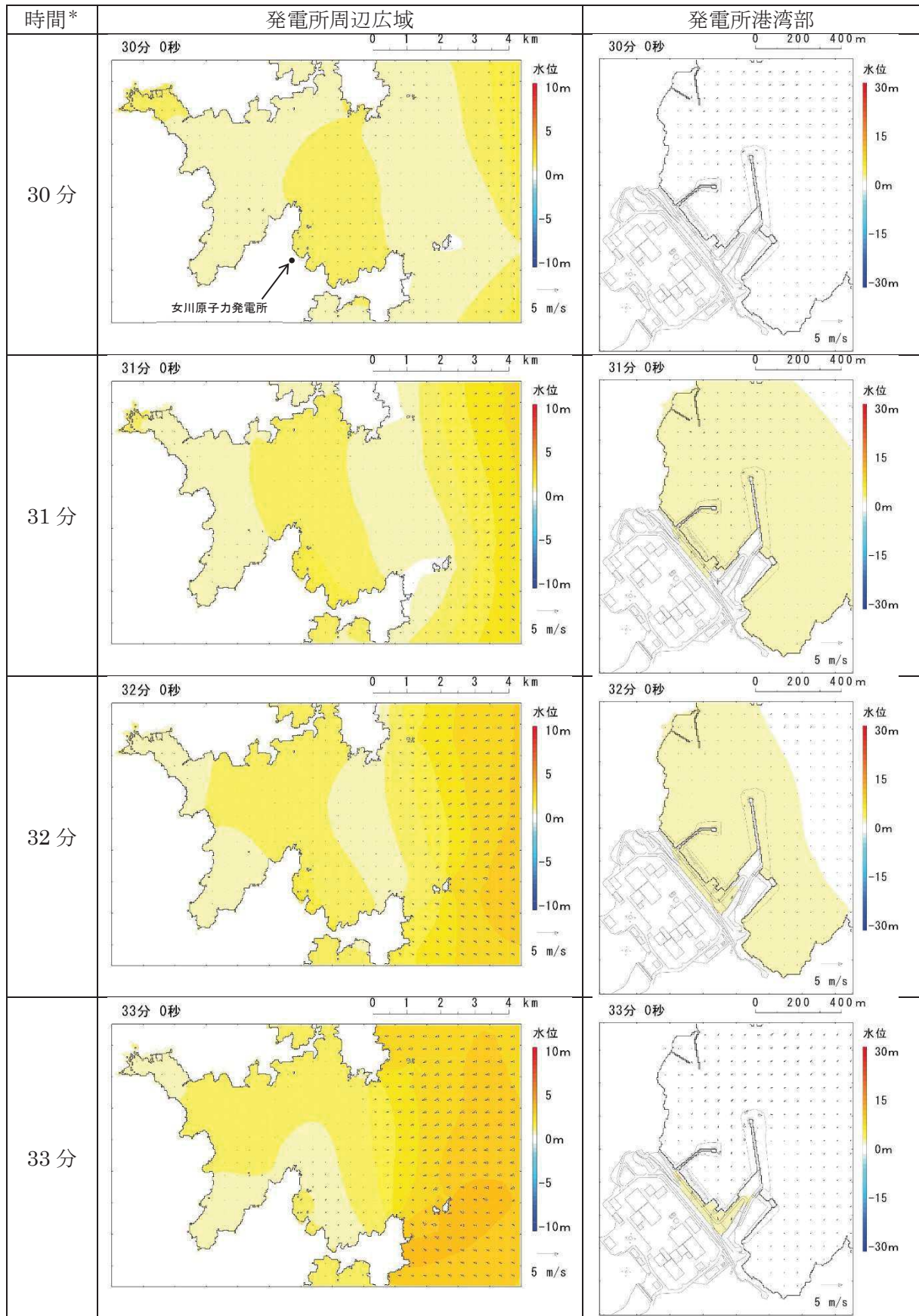


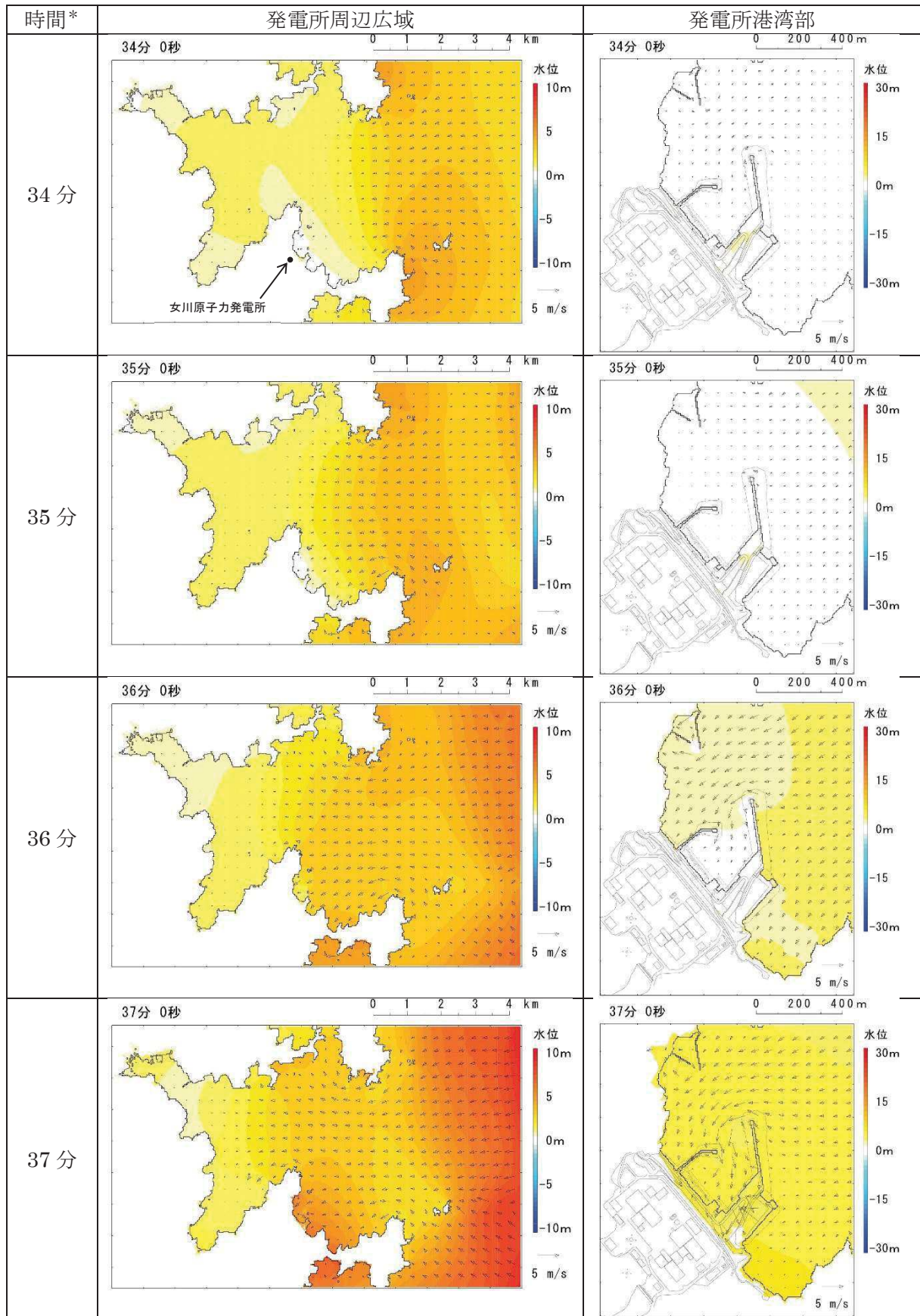
図 4.2-3(2) 女川原子力発電所の基準津波（水位下降側）
 （東北地方太平洋沖型の地震、

宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル（すべり量割増モデル）



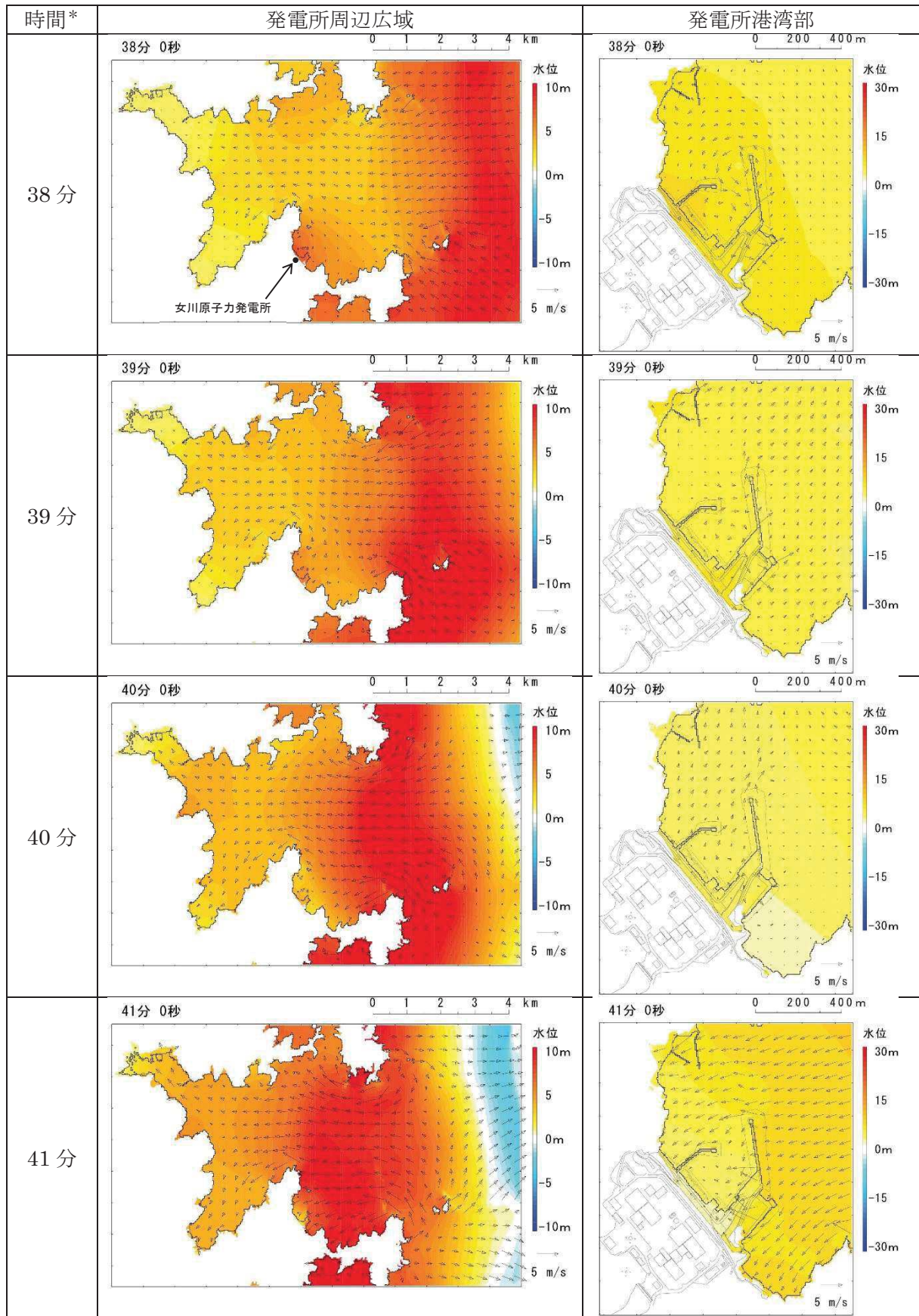
注記 * : 津波の原因となる地震発生後の経過時間

図 4. 2-4(1) 発電所周辺海域及び発電所敷地前面海域の水位変動・流向ベクトル
(基準津波 (水位上昇側) : 防波堤あり)



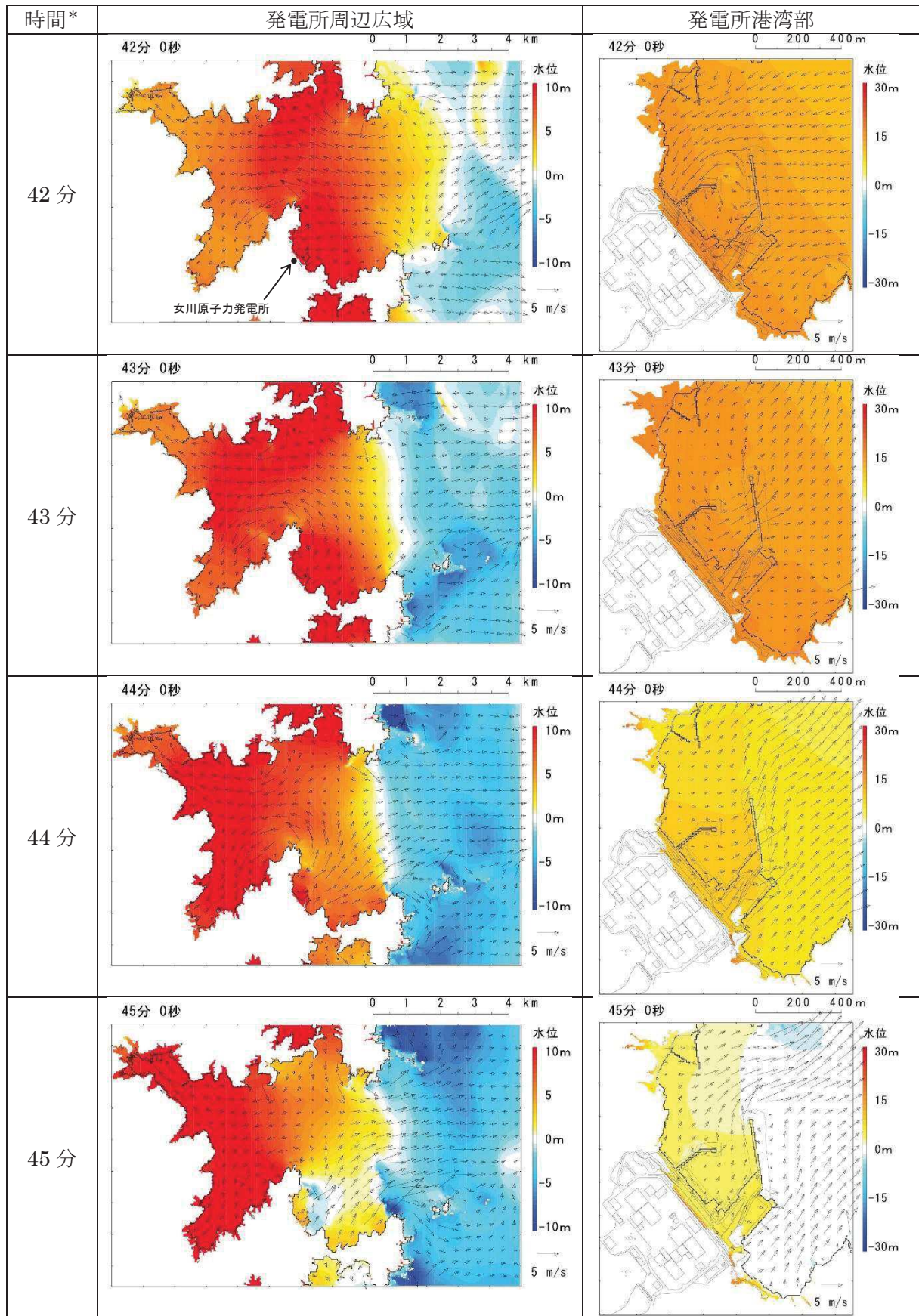
注記 * : 津波の原因となる地震発生後の経過時間

図 4.2-4(2) 発電所周辺海域及び発電所敷地前面海域の水位変動・流向ベクトル
(基準津波 (水位上昇側) : 防波堤あり)



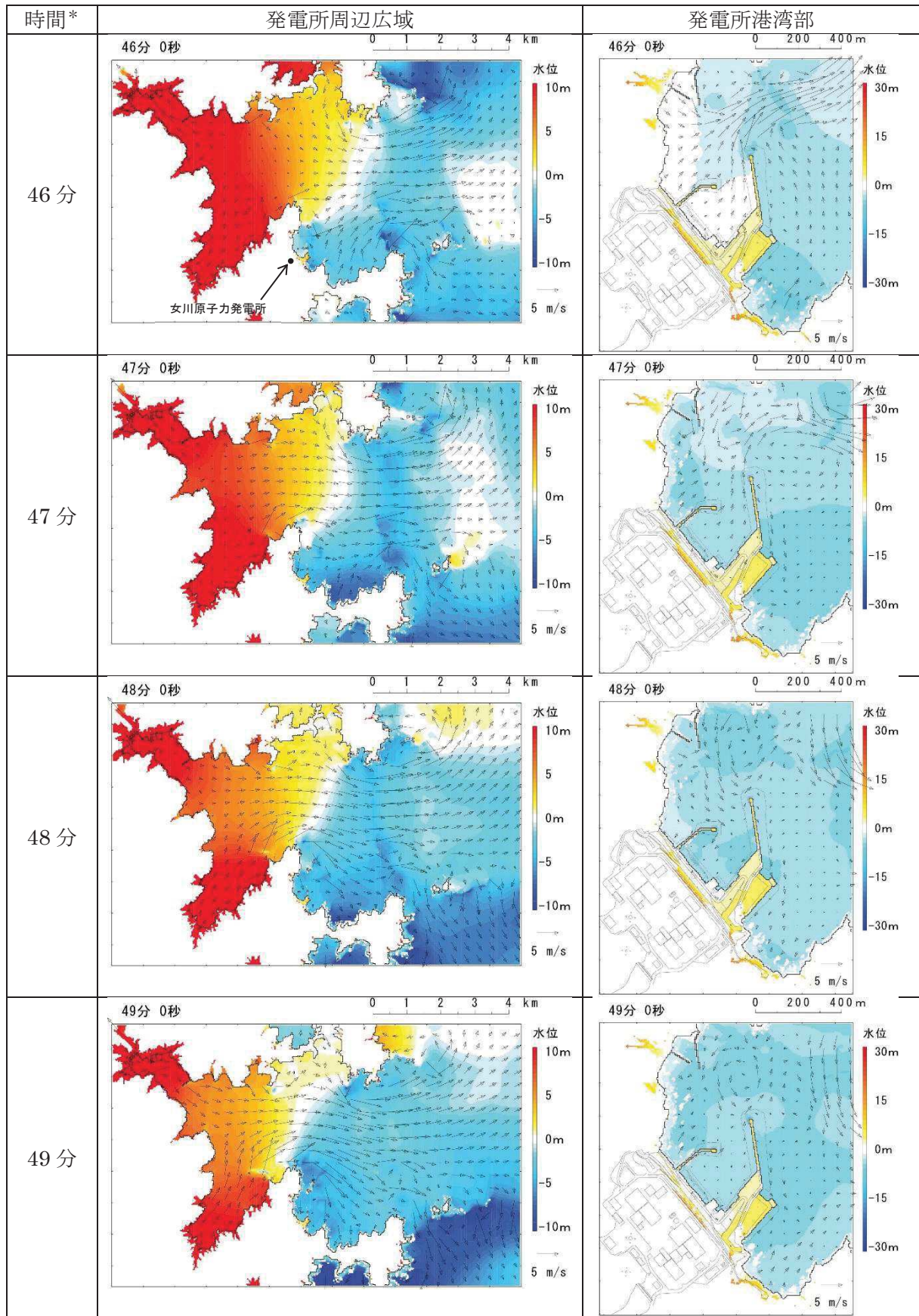
注記 * : 津波の原因となる地震発生後の経過時間

図 4. 2-4(3) 発電所周辺海域及び発電所敷地前面海域の水位変動・流向ベクトル
(基準津波 (水位上昇側) : 防波堤あり)



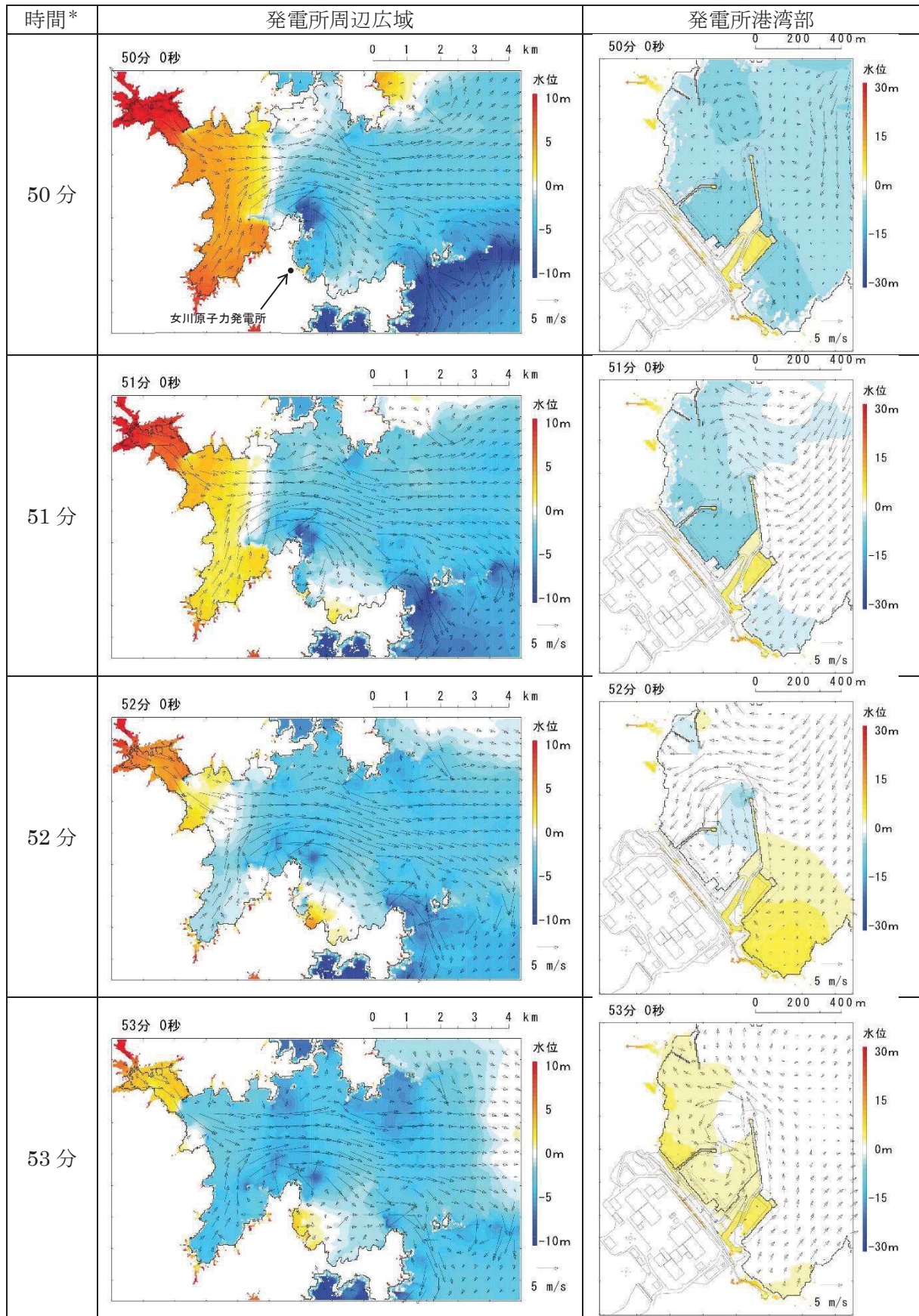
注記 * : 津波の原因となる地震発生後の経過時間

図 4.2-4(4) 発電所周辺海域及び発電所敷地前面海域の水位変動・流向ベクトル
(基準津波 (水位上昇側) : 防波堤あり)



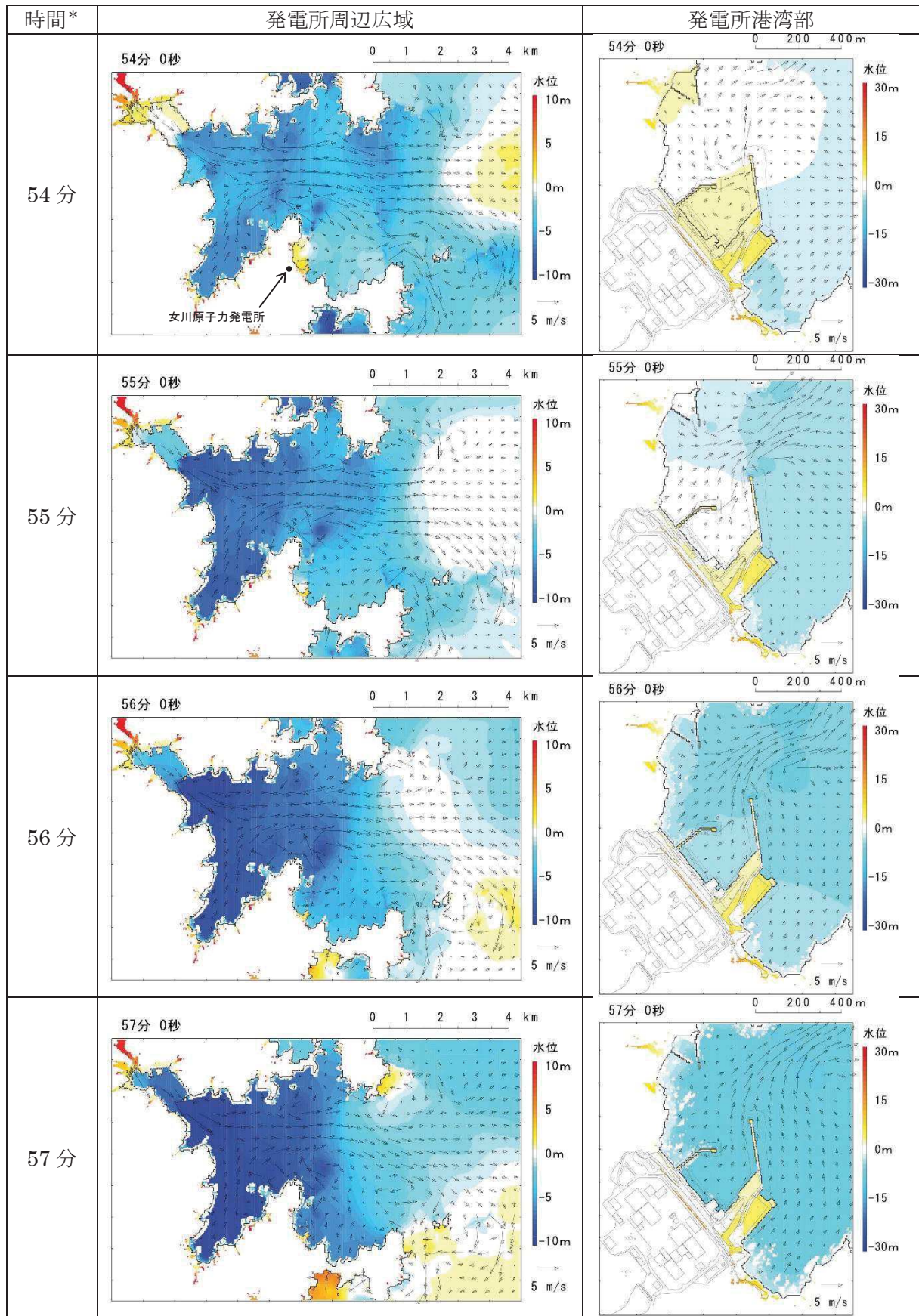
注記 * : 津波の原因となる地震発生後の経過時間

図 4.2-4(5) 発電所周辺海域及び発電所敷地前面海域の水位変動・流向ベクトル
(基準津波 (水位上昇側) : 防波堤あり)



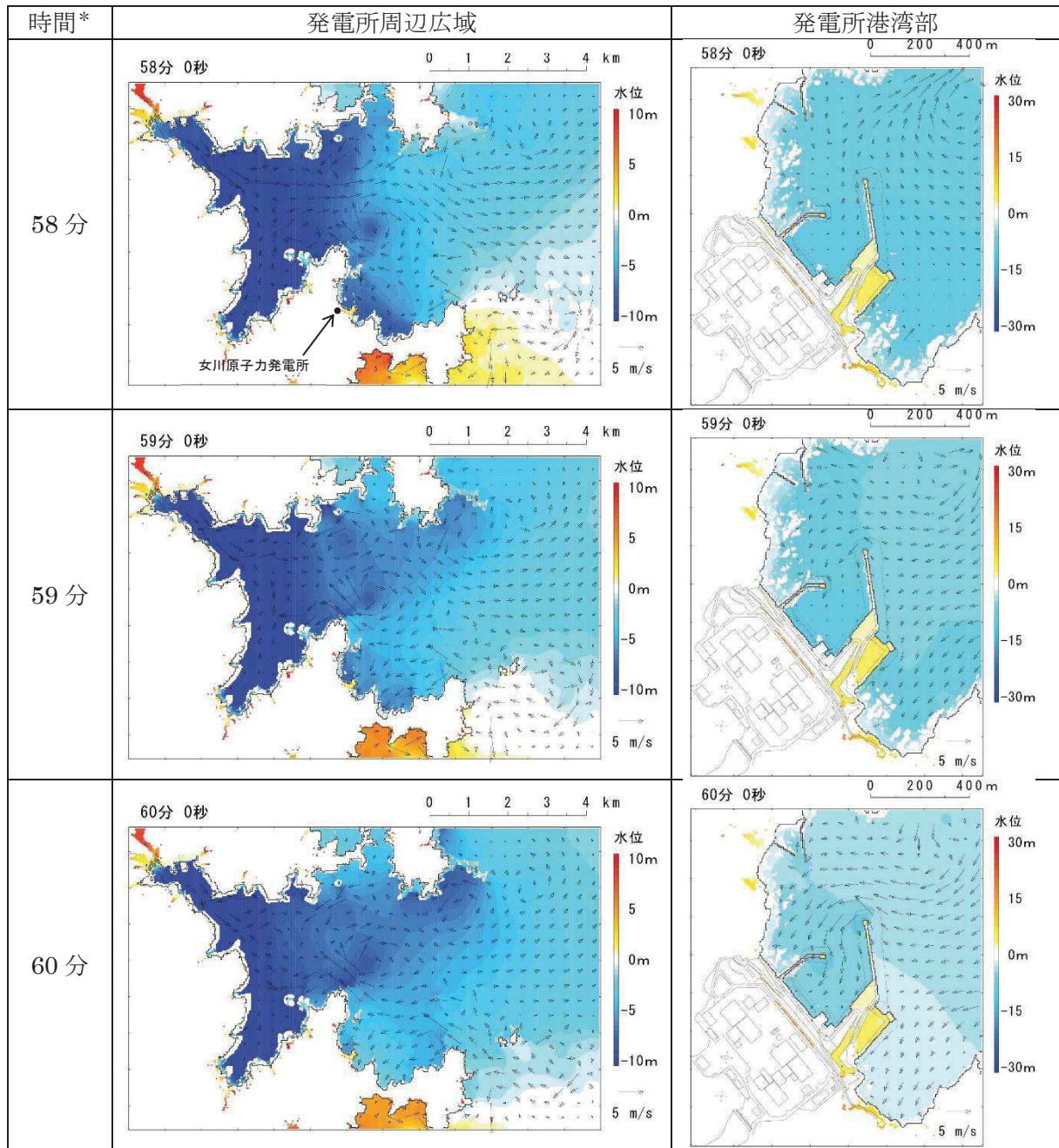
注記 * : 津波の原因となる地震発生後の経過時間

図 4.2-4(6) 発電所周辺海域及び発電所敷地前面海域の水位変動・流向ベクトル
(基準津波(水位上昇側):防波堤あり)



注記 * : 津波の原因となる地震発生後の経過時間

図 4. 2-4(7) 発電所周辺海域及び発電所敷地前面海域の水位変動・流向ベクトル
(基準津波 (水位上昇側) : 防波堤あり)



注記 * : 津波の原因となる地震発生後の経過時間

図 4.2-4(8) 発電所周辺海域及び発電所敷地前面海域の水位変動・流向ベクトル
(基準津波 (水位上昇側) : 防波堤あり)