

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点や防護上の観点から公開できません。

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4
提出年月日	2021年1月20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
- 6. 浸水防護施設に関する補足資料
 - 6.1 防潮堤に関する補足説明

: 本日の説明範囲

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。

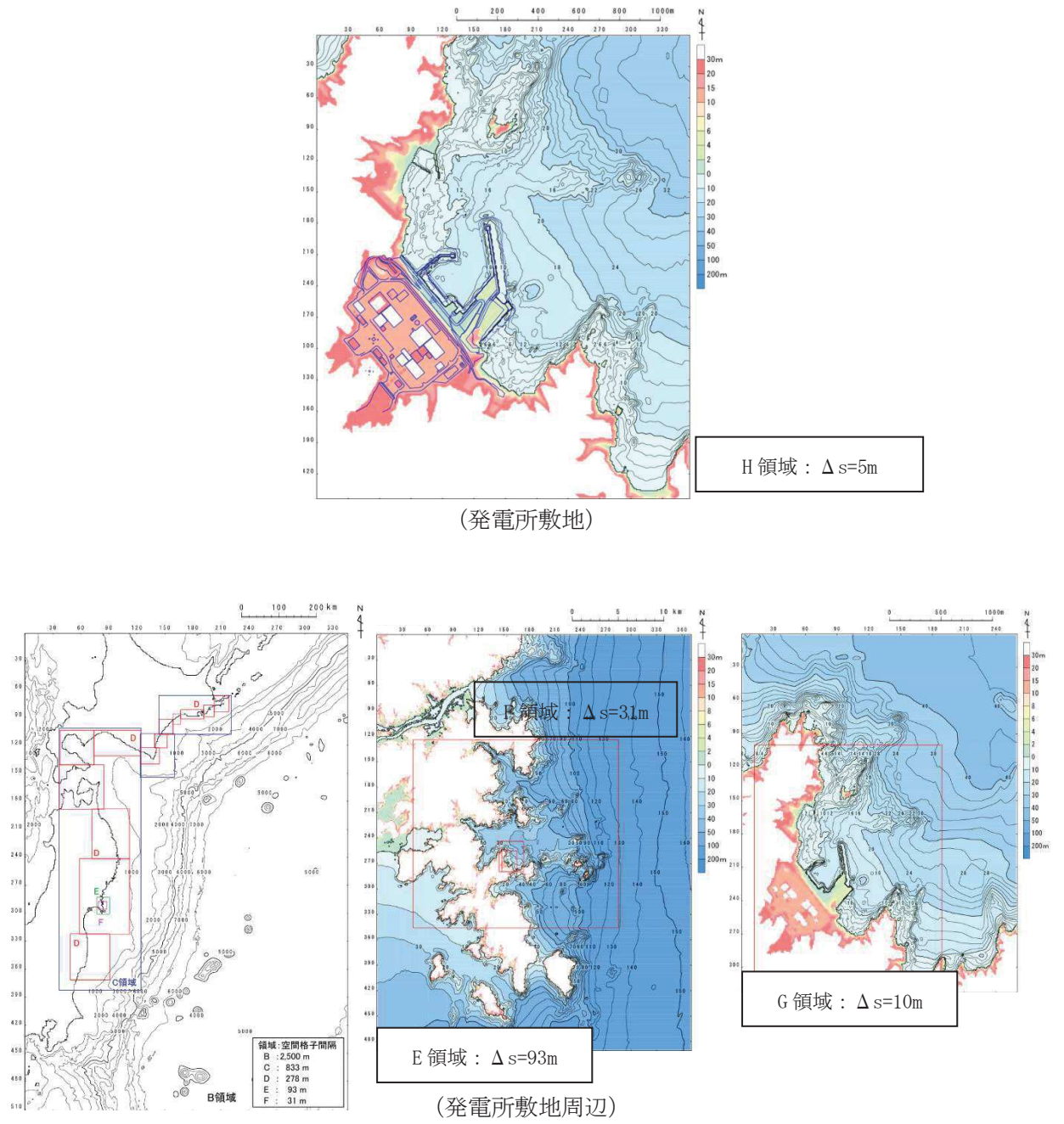


図 1.2-1 数値シミュレーションにおける解析モデル

(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。

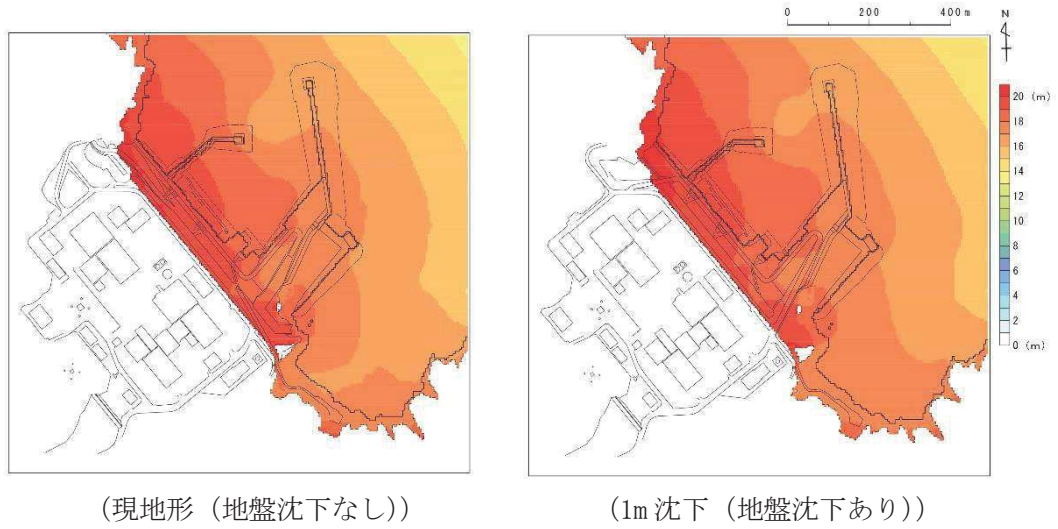


図 1.2-2 地盤沈下の有無に対する最大水位上昇量分布の比較
(基準津波 (水位上昇側), 防波堤あり)

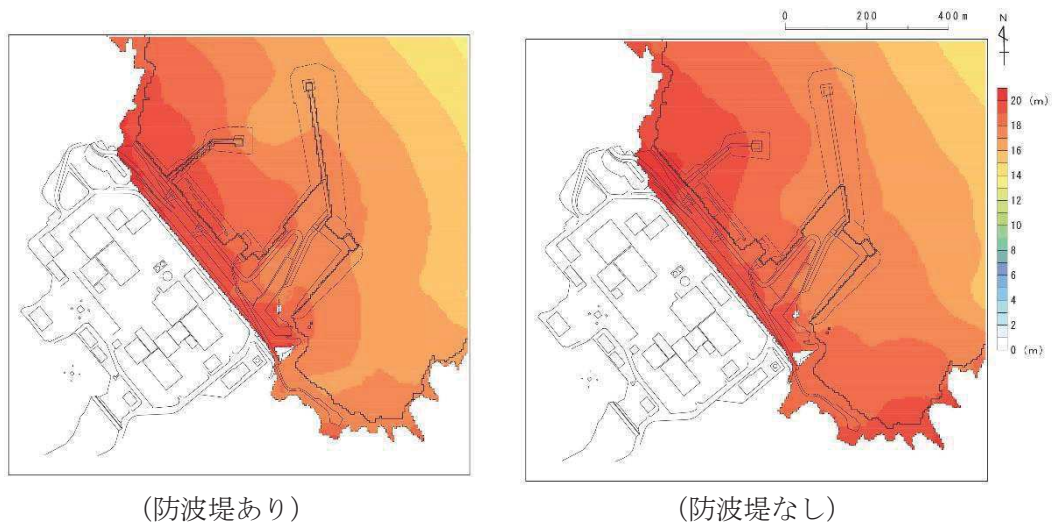


図 1.2-3 防波堤の有無に対する最大水位上昇量分布の比較
(基準津波 (水位上昇側), 現地形 (地盤沈下なし))

(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。

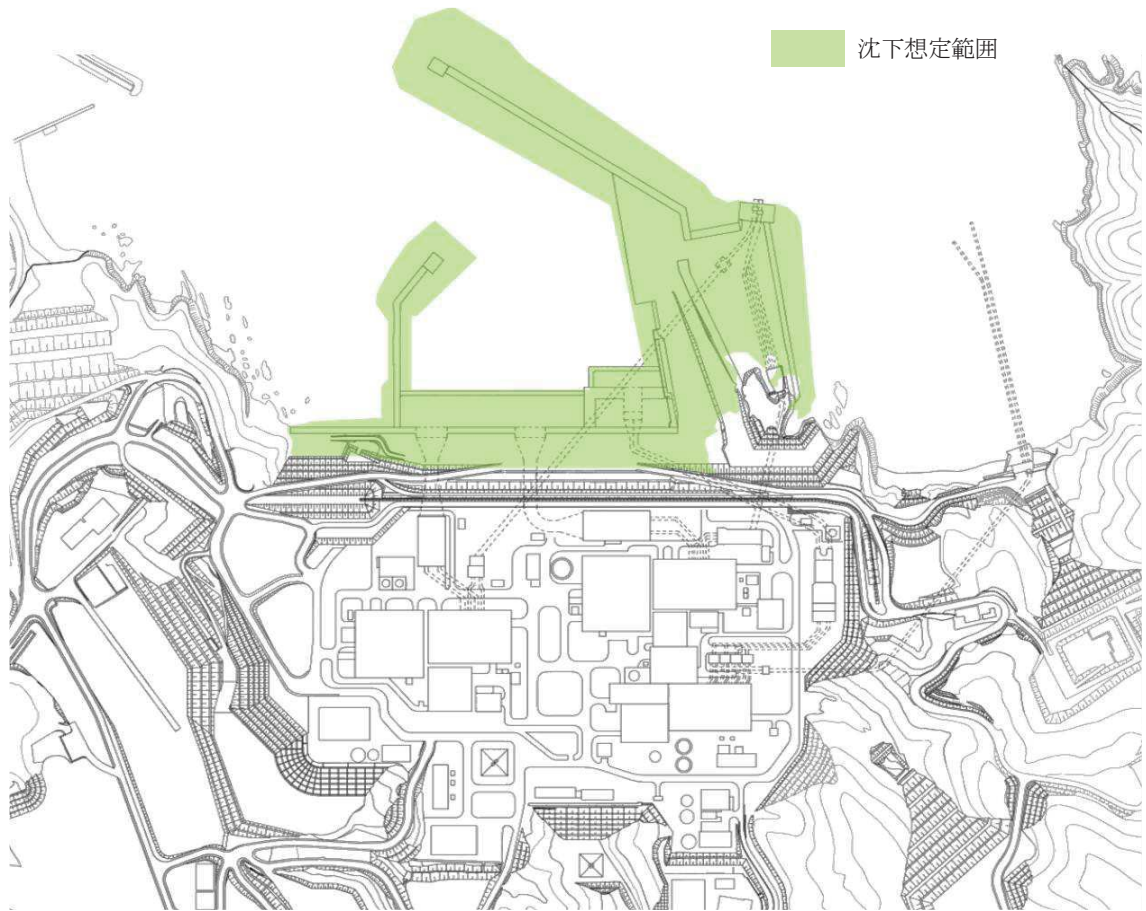


図1 沈下量検討範囲

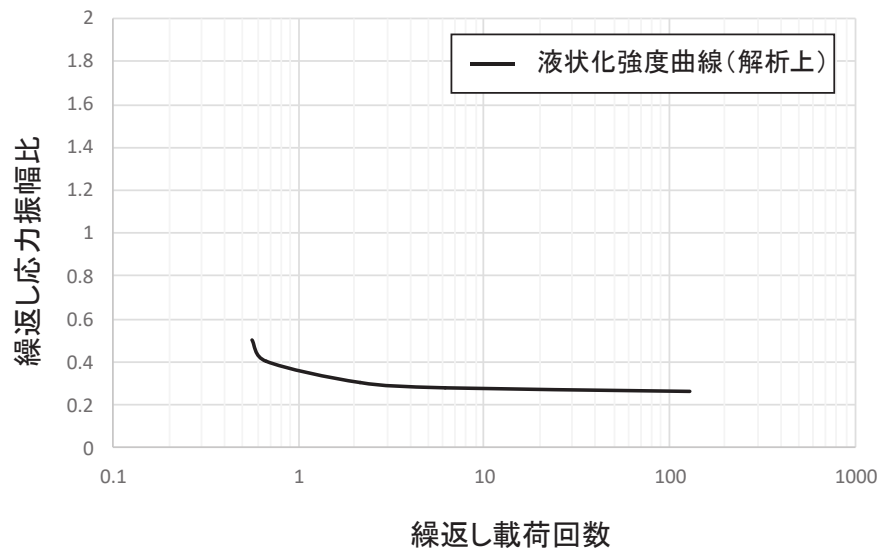
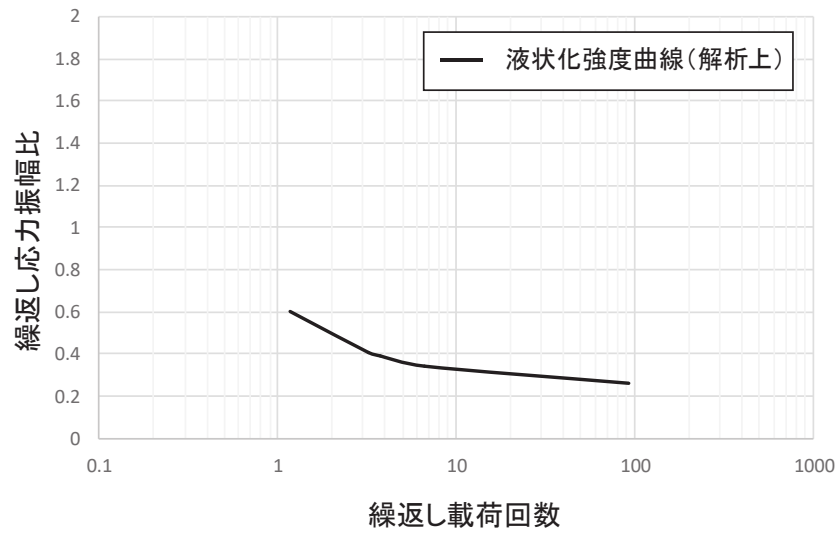


図2 液状化強度曲線 (上：盛土，下：旧表土)

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。

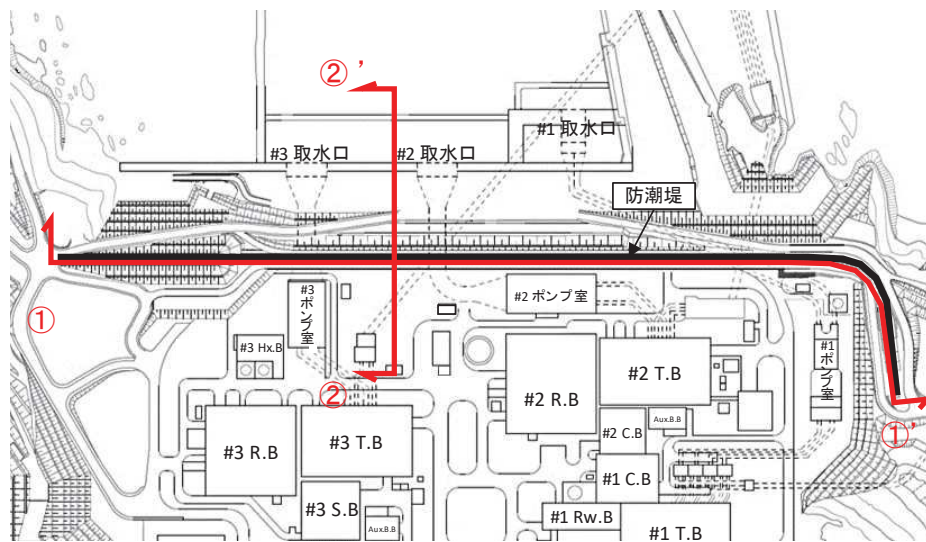


図3 平面図

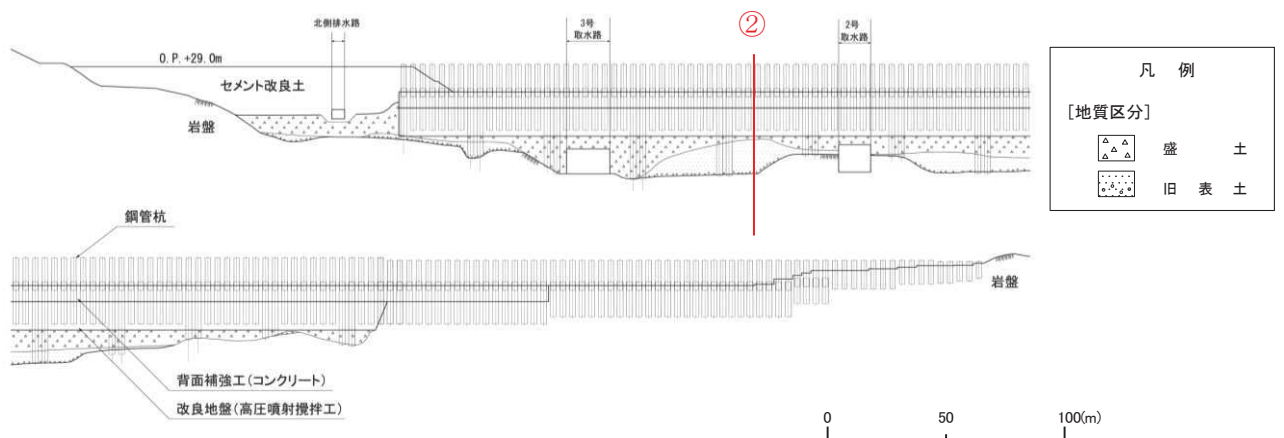


図4(1) 地質断面図(①-①'断面)

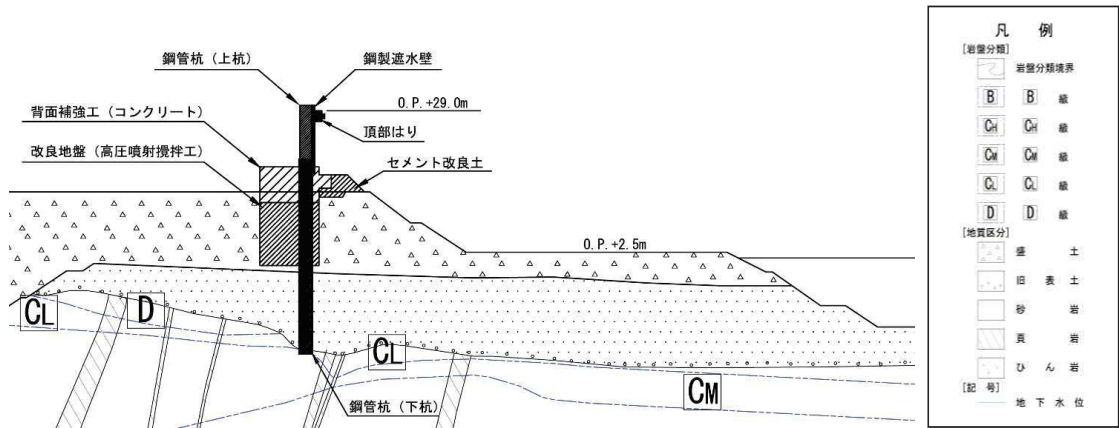


図4(2) 地質断面図(②-②' 断面)

(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O.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。

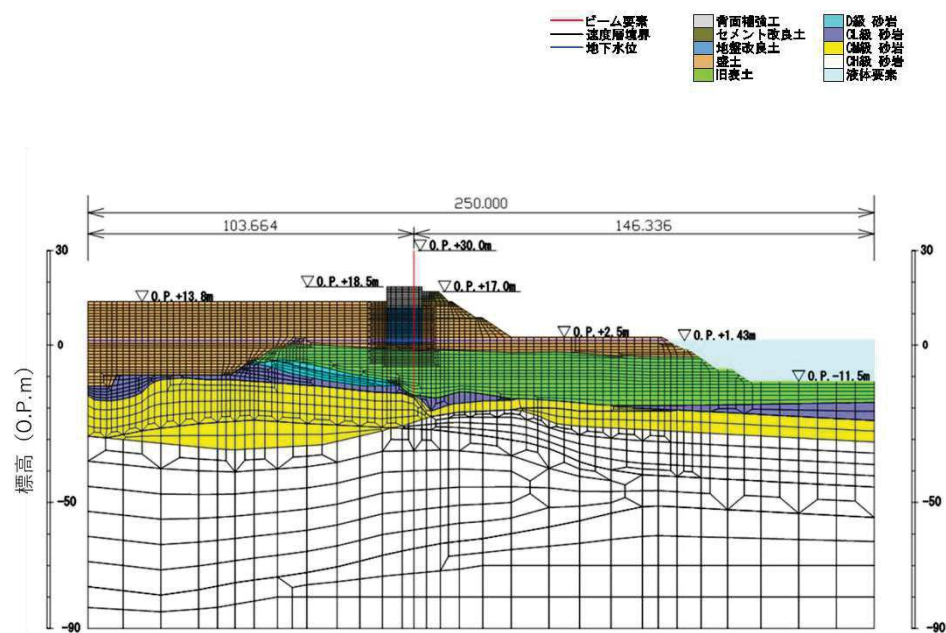


図5 解析モデル図

(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。

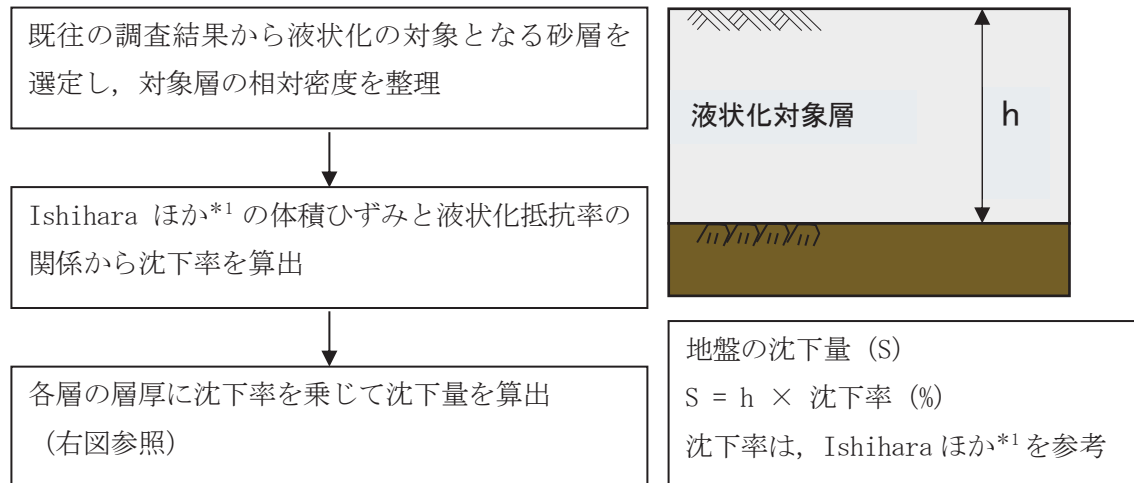


図6 飽和地盤における過剰間隙水圧消散に伴う沈下量の算定フロー

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、沈下率を大きめに見積もるため、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

*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

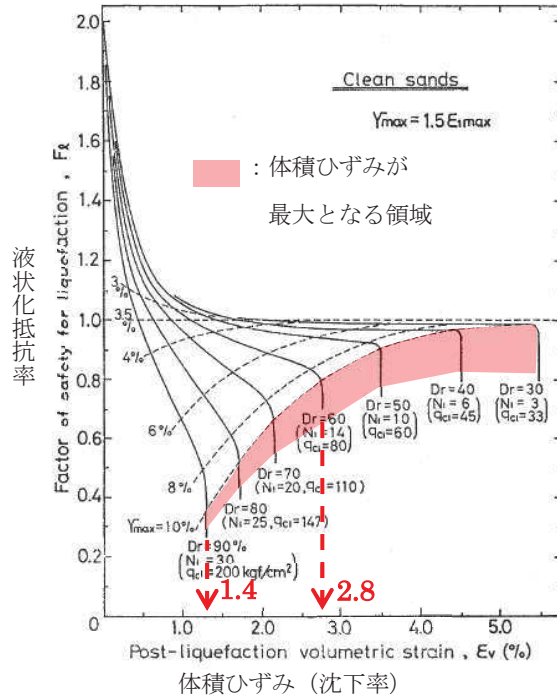


図7 体積ひずみと液状化抵抗率の関係 (Ishiharaほか(1992)に加筆)

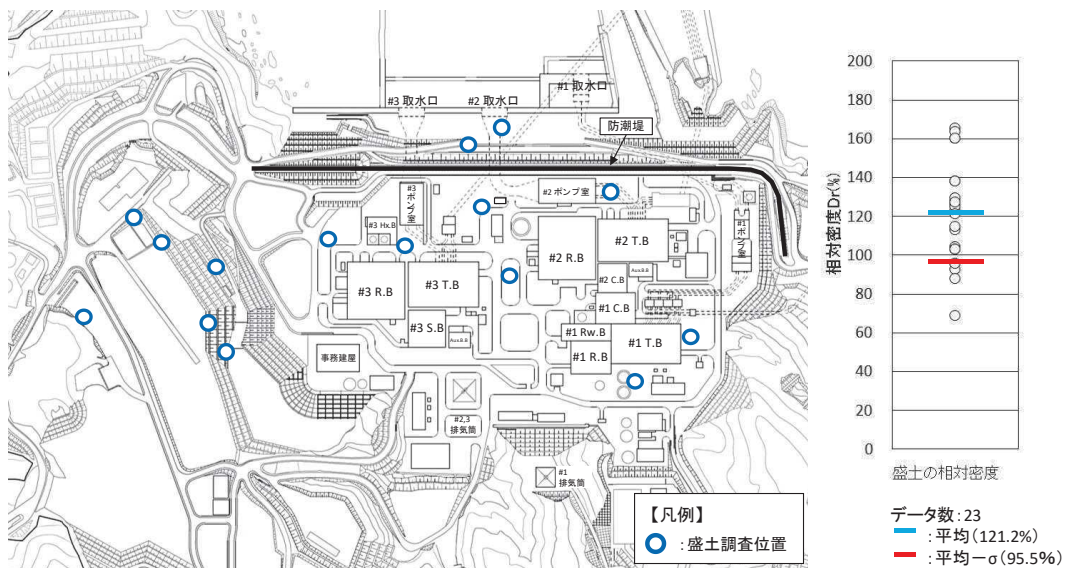


図8 盛土の相対密度調査位置図及び調査結果

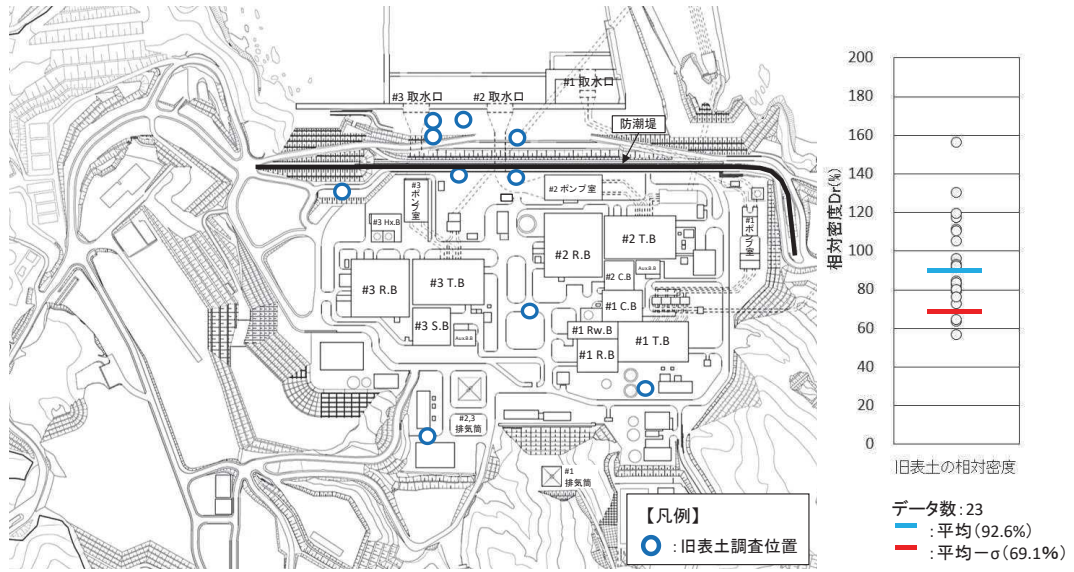


図9 旧表土の相対密度調査位置図及び調査結果

表1 盛土及び旧表土の相対密度の調査結果

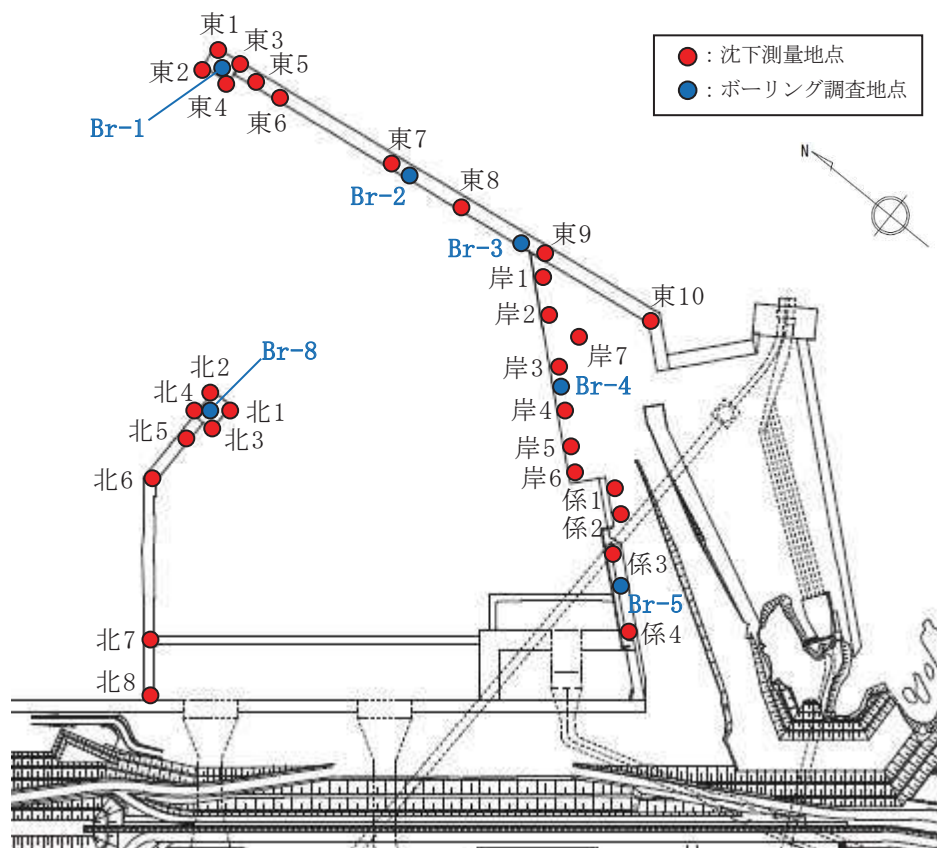
地層	相対密度 (%)	
	平均値	平均値 - σ
盛土	121.2	95.5
旧表土	92.6	69.1

(4) 3.11地震における敷地前面の沈下実績

敷地前面における構造物のうち構造物下部に旧表土が分布する北防波堤、東防波堤、岸壁及び係船・消波護岸を対象*に、平成23年2月8日と平成23年3月27、28日に実施した測量結果を用いて、3.11地震に伴う沈下量を整理した。

3.11地震における沈下実績及び旧表土の層厚を図10に示す。これから、3.11地震に伴う沈下量は北防波堤の最大30cmである。

*：各構造物は、旧表土上に砕石やケーソンで基礎を構築していることから、盛土は分布しない。



東防波堤

No.	沈下量 (cm)	No.	旧表土層厚 (m)
東1	13.6	Br-1	10.75
東2	13.4	Br-2	14.40
東3	14.7	Br-3	5.90
東4	13.0		
東5	21.3		
東6	23.9		
東7	25.6		
東8	25.4		
東9	22.6		
東10	14.2		

北防波堤

No.	沈下量 (cm)	No.	旧表土層厚 (m)
北1	9.4	Br-8	5.90
北2	8.9		
北3	7.0		
北4	8.0		
北5	30.0		
北6	14.6		
北7	5.6		
北8	6.0		

岸壁

No.	沈下量 (cm)	No.	旧表土層厚 (m)
岸1	8.6	Br-4	3.60
岸2	7.4		
岸3	8.7		
岸4	6.7		
岸5	6.9		
岸6	7.7		
岸7	7.0		

係船・消波護岸

No.	沈下量 (cm)	No.	旧表土層厚 (m)
係1	18.5	Br-5	0.70
係2	18.4		
係3	8.9		
係4	4.6		

図10 3.11地震における敷地前面の沈下実績及び旧表土の層厚

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11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）。

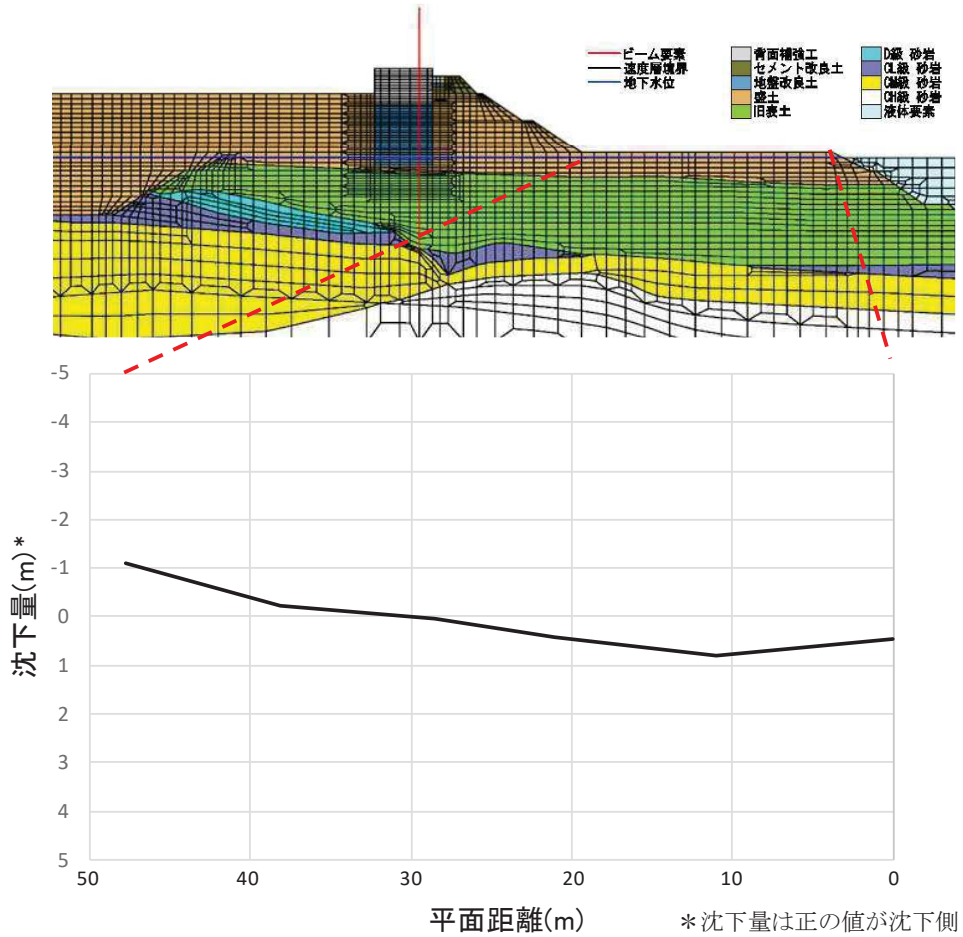


図11 解析結果

(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12に示す。平均沈下量は0.51m、最大沈下量は0.52mとなった。

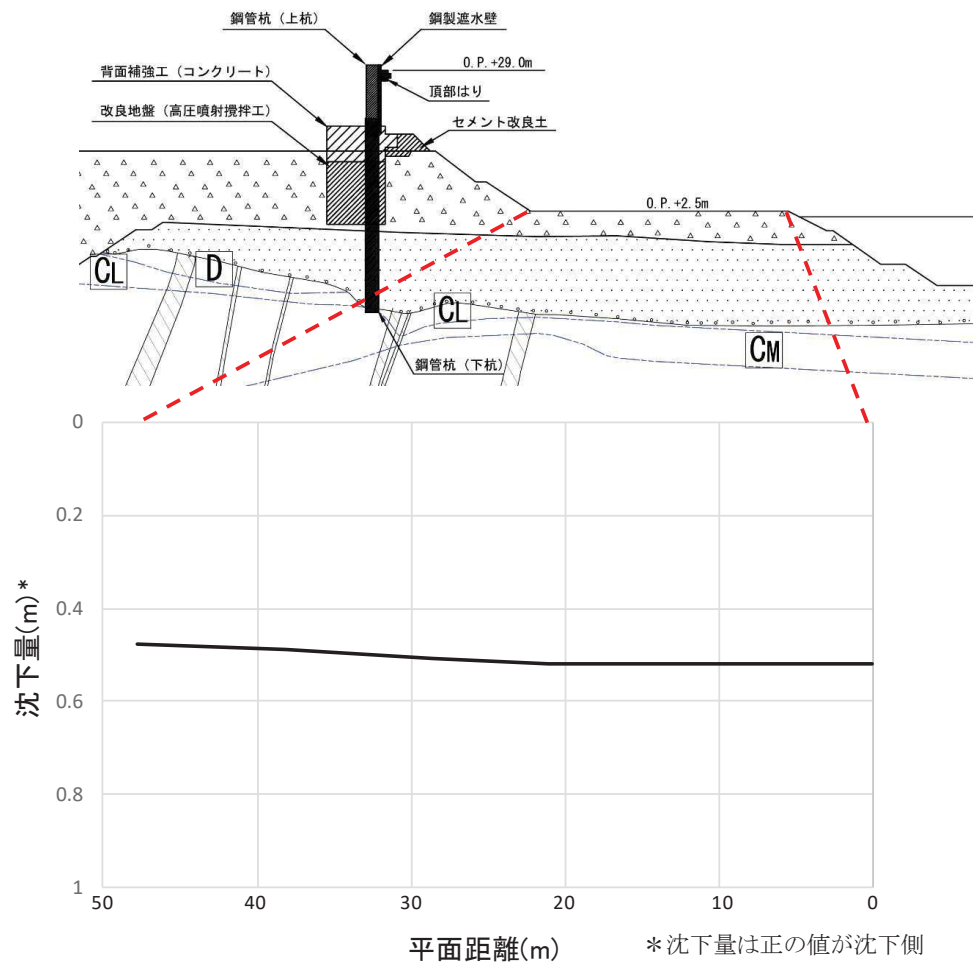


図 12 護岸付近の不飽和地盤における揺すり込み及び飽和地盤における過剰間隙水圧消散に伴う沈下量(②-②' 断面)

(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 13** 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。なお、設定した沈下量（1m）は、3.11 地震における敷地前面の沈下実績（最大 30 cm）を上回る。

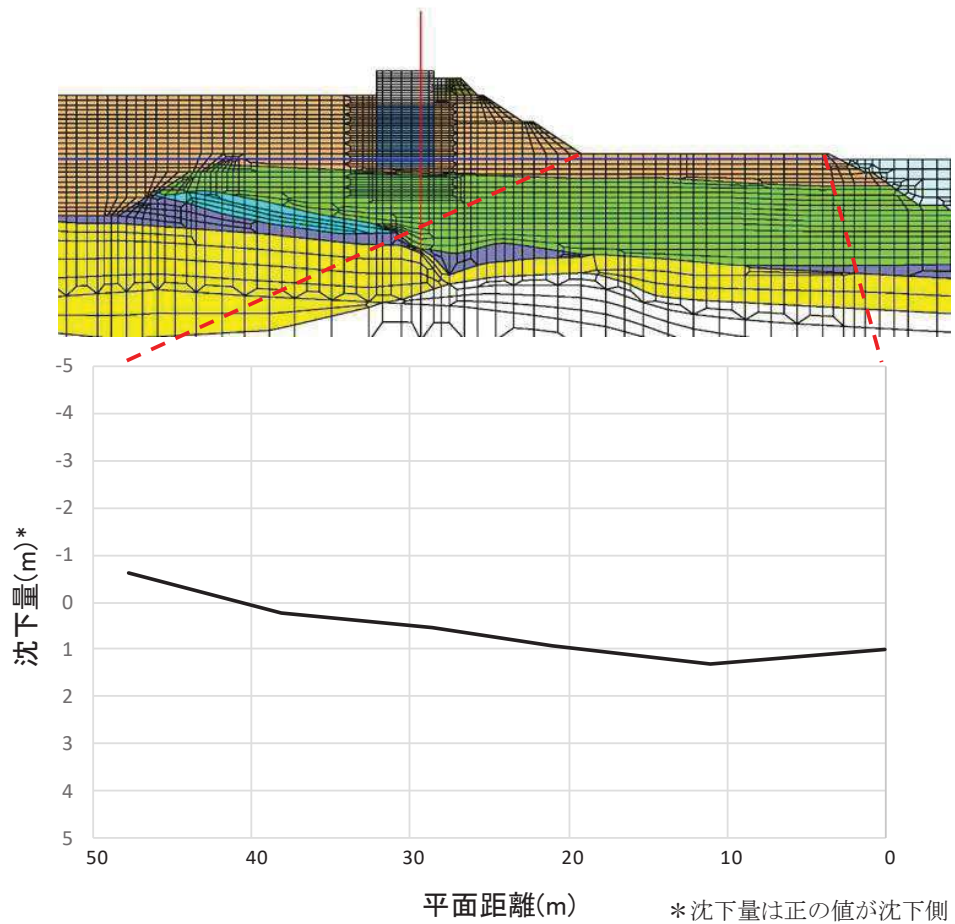


図 13 地表面沈下量

(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

(参考3) 海域の沈下が入力津波に与える影響について

1. 概要

入力津波の算定に当たって考慮する基準地震動 S_s に伴う標高変化は、津波の遡上の観点から陸域を対象に、盛土・旧表土の揺すり込み及び液状化に伴う沈下を考慮している。

ここでは、陸域の沈下に加えて、海域に分布する旧表土の沈下を考慮した場合の入力津波水位に与える影響の確認を行う。

2. 海域の地層構成及び想定沈下量

(1) 発電所前面海域の海底情報

発電所前面海域の海底情報を図1に示す。これから発電所前面海域は、砂、砂礫等のほかに岩礁が広く分布する。

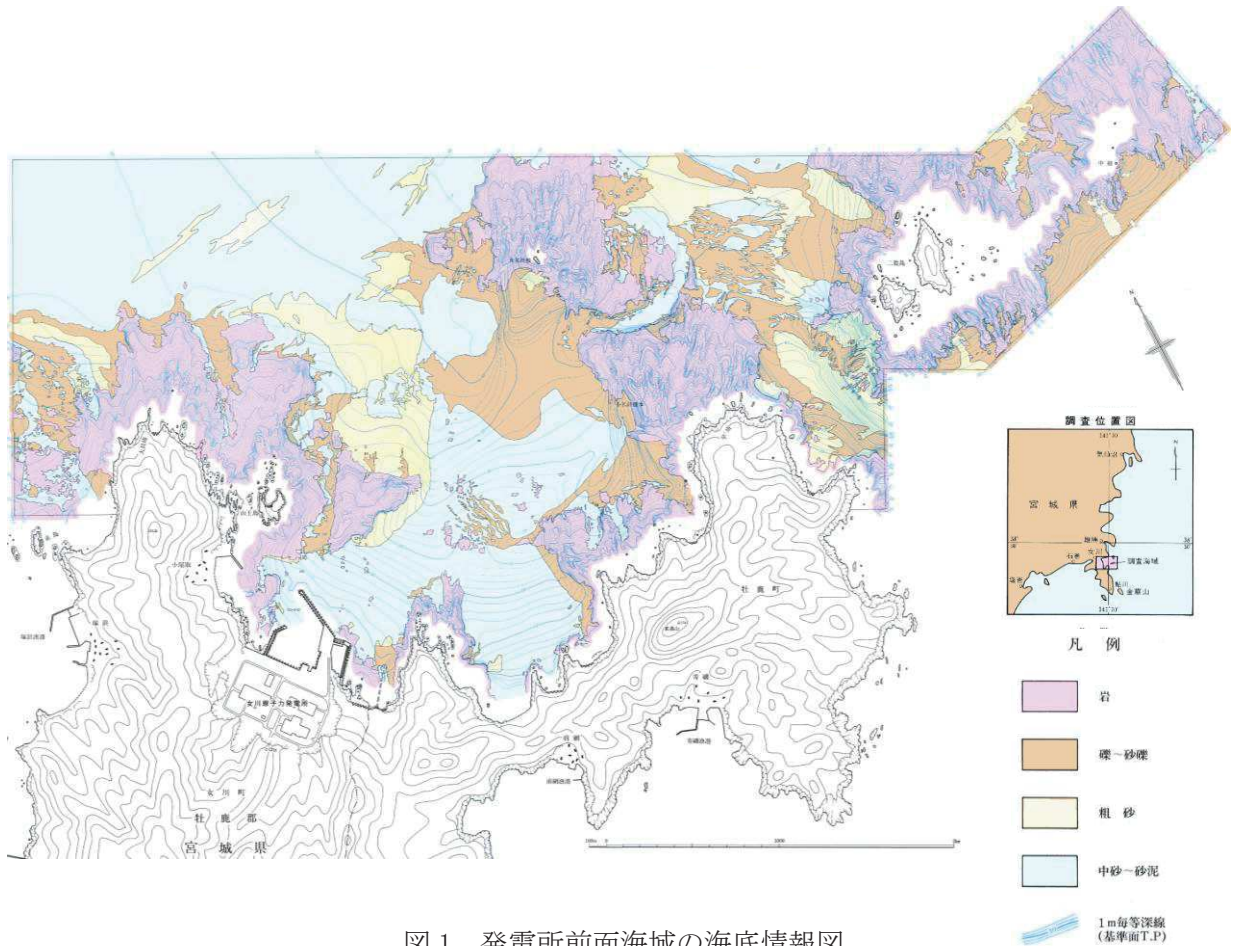


図1 発電所前面海域の海底情報図

(2) 発電所港湾内における旧表土の層厚

発電所港湾内で実施したボーリングから確認した旧表土の層厚を図2に示す。発電所港湾内の旧表土は最大で15m程度である。

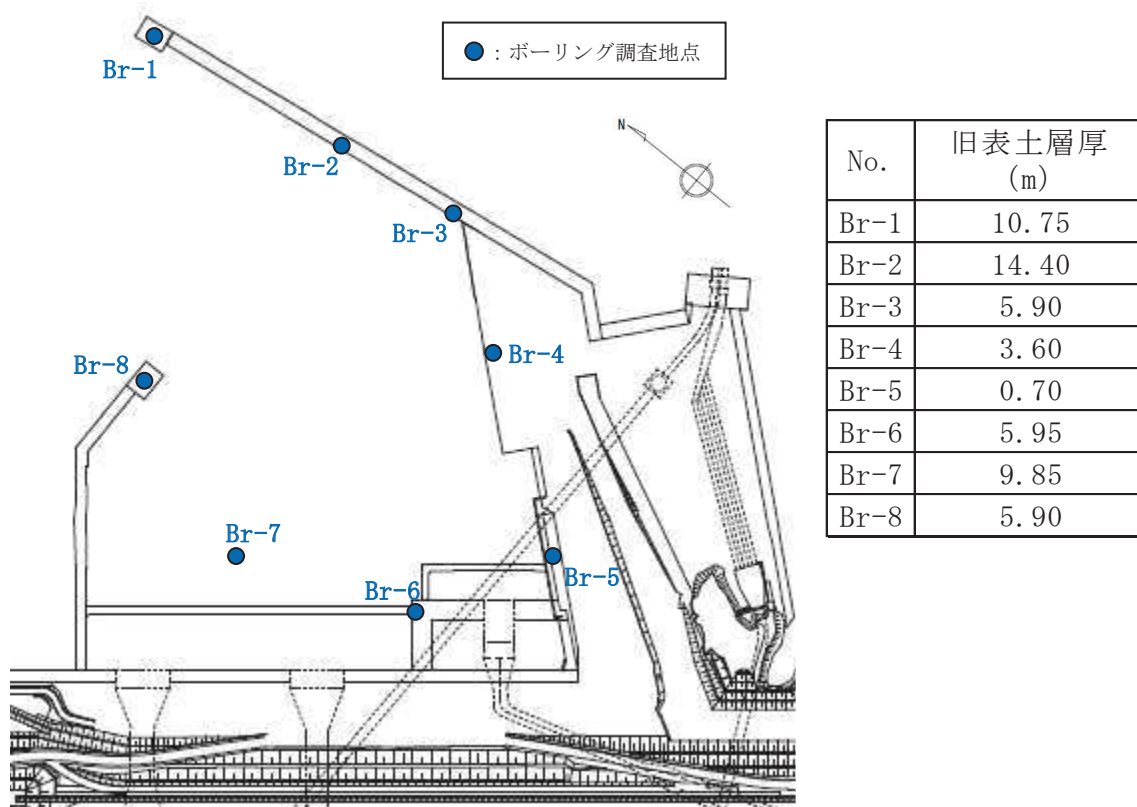


図2 発電所港湾内における旧表土の層厚

(3) 想定沈下量

前項「2. (2) 発電所港湾内における旧表土の層厚」から、発電所港湾内における旧表土の最大層厚は15m程度であることを確認した。ここでは、海域の旧表土も陸域と同様に、過剰間隙水圧消散に伴う沈下が発生すると仮定し、Ishiharaほか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沈下量を算定すると、陸域と同程度の相対密度（60%）で0.52mである（詳細は、本文「2. (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」及び本文「3. (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」に記載。）。また、港湾内の海底面は不陸が小さいことから、側方流動による沈下量は陸域より小さいと考えられる。

3. 海域の沈下が入力津波に与える影響について

(1) 検討方針

基準津波（水位上昇側）を対象に、陸域の沈下に加え、海域の沈下を考慮した場合の入力津波水位に与える影響を確認する。

海域の沈下について、発電所前面海域は岩礁が広く分布し、旧表土が分布する範囲における沈下量は最大でも 0.52m 程度であると考えられるが、図 3 に示す範囲を一律に 1m 沈下させる。なお、数値シミュレーションは、地震による防波堤の損壊による影響も考慮する。

検討ケースを表 1 に示す。

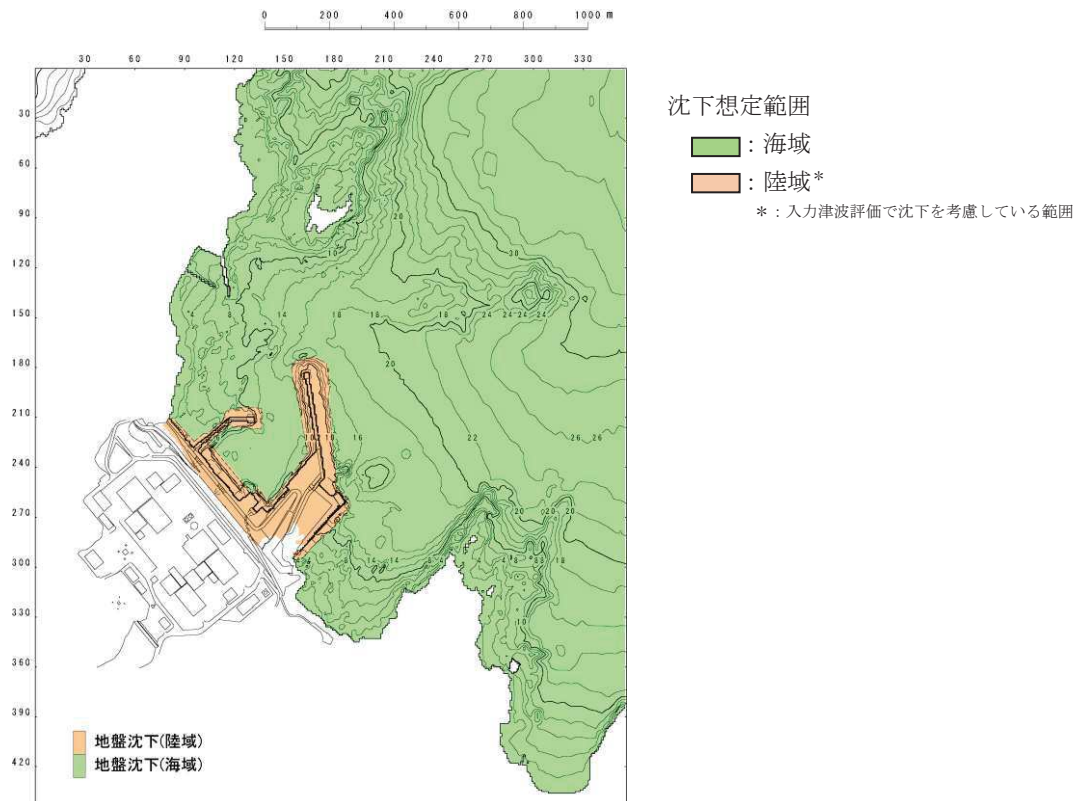


図 3 海域の沈下想定範囲

表 1 検討ケース

津波	防波堤	沈下を考慮する範囲	備考
基準津波 (水位上昇側)	あり	なし	
		陸域のみ	入力津波決定 ケース
		陸域+海域	今回検討ケース
	なし	なし	
		陸域のみ	
		陸域+海域	今回検討ケース

(2) 検討結果

解析結果（最大水位上昇量一覧）を表2に示す。検討の結果，陸域と海域の沈下を考慮した津波水位は，陸域のみの沈下を考慮した津波水位よりも小さく，入力津波水位に及ぼす影響は陸域の沈下の影響が大きいことを確認した。

以上から，入力津波評価における敷地前面の標高変化（地盤沈下）に係る不確かさは，入力津波水位に及ぼす影響が大きい陸域のみを対象とすることとした。

表2 解析結果（最大水位上昇量一覧）

津波	防波堤	沈下を考慮する範囲	最大水位上昇量 (沈下を考慮しないケースの 最大水位上昇量からの増分)	備考
基準津波 (水位上昇側)	あり	なし	+21.58m	
		陸域のみ	+22.03m	入力津波 決定ケース
			(+0.45m)	
		陸域+海域	+21.80m	今回検討 ケース
			(+0.22m)	
		なし	なし	+20.64m
	陸域のみ		+21.19m	
			(+0.55m)	
	陸域+海域	+20.84m	今回検討 ケース	
		(+0.20m)		

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。

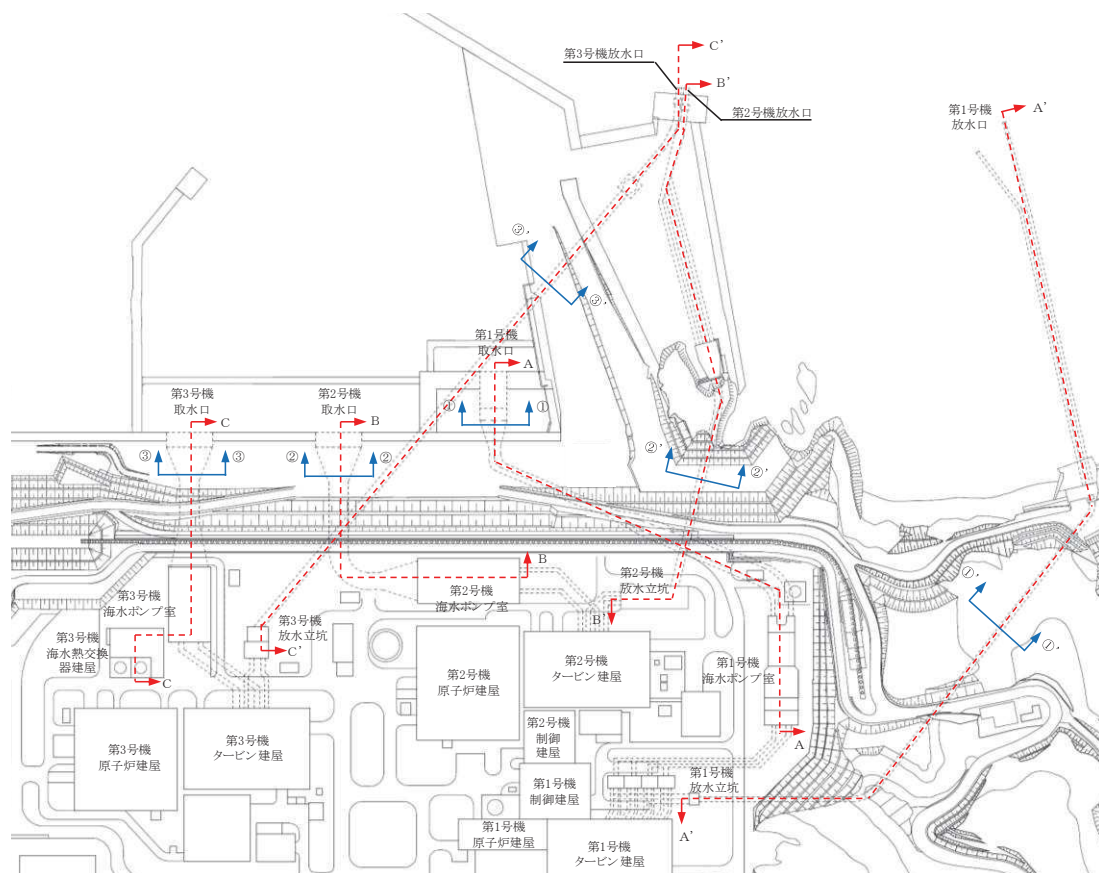


図 1.4-1 取放水路配置平面図

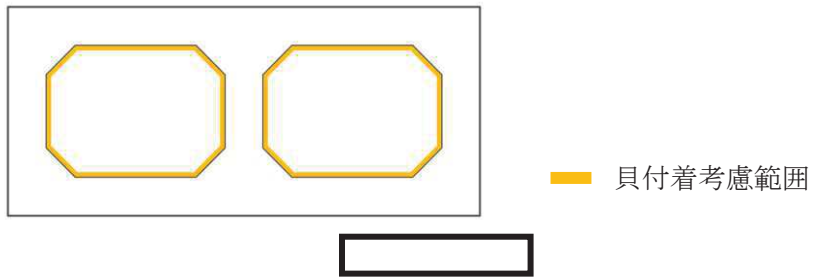


図 1.4-2 (1) 第 1 号機取水路 ①-①断面図

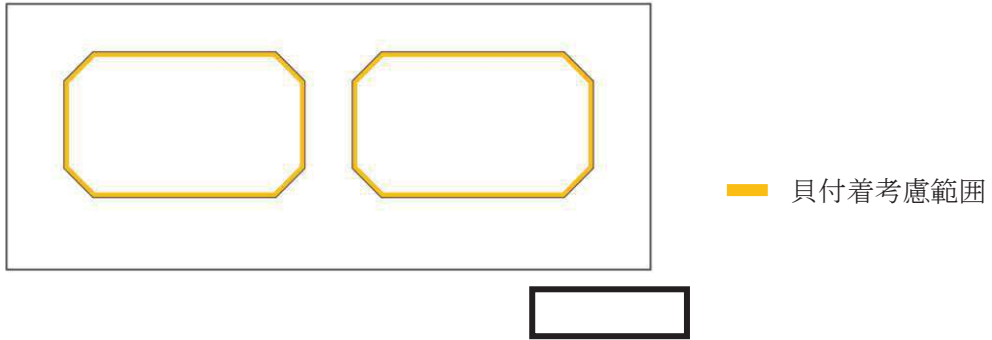


図 1.4-2 (2) 第 2 号機取水路 ②-②断面図

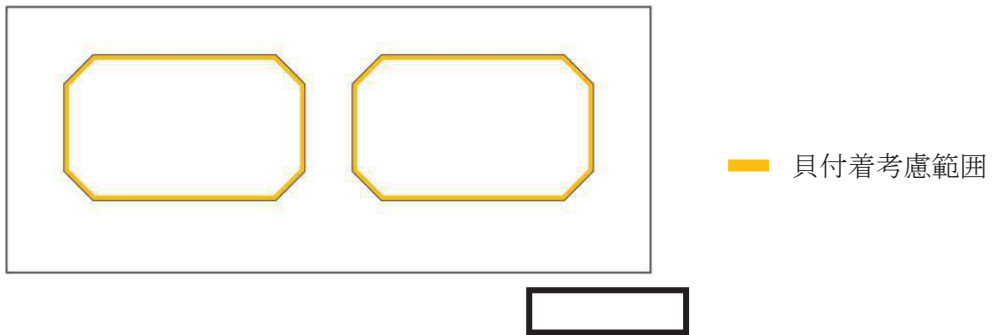


図 1.4-2 (3) 第 3 号機取水路 ③-③断面図

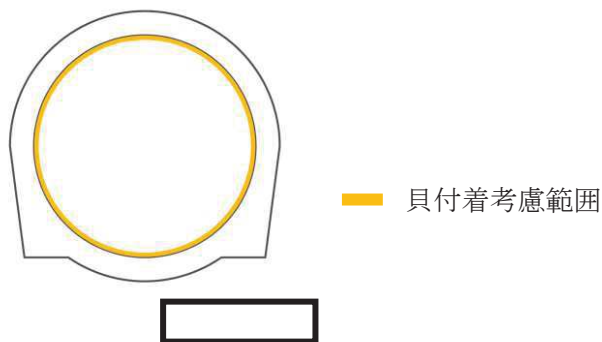


図 1.4-2 (4) 第 1 号機放水路 ①'-①' 断面図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

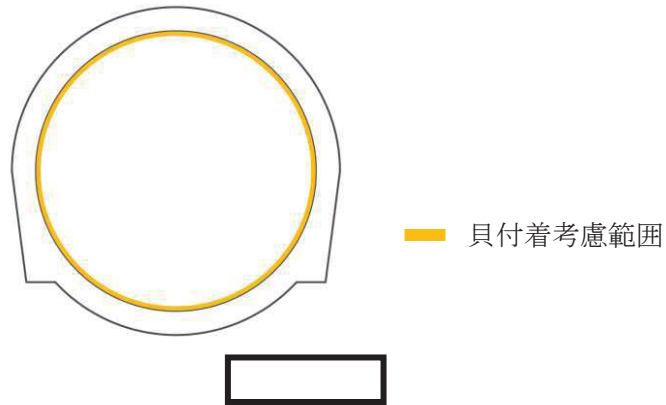


図 1.4-2 (5) 第 2 号機放水路 ②' -②' 断面図

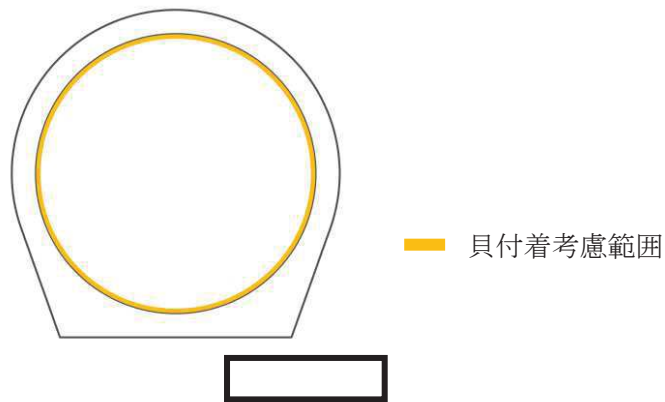


図 1.4-2 (6) 第 3 号機放水路 ③' -③' 断面図

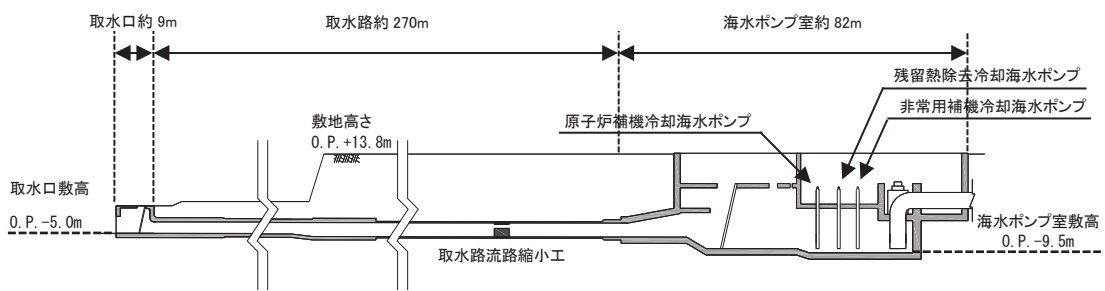


図 1.4-3 (1) 水路縦断面図 (第 1 号機取水路 A-A 断面図)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

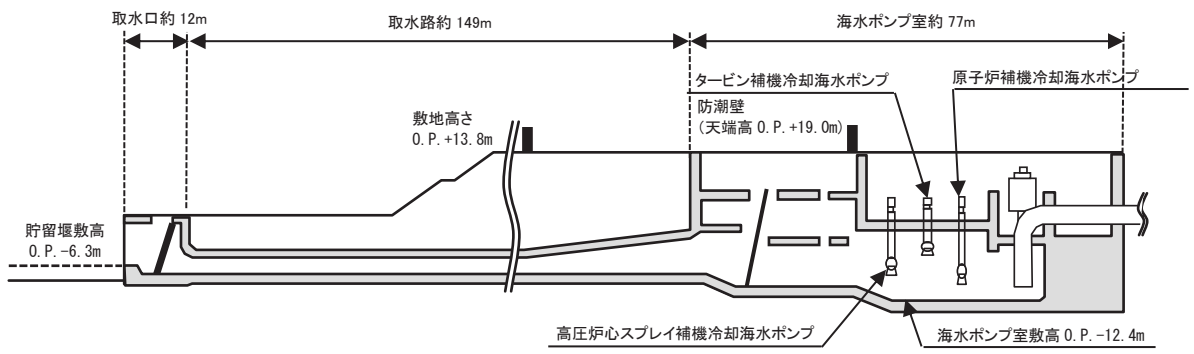


図 1.4-3 (2) 水路縦断面図 (第 2 号機取水路 B-B 断面図)

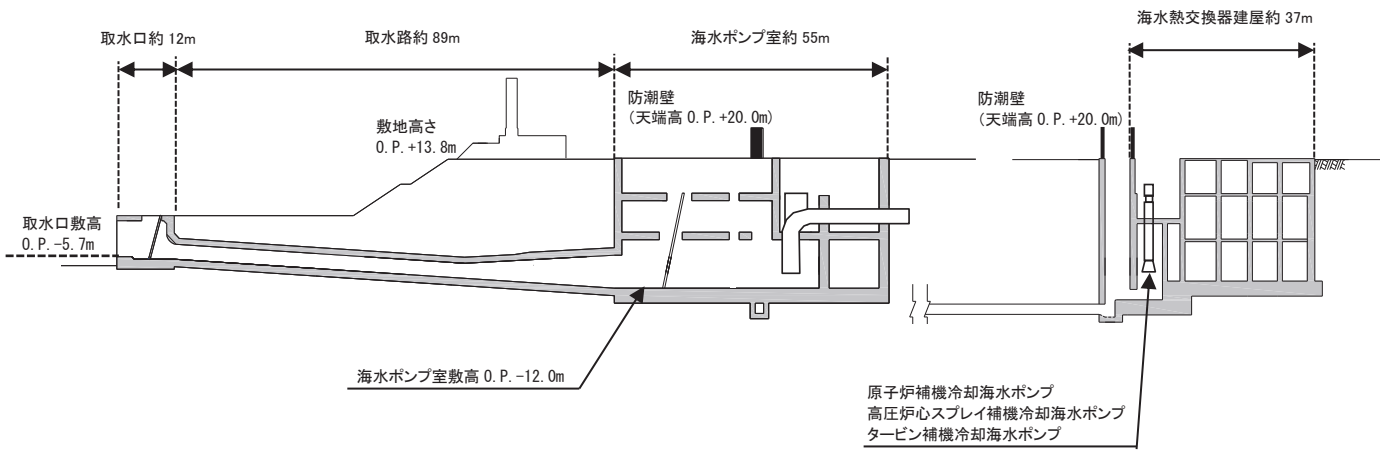


図 1.4-3 (3) 水路縦断面図 (第 3 号機取水路 C-C 断面図)

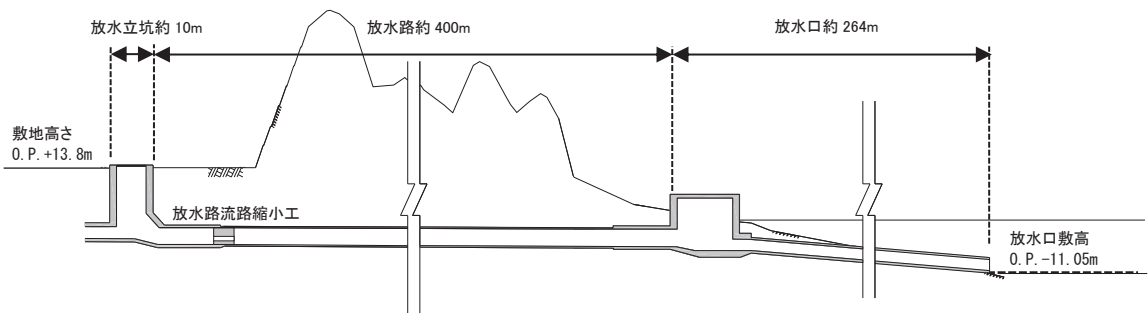


図 1.4-3 (4) 水路縦断面図 (第 1 号機放水路 A'-A' 断面図)

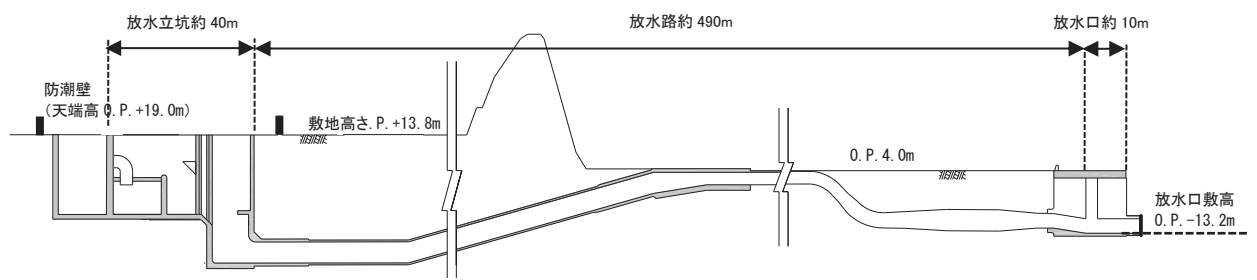


図 1.4-3 (5) 水路縦断面図 (第 2 号機放水路 B' -B' 断面図)

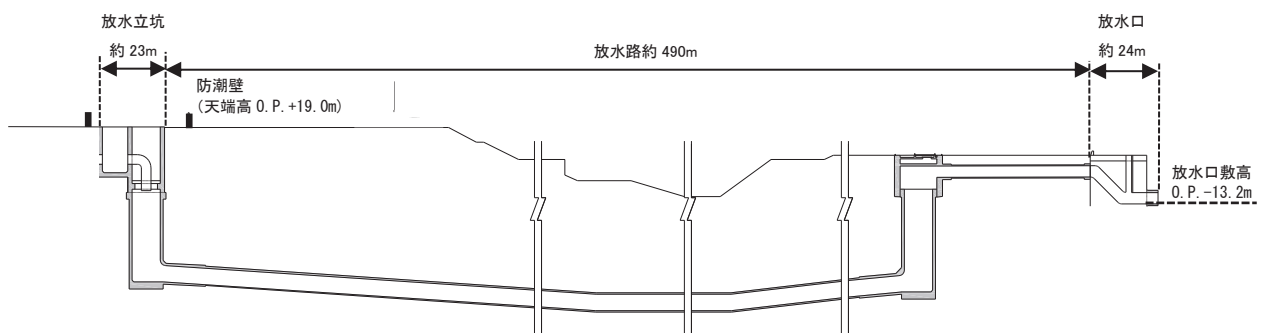


図 1.4-3 (6) 水路縦断面図 (第 3 号機放水路 C' -C' 断面図)

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) (=100m/s (土木学会 (2016)))	g	: 重力加速度 (m/s ²)
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: -)

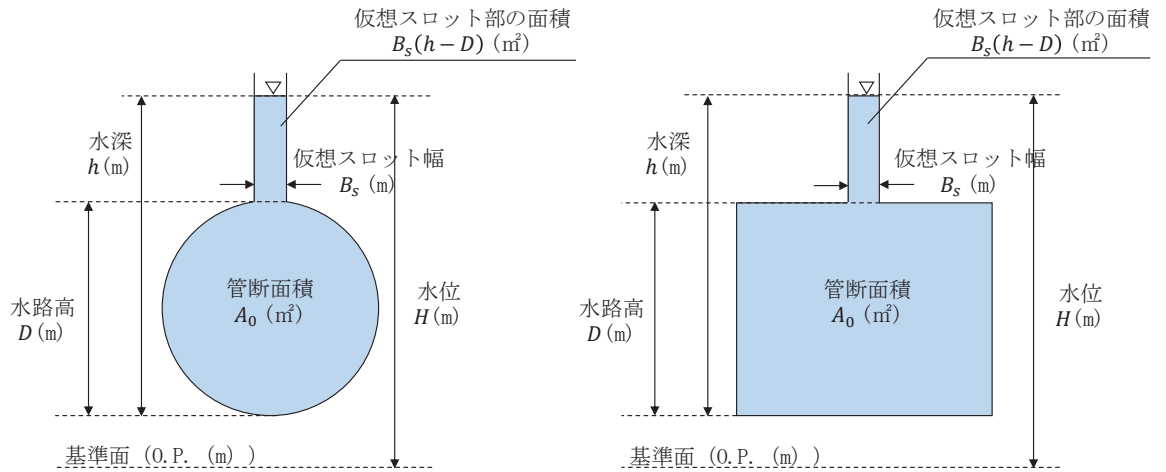
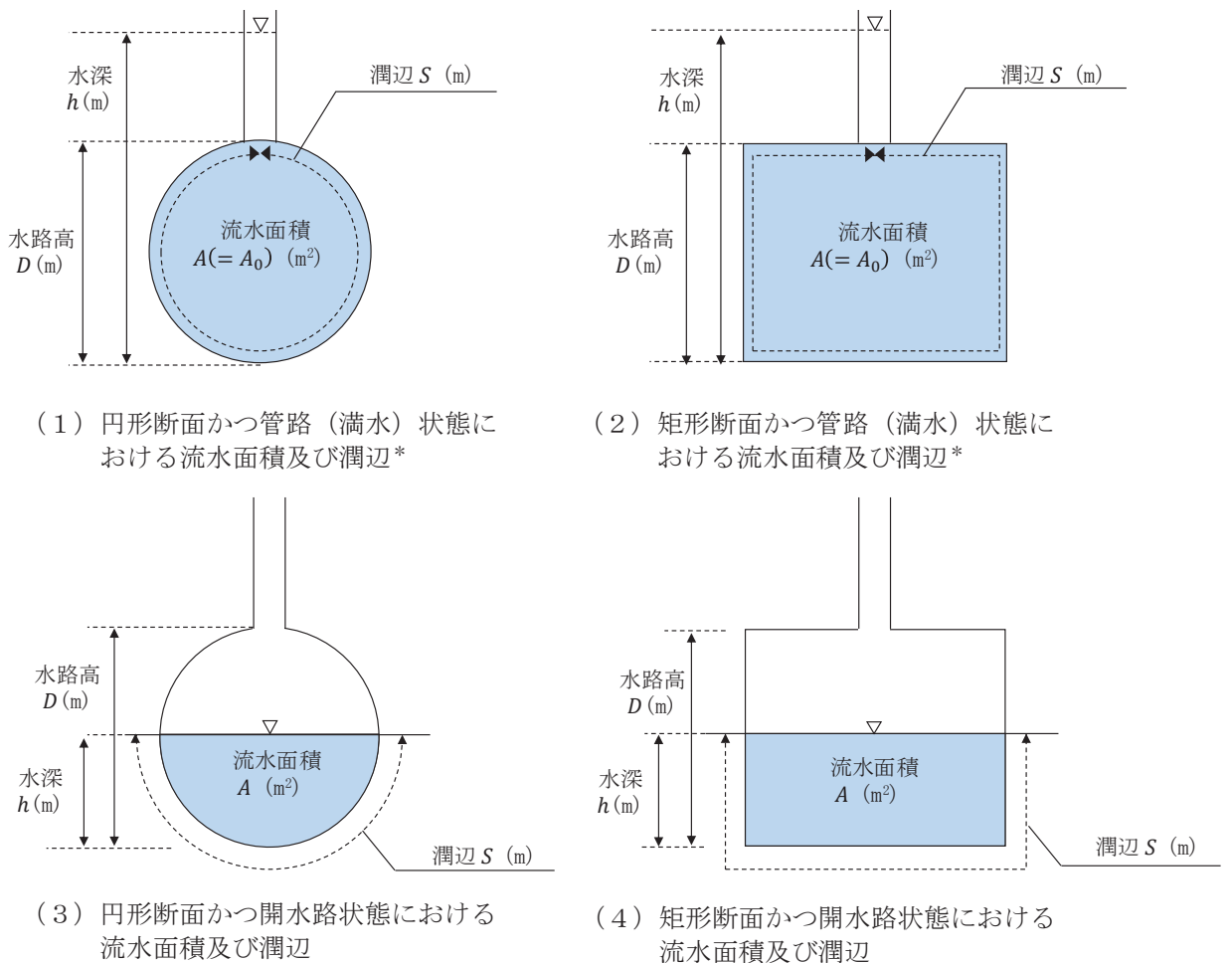


図 1.4-4 各変数の取り扱い（左：円形断面，右：矩形断面）

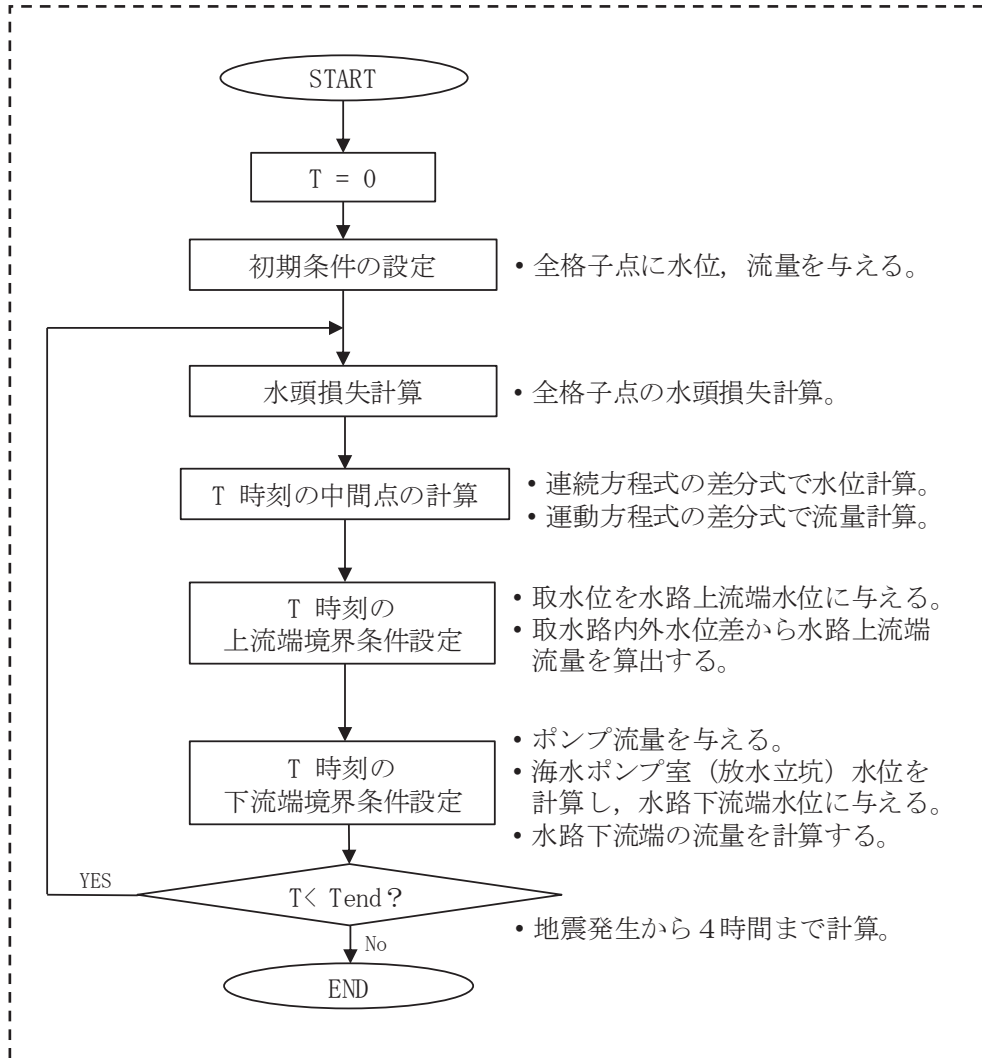


*：摩擦損失を安全側に算定するため、潤辺の算定にあたってはスロット部を計上しない。

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。

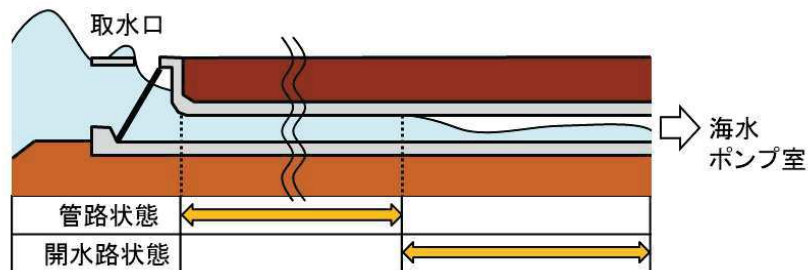


図 1.4-6 津波襲来時の管路状態の概念図

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。

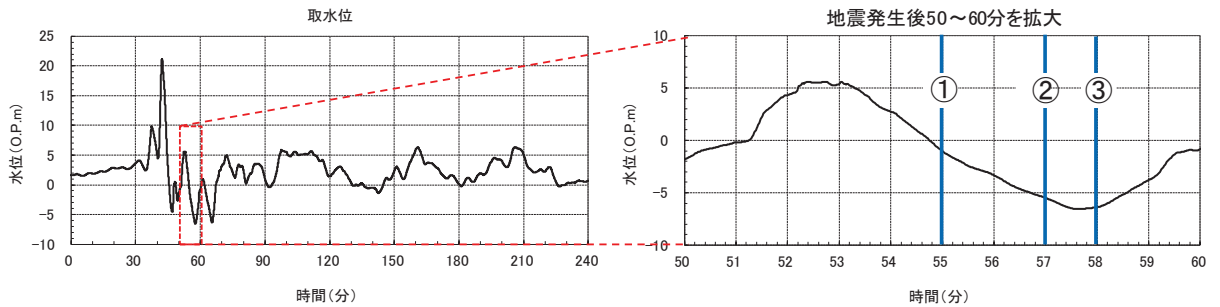


図1.4-7 基準津波（水位上昇側）による第2号機取水口前面時刻歴波形

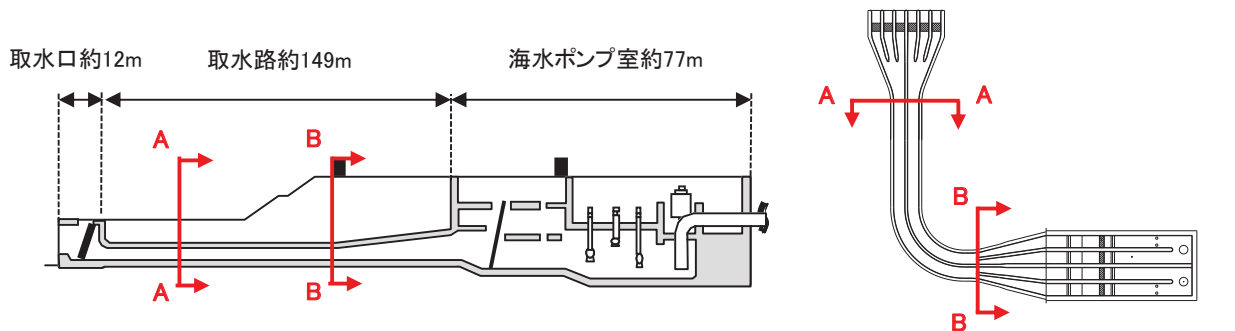


図1.4-8 (1) 第2号機取水設備縦断面図

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*。

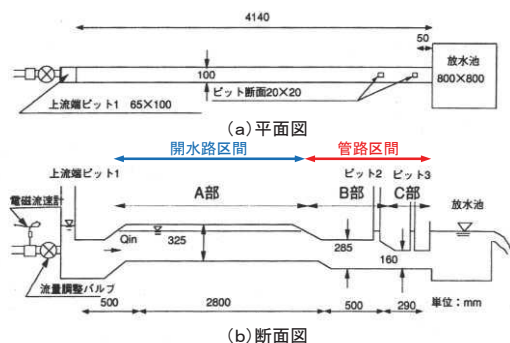


図 1.4-9 水理模型実験の概要

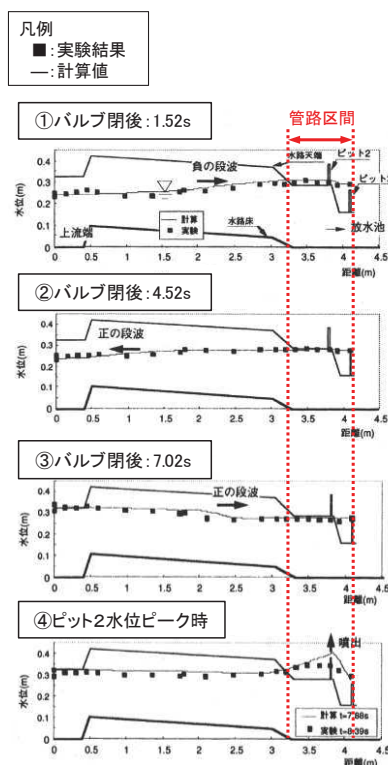


図 1.4-10 水理模型実験結果と計算値の比較

*：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：1m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。

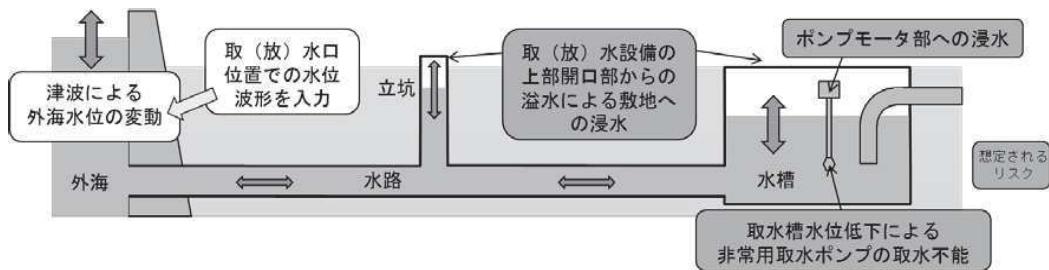


図 1.4-11 管路解析の概要図（土木学会（2016））

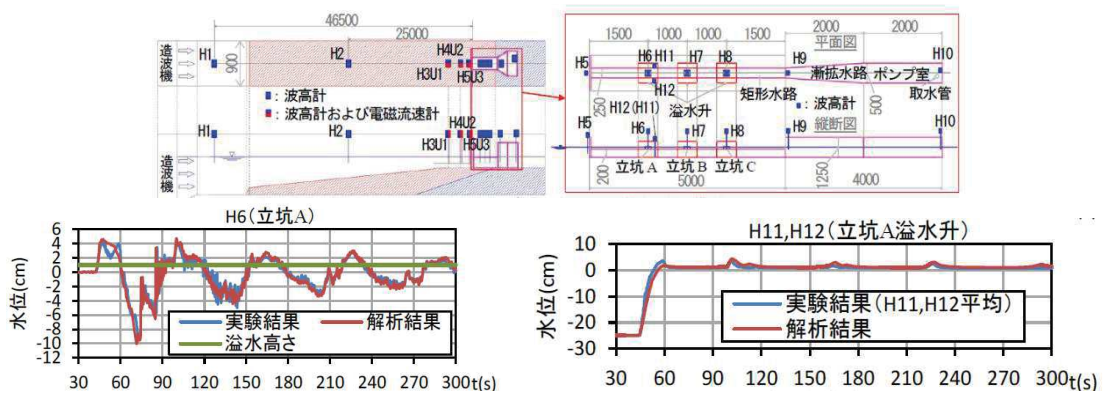


図 1.4-12 佐藤ほか（2017）の水理模型実験装置及び解析結果と実験結果との比較

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), p.81~82
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), p.82~83
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), p.83~84
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), p.86~88
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), p.94~96
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), p.290~293

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

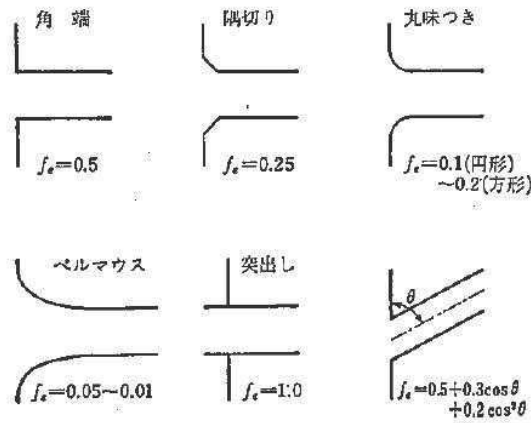


図 1.4-13 流入口形状と流入損失係数 (千秋信一 (1967), p81~82)

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_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_{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)

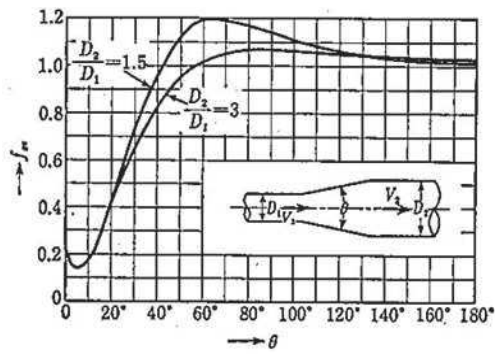


図 1.4-14 漸拡損失係数 (千秋信一 (1967), p. 83) *

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。)

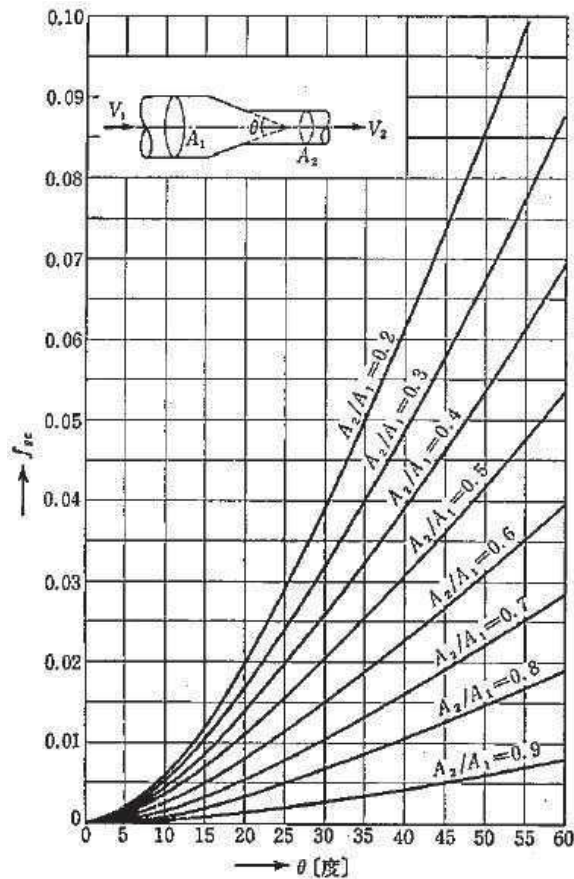


図 1.4-15 漸縮損失係数 (千秋信一 (1967), p83~84) *

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_{be}	0.022	0.073	0.183	0.365	0.99	1.86

α : 屈折角

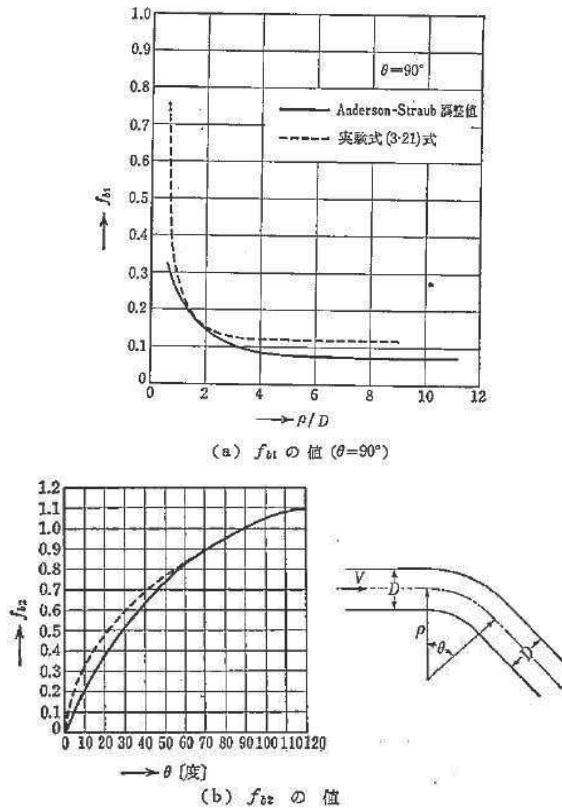


図 1.4-16 曲がりの損失係数 (千秋信一 (1967), p86~88)

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。

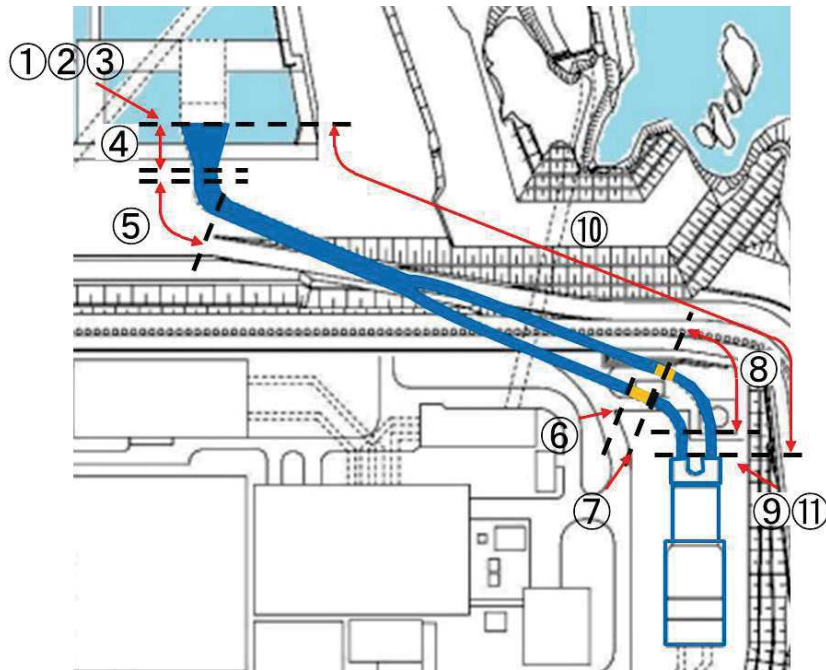


図 1.4-17 (1) 損失発生位置 (平面図)

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。

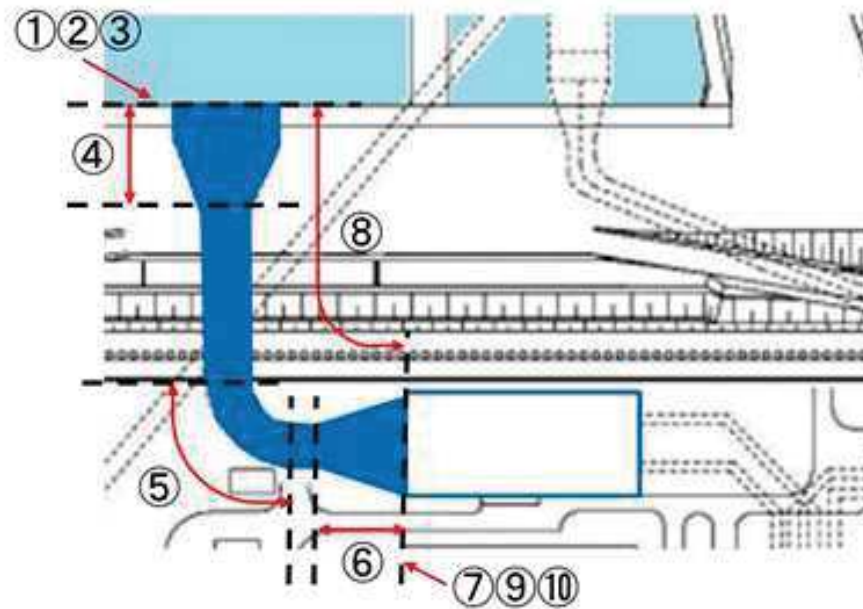


図 1.4-17 (2) 損失発生位置 (平面図)

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。

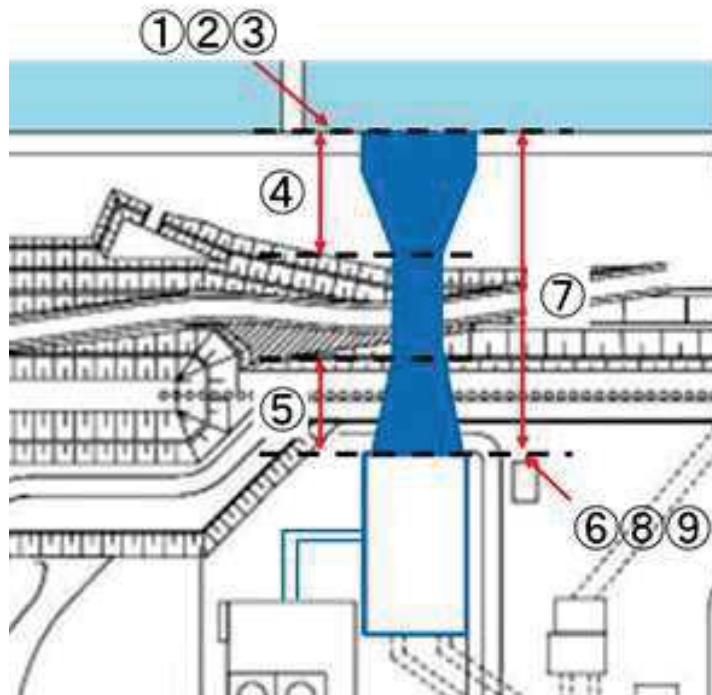


図 1.4-17 (3) 損失発生位置 (平面図)

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。

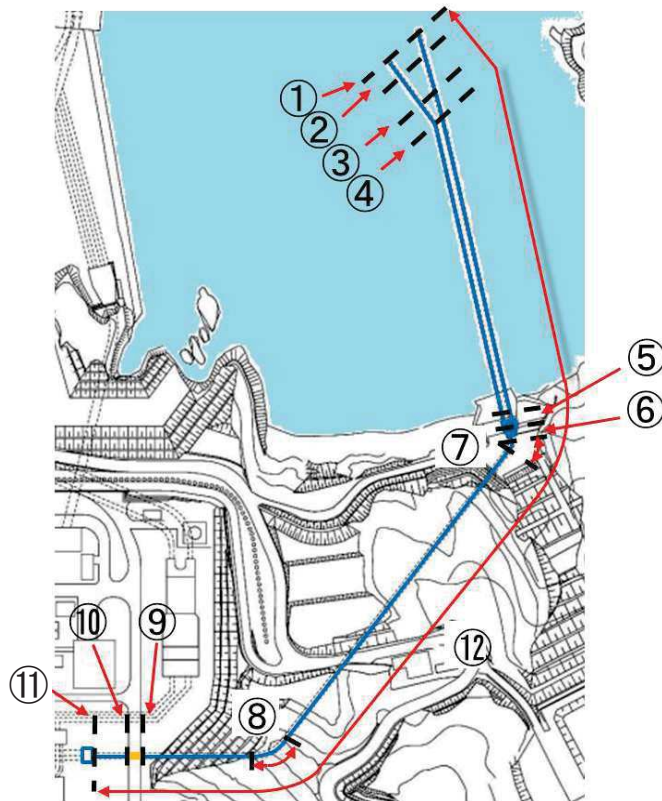


図 1.4-17 (4) 損失発生位置 (平面図)

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。

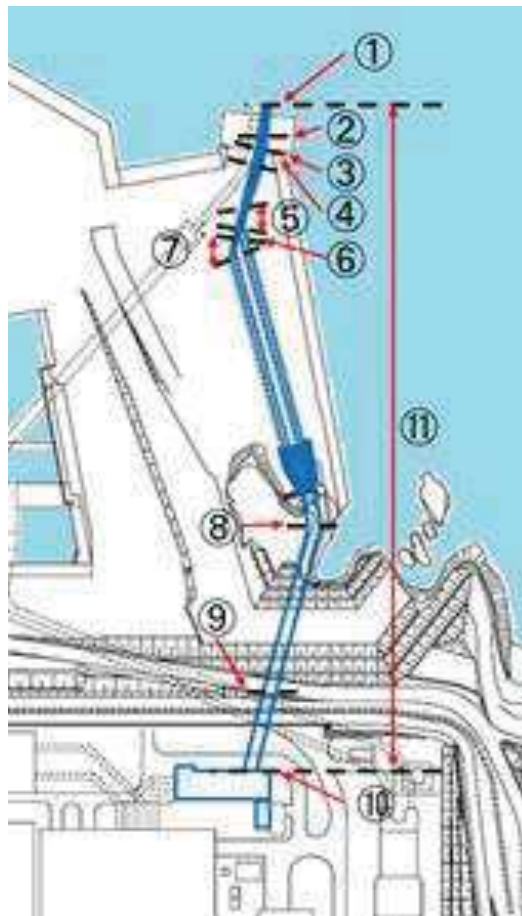


図 1.4-17 (5) 損失発生位置 (平面図)

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。

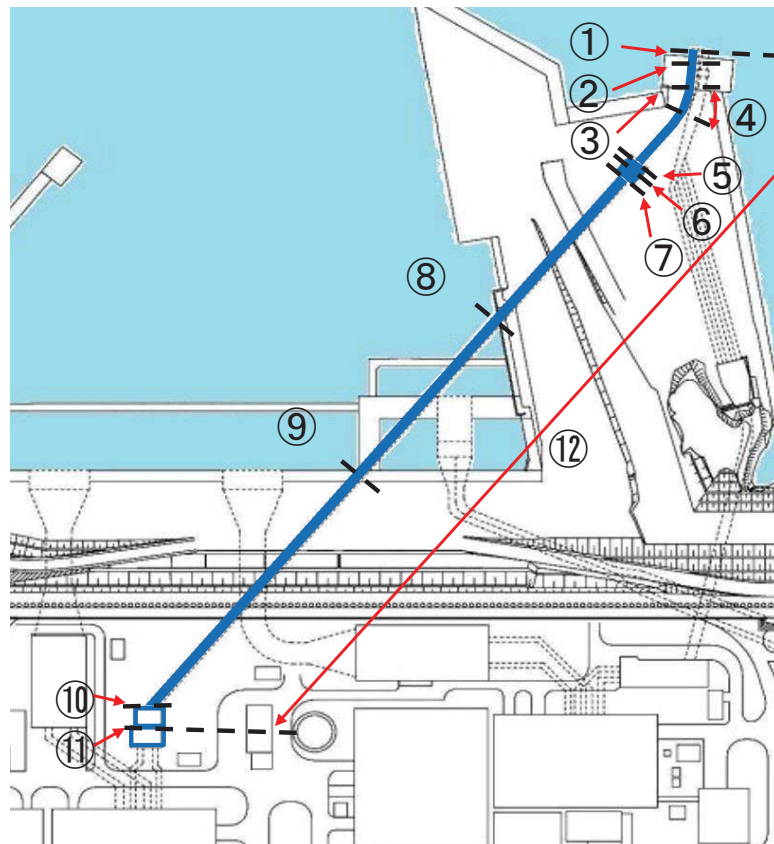


図 1.4-17 (6) 損失発生位置 (平面図)

(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。

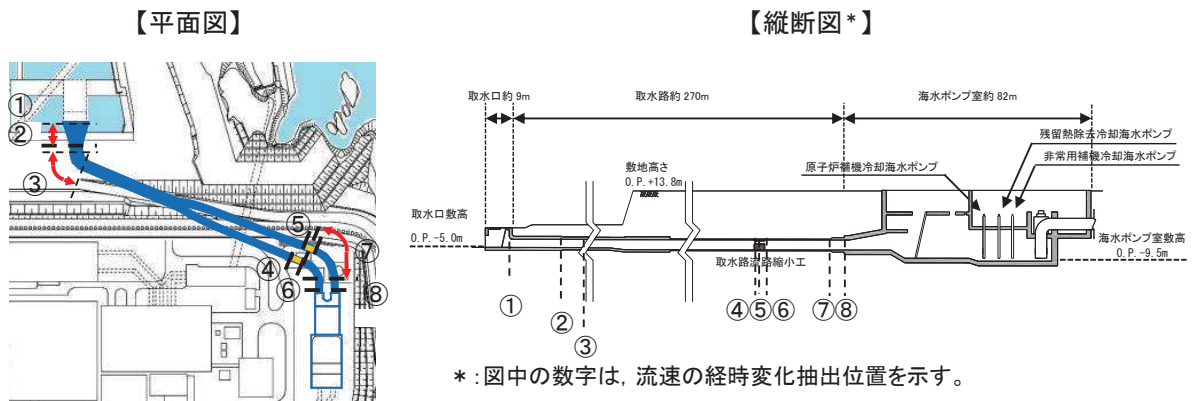


図 1.4-18 (1) 水の流れ確認位置 (第 1 号機取水路)

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)

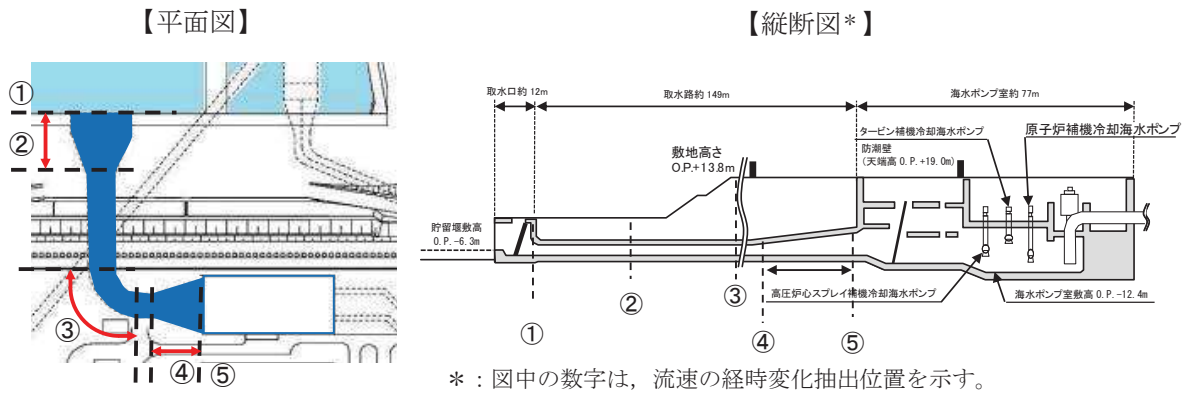


図 1.4-18 (2) 水の流れ確認位置 (第 2 号機取水路)

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)

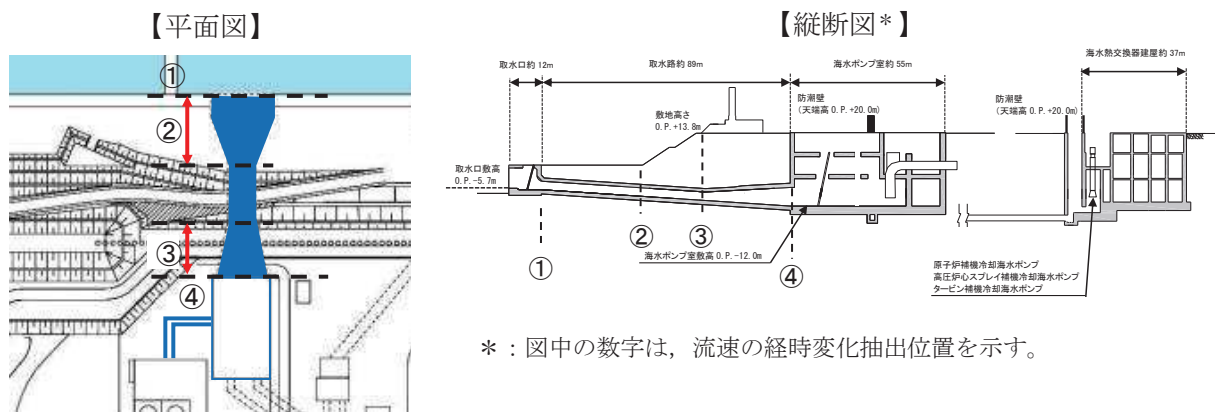


図 1.4-18 (3) 水の流れ確認位置 (第3号機取水路)

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)

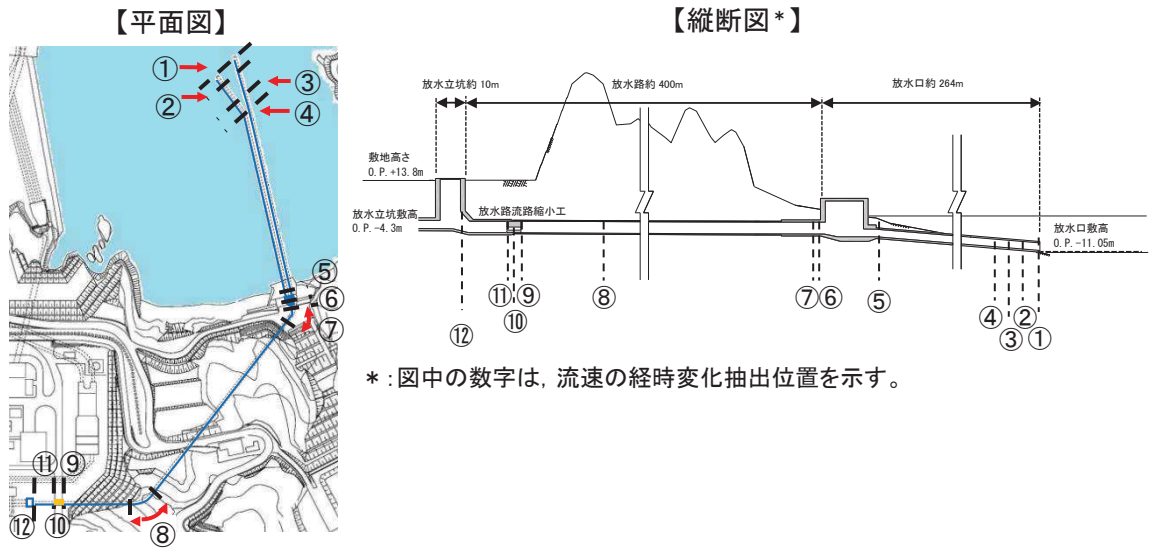


図 1.4-18 (4) 水の流れ確認位置 (第 1 号機放水路)

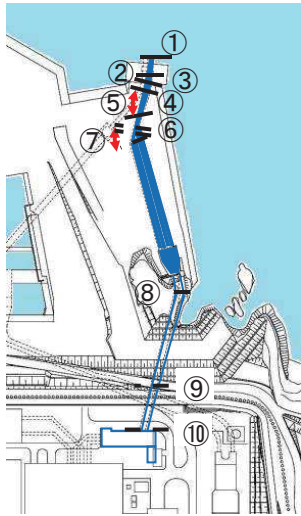
表 1.4-12 (4) レイノルズ数確認結果 (第 1 号機放水路)

(補機冷却系海水ポンプ通常運転 : 1,920m³/hr)

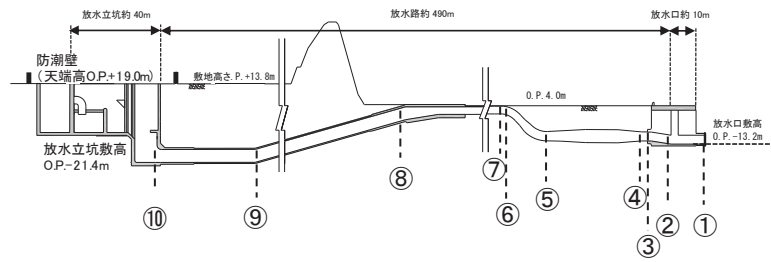
区分	位置	位置* (m)	断面積 (m ²)	流速 (m/s)	レイノルズ数
第 1 号機 放水路	①流入／流出損失考慮位置	0.00	7.69	0.07	2.17E+05
	②漸拡／漸縮損失考慮位置	3.00～6.00	7.69	0.07	2.17E+05
	③屈折損失考慮位置	26.00	12.46	0.04	1.70E+05
	④屈折損失考慮位置	32.00	12.50	0.04	1.70E+05
	⑤漸拡／漸縮損失考慮位置	267.37～271.67	12.37	0.04	1.71E+05
	⑥漸縮／漸拡損失考慮位置	271.67～277.97	15.26	0.03	1.54E+05
	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)

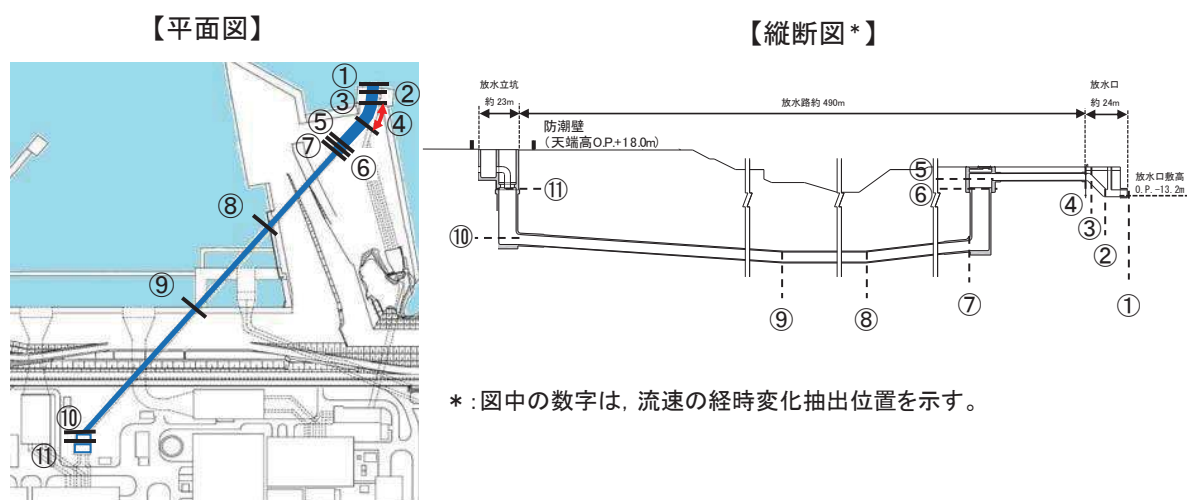


図 1.4-18 (6) 水の流れ確認位置 (第3号機放水路)

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。

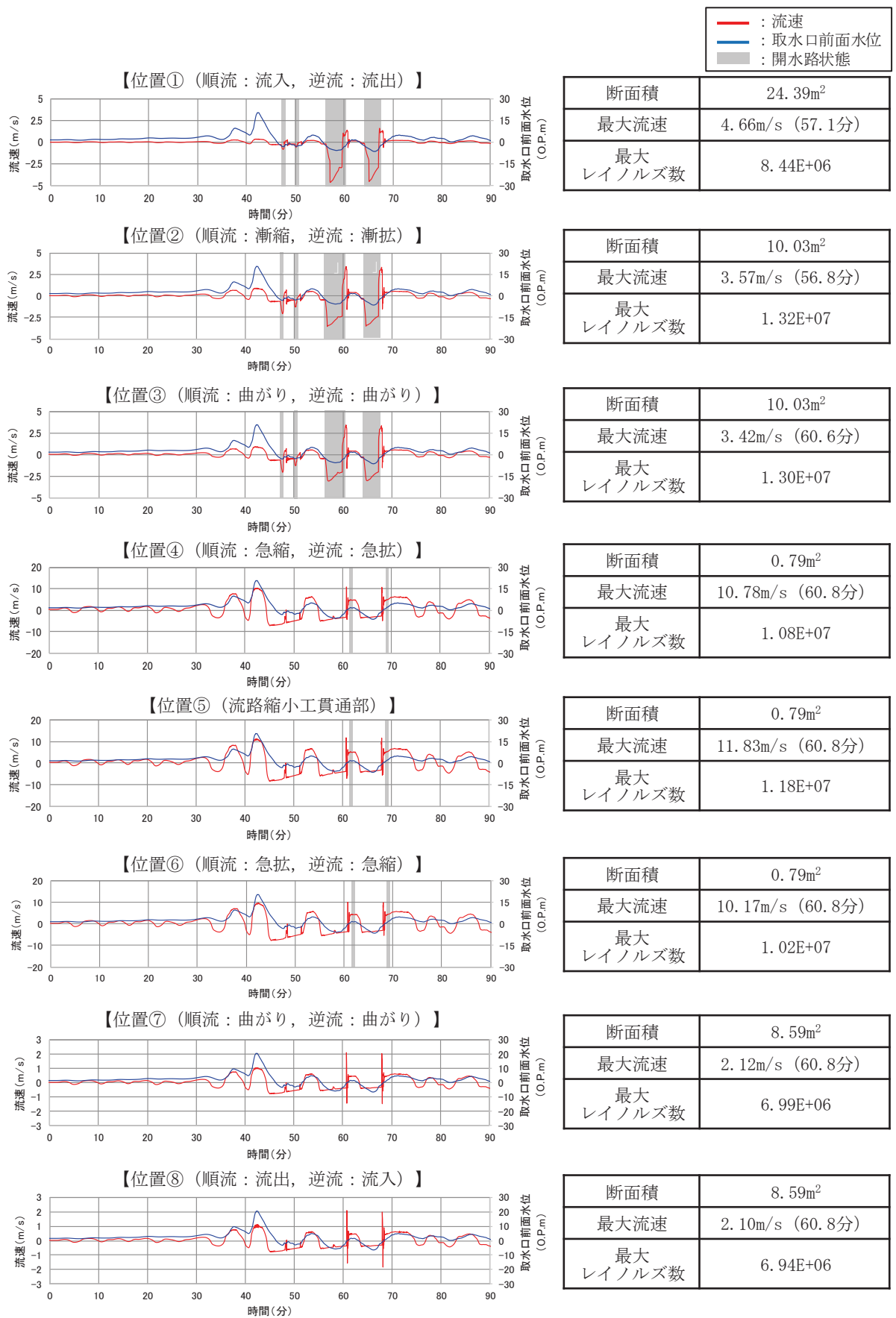


図 1.4-19 (1) 流速の経時変化 (第 1 号機取水路)

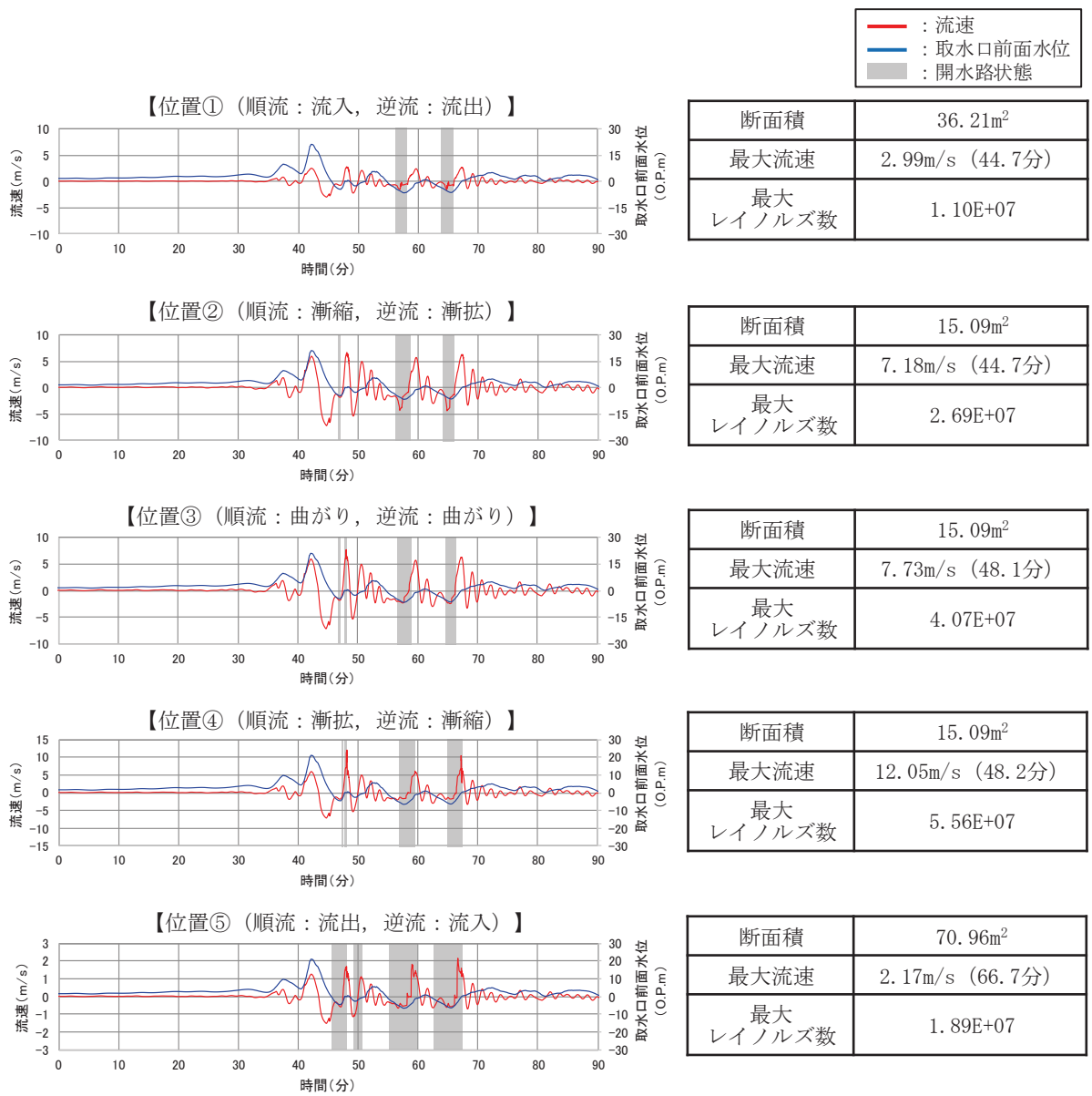


図 1.4-19 (2) 流速の経時変化 (第2号機取水路)

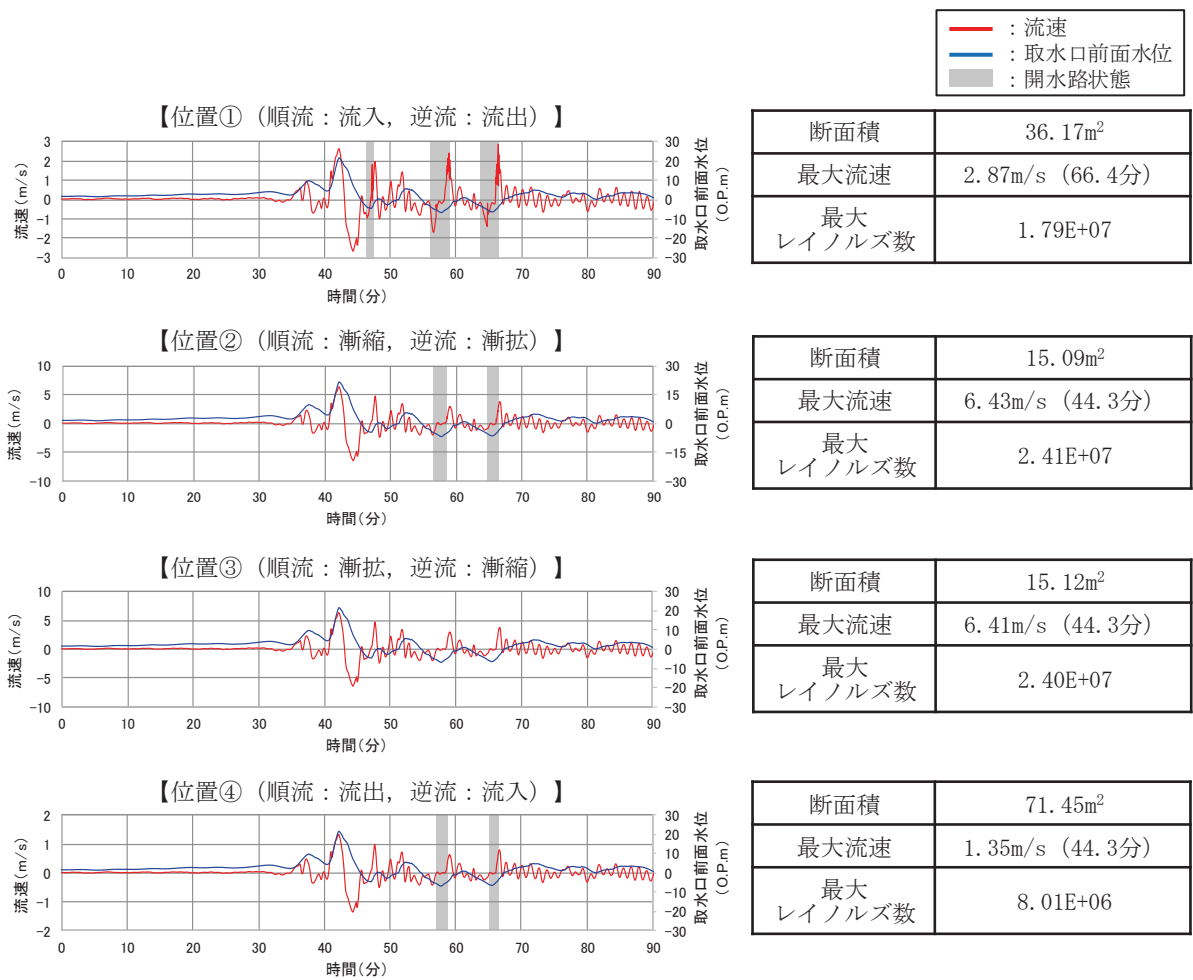


図 1.4-19 (3) 流速の経時変化（第3号機取水路）

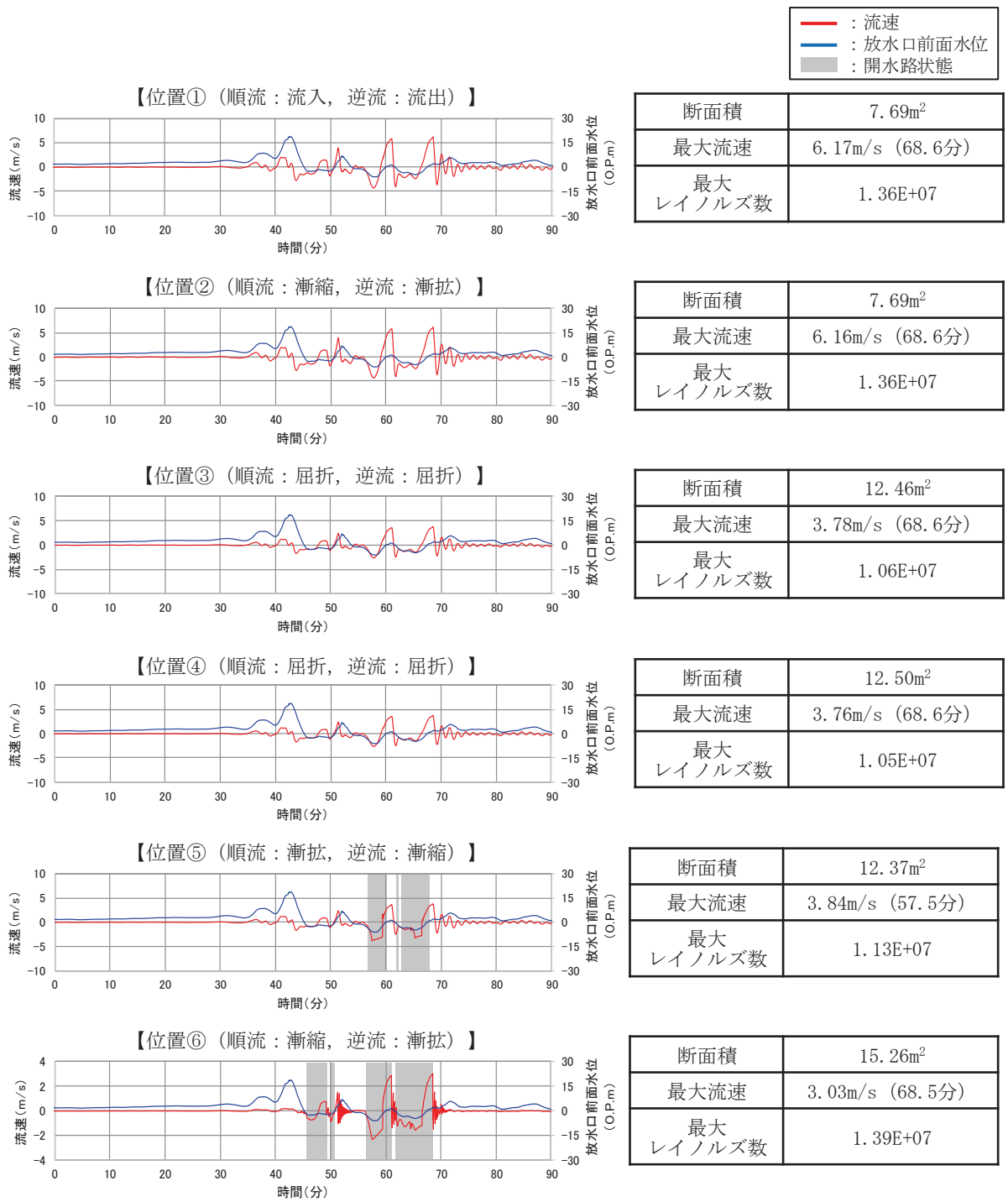


図 1.4-19 (4) 流速の経時変化 (第1号機放水路 (1))

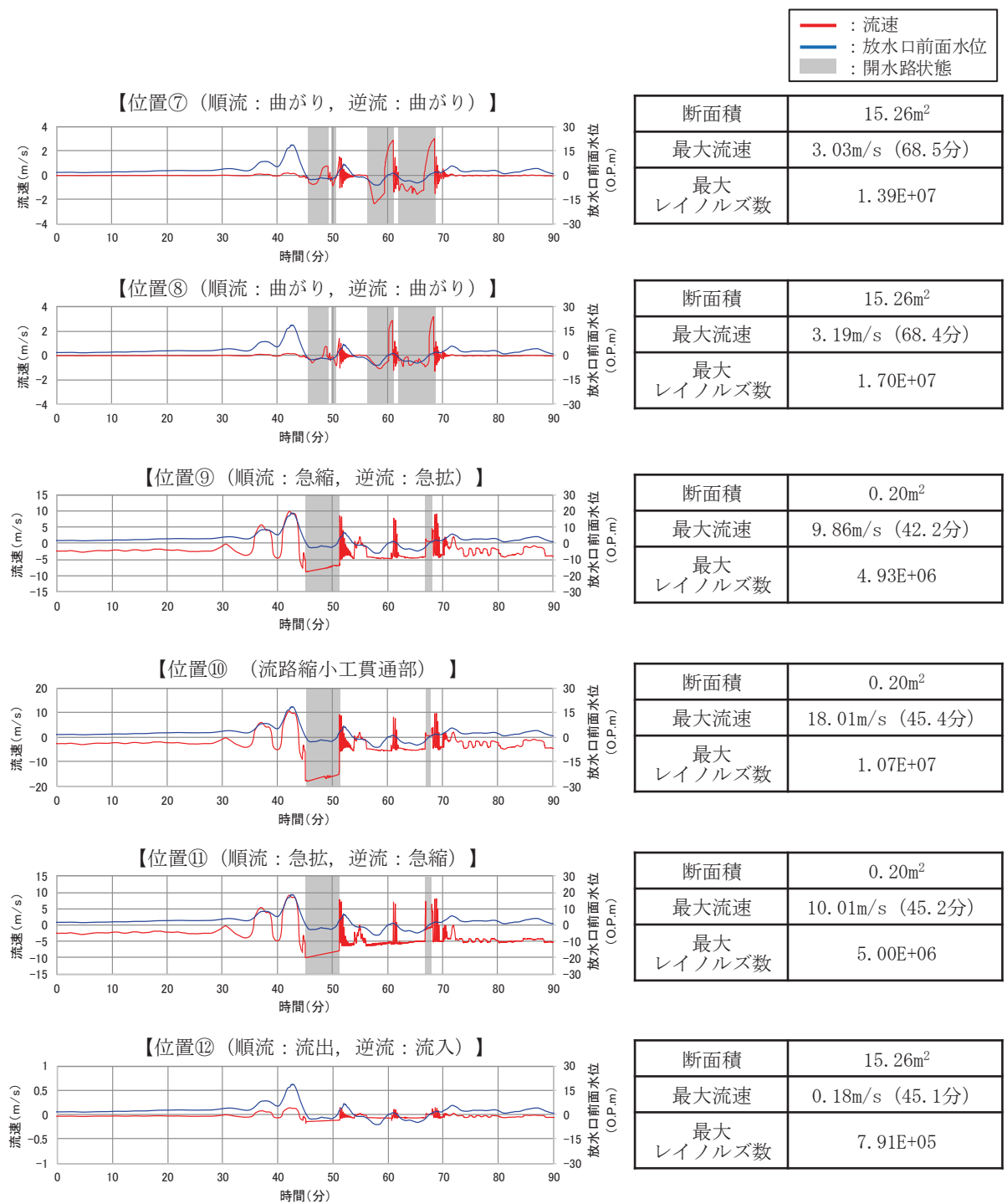


図 1.4-19 (5) 流速の経時変化 (第1号機放水路 (2))

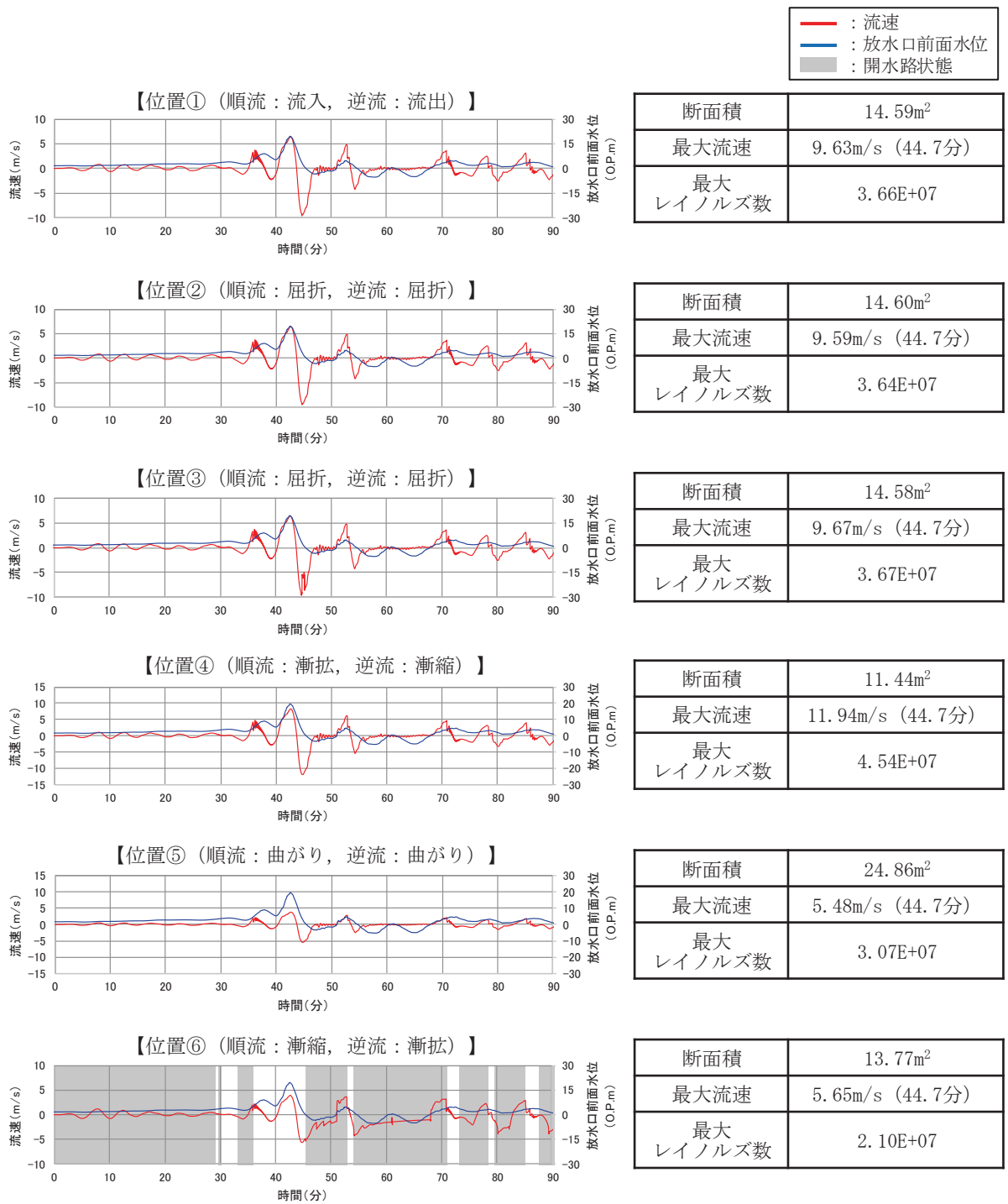


図 1.4-19 (6) 流速の経時変化 (第2号機放水路 (1))

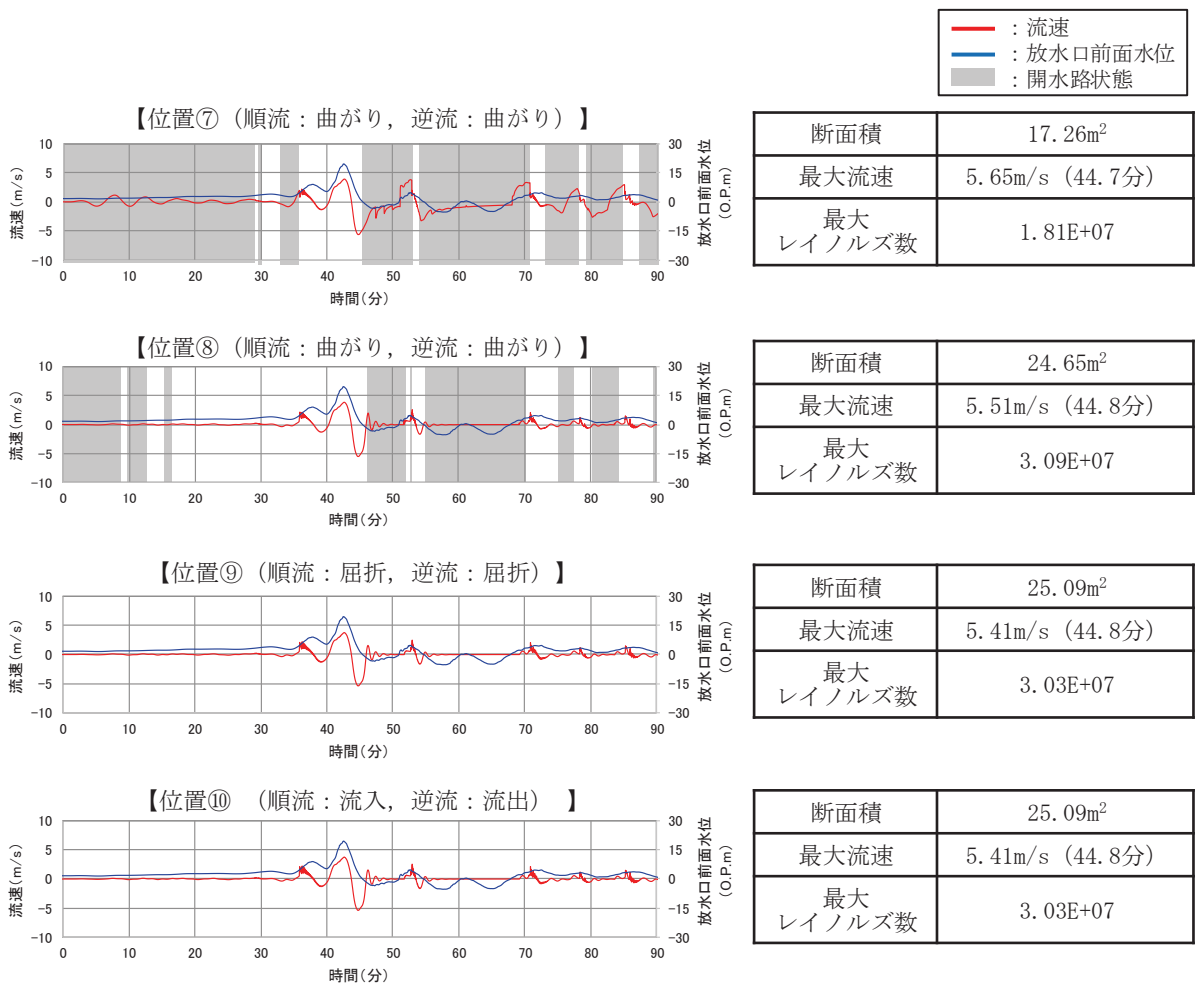


図 1.4-19 (7) 流速の経時変化 (第2号機放水路 (2))

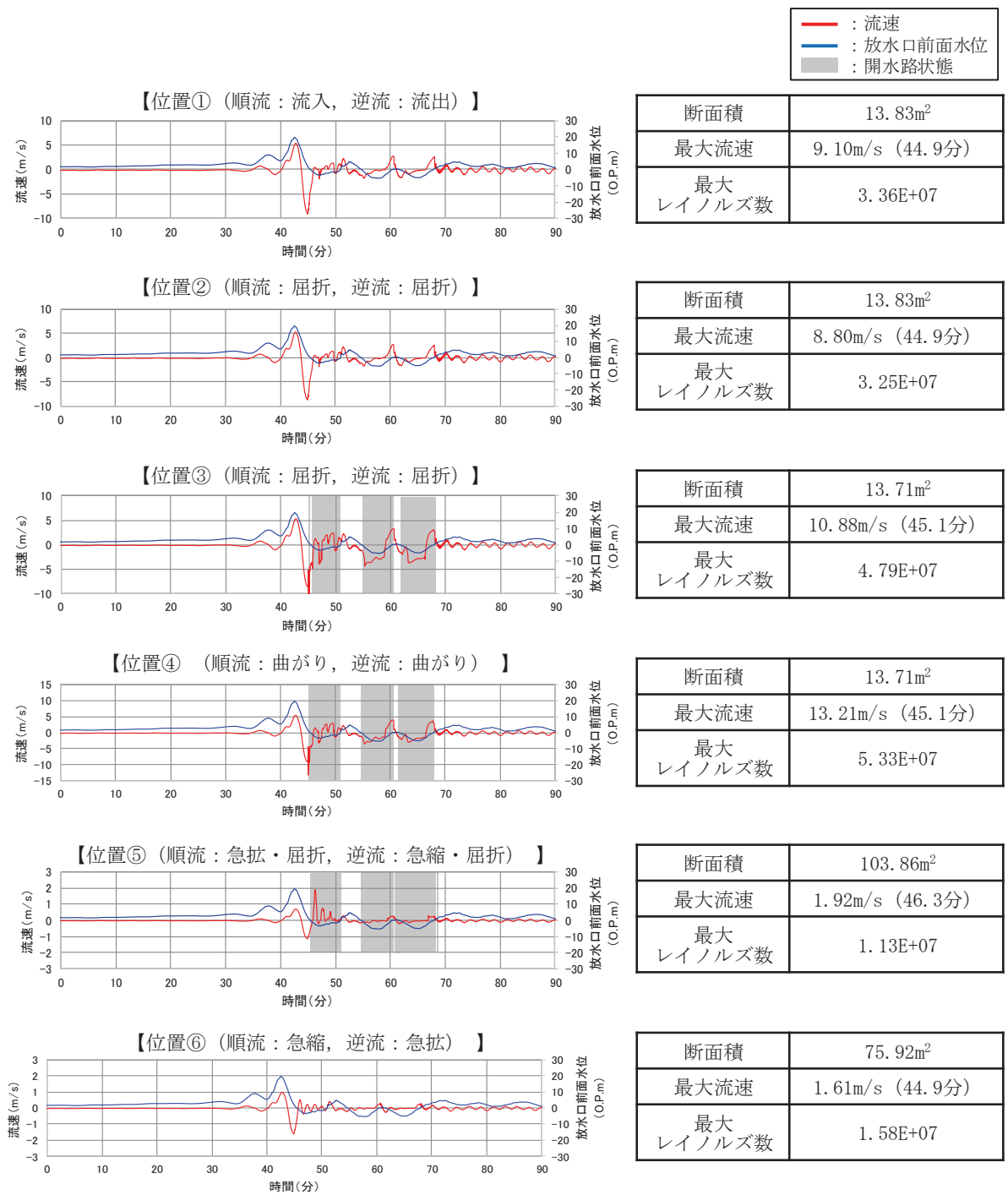


図 1.4-19 (8) 流速の経時変化 (第3号機放水路 (1))

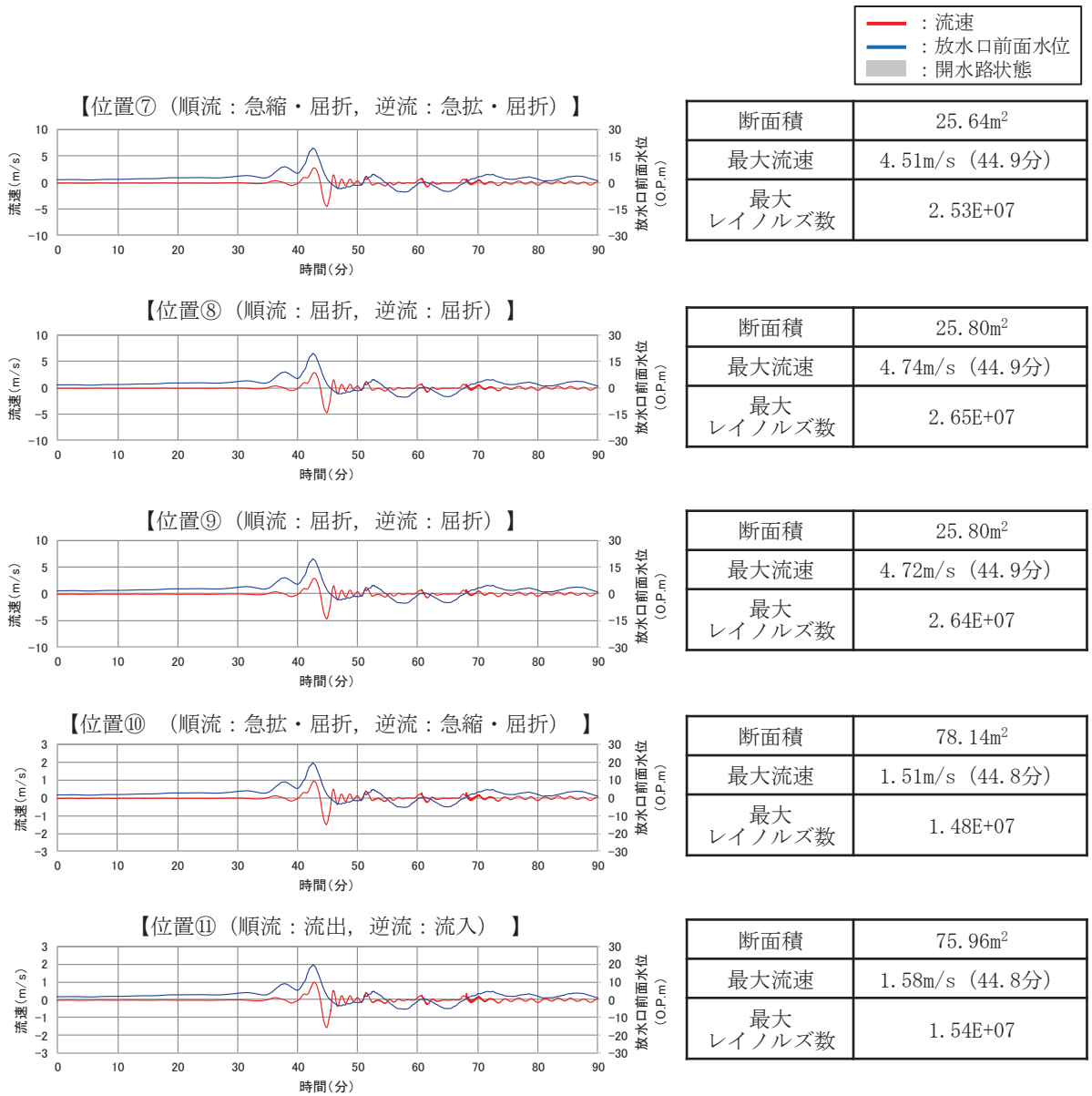


図 1.4-19 (9) 流速の経時変化（第3号機放水路（2））

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

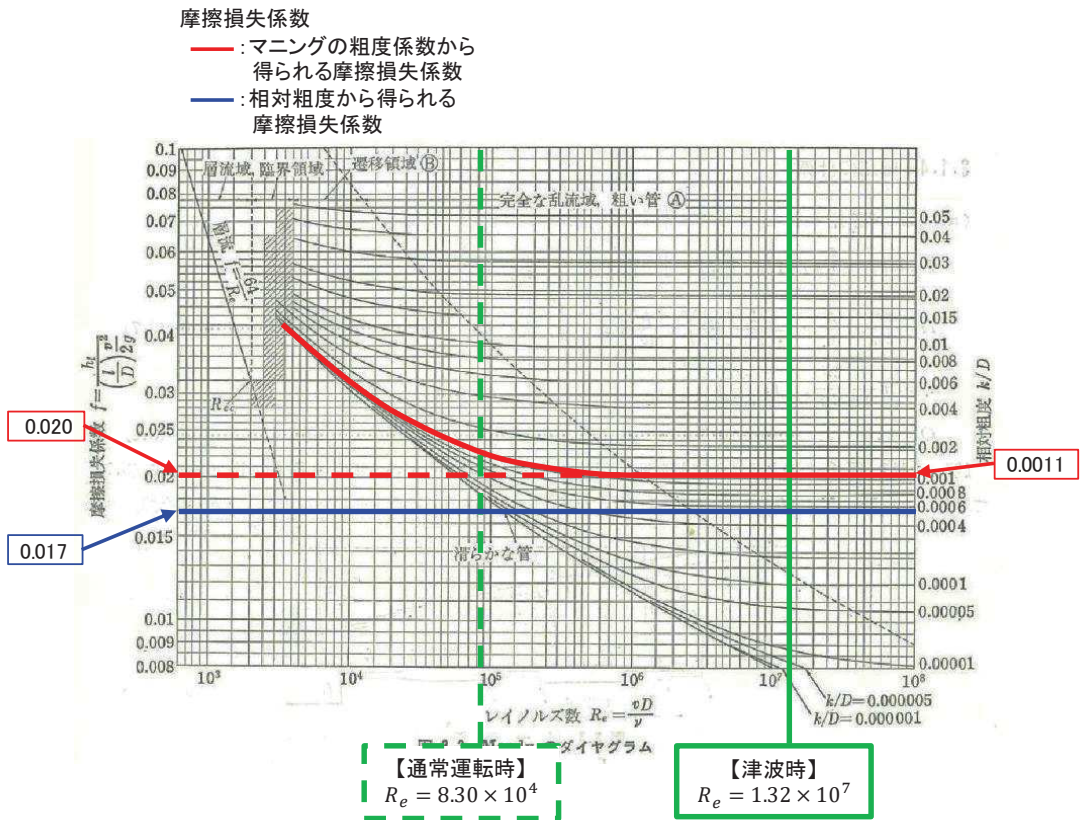


図 1.4-20 (1) 第 1 号機取水路：漸縮／漸拡損失考慮位置

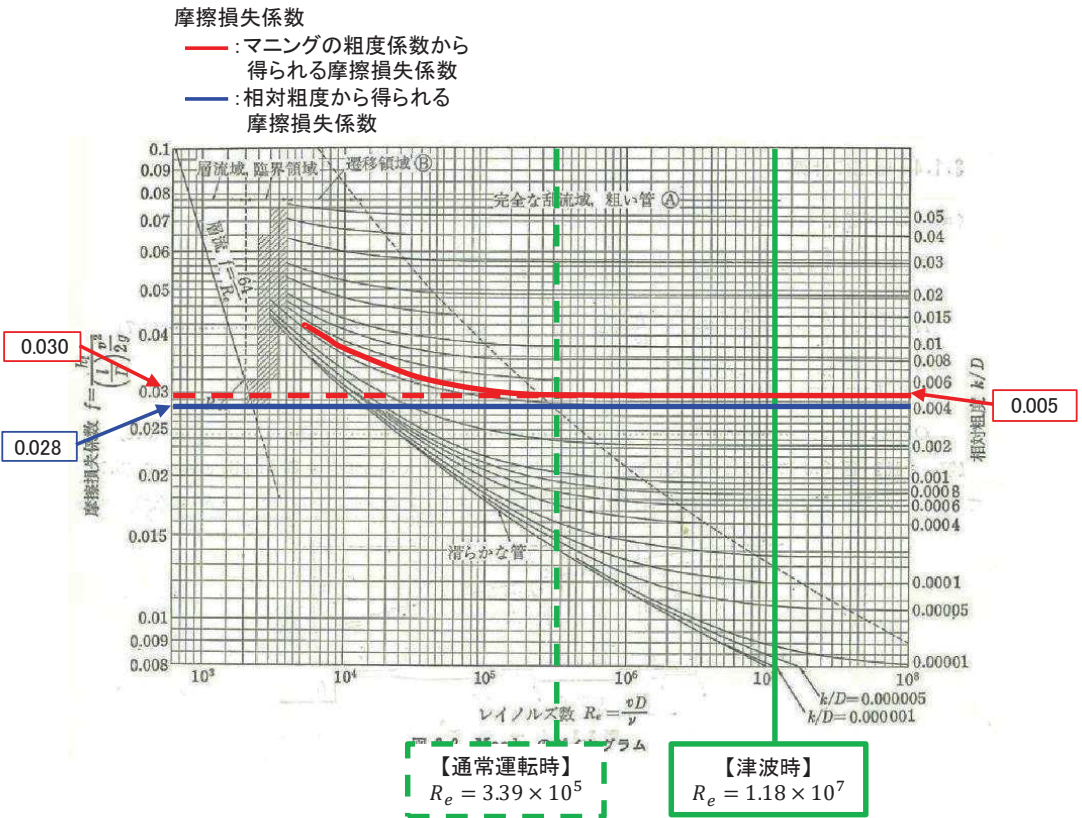


図 1.4-20 (2) 第 1 号機取水路：流路縮小工貫通部

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

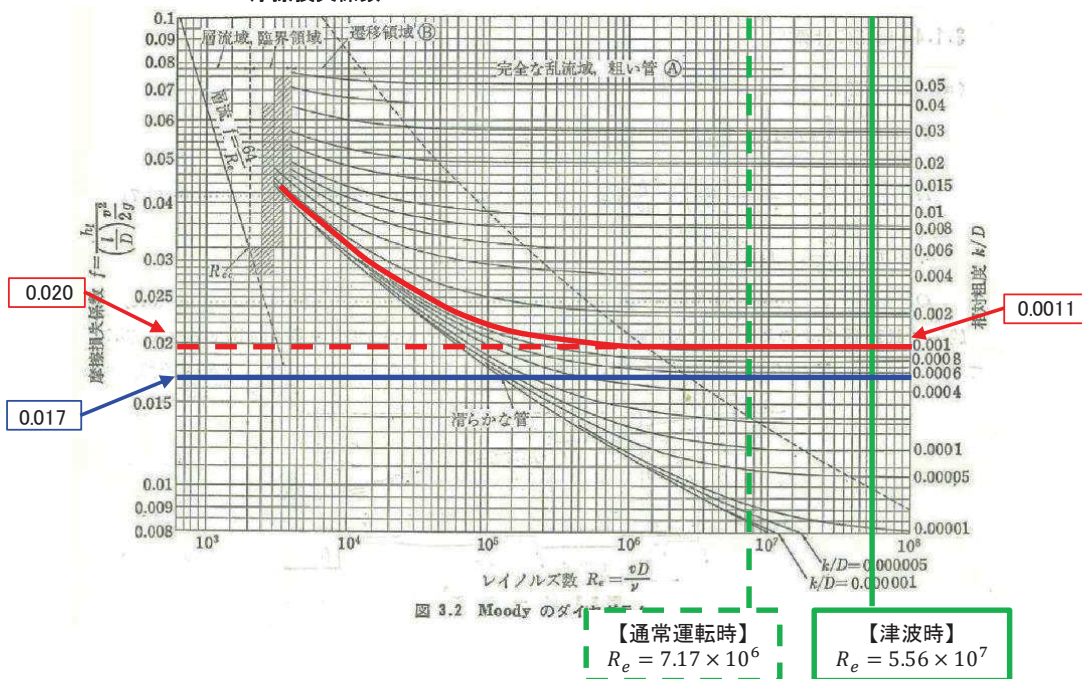


図 1.4-20 (3) 第 2 号機取水路：漸拡／漸縮損失考慮位置

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

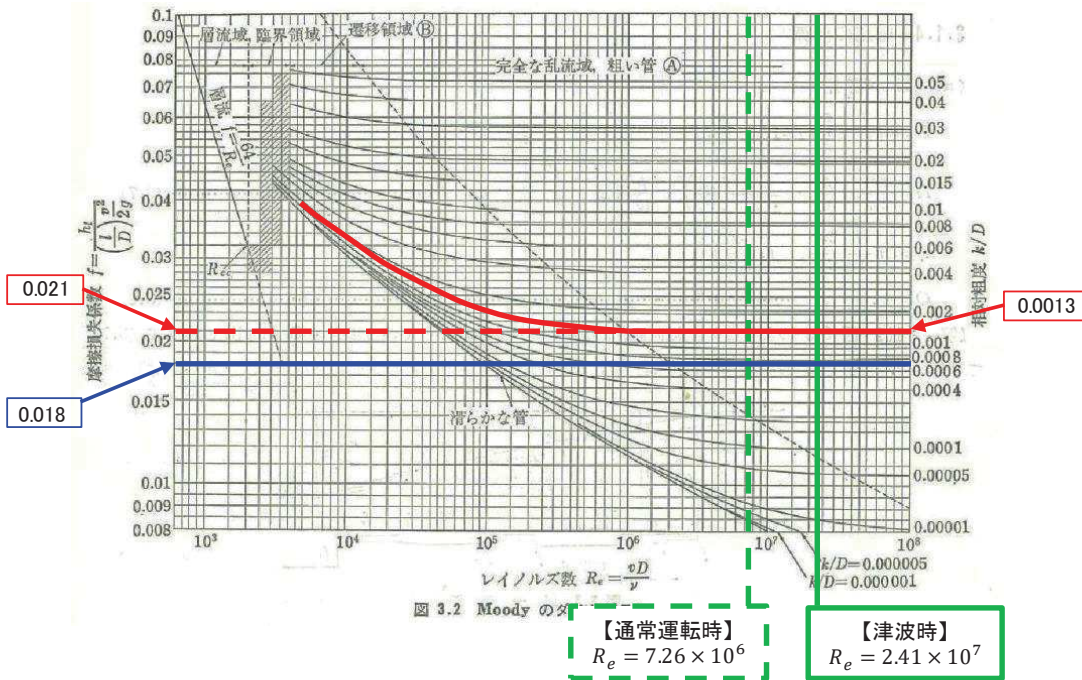


図 1.4-20 (4) 第 3 号機取水路：漸縮／漸拡損失考慮位置

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

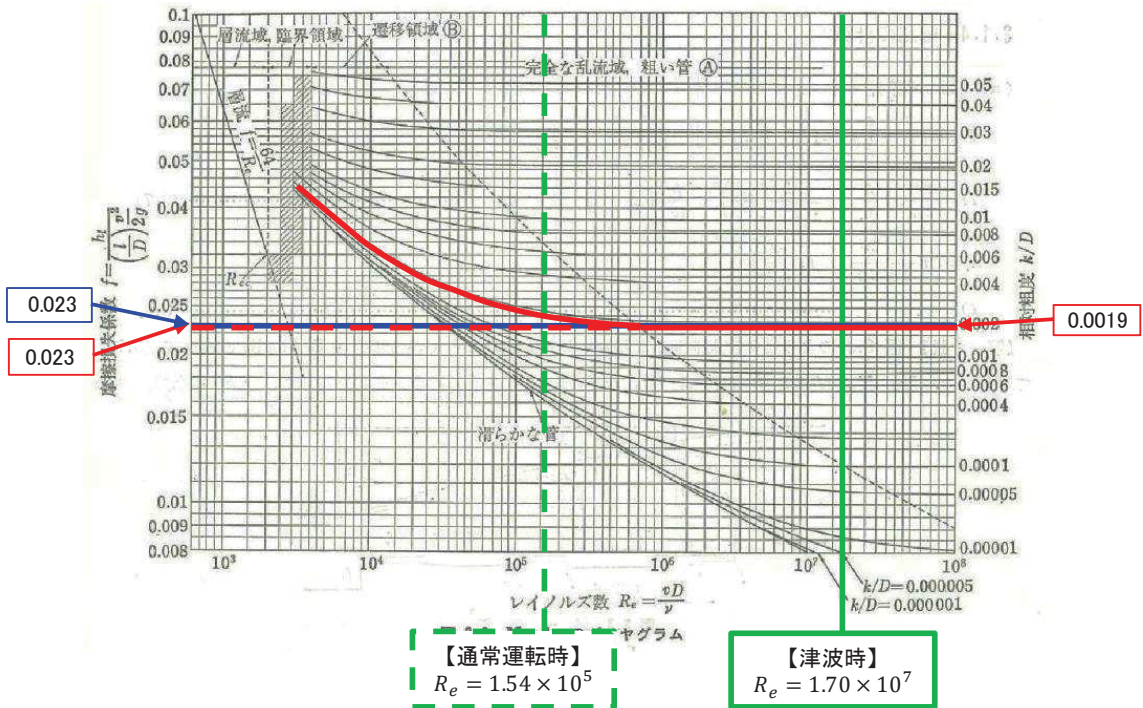


図 1.4-20 (5) 第1号機放水路：曲がり損失考慮位置

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

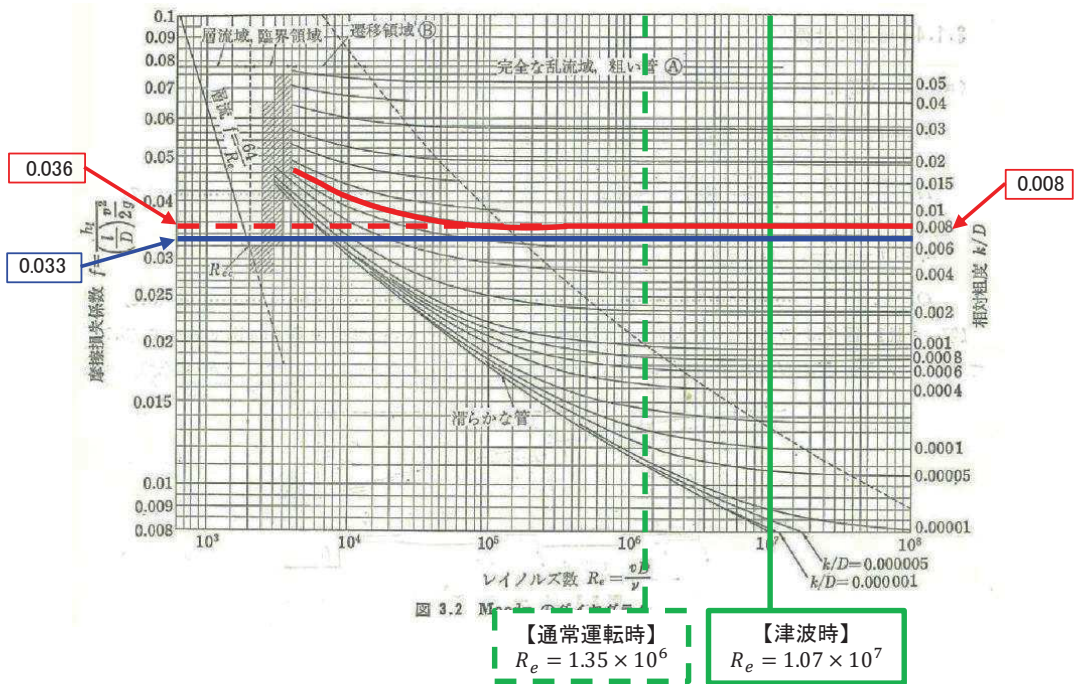


図 1.4-20 (6) 第1号機放水路：流路縮小工貫通部

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

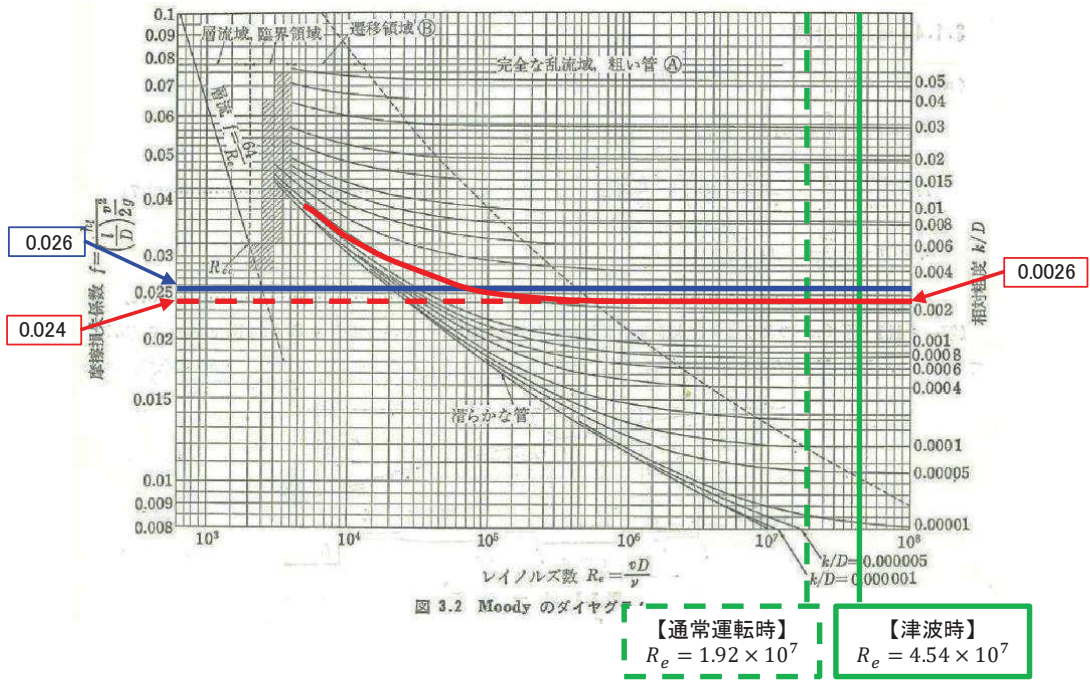


図 1.4-20 (7) 第2号機放水路：漸拡／漸縮損失考慮位置

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

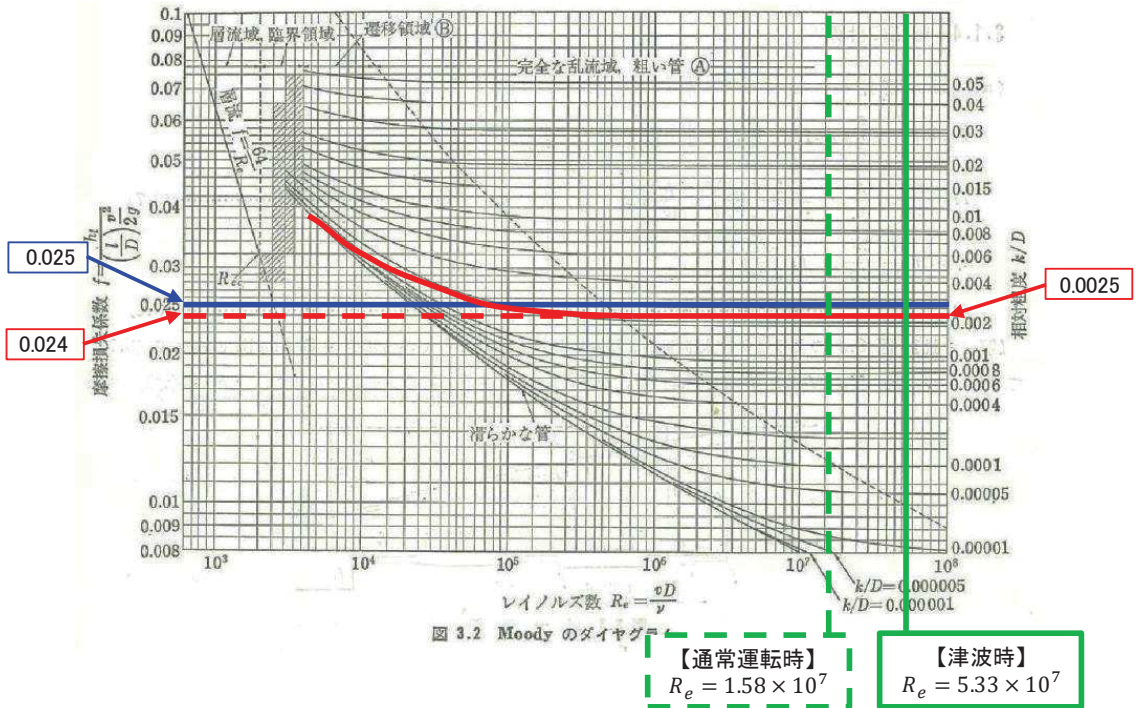


図 1.4-20 (8) 第3号機放水路：曲がり損失考慮位置

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一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。一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。

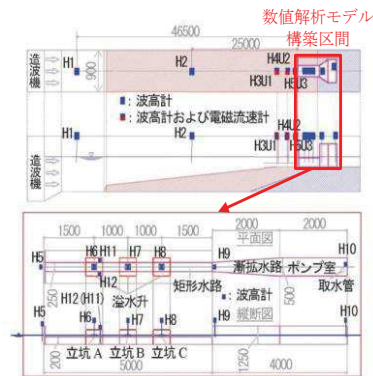


図 1.4-21 実験水路及び取放水設備の模型図



図 1.4-22 解析モデル (上)、解析条件 (下)

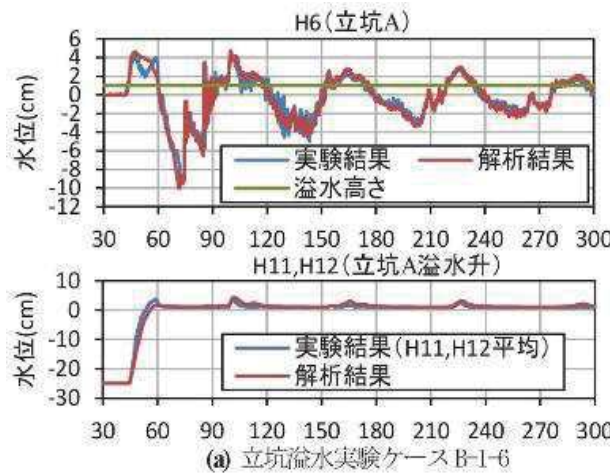


図 1.4-23 実験結果と解析結果の比較

(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 各取放水設備の水理応答特性について

(1) 概要

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1号機取放水設備には取放水路流路縮小工を、第2号機及び第3号機取放水設備には防潮壁を設置する。第2号機取水口前面と第2号機海水ポンプ室の水位時刻歴波形のうち最大水位となる第1波が含まれる範囲の時刻歴波形の比較を図1.4-27に示す。時刻歴波形の比較から、第2号機取水口前面の水位よりも第2号機海水ポンプ室の水位が低くなっていることが確認される。これは、防潮壁（第2号機海水ポンプ室）の設置に伴う貯留容量の増大（図1.4-31）により水位の上昇が抑制されるためと考えられる。

一方、土木学会（2016）では、「取放水設備の水位変動計算の実施に当たっては、外力である津波の固有周期と取放水設備系の水理応答特性（固有周期）が重なることにより、取水槽・放水槽の水位変動が増幅される場合がある。」としている（図1.4-28）。

ここでは、各取放水設備の管路解析結果に、各取放水設備の水理応答特性が適切に反映されているかを確認するため、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。）で管路解析を実施し、現状評価の最高水位と比較する。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1.4-29～図1.4-34に示す。

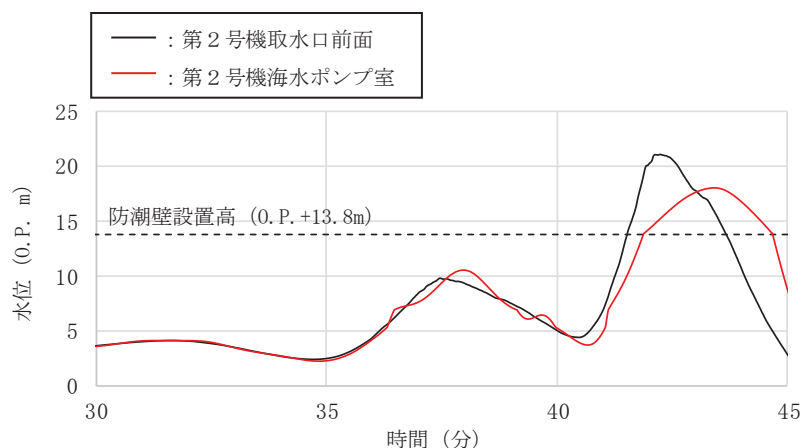


図 1.4-27 第2号機取水口前面と第2号機海水ポンプ室の水位時刻歴波形の比較

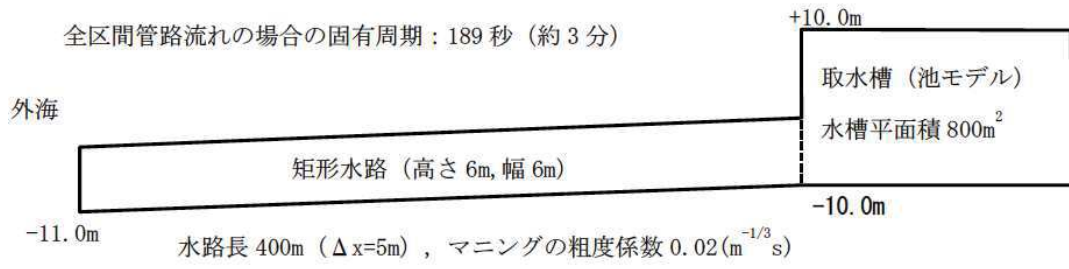


図 1.4-28 (1) 取水設備の例示計算モデル

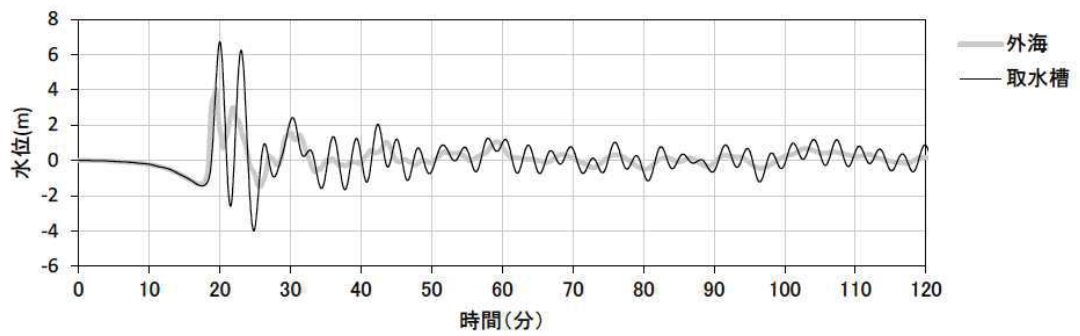


図 1.4-28 (2) 取水槽側の時刻歴波形（例示計算結果）

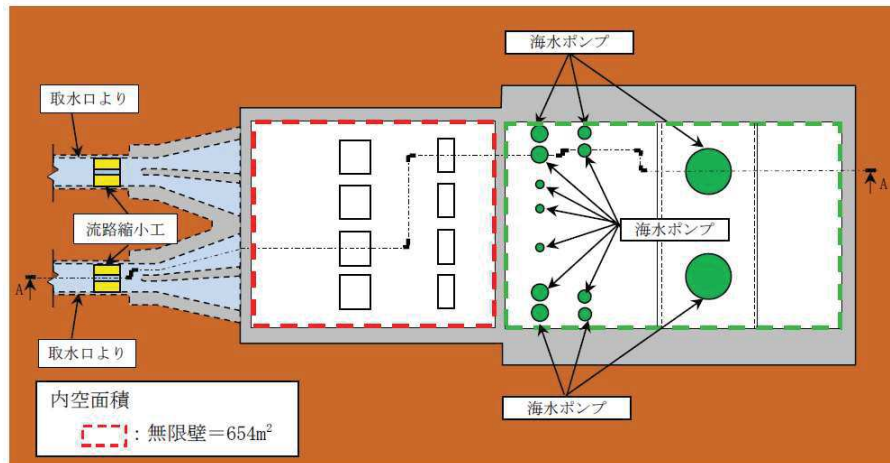


図 1.4-29 (1) 第 1 号機海水ポンプ室平面図

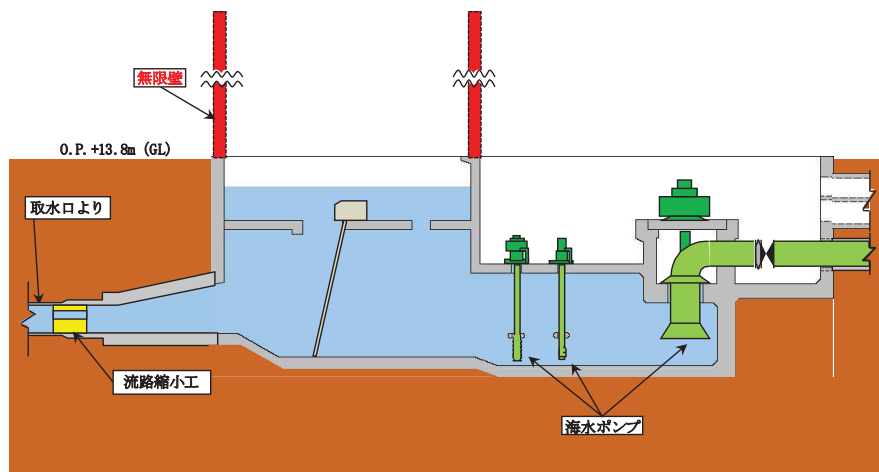


図 1.4-29 (2) 第 1 号機海水ポンプ室縦断図 (A-A 断面)

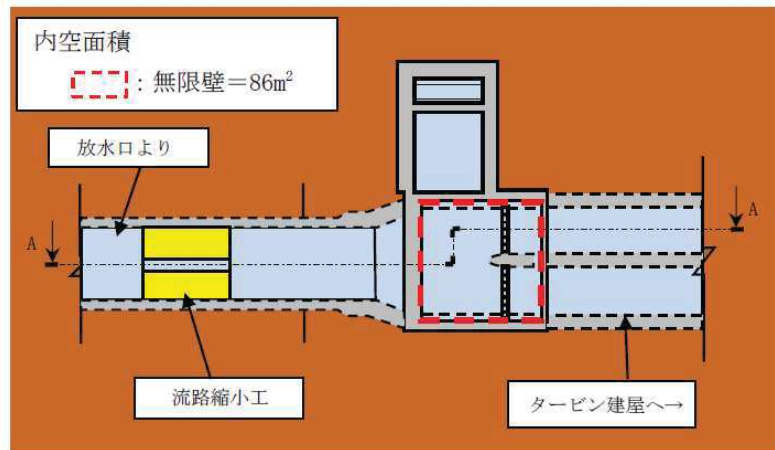


図 1.4-30 (1) 第 1 号機放水立坑平面図

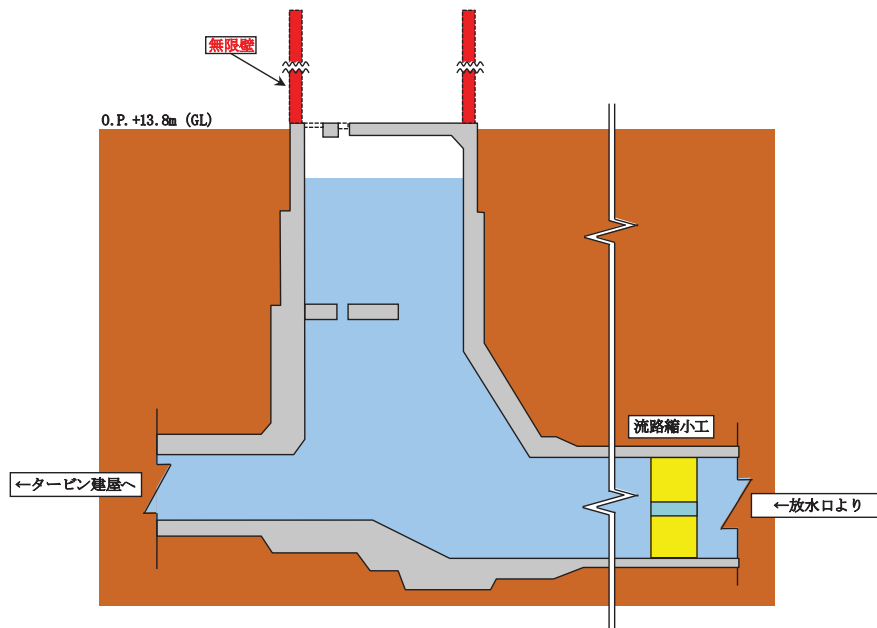


図 1.4-30 (2) 第 1 号機放水立坑縦断図 (A-A 断面)

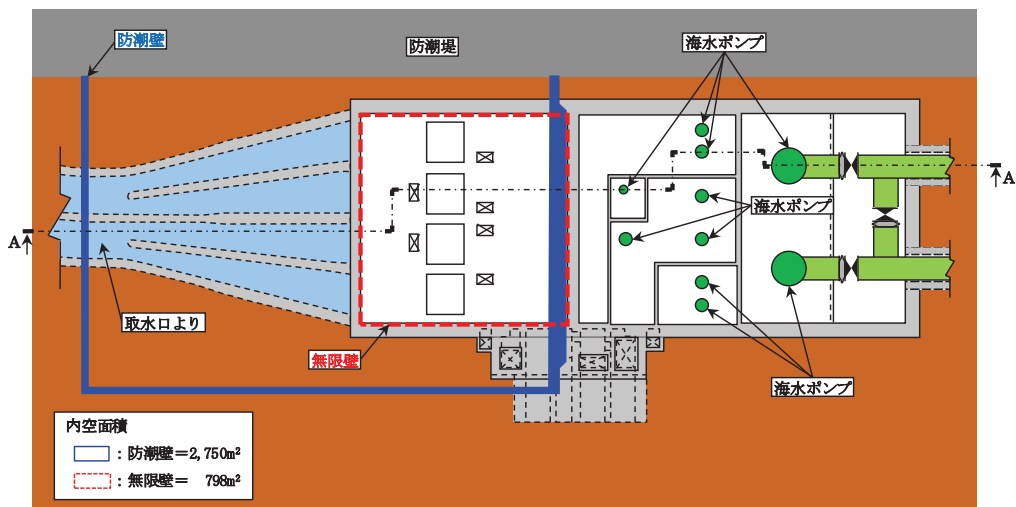


図 1.4-31 (1) 第 2 号機海水ポンプ室平面図

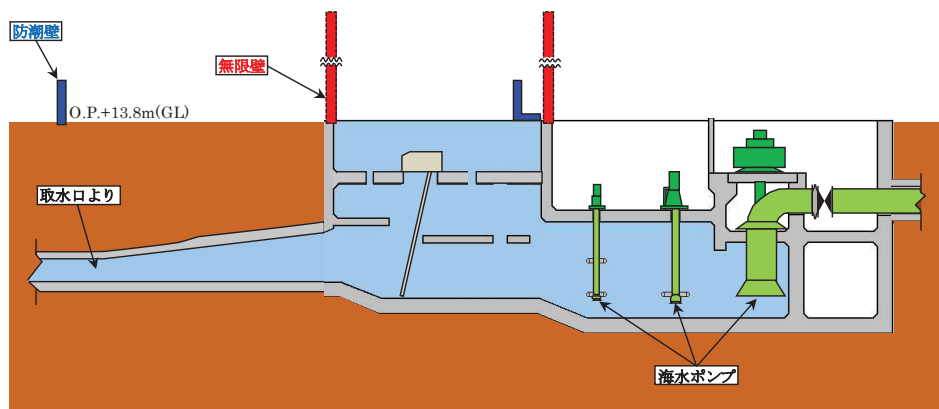


図 1.4-31 (2) 第 2 号機海水ポンプ室縦断面図 (A-A 断面)

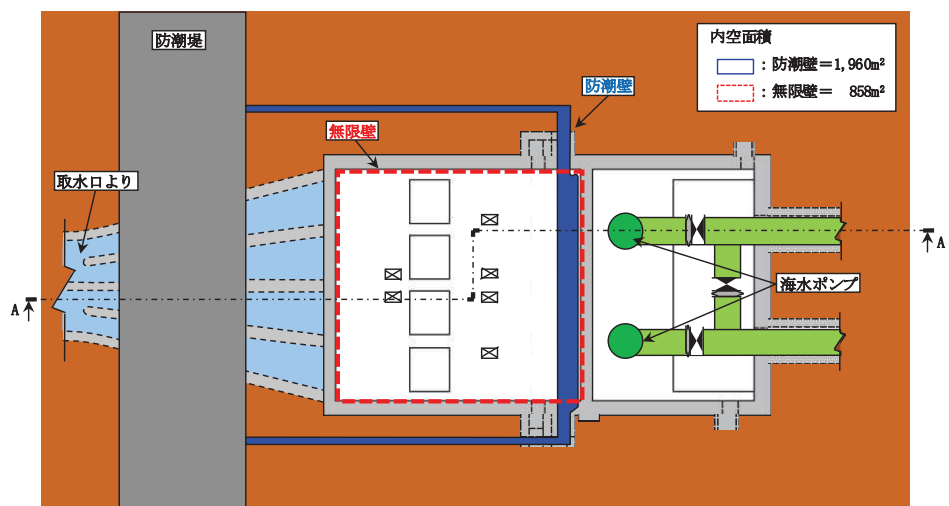


図 1.4-32 (1) 第 3 号機海水ポンプ室平面図

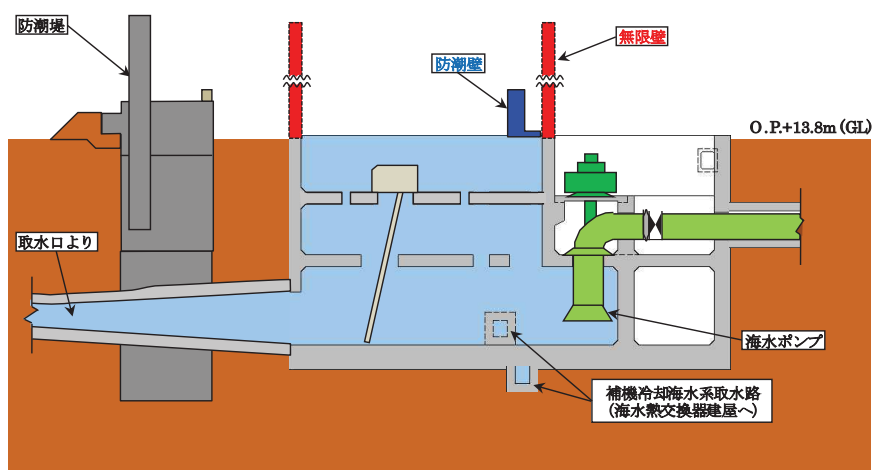


図 1.4-32 (2) 第 3 号機海水ポンプ室縦断図 (A-A 断面)

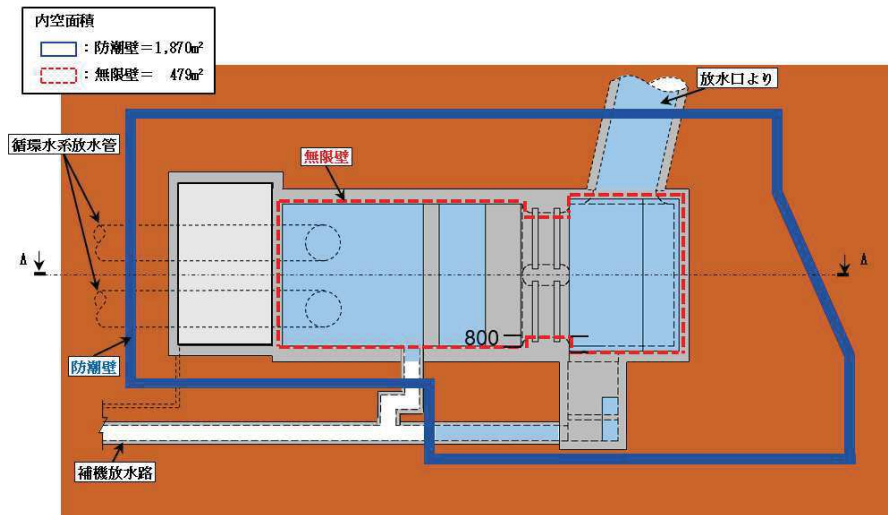


図 1.4-33 (1) 第 2 号機放水立坑平面図

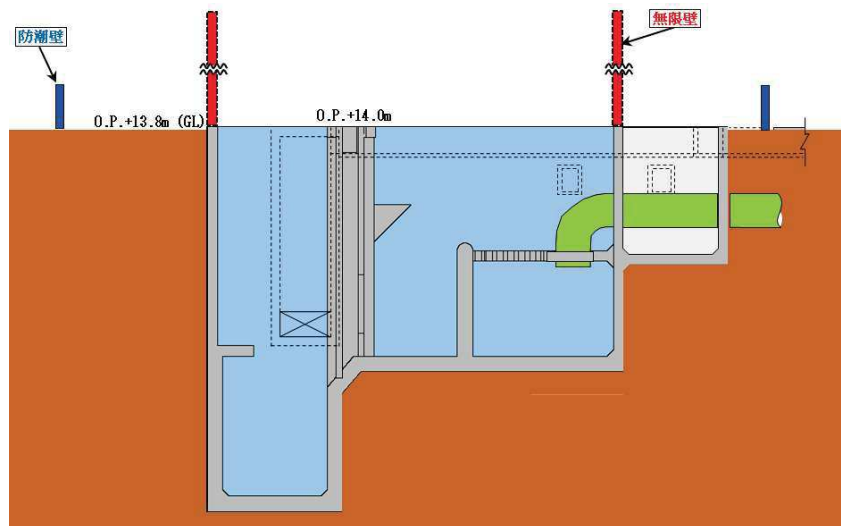


図 1.4-33 (2) 第 2 号機放水立坑縦断図 (A-A 断面)

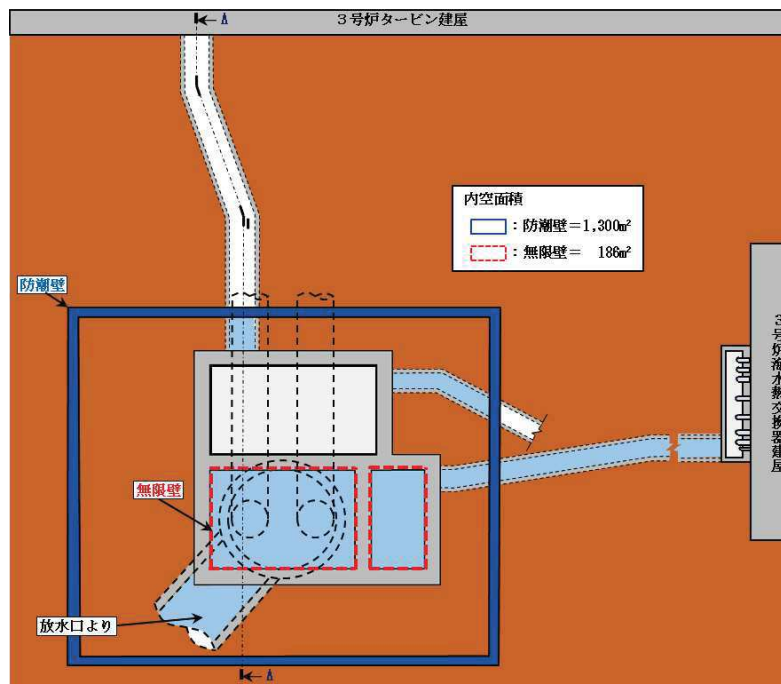


図 1.4-34 (1) 第3号機放水立坑平面図

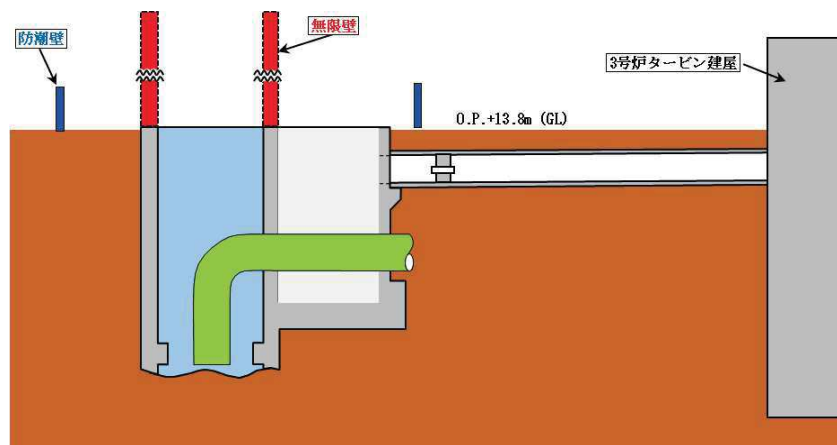


図 1.4-34 (2) 第3号機放水立坑縦断図 (A-A 断面)

(2) 検討結果

各海水ポンプ室位置における最高水位の比較を表 1.4-17 に、各取水口前面と各海水ポンプ室の水位時刻歴波形のうち最大水位となる第 1 波が含まれる範囲の時刻歴波形の比較を図 1.4-35 に示す。同様に、各放水立坑位置における最高水位の比較を表 1.4-18 に、各放水口前面と各放水立坑の水位時刻歴波形の比較を図 1.4-36 に示す。

各取放水設備ともに、無限壁とした形状の最高水位は、津波防護施設を設置した現状の評価の最高水位を上回るとともに、第 2 号機海水ポンプ室及び各放水立坑については、取放水設備の水理特性により水位が増幅していることを確認した。

以上から、管路解析結果は、各取放水設備の水理応答特性が反映されており、第 1 号機取放水設備に設置する取放水路流路縮小工による損失の増大、並びに第 2・3 号機海水ポンプ室及び放水立坑に設置する防潮壁の貯留容量の効果により水位が低減していることを確認した。

表 1.4-17 各海水ポンプ室位置における最高水位

	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
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 1.4-18 各放水立坑位置における最高水位

	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
第 2 号機	+19.65	+21.87	+17.35	-4.52
第 3 号機	+19.65	+21.84	+17.44	-4.40

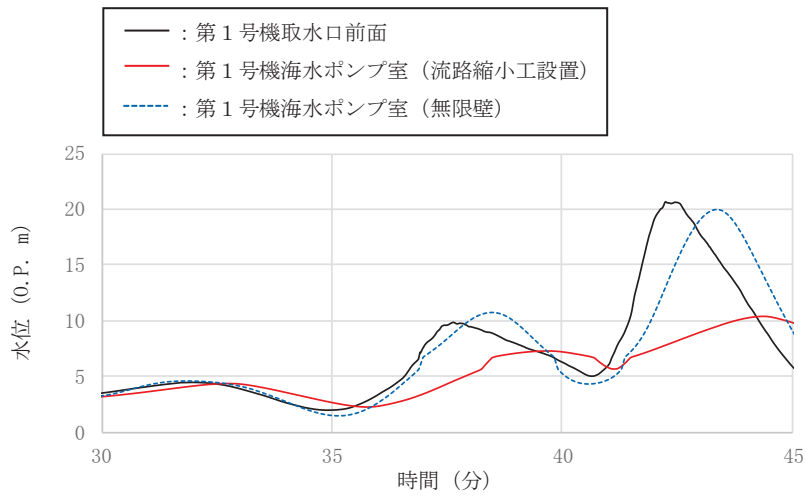


図 1.4-35 (1) 第 1 号機取水口前面と第 1 号機海水ポンプ室の水位時刻歴波形の比較

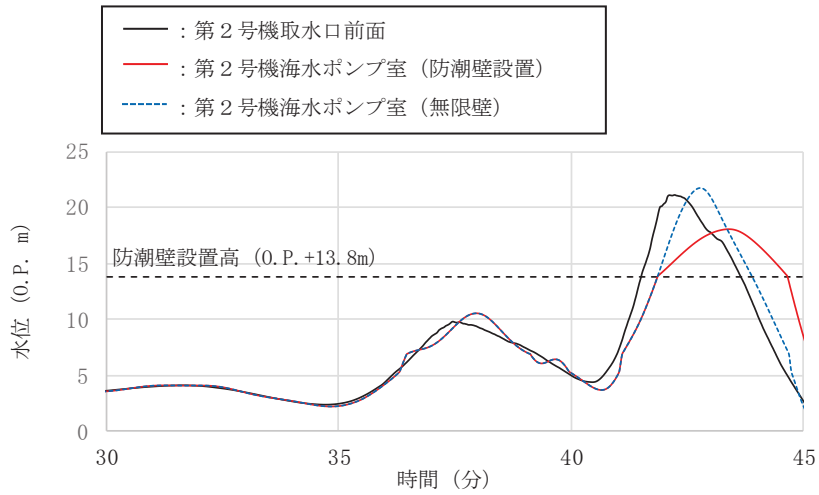


図 1.4-35 (2) 第 2 号機取水口前面と第 2 号機海水ポンプ室の水位時刻歴波形の比較

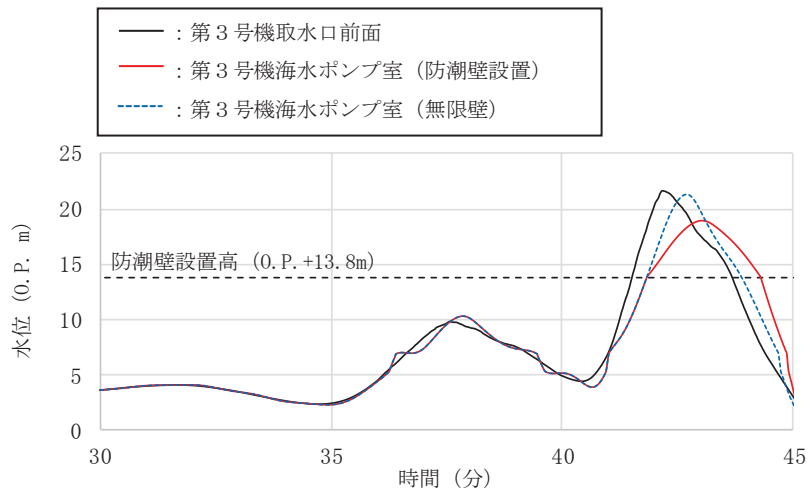


図 1.4-35 (3) 第 3 号機取水口前面と第 3 号機海水ポンプ室の水位時刻歴波形の比較

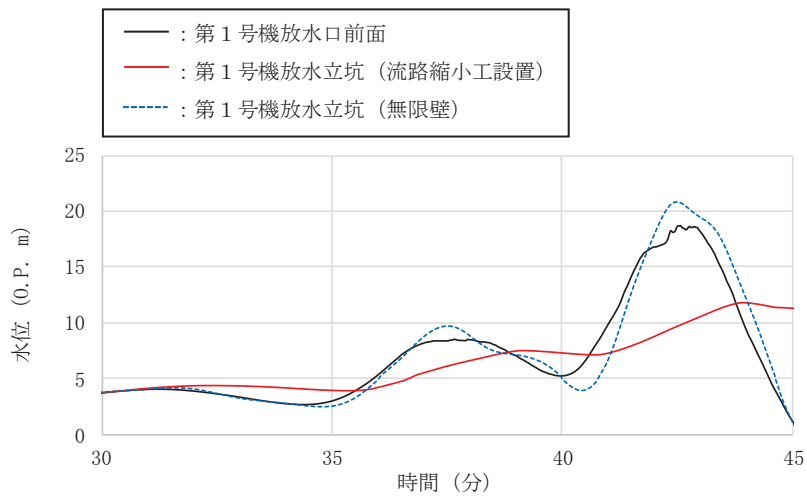


図 1.4-36 (1) 第 1 号機放水口前面と第 1 号機放水立坑の水位時刻歴波形の比較

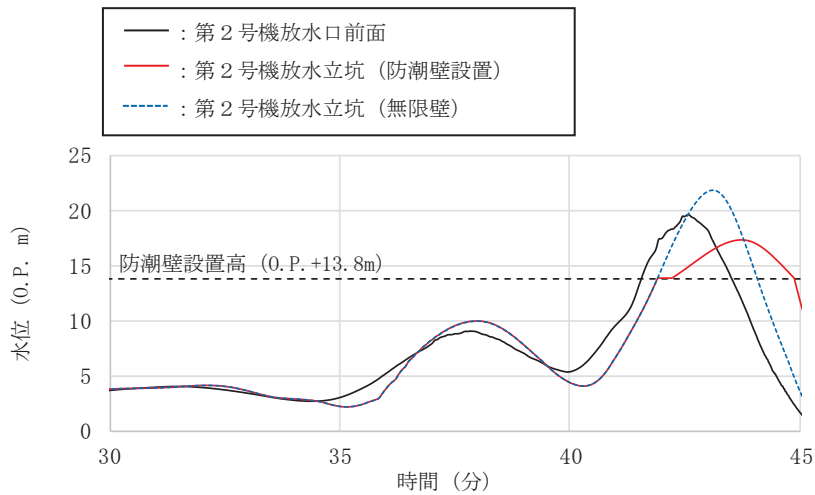


図 1.4-36 (2) 第 2 号機放水口前面と第 2 号機放水立坑の水位時刻歴波形の比較

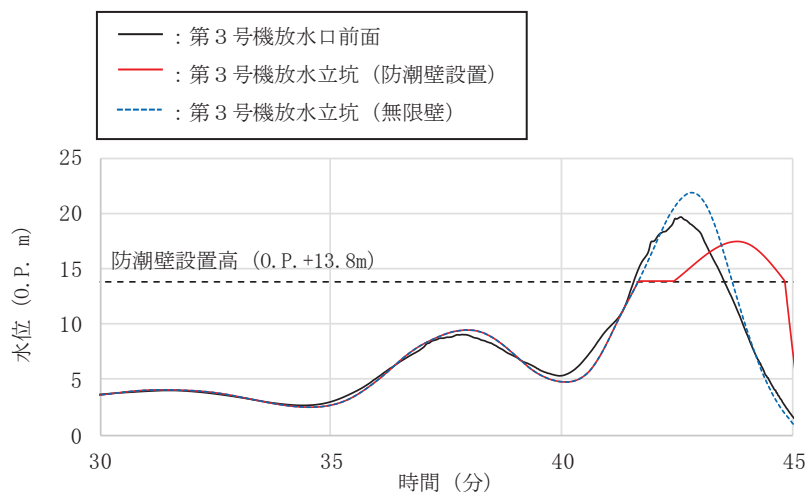


図 1.4-36 (3) 第 3 号機放水口前面と第 3 号機放水立坑の水位時刻歴波形の比較

1.4.6 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 1.4-37)。

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 1.4-38, 図 1.4-39)。

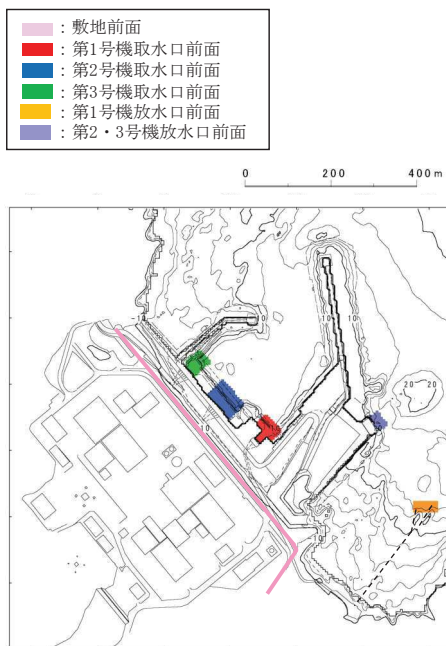


図 1.4-37 基準津波における水位評価範囲



図 1.4-38 管路解析に用いる入力波形抽出位置

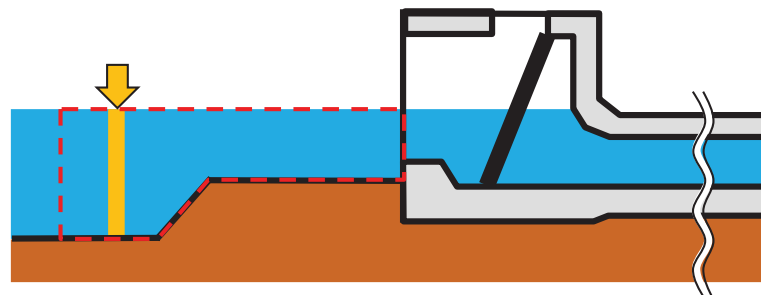
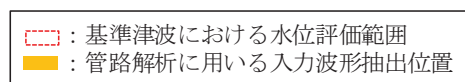


図 1.4-39 取水口前面における水位抽出位置(概念図)

(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 1.4-40](#), [図 1.4-41](#) 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 1.4-19](#), [表 1.4-20](#))。

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

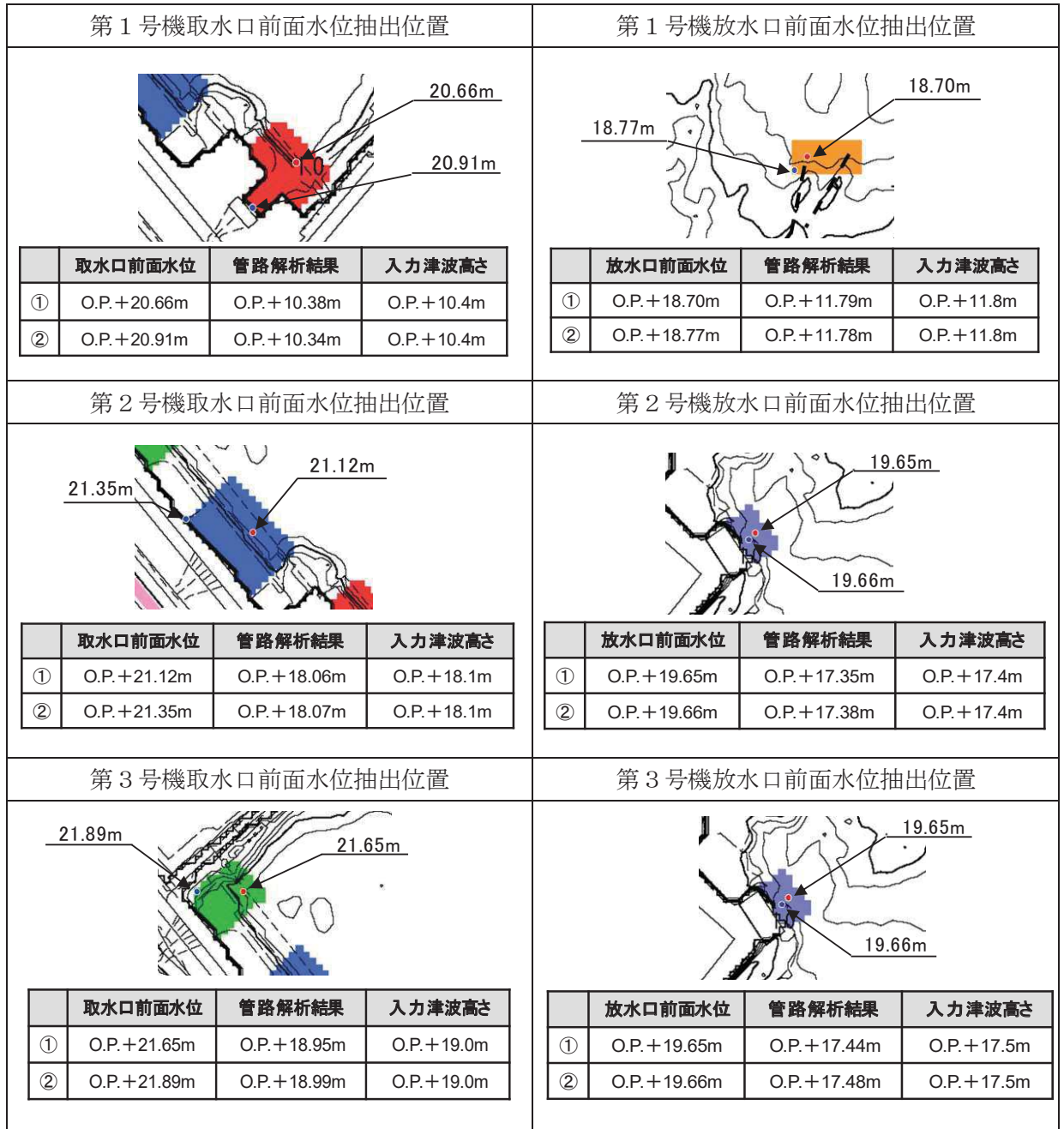


図 1.4-40 管路解析に用いる入力波形抽出位置と基準津波評価における最高水位抽出位置及び各時刻歴波形を用いた入力津波高さの評価（水位上昇側）

- : 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

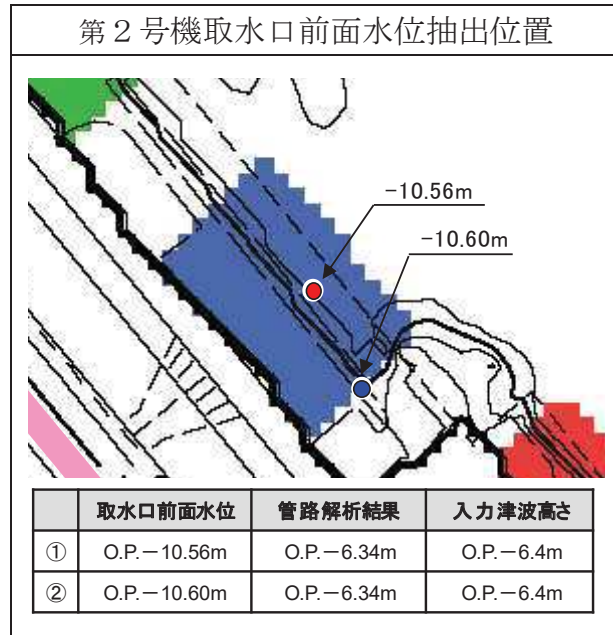


図 1.4-41 管路解析に用いる入力波形抽出位置と基準津波評価における最高水位抽出位置及び各時刻歴波形を用いた入力津波高さの評価（水位下降側）

表 1.4-19 (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)

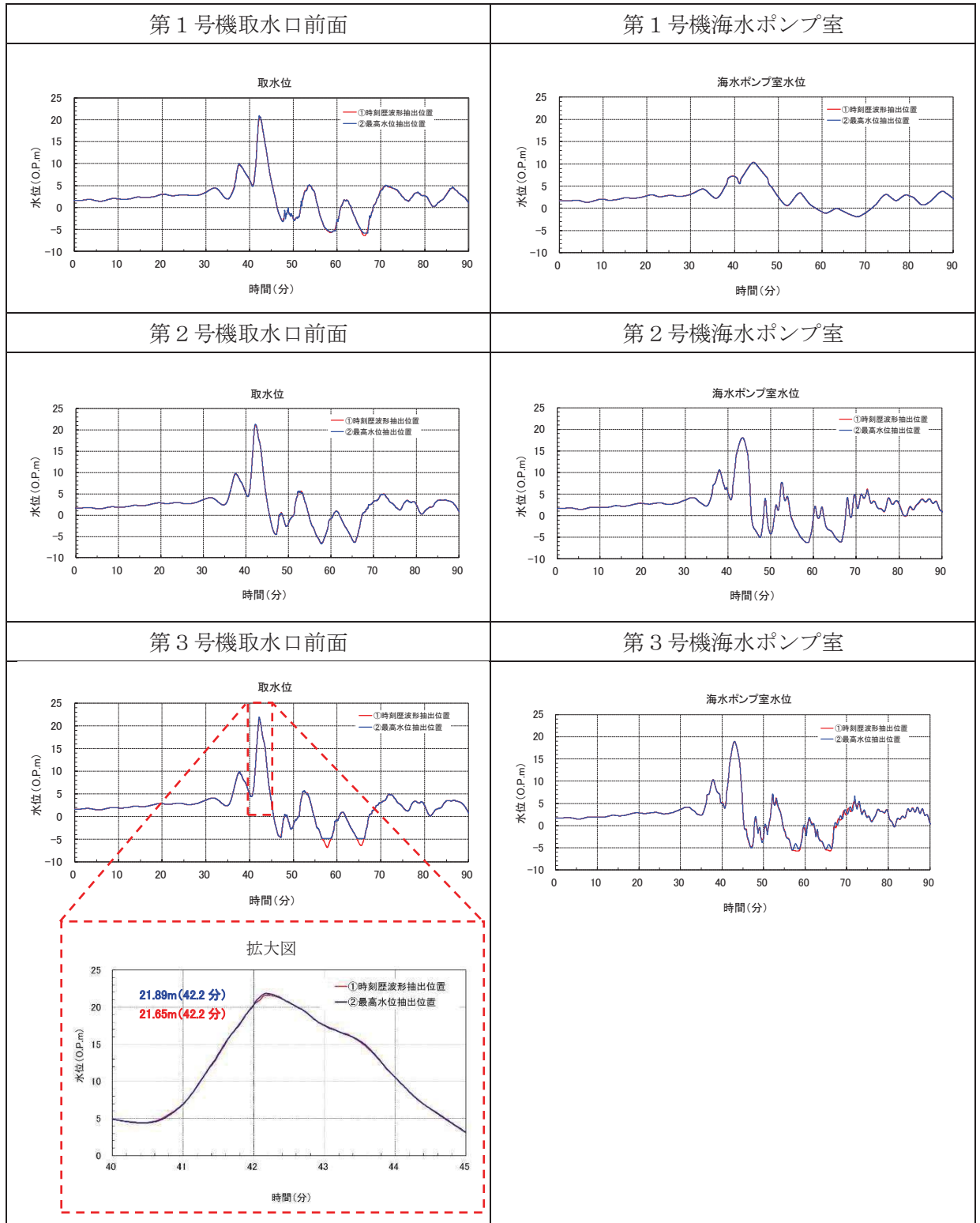


表 1.4-19 (2) 放水口前面水位時刻歴波形及び放水立坑水位時刻歴波形の比較 (水位上昇側)

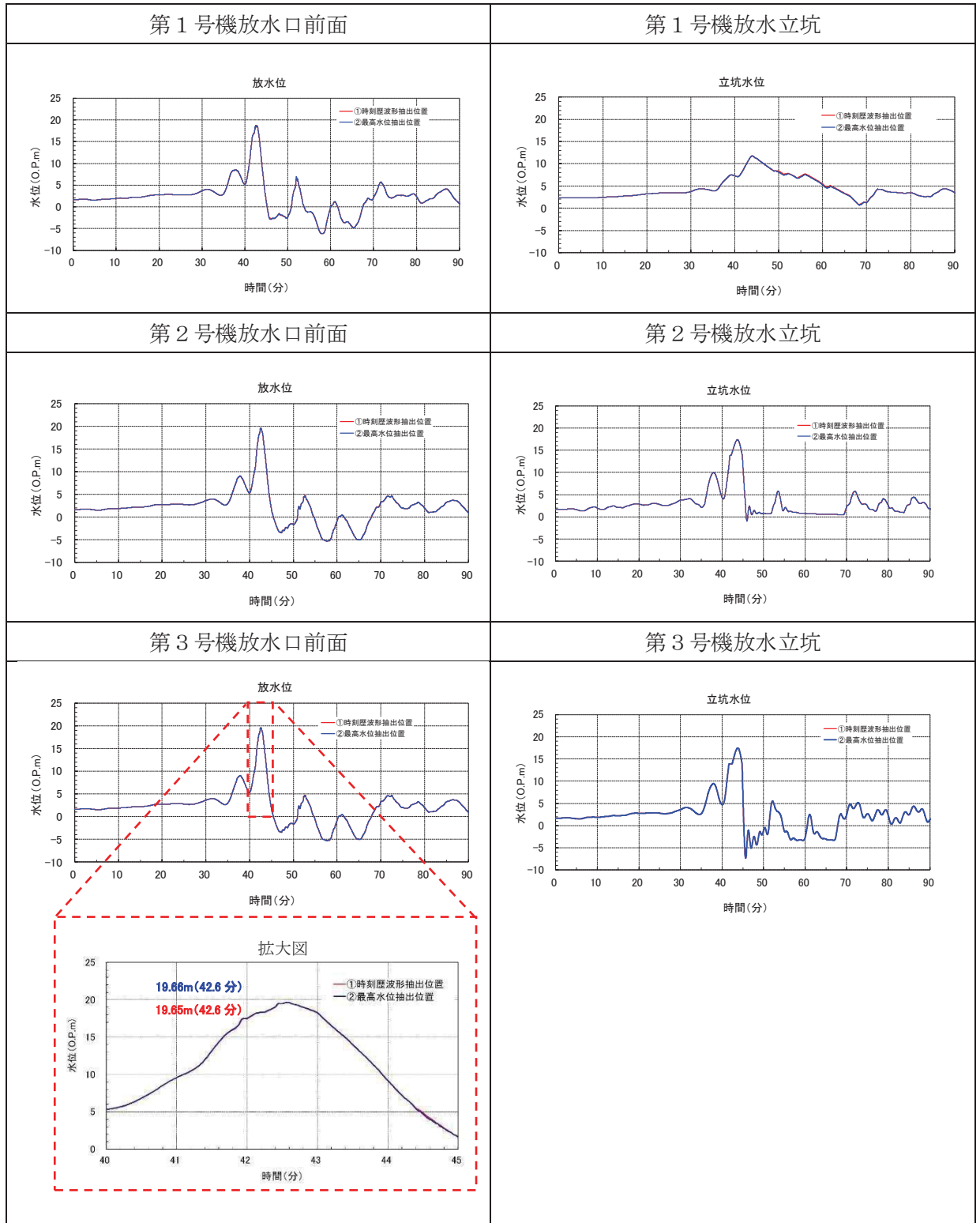
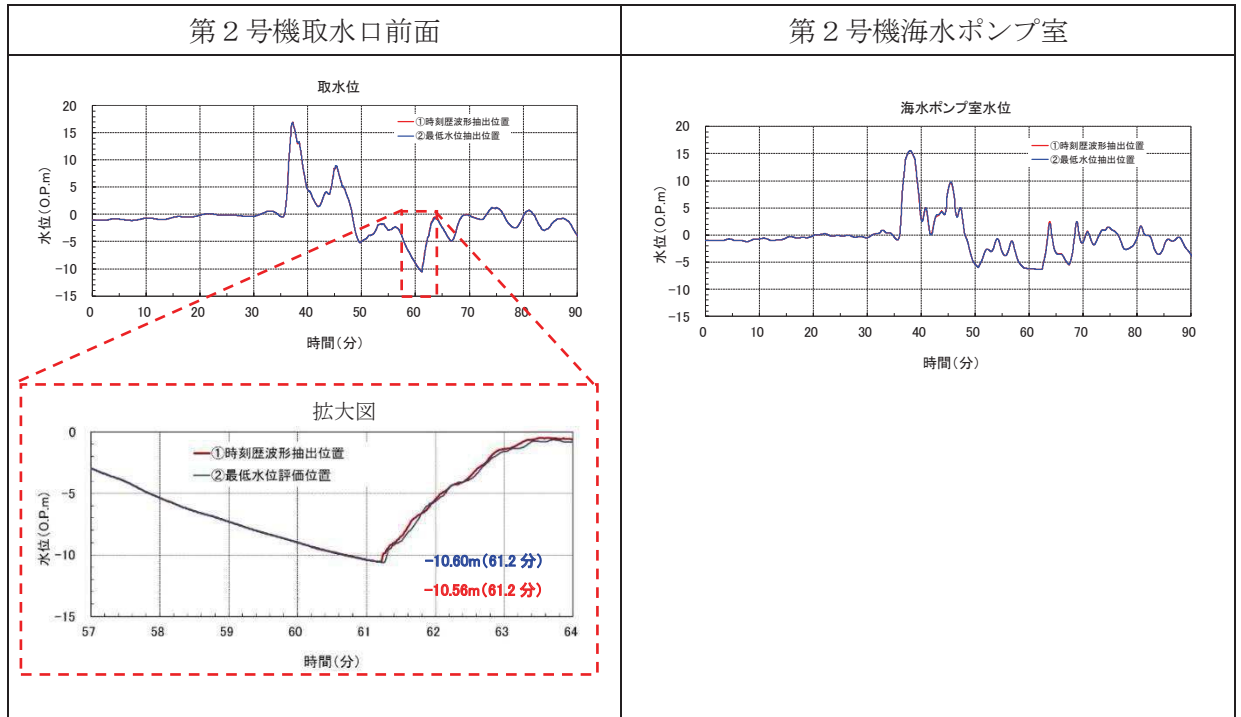


表 1.4-20 取水口前面水位時刻歴波形及び海水ポンプ室水位時刻歴波形の比較（水位下降側）



(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

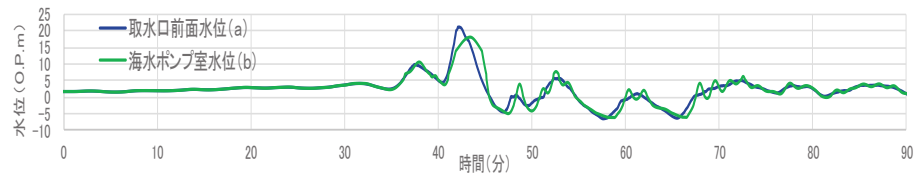
「1.4.4(2)c. 津波時における各取放水路内のレイノルズ数について」の検討において、各取放水設備の流速の経時変化に係るデータ整理の結果、第1波以降に最大流速が発生する取放水設備が見られたことから、津波襲来時における取放水路内の水位変動と流速の関係を整理した。なお、本整理は、一般的な水路構造である第2号機取水路及び取放水路流路縮小工が設置される第1号機取水路を対象に行った。

2. 第2号機取水路の流れ

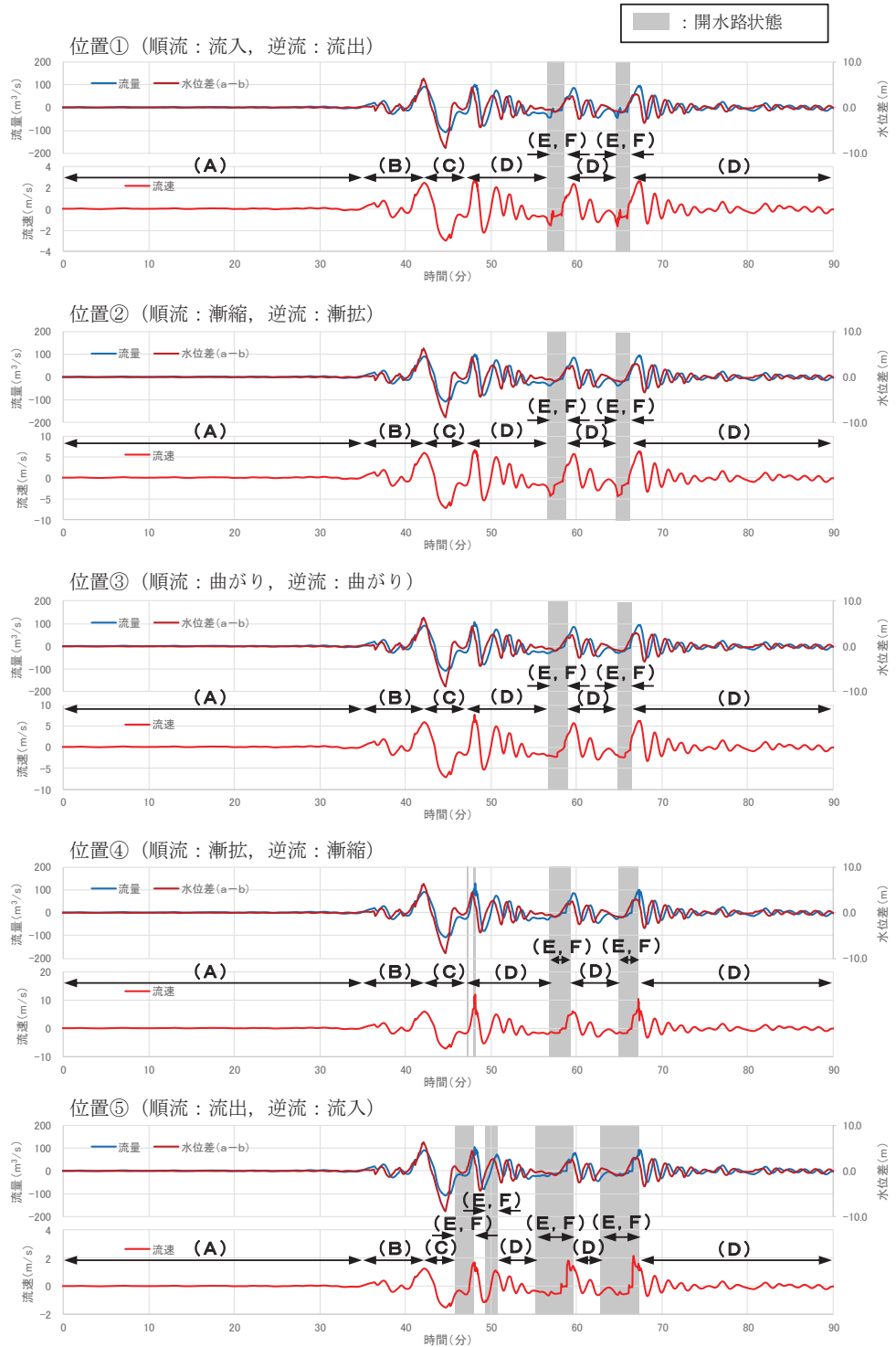
第2号機取水路は一般的な水路構造であり、津波襲来によって後述する(A)～(F)のように水路内の流況が変化する。

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】

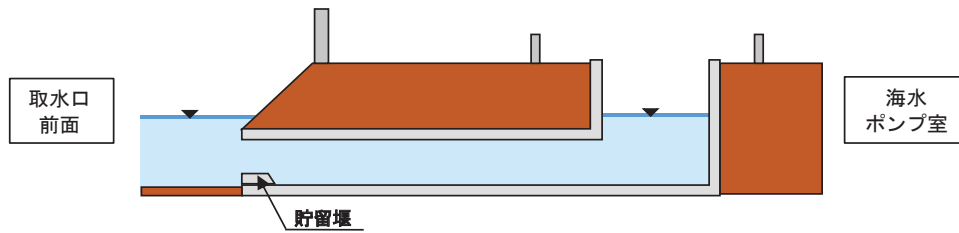


【取水口前面及び海水ポンプ室の水位差と流量の経時変化及びそれらに対応する流速の経時変化】

図1 第2号機取水路における各パラメータの経時変化

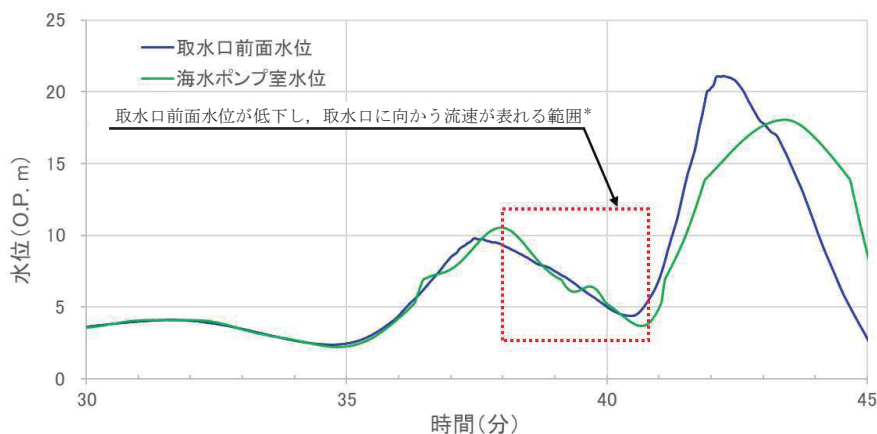
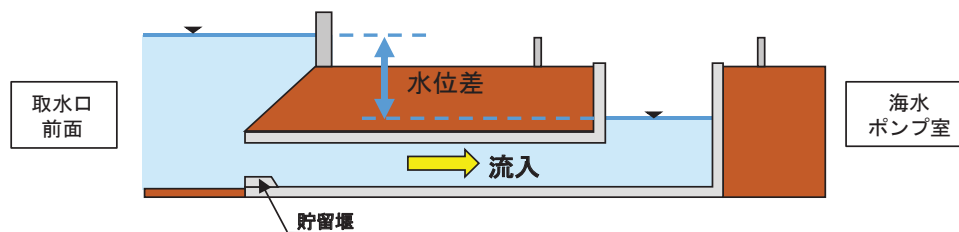
(A) 津波襲来前【管路（満水）状態】

- ・ 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）。



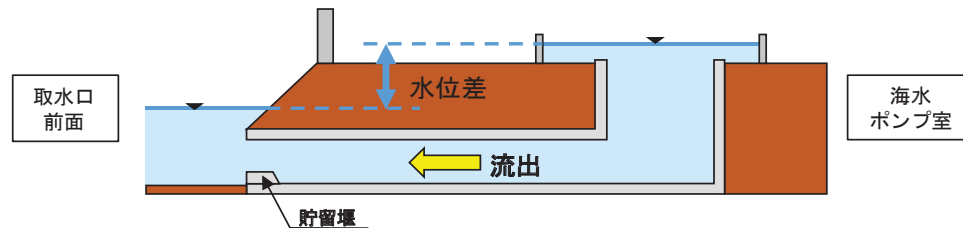
* : 海水ポンプ室水位は、取水路と海水ポンプ室接続部の流入出量と海水ポンプ室内の標高に応じた容積の関係から算定される。

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）

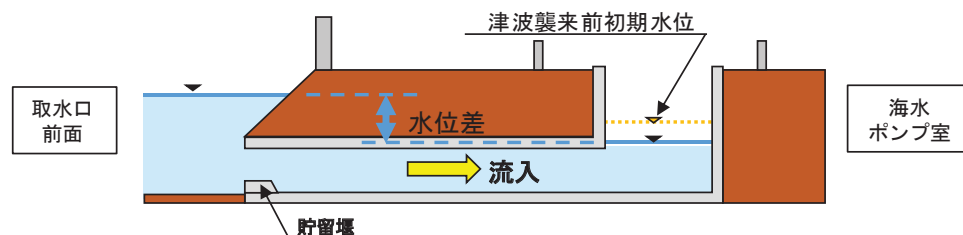
(C) 第1波引き波時【管路（満水）状態】

- ・ 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。



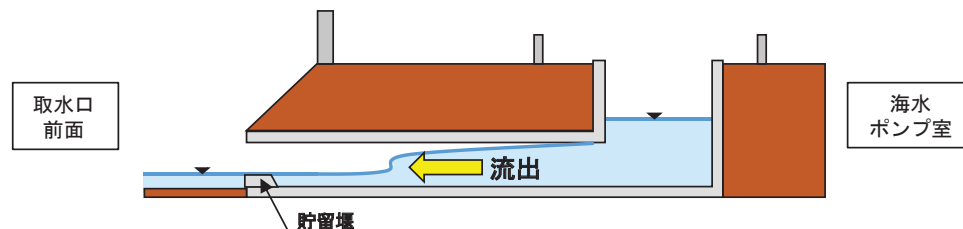
(D) 第2波以降【管路（満水）状態】

- ・ 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。



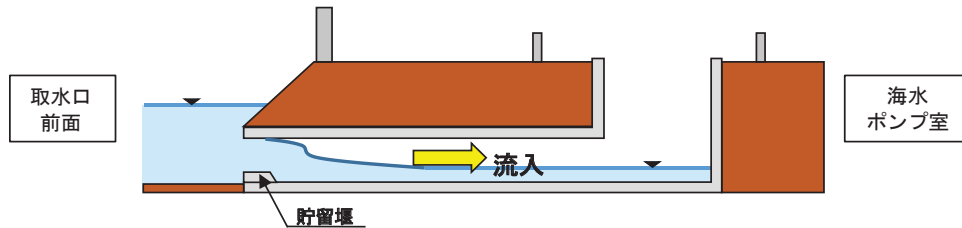
(E) 第2波以降【管路（満水）状態から開水路状態への遷移時】

- ・ 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。

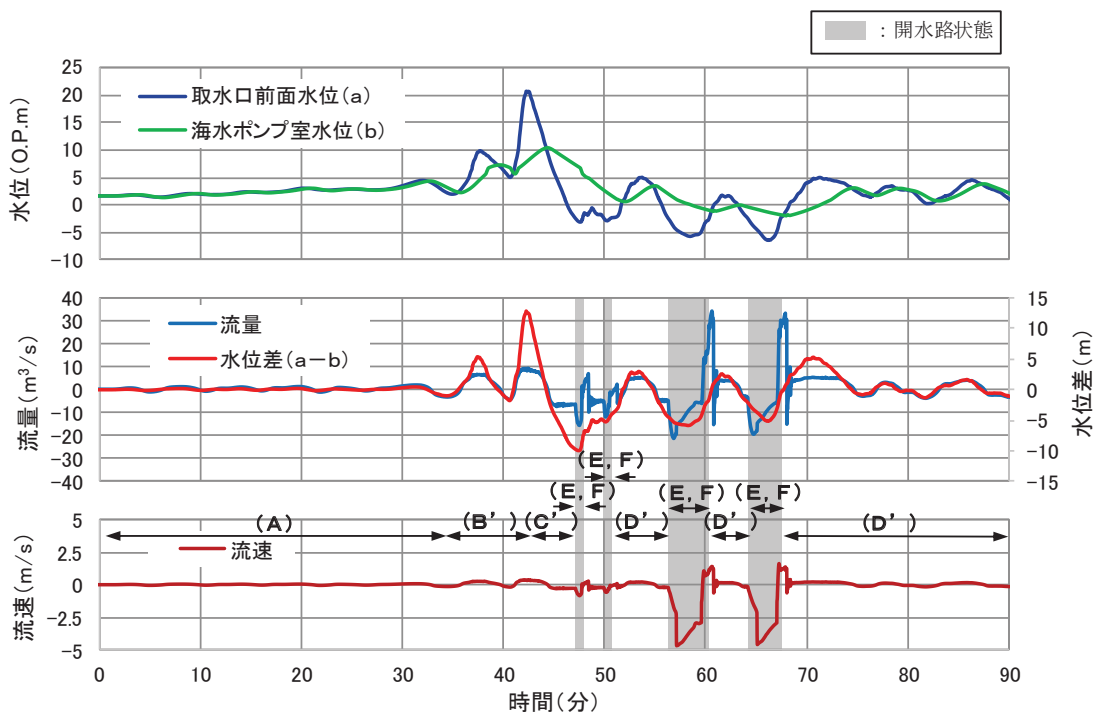
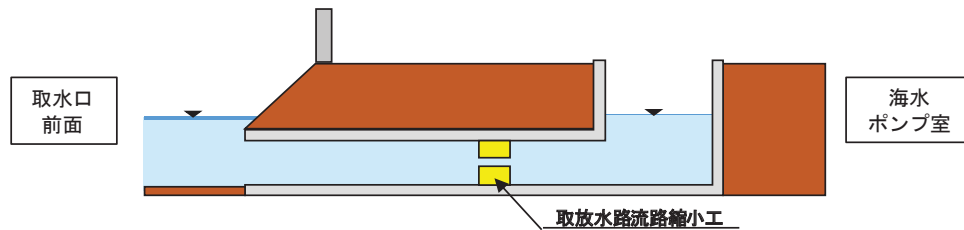


図3 第1号機取水路 損失水頭考慮位置：位置①(順流：流入，逆流：流出)における各パラメータの経時変化

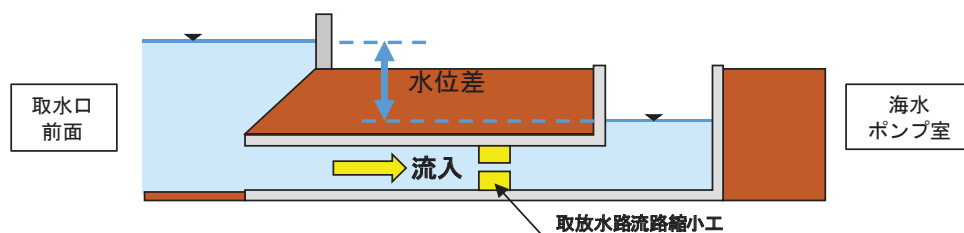
(A) 津波襲来前【管路（満水）状態】

- ・ 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。



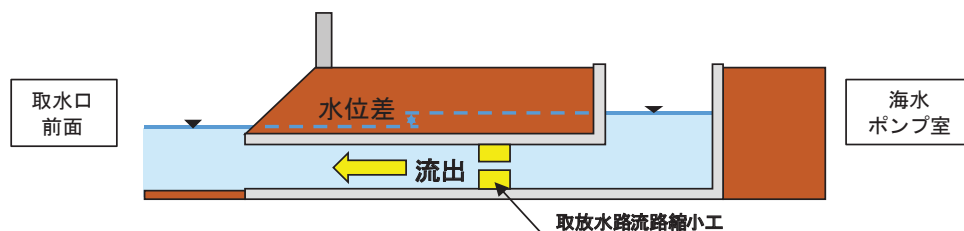
(B') 第1波押し波時【管路（満水）状態】

- ・ 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。



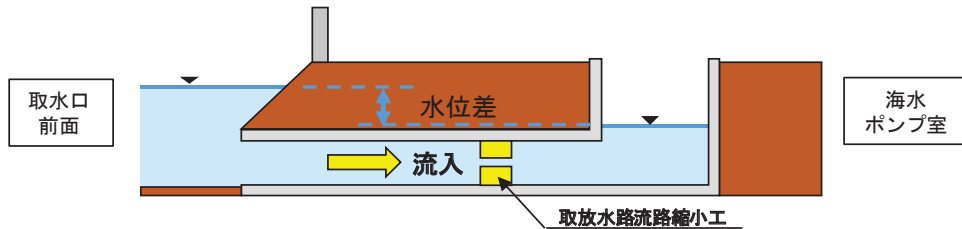
(C') 第1波引き波時【管路（満水）状態】

- ・ 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。



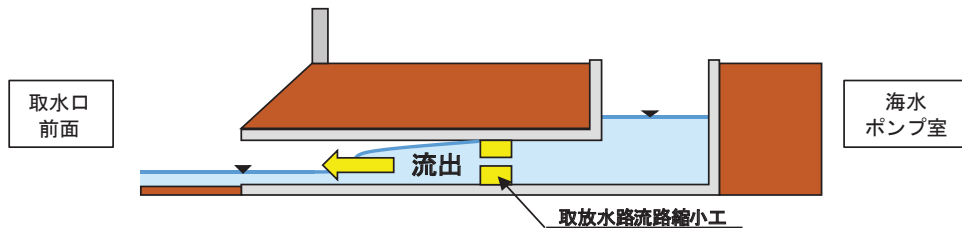
(D') 第2波以降【管路（満水）状態】

- ・ 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。



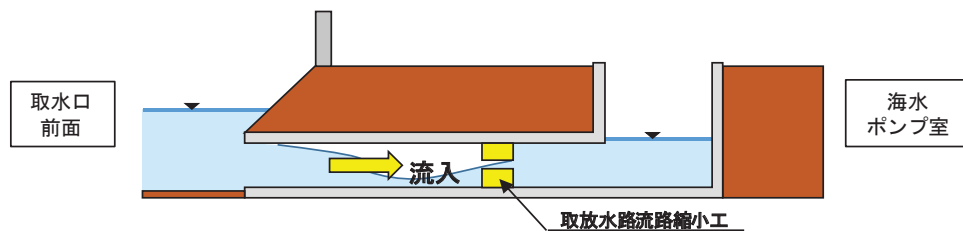
(E') 第2波以降【管路（満水）状態から開水路状態への遷移時】

- ・ 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，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）。

流路縮小工の設計に用いる流速について，解析結果に余裕を考慮し，流路縮小工前面及び背面は10.0m/s，貫通部は20.0m/sと設定する（添付書類「VI-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「表4.1-1 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津波のパラメータ」に設定結果を記載）。

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	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	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）。

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に用いる流速について，解析結果に余裕を考慮し，1.0m/sと設定する（添付書類「VI-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「表4.1-1 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津波のパラメータ」に設定結果を記載）。

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	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

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	あり	0.48
							なし	0.57
なし	1m沈下	+19.34	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり	あり	0.67
							なし	0.70
						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）。

取水ピット水位計の設計に用いる流速について、解析結果に余裕を考慮し、1.0m/sと設定する（添付書類「VI-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「表4.1-1 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津波のパラメータ」に設定結果を記載）。

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	1m沈下	+18.81	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	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	1m沈下	+18.81	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	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¹⁾が有する数値計算上の不確かさを考慮する。

入力津波高さが有する数値計算上の不確かさ²⁾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。

ここでは、考慮の妥当性について、数値計算上の不確かさの要因である、「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」³⁾（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。）、また、「詳細設計を反映した防潮壁平面線形等の影響」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」⁴⁾（以下、「その他の影響」という。）を考慮した数値計算上の不確かさについてパラメータスタディを実施し、入力津波への影響評価結果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	○
	浸水防止蓋		○
	逆止弁付ファンネル		○
第2号機放水立坑	貫通部止水処置		○
	補機冷却海水系放水路逆流防止設備		○
第3号機海水ポンプ室	貫通部止水処置		○
	浸水防止蓋		○
	逆止弁付ファンネル		○
第3号機海水熱交換器建屋	貫通部止水処置		○
	水密扉		○
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 O.P. +1.43m, 水位下降側に対しては朔望平均干潮位 O.P. -0.14m を考慮し, 基準津波の水位を算出している。

(b) 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。

(c) 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。

(d) 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。

<①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

<②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, 女川原子力発電所固有の以下の不確かさを考慮する。

<①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。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入力津波評価の詳細は, 「(参考) 詳細設計を反映した防潮壁平面線形等の変更及び復旧・改修工事に伴う地形改変の影響を考慮した入力津波評価について」に示す。

<②詳細設計を反映した防潮壁平面線形等の影響>

- ・ 詳細設計に伴う防潮壁の平面線形の変更，第2号機及び第3号機海水ポンプ室の躯体補強（増厚）（以下，「詳細設計を反映した防潮壁平面線形等」という。）の有無による影響を考慮する。詳細設計を反映した防潮壁平面線形等の変更を考慮した入力津波評価の詳細は，「(参考) 詳細設計を反映した防潮壁平面線形等の変更及び復旧・改修工事に伴う地形改変の影響を考慮した入力津波評価について」に示す。

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

「a. 入力津波高さに影響を与え得る要因」を踏まえ，入力津波の算定フローを図 1.5-1 に示す。

発電所敷地全体及び取水口位置の入力津波高さは，基準津波に対して，遡上解析上考慮する(d)パラメータによる影響(①)，(e)その他の影響(①)を考慮した解析結果(最大水位上昇量・最大水位下降量)に，(a)朔望平均潮位，(b)潮位のばらつき及び(c)入力津波の波源としている地震により生じる地殻変動量を考慮する。また，海水ポンプ室及び放水立坑位置等の入力津波については，上記(d)①，(e)①，(a)及び(b)に加えて(d)パラメータによる影響(②)，(e)その他の影響(②)を考慮する。

各施設・設備の設置位置におけ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を表 1.5-2 に示す。

なお，表 1.5-1 に示す検討対象設備について，高潮ハザードによる再現期間 100 年に対する期待値 O.P. +1.95m と，入力津波で考慮した朔望平均満潮位 O.P. +1.43m と潮位のばらつき 0.16m の合計との差である 0.36m (参照する裕度) を踏まえ，入力津波水位に 0.5m の余裕を考慮した津波水位に対して設計の裕度を確認する。

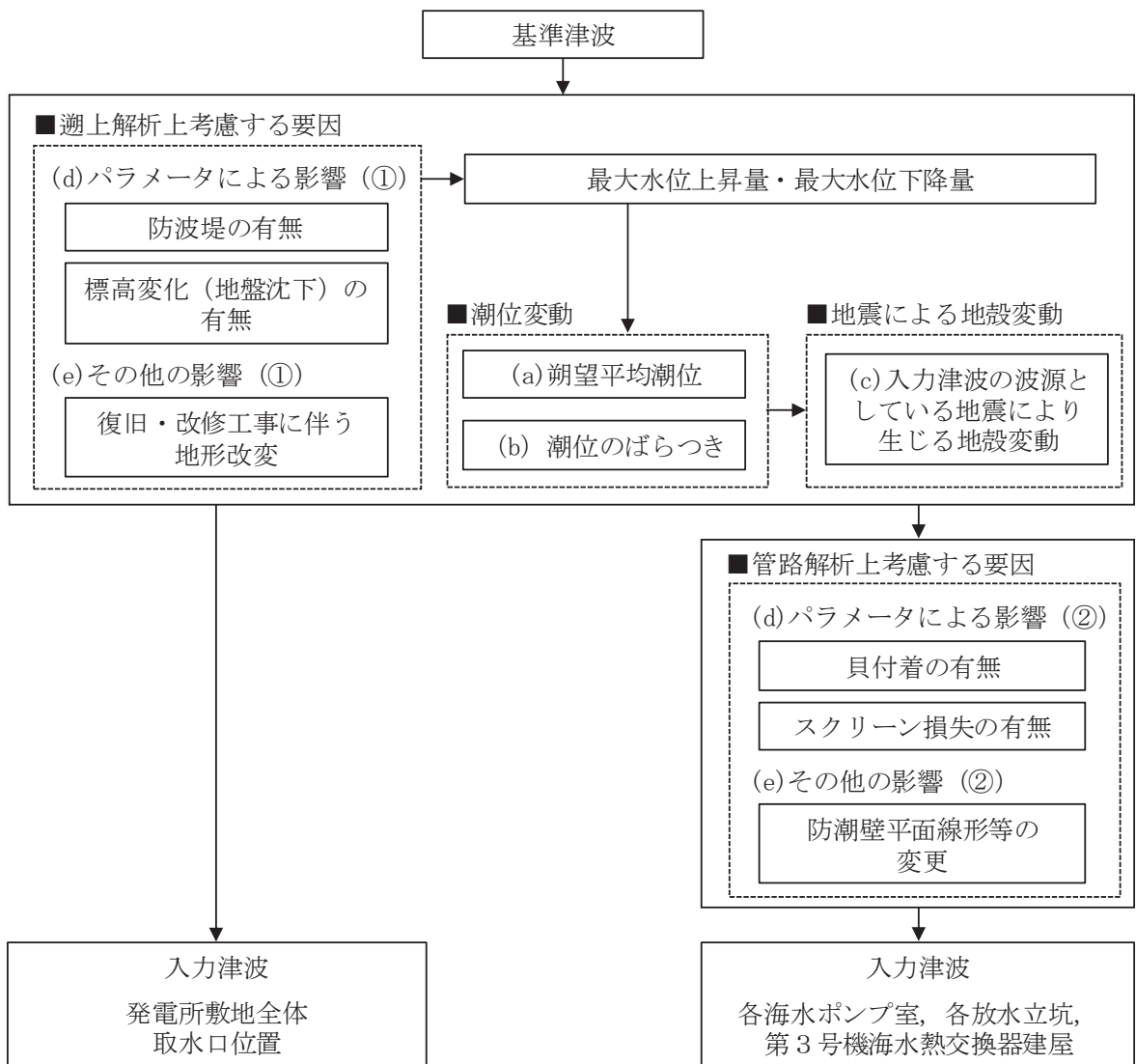


図 1.5-1 入力津波高さの算定フロー

表 1.5-2 (1) 各施設・設備の設置位置におけ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	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 1.5-2 (2) 各施設・設備の設置位置におけ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

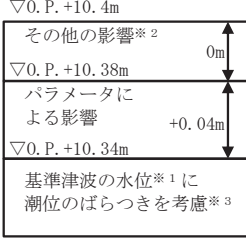
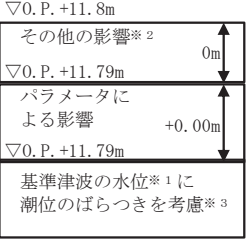
設置位置	津波対策設備	設備分類	入力津波高さ (水位上昇側)	パラメータによる影響の 考慮の程度	パラメータによる 影響で考慮した 条件
第3号機 海水ポンプ 室	防潮壁	津波防護 施設		+0.69m	<ul style="list-style-type: none"> 防波堤の有無 標高変化（地盤沈下）の有無 貝付着の有無 スクリーン損失の有無
	<ul style="list-style-type: none"> 浸水防止蓋 逆止弁付ファンネル 貫通部止水処置 	浸水防止 設備			
第3号機 海水熱交換 器建屋	防潮壁	津波防護 施設		+0.72m	<ul style="list-style-type: 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 1.5-2 (3) 各施設・設備の設置位置におけ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号機海水ポンプ室位置	 <p>▽0.P. +10.4m その他の影響※2 ▽0.P. +10.38m パラメータによる影響 +0.04m ▽0.P. +10.34m 基準津波の水位※1に潮位のばらつきを考慮※3</p>	+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号機放水立坑位置	 <p>▽0.P. +11.8m その他の影響※2 ▽0.P. +11.79m パラメータによる影響 +0.00m ▽0.P. +11.79m 基準津波の水位※1に潮位のばらつきを考慮※3</p>	+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 1.5-2 (4) 各施設・設備の設置位置におけ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>↑</p> <p>パラメータに よる影響 -0. 97m</p> <p>▽0. P. -11. 49m</p> <p>↑</p> <p>潮位のばらつき -0. 10m</p> <p>▽0. P. -11. 59m</p> <p>↑</p> <p>その他の影響※² -0. 14m</p> <p>▽0. P. -11. 73m</p> <p>↑</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</p> <p>▽0. P. -6. 18m</p> <p>↑</p> <p>パラメータに よる影響 -0. 16m</p> <p>▽0. P. -6. 34m</p> <p>↑</p> <p>その他の影響※³ -0. 03m</p> <p>▽0. P. -6. 37m</p> <p>↑</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-0.10m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 1.5-3 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 1.5-3 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又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 1.5-3 (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 (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 1.5-3 (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 (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、原地形状態を考慮し、「現地形、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1.5-4に示す。評価の結果、水位上昇側については各取放水設備で傾向が異なり、第2・3号機海水ポンプ室及び第2・3号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、原地形状態を考慮し、「現地形、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1.5-4に示す。評価の結果、水位上昇側については、各取放水設備で傾向が異なり、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、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、原地形状態を考慮し、「防波堤あり、現地形（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1.5-4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。

ニ. 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、原地形状態を考

慮し、「防波堤あり，現地形（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1.5-4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・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 1.5-4 (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 (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	
								あり	+17.54	
	なし	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	なし	+17.60
									あり	+17.31
									なし	+17.35
	なし	なし	現地形	+18.91	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	なし	あり	+17.65
									なし	+17.71
									あり	+17.63
	なし	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	なし	+17.68
									あり	+17.98
									なし	+18.03
								あり	+17.67	
								なし	+17.71	
								あり	+18.01	
								なし	+18.06	

* : 基本ケース

■ : 解析ケースの最高水位

表 1.5-4 (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 (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*	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*	-	+17.09*
		1m沈下	+17.21						+17.17
	なし	現地形	+17.18						+17.82
		1m沈下	+17.34						+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。

* : 基本ケース

■ : 解析ケース毎の最高水位

表 1.5-4 (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 (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				なし	あり	あり	あり	あり	あり	+18.48
												なし	+18.55
	なし	あり	1m沈下	+19.36				あり	あり	+18.36			
									なし	+18.42			
	なし	なし	現地形	+19.55				あり	あり	+18.59			
									なし	+18.66			
	なし	なし	1m沈下	+19.34				あり	あり	+18.65			
									なし	+18.71			
									あり	+18.87			
									なし	+18.93			
							あり	あり	+18.67				
							なし	なし	+18.73				
							あり	あり	+18.89				
							なし	なし	+18.95				

* : 基本ケース

□ : 解析ケースの最高水位

表 1.5-4 (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)	取水路前面 最大水位 上昇量 (m)	朔望平均潮位 (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				なし	なし	あり	あり	+18.46
										なし	+18.53
			あり				なし		なし	あり	+18.31
										なし	+18.37
	なし	なし	なし	なし	あり	+18.57					
					なし	+18.64					
	なし	なし	なし	なし	あり	あり	+18.60				
						なし	+18.66				
	なし	なし	なし	なし	なし	あり	+18.85				
						なし	+18.91				
なし	なし	なし	なし	あり	あり	+18.62					
					なし	+18.68					
なし	なし	なし	なし	なし	あり	+18.87					
									+18.93		

* : 基本ケース

□ : 解析ケースの最高水位

表 1.5-4 (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 (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 (0. 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*	あり*	+17.17*				
		1m沈下	+17.21					なし	+17.17				
	なし	現地形	+17.18				あり	あり	+17.28				
		1m沈下	+17.34					あり	+17.40				

※ : 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。

* : 基本ケース

■ : 解析ケースの最高水位

表 1.5-4 (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 (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
								あり	+10.38
	あり*	なし	なし	なし	なし	なし	あり	あり	+10.38
								なし	+10.38
								あり	+10.34
	なし	あり*	1m沈下	+18.35	なし	なし	あり	あり	+10.34
								なし	+10.34
								あり	+10.38
	なし	なし	現地形	+18.39	なし	なし	あり	あり	+10.30
								なし	+10.30
								あり	+10.34
なし	なし	1m沈下	+18.47	なし	なし	あり	あり	+10.34	
							なし	+10.31	
							あり	+10.31	
なし	なし	なし	なし	なし	なし	あり	あり	+10.34	
							なし	+10.34	
							あり	+10.34	

* : 基本ケース

: 解析ケースの最高水位

表 1.5-4 (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 (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 放水立坑	あり*	現地形*	+16.39*	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり*	あり*	+11.79*			
		1m沈下	+16.70					なし	+11.79			
	なし	現地形	+17.71				あり	あり	+11.76			
		1m沈下	+17.60					あり	+11.61			
	なし	なし	なし				なし	あり	なし	あり	あり	+11.61
												あり
								なし	+11.58			

※ : 1 系統のみであるとともに水深が深いこと等から放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。

* : 基本ケース

■ : 解析ケースの最高水位

表 1.5-4 (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 (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
	あり*	なし					あり	あり	-6.33
								なし	-6.33
	なし	あり	1m沈下	-10.32			あり	あり	-6.18
								なし	-6.19
	なし	なし					あり	あり	-6.33
								なし	-6.34
	なし	なし	現地形	-11.33			あり	あり	-6.16
								なし	-6.15
	なし	なし	1m沈下	-11.28			あり	あり	-6.32
								なし	-6.34
	なし	なし					あり	あり	-6.16
								なし	-6.17
なし	なし					あり	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. 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（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1.5-5に示す。評価の結果、水位上昇側について、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。水位下降側については、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。

ロ. 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場合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。

「イ. 敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変の影響」及び「ロ. 防潮壁平面線形等の変更の影響」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、いずれの設備も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。敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変及び防潮壁の詳細設計に伴う防潮壁平面線形等の変更の考慮前後の津波高さ一覧を表1.5-7に示す。

表 1.5-5 (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)	湖望平均潮位 (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	湖望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	+23.89
			あり	+21.43				+23.74
			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
			なし	+21.19				+23.50
			1m沈下	あり				+20.92

* : 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 1.5-5 (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 (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 1.5-5 (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 (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				あり	+17.52		
		1m沈下	なし	+19.15				なし	なし	あり	+17.63
			あり	+19.10				なし	なし	あり	+17.63
	なし*	現地形	なし	+18.91				なし	なし	あり	+17.94
			あり	+18.91				なし	なし	あり	+17.95
		1m沈下*	なし	+18.81*				なし*	なし*	あり*	+17.98*
			あり	+18.81				なし*	なし*	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 1.5-5 (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 (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
		なし	+17.21	+16.39							
		あり	+17.18	+16.39							
	なし*	現地形	なし	+17.18				+16.50			
			あり	+17.15				+16.50			
			なし*	+17.34*				+16.52*			
			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。

* : 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 1.5-5 (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 (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				あり	+18.40		
		1m沈下	なし	+19.36				なし	なし	あり	+18.56
			あり	+19.28				なし	なし	あり	+18.51
		なし*	現地形	なし				+19.55	なし	なし	+18.83
				あり				+19.48	なし	なし	あり
	1m沈下*	なし*	なし	+19.34	なし*	なし*	+18.85*				
			あり	+19.26	なし*	なし*	あり*	+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 1.5-5 (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)	湖望平均 潮位 (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*	湖望平均 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	
		なし	+19.36	+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	
		なし	+19.34	+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 1.5-5 (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 (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 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	+16.41
			あり	+17.00							+16.50	+16.50
		なし	+17.21	+16.50							+16.50	
		あり	+17.18	+16.59							+16.59	
	なし*	現地形	なし	+17.18	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり	なし	あり	+16.59	+16.59
			あり	+17.15							+16.62*	+16.62*
		なし*	+17.34*	+16.62*							+16.62*	
		あり	+17.28	+16.62*							+16.62*	

※ : 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, 水位低減に寄与ことから, 「貝付着あり」を基本条件とする。

* : 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 1.5-5 (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 満潮位 (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1号機 海水ポンプ室	あり*	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				なし	なし	—	+10.37		
			なし*	+18.35*				なし*	なし*	—	+10.38*		
	なし	1m沈下*	あり	+18.35				+0.16	沈降を考慮 +0.72	なし	なし	—	+10.37
			なし	+18.39						なし	なし	—	+10.34
			あり	+18.42						なし	なし	—	+10.32
	なし	1m沈下	なし	+18.47				+0.16	沈降を考慮 +0.72	なし	なし	—	+10.34
			あり	+18.43						なし	なし	—	+10.33

※ : 該当設備なし。

* : 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 1.5-5 (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 (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)			
											+11.79			
第 1 号機 放水立坑	あり*	現地形*	なし*	+16.39*	朔望平均 満潮位 +1.43	+0.16	沈降を考慮 +0.72	あり*	なし*	—	+11.77			
			あり	+16.40							+11.76			
		1m沈下	なし	+16.70							あり	なし	—	+11.74
			あり	+16.71										+11.61
		現地形	なし	+17.71							あり	なし	—	+11.58
			あり	+17.74										+11.58
	1m沈下	なし	+17.60	あり	なし	—	+11.56							
		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。

* : 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 1.5-5 (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 (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	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			
		なし	-10.32	-6.36										
	なし	なし	1m沈下	あり				-10.46	あり	あり	なし	なし	あり	-6.37
				なし				-11.33						-6.34
			あり	-11.47				-6.35						
	なし	なし	現地形	なし				-11.28	なし	なし	あり	なし	あり	-6.34
				あり				-11.38						-6.35
			なし	-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 1.5-6 (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 (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	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				
		1m沈下	+19.15						あり	+17.52				
	なし*	現地形	+18.91				なし*	なし	なし	なし	あり	+17.71		
		1m沈下*	+18.81*								あり	+17.63		

* : 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 (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*	現地形	+17.18				あり*	—	あり*	+17.17				
		1m沈下*	+17.34*							なし*	+16.39			
														+17.32
														+16.50
										+17.35*				
										+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。

* : 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 (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 平面形状等 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		
		1m沈下	+19.36						あり	+18.45		
	なし*	現地形	+19.55						なし*	なし	なし	+18.66
		1m沈下*	+19.34*								あり	+18.83
									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 (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						
		1m沈下	+19.36							+18.43						
	なし*	現地形	+19.55						なし*	なし*	+18.64					
		1m沈下*	+19.34*								+18.54					
																+18.91
																+18.81
																+18.93*
																+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 (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 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				
		1m沈下	+17.21							+16.41				
	なし*	現地形	+17.18				あり	なし	なし	あり	なし	あり	+17.28	
		1m沈下*	+17.34*										+16.59	
											あり*	なし*	なし*	+17.44*
												あり	あり	+16.62

※ : 1系統のみであるとともに水深が深いこと等から抜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。

* : 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 (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					
		1m沈下*	-10.32*						あり	-6.36					
	なし	現地形	-11.33						なし*	なし	なし	なし	あり	-6.34*	
		1m沈下	-11.28											あり	-6.36
	なし	なし	なし						なし	なし	なし	なし	なし	なし	-6.34
															なし
	なし	なし	なし						なし	なし	なし	なし	なし	なし	-6.34
															あり

* : 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) 敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変及び防潮壁の詳細設計に伴う
防潮壁平面線形等の変更の考慮前後の津波高さ一覧 (水位上昇側)

設定位置		変更前 (考慮前) (O.P.)	変更後 (考慮後) (O.P.)	その他の影響
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	0m (-0.08m)
防潮壁 (第2号機放水立坑)		+17.35m	+16.52m	0m (-0.83m)
防潮壁 (第3号機海水ポンプ室)		+18.95m	+18.80m	0m (-0.15m)
防潮壁 (第3号機熱交換器建屋)		+18.93m	+18.78m	0m (-0.15m)
防潮壁 (第3号機放水立坑)		+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)
第2号機 海水ポンプ室	浸水防止蓋	+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	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	+18.80m	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	+18.78m	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	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)

表 1.5-7 (2) 敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変及び防潮壁の詳細設計に伴う防潮壁平面線形等の変更の考慮前後の津波高さ一覧（水位下降側）

設定位置	変更前（考慮前） (O.P.)	変更後（考慮後） (O.P.)	その他の影響
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	-6.37m	-0.03m

(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入力津波高さ一覧を表 1.5-8 に示す。

表 1.5-8 (1) 各施設・設備の設置位置における入力津波高さ一覧

区分	設定位置	入力津波高さ	入力津波高さが有する数値計算上の不確かさ						管路解析上考慮する要因			
			パラメータによる影響		その他の影響	潮位変動		地震による地殻変動	パラメータによる影響		その他の影響	
			防波堤	標高変化(地盤沈下)		復旧・改修工事に伴う地形改変	朔望平均潮位		潮位のばらつき	貝付着		スクリン損失
水位 上昇 側	防潮堤 (鋼管式鉛直壁)	0.P. +24.4m	あり	1m沈下	なし				—	—	—	
	防潮堤 (盛土堤防)	0.P. +24.4m	あり	1m沈下	なし				—	—	—	
	防潮壁 (第2号機海水ポンプ室)	0.P. +18.1m	なし	1m沈下	なし				なし	なし	なし	
	防潮壁 (第2号機放水立坑)	0.P. +17.4m	なし	1m沈下	なし				あり	なし	なし	
	防潮壁 (第3号機海水ポンプ室)	0.P. +19.0m	なし	1m沈下	なし				なし	なし	なし	
	防潮壁 (第3号機海水熱交換器建屋)	0.P. +19.0m	なし	1m沈下	なし				なし	なし	なし	
	防潮壁 (第3号機放水立坑)	0.P. +17.5m	なし	1m沈下	なし				あり	なし	なし	
	取放水路流路縮小工 (第1号機取水路)	0.P. +24.4m	あり	1m沈下	なし				—	—	—	
	取放水路流路縮小工 (第1号機放水路)	0.P. +24.4m	あり	1m沈下	なし				—	—	—	
	屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤南側)	0.P. +24.4m	あり	1m沈下	なし				—	—	—	
	屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側)	0.P. +24.4m	あり	1m沈下	なし				—	—	—	
	第2号機海水ポンプ室	浸水防止蓋										
		逆止弁付ファンネル	0.P. +18.1m	なし	1m沈下	なし				なし	なし	なし
		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											
	貫通部止水処置	0.P. +17.4m	なし	1m沈下	なし				あり	なし	なし	

(参考) 詳細設計を反映した防潮壁平面線形等の変更及び復旧・改修工事に伴う地形改変の影響を考慮した入力津波評価について

1. はじめに

耐津波設計を行うに当たって現場確認を要するプロセスとして、遡上解析に必要となる敷地モデルの作成プロセスと耐津波設計の入力条件等（配置、寸法等）の現場確認プロセスの2つがある。遡上解析に関する敷地モデルの作成に関する現場確認プロセスについては、今後、改造工事等により、津波伝播経路上の敷地の状況（地形の改変、人工構造物の新設等）が変更となる場合は、その変更が基準津波に対する耐津波設計の評価に与える影響の有無を検討し、必要に応じて遡上解析を再度実施するとしている。また、耐津波設計に関する入力条件等の現場確認プロセスについては、今後、改造工事等により、基準津波に対する耐津波設計に用いる入力条件等の変更が生じた場合、その変更が耐津波設計の評価に与える影響の有無を検討し、必要に応じて入力条件等の再設定・再評価を実施するとしている。現場確認プロセスの詳細を「5.2 耐津波設計における現場確認プロセスについて」に示す。

遡上解析に関する敷地モデルについて、敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変を含めて、基本設計段階で作成したモデルに変更はないものの、耐津波設計に関する入力条件等については、詳細設計に伴い基本設計段階から各防潮壁の平面線形を変更したとともに、第2号機及び第3号機海水ポンプ室の躯体補強（増厚）により躯体形状を変更したことから、あらためて入力津波評価を実施した。

なお、入力津波高さの設定に当たっては、詳細設計を反映した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前後の数値を比較し、安全側に評価する。

2. 詳細設計を反映した防潮壁平面線形等の変更

(1) 防潮壁

詳細設計に伴い基本設計段階から各防潮壁の平面線形を変更した。詳細設計を反映した防潮壁の平面配置（変更前後）を図 2-1 に、防潮壁面積（変更前後）を表 2-1 に示す。

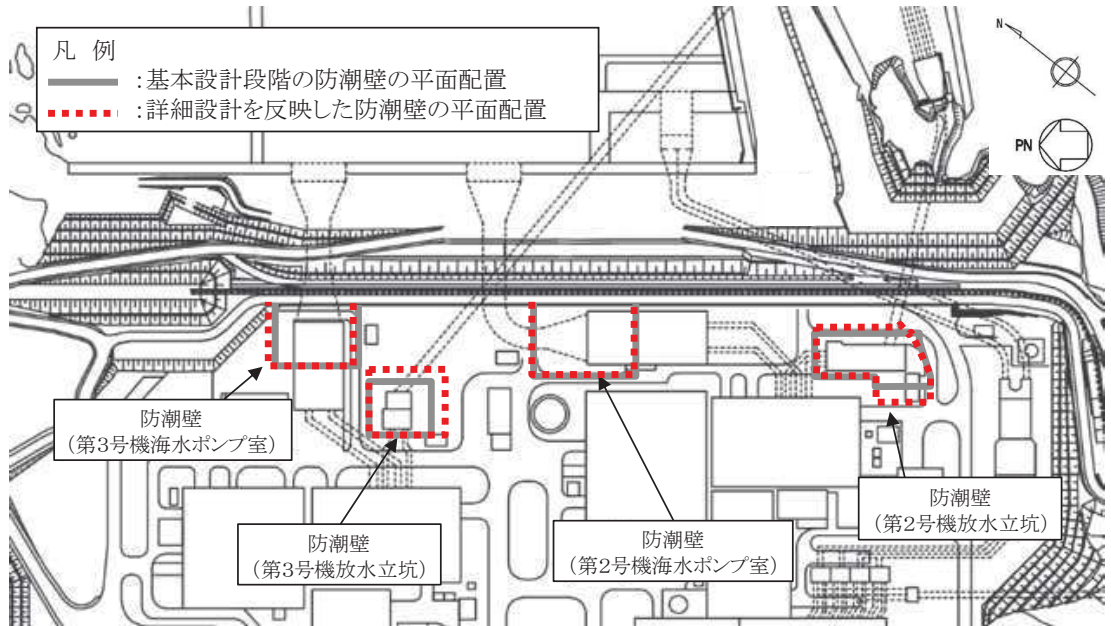


図 2-1 詳細設計を反映した防潮壁の平面配置（変更前後）

表 2-1 詳細設計を反映した防潮壁面積（変更前後）

防潮壁	変更前 (基本設計段階)	変更後 (詳細設計段階)
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)	1870m ²	2650m ²
防潮壁 (第 3 号機海水ポンプ室)	1960m ²	2030m ²
防潮壁 (第 3 号機放水立坑)	1300m ²	1820m ²

(2) 第2号機及び第3号機海水ポンプ室

詳細設計に伴う躯体補強（増厚）により基本設計段階から躯体形状を変更した。第2号機海水ポンプ室の躯体形状（変更後）を図2-2に、第3号機海水ポンプ室の躯体形状（変更後）を図2-3に示す。また、詳細設計を反映した非常用取水設備の貯留量（変更前後）を表2-2に示す。

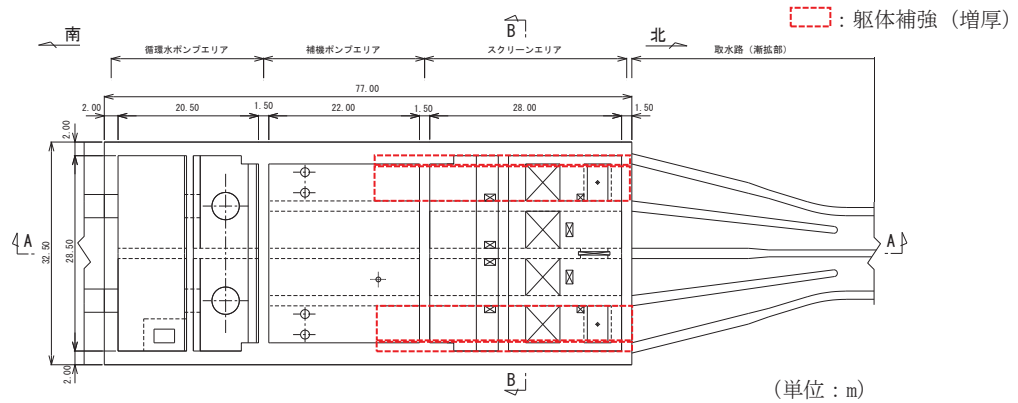


図 2-2(1) 第2号機海水ポンプ室平面図

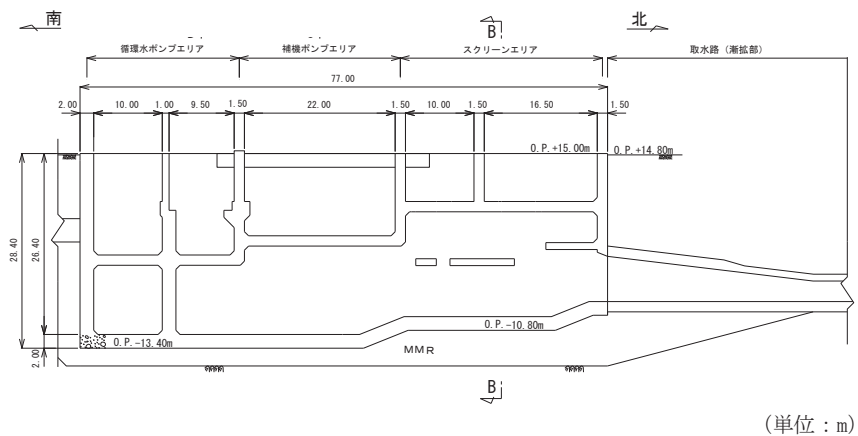


図 2-2(2) 第2号機海水ポンプ室縦断図 (A-A)

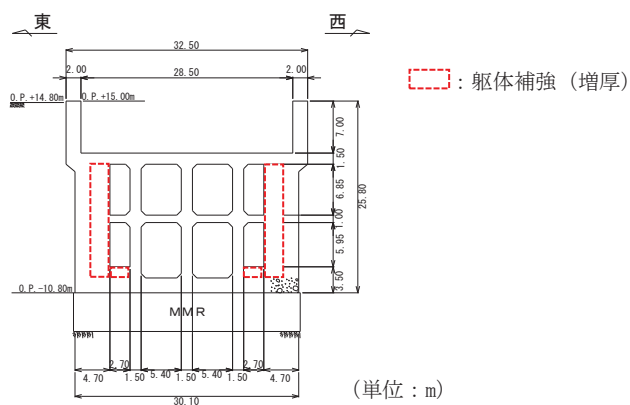


図 2-2(3) 第2号機海水ポンプ室断断図 (B-B)

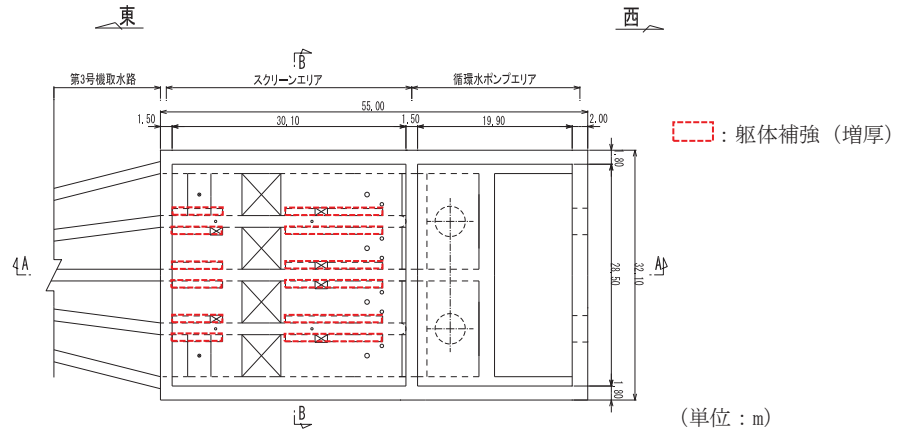


図 2-3(1) 第 3 号機海水ポンプ室平面図

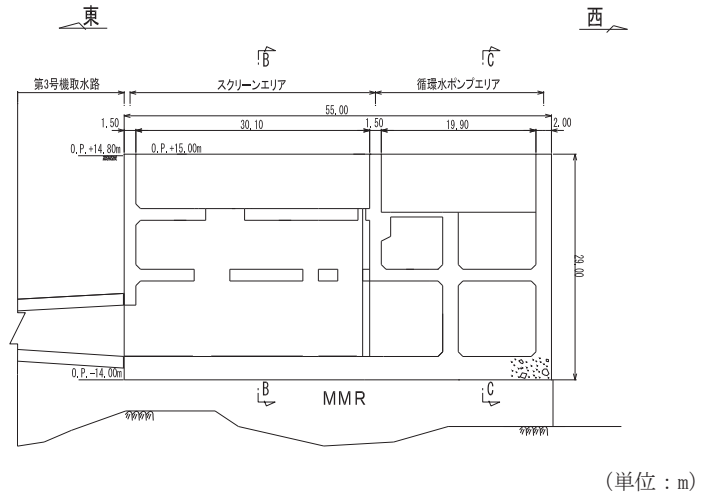


図 2-3(2) 第 3 号機海水ポンプ室縦断面図 (A-A)

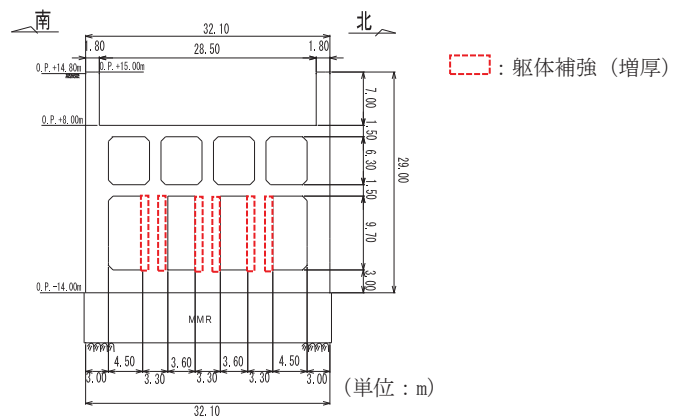


図 2-3(3) 第 3 号機海水ポンプ室断面図 (B-B)

表 2-2 詳細設計を反映した第 2 号機海水ポンプ室の貯留量（変更前後）

貯留量	変更前 (基本設計)	変更後 (詳細設計)
非常用取水設備* ¹	5100m ²	4300m ² * ²

*1：貯留堰，取水口，取水路及び海水ポンプ室で確保する水量の合計値を示す。

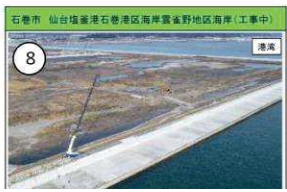
*2：貯留量（4300m³）の詳細は，「1.7 非常用取水設備内に貯留される水量の算定について」に示す。

3. 敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変

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・防潮堤の建設や住宅の高台移転等を目的とした造成による復旧・改修工事が計画されており，発電所の位置する宮城県では，ほぼ全ての計画箇所です工事が進められている。宮城県における防潮堤の建設計画を図 3-1 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。



海岸堤防(防潮堤)の復旧・復興状況について (R2年2月末)

区分	事業者	復旧・復興計画		工事着手済		工事着手率(%)		完了	
		箇所数	延長km	箇所数	延長km	箇所	延長	箇所数	延長km
農地海岸	国・県	98	26.2	98	26.2	100%	100%	89	25.6
漁港海岸	国・県・市・町	145	83.3	143	82.1	99%	99%	45	21.7
建設海岸	国・県	66	62.0	66	62.0	100%	100%	47	50.2
港湾海岸	県	37	54.3	37	54.3	100%	100%	16	10.8
治山	国・県	23	13.5	23	13.5	100%	100%	16	9.8
合計		369	239.3	367	238.1	99%	99%	213	118.1

・表中の工事着手済、工事着手率及び完了の黒字アンダーラインは、前回(R1:11月末)時点からの変更になります。

凡例

- 工事着手区間 (Blue line)
- 未着手区間 (Yellow line)
- 工事完成区間 (Red line)



環境・景観等に配慮した防潮堤の整備(中島海岸)

気仙沼市本吉町に位置する中島海岸は、東日本大震災により発生した津波等の影響により、防潮堤等の施設が大きな被害を受けました。施設の復旧に当たっては、比較的頻度の高い(数十年から百数十年に一度)津波に対する高さ(T.P+14.7m)で防潮堤の整備を行い、平成30年5月に防潮堤部分が完成しました。

中島海岸では、現在、環境や景観等に配慮するため、専門家から樹種の選定や植栽方法についてご意見をいただきながら、防潮堤の緑化整備を進めています。



図 3-1 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))

4. 入力津波評価

(1) 水位上昇側

詳細設計を反映した防潮壁平面線形等の変更及び敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変の考慮前後の津波高さの比較から、安全側に評価した入力津波高さを表 4-1 に示す。

表 4-1 詳細設計を反映した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考慮前後の津波高さ及び入力津波高さ（水位上昇側）

		変更前（考慮前） (O.P.)	変更後（考慮後） (O.P.)	入力津波高さ (O.P.)
防潮堤 (鋼管式鉛直壁)		<u>+24.34m</u>	+24.16m	+24.4m
防潮堤 (盛土堤防)		<u>+24.34m</u>	+24.16m	+24.4m
防潮壁 (第2号機海水ポンプ室)		<u>+18.06m</u>	+17.98m	+18.1m
防潮壁 (第2号機放水立坑)		<u>+17.35m</u>	+16.52m	+17.4m
防潮壁 (第3号機海水ポンプ室)		<u>+18.95m</u>	+18.80m	+19.0m
防潮壁 (第3号機熱交換器建屋)		<u>+18.93m</u>	+18.78m	+19.0m
防潮壁 (第3号機放水立坑)		<u>+17.44m</u>	+16.62m	+17.5m
取放水路流路縮小工 (第1号機取水路)		<u>+24.34m</u>	+24.16m	+24.4m
取放水路流路縮小工 (第1号機放水路)		<u>+24.34m</u>	+24.16m	+24.4m
屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤南側)		<u>+24.34m</u>	+24.16m	+24.4m
屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側)		<u>+24.34m</u>	+24.16m	+24.4m
第2号機 海水ポンプ室	浸水防止蓋	<u>+18.06m</u>	+17.98m	+18.1m
	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	<u>+17.35m</u>	+16.52m	+17.4m
	貫通部止水処置			
第3号機 海水ポンプ室	浸水防止蓋	<u>+18.95m</u>	+18.80m	+19.0m
	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	<u>+18.93m</u>	+18.78m	+19.0m
	浸水防止蓋			
第3号機 放水立坑	浸水防止蓋	<u>+17.44m</u>	+16.62m	+17.5m
	貫通部止水処置			
第1号機海水ポンプ室		<u>+10.38m</u>	+10.37m	+10.4m
第1号機放水立坑		<u>+11.79m</u>	+11.77m	+11.8m

(2) 水位下降側

a. 入力津波高さ

詳細設計を反映した防潮壁平面線形等の変更及び敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変の考慮前後の津波高さの比較から、安全側に評価した入力津波高さを表 4-2 に示す。

表 4-2 詳細設計を反映した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考慮前後の津波高さ及び入力津波高さ（水位下降側）

設定位置	変更前（考慮前） (O. P.)	変更後（考慮後） (O. P.)	入力津波高さ (O. P.)
第 2 号機取水口前面	-11.59m	<u>-11.73m</u>	-11.8m
第 2 号機海水ポンプ室	-6.34m	<u>-6.37m</u>	-6.4m

b. 貯留堰の天端高さを下回る時間

敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変前後の第2号機取水口前面における水位時刻歴波形及び貯留堰の天端高さを下回る時間を図4-1に示す。

復旧・改修工事に伴う地形改変前後で、第2号機取水口前面における水位時刻歴波形及び貯留堰の天端高さを下回る時間に有意な差はなく、貯留堰の天端高さを下回る時間は約4分間である。

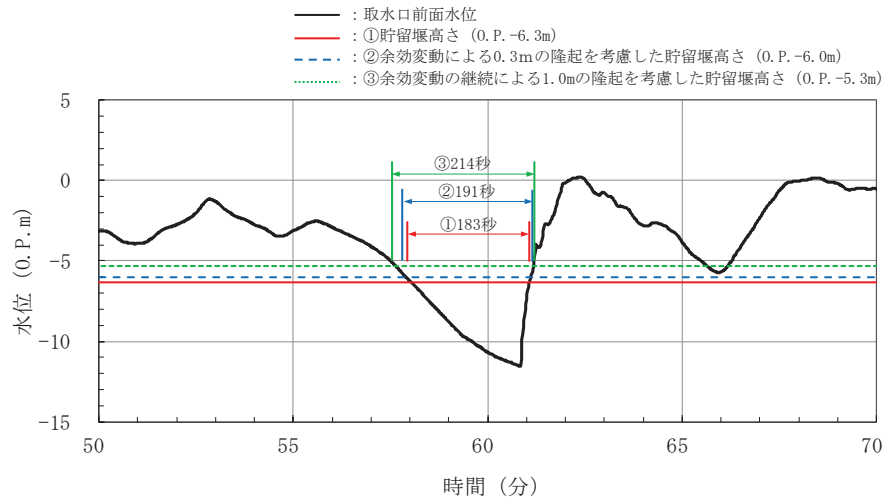


図4-1(1) 第2号機取水口前面における水位時刻歴波形及び貯留堰天端高さを下回る時間
(復旧・改修工事に伴う地形改変前)

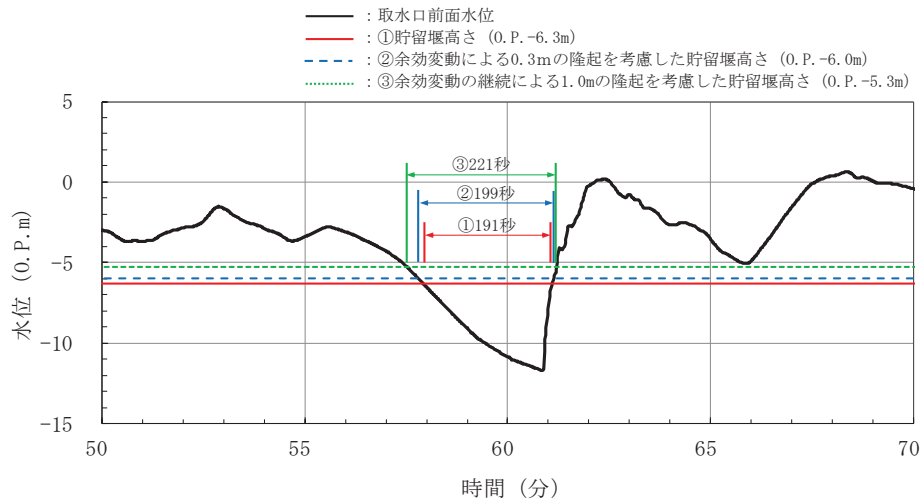


図4-1(2) 第2号機取水口前面における水位時刻歴波形及び貯留堰天端高さを下回る時間
(復旧・改修工事に伴う地形改変後)

c. 第2号機海水ポンプ室の水位時刻歴波形

詳細設計を反映した防潮壁平面線形等の変更前後の第2号機海水ポンプ室の水位時刻歴波形を図4-2に示す。

同時刻歴波形に有意な差はなく、防潮壁平面線形等の変更が水位時刻歴波形に及ぼす影響はないことを確認した。

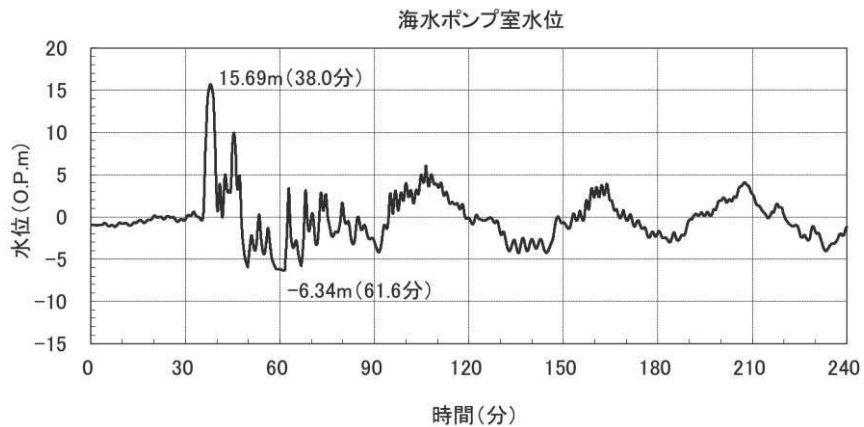


図4-2(1) 第2号機海水ポンプ室の時刻歴波形
(防潮壁平面線形等の変更前)

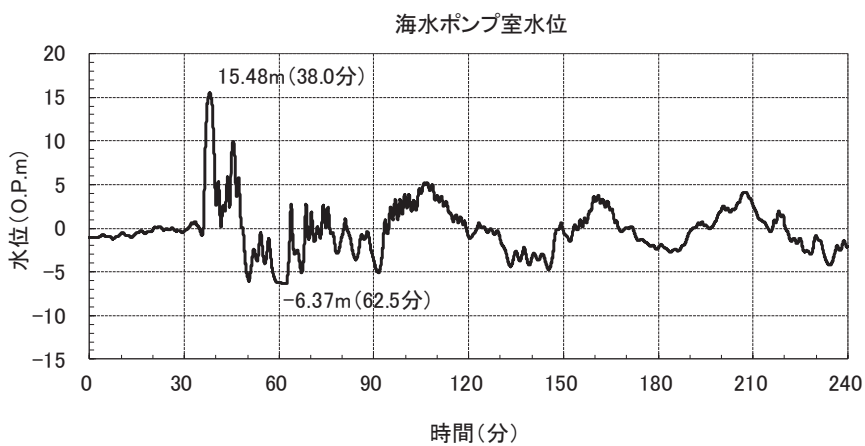


図4-2(2) 第2号機海水ポンプ室の時刻歴波形
(防潮壁平面線形等の変更後)

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	-	○

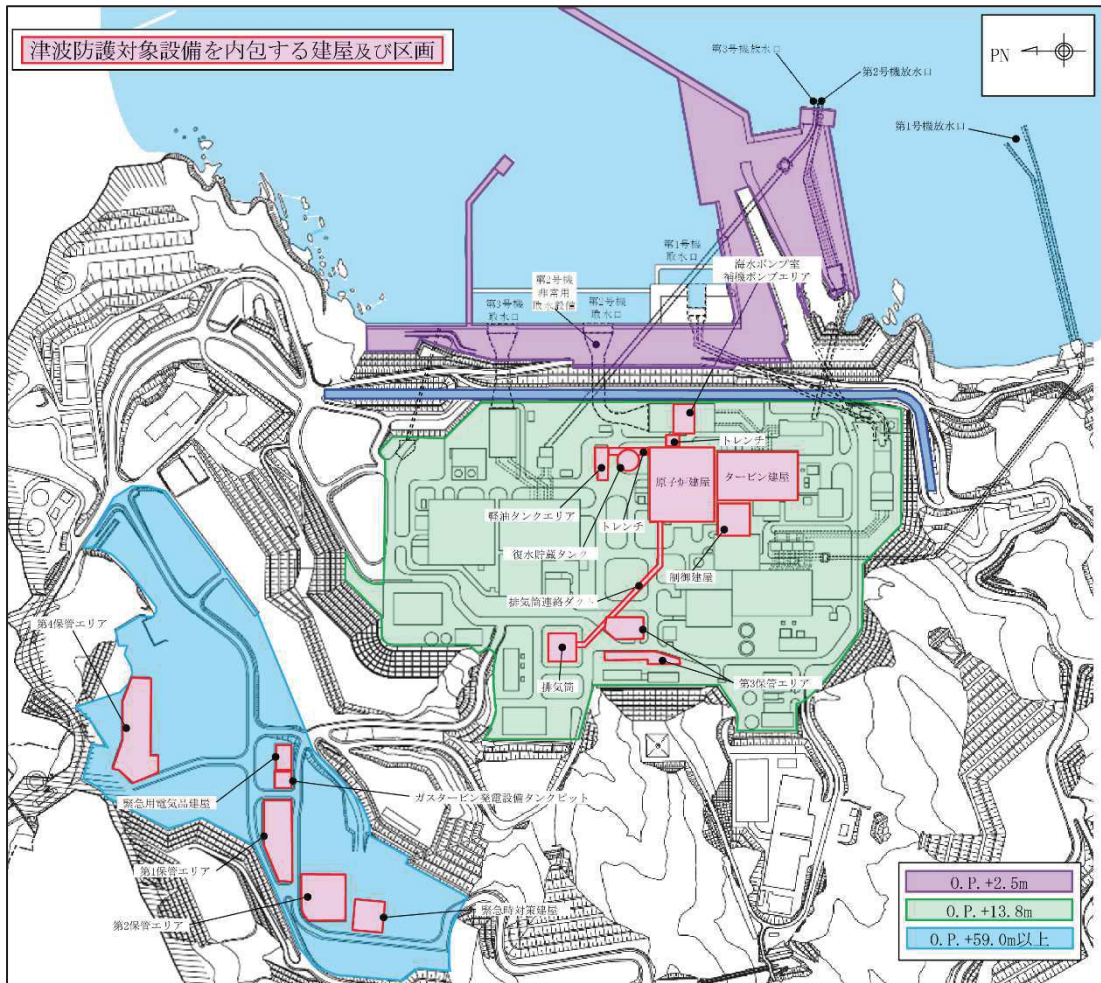


図 2.1-1 津波防護対象設備を内包する建屋及び区画の配置

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, +7.0, +10.4	8-7
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

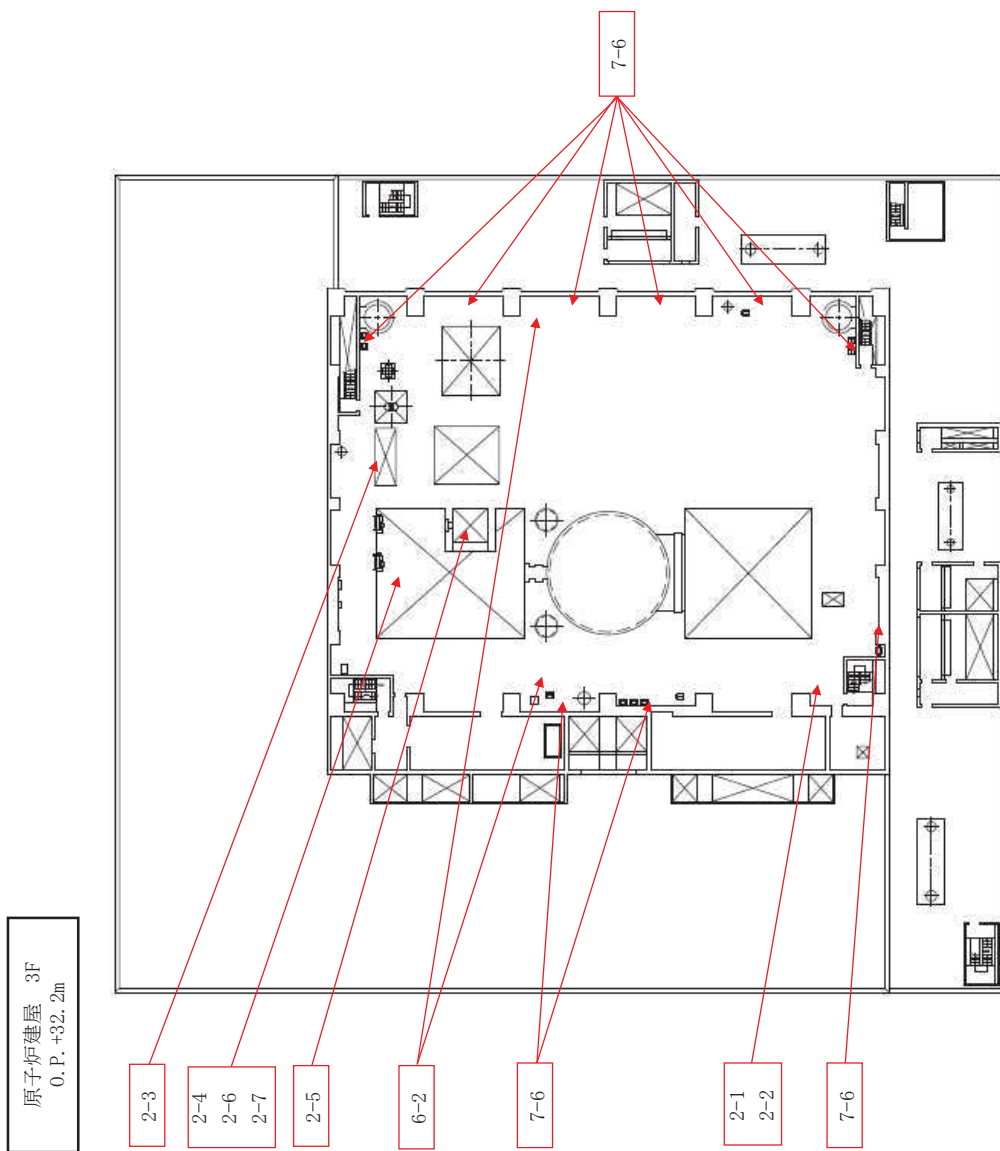


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (1/14)

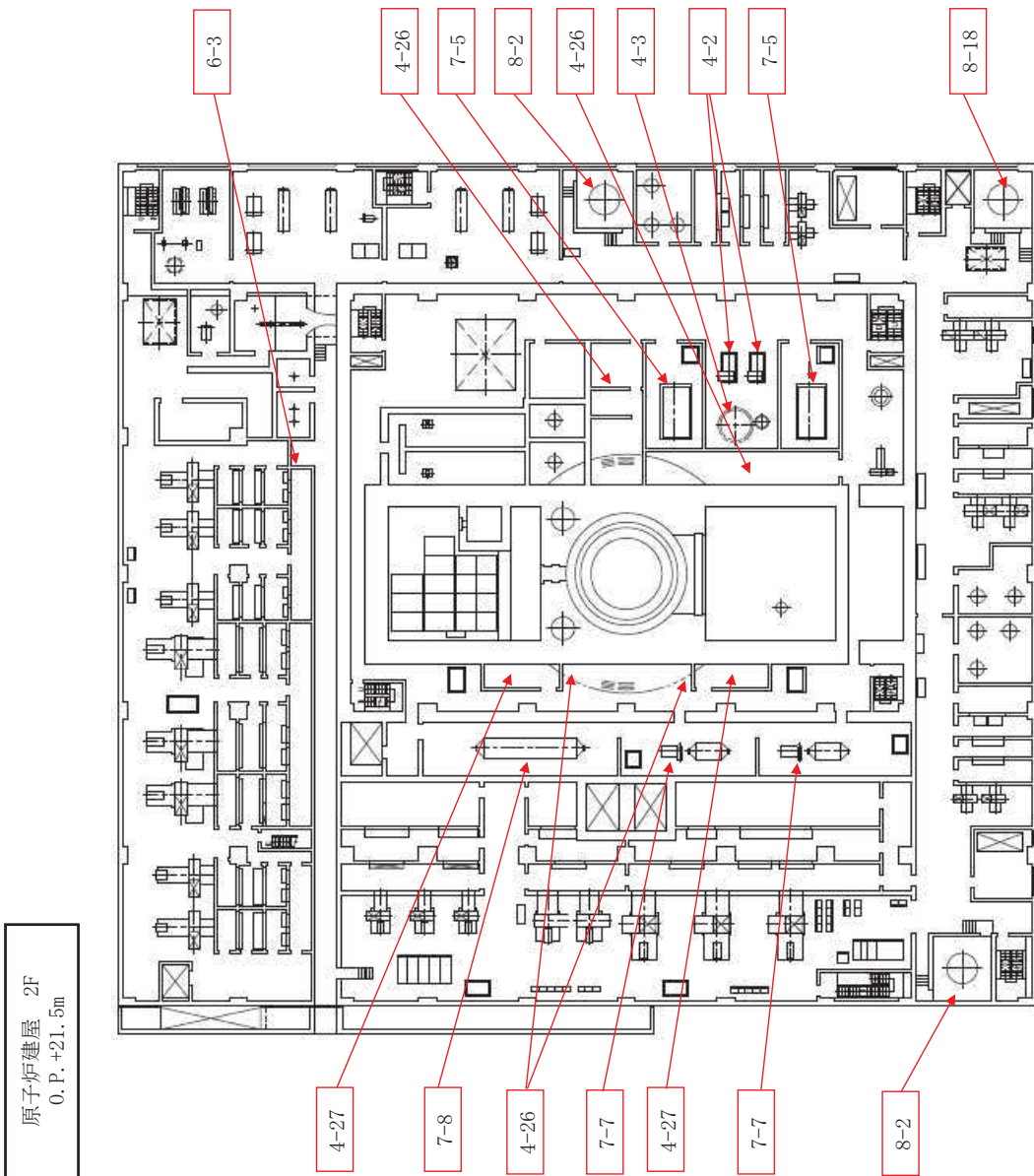


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (2/14)

原子炉建屋 M2F

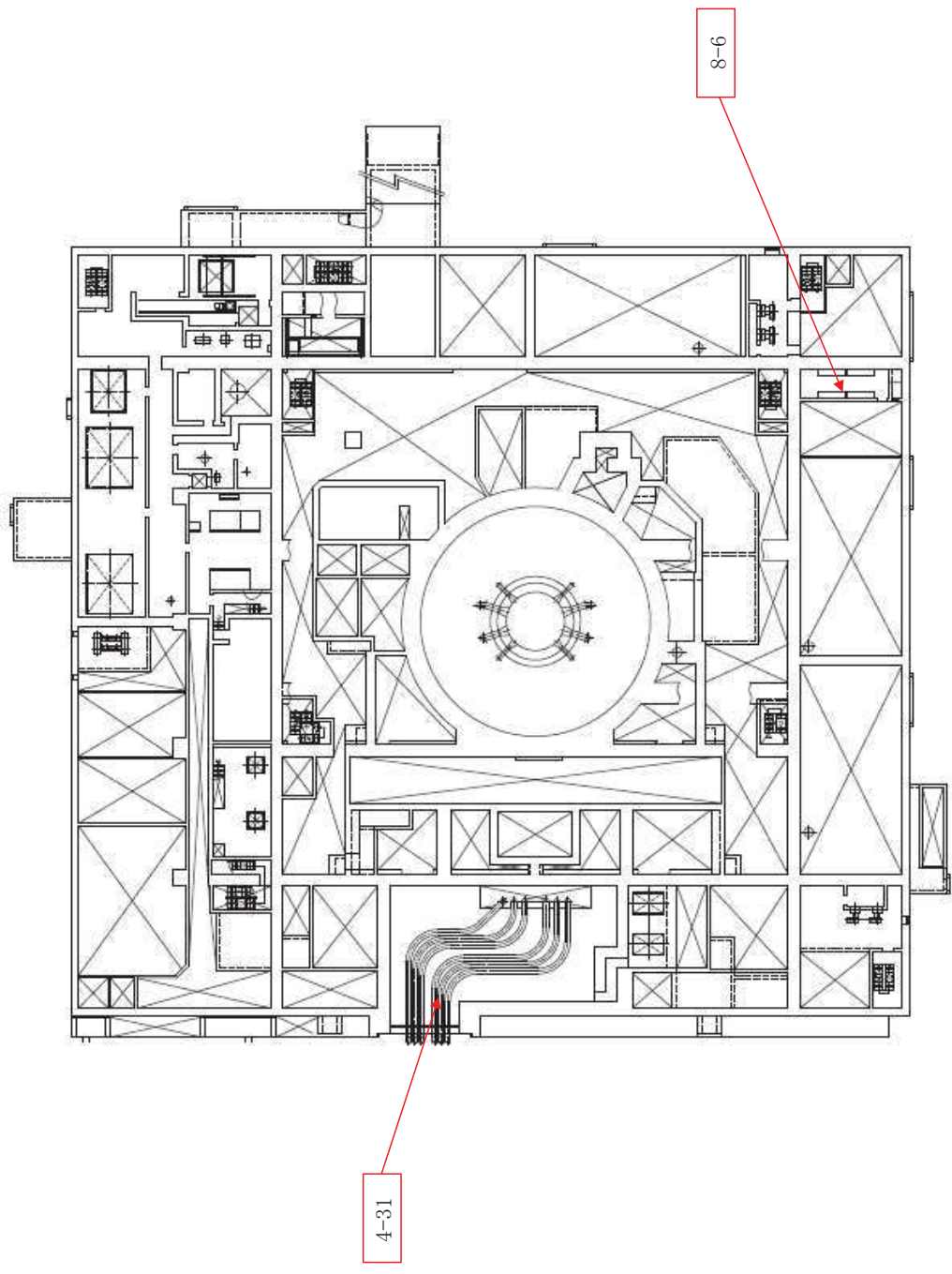


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (3/14)

原子炉建屋 1F
O.P. +14.1m

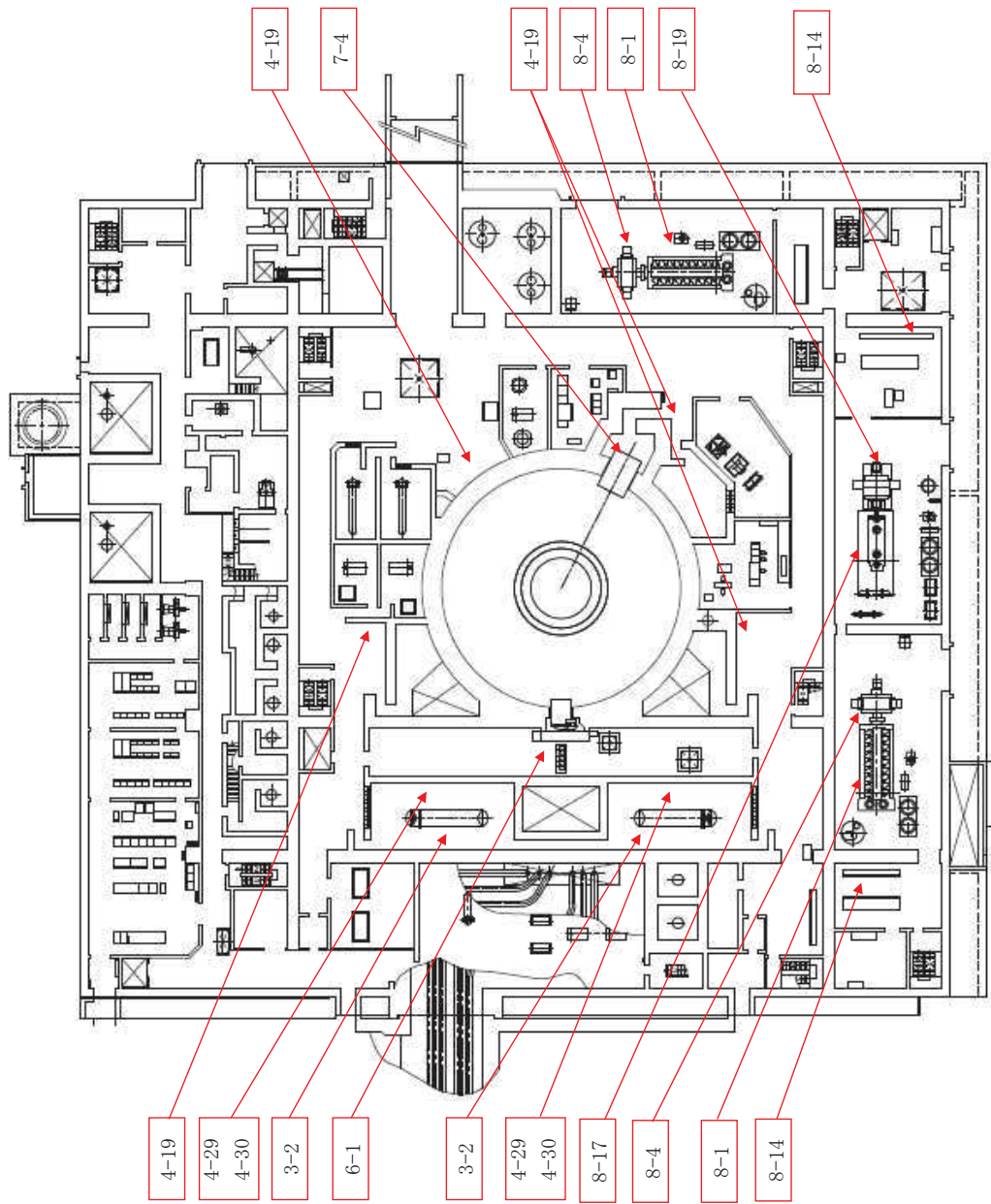


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (4/14)

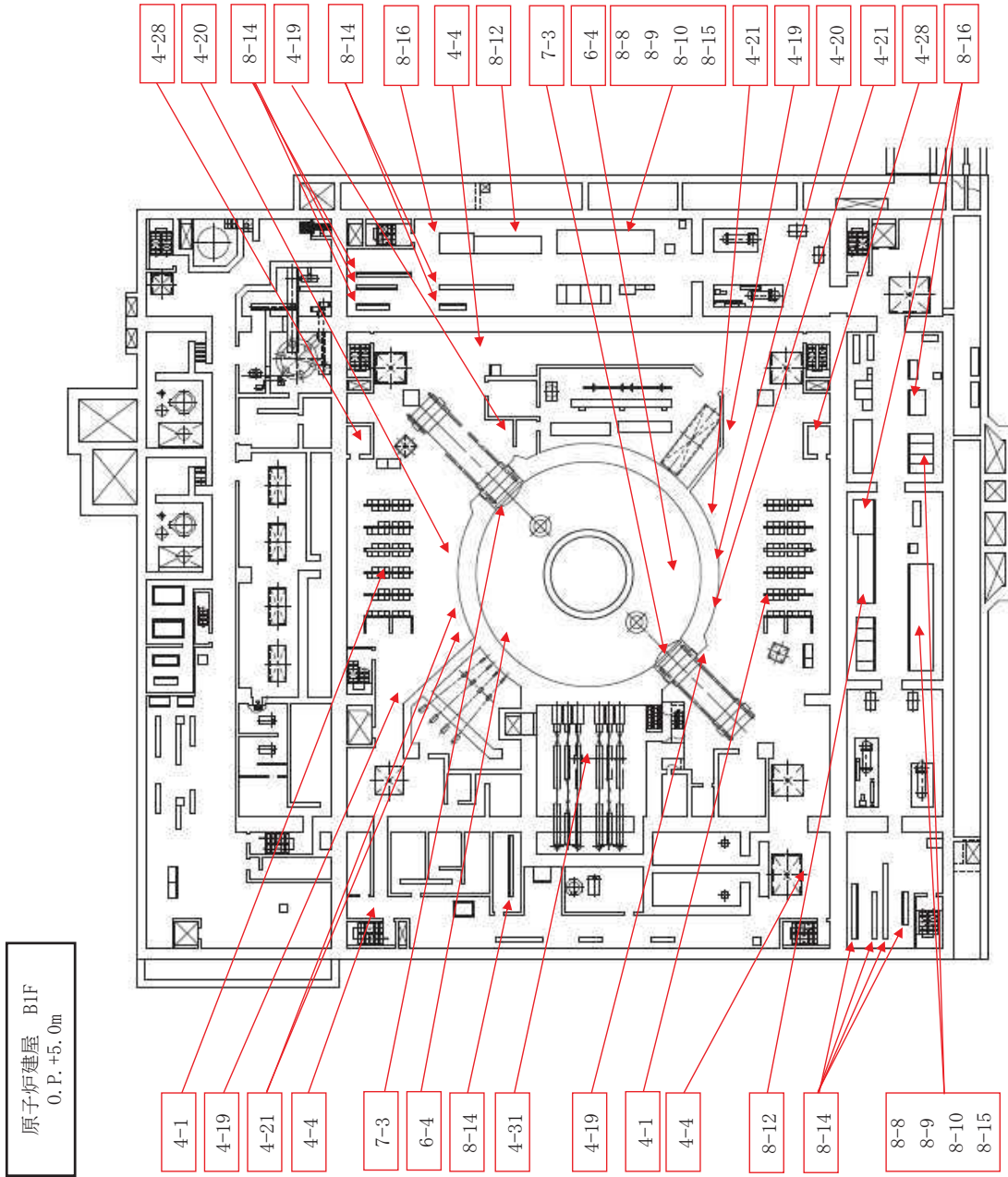


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (5/14)

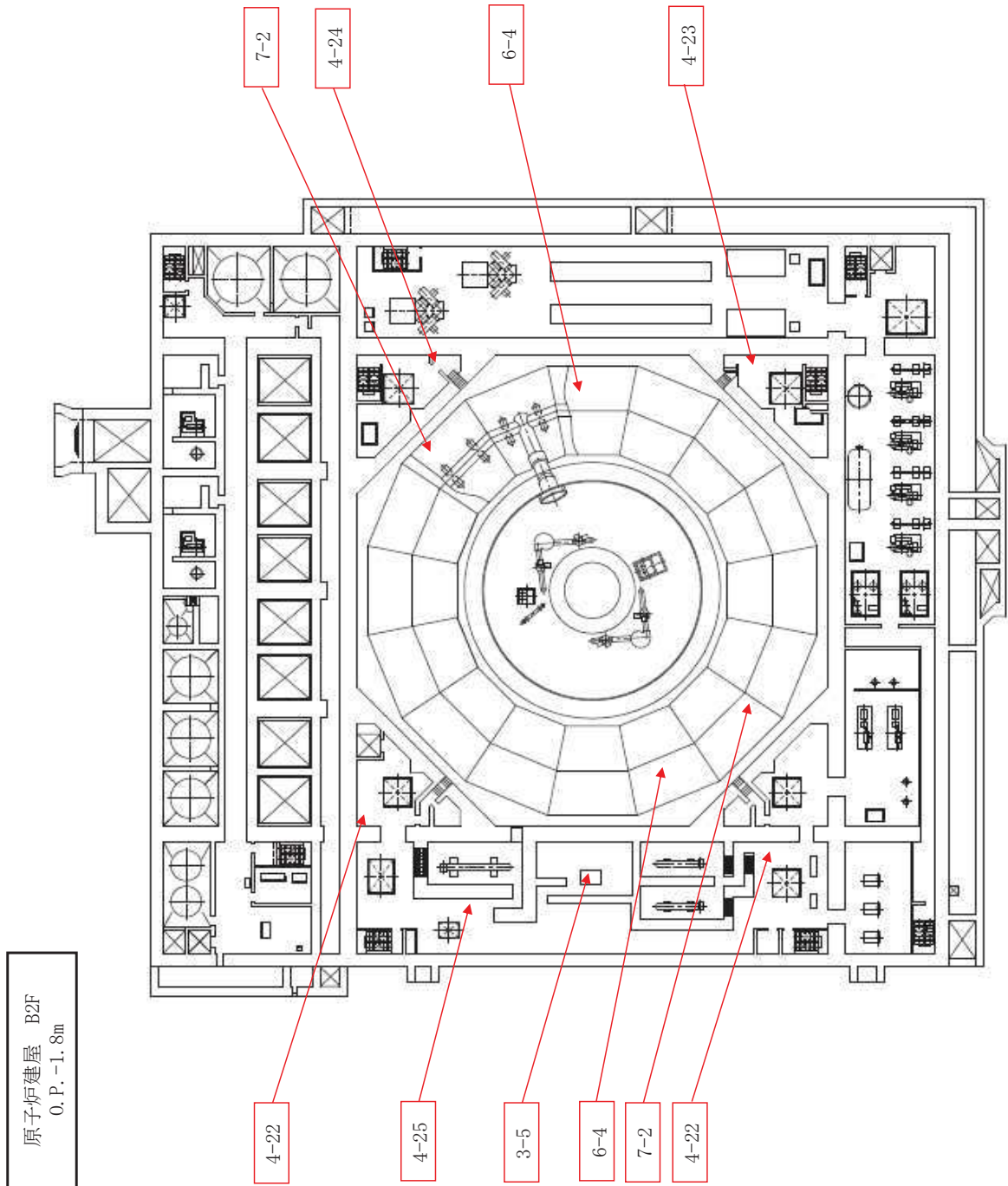


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (6/14)

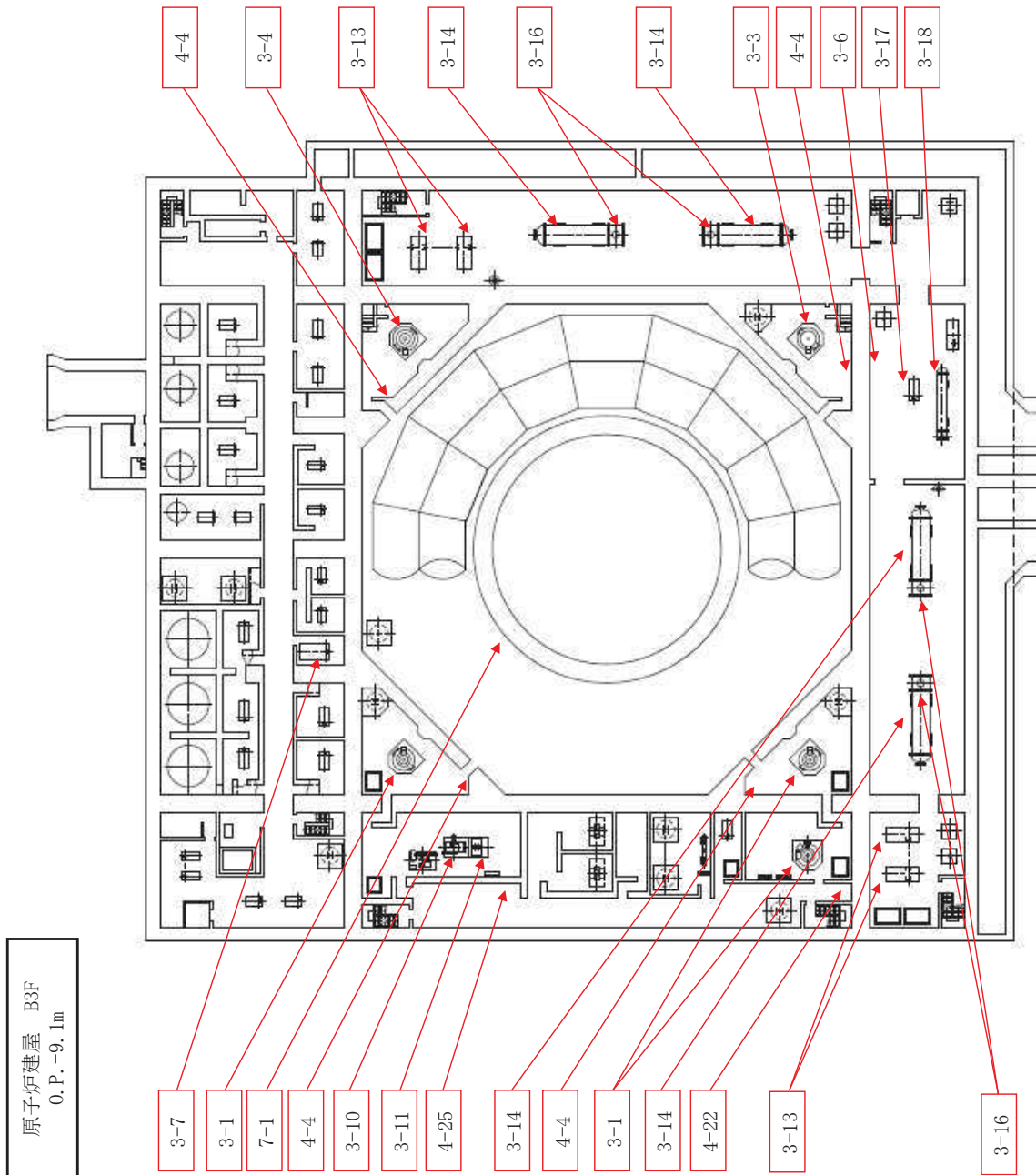
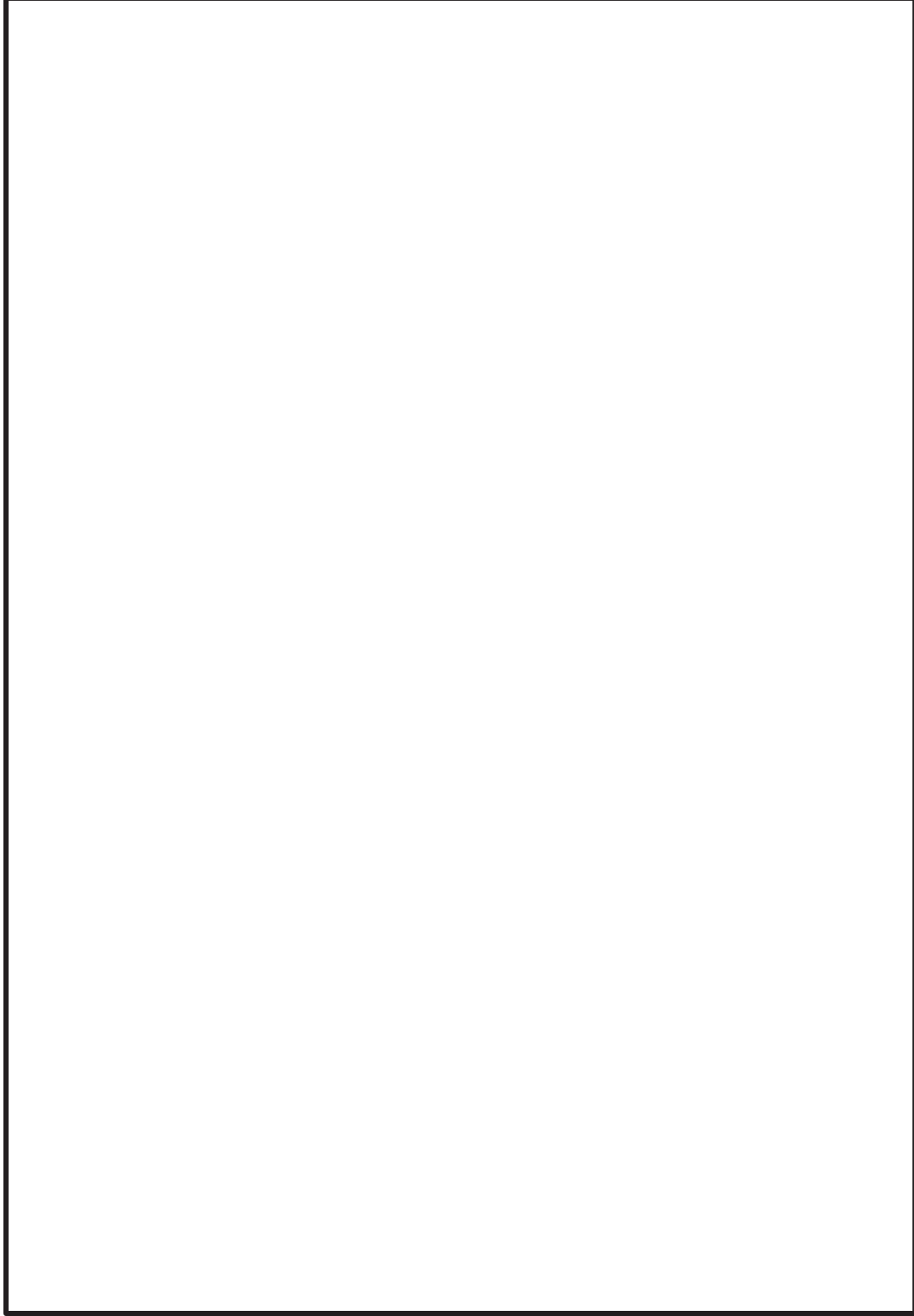


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (7/14)



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

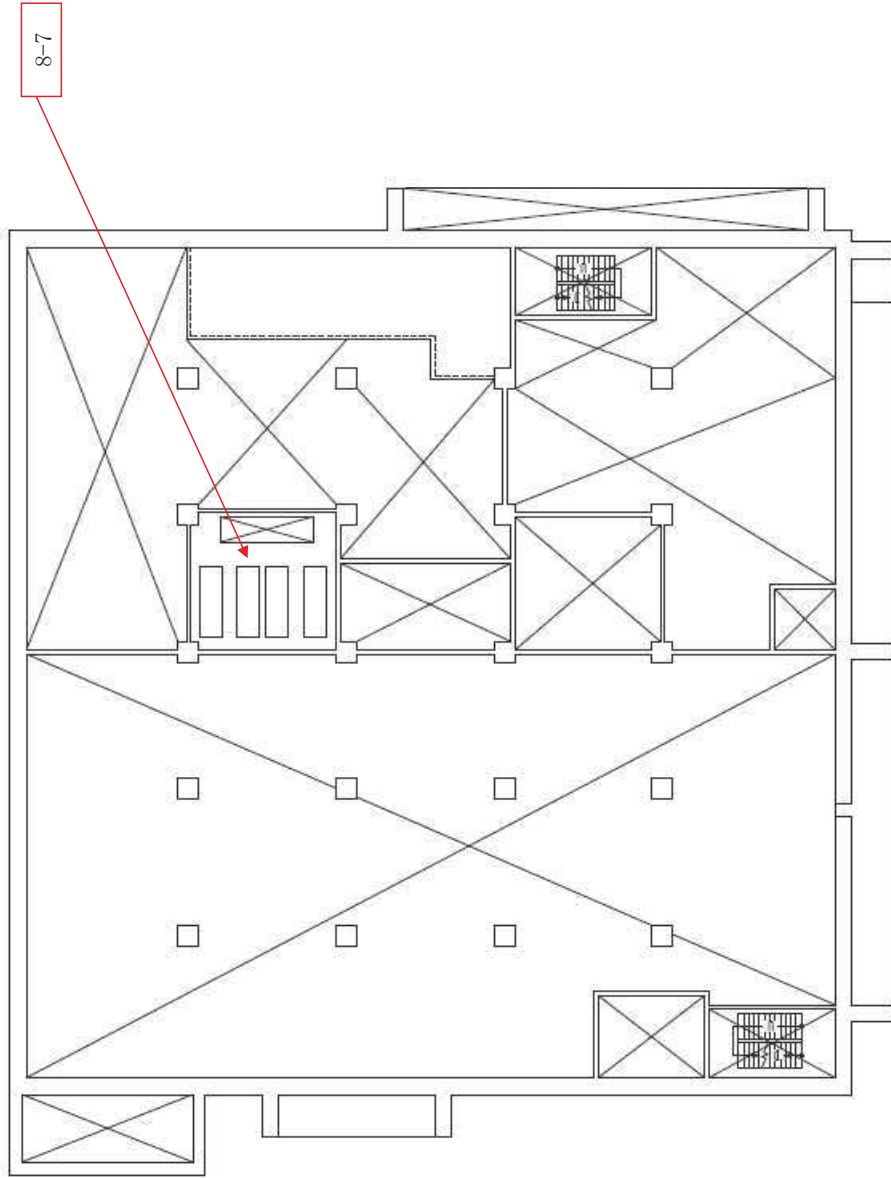


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (9/14)

制御建屋 B1F
0. P. +7. 0m

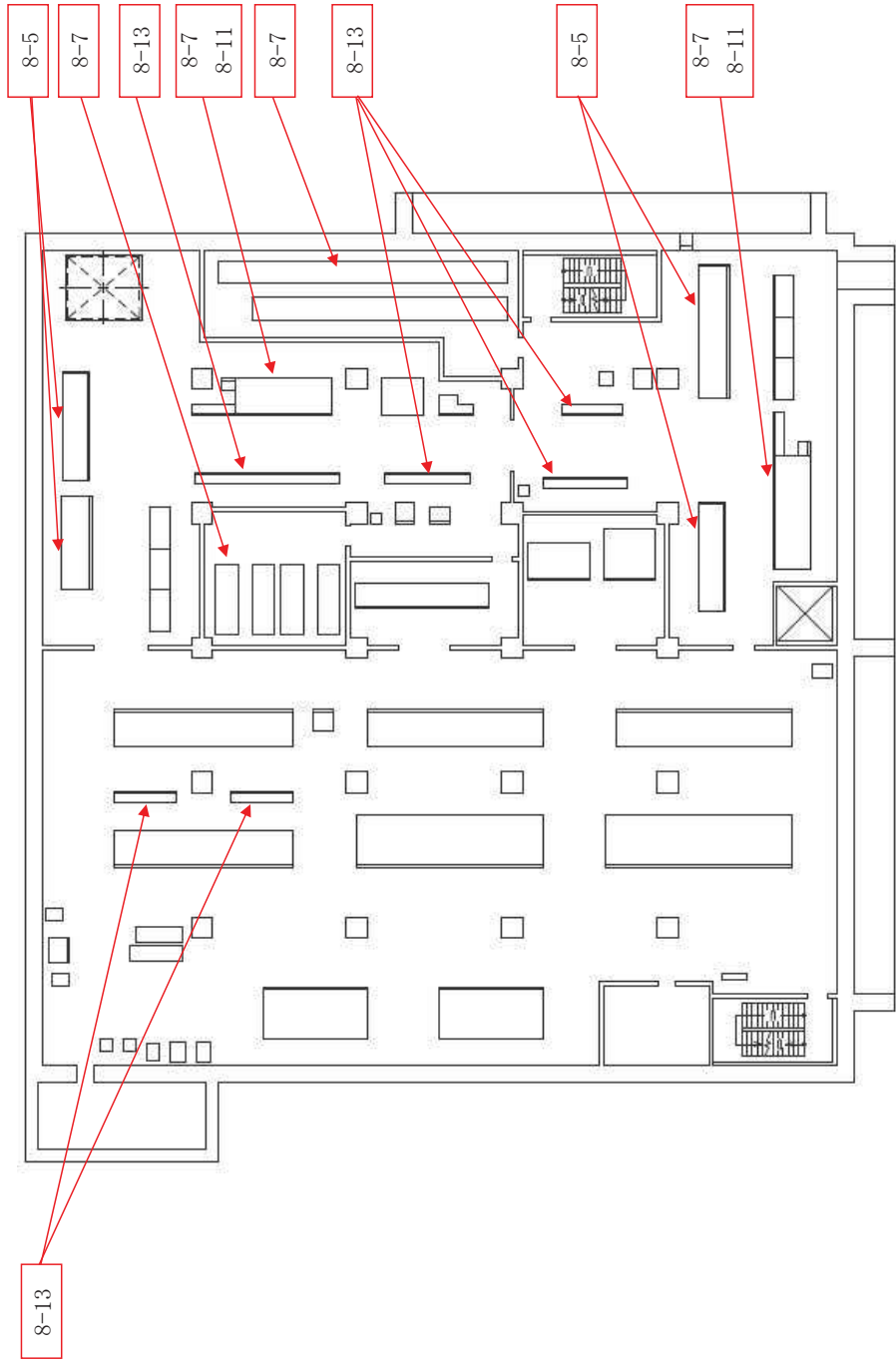


図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (10/14)

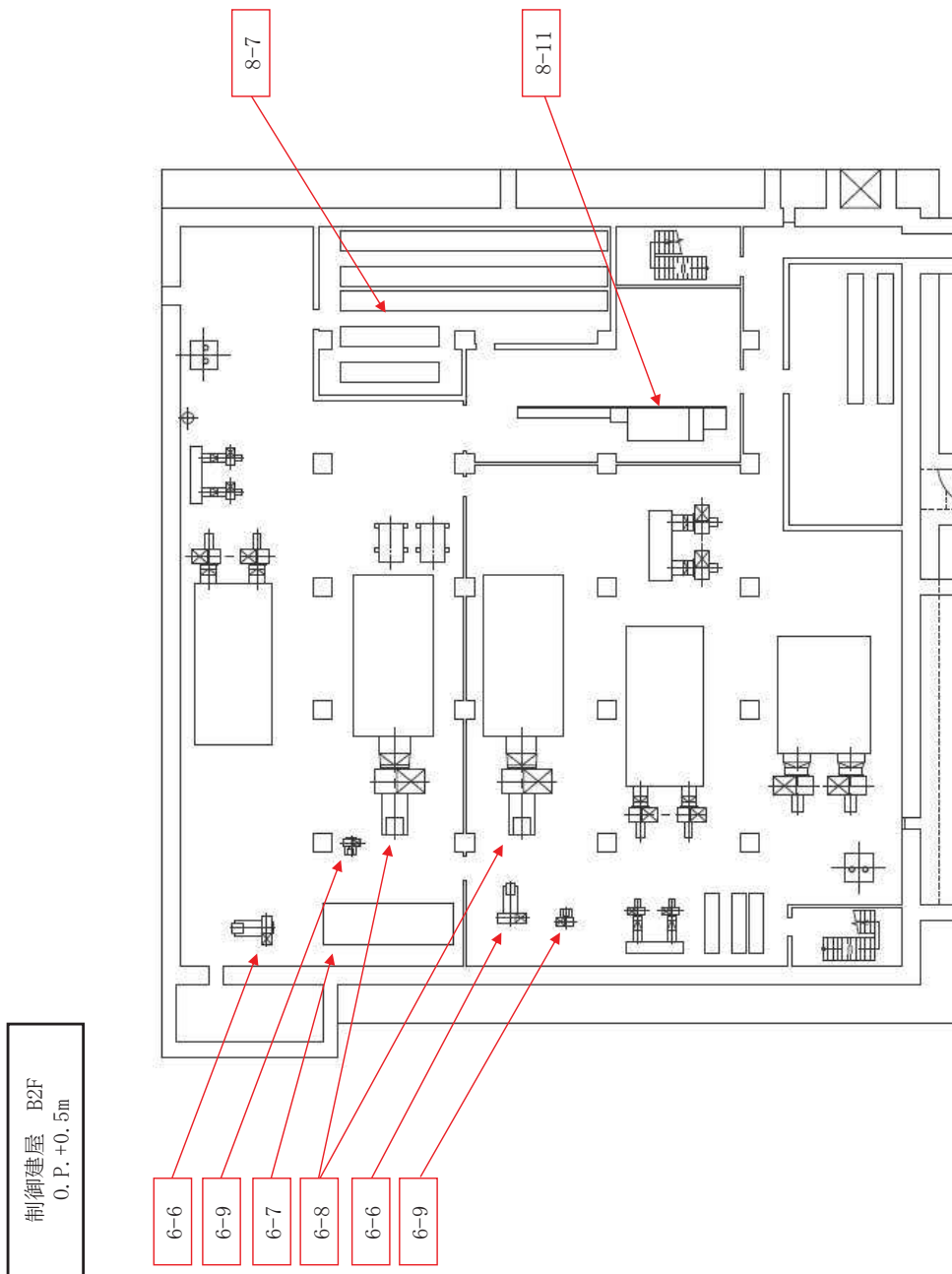
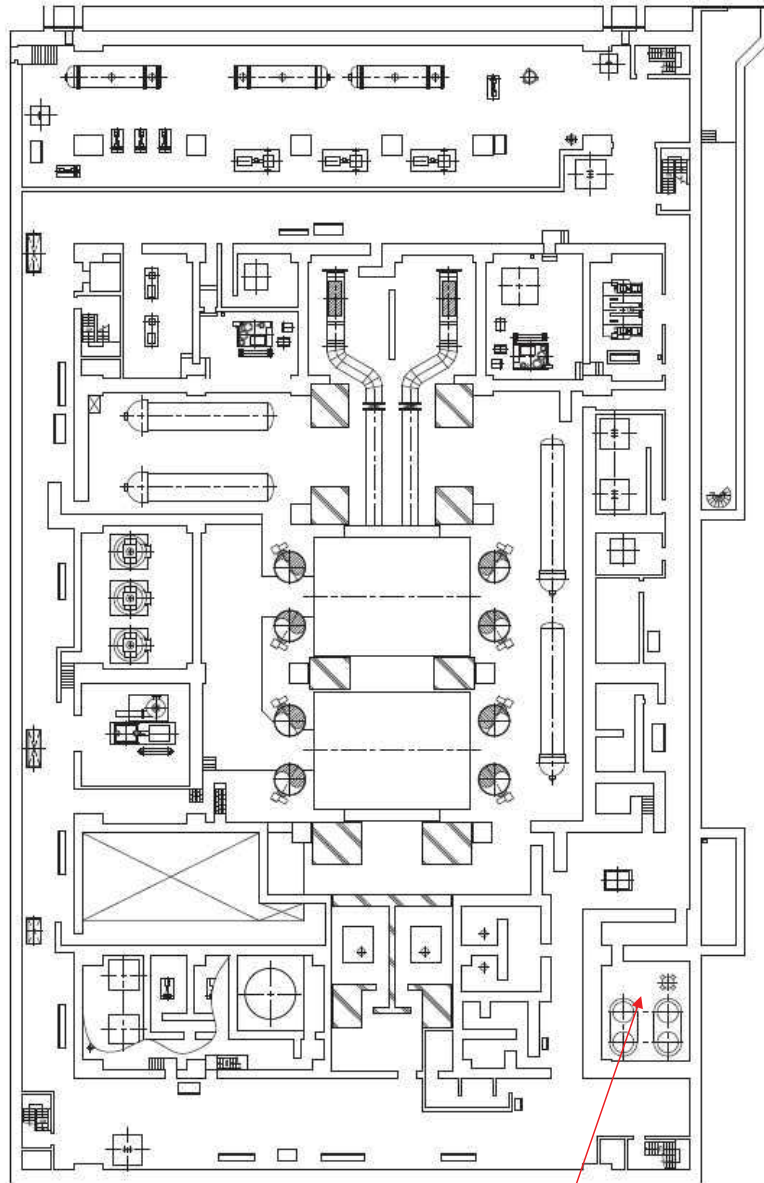


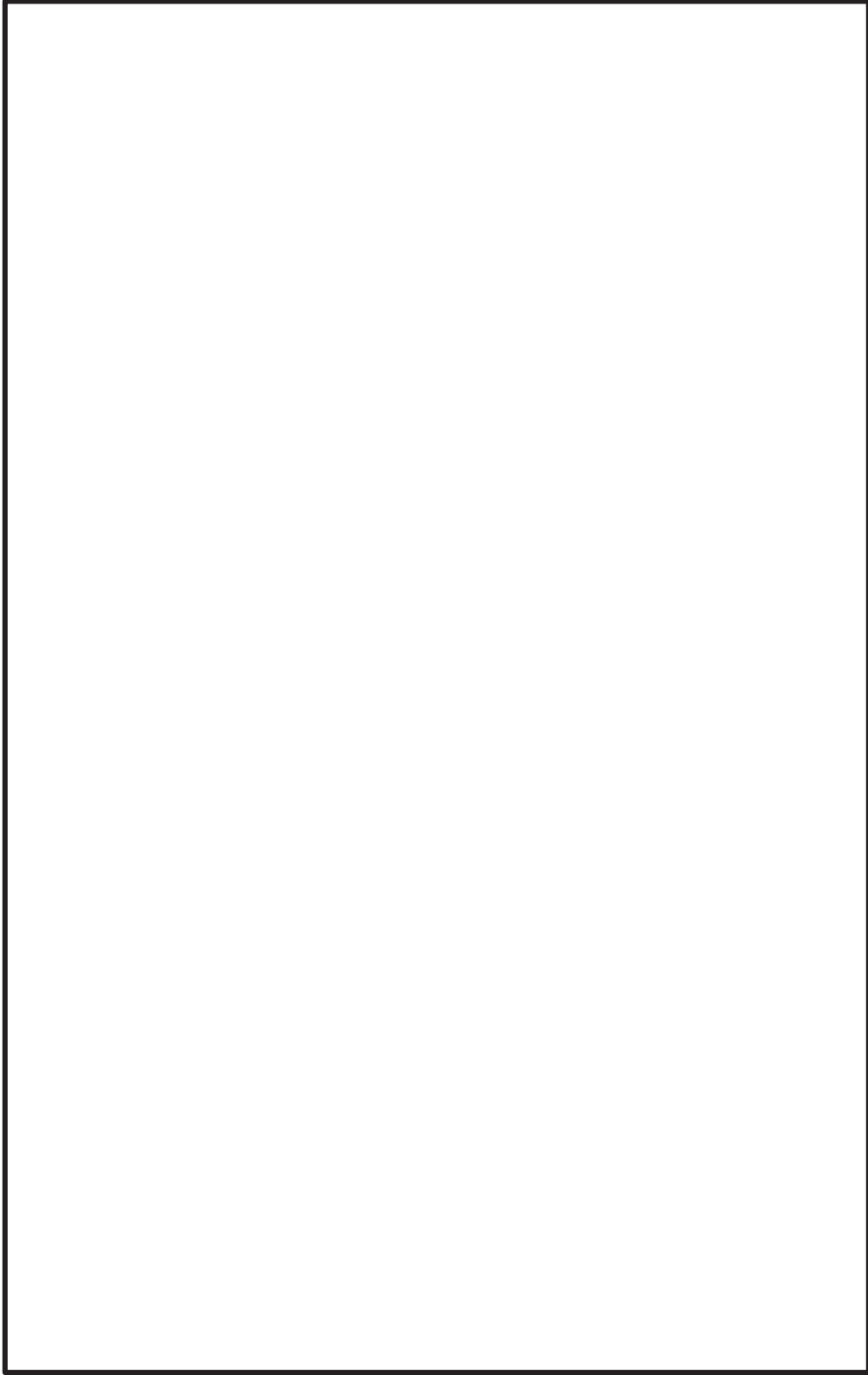
図 2.1-2 主な津波防護対象設備の配置 (11/14)

タービン建屋 B2F
O.P. -0.2m



5-1

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)

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

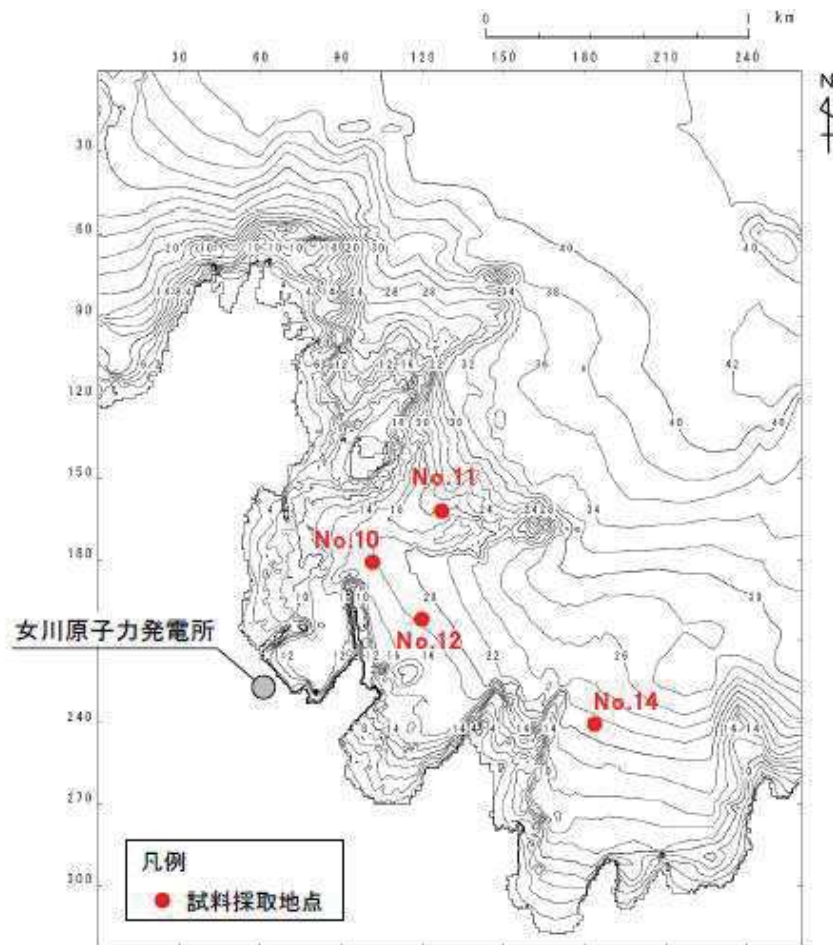


図 3.1.1-1 試料採取地点

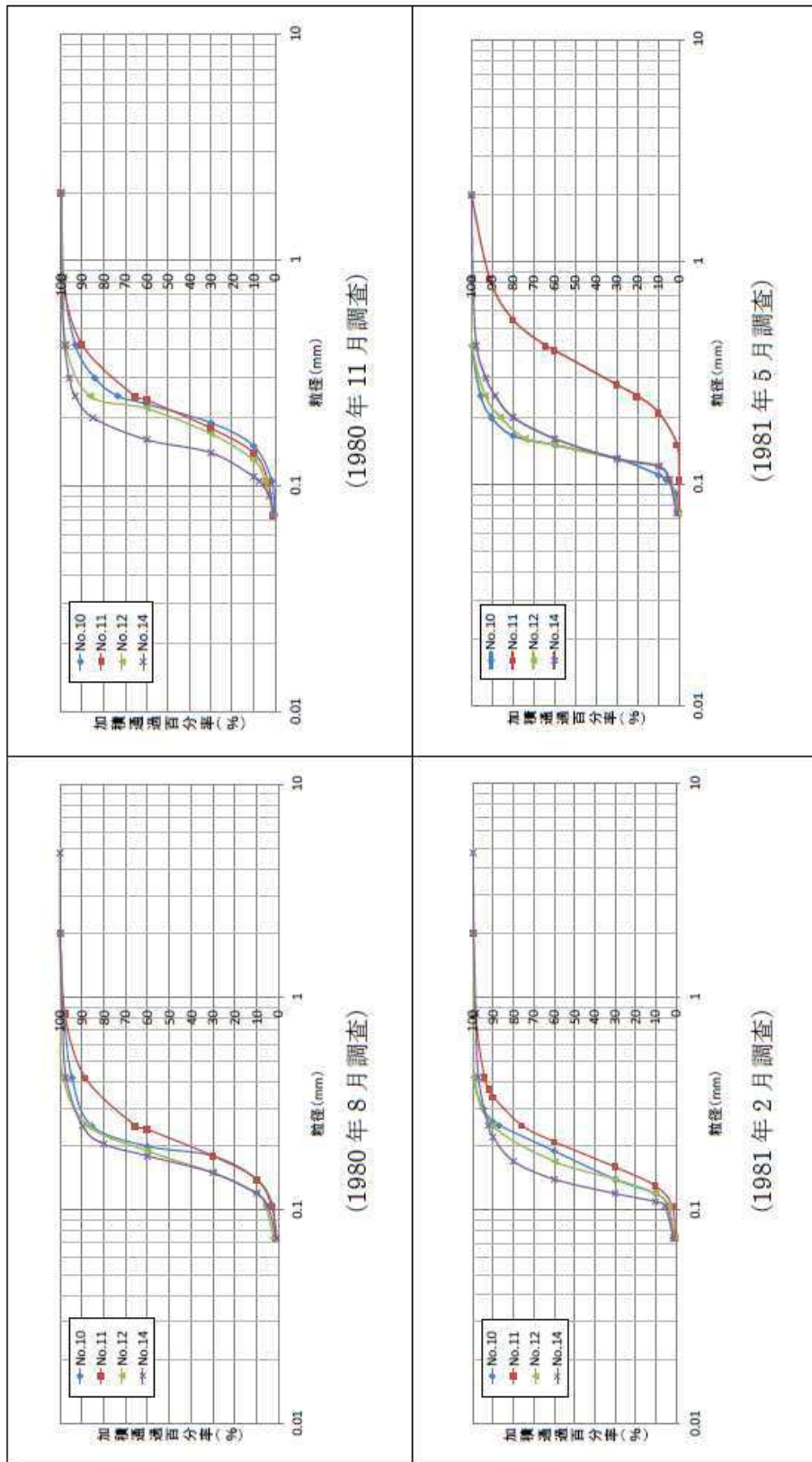


図3.1.1-2 (1) 粒径加積曲線

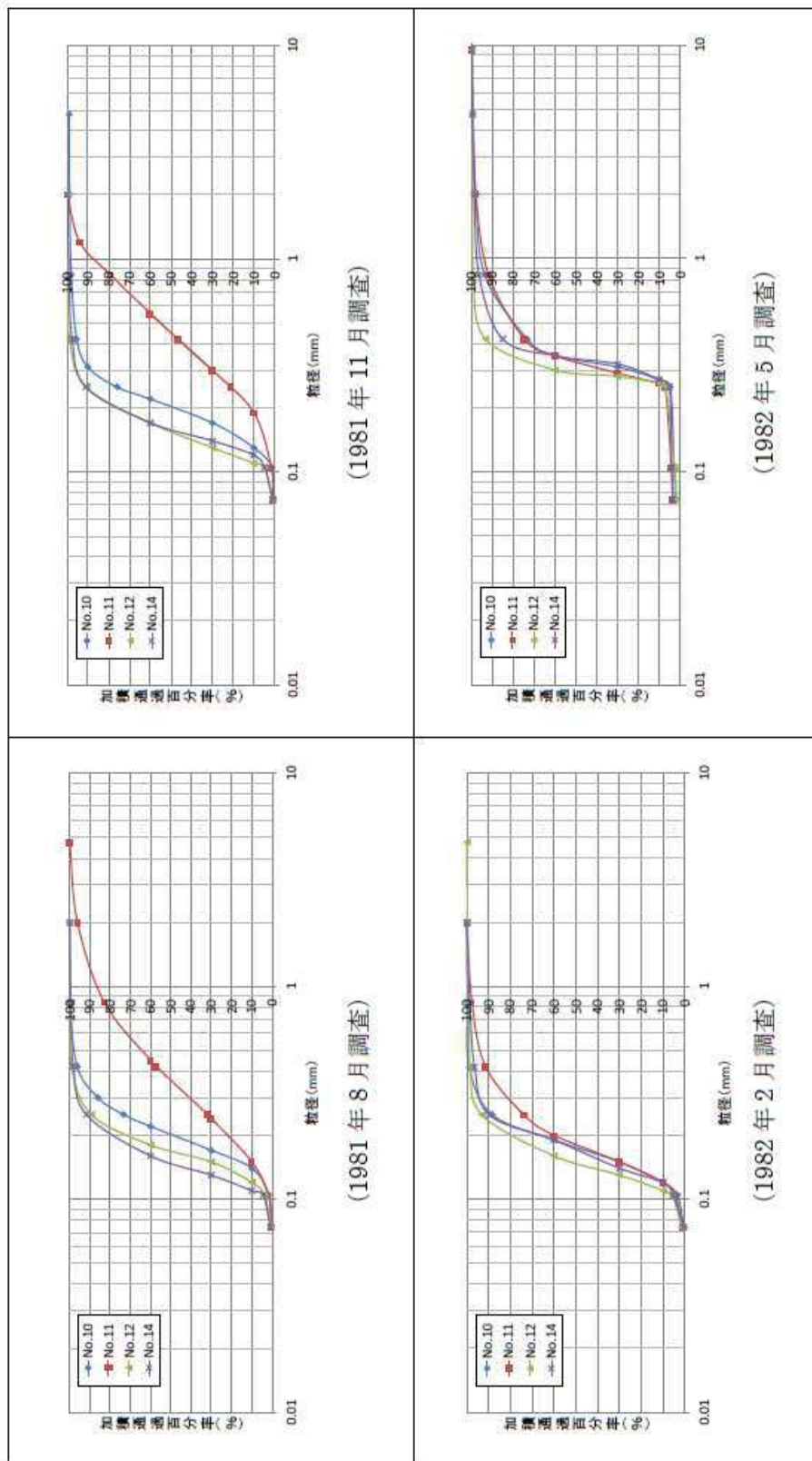


図3.1.1-2 (2) 粒径加積曲線

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%

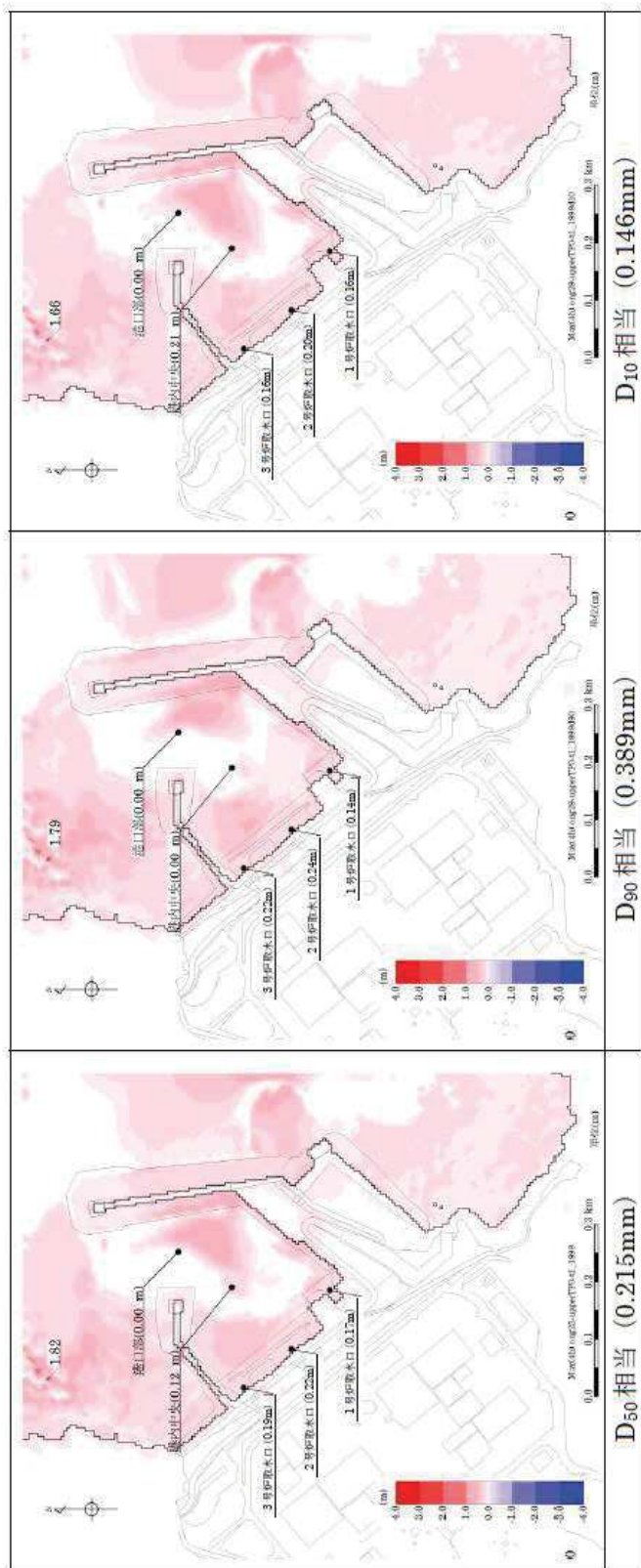


图3.1.1-3 (1) 最大堆積厚分布図 (基準津波：水位上昇側)

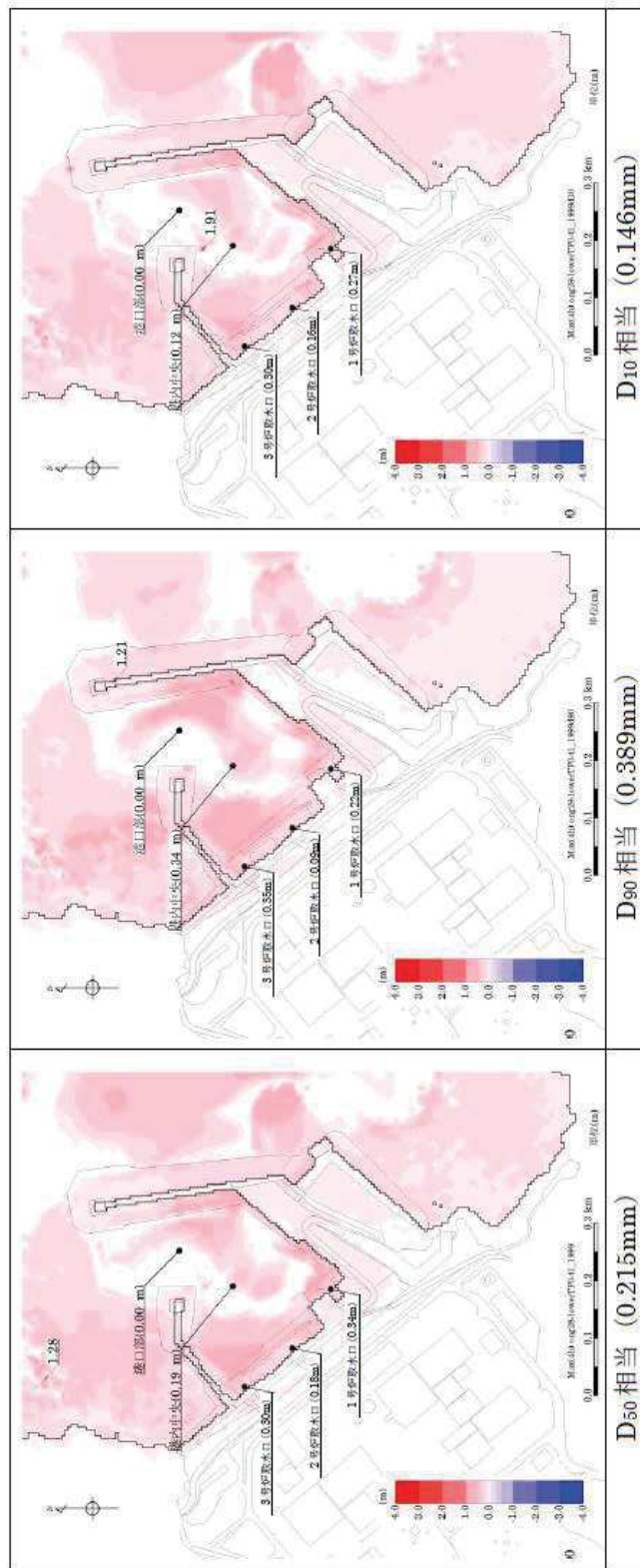


図3.1.1-3 (2) 最大堆積厚分布図 (基準津波：水位下降側)

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%

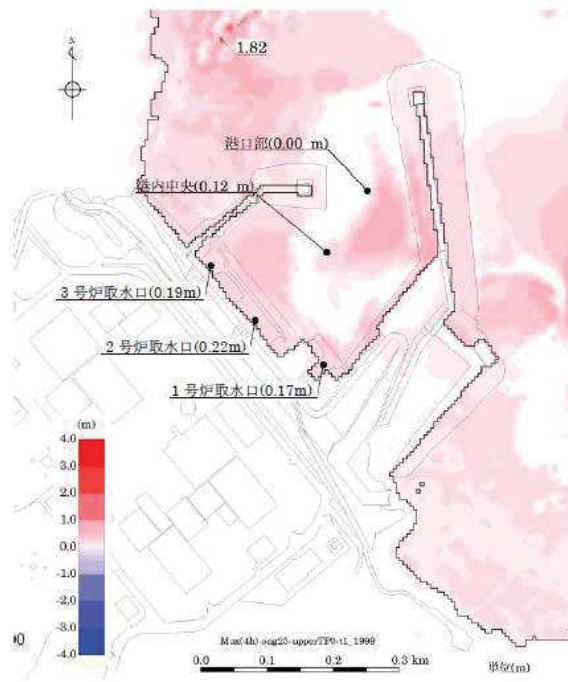


図3.1.1-4 (1) 最大堆積厚分布図 (防波堤あり：水位上昇側)

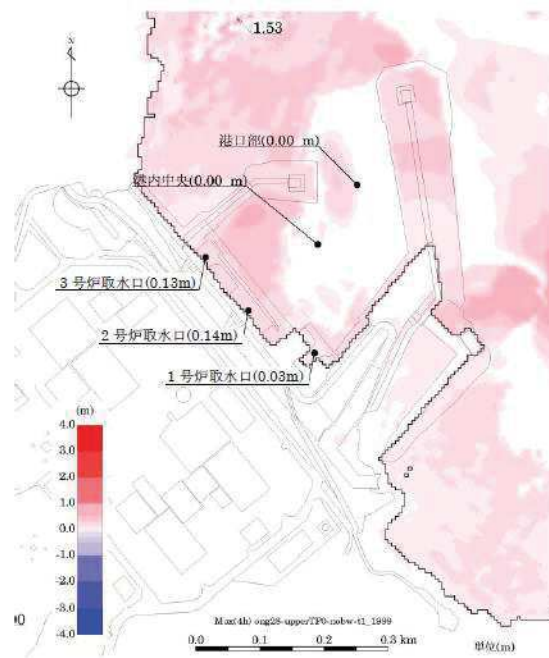


図3.1.1-4 (2) 最大堆積厚分布図 (防波堤なし：水位上昇側)

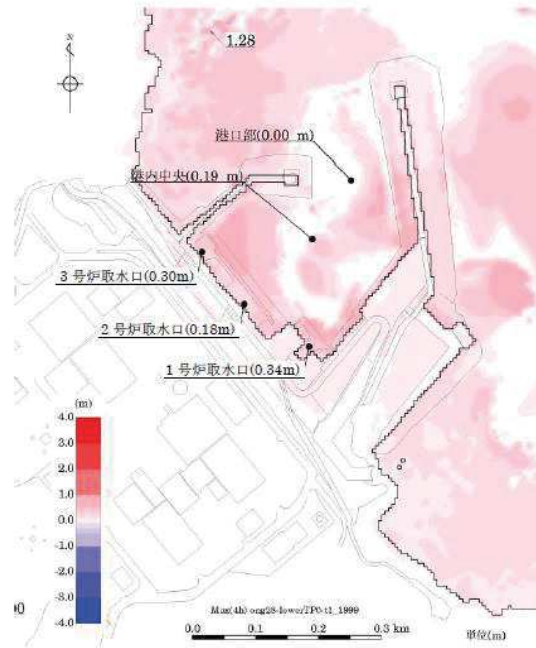


図3.1.1-4 (3) 最大堆積厚分布図 (防波堤あり：水位下降側)

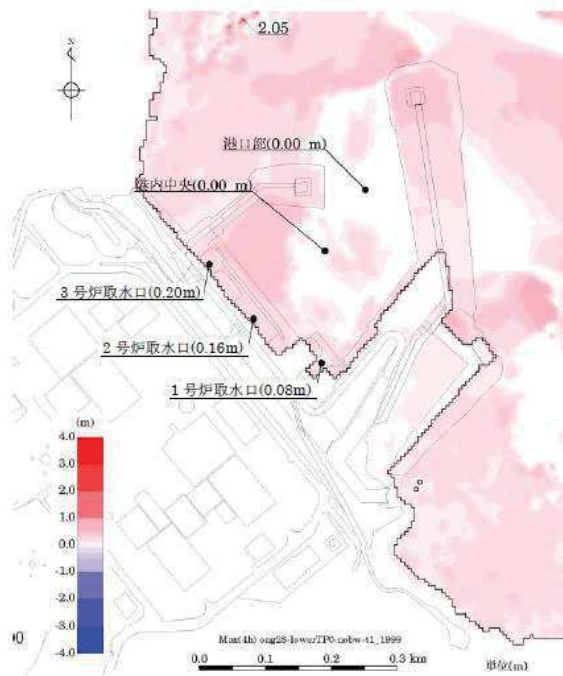


図3.1.1-4 (4) 最大堆積厚分布図 (防波堤なし：水位下降側)

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 (≒ 1.0 × 10⁻⁶ m²/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。

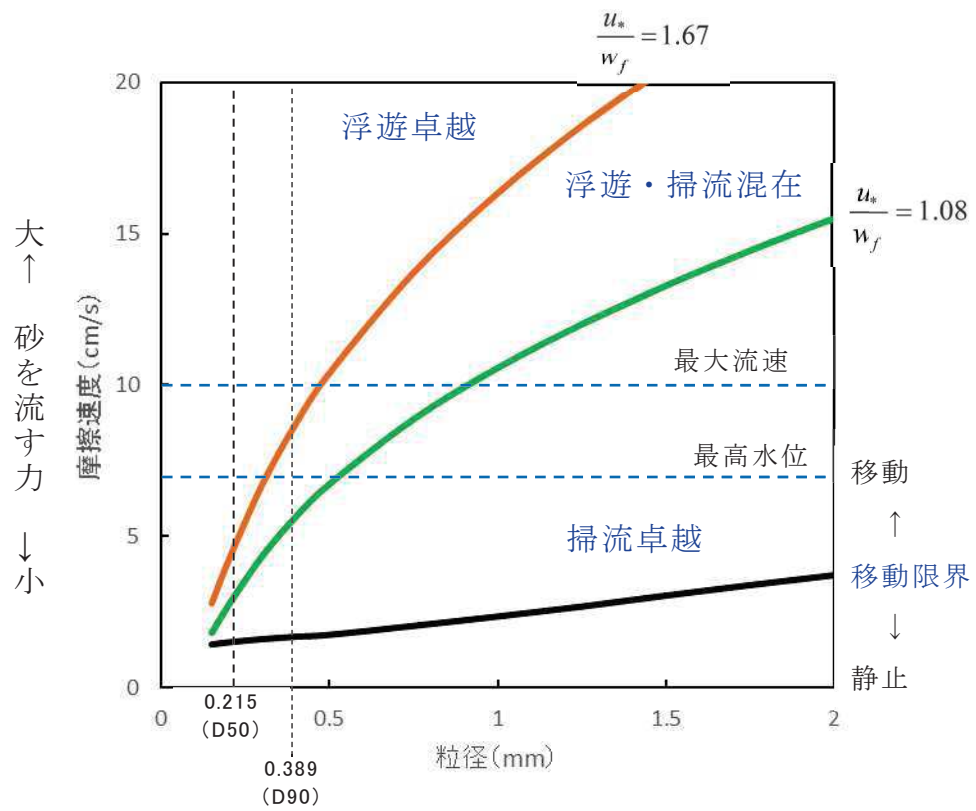


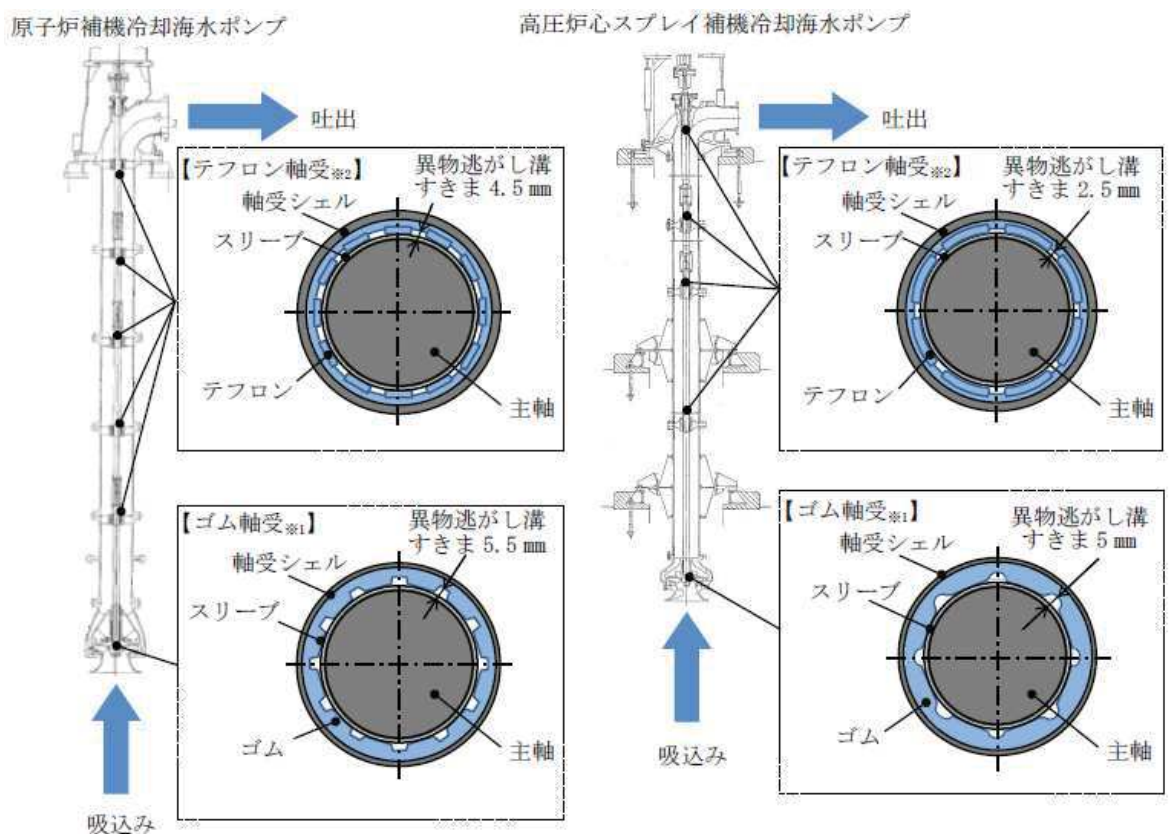
図 3.1.1-5 摩擦速度と粒径の関係

(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。



※ 1 : ポンプ起動時に水没状態である箇所に適用

※ 2 : ポンプ起動時に水没状態ではない箇所に適用（焼き付き防止）

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。

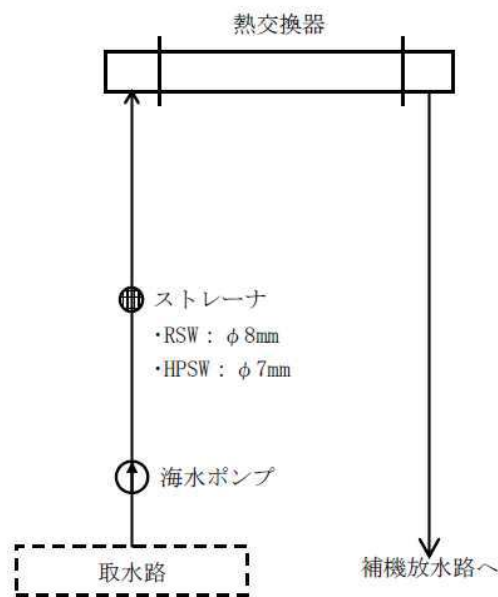


図 3.1.1-7 非常用海水ポンプの概略系統図

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。

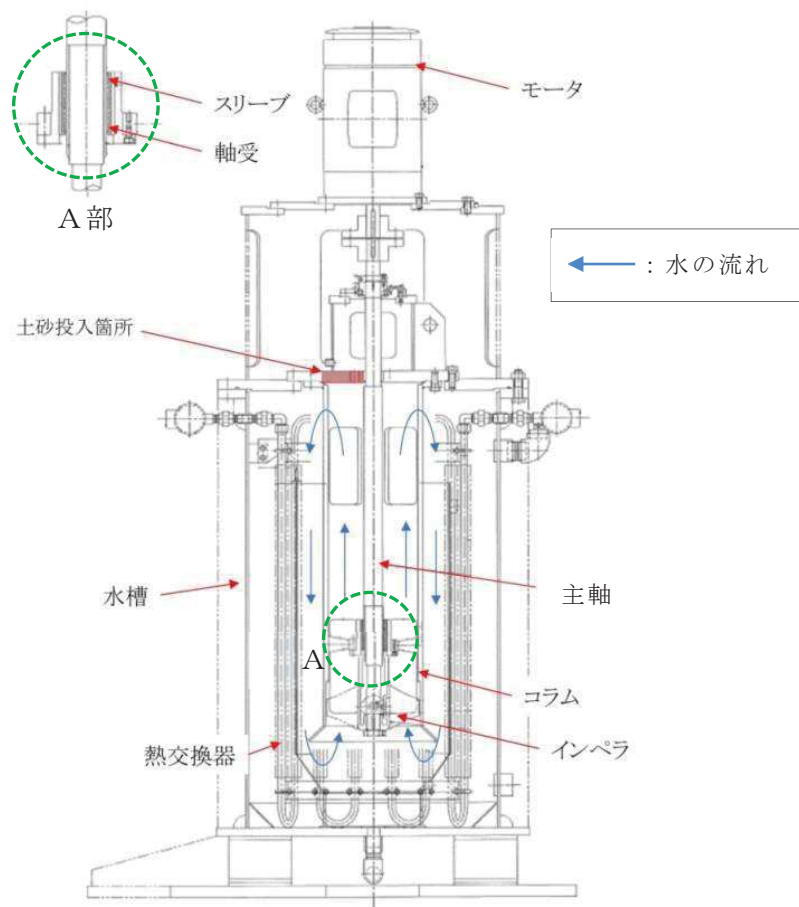


図 3.1.1-8 軸受摩耗試験装置概要図

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。

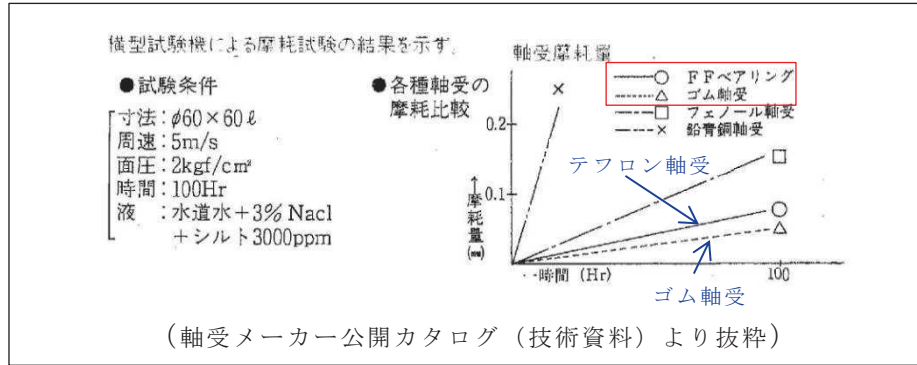


図3.1.1-9 軸受メーカー摩耗試験結果

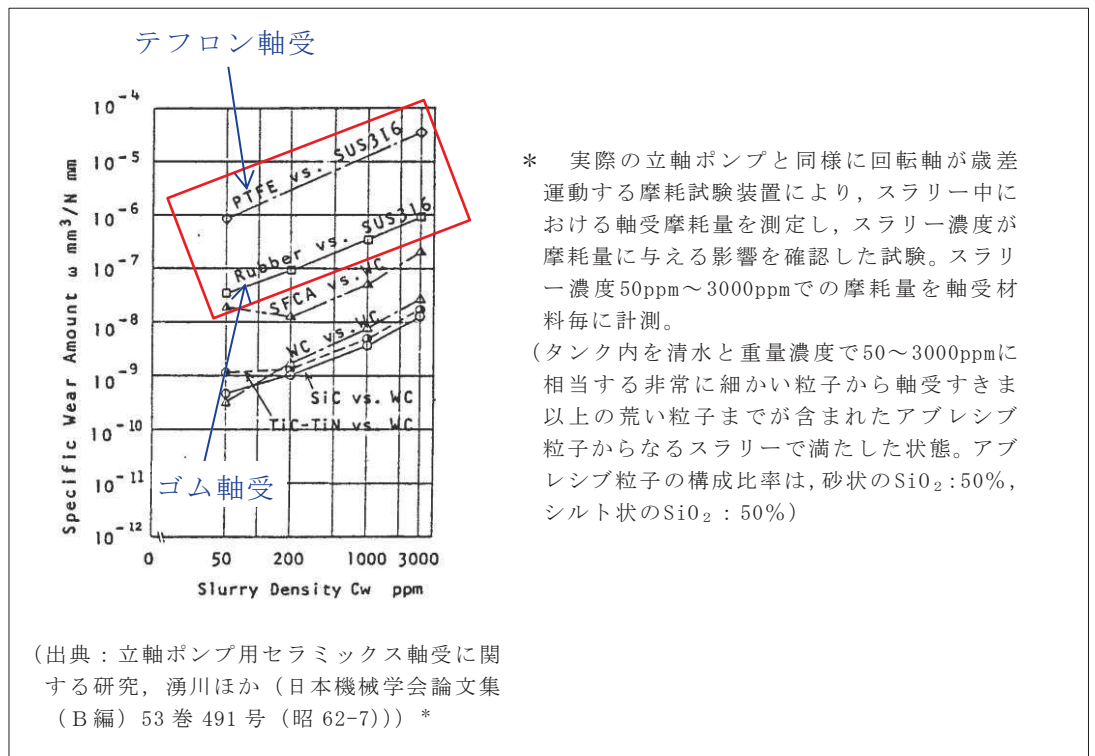


図 3.1.1-10 ポンプ軸受摩耗量

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。

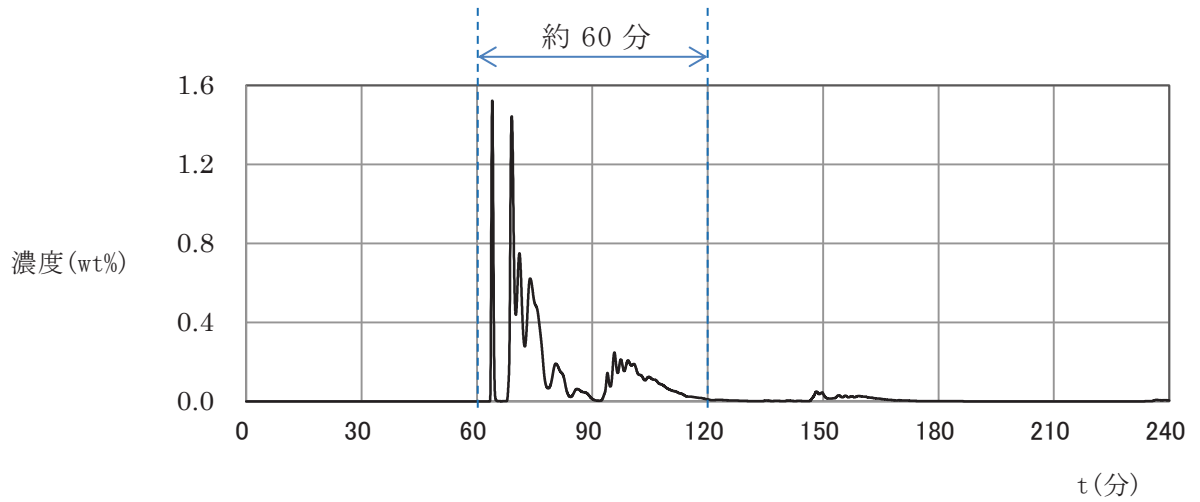
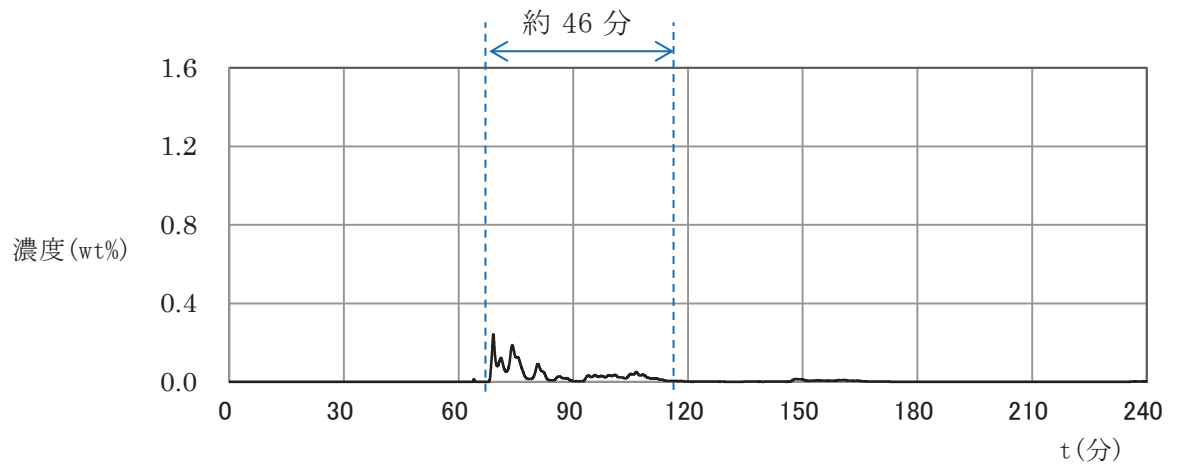


図 3.1.1-11 海水ポンプ室浮遊砂濃度

(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。

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

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

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 :

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

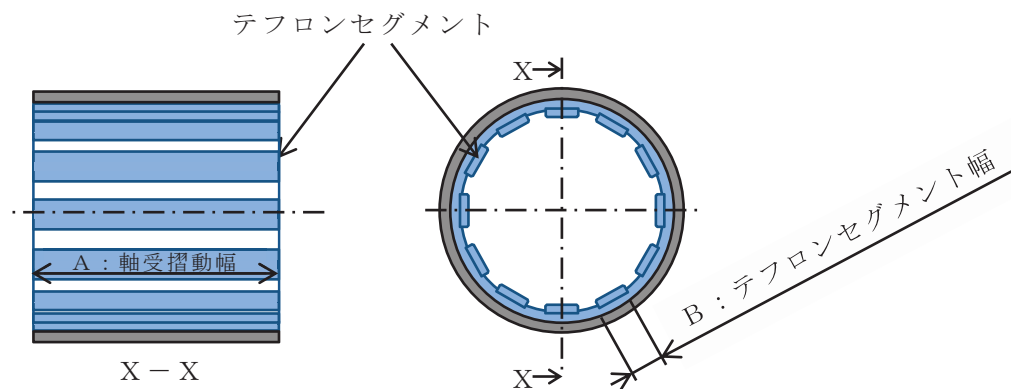


図 3.1.1-12 軸受詳細図

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。

3.3 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。

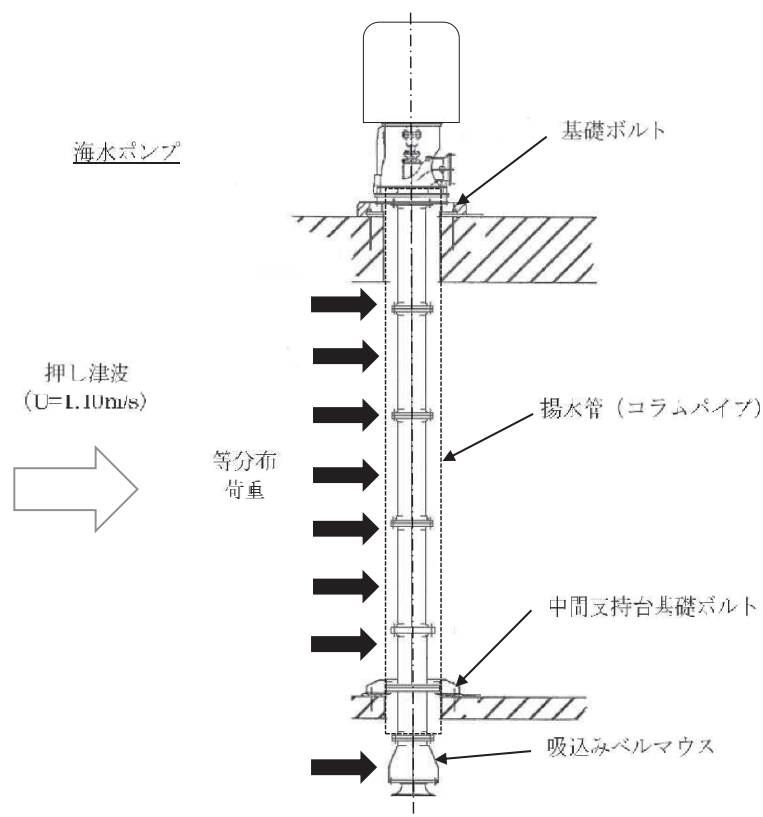


図3.3-1 ポンプへの津波の作用範囲

(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。

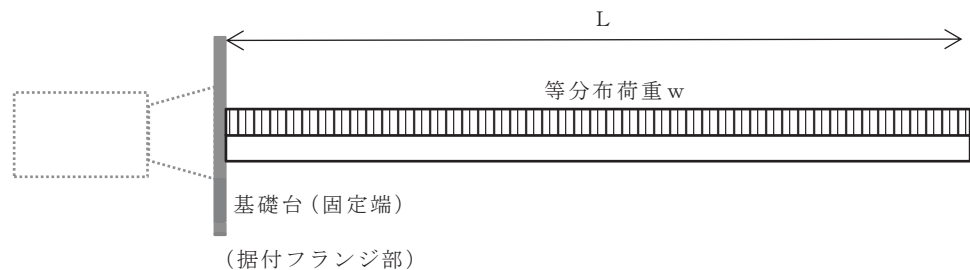


図 3.3-2 基礎ボルトに発生する荷重の評価モデル

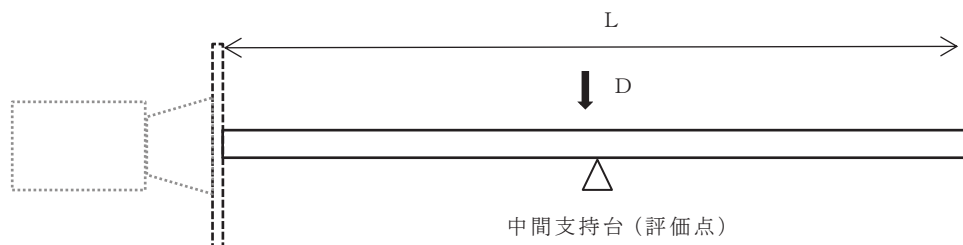


図 3.3-3 中間支持台に発生する荷重の評価モデル

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。

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。

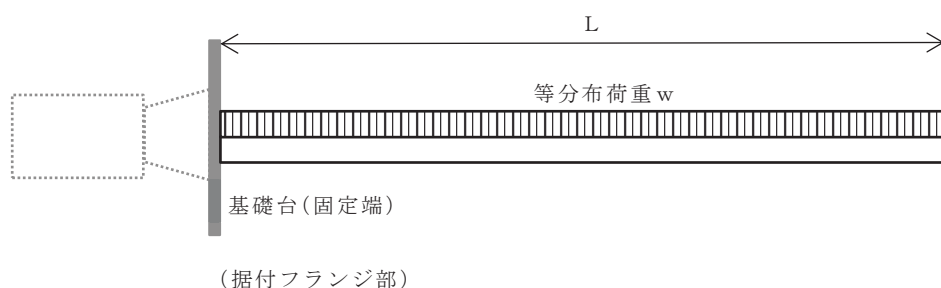


図 3.3-4 基礎ボルトに発生する荷重の評価モデル

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

※揚水管（コラムパイプ）に発生する一次一般膜応力の評価式について

原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 - 1 9 9 1 追補版）の立形ポンプのコラムパイプの応力を算出する式（第6章 3.5.1-3, 4, 5, 6, 7）に基づき、軸方向応力と周方向応力の発生応力の大きい値を評価に用いている。

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。

4.2 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。

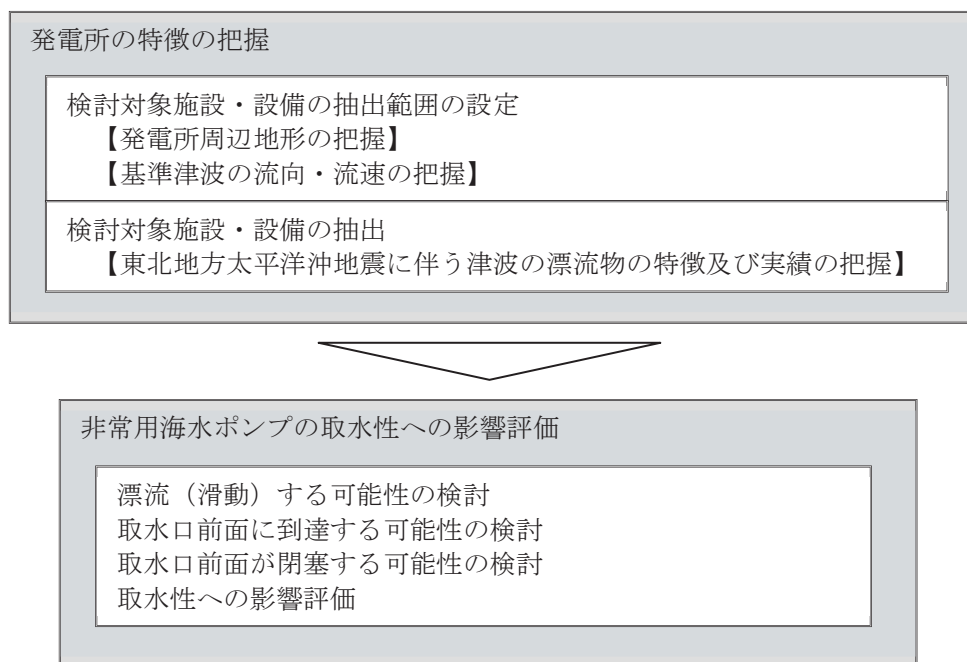


図 4.2-1 原子炉補機冷却海水系及び高压炉心スプレイ補機冷却海水系の取水性に影響を及ぼす可能性のある漂流物の評価概要

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。

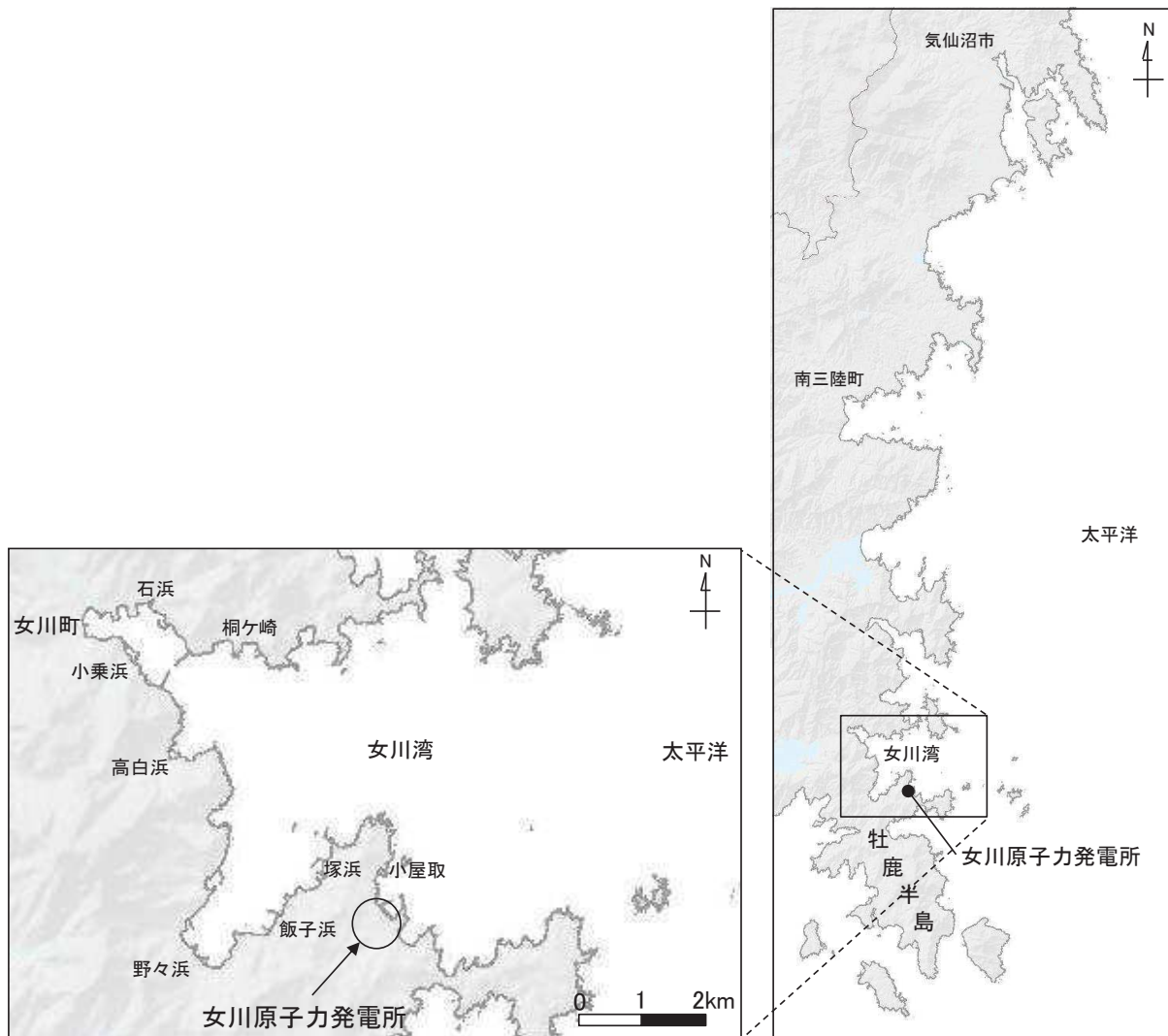


図 4.2-2 女川原子力発電所周辺の地形

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。

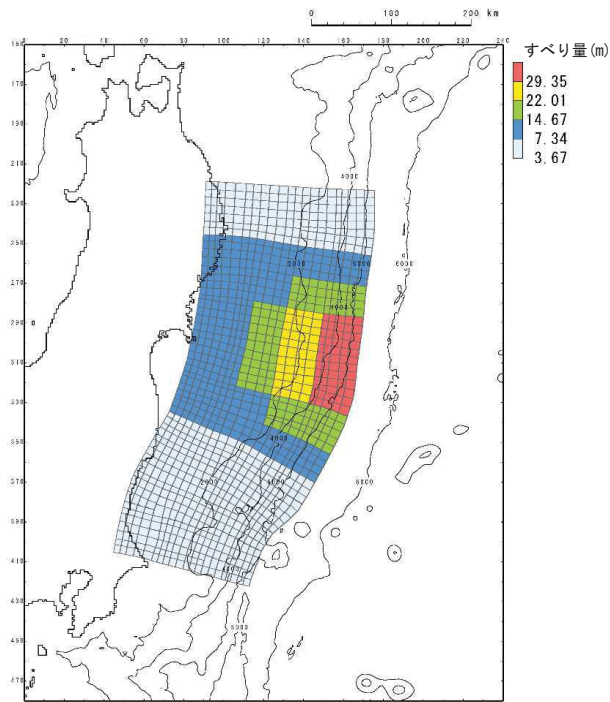


図 4.2-3(1) 女川原子力発電所の基準津波（水位上昇側）
 （東北地方太平洋沖型の地震、

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）

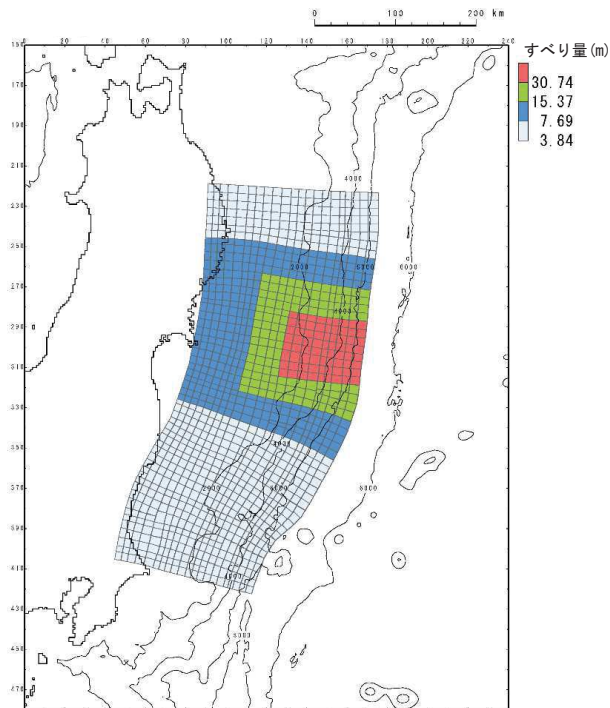
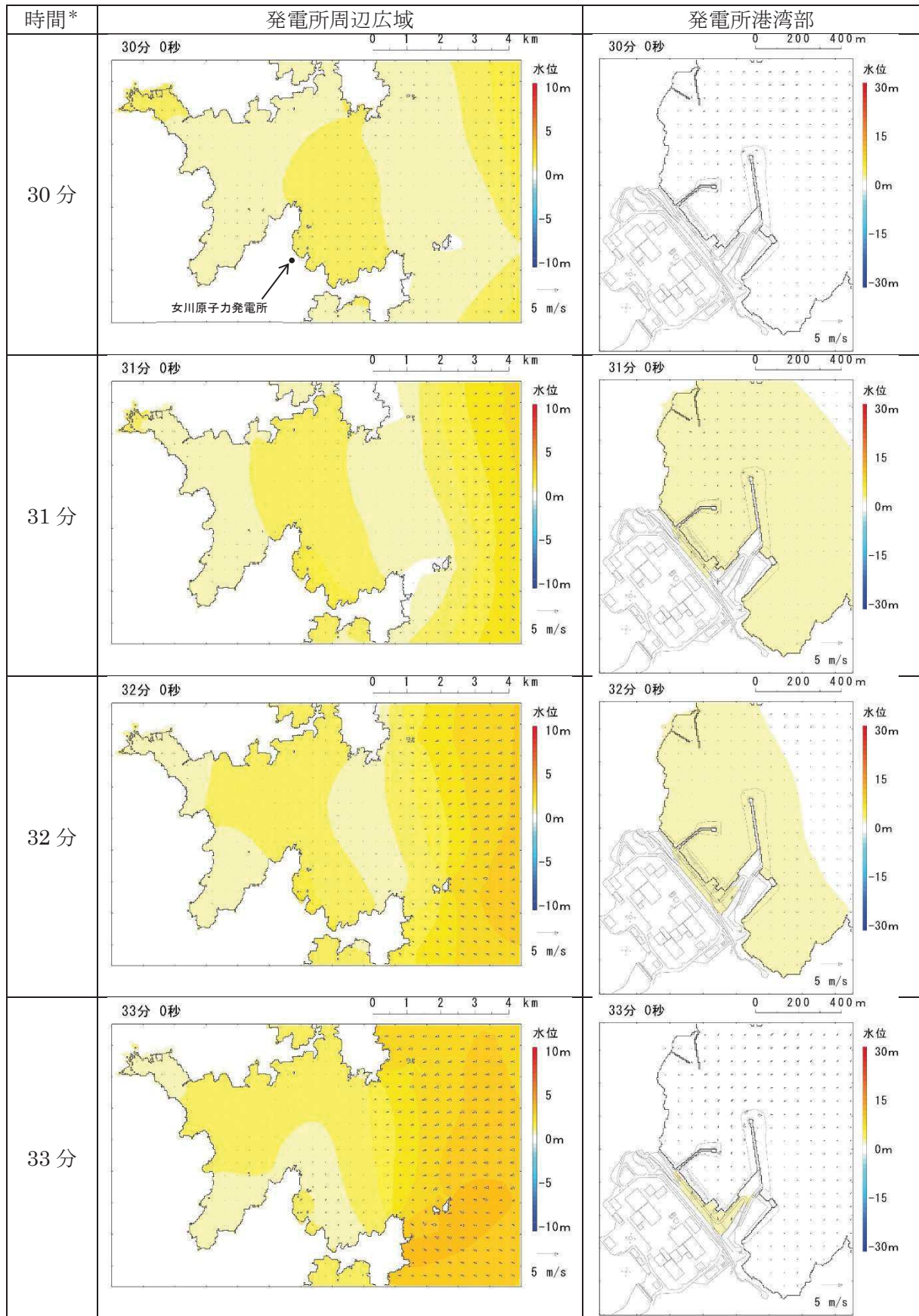


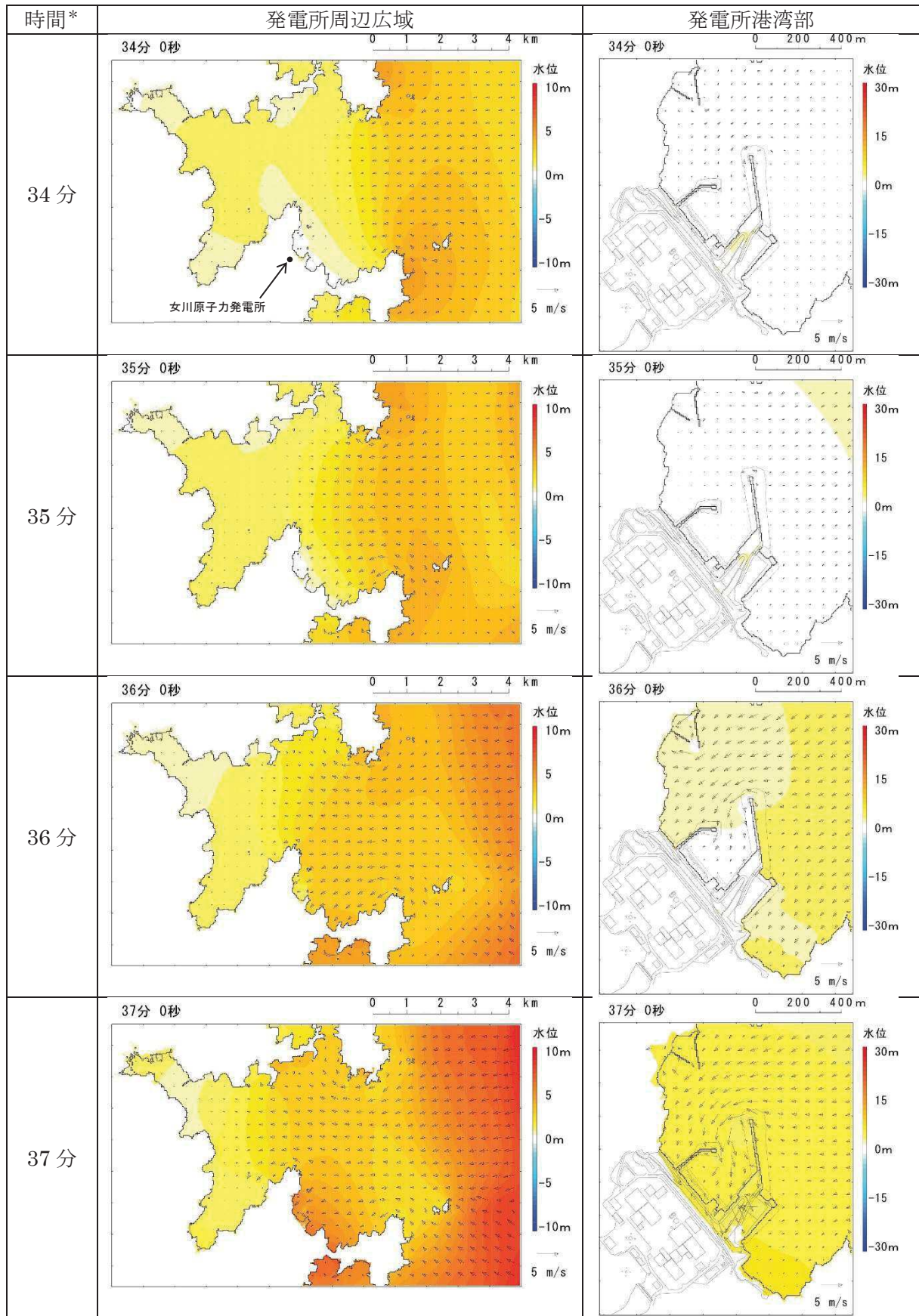
図 4.2-3(2) 女川原子力発電所の基準津波（水位下降側）
 （東北地方太平洋沖型の地震、

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）



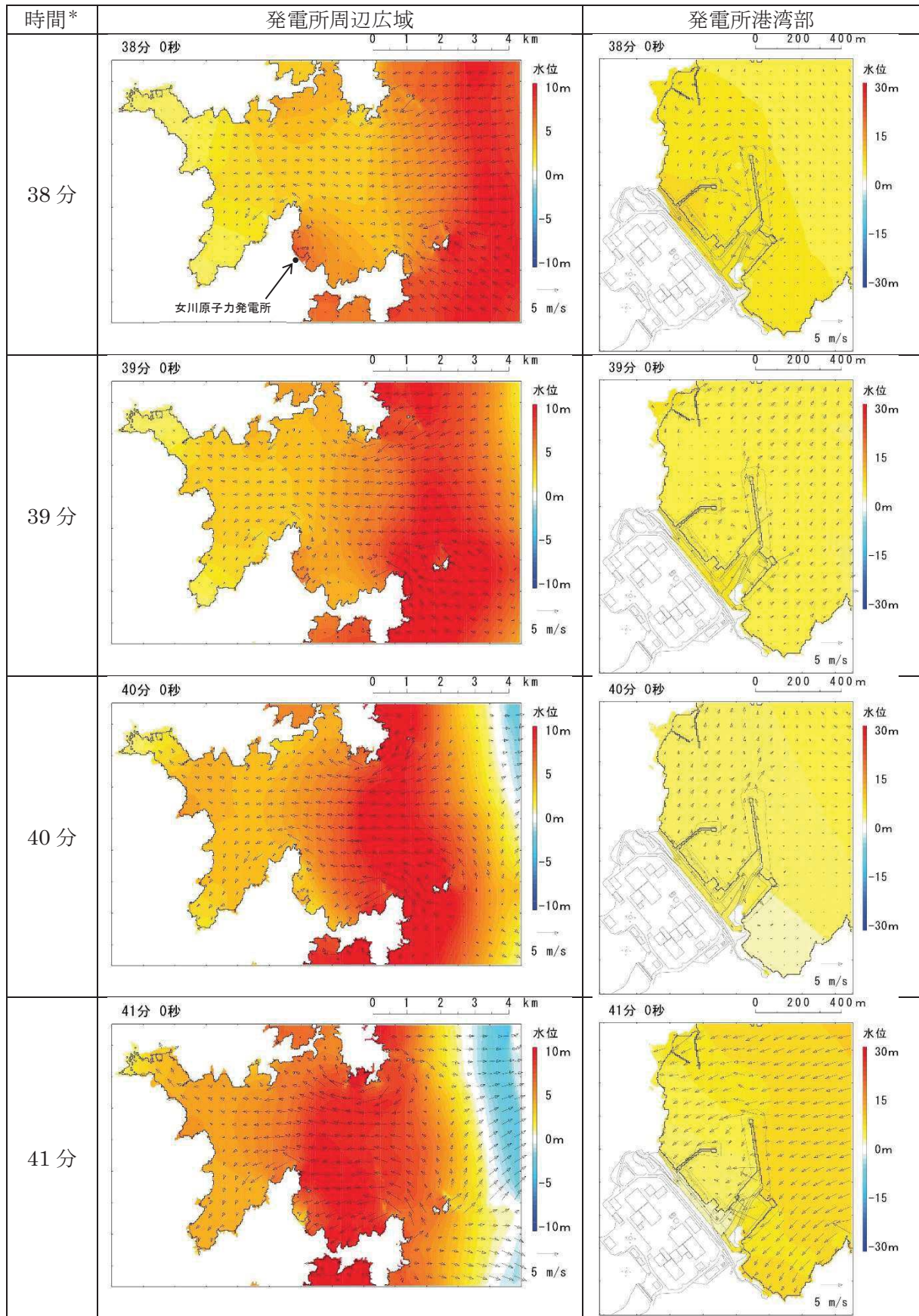
注記 * : 津波の原因となる地震発生後の経過時間

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)



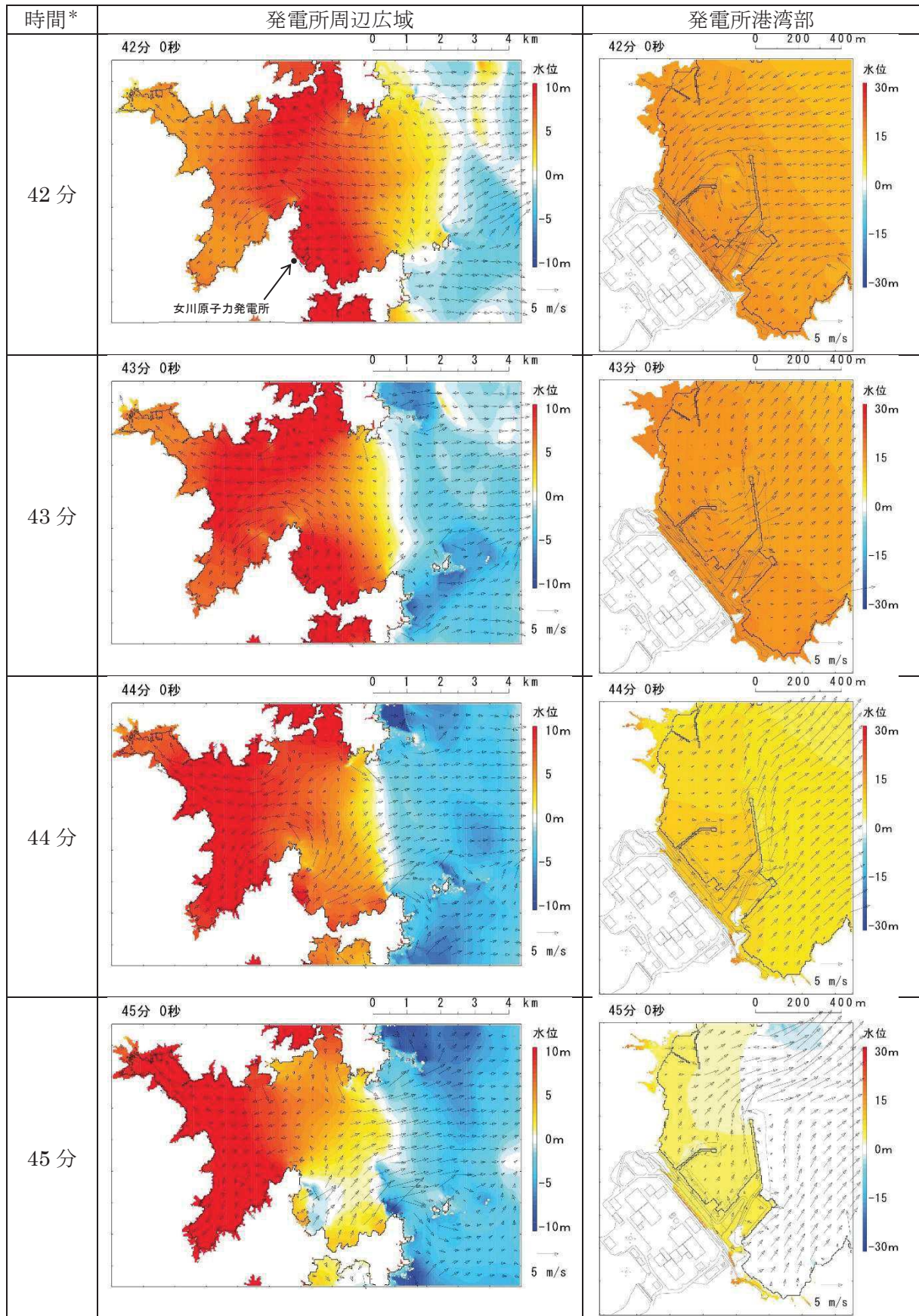
注記 * : 津波の原因となる地震発生後の経過時間

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)



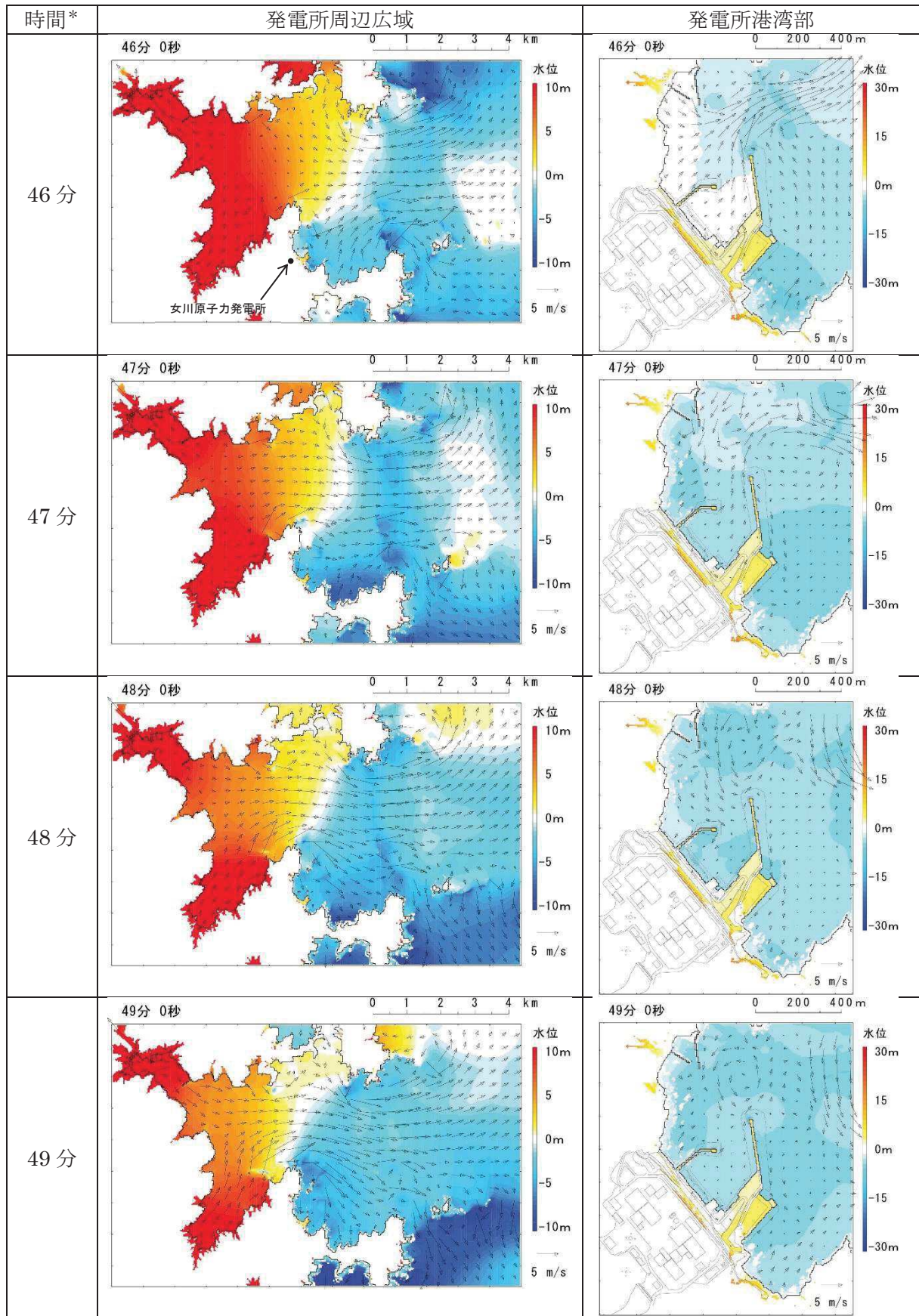
注記 * : 津波の原因となる地震発生後の経過時間

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)



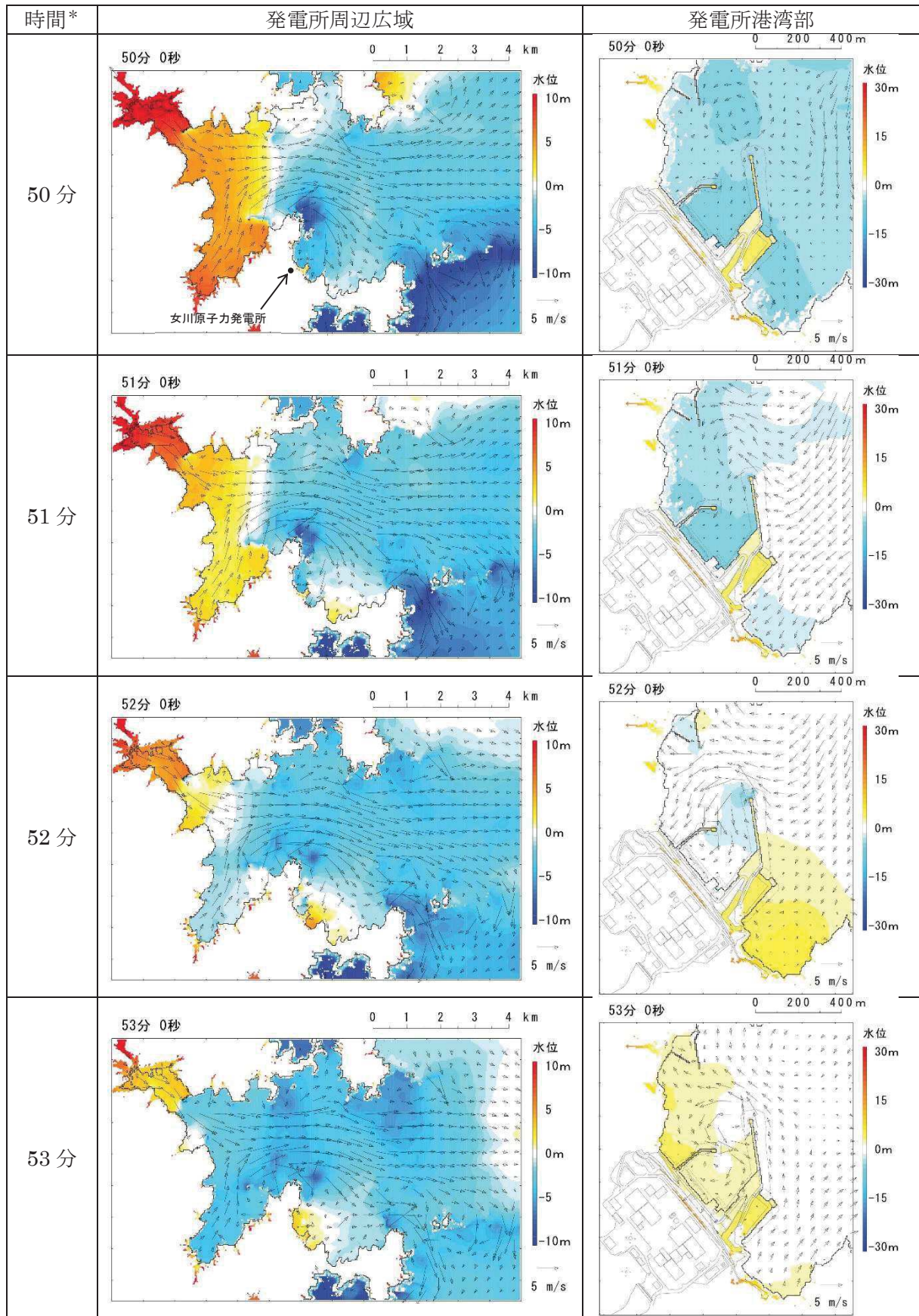
注記 * : 津波の原因となる地震発生後の経過時間

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)