

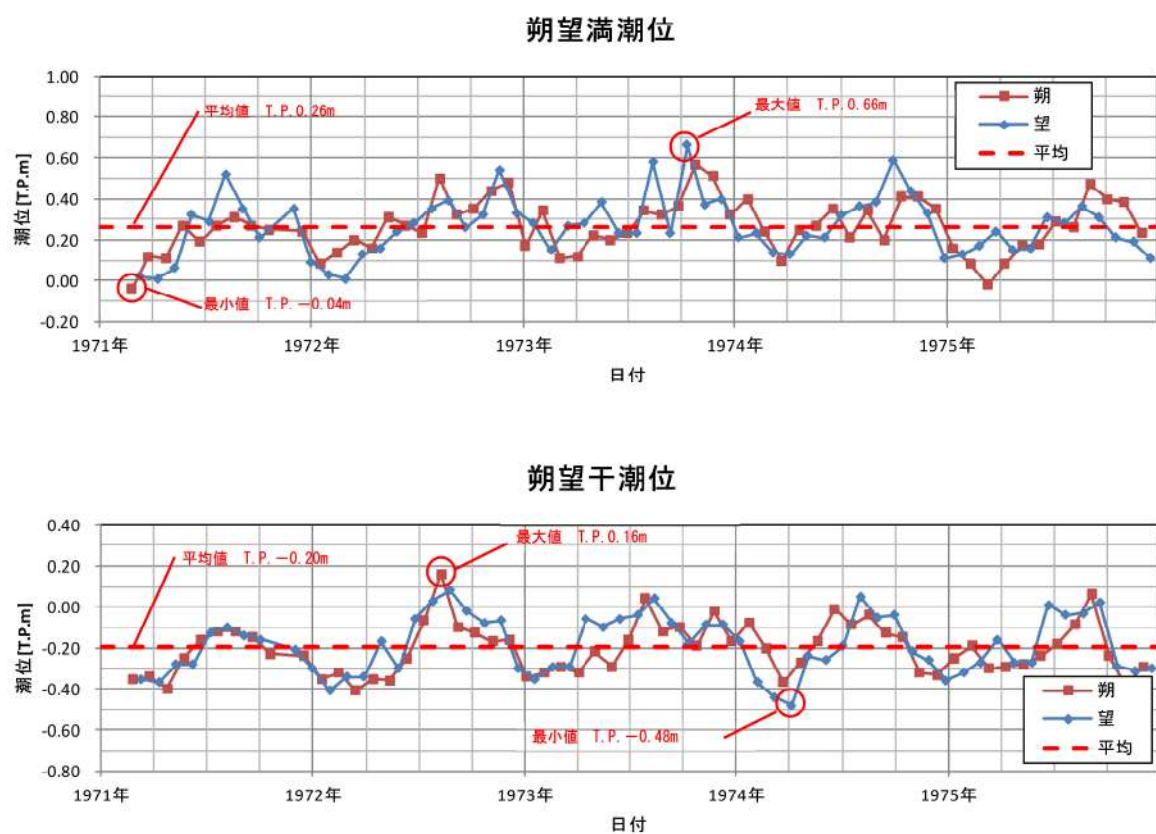


図7 データ分析期間初期約5ヵ年（1971年3月～1975年12月）の
各月の朔望潮位の推移

(3) まとめ

潮位のばらつきについては、入力津波の評価で考慮する朔望平均潮位（1961 年 9 月～1962 年 8 月），至近 8 ヶ年（2014 年 1 月～2021 年 12 月）及びデータ分析期間初期約 5 ヶ年（1971 年 3 月～1975 年 12 月）の朔望平均潮位を比較し、保守的な設定になるようデータ分析期間初期約 5 ヶ年の朔望平均潮位のばらつきを考慮することとする（図 8）。

- 水位上昇側については、岩内港のデータ分析期間初期約 5 ヶ年の朔望平均満潮位 T.P. 0.26m に標準偏差 0.14m を加えると、T.P. 0.40m となるため、入力津波の評価で考慮する朔望平均満潮位 T.P. 0.26m との差分 0.14m を、評価のばらつきとして考慮する。加えて、入力津波の評価に当たっては、泊発電所と岩内港の潮位差 0.01m を考慮する。
- 水位下降側については、岩内港のデータ分析期間初期約 5 ヶ年の朔望平均干潮位 T.P. -0.20m から標準偏差 0.13m を差し引くと、T.P. -0.33m となるため、入力津波の評価で考慮する朔望平均満潮位 T.P. -0.14m との差分 0.19m を、評価のばらつきとして考慮する。

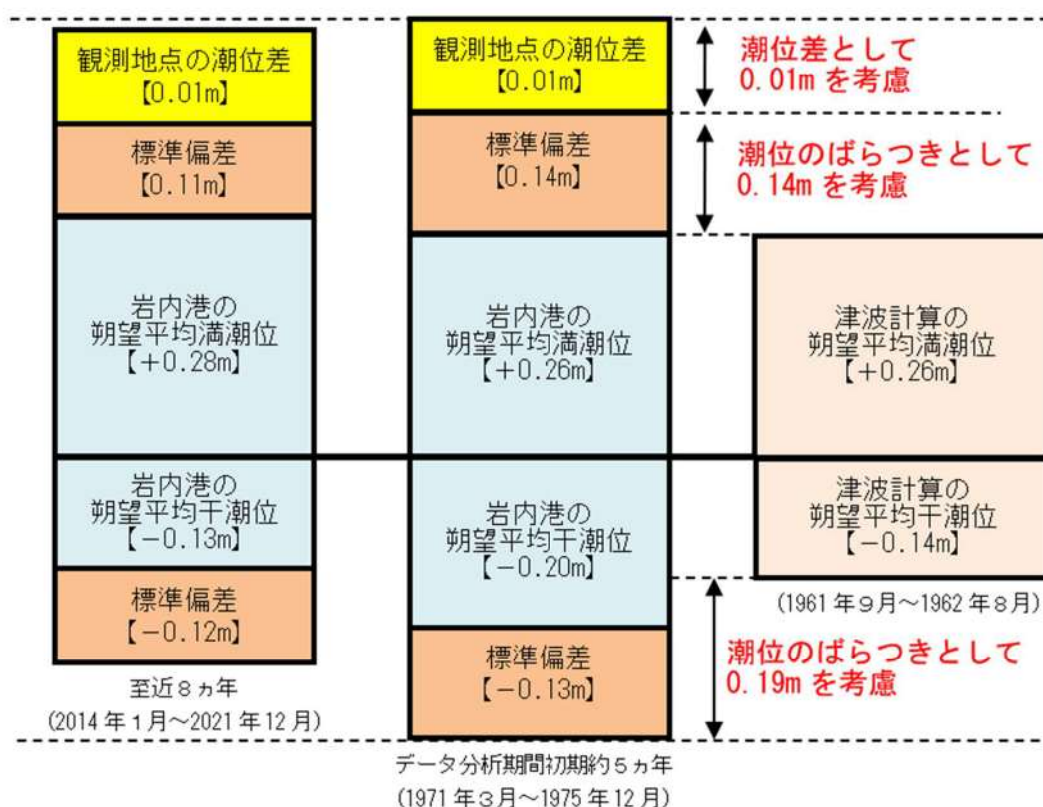


図 8 潮位のばらつき考慮の考え方

5. 高潮発生状況について

潮汐以外の要因による潮位変動について、過去48年（1971年～2018年）の潮位観測記録に基づき、高潮発生状況（程度、台風等の高潮要因）について把握する。また、高潮の発生履歴を考慮して、高潮の可能性とその程度（ハザード）について検討し、津波ハザード評価結果を踏まえた上で、独立事象としての津波と高潮による重畳頻度を検討した上で、考慮の要否、津波と高潮の重畳を考慮する場合の高潮の再現期間を設定する。

さらに上記、再現期間を検討した過去48年（1971年～2018年）以降の近年の潮位観測記録を含めた過去51年（1971年～2021年）の潮位観測記録についても確認し、再現期間100年に対する期待値の比較を行った。

（1）高潮の評価

観測地点「岩内港」における過去48年（1971年～2018年）の年最高潮位を表6に示す。また、表から算定した観測地点「岩内港」における最高潮位の超過発生確率を図9に示す。これより、再現期間と期待値は次のとおりとなる。

2年	T.P.	0.63m
5年	T.P.	0.73m
10年	T.P.	0.80m
20年	T.P.	0.87m
50年	T.P.	0.96m
100年	T.P.	1.03m

表6 観測地点「岩内港」における年最高潮位

年	最高潮位 発生日	年最高潮位 (T.P.m)	(参考) 年最高潮位上位10位
1971	10月12日	0.570	
1972	9月18日	0.640	
1973	10月15日	0.660	
1974	10月4日	0.590	
1975	9月8日	0.470	
1976	9月15日	0.510	
1977	7月11日	0.360	
1978	8月4日	0.505	
1979	3月31日	0.575	
1980	11月1日	0.515	
1981	11月4日	0.565	
1982	8月29日	0.485	
1983	11月25日	0.640	
1984	8月23日	0.770	5
1985	10月8日	0.670	
1986	9月22日	0.750	9
1987	9月1日	1.000	1
1988	12月15日	0.640	
1989	8月28日	0.700	
1990	8月23日	0.790	4
1991	7月26日	0.620	
1992	10月31日	0.710	
1993	1月29日	0.630	
1994	10月13日	0.810	3
1995	11月9日	0.760	7
1996	6月19日	0.580	
1997	8月5日	0.650	
1998	11月9日	0.730	
1999	10月3日	0.710	
2000	9月2日	0.750	9
2001	8月23日	0.660	
2002	10月23日	0.700	
2003	12月26日	0.770	5
2004	9月8日	0.960	2
2005	9月8日	0.610	
2006	9月20日	0.760	7
2007	9月8日	0.650	
2008	11月30日	0.458	
2009	8月21日	0.598	
2010	12月4日	0.628	
2011	7月4日	0.488	
2012	9月18日	0.538	
2013	8月18日	0.578	
2014	8月11日	0.708	
2015	10月2日	0.658	
2016	8月31日	0.658	
2017	9月19日	0.558	
2018	9月6日	0.568	

(参考) 年最高潮位上位 10 位と発生要因

順位	最高潮位 (T.P.m)	発生年月日	発生要因
1	1.000	1987年9月1日	台風12号
2	0.960	2004年9月8日	台風18号
3	0.810	1994年10月13日	台風29号
4	0.790	1990年8月23日	台風14号
5	0.770	1984年8月23日	台風10号
5	0.770	2003年12月26日	低気圧
7	0.760	1995年11月9日	低気圧
7	0.760	2006年9月20日	台風13号
9	0.750	1986年9月22日	台風16号
9	0.750	2000年9月2日	台風12号

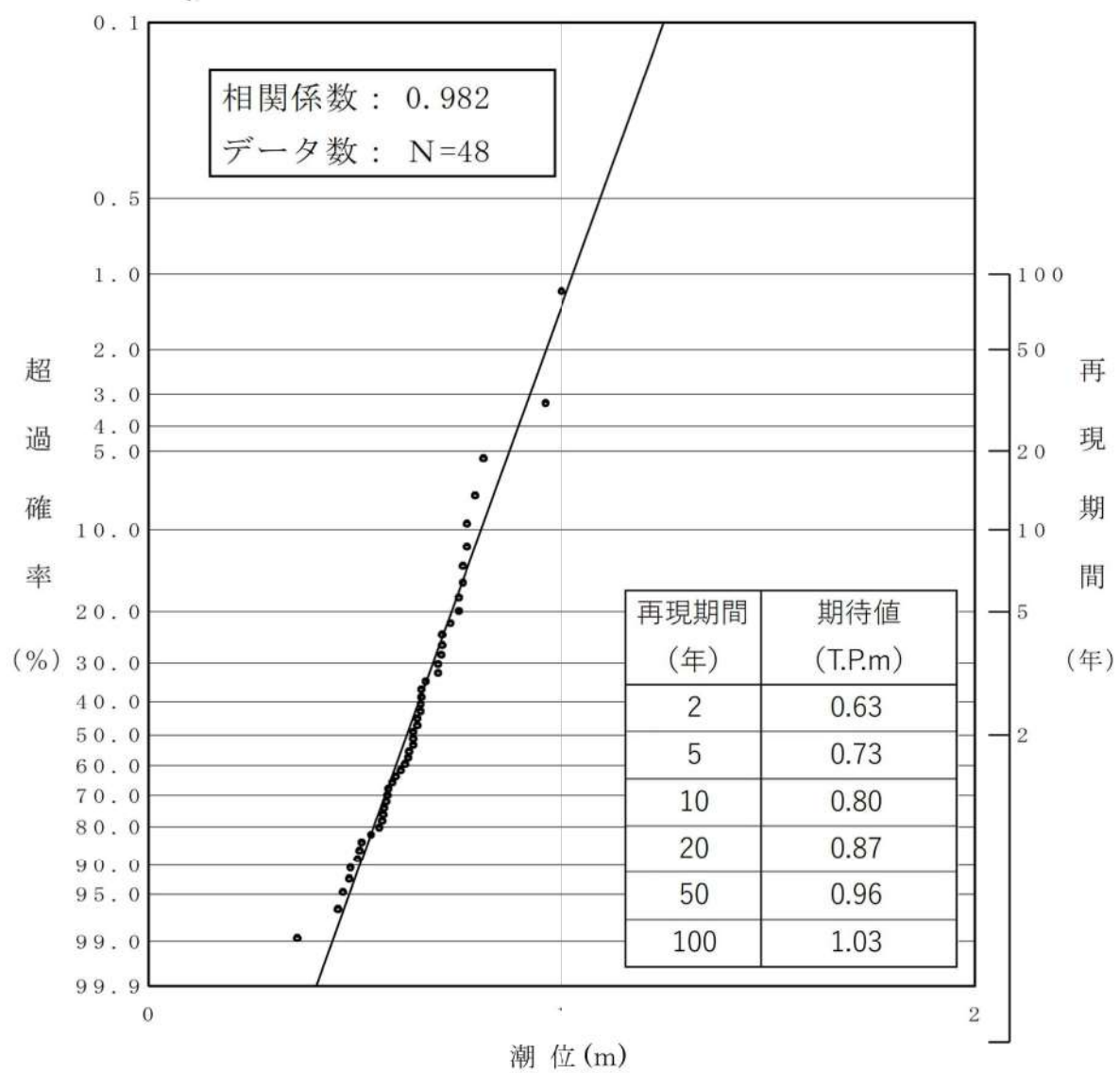


図9 観測地点「岩内港」における
最高潮位の超過発生確率

(2) 高潮の考慮

基準津波による基準津波策定位置における水位の年超過確率は、 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度であり、独立事象としての津波と高潮が重畳する可能性が極めて低いと考えられるものの、高潮ハザードについては、プラントの運転期間を超える再現期間100年に対する期待値（T. P. 1.03m）と、入力津波で考慮する朔望平均満潮位（T. P. 0.26m）及び潮位のばらつき（0.14m）及び泊発電所と岩内港の潮位差0.01mの合計の差である0.62mを外郭防護の裕度評価において参照する。（図10）

追而（破線囲部分の記載は基準津波の審査を踏まえて変更となる可能性がある。）

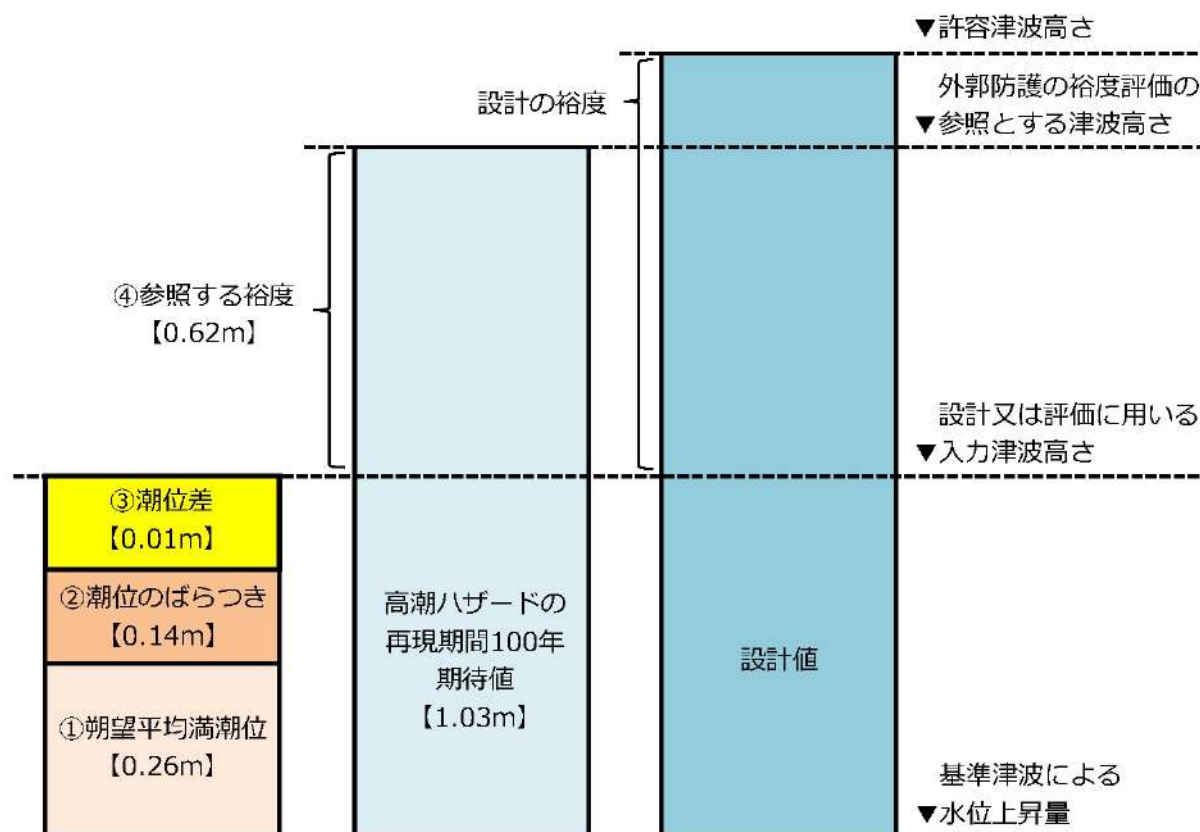


図10 潮位等の考慮方法の概念図

(3) 近年の潮位観測記録による高潮評価について

高潮の評価について、近年のデータも含めた上で、最高潮位の超過確率を算定するとともに、再現期間 100 年に対する期待値 (T.P. 1.03m) を用いることにした妥当性について説明する。

近年のデータを含む過去 51 年 (1971 年～2021 年) を対象に、観測地点「岩内港」におけるプラントの運転期間を超える再現期間 100 年に対する期待値を算出した結果を図 11 に示す。この図より、100 年に対する期待値は T.P. 1.02m であり、従来から用いている期待値より小さくなっている。

以上のことから、保守的な評価となるよう、従来から用いている 1971 年～2018 年を対象に算出した再現期間 100 年に対する期待値 (T.P. 1.03m) を用いる。

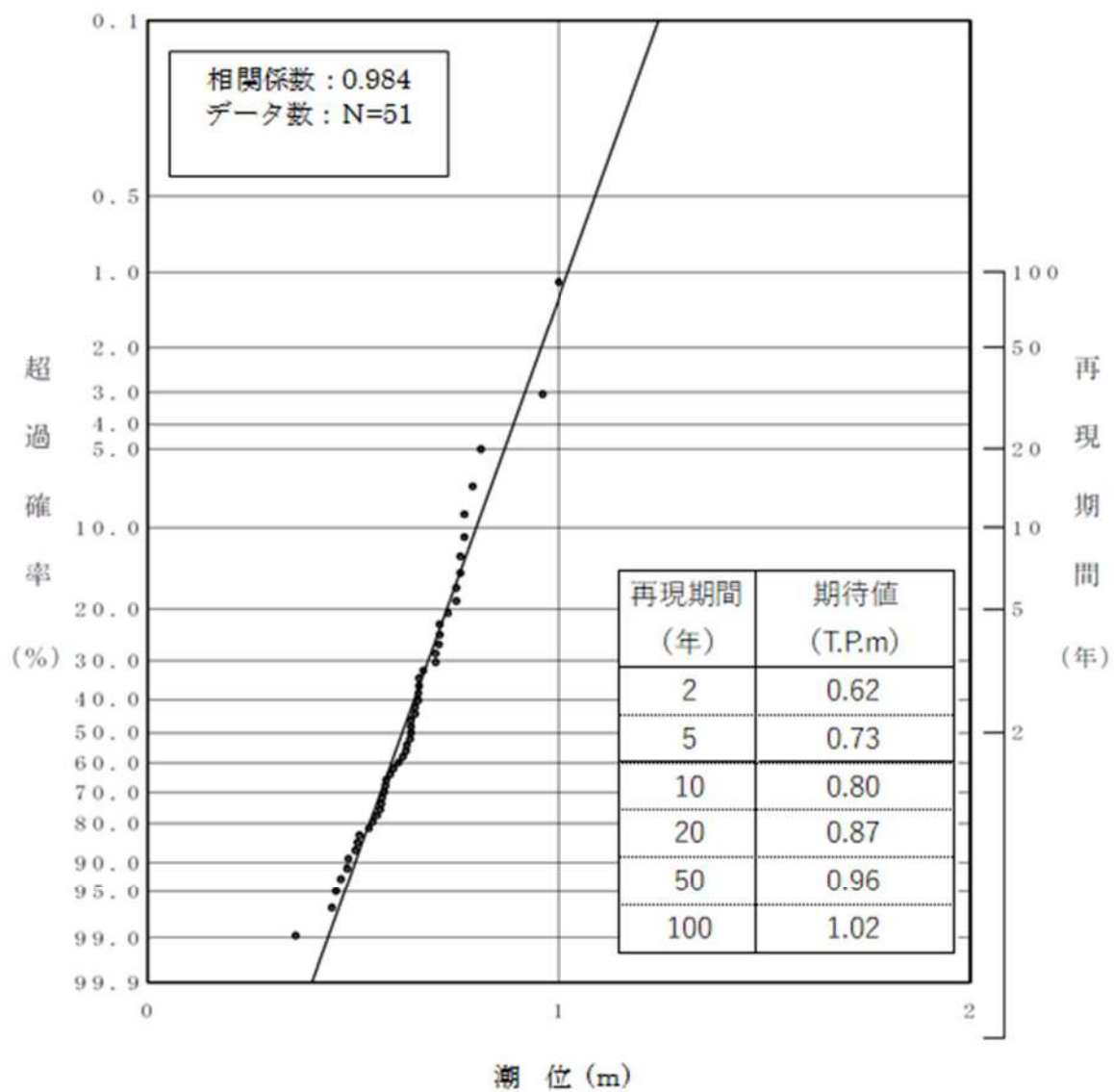
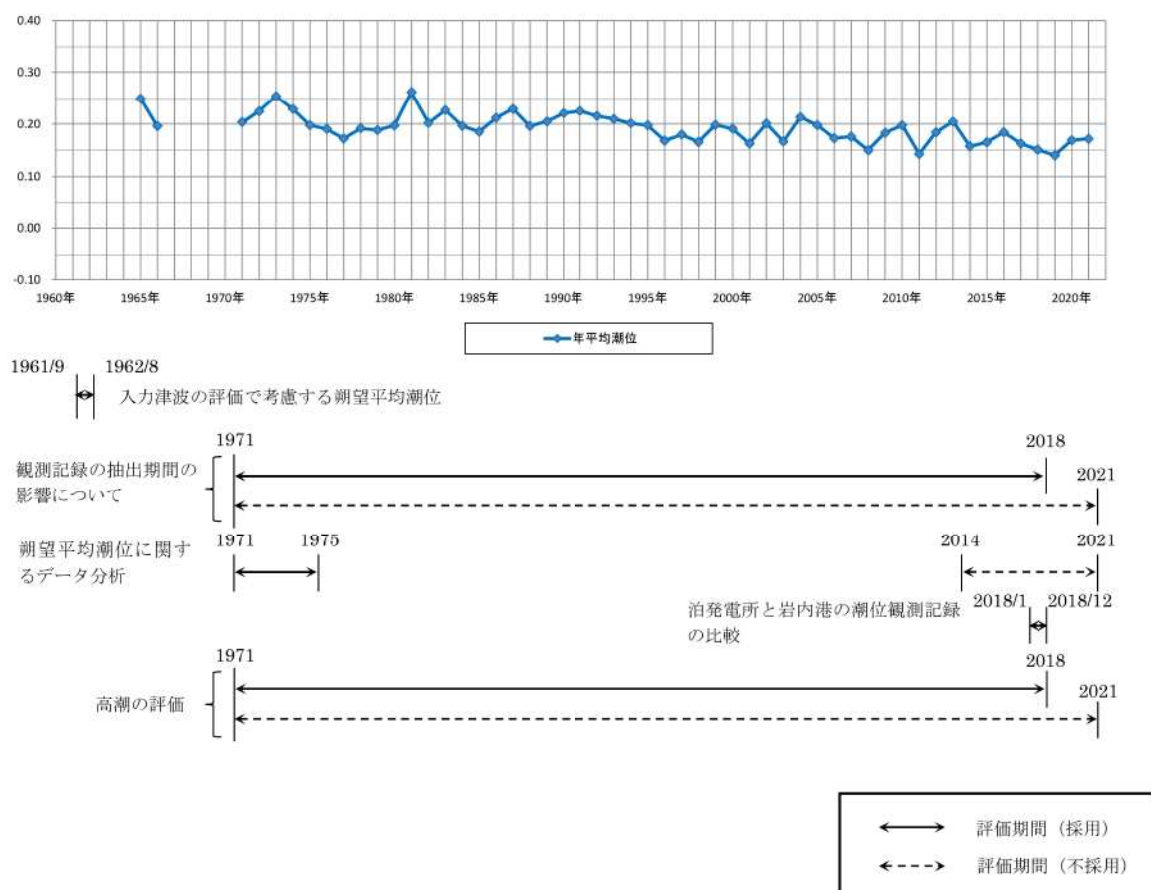


図 11 近年の観測記録による最高潮位の超過発生確率

潮位データの評価期間について

津波評価に考慮する潮位の検討に用いた潮位データの評価期間を参考図 1 に示す。



参考図 1 潮位データの評価期間

基準津波に伴う砂移動評価について

1. はじめに

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への通水性に影響がないことを砂移動評価にて確認している。

ここでは、砂移動解析における粒径の違いによる堆積厚さへの影響を検討した。

なお、砂移動解析の解析条件は「泊発電所3号炉津波評価について」（参考資料1）に基づくものとする。

2. 粒径のパラメータスタディ

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、平均粒径（ D_{50} ）に加えて、 D_{10} 及び D_{90} を粒径としたケースを追加した。検討ケースを表1に示す。

粒径は、図1に示す地点で試料を採取し、図2に示す粒径加積曲線より、 D_{10} 相当は 0.096mm、 D_{90} 相当は 0.560mm に設定した。

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。評価結果を表2に、最大堆積厚分布図を図3に示す。

評価結果から、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、最大堆積厚さについては基本ケースである D_{50} から変化がなく、貯留堰設置面から貯留堰上端までの高さ（4.00m）に対して十分に小さいことから、粒径の違いによる取水口前面における堆積厚さへの影響は小さい。

表1 検討ケース

粒径	備考
0.154mm	D_{50} 、基本ケース（既往ケース）
0.560mm	D_{90} 相当
0.096mm	D_{10} 相当

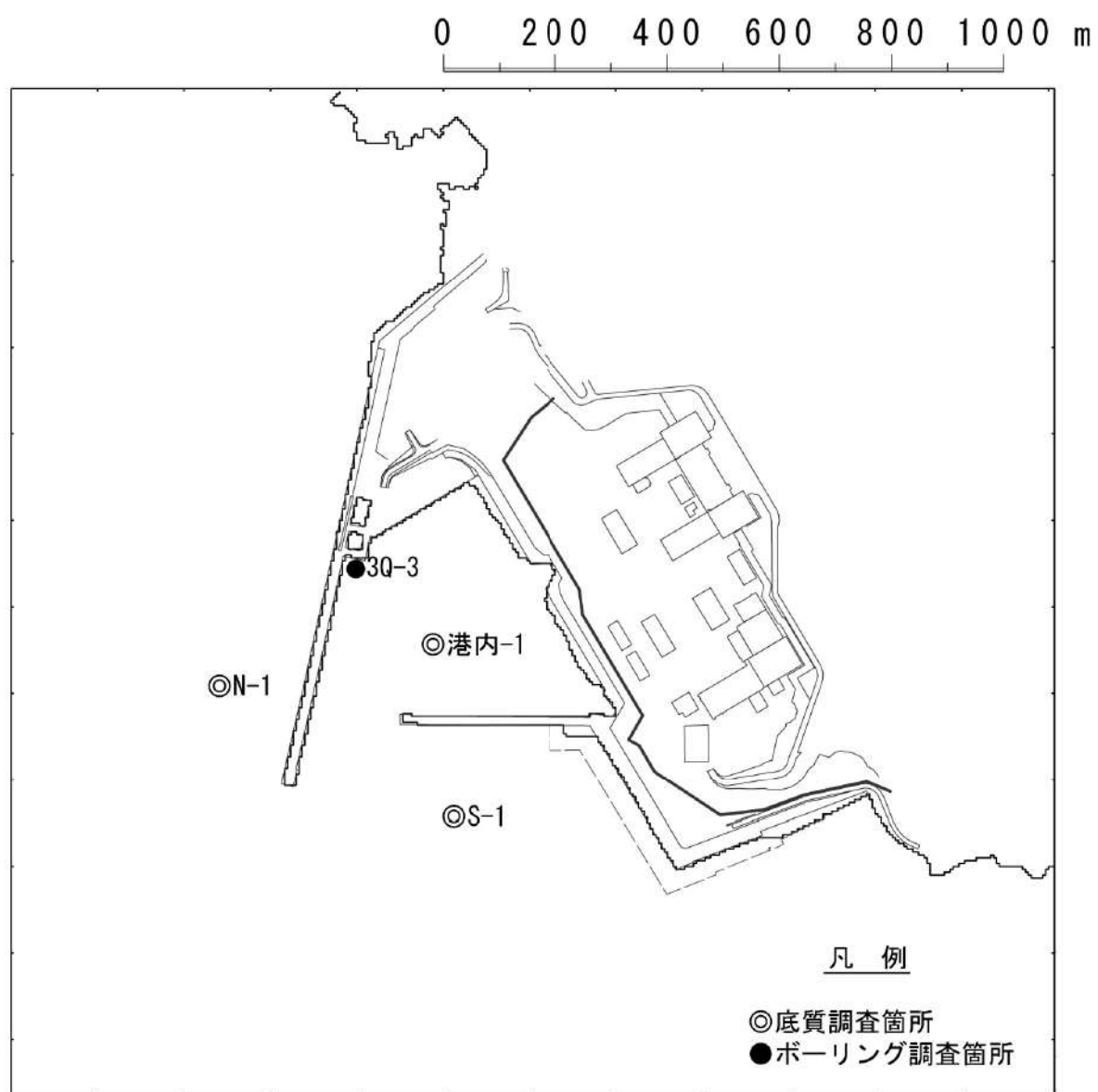


図 1 試料採取地点

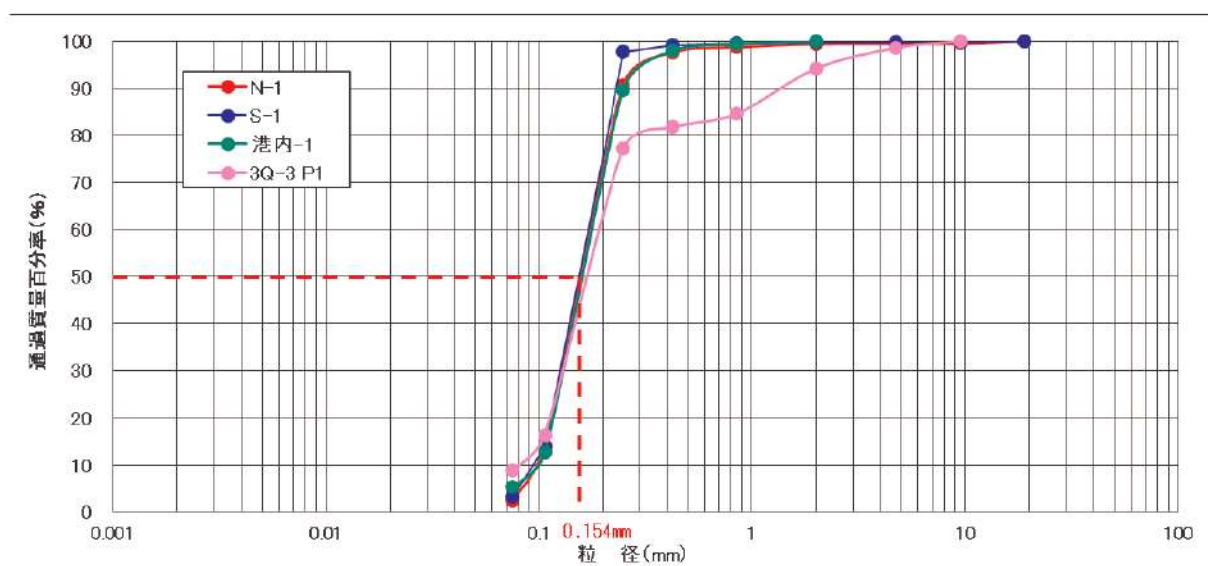


図2 粒径加積曲線

表 2 取水口前面の堆積厚さ

基準津波名称	波源モデル	粒径	3号炉取水口堆積厚さ (m)
基準津波 D (北及び南防波堤損傷)	日本海東縁部 +川白	D ₅₀ (0.154mm)	0.44
		D ₉₀ (0.560mm)	0.31
		D ₁₀ (0.096mm)	0.34

※高橋ほか (1999), 浮遊砂濃度の上限値 1%

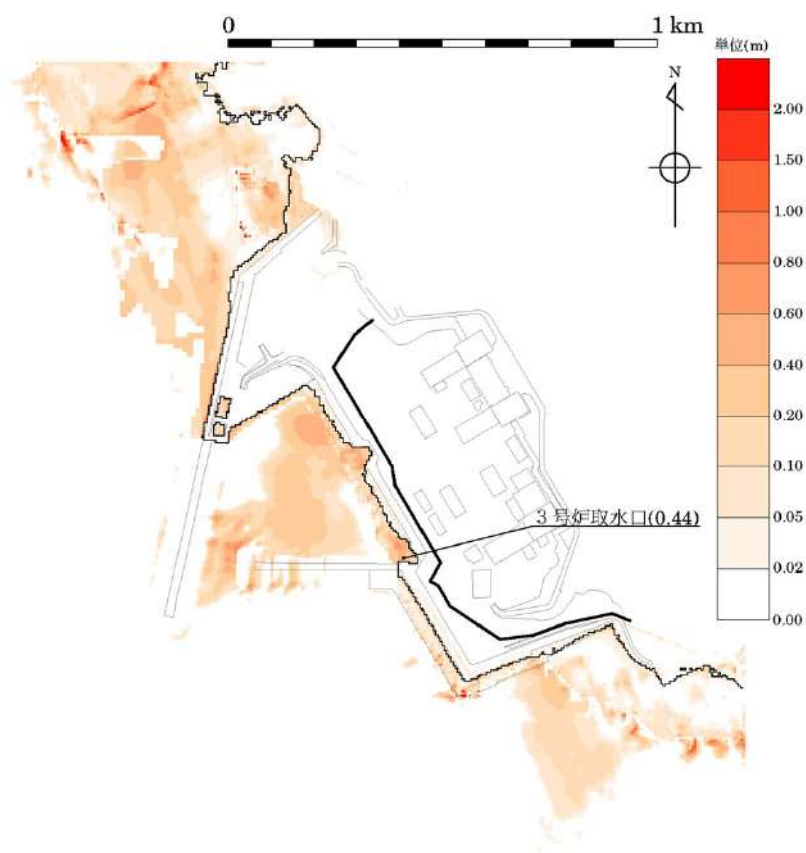


図 3(1) 最大堆積厚分布図 D₅₀ (0.154mm)

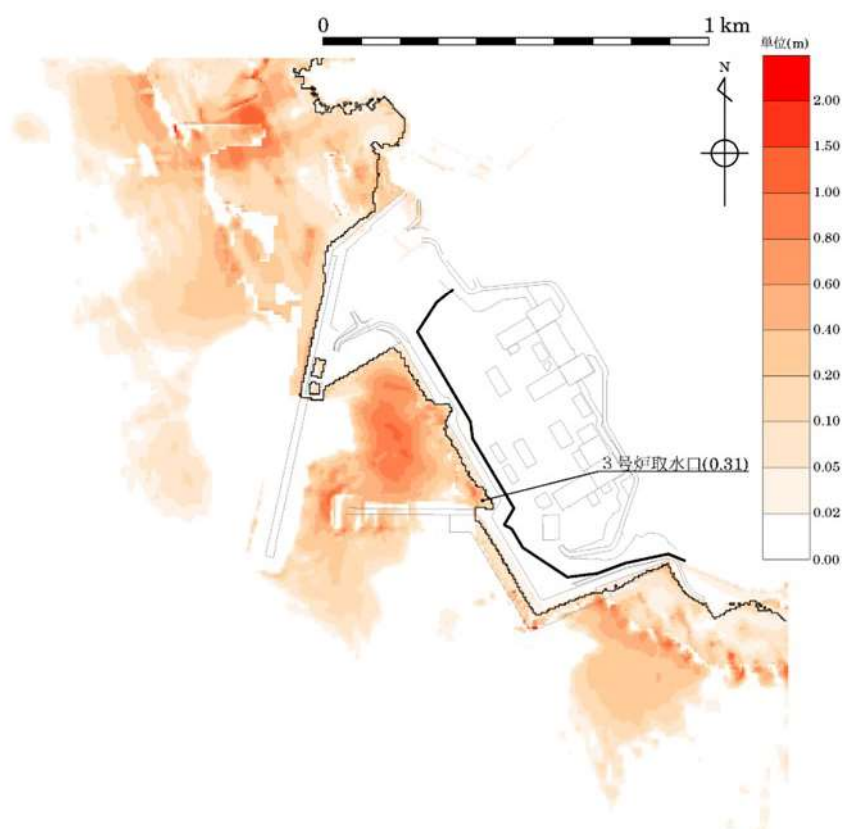


図 3(2) 最大堆積厚分布図 D_{90} (0.560mm)

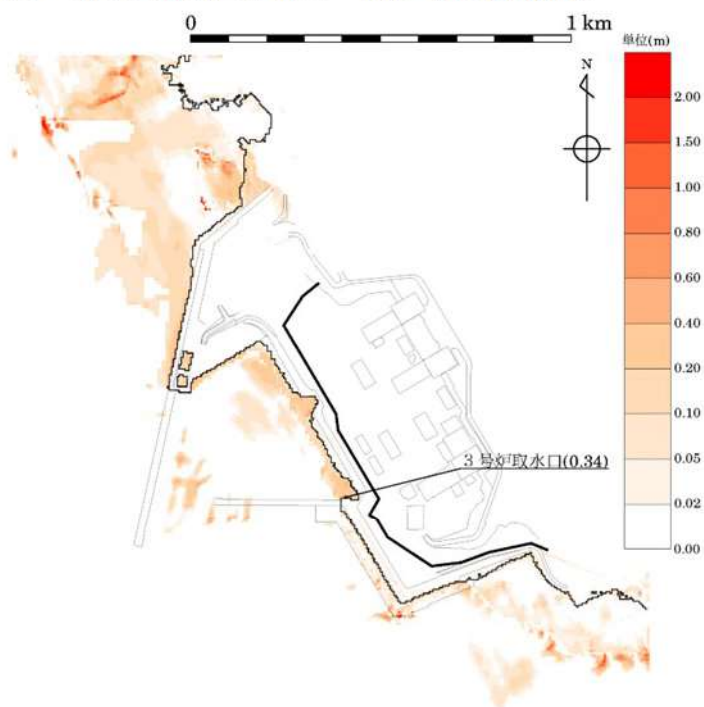


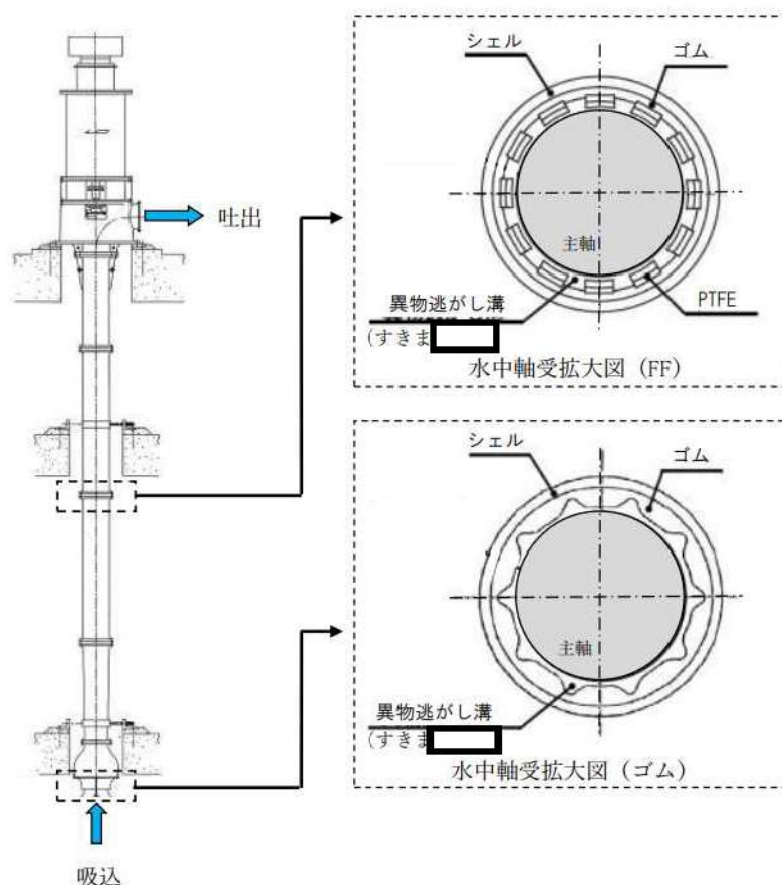
図 3(3) 最大堆積厚分布図 D_{10} 相当 (0.096mm)

5 条一別添 1—添付 12—5

海水ポンプ軸受の浮遊砂耐性について

1. はじめに

原子炉補機冷却海水ポンプは、取水時に浮遊砂の一部が軸受潤滑水とともにポンプ軸受に混入したとしても、第1図に示すとおり、軸受に設けられた異物逃がし溝(溝深さ FF 軸受 ゴム軸受: から連続排出される構造となっているため、取水機能は維持できる設計となっている。これまでの運転実績においても、浮遊砂混入による軸受損傷は発生していないが、ここでは、発電所周辺の細かな砂(粒径 0.15mm 程度)が軸受に混入した場合の軸受の耐性について評価する。



第1図 原子炉補機冷却海水ポンプ軸受構造図

2. 軸受摩耗試験

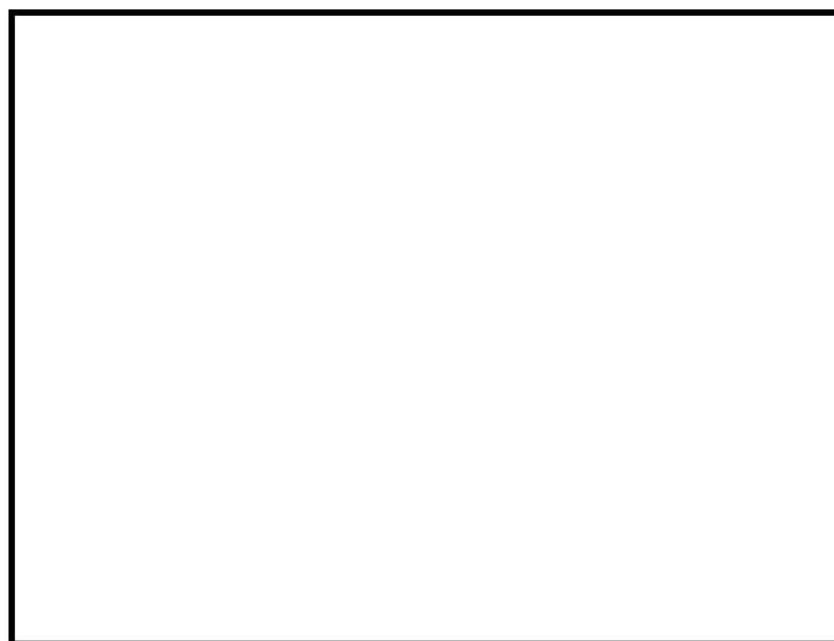
(1) 試験方法

実機原子炉補機冷却海水ポンプを模擬し、浮遊砂濃度 ($4.0 \times 10^{-3} \text{wt\%}$, $2.0 \times 10^{-2} \text{wt\%}$) 連続注入時における運転試験を実施して、軸受の摩耗量を測定した。第1表に試験条件、第2図に原子炉補機冷却海水ポンプ軸受摩耗試験装置を示す。

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第1表 軸受摩耗試験条件

項目	試験条件
試験砂濃度 [wt%]	4.0×10^{-3} , 2.0×10^{-2}
使用砂	JIS Z 8901 試験用ダスト1種
軸受材料	ゴム軸受, FF 軸受
周速 [mm/s]	
軸受面圧 [kgf/mm ²]	



第2図 原子炉補機冷却海水ポンプ軸受摩耗試験装置

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(2) 試験結果

試験の摩耗量の測定結果を用いて比摩耗量 K_1 を評価し、①の寿命評価式を用いて評価した結果、浮遊砂濃度 $2.0 \times 10^{-2}\text{wt}\%$ の場合の軸受の寿命時間は、上部、中間軸受（FF 軸受）：約 2700 時間、ボウル部軸受（ゴム軸受）：約 5100 時間、下部軸受（ゴム軸受）：約 6200 時間となる。計算条件を第 2 表 に示す。

軸受寿命評価式（機械工学便覧参照）

$$T = \frac{\delta}{P \cdot V \cdot K_1} \dots \textcircled{1}$$

K_1 ：比摩耗量 (mm^2/kgf) ($2.0 \times 10^{-2}\text{wt}\%$ 時)

δ ：許容摩耗量 (mm)

P ：軸受面圧 (kgf/mm^2)

V ：周速 (mm/s)

T ：寿命時間 (s) ($2.0 \times 10^{-2}\text{wt}\%$ 時)

第 2 表 原子炉補機冷却海水ポンプ軸受寿命評価条件[浮遊砂濃度 $2.0 \times 10^{-2}\text{wt}\%$]

--

3. 基準津波時の砂移動評価結果からの寿命評価

基準津波時における砂移動評価結果から取水ピットポンプ室の浮遊砂濃度は、 $4.0 \times 10^{-2}\text{wt}\%$ となる。前項の試験の比摩耗量とこの結果を用いて津波時の浮遊砂濃度 $4.0 \times 10^{-2}\text{wt}\%$ における比摩耗量を評価する。比摩耗量の②式は、公開文献「立軸ポンプ用セラミック軸受に関する研究」※から引用している。この公開文献では、200～3000ppm のスラリー濃度の軸受摩耗量を測定しており、比摩耗量とスラリー濃度との間には相関関係があると結論づけられており、この知見を参考とした。比摩耗量を計算した結果を第 3 表に示す。

※立軸ポンプ用セラミック軸受に関する研究，湧川ほか（日本機械学会論文集（B編）53 巻 491 号（昭 62-7），pp. 2094-2098

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \left(\frac{C_\omega}{C_0}\right)^{0.9} \dots \textcircled{2}$$

ω (K_2) : 比摩耗量 (mm^2/kgf) ($4.0 \times 10^{-2} \text{wt}\%$ 時)

ω_0 (K_1) : 比摩耗量 (mm^2/kgf) ($2.0 \times 10^{-2} \text{wt}\%$ 時)

C_ω : スラリー濃度 ($4.0 \times 10^{-2} \text{wt}\%$)

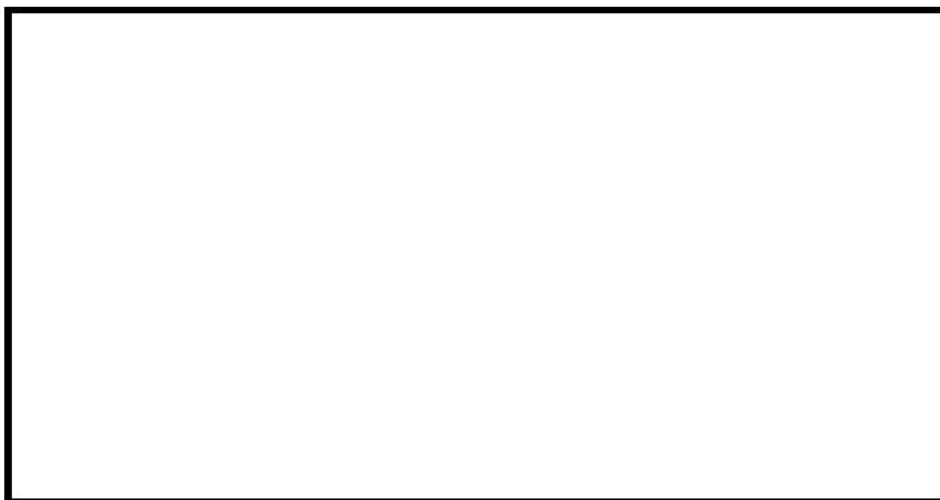
C_0 : 基準となるスラリー濃度 ($2.0 \times 10^{-2} \text{wt}\%$)

比摩耗量を計算した結果を第3図に示す。この結果から寿命評価をした結果、運転可能時間は上部、中間軸受 (FF 軸受) : 約 1400 時間、ボウル部軸受 (ゴム軸受) : 約 2700 時間、下部軸受 (ゴム軸受) : 約 3300 時間となる。計算条件を第3表に示す。

これに対し、津波到達後約 3 時間経過すれば、浮遊砂濃度は無視できる程度まで低下するため、原子炉補機冷却海水ポンプ軸受は津波時の浮遊砂に対して十分な耐性がある。

第3表 原子炉補機冷却海水ポンプ軸受寿命計算条件[浮遊砂濃度 $4.0 \times 10^{-2} \text{wt}\%$]

--



第3図 原子炉補機冷却海水ポンプ軸受比摩耗量評価結果 出典：立軸ポンプ用セラミックス軸受に関する研究，湧川ほか（日本機械学会論文集（B 編）53 巻 491 号（昭 62-7），pp. 2094-2098 に追記

4. まとめ

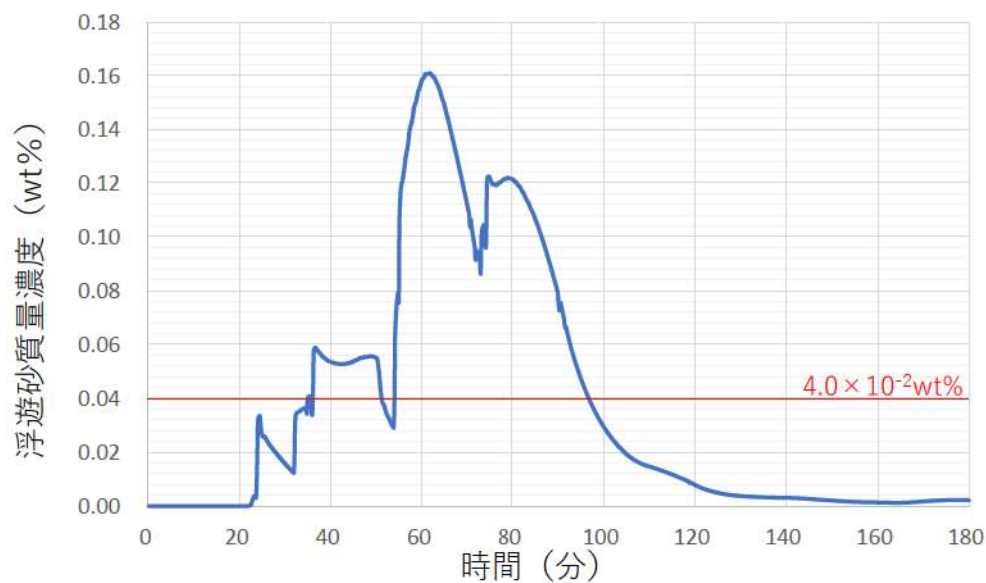
津波来襲による浮遊砂濃度が上昇する時間は長くても3時間程度であり、津波来襲時に原子炉補機冷却海水ポンプ軸受部に浮遊砂が混入したとしても海水ポンプ軸受耐性は十分にあり、取水性に問題はない。

基準津波時の砂移動評価結果

泊発電所 3 号炉の原子炉補機冷却海水ポンプ近傍位置の砂濃度は第 4 表に示す条件にて解析を実施し算出している。原子炉補機冷却海水ポンプ近傍位置での砂濃度は第 4 図に示すとおりであり，原子炉補機冷却海水ポンプ近傍で砂濃度の変化が見られる 15 分から砂濃度が下降傾向を示す 180 分間の平均砂濃度 $4.0 \times 10^{-2} \text{wt\%}$ を評価に用いることとする。

第 4 表 基準津波による砂移動の解析条件

波源	基準津波 F（北及び南防波堤損傷）		
砂移動モデル	高橋ほか（1999）の手法による検討結果		
算出点	原子炉補機冷却海水ポンプ近傍	浮遊砂体積濃度上限値	1 %

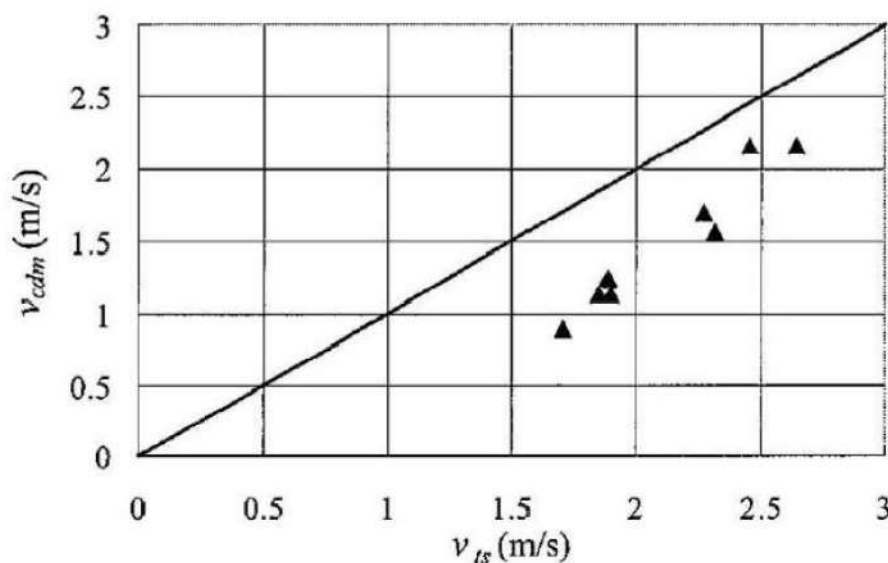


第 4 図 基準津波 F（北及び南防波堤損傷）による砂濃度の評価結果

漂流物の評価において考慮する津波の流速・流向について

1. 設計に用いる遡上波の流速について

津波による漂流物の漂流速度は、津波の流速に支配される。文献^{※1}によると漂流物の最大漂流速度は津波の浸水流速より小さくなっているが、安全側に漂流速度として津波の流速を用いる。



第1図 浸水流速 v_{ts} と最大漂流速度 v_{cdm} の関係

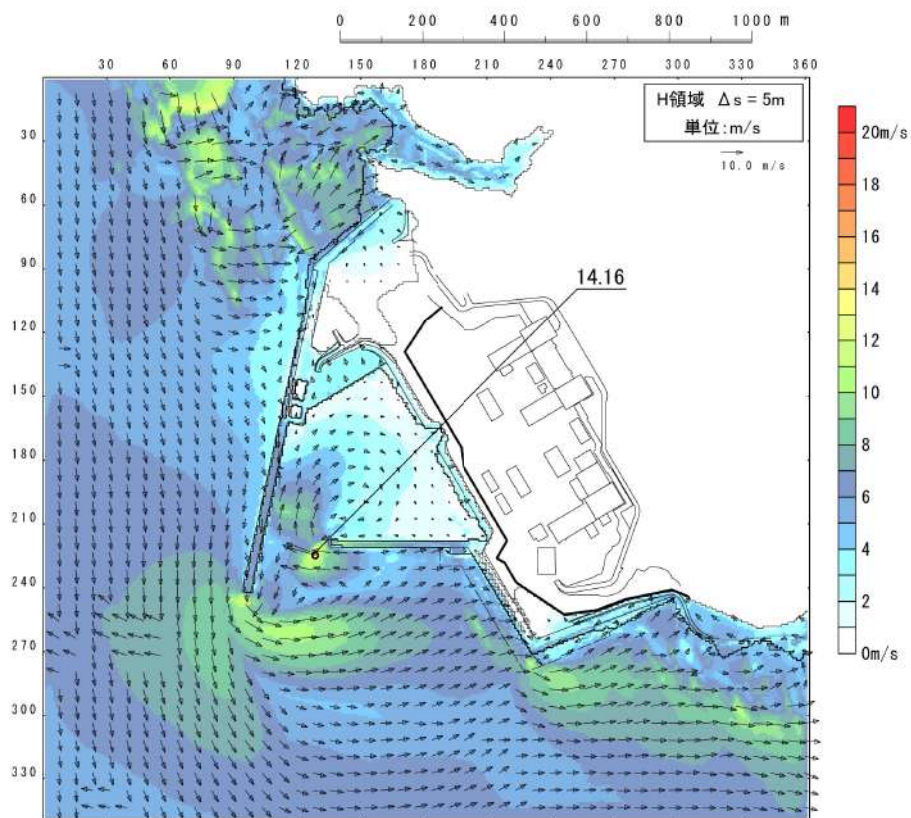
※1 海岸工学論文集，第54巻(2007) 遡上津波によるコンテナ漂流力に関する大規模実験（有川ほか）

漂流物の衝突速度は、評価対象施設周辺の流速に依存すると考えられるが、安全側の評価を実施するために、発電所周辺における最大流速を衝突荷重評価に用いる漂流速度として設定する。津波の流速は、平面二次元津波シミュレーションにより得られる値を用いる。設定に当たっては、「防波堤の損傷」及び「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」を影響要因として考慮する。

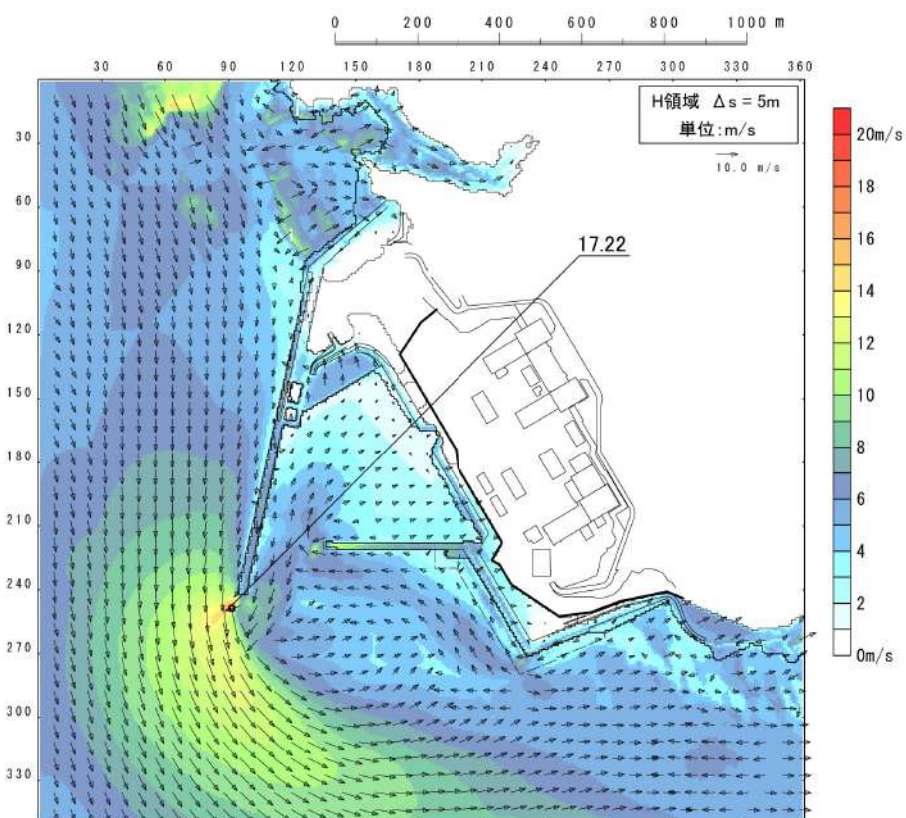
発電所周辺における最大流速分布を第2～21図に示す。

結果として、最大流速は18.00m/sが抽出されたことから^{※1}、18.0m/sを津波防護施設の衝突荷重評価に用いる漂流速度として設定する。

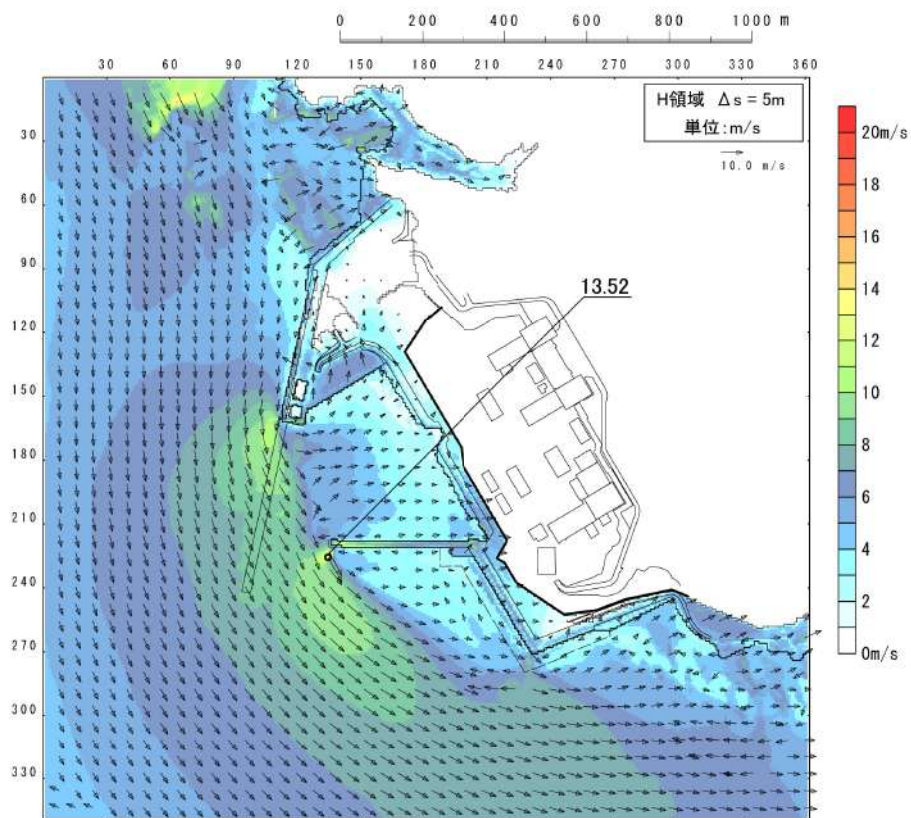
※1：詳細は添付資料3 表2.1.f.h-1, 2.1.f.h-2 参照



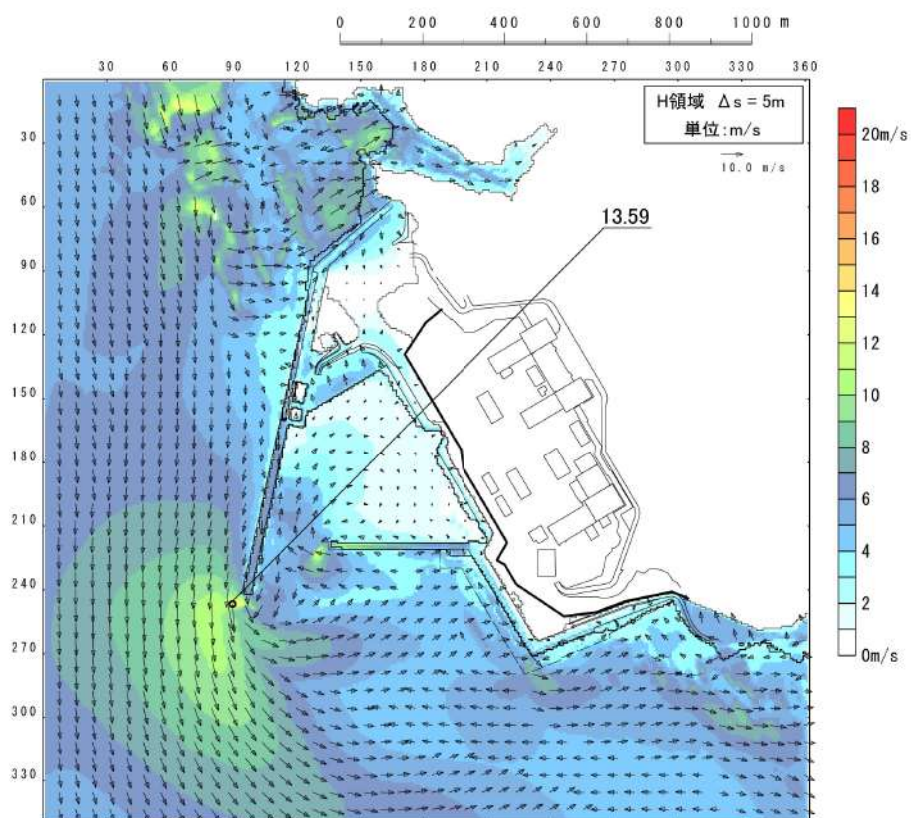
第2図 最大流速分布（基準津波A（防波堤損傷なし，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」））



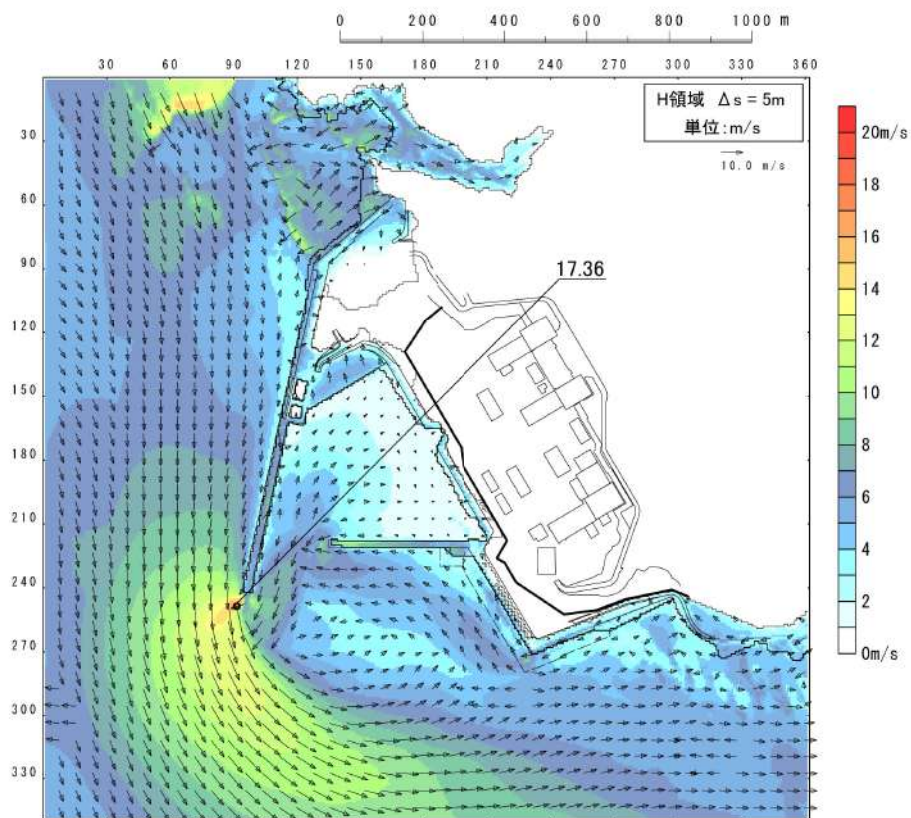
第3図 最大流速分布（基準津波B（防波堤損傷なし，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」））



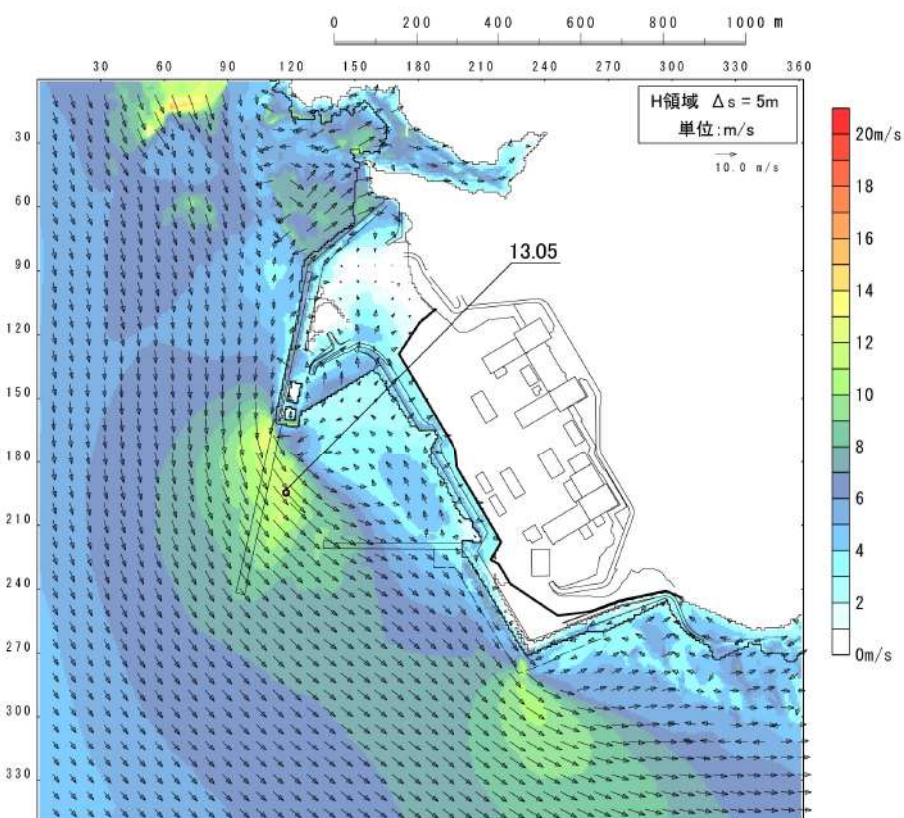
第4図 最大流速分布（基準津波B（北防波堤損傷，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」））



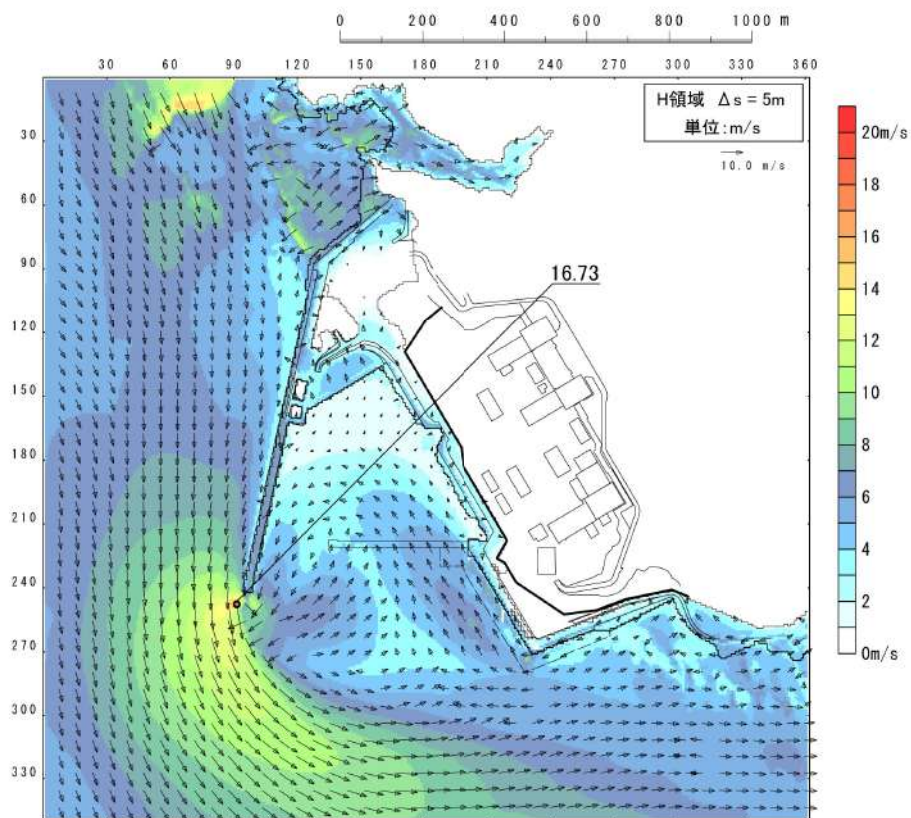
第5図 最大流速分布（基準津波C（防波堤損傷なし，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」））



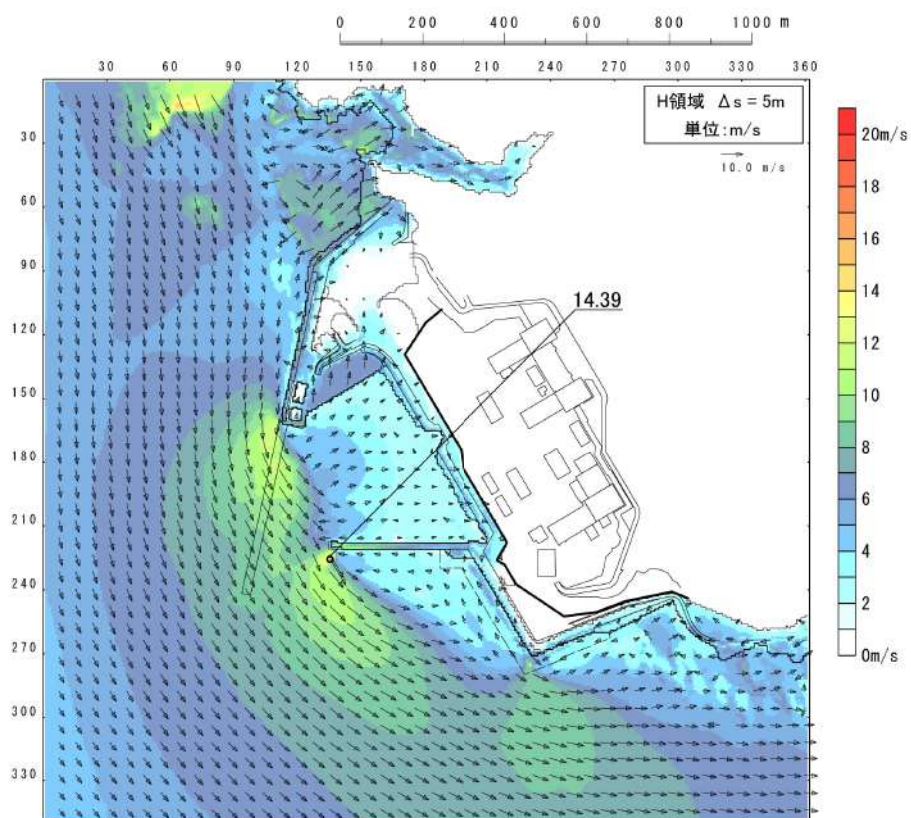
第6図 最大流速分布（基準津波D（防波堤損傷なし，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」））



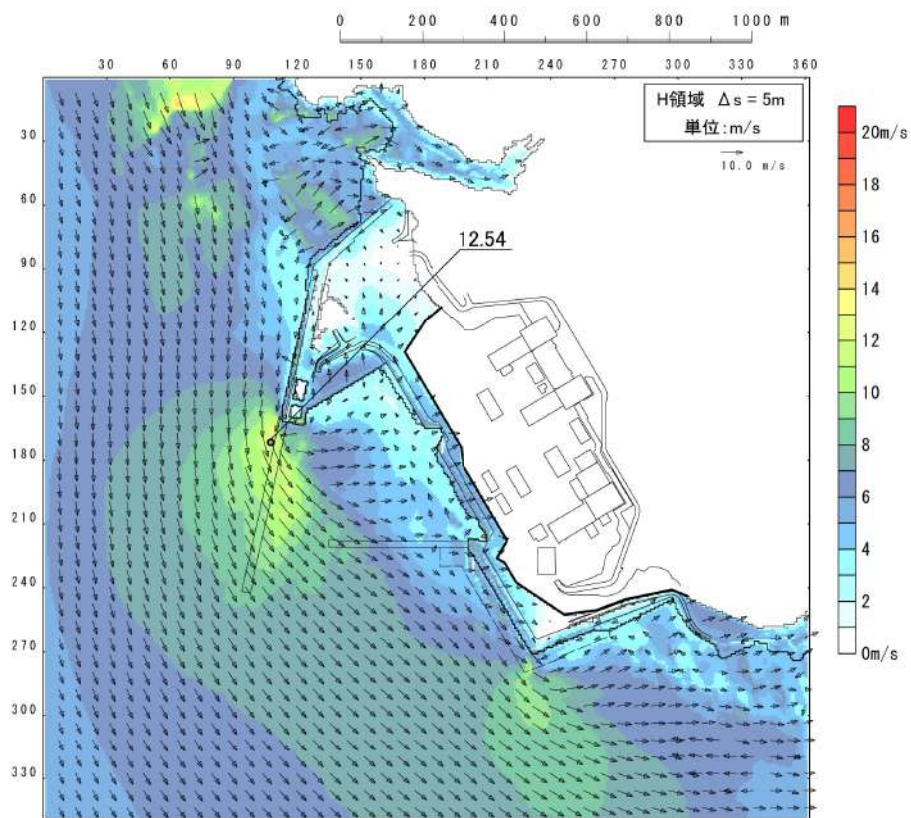
第7図 最大流速分布（基準津波D（北及び南防波堤損傷，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」））



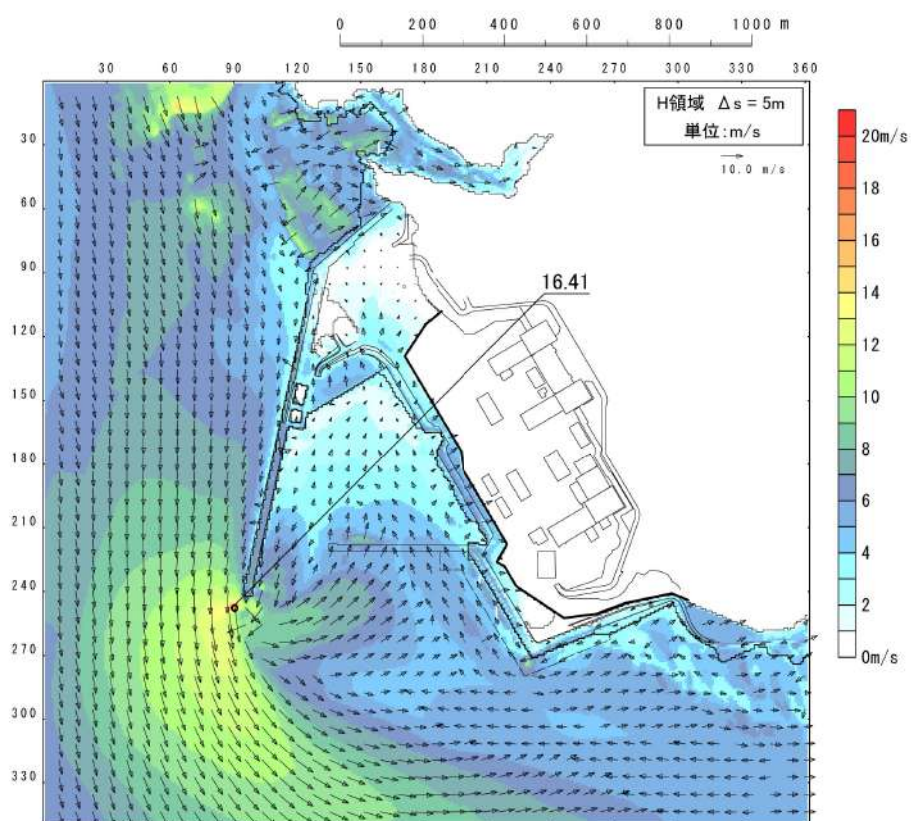
第 8 図 最大流速分布（基準津波 D（南防波堤損傷，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」））



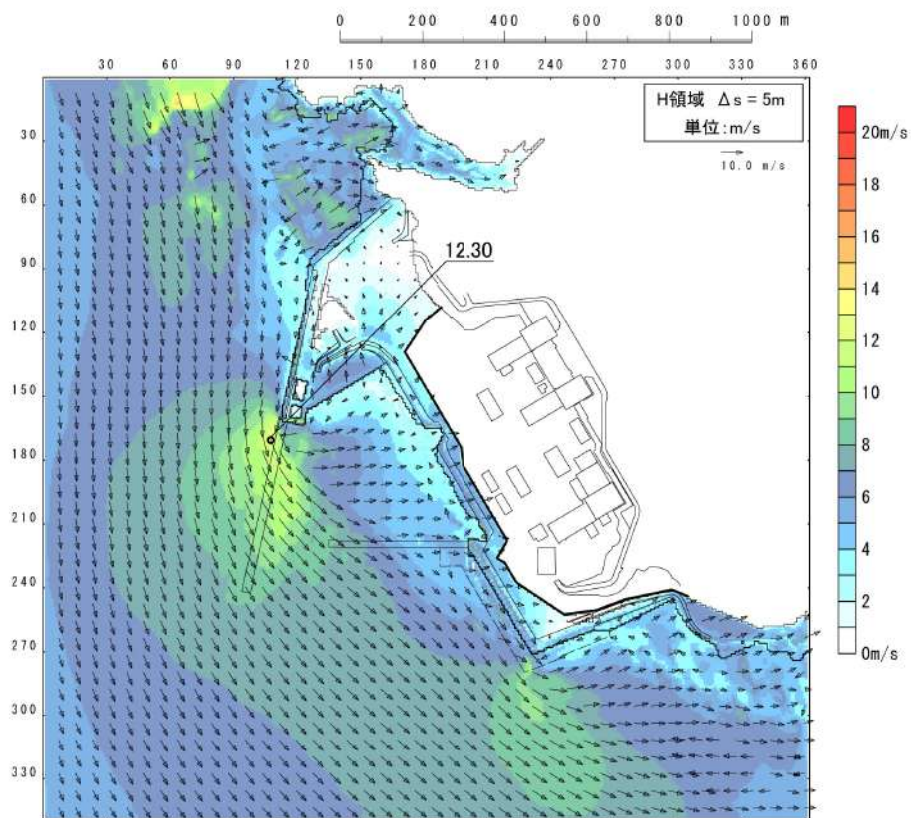
第 9 図 最大流速分布（基準津波 D（北防波堤損傷，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」））



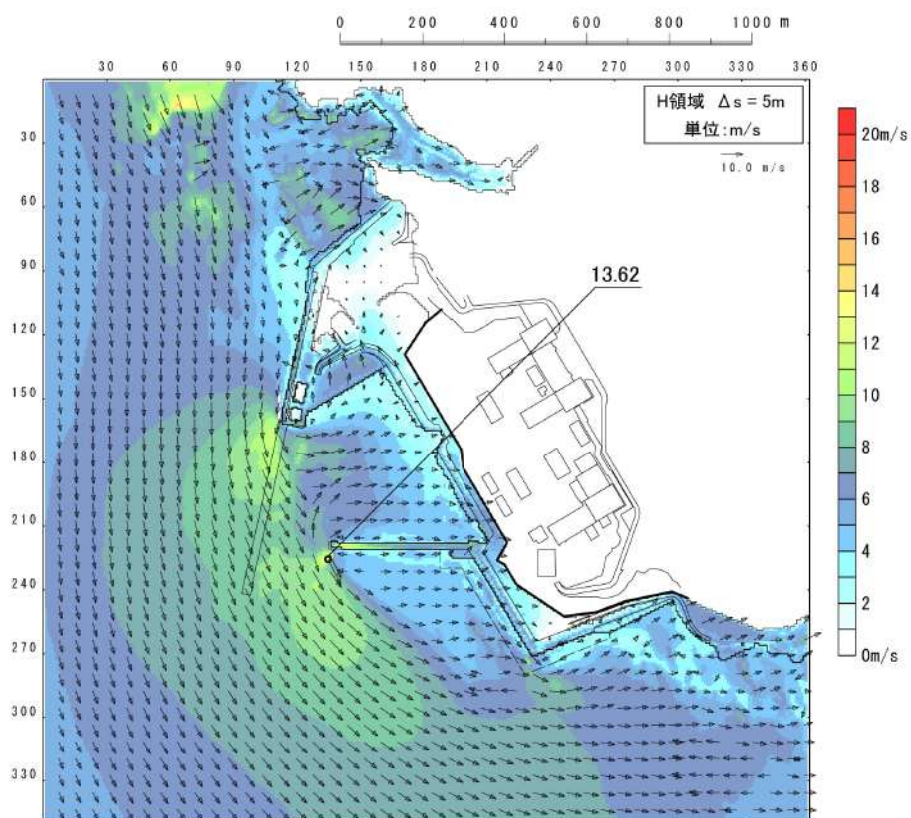
第 10 図 最大流速分布（基準津波 E（北及び南防波堤損傷，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」））



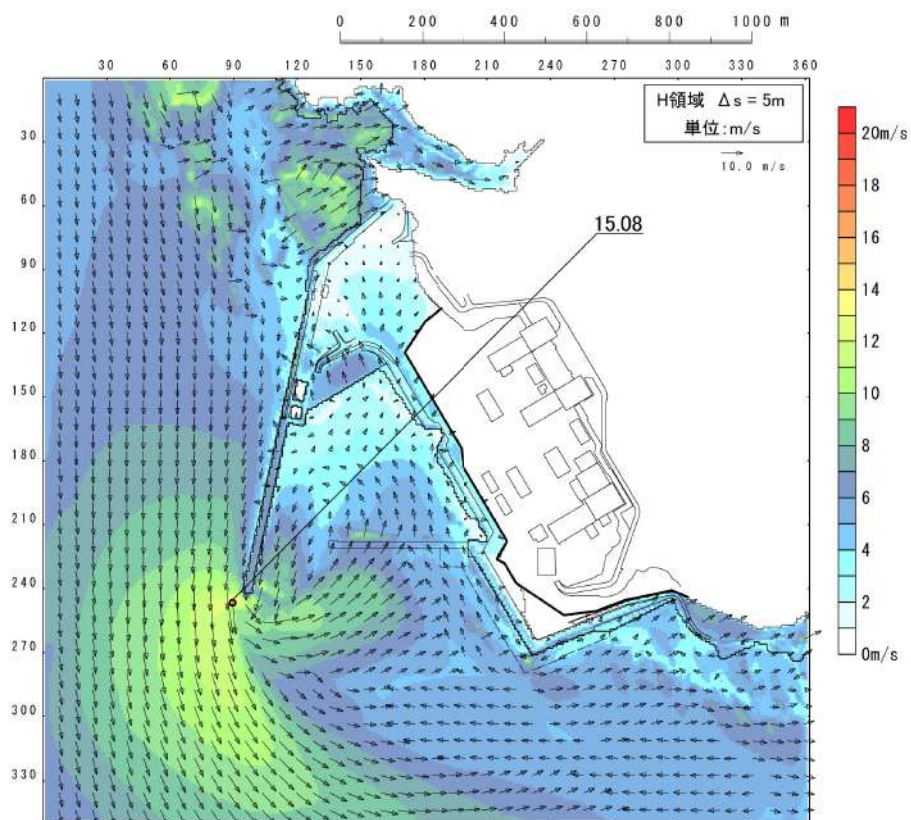
第 11 図 最大流速分布（基準津波 E（南防波堤損傷，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」））



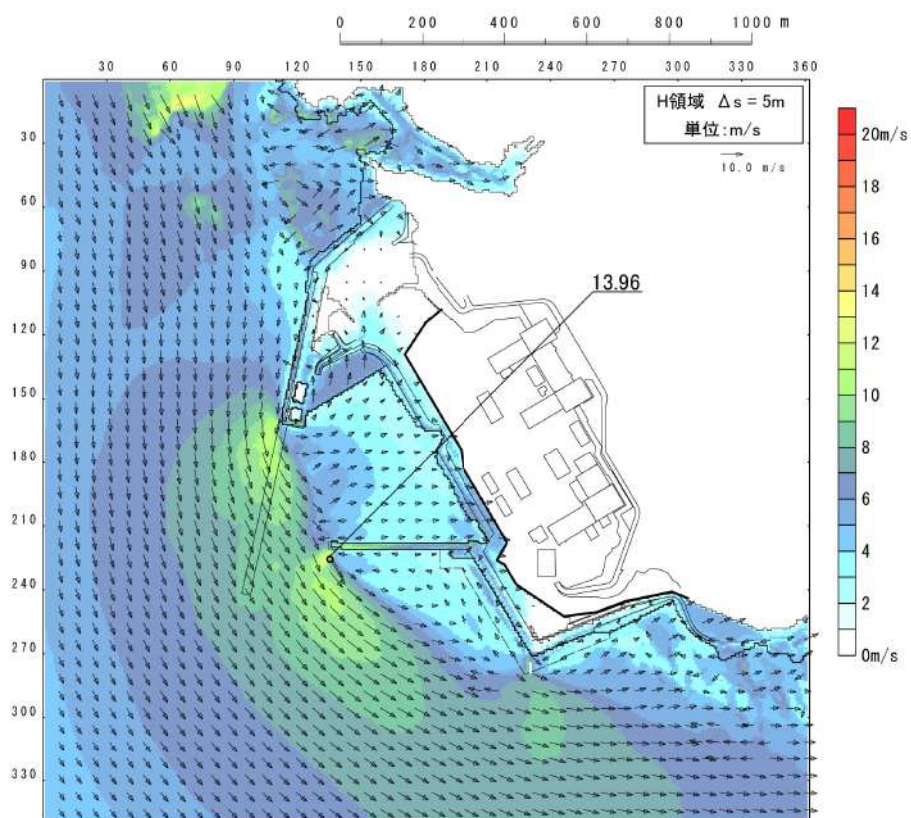
第 12 図 最大流速分布（基準津波 F（北及び南防波堤損傷，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」））



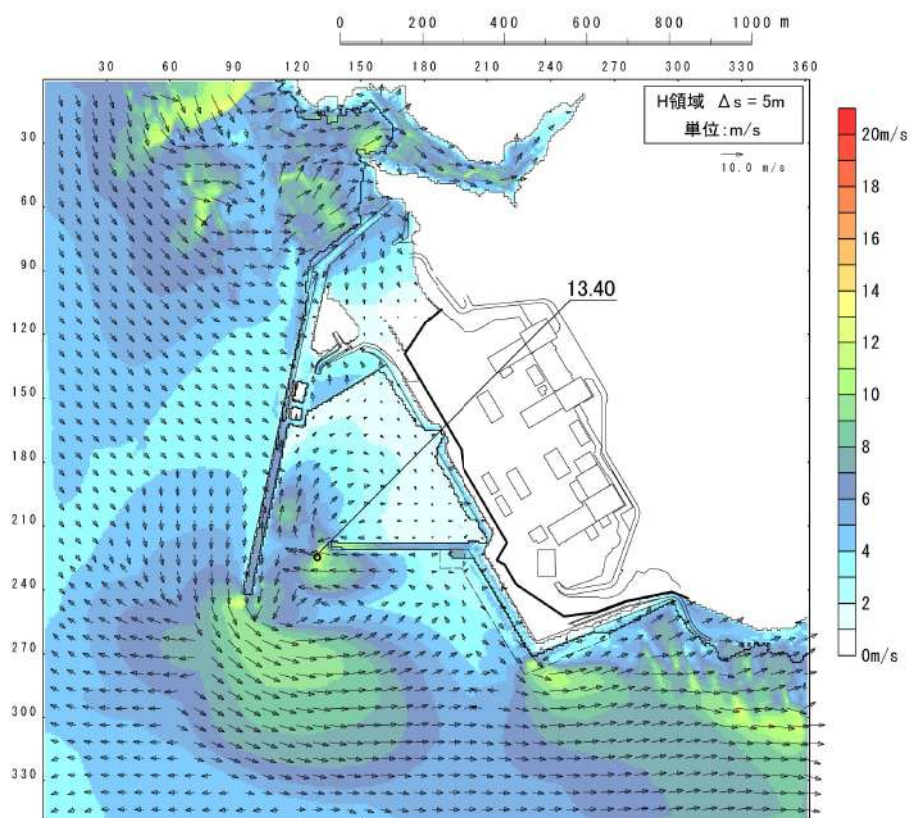
第 13 図 最大流速分布（基準津波 F（北防波堤損傷，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」））



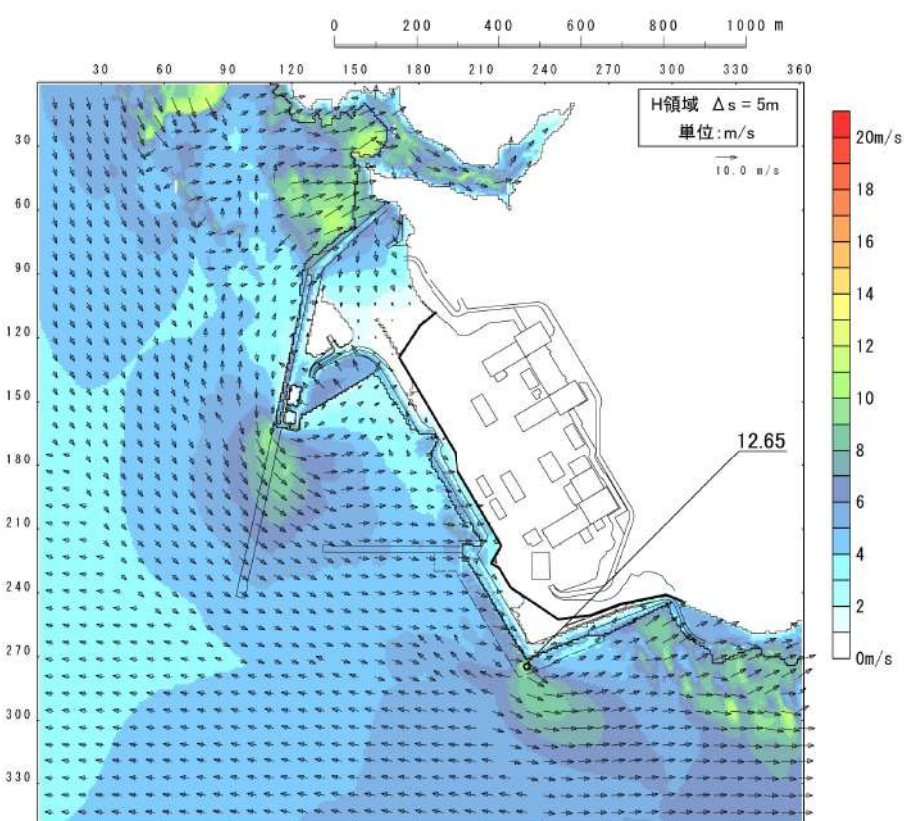
第 14 図 最大流速分布（基準津波 G（南防波堤損傷，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」））



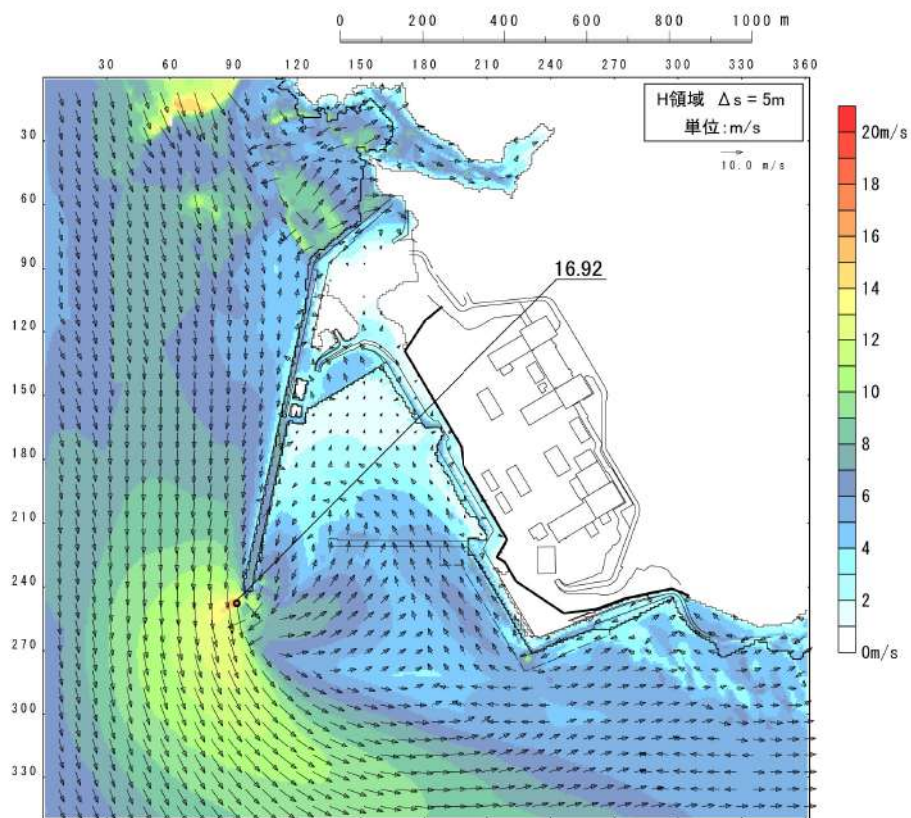
第 15 図 最大流速分布（基準津波 H（北防波堤損傷，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」））



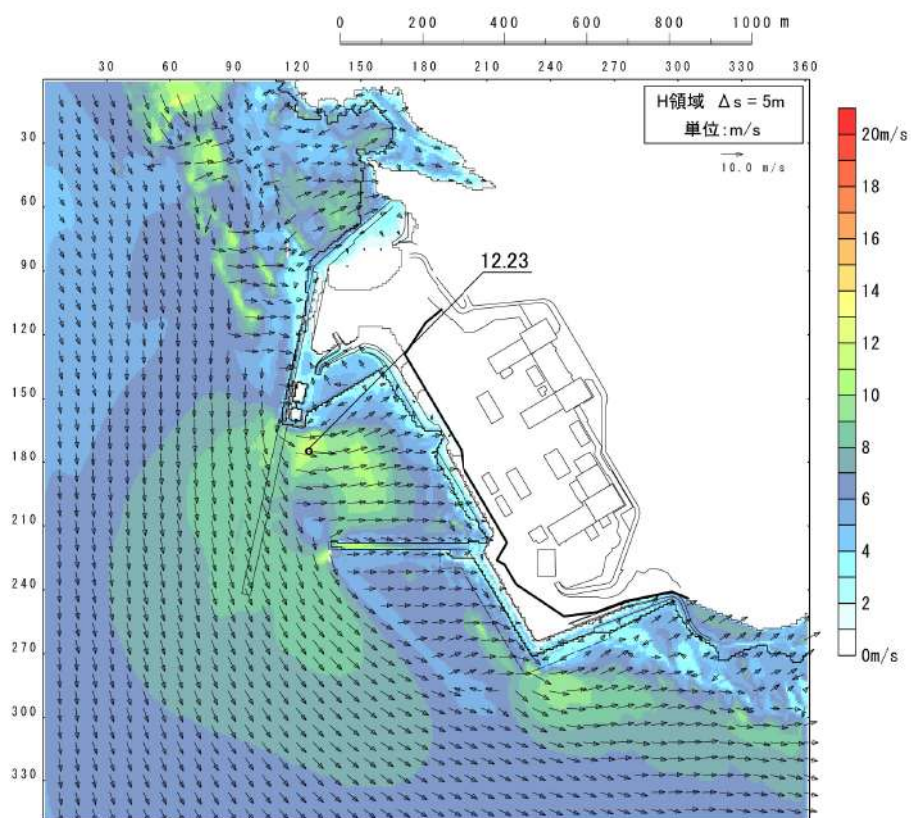
第 16 図 最大流速分布（基準津波 I（防波堤損傷なし，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」））



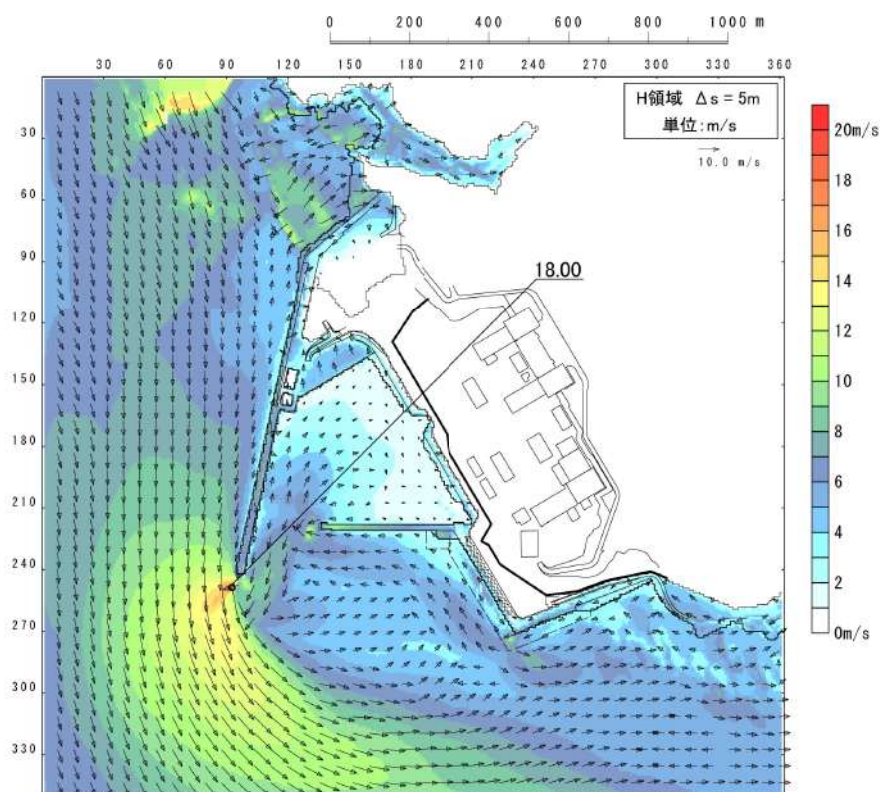
第 17 図 最大流速分布（基準津波 J（北及び南防波堤損傷，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」））



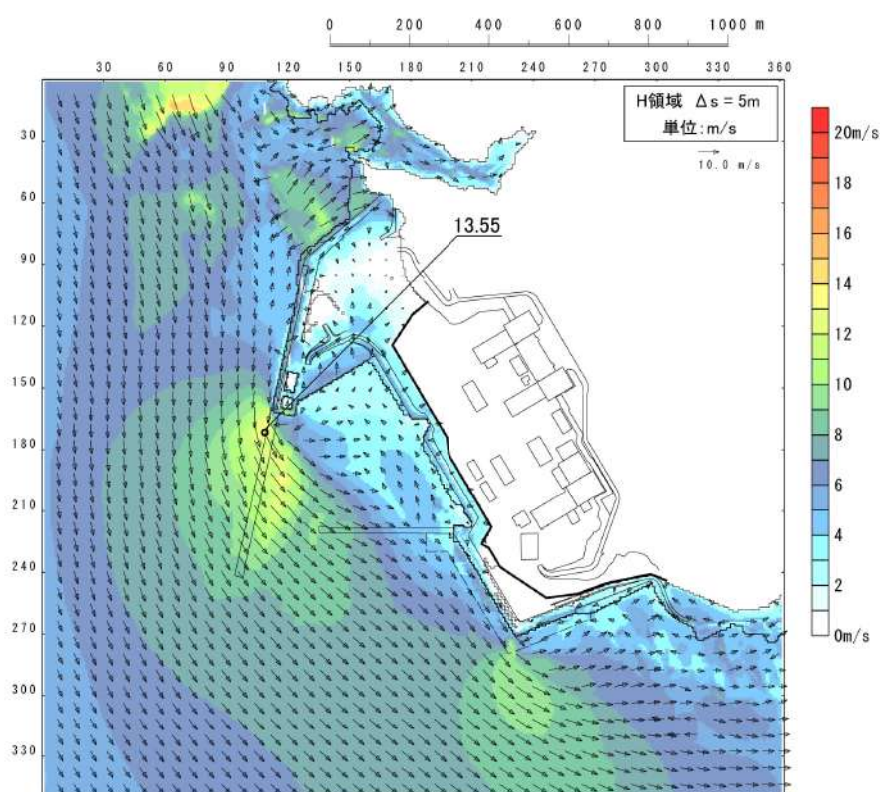
第 18 図 最大流速分布（基準津波 K（南防波堤損傷，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」））



第 19 図 最大流速分布（基準津波 L（北防波堤損傷，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」））



第 20 図 最大流速分布（流速最大ケース 1^{※1}，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」）



第 21 図 最大流速分布（流速最大ケース 2^{※1}，
「敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘」）

※ 1 : 基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となる 2 ケース (詳細は添付資料 3 - 参考資料 3 参照)

津波波圧の影響を直接受ける構築物等における津波波圧の設定方針について

1. 基本事項

(1) 津波波圧の評価対象

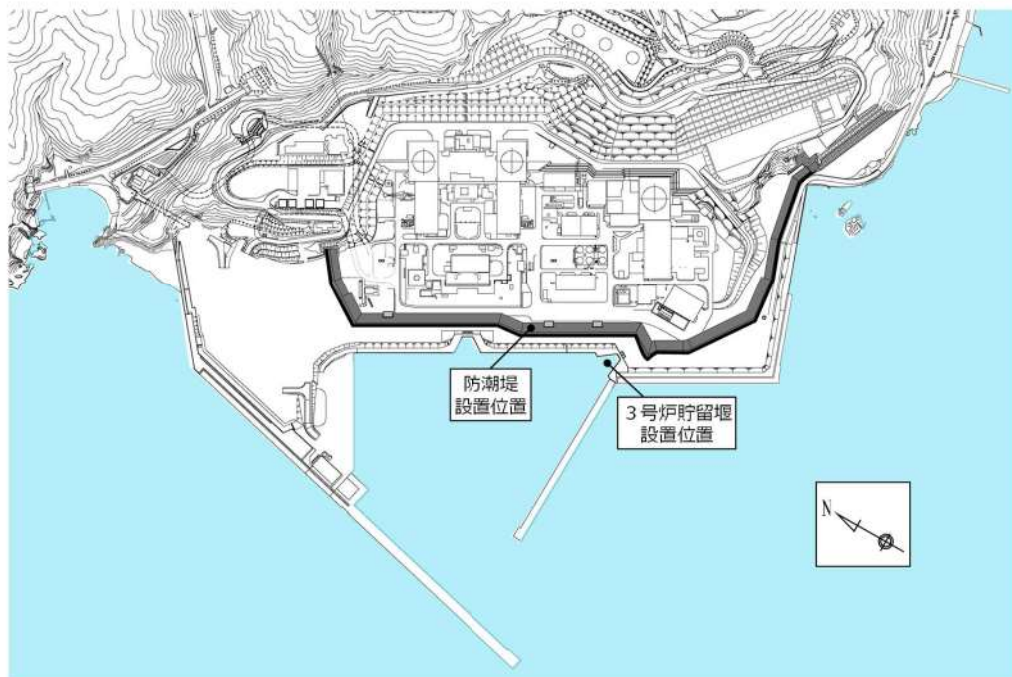
「耐津波設計に係る設工認審査ガイド（令和5年1月改正）」¹⁾の、「津波波圧評価に係る確認事項（別添）」（以下、「設工認審査ガイド別添」という。）では、外郭防護に係る施設及び設備のうち、津波波圧の影響を直接受ける陸域の構築物、海域にあり引き波時に設置面が露出する構築物等を対象として、これらの構築物等に作用する入力津波の波圧（以下、「津波波圧」という。）評価に係る確認事項が示されている。

【設工認審査ガイド別添の適用対象】

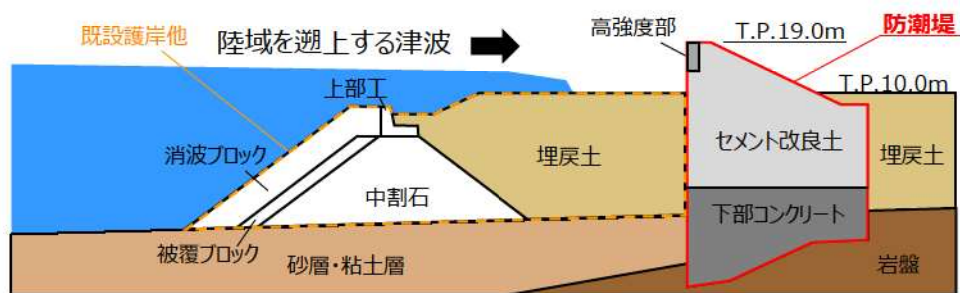
外郭防護に係る施設及び設備のうち、津波波圧の影響を直接受ける陸域の構築物、海域にあり引き波時に設置面が露出する構築物等（以下これらを総称して「防潮堤等」という。）。
海域にあり引き波時に設置面が露出する構築物として、例えば津波影響軽減施設及び設備としての防波堤、離岸堤、潜堤等が考えられる。

泊発電所の外郭防護に係る施設及び設備においては、津波波圧の影響を直接受ける陸域の構築物として防潮堤、海域にあり引き波時に設置面が露出する構築物として3号炉貯留堰（以下、「貯留堰」という。）が設工認審査ガイド別添の適用対象に該当する（第1図～第3図）。

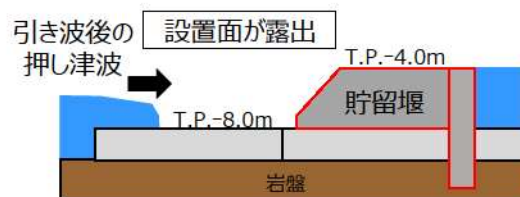
そのため、防潮堤及び貯留堰（以下、「防潮堤等」という。）の設計で考慮する津波波圧は、設計及び工事計画認可（以下、「設工認」という。）段階において、設工認審査ガイド別添に基づき設定する。



第1図 防潮堤等の位置図



第2図 防潮堤に対する津波の遡上イメージ図



第3図 引き波により設置面が露出した状態の貯留堰に対する津波の遡上イメージ図

(2) 津波波圧の評価方針

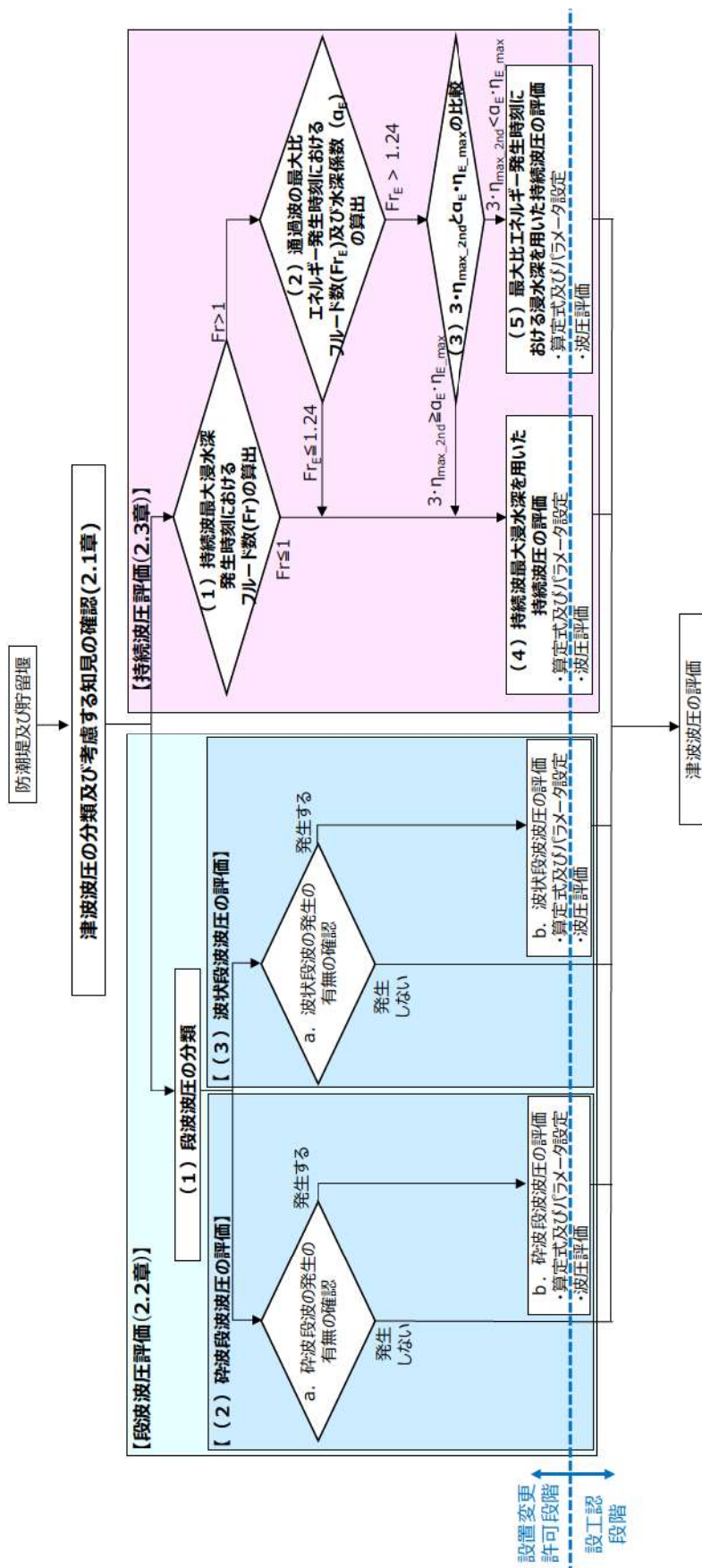
設置変更許可段階においては、津波波圧の設定に用いる入力津波を設定するため、第4図のフローに従い、「砕波段波及び波状段波の発生有無の確認」、「津波波圧評価に用いる算定式の設定」及び「津波波圧の評価に用いるパラメータの設定」までを実施し、設工認段階で津波波圧を設定する（第1表）。

また、波圧評価に当たり津波シミュレーションを用いる場合には、シミュレーションに用いられる非線形長波理論（浅水理論）及び非線形分散波理論の特徴並びに平面二次元津波シミュレーション及び断面二次元津波シミュレーションの特徴を踏まえ、適切な解析手法を用いるものとし、検討内容に応じて防潮堤のモデル化の有無を使い分ける（第2表）。

防潮堤の構造成立性評価においては、既設護岸（上部工及びケーソン）、消波ブロック、被覆ブロック、中割石、裏込石及び埋戻土（以下、これらを「既設護岸他」という。）は、地震による変状の可能性があることから、役割を期待していないため、既設護岸他をモデル化しないが、津波波圧の評価に用いる津波シミュレーションにおいては、入力津波（津波高さ）の検討条件と同様に既設護岸他をモデル化することを基本とする。

設工認審査ガイド別添に基づく津波波圧の評価方針を第3表に示す。第3表のうち朱書部は、設工認審査ガイド別添に評価方針が明記されておらず、当社にて定めた評価方針であり、その妥当性は2章にて示す。

また、参考として、津波波圧の評価方針に関する先行炉との比較を参考資料1に整理した。



第4図 防潮堤等に作用する津波波圧の評価手順※
※耐津波設計に係る設工認審査ガイド別添¹⁾を一部加筆

第1表 防潮堤等に作用する津波波圧評価に係る各手順の実施段階

実施段階	手順
設置変更 許可段階	段波発生有無の確認
	・断面二次元津波シミュレーションによる碎波段波の発生有無の確認
	・防潮堤の耐津波設計ガイドラインに基づく波状段波の発生有無の確認
	津波波圧評価に用いる算定式の設定
設工認段階	津波波圧の評価に用いるパラメータの設定
	・浸水深（水位）の設定
	・フルード数の設定
	津波波圧の設定

第2表 津波波圧の評価に用いる手法の特徴及び特徴を踏まえた検討内容

津波評価に用いられる理論及びその特徴	解析手法及びその特徴	防潮堤のモデル化の有無 ^{※2} に応じて検討可能な内容	津波波圧の評価に係る検討内容
○非線形長波理論（浅水理論） ・浅海域の波の非線形性（波高の増幅及び波形の前傾化）が表現可能である。 ・津波の水位が表現可能である。	○平面二次元津波シミュレーション ・複雑な不規則波形及び平面的な流況（泊発電所特有の様々な方向から伝播する津波）が表現可能である。	防潮堤あり	・段波波圧及び持続波圧の評価に用いる浸水深の設定 ・防波堤の耐津波設計ガイドラインに基づく波状段波の発生の有無の確認 ・持続波圧の検討に用いる貯留堰位置の通過波のフルード数等の算出
○非線形分散波理論 ・非線形性及び分散性（分裂波の発生及び発達）が表現可能である。 ・砕波発生による波高の減衰が表現可能である。	○断面二次元津波シミュレーション ^{※1} ・鉛直方向の波圧分布を表現可能である。	防潮堤なし	・防潮堤設置位置の通過波のフルード数等が算出可能である。 ・防潮堤の検討に用いる防潮堤位置の通過波のフルード数等の算出
		防潮堤あり	・波圧算定式（設計波圧）の妥当性確認^{※3}
		防潮堤なし	・砕波段波の発生の有無の確認^{※4}

※1：非線形分散波理論に基づき砕波段波及び波状段波の表現が可能な解析コードである「CADMAS-SURF/3D」を用いる。解析コードの妥当性は水理模型実験にて検証している（参考資料2参照）。

※2：防潮堤前面の既設護岸他は、防潮堤の設計においては役割を期待しないが、津波波圧の評価においては入力津波（津波高さ）の検討条件に合わせモデル化することを基本とする。

※3：設工認段階で実施する。

※4：波状段波の発生有無は、設工認審査ガイド別添で示されている「防波堤の耐津波設計ガイドライン」²⁾に基づき確認する。

第3表 設工認審査ガイド別添の確認事項に対する評価方針（1/2）

項 目	設工認審査ガイド別添の確認事項	評価方針 ^{※1}
2. 1 津波波圧の分類及び考慮する知見の確認		
(1) 段波波圧及び持続波圧の分類	津波波圧として、段波波圧及び持続波圧の両波圧を評価対象としていること。また、段波波圧及び持続波圧の分類の考え方が示されていること。	左に示す確認事項のとおり、評価を実施する。
(2) 段波波圧及び持続波圧の設定方法	津波波圧（段波波圧及び持続波圧）の設定方法が示されていること、段波波圧及び持続波圧の設定の根拠として考慮する知見を明示していること及びこの知見の適用性について評価していること。	左に示す確認事項のとおり、評価を実施する。
2. 2 段波波圧評価に係る確認		
(1) 段波波圧の分類	防潮堤等に作用する段波波圧を砕波段波波圧及び波状段波波圧に分類し、両波圧を個別に評価対象としていること。	左に示す確認事項のとおり、評価を実施する。
(2) 砕波段波波圧の影響評価	- 防潮堤等に作用する砕波段波波圧の影響がないと推定する場合、その根拠が明確になっていること。その際、津波の影響評価の前提となる、砕波発生の有無及び発生位置については、適切な条件による水理試験及び解析あるいはそれらのいずれかにより推定していること。 - 防潮堤等に作用する砕波段波波圧の影響があると推定する場合、防潮堤等設置位置において防潮堤等がない場合の津波の砕波直前の最大浸水深（以下「段波最大浸水深（$\eta_{max,1st}$）」という。）の3倍の高さに相当する静水圧分布を用いて、砕波段波波圧の影響を評価していること。	- 左に示す確認事項のとおり、評価を実施する。 - 砕波段波波圧が保守的な設定となるよう、防潮堤の砕波段波波圧の評価で用いる浸水深は、平面二次元津波シミュレーション（防潮堤あり）から得られた「入力津波水深（入力津波高さ－敷地標高）の1/2^{※2}」と設定し、「入力津波水深の1/2」の3倍の高さに相当する静水圧分布を用いて、砕波段波波圧の影響を評価する。
(3) 波状段波波圧の影響評価	- 防潮堤等に作用する波状段波波圧の影響がないと推定する場合、その根拠が明確になっていること。その際、既往知見を根拠とする場合は、適切な条件による水理試験及び解析[※]あるいはそれらのいずれかにより、適用性に係る評価が示されていること。 ※「適切な条件による水理試験及び解析」については、根拠とする既往知見（例えば、防潮堤の耐津波設計ガイドライン）との整合性を確認すること。	- 左に示す確認事項のとおり、評価を実施する。 「防潮堤の耐津波設計ガイドライン」に基づき、前面海域の海底勾配及び平面二次元津波シミュレーション（防潮堤あり）により算出した津波高さを用いて、波状段波の発生の有無を確認する。
	- 適用性に係る根拠を示したうえで、朝倉ら（2000）に基づく算定式^{※2}を用いて波状段波波圧の影響を評価する。 - 波状段波波圧が保守的な設定となるよう、防潮堤の波状段波波圧の評価に用いる浸水深は、平面二次元津波シミュレーション（防潮堤あり）から得られた「入力津波水深（入力津波高さ－敷地標高）の1/2^{※2}」と設定する。	

※1：設工認審査ガイド別添に評価方針が明記されておらず、当社にて定めた評価方針を**朱書き**で示す。

※2：先行例において審査実績がある（参考資料1参照）。

第3表 設工認審査ガイド別添の確認事項に対する評価方針 (2/2)

項 目	設工認審査ガイド別添の確認事項	評価方針※1
2. 3 持続波圧評価に係る確認		
(1) 通過波の持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数(Fr)の算出	・通過波の持続波領域における防潮堤等設置位置での最大浸水深(以下「持続波最大浸水深($\eta_{\max,2nd}$)」という。)を、設計用浸水深として用いていること及び持続波最大浸水深($\eta_{\max,2nd}$)発生時刻における浸水深及び流速からフルード数(Fr)を適切に算出していること。 ・上記と異なる設計用浸水深及び流速を用いてフルード数(Fr)を算出する場合は、算出した数値の保守性を明示していること。	・左に示す確認事項のとおり、評価を実施する。 ・平面二次元津波シミュレーション(防潮堤なし)を用いて、防潮堤設置位置での通過波から、平面二次元津波シミュレーション(防潮堤あり)を用いて、貯留堰設置位置での通過波から、以下を算出する。 ➤通過波の持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数(Fr) ➤通過波の持続波最大浸水深($\eta_{\max,2nd}$) ➤通過波の最大比エネルギ発生時刻におけるフルード数(Fr_E) ➤通過波の最大比エネルギ発生時刻における水深係数(α_E) ➤通過波の最大比エネルギ発生時刻における浸水深($\eta_{E,\max}$)
(2) 通過波の最大比エネルギ発生時刻におけるフルード数(Fr _E)等の算出	・持続波最大浸水深($\eta_{\max,2nd}$)発生時刻に基づくフルード数(Fr)が1を超える場合、持続波圧の評価に当たり防潮堤等位置での通過波の最大比エネルギ発生時刻における浸水深($\eta_{E,\max}$)を設計用浸水深として用いていること。 ・最大比エネルギ発生時刻におけるフルード数(Fr_E)を適切に算出していること。 ・フルード数(Fr_E)から最大比エネルギ発生時刻における水深係数(α_E)を算出していること。水深係数を式(7)、式(8)によらずに算出している場合は、水理試験及び解析あるいはそれらのいずれかにより適用性に係る評価が示されていること。 $\alpha_E = 3.0 \quad (Fr_E \leq 1.24) \quad (7)$ $\alpha_E = (0.70 \cdot Fr_E^2 + 1) + 0.93 \quad (Fr_E > 1.24) \quad (8)$ α_E : 最大比エネルギ発生時刻に基づく水深係数 Fr_E : 最大比エネルギ発生時刻におけるフルード数	
(3) $3 \cdot \eta_{\max,2nd}$ と $\alpha_E \cdot \eta_{E,\max}$ の比較	・持続波最大浸水深($\eta_{\max,2nd}$)の3倍の高さと最大比エネルギ発生時刻における浸水深($\eta_{E,\max}$)の水深係数(α_E)倍の高さを比較し、値が大きくなる方を用いて持続波圧を設定していること。	・左に示す確認事項のとおり、評価を実施する。
(4) 持続波最大浸水深を用いた持続波圧の評価	・フルード数(Fr)が1以下の場合、持続波圧の評価に当たり国交省の暫定指針を適用し、持続波最大浸水深($\eta_{\max,2nd}$)の3倍の高さに相当する静水圧分布を用いて持続波圧を評価していること。	・左に示す確認事項のとおり、評価を実施する。 ・持続波圧が保守的な設定となるよう、持続波最大浸水深は、平面二次元津波シミュレーション(防潮堤あり)から得られた「入力津波水深(入力津波高さ-敷地標高)の$1/2^{0.82}$」と設定し、「入力津波水深の$1/2$」の3倍の高さに相当する静水圧分布を用いて、持続波圧の影響を評価する。
(5) 最大比エネルギ発生時刻における浸水深を用いた持続波圧の評価	・最大比エネルギ発生時刻における浸水深($\eta_{E,\max}$)の水深係数(α_E)倍に相当する静水圧分布で防潮堤等の最下部に作用する圧力を持続波圧(P_E)として評価していること。	・左に示す確認事項のとおり、評価を実施する。

※1：設工認審査ガイド別添に評価方針が明記されておらず、当社にて定めた評価方針を朱書きで示す。

※2：先行戸において審査実績がある(参考資料1参照)。

2. 防潮堤等に作用する津波波圧評価に係る確認

2.1 津波波圧の分類及び考慮する知見の確認

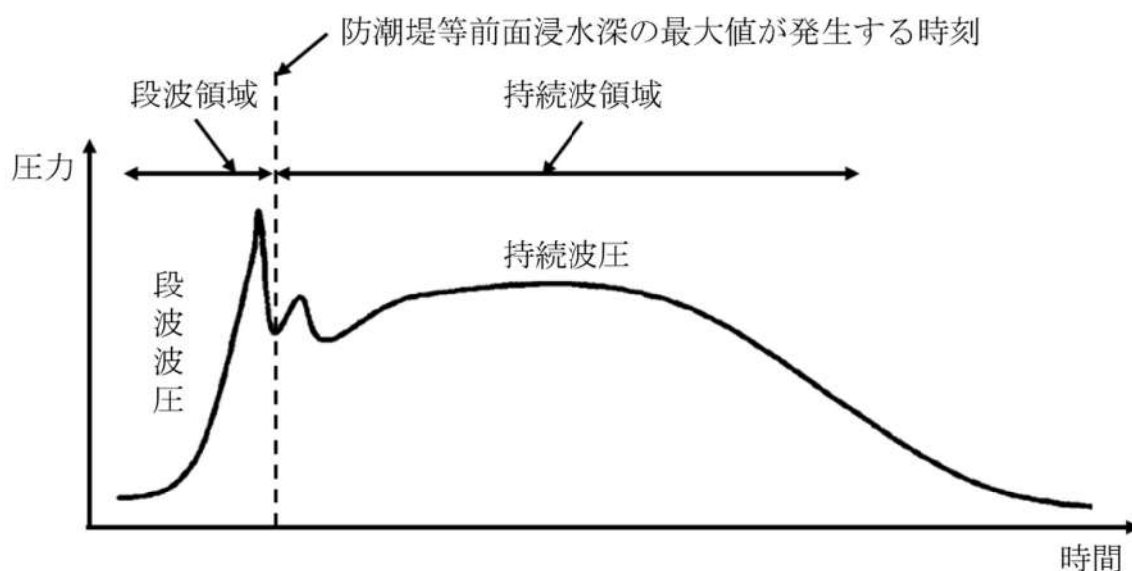
(1) 段波波圧及び持続波圧の分類

【設工認審査ガイドにおける確認事項】

○津波波圧として、段波波圧及び持続波圧の両波圧を評価対象としていること。
また、段波波圧及び持続波圧の分類の考え方が示されていること。

NRA 技術報告³⁾に基づき、防潮堤等に作用する津波波圧を段波波圧と持続波圧に分類する。段波波圧は、最初に防潮堤等に衝突する津波が与える短時間で大きく変化する波圧であり、津波が防潮堤等に作用してせり上がった際の防潮堤等前面における津波の深さ（以下、「防潮堤等前面浸水深」という。）の最大値が発生する時刻より前の時間帯（以下、「段波領域」という。）に生じる津波波圧とする。一方、持続波圧は、段波波圧の後の継続時間の長い波圧で、長時間にわたり一定の範囲に作用する波圧であり、段波領域より後の時間帯（以下、「持続波領域」という。）に生じる津波波圧とする。

防潮堤等の設計に当たっては、段波波圧及び持続波圧の両波圧を評価対象とし、それぞれ個別に考慮する。



第5図 津波波圧の分類³⁾

(2) 段波波圧及び持続波圧の設定方法

【設工認審査ガイドにおける確認事項】

○津波波圧（段波波圧及び持続波圧）の設定方法が示されていること，段波波圧及び持続波圧の設定の根拠として考慮する知見を明示していること及びこの知見の適用性について評価していること。

段波波圧及び持続波圧の設定方法は以下のとおりとする。

a. 段波波圧

段波波圧を砕波段波波圧及び波状段波波圧に分類した上で，以下のとおり，両波圧を個別に設定する。

砕波段波波圧は，NRA 技術報告⁴⁾を参考に設定する（2.2章(2)参照）。

波状段波波圧は，朝倉ら(2000)⁵⁾を参考に設定する（2.2章(3)参照）。

b. 持続波圧

持続波圧は，NRA 技術報告^{3), 6), 7)}を参考に，フルード数 (Fr) が1以下の場合と1を超える場合のそれぞれの波圧を設定する（2.3章(4)及び(5)参照）。

c. 知見の適用性

泊発電所の防潮堤等の形状は，直立壁タイプであり，砕波段波波圧及び持続波圧の設定に当たって参考とした NRA 技術報告^{3), 6), 7)}の知見の検討対象とされている直立壁タイプの防潮堤と適用条件が合致していることから，適用性を有していると評価する。

なお，波状段波波圧の設定に当たって参考とした朝倉ら(2000)⁵⁾の知見は，直立護岸背後の陸上構造物を対象に検討がなされており，同じく陸上構造物である泊発電所の防潮堤への適用性を有していると評価する。また，貯留堰の引き波時に設置面が露出した後に津波が来襲する場合は，陸上構造物と同様な条件で波圧が作用するため，防潮堤と同様に朝倉ら(2000)⁵⁾の知見は，貯留堰への適用性を有していると評価する。

2.2 段波波圧評価に係る確認

(1) 段波波圧の分類

【設工認審査ガイドにおける確認事項】

○防潮堤等に作用する段波波圧を砕波段波波圧及び波状段波波圧に分類し、両波圧を個別に評価対象としていること。

防潮堤等に作用する段波波圧は、砕波段波波圧及び波状段波波圧に分類される。

砕波段波波圧は、津波の先端部が急峻な壁状となった後に波が砕け、防潮堤等に作用する波圧である。波状段波波圧は、津波の先端部が複数の波に分裂し、防潮堤等に作用する波圧である。

砕波段波及び波状段波の先端部の形状はいずれも急峻な壁状となる特徴を有しており、防潮堤等に作用した場合、構造健全性に影響を与える可能性が考えられることから、両波圧を個別に評価対象とする。

なお、本資料において、波状段波及びソリトン分裂波は同義とする。

(2) 砕波段波波圧の影響評価

【設工認審査ガイドにおける確認事項】

○防潮堤等に作用する砕波段波波圧の影響がないと推定する場合，その根拠が明確となっていること。その際，津波の影響評価の前提となる，砕波発生の有無及び発生位置については，適切な条件による水理試験及び解析あるいはそれらのいずれかにより推定していること。

a. 砕波段波の発生の有無の確認

砕波段波の発生有無は，砕波発生による波高の減衰及び波状段波の表現が可能な断面二次元津波シミュレーションにより確認する。また，防潮堤による反射波の影響がない方が防潮堤設置位置の砕波発生の有無を精度よく確認できるため，断面二次元津波シミュレーションでは，防潮堤はモデル化しない。

また，砕波段波の発生有無の確認に当たっては，全ての基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース及び流速最大ケース 1，2[※]の計 20 ケース（以下，「評価対象 20 ケース」という。）を検討対象ケースとし，地形変化を考慮しない基本ケースに加え，入力津波（津波高さ及び津波高さ以外（流速及び流況（流向・流速））と同様の地形変化を考慮する。

断面二次元津波シミュレーションは，砕波段波及び波状段波を表現可能な解析コードとして，非線形分散波理論に基づき非圧縮性流体を対象として連続式及び Navier-Stokes 方程式を基本方程式とした数値波動水路 CADMAS-SURF/3D (Ver. 1.5) を用いる。

CADMAS-SURF/3D (Ver. 1.5) の使用に当たっては，水理模型実験の再現解析により，津波水位及び波圧分布を再現できることを確認する。断面二次元津波シミュレーションの妥当性検証を参考資料 2 に示す。

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となる 2 ケース（詳細は添付資料 3－参考資料 3 参照）。

(a) 条件整理

イ. 敷地に来襲する津波の特性の確認

断面二次元津波シミュレーションによる、砕波段波の発生有無の確認に当たり、解析断面及び入力波形を設定するため、泊発電所に来襲する津波の特性の確認を行った。

なお、本項では、防潮堤前面における水位上昇量が最大となる基準津波 F（北防波堤損傷）の確認結果を示す。基準津波 F（北防波堤損傷）を含む評価対象 20 ケースの水位時刻歴波形及び伝播状況については、参考資料 3 に示す。

基準津波 F（北防波堤損傷）の 3 号炉取水口、1 号及び 2 号炉取水口、放水口及び防潮堤前面における水位時刻歴波形を第 7 図に、平面二次元津波シミュレーションによる伝播状況を第 8 図に示す。

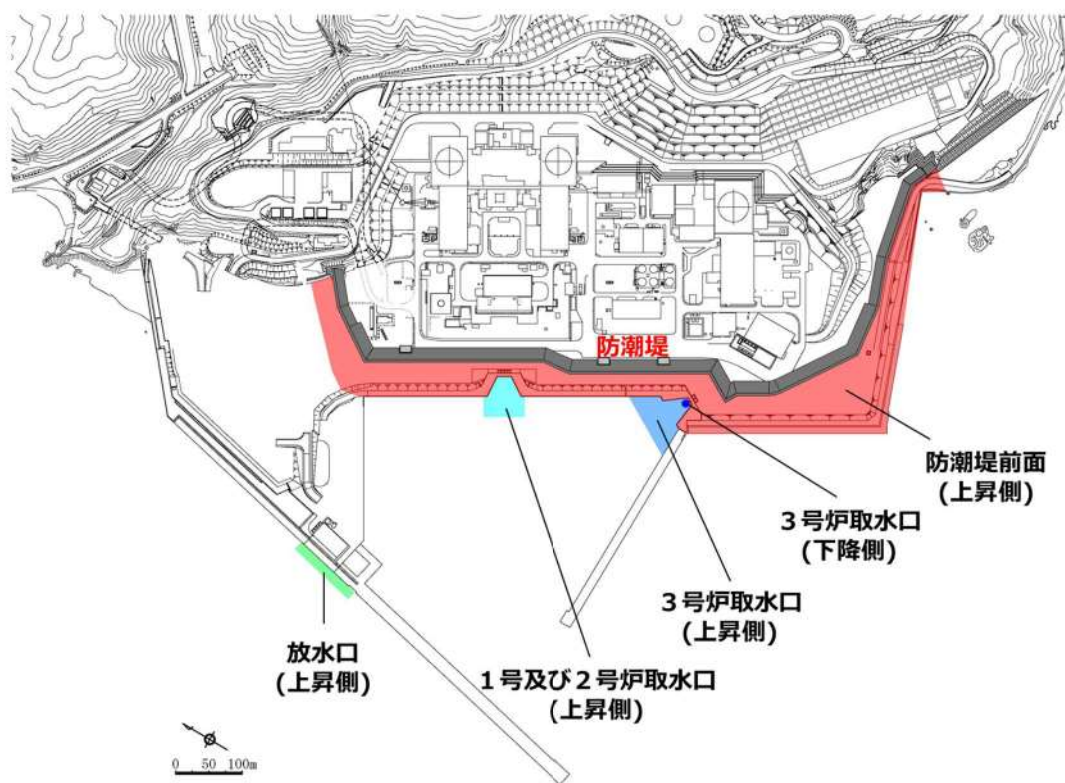
第 7 図に示すとおり、基準津波 F（北防波堤損傷）は、地震発生から約 14 分後、地震に伴う津波の第 1 波が発電所港湾に来襲した後、押し波が 3 分程度継続し、その後、引き波に転じる。地震発生から約 20 分 30 秒後、岩内側で反射された津波及び陸上地すべり（川白）による津波の第 2 波が発電所港湾に来襲し、押し波が 1 分 30 秒程度継続した後、引き波に転じる。地震発生から約 30 分 30 秒後、発電所西側から伝播した津波の第 3 波が発電所港湾に来襲した後、押し波が 3 分程度継続し、その後、引き波に転じる。地震発生から約 34 分 30 秒後、積丹半島北西部から伝播した津波の第 4 波が発電所港湾に来襲する。

その後の津波の水位は第 1 波から第 4 波の津波水位と比較して比較的低くなっていた。

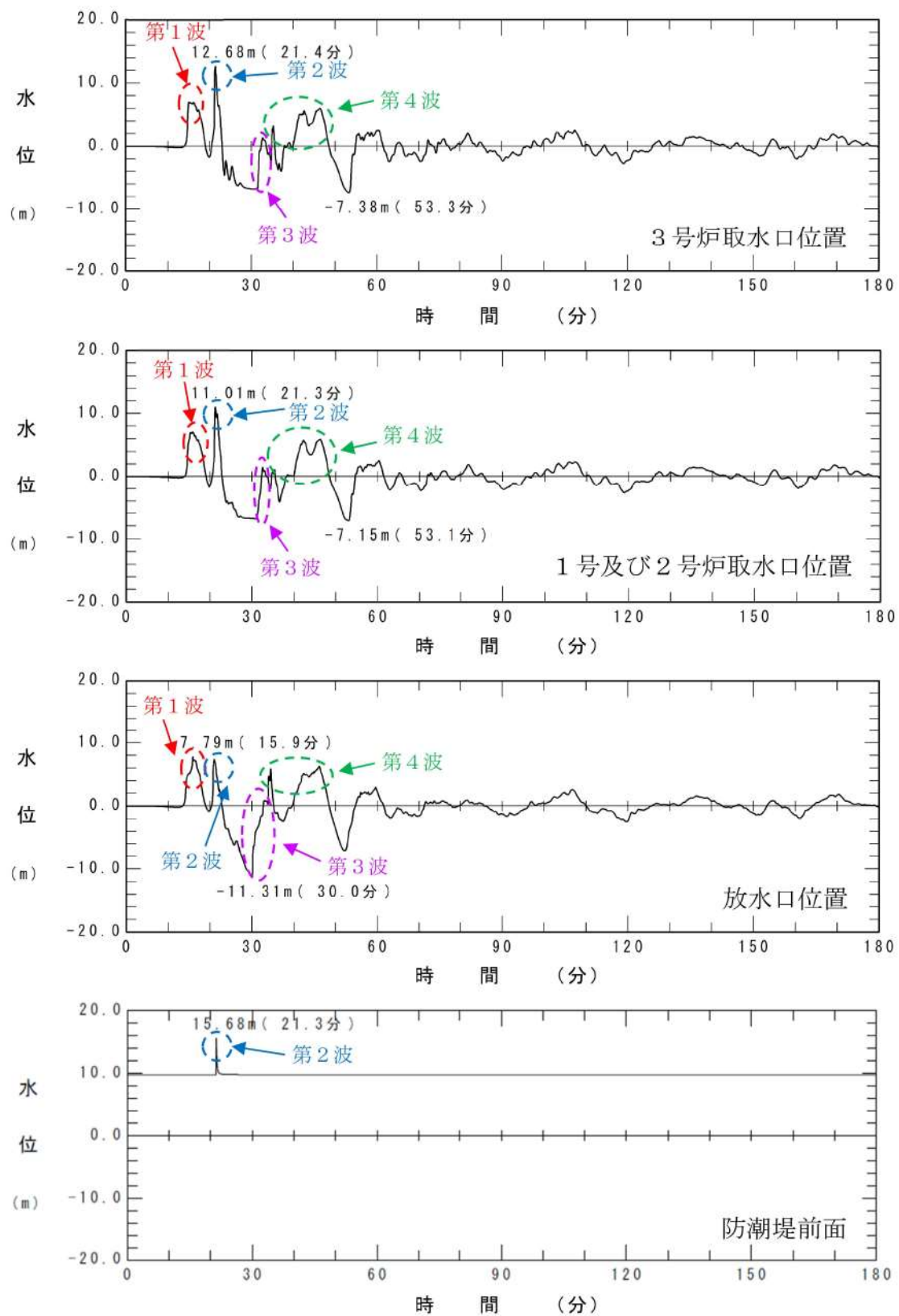
また、第 8 図に示すとおり、第 1 波は周辺地形の影響をほとんど受けずに発電所西側方向から直線的に発電所港湾に到達するが、第 2 波以降の後続波は周辺地形の反射の影響を大きく受ける。第 2 波は、岩内側で反射された津波が、陸上地すべり（川白）と重畳し、泊発電所港湾に来襲する。第 3 波は、発電所西側方向より発電所港湾に来襲する。第 4 波は積丹半島北西部より発電所港湾に来襲する。

評価対象 20 ケースのうち、基準津波 F（北防波堤損傷）以外のケースについても同様の傾向であった（参考資料 3 参照）。

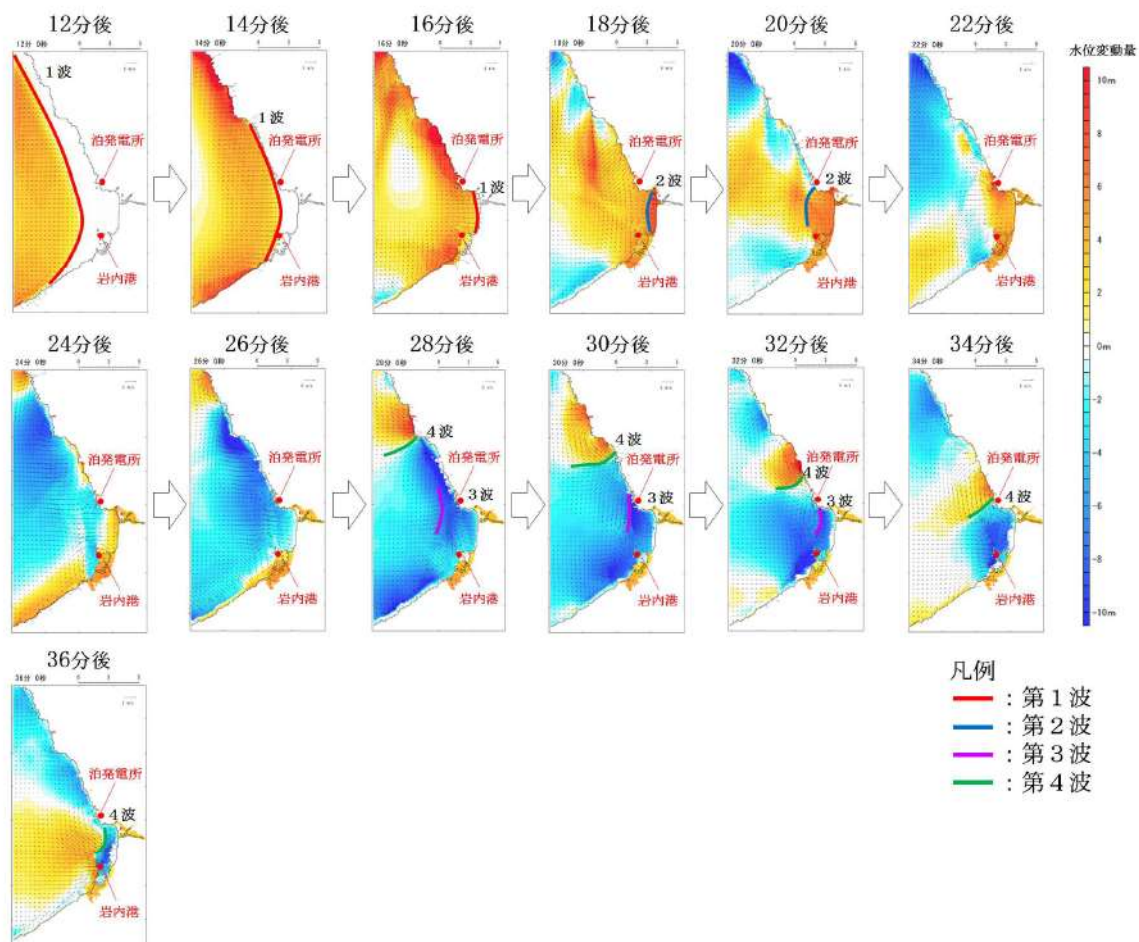
以上を踏まえ、泊発電所に来襲する津波は、第 1 波から第 4 波の水位が高く、第 1 波から第 4 波の伝播方向は第 9 図のとおりとなることを確認した。



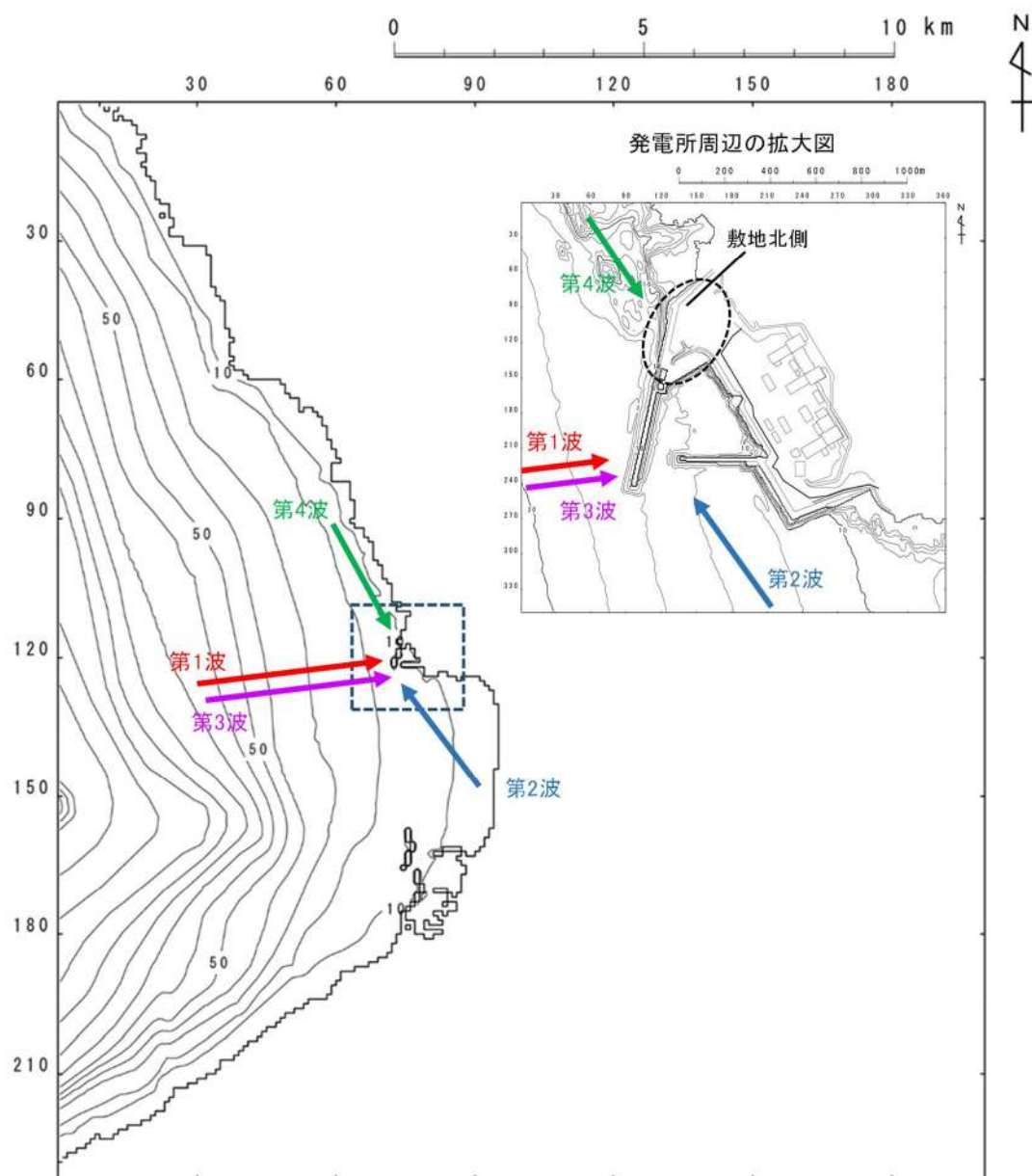
第6図 津波水位の評価地点



第7図 基準津波F（北防波堤損傷）の水位時刻歴波形



第8図 基準津波F（北防波堤損傷）の伝播状況



第9図 評価対象 20 ケースにおける第1波から第4波の伝播方向

(b) 評価方針

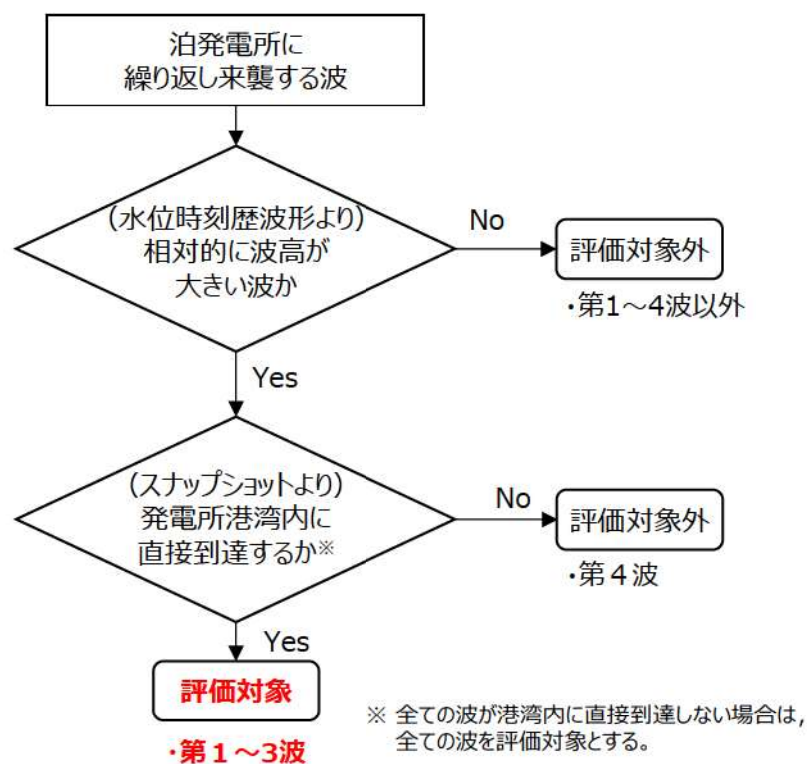
イ. 評価対象とする波の選定

前項の整理のとおり，平面二次元津波シミュレーションの結果より，泊発電所に繰り返し来襲する波は伝播方向が異なるため，各構造物等がある発電所港湾内に直接到達しない可能性がある。そのため，第10図に示すフローに基づき，評価対象とする波を選定する。

泊発電所に来襲する津波は，第1波から第4波の水位が高く，そのうち，第1波から第3波は，伝播方向を踏まえると，発電所港湾内に直接到達する。

一方，北西方向から海岸線沿いに伝播する第4波は発電所港湾内への伝播経路上の敷地北側に衝突し，敷地北側を回り込んで発電所港湾内に伝播してくるため，発電所港湾内には直接到達しない。

そのため，第1波から第3波を評価対象とする。



第10図 評価対象とする波の選定フロー

ロ．評価断面の設定

砕波段波の発生の有無の確認に当たっては、対象とする第1波から第3波の伝播方向ごとに実地形を再現した断面を設定する。

防潮堤等はいずれも発電所港湾内及び敷地全体にわたり位置しているため、評価断面は発電所港湾港口部を中心として設定する。

泊発電所の前面海域は遠浅な海底地形であることから、伝播距離が長い方が波形の前傾化が進行し、砕波段波が発生しやすくなる。そのため、実際の津波の伝播経路よりも長くなるよう、波形入力地点から港口部までの区間と、港口部から発電所港湾内を通過して防潮堤設置位置と直交する地点までの区間とが一直線となるような仮想的な断面を設定することで、発電所港湾内における砕波段波の発生有無を保守的に確認する。

なお、安田ら(2006)⁸⁾によれば、ソリトン分裂波は、伝播するにつれて、波高が高くなり、砕波限界に至るまで伝播距離に比例して発達するとされており、砕波段波についても伝播距離に比例して発達すると考えられる。

護岸形状は防潮堤の構造成立性評価断面とした2-2'断面と設定する。防潮堤の構造成立性評価断面を第12図に示す。

また、砕波段波の発生有無の確認に当たり、十分な伝播距離が確保できる位置まで断面を設定する。第1波から第3波の評価断面の設定根拠を(イ)及び(ロ)に示す。

(イ) 第1波及び第3波

第1波及び第3波は発電所西側から来襲する津波であり、津波の伝播特性を踏まえ、等深線に対して直交する方向を評価断面とする。

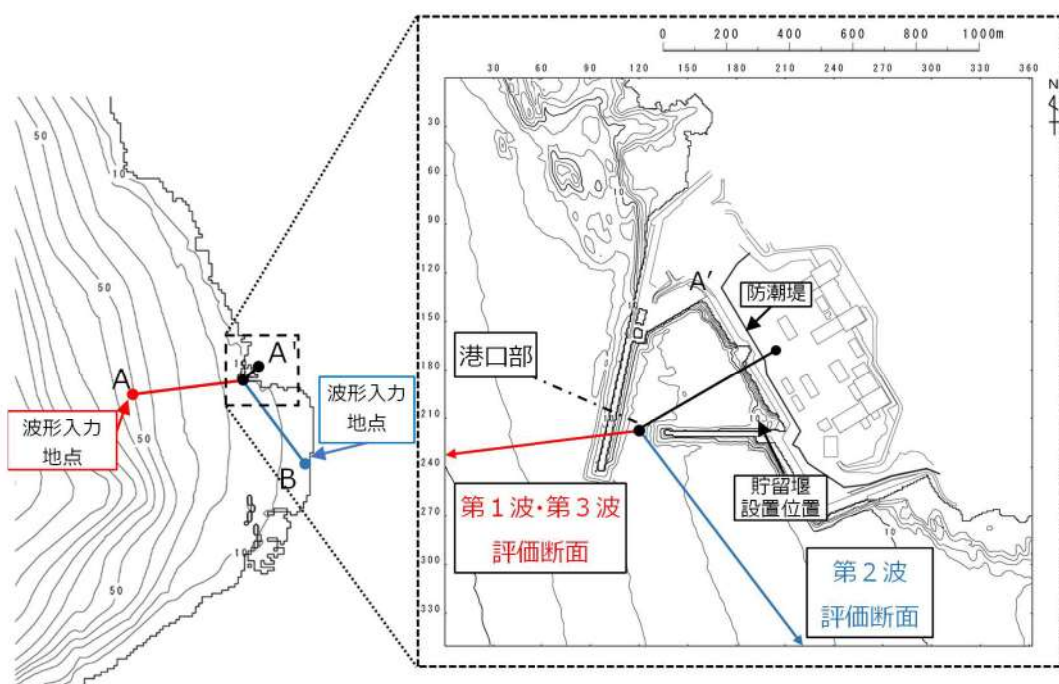
また、津波の辞典⁹⁾における、「一般的に水深50m以深での津波伝播には線形理論、浅海部や陸上部には非線形長波理論が使われることが多い。」及び「浅海域での津波は、波高の増幅や前傾化が著しくなり、最終的に陸上へ這い上がる。」との記載を踏まえ、評価断面は砕波段波が発生しやすく、かつ十分な伝播距離が確保できる、水深50m地点から発電所までの延長約3.5kmの範囲とし、水深50m地点を波形の入力地点と設定する(第11図及び第13図参照)。

第1波及び第3波の評価断面の解析モデルを第14図に示す。

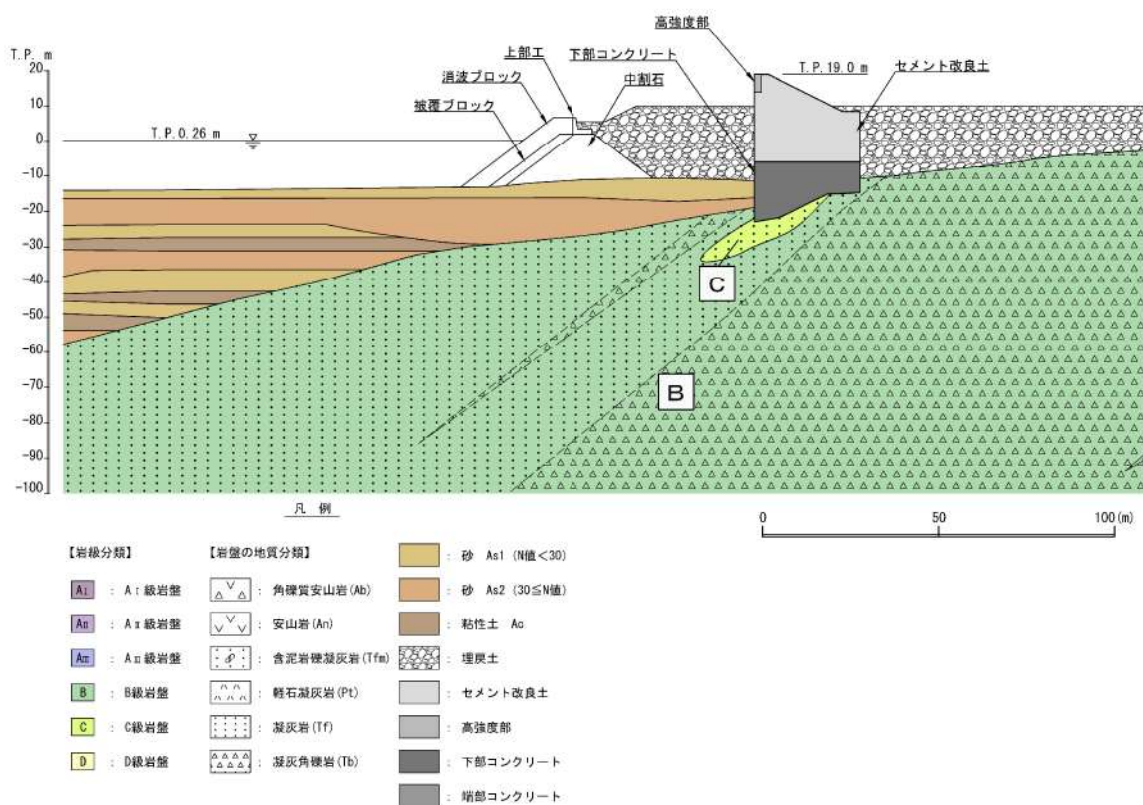
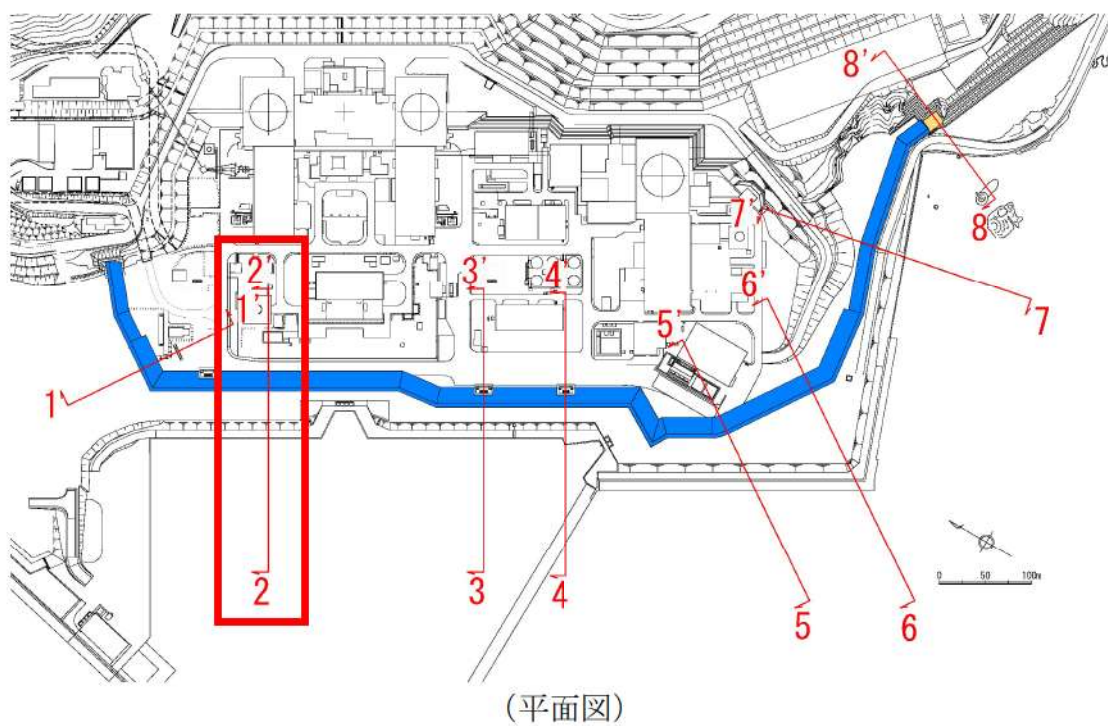
(ロ) 第2波

第2波は岩内側からの反射波であり，発電所方向に遡上する際，反射波は岩内港北側の湾全体で波高が高くなっているため(第8図のうち「18分後及び20分後」参照)，岩内港北側の湾中央から発電所方向を評価断面とする。また，敷地から十分な伝播距離が確保できる位置として，評価断面の延長が約3.4kmとなる陸域と海域の境界部付近を波形の入力地点と設定する(第11図及び第15図参照)。

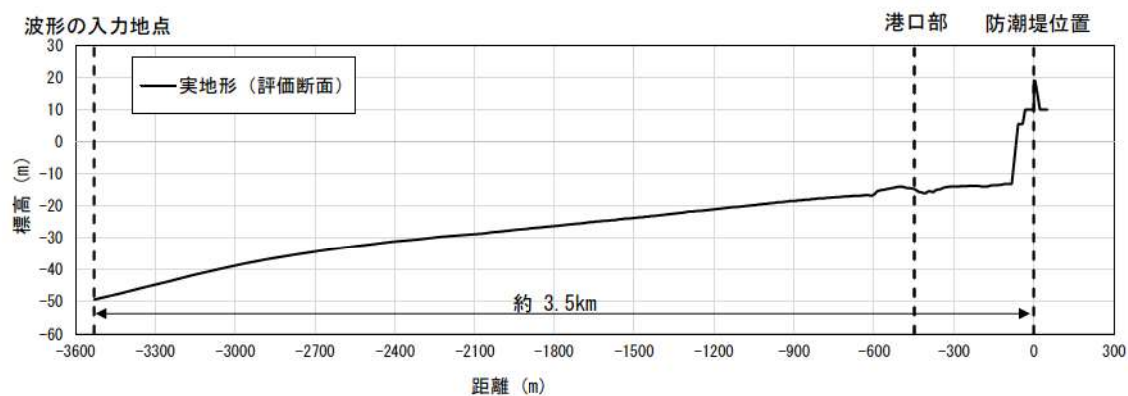
第2波の評価断面の解析モデルを第16図に示す。



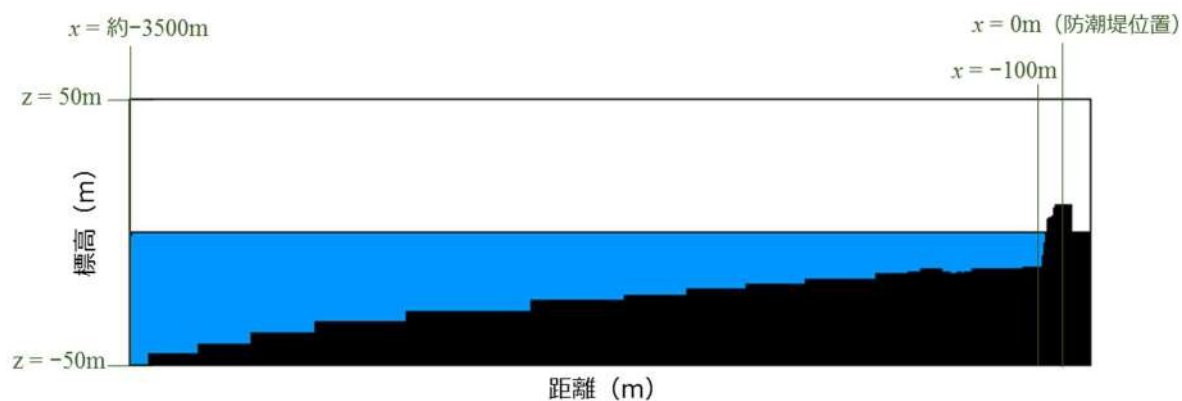
第11図 評価断面位置図



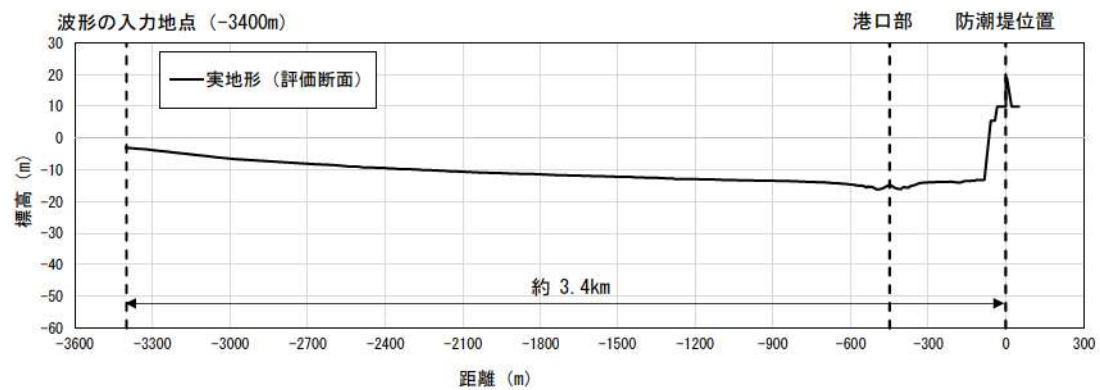
第12図 防潮堤（標準部）の構造成立性評価断面（「2-2' 断面」）



第 1 3 図 A-A' 断面 (第 1 波及び第 3 波 評価断面)



第 1 4 図 第 1 波及び第 3 波評価断面の解析モデル



第 1 5 図 B-A' 断面 (第 2 波 評価断面)



第 1 6 図 第 2 波評価断面の解析モデル

ハ. 検討対象とする地形変化

砕波段波の発生有無の確認に当たっては、入力津波（津波高さ及び津波高さ以外（流速及び流況（流向・流速）））の設定において津波評価に影響を与える可能性のある地形変化を対象とし、地形変化による砕波段波の発生有無を確認する。

入力津波（津波高さ及び津波高さ以外（流速及び流況（流向・流速）））の評価は平面二次元津波シミュレーションにより行っているが、砕波段波の発生有無の確認は断面二次元津波シミュレーションにより行う。そのため、津波評価に影響を与える可能性のある地形変化のうち、断面二次元津波シミュレーションの評価断面上に現れない地形変化（地滑り地形①の崩壊、地滑り地形③の崩壊及び土捨場の将来地形及び崩壊）については、確認結果に影響を及ぼさないため、考慮しないこととする（第18図から第21図参照）。

以上を踏まえ、砕波段波の発生有無の確認において検討対象とする地形変化を第4表に示す。

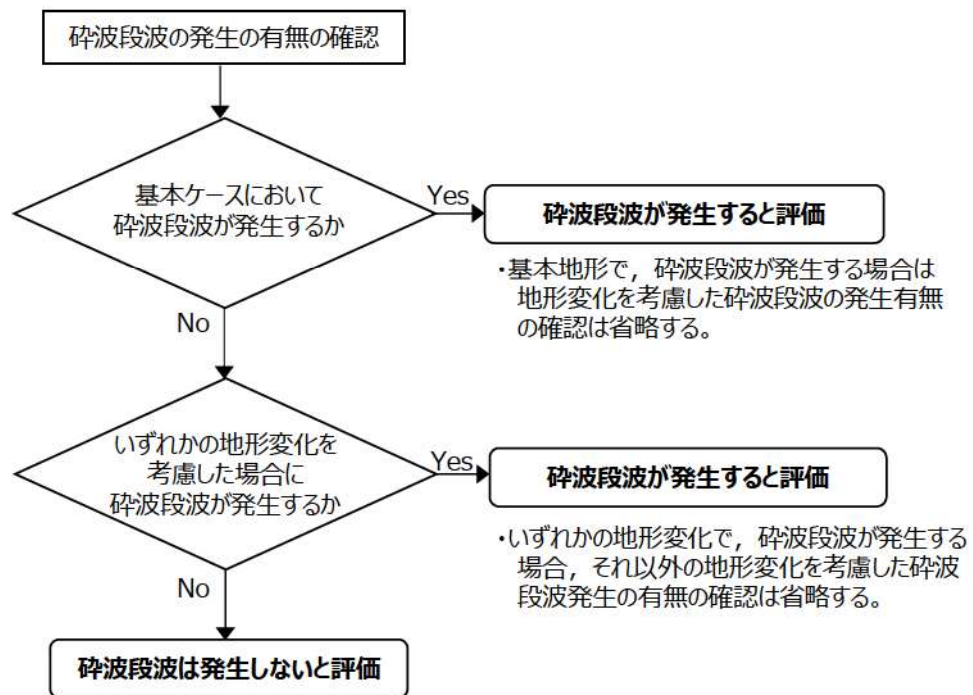
また、砕波段波の発生有無の確認は第17図のフローに従って行うこととし、地形変化を考慮しない地形（以下、「基本ケース」という。）で砕波段波が発生する場合は、第4表に示す地形変化による砕波段波の発生有無の確認は省略し、砕波段波は発生すると評価する。

基本ケースで砕波段波が発生しない場合は、第4表に示す地形変化を個別に考慮し、砕波段波の発生有無を確認する。いずれかの地形変化で砕波段波が発生した場合は、それ以外の個別の地形変化を考慮した確認は実施せず、砕波段波は発生すると評価する。

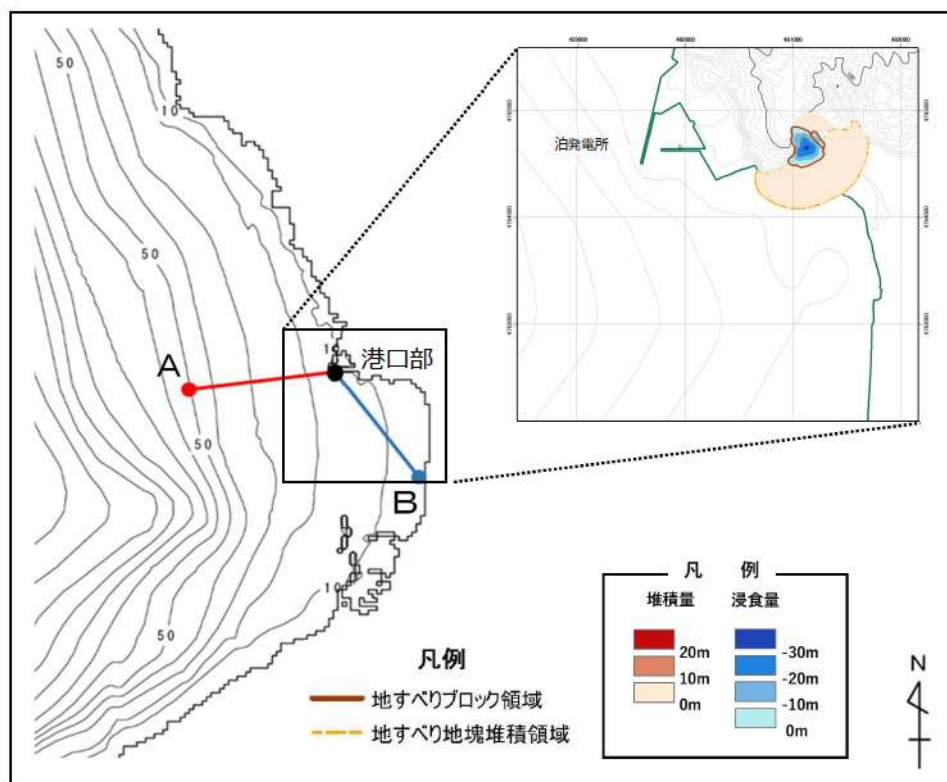
砕波段波の発生有無の評価基準は2.2章（2）a.（c）ロ.に示す。

第4表 砕波段波の発生有無の確認において検討対象とする地形変化

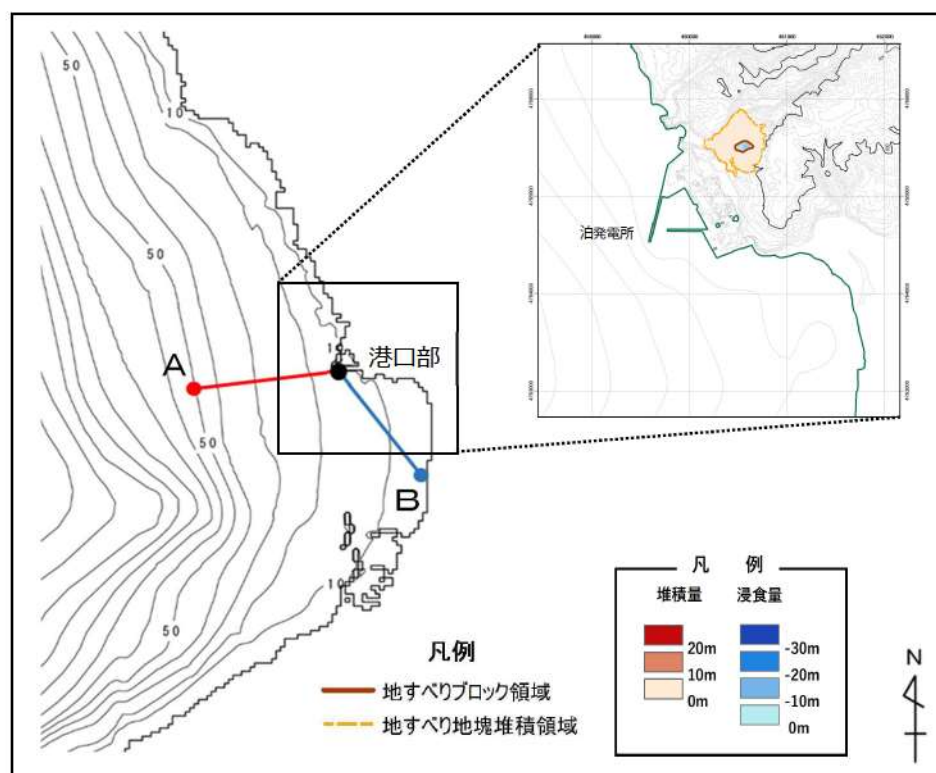
地震による地形変化	敷地地盤（陸域）5.0m 沈下
	敷地前面海底地盤（海域）2.0m 沈下
津波による地形変化	敷地前面海底地盤（海域）0.5m 堆積
	敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘



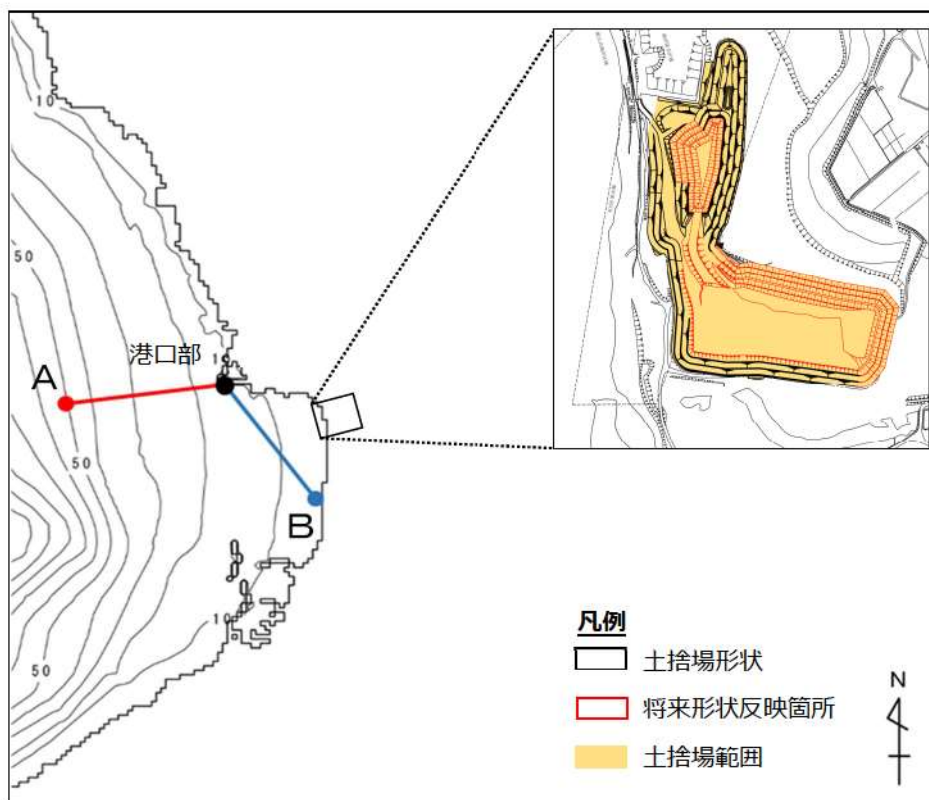
第 1 7 図 碎波段波発生有無の確認フロー



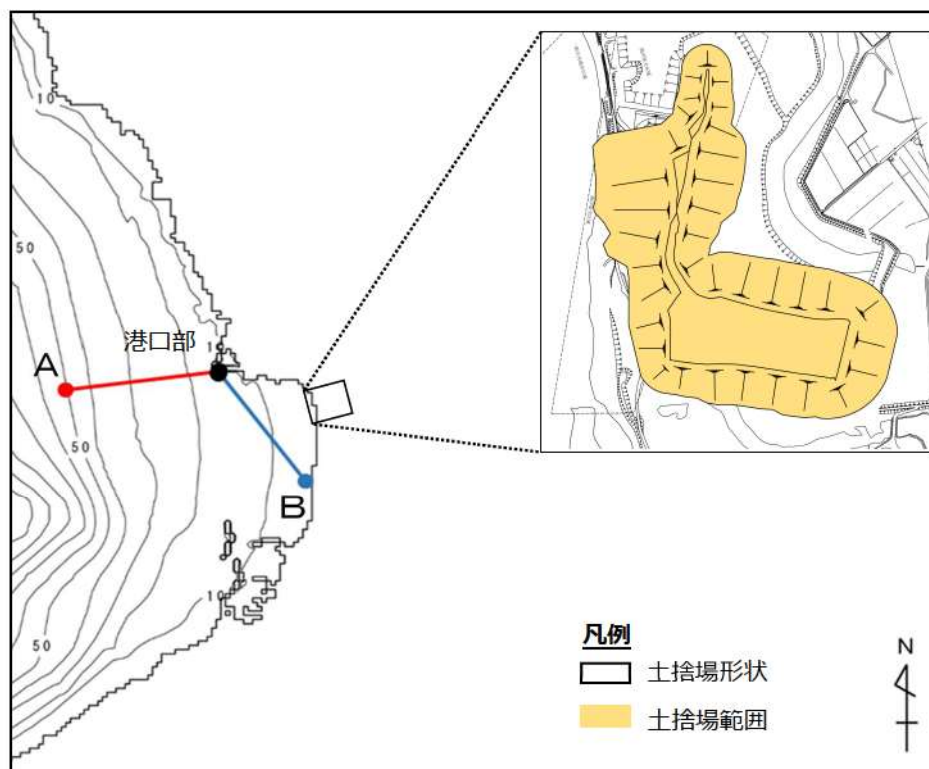
第18図 評価断面と地滑り地形①との位置関係



第19図 評価断面と地滑り地形③との位置関係



第20図 評価断面と土捨場（将来計画反映後）との位置関係



第21図 評価断面と土捨場（将来計画反映後の崩壊斜面）との位置関係

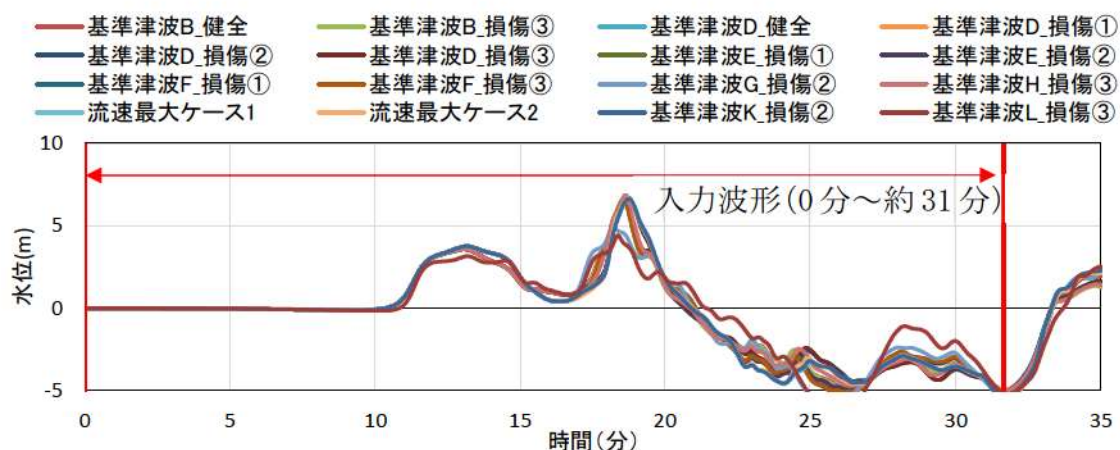
(c) 評価条件

イ. 入力波形

断面二次元津波シミュレーションに入力する波形は、各入力位置における評価対象 20 ケースの平面二次元津波シミュレーションによる水位時刻歴波形とする（第 22 図～第 30 図参照）。

なお、水位時刻歴波形は類似波形をグループ分けして示す。

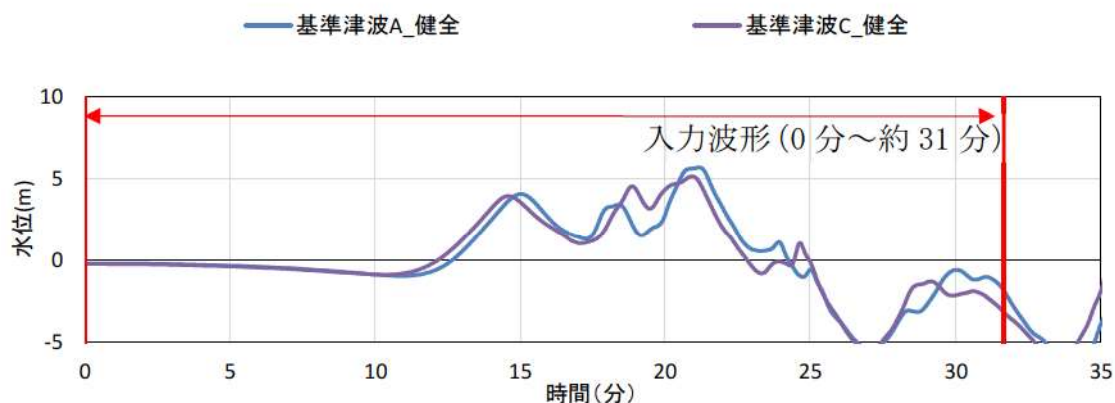
(イ) 第 1 波



※終了時間は、対象波を含む十分な時間を設定する。

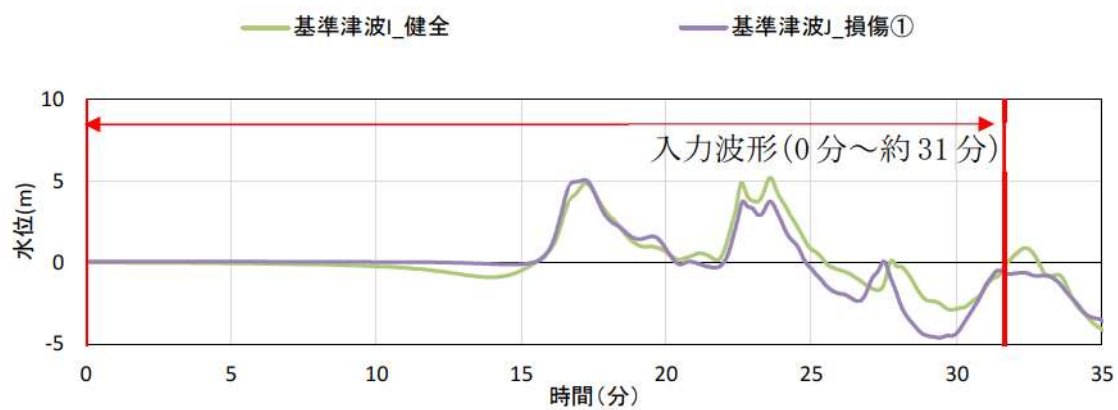
【凡例】 健全：防波堤損傷なし，損傷①：北及び南防波堤損傷
損傷②：南防波堤損傷，損傷③：北防波堤損傷

第 22 図 波形入力位置（A地点）の水位時刻歴波形（第 1 波） グループ 1



※終了時間は、対象波を含む十分な時間を設定する。

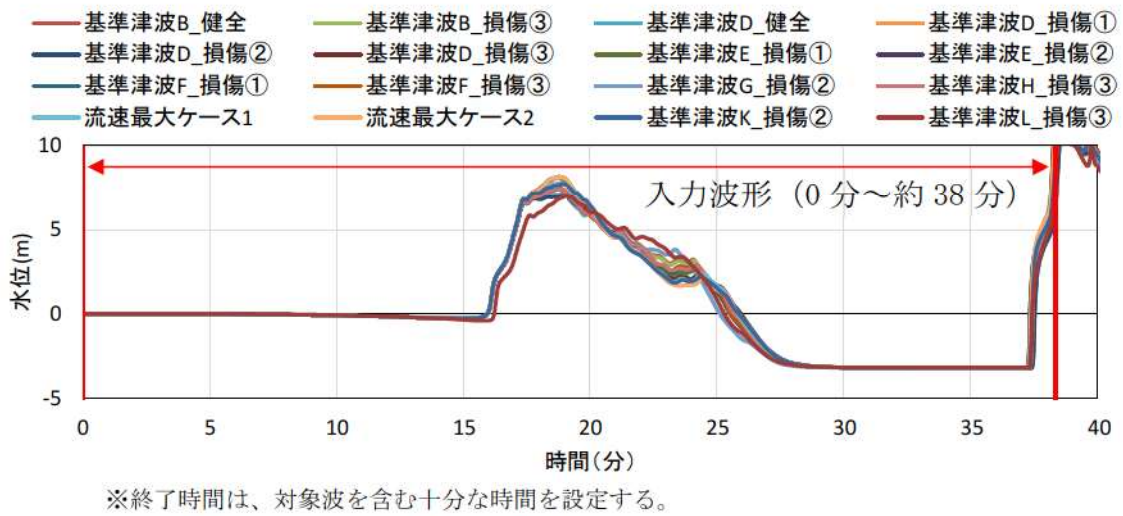
第 23 図 波形入力位置（A地点）の水位時刻歴波形（第 1 波） グループ 2



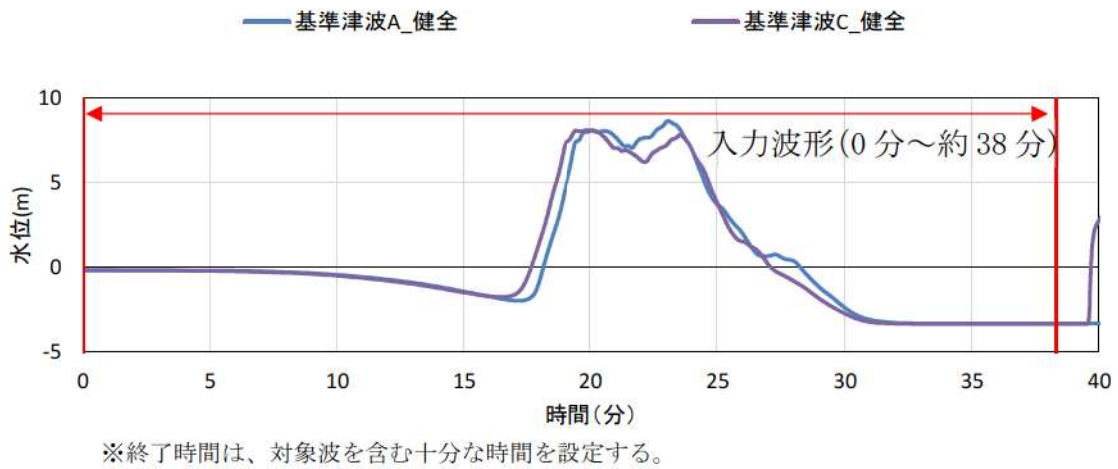
※終了時間は、対象波を含む十分な時間を設定する。

第24図 波形入力位置（A地点）の水位時刻歴波形（第1波） グループ3

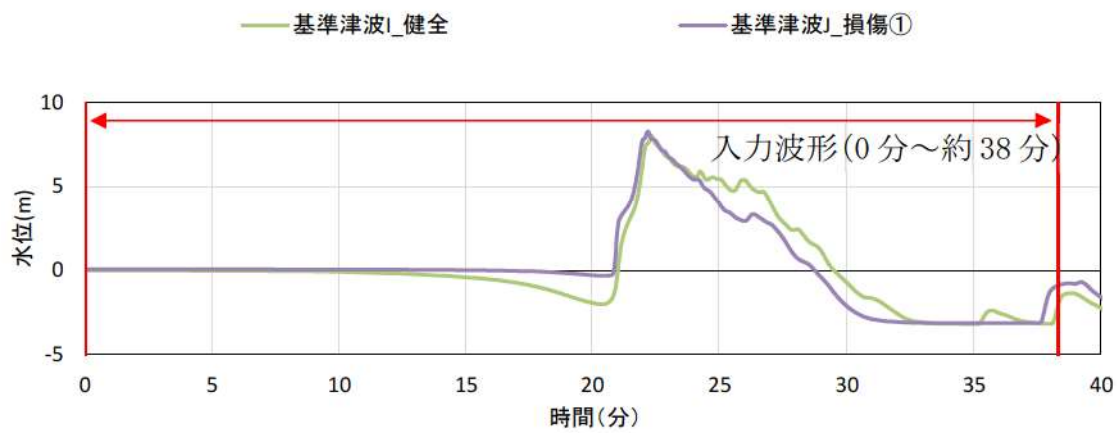
(ロ) 第2波



第25図 波形入力位置（B地点）の水位時刻歴波形（第2波） グループ1



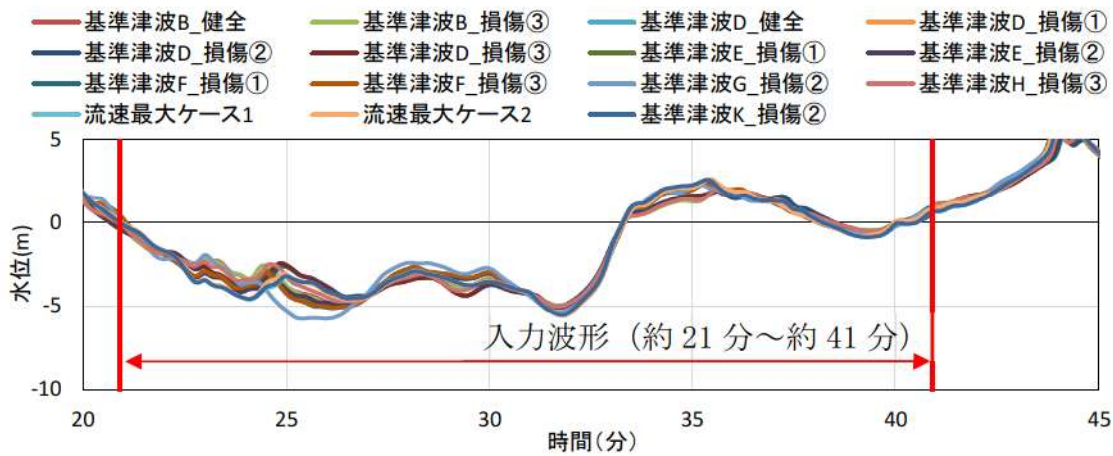
第26図 波形入力位置（B地点）の水位時刻歴波形（第2波） グループ2



※終了時間は、対象波を含む十分な時間を設定する。

第27図 波形入力位置（B地点）の水位時刻歴波形（第2波） グループ3

(ハ) 第3波

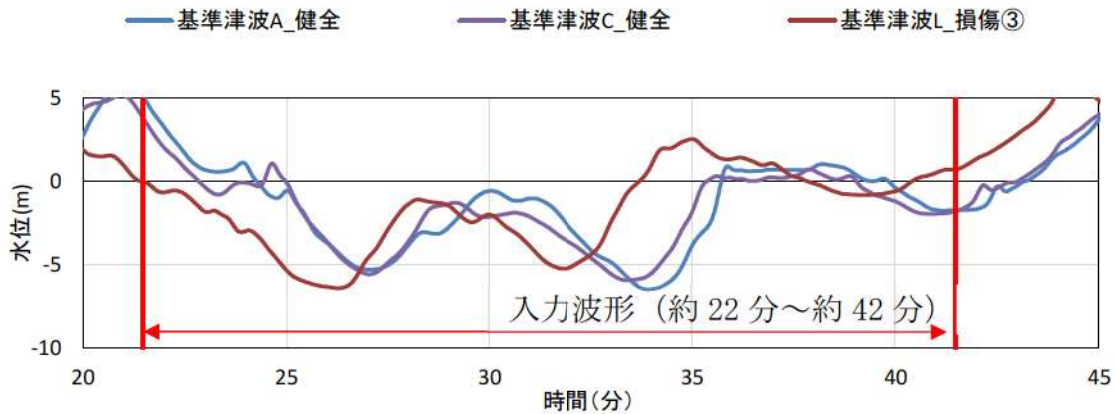


※基準津波 B_損傷③の入力波形の範囲を参考として示す。

入力波形の開始時間は、対象波の直前で水位が約 0.0m となる時間を波源ごとに設定する。

終了時間は、対象波を含む十分な時間を設定する。

第 28 図 波形入力位置 (A地点) の水位時刻歴波形 (第3波) グループ 1

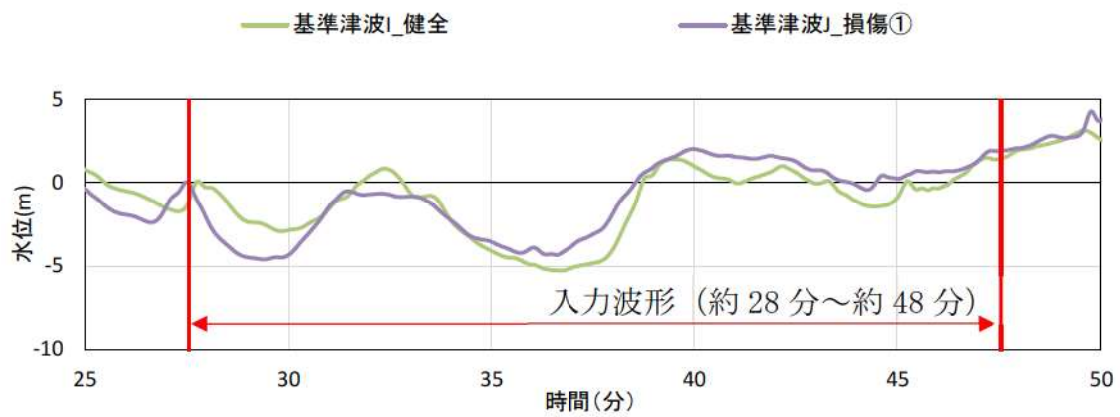


※基準津波 L_損傷③の入力波形の範囲を参考として示す。

入力波形の開始時間は、対象波の直前で水位が約 0.0m となる時間を波源ごとに設定する。

終了時間は、対象波を含む十分な時間を設定する。

第 29 図 波形入力位置 (A地点) の水位時刻歴波形 (第3波) グループ 2



※基準津波 J_損傷①の入力波形の範囲を参考として示す。

入力波形の開始時間は、対象波の直前で水位が約 0.0m となる時間を波源ごとに設定する。

終了時間は、対象波を含む十分な時間を設定する。

第 3 0 図 波形入力位置 (A 地点) の水位時刻歴波形 (第 3 波) グループ 3

ロ．評価基準

砕波段波は、津波の先端部が急峻な壁状となった後に波が砕ける事象を指している。したがって、断面二次元津波シミュレーション結果によるスナップショットから、上記のような急峻な壁状の津波波形が示されているか確認する。

また、松山ら（2005）¹⁰⁾ に示される砕波限界 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ を参考に、断面二次元津波シミュレーション結果（水位時刻歴波形及び津波波形）の水面勾配が 30° 以上となる場合、砕波段波は発生すると評価する。

防潮堤等への砕波段波の影響有無の確認の観点から、水面勾配は前面護岸直前（防潮堤設置位置より沖合 100m）の位置にて確認を行い、断面二次元津波シミュレーションの結果（水位時刻歴波形）より、単位計算時間（ Δt ）あたりの津波の水平移動量（ Δx ）及び、単位時間あたりの浸水深の上昇量（ $\Delta \eta$ ）より、水面勾配を算出する。

(d) 評価結果

断面二次元津波シミュレーションによる評価対象 20 ケースにおける第 1 波～第 3 波の水面勾配及びスナップショット（護岸直前の津波波形）について、基準津波 F（北防波堤損傷）を例としてイ．～ロ．で整理する。基準津波 F（北防波堤損傷）を含む評価対象 20 ケースのスナップショットについては、参考資料 4 に整理する。

イ．第 1 波

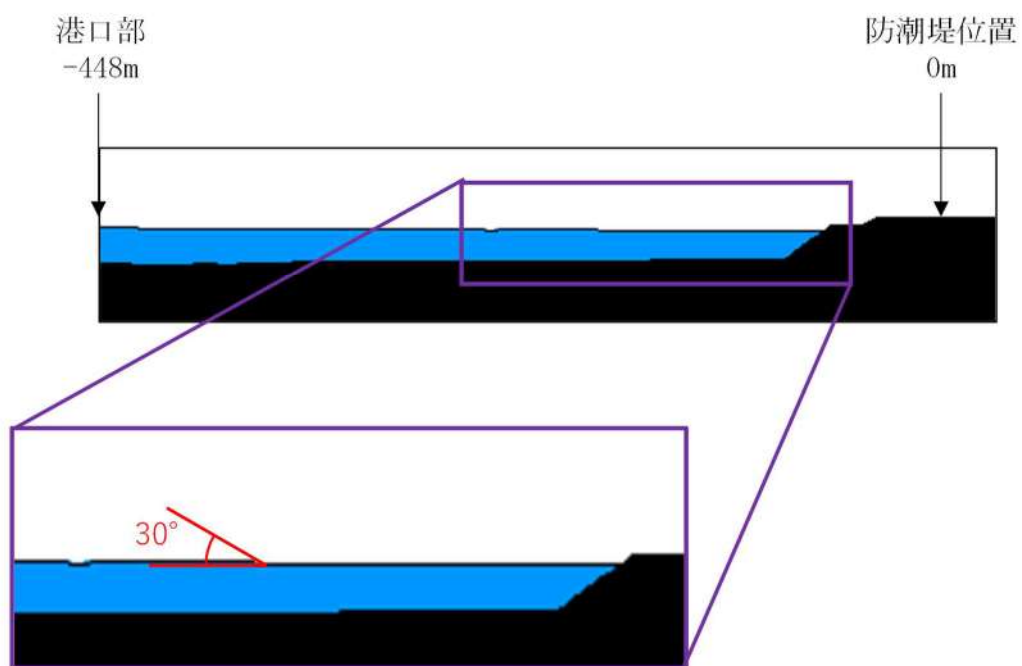
評価対象 20 ケースにおける第 1 波の水面勾配を第 5 表に、基準津波 F（北防波堤損傷）におけるスナップショットを第 3 1 図に示す。

第 1 波は松山ら（2005）¹⁰⁾ に示される碎波限界 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ を下回り、また、スナップショットから、急峻な壁状の津波波形が確認されないことから、碎波段波は発生しないと評価した。

第 5 表 評価対象 20 ケースにおける第 1 波の水面勾配

波源	防波堤の損傷状態	水面勾配 (°)
基準津波 A	防波堤損傷なし	1.7
基準津波 B	防波堤損傷なし	1.6
基準津波 B	北防波堤損傷	7.6
基準津波 C	防波堤損傷なし	2.2
基準津波 D	防波堤損傷なし	1.6
基準津波 D	北及び南防波堤損傷	7.6
基準津波 D	南防波堤損傷	1.7
基準津波 D	北防波堤損傷	7.6
基準津波 E	北及び南防波堤損傷	4.4
基準津波 E	南防波堤損傷	1.7
基準津波 F	北及び南防波堤損傷	4.4
基準津波 F	北防波堤損傷	2.9
基準津波 G	南防波堤損傷	1.7
基準津波 H	北防波堤損傷	7.6
基準津波 I	防波堤損傷なし	3.6
基準津波 J	北及び南防波堤損傷	8.3
基準津波 K	南防波堤損傷	1.7
基準津波 L	北防波堤損傷	3.5
流速最大ケース 1 ※		1.7
流速最大ケース 2 ※		4.4

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。



第31図 基準津波F（北防波堤損傷）の第1波のスナップショット
（護岸直前の津波波形）

ロ. 第2波

評価対象 20 ケースにおける第2波の水面勾配を第6表に、基準津波 F（北防波堤損傷）におけるスナップショットを第32図に示す。

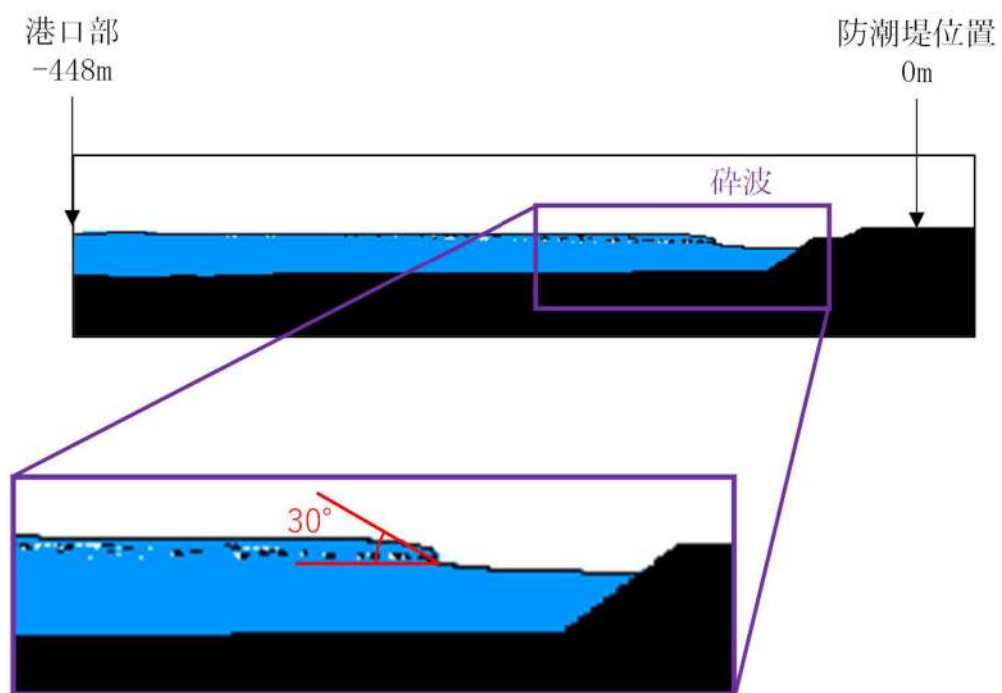
第2波は全 20 ケースで護岸前面位置において、松山ら（2005）¹⁰⁾ に示される砕波限界 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ を上回り、また、スナップショットから、急峻な壁状の津波波形が確認されたことから、砕波段波が発生したと評価した。

第2波では、基本ケースで砕波段波が発生したことから、第17図のフローに従い、第4表に示す地形変化による砕波段波の発生有無の確認は実施しない。

第6表 評価対象 20 ケースにおける第2波の水面勾配

波源	防波堤の損傷状態	水面勾配 (°)
基準津波 A	防波堤損傷なし	52.0
基準津波 B	防波堤損傷なし	53.6
基準津波 B	北防波堤損傷	62.1
基準津波 C	防波堤損傷なし	49.7
基準津波 D	防波堤損傷なし	66.1
基準津波 D	北及び南防波堤損傷	56.0
基準津波 D	南防波堤損傷	58.3
基準津波 D	北防波堤損傷	63.2
基準津波 E	北及び南防波堤損傷	63.1
基準津波 E	南防波堤損傷	60.5
基準津波 F	北及び南防波堤損傷	60.3
基準津波 F	北防波堤損傷	56.8
基準津波 G	南防波堤損傷	63.0
基準津波 H	北防波堤損傷	66.7
基準津波 I	防波堤損傷なし	63.3
基準津波 J	北及び南防波堤損傷	60.3
基準津波 K	南防波堤損傷	48.3
基準津波 L	北防波堤損傷	53.7
流速最大ケース 1※		59.6
流速最大ケース 2※		55.9

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。



第 3 2 図 基準津波 F（北防波堤損傷）の第 2 波のスナップショット
（護岸直前の津波波形）

ハ. 第3波

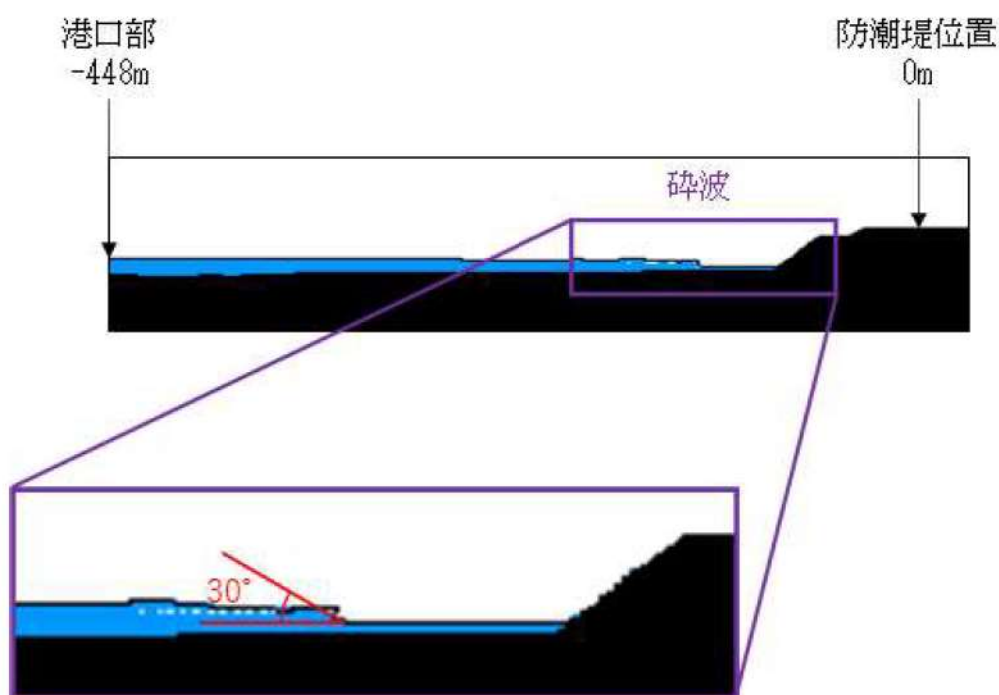
評価対象 20 ケースにおける第3波の水面勾配を第7表に、基準津波 F（北防波堤損傷）におけるスナップショットを第33図に示す。

第3波は松山ら（2005）¹⁰⁾ に示される砕波限界 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ を上回り、また、スナップショットから、急峻な壁状の津波波形が確認されたことから、砕波段波が発生したと評価した。

第7表 評価対象 20 ケースにおける第3波の水面勾配

波源	防波堤の損傷状態	水面勾配 (°)
基準津波 A	防波堤損傷なし	79.0
基準津波 B	防波堤損傷なし	58.3
基準津波 B	北防波堤損傷	49.5
基準津波 C	防波堤損傷なし	77.6
基準津波 D	防波堤損傷なし	41.0
基準津波 D	北及び南防波堤損傷	43.4
基準津波 D	南防波堤損傷	40.7
基準津波 D	北防波堤損傷	44.9
基準津波 E	北及び南防波堤損傷	67.5
基準津波 E	南防波堤損傷	55.0
基準津波 F	北及び南防波堤損傷	70.9
基準津波 F	北防波堤損傷	66.3
基準津波 G	南防波堤損傷	80.1
基準津波 H	北防波堤損傷	54.4
基準津波 I	防波堤損傷なし	3.9
基準津波 J	北及び南防波堤損傷	83.6
基準津波 K	南防波堤損傷	49.3
基準津波 L	北防波堤損傷	83.1
流速最大ケース 1※		47.5
流速最大ケース 2※		57.1

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。



第33図 基準津波F（北防波堤損傷）の第3波のスナップショット
（護岸直前の津波波形）

二. まとめ

第1波は碎波段波の発生は確認されなかったものの、第2波及び第3波は、基本ケースで碎波段波の発生が確認された。

基本ケースにおいて、碎波段波の発生が確認されたことから、地形変化を考慮した碎波段波の発生の有無の確認は実施せず、碎波段波波圧の評価を行う。

b. 砕波段波波圧の評価に係る算定式及びパラメータ

【設工認審査ガイドにおける確認事項】

○防潮堤等に作用する砕波段波波圧の影響があると推定する場合，防潮堤等設置位置において防潮堤等がない場合の津波の砕波直前の最大浸水深（以下「段波最大浸水深（ $\eta_{\max_1st}$ ）」という。）の3倍の高さに相当する静水圧分布を用いて，砕波段波波圧の影響を評価していること。

(a) 砕波段波波圧の評価に用いる算定式

NRA 技術報告⁴⁾では，防潮堤等に作用する砕波段波を対象とし，砕波に伴う段波浸水深を用いることで，国交省の暫定指針の水深係数3を適用できることを確認している。

2.2(2)a.(d)に示すとおり，断面二次元津波シミュレーションの結果より，泊発電所においては砕波段波の発生が確認されたため，NRA 技術報告⁴⁾の知見に基づき，砕波段波波圧は，防潮堤等の最下部に作用する圧力(P_{1st})を，以下の算出式のとおり評価する。

$$P_{1st} = 3 \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_{\max_1st}$$

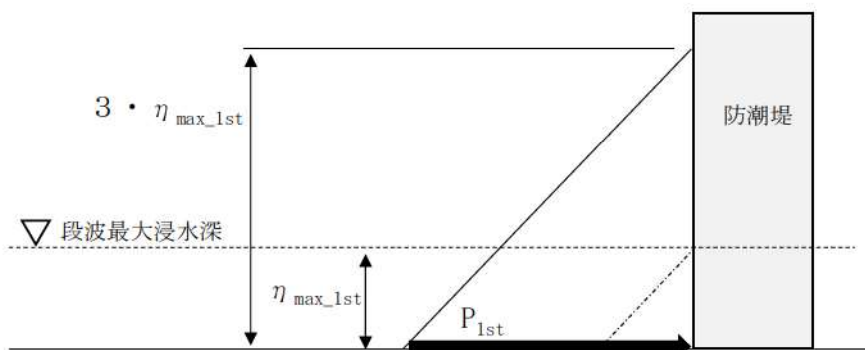
P_{1st} : 段波最大浸水深（ $\eta_{\max_1st}$ ）の3倍の高さに相当する静水圧分布で防潮堤等の最下部に作用する圧力※ [Pa]

※防潮堤等前面の据付高さを基準高さ（防潮堤等の最下部の高さ）とする。

$\eta_{\max_1st}$: 段波最大浸水深 [m]

ρ : 海水（流体）密度 [kg/m³]

g : 重力加速度 [m/s²]



第34図 砕波段波波圧 算定図

(b) 算定式に用いるパラメータの設定

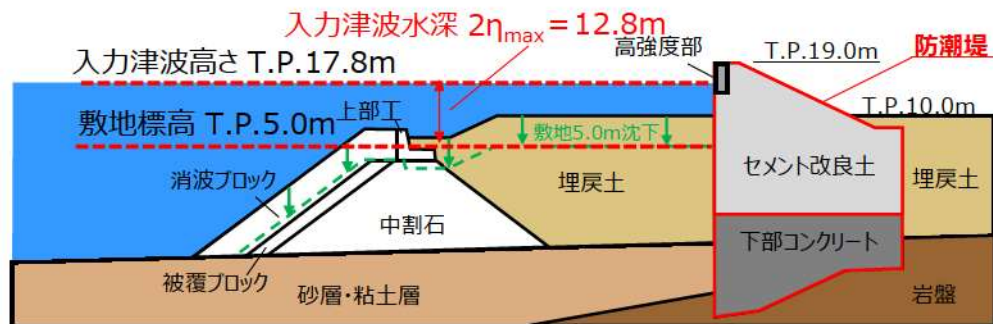
砕波段波波圧の算定式では、段波最大浸水深 ($\eta_{\max_{1st}}$) がパラメータとなることから、砕波段波波圧の評価に用いる段波最大浸水深を以下のとおり設定する。

イ. 防潮堤

設工認審査ガイド別添において、砕波段波波圧に用いる段波最大浸水深は、「防潮堤等設置位置において防潮堤等がない場合の津波の砕波直前の最大浸水深」を用いることとされている。

段波最大浸水深は、通過波の浸水深を用いることとなっているが、砕波段波波圧を保守的に評価するため、平面二次元津波シミュレーション（防潮堤あり）により算出した防潮堤前面における「入力津波水深（入力津波高さ－敷地標高）×1/2 の値（6.4m）」と設定し、後述する波状段波波圧の評価に用いる最大遡上水深及び持続波圧の評価に用いる持続波最大浸水深と同一の設計用浸水深 ($\eta_{\max}$) とする。

段波最大浸水深として「入力津波水深×1/2 の値」を設定することの妥当性及び保守性については、参考資料6で示す。

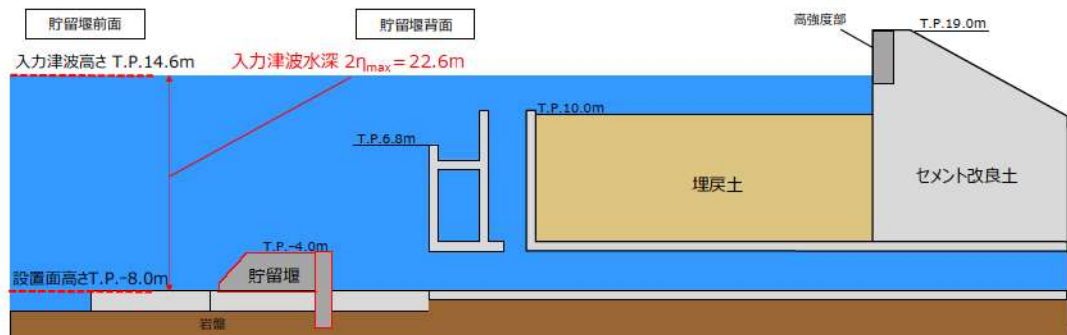


第35図 設計用浸水深 ($\eta_{\max}$) (防潮堤)

ロ. 貯留堰

貯留堰に作用する砕波段波波圧の評価に用いる段波最大浸水深は、砕波段波波圧を保守的に評価するため、平面二次元津波シミュレーション（防潮堤あり）により算出した3号炉取水口における「入力津波水深（入力津波高さ－貯留堰設置面高さ）×1/2 の値（11.3m）」と設定し、後述する波状段波波圧の評価に用いる最大遡上水深及び持続波圧の評価に用いる持続波最大浸水深と同一の設計用浸水深（ η_{max} ）とする。

段波最大浸水深として「入力津波水深×1/2 の値」を設定することの妥当性及び保守性については、参考資料6で示す。



第36図 設計用浸水深（ η_{max} ）（貯留堰）※

※貯留堰背面側の水位は設工認段階で設定する。

(3) 波状段波波圧の影響評価

a. 波状段波の発生の有無の確認

【設工認審査ガイドにおける確認事項】

○防潮堤等に作用する波状段波波圧の影響がないと推定する場合、その根拠が明確となっていること。その際、既往知見を根拠とする場合は、適切な条件による水理試験及び解析あるいはそれらのいずれかにより適用性に係る評価が示されていること。

(a) 評価方針

波状段波の発生の有無は、防波堤の耐津波設計ガイドライン²⁾に基づき、以下に示す①かつ②の条件に合致する場合、波状段波が発生すると評価する。条件①における津波高さは、防潮堤による反射波の影響を考慮した津波高さの算出が可能である平面二次元津波シミュレーション（防潮堤あり）により算出する。

条件①：シミュレーション等による津波高さが水深の 60%以上

条件②：海底勾配が 1/100 以下程度の遠浅

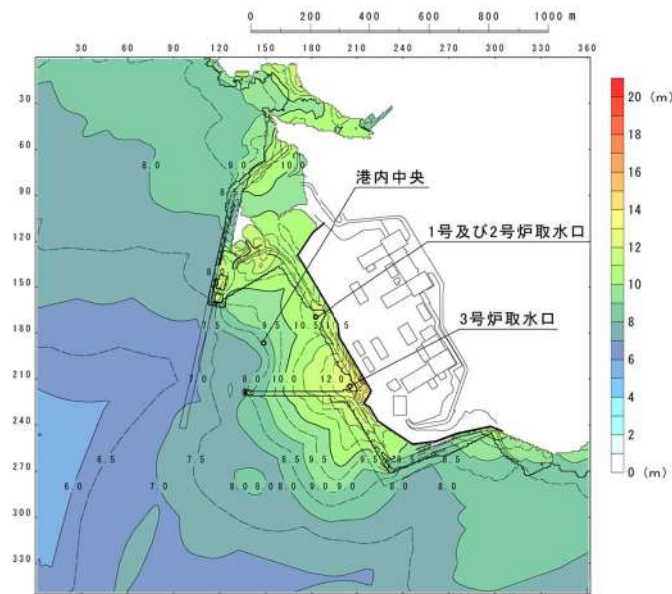
(b) 評価結果

基準津波 F（北防波堤損傷）を例として、「3 号炉取水口」、「1 号及び 2 号炉取水口」及び「港内中央」における最大水位上昇量分布を第 3 7 図に、各地点の津波高さと水深の割合を整理した結果を第 8 表に示す。この結果、津波高さは水深の 60%以上となり、条件①に合致することを確認した。

条件②について、敷地近傍の平均勾配を整理した結果を第 3 8 図に示す。沖合 2,500m 地点から敷地近傍の範囲で緩勾配となっており、緩勾配部の平均勾配は約 1/120 となる。この結果、海底勾配が 1/100 以下となり、条件②に合致することを確認した。

以上より、条件①と条件②の両方に合致するため、泊発電所において波状段波が発生すると評価する。

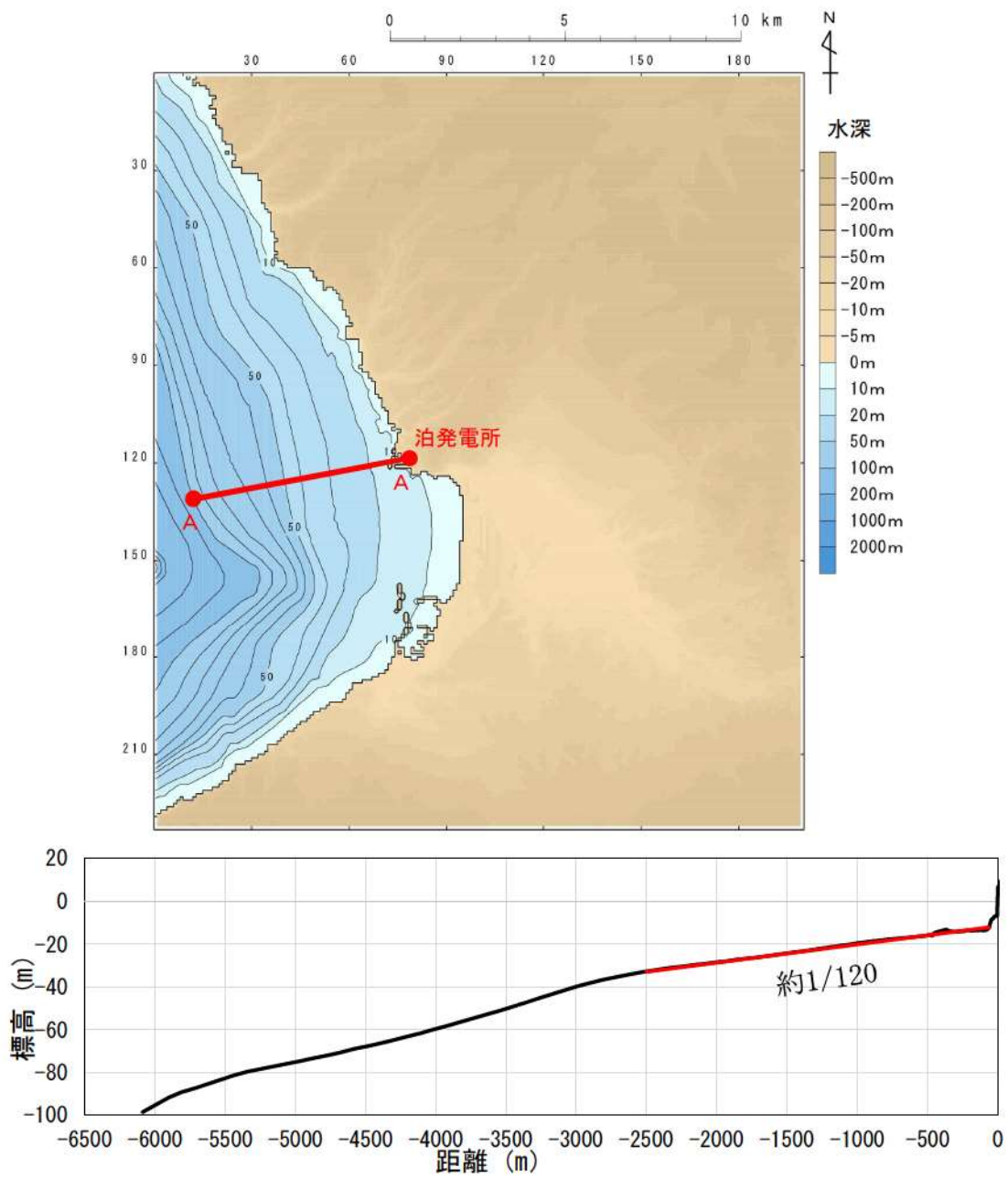
なお、他の評価対象 20 ケースについても、基準津波 F（北防波堤損傷）の場合と同様に、条件①に合致することを確認した。（参考資料 5 参照）。



第 3 7 図 基準津波による最大水位上昇量分布
(基準津波 F (北防波堤損傷))

第 8 表 津波高さと水深の割合
(基準津波 F (北防波堤損傷))

波源	防波堤の損傷状態	地点	(1) 水深	(2) 津波高さ	(2)/(1)
基準津波 F	北防波堤損傷	3号炉取水口	8.0m	12.94m	161.8%
		1号及び2号炉取水口	7.0m	11.27m	161.0%
		港内中央	13.6m	8.84m	65.0%



第38図 海底地形断面図（A－A断面）

b. 波状段波波圧の評価に係る算定式及びパラメータ

【設工認審査ガイドにおける確認事項】

○防潮堤等に作用する波状段波波圧の影響があると推定する場合、既往知見で提案されている評価手法等を用いて波状段波波圧の影響を評価していること。また、評価に用いた知見の適用性に関する文献等の根拠が示されていること。

(a) 算定式及び適用性並びに保守性

イ. 算定式

2.2 (3) a. (b) に示すとおり、泊発電所においては波状段波が発生すると評価した。そのため、波状段波波圧は、既往知見で提案されている評価手法として、朝倉ら (2000)⁵⁾に基づく算定式を用いて評価する。

朝倉ら (2000)⁵⁾に基づく算定式では、非分裂波の場合、構造物前面に作用する津波波圧分布を規定する水平波圧指標（遡上水深に相当する静水圧分布の倍率） α は最大で 3.0 となるとしている。一方、ソリトン分裂波の場合は、構造物上方は水平波圧指標 α で規定される分布に近似されるが、構造物の底面近傍では非分裂波の α を 1.8 倍、作用高は非分裂波の 0.45 倍となる分布になるとしている（第 39 図及び第 40 図）。

朝倉ら (2000)⁵⁾の知見に基づき、波状段波波圧については、防潮堤等の構造物上方に作用する津波波圧と構造物底面近傍に作用する津波波圧とに分けて、それぞれ評価する。

(イ) 構造物上方に作用する津波波圧

構造物上方に作用する津波波圧は、波状段波と非分裂波で同等であることから、構造物がない状態での最大遡上水深（ $\eta_{\max_1st'}$ ）の3倍の高さに相当する静水压分布として評価する。具体的な算出式は以下のとおり。

なお、第39図及び第40図における $\eta_{\max}$ は $\eta_{\max_1st'}$ と定義する。また、 F_x は $P_{1st'}$ による波力を意味する。

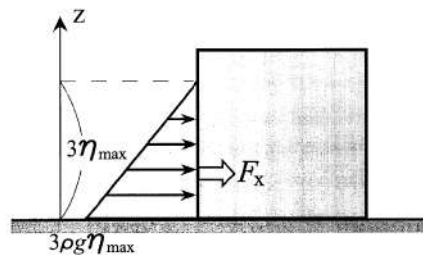
$$P_{1st'} = \rho \cdot g (\alpha \cdot \eta_{\max_1st'} - z)$$

- $P_{1st'}$: 波状段波波圧 [Pa]
 z : 当該部分の地盤面からの高さ（ $0 \leq z \leq \alpha \cdot \eta_{\max_1st'}$ ） [m]
 α : 水深係数。3とする。
 $\eta_{\max_1st'}$: 構造物がない状態での最大遡上水深 [m]
 ρ : 海水（流体）密度 [kg/m³]
 g : 重力加速度 [m/s²]

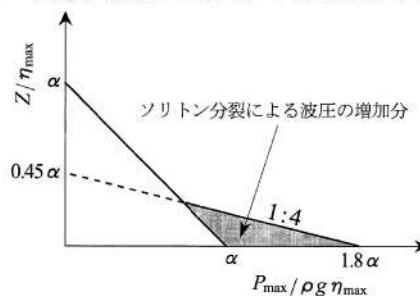
(ロ) 構造物底面近傍に作用する津波波圧

構造物底面近傍に作用する津波波圧は、波状段波が発生する場合、構造物がない状態での最大遡上水深（ $\eta_{\max_1st'}$ ）の3倍の高さに相当する静水压分布に加え、非分裂波の α の1.8倍、作用高さは非分裂波の0.45倍となる分布で評価する。構造物最下部の作用波圧を以下に例示する。

$$P_{1st'} = 1.8 \cdot \alpha \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_{\max_1st'}$$



第39図 非分裂波の場合の津波水平波圧⁵⁾



第40図 分裂波の無次元最大波圧分布⁵⁾

ロ．知見の適用性

防潮堤に作用する波状段波波圧の評価に当たり考慮した朝倉ら（2000）⁵⁾の知見は、直立護岸背後の陸上構造物を対象に検討がなされているものであり、同じく陸上構造物である泊発電所の防潮堤への適用性を有していると評価する。

貯留堰について、引き波時に設置面が露出した後に津波が来襲する場合は、陸上構造物と同様な条件で波圧が作用するため、防潮堤と同様に朝倉ら（2000）⁵⁾の知見は、貯留堰への適用性を有していると評価する。

なお、設工認審査ガイド別添では、波状段波波圧の算定式として、防波堤の耐津波設計ガイドライン²⁾に示されている修正谷本式が例示されているが、修正谷本式は海中構造物を対象とした知見であるため、防潮堤及び引き波時に設置面が露出した状態の貯留堰に対しては、朝倉ら（2000）⁵⁾に基づく算定式を用いることが妥当である。

【設工認審査ガイド別添 （3）波状段波波圧の影響評価（解説）】

「波状段波波圧の影響を評価していること」については、国交省のガイドライン²⁾では、波状段波が発生する場合には、津波波圧が大きくなるため、これに対応して修正した谷本式（修正谷本式）を波力算定に用いることとしている。

ハ. 知見の保守性

朝倉ら (2000)⁵⁾に基づく算定式を用いて評価した波状段波波圧が保守的であることを確認するため、朝倉ら (2000)⁵⁾に基づく算定式及び修正谷本式を用いて評価した波状段波波圧を比較した。

修正谷本式を以下に示す。

$$P_{1st'} = 3 \cdot \rho \cdot g \cdot a_I$$

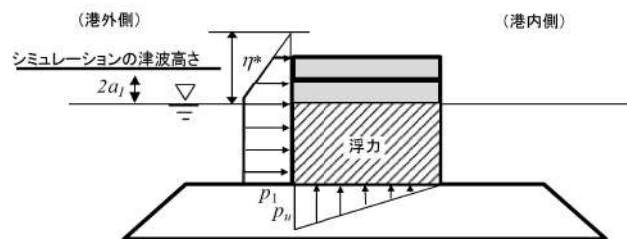
$P_{1st'}$	: 波状段波波圧 [Pa]
a_I	: 入射津波の静水面上の高さ [m]
ρ	: 海水 (流体) 密度 [kg/m ³]
g	: 重力加速度 [m/s ²]

修正谷本式における入射津波の静水面上の高さ (a_I) は、構造物前面での反射の影響を考慮し、津波シミュレーションによる津波高さを 1/2 した値である (第 4 1 図参照)。泊発電所において、朝倉ら (2000)⁵⁾に基づく算定式における構造物がない状態での最大遡上水深 ($\eta_{\max_1st'}$) は、平面二次元津波シミュレーションにより算出した「入力津波水深×1/2 の値」を設定する方針であるため、防潮堤等においては修正谷本式における入射津波の静水面上の高さ (a_I) と同値となる。

そのため、朝倉ら (2000)⁵⁾に基づく算定式では、構造物底面近傍に作用する津波波圧を考慮している分、修正谷本式よりも朝倉ら (2000)⁵⁾に基づく算定式を用いることで、保守的に波状段波波圧を評価することができる。

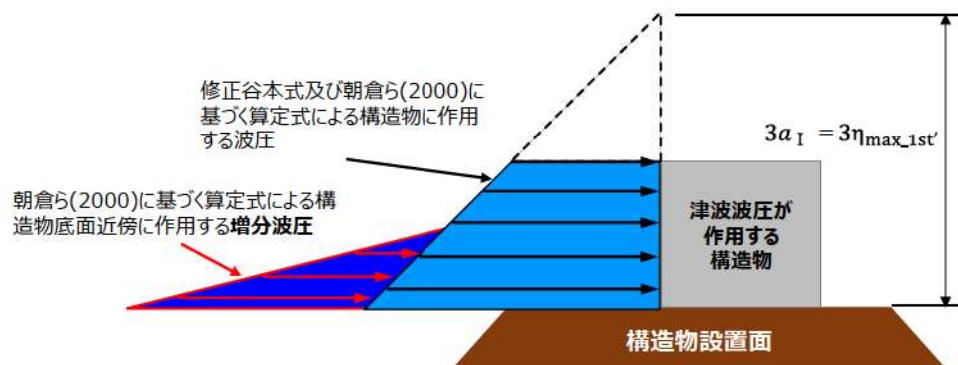
修正谷本式における入射津波の静水面上の高さ (a_I) と朝倉ら (2000)⁵⁾に基づく算定式の最大遡上水深 ($\eta_{\max_1st'}$) が同一な場合の構造物に作用する津波波圧のイメージ図を第 4 2 図に示す。

なお、最大遡上水深を入力津波水深×1/2 と設定する妥当性及び保守性は参考資料 6 に示す。



$\eta^* = 3.0a_I$	η^* : 静水面上の波圧作用高さ (m)
$p_1 = 3.0\rho_0ga_I$	η_B : 直立壁背面で静水面から下がった水位(m)
$p_2 = \rho_0g\eta_B$	a_I : 入射津波の静水面上の高さ (振幅) (m)
$p_u = p_1$	ρ_0g : 海水の単位体積重量 (kN/m ³)
$p_L = p_2$	p_1 : 静水面における波圧強度 (kN/m ²)
	p_2 : 直立壁背面における負圧(kN/m ²)
	p_u : 直立壁前面下端における揚圧力(kN/m ²)
	p_L : 直立壁背面下端における揚圧力(kN/m ²)

第 4 1 図 修正谷本式²⁾



第 4 2 図 修正谷本式²⁾ 及び朝倉ら (2000)⁵⁾に基づく算定式による
津波波圧の比較

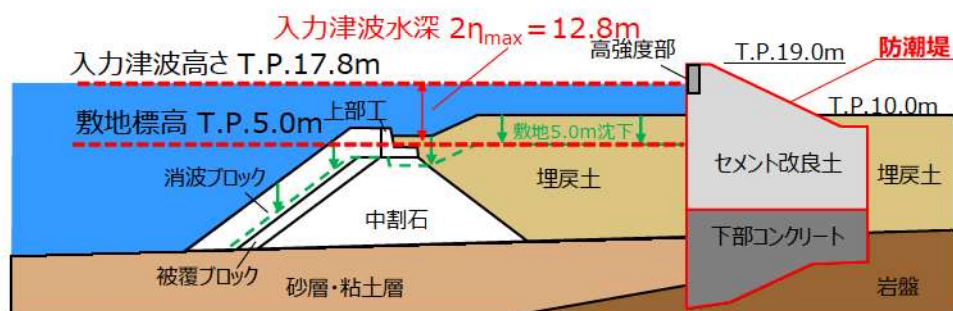
(b) 算定式に用いるパラメータの設定

波状段波波圧の算定式では、構造物がない状態での最大遡上水深 ($\eta_{\max,1st}$) がパラメータとなることから、波状段波波圧の評価に用いる最大遡上水深を以下のとおり設定する。

イ. 防潮堤

朝倉ら(2000)⁵⁾に基づく算定式では、波状段波波圧に用いる最大遡上水深は、構造物がない状態での水深(通過波の浸水深)を用いることとなっているが、波状段波波圧を保守的に評価するため、最大遡上水深は平面二次元津波シミュレーション(防潮堤あり)により算出した防潮堤前面における「入力津波水深(入力津波高さ-敷地標高)×1/2の値(6.4m)」と設定する。また、最大遡上水深は、砕波段波波圧の評価に用いる段波最大浸水深及び後述する持続波圧の評価に用いる持続波最大浸水深と同一の設定用浸水深(η_{max})とする。

最大遡上水深を「入力津波水深×1/2 の値」と設定することの妥当性及び保守性については、参考資料6で示す。

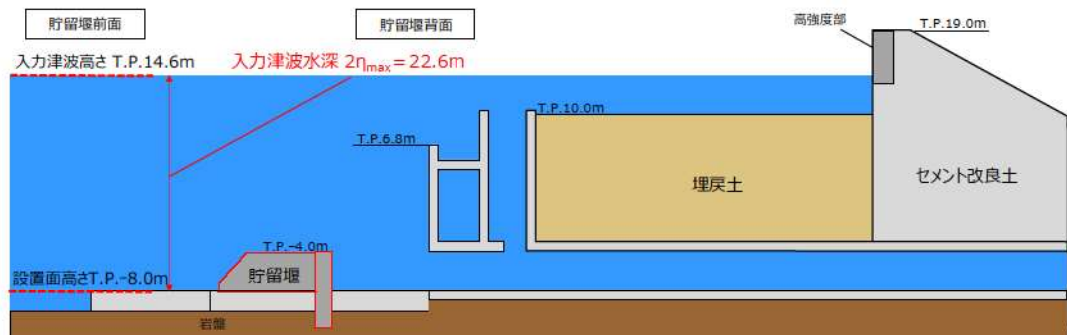


第43図 設計用浸水深 ($\eta_{\max}$) (防潮堤) (再掲)

ロ. 貯留堰

貯留堰に作用する波状段波波圧の評価に用いる最大遡上浸水深は、砕波段波波圧と同様に、波状段波波圧を保守的に評価するため、平面二次元津波シミュレーション（防潮堤あり）により算出した3号炉取水口における「入力津波水深（入力津波高さ－貯留堰設置面高さ）×1/2 の値（11.3m）」と設定する。また、最大遡上水深は、砕波段波波圧の評価に用いる段波最大浸水深及び後述する持続波圧の評価に用いる持続波最大浸水深と同一の設計用浸水深（ $\eta_{\max}$ ）とする。

最大遡上水深を「入力津波水深×1/2 の値」と設定することの妥当性及び保守性については、参考資料6で示す。



第44図 設計用浸水深（ $\eta_{\max}$ ）（貯留堰）（再掲）※

※貯留堰背面側の水位は設工認段階で設定する。

2.3 持続波圧評価に係る確認

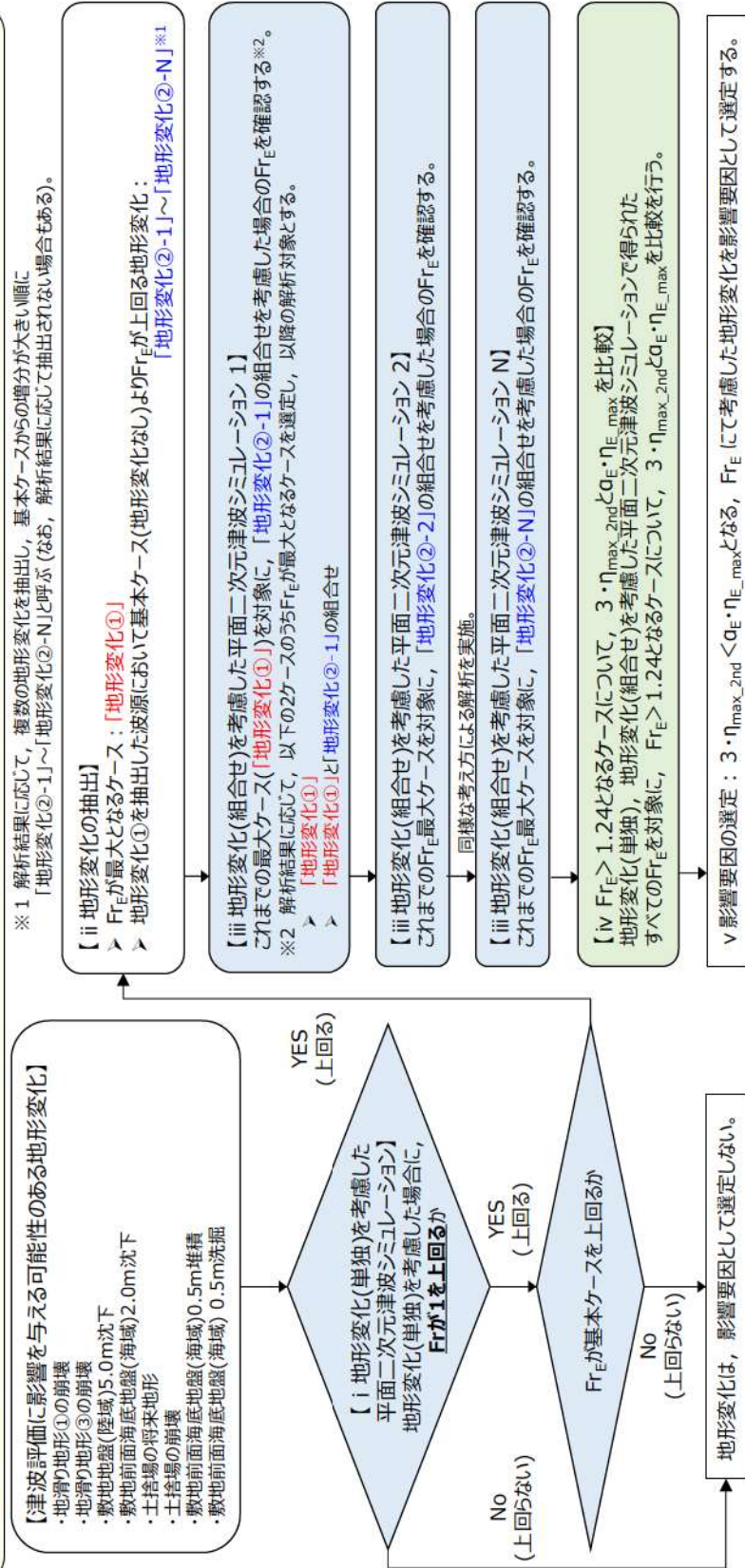
防潮堤等設置位置での浸水深及びフルード数は、広範囲にわたる地形のモデル化が可能で、複雑な不規則波形及び平面的な流況（浸水深・流速）の表現が可能な平面二次元津波シミュレーションを用いて算出する。

また、持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数 (Fr) が 1 を超え、かつ最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数 (Fr_E) が 1.24 を超える場合には、水深係数 (α) は 3 を超えるため、水深係数 (α) を 3 と適用すると非保守的な評価となる。そのため、持続波圧評価に係るフルード数の検討に当たっては、評価対象 20 ケースを検討対象ケースとし、第 4 5 図に示すフローに従い、保守的な評価となるような地形変化を考慮する。

防潮堤設置位置の通過波のフルード数の算出に当たっては、防潮堤はモデル化せず、貯留堰設置位置の通過波のフルード数の算出に当たっては、防潮堤はモデル化する。なお、入力津波（津波高さ及び津波高さ以外（流速及び流況（流向・流速）））の評価に用いる平面二次元津波シミュレーションと同様、貯留堰はモデル化していない。

防潮堤をモデル化していない基本ケースの地形モデルを第 4 6 図に、地形変化を考慮した地形モデルを第 4 7 図～第 5 4 図に示す。

- ・持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数 (Fr) 及び最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数 (Fr_E) に影響を与える可能性のある地形変化について、「地形変化(単独)」を考慮した平面二次元津波シミュレーションを実施し、地形変化(組合せ)を考慮した場合に、**Frが1を上回り**、かつ Fr_E が基本ケース(地形変化なし)より上回るかを確認する。
- ・上回る場合には、 Fr_E が最大ケースとなる地形変化として「**地形変化①**」、基本ケース(地形変化なし)より上回る地形変化として「**地形変化②-1**」～「**地形変化②-N**」※1を抽出する。
- ・そのうえで、「**地形変化②-1**」～「**地形変化②-N**」の順に、地形変化の組合せの影響を確認し、 $3 \cdot \eta_{\max_2nd} < q_E \cdot \eta_{E_max}$ となる、 Fr_E にて考慮した地形変化を影響要因として選定する。



第45図 (1) フルード数に係る地形変化・標高変化 (影響要因の選定) の検討フロー

- 地形変化(単独)を考慮した平面二次元津波シミュレーション結果

評価項目	波源	地形モデル (防波堤の損傷状態)	基本ケース Fr _E	地形変化							
				地滑り地形 ①	地滑り地形 ③	敷地地盤 (陸域) 5.0m沈下	敷地前面 海底地盤 (海域) 2.0m沈下	土捨場 (将来地形)	土捨場の崩壊	敷地前面 海底地盤 (海域) 0.5m堆積	敷地前面 海底地盤 (海域) 0.5m洗掘
防潮堤	基準津波 D	南防波堤損傷	1.19	0.96	0.96	1.07	1.03	0.96	0.97	0.98	0.99
				-	-	1.54 (0.35)	1.21 (0.02)	-	-	-	
	基準津波 E	北防波堤損傷	1.15	1.05	1.10	1.12	1.14	1.10	1.05	1.10	
				1.09 (-0.06)	1.10 (-0.05)	1.40 (0.25)	1.18 (0.03)	1.15 (0.00)	1.09 (-0.06)	1.15 (0.00)	
	基準津波 K	南防波堤損傷	1.23	1.04	1.03	1.05	0.94	1.03	1.05	1.02	
基準津波 ...				1.23 (0.00)	1.23 (0.00)	1.10 (-0.13)	-	1.23 (0.00)	1.24 (0.01)	1.25 (0.02)	
				他検討対象ケースの記載は省略している							

地形変化①を抽出したケース(基準津波D(南防波堤損傷)): 上表における緑破線)において
基本ケースよりFr_Eが増加する地形変化を地形変化②として抽出 (増分が大きい順に抽出)
「地形変化②-1: 敷地前面海底地盤 (海域) 2.0m沈下」

括弧内は
基本ケースから
Fr_Eの増分

上段: Fr
下段: Fr_E
()

Fr ≤ 1 となるケースについては、地形変化の組合せ考慮対象外とする（基本ケースとの増分比較対象外とする）。

(次頁に続く)

第45図(2)フルード数に係る地形変化・標高変化(影響要因の選定)の検討例(防潮堤)

(前頁より)

【Ⅲ 地形変化(組合せ)を考慮した平面二次元津波シミュレーション 1】 Fr_E 最大ケースの確認完了

➤ 「地形変化①:敷地地盤 (陸域) 5.0m沈下」 : 1.54

➤ (同上) と「地形変化②-1:敷地前面海底地盤 (海域) 2.0m沈下」の組合せ : 1.26

【Ⅳ $Fr_E > 1.24$ となるケースについて, $3 \cdot \eta_{\max_2nd}$ と $a_E \cdot \eta_{E_max}$ を比較】

① $3 \cdot \eta_{\max_2nd} > a_E \cdot \eta_{E_max}$ 基準津波D (南防波堤損傷, 敷地地盤 (陸域) 5.0m沈下) $Fr_E : 1.54$

② $3 \cdot \eta_{\max_2nd} > a_E \cdot \eta_{E_max}$ 基準津波D (南防波堤損傷, 敷地地盤 (陸域) 5.0m沈下 + 敷地前面海底地盤 (海域) 2.0m沈下) $Fr_E : 1.26$

…以降, すべての $Fr_E > 1.24$ となるケースについて同様の比較を実施する。

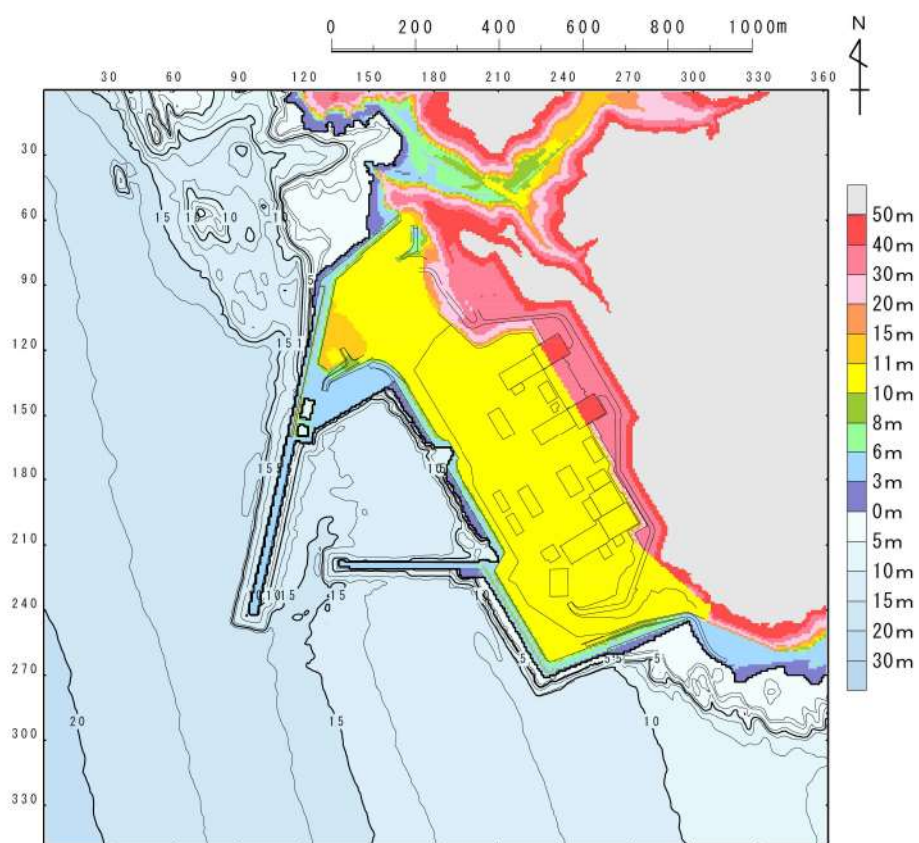
➤ すべてのケースが $3 \cdot \eta_{\max_2nd} \geq a_E \cdot \eta_{E_max}$ となる。

Ⅴ フルード数に係る影響要因の選定結果※1,2: **影響要因は選定しない**

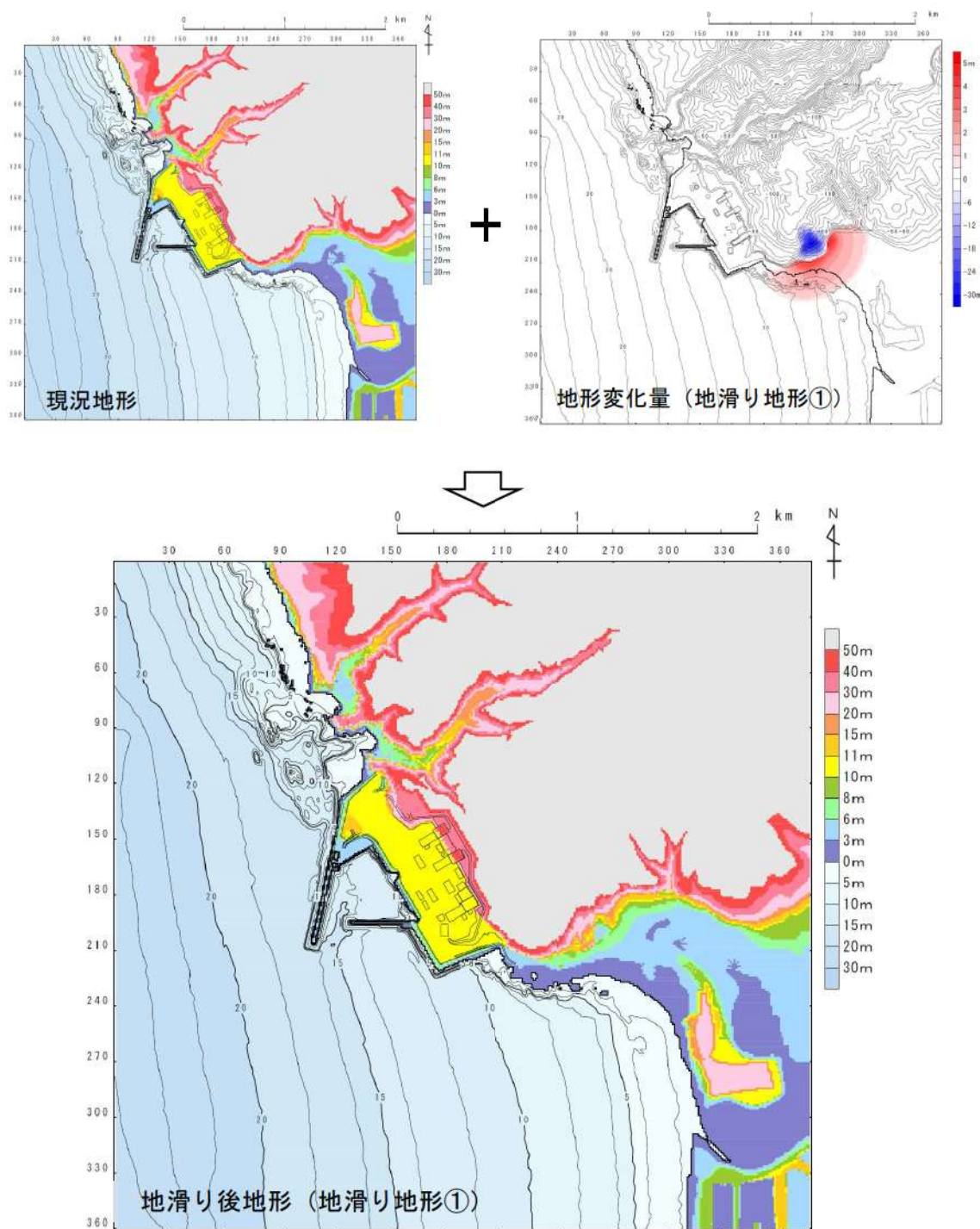
※ 1: $3 \cdot \eta_{\max_2nd} < a_E \cdot \eta_{E_max}$ となるケースが無い場合は, フルード数に係る影響要因は設定しない

※ 2: $3 \cdot \eta_{\max_2nd} < a_E \cdot \eta_{E_max}$ となるケースが複数ある場合は, 影響要因をそれぞれ設定する

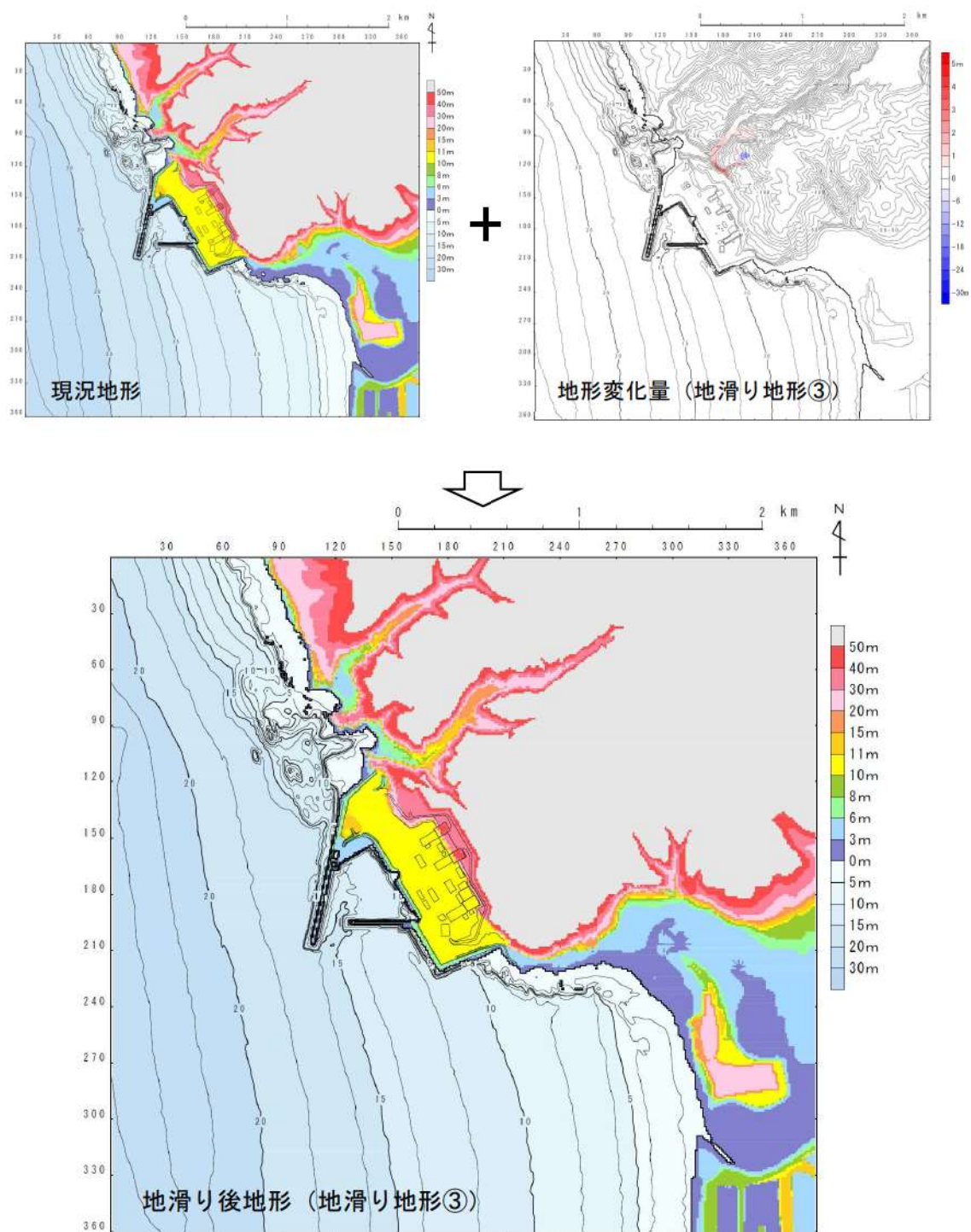
第 4 5 図 (3) フルード数に係る地形変化・標高変化 (影響要因の選定) の検討例 (防潮堤)



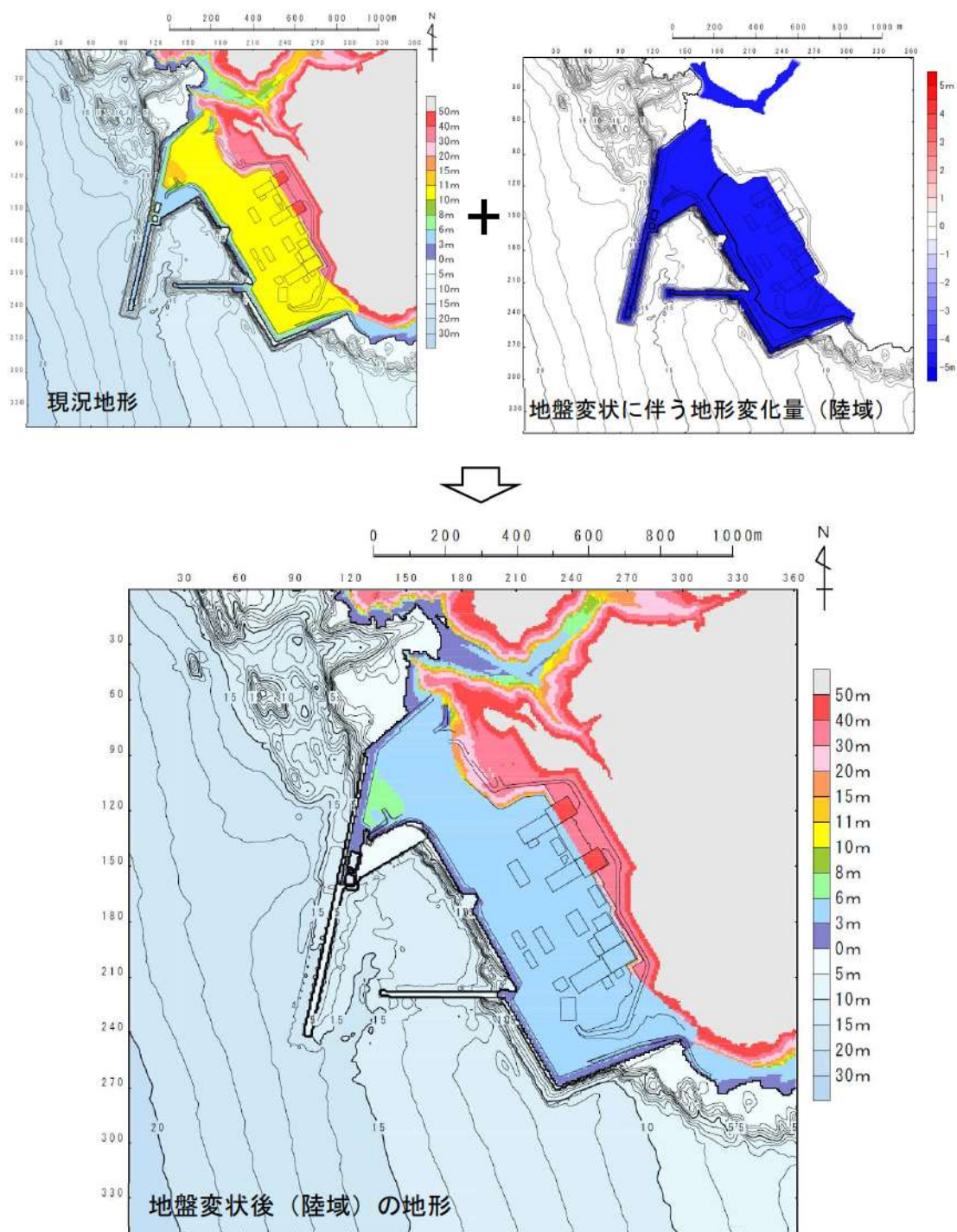
第46図 基本ケースの地形モデル



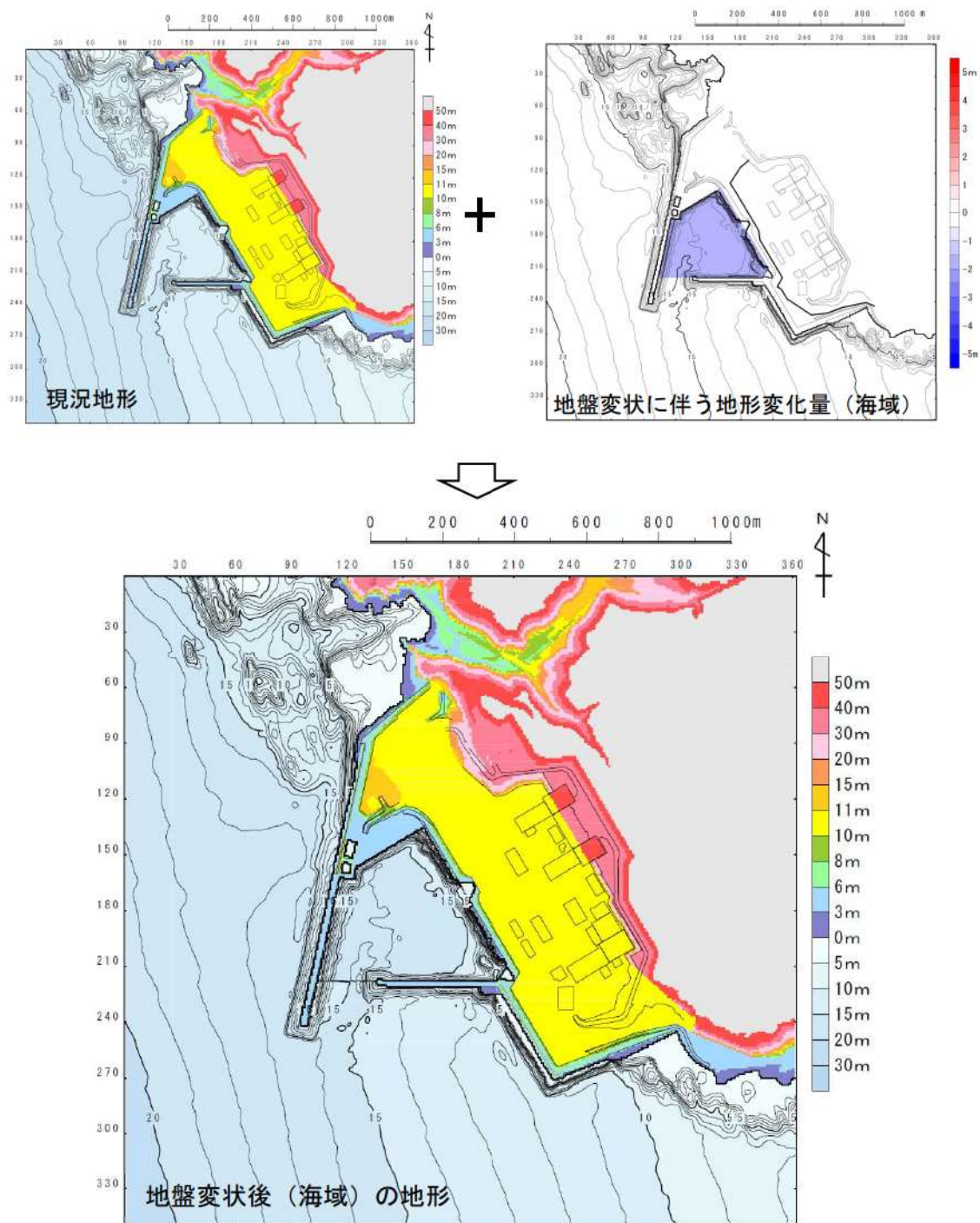
第47図 地滑りシミュレーション結果を反映した地形モデル
(地滑り地形①)



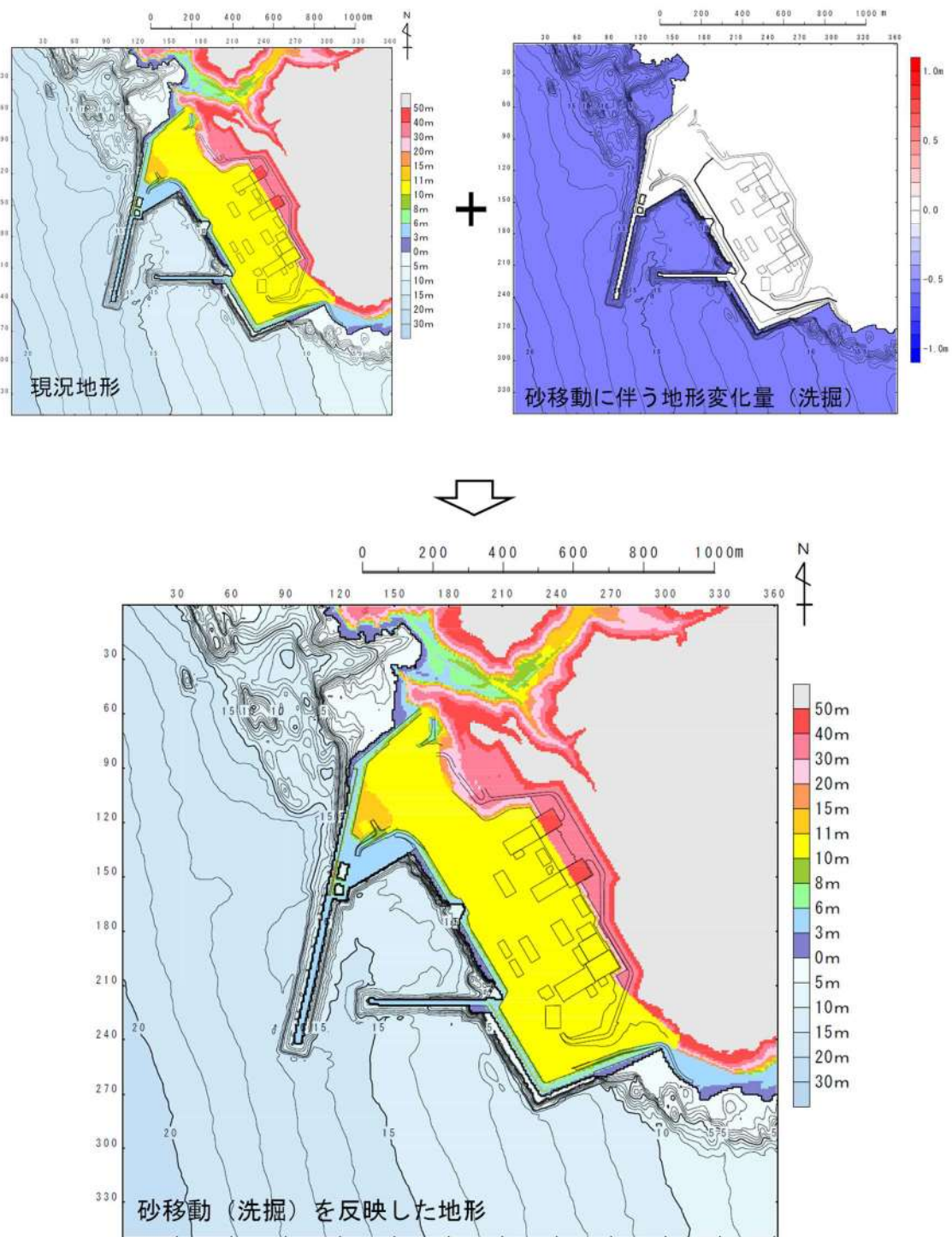
第48図 地滑りシミュレーション結果を反映した地形モデル
(地滑り地形③)



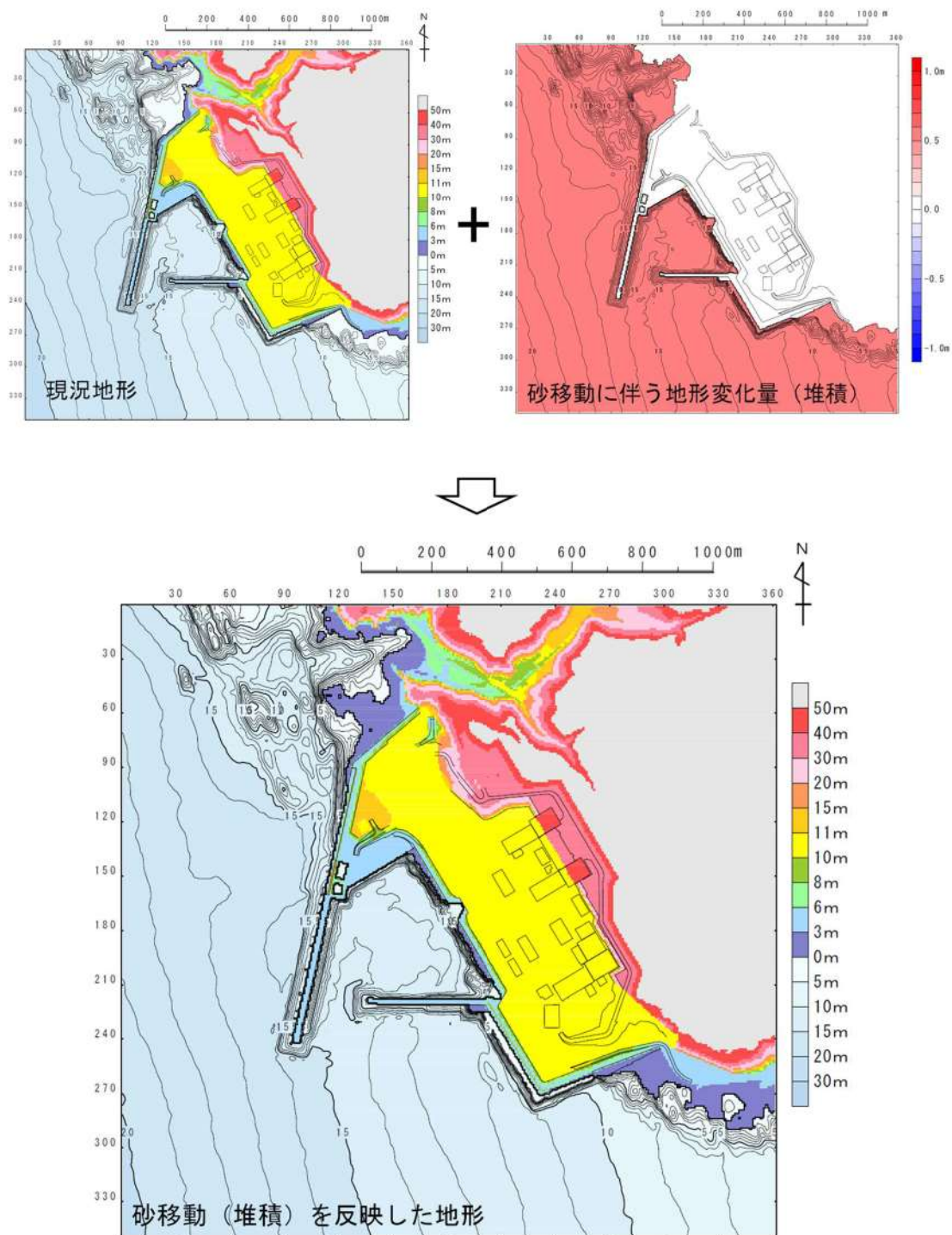
第49図 陸域の地盤変状による沈下量を反映した地形モデル
(5.0m 沈下)



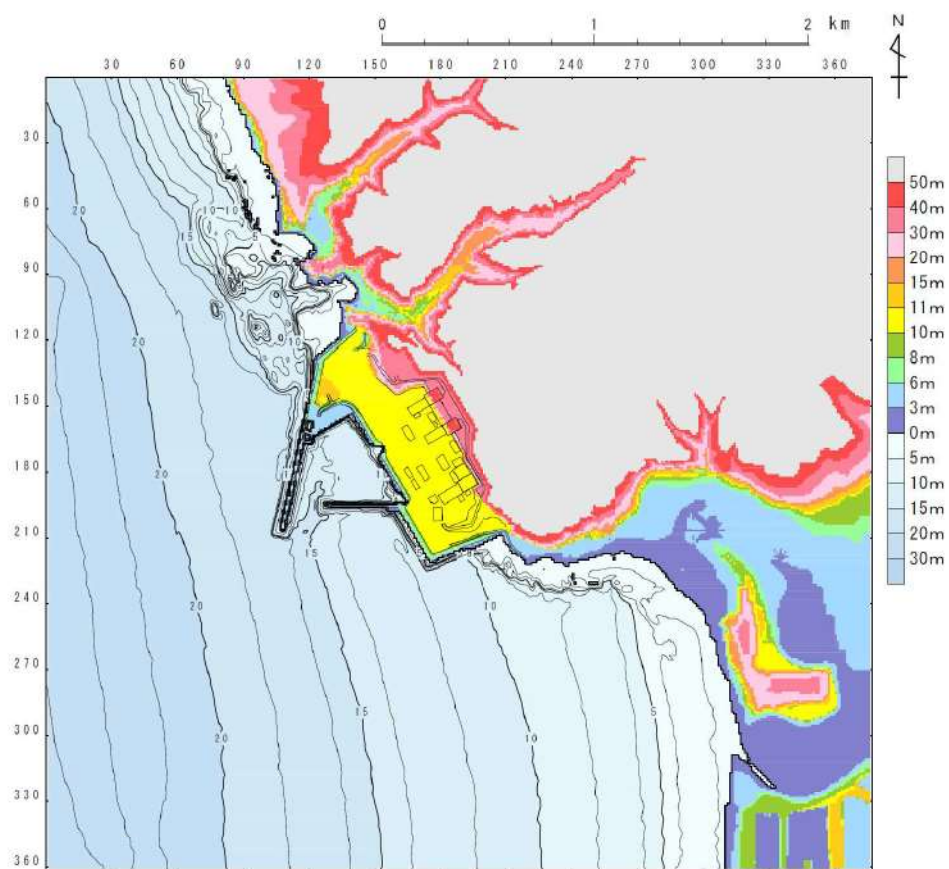
第50図 海域の地盤変状による沈下量を反映した地形モデル



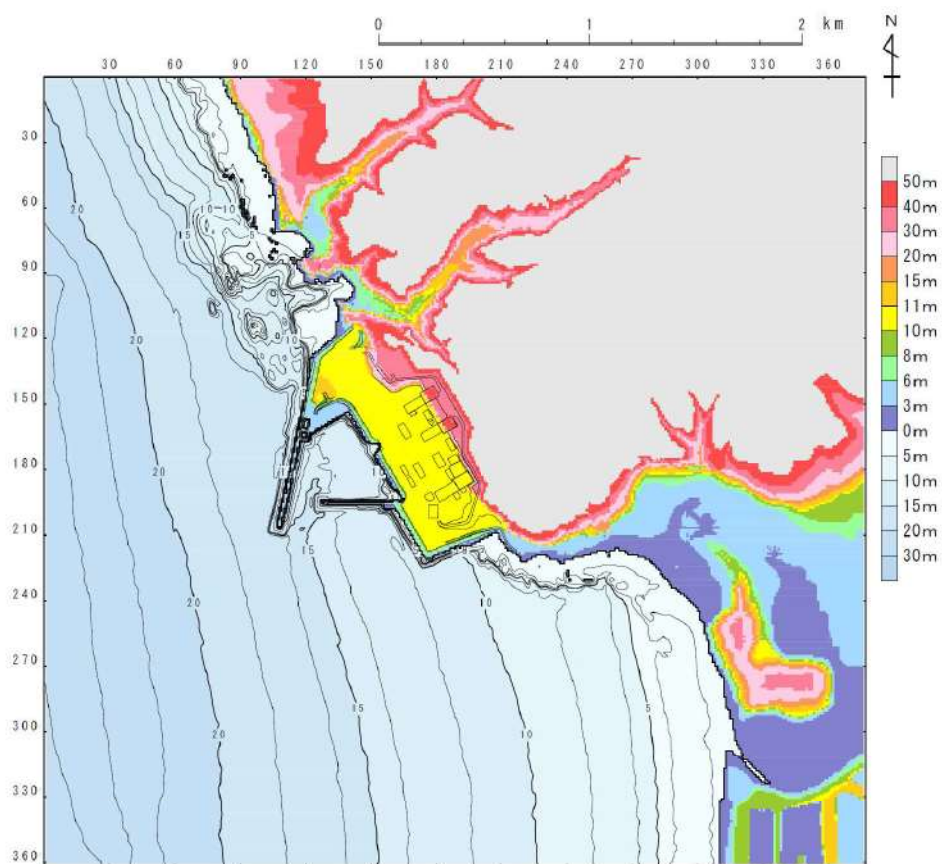
第5 1 図 平面二次元砂移動解析による洗掘深（前面海域平均値）を反映した地形モデル



第5 2 図 平面二次元砂移動解析による堆積厚（前面海域平均値）を反映した地形モデル



第5 3図 将来計画による土捨場形状を反映した地形モデル



第 5 4 図 斜面崩壊を考慮した土捨て場形状を反映した地形モデル

(1) 持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数 (Fr) の算出

【設工認審査ガイドにおける確認事項】

- 通過波の持続波領域における防潮堤等設置位置での最大浸水深（以下「持続波最大浸水深（ $\eta_{\max_2nd}$ ）」という。）を，設計用浸水深として用いていること及び持続波最大浸水深（ $\eta_{\max_2nd}$ ）発生時刻における浸水深及び流速からフルード数 (Fr) を適切に算出していること。上記と異なる設計用浸水深及び流速を用いてフルード数 (Fr) を算出する場合は，算出した数値の保守性を明示していること。

防潮堤等の設置位置における最大浸水深（持続波最大浸水深（ $\eta_{\max_2nd}$ ））を確認し，持続波最大浸水深発生時刻における浸水深（ $\eta_{\max_2nd}$ ）及び流速（ $v_{\eta_max_2nd}$ ）からフルード数 (Fr) を算出する。

また，フルード数 (Fr) の算出に当たっては，第45図に示すフローに従い，地形変化（単独）を考慮する。

$$Fr = \frac{v_{\eta_max_2nd}}{\sqrt{g \cdot \eta_{\max_2nd}}}$$

$\eta_{\max_2nd}$	: 持続波最大浸水深	[m]
$v_{\eta_max_2nd}$	: 持続波最大水深発生時刻における津波の流速	[m/s]
g	: 重力加速度	[m/s ²]

a. 防潮堤

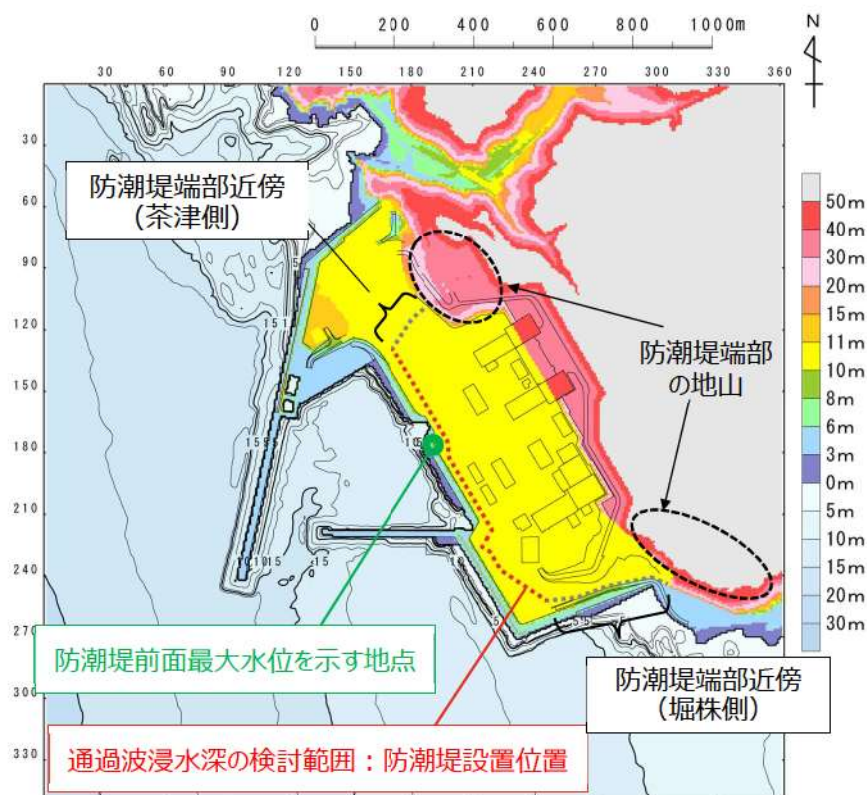
(a) 評価方針

防潮堤設置位置における持続波最大浸水深を確認し、持続波最大浸水深発生時刻における浸水深及び流速からフルード数 (Fr) を算出する。

以下の2点の理由から、評価範囲は地山による反射波の影響を受ける防潮堤端部近傍を除く、海側に面する防潮堤位置を評価範囲として設定する。

- ・防潮堤端部近傍を含めた防潮堤全区間（茶津側端部～堀株側端部）の中で、防潮堤前面最大水位の発生地点は海側に面する位置である。
- ・津波が敷地を遡上するにつれて水位は減衰していくため、仮に地山がない場合（地山標高が敷地標高と同様の状態）を想定すると、地山近傍の通過波浸水深は、海側に面する位置の通過波浸水深を下回る。

検討範囲を第55図に示す。



第55図 浸水深及びフルード数の検討範囲

(b) 評価結果

評価対象 20 ケースにおける防潮堤設置位置の基本ケースの持続波最大浸水深 ($\eta_{\max_2nd}$)、持続波最大浸水深発生時刻における流速 ($v_{\eta_{\max_2nd}}$) 及びフルード数 (Fr) を第 9 表に示す。

地形変化を考慮した場合の持続波最大浸水深 ($\eta_{\max_2nd}$)、持続波最大浸水深発生時刻における流速 ($v_{\eta_{\max_2nd}}$) 及びフルード数 (Fr) を第 10 表～第 17 表に示す。

また、基本ケース及び地形変化を考慮した場合のフルード数 (Fr) を第 18 表に整理する。

第 9 表 基本ケースの持続波最大浸水深発生時刻
におけるフルード数 (Fr)

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	$\eta_{\max_2nd}$ (m)	$v_{\eta_{\max_2nd}}$ (m/s)	フルード数 Fr
防潮堤	基準津波 A	防波堤損傷なし	0.37	1.58	0.83
	基準津波 B	防波堤損傷なし	0.96	3.33	1.08
	基準津波 B	北防波堤損傷	2.45	5.09	1.04
	基準津波 C	防波堤損傷なし	0.32	1.62	0.91
	基準津波 D	防波堤損傷なし	0.02	0.11	0.24
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	1.13	3.46	1.04
	基準津波 D	南防波堤損傷	0.68	2.47	0.96
	基準津波 D	北防波堤損傷	1.27	3.36	0.95
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	2.45	5.41	1.10
	基準津波 E	南防波堤損傷	2.07	4.92	1.09
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	2.38	5.31	1.10
	基準津波 F	北防波堤損傷	2.51	5.15	1.04
	基準津波 G	南防波堤損傷	1.40	3.49	0.94
	基準津波 H	北防波堤損傷	2.27	4.80	1.02
	基準津波 I	防波堤損傷なし	0.14	0.44	0.38
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	1.31	3.50	0.97
	基準津波 K	南防波堤損傷	0.63	2.39	0.96
	基準津波 L	北防波堤損傷	0.18	1.04	0.78
	流速最大ケース 1 ※		0.02	0.09	0.21
	流速最大ケース 2 ※		1.08	3.36	1.03

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

第10表 地形変化（地滑り地形①の崩壊）を考慮した場合の
持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数（Fr）

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	$\eta_{\max_2nd}$ (m)	$V_{\eta_max_2nd}$ (m/s)	フルード数 Fr
防潮堤	基準津波 A	防波堤損傷なし	0.37	1.58	0.83
	基準津波 B	防波堤損傷なし	0.99	3.37	1.09
	基準津波 B	北防波堤損傷	2.44	5.10	1.04
	基準津波 C	防波堤損傷なし	0.30	1.54	0.90
	基準津波 D	防波堤損傷なし	0.02	0.11	0.23
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	1.16	3.53	1.04
	基準津波 D	南防波堤損傷	0.70	2.51	0.96
	基準津波 D	北防波堤損傷	1.26	3.35	0.95
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	2.46	5.16	1.05
	基準津波 E	南防波堤損傷	2.05	4.88	1.09
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	2.37	5.29	1.10
	基準津波 F	北防波堤損傷	2.51	5.12	1.03
	基準津波 G	南防波堤損傷	1.39	3.49	0.94
	基準津波 H	北防波堤損傷	2.27	4.80	1.02
	基準津波 I	防波堤損傷なし	0.14	0.44	0.38
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	1.31	3.49	0.98
	基準津波 K	南防波堤損傷	0.62	2.38	0.96
	基準津波 L	北防波堤損傷	0.19	1.08	0.79
	流速最大ケース 1 ※		0.01	0.05	0.14
	流速最大ケース 2 ※		1.11	3.43	1.04

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

第 11 表 地形変化（地滑り地形③の崩壊）を考慮した場合の
持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数（Fr）

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	$\eta_{\max_2nd}$ (m)	$V_{\eta_max_2nd}$ (m/s)	フルード数 Fr
防潮堤	基準津波 A	防波堤損傷なし	0.37	1.58	0.83
	基準津波 B	防波堤損傷なし	0.96	3.33	1.08
	基準津波 B	北防波堤損傷	2.45	5.09	1.04
	基準津波 C	防波堤損傷なし	0.32	1.63	0.92
	基準津波 D	防波堤損傷なし	0.02	0.11	0.24
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	1.13	3.46	1.04
	基準津波 D	南防波堤損傷	0.68	2.47	0.96
	基準津波 D	北防波堤損傷	1.27	3.36	0.95
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	2.45	5.41	1.10
	基準津波 E	南防波堤損傷	2.07	4.92	1.09
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	2.38	5.31	1.10
	基準津波 F	北防波堤損傷	2.51	5.15	1.04
	基準津波 G	南防波堤損傷	1.40	3.49	0.94
	基準津波 H	北防波堤損傷	2.27	4.80	1.02
	基準津波 I	防波堤損傷なし	0.14	0.44	0.38
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	1.31	3.50	0.97
	基準津波 K	南防波堤損傷	0.63	2.40	0.96
	基準津波 L	北防波堤損傷	0.18	1.04	0.78
	流速最大ケース 1 ※		0.02	0.09	0.21
	流速最大ケース 2 ※		1.08	3.36	1.03

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

第 12 表 地形変化（敷地地盤（陸域）5.0m 沈下）を考慮した場合の
持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数（Fr）

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	$\eta_{\max_2nd}$ (m)	$V_{\eta_max_2nd}$ (m/s)	フルード数 Fr
防潮堤	基準津波 A	防波堤損傷なし	3.37	2.52	0.44
	基準津波 B	防波堤損傷なし	4.09	7.46	1.18
	基準津波 B	北防波堤損傷	3.99	5.16	0.82
	基準津波 C	防波堤損傷なし	4.07	3.52	0.56
	基準津波 D	防波堤損傷なし	3.37	5.03	0.87
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	3.56	6.26	1.06
	基準津波 D	南防波堤損傷	3.55	6.31	1.07
	基準津波 D	北防波堤損傷	3.43	5.02	0.87
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	3.96	6.99	1.12
	基準津波 E	南防波堤損傷	3.93	6.96	1.12
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	4.00	4.82	0.77
	基準津波 F	北防波堤損傷	4.09	7.26	1.15
	基準津波 G	南防波堤損傷	3.80	5.47	0.90
	基準津波 H	北防波堤損傷	3.81	6.96	1.14
	基準津波 I	防波堤損傷なし	3.94	2.90	0.47
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	5.02	1.56	0.22
	基準津波 K	南防波堤損傷	3.52	6.41	1.09
	基準津波 L	北防波堤損傷	2.95	4.74	0.88
	流速最大ケース 1 ※		3.25	4.90	0.87
	流速最大ケース 2 ※		3.62	6.25	1.05

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

第13表 地形変化（敷地前面海底地盤（海域）2.0m 沈下）を考慮した場合の持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数（Fr）

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	$\eta_{\max_2nd}$ (m)	$v_{\eta_max_2nd}$ (m/s)	フルード数 Fr
防潮堤	基準津波 A	防波堤損傷なし	0.37	1.58	0.83
	基準津波 B	防波堤損傷なし	0.96	3.32	1.08
	基準津波 B	北防波堤損傷	2.37	4.99	1.03
	基準津波 C	防波堤損傷なし	0.26	1.33	0.84
	基準津波 D	防波堤損傷なし	0.04	0.19	0.32
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	1.01	3.01	0.96
	基準津波 D	南防波堤損傷	0.49	2.26	1.03
	基準津波 D	北防波堤損傷	1.25	3.35	0.96
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	2.35	5.45	1.14
	基準津波 E	南防波堤損傷	1.99	4.97	1.13
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	2.30	5.39	1.13
	基準津波 F	北防波堤損傷	2.47	5.46	1.11
	基準津波 G	南防波堤損傷	1.25	3.24	0.92
	基準津波 H	北防波堤損傷	2.28	4.78	1.01
	基準津波 I	防波堤損傷なし	0.14	0.44	0.38
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	1.26	3.63	1.03
	基準津波 K	南防波堤損傷	0.46	2.13	1.01
	基準津波 L	北防波堤損傷	0.16	0.93	0.74
	流速最大ケース 1 ※		0.02	0.11	0.23
	流速最大ケース 2 ※		0.97	2.90	0.94

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

第14表 地形変化（敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘）を考慮した場合の持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数（Fr）

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	$\eta_{\max_2nd}$ (m)	$v_{\eta_max_2nd}$ (m/s)	フルード数 Fr
防潮堤	基準津波 A	防波堤損傷なし	0.35	1.47	0.80
	基準津波 B	防波堤損傷なし	0.91	3.21	1.07
	基準津波 B	北防波堤損傷	2.40	5.03	1.04
	基準津波 C	防波堤損傷なし	0.29	1.50	0.89
	基準津波 D	防波堤損傷なし	0.02	0.08	0.21
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	1.06	3.32	1.03
	基準津波 D	南防波堤損傷	0.54	2.28	0.99
	基準津波 D	北防波堤損傷	1.22	3.30	0.95
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	2.42	5.36	1.10
	基準津波 E	南防波堤損傷	2.01	5.04	1.13
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	2.37	5.29	1.10
	基準津波 F	北防波堤損傷	2.50	5.10	1.03
	基準津波 G	南防波堤損傷	1.32	3.35	0.93
	基準津波 H	北防波堤損傷	2.24	4.73	1.01
	基準津波 I	防波堤損傷なし	0.16	0.50	0.40
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	1.24	3.37	0.97
	基準津波 K	南防波堤損傷	0.46	2.20	1.03
	基準津波 L	北防波堤損傷	0.16	0.88	0.72
	流速最大ケース 1 ※1		— ※2	— ※2	— ※2
	流速最大ケース 2 ※1		0.99	3.17	1.02

※1：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

※2：防潮堤設置位置の敷地高さ（T.P. 10.0m）まで通過波が遡上しない。

第15表 地形変化（敷地前面海底地盤（海域）0.5m堆積）を考慮した場合の持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数（Fr）

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	$\eta_{\max_2nd}$ (m)	$v_{\eta_max_2nd}$ (m/s)	フルード数 Fr
防潮堤	基準津波A	防波堤損傷なし	0.40	1.92	0.97
	基準津波B	防波堤損傷なし	1.01	3.43	1.09
	基準津波B	北防波堤損傷	2.51	5.16	1.04
	基準津波C	防波堤損傷なし	0.34	1.73	0.94
	基準津波D	防波堤損傷なし	0.02	0.11	0.24
	基準津波D	北及び南防波堤損傷	1.23	3.66	1.05
	基準津波D	南防波堤損傷	0.80	2.73	0.98
	基準津波D	北防波堤損傷	1.31	3.42	0.95
	基準津波E	北及び南防波堤損傷	2.48	5.18	1.05
	基準津波E	南防波堤損傷	2.11	4.93	1.08
	基準津波F	北及び南防波堤損傷	2.37	5.04	1.05
	基準津波F	北防波堤損傷	2.53	5.16	1.04
	基準津波G	南防波堤損傷	1.46	3.59	0.95
	基準津波H	北防波堤損傷	2.32	4.84	1.02
	基準津波I	防波堤損傷なし	0.11	0.32	0.30
	基準津波J	北及び南防波堤損傷	1.39	3.63	0.98
	基準津波K	南防波堤損傷	0.80	2.73	0.97
	基準津波L	北防波堤損傷	0.21	1.19	0.83
	流速最大ケース1※		0.03	0.14	0.27
	流速最大ケース2※		1.19	3.60	1.05

※：基準津波12波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した18ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料3－参考資料3参照）。

第16表 地形変化（土捨場（将来計画の反映））を考慮した場合の
持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数（Fr）

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	$\eta_{\max_2nd}$ (m)	$v_{\eta_max_2nd}$ (m/s)	フルード数 Fr
防潮堤	基準津波 A	防波堤損傷なし	0.37	1.57	0.83
	基準津波 B	防波堤損傷なし	0.96	3.33	1.08
	基準津波 B	北防波堤損傷	2.45	5.09	1.04
	基準津波 C	防波堤損傷なし	0.32	1.61	0.91
	基準津波 D	防波堤損傷なし	0.02	0.11	0.24
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	1.13	3.46	1.04
	基準津波 D	南防波堤損傷	0.68	2.47	0.96
	基準津波 D	北防波堤損傷	1.27	3.36	0.95
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	2.45	5.41	1.10
	基準津波 E	南防波堤損傷	2.07	4.92	1.09
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	2.38	5.31	1.10
	基準津波 F	北防波堤損傷	2.51	5.15	1.04
	基準津波 G	南防波堤損傷	1.40	3.50	0.94
	基準津波 H	北防波堤損傷	2.27	4.80	1.02
	基準津波 I	防波堤損傷なし	0.14	0.44	0.38
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	1.31	3.50	0.97
	基準津波 K	南防波堤損傷	0.63	2.39	0.96
	基準津波 L	北防波堤損傷	0.18	1.04	0.78
	流速最大ケース 1 ※		0.01	0.03	0.12
	流速最大ケース 2 ※		1.08	3.36	1.03

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

第 17 表 地形変化（土捨場（将来計画反映後の斜面崩壊））を考慮した場合の持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数（Fr）

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	$\eta_{\max_2nd}$ (m)	$v_{\eta_max_2nd}$ (m/s)	フルード数 Fr
防潮堤	基準津波 A	防波堤損傷なし	0.34	1.46	0.80
	基準津波 B	防波堤損傷なし	0.95	3.29	1.08
	基準津波 B	北防波堤損傷	2.46	5.11	1.04
	基準津波 C	防波堤損傷なし	0.31	1.57	0.90
	基準津波 D	防波堤損傷なし	0.02	0.08	0.21
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	1.11	3.44	1.04
	基準津波 D	南防波堤損傷	0.63	2.41	0.97
	基準津波 D	北防波堤損傷	1.27	3.38	0.96
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	2.46	5.40	1.10
	基準津波 E	南防波堤損傷	2.06	4.90	1.09
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	2.40	5.32	1.10
	基準津波 F	北防波堤損傷	2.53	5.14	1.03
	基準津波 G	南防波堤損傷	1.37	3.44	0.94
	基準津波 H	北防波堤損傷	2.28	4.82	1.02
	基準津波 I	防波堤損傷なし	0.14	0.44	0.38
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	1.31	3.50	0.97
	基準津波 K	南防波堤損傷	0.57	2.30	0.97
	基準津波 L	北防波堤損傷	0.17	0.97	0.75
	流速最大ケース 1 ※1		— ※2	— ※2	— ※2
	流速最大ケース 2 ※1		1.07	3.33	1.03

※1：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

※2：防潮堤設置位置の敷地高さ（T.P. 10.0m）まで通過波が遡上しない。

第18表(1) 想定される地形変化を考慮した防潮堤設置位置におけるFr

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	基本ケース	地形変化							
				地滑り 地形① の崩壊	地滑り 地形③ の崩壊	敷地地盤 (陸域) 5.0m 沈下	敷地前面 海底地盤 (海域) 2.0m 沈下	土捨場 (将来計画 の反映)	土捨場 (将来計画 反映後の 斜面崩壊)	敷地前面 海底地盤 (海域) 0.5m 堆積	敷地前面 海底地盤 (海域) 0.5m 洗掘
防潮堤	基準津波 A	防波堤損傷なし	0.83	0.83	0.83	0.44	0.83	0.83	0.80	0.97	0.80
	基準津波 B	防波堤損傷なし	1.08	1.09	1.08	1.18	1.08	1.08	1.08	1.09	1.07
	基準津波 B	北防波堤損傷	1.04	1.04	1.04	0.82	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04
	基準津波 C	防波堤損傷なし	0.91	0.90	0.92	0.56	0.84	0.91	0.90	0.94	0.89
	基準津波 D	防波堤損傷なし	0.24	0.23	0.24	0.87	0.32	0.24	0.21	0.24	0.21
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	1.04	1.04	1.04	1.06	0.96	1.04	1.04	1.05	1.03
	基準津波 D	南防波堤損傷	0.96	0.96	0.96	1.07	1.03	0.96	0.97	0.98	0.99
	基準津波 D	北防波堤損傷	0.95	0.95	0.95	0.87	0.96	0.95	0.96	0.95	0.95
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	1.10	1.05	1.10	1.12	1.14	1.10	1.10	1.05	1.10
	基準津波 E	南防波堤損傷	1.09	1.09	1.09	1.12	1.13	1.09	1.09	1.08	1.13
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	1.10	1.10	1.10	0.77	1.13	1.10	1.10	1.05	1.10
	基準津波 F	北防波堤損傷	1.04	1.03	1.04	1.15	1.11	1.04	1.03	1.04	1.03
	基準津波 G	南防波堤損傷	0.94	0.94	0.94	0.90	0.92	0.94	0.94	0.95	0.93
	基準津波 H	北防波堤損傷	1.02	1.02	1.02	1.14	1.01	1.02	1.02	1.02	1.01

【凡例】

□ : Fr が 1 を上回るケース

第18表(2) 想定される地形変化を考慮した防潮堤設置位置におけるFr

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	基本 ケース	地形変化							
				地滑り 地形① の崩壊	地滑り 地形③ の崩壊	敷地地盤 (陸域) 5.0m 沈下	敷地前面 海底地盤 (海域) 2.0m 沈下	土捨場 (将来計画 の反映)	土捨場 (将来計画 反映後の 斜面崩壊)	敷地前面 海底地盤 (海域) 0.5m 堆積	敷地前面 海底地盤 (海域) 0.5m 洗掘
防潮堤	基準津波 I	防波堤損傷なし	0.38	0.38	0.38	0.47	0.38	0.38	0.38	0.30	0.40
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	0.97	0.98	0.97	0.22	1.03	0.97	0.97	0.98	0.97
	基準津波 K	南防波堤損傷	0.96	0.96	0.96	1.09	1.01	0.96	0.97	0.97	1.03
	基準津波 L	北防波堤損傷	0.78	0.79	0.78	0.88	0.74	0.78	0.75	0.83	0.72
	流速最大ケース 1 ※ 1		0.21	0.14	0.21	0.87	0.23	0.12	— ※ 2	0.27	— ※ 2
	流速最大ケース 2 ※ 1		1.03	1.04	1.03	1.05	0.94	1.03	1.03	1.05	1.02

【凡例】

■ : Fr が 1 を上回るケース

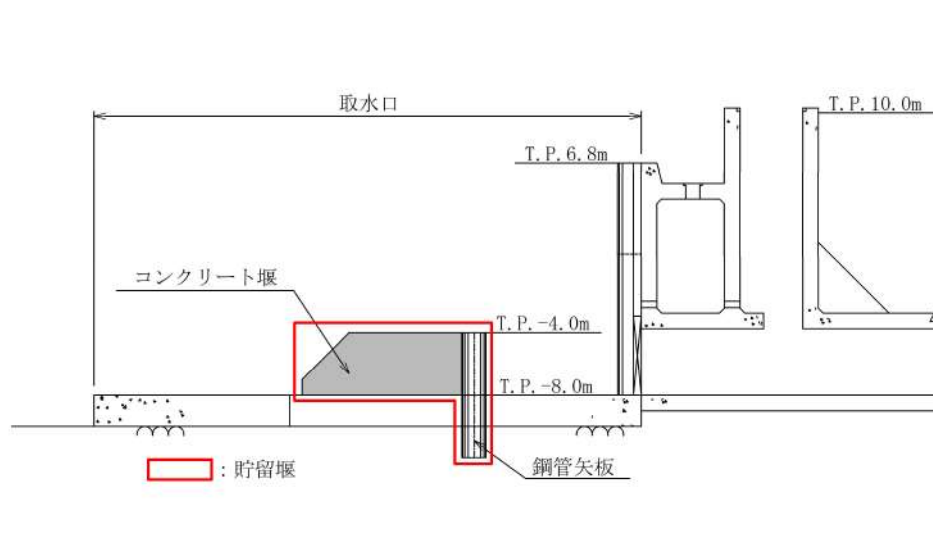
※1 : 基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

※2 : 防潮堤設置位置の敷地高さ（T.P. 10.0m）まで通過波が遡上しない。

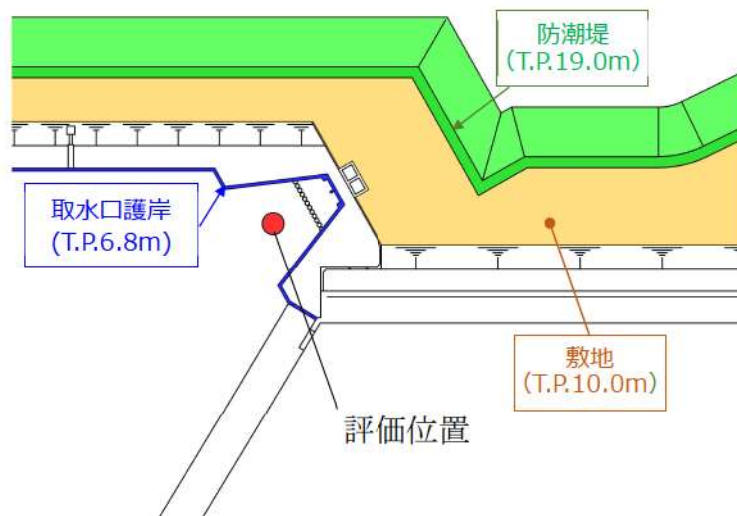
b. 貯留堰

(a) 評価方針

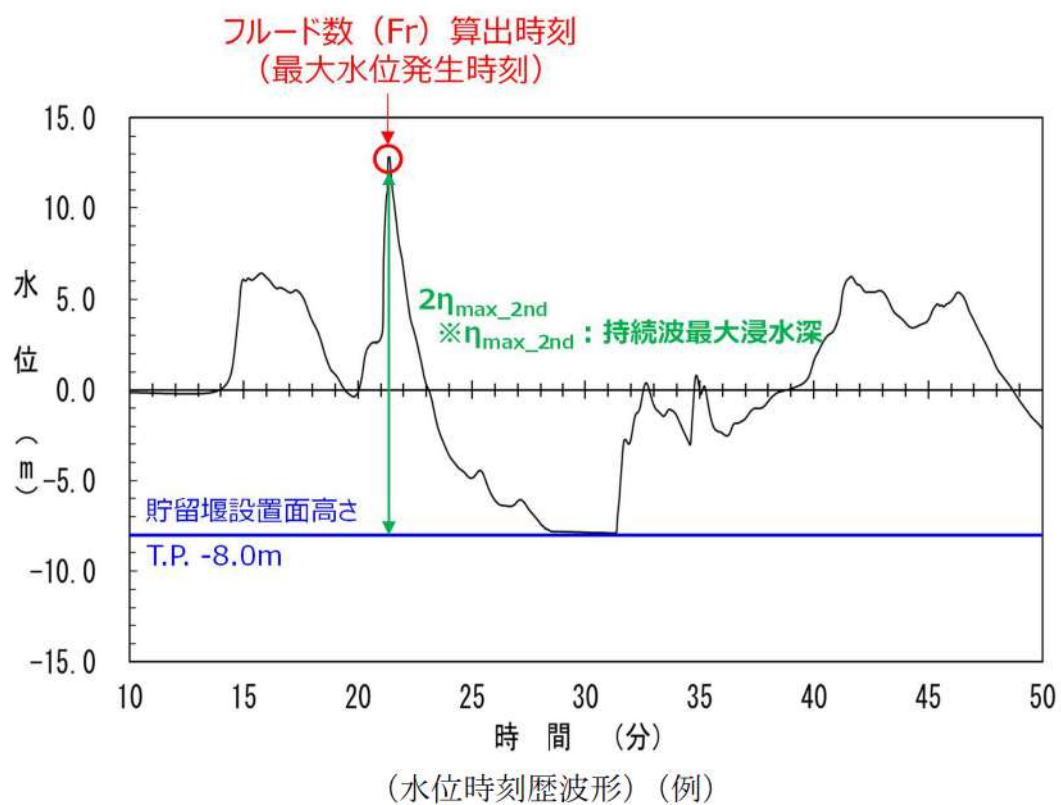
平面二次元津波シミュレーションより得られた3号炉取水口（貯留堰設置位置）の水位は，貯留堰背後の取水口護岸等により，反射波の影響が含まれるため，貯留堰設置位置の持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数（Fr）の算出に当たり，持続波最大浸水深は，最大水位発生時刻における浸水深を1/2する。貯留堰設置位置でのフルード数（Fr）の算出イメージを第58図に示す。



第56図 貯留堰 断面図



第 5 7 図 貯留堰におけるフルード数の評価位置



第 5 8 図 貯留堰設置位置のフルード数 (Fr) の算出イメージ

(b) 評価結果

評価対象 20 ケースにおける貯留堰設置位置の基本ケースの持続波最大浸水深 ($\eta_{\max_2nd}$)、持続波最大浸水深発生時刻における流速 ($v_{\eta_max_2nd}$) 及びフルード数 (Fr) を第 19 表に示す。

地形変化を考慮した場合の持続波最大浸水深 ($\eta_{\max_2nd}$)、持続波最大浸水深発生時刻における流速 ($v_{\eta_max_2nd}$) 及びフルード数 (Fr) を第 20 表～第 27 表に示す。

また、基本ケース及び地形変化を考慮した場合のフルード数 (Fr) を第 28 表に整理する。

第 19 表 基本ケースの持続波最大浸水深発生時刻
におけるフルード数 (Fr)

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	$\eta_{\max_2nd}$ (m)	$v_{\eta_max_2nd}$ (m/s)	フルード数 Fr
貯留堰	基準津波 A	防波堤損傷なし	7.94	0.17	0.02
	基準津波 B	防波堤損傷なし	9.21	0.35	0.04
	基準津波 B	北防波堤損傷	10.41	0.54	0.05
	基準津波 C	防波堤損傷なし	8.69	0.34	0.04
	基準津波 D	防波堤損傷なし	8.75	0.36	0.04
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	9.67	0.72	0.07
	基準津波 D	南防波堤損傷	9.36	0.51	0.05
	基準津波 D	北防波堤損傷	9.78	0.81	0.08
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	10.49	0.90	0.09
	基準津波 E	南防波堤損傷	9.96	0.77	0.08
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	10.54	0.84	0.08
	基準津波 F	北防波堤損傷	10.45	0.58	0.06
	基準津波 G	南防波堤損傷	9.34	0.37	0.04
	基準津波 H	北防波堤損傷	10.29	0.65	0.06
	基準津波 I	防波堤損傷なし	8.43	0.14	0.02
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	9.79	0.78	0.08
	基準津波 K	南防波堤損傷	9.41	0.57	0.06
	基準津波 L	北防波堤損傷	8.68	0.09	0.01
	流速最大ケース 1 ※		8.55	0.27	0.03
	流速最大ケース 2 ※		9.66	0.71	0.07

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

第20表 地形変化（地滑り地形①の崩壊）を考慮した場合の
持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数（Fr）

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	$\eta_{\max_2nd}$ (m)	$v_{\eta_max_2nd}$ (m/s)	フルード数 Fr
貯留堰	基準津波 A	防波堤損傷なし	7.92	0.17	0.02
	基準津波 B	防波堤損傷なし	9.20	0.38	0.04
	基準津波 B	北防波堤損傷	10.41	0.53	0.05
	基準津波 C	防波堤損傷なし	8.69	0.34	0.04
	基準津波 D	防波堤損傷なし	8.75	0.36	0.04
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	9.68	0.75	0.08
	基準津波 D	南防波堤損傷	9.37	0.54	0.06
	基準津波 D	北防波堤損傷	9.78	0.83	0.09
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	10.47	0.91	0.09
	基準津波 E	南防波堤損傷	9.92	0.76	0.08
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	10.52	0.85	0.08
	基準津波 F	北防波堤損傷	10.44	0.58	0.06
	基準津波 G	南防波堤損傷	9.31	0.37	0.04
	基準津波 H	北防波堤損傷	10.29	0.65	0.06
	基準津波 I	防波堤損傷なし	8.42	0.16	0.02
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	9.79	0.78	0.08
	基準津波 K	南防波堤損傷	9.40	0.59	0.06
	基準津波 L	北防波堤損傷	8.69	0.10	0.01
	流速最大ケース 1 ※		8.53	0.27	0.03
	流速最大ケース 2 ※		9.66	0.74	0.08

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

第21表 地形変化（地滑り地形③の崩壊）を考慮した場合の
持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数（Fr）

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	$\eta_{\max_2nd}$ (m)	$v_{\eta_max_2nd}$ (m/s)	フルード数 Fr
貯留堰	基準津波 A	防波堤損傷なし	7.94	0.17	0.02
	基準津波 B	防波堤損傷なし	9.21	0.35	0.04
	基準津波 B	北防波堤損傷	10.41	0.54	0.05
	基準津波 C	防波堤損傷なし	8.69	0.34	0.04
	基準津波 D	防波堤損傷なし	8.75	0.36	0.04
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	9.67	0.72	0.07
	基準津波 D	南防波堤損傷	9.36	0.51	0.05
	基準津波 D	北防波堤損傷	9.78	0.82	0.08
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	10.49	0.90	0.09
	基準津波 E	南防波堤損傷	9.96	0.77	0.08
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	10.54	0.84	0.08
	基準津波 F	北防波堤損傷	10.45	0.58	0.06
	基準津波 G	南防波堤損傷	9.34	0.37	0.04
	基準津波 H	北防波堤損傷	10.29	0.65	0.06
	基準津波 I	防波堤損傷なし	8.43	0.14	0.02
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	9.79	0.78	0.08
	基準津波 K	南防波堤損傷	9.41	0.58	0.06
	基準津波 L	北防波堤損傷	8.68	0.09	0.01
	流速最大ケース 1 ※		8.55	0.27	0.03
	流速最大ケース 2 ※		9.66	0.71	0.07

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

第 2 2 表 地形変化（敷地地盤（陸域）5.0m 沈下）を考慮した場合の
持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数（Fr）

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	$\eta_{\max_2nd}$ (m)	$v_{\eta_max_2nd}$ (m/s)	フルード数 Fr
貯留堰	基準津波 A	防波堤損傷なし	7.89	0.16	0.02
	基準津波 B	防波堤損傷なし	10.54	0.41	0.04
	基準津波 B	北防波堤損傷	10.53	0.52	0.05
	基準津波 C	防波堤損傷なし	8.89	1.35	0.14
	基準津波 D	防波堤損傷なし	9.41	0.74	0.08
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	9.51	0.90	0.09
	基準津波 D	南防波堤損傷	9.47	0.94	0.10
	基準津波 D	北防波堤損傷	9.52	0.88	0.09
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	10.49	0.65	0.06
	基準津波 E	南防波堤損傷	10.40	0.65	0.06
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	10.56	0.55	0.05
	基準津波 F	北防波堤損傷	10.61	0.77	0.08
	基準津波 G	南防波堤損傷	9.80	0.88	0.09
	基準津波 H	北防波堤損傷	10.39	0.66	0.07
	基準津波 I	防波堤損傷なし	8.62	0.45	0.05
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	9.64	1.36	0.14
	基準津波 K	南防波堤損傷	9.40	1.11	0.12
	基準津波 L	北防波堤損傷	8.70	0.72	0.08
	流速最大ケース 1 ※		9.31	0.85	0.09
	流速最大ケース 2 ※		9.50	1.07	0.11

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

第23表 地形変化（敷地前面海底地盤（海域）2.0m 沈下）を考慮した場合の持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数（Fr）

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	$\eta_{\max_2nd}$ (m)	$v_{\eta_max_2nd}$ (m/s)	フルード数 Fr
貯留堰	基準津波 A	防波堤損傷なし	8.00	0.18	0.02
	基準津波 B	防波堤損傷なし	9.29	0.34	0.04
	基準津波 B	北防波堤損傷	10.40	0.57	0.06
	基準津波 C	防波堤損傷なし	8.79	0.37	0.04
	基準津波 D	防波堤損傷なし	8.75	0.33	0.04
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	9.61	0.65	0.07
	基準津波 D	南防波堤損傷	9.27	0.47	0.05
	基準津波 D	北防波堤損傷	9.78	0.83	0.08
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	10.52	1.04	0.10
	基準津波 E	南防波堤損傷	10.03	0.74	0.07
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	10.57	0.82	0.08
	基準津波 F	北防波堤損傷	10.43	0.64	0.06
	基準津波 G	南防波堤損傷	9.42	0.39	0.04
	基準津波 H	北防波堤損傷	10.34	0.70	0.07
	基準津波 I	防波堤損傷なし	8.41	0.30	0.03
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	9.71	0.76	0.08
	基準津波 K	南防波堤損傷	9.30	0.50	0.05
	基準津波 L	北防波堤損傷	8.67	0.09	0.01
	流速最大ケース 1 ※		8.52	0.23	0.03
	流速最大ケース 2 ※		9.59	0.64	0.07

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

第24表 地形変化（敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘）を考慮した場合の持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数（Fr）

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	$\eta_{\max_2nd}$ (m)	$v_{\eta_max_2nd}$ (m/s)	フルード数 Fr
貯留堰	基準津波 A	防波堤損傷なし	7.97	0.18	0.02
	基準津波 B	防波堤損傷なし	9.22	0.29	0.03
	基準津波 B	北防波堤損傷	10.37	0.52	0.05
	基準津波 C	防波堤損傷なし	8.70	0.34	0.04
	基準津波 D	防波堤損傷なし	8.73	0.35	0.04
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	9.60	0.67	0.07
	基準津波 D	南防波堤損傷	9.27	0.48	0.05
	基準津波 D	北防波堤損傷	9.75	0.80	0.08
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	10.43	0.87	0.09
	基準津波 E	南防波堤損傷	9.97	0.74	0.07
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	10.50	0.83	0.08
	基準津波 F	北防波堤損傷	10.43	0.57	0.06
	基準津波 G	南防波堤損傷	9.39	0.39	0.04
	基準津波 H	北防波堤損傷	10.28	0.67	0.07
	基準津波 I	防波堤損傷なし	8.38	0.09	0.01
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	9.74	0.76	0.08
	基準津波 K	南防波堤損傷	9.30	0.50	0.05
	基準津波 L	北防波堤損傷	8.66	0.08	0.01
	流速最大ケース 1 ※		8.52	0.25	0.03
	流速最大ケース 2 ※		9.56	0.63	0.07

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

第25表 地形変化（敷地前面海底地盤（海域）0.5m堆積）を考慮した場合の持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数（Fr）

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	$\eta_{\max_2nd}$ (m)	$v_{\eta_max_2nd}$ (m/s)	フルード数 Fr
貯留堰	基準津波A	防波堤損傷なし	7.91	0.17	0.02
	基準津波B	防波堤損傷なし	9.20	0.44	0.05
	基準津波B	北防波堤損傷	10.47	0.56	0.06
	基準津波C	防波堤損傷なし	8.69	0.36	0.04
	基準津波D	防波堤損傷なし	8.77	0.38	0.04
	基準津波D	北及び南防波堤損傷	9.74	0.80	0.08
	基準津波D	南防波堤損傷	9.45	0.57	0.06
	基準津波D	北防波堤損傷	9.82	0.86	0.09
	基準津波E	北及び南防波堤損傷	10.53	0.93	0.09
	基準津波E	南防波堤損傷	9.94	0.92	0.09
	基準津波F	北及び南防波堤損傷	10.57	0.86	0.08
	基準津波F	北防波堤損傷	10.48	0.60	0.06
	基準津波G	南防波堤損傷	9.30	0.38	0.04
	基準津波H	北防波堤損傷	10.31	0.66	0.07
	基準津波I	防波堤損傷なし	8.45	0.19	0.02
	基準津波J	北及び南防波堤損傷	9.84	0.83	0.08
	基準津波K	南防波堤損傷	9.51	0.67	0.07
	基準津波L	北防波堤損傷	8.72	0.10	0.01
	流速最大ケース1※		8.58	0.29	0.03
	流速最大ケース2※		9.76	0.81	0.08

※：基準津波12波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した18ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料3－参考資料3参照）。

第26表 地形変化（土捨場（将来計画の反映））を考慮した場合の
持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数（Fr）

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	$\eta_{\max_2nd}$ (m)	$v_{\eta_max_2nd}$ (m/s)	フルード数 Fr
貯留堰	基準津波 A	防波堤損傷なし	7.94	0.17	0.02
	基準津波 B	防波堤損傷なし	9.21	0.35	0.04
	基準津波 B	北防波堤損傷	10.41	0.54	0.05
	基準津波 C	防波堤損傷なし	8.69	0.34	0.04
	基準津波 D	防波堤損傷なし	8.75	0.36	0.04
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	9.67	0.72	0.07
	基準津波 D	南防波堤損傷	9.36	0.51	0.05
	基準津波 D	北防波堤損傷	9.78	0.81	0.08
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	10.49	0.90	0.09
	基準津波 E	南防波堤損傷	9.96	0.77	0.08
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	10.54	0.84	0.08
	基準津波 F	北防波堤損傷	10.45	0.58	0.06
	基準津波 G	南防波堤損傷	9.34	0.37	0.04
	基準津波 H	北防波堤損傷	10.29	0.65	0.06
	基準津波 I	防波堤損傷なし	8.43	0.15	0.02
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	9.79	0.78	0.08
	基準津波 K	南防波堤損傷	9.40	0.57	0.06
	基準津波 L	北防波堤損傷	8.68	0.09	0.01
	流速最大ケース 1 ※		8.55	0.27	0.03
	流速最大ケース 2 ※		9.66	0.71	0.07

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

第27表 地形変化（土捨場（将来計画反映後の斜面崩壊））を考慮した場合の持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数（Fr）

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	$\eta_{\max_2nd}$ (m)	$v_{\eta_max_2nd}$ (m/s)	フルード数 Fr
貯留堰	基準津波 A	防波堤損傷なし	7.94	0.17	0.02
	基準津波 B	防波堤損傷なし	9.22	0.33	0.04
	基準津波 B	北防波堤損傷	10.42	0.54	0.05
	基準津波 C	防波堤損傷なし	8.68	0.34	0.04
	基準津波 D	防波堤損傷なし	8.74	0.36	0.04
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	9.64	0.69	0.07
	基準津波 D	南防波堤損傷	9.34	0.49	0.05
	基準津波 D	北防波堤損傷	9.78	0.82	0.08
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	10.49	0.89	0.09
	基準津波 E	南防波堤損傷	9.97	0.76	0.08
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	10.55	0.84	0.08
	基準津波 F	北防波堤損傷	10.46	0.58	0.06
	基準津波 G	南防波堤損傷	9.37	0.37	0.04
	基準津波 H	北防波堤損傷	10.30	0.66	0.07
	基準津波 I	防波堤損傷なし	8.42	0.14	0.01
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	9.79	0.78	0.08
	基準津波 K	南防波堤損傷	9.37	0.55	0.06
	基準津波 L	北防波堤損傷	8.68	0.09	0.01
	流速最大ケース 1 ※		8.53	0.26	0.03
	流速最大ケース 2 ※		9.63	0.68	0.07

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

第28表(1) 想定される地形変化を考慮した貯留堰設置位置におけるFr

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	基本ケース	地形変化							
				地滑り 地形① の崩壊	地滑り 地形③ の崩壊	敷地地盤 (陸域) 5.0m 沈下	敷地前面 海底地盤 (海域) 2.0m 沈下	土捨場 (将来計画 の反映)	土捨場 (将来計画 反映後の 斜面崩壊)	敷地前面 海底地盤 (海域) 0.5m 堆積	敷地前面 海底地盤 (海域) 0.5m 洗掘
貯留堰	基準津波 A	防波堤損傷なし	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	基準津波 B	防波堤損傷なし	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03
	基準津波 B	北防波堤損傷	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05
	基準津波 C	防波堤損傷なし	0.04	0.04	0.04	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	基準津波 D	防波堤損傷なし	0.04	0.04	0.04	0.08	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	0.07	0.08	0.07	0.09	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07
	基準津波 D	南防波堤損傷	0.05	0.06	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05
	基準津波 D	北防波堤損傷	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	0.09	0.09	0.09	0.06	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09
	基準津波 E	南防波堤損傷	0.08	0.08	0.08	0.06	0.07	0.08	0.08	0.09	0.07
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	0.08	0.08	0.08	0.05	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	基準津波 F	北防波堤損傷	0.06	0.06	0.06	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
	基準津波 G	南防波堤損傷	0.04	0.04	0.04	0.09	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	基準津波 H	北防波堤損傷	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07

【凡例】

 : Fr が 1 を上回るケース

第28表(2) 想定される地形変化を考慮した貯留堰設置位置におけるFr

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	基本 ケース	地形変化							
				地滑り 地形① の崩壊	地滑り 地形③ の崩壊	敷地地盤 (陸域) 5.0m 沈下	敷地前面 海底地盤 (海域) 2.0m 沈下	土捨場 (将来計画 の反映)	土捨場 (将来計画 反映後の 斜面崩壊)	敷地前面 海底地盤 (海域) 0.5m 堆積	敷地前面 海底地盤 (海域) 0.5m 洗掘
貯留堰	基準津波 I	防波堤損傷なし	0.02	0.02	0.02	0.05	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	0.08	0.08	0.08	0.14	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	基準津波 K	南防波堤損傷	0.06	0.06	0.06	0.12	0.05	0.06	0.06	0.07	0.05
	基準津波 L	北防波堤損傷	0.01	0.01	0.01	0.08	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	流速最大ケース 1 ※ 1		0.03	0.03	0.03	0.09	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
	流速最大ケース 2 ※ 1		0.07	0.08	0.07	0.11	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07

【凡例】

 : Fr が 1 を上回るケース

※1：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

(2) 通過波の最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数 (Fr_E) 及び水深係数 (α_E) の算出

【設工認審査ガイドにおける確認事項】

- 持続波最大浸水深 ($\eta_{\max_2nd}$) 発生時刻に基づくフルード数 (Fr) が 1 を超える場合、持続波圧の評価に当たり防潮堤等位置での通過波の最大比エネルギー発生時刻における浸水深 (η_{E_max}) を設計用浸水深として用いていること。最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数 (Fr_E) を適切に算出していること。

【設工認審査ガイドにおける確認事項】

- 式 (7)、式 (8) より、フルード数 (Fr_E) から最大比エネルギー発生時刻における水深係数 (α_E) を算出していること。水深係数を式 (7)、式 (8) によらずに算出している場合は、水理試験及び解析あるいはそれらのいずれかにより適用性に係る評価が示されていること。

$$\alpha_E = 3.0 \quad (Fr_E \leq 1.24) \quad (7)$$

$$\alpha_E = (0.70 \cdot Fr_E^2 + 1) + 0.93 \quad (Fr_E > 1.24) \quad (8)$$

α_E : 最大比エネルギー発生時刻に基づく水深係数

Fr_E : 最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数

防潮堤及び貯留堰設置位置での持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数 (Fr) のうち、フルード数 (Fr) が 1 を超えるケースを対象に、通過波の最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数 (Fr_E) 及び最大比エネルギー発生時刻における水深係数を (α_E) を算出する。

最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数 (Fr_E) の検討に当たっては、第 4 5 図に示すフローに従い、地形変化 (単独及び組合せ) を考慮する。

最大比エネルギーは比エネルギー (単位体積重量の水の持つ全エネルギー (全水頭)) の最大値とし、比エネルギーの時刻歴は以下の式から算出する。

$$E(t) = \frac{v(t)^2}{2g} + \eta(t)$$

$E(t)$	: 防潮堤等がない場合の陸側における津波の比エネルギーの時刻歴	[m]
$\eta(t)$	: 防潮堤等がない場合の陸側における津波の浸水深の時刻歴	[m]
$v(t)$	: 防潮堤等がない場合の陸側における津波の流速の時刻歴	[m/s]
g	: 重力加速度	[m/s ²]

最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数 (Fr_E) は、以下の式から算出する。

$$Fr_E = \frac{v_{E_max}}{\sqrt{g \cdot \eta_{E_max}}}$$

η_{E_max}	: 最大比エネルギー発生時刻における津波の浸水深	[m]
v_{E_max}	: 最大比エネルギー発生時刻における津波の流速	[m/s]
g	: 重力加速度	[m/s ²]

a. 防潮堤

(a) 評価方針

第18表に整理した防潮堤設置位置での持続波最大浸水深発生時刻におけるフルード数 (Fr) が1を超えるケースを対象に、持続波最大浸水深が確認された位置での最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数 (Fr_E) 及び最大比エネルギー発生時刻における水深係数 (α_E) を算出する。

(b) 評価結果

イ. 最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数 (Fr_E)

第29表～第37表より、単独地形変化において、防潮堤設置位置での最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数 (Fr_E) の最大値は、「基準津波D (南防波堤損傷, 敷地地盤(陸域)5.0m沈下) のケースにおいて1.54となった。

したがって、第45図のフローに従い、「基準津波D (南防波堤損傷, 敷地地盤(陸域)5.0m沈下)」を地形変化①とし、地形変化の組合せの検討を行う。

第38表より、防潮堤設置位置での最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数 (Fr_E) は、「基本ケース」に対し、「敷地地盤(陸域)5.0m沈下」及び「敷地前面海底地盤(海域)2.0m沈下」の地形変化を考慮した場合に増加が認められたことから、これらの地形変化の組合せを考慮する。

地形変化の組合せを考慮した最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数 (Fr_E) の比較結果を第39表に示す。

比較の結果、「敷地地盤(陸域)5.0m沈下」の地形変化で最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数 (Fr_E) が最も大きくなった。

第 29 表 基本ケースにおける防潮堤設置位置の Fr_E

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	Fr	η_{E_max} (m)	V_{E_max} (m/s)	Fr_E
防潮堤	基準津波 B	防波堤損傷なし	1.08	0.91	3.64	1.22
	基準津波 B	北防波堤損傷	1.04	2.40	5.34	1.10
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	1.04	1.05	3.94	1.23
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	1.10	2.41	5.57	1.15
	基準津波 E	南防波堤損傷	1.09	1.98	5.25	1.19
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	1.10	2.34	5.47	1.14
	基準津波 F	北防波堤損傷	1.04	2.45	5.37	1.10
	基準津波 H	北防波堤損傷	1.02	2.23	5.03	1.08
	流速最大ケース 2※		1.03	1.00	3.86	1.23

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

第 30 表 地形変化（地滑り地形①の崩壊）を考慮した場合の
防潮堤設置位置の Fr_E

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	Fr	η_{E_max} (m)	V_{E_max} (m/s)	Fr_E
防潮堤	基準津波 B	防波堤損傷なし	1.09	0.93	3.71	1.23
	基準津波 B	北防波堤損傷	1.04	2.39	5.32	1.10
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	1.04	1.07	4.01	1.24 [1.236]※2
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	1.05	2.41	5.35	1.10
	基準津波 E	南防波堤損傷	1.09	1.96	5.22	1.19
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	1.10	2.33	5.45	1.14
	基準津波 F	北防波堤損傷	1.03	2.45	5.35	1.09
	基準津波 H	北防波堤損傷	1.02	2.23	5.00	1.07
	流速最大ケース 2※1		1.04	1.02	3.91	1.23

※1：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

※2： Fr_E が 1.24 を超えるか確認するため、小数点第 3 位まで記載している。

第 3 1 表 地形変化（地滑り地形③の崩壊）を考慮した場合の
防潮堤設置位置の Fr_E

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	Fr	η_{E_max} (m)	V_{E_max} (m/s)	Fr_E
防潮堤	基準津波 B	防波堤損傷なし	1.08	0.91	3.64	1.22
	基準津波 B	北防波堤損傷	1.04	2.40	5.34	1.10
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	1.04	1.05	3.94	1.23
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	1.10	2.41	5.57	1.15
	基準津波 E	南防波堤損傷	1.09	1.98	5.25	1.19
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	1.10	2.34	5.47	1.14
	基準津波 F	北防波堤損傷	1.04	2.45	5.37	1.10
	基準津波 H	北防波堤損傷	1.02	2.23	5.03	1.08
	流速最大ケース 2 [※]		1.03	1.00	3.87	1.23

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

第 3 2 表 地形変化（敷地地盤（陸域）5.0m 沈下）を考慮した場合の
防潮堤設置位置の Fr_E

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	Fr	η_{E_max} (m)	V_{E_max} (m/s)	Fr_E
防潮堤	基準津波 B	防波堤損傷なし	1.18	3.88	8.17	1.32
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	1.06	3.46	6.70	1.15
	基準津波 D	南防波堤損傷	1.07	2.89	8.21	1.54
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	1.12	3.32	8.01	1.40
	基準津波 E	南防波堤損傷	1.12	3.45	8.34	1.43
	基準津波 F	北防波堤損傷	1.15	3.65	8.39	1.40
	基準津波 H	北防波堤損傷	1.14	3.32	8.03	1.41
	基準津波 K	南防波堤損傷	1.09	3.36	6.95	1.21
	流速最大ケース 2 [※]		1.05	3.56	6.49	1.10

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

第 3 3 表 地形変化（敷地前面海底地盤（海域）2.0m 沈下）を考慮した場合の
防潮堤設置位置の Fr_E

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	Fr	η_{E_max} (m)	V_{E_max} (m/s)	Fr_E
防潮堤	基準津波 B	防波堤損傷なし	1.08	0.91	3.65	1.22
	基準津波 B	北防波堤損傷	1.03	2.30	5.25	1.11
	基準津波 D	南防波堤損傷	1.03	0.46	2.56	1.21
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	1.14	2.31	5.59	1.18
	基準津波 E	南防波堤損傷	1.13	1.89	5.35	1.24 [1.241] ^{※1}
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	1.13	2.26	5.53	1.17
	基準津波 F	北防波堤損傷	1.11	2.43	5.62	1.15
	基準津波 H	北防波堤損傷	1.01	2.23	5.01	1.07
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	1.03	1.21	3.90	1.13
	基準津波 K	南防波堤損傷	1.01	0.44	2.34	1.13

※ 1 : Fr_E が 1.24 を超えるか確認するため、小数点第 3 位まで記載している。

第 3 4 表 地形変化（敷地前面海底地盤（海域）0.5m 洗掘）を考慮した場合の
防潮堤設置位置の Fr_E

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	Fr	η_{E_max} (m)	V_{E_max} (m/s)	Fr_E
防潮堤	基準津波 B	防波堤損傷なし	1.07	0.86	3.54	1.22
	基準津波 B	北防波堤損傷	1.04	2.33	5.28	1.10
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	1.03	0.97	3.82	1.24 [1.237] ^{※2}
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	1.10	2.37	5.55	1.15
	基準津波 E	南防波堤損傷	1.13	1.92	5.36	1.24 [1.236] ^{※2}
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	1.10	2.32	5.47	1.15
	基準津波 F	北防波堤損傷	1.03	2.43	5.36	1.10
	基準津波 H	北防波堤損傷	1.01	2.19	4.96	1.07
	基準津波 K	南防波堤損傷	1.03	0.44	2.42	1.16
	流速最大ケース 2 ^{※1}		1.02	0.90	3.70	1.25

※ 1 : 基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

※ 2 : Fr_E が 1.24 を超えるか確認するため、小数点第 3 位まで記載している。

第35表 地形変化（敷地前面海底地盤（海域）0.5m堆積）を考慮した場合の
防潮堤設置位置の Fr_E

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	Fr	η_{E_max} (m)	V_{E_max} (m/s)	Fr_E
防潮堤	基準津波B	防波堤損傷なし	1.09	0.95	3.76	1.23
	基準津波B	北防波堤損傷	1.04	2.46	5.38	1.09
	基準津波D	北及び南防波堤損傷	1.05	1.13	4.15	1.25
	基準津波E	北及び南防波堤損傷	1.05	2.44	5.35	1.09
	基準津波E	南防波堤損傷	1.08	2.03	5.25	1.18
	基準津波F	北及び南防波堤損傷	1.05	2.34	5.20	1.09
	基準津波F	北防波堤損傷	1.04	2.47	5.39	1.10
	基準津波H	北防波堤損傷	1.02	2.27	5.07	1.07
	流速最大ケース2※1		1.05	1.11	4.10	1.24 [1.244]※2

※1：基準津波12波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した18ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料3－参考資料3参照）。

※2： Fr_E が1.24を超えるか確認するため、小数点第3位まで記載している。

第36表 地形変化（土捨場（将来計画の反映））を考慮した場合の
防潮堤設置位置の Fr_E

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	Fr	η_{E_max} (m)	V_{E_max} (m/s)	Fr_E
防潮堤	基準津波B	防波堤損傷なし	1.08	0.91	3.64	1.22
	基準津波B	北防波堤損傷	1.04	2.40	5.34	1.10
	基準津波D	北及び南防波堤損傷	1.04	1.05	3.94	1.23
	基準津波E	北及び南防波堤損傷	1.10	2.41	5.57	1.15
	基準津波E	南防波堤損傷	1.09	1.98	5.25	1.19
	基準津波F	北及び南防波堤損傷	1.10	2.34	5.47	1.14
	基準津波F	北防波堤損傷	1.04	2.45	5.37	1.10
	基準津波H	北防波堤損傷	1.02	2.23	5.03	1.08
	流速最大ケース2※		1.03	1.00	3.86	1.23

※：基準津波12波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した18ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料3－参考資料3参照）。

第 3 7 表 地形変化（土捨て場（将来計画反映後の斜面崩壊））を考慮した場合
の防潮堤設置位置の Fr_E

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	Fr	η_{E_max} (m)	V_{E_max} (m/s)	Fr_E
防潮堤	基準津波 B	防波堤損傷なし	1.08	0.90	3.62	1.22
	基準津波 B	北防波堤損傷	1.04	2.40	5.35	1.10
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	1.04	1.03	3.92	1.23
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	1.10	2.41	5.59	1.15
	基準津波 E	南防波堤損傷	1.09	1.98	5.24	1.19
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	1.10	2.35	5.49	1.14
	基準津波 F	北防波堤損傷	1.03	2.48	5.37	1.09
	基準津波 H	北防波堤損傷	1.02	2.24	5.05	1.08
	流速最大ケース 2 [※]		1.03	0.99	3.83	1.23

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

第38表(1) 想定される地形変化を踏まえた定量的評価結果 (防潮堤設置位置におけるFr_E)

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	基本 ケース Fr _E	地形変化 上段:Fr, 下段:Fr _E (括弧内の数値は基本ケースとの差分)							
				地滑り 地形① の崩壊	地滑り 地形③ の崩壊	敷地地盤 (陸域) 5.0m 沈下	敷地前面 海底地盤 (海域) 2.0m 沈下	土捨て場 (将来計画 の反映)	土捨て場 (将来計画 反映後の 斜面崩壊)	敷地前面 海底地盤 (海域) 0.5m 堆積	敷地前面 海底地盤 (海域) 0.5m 洗掘
防潮堤	基準津波 A	防波堤損傷なし	1.02	0.83 [*]	0.83 [*]	0.44 [*]	0.83 [*]	0.83 [*]	0.80 [*]	0.97 [*]	0.80 [*]
				—	—	—	—	—	—	—	—
				1.09	1.08	1.18	1.08	1.08	1.08	1.09	1.07
	基準津波 B	防波堤損傷なし	1.22	1.23 (0.01)	1.22 (0.00)	1.32 (0.10)	1.22 (0.00)	1.22 (0.00)	1.22 (0.00)	1.23 (0.01)	1.22 (0.00)
				1.04	1.04	0.82 [*]	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04
				1.10 (0.00)	1.10 (0.00)	—	1.11 (0.01)	1.10 (0.00)	1.10 (0.00)	1.09 (-0.01)	1.10 (0.00)
	基準津波 C	防波堤損傷なし	1.04	0.90 [*]	0.92 [*]	0.56 [*]	0.84 [*]	0.91 [*]	0.90 [*]	0.94 [*]	0.89 [*]
				—	—	—	—	—	—	—	—
				0.23 [*]	0.24 [*]	0.87 [*]	0.32 [*]	0.24 [*]	0.21 [*]	0.24 [*]	0.21 [*]
	基準津波 D	防波堤損傷なし	0.24	—	—	—	—	—	—	—	—
				1.04	1.04	1.06	0.96 [*]	1.04	1.04	1.05	1.03
				1.24 [1.236] (0.01)	1.23 (0.00)	1.15 (-0.08)	—	1.23 (0.00)	1.23 (0.00)	1.25 (0.02)	1.24 [1.237] (0.01)
	基準津波 D	南防波堤損傷	1.19	0.96 [*]	0.96 [*]	1.07	1.03	0.96 [*]	0.97 [*]	0.98 [*]	0.99 [*]
				—	—	1.54 (0.35)	1.21 (0.02)	—	—	—	—
				0.95 [*]	0.95 [*]	0.87 [*]	0.96 [*]	0.95 [*]	0.96 [*]	0.95 [*]	0.95 [*]
				—	—	—	—	—	—	—	—

※Fr が 1 以下となる地形変化については、Fr_E の算出対象外となるため、組合せ地形の抽出候補より除外する。

第38表(2) 想定される地形変化を踏まえた定量的評価結果 (防潮堤設置位置におけるFr_E)

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	基本 ケース Fr _E	地形変化 上段: Fr, 下段: Fr _E (括弧内の数値は基本ケースとの差分)							
				地滑り 地形① の崩壊	地滑り 地形③ の崩壊	敷地地盤 (陸域) 5.0m 沈下	敷地前面 海底地盤 (海域) 2.0m 沈下	土捨て場 (将来計画 の反映)	土捨て場 (将来計画 反映後の 斜面崩壊)	敷地前面 海底地盤 (海域) 0.5m 堆積	敷地前面 海底地盤 (海域) 0.5m 洗掘
防潮堤	基準津波 E	北及び南防波堤損傷	1.15	1.05	1.10	1.12	1.14	1.10	1.10	1.05	1.10
				1.10 (-0.05)	1.15 (0.00)	1.40 (0.25)	1.18 (0.03)	1.15 (0.00)	1.15 (0.00)	1.09 (-0.06)	1.15 (0.00)
				1.09	1.09	1.12	1.13	1.09	1.09	1.08	1.13
	基準津波 E	南防波堤損傷	1.19	1.19 (0.00)	1.19 (0.00)	1.43 (0.24)	1.24 [1.24] (0.05)	1.19 (0.00)	1.19 (0.00)	1.18 (-0.01)	1.24 [1.236] (0.05)
				1.10	1.10	0.77 ^{**}	1.13	1.10	1.10	1.05	1.10
	基準津波 F	北及び南防波堤損傷	1.14	1.14 (0.00)	1.14 (0.00)	—	1.17 (0.03)	1.14 (0.00)	1.14 (0.00)	1.09 (-0.05)	1.15 (0.01)
				1.03	1.04	1.15	1.11	1.04	1.03	1.04	1.03
	基準津波 F	北防波堤損傷	1.10	1.09 (-0.01)	1.10 (0.00)	1.40 (0.30)	1.15 (0.05)	1.10 (0.00)	1.09 (-0.01)	1.10 (0.00)	1.10 (0.00)
				0.94 ^{**}	0.94 ^{**}	0.90 ^{**}	0.92 ^{**}	0.94 ^{**}	0.94 ^{**}	0.95 ^{**}	0.93 ^{**}
	基準津波 G	南防波堤損傷	1.02	—	—	—	—	—	—	—	—
				1.02	1.02	1.14	1.01	1.02	1.02	1.02	1.01
	基準津波 H	北防波堤損傷	1.08	1.07 (-0.01)	1.08 (0.00)	1.41 (0.33)	1.07 (-0.01)	1.08 (0.00)	1.08 (0.00)	1.07 (-0.01)	1.07 (-0.01)
				0.38 ^{**}	0.38 ^{**}	0.47 ^{**}	0.38 ^{**}	0.38 ^{**}	0.38 ^{**}	0.30 ^{**}	0.40 ^{**}
	基準津波 I	防波堤損傷なし	0.43	—	—	—	—	—	—	—	—
				0.98 ^{**}	0.97 ^{**}	0.22 ^{**}	1.03	0.97 ^{**}	0.97 ^{**}	0.98 ^{**}	0.97 ^{**}
	基準津波 J	北及び南防波堤損傷	1.08	—	—	—	1.13 (0.05)	—	—	—	—

※Fr が 1 以下となる地形変化については, Fr_E の算出対象外となるため, 組合せ地形の抽出候補より除外する。

第38表(3) 想定される地形変化を踏まえた定量的評価結果 (防潮堤設置位置における Fr_E)

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	基本 ケース Fr _E	地形変化 上段：Fr，下段：Fr _E （括弧内の数値は基本ケースとの差分）							
				地滑り 地形① の崩壊	地滑り 地形③ の崩壊	敷地地盤 （陸域） 5.0m 沈下	敷地前面 海底地盤 （海域） 2.0m 沈下	土捨て場 （将来計画 の反映）	土捨て場 （将来計画 反映後の 斜面崩壊）	敷地前面 海底地盤 （海域） 0.5m 堆積	敷地前面 海底地盤 （海域） 0.5m 洗掘
防潮堤	基準津波K	南防波堤損傷	1.08	0.96 ^{※1}	0.96 ^{※1}	1.09	1.01	0.96 ^{※1}	0.97 ^{※1}	0.97 ^{※1}	1.03
				—	—	1.21 (0.13)	1.13 (0.05)	—	—	—	1.16 (0.08)
	基準津波L	北防波堤損傷	0.85	0.79 ^{※1}	0.78 ^{※1}	0.88 ^{※1}	0.74 ^{※1}	0.78 ^{※1}	0.75 ^{※1}	0.83 ^{※1}	0.72 ^{※1}
				—	—	—	—	—	—	—	—
	流速最大ケース1 ^{※2}		0.21	0.14 ^{※1}	0.21 ^{※1}	0.87 ^{※1}	0.23 ^{※1}	0.12 ^{※1}	— ^{※1}	0.27 ^{※1}	— ^{※1}
				—	—	—	—	—	—	—	—
流速最大ケース2 ^{※2}		1.23	1.04	1.03	1.05	0.94 ^{※1}	1.03	1.03	1.05	1.02	
			1.23 (0.00)	1.23 (0.00)	1.10 (-0.13)	—	1.23 (0.00)	1.23 (0.00)	1.24 [1.244] (0.01)	1.25 (0.02)	

※1: Fr が1以下となる地形変化については、 Fr_E の算出対象外となるため、組合せ地形の抽出候補より除外する。

※2: 基準津波12波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した18ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加 (添付資料3—参考資料3参照)。

第39表 地形変化の組合せを考慮した防潮堤設置位置における Fr_E の比較

評価項目	波源	防波堤の損傷状態	地形変化の組合せ	
			敷地地盤 (陸域) 5.0m 沈下	敷地前面 海底地盤 (海域) 2.0m 沈下
Fr_E	防潮堤	南防波堤損傷	1.54	1.26

ロ．最大比エネルギー発生時刻における水深係数 (α_E)

防潮堤設置位置の Fr_E が 1.24 以下となるケースについては、水深係数 (α_E) が 3.0 となるため、 Fr_E が 1.24 を超えるケースを対象に、水深係数 (α_E) を算出した結果を第 40 表に示す。

第 40 表 防潮堤設置位置の Fr_E 及び水深係数 (α_E)

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	地形変化	Fr _E	α _E
防潮堤	基準津波 B	防波堤損傷なし	敷地地盤(陸域) 5.0m 沈下	1.32	3.16
	基準津波 D	南防波堤損傷		1.54	3.59
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷		1.40	3.31
	基準津波 E	南防波堤損傷		1.43	3.37
	基準津波 F	北防波堤損傷		1.40	3.31
	基準津波 H	北防波堤損傷		1.41	3.32
	基準津波 E	南防波堤損傷	敷地前面海底地盤(海域) 2.0m 沈下	1.24 [1.241]	3.01
	流速最大ケース 2※		敷地前面海底地盤(海域) 0.5m 洗掘	1.25	3.02
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	敷地前面海底地盤(海域) 0.5m 堆積	1.25	3.02
	流速最大ケース 2※			1.24 [1.244]	3.01
	基準津波 D	南防波堤損傷	敷地地盤(陸域)5.0m 沈下 + 敷地前面海底地盤(海域) 2.0m 沈下	1.26	3.04

※：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。

b. 貯留堰

第28表に整理のとおり，貯留堰設置位置での Fr 数はすべてのケースで1以下となることを確認した。したがって，最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数 (Fr_E) 及び水深係数 (α_E) の算出は実施しないものとする。

(3) $3 \cdot \eta_{\max_2nd}$ と $\alpha_E \cdot \eta_{E_max}$ の比較

【設工認審査ガイドにおける確認事項】

○最大比エネルギー発生時刻における浸水深 (η_{E_max}) の水深係数 (α_E) 倍に相当する静水圧分布で防潮堤等の最下部に作用する圧力 (P_E) を持続波圧として評価していること。その算出方法を式 (9) に示す。

さらに、式(5)で評価した持続波最大浸水深 ($\eta_{\max_2nd}$) の3倍の高さと最大比エネルギー発生時刻における浸水深 (η_{E_max}) の水深係数 (α_E) 倍の高さを比較し、値が大きくなる方を用いて持続波圧を設定していること。

$$P_E = \alpha_E \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_{E_max} \quad (9)$$

P_E : 最大比エネルギー発生時刻における浸水深 (η_{E_max}) の水深係数 (α_E) 倍の高さに相当する静水圧分布で防潮堤等の最下部※に作用する圧力 [Pa]

※前面の据付高さを基準高さ(防潮堤等の最下部の高さ)とする。

η_{E_max} : 最大比エネルギー発生時刻における浸水深 [m]

ρ : 海水(流体)密度 [kg/m³]

g : 重力加速度 [m/s²]

a. 防潮堤

最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数 (Fr_E) が 1.24 以下となるケースについては、 $(3 \cdot \eta_{\max_2nd}) \geq (\alpha_E \cdot \eta_{E_max})$ となることから、最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数 (Fr_E) が 1.24 を超えるケースを対象とし、 $3 \cdot \eta_{\max_2nd}$ 及び $\alpha_E \cdot \eta_{E_max}$ を比較した。

$3 \cdot \eta_{\max_2nd}$ 及び $\alpha_E \cdot \eta_{E_max}$ を比較した結果を第41表に示す。

比較した結果、全てのケースにおいて、 $(3 \cdot \eta_{\max_2nd}) \geq (\alpha_E \cdot \eta_{E_max})$ となったため、持続波最大浸水深を用いて持続波圧を評価する。

第41表 防潮堤設置位置で Fr_E が1.24を上回った検討対象ケース・
地形変化における $3 \cdot \eta_{\max,2nd}$ 及び $\alpha_E \cdot \eta_{E_{\max}}$ の比較

評価対象	波源	防波堤の損傷状態	地形変化	$3 \cdot \eta_{\max,2nd}$	判定	$\alpha_E \cdot \eta_{E,\max}$
防潮堤	基準津波 B	防波堤損傷なし	敷地地盤(陸域) 5.0m 沈下	12.26	$\geq$	12.26
	基準津波 D	南防波堤損傷		10.65		10.39
	基準津波 E	北及び南防波堤損傷		11.87		11.00
	基準津波 E	南防波堤損傷		11.78		11.63
	基準津波 F	北防波堤損傷		12.28		12.07
	基準津波 H	北防波堤損傷		11.44		11.02
	基準津波 E	南防波堤損傷	敷地前面海底地盤(海域) 2.0m 沈下	5.97		5.70
	流速最大ケース 2※		敷地前面海底地盤(海域) 0.5m 洗掘	2.96		2.71
	基準津波 D	北及び南防波堤損傷	敷地前面海底地盤(海域) 0.5m 堆積	3.68		3.42
	流速最大ケース 2※			3.58		3.33
	基準津波 D	南防波堤損傷	敷地地盤(陸域)5.0m 沈下 + 敷地前面海底地盤(海域) 2.0m 沈下	10.40		

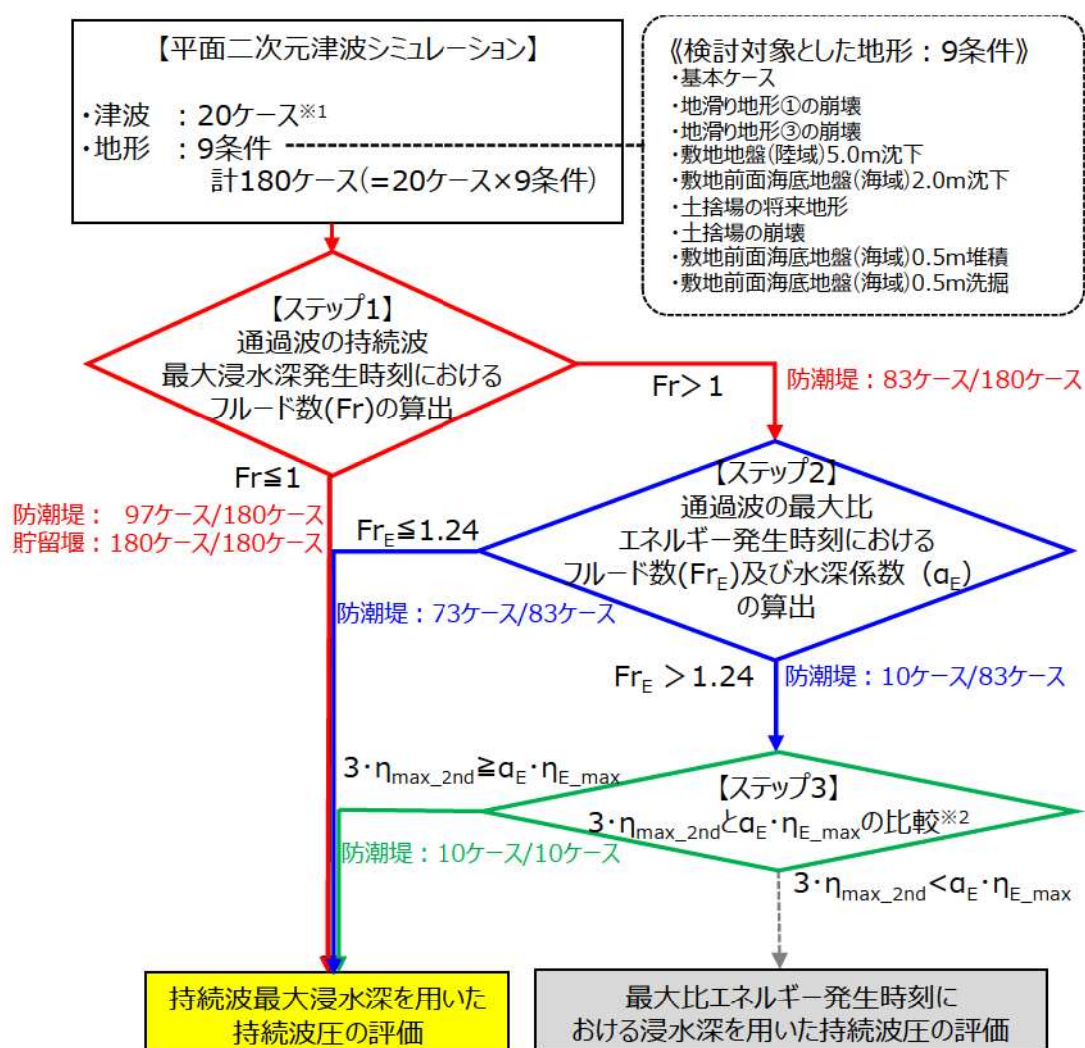
※：基準津波12波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した18ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料3－参考資料3参照）。

b. 貯留堰

貯留堰設置位置における最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数(Fr_E)は、全てのケースで $Fr \leq 1$ となることを確認していることから、算出を実施していない。したがって、 $(3 \cdot \eta_{\max,2nd})$ と $(\alpha_E \cdot \eta_{E_{\max}})$ についても、大小比較を実施しないものとする。

c. まとめ

$3 \cdot \eta_{\max_2nd}$ 及び $\alpha_E \cdot \eta_{E_max}$ を比較した結果、防潮堤設置位置における全てのケースで、 $(3 \cdot \eta_{\max_2nd}) \geq (\alpha_E \cdot \eta_{E_max})$ となったことから、防潮堤及び貯留堰に作用する持続波圧の評価として、最大比エネルギー発生時刻における浸水深 (η_{E_max}) の水深係数 (α_E) 倍に相当する静水压分布で防潮堤等の最下部に作用する圧力 (P_E) は評価せず、持続波最大浸水深を用いて持続波圧を評価する。



※1：基準津波の12波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した18ケース及び防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となる2ケース（計20ケース）

※2：地形変化の組合せを考慮したケースにおいても、 $3 \cdot \eta_{\max_2nd} \geq \alpha_E \cdot \eta_{E_max}$ となった。

第59図 持続波最大浸水深発生時刻における
フルード数 (Fr) 等の評価結果

(4) 持続波最大浸水深を用いた持続波圧の評価

【設工認審査ガイドにおける確認事項】

○フルード数 (Fr) が 1 以下の場合, 持続波圧の評価に当たり国交省の暫定指針を適用し, 持続波最大浸水深 ($\eta_{\max_2nd}$) の 3 倍の高さに相当する静水圧分布を用いて持続波圧を評価していること。

a. 算定式

国交省の暫定指針では, 防潮堤に作用する設計波圧は, 設計用浸水深を防潮堤がない場合の浸水深に基づき評価し, 設計用浸水深の 3 倍の高さに相当する静水圧分布により求めることとしている。

NRA 技術報告⁶⁾では, 防潮堤等に作用する持続波圧について, フルード数 (Fr) が 1 以下の範囲においては, 水深係数は国交省の暫定指針で採用している 3 を超えないことを確認している。

フルード数 (Fr) が 1 以下の場合, NRA 技術報告⁶⁾の知見に基づき, 防潮堤等の最下部に作用する圧力 (P_{2nd}) は式(5)から評価する。

$$P_{2nd} = 3 \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_{\max_2nd} \quad (5)$$

P_{2nd}	: $\eta_{\max_2nd}$ の 3 倍の高さに相当する静水圧分布で防潮堤等の最下部※に作用する圧力	[Pa]
$\eta_{\max_2nd}$	: 持続波最大浸水深	[m]
ρ	: 海水 (流体) 密度	[kg/m ³]
g	: 重力加速度	[m/s ²]

※前面の据付高さを基準高さ (防潮堤等の最下部の高さ) とする。

b. 算定式に用いるパラメータの設定

持続波最大浸水深を用いた持続波圧の算定式では、持続波最大浸水深 ($\eta_{\max_2nd}$) がパラメータとなることから、持続波圧の評価に用いる持続波最大浸水深を設定する。

(a) 防潮堤

設工認審査ガイド別添において、持続波圧の評価に用いる持続波最大浸水深は、「通過波の持続波領域における防潮堤等設置位置での最大浸水深」とあり、通過波の浸水深を用いることとされている。

入力津波の算定に用いる平面二次元津波シミュレーション（防潮堤あり）では、防潮堤設置位置の通過波浸水深を算出できないものの、通過波浸水深よりも、防潮堤前面における「入力津波水深（入力津波高さ（T.P. 17.8m）－敷地標高（T.P. 5.0m））を 1/2 した値（6.4m）」の方が大きいことを確認したことから、持続波圧を保守的に評価するため、泊発電所においては、「入力津波水深の 1/2」を設計用浸水深 ($\eta_{\max}$) と設定する。

通過波浸水深及び「入力津波水深の 1/2 の値」の比較結果は参考資料 6 に示す。

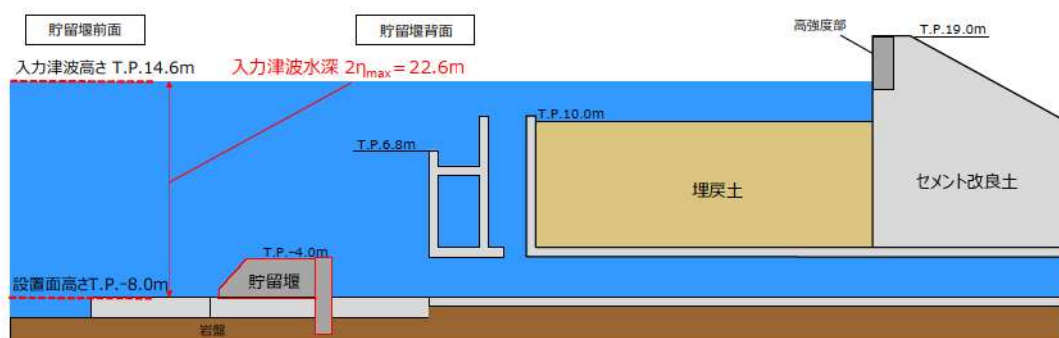


第 6 0 図 設計用浸水深 ($\eta_{\max}$) (防潮堤) (再掲)

(b) 貯留堰

貯留堰に作用する持続波圧の評価に用いる持続波最大浸水深は、砕波段波波圧及び波状段波波圧の評価に用いる浸水深と同様に、持続波圧を保守的に評価するため、平面二次元津波シミュレーション（防潮堤あり）により算定した3号炉取水口における「入力津波水深（入力津波高さ－貯留堰設置面高さ）×1/2の値（11.3m）」を設計用浸水深（ $\eta_{\max}$ ）と設定する。

持続波最大浸水深を「入力津波水深×1/2の値」と設定することの妥当性及び保守性については、参考資料6で示す。



第61図 設計用浸水深（ $\eta_{\max}$ ）（貯留堰）（再掲）※

※貯留堰背面側の水位は設工認段階で設定する。

(5) 最大比エネルギー発生時刻における浸水深を用いた持続波圧の評価

【設工認審査ガイドにおける確認事項】(再掲)

○最大比エネルギー発生時刻における浸水深 (η_{E_max}) の水深係数 (α_E) 倍に相当する静水圧分布で防潮堤等の最下部に作用する圧力 (P_E) を持続波圧として評価していること。その算出方法を式 (9) に示す。

さらに、式(5)で評価した持続波最大浸水深 (η_{max_2nd}) の3倍の高さと最大比エネルギー発生時刻における浸水深 (η_{E_max}) の水深係数 (α_E) 倍の高さを比較し、値が大きくなる方を用いて持続波圧を設定していること。

$$P_E = \alpha_E \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_{E_max} \quad (9)$$

P_E : 最大比エネルギー発生時刻における浸水深 (η_{E_max}) の水深係数 (α_E) 倍の高さに相当する静水圧分布で防潮堤等の最下部※に作用する圧力 [Pa]

※前面の据付高さを基準高さ(防潮堤等の最下部の高さ)とする。

η_{E_max} : 最大比エネルギー発生時刻における浸水深 [m]

ρ : 海水(流体)密度 [kg/m³]

g : 重力加速度 [m/s²]

a. 算定式

NRA 技術報告^{3),7)}では、フルード数 (Fr) が 1 を超える場合は、水深係数 3 を超える場合があることから、通過波の最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数 (Fr_E) に応じて、以下の式により水深係数 (α_E) を評価することで、防潮堤等に作用する持続波圧を評価できるとしている。

$$\alpha_E = 3.0 \quad (\text{Fr}_E \leq 1.24)$$

$$\alpha_E = (0.70 \times \text{Fr}_E^2 + 1) + 0.93 \quad (\text{Fr}_E > 1.24)$$

NRA 技術報告^{3),7)}の知見に基づき、防潮堤等の最下部に作用する圧力 (P_E) を以下の算出式のとおり評価する。

$$P_E = \alpha_E \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_{E_max}$$

P _E	: 最大比エネルギー発生時刻における浸水深 (η _{E_max}) の水深係数 (α _E) 倍の高さに相当する静水圧分布で防潮堤等の最下部に作用する圧力	[Pa]
η _{E_max}	: 最大比エネルギー発生時刻における浸水深	[m]
ρ	: 海水 (流体) 密度	[kg/m ³]
g	: 重力加速度	[m/s ²]

b. 算定式に用いるパラメータの設定

(1) ~ (3) 項において、防潮堤については、全てのケースにおいて、 $(3 \cdot \eta_{\text{max_2nd}}) \geq (\alpha_E \cdot \eta_{E_max})$ となることを確認し、また、貯留堰については、全てのケースで $\text{Fr} \leq 1$ となることを確認したため、最大比エネルギー発生時刻における浸水深のパラメータは設定しない。したがって、最大比エネルギー発生時刻における浸水深を用いた持続波圧は評価しない。

2.4 まとめ

2.2章及び2.3章の検討結果を第42表(1)及び(2)に示す。

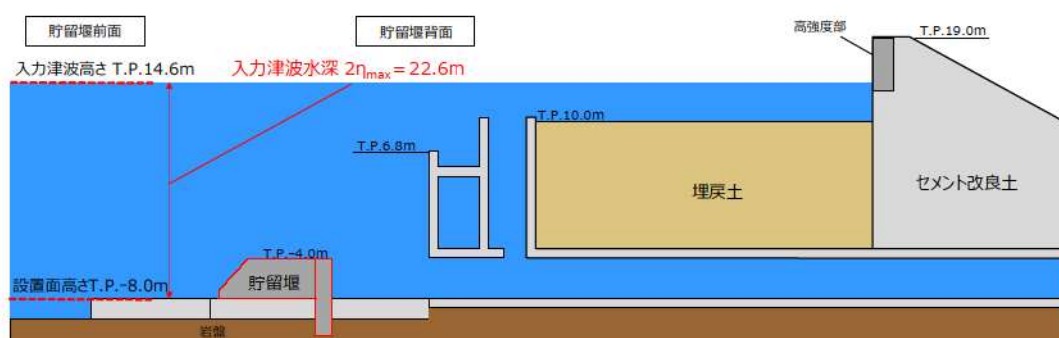
第42表(1)に示すとおり、段波波圧及び持続波圧の算定式は、いずれも津波高さに基づき津波波圧を評価する式となり、最大比エネルギー発生時刻における浸水深を用いた持続波圧を評価すべきケースはなかったことから、防潮堤及び貯留堰について、フルード数に係る入力津波は設定しないこととする。

そのため、津波波圧の評価に用いるパラメータは、想定し得る最大の値となるよう、第42表(2)に示す入力津波高さを用いることで保守的な値に設定する(別添1.6「設計又は評価に用いる入力津波」参照)。

以上より、設工認段階においては、第42表(1)に示す算定式及びパラメータを用いて、砕波段波波圧、波状段波波圧及び持続波圧を評価した上で、保守的な津波波圧を設定する。



第62図 設計用浸水深 (η_{max}) (防潮堤)



第63図 設計用浸水深 (η_{max}) (貯留堰) ※

※貯留堰背面側の水位は設工認段階で設定する。

第42表(1) 津波波圧の算定式及び設定パラメーター一覧

目次	2.2 段階波圧		2.3 持続波圧	
	(2) 碎波段階波圧	(3) 波状段階波圧※2	(4) 持続波最大浸水深を用いた持続波圧	(5) 最大比エネルギー発生時刻における浸水深を用いた持続波圧
津波波圧の算定式※1	$P_{1st} = 3 \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_{max_1st}$	$P_{1st'} = 1.8\alpha \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_{max_1st'}$	$P_{2nd} = \alpha \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_{max_2nd}$	該当ケースなし
津波波圧の評価に用いるパラメータ	η_{max} (設計用浸水深 ($\eta_{max_1st} = \eta_{max_1st'}$ 、 η_{max_2nd}))			
パラメータの設定根拠	防潮堤	入力津波高さ(防潮堤前面最高水位)※3		
	貯留堰	入力津波高さ(3号炉取水口最高水位)※3		
パラメータの設定値	防潮堤	6.4m		
	貯留堰	11.3m		

α ：水深係数(=3)， ρ ：海水密度， g ：重力加速度， P_{1st} ：碎波段階波圧， $P_{1st'}$ ：波状段階波圧， P_{2nd} ：持続波圧

※1：代表として，構造物最下部の作用波圧を例示 ※2：構造物上方の作用波圧は $P_{1st'} = \rho \cdot g(\alpha \cdot \eta_{max_1st'} - z)$ を用いて評価する。(5条-別添1-添付22-48参照)

※3：第42表(2)参照

第42表(2) 津波波圧の評価に用いるパラメータの設定根拠となる入力津波高さ(水位上昇側)

評価因子	設定位置	波源	地形変化		潮位変動			地震による地殻変動(m)	設定位置における評価値(T.P. m)
			北防波堤	南防波堤	地形変化	朔望平均潮位(m)	潮位のばらつき(m)	観測位置の潮位差(m)	
最高水位	防潮堤前面	基準津波E	健全	損傷	敷地地盤(陸域)沈下(5.0m)	0.26	0.14	0.01	17.8
	3号炉取水口	基準津波F	損傷	損傷	敷地地盤(陸域)沈下(5.0m) + 敷地前面海底地盤(海域)沈下(2.0m) + 土捨場(将来地形を反映した地形の崩壊)				14.6
		基準津波B	損傷	健全					

3. 設工認段階における津波波圧の設定方針

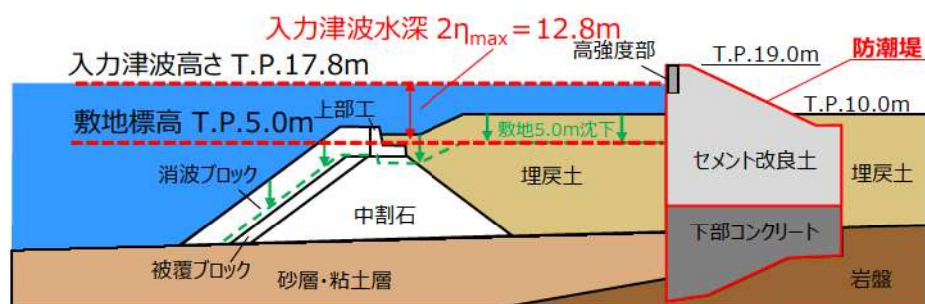
(1) 設計波圧の設定及び設計波圧の妥当性確認

設工認段階において、第42表(1)に示す津波波圧の算定式及び設定したパラメータを用い、各波圧を評価した上で、保守的な津波波圧を設計波圧として設定する。

また、防潮堤の設計波圧の妥当性を確認するため、断面二次元津波シミュレーション(防潮堤あり)を実施し、断面二次元津波シミュレーションにより得られた津波波圧が設計波圧に包絡されることを確認する。

防潮堤の設計波圧については、第64図に示すとおり、以下の条件を用いて設定する。

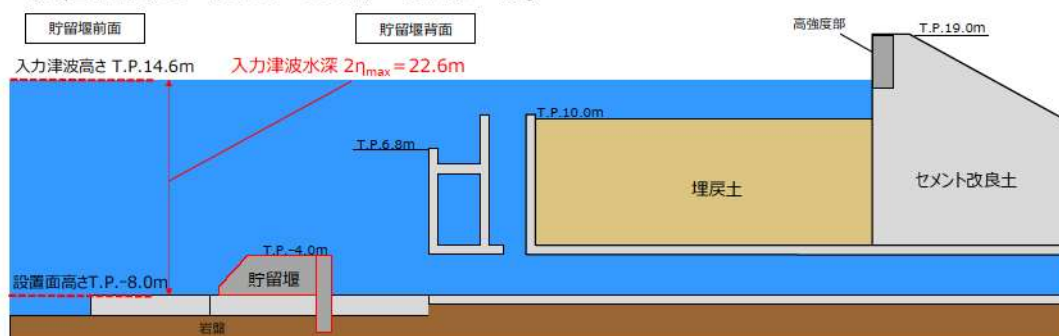
- ・入力津波高さ(T.P. 17.8m)を用いる。
- ・敷地標高(T.P. 5.0m)を用いる(敷地地盤(陸域)沈下(5.0m)を考慮)。



第64図 防潮堤の設計波圧の設定条件

また、貯留堰の設計波圧については、第65図に示すとおり、以下の条件を用いて設定する。

- ・入力津波高さ(T.P. 14.6m)を用いる。
- ・設置面高さ(T.P. -8.0m)を用いる。



第65図 貯留堰の設計波圧の設定条件*

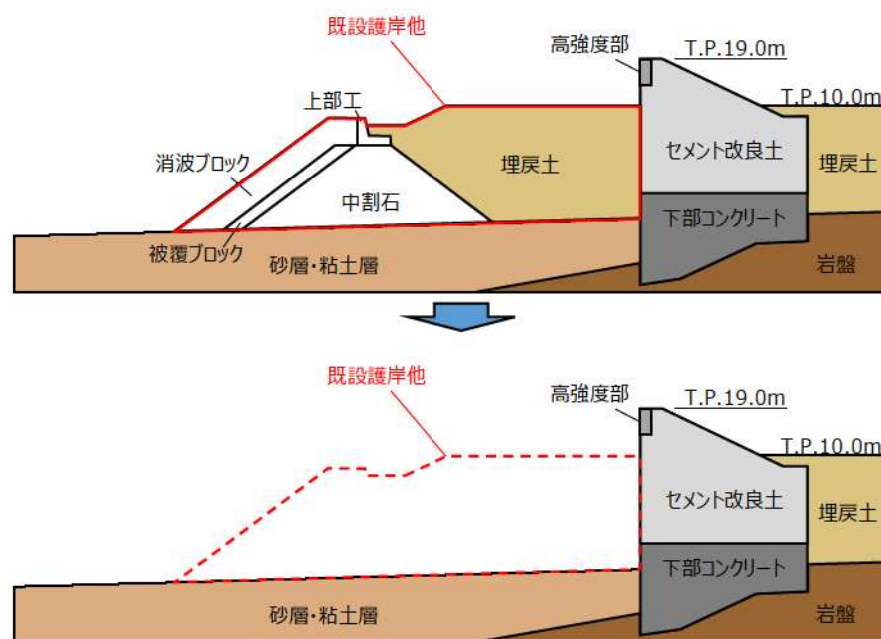
※貯留堰背面側の水位は設工認段階で設定する。

(2) 既設護岸他の損傷の影響評価

防潮堤の構造成立性評価においては、既設護岸他は、地震による変状の可能性があることから、役割を期待しておらず、既設護岸をモデル化していない。

一方、設置変更許可段階で実施する「砕波段波及び波状段波の発生の有無の確認」、「持続波圧の評価に用いる通過波のフルード数等の算出」及び「段波波圧及び持続波圧の評価に用いる浸水深の算出」（第1表及び第2表参照）で用いる平面二次元津波シミュレーション及び断面二次元津波シミュレーションにおいては、入力津波（津波高さ）の検討条件と合わせるため、既設護岸他をモデル化している。

そのため、設工認段階では、既設護岸他の形状が変化した場合において防潮堤に作用する津波波圧を断面二次元津波シミュレーション（防潮堤あり）により確認し、設計波圧に包絡されることを確認する。



第66図 既設護岸他の形状が変化した場合のイメージ図

(3) 海水に浮遊砂が混入した場合の津波波圧への影響評価

地震の揺れに伴う海底地盤の液状化により、底質の粒子間における過剰間隙水圧が上昇し、有効応力が減少するため、底質が移動もしくは巻き上がりやすい状態となる。

津波が液状化した敷地前面の海底土砂を巻き上げて襲来する可能性を考慮し、海水密度が上昇した場合の津波波圧への影響を評価する。（参考資料7参照）

津波波圧評価に係る評価手法に関する先行炉との比較

1. はじめに

津波波圧の評価においては、通過波のフルード数等の算出及び波状段波の発生有無の確認を平面二次元津波シミュレーション、砕波段波の発生有無の確認を断面二次元津波シミュレーション、断面二次元津波シミュレーションの妥当性確認を水理模型実験により行い、津波波圧が保守的な評価となるよう、波圧算定式に用いるパラメータを設定することとしている。

そこで、本資料は、津波波圧の評価における平面二次元津波シミュレーション及び断面二次元津波シミュレーション等による確認事項並びに波圧評価に用いる算定式及びパラメータの設定について、泊発電所と先行炉の比較を行うものである。

なお、本資料において、先行炉の検討結果等は下記資料に基づいて作成するものとする。

- ・「東北電力株式会社 女川原子力発電所 2 号炉 2019 年 6 月 25 日 第 734 回審査会合資料 資料 1－2－2」
- 「中国電力株式会社 島根原子力発電所 2 号炉 2021 年 2 月 18 日 第 948 回審査会合資料 資料 1－2－3」
- 「東京電力ホールディングス株式会社 柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉 2017 年 2 月 14 日 第 442 回審査会合資料 資料 1－3－3」
- 「日本原子力発電株式会社 東海第二発電所 2017 年 10 月 17 日 第 520 回審査会合資料 資料 1－3－2」

参考表 1-1 波圧評価の確認項目及び評価手法に関する先行炉との比較※1

発電所	女川原子力発電所 2 号炉	島根原子力発電所 2 号炉	泊発電所 3 号炉
段波の発生 有無の確認	—	○平面二次元津波シミュレーション ・波状段波の発生の有無を確認 ○断面二次元津波シミュレーション ・砕波段波及び波状段波が発生しないことを確認 ○水理模型実験 ・砕波段波及び波状段波が発生しないことを確認	○平面二次元津波シミュレーション ・波状段波の発生の有無を確認 ○断面二次元津波シミュレーション ・砕波段波の発生の有無を確認
	○水理模型実験 ・砕波段波及び波状段波が発生しないことを確認	○水理模型実験 ・砕波段波及び波状段波が発生しないことを確認	—※2
波圧算定式の 妥当性確認 (波圧分布の確認)	○断面二次元津波シミュレーション ・海側盛土形状の違いによる津波波圧への影響を確認 ・評価された波圧が波圧分布は単直線型となり、朝倉らに基づく算定式(非分裂波の場合の算定式)に包絡されることを確認 ○水理模型実験 ・津波水位及び周期の違いによる津波波圧への影響は小さいことを確認 ・計測した波圧が波圧分布は単直線型となり、朝倉らに基づく算定式(非分裂波の場合の算定式)に包絡されることを確認	○断面二次元津波シミュレーション ・評価された波圧が既往の津波波圧算定式による津波波圧に包絡されることを確認 ・水理模型実験の再現性を確認することで妥当性を検証 ○水理模型実験 ・津波周期の違いによる津波波圧への影響は小さいことを確認 ・計測した波圧が既往の津波波圧算定式による津波波圧に包絡されることを確認	○断面二次元津波シミュレーション※3 ・評価された波圧が既往の津波波圧算定式による津波波圧に包絡されることを確認 —※2
	—	○三次元津波シミュレーション ・評価された波圧が既往の津波波圧算定式による津波波圧に包絡されることを確認	—

※1：先行炉の情報に係る記載内容については、弊社の責任において独自に解釈したものである。

※2：断面二次元津波シミュレーションに用いる CADMAS-SURF/3D (Ver.1.5) の妥当性検証のために水理模型実験を実施した（参考資料 2 参照）。

※3：設工認段階で結果を示す。

参考表 1-2 防潮堤の評価に用いる波圧算定式及び波圧評価に用いるパラメータに関する先行炉との比較※¹

発電所		女川原子力発電所 2 号炉	島根原子力発電所 2 号炉	泊発電所 3 号炉
対象構造物		防潮堤	防波壁及び防波壁通路防波扉	防潮堤
波圧 算定式※ ²	持続波圧	○朝倉らに基づく算定式 $P = \alpha \cdot \rho \cdot g \cdot \eta$	○朝倉らに基づく算定式※ ³ $P = \alpha \cdot \rho \cdot g \cdot \eta$	○設工認審査ガイドに基づく算定式 $P = \alpha \cdot \rho \cdot g \cdot \eta$
	砕波	—	—	○設工認審査ガイドに基づく算定式 $P = \alpha \cdot \rho \cdot g \cdot \eta$
	段波波圧	—	—	○朝倉らに基づく算定式※ ⁴ $P = 1.8 \cdot \alpha \cdot \rho \cdot g \cdot \eta$
	波状 段波波圧	—	—	○入力津波水深 (入力津波高さ - 敷地標高) $\times 1/2$
評価に用いる浸水深 (η)		○入力津波水深 (入力津波高さ - 敷地標高) $\times 1/2$	○入力津波水深 (入力津波高さ - 敷地標高) $\times 1/2$	○入力津波水深 (入力津波高さ - 敷地標高) $\times 1/2$

α : 水深係数 (= 3), ρ : 海水密度, g : 重力加速度

※ 1 : 先行炉の情報に係る記載内容については、弊社の責任において独自に解釈したものである。

※ 2 : 構造物最下部の前面に作用する波圧を例示する。

※ 3 : 敷地標高以上に用いる波圧算定式を示す。

※ 4 : 構造物上方の作用波圧は $P = \rho \cdot g (\alpha \cdot \eta - z)$ を用いて評価する。(5 条-別添 1-添付 22-48 参照)

参考表 1-3 貯留堰の評価に用いる波圧算定式に関する先行炉との比較^{※1}

発電所	柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉	東海第二発電所	泊発電所 3号炉
対象構造物	貯留堰	貯留堰	貯留堰
波圧 算定式 ^{※2}	持続波圧	○国交省の暫定指針に基づく算定式 ^{※3・※4} $P = \alpha \cdot \rho \cdot g \cdot \eta$ ○防波堤の耐津波設計ガイドラインに基づく静水圧差による算定式 ^{※5} $P = \alpha_f \cdot \rho \cdot g (\eta_f + h')$	○設工認審査ガイドに基づく算定式 $P = \alpha \cdot \rho \cdot g \cdot \eta$
	砕波 段波波圧	—	○設工認審査ガイドに基づく算定式 $P = \alpha \cdot \rho \cdot g \cdot \eta$
	波状 段波波圧	—	○朝倉らに基づく算定式 ^{※6} $P = 1.8 \cdot \alpha \cdot \rho \cdot g \cdot \eta$

α ：水深係数(=3)， ρ ：海水密度， g ：重力加速度， α_f ：直立壁前面の静水圧補正係数(=1.05)， η_f ：直立壁前面の静水面からの津波高さ
 h' ：直立壁の底面の水深

※1：先行炉の情報に係る記載内容については、弊社の責任において独自に解釈したものである。

※2：構造物最下部の前面に作用する波圧を例示する。

※3：「国交省の暫定指針」は、「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」を指す。

※4：越流直前に作用する波圧に対する波圧算定式を示す。

※5：越流時に作用する波圧に対する波圧算定式を示す。

※6：構造物上方の作用波圧は $P = \rho \cdot g (\alpha \cdot \eta - z)$ を用いて評価する。(5 条-別添 1-添付 22-48 参照)

2. 貯留堰に作用する津波波圧の算定式に係る先行炉との比較

貯留堰に作用する持続波圧について、先行炉では、国交省の暫定指針に基づく算定式及び防波堤の耐津波設計ガイドライン²⁾に基づいた静水圧差による算定式を用いて評価している（静水圧差による算定式は参考図 1-1 参照）。

一方、泊発電所では、静水圧差による算定式を用いず、設工認審査ガイド別添による算定式を用いて評価する方針であるため、静水圧差による算定式に対して、設工認審査ガイド別添に基づく算定式を用いた評価が保守的であることを確認する。

(1) 設工認審査ガイド別添に基づく算定式による評価

設工認審査ガイド別添による算定式のパラメータは設計用浸水深（ $\eta_{\max}$ ）であり、貯留堰最下部には設計用浸水深の 3 倍の高さ（ $3 \times \eta_{\max}$ ）に相当する静水圧分布が作用する。

(2) 静水圧差による算定式による評価

静水圧差による算定式のパラメータは構築物底面からの津波高さ（ $\eta_f + h'$ ）であり、貯留堰前面の最下部には、「貯留堰底面からの津波高さ」に相当する静水圧分布に静水圧補正係数（1.05）を考慮した波圧が作用する。

貯留堰底面からの津波高さ（ $\eta_f + h'$ ）に用いる津波高さの水位として、入力津波高さ（3号炉取水口最高水位）を考慮した場合、「貯留堰底面からの津波高さ」と「入力津波水深（ $2 \times \eta_{\max}$ ）」は同値となることから、静水圧差を用いた算定式では、貯留堰前面の最下部には、「 $1.05 \times 2 \times \eta_{\max}$ 」に相当する静水圧が作用する。

(3) まとめ

(1) 及び (2) より、静水圧差による算定式により評価した津波波圧よりも、設工認審査ガイド別添に基づく算定式により評価した津波波圧の方が大きくなることを確認した。設工認審査ガイド別添に基づく算定式及び静水圧差による算定式により算出した津波波圧のイメージを参考図 1-2 に示す。

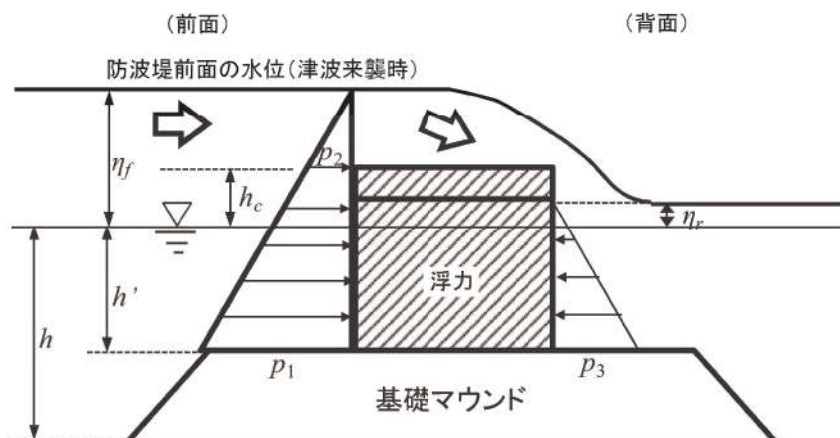
以上より、貯留堰に作用する津波波圧の評価に当たっては、静水圧差による算定式を用いた津波波圧の評価は行わず、設工認審査ガイド別添による算定式を用いて津波波圧を評価する。

$$p_1 = \alpha_f \rho_0 g (\eta_f + h')$$

$$p_2 = \frac{\eta_f - h_c}{\eta_f + h'} p_1$$

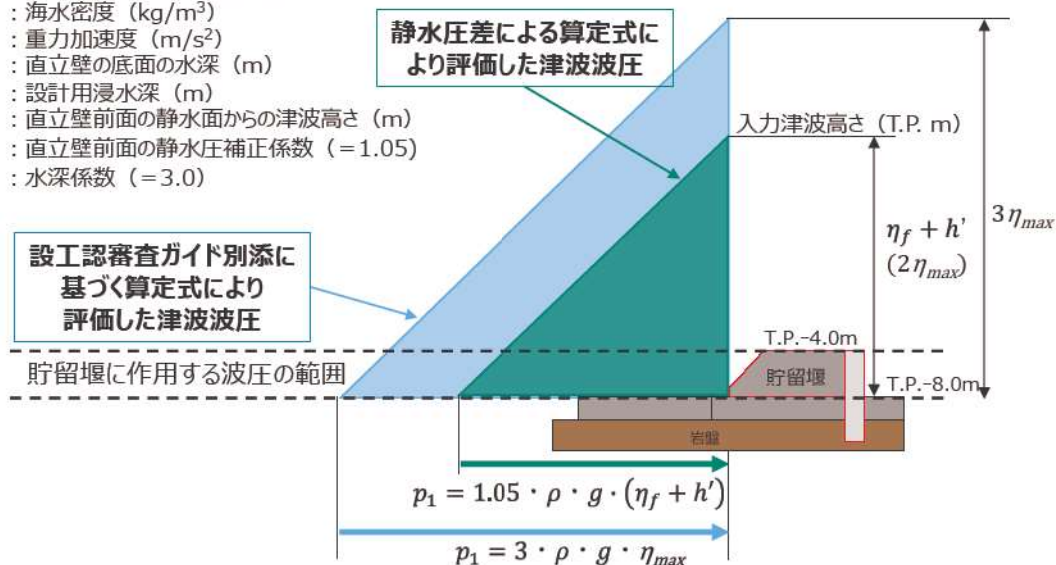
$$p_3 = \alpha_r \rho_0 g (\eta_r + h')$$

p_1 : 直立壁前面の底面における波圧強度(kN/m²)
 p_2 : 直立壁前面の天端面にける波圧強度(kN/m²)
 p_3 : 直立壁背面の底面における波圧強度(kN/m²)
 $\rho_0 g$: 海水の単位体積重量 (kN/m³)
 h' : 直立壁の底面の水深(m)
 h_c : 静水面から直立壁天端面までの高さ(m)
 η_f : 直立壁前面の静水面からの津波高さ(m)
 η_r : 直立壁背面の静水面からの津波高さ(m)
 α_f : 直立壁前面の静水圧補正係数
 α_r : 直立壁背面の静水圧補正係数



参考図 1-1 静水圧差による算定式²⁾

- p_1 : 貯留堰底面における波圧強度 (N/m²)
 ρ : 海水密度 (kg/m³)
 g : 重力加速度 (m/s²)
 h' : 直立壁の底面の水深 (m)
 η_{max} : 設計用浸水深 (m)
 η_f : 直立壁前面の静水面からの津波高さ (m)
 α_f : 直立壁前面の静水圧補正係数 (=1.05)
 α : 水深係数 (=3.0)



参考図 1-2 設工認審査ガイド別添に基づく算定式及び防波堤の耐津波設計ガイドラインに基づく静水圧差による算定式における津波波圧の比較

断面二次元津波シミュレーション(CADMAS-SURF/3D)の妥当性確認について

1. 概要

砕波段波及び波状段波の発生有無並びに波圧算定式の妥当性確認等においては、断面二次元津波シミュレーション(CADMAS-SURF/3D)を用いる方針である。

CADMAS-SURF/3D は、非線形分散波理論に基づき非圧縮性流体を対象として連続式及び Navier-Stokes 方程式を基本方程式とした解析コードであり、砕波段波及び波状段波を表現可能である。

本資料では断面二次元津波シミュレーション(CADMAS-SURF/3D)による上記検討の実施に当たって、泊発電所のサイト特性を考慮した水理模型実験の再現解析を行い、その再現結果を確認することで、砕波段波及び波状段波の発生有無並びに波圧算定式の妥当性確認等における CADMAS-SURF/3D 適用の妥当性を検証する。

2. 検証方針

CADMAS-SURF/3D 適用の妥当性検証に当たり、泊発電所の地形特性及び構造物(防潮堤)特性の観点を考慮した水理模型実験を行う。次に、泊発電所の特性が考慮された水理模型実験の各実験条件を入力条件とした CADMAS-SURF/3D による再現解析を行い、両者の結果(水位時刻歴波形、防潮堤位置での波圧)を比較検証する。

3. 水理模型実験

(1) 実験条件

a. サイト特性を踏まえた実験条件

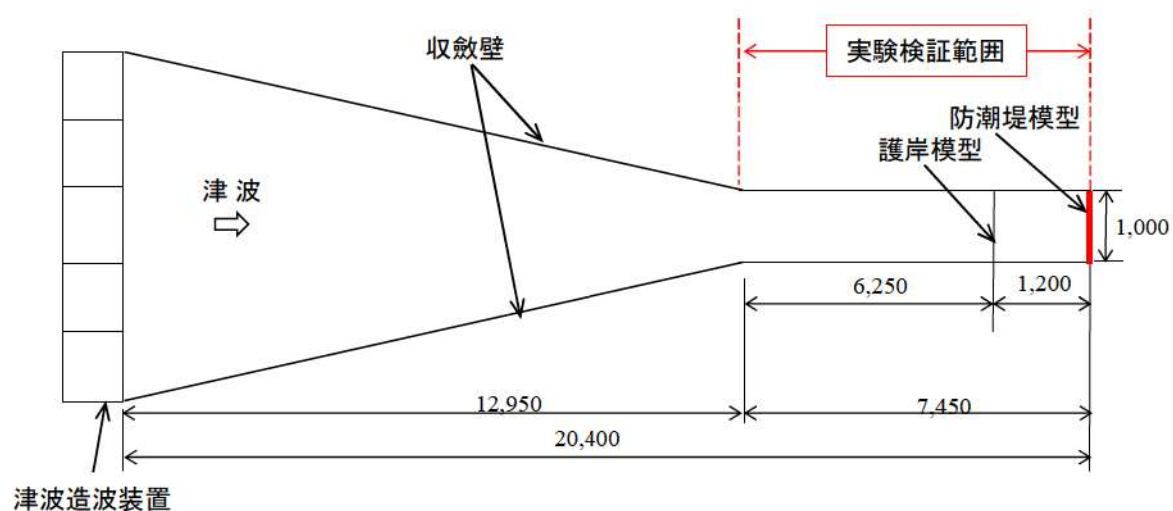
泊発電所の地形特性，構造物(防潮堤)特性の観点からサイト特性を整理し，実験条件を設定する。サイト特性の整理と水理模型実験条件への反映結果を参考表 2-1 に示す。

参考表 2-1 泊発電所のサイト特性と水理模型実験条件への反映結果

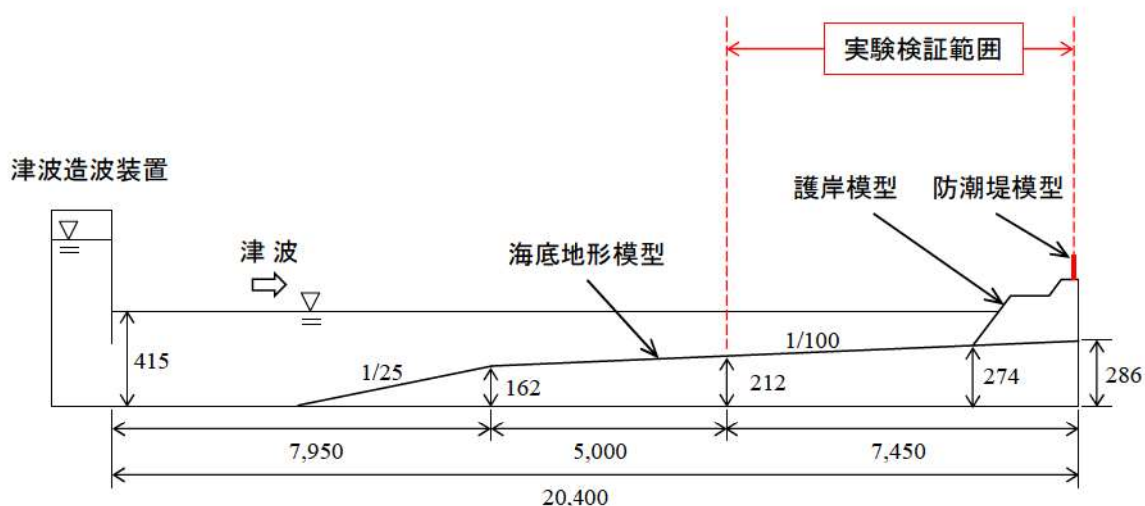
分類	項目	サイト特性	実験条件への反映結果
地形	海底勾配	1/120 (平均勾配)	1/100 勾配
	防波堤	防波堤あり	防波堤なし 水位時刻歴波形や防潮堤に対する波圧確認の観点から，防波堤は無しとする
	防潮堤前面護岸 (防潮堤海側)	2 段敷地	同左
構造物 (防潮堤)	設置位置	法面上部	同左
	防潮堤高さ	T. P. 19. 0m	同左
	形状	堤体形状	壁構造 防潮堤前面形状を適切にモデル化

b. 実験模型

a. で整理したサイト特性を考慮した実験装置は、長さ 20.4m(漸縮部 12.95m, 直線部 7.45m)×幅 1.0~7.5m×高さ 0.91m の平面水槽を用い、実験縮尺(幾何縮尺)は 1/80 とした。津波の伝播、波圧は慣性力による影響が支配的であるため、フルード相似則を適用した。また、高水位の津波を造波するため、増波装置の能力や水槽内の貯留可能水量を考慮し、沖合部に津波水位を高くするための収斂壁(幅 7.5m より 1m に絞る)を設置し、下流側に幅 1m の水路、護岸模型及び防潮堤模型を構築した。実験装置の概要図を参考図 2-1 に示す。



(a) 平面図



(b) 断面図

参考図 2-1 実験装置概要図(単位 : mm)

c. 入力波形

CADMAS-SURF/3D による複数条件の再現解析を行うことを考慮し、入力津波には、正弦波と孤立波の2種類の津波波形を用いた。正弦波は単純な条件での波形とし、孤立波は正弦波に比べて波峰が先鋭化し津波の立上りが急な波形であり、孤立波でより大きな波圧の作用が想定される。入力する津波の条件を参考表 2-2 に、入力する津波波形を参考図 2-2 に示す。

参考表 2-2 入力する津波の条件(目標波形)

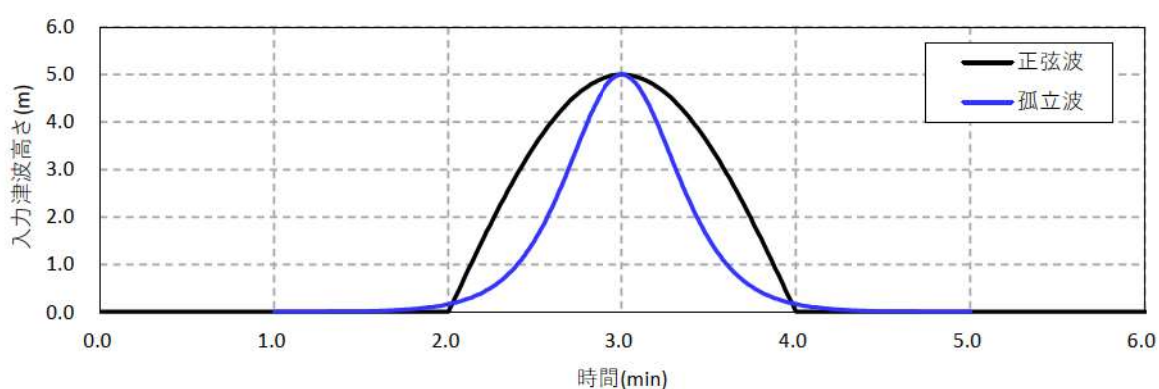
波条件	目標津波条件 (実機スケール換算)		目標津波条件 (1/80 実験換算)	
	半周期 T/2(分)	津波高 H(m)	半周期 ^{※1} Tm/2(秒)	津波高 ^{※2} Hm(m)
正弦波 (押し波)	2.0	5.0	13	0.063
孤立波	2.0	5.0	13	0.063

※1 フルード相似則により、時間は実験縮尺 λ の1/2乗に比例する。

$$T_m/2 = (T/2) \times 60 \times \lambda^{1/2} = 2.0 \times 60 \times (1/80)^{1/2} = 13 \text{ 秒}$$

※2 フルード相似則により、長さは実験縮尺 λ に比例する。

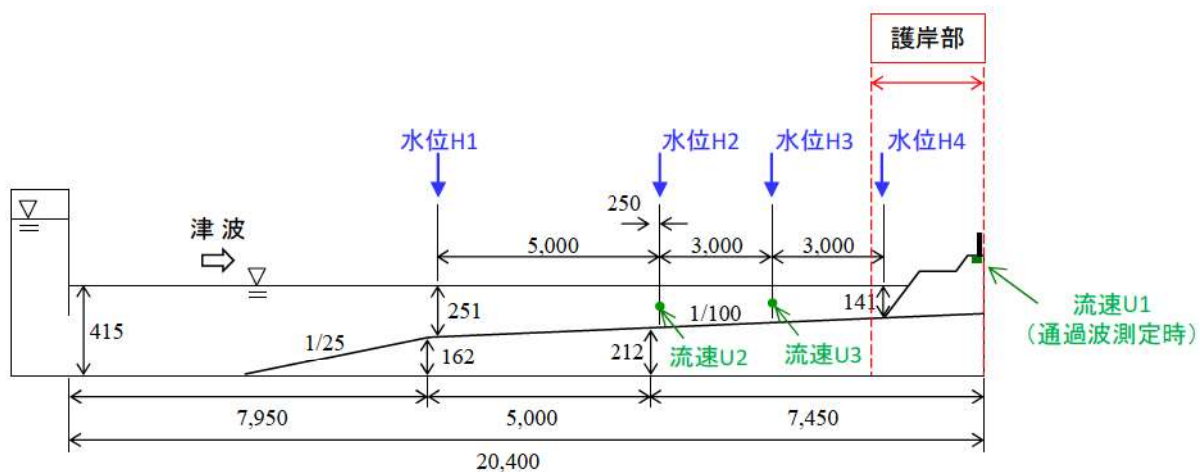
$$H_m/2 = (H/2) \times \lambda = 5.0 \times (1/80) = 0.063 \text{ m}$$



参考図 2-2 入力する津波波形(目標波形)

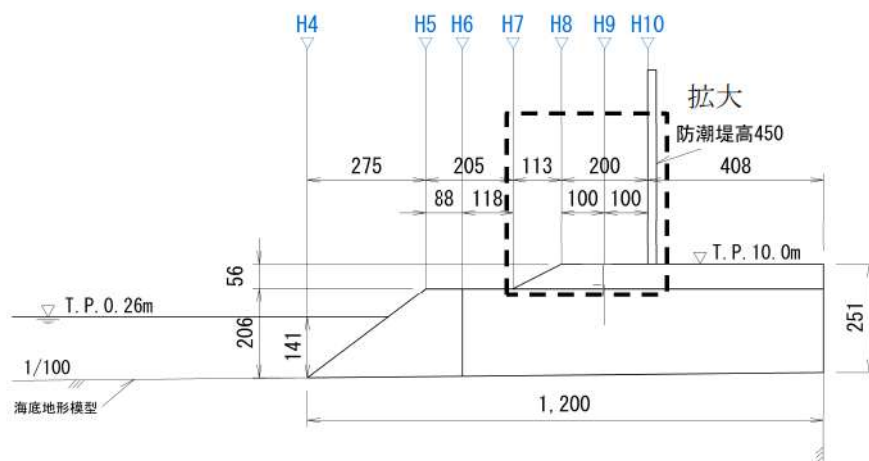
d. 計測位置

水理模型実験では、代表地点の水位、流速及び防潮堤位置の波圧を計測する。水位は沖合から 10 地点 (H1～H10) で計測する。護岸模型及び防潮堤模型付近の水位は変化が大きく波圧評価に重要であるため、H4 以降は護岸形状の変化点を中心に密に取得する。流速は、再現解析の入力条件とするため沖側で 2 地点 (U2, U3)、通過波計測時は防潮堤設置予定位置 (U1) で計測する。圧力は、防潮堤の高さ方向にそれぞれ約 10mm 間隔で圧力を取得した。実験装置における各項目の計測位置を参考図 2-3 に示す。以上の実験条件を踏まえた実験状況の概要を参考図 2-4 に示す。

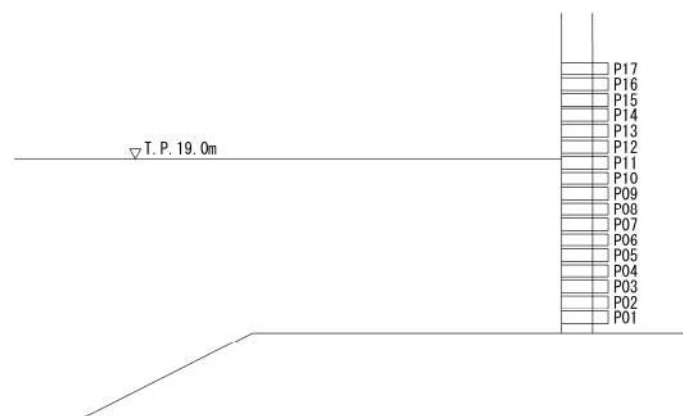


※流速 U2, U3 の鉛直計測位置は、水路床から静水時水深の半分の高さとする

(a) 断面図



(b) 護岸部

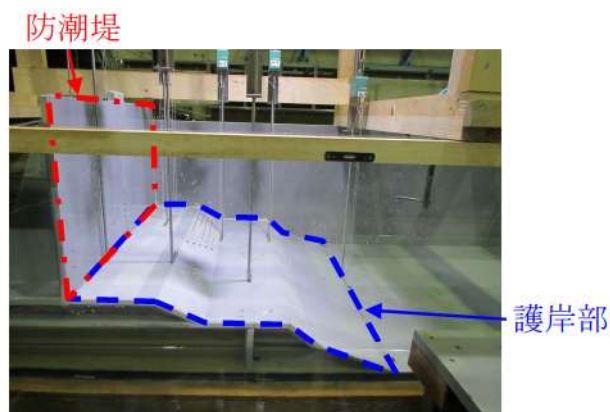


(c) 波圧計設置箇所拡大図

参考図 2-3 実験装置における計測位置図(単位 : mm)



収斂壁



護岸模型・防潮堤模型



通過波計測状況



津波波圧計測状況

参考図 2-4 実験状況概要

(2) 実験結果

防潮堤模型を設置していない状態で計測した通過波の計測結果を参考表 2-3 に示す。基本地形における平面二次元津波シミュレーションの通過波条件で得られた防潮堤位置の浸水深，流速，フルード数の最大値はそれぞれ 2.51m, 5.41m/s, 1.10 であり，正弦波および孤立波による通過波はこれらと同等あるいは大きな結果となっている。

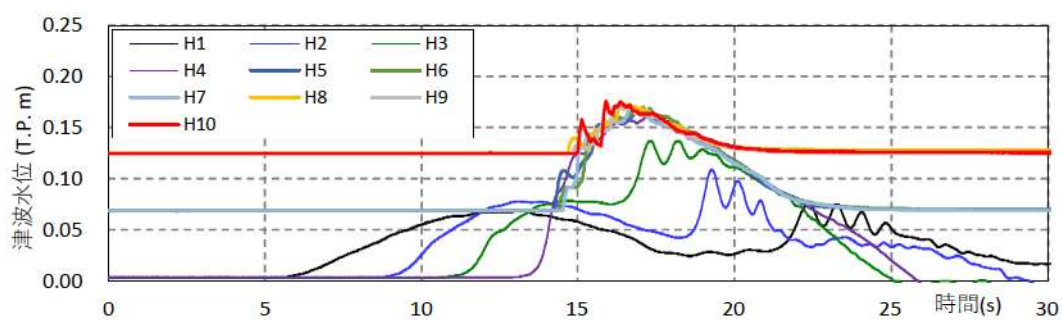
各水位計測位置での水位時刻歴波形を参考図 2-5 に示す。発電所沖合から護岸前面(H1～H4 地点)において，水位は緩やかに上昇している。津波が護岸を遡上した後(H5 地点以降)は，津波が護岸を乗り上げる影響や防潮堤による反射の影響を受け，波形に乱れが見られ，防潮堤位置(H10)では津波が防潮堤に衝突することで水位が急激に上昇する様子が確認できる。

水理模型実験において計測した防潮堤に作用する波圧分布を参考図 2-6 に示す。水理模型実験にて計測した防潮堤における波圧分布は直線型となり，参考図 2-5 で確認された護岸遡上後(H5 地点以降)の水位の乱れによる波圧の増加は見られず，最大波圧は持続波圧が作用する(防潮堤に作用する波圧分布はいずれも直線型となった)ことを確認した。

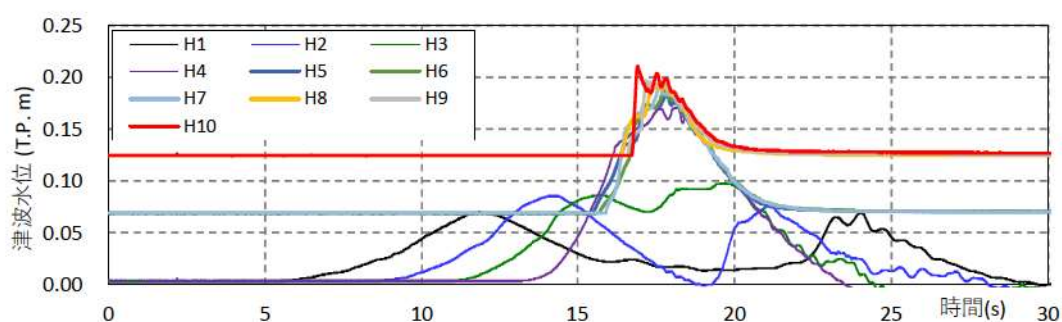
参考表 2-3 通過波計測結果(浸水深最大時)

波条件	浸水深 (m)	流速 (m/s)	フルード数 (-)
正弦波 (押し波)	1.48 [※]	5.26 [※]	1.38 [※]
孤立波	2.32 [※]	7.01 [※]	1.47 [※]
平面二次元津波シ ミュレーション	2.51	5.41	1.10

※表内の数値は，実験結果を実機スケールに換算した値である

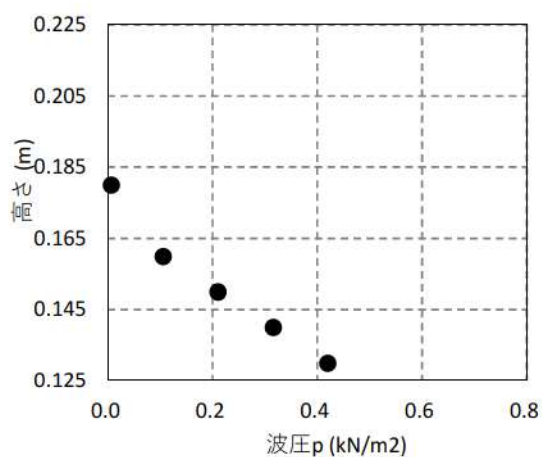


(a) 正弦波入力時

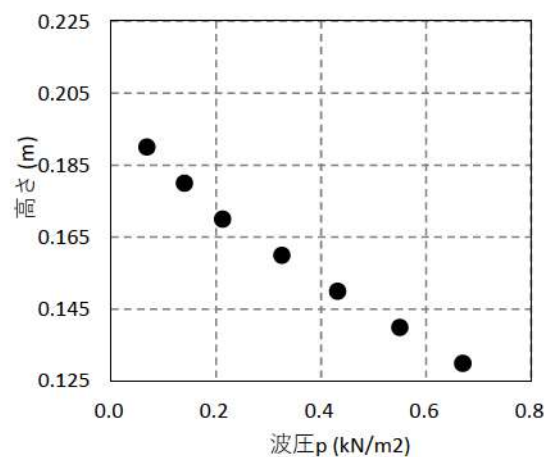


(b) 孤立波入力時

参考図 2-5 水理模型実験における水位の時刻歴波形



(a) 正弦波入力時



(b) 孤立波入力時

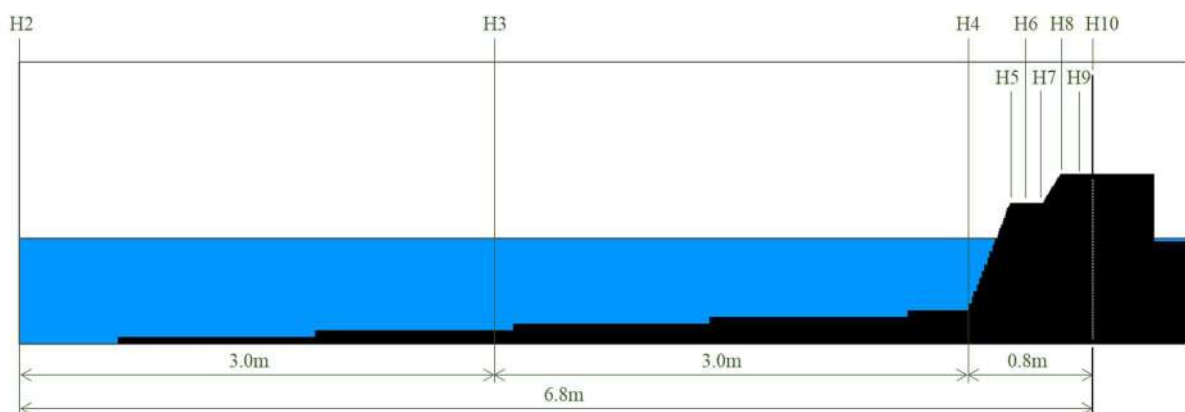
参考図 2-6 水理模型実験にて計測した波圧分布(波圧最大時)

4. 再現解析

(1) 解析条件

a. 解析モデル

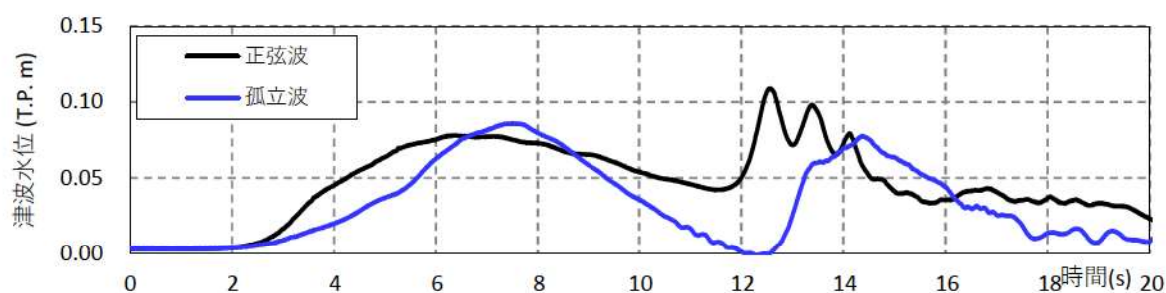
3章の水理模型実験の実験模型を考慮した解析モデルを参考図 2-7 に示す。解析領域は、水理模型実験で水位時刻歴が得られる H2 地点から H10 地点(防潮堤位置)を含む区間をモデル化した(参考図 2-7 に示す H2~H10 は、参考図 2-3 に示す水理模型実験における H2~H10 地点と同位置に設定している)。



参考図 2-7 水理模型実験に対する解析モデル(縮尺 : 1/80)

b. 入力波形

入力する津波の時刻歴波形は水理模型実験の水位計 H2 で計測した時刻歴波形とし、解析モデル(参考図 2-7)上の H2 地点に入力した。また、津波波形が異なる正弦波及び孤立波の 2 ケースを対象とした。入力する津波の時刻歴波形を参考図 2-8 に示す。



参考図 2-8 入力する津波の時刻歴波形

c. 出力位置

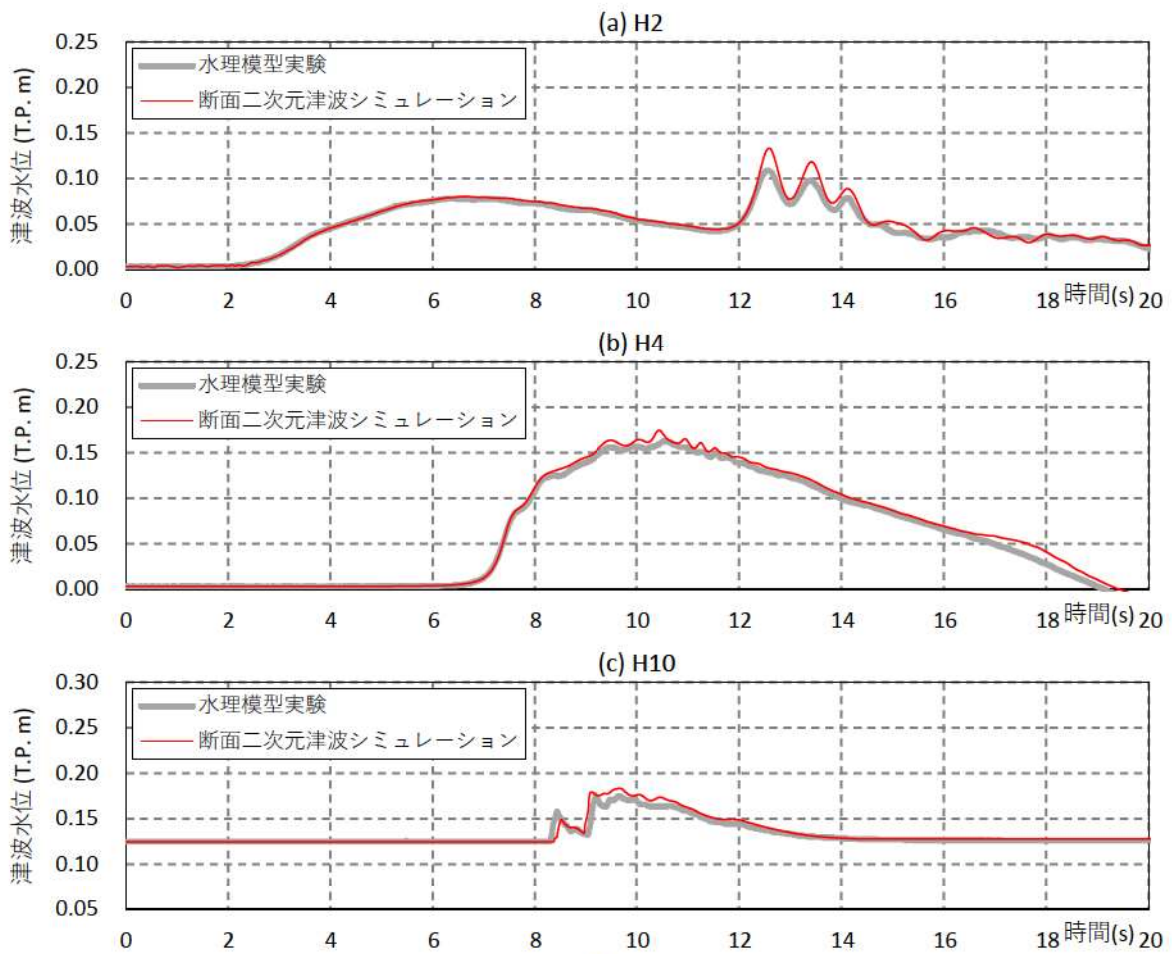
H2(入射位置)から H10 (防潮堤位置)のうち, H2(入射位置), H4(護岸前面)及び H10(防潮堤位置)を沖合から防潮堤までの代表点として, これらの水位時刻歴波形を出力した。また, 防潮堤位置における波圧は約 3mm 間隔で波圧の出力を行った。

(2) 解析結果

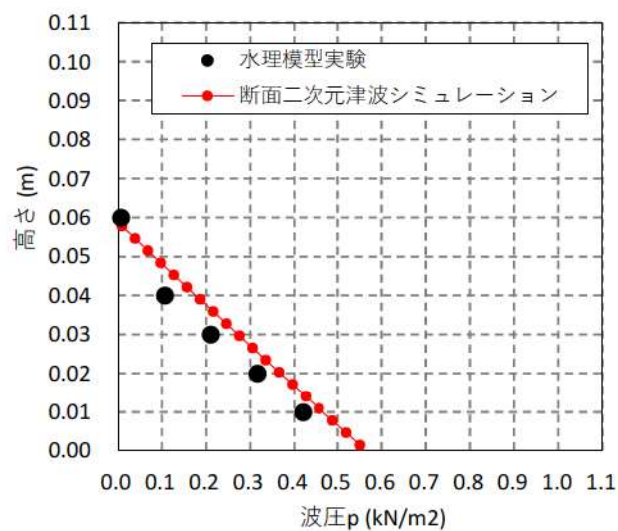
正弦波及び孤立波の 2 ケースについて, 代表点の水位時刻歴波形及び防潮堤に作用する波圧分布の水理模型実験結果と解析結果の比較を参考図 2-9 及び参考図 2-10 に示す。

正弦波及び孤立波の両ケースについて, 解析で得られた水位時刻歴は, 沖合から防潮堤前面まで, 津波水位の時刻歴を良好に再現できており, ほとんどの時刻で水理模型実験を上回る結果となった。また, 防潮堤に作用する波圧についても, 解析で得られた圧力分布は, 水理模型実験結果の静水圧分布を良好に再現できており, 水理模型実験の静水圧分布を上回る結果となった。

以上より, 泊サイトの特性を考慮した水理模型実験結果を CADMAS-SURF/3D による断面二次元津波シミュレーションにて良好に再現できていると判断する。

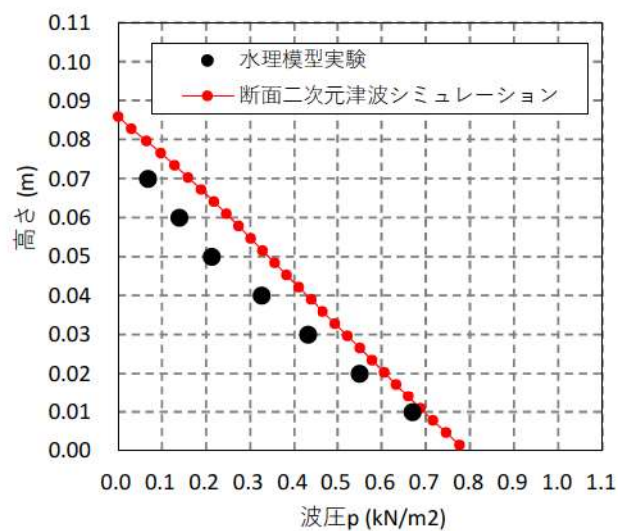
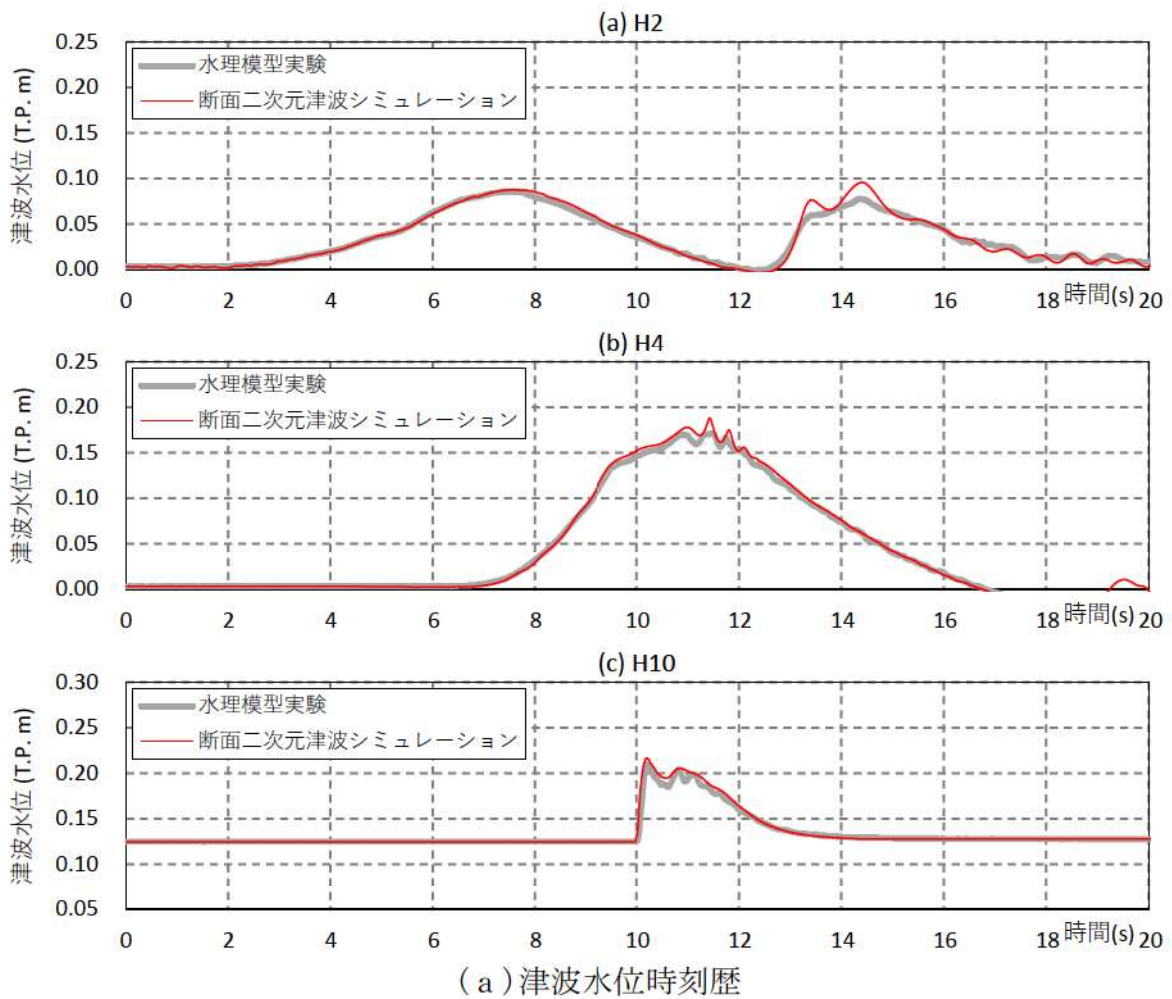


(a) 津波水位時刻歴



(b) 防潮堤に作用する波圧分布

参考図 2-9 水理模型実験と断面二次元津波シミュレーションの比較
(正弦波ケース)

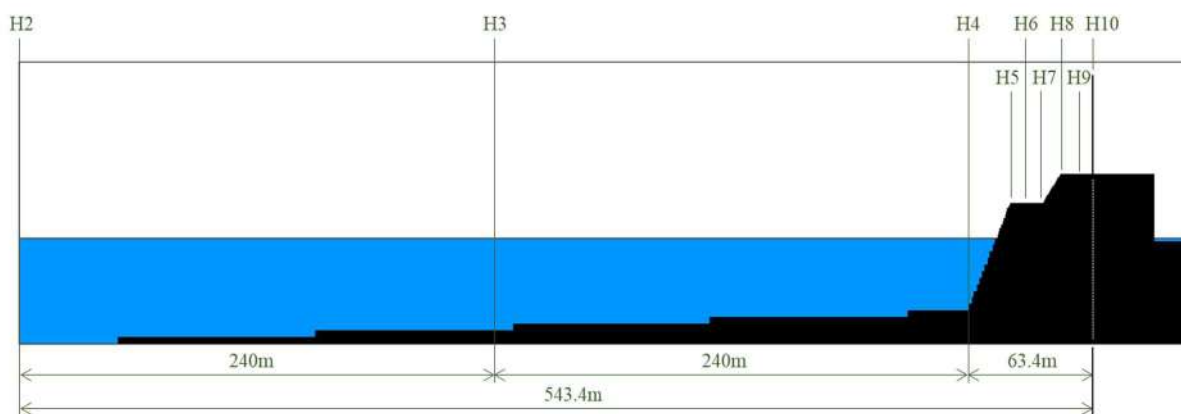


参考図 2-10 水理模型実験と断面二次元津波シミュレーションの比較
(孤立波ケース)

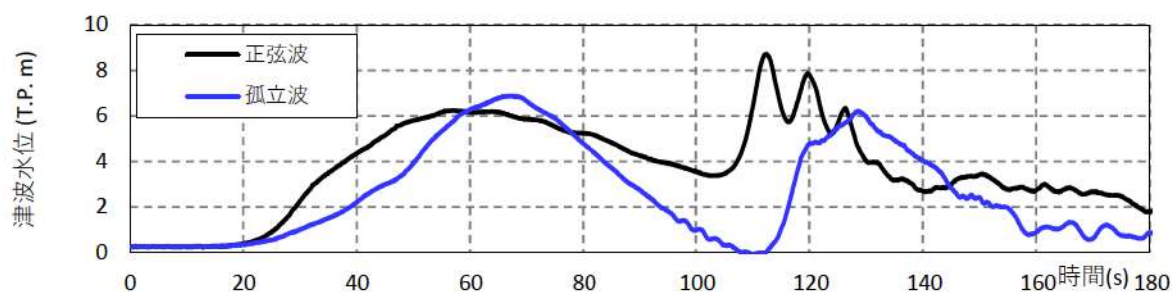
5. 実験スケールと実機スケールの解析結果の比較

4章に示す内容より、泊発電所のサイト特性を考慮した水理模型実験結果をCADMAS-SURF/3Dにより再現可能なことが確認できた。

本章では、水理模型実験の条件及び結果を実験スケール(縮尺: 1/80)から実機スケール(縮尺: 1/1)に換算し、実機スケールで再現解析を実施した際の再現性について確認を行う。実機スケールの解析モデルを参考図 2-11 に、入力波形を参考図 2-12 に示す。

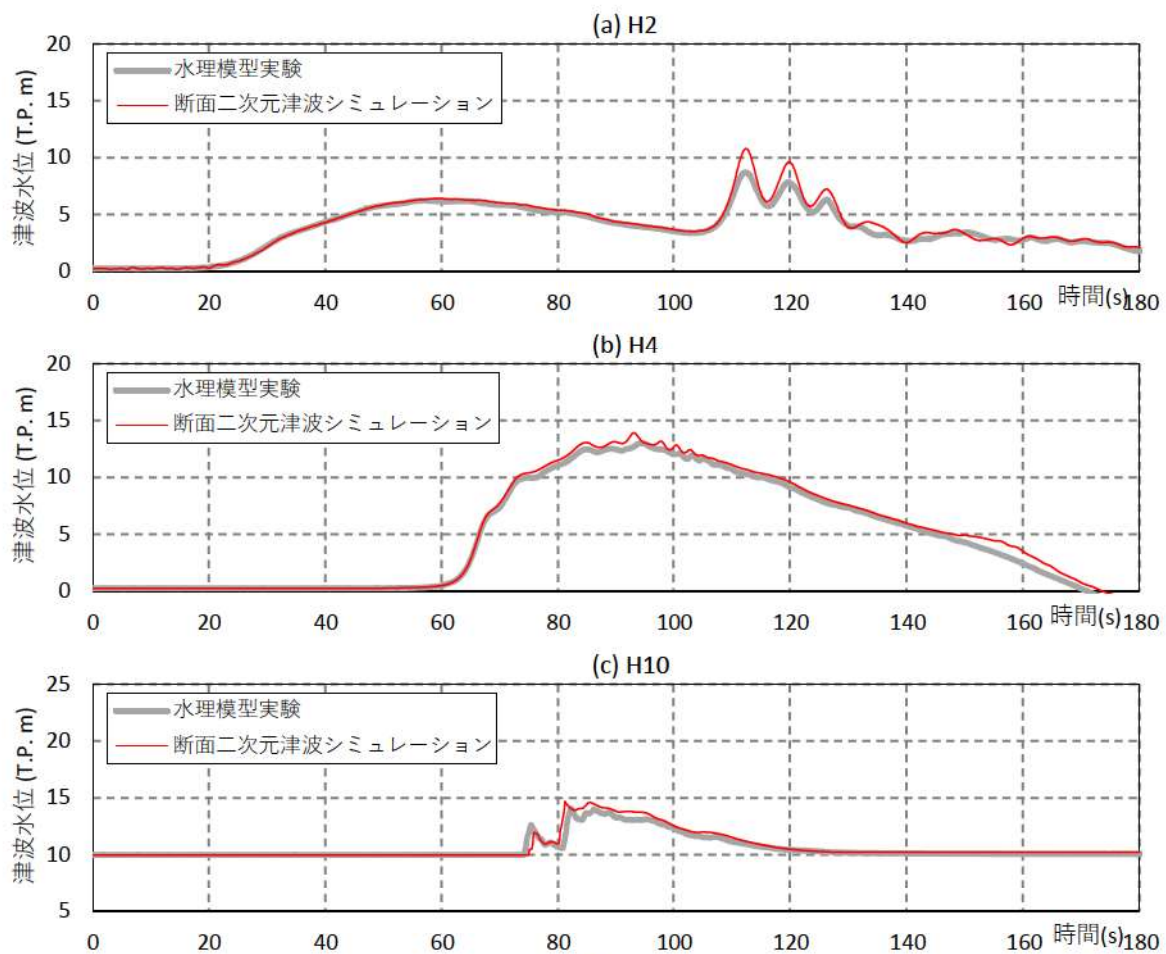


参考図 2-11 解析モデル(実機スケール)

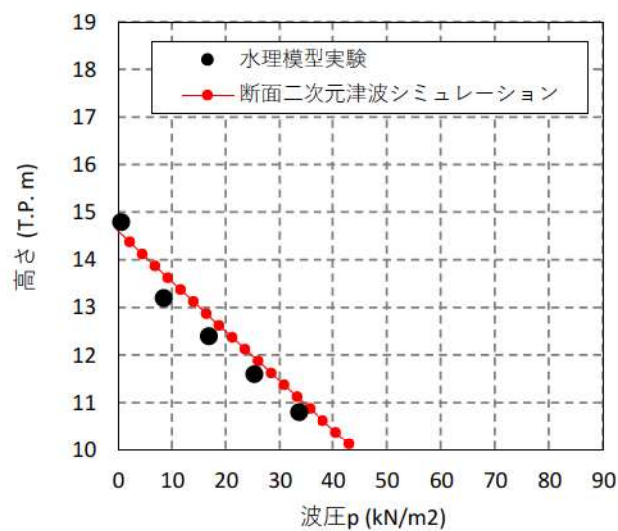


参考図 2-12 入力する津波の時刻歴波形(実機スケール)

正弦波及び孤立波の2ケースについて、実機スケールにおける、代表点の水位時刻歴波形及び防潮堤に作用する波圧分布の水理模型実験結果と解析結果の比較を参考図 2-13 及び参考図 2-14 に示す。



(a) 津波水位時刻歴

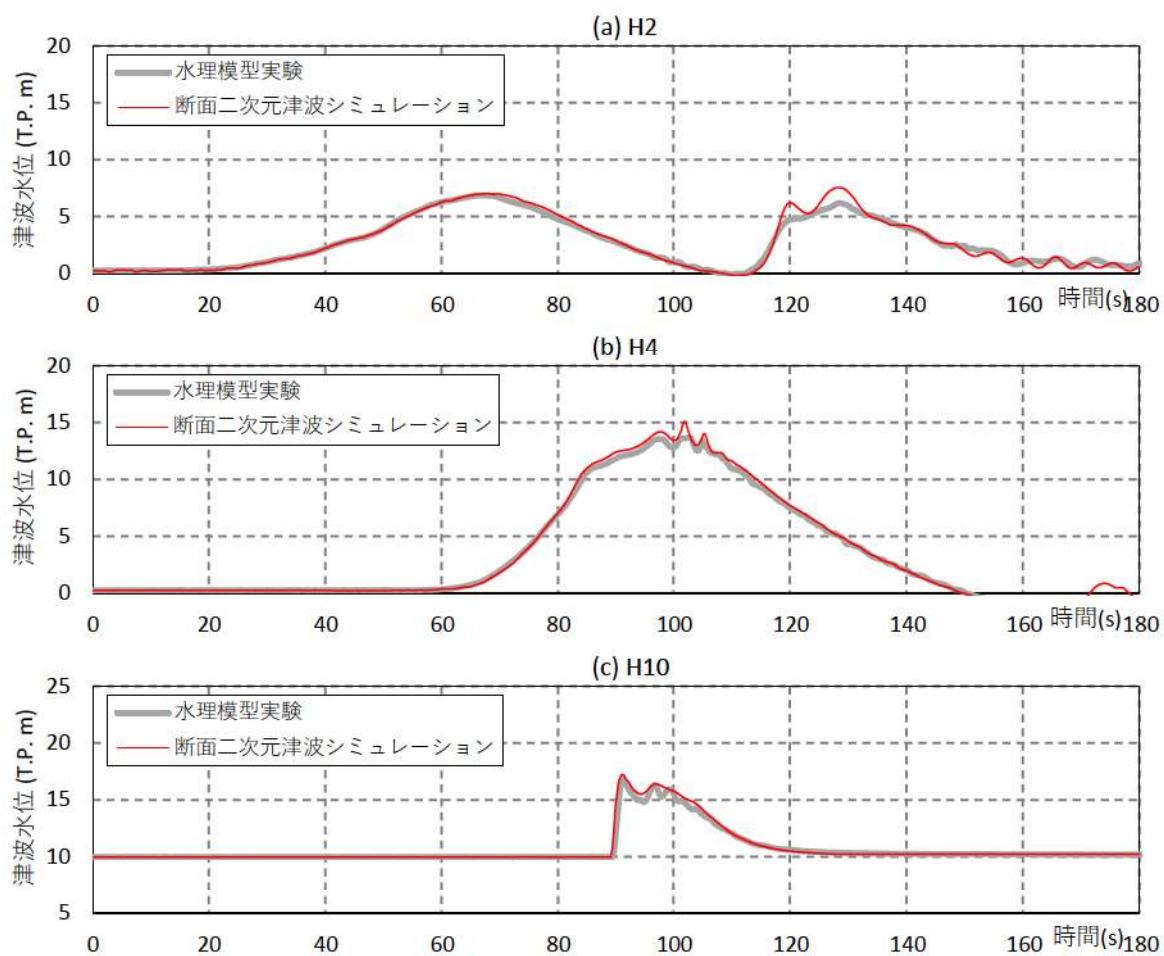


(b) 防潮堤に作用する波圧分布

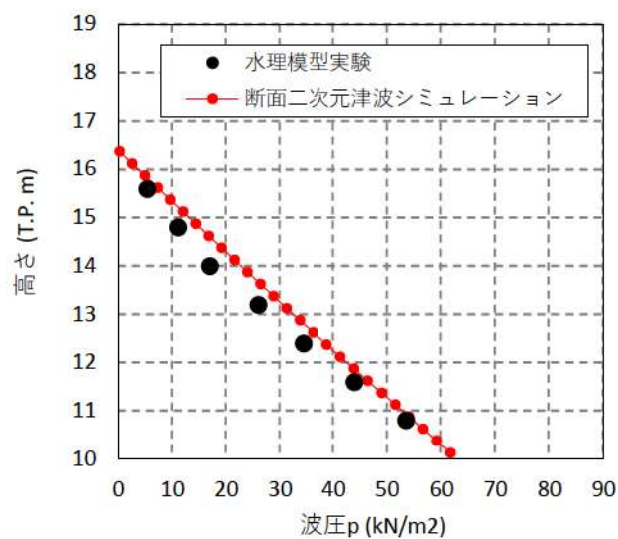
参考図 2-13 水理模型実験と断面二次元津波シミュレーションの比較※

(正弦波ケース, 実機スケール)

※水理模型実験の結果は実機スケール(縮尺: 1/1)に換算している



(a) 津波水位時刻歴



(b) 防潮堤に作用する波圧分布

参考図 2-14 水理模型実験と断面二次元津波シミュレーションの比較*

(孤立波ケース, 実機スケール)

※水理模型実験の結果を実機スケール(縮尺: 1/1)に換算している

参考図 2-13 及び参考図 2-14 より、水位時刻歴及び防潮堤に作用する波圧について、実験スケールの場合と同等の再現結果が得られている。

以上より、実機スケールにおいても、泊発電所のサイト特性を考慮した水理模型実験結果を、CADMAS-SURF/3D による断面二次元津波シミュレーションにより再現可能であることが確認された。

6. まとめ

CADMAS-SURF/3D による断面二次元津波シミュレーションにより、泊発電所のサイト特性を考慮した水理模型実験結果と同等で整合性のある解析結果が示されたことから、泊発電所における砕波段波及び波状段波の発生有無並びに波圧算定式の妥当性確認等における CADMAS-SURF/3D の妥当性を確認した。

また、CADMAS-SURF/3D における水位時刻歴波形及び防潮堤に作用する波圧は、水理模型実験を上回る結果となったことから、CADMAS-SURF/3D を用いることで砕波段波及び波状段波の発生有無並びに防潮堤に作用する波圧分布の確認を保守的に評価できる。

泊発電所の敷地に来襲する津波の特性

1. はじめに

断面二次元津波シミュレーションによる、砕波段波の発生有無の確認に当たって、解析断面及び入力波形を設定するため、泊発電所の敷地に来襲する津波の特性の確認を行った。

2. 敷地に来襲する津波の特性の確認

特性の確認を行う評価対象 20 ケースを参考表 3-1 に、評価対象 20 ケースの 3 号炉取水口、1 号及び 2 号炉取水口、放水口及び防潮堤前面における水位時刻歴波形及び伝播状況を参考図 3-1～参考図 3-40 に示す。

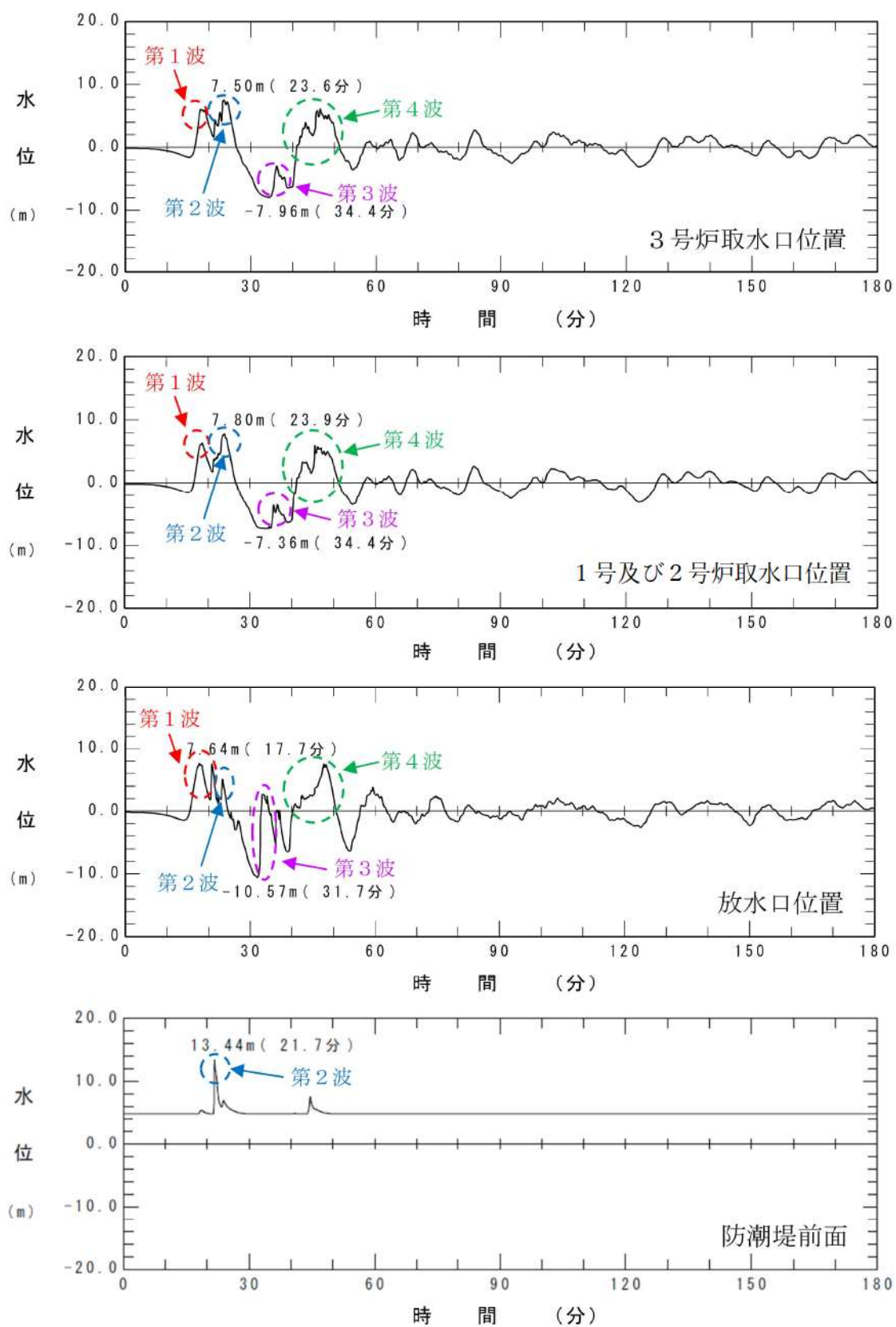
各ケースの水位時刻歴波形のとおり、地震発生後、地震に伴う津波の第 1 波が発電所港湾に来襲し、押し波が継続した後、引き波に転じる。その後、岩内側で反射された津波及び陸上地すべり（川白）による津波の第 2 波が発電所港湾に来襲し、押し波が継続した後、引き波に転じる。その後、発電所西側から伝播した津波の第 3 波が発電所港湾に来襲し、押し波が継続した後、引き波に転じる。その後、積丹半島北西部から伝播した津波の第 4 波が発電所港湾に来襲する。

その後の津波の水位は第 1 波から第 4 波の津波水位と比較して比較的低くなっていた。

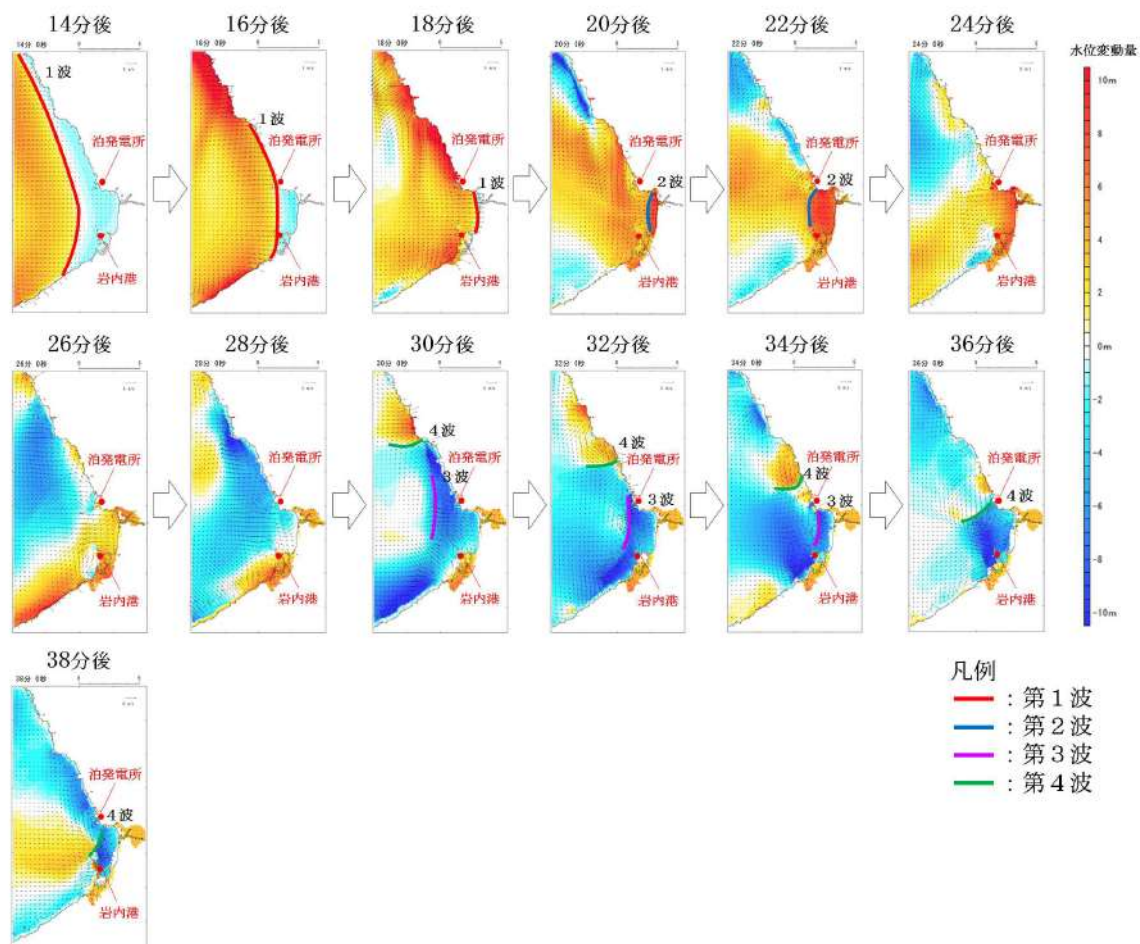
また、各ケースの伝播状況のとおり、第 1 波は周辺地形の影響をほとんど受けずに発電所西側方向から直線的に発電所港湾に到達するが、第 2 波以降の後続波は周辺地形の反射の影響を大きく受ける。第 2 波は、岩内側で反射された津波が、陸上地すべり（川白）と重畳し、泊発電所港湾に来襲する。第 3 波は、発電所西側方向より発電所港湾に来襲する。第 4 波は積丹半島北西部より発電所港湾に来襲する。

参考表 3-1 評価対象 20 ケース

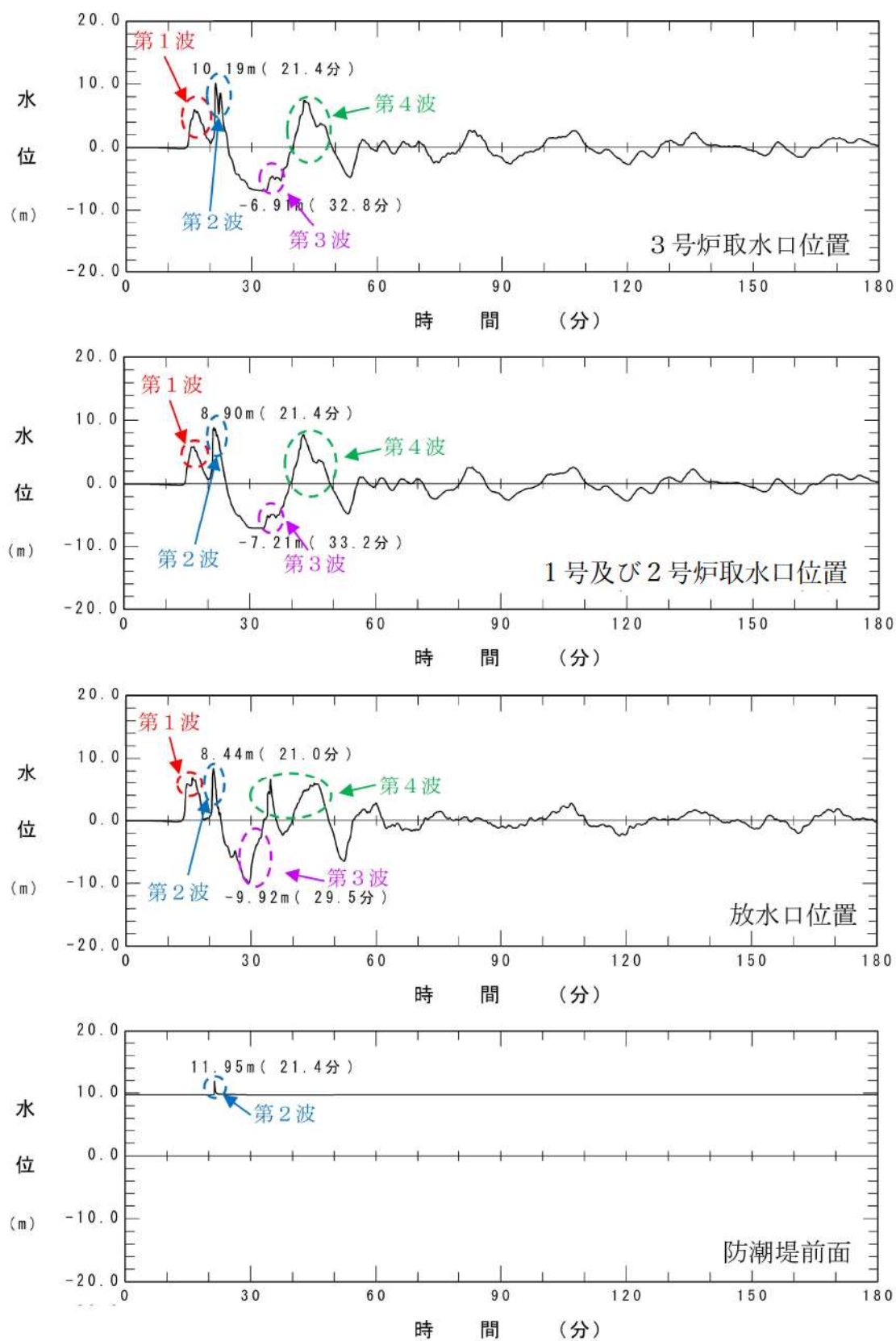
波源	防波堤の損傷状態
基準津波 A	防波堤損傷なし
基準津波 B	防波堤損傷なし
基準津波 B	北防波堤損傷
基準津波 C	防波堤損傷なし
基準津波 D	防波堤損傷なし
基準津波 D	北及び南防波堤損傷
基準津波 D	南防波堤損傷
基準津波 D	北防波堤損傷
基準津波 E	北及び南防波堤損傷
基準津波 E	南防波堤損傷
基準津波 F	北及び南防波堤損傷
基準津波 F	北防波堤損傷
基準津波 G	南防波堤損傷
基準津波 H	北防波堤損傷
基準津波 I	防波堤損傷なし
基準津波 J	北及び南防波堤損傷
基準津波 K	南防波堤損傷
基準津波 L	北防波堤損傷
流速最大ケース 1 ※	
流速最大ケース 2 ※	



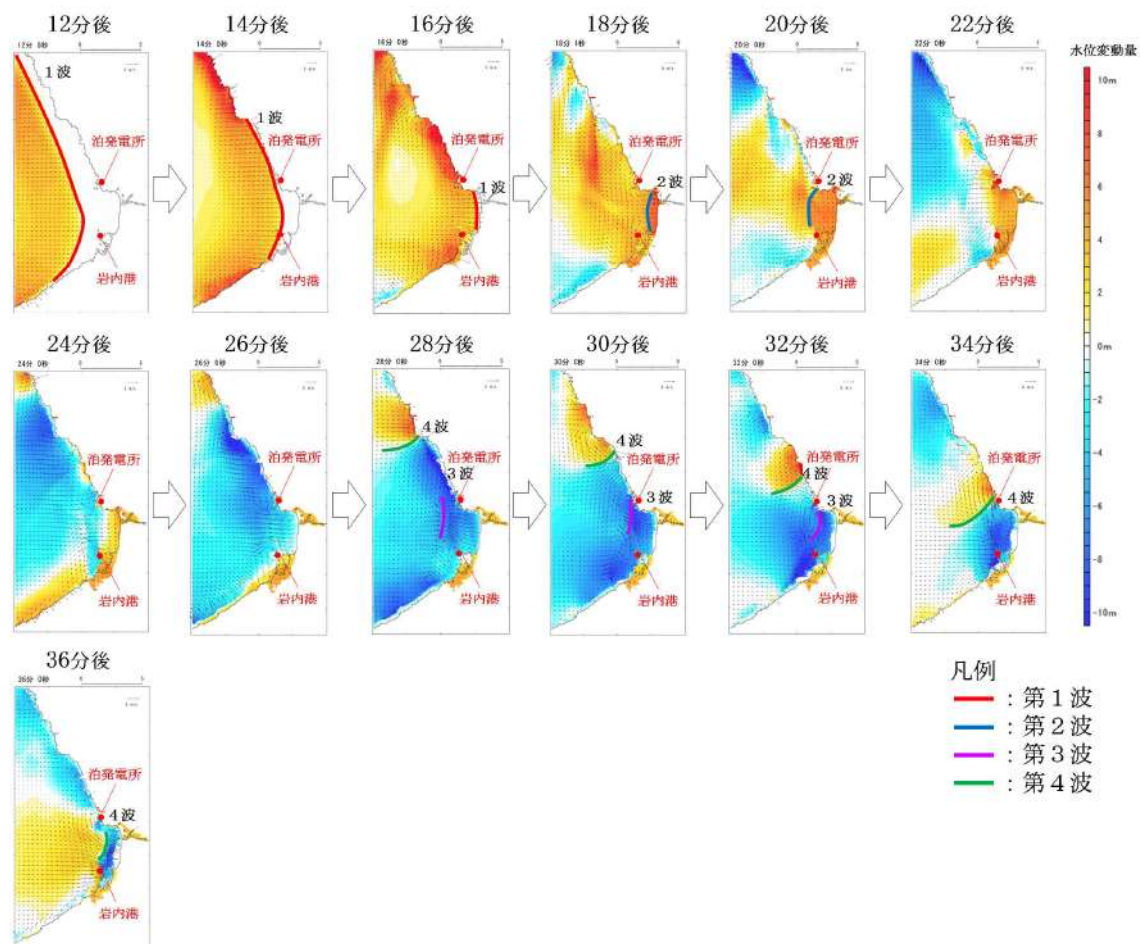
参考図 3-1 基準津波 A (防波堤損傷なし) の水位時刻歴波形



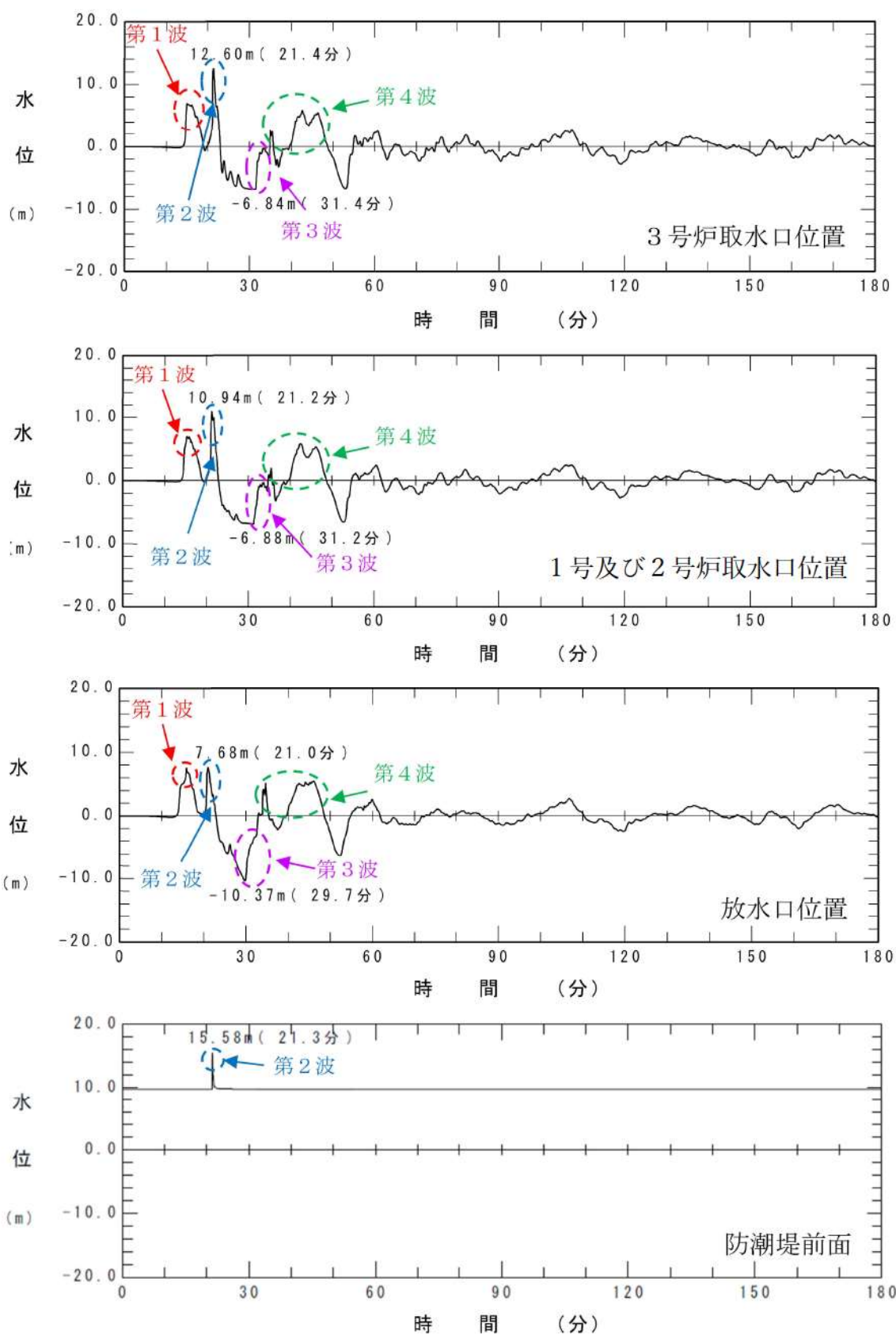
参考図 3-2 基準津波 A（防波堤損傷なし）の伝播状況



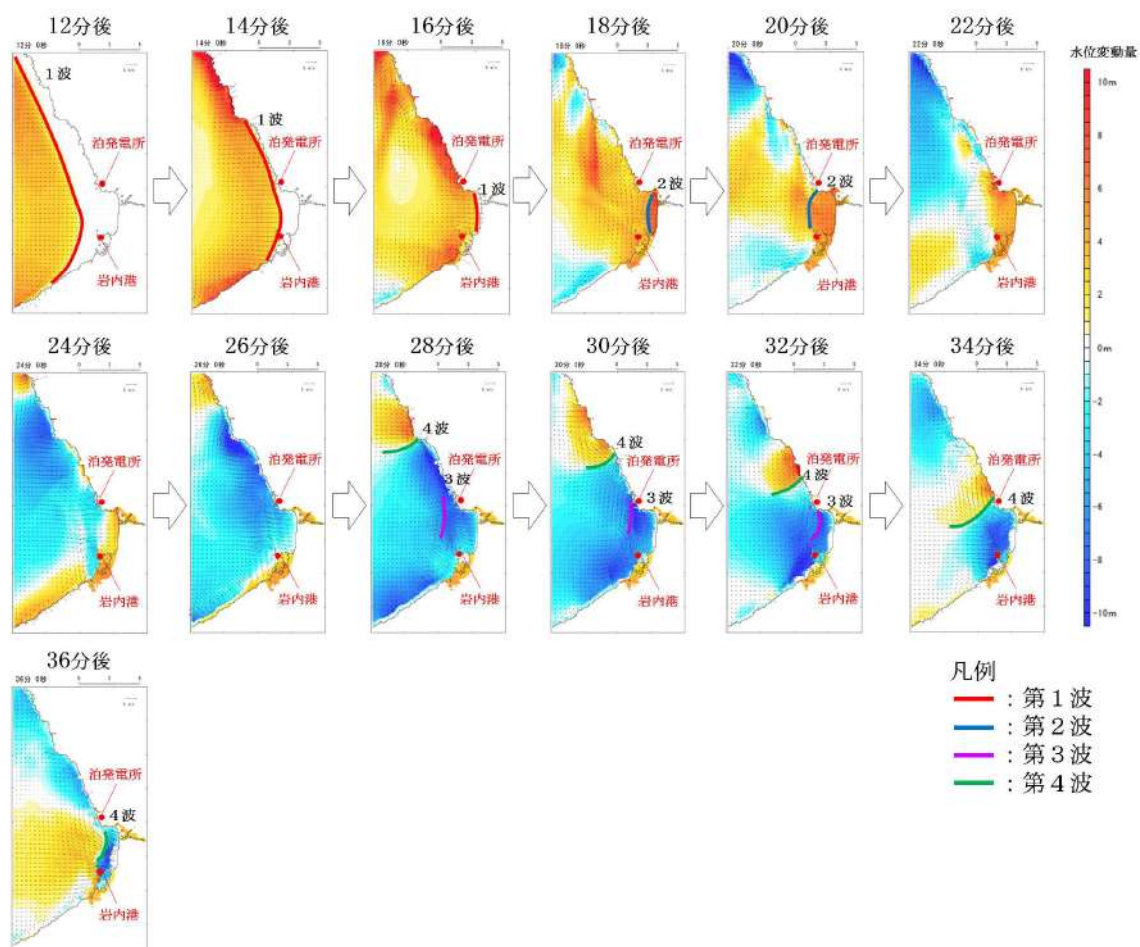
参考図 3-3 基準津波 B (防波堤損傷なし) の水位時刻歴波形



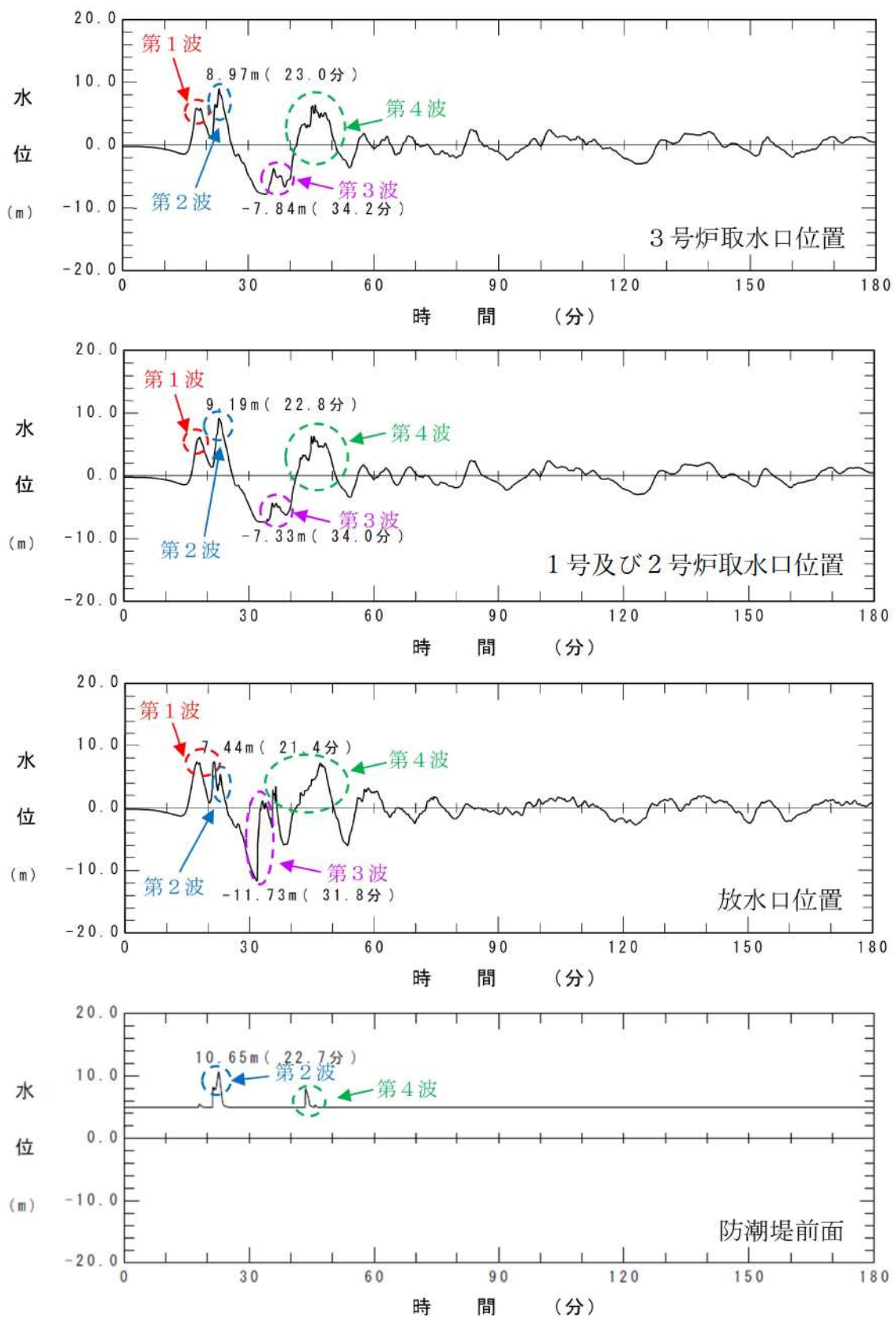
参考図 3-4 基準津波 B（防波堤損傷なし）の伝播状況



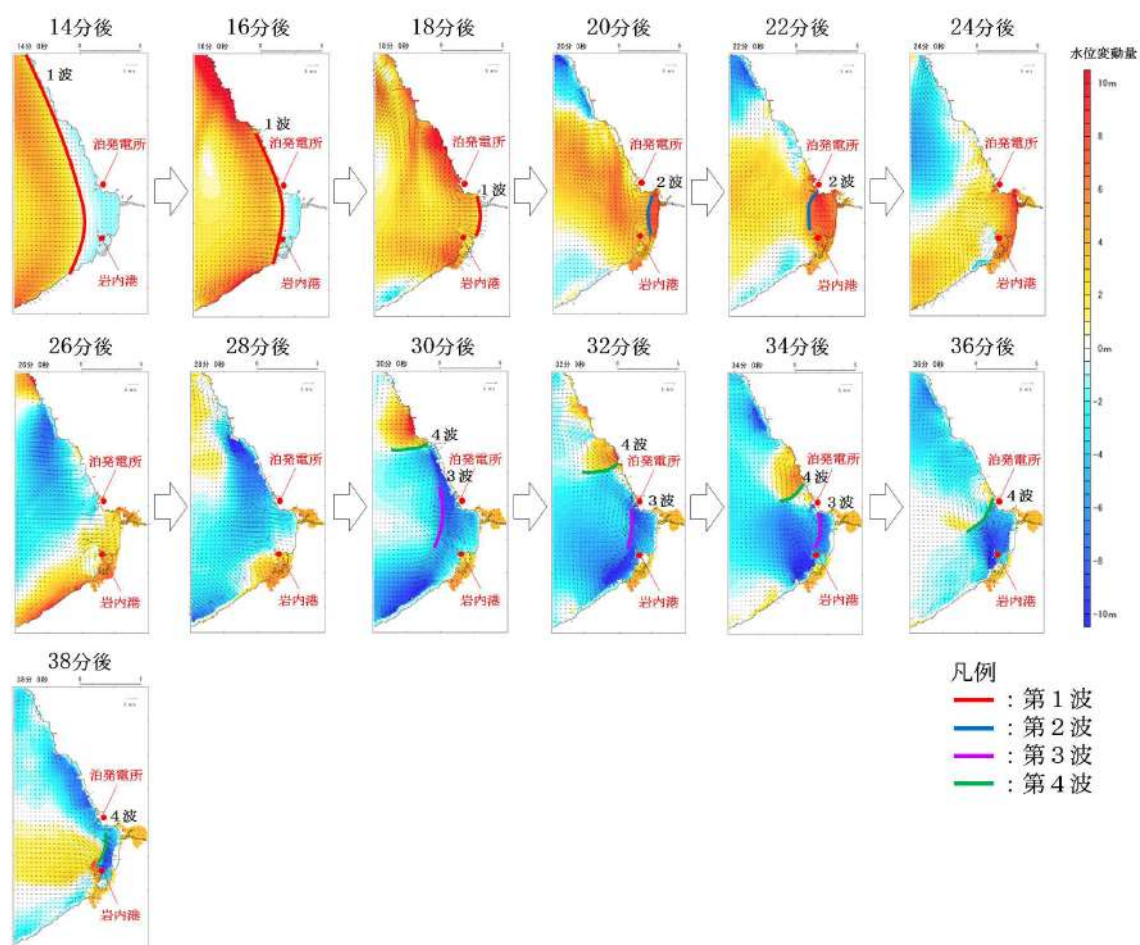
参考図 3-5 基準津波 B (北防波堤損傷) の水位時刻歴波形



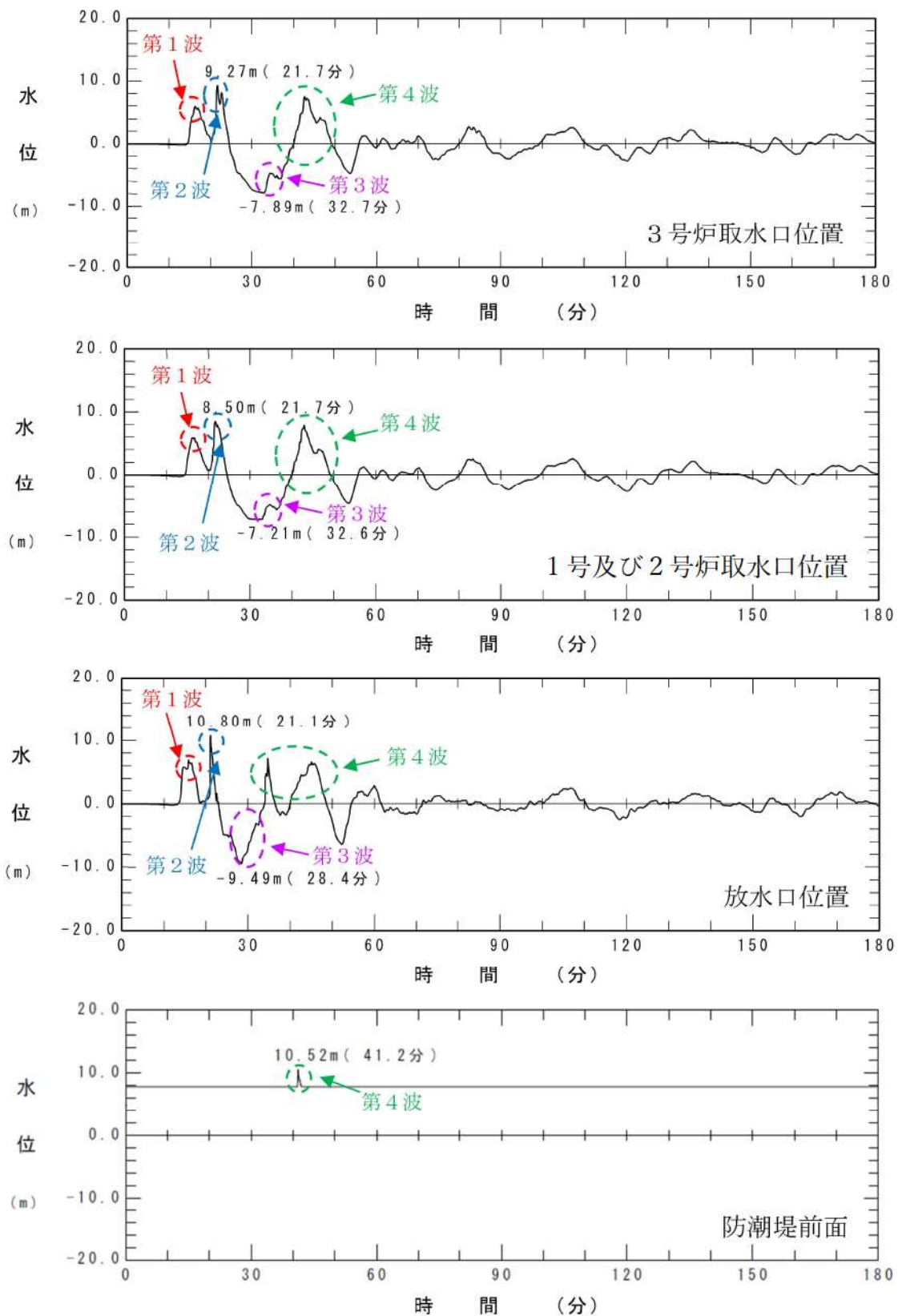
参考図 3-6 基準津波 B（北防波堤損傷）の伝播状況



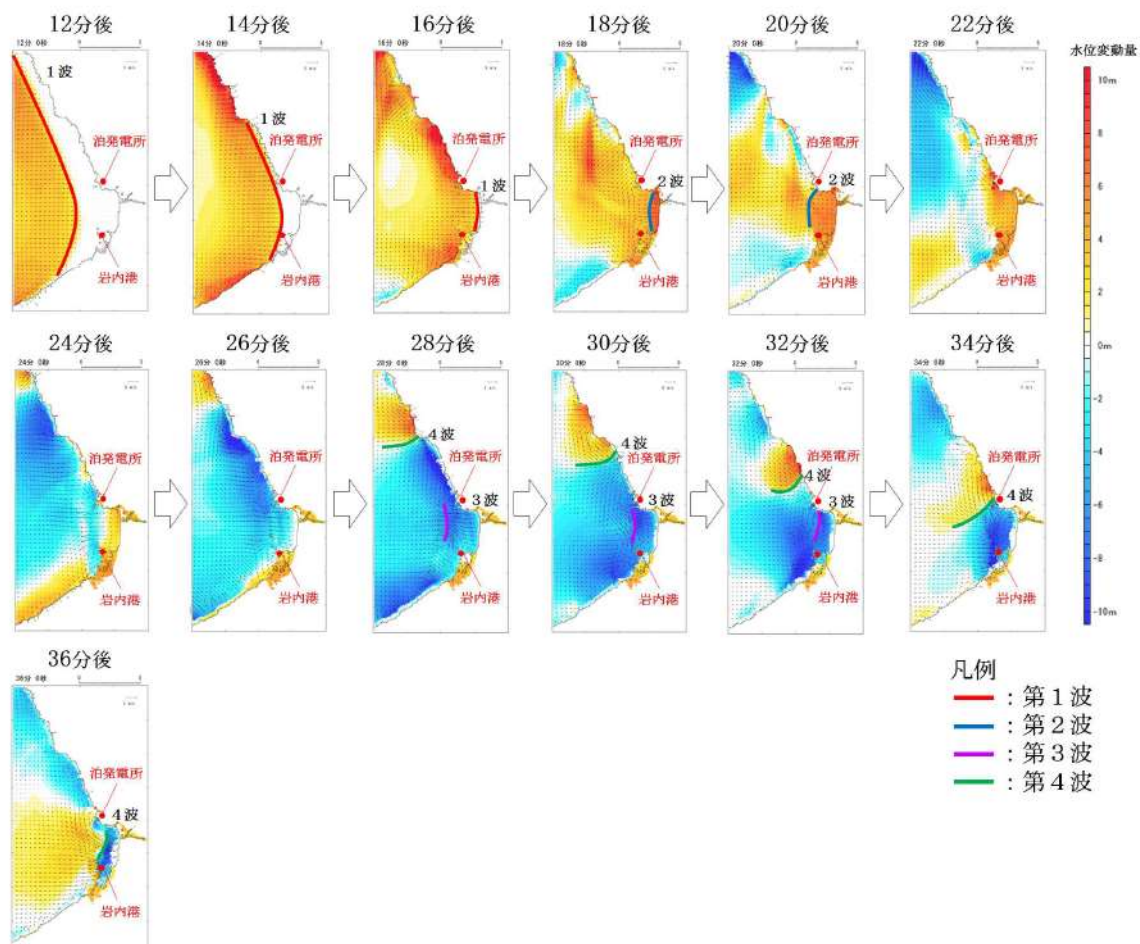
参考図 3-7 基準津波 C (防波堤損傷なし) の水位時刻歴波形



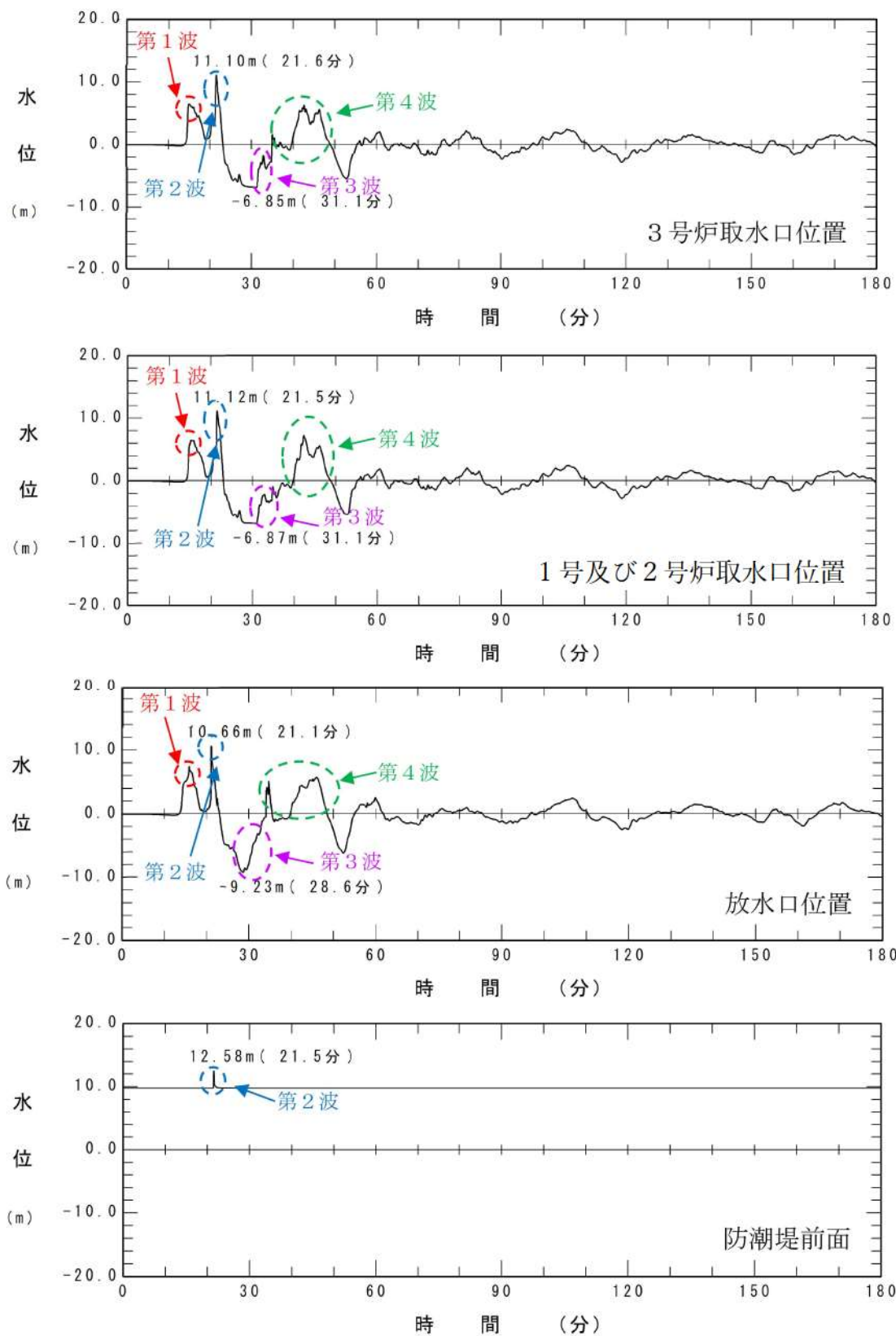
参考図 3-8 基準津波 C（防波堤損傷なし）の伝播状況



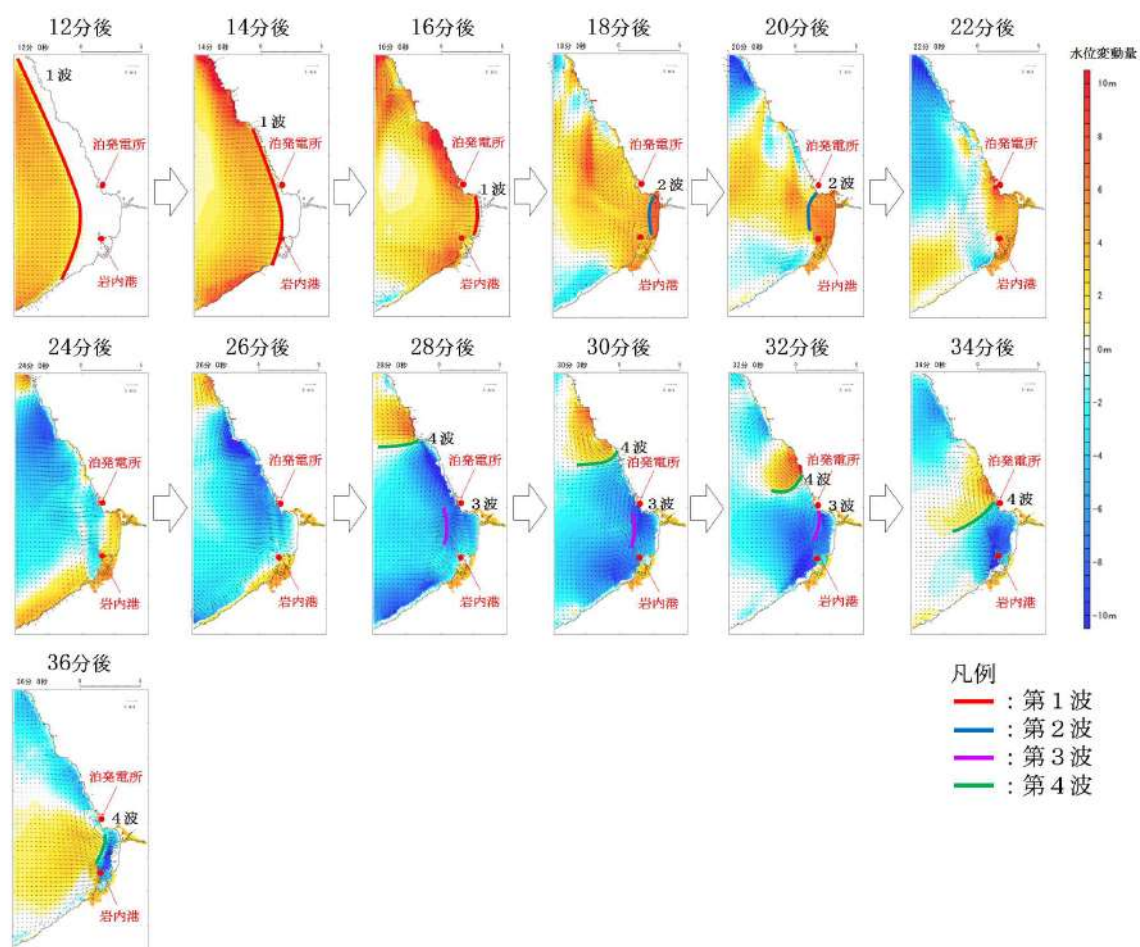
参考図 3-9 基準津波D (防波堤損傷なし) の水位時刻歴波形



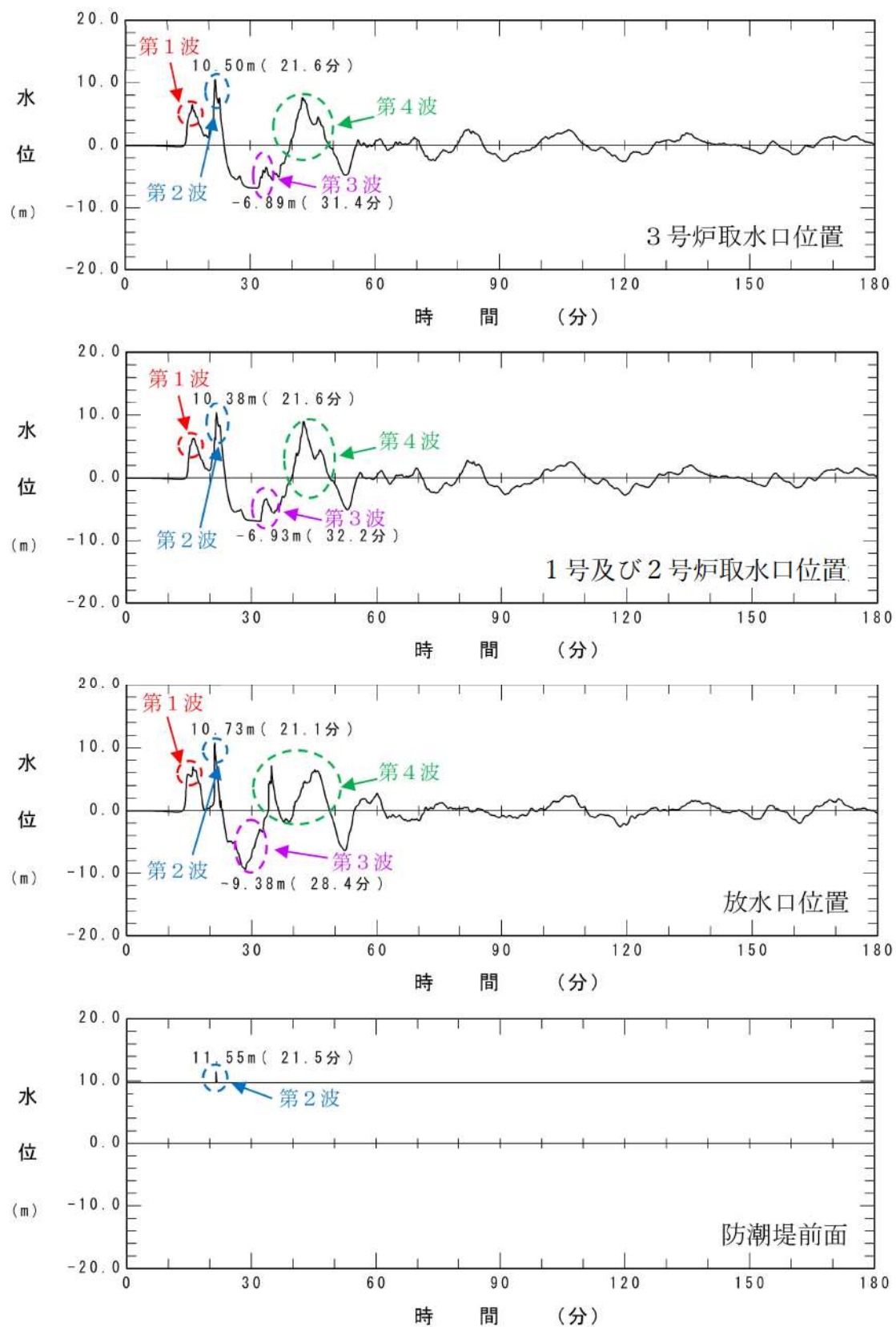
参考図 3-10 基準津波D（防波堤損傷なし）の伝播状況



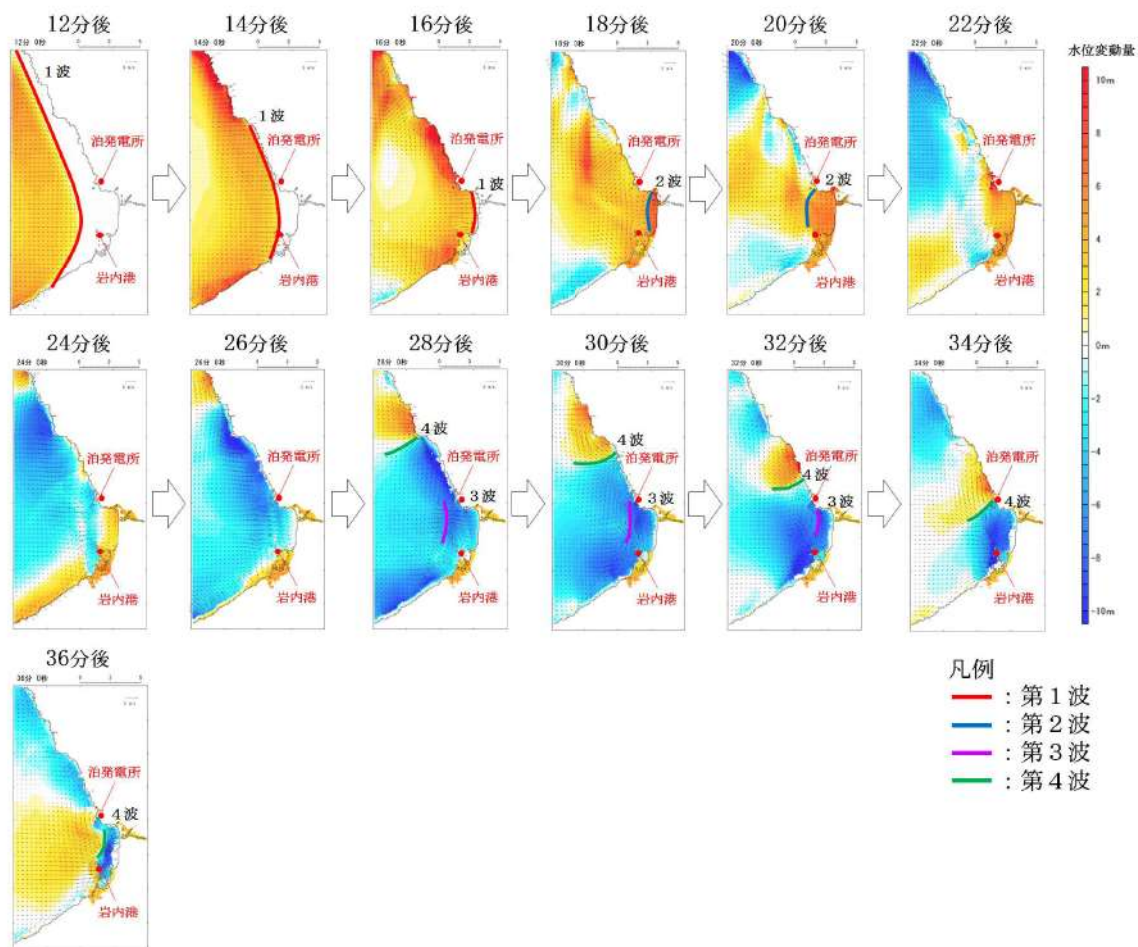
参考図 3-11 基準津波D（北及び南防波堤損傷）の水位時刻歴波形



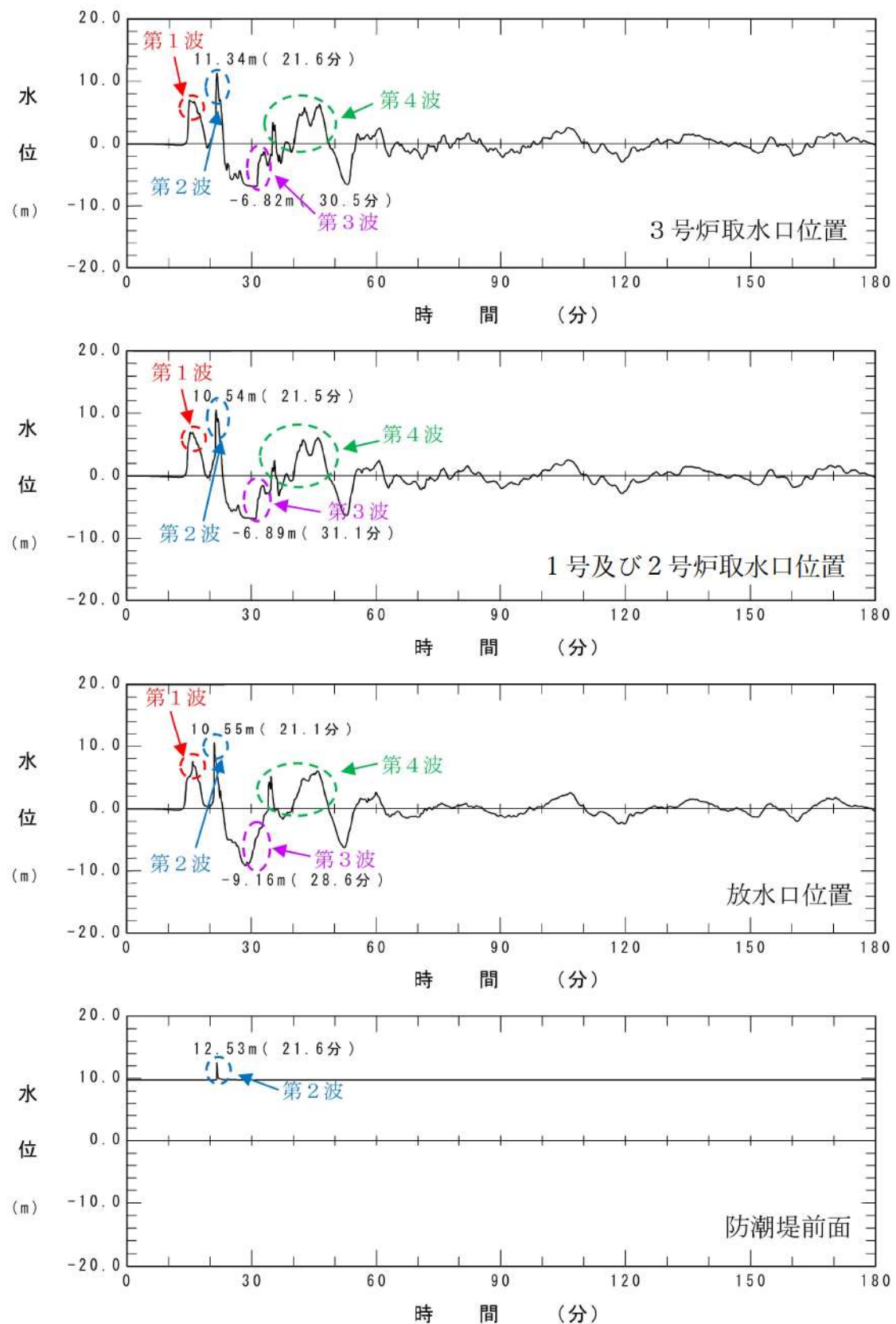
参考図 3-12 基準津波D（北及び南防波堤損傷）の伝播状況



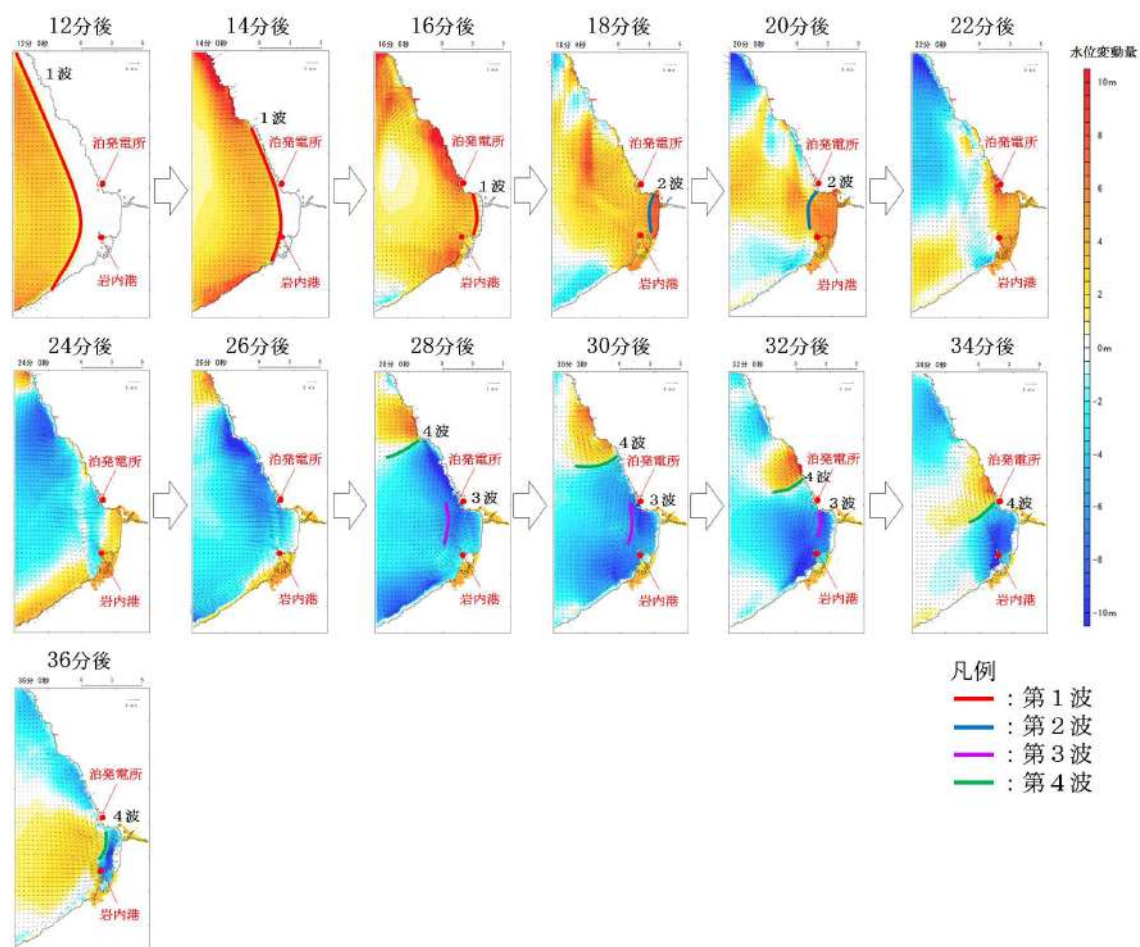
参考図 3-13 基準津波D (南防波堤損傷) の水位時刻歴波形



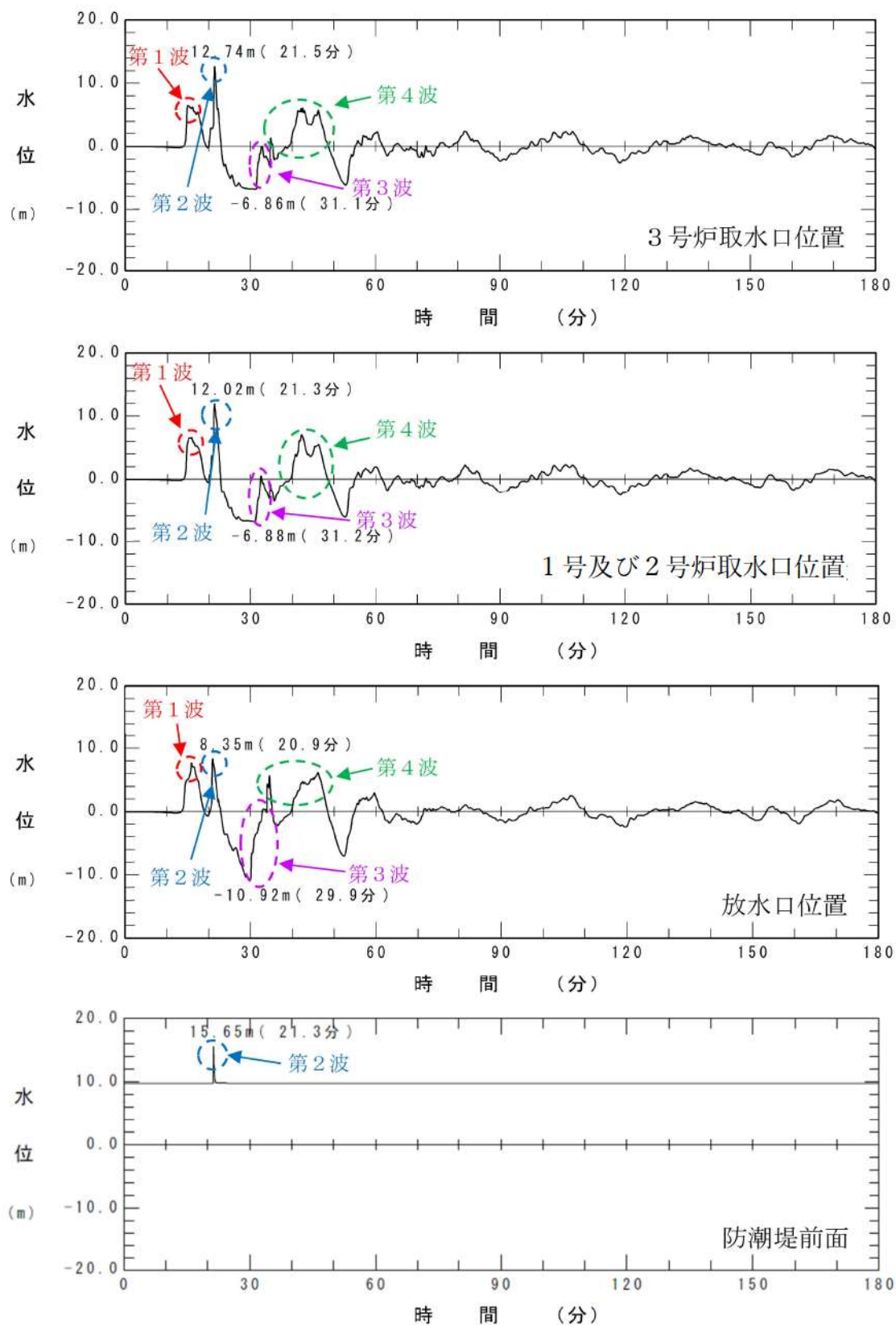
参考図 3-14 基準津波D（南防波堤損傷）の伝播状況



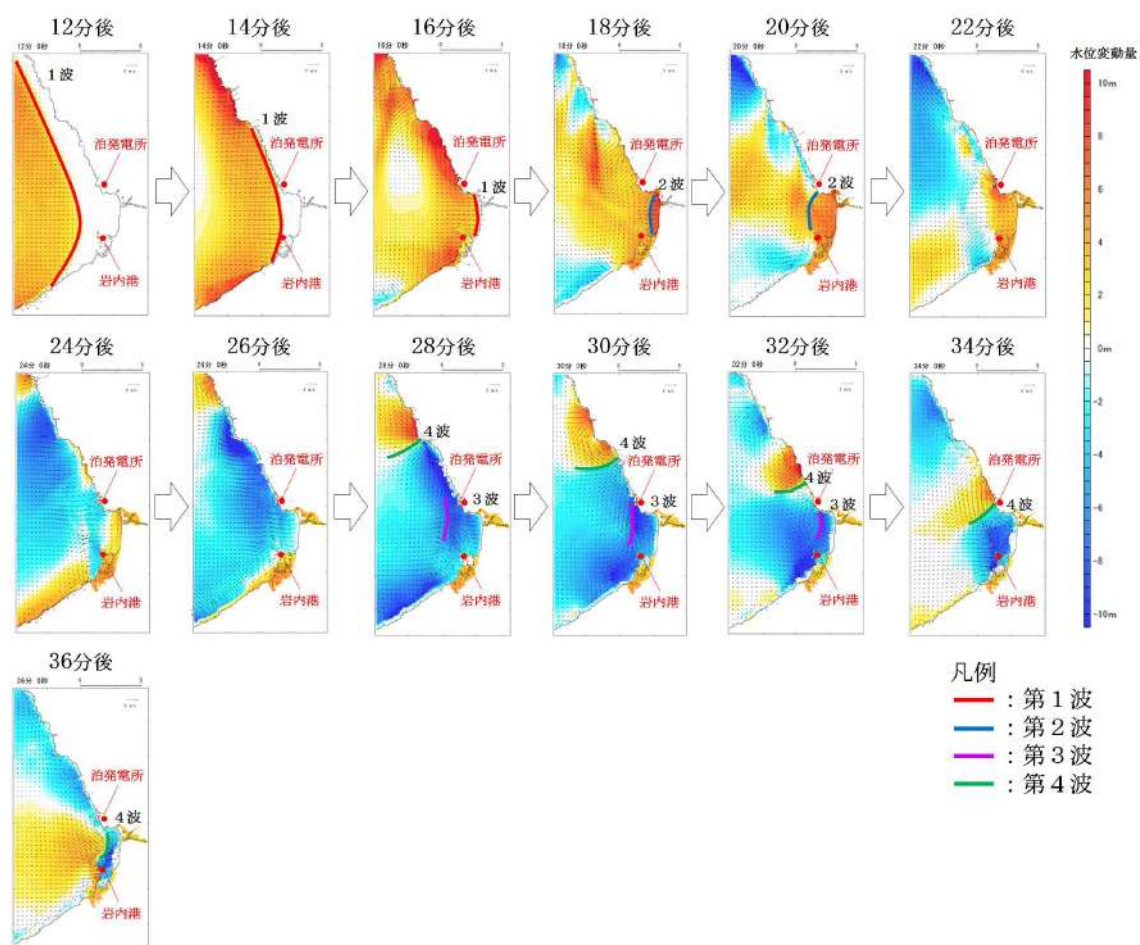
参考図 3-15 基準津波D（北防波堤損傷）の水位時刻歴波形



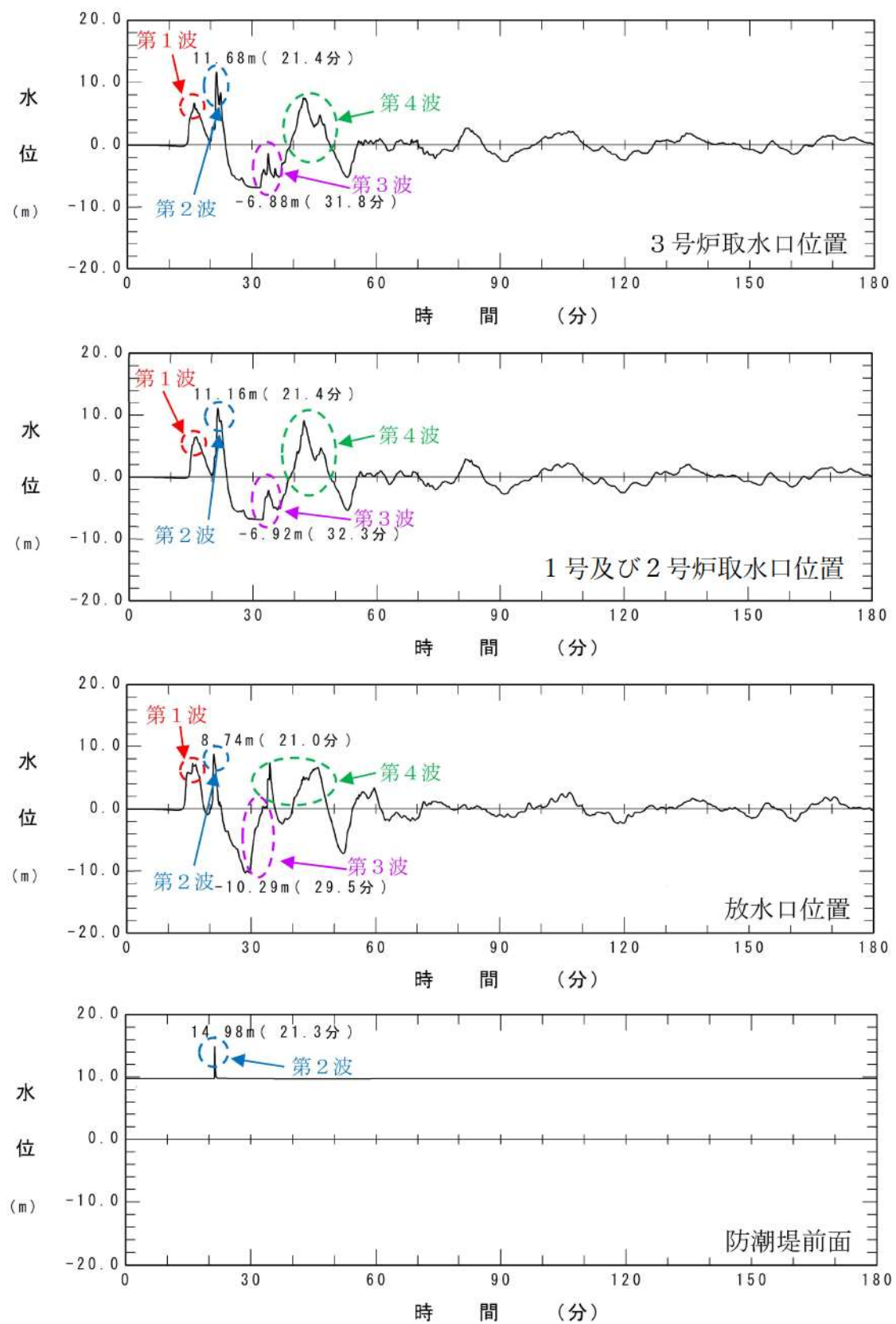
参考図 3-16 基準津波D（北防波堤損傷）の伝播状況



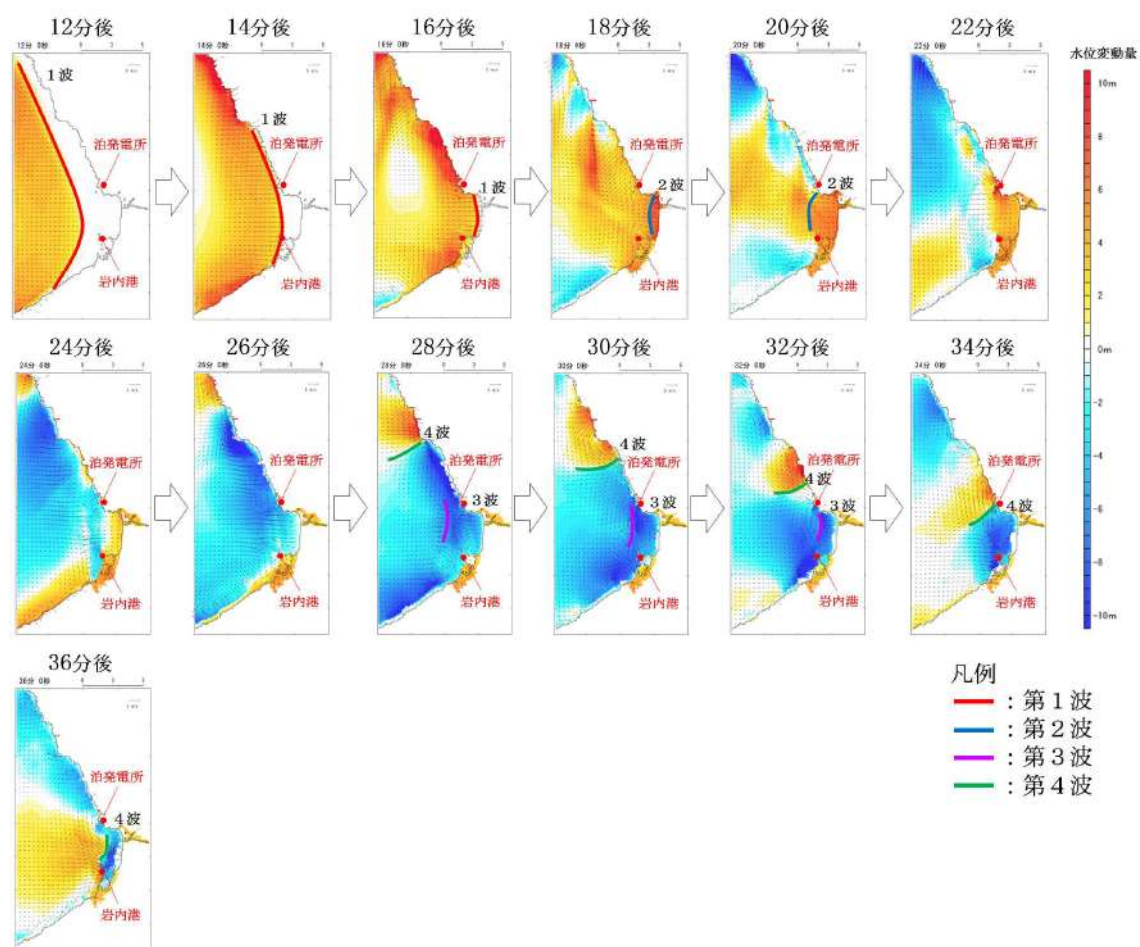
参考図 3-17 基準津波 E（北及び南防波堤損傷）の水位時刻歴波形



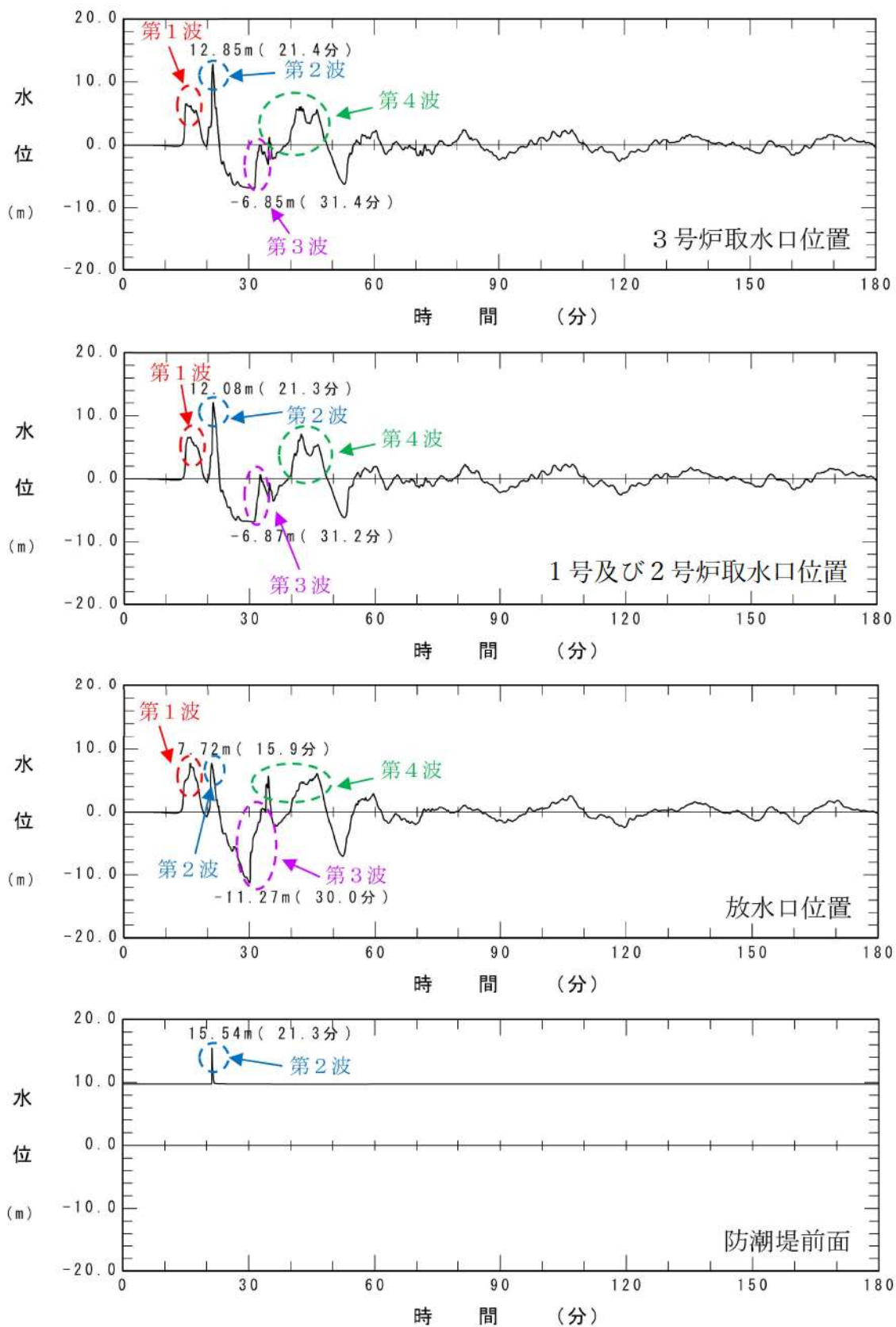
参考図 3-18 基準津波 E（北及び南防波堤損傷）の伝播状況



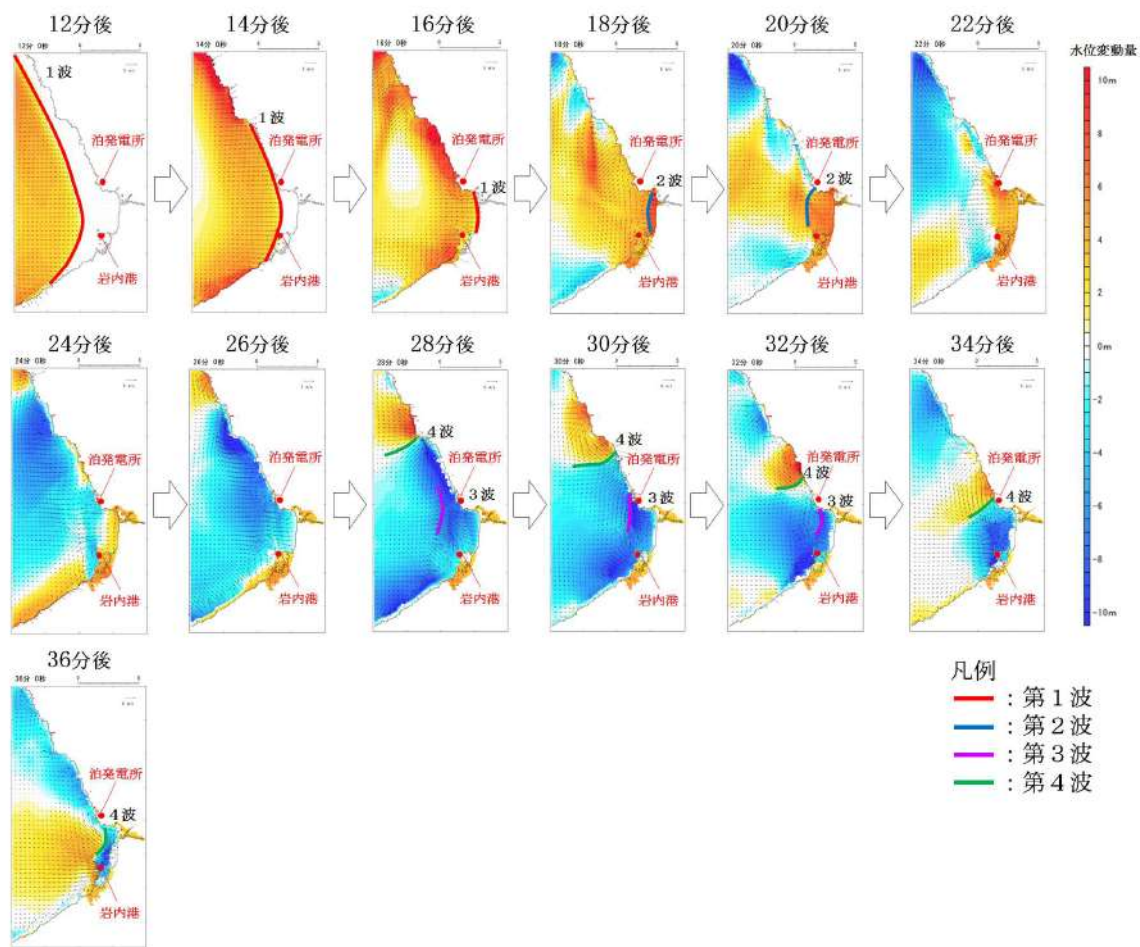
参考図 3-19 基準津波 E (南防波堤損傷) の水位時刻歴波形



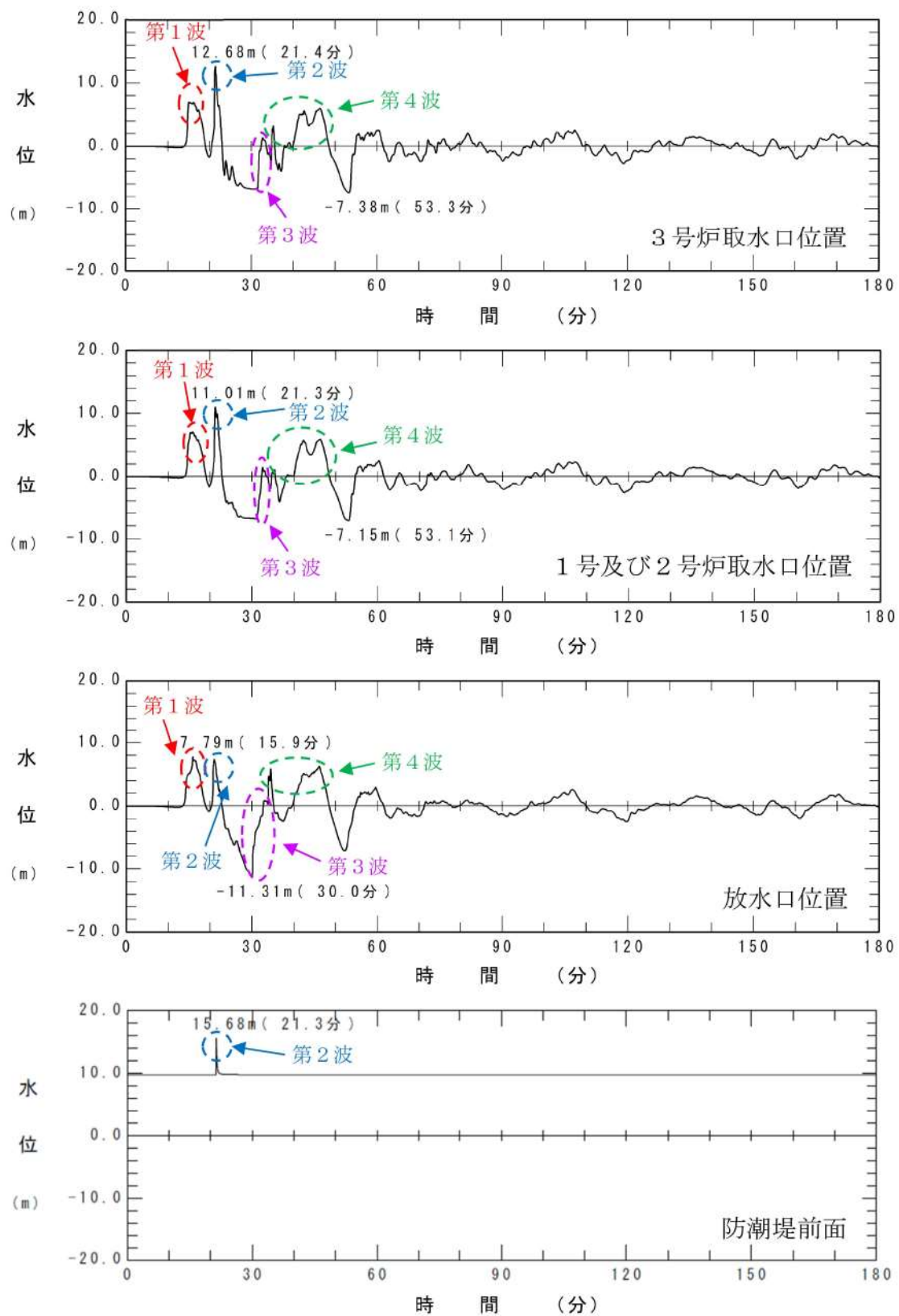
参考図 3-20 基準津波 E（南防波堤損傷）の伝播状況



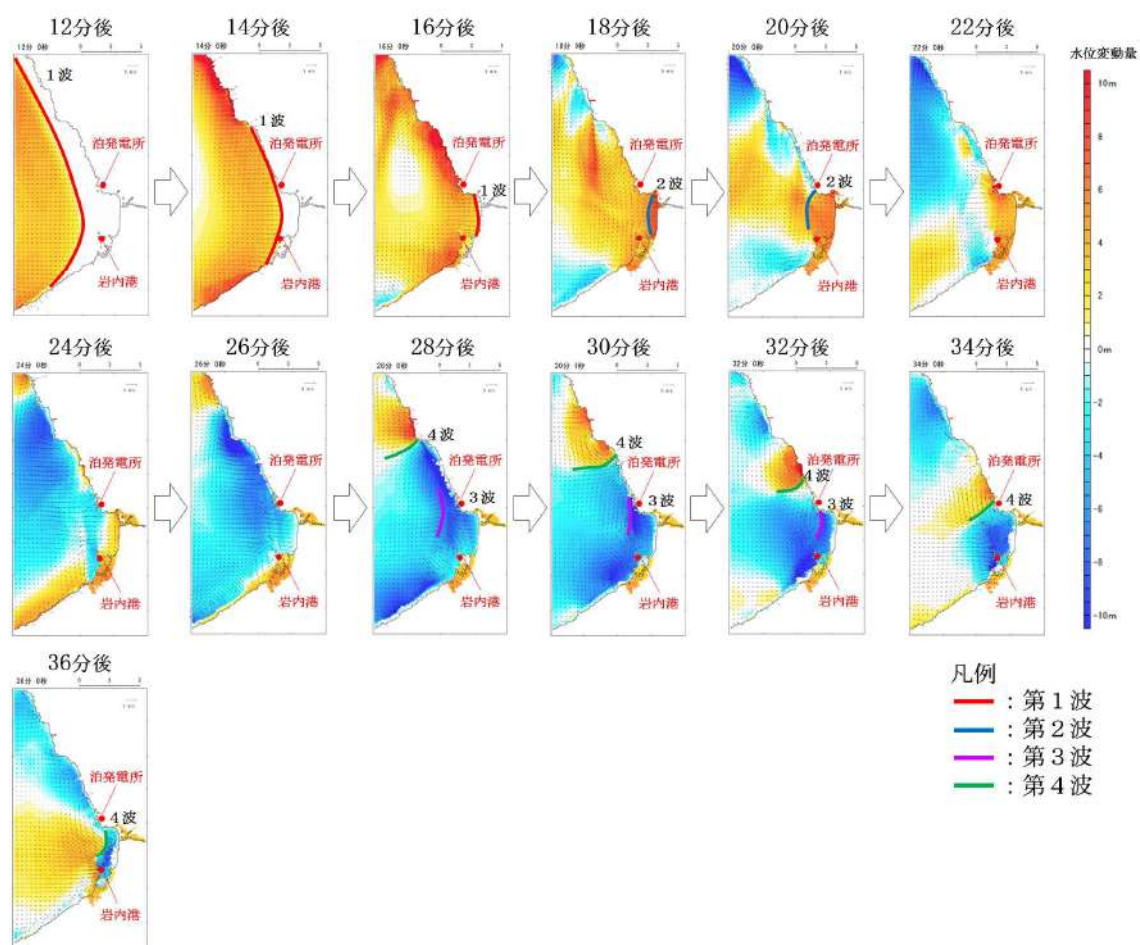
参考図 3-21 基準津波 F (北及び南防波堤損傷) の水位時刻歴波形



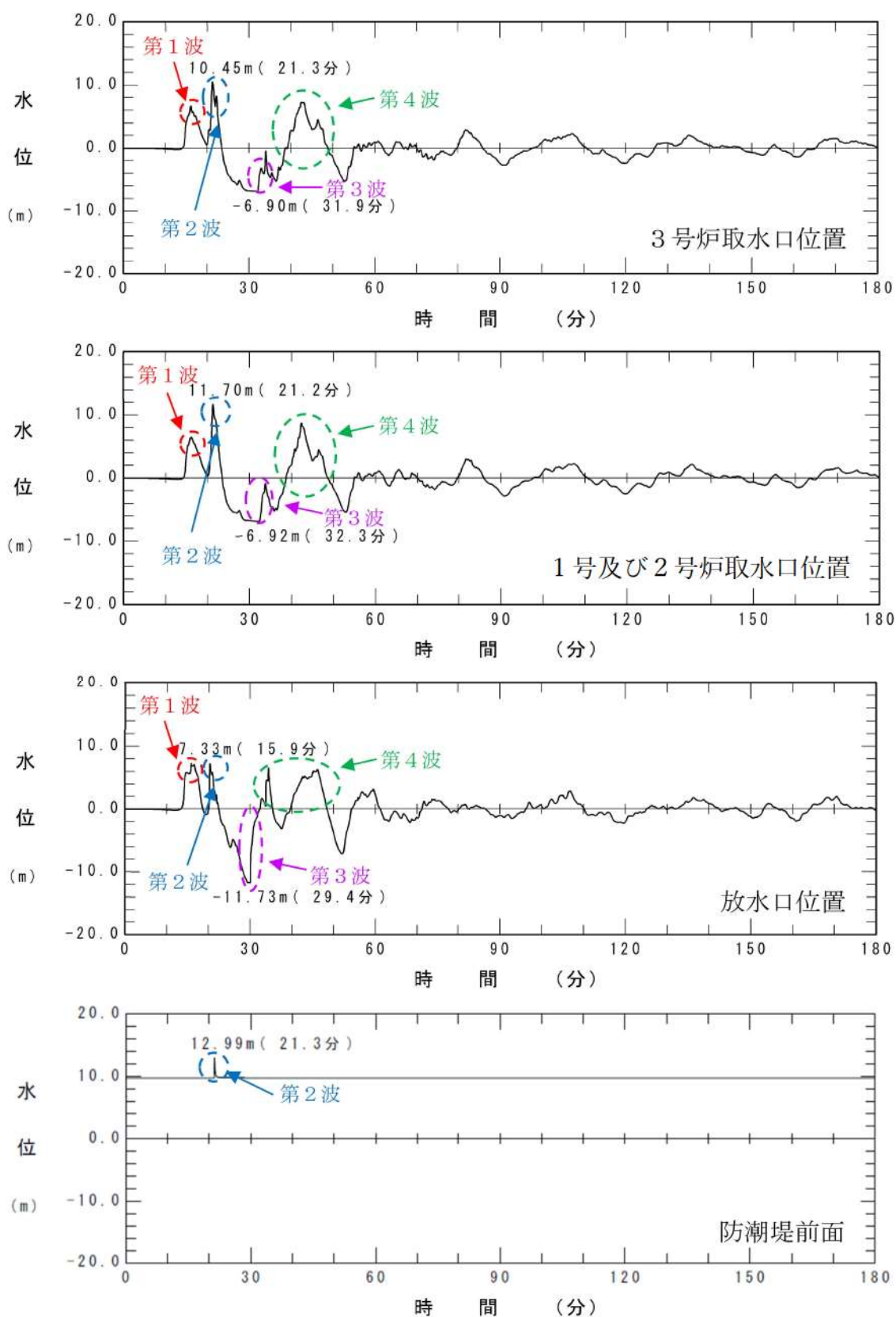
参考図 3-22 基準津波 F（北及び南防波堤損傷）の伝播状況



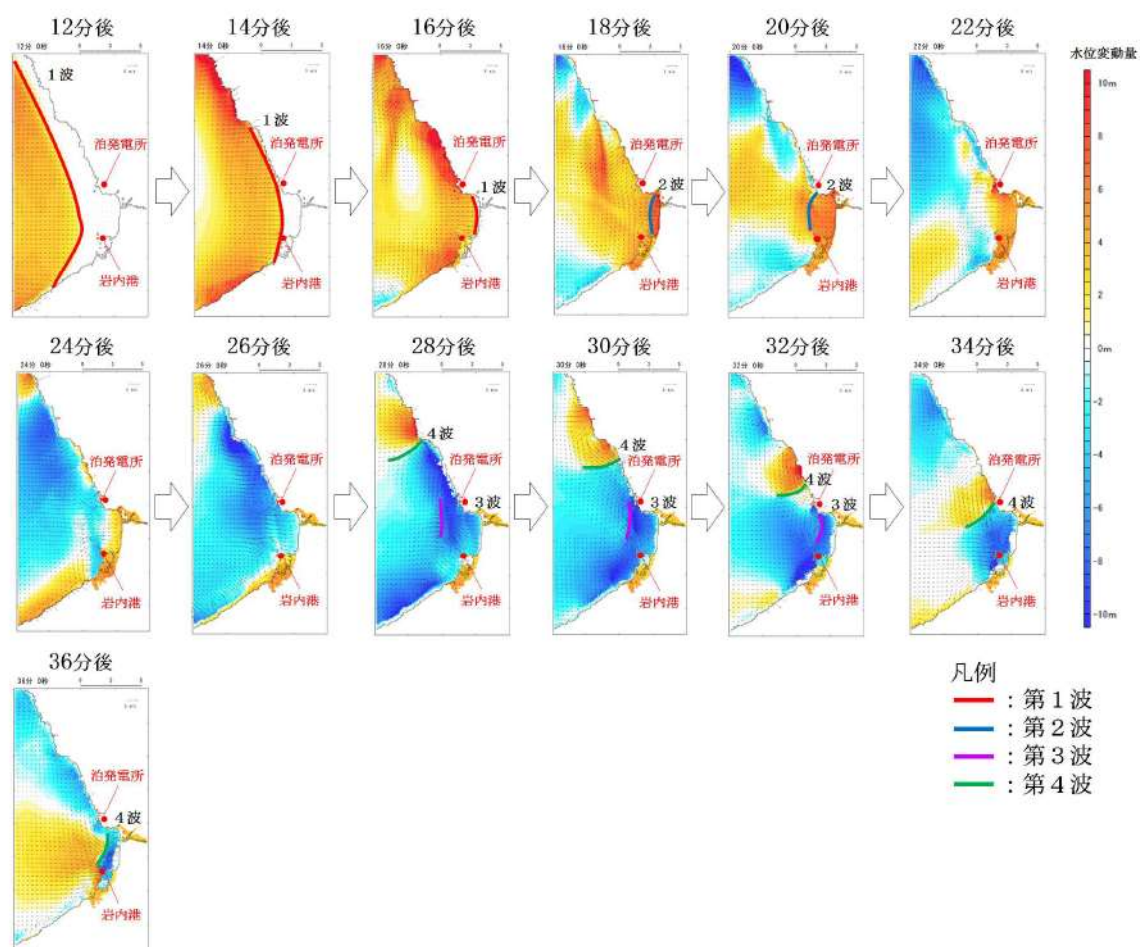
参考図 3-23 基準津波 F (北防波堤損傷) の水位時刻歴波形



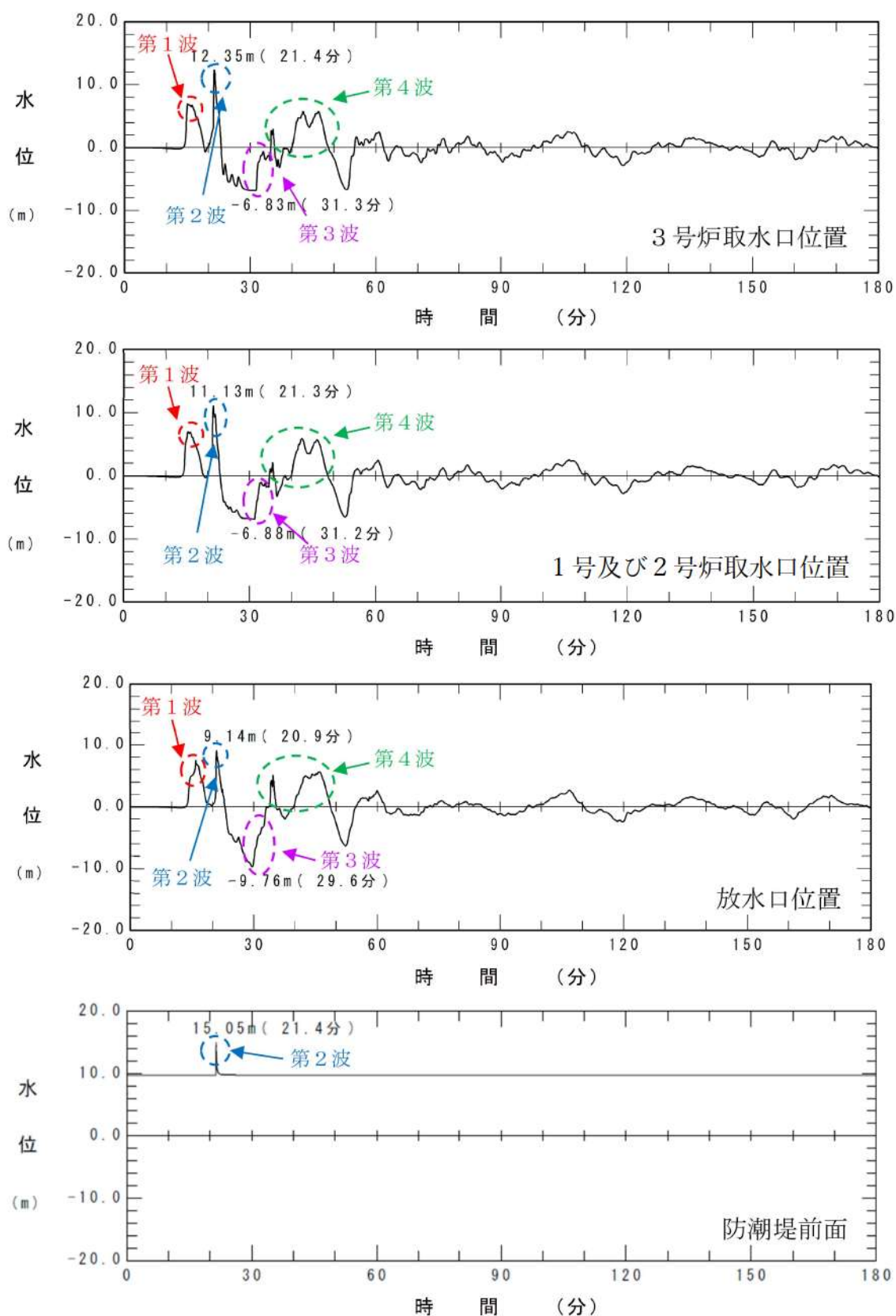
参考図 3-24 基準津波 F（北防波堤損傷）の伝播状況



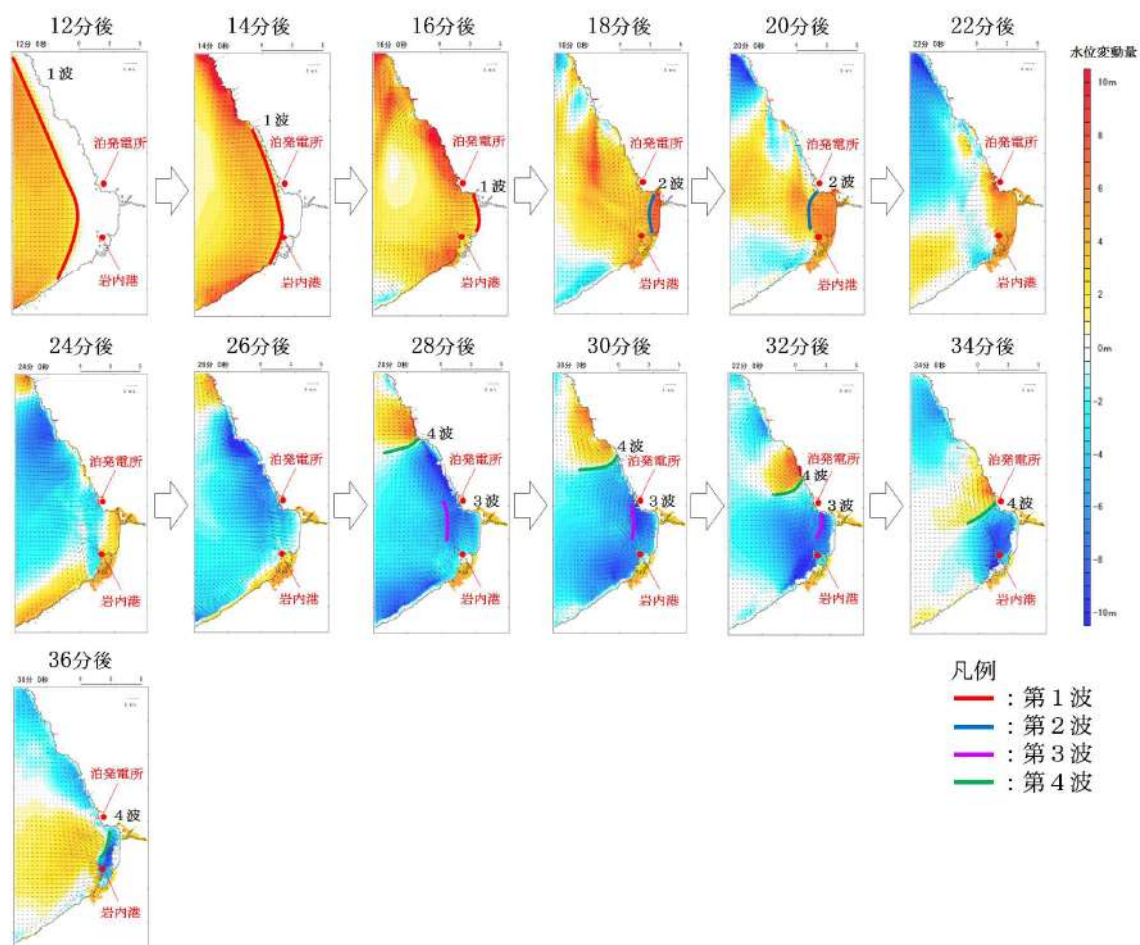
参考図 3-25 基準津波 G (南防波堤損傷) の水位時刻歴波形



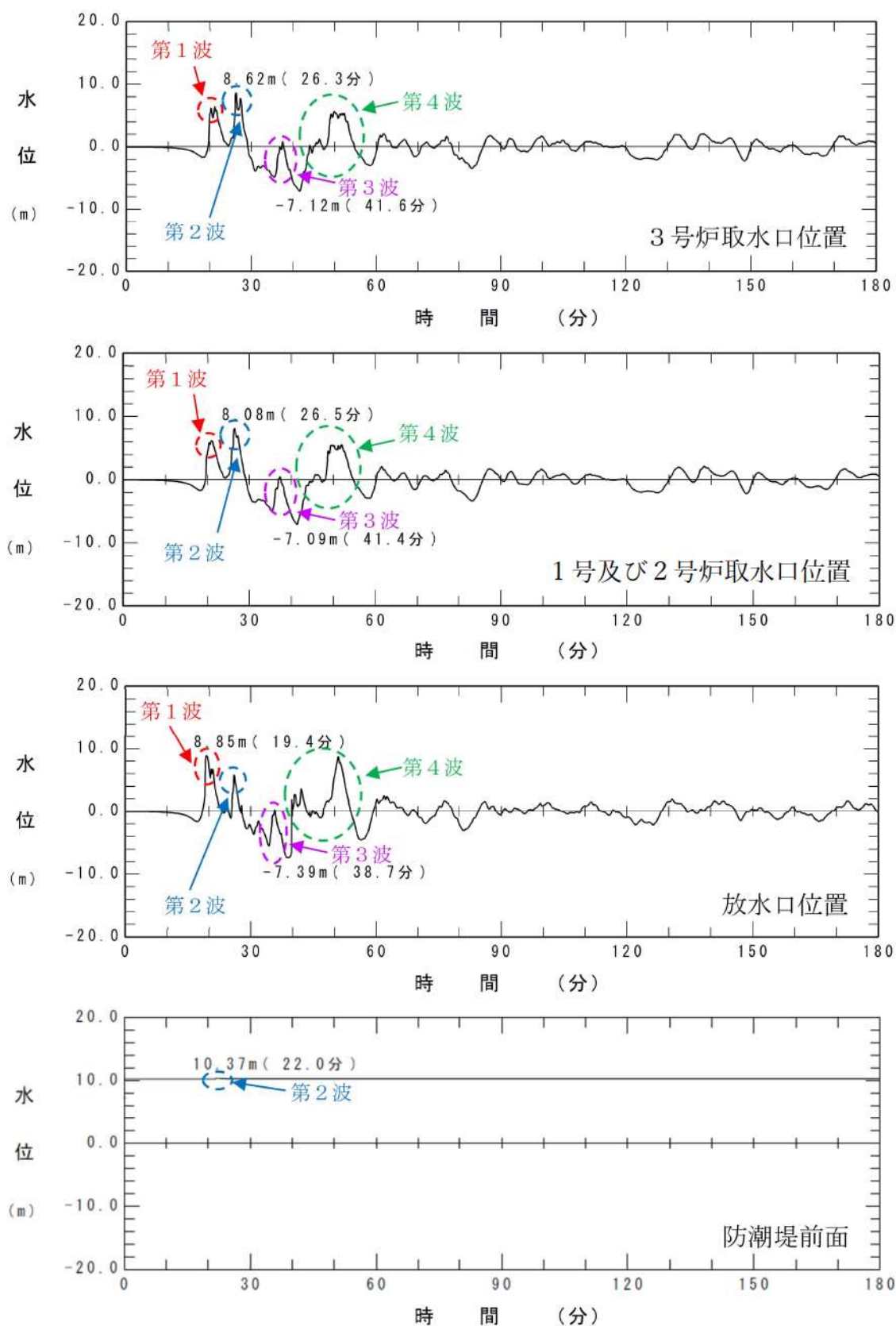
参考図 3-26 基準津波 G（南防波堤損傷）の伝播状況



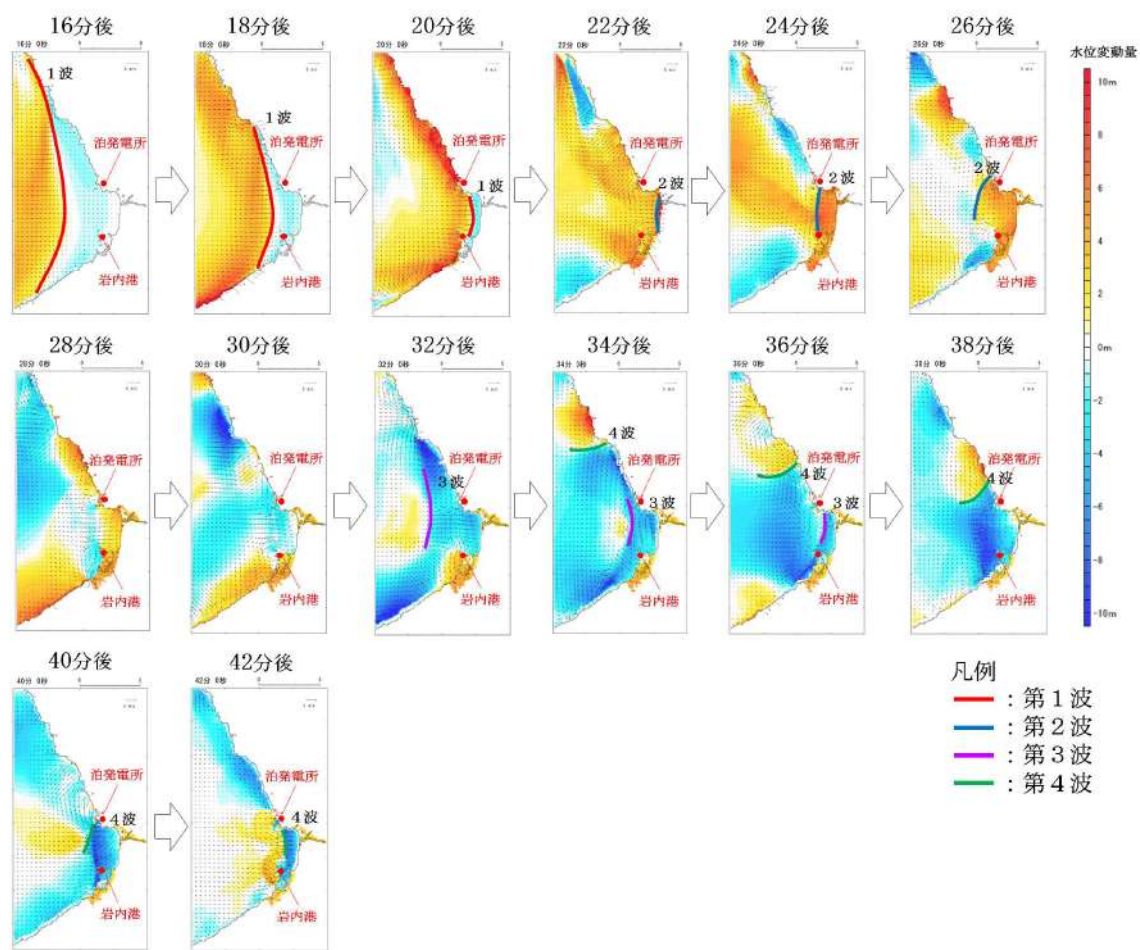
参考図 3-27 基準津波H（北防波堤損傷）の水位時刻歴波形



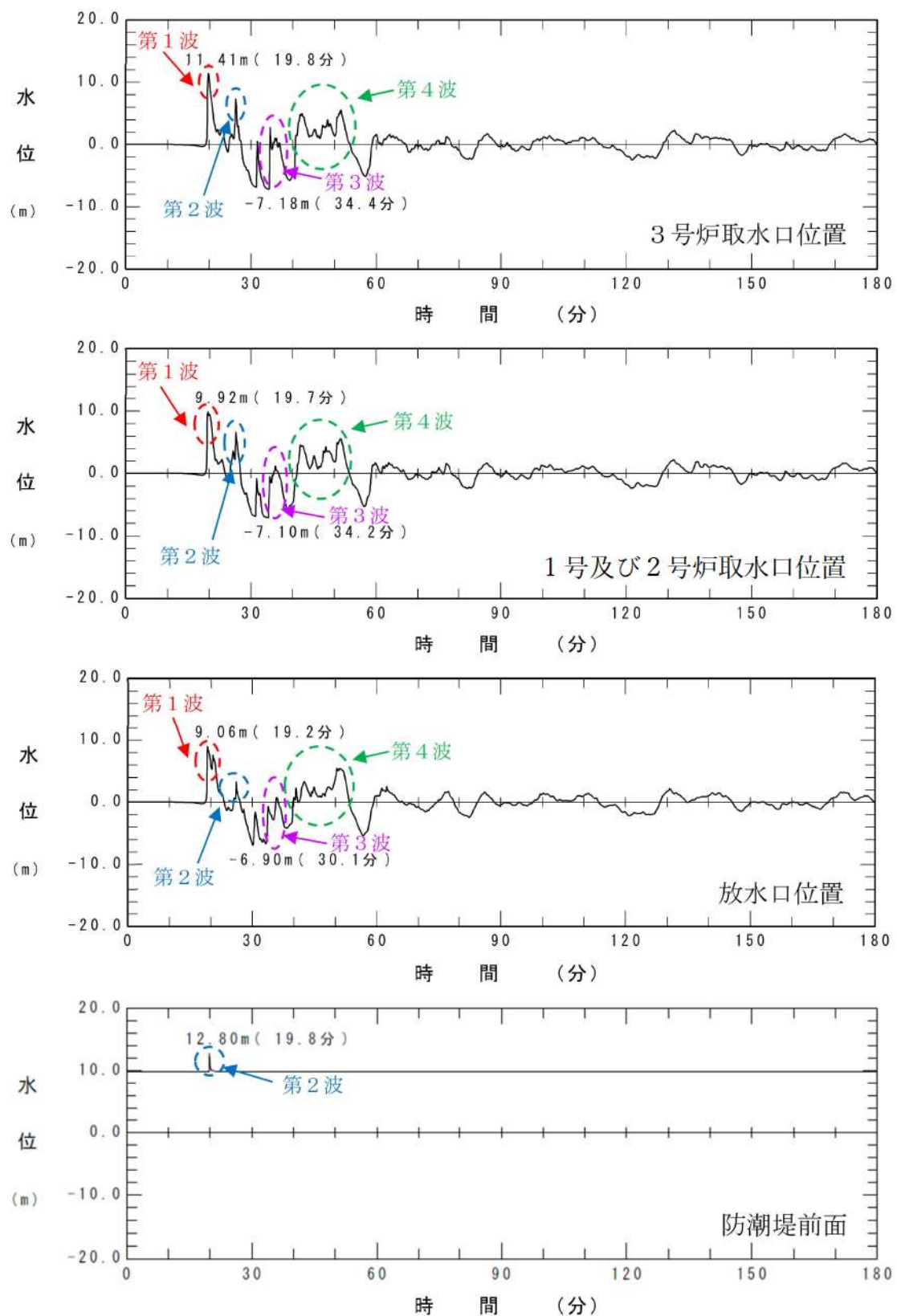
参考図 3-28 基準津波H（北防波堤損傷）の伝播状況



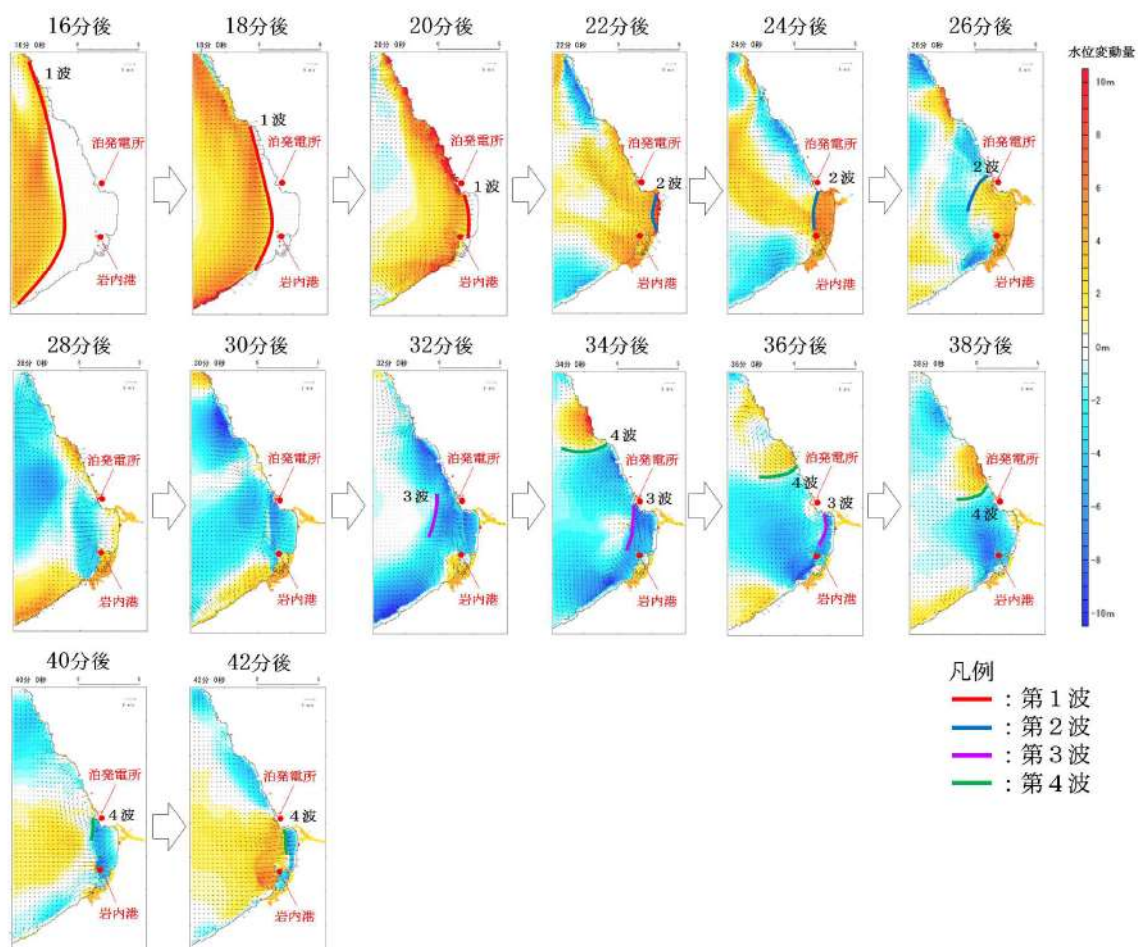
参考図 3-29 基準津波 I (防波堤損傷なし) の水位時刻歴波形



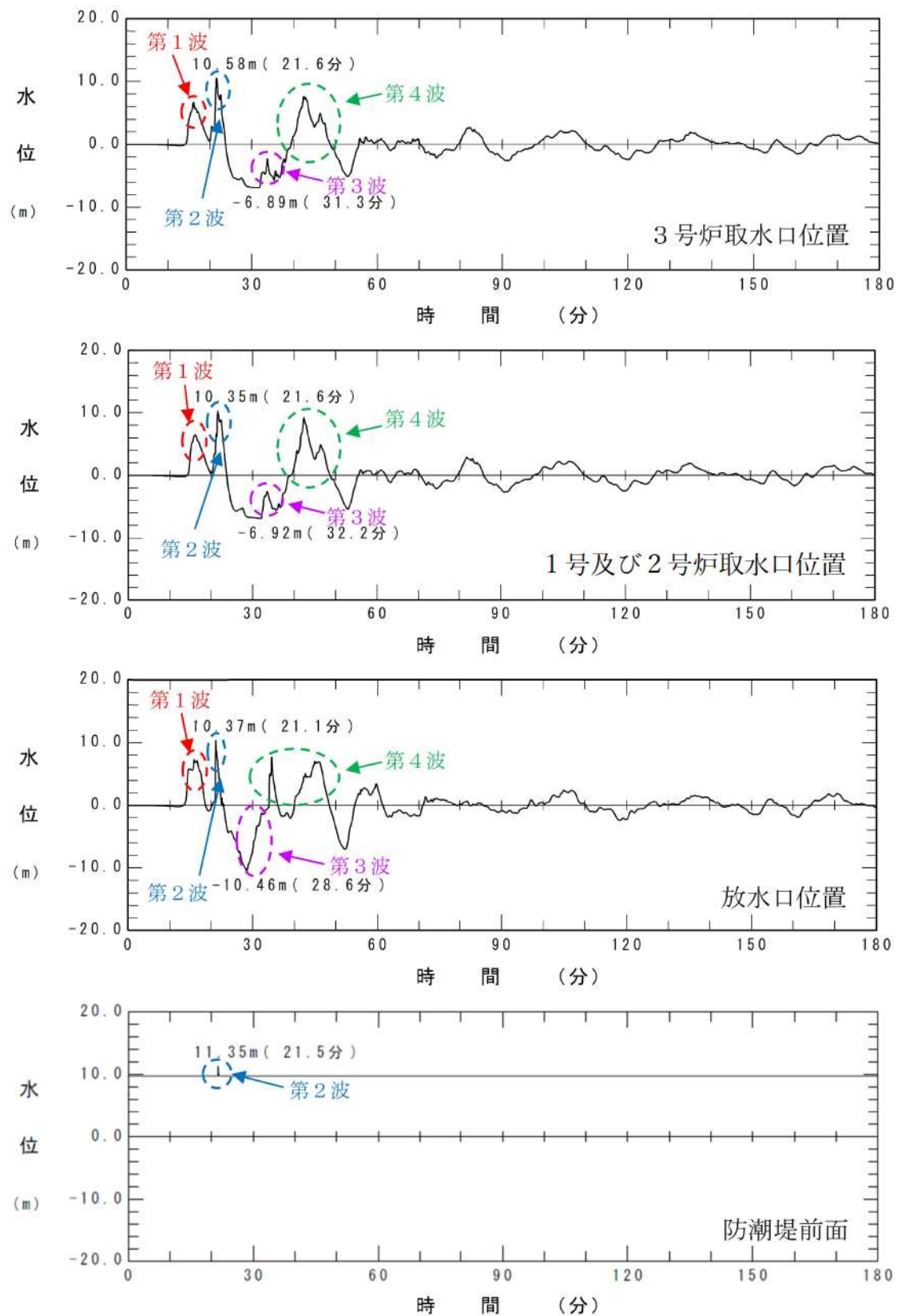
参考図 3-30 基準津波 I（防波堤損傷なし）の伝播状況



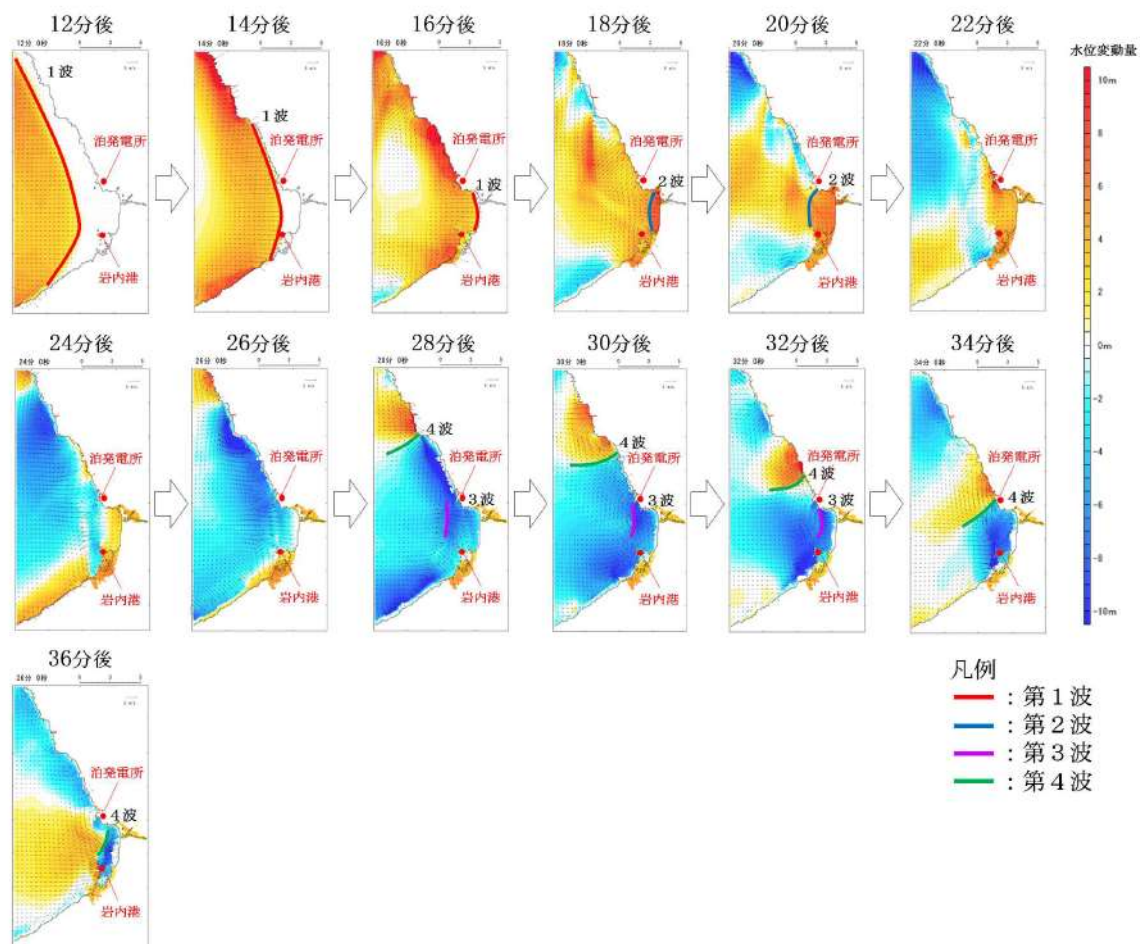
参考図 3-31 基準津波 J（北及び南防波堤損傷）の水位時刻歴波形



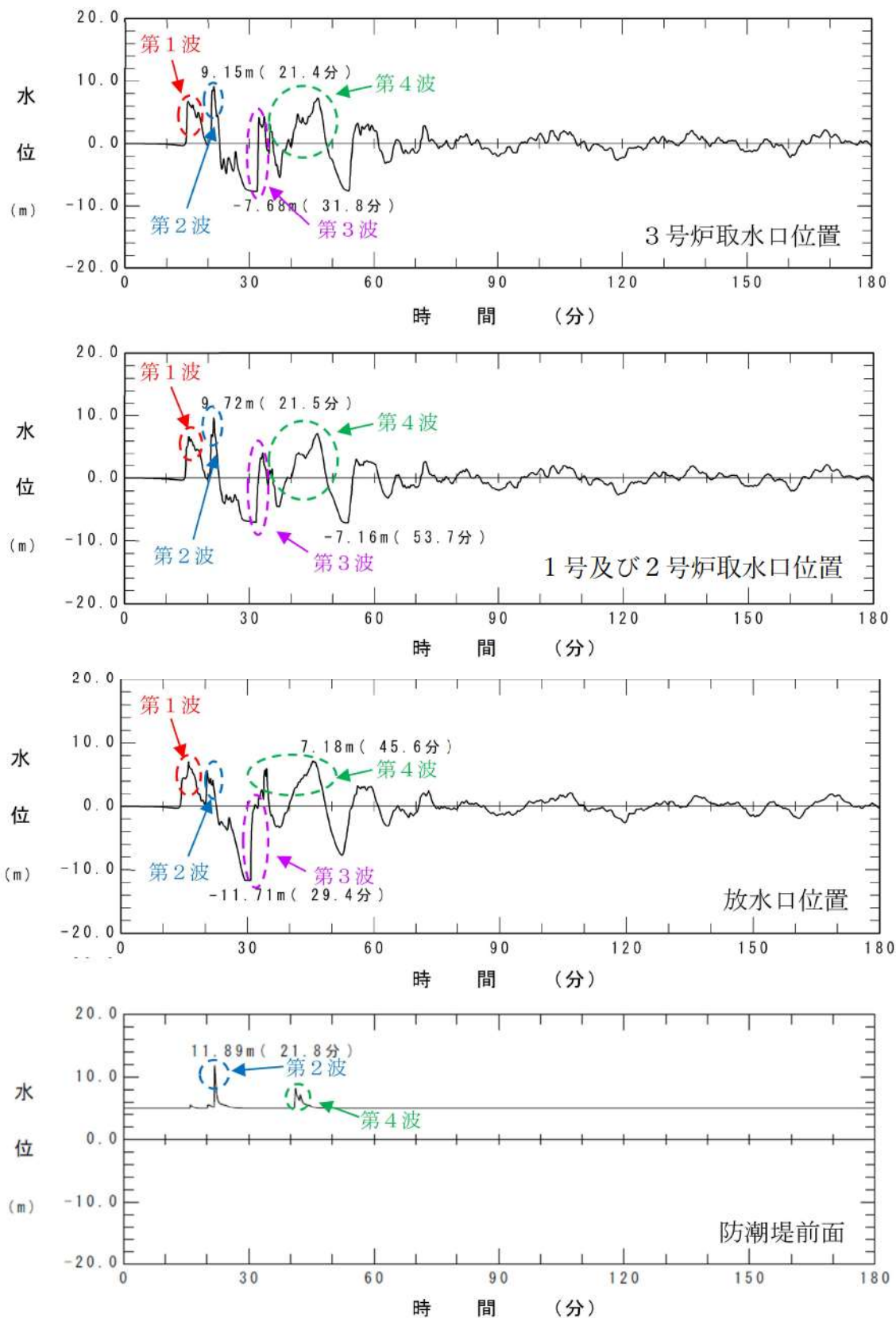
参考図 3-32 基準津波 J（北及び南防波堤損傷）の伝播状況



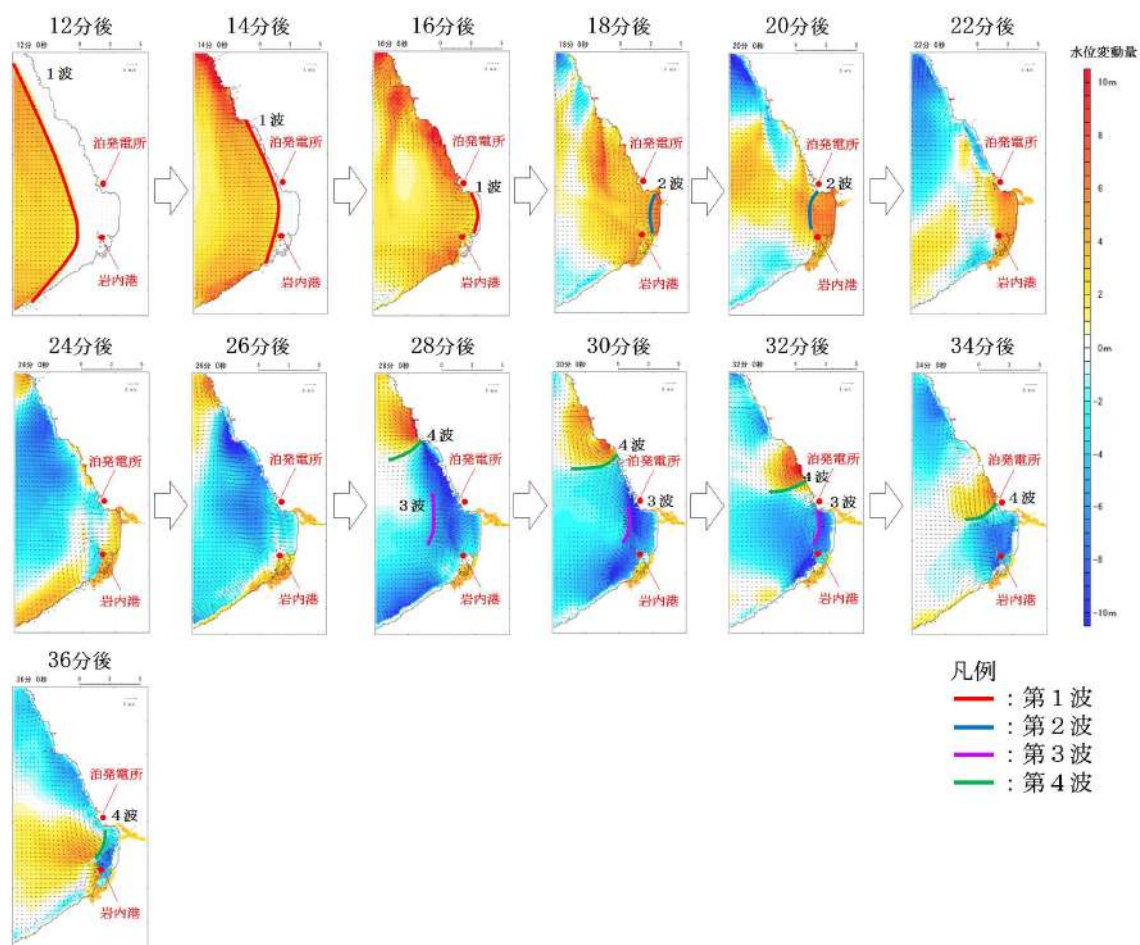
参考図 3-33 基準津波K（南防波堤損傷）の水位時刻歴波形



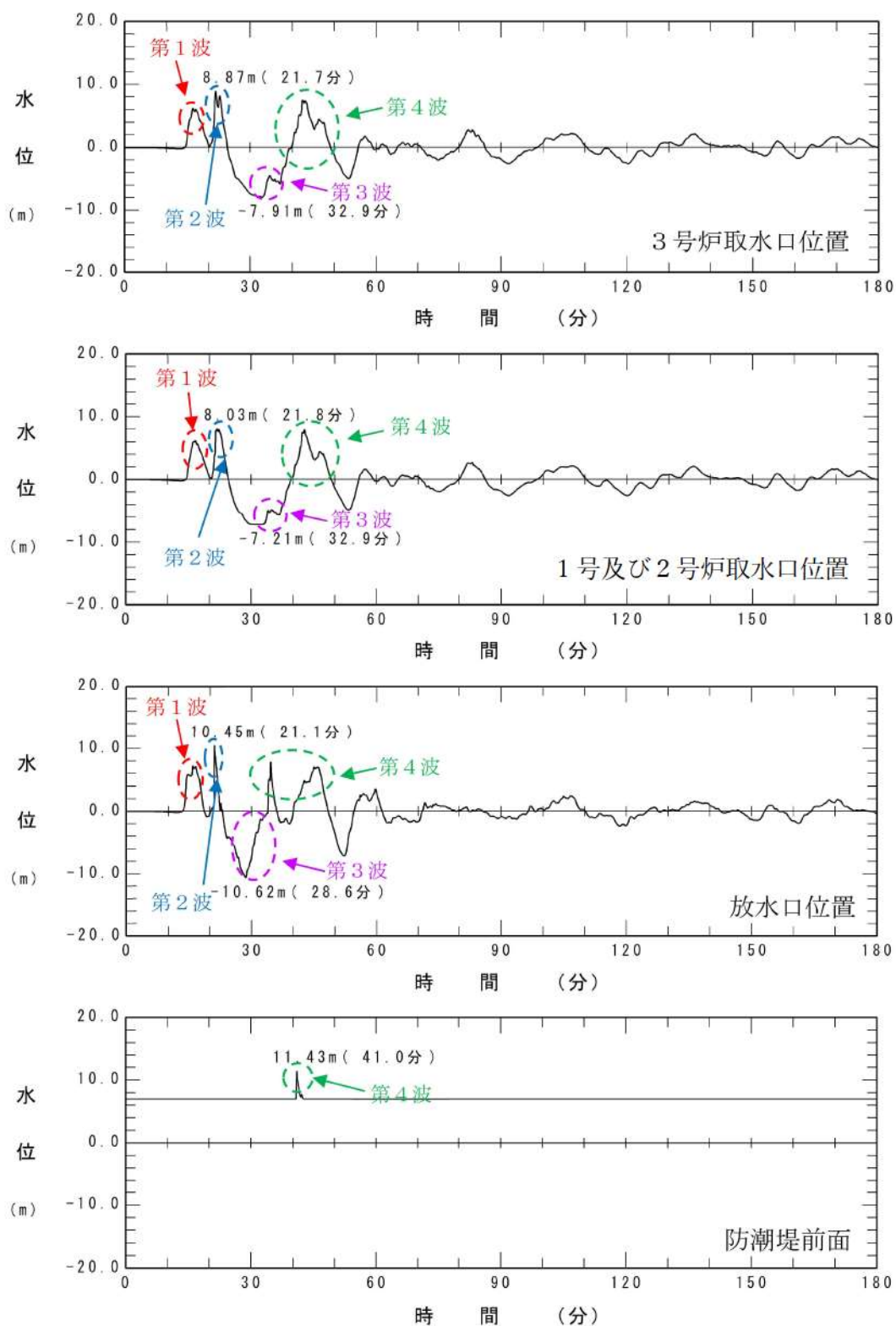
参考図 3-34 基準津波K（南防波堤損傷）の伝播状況



参考図 3-35 基準津波 L (北防波堤損傷) の水位時刻歴波形

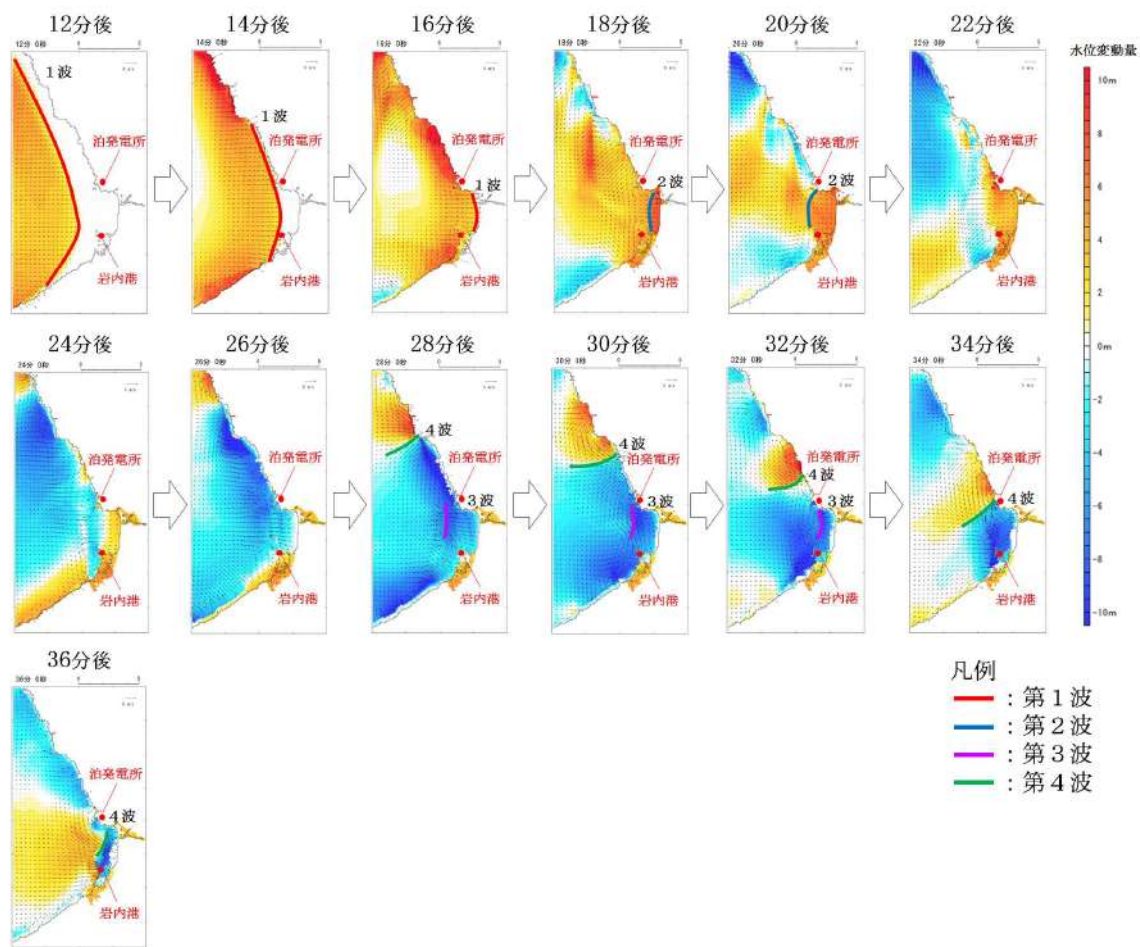


参考図 3-36 基準津波 L（北防波堤損傷）の伝播状況



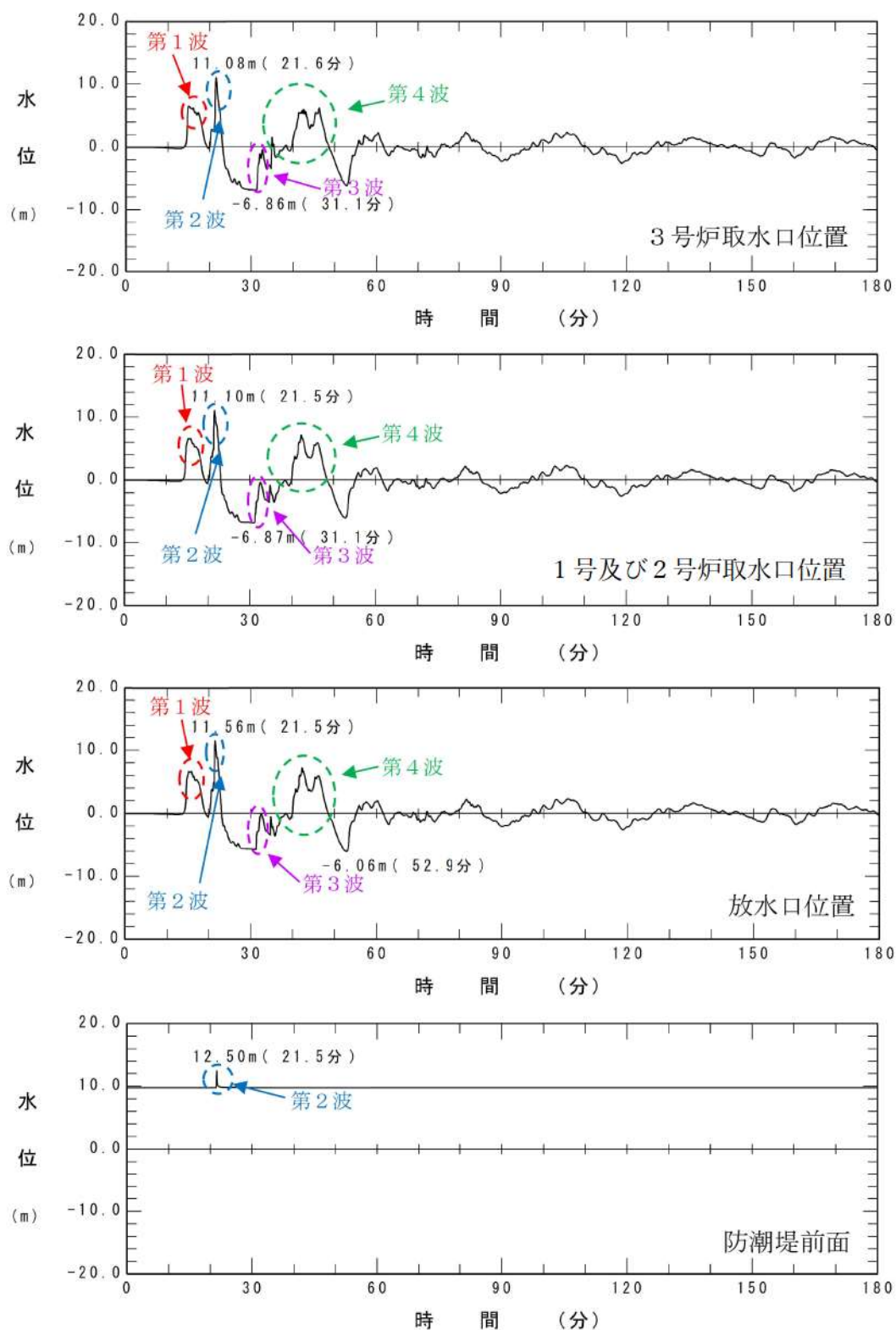
参考図 3-37 流速最大ケース 1^{※1}の水位時刻歴波形

※1：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。



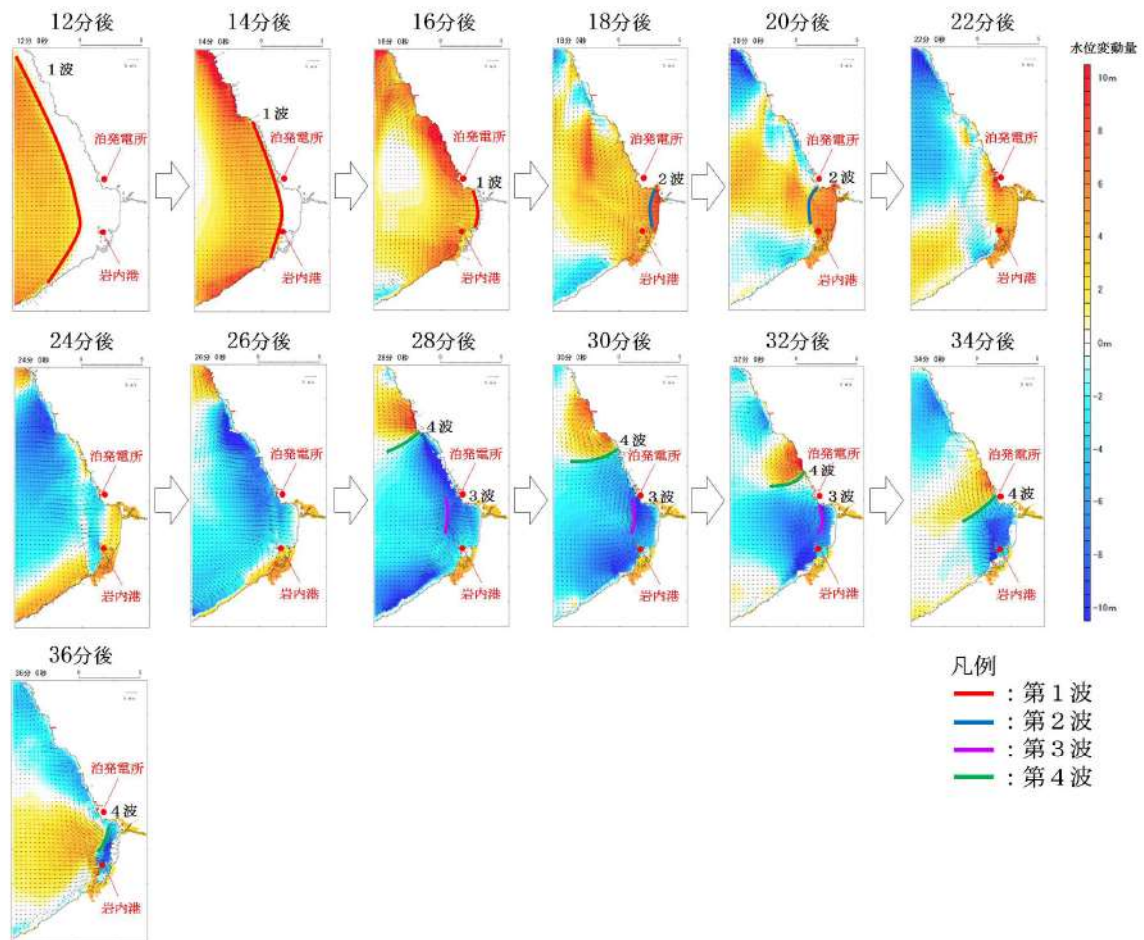
参考図 3-38 流速最大ケース 1※¹の伝播状況

※1：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。



参考図 3-39 流速最大ケース 2^{※1} の水位時刻歴波形

※1：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）



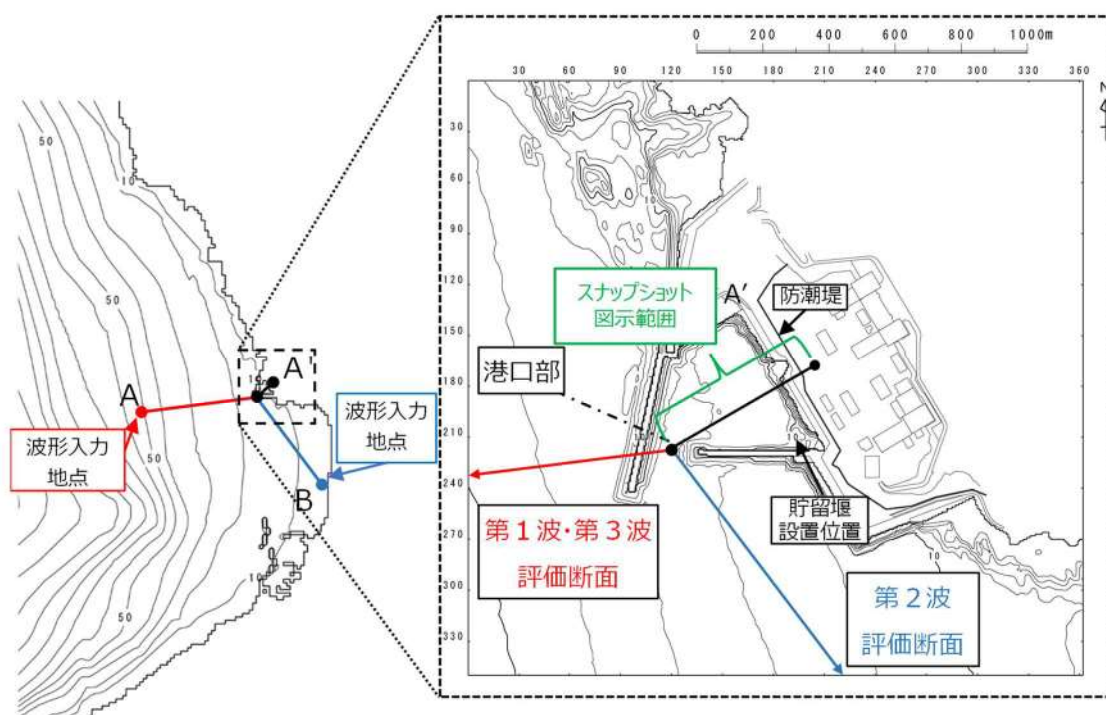
参考図 3-40 流速最大ケース 2^{*1} の伝播状況

※1：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）

断面二次元津波シミュレーションによる碎波発生有無の評価結果

断面二次元津波シミュレーションによる第1波～第3波の水面勾配及びスナップショット（護岸直前の津波波形）について，1．～3．に整理する。

スナップショットは，断面二次元津波シミュレーションの評価断面のうち，港口部～敷地までの範囲を示す。スナップショットの図示範囲を参考図 4-1 に示す。



参考図 4-1 スナップショット図示範囲

1. 第1波

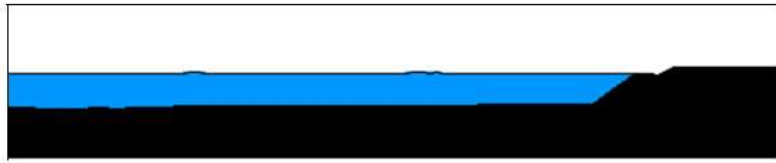
評価対象 20 ケースにおける第1波の水面勾配を参考表 4-1 に、スナップショットを参考図 4-2～4-21 に示す。

第1波は松山ら（2005）¹⁰⁾ に示される砕波限界 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ を下回り、また、スナップショットから、急峻な壁状の津波波形が確認されないことから、砕波段波は発生しないと評価した。

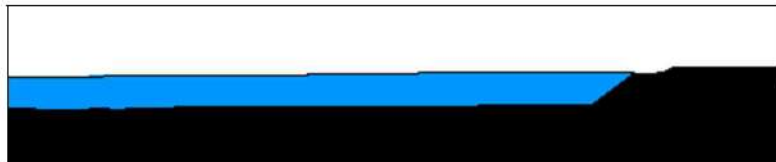
参考表 4-1 評価対象 20 ケースにおける第1波の水面勾配

波源	防波堤の損傷状態	水面勾配 ($^{\circ}$)
基準津波 A	防波堤損傷なし	1.7
基準津波 B	防波堤損傷なし	1.6
基準津波 B	北防波堤損傷	7.6
基準津波 C	防波堤損傷なし	2.2
基準津波 D	防波堤損傷なし	1.6
基準津波 D	北及び南防波堤損傷	7.6
基準津波 D	南防波堤損傷	1.7
基準津波 D	北防波堤損傷	7.6
基準津波 E	北及び南防波堤損傷	4.4
基準津波 E	南防波堤損傷	1.7
基準津波 F	北及び南防波堤損傷	4.4
基準津波 F	北防波堤損傷	2.9
基準津波 G	南防波堤損傷	1.7
基準津波 H	北防波堤損傷	7.6
基準津波 I	防波堤損傷なし	3.6
基準津波 J	北及び南防波堤損傷	8.3
基準津波 K	南防波堤損傷	1.7
基準津波 L	北防波堤損傷	3.5
流速最大ケース 1 ^{※1}		1.7
流速最大ケース 2 ^{※1}		4.4

※1：基準津波 12 波源に対して防波堤の損傷状態を考慮した 18 ケース以外で「防波堤の損傷状態ごとに流速が最大となるケース」を追加（添付資料 3－参考資料 3 参照）。



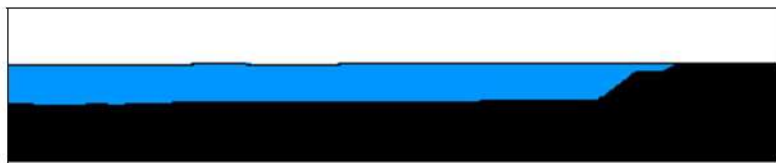
参考図 4-2 護岸直前の津波波形（基準津波 A（防波堤損傷なし））



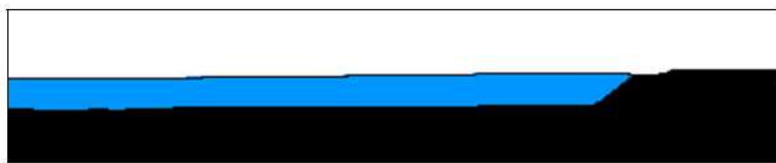
参考図 4-3 護岸直前の津波波形（基準津波 B（防波堤損傷なし））



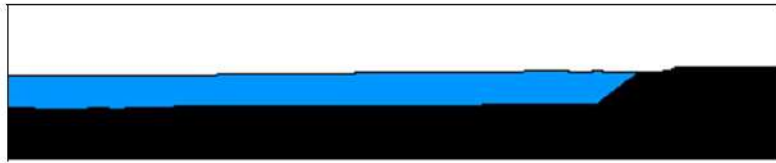
参考図 4-4 護岸直前の津波波形（基準津波 B（北防波堤損傷））



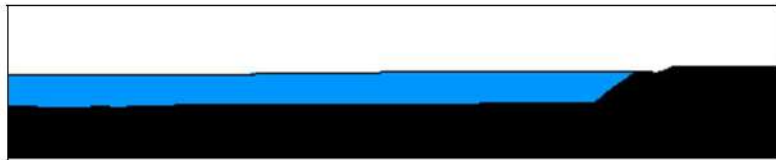
参考図 4-5 護岸直前の津波波形（基準津波 C（防波堤損傷なし））



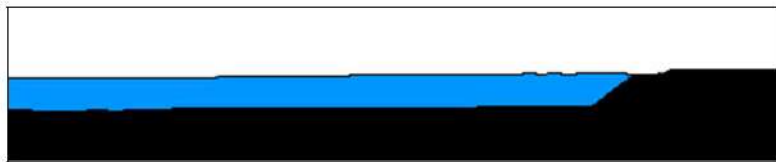
参考図 4-6 護岸直前の津波波形（基準津波 D（防波堤損傷なし））



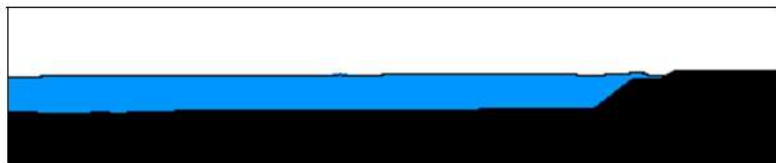
参考図 4-7 護岸直前の津波波形（基準津波 D（北及び南防波堤損傷））



参考図 4-8 護岸直前の津波波形（基準津波 D（南防波堤損傷））



参考図 4-9 護岸直前の津波波形（基準津波 D（北防波堤損傷））



参考図 4-10 護岸直前の津波波形（基準津波 E（北及び南防波堤損傷））



参考図 4-11 護岸直前の津波波形（基準津波 E（南防波堤損傷））