

※水位低下前に護岸の浸水なし

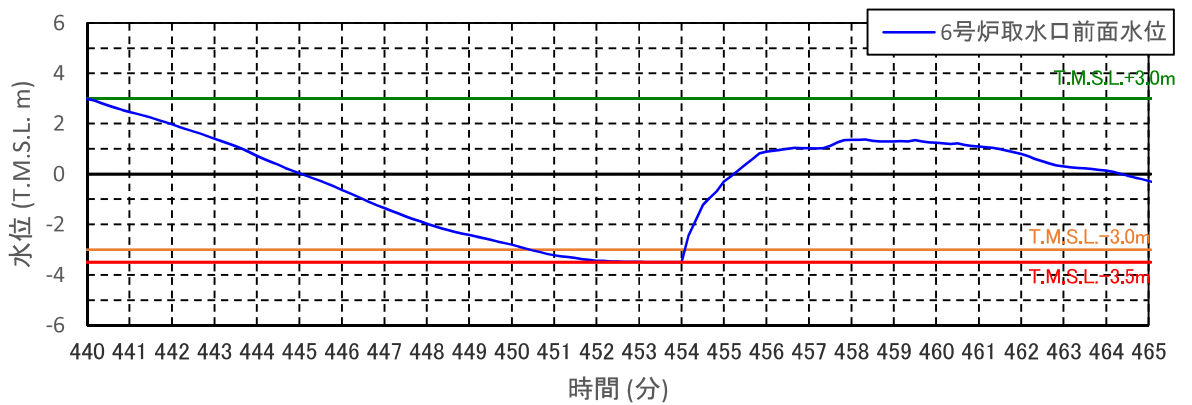
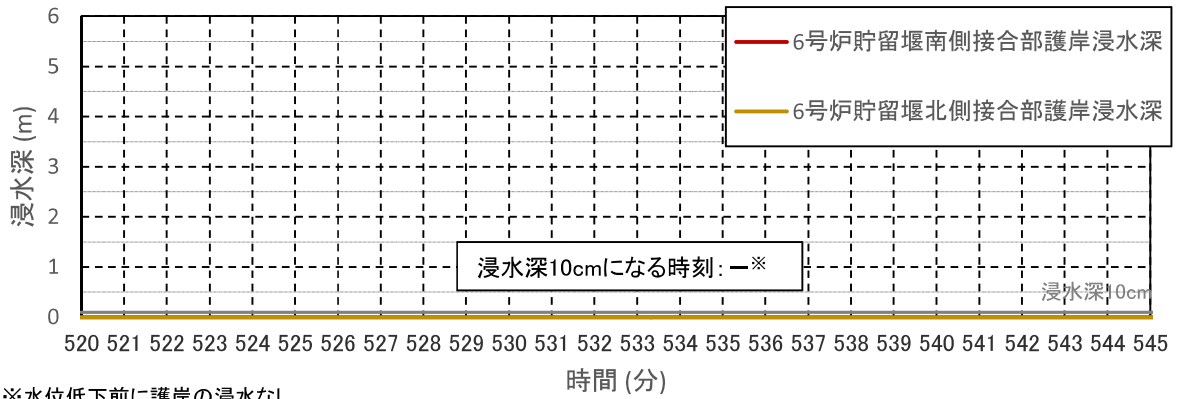


図 4.7-添 3-2(15) 6号機取水口前面水位と護岸部浸水深
(基準津波 2 防波堤なし・護岸部健全: ⑤)



※水位低下前に護岸の浸水なし

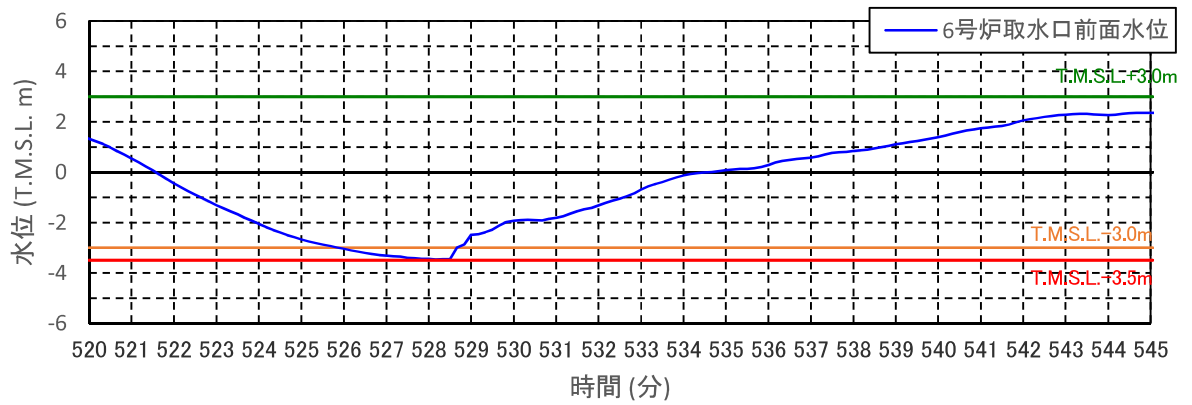


図 4.7-添 3-2(16) 6号機取水口前面水位と護岸部浸水深
(基準津波 2 防波堤なし・護岸部健全: ⑥)

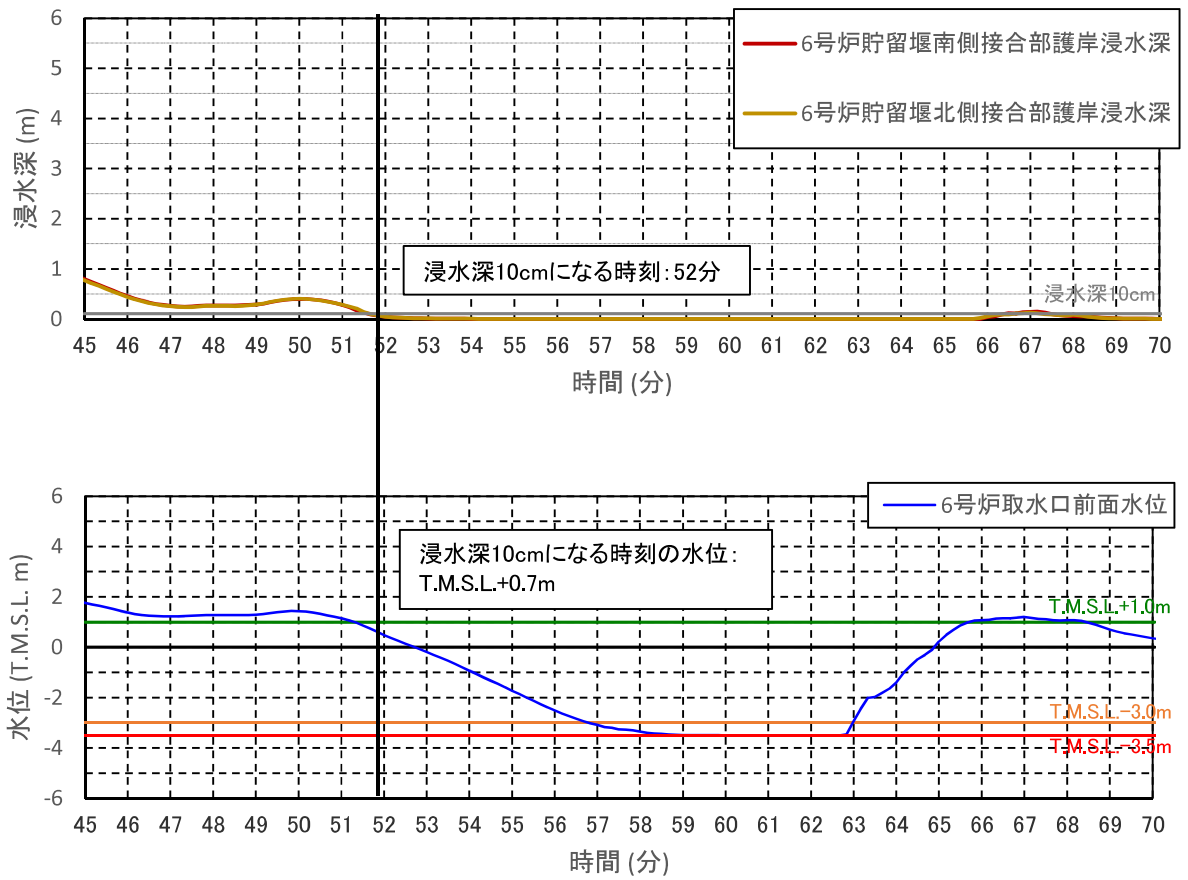


図 4.7-添 3-2(17) 6号機取水口前面水位と護岸部浸水深
 (基準津波 2 防波堤なし・護岸部 2m 沈下: ①)

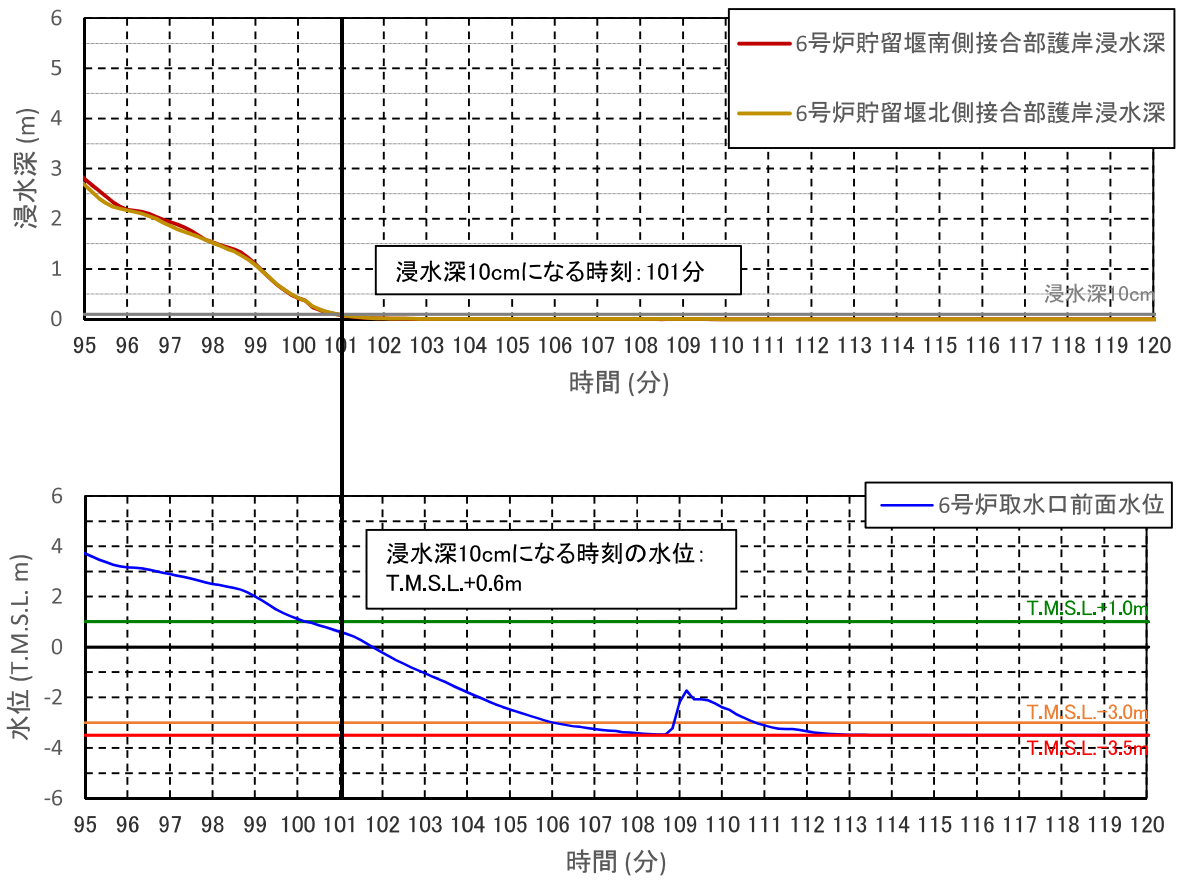


図 4.7-添 3-2(18) 6号機取水口前面水位と護岸部浸水深
 (基準津波 2 防波堤なし・護岸部 2m 沈下: ②)

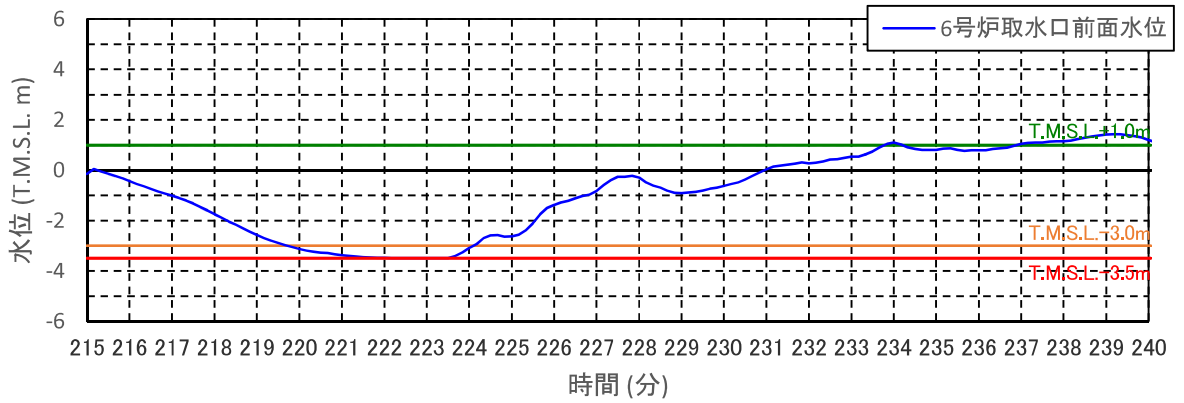
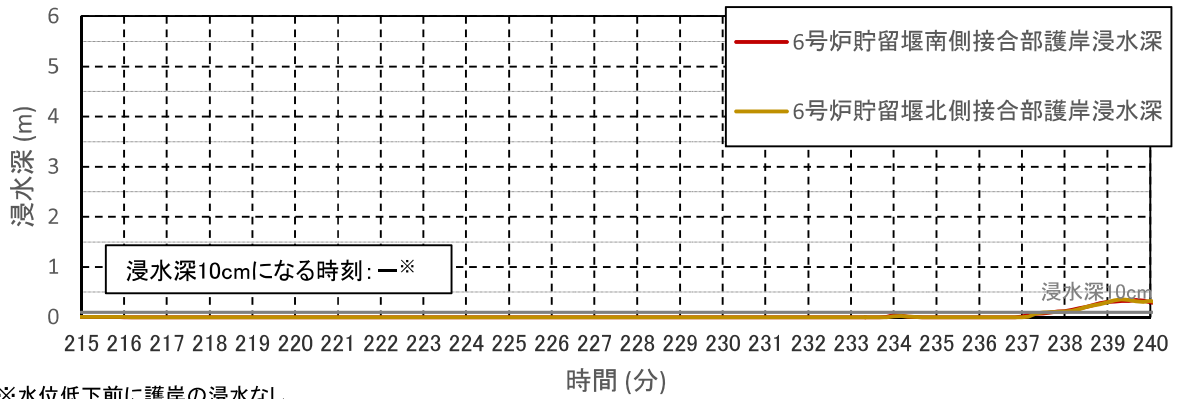


図 4.7-添 3-2(19) 6号機取水口前面水位と護岸部浸水深
(基準津波 2 防波堤なし・護岸部 2m 沈下: ③)

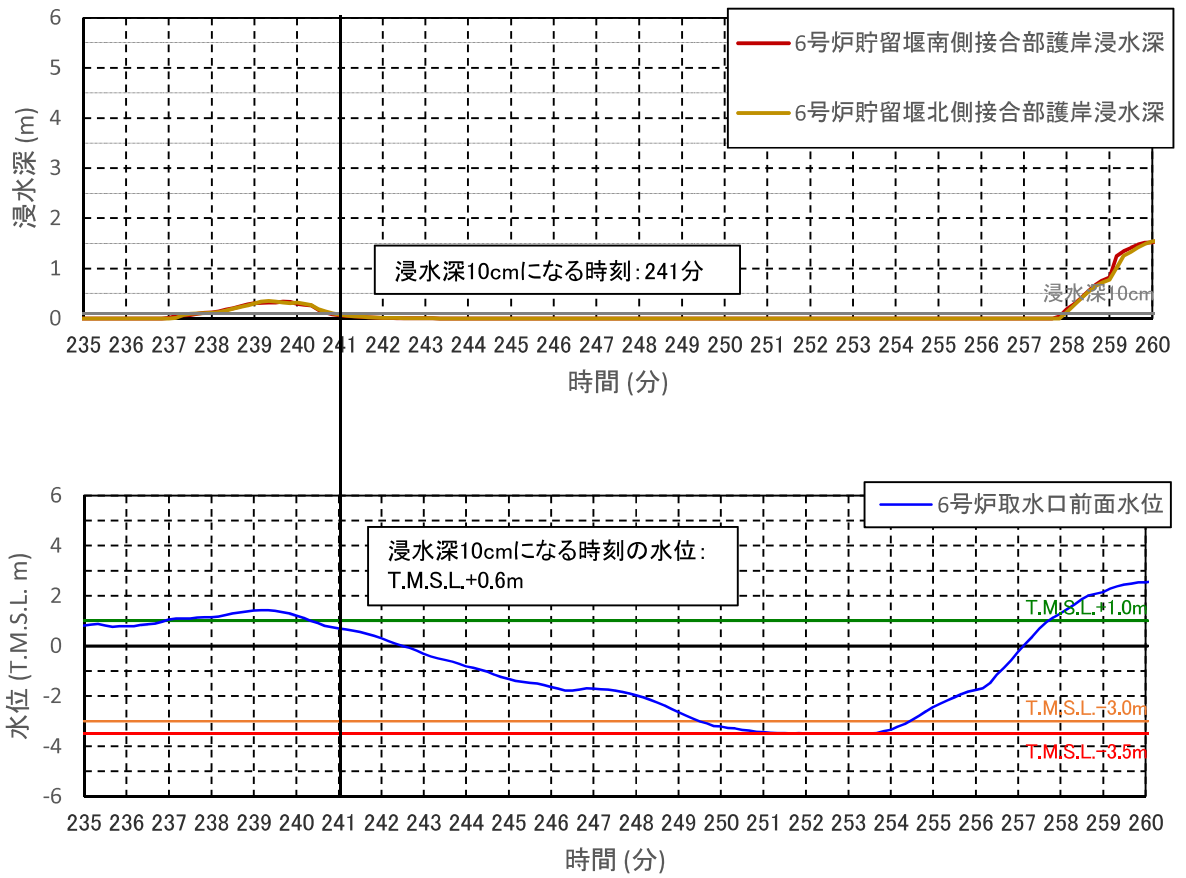


図 4.7-添 3-2(20) 6号機取水口前面水位と護岸部浸水深
 (基準津波 2 防波堤なし・護岸部 2m 沈下: ④)

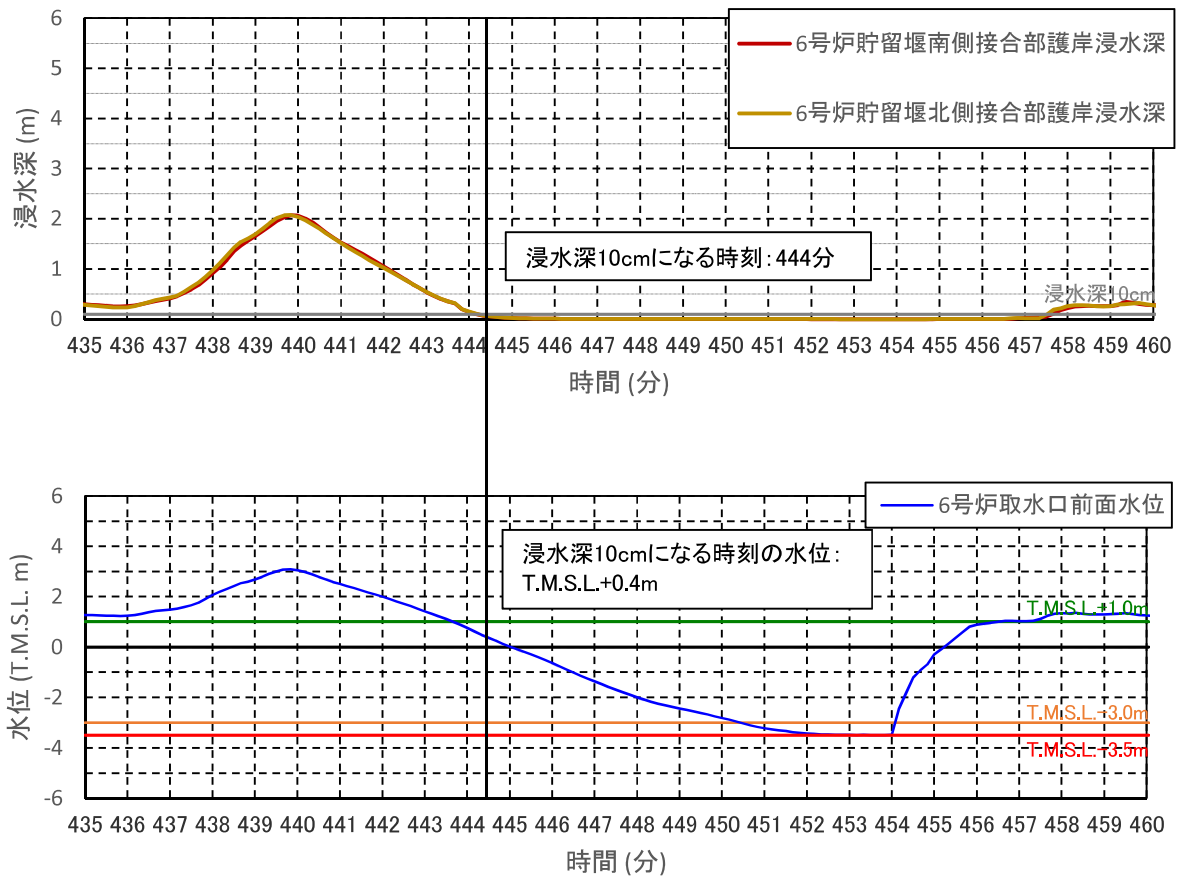


図 4.7-添 3-2(21) 6号機取水口前面水位と護岸部浸水深
 (基準津波 2 防波堤なし・護岸部 2m 沈下: ⑤)

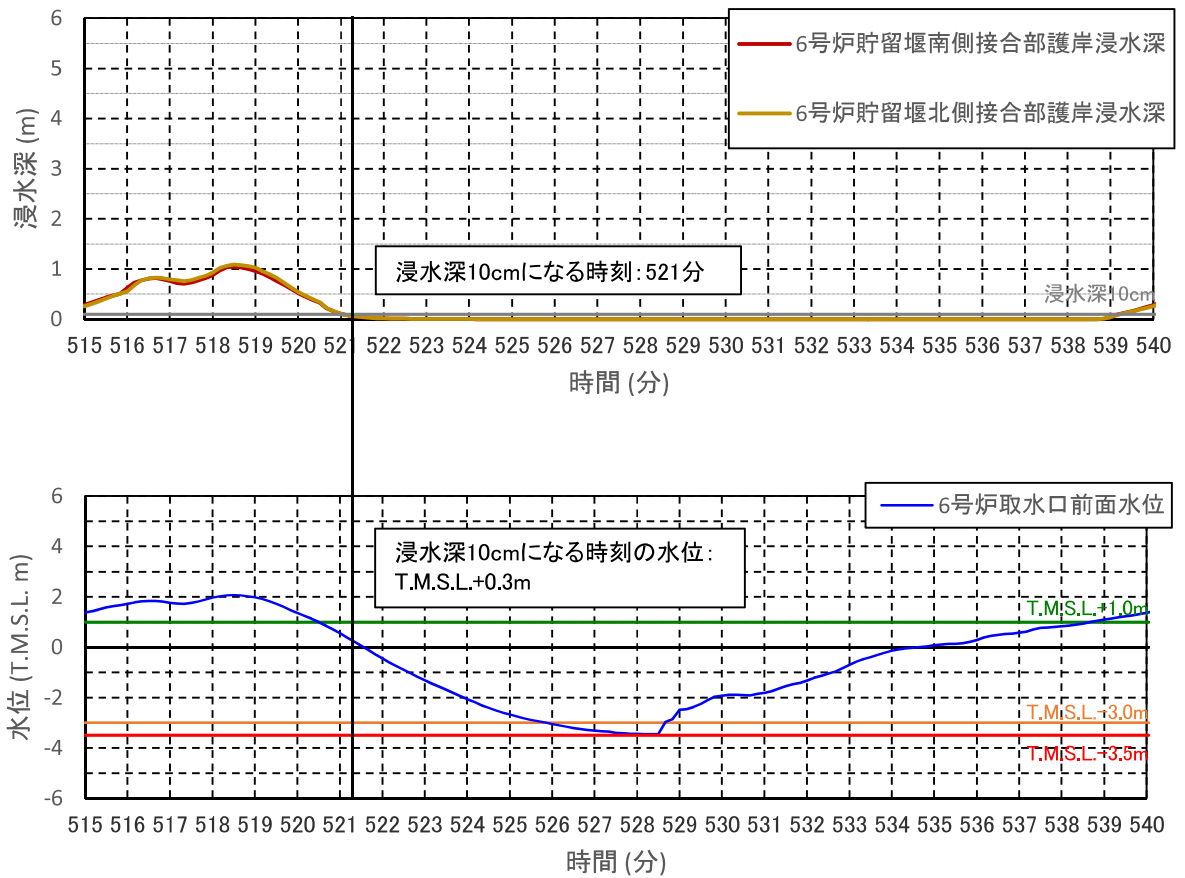


図 4.7-添 3-2(22) 6号機取水口前面水位と護岸部浸水深
 (基準津波 2 防波堤なし・護岸部 2m 沈下: ⑥)

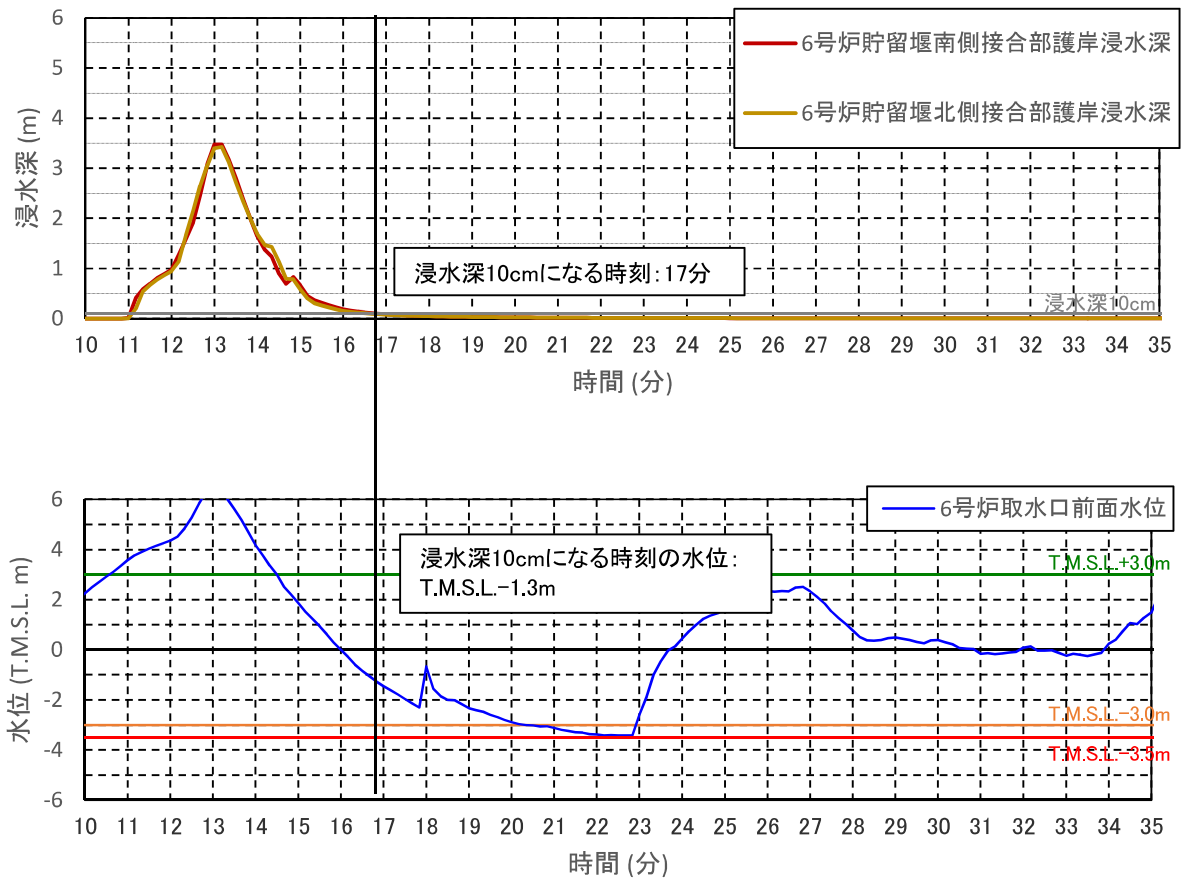


図 4.7-添 3-2(23) 6号機取水口前面水位と護岸部浸水深
(基準津波 3 防波堤なし・護岸部健全: ①)

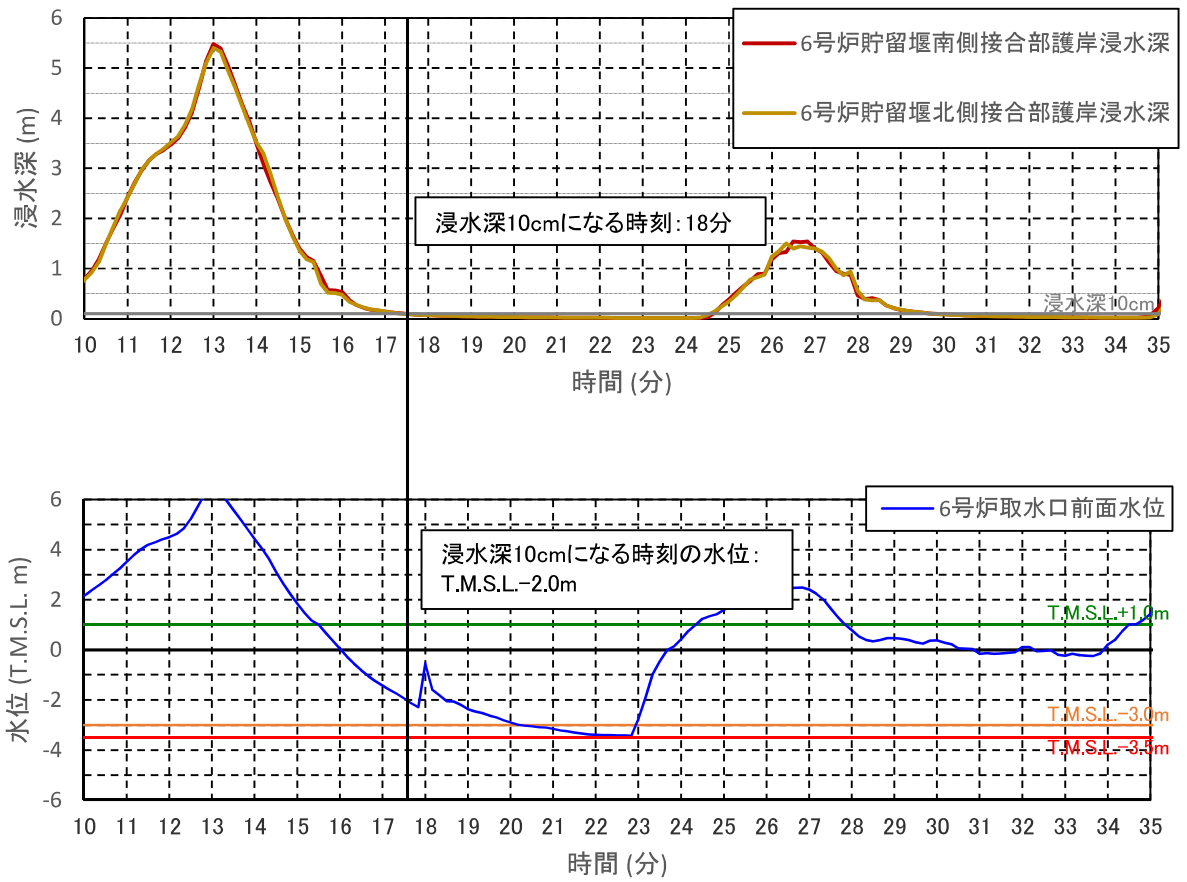


図 4.7-添 3-2(24) 6号機取水口前面水位と護岸部浸水深
 (基準津波 3 防波堤なし・護岸部 2m 沈下: ①)

漂流物衝突荷重の算定過程

- (1) 船舶（発電所付近で航行不能となった船舶の道路橋示方書（2002）による評価）

$$\begin{aligned}
 P &= 0.1WU \\
 &= 0.1 \times 15[\text{t}] \times 9.80665[\text{m/s}^2] \times 6.0[\text{m/s}] \\
 &= 88.2[\text{kN}] \cong 89[\text{kN}]
 \end{aligned}$$

ここに、

$$\begin{aligned}
 P &: \text{衝突力} [\text{kN}] \\
 W &: \text{流送物の重量} (=15 \text{ t}) \\
 U &: \text{表面流速} (=6.0 \text{ m/s})
 \end{aligned}$$

- (2) 車両（軽自動車の FEMA（2012）による評価）

$$\begin{aligned}
 F_i &= 1.3u_{\max}\sqrt{km_d(1+c)} \\
 &= 1.3 \times 6.0[\text{m/s}] \times \sqrt{2.04 \times 10^6[\text{N/m}] \times 1000 \times (1+1.0)} \\
 &= 498.2[\text{kN}] \cong 499[\text{kN}]
 \end{aligned}$$

ここに、

$$\begin{aligned}
 F_i &: \text{衝突力} [\text{kN}] \\
 u_{\max} &: \text{漂流物を運ぶ流体の最大流速} (=6.0 \text{ m/s}) \\
 k &: \text{漂流物の有効軸剛性} [\text{N/m}] \text{（保守的に高畠ら（2015）により求められる } k_3 \text{（} 2.04 \times 10^6 [\text{N/m}] \text{）を用いる。）} \\
 m_d &: \text{漂流物の質量} (=1000 \text{ kg}) \\
 c &: \text{付加質量係数} (=1.0)
 \end{aligned}$$

- (3) 植生（流木の道路橋示方書（2002）による評価）

$$\begin{aligned}
 P &= 0.1WU \\
 &= 0.1 \times 0.140[\text{t}] \times 9.80665[\text{m/s}^2] \times 6.0[\text{m/s}] \\
 &= 0.8[\text{kN}] \cong 1[\text{kN}]
 \end{aligned}$$

ここに、

$$\begin{aligned}
 P &: \text{衝突力} [\text{kN}] \\
 W &: \text{流送物の重量} (=0.14 \text{ t}) \\
 U &: \text{表面流速} (=6.0 \text{ m/s})
 \end{aligned}$$

6号機海水貯留堰の北辺天端高さ (T. M. S. L. -3.0m) を考慮した整理について

1. はじめに

4.7 本文においては、海水貯留堰の天端高さを T. M. S. L. -3.5m とし、「ソリトン分裂及び碎波の発生位置」、「海底露出の範囲」及び「気中衝突の発生有無」の観点から各種漂流物が「直近海域」又は「前面海域」のいずれからの漂流物となるかを整理した上で、衝突荷重算定式を選定している。

本項では、上記観点のうち海水貯留堰の天端高さに関係する「気中衝突の発生有無」について6号機海水貯留堰の北辺天端高さが T. M. S. L. -3.0m であることを考慮した場合の検討を実施した。

また、4.7 本文においてその他の衝突モードとして、大湊側護岸部を滑動する漂流物の「直接落下」に関して整理しており、当該事象についても海水貯留堰の天端高さに関係するため、6号機海水貯留堰の北辺天端高さが T. M. S. L. -3.0m であることを考慮した場合の検討を実施した。

2. 気中衝突に係る検討

2.1 検討方針

4.7 本文 (4.7.5.2 (3)) においては、海水貯留堰の天端高さを T. M. S. L. -3.5m とし扱った上で、「海水貯留堰の天端が露出する際 (取水口前面水位が T. M. S. L. -3.5m まで低下する期間) に漂流物が海水貯留堰近傍に存在するか否か」を整理している。

上記に対し、本項では6号機北辺の天端高さを考慮し、「6号機海水貯留堰の北辺天端が露出する際 (6号機取水口前面水位が T. M. S. L. -3.0m まで低下する期間) に漂流物が海水貯留堰近傍に存在するか否か」を整理した。

なお、本項においては、各種基準津波に対して海水貯留堰の機能が必要となる期間 (津波発生から6号機取水口前面水位が T. M. S. L. -3.5m まで低下することが確認される期間) も考慮して整理を実施している。

2.2 検討結果 (概略)

図 4.7-添 5-1 及び図 4.7-添 5-2 に地震発生後 12 時間の各種基準津波の時刻歴波形及び発電所周辺の漂流物の挙動を示す。図 4.7-添 5-1 及び図 4.7-添 5-2 より、各種基準津波について下記 (a) ~ (f) のとおり整理できる。

以下で詳細検討の必要ありと整理された「(b) 基準津波 2 (防波堤あり)」のケースについて 2.3 検討結果 (詳細) にて詳細検討を実施した。

(a) 基準津波 1 (防波堤あり)

6号機取水口前面水位が T. M. S. L. -3.5m まで低下しないため、海水貯留堰の機能が必要となる期間に気中衝突は発生しない (詳細検討不要)。

(b) 基準津波 2 (防波堤あり)

地震発生後 255 分付近で 6 号機取水口前面水位が T.M.S.L. -3.5m まで低下し、以降では T.M.S.L. -3.5m まで低下しないため、海水貯留堰の機能が必要となる期間は地震発生後 255 分付近までである。また、地震発生後 12 時間の発電所周辺の漂流物の挙動より、漂流物が「直近海域」に侵入する可能性があるため、詳細検討が必要となる。(要詳細検討)

(c) 基準津波 3 (防波堤あり)

6 号機取水口前面水位が T.M.S.L. -3.5m まで低下しないため、海水貯留堰の機能が必要となる期間に気中衝突は発生しない(詳細検討不要)。

(d) 基準津波 1 (防波堤なし)

地震発生後 12 時間の中で 6 号機取水口前面水位が T.M.S.L. -3.5m まで低下する期間があるものの、地震発生後 12 時間の発電所周辺の漂流物の挙動より、漂流物が「直近海域」に侵入しないことが確認されるため、気中衝突は発生しない。(詳細検討不要)

(e) 基準津波 2 (防波堤なし)

地震発生後 12 時間の中で 6 号機取水口前面水位が T.M.S.L. -3.5m まで低下する期間があるものの、地震発生後 12 時間の発電所周辺の漂流物の挙動より、漂流物が「直近海域」に侵入しないことが確認されるため、気中衝突は発生しない。(詳細検討不要)

(f) 基準津波 3 (防波堤なし)

地震発生後 12 時間の中で 6 号機取水口前面水位が T.M.S.L. -3.5m まで低下する期間があるものの、地震発生後 12 時間の発電所周辺の漂流物の挙動より、漂流物が「直近海域」に侵入しないことが確認されるため、気中衝突は発生しない。(詳細検討不要)

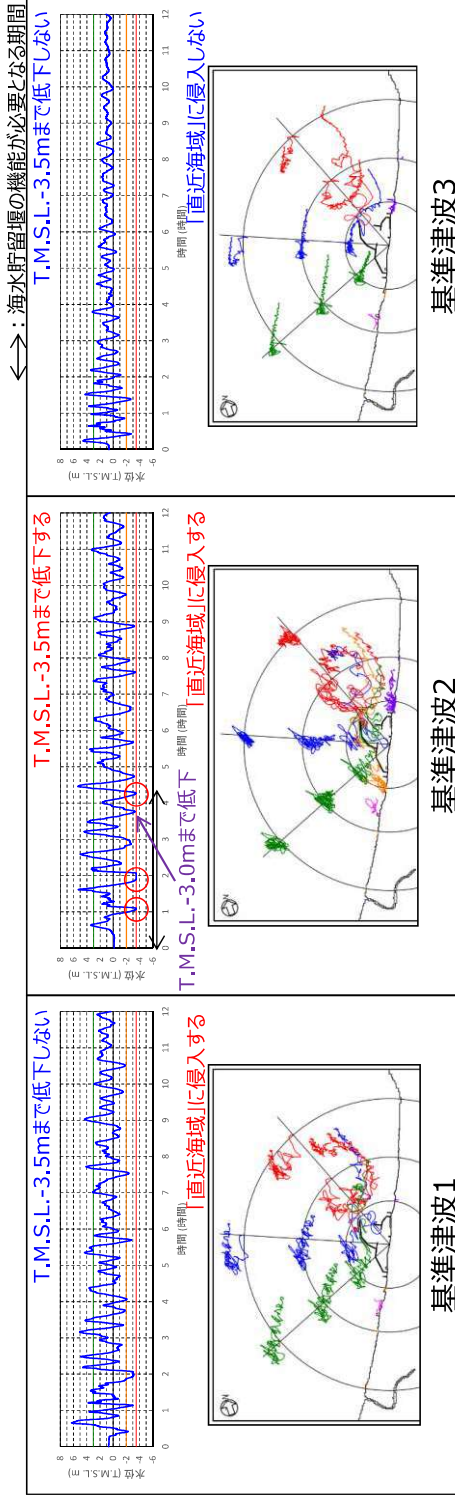


図 4.7-1 添 5-1 地震発生後 12 時間の発電所周辺の漂流物の挙動 (防波堤ありケース)

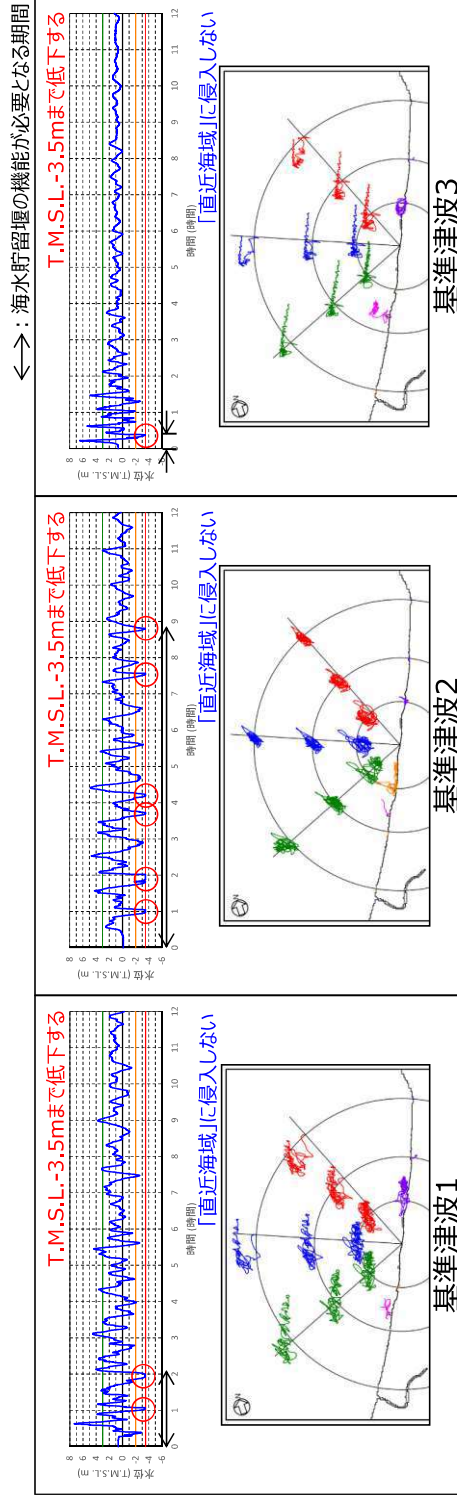


図 4.7-1 添 5-2 地震発生後 12 時間の発電所周辺の漂流物の挙動 (防波堤なしケース)

2.3 検討結果（詳細）

上記 2.2 にて詳細検討が必要と整理された「(b) 基準津波 2 (防波堤あり)」のケースについて詳細検討を実施した。

なお、本ケースにおいて地震発生後 255 分付近までの間に 6 号機取水口前面水位が T. M. S. L. -3.0m まで低下する期間は、地震発生後 60 分付近、120 分付近、225 分付近、255 分付近であるが、このうち、6 号機取水口前面水位が T. M. S. L. -3.5m まで低下する期間（地震発生後 60 分付近、120 分付近、255 分付近）については、漂流物が「直近海域」に進入しないことを確認している（4.7 本文（4.7.5.2 (3)）参照）ため、本項では地震発生後 225 分付近について漂流物の詳細挙動を検討した（図 4.7-添 5-3 参照）。

地震発生後 225 分付近で、取水口前面水位が T. M. S. L. -3.0m まで低下する期間においては、津波による押し波・引き波に応じて港湾外の主たる流れが変化し、長期間一様な流れとなっておらず、この期間においては港湾外の漂流物は「直近海域」に侵入しないことが確認された。

したがって、本ケースにおいても、気中衝突は発生しないと整理可能である。

2.4 防波堤の沈下を考慮した検討ケースについて

4.7 添付資料 2(b) では、各種基準津波に対して防波堤の沈下（1m 沈下・2m 沈下）を考慮した検討を実施している。

基準津波 1 及び基準津波 3 については、2.2(a), (c) で示した（防波堤あり）のケースと同様に、6 号機取水口前面水位が T. M. S. L. -3.5m まで低下しない（4.7 添付資料 2(b) 参照）ため、海水貯留堰の機能が必要となる期間に気中衝突は発生しないと整理できる。（詳細検討不要）

基準津波 2 については、2.2(b) で示した（防波堤あり）のケースと同様に、6 号機取水口前面水位が T. M. S. L. -3.0m まで低下する期間（地震発生後 225 分付近）について詳細検討を実施する必要がある（図 4.7-添 5-4 参照）。なお、6 号機取水口前面水位が T. M. S. L. -3.5m まで低下する期間（地震発生後 60 分付近、120 分付近、255 分付近）については、漂流物が「直近海域」に進入しないことを確認している（4.7 添付資料 2(b) 参照）ため、本項では地震発生後 225 分付近について漂流物の詳細挙動を検討した（図 4.7-添 5-5 参照）。

上記について、漂流物の挙動詳細を検討した結果、2.3 で示した（防波堤あり）と同様に、この期間においては港湾外の漂流物は「直近海域」に侵入しないことが確認された。

したがって、防波堤の沈下を考慮した検討ケースにおいても、気中衝突は発生しないと整理できる。

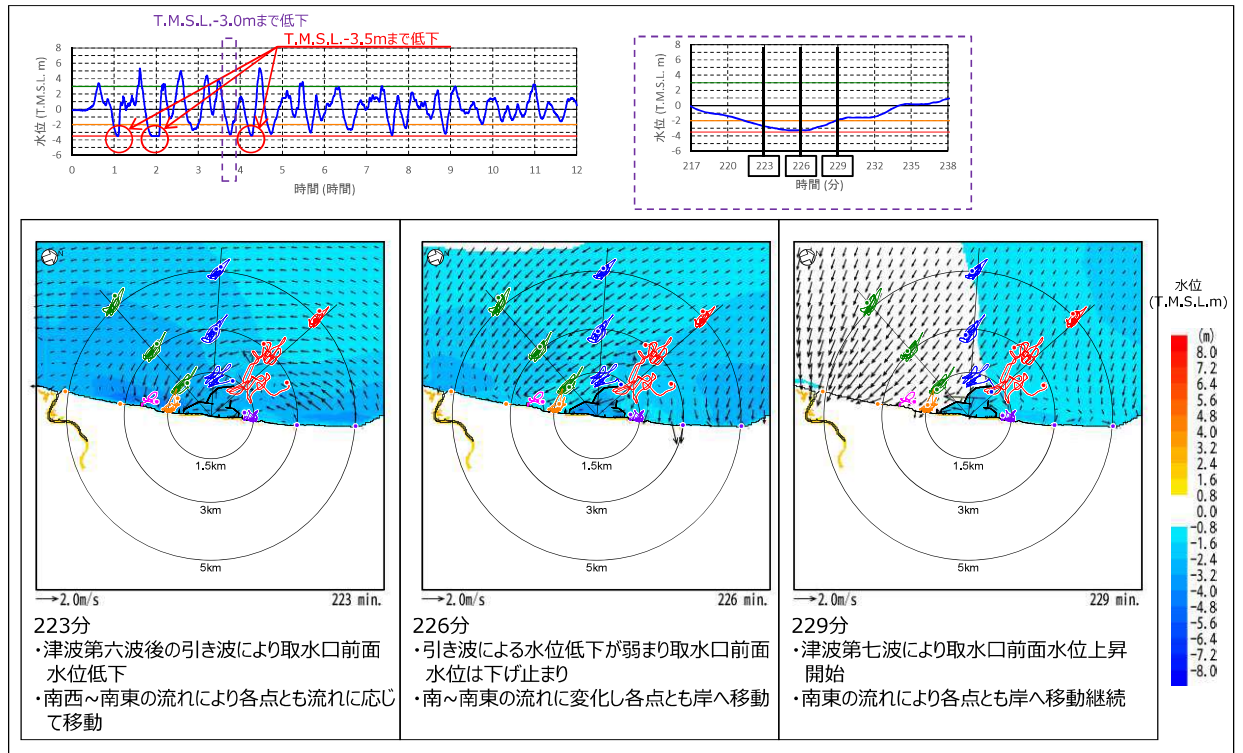


図 4.7-添 5-3 発電所周辺の漂流物の挙動に係る詳細検討
(基準津波 2 防波堤ありケース 地震発生後 225 分付近)

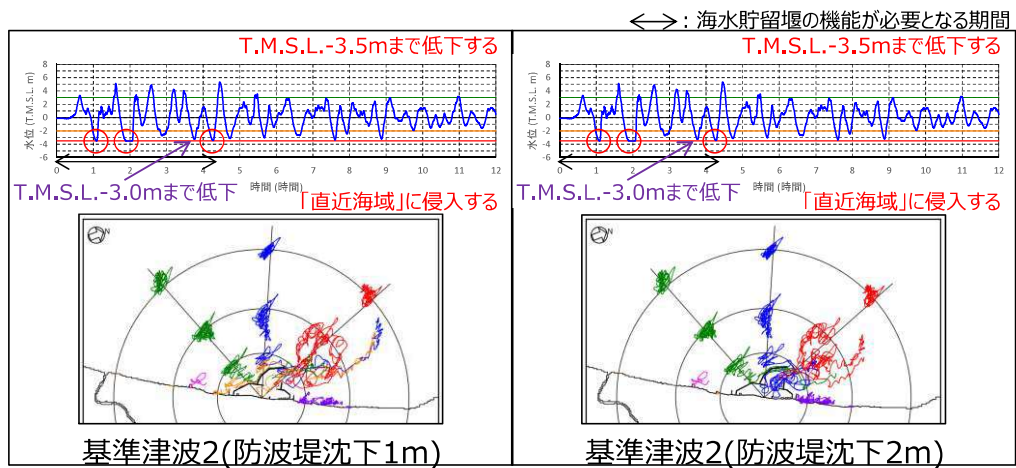


図 4.7-添 5-4 地震発生後 12 時間の発電所周辺の漂流物の挙動
(基準津波 2 防波堤 1m 沈下・2m 沈下ケース)

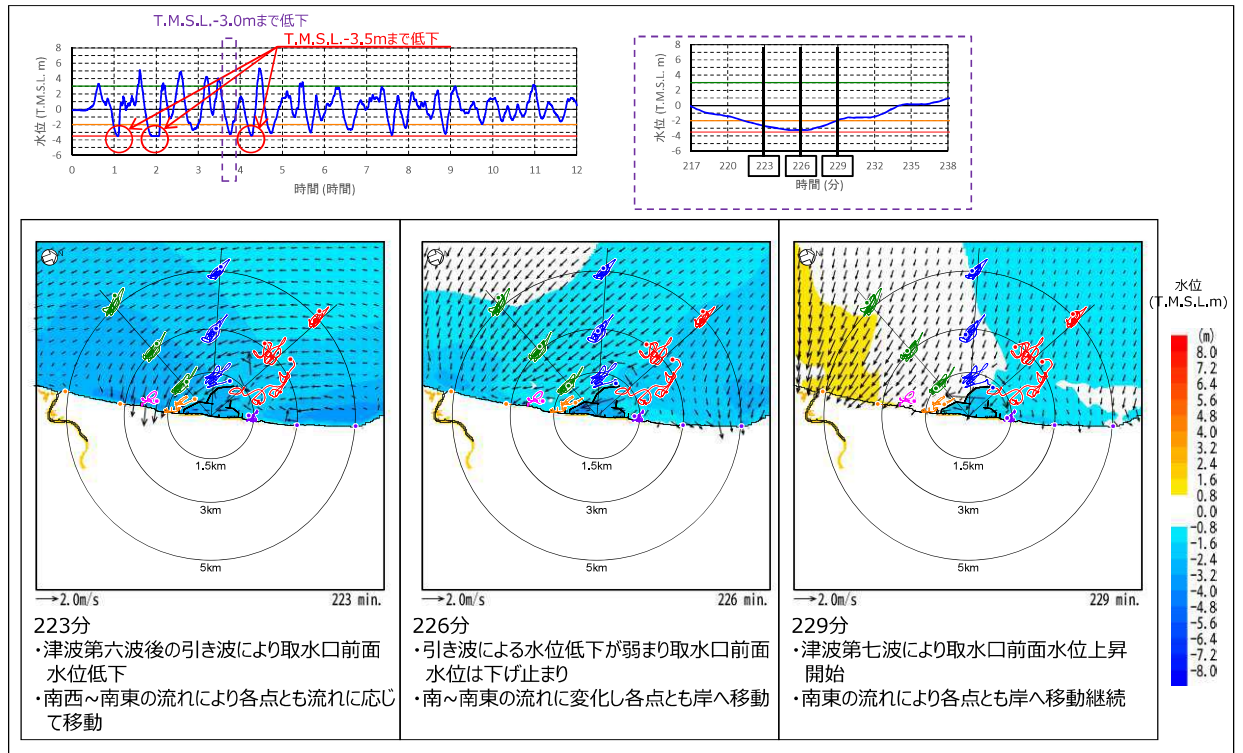


図 4.7-添 5-5(1) 発電所周辺の漂流物の挙動に係る詳細検討
 (基準津波 2 防波堤 1m 沈下ケース 地震発生後 225 分付近)

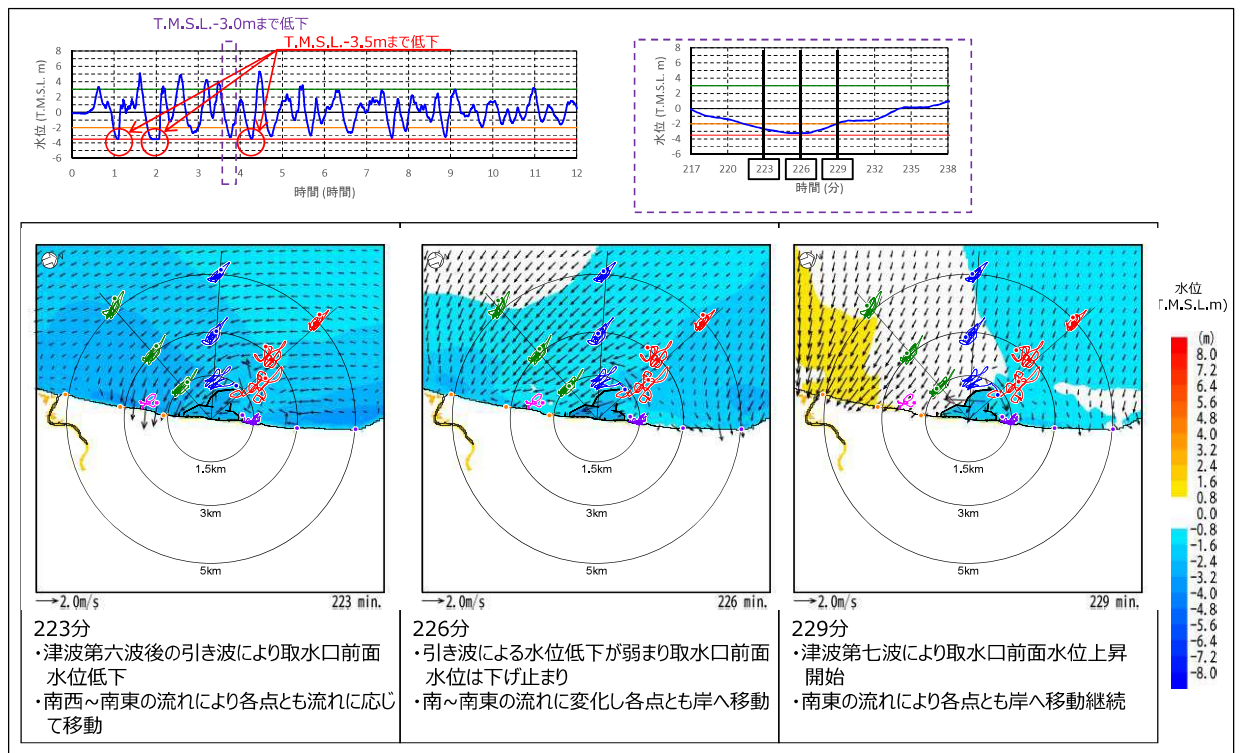


図 4.7-添 5-5(2) 発電所周辺の漂流物の挙動に係る詳細検討
 (基準津波 2 防波堤 2m 沈下ケース 地震発生後 225 分付近)

3. 直接落下に係る検討

3.1 検討方針

4.7 本文 (4.7.5.4 (2)) においては、海水貯留堰の天端高さを T.M.S.L. -3.5m として扱った上で、「海水貯留堰の天端が露出する際(取水口前面水位が T.M.S.L. -3.5 m まで低下する期間)に護岸部の漂流物が滑動し海域に落下する可能性があるか」を整理している。

本項では 6 号機北辺の天端高さを考慮し、「6 号機海水貯留堰の北辺天端が露出する際(6 号機取水口前面水位が T.M.S.L. -3.0 m まで低下する期間)に護岸部の漂流物が滑動し海域に落下する可能性があるか」を整理した。

なお、本項においては、各種基準津波に対して海水貯留堰の機能が必要となる期間(津波発生から 6 号機取水口前面水位が T.M.S.L. -3.5m まで低下することが確認される期間)も考慮した整理を実施している。

3.2 検討結果(概略)

4.7 本文 (4.7.5.4 (2)) において示した「基準津波 2 の防波堤あり・護岸部 2m 沈下ケース」を例に、検討結果の概略を示す。

図 4.7-添 5-6 に上記検討ケースにおける地震後 95 分から 120 分における大湊側護岸部の水位時刻歴と 6 号機取水口前面水位の時刻歴の関係を示す(図 4.7-12 に 6 号機海水貯留堰の北辺天端高さ T.M.S.L. -3.0m のラインを追記して再掲)。

図 4.7-添 5-6 より、6 号機海水貯留堰の北辺天端高さ T.M.S.L. -3.0m を考慮した場合、海水貯留堰が露出する時刻は 2 分程度早くなる(113 分頃から 111 分頃)が、この時刻においても既に大湊側護岸部の水位は概ね 0m となっており、漂流物の滑動は停止しているため、この際に海水貯留堰に向けて漂流物が落下する事象は発生しない。

また、大湊側護岸部で漂流物が滑動し、海域に落下する可能性がある時間帯(概ね 104 分まで)では、6 号機取水口前面の水位が 6 号機海水貯留堰の北辺天端高さ T.M.S.L. -3.0m よりも高いため、仮にこの時点で漂流物が海域に落下した場合でも、気中衝突のような衝撃的な荷重は発生しない。

以上より、直接落下による気中衝突は発生しないものと判断できる。

3.3 検討結果(詳細)

4.7 添付資料 3 では、上記検討ケースを含め、各種基準津波に対して防波堤の有無・護岸部沈下の有無(健全・2m 沈下)を考慮して検討を実施している。6 号機取水口前面水位の時刻歴波形を図 4.7-添 5-7 に示す(図 4.7-添 3-1 に 6 号機海水貯留堰の北辺天端高さ T.M.S.L. -3.0m のライン、海水貯留堰の機能が必要となる期間等を追記して再掲)。

海水貯留堰の機能が必要となる期間のうち、6 号機取水口前面水位が 6 号機海水貯留堰の北辺天端高さ T.M.S.L. -3.0m より低下するのは、図 4.7-添 5-7 に示す「T.M.S.L. -3.5m まで低下」または「T.M.S.L. -3.0m まで低下」の期間である。

このうち、「T.M.S.L. -3.5m まで低下」の期間については、3.2 で例示した「基準津波 2 の防波堤あり・護岸部 2m 沈下ケース」における地震後 95 分から 120 分の状況と同様に、いずれの検討ケースについても、6 号機海水貯留堰の北辺天端高さ T.M.S.L. -3.0m を考慮した場合、海

水貯留堰が露出する時刻は数分程度早くなるが、この時刻においても既に大湊側護岸部の水位は概ね0mとなっていること、また、大湊側護岸部で漂流物が滑動し、海域に落下する可能性がある時間帯では、6号機取水口前面の水位が6号機海水貯留堰の北辺天端高さ T.M.S.L.-3.0m よりも高いことが確認される（図4.7-添3-2参照）ため、直接落下による気中衝突は発生しないものと判断できる。

「T.M.S.L.-3.0mまで低下」の期間（図4.7-添5-7(2)に示す基準津波2のA、Bの期間）における大湊側護岸部の水位時刻歴と6号機取水口前面水位の時刻歴の関係を図4.7-添5-8に示す。この期間についても同様に、6号機取水口前面水位がT.M.S.L.-3.0mとなり海水貯留堰が露出する時刻には、既に大湊側護岸部の水位は概ね0mとなっていること、また、大湊側護岸部で漂流物が滑動し、海域に落下する可能性がある時間帯では、6号機取水口前面の水位が6号機海水貯留堰の北辺天端高さ T.M.S.L.-3.0m よりも高いことが確認されるため、直接落下による気中衝突は発生しないものと判断できる。

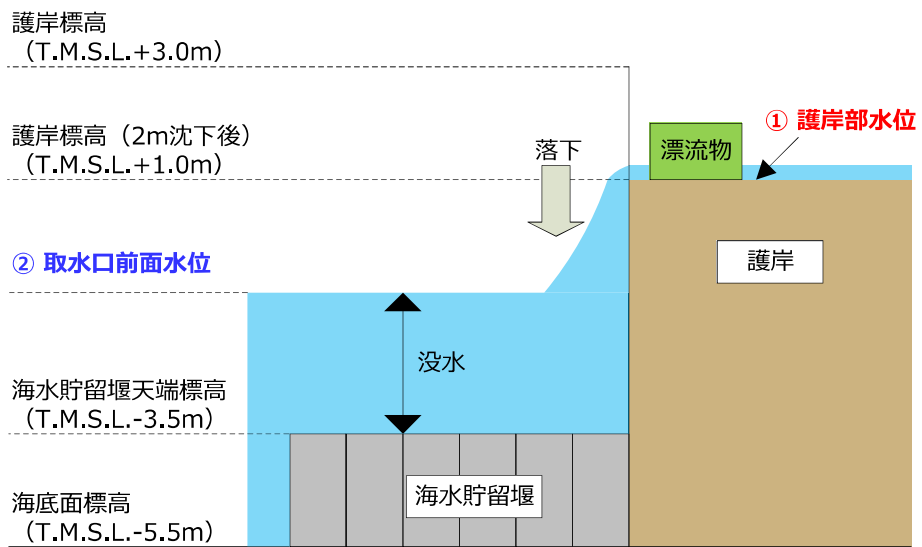
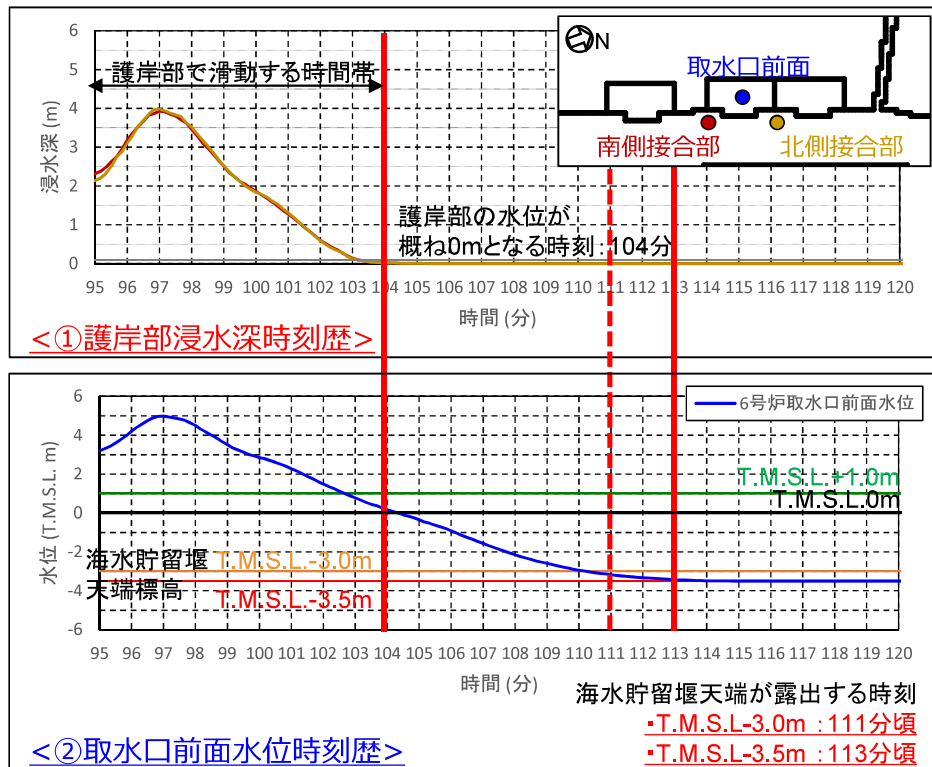


図 4.7-添 5-6 大湊側護岸部の浸水水位と 6 号機取水口前面水位との関係 (基準津波 2 防波堤あり・護岸部 2m 沈下ケース)

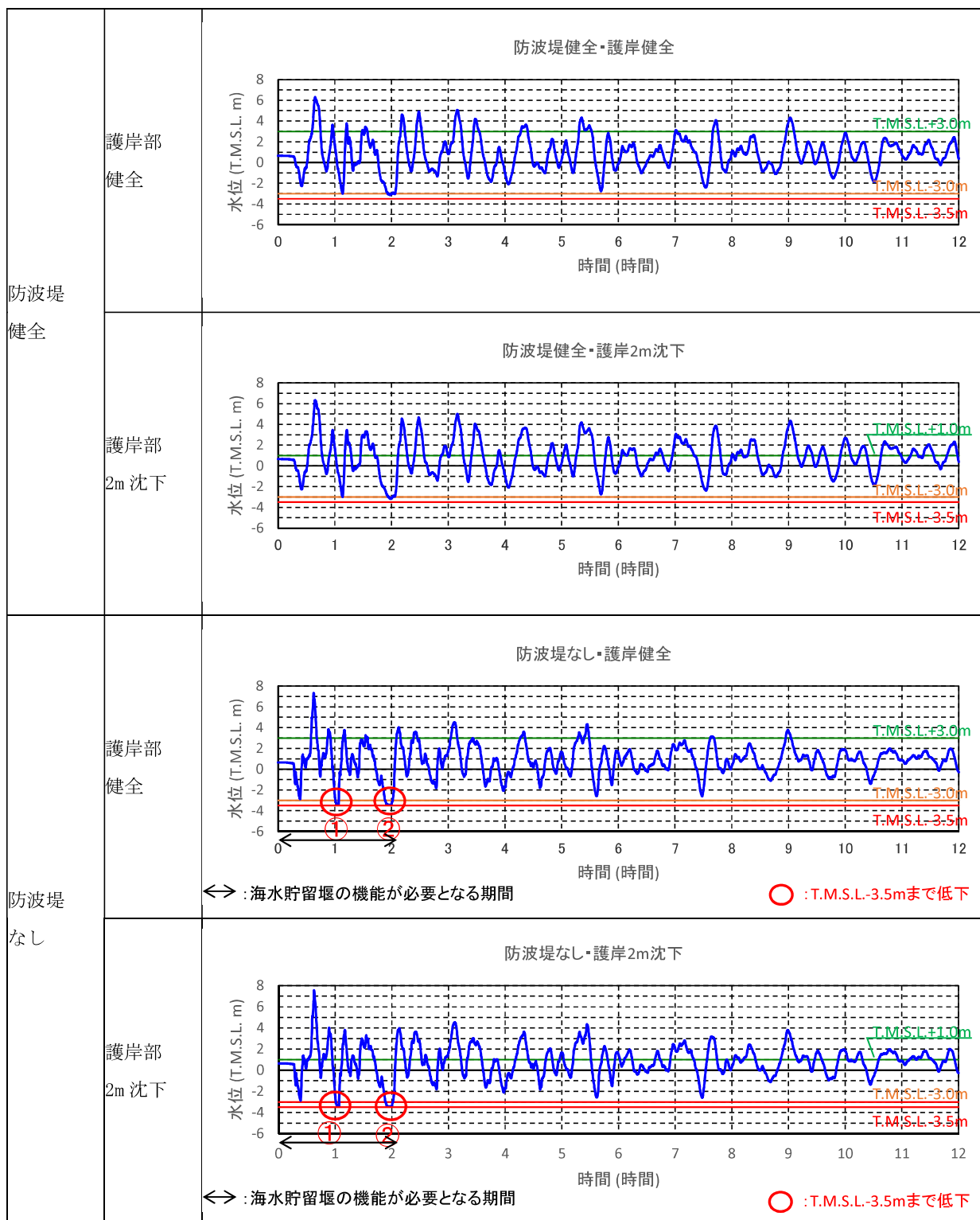


図 4.7-添 5-7(1) 6号機取水口前面水位の時刻歴波形 (基準津波 1)

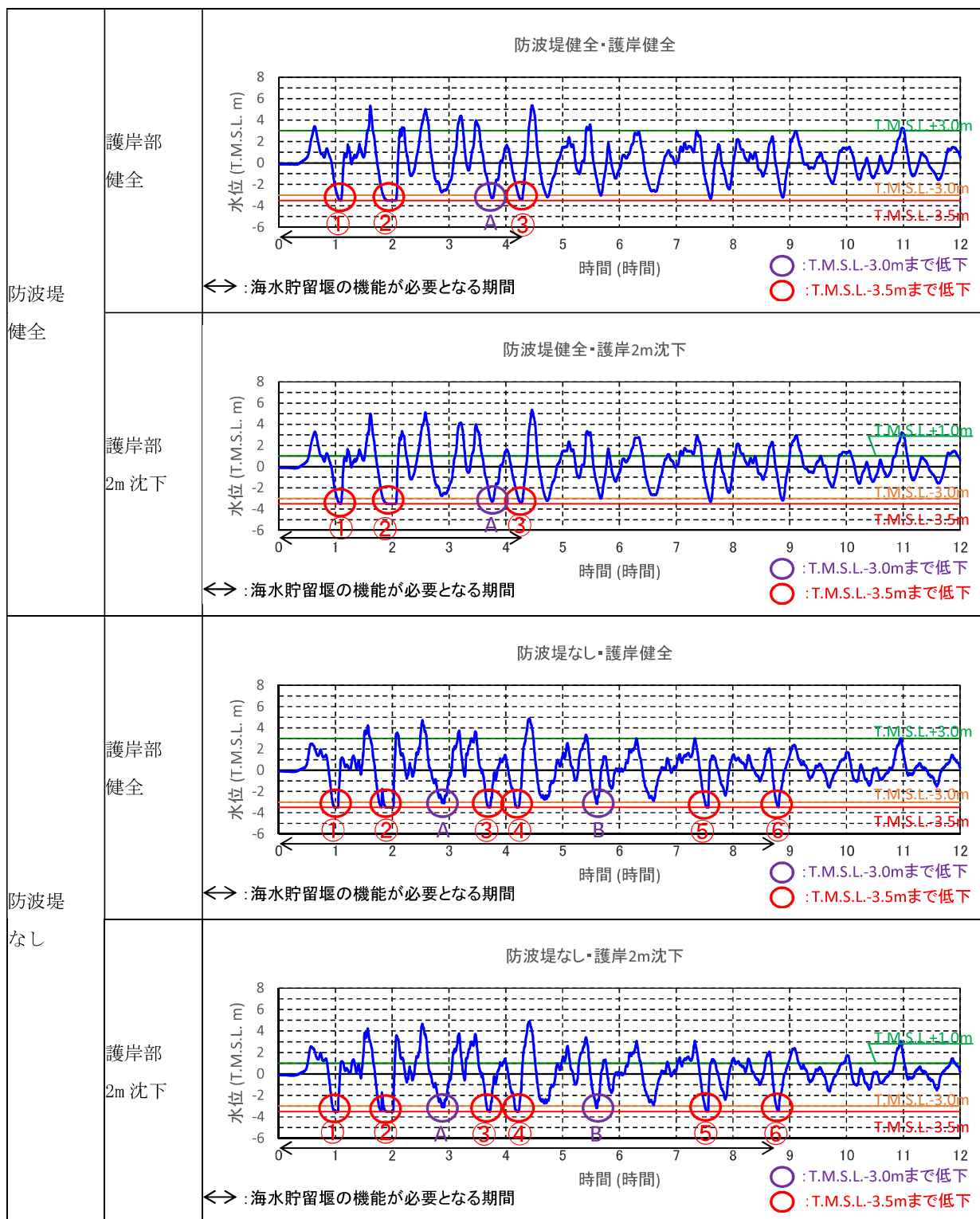


図 4.7-添 5-7(2) 6号機取水口前面水位の時刻歴波形 (基準津波 2)

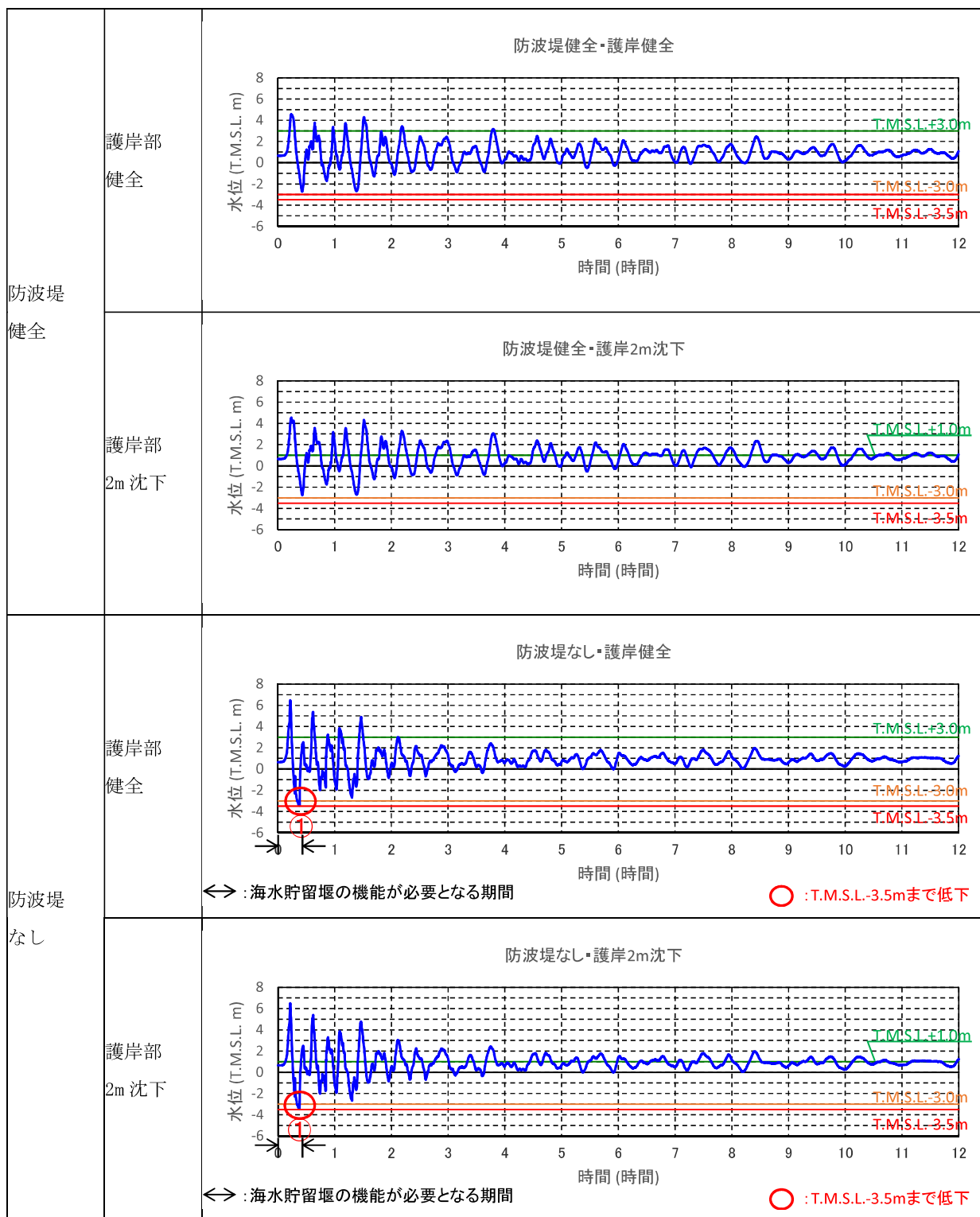


図 4.7-添 5-7(3) 6号機取水口前面水位の時刻歴波形 (基準津波3)

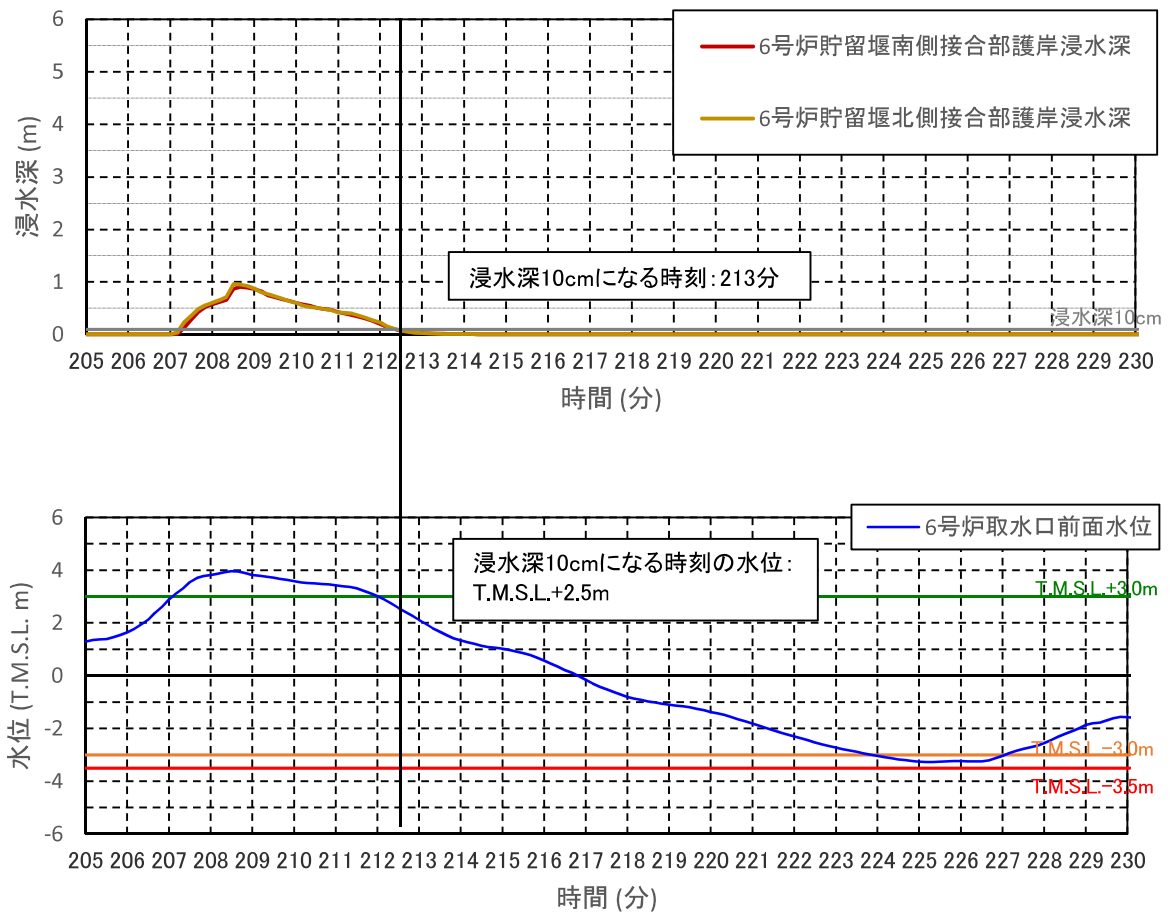


図 4.7-添 5-8(1) 6号機取水口前面水位と護岸部浸水深
 (基準津波 2 防波堤健全・護岸部健全: A)

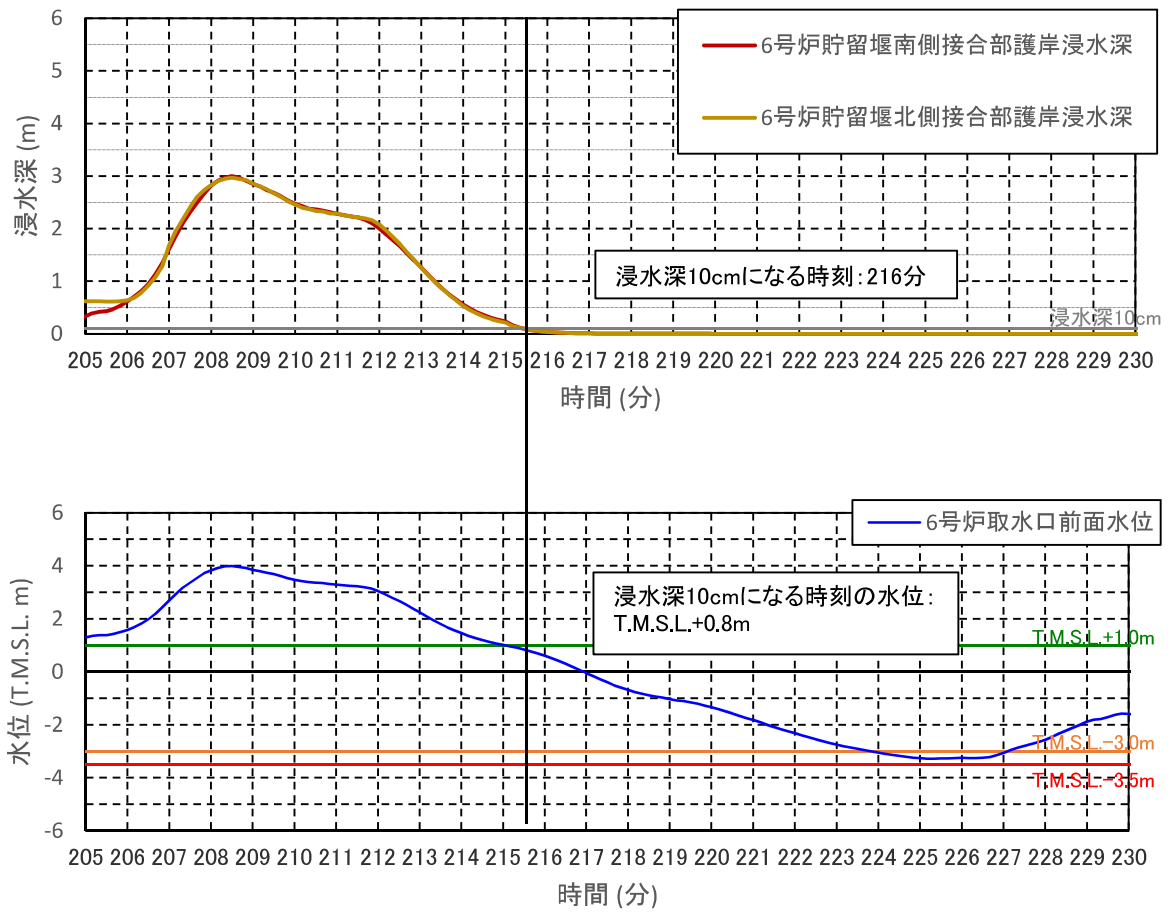


図 4.7-添 5-8(2) 6号機取水口前面水位と護岸部浸水深
 (基準津波 2 防波堤健全・護岸部 2m 沈下: A)

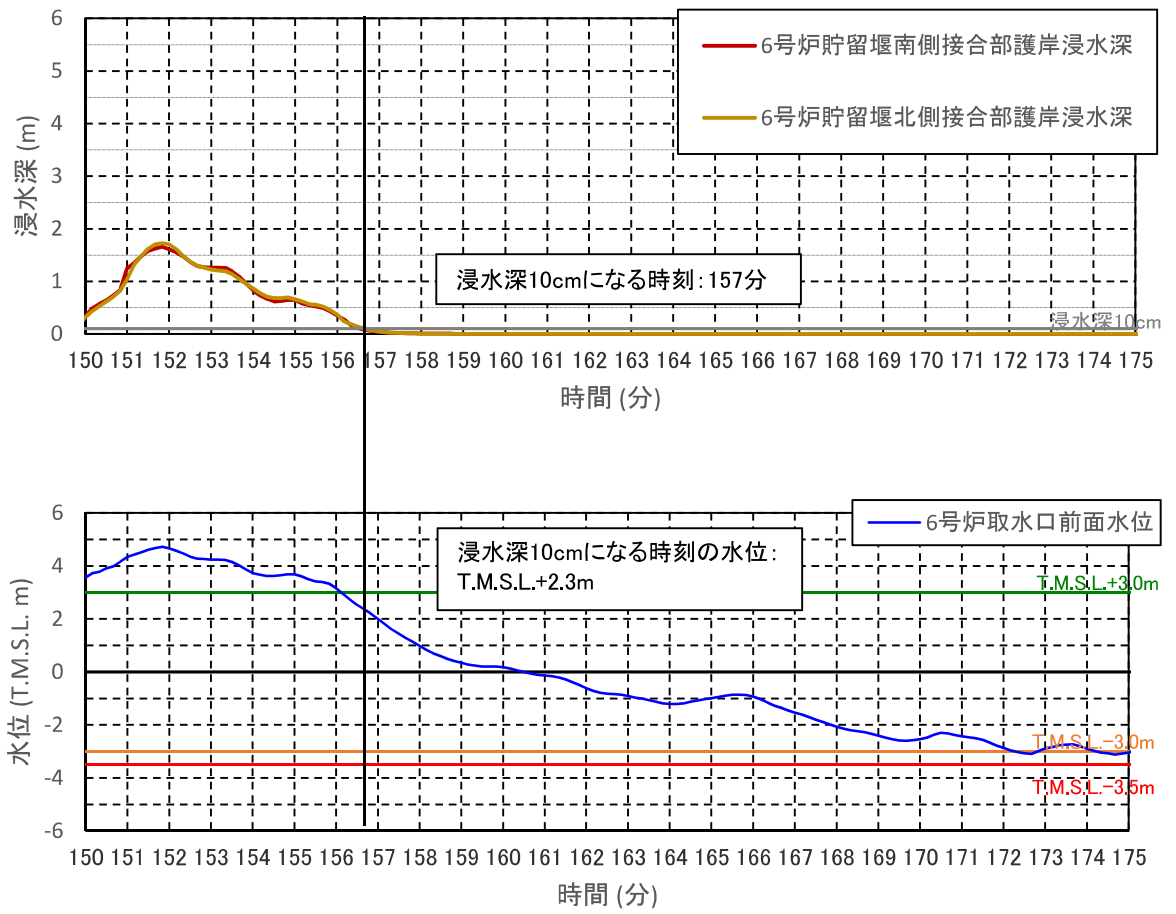


図 4.7-添 5-8(3) 6号機取水口前面水位と護岸部浸水深
(基準津波 2 防波堤なし・護岸部健全: A)

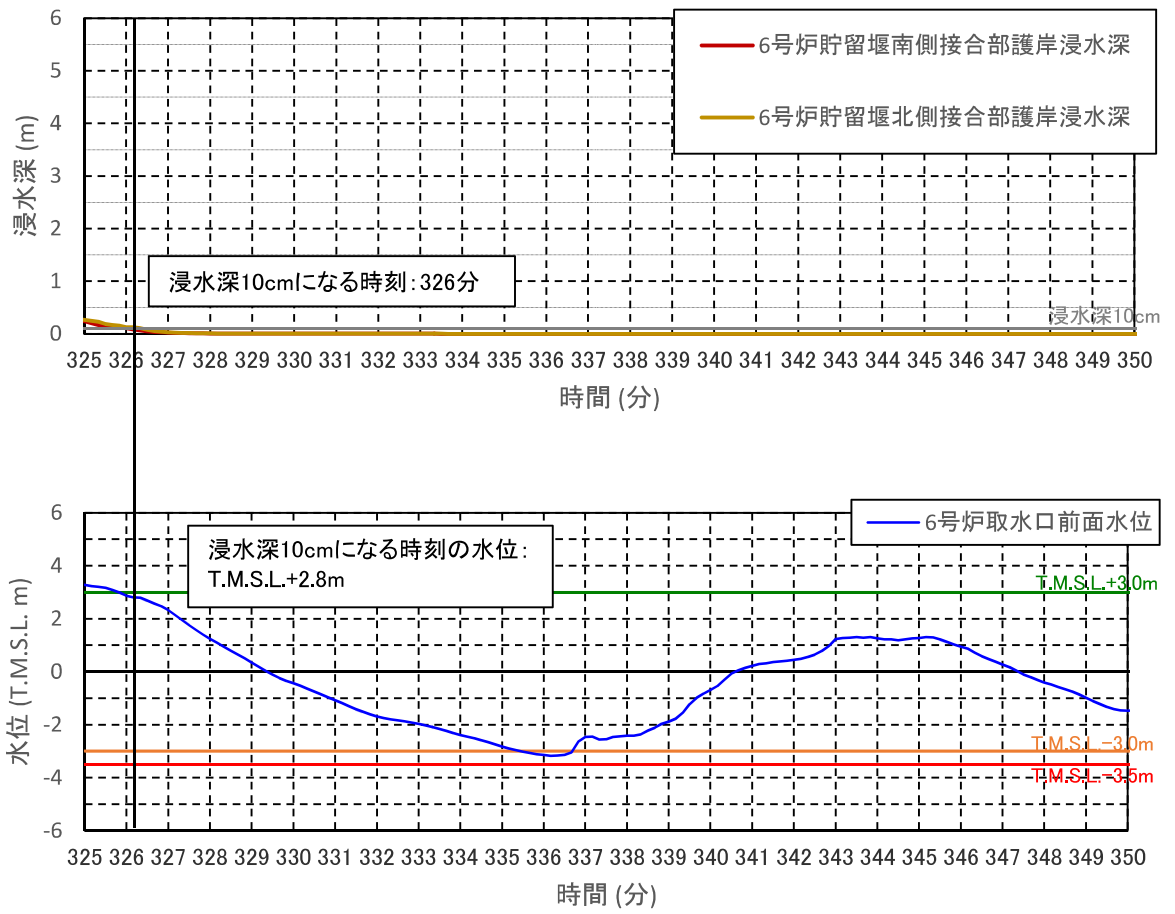


図 4.7-添 5-8(4) 6号機取水口前面水位と護岸部浸水深
(基準津波 2 防波堤なし・護岸部健全: B)

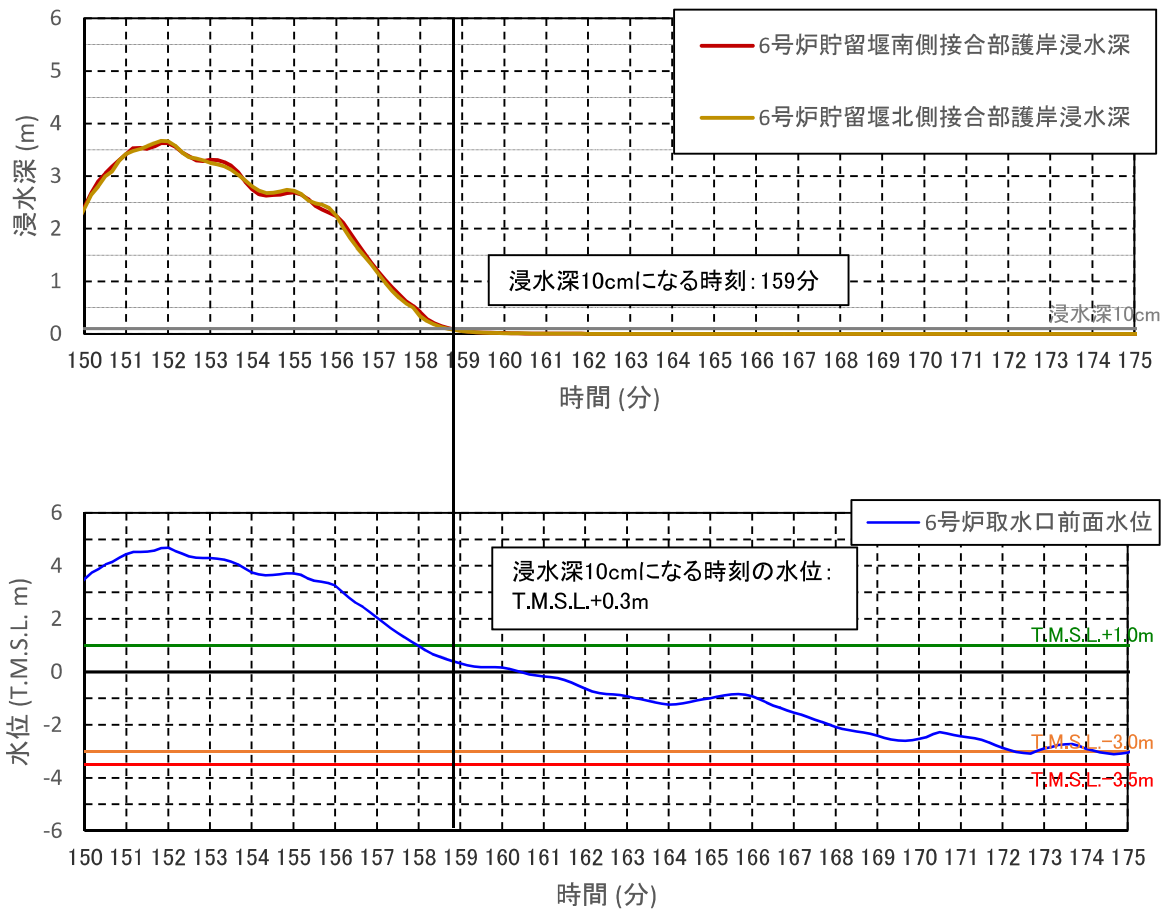


図 4.7-添 5-8(5) 6号機取水口前面水位と護岸部浸水深
(基準津波 2 防波堤なし・護岸部 2m 沈下: A)

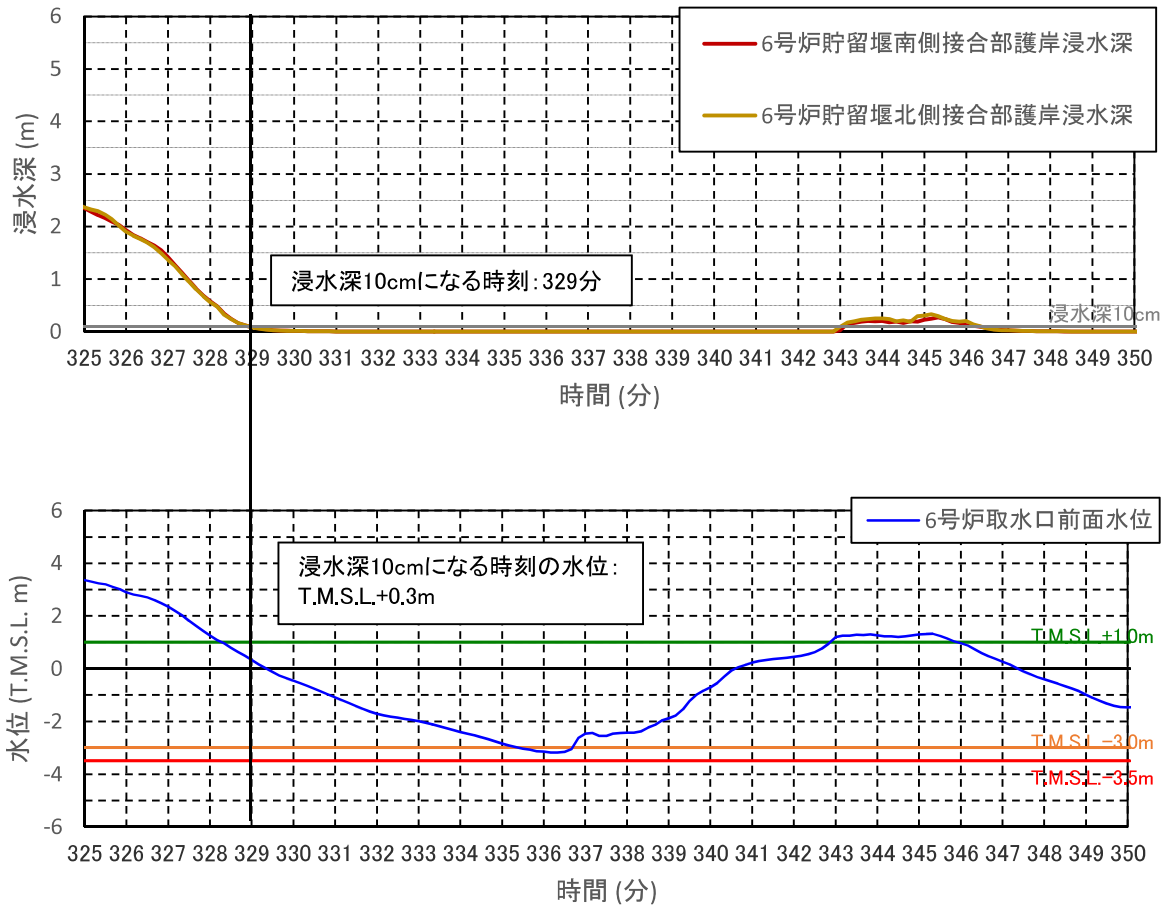


図 4.7-添 5-8(6) 6号機取水口前面水位と護岸部浸水深
 (基準津波 2 防波堤なし・護岸部 2m 沈下: B)

4. 結論

上記の検討により、6号機海水貯留堰の北辺の天端高さ（T.M.S.L. -3.0 m）を考慮した場合でも、海水貯留堰の機能が必要となる期間において気中衝突は発生しないため、発電所構外（海域）にて発生する漂流物（航行不能船舶及び保安林）に関しては「前面海域」からの漂流物と整理することができる。

また、大湊側護岸部に存在する漂流物についても6号機海水貯留堰の北辺が露出している際に滑動により海域に落下することはなく、直接落下の観点でも気中衝突が発生しないことを確認した。

以上より、6号機海水貯留堰の北辺の天端高さを考慮した場合でも、4.7本文の結論が変わるものではないことを確認した。

F E M A (2012) による F R P 製船舶の衝突荷重

1. 検討概要

海水貯留堰の強度評価において考慮する津波漂流物の衝突は、「4.7 漂流物衝突を考慮した津波防護施設の設計について」のうち「4.7.5 衝突荷重算定式の選定」に示す通り、軽自動車は、直近海域から気中衝突するものとして評価しており、航行不能船舶（F R P 製船舶）は、前面海域から気中衝突するものとして評価している。本検討では、軽自動車よりも重量の重い航行不能船舶（F R P 製船舶）が、仮に直近海域から海水貯留堰に気中衝突した場合の影響を確認するため、「F E M A (2012)」による F R P 製船舶の衝突荷重を算定し、軽自動車との比較を行う。

「F E M A (2012)」により津波漂流物の衝突荷重を算定するには、対象漂流物の有効軸剛性（以下「軸剛性」という。）を設定する必要がある。車両や鋼製船舶の軸剛性については、文献等で公知化されているが、F R P 製船舶の軸剛性は、文献等において公知化されたものがない。以上を踏まえ、本検討では、「構造物の衝撃挙動と設計法（(社)土木学会, 1994）」（以下「土木学会（1994）」という。）に示される鋼製船舶を対象とした軸剛性の設定方法について、鋼製船舶と F R P 製船舶の類似（同等）性及び知見の適用性（軸剛性設定方法の妥当性）を示した上で、F R P 製船舶の軸剛性の設定について検討を行う。また、軸剛性の算出にあたっては、F E M A (2012) で示されている鋼製コンテナの軸剛性が短軸方向よりも長軸方向（船首方向に相当）の剛性が大きいことから、本検討における F R P 製船舶においても船首方向の軸剛性を算出することとする。

検討を実施する F R P 製船舶としては、「4.7 漂流物衝突を考慮した津波防護施設の設計について」のうち「4.7.4 検討対象漂流物（衝突物）の整理」に示すとおり、発電所付近を航行する可能性がある船舶は総トン数 5t 未満であることから、保守的に総トン数 5t の F R P 製船舶を用いて検討を行う。

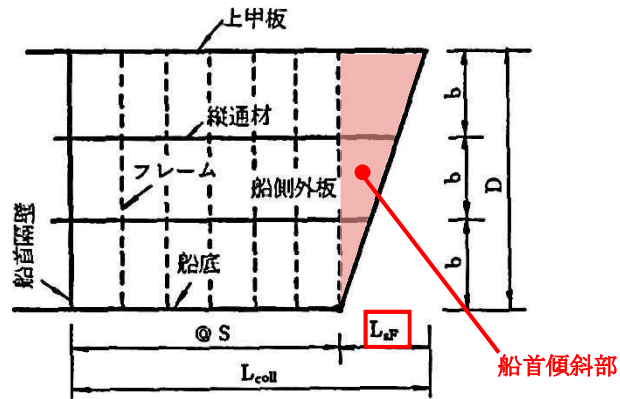
2. 衝突時における船舶の破壊に関する整理

剛性及び強度が大きい浸水防護施設（海水貯留堰）に対して、小型 F R P 製船舶の座屈強度は小さいと考えられることから、小型 F R P 製船舶が圧壊していくこととなり、圧壊が進むにつれて衝突エネルギーが減少しつつ圧壊荷重が上限となって圧壊は終了し、これと同時に、浸水防護施設にその圧壊荷重（最大荷重）が作用する。「土木学会（1994）」によれば、図4.7-参1-1に示すように、剛性及び強度が大きい海洋構造物に対する船舶の圧壊荷重と変形量との関係が示されており、以下のような破壊進展となる。

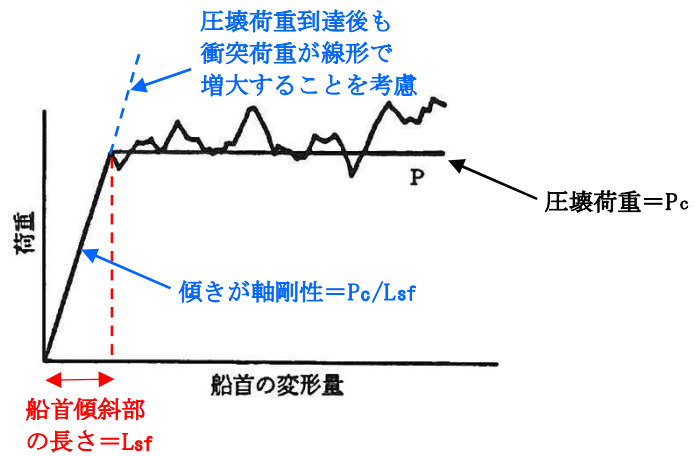
- ✓ 船舶の衝突初期は、船首が傾斜しているため接触面が小さく、圧壊が進むに従って荷重（反力）はほぼ直線的に増加する。
- ✓ 船舶の破壊が進み、船首の傾斜部が全部破壊し、船体の全面が海洋構造物に接触すると、その後の荷重はほぼ一定値に達する。この時の荷重は、船首側からの圧壊による座屈荷重とほぼ同等とみることができる。

以上を踏まえ、F R P 製船舶の圧壊荷重を求めた上で、軸剛性を算出することとする。

船首部の標準型



圧壊荷重と船首の変形量の関係



圧壊荷重と圧壊量の関係

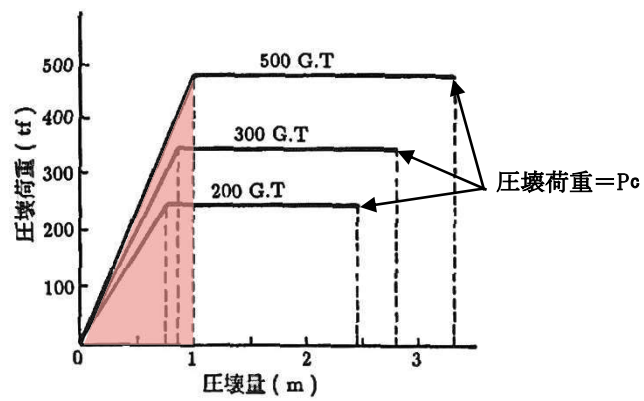


図 4.7-参 1-1 荷重と船首の変形量及び圧壊荷重と圧壊量
 (「土木学会 (1994)」に一部加筆)

3. 土木学会（1994）による軸剛性の設定方法

「土木学会（1994）」では、船舶の圧壊荷重（船首強度） P_C について、図 4.7-参 1-2 に示す平板の座屈応力度の算定式から座屈強度 σ_c を算出し、船首形状寸法等を乗じることで求められるとしている。「土木学会（1994）」で検討対象としている船舶は、大型の鋼製船舶ではあるが、座屈強度 σ_c の算定式は一般的な平板の座屈応力度の算定式であることから、ヤング率とポアソン比を適切に考慮することで、鋼製以外の船舶にも適用可能である。また、「土木学会（1994）」によれば、船舶の破壊が進み、船首傾斜部がすべて破壊した際に圧壊荷重 P_C に達し、その後圧壊荷重 P_C が一定値として作用することとなる。そのため、圧壊荷重 P_C を船首傾斜部の長さ L_{sf} で除した値が船舶の軸剛性 k_c となる。

船舶の衝突荷重は図 4.7-参 1-1 に示すとおり、圧壊荷重到達後は一定値となることが想定されるが、安全側に圧壊荷重到達後も衝突荷重が線形で増加すると仮定して評価を行う。

なお、「基礎からわかるFRP（強化プラスチック協会編，2016）」によれば、「圧縮荷重が作用する場合には、圧縮強度を基準に構造設計するのではなく、座屈強度を基準に構造設計する必要がある。」とされていることから、FRP製船舶の圧壊荷重に座屈強度を用いることは妥当と判断できる。

以上を踏まえ、「土木学会（1994）」に記載されている圧壊荷重の算定方法を用いて、軸剛性を算出する。「土木学会（1994）」に記載されている船首強度（圧壊荷重）の計算例を図 4.7-参 1-3 に示す。

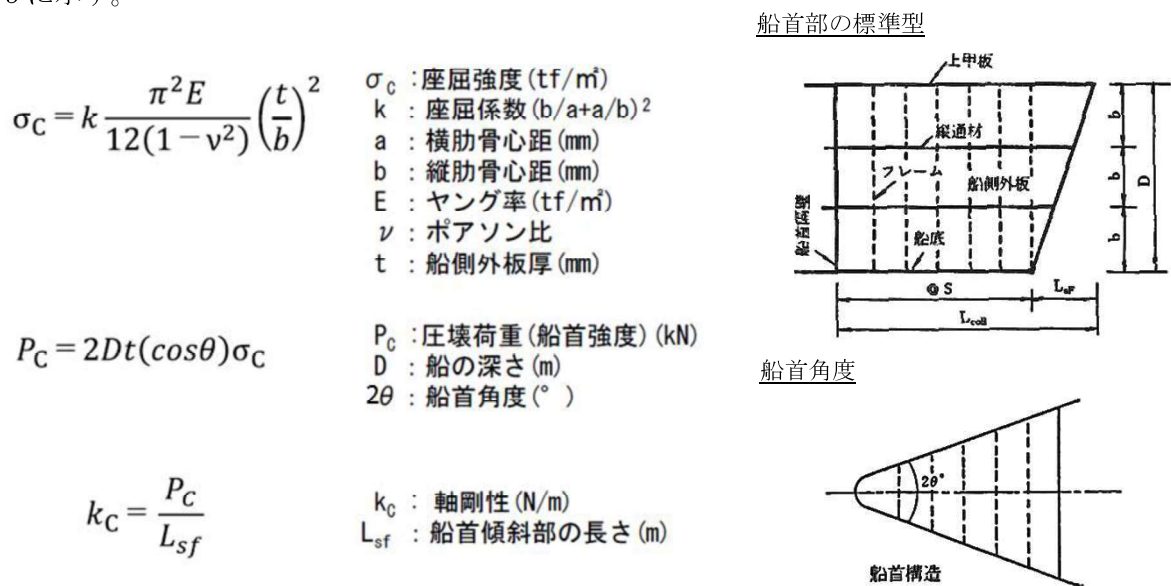


図 4.7-参 1-2 土木学会（1994）を用いた軸剛性の算定方法
 （「土木学会（1994）」より引用）

(2) 船首強度の計算

船首強度は船首の座屈強度から求める。船首部側板の座屈強度は、板厚や側板各辺長さなどの関係式として次式のように表わせる。

$$\sigma_c = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \leq \sigma_y \quad (3.2)$$

船首の形状寸法など諸値を乗じると、船首強度すなわち圧壊荷重は次式で表わせる。

$$P_c = 2 D t \cos\theta \sigma_c \quad (3.3)$$

ここで式の記号は以下のとおりである。

- k : 座屈係数 $= \left(\frac{b}{a} + \frac{a}{b}\right)^2$
- E : ヤング率 $= 2.1 \times 10^7 \text{ tf/m}^2$
- ν : ポアソン比 $= 0.3$
- σ_y : 鋼材の降伏点応力 $2,400 \text{ kgf/cm}^2$

上2式をもとに、船首部側板の座屈強度を算出する。200 G.T, 300 G.T および 500 G.T の船舶の船首部諸元を表3.2のように設定する。

ここで横肋骨心距 a は、

$$a = 450 + 2L \quad (3.4a)$$

縦肋骨心距 b は、

$$b = 550 + 2L \quad (3.4b)$$

また、図3.5に示す船首角度を $2\theta = 35^\circ$ 、船首傾斜部の長さを $L_{sf} = 0.25D$ とする。船首強度の計算結果を表3.3に示す。

表 3.2 船首部諸元

ゲート	G.T	L (m)	L _{coll} (m)	D (m)	a (mm)	b(mm)	L _{sf} (m)
A	200	36.84	3.68	2.95	520	620	0.74
B	300	42.17	4.22	3.37	530	630	0.84
C	500	50.00	5.00	4.40	550	650	1.00

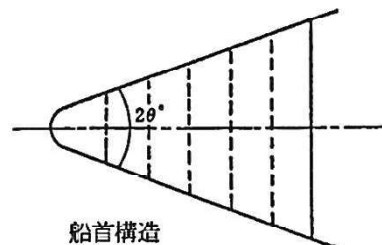


図 3.5 船首角度

表 3.3 船首圧壊強度

L(m)	a(mm)	b(mm)	t(mm)	k	σ _{cr} (kgf/cm ²)	D(m)	P _c (tf)
36.84	520	620	6	4.08	725	2.95	245
42.17	530	630	6.5	4.12	832	3.37	348
50.00	550	650	7	4.12	907	4.00	484

表 3.1 船首部の標準寸法値

構造寸法	記号	標準寸法	単位
船の深さ	D	0.08 L	m
船側外板厚	t	0.82√L + 2.5	mm
フレーム間隔	S	610	mm
船首隔壁位置	L _{coll}	0.1 L	m
縦通材間隔	b	3S	mm
船首部傾斜幅	L _{sf}	0.25 D	m
船首部先端角度	2θ	35 ~ 70	度
船体幅	B	L/10 + 3.81	m

図 4.7-参 1-3 「土木学会 (1994)」で示されている計算例
(「土木学会 (1994)」より引用)

また、「甲斐田・木原（2017）」*¹では、既往の文献である「有田（1988）」*²を整理し、大型の鋼製船舶（総トン数 400～4000t）の船首方向に対する軸剛性が記載されている。そこで、これらの大型鋼製船舶に対して、「土木学会（1994）」による設定方法を基に軸剛性を算出し、「甲斐田・木原（2017）」に記載されている軸剛性との比較を行う。比較結果を表 4.7-参 1-1 に示す。比較結果として、「土木学会（1994）」の方法により算出した軸剛性と「甲斐田・木原（2017）」に記載されている軸剛性は、おおむね同程度となることを確認した。

注記*1：甲斐田秀樹・木原直人（2017）：原子力発電所における津波漂流物の影響評価技術－現状調査とその適用に関する考察－，電力中央研究所報告○16010，2017

注記*2：有田喜久雄（1988）：船舶等の衝突強度に関する研究，船舶技術研究所報告，第 25 巻第 1 号，1988，pp. 35-125

表 4.7-1-1 軸剛性の比較結果
 (「甲斐田・木原 (2017)」記載値及び「土木学会 (1994)」算出値)

項目	記号	算定式	単位	500G. T	1000G. T	2000G. T	4000G. T
総トン数	G. T.	-	トン	500	1000	2000	4000
船舶長さ	L	$= 50 \times \eta^{1/3}, \eta = W/500$	m	50.00	63.00	79.37	100.00
船舶深さ	D	$= 0.08 \times L$	m	4.00	5.04	6.35	8.00
船側外板厚	t	$= 0.82\sqrt{L} + 2.5$	mm	8.30	9.01	9.81	10.70
縦肋骨心距	a	$= 450 + 2L$	mm	550.00	576.00	608.74	650.00
横肋骨心距	b	$= 550 + 2L$	mm	650.00	676.00	708.74	750.00
船首角度	2θ	文献記載の最大値と最小値の2ケース実施	°	70	70	70	70
船首傾斜部長さ	L_{sf}	$= 0.25 \times D$	m	1.00	1.26	1.59	2.00
ヤング率 (曲げ弾性率)	E	-	tf/m ²	2.1×10^7	2.1×10^7	2.1×10^7	2.1×10^7
ポアソン比	ν	-	-	0.3	0.3	0.3	0.3
座屈強度	σ_c	*1	tf/m ²	12,728	13,836	14,885	15,772
圧縮荷重	P_c	*2	kN	6,790	10,095	14,898	21,691
軸剛性 (船首部)	k_c	甲斐田・木原 (2017) 文献記載値	N/m	6.790×10^6	8.012×10^6	9.370×10^6	1.085×10^7
				5.1×10^6	6.4×10^6	8.2×10^6	1.1×10^7

P_c : 圧縮荷重 (船首強度) (kN)
 D : 船の深さ (m)
 θ : 船首角度 (°)
 K_c : 軸剛性 (N/m)
 L_{sf} : 船首傾斜部の長さ (m)

σ_c : 座屈強度 (tf/m²)
 k : 座屈係数
 a : 横肋骨心距 (mm)
 b : 縦肋骨心距 (mm)
 E : ヤング率 (tf/m²)
 ν : ポアソン比
 t : 船側外板厚 (mm)

*1 $\sigma_c = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2$

$(k = (b/a + a/b)^2)$

*2 $P_c = 2Dt(\cos\theta)\sigma_c$

*3 $k_c = \frac{P_c}{L_{sf}}$

4. 鋼製船舶を対象とした方法をFRP製船舶に用いることの妥当性

「土木学会（1994）」で示されている座屈強度 σ_c の算定式は一般的な平板の座屈応力度の算定式であるため、ヤング率とポアソン比を適切に考慮することで、FRP製船舶に適用することが可能であると考えられるが、「土木学会（1994）」で検討対象としている船舶が鋼製船舶であることを踏まえ、FRP製船舶と鋼製船舶の形状、構造、力学特性及び損傷モードに関する類似（同等）性について検討を行った。

4.1 船舶の形状に関する類似（同等）性

「小型漁船のインベントリ分析に関する研究— A：モデル船の建造・運航状況調査—（海上技術安全研究所報告 第3巻 第5号（平成15年）」（以下「海技研報告（平成15年）」という。）に、総トン数14tのアルミ合金漁船とFRP漁船の図面が示されている（図4.7—参1—4及び図4.7—参1—5）。これらの図面から、FRP漁船とアルミ合金漁船の寸法、外形及び断面はほぼ同じであることが確認できる。

以上より、FRP製船舶と鋼製船舶の形状は類似性を有する。

表-2.1 アルミ合金漁船の主要目表

全長	21.66m
全幅	4.78m
型深さ	1.21m
登録長	17.60m
登録幅	4.38m
登録深さ	1.20m
測定長	19.20m
測定幅	3.90m
測定深さ	1.20m
計画総トン数	14トン
主機関	YANMAR 6LX-ET (定格出力) 650PS
定員	6人
用途	小型機船底びき網漁業
燃料油の種類	A重油
燃料油の消費量	160g/(ps・hr)
発電機動力	主機駆動



写真-2.1 アルミ合金漁船

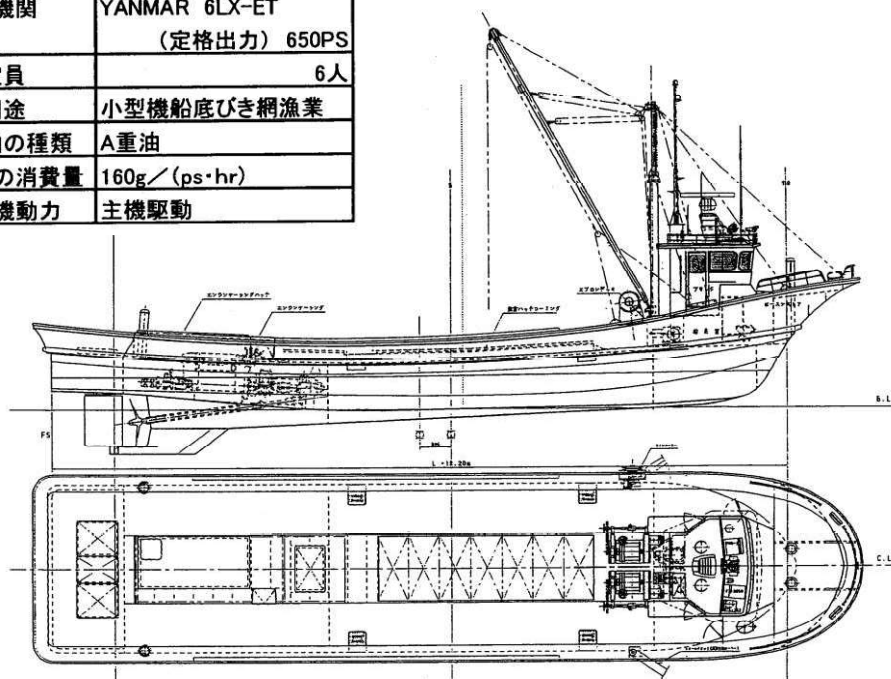


図-2.1 アルミ合金漁船の一般配置図

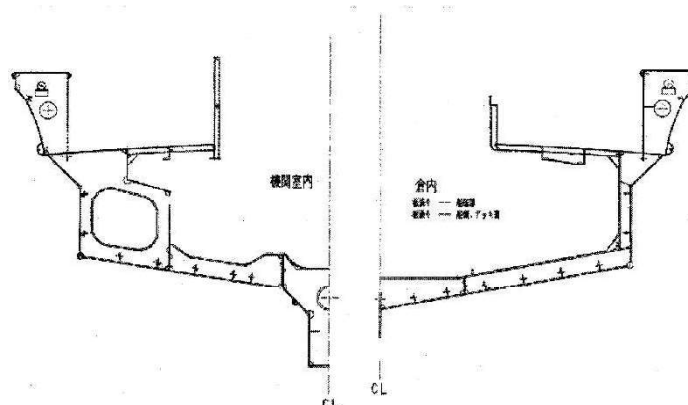


図-2.2 アルミ合金漁船の中央断面図

図 4.7-参 1-4 アルミ合金漁船
(「海技研報告 (平成 15 年)」より引用)

資料 2-4.7-参 1-8

表-2.6 FRP漁船の主要目表

全長	21.66m
全幅	4.78m
型深さ(D)	1.21m
登録長	17.60m
登録幅	4.18m
登録深さ	1.38m
測定長	19.20m
測定幅	3.90m
型深さ(Dm)	1.20m
計画総トン数	14トン
主機関	YANMAR 6LAH-ST (定格出力)550PS
定員	5人
用途	小型機船底びき網漁場
燃料油の種類	A重油
燃料油の消費量	162g/(ps.hr)
発電機動力	主機駆動

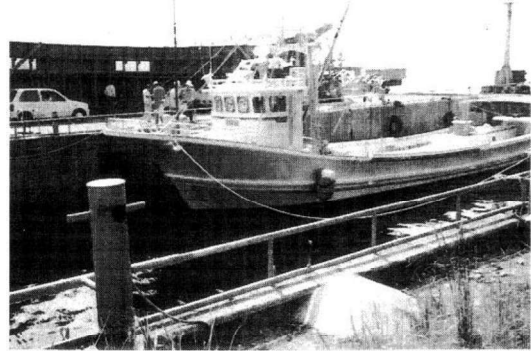


写真-2.2 FRP漁船

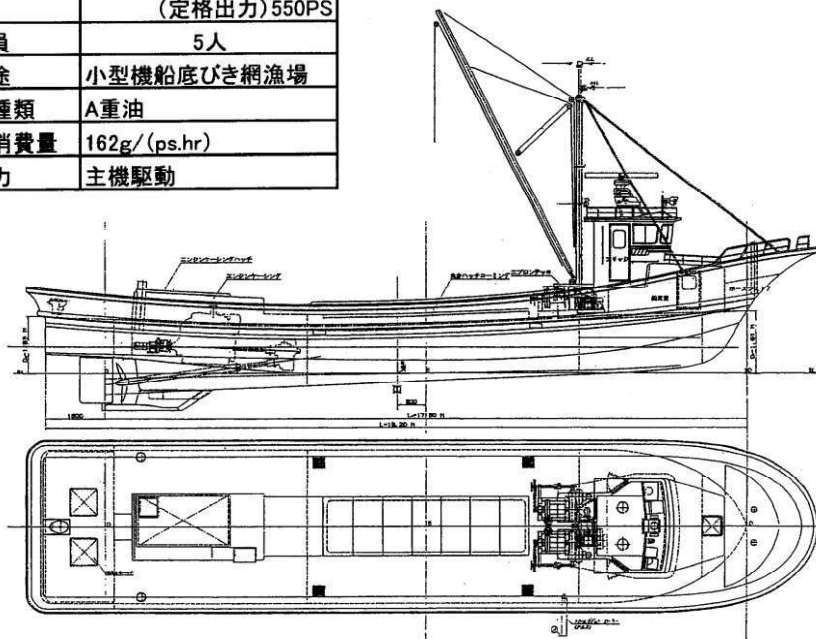


図-2.4 FRP漁船の一般配置図

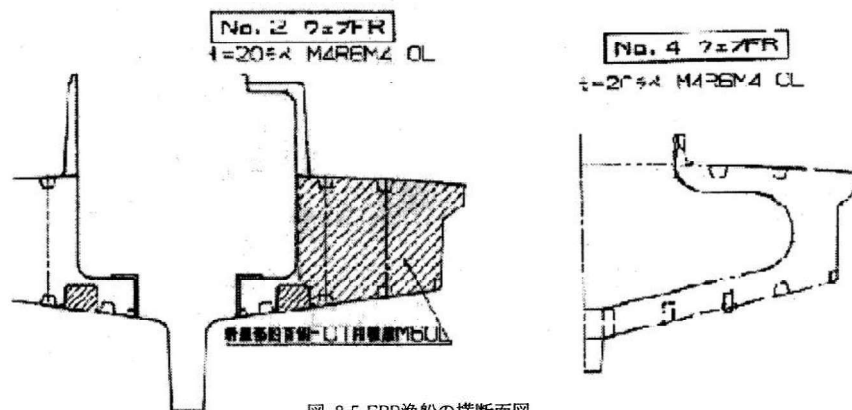


図-2.5 FRP漁船の横断面図

図 4.7-参 1-5 FRP漁船
(「海技研報告(平成15年)」より引用)

4.2 船舶の構造に関する類似（同等）性

船舶の主要構造及び座屈強度を算出する際に必要となる船側外板厚について、FRP製船舶と鋼製船舶の算出方法を比較し、両者に類似性があることを確認する。

「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2023）」には、FRP製船舶の縦強度、甲板、肋骨、船底等の船体の主要構造の諸元について規定がなされており、これらは鋼製船舶を対象とした基準類を基本に設定されている。

座屈強度を算出する際に必要となるFRP製の船舶の船側外板厚は、「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2023）」に算定式が示されている。この算定式の設定について「強化プラスチック船規則解説（日本海事協会会誌，1978）」によれば、「波浪中を航行する船が受ける外力は、船の大きさ、形状等によって異なるが、特別な場合を除き、船体の材質によって変わらないと考えられる。したがって船底や船側の波浪外力、水密隔壁や深水タンク隔壁に作用する外力は、全て鋼船規則に定められている外力を用いた。」としており、上記外板厚の算出式における外力（水頭）の設定について、鋼製船舶の規定を定めている「鋼船規則（日本海事協会）」を基本に算定式を設定していることが記されている。

以上より、FRP製船舶の主要構造及び外板厚に関する規定は鋼船に対する基準類を基本として定められており、FRP製船舶と鋼製船舶は構造に関して類似性を有する。

4.3 船舶の材料の力学特性の類似（同等）性

鋼材とFRP材の力学特性について整理を行い、両者に類似性があることを確認する。

鋼製船舶に用いられる鋼材は、等方性の力学特性をもつ均質な材料である。

「基礎からわかるFRP（強化プラスチック協会，2016）」によれば、「FRPは微視的には不均質材料であるが、巨視的には等方性または直交異方性の力学特性を持つ均質材料として取り扱うことができる。このような場合には、等方性または直交異方性の座屈理論をそのまま利用できる。」としている（図4.7-参1-6）。

また、FRP製船舶に用いられるFRP（Fiber Reinforced Plastics；繊維強化プラスチック）の主材料は、ガラス繊維基材と樹脂液（液状不飽和ポリエステル樹脂）である。「FRP成形入門講座（日本プラスチック加工技術会）」によると、FRP材の材料力学特性について、「FRP材料はガラス繊維、マトリックスの種類、組成、形体によってその特性が変化する。例えば、無方向性のランダマイドガラスマットを用いると、ほぼ等方性材料として扱うことができる。」と記載されている。FRPを材料に用いた船舶の製作においては、あらゆる方向からの波が船舶の外力として作用することを考慮して、異方性材料とならないようガラスマット等のガラス繊維基材を組み合わせることで船体が成形される。

以上より、FRP材と鋼材は均質な材料であるという点で類似した力学特性を有する。

また、鋼材及びFRP材の応力-ひずみ曲線を図4.7-参1-7に示す。鋼材については、降伏強度以内では、弾性変形することが分かる。また、FRP材についても破壊寸前までは鋼材の降伏強度以内と同様に弾性変形することが分かる。

以上より、FRP材は破壊寸前までは鋼材の降伏強度以内と同様に弾性変形するという点で鋼材とFRP材は類似した力学特性を有する。

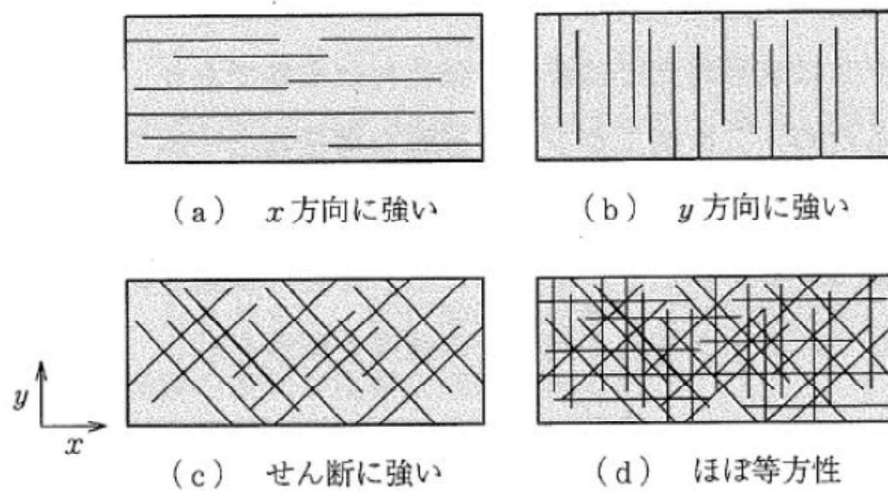


図4.7-参1-6 FRPの材料異方性

(「基礎からわかるFRP (強化プラスチック協会編, 2016)」より引用)

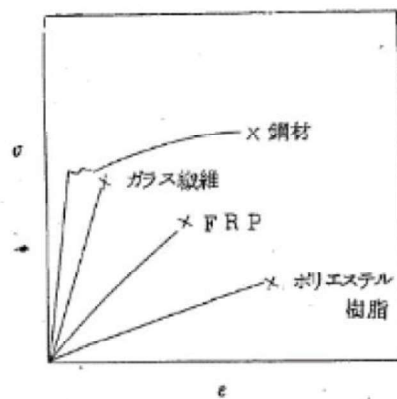


図 4.7-参 1-7 鋼材及びFRP材の応力-ひずみ関係

(「FRP 成形入門講座 (日本プラスチック加工技術協会)」より引用)

4.4 船舶の損傷モードの類似（同等）性

鋼材とFRP材の損傷モードについて整理を行い、両者に類似性があることを確認する。

評価対象としている小型船舶の構造は鋼製船舶、FRP製船舶共に材料を問わず、半円筒形のような構造をしており、船底と船側が主に竜骨と隔壁で構造が区切られ、さらに縦断及び横断方向に肋骨が配置されている。また、FRP製船舶と鋼製船舶は、それぞれ構成している部位の材料は異なるものの、どちらも主として薄板を組み合わせた構造である。

本検討では、船舶は6.0m/s という高速度かつ船舶の重量が15tの条件で剛性及び強度の大きい被衝突体に衝突することを想定するため、極端に大きな力が一方向（圧縮方向）に作用した場合、薄板構造である鋼製船舶及びFRP製船舶はどちらも圧縮系の座屈を起こしやすい。また、一方向から極端に大きな力が作用することから、せん断座屈やねじれ座屈のような事象（図4.7-参1-8）は支配的にはならない。

FRP材は、材料を積層して構成されることから、本検討で対象とする衝突事象のような大きな力が一方向（圧縮方向）に作用した場合、局所的なトランスバースクラックや層間はく離等の損傷モードも考えられるが、船舶は6.0m/s という高速度かつ船舶の重量が15tの条件で剛性及び強度の大きい被衝突体に衝突するため、このような局所的な損傷モードは支配的にはならない。

以上より、鋼材とFRP材は圧縮系の座屈を引き起こしやすいという点で類似した損傷モードを有する。

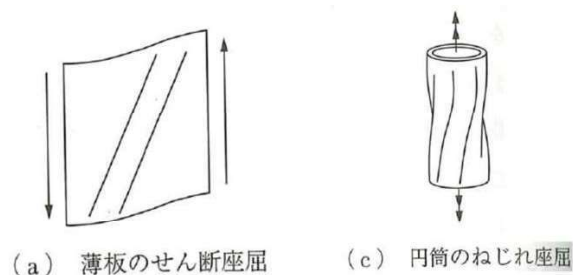


図4.7-参1-8 座屈変形の例

（「基礎からわかるFRP（強化プラスチック協会2016）」より引用）

4.5 鋼製船舶を対象とした方法をFRP製船舶に用いることの妥当性

4.1～4.4 の検討においてFRP製船舶と鋼製船舶の形状，構造，力学特性及び損傷モードに関して類似（同等）性を確認した結果を表 4.7－参 1－2 に示す。

確認の結果，FRP製船舶と鋼製船舶は形状，構造，力学特性及び損傷モードに関して類似（同等）性を有することから，FRP製船舶の圧壊荷重算出にあたり「土木学会（1994）」の方法を用いることは妥当であると判断した。

表 4.7－参 1－2 FRP製船舶と鋼製船舶の類似（同等）性に関する整理

項目		確認内容	類似 (同等) 性
船舶の形状		文献に示されているFRP漁船とアルミ合金漁船の寸法，外形及び断面がほぼ同じであることを確認した。	○
船舶の構造	船側外板厚	FRP製船舶と鋼製船舶に作用する外力が同じであり，FRP製船舶の船側外板厚算定式が鋼製船舶を基にしていることを確認した。	○
	その他の主要構造	FRP製船舶の縦強度，甲板，肋骨，船底等の主要構造が鋼製船舶の構造を基本に設定されていることを確認した。	○
材料の力学特性		FRP製船舶の材料であるFRPは鋼製船舶の材料である鋼材と同様に均質材料であることを確認した。また，FRP材は破壊直前まで鋼材（降伏強度以内）と同様に弾性変形することを確認した。	○
船舶の損傷モード		FRP製船舶と鋼製船舶は，どちらも薄板を組み合わせた構造であるため，圧縮方向の力が作用した場合に座屈しやすいことを確認した。	○

5. FRP製船舶の構造及び材料物性に係る条件の設定

5.1 「海技研報告（平成15年）」に記載のFRP製船舶構造をベースにした条件設定

FRP製船舶の座屈強度及び軸剛性を算出するにあたり、必要となる船舶の構造条件及び材料物性（ヤング率及びポアソン比）について、図4.7-参1-9に示す「海技研報告（平成15年）」に記載のFRP製船舶構造をベースに設定した際の条件（以下「海技研報告をベースにした条件設定ケース」という。）を表4.7-参1-3～表4.7-参1-5に示す。なお、材料物性の設定にあたっては、文献における適用性を考慮して、FEMA(2012)における衝突荷重が大きくなる安全側の設定値を採用する。

海技研報告をベースにした条件設定ケースにおいて軸剛性を算出すると、表4.7-参1-6に示すとおり 4.323×10^4 (N/m) となる。

表 4.7-1-3 船舶の構造に関する引用文献の適用性及び設定値
(海技研報告をベースにした条件設定ケース)

項目	設定・算出方法	適用性	設定値	
船舶構造	船舶の長さ L	「漁港・漁場の施設設計参考図書(水産庁, 2015年)」には、全漁業種類の総トン数5tの漁船の平均長さとして11.0mという値が示されている。本図書は、「漁港漁場整備法」に基づき、「漁港・漁場の施設設計」において参考となる技術的な見解を記載したものである。」とされている。 本設定では、上記文献における11.0mという長さを基に、FRP製船舶の基準である「強化プラスチック船規則解説(日本海事協会誌, 1978年)」に記載されているFRP製船舶の諸元うち11.0mに最も近い長さである12.8mを船舶の長さとして設定することから適用可能と判断した。	「漁港・漁場の施設設計参考図書(水産庁, 2015年)」には、全漁業種類の総トン数5tの漁船の平均長さとして11.0mという値が示されている。本図書は、「漁港漁場整備法」に基づき、「漁港・漁場の施設設計」において参考となる技術的な見解を記載したものである。」とされている。 本設定では、上記文献における11.0mという長さを基に、FRP製船舶の基準である「強化プラスチック船規則解説(日本海事協会誌, 1978年)」に記載されているFRP製船舶の諸元うち11.0mに最も近い長さである12.8mを船舶の長さとして設定することから適用可能と判断した。	12.8 (m) *1
	船の深さ D	「海技研報告(平成15年)」から案分。 (図4.7-1-9参照)	本図書は、実際に漁業で使用されていた総トン数14tのFRP漁船の形状が示されていることから、総トン数5tに案分することで適用可能と判断した。	1.37 (m) *2
	船側外板厚 t	「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2023年)」の前後部の外板の厚さより設定。	本規則は、法定検査と同等(本規則に従った船級検査に合格すること、法定検査を省略することが可能)であり、船舶の長さが35m未満のFRP製船舶に適用される規則であることから適用可能と判断した。	5.90 (mm)
	横肋骨心距 a	「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2023年)」の肋骨心距より設定。	本規則は、法定検査と同等(本規則に従った船級検査に合格すること、法定検査を省略することが可能)であり、船舶の長さが35m未満のFRP製船舶に適用される規則であることから適用可能と判断した。	500 (mm)
	縦肋骨心距 b	「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2023年)」の肋骨心距より設定。	本規則は、法定検査と同等(本規則に従った船級検査に合格すること、法定検査を省略することが可能)であり、船舶の長さが35m未満のFRP製船舶に適用される規則であることから適用可能と判断した。	500 (mm)
	船首角度 2θ	「海技研報告(平成15年)」から案分。 (図4.7-1-9参照)	本図書は、実際に漁業で使用されていた総トン数14tのFRP漁船の形状が示されていることから適用可能と判断した。	71.4(°)*2
	船首傾斜部の長さ L _{sf}	「海技研報告(平成15年)」から案分。 (図4.7-1-9参照)	本図書は、実際に漁業で使用されていた総トン数14tのFRP漁船の形状が示されていることから、総トン数5tに案分することで適用可能と判断した。	1.92 (m) *2

注記*1: 船舶の長さLについては、「海技研報告(平成15年)」に記載されている総トン数14tのFRP漁船を総トン数5tの船舶サイズに案分する際に用いることから表中に記載。

*2: 算出方法を図4.7-1-9に示す。

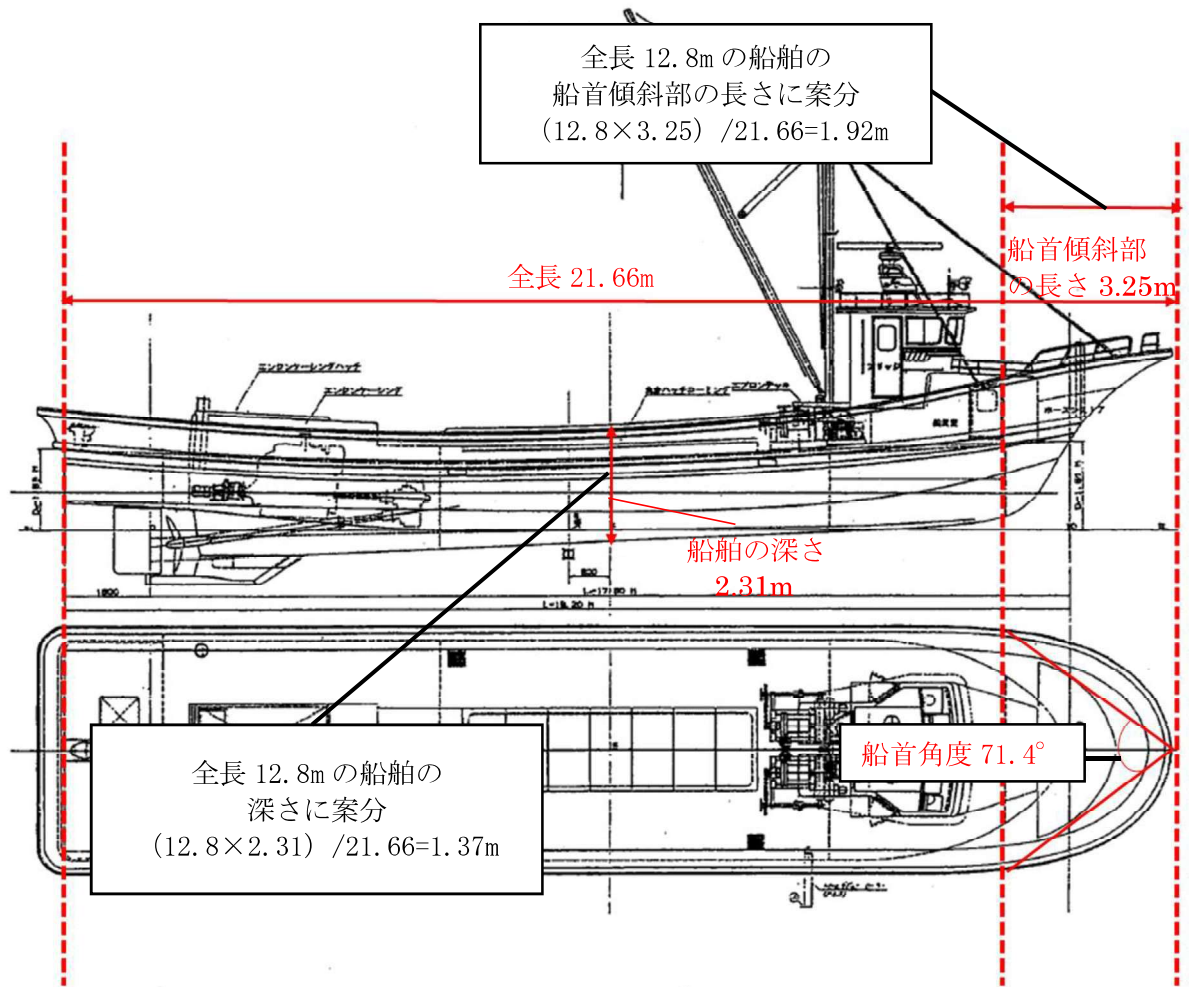


図-2.4 FRP漁船の一般配置図

図 4.7-参 1-9 FRP漁船の深さ、船首傾斜部の長さ及び船首角度
 (「海技研報告(平成15年)」に一部加筆)

表 4.7-1-4 FRPのヤング率（曲げ弾性）の設定
（海技研報告をベースにした条件設定ケース）

項目	引用文献	適用性	引用文献値 (単位: tf/m ²)	評価	採用値 【採用理由】
ヤング率	「強化プラスチック船規則 (日本海事協会, 2023年)」 「強化プラスチック船規則検査要領 (日本海事協会, 2023年)」	本規則は、「長さが35m未満の普通の形状のFRP船（油タンカーを除く。）で、普通の主要寸法比を適用する。」とされており、船体構成部材であるガラス繊維基材のマット及びクロスの曲げ弾性係数を示したものであるため適用可能と判断した。	6.995×10 ⁵	○	1.224×10 ⁶ tf/m ² 【ヤング率（曲げ弾性の増加に伴い船体衝突荷重も増加するため最大値を採用）】
		本規則は「強化プラスチック船規則」に対する検査要領であり、船体材料を構成するガラス繊維基材のマットにおける標準状態の曲げ弾性係数を示したものであるため、適用可能とした。	6.496×10 ⁵	○	
		船体材料を構成するガラス繊維基材のマットにおける湿潤状態の曲げ弾性係数を示したものであるため、適用可能と判断した。	5.904×10 ⁵	○	
		船体材料を構成するガラス繊維基材のクロスにおける標準状態の曲げ弾性係数を示したものであるため、適用可能と判断した。	1.201×10 ⁶	○	
	「漁港・漁場の施設の設計参考図書 (水産庁, 2015年)」	船体材料を構成するガラス繊維基材のクロスにおける湿潤状態の曲げ弾性係数を示したものであるため、適用可能と判断した。	9.596×10 ⁵	○	
		本図書は、「漁港漁場整備法」に基づき、「漁港・漁場の施設の設計において参考となる技術的知見を記載したものである。」とされており、ハンドレイアウト成形法による船体材料を構成するガラス繊維基材のマットにおける曲げ弾性率を示したものであるため、適用可能と判断した。	7.138~9.177×10 ⁵	○	
	「船舶海洋工学シリーズ⑥船体構造 構造編 (藤久保昌彦・吉川孝男・深沢塔一・大沢直樹・鈴木英之, 2012年)」 「非金属材料データブックプラスチック・FRP・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス [改訂2版] (日本規格協会, 1985年)」	ハンドレイアウト成形法による船体材料を構成するガラス繊維基材のマット及びクロス積層品における曲げ弾性率を示したものであるため、適用可能と判断した。	9.177×10 ⁵ ~ 1.224×10 ⁶	○	
		本文献は、船体構造が詳細に示されており、FRPの小型船舶の典型例として、FRPのヤング率が記載されていることから、適用可能と判断した。	1.091×10 ⁶	○	
		本文献は、非金属材料の物性値を幅広く掲載されており、漁船の成形法であるハンドレイアウト成形法によるマットの曲げ弾性率を示したものであるため、適用可能とした。	1.050~1.100×10 ⁶	○	
		ハンドレイアウト成形法によるクロスの曲げ弾性率を示したものであるため、適用可能と判断した。	1.090~1.140×10 ⁶	○	

表 4.7-1-5 ポアソン比の設定
(海技研報告をベースにした条件設定ケース)

項目	引用文献	適用性	引用文献値	評価	採用値 【採用理由】
ポアソン比	「非金属材料データブックプラスチック・FRP・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス[改訂2版] (日本規格協会, 1985年)」	本文獻は、非金属材料の物性値を幅広く掲載されており、漁船の成形法であるハンドレイアップ成形法によるマットのポアソン比を示したものであるため、適用可能と判断した。	0.320~0.358	○	0.358 【ポアソン比の増加に伴い船体衝突荷重も増加するため最大値を採用】
	「3相森・田中平均化手法のハイブリッドFRP梁への応用 (土木学会, 2014)」	本文獻は、I型断面を有するFRP梁構造に対する、ガラス繊維基材としたFRPのポアソン比が示されているが、船舶とは使用目的が異なるため、適用不可と判断した。	0.10, 0.29, 0.308	×	

表 4.7-参 1-6 船舶の軸剛性の設定結果
(海技研報告をベースにした条件設定ケース)

項目		設定値
船舶構造	船の深さ D	1.37 (m)
	船側外板厚 t	5.90 (mm)
	横肋骨心距 a	500 (mm)
	縦肋骨心距 b	500 (mm)
	船首角度 2θ	71.4 (°)
	船首傾斜部の長さ L_{sf}	1.92 (m)
材料物性	ヤング率 E (曲げ弾性率)	1.224×10^6 (tf/m ²)
	ポアソン比 ν	0.358
圧壊荷重 P_c		83 (kN)
軸剛性 k_c		4.323×10^4 (N/m)

5.2 FRP製船舶メーカー情報をベースにした条件設定

FRP製船舶の座屈強度及び軸剛性を算出するにあたり，5.1で示す「海技研報告をベースにした条件設定ケース」の比較として，船の深さ D ，船首角度 2θ ，船首傾斜部の長さ L_{sf} についてFRP製船舶の主要メーカー（ヤマハ発動機株式会社及びヤンマー船用システム株式会社）のカタログ記載情報を基に設定したケース（以下「船舶メーカー情報をベースに条件設定したケース」という。）を用いて検討を行った。

船舶メーカー情報をベースに条件設定したケースの設定にあたっては，本検討で対象とする総トン数5tに近い総トン数2.4～6.1tのFRP製船舶の構造諸元について整理を行った。整理結果を表4.7-参1-7に示す。また，FRP製船舶の座屈強度及び軸剛性を算出するにあたり，必要となる船舶の構造諸元についてFRP製船舶メーカーのカタログ記載情報をベースに設定した条件を表4.7-参1-8に示す。また，材料物性値の設定にあたっては，文献における適用性を考慮して，FEMA（2012）における衝突荷重が大きくなる安全側の設定値を設定することとし，5.1で示す「海技研報告をベースにした条件設定ケース」で設定した材料物性値と同じ材料物性値を採用する。

船の深さ D ，船首角度 2θ ，船首部傾斜長さ L_{sf} は，FRP製船舶メーカーのカタログ記載情報を基に設定を行っているため，以下に設定根拠を示す。

・船の深さ D

FRP製船舶メーカーのカタログ記載情報を確認した結果，総トン数2.4～6.1tのFRP製船舶の深さ D は0.95～1.59mであったことから保守的に最大の深さである1.59mとして設定する。

・船首角度 2θ

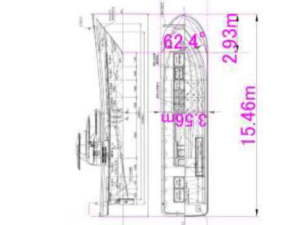
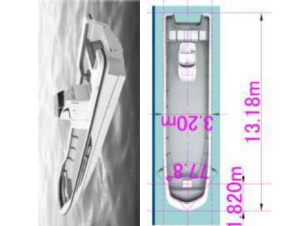
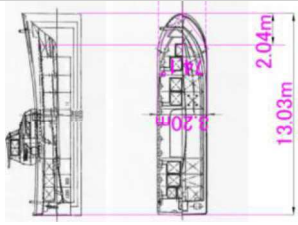

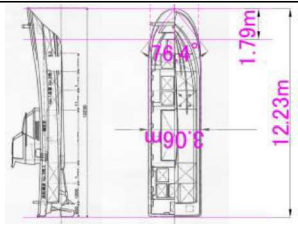
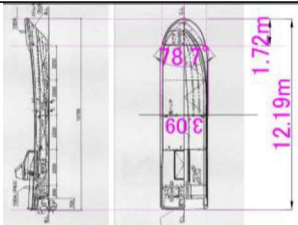

FRP製船舶メーカーのカタログ記載情報を確認した結果，総トン数2.4～6.1tのFRP製船舶の船首角度は $2\theta = 62.4 \sim 80.2^\circ$ であったことから保守的に最も小さな船首角度である $2\theta = 62.4^\circ$ として設定する。

・船首傾斜部の長さ L_{sf}

FRP製船舶メーカーのカタログ記載情報を確認した結果，総トン数2.4～6.1tのFRP製船舶の船首傾斜部の長さは1.55～2.93mであった。船首傾斜部の長さ L_{sf} は保守的に船首傾斜部の長さが最も小さい1.55mとして設定する。

FRP製船舶メーカー情報をベースにした条件設定ケースにおいて，軸剛性を算出すると，表4.7-参1-9に示すとおり 6.581×10^4 (N/m)となる。

表 4.7-参 1-7 FRP製船舶の主要メーカーにおける総トン数 2.4~6.1t のFRP製船舶諸元

船舶メーカー/ 型番	ヤンマー船用シ ステム株式会社 /DA51VII	ヤマハ発動機株 式会社/W-43AF	ヤンマー船用シ ステム株式会社 /DE43CF	ヤマハ発動機株 式会社 /W-38CF-3	ヤンマー船用シ ステム株式会社 /DE40F	ヤンマー船用シ ステム株式会社 /ZD40H2	ヤマハ発動機株 式会社/ W-36AFR
FRP製 船舶の概形							
総トン数 (t)	6.1 ^{*3}	4.5 ^{*3}	4.0 ^{*3}	3.4 ^{*3}	3.3 ^{*3}	3.0 ^{*3}	2.4 ^{*3}
船舶長さ L (m)	15.46 ^{*2}	13.18 ^{*2}	13.03 ^{*2}	11.40 ^{*2}	12.23 ^{*2}	12.19 ^{*2}	11.00 ^{*2}
幅 B (m)	3.56 ^{*2}	3.20 ^{*2}	3.20 ^{*2}	3.11 ^{*2}	3.06 ^{*2}	3.09 ^{*2}	2.60 ^{*2}
船の深さ D (m)	1.59 ^{*2}	1.16 ^{*2}	1.49 ^{*2}	1.10 ^{*2}	1.34 ^{*2}	0.95 ^{*2}	0.98 ^{*2}
船首傾斜部 長さ L _{SF} (m)	2.93 ^{*1}	1.82 ^{*1}	2.04 ^{*1}	1.58 ^{*1}	1.79 ^{*1}	1.72 ^{*1}	1.55 ^{*1}
船首角度 2θ (°)	62.4 ^{*1}	77.8 ^{*1}	74.1 ^{*1}	80.2 ^{*1}	76.4 ^{*1}	78.7 ^{*1}	80.0 ^{*1}

注記*1 : カタログ記載船体図から読み取り

*2 : カタログ記載値を掲載

*3 : メーカーヒアリング値を掲載

採用値

表 4.7-1-8 船舶の構造に関する引用文献の適用性及び設定値
(船舶メーカー情報をベースにした条件設定ケース)

項目	設定・算出方法	適用性	設定値	
船舶構造	船の深さ D	F R P 製船舶の主要メーカーにおける総トン数 2.4~6.1t の F R P 製船舶を対象に、船の深さを確認したところ、船の深さは 0.95~1.59m であることを確認。本検討では船の深さ D を保守的に最大値である 1.59m として設定*1。	F R P 製船舶の主要メーカーにおける小型 F R P 製船舶の構造諸元を基に保守的に設定していることから適用可能と判断した。	1.59 (m) *1
	船側外板厚 t	「強化プラスチック船規則（日本海事協会、2023 年）J の前後部の外板の厚さより設定*2。	本規則は、法定検査と同等（本規則に従った船級検査に合格することで、法定検査を省略することが可能）であり、船舶の長が 35m 未満の F R P 製船舶に適用される規則であることから適用可能と判断した。	5.90 (mm) *2
	横肋骨心距 a	「強化プラスチック船規則（日本海事協会、2023 年）J の肋骨心距より設定*2。	本規則は、法定検査と同等（本規則に従った船級検査に合格することで、法定検査を省略することが可能）であり、船舶の長さが 35m 未満の F R P 製船舶に適用される規則であることから適用可能と判断した。	500 (mm) *2
	縦肋骨心距 b	「強化プラスチック船規則（日本海事協会、2023 年）J の肋骨心距より設定*2。	本規則は、法定検査と同等（本規則に従った船級検査に合格することで、法定検査を省略することが可能）であり、船舶の長さが 35m 未満の F R P 製船舶に適用される規則であることから適用可能と判断した。	500 (mm) *2
	船首角度 2θ	F R P 製船舶の主要メーカーにおける総トン数 2.4~6.1t の F R P 製船舶を対象に、船首角度を確認したところ、船首角度は 2θ = 62.4~80.2° であることを確認。本検討では船首角度 2θ を保守的に最小値である 62.4° として設定*1。	F R P 製船舶の主要メーカーにおける小型 F R P 製船舶の構造諸元を基に保守的に設定していることから適用可能と判断した。	62.4 (°) *1
船首傾斜部の長さ L _{sf}	F R P 製船舶の主要メーカーにおける総トン数 2.4~6.1t の F R P 製船舶を対象に、船首傾斜部の長さを確認したところ、船首傾斜部の長さ L _{sf} は、1.55~2.93m であることを確認。本検討では船首傾斜部の長さ L _{sf} を保守的に最小値である 1.55m として設定*1。	F R P 製船舶の主要メーカーにおける小型 F R P 製船舶の構造諸元を基に保守的に設定していることから適用可能と判断した。	1.55 (m) *1	

注記*1： 設定根拠を表 4.7-1-7 に示す。

注記*2： メーカーカタログ記載情報から条件設定することができないため、5.1 に示す「海技研報告をベースにした条件設定ケース」と同設定とする

表 4.7-参 1-9 船舶の軸剛性の設定結果
 (船舶メーカー情報をベースにした条件設定ケース)

項目		設定値
船舶構造	船の深さ D	1.59 (m)
	船側外板厚 t	5.90 (mm)
	横肋骨心距 a	500 (mm)
	縦肋骨心距 b	500 (mm)
	船首角度 2θ	62.4 (°)
	船首傾斜部の長さ L_{sf}	1.55 (m)
材料物性	ヤング率 E (曲げ弾性率)	1.224×10^6 (tf/m ²)
	ポアソン比 ν	0.358
圧壊荷重 P_c		102 (kN)
軸剛性 k_c		6.581×10^4 (N/m)

6. FEMA (2012) による荷重の算定

5.1 に示す「海技研報告をベースにした条件設定ケース」にて算出した軸剛性 4.323×10^4 (N/m) 及び 5.2 に示す「船舶メーカー情報をベースにした条件設定ケース」にて算出した軸剛性 6.581×10^4 (N/m) を用いて、FRP 製船舶の衝突荷重を「FEMA (2012)」に基づき算出した結果を表 4.7-参 1-10 及び表 4.7-参 1-11 に示す。

なお、衝突荷重の算出に用いる衝突速度は、「4. 漂流物に関する考慮事項」のうち「4.1 設計に用いる遡上波の流速について」に示すとおり 6.0m/s として設定する。

【FEMA (2012) の式】

$$F_i = 1.3 u_{max} \sqrt{k_c m (1 + c)}$$

ここに、

F_i : 衝突力

u_{max} : 最大流速 (m/s)

k_c : 漂流物の有効軸剛性 (N/m)

m : 漂流物の質量 (kgf)

c : 付加質量係数

表 4.7-参 1-10 FEMA (2012) による衝突荷重の算定結果
(海技研報告をベースにした条件設定ケース)

項目	記号	単位	値
衝突速度	u_{max}	m/s	6.0
軸剛性	k_c	N/m	4.323×10^4
漂流物の質量	m	kgf	15,000
付加質量係数	c	-	1.0
衝突荷重	F_i	N	280,898
		kN	281

表 4.7-参 1-11 FEMA (2012)による衝突荷重の算定結果
(船舶メーカー情報をベースにした条件設定ケース)

項目	記号	単位	値
衝突速度	u_{max}	m/s	6.0
軸剛性	k_c	N/m	6.581×10^4
漂流物の質量	m	kgf	15,000
付加質量係数	c	-	1.0
衝突荷重	F_i	N	346,579
		kN	347

上記算定結果より、総トン数5tのFRP製船舶における「FEMA (2012)」による衝突荷重は、衝突速度6.0m/sで「海技研報告をベースにした条件設定ケース」では281kN、「船舶メーカー情報をベースにした条件設定ケース」においては、347kNとなる。

以上の結果より、FRP製船舶の衝突荷重は、海水貯留堰に対する漂流物衝突荷重として考慮している軽自動車の衝突荷重499kN「FEMA (2012)」(算出結果は「4. 漂流物に関する考慮事項」のうち「4.7.7 漂流物衝突荷重の算定結果」に記載)に包絡されることを確認した。

5. 浸水防護施設の設計における補足説明

5.1 耐津波設計における現場確認プロセスについて

5.1 耐津波設計における現場確認プロセスについて

(1) はじめに

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

(2) 遡上解析に関する敷地モデルの作成プロセス

a. 基準要求

【第五条】

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

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

b. 作成プロセス

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

(a) 敷地及び敷地周辺の地形とその標高のモデル化

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

(b) 津波伝播経路上の人工構造物の調査

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

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

イ. 図面等による調査

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

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

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

ロ. 現場確認

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

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

(c) 敷地モデルの作成

(b) で実施した調査結果を踏まえ、敷地モデルの作成を実施した。

(d) 敷地モデルの管理

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

c. 現場確認記録の品質保証上の取り扱い

現場確認手順及び確認結果の記録について、品質保証記録として管理する。

d. 今後の対応

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

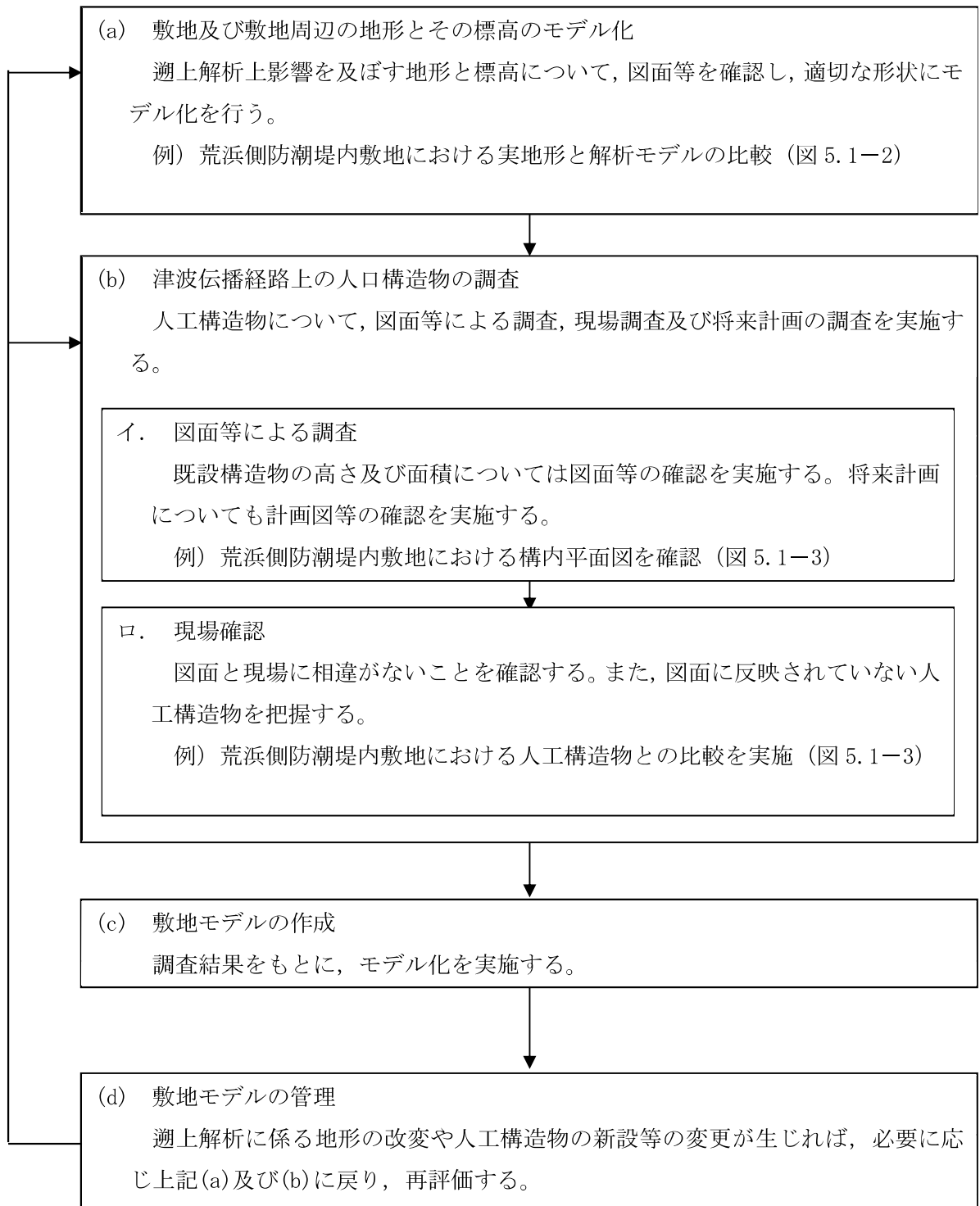
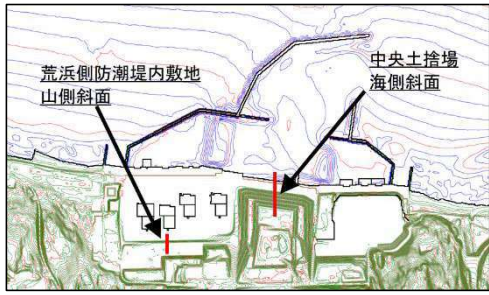
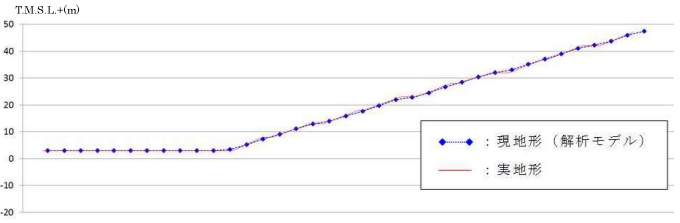


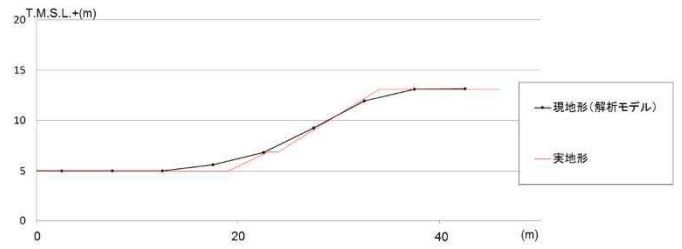
図 5.1-1 敷地モデルの作成プロセスフロー図



平面図



中央土捨場海側斜面のモデル化



荒浜側防潮堤内山側斜面のモデル化

図 5.1-2 解析モデルの確認例

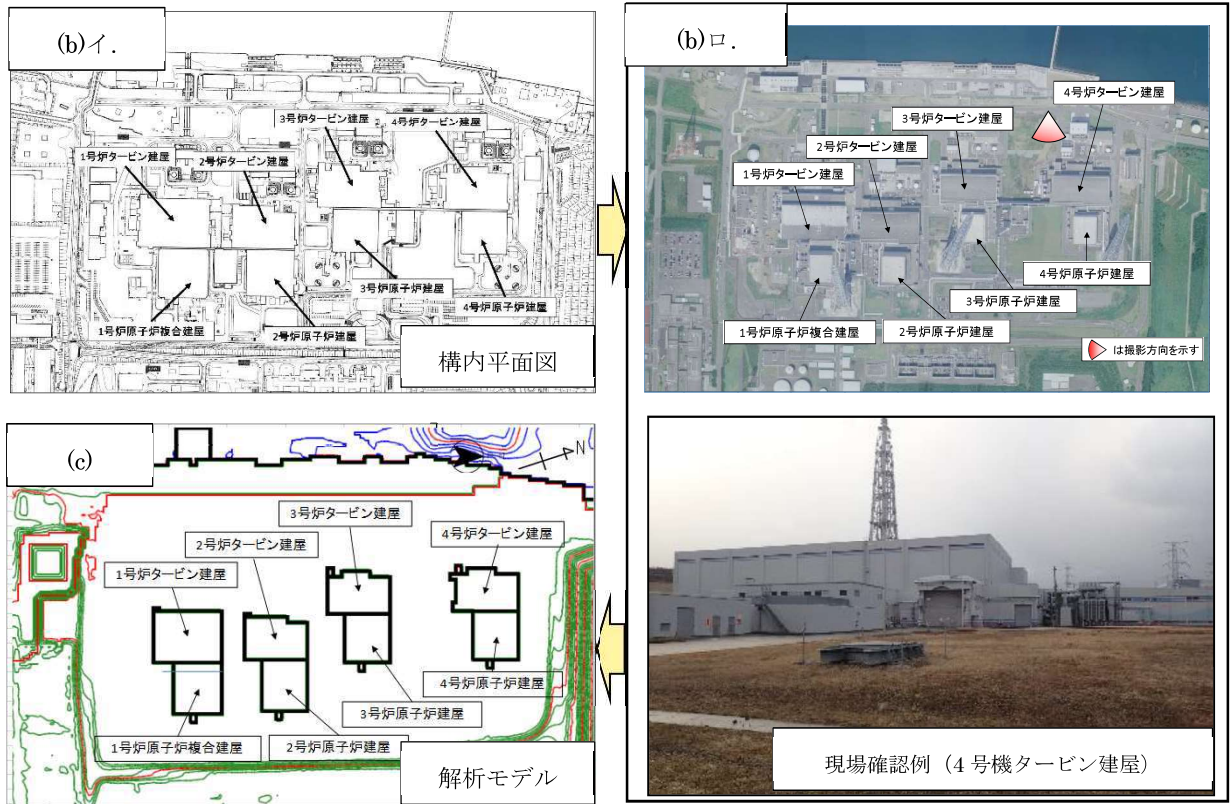


図 5.1-3 調査による確認例

(3) 耐津波設計に関する入力条件等の設定プロセス

a. 基準要求

【第五条】

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

【第四十条】

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

b. 入力条件等の設定プロセス

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

(a) 入力条件等の設定・確認

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

イ. 図面等による入力条件等の調査及び設定

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

ロ. 現場確認

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

各施設・設備等における入力条件等の設定及び確認内容の詳細を以下に記載する。

(イ). 津波防護対象設備について

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

(ロ). 外郭防護 1（遡上波の地上部からの到達及び流入防止）について

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

(ハ). 外郭防護 1（取水路、放水路等の経路からの流入防止）について

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

(ニ). 外郭防護 2（漏水による重要な安全機能への影響防止）について

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

(ホ). 内郭防護（重要な安全機能を有する施設の隔離）について

浸水防護重点化範囲への浸水の可能性のある経路及び浸水口（扉、開口部、貫通

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

(へ). 漂流物について

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

(b) 耐津波設計の成立性の確認

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

(c) 入力条件等の管理

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

(4) 現場確認記録の品質保証上の取り扱い

現場確認手順及び確認結果の記録について,品質保証記録として管理する。

(5) 今後の対応

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

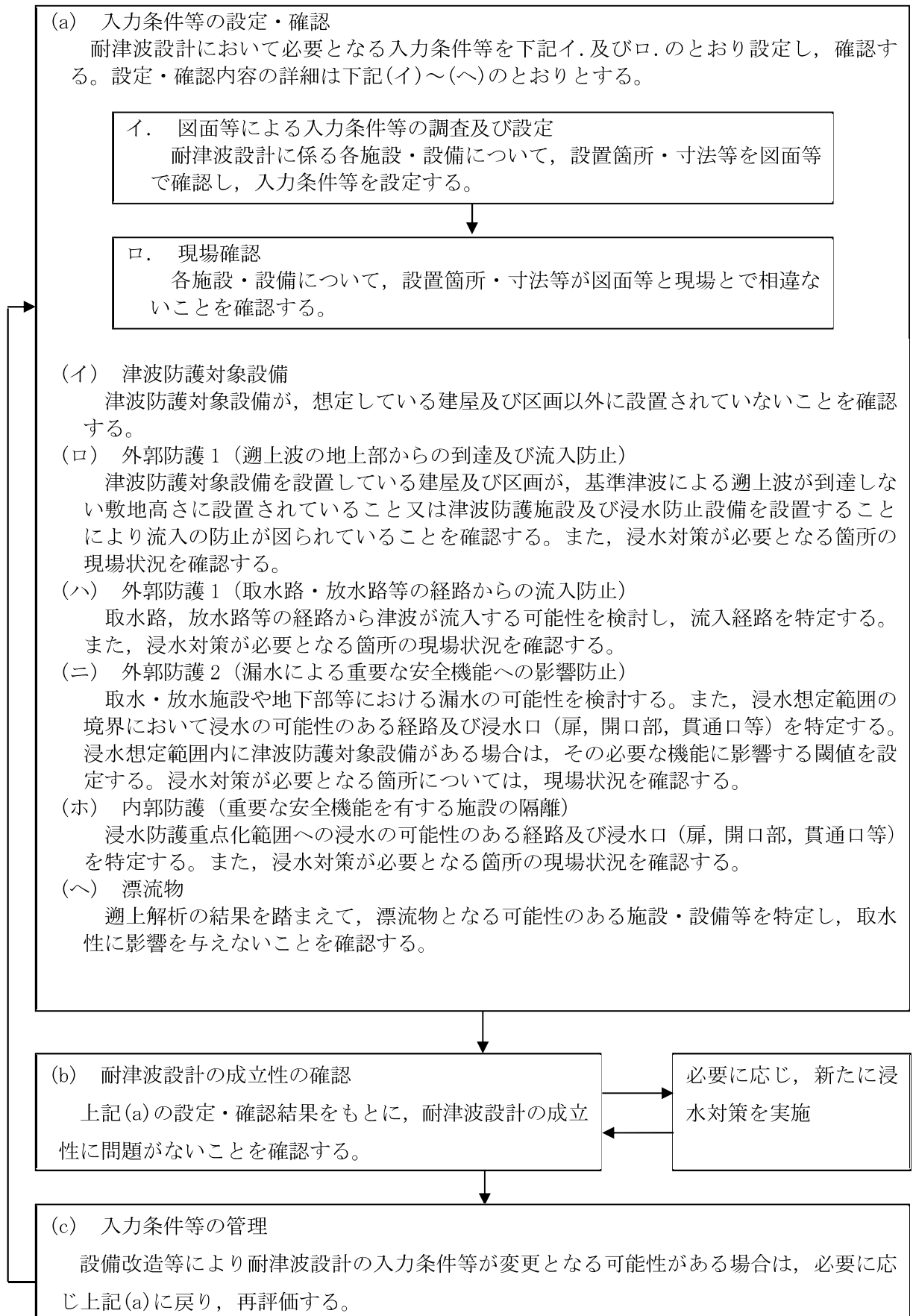


図 5.1-4 入力条件等の設定プロセスフロー図

5.2 津波監視設備の設備構成及び電源構成について

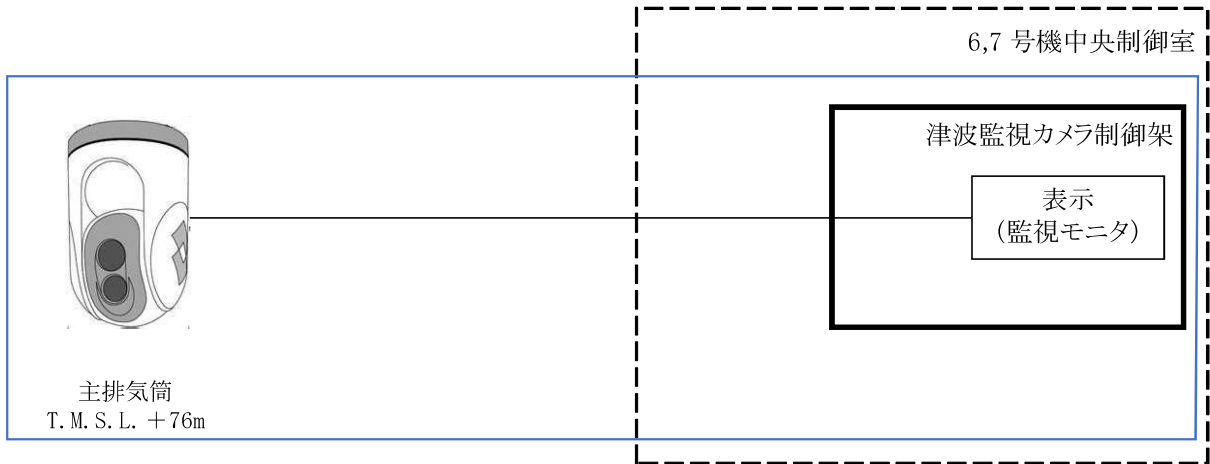
5.2 津波監視設備の設備構成及び電源構成について

(1) 津波監視設備の設備構成

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

津波監視カメラ（「7号機設備，6,7号機共用」（以下同じ））は非常用電源設備のバイタル分電盤から給電し，映像信号を中央制御室へ伝送する設計とする。また，取水槽水位計は非常用電源設備の直流125V主母線盤から給電し，中央制御室で監視可能な設計とする。

津波監視カメラの概略構成図を図5.2-1に，取水槽水位計の概略構成図を図5.2-2に示す。また，津波監視設備の概略電源構成図を図5.2-3，図5.2-4に，津波監視設備の配置図を図5.2-5に，津波監視カメラの設置位置を図5.2-6に，津波監視カメラの映像イメージを図5.2-7に示す。



: 基準地震動 S_s による地震力に対し、機能維持する範囲

図 5.2-1 津波監視カメラの概略構成図

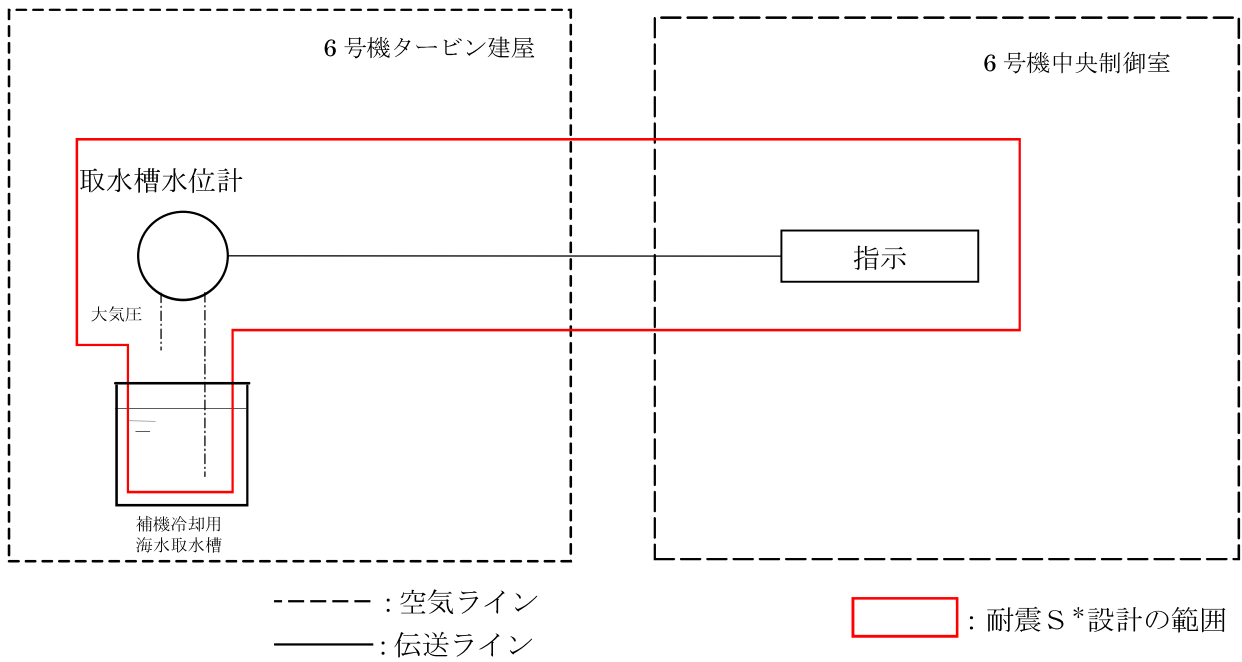


図 5.2-2 取水槽水位計の概略構成図

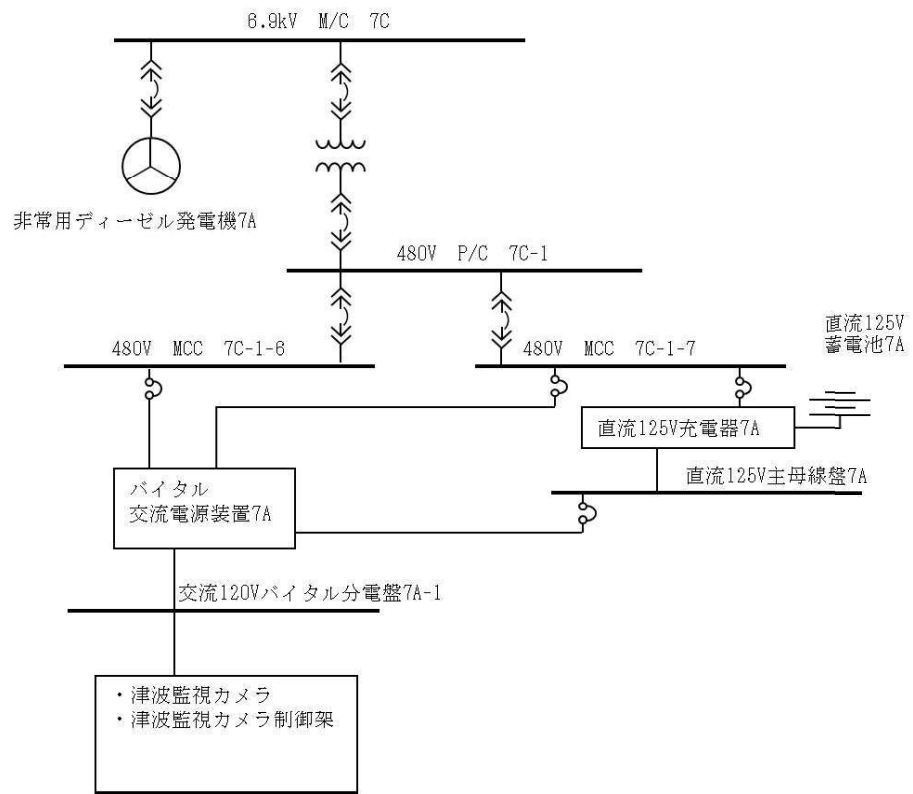


図 5.2-3 津波監視設備（津波監視カメラ）の概略電源構成図

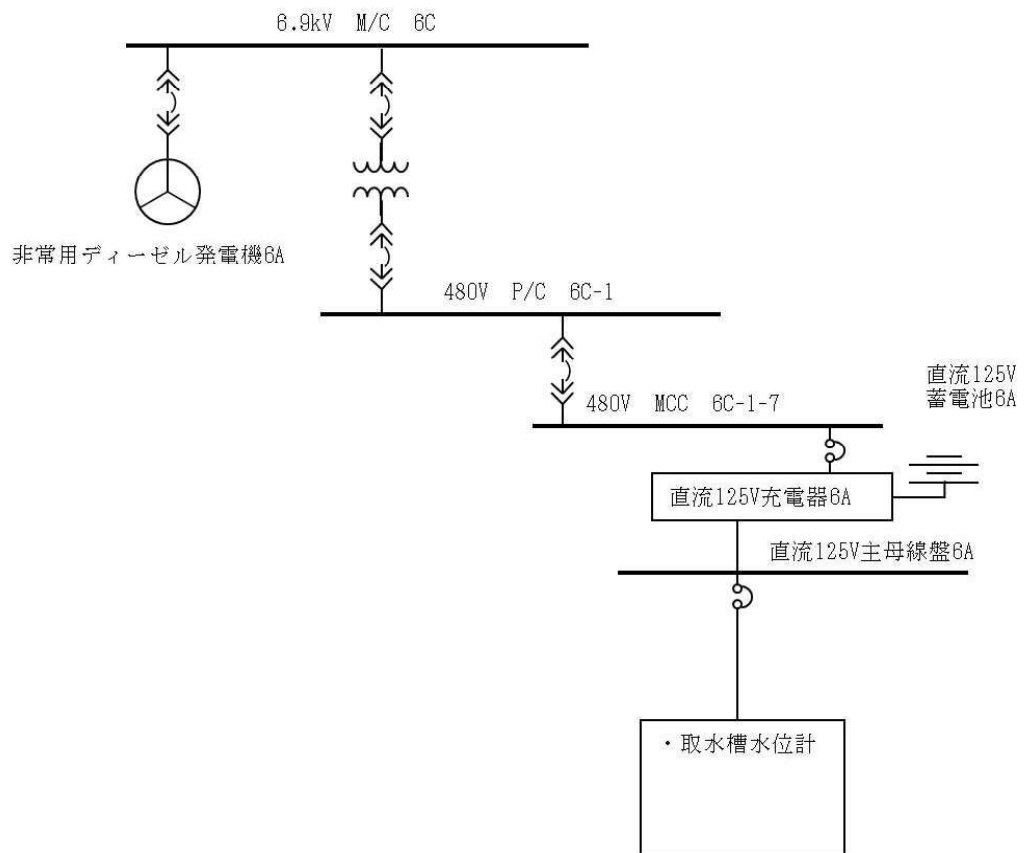


図 5.2-4 津波監視設備（取水槽水位計）の概略電源構成図



図 5.2-5 津波監視設備の配置図

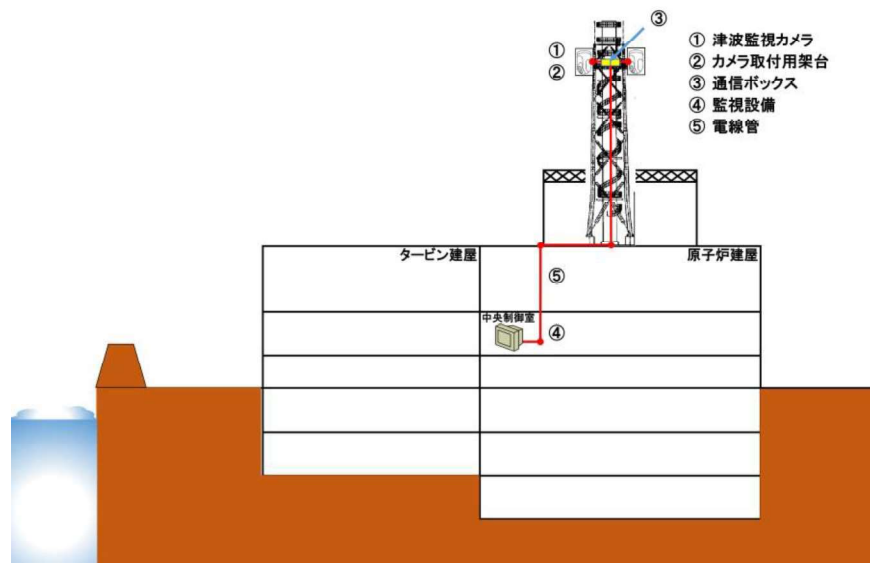
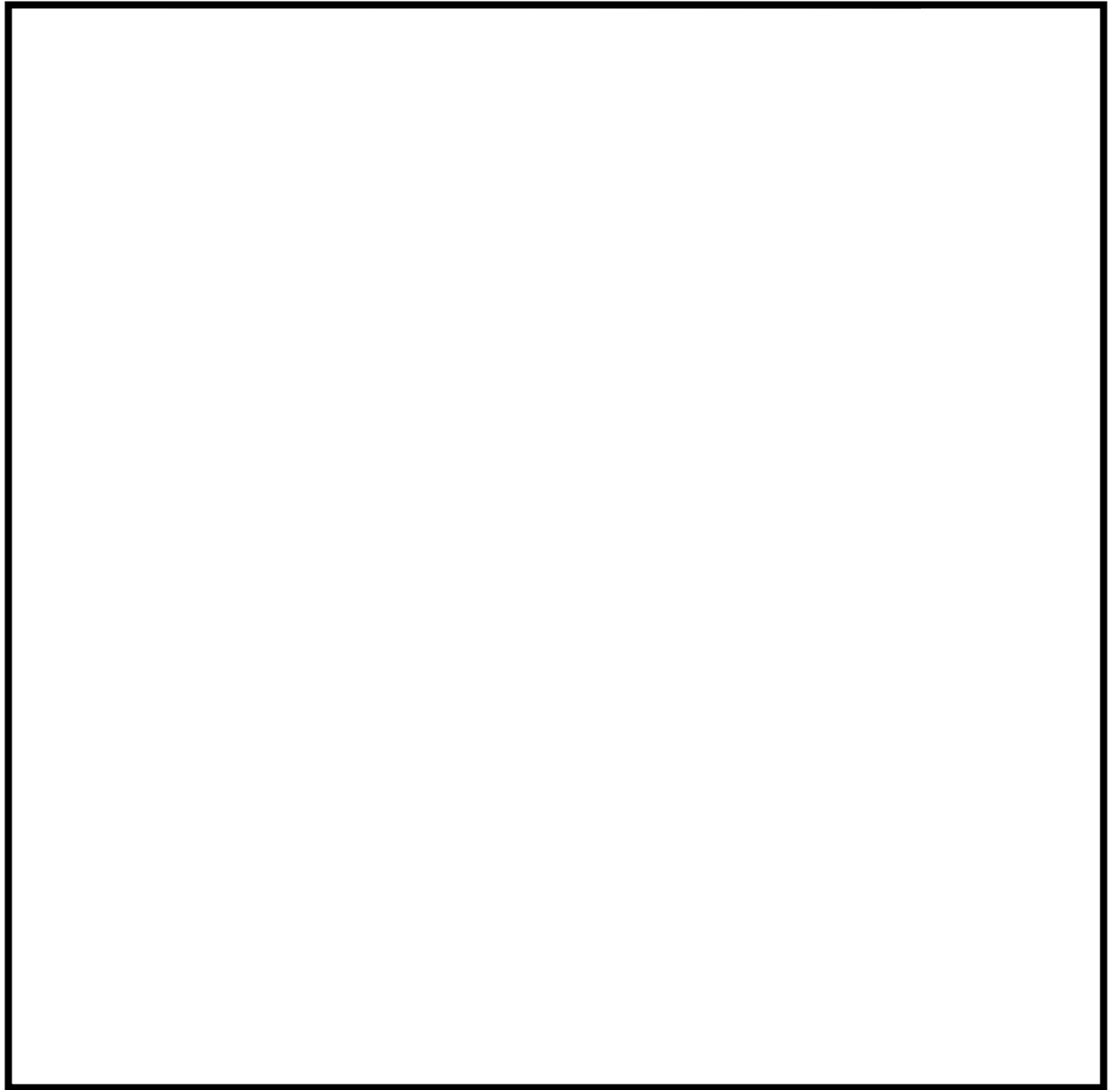


図 5.2-6 津波監視カメラの設置位置

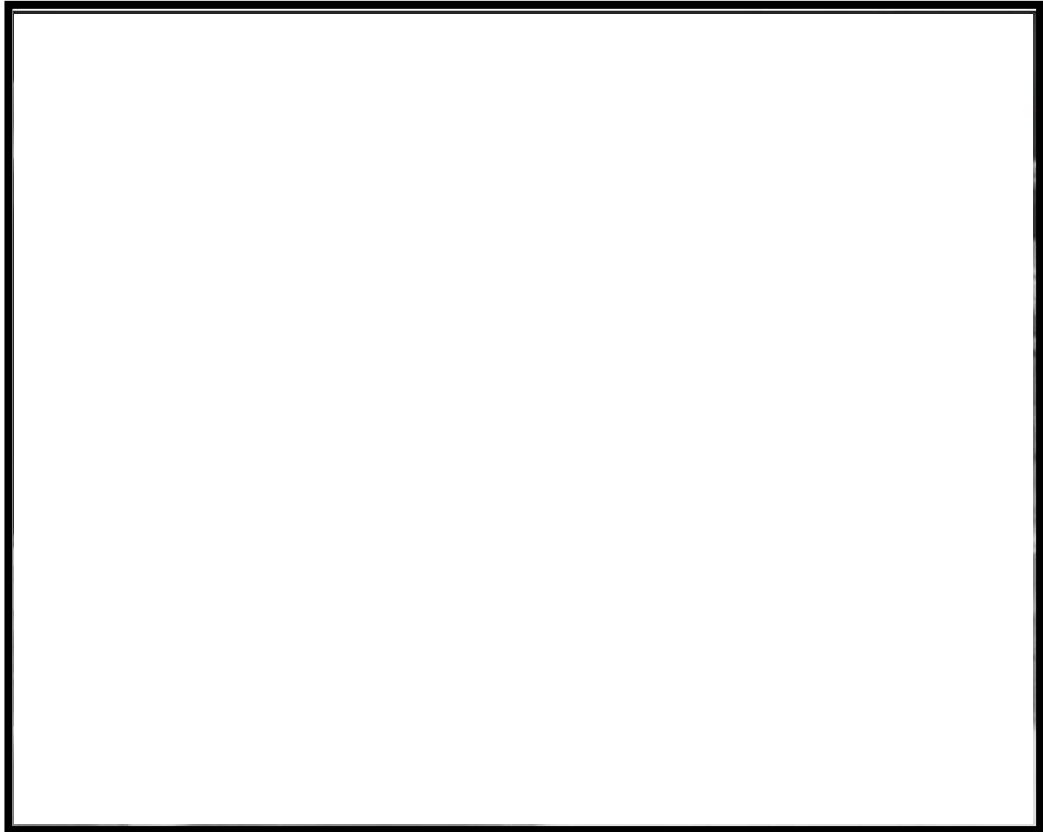


図 5.2-7 津波監視カメラ映像イメージ

津波監視設備の 5 号機原子炉建屋内緊急時対策所での監視について

(1) 津波監視設備の設計について

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

【規制基準における要求事項等】

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

そのため、柏崎刈羽 6 号機では上記要求を満足する津波監視設備として、津波監視カメラ及び取水槽水位計を設置することとしており、監視場所は運転及び事故時操作を行う 6 号機中央制御室としている。

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

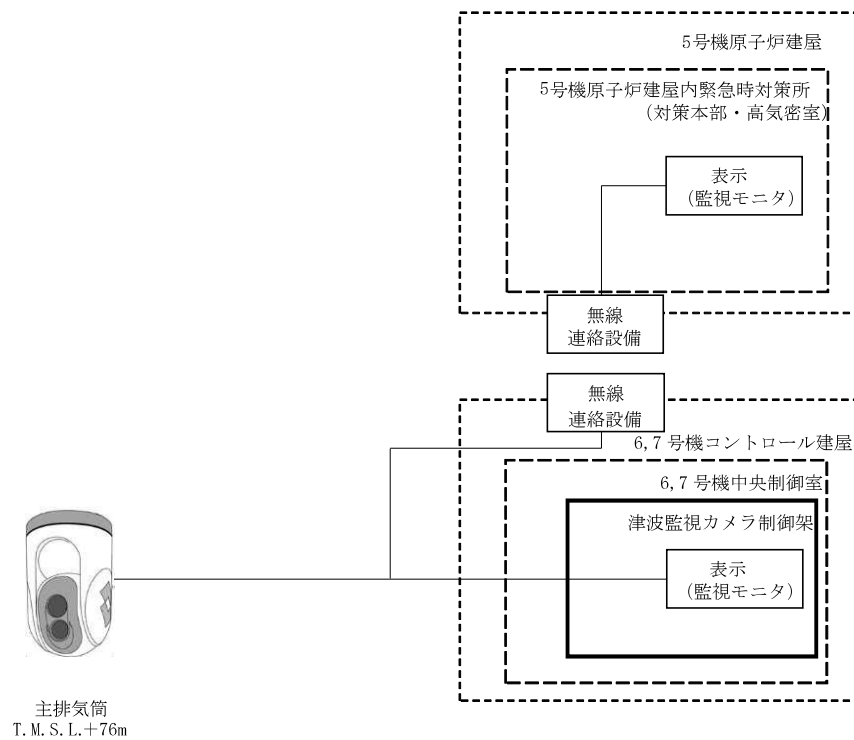


図1 津波監視カメラの概略構成図

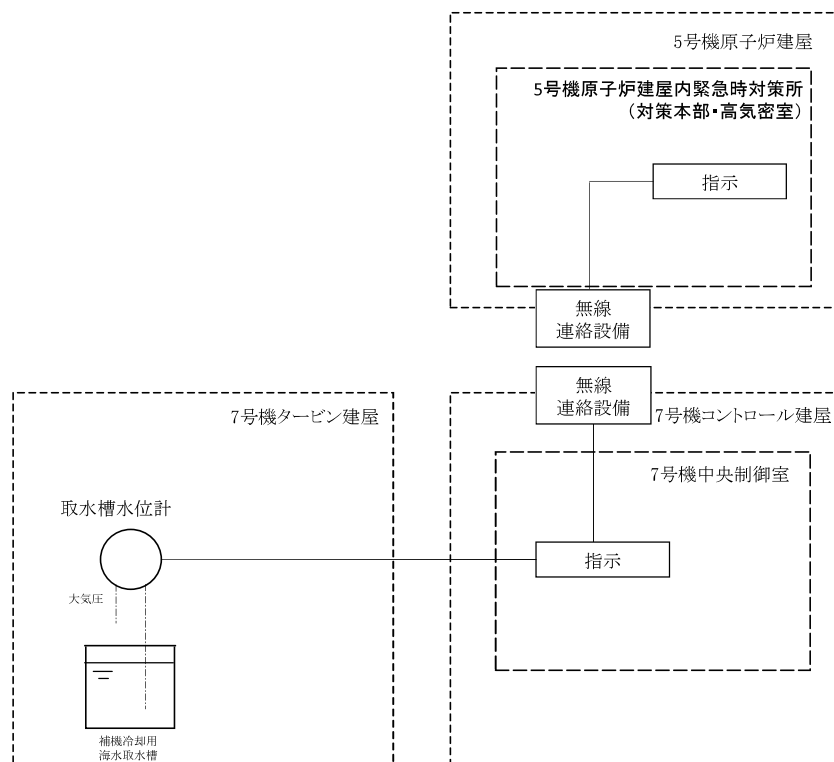


図2 取水槽水位計の概略構成図

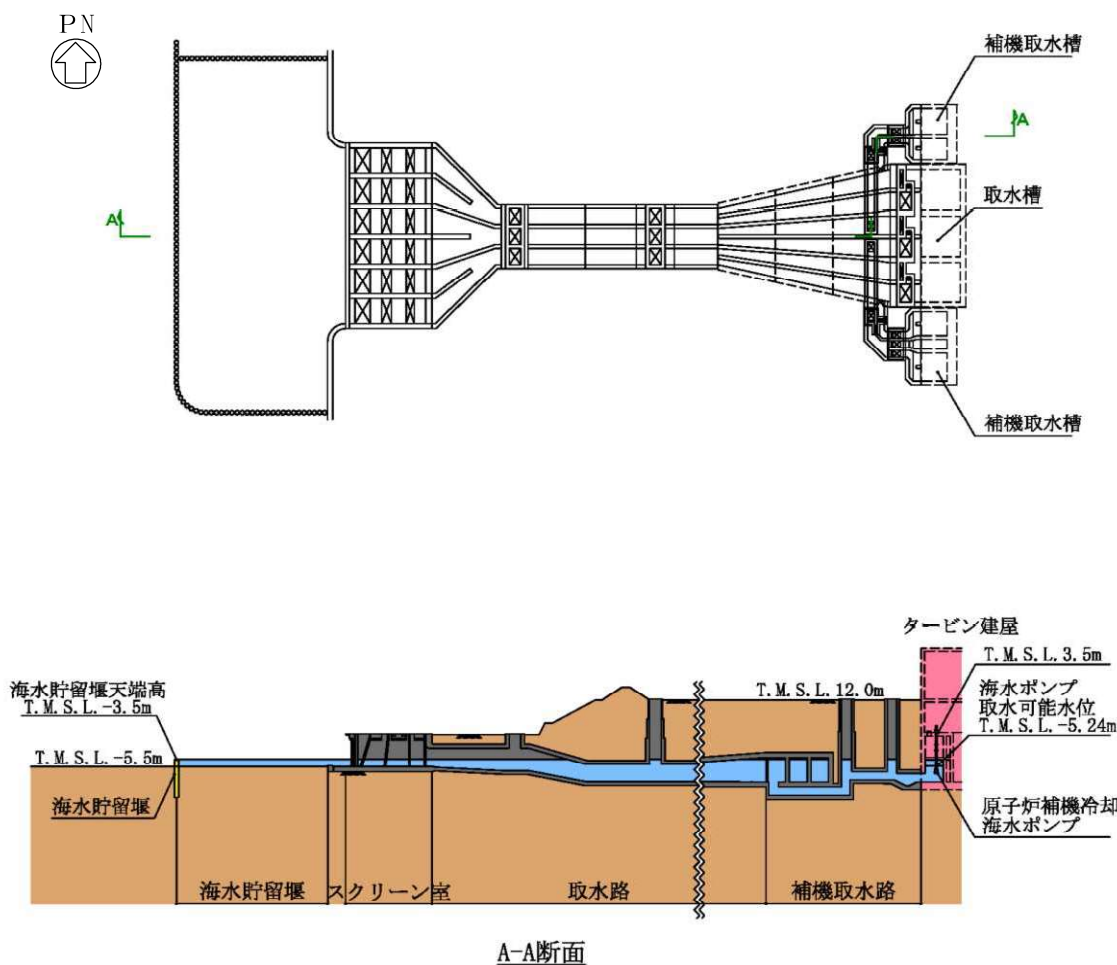
5.3 スロッシングによる海水貯留堰貯水量に対する影響評価について

5.3 スロッシングによる海水貯留堰貯水量に対する影響評価について

(1) 概要

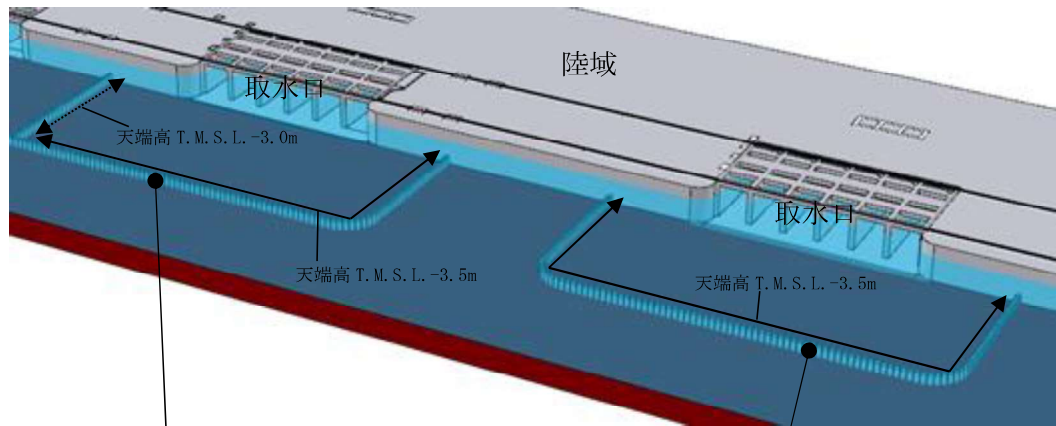
6号機海水貯留堰内の貯水に対して、スロッシングによる溢水量が海水貯留堰貯水量へ与える影響を評価する。具体的な評価方法は、津波引波時の余震によるスロッシングによって発生する海水貯留堰からの溢水量を算定し、海水貯留堰の有効容量（約10000m³、原子炉補機冷却海水ポンプの運転継続可能時間約55分）から溢水量を減じた場合における原子炉補機冷却海水ポンプの運転継続可能時間が引波の継続時間（海水貯留堰外側の海水位が海水貯留堰天端を下回る時間約16分）に対して十分に余裕があることを確認する。このとき、引波の継続時間は6号機では約14分であるが7号機では約16分であるため、保守的に6号機においても引波の継続時間を16分とする。また、スクリーン室奥における水位時刻歴を確認し、原子炉補機冷却海水ポンプの取水可能限界水位を下回っていないことを確認する。

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



注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図5.3-1 海水貯留堰平面図及び断面図



海水貯留堰の諸元

- ・天端高：T.M.S.L. -3.5m
- （6号機海水貯留堰北辺のみ天端高：T.M.S.L. -3.0m）
- ・鋼管矢板（φ1100mm）を連続打設して構築

7号機海水貯留堰

図 5.3-2 海水貯留堰鳥瞰図

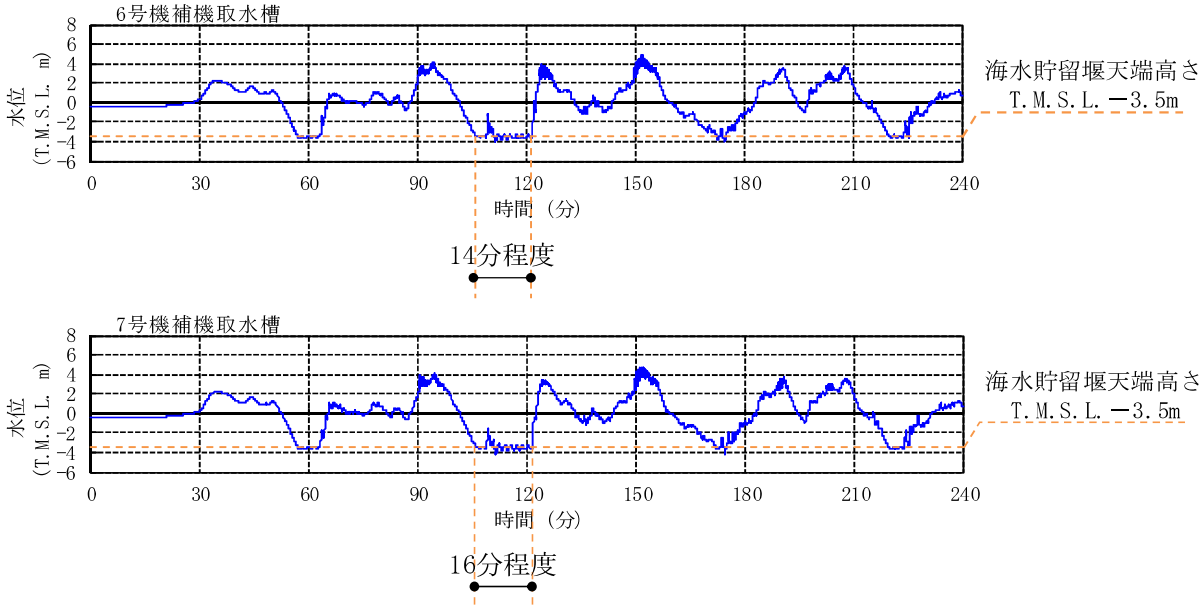


図 5.3-3 補機取水槽内の水位時刻歴

(2) 評価方針

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

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

a. 検討項目 1 (貯水量が確保されることを確認)

本震後の引波によって海水貯留堰外側の海水位が海水貯留堰天端を下回る時間(約 16 分)に余震が重畳することを想定し、スロッシング解析により海水貯留堰からの溢水量を算出する。ここでは、海水貯留堰の有効容量(10000m³、原子炉補機冷却海水ポンプの運転継続可能時間 55 分)から溢水量を減じた貯水量に対する原子炉補機冷却海水ポンプの運転継続可能な時間が、引波継続時間(約 16 分)に対して十分に余裕があることを確認する。

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

b. 検討項目 2 (取水可能限界水位を下回らないことを確認)

スクリーン室奥でのスロッシングによる水位変動の時刻歴波形を算出し、余震継続時間内における海水貯留堰内水位が原子炉補機冷却海水ポンプの設計取水可能水位(T. M. S. L. -5.24m)を下回っていないことを確認する。

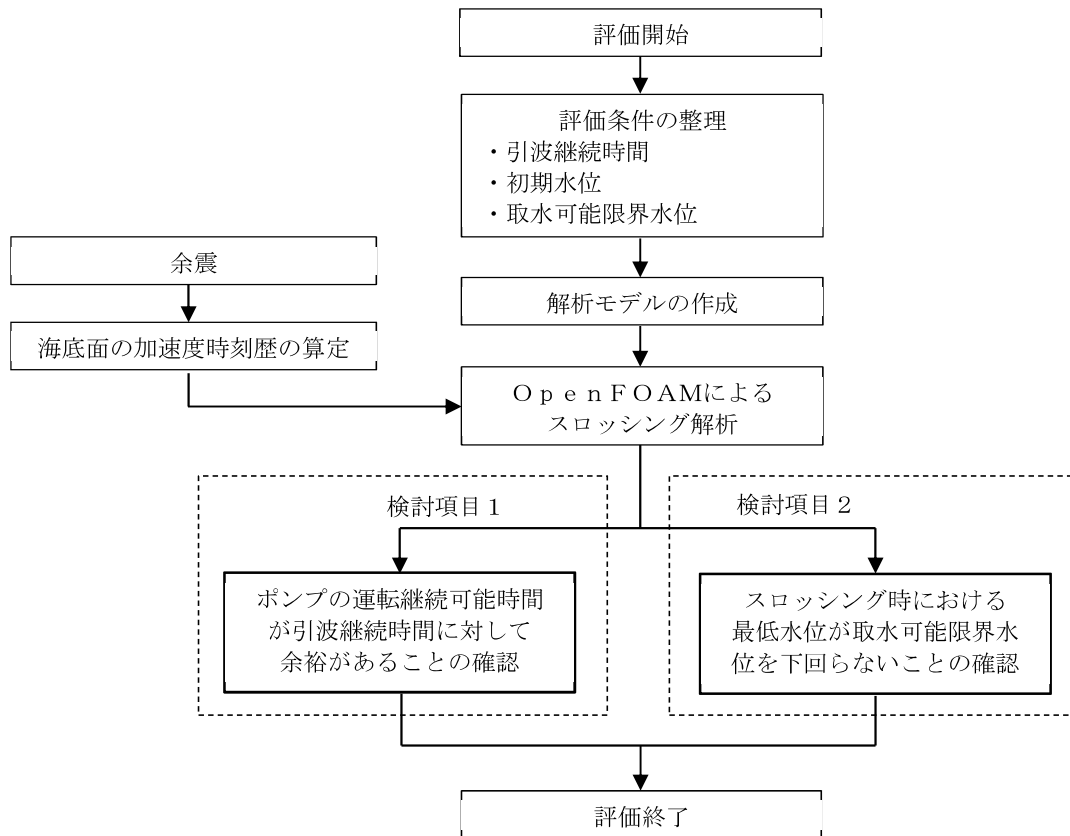


図 5.3-4 評価フロー

(3) 入力地震動の策定

a. 地震動の引き上げ手法

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

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面（T.M.S.L. -155m）で定義される余震（S d - 1）を1次元波動論により地震応答解析モデルの底面位置（T.M.S.L. -80m）で評価したものをを用いる。なお、津波と組み合わせる余震の算定方針や余震としてS d - 1を設定することについては、VI-3-別添3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」及びKK6 補足-028-08「浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料」のうち「1.1 地震と津波の組合せで考慮する荷重について」に示す。

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

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

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

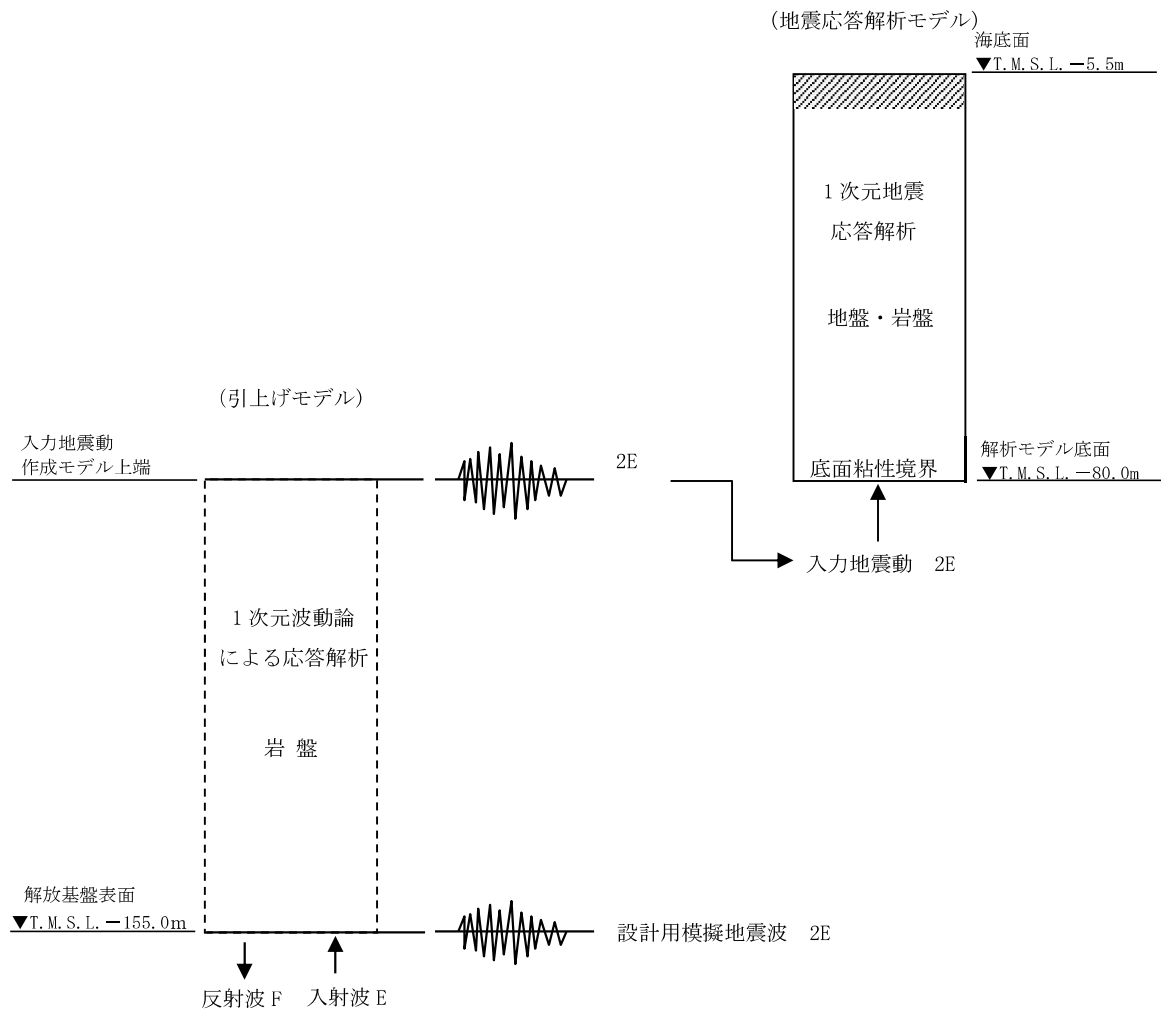
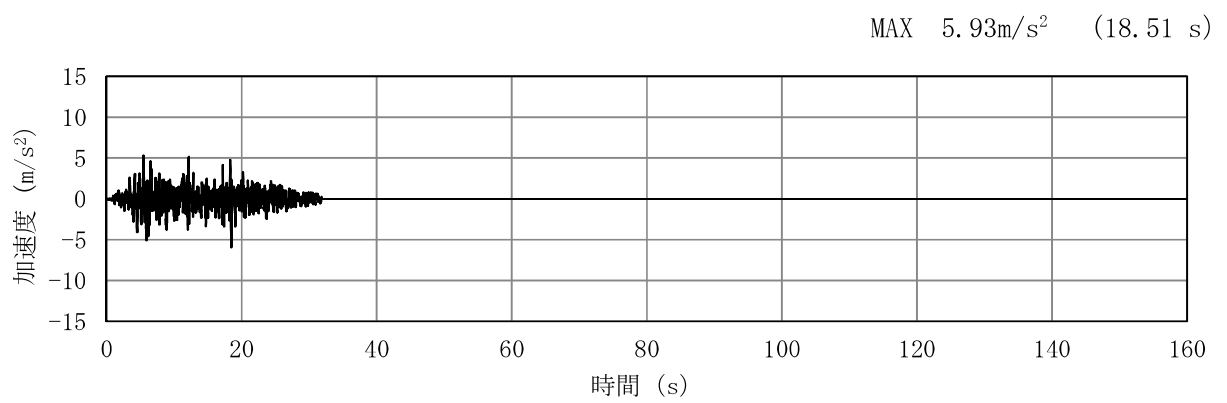
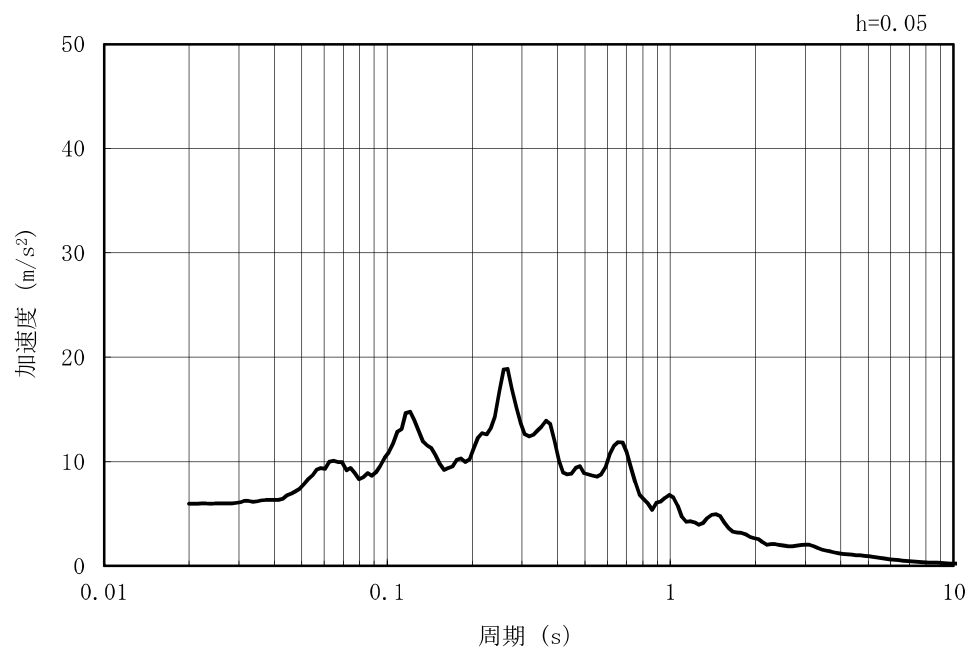


図 5.3-5 入力地震動算定の概念図

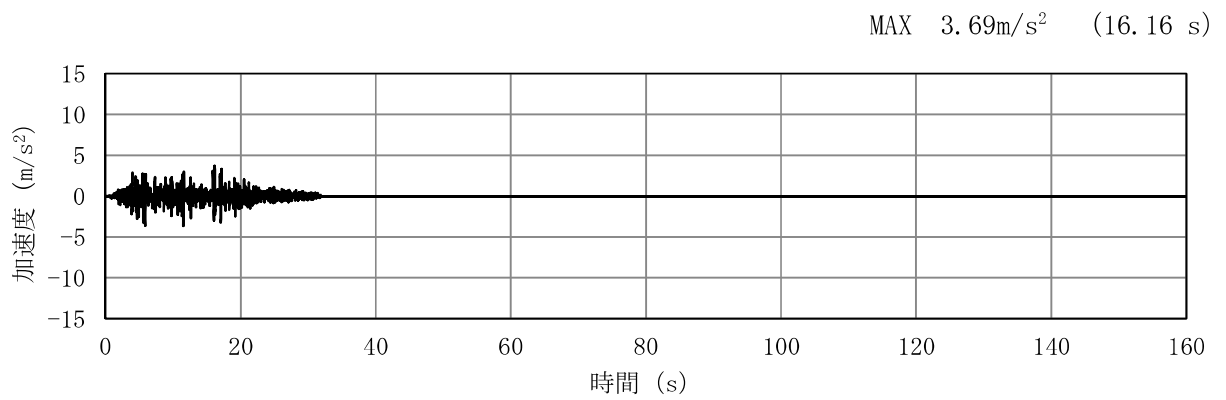


(a) 加速度時刻歴波形

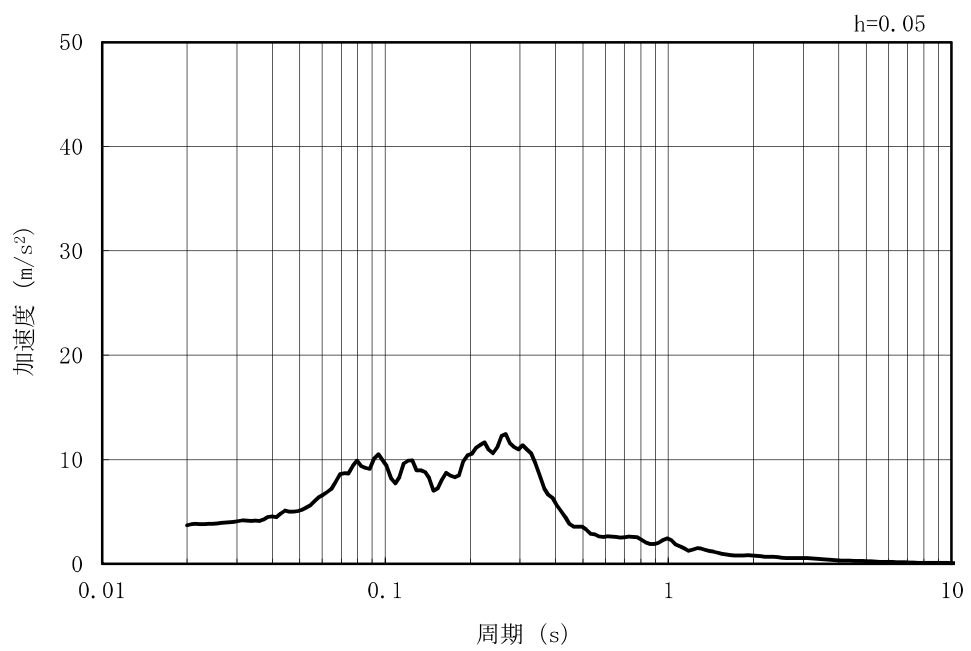


(b) 加速度応答スペクトル

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



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

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

b. 評価対象断面位置

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

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

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

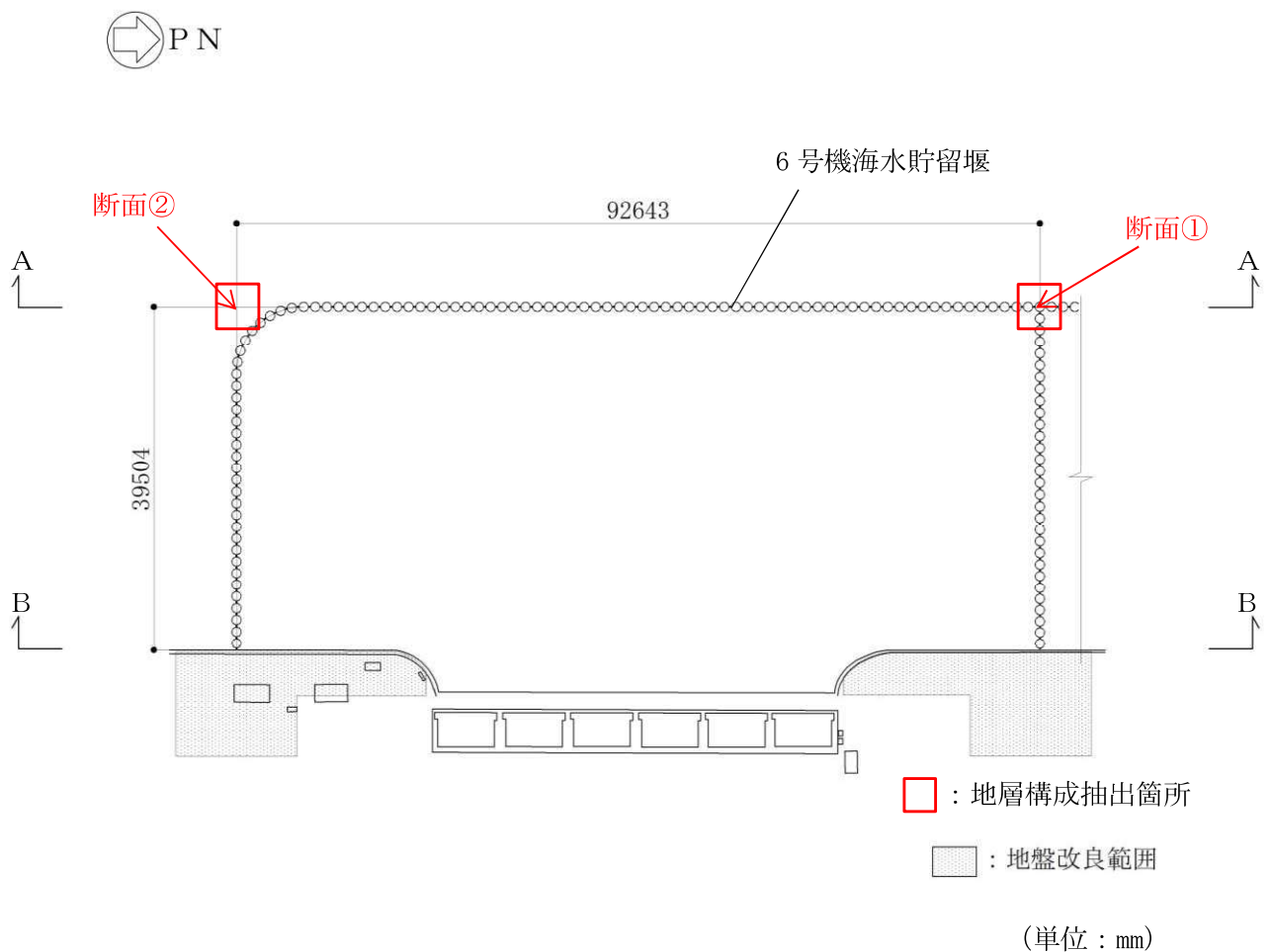


図 5.3-8 評価対象断面位置図

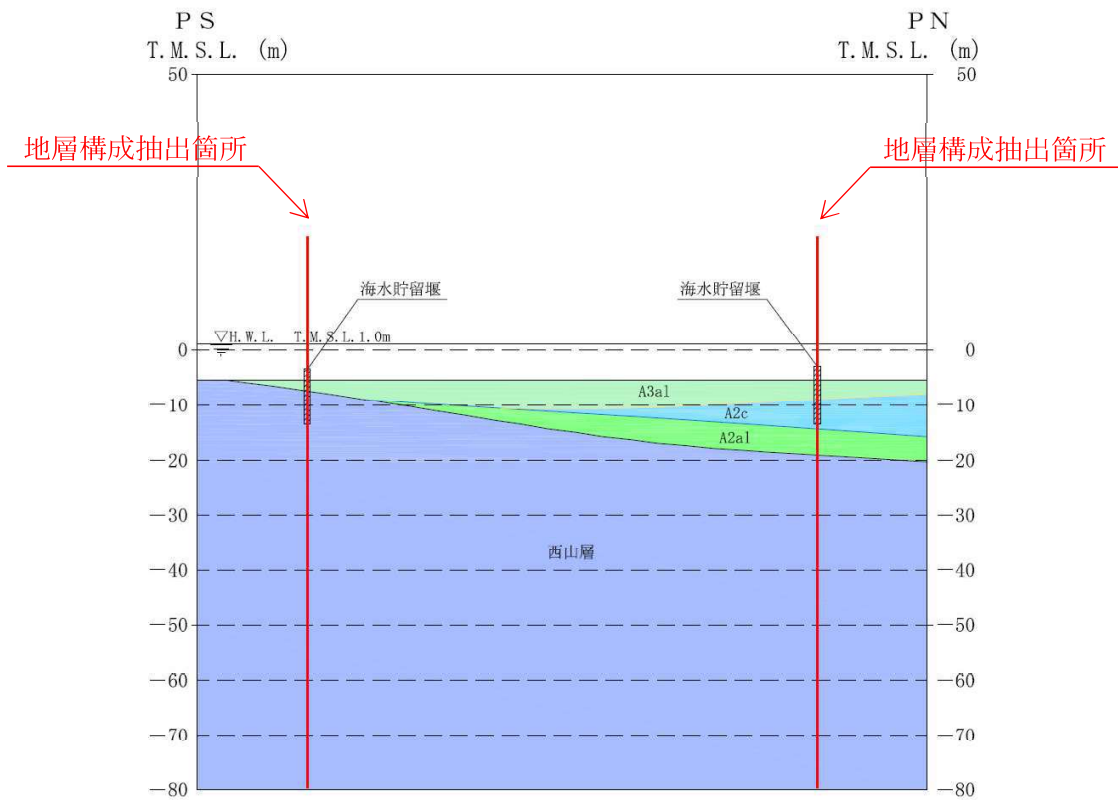


图 5.3—9 地質断面図 (A—A断面図)

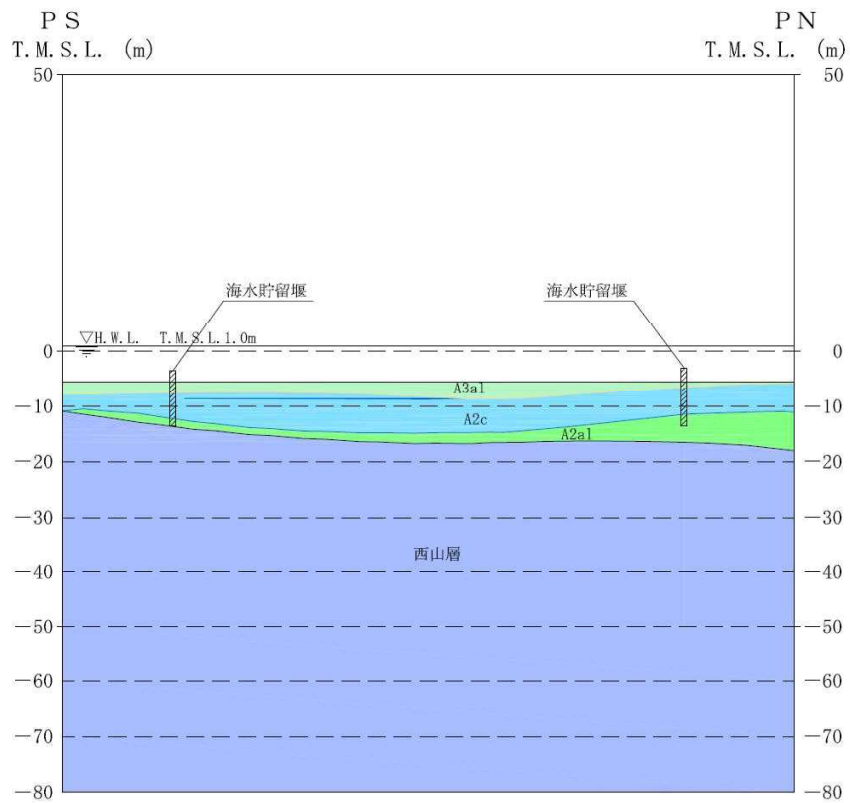
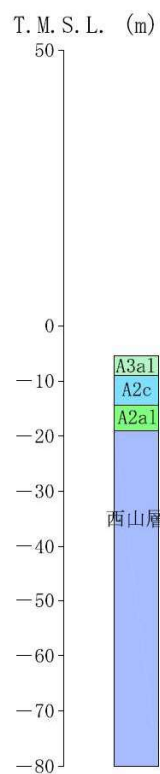
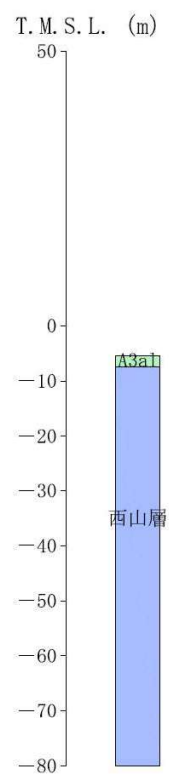


图 5.3—10 地質断面図 (B—B断面図)



(a) 断面①



(b) 断面②

図 5.3-11 地震応答解析モデル図 (地層構成抽出箇所)