

本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-60-1 改 21
提出年月日	平成 30 年 4 月 6 日

## 東海第二発電所

### 工事計画に係る説明資料

(V-1-1-2-2 津波への配慮に関する説明書)

平成 30 年 4 月

日本原子力発電株式会社



改定履歴

改定	改定日 (提出年月日)	改定内容
改0	H30.2.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新規制定</li> <li>・「6.1.3 止水機構に関する補足説明」を新規作成し、追加</li> </ul>
改1	H30.2.7	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「1.1 潮位観測記録の考え方について」及び「1.3 港湾内の局所的な海面の励起について」を新規作成し、追加</li> </ul>
改2	H30.2.8	<ul style="list-style-type: none"> <li>・改0の「6.1.3 止水機構に関する補足説明」を改定</li> </ul>
改3	H30.2.9	<ul style="list-style-type: none"> <li>・改1に、「1.6 SA用海水ピットの構造を踏まえた影響の有無の検討」を新規作成し、追加（「1.1 潮位観測記録の考え方について」及び「1.3 港湾内の局所的な海面の励起について」は、変更なし）</li> </ul>
改4	H30.2.13	<ul style="list-style-type: none"> <li>・改3の内、「1.1 潮位観測記録の考え方について」及び「1.3 港湾内の局所的な海面の励起について」を改定（「1.6 SA用海水ピットの構造を踏まえた影響の有無の検討」は、変更なし）</li> </ul>
改5	H30.2.13	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「5.11 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」及び「5.17 強度計算における津波時及び重畳時の荷重作用状況について」を新規作成し、追加</li> </ul>
改6	H30.2.15	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「5.7 自然現象を考慮する浸水防護施設の選定について」及び「5.19 津波荷重の算出における高潮の考慮について」を新規作成し、追加</li> </ul>
改7	H30.2.19	<ul style="list-style-type: none"> <li>・改6に、「5.1 地震と津波の組合せで考慮する荷重について」を新規作成し、追加（「5.7 自然現象を考慮する浸水防護施設の選定について」及び「5.19 津波荷重の算出における高潮の考慮について」は、変更なし）</li> </ul>
改8	H30.2.19	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「5.9 浸水防護施設の評価に係る地盤物性値及び地質構造について」及び「5.14 防潮堤止水ジョイント部材及び鋼製防護壁止水シールについて」を新規作成し、追加</li> </ul>
改9	H30.2.22	<ul style="list-style-type: none"> <li>・改8の「5.9 浸水防護施設の評価に係る地盤物性値及び地質構造について」を改定（「5.14 防潮堤止水ジョイント部材及び鋼製防護壁止水シールについて」は、変更なし）</li> </ul>
改10	H30.2.23	<ul style="list-style-type: none"> <li>・改2の「6.1.3 止水機構に関する補足説明」を改定</li> </ul>
改11	H30.2.27	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「4.1 設計に用いる遡上波の流速について」及び「5.4 津波波力の選定に用いた規格・基準類の適用性について」を新規作成し、追加</li> </ul>
改12	H30.3.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「1.2 遡上・浸水域の評価の考え方について」、「1.4 津波シミュレーションにおける解析モデルについて」、「4.2 漂流物による影響確認について」、「5.2 耐津波設計における現場確認プロセスについて」及び「5.6 浸水量評価について」を新規作成し、追加</li> <li>・改4の内、「1.6 SA用海水ピットの構造を踏まえた影響の有無の検討」を改定</li> </ul>
改13	H30.3.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>・改12の内、「1.6 SA用海水ピットの構造を踏まえた影響の有無の検討」を改定</li> </ul>
改14	H30.3.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>・改5の内、「5.11 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」を改定（「5.11 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」のうち、「5.11.5 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁」を新規作成）</li> <li>・改9の内、「5.14 防潮堤止水ジョイント部材及び鋼製防護壁止水シールについて」を改定</li> </ul>

改定	改定日 (提出年月日)	改定内容
改 15	H30. 3. 9	<ul style="list-style-type: none"> <li>・資料番号を「補足-60」→「補足-60-1」に変更（改定番号は継続）</li> <li>・改 7 の内、「5. 7 自然現象を考慮する浸水防護施設の選定について」を改定</li> <li>・改 10 の「6. 1. 3 止水機構に関する補足説明」を改定</li> </ul>
改 16	H30. 3. 12	<ul style="list-style-type: none"> <li>・改 14 の内、「5. 14 防潮堤止水ジョイント部材及び鋼製防護壁止水シールについて」を改定</li> </ul>
改 17	H30. 3. 22	<ul style="list-style-type: none"> <li>・改 15 の内、「6. 1. 3 止水機構に関する補足説明」を改定</li> </ul>
改 18	H30. 3. 30	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「1. 5 入力津波のパラメータスタディの考慮について」、「3. 1 砂移動による影響確認について」、「6. 5. 1 防潮扉の設計に関する補足説明」及び「放水路ゲートに関する補足説明」を新規作成し追加</li> <li>・改 17 の「6. 1. 3 止水機構に関する補足説明」を改定</li> </ul>
改 19	H30. 4. 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>・改 18 の「6. 1. 3 止水機構に関する補足説明」を改定 記載の適正化</li> </ul>
改 20	H30. 4. 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>・改 11 の内「4. 1 設計に用いる遡上波の流速について」を改定</li> <li>・「5. 10 浸水防護施設の強度計算における津波荷重、余震荷重及び漂流物荷重の組合せについて」を新規作成し追加</li> </ul>
改 21	H30. 4. 6	<ul style="list-style-type: none"> <li>・改 11 の内「5. 4 津波波力の選定に用いた規格・基準類の適用性について」を改定</li> <li>・改 16 の内「5. 14 防潮堤止水ジョイント部材及び鋼製防護壁シール材について」を改定（「5. 14 防潮堤止水ジョイント部材及び鋼製防護壁シール材について」のうち「5. 14. 2 鋼製防護壁シール材について」を新規作成）</li> </ul>

下線は、今回提出資料を示す。

## 目 次

1. 入力津波の評価
  - 1.1 潮位観測記録の考え方について[改 4 H30. 2. 13]
  - 1.2 遡上・浸水域の評価の考え方について[改 12 H30. 3. 1]
  - 1.3 港湾内の局所的な海面の励起について[改 4 H30. 2. 13]
  - 1.4 津波シミュレーションにおける解析モデルについて[改 12 H30. 3. 1]
  - 1.5 入力津波のパラメータスタディの考慮について[改 18 H30. 3. 30]
  - 1.6 SA用海水ピットの構造を踏まえた影響の有無の検討[改 13 H30. 3. 6]
2. 津波防護対象設備
  - 2.1 津波防護対象設備の選定及び配置について
3. 取水性に関する考慮事項
  - 3.1 砂移動による影響確認について[改 18 H30. 3. 30]
  - 3.2 海水ポンプの波力に対する強度評価について
  - 3.3 電源喪失による除塵装置の機能喪失に伴う取水性の影響について
4. 漂流物に関する考慮事項
  - 4.1 設計に用いる遡上波の流速について[改 20 H30. 4. 4]
  - 4.2 漂流物による影響確認について[改 12 H30. 3. 1]
  - 4.3 漂流物衝突力について
5. 設計における考慮事項
  - 5.1 地震と津波の組合せで考慮する荷重について[改 7 H30. 2. 19]
  - 5.2 耐津波設計における現場確認プロセスについて[改 12 H30. 3. 1]
  - 5.3 強度計算に用いた規格・基準について
  - 5.4 津波波力の選定に用いた規格・基準類の適用性について[改 21 H30. 4. 6]
  - 5.5 津波防護施設のアンカーの設計に用いる規格・基準類の適用性について
  - 5.6 浸水量評価について[改 12 H30. 3. 1]
  - 5.7 自然現象を考慮する浸水防護施設の選定について[改 15 H30. 3. 9]
  - 5.8 浸水防護に関する施設の機能設計・構造設計に係る許容限界について
  - 5.9 浸水防護施設の評価に係る地盤物性値及び地質構造について[改 9 H30. 2. 22]
  - 5.10 浸水防護施設の強度計算における津波荷重、余震荷重及び漂流物荷重の組合せについて[改 20 H30. 4. 4]
  - 5.11 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について[改 14 H30. 3. 6]
  - 5.12 浸水防護施設の評価における衝突荷重、風荷重及び積雪荷重について
  - 5.13 スロッシングによる貯留堰貯水量に対する影響評価について
  - 5.14 防潮堤止水ジョイント部材及び鋼製防護壁シール材について[改 21 H30. 4. 6]
  - 5.15 東海発電所の取放水路の埋戻の施工管理要領について
  - 5.16 地殻変動後の基準津波襲来時における海水ポンプの取水性への影響について
  - 5.17 強度計算における津波時及び重畳時の荷重作用状況について[改 5 H30. 2. 13]
  - 5.18 津波に対する止水性能を有する施設の評価について

[ ]内は、当該箇所を提出  
(最新)したときの改訂を示  
す。

5.19 津波荷重の算出における高潮の考慮について[改 7 H30. 2. 19]

6. 浸水防護施設に関する補足資料

6.1 鋼製防護壁に関する補足説明

6.1.1 鋼製防護壁の設計に関する補足説明

6.1.2 鋼製防護壁アンカーに関する補足説明

6.1.3 止水機構に関する補足説明[改 19 H30. 4. 3]

6.2 鉄筋コンクリート防潮壁に関する補足説明

6.2.1 鉄筋コンクリート防潮壁の設計に関する補足説明

6.2.2 フラップゲートに関する補足説明

6.3 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）に関する補足説明

6.3.1 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の設計に関する補足説明

6.4 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁に関する補足説明

6.4.1 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計に関する補足説明

6.5 防潮扉に関する補足説明

6.5.1 防潮扉の設計に関する補足説明[改 18 H30. 3. 30]

6.6 放水路ゲートに関する補足説明

6.6.1 放水路ゲートの設計に関する補足説明[改 18 H30. 3. 30]

6.7 構内排水路逆流防止設備に関する補足説明

6.7.1 構内排水路逆流防止設備の設計に関する補足説明

6.8 貯留堰に関する補足説明

6.8.1 貯留堰の設計に関する補足説明

6.8.2 貯留堰取付護岸に関する補足説明

6.9 浸水防護設備に関する補足説明

6.9.1 浸水防止蓋，水密ハッチ，水密扉，逆止弁の設計に関する補足説明

6.9.2 逆止弁の漏えい試験について

6.9.3 逆止弁を構成する各部材の評価について

6.9.4 津波荷重（突き上げ）の強度評価における鉛直方向荷重の考え方について

6.10 津波監視設備に関する補足説明

6.10.1 津波監視カメラの設計に関する補足説明

6.10.2 取水ピット水位計及び潮位計の設計に関する補足説明

6.10.3 加振試験の条件について

6.10.4 津波監視設備の設備構成及び電源構成について

6.11 耐震計算における材料物性値のばらつきの影響に関する補足説明

6.12 止水ジョイント部の相対変位量に関する補足説明

6.13 止水ジョイント部の漂流物対策に関する補足説明

[ ]内は、当該箇所を提出  
(最新)したときの改訂を示  
す。

#### 5.4 津波波圧の算定に用いた規格・基準類の適用性について

津波防護施設等の津波波圧は、陸上構造物に対しては朝倉ら(2000)他<sup>\*1,2</sup>で示される算定式を、海中構造物に対しては「防波堤の耐津波設計ガイドライン」<sup>\*3</sup>で示される算定式を参考にして求める。

算定式を適用するにあたっては、東海第二発電所における遡上津波の特徴を把握する必要があることから基準津波を対象とした水理模型実験を実施し、さらにその検証のための断面2次元津波シミュレーション解析を行った。断面2次元津波シミュレーション解析では、防潮堤と海岸線との離隔距離が津波波圧に与える影響や津波遡上高さ等が異なる津波が防潮堤に与える影響についても検討した。

各構造物の適用算定式を表1に示す。

表1 各構造物の適用算定式

構造物名	津波波圧の算定に用いた規格・基準類
防潮堤（鋼製防護壁，鉄筋コンクリート防潮壁，鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）	*1：朝倉ら(2000)：護岸を越流した津波による波圧に関する実験的研究，海岸工学論文集，第47巻，土木学会 *2：港湾の津波避難施設の設計ガイドライン（平成25年10月）
防潮扉	
構内排水路逆流防止設備	
貯留堰	*3：防波堤の耐津波設計ガイドライン（平成27年12月一部改訂）

#### 5.4.1 津波荷重の算定式

津波防護施設の津波荷重の算定式は、朝倉ら（2000）の研究を元にした「港湾の津波避難施設の設計ガイドライン（国土交通省港湾局，平成 25 年 10 月）」や「防波堤の耐津波設計ガイドライン（平成 27 年 12 月一部改訂）等を参考に設定する。以下に，参考にした文献の津波荷重算定式の考え方と津波防護施設への適用性を示す。

##### (1) 津波波圧算定式に関する文献の記載

- a. N R A 技術報告「防潮堤に作用する津波波圧評価に用いる水深係数について」（平成 28 年 12 月）

水理実験及び解析を実施した結果，従来の評価手法でフルード数が 1 以下になることが確認できれば，水深係数は 3 を適用できるとしている。

- b. 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（平成 23 年）

構造設計用の進行方向の津波波圧は，図 1-1 に示す概念に基づき，次式により算定する。

$$q_z = \rho g (a h - z)$$

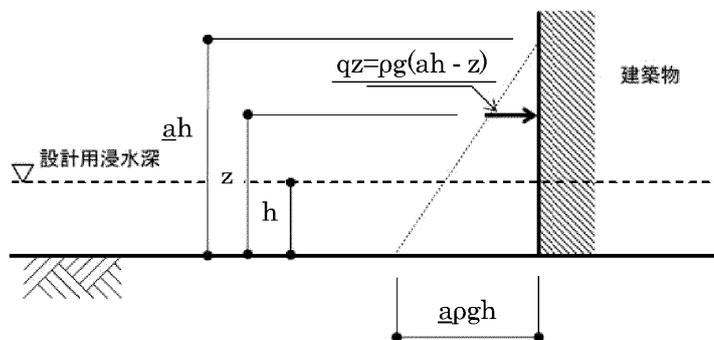
$q_z$ ：構造設計用の進行方向の津波波圧（ $\text{kN/m}^2$ ）

$h$ ：設計用浸水深（m）

$z$ ：当該部分の地盤面からの高さ（ $0 \leq z \leq a h$ ）（m）

$a$ ：水深係数

$\rho g$ ：海水の単位体積重量（ $\text{kN/m}^3$ ）



「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（平成 23 年）」より

図 1-1 津波波圧算定の概念

- c. 港湾の津波避難施設の設計ガイドライン（平成 25 年 10 月）

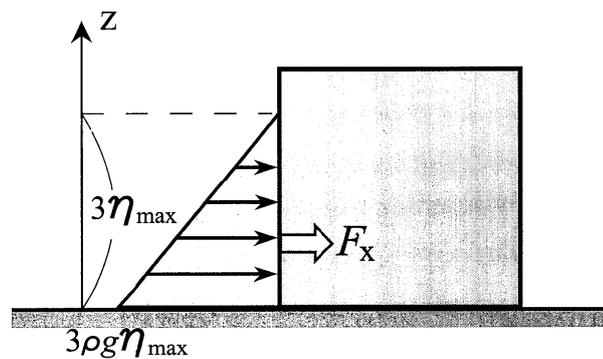
文献 a. に基づく。ただし，津波が生じる方向に施設や他の建築物がある場合や，海岸等から 500 m 以上離れている場合において，水深係数は 3 以下にできるとしている。

- d. 朝倉ら(2000)：護岸を越流した津波による波圧に関する実験的研究，海岸工学論文集，第47巻，土木学会，pp.911-915

直立護岸を越流した津波の遡上特性から護岸背後の陸上構造物に作用する津波波圧について実験水路を用いて検討している。

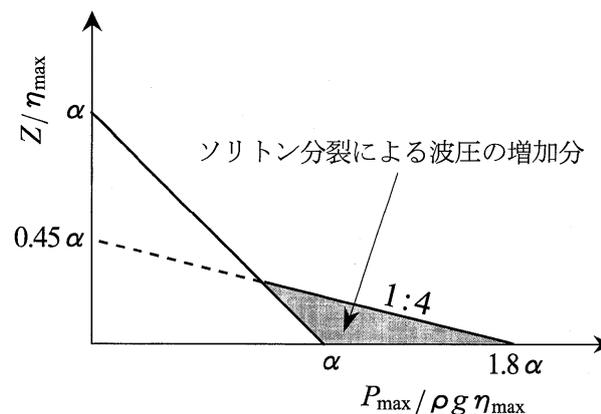
その結果，非分裂波の場合「朝倉ら(2000)：護岸を越流した津波による波圧に関する実験的研究，海岸工学論文集，第47巻，土木学会」によれば，構造物前面に作用する波圧分布を規定する水平波圧指標（遡上水深に相当する静水压分布の倍率） $\alpha$ は，最大で3程度以下であることが示されている。

非分裂波における津波最大波圧分布を図1-2に，分裂波における無次元最大波圧分布を図1-3に示す。ソリトン分裂波の場合は図1-3に示されるように，構造物底面標高における非分裂波の $\alpha$ に対し， $1.8\alpha$ となるとしている。ただし，図1-2及び図1-3に示される波圧分布は，同時刻で発生したものではない。



「朝倉ら(2000)：護岸を越流した津波による波圧に関する実験的研究，海岸工学論文集，第47巻，土木学会」より

図1-2 非分裂波における津波最大波圧分布

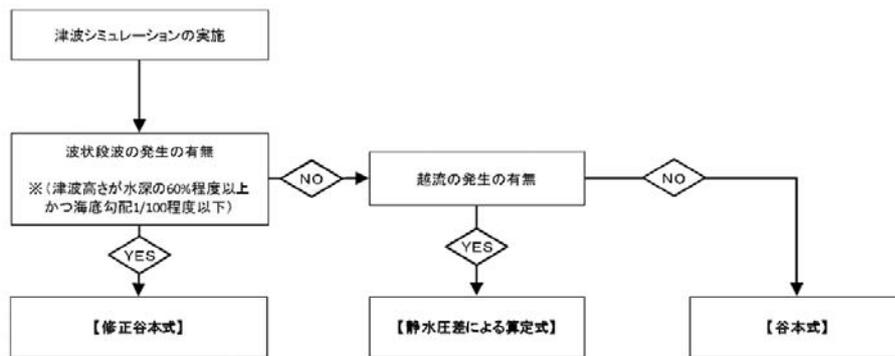


「朝倉ら(2000)：護岸を越流した津波による波圧に関する実験的研究，海岸工学論文集，第47巻，土木学会」より

図1-3 分裂波における無次元最大波圧分布

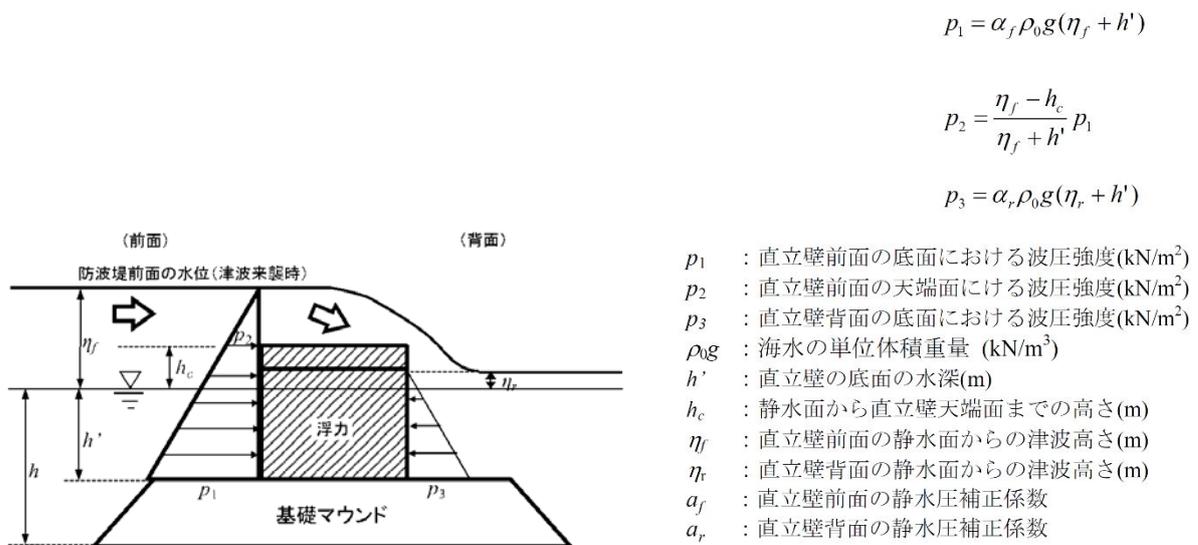
e. 防波堤の耐津波設計ガイドライン（平成 27 年 12 月一部改訂）

防波堤の津波波圧の適用の考え方として、ソリトン分裂波が発生する場合は修正谷本式を、ソリトン分裂波が発生せず津波が防波堤を越流する場合は静水圧差による算定式を、ソリトン分裂波が発生せず越流しない場合は谷本式を用いることとしている。防波堤に対する津波荷重算定手順を図 1-4 に、越流する場合の静水圧差による算定式を図 1-5 に示す。



「防波堤の耐津波設計ガイドライン（平成 27 年 12 月一部改訂）」より

図 1-4 防波堤に対する津波荷重算定手順



「防波堤の耐津波設計ガイドライン（平成 27 年 12 月一部改訂）」より

図 1-5 越流する場合の静水圧差による算定式

## 5.4.2 陸上構造物に対する津波波圧算定式の適用に関する検討

### (1) 分裂波発生に関する検討

沖合から伝播してくる津波がサイト前面においてソリトン分裂波を伴うか否かの判定にあたっては、「防波堤の耐津波設計ガイドライン」において以下の2つの条件に合致する場合、ソリトン分裂波が発生するとされている。

- ① おおむね入射津波高さが水深の30%以上（津波数値解析等による津波高さが水深の60%以上）
- ② 海底勾配が1/100以下程度の遠浅

東海第二発電所前面の海底地形は約1/200勾配で遠浅であり、入射津波高さと水深の関係についても入射津波高さが水深の30%以上であることから、両方の条件に合致する。そこで、沖合におけるソリトン分裂波及び碎波の発生の有無や陸上へ遡上する過程での減衰の状況と防潮堤が受ける津波波圧への有意な影響の有無を定量的に確認するため、東海第二発電所のサイト特性を考慮した水理模型実験を行い、防潮堤が受ける波圧分布等を測定した。海底地形断面位置図及び海底地形断面図を図2-1、津波高さと水深の関係を表2-1に示す。

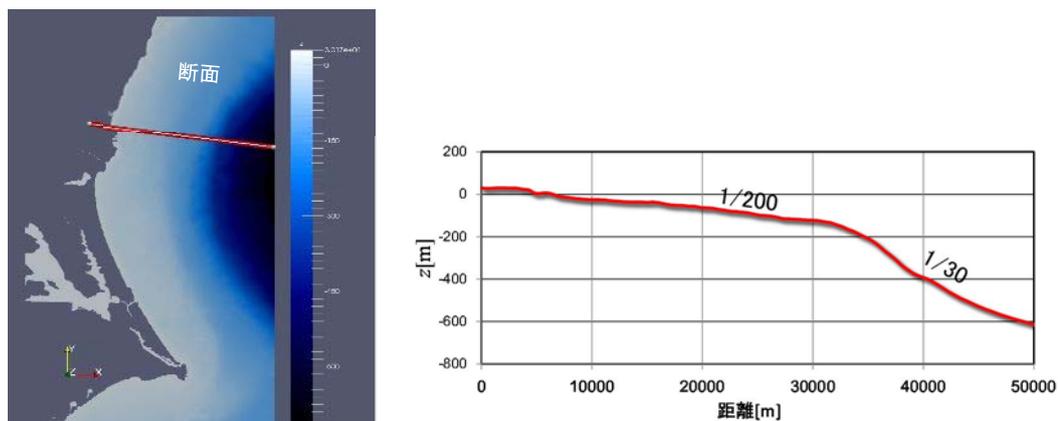


図2-1 海底地形断面位置図及び海底地形断面図

表2-1 津波高さと水深の関係

地点	(1) 水深	(2) 入射津波高さ*	(2) / (1)
東海第二発電所前面	7.5 m	4.7 m	62 %

\* 津波数値解析による津波高さの1/2を入射津波高さと定義（防潮堤の耐津波ガイドライン）

## (2) 水理模型実験

### a. 目的

基準津波の策定に用いた波源は、2011年東北地方太平洋沖地震で得られた知見を踏まえて設定した波源のすべり領域を拡大することや、すべり量の割増しを行うなどの保守的な設定を複数加えたものである。

水理模型実験は、ソリトン分裂波が生じない沖合5.0 kmにおける津波波形を入力し、ソリトン分裂波や砕波の発生の有無及び陸上へ遡上する過程での減衰状況と防潮堤が受ける津波波圧への有意な影響の有無並びにフルード数の把握を目的に実施した。

### b. 検討断面

東海第二発電所前面の海底地形は概ね一様な地形となっていることから、本実験では、津波水位が最大となる地点を基に、津波の伝播特性を踏まえ、等深線図に直交する断面を選定した。検討断面位置図を図2-2に示す。

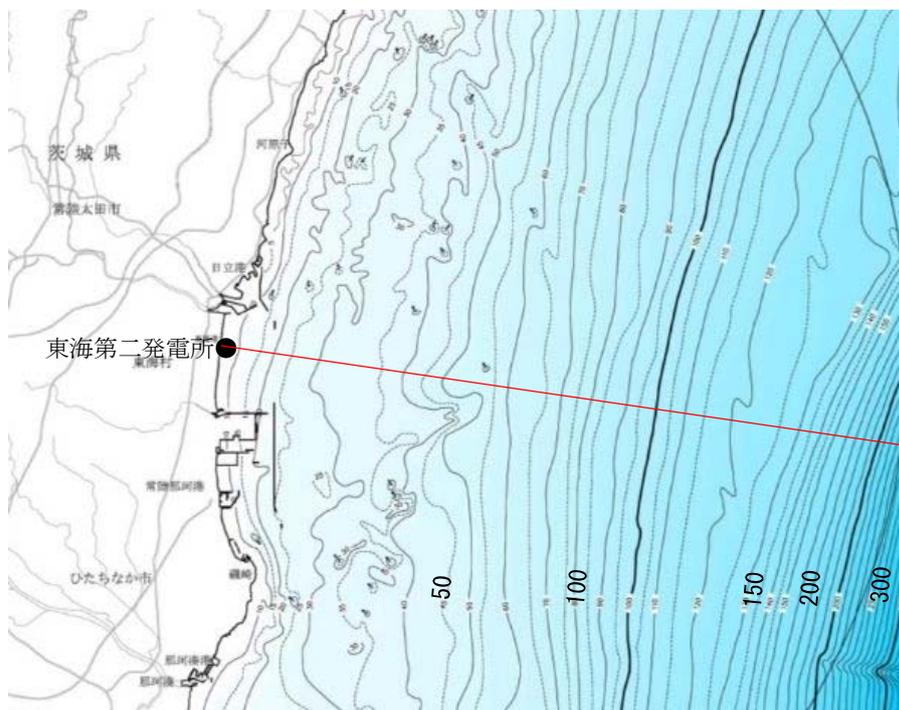
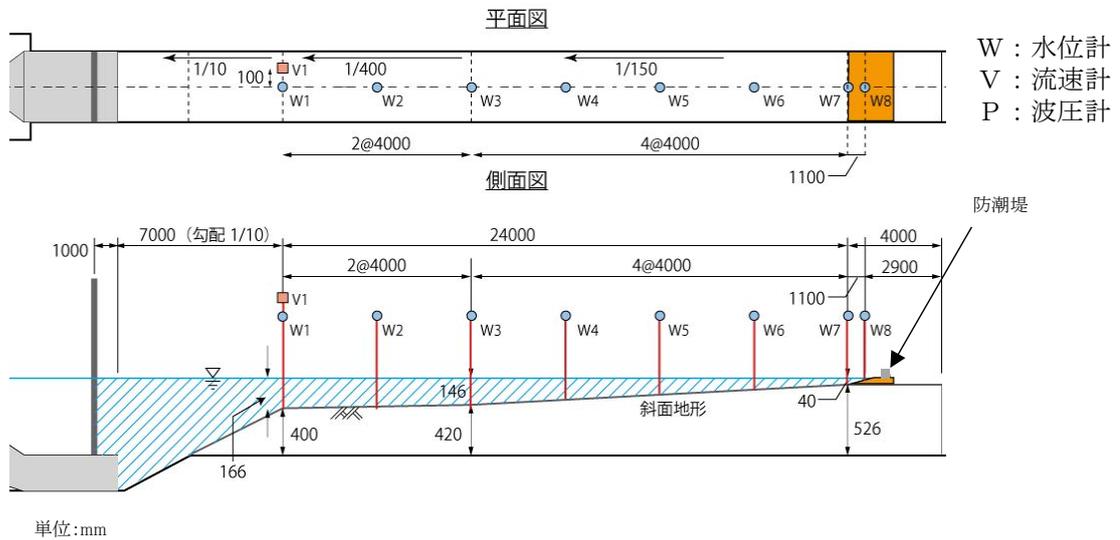


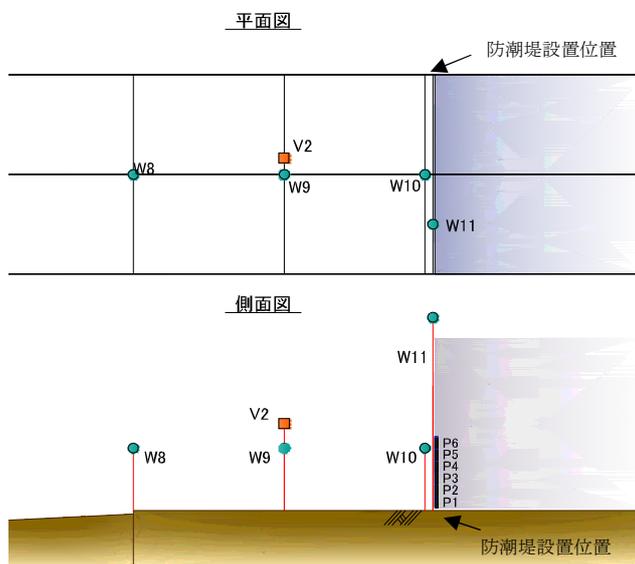
図 2-2 検討断面位置図

c. 実験条件

断面2次元実験施設の水路は、長さ60 m×幅1.2 m（貯水部は1.8 m）×高さ1.5 mとし、沖合5 kmから陸側の範囲を再現するために実験縮尺（幾何縮尺）は $\lambda = 1/200$ とした。実験の概要を図2-3に示す。



(a) 計測位置図



(b) 防潮堤位置拡大図



(c) 実験施設写真

図2-3 実験の概要

#### d. 入射津波の造波

水理模型実験における再現範囲の最沖地点はソリトン分裂波が発生しない沖合 5.0 km の位置とし、基準津波の波源モデルを用いた数値解析から求めた同地点における津波波形を入力した。また、この津波波形を防潮堤位置で平面 2 次元津波シミュレーション解析結果と同様の高さになるよう振幅を調整した。沖合 5 km 地点における入射津波の造波波形図を図 2-4 に示す。

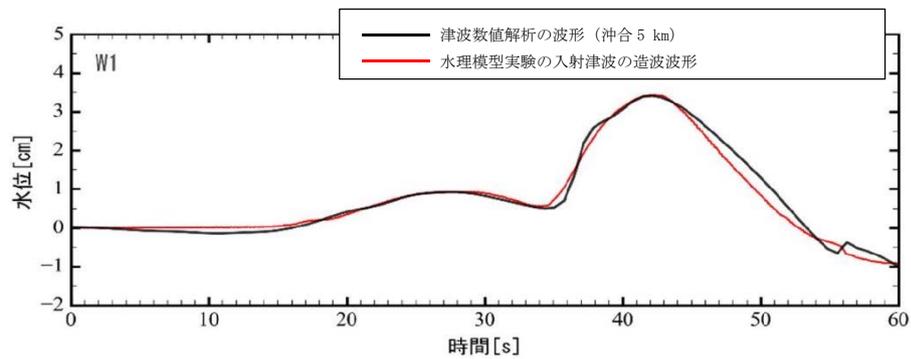


図 2-4 沖合 5 km 地点における入射津波の造波波形図

#### e. 水理模型実験の結果

##### (a) 水理模型実験におけるソリトン分裂波の確認

平面 2 次元津波シミュレーション解析に即した津波波形を造波し、水理模型実験を行った。水理模型実験における時刻歴図を図 2-5 に示す。その結果、目視観察と波高計による計測により、沖合約 220 m 地点 (W7) においてソリトン分裂波が生じることを確認した。ただし、陸上に遡上する過程で分裂波は減衰しており、防潮堤位置における波圧分布への有意な影響は認められない。なお、W10 及び W11 で確認できる波形は、津波の進行波と反射波が合わさった瞬間の波形であり、防潮堤位置における波圧分布への有意な影響は認められない。

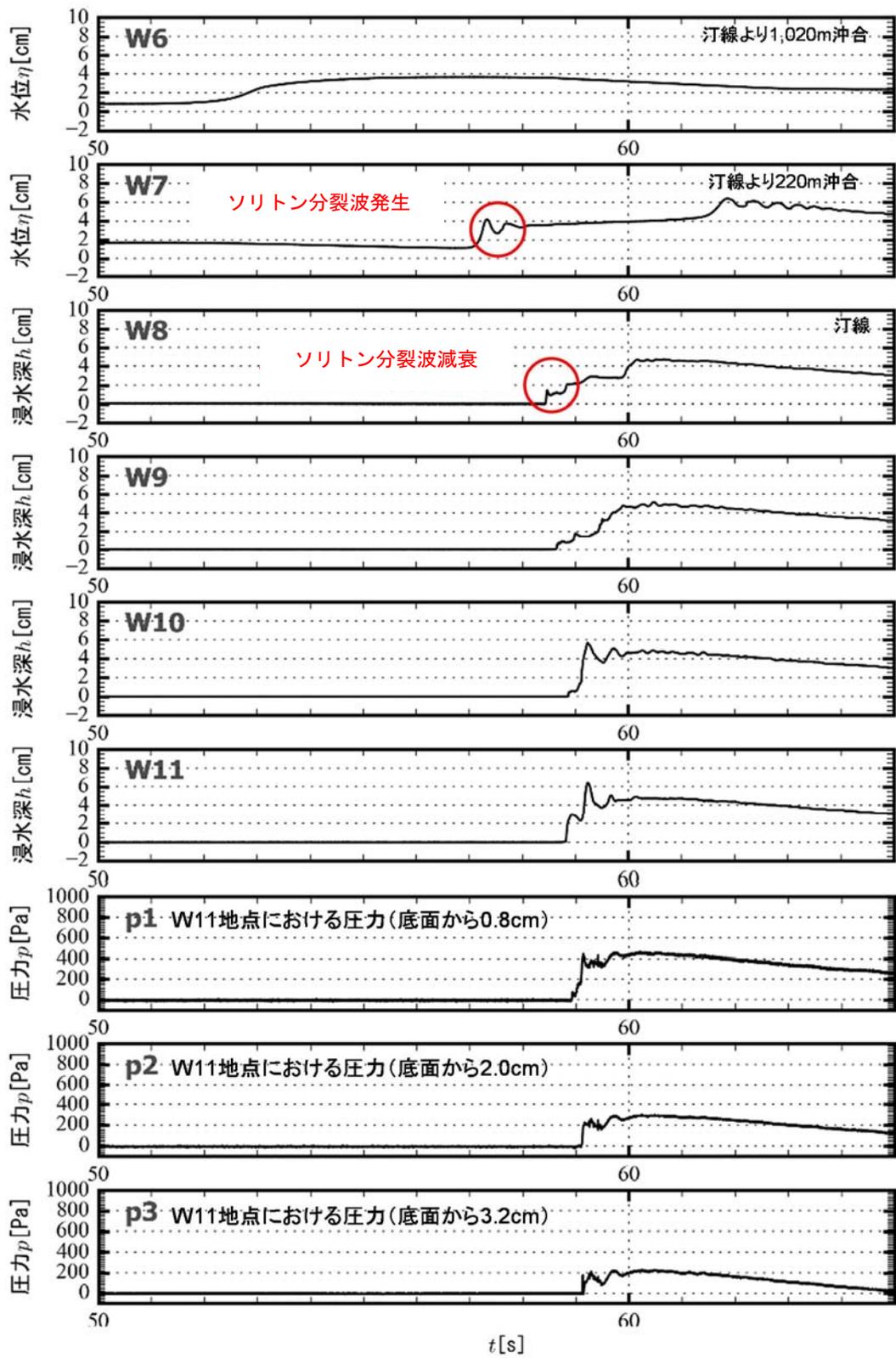


図 2-5 水理模型実験における時刻歴図

(b) フルード数

防潮堤がないモデルで防潮堤位置の最大浸水深を計測し、同時刻における流速からフルード数を算定した。

その結果、通過波のフルード数は平均で 0.8 ( $< 1.0$ ) であったことから、水深係数 3 で津波波圧分布を評価し、防潮堤の設計に適用できることを確認した。通過波検定結果表を表 2-2 に、持続波領域における最大浸水深、流速及びフルード数の時系列図を図 2-6 に示す。

表 2-2 通過波検定結果表

	フルード数 (最大浸水深時)
1 回目	0.9
2 回目	0.9
3 回目	0.6
4 回目	0.8
5 回目	0.7
6 回目	0.9
平均値	0.8

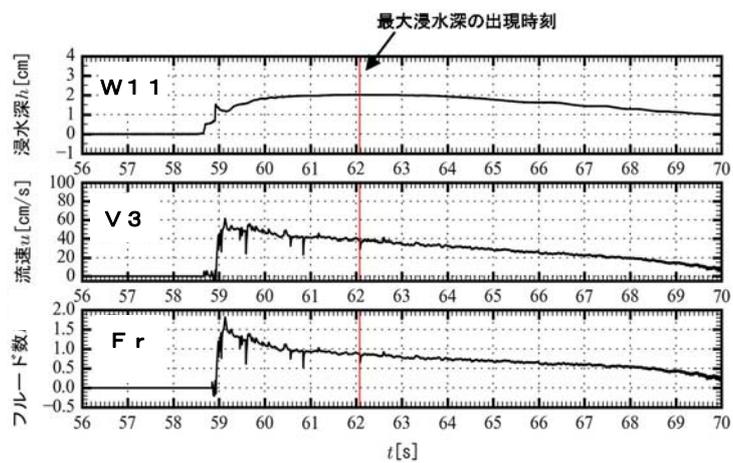


図 2-6 持続波領域における最大浸水深、流速及びフルード数の時系列図

(c) 防潮堤壁面におけるソリトン分裂波の最大津波波圧

防潮堤壁面における津波波圧計測結果を通過波の最大浸水深で除して無次元化した結果を以下に示す。

東海第二発電所前面海域の地形を模擬した水理模型実験で計測した防潮堤壁面の最大津波波圧は、**構造物前面に作用する波圧分布を規定する水深係数 $\alpha$ を3で評価したときの非分裂波の場合における無次元最大波圧分布の実験式（以下、「朝倉式①」という。）**及び、**ソリトン分裂波を伴い構造物の下方1/3について非分裂波の $\alpha$ を1.8倍した無次元最大波圧分布の実験式（以下、「朝倉式②」という。）**よりも小さくなった。

また、実験により得られた波圧分布においては、朝倉式②のような波圧分布は認められず、朝倉式①と整合する結果となった（朝倉式①の方が津波波圧分布の再現性がよいことを確認した。）。水理模型実験において、ソリトン分裂波及び碎波の防潮堤に対する波圧分布への有意な影響はなく、単直線型の朝倉式①に包含されることを確認した。既往の津波波圧算定式との比較を図2-7に示す。

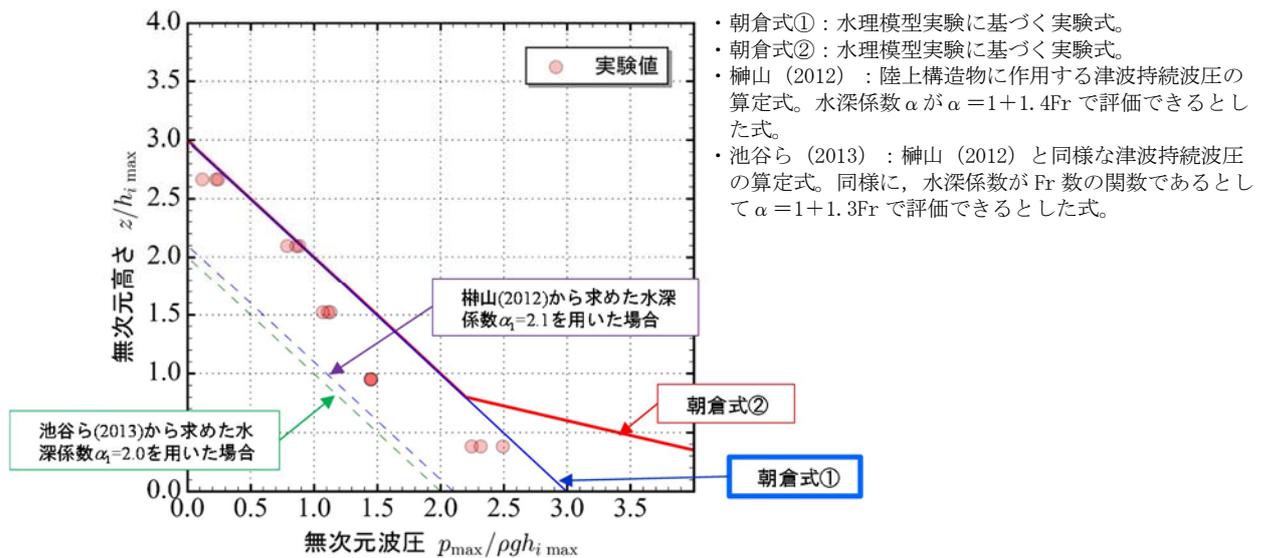


図2-7 既往の津波波圧算定式との比較  
(無次元最大津波波圧分布図)

(3) 水理模型実験結果の検証（再現性検討）

水理模型実験結果について、断面2次元津波シミュレーション解析を実施し、防潮堤位置での津波波圧算定式が朝倉式①で妥当であることを検証した。断面2次元津波シミュレーション解析は、分散波理論に基づいた解析手法でありソリトン分裂波を表現可能な数値波動水路 CADMAS-SURF/2D (Ver. 5.1) を用いた。

a. 水理模型実験結果の再現性

水理模型実験でモデル化した区間と同じ区間を解析領域としてモデル化した。解析モデル図を図2-8に示す。また、入射波は水理模型実験の入力波形に合わせて作成した。

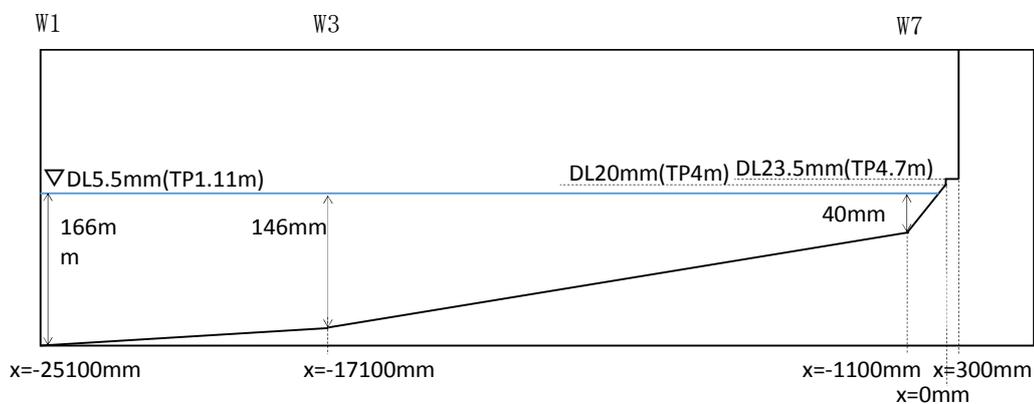


図2-8 解析モデル図

断面2次元津波シミュレーション解析結果を図2-9に示す。水理模型実験結果と同様、沖合約220 m地点（W7）においてソリトン分裂波を確認した。ただし、陸上に遡上する過程で分裂波は減衰しており、防潮堤位置における波圧分布への有意な影響は認められない。なお、W10及びW11で確認できる波形は、津波の進行波と反射波が合わさった瞬間の波形であり、防潮堤位置における波圧分布への有意な影響は認められない。

防潮堤壁面に作用する津波波圧は実験値とほぼ同等のものとなり、朝倉式①による波圧分布を下回るとともに、朝倉式②のような波圧分布は認められず、朝倉式①と整合する結果となった。

断面2次元津波シミュレーション解析においても、ソリトン分裂波及び砕波の防潮堤に対する波圧分布への有意な影響はなく、単直線型の朝倉式①に包含されることを確認した。

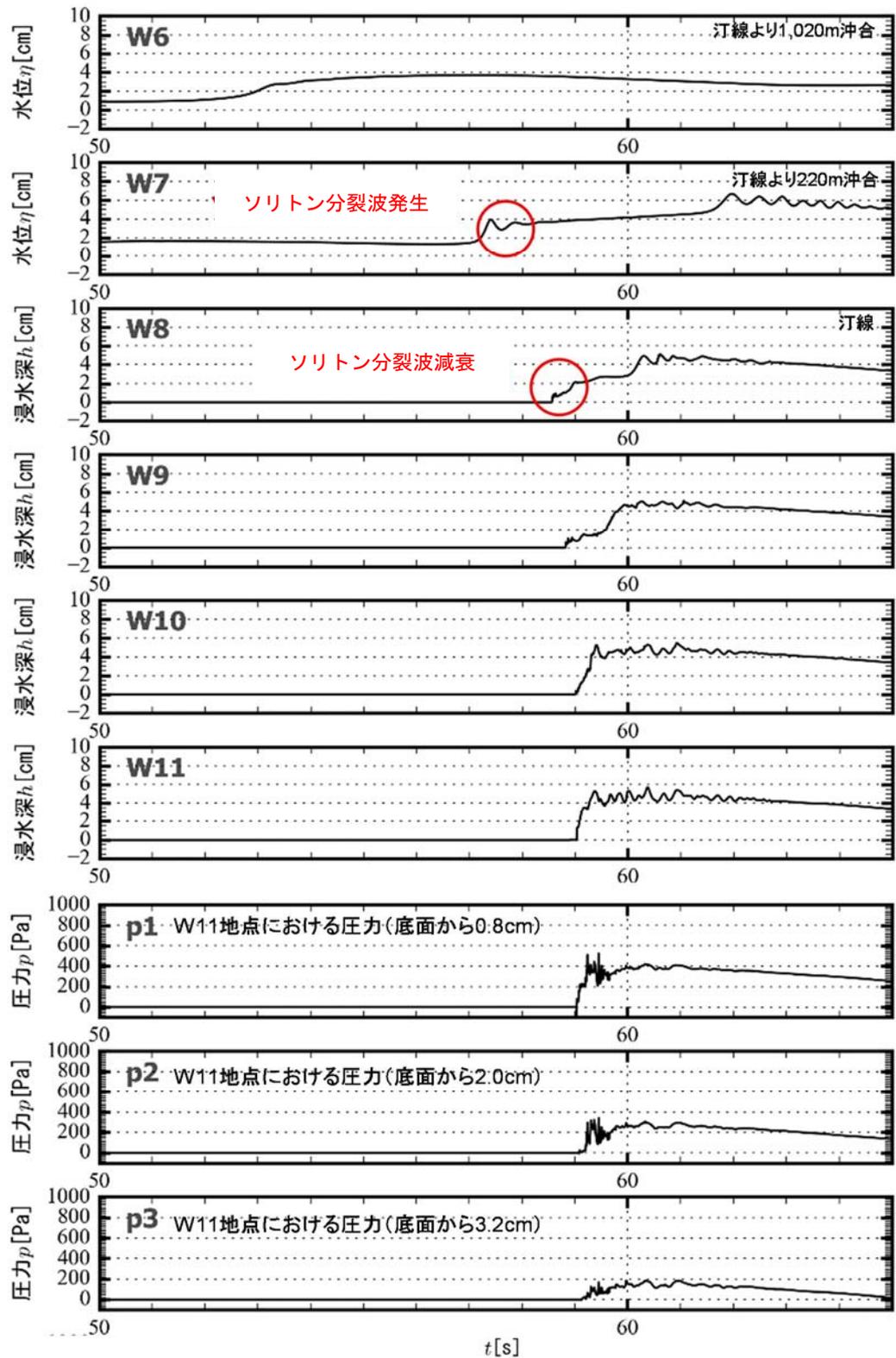


図 2-9 (1) 断面 2 次元津波シミュレーション解析結果 (時刻歴図)

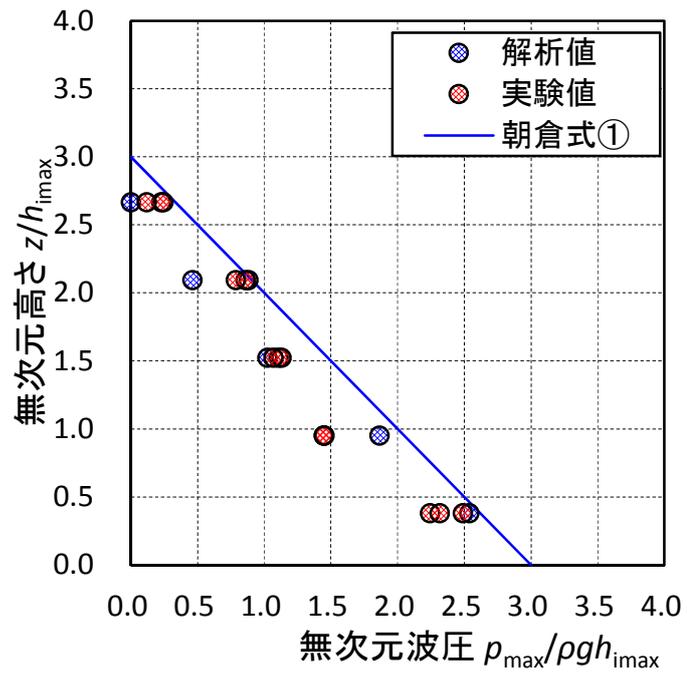


図 2-9 (2) 断面 2 次元津波シミュレーション解析結果 (最大波圧分布図)

b. 防潮堤と海岸線との離隔距離の違いが津波波圧に与える影響検討

防潮堤の設置位置は、海岸線から最も近いところで約 30 m であるが、遡上津波水位が最も高くなる防潮堤と海岸線との離隔距離は、約 60 m 地点である。そこで、防潮堤全域にわたって離隔距離の違いが津波波圧に与える影響を確認するため、離隔距離を 30 m, 45 m, 60 m, 75 m と変化させた検討を実施した。なお、入力波形は基準津波を用いて実施した。

その結果、防潮堤と海岸線との離隔距離が津波波圧に与える影響は認められず、朝倉式①による波圧分布を下回るとともに、分布形は朝倉式①と整合する結果となった。海岸線からの離隔距離別の防潮堤壁面における最大波圧分布図を図 2-10 に示す。

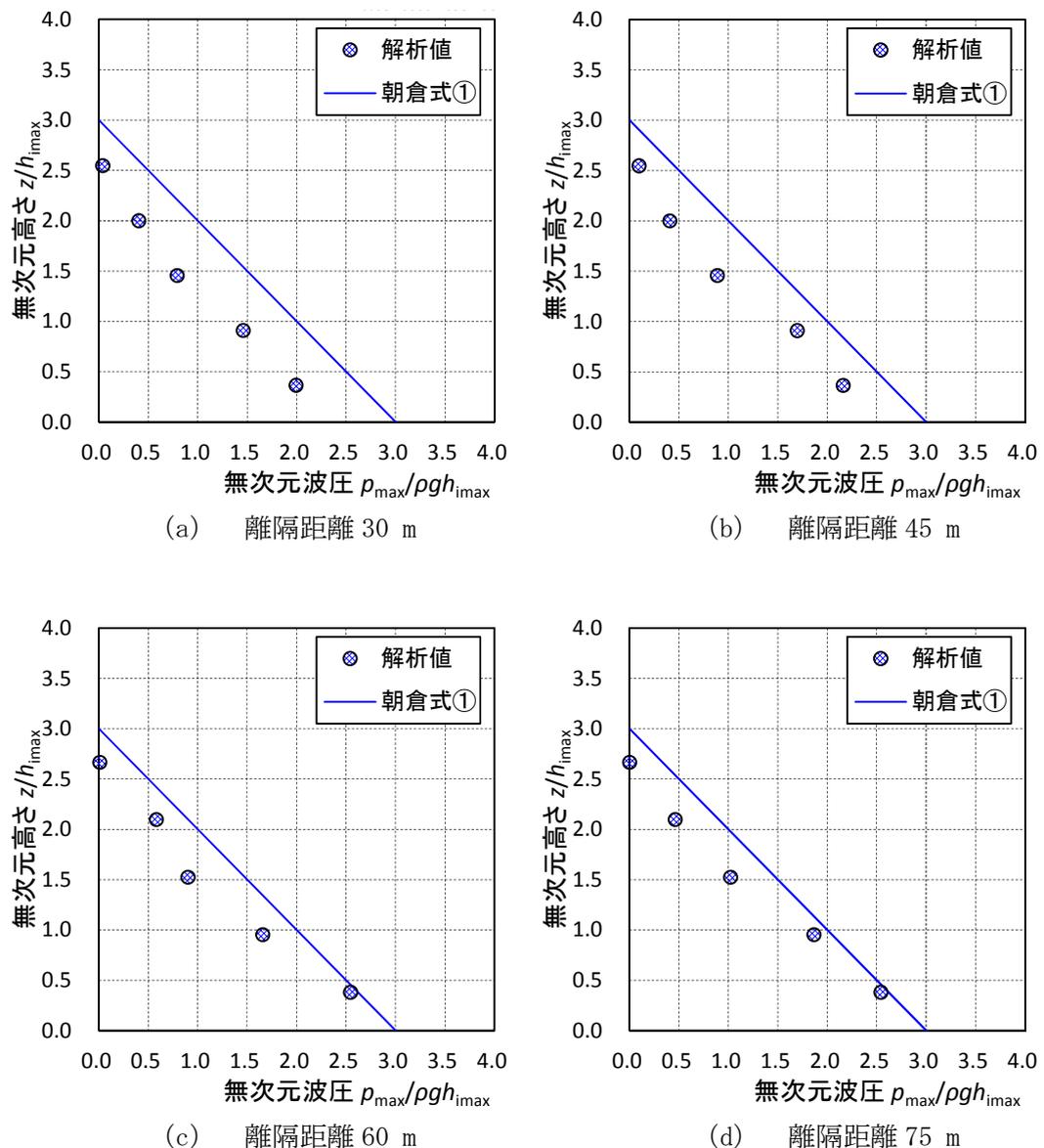


図 2-10 防潮堤壁面における最大波圧分布図

c. 津波遡上高さが異なる津波が防潮堤に与える影響について

基準津波の決定にあたっては、津波シミュレーション解析において、断層の破壊開始点位置や破壊伝播速度等をパラメータスタディした中で、防潮堤位置での津波遡上高さが最も高くなる波を抽出している。ここでは、防潮堤位置での津波遡上高さが大きい沖合 5 km 地点における上位 10 波の沖合波形を用いて、防潮堤壁面の津波波圧を確認した。

防潮堤位置における遡上高さ上位 10 波の特性を表 2-3 に、水位上昇時間の定義図を図 2-11 に、破壊開始点位置図を図 2-12 に示す。

表 2-3 防潮堤位置の遡上高さ上位 10 波の特性

ケース*1	津波遡上高さ (T.P. (m))	水位上昇時間 [min]	周期 [min]	破壊伝播速度*2 [km/s]	破壊 開始点	立ち上り時間*3 [s]
1	17.2	1.5	6.0	3.0	⑥	30.0
2	17.0	1.5	6.0	2.5	⑥	30.0
3	16.8	1.5	6.0	3.0	⑥	60.0
4	16.2	1.7	6.8	2.0	⑥	30.0
5	16.1	1.5	6.0	3.0	④	30.0
6	15.9	1.7	6.8	3.0	③	30.0
7	15.8	1.7	6.8	3.0	⑤	30.0
8	15.6	1.7	6.8	2.5	④	30.0
9	15.5	1.8	7.2	1.5	⑥	30.0
10	15.5	1.7	6.8	3.0	①	30.0

注記 \*1: 「津波波源選定モデル」の数値計算におけるケース名である。

\*2: 破壊開始点から断層破壊が進行する速度である。

\*3: 断層のある点において破壊開始から終了するまでの時間である。

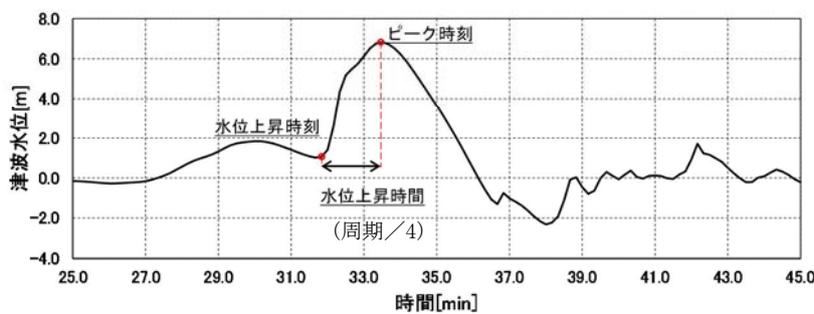


図 2-11 水位上昇時間の定義図

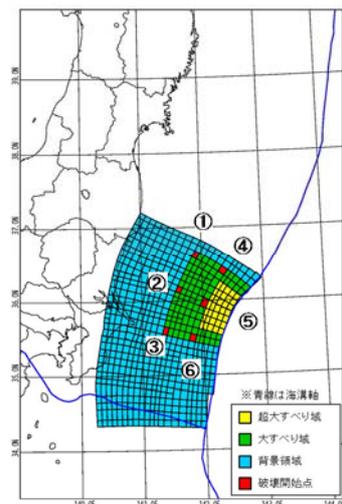


図 2-12 破壊開始点位置図

断面 2 次元津波シミュレーション解析による最大波圧分布図を図 2-13 に示す。最大津波遡上高さであるケース 1 の基準津波時を含め、いずれのケースにおいても、朝倉式①による波圧分布を下回るとともに、波圧分布は朝倉式①と整合する結果となった。

また、横軸を海底勾配、縦軸を波形勾配としたソリトン分裂の発生条件の結果整理図を図 2-14 に示す。縦軸の波形勾配は、波高の波長に対する比であり、波形勾配を D と表記すると、次式\*で表される。

$$D = \frac{H}{L} \quad (-) \quad (1)$$

$$T = \frac{L}{c} \quad (s) \quad (2)$$

$$c = \sqrt{g h} \quad (m) \quad (3)$$

注記 \* : 「水理公式集 (平成 11 年版), 土木学会」より

ここで,

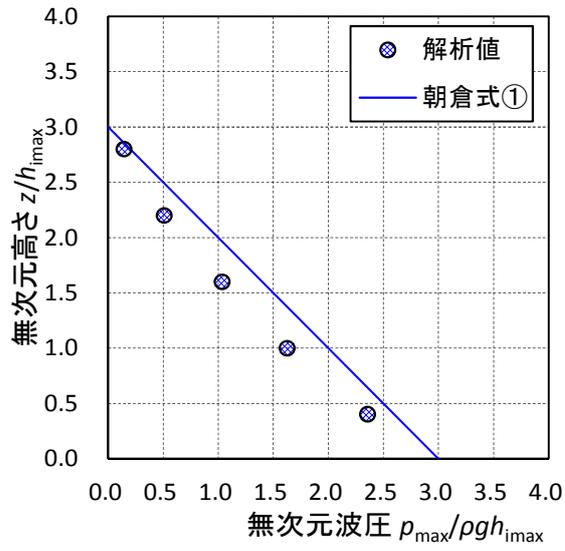
H (m) : 波高, L (m) : 波長, g (m/s<sup>2</sup>) : 重力加速度, h (m) : 水深, T (s) : 周期である。

したがって, 式 (1) ~ (3) より,

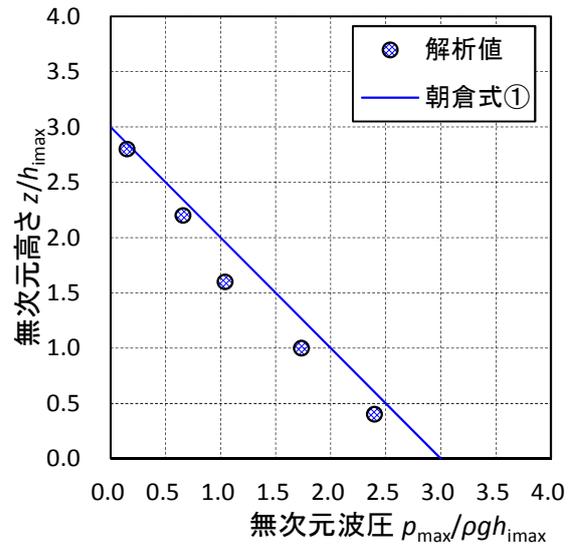
$$D = \frac{H}{\sqrt{g h \cdot T}} \quad (-)$$

と, 波形勾配は表されることから, 図 2-14 から波高を一定としたとき, 周期が短いほど波形勾配は大きくなりソリトン分裂波は発生しやすいことが分かる。

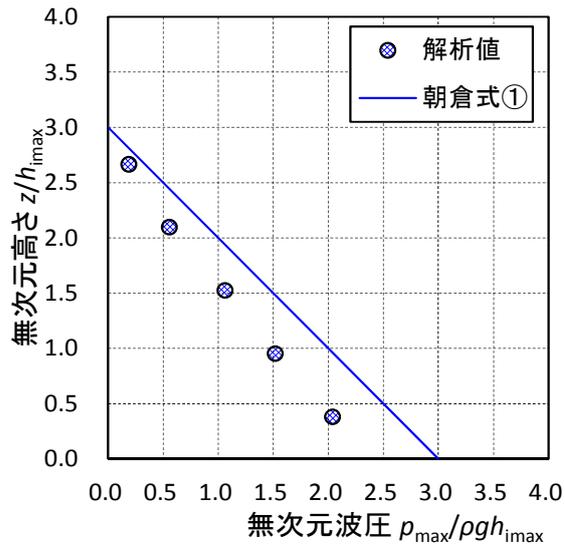
以上のことから, 防潮堤位置の遡上高さ上位 10 波において, 最大津波遡上高さを与え, かつソリトン分裂波が発生しやすい短周期であるケース 1 (基準津波) を平面 2 次元津波シミュレーション解析, 水理模型実験及び断面 2 次元津波シミュレーション解析に用いて, 防潮堤に対する津波波圧の評価を行うことは, 適切であることを確認した。



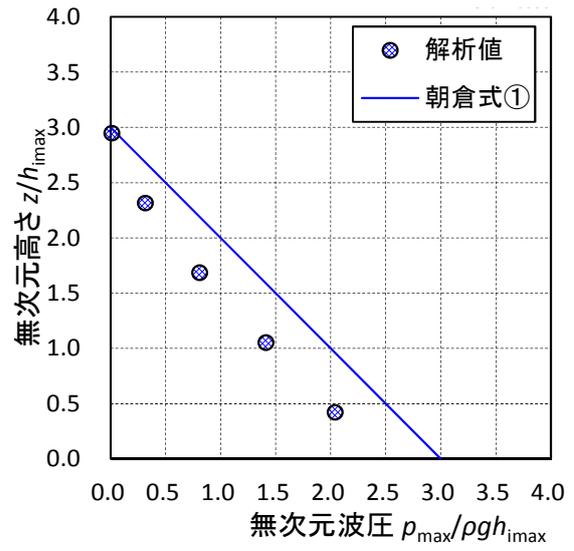
(a) ケース 1



(b) ケース 2

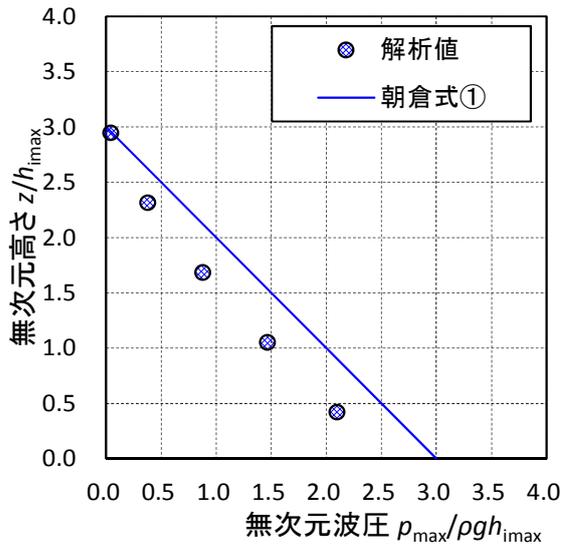


(c) ケース 3

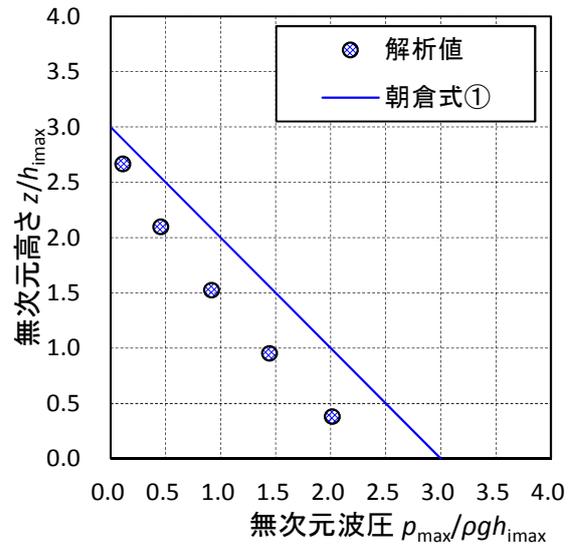


(d) ケース 4

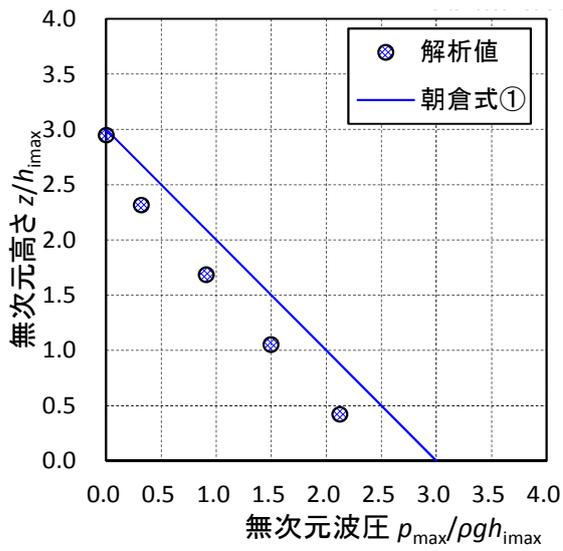
図 2-13 (1) 最大波圧分布図



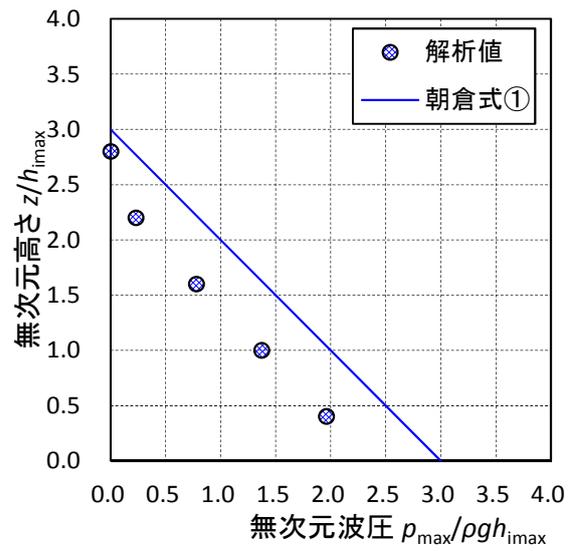
(e) ケース 5



(f) ケース 6

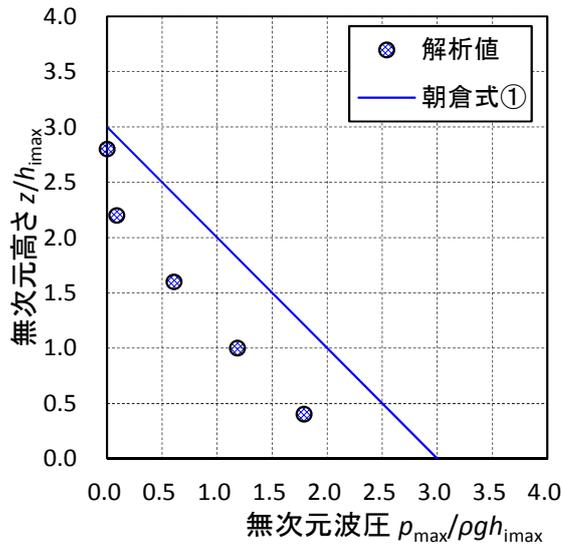


(g) ケース 7

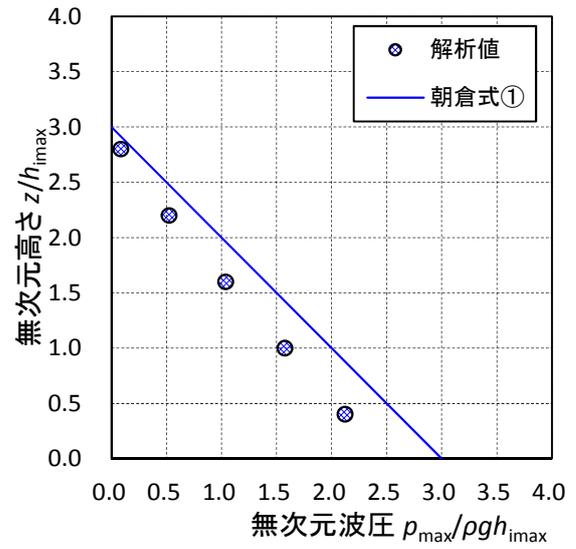


(h) ケース 8

図 2-13 (2) 最大波圧分布図

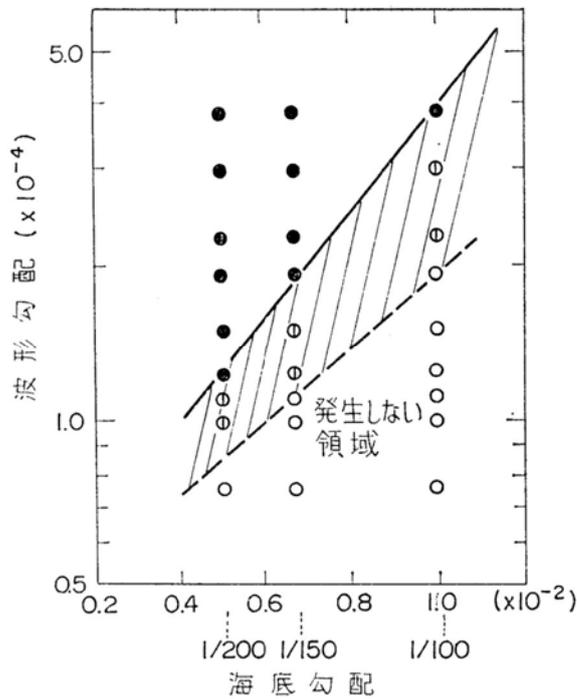


(i) ケース 9



(j) ケース 10

図 2-13 (3) 最大波圧分布図



凡例

- : 明瞭にソリトン分裂が発生したケース
- ⊙ : 段波先端で波の分裂が起き始めているケース
- : ソリトン分裂が発生しなかったケース

「久保田ら：断面一次元数値解析手法によるソリトン分裂の発生条件の検討，海岸工学講演会論文集，33 巻（1986），土木学会」より

図 2-14 ソリトン分裂の発生条件の結果整理図

(4) 適用算定式

水理模型実験結果から、東海第二発電所の敷地前面においては、津波はソリトン分裂波を生じるものの、陸上に遡上する過程で分裂波が減衰することを確認した。また、伝播する津波による防潮堤壁面の津波波圧は、持続波による津波波圧式（朝倉式①，朝倉式②）から求められる津波波圧よりも小さく、朝倉式①での再現性が最もよいことを確認した。また、フルード数は1.0を下回ることを確認した。ソリトン分裂波及び砕波の防潮堤に対する波圧分布への有意な影響はなく、単直線型の朝倉式①に包含されることを確認した。

断面2次元津波シミュレーション解析を用いた水理模型実験の結果検証においても、津波はソリトン分裂波を生じるものの、陸上に遡上する過程で分裂波が減衰することを確認した。防潮堤壁面における津波波圧は、朝倉式①による波圧分布を下回るとともに、朝倉式①と整合する結果となった。ソリトン分裂波及び砕波の防潮堤に対する波圧分布への有意な影響はなく、単直線型の朝倉式①に包含されることを確認した。防潮堤と海岸線との離隔距離を変えたケースにおいても同様に、防潮堤壁面の津波波圧は朝倉式①による波圧分布を下回るとともに、分布形は朝倉式①と整合する結果となった。

これら水理模型実験結果及び分散波理論に基づく断面2次元津波シミュレーション解析結果のいずれにおいても、防潮堤壁面での最大波圧は朝倉式①による波圧を下回るとともに、分布形は朝倉式①と整合し、ソリトン分裂波及び砕波の防潮堤に対する波圧分布への有意な影響はなく、単直線型の朝倉式①に包含されることを確認した。防潮堤壁面における最大波圧分布を図2-15に示す。

以上のことから、陸上構造物に対する設計用津波波圧の算定においては、朝倉式①により算定することとする。

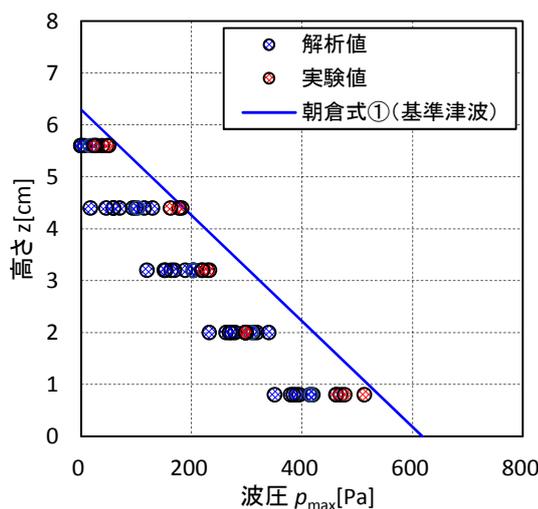


図 2-15 防潮堤壁面における最大波圧分布

(5)  $\eta$  (設計浸水深) の検討

a. 防潮堤東側に関する検討

津波荷重の作用イメージ図を図 2-16 及び図 2-17 に、検討ポイントを図 2-18 に示す。朝倉式①に用いる  $\eta$  (設計浸水深) について、各構造物前面における最大津波水位標高と地盤標高の差分の  $1/2$  倍した値と、平面 2 次元津波シミュレーション解析で得られた浸水深とを比較した。なお、図 2-18 で示される T.P. +3.0 m ラインから内陸側は T.P. +3.0 m よりも地盤標高が高い。すなわち、敷地内陸部に向かうに従い、地盤標高が高くなっていくことから、平面 2 次元津波シミュレーション解析の地盤フラットモデルの標高 (T.P. +3.0 m) と乖離が生じるため、両者の浸水深に関する比較を行うことは妥当ではない。

したがって、両者の浸水深を適切に比較できるよう、地盤フラットモデルの標高 (T.P. +3.0 m) と実際の地盤標高がおおむね同様であり、津波波圧の影響が大きい防潮堤東側前面において最大津波遡上高さを示す範囲を含む領域に着目して検討を行う。設計浸水深の比較を表 2-4 に、最大波圧分布の比較を図 2-19 に示す。ただし、図 2-19 に示される最大波圧分布は、同時刻で発生したものではない。

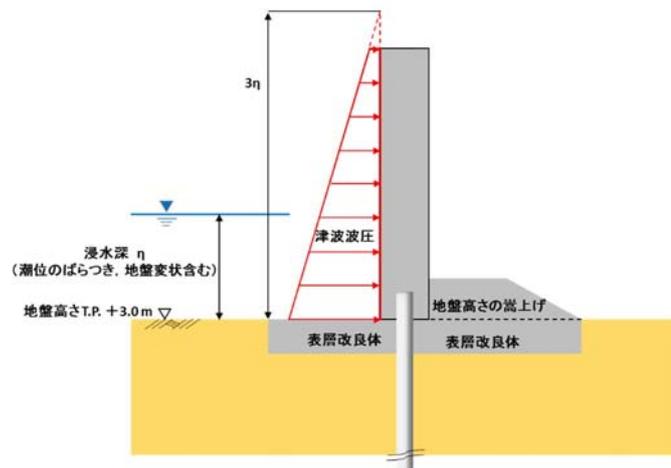


図 2-16 津波荷重の作用イメージ図

( $\eta$  (設計浸水深) を平面 2 次元津波シミュレーション解析結果とした場合)

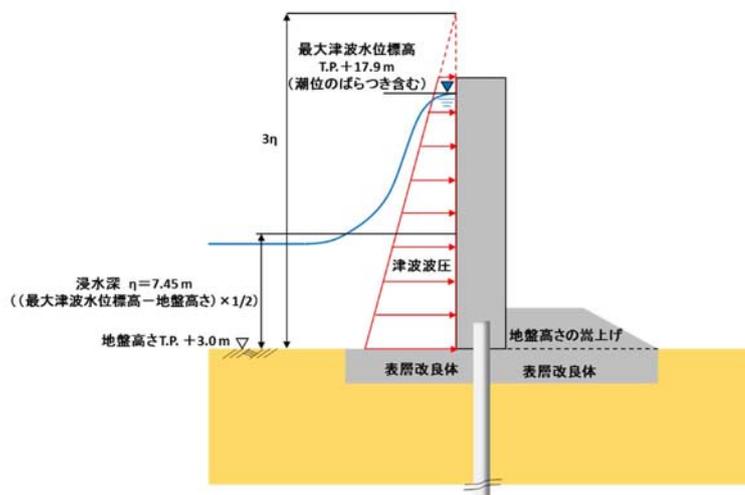


図 2-17 津波荷重の作用イメージ図

( $\eta$  (設計浸水深) を各構造物前面における最大津波水位標高と地盤標高の差分の  $1/2$  倍とした場合)

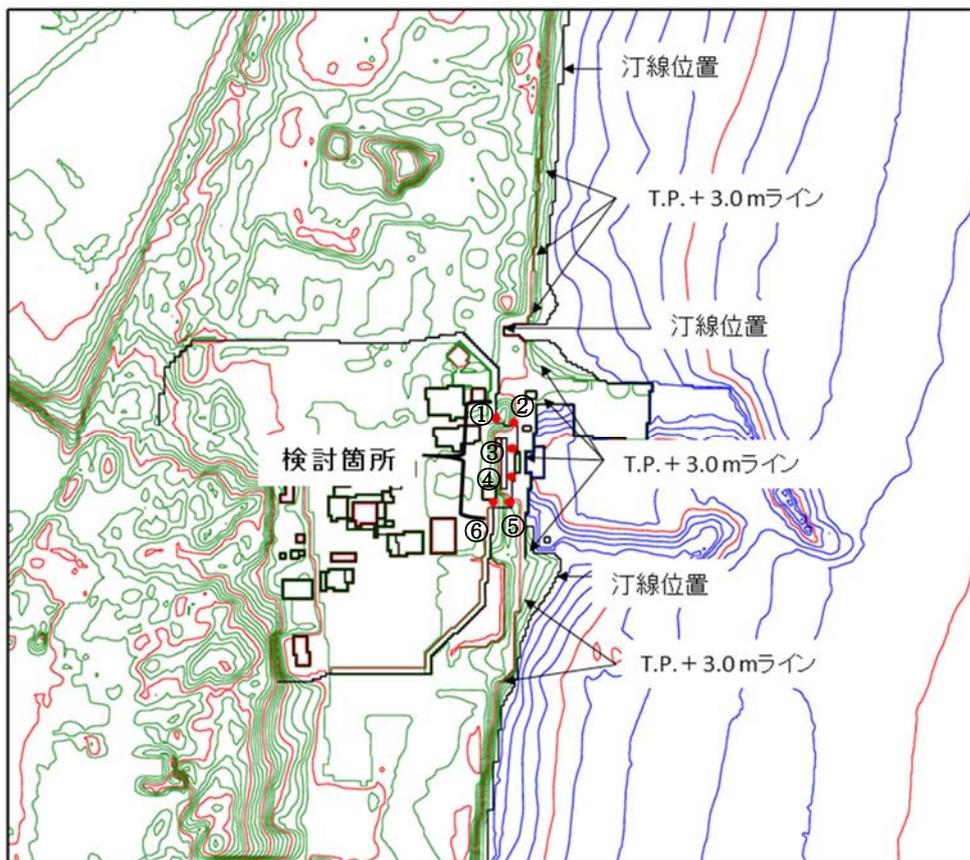


図 2-18 検討ポイント

表 2-4 設計浸水深の比較

番号	平面 2 次元津波シミュレーション解析で得られた浸水深 (m)		津波の最大遡上高さ と地盤高さの差の 1/2 倍 (m)
①	6.89	<	7.45
②	6.71	<	
③	6.35	<	
④	6.74	<	
⑤	6.96	<	
⑥	6.87	<	

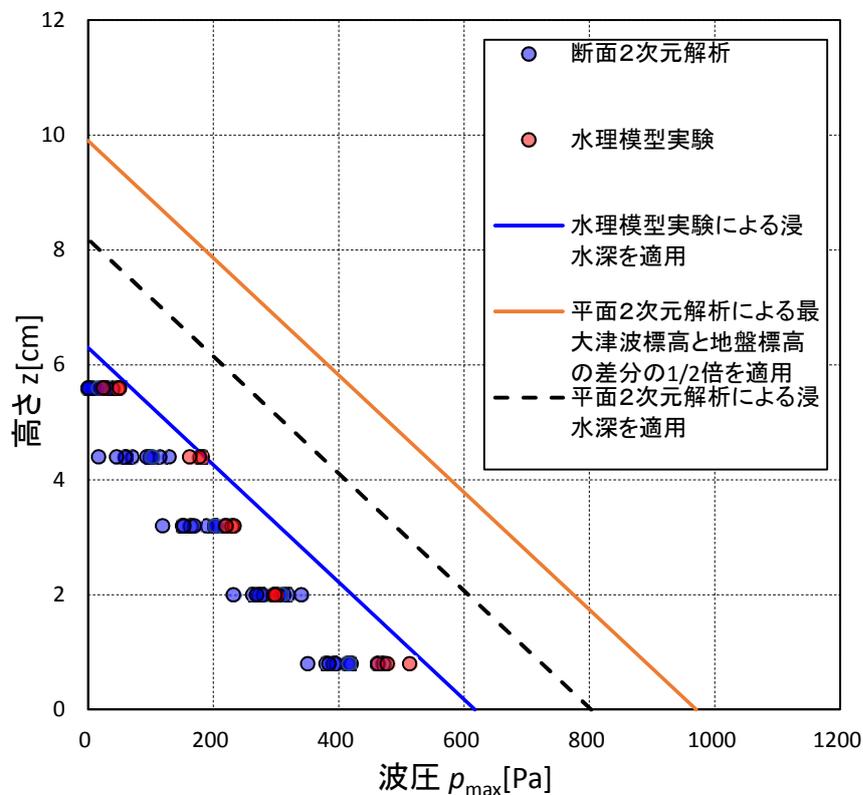


図 2-19 最大波圧分布の比較

地盤のフラットモデル標高 (T.P. +3.0 m) と実際の地盤標高がおおむね同様であり、津波波圧の影響が大きい防潮堤東側前面において最大津波遡上高さ示す範囲を含む領域に着目して検討を行った結果、各構造物前面における最大津波水位標高と地盤標高の差分の1/2倍として求めた浸水深は、平面2次元津波シミュレーション解析で得られた浸水深に比べて大きな値となることが確認されたことから、朝倉式①で求まる津波波圧についても同様のことが言える。

また、図 2-19 から、各構造物前面における最大津波水位標高と地盤標高の差分の1/2倍を浸水深として求めた最大波圧分布は、平面2次元津波シミュレーション解析から得られた浸水深及び水理模型実験により確認した浸水深から求めた最大波圧分布よりも保守的であることが確認できる。

b. 防潮堤北側及び南側に関する検討

(a) 流れ方向

各時刻における津波の流れ方向を図 2-20 に示す。なお、各時刻は、津波の原因となる地震発生後の経過時間である。この図から、防潮堤東側では、津波の進行波は防潮堤直角方向に卓越するのに対し、防潮堤北側及び南側では、防潮堤に沿う方向に卓越することが分かる。

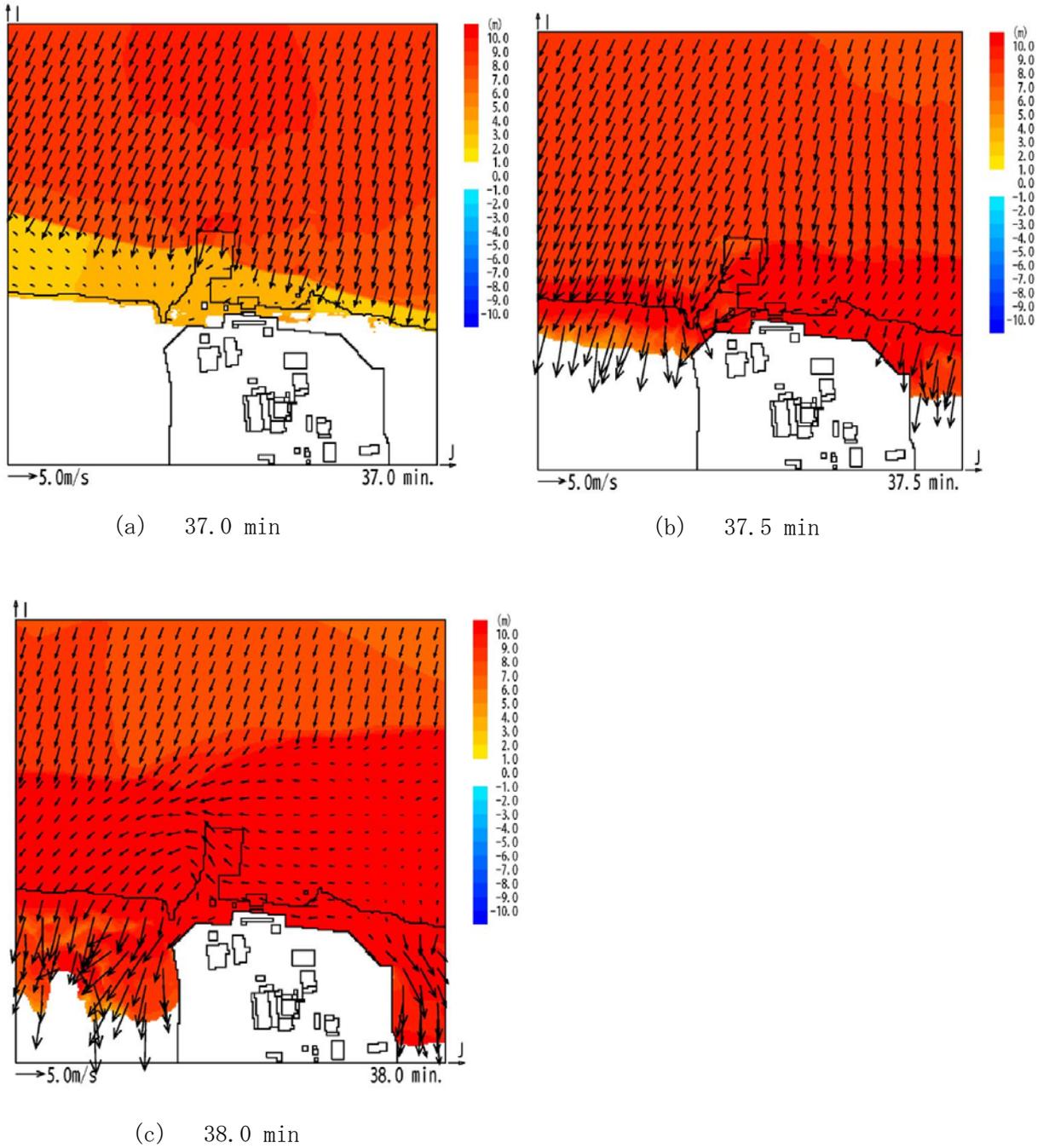


図 2-20 津波の流れ方向

(b) 津波に伴う圧力

図 2-20 より、防潮堤北側及び南側においては、津波の流れ方向は、防潮堤に沿う方向に卓越していることから、これらの領域で作用する津波に伴う圧力は、朝倉式①で算定される津波波圧ではなく、静水圧に近くなるものと考えられる。したがって、防潮堤北側及び南側については、各構造物前面における最大津波水位標高と各構造物設置地盤標高の差分の  $1/2$  倍を  $\eta$  (設計浸水深) として朝倉式①から算出される最大津波波圧と最大静水圧を比較することによって、前者の保守性を確認する。

陸上構造物位置図を図 2-21 に、陸上構造物の基準津波に対する最大津波波圧算定結果を表 2-5 に、最大遡上津波高さに対する静水圧算定結果及び防潮堤天端まで津波水位が達したと仮定して求めた静水圧算定結果 (参考) を表 2-6 に示す。

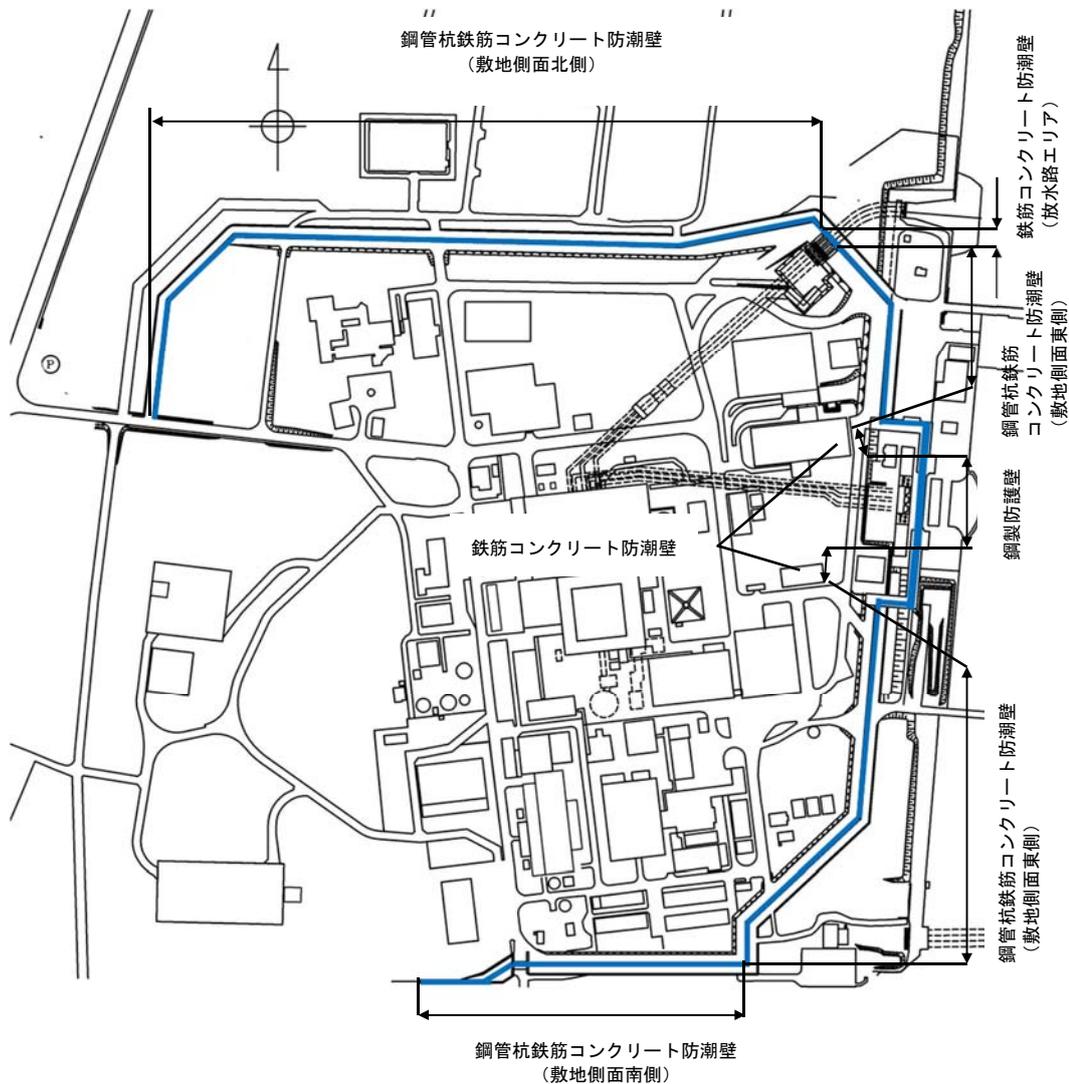


図 2-21 陸上構造物位置図

表 2-5 陸上構造物の基準津波に対する津波波圧算定結果

構造物名		入力津波高さ (T.P. (m))	地盤標高 (T.P. (m))	設計浸水深 $\eta$ (m)	最大津波波圧*1 $p_{1max}$ (kN/m <sup>2</sup> )
防潮堤 (鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	敷地側面南側	16.8	8.0	4.40	133.3
	敷地側面北側	15.4	8.0	3.70	112.1

表 2-6 陸上構造物の最大津波遡上高さに対する静水圧算定結果

及び津波水位が防潮堤天端と仮定した場合の静水圧算定結果 (参考)

構造物名		入力津波高さ (T.P. (m))	地盤標高 (T.P. (m))	最大浸水深 h (m)	最大静水圧*2 $p_{2max}$ (kN/m <sup>2</sup> )	最大静水圧 (津波水位が防潮堤天端と仮定) $p_{3max}$ (kN/m <sup>2</sup> )
防潮堤 (鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	敷地側面南側	16.8	8.0	8.8	88.9	101.0
	敷地側面北側	15.4	8.0	7.4	74.7	101.0

注記 \*1 : 津波波圧算定式は次式により算出する。

$$p_{1max} = \alpha \cdot \rho \cdot g \cdot \eta \quad (\text{kN/m}^2)$$

ここに,

$\alpha$  : 水深係数 ( $\alpha = 3$ )

$\rho$  : 海水密度 ( $\rho = 1.03 \text{ t/m}^3$ )

$g$  : 重力加速度 ( $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$ )

である。

注記 \*2 : 最大静水圧は次式により算出する。

$$p_{2max} = \rho \cdot g \cdot h \quad (\text{kN/m}^2)$$

ここに,

$\rho$  : 海水密度 ( $\rho = 1.03 \text{ t/m}^3$ )

$g$  : 重力加速度 ( $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$ )

である。

表 2-5 及び表 2-6 より、各構造物に対して、各構造物前面における最大津波水位標高と各構造物設置地盤標高の差分の  $1/2$  倍を  $\eta$ （設計浸水深）として朝倉式①から算出される最大津波波圧は、最大津波遡上高さから求められる最大静水圧及び津波水位が防潮堤天端まで達したと仮定し、参考として求めた最大静水圧よりも十分に大きいことを確認した。

したがって、防潮堤北側及び南側についても、各構造物前面における最大津波水位標高と各構造物設置地盤標高の差分の  $1/2$  倍を  $\eta$ （設計浸水深）として算定する朝倉式①を適用することによって、保守的に津波波圧を評価することができる。

#### (7) まとめ

陸上構造物に対する津波波圧算定式の適用に関する検討を行った。その結果、陸上構造物に対する津波波圧は、各構造物前面における最大津波水位標高と各構造物設置地盤標高の差分の  $1/2$  倍を  $\eta$ （設計浸水深）として朝倉式①により算定することによって、保守的な津波波圧算定の設定となることが確認された。

したがって、陸上構造物に対する津波波圧は、各構造物前面における最大津波水位標高と各構造物設置地盤標高の差分の  $1/2$  倍を  $\eta$ （設計浸水深）として、朝倉式①により算定する。

### 5.4.3 海中構造物に対する津波波圧算定式の適用に関する検討

#### (1) 貯留堰

津波又は溢水への配慮が必要な施設のうち海中構造物として、貯留堰が挙げられる。貯留堰の鳥瞰図を図3-1に、断面図を図3-2に示す。

貯留堰は、鋼管矢板を連結した構造であり、引き波時に海底面から突出した鋼管矢板頂部 (T.P. -4.9 m) において海水を貯留する。

このため、貯留堰に有意な津波波力が作用するのは、引き波により海水貯留堰が海面から露出し、その後、押し波が貯留堰に作用してから越流するまでの間に限定される。

「防波堤の耐津波設計ガイドライン (国土交通省港湾局)」(平成27年12月一部改訂)によると、津波が構造物を越流する場合の津波荷重の算定については、若干越流している状態に静水圧差による算定式を適用する場合は、それより水位の低い越流直前の状態の方が高い波力となる可能性があるため、両者を比較して適切に設定する。

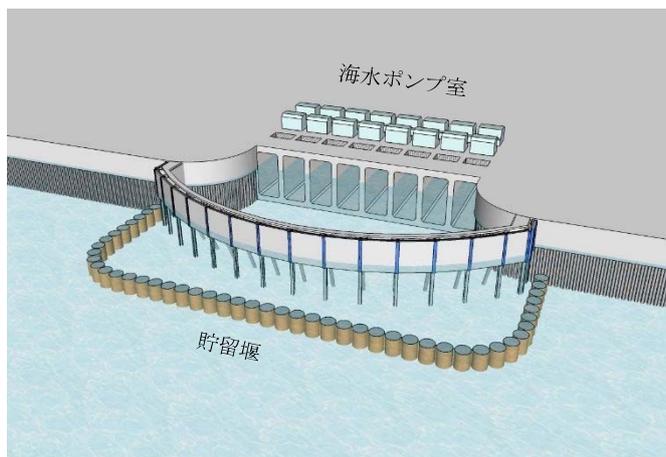


図3-1 貯留堰鳥瞰図

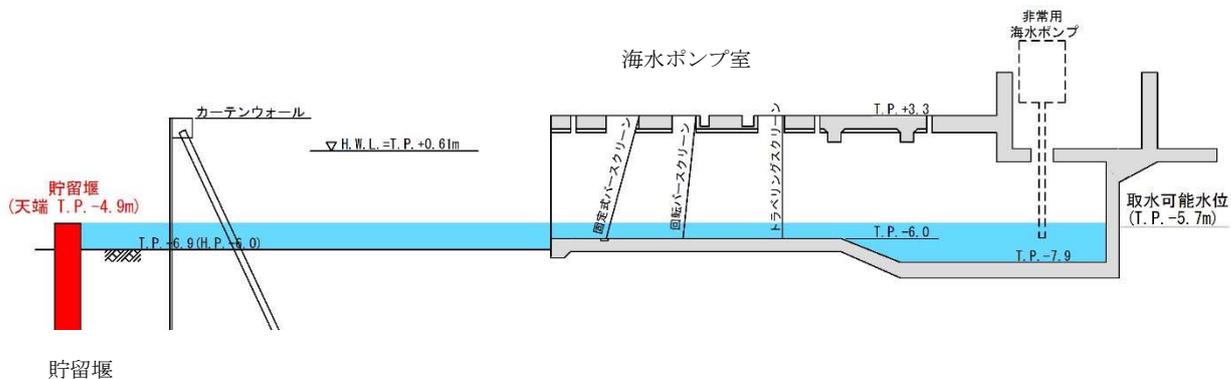


図3-2 貯留堰断面図

## (2) 津波波圧算定式の検討

### a. 越流直前の津波波圧の設定方針

貯留堰周りにおける引き波水位の時刻歴図を図3-3に示す。

貯留堰前面の水位は若干残るものの保守的に海底面が露出したと仮定し、その後の押し波を遡上波と考え津波波圧を設定する。

具体的には、津波高さは貯留堰に作用する津波波圧が保守的になるように貯留堰前面の海底面（設計用海底面標高 T.P. -7.39 m）まで水位が低下した後に到達する津波を考慮することとし、貯留堰に津波が越流する直前の状態として貯留堰天端（T.P. -4.9 m）までを想定する。

津波波圧は、「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」の考え方に従って、津波高さの3倍の高さまで静水压荷重を考慮する。津波波圧の作用イメージ図を図3-4に示す。

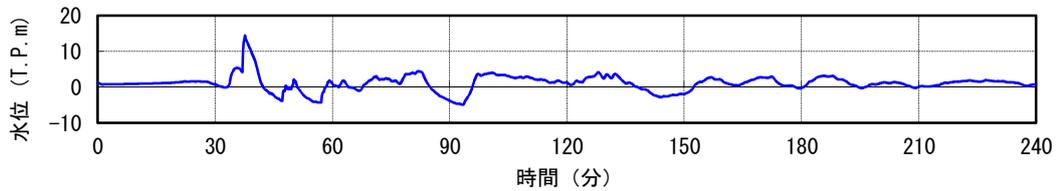


図3-3 貯留堰周りにおける引き波水位の時刻歴図

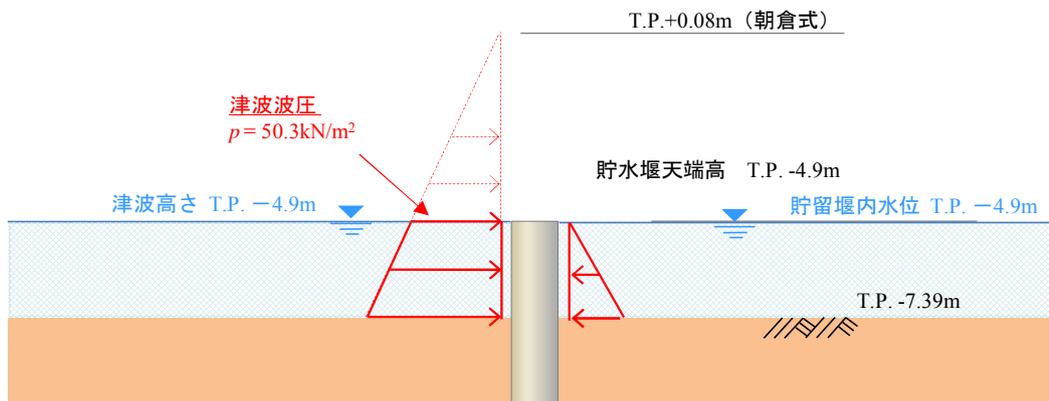


図3-4 津波波圧の作用イメージ図

b. 越流時の津波波圧の設定方針

引き波後に到達する津波が貯留堰を越流する際、貯留堰の内外での水位差はつきにくい  
が、保守的に引き波水位とその後の押し波水位の差が最も大きくなるものを選定し、津波  
波圧を算定した。

津波高さとしては貯留堰天端からの越流を考慮して、「防波堤の耐津波設計ガイドライン  
(国土交通省港湾局)」(平成 27 年 12 月一部改訂)による静水圧差による算定式を参考に  
設定する。

貯留堰の内外の水位差が最大となる時刻歴水位波形図を図 3-5 に、津波波圧の作用イメ  
ージ図を図 3-6 に示す。

設計に用いる津波高さは、貯留堰天端高以下となった後の最大水位差となる時刻の水位  
標高 (T.P. +3.7 m) に潮位のばらつき (+0.18 m) を考慮し、T.P. +3.9 m とする。

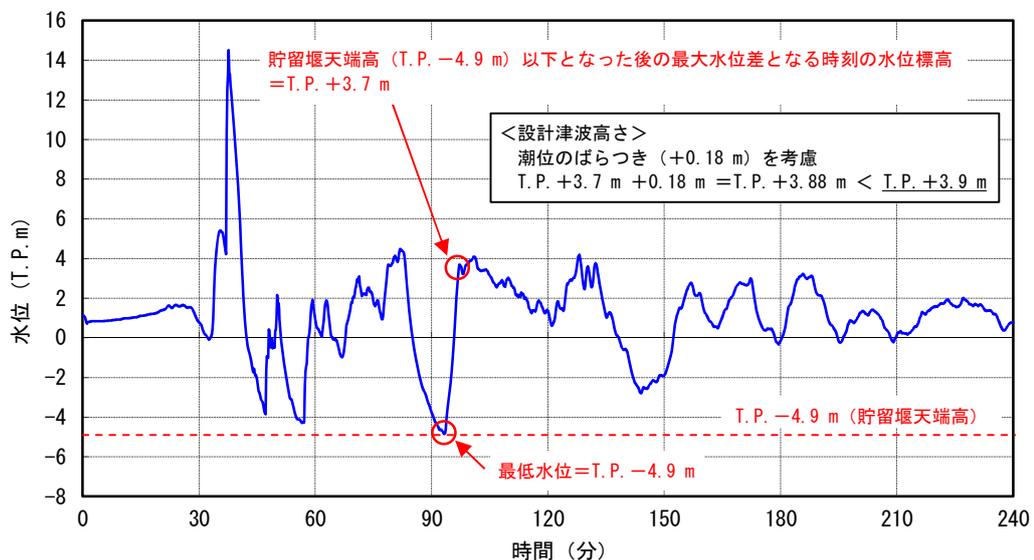


図 3-5 貯留堰の内外の水位差が最大となる時刻を含む時刻歴水位波形図

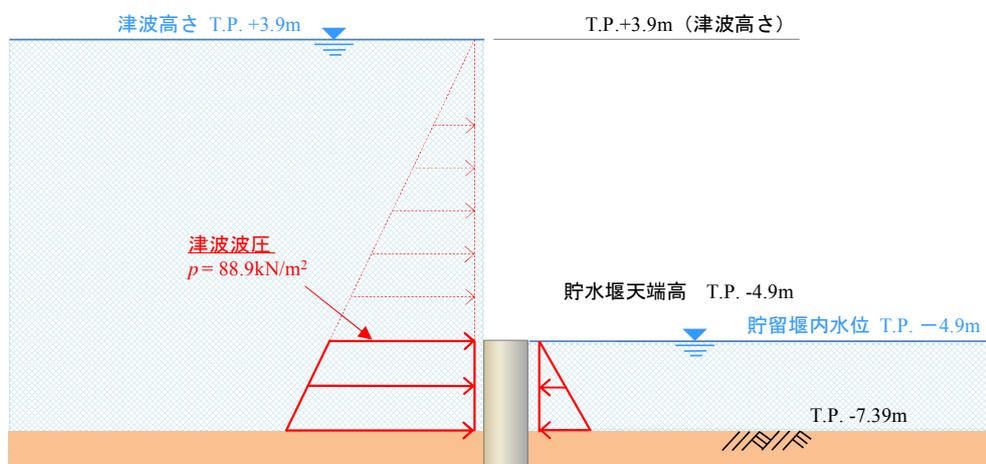


図 3-6 津波波圧の作用イメージ図

(3) まとめ

海中構造物である貯留堰における津波波圧について、越流直前の波力及び越流時の静水圧差について検討した。この結果、越流時の静水圧差の方が越流直前の津波波圧を上回る結果となった。このため、貯留堰における津波波圧として、保守的に越流時の静水圧差を考慮することとする。

## 5.14.2 鋼製防護壁シール材について

### 5.14.2.1 概要及び評価方針

#### (1) 概要

鋼製防護壁は鋼殻ブロックを積み重ねて連結する構造である。鋼殻ブロック同士は添接板を高力ボルトで締め付けて固定するため、地震時及び津波時に鋼殻ブロック同士の相対変位は生じない設計である。

また、鋼殻ブロック継目部の添接板と添接板の間にはシール材を設置することにより、有意な漏えいを生じない性能を保持する設計である。これを踏まえ、継目部のシール材を評価対象とし、津波時の波圧に対して有意な漏えいを生じないことを性能確認試験により確認する。長期的な耐久性に関しては、シール材の耐候性試験（熱老化試験，乾湿繰り返し試験）により、50年相当の健全性を確認した。鋼殻ブロック概要図を図5.14.2.1-1に、鋼殻ブロック継目部拡大図を図5.14.2.1-2に示す。

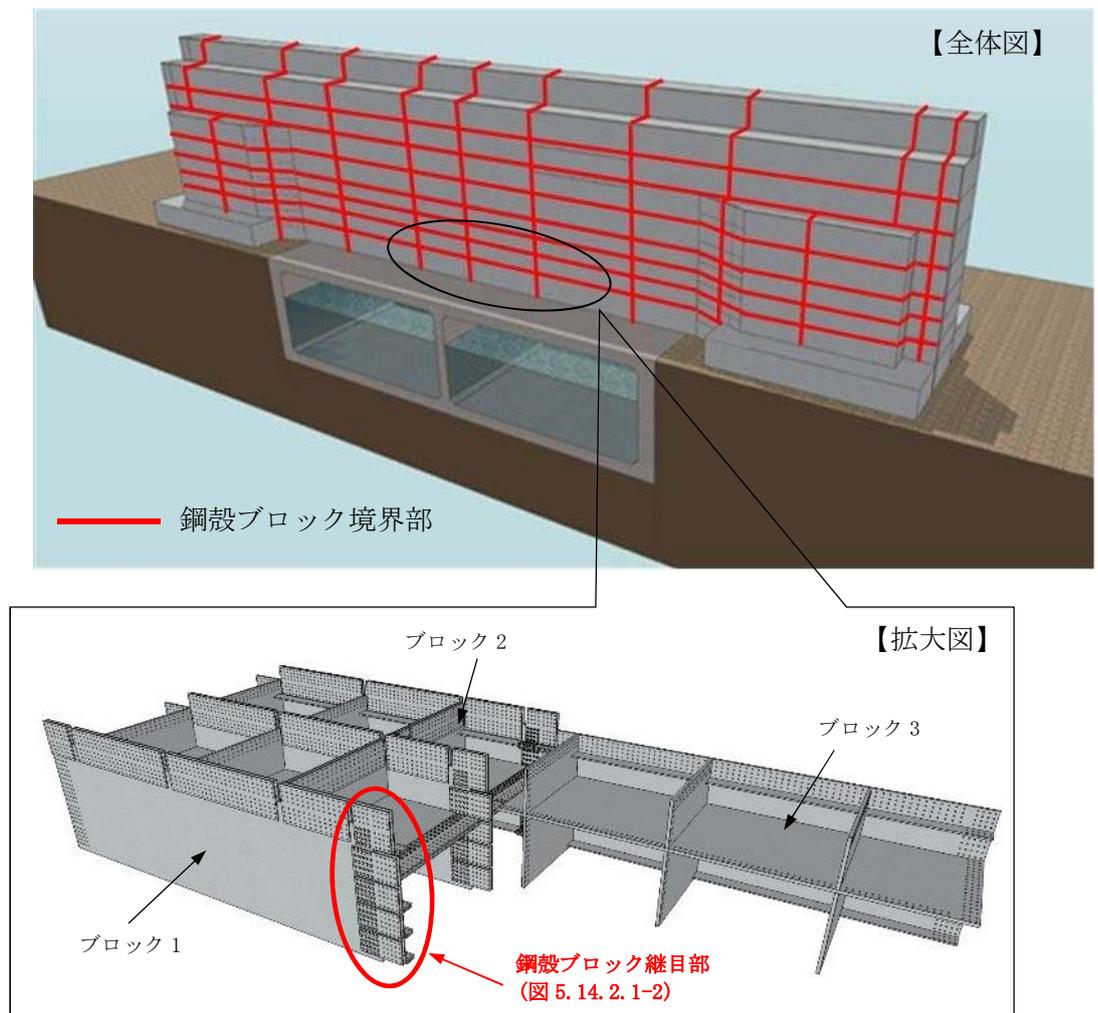


図 5.14.2.1-1 鋼殻ブロック概要図

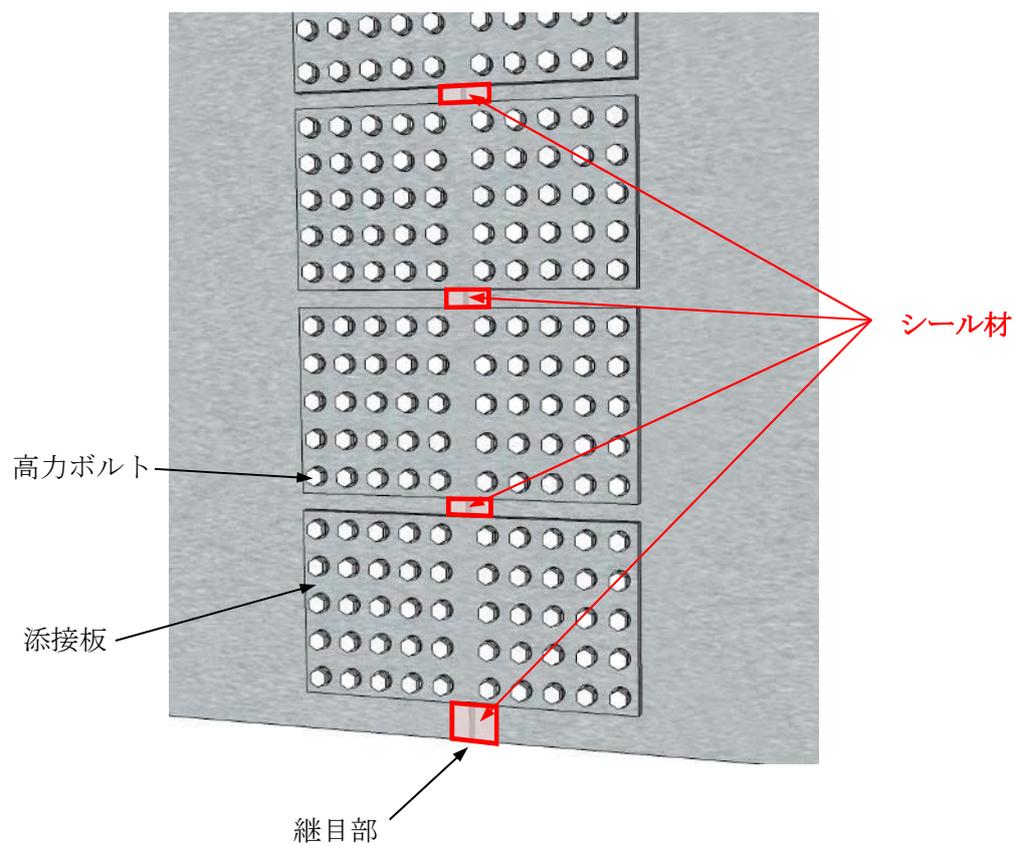


図 5.14.2.1-2 鋼殻ブロック継目部拡大図

(2) 評価方針

シール材の評価方針として、シール材を設置した継目部から津波時の波圧に対して有意な漏えいが生じないことを確認する。評価フローを図 5.14.2.1-3 に示す。

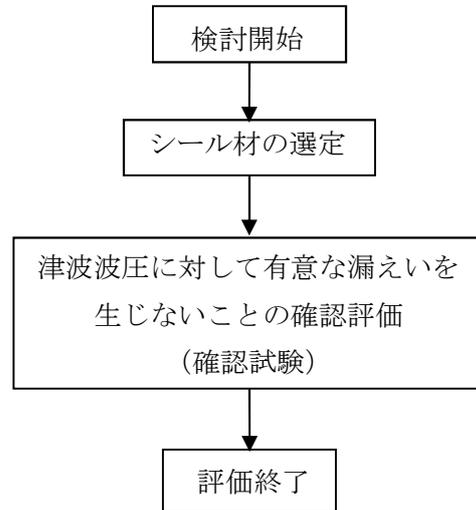


図 5.14.2.1-3 シール材の評価フロー

(3) シール材の選定

シール材の材料選定については、所定の水压に対して有意な漏えいを生じない性能を保持できる条件に合った材料を選定した。シール材の選定については、表 5.14.2.1-1 に示すシール材を候補に選び、その中から有意な漏えいを生じない性能以外の要求性能として耐候性及び施工性の観点から  を選定した。

表 5.14.2.1-1 シール材の選定

シール材名称	主成分	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	耐候性	施工性	選定 結果
<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 20px;"></span>	2液性特殊変性 シリコーン エポキシ樹脂	2.45	50年	シール材設置前の養生が容易	○
<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 20px;"></span>	1成分脱オキシム型 シリコーン シーリング材	0.91	不明	シール材設置前の養生が容易	—
<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 20px;"></span>	2液性 ポリウレタン樹脂	13.2	10 ～ 15年	吹付け設置のため材料が飛散する	—

(4) 検討方針

シール材の機能要求は、津波時の波圧に対して有意な漏えいを生じないこと、長期的な耐久性に関して耐候性を有することである。これらの機能要求を踏まえ、耐圧試験、耐候性試験（メーカーにより行われた試験データに基づく評価）を行う。機能要求を表 5.14.2.1-2 に、試験項目を表 5.14.2.1-3 に示す。

表 5.14.2.1-2 シール材の機能要求

評価項目	要求性能
止水性	津波時の波圧に対して有意な漏えいを生じないこと
耐候性	長期的な使用のための耐久性に関して耐候性を有すること

表 5.14.2.1-3 試験項目

評価項目	試験項目
止水性	耐圧試験
耐候性	耐候性試験

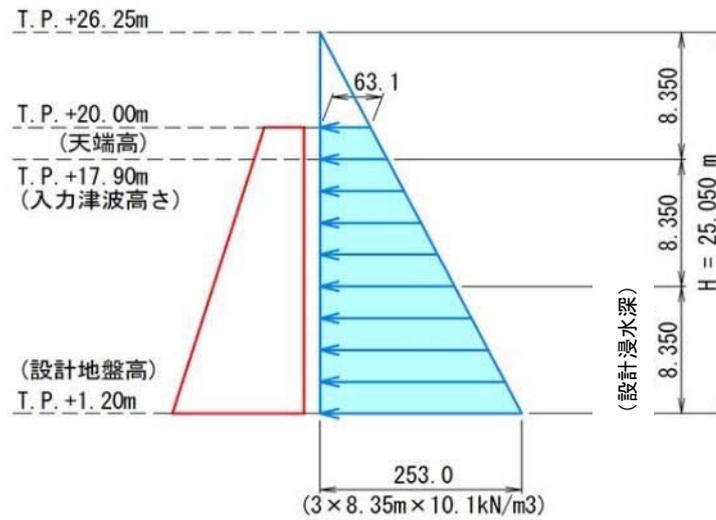
a. 試験条件の設定

(a) 津波波圧に応じた試験水圧と必要耐圧保持時間

津波波圧は、防潮堤前面における最大津波水位標高と防潮堤施工地盤標高の差分の 3/2 倍を考慮して算定する。

イ. 基準津波時

図 5.14.2.1-4 に示すとおり、基準津波波圧は 0.25 MPa であることから、試験水圧は基準津波波圧に保守性を持たせて 0.35 MPa とする。必要耐圧保持時間は津波の作用時間を考慮して 10 分以上とする。



津波の最大遡上高さ : T.P. +17.9 m

設置地盤高さ : T.P. +1.2 m

$$(17.9 - 1.2) \times 1/2 \times 3 \times 1.03 \times 9.80665 = 0.25 \text{ MPa}$$

図 5.14.2.1-4 基準津波時の最大波圧

ロ. T.P. +24.0 m 津波時

T.P. +24.0 m 津波時の波圧は 0.43 MPa であることから、試験水圧は T.P. +24.0 m 津波波圧に保守性を持たせて 0.5 MPa とする。必要耐圧保持時間は津波の作用時間を考慮して 10 分以上とする。

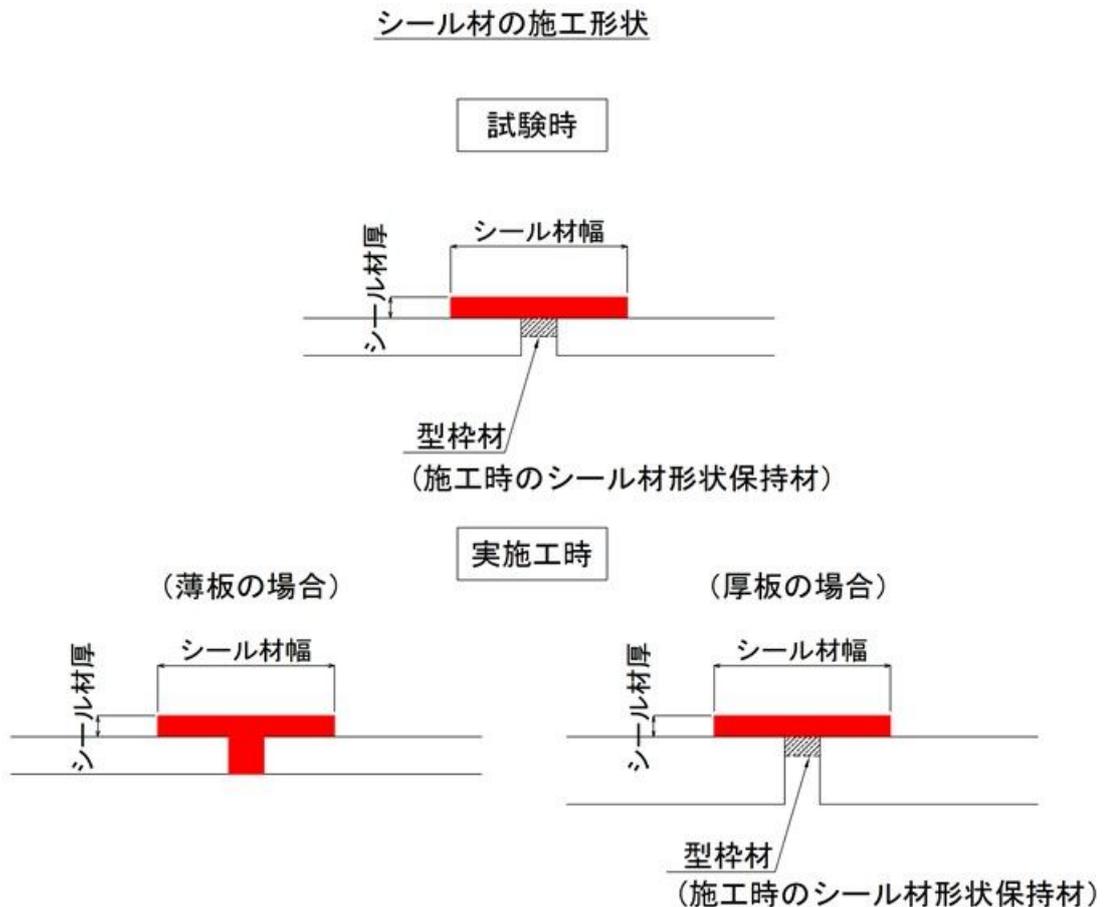
(b) シール材の厚さの設定

イ. 継目幅の設定と継目部のシール設置方法

継目幅の設計値は 10 mm である。施工管理上継目幅の管理許容値を  $\pm 5$  mm としているため、許容値の上限である 15 mm を試験時の継目幅として設定する。

シール材は、被着体との接着性を高めるため、プライマーを塗布した後、被着体に設置する。

連結する鋼製防護壁の板厚は 12 mm から 65 mm と様々である。現場における施工を模擬した施工概要は図 5.14.2.1-5 に示す 2 通りになる。本試験は最も厳しい条件となる板厚の場合において試験を実施する。最も厳しい条件とはシール材の形状を保持するために継目間に型枠材を設置し、継目間にプライマーを塗布しない状況となる。図 5.14.2.1-5 にシール材の試験時と実施工時の施工形状を示す。



※実施工では試験時に確認したシール材幅と厚さを満たすように施工を実施する。

図 5.14.2.1-5 シール材施工形状

ロ. シール材の厚さ設定

シール材の厚さの設定は、継目部でシール材に与えられる設定水圧に対して曲げ変形に耐える厚さとした。許容値はシール材の最大曲げ引張応力度である。また、シール材の厚さは施工時誤差を考慮し、計算値による厚さの+1 mmを設計値とした。

表 5.14.2.1-4 に、シール材の厚さと継目部での最大試験水圧 0.5MPa における曲げ引張応力度（シール材の厚さを計算値とした場合の曲げ引張応力度）の算出結果を示す。

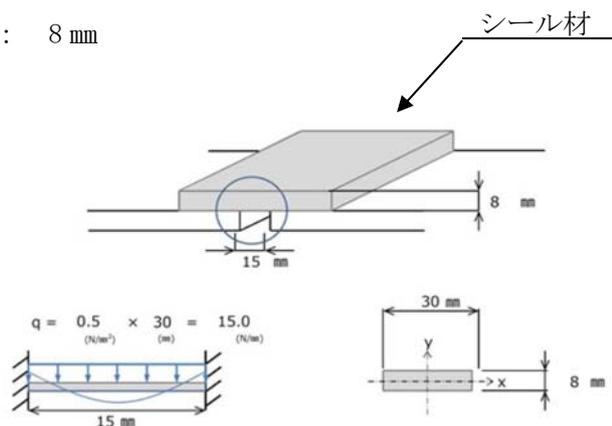
表 5.14.2.1-4 シール材の設定厚さ

シール材の厚さ		0.5MPa 時 継目部 最大曲げ引張り応力度	
設計値	計算値	計算値	許容値
9 mm	8 mm	0.88 N/mm <sup>2</sup>	2.45 N/mm <sup>2</sup>

設計水圧： 0.5 MPa

計算幅： 30 mm

計算厚さ： 8 mm



設計曲げモーメント

$$M = 1/12 \times 15 \times 15^2 = 281.250 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

断面諸量

$$I_x = 1/12 \times 30 \times 8^3 = 1,280 \text{ mm}^4$$

$$y = 4.0 \text{ mm}$$

最大曲げ引張応力度

$$\sigma_1 = M \times y / I_x = 281.25 \times 4.0 / 1280 = \underline{0.88 \text{ N/mm}^2}$$

$$< 2.45 \text{ N/mm}^2$$

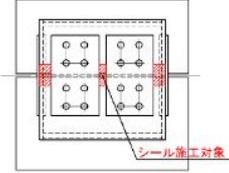
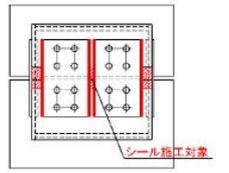
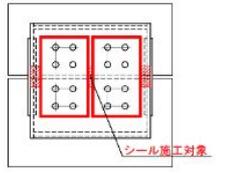
(c) シール材の設置の範囲設定

イ. シール材の設置範囲

鋼製防護壁は添接板を高力ボルトで締付けて固定しており、添接板のない継目部の他に添接板周りからの漏えいがないことを確認するため、表 5.14.2.1-5 に示す 3通りで実施する。CASE-1 は、継目部のみにシール材を設置する。CASE-2 は、継

目部に加え添接板継目部に横断する方向の隅肉部のみにシール材を設置する。CASE-3は、継目部に加え添接板全周の隅肉部にシール材を設置する。

表 5.14.2.1-5 シール材の設置範囲一覧表

シール材設置範囲		
CASE-1	CASE-2	CASE-3
継目部のみ	継目部+添接板（継目部に横断する方向）	継目部+添接板（全周）
		

ロ. 添接板周りのシール材の形状

実設置における最小添接板厚が 9 mm であるため、厳しい条件として試験時の添接板周りのシール高さを 9 mm として試験を実施する。

#### 5.14.2.2 性能確認試験

##### (1) 継目部のシール材の耐圧試験

###### a. 目的

鋼製防護壁の鋼殻ブロック継目部を模擬した試験体に、シール材を設置して水圧を作用させる。基準津波時及び T.P. +24.0 m 津波時の水圧に対して、シール材を設置した継目部から有意な漏えい生じないことを確認する。

###### b. 試験条件

試験条件として表 5.14.2.2-1 に示す水圧を段階的に作用させる。必要耐圧保持時間を 10 分以上にあることに対して、加圧時間は、基準津波時で 60 分、T.P. +24.0 m 津波時で 10 分とした。試験では加圧時間中及び加圧時間経過後、シール材の継目部からの有意な漏えいが生じないことを確認する。各試験体における、シール材の種類及びシール材の設置範囲を表 5.14.2.2-2 に、性能確認試験フローを図 5.14.2.2-1 に示す。

また、耐圧試験装置説明図を図 5.14.2.2-2、図 5.14.2.2-3 に、耐圧試験概念図を図 5.14.2.2-4 に示す。

表 5.14.2.2-1 試験条件

水 圧	必要耐圧保持時間	加圧時間
0.35 MPa	10 分以上	60 分
0.50 MPa	10 分以上	10 分

表 5.14.2.2-2 シール材の種類及びシール材の設置範囲一覧

試験体名称	シール材の種類	シール材の設置範囲
Case-1	□	継目部のみ
Case-2		継目部+添接板（継目部に横断する方向）
Case-3		継目部+添接板（全周）

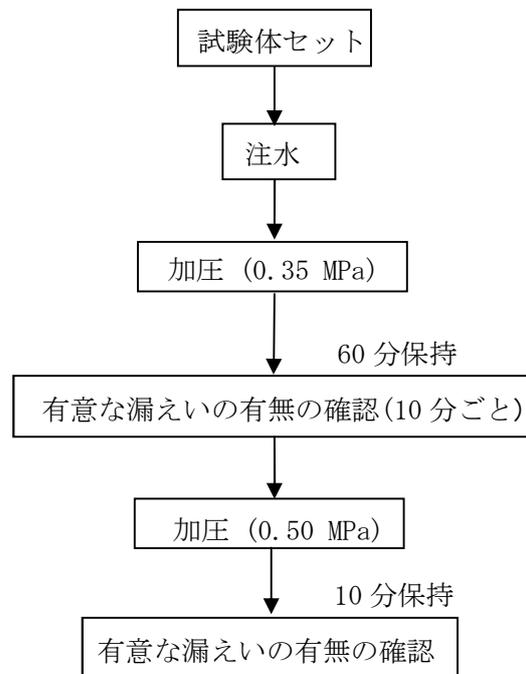


図 5.14.2.2-1 性能確認試験フロー

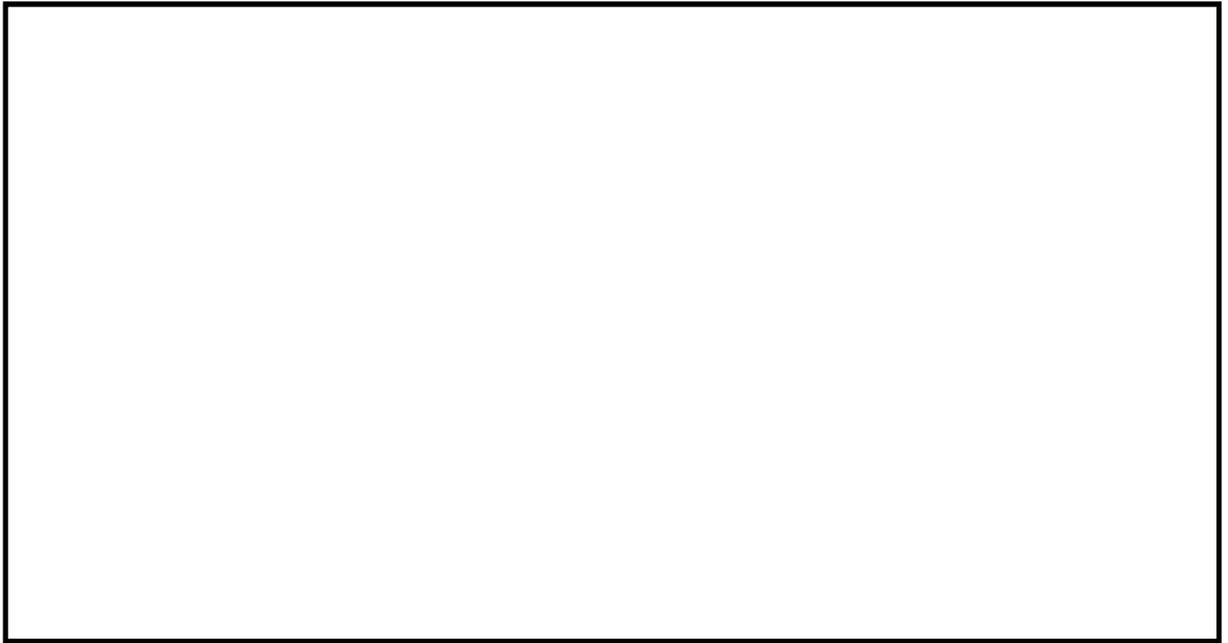


図 5.14.2.2-2 耐圧試験装置説明図（試験体設置前）

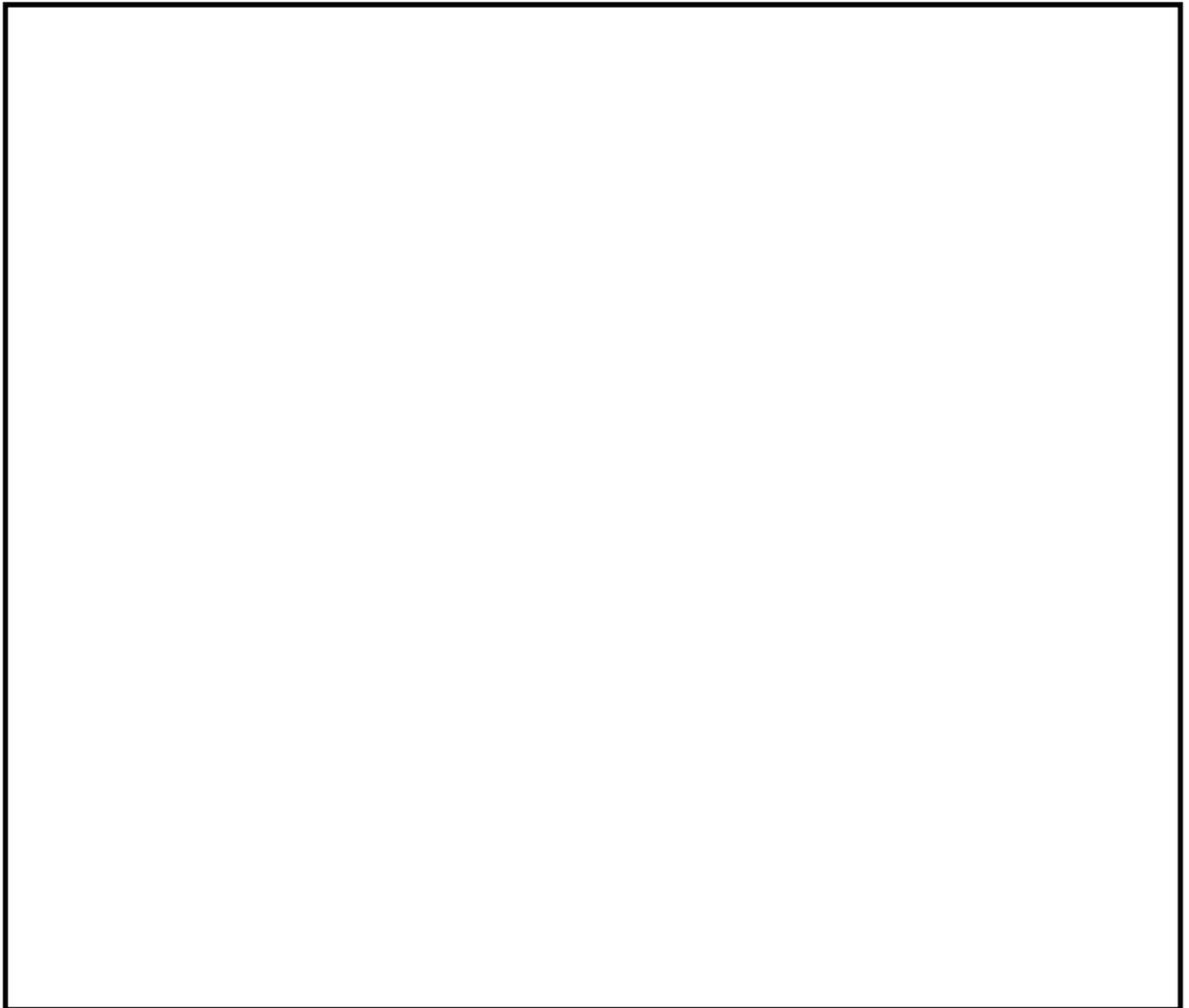


図 5.14.2.2-3 耐圧試験装置説明図（試験体設置後）

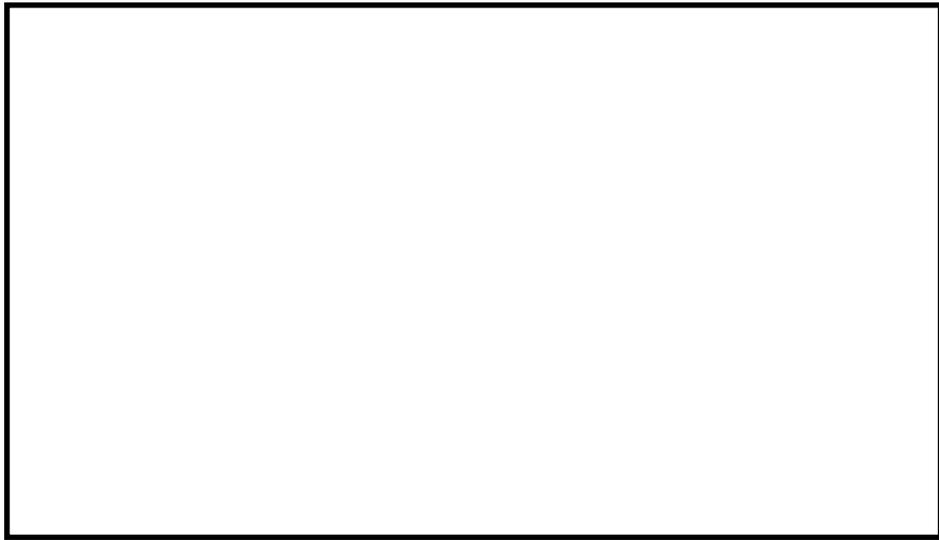


図 5.14.2.2-4 耐圧試験概念図

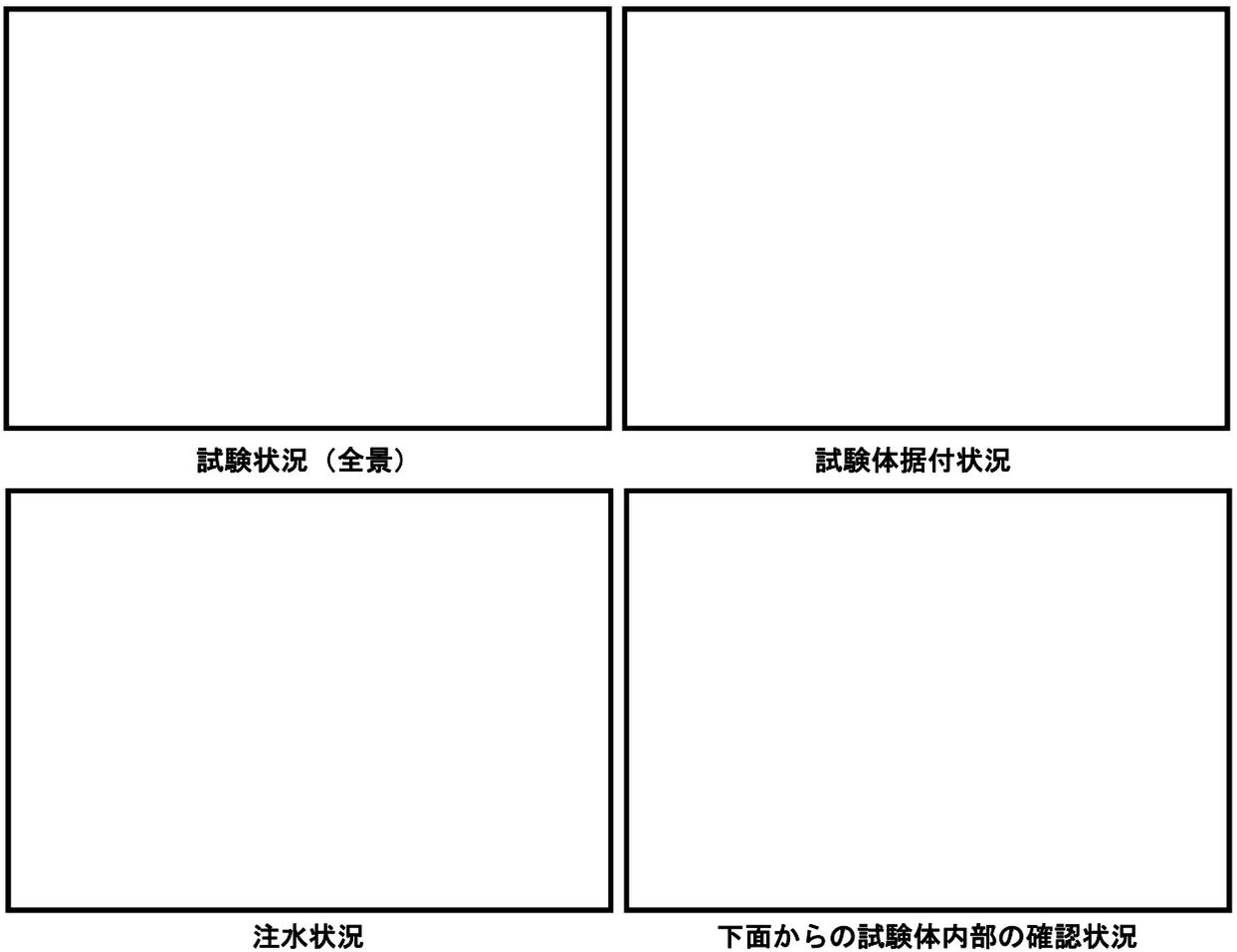


図 5.14.2.2-5 耐圧試験状況

c. 試験状況写真

(a) Case-1 (シール材:  設置方法; 継目部のみ)

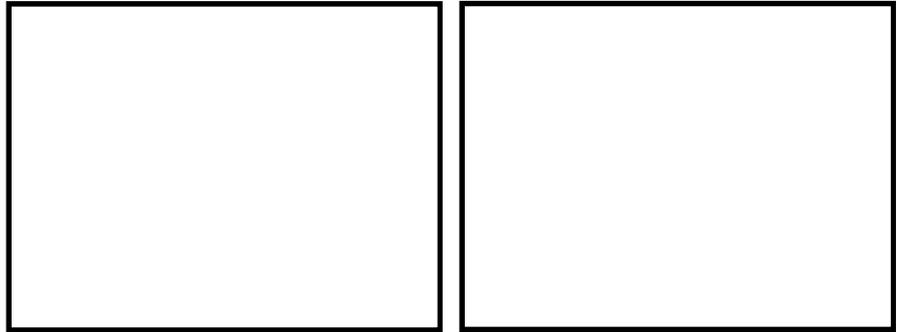


図 5.14.2.2-6 シール材の設置状況

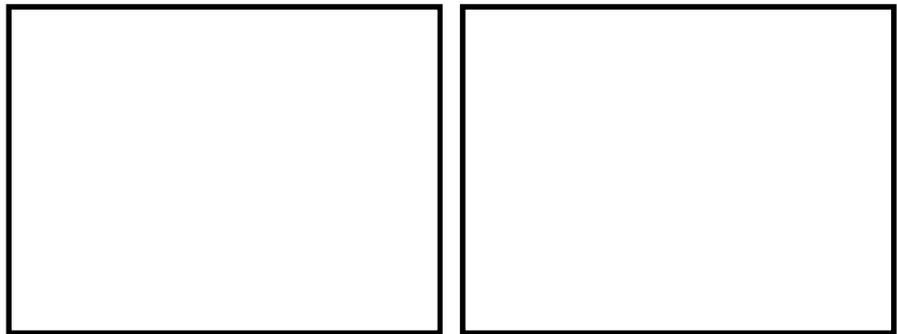


図 5.14.2.2-7 試験体設置完了状況

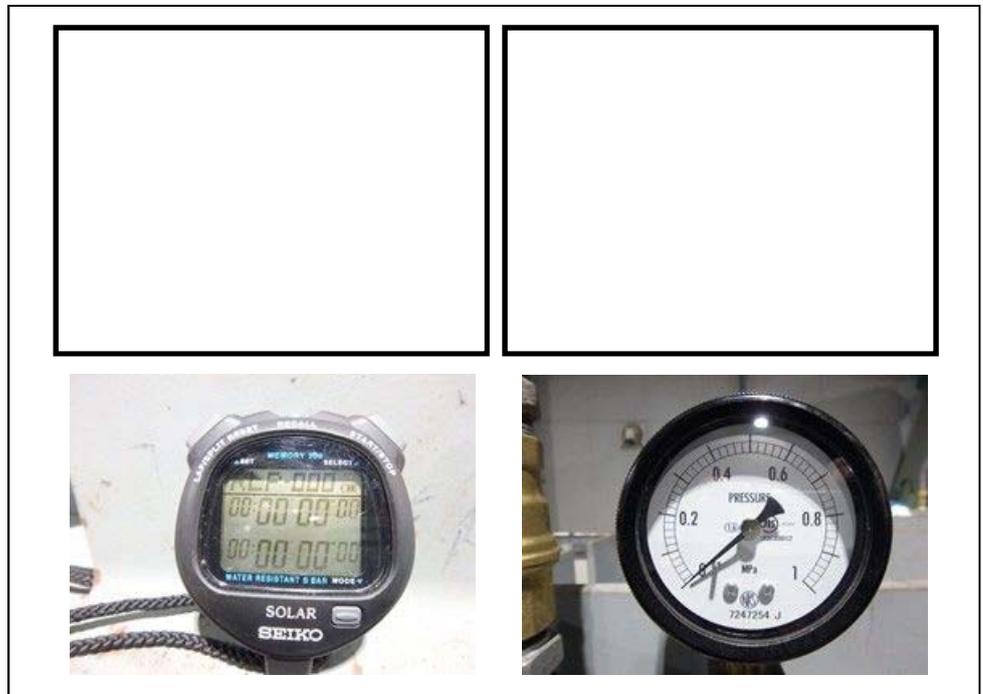


図 5.14.2.2-8 加圧前状況

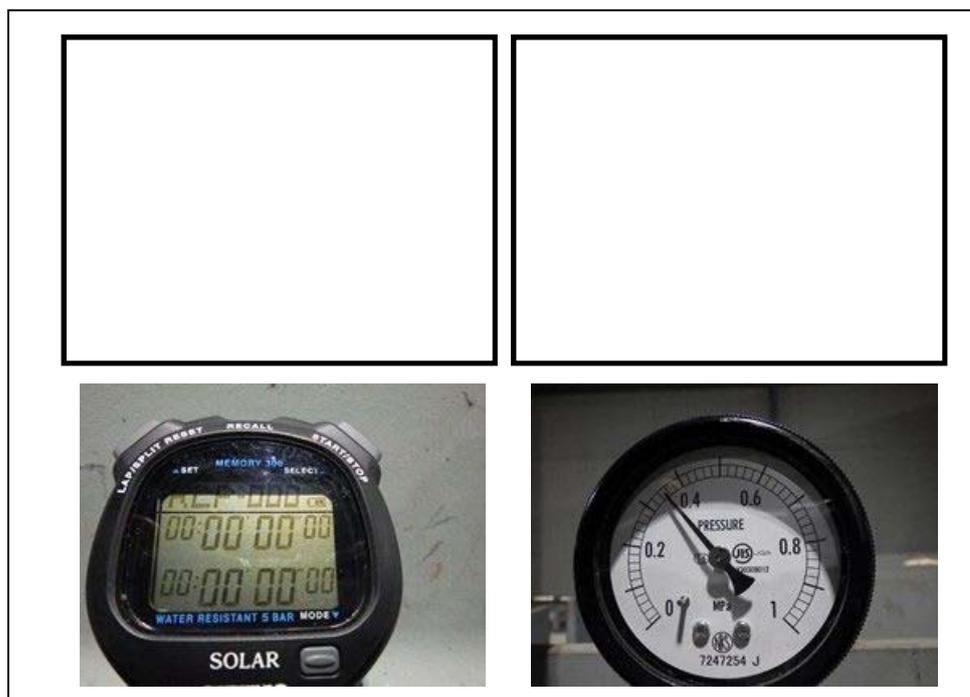


図 5.14.2.2-9 0.35 MPa 加圧開始

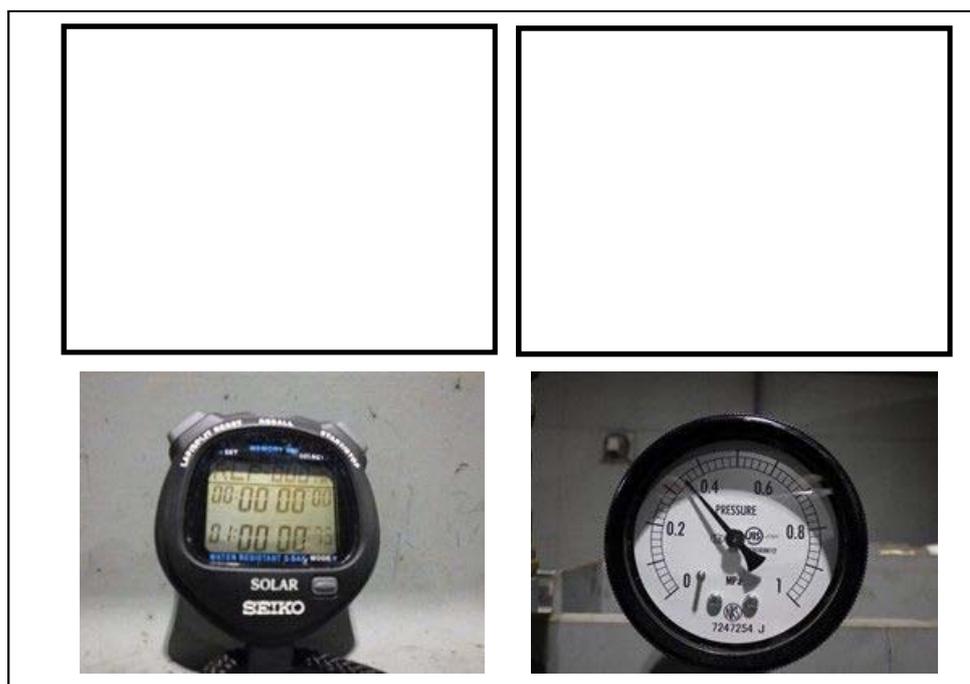


図 5.14.2.2-10 0.35 MPa 60 分経過後(漏えい無し)

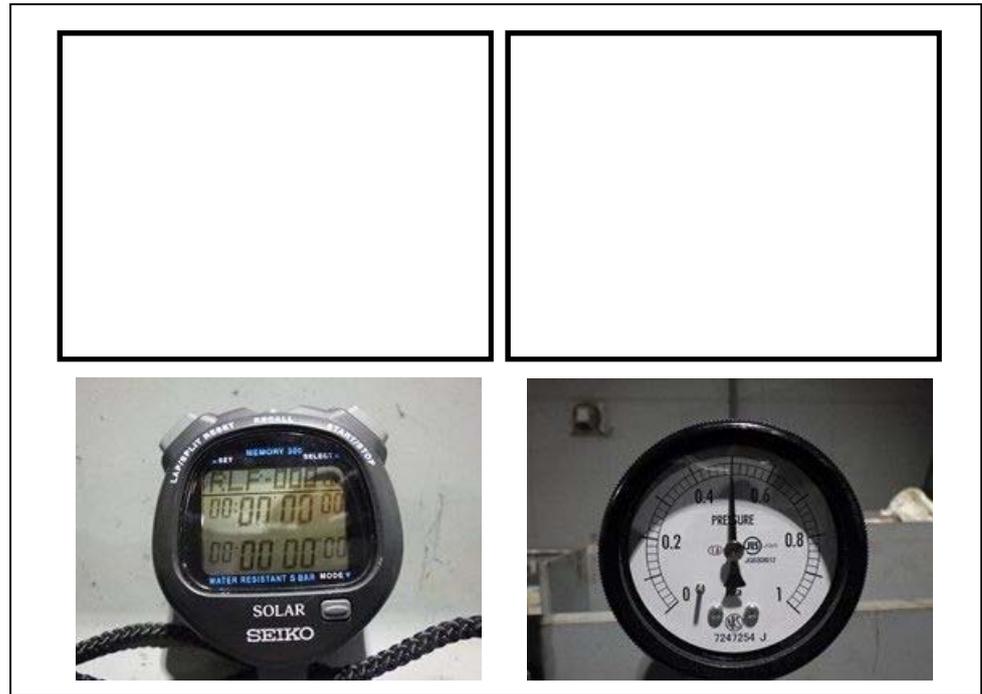


図 5.14.2.2-11 0.50 MPa 加圧開始

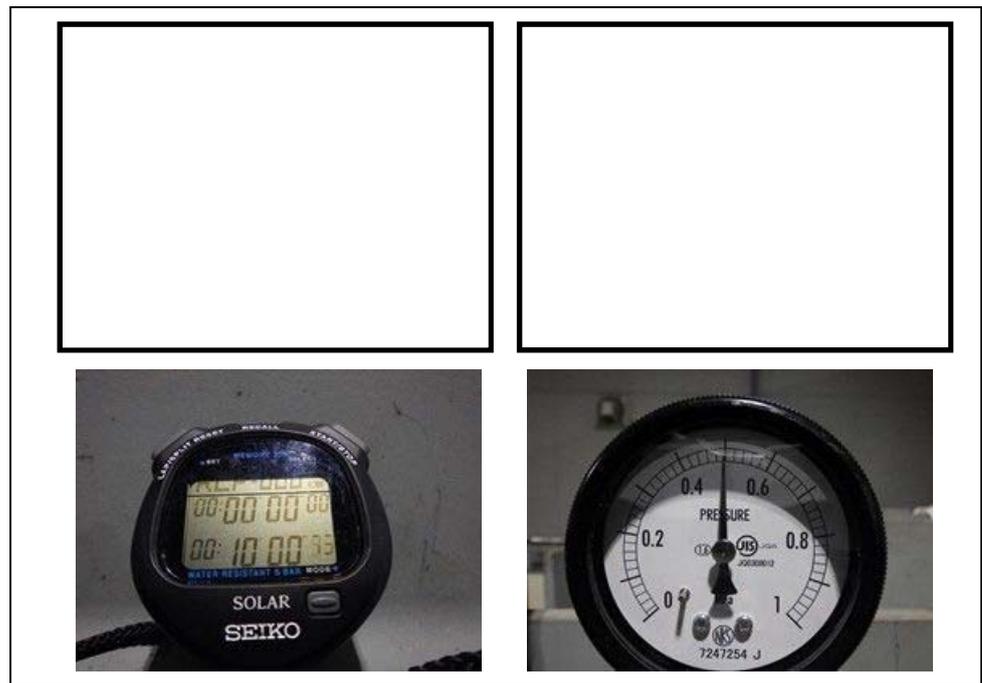


図 5.14.2.2-12 0.50 MPa 10 分経過後(漏えい無し)

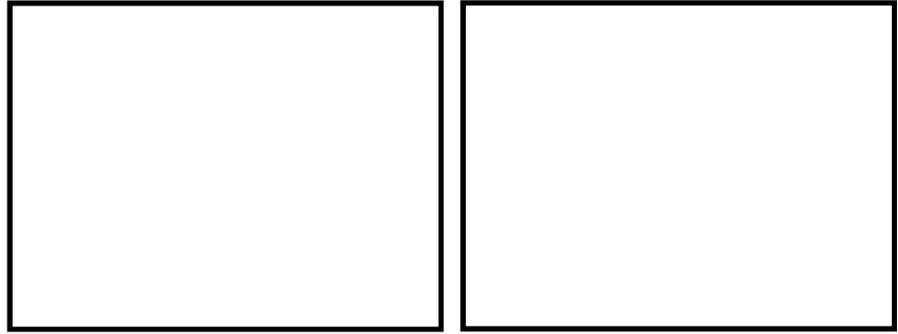


図 5. 14. 2. 2-13 試験終了後試験体状況

(b) Case-2 (シール材  設置方法;継目部+添接板 (直角方向))

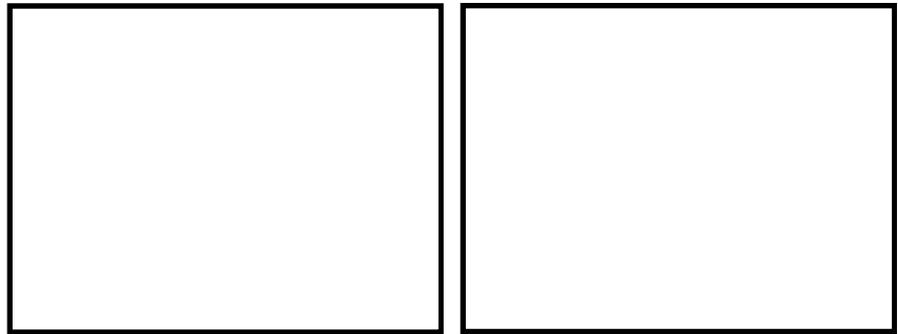


図 5. 14. 2. 2-14 シール材の設置状況

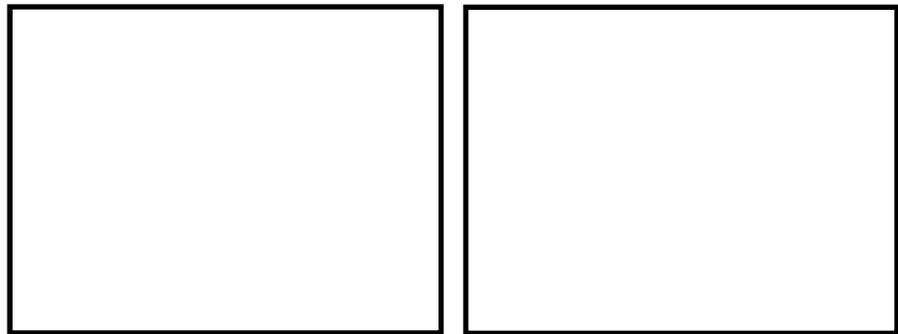


図 5. 14. 2. 2-15 試験体設置完了状況

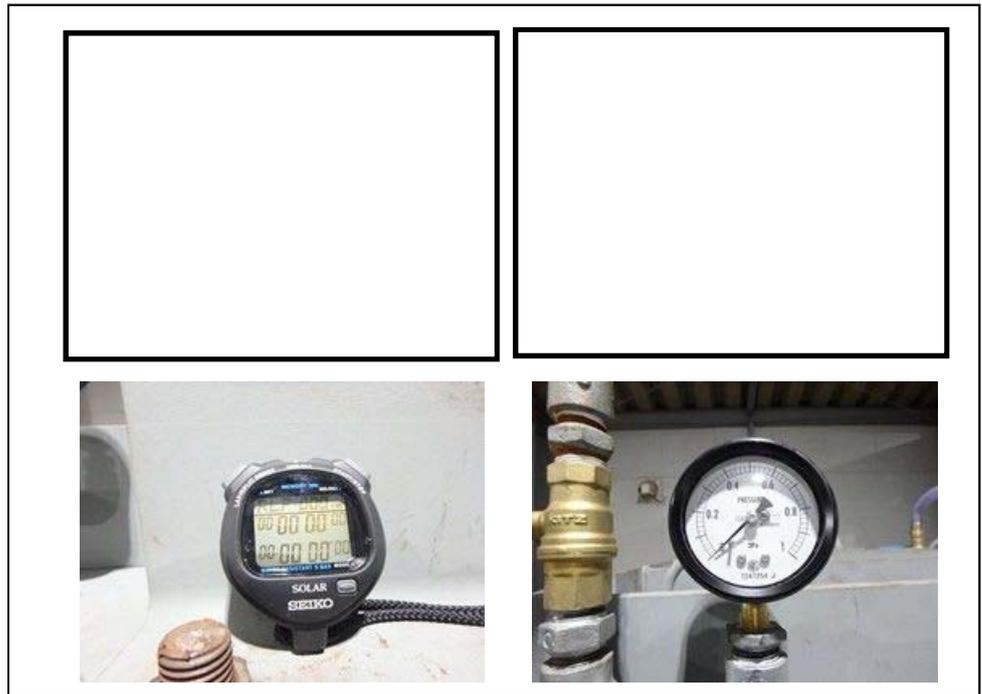


図 5.14.2.2-16 0.35 MPa 加圧開始

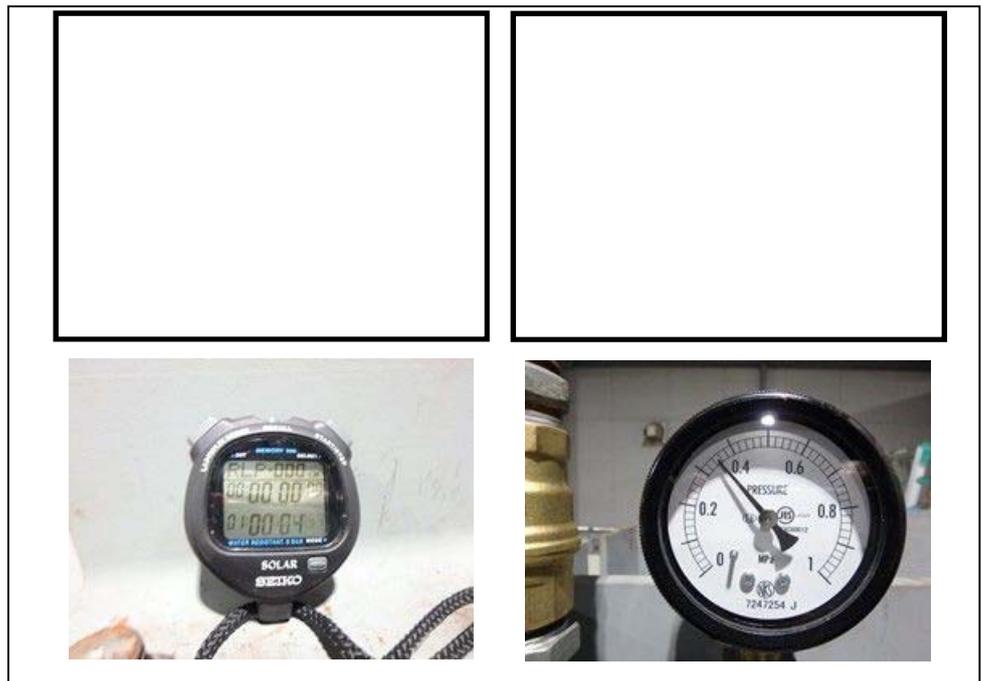


図 5.14.2.2-17 0.35 MPa 60 分経過後(漏えい無し)

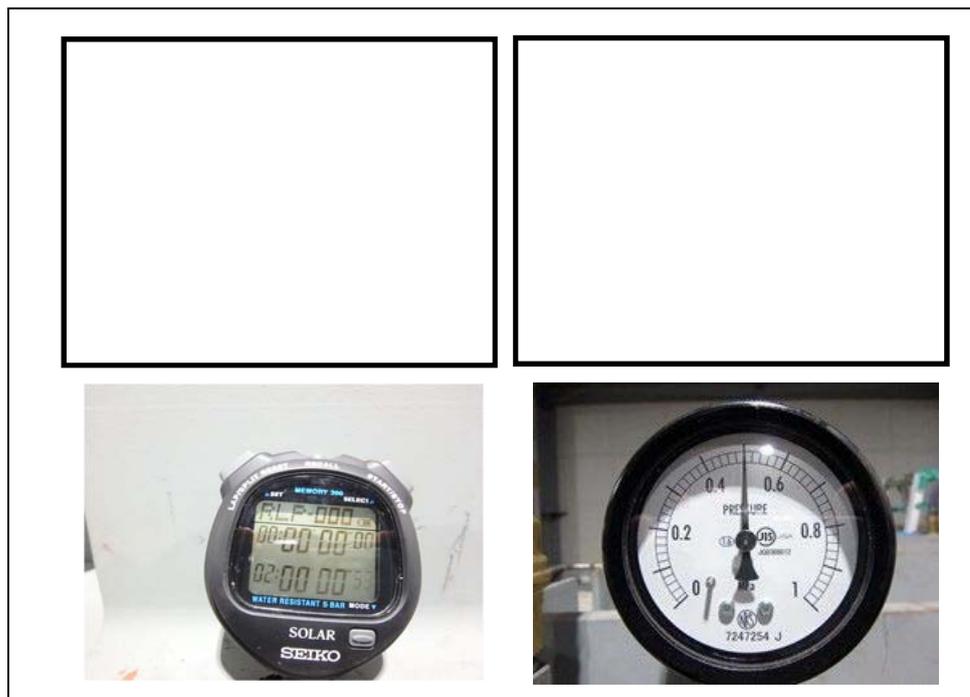


図 5.14.2.2-18 0.50 MPa 加圧開始

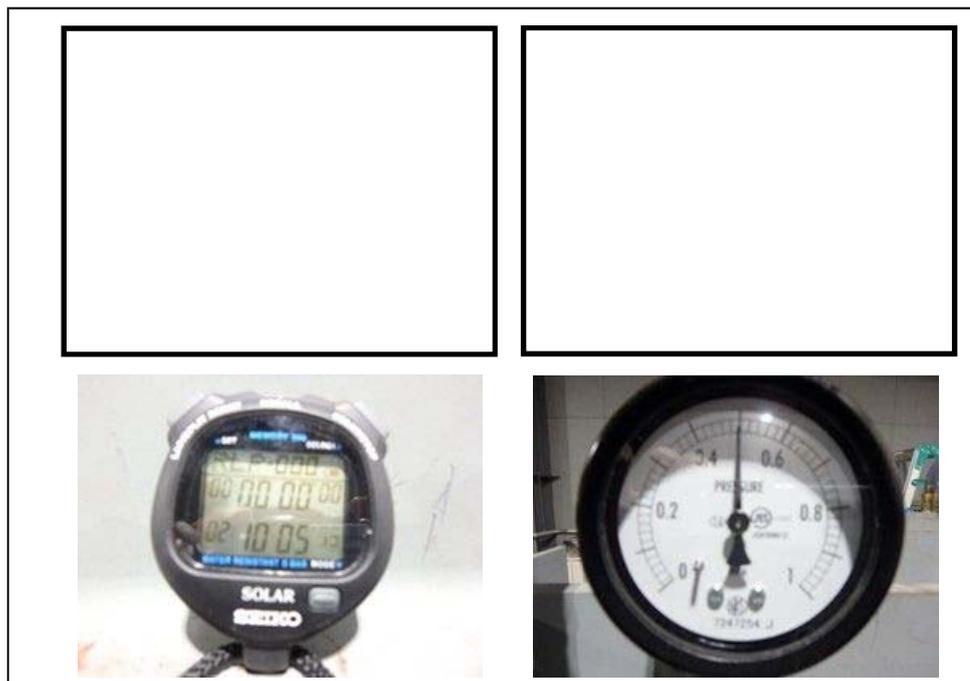


図 5.14.2.2-19 0.50 MPa 10 分経過後(漏えい無し)

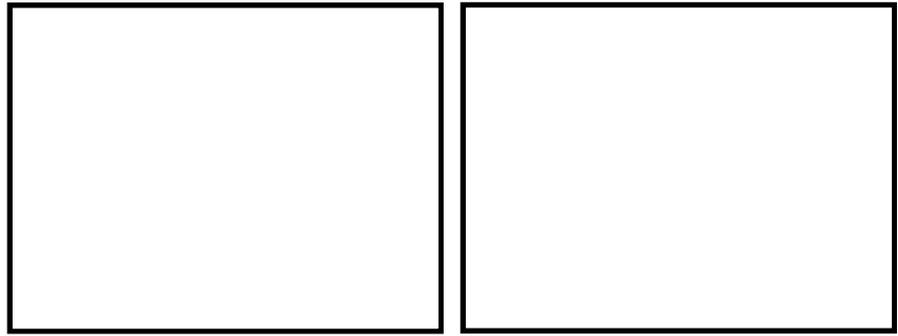


図 5.14.2.2-20 試験終了後試験体状況

(c) Case-3 (シール材  設置方法;継目部+添接板全周)

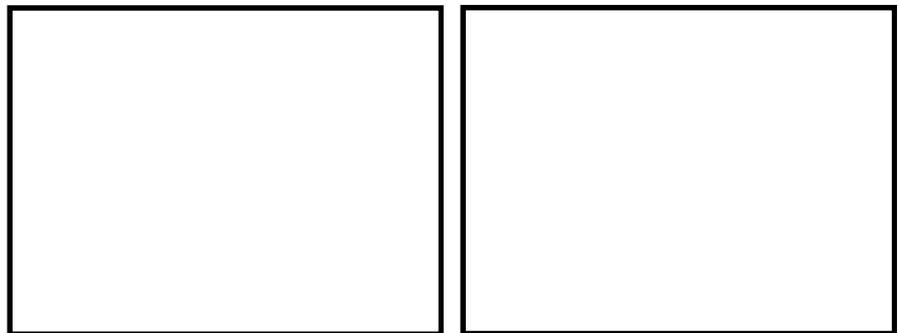


図 5.14.2.2-21 シール材設置完了状況

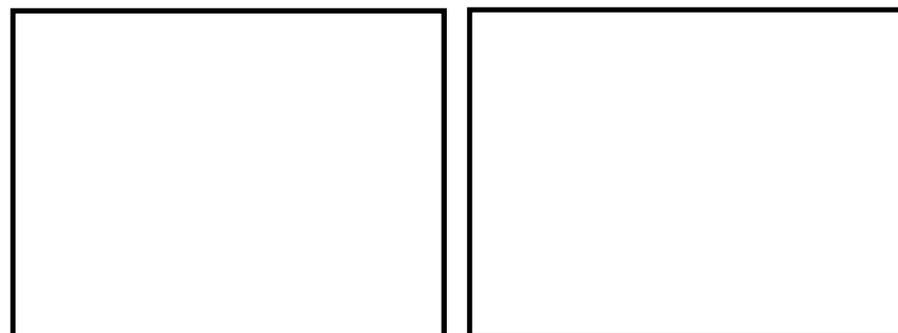


図 5.14.2.2-22 試験体設置完了状況

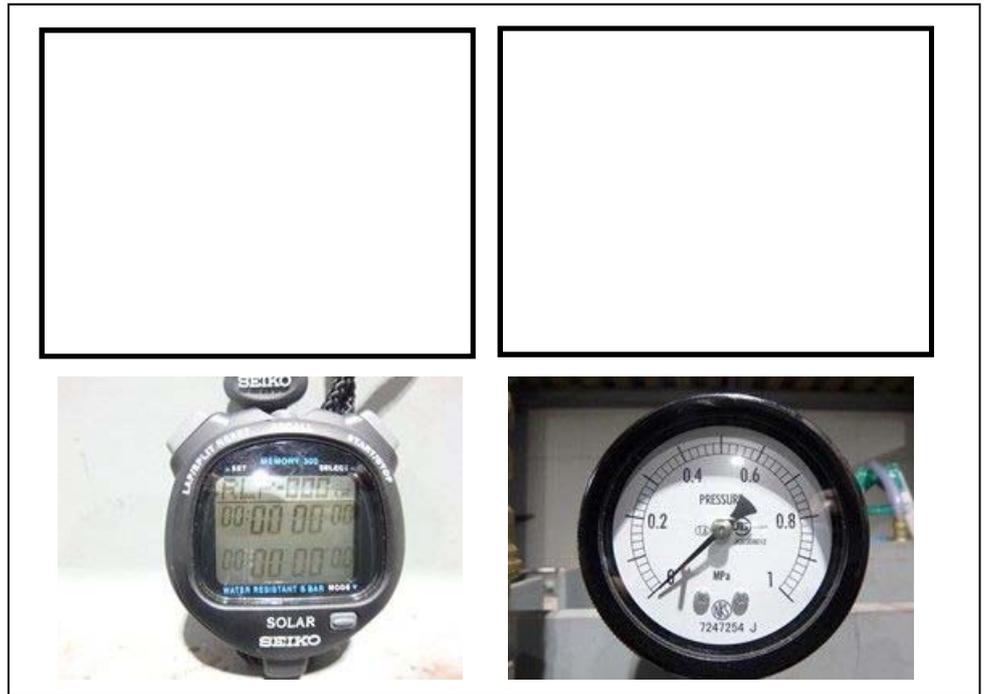


图 5.14.2.2-23 加压前状况



図 5.14.2.2-24 0.35 MPa 加圧開始



図 5.14.2.2-25 0.35 MPa 60 分経過後(漏えい無し)

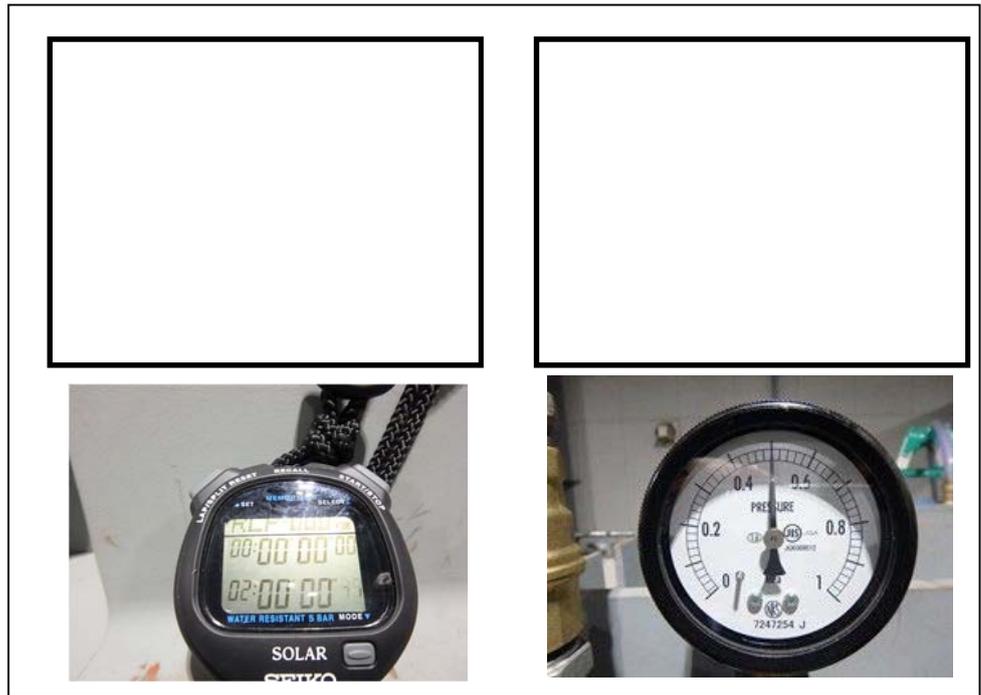


図 5.14.2.2-26 0.50 MPa 加圧開始

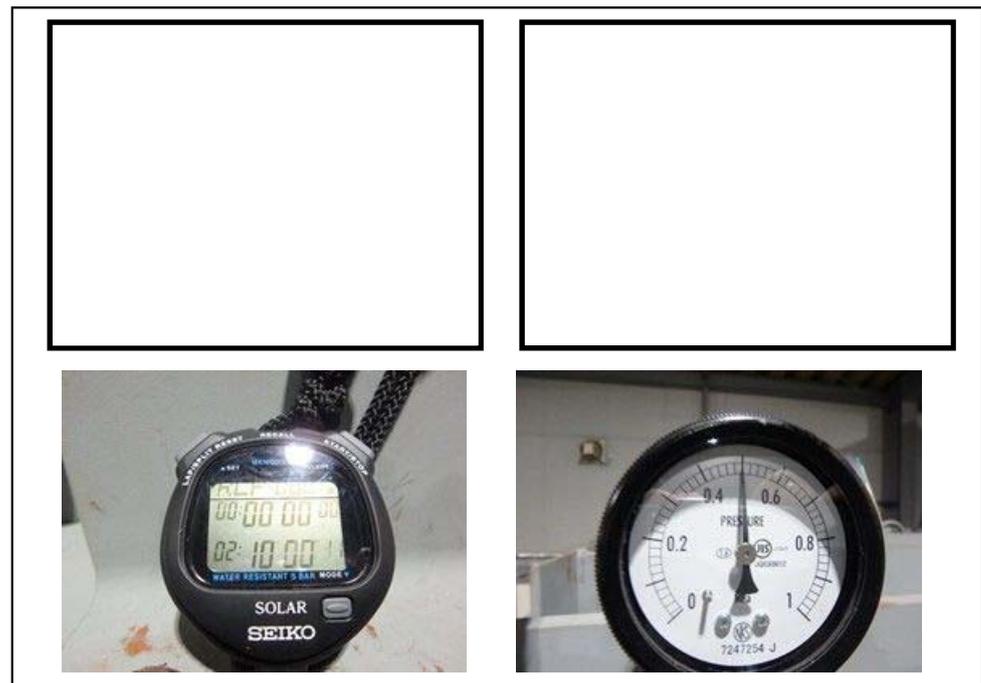


図 5.14.2.2-27 0.50 MPa 10 分経過後(漏えい無し)

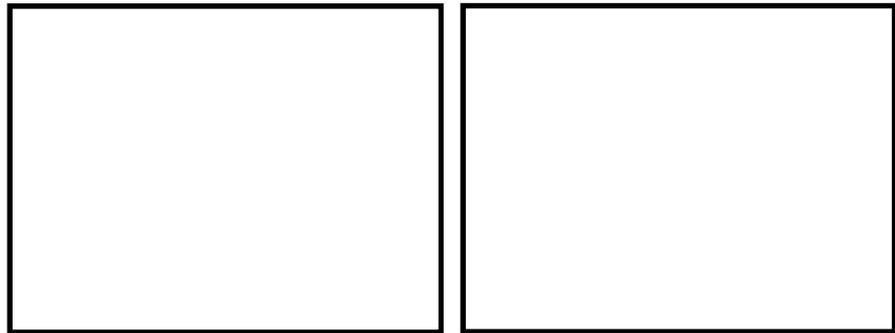


図 5.14.2.2-28 試験終了後試験体状況

d. 試験結果

所定の水圧により加圧時間経過後、漏えいの有無を確認した結果、全てのケースにおいて漏えいがないことを確認した。試験結果を表 5.14.2.2-3 に示す。

表 5.14.2.2-3 試験結果

試験体ケース	水圧	必要耐圧保持時間	有意な漏えい	判定
Case-1	0.35 MPa	10 分以上	無	OK
	0.50 MPa	10 分以上	無	OK
Case-2	0.35 MPa	10 分以上	無	OK
	0.50 MPa	10 分以上	無	OK
Case-3	0.35 MPa	10 分以上	無	OK
	0.50 MPa	10 分以上	無	OK

(2) シール材の耐候性試験

長期的な使用のための耐久性に関しては、メーカーによるシール材の耐候性試験（熱老化試験、乾湿繰り返し試験）により確認する。

a. 熱老化試験

熱老化試験による耐熱接着耐久性（JIS K 6850 接着剤の引張せん断接着強さ試験方法に準ずる）試験結果を表 5.14.2.2-4 に示す。表より  が熱老化性に優れ 80℃で 10,000 時間、100℃で 2000 時間の長期の熱暴露後においても接着強度の低下がないことを確認した。熱老化試験の温度と時間から常温における耐久性を推定式により算定すると 10,000 時間は 73 年、2000 時間は 53 年に相当する。よって、長期に渡りシール材としての機能を維持するものである。

表 5.14.2.2-4 耐熱接着耐久性試験結果

試験条件		変性シリコン系 <sup>o</sup> 樹脂系接着剤	
		引張せん断 接着強さ (N/mm <sup>2</sup> )	破断箇所 <sup>*1</sup>
初期		5.7	cf
80℃ 熱老化	500H <sup>*2</sup>	5.5	cf
	1000H	5.8	cf
	2000H	5.6	cf
	4000H	5.5	cf
	10000H	5.9	cf
100℃ 熱老化	500H	5.3	cf
	1000H	5.6	cf
	2000H	5.5	cf

\*1 破壊状態 af：接着剤と金属界面の破壊 cf：接着剤の界面破壊

\*2 H：時間



b. 乾燥繰り返し試験

乾湿繰り返し試験（JIS K 7350-4 プラスチックー実験室光源による暴露試験方法ー第 4 部：オープンプレームカーボンアークランプに準ずる）結果及び引張試験（JIS K 6251 加硫ゴムの引っ張り試験方法に準ずる）結果を表 5.14.2.2-5 に示す。この表より 35,000 時間後も 70%の伸びを保持している。一般的にウェザーメーター照射は 300 時間が 1 年に相当すると考えられており、35,000 時間は 116 年に相当する。よって、長期にわたり初期の弾性力を保持するものである。

表 5.14.2.2-5 乾湿繰り返し試験及び引張試験結果

ウェザーメーター照射 (時間)	フィルム物性	
	破断強度 (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)
ブランク	4.06	135
2,000	3.56	80
7,000	2.82	105
35,000	2.16	70

試験方法：JIS K 6251 「加硫ゴムの引っ張り試験方法」

形状：ダンベル形状 3 号

引張速度：100 mm/min

初期養生：20℃，65%RH×7 日

乾湿繰り返し（耐候性）：サンシャインウェザーメーター照射

温 度：ブラックパネル温度 63±3℃

水噴射：2100±100ml/min 120 分照射中に 18 分 水温 16±5℃



(3) まとめ

本資料では、津波時の波圧に対して有意な漏えいを生じないことの確認のために耐圧試験を実施し、長期的な耐久性についての確認を目的に、耐候性試験の試験データを評価した。

試験の結果、基準津波時及び T.P. +24.0 m 津波時の波圧に対して漏えいがないことを確認した。また、シール材の耐候性試験データから 50 年相当以上の耐候性があることを確認した。