

|                           |                 |
|---------------------------|-----------------|
| 東海第二発電所 第 5 回設計及び工事計画審査資料 |                 |
| 資 料 番 号                   | 補足-28 改 2       |
| 提 出 年 月 日                 | 2026 年 8 月 27 日 |

## 東海第二発電所

### 設計及び工事計画に係る補足説明資料

#### 第 5 回申請

(防潮堤（鋼製防護壁）の耐震・強度計算書に係る補足説明)

#### < 5 章 >

2026 年 8 月

日本原子力発電株式会社

## 目 次

1. 防潮堤（鋼製防護壁）の耐震計算書に関する補足説明
2. 防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書に関する補足説明
3. 防潮堤（鋼製防護壁）の地中連続壁部の残置影響評価に関する補足説明
4. 防潮堤（鋼製防護壁）の接合部アンカーに関する補足説明
5. 防潮堤（鋼製防護壁）の止水機構に関する補足説明

## 5. 防潮堤（鋼製防護壁）の止水機構に関する補足説明

### 目次

|                                            | page |
|--------------------------------------------|------|
| 1. 概要 .....                                | 1    |
| 2. 基本方針 .....                              | 2    |
| 2.1 位置 .....                               | 2    |
| 2.2 構造概要 .....                             | 3    |
| 2.2.1 止水機構の構造概要 .....                      | 3    |
| 2.2.2 止水板の構造及び挙動について .....                 | 9    |
| 2.3 評価方針 .....                             | 11   |
| 2.3.1 評価部位及び評価項目 .....                     | 11   |
| 2.3.2 1次止水機構の評価部位の仕様と構造 .....              | 17   |
| 2.3.3 2次止水機構及び防衝板（影響防止装置）の評価部位の仕様と構造 ..... | 22   |
| 2.4 適用基準 .....                             | 25   |
| 3. 評価方法 .....                              | 26   |
| 3.1 全体評価フロー .....                          | 26   |
| 3.2 耐震評価フロー .....                          | 27   |
| 3.3 耐津波評価フロー .....                         | 28   |
| 3.4 動的解析評価フロー .....                        | 29   |
| 4. 許容限界 .....                              | 30   |
| 4.1 耐震評価 .....                             | 30   |
| 4.2 耐津波評価 .....                            | 33   |
| 4.2.1 基準津波と余震による重畳時 .....                  | 33   |
| 4.2.2 敷地に遡上する津波と余震による重畳時 .....             | 35   |
| 5. 計算及び解析方法 .....                          | 37   |
| 5.1 耐震評価及び耐津波評価 .....                      | 37   |
| 5.1.1 設計震度 .....                           | 37   |
| 5.1.2 耐震評価における計算方法 .....                   | 38   |
| 5.1.3 耐津波評価における計算方法 .....                  | 51   |
| 5.2 2次元及び3次元動的解析 .....                     | 66   |
| 5.2.1 動的解析評価に用いる入力波形 .....                 | 66   |
| 5.2.2 2次元動的解析 .....                        | 71   |
| 5.2.3 3次元動的解析 .....                        | 78   |
| 5.2.4 3次元衝突解析 .....                        | 87   |
| 6. 評価結果 .....                              | 89   |
| 6.1 耐震及び耐津波評価 .....                        | 89   |
| 6.1.1 耐震評価結果 .....                         | 89   |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 6.1.2 耐津波評価結果 ..... | 91  |
| 6.2 動的解析評価 .....    | 94  |
| 6.2.1 2次元動的解析 ..... | 94  |
| 6.2.2 3次元動的解析 ..... | 95  |
| 6.2.3 3次元衝突解析 ..... | 100 |
| 7. まとめ .....        | 101 |

#### 防潮堤（鋼製防護壁）の止水機構に関する参考資料

（参考1）地中連続壁部を残置することによる止水機構への影響評価について

## 1. 概要

本章は、鋼製防護壁と既設構造物との間に設置する止水機構の健全性について補足説明するものであり、添付書類「VI-2-2-1-1-1(2) 防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書」及び添付書類「VI-3-別添1-2-1-1(2) 防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書」で示す耐震及び強度（耐津波）計算結果に加え、動的解析結果について説明するものである。

耐震評価については、平成30年10月18日付け原規規発第1810181号にて認可された工事計画（以下「既工認」という。）の添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に示している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、止水機構の構造部材が、静的な設計地震力に対して構造健全性を有することを確認する。また、止水機構は地震時に鋼製防護壁と既設構造物の相対変位に追従する必要があり、挙動が複雑となる特性をもつため、地震時の鋼製防護壁と既設構造物の揺れによる応答に対して構造健全性及び追従性を有していることを確認する。

構造健全性については、静的及び動的荷重に対して、止水機構を構成する各部材に発生する応力が許容限界以下であることを確認する。追従性については、動的解析により、地震時における鋼製防護壁と既設構造物の相対変位に対する止水機構の挙動を評価し、構造部材の損傷を生じることなく、浸水防止に必要な止水性を維持できることを確認する。

耐津波評価については、添付書類「VI-3-別添1-1(2) 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、止水機構の構造部材が、津波時及び余震時の静的な荷重に対して構造健全性を有することを確認する。静的な荷重に対する構造健全性は、基準津波及び敷地に遡上する津波による津波荷重を考慮し、止水機構の構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

止水機構は、鋼製防護壁と既設構造物との間に設置する。

止水機構の位置図及び地盤改良範囲図を図 2-1 に示す。

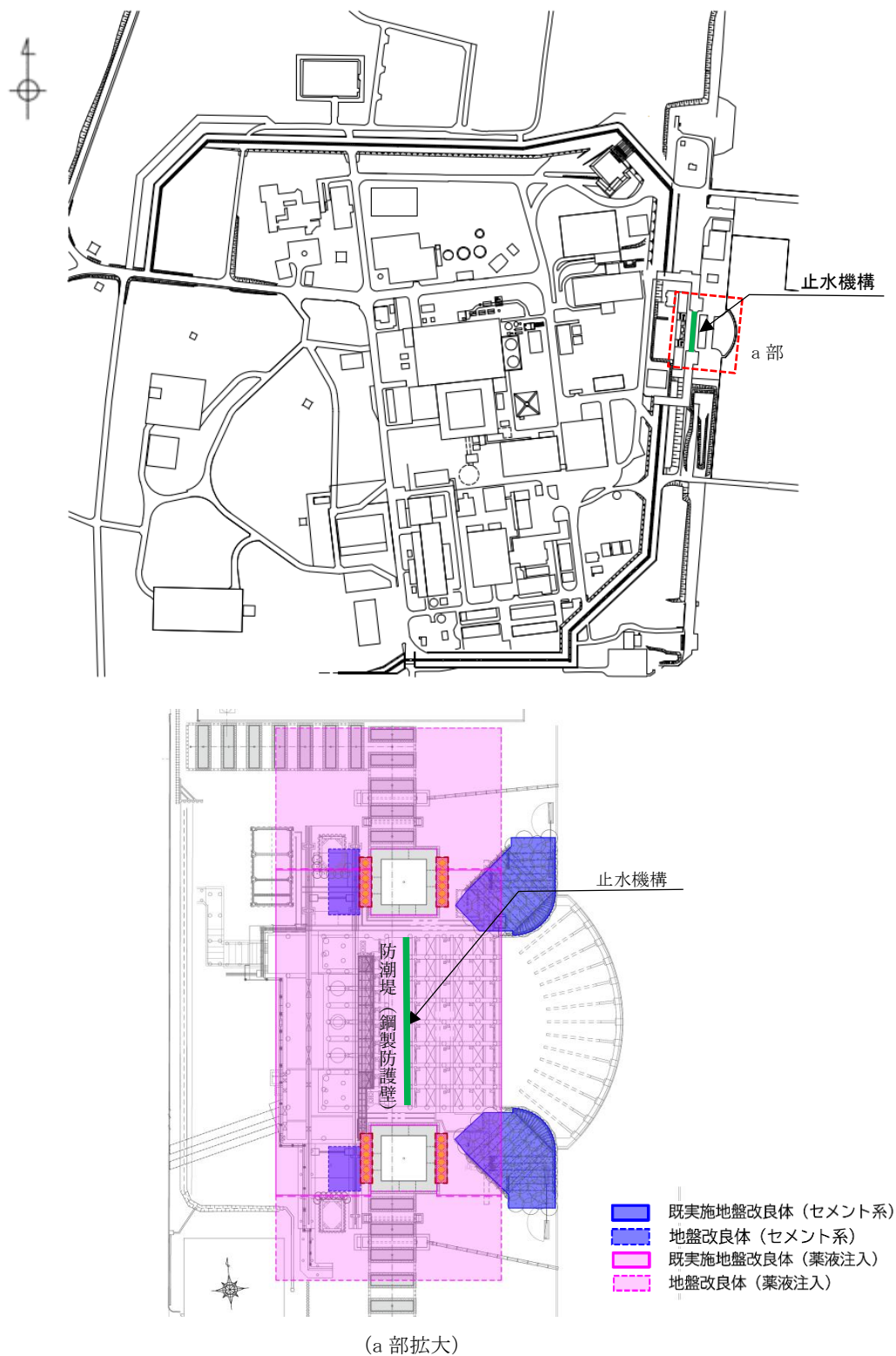


図 2-1 止水機構位置図及び地盤改良範囲図

## 2.2 構造概要

### 2.2.1 止水機構の構造概要

防潮堤（鋼製防護壁）の構造概念図を図 2-2 に示す。本章で評価対象となる止水機構は、鋼製防護壁と既設構造物との間に設置され、1 次止水機構、防衝板、2 次止水機構から構成される。止水機構の構造概念図を図 2-3 に、止水機構の位置及び構造図を図 2-4 に示す。

1 次止水機構は、津波による浸水を防止するための止水性を確保するとともに、地震時における鋼製防護壁と既設構造物の間に生じる相対変位に追従する必要がある。このため、止水部材として止水板を設け、これを支持する止水板押えを設置する。止水板押えは、止水板を保持しつつ止水板の摺動を許容する支持構造であり、漂流物から止水板を防護する機能を有する。なお、止水性を確保するため、止水板の底面及び側面に水密ゴムを設置する。

2 次止水機構は、1 次止水機構の止水板からの微小漏えいを想定した保守的な対策として、敷地内への津波の浸入を防止するため、1 次止水機構の陸側にシートジョイントからなる構造として配置する。

防衝板は、1 次止水機構の水密ゴムの劣化又は保守に伴う取り外し時に、漂流物が 2 次止水機構に到達することを防止するため、2 次止水機構の海側に設置する。

止水機構の構造計画を表 2-1 及び表 2-2 に、止水機構に係る各部位の役割・機能を表 2-3 に示す。

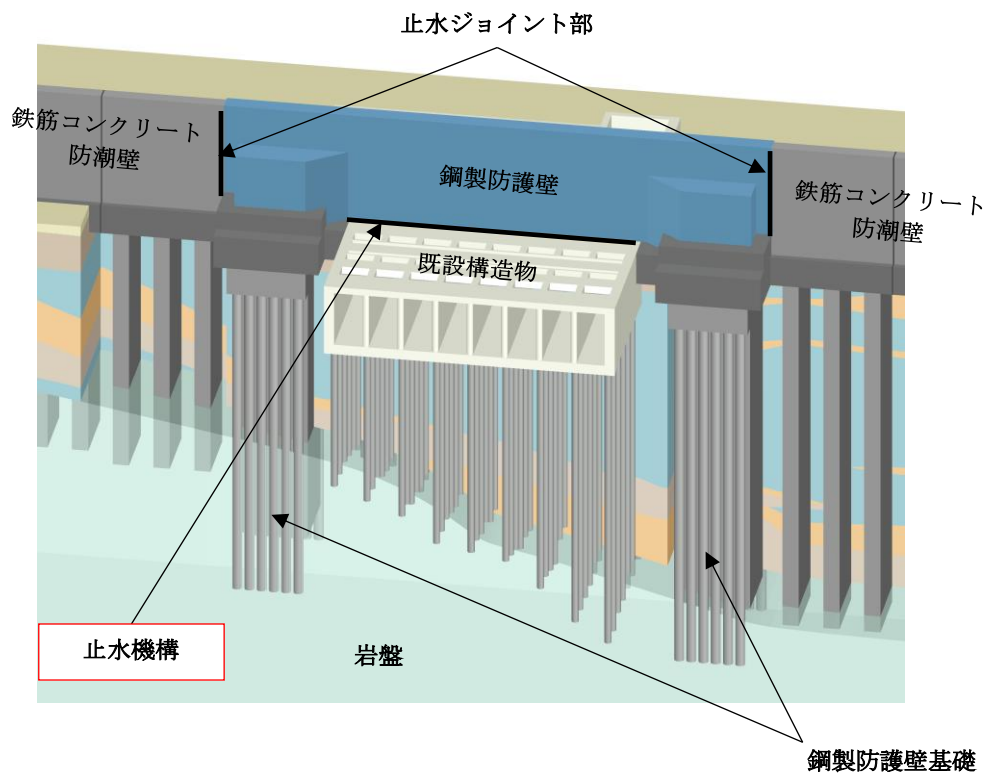


図 2-2 防潮堤（鋼製防護壁）の構造概念図



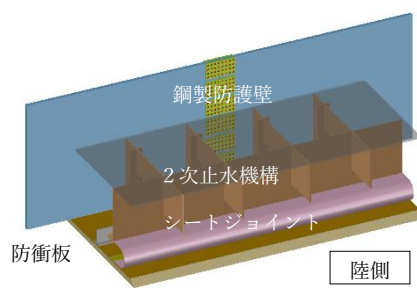
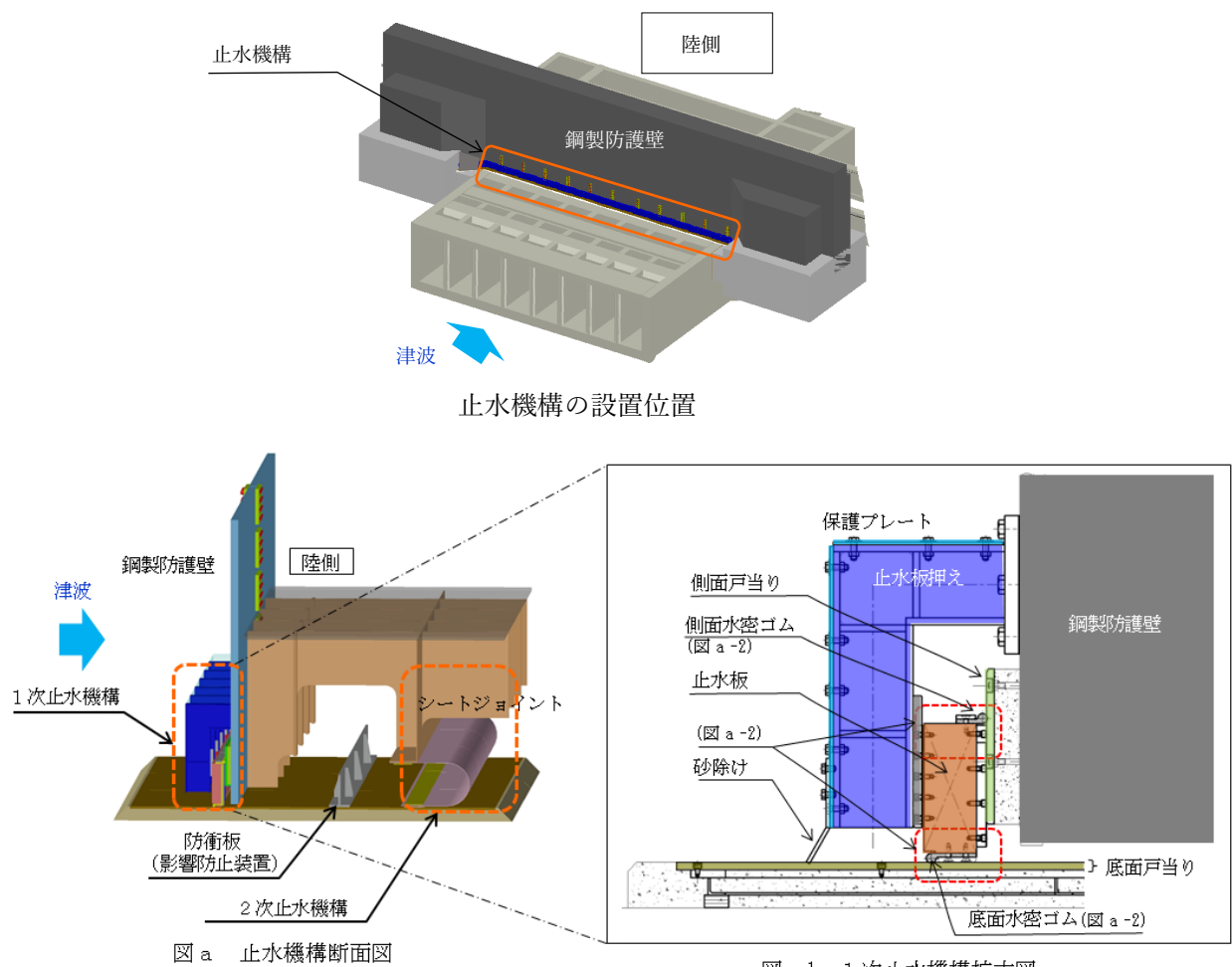


図 b 2次止水機構の構造

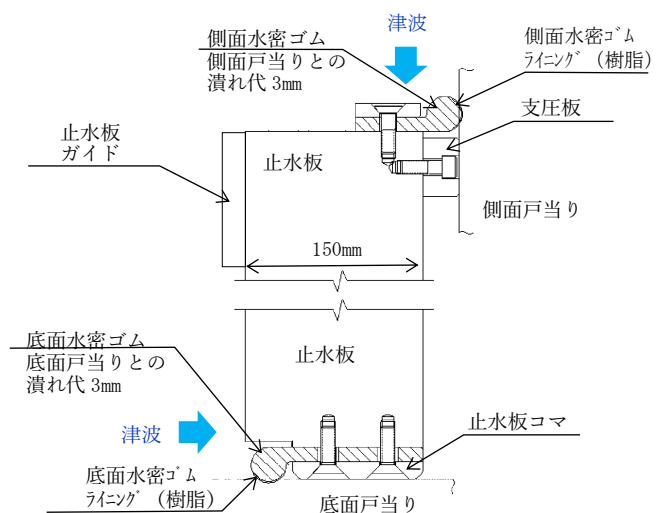


図 a-2 止水板, 底面・側面水密ゴム拡大図

図 2-3 止水機構の構造概念図

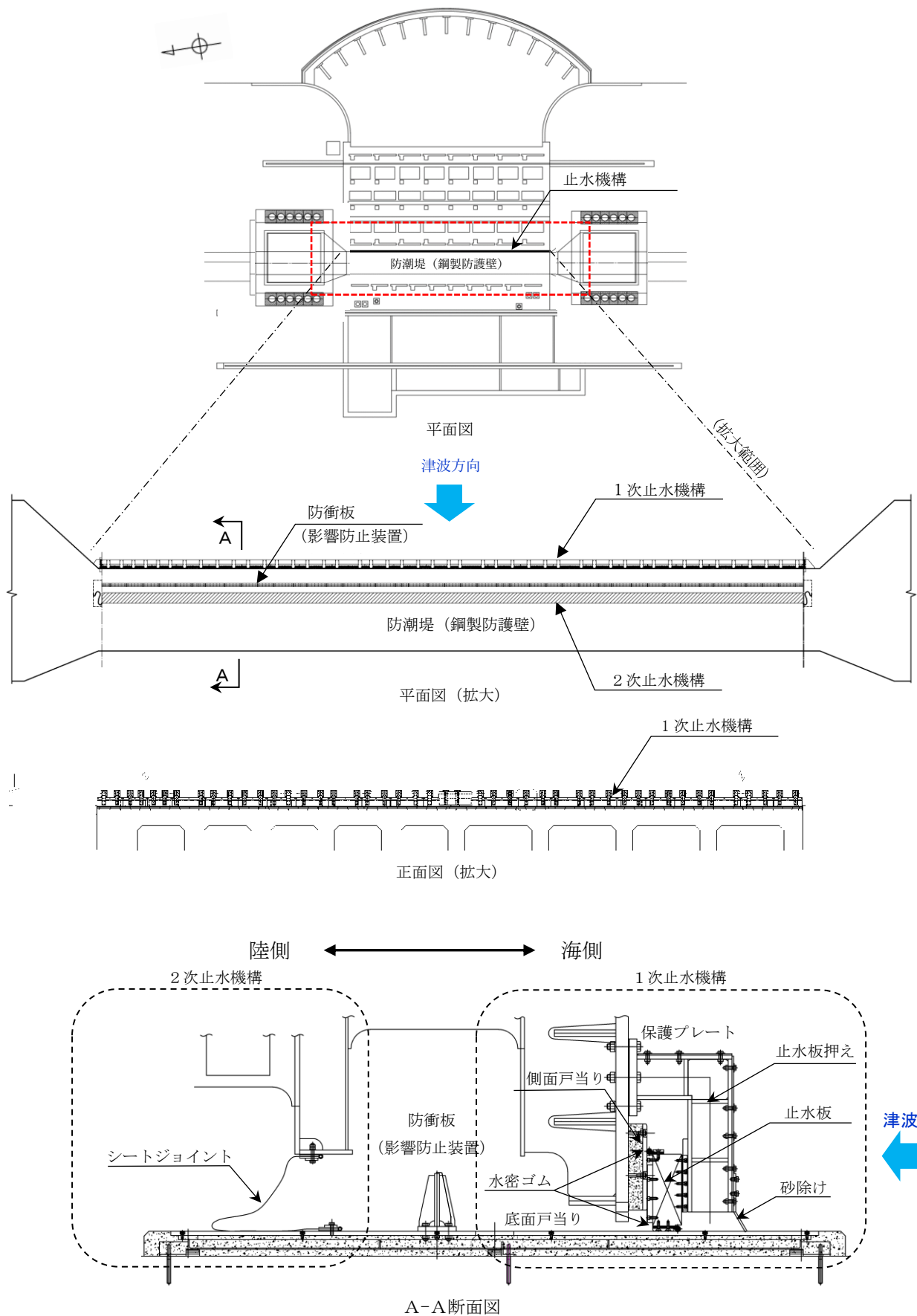


図 2-4 止水機構の設置位置及び構造図

表 2-1 1次止水機構の構造計画

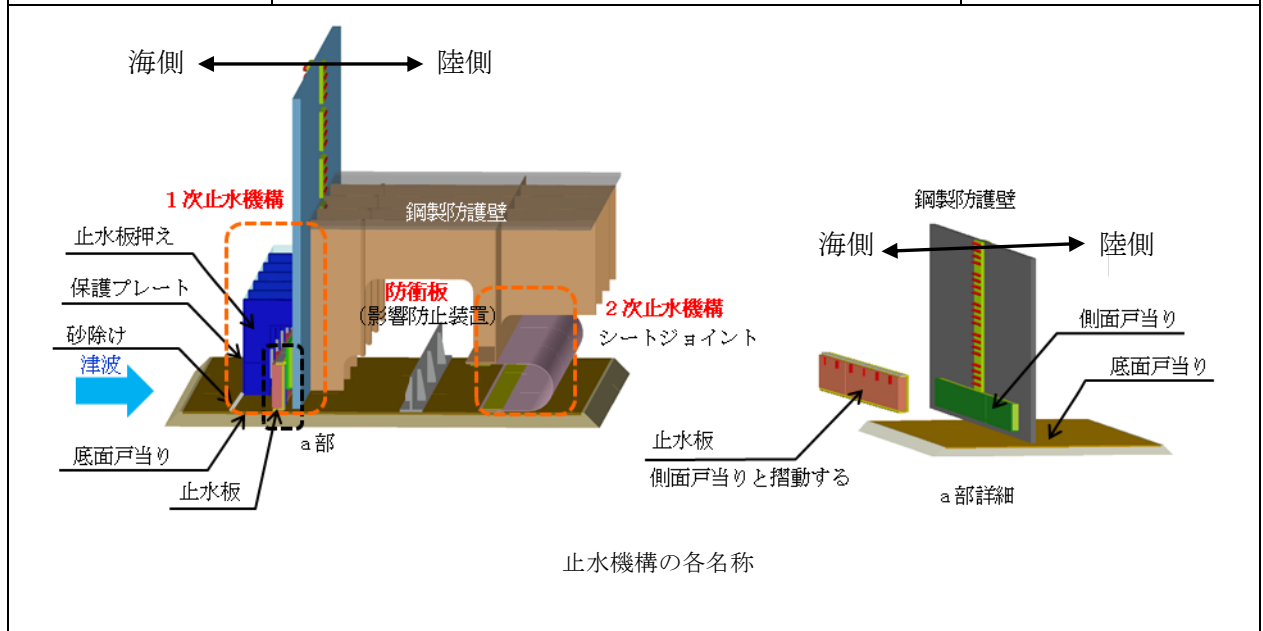
| 計画の概要                                        |                                      | 概略構造図 |
|----------------------------------------------|--------------------------------------|-------|
| 基礎・支持構造                                      | 主体構造                                 |       |
| 止水板は、既設構造物上に垂直に設置され、鋼製防護壁に設置された止水板押えにより支持する。 | 止水板、止水板押え、保護プレート、側面戸当り、底面戸当りにより構成する。 |       |

表 2-2 2次止水機構及び防衝板の構造計画

| 計画の概要                        |                        | 概略構造図 |
|------------------------------|------------------------|-------|
| 基礎・支持構造                      | 主体構造                   |       |
| シートジョイントは、既設構造物と鋼製防護壁に固定される。 | シートジョイントにより構成する。       |       |
| 防衝板を取付けボルトにより既設構造物上に固定する。    | 防衝板及び防衝板取付けボルトにより構成する。 |       |

表 2-3 止水機構に係る各部位の役割・機能

| 名称       | 役 割・機 能                                                                                                                                                                      | 材 料                          |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 止水板押え    | <ul style="list-style-type: none"> <li>止水板を支持する。</li> <li>漂流物から止水板を防護する。</li> </ul>                                                                                          | 炭素鋼，ステンレス                    |
| 保護プレート   | <ul style="list-style-type: none"> <li>漂流物から止水板を防護する。</li> <li>止水板への異物混入を防止する。</li> </ul>                                                                                    | ステンレス                        |
| 砂除け      | <ul style="list-style-type: none"> <li>日常において，底面戸当り面への砂等の異物混入を防止する。</li> </ul>                                                                                               | ナイロン                         |
| 止水板      | <ul style="list-style-type: none"> <li>止水機構の扉体の機能。</li> <li>底面及び側面の戸当りに面する部位に水密ゴムを設置し浸水を防止する。</li> <li>1枚当たりの主要仕様<br/>寸法：横2000 mm×幅150 mm×高さ400 mm<br/>重量：約930 kg</li> </ul> | ステンレス<br>＋<br>水密ゴム<br>(P形ゴム) |
| 底面戸当り    | <ul style="list-style-type: none"> <li>止水板の底面水密ゴムとのシール性を確保する。</li> <li>床部より約100 mm嵩上げし異物混入を防止する。</li> </ul>                                                                  | ステンレス                        |
| 側面戸当り    | <ul style="list-style-type: none"> <li>止水板の側面水密ゴムとのシール性を確保する。</li> </ul>                                                                                                     | ステンレス                        |
| シートジョイント | <ul style="list-style-type: none"> <li>1次止水機構の止水板からの微少な漏洩が陸側へ侵入することを防止する。</li> <li>陸側からの異物混入を防止する。</li> </ul>                                                                | ポリエステル繊維                     |
| 防衝板      | <ul style="list-style-type: none"> <li>1次止水機構の水密ゴムの劣化又は保守に伴う取外し時に漂流物が2次止水機構に到達することを防止する。</li> </ul>                                                                          | ステンレス                        |



## 2.2.2 止水板の構造及び挙動について

止水板の構造及び接触状態と挙動を図 2-5 に示す。

止水板の底面には底面水密ゴムを挟んで止水板コマが設置され、底面水密ゴムと止水板コマは、底面戸当りと接触する。止水板の上面には側面水密ゴムが設置され横向きに側面戸当りと接触する。止水板の陸側側面には支圧板が設置され側面戸当りと接触する。止水板の海側側面には止水板ガイドが設置され堤軸直交方向には隙間 1 (3 mm 図 2-5 A-A 及び D-D 断面参照) を挟んで止水板押えがあり、堤軸方向には隙間 2 (5 mm 図 2-5 A-A 断面及び C-C 断面参照) を挟んで外側に止水板押えガイドがある。

止水板及びその付属部材は、各接触箇所においてその他の 1 次止水機構部材に固定されおらず、隙間 1 及び隙間 2 を有することから、常時、地震時及び津波時並びに重畳時に荷重の作用方向に応じて堤軸直交方向、堤軸方向及び鉛直方向に隙間の範囲内で自由に挙動する。

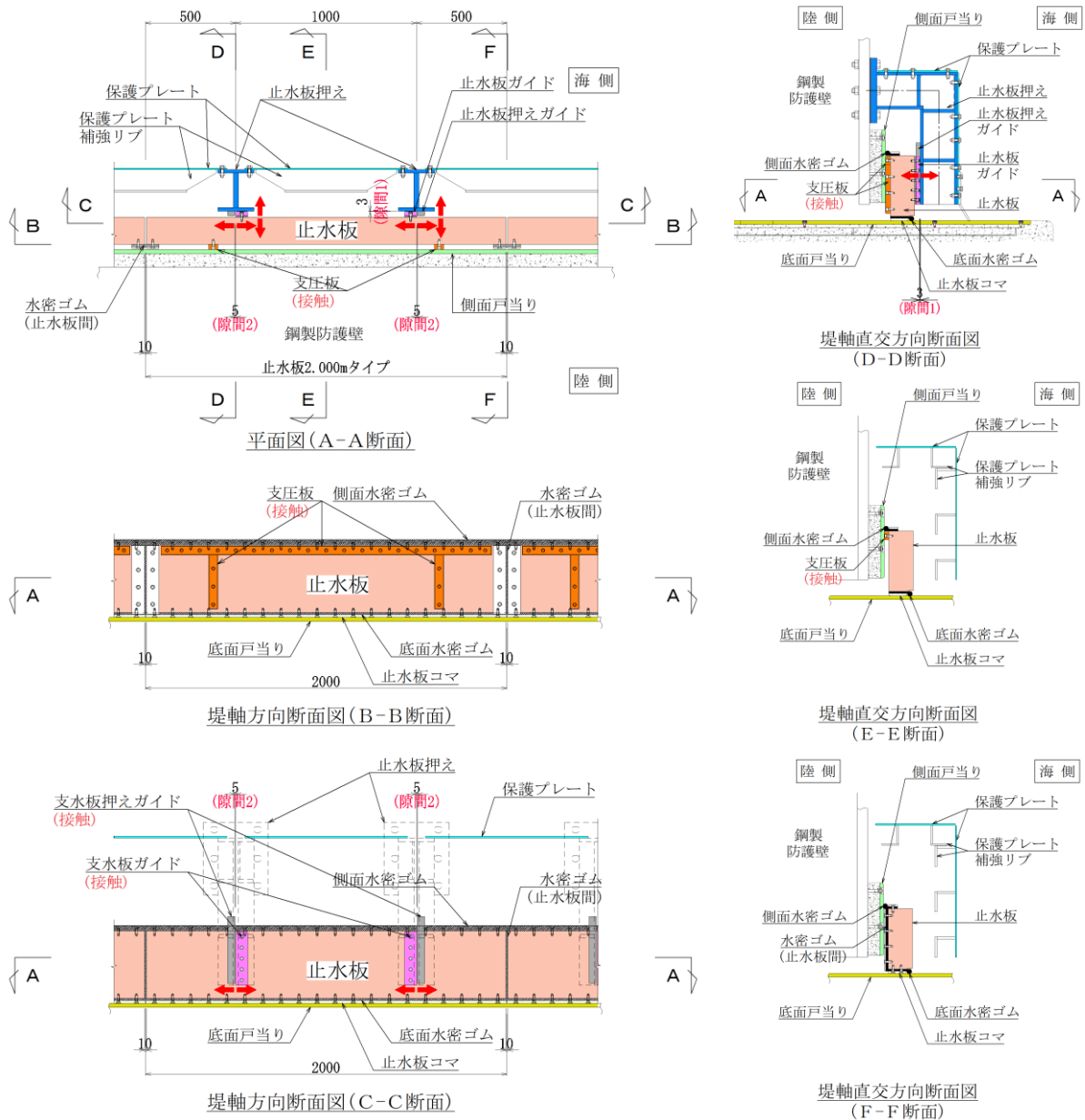


図 2-5 止水板の構造及び接触状態と挙動

(1) 常時における止水板の接触状態と挙動

堤軸直交方向及び堤軸方向には、隙間 1 (3 mm)、隙間 2 (5 mm) を有することから隙間 1, 2 の隙間分フリーである。また、鉛直方向には、止水板コマ及び底面水密ゴムが自重により底面戸当りに密着している。

(2) 地震時における止水板の接触状態と挙動

止水板は、地震時慣性力により堤軸直交方向、堤軸方向及び鉛直方向に撓動し振動する。

堤軸直交方向には、鋼製防護壁に支持されている陸側の側面戸当りと海側の止水板押えに挟まれているため、隙間 1 (3 mm) の範囲で撓動し振動する (図 2-5 A-A断面及びD-D断面中の堤軸直交方向赤矢印参照)。

堤軸方向には、鋼製防護壁に支持されている止水板押えに設置された止水板押えガイドが止水板に設置された止水板ガイドの外側に設置されているため、隙間 2 (5 mm) の範囲で撓動し振動する。(図 2-5 A-A断面及びC-C断面中の堤軸方向赤矢印参照)

鉛直方向には、固定されていないため、自重及び側面との摩擦力以上の鉛直方向慣性力が作用する場合は、浮き上がることがある。

地震時については、2次元及び3次元動的解析と設計震度による耐震設計で評価する。

(3) 津波時及び重畳時における止水板の接触状態と挙動

止水板は、津波時及び重畳時において津波波圧により堤軸直交方向陸側及び鉛直下向きに側面戸当りと底面戸当りに押し付けられる。この際に、側面水密ゴムと底面水密ゴムは 3 mm 潰れて止水性を確保する。止水板陸側の支圧板と底面の止水板コマにより水密ゴムが 3 mm 以上潰れることを防止している。

底面・側面水密ゴムは、P 形水密ゴムであり、水密面 (底面戸当り及び側面戸当り) と接触していれば水圧により首を振り頭部が止水面に押し付けられて水密するものである。水密面に対して初期潰れ代として 3 mm と設定しており (図 2-6 参照)、止水板コマや支圧板が先に水密面に当たって初期潰れ代を制限している。

津波時及び重畳時については、耐津波設計で評価する。

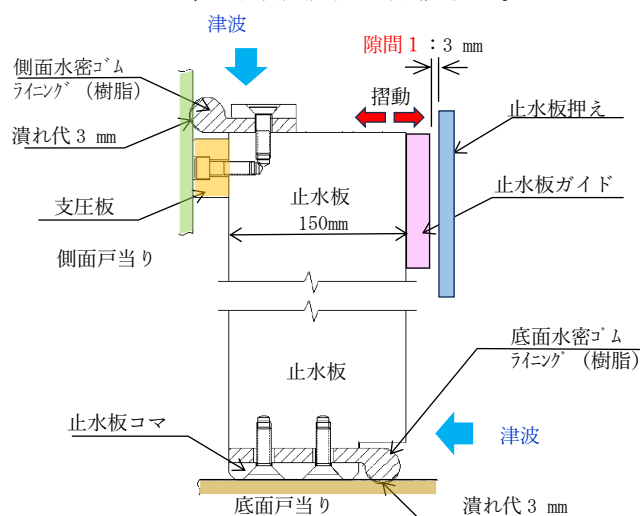


図 2-6 止水板の撓動と底面・側面水密ゴムの潰れ代

## 2.3 評価方針

### 2.3.1 評価部位及び評価項目

止水機構は、Sクラス施設である浸水防止設備に分類される。

止水機構構造図及び評価部位を図 2-7 に、1 次止水機構の拡大図を図 2-8 に示す。また、側面戸当りと鋼製防護壁の間の接合を接合 a，既設構造物に取り付ける底面戸当りとアンカーの接合を接合 b，保護プレートと砂除けの接合を接合 c として各接合方法を表 2-4 に示す。

1 次止水機構の構造健全性評価は、設計震度及び津波波圧による静的な耐震計算及び強度（耐津波）計算並びに、動的な地震時の鋼製防護壁及び既設構造物の応答値による止水機構の構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。動的な構造健全性評価については、2 次元及び 3 次元動的解析評価を行う。2 次元動的解析は、超弾性体である水密ゴムの地震時の接触挙動を精緻に把握することを目的とする。3 次元動的解析は、固定されていない止水板が地震時に複雑な挙動を示すため、止水板と接するその他の部材を含め、3 次元的な挙動を踏まえた構成部材の応力評価及び追従性評価を行うことを目的とする。また、止水板は隙間を保持した状態で設置するため、地震時において小刻みに挙動することから衝突応力が発生しやすい構造となる。よって、3 次元衝突解析により、止水板に緩衝ゴムを設置することによる衝突応力緩和効果を確認する。評価項目を表 2-5～表 2-8 に示す。

2 次止水機構の構造健全性評価は、鋼製防護壁及び既設構造物の地震時変位に対して追従できるシートジョイントの長さの確認及び、浸水時の水圧に対する張力が許容限界以下であることを確認する。

防衝板の構造健全性評価は、設計震度及び津波波圧による静的な耐震計算及び強度（耐津波）計算から算出した発生応力が許容限界以下であることを確認する。

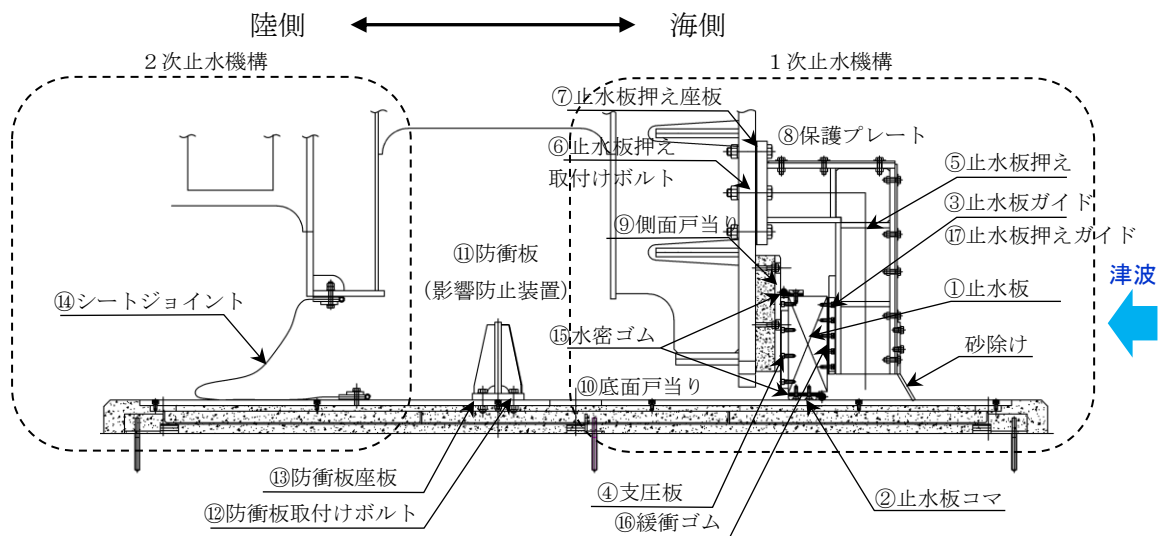


図 2-7 止水機構構造図及び評価部位



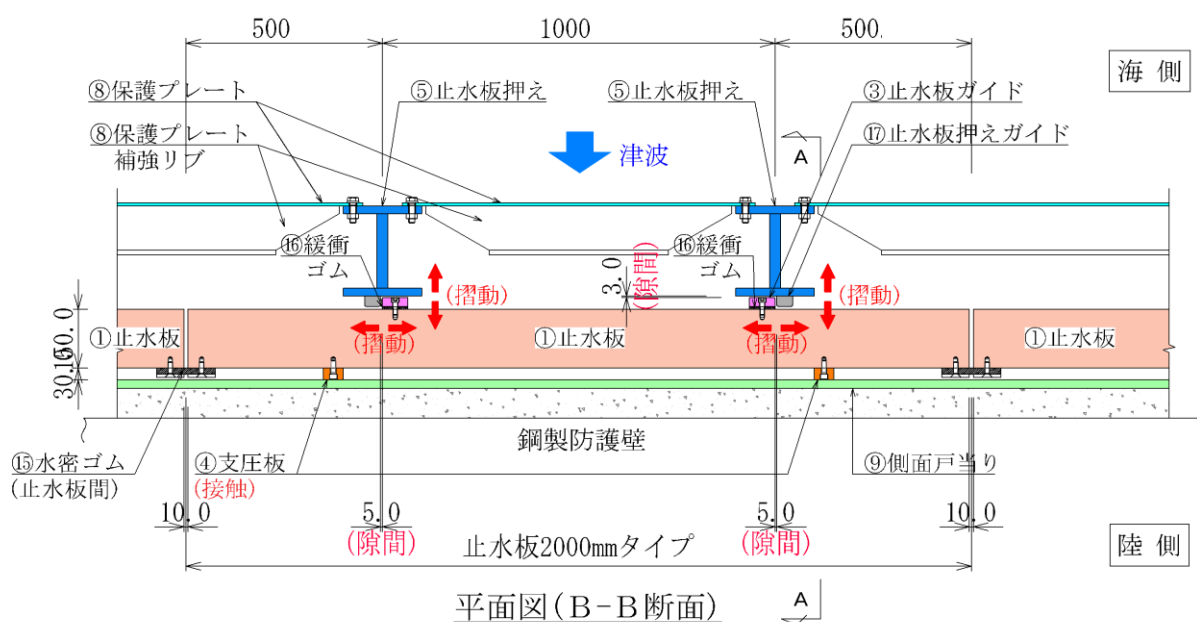
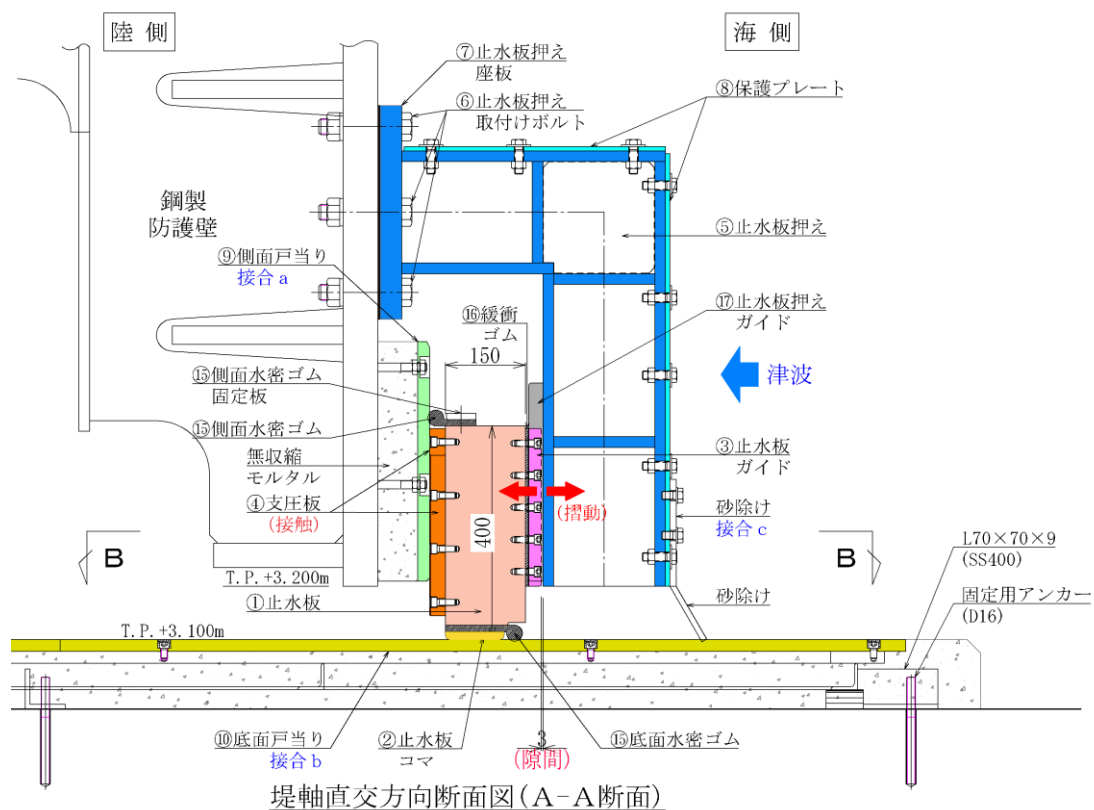


図 2-8 1 次止水機構 構造図 (拡大図)



表 2-4 接合 a～c の接合方法

| 項 目                    | 接合方法                                                                                                                                                                       |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>接合 a<br/>⑨側面戸当り</p> | <p>⑨側面戸当りは、鋼製防護壁の海側外面鋼板に固定用ボルトを現場溶接し、当該固定用ボルトを介して側面戸当りを取り付けた後、鋼製防護壁の海側外面鋼板との間にモルタルを充填して固定する。</p>                                                                           |
| <p>接合 b<br/>⑩底面戸当り</p> | <p>⑩底面戸当りは、底面戸当り受枠上に設置される。底面戸当り受枠は、既設構造物上面～T.P.+3.100m 間に打設されるモルタルに埋込まれる。底面戸当り受枠を固定するために接着系アンカーD16(SD345)3 本@600(堤軸方向)を既設構造物上面に打設し、モルタル充填することにより底面戸当り及び底面戸当り受枠ともに固定する。</p> |
| <p>接合 c<br/>砂除け</p>    | <p>砂除けは、止水板押え正面桁に設置される保護プレートの海側にボルト接合し固定する。</p>                                                                                                                            |

表 2-5 止水機構の耐震及び耐津波評価項目（静的解析）

| 評価方針        | 評価項目     | 評価部位   | 評価方法                                                       | 許容応力                             |
|-------------|----------|--------|------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 構造強度を有すること  | 構造部材の健全性 | 1次止水機構 | ①止水板<br>⑤止水板押え<br>⑦止水板押え座板<br>⑧保護プレート                      | 曲げ軸力，せん断力に対する発生応力が許容応力以下であることを確認 |
|             |          |        | ②止水板コマ<br>③止水板ガイド<br>⑦止水板押えガイド<br>④支圧板<br>⑨側面戸当り<br>⑩底面戸当り | 支圧に対する発生応力が許容応力以下であることを確認        |
|             |          |        | ⑥止水板押え<br>取付けボルト                                           | 引張力，せん断力に対する発生応力が許容応力以下であることを確認  |
|             |          | 2次止水機構 | ⑭シート<br>ジョイント                                              | 張力に対する発生応力が許容応力以下であることを確認        |
|             |          | 防衝板    | ⑪防衝板<br>⑬防衝板座板                                             | 曲げ軸力，せん断力に対する発生応力が許容応力以下であることを確認 |
|             |          |        | ⑫防衝板<br>取付けボルト                                             | 引張力，せん断力に対する発生応力が許容応力以下であることを確認  |
|             |          |        |                                                            |                                  |
| 止水性を損なわないこと | 構造部材の健全性 | 1次止水機構 | ①止水板<br>⑤止水板押え<br>⑦止水板押え座板<br>⑧保護プレート                      | 曲げ軸力，せん断力に対する発生応力が許容応力以下であることを確認 |
|             |          |        | ②止水板コマ<br>③止水板ガイド<br>⑦止水板押えガイド<br>④支圧板<br>⑨側面戸当り<br>⑩底面戸当り | 支圧に対する発生応力が許容応力以下であることを確認        |
|             |          |        | ⑥止水板押え<br>取付けボルト                                           | 引張力，せん断力に対する発生応力が許容応力以下であることを確認  |
|             |          | 2次止水機構 | ⑭シート<br>ジョイント                                              | 張力に対する発生応力が許容応力以下であることを確認        |
|             |          | 防衝板    | ⑪防衝板<br>⑬防衝板座板                                             | 曲げ軸力，せん断力に対する発生応力が許容応力以下であることを確認 |
|             |          |        | ⑫防衝板<br>取付けボルト                                             | 引張力，せん断力に対する発生応力が許容応力以下であることを確認  |
|             |          |        |                                                            |                                  |

表 2-6 止水機構の耐震における 2 次元動的解析評価項目

| 評価方針        | 評価項目     | 評価部位    |       | 評価方法                | 許容応力    |
|-------------|----------|---------|-------|---------------------|---------|
| 構造強度を有すること  | 構造部材の健全性 | 1 次止水機構 | ⑮水密ゴム | 発生応力が許容応力以下であることを確認 | 短期許容応力度 |
| 止水性を損なわないこと | 構造部材の健全性 | 1 次止水機構 | ⑮水密ゴム | 発生応力が許容応力以下であることを確認 | 短期許容応力度 |

表 2-7 止水機構の耐震における 3 次元動的解析評価項目

| 評価方針        | 評価項目     | 評価部位    |                                                      | 評価方法                | 許容応力    |
|-------------|----------|---------|------------------------------------------------------|---------------------|---------|
| 構造強度を有すること  | 構造部材の健全性 | 1 次止水機構 | ①止水板<br>②止水板コマ<br>③止水板ガイド<br>④支圧板<br>⑤止水板押え<br>⑯緩衝ゴム | 発生応力が許容応力以下であることを確認 | 短期許容応力度 |
| 止水性を損なわないこと | 構造部材の健全性 | 1 次止水機構 | ①止水板<br>②止水板コマ<br>③止水板ガイド<br>④支圧板<br>⑤止水板押え<br>⑯緩衝ゴム | 発生応力が許容応力以下であることを確認 | 短期許容応力度 |
|             | 構造部材の追従性 | 1 次止水機構 | ①止水板                                                 | 止水板の浮き上がり量及び回数      | —       |

表 2-8 止水機構の耐震における 3 次元衝突解析評価項目

| 評価方針        | 評価項目     | 評価部位    |                                     | 評価方法                | 許容応力    |
|-------------|----------|---------|-------------------------------------|---------------------|---------|
| 構造強度を有すること  | 構造部材の健全性 | 1 次止水機構 | ①止水板<br>②止水板コマ<br>③止水板ガイド<br>⑤止水板押え | 発生応力が許容応力以下であることを確認 | 短期許容応力度 |
| 止水性を損なわないこと | 構造部材の健全性 | 1 次止水機構 | ①止水板<br>②止水板コマ<br>③止水板ガイド<br>⑤止水板押え | 発生応力が許容応力以下であることを確認 | 短期許容応力度 |

注記：3次元動的解析結果による止水板の衝突速度と傾斜角度が、ともに鋼製防護壁基礎の構造変更前の数値を下回ることを確認できた場合、構造変更後の評価結果が安全側になるため、3次元衝突解析の実施を省略する。

### 2.3.2 1次止水機構の評価部位の仕様と構造

#### (1) ①止水板

止水板の仕様及び構造を図 2-9 に示す。

| 評価部位   |                     | 単位 | ①止水板                          |                               |                               |                               |
|--------|---------------------|----|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 主要寸法   | 止水板長さ <sup>*1</sup> | mm | 1990<br>(2000 <sup>*2</sup> ) | 1740<br>(1750 <sup>*2</sup> ) | 1540<br>(1550 <sup>*2</sup> ) | 1490<br>(1500 <sup>*2</sup> ) |
|        | 止水板高さ               | mm | 400                           |                               |                               |                               |
|        | 止水板厚さ               | mm | 150                           |                               |                               |                               |
| 材 料    |                     | —  | SUS304N2                      |                               |                               |                               |
| 応力評価項目 |                     | —  | 曲げ応力，せん断応力                    |                               |                               |                               |

注記 \*1：止水板は止水板長さ 2000mm が 13 枚，1750mm が 7 枚，1550mm が 1 枚，1500mm が 2 枚の全 23 枚を設置する。  
4 タイプの長さのうち，止水板長さ 2000mm の当該箇所を図 2-8 の平面図（B－B断面）に示す。

\*2：公称値

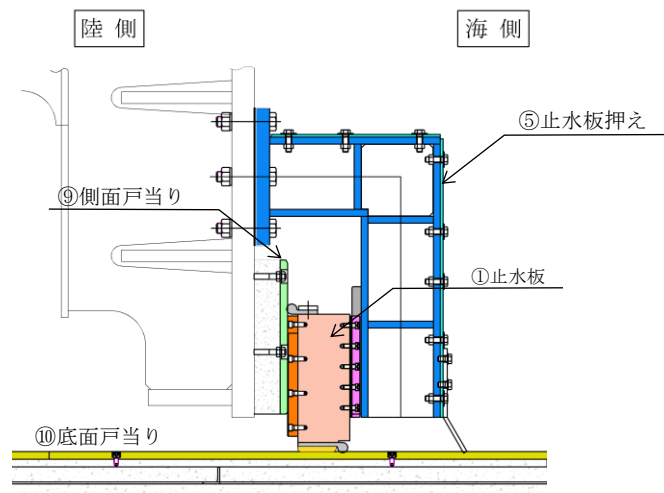


図 2-9 止水板の仕様と構造

(2) ②止水板コマ、③止水板ガイド、④支圧板、⑮水密ゴム

止水板コマ、止水板ガイド、支圧板、水密ゴムの仕様及び構造を図 2-10 に示す。

| 評価部位   |     | 単位 | ②止水板コマ | ③止水板ガイド | ④支圧板             | ⑮水密ゴム |
|--------|-----|----|--------|---------|------------------|-------|
| 主要寸法   | 厚さ  | mm | 15     | 30*1    | 30               | —     |
|        | 材 料 | —  | CAC703 | CAC304  | 超高分子量ポリエチレン(UPE) | 合成ゴム  |
| 応力評価項目 |     | —  | 支圧応力   | 支圧応力    | 支圧応力             | 発生応力  |

\*1：緩衝ゴム，ライナー厚さを含む。

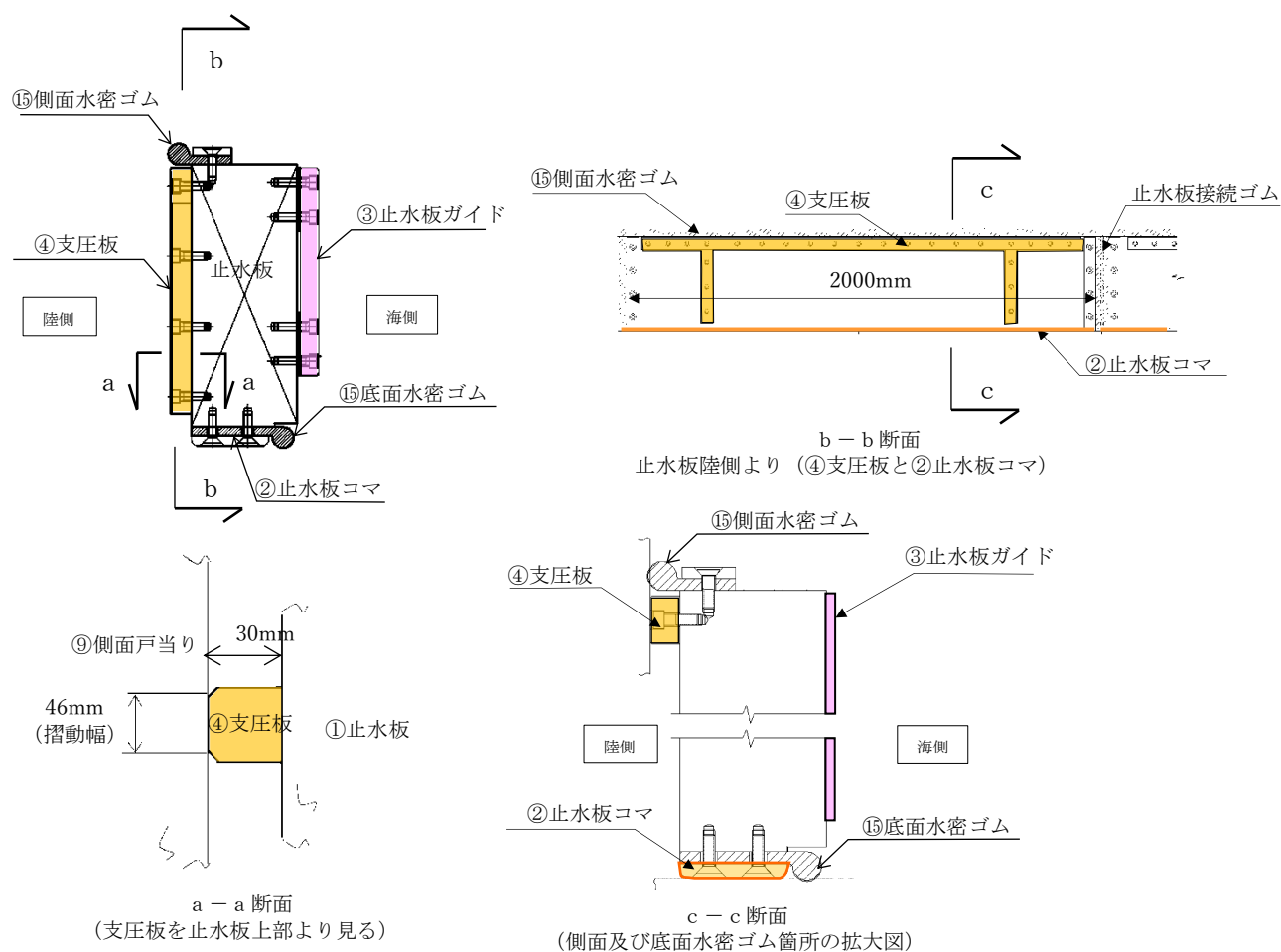


図 2-10 止水板コマ、止水板ガイド、支圧板、水密ゴムの仕様と構造

(3) ⑤止水板押え

止水板押えの全体配置図を図 2-11 に、止水板押えの仕様及び構造を図 2-12 に示す。

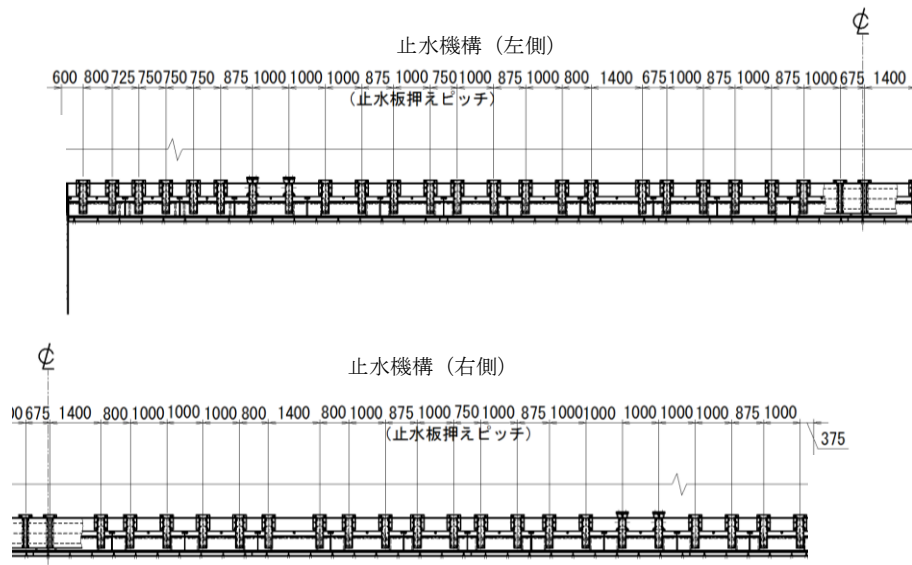


図 2-11 止水板押えの全体配置 (正面図：海側より)

- ・材料：SM570 及び SUS329J4L (図 2-12 に示す)
- ・寸法：＜上部桁＞H200  
＜正面桁＞H230
- ・応力評価項目：＜上部桁＞曲げ応力，せん断応力  
＜正面桁＞曲げ応力，せん断応力

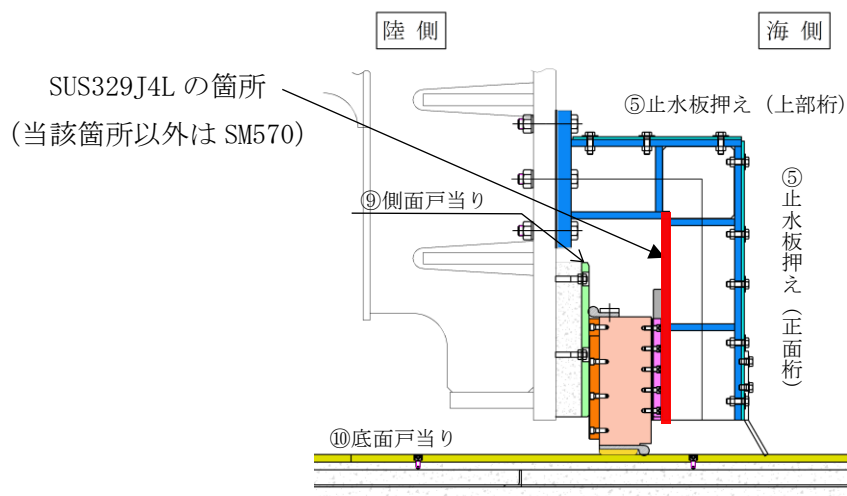


図 2-12 止水板押えの仕様及び構造

(4) ⑥止水板押え取付けボルト, ⑦止水板押え座板

止水板押え取付けボルト, 止水板押え座板の仕様及び構造を図 2-13 に示す。

・材 料 : <取付けボルト> S45CH

<座 板> SM570

・応力評価項目 : <取付けボルト> 引張り応力, せん断応力

<座 板> 曲げ応力, せん断応力

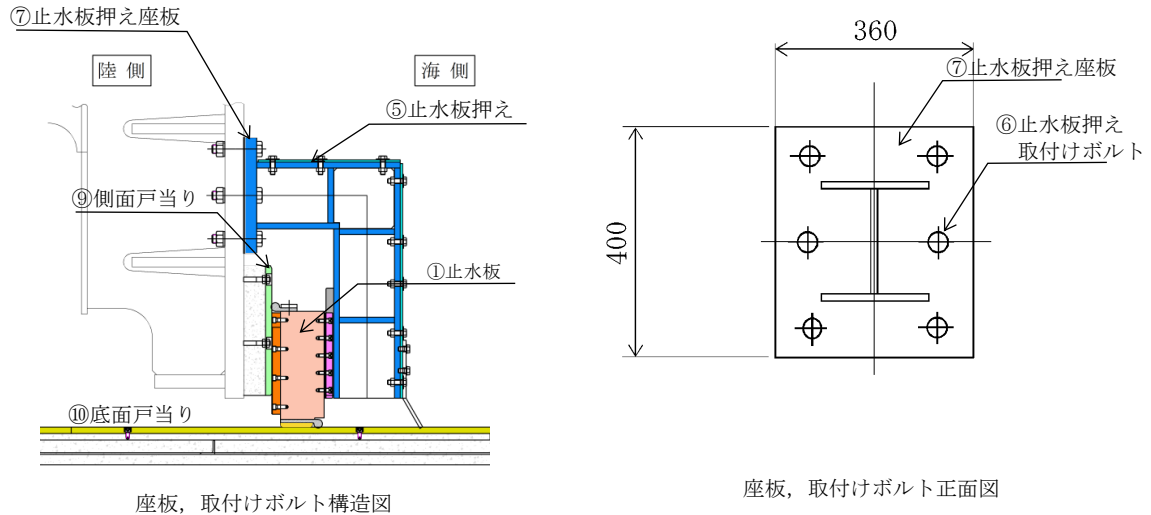


図 2-13 止水板押え取付けボルト, 止水板押え座板の仕様及び構造

(5) ⑧保護プレート

保護プレートの仕様及び構造を図 2-14 に示す。

・材 料 : SUS821L1

・応力評価項目 : <上面, 正面> 曲げ応力, せん断応力

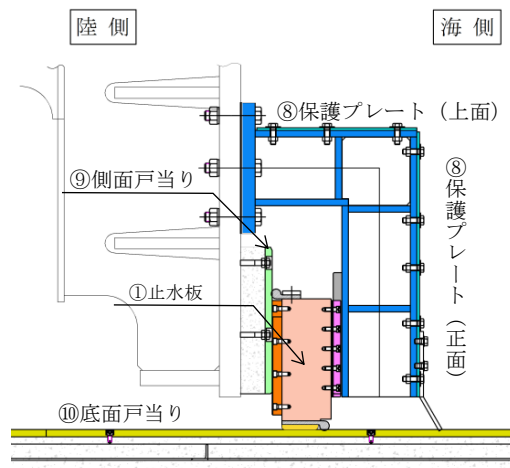


図 2-14 保護プレートの仕様及び構造



(6) ⑨側面戸当り，⑩底面戸当り，⑬緩衝ゴム，⑭止水板押えガイド

側面戸当り，底面戸当り，緩衝ゴム，止水板押えガイドの仕様及び構造を図 2-15 に示す。

| 評価部位   |    | 単位 | ⑨側面戸当り | ⑩底面戸当り        | ⑬緩衝ゴム | ⑭止水板押えガイド |
|--------|----|----|--------|---------------|-------|-----------|
| 主要寸法   | 長さ | mm | 42800  | L42800×W37000 | —     | L370×W40  |
|        | 厚さ | mm | 22     | 22            | —     | 26        |
| 材 料    |    | —  | SUS316 | SUS316        | 合成ゴム  | SUS329J4L |
| 応力評価項目 |    | —  | 支圧応力   | 支圧応力          | 発生応力  | 支圧応力*1    |

\*1：③止水板ガイド（材料：CAC304）と⑭止水板押えガイド（材料：SUS329J4L）の支圧応力度は接触面と同じになる。よって，⑭止水板押えガイドの支圧応力度の評価は，許容支圧応力度が小さい③止水板ガイド（材料：CAC304）について評価する。

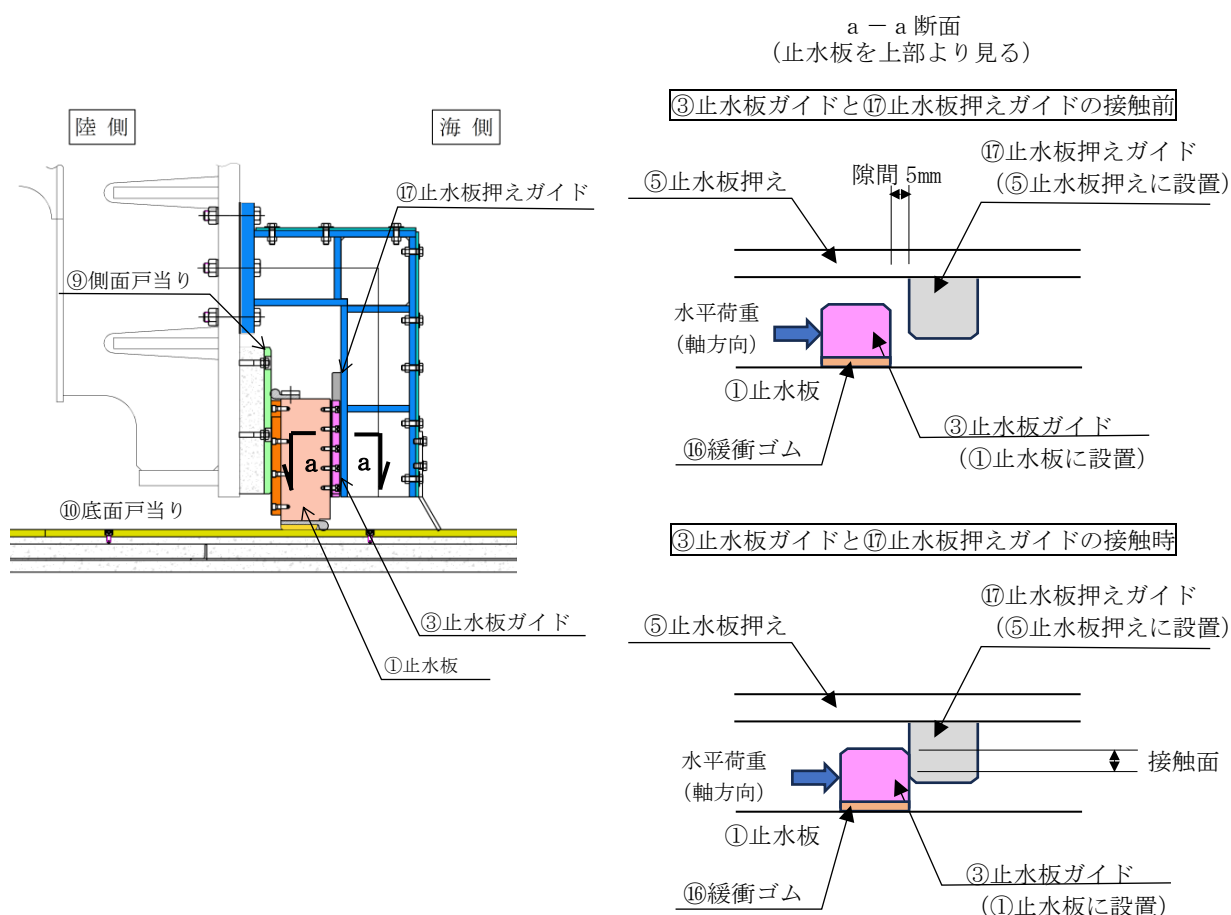


図 2-15 側面戸当り，底面戸当り，緩衝ゴム，止水板押えガイドの仕様及び構造

### 2.3.3 2次止水機構及び防衝板（影響防止装置）の評価部位の仕様と構造

- (1) ①防衝板（影響防止装置）、②防衝板取付けボルト、③防衝板座板、④シートジョイント  
防衝板、防衝板取付けボルト、防衝板座板、シートジョイントの仕様及び構造を図 2-16 に示す。

| 評価部位   |    | 単位 | ①防衝板          | ②防衝板取付けボルト     | ③防衝板座板        | ④シートジョイント                                |
|--------|----|----|---------------|----------------|---------------|------------------------------------------|
| 主要寸法   | 長さ | mm | 42800         | —              | —             | 42800                                    |
|        | 高さ | mm | 300           | —              | —             | 1500*1                                   |
|        | 厚さ | mm | 25            | —              | —             | —                                        |
| 材 料    |    | —  | SUS304        | SUS304         | SUS304        | ポリエステル繊維（#800 二重）<br>ポリ塩化ビニールシート 1mm（両面） |
| 応力評価項目 |    | —  | 曲げ応力<br>せん断応力 | 引張り応力<br>せん断応力 | 曲げ応力<br>せん断応力 | 引張り強度                                    |

\*1：シートジョイントの取付け部長さを示す。

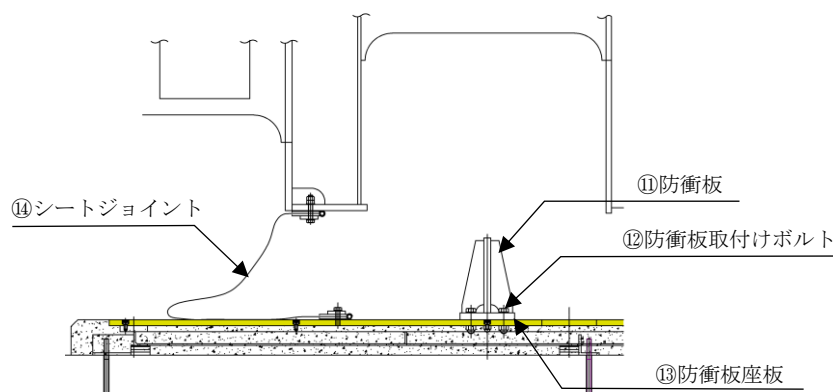


図 2-16 シートジョイントと防衝板の仕様及び構造

## (2) シートジョイントの構造

止水機構の2次止水機構としてシートジョイントを設置する。シートジョイントは、防潮堤の境界部に設置する止水ジョイント部材と同等の材質とする。

鋼製防護壁の端部においては、地震時変位に対する追従性を確保するため、シートジョイントに余長を設け、変位を吸収する構造とする。また、止水性を確保するため、シートジョイントの埋設部はボルトで固定する。

さらに、シートジョイントの埋設部には、図 2-18 に示すとおり、浅部においては形状維持の目的から砂（珪砂 9 号）を充填し、深部においては端部の止水の目的から粘土を充填し、形状を保持する。

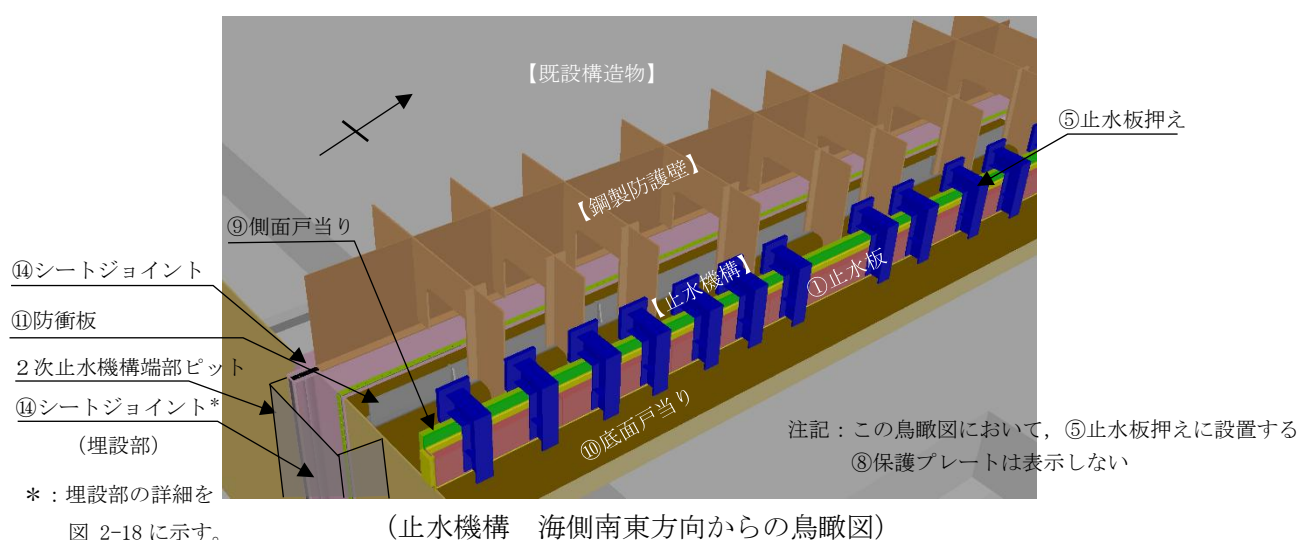
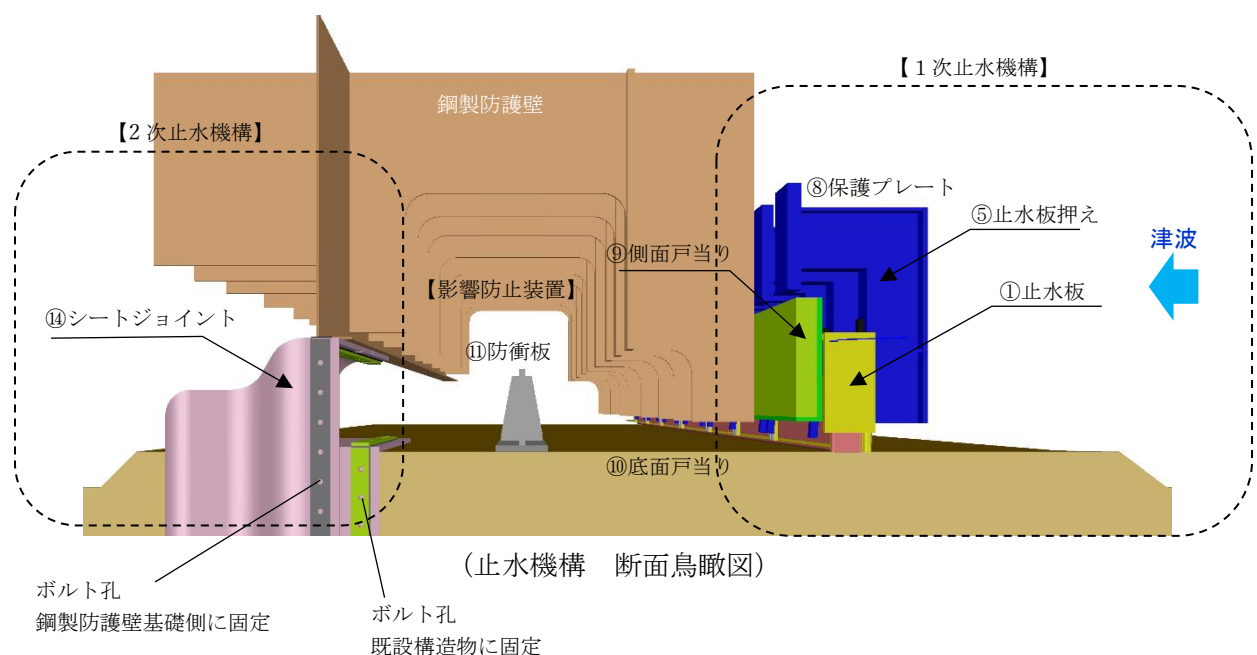


図 2-17 止水機構の概要

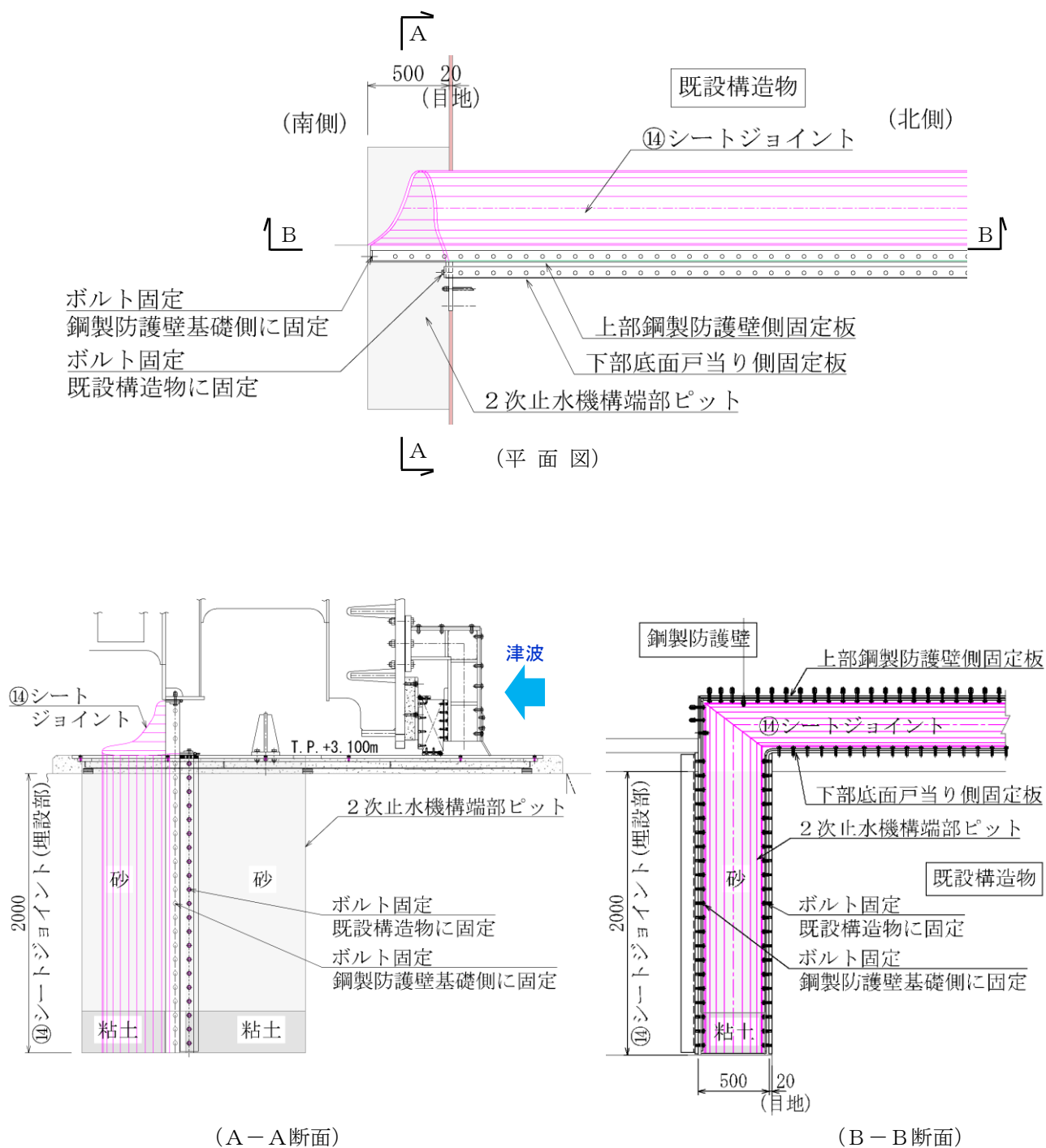


図 2-18 シートジョイントの埋設部

## 2.4 適用基準

適用する規格・基準類を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会, 2002 年制定)
- ・道路橋示方書 (Ⅰ 共通編・Ⅱ 鋼橋編)・同解説 (日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・水門鉄管技術基準 (水門扉編)・付解説 (水門鉄管協会, 平成 19 年 9 月)
- ・ダム・堰施設技術基準 (案) (基準解説編・設備計画マニュアル編) (ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 3 月)
- ・汚濁防止膜技術資料(案) 港湾空港総合技術センター(平成 25 年 9 月)

### 3. 評価方法

#### 3.1 全体評価フロー

止水機構の全体評価フローを図 3-1 に示す。

評価フロー内着色部に示す止水機構の設計は，【防潮堤（鋼製防護壁）の設計】及び【既設構造物】の設計結果である応答値よりⅠ．耐震・耐津波強度評価（静的）に対しては設計震度を設定し，Ⅱ．動的解析評価に対しては解析用入力波形を設定し評価を行う。

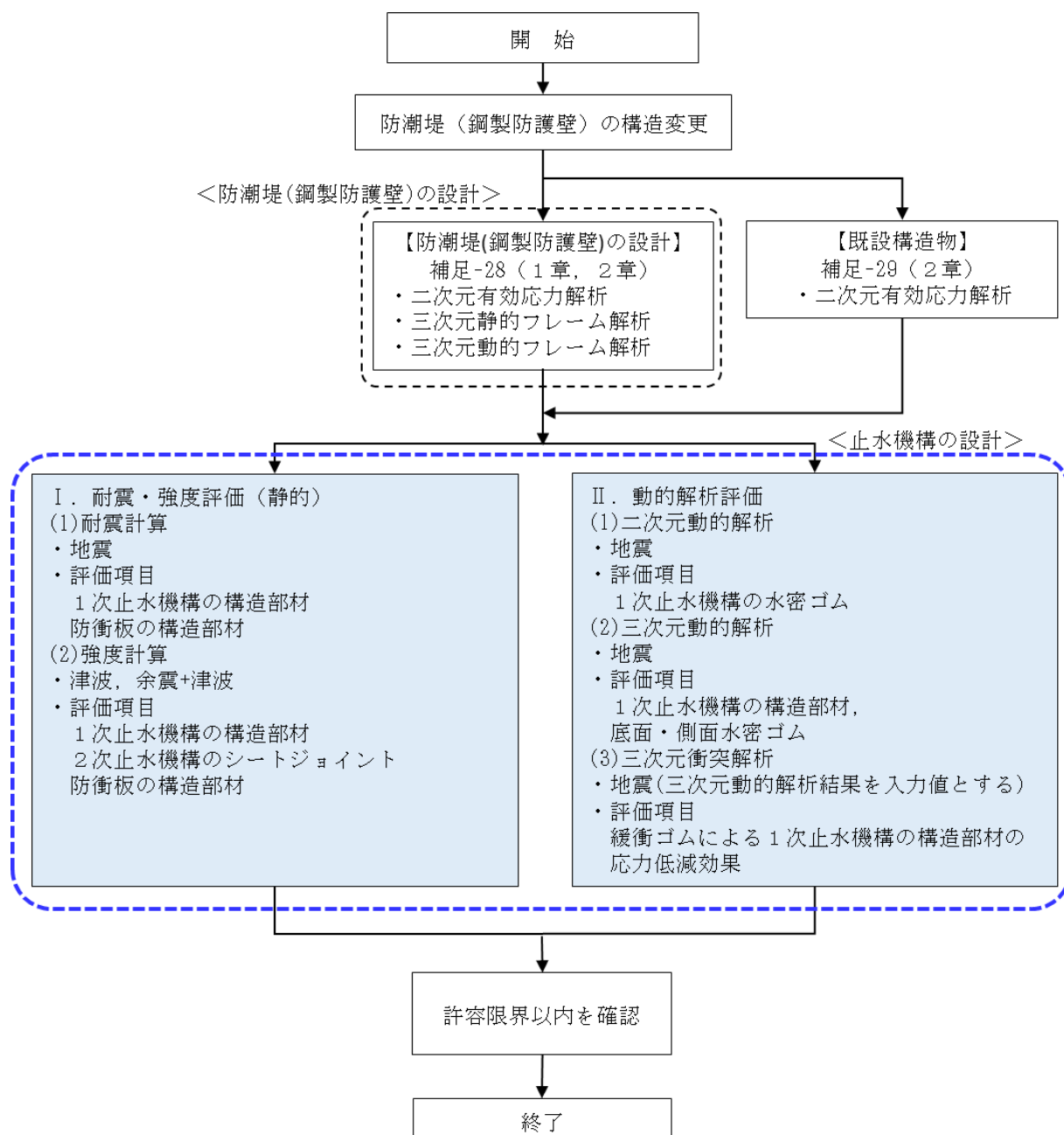


図 3-1 全体評価フロー

### 3.2 耐震評価フロー

耐震評価フローを図 3-2 に示す。

止水機構の仕様を設定し解析モデルを設定する。設定した解析モデルで固有値解析を行い、止水機構の固有周期が 0.05 s 以下であることを確認し、入力地震動より設定される設置床の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定する。ここで、防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更後の地震応答解析より設定した設計震度が構造変更前の設計震度を上回る場合は、荷重及び荷重の組合せの設定を基に「5.1.2 耐震評価における計算方法」に示す評価式による計算及び応力評価を行う。2 次止水機構の⑭シートジョイントについては、地震時に水圧が作用しないため評価を行わない。

なお、止水機構に構造変更はないことから、防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更後の地震応答解析より設定した設計震度が構造変更前の設計震度を下回る場合は検討終了とする。

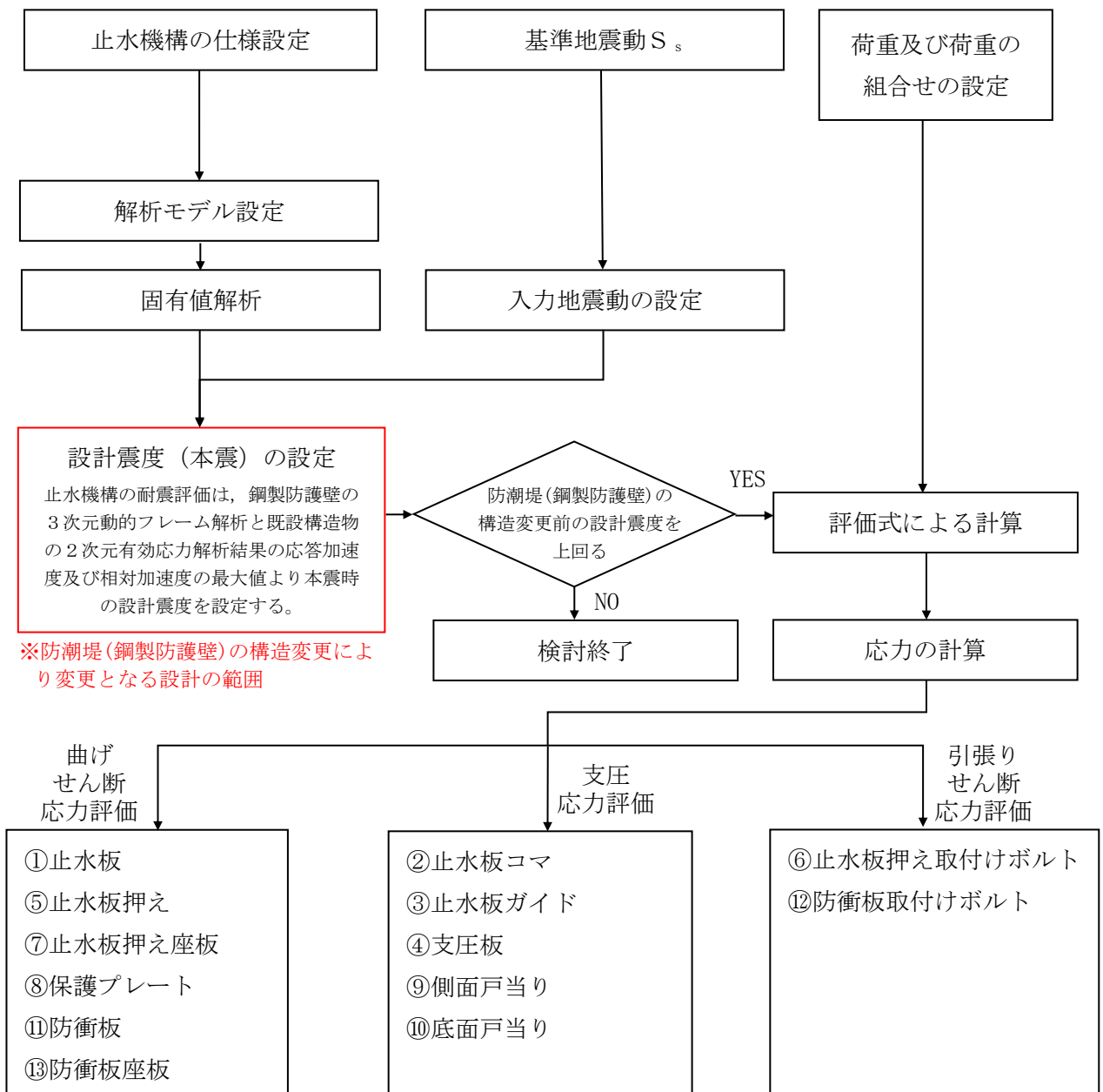


図 3-2 耐震評価フロー

### 3.3 耐津波評価フロー

耐津波評価フローを図 3-3 に示す。

止水機構の仕様を設定し解析モデルを設定する。重畳時に対しては解析モデル設定後に固有値解析により設計震度を設定する。ここで、防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更後の地震応答解析より設定した設計震度が構造変更前の設計震度を上回る場合は、基準津波及び敷地に遡上する津波との重畳を考慮した荷重及び荷重組合せの設定を基に「5.1.3 耐津波評価における計算方法」に示す評価式による計算を行う。また、2次止水機構の⑭シートジョイントについては、水圧に対する張力評価のみとなる。

なお、止水機構に構造変更はないことから、防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更後の地震応答解析より設定した設計震度が構造変更前の設計震度を下回る場合は検討終了とする。

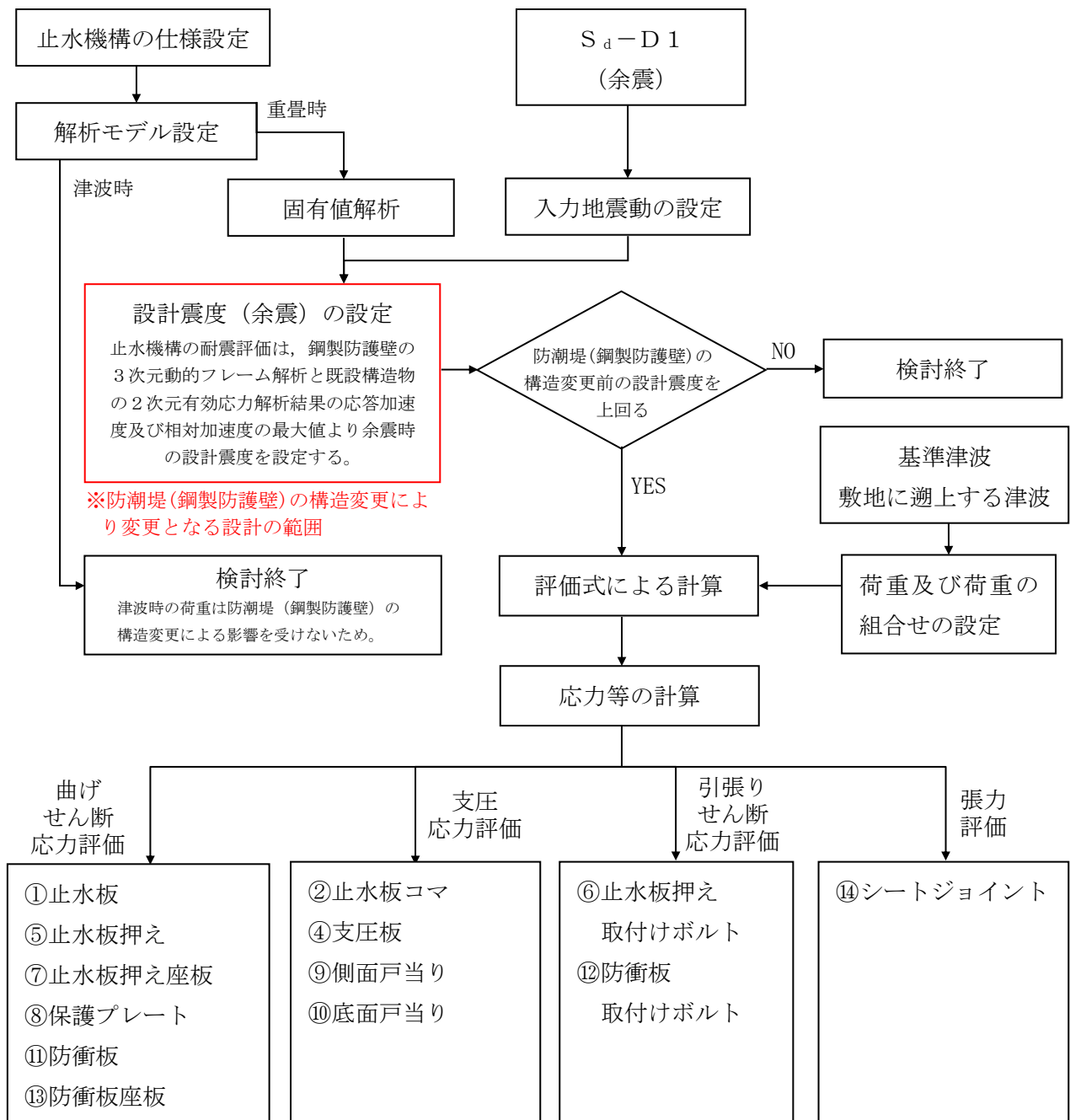


図 3-3 耐津波評価フロー



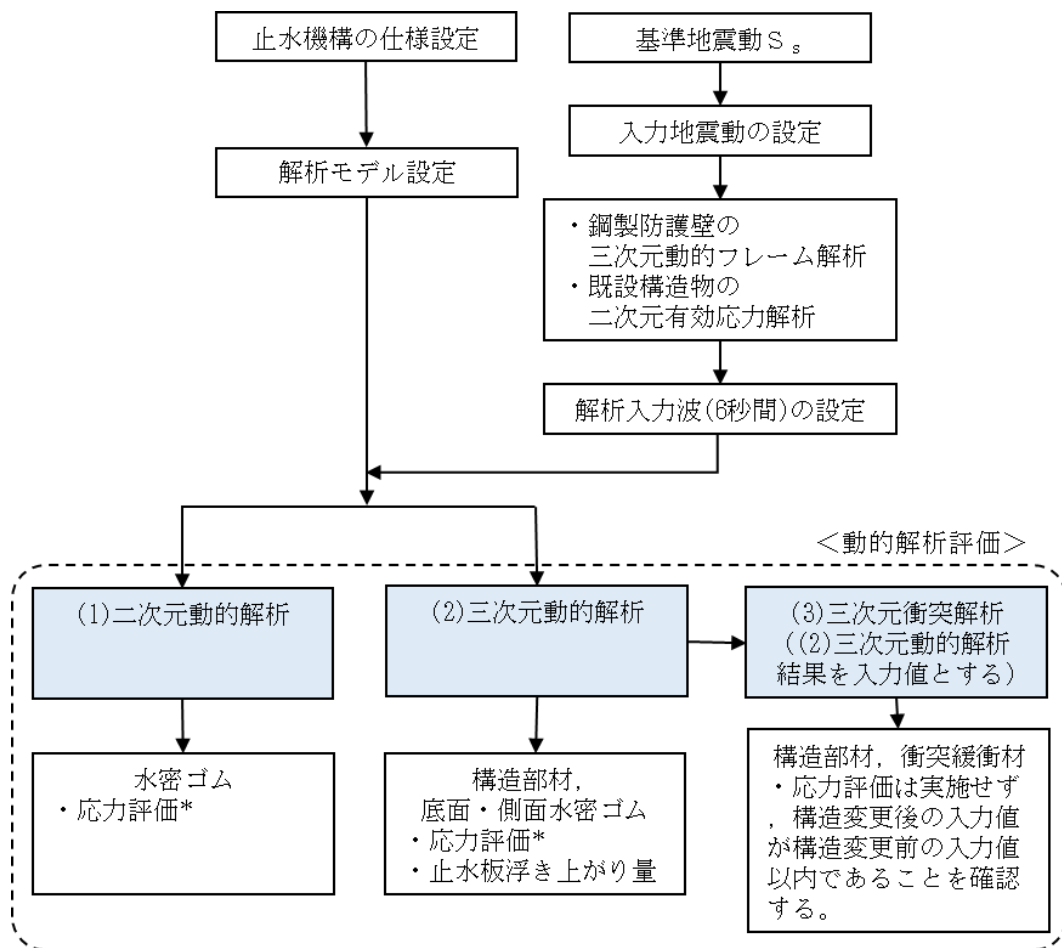
### 3.4 動的解析評価フロー

動的解析評価フローを図 3-4 に示す。

1 次止水機構の動的解析評価は、鋼製防護壁の 3 次元動的フレーム解析と既設構造物の 2 次元有効応力解析及び両者の相対加速度算出結果のうち最大応答加速度が発生する加速度時刻歴を選定し、最大応答加速度が発生する時刻の前後 3 秒間(全 6 秒間)の応答変位波形を入力値として行う。

(1) 2 次元動的解析には Y 成分(堤軸直交方向)と Z 成分(鉛直方向)を設定し、(2) 3 次元動的解析には X 成分(堤軸方向)も設定する。

(3) 3 次元衝突解析には(2) 3 次元動的解析で得られた止水板の衝突速度と角度を入力値として設定する。(3) 3 次元衝突解析は、今回の入力値が構造変更前の設計時の入力値を上回らないことを確認する。



\*応力評価については、ミーゼス応力（フォン・ミーゼス応力）で行った。  
ミーゼス応力は、複雑な多軸応力状態を1つの正のスカラー値に換算し、  
金属などの延性材料の降伏・強度評価に用いられる指標である。  
計算式（主応力使用時）

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

ここで、 $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  は主応力

図 3-4 動的解析評価フロー

#### 4. 許容限界

##### 4.1 耐震評価

止水機構の耐震評価に用いる許容限界を表 4-1 に、許容限界の算定に用いる許容応力度評価基準値を表 4-2 に、表 4-1 及び表 4-2 より算定した止水機構各部位の許容限界を表 4-3 に示す。また、水密ゴムの許容限界を表 4-4 に示す。

表 4-1 止水機構の許容限界

| 許容応力状態                | 許容限界 <sup>*1</sup> |                   |                   |              |                   |
|-----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------|-------------------|
|                       | 曲げ                 | 圧縮                | 引張                | せん断          | 支圧                |
| 短期許容応力度 <sup>*2</sup> | $1.5 \sigma_{ab}$  | $1.5 \sigma_{ac}$ | $1.5 \sigma_{at}$ | $1.5 \tau_a$ | $1.5 \sigma_{as}$ |

注記\*1：地震後、津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

\*2：コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年制定）より，割増し係数を 1.5 倍とする。

表 4-2 止水機構各部位の許容応力度評価基準値

| 評価対象部位                                            | 材料                  | $\sigma_{ab}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{ac}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{at}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\tau_a$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{as}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| ①止水板 <sup>*1</sup>                                | SUS304N2            | 200                                   | —                                     | —                                     | 120                              | —                                     |
| ②止水板コマ <sup>*2</sup>                              | CAC703              | —                                     | —                                     | —                                     | —                                | 114                                   |
| ③止水板ガイド <sup>*3</sup>                             | CAC304              | —                                     | —                                     | —                                     | —                                | 166                                   |
| ④支圧板 <sup>*4</sup>                                | UPE                 | —                                     | —                                     | —                                     | —                                | 13                                    |
| ⑤止水板押え<br>(正面桁 <sup>*5</sup> ／上部桁 <sup>*6</sup> ) | SUS329J4L<br>／SM570 | 255／255                               | —                                     | —                                     | —／145                            | —                                     |
| ⑥止水板押え<br>取付けボルト <sup>*7</sup>                    | S45CH               | —                                     | —                                     | 360                                   | 200                              | —                                     |
| ⑦止水板押え座板 <sup>*6</sup>                            | SM570               | 255                                   | —                                     | —                                     | 145                              | —                                     |
| ⑧保護プレート <sup>*8</sup>                             | SUS821L1            | 221                                   | —                                     | —                                     | 126                              | —                                     |
| ⑨側面戸当り <sup>*1</sup>                              | SUS316              | —                                     | —                                     | —                                     | —                                | 91                                    |
| ⑩底面戸当り <sup>*1</sup>                              | SUS316              | —                                     | —                                     | —                                     | —                                | 91                                    |
| ⑪防衝板 <sup>*1</sup>                                | SUS304              | 122                                   | —                                     | —                                     | 69                               | —                                     |
| ⑫防衝板<br>取付けボルト <sup>*9</sup>                      | SUS304              | —                                     | —                                     | 119                                   | 76                               | —                                     |
| ⑬防衝板座板 <sup>*1</sup>                              | SUS304              | 122                                   | —                                     | —                                     | 69                               | —                                     |

注記\*1：表 4-2 中の材料の許容応力度は、JIS G 4305 に示される耐力を、道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）に示される SM400 の安全率（降伏点又は耐力／許容応力度）で除して設定する

\*2：表 4-2 中の材料の許容応力度は、JIS H 5120 に示される耐力を、道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）に示される SC450 の安全率（降伏点又は耐力／許容応力度）で除して設定する

\*3：表 4-2 中の材料の許容応力度は、JIS H 5120 に示される耐力を、道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）に示される SCMn2A の安全率（降伏点又は耐力／許容応力度）で除して設定する

\*4：引張強さはメーカーカタログ（ニューライト）。安全率は水門鉄管技術基準（水門扉編）・付解説（水門鉄管協会，平成 19 年 9 月）

\*5：表 4-2 中の材料の許容応力度は、JIS G 4305 に示される耐力を、道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）に示される SM570 (16<t≤40) の安全率（降伏点又は耐力／許容応力度）で除して設定する

\*6：道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）

\*7：JIS B 1051 による強度区分 8.8 の許容応力度は、道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）による

\*8：表 4-2 中の材料の許容応力度は、JIS G 4305 に示される耐力を、道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）に示される SM570 (t≤16) の安全率（降伏点又は耐力／許容応力度）で除して設定する

\*9：表 4-2 中の材料の許容応力度は、JIS G 4305 に示される耐力を、道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）に示される JIS B 1051 による強度区分 4.6 の安全率（降伏点又は耐力／許容応力度）で除して設定する

表 4-3 止水機構各部位の許容限界（割増し係数 1.5 倍を考慮）

| 許容応力<br>状態  | 評価対象部位              | 許容限界                       |                            |                            |                             |                            |
|-------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|             |                     | 曲げ<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 圧縮<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | せん断<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 支圧<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| 短期許容<br>応力度 | ①止水板                | 300                        | —                          | —                          | 180                         | —                          |
|             | ②止水板コマ              | —                          | —                          | —                          | —                           | 171                        |
|             | ③止水板ガイド             | —                          | —                          | —                          | —                           | 249                        |
|             | ④支圧板                | —                          | —                          | —                          | —                           | 19                         |
|             | ⑤止水板押え<br>(正面桁／上部桁) | 382／382                    | —                          | —                          | —／217                       | —                          |
|             | ⑥止水板押え<br>取付けボルト    | —                          | —                          | 540                        | 300                         | —                          |
|             | ⑦止水板押え座板            | 382                        | —                          | —                          | 217                         | —                          |
|             | ⑧保護プレート             | 332                        | —                          | —                          | 189                         | —                          |
|             | ⑨側面戸当り              | —                          | —                          | —                          | —                           | 136                        |
|             | ⑩底面戸当り              | —                          | —                          | —                          | —                           | 136                        |
|             | ⑪防衝板                | 183                        | —                          | —                          | 104                         | —                          |
|             | ⑫防衝板<br>取付けボルト      | —                          | —                          | 179                        | 115                         | —                          |
|             | ⑬防衝板座板              | 183                        | —                          | —                          | 104                         | —                          |

表 4-4 水密ゴムの許容限界

| 評価項目  |              |    | 短期許容応力度* <sup>1</sup><br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|-------|--------------|----|-----------------------------------------------|
| ⑮水密ゴム | 合成ゴム＋UPE 貼付け | 張力 | 12                                            |

注記\*1：ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 3 月）に示す引張強さの 1.5／1.7 倍とする。

## 4.2 耐津波評価

### 4.2.1 基準津波と余震による重畳時

止水機構の耐津波評価に用いる許容限界を表 4-5 に、許容限界の算定に用いる許容応力度評価基準値を表 4-2 に、表 4-2 及び表 4-5 より算定した止水機構各部位の許容限界を表 4-6 に示す。また、シートジョイントの許容限界を表 4-7 に、水密ゴムの許容限界を表 4-8 に示す。

表 4-5 止水機構の許容限界

| 許容応力状態  | 許容限界              |                   |                   |              |                   |
|---------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|-------------------|
|         | 曲げ                | 圧縮                | 引張                | せん断          | 支圧                |
| 短期許容応力度 | $1.5 \sigma_{ab}$ | $1.5 \sigma_{ac}$ | $1.5 \sigma_{at}$ | $1.5 \tau_a$ | $1.5 \sigma_{as}$ |

表 4-6 止水機構各部位の許容限界（割増し係数 1.5 倍を考慮）

| 許容応力状態      | 評価対象部位              | 許容限界                       |                            |                            |                             |                            |
|-------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|             |                     | 曲げ<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 圧縮<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | せん断<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 支圧<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| 短期許容<br>応力度 | ①止水板                | 300                        | —                          | —                          | 180                         | —                          |
|             | ②止水板コマ              | —                          | —                          | —                          | —                           | 171                        |
|             | ④支圧板                | —                          | —                          | —                          | —                           | 19                         |
|             | ⑤止水板押え<br>(正面桁／上部桁) | 382／382                    | —                          | —                          | —／217                       | —                          |
|             | ⑥止水板押え<br>取付けボルト    | —                          | —                          | 540                        | 300                         | —                          |
|             | ⑦止水板押え座板            | 382                        | —                          | —                          | 217                         | —                          |
|             | ⑧保護プレート             | 332                        | —                          | —                          | 189                         | —                          |
|             | ⑨側面戸当り              | —                          | —                          | —                          | —                           | 136                        |
|             | ⑩底面戸当り              | —                          | —                          | —                          | —                           | 136                        |
|             | ⑪防衝板                | 183                        | —                          | —                          | 104                         | —                          |
|             | ⑫防衝板<br>取付けボルト      | —                          | —                          | 179                        | 115                         | —                          |
|             | ⑬防衝板座板              | 183                        | —                          | —                          | 104                         | —                          |

注記：止水機構各部位の許容限界を算出するための許容応力度評価基準値は表 4-2 と共通とする。

表 4-7 シートジョイントの許容限界

| 評価項目      |                                          |    | 許容張力* <sup>1</sup><br>(kN/30cm) |
|-----------|------------------------------------------|----|---------------------------------|
| ⑭シートジョイント | ポリエステル繊維（＃800 二重）<br>ポリ塩化ビニールシート 1mm（両面） | 張力 | 60                              |

注記\*1：許容限界はシートジョイントの固定部で決定され、固定部の引張強さは90kN/30cm以上である。引張強さに対する安全率は、「関西電力 高浜発電所 防潮堤設置工事」における「シートジョイント」の安全率 $SF \geq 1.5$ を参考に、 $SF=1.5$ とする。なお、引張強さは「関西電力 高浜発電所 防潮堤設置工事」における「シートジョイント」の実測値である。

表 4-8 水密ゴムの許容限界

| 評価項目  |              |    | 短期許容応力度* <sup>1</sup><br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|-------|--------------|----|-----------------------------------------------|
| ⑮水密ゴム | 合成ゴム+UPE 貼付け | 張力 | 12                                            |

注記\*1：ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（ダム・堰施設技術協会 平成28年3月）に示す引張強さの1.5/1.7倍とする。

#### 4.2.2 敷地に遡上する津波と余震による重畳時

止水機構の耐津波評価に用いる許容限界を表 4-9 に、許容限界の算定に用いる許容応力度評価基準値を表 4-2 に、表 4-2 及び表 4-9 より算定した止水機構各部位の許容限界を表 4-10 に示す。また、シートジョイントの許容限界を表 4-11 に、水密ゴムの許容限界を表 4-12 に示す。

表 4-9 止水機構の許容限界

| 許容応力状態                | 許容限界 <sup>*1</sup> |                   |                   |              |                   |
|-----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------|-------------------|
|                       | 曲げ                 | 圧縮                | 引張                | せん断          | 支圧                |
| 短期許容応力度 <sup>*2</sup> | $1.7 \sigma_{ab}$  | $1.7 \sigma_{ac}$ | $1.7 \sigma_{at}$ | $1.7 \tau_a$ | $1.7 \sigma_{as}$ |

注記\*1：地震後、津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

\*2：道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会、平成14年3月）より、割増し係数を1.7倍とする。

表 4-10 止水機構各部位の許容限界（割増し係数1.7倍を考慮）

| 許容応力状態      | 評価対象部位              | 許容限界                       |                            |                            |                             |                            |
|-------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|             |                     | 曲げ<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 圧縮<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | せん断<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 支圧<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| 短期許容<br>応力度 | ①止水板                | 340                        | —                          | —                          | 204                         | —                          |
|             | ②止水板コマ              | —                          | —                          | —                          | —                           | 193                        |
|             | ④支圧板                | —                          | —                          | —                          | —                           | 22                         |
|             | ⑤止水板押え<br>(正面桁／上部桁) | 433／433                    | —                          | —                          | —／246                       | —                          |
|             | ⑥止水板押え<br>取付けボルト    | —                          | —                          | 612                        | 340                         | —                          |
|             | ⑦止水板押え座板            | 433                        | —                          | —                          | 246                         | —                          |
|             | ⑧保護プレート             | 376                        | —                          | —                          | 214                         | —                          |
|             | ⑨側面戸当り              | —                          | —                          | —                          | —                           | 154                        |
|             | ⑩底面戸当り              | —                          | —                          | —                          | —                           | 154                        |
|             | ⑪防衝板                | 207                        | —                          | —                          | 118                         | —                          |
|             | ⑫防衝板<br>取付けボルト      | —                          | —                          | 203                        | 130                         | —                          |
|             | ⑬防衝板座板              | 207                        | —                          | —                          | 118                         | —                          |

注記：止水機構各部位の許容限界を算出するための許容応力度評価基準値は表 4-2 と共通とする。

表 4-11 シートジョイントの許容限界

| 評価項目      |                                          |    | 許容張力<br>(kN/30cm) |
|-----------|------------------------------------------|----|-------------------|
| ⑭シートジョイント | ポリエステル繊維（＃800 二重）<br>ポリ塩化ビニールシート 1mm（両面） | 張力 | 60                |

表 4-12 水密ゴムの許容限界

| 評価項目  |              |    | 短期許容応力度* <sup>1</sup><br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|-------|--------------|----|-----------------------------------------------|
| ⑮水密ゴム | 合成ゴム+UPE 貼付け | 張力 | 14.7                                          |

注記\*1：ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 3 月）に示す引張強さとする。



## 5. 計算及び解析方法

### 5.1 耐震評価及び耐津波評価

#### 5.1.1 設計震度

構造変更後の設計震度及び構造変更前の設計震度を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

設計震度は、既工認の添付書類「V-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書」及び「V-3-別添 3-2-1-1 防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書」の止水機構に係る検討と同じ地震動及び地盤ケースを対象に、鋼製防護壁の 3 次元動的フレーム解析と既設構造物の 2 次元有効応力解析結果の応答加速度及び相対加速度の最大値より算出し、構造変更後の設計震度が構造変更前の設計震度以下であることを確認した。

表 5-1 構造変更後の設計震度集計表（ $1.2 \times ZPA$ による震度）

| 項 目 | 水平方向<br>(N S 方向)              | 水平方向<br>(E W 方向)             | 鉛直方向                          |
|-----|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 本震時 | 2.88<br>$S_s - 1.2$<br>地盤ケース① | 3.66<br>$S_s - D1$<br>地盤ケース① | 5.35<br>$S_s - 2.2$<br>地盤ケース① |
| 余震時 | 1.30<br>$S_d - D1$<br>地盤ケース①  | 1.80<br>$S_d - D1$<br>地盤ケース① | 1.74<br>$S_d - D1$<br>地盤ケース①  |

地盤ケース①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース

表 5-2 構造変更前の設計震度集計表（ $1.2 \times ZPA$ による震度）

| 項 目 | 水平方向<br>(N S 方向)              | 水平方向<br>(E W 方向)             | 鉛直方向                          |
|-----|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 本震時 | 3.10<br>$S_s - 1.2$<br>地盤ケース① | 3.85<br>$S_s - D1$<br>地盤ケース① | 5.50<br>$S_s - 2.2$<br>地盤ケース① |
| 余震時 | 1.34<br>$S_d - D1$<br>地盤ケース①  | 1.93<br>$S_d - D1$<br>地盤ケース① | 1.78<br>$S_d - D1$<br>地盤ケース①  |

地盤ケース①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース

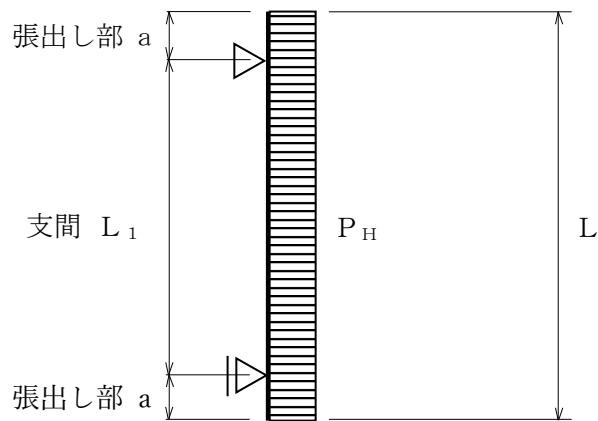
### 5.1.2 耐震評価における計算方法

#### (1) 止水板

止水板のモデル図を図 5-1 に示す。

作用荷重は、止水板自重による軸直角方向慣性力とし、海側と陸側の両方向を考慮する。

止水板は、部材の発生断面力に対して保守的な評価となるよう、慣性力が海側に作用する場合は止水板ガイドと止水板押え、陸側に作用する場合は支圧板と側面戸当りとの接触位置を支点とする両端張出しの単純梁としてモデル化し評価する。



$$M_{max} = \frac{P_H \cdot L}{2} \cdot \left( \frac{L}{2} - a \right) - \frac{P_H \cdot (L/2)^2}{2}$$

$$S_{max} = \frac{P_H \cdot L}{2} - P_H \cdot a$$

$P_H$  : 止水板自重による  
軸直角方向慣性力 (N/mm)

$L$  : 止水板の幅 (2000 mm)

$a$  : 張出し部 (mm)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A$  : 断面積 (mm<sup>2</sup>)

<応力度の計算>

・ 曲げ応力度

$$\sigma = M_{max} / Z \quad (\text{N/mm}^2)$$

・ せん断応力度

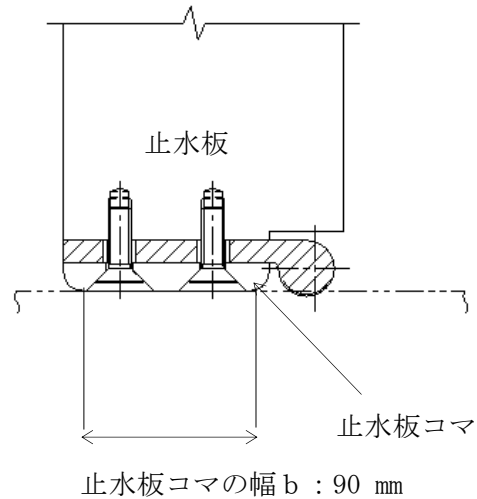
$$\tau = S_{max} / A \quad (\text{N/mm}^2)$$

図 5-1 止水板のモデル図

(2) 止水板コマ

止水板コマの応力算定式を図 5-2 に示す。

止水板コマは、止水板に作用する荷重を底面戸当りに伝達することから、止水板コマの接触面積より支圧応力を評価する。



$$P = P_v \cdot B$$

$$\sigma_p = \frac{P}{b \cdot L_s}$$

$P$  : 止水板コマの止水板に作用する全鉛直荷重 (N)

$\sigma_p$  : 止水板コマに生じる支圧応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$P_v$  : 鉛直荷重 ( $\text{N}/\text{mm}$ )

$B$  : 止水板の幅 (1990 mm)

$b$  : 止水板コマ幅 (90 mm)

$L_s$  : 荷重を受ける止水板コマ長さ (995 mm)

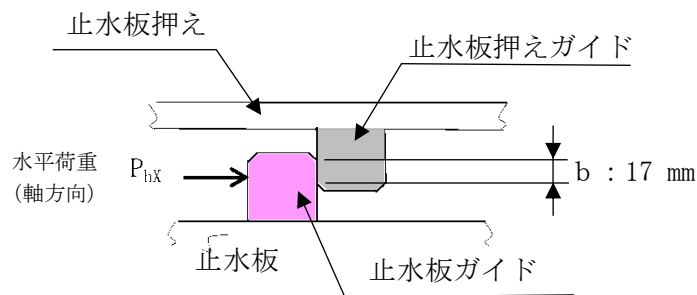
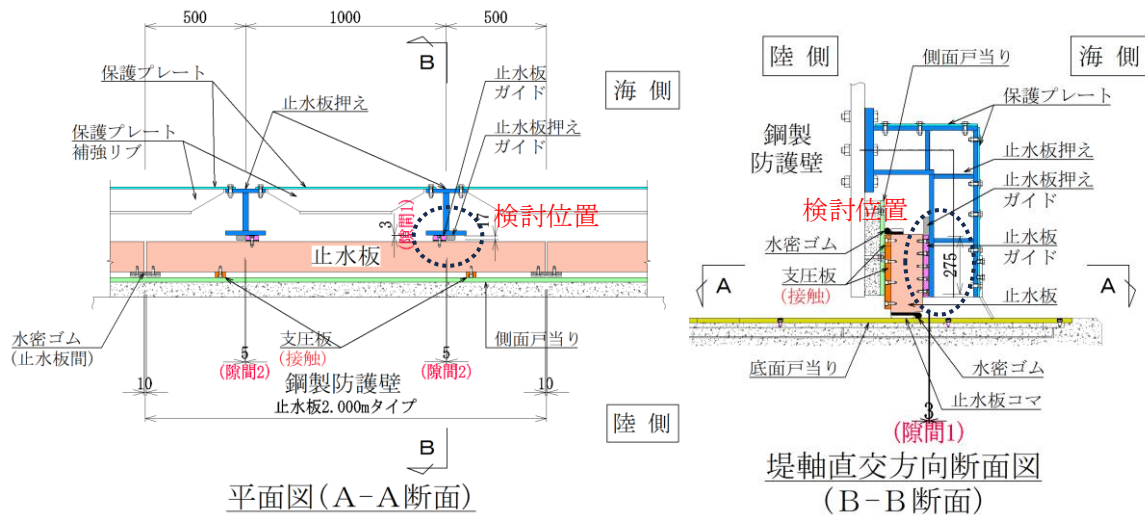
止水板長さの半分 ( $1.99 \text{ m} \times 1/2$ ) として算出

図 5-2 止水板コマの応力算定式

### (3) 止水板ガイド

止水板ガイドの応力算定式を図 5-3 に示す。

止水板ガイドは、止水板押え側のガイドと取合い、止水板の軸方向の横移動を防止する役割を持つものである。止水板の荷重を止水板押えへ伝達する。



$$\sigma_p = \frac{P_{hx}}{b \cdot L_s}$$

$\sigma_p$  : 止水板ガイドに生じる支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_{hx}$  : 止水板ガイドに作用する軸方向慣性力 (N)

$b$  : 止水板ガイド板の側面の接触幅 (17 mm)

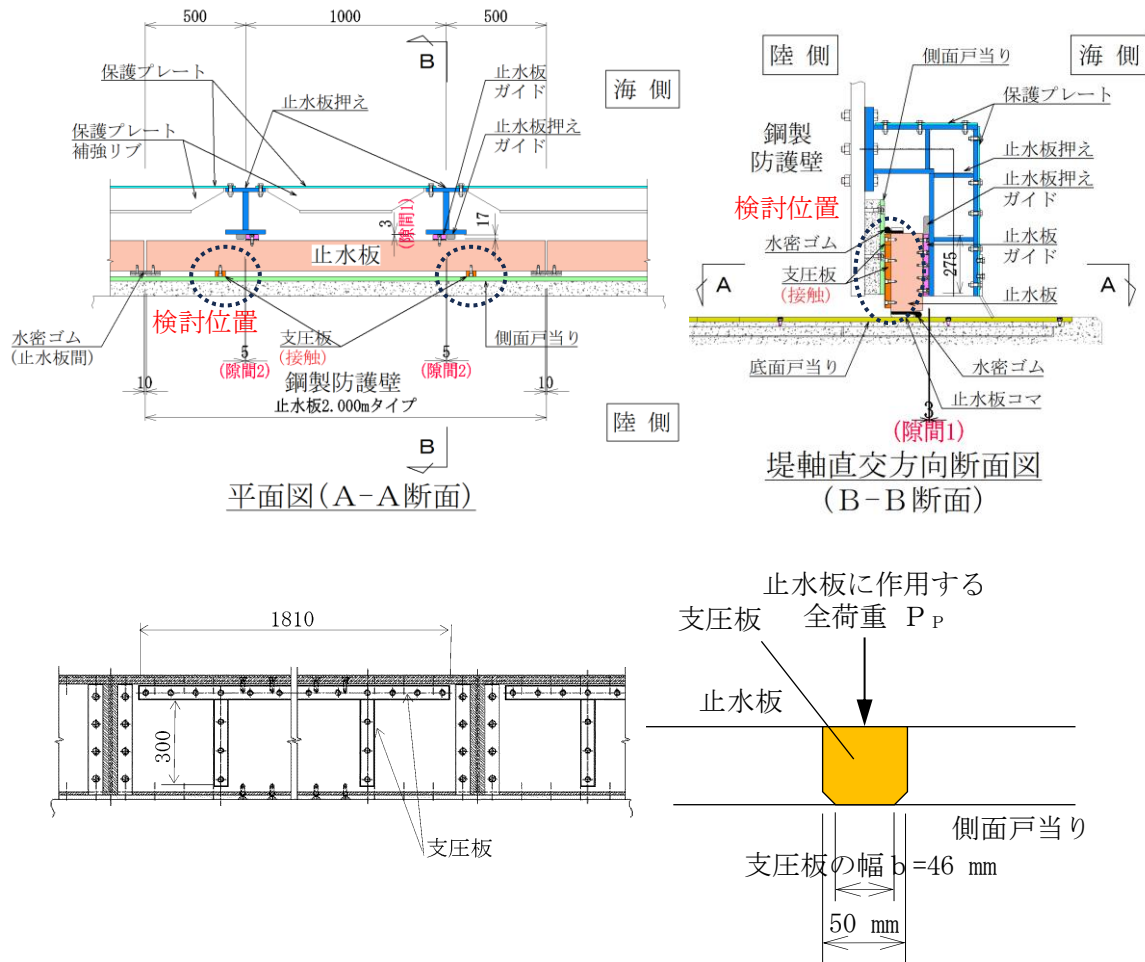
$L_s$  : 荷重を受ける支圧長さ 275 mm から  
50 mm 浮き上がり時の影響を考慮 (225 mm)

図 5-3 止水板ガイドの応力算定式

#### (4) 支圧板

支圧板のモデル図及び応力算定式を図 5-4 に示す。

支圧板は、(1)項の止水板の作用力を側面戸当りに伝達するものとして支圧応力を評価する。



$$P_P = P_H \cdot L$$

$$\sigma_P = \frac{P_P}{b \cdot L_s}$$

$P_P$  : 止水板に作用する全荷重 (N)

$\sigma_P$  : 支圧板に生じる支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_H$  : 水平荷重 (N/mm)

$L$  : 止水板の幅 (2000 mm)

$b$  : 支圧板の幅 (46 mm)

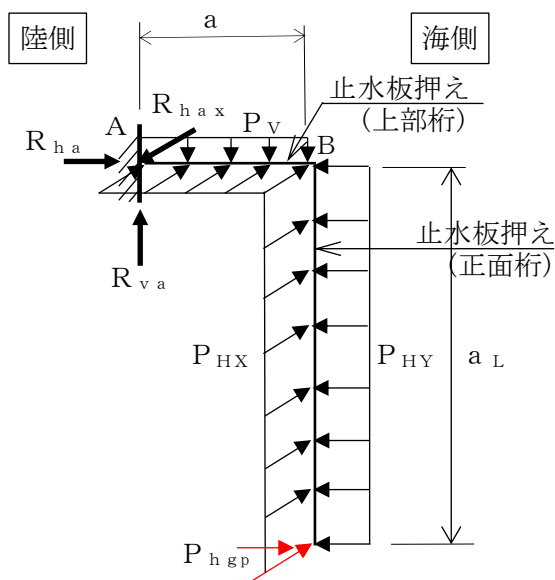
$L_s$  : 荷重を受ける支圧板の長さ (2310 mm)

図 5-4 支圧板のモデル図及び応力算定式

(5) 止水板押え

止水板押えのモデル図及び応力算定式を図 5-5 に示す。

止水板押えは、鋼製防護壁に取付けボルト（A点）で固定される。ボルト固定は、通常ピン支点として扱うが、地震時において止水板押えは、止水板ガイドとの隙間 3 mm があるため A点以外の支点を考慮できない。このため、鋼製防護壁との取付け箇所（A点）を固定とした片持ち梁として、曲げ応力及びせん断応力を評価する。



<荷重計算>

$$P_{HX} = P_{hgY}$$

$$P_{HY} = P_{hgY} + P_W$$

$$P_V = W_{ga} + P_S + P_{vg}$$

<A点の断面力の計算>

$$M_{ax} = P_{HX} \cdot a^2 / 2 + P_{HX} \cdot a_L \cdot a + P_{hgp} \cdot a \quad (\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$M_{ay} = P_V \cdot a^2 / 2 + P_{HY} \cdot a_L^2 / 2 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$S_{ax} = P_{HX} \cdot a_L + P_{HX} \cdot a + P_{hgp} \quad (\text{N})$$

$$S_{by} = P_{HY} \cdot a_L + P_{hgp} \quad (\text{N})$$

$$T_a = P_{HX} \cdot a_L^2 / 2 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})$$

<応力度の計算>

・上部止水板押え曲げ応力度 ( $\sigma_b$ )

$$\sigma_{Mx} = M_{ax} / Z_X \quad (\text{N} / \text{mm}^2)$$

$$\sigma_{My} = M_{ay} / Z_Y \quad (\text{N} / \text{mm}^2)$$

$$\sigma_M = \sigma_{Mx} + \sigma_{My} \quad (\text{N} / \text{mm}^2)$$

・上部の軸応力度 ( $\sigma_N$ )

$$\sigma_N = R_{ha} / A \quad (\text{N} / \text{mm}^2)$$

$P_{HX}$  : 堤軸方向水平荷重 (N/mm)

$P_{HY}$  : 堤軸直交方向水平荷重 (N/mm)

$P_V$  : 鉛直荷重 (N/mm)

$W_{ga}$  : 止水板押え自重及び保護プレート自重 (N/mm)

$P_S$  : 積雪荷重 (N/mm)

$P_{vg}$  : 地震時鉛直方向慣性力 (N/mm)

$P_{hgy}$  : 止水板押え自重及び保護プレートの地震時水平方向慣性力 (N/mm)

$P_{hgp}$  : 止水板の地震時水平方向慣性力 (N)

$P_W$  : 風荷重 (N/mm)

$a, a_L$  : 止水板押え上部桁及び正面桁の長さ (mm)

$M_{ax}, M_{ay}$  : A点曲げモーメント (N・mm)

$S_{ax}, S_{ay}$  : せん断力 (N)

$R_{ha}$  : A点にかかる反力 (N)

$Z_X, Z_Y$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A_F, A_W$  : 上部桁の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$t$  : 板厚 (mm)

$T_a$  : ねじりモーメント (N・mm)

$J$  : ねじり剛性 (N/mm<sup>2</sup>)

・最大曲げ応力度

$$\sigma = \sigma_M + \sigma_N \quad (\text{N} / \text{mm}^2)$$

・せん断応力度

$$\tau_x = S_{ax} / A_F \quad (\text{N} / \text{mm}^2)$$

$$\tau_y = S_{by} / A_W \quad (\text{N} / \text{mm}^2)$$

・ねじりせん断応力度 ( $\tau$ )

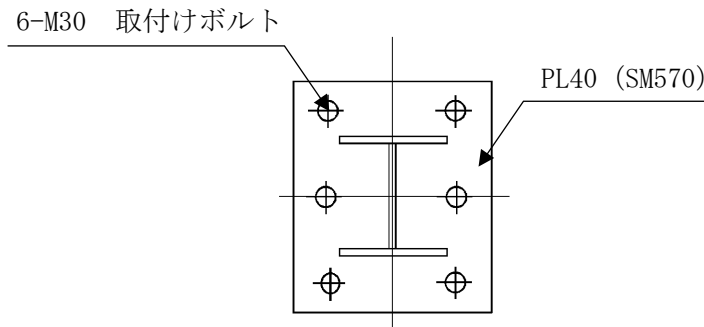
$$\tau = t \times T_a / J \quad (\text{N} / \text{mm}^2)$$

図 5-5 止水板押えのモデル図及び応力計算式

(6) 止水板押え取付けボルト

取付けボルトのモデル図及び応力算定式を図 5-6 に示す。

止水板押えと鋼製防護壁との取付けはボルト接続であるため、取付け箇所作用する曲げ応力及びせん断応力からボルト 1 本当りに作用する引張応力度とせん断応力度を評価する。



$$\sigma_t = \frac{F_{max}}{A}$$

$$\tau = \frac{S_{max}}{A}$$

$\sigma_t$  : 取付けボルト 1 本当たりの引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 取付けボルト 1 本当たりのせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{max}$  : 取付けボルト 1 本に作用する最大引き抜き力 (N)

$S_{max}$  : 取付けボルト 1 本に作用する最大せん断力 (N)

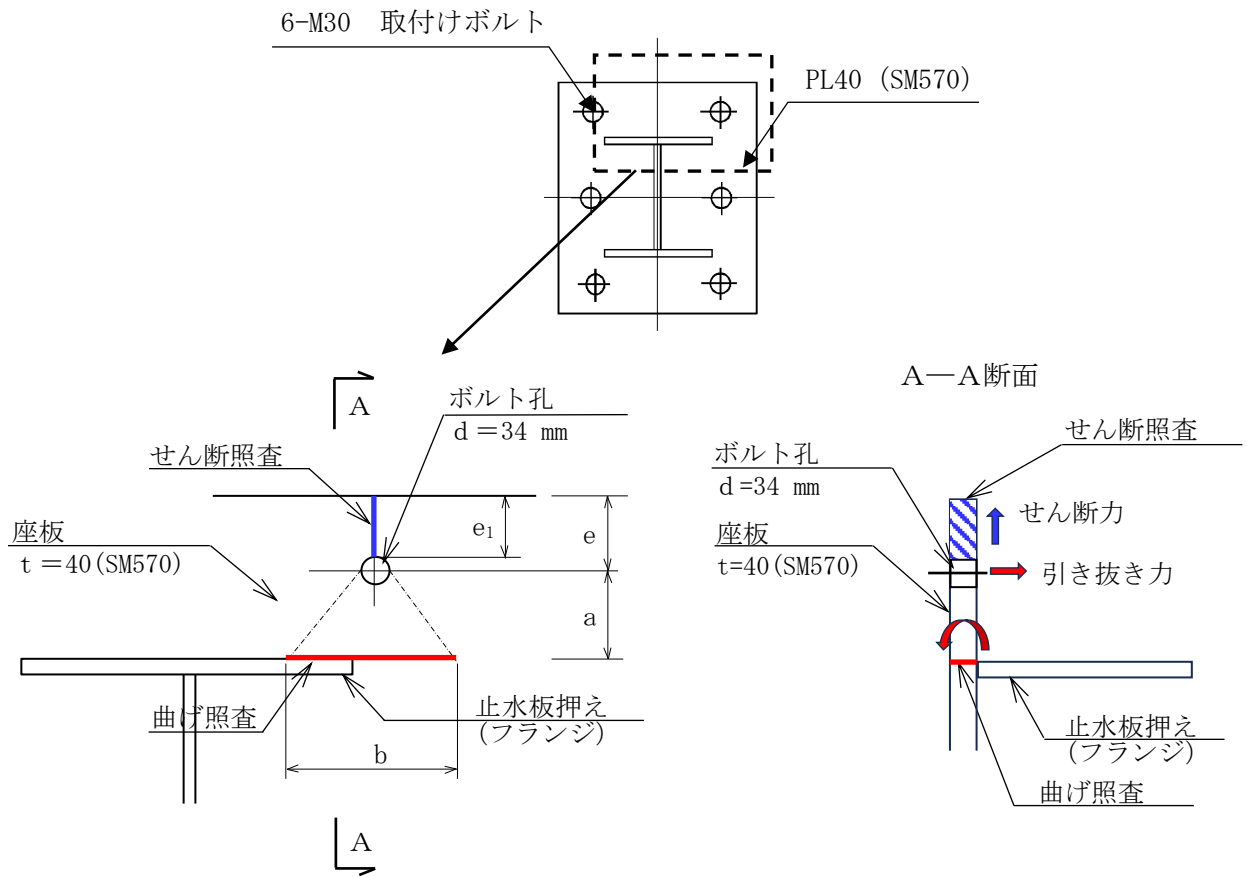
$A$  : 取付けボルト 1 本当たりの有効断面積 (561 mm<sup>2</sup>)

図 5-6 取付けボルトのモデル図及び応力算定式

(7) 止水板押え座板

止水板押え座板のモデル図及び応力算定式を図 5-7 に示す。

止水板押えの座板は、(6)項の取付けボルトに作用する引き抜き力及びせん断力から曲げ応力度とせん断応力度を評価する。



$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{6 \cdot M}{b \cdot t^2}$$

$$\tau = \frac{S_{max}}{e_1 \cdot t}$$

$$a = 45 \text{ mm}$$

$$b = 2a + d = 2 \times 45 + 34 = 124 \text{ mm}$$

$$d : \text{ボルト穴径}$$

$$e = 40 \text{ mm}$$

$$e_1 = e - d/2 = 40 - 34 / 2 = 23 \text{ mm}$$

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M$  : 座板に作用する曲げモーメント (N・mm)

$S_{max}$  : 最大せん断力 (N)

$t$  : 余裕代 2 mm を考慮した板厚 (38 mm)

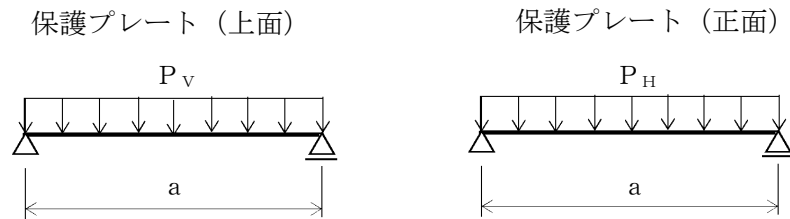
図 5-7 止水板押え座板のモデル図及び応力算定式



(8) 保護プレート

保護プレートのモデル図及び応力算定式を図 5-8 に示す。

保護プレートは、部材の発生断面力に対して保守的な評価となるよう、保護プレートの取付け位置を支点とする単純梁によりモデル化し評価する。



$$M_T = \frac{P_V \cdot a^2}{8}$$

$$S_T = \frac{P_V \cdot a}{2}$$

$$\sigma_{MT} = \frac{M_T}{Z_2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\tau_T = \frac{S_T}{A_W} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$M_F = \frac{P_H \cdot a^2}{8}$$

$$S_F = \frac{P_H \cdot a}{2}$$

$$\sigma_{MF} = \frac{M_F}{Z_2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\tau_F = \frac{S_F}{A_W} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$P_V$  : 鉛直荷重 (N/mm)

$P_H$  : 水平荷重 (N/mm)

$a$  : 保護プレート最大取付け長さ (mm)

$M_F, M_T$  : 曲げモーメント (N・mm)

$S_F, S_T$  : せん断力 (N)

$Z_2$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$\sigma_{MF}, \sigma_{MT}$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_F, \tau_T$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

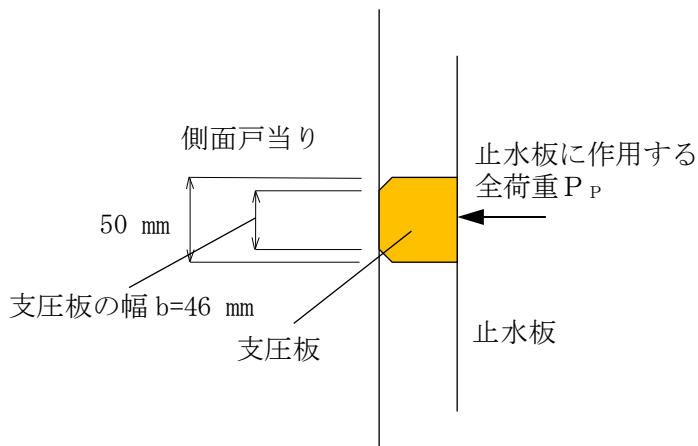
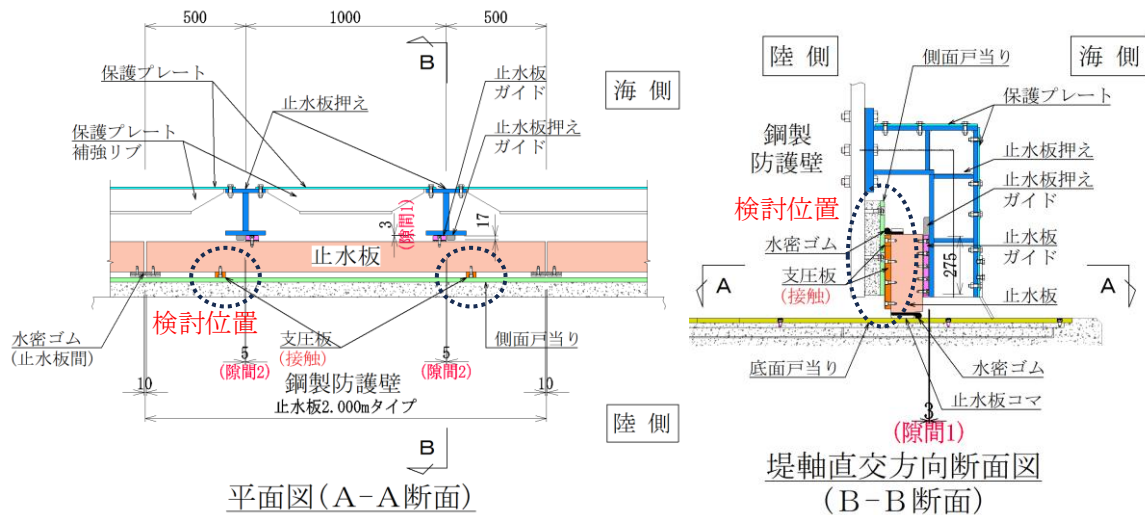
$A_W$  : 保護プレートの断面積 (mm<sup>2</sup>)

図 5-8 保護プレートのモデル図及び応力算定式

(9) 側面戸当り

側面戸当りの応力算定式を図 5-9 に示す。

側面戸当りは、止水板を水平方向から支持する。止水板から受けた荷重は、鋼製防護壁側に伝達するものとして側面戸当りの支圧応力を評価する。



$$\sigma_p = \frac{P_p}{b \cdot L_s}$$

$\sigma_p$  : 支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_p$  : 止水板に作用する全荷重 (N)

$b$  : 支圧板の幅 (46 mm)

$L_s$  : 荷重を受ける支圧板長さ (2310 mm)

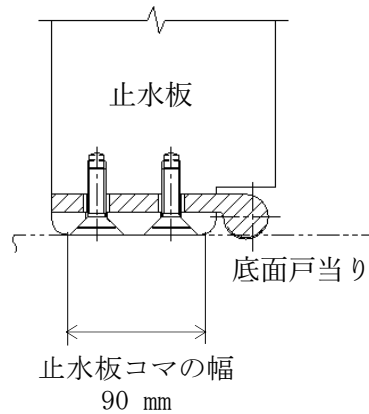
(図 5-4 参照)

図 5-9 側面戸当りの応力算定式

(10) 底面戸当り

底面戸当りの応力算定式を図 5-10 に示す。

底面戸当りは、止水板を鉛直方向から支持する。止水板から受けた鉛直荷重は、底面のコンクリート側に伝達するものとして底面戸当りの支圧応力を評価する。



$$\sigma_p = \frac{P_p}{b \cdot L_s}$$

$\sigma_p$  : 止水板コマの支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_p$  : 止水板コマに作用する全荷重 (N)

$b$  : 止水板コマの幅 (90 mm)

$L_s$  : 荷重を受ける止水板コマの長さ (995 mm)

止水板長さの半分 (1990 mm × 1/2) として算出

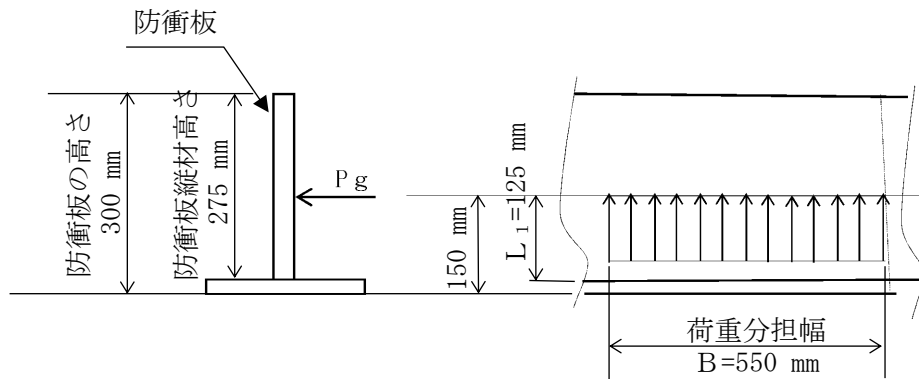
図 5-10 底面戸当りの応力算定式

(11) 防衝板

防衝板の応力算定式を図 5-11 に示す。

防衝板は、漂流物が侵入し 2 次止水機構のシートジョイントに直接接触するのを防止する目的で設置する。

防衝板の曲げ応力及びせん断応力について評価する。



$$M = P_g \cdot B \cdot L_1 \quad S = P_g \cdot B$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad \tau = \frac{S}{A}$$

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M$  : 地震時慣性力による曲げモーメント ( $M = P_g \cdot B \cdot L_1$ ) (N・mm)

$S$  : 地震時慣性力によるせん断力 ( $S = P_g \cdot B$ ) (N)

$P_g$  : 座板, 補強リブを含む自重に対する地震時慣性力 (水平方向) (N/mm)

$B$  : 荷重分担幅 (550 mm)

$L_1$  : 水平方向荷重の高さ (125 mm)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

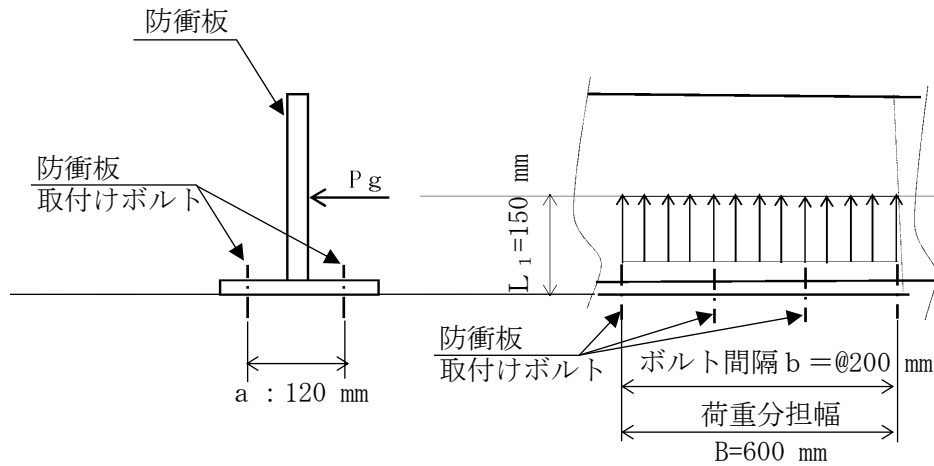
$A$  : 断面積 (mm<sup>2</sup>)

図 5-11 防衝板の応力算定式

(12) 防衝板取付けボルト

防衝板取付けボルトの応力算定式を図 5-12 に示す。

防衝板座板と底面戸当りの取付けはボルト接続であるため、取付け箇所作用する曲げ応力及びせん断応力からボルト 1 本当りに作用する引張応力度とせん断応力度を評価する。



$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad F = \frac{M}{a} \cdot \frac{b}{B}$$

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad Q = S \cdot \frac{b}{B}$$

$\sigma_t$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M$  : 地震時慣性力による曲げモーメント ( $M = P_g \cdot B \cdot L_1$ ) (N・mm)

$S$  : 地震時慣性力によるせん断力 ( $S = P_g \cdot B$ ) (N)

$P_g$  : 座板, 補強リブを含む自重に対する地震時慣性力 (水平方向) (N/mm)

$F$  : 曲げモーメントによる引き抜き力 (N)

$L_1$  : 水平方向荷重の高さ (150 mm)

$B$  : 荷重分担幅 (600 mm)

$A$  : ボルトの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$a$  : ボルト間隔 (横断方向 120 mm)

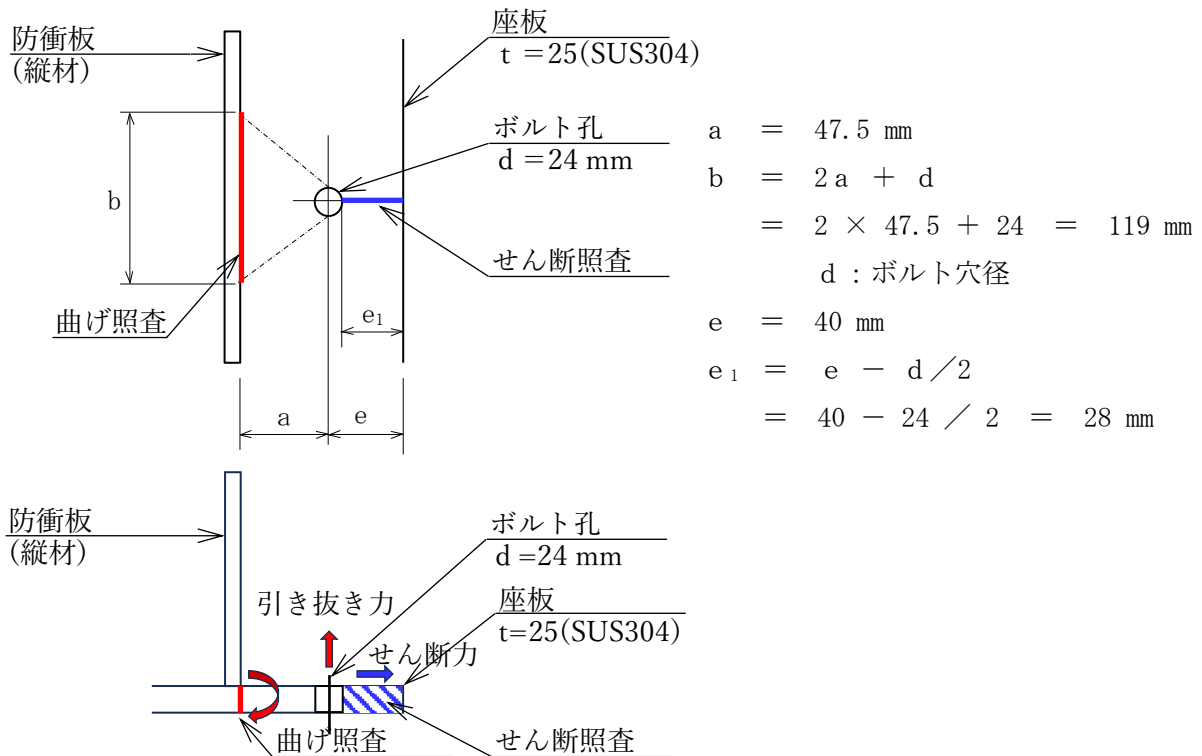
$b$  : ボルト間隔 (縦断方向 200 mm)

図 5-12 防衝板取付けボルトの応力算定式

(13) 防衝板座板

防衝板の座板の応力算定式を図 5-13 に示す。

防衝板の座板は，(12)項の取付けボルトに作用する引き抜き力及びせん断力から曲げ応力度とせん断応力度を評価する。



$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{6 \cdot M}{b \cdot t^2} \quad Z = \frac{b \cdot t^2}{6}$$

$$\tau = \frac{Q}{n \cdot e_1 \cdot t}$$

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 座板に作用する曲げモーメント (M = F · a) (N·mm)

F : 引き抜き力 (N)

Q : せん断力 (N)

t : 座板の厚さ (25 mm)

n : せん断力を受け持つボルト本数 (本)

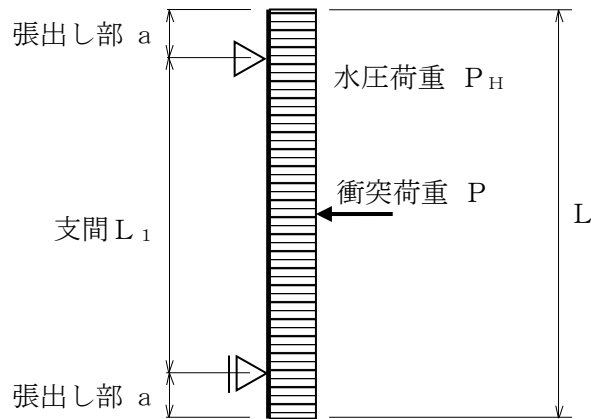
図 5-13 防衝板の座板の応力算定式

### 5.1.3 耐津波評価における計算方法

#### (1) 止水板

止水板のモデル図を図 5-14 に示す。

止水板は、部材の発生断面力に対して保守的な評価となるよう、止水板と側面戸当りとの接触位置を支点とする両端張出しの単純梁によりモデル化し評価する。



$$M_{wmax} = \frac{P_H \cdot L}{2} \cdot \left( \frac{L}{2} - a \right) - \frac{P_H \cdot (L/2)^2}{2}$$

$$M_{pmax} = \frac{P \cdot L_1}{4}$$

$$S_{max} = \frac{P_H \cdot L}{2} - P_H \cdot a + P$$

$$M_{max} = M_{wmax} + M_{pmax}$$

$M_{max}$  : 水平荷重による最大曲げモーメント (N・mm)

$S_{max}$  : 水平荷重によるせん断力 (N)

$M_{wmax}$  : 水圧荷重による最大曲げモーメント (N・mm)

$M_{pmax}$  : 衝突荷重による最大曲げモーメント (N・mm)

$P_H$  : 水圧荷重 (N/mm)

$L$  : 止水板の幅 (mm)

$a$  : 張り出し部 (mm)

$L_1$  : 支間 (mm)

$P$  : 衝突荷重 (N)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A_w$  : 断面積 (55200 mm<sup>2</sup>)

<応力度の計算>

・ 曲げ応力度

$$\sigma = M_{max} / Z \quad (N/mm^2)$$

・ せん断応力度

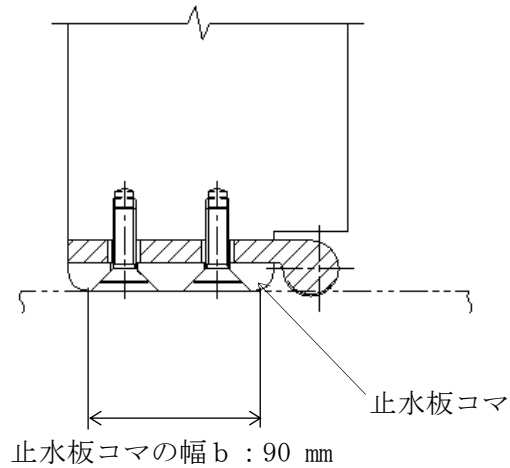
$$\tau = S_{max} / A_w \quad (N/mm^2)$$

図 5-14 止水板のモデル図

(2) 止水板コマ

止水板コマの応力算定式を図 5-15 に示す。

止水板コマは、止水板に作用する荷重を底面戸当りに伝達することから、止水板コマの接触面積より支圧応力を評価する。



$$P = (P_v + W_{pu} + p_{du}) \cdot B$$

$$\sigma_p = \frac{P}{b \cdot L_s}$$

$P$  : 止水板コマに作用する全鉛直荷重 (N)

$\sigma_p$  : 止水板コマに生じる支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_v$  : 鉛直荷重 ( $P_v = W_g / B$ ) (N/mm)

( $W_g$  : 止水板自重 9.3 N/mm)

$W_{pu}$  : 津波荷重 (N/mm)

$p_{du}$  : 動水圧荷重 (N/mm)

$B$  : 止水板の幅 (1990 mm)

$b$  : 止水板コマ幅 (90 mm)

$L_s$  : 荷重を受ける止水コマ長さ (995 mm)

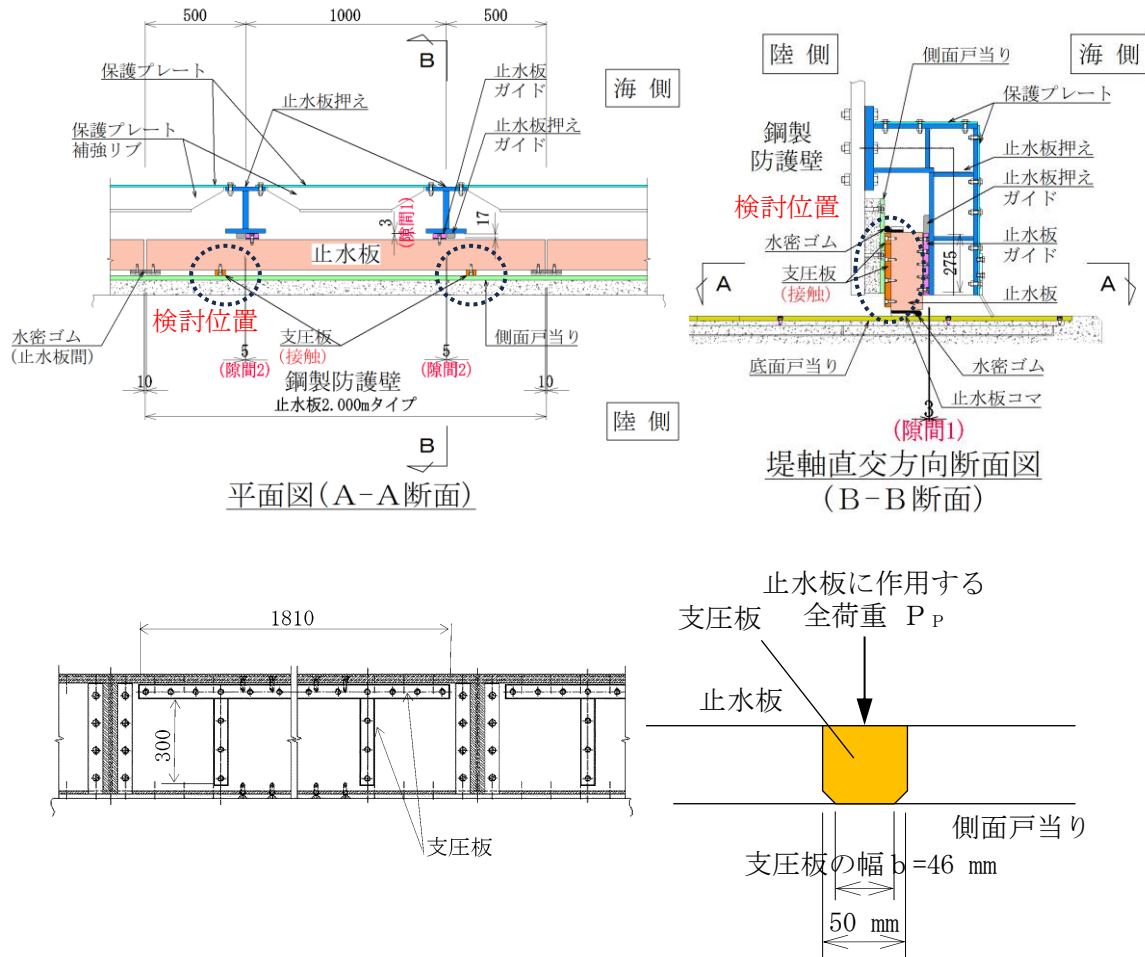
図 5-15 止水板コマの応力算定式



### (3) 支圧板

支圧板のモデル図及び応力算定式を図 5-16 に示す。

支圧板は、(1)項の止水板の作用力を側面戸当りに伝達するものとして支圧応力を評価する。



$$P_p = P_H \cdot h_2 \cdot L + P$$

$$\sigma_p = \frac{P_p}{b \cdot L_s}$$

$P_p$  : 止水板に作用する全荷重 (N)

$P_H$  : 水压荷重 (N/mm)

$h_2$  : 止水高 (415 mm)

$L$  : 止水板の幅 (2000 mm)

$b$  : 支圧板の幅 (46 mm)

$L_s$  : 荷重を受ける支圧板の長さ (2310 mm)

$P$  : 衝突荷重 (N)

$\sigma_p$  : 支圧板に生じる支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

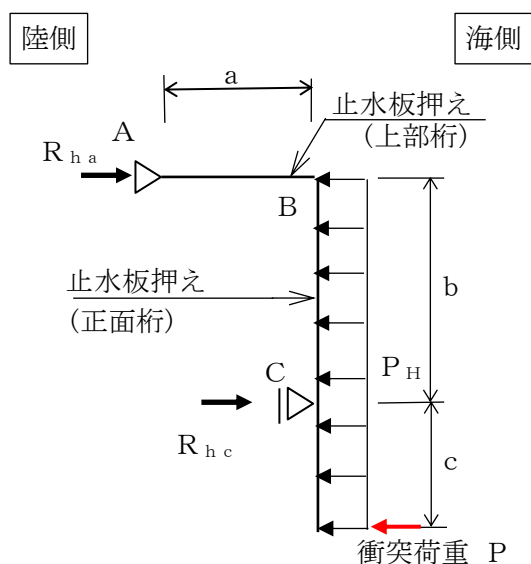
図 5-16 支圧板のモデル図及び応力算定式

#### (4) 止水板押え

止水板押えのモデル図及び応力算定式を図 5-17 に示す。

止水板押えは、鋼製防護壁に取付けボルト（A点）で固定されるため、A点はピン支点とする。また、耐津波時においては津波波圧の影響が卓越するため、津波波圧作用時に支点となる止水板との接地箇所（C点）を鉛直ローラーとして曲げ応力及びせん断応力を評価する。

止水板押えの耐津波時評価においては余震（重畳時）の影響よりも漂流物の衝突荷重の影響が大きいため、図 5-17 は、漂流物の衝突荷重を考慮する正面桁の基準津波時（津波時）及び敷地に遡上する津波時（津波時）として示す。ここで、衝突荷重の作用位置は、曲げモーメント及びせん断力が最大となる位置を設定した。また、接地箇所（C点）位置は、津波波圧及び衝突荷重を考慮した場合に曲げモーメント及びせん断力が最大となる支点位置を設定した。



$P_H$  : 水平荷重 (N/mm)

$W_p$  : 津波波圧 (N/mm)

$P$  : 漂流物の衝突荷重 (N)

$a, b, c$  : 止水板押え上部桁及び正面桁の長さ (mm)

$M_c$  : C点の曲げモーメント (N・mm)

$S_c$  : C点のせん断力 (N)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A_w$  : 腹板の断面積（止水板押えの鋼材） (mm<sup>2</sup>)

#### < 荷重計算 >

$$P_H = W_p$$

#### < モーメント、反力の計算 >

- ・ C点の曲げモーメント

$$M_c = P_H \cdot c^2 / 2 + P \cdot c \quad (\text{N} \cdot \text{mm})$$

- ・ C点のせん断

$$S_c = P_H \cdot c + P \quad (\text{N})$$

#### < 応力度の計算 >

- ・ 止水板押え正面桁C点曲げ応力度 ( $\sigma_c$ )

$$\sigma_c = M_c / Z \quad (\text{N} / \text{mm}^2)$$

- ・ 止水板押え正面桁C点せん断応力度 ( $\tau_c$ )

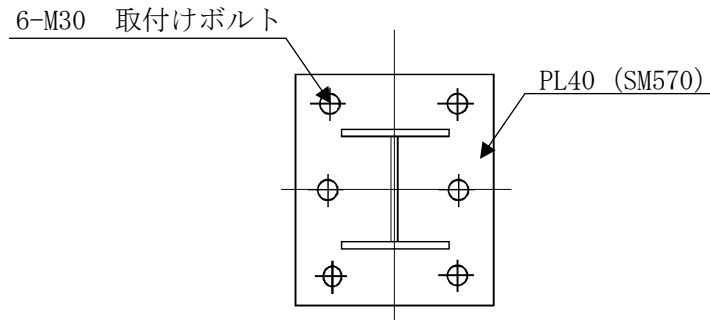
$$\tau_c = S_c / A_w \quad (\text{N} / \text{mm}^2)$$

図 5-17 止水板押えのモデル図及び応力計算式

(5) 止水板押え取付けボルト

取付けボルトのモデル図及び応力算定式を図 5-18 に示す。

止水板押えと鋼製防護壁との取付けはボルト接続であるため、取付け箇所には作用する曲げ応力及びせん断応力からボルト 1 本当りに作用する引張応力度とせん断応力度を算出して評価する。



$$\sigma_t = \frac{F_{max}}{A}$$

$$\tau = \frac{S_{max}}{A}$$

$\sigma_t$  : 取付けボルト 1 本当たりの引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 取付けボルト 1 本当たりのせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{max}$  : 取付けボルト 1 本に作用する最大引き抜き力 (N)

$S_{max}$  : 取付けボルト 1 本に作用する最大せん断力 (N)

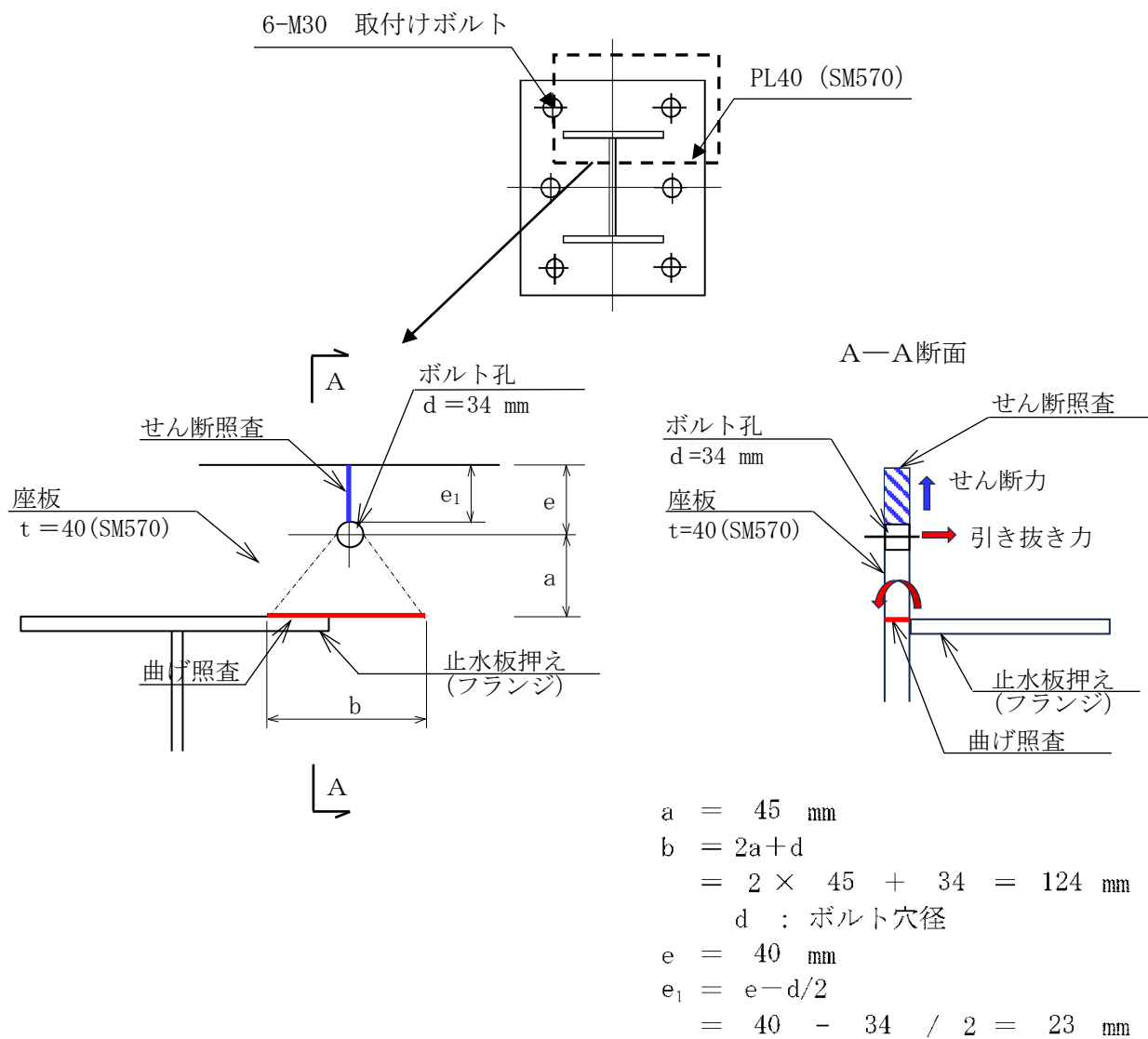
$A$  : 取付けボルトの有効断面積 (561 mm<sup>2</sup>)

図 5-18 取付けボルトのモデル図及び応力算定式

(6) 止水板押え座板

止水板押え座板のモデル図及び応力算定式を図 5-19 に示す。

止水板押えの座板は、(5)項の取付けボルトに作用する引き抜き力及びせん断力から曲げ応力度とせん断応力度を評価する。



$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{6 \cdot M}{b \cdot t^2}$$

$$\tau = \frac{S_{max}}{e_1 \cdot t}$$

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M$  : 座板に作用する曲げモーメント (N・mm)

$S_{max}$  : 最大せん断力 (N)

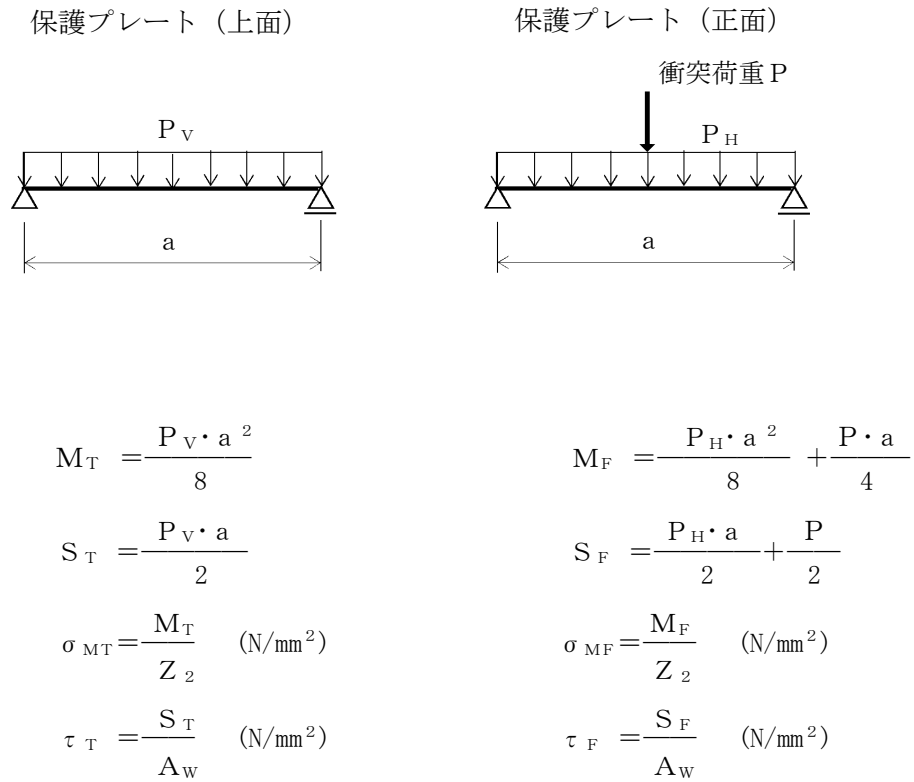
$t$  : 余裕代 2 mm を考慮した板厚 (38 mm)

図 5-19 止水板押え座板のモデル図及び応力算定式

(7) 保護プレート

保護プレートのモデル図及び応力算定式を図 5-20 に示す。

保護プレートは、部材の発生断面力に対して保守的な評価となるよう、保護プレートの取付け位置を支点とする単純梁によりモデル化し評価する。



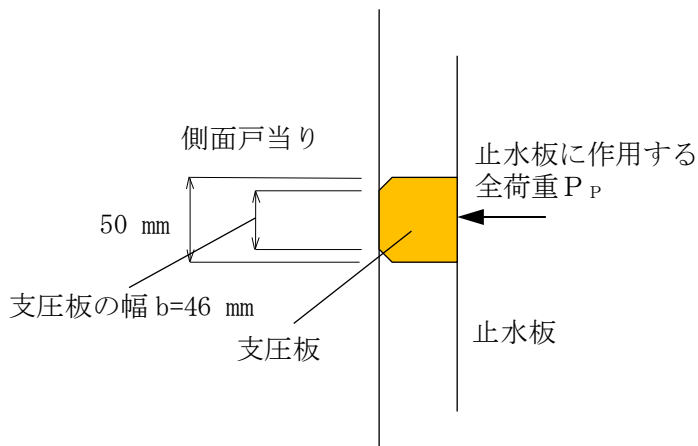
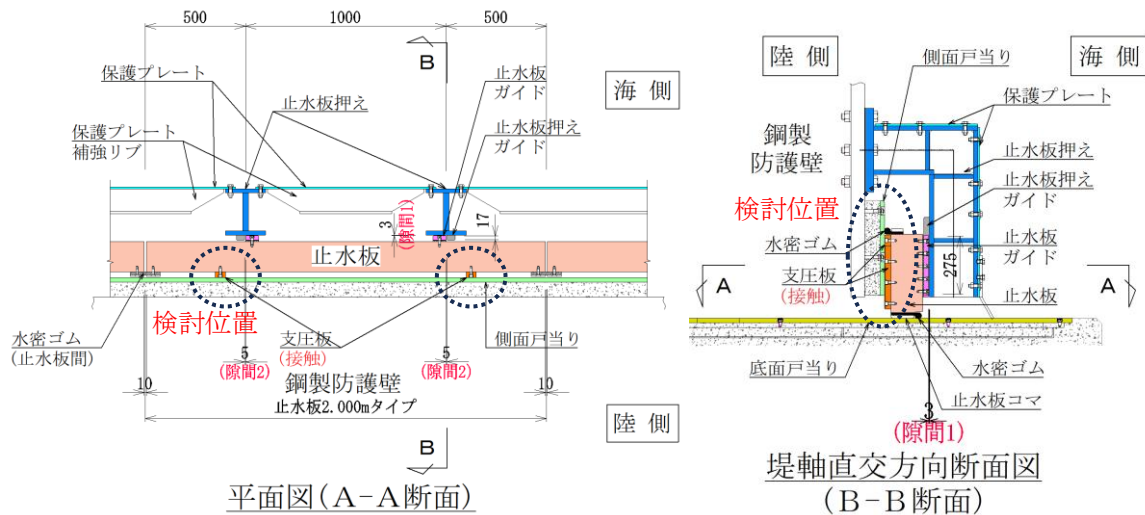
$P_V$  : 鉛直荷重 (N/mm)  
 $P_H$  : 水平荷重 (N/mm)  
 $P$  : 衝突荷重 (N)  
 $a$  : 保護プレート最大取付け長さ (mm)  
 $M_F, M_T$  : 曲げモーメント (N・mm)  
 $S_F, S_T$  : せん断力 (N)  
 $Z_2$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)  
 $\sigma_{MF}, \sigma_{MT}$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\tau_F, \tau_T$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $A_w$  : 保護プレートの断面積 (mm<sup>2</sup>)

図 5-20 保護プレートのモデル図及び応力算定式

(8) 側面戸当り

側面戸当りの応力算定式を図 5-21 に示す。

側面戸当りは、止水板を水平方向から支持する。止水板から受けた荷重は、鋼製防護壁側に伝達するものとして側面戸当りの支圧応力を評価する。



$$\sigma_p = \frac{P_P}{b \cdot L_s}$$

$\sigma_p$  : 支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_P$  : 止水板に作用する全荷重 (N)

$b$  : 支圧板の幅 (46 mm)

$L_s$  : 荷重を受ける支圧板長さ (2310 mm)

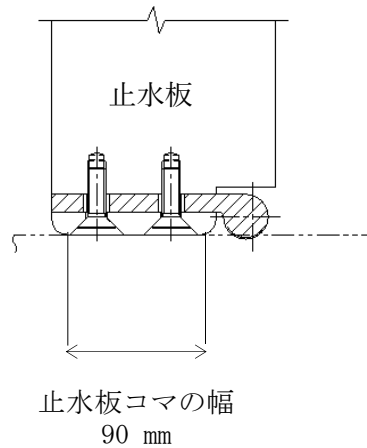
(図 5-16 参照)

図 5-21 側面戸当りの応力算定式

(9) 底面戸当り

底面戸当りの応力算定式を図 5-22 に示す。

底面戸当りは、止水板を鉛直方向から支持する。止水板から受けた鉛直荷重は、底面のコンクリート側に伝達するものとして底面戸当りの支圧応力を評価する。



$$\sigma_p = \frac{P_p}{b \cdot L_s}$$

$\sigma_p$  : 底面戸当りの支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_p$  : 止水板コマに作用する全荷重 (N)

$b$  : 止水板コマの幅 (90 mm)

$L_s$  : 荷重を受ける止水板コマの長さ (995 mm)

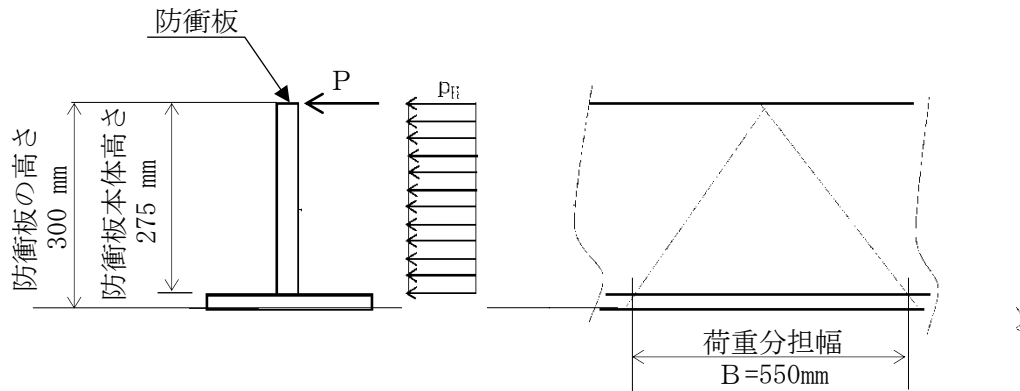
止水板長さの半分 (1990 mm × 1/2) として算出

図 5-22 底面戸当りの応力算定式

(10) 防衝板

防衝板の応力算定式を図 5-23 に示す。

防衝板は、2次止水機構のシートジョイントに直接漂流物等が侵入しないよう設置する。  
防衝板が直接荷重を受けるため、せん断応力と曲げ応力について評価する。



$$M = M_{PH} + M_P \quad S = S_{PH} + S_P$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad \tau = \frac{S}{A}$$

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_{PH}$  : 水圧荷重による曲げモーメント ( $M_{PH} = P_H \cdot B \cdot L^2 / 2$ ) (N・mm)

$S_{PH}$  : 水圧荷重によるせん断力 ( $S_{PH} = P_H \cdot B \cdot L$ ) (N)

$P_H$  : 水圧荷重 (N/mm<sup>2</sup>)

$B$  : 荷重分担幅 (550 mm)

$L$  : 防衝板の高さ (275 mm)

$Z$  : 断面係数 (62500 mm<sup>3</sup>)

$P$  : 衝突荷重 (N)

$M_P$  : 衝突荷重による曲げモーメント ( $M_P = P \cdot L$ ) (N・mm)

$S_P$  : 衝突荷重によるせん断力 ( $S_P = P$ ) (N)

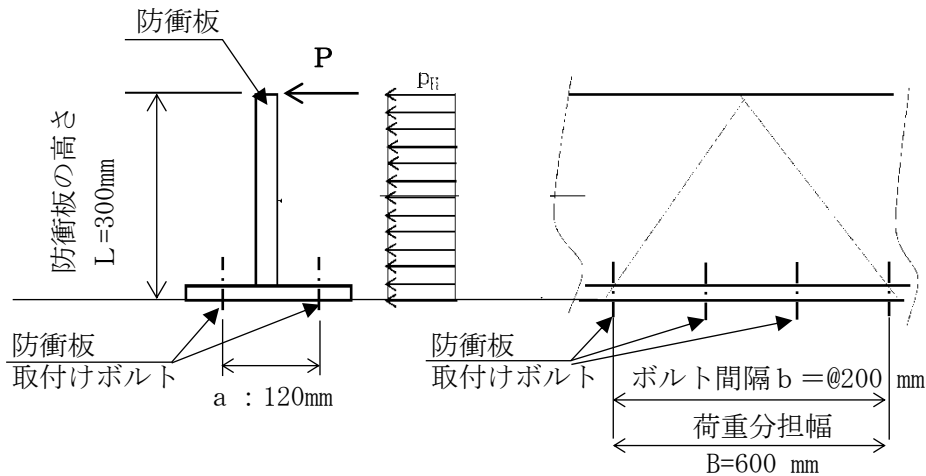
図 5-23 防衝板の応力算定式



(11) 防衝板取付けボルト

防衝板取付けボルトの応力算定式を図 5-24 に示す。

防衝板座板と底面戸当りの取付けはボルト接続であるため、取付け箇所作用する曲げ応力及びせん断応力からボルト 1 本当りに作用する引張応力度とせん断応力度を評価する。



$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad F = \frac{M}{a} \cdot \frac{b}{B}$$

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad Q = S \cdot \frac{b}{B}$$

$\sigma_t$  : 引張り応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M$  : 水圧荷重による曲げモーメント ( $M = P_H \cdot B \cdot L^2 / 2$ ) (N・mm)

$S$  : 水圧荷重によるせん断力 ( $S = P_H \cdot B$ ) (N)

$P_H$  : 水圧荷重 (N/mm<sup>2</sup>)

$L$  : 防衝板の高さ (300 mm)

$B$  : 荷重分担幅 (600 mm)

$A$  : ボルトの有効断面積 (265 mm<sup>2</sup>)

$F$  : 引き抜き力 (N)

$a$  : ボルト間隔 (横断方向 120 mm)

$b$  : ボルト間隔 (縦断方向 200 mm)

$P$  : 衝突荷重 (N)

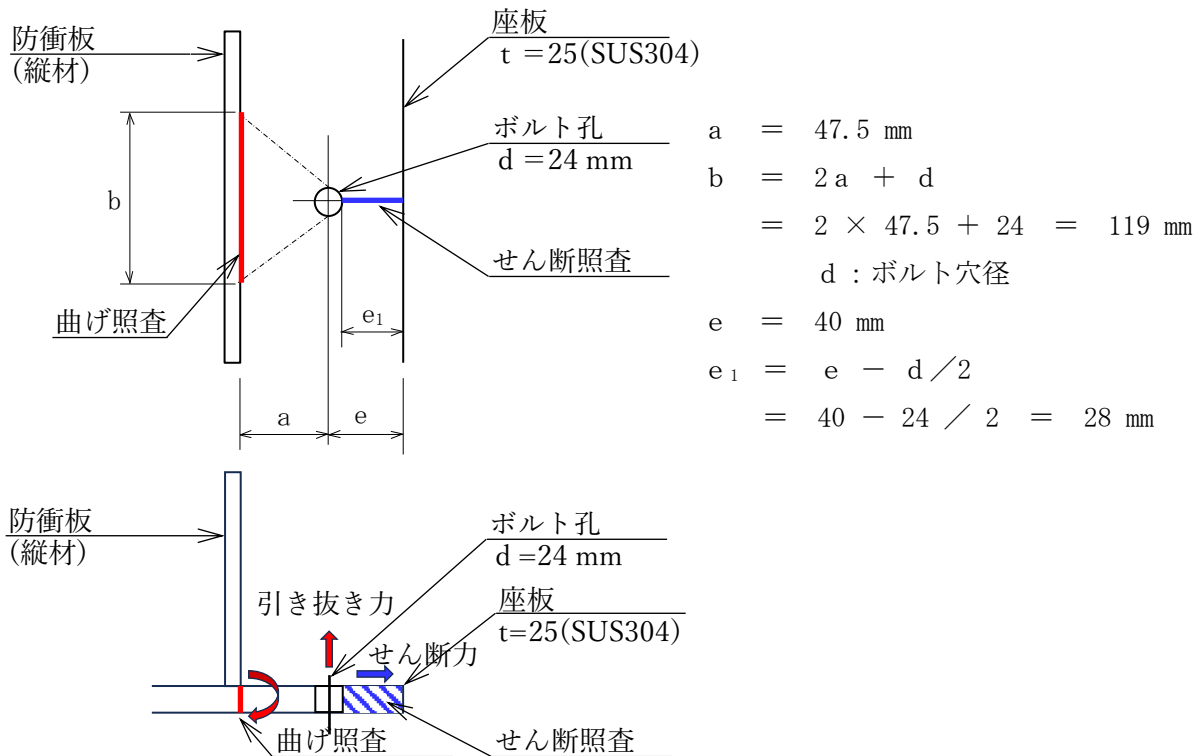
$M_p$  : 衝突荷重による曲げモーメント ( $M_p = P \cdot L$ ) (N・mm)

図 5-24 防衝板取付けボルトの応力算定式

(12) 防衝板座板

防衝板の座板の応力算定式を図 5-25 に示す。

防衝板の座板は，(11)項の取付けボルトに作用する引き抜き力及びせん断力から曲げ応力度とせん断応力度を評価する。



$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{6 \cdot M}{b \cdot t^2} \quad Z = \frac{b \cdot t^2}{6}$$

$$\tau = \frac{Q}{n \cdot e_1 \cdot t}$$

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 座板に作用する曲げモーメント (M = F · a) (N·mm)

F : 引き抜き力 (N)

Q : せん断力 (N)

t : 座板の厚さ (25 mm)

n : せん断力を受け持つボルト本数 (本)

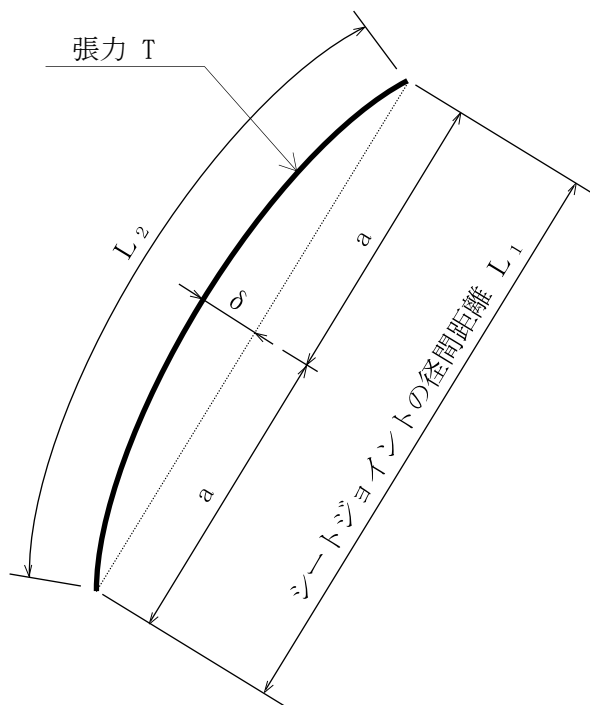
図 5-25 防衝板の座板の応力算定式

(13) シートジョイント

a. 張力計算

シートジョイントのモデル図及び張力算定式を図 5-26 に示す。

シートジョイントの張力は、一般財団法人 港湾空港総合技術センター発行(平成 25 年 9 月)の「汚濁防止膜技術資料(案)」を参考に計算するものとする。シートジョイントに発生する最大張力(T)は、「汚濁防止膜技術資料(案)」のカーテン部の性能照査と同様に、以下の式を用いて評価する。



$$T = \frac{P \cdot a}{2 \cdot \delta} \cdot \sqrt{a^2 + 4 \cdot \delta^2}$$

T : 最大張力 (kN/m)

a : 径間距離 (L<sub>1</sub>) の 1/2 (m)

δ : たわみ量 (0.31 m)

P : 津波圧力 (kN/m<sup>2</sup>)

L<sub>1</sub> : シートジョイントの径間距離 (0.670 m)

L<sub>2</sub> : 最大スパン長 (0.856 m)

図 5-26 シートジョイントのモデル図及び張力算定式

b. シートジョイントの長さの考え方

シートジョイントの張力は、津波波圧と径間距離及びシートジョイントのたわみ量（径間距離×1/2）に応じて増大する。

シートジョイントの移動量と径間距離の関係を図 5-27 に示す。

シートジョイントの基準位置を既設構造物側とした場合、基準位置が鋼製防護壁に対して相対的に山側に移動するほど径間距離は大きくなり、たわみ量も増大する。

鋼製防護壁の移動量の許容値は、補足説明資料 28 の「1. 防潮堤（鋼製防護壁）の耐震計算書に関する補足説明」より、基準位置が相対的に山側に移動したとして 700 mm である。よって、シートジョイントの長さの設定は、基準位置が相対的に山側に移動した 700 mm の径間距離 670 mm で行う。

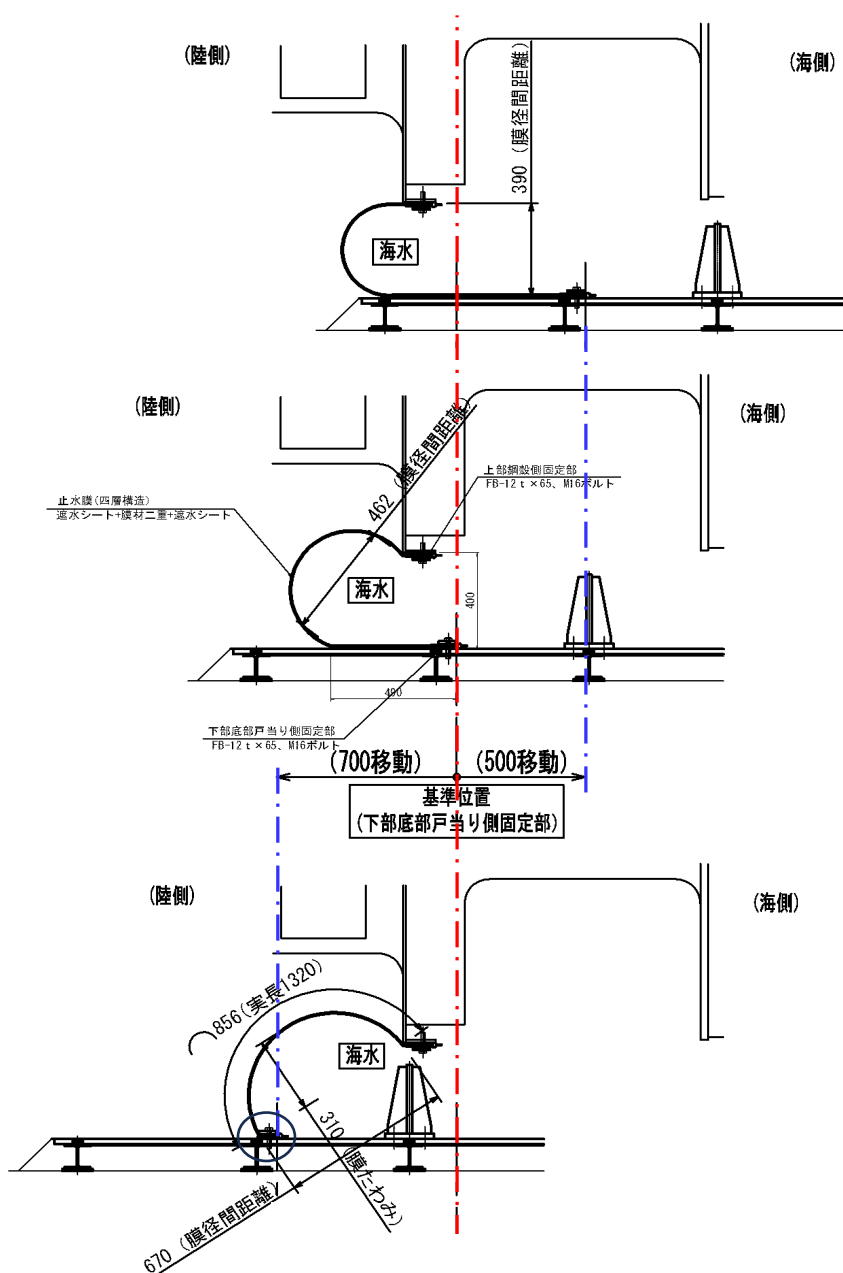


図 5-27 シートジョイントの移動量と径間距離

シートジョイントの長さは、シートジョイント固定部（既設構造物側の固定部）の位置が陸側に最大変位 700 mm 移動した時のシートジョイントの径間距離にたわみを考慮した長さ（856mm）に両端の取付け部長さ（110mm 及び 70mm）を加えた長さ（約 1000mm）に 1.5 倍を考慮した 1500mm と設定する。図 5-28 にシートジョイントの長さの設定根拠を示す。

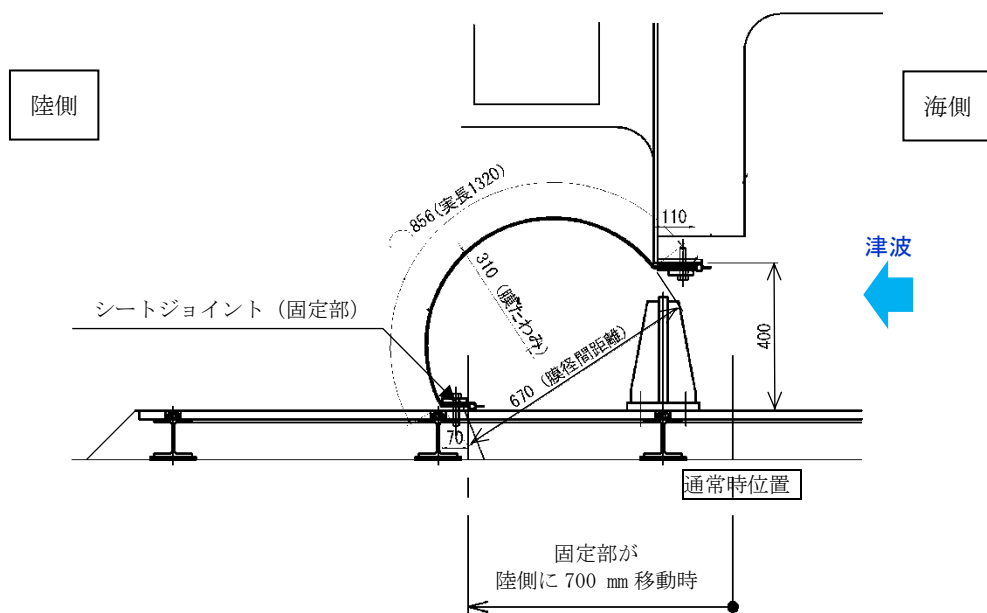


図 5-28 シートジョイントの長さの設定根拠  
(固定部位置陸側 700mm 移動時)

## 5.2 2次元及び3次元動的解析

### 5.2.1 動的解析評価に用いる入力波形

#### (1) 動的解析評価に用いる入力波形の概要

1次止水機構の2次元及び3次元動的解析では、止水板の水平方向慣性力が構成部材の応力に影響する。したがって、鋼製防護壁の3次元動的フレーム解析及び既設構造物の2次元有効応力解析により得られる1次止水機構設置位置の加速度時刻歴応答に基づき、加速度及び両者の相対加速度を考慮して地震動を抽出する。当該地震動の荷重条件は、変位時刻歴を解析用入力波形として解析モデルに与えて実施する。

ここで、変位時刻歴を荷重条件とした理由は、解析モデルへの応答値の入力が鋼製防護壁及び既設構造物の2箇所であり、複数箇所への入力においては変位時刻歴入力の方が逆位相挙動の影響を受けにくく安定した解が得られることによる。

鋼製防護壁の3次元動的フレーム解析及び既設構造物の2次元有効応力解析は、既工認の補足説明資料「補足-60-1 津波への配慮に関する説明書」の「6.1 鋼製防護壁に関する補足説明」の止水機構に係る検討と同じ地震動及び地盤ケースであるS<sub>s</sub>-D1（地盤ケース①）を用いる。

最大地震動の選定は、1次止水機構の応力が止水板の慣性力に支配されることを踏まえ、Y成分（堤軸直交方向）の応答加速度が最大となるS<sub>s</sub>-D1（地盤ケース①）の位相組合せを対象とする。X成分（堤軸方向）及びZ成分（鉛直方向）については、同一の位相組合せを用いる。

1次止水機構の2次元及び3次元動的解析に入力する変位時刻歴は、鋼製防護壁の3次元動的フレーム解析及び既設構造物の2次元有効応力解析により得られる1次止水機構設置位置の加速度時刻歴応答並びに両者の相対加速度を比較し、最大応答加速度を与えるY成分（堤軸直交方向）の加速度時刻歴を選定する。当該加速度時刻歴において最大応答加速度が発生する時刻の前後3秒間（計6秒間）の変位時刻歴を、解析モデルの入力条件として設定する。

2次元動的解析にはY成分（堤軸直交方向）及びZ成分（鉛直方向）を設定し、3次元動的解析にはこれらに加えてX成分（堤軸方向）を設定する。解析用入力時間の6秒間については、次節にその妥当性を示す。

入力変位波形は、鋼製防護壁、既設構造物及び両者の相対加速度を比較した結果、鋼製防護壁のY成分（堤軸直交方向）の応答加速度が支間中央において最大となることから、支間中央の1次止水機構設置高さにおける3次元動的フレーム解析の応答変位を採用する。

また、既設構造物側については、同地点近傍の既設構造物の2次元有効応力解析の応答変位を組合せている。

鋼製防護壁の応答値抽出位置を図 5-29 に、最大加速度抽出結果を表 5-3 に示す。

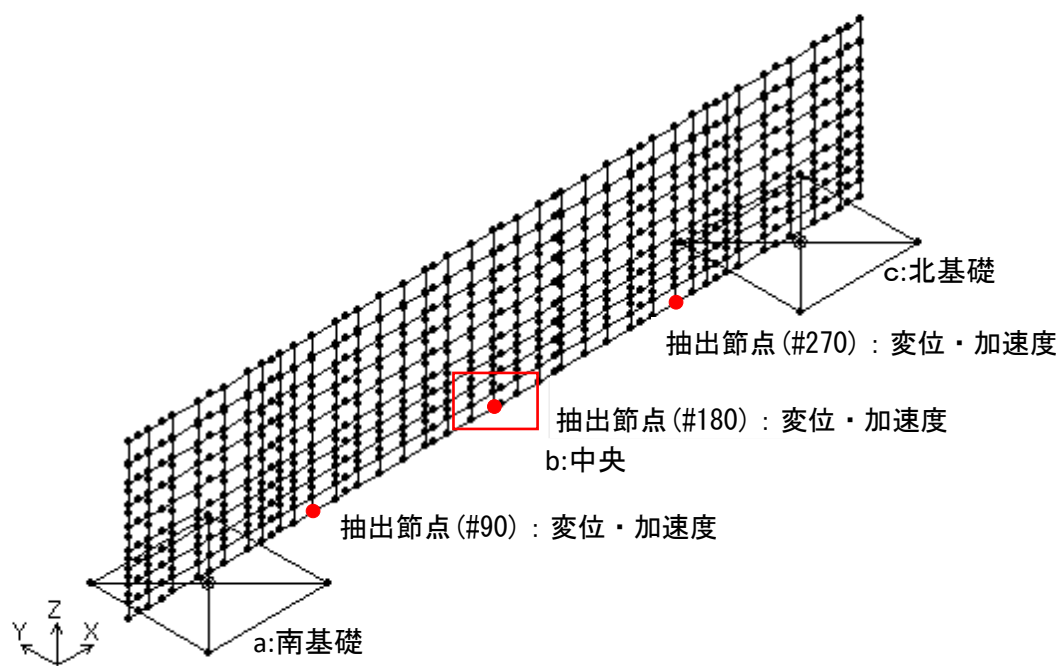


図 5-29 鋼製防護壁の応答値抽出節点

表 5-3 最大加速度抽出結果

| 区分   | 最大加速度 ( $\text{m/s}^2$ ) |        |       |
|------|--------------------------|--------|-------|
| 方向   | Y成分                      |        |       |
| 抽出節点 | #90                      | #180   | #270  |
| max  | 9.245                    | 29.862 | 8.704 |

(2) 2次元及び3次元動的解析に用いる入力時刻6秒間について

1次止水機構の2次元及び3次元動的解析では、最大応答加速度発生時刻の前後3秒間（計6秒間）の変位時刻歴を入力条件として用いる。本項では、当該6秒間の抽出区間の妥当性について、最大加速度の包絡性、加速度応答スペクトル及び卓越周期を用いて確認する。

a. 評価方針

表 5-3 に示した最大加速度発生ケースである鋼製防護壁支間中央（抽出節点 180）の加速度時刻歴波形 140 秒間のうち、最大加速度を示す Y 成分（堤軸直交方向）について、6 秒区間ごとの最大加速度を抽出し、最大加速度が 1～3 番目となる加速度発生時刻を含む 6 秒間の加速度波形を比較する。最大加速度が 1～3 番目となる区間を以下に示す。

- ・ Amax1 区間：1 番目は 53.48 秒（50.48 秒～56.48 秒区間）
- ・ Amax2 区間：2 番目は 44.29 秒（41.29 秒～47.29 秒区間）
- ・ Amax3 区間：3 番目は 19.31 秒（16.31 秒～22.31 秒区間）

この 3 区間の加速度時刻歴波形を重ねたグラフを図 5-30 に示す。また、全時刻歴波形（140 秒間）における 6 秒区間（Amax1～3 区間）を図 5-31 に示す。

図 5-30 に示すとおり、各区間の最大加速度は概ね同程度であることから、6 秒間の入力波形としての妥当性を確認するため、最大加速度の包絡性、加速度応答スペクトル及び卓越周期を用いて評価する。

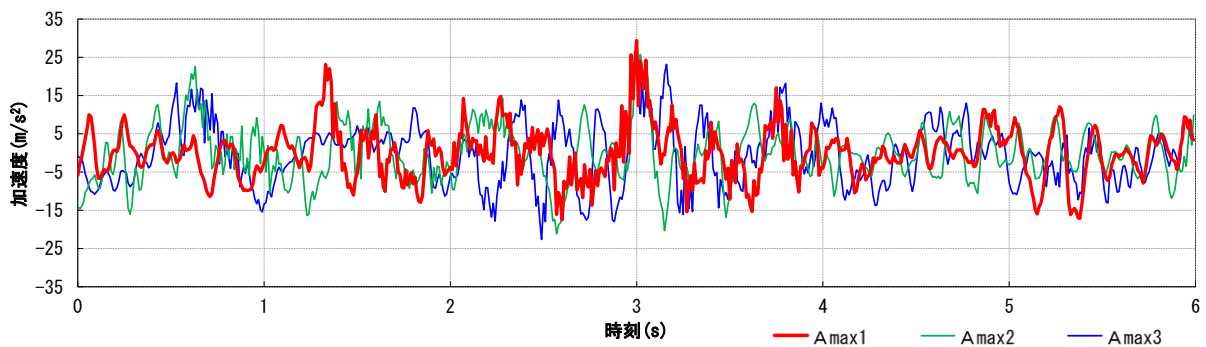


図 5-30 6 秒区間（Amax1～3 区間）の加速度時刻歴波形



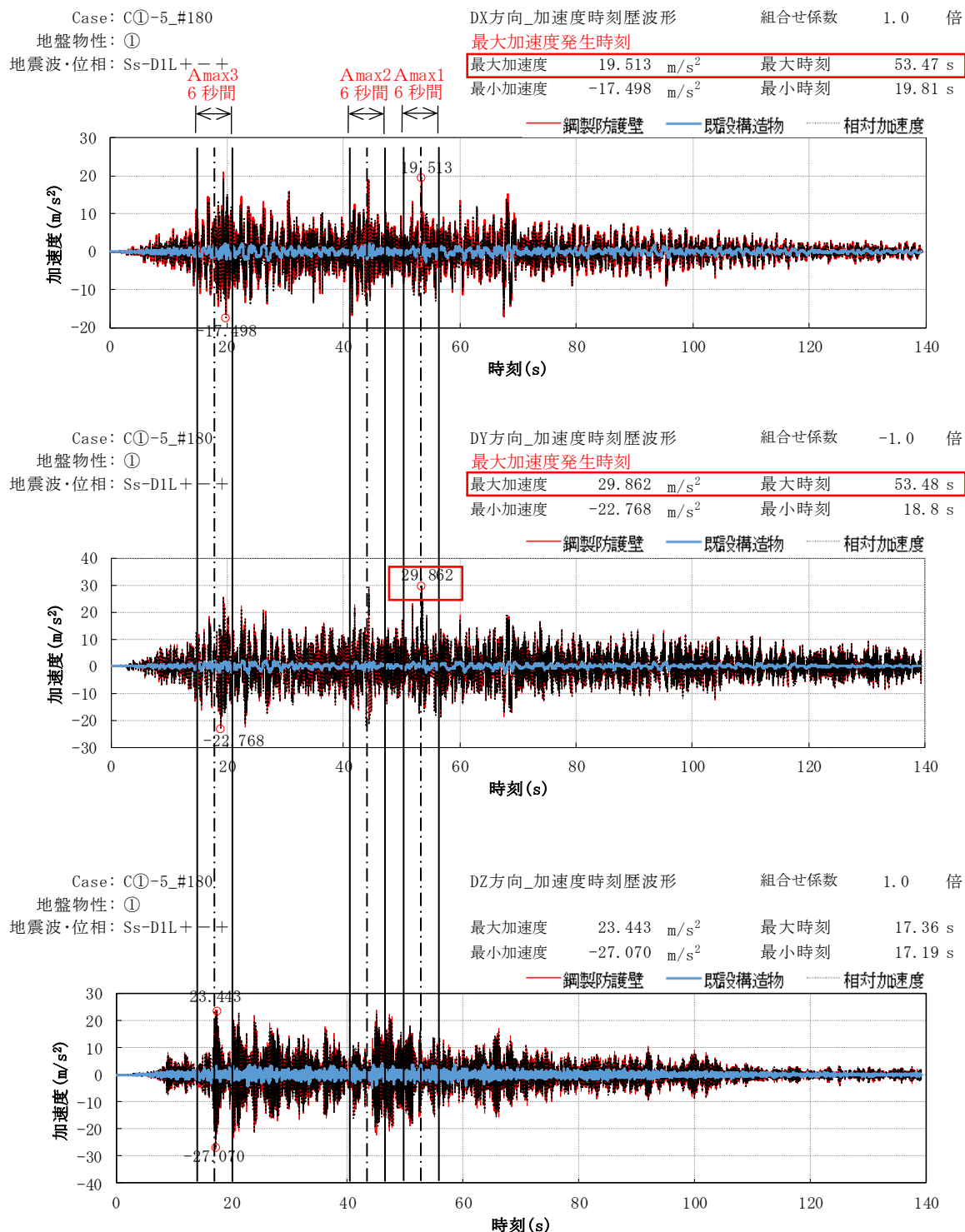


図 5-31 全時刻歴波形(140 秒間)における 6 秒区間 (Amax1~3 区間)

b. 最大加速度の包絡評価

図 5-31 より解析用入力時刻として設定した Amax1 区間の 6 秒区間には、応答を支配する Y 成分（堤軸直交方向）及び X 成分（堤軸方向）の最大加速度発生時刻が含まれていることを確認した。なお、Amax1 区間の 6 秒区間の Z 成分（鉛直方向）の最大加速度は、全 140 秒区間の絶対最大加速度  $-27.010\text{m/s}^2$  の 7 割程であるが、2 次元及び 3 次元動的解析に

においては止水板の水平方向慣性力が応力に影響し、鉛直方向加速度の影響は小さく 7 割程の慣性力が考慮されていれば問題ないと判断した。

c. 構成部材の固有周期と加速度応答スペクトル(Y成分)の比較

図 5-32 に示すとおり、止水機構の主な構成部材の固有周期である 0.05 秒以下（周波数 20Hz 以上）の高周波数帯域において、全時刻歴波形（140 秒間）と区間 Amax1（50.48 秒～56.48 秒）から算定した応答加速度スペクトルは概ね一致しており、区間 Amax1 が構成部材の応答に影響する主要な周波数成分を包含していることを確認した。

| 主な構成部材 | 固有周期 (s) | 周波数 (Hz) |
|--------|----------|----------|
| 止水板    | 0.0057   | 175      |
| 止水板押え  | 0.0103   | 97       |
| 保護プレート | 0.0047   | 213      |
| 底面戸当り  | 0.0072   | 139      |
| 側面戸当り  | 0.0170   | 59       |
| 防衝板    | 0.0045   | 222      |

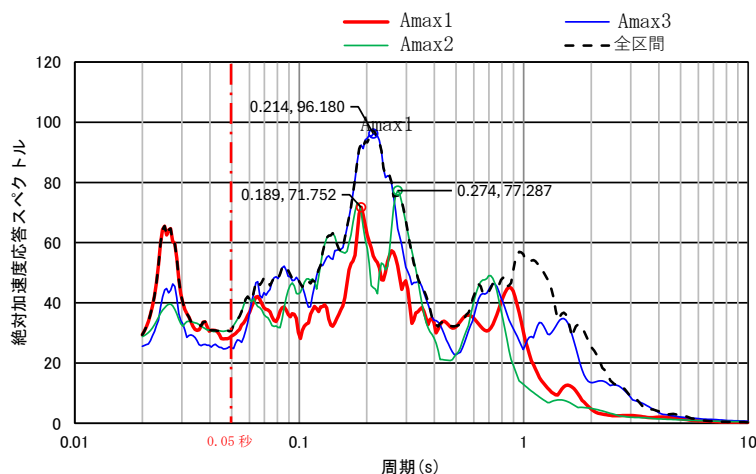


図 5-32 6 秒区間の加速度応答スペクトル(Y成分)の比較

d. 卓越周期による 6 秒間の評価

全 140 秒区間及び Amax1 区間の卓越周期を図 5-33 に示す。

解析用入力時刻歴波形の卓越周期は 0.183 秒であり、全時刻歴波形の卓越周期と一致することを確認した。したがって、解析用入力時刻歴波形は全時刻歴波形の卓越する振動特性を代表していることから、解析用入力時刻として妥当であることを確認した。

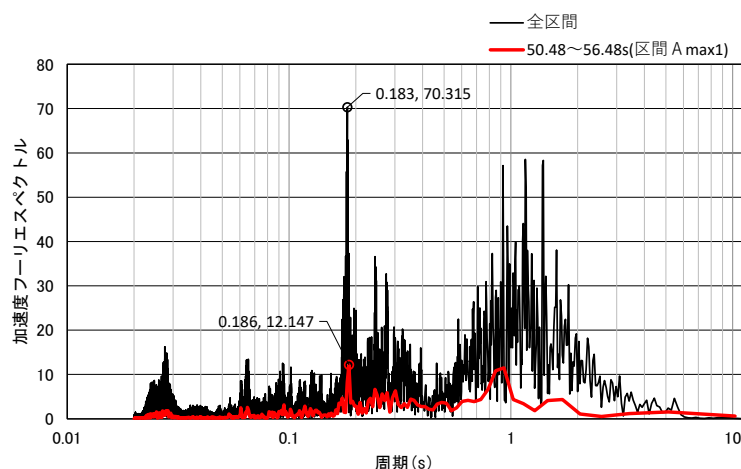


図 5-33 全 140 秒区間及び Amax1 区間の卓越周期

以上より、最大加速度の包絡性、加速度応答スペクトル及び卓越周期による評価結果を踏まえ、解析用入力時刻歴波形の継続時間を 6 秒間とすることは妥当であると判断した。

### 5.2.2 2次元動的解析

#### (1) 解析の目的

2次元動的解析にて地震時の既設構造物と鋼製防護壁の揺れに対する水密ゴムの挙動を確認し、応力評価することにより、水密ゴムの健全性を確認する。

#### (2) 解析コード

MSC\_MARC2014.2.0 (エムエスシーソフトウェア株式会社)

#### (3) 解析内容

大変形超弾性解析 (水密ゴムを超弾性体として扱う)

#### (4) モデル化

2次元動的解析モデルを図 5-34 に示す。

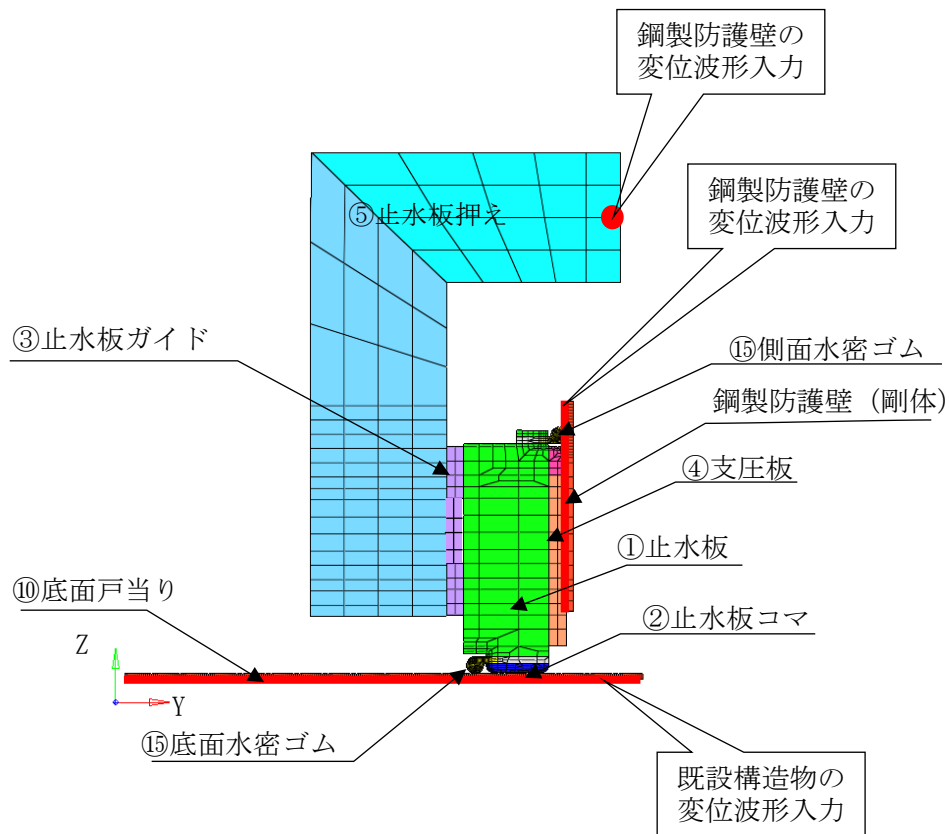


図 5-34 2次元動的解析モデル概念図

(5) 解析ケース

解析ケースは「S<sub>s</sub>-D 1（地盤ケース①）（50-56s）」とする。解析ケースの概要を表 5-4 に示す。また、使用した地震変位を図 5-35 に示す。

表 5-4 解析ケース

| ケース            | 止水板ガイド<br>隙間* | 地震波              | 地震波の<br>入力箇所<br>(摺動部) | 入力波形      |
|----------------|---------------|------------------|-----------------------|-----------|
| 本震-2 次元<br>モデル | 6mm           | 入力変位波形<br>50～56s | 鋼製防護壁<br>及び<br>既設構造物  | 図 5-35 参照 |

注記＊：止水板ガイドと止水板押えの隙間は、公称値 3mm に公差(+3mm/-0mm)を考慮して許容範囲 3～6mm に設定している。この許容範囲 3～6mm に対して隙間 3mm, 4mm, 6mm の 3 ケースで 3 次元動的解析を実施し、構成部材の発生応力度が隙間 6mm において最大になることを確認している。

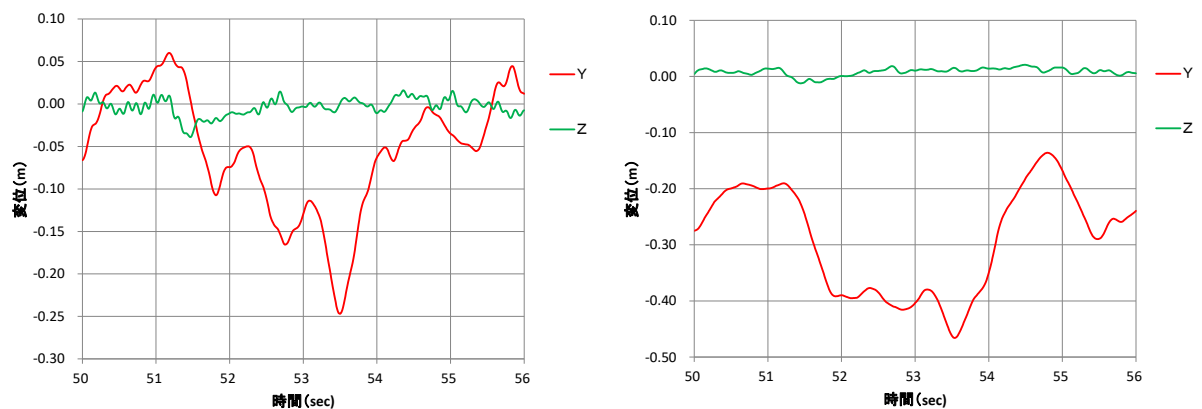


図 5-35 地震変位 (50-56sec)  
(左図：鋼製防護壁，右図：既設構造物)

(6) 評価対象部位

⑮底面水密ゴム及び⑮側面水密ゴム

(7) 評価項目

⑮底面水密ゴム及び⑮側面水密ゴムの応力評価

(8) 物性値及び摩擦係数

解析に用いる各部位の物性値と摩擦係数を表 5-5 に、縦弾性係数と密度を表 5-6 に、接触体区分別の摩擦係数を表 5-7 示す。

2次元動的解析は、モデルに用いる材料定数については部材の奥行を考慮するために、モデルの軸方向（3次元モデルにおける x 方向）の長さに応じて、縦弾性係数及び密度を以下の式を用いて修正する。

$$E=E_0 \frac{nL}{L_0}$$

$$\gamma=\gamma_0 \frac{nL}{L_0}$$

ここで、 $L_0$  : 止水板の軸方向長さ（1990mm）

$L$  : 各部材の軸方向長さ

$n$  : 止水板 1 枚（1990mm 長さ）当りの取付け数

$E_0$  : 各部材の縦弾性係数（3次元剛性）

$E$  : 各部材の 2次元モデルで用いる縦弾性係数（2次元剛性）

$\gamma_0$  : 各部材の密度（3次元密度）

$\gamma$  : 各部材の 2次元モデルで用いる密度（2次元密度）

2次元解析モデルにおける材料区分を図 5-36 に色分けして示す。また、解析モデルの接触体区分を図 5-37 に示す。

表 5-5 物性値及び摩擦係数

| 部位 (材質)                               | 物性値                                         | 基準強度                                                      | 許容値<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 摩擦係数 <sup>*7</sup> |
|---------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 止水板 <sup>*1</sup><br>(SUS304N2)       | 縦弾性係数 197000 N/mm <sup>2</sup><br>ポアソン比 0.3 | 耐力 345 N/mm <sup>2</sup><br>(引張強さ 690 N/mm <sup>2</sup> ) | 300                         | -                  |
| 水密ゴム <sup>*2</sup><br>(合成ゴム+UPE貼付け)   | 単軸引張試験結果                                    | 引張強さ 14.7 N/mm <sup>2</sup>                               | 12                          | 0.2                |
| 止水板コマ <sup>*3</sup><br>(CAC703)       | 縦弾性係数 110000 N/mm <sup>2</sup><br>ポアソン比 0.3 | 耐力 245 N/mm <sup>2</sup><br>(引張強さ 590 N/mm <sup>2</sup> ) | 228<br>(171)                | 0.4                |
| 支圧板 <sup>*4</sup><br>(UPE)            | 縦弾性係数 785 N/mm <sup>2</sup><br>ポアソン比 0.3    | 引張強さ 44 N/mm <sup>2</sup>                                 | 38<br>(19)                  | 0.2                |
| ガイド板 <sup>*5</sup><br>(CAC304)        | 縦弾性係数 98000 N/mm <sup>2</sup><br>ポアソン比 0.3  | 耐力 410 N/mm <sup>2</sup><br>(引張強さ 755 N/mm <sup>2</sup> ) | 337<br>(249)                | 0.4                |
| 止水板押え <sup>*1</sup><br>(SM570)        | 縦弾性係数 205000 N/mm <sup>2</sup><br>ポアソン比 0.3 | 降伏点 450 N/mm <sup>2</sup>                                 | 382                         | -                  |
| 止水板押え摺動面 <sup>*1</sup><br>(SUS329J4L) | 縦弾性係数 197000 N/mm <sup>2</sup><br>ポアソン比 0.3 | 耐力 450 N/mm <sup>2</sup>                                  | 382                         | -                  |
| 緩衝ゴム <sup>*6</sup>                    | 縦弾性係数 3.0 N/mm <sup>2</sup><br>ポアソン比 0.49   | 引張強さ 14.7 N/mm <sup>2</sup>                               | 12                          | -                  |

下段 () 内は支圧強度を示す

注記：各部位の物性値の出典を下記に示す。

\*1：機械工学便覧

\*2：ゴムメーカ試験結果

\*3：メーカホームページ(アズワン)

\*4：メーカカタログ (ニューライト)

\*5：メーカホームページ (Jマテ. カッパープロダクツ)

\*6：ゴムメーカ試験結果

\*7：ダム・堰施設技術基準 (案) (基準解説編・設備計画マニュアル編) (ダム・堰施設技術協会, 平成 28 年 3 月)

の表 5.0.4-1 摩擦係数より、金属間については 0.4 を設定する。また、水密ゴム(合成ゴム+UPE)及び支圧(UPE)については乾式状態の 0.2 を設定する。

表 5-6 縦弾性係数と密度 (材料区分：図 5-36 参照)

| 部位        | 材料区分名   | 長さ(X方向)  | 個数 | 長さ合計 | nL/Lo | 縦弾性係数                | 密度                                    |
|-----------|---------|----------|----|------|-------|----------------------|---------------------------------------|
|           |         | (mm)     |    | (mm) | (-)   | (N/mm <sup>2</sup> ) | (kg/m <sup>3</sup> ×10 <sup>3</sup> ) |
| 止水板       | SUS     | 1990     | 1  | 1990 | 1.000 | 197000               | 7.93                                  |
| 止水板コマ     | CAC     | 1990     | 1  | 1990 | 1.000 | 110000               | 7.6                                   |
| 支圧板       | 上部      | UPE1     | 1  | 1830 | 0.920 | 722                  | 0.864                                 |
|           | 下部      | UPE2     | 2  | 100  | 0.050 | 39.4                 | 0.047                                 |
| ガイド板      | GIDE    | 65       | 2  | 130  | 0.065 | 6402                 | 0.512                                 |
| 戸当たり      | RIGID   | 1990     | 1  | 1990 | 1.000 | 197000               | -                                     |
| 水密ゴム      | RUBBER  | 1990     | 1  | 1990 | 1.000 | 引張試験結果使用             | 1.29                                  |
| 止水板<br>押え | コマ板     | KANSY01  | 1  | 1990 | 1.000 | 3.000                | 1.29                                  |
|           | ガイド板    | KANSY02  | 2  | 130  | 0.065 | 0.196                | 0.084                                 |
|           | ウェーブ38t | HW38     | 2  | 76   | 0.038 | 7829                 | 0.300                                 |
|           | ウェーブ28t | HW28     | 2  | 56   | 0.028 | 5769                 | 0.221                                 |
|           | フランジSM  | HFr20SM  | 2  | 400  | 0.201 | 41206                | 1.58                                  |
|           | フランジSUS | HFr20SUS | 2  | 400  | 0.201 | 39598                | 1.59                                  |

表 5-7 摩擦係数（接触体区分：図 5-37 参照）

| 接触場所         | 接触体区分 |          | 摩擦係数 |
|--------------|-------|----------|------|
| 底面水密ゴム同士     | GOM1  | GOM1     | 0.2  |
| 底面水密ゴム×底面戸当り | GOM1  | BASE     | 0.2  |
| 底面水密ゴム×止水板コマ | GOM1  | KOMA     | 0.2  |
| 側面水密ゴム同士     | GOM2  | GOM2     | 0.2  |
| 側面水密ゴム×側面戸当り | GOM2  | BOGO     | 0.2  |
| 側面水密ゴム×支圧板   | GOM2  | SIATUBAN | 0.2  |
| 底面戸当り×止水板コマ  | BASE  | KOMA     | 0.4  |
| 側面戸当り×支圧板    | BOGO  | SIATUBAN | 0.2  |
| 止水板押え×ガイド板   | GIDE  | H        | 0.4  |
| 接触体ではない場所    | none  |          | —    |

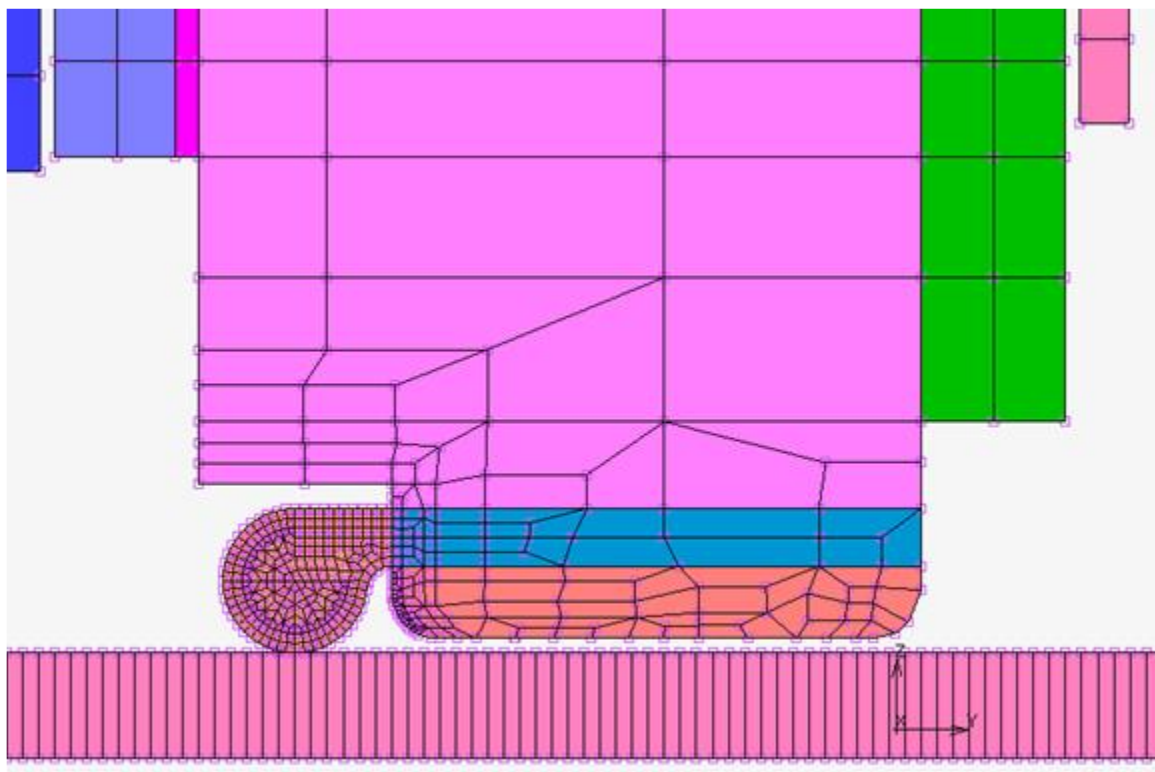
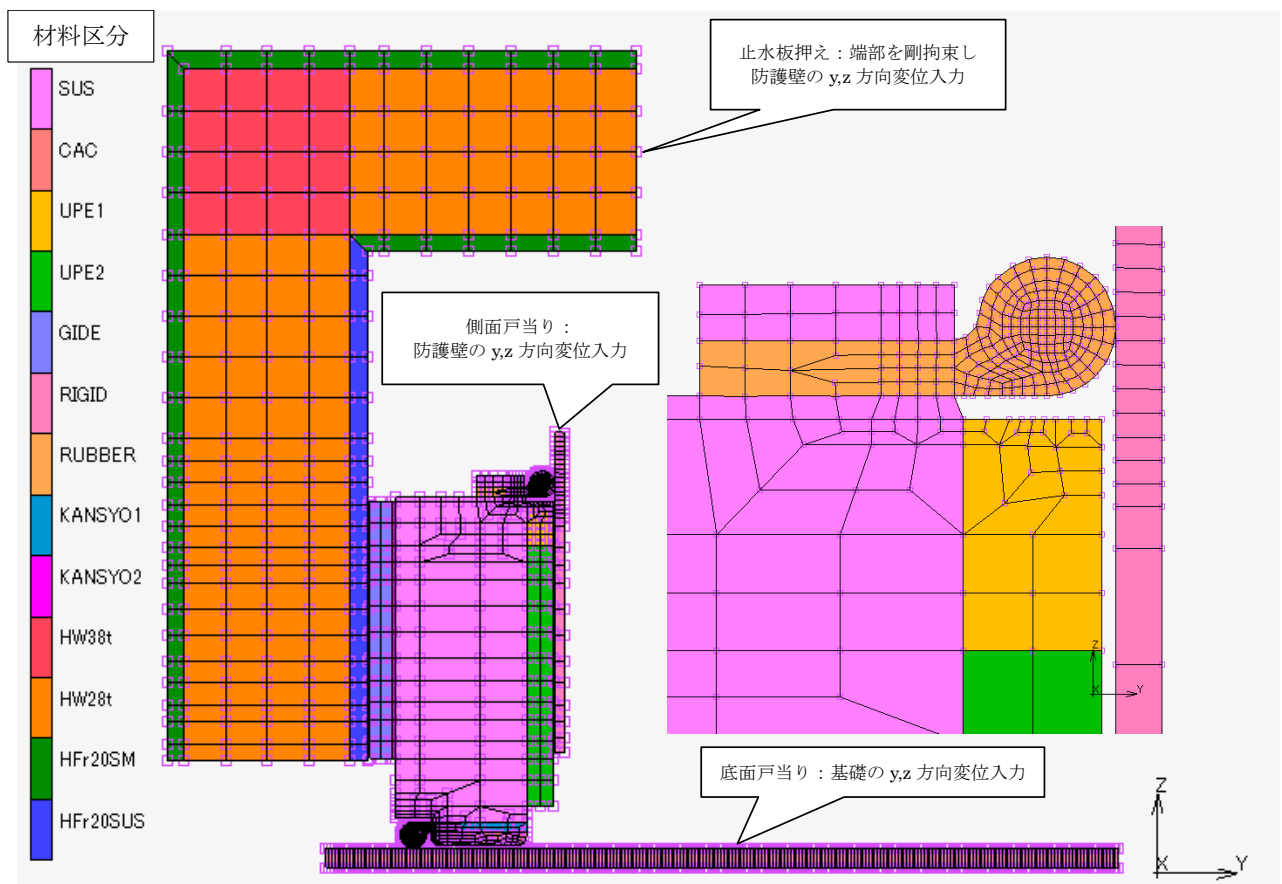


図 5-36 2次元モデル及び材料区分(表 5-6 参照)



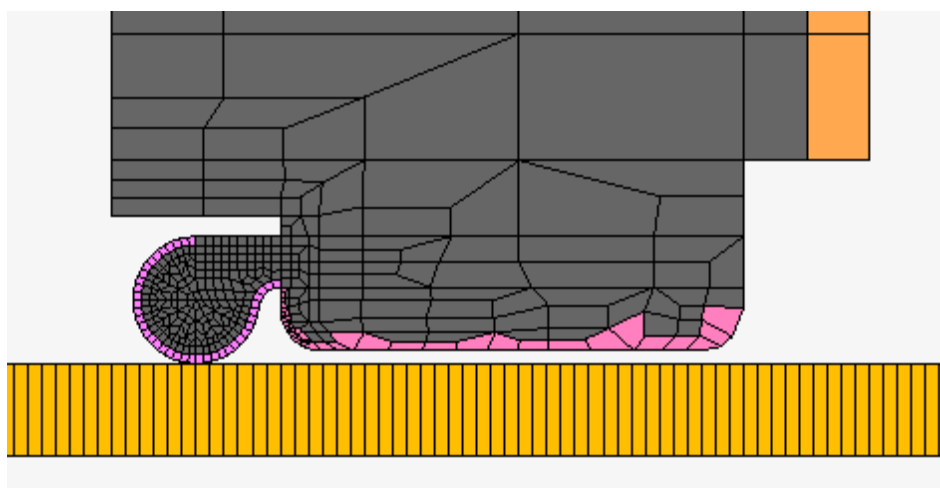
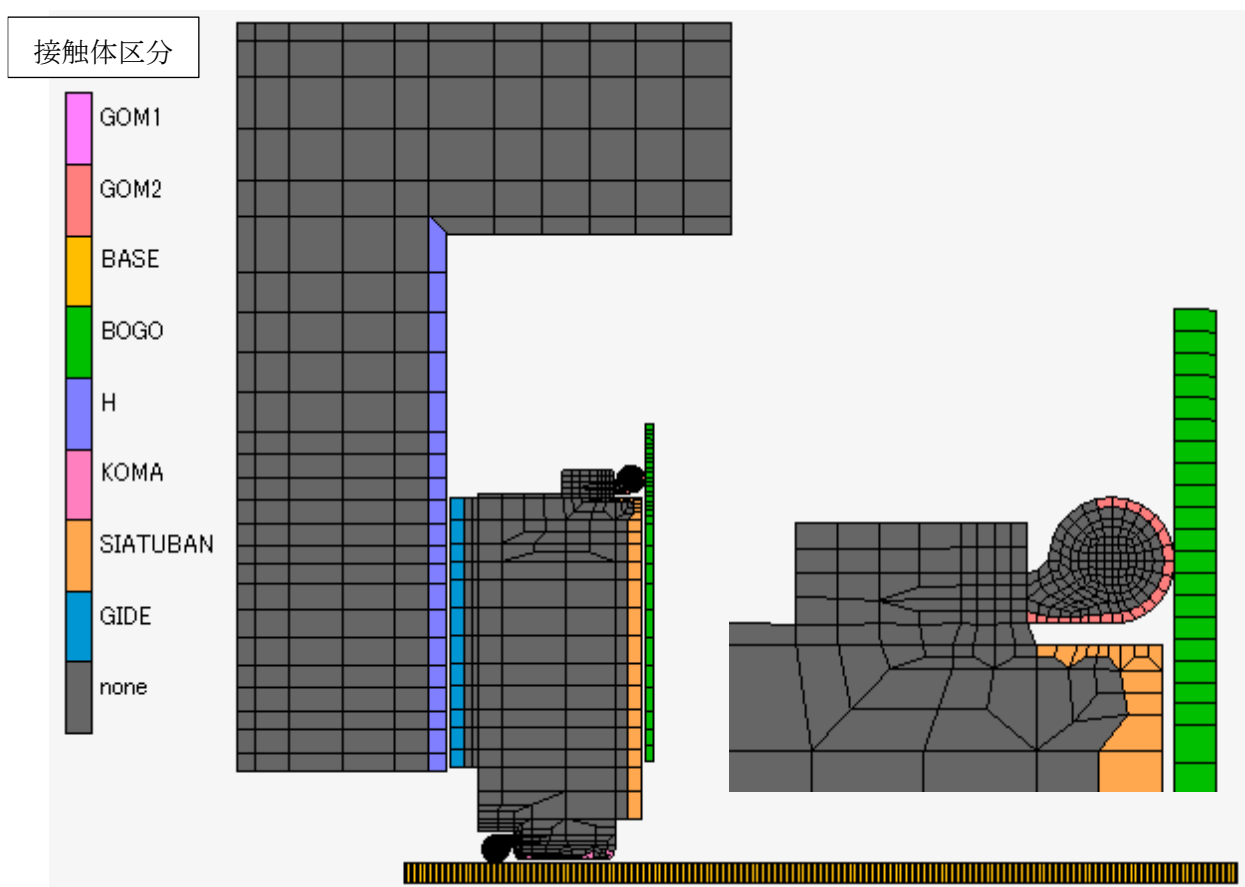


图 5-37 接触体区分 (表 5-7 参照)

### 5.2.3 3次元動的解析

#### (1) 解析の目的

3次元動的解析では、地震時の既設構造物と鋼製防護壁の揺れに対する1次止水機構の挙動に対し、評価対象部材の応力評価及び水密ゴムの変位追従性による止水性を確認する。

3次元動的解析モデルを図 5-38 に示す。

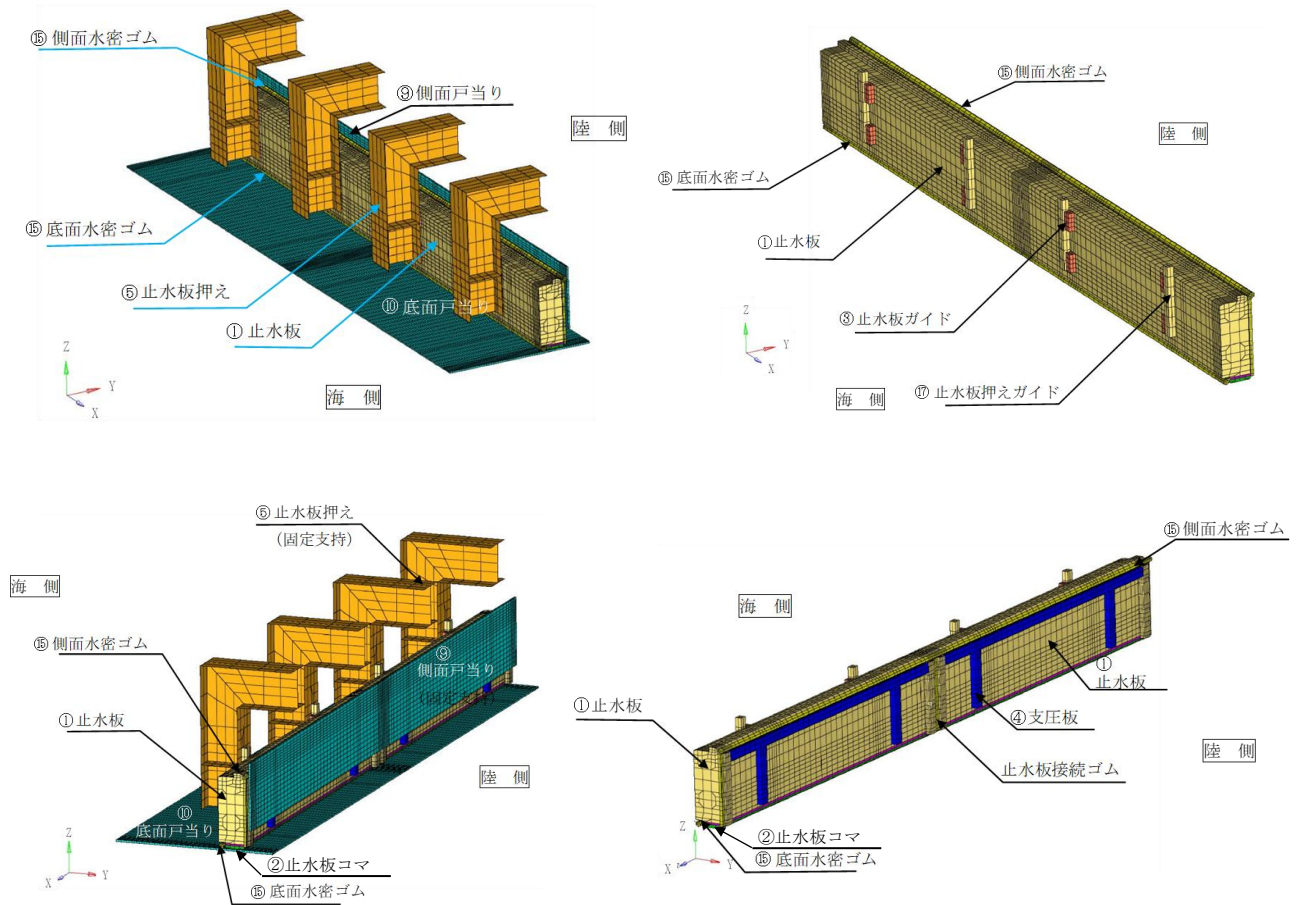


図 5-38 3次元動的解析モデル

#### (2) 解析コード

MSC\_MARC2014.2.0 (エムエスシーソフトウェア株式会社)

#### (3) 解析内容

大変形超弾性解析 (水密ゴムを超弾性体として扱う)

(4) モデル化

図 5-39 に 3 次元動的解析モデル概念図を示す。

図 5-40 及び図 5-41 に解析モデルを示す。

基本的に 6 面体ソリッド要素を用いるが架台の部分はシェル要素を用いる。

図 5-42 に X 方向のゴム端面の境界条件を示す。X=0m と X=4m の位置にある端面（止水板と止水板の切れ目の中央部分でありゴムのみの断面となる）について、A1, A2 端面の節点と同じ位置にある B1, B2 端面の節点について、X, Y 及び Z の変位が等しいという条件を与える（この境界条件を周期対称条件という）。この境界条件は止水板が X 方向の正負（±）それぞれの方向に無限に続くという条件となる。

図 5-43 に止水板ガイドに取り付けた緩衝ゴムの解析モデルを示す。

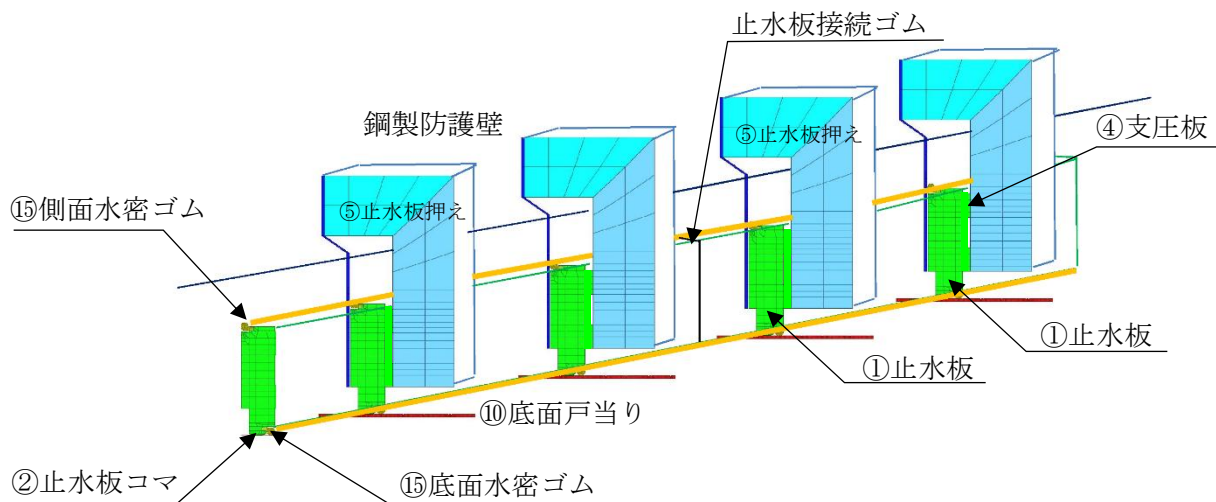


図 5-39 3 次元動的解析モデル概念図

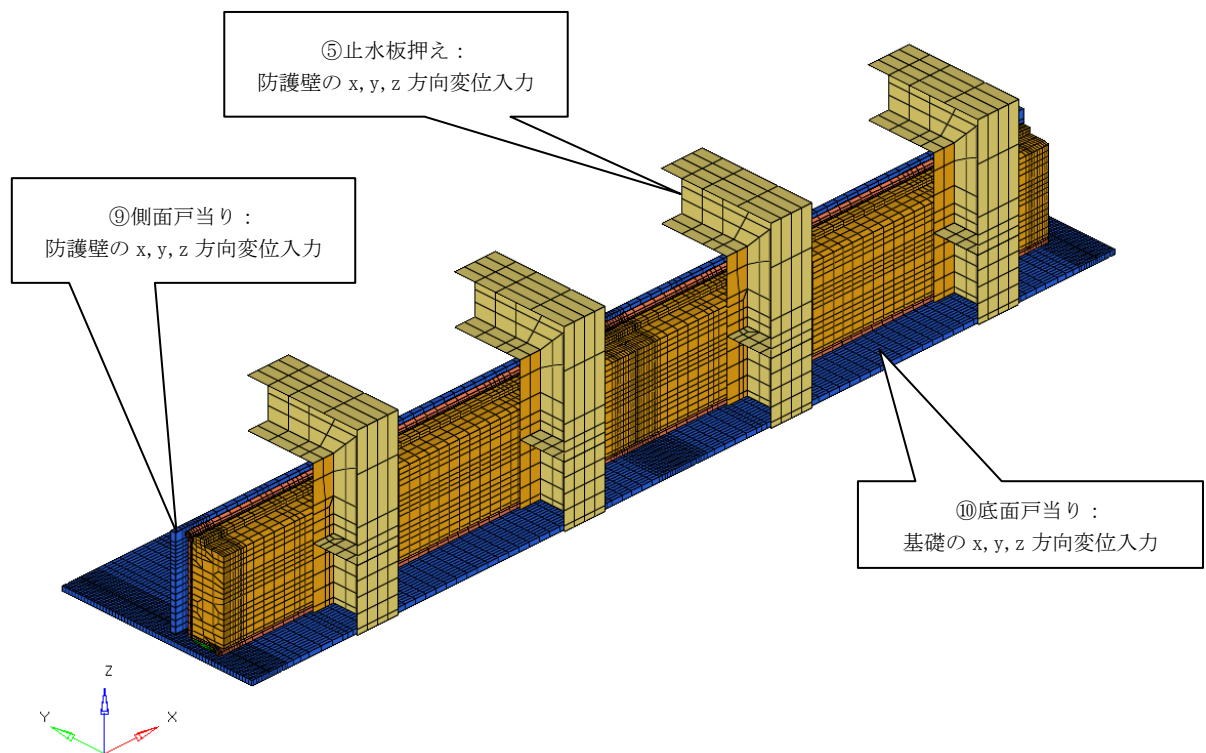


図 5-40 解析モデル（海側からの視点）

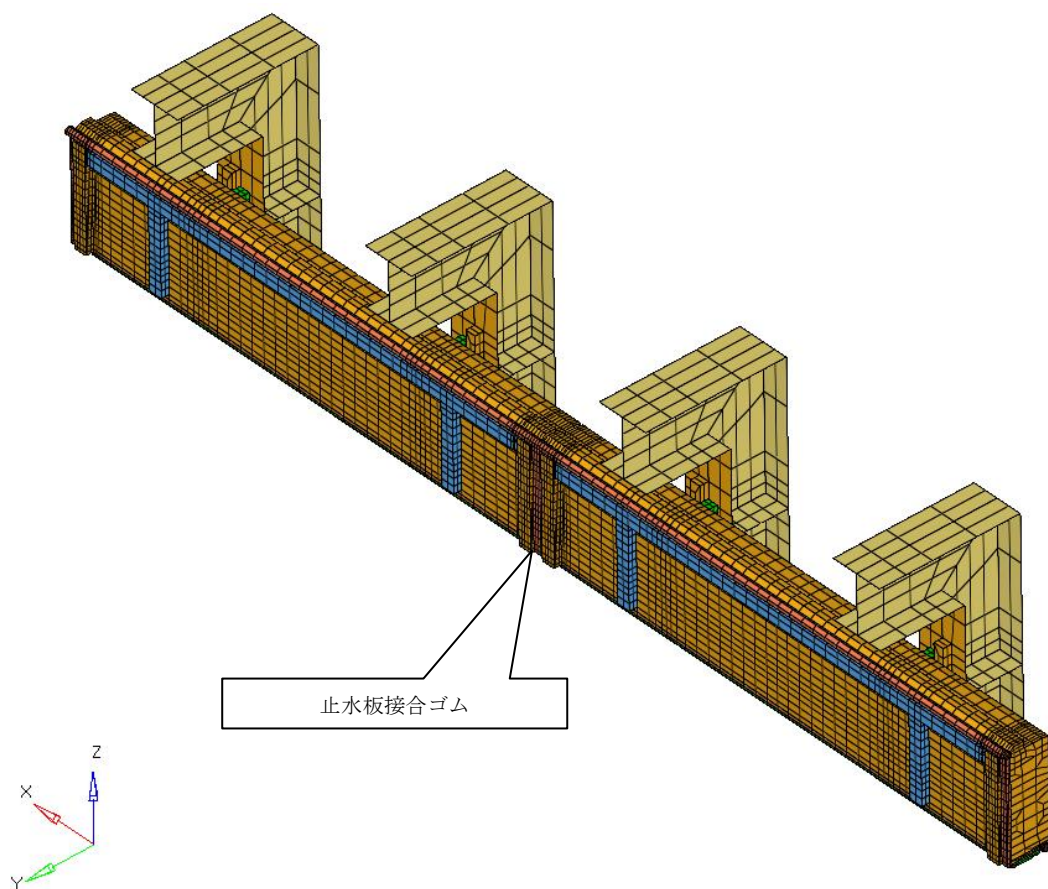


図 5-41 解析モデル（陸側からの視点）

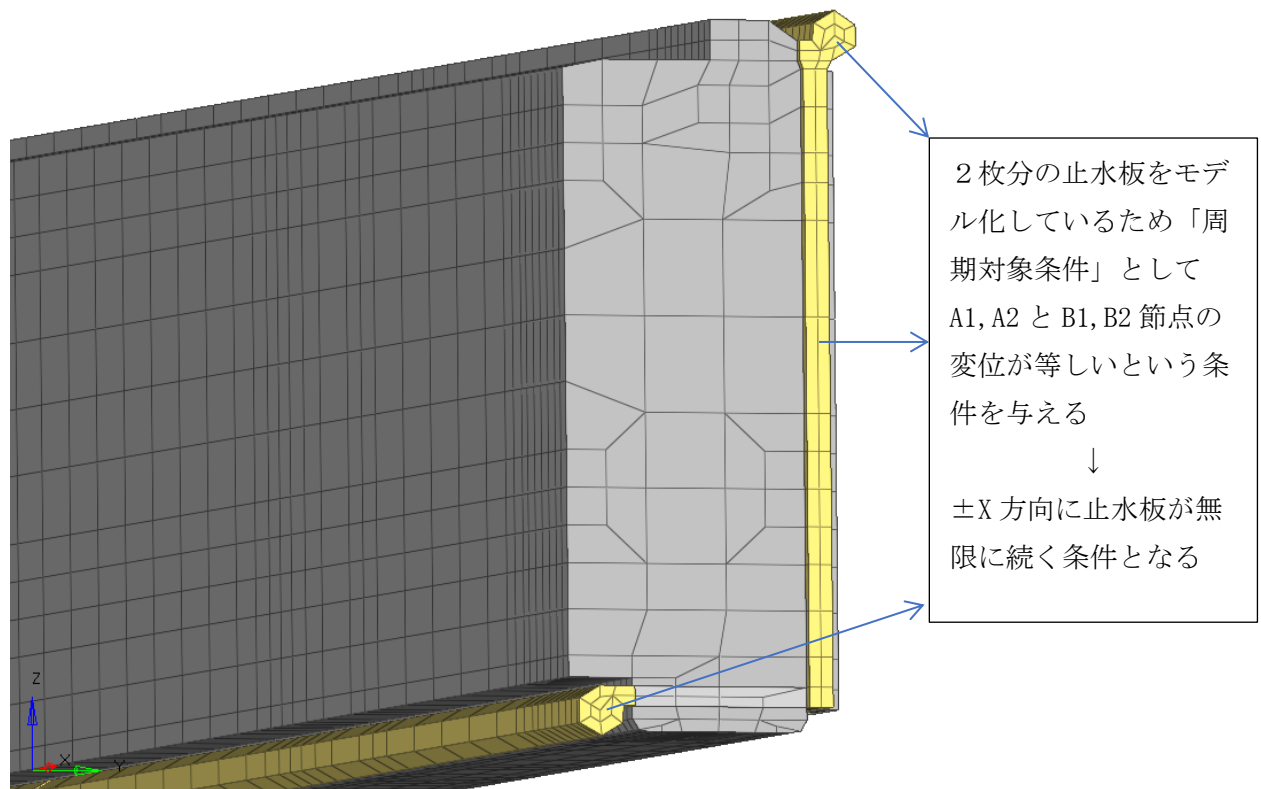
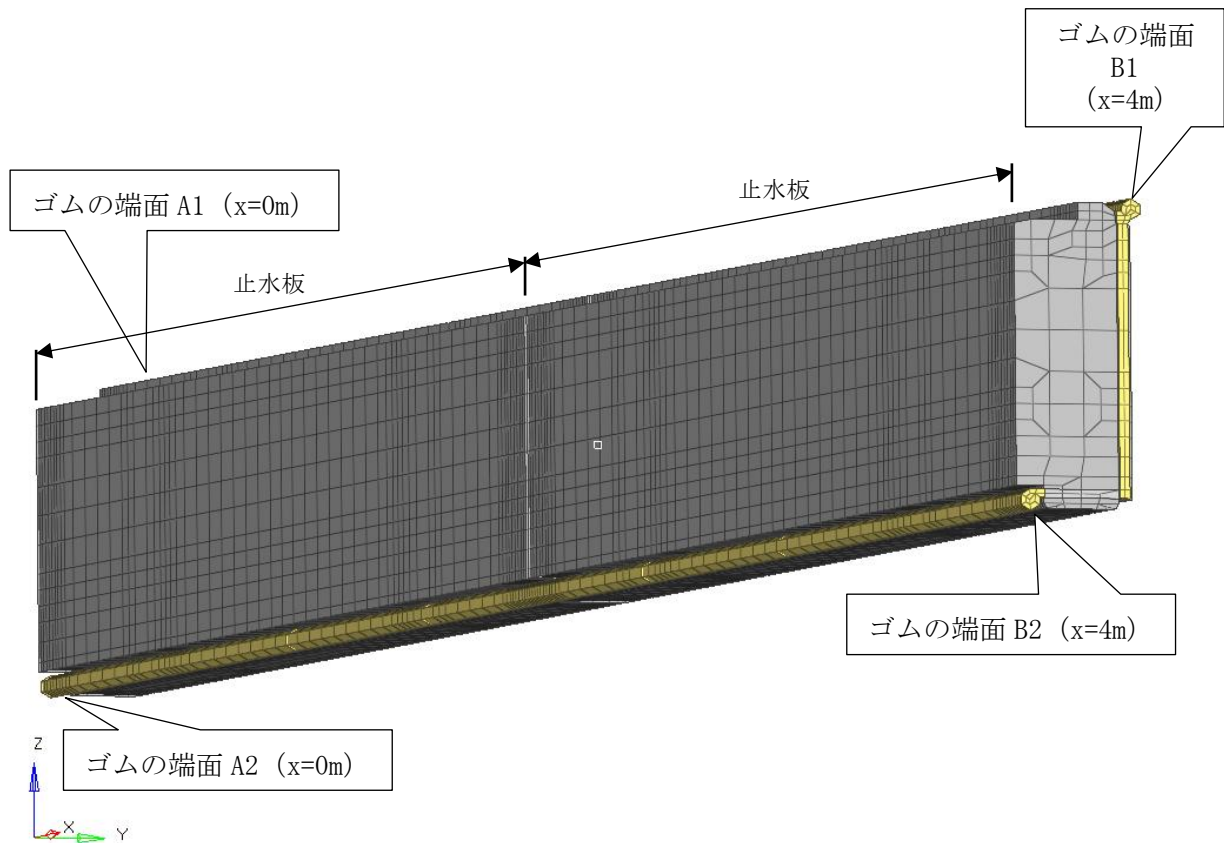


図 5-42 解析モデル 端部ゴムの境界条件

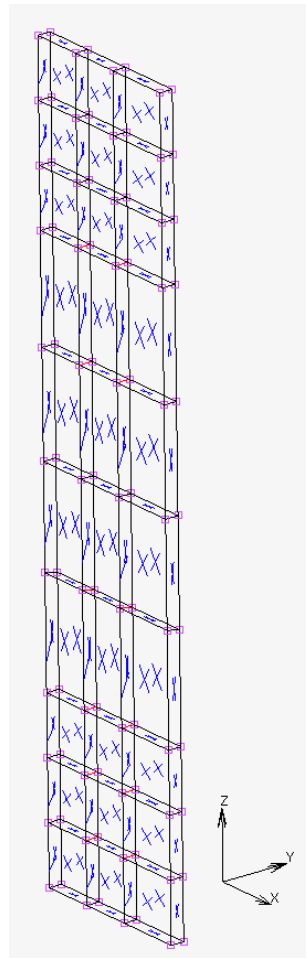


図 5-43 解析モデル 緩衝ゴム（止水板ガイド部）

(5) 解析ケース

解析ケース概要を表 5-8 に示す。また、使用した変位波形を図 5-44 に示す。

表 5-8 解析ケース

| ケース            | 止水板ガイド<br>隙間* | 緩衝ゴム<br>拘束条件 |     |     | 地震波              | 地震波の<br>入力箇所<br>(摺動部) | 入力波形      |
|----------------|---------------|--------------|-----|-----|------------------|-----------------------|-----------|
|                |               | X            | Y   | Z   |                  |                       |           |
| 本震-3 次元<br>モデル | 6mm           | フリー          | フリー | フリー | 入力変位波形<br>50～56s | 鋼製防護壁<br>及び<br>既設構造物  | 図 5-44 参照 |

注記\*：止水板ガイドと止水板押えの隙間は、公称値 3mm に公差(+3mm/-0mm)を考慮して許容範囲 3～6mm に設定している。この許容範囲 3～6mm に対して隙間 3mm, 4mm, 6mm の 3 ケースで 3 次元動的解析を実施し、構成部材の発生応力度が隙間 6mm において最大になることを確認している。

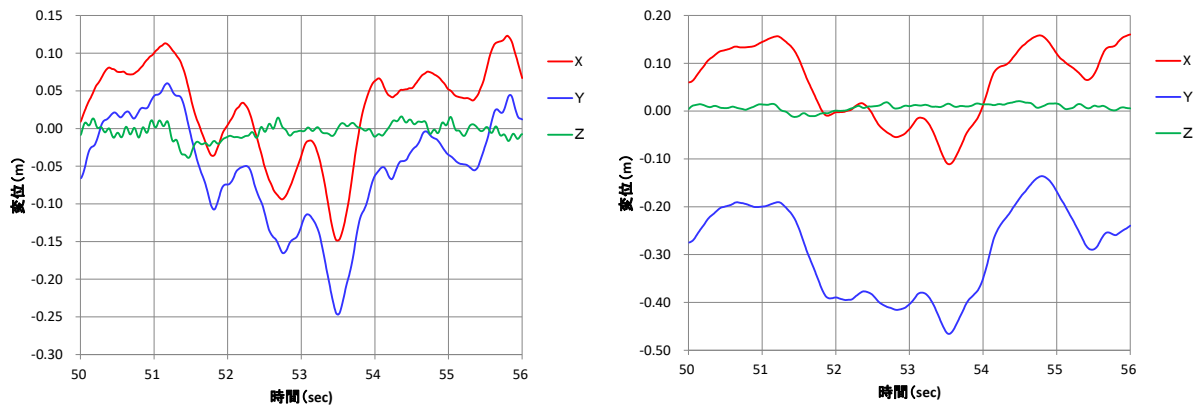


図 5-44 地震変位 (50-56sec)  
(左図：鋼製防護壁，右図：既設構造物)

(6) 評価対象部位

①止水板，②止水板コマ，③止水板ガイド，④支圧板，⑤止水板押え，⑮底面水密ゴム及び⑯緩衝ゴム

(7) 評価項目

評価対象部位の応力評価及び水密ゴムの変位追従性による止水性の評価（止水板の浮き上がり量及び回数による評価）



(8) 物性値及び摩擦係数

解析に用いる各部位の物性値と摩擦係数を表 5-9 に、縦弾性係数と密度を表 5-10 に、接触体区分別の摩擦係数を表 5-11 示す。

解析モデルにおける止水板押えの板厚区分を図 5-45 に、材料区分を図 5-46 に色分けして示す。また、解析モデルの接触体区分を図 5-47 及び図 5-48 に示す。

表 5-9 物性値及び摩擦係数（表 5-5 の再掲）

| 部位（材質）                             | 物性値                                         | 基準強度                                                      | 許容値<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 摩擦係数 |
|------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|------|
| 止水板（SUS304N2）                      | 縦弾性係数 197000 N/mm <sup>2</sup><br>ポアソン比 0.3 | 耐力 345 N/mm <sup>2</sup><br>(引張強さ 690 N/mm <sup>2</sup> ) | 300                         | -    |
| 水密ゴム(合成ゴム+<br>UPE貼付け)              | 単軸引張試験結果                                    | 引張強さ 14.7 N/mm <sup>2</sup>                               | 12                          | 0.2  |
| 止水板コマ(CAC703)                      | 縦弾性係数 110000 N/mm <sup>2</sup><br>ポアソン比 0.3 | 耐力 245 N/mm <sup>2</sup><br>(引張強さ 590 N/mm <sup>2</sup> ) | 228<br>(171)                | 0.4  |
| 支圧板(UPE)                           | 縦弾性係数 785 N/mm <sup>2</sup><br>ポアソン比 0.3    | 引張強さ 44 N/mm <sup>2</sup>                                 | 38<br>(19)                  | 0.2  |
| ガイド板（CAC304）                       | 縦弾性係数 98000 N/mm <sup>2</sup><br>ポアソン比 0.3  | 耐力 410 N/mm <sup>2</sup><br>(引張強さ 755 N/mm <sup>2</sup> ) | 337<br>(249)                | 0.4  |
| 止水板押え（SM570）                       | 縦弾性係数 205000 N/mm <sup>2</sup><br>ポアソン比 0.3 | 降伏点 450 N/mm <sup>2</sup>                                 | 382                         | -    |
| 止水板押え摺動面、<br>横移動防止板<br>(SUS329J4L) | 縦弾性係数 197000 N/mm <sup>2</sup><br>ポアソン比 0.3 | 耐力 450 N/mm <sup>2</sup>                                  | 382                         | -    |
| 緩衝ゴム                               | 縦弾性係数 3.0 N/mm <sup>2</sup><br>ポアソン比 0.49   | 引張強さ 14.7 N/mm <sup>2</sup>                               | 12                          | -    |

下段（ ）内は支圧強度を示す

表 5-10 縦弾性係数と密度（材料区分：図 5-46 参照）

| 部位           | 材料区分   | 縦弾性係数                  | 密度                                              |
|--------------|--------|------------------------|-------------------------------------------------|
|              | グループ名  | E<br>N/mm <sup>2</sup> | $\gamma$<br>kg/m <sup>3</sup> × 10 <sup>3</sup> |
| 止水板押え（SM/SS） | S      | 205000                 | 7.86                                            |
| 止水板（SUS）     | SUS    | 197000                 | 7.93                                            |
| 止水板コマ        | CAC    | 110000                 | 7.6                                             |
| 支圧板          | UPE    | 785                    | 0.94                                            |
| ガイド板         | GIDE   | 98000                  | 7.84                                            |
| 戸当り          | RIGID  | 197000                 | 7.93                                            |
| 緩衝ゴム         | kansyo | 3                      | 1.29                                            |
| 止水板押え（SUS）   | HSUS   | 197000                 | 7.93                                            |
| 水密ゴム/止水板接合ゴム | RUBBER | 引張試験結果使用               | 1.29                                            |

表 5-11 摩擦係数（接触体区分：図 5-47，図 5-48 参照）

| 接触場所          | 接触体区分   |          | 摩擦係数 |
|---------------|---------|----------|------|
| 底面水密ゴム同士      | GOM1    | GOM1     | 0.2  |
| 底面水密ゴム×底面戸当り  | GOM1    | BASE     | 0.2  |
| 底面水密ゴム×止水板コマ  | GOM1    | KOMA     | 0.2  |
| 側面水密ゴム同士      | GOM2    | GOM2     | 0.2  |
| 側面水密ゴム×側面戸当り  | GOM2    | BOGO     | 0.2  |
| 側面水密ゴム×支圧板    | GOM2    | SIATUBAN | 0.2  |
| 底面戸当り×止水板コマ   | BASE    | KOMA     | 0.4  |
| 側面戸当り×支圧板     | BOGO    | SIATUBAN | 0.2  |
| ガイド板×止水板押え    | GIDE    | Hfr      | 0.4  |
| 止水板押えガイド×ガイド板 | STOPPER | GIDE     | 0.4  |
| 接触体ではない場所     | none    |          | -    |



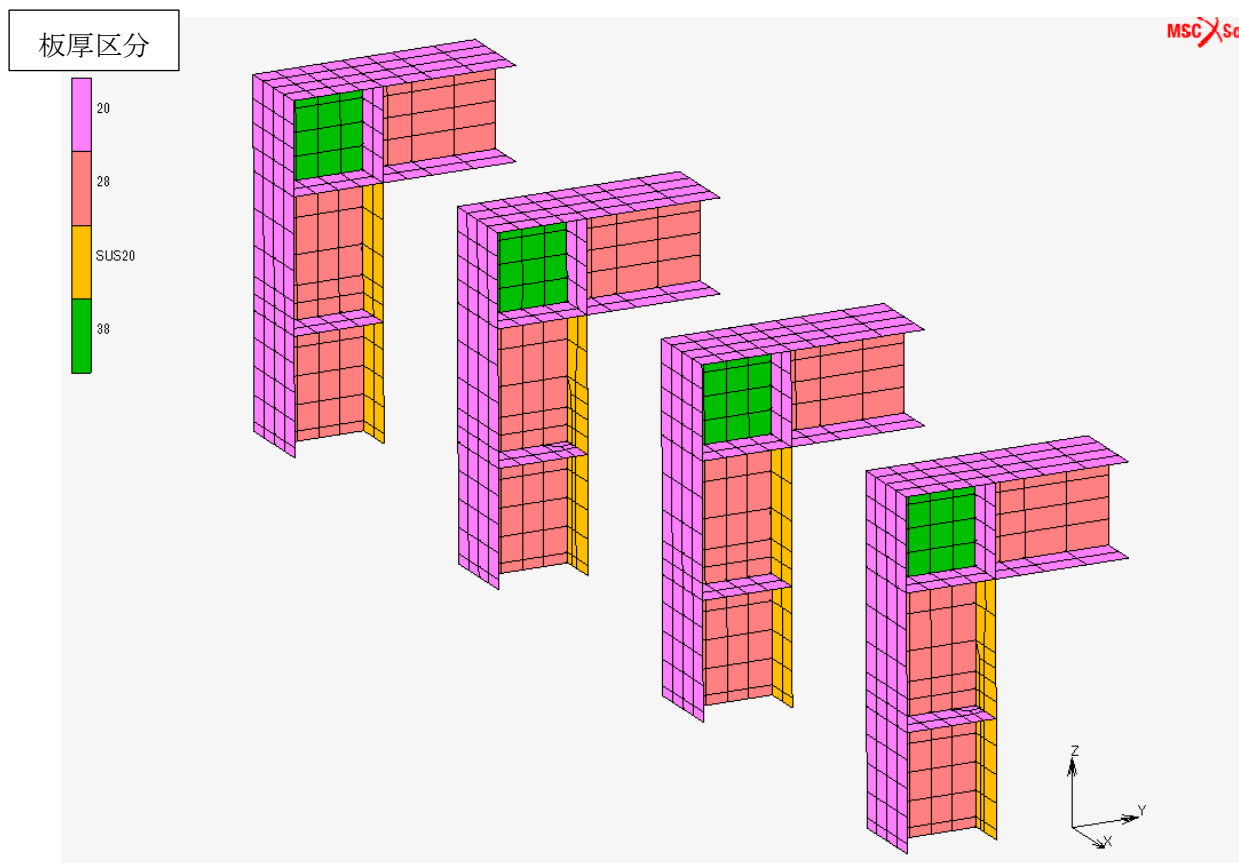


図 5-45 3次元モデル及び板厚区分

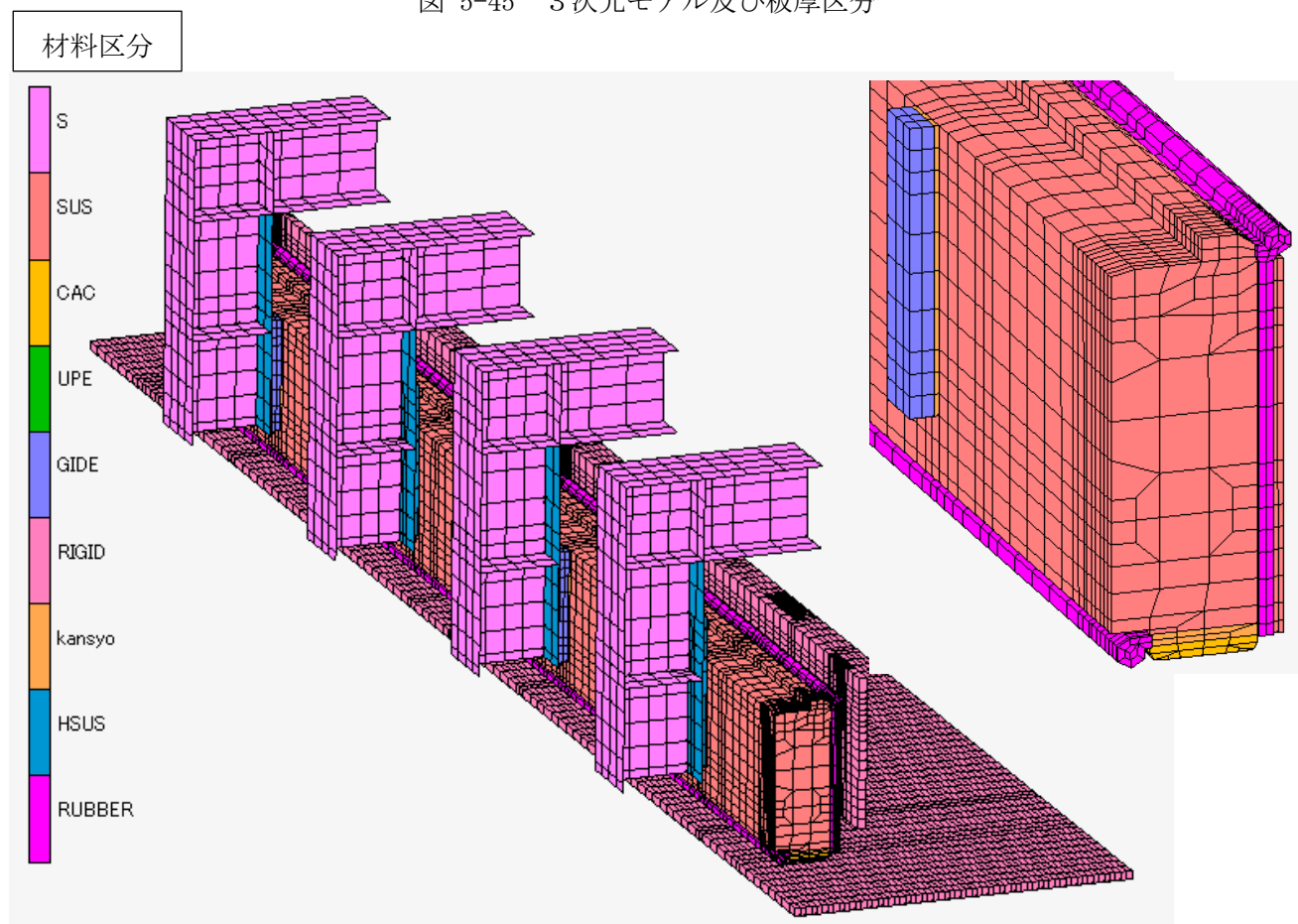


図 5-46 3次元モデル及び材料区分 (表 5-10 参照)

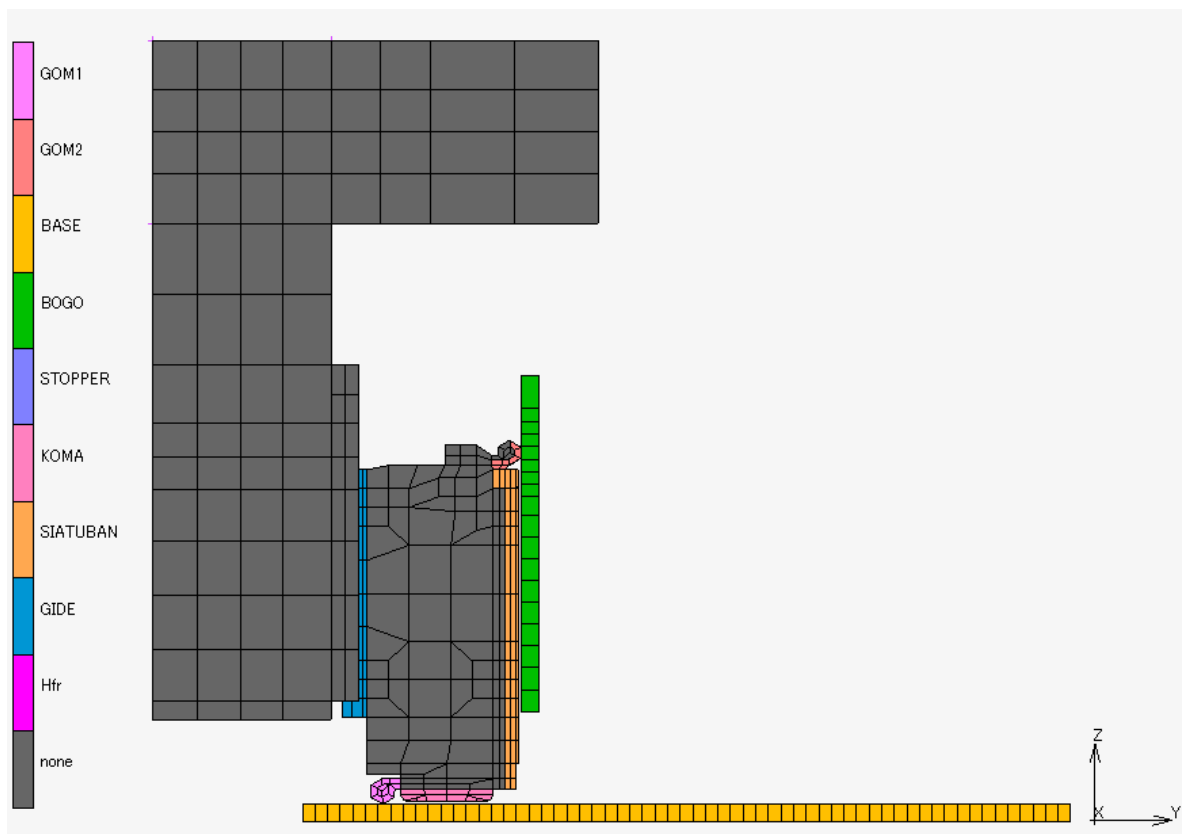


图 5-47 接触体区分 (表 5-11 参照)

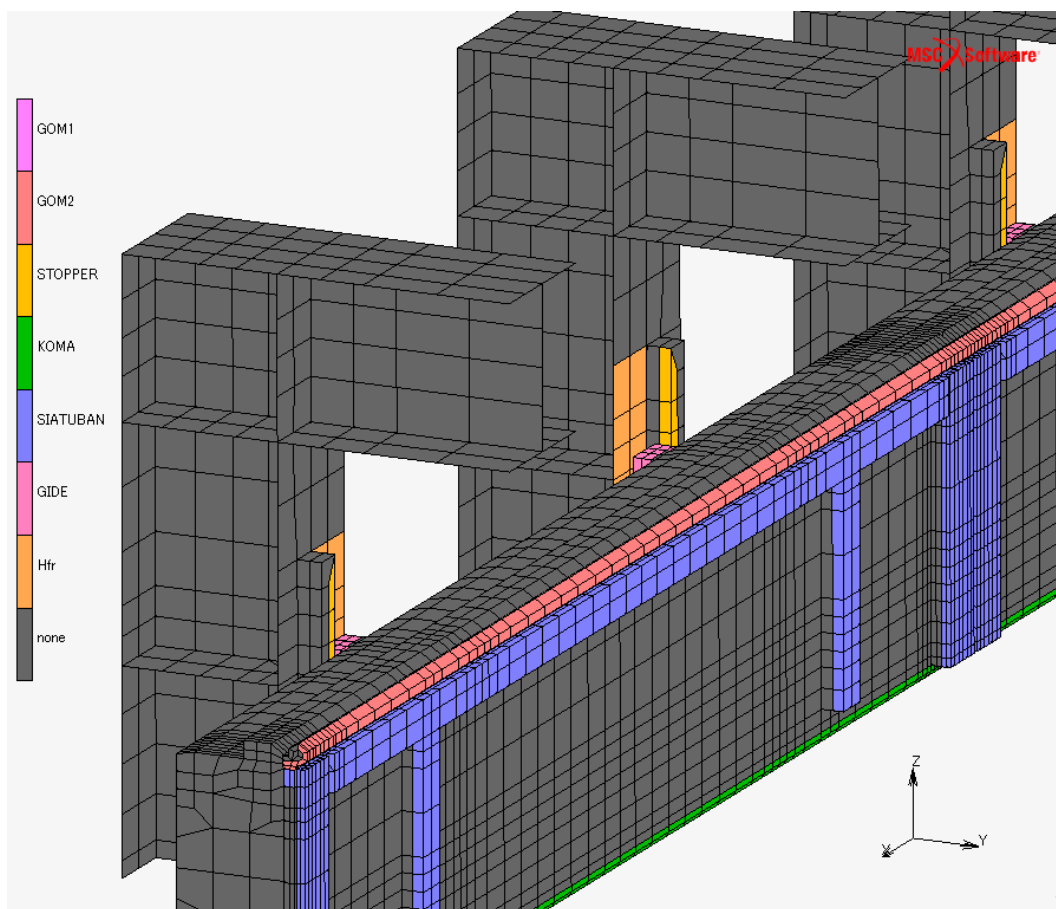


图 5-48 接触体区分 (表 5-11 参照)

#### 5.2.4 3次元衝突解析

3次元衝突解析は、3次元動的解析による止水板の衝突速度及び移動角度を入力値として衝突応力緩和対策の検討を目的として行う。

止水板ガイド及び緩衝ゴムと止水板の接合方法を図 5-49 に示す。

止水板ガイドは、止水板ガイドと止水板の間に設置される緩衝ゴム及びライナープレート ( $t=1\text{mm}\times 2$  枚) を介して取付けボルトで締結されるが、止水板に固定されているのは取付けボルトのみである。堤軸直交方向については、止水板ガイドの止水板押え側表面と取付けボルト頭部との隙間分の緩衝ゴムの圧縮変形が可能である。また、堤軸方向及び鉛直方向については、取付けボルト径  $\phi 12\text{mm}$  に対して止水板ガイド側のボルト孔径が  $\phi 14\text{mm}$  であり、 $1\text{mm}$  の遊間を有する。このため、止水板ガイドは各方向に一定の変位及び回転が可能な構造となっており、止水板押え又は止水板押えガイドとの接触時に生じる衝撃荷重を緩和する効果を有する。

このため、緩衝ゴム及び止水板ガイドのみをモデル化することで、止水板ガイドの変位挙動及び緩衝ゴムによる衝撃緩和効果を評価している。

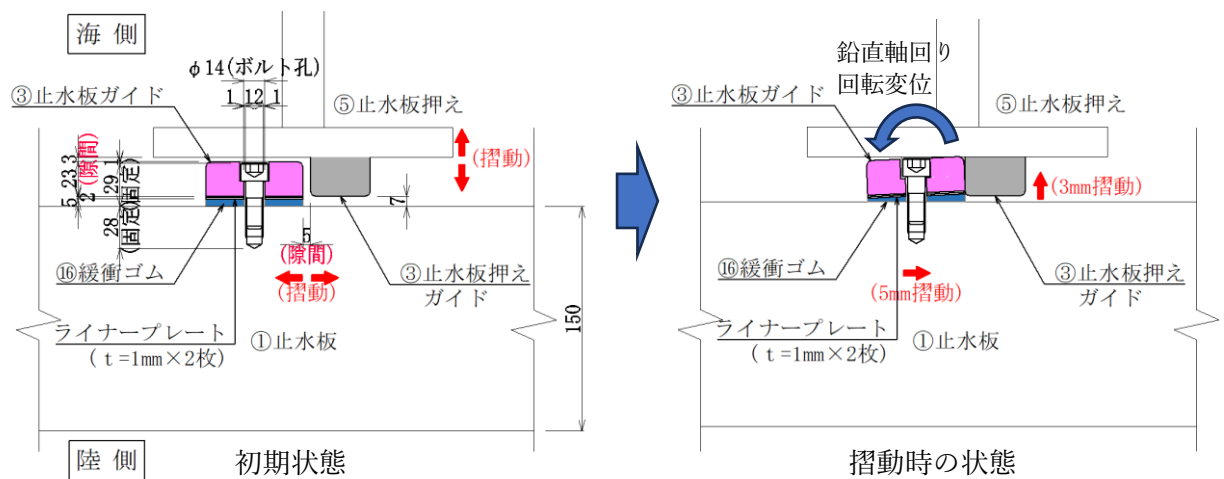
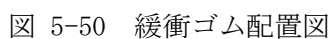


図 5-49 止水板ガイド及び緩衝ゴムと止水板の接合方法

当該評価において、3次元動的解析結果による止水板の衝突速度と傾斜角度が、ともに鋼製防護壁基礎の構造変更前の数値を下回ることが確認できた場合、構造変更後の評価結果が安全側になるため、3次元衝突解析の実施を省略する。



## 6. 評価結果

### 6.1 耐震及び耐津波評価

#### 6.1.1 耐震評価結果

「5.1.1 設計震度」に示したとおり，防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更後の地震応答解析により算定した設計震度（本震）が構造変更前の設計震度（本震）を下回ることを確認したことから，設計震度に基づく耐震評価（静的）の照査値は，既工認の添付書類「V-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書」の止水機構に係る同評価の照査値を下回る。

以上より，止水機構の耐震評価結果は，既工認の止水機構に係る耐震評価結果と同じとする。

なお，既工認における各構造部材の耐震評価結果を表 6-1 に示す。

表 6-1 既工認における各構造部材の耐震評価結果

| No | 部 位    |        | 評価応力    | 発生応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 許容応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|----|--------|--------|---------|------------------------------|------------------------------|
| ①  | 止水板    | 本体     | 曲げ      | 3                            | 300                          |
|    |        |        | せん断     | 1                            | 180                          |
| ②  |        | 止水板コマ  | 支圧      | 1                            | 171                          |
| ③  |        | 止水板ガイド | 支圧      | 8                            | 249                          |
| ④  |        | 支圧板    | 支圧      | 1                            | 19                           |
| ⑤  | 止水板押え  | 本 体    | 曲げ      | 114                          | 382                          |
|    |        |        | ねじりせん断  | 77                           | 217                          |
| ⑥  |        | 取付けボルト | 引張り     | 143                          | 540                          |
|    |        |        | せん断     | 45                           | 300                          |
| ⑦  |        | 座 板    | 曲げ      | 121                          | 382                          |
|    |        |        | せん断     | 29                           | 217                          |
| ⑧  | 保護プレート |        | 曲 げ（正面） | 2                            | 332                          |
|    |        |        | せん断（正面） | 1                            | 189                          |
|    |        |        | 曲 げ（上面） | 3                            | 332                          |
|    |        |        | せん断（上面） | 1                            | 189                          |
| ⑨  | 側面戸当り  |        | 支圧      | 1                            | 136                          |
| ⑩  | 底面戸当り  |        | 支圧      | 1                            | 136                          |
| ⑪  | 防衝板    | 本 体    | 曲げ      | 6                            | 183                          |
|    |        |        | せん断     | 1                            | 104                          |
| ⑫  |        | 取付けボルト | 引張り     | 4                            | 179                          |
|    |        |        | せん断     | 3                            | 115                          |
| ⑬  |        | 座板     | 曲げ      | 4                            | 183                          |
|    |        |        | せん断     | 2                            | 104                          |

### 6.1.2 耐津波評価結果

#### (1) 基準津波及び基準津波と余震による重畳時

「5.1.1 設計震度」に示したとおり、防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更後の地震応答解析により算定した設計震度（余震）が構造変更前の設計震度（余震）を下回ることを確認した。止水機構に作用する津波荷重は防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更による影響を受けないことから、設計震度の減少により、基準津波及び基準津波と余震による重畳時の照査値は、既工認の添付書類「V-3-別添 3-2-1-1 防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書」の止水機構に係る同評価の照査値を下回る。

以上より、止水機構の耐津波評価結果（基準津波及び基準津波と余震による重畳時）は、既工認の止水機構に係る耐津波評価結果（基準津波及び基準津波と余震による重畳時）と同じとする。

既工認における各構造部材の耐津波評価結果（基準津波及び基準津波と余震による重畳時）を表 6-2 に、既工認におけるシートジョイントの評価結果（基準津波と余震による重畳時）を表 6-3 に示す。

表 6-2 既工認における各構造部材の耐津波評価結果  
(基準津波及び基準津波と余震による重畳時)

| No | 部 位    |        | 評価応力    | 発生応力*<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 許容応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|----|--------|--------|---------|-------------------------------|------------------------------|
| ①  | 止水板    | 本体     | 曲げ      | 181／20                        | 300                          |
|    |        |        | せん断     | 15／3                          | 180                          |
| ②  |        | 止水板コマ  | 支圧      | 1／3                           | 171                          |
| ③  |        | 支圧板    | 支圧      | 8／2                           | 19                           |
| ⑤  | 止水板押え  | 本 体    | 曲げ      | 240／93                        | 382                          |
|    |        |        | せん断     | 166／68                        | 217                          |
| ⑥  |        | 取付けボルト | 引張り     | 320／188                       | 540                          |
|    |        |        | せん断     | 83／176                        | 300                          |
| ⑦  |        | 座 板    | 曲げ      | 270／159                       | 382                          |
|    |        |        | せん断     | 53／113                        | 217                          |
| ⑧  | 保護プレート |        | 曲 げ（正面） | 75／161                        | 332                          |
|    |        |        | せん断（正面） | 21／46                         | 189                          |
|    |        |        | 曲 げ（上面） | 90／190                        | 332                          |
|    |        |        | せん断（上面） | 20／43                         | 189                          |
| ⑨  | 側面戸当り  |        | 支圧      | 8／2                           | 136                          |
| ⑩  | 底面戸当り  |        | 支圧      | 1／3                           | 136                          |
| ⑪  | 防衝板    | 本 体    | 曲げ      | 102／111                       | 183                          |
|    |        |        | せん断     | 3／4                           | 104                          |
| ⑫  |        | 取付けボルト | 引張り     | 67／73                         | 179                          |
|    |        |        | せん断     | 54／59                         | 115                          |
| ⑬  |        | 座板     | 曲げ      | 71／78                         | 183                          |
|    |        |        | せん断     | 21／22                         | 104                          |

注記 \*：発生応力において、左側は津波時を、右側は重畳時を示す。

表 6-3 既工認におけるシートジョイントの評価結果 (基準津波と余震による重畳時)

| No | 部 位      | 評 価<br>(kN/30cm) | 発生張力<br>(kN/30cm) | 許容張力<br>(kN/30cm) |
|----|----------|------------------|-------------------|-------------------|
| ⑭  | シートジョイント | 張力               | 32                | 60                |



(2) 敷地に遡上する津波及び敷地に遡上する津波と余震による重畳時

評価結果は、上述した「(1) 基準津波と余震による重畳時」の耐津波評価に同じである。  
既工認における各構造部材の耐津波評価結果（敷地に遡上する津波及び敷地に遡上する津波と余震による重畳時）を表 6-4 に、既工認におけるシートジョイントの評価結果（敷地に遡上する津波と余震による重畳時）を表 6-5 に示す。

表 6-4 既工認における各構造部材の耐津波評価結果  
（敷地に遡上する津波及び敷地に遡上する津波と余震による重畳時）

| No | 部 位    |        | 評価応力    | 発生応力*<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 許容応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|----|--------|--------|---------|-------------------------------|------------------------------|
| ①  | 止水板    | 本体     | 曲げ      | 247／27                        | 340                          |
|    |        |        | せん断     | 21／4                          | 204                          |
| ②  |        | 止水板コマ  | 支圧      | 2／4                           | 193                          |
| ③  |        | 支圧板    | 支圧      | 11／3                          | 22                           |
| ⑤  | 止水板押え  | 本 体    | 曲げ      | 327／130                       | 433                          |
|    |        |        | せん断     | 227／94                        | 246                          |
| ⑥  |        | 取付けボルト | 引張り     | 431／266                       | 612                          |
|    |        |        | せん断     | 115／247                       | 340                          |
| ⑦  |        | 座 板    | 曲げ      | 365／225                       | 433                          |
|    |        |        | せん断     | 74／159                        | 246                          |
| ⑧  | 保護プレート |        | 曲 げ（正面） | 105／225                       | 376                          |
|    |        |        | せん断（正面） | 30／64                         | 214                          |
|    |        |        | 曲 げ（上面） | 126／269                       | 376                          |
|    |        |        | せん断（上面） | 28／60                         | 214                          |
| ⑨  | 側面戸当り  |        | 支圧      | 11／3                          | 154                          |
| ⑩  | 底面戸当り  |        | 支圧      | 2／4                           | 154                          |
| ⑪  | 防衝板    | 本 体    | 曲げ      | 142／151                       | 207                          |
|    |        |        | せん断     | 4／5                           | 118                          |
| ⑫  |        | 取付けボルト | 引張り     | 94／99                         | 203                          |
|    |        |        | せん断     | 75／79                         | 130                          |
| ⑬  |        | 座板     | 曲げ      | 100／106                       | 207                          |
|    |        |        | せん断     | 29／30                         | 118                          |

注記 \*：発生応力において、左側は津波時を、右側は重畳時を示す。

表 6-5 既工認におけるシートジョイントの評価結果（敷地に遡上する津波と余震による重畳時）

| No | 部 位      | 評 価<br>(kN/30cm) | 発生張力<br>(kN/30cm) | 許容張力<br>(kN/30cm) |
|----|----------|------------------|-------------------|-------------------|
| ⑭  | シートジョイント | 張力               | 43                | 60                |

## 6.2 動的解析評価

### 6.2.1 2次元動的解析

2次元動的解析の評価結果を表 6-6 に、水密ゴムに発生する最大応力の箇所を図 6-1 及び図 6-2 に示す。

2次元動的解析により、水密ゴムの発生応力が許容応力以下であることを確認した。

表 6-6 水密ゴムの応力照査結果

| 対象部位 |    | 発生応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 許容応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 照査値  |
|------|----|------------------------------|------------------------------|------|
| 水密ゴム | 上部 | 1.1                          | 12                           | 0.10 |
|      | 下部 | 2.1                          |                              | 0.18 |

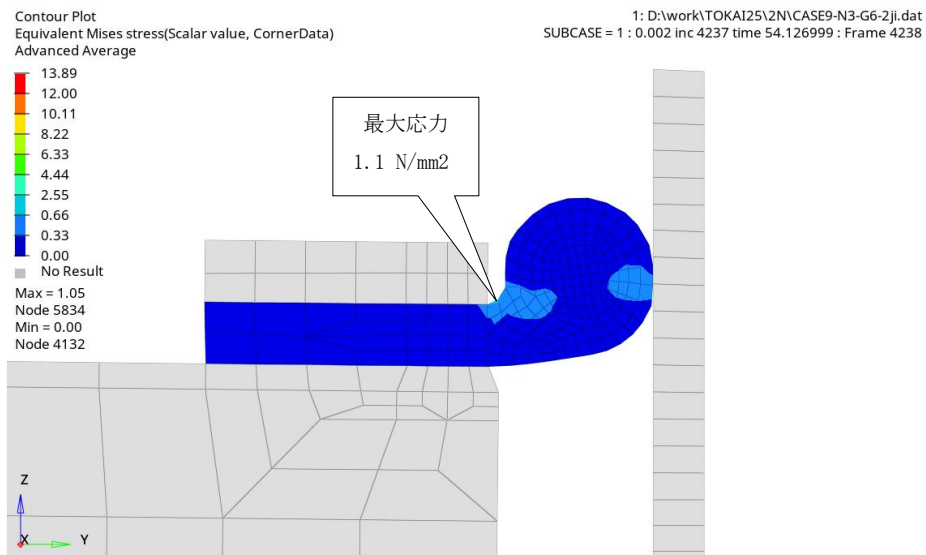


図 6-1 水密ゴム(上部) 最大ミーゼス応力 (T=54.13s)

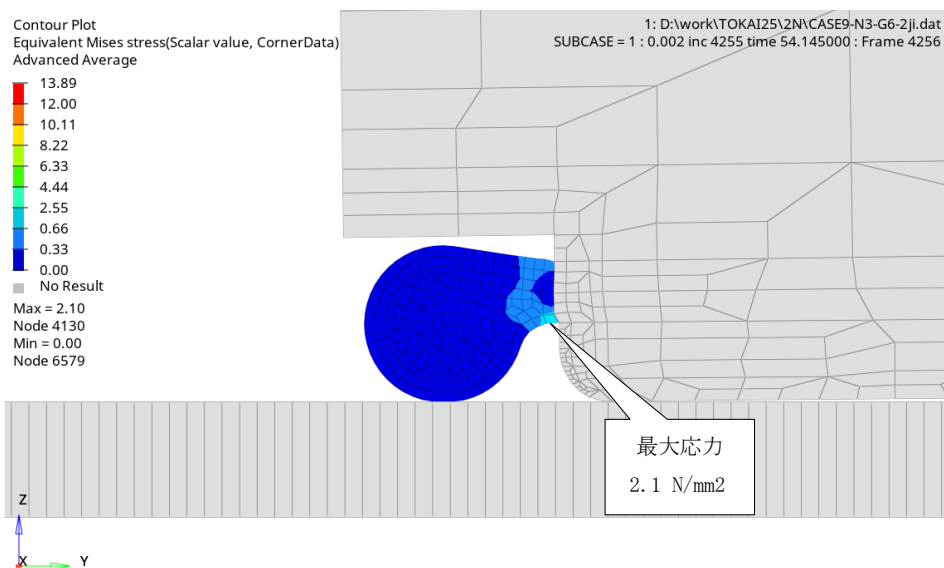


図 6-2 水密ゴム(下部) 最大ミーゼス応力 (T=54.15s)

## 6.2.2 3次元動的解析

### (1) 応力照査結果

3次元動的解析による応力照査結果を表 6-7 に示す。また評価対象部位に発生する最大応力の箇所を図 6-3～図 6-9 に示す。

3次元動的解析より、評価対象部位において発生応力が許容応力以下であることを確認した。

表 6-7 3次元動的解析による応力照査結果

| 対象部位    |         | 発生応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 許容応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 照査値  |
|---------|---------|------------------------------|------------------------------|------|
| ①止水板    |         | 2.2                          | 300                          | 0.01 |
| ②止水板コマ  |         | 66.9                         | 228                          | 0.30 |
| ③止水板ガイド |         | 47.4                         | 337                          | 0.15 |
| ④支圧板    |         | 10.0                         | 38                           | 0.27 |
| ⑤止水板押え  |         | 85.4                         | 382                          | 0.23 |
| ⑮底面水密ゴム | 止水板コマ部  | 0.3                          | 12                           | 0.03 |
| ⑯緩衝ゴム   | 止水板ガイド部 | 2.0                          | 12                           | 0.17 |

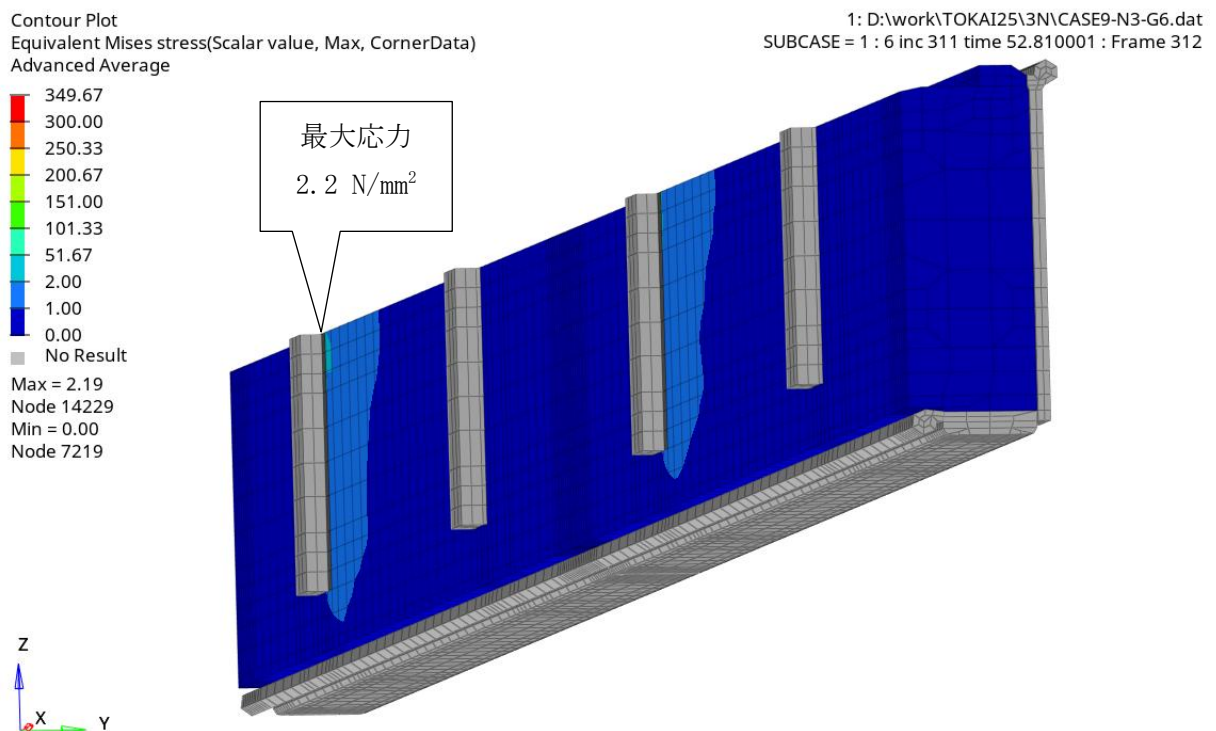


図 6-3 止水板 最大ミーゼス応力 T=52.81s

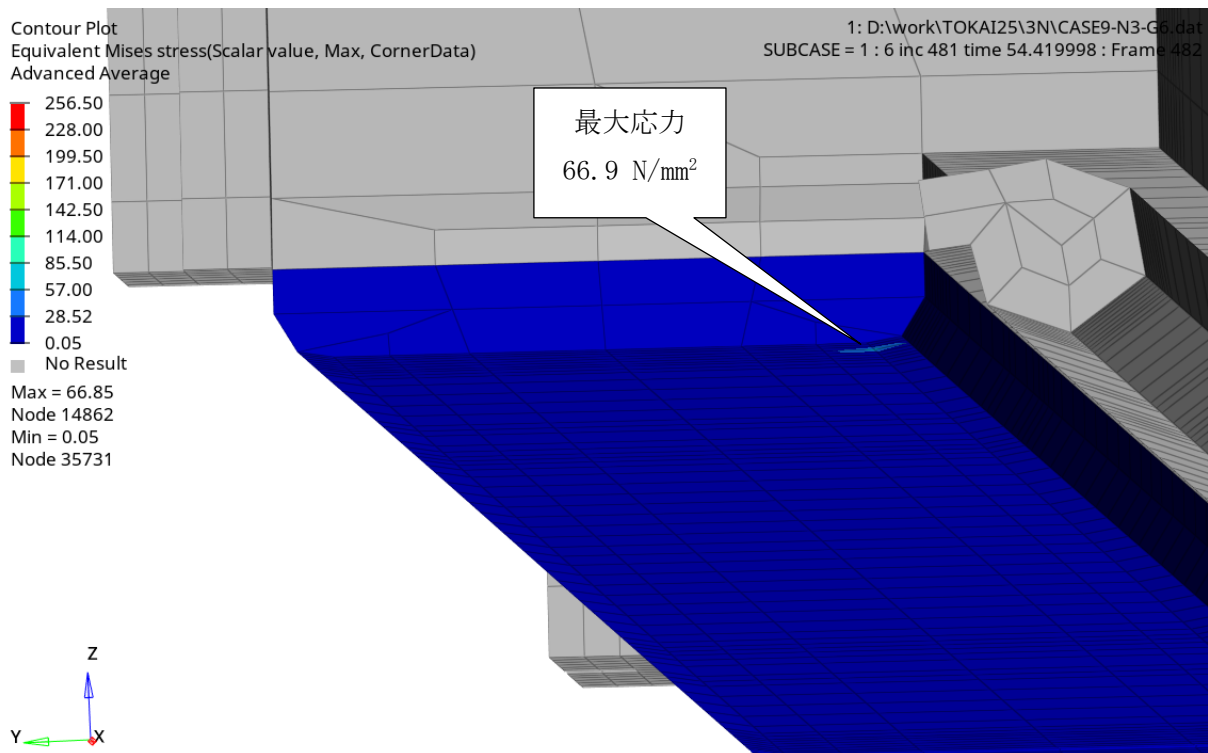


図 6-4 止水板コマ 最大ミーゼス応力 T=54.42s

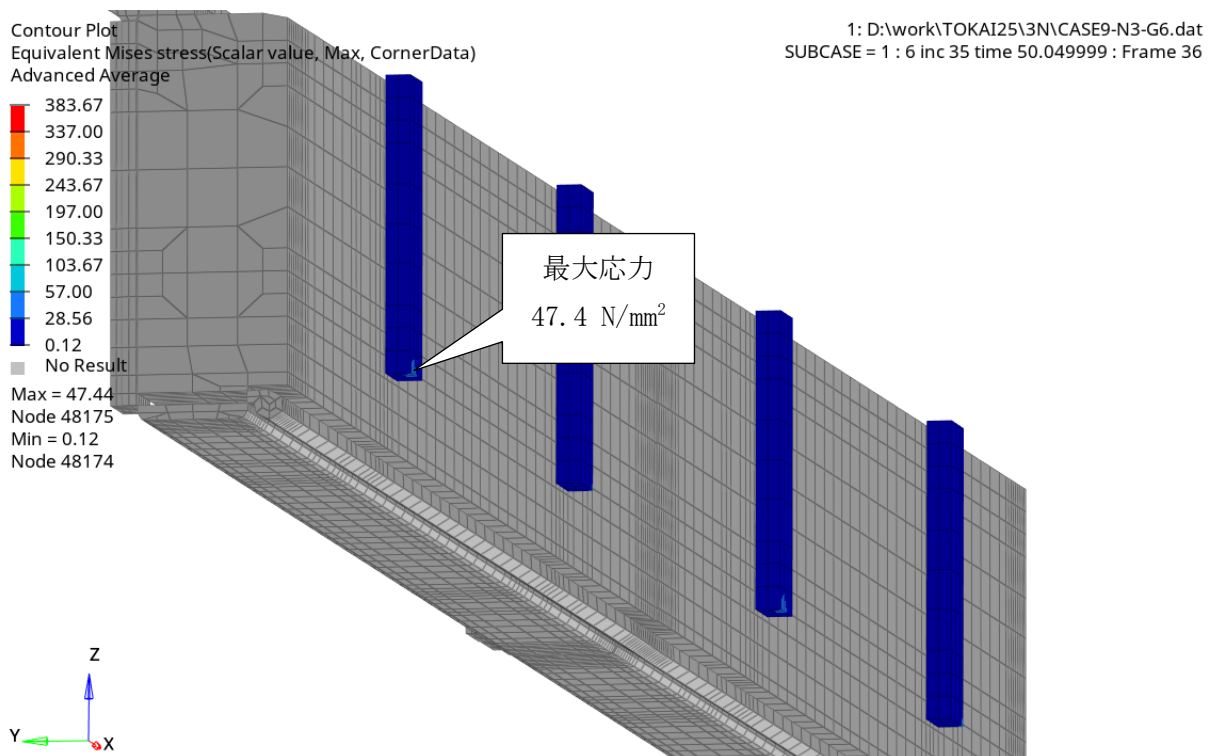


図 6-5 ガイド板 最大ミーゼス応力 T=50.05s

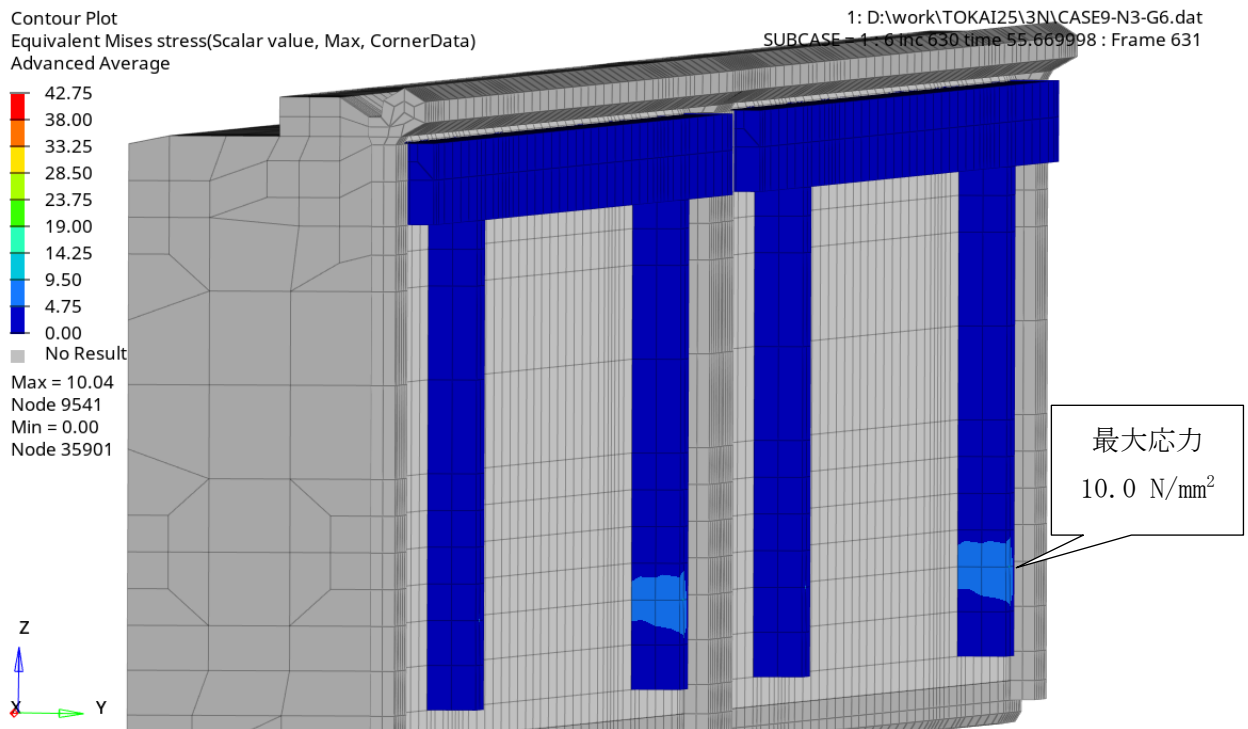


図 6-6 支圧板 最大ミーゼス応力 T=55.67s

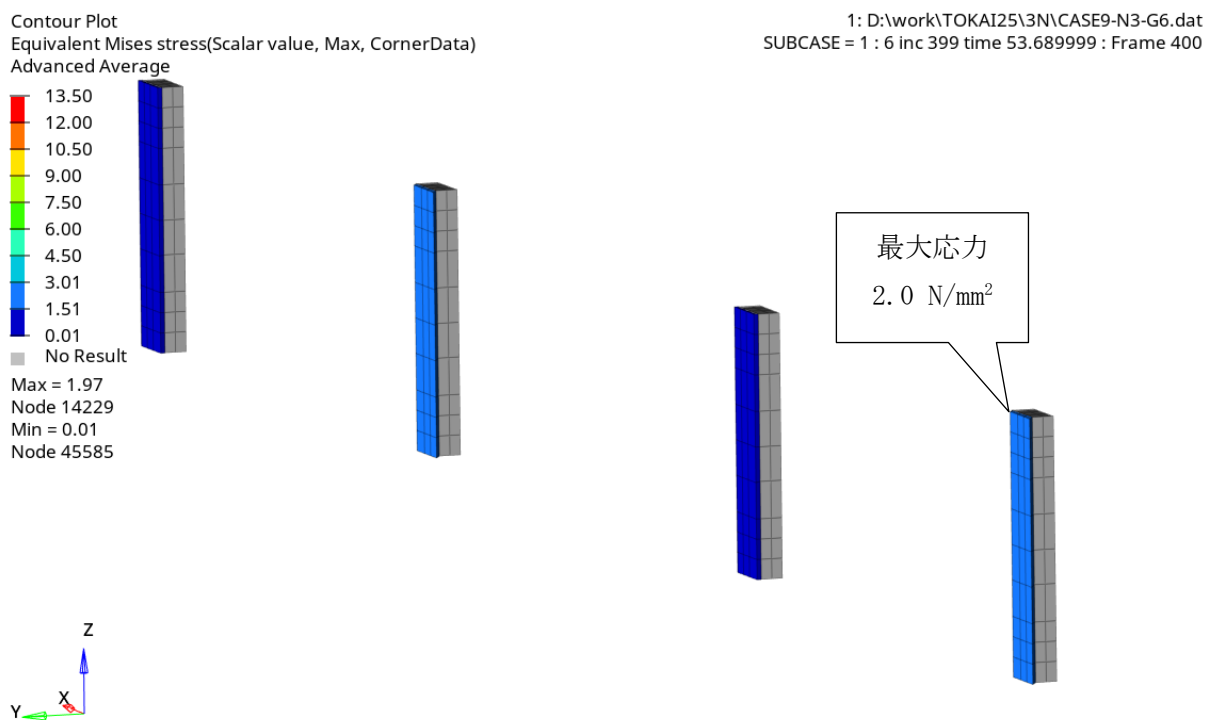


図 6-7 緩衝ゴム(止水板ガイド部) 最大ミーゼス応力 T=53.69s

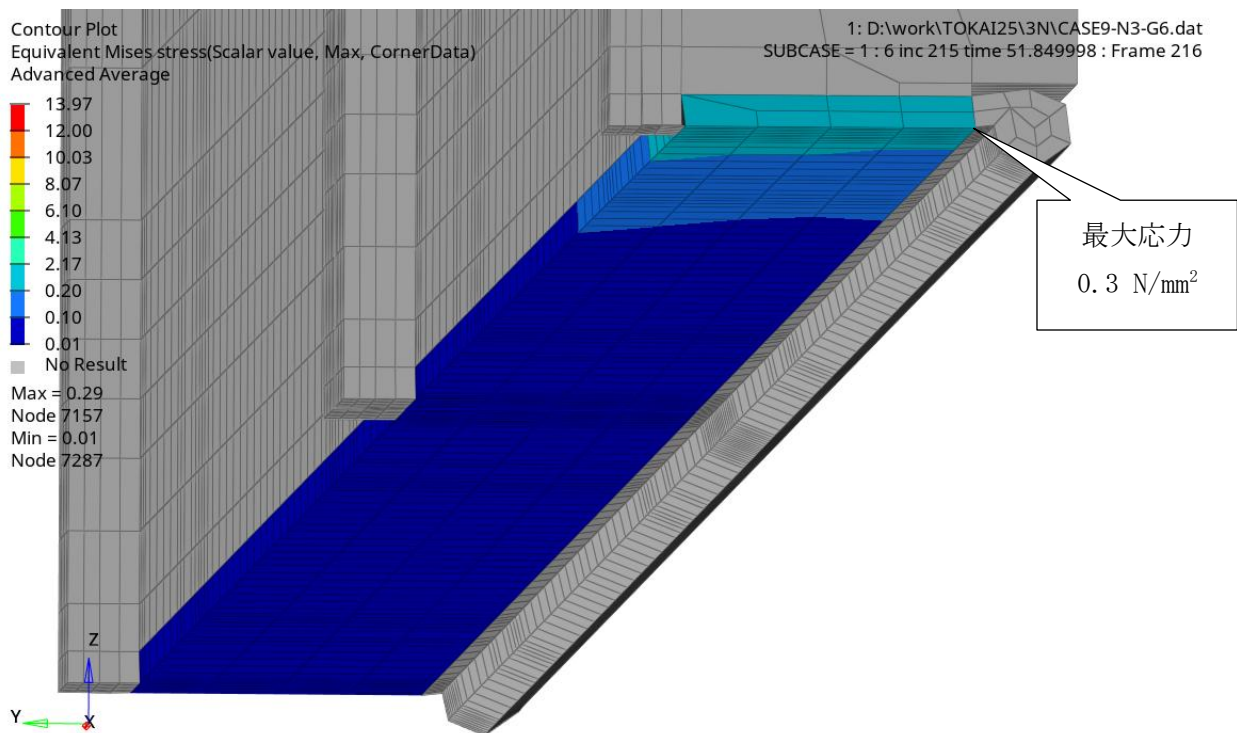


図 6-8 底面水密ゴム(止水板コマ部) 最大ミーゼス応力 T=51.85s

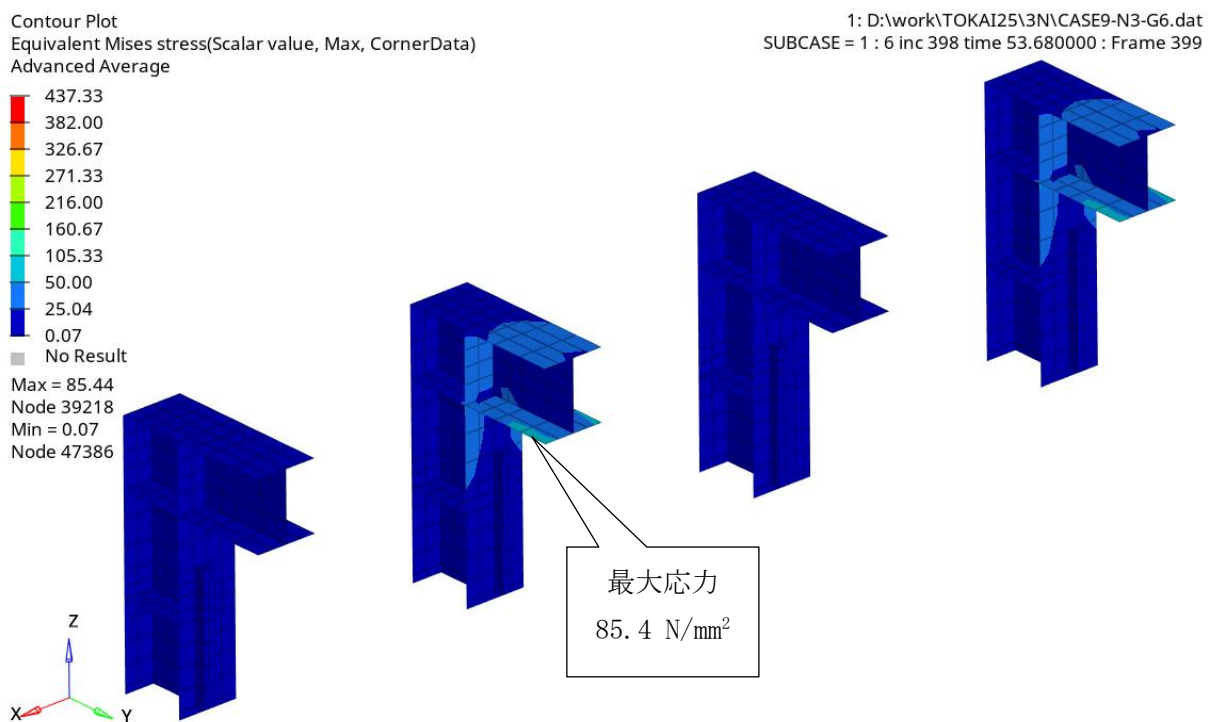


図 6-9 止水板押え 最大ミーゼス応力 T=53.68s

## (2) 止水板の浮き上がり量及び回数

止水板の変位追従性を確認する目的で浮き上がり量（止水板コマと底面戸当りとの距離）と浮き上がり回数で評価する。

浮き上がり量は、3次元動的解析の結果、最大で4.5 mmであり、設計上水密ゴムが底面戸当りと接触状態を保持する3 mmを超過する回数も1回であった。

水密ゴムは、通常時は3 mm潰れており、浮き上がり量が3 mm以下であれば、本震時は水圧がないので止水性とは関係しない。重畳時は水圧が作用しているので浮き上がりの回数や量が少なく、浮き上がり量が3 mmを超えても極わずかの時間であるため止水性には影響がない。

浮上りは抽出した加速度の大きい6秒間以外にも発生すると思われるが、このような浮上りが複数回あっても前述のとおり止水性に影響ないものと考えられる。

表 6-8 止水板の浮き上がり結果（最大値）

|                       | 評価結果                                                |
|-----------------------|-----------------------------------------------------|
| 止水板の浮き上がり量            | 4.5 mm                                              |
| 止水板の浮き上がり（3 mm※以上）の回数 | 1回                                                  |
| 結果                    | 鋼製防護壁基礎の構造変更前の浮き上がり量は4.2 mm，浮き上がりの回数は2回であり同等の結果である。 |

※3 mm：3 mm以下の浮き上がりであれば、設計上水密ゴムは底面戸当りと接触状態を保つ。

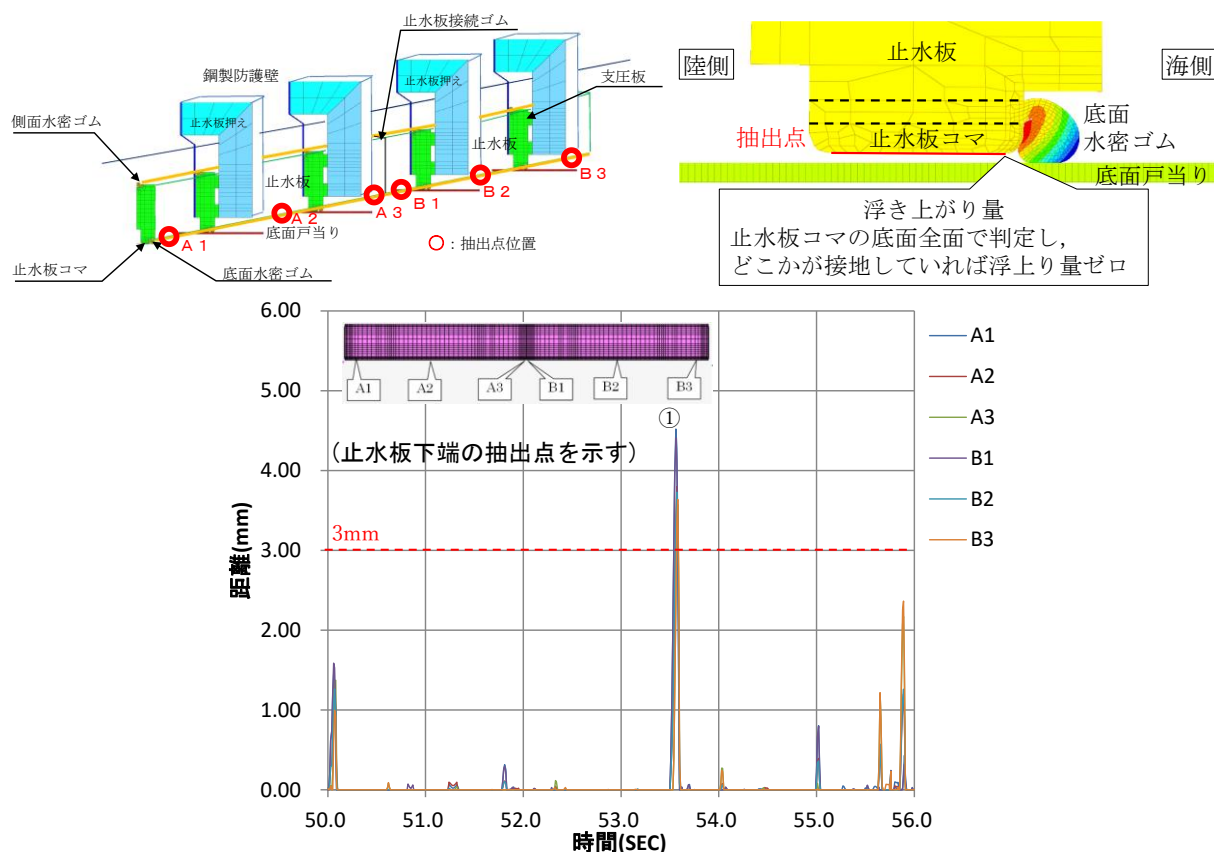


図 6-10 止水板コマと底面戸当りとの距離(浮き上がり量)



### 6.2.3 3次元衝突解析

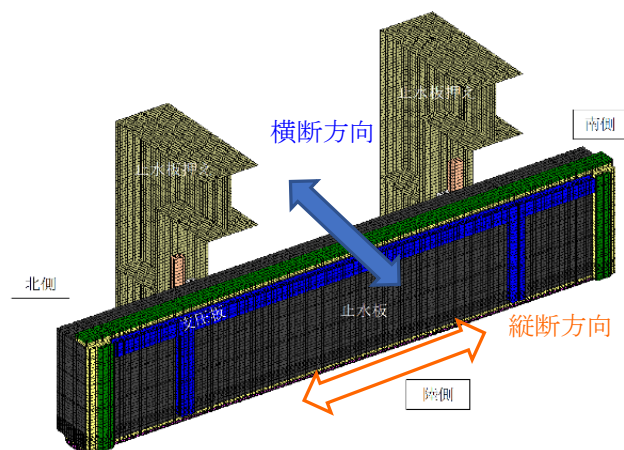
3次元衝突解析の入力値となる3次元動的解析結果における止水板の衝突速度と傾斜角度は、表 6-9、表 6-10 に示すとおりであり、衝突速度及び傾斜角度ともに構造変更前の入力値を下回っているため、構造変更前と同様に緩衝ゴムの設置によって衝突応力が緩和される。

表 6-9 鋼製防護壁基礎の構造変更前の3次元動的解析による解析結果

| 衝突方向 | 衝突速度<br>(mm/s) | 傾斜方向と角度(deg) |      |
|------|----------------|--------------|------|
|      |                | 横断方向         | 縦断方向 |
| 横断方向 | 1200           | 1.238        | 0.2  |
| 縦断方向 | 1200           | 1.238        | 0.2  |

表 6-10 鋼製防護壁基礎の構造変更後の3次元動的解析による解析結果

| 衝突方向 | 衝突速度<br>(mm/s) | 傾斜方向と角度(deg) |       |
|------|----------------|--------------|-------|
|      |                | 横断方向         | 縦断方向  |
| 横断方向 | 642            | 1.179        | 0.079 |
| 縦断方向 | 1043           | 1.179        | 0.079 |





## 7. まとめ

止水機構は鋼製防護壁に間接支持されていることから、防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更に伴う影響を確認するため、構造健全性評価として、設計震度及び津波波圧による静的な耐震評価及び強度（耐津波）評価並びに、動的な地震時の鋼製防護壁及び既設構造物の応答値による止水機構の構造部材に発生する応力の評価を行った。

静的な耐震及び耐津波評価は、設計震度を用いて評価対象部材に発生する断面力を算出し、それら断面力による発生応力が許容限界以下であることを確認する。防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更後の地震応答解析の結果、計算した設計震度（本震）は構造変更前の設計震度（本震）を下回ることを確認した。このため、設計震度に基づく耐震評価（静的）の照査値は既工認の止水機構に係る評価の照査値を下回る。設計震度（余震）についても設計震度（本震）と同様に、構造変更前の設計震度（余震）を下回ることを確認した。また、止水機構に作用する津波荷重は防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更による影響を受けない。このため、基準津波及び基準津波と余震との重畳時の照査値は既工認の止水機構に係る評価の照査値を下回る。

以上のとおり、止水機構の耐震及び耐津波に対する構造健全性評価は既工認の評価結果に包絡されるため、防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更後も発生応力が許容限界以下となることを確認した。

1次止水機構の設計においては、超弾性体である水密ゴムの地震時における接触挙動を精緻に把握し、水密ゴムの健全性を確認するため、2次元動的解析を実施した。解析の結果、水密ゴムの発生応力が許容応力以下であることを確認した。

止水板は、固定されておらず地震時には複雑な挙動を示すことから、止水板と接するその他の部材を含め、3次元的な挙動を踏まえた評価対象部材の応力評価及び水密ゴムの変化追従性評価を行うため、3次元動的解析を実施した。解析の結果、評価対象部材の発生応力が許容応力以下であることを確認するとともに、水密ゴムについて、止水板の浮き上がり量及び浮き上がり回数による評価により、必要な止水性能を有していることを確認した。

また、止水板は隙間を保持した状態で設置するため、地震時において小刻みに挙動することから衝突応力が発生しやすい構造となる。よって、止水板及び止水板と接するその他の部材に発生する衝突応力が許容限界以下であることを確認するため、3次元衝突解析を実施した。3次元衝突解析による衝突応力は3次元動的解析から算出された止水板の衝突速度及び移動角度を入力値として求めるが、構造変更後の3次元動的解析結果より、止水板の衝突速度及び移動角度が既工認よりも小さくなることを確認した。以上より、既工認と同様に評価対象部材の衝突応力が許容限界以下であること、また、緩衝ゴムの設置が衝突応力を緩和させる効果があることを確認した。

以上のとおり、鋼製防護壁の止水機構は、基準地震動  $S_s$  による地震力及び基準津波及び敷地に遡上する津波の荷重、並びにこれらと余震の重畳を考慮した荷重に対し構造健全性及び止水性を有していることを確認した。

防潮堤（鋼製防護壁）の止水機構に関する参考資料

(参考1) 地中連続壁部を残置することによる止水機構への影響評価について

## 1. 概要

鋼製防護壁基礎の構造変更後における止水機構の耐震評価及び耐津波評価については、本編において、本震時及び余震時の設計震度が構造変更前（既工認設計時）の設計震度以下であることを確認した。その結果、鋼製防護壁基礎の構造変更による止水機構の再評価の必要がないことを確認した。

ここでは、防潮堤（鋼製防護壁）の主要な浸水防護施設である止水機構についても地中連続壁部を残置することによる影響評価を実施する。これにより、地中連続壁部の残置影響を考慮した場合においても、止水機構の構造部材が機能を維持できることを確認する。

## 2. 評価方法

地中連続壁部を残置することにより、止水機構の耐震評価に用いる設計震度が影響を受ける。一方、耐津波評価に用いる津波荷重は止水機構に直接作用するため、地中連続壁部の残置の影響を受けない。しかし、余震との重畳時には設計震度を考慮するため、耐津波評価のうち重畳時には、地中連続壁部の残置に伴う設計震度の影響を考慮する必要がある。したがって、地中連続壁部の残置による止水機構への影響については、設計震度への影響に着目して評価する。

設計震度は、「3. 防潮堤（鋼製防護壁）の地中連続壁部の残置影響評価に関する補足説明」に示す残置影響評価モデルに対し、本編の図 3-1 から図 3-3 に示した評価手順及び本編の表 5-1 に示した地震動、地盤ケースを用いて算出する。

算出した設計震度が構造変更前の評価に用いた設計震度を上回る場合には、構造部材の再計算を実施し、構造変更の可否を確認する。

### 3. 地中連続壁部の残置による設計震度への影響

#### 3.1 設計震度の算出結果

地中連続壁部の残置影響を考慮した設計震度及び構造変更前の設計震度を表 1 及び表 2 に示す。

設計震度は、本編と同様に、鋼製防護壁の 3 次元動的フレーム解析結果と既設構造物の 2 次元有効応力解析結果の応答加速度及び両者の相対加速度の最大値より算出する。

本震時においては、地中連続壁部の残置影響を考慮した設計震度が構造変更前の設計震度以下であることを確認した。構造変更前からの減少率は、5～14%である。

余震時の設計震度については、水平方向(N S 方向)で同じ値、鉛直方向で 3%減少したが、水平方向(E W 方向)で 1.93 から 1.99 に増加し、3%上昇した。

表 1 地中連続壁部の残置影響を考慮した設計震度集計表 (1.2×Z P Aによる震度)

| 項 目 | 水平方向<br>(N S 方向)                      | 水平方向<br>(E W 方向)                      | 鉛直方向                                  |
|-----|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 本震時 | 2.79<br>S <sub>s</sub> －1 2<br>地盤ケース① | 3.49<br>S <sub>s</sub> －D 1<br>地盤ケース① | 5.22<br>S <sub>s</sub> －2 2<br>地盤ケース① |
| 余震時 | 1.34<br>S <sub>d</sub> －D 1<br>地盤ケース① | 1.99<br>S <sub>d</sub> －D 1<br>地盤ケース① | 1.72<br>S <sub>d</sub> －D 1<br>地盤ケース① |

地盤ケース①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース

表 2 構造変更前の設計震度集計表 (1.2×Z P Aによる震度)

| 項 目 | 水平方向<br>(N S 方向)                      | 水平方向<br>(E W 方向)                      | 鉛直方向                                  |
|-----|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 本震時 | 3.10<br>S <sub>s</sub> －1 2<br>地盤ケース① | 3.85<br>S <sub>s</sub> －D 1<br>地盤ケース① | 5.50<br>S <sub>s</sub> －2 2<br>地盤ケース① |
| 余震時 | 1.34<br>S <sub>d</sub> －D 1<br>地盤ケース① | 1.93<br>S <sub>d</sub> －D 1<br>地盤ケース① | 1.78<br>S <sub>d</sub> －D 1<br>地盤ケース① |

地盤ケース①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース

#### 3.2 残置影響による設計震度の上昇を踏まえた評価対象

前述のとおり、本震時においては、全ての成分で地中連続壁部の残置影響を考慮した設計震度が構造変更前の設計震度を下回った。一方、余震時においては、水平方向(E W 方向)において地中連続壁部の残置影響を考慮した設計震度が構造変更前の設計震度を上回った。

よって、構造変更前の設計震度を上回る結果となった余震時について構造部材の評価を実施する。評価対象は、基準津波と余震の重畳時及び敷地に遡上する津波と余震の重畳時とする。

なお、評価方法は本編に示した方法と同様とする。

#### 4. 構造部材の評価結果

基準津波と余震の重畳時及び敷地に遡上する津波と余震の重畳時について、止水機構の各構造部材における応力及びシートジョイントにおける張力を評価する。それぞれの評価結果（基準津波と余震の重畳時）を表3及び表4に示す。敷地に遡上する津波と余震の重畳時についても同様に、評価結果を表5及び表6に示す。

地中連続壁部の残置影響を考慮した余震時設計震度は、構造変更前の設計震度に対して水平方向（NS方向）が同じ値、水平方向（EW方向）が3%増大、鉛直方向が3%減少であるため、自重による慣性力及び動水圧は、水平方向で増大、鉛直方向で減少する。このため、照査値の増減比較では、増大と減少が混在するが、その振れ幅は、設計震度の増減率と同じ3%程度である。

止水機構の全ての評価部位における発生値（応力及び張力）は、許容値以下であることを確認した。

表3 止水機構の各部材における評価結果（基準津波と余震の重畳時）

| No | 部 位    |        | 評価応力    | 許容応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 構造変更前                        |      | 残置影響評価                       |      |
|----|--------|--------|---------|------------------------------|------------------------------|------|------------------------------|------|
|    |        |        |         |                              | 発生応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 照査値  | 発生応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 照査値  |
| ①  | 止水板    | 本体     | 曲げ      | 300                          | 20                           | 0.07 | 20                           | 0.07 |
|    |        |        | せん断     | 180                          | 3                            | 0.02 | 3                            | 0.02 |
| ②  |        | 止水板コマ  | 支圧      | 171                          | 3                            | 0.02 | 3                            | 0.02 |
| ④  |        | 支圧板    | 支圧      | 19                           | 2                            | 0.11 | 2                            | 0.11 |
| ⑤  | 止水板押え  | 本 体    | 曲げ      | 382                          | 93                           | 0.25 | 91                           | 0.24 |
|    |        |        | せん断     | 217                          | 68                           | 0.32 | 68                           | 0.32 |
| ⑥  |        | 取付けボルト | 引張り     | 540                          | 188                          | 0.35 | 184                          | 0.35 |
|    |        |        | せん断     | 300                          | 176                          | 0.59 | 172                          | 0.58 |
| ⑦  |        | 座 板    | 曲げ      | 382                          | 159                          | 0.42 | 156                          | 0.41 |
|    |        |        | せん断     | 217                          | 113                          | 0.53 | 111                          | 0.52 |
| ⑧  | 保護プレート |        | 曲 げ（正面） | 332                          | 161                          | 0.49 | 164                          | 0.50 |
|    |        |        | せん断（正面） | 189                          | 46                           | 0.25 | 47                           | 0.25 |
|    |        |        | 曲 げ（上面） | 332                          | 190                          | 0.58 | 186                          | 0.57 |
|    |        |        | せん断（上面） | 189                          | 43                           | 0.23 | 42                           | 0.23 |
| ⑨  | 側面戸当り  |        | 支圧      | 136                          | 2                            | 0.02 | 2                            | 0.02 |
| ⑩  | 底面戸当り  |        | 支圧      | 136                          | 3                            | 0.03 | 3                            | 0.03 |
| ⑪  | 防衝板    | 本 体    | 曲げ      | 183                          | 111                          | 0.61 | 111                          | 0.61 |
|    |        |        | せん断     | 104                          | 4                            | 0.04 | 4                            | 0.04 |
| ⑫  |        | 取付けボルト | 引張り     | 179                          | 73                           | 0.41 | 73                           | 0.41 |
|    |        |        | せん断     | 115                          | 59                           | 0.52 | 59                           | 0.52 |
| ⑬  |        | 座板     | 曲げ      | 183                          | 78                           | 0.43 | 74                           | 0.41 |
|    |        |        | せん断     | 104                          | 22                           | 0.22 | 22                           | 0.22 |

注記：残置影響評価の照査値の着色は、構造変更前の照査値に対して低減している箇所を水色、増大している箇所を桃色で示す。

表4 止水機構のシートジョイントにおける評価結果（基準津波と余震の重畳時）

| No | 部 位      | 評価<br>(kN/30cm) | 許容張力<br>(kN/30cm) | 構造変更前             |      | 残置影響評価            |      |
|----|----------|-----------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|------|
|    |          |                 |                   | 許容張力<br>(kN/30cm) | 照査値  | 許容張力<br>(kN/30cm) | 照査値  |
| ⑭  | シートジョイント | 張力              | 60                | 32                | 0.54 | 33                | 0.55 |

注記：残置影響評価の照査値の着色は、構造変更前の照査値に対して低減している箇所を水色、増大している箇所を桃色で示す。

表 5 止水機構の各部材における評価結果（敷地に遡上する津波と余震の重畳時）

| No | 部 位    |        | 評価応力    | 許容応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 構造変更前                        |      | 残置影響評価                       |      |
|----|--------|--------|---------|------------------------------|------------------------------|------|------------------------------|------|
|    |        |        |         |                              | 発生応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 照査値  | 発生応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 照査値  |
| ①  | 止水板    | 本体     | 曲げ      | 340                          | 27                           | 0.08 | 28                           | 0.09 |
|    |        |        | せん断     | 204                          | 4                            | 0.02 | 4                            | 0.02 |
| ②  | 止水板    | 止水板コマ  | 支圧      | 193                          | 4                            | 0.03 | 3                            | 0.02 |
| ④  |        | 支圧板    | 支圧      | 22                           | 3                            | 0.14 | 3                            | 0.14 |
| ⑤  | 止水板押え  | 本 体    | 曲げ      | 433                          | 130                          | 0.31 | 128                          | 0.30 |
|    |        |        | せん断     | 246                          | 94                           | 0.39 | 94                           | 0.39 |
| ⑥  | 止水板押え  | 取付けボルト | 引張り     | 612                          | 266                          | 0.44 | 260                          | 0.43 |
|    |        |        | せん断     | 340                          | 247                          | 0.73 | 243                          | 0.72 |
| ⑦  | 止水板押え  | 座 板    | 曲げ      | 433                          | 225                          | 0.52 | 220                          | 0.51 |
|    |        |        | せん断     | 246                          | 159                          | 0.65 | 156                          | 0.64 |
| ⑧  | 保護プレート |        | 曲 げ（正面） | 376                          | 225                          | 0.60 | 229                          | 0.61 |
|    |        |        | せん断（正面） | 214                          | 64                           | 0.30 | 65                           | 0.31 |
|    |        |        | 曲 げ（上面） | 376                          | 269                          | 0.72 | 265                          | 0.71 |
|    |        |        | せん断（上面） | 214                          | 60                           | 0.29 | 59                           | 0.28 |
| ⑨  | 側面戸当り  |        | 支圧      | 154                          | 3                            | 0.02 | 3                            | 0.02 |
| ⑩  | 底面戸当り  |        | 支圧      | 154                          | 4                            | 0.03 | 3                            | 0.02 |
| ⑪  | 防衝板    | 本 体    | 曲げ      | 207                          | 151                          | 0.73 | 151                          | 0.73 |
|    |        |        | せん断     | 118                          | 5                            | 0.05 | 5                            | 0.05 |
| ⑫  | 防衝板    | 取付けボルト | 引張り     | 203                          | 99                           | 0.49 | 99                           | 0.49 |
|    |        |        | せん断     | 130                          | 79                           | 0.61 | 80                           | 0.62 |
| ⑬  | 防衝板    | 座板     | 曲げ      | 207                          | 106                          | 0.52 | 101                          | 0.49 |
|    |        |        | せん断     | 118                          | 30                           | 0.26 | 30                           | 0.26 |

注記：残置影響評価の照査値の着色は、構造変更前の照査値に対して低減している箇所を水色、増大している箇所を桃色で示す。

表 6 止水機構のシートジョイントにおける評価結果（敷地に遡上する津波と余震の重畳時）

| No | 部 位      | 評価<br>(kN/30cm) | 許容張力<br>(kN/30cm) | 構造変更前             |      | 残置影響評価            |      |
|----|----------|-----------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|------|
|    |          |                 |                   | 許容張力<br>(kN/30cm) | 照査値  | 許容張力<br>(kN/30cm) | 照査値  |
| ⑭  | シートジョイント | 張力              | 60                | 43                | 0.72 | 44                | 0.74 |

注記：残置影響評価の照査値の着色は、構造変更前の照査値に対して低減している箇所を水色、増大している箇所を桃色で示す。

## 5. まとめ

防潮堤（鋼製防護壁）の主要な浸水防護施設である止水機構について、地中連続壁部を残置した場合の影響評価を実施した。

地中連続壁部の残置影響を考慮した設計震度を算出し、構造変更前の設計震度と比較した。その結果、耐震評価では全ての成分で残置影響を考慮した設計震度が構造変更前の設計震度を下回った。一方、耐津波評価では、重畳時における水平方向（EW 方向）のみ、残置影響を考慮した設計震度が構造変更前の設計震度を上回った。

このため、耐津波評価における基準津波と余震の重畳時及び敷地に遡上する津波と余震の重畳時を対象に部材評価を実施した。その結果、全ての構造部材において発生値（応力及び張力）が許容値以下となることを確認した。

以上より、地中連続壁部の残置影響を考慮した場合においても、止水機構が構造健全性及び止水性を有していることを確認した。