

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

資料 1－4

補足説明

(東海第二発電所 工事計画認可申請に係る論点整理について)

平成 30 年 5 月 31 日

日本原子力発電株式会社

目 次

6.1.3 止水機構に関する補足説明	1
補足－340－13【機電分耐震計算書の補足について】	144
補足－460－1【火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書に係る補足説明資料】	225
ブローアウトパネル 機能確認試験要領書	264
ブローアウトパネル閉止装置 機能確認試験要領書	278
非常用炉心冷却系ストレーナの重大事故等時圧損試験要領について	298
V-1-3-3 燃料体又は重量物の落下による使用済燃料貯蔵槽内の燃料体等の破損の防止及び使用済燃料貯蔵槽の機能喪失の防止に関する説明書	345
補足－180－2【燃料体又は重量物の落下による使用済燃料貯蔵槽内の燃料体等の破損の防止及び使用済燃料貯蔵槽の機能喪失の防止に関する説明書に係る補足説明資料】	378

6.1.3 止水機構に関する補足説明

6.1.3.1 止水機構（1次止水機構）の実規模大実証試験の計画について

1. 目的

止水機構が基準地震動 S_s 及び余震+津波時において、実規模大の試験装置を用いた試験（以下「実証試験」という。）を行い、止水板の挙動を確認することにより、変位追従性、水密ゴムの健全性を確認する。

実証試験においては、振動台の能力の中で実証試験を行う必要があることから、最大限の加振ケースにて実証試験を行ない止水板の挙動等※を確認する。また、実証試験にて得られた結果については、三次元動的解析を実施し検証を行うと共に、基準地震動 S_s における止水板の挙動等※については、三次元動的解析にて止水板の挙動等※を確認する。

※止水板の挙動等とは

地震時又は余震+津波時における止水板の挙動、変位追従性、水密ゴムの健全性

2. 止水機構（1次止水機構）の概要

鋼製防護壁と既設取水路間の止水構造は、津波による荷重、鋼製防護壁と取水路の地震時における追従性を確保する必要があることから、止水板が可動できるよう止水機構を設置する。1次止水機構は、止水板の底面と側面に設置した水密ゴムにて水密性を確保する構造とする。水密ゴムは、摩擦抵抗を低減し追従性を向上させるため、表面ライニング（樹脂）を施工する。

また、止水板には漂流物の衝突による影響も考慮し、止水板押え及び保護プレートを設置し漂流物荷重からも耐える構造とする。

止水機構の構造図を図1に、1次止水機構に係る各部位の役割・機能を表1に示す。

なお、止水機構は、1次止水機構である止水板からの微少な浸水も考慮し、敷地内に浸水させないよう陸側にシートジョイントからなる2次止水機構を設置する。

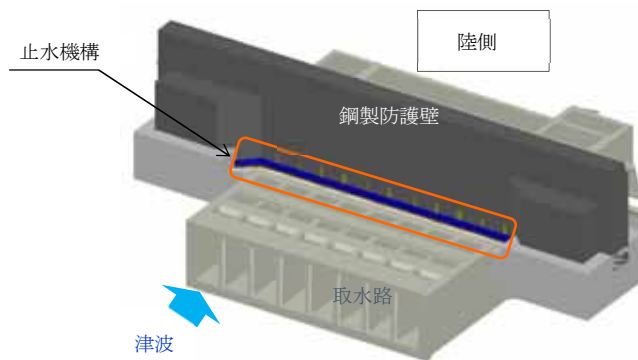


図 止水機構の設置位置

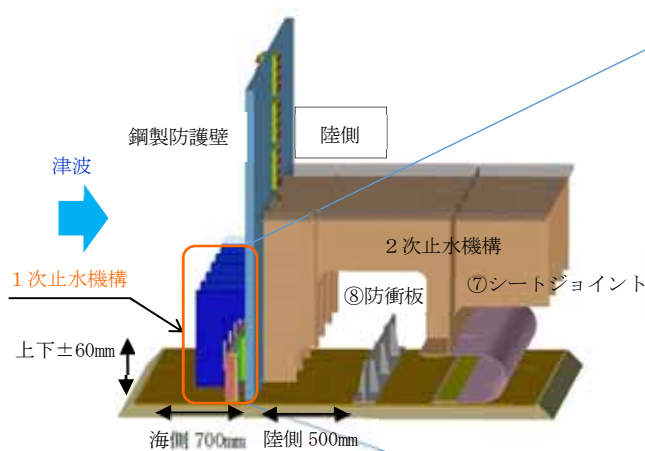


図 a 止水機構断面図

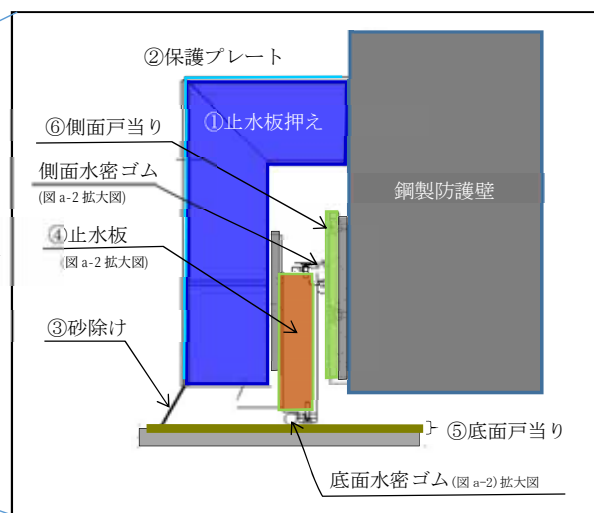


図 a-1 1次止水機構拡大図

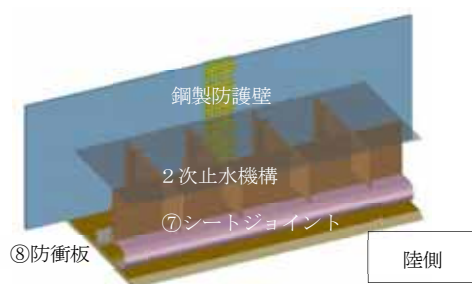


図 b 2次止水機構の構造

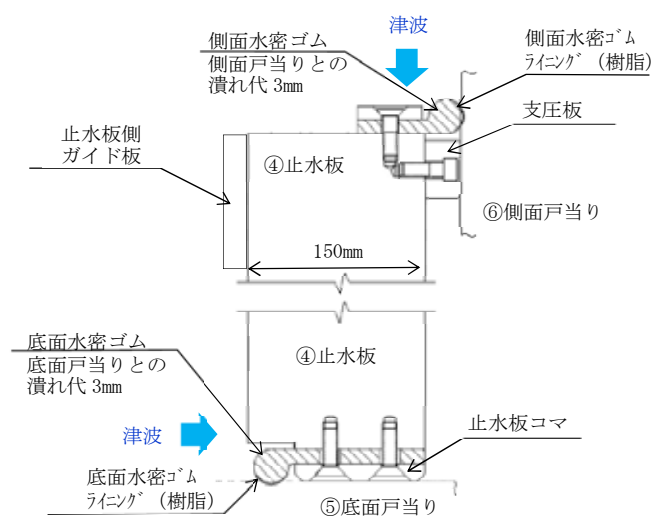


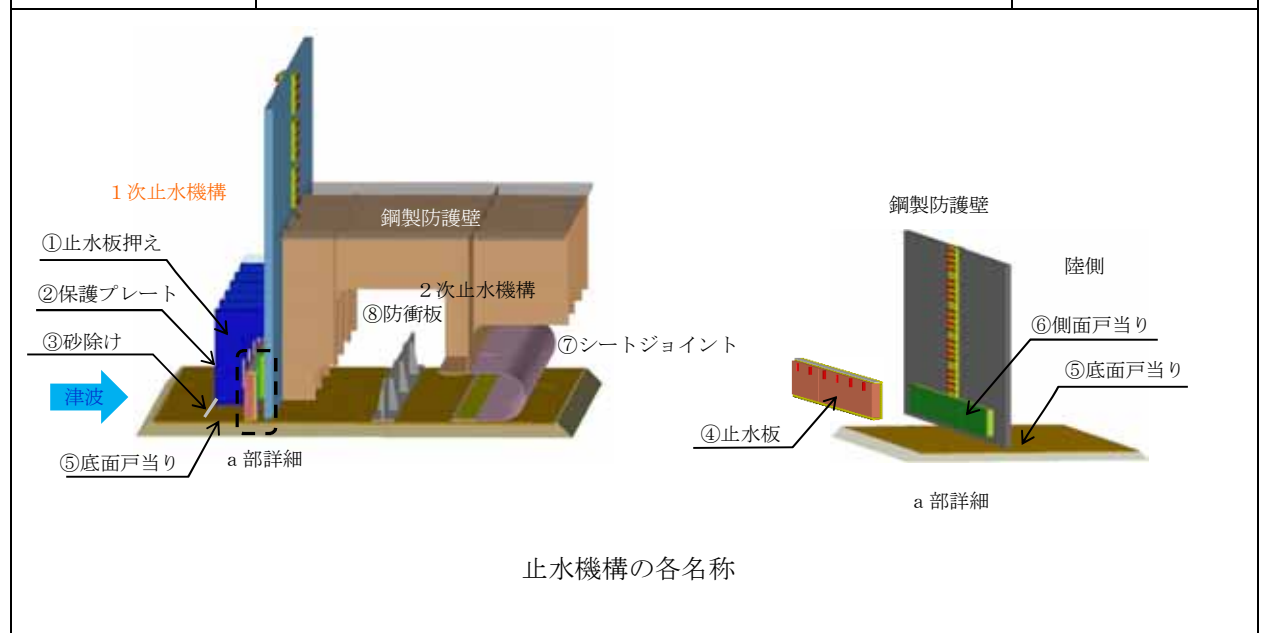
図 a-2 止水板, 底面・側面水密ゴム拡大図

図1 止水機構の構造図

表1 1次止水機構に係る各部位の役割・機能

各部位の役割・機能については以下のとおり。名称は下図に示す。

名称	役 割・機 能	材 料
① 止水板押え	・ 止水板を支持する。 ・ 漂流物等から止水板を防護する。	鋼製
② 保護プレート	・ 大型植生などから止水板を防護する。 ・ 止水板への異物混入を防止する。	鋼製
③ 砂除け	・ 底面戸当り面への砂等の異物混入を防止する。	ナイロン
④ 止水板	・ 止水機構の扉体の機能。 ・ 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。 ・ 1枚当たりの主要仕様 寸法：横2000mm×幅150mm×高さ400mm 重量：約930kg	ステンレス ＋ 水密ゴム (P形ゴム)
⑤ 底面戸当り	・ 止水板の底面水密ゴムとのシール性を確保する。 (真直度，平面度の管理) ・ 床部より約100mm嵩上げし異物混入を防止する。	ステンレス (表面仕上げNo.1) ^{※2}
⑥ 側面戸当り	・ 止水板の側面水密ゴムとのシール性を確保する。 (真直度，平面度の管理)	ステンレス (表面仕上げNo.1) ^{※2}
⑦ シートジョイント ^{※1}	・ 水密ゴムからの微少な浸水を保持する。 ・ 陸側からの異物混入を防止する。	シートジョイント
⑧ 防衝板 ^{※1}	・ 1次止水機構の損傷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。	鋼製



※1：2次止水機構

※2：JIS G 4304 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯 表面仕上げ より

3. 鋼製防護壁と1次止水機構の検討フロー及び1次止水機構の実証試験評価フロー

鋼製防護壁と1次止水機構の検討フロー（図2）及び1次止水機構の実証試験評価フロー（図3）については以下の通り。

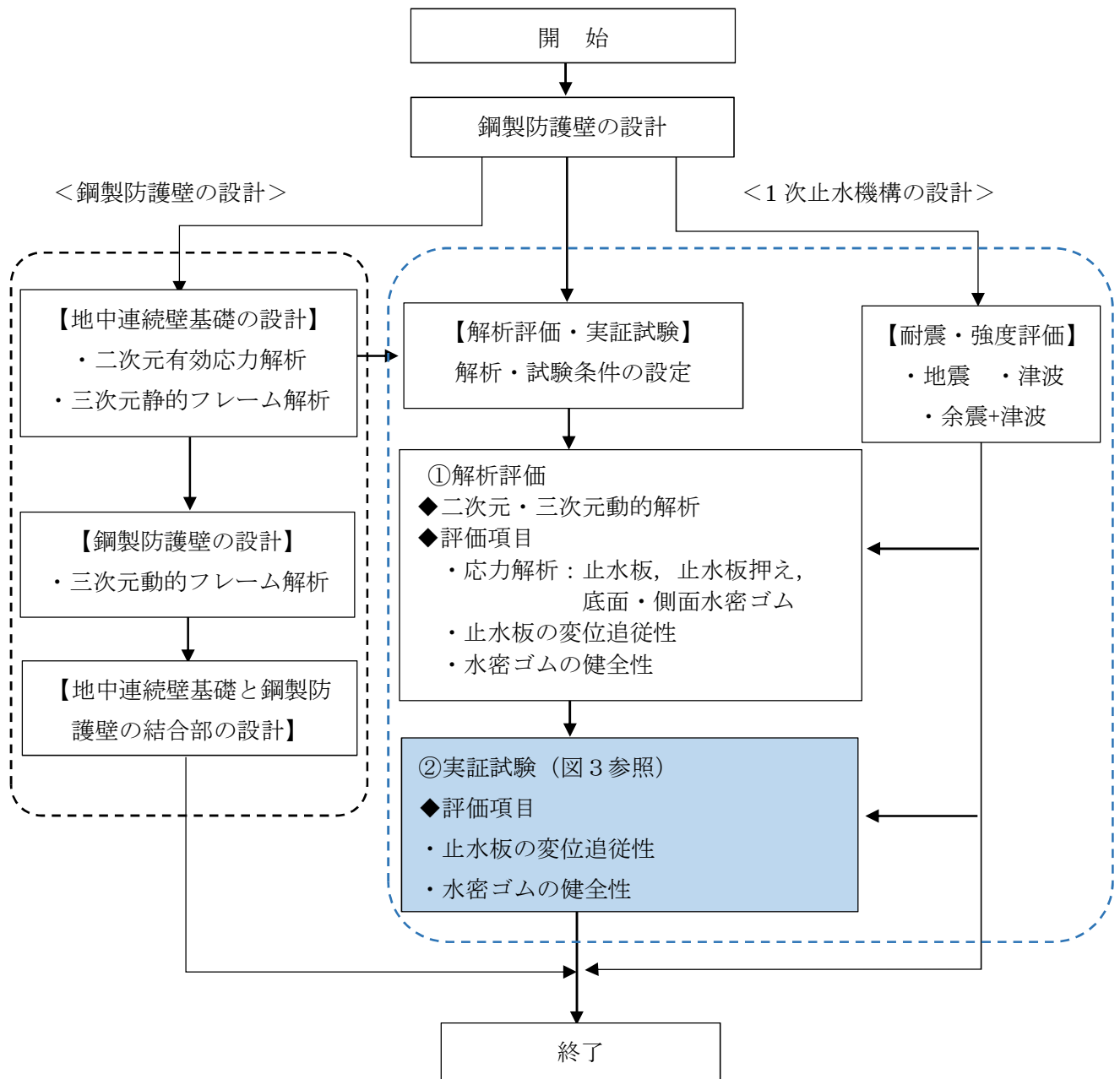


図2 鋼製防護壁と1次止水機構の検討フロー

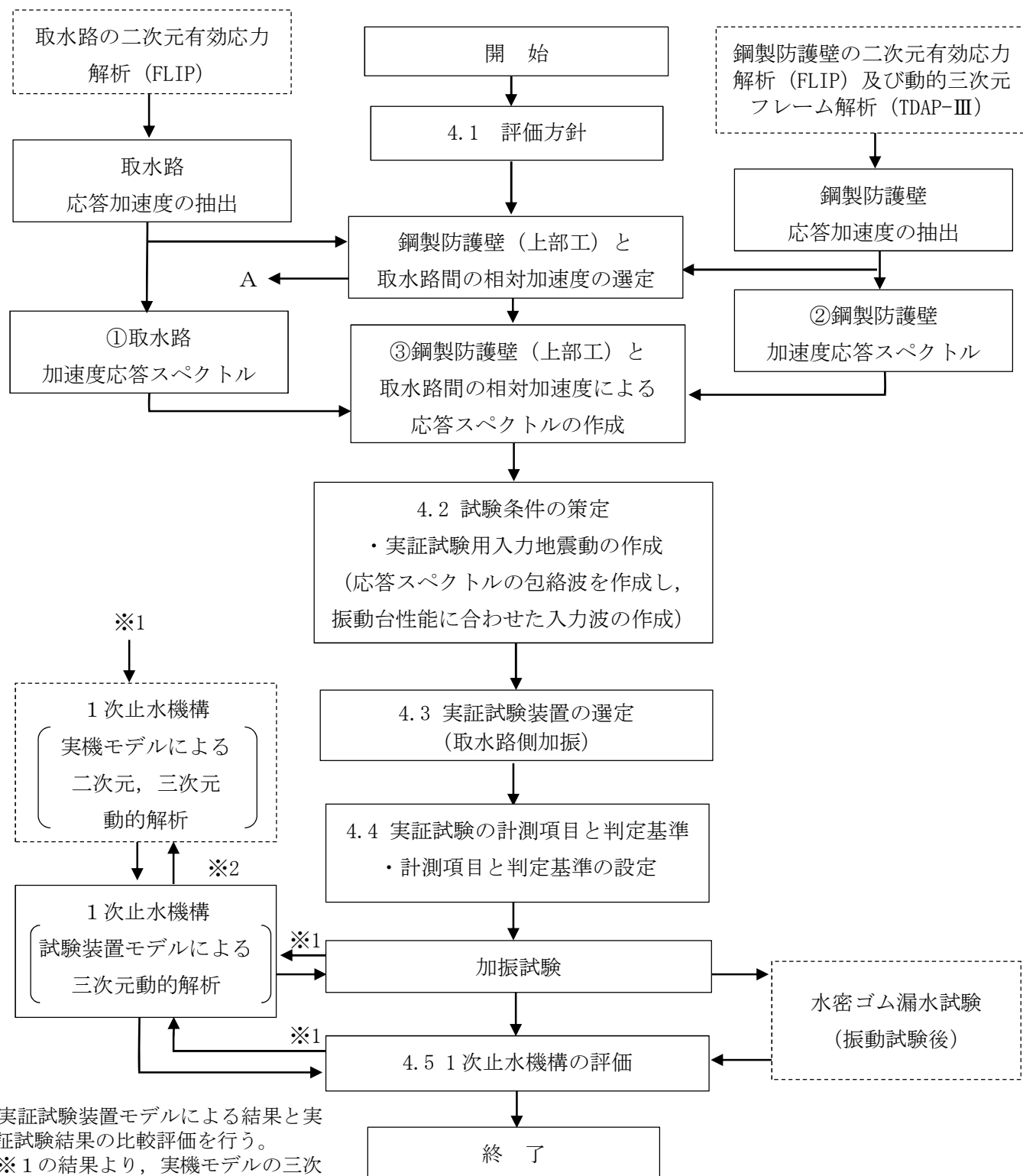


図3 1次止水機構の実証試験評価フロー

4. 実証試験の計画について

4.1 評価方針

鋼製防護壁に設置する 1 次止水機構は、鋼製防護壁の底面と既設取水路の応答変位の違いにより相対変位が生じ敷地に浸水する可能性があることから、可動式の止水板を設置する。

1 次止水機構の実証試験において、止水板の地震時及び余震+津波における挙動を確認する。

止水板の評価は、鋼製防護壁と取水路の本震 $S_s - D1$ の応答加速度から加振試験用応答スペクトルを作成し実証試験を実施する。

実証試験で得られた止水板の挙動について、評価するとともに「止水板の地震時の追従性」、「水密ゴムの健全性」及び「1 次止水機構の構成部品の健全性」について確認し、止水板、水密ゴム及び止水機構全体に影響がないか確認する。

また、実証試験の結果と三次元動的解析の結果から、止水板の挙動について評価を行う。

4.2 試験条件

(1) 実証試験用の入力地震動の作成

実証試験に用いる評価用の地震動は、解放基盤表面からの地盤の特性に応じた地震動の応答スペクトルに基づく本震 S_s-D1 を選定し、実証試験用に応答スペクトルを作成し実施する。

また、津波防護施設である鋼製防護壁は、余震時にも耐える必要があることから、 S_d-D1 を選定し、実証試験を実施する。表2に加振試験用応答スペクトルに用いる入力地震動を示す。

表2 加振試験用応答スペクトルに用いる入力地震動

種類	入力地震動
本震	S_s-D1
余震	S_d-D1

(2) 余震時の津波高さ

余震時の津波高さは、敷地に遡上する津波高さについても考慮した T.P. +24m の静水圧とする。

構造設計上は、止水板に動水圧を荷重条件とした構造設計を行う。但し、実証試験においては、二次元動的解析の試算結果（補足説明2参照）から動水圧（高圧）で実施した場合に、地震時における止水板の挙動に比べ余震時の止水板が浮き上がらない傾向であったことから、動水圧（高圧）より低い状態の静水圧（低圧）での試験を実施し止水板の挙動を確認する。

また、実機における構造においても、止水板押えの前面に設置している保護プレート下部より津波は浸水することから、直接津波の波圧を受けにくい。そのため、静水圧での実証試験がより現実的な止水板の挙動が把握できる。図3に止水板への流入イメージを示す。

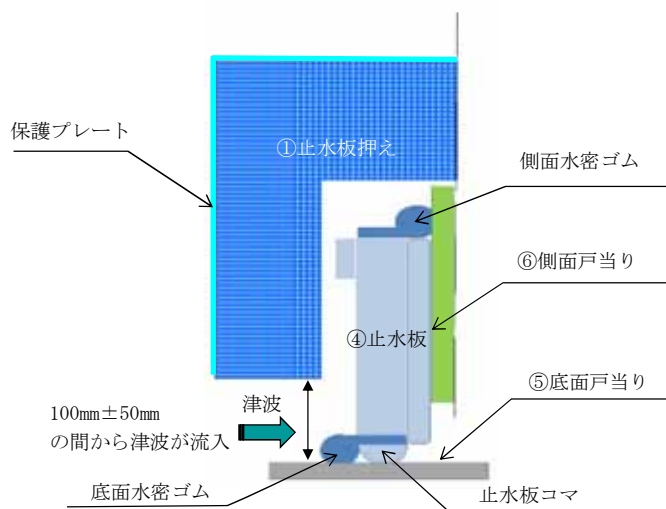


図3 止水板への流入イメージ

(3) 試験ケースと試験回数

実証試験に用いる入力地震動（ S_s-D1 ， S_d-D1 ）による確認は，以下の2ケースを実施する。

＜試験ケース＞ ・本震 ・余震＋津波

＜試験回数＞再現性確認のため，各2回実施。

	本震（ S_s-D1 ）	余震+津波（ S_d-D1 ）
試験回数	2回	2回

(4) 水密ゴムの摩擦係数

水密ゴムの摩擦係数は，ダム・堰施設技術基準（案）に記載のライニングがある場合，未使用状態（水密ゴムが健全の状態）の0.2（乾式）を適用し実施する。また，ライニングがない場合は，1.2（乾式）を適用し実施する。水密ゴムの摩擦係数については補足説明1に示す。

なお，水密ゴムのライニングがない状態についても実施し挙動を確認する計画であるが，二次元動的解析の摩擦係数のしきい値の結果を踏まえ，安全上配慮した試験を実施する。試験の回数については，解析結果及びライニングありの実証試験状況を踏まえ決定する。

(5) 試験装置の制限に対する対応

- ① 実証試験用地震動の加速度が試験装置の上限（水平3G，鉛直1G）を超えた場合には，振動試験装置の上限を超えない範囲で実証試験を実施する。なお，上限を超える止水板の挙動については，二次元・三次元動的解析にて挙動を把握する。
- ② 実証試験用地震動の水平又は鉛直変位が試験装置の上限（水平±150mm，鉛直±100mm）を超える場合には，振動台入力波形の長周期側で加速度をカットするハイパスフィルタで処理した入力地震動にて試験を実施する。

ハイパスフィルタで処理する場合には，止水機構（止水板：剛体）の実証試験に影響のない周波数範囲であることを確認する。

4.3 実証試験装置の概要

(1) 試験装置

振動台の上に1次止水機構を設置し、水平方向と鉛直方向とを同時加振する。図4に大型3軸振動台の概要を示す。

振動台の仕様

加振自由度	3軸6自由度		
最大積載重量	80 t f		
テーブル寸法	X : 6m × Y : 4m		
定格	X方向	Y方向	Z方向
最大変位	±300mm	±150mm	±100mm
最大加速度 (35 t 積載時)	1G (水平)	3G (水平)	1G (鉛直)

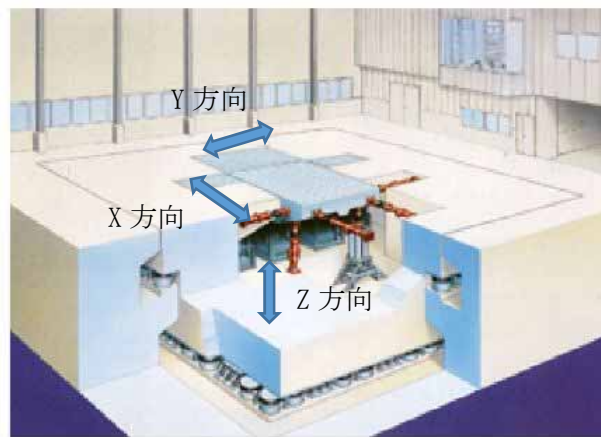
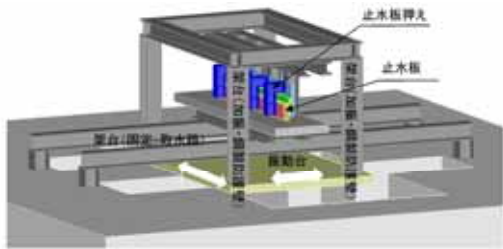
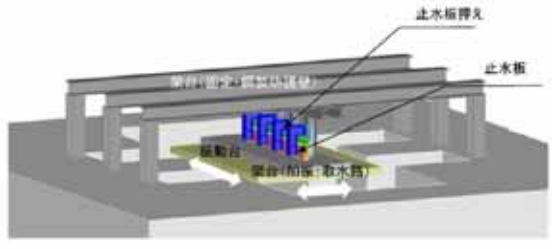


図4 大型3軸振動台の概要

(2) 試験装置の選定

実証試験を実施するに当たり、鋼製防護壁と取水路の振動特性に違いがあることから実証試験においては鋼製防護壁を固定するケースと加振させるケースの2通りについて検討した。試験装置のケースを表3に示す。

表3 試験装置ケース

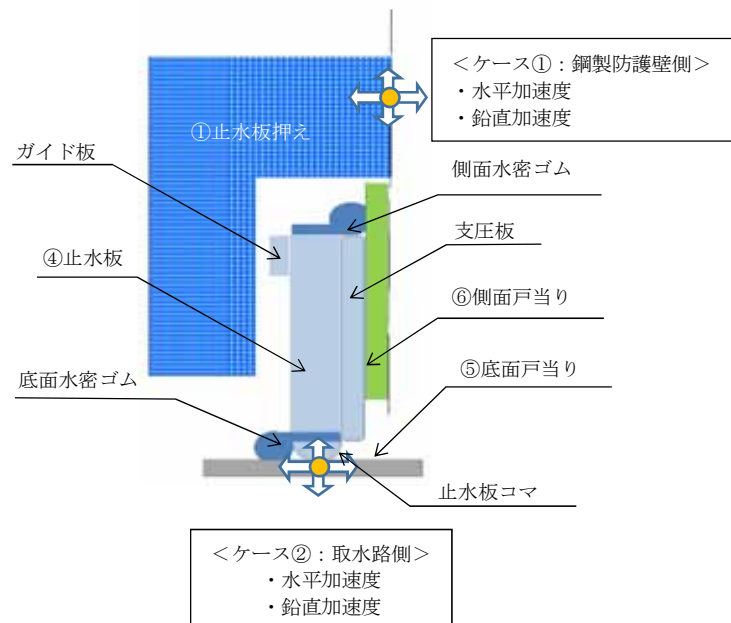
	ケース①	ケース②
固定	取水路	鋼製防護壁
加振	鋼製防護壁	取水路
装置概要		
メリット	- 鋼製防護壁側を直接加振するため、止水板に対する加速度（水平）が伝わりやすい。 - 鋼製防護壁側を直接加振するため、水平の慣性力が入りやすく、底面及び側面水密ゴムの挙動が確認しやすい。	- 固定基礎に架構を設置することで鋼製防護壁を想定した架構の剛性が得られやすい。 - 取水路側を直接加振するため、止水板に対する加速度（鉛直）が伝わりやすい。 - 取水路側を直接加振するため、底面水密ゴム及び止水板底面が摩耗し保守的な結果が得られやすい。 - 想定した加速度時刻歴波形を直接振動台に入力することができる。
デメリット	- 実機では、鋼製防護壁と取水路が同時に振動するが、鋼製防護壁の加振のみとなる。 - 固定基礎に取水路を想定した架構、振動台に鋼製防護壁を想定した架構を設置する必要があるため架構が大型化する。 - 振動台に直接加速度時刻歴波形を入力するケース①に比べ、鋼製防護壁を介して加振するため、入力加速度の伝達に影響が生じる。	実機では、鋼製防護壁と取水路が同時に振動するが、取水路の加振のみとなる。

上記デメリットの部分については、試験装置の解析モデルにて評価を行い、実証試験装置に影響のないことを確認する。

試験装置のケース毎の止水板に作用する慣性力の考え方については、表4に示すとおり。
 ケース②の取水路側を加振する場合、鉛直加速度の慣性力が止水板に伝わりやすく、浮き上がりの挙動を確認しやすい。また、鋼製防護壁の剛性が得られやすいことから、ケース②を選択する。

表4 止水板に作用する慣性力

振動の種別		実機適用	実証試験装置
ケース① 〈鋼製防護壁側〉	水平 加速度	止水板押えあるいは側面戸当りを介して直接慣性力が作用する。	鋼製防護壁側を加振した場合、鉛直加速度の慣性力が止水板に伝わりにくく、浮き上がり等の挙動が確認しにくい。
	鉛直 加速度	支圧板又はガイド板の摩擦抵抗力が作用した場合に慣性力が作用する。	
ケース② 〈取水路側〉	水平 加速度	底面水密ゴム及び止水板コマの摩擦抵抗力が作用した場合に慣性力が作用する	取水路側を加振した場合、鉛直加速度の慣性力が止水板に伝わりやすく、浮き上がりの挙動を確認しやすい。
	鉛直 加速度	取水路より直接慣性力が作用する。	



止水板に与える地震動の入力イメージ

試験装置ケースの選定は、前述の試験装置ケースの検討及び止水板に作用する慣性力の検討を踏まえ、更に、二次元動的解析の試験解析結果から、鉛直方向の慣性力を伝達しやすいケース②を選択する。二次元動的解析の試験解析結果を補足説明2に示す。

(3) 実証試験の試験条件

止水板の実規模の挙動を確認するため、止水板と止水板を支持する部材については実機と同じ構造部材にて実証試験を実施し実物と同じ挙動が再現できるようにする。以下の条件にて実証試験を実施する。

- ① 止水板は実機と同じ大きさ、構造のものを使用し、止水板 2 枚を止水板接続ゴムで接続する。また、止水板に取り付ける底面・側面水密ゴムも実機と同じ寸法、構造のものを使用する。図 5 に実機と同じ仕様部材を示す。

＜実機と同じ仕様部材＞（材質、構造、寸法、重量全て同じ部材）

- ・ 止水板（止水板本体、止水板コマ、支圧板、止水板側ガイド含む）
- ・ 水密ゴム（底面・側面水密ゴム（ライニング含む）、止水板接続ゴム）
- ・ 止水板押え（止水板押え側ガイド含む）
- ・ 底面・側面戸当り（水密ゴムとの接触するステンレス部材）

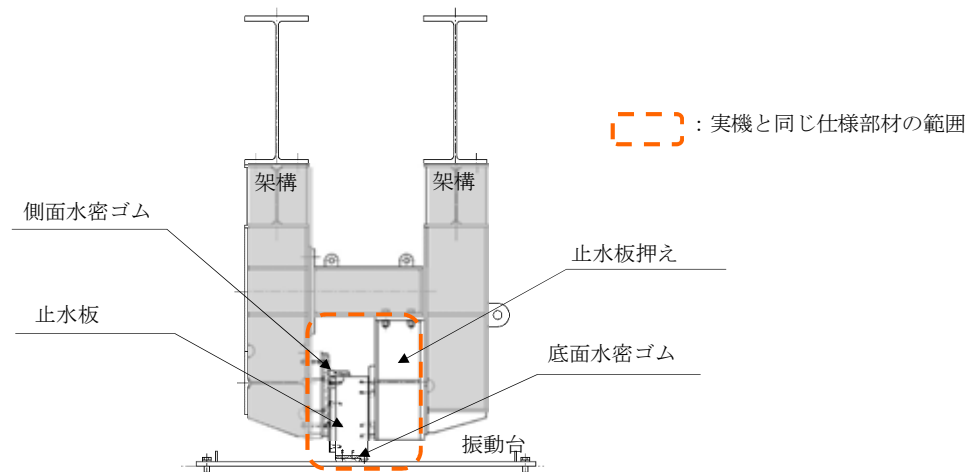


図 5 実機と同じ仕様部材の部位

- ② 止水板は取水路側に垂直に置かれ鋼製防護壁の側面戸当りと止水板押えにより、実機と同じ隙間で支持された状態で設置する。実証試験のイメージを図 6 に示す。



図 6 実証試験の鳥観図

③鋼製防護壁の応答加速度及び変位は取水路側に与え加振する。

入力波形については、鋼製防護壁と取水路の応答スペクトル及び鋼製防護壁と取水路の重ね合わせた相対的な応答スペクトルの全体を包絡させた応答スペクトルにより模擬地震波を作成し、加振試験を実施する。

3方向（X方向（堤軸）包絡波）の実証試験用地震動の作成方法は以下のとおり。

a. 二次元有効応力解析による鋼製防護壁基礎天端の応答時刻歴を算出する。

（図 7 参照）

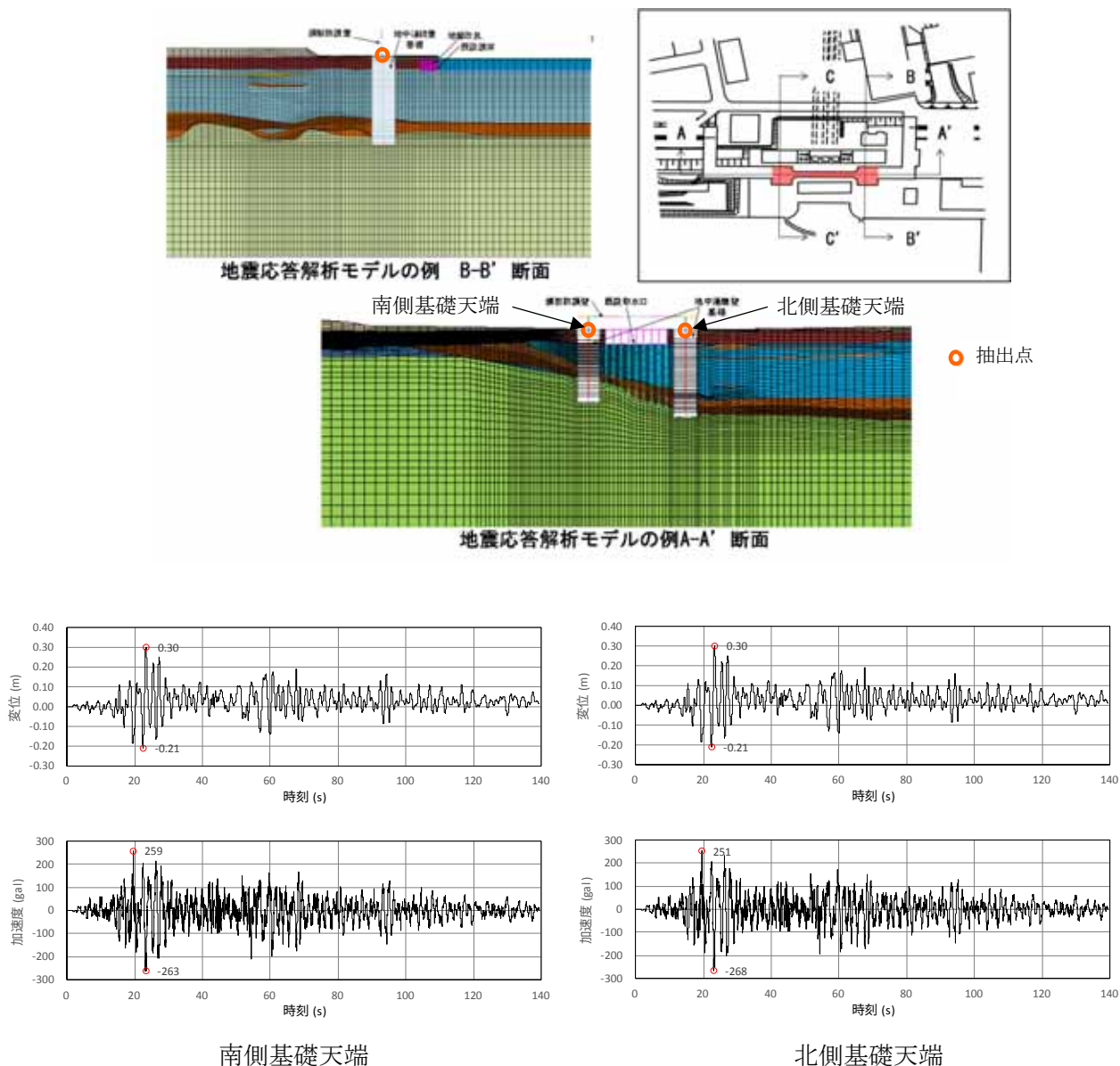


図 7 鋼製防護壁基礎の二次元有効応力解析による応答時刻歴（堤軸方向；A-A 断面）

b. 前項を入力した鋼製防護壁の動的三次元フレーム解析にて止水機構位置の応答時刻歴及び応答スペクトルを抽出する。(図 8 参照)

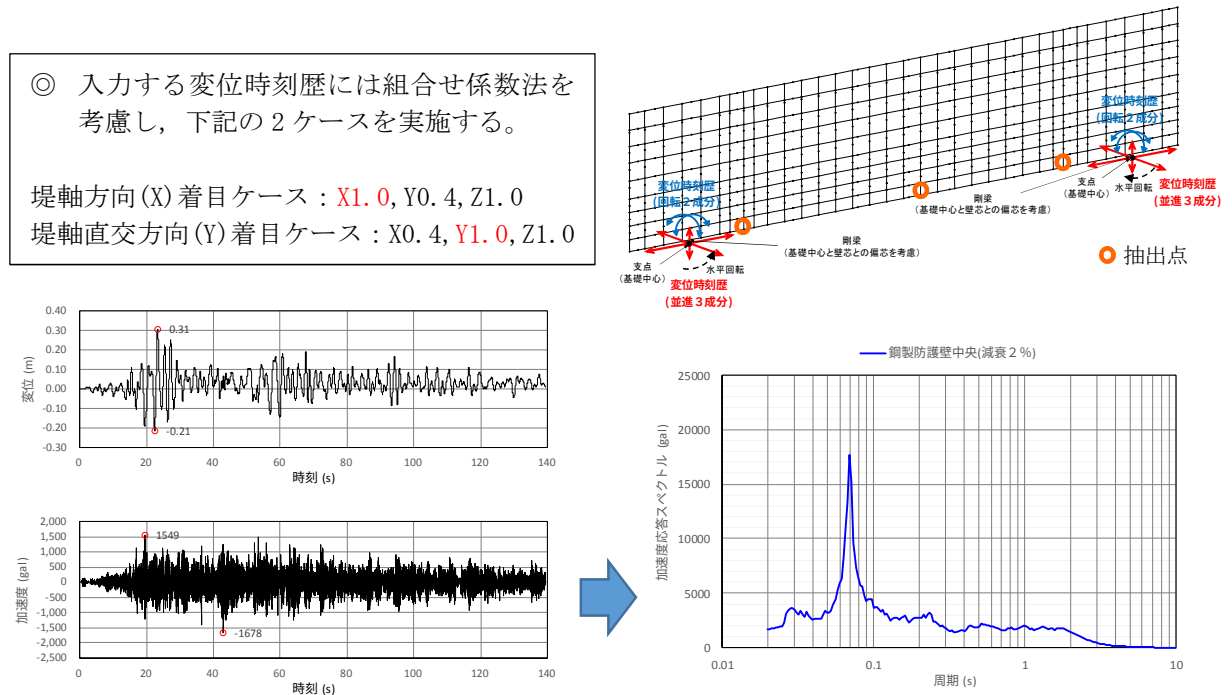


図 8 鋼製防護壁の三次元フレーム解析による中央部の応答時刻歴と応答スペクトル(堤軸方向)

c. 二次元有効応力解析による取水路天端の応答時刻歴及び応答スペクトルを算出する。(図 9 参照)

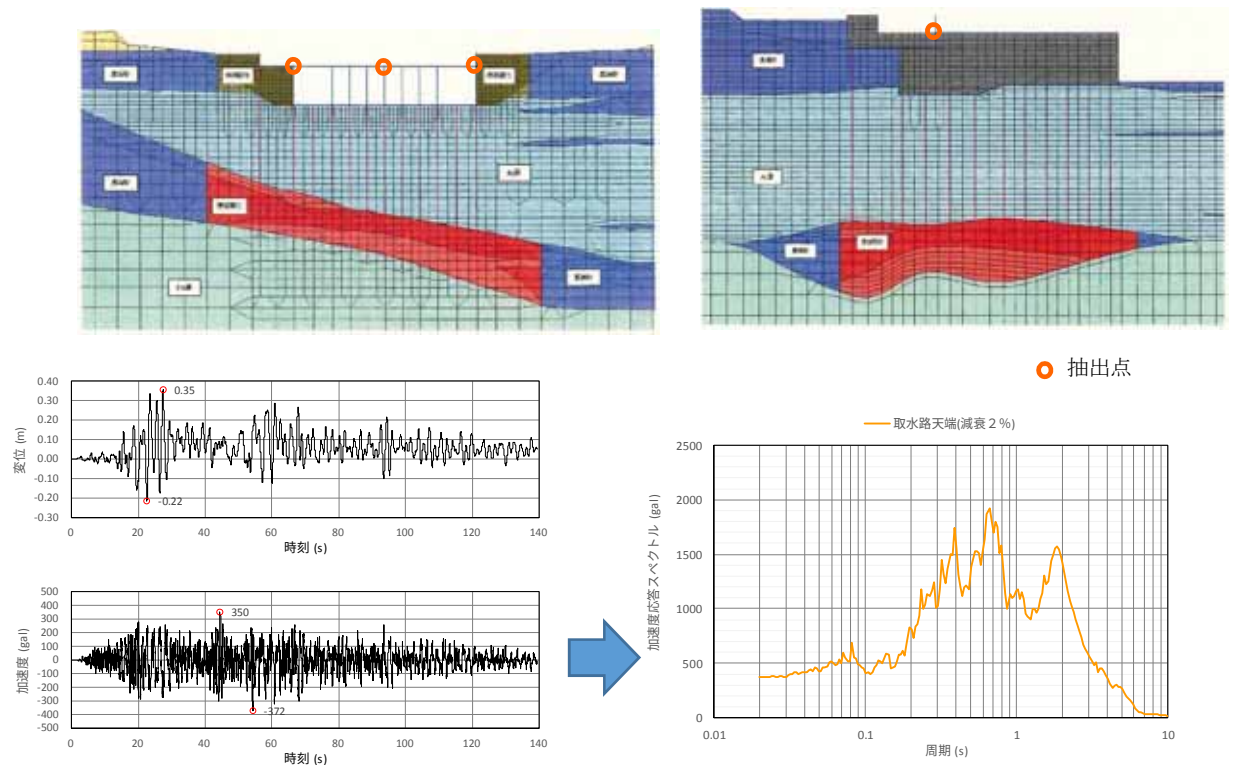
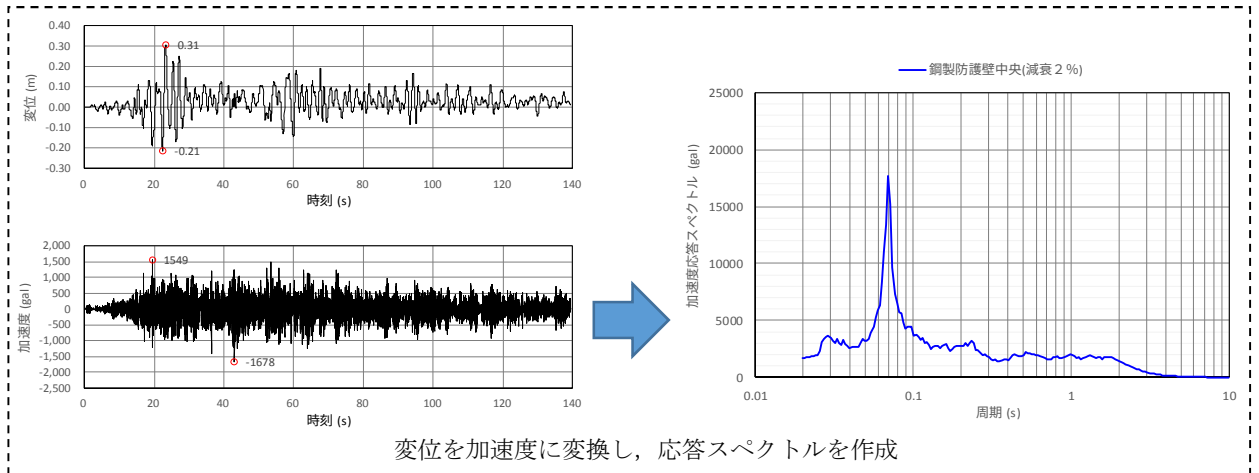


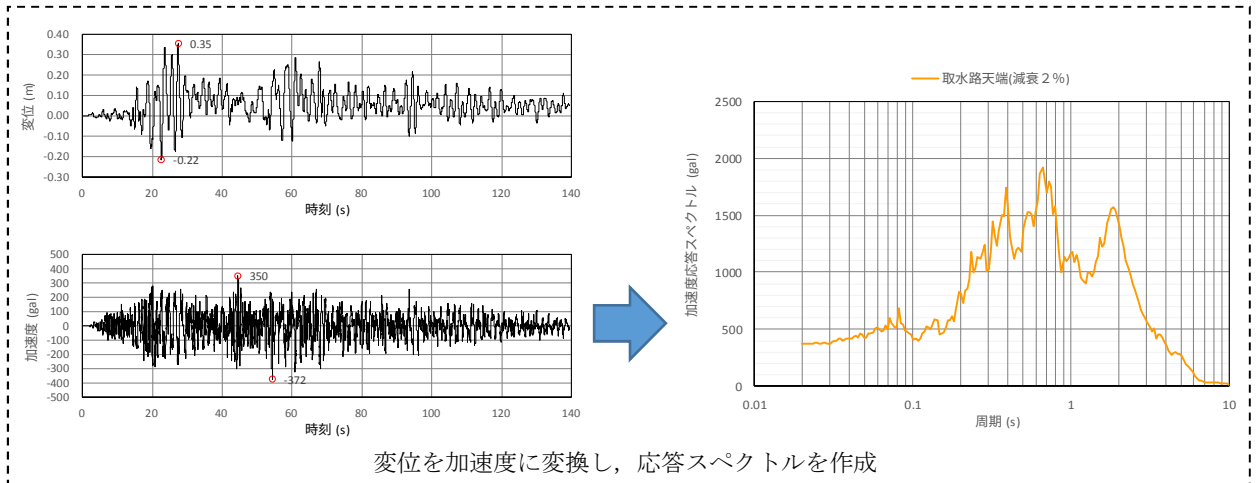
図 9 既設取水路の二次元有効応力解析による応答時刻歴と応答スペクトル(堤軸方向)

d. b 項, c 項で求めた応答時刻歴を重ね合わせ, 鋼製防護壁と取水路の相対的な応答時刻歴及び応答スペクトルを算出する。(図 10 参照)

b 項で算出した鋼製防護壁三次元フレーム解析による中央部の応答時刻歴及び応答スペクトル(堤軸方向)



c 項で算出した取水路の二次元有効応力解析による応答時刻歴及び応答スペクトル(堤軸方向)



鋼製防護壁 (b 項) と取水路 (c 項) の応答時刻歴及び応答スペクトルの重ね合わせ(堤軸方向)

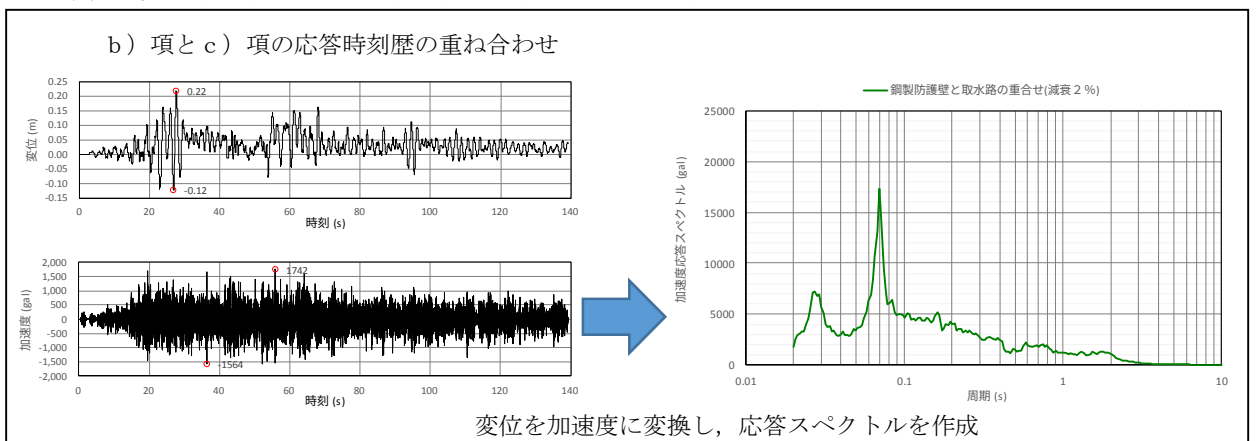


図 10 鋼製防護壁と取水路を重ね合わせた応答スペクトル

e. b 項, c 項と d 項にて算出した応答スペクトルを比較し, 加速度応答スペクトルの包絡波を作成し実証試験用地震動として振動台に入力する。(図 11)

X 方向 (N S) については振動台の能力(1G)が上限であることから, Y 方向 (E W) に X 方向 (N S) の包絡波を入力し方向を反転させた加振 (①) を行なうことで止水板の挙動を確認する。

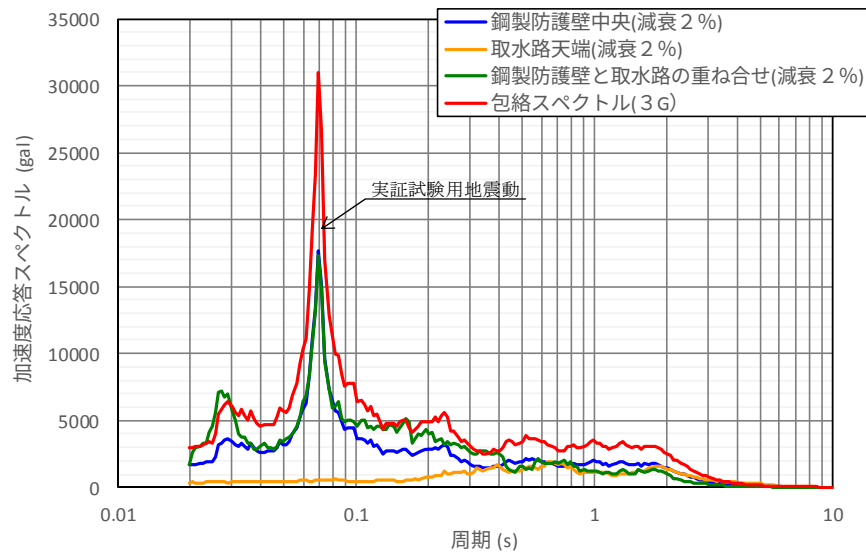


図 11 応答スペクトルの包絡波の作成(堤軸方向)

3 方向(Y 方向 (堤軸直角) 包絡波)及び鉛直 (取水路側包絡波) の実証試験用地震動の作成については, 6.1.3.4 項の「実証試験に用いる地震動の作成, 実証試験及び三次元動的解析のケースについて」にて示す。

(4) 実証試験装置の構造

① 鋼製防護壁の架構構造（固定部）

実証試験装置の試験装置構造図を図 12 に示す。

鋼製防護壁(固定部)の架構部分は、固定基礎より設置し振動台を跨ぐ構造で止水板を支持する。

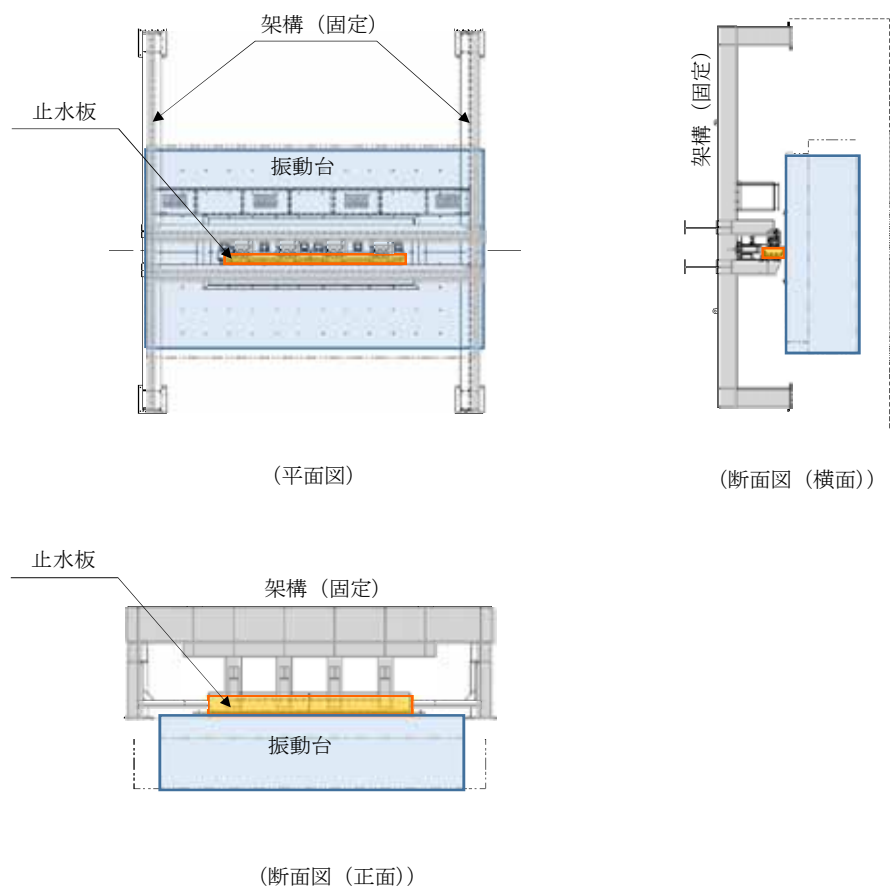


図 12 実証試験の試験装置構造図

②取水路の架構構造（加振部）

取水路側に設置する止水板部の試験装置の構造は、架構で止水板を支持する構造である。余震＋津波時においては、津波高さを模擬する必要があることから、ロードセルを用いて水圧をかけた状態を模擬し余震を与える。余震時の津波高さは、敷地に遡上する津波高さについても考慮した T.P. +24m の静水圧にて実施する。余震＋津波時の水圧を模擬した試験装置の構造を図 13 に示す。

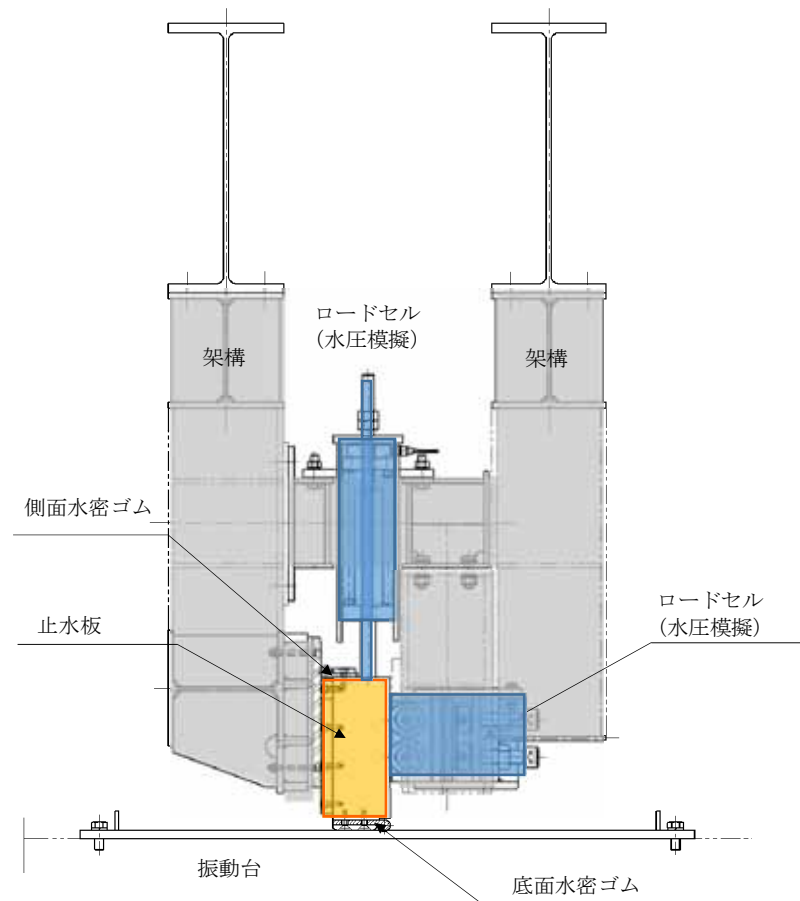


図 13 余震＋津波時の試験装置の構造図

(5) 供試体（止水板）の構造（実規模）

止水板は、止水板（実物大）2枚を実機と同じ連結方法（止水板接続ゴム）にて連結させた構造にする。重量も同じ（約930kg/枚）として製作する。

水密ゴムは、止水板の底面及び側面に設置する。水密ゴムも実物と同じ構造にて設置する。

止水板の構造及び水密ゴムの構造を図14に示す。また、止水板の長手方向の挙動及び実証試験における荷重条件について補足説明3にて示す。

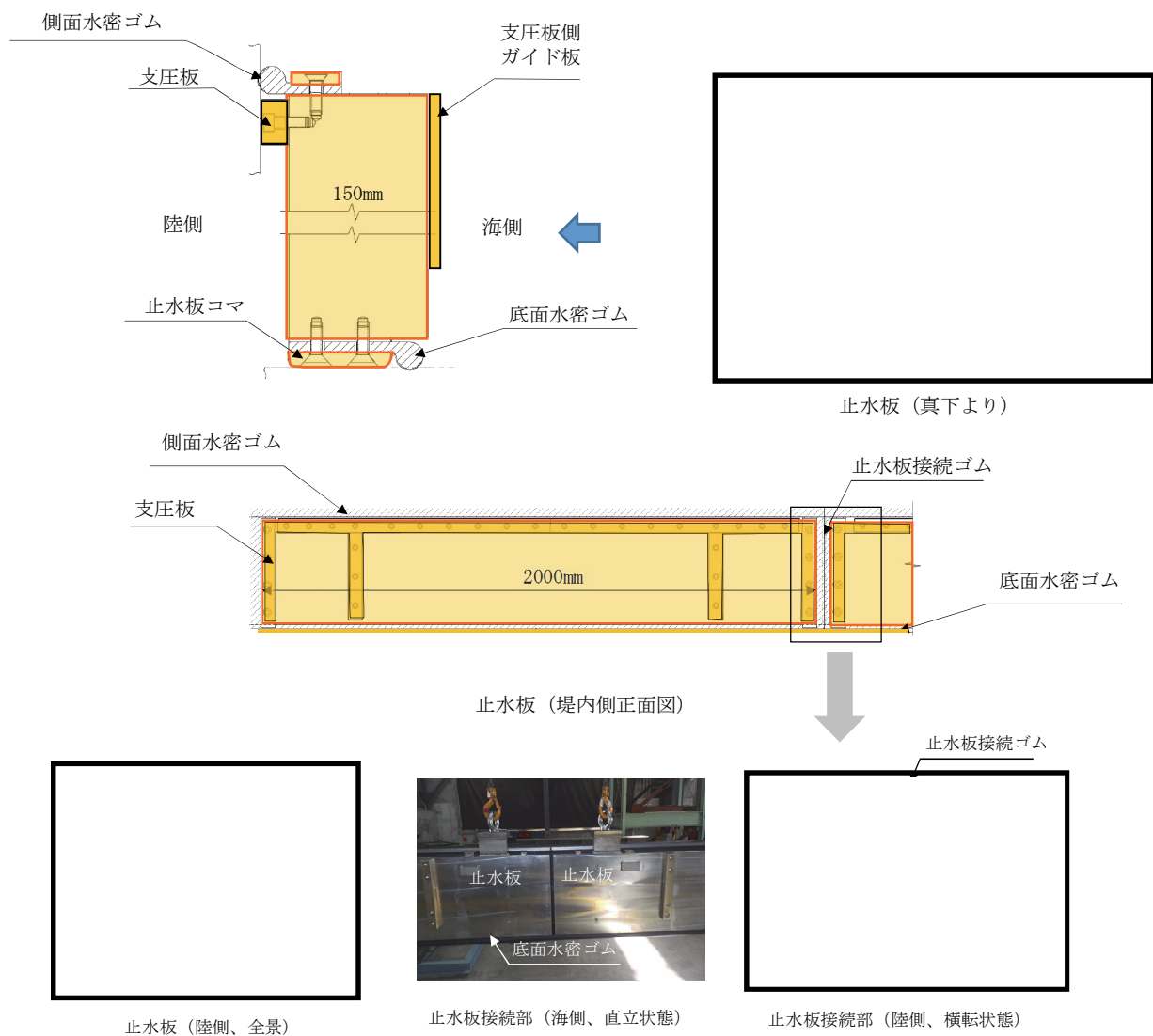


図 14 止水板の構造及び水密ゴムの構造

4.4 実証試験の計測項目と判定基準

実証試験では以下の項目について計測を行い「止水板の地震時の追従性」、「水密ゴムの健全性」及び「1次止水機構の構成部品の健全性」について確認し、止水機構全体に影響がないか確認する。表5に実証試験の計測項目と判定基準、表6に各部位の検査項目と図15に実証試験時の計測装置の配置を示す。

表5 実証試験の計測項目と判定基準

機能目標	計測項目※	判定基準
止水板の地震時の追従性確認	◆追従性評価（ビデオ撮影） ◆変位計測（レーザー変位計） ◆加速度計測（加速度計） ◆外観目視検査	◆止水板の動作に異常がなく、止水板としての機能が保持されていること。（浮き上がり、止水板の破損・損傷）
水密ゴムの健全性確認	◆追従性評価（ビデオ撮影） ◆変位計測（レーザー変位計） ◆寸法計測 ◆外観目視点検	◆水密ゴムの動作に異常がなく機能が保持されていること。（噛み込み、摺動による亀裂、破損、摩耗） ◆水密ゴムのライニングに異常がなく機能が保持されていること。（ライニングの破損、めくれ）
1次止水機構の構成部品の健全性確認	◆止水板、側面戸当り、底面戸当り、止水板押え、架構等の外観目視点検 ◆三次元計測による試験装置全体の計測	◆装置全体に異常がなく健全であること。（試験装置、部材の変形、損傷、他）

※各部位毎の計測項目については、表7の1次止水機構の各部位毎の評価項目に示す。

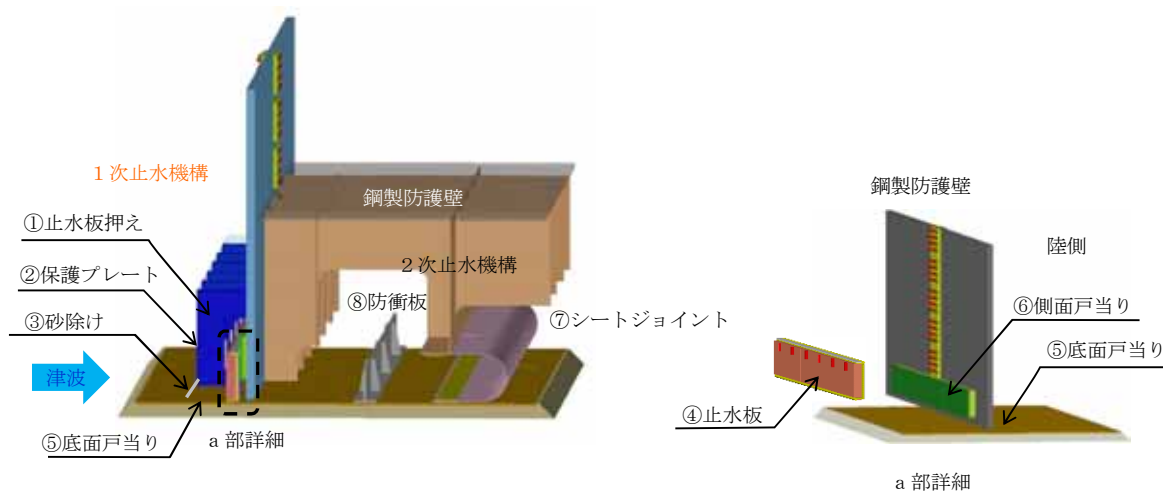
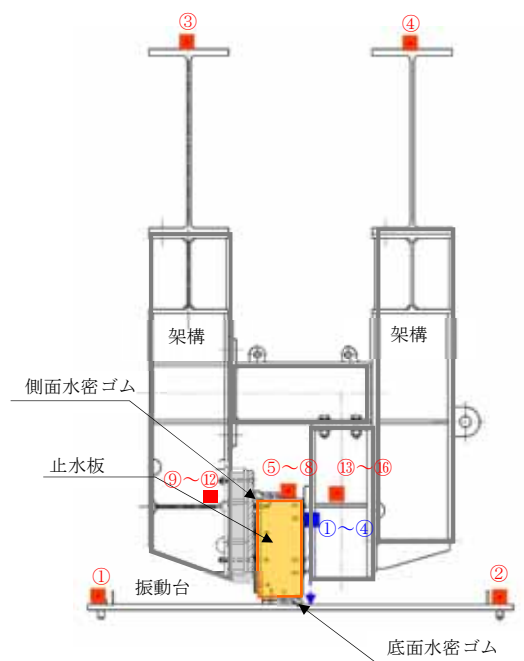
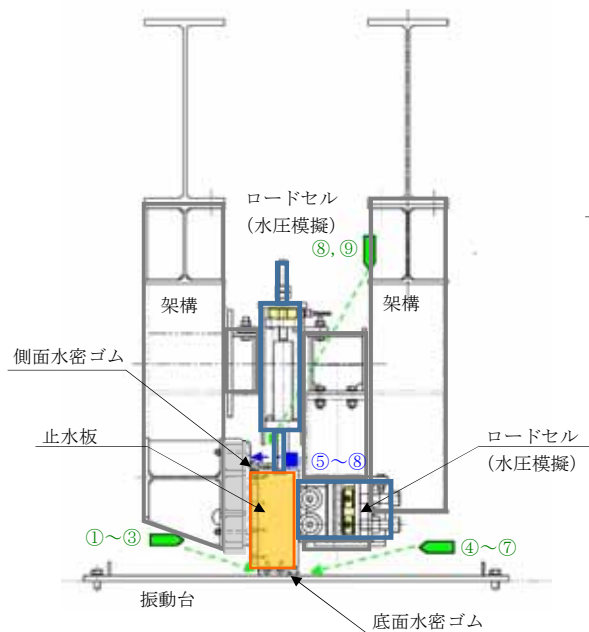


表 6 各部位の検査項目

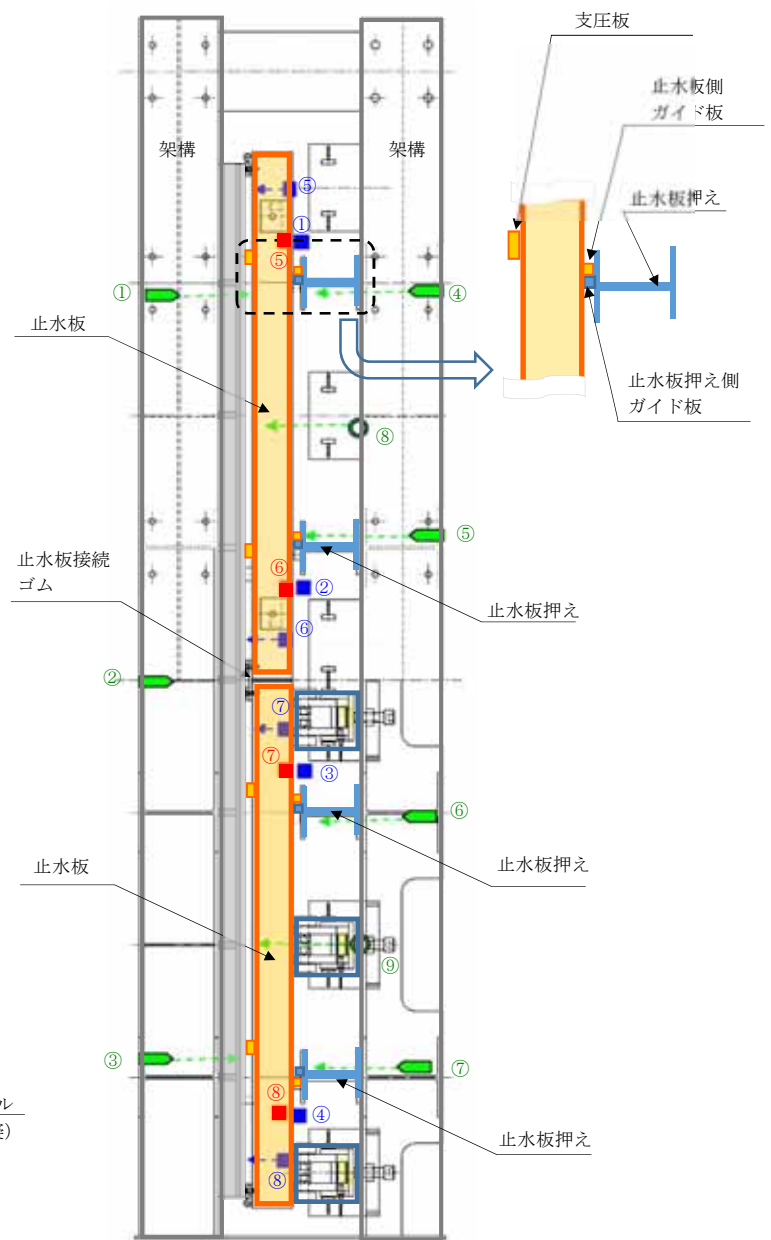
各部位	目 的	確認項目	
①止水板押え	止水板の追従性に影響を与える部材の健全性を確認する。	挙動確認	◆止水板押えの加速度計測 (⑬～⑯)
		健全性確認	◆寸法計測 ・止水板押えと止水板の隙間計測 ・止水板押え側ガイド板の平面度測定 ・止水板押え側ガイド板と止水板側ガイドとの寸法測定 ◆外観目視検査 ・変形, 摩耗等の確認
④止水板 (底面止水板コマ部含む)	止水板の追従性及び健全性を確認する。	挙動確認	◆止水板と底面, 側面戸当りの変位計測 (①～⑧) (レーザー変位計による止水板の挙動確認) ◆止水板の加速度計測 (⑤～⑧) ◆ビデオ撮影 (①～⑨)
		健全性確認	◆寸法計測 ・止水板, 支圧板の寸法測定 ・止水板コマ寸法測定 (寸法, 板厚, 摩耗量測定 (試験後)) ◆外観目視, 据付け状況検査 ・止水板コマ, 支圧板の変形, 摩耗, 据付け等の確認
⑤底面戸当り ⑥側面戸当り	止水性に影響を与える部材の健全性を確認する。	挙動確認	◆加速度計測 (底面・側面戸当り) (⑨～⑫) ◆ビデオ撮影 (①～⑨)
		健全性確認	◆寸法測定 ・平面度測定 ◆外観目視, 据付け状況検査 ・変形, 摩耗, ゆがみ, 据付け等の確認
底面・側面水密ゴム	止水板に追従し, 水密性に影響がないことを確認する。	挙動確認	◆止水板と底面, 側面戸当りの変位計測 (①～⑧) (レーザー変位計による浮き上がり確認) ◆ビデオ撮影 (①～⑨)
		健全性確認	◆寸法測定 ・水密ゴムの寸法計測 (厚さ) ◆外観目視, 据付け状況検査 ・変形, 摩耗, 亀裂, ライニング面, 据付け等の確認 ◆漏水検査
止水板接続ゴム	止水板との接続部に影響がないことを確認する。	挙動確認	◆止水板の変位計測 (①～⑧) (レーザー変位計による止水板の挙動を把握し, 接続ゴムの変位を計測) ◆止水板の加速度計測 (⑤～⑧) ◆ビデオ撮影 (②)
		健全性確認	◆寸法測定 ・水密ゴムの寸法計測 (寸法) ◆外観目視検査 ・変形, 摩耗, 亀裂の確認 ・底面・側面水密ゴムの接続箇所の確認 ◆水密ゴムの据付け状況確認



断面図（加速度計，レーザ変位計）



断面図（ロードセル（水圧模擬））



平面図

< 凡例 >

- : 加速度計
- : レーザー変位計
- ➡ : ビデオ撮影

図 15 実証試験時の計測部位

4.5 1次止水機構の評価

実証試験の結果及び1次止水機構の評価については以下の通り分析し、二次元・三次元動的解析の結果との考察を加え、止水機構全体の評価を行う。

①実証試験データの分析

- ・表5の結果から異常の有無を確認する。
- ・加振時の止水板の挙動を評価する。

②二次元及び三次元動的解析結果の分析

- ・二次元及び三次元動的解析の結果から止水板の挙動を確認する。解析結果については補足説明4に示す。
- ・実証試験の結果と試験装置の三次元動的解析の結果から、止水板の挙動について評価を行う。

③1次止水機構の評価

1次止水機構の各部材毎における、強度評価、耐震評価の項目について、表7の1次止水機構の各部位毎の評価項目に示す。

耐震評価については、実証試験にて得られた結果と実証試験装置の解析モデルとの挙動評価の結果から、実機モデルでの三次元動的解析結果と検証を行い1次止水機構の挙動を評価する。

また、止水板の瞬間的な跳ね上がりについては、地震時の跳ね上がり時間から浸水量を評価し、余震+津波時における浸水量として算出し、2次止水機構への影響を評価する。

止水機構の概要を補足説明5に示す。

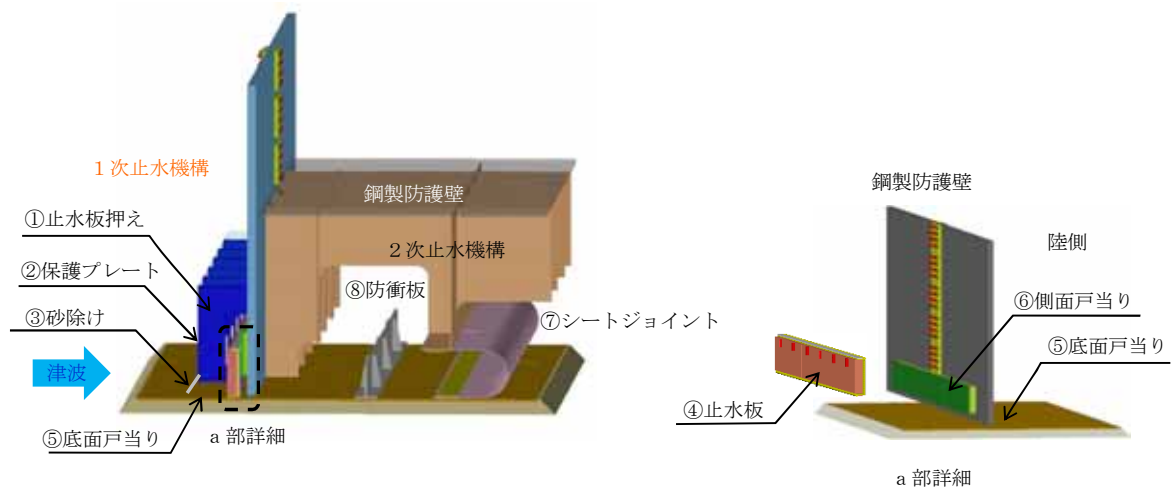
④漏水試験の実施（別途実施）

実証試験にて実施した水密ゴム（底面水密ゴム、側面水密ゴム、止水板接続ゴム）について漏水試験を実施する。

主に漏水試験は、本震、余震+津波を経験させた水密ゴムについて、漏水試験を実施し評価する。漏水試験の試験要領は補足説明6に示す。

表 7 1次止水機構の各部位毎の評価項目

各部位	役割・機能	評価	評価項目
①止水板押え	- 止水板を支持する。 - 漂流物等から止水板を防護する。	耐震評価	◆二次元・三次元動的解析 ・応力評価 ・追従性評価 ・余震+津波
		実証試験	◆挙動評価 ・追従性評価(ビデオ撮影) ・加速度計測（水平，鉛直） ・外観目視検査（試験装置の架構部）
④止水板 (底面止水コマ部含む)	- 止水機構の扉体の機能 - 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。	耐震評価	◆二次元・三次元動的解析 ・応力評価 ・追従性評価 ・余震+津波
		実証試験	◆挙動評価 ・追従性評価（ビデオ撮影） ・変位計測（浮上り測定：底面戸当りと鉛直の相対変位計測） ・加速度計測（水平，鉛直） ・余震+津波（水圧模擬） ・外観目視検査
⑤底面戸当り ⑥側面戸当り	止水板の底面と側面の水密ゴムとのシール性を確保する。	実証試験	◆挙動評価 ・追従性評価（ビデオ撮影） ・外観目視検査
底面・側面 水密ゴム	底面・側面戸当りとのシール性を確保する。	耐震評価	◆二次元・三次元動的解析 ・応力評価 ・追従性評価 ・余震+津波
		実証試験	◆挙動評価 ・追従性評価（ビデオ撮影） ・変位計測（浮上り測定：底面戸当りと鉛直の相対変位計測） ・外観目視検査 ◆漏水試験（別途実施）



止水機構の各名称

5. 実証試験のスケジュール

実証試験については、平成 30 年 5 月上旬までに実施する計画である。

(場所：茨城県つくば市)

表 8 に実証試験に関するスケジュール（案）を示す。

年 月	2018年				
	2月	3月	4月	5月	6月
項 目					
【入力地震動の作成】					
鋼製防護壁の解析	二次元有効応力解析 (Ss-D1)				
		三次元フレーム解析			
取水路の解析	二次元有効応力解析 (Ss-D1)				
入力地震動の作成			▽入力地震波の作成 (包絡波)		
入力地震動の妥当性評価				▽妥当性評価 (包絡の確認)	
【止水機構の解析】					
二次元動的解析		▽試計算 (試験装置の選定)	▽実機モデル		
三次元動的解析			▽実機モデル ▽試験モデル		
【実証試験】					
製作・据付け	試験装置製作		▽据付け		
実証試験				▽試験 (5/9～5/17 予定)	
【漏水試験】					▽試験
【評価】				試験データ分析	
【ご報告】				報告 (本震) (余震) ▽ ▽	

表 8 実証試験に関するスケジュール（案）

【補足説明 1】水密ゴムの摩擦係数について

実証試験における水密ゴムの摩擦係数は、ダム・堰施設技術基準（案）に記載の0.2及び、物性値確認を行った結果、最大で乾式の0.2、湿式の0.22であることから、ダム・堰施設技術基準（案）に記載の0.2と定義し実証試験を実施する。

なお、水密ゴムのライニングなしの実証試験については、同様に1.2と定義し実証試験を実施する。

①ダム・堰施設技術基準（案）

水密ゴム（ライニングあり）とステンレスの摩擦係数は、0.2（乾式）、0.1（湿式）と記載がある。なお、水密ゴム（ライニングなし）の場合は、1.2（乾式）、0.7（湿式）である。

②水密ゴムの物性値

- ・静摩擦係数は最大0.2（乾式）、動摩擦係数は最大0.22（乾式）表9に超高分子量ポリエチレンの物性値を示す。

表9 超高分子量ポリエチレンの物性値

項目	物性値
引張り強さ（MPa）	44
伸び（％）	450
高度（Rスケール）	40
摩擦係数 （相手：ステンレス）	・ 静摩擦係数：0.10～0.20※（乾式） ・ 動摩擦係数：0.07～0.22※（乾式） 0.05～0.10（湿式）

※：動摩擦係数＞静摩擦係数の状況について

一般的に摩擦係数は、動摩擦係数＜静摩擦係数の関係であるが、高分子材料のように、静摩擦係数と動摩擦係数の値に大きな差が生じやすい場合に「スティック・スリップ（付着すべり）」と言われる現象が生じやすいことから、動摩擦係数が静摩擦係数より僅かに上回ったものと推定される。

【補足説明 2】二次元動的解析の試解析結果

1. 目的

本解析は、止水機構の実証試験を実施するにあたり、試験ケースを確定させる必要があることから試計算を実施し試験ケースを確定する。

2. 解析条件

(1) 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)

(2) 解析内容 大変形超弾性解析 (水密ゴムを超弾性体として解析)

止水機構の止水板の水密ゴムと戸当り側を解析する必要があることから、大変形超弾性解析を実施する。以下に解析の概要を示す。

①材料非線形解析：水密ゴムの応力とひずみの関係が非線形状態の解析。

②幾何学非線形解析：水密ゴムの引張りひずみが100%程度を示す大変形になりうる場合も、変形に伴う荷重、応力の方向変化を考慮した解析。

③境界非線形解析：荷重の変化に伴い水密ゴムの抑え金具（コマ）及び扉体等への接触境界条件及びその領域を変化させた解析。

(3) 入力地震動

解析に用いた入力地震動は、基準地震動 S_s （設置許可段階）を鋼製防護壁の地中連続壁基礎天盤の応答を算出し、鋼製防護壁の三次元フレーム解析にて算出した応答時刻歴及び応答スペクトルを解析モデルの摺動側になる鋼製防護壁（ケース①）と取水路（ケース②）に入力し解析を実施した。

(4) モデル化

解析モデルは3次元要素（6面体要素）で面外方向厚みを10mmとし、面外方向変位を拘束することで平面ひずみ要素の状態とした。図16に二次元動的解析のモデル図を示す。

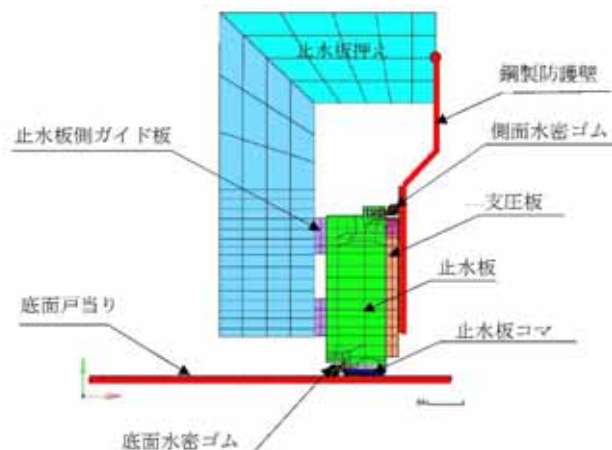


図16 二次元動的解析モデル図

(5) 解析ケース

試験装置ケースと解析ケースを表10に示す。

表10 試験装置ケースと解析ケース

試験装置ケース	摺動	解析ケース	地震波
ケース①	鋼製防護壁側	Case1-1	本震
		Case1-2	余震
ケース②	取水路側（基礎）	Case2-1	本震
		Case2-2	余震

(6) 物性値および摩擦係数

各部の物性値と摩擦係数は表11に示す通り。モデル化に当たっては、⑤底面戸当り、鋼製防護壁（⑥側面戸当り）は、剛体としてモデル化した。

表11 物性値および摩擦係数

部位（材質）	物性値	許容値	摩擦係数
①止水板押え （SM490）	縦弾性係数 205000MPa ポアソン比 0.3	耐力 315MPa	-
④止水板 （SUS304）	縦弾性係数 197000MPa ポアソン比 0.3	耐力 205MPa	-
底面・側面水密ゴム （合成ゴム+ ライニング貼付け）	単軸引張試験結果	引張強さ 14.7 MPa	0.2
止水板押え （アルミニウム銅合金）	縦弾性係数 110000MPa ポアソン比 0.3	耐力 245MPa	0.4 （金属間の摩擦係数）
支圧板 （超高分子ポリエチレン）	縦弾性係数 785MPa ポアソン比 0.3	引張強さ 44MPa	0.2
止水板側ガイド板 （アルミニウム銅合金）	縦弾性係数 110000MPa ポアソン比 0.3	耐力 245MPa	0.4

(7) 試験条件

ここでは、鋼製防護壁側の基準地震動 S_s （設置許可段階）による相対変位及び応答加速度について評価し、鋼製防護壁側及び取水路側（基礎）に摺動を与え止水機構の挙動を評価した。

①鋼製防護壁摺動（ケース①）

鋼製防護壁摺動のケースでは鋼製防護壁（止水版押えの根元も含む）は剛として水平相対変位、鉛直変位および回転変位を止水板押えの据付け部（鋼製防護壁との設置部）に強制変位として与えた。取水路側（基礎）は剛として固定した。

②取水路側（基礎）摺動（ケース②）

取水路側（基礎）摺動のケースでは、取水路側（基礎）を剛として水平相対変位、鉛直変位を強制変位として与えた。鋼製防護壁（止水版押え据付け部も含む）は剛として固定した。

③解析地震波

本震および余震ともに、最大の鉛直加速度が認められる 40～46sec（6 秒間）について解析を実施した。

(8) 水圧荷重

水圧荷重は、水位TP+20mの静水圧および動水圧とした。

(9) 解析結果

止水板コマの取水路側（基礎）からの浮き上がり量を表 12 に示す。

本震時において、静的には自重に対して摩擦力等による上向力は小さく止水板が取水路側（基礎）から浮き上がることはないが、取水路側（基礎）や鋼製防護壁への接触時に生ずる衝撃力などの動的作用により浮き上がるものと考えられる。浮き上がり量は、鋼製防護壁摺動より取水路側（基礎）摺動の方が大きい傾向が見られた（CASE1-1 と CASE2-1）。

これは、取水路側（基礎）摺動の方が鉛直方向の慣性力がより顕著に表れたためと考えられる。

余震時（津波重畳）において、鋼製防護壁摺動の場合には浮き上がりは無いが、取水路側（基礎）摺動の場合に 0.03 mmの浮き上がりが見られた。本震時と同様に衝撃力などの動的作用の影響もあるものと考えられる。また本震時と同様に浮き上がり量は、鋼製防護壁摺動より取水路側（基礎）摺動の方が大きい傾向が見られた。

表 12 止水板コマの取水路側（基礎）からの浮き上がり量

ケース	摺動側	地震波	浮き上がり量(mm)	継続時間(秒)	説明図
Case1-1	鋼製防護壁側	本震	1.81	0.15	図17
Case1-2		余震	0	—	図18
Case2-1	取水路側（基礎）	本震	3.71	0.24	図19
Case2-2		余震	0.03	0.10	図20

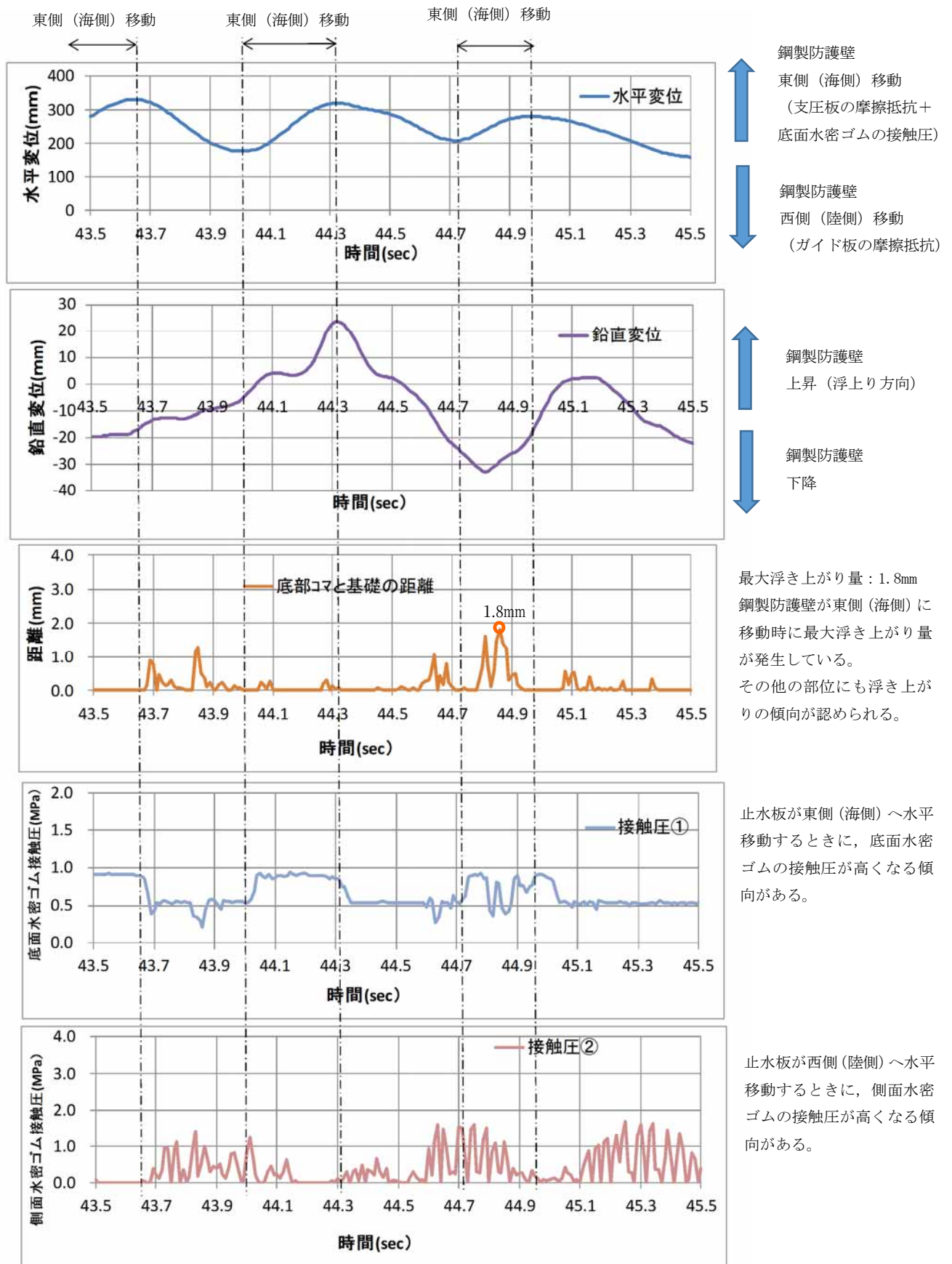


図 17 本震時 鋼製防護壁側揺動 (CASE1-1)

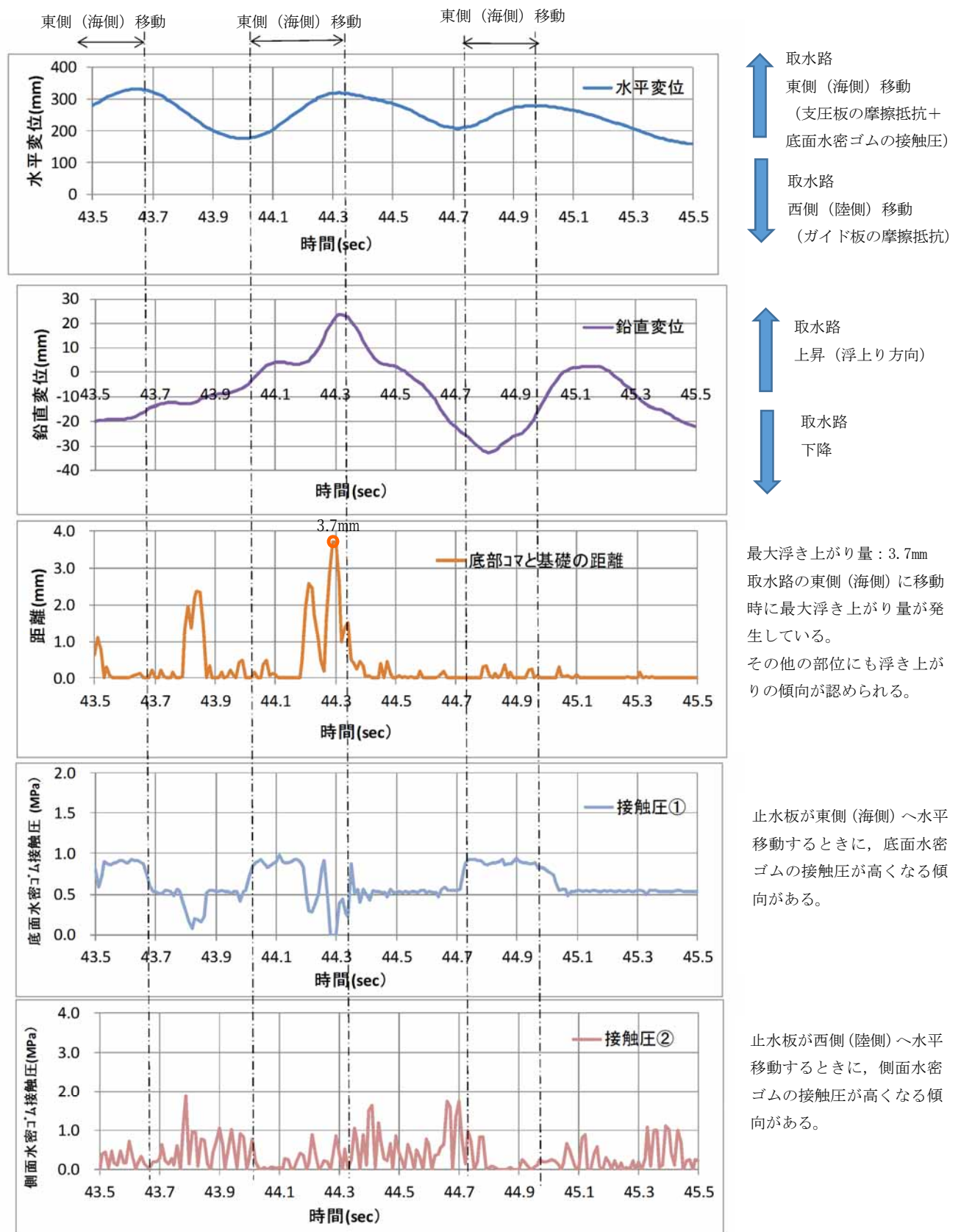


図 18 本震時 取水路側（基礎）摺動（CASE2-1）

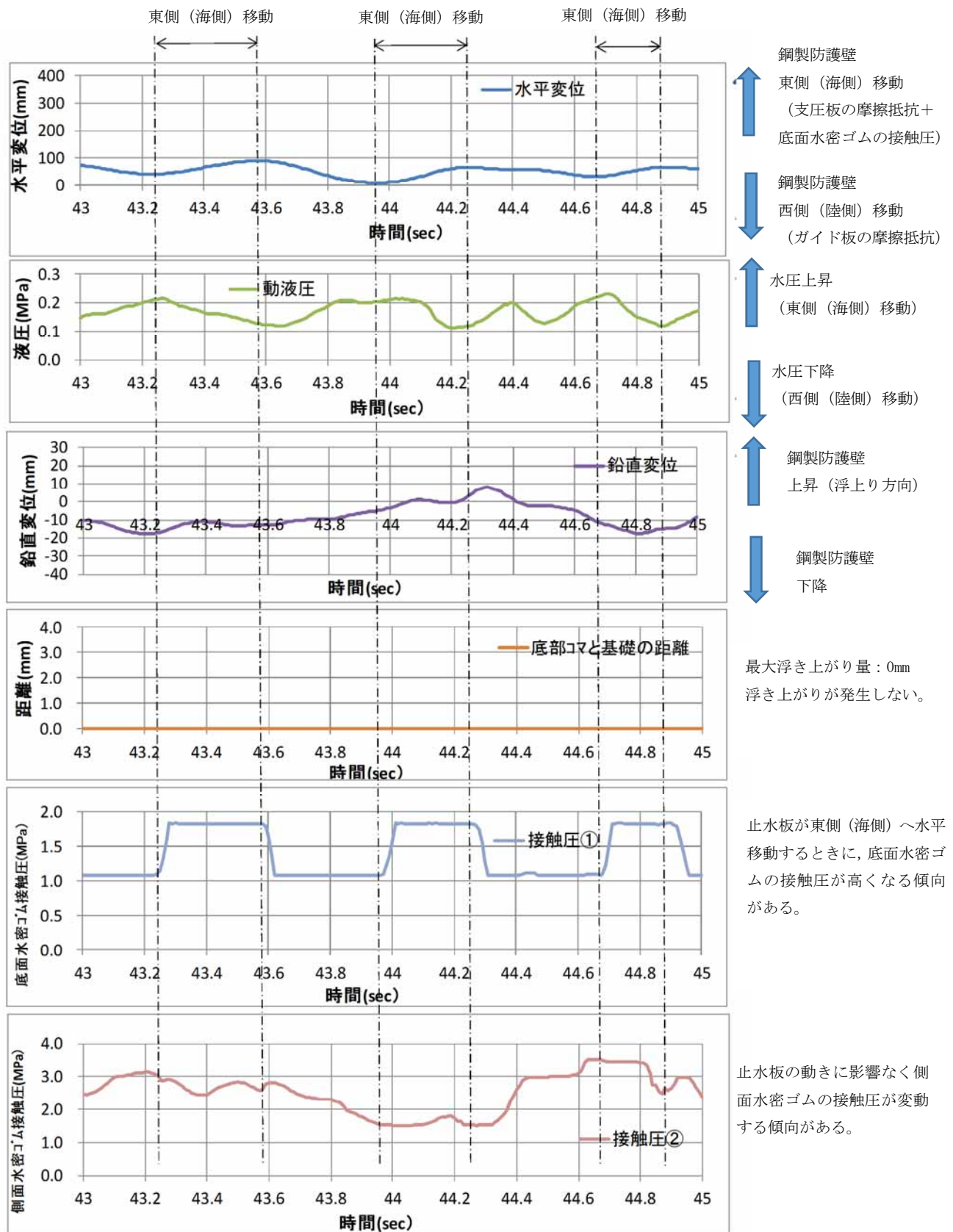


図 19 余震時 鋼製防護壁摺動 (CASE1-2)

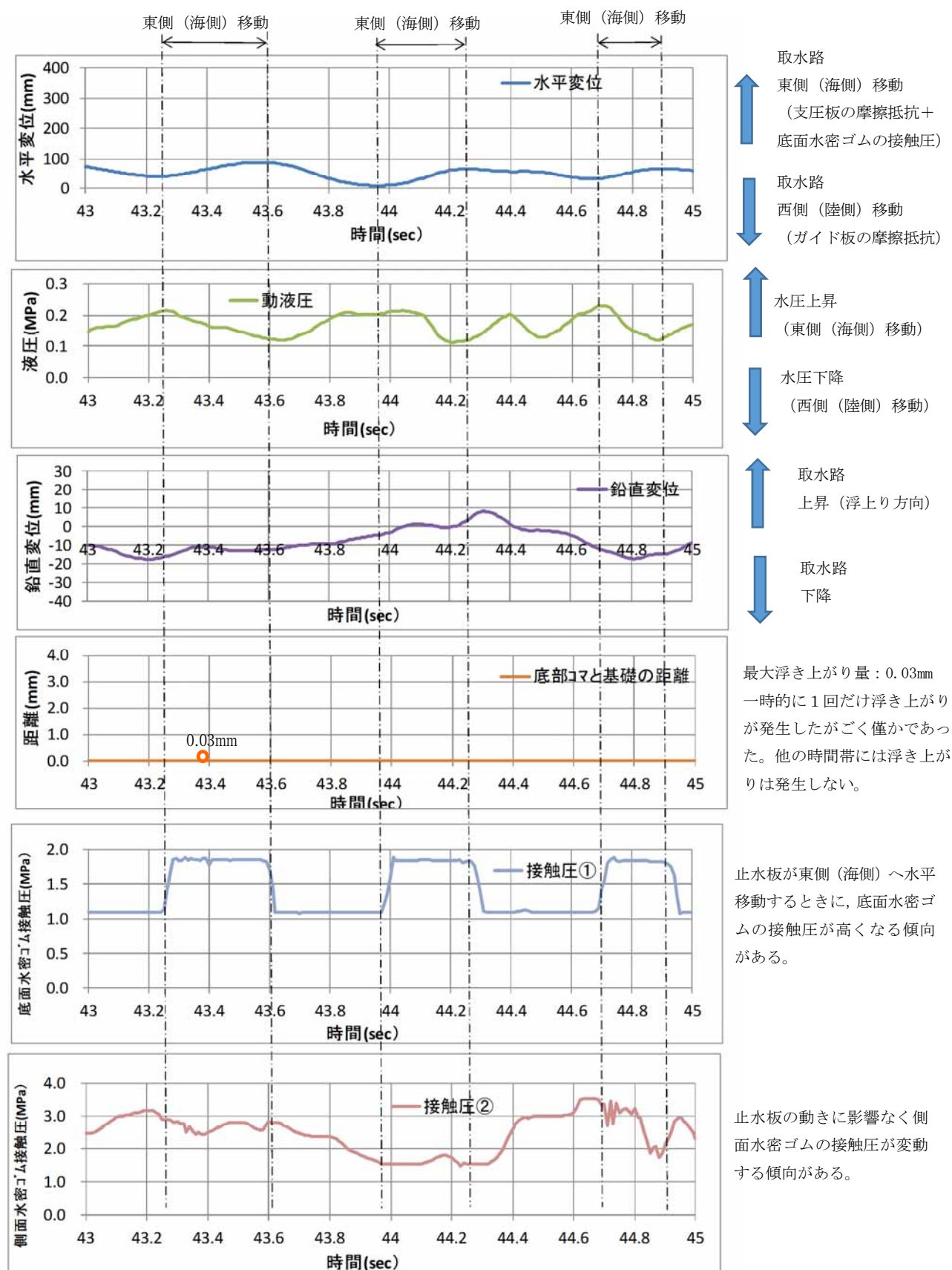


図 20 余震時 取水路側（基礎）摺動（CASE2-2）

(2) 実証試験における荷重条件について

止水板の耐震設計における考慮する荷重は、固定荷重、地震荷重である。実証試験においても、固定荷重、地震荷重について模擬している構造であり、耐震評価の荷重の組み合わせと同じ状態で実証試験を実施する。

表 17 に止水板の耐震評価における荷重の組合せを示す。

なお、積雪荷重と風荷重については、止水板押えの外側に設置している保護プレートで受けることから、構造上止水板には積雪荷重及び風荷重は考慮しない。

表 17 止水板の耐震評価における荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + K_s$

G : 固定荷重 躯体自重を考慮する。

K_s : 地震荷重 基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

【補足説明 4】 二次元・三次元動的解析の解析評価について

(1) 二次元動的解析

<評価条件>

- ・解析コード：MARC（大規模解析対応非線形解析）
- ・地震動：基準地震動 S_s
- ・解析ケース：3ケース 地震時，津波時，津波時＋余震
解析モデルは図22に示す。
- ・水密ゴム摩擦係数：
常時：0.2（ダム・堰施設技術基準（案））（国土交通省）
劣化時の挙動把握（しきい値確認）：0.2～1.2
- ・金属間摩擦係数
止水板（接触面アルミニウム）と戸当り（ステンレス）：0.4
- ・評価対象部位：
底面水密ゴム，側面水密ゴム，止水板接続ゴム，止水板（止水板コマ含む），
止水板押え，底面・側面戸当り，止水板側ガイド板，支圧板
- ・許容応力：引張り強度，変形量（伸び）（水密ゴム）
弾性設計範囲内（止水板，その他の部材）
- ・評価項目：
応力評価，追従性評価（止水板浮上り），水压模擬，摩擦係数しきい値確認

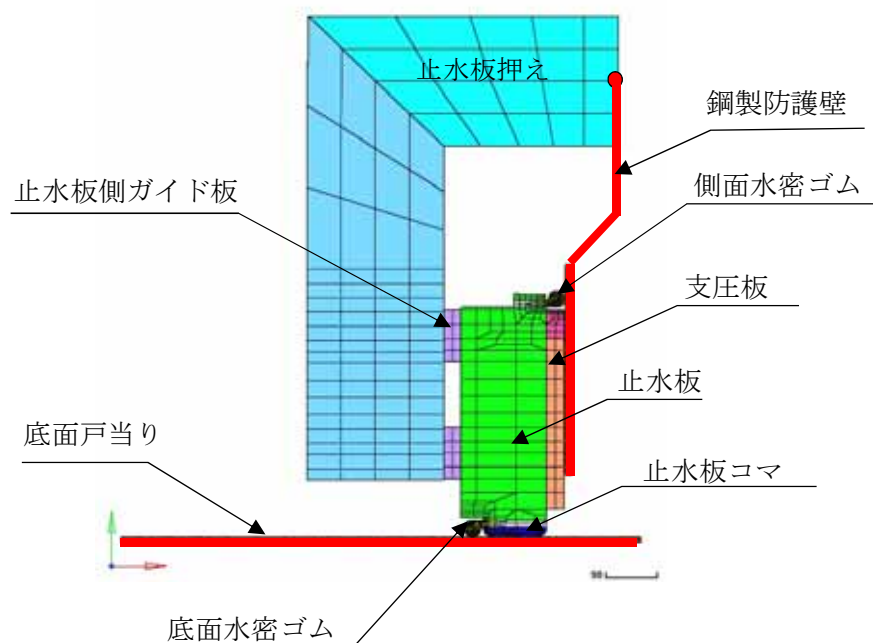


図 22 二次元動的解析モデル

(2) 三次元動的解析

<評価条件>

- ・解析コード：MARC（大規模解析対応非線形解析）
- ・地震動：基準地震動 S_s
- ・解析ケース：3ケース 地震時，津波時，津波時＋余震

解析モデルは図23に示す。

- ・水密ゴム摩擦係数：

常時：0.2（ダム・堰施設技術基準（案））（国土交通省）

- ・金属間摩擦係数

止水板（接触面アルミニウム）と戸当り（ステンレス）：0.4

- ・評価対象部位：

底面水密ゴム，側面水密ゴム，止水板接続ゴム，止水板（止水板コマ含む），
止水板押え，底面・側面戸当り，止水板側ガイド板，支圧板

- ・許容応力：引張り強度，変形量（伸び）（水密ゴム）

弾性設計範囲内（止水板，その他の部材）

- ・評価項目：

応力評価，追従性評価（止水板2枚の挙動，浮上り），水压模擬

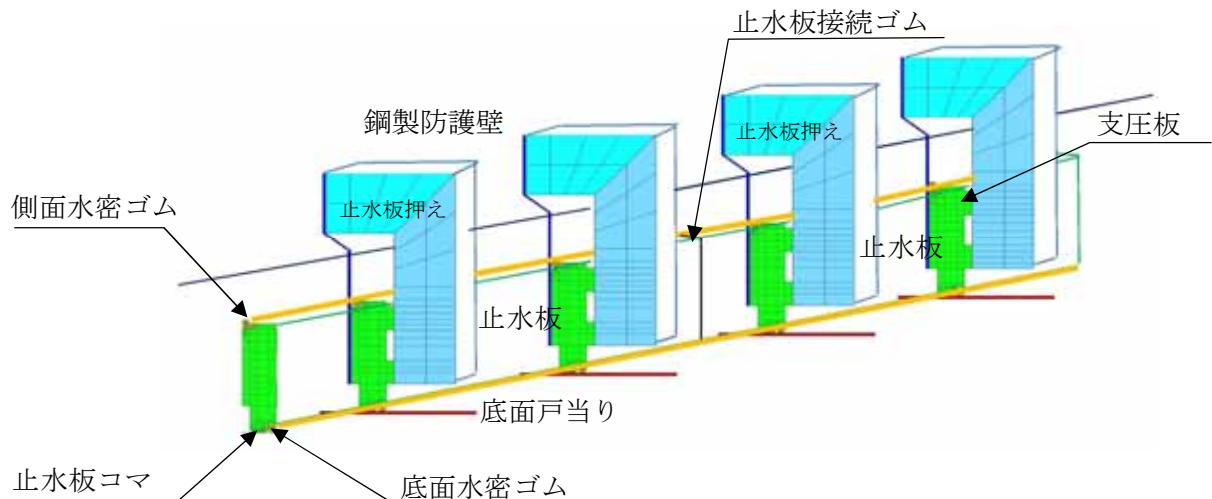


図 23 三次元動的解析モデル

【補足説明 5】 止水機構の概要について

(1) 1次止水機構の止水板について

1次止水機構の止水板は、地震時の追従性を確保するとともに、津波による津波荷重、漂流物による衝突荷重を考慮した構造とする。水密部の水密ゴムは、津波による圧力に耐えうるよう設置し津波からの浸水を防止する。

なお、止水板からの微少な漏えいを考慮し、敷地内に浸水させないよう陸側にシートジョイントからなる2次止水機構を設置している。図24に止水機構全体の構造図を示す。

(2) 2次止水機構の構造について

- a. 2次止水機構は、共通要因故障（止水板の追従性不良等）による同時機能喪が生じないよう多様性を図ることとし、1次止水機構の構造と異なるシートジョイントを設置している。
- b. シートジョイントについては、想定する津波荷重に対して十分な耐性を有するものを採用するが、1次止水機構の取り外し時に津波の襲来を想定すると、漂流物が2次止水機構に到達する可能性があることから、2次止水機構前面に防衝板を設置し、漂流物による損傷を防止する構造にしている。
- c. さらに、2次止水機構の後段には、2次止水機構からの漏水の可能性を考慮し、漏水を収集・排水可能な排水溝を設置する構造にする。排水は、構内排水路の防潮堤内側の集水枡に収集し、構内排水路逆流防止設備を介して排水する。
- d. 1次止水機構及び2次止水機構のこれらの対策により、基準津波の遡上波の重要な安全機能を有する海水ポンプが設置されたエリアへの到達、流入防止を確実なものとしている。

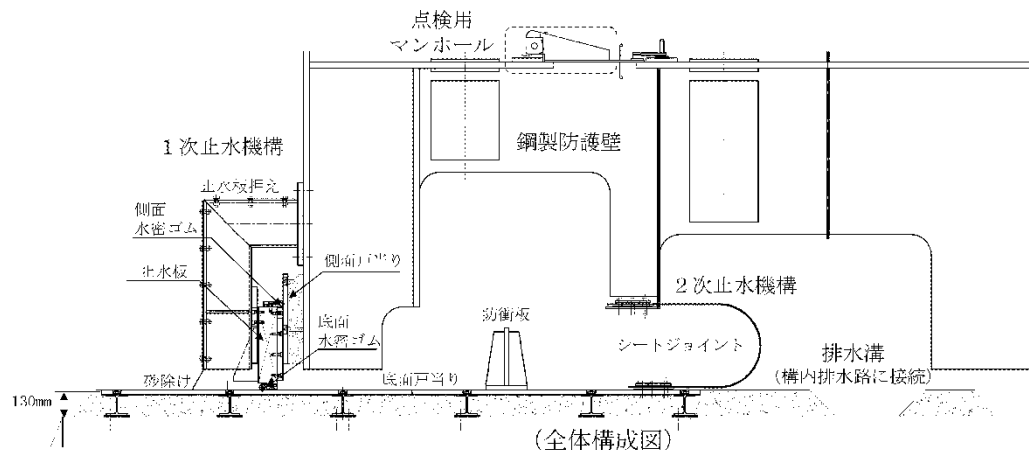


図 24 止水機構全体の概要

【補足説明6】漏水試験について

実証試験にて実施した水密ゴムについて、漏水試験を実施し水密性を確認する。

設計圧力における漏水試験のため、止水機構の水密ゴム（P形）について、試験装置を製作し、漏水試験により設計圧力に耐えることを確認する。

試験装置は、止水板2枚分（4m）の水密ゴムを設置可能な漏水試験装置を製作し、底面水密ゴム、側面水密ゴム、止水板接続ゴムからの漏水を確認する。漏水位置は中央部の3m分からの漏水量を算出する。

表13に漏水試験条件の一覧、表14に漏水試験装置の主要仕様、図25に漏水試験の装置概要図を示す。

表13 漏水試験条件一覧表

項目	条件	備考
水密ゴム	試験体 1	本震，余震+津波を経験させた水密ゴム
	試験体 2	本震，余震+津波を経験させた水密ゴム
	試験体 3	ライニングのない状態にて試験を実施した水密ゴム（試験結果で亀裂，損傷等ない場合に実施）
試験圧力	0.17MPa以上	保守的に，防潮堤天端高さ（T.P. +20m）から設置地盤標高（T.P. +3m）を差し引いた値
	0.21MPa以上	敷地に遡上する津波高さ（T.P. +24m）から設置地盤標高（T.P. +3m）を差し引いた値
試験時間	10分保持	「ダム・堰施設技術基準（案）」より
許容漏水量*	5.2 ℓ／10分	試験圧力0.17MPaに対する許容漏水量
	6.4 ℓ／10分	試験圧力0.21MPaに対する許容漏水量

* 「ダム・堰施設技術基準（案）（国土交通省）」で規定する保持時間及び許容漏水量算定式に基づく3m当たりの許容漏水量

・ 許容漏水量： $W = 10.2 L \times P$

W：漏水量（ml/min）

P：設計圧力

L：長辺の長さ（cm）

（試験装置の漏水検出範囲長さ300cm）

表 14 漏水試験装置の主要仕様

項目		仕様
試験装置	寸法	長さ約 4.3m×高さ約 0.7m×幅約 0.7m
	材質	鋼製
	設計圧力	0.7MPa
止水板	寸法	1枚当たり 長さ約 2m×幅約 0.1m×高さ約 0.4m 2枚の止水板を接続ゴムにて接続し実施
	材質	ステンレス鋼
	重量	約 930kg/枚

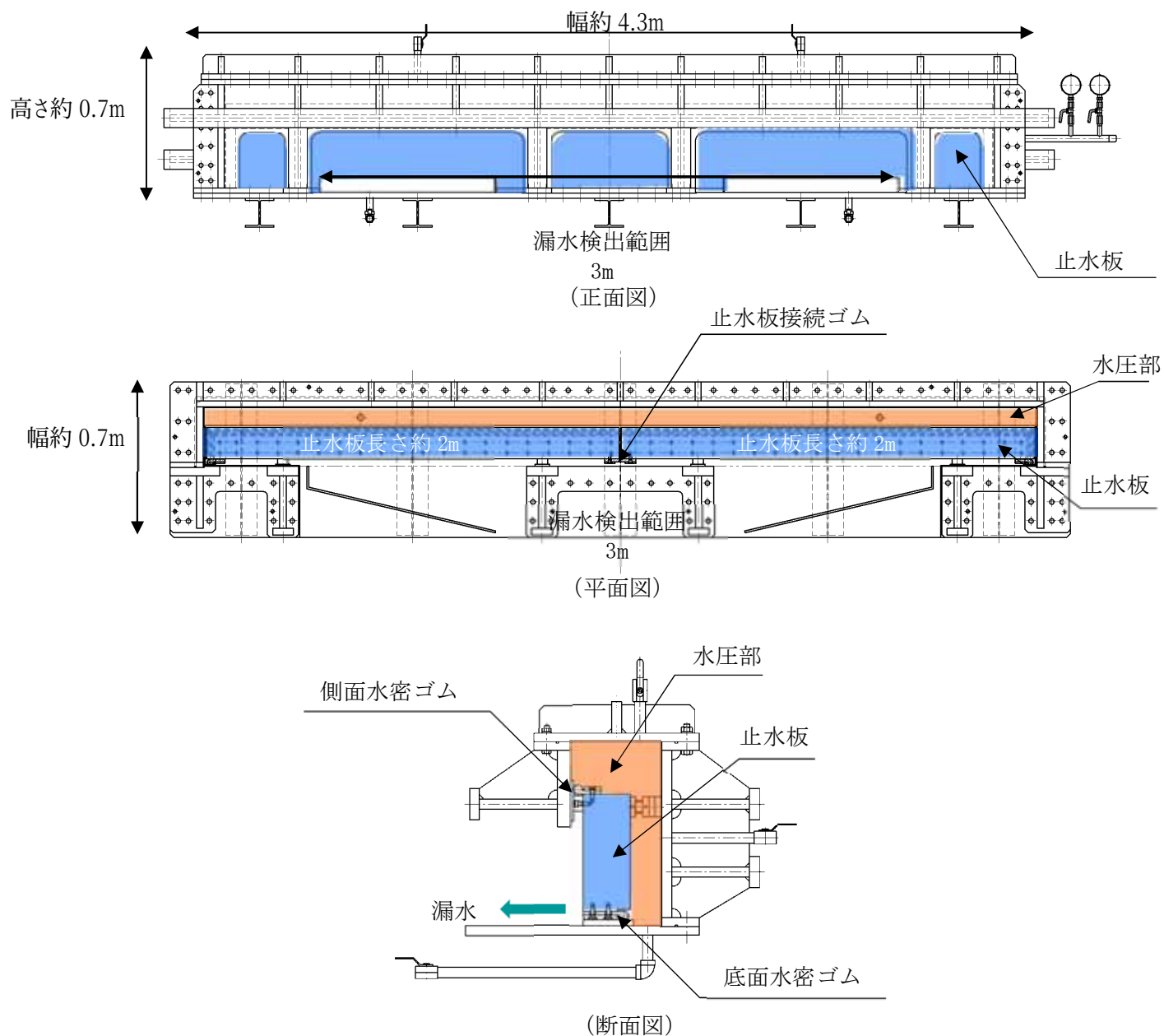


図 25 漏水試験の装置概要図

＜水密ゴムの単体漏水試験結果＞

水密ゴムの単体試験として、未使用品の水密ゴム及び劣化状況を模擬した漏水試験を実施しており良好な結果を得ている。表 15 に試験装置の主要仕様、表 16 に漏水試験結果、図 25 に試験装置の概要図、図 26 に試験圧力と漏水量を示す。

表 15 試験装置主要仕様

項目		仕様
試験装置	寸法	長さ約 2.3m×高さ約 0.7m×幅約 0.5m
	材質	鋼製
	設計圧力	0.7MPa
止水板	寸法	長さ約 2m×幅約 0.1m×高さ約 0.4m
	材質	ステンレス鋼
	重量	約 620kg

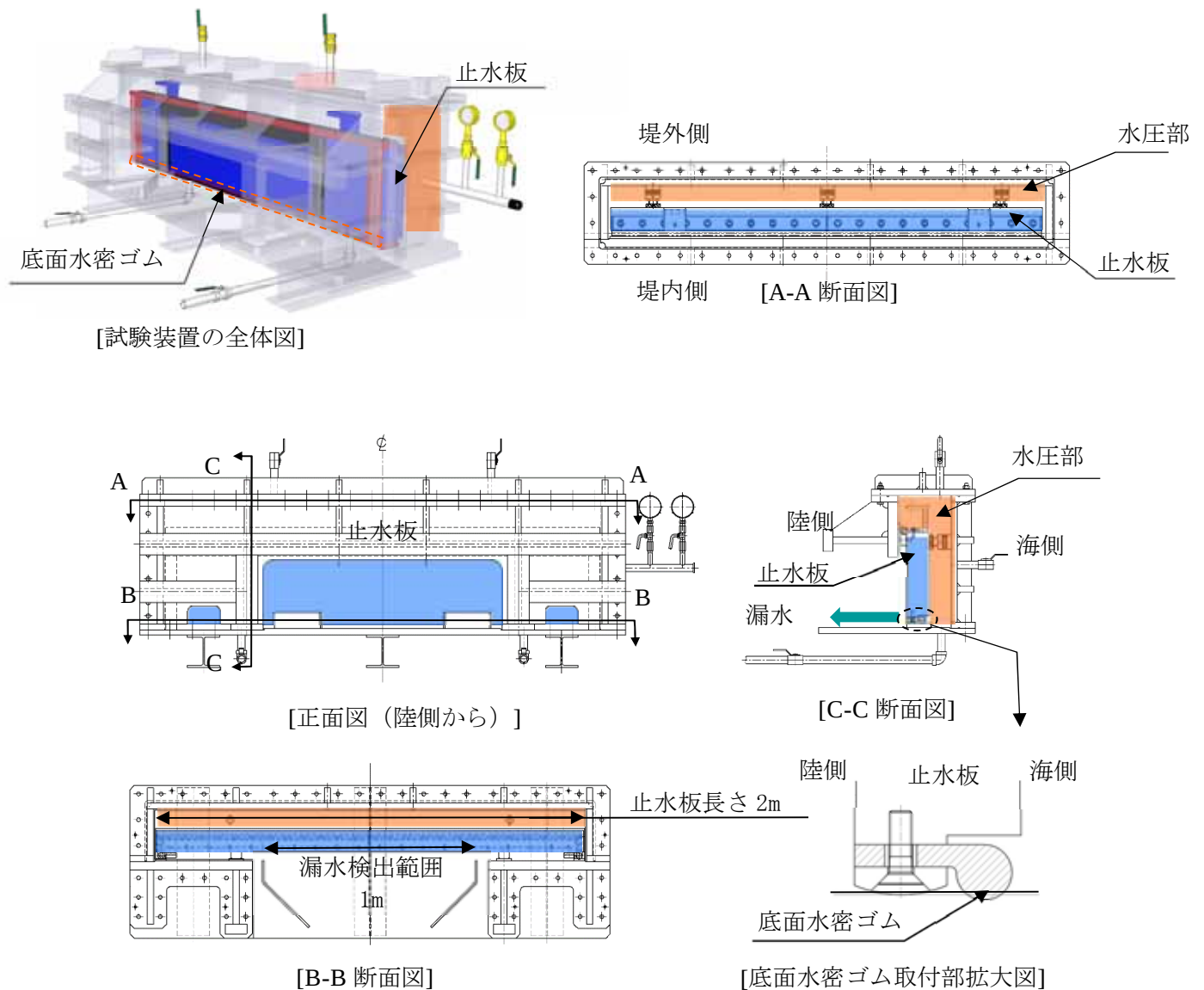


図 25 試験装置概要図

表16 漏水試験結果

	区分	試験圧力 (MPa)	時間 (分)	漏水量 ^{※1} (ℓ/10分)	許容 漏水量 (ℓ/10分)	判定
試験体1	未使用品	0.20	10	0.020	2.0	○
試験体2		0.20	10	0.029	2.0	○
試験体3	劣化状態 を仮定	0.17	10	0.039	1.7 ^{※2}	○
		0.66	10	0.625	6.7 ^{※2}	○
		0.17	10	0.440	1.7 ^{※2}	○
		0.66	10	0.525	6.7 ^{※2}	○

※1：漏水量は1 mあたり10分間漏水量。

※2：未使用品（新品）の場合の許容漏水量

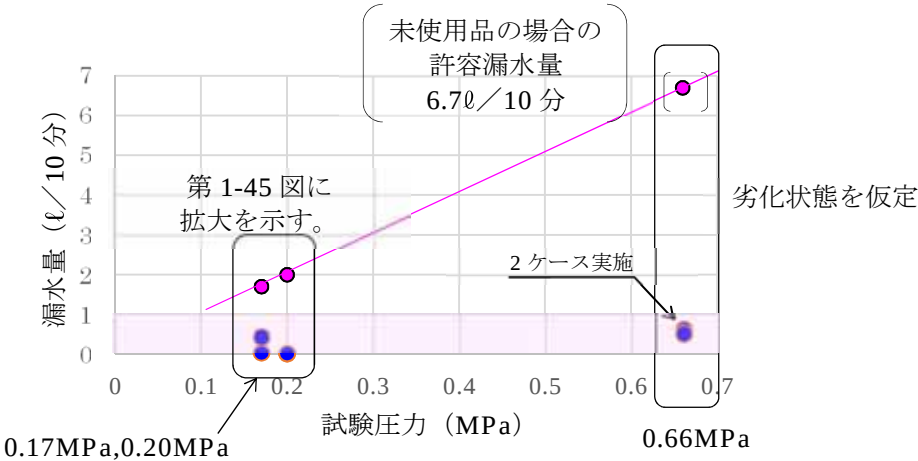


図 26 試験圧力と漏水量（高圧）

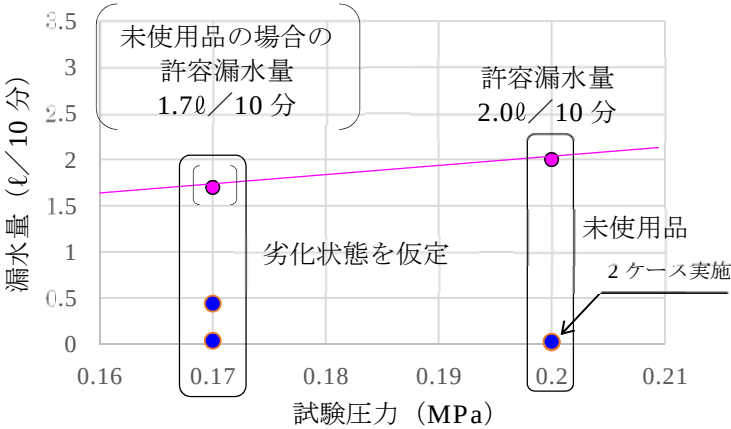


図 26 試験圧力と漏水量（低圧）

【参考】実証試験において想定される不具合と対策（案）

実証試験において想定される不具合として、止水板の浮上りや水密ゴムの噛み込み等が考えられるため、以下の対策（案）を検討している。

対策（案）の実施に当たっては、二次元・三次元動的解析の結果も踏まえ、原因の分析を十分に行い、必要に応じて対策を実施する。

図 27 に要因と対策（案）を示す。

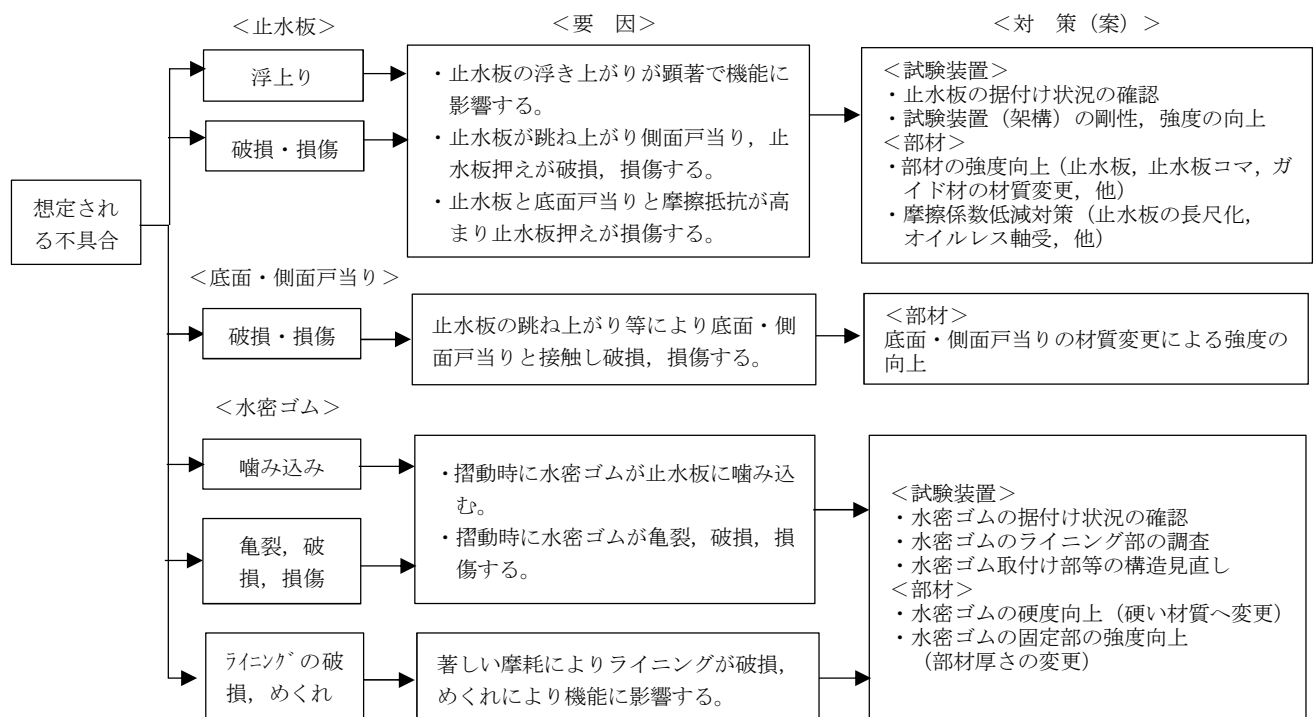


図 27 実証試験時における不具合時に対する対策（案）

6.1.3.2 止水機構（1次止水機構）の実証試験の試験要領について

1. 目 的

止水機構の地震時及び余震+津波時の追従性を確認するため、実規模大の試験装置を用いた試験（以下「実証試験」という。）を行い、止水板の挙動を確認することにより、変位追従性、水密ゴムの健全性を確認する。本件は、実証試験の試験要領を示す。

2. 試験期間及び場所

実施時期：平成30年5月9日（水）～17日（木）（予定）

場 所

A rectangular box with a black border, used to redact information, likely the location of the test.

3. 試験体制

実証試験体制は、図1に示す。

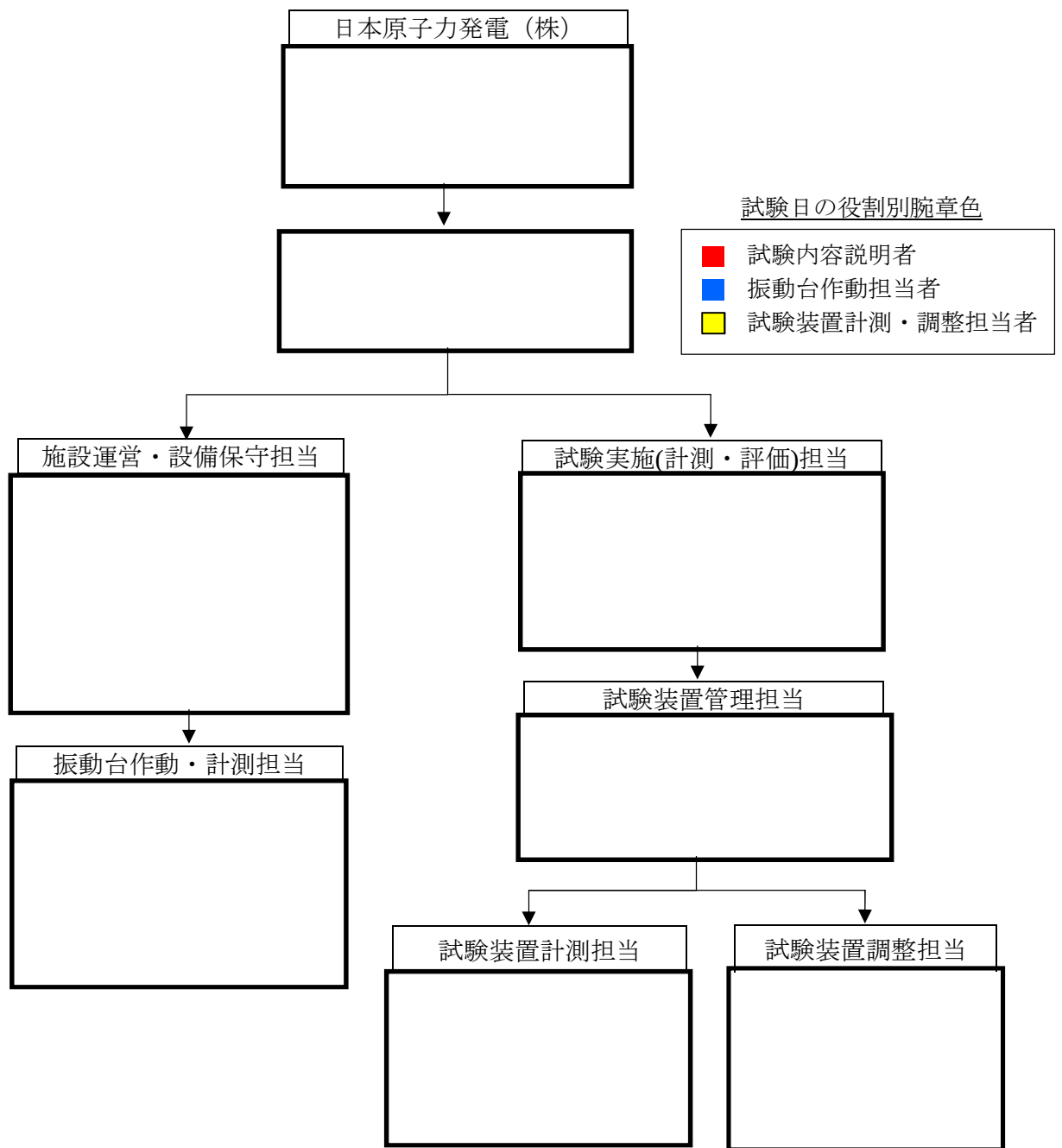


図 1 実証試験体制

4. 実証試験装置の概要

振動台の上に1次止水機構を設置し、水平方向と鉛直方向とを同時加振する。図2に大型3軸振動台の概要、図3に振動台の平面図、図4に試験装置のイメージ図を示す。

振動台の仕様

加振自由度	3軸6自由度		
最大積載重量	80 t f		
テーブル寸法	X : 6m × Y : 4m		
定格	X 方向	Y 方向	Z 方向
最大変位	±300mm	±150mm	±100mm
最大加速度 (35 t 積載時)	1G (水平)	3G (水平)	1G (鉛直)

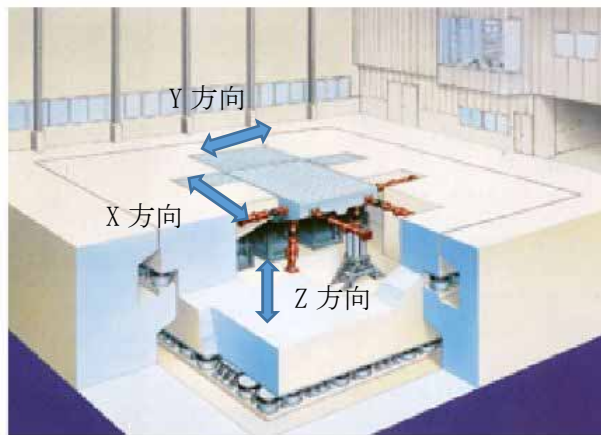


図2 大型3軸振動台の概要



図 3 振動台平面図



図 4 試験装置の鳥観図

5. 試験条件

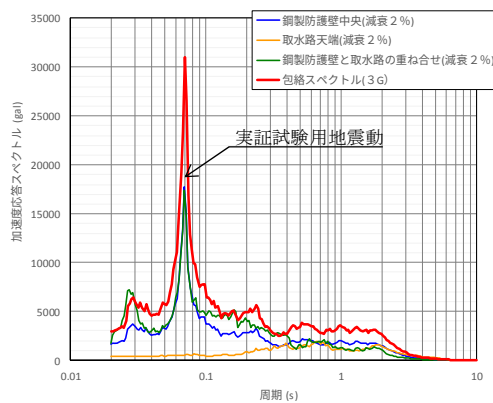
(1) 実証試験用地震動

振動台に入力する実証試験用地震動は、本震として基準地震動 S_s を包絡させた地震動及び余震+津波時として津波波圧を模擬的に与えた条件にて実証試験を実施する。表 1 に実証試験用応答スペクトルに用いる入力地震動を示す。

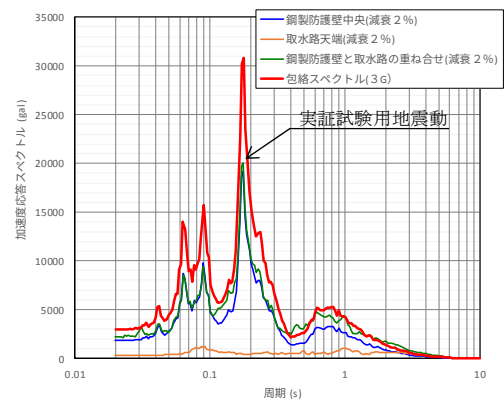
図 5 に本震による三方向（X，Y，Z）の実証試験用地震動の加速度応答スペクトルを示す。模擬地震動の詳細については「6.1.3.4 実証試験に用いる地震動の作成，実証試験及び三次元動的解析のケースについて」に示す。

表 1 実証試験用応答スペクトルに用いる入力地震動

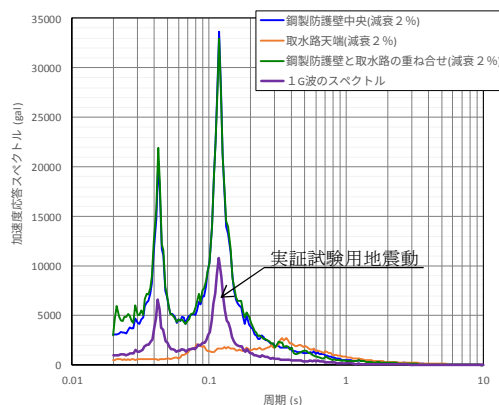
種類	入力地震動
本震	$S_s - D1$
余震+津波	$S_d - D1$



加速度応答スペクトル X 方向（NS）



加速度応答スペクトル Y 方向（EW）



加速度応答スペクトル Z 方向

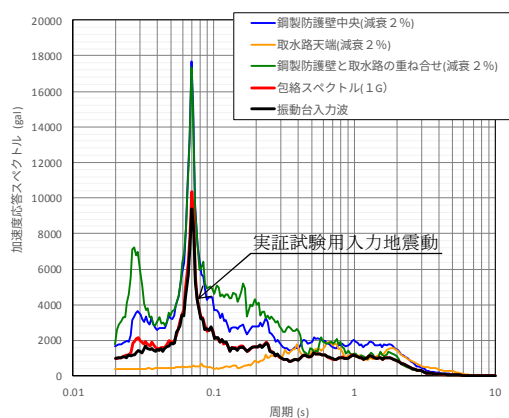
図 5 本震による三方向（X，Y，Z）の実証試験用地震動の加速度応答スペクトル

(2) 実証試験用入力地震動

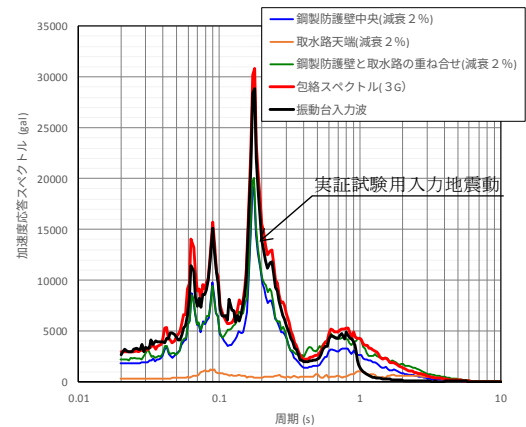
実証試験用入力地震動は、変位量に対する振動台性能の制限内に地震動を収めることを目的として、実証試験用地震動にハイパスフィルター（HPF）を掛け、長周期成分をカットした地震動である。

実証試験に用いる振動台へ入力する入力波形を図6に示す。

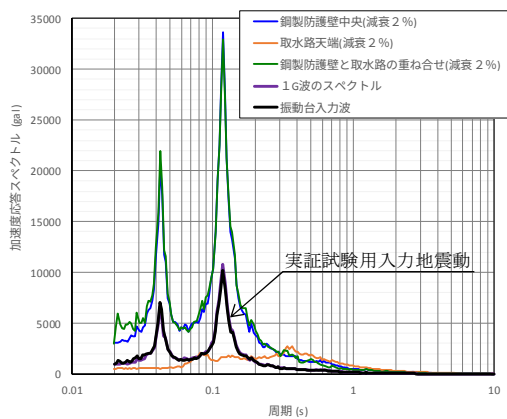
図6の入力加速度が最大3GであるY方向（EW）の加速度応答スペクトル図から周期1sec付近でHPFが掛かっていることが読み取れるが、最大加速度レベルは実証試験用地震動とほぼ同一レベルであることを確認した。



加速度応答スペクトルX方向（NS）



加速度応答スペクトルY方向（EW）



加速度応答スペクトルZ方向

図6 本震による三方向（X，Y，Z）の実証試験用入力地震動の加速度応答スペクトル

(3) 実証試験ケースと三次元動的解析ケース

表 2 に本震時、表 3 に余震時の実証試験のケースと三次元動的解析のケースを示す。

表 2 本震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		備 考
	X	Y	Z	実証試験	実機	
① 3 方向 (X 方向 (堤軸) 包絡波)	1 G	3 G (X 包絡波)	1 G	○	○	3 方向同時 (Y 方向に X 方向の地震動を入力。方向反転)
② 3 方向 (Y 方向 (堤軸直角) 包絡波)	1 G	3 G (Y 包絡波)	1 G	○	○	3 方向同時 (図 7 に実証試験用入力地震動)
③鉛直 (鋼製防護壁包絡波)	—	—	1 G	○	—	鉛直単独
④鉛直 (取水路側包絡波)	—	—	波形 入力	○	○	鉛直単独 (図 8 に実証試験用入力地震動)
⑤基準地震動 (S_s) (S_s -D1)	—			—	○	3 方向同時
⑥基準地震動 (S_s)	—			—	○	3 方向同時

○：解析実施ケース

表 3 余震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		備 考
	X	Y	Z	実証試験	実機	
① 3 方向 (Y 方向 (堤軸直交) 包絡波)	1 G	2 G (Y 包絡波)	1 G	○	○	3 方向同時
②鉛直 (鋼製防護壁波形入力)	—	—	1 G	—	—	鉛直単独
③鉛直 (取水路側波形入力)	—	—	波形 入力	○	○	鉛直単独
④基準地震動 (S_d) (S_d -D1)	—			—	○	3 方向同時

○：解析実施ケース

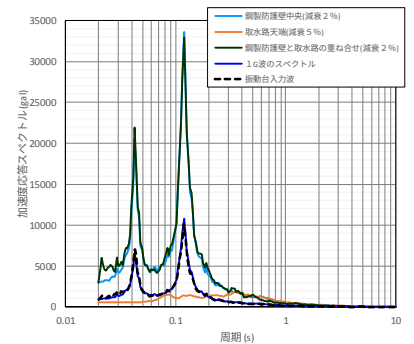
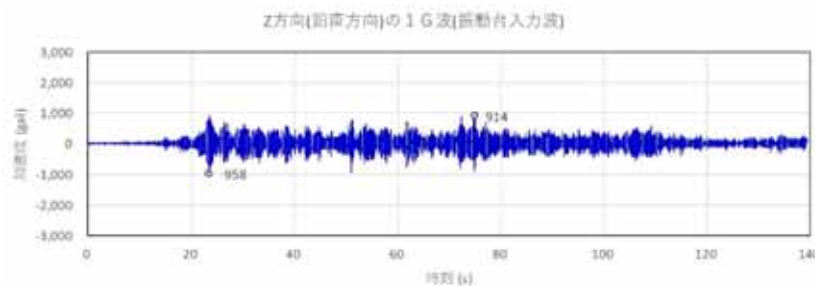
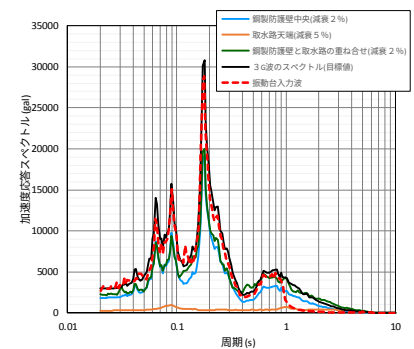
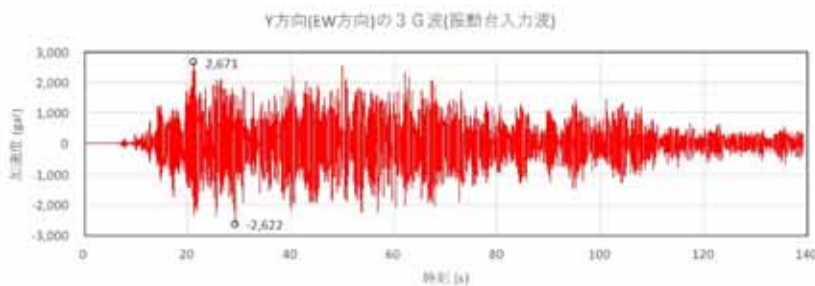
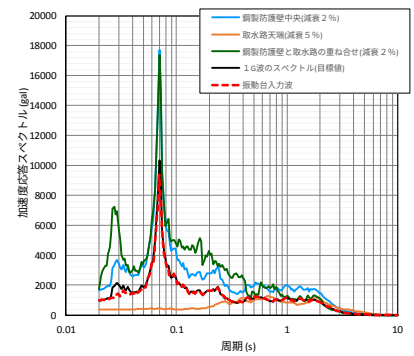
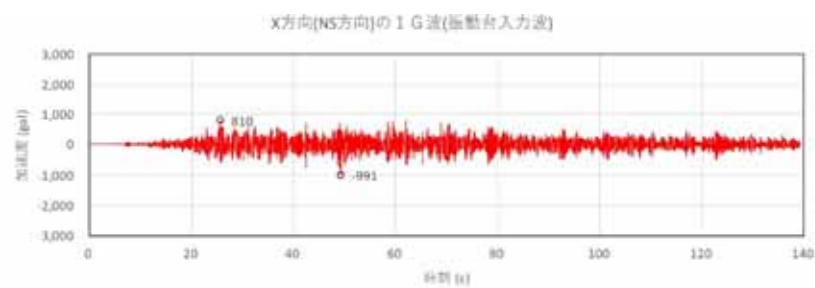


図7 ②3方向（Y方向（堤軸直交）包絡波）実証試験用入力地震動

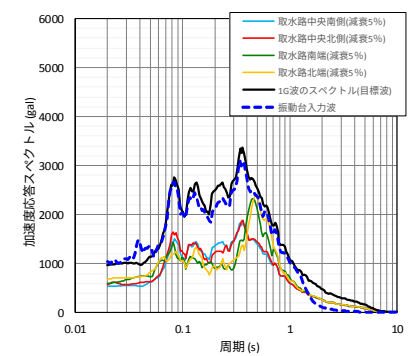
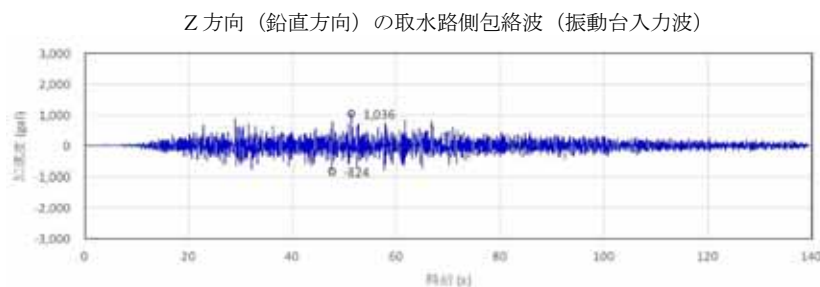


図8 ④鉛直（取水路側包絡波）実証試験用入力地震動

(4) 試験回数

実証試験に用いる入力地震動（ S_s-D1 ， S_d-D1 ）による確認は、止水板の挙動の再現性を確認するため、表4の試験回数の設定のとおり2回ずつ実施する。

表4 試験回数の設定

	本震	余震+津波
試験回数	2回	2回

(5) 摩擦係数の設定

止水板に設置する側面・底面水密ゴムは、材料証明書にてダム堰施設技術基準の物性値であることを確認した未使用品のものを使用するため、摩擦係数は0.2の状態とする。表5に水密ゴムの物性値及び試験方法の規格を示す。

表5 水密ゴムの物性値及び試験方法の規格

	試験項目		物性値	規格値	試験条件・試験方法
通常	硬さ (DUR0-A型)		55	55 ± 5	JIS K 6253
	引張り 強さ	(MPa)	16.3	14.7以上	JIS K 6251
		(kgf/cm ²)	166	150以上	
	伸び (%)		500	300以上	

(6) 余震時の波圧の設定について

余震時においては、余震+津波の津波高さの圧力を想定する必要があるため、津波による荷重を以下のとおり止水板に負荷し、実証試験を実施する。

◆水平方向荷重

止水板1枚(2m)当り3カ所×2セットの水圧負荷装置により29.0 kN以上の荷重を掛ける。

$$W_h = 86.7 \text{ kN/m} \times 2 \text{ m} \div (3 \times 2) = 28.9 \text{ kN} \approx 29.0 \text{ kN}$$

<水平方向水圧荷重(単位 m 当たり)>

$$W_H = 1/2 \cdot (h^2 - h_1^2) \cdot \gamma_w$$
$$= 1/2 \times (20.90^2 - 20.485^2) \times 10.1 = 86.7 \text{ kN/m}$$

γ_w : 海水の単位体積重量 10.1 kN/m

◆鉛直方向荷重

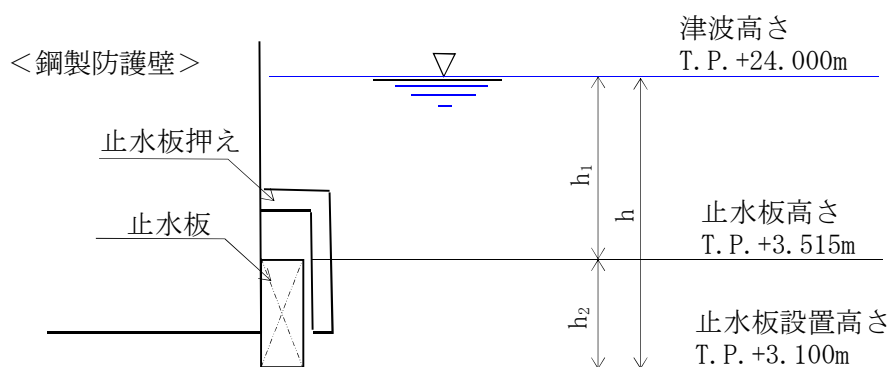
止水板1枚(2m)当り2カ所×2セットの水圧負荷装置により29.0kN以上の荷重を掛ける。

$$W_v = 29.0 \text{ kN/m} \times 2 \text{ m} \div 2 = 29.0 \text{ kN}$$

<鉛直方向水圧荷重(単位 m 当たり)>

$$W_v = h_1 \cdot \gamma_w \cdot B'$$
$$= 20.485 \times 10.1 \times 0.14 = 29.0 \text{ kN/m}$$

B' : 鉛直方向受圧厚さ 0.14m



$$h = 20.9 \text{ m}$$

$$h_1 = 20.485 \text{ m}$$

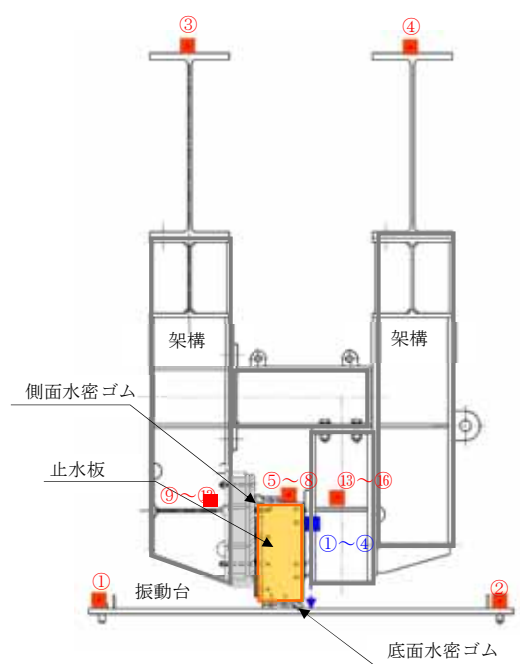
$$h_2 = 0.415 \text{ m}$$

(7) 実証試験に係る計測項目

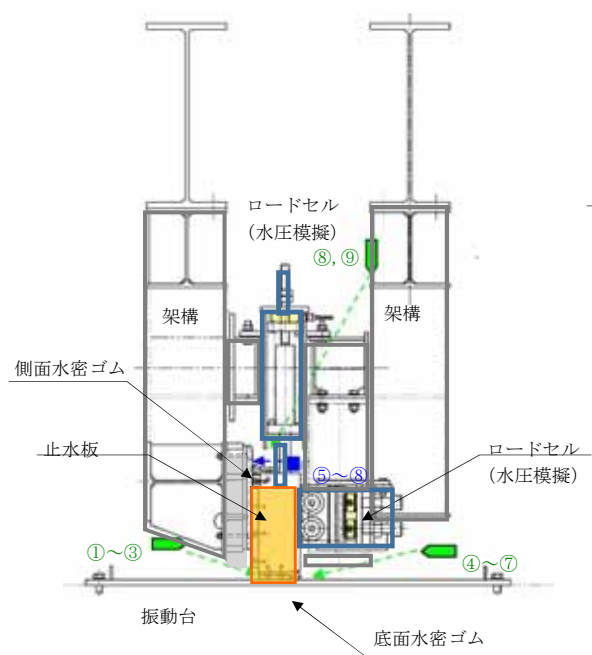
実証試験における計測項目（表6）計測箇所（図9）及び計測器一覧（表7）を示す。

表6 実証試験における計測項目

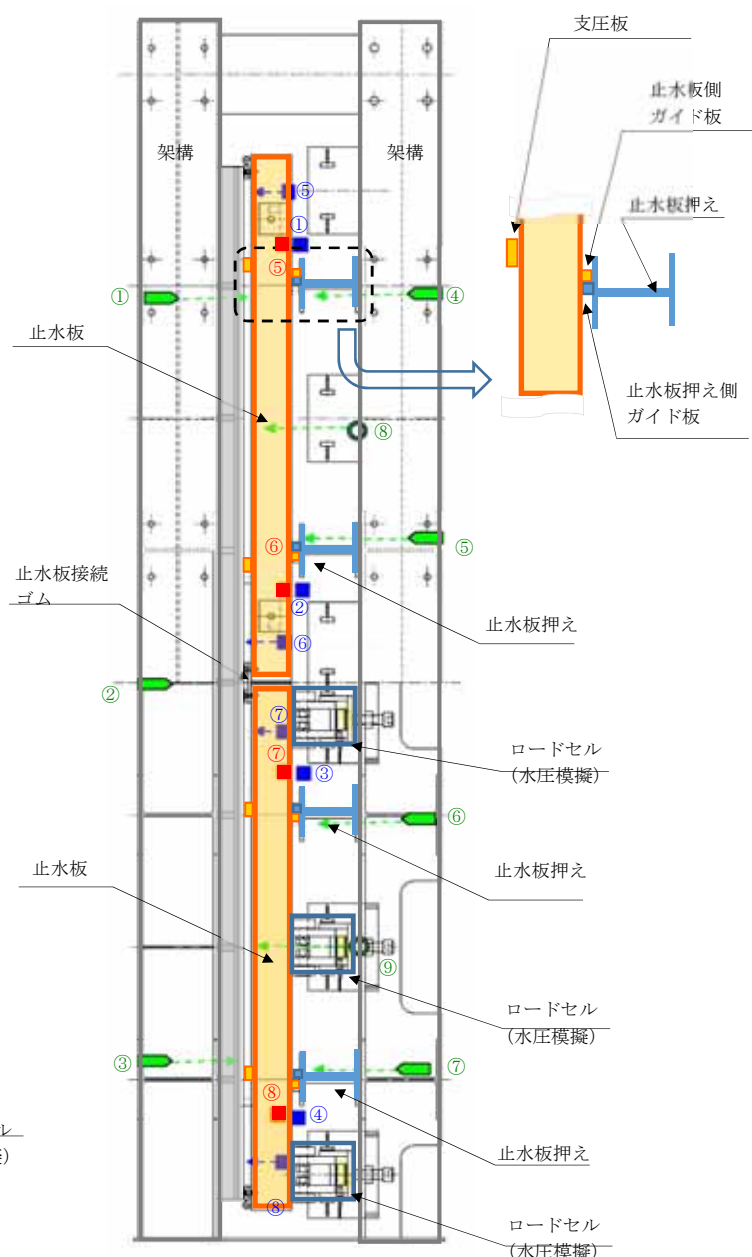
各部位	目的	確認項目	
①止水板押え	止水板の追従性に影響を与える部材の健全性を確認する。	挙動確認	◆止水板押えの加速度計測（⑬～⑯）
		健全性確認	◆寸法計測 ・止水板押えと止水板の隙間計測 ・止水板押え側ガイド板の平面度測定 ・止水板押え側ガイド板と止水板側ガイドとの寸法測定 ◆外観目視検査 ・変形，摩耗等の確認
④止水板 （底面止水板コマ部含む）	止水板の追従性及び健全性を確認する。	挙動確認	◆止水板と底面，側面戸当りの変位計測（①～⑧） （レーザー変位計による止水板の挙動確認） ◆止水板の加速度計測（⑤～⑧） ◆ビデオ撮影（①～⑨）
		健全性確認	◆寸法計測 ・止水板，支圧板の寸法測定 ・止水板コマ寸法測定（寸法，板厚，摩耗量測定（試験後）） ◆外観目視，据付け状況検査 ・止水板コマ，支圧板の変形，摩耗，据付け等の確認
⑤底面戸当り ⑥側面戸当り	止水性に影響を与える部材の健全性を確認する。	挙動確認	◆加速度計測（底面・側面戸当り）（⑨～⑫） ◆ビデオ撮影（①～⑨）
		健全性確認	◆寸法測定 ・平面度測定 ◆外観目視，据付け状況検査 ・変形，摩耗，ゆがみ，据付け等の確認
底面・側面水密ゴム	止水板に追従し，水密性に影響がないことを確認する。	挙動確認	◆止水板と底面，側面戸当りの変位計測（①～⑧） （レーザー変位計による浮き上がり確認） ◆ビデオ撮影（①～⑨）
		健全性確認	◆寸法測定 ・水密ゴムの寸法計測（厚さ） ◆外観目視，据付け状況検査 ・変形，摩耗，亀裂，ライニング面，据付け等の確認 ◆漏水検査
止水板接続ゴム	止水板との接続部に影響がないことを確認する。	挙動確認	◆止水板の変位計測（①～⑧） （レーザー変位計による止水板の挙動を把握し，接続ゴムの変位を計測） ◆止水板の加速度計測（⑤～⑧） ◆ビデオ撮影（②）
		健全性確認	◆寸法測定 ・水密ゴムの寸法計測（寸法） ◆外観目視検査 ・変形，摩耗，亀裂の確認 ・底面・側面水密ゴムの接続箇所の確認 ◆水密ゴムの据付け状況確認



断面図（加速度計，レーザ変位計）



断面図（ロードセル（水圧模擬））



平面図

<凡例>

- : 加速度計
- : レーザ変位計
- : ビデオ撮影

本震時の計測機器に，更に水圧模擬するためロードセルを設置する。

図9 実証試験時の計測部位（本震時・余震+津波時）

表 7 計測器一覧

計測器	型番	メーカー	仕様	数量	備考
レーザー変位計			測定範囲 160～450 mm 繰返し精度 30 μ m 計測精度：0.1mm	4	鉛直 相対変位
			測定範囲 75～130 mm 繰返し精度 30 μ m 計測精度 0.01mm	4	水平 相対変位
加速度計			定格容量 ±20G 応答周波数範囲 500Hz 計測精度 0.02G±1%	16	X Y Z 方向
ロードセル			定格容量 50 k N 非直線性 ±0.05%	12	水平方向
			定格容量 100 k N 非直線性 ±0.2%	4	鉛直方向
C C D カメラ			f6 mm, 8 mm, 12 mm	6	
			f3.7 mm	3	
ビデオ カメラ			デジタルハイビジョン方式	2	全景用

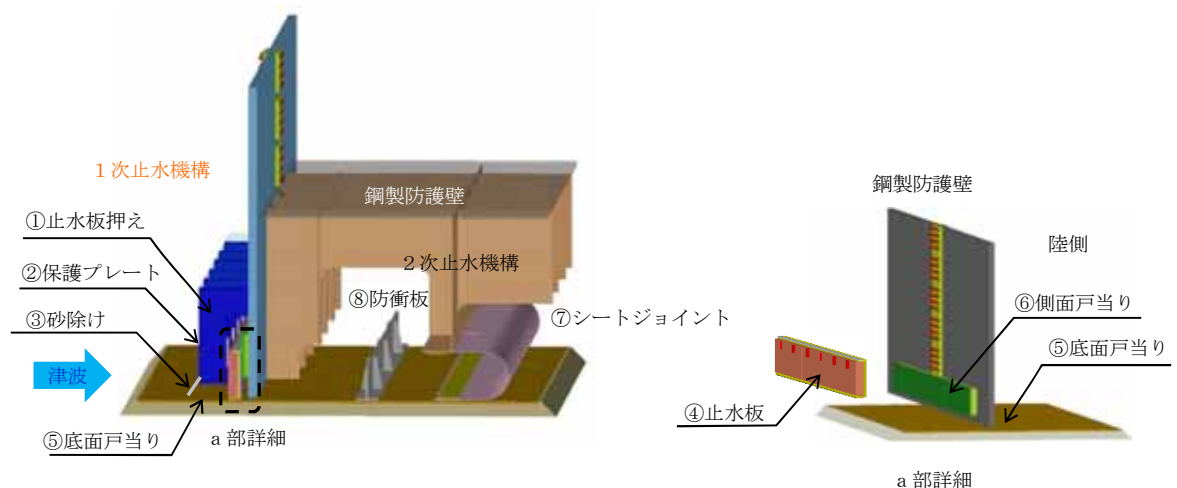
(8) 実証試験の計測項目と判定基準

実証試験では以下の項目について計測を行い「止水板の地震時の追従性」、「水密ゴムの健全性」及び「1次止水機構の構成部品の健全性」について確認し、止水機構全体に影響がないか確認する。表8に実証試験の計測項目と判定基準を示す。

表8 実証試験の計測項目と判定基準

機能目標	計測項目※	判定基準
止水板の地震時の追従性確認	◆追従性評価（ビデオ撮影） ◆変位計測（レーザー変位計） ◆加速度計測（加速度計） ◆外観目視検査	◆止水板の動作に異常がなく、止水板としての機能が保持されていること。（浮き上がり、止水板の破損・損傷）
水密ゴムの健全性確認	◆追従性評価（ビデオ撮影） ◆変位計測（レーザー変位計） ◆寸法計測 ◆外観目視点検	◆水密ゴムの動作に異常がなく機能が保持されていること。（噛み込み、摺動による亀裂、破損、摩耗） ◆水密ゴムのライニングに異常がなく機能が保持されていること。（ライニングの破損、めくれ）
1次止水機構の構成部品の健全性確認	◆止水板、側面戸当り、底面戸当り、止水板押え、架構等の外観目視点検 ◆三次元計測による試験装置全体の計測	◆装置全体に異常がなく健全であること。（試験装置、部材の変形、損傷、他）

※各部位毎の計測項目については、表7の1次止水機構の各部位毎の評価項目に示す。



止水機構の各名称

(9) 実証試験手順

実証試験は1回の実証試験で約3日間必要とする。そのため、実証試験の「本震」,「余震+津波」を実施し水密ゴムの計測等は4日目に実施する手順になる。表9に実証試験の実施手順を示す。

水密ゴムは、実際に想定しうる「本震」の後に「余震+津波」となるため、「余震+津波」の実証試験が終了するまでは同じものを通して使用する。

以下は1回目の試験手順を示す,2回目の試験手順も同様の手順で実施する。

表9 実証試験の実施手順(1回目)

時間帯	本 震 (1日目)	本 震 (2日目)	余震+津波1回 (3日目)
午前 (約3.5時間)	<試験前準備> ・各部外観検査,寸法計測 (試験前健全性確認) ・振動台の油圧上昇 (X Y Z 軸方向) ・振動台の油圧降下 ・止水板設置 ・計測器取付け ・水密ゴムの計測 ・水密ゴムの外観据付け検査	<試験前準備> ・同左	<試験前準備> ・同左
午後 (約4.5時間)	<試験前準備> ・振動台油圧上昇 ・ホワイトノイズ加振※	<試験枚準備> ・同左	<試験前準備> ・水密ゴムの外観据付け検査 ・水密ゴムの計測 ・水圧負荷装置設置
	<実証試験> ・実証試験(本震) ・加振終了後油圧降下	<実証試験> ・同左	<実証試験> ・油圧上昇 ・水平負荷装置荷重調整 ・実証試験(余震) ・水平負荷解除 ・加振終了後油圧降下
	<試験後> ・止水板取り外し ・水密ゴムの外観・据付け検査	<試験後> ・同左	<試験後> ・止水板取り外し ・水密ゴムの外観・据付け検査 ・水圧負荷装置取外し

(4日目)

- ・水密ゴム取外し,摩耗等計測
- ・各部外観検査,寸法計測(試験後健全性確認)
- ・品質記録の例を図10に示す。

※ホワイトノイズ加振とは

止水板を設置しない状態で試験装置の固有振動数を算出し,試験装置の固有振動数に有意な変化がないことを試験前に確認することで,試験装置が正常な状態であることを確認する。

発注者 日本原子力発電株式会社 殿													
業務名 東海第二発電所													
実験名 一次止水機構 振動試験													
実施日													
受注者													
再委託先													
実施場所													
試験 NO.	UPC 有無	計測場所 止水板	位置	底面止水板コマ厚さ(mm)		備考	試験 NO.	UPC 有無	計測場所 止水板	位置	底面止水板コマ厚さ(mm)		備考
				加振前	加振後						加振前	加振後	
1		右	右側				3	有り	右	右側			
			中央							中央			
			左側							左側			
		左	右側						左	右側			
			中央							中央			
			左側							左側			
2		右	右側				4	無し	右	右側			
			中央							中央			
			左側							左側			
		左	右側						左	右側			
			中央							中央			
			左側							左側			
摩擦量計測：0-100mmノギス													
備考	計測箇所 左 計測箇所 中央 CL 計測箇所 右側												

図 10 品質記録の例（1/3） （止水板の寸法計測の例）

発注者	日本原子力発電株式会社 殿									
業務名	東海第二発電所									
実験名	一次止水機構 振動試験									
実施日										
受注者										
再委託先										
実施場所										
止水板ガイド板間隔	止水板押えガイド板間隔		止水板押えガイド板間隔		ガイド板軸方向隙間(mm)		再委託先		担当	
位置	設計値(mm)	計測値(mm)	位置	設計値(mm)	計測値(mm)	B-A / 2		承認	審査	
右	上		右	上						
	下			下						
中央	上		中央	上						
	下			下						
左	上		左	上						
	下			下						

平面配置

陸側

平面配置

海側

備考	計測：スケール
----	---------

図 10 品質記録の例 (3/3) (止水板押えの間隔計測の例)

6.1.3.3 二次元・三次元動的解析の結果について

1. 目 的

止水機構の実規模大の試験装置を用いた試験（以下「実証試験」という。）では，基準地震動 S_s 及び余震＋津波時における止水板の挙動を確認することにより，変位追従性，水密ゴムの健全性を確認する。

本件では，実証試験に合わせて実施する二次元・三次元動的解析の結果について説明する。

2. 解析条件

(1) 二次元動的解析

<評価条件>

- ・解析コード：MARC（大規模解析対応非線形解析）
- ・地震動：基準地震動 S_s
- ・解析ケース：3ケース 地震時，津波時，津波時＋余震
解析モデルは図1に示す。
- ・水密ゴム摩擦係数：
常時：0.2（ダム・堰施設技術基準（案））（国土交通省）
劣化時の挙動把握（しきい値確認）：0.2～1.2
- ・金属間摩擦係数
止水板（接触面アルミニウム）と戸当り（ステンレス）：0.4
- ・評価対象部位：
底面水密ゴム，側面水密ゴム，止水板接続ゴム，止水板（止水板コマ含む），
止水板押え，底面・側面戸当り，止水板側ガイド板，支圧板
- ・許容応力：引張り強度，変形量（伸び）（水密ゴム）
弾性設計範囲内（止水板，その他の部材）
- ・評価項目：
応力評価，追従性評価（止水板浮上り），水压模擬，摩擦係数しきい値確認

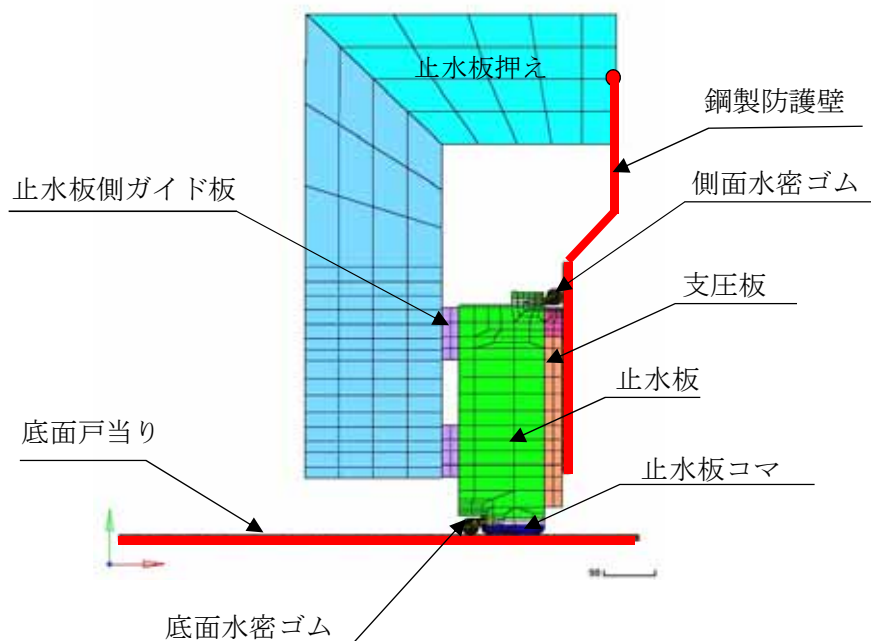


図1 二次元動的解析モデル

(2) 三次元動的解析

<評価条件>

- ・解析コード：MARC（大規模解析対応非線形解析）
- ・地震動：基準地震動 S_s
- ・解析ケース：3ケース 地震時，津波時，津波時＋余震
解析モデルは図2に示す。
- ・水密ゴム摩擦係数：
常時：0.2（ダム・堰施設技術基準（案））（国土交通省）
- ・金属間摩擦係数
止水板（接触面アルミニウム）と戸当り（ステンレス）：0.4
- ・評価対象部位：
底面水密ゴム，側面水密ゴム，止水板接続ゴム，止水板（止水板コマ含む），
止水板押え，底面・側面戸当り，止水板側ガイド板，支圧板
- ・許容応力：引張り強度，変形量（伸び）（水密ゴム）
弾性設計範囲内（止水板，その他の部材）
- ・評価項目：
応力評価，追従性評価（止水板2枚の挙動，浮上り），水圧模擬

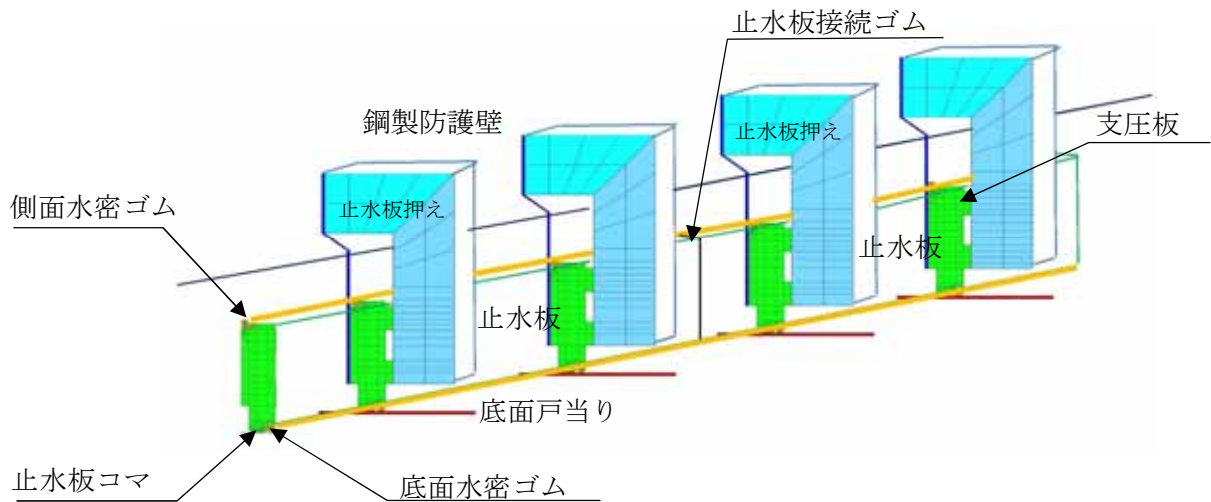


図2 三次元動的解析モデル

3. 三次元動的解析

(1) 実証試験モデルの解析条件

a. 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)

b. 解析内容 大変形超弾性解析 (止水ゴムを超弾性体として扱う)

c. モデルの説明

基本的に6面体ソリッド要素, 架台の部分はシェル要素として作成した。

d. 解析に用いる物性値および摩擦係数

各部の物性値と摩擦係数は表 1 に示す通り。モデル化に当たっては, ⑤底面戸当り, 鋼製防護壁 (⑥側面戸当り) は, 剛体としてモデル化した。

表1 物性値および摩擦係数

部位 (材質)	物性値	許容値	摩擦係数
①止水板押え (SM490)	縦弾性係数 205000MPa ポアソン比 0. 3	耐力 315MPa	-
④止水板 (SUS304)	縦弾性係数 197000MPa ポアソン比 0. 3	耐力 205MPa	-
底面・側面水密ゴム (合成ゴム+ ライニング 貼付け)	単軸引張試験結果	引張強さ 14. 7 MPa	0. 2
止水板コマ (アルミニウム銅合金)	縦弾性係数 110000MPa ポアソン比 0. 3	耐力 245MPa	0. 4 (金属間の摩擦係数)
支圧板 (超高分子ポリエチレン)	縦弾性係数 785MPa ポアソン比 0. 3	引張強さ 44MPa	0. 2
止水板側ガイド板 (アルミニウム銅合金)	縦弾性係数 110000MPa ポアソン比 0. 3	耐力 245MPa	0. 4

e. 解析モデルに考慮している隙間

止水機構の実機と同じ構造を模擬するため, 以下の箇所については, 解析モデル上も隙間を考慮し解析を実施する。図 3 に解析モデル上の隙間を示す。

①側面水密ゴムと側面戸当りの隙間 3mm

②底面水密ゴムと底面戸当りの隙間 3mm

③止水板ガイドと止水板押えの隙間 5mm

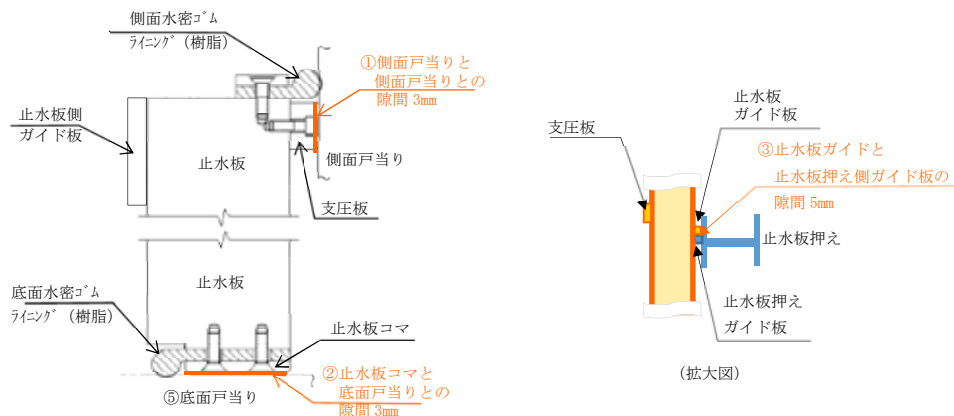


図 3 解析モデル上の隙間

f. 解析モデルの作成

実証試験モデルの解析モデルを図4に示す。

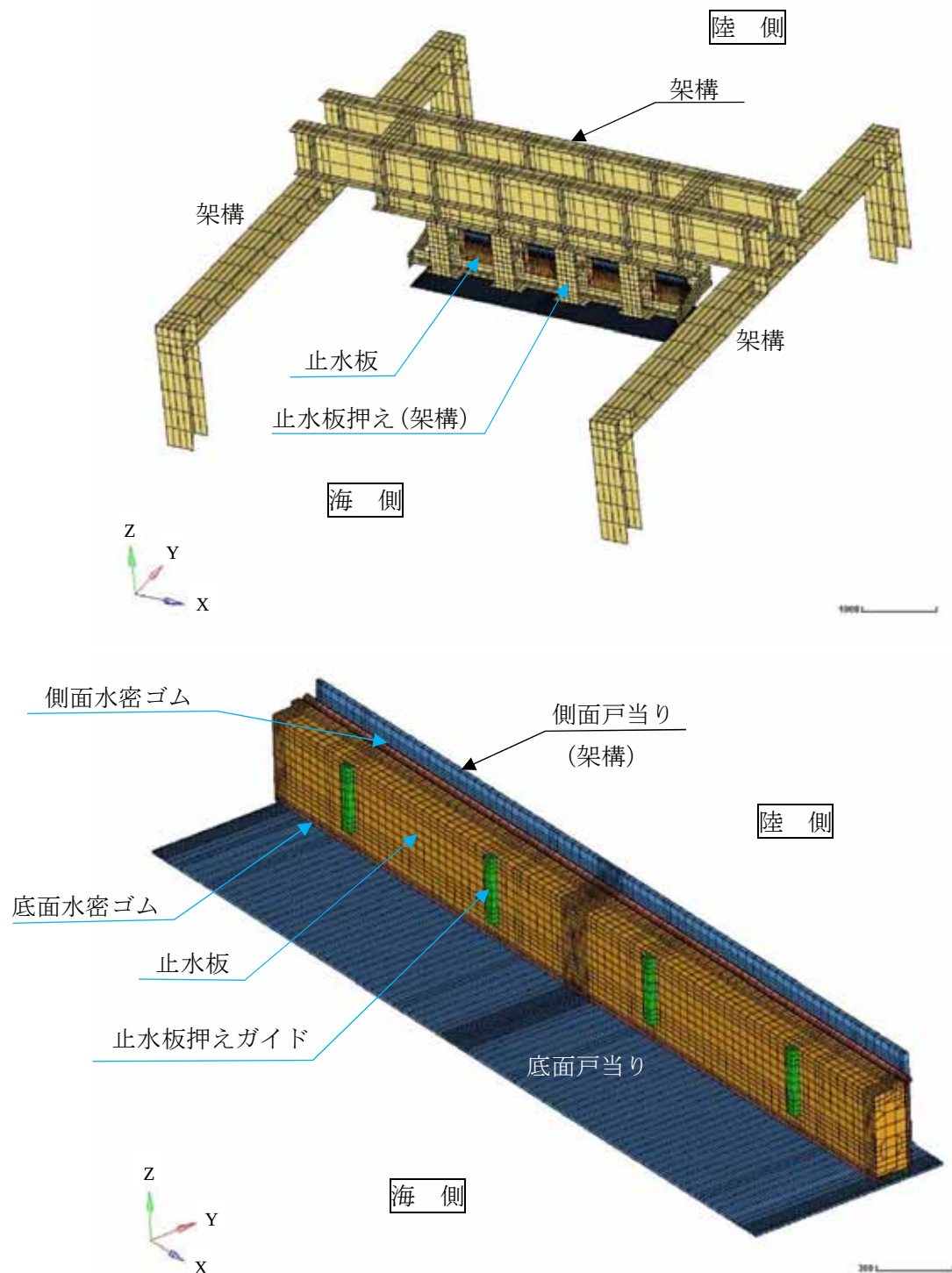


図4 三次元解析モデル（実証試験用）（1/2）

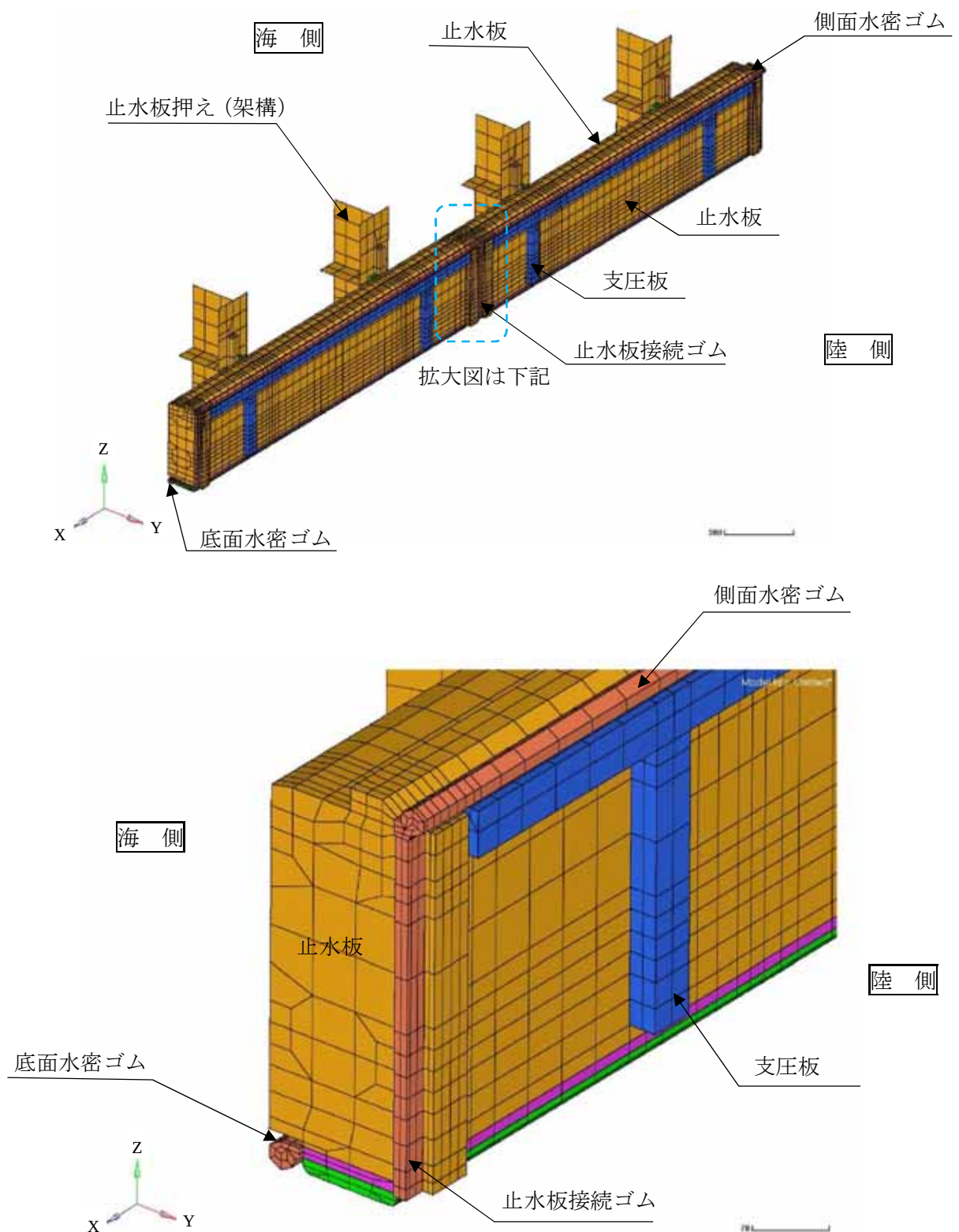


図4 三次元解析モデル（実証試験用）（2/2）

(2) 実機モデルの解析条件

- a. 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)
- b. 解析内容 大変形超弾性解析 (止水ゴムを超弾性体として扱う)
- c. モデルの説明

基本的に6面体ソリッド要素として作成した。

- d. 解析に用いる物性値および摩擦係数

各部の物性値と摩擦係数は表 1 に示す通り。

表1 物性値および摩擦係数

部位 (材質)	物性値	許容値	摩擦係数
①止水板押え (SM490)	縦弾性係数 205000MPa ポアソン比 0. 3	耐力 315MPa	-
④止水板 (SUS304)	縦弾性係数 197000MPa ポアソン比 0. 3	耐力 205MPa	-
底面・側面水密ゴム (合成ゴム+ ライニング 貼付け)	単軸引張試験結果	引張強さ 14. 7 MPa	0. 2
止水板コマ (アルミニウム銅合金)	縦弾性係数 110000MPa ポアソン比 0. 3	耐力 245MPa	0. 4 (金属間の摩擦係数)
支圧板 (超高分子ポリエチレン)	縦弾性係数 785MPa ポアソン比 0. 3	引張強さ 44MPa	0. 2
止水板側ガイド板 (アルミニウム銅合金)	縦弾性係数 110000MPa ポアソン比 0. 3	耐力 245MPa	0. 4

- e. 解析モデルに考慮している隙間

止水機構の実機と同じ以下の箇所については、解析モデル上も隙間を考慮し解析を実施する。図 5 に解析モデル上の隙間を示す。

- ①側面水密ゴムと側面戸当りの隙間 3mm
- ②底面水密ゴムと底面戸当りの隙間 3mm
- ③止水板ガイドと止水板押えの隙間 5mm

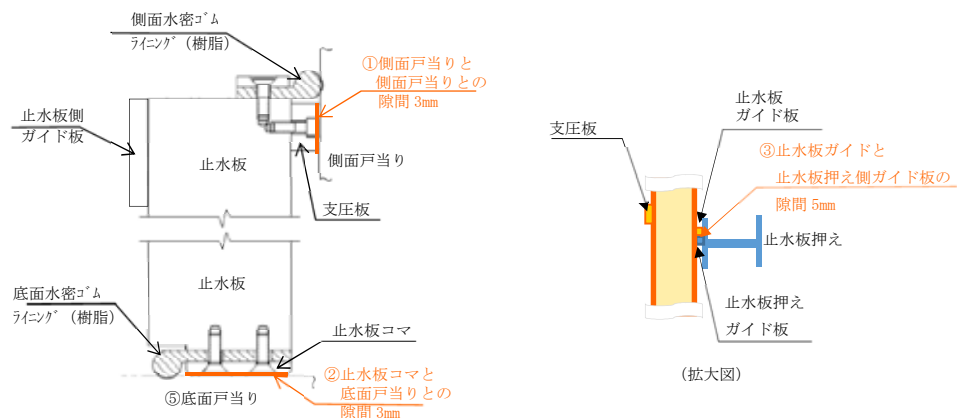


図 5 解析モデル上の隙間

f. 解析モデルの作成

実機モデルの解析モデルを図 6 に示す。

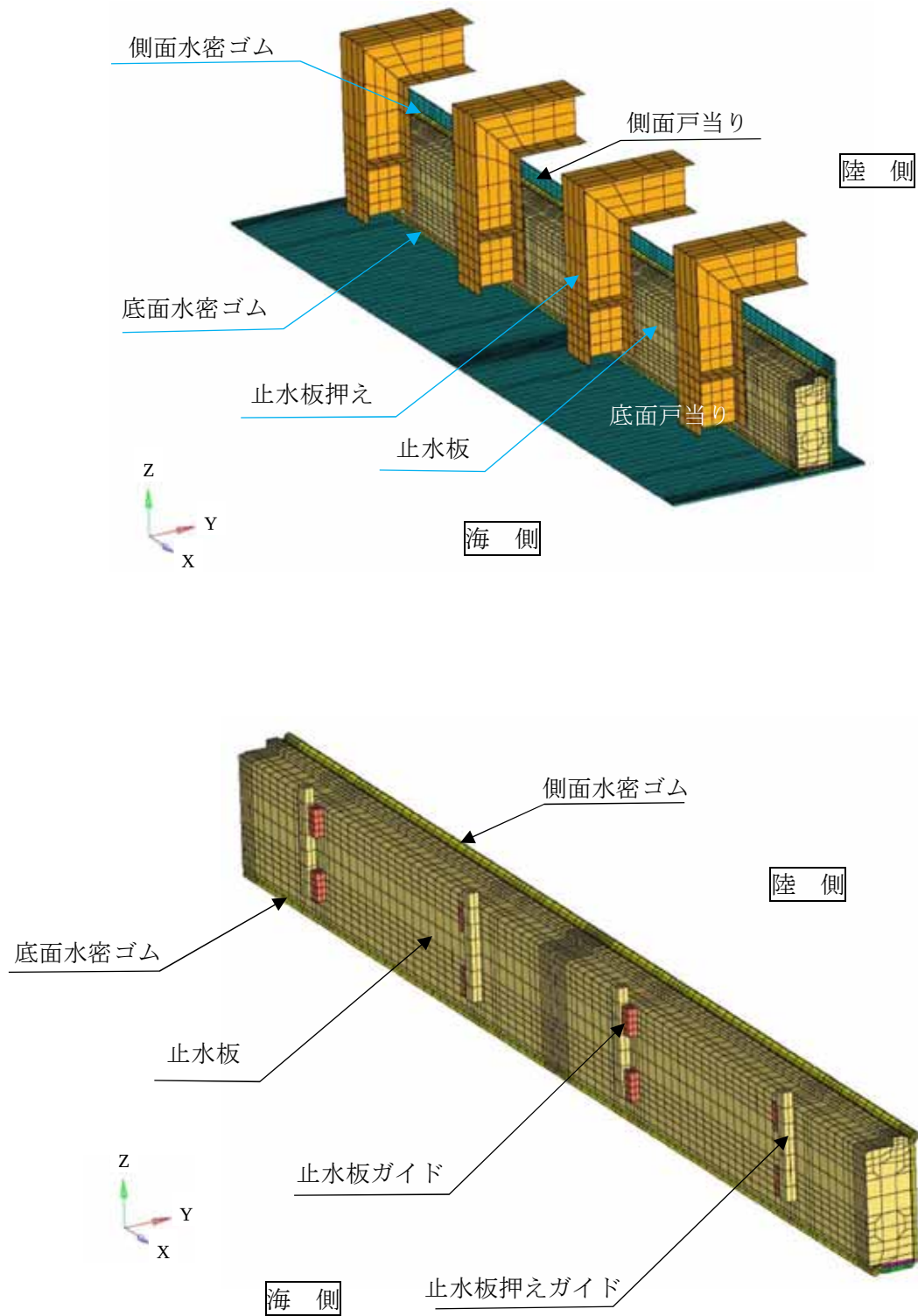


図 6 三次元解析モデル（実機用）（1/2）

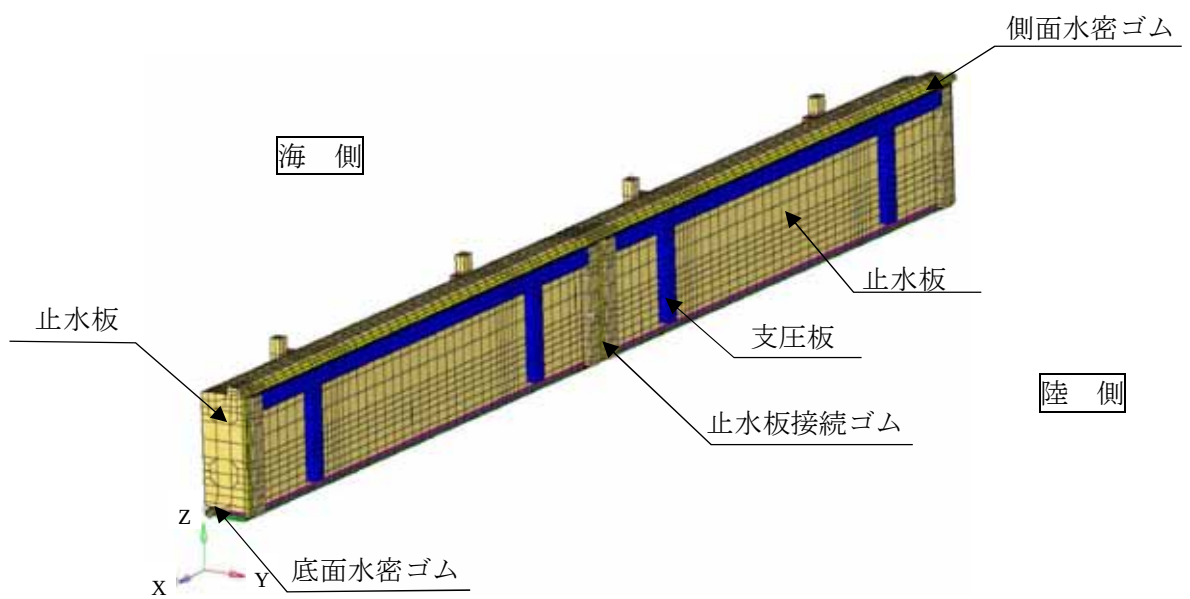
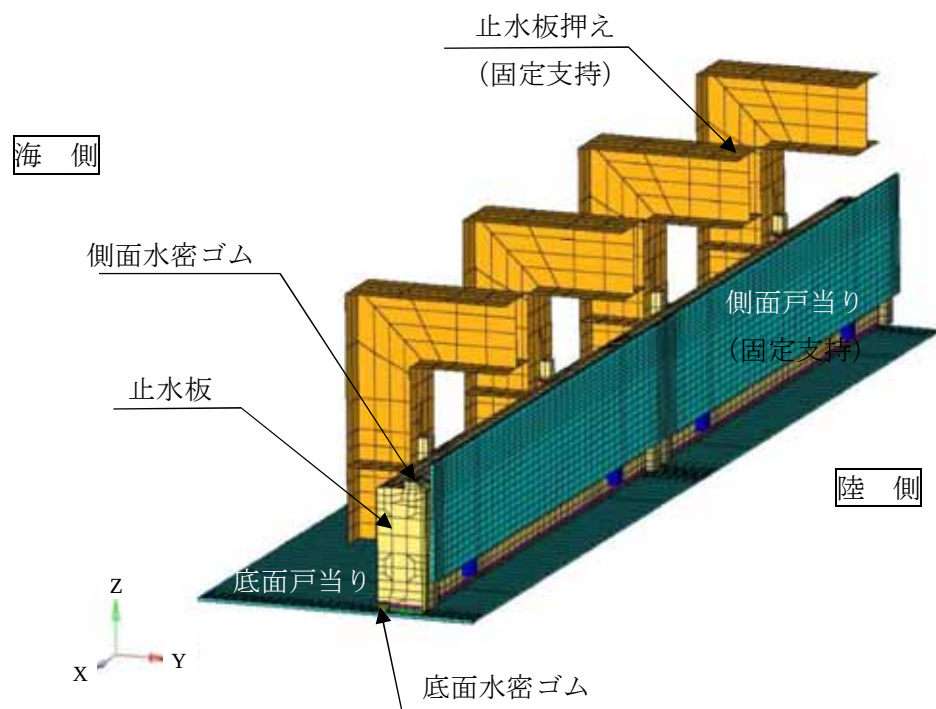


図6 三次元解析モデル（実機用）（2/2）

(3) 実証試験と三次元動的解析ケースの目的について

三次元動的解析と実証試験検証における検証ケースとして、3方向加振試験の場合は②の三次元動的解析と実証試験を検証ケースとし、鉛直方向については、④の三次元動的解析と実証試験を検証ケースとして実施する。その他のケースについては、主にデータ拡充の観点から止水板の挙動について確認する。表2に実証試験及び三次元動的解析ケースの目的を示す。

表2 実証試験及び三次元動的解析ケースの目的

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		各実証試験及び三次元動的解析ケースの目的
	X	Y	Z	実証試験	実機	
① 3方向 (X方向(堤軸) 包絡波)	1 G	3 G (X包絡波)	1 G	○	○	【データ拡充】3方向データ ◆実証試験において、鋼製防護壁側の堤軸側の水平方向の包絡波を入力し止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。 ◆3次元動的解析における止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。
② 3方向 (Y方向(堤軸直 角)包絡波)	1 G	3 G (Y包絡波)	1 G	○	○	【検証ケース】3方向データ(実機と同じ方向確認) ◆実証試験において鋼製防護壁側の堤軸直角側の水平方向の包絡波を入力し止水板の挙動を確認する。 ◆3次元動的解析については、実証試験と実証試験ケースの検証を行うと共に実機ケースモデルとの解析検証を行いモデルの妥当性についても確認する。
③ 鉛直 (鋼製防護壁包 絡波)	—	—	1 G	○	—	【データ拡充】鉛直方向データ ◆実証試験において鋼製防護壁側の鉛直方向の加速度(1G)を取水路側の鉛直方向に入力し、止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。 ◆3次元動的解析における止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。
④ 鉛直 (取水路側包絡波)	—	—	波形 入力	○	○	【検証ケース】鉛直方向データ(実機と同じ方向確認) ◆実証試験において止水板の挙動は、鉛直方向からの慣性力が支配的と考えられることから本件をベースケースとした実証試験を実施し、鉛直からの変位量を計測する。実機と同じ方向で確認 ◆3次元動的解析については、実証試験と実証試験ケースの検証を行うと共に実機ケースモデルとの解析検証を行いモデルの妥当性についても確認する。

(4) 三次元動的解析結果

表 3 に本震時、表 4 に余震時の三次元動的解析ケースと解析結果を示す。

表 3 本震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		備 考
	X	Y	Z	実証試験	実機	
① 3 方向 (X 方向 (堤軸) 包絡波)	1 G	3 G (X 包絡波)	1 G	○	○	3 方向同時 (Y 方向に X 方向の地震動 を入力。方向反転) 図 7, 8 に記載
② 3 方向 (Y 方向 (堤軸直角) 包絡波)	1 G	3 G (Y 包絡波)	1 G	○	○	3 方向同時 図 9, 図 10 に記載
③ 鉛直 (鋼製防護壁包絡波)	—	—	1 G	○	—	鉛直単独 図 11, 図 12 に記載
④ 鉛直 (取水路側包絡波)	—	—	波形 入力	○	○	鉛直単独 図 13, 図 14 に記載
⑤ 基準地震動 (S_s) (S_s -D1)	—			—	○	3 方向同時
⑥ 基準地震動 (S_s)	—			—	○	3 方向同時

○: 解析実施ケース

表 4 余震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

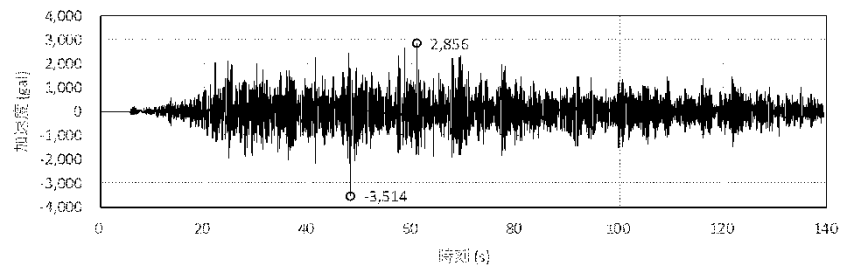
	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		備 考
	X	Y	Z	実証試験	実機	
① 3 方向 (Y 方向 (堤軸直交) 包絡波)	1 G	2 G (Y 包絡波)	1 G	○	○	3 方向同時
② 鉛直 (鋼製防護壁波形入力)	—	—	1 G	—	—	鉛直単独
③ 鉛直 (取水路側波形入力)	—	—	波形 入力	○	○	鉛直単独
④ 基準地震動 (S_d) (S_d -D1)	—			—	○	3 方向同時

○: 解析実施ケース

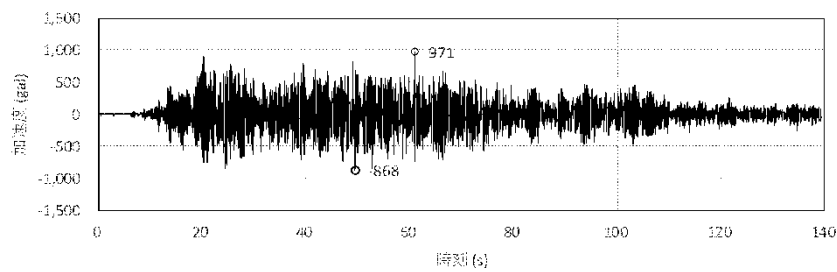
①3 方向（X 方向（堤軸）包絡波）の解析結果

（a）加速度時刻歴

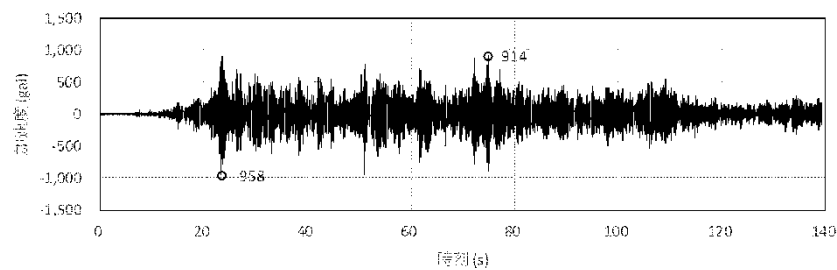
3 軸方向（X, Y, Z）の加速度時刻歴を図 7 に示す。



水平（X 方向）加速度



水平（Y 方向）加速度



鉛直（Z 方向）加速度

図 7 3 方向（X 方向（堤軸）包絡波）の加速度応答時刻歴

(b) 実証試験モデルの解析結果

実証試験モデルの解析結果を図 8 に示す。

浮き上がり量は最大で 0.55mm (図 8-1) であることを確認した。

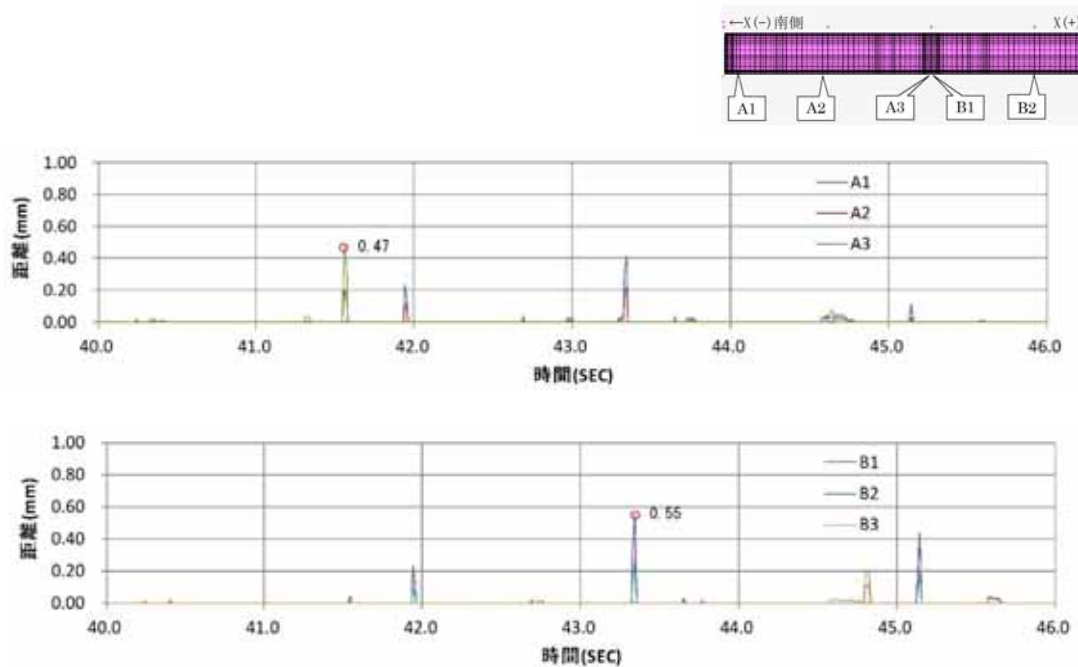


図 8-1 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮上り量)

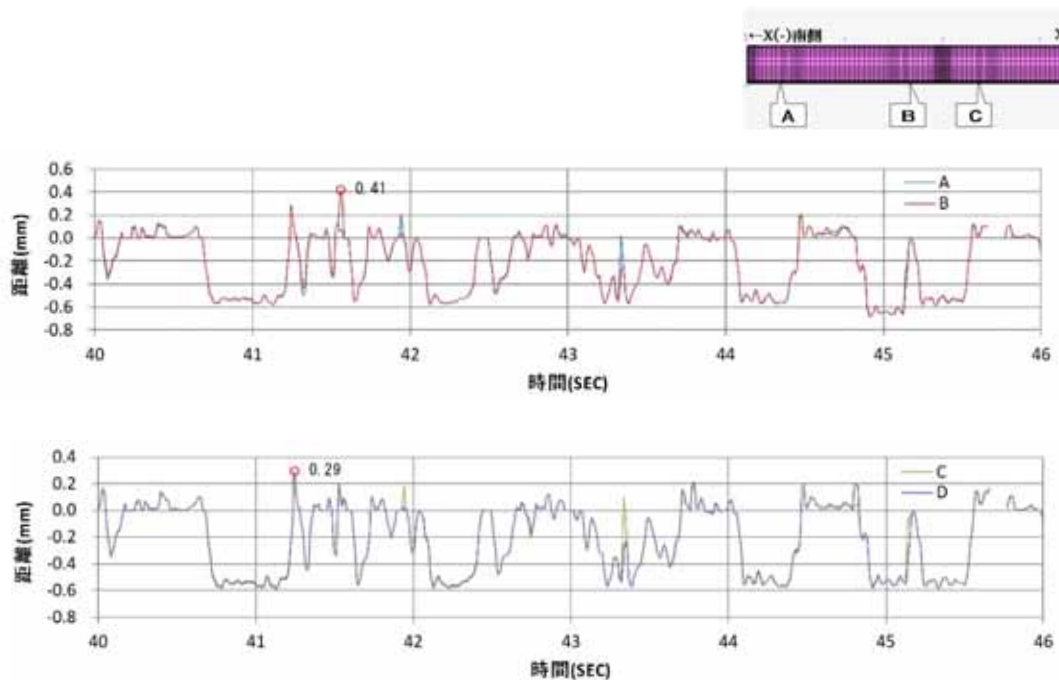


図 8-2 止水板と底面戸当りとの距離 (浮上り量) 実証試験計測位置

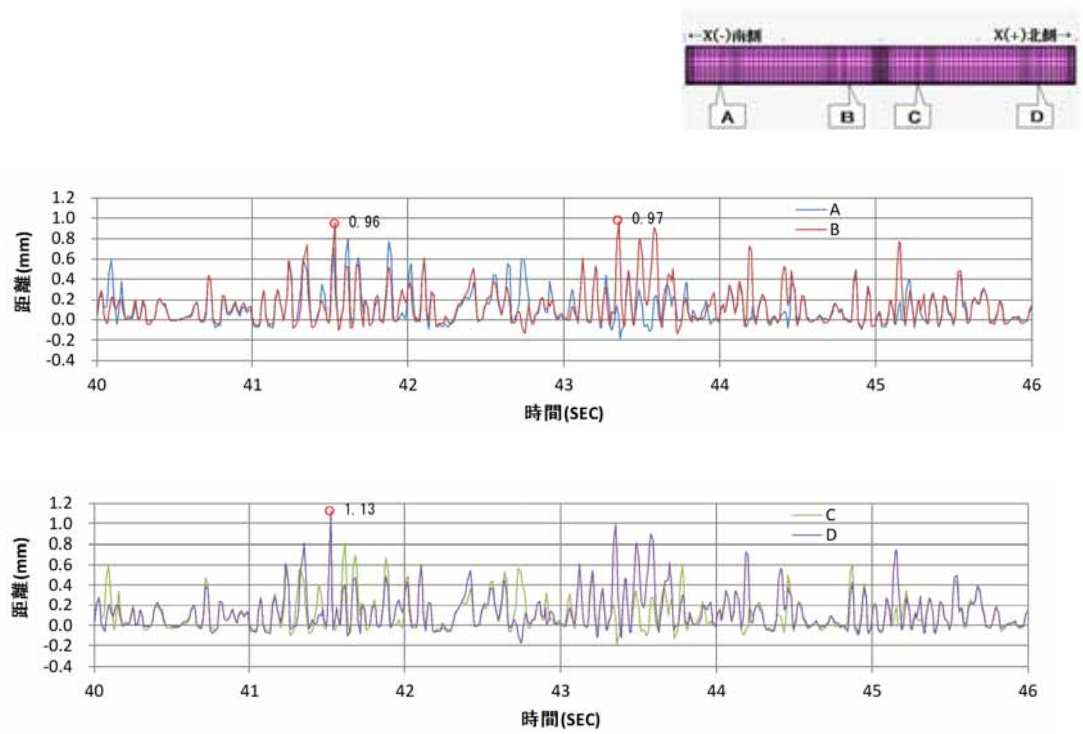


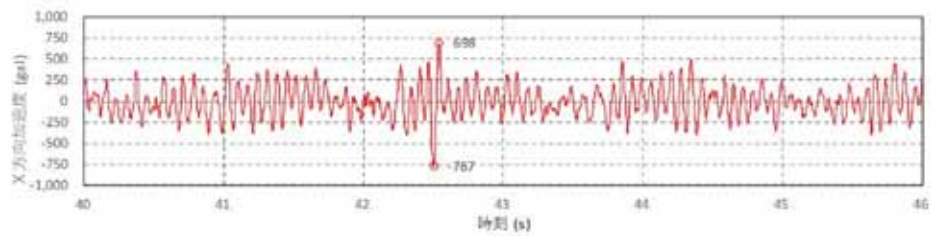
図 8-3 止水板と側面戸当りとの距離

図 8 3 方向 (X 方向 (堤軸) 包絡波) の解析結果

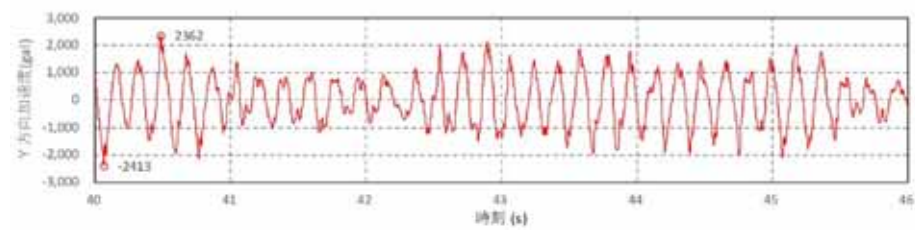
②3 方向（Y 方向（堤軸直角）包絡波）の解析結果

（a）加速度時刻歴

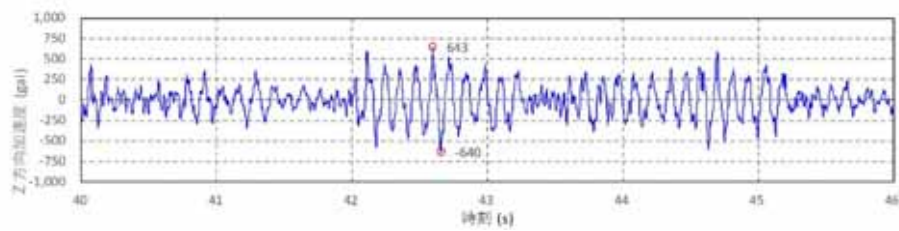
3 軸方向（X，Y，Z）の加速度時刻歴を図 9 に示す。



水平（X 方向）加速度



水平（Y 方向）加速度



鉛直（Z 方向）加速度

図 9 3 方向（Y 方向（堤軸直角）包絡波）の加速度応答時刻歴

(b) 実証試験モデルの解析結果

実証試験モデルの解析結果を図 10 に示す。

浮き上がり量は最大で 0.72mm (図 10-1) であることを確認した。

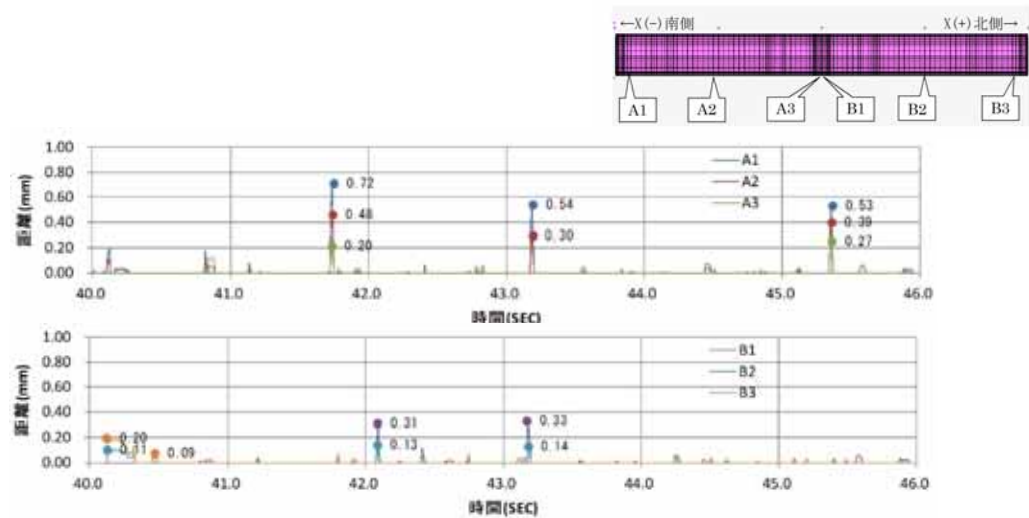


図 10-1 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮上り量)

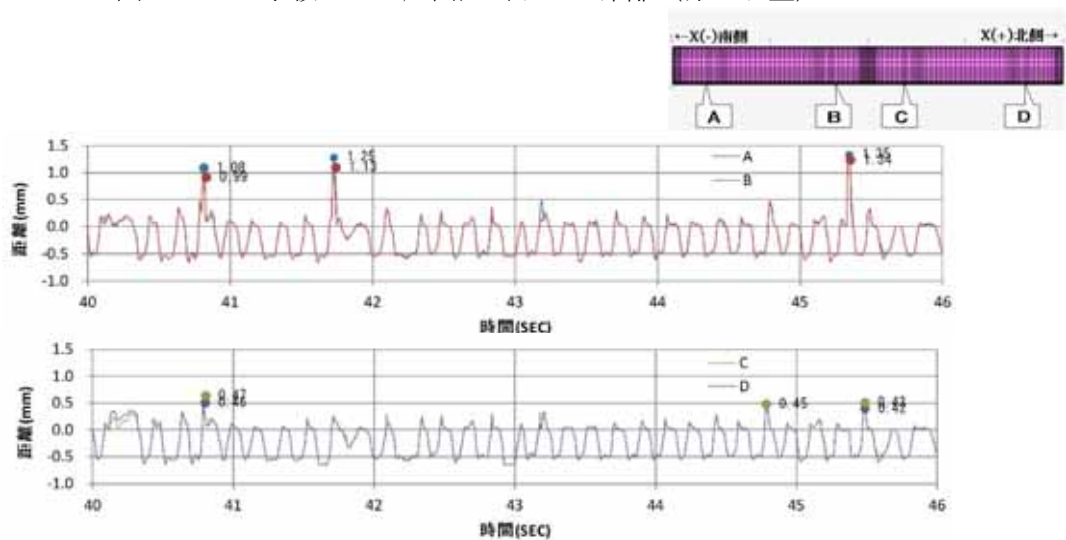


図 10-2 止水板と底面戸当りとの距離 (浮上り量) 実証試験計測位置

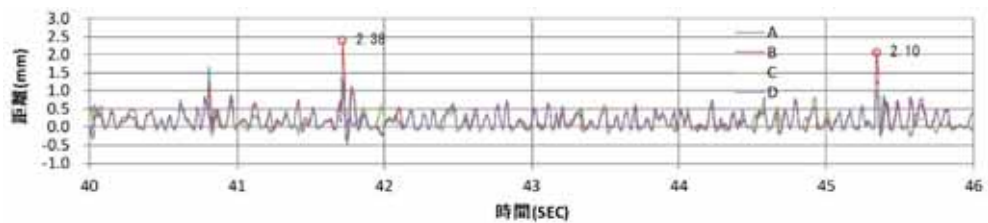


図 10-3 止水板と側面戸当りとの距離

図 10 3 方向 (Y 方向 (堤軸直角) 包絡波) の解析結果

【実証試験モデル】

③鉛直（鋼製防護壁包絡波）の解析結果

（a）加速度時刻歴

鉛直方向（Z方向）の加速度時刻歴を図 11 に示す。

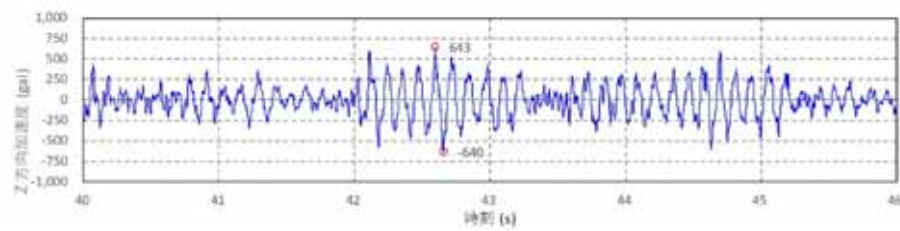


図 11 鉛直（鋼製防護壁包絡波）の加速度応答時刻歴

(b) 実証試験モデルの解析結果

実証試験モデルの解析結果を図 12 に示す。

浮き上がり量は最大で 0.00mm (図 12-1) であることを確認した。

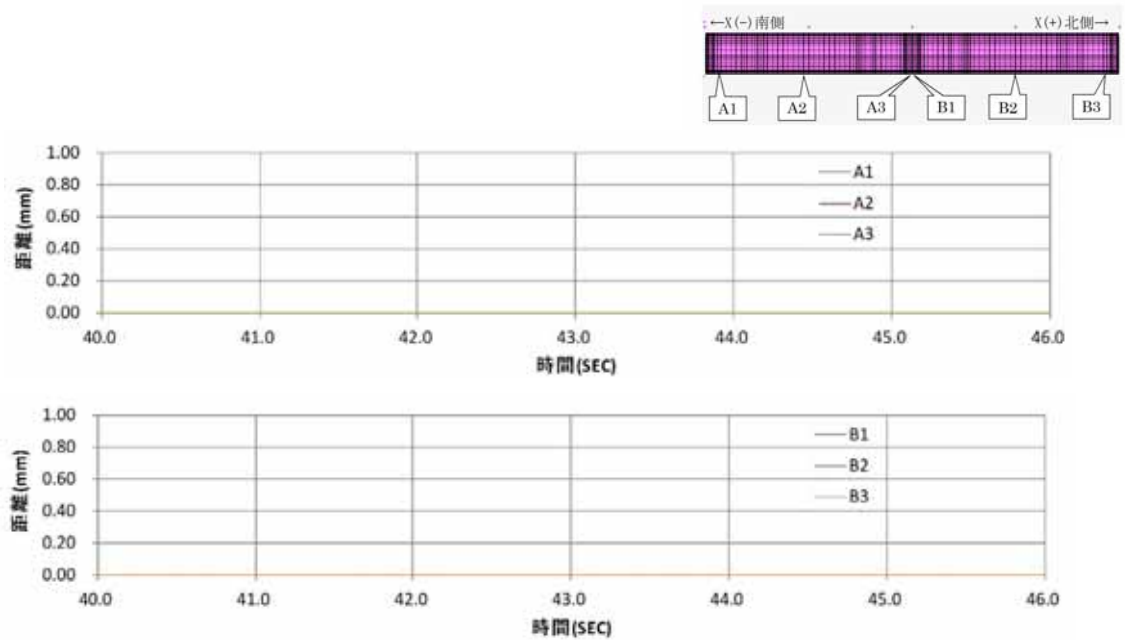


図 12-1 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮上り量)

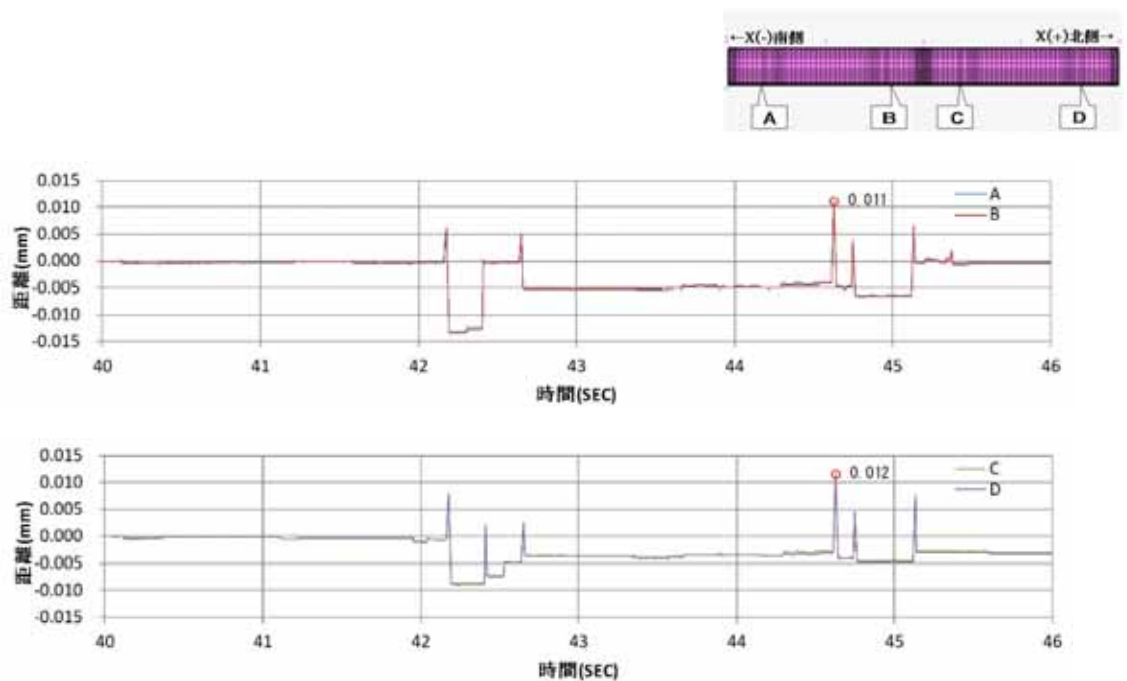


図 12-2 止水板と底面戸当りとの距離 (浮上り量) 実証試験計測位置

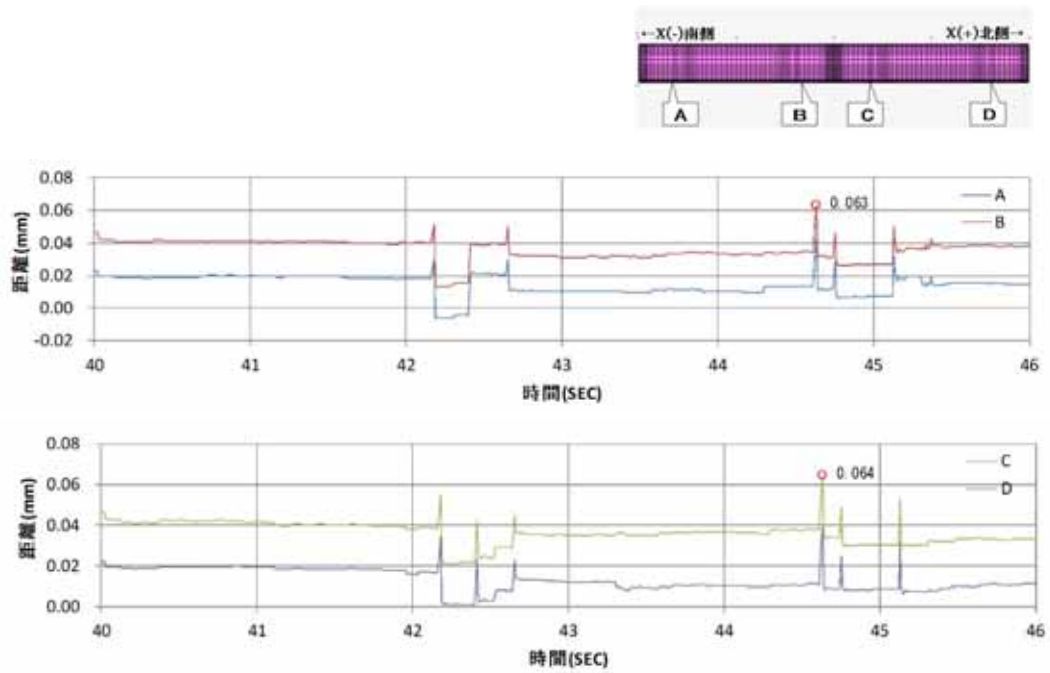


図 12-3 止水板と側面戸当りとの距離

図 12 鉛直（鋼製防護壁側包絡波）の解析結果
【実証試験モデル】

④鉛直（取水路側包絡波）の解析結果

（a）加速度時刻歴

鉛直方向（Z方向）の加速度時刻歴を図 13 に示す。

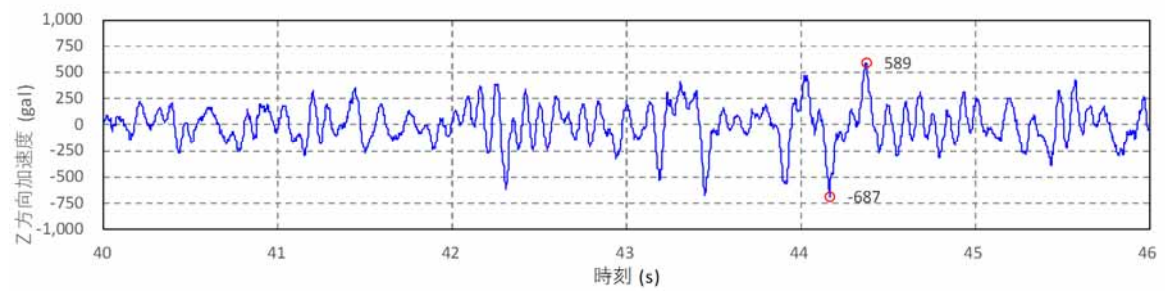


図 13 鉛直（取水路波形入力）の加速度応答時刻歴

(b) 実証試験モデルの解析結果

実証試験モデルの解析結果を図 14 に示す。

浮き上がり量は最大で 0.08mm (図 14-1) であることを確認した。

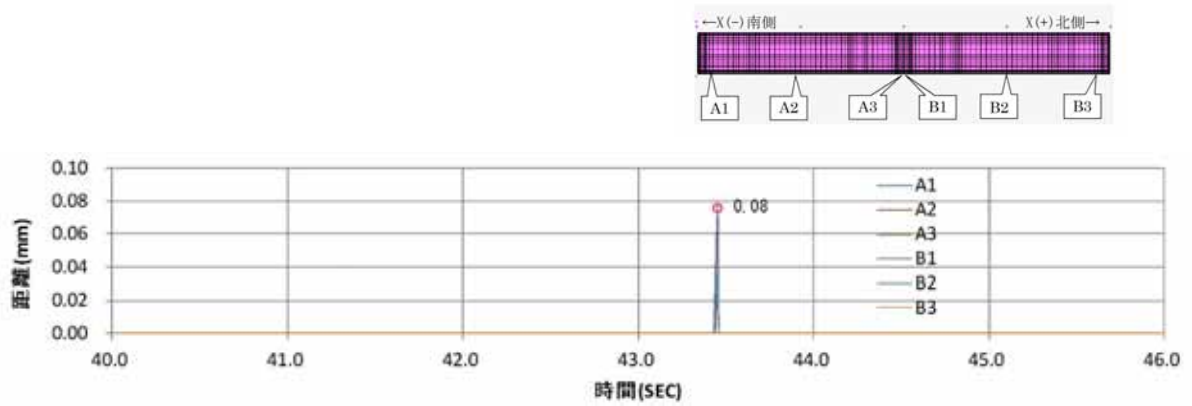


図 14-1 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮上り量)

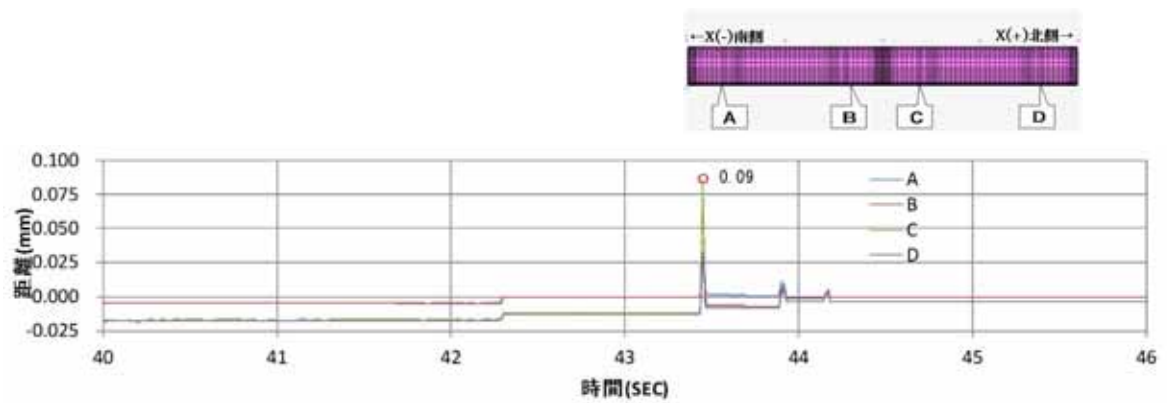


図 14-2 止水板と底面戸当りとの距離 (浮上り量) 実証試験計測位置

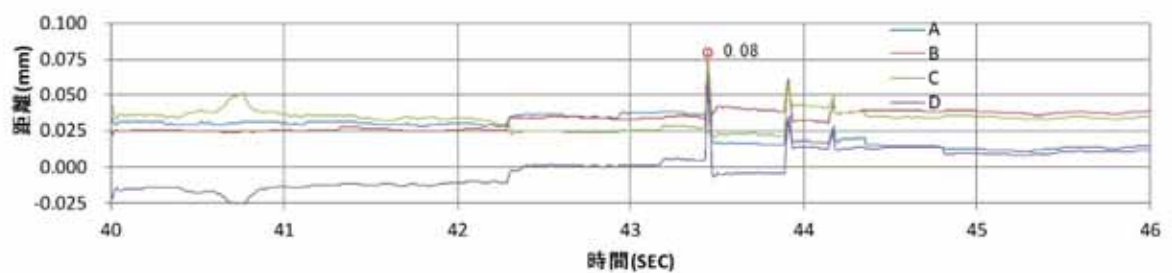


図 14-3 止水板と側面戸当りとの距離

図 14 (1/2) 鉛直 (取水路波形入力) の解析結果

【実証試験モデル】

(c) 実機モデルの解析結果

実機モデルの解析結果を図 15 に示す。

浮き上がり量は最大で 0.05mm (図 15-1) であることを確認した。

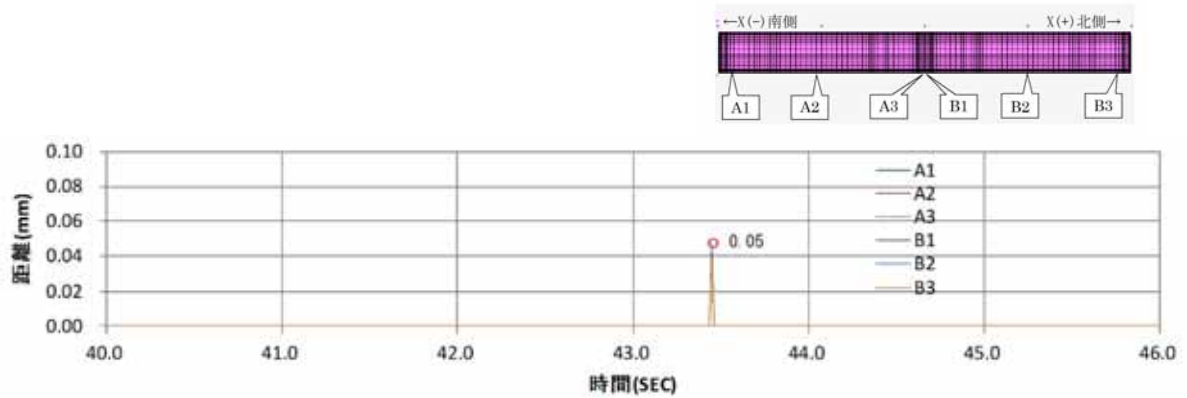


図 14-4 止水板コマと底面戸当りとの距離（浮上り量）

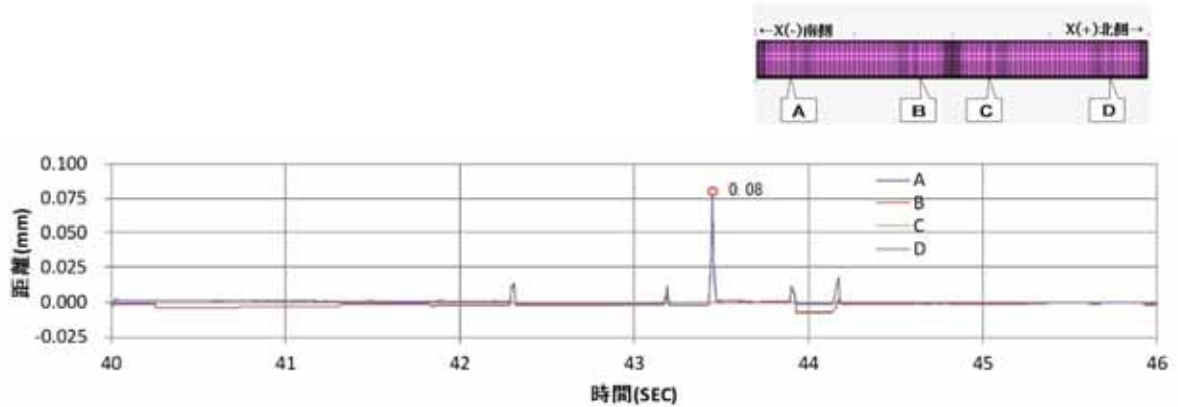


図 14-5 止水板と底面戸当りとの距離（浮き上がり量）実証試験計測位置

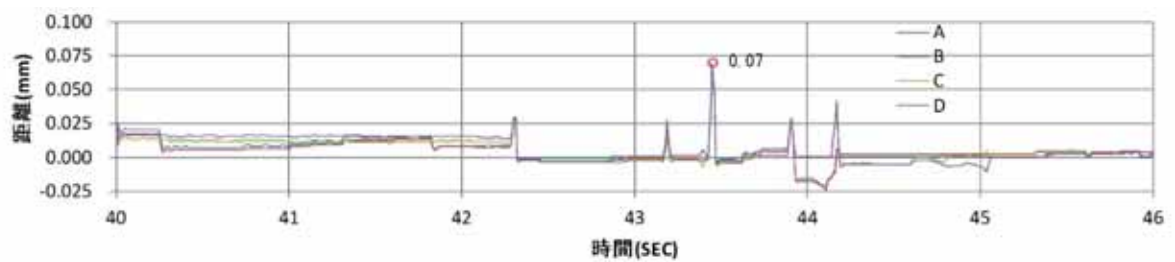


図 14-6 止水板と側面戸当りとの距離

図 14 (2/2) 鉛直（取水路波形入力）の解析結果

【実機モデル】

(5) 実証試験モデルと実機モデルとの検証

鉛直の解析結果（④鉛直く取水路波形入力）、実証試験モデルと実機モデルとの解析結果を比較すると、止水板の浮き上がりの挙動やタイミング、浮き上がり量はほぼ同じ結果が得られ、止水板の挙動をよく再現できている結果が得られた。比較の結果を図 15 示す。

実機モデルの止水板押えは、鋼製防護壁側にボルト接合されているため、比較的剛性が高いのに対し、実証試験モデルの場合は、架構による支持のため剛性は低いものとなっている。また、実機モデルにおける止水板は、両端が連続して設置されているのに対し、実証試験モデルの場合は、両端が拘束されていない自由端となる。そのため、実証試験モデルの場合は、比較的浮き上がりの挙動が大きくなる傾向にある。

実証試験モデルと実機モデルの浮き上がりについて 2 枚の止水板の浮き上がりを検証した。検証結果を図 16、図 17 示す。

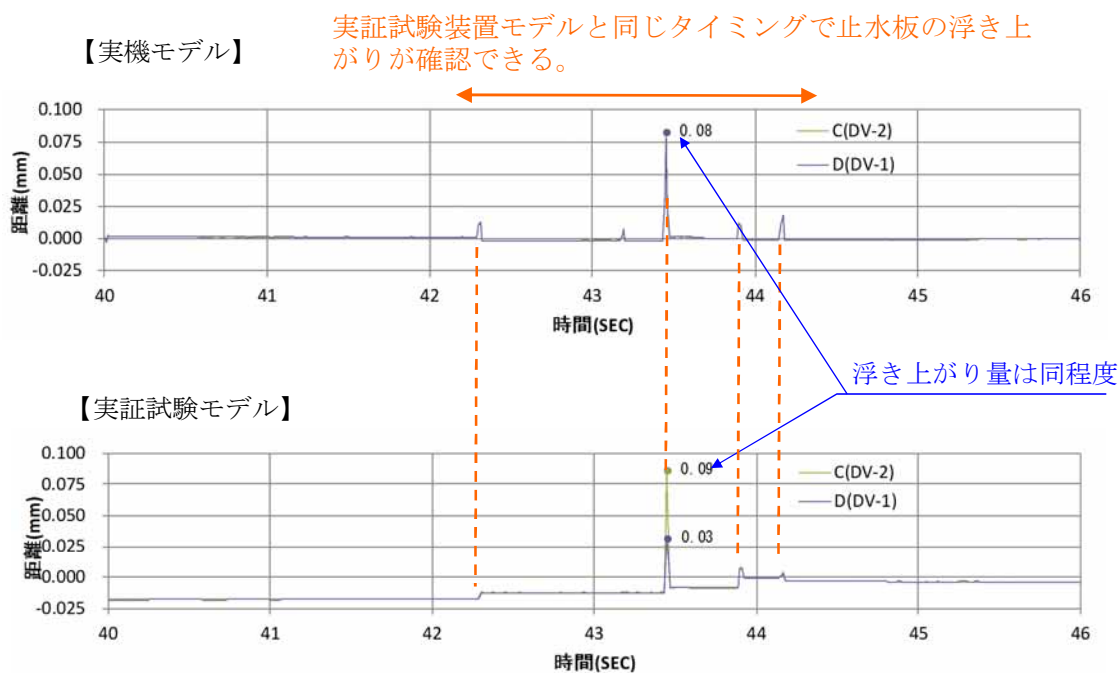


図 15 実機モデルと実証試験モデルの三次元動的解析結果の比較

【実証試験モデルの検証】

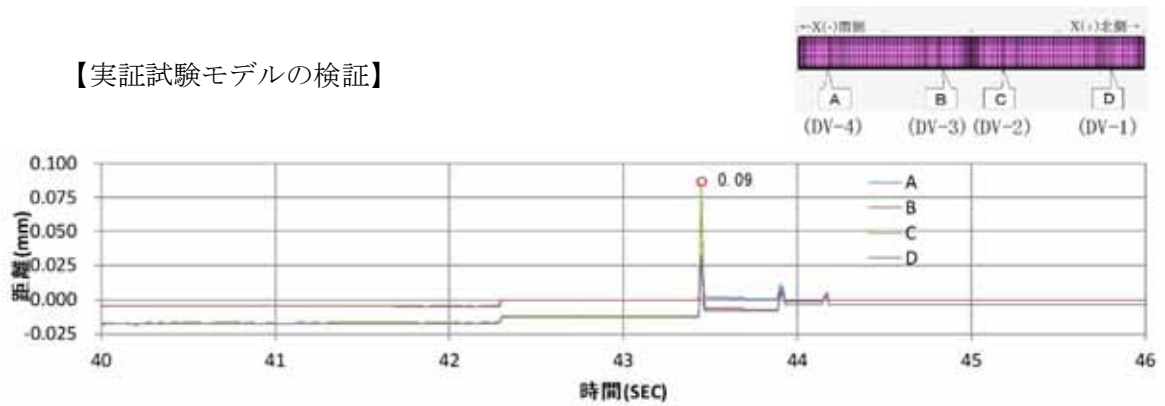


図 16-1 止水板コマと底面戸当りとの浮き上り量

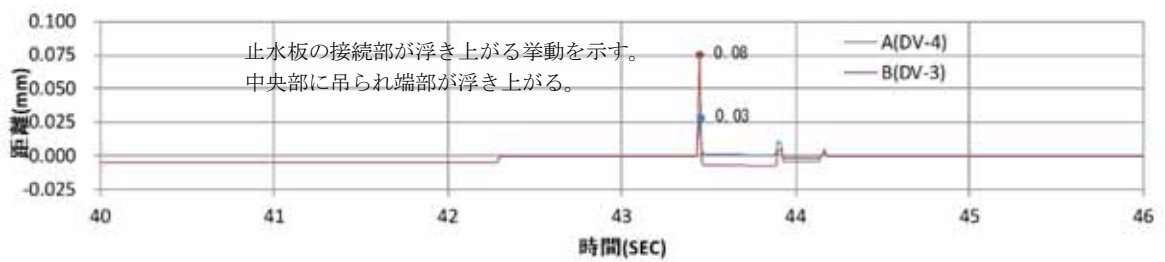


図 16-2 止水板 (A, B) の浮き上がり量

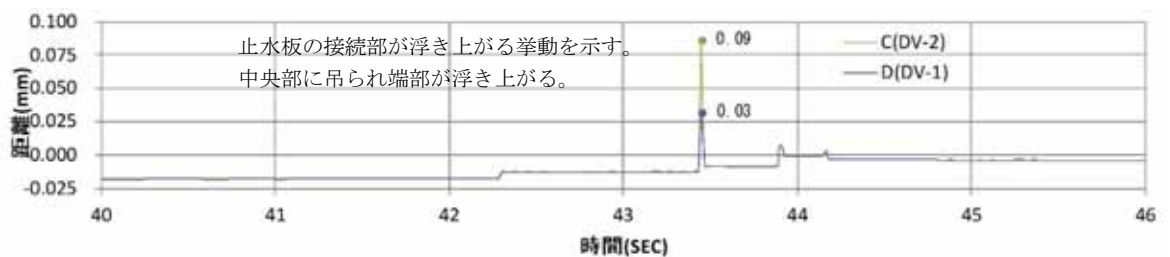
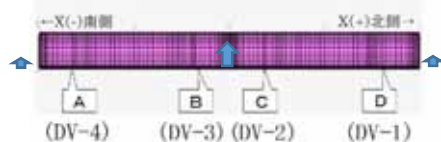


図 16-3 止水板 (C, D) の浮き上がり量

実証試験モデルは両端が拘束されていないため、中央部の浮き上がりに吊られ両端部も浮き上がる傾向が確認できる。浮き上がり量は最大で 0.09mm であった。

中央の浮き上がりに吊られて両端が浮き上がる。



止水板の浮き上がりの模式図



止水板の浮き上がり量 (mm)

【実機モデルの場合】

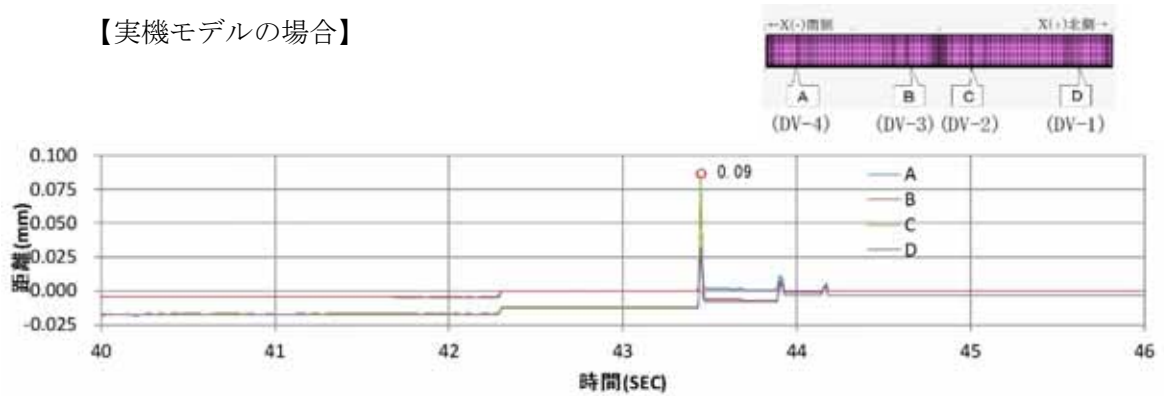


図 17-1 止水板コマと底面戸当たりとの浮き上り量

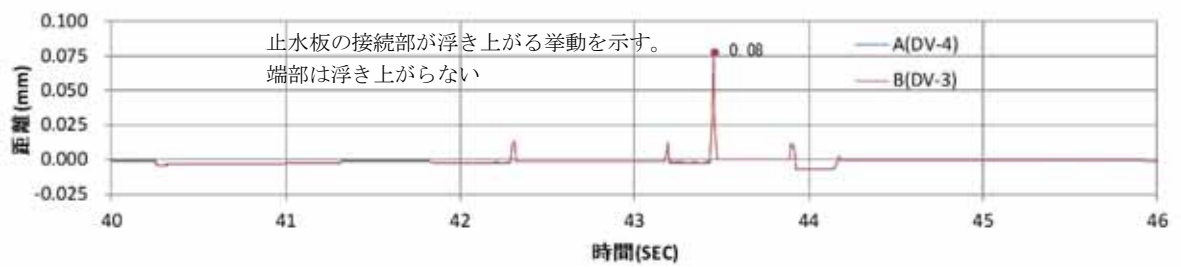


図 17-2 止水板 (A, B) の浮き上がり量

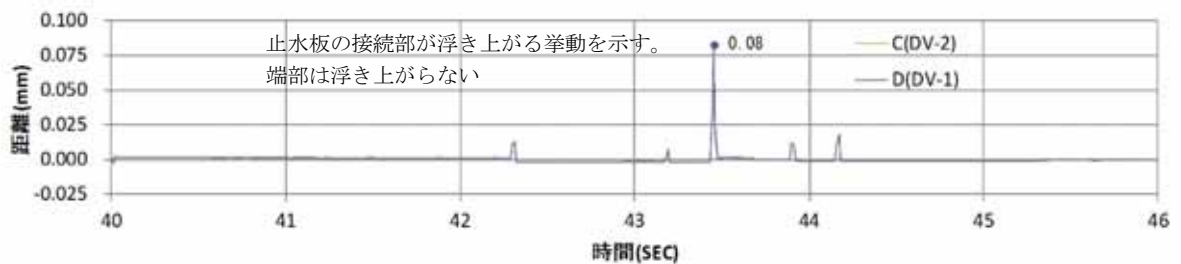
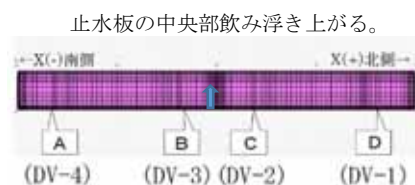
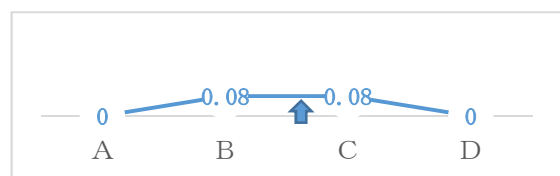


図 17-3 止水板 (C, D) の浮き上がり量

実機モデルは両端が拘束されているため、止水板の中央部が浮き上がるが両端は浮き上がらない傾向が確認できる。また、浮き上がり量の最大値は実証試験モデル 0.09mm に対し実機モデル 0.08mm とほぼ同じ浮き上がり量となった。



止水板の浮き上がりの模式図



止水板の浮き上がり量 (mm)

(6) 3方向同時加振の実証試験モデルの検証及び挙動

a. 実証試験モデルと実機モデルとの検証

鉛直の解析結果（②Y方向（堤軸直角）包絡波）、実証試験モデルと実機モデルとの解析結果を比較すると、止水板の浮き上がりの挙動やタイミング、浮き上がり量はほぼ同等の結果が得られ、止水板の挙動をよく再現できている結果が得られた。比較の結果を図18に示す。

実証試験結果を再現できた実証試験装置モデルによる三次元動的解析の結果と実機設計モデルによる三次元動的解析結果によく一致していることから、三次元動的解析による実機止水板の地震時の追従性の評価は問題ないと判断される。

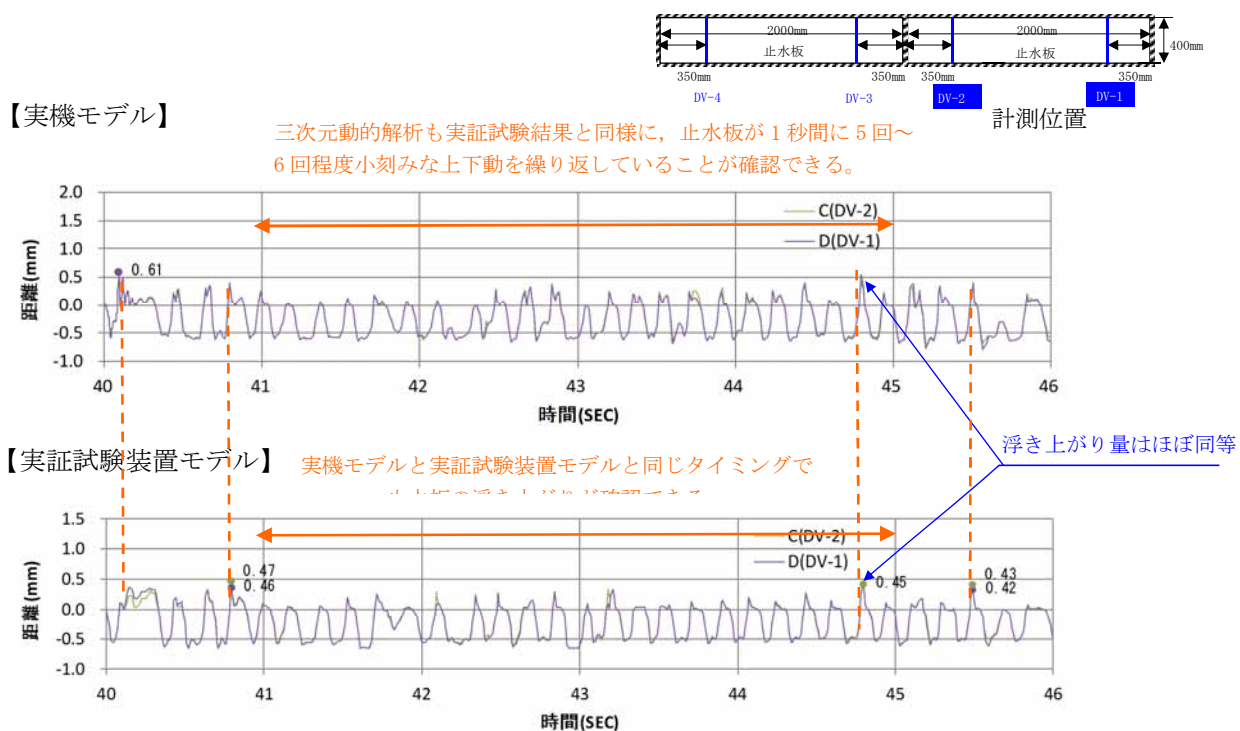


図18 実機モデルと実証試験装置モデルの三次元動的解析結果の比較

<実機モデル考察>

- ◆実証試験装置モデルにおける止水板の挙動と良く一致している。
- ◆このため、「実証試験結果」⇔「実証試験装置モデルによる三次元動的解析結果」⇔「実機設計モデルによる三次元動的解析結果」に相関があり、実機設計において三次元動的解析の適用に問題ないと判断される。

<実証試験装置モデル考察>

- ◆実証試験結果の方が鉛直変位量（+側の絶対値）が約2倍大きい結果となっているが、実証試験結果の鉛直変位のうねりを考慮した場合の鉛直変位量は、実証試験装置モデルの鉛直変位量とほぼ同等である。
- ◆実機設計においては、実証試験結果の鉛直変位量（+側の絶対値）を安全側と捉え考慮する。但し、鉛直変位量自体が数mmと小さいため、浸水の観点からは実質問題はない。

b. 止水板の挙動検証

3方向同時加振（②3方向（Y方向包絡波））について止水板の挙動について検証を行った。

前述の（5）項の鉛直の解析の結果、止水板の両端が実機モデルは固定支持であるが、実証試験モデルは自由端であるため、3方向同時加振の2枚の止水板の挙動、浮き上がるタイミング、浮き上がり量は一致しない傾向にあることが分かった。

また、実証試験モデルは両端部分の浮き上がりが大きくなる傾向がある。検証結果を図19に示す。

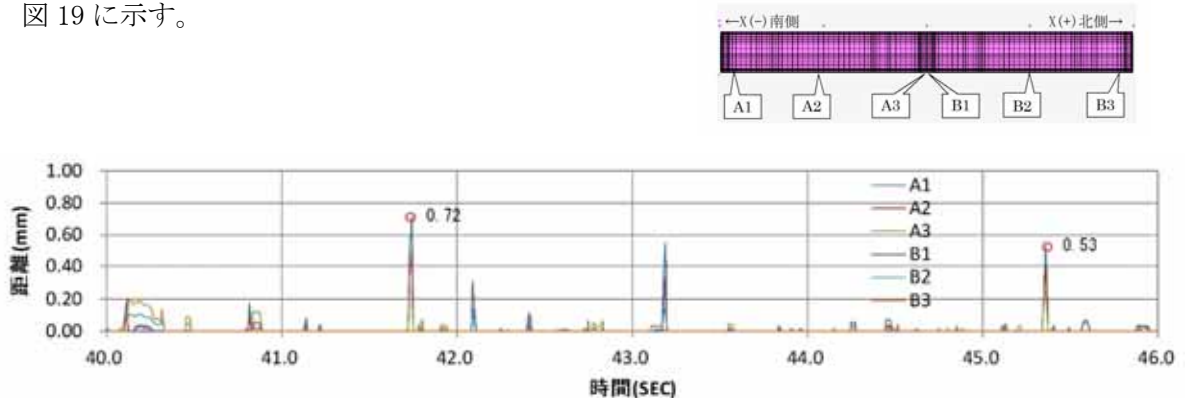


図 19-1 止水板コマと底面戸当りとの距離（浮き上がり量）

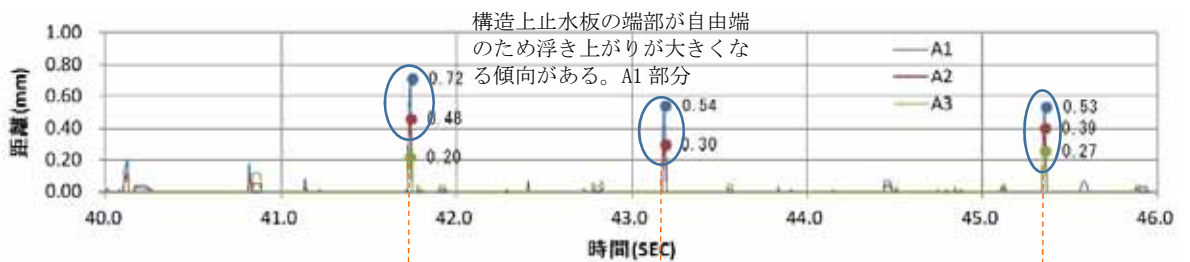


図 19-2 止水板の A 側（A1～A3）の浮き上がり量

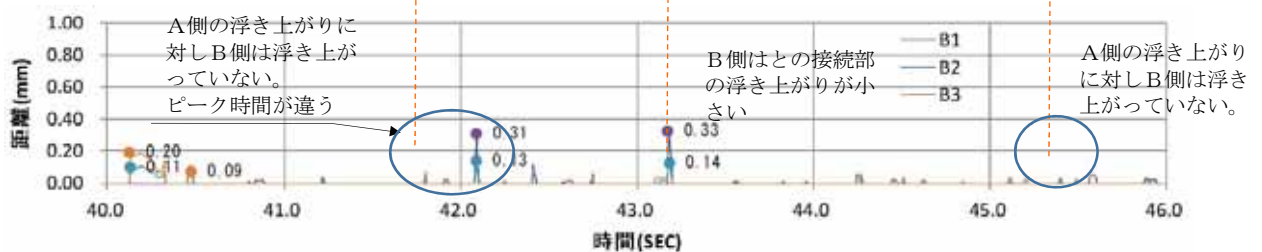


図 19-3 止水板の B 側（B1～B3）の浮き上がり量

上記の解析結果を分析すると、A側の浮き上がりのピークに対しB側は浮き上がっていない。また、浮き上がりのピーク時間も違い、浮き上がりもB側の方が小さな傾向にあることが確認できる。

そのため、実証試験における2枚の止水板の鉛直変位による距離は、2枚同じ挙動を示さず、止水板の端部の浮き上がりが大きくなる傾向が解析結果より確認できる。

6.1.3.4 実証試験に用いる地震動の作成，実証試験及び三次元動的解析のケースについて

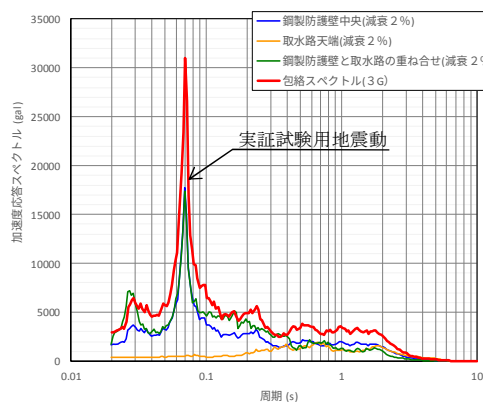
1. 本震

(1) 本震時における実証試験用地震動の加速度応答スペクトルと時刻歴波形

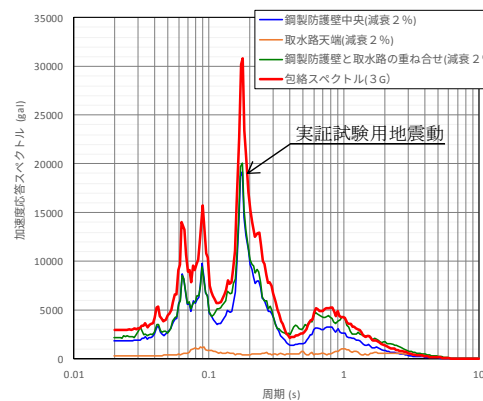
X Y方向の水平加振については，振動台の能力(3G)の範囲で包絡波を作成した。

Z方向の鉛直加振については，振動台の能力(1G)を超えるため，実証試験において振動台の鉛直性能の最大の1Gの加振により実施する。

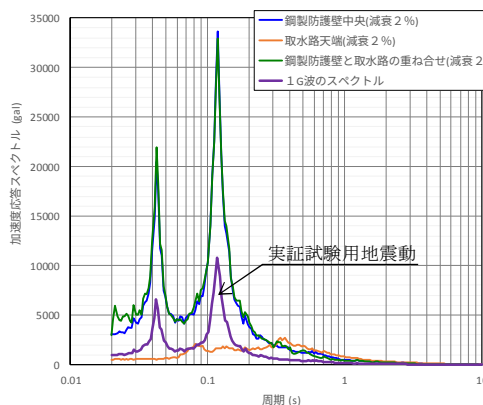
図1に三方向(X, Y, Z)の実証試験用地震動の加速度応答スペクトルと加速度時刻歴を示す。



加速度応答スペクトルと時刻歴波形（X方向（N S））



加速度応答スペクトルと時刻歴波形（Y方向（E W））



加速度応答スペクトルと時刻歴波形（Z方向）

図1 三方向（X, Y, Z）の実証試験用地震動の加速度応答スペクトルと加速度時刻歴

(2) 本震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

本震時における実証試験のケースと検証に用いる三次元動的解析の実施ケースを表 1 に示す。

実証試験実施前に実施する項目は、実証試験に合わせた三次元動的解析を実施し、実証試験結果の報告時には、実機モデルでの三次元動的解析を実施し止水板の挙動を検証する。

a. 水平方向（X，Y）

水平方向の加振は、Y 方向（EW）の包絡波で加振（②）を行う。X 方向（NS）については振動台の能力(1G)が上限であることから、Y 方向（EW）に X 方向（NS）の包絡波を入力し方向を反転させた加振（①）を行なうことで止水板の挙動を確認する。

b. 鉛直方向（Z 方向）

鉛直方向による加振試験については、実証試験による振動台の能力(1G)が上限であることから、鉛直方向の上限（1G）を考慮したケース（①, ②）にて実証試験を行い、止水板の挙動を確認する。

また、データ拡充の観点から鋼製防護壁の波形と取水路の波形を与えたケース（③, ④）も実施し、止水板の挙動を確認する。

表 1 本震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		備 考
	X	Y	Z	実証試験	実機	
① 3 方向 (X 方向（堤軸）包絡波)	1 G	3 G (X 包絡波)	1 G	○	○	3 方向同時 (Y 方向に X 方向の地震動を入力。方向反転)
② 3 方向 (Y 方向（堤軸直角）包絡波)	1 G	3 G (Y 包絡波)	1 G	○	○	3 方向同時 (図 7 に実証試験用入力地震動)
③ 鉛直 (鋼製防護壁包絡波)	—	—	1 G	○	—	鉛直単独
④ 鉛直 (取水路側包絡波)	—	—	波形 入力	○	○	鉛直単独 (図 8 に実証試験用入力地震動)
⑤ 基準地震動（ S_s ） (S_s -D1)	—			—	○	3 方向同時
⑥ 基準地震動（ S_s ）	—			—	○	3 方向同時

○：解析実施ケース

2. 余震

(3) 余震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

余震時における実証試験のケースと検証に用いる三次元動的解析の実施ケースを表 2 に示す。

表 2 余震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		備 考
	X	Y	Z	実証試験	実機	
① 3 方向 (Y 方向 (堤軸直交) 包絡波)	1 G	2 G (Y 包絡波)	1 G	○	○	3 方向同時
② 鉛直 (鋼製防護壁波形入力)	—	—	1 G	—	—	鉛直単独
③ 鉛直 (取水路側波形入力)	—	—	波形 入力	○	○	鉛直単独
④ 基準地震動 (S_d) (S_d -D1)	—			—	○	3 方向同時

○：解析実施ケース

(3) 実証試験用地震動の作成について

◆ X方向（堤軸）の実証試験用地震動の作成

作成方法は、6.1.3-13 頁に示す。

◆ Y方向（堤軸直角）の実証試験用地震動の作成

a. 二次元有効応力解析による鋼製防護壁基礎天端の応答時刻歴を算出する。（図2 参照）

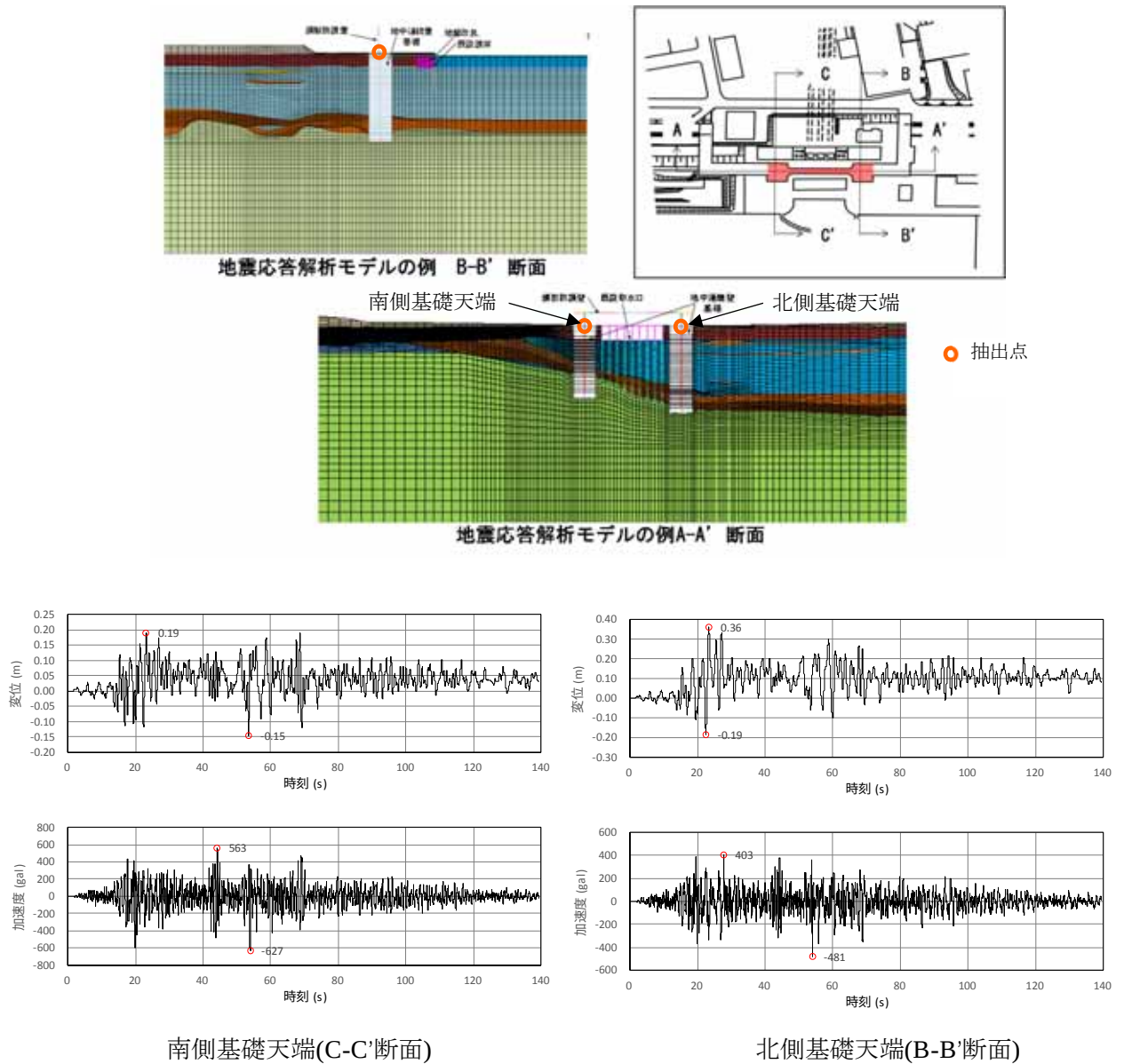
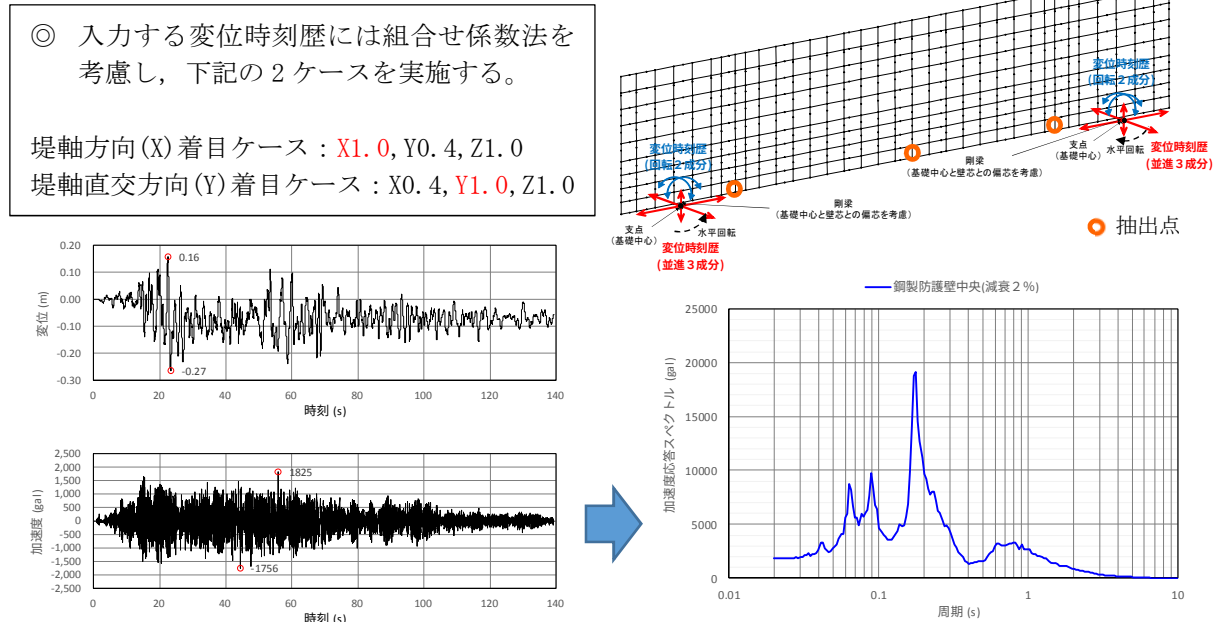


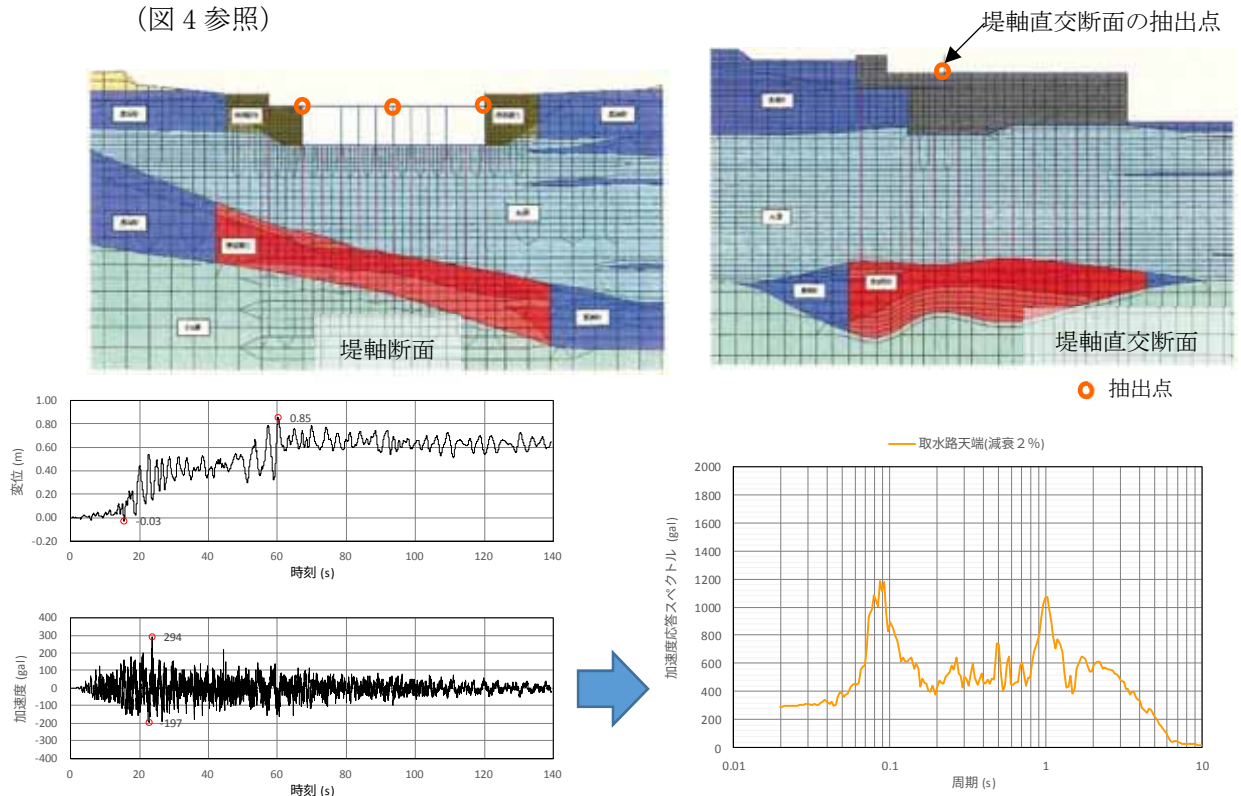
図2 鋼製防護壁基礎の二次元有効応力解析による応答時刻歴

（堤軸直交方向；B-B'及びC-C'断面）

- b. 鋼製防護壁の三次元フレームモデルの基礎との接続部に前頁の a. に示す変位時刻歴を入力した動的解析を行い、止水機構位置の応答時刻歴及び応答スペクトルを算出する。
(図 3 参照)

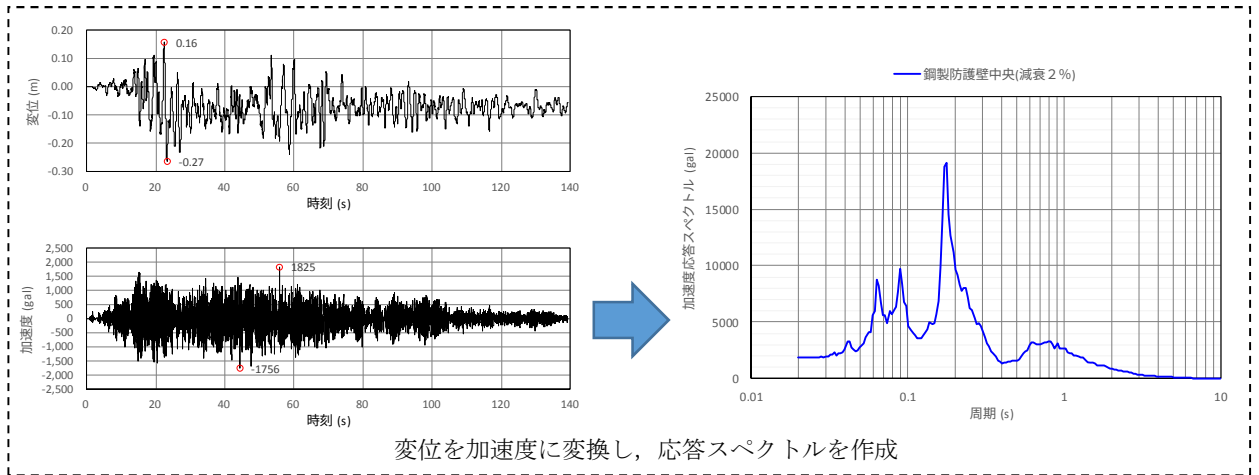


- c. 二次元有効応力解析による取水路天端の応答時刻歴及び応答スペクトルを算出する。
(図 4 参照)

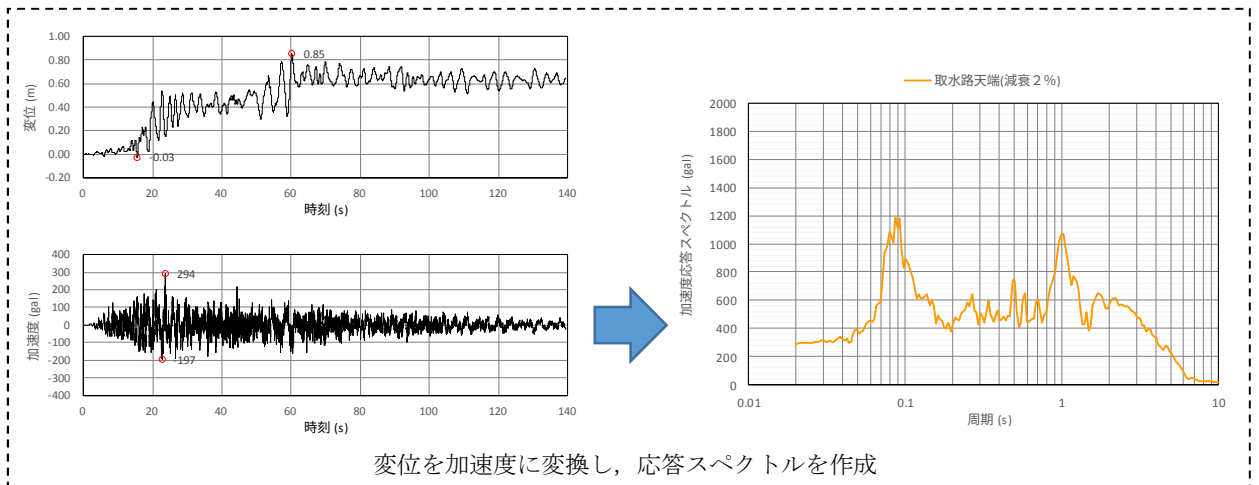


d. b 項, c 項で求めた応答時刻歴を重ね合わせ, 鋼製防護壁と取水路の相対的な応答時刻歴及び応答スペクトルを算出する。(図 5 参照)

b 項で算出した鋼製防護壁三次元フレーム解析による中央部の応答時刻歴及び応答スペクトル(堤軸直交方向)



c 項で算出した取水路の二次元有効応力解析による応答時刻歴及び応答スペクトル(堤軸直交方向)



鋼製防護壁 (b 項) と取水路 (c 項) の応答時刻歴及び応答スペクトルの重ね合わせ(堤軸直交方向)

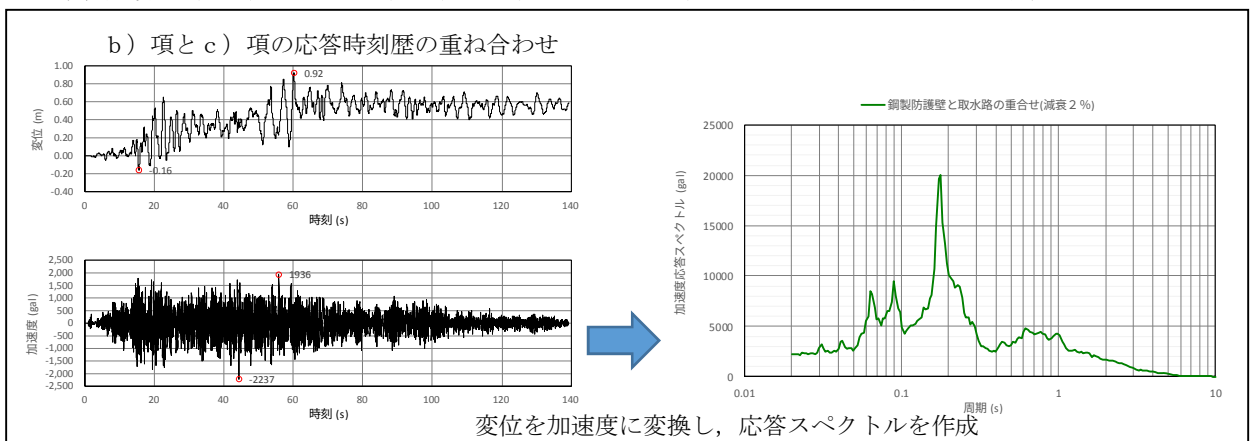


図 5 鋼製防護壁と取水路を重ね合わせた応答スペクトルの作成

e. b 項, c 項と d 項にて算出した応答スペクトルを比較し, 加速度応答スペクトルの包絡波を作成し実証試験用地震動として振動台に入力する。(図 6)

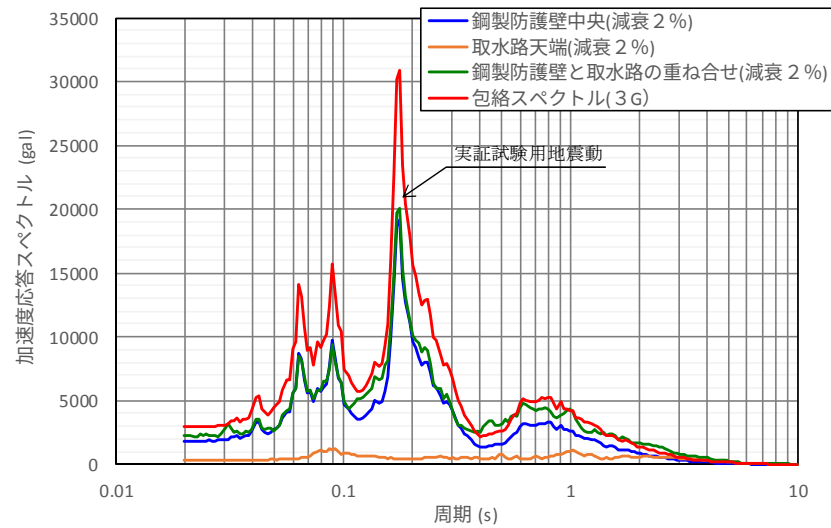


図 6 応答スペクトルの包絡波の作成(堤軸直交方向)

◆Z 方向(鉛直方向)の実証試験用地震動の作成方法

a. 二次元有効応力解析による鋼製防護壁基礎天端の応答時刻歴を算出する。(図 7 参照)

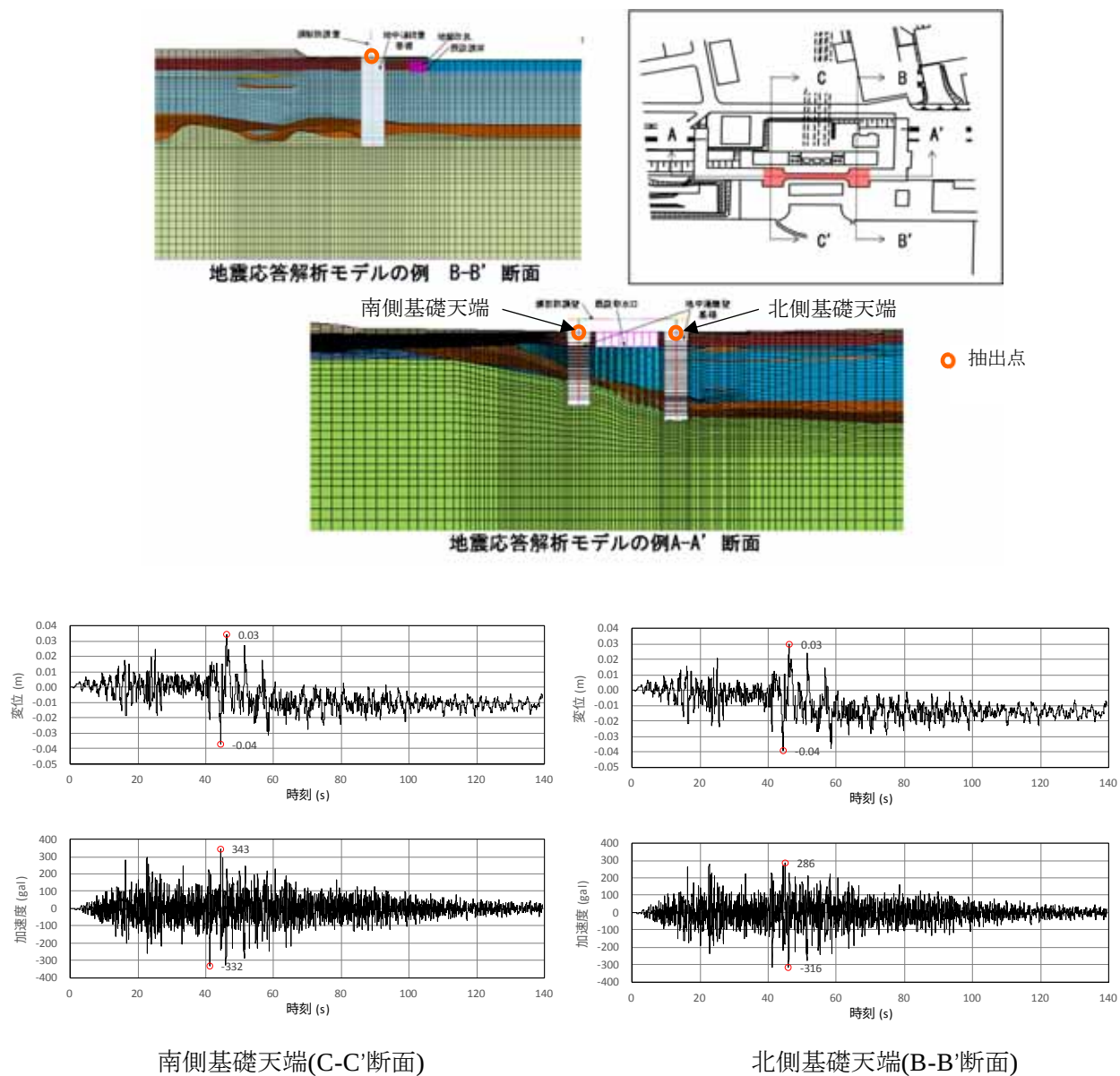
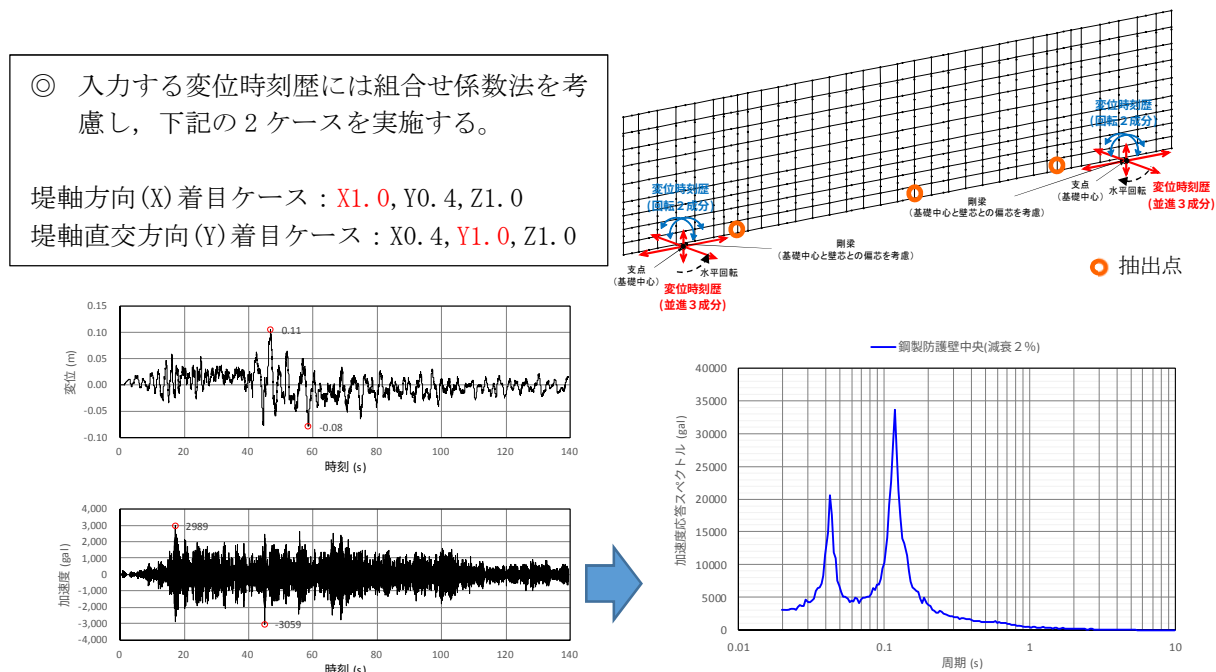
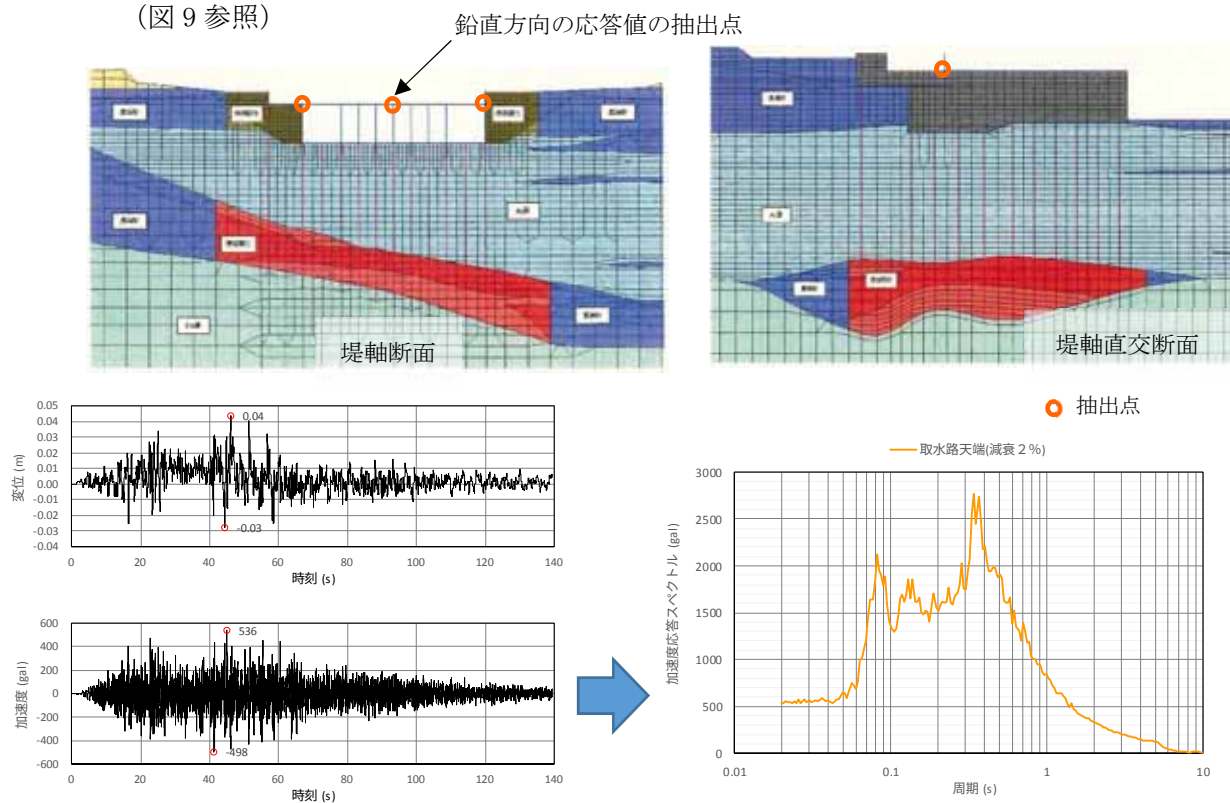


図 7 鋼製防護壁基礎の二次元有効応力解析による応答時刻歴 (鉛直方向)

- b. 鋼製防護壁の三次元フレームモデルの基礎との接続部に前頁の a. に示す変位時刻歴を入力した動的解析を行い、止水機構位置の応答時刻歴及び応答スペクトルを算出する。
(図 8 参照)

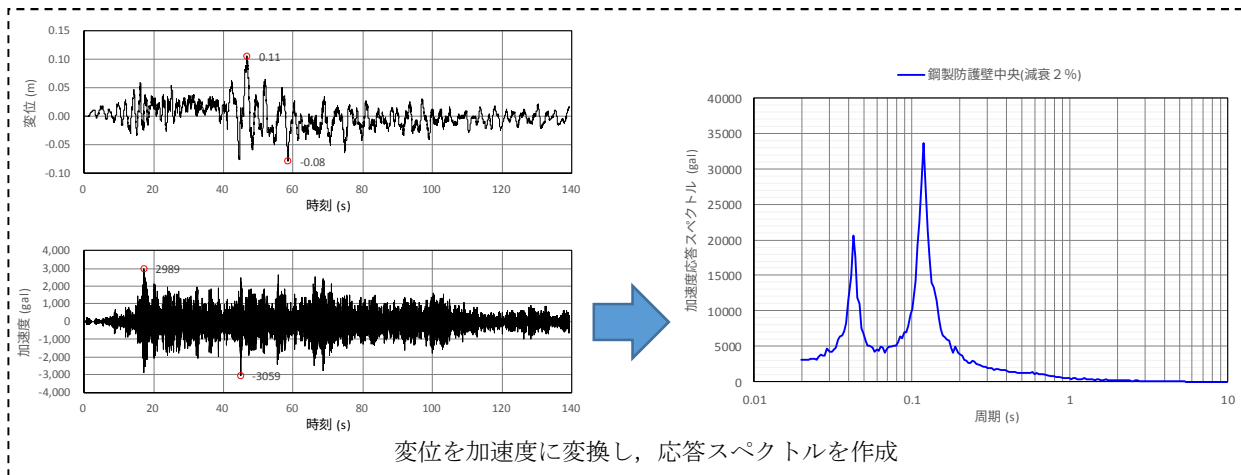


- c. 二次元有効応力解析による取水路天端の応答時刻歴及び応答スペクトルを算出する。
(図 9 参照)

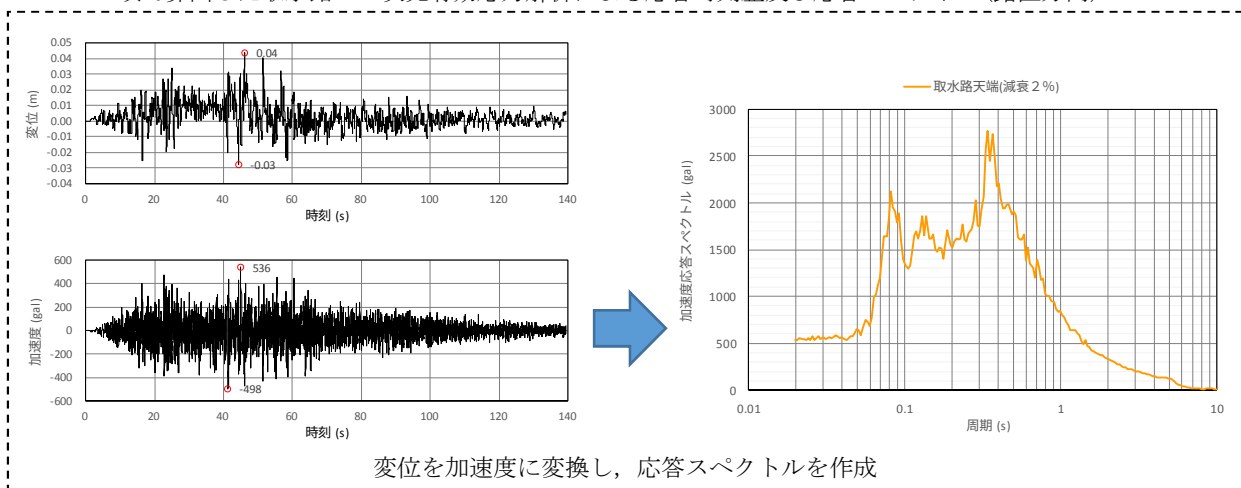


d. b 項, c 項で求めた応答時刻歴を重ね合わせ, 鋼製防護壁と取水路の相対的な応答時刻歴及び応答スペクトルを算出する。(図 10 参照)

b 項で算出した鋼製防護壁三次元フレーム解析による中央部の応答時刻歴及び応答スペクトル(鉛直方向)



c 項で算出した取水路の二次元有効応力解析による応答時刻歴及び応答スペクトル(鉛直方向)



鋼製防護壁 (b 項) と取水路 (c 項) の応答時刻歴及び応答スペクトルの重ね合わせ(鉛直方向)

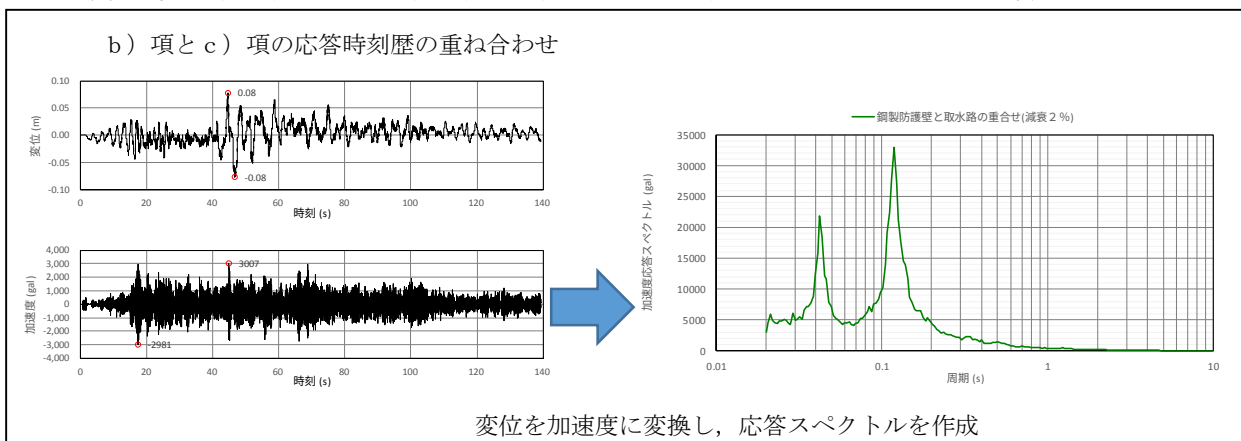


図 10 鋼製防護壁と取水路を重ね合わせた応答スペクトルの作成

e. b 項, c 項と d 項にて算出した応答スペクトルを比較し, 加速度応答スペクトルの包絡波を作成し実証試験用地震動として振動台に入力する (図 11)。

鉛直による加振試験については, 実証試験による加振は 1G が振動台の能力の上限であることから, 鉛直の上限 (1G) によるケースを考慮し実証試験を行う。なお, 三次元動的解析においては, 基準地震動 (S_s) を包絡波した実証試験用地震動にて解析を実施し挙動を確認する。

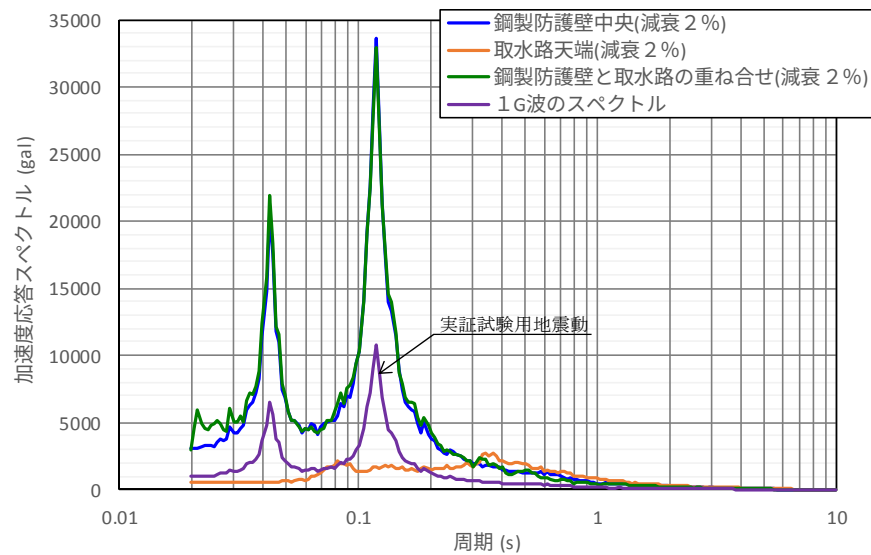


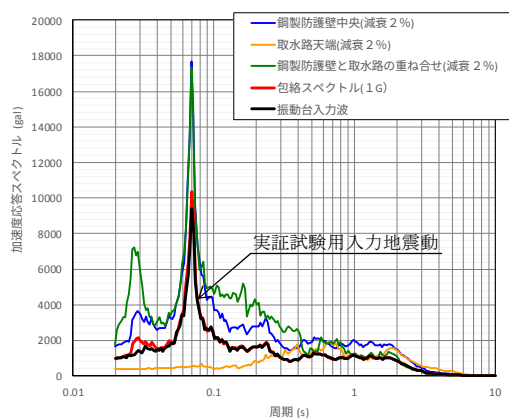
図 11 応答スペクトルの包絡波の作成(鉛直方向)

(4) 実証試験用入力地震動

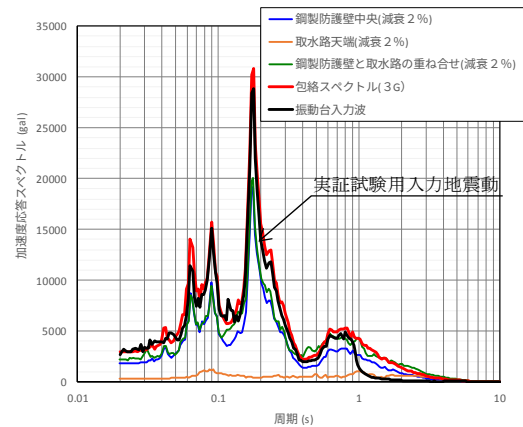
実証試験用入力地震動は、変位量に対する振動台性能の制限内に地震動を収めることを目的として、実証試験用地震動にハイパスフィルター（HPF）を掛け、長周期成分をカットした地震動である。

実証試験に用いる振動台へ入力する入力波形を示す。

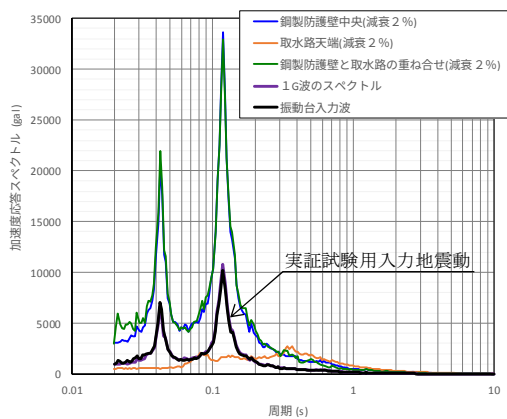
図 12 の入力加速度が最大 3G である Y 方向（EW）の加速度応答スペクトル図から周期 1sec 付近で HPF が掛かっていることが読み取れるが、最大加速度レベルは実証試験用地震動とほぼ同一レベルであることを確認した。



加速度応答スペクトル X 方向（NS）



加速度応答スペクトル Y 方向（EW）



加速度応答スペクトル Z 方向

図 12 本震による三方向（X，Y，Z）の実証試験用入力地震動の加速度応答スペクトル

◆鉛直（取水路側包絡波）の実証試験用地震動の作成

鉛直（取水路側包絡波）における実証試験に用いる振動台へ入力する入力波形の策定の考え方を図 13～図 15 に示す。

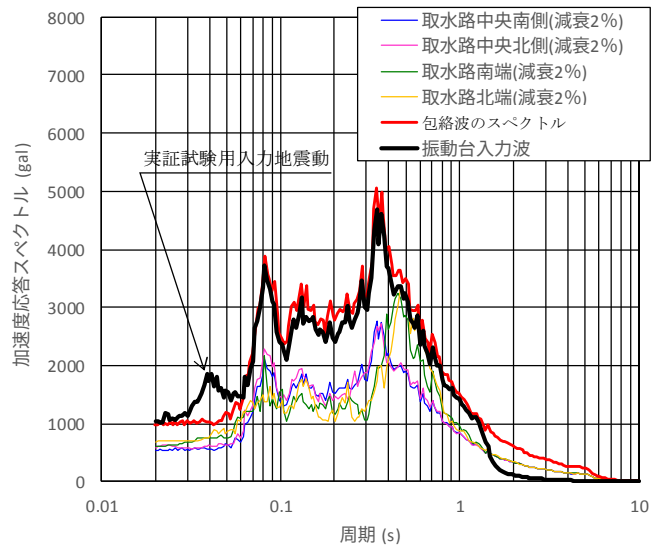


図 13 取水路上面の加速度応答スペクトル(包絡波は取水路中央南側の 1.83 倍

※入力地震動は Ss-D1 -H-V

取水路の Z 方向（鉛直方向）の包絡波

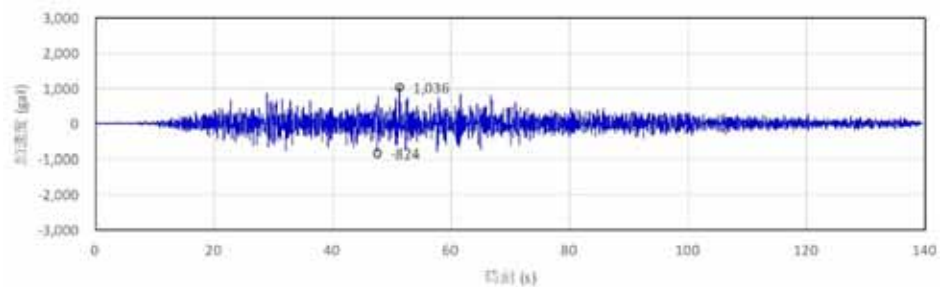


図 14 取水路の鉛直方向の包絡波の加速度時刻歴(包絡波は取水路中央南側の 1.83 倍)

取水路中央南側の応答加速度時刻歴を 1.83 倍して取水路の鉛直方向の包絡波を作成

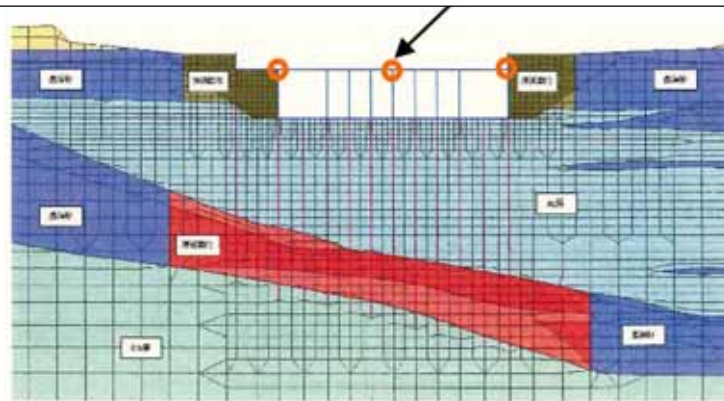


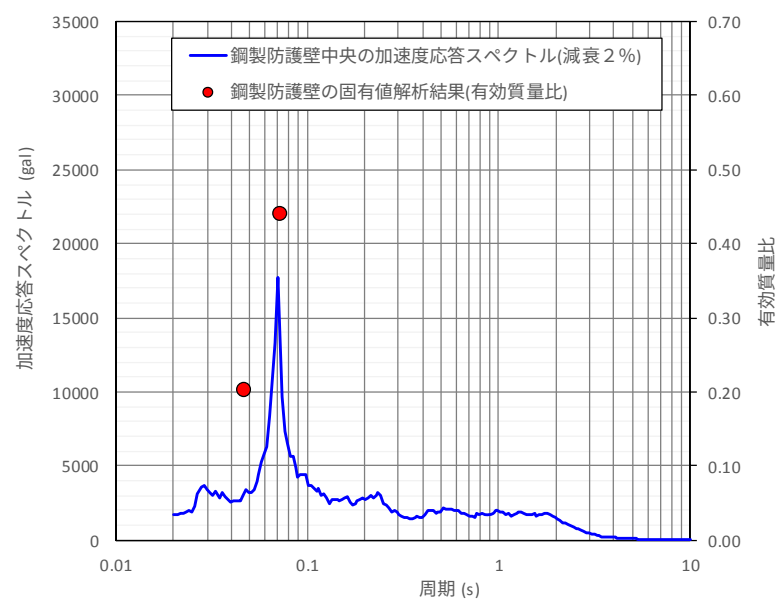
図 15 加速度応答スペクトルの算出位置

(5) 実証試験用地震動の加速度応答スペクトルのピークについて

実証試験用地震動は、前述のとおり鋼製防護壁の三次元フレーム解析により算出した鋼製防護壁中央の応答加速度時刻歴に所定の倍率を乗じることにより、作成したものである。乗じる倍率は、振動台の能力を考慮しつつ鋼製防護壁中央の加速度応答スペクトルを基に取水路天端および鋼製防護壁と取水路の重ね合せの加速度応答スペクトルを包絡するように設定したものである。ここでは、実証試験用地震動を設定する上で基になった鋼製防護壁中央の加速度応答スペクトルのピークについて考察する。

図 16 に X 方向(堤軸方向)の鋼製防護壁中央の加速度応答スペクトルと鋼製防護壁の固有値解析により得られた固有周期及び有効質量比の比較図を示す。同図から、加速度応答スペクトルの最大ピークを示す周期(0.070s)と有効質量比が最大ピークを示す周期(0.072s)がほぼ一致していることが分かる。したがって、鋼製防護壁中央で算出した堤軸方向の加速度応答スペクトルの妥当性を確認することができる。

なお、有効質量比最大ピーク時の鋼製防護壁のモード図を図 17 に示す。



ピーク	加速度応答スペクトル		有効質量比(固有値解析)	
	周期 (s)	スペクトル (gal)	周期 (s)	有効質量比
最大ピーク	0.070	17697	0.072	0.44
2 番目のピーク	—	—	0.047	0.20

図 16 鋼製防護壁の加速度応答スペクトルと固有値解析結果の比較(堤軸方向)

固有周期(s): 0.07154
 固有振動数(Hz): 13.97800
 有効質量比
 DX(%): 44
 DY(%): 0
 DZ(%): 0
 RX(%): 0
 RY(%): 0
 RZ(%): 0
 制振係数
 DX: -57.640
 DY: 0.000
 DZ: -0.005
 RX: 0.000
 RY: 0.000
 RZ: 0.000

No.1:固有値解析 MODE No.5

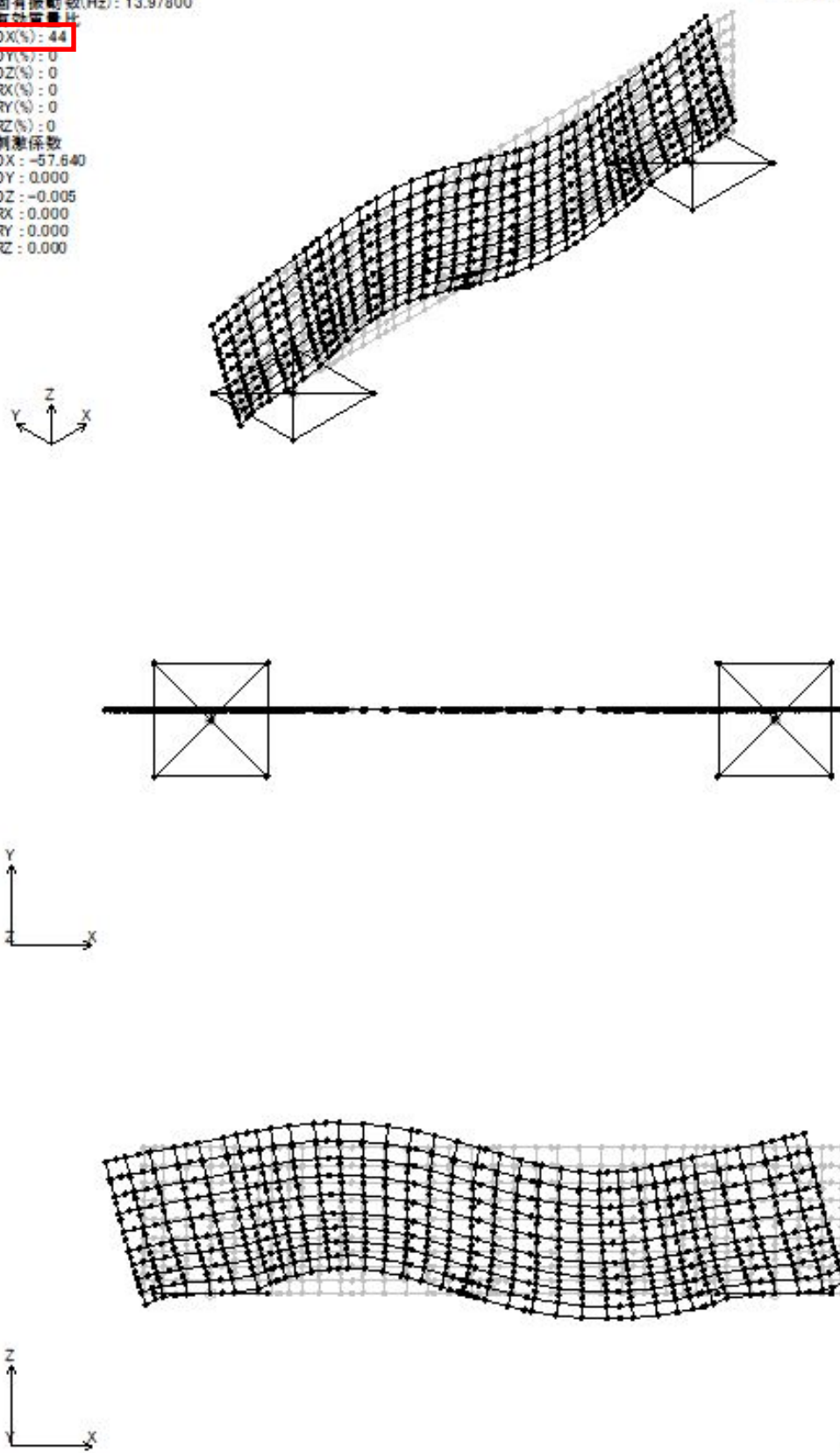
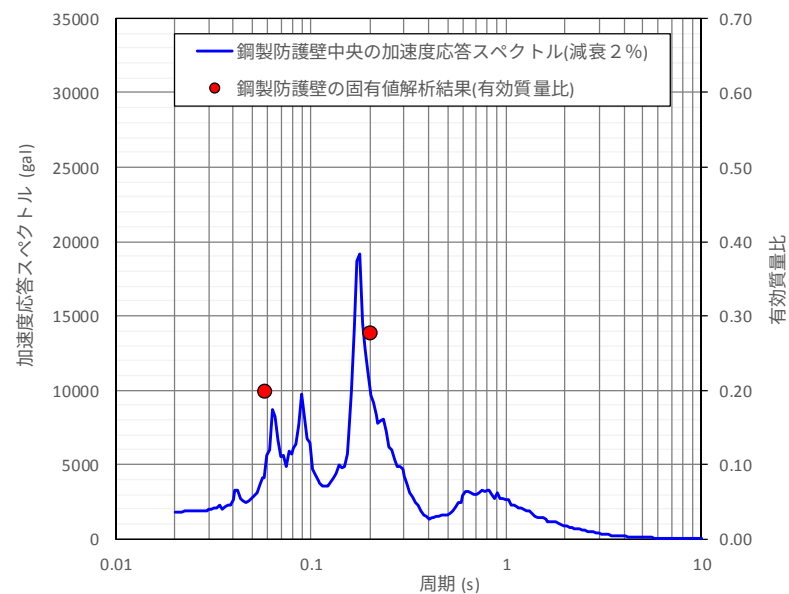


図 17 有効質量比最大ピーク時の鋼製防護壁のモード図(堤軸方向)

図 18 に Y 方向 (堤軸直交方向) の鋼製防護壁中央の加速度応答スペクトルと鋼製防護壁の固有値解析により得られた固有周期及び有効質量比の比較図を示す。同図から、加速度応答スペクトルの最大ピークを示す周期 (0.178s) と有効質量比が最大ピークを示す周期 (0.201s) がほぼ一致していることが分かる。また、加速度応答スペクトルの 3 番目のピークを示す周期 (0.064s) と有効質量比の 2 番目のピークを示す周期 (0.058s) が対応していると考えられる。

以上のことから、鋼製防護壁中央の堤軸直交方向の加速度応答スペクトルのピークは、概ね固有値解析による有効質量比のピークに対応している。

なお、有効質量比最大ピーク時の鋼製防護壁のモード図を図 19 に示す。



ピーク	加速度応答スペクトル		有効質量比 (固有値解析)	
	周期 (s)	スペクトル (gal)	周期 (s)	有効質量比
最大ピーク	0.178	19157	0.201	0.28
2 番目のピーク	0.090	9759	0.058	0.20
3 番目のピーク	0.064	8721		

図 18 鋼製防護壁の加速度応答スペクトルと固有値解析結果の比較 (堤軸直交方向)

固有周期(s): 0.20111
 固有振動数(Hz): 4.97230
 有効質量比
 DX(%): 0
 DY(%): 28
 DZ(%): 0
 RX(%): 0
 RY(%): 0
 RZ(%): 0
 制振係数
 DX: 0.000
 DY: 45.660
 DZ: -0.011
 RX: 0.000
 RY: 0.000
 RZ: 0.000

No.1:固有値解析 MODE No.1

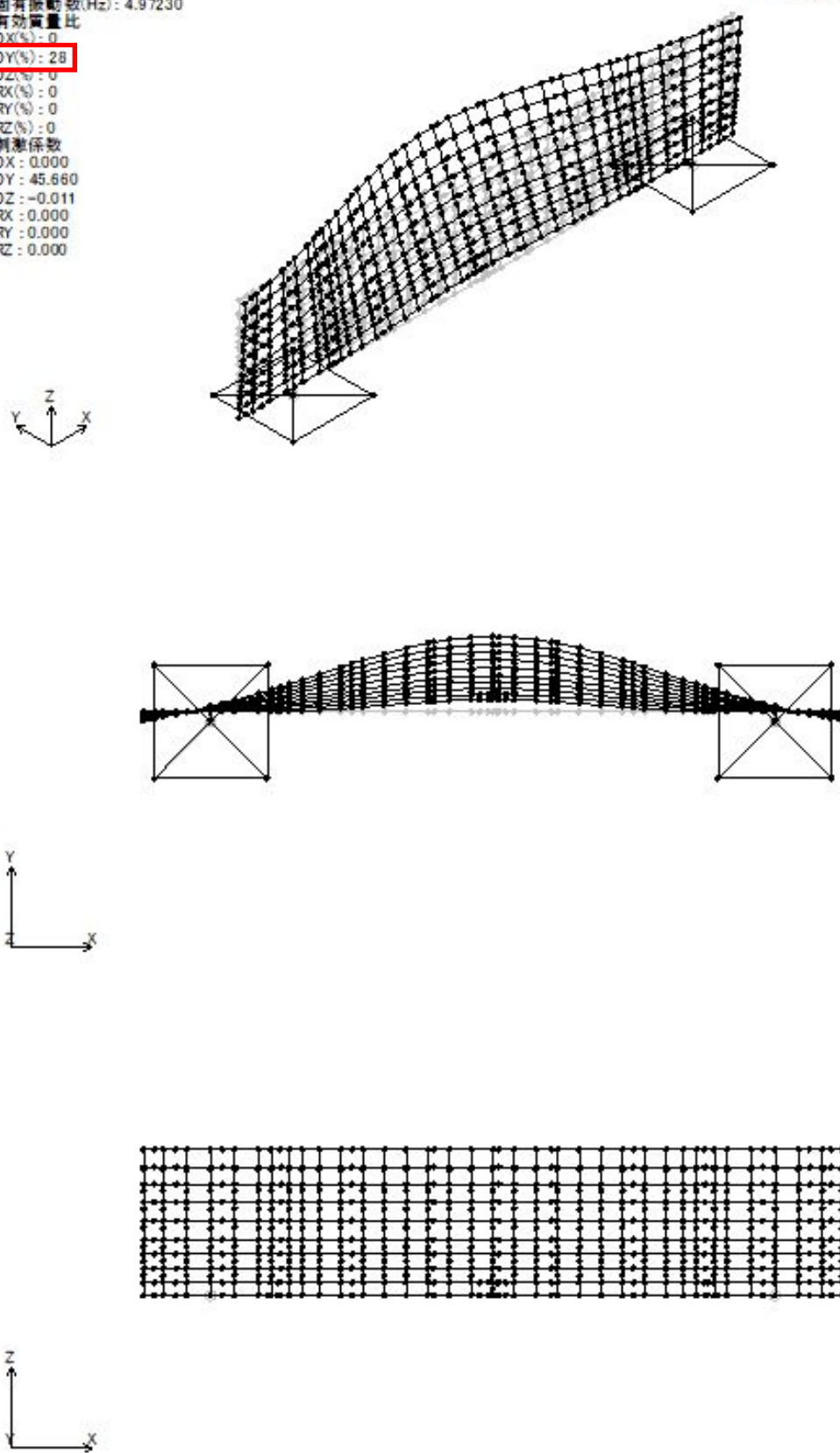
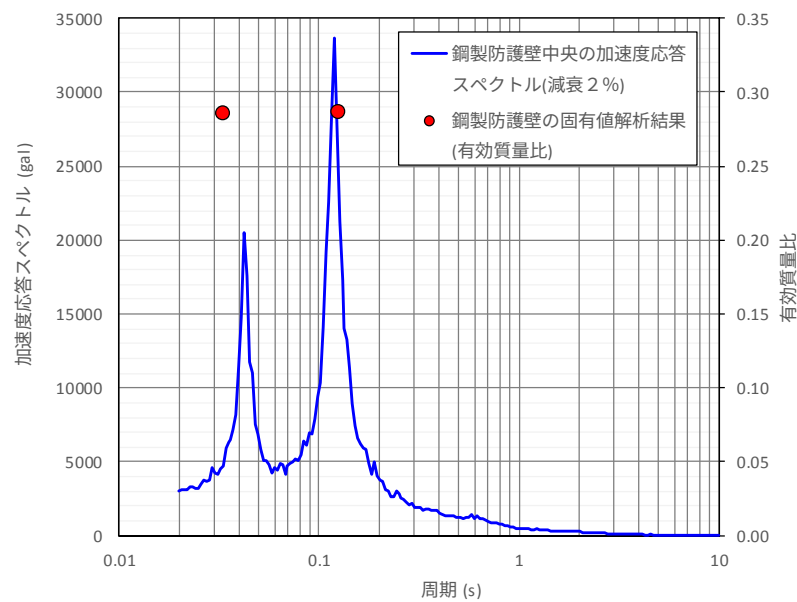


図 19 有効質量比最大ピーク時の鋼製防護壁のモード図(堤軸直交方向)

図 20 に Z 方向 (鉛直方向) の鋼製防護壁中央の加速度応答スペクトルと鋼製防護壁の固有値解析により得られた固有周期及び有効質量比の比較図を示す。同図から、加速度応答スペクトルの最大ピークを示す周期 (0.119s) と有効質量比が最大ピークを示す周期 (0.124s) がほぼ一致していることが分かる。また、加速度応答スペクトルの 2 番目のピークを示す周期 (0.042s) と有効質量比の 2 番目のピークを示す周期 (0.033s) が対応していると考えられる。

以上のことから、鋼製防護壁中央の鉛直方向の加速度応答スペクトルのピークは、概ね固有値解析による有効質量比のピークに対応している。

なお、有効質量比最大ピーク時の鋼製防護壁のモード図を図 21 に示す。

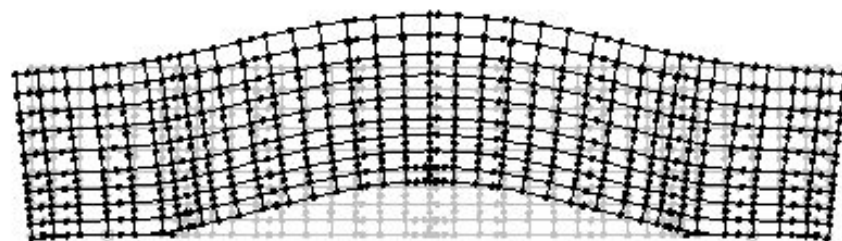
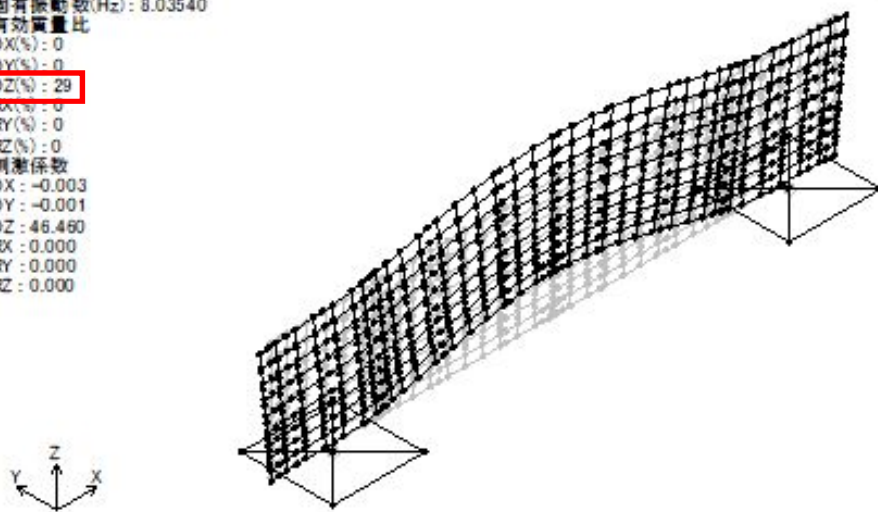


ピーク	加速度応答スペクトル		有効質量比(固有値解析)	
	周期 (s)	スペクトル (gal)	周期 (s)	有効質量比
最大ピーク	0.119	33639	0.124	0.29
2 番目のピーク	0.042	20518	0.033	0.29

図 20 鋼製防護壁の加速度応答スペクトルと固有値解析結果の比較 (鉛直方向)

固有周期(s): 0.12445
 固有振動数(Hz): 8.03540
 有効質量比
 DX(%): 0
 DY(%): 0
 DZ(%): 29
 RX(%): 0
 RY(%): 0
 RZ(%): 0
 制振係数
 DX: -0.003
 DY: -0.001
 DZ: 46.460
 RX: 0.000
 RY: 0.000
 RZ: 0.000

No.1:固有値解析 MODE No.2



SCALE = 200.000

図 21 有効質量比最大ピーク時の鋼製防護壁のモード図(鉛直方向)

6.1.3.5 止水機構（1次止水機構）の実証試験結果及び3次元動的解析との検証について

1. 目的

止水機構の地震時及び余震+津波時の追従性を確認するため、実規模大の試験装置を用いた試験（以下「実証試験」という。）を行い、止水板の挙動を確認することにより、変位追従性、水密ゴムの健全性を確認する。本件は、実証試験の試験結果及び3次元動的解析との検証結果を示す。

2. 実証試験ケースと結果

表1に本震時、表2に余震時の実証試験のケースと三次元動的解析のケースを示す。

表1 本震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		備 考
	X	Y	Z	実証試験	実機	
① 3方向 (X方向（堤軸）包絡波)	1 G	3 G (X包絡波)	1 G	○	○	3方向同時 (Y方向にX方向の地震動 を入力。方向反転)
② 3方向 (Y方向（堤軸直角）包絡波)	1 G	3 G (Y包絡波)	1 G	○	○	3方向同時
③ 鉛直 (鋼製防護壁包絡波)	—	—	1 G	○	—	鉛直単独
④ 鉛直 (取水路側包絡波)	—	—	波形 入力	○	○	鉛直単独 (図8に実証試験解析結果)
⑤ 基準地震動 (S_s) (S_s -D1)	—			—	○	3方向同時
⑥ 基準地震動 (S_s)	—			—	○	3方向同時

○：解析実施ケース

表2 余震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		備 考
	X	Y	Z	実証試験	実機	
① 3方向 (Y方向（堤軸直交）包絡波)	1 G	2 G (Y包絡波)	1 G	○	○	3方向同時
② 鉛直 (鋼製防護壁波形入力)	—	—	1 G	—	—	鉛直単独
③ 鉛直 (取水路側波形入力)	—	—	波形 入力	○	○	鉛直単独
④ 基準地震動 (S_d) (S_d -D1)	—			—	○	3方向同時

○：解析実施ケース

3. 実証試験の試験結果

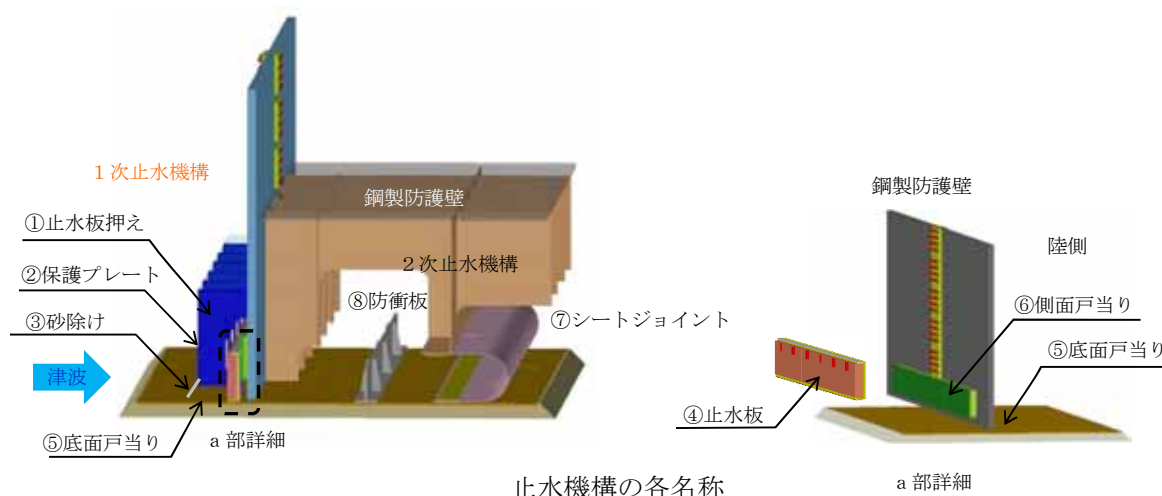
実証試験では以下の項目について判定を行い、「止水板の地震時の追従性」、「水密ゴムの健全性」及び「1次止水機構の構成部品の健全性」について確認し、止水機構全体に影響がないことを確認した。表3に実証試験の確認項目と試験結果を示す。

特段の不具合もなく、止水板の追従性、水密ゴムの健全性及び1次止水機構構成部材の健全性に関し、想定通りの結果を得ることができた。また、止水板の跳ね上がり量は小さく、止水性に問題ないことを確認できた。

表3 実証試験の確認項目と試験結果

機能目標	判定基準	試験結果
止水板の地震時の追従性確認	◆ 止水板の動作に異常がなく、止水板としての機能が保持されていること。(浮き上がり、止水板の破損・損傷) ◆ 止水板の浮き上がり量※ 3mm以下の浮き上がりであれば水密ゴムは底面戸当りと接触状態	◆ 止水板の浮上り固着、止水板の破損・損傷の異常は認められなかった。 ◆ 約1.94mm(5月9日)／約2.61mm(5月15日)(加振ケース：3方向加振時)
水密ゴムの健全性確認	◆ 水密ゴムの動作に異常がなく機能が保持されていること。(噛み込み、摺動による亀裂、破損、摩耗) ◆ 水密ゴムのライニングに異常がなく機能が保持されていること。(ライニングの破損、めくれ)	◆ 水密ゴムの噛み込み、摺動による亀裂、破損、摩耗は認められなかった。 ◆ ライニングの破損、めくれは認められなかった。
1次止水機構の構成部品の健全性確認	◆ 装置全体に異常がなく健全であること。(試験装置、部材の変形、損傷、他)	◆ 試験装置、部材の変形、損傷等は認められなかった。

※：別途、止水機構の損傷・保守を想定し、1次止水機構及び2次止水機構がない場合の敷地内浸水量を評価しており、止水板の瞬間的な跳ね上がりによる漏えいは無視できる程度であり安全上の問題はない。



4. 実証試験結果【本震時】

(1) 振動試験結果の波形

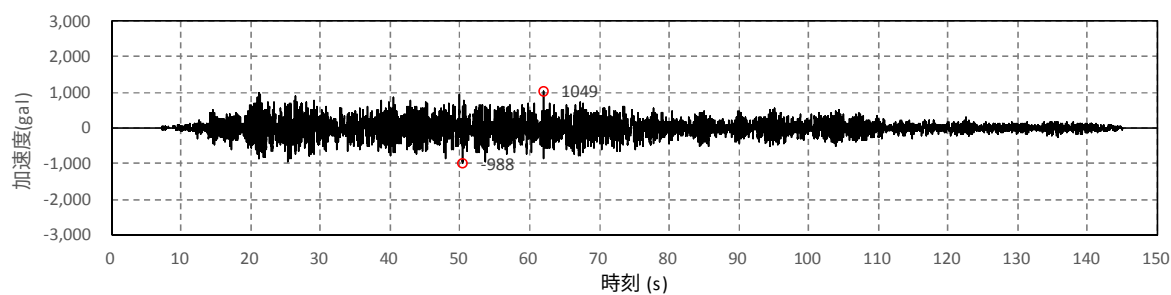
① 3 方向（X方向（堤軸）包絡波）

a. 鉛直最大変位（1 回目）

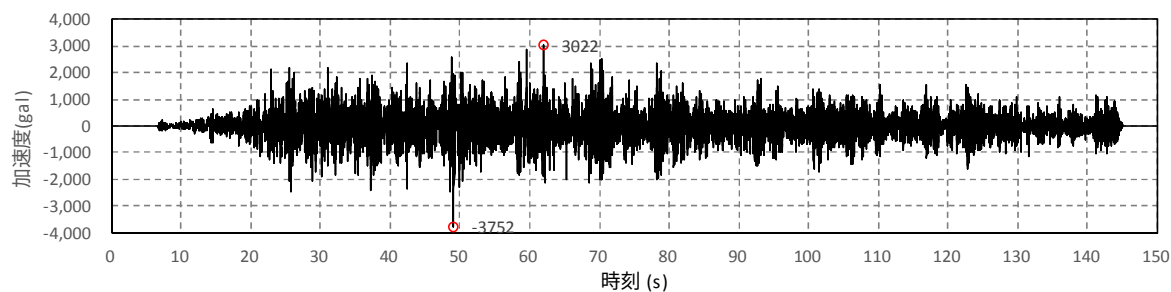
【振動台上応答加速度変位】

	X 方向	Y 方向	Z 方向
振動台入力加速度 (gal)	1049	-3752	-1089

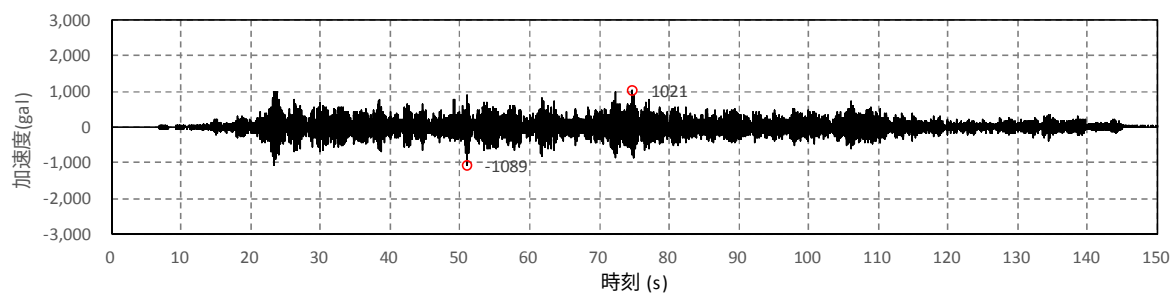
X 方向



Y 方向



Z 方向



【鉛直変位時刻歴波形】

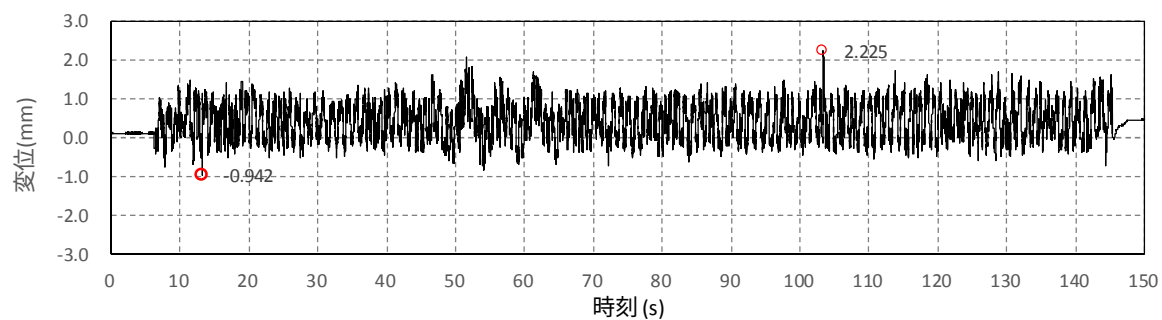


図-a DV-1 時刻歴波形

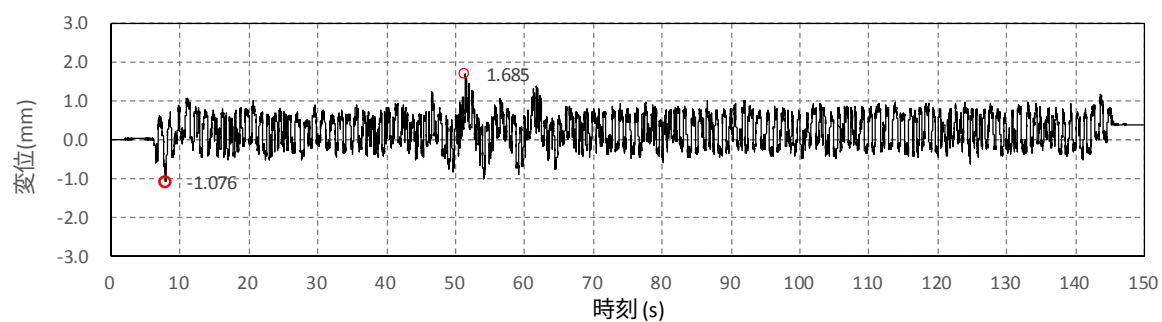


図-b DV-2 時刻歴波形

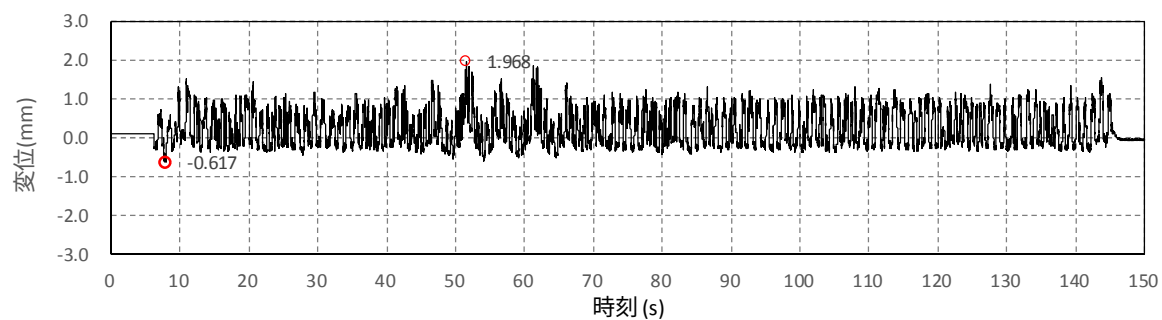


図-c DV-3 時刻歴波形

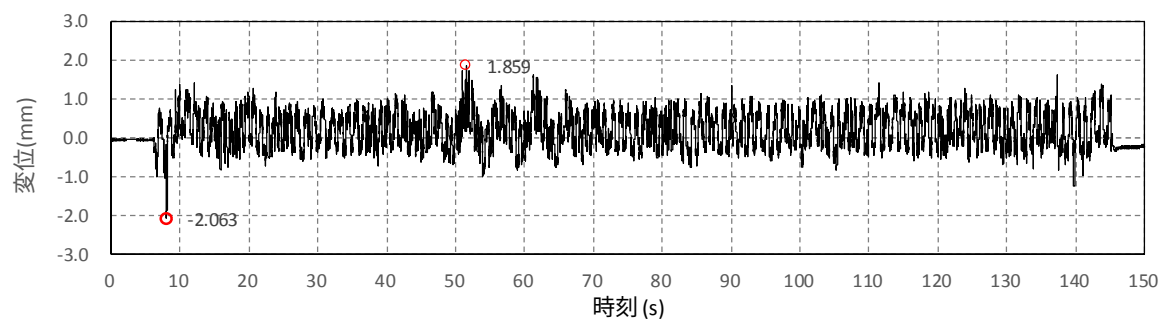


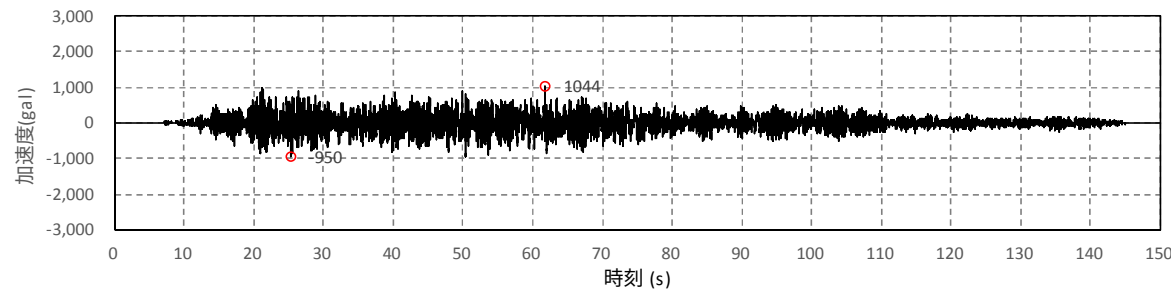
図-d DV-4 時刻歴波形

b. 鉛直最大変位（2回目）

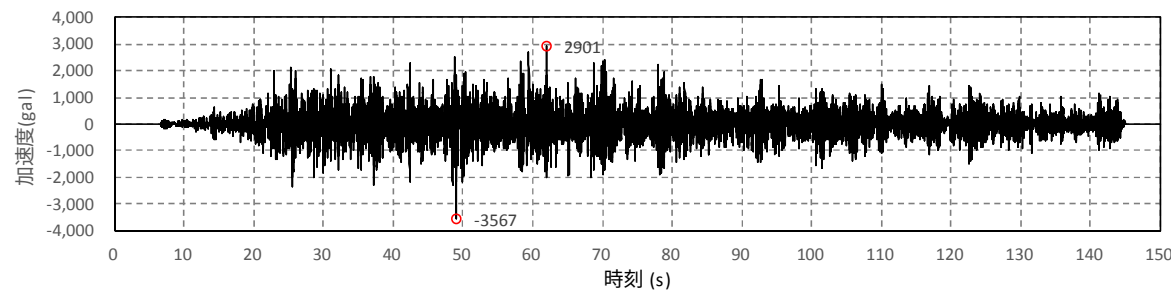
【振動台上応答加速度波形】

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度（gal）	1044	-3567	-1076

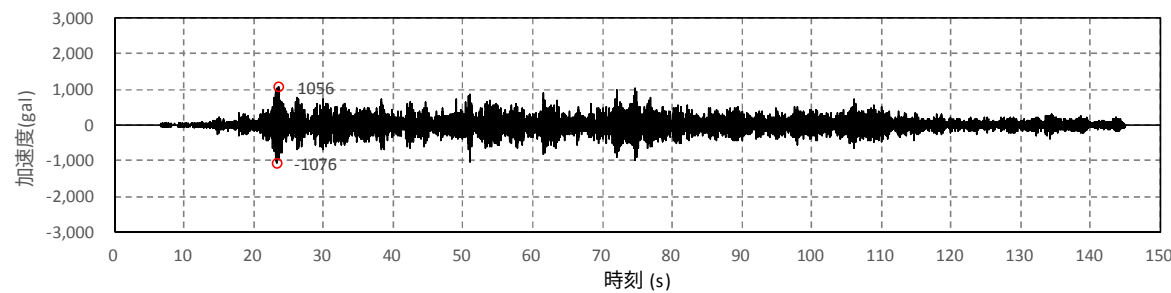
X方向



Y方向



Z方向



【鉛直変位時刻歴波形】

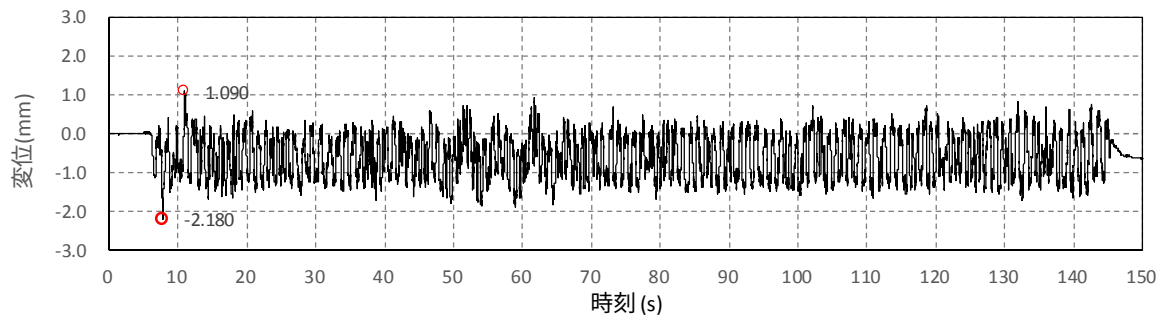


図-a DV-1 時刻歴波形

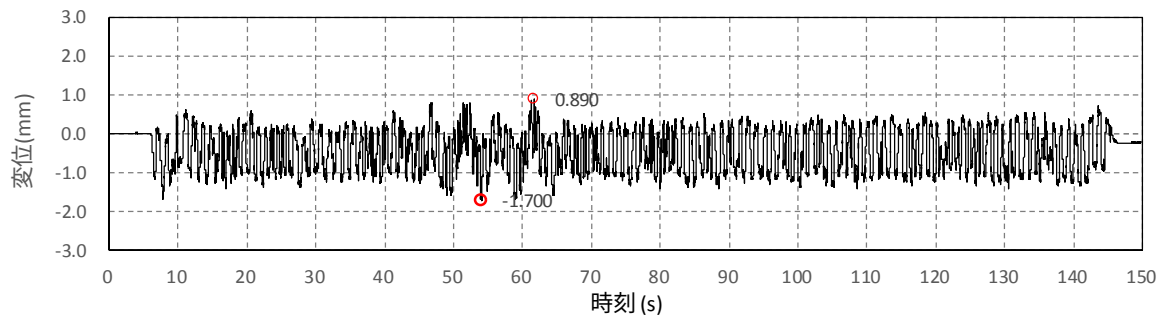


図-b DV-2 時刻歴波形

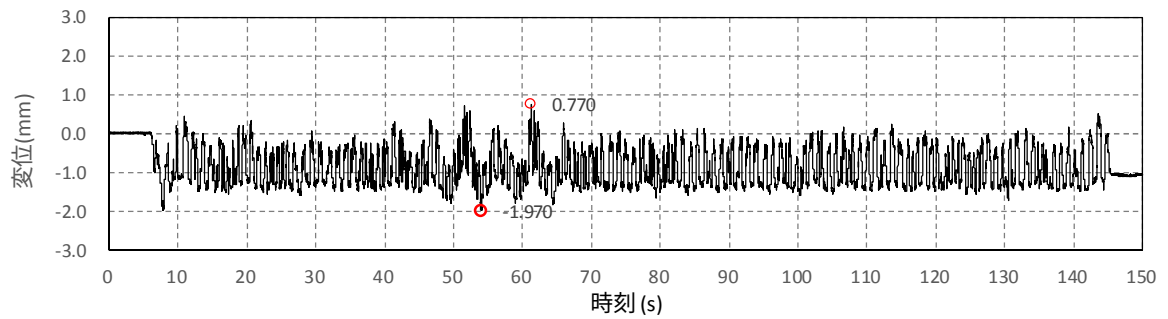


図-c DV-3 時刻歴波形

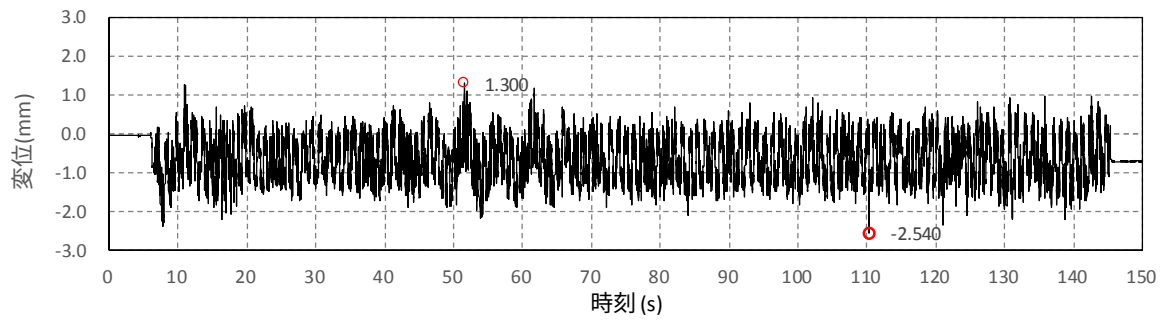


図-d DV-4 時刻歴波形

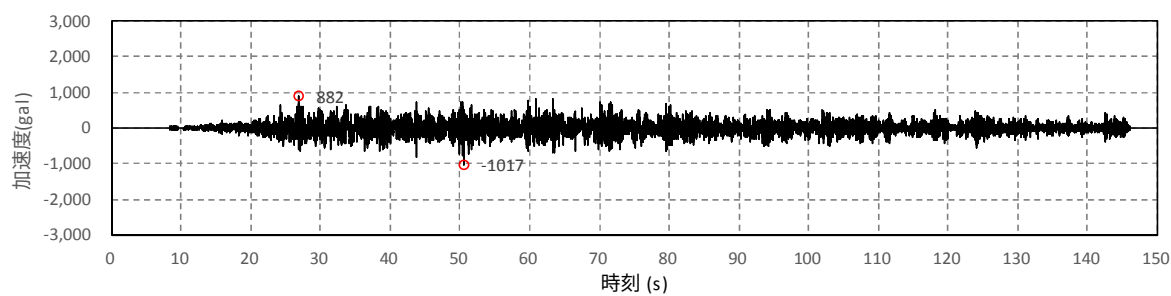
② 3 方向（Y 方向（堤軸直角）包絡波）

a. 鉛直最大変位（1 回目）

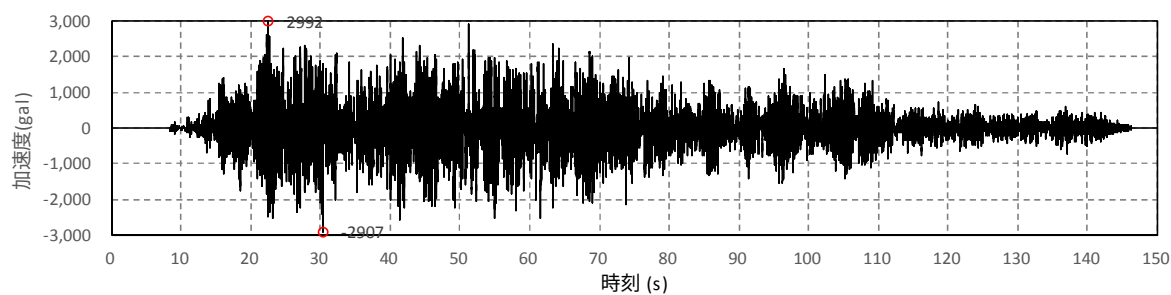
【振動台上応答加速度波形】

	X 方向	Y 方向	Z 方向
振動台入力加速度 (gal)	-1017	2992	-1109

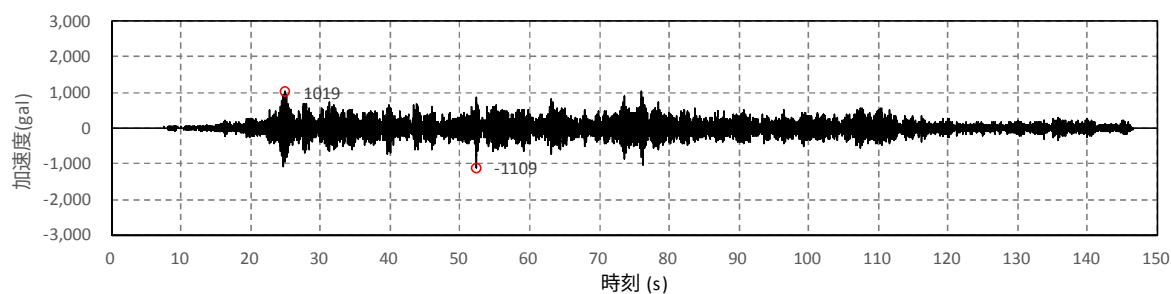
X 方向



Y 方向



Z 方向



【鉛直変位時刻歴波形】

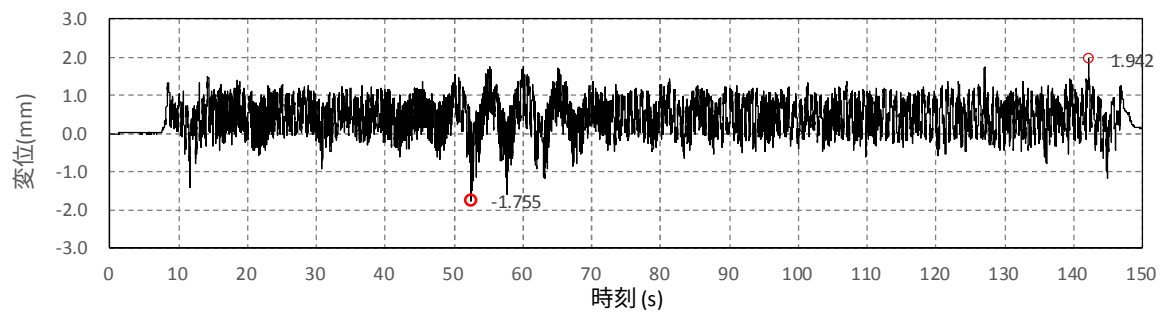


図-a DV-1 時刻歴波形

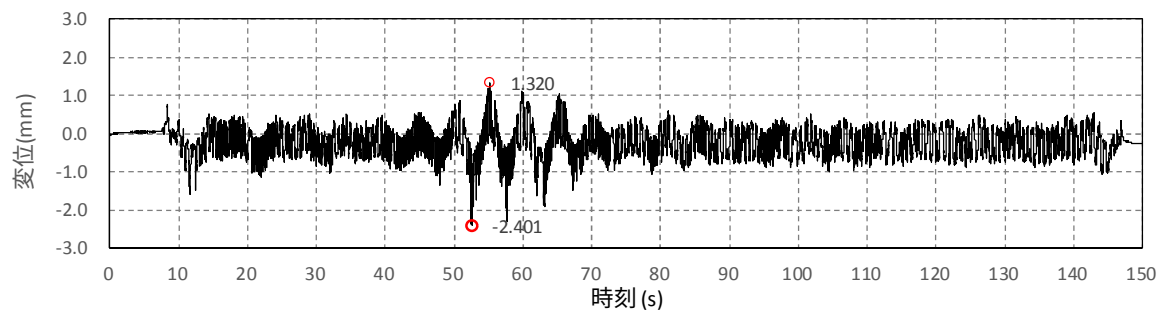


図-b DV-2 時刻歴波形

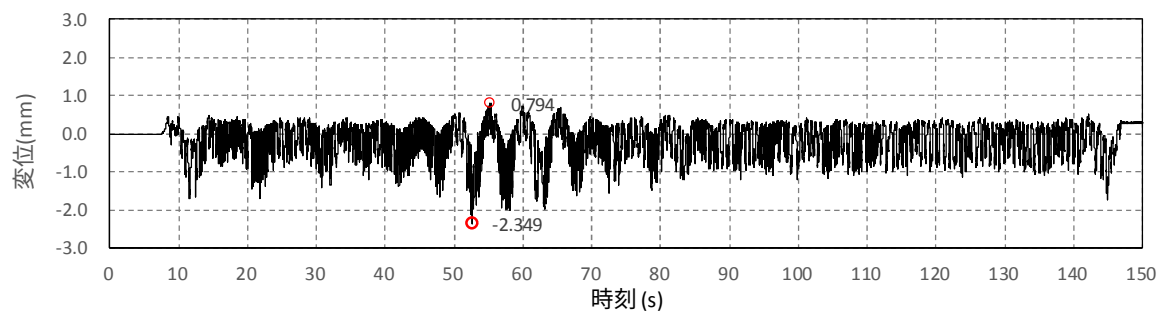


図-c DV-3 時刻歴波形

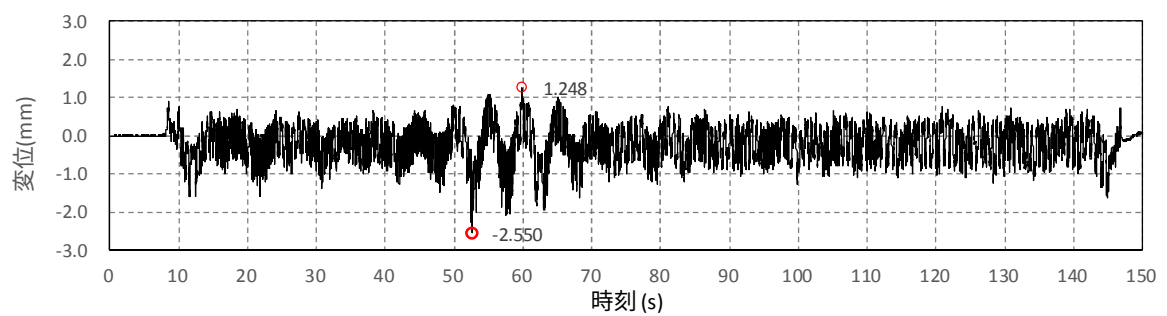


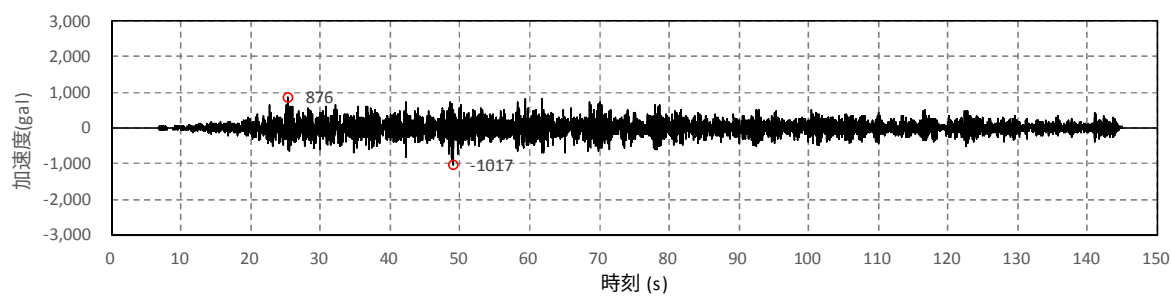
図-d DV-4 時刻歴波形

b. 鉛直最大変位（2回目）

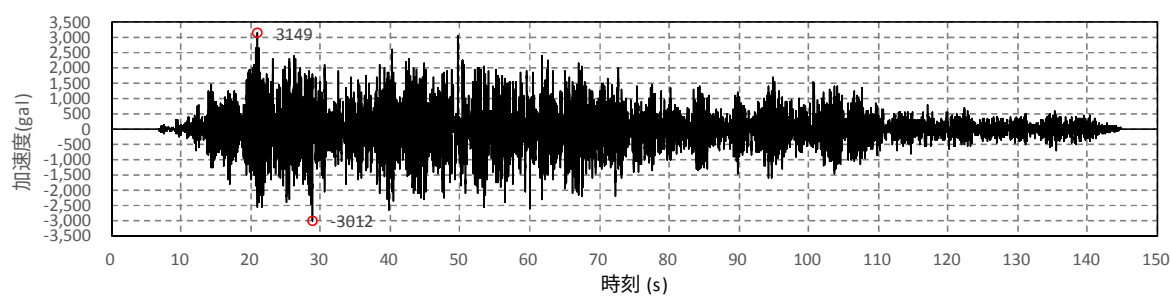
【振動台上応答加速度波形】

	X 方向	Y 方向	Z 方向
振動台入力加速度 (gal)	-1017	3149	-1095

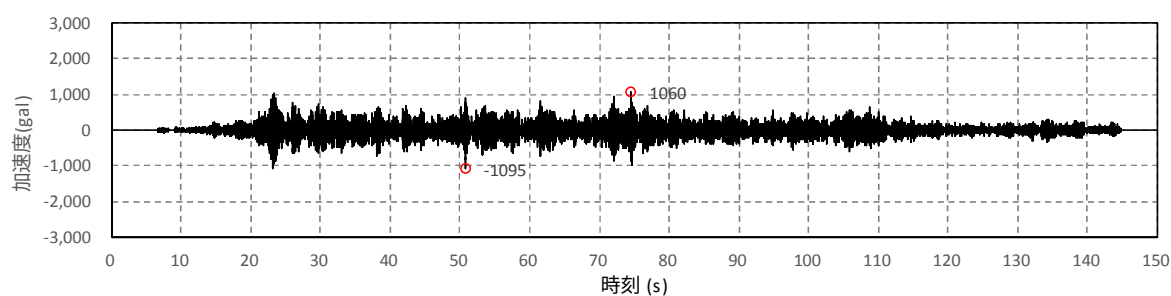
X 方向



Y 方向



Z 方向



【鉛直変位時刻歴波形】

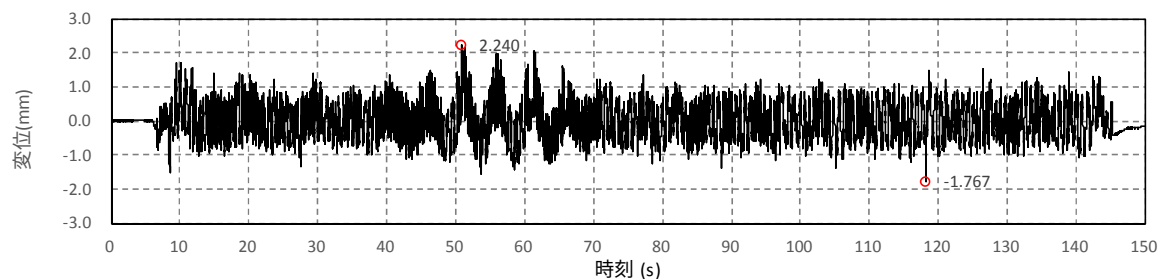


図-a DV-1 時刻歴波形

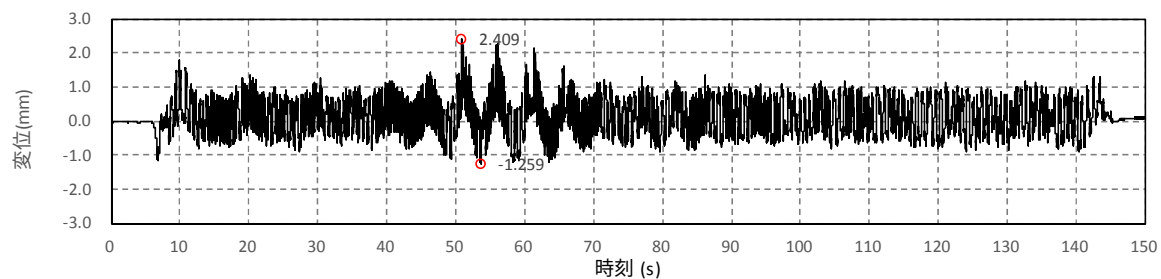


図-b DV-2 時刻歴波形

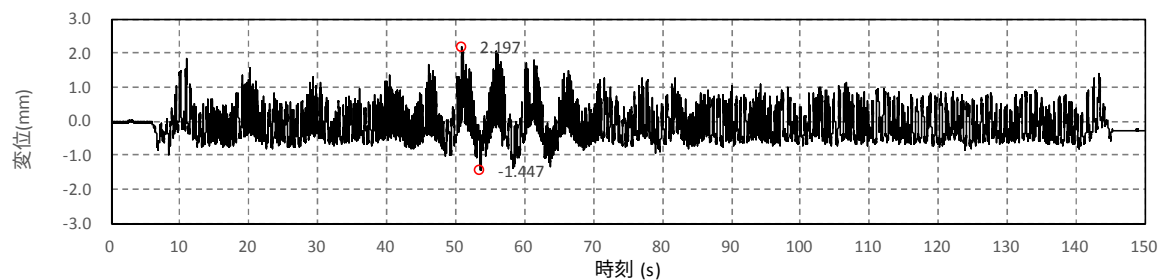


図-c DV-3 時刻歴波形

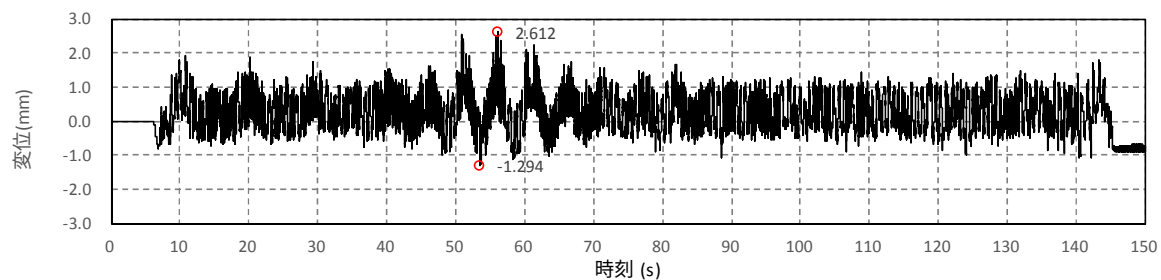


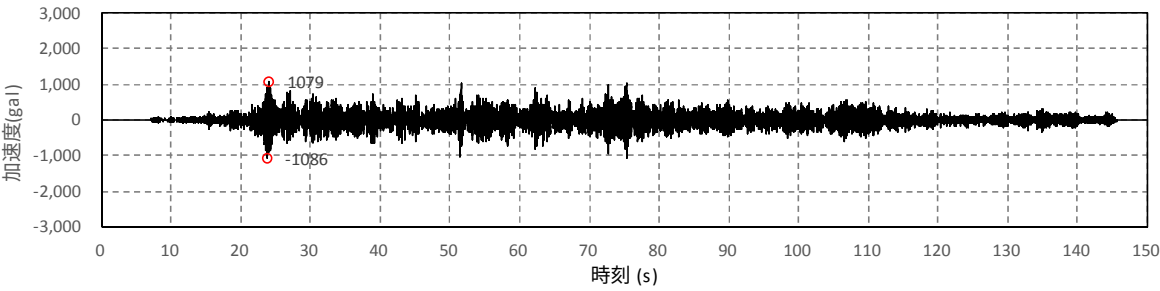
図-d DV-4 時刻歴波形

- ③鉛直（鋼製防護壁包絡波）
- a. 鉛直最大変位（1回目）

【振動台上応答加速度波形】

	X 方向	Y 方向	Z 方向
振動台入力加速度（gal）	-257	79	-1086

Z 方向



【鉛直変位時刻歴波形】

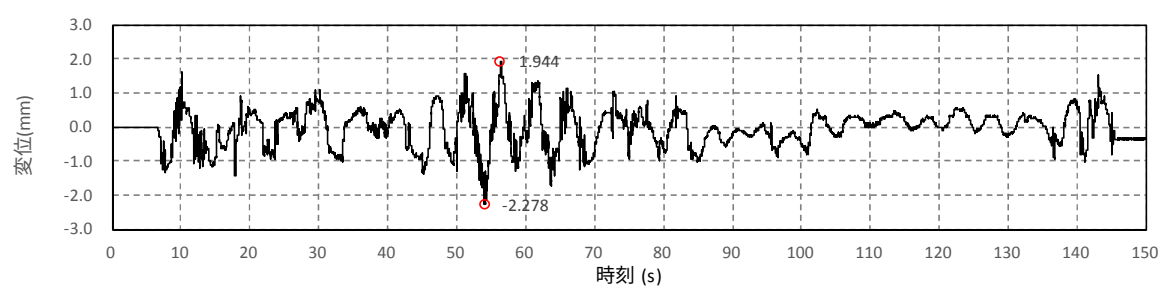


図-a DV-1 時刻歴波形

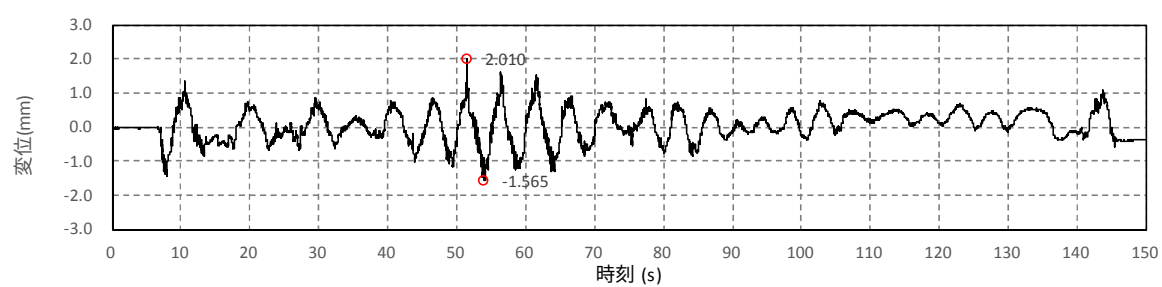


図-b DV-2 時刻歴波形

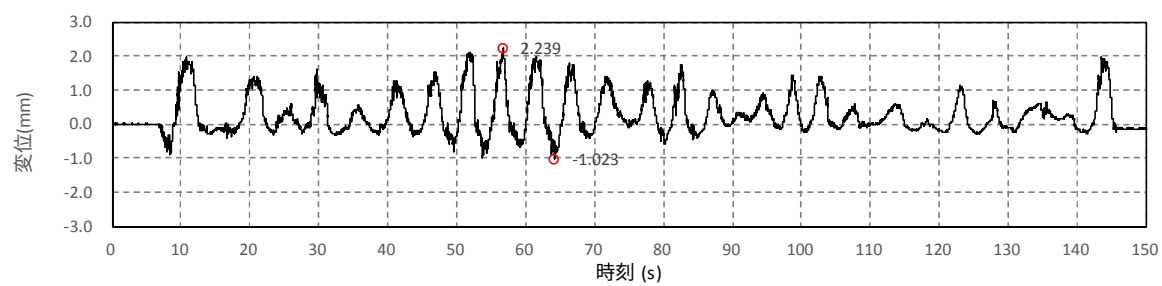


図-c DV-3 時刻歴波形

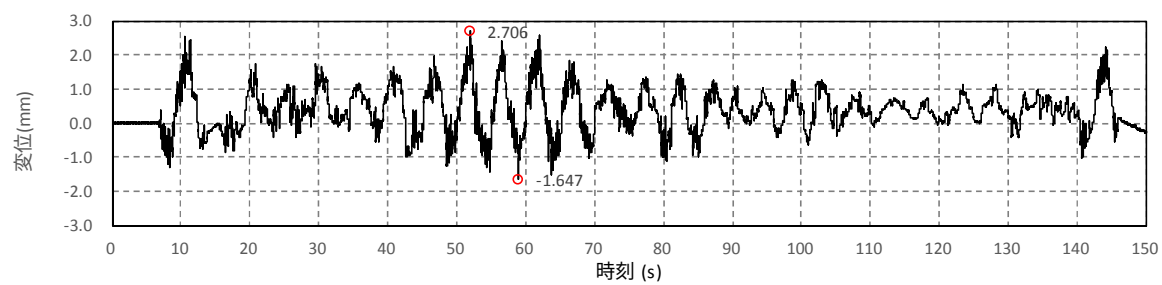


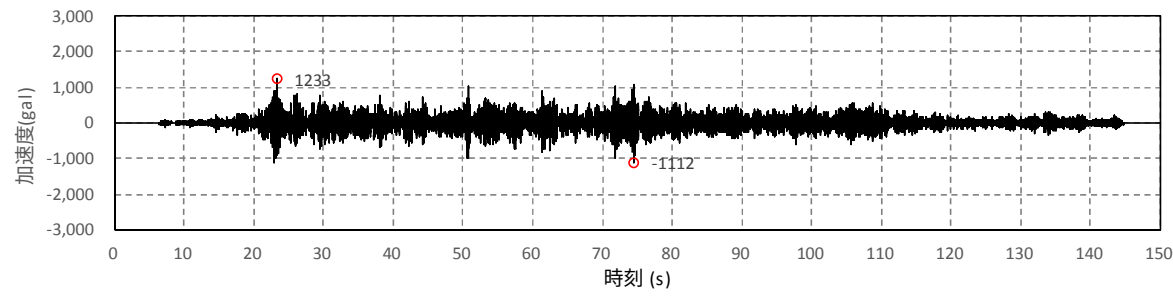
図-d DV-4 時刻歴波形

b. 鉛直最大変位（2回目）

【振動台上応答加速度波形】

	X 方向	Y 方向	Z 方向
振動台入力加速度（gal）	-251	-80	1233

Z 方向



【鉛直変位時刻歴波形】

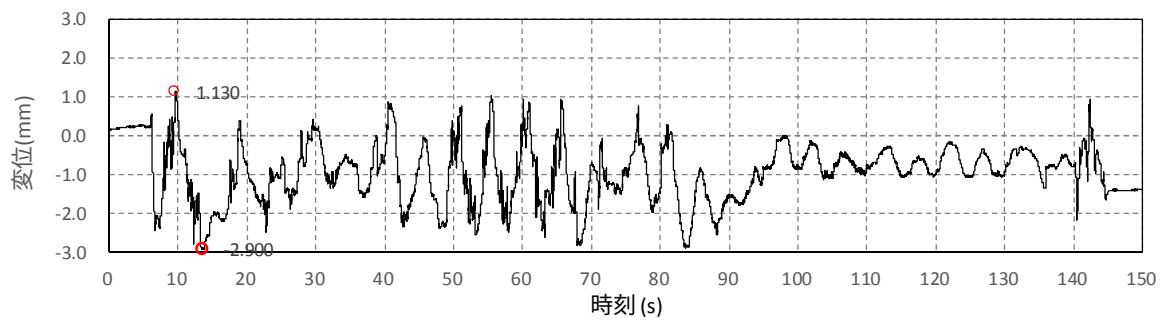


図-a DV-1 時刻歴波形

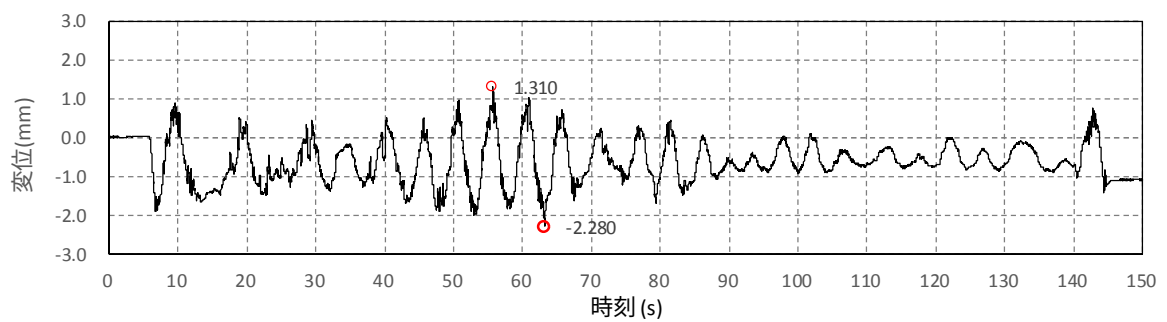


図-b DV-2 時刻歴波形

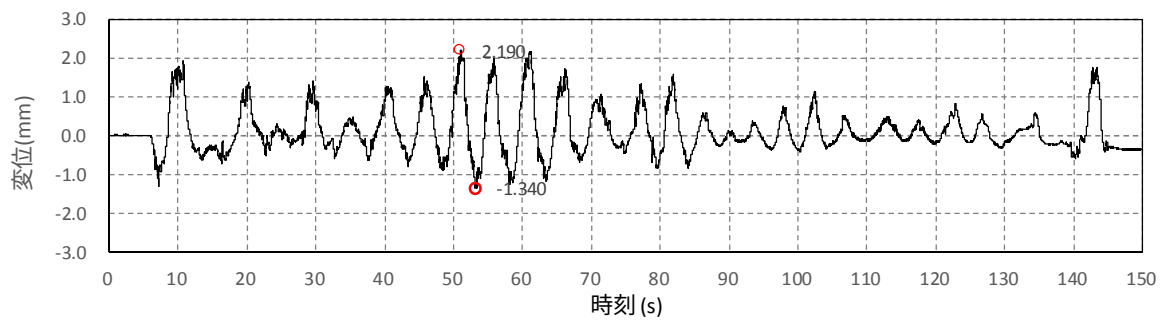


図-c DV-3 時刻歴波形

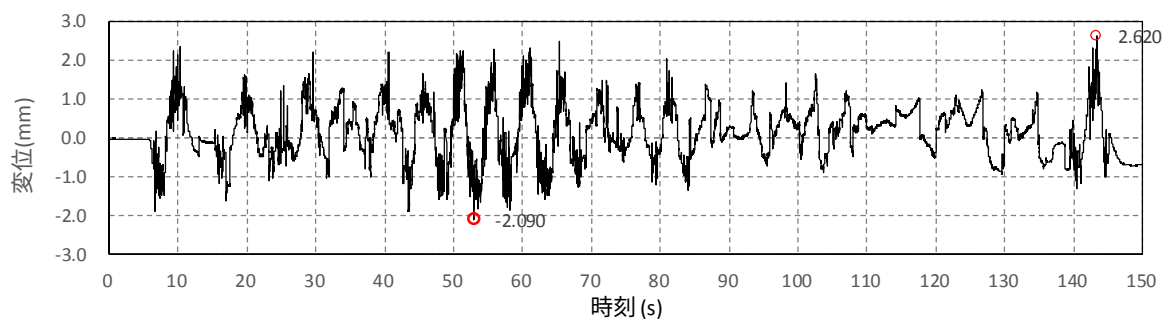


図-d DV-4 時刻歴波形

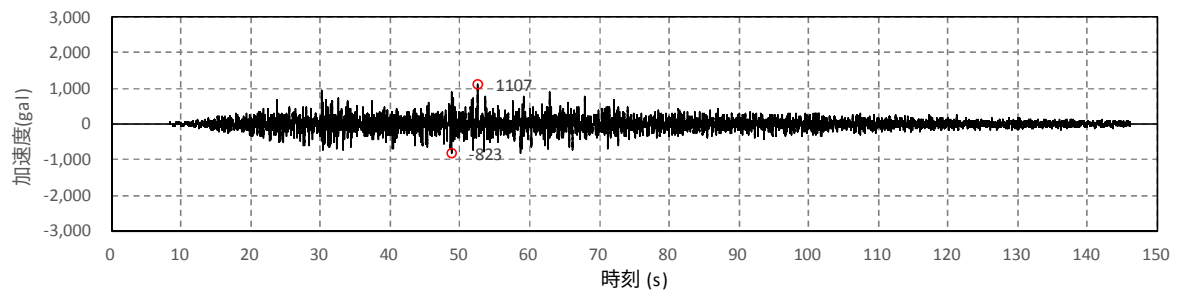
④鉛直（取水路包絡波）

a. 鉛直最大変位（1回目）

【振動台上応答加速度波形】

	X 方向	Y 方向	Z 方向
振動台入力加速度 (gal)	60	101	1107

Z 方向



【鉛直変位時刻歴波形】

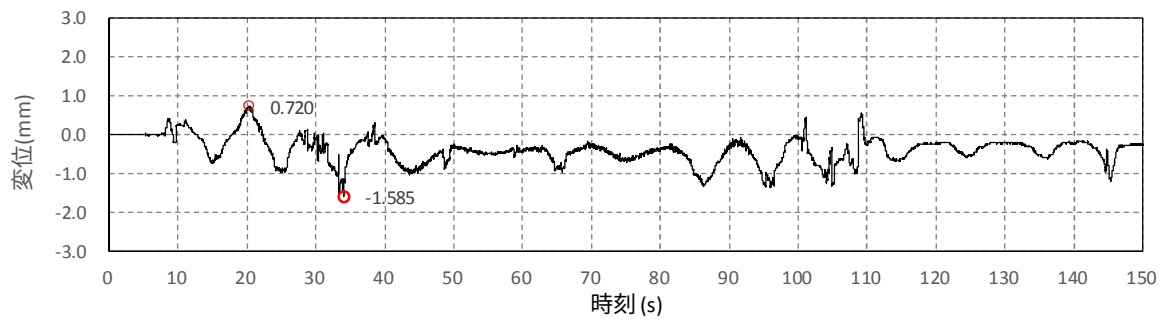


図-a DV-1 時刻歴波形

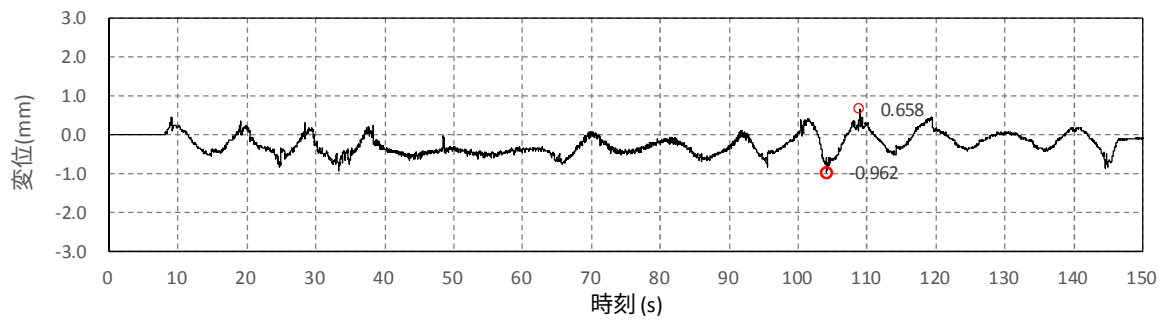


図-b DV-2 時刻歴波形

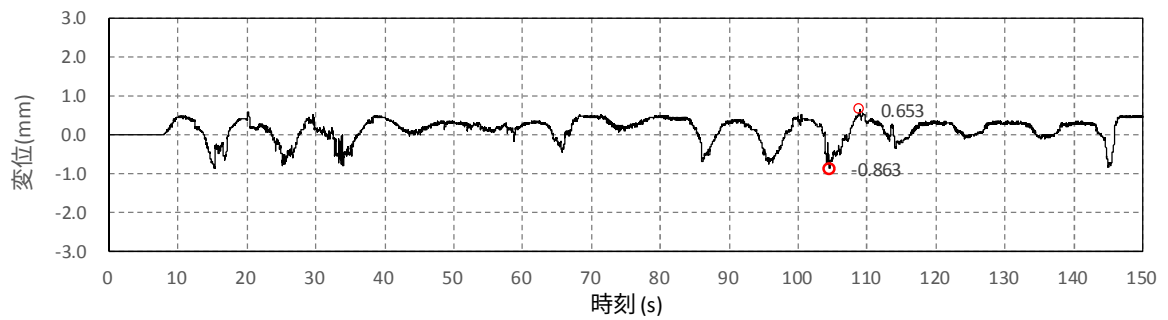


図-c DV-3 時刻歴波形

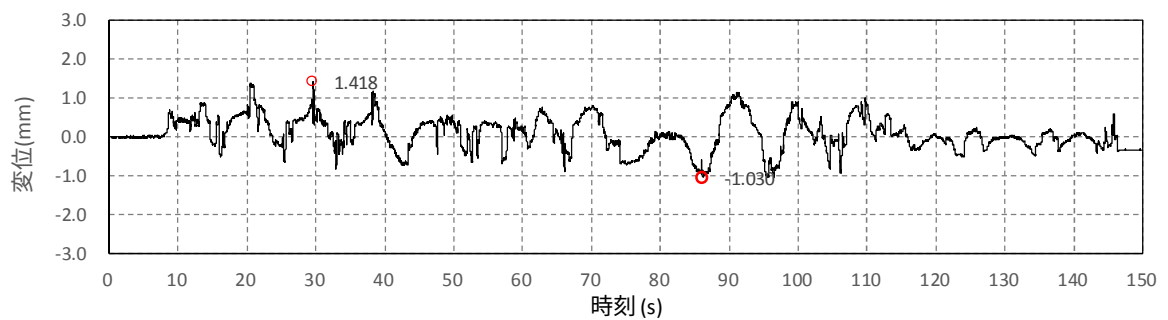


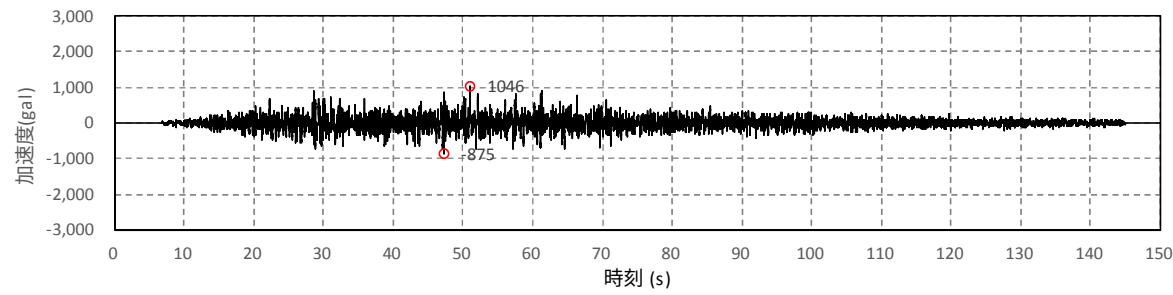
図-d DV-4 時刻歴波形

b. 鉛直最大変位（2回目）

【振動台上応答加速度波形】

	X 方向	Y 方向	Z 方向
振動台入力加速度 (gal)	-54	65	1046

Z 方向



【鉛直変位時刻歴波形】

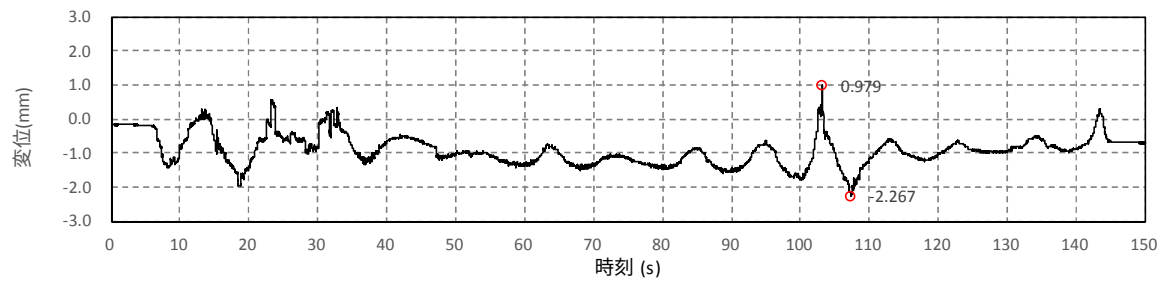


図-a DV-1 時刻歴波形

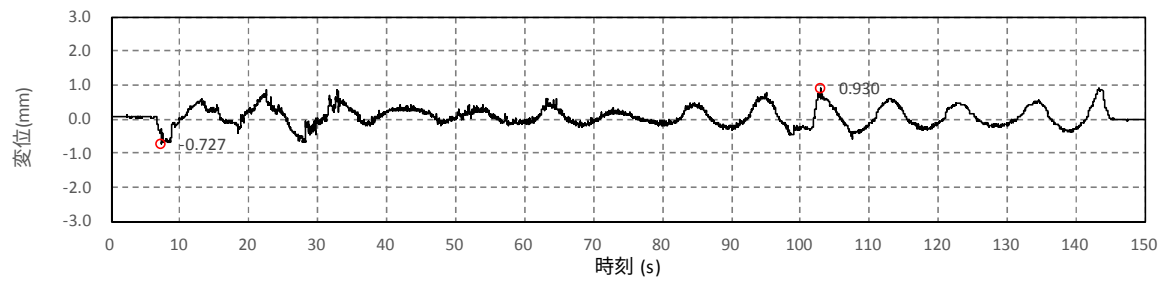


図-b DV-2 時刻歴波形

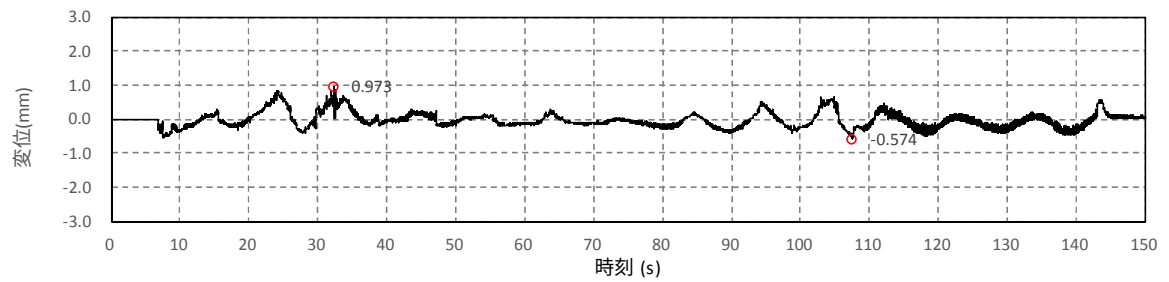


図-c DV-3 時刻歴波形

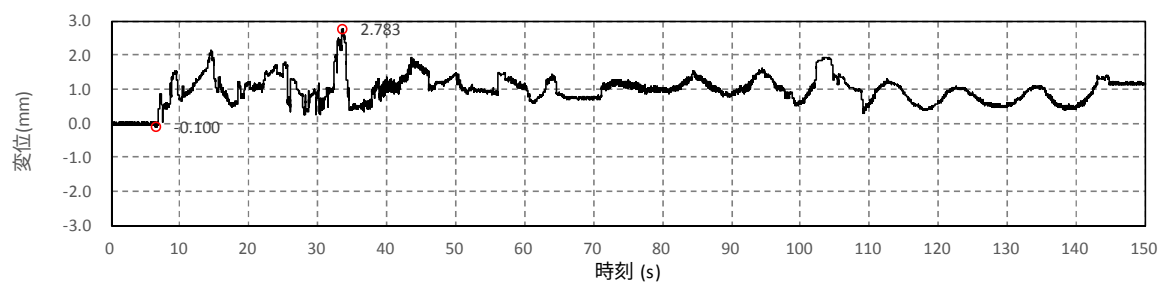


図-d DV-4 時刻歴波形

(2) 水密ゴムの外観状況

a. 各部位の水密ゴムの外観状況

摺動試験 2 回目の本震後の水密ゴム等の状況

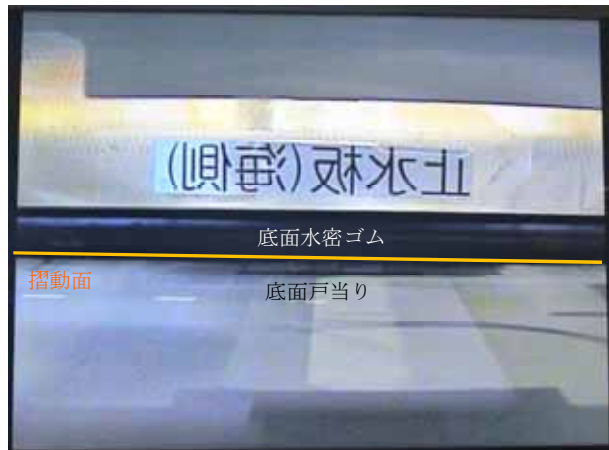


写真1 底面水密ゴムと底面戸当り
(海側より)

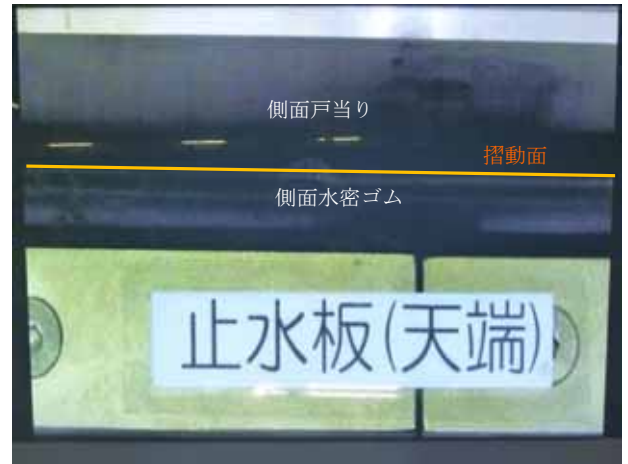


写真2 側面水密ゴムと側面戸当り
(海側より)

加振中における底面水密ゴム及び側面水密ゴムの噛み込みは画像から認められなかった。

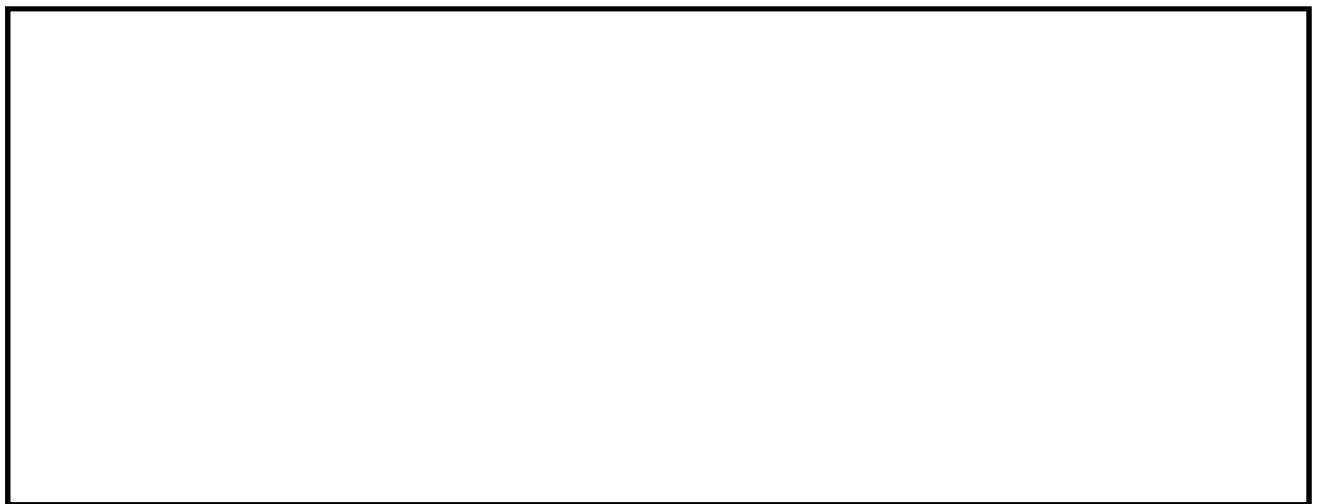


写真3 底面水密ゴムと底面戸当り
(陸側より)

写真4 止水板接続ゴム
(陸側より)

加振中における底面水密ゴム及び止水板接続ゴムの状況に画像から異常は認められなかった。



(上方側移に移動)



(中間位置)



(下方側に移動)

写真4 加振時の止水板の挙動

(3) 確認結果【本震時】

実証試験の本震時の結果、全てのケースにおいて止水板の追従性は良好であった。水密ゴムの噛み込みや破損等についても見られなかった。表4に実証試験結果を示す。水密ゴムの浮き上がり量については表5に示す。実証試験モデルの場合、実態に近い挙動は止水板接続部であることから表6に止水板接続部として整理し、全てのケースで3mm以下（図1参照）であることを確認した。実証試験モデルと実機モデルの検証については、6.1.3.3に示す。

表4 実証試験結果（1回目／2回目）

		①3方向 (X方向(堤軸)包絡波)	②3方向 (Y方向(堤軸直角)包絡波)	③鉛直 (鋼製防護壁包絡波)	④鉛直 (取水路側包絡波)
止水板の地震時の追従性確認	◆止水板の動作に異常がなく、止水板としての機能が保持されていること。（浮き上がり、止水板の破損・損傷）	良好／良好	良好／良好	良好／良好	良好／良好
水密ゴムの健全性確認	◆水密ゴムの動作に異常がなく機能が保持されていること。 (噛み込み、摺動による亀裂、破損、摩耗) ◆水密ゴムのライニングに異常がなく機能が保持されていること。（ライニングの破損、めくれ）写真5参照	良好／良好	良好／良好	良好／良好	良好／良好
1次止水機構の構成部品の健全性確認	◆装置全体に異常がなく健全であること。 (試験装置、部材の変形、損傷、他)写真5参照	良好／良好	良好／良好	良好／良好	良好／良好

表5 止水板の浮き上がり量（最大値の整理（mm））

			①3方向 (X方向(堤軸)包絡波)	②3方向 (Y方向(堤軸直角)包絡波)	③鉛直 (鋼製防護壁包絡波)	④鉛直 (取水路側包絡波)
止水板の地震時の追従性確認	◆止水板の浮き上がり量 3mm 以下 3mm 以下の浮き上がりであれば水密ゴムは底面戸当りと接触状態（図1参照）	1回目	2.23 (DV-1)	1.94 (DV-1)	2.71 (DV-4)	1.42 (DV-4)
		2回目	1.30 (DV-4)	2.61 (DV-4)	2.62 (DV-4)	2.78 (DV-4)

鉛直変位の最大値は、止水板の端部(DV-1, 4)が拘束されていないため浮き上がる傾向が認められた。

表6 止水板の浮き上がり量（止水板接続部（mm））

			①3方向 (X方向(堤軸)包絡波)	②3方向 (Y方向(堤軸直角)包絡波)	③鉛直 (鋼製防護壁包絡波)	④鉛直 (取水路側包絡波)
止水板の地震時の追従性確認	◆止水板の浮き上がり量 3mm 以下 3mm 以下の浮き上がりであれば水密ゴムは底面戸当りと接触状態（図1参照）	1回目	1.69 (DV-2) 1.97 (DV-3)	1.32 (DV-2) 0.79 (DV-3)	2.01 (DV-2) 2.24 (DV-3)	0.66 (DV-2) 0.65 (DV-3)
		2回目	0.89 (DV-2) 0.77 (DV-3)	2.41 (DV-2) 2.20 (DV-3)	1.31 (DV-2) 2.19 (DV-3)	0.93 (DV-2) 0.97 (DV-3)

実態に近い止水板接続部については、数値に大きなばらつきもなく全ての状態で3mm以下であった。



底面水密ゴム



底面水密ゴム



側面水密ゴム



止水板接続ゴム

【1回目加振試験後（1回目加振試験供試材）】

- ◆底面・側面止水ゴムの亀裂・破損・摩耗，水密ゴムライニングの破損，めくれ等はなかった。
- ◆止水板接続の破損，底面・側面水密ゴムとの接続部の破損等は認められなかった。



底面水密ゴム



底面水密ゴム



底面水密ゴム



止水板接続ゴム

【2回目加振試験後（2回目加振試験供試材）】

- ◆底面・側面止水ゴムの亀裂・破損・摩耗，水密ゴムライニングの破損，めくれ等はなかった。
- ◆止水板接続の破損，底面・側面水密ゴムとの接続部の破損等は認められなかった。

写真 5 (1/2) 加振試験後における水密ゴムの点検結果



底面戸当り



側面戸当り



止水板コマ

【2回目加振試験後（1回目及び2回目共通加振試験供試材）】

- ◆底面・側面戸当り，止水板コマに摺動痕は認められるが，破損等の異常は認められなかった。
- ◆水密ゴム固定ボルトの緩み，脱落も認められなかった。

- ◆加振試験後に1次止水機構を取り外し，1次止水機構の構成部材の状態について確認した。底面戸当り，側面戸当り，止水板コマの点検結果を上記写真5に示す。
 - ①底面戸当り，側面戸当りに摺動痕が見られるものの，1次止水機構の機能を阻害するような破損等は認められなかった。
 - ②水密ゴムを固定する止水板コマの取り付けボルトの緩み，脱落等の異常は認められなかった。
- ◆以上より，1次止水機構の構成部材の地震時の健全性が保持できることが確認できた。今後，三次元動的解析等により，各主要部材に作用する応力等について評価を実施し，今回の実証試験結果と合わせて構造成立性について確認していく。

写真5（2/2） 加振試験後における水密ゴムの点検結果

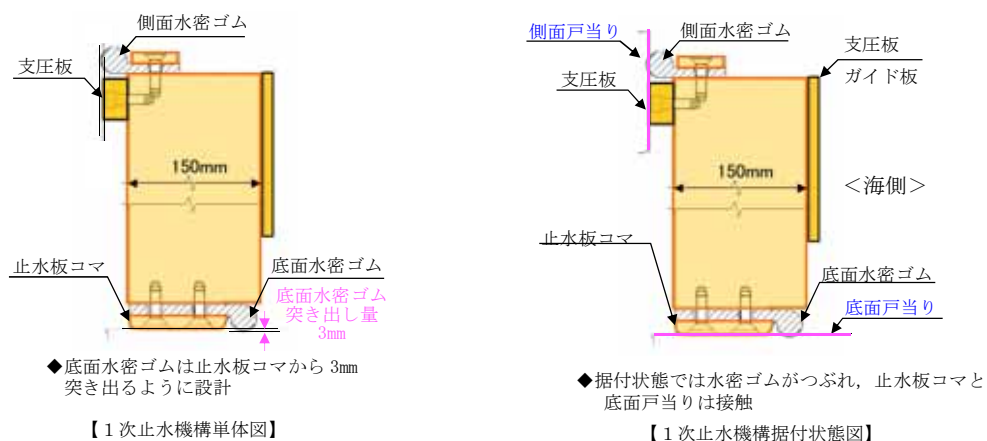


図1 底面，側面水密ゴムの単体及び据付け状況

(4) 実証試験結果と3次元動的解析（実証試験モデル）の検証について【本震時】

a. 実証試験及び3次元動的解析ケースの目的

実証試験は以下の4ケース（①～④）を実施した。各試験ケースの目的を示す。

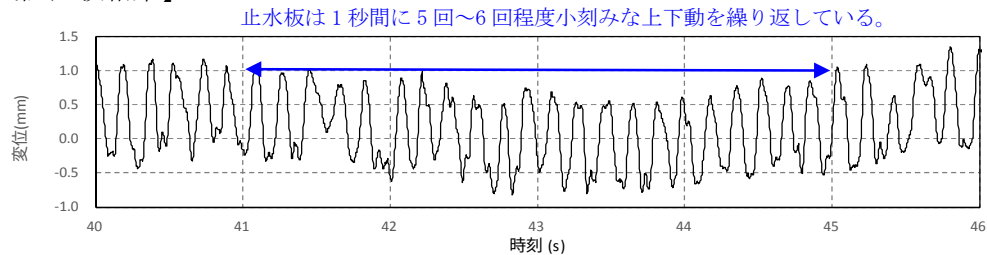
検証ケースとして3方向加振試験の場合は，②の実証試験と3次元動的解析を実施し，鉛直方向については④の実証試験と3次元動的解析を実施する。表7に3次元動的解析及び実証試験ケースの目的を示す。

表7 実証試験及び3次元動的解析ケースの目的【本震時】

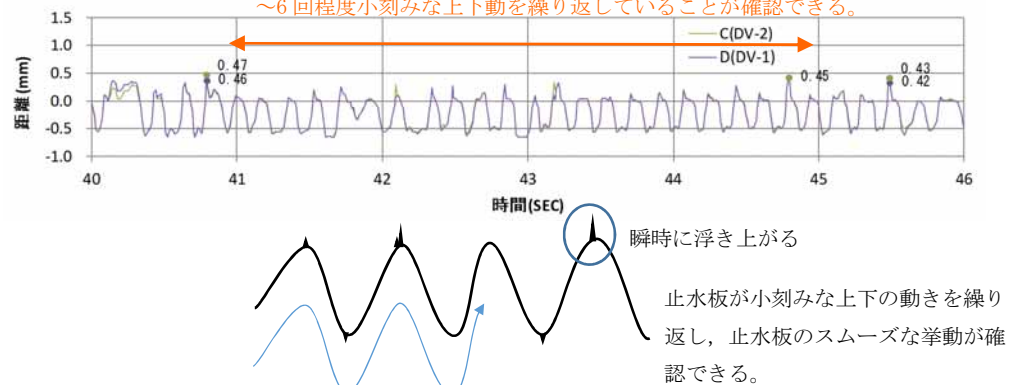
	実証試験のケース			3次元動的解析ケース		実証試験及び3次元動的解析ケースの目的
	X	Y	Z	実証試験	実機	
① 3方向 (X方向（堤軸） 包絡波)	1 G	3 G (X包絡 波)	1 G	○	○	【データ拡充】3方向データ ◆実証試験において，鋼製防護壁側の堤軸側の水平方向の包絡波を入力し止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。 ◆3次元動的解析における止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。
② 3方向 (Y方向（堤軸直 角）包絡波)	1 G	3 G (Y包絡 波)	1 G	○	○	【検証ケース】3方向データ（実機と同じ方向確認） ◆実証試験において鋼製防護壁側の堤軸直角側の水平方向の包絡波を入力し止水板の挙動を確認する。 ◆3次元動的解析については，実証試験と実証試験ケースの検証を行うと共に実機ケースモデルとの解析検証を行いモデルの妥当性についても確認する。
③ 鉛直 (鋼製防護壁包 絡波)	—	—	1 G	○	—	【データ拡充】鉛直方向データ ◆実証試験において鋼製防護壁側の鉛直方向の加速度（1G）を取水路側の鉛直方向に入力し，止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。 ◆3次元動的解析における止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。
④ 鉛直 (取水路側包絡 波)	—	—	波形 入力	○	○	【検証ケース】鉛直方向データ（実機と同じ方向確認） ◆実証試験において止水板の挙動は，鉛直方向からの慣性力が支配的と考えられることから本件をベースケースとした実証試験を実施し，鉛直からの変位量を計測する。実機と同じ方向で確認 ◆3次元動的解析については，実証試験と実証試験ケースの検証を行うと共に実機ケースモデルとの解析検証を行いモデルの妥当性についても確認する。

- b. 実証試験と実証試験モデルとの検証（② 3 方向 Y 方向（堤軸直角）包絡波での検証）
 止水板の挙動について、3 方向同時加振時の検証ケースとして「② 3 方向（堤軸直角） Y 方向包絡」について、実証試験で得られた鉛直変位の結果と実証試験モデルの解析結果から得られた検証結果を以下に示す。

【実証試験結果】



【3 次元動的解析結果】 三次元動的解析も実証試験結果と同様に、止水板が 1 秒間に 5 回～6 回程度小刻みな上下動を繰り返していることが確認できる。



止水板の鉛直変位の模式図（3 方向加振）

< 検証結果 >

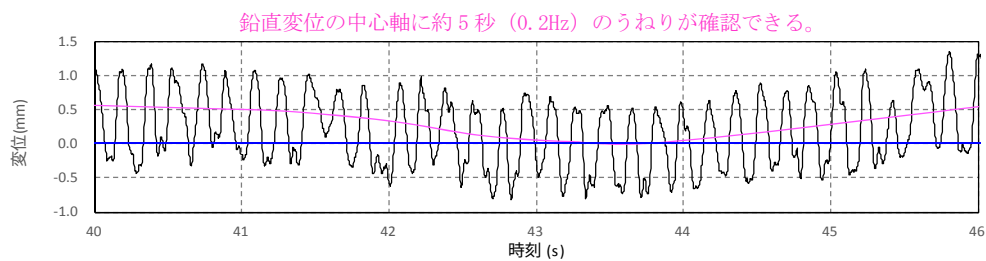
- ◆ 3 方向同時入力による「実証試験結果」, 「実証試験装置モデルによる三次元動的解析結果」及び「実機設計モデルによる三次元動的解析結果」における止水板の鉛直変位量を比較した。
 - ① 「実証試験」及び「実証試験装置モデルによる三次元動的解析結果」を比較すると、鉛直変位量に差があるものも、止水板は 1 秒間に 5～6 回程度の小刻みな上下動を繰り返している。
 - ② 「実証試験装置モデルによる三次元動的解析結果」と「実機モデルによる三次元動的解析結果」を比較すると、鉛直変位が生じるタイミング（ 1 秒間に 5～6 回程度の小刻みな上下動も同じ）及び鉛直変位量とも良く一致している。
 - ③ それぞれ結果とも、止水板は動作途中で固着（引っ掛かり）するような異常な挙動は見られない。
- ◆ 以上のとおり、三次元動的解析は「実証試験結果」をよく再現できていることから、解析の信頼性は確認できたものと考えられる。このため、実機止水板の地震時の追従性評価への三次元動的解析の適用は問題ないと判断される。

<考 察>

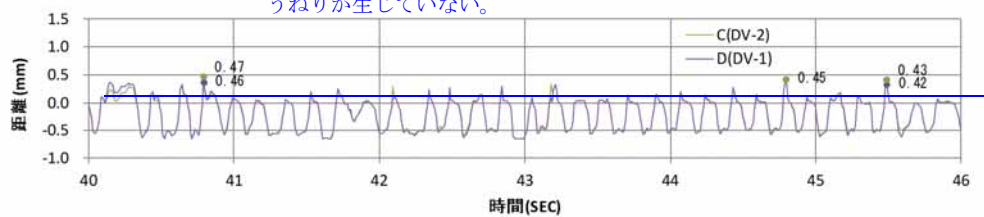
◆実証試験装置モデル及び実機設計モデルによる三次元動的解析結果には見られない鉛直変位量の中心軸のうねりが確認される。これは取水路を模擬した加振台にアクチュエータにより入力波を入力した際に、アクチュエータからの振動が固定側の鋼製防護壁を模擬した架構を設置している浮き基礎に伝わり、架構側が揺れた影響によるものと推定される。

一方、実証試験装置モデルによる三次元動的解析は、加振台のみが振動する条件になっているため、実証試験のような中心軸のうねりが生じていないものと推定される。

【実証試験結果】



【三次元動的解析】 実証試験モデルには加振台の条件になっていないため中心軸のうねりが生じていない。



c. 止水板の上下の挙動について

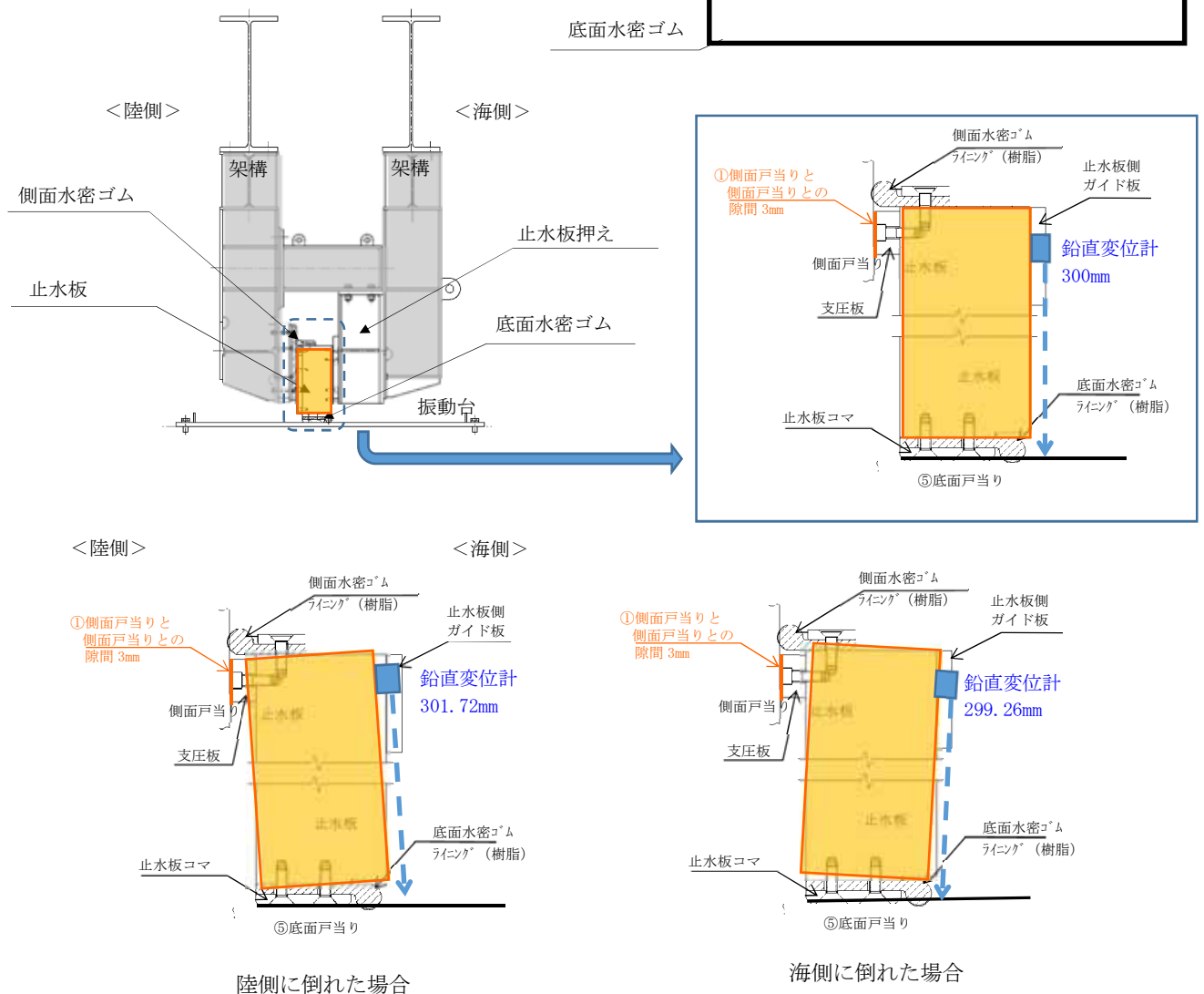
b 項 c 項の特徴にてみられる止水板の上下の挙動について

止水板と側面戸当りとの間には 3mm の隙間を施工上設けており 3mm の隙間による止水板の傾きが鉛直変位に影響していると思われる。

以下は図面寸法による算出結果を示す。

◆通常状態 300mm

- ・陸側に傾いた場合 301.72mm (+1.72mm)
- ・海側に傾いた場合 299.26mm (-0.74mm)

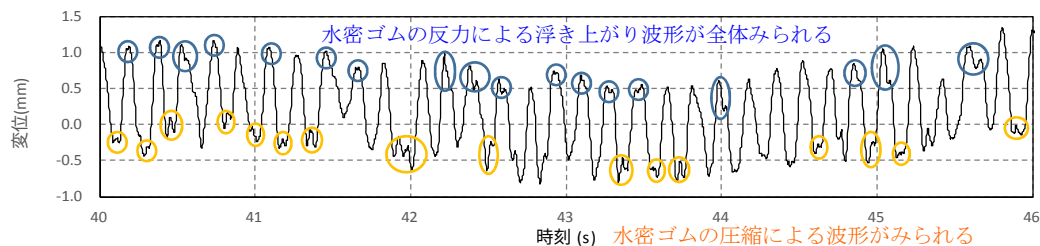


止水板の傾きにより鉛直変位量にはわずかな上下の傾きが常に発生している。そのため、止水板の浮き上がり量が 3mm 以下を水密ゴムの接触状態として判断しているが、仮に 3mm 以上の僅かな浮き上がりが発生したとしても、止水板の鉛直変位量には上記の寸法が含まれた数値となり、水密機能に影響を与えるものではない。

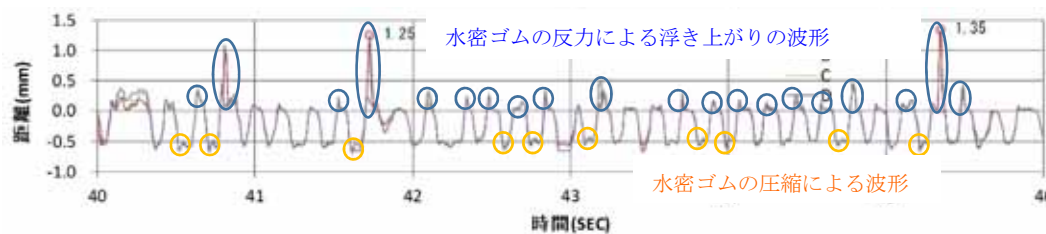
d. 水密ゴムの浮き上がりと圧縮による挙動について

止水板の鉛直変位の上下挙動の動きに合わせ、水密ゴムの反力による浮き上がりと圧縮による波形が見られる。ここでは、水密ゴムの浮き上がりと圧縮の挙動について分析する。底面水密ゴムに設置している水密ゴムは、常時 3mm 圧縮した状態で設置している（図 1 参照）。そのため、止水板の上下挙動に合わせ、水密ゴムの反力及び圧縮による影響が鉛直変位の波形に表れている。

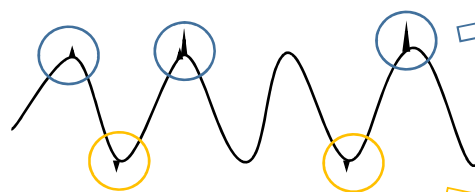
<実証試験> 3 方向鉛直変位



<3次元動的解析> 3 方向鉛直変位



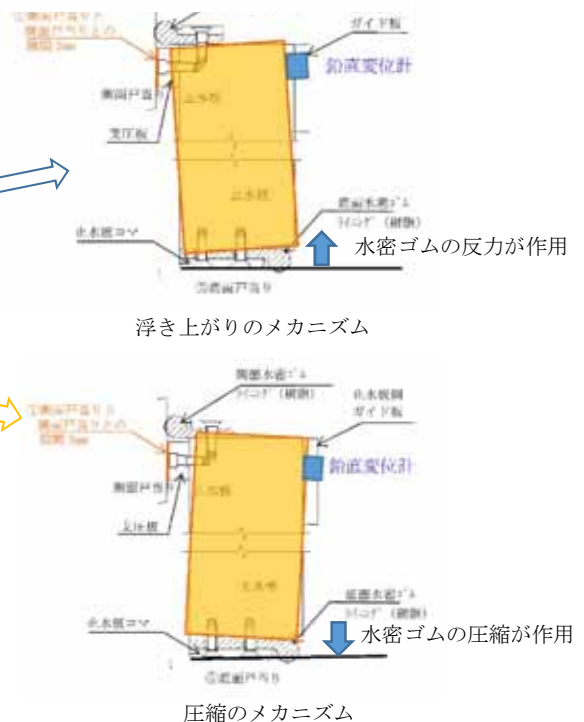
水密ゴムの反力による浮き上がりの波形



水密ゴムの圧縮による波形



止水板の鉛直変位の模式図（3 方向加振）



圧縮のメカニズム

浮き上がる波形の大小については、その時の振動台の入力加速度や方向、振動する固有周波数に左右され瞬時に大きく浮き上がる時と微小なときが存在すると考えられ、大小さまざまな波形が認められる。圧縮側についてはほぼ同じ圧縮量のため波形の大きさに同じ大きさのものが多く傾向にある。

5. 実証試験結果【余震時】

(1) 振動試験結果の波形

① 3 方向（Y 方向（堤軸直角）包絡波）

a. 鉛直最大変位（1 回目）

	X 方向	Y 方向	Z 方向
振動台入力加速度 (gal)	-984	-2112	1038

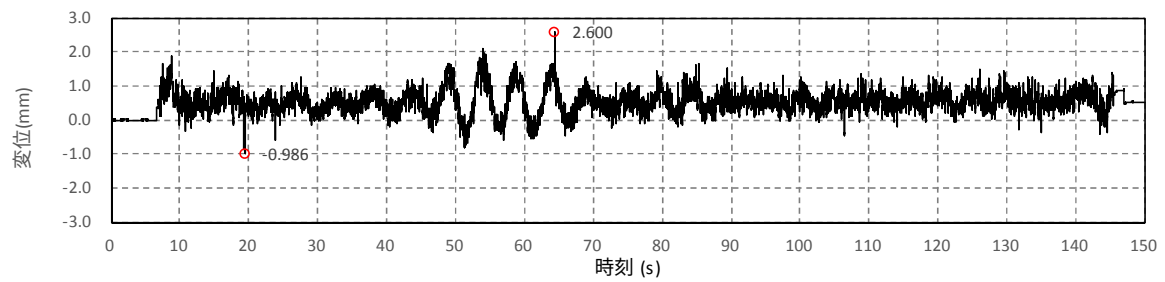


図-a DV-1 時刻歴波形

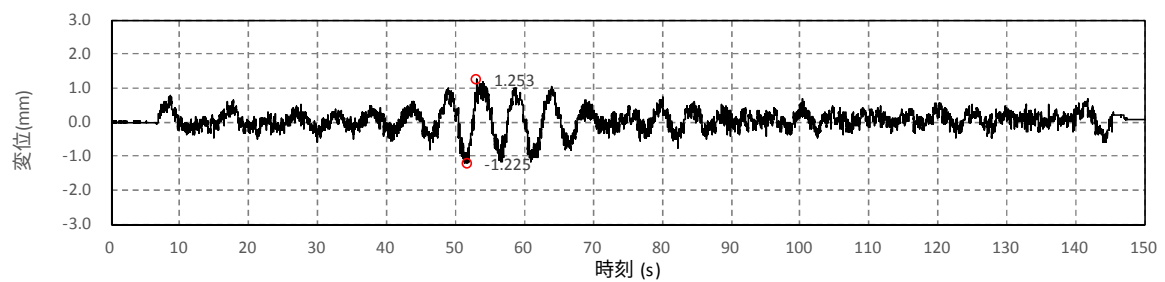


図-b DV-2 時刻歴波形

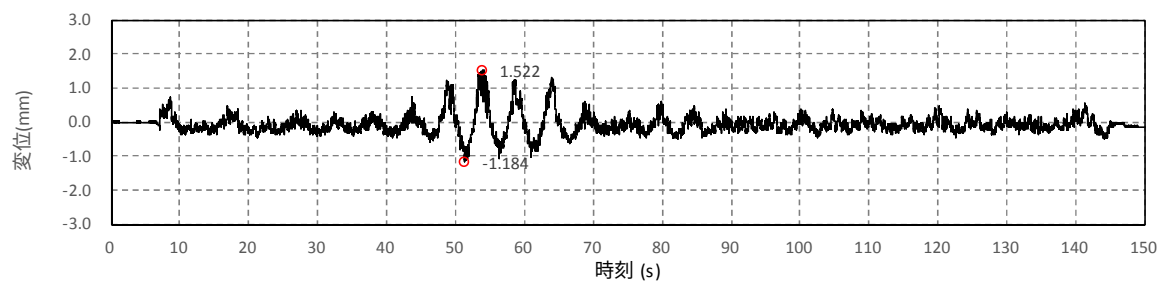


図-c DV-3 時刻歴波形

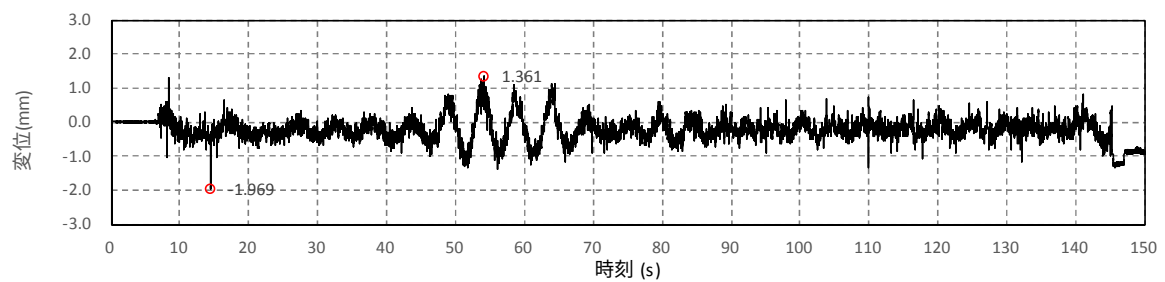


図-d DV-4 時刻歴波形

b. 鉛直最大変位（2回目）

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度（gal）	-988	-2087	1075

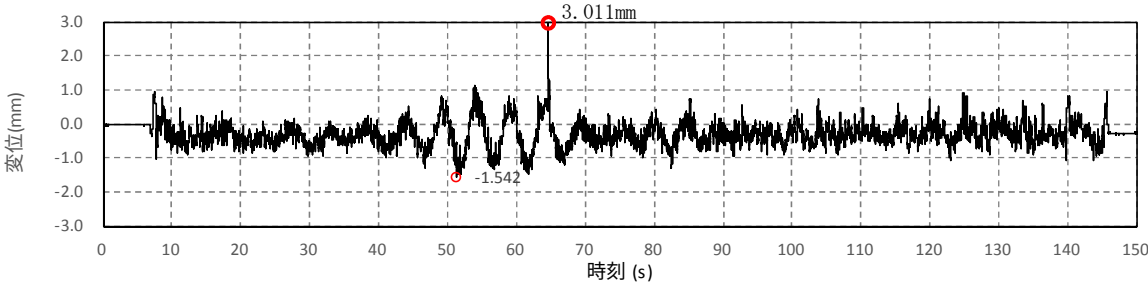


図-a DV-1 時刻歴波形

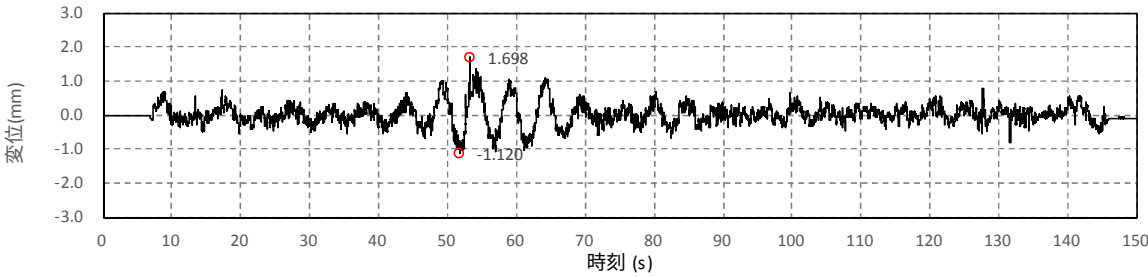


図-b DV-2 時刻歴波形

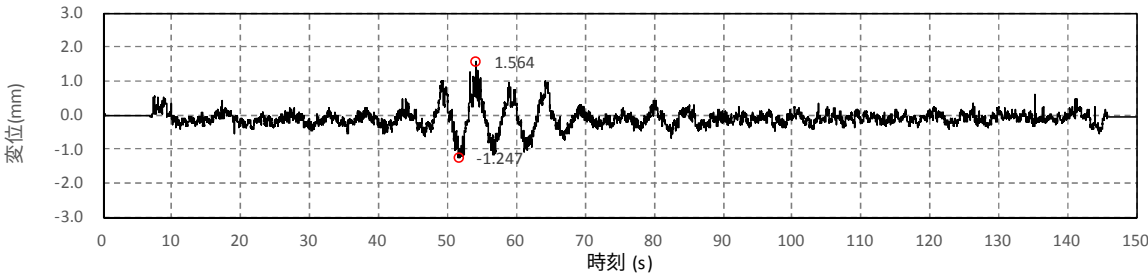


図-c DV-3 時刻歴波形

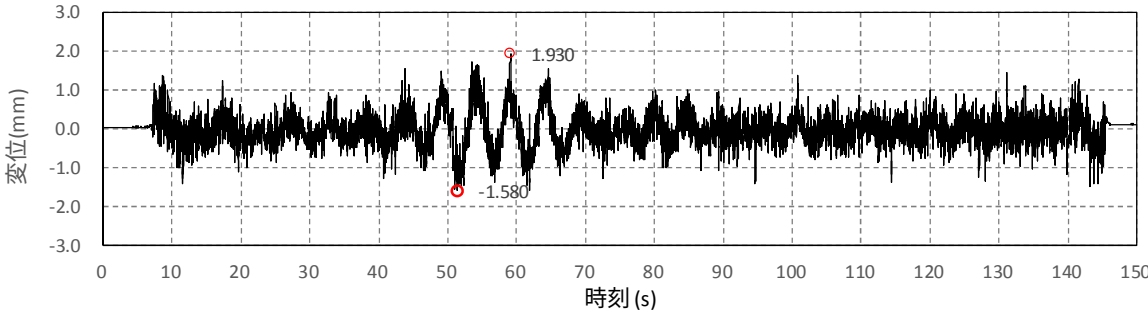


図-d DV-4 時刻歴波形

②鉛直（鋼製防護壁波形入力）

a. 鉛直最大変位（1回目）

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度（gal）	-62	108	1082

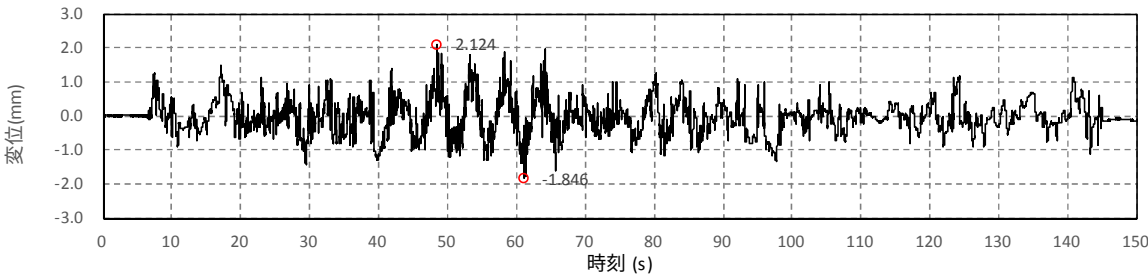


図-a DV-1 時刻歴波形

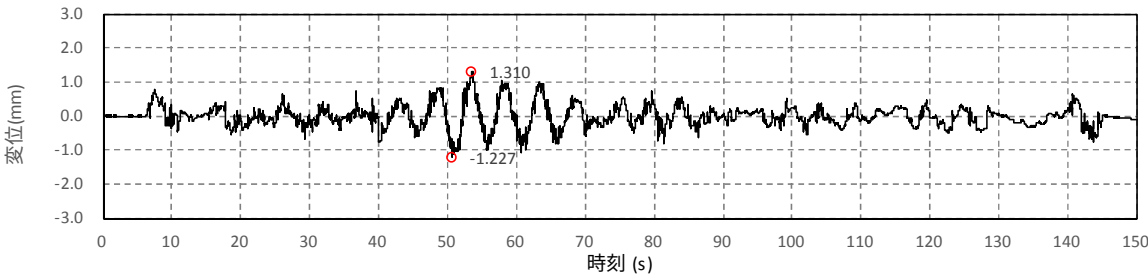


図-b DV-2 時刻歴波形

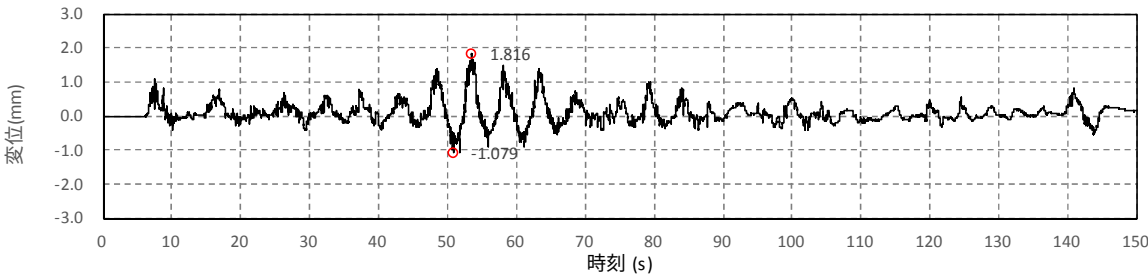


図-c DV-3 時刻歴波形

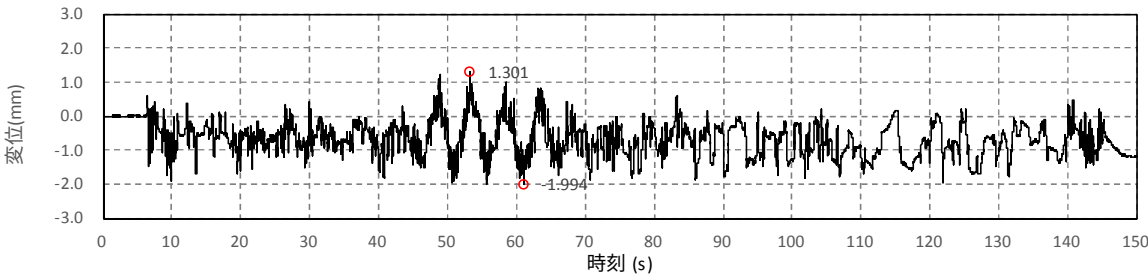


図-d DV-4 時刻歴波形

b. 鉛直最大変位（2回目）

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度（gal）	-64	119	1046

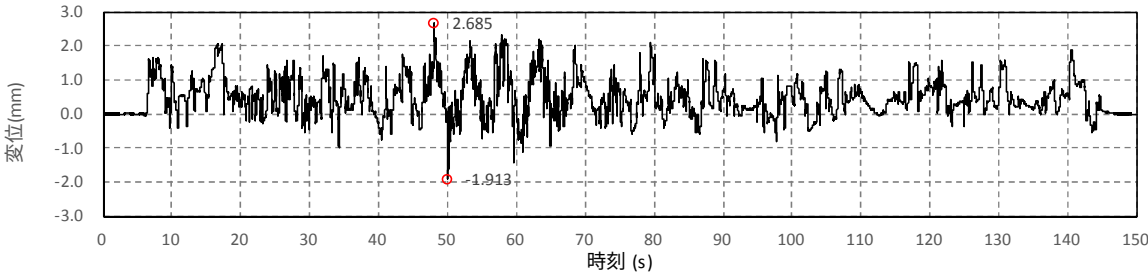


図-a DV-1 時刻歴波形

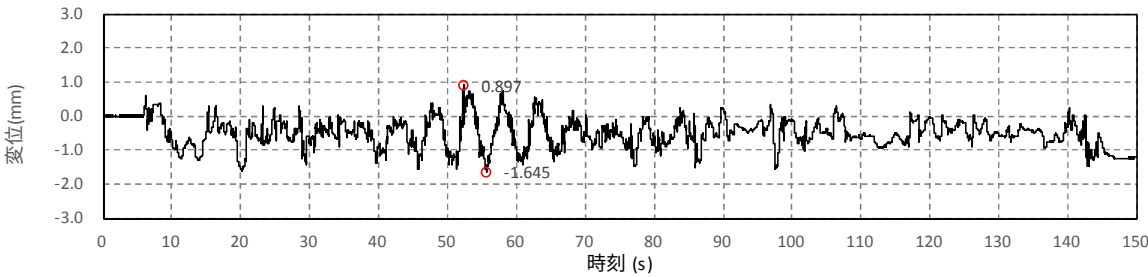


図-b DV-2 時刻歴波形

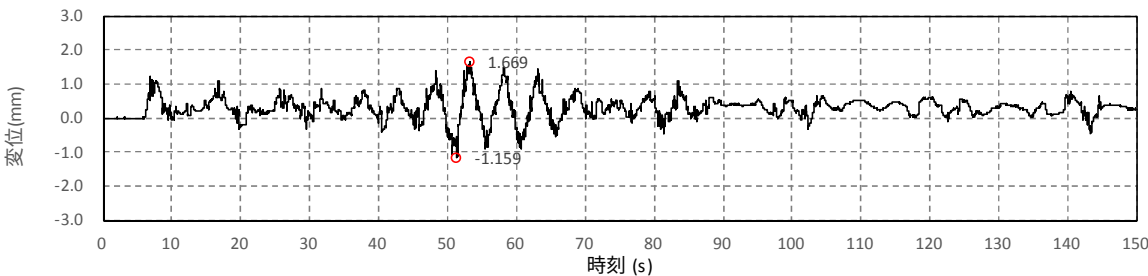


図-c DV-3 時刻歴波形

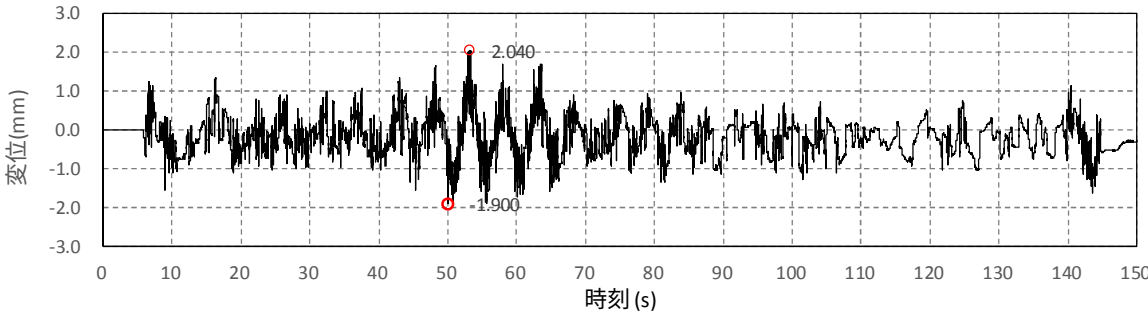


図-d DV-4 時刻歴波形

③鉛直（取水路波形入力）

a. 鉛直最大変位（1回目）

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度（gal）	-33	49	-572

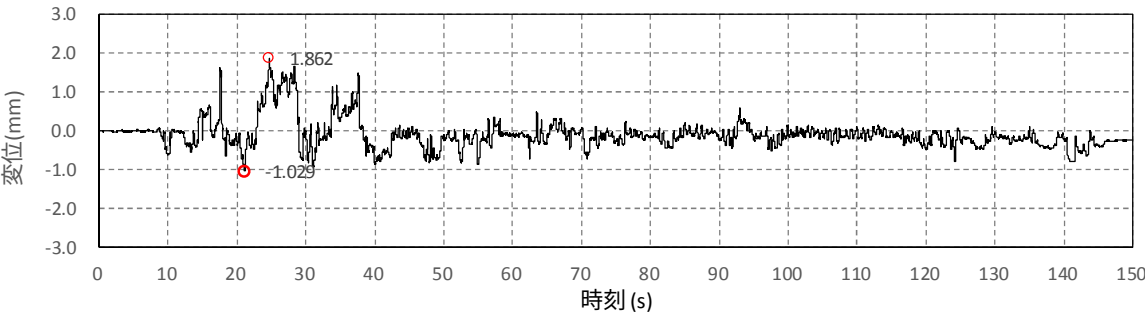


図-a DV-1 時刻歴波形

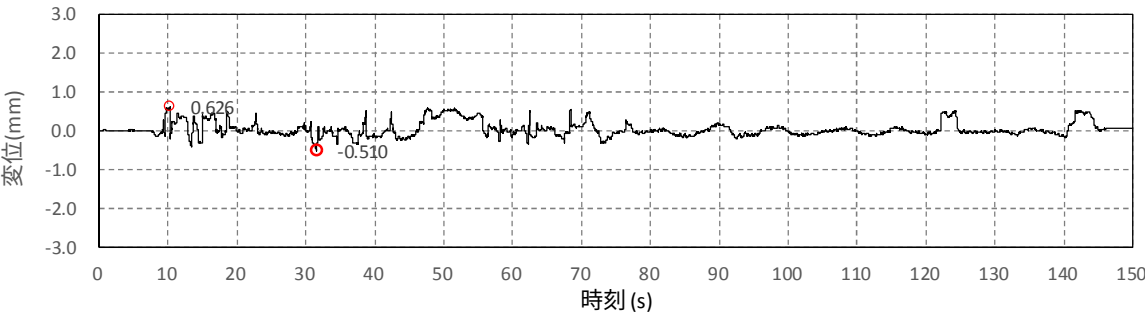


図-b DV-2 時刻歴波形

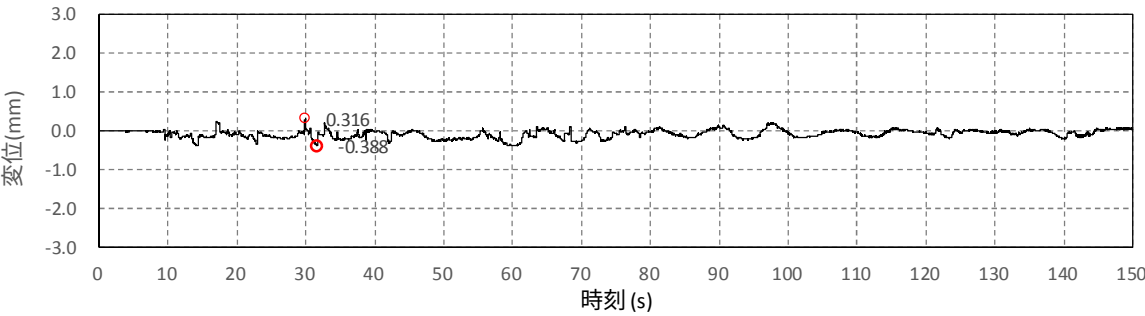


図-c DV-3 時刻歴波形

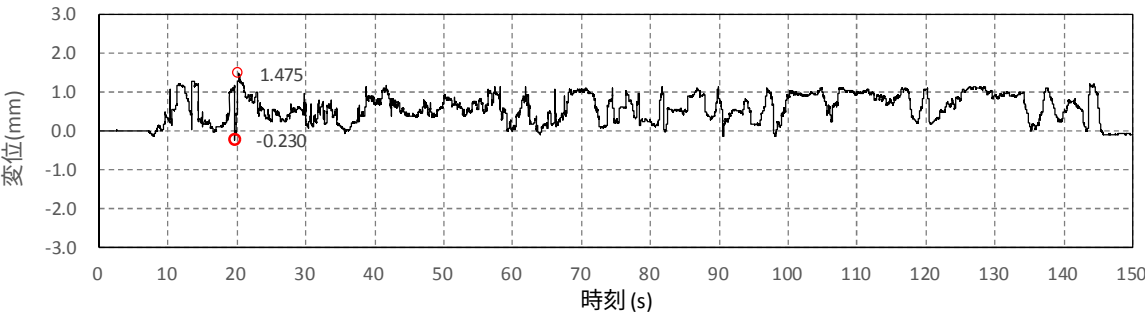


図-d DV-4 時刻歴波形

b. 鉛直最大変位（2回目）

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度（gal）	30	-50	-558

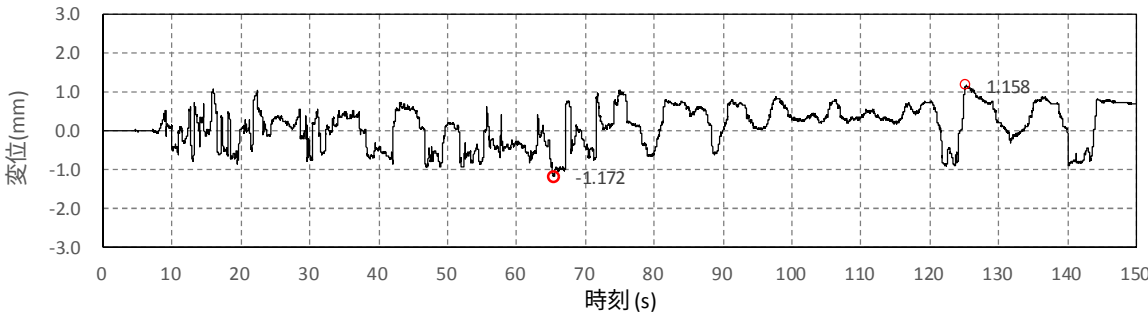


図-a DV-1 時刻歴波形

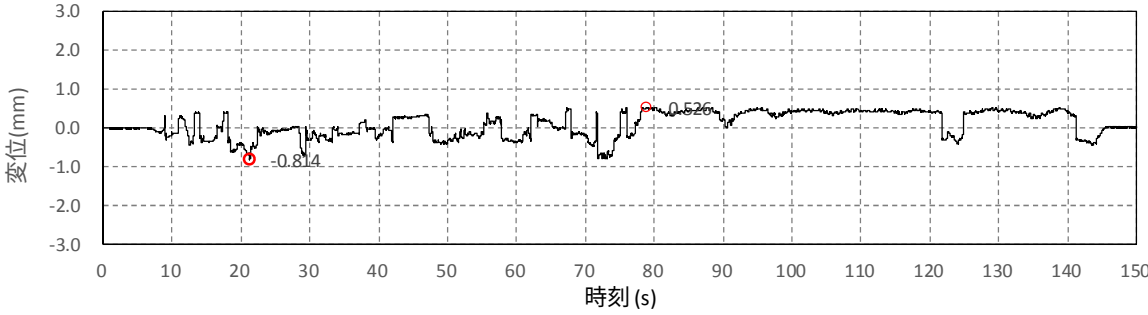


図-b DV-2 時刻歴波形

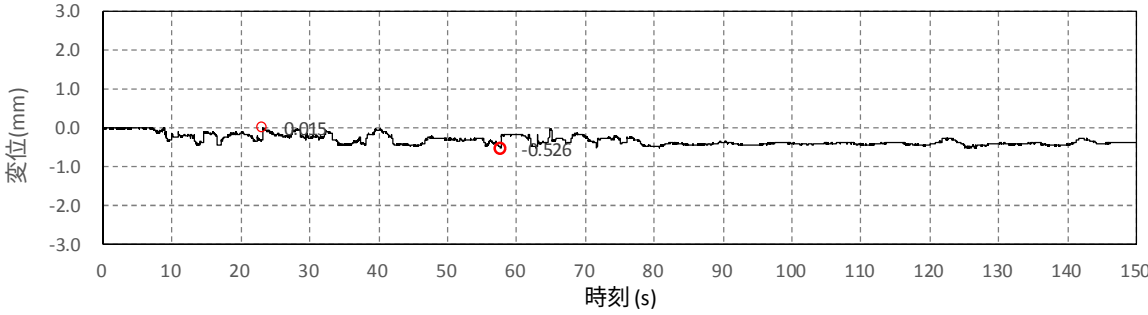


図-c DV-3 時刻歴波形

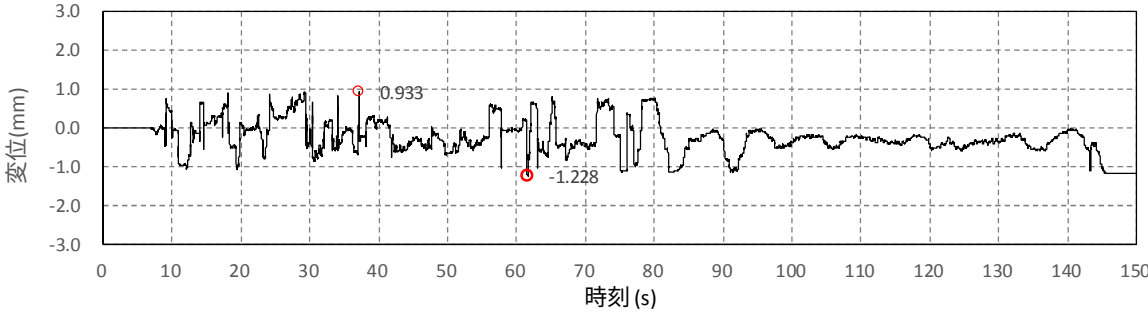


図-d DV-4 時刻歴波形

(2) 確認結果【余震時】

実証試験の余震時の結果、全てのケースにおいて止水板の追従性は良好であった。水密ゴムの噛み込みや破損等についても見られなかった。表 8 に実証試験結果を示す。水密ゴムの浮き上がり量については表 9 に示す。最大値で 1 箇所 3mm を 0.01mm 上回る箇所が認められた。実証試験モデルの場合、実態に近い挙動は止水板接続部であることから表 10 に止水板接続部として整理し、全てのケースで 3mm 以下（図 1 参照）であることを確認した。（実証試験モデルと実機モデルの検証については、6.1.3 に示す。）

表 8 実証試験結果（1 回目／2 回目）

		① 3 方向 (Y 方向（堤軸直 角）包絡波)	②鉛直 (鋼製防護壁波形 入力)	③鉛直 (取水路側包絡波)
止水板の地震 時の追従性確 認	◆止水板の動作に異常がなく、止水板としての機能が保持されていること。（浮き上がり、止水板の破損・損傷）	良好／良好	良好／良好	良好／良好
水密ゴムの健全 性確認	◆水密ゴムの動作に異常がなく機能が保持されていること。 (噛み込み、摺動による亀裂、破損、摩耗) ◆水密ゴムのライニングに異常がなく機能が保持されていること。（ライニングの破損、めくれ）※	良好／良好	良好／良好	良好／良好
1 次止水機構 の構成部品の 健全性確認	◆装置全体に異常がなく健全であること。 (試験装置、部材の変形、損傷、他)	良好／良好	良好／良好	良好／良好

※詳細については、試験終了後に確認

表 9 止水板の浮き上がり量（最大値（mm））

			① 3 方向 (Y 方向（堤軸直 角）包絡波)	②鉛直 (鋼製防護壁波形 入力)	③鉛直 (取水路側包絡波)
止水板の地震時の追従性確認	◆止水板の浮き上がり量 3mm 以下 3mm 以下の浮き上がりであれば水密ゴムは底面戸当りと接触状態（図 1 参照）	1 回目	2.60 (DV-1)	2.12 (DV-1)	1.86 (DV-1)
		2 回目	3.01※ (DV-1)	2.69 (DV-1)	1.16 (DV-1)

鉛直変位の最大値は、止水板の端部(DV-1, 4)が拘束されていないため浮き上がる傾向が認められた。

※：浮き上がり量 3mm に対し 0.01mm 上回った。

表 10 止水板の浮き上がり量（止水板接続部（mm））

			① 3 方向 (Y 方向（堤軸直 角）包絡波)	②鉛直 (鋼製防護壁波形 入力)	③鉛直 (取水路側包絡波)
止水板の地震時の追従性確認	◆止水板の浮き上がり量 3mm 以下 3mm 以下の浮き上がりであれば水密ゴムは底面戸当りと接触状態（図 1 参照）	1 回目	1.25 (DV-2) 1.52 (DV-3)	1.31 (DV-2) 1.82 (DV-3)	0.63 (DV-2) 0.32 (DV-3)
		2 回目	1.70 (DV-2) 1.56 (DV-3)	0.90 (DV-2) 1.67 (DV-3)	0.53 (DV-2) 0.02 (DV-3)

実態に近い止水板接続部については、数値に大きなばらつきもなく全ての状態で 3mm 以下であった。

表 9 の①3 方向（Y 方向（堤軸直角）包絡波）の 0.01mm 浮き上がりのケースの場合についても良好な結果であった。

(3) 実証試験結果と3次元動的解析（実証試験モデル）の検証について【余震時】

a. 実証試験及び3次元動的解析ケースの目的

実証試験は以下の3ケース（①～③）を実施した。各試験ケースの目的を示す。

検証ケースとして3方向加振試験の場合は、①の実証試験と3次元動的解析を実施し、鉛直方向については③の実証試験と3次元動的解析を実施する。表11に実証試験及び3次元動的解析ケースの目的を示す。

表11 実証試験及び3次元動的解析ケースの目的

	実証試験のケース			3次元動的解析ケース		実証試験及び3次元動的解析ケースの目的
	X	Y	Z	実証試験	実機	
①3方向 (Y方向（堤軸直角）包絡波)	1 G	2 G (Y包絡波)	1 G	○	○	【検証ケース】3方向データ（実機と同じ方向確認） ◆実証試験において鋼製防護壁側の堤軸直角側の水平方向の包絡波を入力し止水板の挙動を確認する。 ◆3次元動的解析については、実証試験と実証試験ケースの検証を行うと共に実機ケースモデルとの解析検証を行いモデルの妥当性についても確認する。
②鉛直 (鋼製防護壁波形入力)	—	—	1 G	○	—	【データ拡充】鉛直方向データ ◆実証試験において鋼製防護壁側の鉛直方向の加速度（1G）を取水路側の鉛直方向に入力し、止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。 ◆3次元動的解析における止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。
③鉛直 (取水路側波形入寮)	—	—	波形入力	○	○	【検証ケース】鉛直方向データ（実機と同じ方向確認） ◆実証試験において止水板の挙動は、鉛直方向からの慣性力が支配的と考えられることから本件をベースケースとした実証試験を実施し、鉛直からの変位量を計測する。実機と同じ方向で確認 ◆3次元動的解析については、実証試験と実証試験ケースの検証を行うと共に実機ケースモデルとの解析検証を行いモデルの妥当性についても確認する。

実証試験と実証試験モデルとの検証（3方向及び鉛直方向）については解析結果確認後に検証する。

工事計画に係る補足説明資料
耐震性に関する説明書のうち
補足-340-13【機電分耐震計算書の補足について】

平成 30 年 5 月

日本原子力発電株式会社

1. 炉内構造物への極限解析による評価の適用について
2. 設計用床応答曲線の作成方法及び適用方法
3. 建屋－機器連成解析モデルの時刻歴応答解析における拡張マージンの考慮について
4. 機電設備の耐震計算書の作成について
5. 弁の動的機能維持評価の検討方針
6. 動的機能維持の詳細評価について（新たな検討又は詳細検討が必要な設備の機能維持評価について）

下線：ご提出資料

1. はじめに

本資料では、実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈等における動的機能保持に関する評価に係る一部改正（以下「技術基準規則解釈等の改正」という）を踏まえて、動的機能維持が必要な設備の検討方針及び検討結果を示す。

実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈（抜粋）

第5条（地震による損傷の防止）

- 3 動的機器に対する「施設の機能を維持していること」とは、基準地震動による応答に対して、当該機器に要求される機能を保持することをいう。具体的には、当該機器の構造、動作原理等を考慮した評価を行うこと、既往研究で機能維持の確認がなされた機能確認済加速度等を超えていないことを確認することをいう。

耐震設計に係る工認審査ガイド（抜粋）

4.6.2 動的機能

【審査における確認事項】

Sクラスの施設を構成する主要設備又は補助設備に属する機器のうち、地震時又は地震後に機能保持が要求される動的機器については、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析結果の応答値が動的機能保持に関する評価基準値を超えていないことを確認する。

【確認内容】

動的機能については以下を確認する。

- (1) 水平方向の動的機能保持に関する評価については、規制基準の要求事項に留意して、機器の地震応答解析結果の応答値が JEAG4601 の規定を参考に設定された機能確認済加速度、構造強度等の評価基準値を超えていないこと。（中略）また、適用条件、適用範囲に留意して、既往の研究等において試験等により妥当性が確認されている設定等を用いること。
- (2) 鉛直方向の動的機能保持に関する評価については、規制基準の要求事項に留意して、機器の地震応答解析結果の応答値が水平方向の動的機能保持に関する評価に係る JEAG4601 の規定を参考に設定された機能確認済加速度、構造強度等の評価基準値を超えていないこと。（中略）また、適用条件、適用範囲に留意して、既往の研究等において試験等により妥当性が確認されている設定等を用いること。

(3) 上記(1)及び(2)の評価に当たっては、当該機器が JEAG4601 に規定されている機種、形式、適用範囲等と大きく異なる場合又は機器の地震応答解析結果の応答値が JEAG4601 の規定を参考にして設定された機能確認済加速度を超える場合（評価方法が JEAG4601 に規定されている場合を除く。）については、既往の研究等を参考に異常要因分析を実施し、当該分析に基づき抽出した評価項目毎に評価を行い、評価基準値を超えていないこと。また、当該分析結果に基づき抽出した評価部位について、構造強度評価等の解析のみにより行うことが困難な場合には、当該評価部位の地震応答解析結果の応答値が、加振試験（既往の研究等において実施されたものを含む。）により動的機能保持を確認した加速度を超えないこと。

2. 動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の検討方針

動的機器の耐震性評価法は原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4601-1991 追補版（以下 J E A G 4601 という）に従い実施するものとするが、J E A G 4601 で定める機能確認済加速度（J E A G 4601 に定められた既往研究で機能維持の確認がなされた入力又は応答レベル）と評価用加速度との比較による評価法には適用機種の範囲が定められている。本資料では、J E A G 4601 に定められた適用機種の範囲から外れ新たな検討（評価項目の検討）が必要な設備と、評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため詳細検討が必要な設備について、設備の抽出を行うとともに、抽出された設備における動的機能維持のための検討方針を示す。

2.1 動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出

(1) 検討対象設備

検討対象設備は、耐震 S クラス並びに常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備とし、動的機能が必要な設備として J E A G 4601 で適用範囲が定められている機種（立形ポンプ、横形ポンプ、電動機 等）とする。

(2) 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出

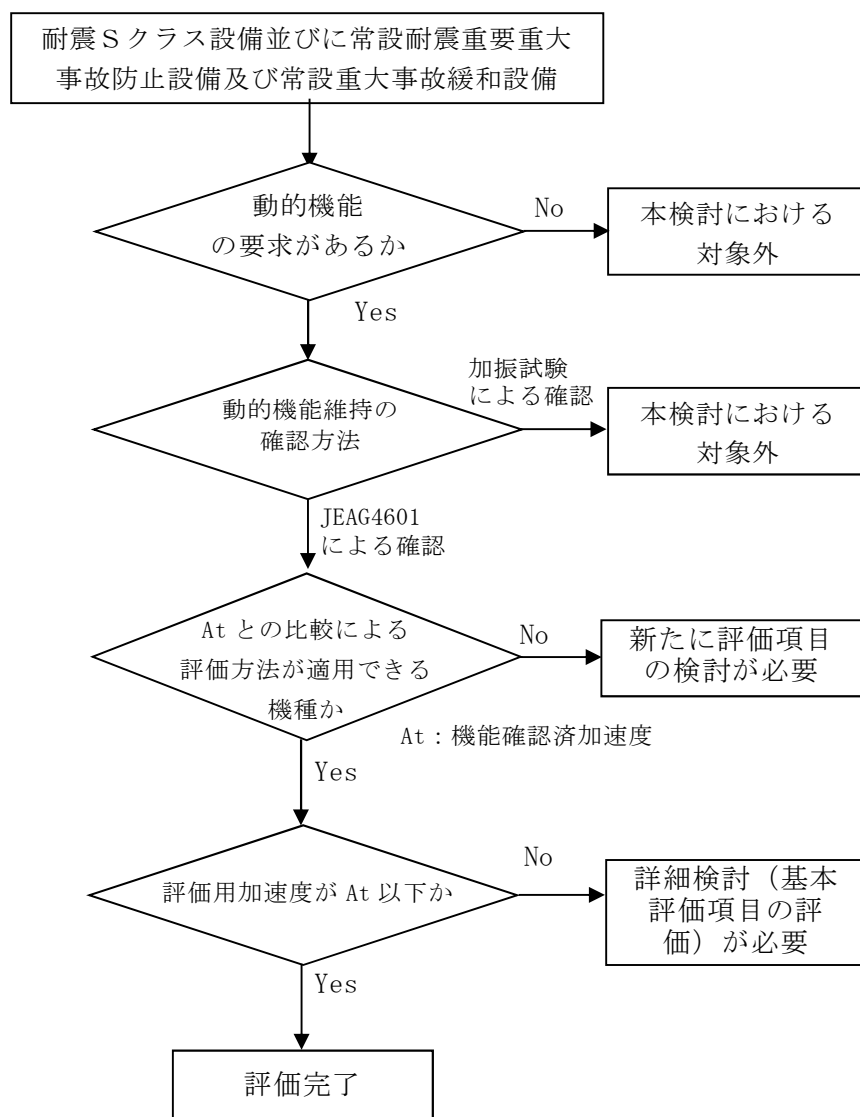
第 1 図に抽出フローを示す。検討対象設備について、J E A G 4601 に定める機能確認済加速度（ A_t ）との比較による評価方法が適用できる機種に対して構造、作動原理等が同じであることを確認する。同じであることが確認できない場合は、新たに評価項目の検討が必要な設備として抽出する。

さらに評価用加速度が J E A G 4601 及び既往の研究等※により妥当性が確認されて

いる機能確認済加速度（ A_t ）以内であることの確認を行い、機能確認済加速度を超える設備については詳細検討（基本評価項目の評価）が必要な設備として抽出する。なお、弁については J E A G 4601 にて評価用加速度が機能確認済加速度を超えた場合の詳細検討の具体的手順が定められているため、本資料の対象外とする。

上記の整理結果として別表 1 に検討対象設備を示すとともに、新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出のための情報として J E A G 4601 に該当する機種名等を整理した。

※ 電力共同研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（平成 10 年度～平成 13 年度）」



第 1 図 検討が必要な設備の抽出フロー

(3) 抽出結果

別表 1 をもとに新たな検討又は詳細検討が必要な設備を抽出した結果を第 1 表に示す。

新たに評価項目の検討が必要となる設備として、横形スクリー式ポンプ（以下「スクリー式ポンプ」という。）、横形ギヤ式ポンプ（以下「ギヤ式ポンプ」という。）として非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプが該当する。

また，評価用加速度が機能確認済加速度を超え詳細検討が必要となる設備として残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ並びにこれらポンプ用の電動機が該当する。

3. 動的機能維持評価について

J E A G 4601 に定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種の種類から外れ，新たに評価項目の検討が必要な設備，評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため詳細検討が必要な設備における動的機能維持評価について別紙にて説明する。

【機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種の種類から外れ新たに評価項目の検討が必要な設備】

- ・別紙 1：非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプ

【評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため詳細検討が必要な設備】

- ・別紙 2：残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ
- ・別紙 3：残留熱除去系海水系ポンプ用電動機，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ及び電動機

第 1 表(1) 新たな評価項目の検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	At との比較 が可能か ○：可 ×：否（新たな評価項目の 検討が必要）	At 確認 ○：OK ×：NG（詳細 検討が必要）
立形ポンプ	残留熱除去系ポンプ	○	○
	高圧炉心スプレイ系ポンプ	○	○
	低圧炉心スプレイ系ポンプ	○	○
	残留熱除去系海水系ポンプ	○	×
	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ	○	×
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用 海水ポンプ	○	×
	緊急用海水ポンプ	○	追而
横形ポンプ	原子炉隔離時冷却系ポンプ	○	○
	非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	×	—
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃 料移送ポンプ	×	—
	常設低圧代替注水系ポンプ	○	追而
	代替燃料プール冷却系ポンプ	○	○
	格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ	○	追而
	代替循環冷却系ポンプ	○	○
	常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ	×	—
	緊急時対策所用発電機給油ポンプ	×	—
ポンプ駆動用 タービン	原子炉隔離時冷却系ポンプ用駆動タービ ン	○	○
電動機	残留熱除去系ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機	○	○
	低圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機	○	○
	残留熱除去系海水系ポンプ用電動機	○	×
	ほう酸水注入ポンプ用電動機	○	○
	中央制御室換気系空気調和機ファン用電 動機	○	○

第 1 表(2) 新たな評価項目の検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	At との比較 が可能か ○：可 ×：否（新たな評価項目の 検討が必要）	At 確認 ○：OK ×：NG（詳細 検討が必要）
電動機	中央制御室換気系フィルタ系ファン用電動機	○	○
	非常用ガス処理系排風機用電動機	○	○
	非常用ガス再循環系排風機用電動機	○	○
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用電動機	○	○
	非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ用電動機	○	追而
	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機	○	×
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ用電動機	○	追而
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機	○	×
	常設低圧代替注水系ポンプ用電動機	○	追而
	代替燃料プール冷却系ポンプ用電動機	○	○
	格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ用電動機	○	追而
	代替循環冷却系ポンプ用電動機	○	○
	緊急用海水ポンプ用電動機	○	追而
	緊急時対策所非常用送風機用電動機	○	追而
	常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ用電動機	○	追而
	緊急時対策所用発電機給油ポンプ用電動機	○	追而
ファン	中央制御室換気系空気調和機ファン	○	○
	中央制御室換気系フィルタ系ファン	○	○
	非常用ガス処理系排風機	○	○
	非常用ガス再循環系排風機	○	○
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	○	○
	緊急時対策所非常用送風機	○	追而

第 1 表(3) 新たな評価項目の検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	At との比較 が可能か ○：可 ×：否（新たな評価項目の 検討が必要）	At 確認 ○：OK ×：NG（詳細 検討が必要）
非常用ディーゼル発電機	非常用ディーゼル発電機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	○	○
	非常用ディーゼル発電機調速装置及び非常用ディーゼル発電機非常調速装置	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機調速装置及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機非常調速装置	○	○
往復動式ポンプ	ほう酸水注入ポンプ	○	○
制御棒	制御棒挿入性	○	○注 1

注 1) 地震応答解析結果から求めた燃料集合体変位が加振試験により確認された制御棒挿入機能に支障を与えない変位に対して下回ることを確認

J E A G 4601 に定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種の範囲から外れ、新たに評価項目の検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針

1. はじめに

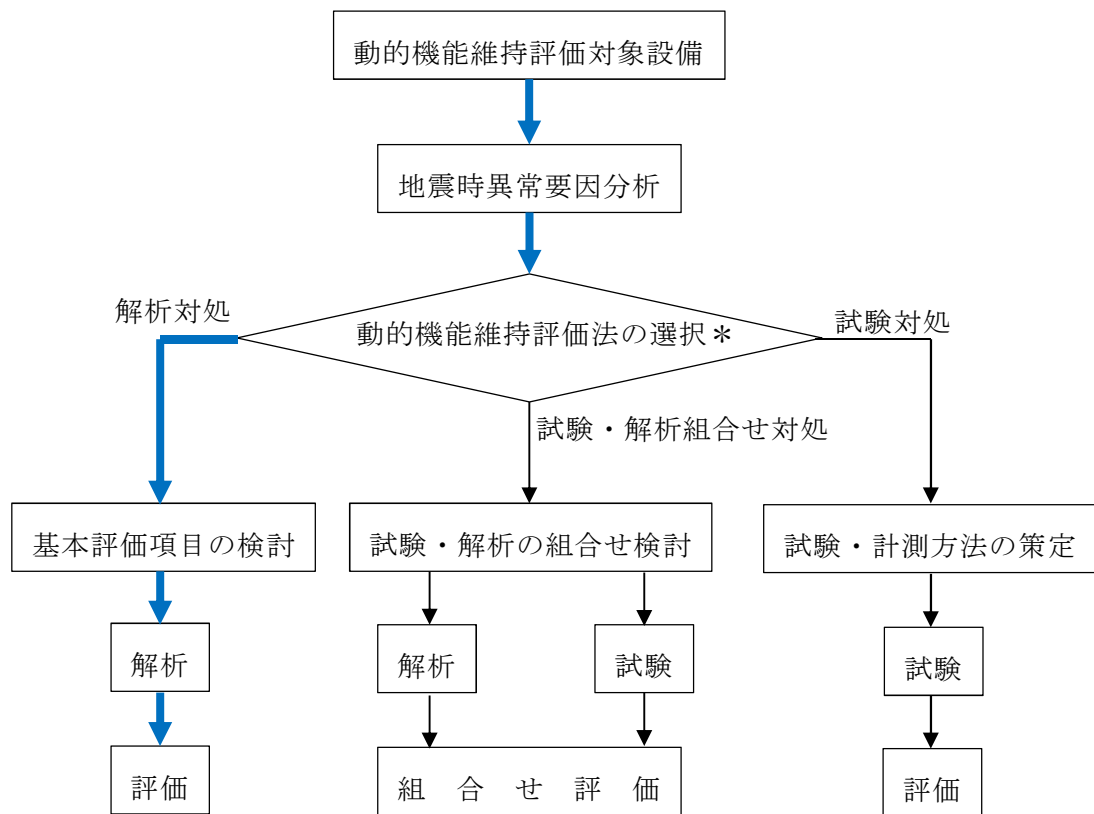
非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプの動的機能維持評価について，J E A G 4601 に定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種の範囲から外れ，新たに評価項目の検討が必要となる。本資料では，それら設備の動的機能維持の検討方針を示す。

2. 評価項目の抽出方針

J E A G 4601 に定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種の範囲から外れた設備における動的機能維持の検討方針としては，技術基準規則解釈等の改正を踏まえて，公知化された検討として（社）日本電気協会 電気技術基準調査委員会の下に設置された原子力発電耐震設計特別調査委員会（以下「耐特委」という。）により取り纏められた類似機器における検討をもとに実施する。

具体的には，耐特委では動的機能の評価においては，対象機種ごとに現実的な地震応答レベルでの異常のみならず，破壊に至るような過剰な状態を念頭に地震時に考え得る異常状態を抽出し，その分析により動的機能上の評価点を検討し，動的機能維持を評価する際に確認すべき事項として，基本評価項目を選定している。

今回 J E A G 4601 に定められた適用機種の範囲から外れた設備については，基本的な構造が類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に，型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を実施し，基本評価項目を選定し動的機能維持評価を実施する。動的機能維持評価のフローを第 1 図に示す。なお，J E A G 4601 においても，機能維持評価の基本方針として，地震時の異常要因分析を考慮し，動的機能の維持に必要な評価のポイントを明確にすることとなっている。



* 対象物の複雑さ等で選択

— 本評価でのフロー

第 1 図 動的機能維持評価のフロー

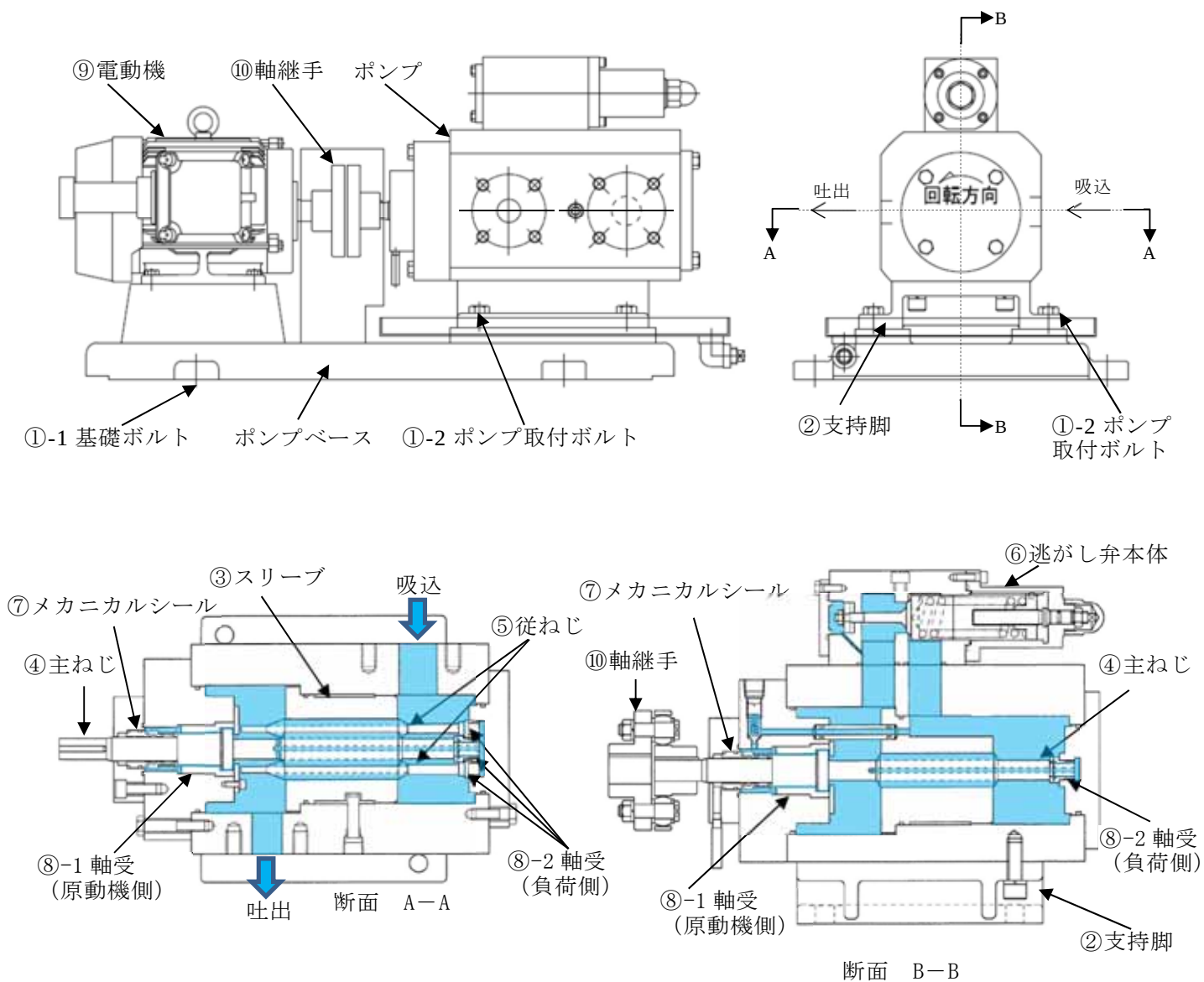
地震時異常要因分析を検討するに当たり、参考とする機種／型式を第1表に示すとともに、第2図、第3図及び第4図に今回工認にて新たな検討が必要な設備及び耐特委で検討され新たな検討において参考とする設備の構造概要図を示す。また、主要仕様を第2表及び第3表に示す。

スクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプは、共に容積式の横形ポンプであり、一定容積の液をスクリー又はギヤにて押し出す構造のポンプである。一方、遠心式横形ポンプ（以下「遠心式ポンプ」という。）はインペラの高速回転により液を吸込み・吐出すポンプであり内部流体の吐出構造が異なるが、ケーシング内にて軸系が回転し内部流体を吐出する機構を有していること、固定方法については、基礎ボルトで周囲を固定した架台の上に、駆動機器である横形ころがり軸受の電動機とポンプが取付ボルトにより設置され、電動機からの動力を軸継手を介してポンプ側に伝達する方式であること、主軸、軸受及びメカニカルシール部のクリアランスにより地震荷重はメカニカルシール部には負荷されず、軸受を通してケーシングに伝達されることから、基本構造が同じといえる。このため、スクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプについては、遠心式横形ポンプを参考とし、地震時異常要因分析を実施する。

なお、非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ、常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプについては、新規制基準により新たに動的機能要求が必要となり、評価する設備となる。

第1表 新たな検討が必要な設備において参考とする機種／型式

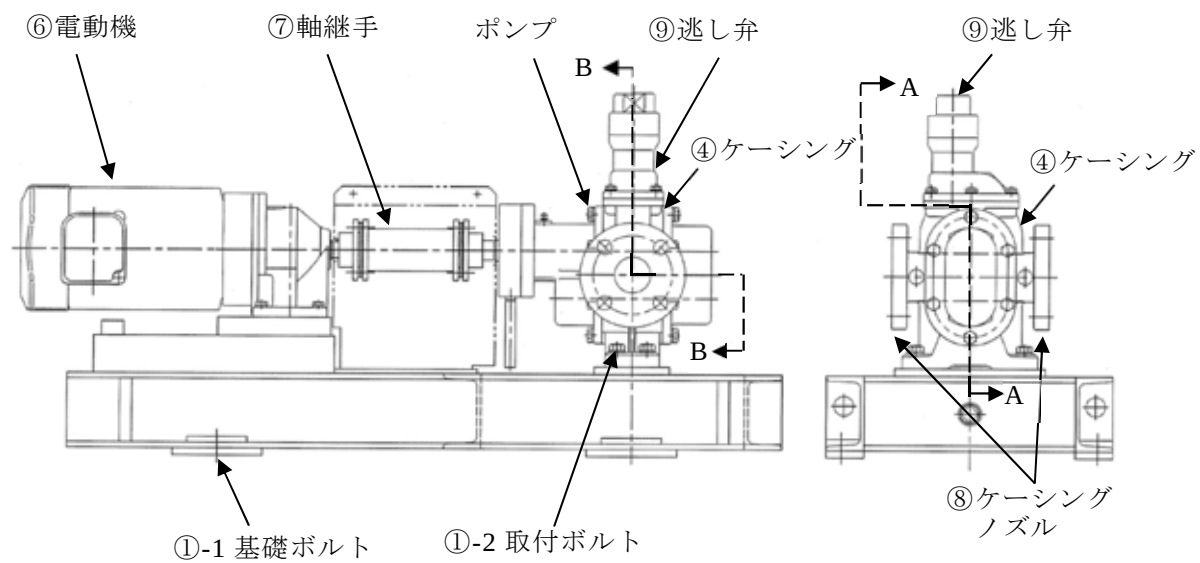
新たな検討が必要な設備	機種／型式	参考とする機種／型式
・非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ ・常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ	横形ポンプ／スクリー式	横形ポンプ／単段遠心式
・緊急時対策所用発電機給油ポンプ	横形ポンプ／ギヤ式	



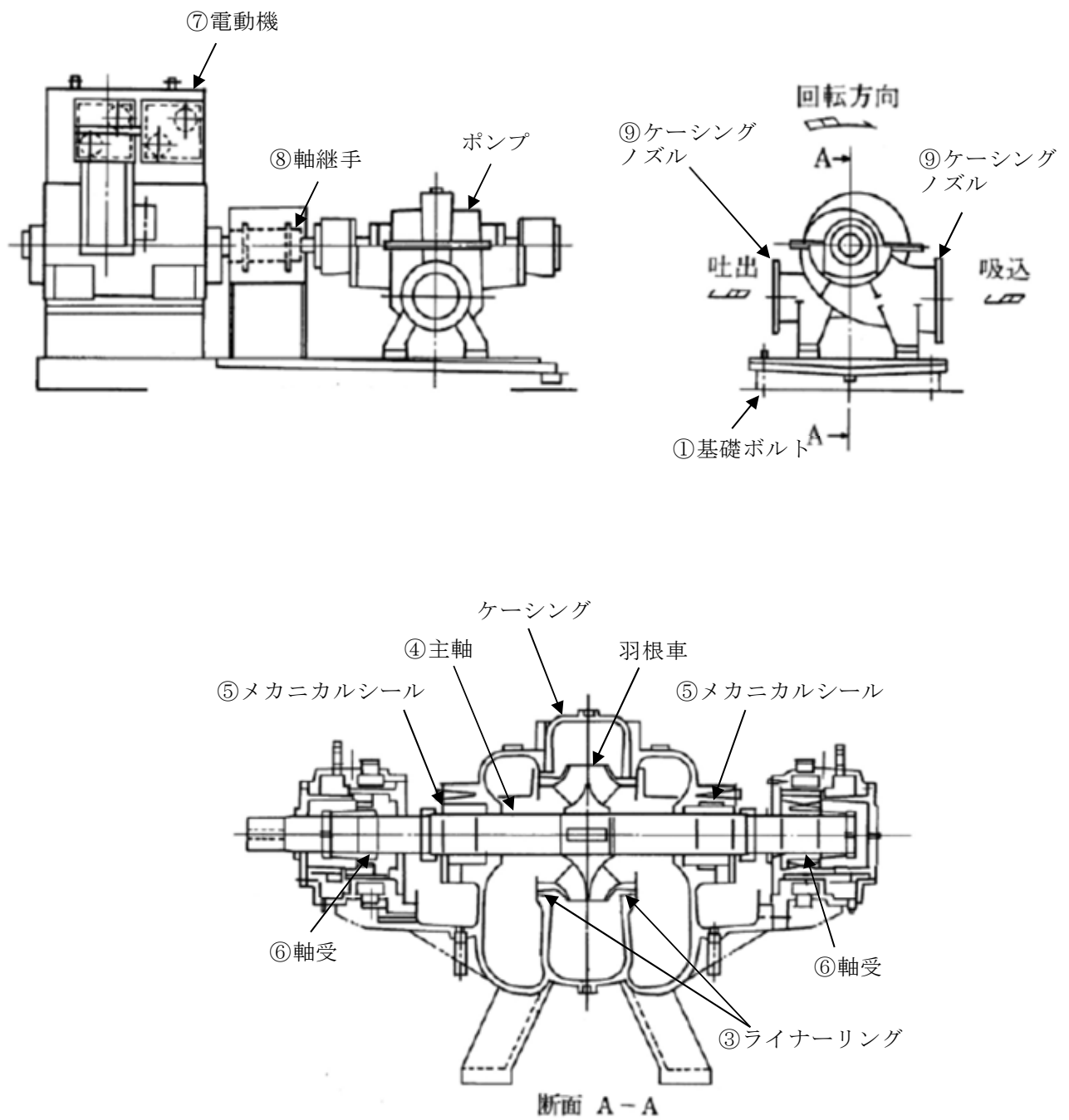
■: 接液部

注: スリーブ内に納められた主ねじと従ねじはかみ合って回転しており、ねじの1リードごとに作られる密閉される空間に入った流体は、ねじ面に沿って吐出側へ移動する。

第2図 スクリュー式ポンプ構造概要図



第 3 図 ギヤ式ポンプ構造概要図



第4図 遠心式ポンプ構造概要図

第 2 表 スクリュー式ポンプの主要仕様

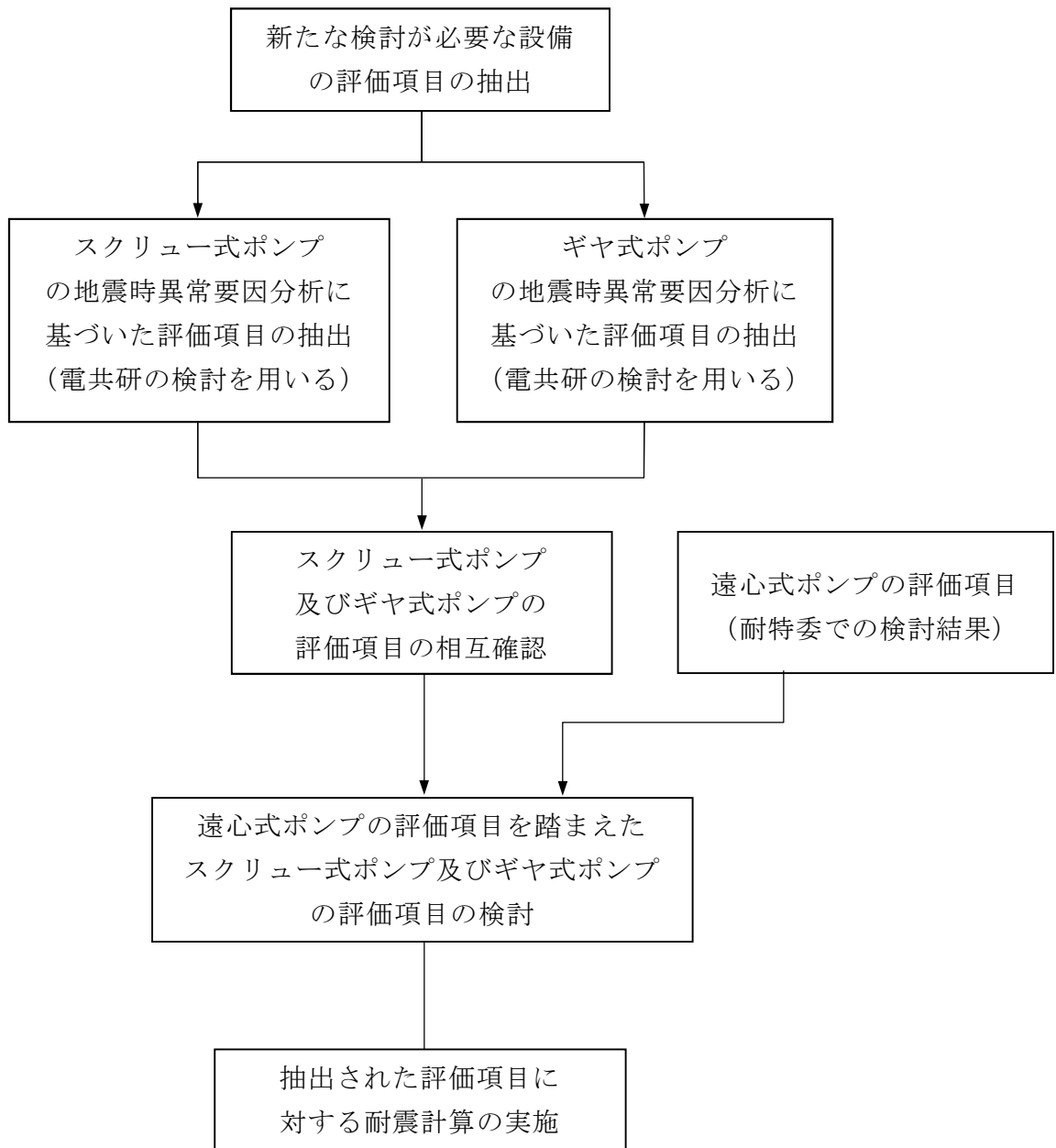
		非常用ディーゼル 発電機燃料移送 ポンプ	高圧炉心スプレー系 ディーゼル発電機 燃料移送ポンプ	常設代替高圧電源 装置用燃料移送 ポンプ
容 量	m ³ /h/個	1.92 以上	1.04 以上	3.02 以上
揚 程	MPa	0.195 以上 (2C 用) 0.156 以上 (2D 用)	0.190 以上	0.285 以上
最高使用 圧 力	MPa	1.00	1.00	1.00
最高使用 温 度	℃	55	55	55
原 動 機 出 力	kW/個	1.2	1.2	2.2

第 3 表 ギヤ式ポンプの主要仕様

		緊急時対策所用発電機給油ポンプ
容 量	m ³ /h/個	1.3 以上
揚 程	MPa	0.3
最高使用圧力	MPa	0.5
最高使用温度	℃	45
原 動 機 出 力	kW/個	1.5

3. 新たな検討が必要な動的機能維持評価の評価項目の抽出

新たな検討が必要な設備として、スクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプに対する地震時異常要因分析を踏まえて評価項目を抽出する。また当該検討において参考とする耐特委での機種／型式に対する評価項目を踏まえた検討を行う。動的機能維持評価のための評価項目の抽出フローを第5図に示す。



第5図 動的機能維持評価のための評価項目の抽出フロー

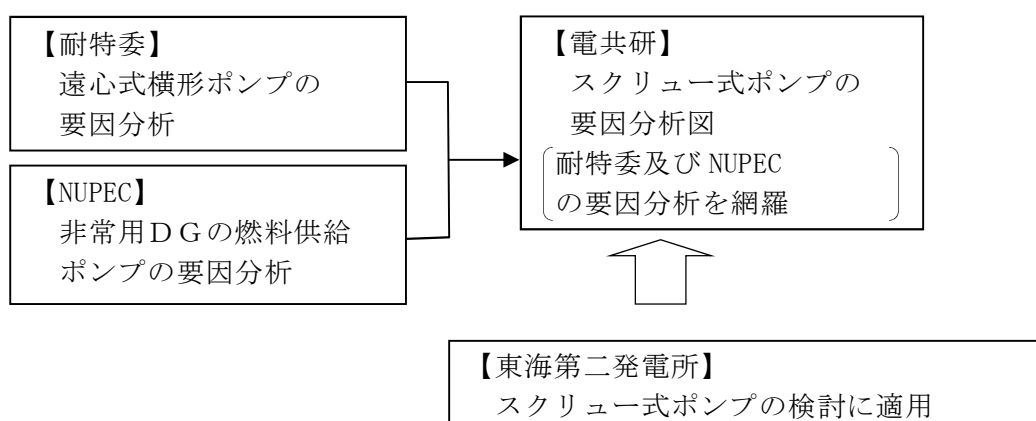
a. スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの地震時異常要因分析による評価項目の抽出

(a) スクリュー式ポンプの評価項目の抽出

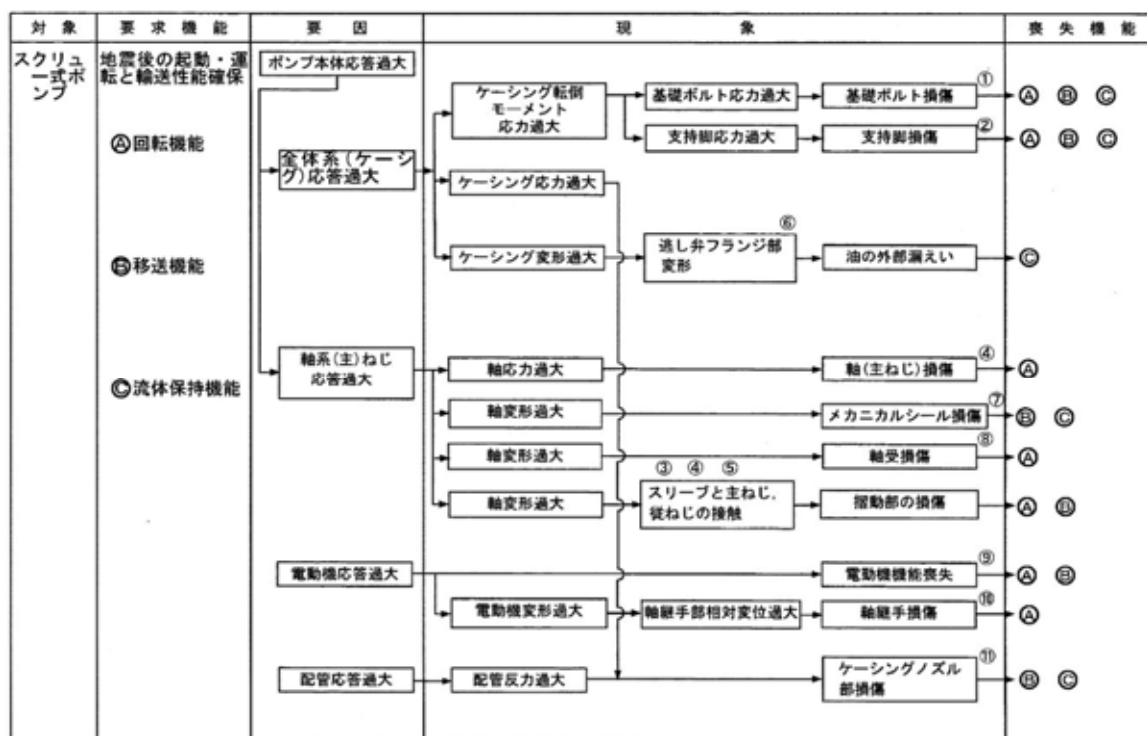
スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図（以下「要因分析図」という。）及び評価項目は、電共研※での検討内容を用いる。電共研では第 6 図に示すとおり、耐特委における遠心式横形ポンプ及び NUPEC における非常用 D G の燃料供給ポンプに対する異常要因分析結果（非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験（1992 年 3 月））を網羅するように、スクリュー式ポンプに対する地震時異常要因分析を行い、評価項目を抽出している。

スクリュー式ポンプの要因分析図を第 7 図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第 4 表のとおりである。

※ 動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成 25 年 3 月）



第 6 図 地震時異常要因分析の適用（スクリュー式ポンプ）



第7図 スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図

第4表 スクリュー式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

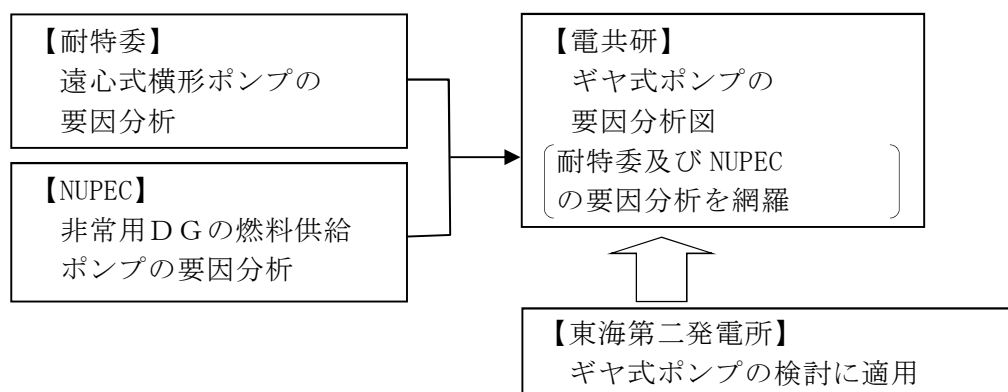
	評価項目	異常要因
①	基礎ボルト (取付ボルト含む)	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルトを含む）の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することで機能喪失する。
②	支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより支持脚の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することで機能喪失する。
③ ④ ⑤	摺動部 (③スリーブ④主ねじ ⑤従ねじのクリアランス)	軸系（主）ねじの応答が過大となることで、軸変形が過大となることによりスリーブと主ねじが接触し、摺動部が損傷に至り回転機能及び移送機能が喪失する。
④	軸系（主ねじ）	軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能及び移送機能が喪失する。
⑥	逃がし弁	ケーシングの応答が過大となり逃がし弁フランジ部が変形し油の外部漏えいに至る。
⑦	メカニカルシール	軸系（主）ねじの応答過大により軸変形に至りメカニカルシールが損傷することにより移送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑧	軸受	軸変形が過大となり、軸受が損傷することで回転機能及び移送機能が喪失する。
⑨	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑩	軸継手	電動機の変形過大により軸受部の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能が喪失する。
⑪	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで移送機能及び流体保持機能が喪失する。

(b) ギヤ式ポンプの評価項目の抽出

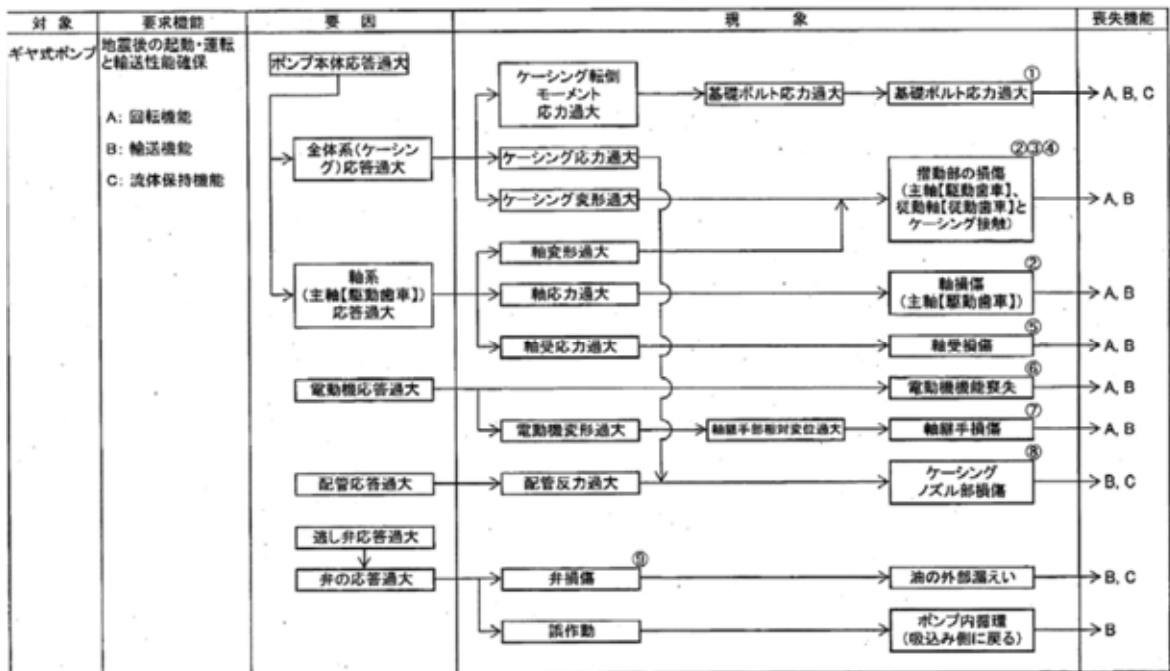
ギヤ式ポンプの要因分析図及び評価項目は、電共研※での検討内容を用いる。電共研では、第8図に示すとおり耐特委における遠心式横形ポンプ及びNUPECにおける非常用DGの燃料供給ポンプに対する異常要因分析結果（非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験（1992年3月））を網羅するように、ギヤ式ポンプに対する異常要因分析を行い、評価項目を抽出している。

ギヤ式ポンプの要因分析図を第9図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第5表のとおりである。

※ 動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成25年3月）



第8図 地震時異常要因分析の適用（ギヤ式ポンプ）



第 9 図 ギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図

第 5 表 ギヤ式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
①	基礎ボルト (取付ボルト含む)	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルトを含む）の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより機能喪失する。
② ③ ④	摺動部 (②主軸又は③従動軸 と④ケーシングのクリアランス)	ポンプ全体系の応答が過大となることで、主軸（主動歯車）及び従動軸（従動歯車）の応答が過大となり軸部の変形により、ギヤがケーシングと接触することで損傷に至り、回転機能及び輸送機能が喪失する。
②	軸	軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑤	軸受	軸受応力（軸受荷重）が過大となり、軸受が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑥	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑦	軸継手	被駆動機軸と電動機軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑧	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで輸送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑨	逃がし弁	弁の応答が過大となり、弁が損傷又は誤作動することで外部漏えい、ポンプ内循環が発生し、輸送機能及び流体保持機能が喪失する。

(c) スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの抽出した評価項目に対する相互確認

スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプは、ポンプ構造が類似していることを踏まえて、各ポンプの評価項目の抽出結果を比較することにより、その検討結果について相互の確認を行う。

i) スクリュー式ポンプで抽出した評価項目に対してギヤ式ポンプで抽出されなかった評価項目

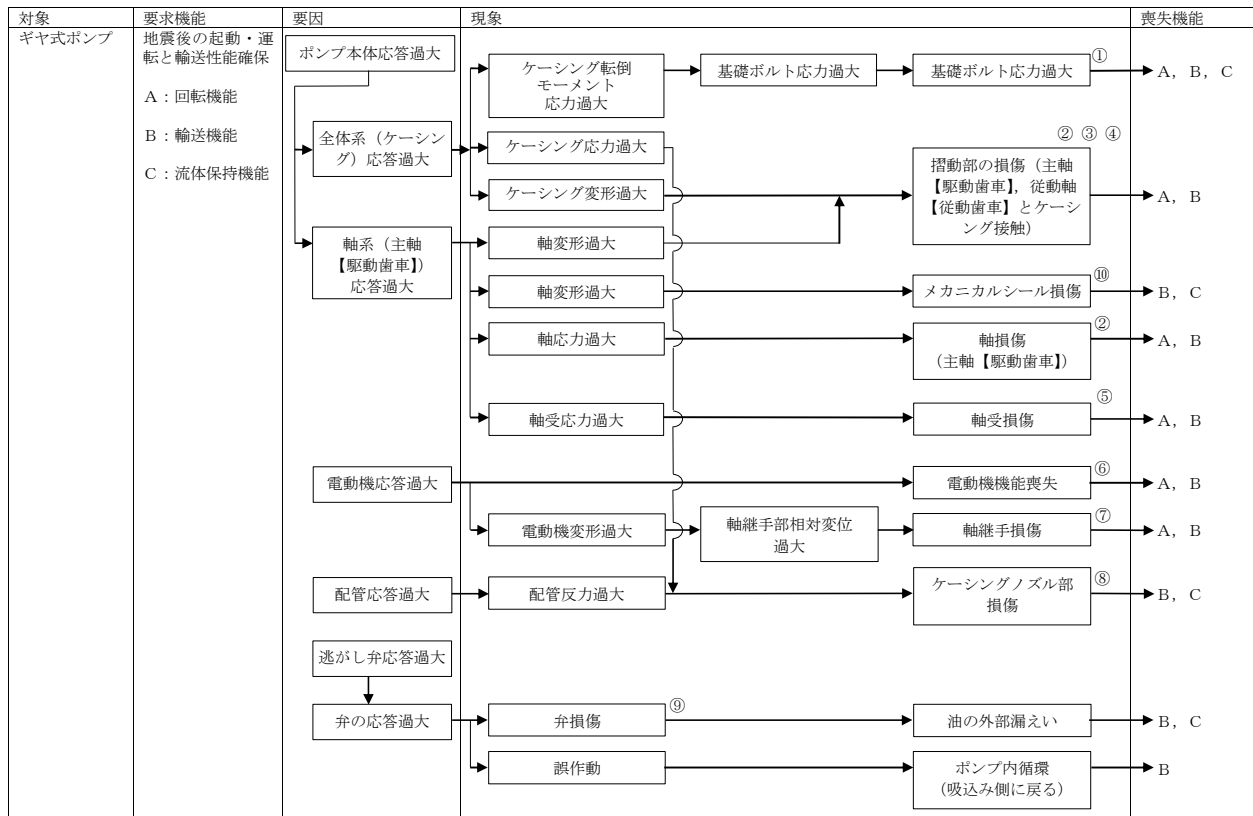
① 支持脚

ギヤ式ポンプはポンプケーシングに取付ボルト用のフランジが直接取り付けられており構造上存在しない。

② メカニカルシール

ギヤ式ポンプについてもメカニカルシールが設置されており、損傷すれば

スクリー式ポンプと同様に輸送機能及び流体保持機能に影響を与えることからギヤ式ポンプについても評価項目として選定する。メカニカルシールを追加したギヤ式ポンプの要因分析図を第 10 図に示す。

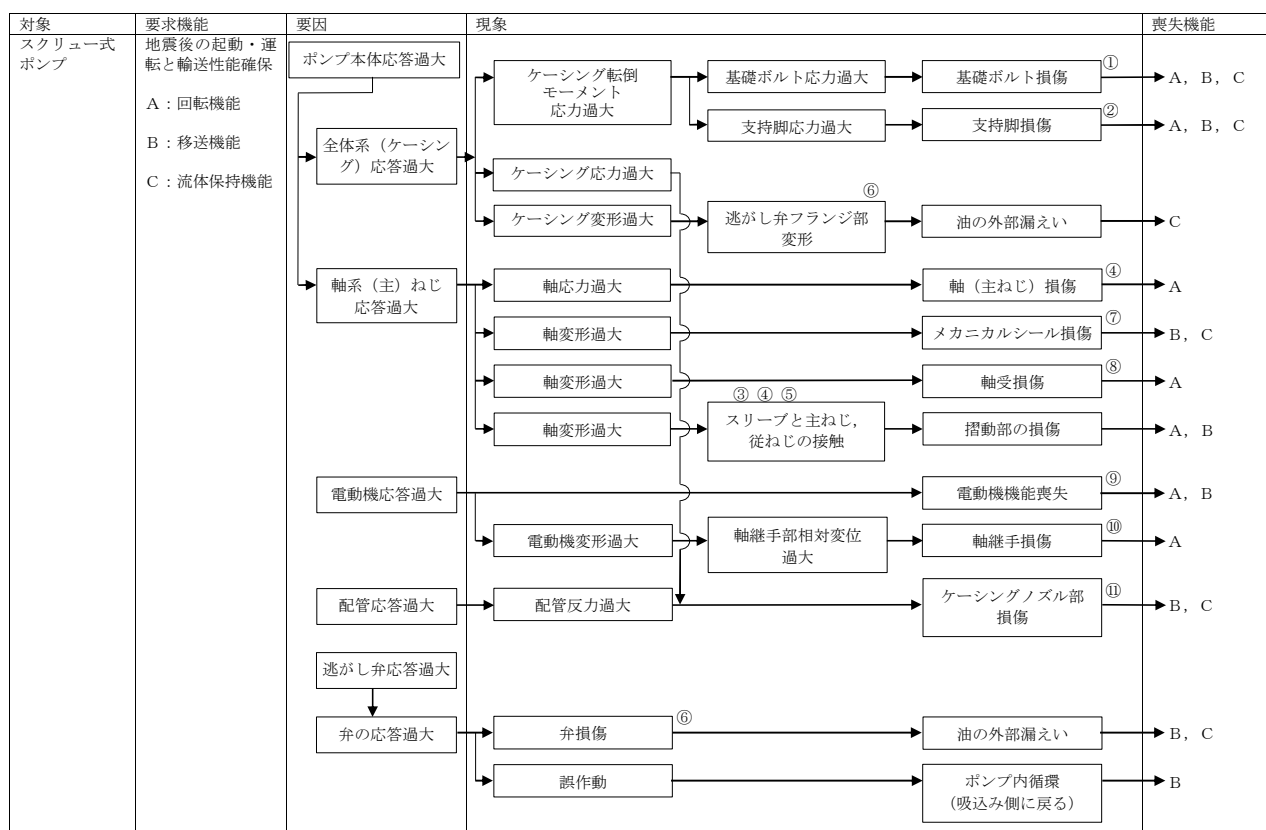


第 10 図 ギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図

ii) ギヤ式ポンプで抽出した評価項目に対してスクリー式ポンプで抽出されなかった
評価項目

③ 逃がし弁（移送機能）

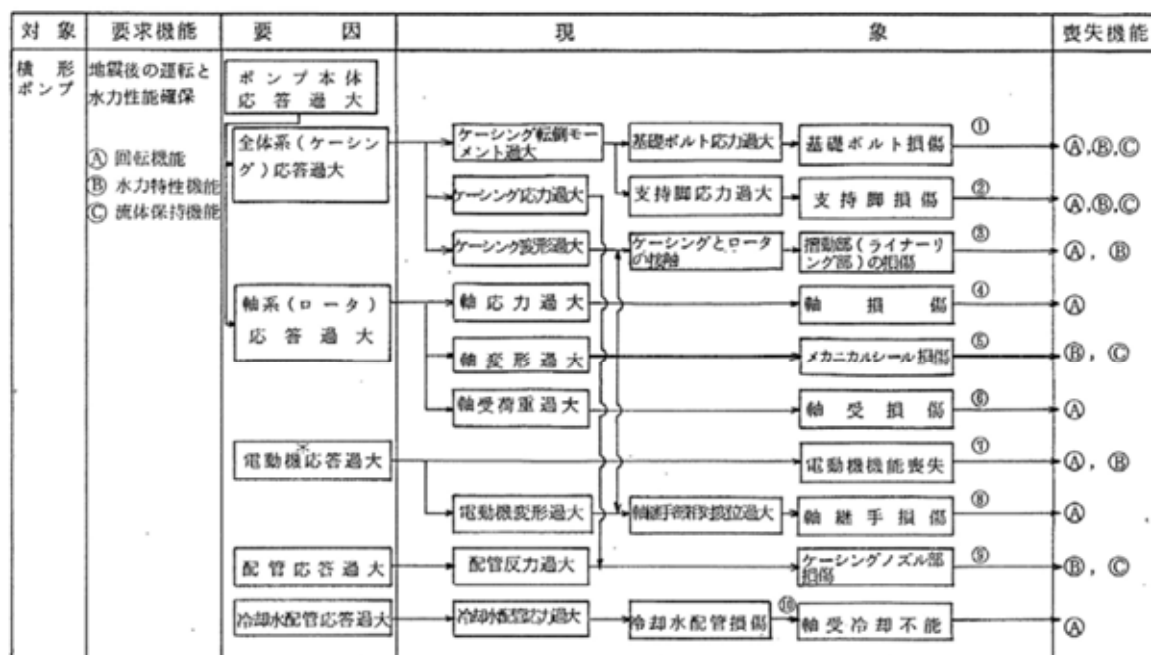
スクリー式ポンプについても逃がし弁が設置されており，誤作動すれば
ギヤ式ポンプと同様に移送機能に影響を与えることからスクリー式ポンプ
についても評価項目として選定する。逃がし弁を追加したスクリー式ポン
プの要因分析図を第 11 図に示す。



第 11 図 スクリー式ポンプの地震時異常要因分析図

b. 耐特委で検討された遠心式ポンプの地震時異常要因分析による評価項目

新たな検討が必要な設備としてスクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプの評価項目の検討において、公知化された検討として参考とする耐特委での遠心式ポンプの要因分析図を第12図に、要因分析図から抽出される評価項目を第6表に示す。



* 駆動用タービンの場合も同様。また、増速機も含む。

第12図 遠心式ポンプの地震時異常要因分析図

第 6 表 遠心式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
① ②	基礎ボルト（取付ボルト含む）、支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルト含む）の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより機能喪失する。 またポンプ全体系の応答が過大となることで、支持脚の応力が過大となり損傷に至り、ポンプが転倒することにより機能喪失する。
③	摺動部 （インペラとライナーリングのクリアランス）	軸変形が過大となり、インペラがライナーリングと接触することで損傷に至り、回転機能及び輸送機能が喪失する。
④	軸	軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑤	メカニカルシール	軸変形が過大となり、メカニカルシールが損傷することにより流体保持機能が喪失する。
⑥	軸受	軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑦	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑧	軸継手	被駆動機軸と電動機軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑨	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで輸送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑩	軸冷却水配管	冷却水配管の応答が過大となり、損傷することで軸冷却不能に至り、回転機能が喪失する。

c. 遠心式ポンプの評価項目を踏まえたスクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプの評価項目の検討

(a) スクリー式ポンプの評価項目の検討

スクリー式ポンプの要因分析結果について、耐特委における遠心式ポンプの要因分析結果と同様に整理した結果、スクリー式ポンプの評価項目は、遠心式ポンプとほぼ同様となった。スクリー式ポンプの動的機能維持の評価項目の抽出に当たり、遠心式ポンプの耐特委における評価項目に加え、構造の差異により抽出されたスクリー式ポンプの評価項目を加えて検討を行う。なお、構造の差異として抽出された評

価項目は下記の通りである。

- ・逃がし弁（遠心式ポンプの評価項目になくスクリー式ポンプのみで抽出）
- ・摺動部（スクリー式ポンプ及び遠心式ポンプの両方で抽出された評価項目であるが、構成部品が異なる。）
- ・軸冷却水配管（スクリー式ポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）

耐特委で検討された遠心式ポンプは、大型のポンプであり軸受としてすべり軸受を採用していることから、軸受の冷却が必要となる。このため、地震により軸冷却水配管の損傷に至ればポンプの機能維持に影響を及ぼすため、軸冷却水配管を評価項目として抽出している。一方でスクリー式ポンプの標準設計として、軸冷却水配管を有していない。軸冷却水配管は軸受の冷却のため設置されるが、スクリー式ポンプの軸受は内部流体で冷却が可能であるため、軸冷却水配管は設置されていない。

① 基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価

スクリー式ポンプは遠心式ポンプと同様に、基礎ボルトで固定された架台の上に、駆動機器及び被駆動機器が取付ボルトに設置されており、地震時に有意な荷重がかかることから動的機能維持の評価項目として選定する。

② 支持脚部の評価

支持脚部については、スクリー式ポンプと遠心式ポンプとで構造に大きな違いはなく、高い剛性を有するためにケーシング定着部に荷重がかかる構造となっている。このため、取付ボルト及び基礎ボルトが評価上厳しい部位であるため、取付ボルト及び基礎ボルトの評価で代表できる。

③④⑤ 摺動部の評価

摺動部の損傷の観点より、遠心式ポンプの検討におけるケーシングと接触して損傷するライナーリング部の評価を行うのと同様に、スクリー式ポンプにおける評価項目を以下のとおり選定する。

スクリー式ポンプのスクリー部は、構造が非常に剛であり、地震応答増幅が小さく動的機能評価上重要な部分の地震荷重が通常運転荷重に比べて十分小さいと考えられる。また、スリーブ部については、ケーシング部に設置されている。

軸系（主ねじ）についてはラジアル軸受で支持されており、軸変形によりスリーブ部と接触することで回転機能及び輸送機能が喪失に至ることが考えられるため、動

的機能維持の評価項目として選定する。

④ 軸系の評価

スクリー式ポンプは主ねじ及び従ねじを有する構造であり、一軸構造の遠心式ポンプとは軸の構造が異なるが、軸系の損傷によってポンプとしての機能を喪失することは同様である。このため、スクリー式ポンプにおいても、遠心式ポンプと同様に、軸応力過大により軸損傷が発生しないことを確認するため、軸系の評価を動的機能維持の評価項目として選定する。

⑥ 逃がし弁の評価

逃がし弁はばね式であり、フランジ部の構造評価に対する確認も含め、弁に作用する最大加速度が、安全弁の機能確認済加速度以下であることを確認する。

⑦ メカニカルシール

メカニカルシールは、高い剛性を有するケーシングに固定されており、地震時に有意な変位が生じない。また軸封部は軸受近傍に位置し、軸は地震時でも軸受で支持されており、有意な変位は生じることはなく、軸封部との接触は生じないため、計算書の対象外とする。

⑧ 軸受の評価

ポンプにおいて、軸受の役割は回転機能の保持であり、その役割はスクリー式ポンプも遠心式ポンプも同じである。当該軸受が損傷することにより、ポンプの機能喪失につながるため、動的機能維持の評価項目として選定する。また、評価においては発生する荷重としてスラスト方向及びラジアル方向の荷重を考慮して評価を行う。

⑨ 電動機の評価

スクリー式ポンプの電動機は横向きに設置されるころがり軸受を使用する電動機であり、耐特委（J E A G 4601）で検討されている横型ころがり軸受電動機の適用範囲内であることから、機能確認済加速度との比較により評価を行う。

⑩ 軸継手の評価

スクリー式ポンプは、遠心式ポンプと同様に、軸受でスラスト荷重を受け持つこと及びフレキシブルカップリングを採用していることから、軸継手にはスラスト荷重による有意な応力が発生しないため、計算書の評価対象外とする。

⑪ ケーシングノズルの評価

東海第二発電所で使用するスクリー式ポンプの吸込、吐出部は直接配管のフラ
別紙 1-20

ンジを接続する構造でありノズル形状を有さないため、計算書の対象外とする。

以上から、スクリー式ポンプにおいて抽出される動的機能維持の評価項目のうち、計算書の評価対象とするものは以下の通りである。

- ・基礎ボルト及び取付ボルトの評価
- ・摺動部（軸系）の評価
- ・軸系としてねじの評価
- ・逃がし弁の評価
- ・軸受の評価
- ・電動機の評価

評価項目における評価基準値の説明を表7に示す。

以上の検討に基づく評価結果を表8に示す。

表7 評価基準値の設定

評価項目	評価基準値の設定
① 基礎ボルト，ポンプ取付ボルト	支持機能の確保の観点から，運転状態Ⅳを基本として，通常材料の実降伏点在设计値に対し余裕があることを考慮し，概ね降伏点以下と同等とした値としてⅣ _A Sを評価基準値とした。
③④ 摺動部	主ねじとスリーブの接触により回転機能，移送機能が阻害されるという観点から，主ねじとスリーブのクリアランスを評価基準値とした。
④ 軸	回転機能の確保の観点から，軸（主ねじ）の変形を弾性範囲内に留めるようⅢ _A Sを評価基準値とした。
⑥ 逃がし弁	移送機能の確保の観点から，安全弁の機能確認済加速度を評価基準とした。
⑧ 軸受	回転機能の確保の観点から，メーカーが推奨する許容面圧を評価基準とした。
⑨ 電動機	回転機能，移送機能の確保の観点から，電動機の機能確認済加速度を評価基準とした。

表 8 (1) 非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①-1 基礎ボルト	応力	引張	4 MPa	184 MPa	○
		せん断	4 MPa	142 MPa	○
①-2 ポンプ取付ボルト	応力	引張	3 MPa	433 MPa	○
		せん断	2 MPa	333 MPa	○
③スリーブ ④主ねじ	変位	—			○
④ 軸	応力	せん断	8 MPa	495 MPa	○
⑥ 逃がし弁	加速度	水平	$0.87 \times 9.8\text{m/s}^2$	$5.0 \times 9.8\text{m/s}^2$	○
		鉛直	$0.71 \times 9.8\text{m/s}^2$	$1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$	○
⑧ 軸受	面圧	⑧-1 ラジアル (原動機側)	0.0790 MPa		○
		⑧-2 ラジアル (負荷側)	0.1356 MPa		○
		⑧-2 スラスト	0.1588 MPa		○
⑨ 原動機	加速度	水平	$0.81 \times 9.8\text{m/s}^2$	$4.7 \times 9.8\text{m/s}^2$	○
		鉛直	$0.71 \times 9.8\text{m/s}^2$	$1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$	○

表 8 (2) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①-1 基礎ボルト	応力	引張	4 MPa	184 MPa	○
		せん断	4 MPa	142 MPa	○
①-2 ポンプ取付ボルト	応力	引張	3 MPa	433 MPa	○
		せん断	2 MPa	333 MPa	○
③スリーブ ④主ねじ	変位	—			○
④ 軸	応力	せん断	8 MPa	495 MPa	○
⑥ 逃がし弁	加速度	水平	$0.87 \times 9.8\text{m/s}^2$	$5.0 \times 9.8\text{m/s}^2$	○
		鉛直	$0.71 \times 9.8\text{m/s}^2$	$1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$	○
⑧ 軸受	面圧	⑧-1 ラジアル (原動機側)	0.0790 MPa		○
		⑧-2 ラジアル (負荷側)	0.1356 MPa		○
		⑧-2 スラスト	0.1588 MPa		○
⑨ 原動機	加速度	水平	$0.81 \times 9.8\text{m/s}^2$	$4.7 \times 9.8\text{m/s}^2$	○
		鉛直	$0.71 \times 9.8\text{m/s}^2$	$1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$	○

表 8 (3) 常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①-1 基礎ボルト	応力	引張	4 MPa	184 MPa	○
		せん断	4 MPa	142 MPa	○
①-2 ポンプ取付ボルト	応力	引張	3 MPa	433 MPa	○
		せん断	3 MPa	333 MPa	○
③スリーブ ④主ねじ	変位	—			○
④ 軸	応力	せん断	6 MPa	495 MPa	○
⑥ 逃がし弁	加速度	水平	$0.81 \times 9.8\text{m/s}^2$	$5.0 \times 9.8\text{m/s}^2$	○
		鉛直	$0.71 \times 9.8\text{m/s}^2$	$1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$	○
⑧ 軸受	面圧	⑧-1 ラジアル (原動機側)	0.0678 MPa		○
		⑧-2 ラジアル (負荷側)	0.0835 MPa		○
		⑧-2 スラスト	0.1769 MPa		○
⑨ 電動機	加速度	水平	$0.81 \times 9.8\text{m/s}^2$	$4.7 \times 9.8\text{m/s}^2$	○
		鉛直	$0.71 \times 9.8\text{m/s}^2$	$1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$	○

(b) ギヤ式ポンプの評価項目の検討

ギヤ式ポンプの要因分析結果について、耐特委における遠心式ポンプの要因分析結果と同様に整理した結果、ギヤ式ポンプの評価項目は、遠心式ポンプとほぼ同様となる。ギヤ式ポンプの動的機能維持の評価項目の抽出に当たり、遠心式ポンプの耐特委における評価項目に加え、構造の差異により抽出されたギヤ式ポンプの評価項目を加えて検討を行う。なお、構造の差異として抽出された評価項目は下記の通りである。

- ・逃がし弁（遠心式ポンプの評価項目になくギヤ式ポンプのみで抽出）
- ・摺動部（ギヤ式ポンプと遠心式ポンプの両方で抽出された評価項目であるが、構成部品が異なる。）
- ・軸冷却水配管（ギヤ式ポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）

耐特委で検討された遠心式ポンプは、大型のポンプであり軸受としてすべり軸受を採用していることから、軸受の冷却が必要となる。このため、地震により軸冷却水配管の損傷に至ればポンプの機能維持に影響を及ぼすため、軸冷却水配管を評価項目として抽出している。一方でギヤ式ポンプの標準設計として、軸冷却水配管を有していない。軸冷却水配管は軸受の冷却のため設置されるが、ギヤ式ポンプの軸受は内部流体で冷却が可能であるため、軸冷却水配管は設置されていない。

① 基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価

ギヤ式ポンプは遠心式ポンプと同様に、基礎ボルトで固定された架台の上に、駆動機器及び被駆動機器が取付ボルトに設置されており、地震時に有意な荷重がかかることから動的機能維持の評価項目として選定する。

②③④ 摺動部の評価

摺動部の損傷の観点より、遠心式ポンプの検討におけるケーシングと接触して損傷するライナーリング部の評価を行うのと同様に、ギヤ式ポンプにおける評価項目を以下のとおり選定する。

ギヤ式ポンプのギヤ部は、構造が非常に剛であり、地震応答増幅が小さく動的機能評価上重要な部分の地震荷重が通常運転荷重に比べて十分小さいと考えられる。また、ケーシングについては、横形ポンプと同様に耐圧構造であり、使用圧力に耐えられる強度の肉厚を有している。

主軸又は従動軸については、損傷によってギヤがケーシングと接触することで回

転機能及び輸送機能が喪失に至ることが考えられる。主軸の重量は、従動軸の重量に比べ大きく、軸を支持する距離は双方の軸で同じであるため、評価項目は、主軸（ギヤ部）を対象として行う。

② 主軸の評価

ギヤ式ポンプは二軸（主軸及び従動軸）構造であり、一軸構造の横形ポンプとは軸の構造が異なるが、主軸の重量は、従動軸に比べ大きく、軸を支持する距離は双方の軸で同じであるため、主軸の健全性確認を行うことによって、一軸構造の横形ポンプと同様の見解が適用できるものである。そのため、ギヤ式ポンプにおいても、遠心式ポンプと同様に、軸損傷が発生しないことを確認するため、主軸の評価を動的機能維持の評価項目として選定する。

⑤ 軸受の評価

ポンプにおいて、軸受の役割は「回転機能の保持」であり、その役割は遠心ポンプもギヤ式ポンプも同じである。

当該軸受が損傷することにより、ポンプの機能喪失につながるため、動的機能維持の評価項目として選定する。また、評価においては発生する荷重としてスラスト方向及びラジアル方向の荷重を考慮して評価を行う。

⑥ 電動機の評価

ギヤ式ポンプの電動機は横向きに設置されるころがり軸受を使用する電動機であり、耐特委（J E A G 4601）で検討されている横型ころがり軸受電動機の適用範囲内であることから、機能確認済加速度との比較により評価を行う。

⑦ 軸継手の評価

ギヤ式ポンプは、遠心式ポンプと同様に、軸受でスラスト荷重を受け持つことから、軸継手にはスラスト荷重による有意な応力が発生しないため、計算書の評価対象外とする。

⑧ ケーシングノズルの評価

ギヤ式ポンプのケーシングノズル部は、遠心式ポンプと同様に、機器と配管の接続部であるが、ノズル出入口配管のサポートについて適切に配管設計することで、ノズル部に過大な配管荷重が伝わらないため、計算書の評価対象外とする。

⑨ 逃がし弁の評価

逃がし弁はばね式であるため、弁に作用する最大加速度が、安全弁の機能確認済加速度以下であることを確認する。

⑩ メカニカルシール

メカニカルシールは、高い剛性を有するケーシングに固定されており、地震時に有意な変位が生じない。また軸封部は軸受近傍に位置し、軸は地震時でも軸受で支持されており、有意な変位は生じることはなく、軸封部との接触は生じないため、計算書の対象外とする。

以上から、ギヤ式ポンプにおいて抽出される動的機能維持の評価項目のうち、計算書の評価対象とするものは以下の通りである。

- ・基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価
- ・主軸（ギヤ部）の評価
- ・主軸の評価
- ・軸受の評価
- ・電動機の評価
- ・逃がし弁の評価

評価項目における評価基準値の説明を表 9 に示す。

以上の検討に基づく評価結果を表 10 に示す。

表 9 評価基準値の設定

評価項目	評価基準値の設定
① 基礎ボルト、ポンプ取付ボルト	支持機能の確保の観点から、運転状態Ⅳを基本として、通常材料の実降伏点が設計値に対し余裕があることを考慮し、概ね降伏点以下と同等とした値としてⅣ _A Sを評価基準値とした。
②④ 主軸（ギヤ部）	主軸とケーシングの接触により回転機能、移送機能が阻害されるという観点から、主ねじとスリーブのクリアランスを評価基準値とした。
② 主軸	回転機能の確保の観点から、主軸の変形を弾性範囲内に留めるようⅢ _A Sを評価基準値とした。
⑤ 軸受	回転機能の確保の観点から、メーカーが推奨する許容面圧を評価基準とした。
⑥ 電動機	回転機能、移送機能の確保の観点から、電動機の機能確認済加速度を評価基準とした。
⑨ 逃がし弁	移送機能の確保の観点から、安全弁の機能確認済加速度を評価基準とした。

表 10 緊急時対策所用発電機給油ポンプ 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①-1 基礎ボルト	応力	引張	6 MPa	475 MPa	○
		せん断	5 MPa	366 MPa	○
①-2 ポンプ取付ボルト	応力	引張	12 MPa	205 MPa	○
		せん断	2 MPa	157 MPa	○
②④ 主軸（ギヤ部）	変位	—			○
② 主軸	応力	組合せ	4 MPa	858 MPa	○
⑤ 軸受	面圧	—	1 MPa		○
⑥ 電動機	加速度	水平	$1.2 \times 9.8\text{m/s}^2$	$4.7 \times 9.8\text{m/s}^2$	○
		鉛直	$1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$	$1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$	○
⑨ 逃がし弁	加速度	水平	$1.2 \times 9.8\text{m/s}^2$	$5.0 \times 9.8\text{m/s}^2$	○
		鉛直	$1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$	$1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$	○

暫定値

4. まとめ

新たな検討が必要な設備について、地震時要因分析を行い、基本的な機構造が類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に、型式による構造の違いを踏ま

えた上で地震時異常要因分析を行い，評価項目の抽出を行った。また，抽出した項目について評価を行い，機能が喪失することがないことを確認した。

評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため詳細検討が必要な設備の動的機能維持評価について（立形ポンプ）

1. はじめに

本資料は、残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの動的機能維持評価における詳細検討についてまとめたものである。

2. 動的機能維持の評価方針

動的機能維持評価の結果，表 1 に示すとおり，残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプについて，評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため，詳細検討が必要となる。

動的機能の評価においては，J E A G 4601 及び耐特委報告書「動的機器の地震時機能維持評価に関する調査報告書」（昭和 6 1 年 1 2 月）において，対象機種ごとに，現実的地震応答のレベルでの異常のみならず，破壊に至る様な過剰な状態を念頭に地震時に考え得る異常要因を抽出し，その分析により動的機能上の評価点を検討し，動的機能維持を評価する際に確認すべき項目として，基本評価項目を摘出している。

そのため，評価用加速度が機能確認済加速度を超える設備の機能維持評価については，J E A G 4601 及び耐特委報告書により選定された基本評価項目に基づき，動的機能維持評価として，詳細検討を実施する。

表 1 評価用加速度と機能確認済加速度の比較

解析実施中につき
見直し予定

機器	評価結果					
	水平 (G)			鉛直 (G)		
	評価用 加速度 (G)	機能 確認済 加速度 (G) ※1	裕度	評価用 加速度 (G)	機能 確認済 加速度 (G) ※2	裕度
残留熱除去系 海水系ポンプ	0.57	10.0	17.54	2.22	1.0	0.45
非常用ディーゼル発電機 用海水ポンプ	0.57	10.0	17.54	2.22	1.0	0.45
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機用 海水ポンプ	0.57	10.0	17.54	2.22	1.0	0.45

※ 1 J E A G 4601 に定められた評価基準

※ 2 1.0G は、機器一般の浮き上がりの目安として設定したもの。

耐専（原子力発電耐震設計専門部会）において、鉛直地震動に対する検討として、改めて鉛直地震動に注意して異常要因分析結果を見直しても、新たに加える損傷モードはなく、既往の水平地震動を前提とした評価の考え方が適用できることが確認されている。

3. 立形斜流ポンプの基本評価項目

残留熱除去系海水系ポンプは容量 885.7 m³/h の立形斜流ポンプ、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプは容量 272.6 m³/h の立形斜流ポンプ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプは容量 232.8 m³/h の立形斜流ポンプであり、J E A G 4601 記載の適用機種範囲に該当する設備である。残留熱除去系海水系ポンプを代表として構造の概要を図 1 に示す。

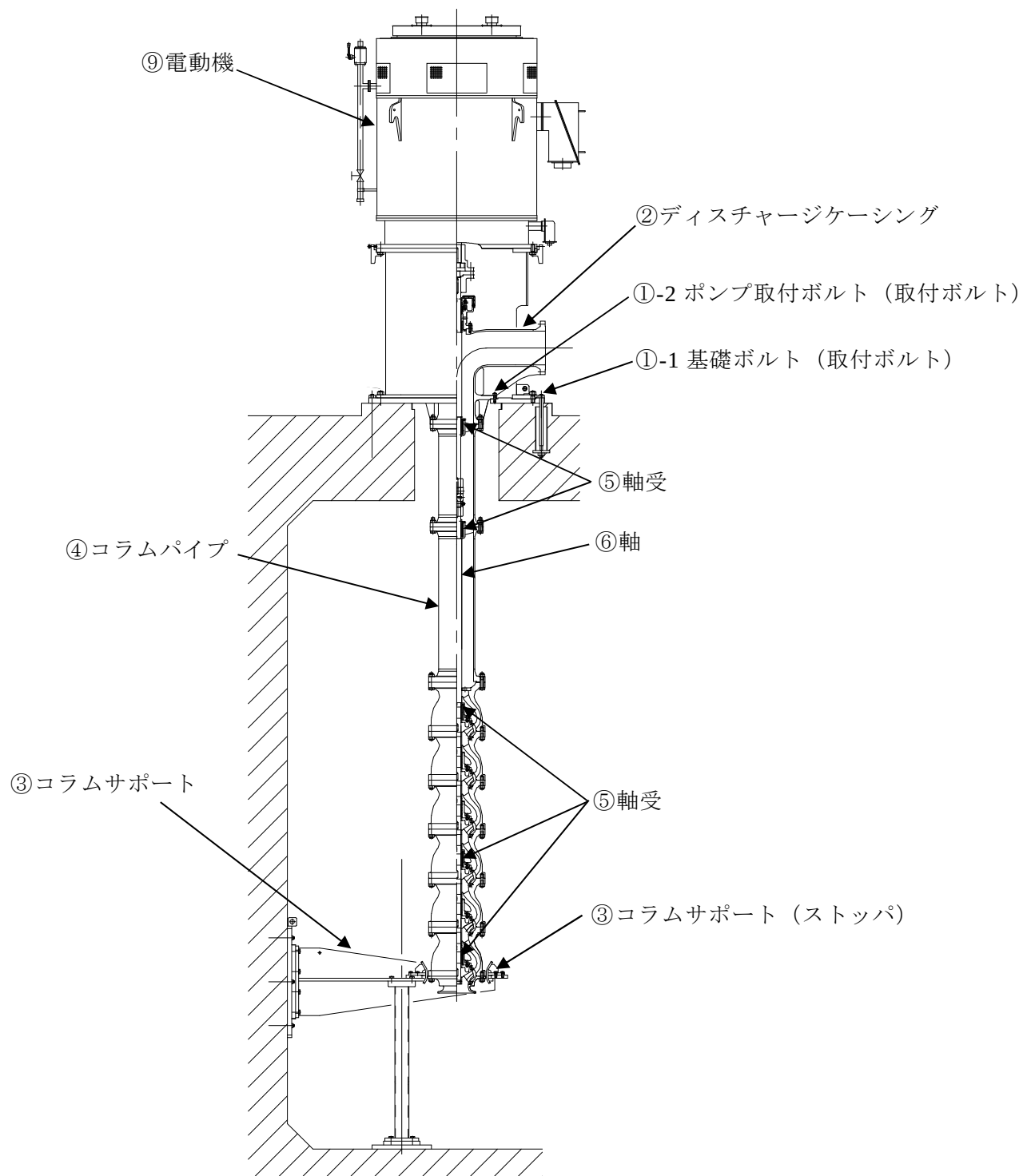


図1 残留熱除去系海水系ポンプの構造図

耐特委における立形ポンプの地震時異常要因分析結果を図2に示す。

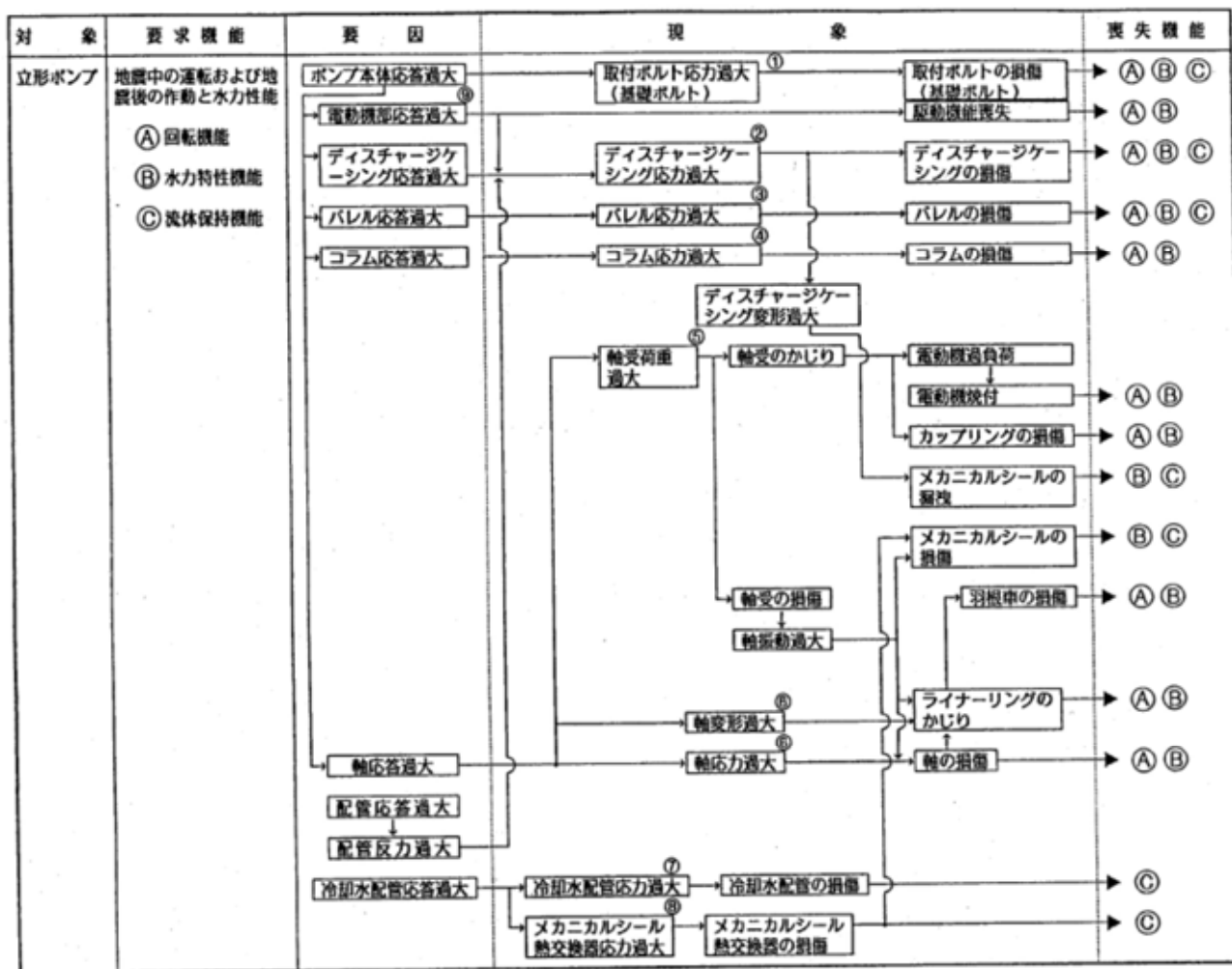


図2 立形ポンプの地震時異常要因モード図（耐特委）

耐特委報告書においては異常要因モードに基づき評価項目が以下①～⑨の項目のとおりに抽出され、①～⑨の評価項目について評価することで、回転機能、水力特性機能及び流体保持機能が確認できるとされている。

これは、機能確認済加速度を超える地震加速度レベルにおいても、これらの①～⑨について全て評価基準値以下に収まっていれば、動的機能が維持できると解される。本項では、上記考え方にに基づき各基本評価項目における機能喪失にいたる現象と、機能確認済加速度を越えた場合の評価の考え方を記述する。

①取付ボルトの健全性

立形ポンプの応答が過大となり、立形ポンプをポンプベースに固定しているポンプ取付ボルト、ポンプベースを基礎に固定している基礎ボルトに発生する応力が過大となり損傷に至り、回転機能、水力特性機能及び流体保持機能が喪失する。

②ディスチャージケーシングの健全性

ディスチャージケーシングの応力が過大となり、損傷又は変形過大となることにより回転機能、水力特性機能及び流体保持機能が喪失する。

③バレルの健全性

バレルの応力が過大となり、損傷することにより回転機能、水力特性機能及び流体保持機能が喪失する。

（注）当該機器にバレルはないが、コラムサポート（ストッパ）あり。

④コラムパイプの健全性

コラムパイプの応力が過大となり、損傷することにより回転機能及び水力特性機能が喪失する。

⑤軸受の健全性

軸受荷重が過大となり、軸受のかじり又は損傷することにより回転機能、水力特性機能及び流体保持機能が喪失する。

⑥軸の健全性

軸変形が過大となり、ライナーリングがかじることにより回転機能及び水力特性機能が喪失する。また、軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能及び水力特性機能が喪失する。

⑦冷却水配管の健全性

冷却水配管応力が過大となり、冷却水配管が損傷することにより流体保持機能が喪失する。

（注）当該機器に冷却水配管はない。

⑧メカニカルシール熱交換器の健全性

メカニカルシール熱交換器応力が過大となり、メカニカルシール熱交換器が損傷することにより流体保持機能が喪失する。

（注）当該機器にメカニカルシール熱交換器はない。

⑨電動機の健全性

電動機部の応答が過大となり、駆動機能が喪失することにより回転機能、水力特性機能及び流体保持機能が喪失する。また、電動機部の応答が過大となり、ディスチャージケーシングが損傷することにより回転機能及び水力特性機能が喪失する。

（注）当該機器の電動機はディスチャージケーシングに支持されていない。

4. J E A G 4601, 耐特委報告書及び耐専報告書後の知見について

平成 13 年の耐専報告書後の知見として、平成 24 年度電共研「動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する検討」にて、機能確認済加速度の引き上げを目的として代表機器を対象に機能維持評価を行っている。立形ポンプについては表 2 に示すとおり、各項目について解析による評価を実施している。表 3 に評価の概要を示す。なお、本評価については、日本電気協会 原子力規格委員会において審議され、JEAC4601-2015 に取り込まれている。

表 2 平成 24 年度電共研 立形ポンプの機能維持評価結果 (JEAC4601-2015 抜粋)

参表 4.11.1-2 立形ポンプの機能維持評価結果

基本評価項目		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	水力性能
地震力が及ぼす方向		地震力ルト 取付ボルト	ディスチャージケー シング	パレル (ピットパレル形) コラムサポート (立形形)	コラムパイプ (ピットパレル形) ケーシング (立形形)	軸受	軸	冷却水配管	メカニカルシー ト	電動機	
評価方法		水平・鉛直	水平・鉛直	水平・鉛直	水平・鉛直	水平	水平・鉛直	水平・鉛直	水平・鉛直	水平・鉛直	水力性能
評価方法		強度評価にて耐震 設計を実施	ノズル許容範囲以下 にのみよう耐震設計 を実施	解析により耐力 を評価	解析により耐力 を評価	解析により耐力 を評価	解析により耐力 を評価	配管系として耐震設 計を実施	静的構造として耐震 設計を実施	別途電動機側にて評 価	右記表での成果を基に、 左記表の評価項目により 水力性能を代替評価
確認を要する項目 (注1)	ピットパレル形 立形形ポンプ	評価加速度 ($\times 9.8m/s^2$) 水平 12.0 鉛直 2.0	↓	2.9	4.8	1.1	4.8	↓	↓	↓	↓
	立形形ポンプ	評価加速度 ($\times 9.8m/s^2$) 水平 12.0 鉛直 2.0	↓	3.8	2.3	1.0	3.1	↓	↓	↓	↓
	立形形ポンプ スプレッドポンプ	評価加速度 ($\times 9.8m/s^2$) 水平 12.0 鉛直 2.0	↓	—	1.2	2.9	1.0	↓	↓	↓	↓
評価結果		↓	↓	許容値を満足 している。	許容値を満足 している。	許容値を満足 している。	許容値を満足 している。	↓	↓	↓	左記各項目の評価により性 能も維持されたと判定
代表評価項目 (OHP)		〇 [強度評価にて耐震 設計を実施]	— [設計耐力が耐力により 耐力評価が実施されて おり別添評価]	〇 (耐力)	〇 (耐力)	〇 (耐力)	—	— [配管系として耐震設計 を実施]	— [静的構造として耐震設計 を実施]	〇 [別途電動機側 にて評価実施]	左記代表項目の評価結果 により水力性能維持を判 定
代表評価項目測定の手入力		支持部の機能確認と して実施である。	支持部の機能確認と して実施である。	同左確認。水力特性 確認。流体保持機能 に保たれる代数的な項 目で劣化が小さい。	同左確認。水力特性 確認。流体保持機能 に保たれる代数的な項 目で劣化が小さい。	同左確認。水力特性 確認。流体保持機能 に保たれる代数的な項 目で劣化が小さい。	—	—	—	—	電動機の型式により 確認が必要である。 電動機は必ず評価す る。

(注1) 余剰度 = (許容値 - 実測値) / 実測値

表 3 平成 24 年度電共研 立形ポンプ 動的機能維持評価概要

評価項目	評価内容
①基礎ボルト 取付ボルト	強度評価側にて耐震設計を実施
②ディスチャージケーシング	ノズル許容荷重以下になるよう配管設計を実施
③コラムサポート	解析により応力を評価
④コラムパイプ	解析により応力を評価
⑤軸受	解析により荷重を評価
⑥軸	解析により応力を評価
⑦冷却水配管	配管系として耐震設計を実施
⑧メカニカルシール熱交換器	静的機器として耐震設計を実施
⑨電動機	別途電動機側にて評価

5. 立形ポンプ評価概要

機能維持評価については、J E A G 4601 及び耐特委報告書により動的機能維持評価上、評価が必要な評価項目が選定されており、その評価項目に基づき、計算書対象とする動的機能維持確認の基本評価項目の考え方を示す。

①基礎ボルト，ポンプ取付ボルト

立形ポンプはポンプベースにポンプ取付ボルトを用いて固定されており，ポンプベースは基礎に基礎ボルトを用いて固定されており，地震時の荷重は当該ボルトに作用し，有意な荷重がかかることから評価項目として選定する。

②ディスチャージケーシング

ディスチャージケーシングはノズル荷重が作用するが，ノズル許容荷重以下になるよう配管設計を実施するため，立形ポンプの計算書の評価対象外とする。

③ストッパ（当該機器にバレルはないためコラムサポート（ストッパ）を評価）

ストッパはコラムをサポートしており，地震時はコラムの振れ止めとして荷重を受ける。ストッパは取付ボルトを用いて固定されており，地震時の荷重は当該ボルトに作用し，有意な荷重がかかることから評価項目として選定する。

④コラムパイプ

回転機能，水力特性機能の観点から動的機能維持の評価項目として選定する。

⑤軸受

回転機能，水力特性機能の観点から動的機能維持の評価項目として選定する。

⑥軸

回転機能，水力特性機能の観点から動的機能維持の評価項目として選定する。

⑦冷却水配管

当該機器に冷却水配管はないため評価対象外とする。

⑧メカニカルシール熱交換器

当該機器にメカニカルシール熱交換器はないため評価対象外とする。

⑨電動機

回転機能，水力特性機能の観点から動的機能維持の評価項目として選定する。

以上から，立形ポンプにおいて抽出される動的機能維持の基本評価項目のうち，計別紙 2-9

算書の評価対象とするものは以下の通りである※。

※ 表 4 においては、①～⑨の全ての評価項目を記載し、以下の評価項目に該当するものは評価内容を示し、それ以外の項目については評価省略理由を記載する。

①基礎ボルト，ポンプ取付ボルト

③ストッパ（取付ボルト）

④コラムパイプ

⑤軸受

⑥軸

⑨電動機

上記評価項目に基づき，表 4 のとおり機能維持評価を実施している。

評価項目における評価基準値の説明を表 5 に，また各設備における評価部位については図 3, 4, 5 に示す。

以上の検討に基づく評価結果を表 6, 7, 8 に示す。

表 4 動的機能維持評価内容

評価項目	評価内容	計算書対象 (○：計算書対象， －：計算書省略)
① 基礎ボルト，ポンプ取付ボルト	多質点はりモデルによる海水ポンプの応答解析結果を用い，材料力学等の公式により，基礎ボルト及びポンプ取付ボルトの発生応力を評価	○
② ディスチャージケーシング	ノズル許容荷重以下になるよう配管設計を実施するため，立形ポンプとして計算書は省略。	－
③ ストップ（取付ボルト）	多質点はりモデルによる海水ポンプの応答解析結果を用い，材料力学等の公式により，取付ボルトの発生応力を評価	○
④ コラムパイプ	多質点はりモデルによる応答解析結果を用い，材料力学等の公式によりコラムパイプの発生応力を評価	○
⑤ 軸受	多質点はりモデルによる応答解析結果を用い，軸受の発生荷重を評価	○
⑥ 軸	多質点はりモデルによる応答解析結果を用い，材料力学等の公式により軸の発生応力を評価	○
⑦ 冷却水配管	当該機器に冷却水配管なし。	該当部無し
⑧ メカニカルシール熱交換器	当該機器にメカニカルシール熱交換器なし。	該当部無し
⑨ 電動機	別紙－3 参照。	○

表 5 (1) 評価基準値の設定

評価項目	評価基準値の設定
①基礎ボルト， ポンプ取付ボルト ③ストッパ（取付ボルト） ④コラムパイプ	コラムパイプおよびポンプ取付ボルトは，軸や軸受といった構成部品を固定・支持しており，これらが大きな変形を起こさなければ，構成品の相互の位置関係は維持され，立形ポンプの地震時の機能は確保される。 支持機能の確保の観点から，告示 501 号の運転状態Ⅳを基本として，通常材料の実降伏点が設計値に対し余裕があることを考慮し，概ね降伏点以下と同等とした値としてⅣ_A S を評価基準値とした。
⑥軸	回転子については，電動機で発生させた回転トルクを羽根車に伝える。 回転機能の確保の観点から，軸の変形を弾性範囲内に留めるようⅢ_A S を評価基準値としている。軸の発生応力を弾性範囲内に留めることで，地震後の軸の応力過大による損傷はないことから，作動不良には至らず，軸の機能は確保される。 また，地震による軸の変形は，通常運転時より大きくなるため，弾性範囲内でも軸に取り付ける羽根車とケーシングリングの接触により，回転機能及び水力特性に影響を与える可能性があるが，モデル解析において回転体とコラムパイプの相対変位が，羽根車とケーシングリングのクリアランス以下であることを確認することで，回転機能及び水力特性に影響を与える可能性はない。

表 5 (2) 評価基準値の設定

評価項目	評価基準値の設定
⑤軸受	当該ポンプの軸は水中軸受で支持されており，水中軸受は軸と軸受との間に水膜を形成することで回転機能を維持しているため，運転中に軸と軸受が接触しない水膜が保持されれば，回転機能，支持機能が維持される。 軸受部では，軸の回転により軸と軸受との間に水膜が形成され，水压により軸と軸受とが直接接触しない状態が保持される。この状態で地震力等の外荷重が作用し水膜が押しつぶされると軸と軸受とが直接接触し損傷に至る恐れがあるが，非常に瞬時の事象のため，水切れによる影響は少なく、軸受に掛かる荷重が軸受の強度にとってより重要となる。そのため、軸受メーカーが推奨する許容面圧と軸受径及び軸受長さから求まる荷重を評価基準値（許容荷重）とした。
⑨電動機	別紙－3 参照。

表 6 残留熱除去系海水系ポンプ 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①-1 基礎ボルト	応力	引張	94 MPa	225 MPa	○
		せん断	16 MPa	173 MPa	○
①-2 ポンプ取付ボルト	応力	引張	148 MPa	153 MPa	○
		せん断	26 MPa	118 MPa	○
③-1 ストップ (取付ボルト)	応力	せん断	47 MPa	118 MPa	○
③-2 ストップ (取付ボルト)	応力	せん断	15 MPa	118 MPa	○
④コラムパイプ	応力	一次一般膜応力	118 MPa	283 MPa	○
⑤軸受	荷重	⑤-1 軸受		$4.626 \times 10^3 \text{ N}$	○
		⑤-2 軸受		$2.613 \times 10^4 \text{ N}$	○
		⑤-3 軸受		$3.469 \times 10^4 \text{ N}$	○
		⑤-4 軸受	下側	$2.659 \times 10^3 \text{ N}$	○
			上側	$2.659 \times 10^3 \text{ N}$	○
		⑤-5 軸受	下側	$1.771 \times 10^4 \text{ N}$	○
			上側	$1.771 \times 10^4 \text{ N}$	○
⑥軸	応力	追而	追而	追而	追而
	変位	—	追而	追而	追而

解析実施中につき
見直し予定

表 7 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①-1 基礎ボルト	応力	引張	28 MPa	205 MPa	○
		せん断	7 MPa	158 MPa	○
①-2 ポンプ取付ボルト	応力	引張	11 MPa	153 MPa	○
		せん断	2 MPa	118 MPa	○
③-1 ストップ (取付ボルト)	応力	せん断	6 MPa	118 MPa	○
③-2 ストップ (取付ボルト)	応力	せん断	4 MPa	118 MPa	○
④コラムパイプ	応力	一次一般膜応力	22 MPa	283 MPa	○
⑤軸受	荷重	⑤-1 軸受		434.3 N	○
		⑤-2 軸受		3.472×10^3 N	○
		⑤-3 軸受	下側	3.452×10^3 N	○
			上側	3.452×10^3 N	○
		⑤-4 軸受	下側	2.259×10^3 N	○
			上側	2.259×10^3 N	○
		⑤-5 軸受	下側	4.141×10^3 N	○
			上側	4.141×10^3 N	○
⑥軸	応力	追而	追而	追而	追而
	変位	—	追而	追而	追而

解析実施中につき
見直し予定

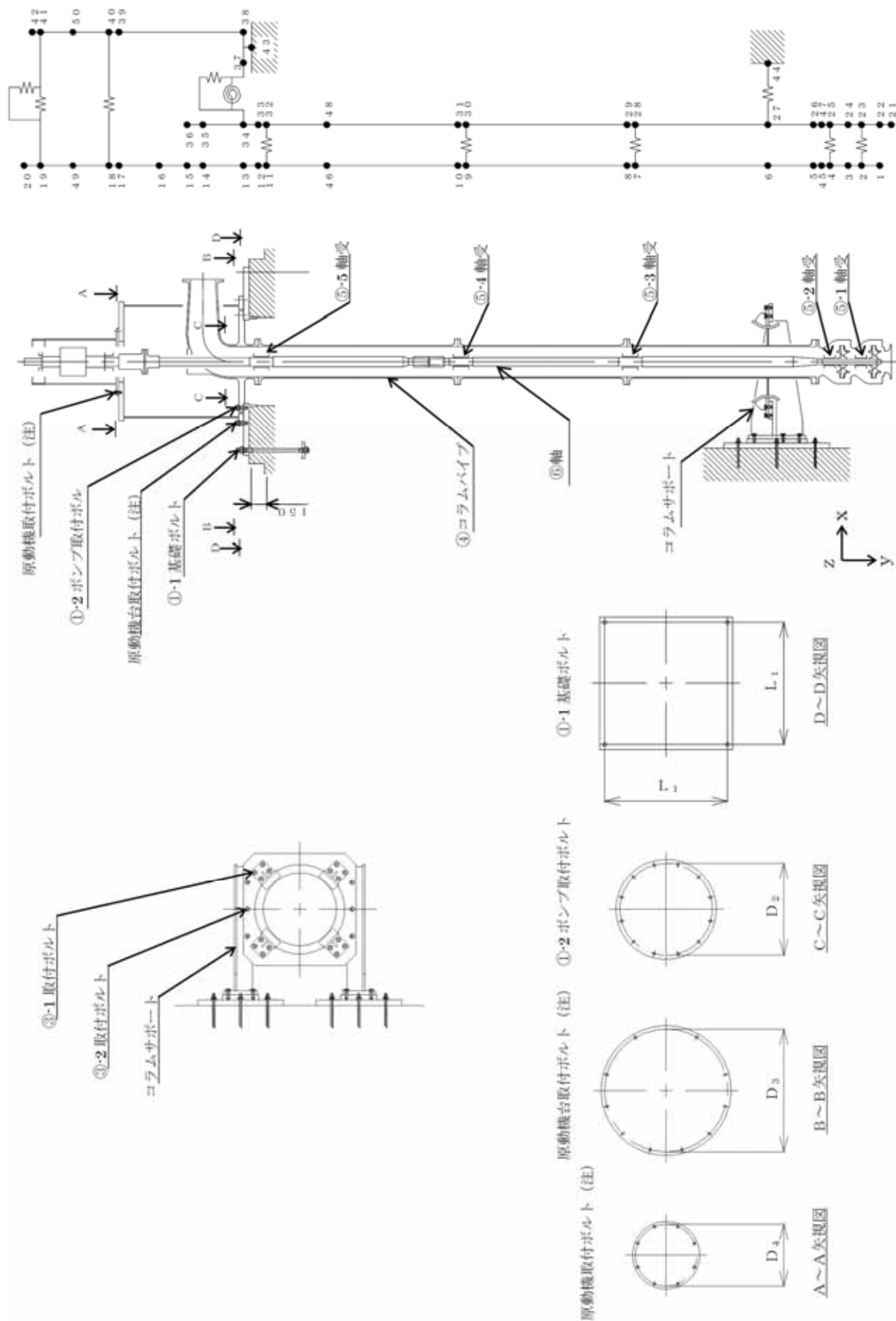


表 8 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①-1 基礎ボルト	応力	引張	28 MPa	205 MPa	○
		せん断	7 MPa	158 MPa	○
①-2 ポンプ取付ボルト	応力	引張	11 MPa	153 MPa	○
		せん断	2 MPa	118 MPa	○
③-1 ストップ (取付ボルト)	応力	せん断	6 MPa	118 MPa	○
③-2 ストップ (取付ボルト)	応力	せん断	4 MPa	118 MPa	○
④コラムパイプ	応力	一次一般膜応力	22 MPa	283 MPa	○
⑤軸受	荷重	⑤-1 軸受		434.3 N	○
		⑤-2 軸受		3.472×10^3 N	○
		⑤-3 軸受	下側	3.452×10^3 N	○
			上側	3.452×10^3 N	○
		⑤-4 軸受	下側	2.259×10^3 N	○
			上側	2.259×10^3 N	○
		⑤-5 軸受	下側	4.141×10^3 N	○
			上側	4.141×10^3 N	○
⑥軸	応力	追而	追而	追而	追而
	変位	—	追而	追而	追而

解析実施中につき
見直し予定

6. 動的機能維持確認結果について

異常要因分析に基づき抽出された評価項目に対し、機能維持詳細評価を実施した結果を以下に示す。

①基礎ボルト，取付ボルト

応力評価の結果，基礎ボルト，取付ボルトは許容値を満足しており，基礎ボルト，取付ボルトが損傷することはない，回転機能，水力特性機能及び流体保持機能が喪失することはないことを確認した。

②ディスチャージケーシング

ノズル許容荷重以下になるよう配管設計を実施しており，ディスチャージケーシングが損傷することはない，回転機能，水力特性機能及び流体保持機能が喪失することはないことを確認した。

③ストッパ（当該機器にバレルはないためストッパを評価）

応力評価の結果，ストッパ取付ボルトは許容値を満足しており，ストッパ取付ボルトが損傷することはない，回転機能，水力特性機能及び流体保持機能が喪失することはないことを確認した。

④コラムパイプ

応力評価の結果，コラムパイプは許容値を満足しており，コラムパイプが損傷することはない，回転機能及び水力特性機能が喪失することはないことを確認した。

⑤軸受

荷重評価の結果，軸受は許容値を満足しており，軸受が損傷することはない，回転機能及び水力特性機能が喪失することはないことを確認した。

⑥軸

追而

⑦冷却水配管

当該機器に冷却水配管はないため評価対象外とする。

⑧メカニカルシール熱交換器

当該機器にメカニカルシール熱交換器はないため評価対象外とする。

⑨電動機

別紙—3 参照。

以上、各評価項目について地震時の健全性を確認出来たことから、残留熱除去系海水系ポンプ、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの要求機能は喪失に至ることはなく、機能確認済加速度を超えた評価用加速度（水平：0.57G，鉛直：2.22G）において当該設備の動的機能維持を確認することができた。

評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため詳細検討が必要な設備の動的機能維持評価について（電動機）

1. はじめに

本資料は、残留熱除去系海水系ポンプ電動機、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機の動的機能維持評価における詳細評価についてまとめたものである。

2. 動的機能維持の評価方針

動的機能維持評価の結果、表 1 に示すとおり、残留熱除去系海水系ポンプ、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの電動機について、評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、詳細検討が必要となる。

動的機能の評価においては、J E A G 4601 及び耐特委報告書「動的機器の地震時機能維持評価に関する調査報告書」（昭和 61 年 12 月）において、対象機種ごとに、現実的地震応答のレベルでの異常のみならず、破壊に至る様な過剰な状態を念頭に地震時に考え得る異常要因を抽出し、その分析により動的機能上の評価点を検討し、動的機能維持を評価する際に確認すべき項目として、基本評価項目を摘出している。

そのため、評価用加速度が機能確認済加速度を超える設備の機能維持評価については、J E A G 4601 及び耐特委報告書により選定された基本評価項目に基づき、動的機能維持評価として、詳細検討を実施する。

表 1 評価用加速度と機能確認済加速度の比較

解析実施中につき
見直し予定

機器	評価結果					
	水平 (G)			鉛直 (G)		
	評価用 加速度 (G)	機能 確認済 加速度 (g) ※ 1	裕度	評価用 加速度 (G)	機能 確認済 加速度 (G) ※ 2	裕度
残留熱除去系 海水系ポンプ電動機	0.57	2.5	4.38	2.22	1.0	0.45
非常用ディーゼル発電 機用海水ポンプ電動機	0.57	2.5	4.38	2.22	1.0	0.45
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機用 海水ポンプ電動機	0.57	2.5	4.38	2.22	1.0	0.45

※ 1 J E A G 4601 に定められた評価基準。

※ 2 1.0G は、機器一般の浮き上がりの目安として設定したもの。

耐専（原子力発電耐震設計専門部会）において、鉛直地震動に対する検討として、改めて鉛直地震動に注意して異常要因分析結果を見直しても、新たに加える損傷モードはなく、既往の水平地震動を前提とした評価の考え方が適用できることが確認されている。今回の地震加速度レベルでは鉛直方向の機能確認済加速度を超える発生加速度が生じているが、2. 以下では耐専での上記考え方に変わりはないことを確認する。

3. 電動機の基本評価項目

残留熱除去系海水系ポンプ電動機は出力 900kW の立形ころがり軸受電動機、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機は出力 55kW の立形ころがり軸受電動機、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機は 55kW の立形ころがり軸受電動機であり、J E A G 4601 記載の適用機種範囲に該当する設備である。残留熱除去系海水系ポンプ用電動機を代表として構造の概要を図 1 に示す。

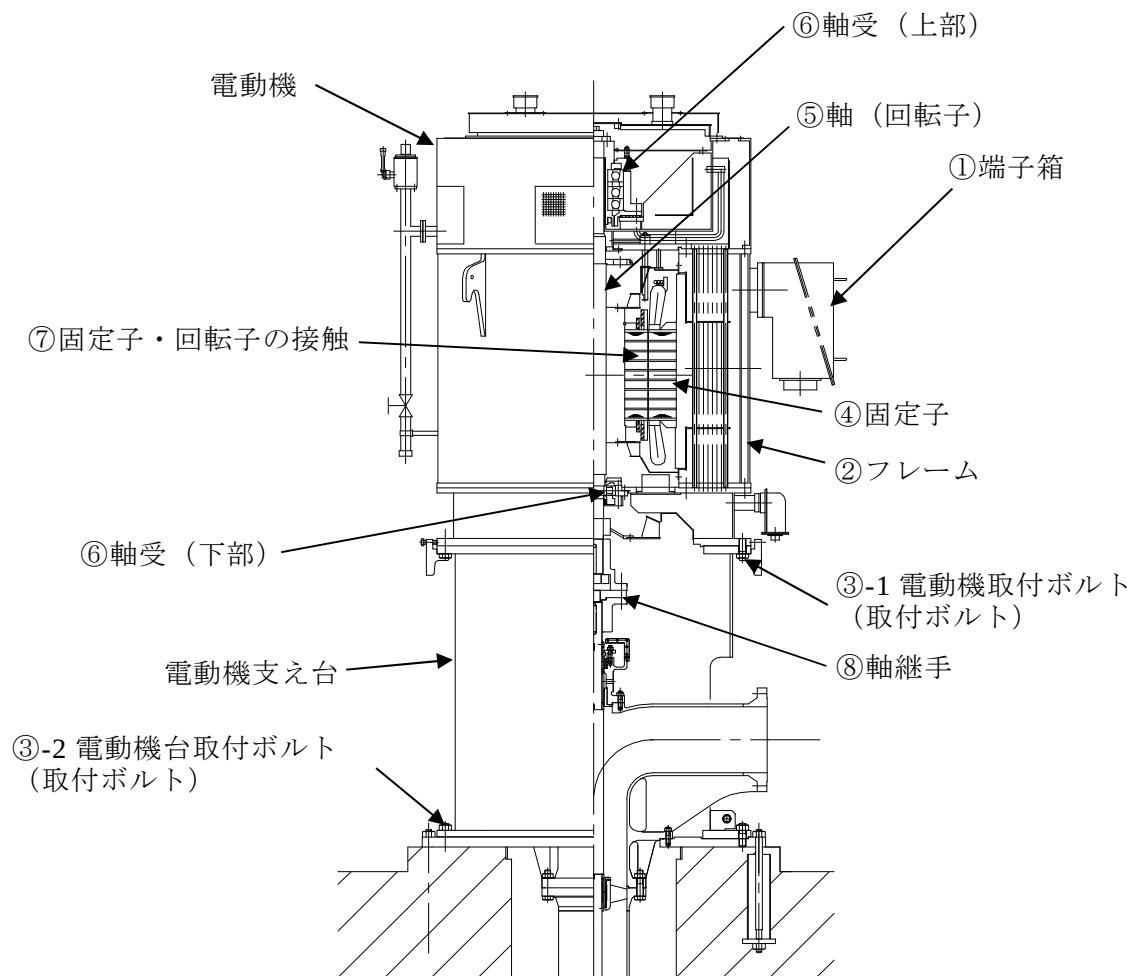


図1 残留熱除去系海水系ポンプ用電動機の構造図

耐特委における電動機の地震時異常要因分析結果を図2に示す。

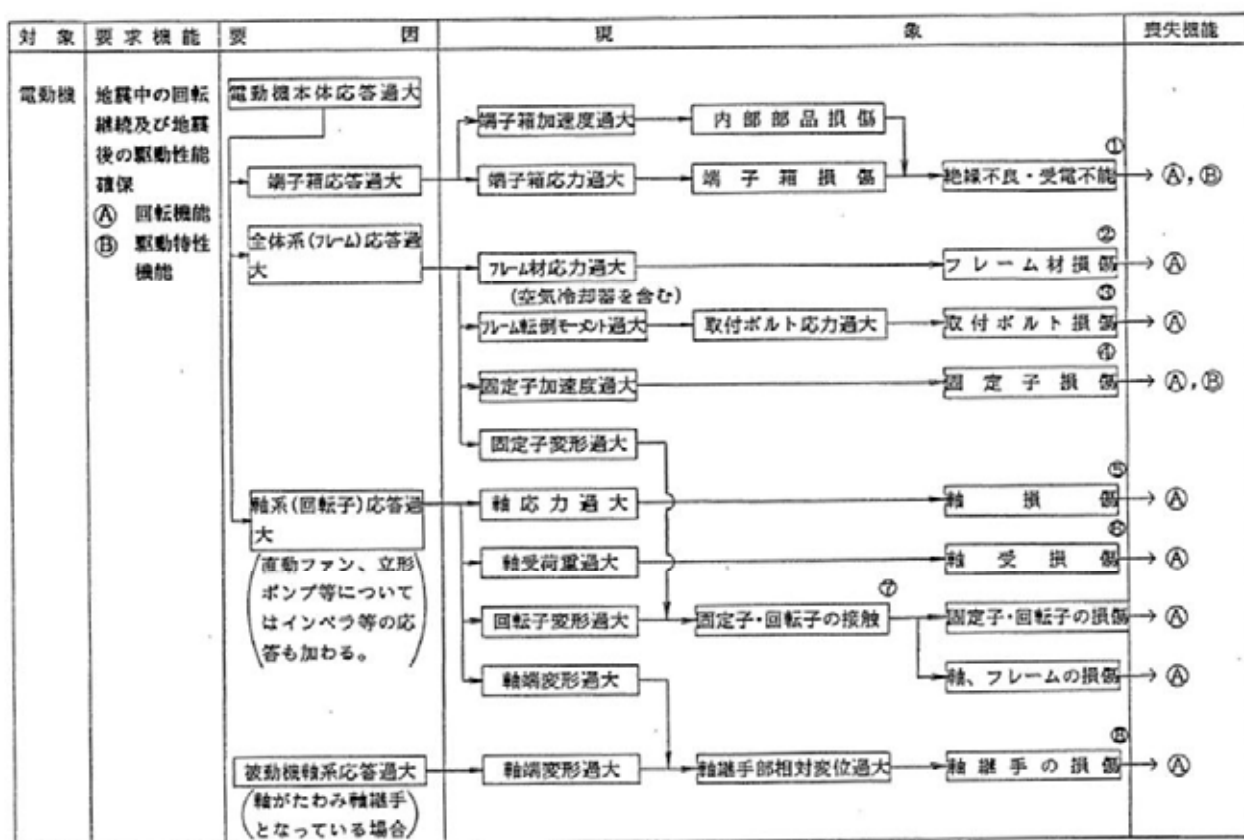


図2 電動機の地震時異常要因モード図(耐特委)

耐特委報告書においては異常要因モードに基づき評価項目が以下①～⑧の項目のとおりに抽出され、①～⑧の評価項目について評価することで、回転機能及び駆動特性機能が確認できるとされている。

これは、機能確認済加速度を超える地震加速度レベルにおいても、これらの①～⑧について全て評価基準値以下に収まっていれば、動的機能が維持できると解される。本項では、上記考え方に基づき各基本評価項目における機能喪失にいたる現象と、機能確認済加速度を越えた場合の評価の考え方を記述する。

なお、全評価項目の中で一つでも評価基準値を超えれば、当該機器は評価用加速度における動的機能維持が維持できないものとするが、各評価結果が概ね弾性域内に留まっており、各異常要因が複合し、新たな損傷モードが発生することはないと考えている。

①端子箱の健全性

端子箱の応答が過大となることにより、端子箱もしくは内部部品が損傷し、絶縁不良や受電不能になることにより回転機能及び駆動特性機能が喪失する。

②フレームの健全性

全体系（フレーム）の応答が過大となることにより、電動機構成部品の支持構造部材であるフレーム材の応力が過大となりフレームが損傷に至ることにより回転機能が喪失する。

③取付ボルトの健全性

電動機の応答が過大となって発生する転倒モーメントにより電動機を原動機台に固定している取付ボルトに発生する応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより回転機能が喪失する。

④固定子の健全性

全体系の応答が過大となることにより、固定子自身に作用する加速度が過大となり固定子の損傷に至ることにより回転機能及び駆動特性機能が喪失する。

⑤軸の健全性

軸系（回転子）の応答が過大となることで軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能が喪失する。

⑥軸受の健全性

軸系（回転子）の応答が過大となることで軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで軸の回転が阻害され、回転機能が喪失する。

⑦固定子・回転子の接触

全体系（フレーム）の応答が過大となることによる固定子変形量の増大に加え、軸系（回転子）の応答が過大となることによる回転子変形量の増大により、固定子・回転子の接触が発生し、固定子・回転子が損傷することで回転機能が喪失する。

⑧軸継手の健全性

被駆動機（ポンプ）軸と電動機軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで被駆動機への回転運動の伝達が喪失する。

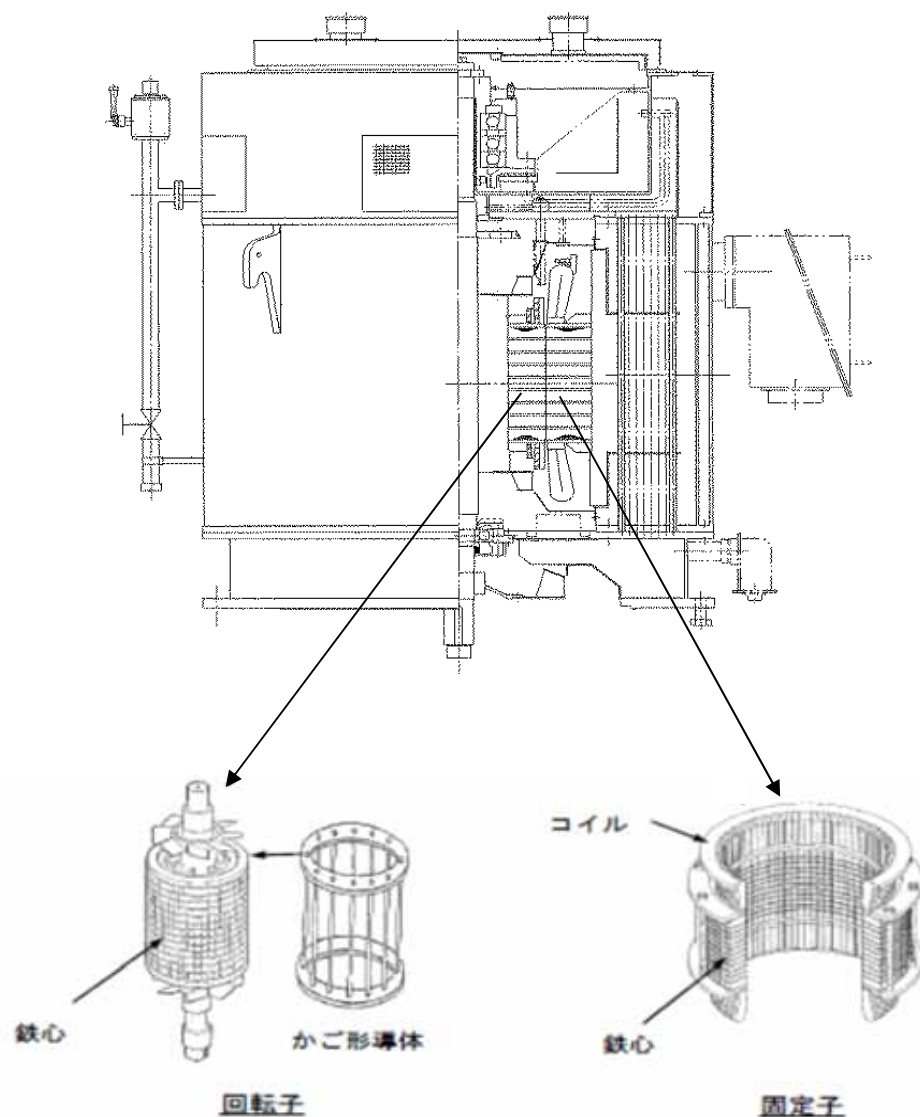


図 3 東海第二発電所 海水ポンプ電動機の構造（立形ころがり軸受）

3. J E A G 4601，耐特委報告書及び耐専報告書後の知見について

平成 13 年の耐専報告書後の知見として，平成 24 年度電共研「動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する検討」にて，機能確認済加速度の引き上げを目的として代表機器を対象に機能維持評価を行っている。電動機については表 2 に示すとおり，各項目について解析による評価を実施している。表 3 に評価の概要を示す。なお，本評価については，日本電気協会 原子力規格委員会において審議され，JEAC4601-2015 に取り込まれている。

表 3 平成 24 年度電共研 電動機 動的機能維持評価概要

評価項目	評価内容
①端子箱	材料力学等の公式により端子箱取付ボルトの応力を算出
②フレーム	材料力学等の公式によりフレームの応力を算出
③取付ボルト	材料力学等の公式により取付ボルトの応力を算出
④固定子	材料力学等の公式により固定子の応力を算出
⑤軸（回転子）	材料力学等の公式により軸（回転子）の応力を算出
⑥軸受	多質点はりモデルによる電動機の応答解析結果を用い、軸受の発生荷重を評価
⑦固定子 ・ 回転子	多質点はりモデルによる電動機の応答解析結果を用い、相対変位が固定子－軸（回転子）間空隙寸法を下回ることを確認
⑧軸継手	被駆動機側にて評価を実施

4. 電動機評価概要

機能維持評価については、J E A G 4601 及び耐特委報告書により動的機能維持評価上、評価が必要な評価項目が選定されており、その評価項目に基づき、計算書対象とする動的機能維持確認の基本評価項目の考え方を示す。

①端子箱

電動機の端子箱本体は、箱状の構造物で十分な剛性が確認されていることから、地震加速度の大きさに関わらず取付ボルトに最も荷重が作用し、有意な荷重がかかることから評価項目として選定する。

②フレーム

フレームは固定子、軸受を支持する構造物であり、地震時にはこれら構成部材に作用する地震荷重によりフレームに有意な荷重が作用することから、評価項目として選定する。

③取付ボルト

電動機は原動機台に取付ボルトを用いて固定されており、地震時には全体系（フレーム）の転倒モーメントが当該ボルトに作用し、有意な荷重がかかることから評価項目として選定する。

④固定子

固定子はフレーム内部に取り付けられ、フレームに比べ厚みが十分大きいことから、フレームに比べて、高い剛性を有する設計であることを確認しているため、計算書の評価対象外とする。

⑤軸

回転機能保持の観点から動的機能維持の評価項目として選定する。

⑥軸受

回転機能保持の観点から動的機能維持の評価項目として選定する。

⑦固定子・回転子

全体系（フレーム）の応答が過大となることによる固定子変形量の増大に加え、軸系（回転子）の応答が過大となることによる回転子変形量の増大により、固定子・回転子の接触が発生し回転機能喪失にかかわるため、動的機能維持の評価項目として選定する。

⑧軸継手

軸継手は駆動機側（電動機）から，被駆動機（ポンプ）へ回転運動を伝達する機能を有しており，地震時に駆動機側及び被駆動機側へ作用する相対荷重差あるいは相対変位が過大となり軸継手が損傷することで被駆動機の回転機能損失につながる。

ただし，軸継手はポンプ軸とモータ軸をリジットに接続するタイプであり，相対変位が発生しないこと，および地震荷重については軸受で負担するため軸継手部には有意な応力が発生しないことから，計算書の評価対象外とする。

以上から，海水ポンプ電動機において抽出される動的機能維持の基本評価項目のうち，計算書の評価対象とするものは以下の通りである※。

※ 表 4 においては，①～⑧の全ての評価項目を記載し，以下の評価項目に該当するものは評価内容を示し，それ以外の項目については評価省略理由を記載する。

①端子箱（取付ボルト）

②フレーム

③取付ボルト

⑤軸

⑥軸受

⑦固定子・回転子

上記評価項目に基づき，表 4 のとおり機能維持評価を実施している。

評価項目における評価基準値の説明を表 5 に，また評価部位については図 1 に示す。

以上の検討に基づく評価結果を表 6 に示す。

表 4 動的機能維持評価内容

評価項目	評価内容	計算書対象 (○：計算書対象， －：計算書省略)
①端子箱 (取付ボルト)	多質点はりモデルによる海水ポンプの応答解析結果を用い，材料力学等の公式により，取付ボルトの発生応力を評価	○
②フレーム	多質点はりモデルによる海水ポンプの応答解析結果を用い，材料力学等の公式により，フレームの発生応力を評価	○
③取付ボルト	多質点はりモデルによる海水ポンプの応答解析結果を用い，材料力学等の公式により，取付ボルトの発生応力を評価	○
④固定子	固定子はフレームの内側に取り付けられ，フレームに比べ厚みが十分に大きいことから，フレームに比べ高い剛性を有する設計であることを確認している。(計算書省略)	－
⑤軸 (回転子)	多質点はりモデルによる海水ポンプの応答解析結果を用い，材料力学等の公式により軸の発生応力を評価	○
⑥軸受	多質点はりモデルによる海水ポンプの応答解析結果を用い，軸受の発生荷重を評価	○
⑦固定子 ・回転子	多質点はりモデルによる海水ポンプの応答解析結果を用い，固定子－軸（回転子）の相対変位が固定子－軸（回転子）間空隙寸法を下回ることを確認	○
⑧軸継手	ポンプ軸とモータ軸をリジットに接続するタイプの軸継手であり，相対変位が発生しないこと，および地震荷重については軸受で負担することから軸継手部には有意な応力が発生しないことから，軸継手の評価を省略している。(計算書省略)	－

表 5 評価基準値の設定（1 / 2）

評価項目	評価基準値の設定
①端子箱 (取付ボルト)	端子箱は筐体とケーブルで構成されるが、ケーブルの質量は小さく、かつフレームに直接支持されていることから、地震時の機能維持は、筐体の取付状態が健全であれば、これらの電氣的機能に影響及ぼすことはない。 絶縁、受電機能の確保の観点から、動的機能維持の評価対象として告示 501 号の運転状態Ⅳを基本として、通常材料の実降伏点在设计値に対し余裕があることを考慮し、概ね降伏点以下と同等とした値としてⅣ_A S を評価基準値とした。
②フレーム ③取付ボルト	フレームおよびその取付ボルトは、軸（回転子）や軸受、固定子といった構成部品を固定・支持しており、これらが大きな変形を起こさなければ、構成品の相互の位置関係は維持され、電動機の地震時の機能は確保される。 支持機能の確保の観点から、告示 501 号の運転状態Ⅳを基本として、通常材料の実降伏点在设计値に対し余裕があることを考慮し、概ね降伏点以下と同等とした値としてⅣ_A S を評価基準値とした。

表 5 評価基準値の設定（2 / 2）

評価項目	評価基準値の設定
⑤軸 (回転子)	回転子については、作用する電磁気力を回転トルクとして被駆動機側に伝える。また、回転子は軸と一体であり、軸が健全であればその機能に影響はない。 回転機能の確保の観点から、軸（回転子）の変形を弾性範囲内に留めるようⅢ_ASを評価基準値としている。軸（回転子）の発生応力を弾性範囲内に留めることで、地震後の軸（回転子）応力過大による損傷はないことから、作動不良には至らず、軸（回転子）の機能は確保される。 また、地震による軸（回転子）の変形は、通常運転時より大きくなるため、弾性範囲内でも軸（回転子）と固定子の接触により、回転機能に影響を与える可能性があるが、これについては、以下の固定子・回転子の接触にて確認することで、回転機能は確保され異常振動が発生することはない。
⑥軸受	海水ポンプ電動機の回転子はこちら軸受で支持されている。ころがり軸受は軌道と転同体が健全であれば、円滑な回転を得られることから、軌道と転同体の接触面に限度となる永久変形量を発生させる基本静定格荷重を評価基準値とした。
⑦固定子 ・回転子	軸（回転子）と固定子の接触により回転機能が阻害されるという観点から、回転子と固定子のクリアランスを評価基準値とした。

表 6 (1) 残留熱除去系海水系ポンプ用電動機 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①端子箱	応力	引張, 組合せ	追而	追而	追而
		せん断	追而	追而	追而
②フレーム	応力	圧縮	追而	追而	追而
		曲げ	追而	追而	追而
		せん断	追而	追而	追而
③-1 取付ボルト (原動機取付ボルト)	応力	引張	46 MPa	153 MPa	○
		せん断	12 MPa	118 MPa	○
③-2 取付ボルト (原動機台取付ボルト)	応力	引張	79 MPa	153 MPa	○
		せん断	13 MPa	118 MPa	○
⑤軸 (回転子)	応力	一次一般膜	20 MPa	103 MPa	○
⑥軸受	荷重	(上部軸受) 鉛直方向	追而	追而	追而
		(上部軸受) 水平方向	$3.397 \times 10^3 \text{ N}$		○
		(下部軸受)	$8.879 \times 10^3 \text{ N}$		○
⑦固定子・回転子	変位	—	追而	追而	追而

解析実施中につき
見直し予定

表 6 (2) 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①端子箱	応力	引張, 組合せ	追而	追而	追而
		せん断	追而	追而	追而
②フレーム	応力	圧縮	追而	追而	追而
		曲げ	追而	追而	追而
		せん断	追而	追而	追而
③-1 取付ボルト (原動機取付ボルト)	応力	引張	15 MPa	153 MPa	○
		せん断	7 MPa	118 MPa	○
③-2 取付ボルト (原動機台取付ボルト)	応力	引張	10 MPa	153 MPa	○
		せん断	3 MPa	118 MPa	○
⑤軸 (回転子)	応力	一次一般膜	14 MPa	110 MPa	○
⑥軸受	荷重	(上部軸受) 鉛直方向	追而	追而	追而
		(上部軸受) 水平方向	$3.599 \times 10^3 \text{ N}$		○
		(下部軸受)	$1.543 \times 10^3 \text{ N}$		○
⑦固定子・回転子	変位	—	追而	追而	追而

解析実施中につき
見直し予定

表 6 (3) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①端子箱	応力	引張, 組合せ	追而	追而	追而
		せん断	追而	追而	追而
②フレーム	応力	圧縮	追而	追而	追而
		曲げ	追而	追而	追而
		せん断	追而	追而	追而
③-1 取付ボルト (原動機取付ボルト)	応力	引張	15 MPa	153 MPa	○
		せん断	7 MPa	118 MPa	○
③-2 取付ボルト (原動機台取付ボルト)	応力	引張	10 MPa	153 MPa	○
		せん断	3 MPa	118 MPa	○
⑤軸 (回転子)	応力	一次一般膜	14 MPa	110 MPa	○
⑥軸受	荷重	(上部軸受) 鉛直方向	追而	追而	追而
		(上部軸受) 水平方向	$3.599 \times 10^3 \text{ N}$		○
		(下部軸受)	$1.543 \times 10^3 \text{ N}$		○
⑦固定子・回転子	変位	—	追而	追而	追而

解析実施中につき
見直し予定

5. 動的機能維持確認結果について

異常要因分析に基づき抽出された評価項目に対し、機能維持詳細評価を実施した結果を以下に示す。

①端子箱

追而

②フレーム

追而

③取付ボルト

応力評価の結果取付ボルトは許容値を満足しており、全体系が転倒することはない、取付ボルト損傷による回転機能が喪失することはないことを確認した。

④固定子

固定子はフレームの内側に取り付けられ、フレームに比べ厚みが十分に大きいことから、フレームに比べ高い剛性を有する設計であり、応力評価の結果フレームは許容値を満足していることから固定子は健全であり、回転機能及び駆動特性機能が喪失することはないことを確認した。

⑤軸

応力評価の結果軸は許容値を満足しており、軸の損傷による回転機能が喪失することはないことを確認した。

⑥軸受

荷重評価の結果軸受は許容値を満足しており、軸受の損傷による回転機能が喪失することはないことを確認した。

⑦固定子・回転子

追而

⑧軸継手

ポンプ軸とモータ軸をリジットに接続するタイプの軸継手であり、相対変位が発生しないこと、および地震荷重については軸受で負担するため軸継手部には有意な応力が発生しないことから、軸継手は健全であり、回転機能が喪失することはないことを確認した。

以上、各評価項目について地震時の健全性を確認出来たことから、残留熱除去系海水系ポンプ、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの電動機の要求機能は喪失に至ることはなく、確認済加速度を超えた評価用加速度（水平：0.57G、鉛直：2.22G）において当該設備の動的機能維持を確認することができた。

別表 1 検討対象設備の抽出結果

施設区分／設備名称	動的機能維持 要求の有無	動的機能維持 の確認方法	At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 －：検討対象でない設備	J E A G 4601 機種／型式		A t 確認			
					機種	型式	方向	評価用 加速度	機能確認済 加速度	
原子炉本体										
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設										
使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備										
代替燃料プール注水系										
常設低圧代替注水系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	横形ポンプ	遠心式	水平	追而	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
							鉛直	追而	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	水平	追而	4.7	
							鉛直	追而	1.0	
可搬型代替注水大型ポンプ	有	加振試験 による確認	－	－	－	－	－	－	－	
代替燃料プール冷却系										
代替燃料プール冷却系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	横形ポンプ	遠心式	水平	0.86	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
							鉛直	0.65	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.86	4.7	
							鉛直	0.65	1.0	
原子炉冷却系統施設										
原子炉冷却材再循環設備										
原子炉冷却材再循環系										
原子炉冷却材再循環ポンプ	無	－	－	－	－	－	－	－	－	
原子炉冷却材の循環設備										
残留熱除去設備										
残留熱除去系										
残留熱除去系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	立形ポンプ	ビットパレル形	水平	0.48	10.0	
							鉛直	0.50	1.0	
					電動機	立形ころがり軸受	水平	0.48	2.5	
							鉛直	0.50	1.0	
格納容器圧力逃がし装置										
格納容器圧力逃がし装置 移送ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	横形ポンプ	遠心式	水平	追而	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
							鉛直	追而	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	水平	追而	4.7	
							鉛直	追而	1.0	
非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備										
高圧炉心スプレイ系										
高圧炉心スプレイ系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	立形ポンプ	ビットパレル形	水平	0.48	10.0	
							鉛直	0.50	1.0	
					電動機	立形すべり軸受	水平	0.48	2.5	
							鉛直	0.50	1.0	
低圧炉心スプレイ系										
低圧炉心スプレイ系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	立形ポンプ	ビットパレル形	水平	0.48	10.0	
							鉛直	0.50	1.0	
					電動機	立形ころがり軸受	水平	0.48	2.5	
							鉛直	0.50	1.0	
原子炉隔離時冷却系										
原子炉隔離時冷却系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	横形ポンプ	遠心式	水平	0.48	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
							鉛直	0.50	1.0	
					ポンプ駆動用タービン	R C I C ポンプ用	水平	0.48	2.4	
							鉛直	0.50	1.0	
高圧代替注水系										
常設高圧代替注水系ポンプ	有	加振試験 による確認	－	－	－	－	－	－	－	

施設区分／設備名称	動的機能維持 要求の有無	動的機能維持 の確認方法	At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 －：検討対象でない設備	J E A G 4601 機種／型式		A t 確認		
					機種	型式	方向	評価用 加速度	機能確認済 加速度
低下代替注水系									
常設低下代替注水系ポンプ		－（前段で整理済）							
可搬型代替注水大型ポンプ		－（前段で整理済）							
代替循環冷却系									
代替循環冷却系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	横形ポンプ	遠心式	水平	0.48	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)
							鉛直	0.50	1.0
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.48	4.7
							鉛直	0.50	1.0
原子炉冷却材補給設備									
原子炉隔離時冷却系									
原子炉隔離時冷却系ポンプ		－（前段で整理済）							
原子炉補機冷却設備									
残留熱除去系海水系									
残留熱除去系海水系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	水平	0.38	10.0
							鉛直	1.48	1.0
					電動機	立形ころがり軸受	水平	0.38	2.5
							鉛直	1.48	1.0
代替残留熱除去系海水系									
可搬型代替注水大型ポンプ		－（前段で整理済）							
緊急用海水系									
緊急用海水ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	水平	追而	10.0
							鉛直	追而	1.0
					電動機	立形ころがり軸受	水平	追而	2.5
							鉛直	追而	1.0
計測制御系統施設									
制御材									
制御棒	有	加振試験による確認	－	－	制御棒	BWR標準型式	水平	11.2mm	40mm
							鉛直	鉛直方向地震による影響を整理する（追而）。	
ほう酸水注入設備									
ほう酸水注入系									
ほう酸水注入ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	往復動式ポンプ	横形	水平	0.93	1.6
							鉛直	0.80	1.0
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.93	4.7
							鉛直	0.80	1.0
放射性廃棄物の廃棄施設									
放射線管理施設									
放射線管理用計測装置									
換気設備									
中央制御室換気系									
中央制御室換気系空気調和機ファン	有	JEAG4601 による確認	×	○	ファン	－	－	－	－
							－	－	－
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.86	4.7
							鉛直	0.65	1.0
中央制御室換気系フィルタ系ファン	有	JEAG4601 による確認	×	○	ファン	－	－	－	－
							－	－	－
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.86	4.7
							鉛直	0.65	1.0

施設区分／設備名称	動的機能維持 要求の有無	動的機能維持 の確認方法	At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 －：検討対象でない設備	J E A G 4601 機種／型式		A t 確認		
					機種	型式	方向	評価用 加速度	機能確認済 加速度
緊急時対策所換気系									
緊急時対策所非常用送風機	有	JEAG4601 による確認	×	○	ファン	遠心直動式	水平	0.90	2.6
							鉛直	0.78	1.0
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.90	4.7
							鉛直	0.78	1.0
原子炉格納施設									
圧力低減設備その他の安全設備									
原子炉格納容器安全設備									
格納容器スプレイ冷却系									
残留熱除去系ポンプ	－（前段で整理済）								
代替格納容器スプレイ冷却系									
常設低圧代替注水系ポンプ	－（前段で整理済）								
可搬型代替注水大型ポンプ	－（前段で整理済）								
代替循環冷却系ポンプ	－（前段で整理済）								
緊急用海水ポンプ	－（前段で整理済）								
格納容器下部注水系									
常設低圧代替注水系ポンプ	－（前段で整理済）								
可搬型代替注水大型ポンプ	－（前段で整理済）								
原子炉建屋放水設備									
可搬型代替注水大型ポンプ	－（前段で整理済）								
放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備									
非常用ガス処理系									
非常用ガス処理系排風機	有	JEAG4601 による確認	×	○	ファン	－	－	－	－
							－	－	－
					電動機	横形ころがり軸受	水平	1.4	4.7
							鉛直	1.0	1.0
非常用ガス再循環系									
非常用ガス再循環系排風機	有	JEAG4601 による確認	×	○	ファン	遠心直動式	水平	1.4	2.6
							鉛直	1.0	1.0
					電動機	横形ころがり軸受	水平	1.4	4.7
							鉛直	1.0	1.0
可燃性ガス濃度制御系									
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロー	有	JEAG4601 による確認	×	○	ファン	遠心直動式	水平	1.11	2.6
							鉛直	0.84	1.0
					電動機	横形ころがり軸受	水平	1.11	4.7
							鉛直	0.84	1.0
その他発電用原子炉の附属設備									
非常用電源設備									
非常用発電装置									
非常用ディーゼル発電機									
非常用ディーゼル発電機	有	JEAG4601 による確認	×	○	非常用ディーゼル発電機	機関本体	水平	0.72	1.1
							鉛直	0.75	1.0
					調速装置	UG型	水平	0.72	1.8
							鉛直	0.75	1.0
非常用ディーゼル発電機 燃料移送ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	横形ポンプ	－	－	－	－
							－	－	－
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.81	4.7
							鉛直	0.71	1.0

施設区分／設備名称	動的機能維持 要求の有無	動的機能維持 の確認方法	At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 －：検討対象でない設備	J E A G 4601 機種／型式		A t 確認		
					機種	型式	方向	評価用 加速度	機能確認済 加速度
非常用ディーゼル発電機 用海水ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	立形ポンプ	立形 斜流式	水平	0.72	10.0
							鉛直	1.48	1.0
					電動機	立形ころ がり軸受	水平	0.38	2.5
							鉛直	1.48	1.0
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機									
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	有	JEAG4601 による確認	×	○	非常用ディーゼル 発電機	機関本体	水平	0.72	1.1
							鉛直	0.75	1.0
					調速装置	UG型	水平	0.72	1.8
							鉛直	0.75	1.0
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	横形ポンプ	－	－	－	－
							－	－	－
					電動機	横形ころ がり軸受	水平	0.81	4.7
							鉛直	0.71	1.0
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	立形ポンプ	立形 斜流式	水平	0.72	10.0
							鉛直	1.48	1.0
					電動機	立形ころ がり軸受	水平	0.38	2.5
							鉛直	1.48	1.0
常設代替高圧電源装置									
常設代替高圧電源装置	有	加振試験 による確認	－	－	－	－	－	－	－
常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	横形ポンプ	－	－	－	－
							－	－	－
					電動機	横形ころ がり軸受	水平	0.81	4.7
							鉛直	0.71	1.0
緊急時対策所用発電機									
緊急時対策所用発電機	有	加振試験 による確認	－	－	－	－	－	－	－
緊急時対策所用発電機給油ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	横形ポンプ	－	－	－	－
							－	－	－
					電動機	横形ころ がり軸受	水平	追而	4.7
							鉛直	追而	1.0
可搬型代替低圧電源車									
可搬型代替低圧電源車	有	加振試験 による確認	－	－	－	－	－	－	－
タンクローリー	有	加振試験 による確認	－	－	－	－	－	－	－
可搬型室素供給装置用電源車									
可搬型室素供給装置用電源車	有	加振試験 による確認	－	－	－	－	－	－	－
タンクローリー	－（前段で整理済）								
補機駆動用燃料設備									
可搬型									
タンクローリー	－（前段で整理済）								
弁									
一般弁									
グローブ弁	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－
ゲート弁	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－
バタフライ弁	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－
逆止弁	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－
特殊弁									
主蒸気隔離弁	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－
安全弁	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－
制御棒駆動系スクラム弁	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密あるいは防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-460-1 改0
提出年月日	平成30年5月30日

工事計画に係る補足説明資料

補足-460-1 【火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書 に係る補足説明資料】

平成30年5月

日本原子力発電株式会社

1. 添付資料に係る補足説明資料

火山への配慮が必要な施設の強度計算書に係る添付資料の記載内容を補足するための説明資料リストを以下に示す。

工認添付資料	補足説明資料
V-3-別添 2-1-6 建屋の強度計算書	1. 原子炉建屋の強度計算に係る補足説明 2. タービン建屋の強度計算に係る補足説明 3. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の強度計算に係る補足説明 4. 原子炉建屋原子炉棟の 3D-FEM モデルによる鉛直荷重の影響について 5. 屋根スラブの一方方向スラブによる評価について 6. タービン建屋の荷重増分解析について 7. 原子炉建屋原子炉棟の構造図及び解析モデル図 8. タービン建屋の構造図及び解析モデル図 9. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造図及び解析モデル図
V-3-別添 2-1-2 残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書 V-3-別添 2-1-4 ディーゼル発電機用海水系ストレーナの強度計算書	10. 海水ストレーナ評価対象部位について

: 今回ご説明分

1. 原子炉建屋への強度計算に係る補足説明

1.1 概要

本資料は、原子炉建屋の降下火砕物による堆積荷重による構造健全性に用いる 3D-FEM モデルの詳細、評価部位の代表性を示すものである。

1.2 3D-FEM モデルの詳細説明

(1) モデル化の範囲

3D-FEM モデルのモデル化範囲を図 1.2-1 に示す。原子炉建屋原子炉棟の EL.46.5m には厚さ 0.5m~1.2m の床スラブと、主トラスを支える柱の脚部には梁せい 2.2m の大梁が設置され、柱脚部の水平変形及び曲げ変形を拘束していることから、EL.46.5m より上部構造をモデル化する。

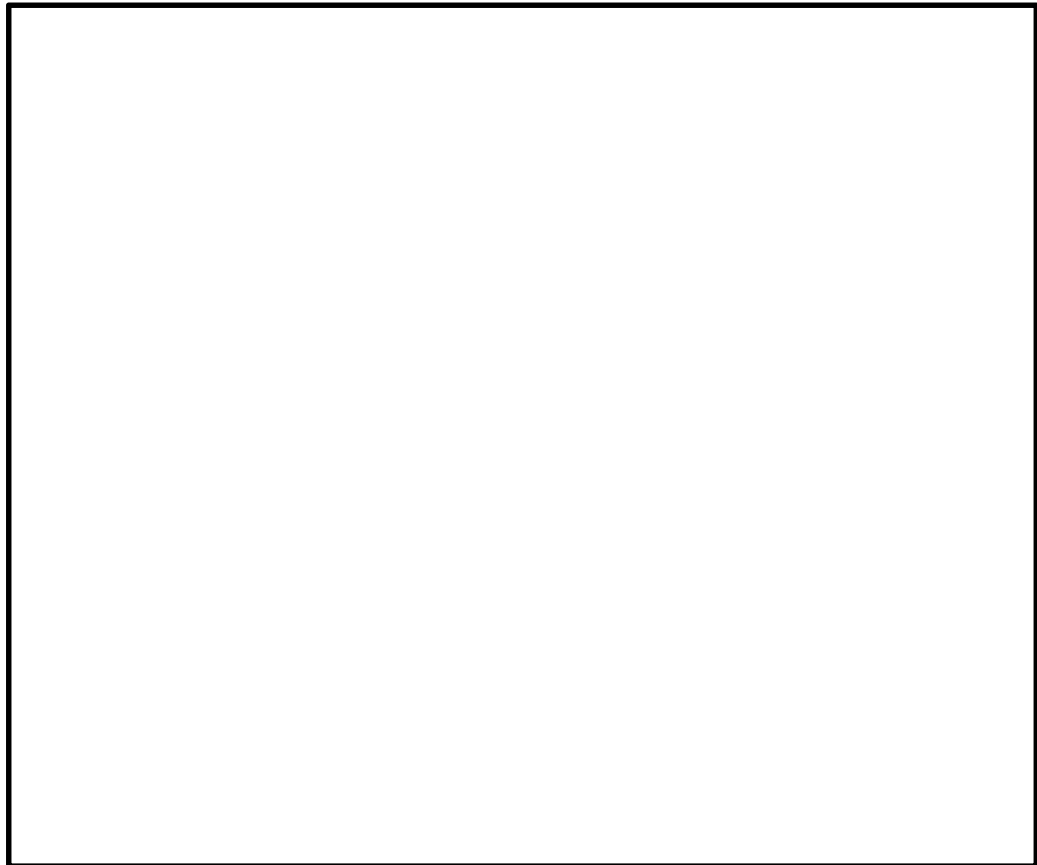


図 1.2-1 原子炉建屋原子炉棟のモデル化範囲

(2) 使用要素

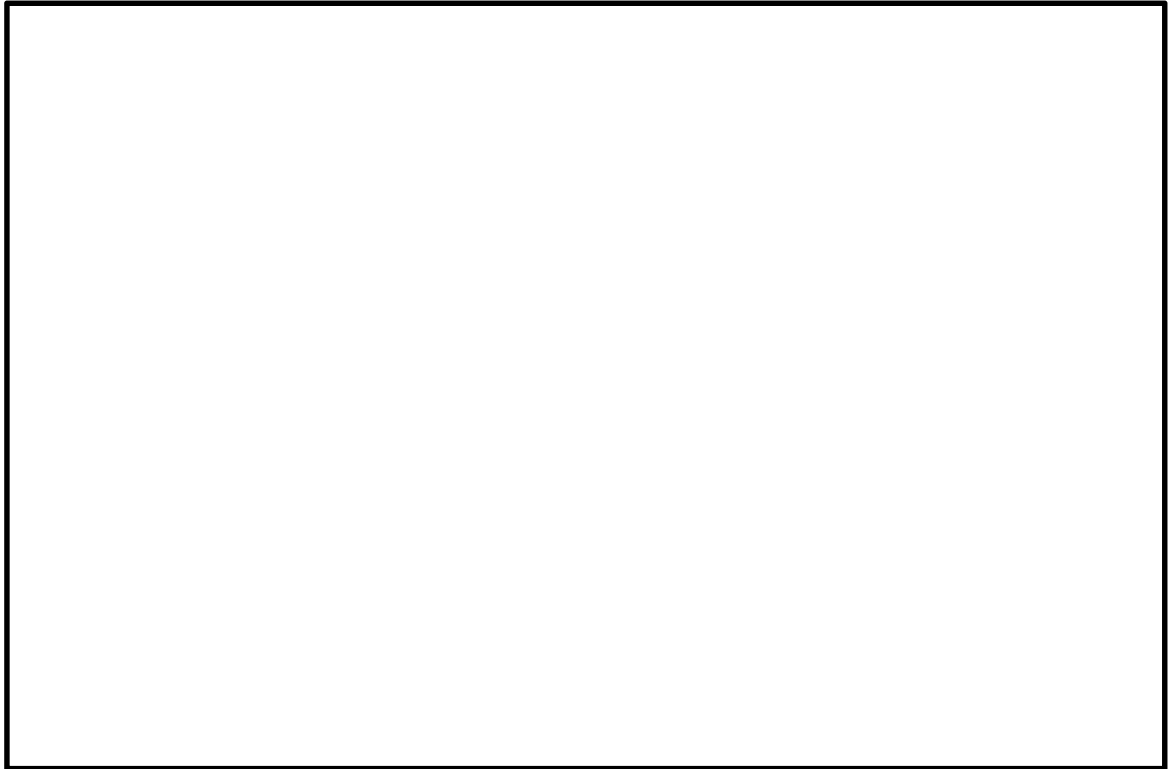
本解析で用いる使用要素を表 1.2-1 に示す。なお、3D-FEM モデルは主トラス架構に生じる曲げモーメントにより主トラス上弦材が負担する軸力を適切に評価するため、屋根スラブをシェル要素でモデル化するとともに、主トラス端部の柱による曲げ拘束を適切に評価するため耐震壁もシェル要素でモデル化する。鉄骨部及び鉄筋コンクリート部の柱・梁をモデル化した梁要素及びトラス要素の解析モデル概要と、屋根スラブ及び耐震壁をモデル化したシェル要素を加えた全要素の解析モデル概要を図 1.2-2 に示す。

鉄骨部では、主トラス弦材及び上弦面つなぎ梁は梁要素を、主トラス斜材、束材、母屋及び上弦面水平ブレースはトラス要素を用いる。

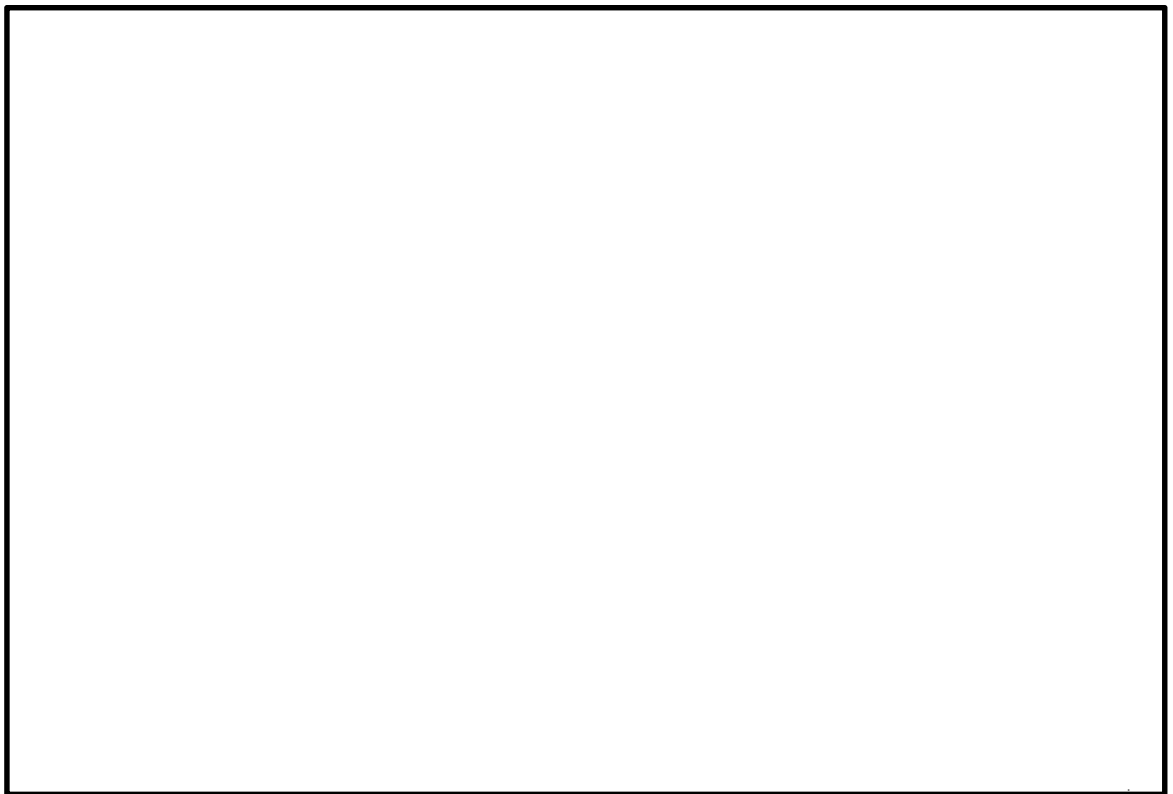
鉄筋コンクリート部では、耐震壁及び屋根トラスはシェル要素を、柱及び梁については梁要素を用いる。

表 1.2-1 使用要素（原子炉建屋原子炉棟）

鉄骨部	主トラス弦材	梁要素
	上弦面つなぎ梁	
	主トラス斜材・束材	トラス要素
	母屋	
	下弦面つなぎ梁	
	水平ブレース	
鉄筋コンクリート部	耐震壁	シェル要素
	屋根スラブ	
	柱・梁	梁要素



(a) 梁要素・トラス要素



(b) 全要素

図 1.2-2 解析モデルの概要（原子炉建屋原子炉棟）

(3) 境界条件及び拘束条件

主トラス各部材のモデル化寸法と接続条件を図 1.2-3 に、検討部材の断面形状を表 1.2-2 に示す。

本解析モデルは、EL.46.5m より上部の構造をモデル化し、解析モデル下端の全節点を固定端としてモデル化する。

各部材の接続条件は、鉄骨フランジ部の接続の有無に応じて剛接合もしくはピン接合としてモデル化することとし、主トラス上弦材と柱は剛接合、主トラス下弦材と柱はピン接合とする。また、主トラスの斜材・束材と上下弦材はピン接合とする。

シェル要素と梁要素及びトラス要素の同一座標における節点は、同一節点を用いてモデル化し、鉄骨材とスラブは完全に固着しているものとして解析を実施している。

また、主トラス上弦材、下弦材、斜材、束材は部材芯位置でモデル化することを基本とするが。なお、主トラス端部の柱は、主トラス上弦材と端部斜材の交点にモデル化する。

なお、3D-FEM モデルの各部材の寸法は構造図を基に設定している。構造図と解析モデル図を「7. 原子炉建屋原子炉棟の構造図及び解析モデル図」に示す。

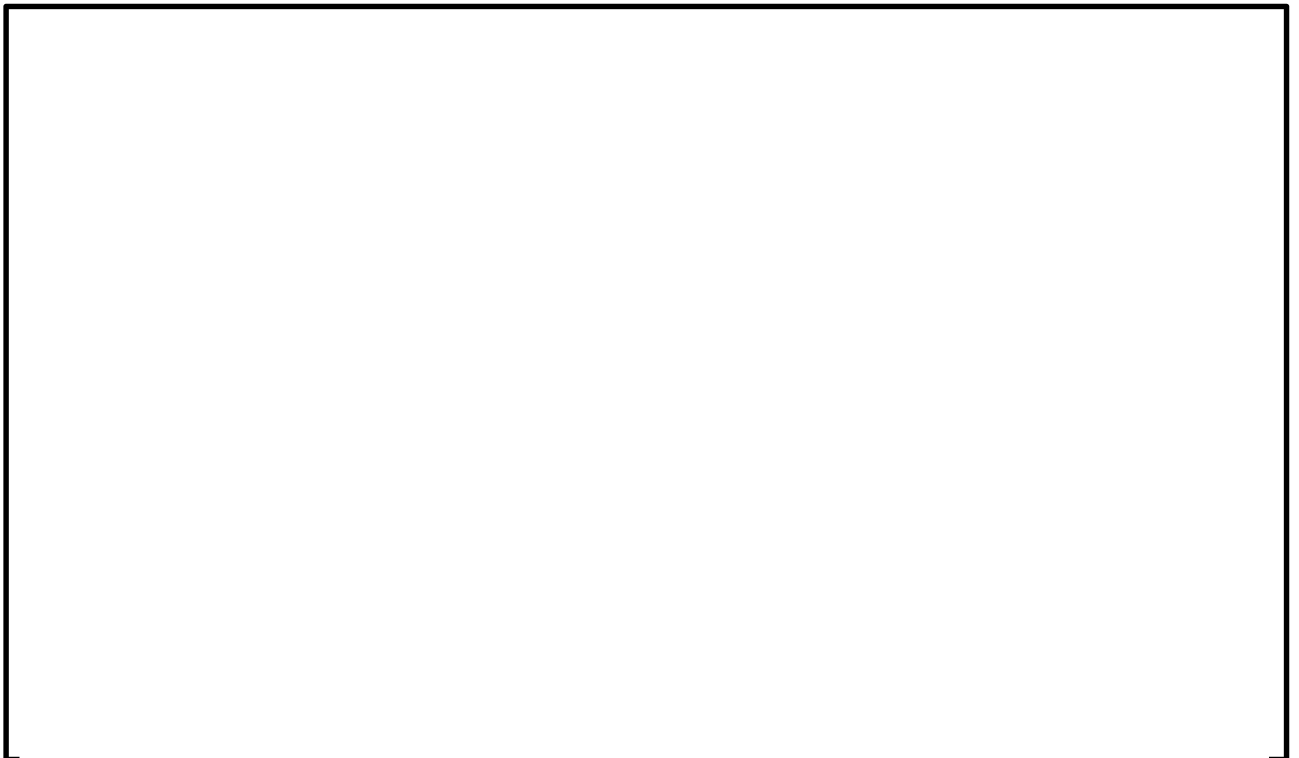


図 1.2-3 解析モデルにおける部材の接続条件（原子炉建屋原子炉棟，N 通り*）

注記 *：全通りの断面が同じため代表として N 通りを示す。

表 1.2-2 検討部材の形状・寸法（原子炉建屋原子炉棟）

部位	部材番号	形状寸法	断面積 A (cm^2)	断面 2 次 モーメント I (cm^4)	材質
上弦材	TU ₁ ～TU ₁₆	H-400×400×13×21	218.7	66600	SS400 (SS41)
下弦材	TL ₁ ～T ₁₆	H-400×400×13×21	218.7	66600	
斜材	O ₁ , O ₂ , O ₁₅ , O ₁₆	2Ls-200×200×15	115.5	—	
	O ₃ , O ₄ , O ₁₃ , O ₁₄	2Ls-150×150×15	85.48	—	
	O ₅ ～O ₁₂	2Ls-150×100×12	57.12	—	
束材	V ₁ , V ₂ , V ₁₄ , V ₁₅	2Ls-200×200×15	115.5	—	
	V ₃ , V ₄ , V ₁₂ , V ₁₃	2Ls-150×150×15	85.48	—	
	V ₅ ～V ₁₁	2Ls-150×100×12	57.12	—	

(4) 荷重の入力方法

屋根に作用する鉛直荷重を表 1.2-3 に、荷重の入力方法の概要を図 1.2-4 に示す。屋根に作用する鉛直荷重は、応力解析において屋根面全体に等分布の面荷重として作用させる。その他の鉛直荷重（梁、壁等の重量）は、外周梁に等分布の線荷重として作用させる。なお、降下火砕物堆積による鉛直荷重を除く荷重合計は、質点系モデルの屋根面位置の質点重量に一致している。

表 1.2-3 屋根に作用させる鉛直荷重（原子炉建屋原子炉棟）

固定荷重	屋根スラブ	343 kgf/m ²
	トラス鋼材	204 kgf/m ²
	合計	547 kgf/m ² ⇒ 5370 N/m ²
積載荷重（除灰時荷重）	1000 N/m ²	
積雪荷重	210 N/m ²	
降下火砕物堆積による鉛直荷重	7355 N/m ²	

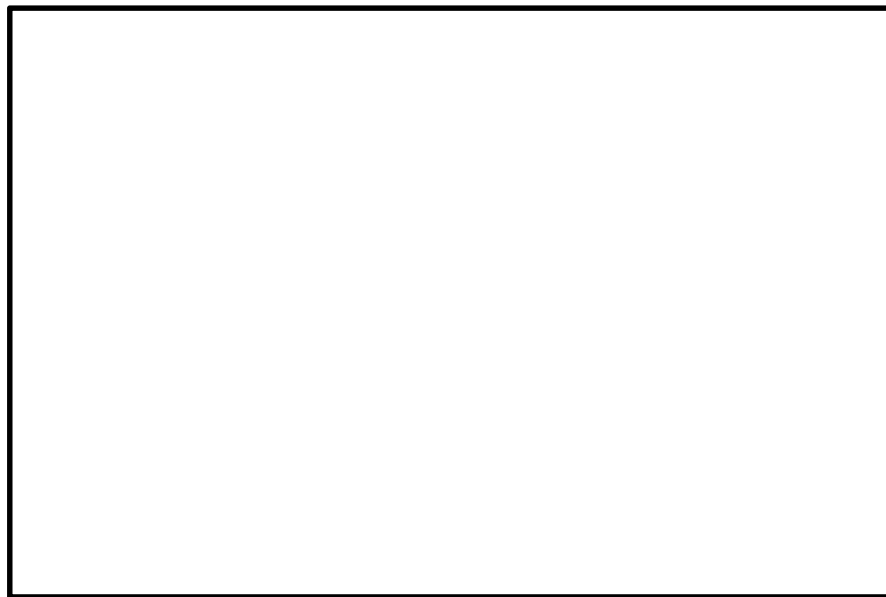


図 1.2-4 荷重の入力方法の概要（原子炉建屋原子炉棟）

1.3 評価部位の網羅性及び代表性について

1.3.1 原子炉建屋原子炉棟

(1) 屋根スラブ

原子炉建屋原子炉棟の屋根スラブは母屋で支持された単位幅の1方向スラブを取り出し、等分布荷重を受ける両端固定梁として評価を行う。屋根スラブは単一断面であり、屋根面に作用する等分布荷重は屋根面全体で均一であるため、支持スパンの長い屋根スラブが最も厳しい条件であると判断できる。

図 1.3-1 に評価対象として抽出した最も支持スパンの大きい屋根スラブ位置を示す。

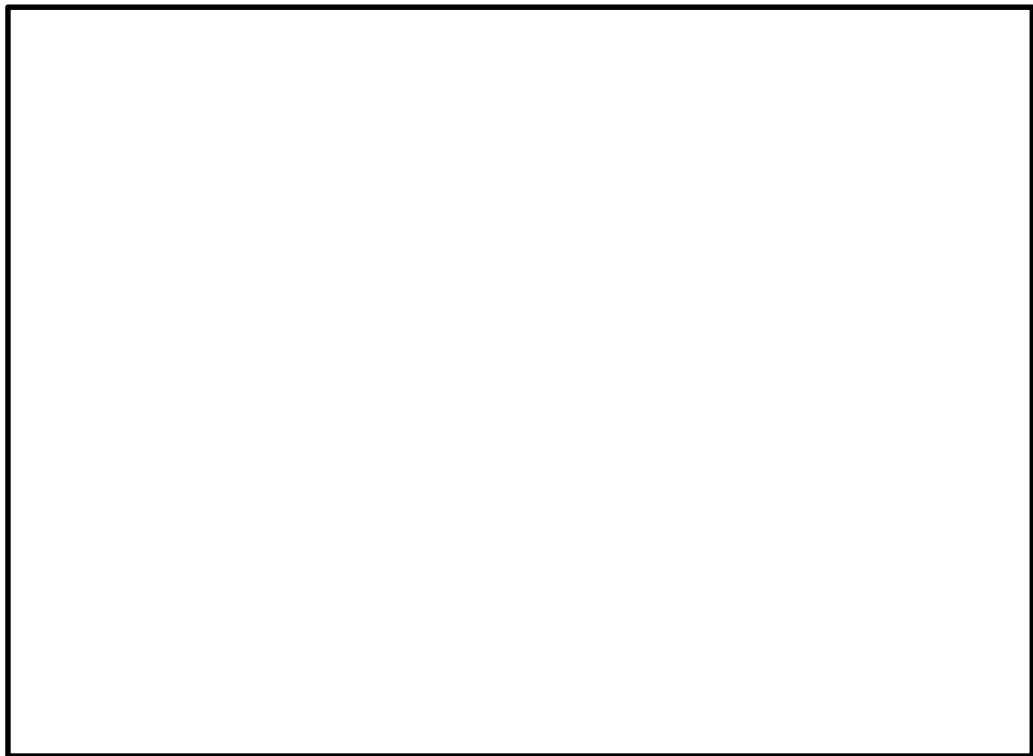


図 1.3-1 原子炉建屋原子炉棟 屋根スラブ評価部材の位置 (EL.64.08m)

(2) 原子炉棟主トラス

V-3-別添 2-1-6「建屋の強度計算書」には、降下火砕物に対する健全性評価の結果として、検定値が最大となる部材の評価結果のみを示した。

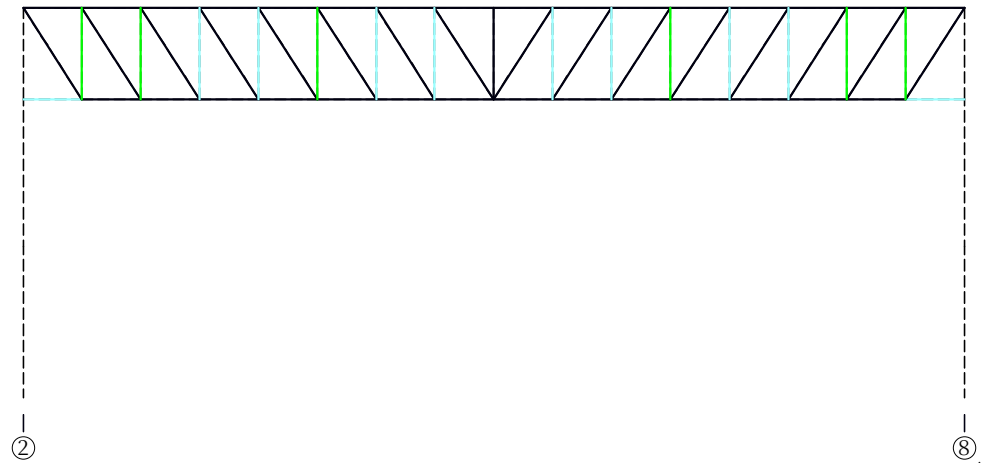
ここでは、全ての部材の評価結果を網羅的に示し、強度計算書に示した結果の代表性を確認する。

強度計算書に記載した原子炉建屋原子炉棟主トラスの評価結果を表 1.3-1 に示す。また、図 1.3-2～図 1.3-6 に通りごとに全ての主トラス部材の検定値を示す。図には、各部位の最大検定値を赤枠で囲い示した。上弦材 N,P 通り、下弦材及び斜材・束材は P 通りにおいて検定値が最大となる部材があり、それらの値は表 1.3-1 の値に整合している。

表 1.3-1 原子炉建屋原子炉棟 主トラスの評価結果

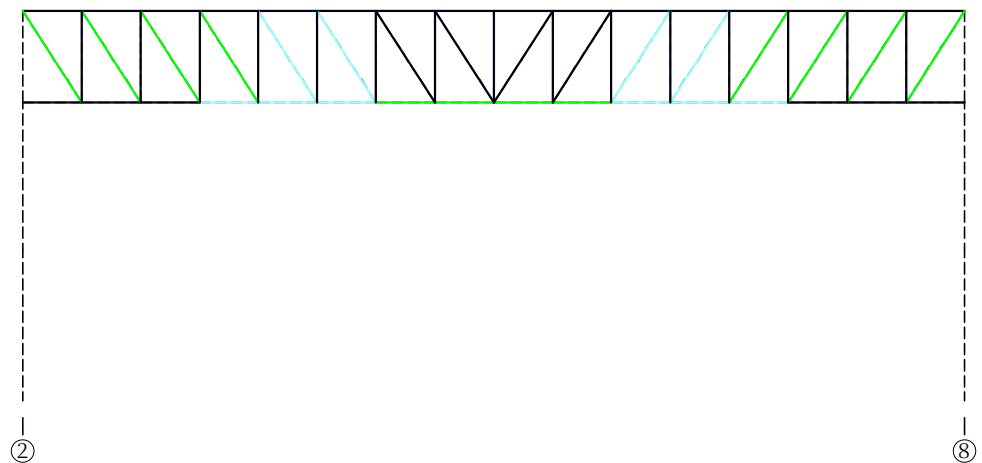
部位		発生応力	応力度 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	検定値
EL. 64.08 m	上弦材	圧縮	35.4	256	0.26
		曲げ	29.5	254	
	下弦材	引張	164.1	258	0.76
		曲げ	30.4	258	
	斜材	引張	204.9	258	0.80
	束材	圧縮	150.3	172	0.88

— 検定値<0.2
 0.2≦検定値<0.4
 0.4≦検定値<0.6
 0.6≦検定値<0.8
 0.8≦検定値<1.0
 1.0≦検定値



上弦材	0.16	0.13	0.08	0.11	0.12	0.12	0.15	0.12	0.12	0.15	0.12	0.12	0.11	0.08	0.13	0.16
斜材	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
束材		0.43	0.52	0.30	0.39	0.43	0.34	0.20	0.08	0.20	0.34	0.43	0.39	0.30	0.51	0.43
下弦材	0.26	0.14	0.05	0.06	0.05	0.07	0.09	0.09	0.09	0.09	0.07	0.06	0.06	0.05	0.14	0.26

(a) 圧縮（曲げ圧縮）

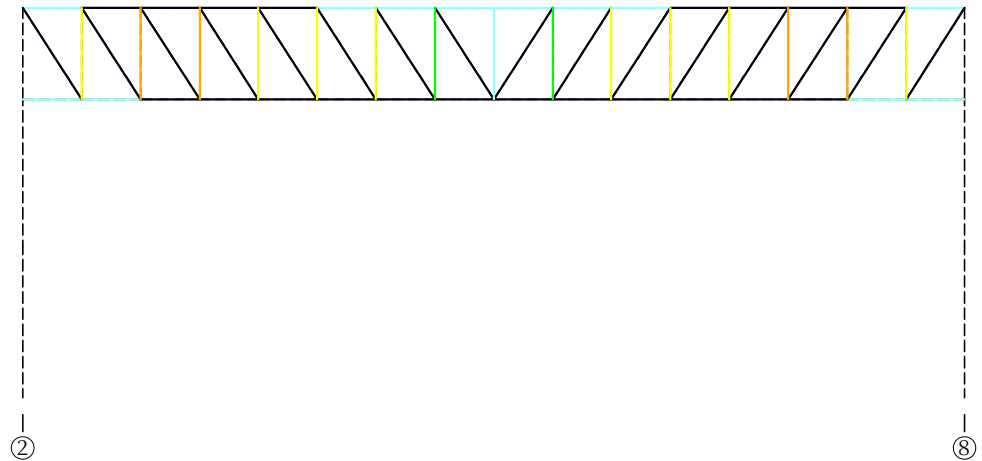
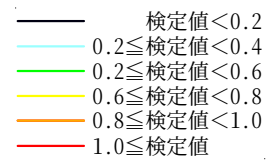


上弦材	0.16	0.10	0.04	0.04	0.05	0.05	0.07	0.04	0.04	0.07	0.05	0.05	0.04	0.04	0.10	0.16
斜材	0.43	0.48	0.48	0.48	0.34	0.27	0.15	0.04	0.04	0.15	0.27	0.34	0.48	0.48	0.48	0.42
束材		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
下弦材	0.07	0.07	0.14	0.24	0.32	0.38	0.42	0.44	0.44	0.42	0.38	0.32	0.24	0.14	0.07	0.07

(b) 引張（曲げ引張）

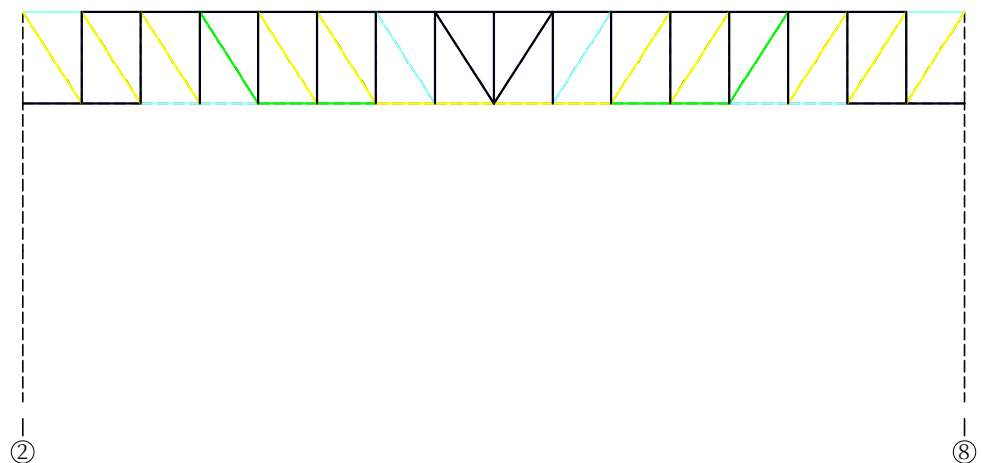
 ：最大検定値

図 1.3-2 主トラスの検定比（L 通り）



上弦材	0.23	0.16	0.09	0.16	0.14	0.22	0.25	0.22	0.22	0.25	0.22	0.14	0.16	0.09	0.16	0.23
斜材	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
束材		0.66	0.84	0.86	0.72	0.73	0.79	0.45	0.20	0.45	0.79	0.73	0.72	0.86	0.84	0.66
下弦材	0.31	0.20	0.07	0.06	0.06	0.11	0.16	0.18	0.18	0.16	0.11	0.06	0.06	0.07	0.20	0.31

(a) 圧縮（曲げ圧縮）



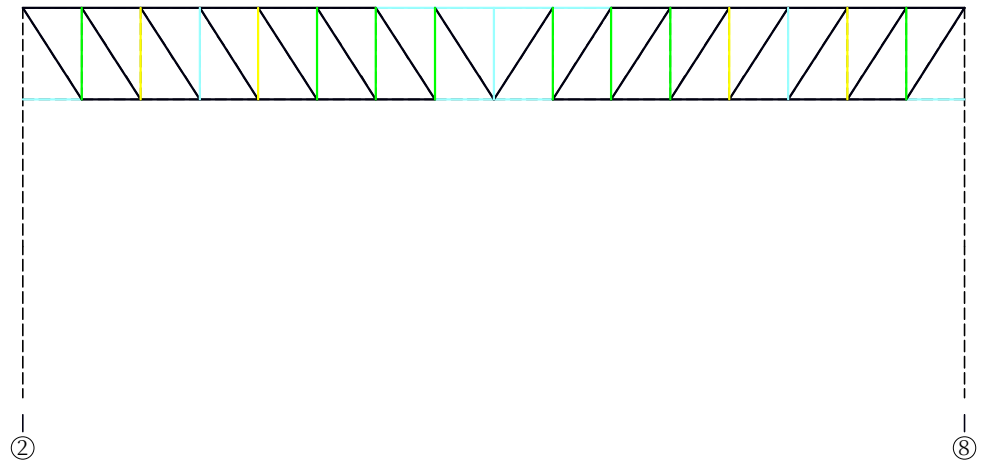
上弦材	0.23	0.11	0.02	0.07	0.04	0.10	0.13	0.09	0.09	0.13	0.10	0.04	0.07	0.02	0.12	0.23
斜材	0.66	0.78	0.66	0.58	0.69	0.63	0.35	0.09	0.09	0.35	0.63	0.69	0.58	0.66	0.78	0.66
束材		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
下弦材	0.12	0.12	0.23	0.37	0.41	0.57	0.70	0.75	0.75	0.70	0.57	0.41	0.37	0.23	0.12	0.12

(b) 引張（曲げ引張）

0.66：最大検定値

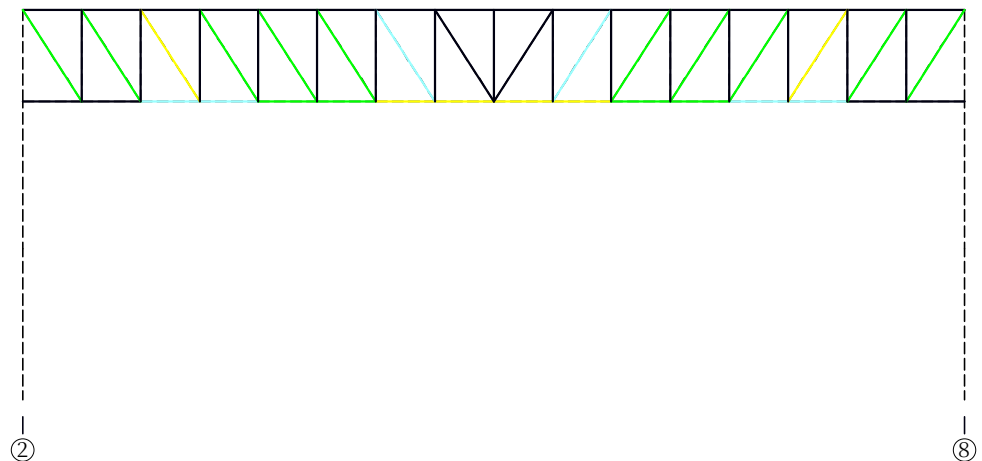
図 1.3-3 主トラスの検定比（M 通り）

— 検定値<0.2
 0.2≤検定値<0.4
 0.4≤検定値<0.6
 0.6≤検定値<0.8
 0.8≤検定値<1.0
 1.0≤検定値



上弦材	0.16	0.14	0.12	0.16	0.16	0.17	0.21	0.26	0.26	0.21	0.17	0.16	0.16	0.12	0.14	0.16
斜材	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
束材		0.53	0.61	0.39	0.61	0.45	0.53	0.46	0.30	0.46	0.53	0.45	0.61	0.38	0.61	0.53
下弦材	0.25	0.10	0.07	0.07	0.10	0.11	0.11	0.20	0.20	0.11	0.11	0.10	0.07	0.07	0.10	0.24

(a) 圧縮（曲げ圧縮）



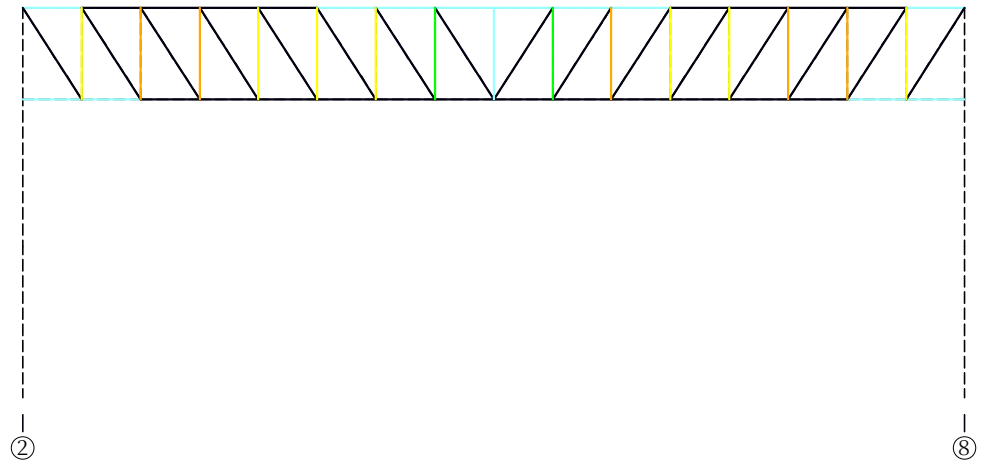
上弦材	0.15	0.10	0.05	0.06	0.06	0.05	0.07	0.12	0.12	0.07	0.05	0.06	0.06	0.05	0.10	0.15
斜材	0.52	0.58	0.61	0.59	0.56	0.45	0.37	0.13	0.13	0.36	0.45	0.56	0.59	0.61	0.58	0.52
束材		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
下弦材	0.08	0.08	0.22	0.35	0.50	0.58	0.63	0.75	0.75	0.63	0.58	0.50	0.35	0.22	0.08	0.08

(b) 引張（曲げ引張）

0.26 : 最大検定値

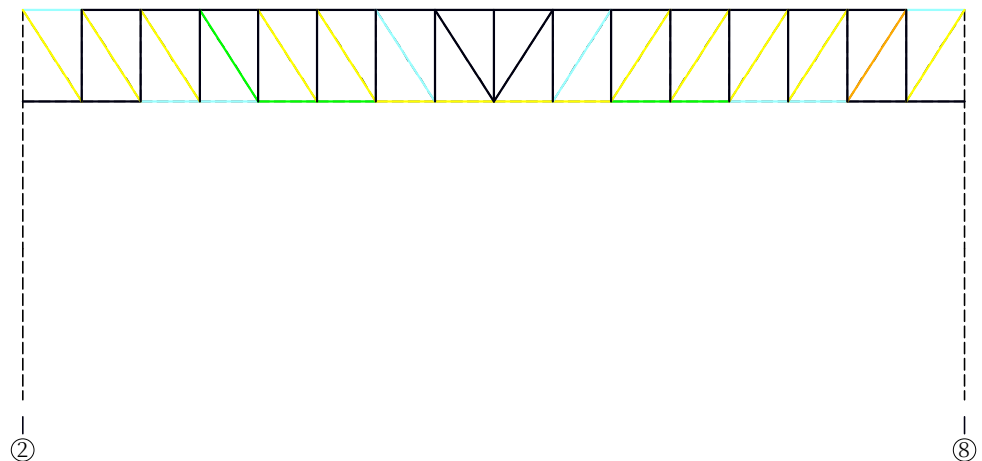
図 1.3-4 主トラスの検定比（N 通り）

- 検定値<0.2
- 0.2≤検定値<0.4
- 0.2≤検定値<0.6
- 0.6≤検定値<0.8
- 0.8≤検定値<1.0
- 1.0≤検定値



上弦材	0.23	0.16	0.09	0.16	0.14	0.22	0.26	0.22	0.22	0.26	0.22	0.14	0.16	0.09	0.16	0.24
斜材	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
束材		0.67	0.85	0.87	0.72	0.74	0.79	0.45	0.20	0.46	0.80	0.74	0.73	0.88	0.86	0.67
下弦材	0.32	0.20	0.07	0.06	0.06	0.11	0.16	0.18	0.18	0.16	0.11	0.06	0.06	0.07	0.22	0.33

(a) 圧縮（曲げ圧縮）



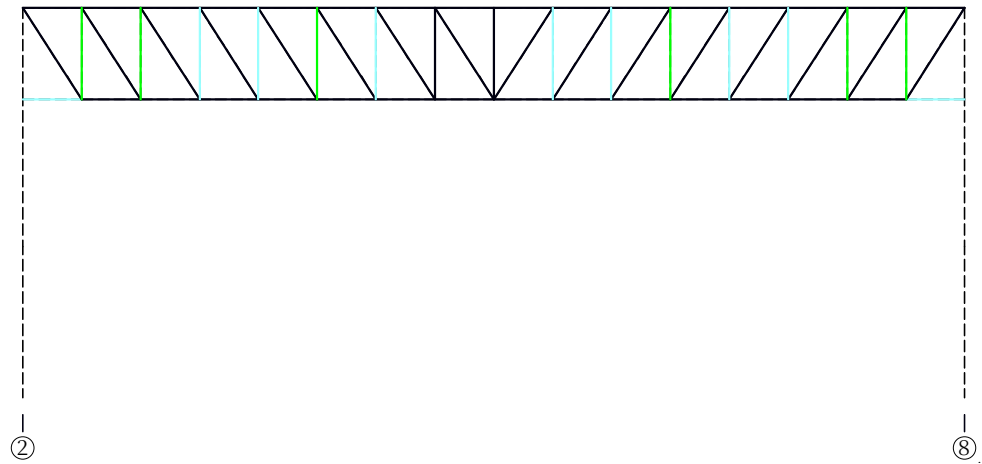
上弦材	0.24	0.12	0.02	0.08	0.04	0.10	0.13	0.09	0.09	0.13	0.10	0.04	0.08	0.02	0.12	0.24
斜材	0.66	0.79	0.67	0.59	0.69	0.63	0.35	0.09	0.10	0.36	0.63	0.69	0.60	0.68	0.80	0.67
束材		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
下弦材	0.12	0.12	0.23	0.37	0.42	0.58	0.71	0.76	0.76	0.71	0.58	0.42	0.37	0.23	0.12	0.12

(b) 引張（曲げ引張）

 ：最大検定値

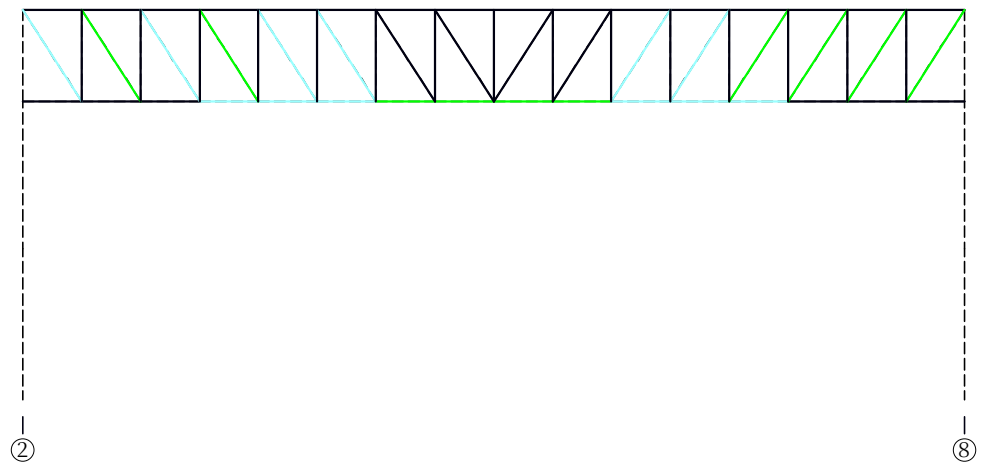
図 1.3-5 主トラスの検定比（P 通り）

検定値<0.2
 0.2≤検定値<0.4
 0.2≤検定値<0.6
 0.6≤検定値<0.8
 0.8≤検定値<1.0
 1.0≤検定値



上弦材	0.14	0.11	0.07	0.10	0.12	0.12	0.14	0.12	0.12	0.14	0.12	0.12	0.11	0.08	0.12	0.15
斜材	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
束材		0.45	0.50	0.39	0.38	0.43	0.33	0.19	0.08	0.20	0.34	0.43	0.39	0.29	0.51	0.43
下弦材	0.28	0.15	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.05	0.05	0.05	0.15	0.27

(a) 圧縮（曲げ圧縮）



上弦材	0.14	0.09	0.03	0.03	0.06	0.04	0.07	0.04	0.04	0.07	0.05	0.05	0.04	0.04	0.10	0.15
斜材	0.36	0.45	0.38	0.45	0.35	0.26	0.15	0.04	0.05	0.16	0.27	0.34	0.47	0.47	0.48	0.42
束材		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
下弦材	0.08	0.08	0.12	0.24	0.32	0.37	0.41	0.43	0.43	0.41	0.37	0.30	0.23	0.13	0.07	0.07

(b) 引張（曲げ引張）

 ：最大検定値

図 1.3-6 主トラスの検定比（Q 通り）

(3) 原子炉棟母屋

原子炉建屋原子炉棟の母屋は主トラスで支持された等分布荷重を受ける両端ピン支持の単純梁として評価を行う。屋根面に作用する等分布荷重は屋根面全体で均一であるため、母屋の断面が同一である場合には、支持スパンが長く、屋根面の支配面積の大きな母屋が最も厳しい条件であると判断できる。

最も支持スパンが長く、支配面積の大きな母屋の位置を図 1.3-7 に示す。

なお、原子炉棟の母屋には表 1.3-2 に示すとおり、断面の異なる 2 種類の鉄骨部材を使用しているが、図 1.3-7 に示す母屋は断面の小さい鉄骨部材（H-390×300×10×16）であるため、この母屋を評価対象としている。

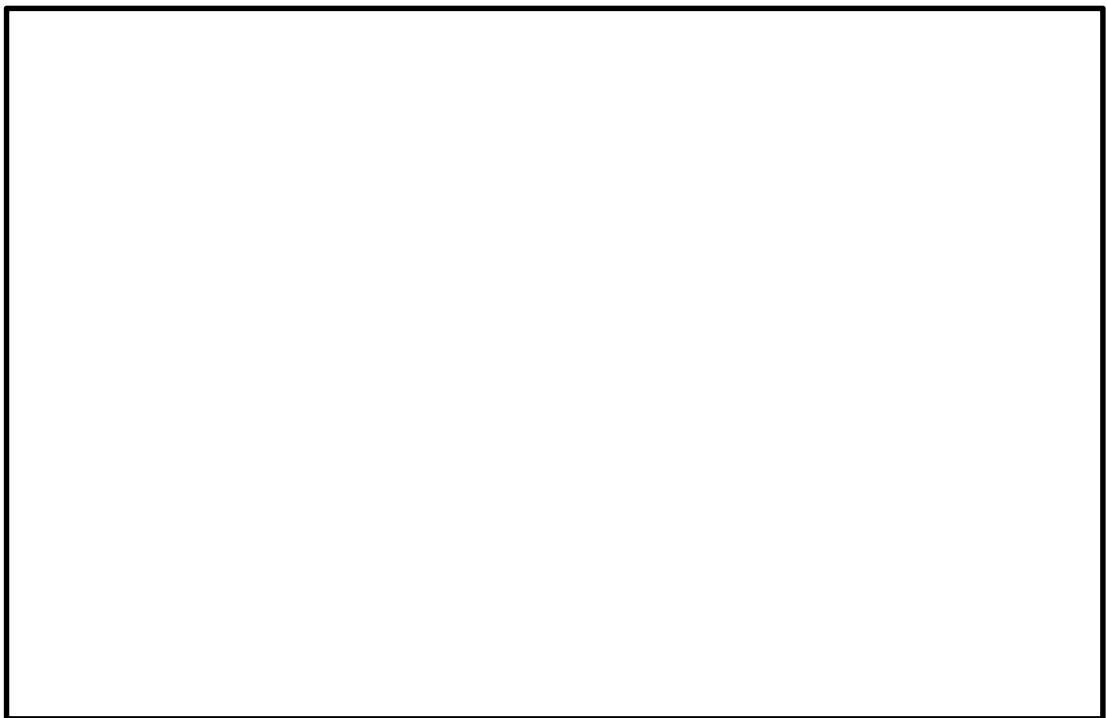


図 1.3-7 原子炉建屋原子炉棟 母屋の評価部材の位置（EL.64.08m）

表 1.3-2 原子炉建屋原子炉棟 母屋使用部材断面

部材断面	断面積（mm ² ）
H-390×300×10×16	136.0
H-582×300×12×17	174.5

1.3.2 原子炉建屋付属棟

(1) 屋根スラブ

原子炉建屋付属棟の屋根スラブには、鉄骨架構上（EL. 39.8m, 35.0m, 30.3m, 30.0m, 及び 22.0m）のスラブと、鉄筋コンクリート躯体上のスラブがある。付属棟の屋根スラブ位置を図 1.3-8 に示す。

鉄骨架構上の屋根スラブについては、母屋で支持された単位幅の 1 方向スラブを取り出し、等分布荷重を受ける両端固定梁として評価を行う。屋根スラブは単一断面であり、屋根面に作用する等分布荷重は屋根面全体で均一であるため、支持スパンの長い屋根スラブが最も厳しい条件であると判断できる。

図 1.3-9～図 1.3-11 に異なる高さの屋根面毎に、支持スパンが最大となるスラブ位置を示す。モノレールエンクロージャの EL. 30.3m の屋根スラブの支持スパンが最も大きく、このスラブの評価を行った。

一方、鉄筋コンクリート躯体上の屋根スラブは、鉄筋コンクリートの大梁または壁で支持された四辺固定または三辺固定の長方形版として評価を行う。図 1.3-12～図 1.3-14 に評価対象のスラブ位置を示す。これらの屋根スラブは、場所によって部材断面と支持条件が異なるため、すべてについて評価を行った。

表 1.3-3 に付属棟屋根スラブの評価結果を示す。EL. 30.0m の鉄筋コンクリート躯体上の屋根スラブ（SE5-7）の検定値が最も大きいことがわかる。

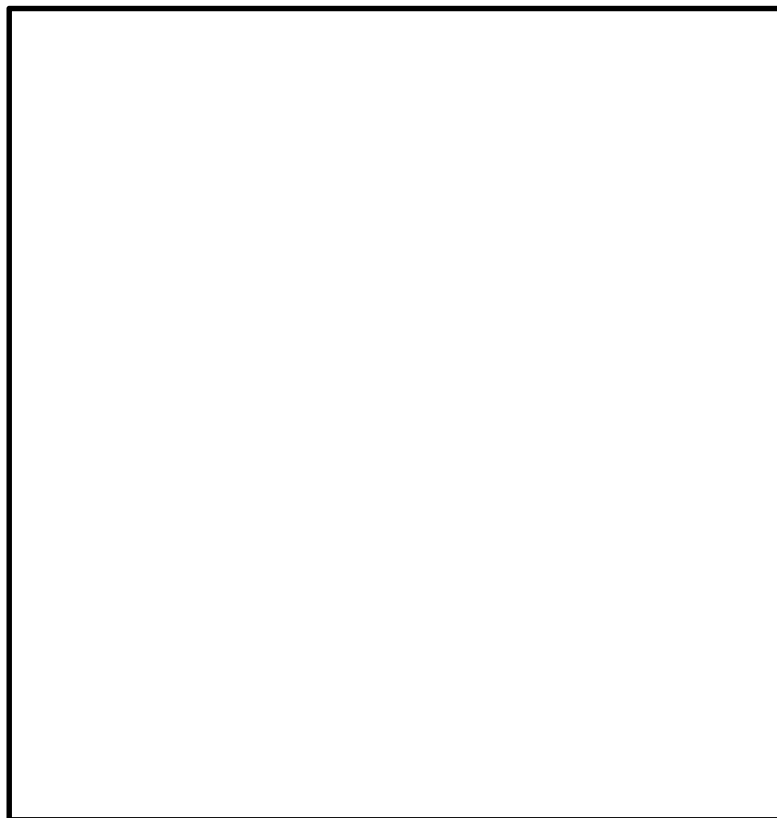


図 1.3-8 原子炉建屋付属棟 屋根スラブの位置 (EL.39.8m ～ EL. 8.2m)



図 1.3-9 原子炉建屋付属棟 屋根スラブ評価部材の位置 (EL. 39.8m)

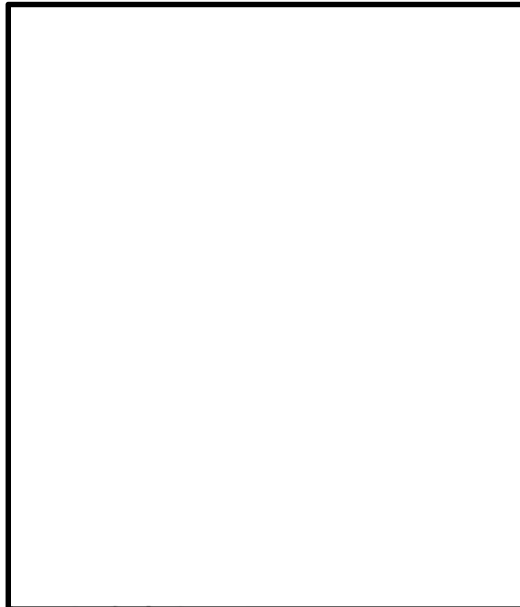
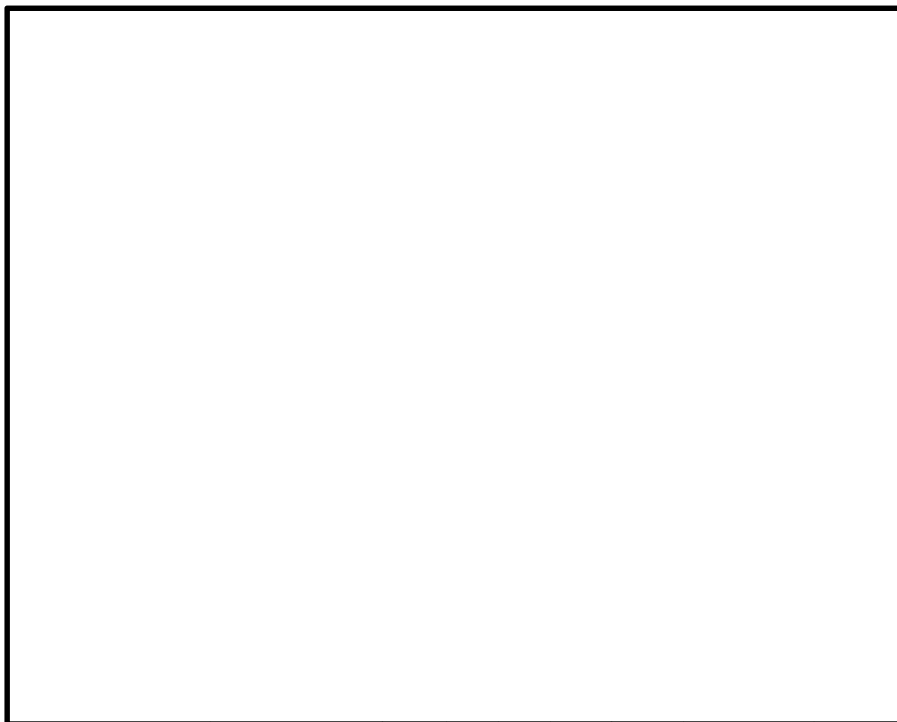


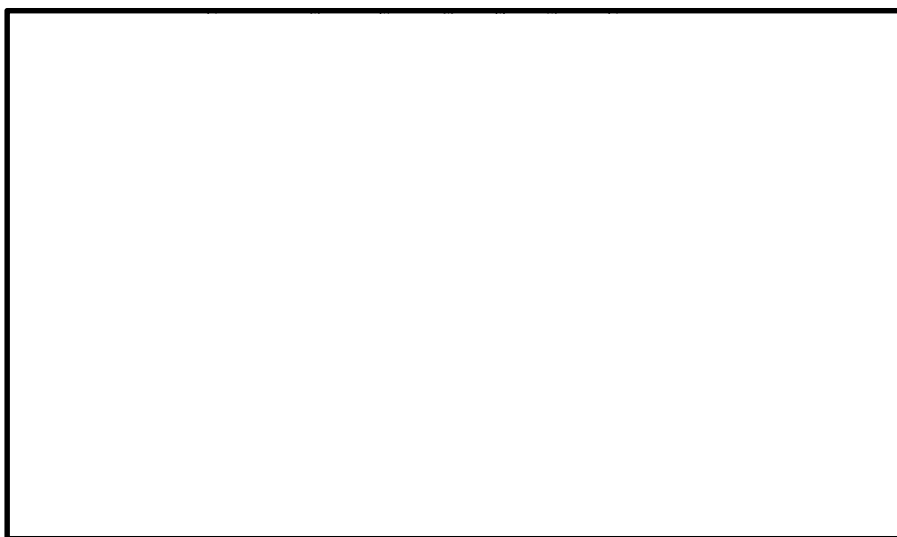
図 1.3-10 原子炉建屋付属棟 屋根スラブ評価部材の位置 (EL. 35.0m)



図 1.3-11 原子炉建屋付属棟 屋根スラブ評価部材の位置 (EL. 30.3m, 30.0m, 22.0m)



(a) EL. 29.00m 平面図



(b) EL. 23.00m 平面図

図 1.3-12 原子炉建屋付属棟 屋根スラブ評価部材の位置
(RC スラブ, EL. 30.30m)

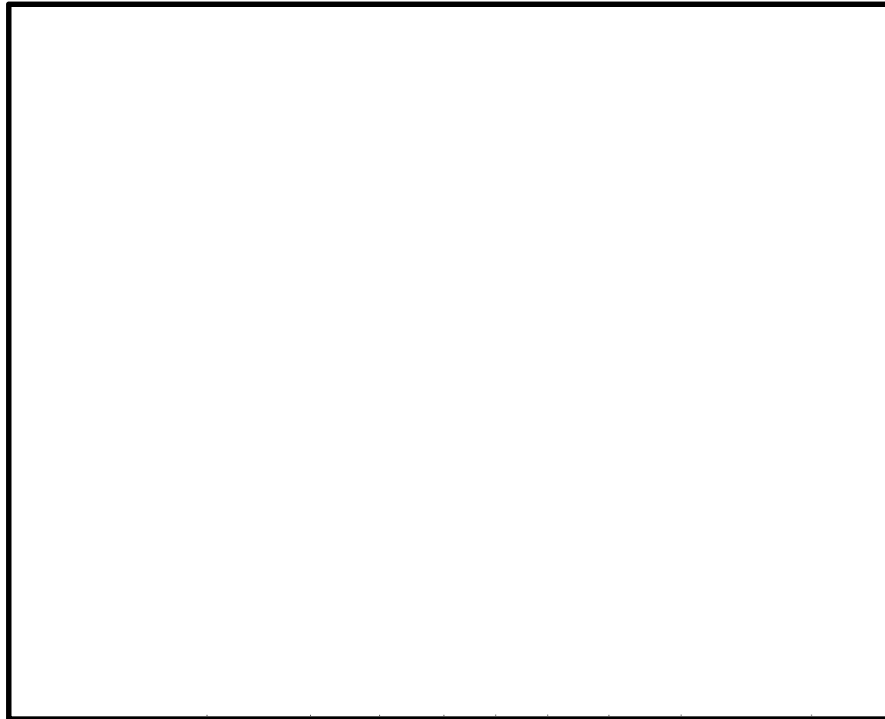


(a) EL. 20.30m 平面図

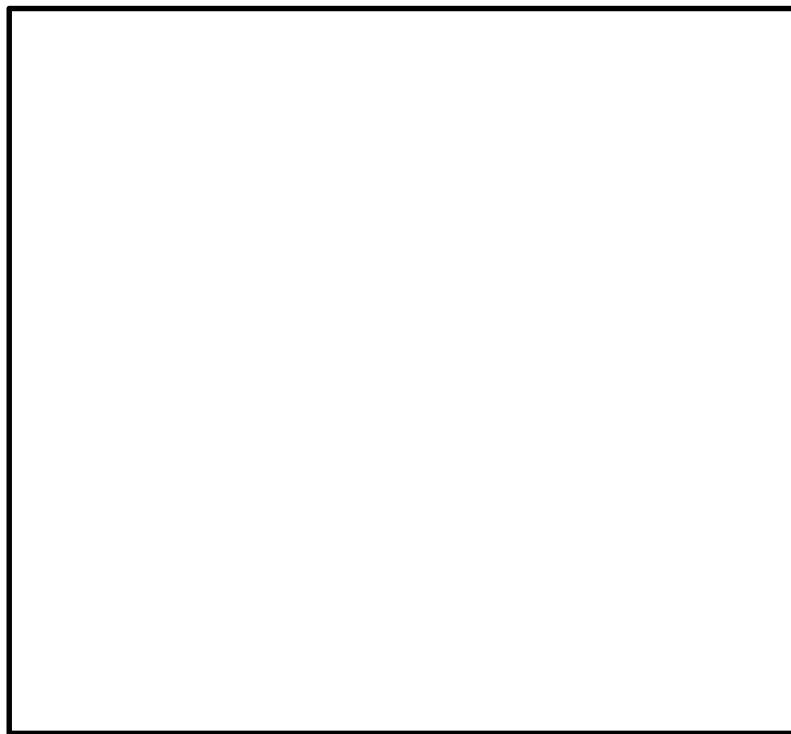


(b) EL. 14.00m 平面図

図 1.3-13 原子炉建屋付属棟 屋根スラブ評価部材の位置
(RC スラブ, EL. 22.00m, 17.20m, 12.24m, 12.00m)



(a) EL. 8.20m 平面図



(b) EL. 2.00m 平面図

図 1.3-14 原子炉建屋付属棟 屋根スラブ評価部材の位置
(RC スラブ、EL. 9.00m)

表 1.3-3 原子炉建屋付属棟 屋根スラブの評価結果

(a) 鉄骨架構上のスラブ

高さ	スラブ厚 (mm)	曲げモーメントに対する検定値 (せん断力に対する検定値)
EL. 30.0m	100	0.36 (0.27)

(b) 鉄骨コンクリート躯体上のスラブ

高さ	記号	スラブ厚 (mm)	曲げモーメントに対する検定値 (せん断力に対する検定値)	
			短辺	長辺
EL. 30.0m	SE5-1	400	0.50 (0.25)	0.25 (0.22)
	SE5-2	400	0.50 (0.25)	0.25 (0.22)
	SE5-3	400	0.86 (0.40)	0.43 (0.36)
	SE5-4	400	0.83 (0.39)	0.42 (0.35)
	SE5-5	400	0.83 (0.39)	0.42 (0.35)
	SE5-6	400	0.36 (0.19)	0.18 (0.17)
	SE5-7	400	0.92 (0.42)	0.46 (0.38)
	SE5-8	400	0.26 (0.15)	0.13 (0.13)
	SE6-1	1100	0.18 (0.09)	0.09 (0.08)
	SE6-2	1100	0.19 (0.09)	0.10 (0.09)
EL. 22.0m	S8-1	800	0.17 (0.10)	0.09 (0.10)
	S8-2	800	0.17 (0.10)	0.09 (0.10)
	S8-3	800	0.20 (0.10)	0.10 (0.10)
	S9	800	0.09 (0.10)	0.05 (0.10)
EL. 17.2m	Sa	2000	0.19 (0.08)	0.10 (0.06)
EL. 12.0m	SM19	200	0.10 (0.09)	0.05 (0.09)
EL. 12.24m	SM20	200	0.70 (0.59)	0.35 (0.60)
EL. 9.0m	SB6a-1	800	0.01 (0.03)	0.01 (0.02)
	SB6a-2	800	0.02 (0.03)	0.02 (0.03)
	SB6a-3	800	0.02 (0.03)	0.02 (0.03)
	SB12a-1	1400	0.09 (0.10)	0.05 (0.10)
	SB12a-2	1400	0.07 (0.08)	0.05 (0.06)
	SB12a-3	1400	0.05 (0.07)	0.03 (0.06)
	SB12a-4	1400	0.05 (0.07)	0.04 (0.06)

※太字は最大検定値

(2) 母屋

原子炉建屋付属棟の母屋は主トラスで支持された等分布荷重を受ける両端ピン支持の単純梁として評価を行う。屋根面に作用する等分布荷重は屋根面全体で均一であるため、母屋の断面が同一である場合には、支持スパンが長く、屋根面の支配面積の大きな母屋が最も厳しい条件であると判断できる。

原子炉建屋付属棟の母屋には表 1.3-4 に示すとおり、断面の異なる複数の鉄骨部材を使用しているため、同じ部材断面の母屋において最も条件の厳しい部位を選定し、評価を行う。

図 1.3-15～図 1.3-17 に部材断面毎に選定した母屋の評価部材位置を示す。

表 1.3-4 原子炉建屋原子炉棟 母屋使用部材断面

記号	部材断面
G1	H－594×302×14×23
G5	H－250×125×6×9
G8	H－600×200×11×17
G9	H－400×200×8×13
G10	H－350×175×7×11
G11	H－300×150×6.5×9
G16	H－350×175×7×11
G17	H－300×150×6.5×9
G19	H－250×125×6×9

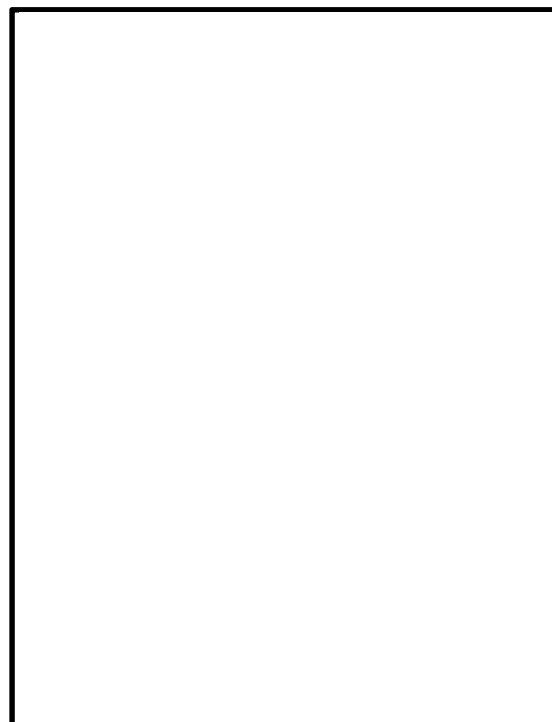


図 1.3-15 原子炉建屋付属棟 母屋評価部材の位置 (EL. 39.8m)



図 1.3-16 原子炉建屋付属棟 母屋評価部材の位置 (EL. 35.0m)

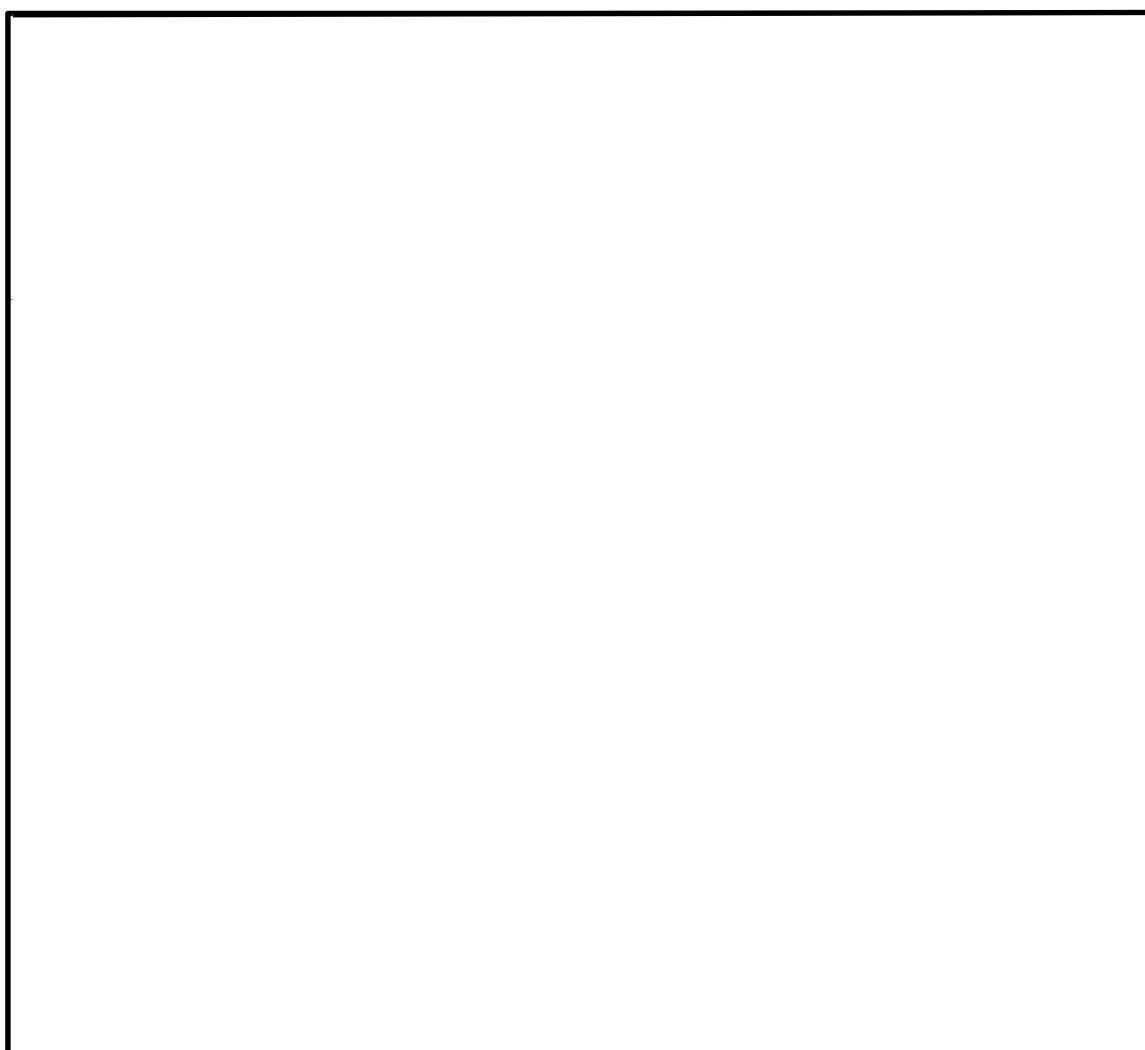


図 1.3-17 原子炉建屋付属棟 母屋評価部材の位置 (EL. 30.3m, 30.0m, 22.0m)

4. 原子炉建屋原子炉棟の 3D-FEM モデルによる鉛直荷重の影響について

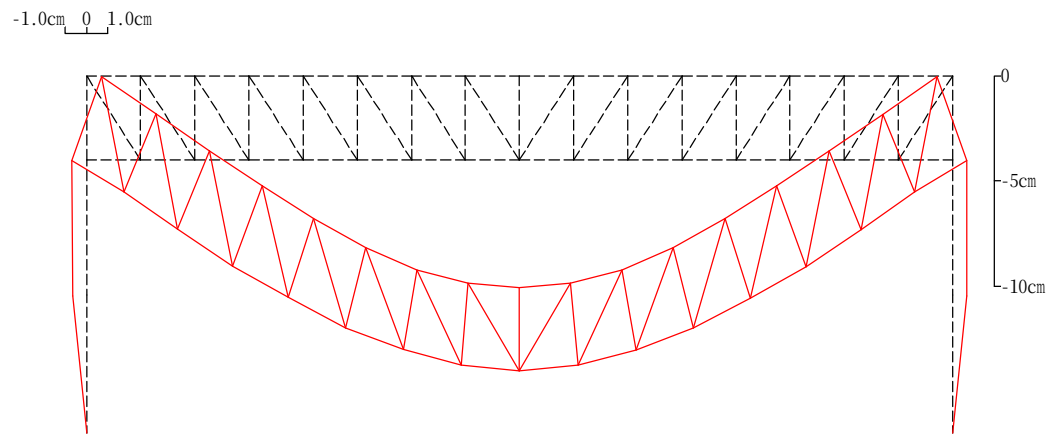
4.1 鉛直荷重による主トラスの変形状態及び応力状態について

ここでは、屋根スラブの剛性を考慮した場合と剛性を考慮しない場合の主トラス架構の変形状態及び各応力状態を比較することにより、屋根スラブの剛性を考慮したことによる主トラスへの応力負担の軽減について確認する。原子炉建屋原子炉棟の主トラスとする。

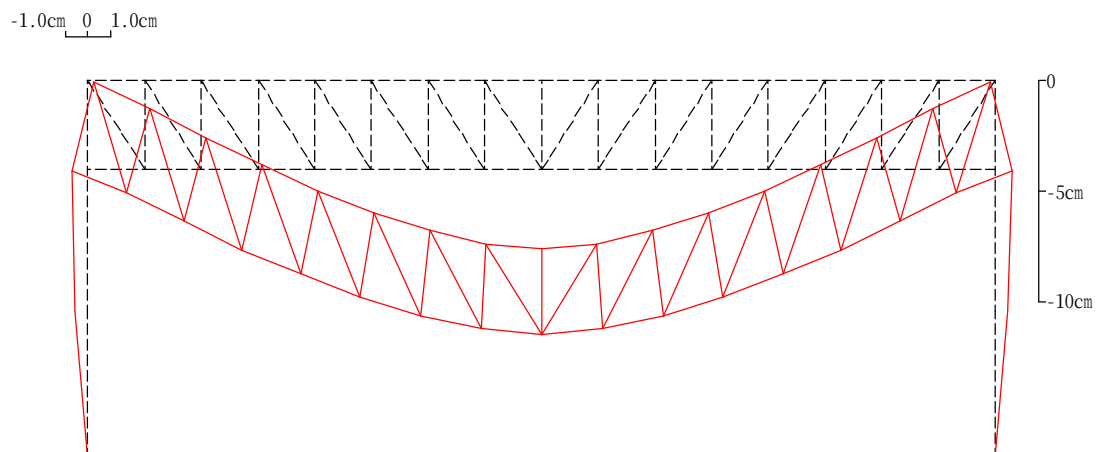
(1) 屋根トラスの変形

降下火砕物の堆積荷重によって発生する主トラス（N 通り）の変形を図 4.1-1 に示す。

屋根面に作用する鉛直荷重によって、主トラス端部には曲げモーメントが発生し、主トラスを受ける柱に曲げが生じる。さらに、柱の曲げによって、主トラス上弦材は建屋内側に向けて変形する。そのため、主トラスの上弦材及び屋根スラブには圧縮軸力が作用することになる。また、屋根スラブの剛性を考慮することにより、主トラスの中央部の変形（撓み）が減少し、主トラス上弦材の端部節点の内側への移動が減少する。



(a) 屋根スラブ剛性無視



(b) 屋根スラブ剛性考慮

図 4.1-1 主トラス（N 通り）の変形図* *：変形を 100 倍に拡大

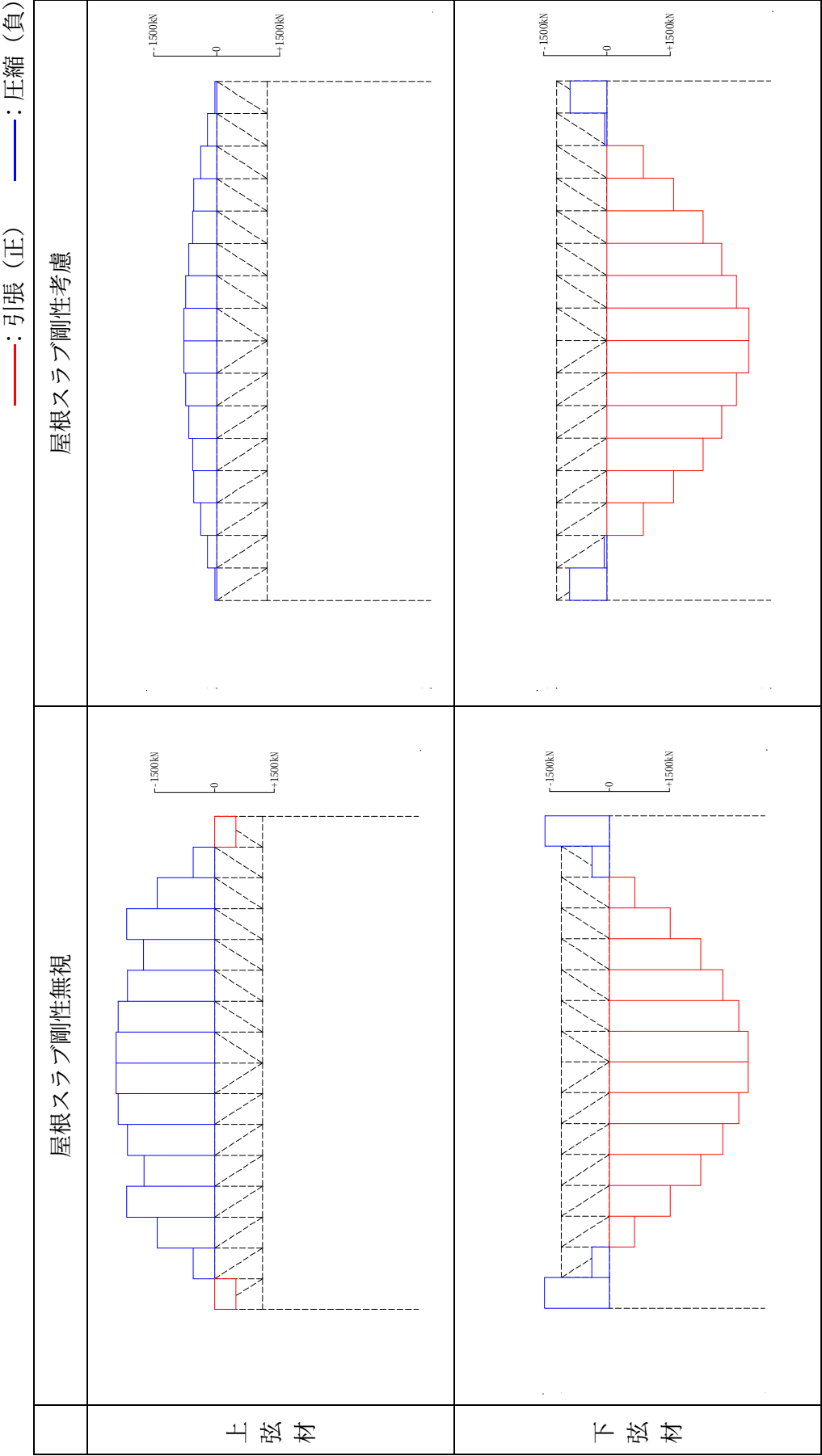
(2) 主トラスの軸力分布

屋根スラブの剛性を考慮した場合と考慮しない場合の主トラスの軸力分布の比較を表 4-1 に示す。

屋根スラブの剛性を考慮した場合の主トラスの材軸方向に発生する応力状態を見ると、主トラス上弦材は、中央部の圧縮軸力が最大で、端部にかけて次第に圧縮軸力が減少している。一方、下弦材では、端部で圧縮軸力が発生し、中央部にかけて圧縮軸力が減少し、引張軸力に転じている。主トラス端部の上下弦材の応力レベルを比較すると、上弦材よりも下弦材の方が、圧縮軸力レベルは大きくなっており、差異が見られる。また、主トラス中央部では、上弦材の圧縮軸力よりも下弦材の引張軸力のレベルの方が大きくなっており、引張軸力が支配的である。

屋根スラブの剛性考慮の有無で比較すると、屋根スラブの剛性を考慮することによって、上弦材の圧縮軸力が顕著に減少していることが分かる。

表 4-1 主トラス (N 通り) の軸力分布の比較



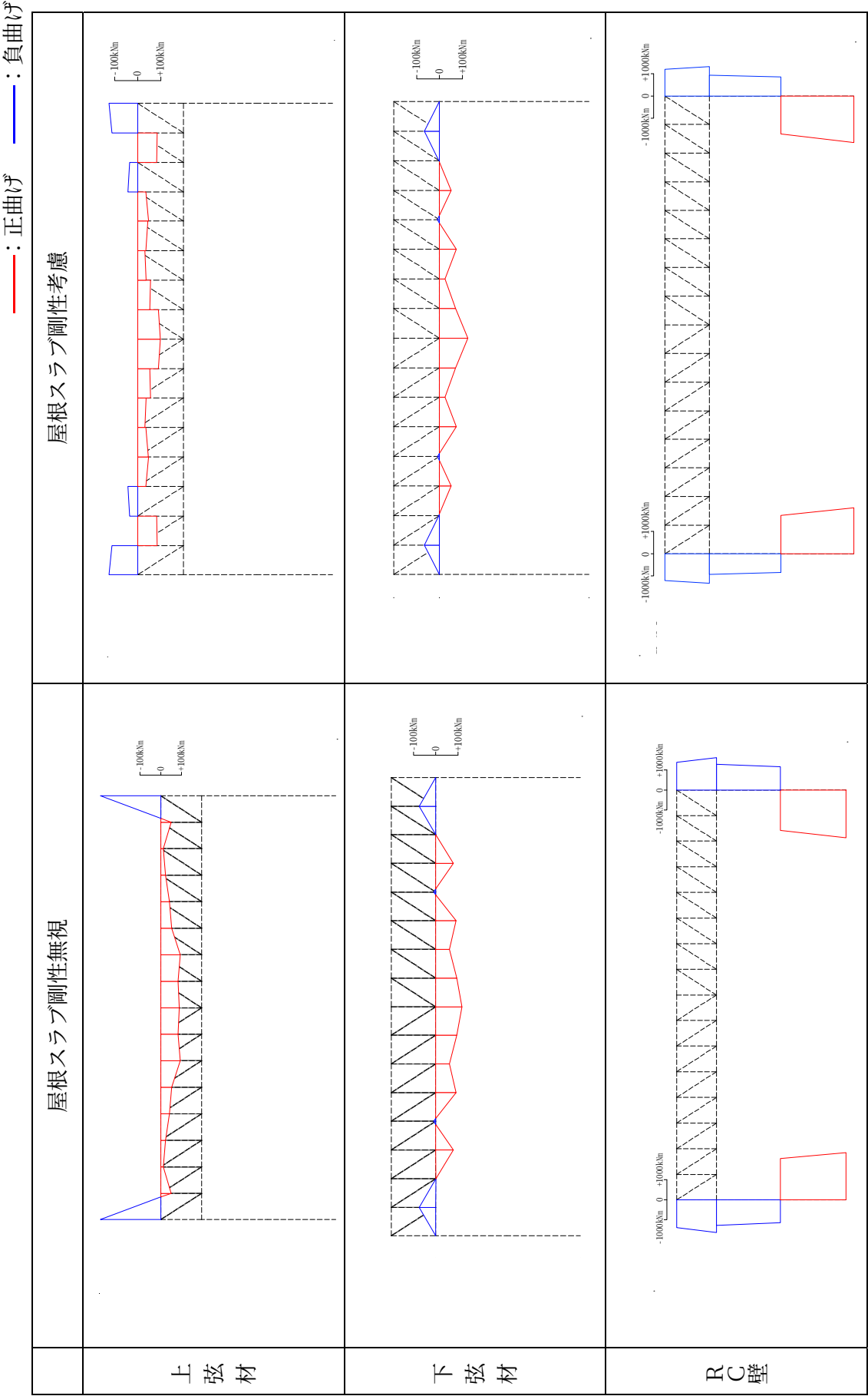
(3) 主トラスの曲げモーメント分布

屋根スラブの剛性を考慮した場合と考慮しない場合の主トラスの曲げモーメント力分布の比較を表 4-2 に示す。

屋根スラブの剛性を考慮しない場合は、上弦材の端部で顕著に負の曲げモーメント作用し、屋根スラブの剛性を考慮する場合は、曲げモーメントが減少していることが分かる。また、上下弦の中央部については、双方で顕著な差異は見られない。

(2)、(3)における屋根スラブ剛性考慮の有無による軸力及び曲げモーメント分布の比較から、屋根スラブの剛性を考慮したことにより、主トラスへの負担が軽減されていることが確認された。

表 4-2 主トラス (N 通り) の曲げモーメント分布の比較



4.2 鉛直荷重による屋根スラブの影響について

(1) 応力解析結果

3D-FEM モデルによる応力解析から算出される原子炉建屋原子炉棟の屋根スラブに発生する軸応力*を図 5-1 に示す。屋根スラブに発生する軸応力は、ほぼ全域で圧縮軸力が作用する結果（-364 kN/m ～ 5 kN/m）となっている。

前項で記載のとおり，降下火砕物等の鉛直荷重によって主トラス上弦材及び主トラスを受ける柱が建屋内側に変形することによって，屋根スラブでは，圧縮軸力が支配的である。

注記＊：単位長さ当たりの軸力。正の値を引張，負の値を圧縮として示す。

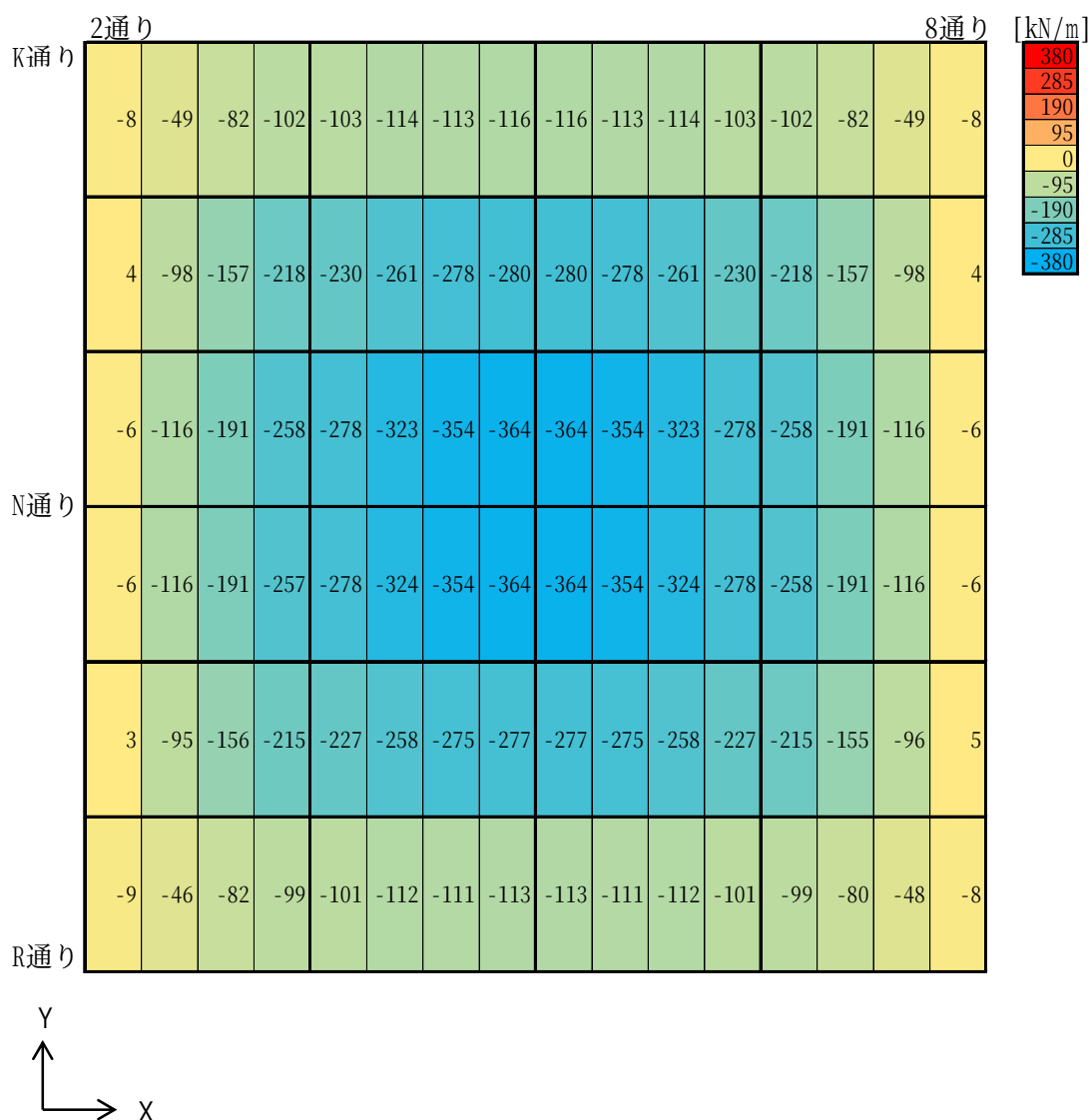


図 4.2-1 原子炉建屋原子炉棟 屋根スラブの軸応力分布（Nx／主トラス方向／引張が正）

(2) 発生する軸応力の影響について

強度計算書における屋根スラブの検討に用いた曲げモーメント 5.1 kN・m から求めたコンクリートの縁応力度は $\pm 3.06 \text{ N/mm}^2$ となる。

一方、3D-FEM モデルによる応力度は $-3.64 \text{ N/mm}^2 \sim 0.05 \text{ N/mm}^2$ となり、軸応力を考慮してその応力度を足し合わせると、ほぼ全域で全断面圧縮状態であることがわかり、引張力に対する鉄筋の負担が緩和される。

また、最大の圧縮応力度は 6.70 N/mm^2 であり、コンクリートの長期許容圧縮応力度 (7.3 N/mm^2) に達しないレベルに納まっており、軸応力の影響はない。

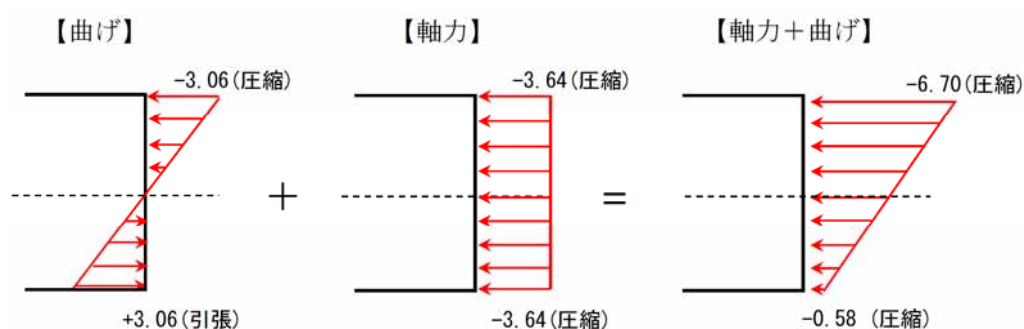


図 4.2-2 軸力を考慮した場合の応力度

(3) 強度計算書における屋根スラブ検討への影響

強度計算書で実施している屋根スラブの検討では、スラブの軸応力を考慮せず、曲げ応力のみを考慮し評価している。(2)で記載したとおり、3D-FEM モデルの結果としてスラブのほぼ全域で全断面圧縮状態であることを踏まえると、強度計算書に示す曲げ応力のみを考慮した屋根スラブの評価結果（検定値：0.49）から得られる判定に影響はないことが確認できた。参考として、曲げ応力のみを考慮した屋根スラブの評価結果を表 4.2-1 に示す。

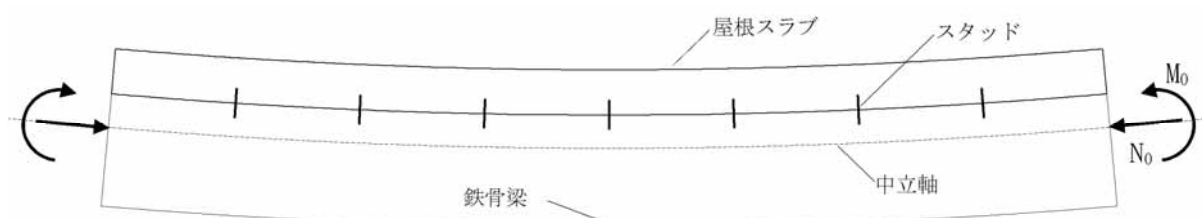
表 4.2-1 原子炉建屋原子炉棟 屋根スラブ評価結果

部位		EL. 64.08 m
厚さ t(mm)		100
有効せい d(mm)		50
配 筋 (鉄筋断面積)		D13@180 (703.9 mm ²)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M(kN・m)	5.1
	鉄筋応力度 σ_t (N/mm ²)	165.7
	許容値 (N/mm ²)	345
	検定値	0.49
せん 断 力	発生せん断力 Q(kN)	13.5
	せん断応力度 τ (N/mm ²)	0.309
	せん断スパン比によ る割増し係数 α	1.00
	許容値 (N/mm ²)	1.06
	検定値	0.30

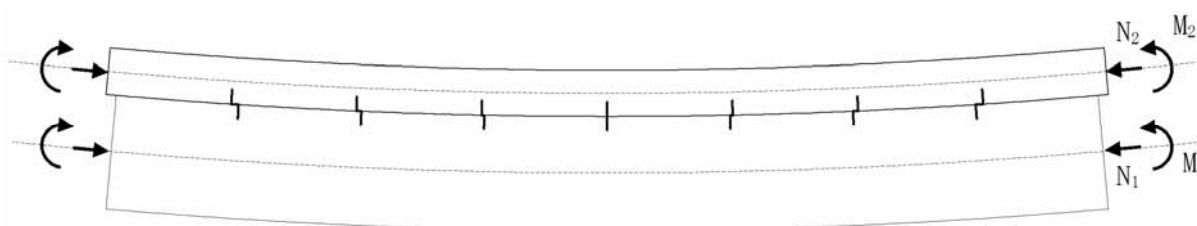
4.3 鉄骨材とスラブの接合部状況について

3D-FEM モデルによる応力解析では、トラス架構全体が負担する曲げによる軸力をスラブにも軸力として負担させている。主トラス上弦材と屋根スラブの要素軸芯は同位置でモデル化しているため、両者には偏心に伴い曲げ変形より生じる軸方向変形の差は発生せず、仮にスタッドをモデル化したとしてもスタッドにせん断力は発生しない結果となる。一方、梁上においてコンクリートスラブは連続しており、スラブの軸力は周辺のスラブや外周の躯体に伝達されるため、スラブは軸力を負担し続けることが可能である。図 4.3-1 にスタッドが梁の応力分配に与える影響の概念図を示す。

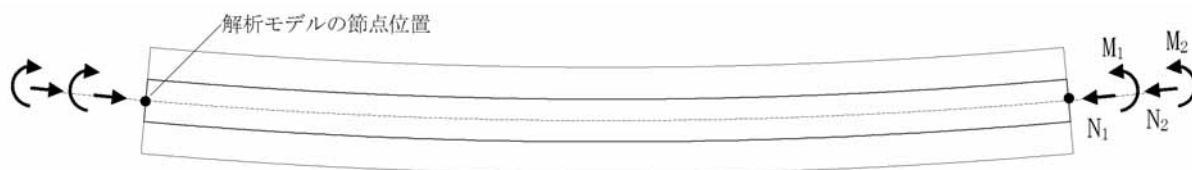
なお、降下火砕物等の鉛直荷重は、鉛直下向きに荷重が作用するため、スタッドの軸方向に引抜きが発生することがないため、降下火砕物等の鉛直荷重を十分支持可能である。



(a) スタッドがせん断力を伝達し、鉄骨梁と屋根スラブが合成梁を構成する場合



(b) スタッドにせん断変形が生じ、鉄骨梁と屋根スラブが個別に荷重を支持する場合



(c) 解析モデルにおける応力の負担状況

$$N_0 = N_1 + N_2 \quad (E_0 A_0 = E_1 A_1 + E_2 A_2) \quad , \quad M_0 = M_1 + M_2 \quad (E_0 I_0 > E_1 I_1 + E_2 I_2)$$

N：軸力，M：曲げモーメント，E：ヤング係数，A：軸断面積，I：断面2次モーメント

図 4.3-1 スタッドが梁の応力分配に与える影響

4.4 3D-FEM モデルの柱壁剛性について

主トラスを支える柱壁の剛性について、3D-FEM モデルと原子炉建屋の質点系モデルの比較を行った。なお、ここでは簡単のため、3D-FEM モデルの屋根スラブ剛性は無視する。

図 4.4-1 に鉛直方向の質点系モデルを示す。主トラス部の端部には、柱による回転拘束を考慮して、回転ばねがモデル化されている。回転ばねの剛性 K_{θ} は、原子炉建屋 6 階面 (EL.46.5m) より上部の柱を対象に、図 4.4-2(a) に示すように A 点をピン、B 点を固定端とし、A 点作用する曲げモーメント M_A と回転角 θ_A の関係より求めている。

$$K_{\theta} = M_A / \theta_A = 4EI / l \quad (= 5.62 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}) \quad (4.4-1) \text{ 式}$$

一方、屋根トラスの解析モデルでは、主トラス上下弦材端部の軸力と変位により、主トラス端部の回転剛性 K_{θ}' が求められる。

$$K_{\theta} = \sum_i M_i / \theta_i \quad (4.4-2) \text{ 式}$$

ここに、

$$M_i = (N_{ui} - N_{bi}) a / 2$$

$$\theta_i = (d_{ui} - d_{bi}) / a$$

N_{ui} , N_{bi} : 主トラス i 端の軸力 (u : 上弦材, b : 下弦材)

d_{ui} , d_{bi} : 主トラス i 端の水平変位 (u : 上弦材, b : 下弦材)

a : 主トラスのせい

屋根スラブ剛性は無視した 3D-FEM モデルでは、(4.2-2) 式により、回転剛性 K_{θ}' を求めると、 $K_{\theta}' = 15.6 \times 10^6 \text{ [kN} \cdot \text{m/rad]}$ となり、質点系モデルの回転剛性よりも 2.78 倍大きい。

大きくなることの要因としては、3D-FEM モデルでは柱だけでなく、外壁や外周梁もモデル化されていることが考えられる。そこで、外壁及び屋根面位置の外周梁の剛性を屋根スラブと同様に無視したモデルを用いて回転剛性を算定すると、 $K_{\theta}' = 6.90 \times 10^6 \text{ [kN} \cdot \text{m/rad]}$ となり、質点系モデルの回転剛性に対して 1.23 倍となる。

質点系モデルの回転ばね剛性は端部に作用する曲げモーメントに対する $M-\theta$ 関係に基づいているが、(4.4-2) 式は図 8-2(b) に示すように、主トラス下弦材位置に集中荷重 P が作用する場合に近い。集中荷重 P と A 端の反力を主トラス弦材の軸力と捉え (4.4-2) 式を適用すると、

$$K_{\theta}' = M_A' / \theta_A' = K_{\theta} \times \frac{1}{2b^2} \left\{ 1 + \frac{b^2(2l+a)}{2l^3} \right\} \quad (4.4-3) \text{ 式}$$

ここに、

$$R_A = \frac{b^2(2l+a)}{2l^3} P$$

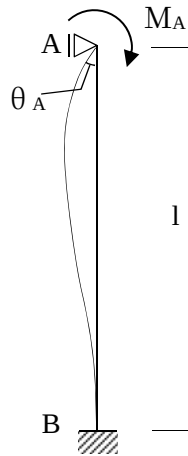
$$\theta_A' = \frac{ab^2P}{4El_i}$$

Figure 1 illustrates the structural model of the main structure. The model consists of a vertical column and a horizontal truss. The column is fixed at the base (node 12) to a foundation slab (node 11) on a ground spring (K1). The truss is supported by a roller at node 25. The column has a rotational stiffness K_θ at node 1. The truss has a central load (C.L.) at node 24. The diagram includes elevation (EL.) in meters and horizontal distance in meters.

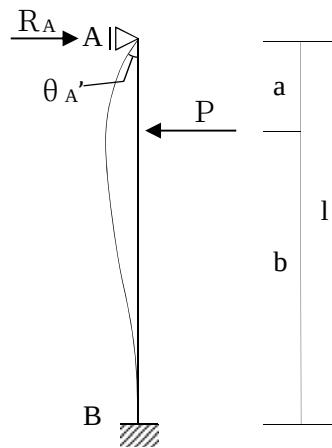
Node	EL. (m)	Horizontal Distance (m)
1	63.65	0.00
2	57.00	0.00
3	46.50	0.00
4	38.80	0.00
5	34.70	0.00
6	29.00	0.00
7	20.30	0.00
8	14.00	0.00
9	8.20	0.00
10	2.00	0.00
11	-4.00	0.00
12	-9.00	0.00
21	63.65	5.13
22	63.65	10.27
23	63.65	15.41
24	63.65	20.55
25	63.65	20.55

- ・ 数字は質点番号を示す。
- ・ () 内は要素番号を示す。

図 4.4-1 質点系モデル (鉛直方向)



(a) 主トラス上端位置に曲げモーメントが作用する場合



(b) 主トラス下端位置に集中荷重が作用する場合

図 4.4-2 柱の回転拘束ばね剛性算定モデル

本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

資料番号	TK-1-740 改2
提出年月日	平成30年5月31日

東海第二発電所

ブローアウトパネル 機能確認試験要領書

日本原子力発電株式会社

平成30年5月

目次

1. 目的	1
2. 試験期間及び場所	1
3. 試験項目	1
4. 試験概要	2
5. 加力方法	5

東海第二発電所 ブローアウトパネル機能確認試験要領について

1. 目的

ブローアウトパネルの機能を確認するため、実機規模の試験体を用いた開放試験を行い、機能維持確認を実施する。

2. 試験期間

実施時期：平成 30 年 6 月 6 日（水）～15 日（金）（予定）

場 所：株式会社 根本鉄工所

茨城県ひたちなか市十三奉行 2076-2

3. 試験項目

（1）作動確認：ブローアウトパネルの開機能確認

（2）閉維持確認：ブローアウトパネルの耐震性能の確認

ブローアウトパネルとその取付枠、並びに新たに設計したクリップを設置した実機大のモックアップ試験体を製作し、設計作動圧の1psiで確実に開放されることを確認するため、油圧ジャッキを用いた加力による開放試験を実施する。さらに、本試験にて実測する開放に必要な荷重より、シーラ材とパネル下部の摩擦による抗力を求め、クリップの条件を必要に応じて最適化する。

上記で求めたクリップ条件によりのブローアウトパネルの耐震性能を確認する。

本試験での確認事項を以下に示す。

【作動確認】

- ①ブローアウトパネルの開放動作の確認
- ②ブローアウトパネルの開放荷重の確認
- ③クリップ脱落荷重の確認※
- ④シーラ材と下部摩擦の開放荷重に与える影響の確認

【閉維持確認】

- ①ブローアウトパネルがS d相当荷重で開放しないこと（パネルの荷重曲線より評価）

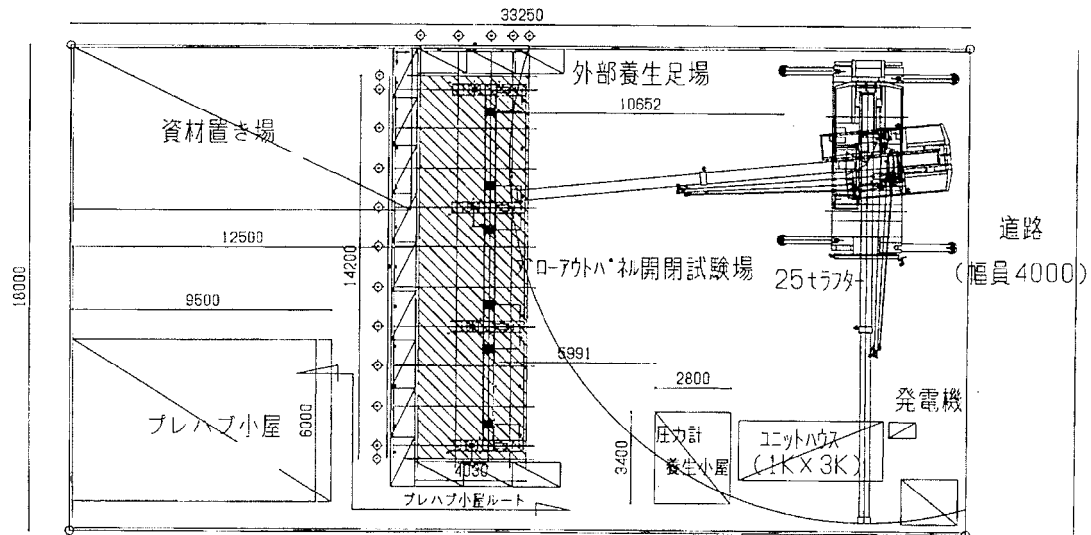
※クリップは取付部材（溝形鋼）に固定されているため、脱落はしないが、クリップがブローアウトパネルに取り付けられた山形鋼から完全に外れて荷重を負担しなくなった時点を脱落とし、クリップのひずみ計測などから判断する。



4. 試験概要

4.1 試験場所概要

モックアップ試験は、ブローアウトパネル及び取付け架台を試験場で作成し実施する。第1図に試験場の配置図を示す。



第1図 試験場配置図

4.2 試験装置概要

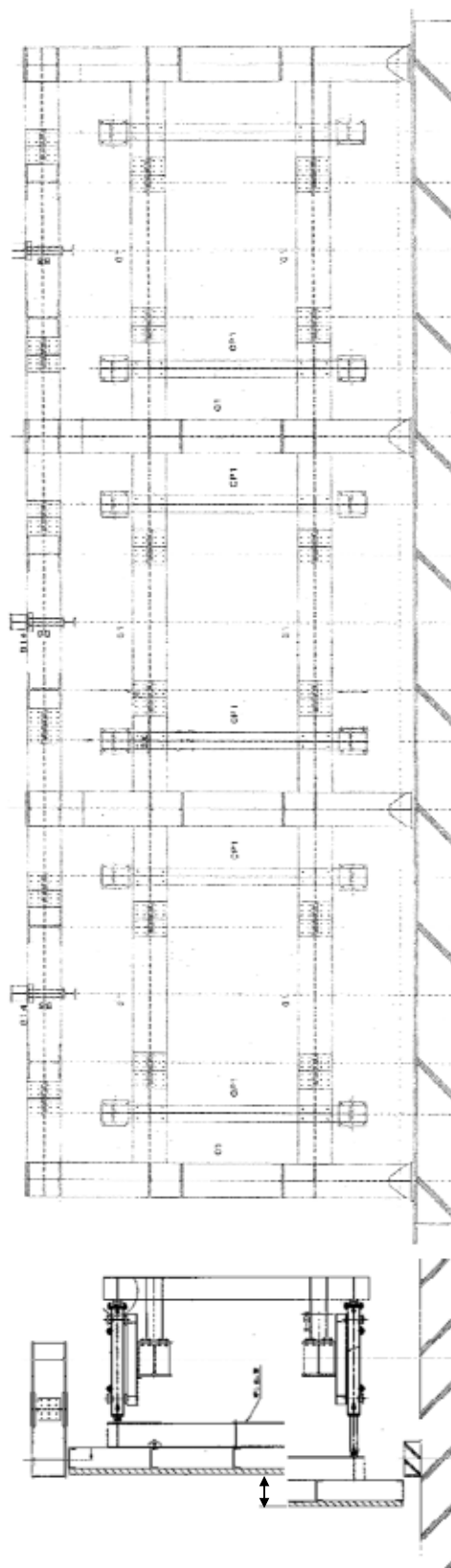
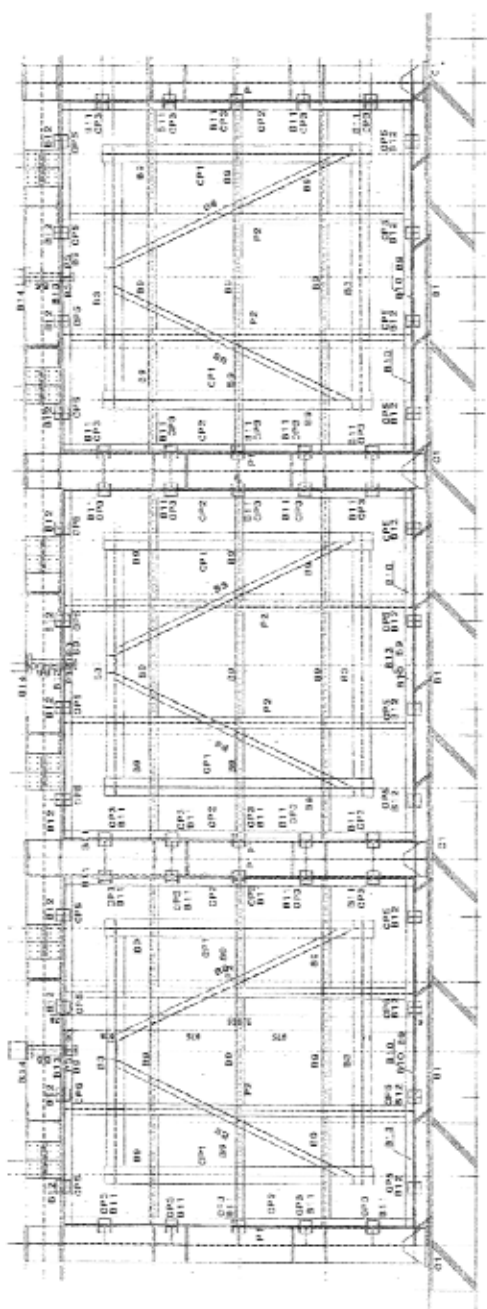
試験装置は、実機を模擬したブローアウトパネル、加力装置および躯体を再現するブローアウトパネル取付け部と加力装置取付け部を一体化した取付け架台で構成する。第2図に試験で使用するブローアウトパネル及び取付け架台の概略図を示す。

ブローアウトパネルは実機に取り付けられているブローアウトパネルのうち最大のものを模擬して実施する。サイズは約4m×約4m、重量は約2.0t※である。なお、試験体のブローアウトパネルは3体製作する。

取付け架台は四方が鉄筋コンクリート造の原子炉建屋開口部を再現する。パネルとの接触により摩擦の影響を強く受ける開口部下部のみ鉄筋コンクリート造とし、開口部の側面および上面側はH形鋼によって再現する。

試験体のブローアウトパネルは、脱落時の損傷等を防止するために、クレーンとワイヤにて落下を防止し、復旧による複数回の試験を実施可能とするものとする。

※ 本体：約1.8t、保温材及び外装板：約0.2t

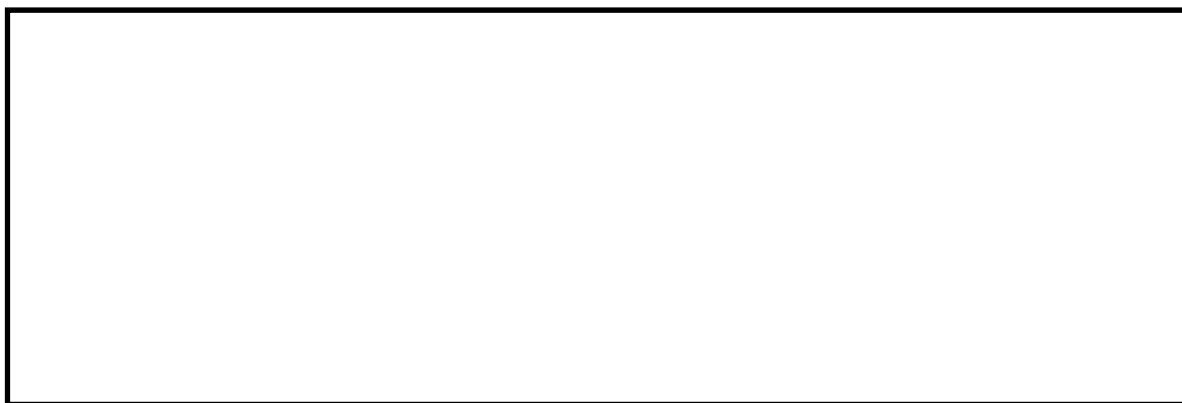


第2図 ブローアウトパネル及び取付け架台の概略図

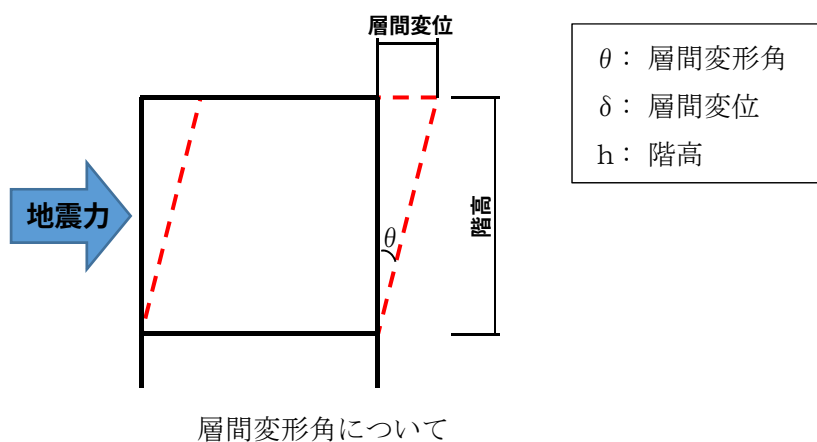
4.3 ブローアウトパネルの架台への取付け方法

ブローアウトパネルは、屋外側全周にシーリング材を施工する。シーリング材は、コニシボンド製「MSシーリング」とし、とする。ブローアウトパネルは、試験装置架台（実機では、躯体）に取り付けられた溝形鋼と、ブローアウトパネルに取り付けられた山形鋼をクリップで挟むことにより固定する。クリップを取り付が可能な箇所は、上下に各4箇所、左右に各5箇所の計18箇所とする。

クリップの形状および溝形鋼への取付け位置を第3図に示す。クリップの材質はとし、形状は図に示すように、アングル側のとし、溝形鋼の先端とのM6ボルトにより溝形鋼に取付ける。ここで、溝形鋼とのとしたのは、ブローアウトパネル設置階におけるS sに対する地震応答解析結果の層間変形角の最大値に十分な余裕を見込んだ層間変形角に対しても、アングル先端がクリップと干渉することを防ぐことを目的としている。



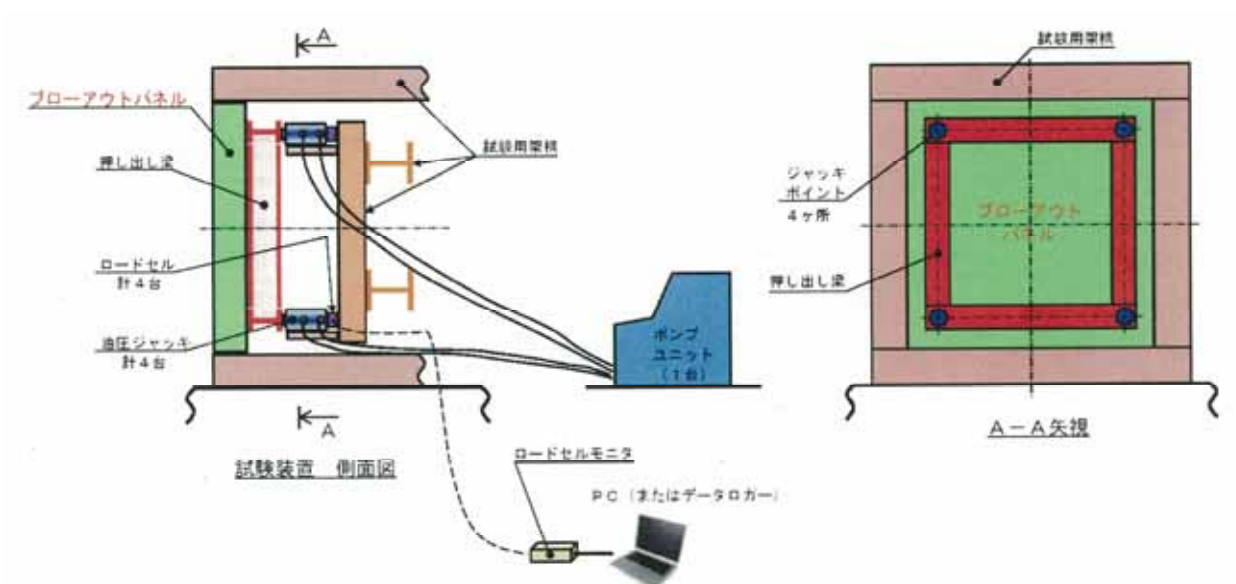
第3図 クリップ形状及び取付位置図



5. 加力方法

5.1 試験機器構成及び加力方法概要

本試験に使用する機器の配置及び構成の概念図を第4図に、試験用の架構の詳細を第5図に示す。



第4図 試験機器配置及び構成概念図



第5図 試験用架構詳細図

試験用架構にブローアウトパネル1面を取付する。当該パネルに「押し出し梁」を接触させ、その「押し出し梁」を4台の油圧ジャッキを使用して押し出すことにより、ブローアウトパネルを加力する。

「押し出し梁」はブローアウトパネルに対して独立しており、ブローアウトパネルの開放条件に影響を与えないものとする。

油圧ジャッキの反力は試験用架構で受ける構造とする。

また、各油圧ジャッキの反力側にはロードセルを取付し、各油圧ジャッキから試験体への負荷を測定するものとする。各ロードセルはロードセルモニタにて出力を抽出・変換し、それぞれの出力はP C（またはデータロガー等）で記録するものとする。

試験体は既設仕様に合わせて3体製作する。試験体仕様を第1表に示す。

第1表 試験体仕様（試験体1～3）

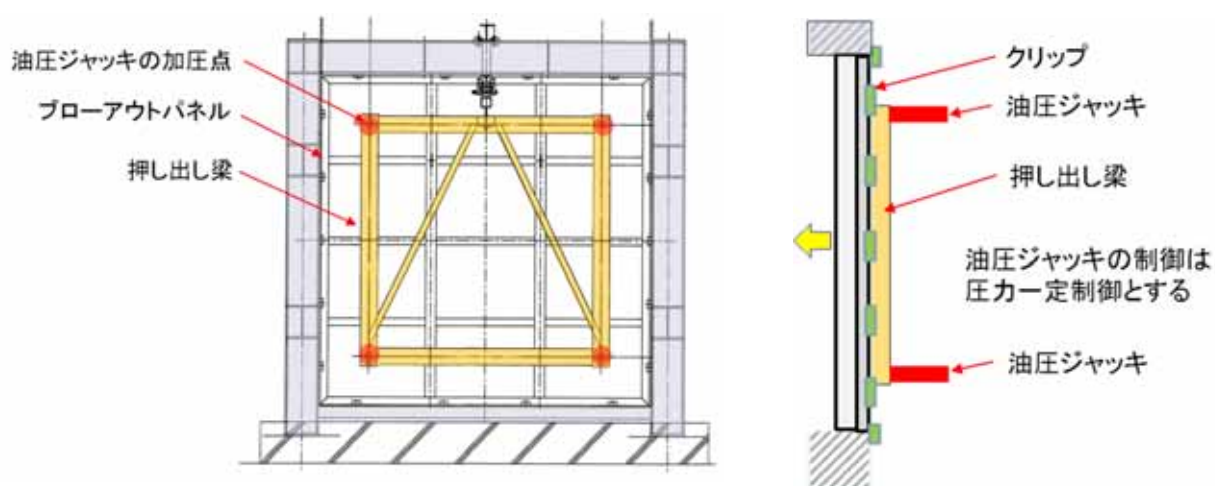
製 造	清水建設株式会社（株式会社根本鉄工）
型 式	既存パネル模擬
概算質量	2,000kg
数量	各1面
サイズ	幅 3,965 mm×高さ 3,966 mm
クリップ取付箇所	18箇所（既設設置位置と同様）※
シール材	シリコンシーラント

※ クリップ個数及び形状は、試験体により変更する場合有り。

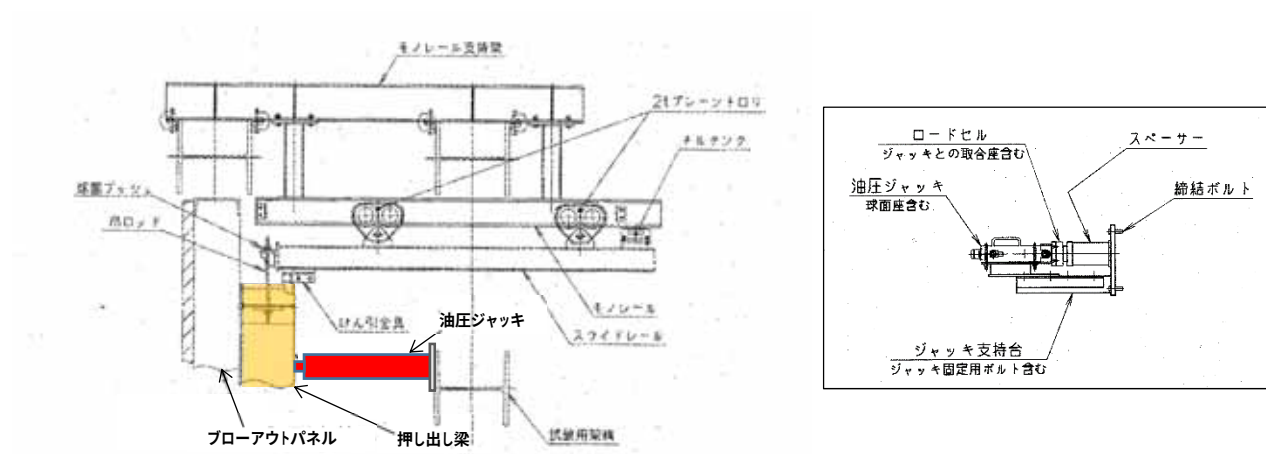
5.2 加力仕様

ブローアウトパネルを押し出し梁を介して加力するために、100kN複動型油圧ジャッキ4台を使用する。ジャッキは1台のポンプユニットから加圧する。当該ポンプユニットは、4台のジャッキへの吐出油圧を一定とすることで、一定の加重にて作動を制御する。

加力方法概要図を第6図に、押し出し梁の支持装置を第7図に示す。油圧ジャッキ及びポンプユニットの仕様を第2表、及び第3表に示す。



第6図 加力方法概要図



第7図 押し出し梁と支持装置の概要図

第2表 油圧ジャッキ仕様

製造メーカー	オックスジャッキ株式会社
型 式	RM-1020
能力(1台あたり)	100kN
使用数量	4台
ストローク(最大)	200mm
伸長速度(理論値)	51.8 mm/s (50Hz 時)

第3表 ポンプユニット仕様

製造メーカー	オックスジャッキ株式会社
型 式	4LH-7.5P
吐出量	6.1ℓ/min (50Hz時)
使用数量	1台
電 源	AC200V
電動機	7.5×4kW
質 量	約2,100kg

5.3 試験方法

(1) 試験手順

モックアップ試験は3ケース実施し、試験パラメータはクリップの配置（クリップを取付ける個数）とする。試験ケースを第4表に示す。

試験体1のクリップ配置は、上が4個、下と左右が各2個とする。これは、現状で予想されるシールの抗力とパネル下部の摩擦、クリップ1個あたりの耐力から、Sd地震時には開放せず、かつ、設定差圧の1psiにて確実に開放するように設計された配置である。下側のクリップについては、摩擦による抗力分とほぼ同等となるようにクリップを2個減らしている。なお、この試験体1のクリップ配置については、モックアップ試験に先立ち実施される予定のクリップ耐力試験の結果を踏まえて見直しを実施する。試験体1のクリップ取付位置を第8-1図に示す。

試験体2は、試験体1の結果を反映し、より最適化した開放荷重を得ることを目的とする。試験体1で所定の荷重以下での開放動作の機能が確認できた場合は、試験体2は同条件にて再現性を確認するものとする。

開放機能が確認できなかった場合は、試験体1のクリップ数を減して開放荷重の調整を図り試験を実施する。（クリップ数減の場合は、荷重の均一化の観点より左右のクリップ各1を減とする）試験体2のクリップ取付位置（案）を第8-2図に示す。

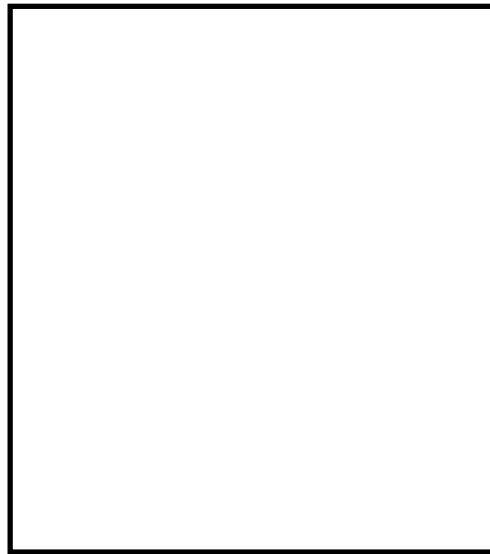
実機では、これら2ケースの試験結果より、試験体1または試験体2の何れかのクリップ配置を採用することとし、設計の妥当性を確認する。

試験体3は、試験体2で所定の荷重以下での開放動作の機能が確認できた場合に、試験体2と同条件にて再現性を確認するものとする。

試験体1～3は、落下防止の目的でワイヤとクレーンを準備することから、必要に応じて復旧し再試験が可能な状態を保つこととする。

第4表 試験ケース

	クリップの配置及び個数				クリップ形状、取付寸法			備考
	上	下	左	右	幅	内寸法	掛かり代	
試験体1								
試験体2	試験体1と同条件							試験体1で機能確認の場合
	試験体1の条件を踏まえ設定							試験体1で機能確認できない場合
試験体3	試験体2と同条件							



○ : クリップ取付位置

第8-1図 クリップ配置図 (ケース1)



○ : クリップ取付位置

第8-2図 クリップ配置図 (案) (ケース2)

5.4 測定内容及び方法

(1) 測定内容

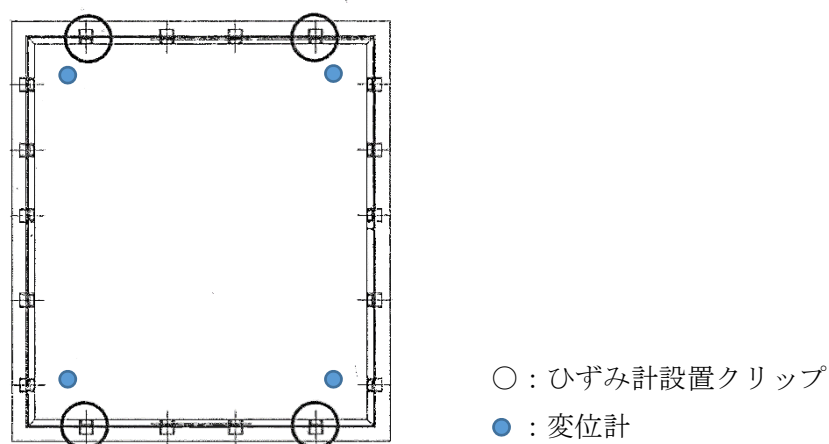
各油圧ジャッキ負荷，変位

(2) 測定方法

各油圧ジャッキに1台ずつ配置したロードセルを使用する。その他の測定項目と連動し，時刻歴測定とする。

計測項目は，ジャッキによる加力荷重4点（上記，荷重計より取得），ブローアウトパネルの変位4点（加力位置近傍の変位），クリップのひずみ4点（上下の両側，第9図参照），ならびに試験時の開放状況を動画撮影する。荷重，変位及び，ひずみ計測の機器構成を第10図に示す。加力が短時間で終了する試験のため，動的な計測システムを用い，サンプリング時間は0.005sec程度とする。

第5表に計測機器等仕様を示す。ただし，今後の詳細検討及び事前の作動確認状況等により，必要に応じ変更の場合が有り。

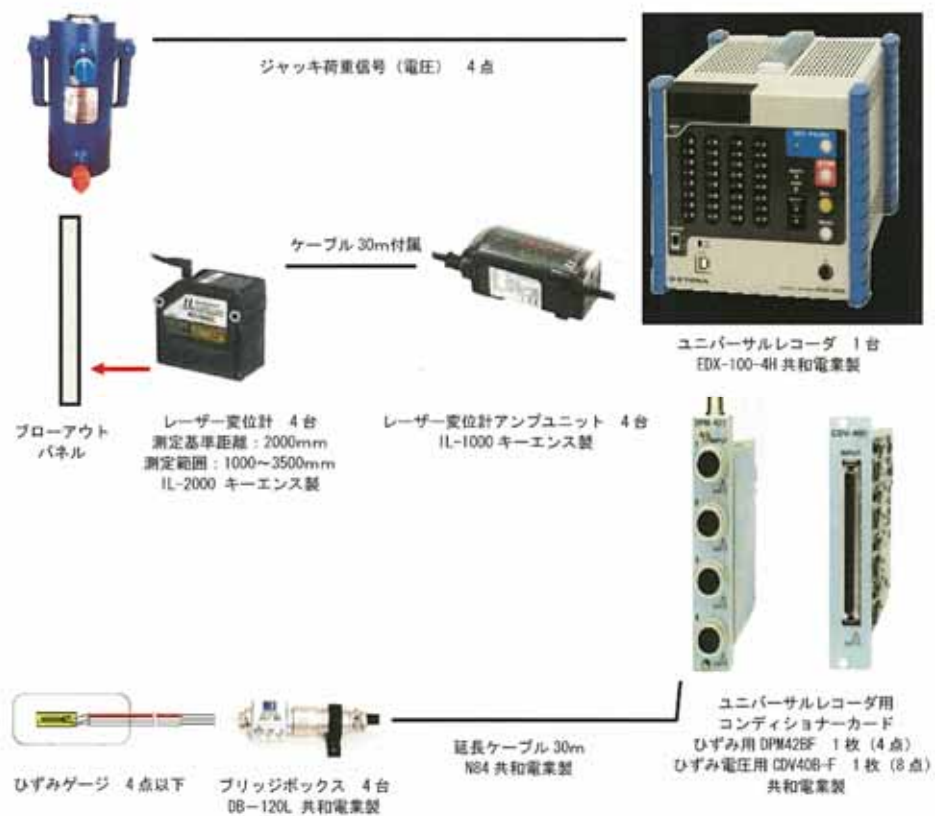


第9図 計測器取付位置図

第5表 計測機器等仕様（又は相当品）

No.	機器名	員数	メーカー	型番
1	電動ポンプユニット	1台	オックスジャッキ	4LH-7.5P
2	複動型油圧ジャッキ	4台	オックスジャッキ	RM-1020
3	薄型圧縮型ロードセル	4台	共和電業	LCK-A-100KN
4	レーザ変位計	4台	キーエンス	IL-2000, 1000
5	動ひずみ測定器	4台	共和電業	DPM-911B
6	ユニバーサルレコーダ	1台	共和電業	EDX-100A-4H
7	コンディショナカード	1台	共和電業	CDV-40B-F
8	ノートパソコン	1台	-	-

ケーブル等の付属品は省略



※上記の他、パソコン1台と収録ソフト（DCS-100A共和電業製）を準備

第10図 計測システム構成

(3) 確認項目

開放試験における確認項目を以下に示すとともに、ブローアウトパネルの開放時の荷重と変位及び他の抗力との関係を第11図に示す。

開放試験にて得られる記録値とこの関係から、ブローアウトパネルの耐震性能を確認する。

- ・ ジャッキ荷重 — 変位関係（グラフ）
- ・ ブローアウトパネルの開放荷重
- ・ クリップの脱落時荷重
- ・ シール材の抗力と下部の摩擦

本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

資料番号	TK-1-703 改 1
提出年月日	平成 30 年 5 月 31 日

東海第二発電所

ブローアウトパネル閉止装置 機能確認試験要領書

日本原子力発電株式会社

平成 30 年 5 月

目次

1. 目的	1
2. 試験期間及び場所	1
3. 試験項目	1
4. 加振試験について	2
5. 作動試験について	11
6. 気密性能試験について	11

1. 目的

ブローアウトパネル閉止装置（以下、「閉止装置」という。）の機能を確認するため、実機規模の試験体を用いた加振試験を行い、重大事故等時における閉止装置の機能維持確認を実施する。

2. 試験期間

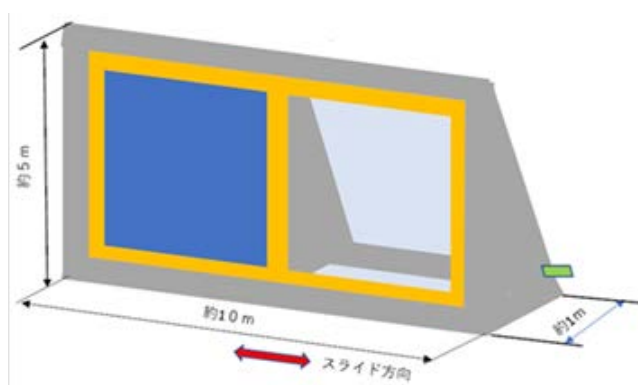
実施時期：平成 30 年 6 月 18 日（月）～22 日（金）（予定）

場 所：国立研究開発法人 防災科学研究所 兵庫耐震工学研究センター
兵庫県三木市志染町三津田西亀屋 1501-21

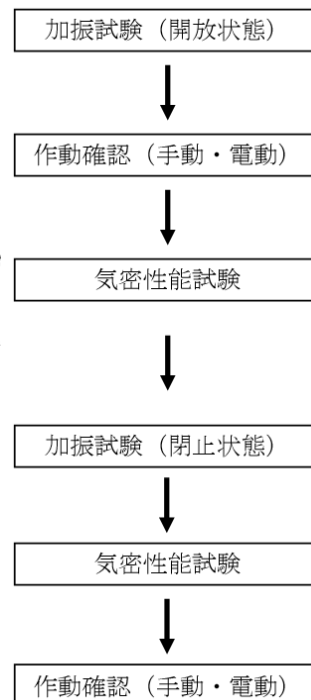
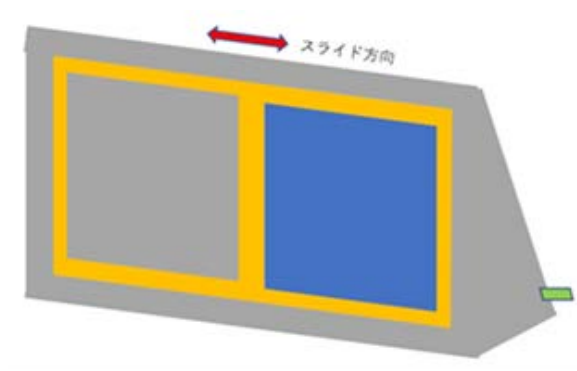
3. 試験項目

- ①加振試験：閉止装置の耐震性能の確認
- ②作動確認：閉止装置の開閉機能確認
- ③気密性能試験：気密性能の確認

【扉開放状態】



【扉閉止状態】



第 1 図 試験治具概念図

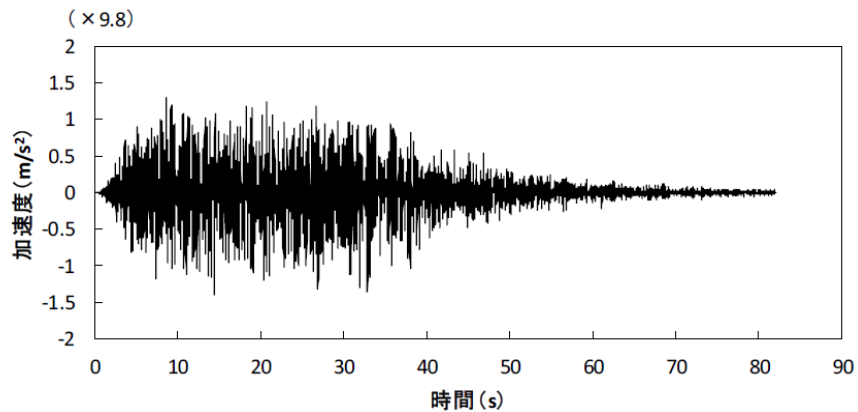
4. 加振試験について

4. 1 加振試験要領

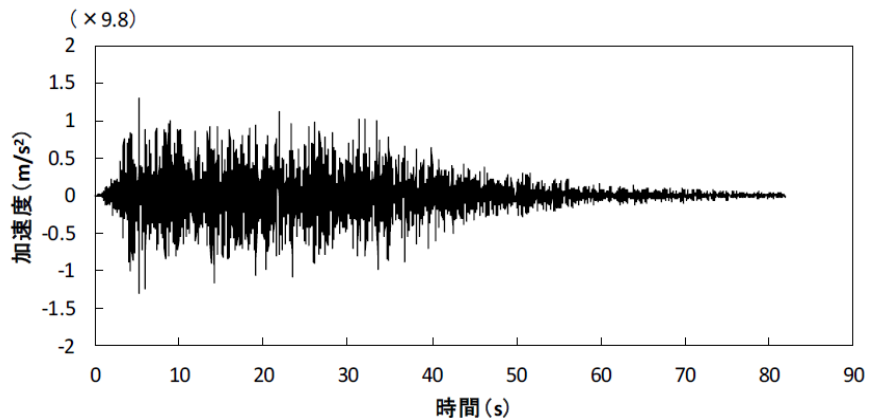
加振試験用の模擬地震波は以下のとおりとする。

- ・閉止装置の設置高さより上方の原子炉建屋 EL. 63. 65m
- ・基準地震動 S_s 8 波及び建屋影響評価で考慮するばらつきケースを包絡
- ・加振目標の包絡スペクトルは減衰定数 1. 0%で設定

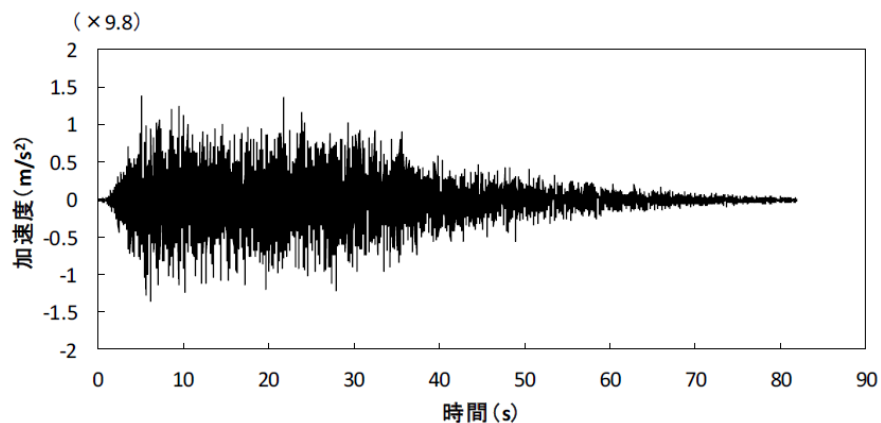
第 2 図，第 3 図に，模擬地震波の時刻歴波形，床応答スペクトルを示す。



(1) 水平 (N S) 方向



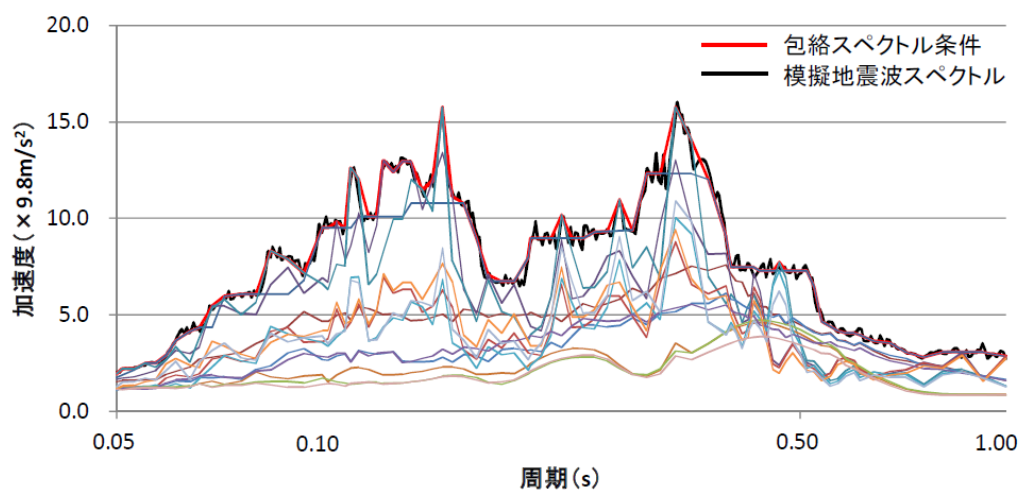
(2) 水平 (E W) 方向



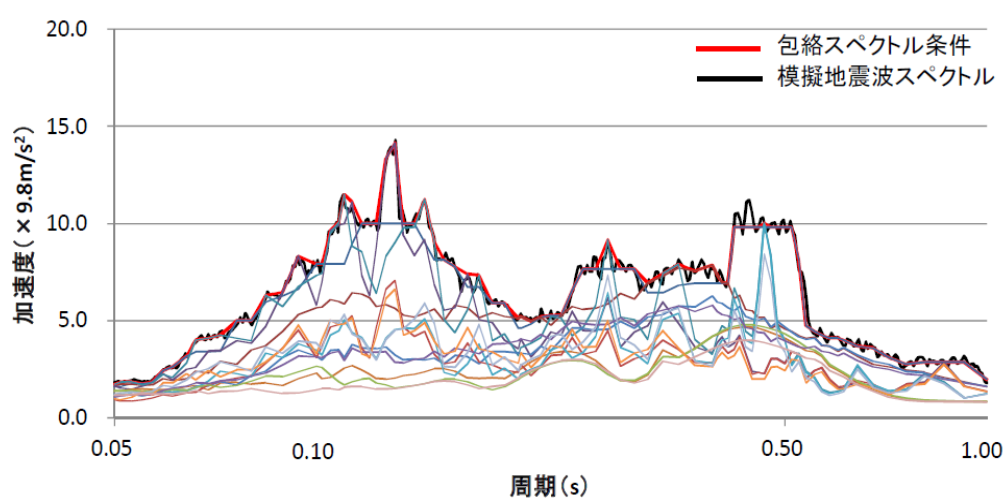
(3) 鉛直方向

第 2 図 模擬地震波の時刻歴波形

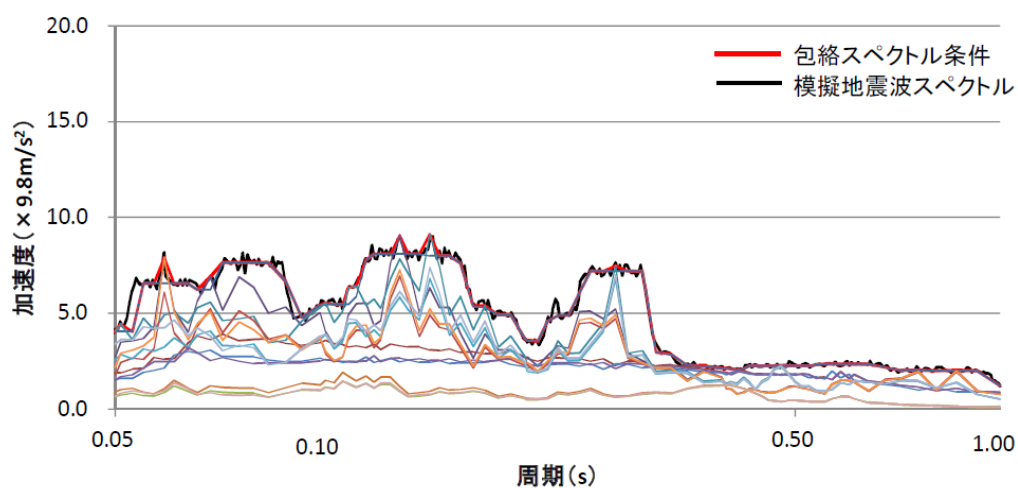
※ 複数の基準地震動 S_s の床応答スペクトルを包絡する模擬地震波。4Hz 以下の低振動数成分を漸減していくハイパスフィルタ処理を実施。



(1) 水平 (NS) 方向



(2) 水平 (EW) 方向



(3) 鉛直方向

第 3 図 模擬地震波の床応答スペクトル (減衰定数 1%)

※ 複数の基準地震動 S_s の床応答スペクトルを包絡する模擬地震波。

4. 2 加振試験項目及び内容

(1) 振動台補償加振

目標とする入力波を精度よく振動台で再現するための振動台補償加振を行う。本試験は、試験体を振動台に搭載しない条件で行う。

(2) センサ確認試験

センサの取付方向、感度確認を行うために、各方向単独で正弦波加振を行う。

(3) 振動特性把握試験

試験体の振動特性を把握するため、0.1Hz～30Hz 程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波による加振試験を行う。加振方向は各方向単独とし、扉の開状態及び閉状態の振動特性を確認する。なお、試験体の固有振動数が高い場合は、入力波の主要な振動数成分の範囲に固有振動数がないことを確認する。

(4) 地震波加振試験

加振レベルは4段階に分けて振動台の加振性能限界まで漸増させていく。加振方向は3方向同時とし、閉止装置の開状態、閉状態のそれぞれで実施する。

試験ケースを第1表に示す。

第1表 試験ケース一覧

No	試験項目	試験体条件	加振方向	加振波	加振レベル	備考
—	振動台補償加振	—	X+Y+Z	—	—	—
1	センサ確認試験	扉閉	X	正弦波	0.5m/s ² 程度	1～2Hz で 実施
2			Y			
3			Z			
4	振動特性把握試験	扉閉	X	ランダム波 ※1	2.0m/s ² 程度	—
5			Y			
6			Z			
7		扉開	X	ランダム波 ※1	2.0m/s ² 程度	—
8			Y			
9			Z			
10	地震波加振	扉開	X+Y+Z	包絡波 ※2	0.3×S _s	レベル1
11					0.6×S _s	レベル2
12					1.0×S _s	レベル3
13					振動台性能限界	レベル4
14		扉閉	X+Y+Z	包絡波 ※2	0.3×S _s	レベル1
15					0.6×S _s	レベル2
16					1.0×S _s	レベル3
17					振動台性能限界	レベル4

※1 0.1Hz～30Hz 程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波で加振を行う。

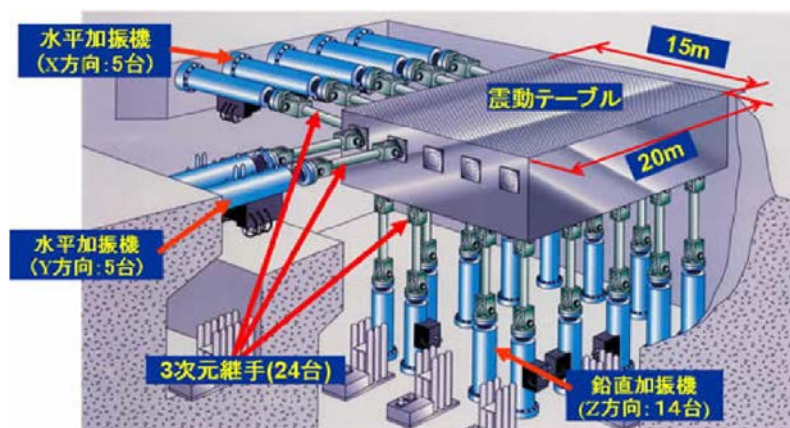
※2 方向毎に複数の基準地震動 S_s の床応答スペクトルを包絡する模擬地震波を作成して加振する。

4. 3 三次元振動台の概要

振動台の上に試験体を設置し，水平方向と鉛直方向を同時に加振する。第2表に振動台の仕様，第4図に三次元振動台の概要図及び第5図に試験体の鳥瞰図を示す。

第2表 三次元振動台の仕様

加振自由度	3軸6自由度		
振動台寸法	20m×15m		
最大積載重量	1200 t f		
加振方向	X方向	Y方向	Z方向
最大加速度	900cm/s ²	900cm/s ²	1500cm/s ²
最大速度	200cm/s	200cm/s	70cm/s
最大変位	±100cm	±100cm	±50cm



第4図 三次元振動台の概要図



第5図 試験体の鳥瞰図

4. 4 計測要領

(1) 計測項目

試験体の代表的挙動を評価するための項目を計測する。計測項目を第3表に示す。

第3表 計測項目

項目	計測点
加速度	・ 振動台 ・ 支持架台 ・ 扉 ・ 駆動装置
ひずみ	・ プッシュローラ（開閉時に扉を抑える部位）

(2) 計測位置

計測点は、試験体の代表的な挙動を評価する位置に設置する。第4表に計測項目の一覧表を示す。

① 加速度

第6図に加速度計の設置位置を示す。

② ひずみ

第7図にひずみゲージの設置位置を示す。扉の開時、閉時において扉を抑える荷重が発生するプッシュローラを代表位置として加振試験時のひずみを計測する。ただし今後の詳細検討、試験時の状況判断により、計測位置の見直し、追加の可能性がある。

③ その他

加速度、ひずみ以外に、加振試験時や扉の開閉動作の記録のため、動画撮影を実施する。なお、必要に応じ試験場に備え付けられているカメラも活用する。

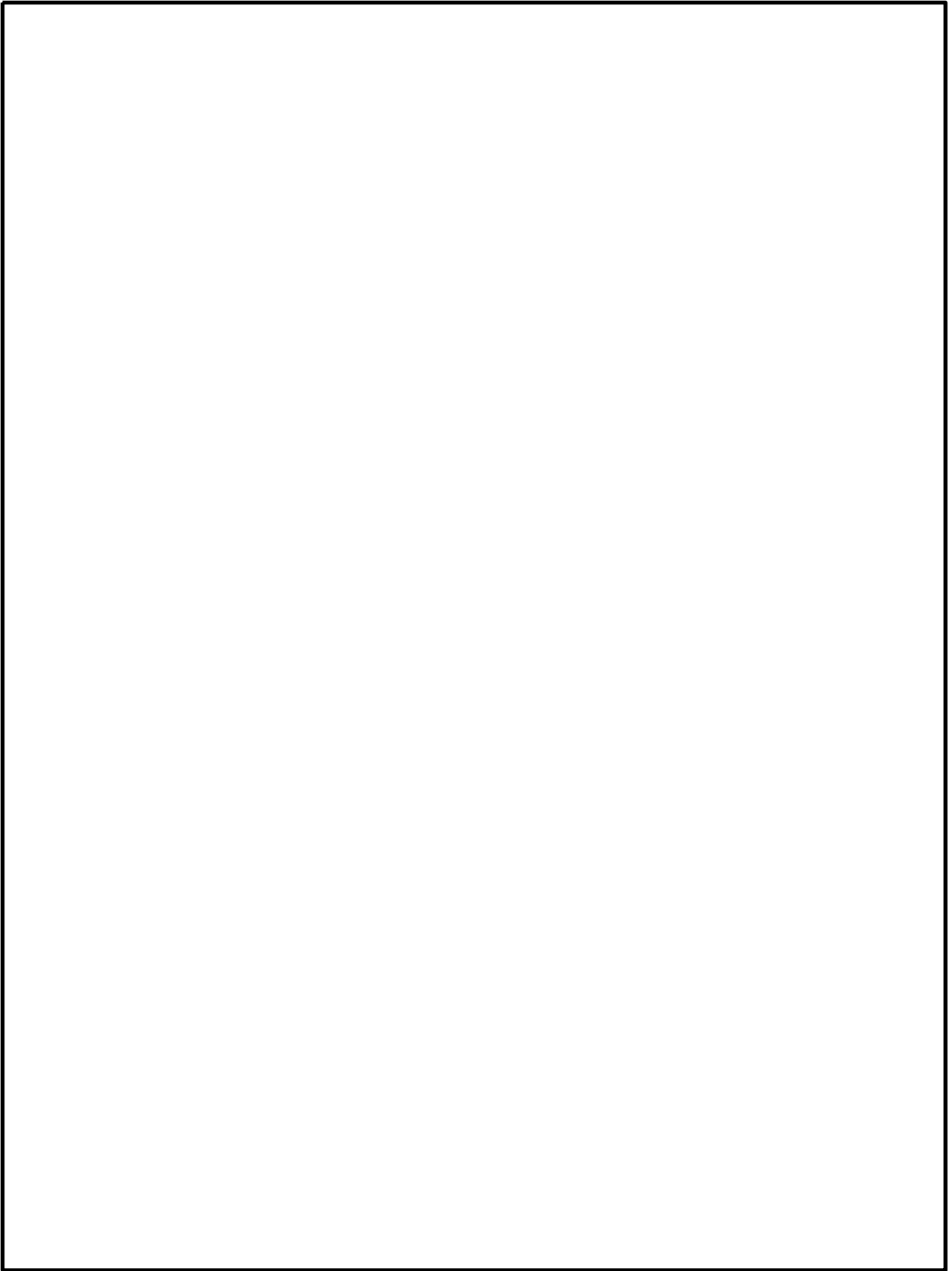
- ・ 試験体全景： 振動台外から、試験体全景を撮影
- ・ 扉近傍： 振動台または支持架台上から、レール、プッシュローラ付近を撮影

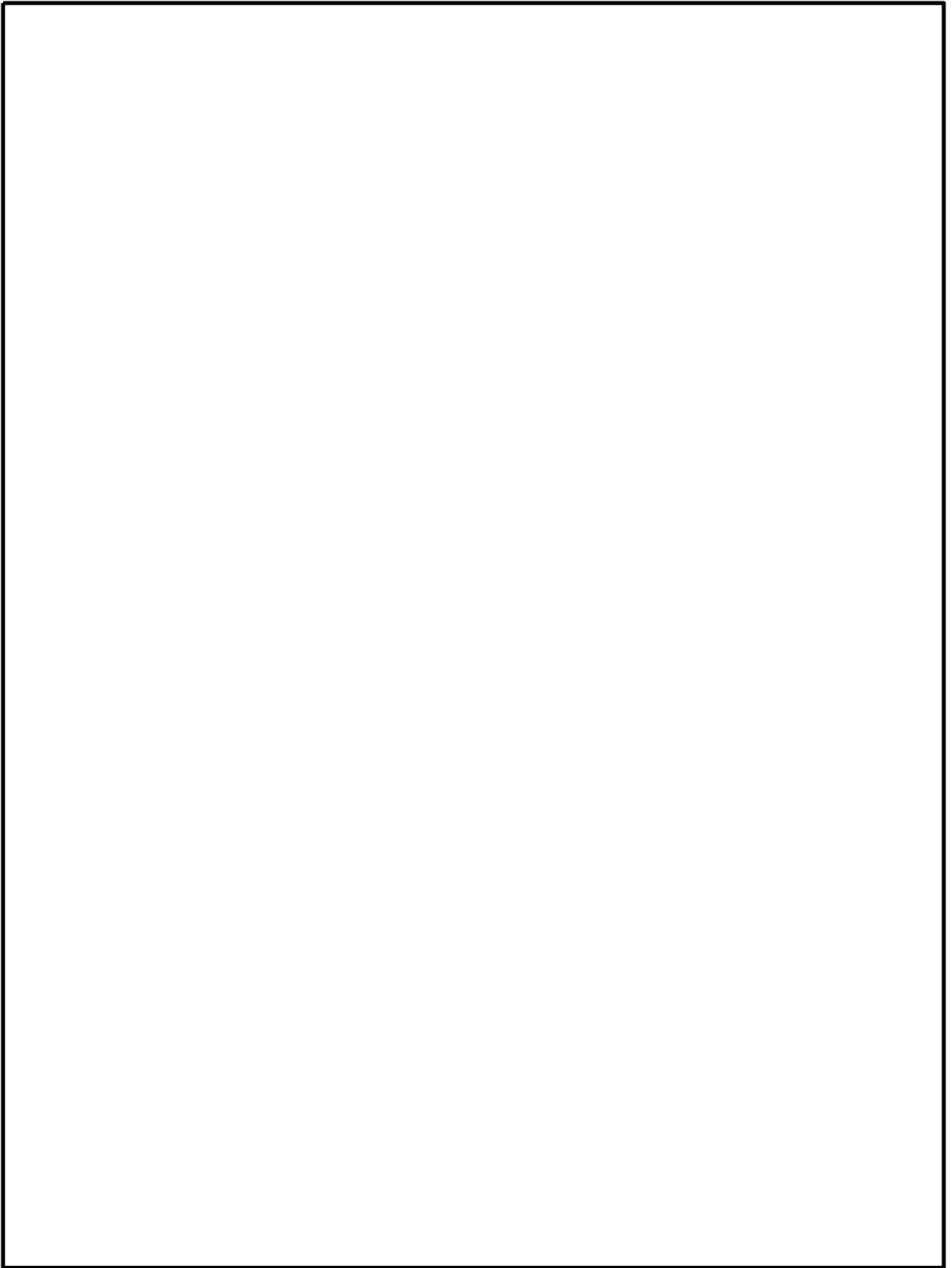
第4表 計測項目

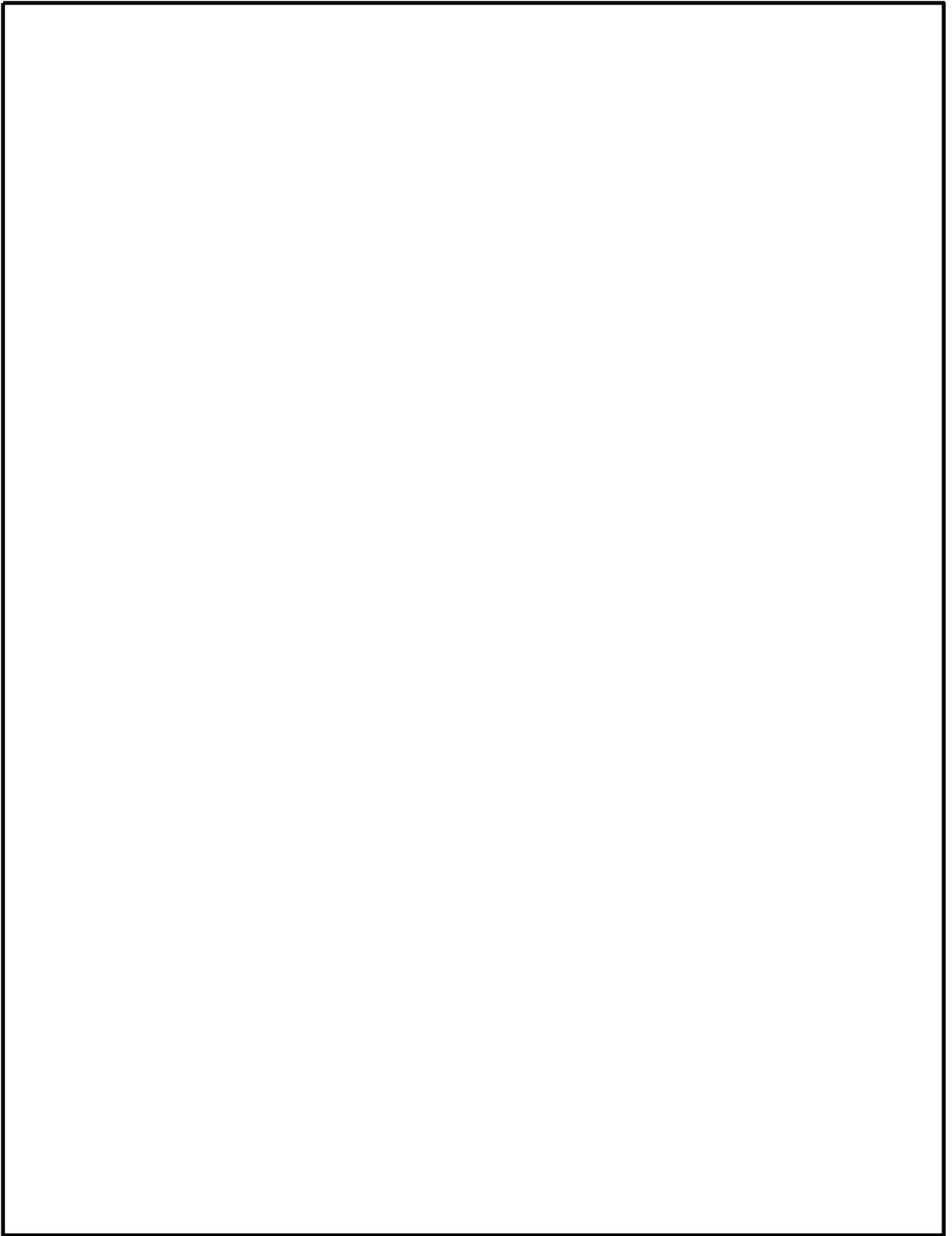
No	項目	記号	測定点	方向	備考	
1	加速度	A1	振動台	X	・振動台上加速度を計測 ・計画条件の範囲内で加振試験が実施されたことの確認が目的	
2				Y		
3				Z		
4		A2		X		
5				Y		
6				Z		
7		A3	扉上部(閉時)	X	・閉時, 開時の扉上部の支持架台に設置 ・閉時, 開時の閉止装置の機能維持確認 加速度の計測が目的 ・支持架台の振動特性確認も兼ねる	
8				Y		
9				Z		
10		A4	扉上部(開時)	X		
11				Y		
12				Z		
13		A5	駆動装置本体	X	・駆動装置単体の機能維持確認加速度の計測が目的 ・駆動装置の振動特性確認も兼ねる	
14				Y		
15				Z		
16		A6	駆動装置の取付位置	X		
17				Y		
18				Z		
19		A7	扉の中央部	X	・扉の振動特性確認が目的 ・振動特性把握試験時に設置※ ¹	
20				Y		
21				Z		
22	A8	扉の中央部	X	・地震波加振, 扉閉, レベル 3 または 4 (第 1 表の No. 16 または 17) のケース で扉 3 箇所に設置※ ¹		
20	A9	扉の中央部	X			
21	A10	扉の中央部	X			
22	ひずみ	S1	プッシュローラ (扉閉時)※ ²	—	・扉の開放状態及び閉止状態での加振試験時に代表位置として, ひずみの計測が目的	
24		S2				
25		S3	プッシュローラ (扉開時)※ ²			
26		S4				

※1 扉の開閉による作動性能の確認の際にケーブルが試験体や他センサと干渉する恐れがあるため, 代表試験ケースのみでの計測とする。

※2 開時、閉時において扉を抑える荷重がプッシュローラに発生するため代表位置とする。なお, 支持部材の形状により, 測定位置が変更になる可能性がある。







5. 作動確認について

5. 1 作動確認項目及び内容

(1) 電動作動確認

電動駆動により閉止装置が開閉できることを確認する。
起動電流及び開閉時間の測定を実施する。

(2) 手動作動確認

手動操作により閉止装置が開閉できることを確認する。

5. 2 判定基準

(1) 電動作動確認

電動駆動により開閉できること。
開閉時間：2分以内（参考値）

(2) 手動作動確認

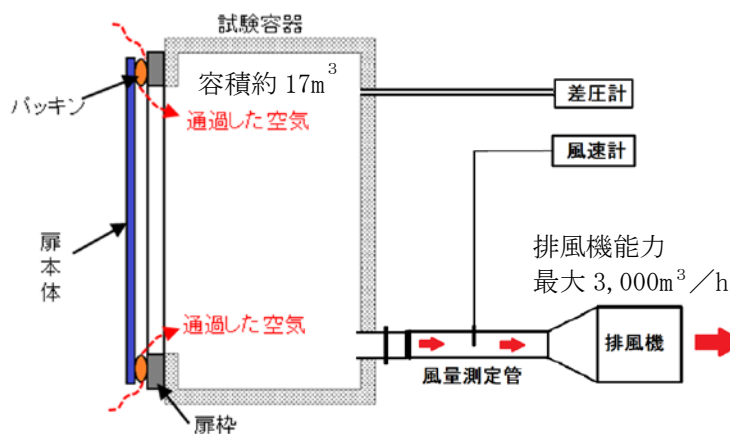
手動操作により開閉できること。

6. 気密性能試験について

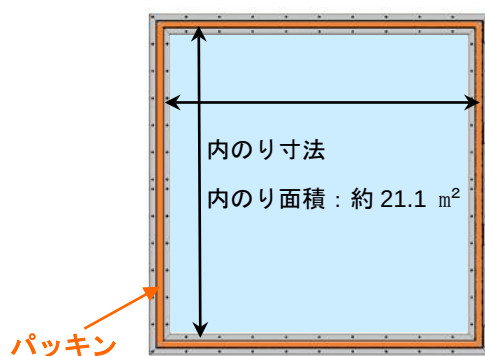
6. 1 気密性能試験の内容

A S T M E283-4 (Standard Test Method for Determining Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors Under Specified Pressure Differences Across the Specimen) に準じた装置を用いて実施する。排風機により試験容器内の空気を排出することにより試験体前後に圧力差を生じさせ、試験体のシール部から試験容器へ流入する通気量を測定する。

第8図に気密性能試験装置図、第9図に試験体の内のり寸法図を示す。

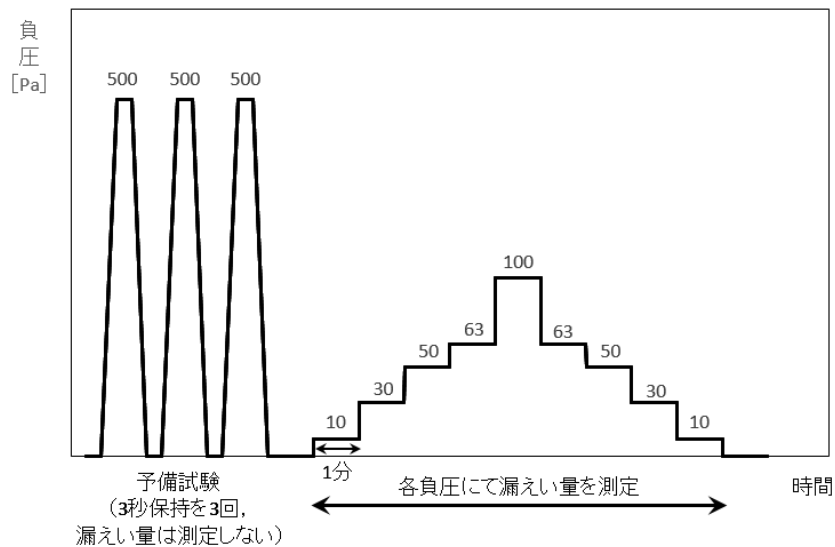


第8図 気密性能試験装置図



第9図 試験体の内のり寸法図

試験手順は、J I S A 1516（建具の気密性試験方法）6.3 試験手順に準じて、負圧での圧力差 10Pa, 30Pa, 50Pa, 63Pa, 100Pa と上げ、63Pa, 50Pa, 30Pa, 10Pa と下げていく（保持時間 1 分）。通気方向は 1 方向（負圧）とする。（第 10 図 負圧試験線図）



第 10 図 負圧試験線図

試験により得られた試験体を通過した空気量 Q (m^3/h) を、標準状態 (20°C , $1,013 \text{ hPa}$) に換算し、扉の内法面積 (m^2) で除すことにより、単位面積当たり、1 時間当たりの通気量 ($\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$) として算出する。圧力差に応じた通気量の推移を確認する。

$$q = Q / A$$

q : 通気量 ($\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$)

Q : 通過した空気量 (20°C , $1,013\text{hPa}$ 換算値) (m^3/h)

A : 試験体の内側の面積 (m^2)

6. 2 判定基準

通気量 : 以下 ※（差圧 63Pa 時）

※ 閉止装置単体の判定基準（設計目標）としては、J I S A 1516 で示される A4 等級以上とする。なお、原子炉建屋原子炉棟全体としての気密性能は確保できることを確認する。試験体は、実機に取り付ける全ての閉止装置を考慮し、各々の縦・横寸法を包絡する大きさとで製作することにより試験の保守性を考慮する。

第 11 図 試験工程 ※1

項目	6/15(金)		6/16(土)		6/17(日)		6/18(月)		6/19(火)		6/20(水)		6/21(木)		6/22(金)	
	AM※3	PM※3	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
振動台補償加振																
センサ確認試験 3 方向 (扉開)																
振動特性把握試験 3 方向 (扉開)																
振動特性把握試験 3 方向 (扉開)																
地震波加振 (扉開) レベル 1 (0.3×S _s)																
地震波加振 (扉開) レベル 2 (0.6×S _s)																
地震波加振 (扉開) レベル 3 (1.0×S _s) ※2																
地震波加振 (扉開) レベル 1 (0.3×S _s)																
地震波加振 (扉開) レベル 3 (1.0×S _s) ※2																
地震波加振 (扉開) レベル 2 (0.6×S _s)																
地震波加振 (扉開) レベル 3 (1.0×S _s) ※2																
地震波加振 (扉開) レベル 4 (性能限界) ※2																
地震波加振 (扉開) レベル 4 (性能限界) ※2																

振動台への試験体の据付け
試験体へのセンサ等計測器類の取付け
初期状態の気密性能試験
等の作業

予備日

※1 試験場との調整により変更となる場合もある。
 ※2 地震波加振のうちレベル 3，4 の加振後に，健全性確認試験（作動確認試験，気密性能試験）を実施する。
 ※3 AMは，10:00～12:00 PMは，13:30～18:00 を想定している。

第 12 図 使用計測器一覧表 (1/2)

No.	用途	計測器名称	メーカー (型式)	仕 様
1	絶縁抵抗測定	絶縁抵抗計	sanwa (PDM508S)	定格測定電圧 (V/MΩ) : 500/100 精度 : 第一有効測定範囲 (指示値の±5%以内) 第二有効測定範囲 (指示値の±10%以内)
2	動作試験 (モータ電流値測定)	デジタルクランプ メータ	HIOKI (3282)	交流電流 (A) : レンジ 30A, 300A, 600A 精度 : 30A (40~1kHz : ±1%rdg±0.7%fs) 300A/600A (45~60Hz : ±1.0%rdg±5dgt, 40~45Hz : ±1.5%rdg±5dgt 66~1kHz : ±1.5%rdg±5dgt
3	動作試験 (扉開閉速度測定)	ストップウォッチ	SEIKO (S34-4000)	時間精度 : ±0.0012% (月差±30 秒以内)
4	気密性能試験	熱式風速計	日本カノマックス㈱ (6141)	3 レンジ : 0~1m/s (50 等分目盛。最少読取値 0.02m/s) 0~10m/s (50 等分目盛。最少読取値 0.2m/s) 0~50m/s (50 等分目盛。最少読取値 1m/s) 精度 : 各レンジのメータフルスケールの±2%
5		デジタル圧力計 (差圧計)	㈱サヤマ (マノエース 230-8110HP-B)	圧力レンジ : 0~110kPa, 200kPa, 700kPa 最大表示 : 700kPa 精度 : ±0.35%fs±1dgt
6		ガラス製単管温度計	日本計量器工業㈱ (DF-201)	範囲 : -20℃~50℃以下 目盛 : 1℃

第 12 図 使用計測器一覧表 (2/2)

No.	用途	計測器名称	メーカー (型式)	仕 様
7	加振試験	加速度計	株式会社共和電業 (AS-5GB、AS-10GB)	定格容量 AS-5GB : $\pm 49.03\text{m/s}^2$ AS-10GB : $\pm 98.07\text{m/s}^2$ 精度 (非直線性/ヒステリシス) : $\pm 1.0\%R0$ 以内 ※R0 (Rated Output) : 定格出力
8		ひずみゲージ	株式会社共和電業 (KFG-2-120-C1-11)	ひずみ限界 : 約 5% (常温) 誤差 : 最大 10% (ひずみ限界条件における最大誤差)

参考資料 1

「J I S A 1516 建具の気密性試験方法」抜粋

6.3 試験手順 試験は、図 2 に示す手順に従って行う。

- a) 予備加圧 試験に先立ち試験圧力 $P_{\max}$ (1) より 10 % 以上大きい圧力差を 3 秒以上保持し、3 回加える。ただし、その圧力差は 500 Pa 以上とする。

なお、圧力を変化させる時間は、1 秒以上とする。

- b) 開閉確認 戸の開閉繰返しを 5 回行い、その後施錠する。

- c) 加圧 加圧は、図 2 に示す試験手順に従い、正圧のもとで各段階ごとに最低 10 秒以上保持しながら、この試験で要求されている最高圧まで昇圧する。

なお、試験における圧力差の段階は、10, 30, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500 及び 600 Pa とし (図 2), $P_{\max}$ が 600 Pa を超える場合は、100 Pa を超えない範囲の段階で圧力差を増加する (図 3)。この圧力差は、降圧にも適用する。

- d) 測定 個々の圧力差ごとに流量が定常になったときの流量を測定する。

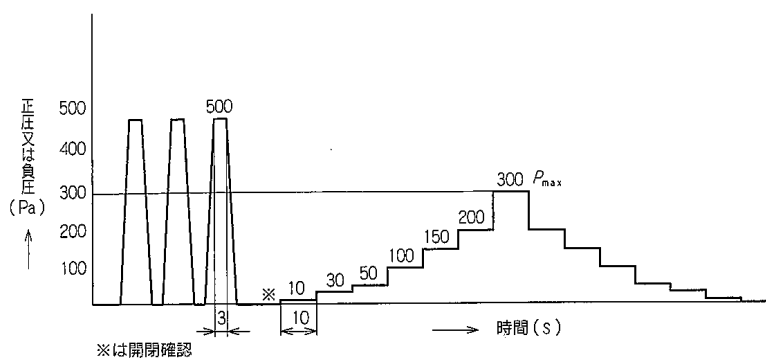


図 2 加圧線図 ($P_{\max}$ が 600 Pa 以下の例)

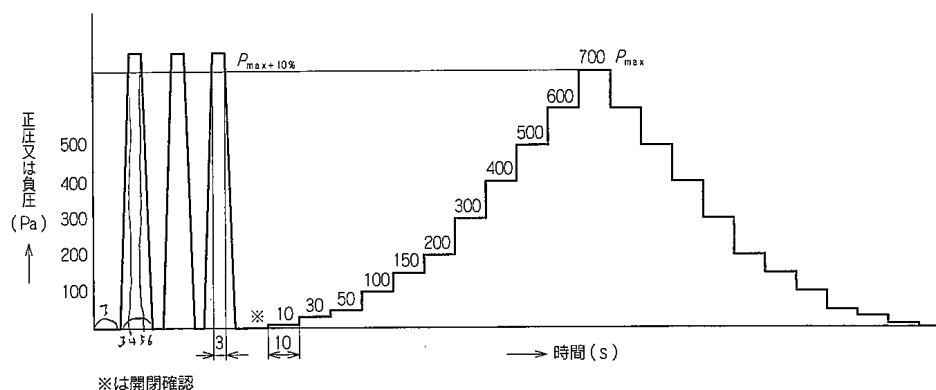


図 3 加圧線図 ($P_{\max}$ が 600 Pa を超える例)

7. 試験結果の記録

7.1 通気量の表し方 通気量は、次のいずれか一つで表す。

- 建具面積の平方メートル当たり
- 可動部の平方メートル当たり
- すき間長さメートル当たり

7.2 通気量の算出 通気量は、それぞれの加圧時での通気面積 1 m²当たり (又は、すき間長さ 1 m 当たり)、1 時間当たりの流量で表し、JIS A 1513の5.で規定する基準状態の値に次の式を用いて換算する。

なお、換算結果は JIS Z 8401によって丸めて表す。

・ 通気面積当たりの換算式

$$q = \frac{Q}{A} \cdot \frac{P_1 \cdot T_0}{P_0 \cdot T_1}$$

・ すき間長さ 1 m 当たりの換算式

$$q_l = \frac{Q}{L} \cdot \frac{P_1 \cdot T_0}{P_0 \cdot T_1}$$

ここに、 q : 基準状態に換算した通気量 (m³/h・m²)

q_l : 基準状態に換算した通気量 (m³/h・m)

Q : 測定された流量 (m³/h)

A : 通気面積 (m²)

L : すき間長さ (m)

P_0 : 1 013 (hPa)

P_1 : 試験室の気圧 (hPa)

T_0 : 273 + 20 = 293 (K)

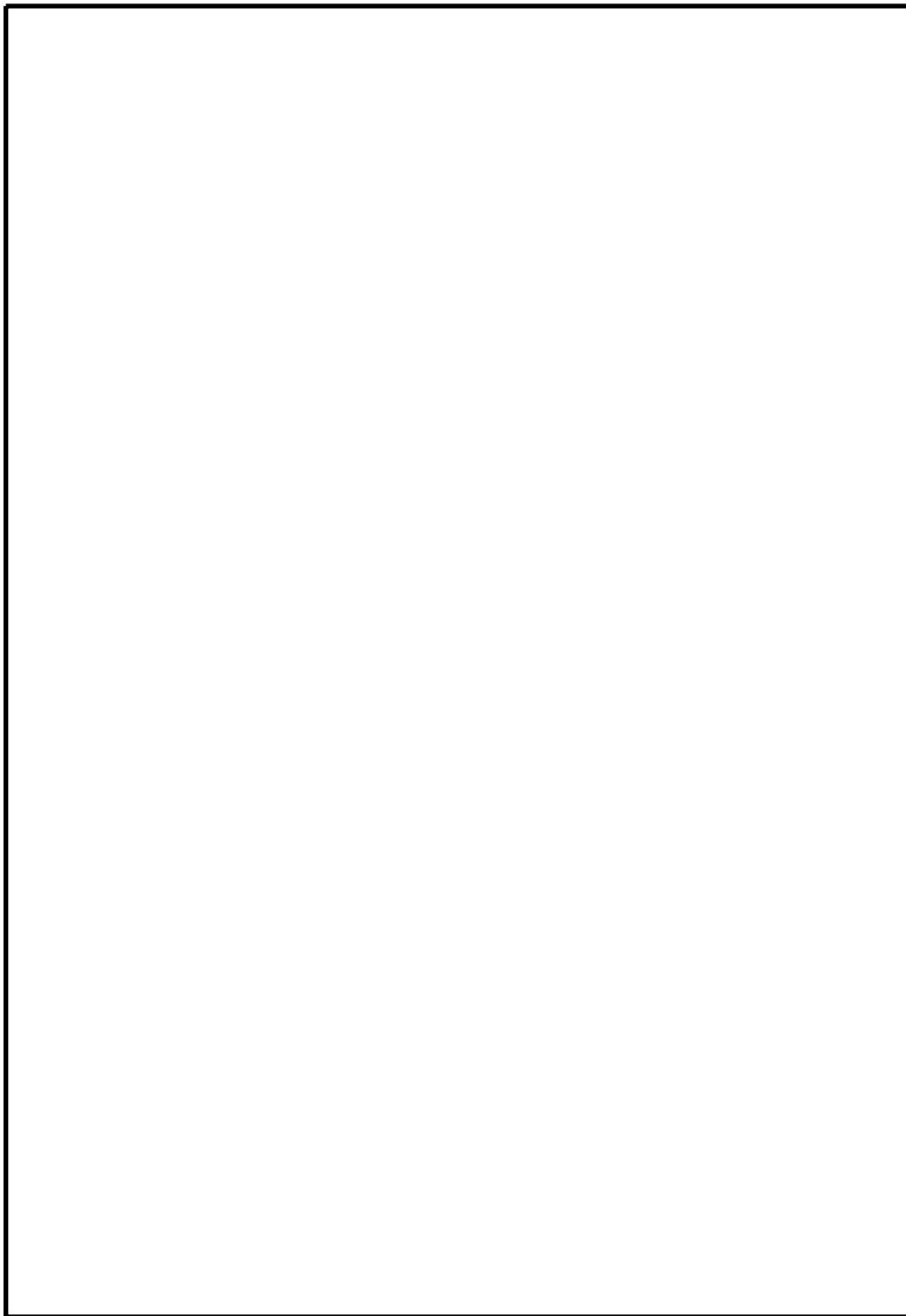
T_1 : 測定空気温度 (K)

7.3 記録 7.2で求めた通気量の換算結果は、縦軸に通気量を、横軸に圧力差をとった両対数グラフ (通気量線図) で示す。

なお、通気量線図に示す通気量は、昇圧時の値と降圧時の値の両者のうち、大きい値を記入する。

参考資料 2

閉止装置組立状況（5 月 29 日時点）



非常用炉心冷却系ストレーナの重大事故等時圧損試験要領について

1. 試験目的

GE 社製ストレーナの実機プラント条件（デブリ条件）での実機模擬ストレーナを用いた圧損試験を実施し、d 値（繊維質間距離）を求め、圧損評価式に基づき圧損上昇の評価を行う。

2. 試験条件

（1）流量条件

重大事故等における各事象（有効性評価の事故シーケンスグループ）のうち、大破断 LOCA 時注水機能喪失時に S/P を水源として運転を行うポンプは、代替循環冷却系ポンプであり、その運転時の通水流量は $\square \text{ m}^3/\text{h}$ である。

保守的な試験となるように、段階的に流量を増加させ、ストレーナを兼用する残留熱除去系ポンプの定格流量（ $\square \text{ m}^3/\text{h}$ ）を目標とする。

残留熱除去系ポンプの定格流量（ $\square \text{ m}^3/\text{h}$ ）の場合の試験流量は、表 2 に示す流量のスケーリング比から表 1 のとおりとなる。

表 1 試験流量（残留熱除去系ポンプ流量の場合）

	試験条件	算出方法
流量 (GPM)	$\square$	$\square$

表 2 流量のスケーリング比

流量のスケーリング比(側面積比から設定)	基準面積
残留熱除去系	$\square$ *

注記* 試験装置側面積 $\square$ ÷ 実機側面積 $\square$ = $\square$

（2）デブリの条件

① デブリ量

試験装置に投入するデブリ量は、重大事故等時において考慮する異物の種類及び量の状況調査に基づき、内規を参考に設定した物量と表 4 に示すデブリのスケーリング比から算出する。

D/W から S/P への移行割合及び S/C からストレーナへの移行割合はいずれも 100% とする。

試験装置に投入するデブリ量は、表 3 のとおりとなる。

表 3 試験装置に投入するデブリ量

	試験条件	算出方法
繊維質保温材 (g)		
金属反射型 (m ²)		
スラッジ (g)		
耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損) (g)		
錆片 (g)		
塵土 (g)		
非 DBA 仕様塗装 (耐性未確認) (g)		
耐 DBA 仕様塗装 (SA 時剥落) (g)		
化学影響生成異物 ALOOH (g)		

注記＊1 非 DBA 仕様塗装の模擬材料として使用するシリコンカーバイド粉末と、非 DBA 仕様塗装の体積が等価となるよう、密度比 で補正する。

表 4 デブリのスケーリング比

デブリのスケーリング比(表面積比から設定)	基準面積
残留熱除去系	＊2

注記＊2 試験装置表面積 ÷ 実機表面積 =

② デブリサイズ

試験装置に投入するデブリのうち設計基準事故時に想定しているデブリについては、これまでと同様に米国原子力規制委員会の規制（NUREG）等を参考としたサイズとしている。また、重大事故等時の発生異物として新たに想定する耐 DBA 仕様塗装（SA 時剥落）のデブリについては、既工認で想定した耐 DBA 仕様塗装（ジェット破損）と同等のサイズとしている。

各デブリのサイズとその根拠を表 5 に示す。

表 5 デブリのサイズ

	サイズ	サイズの根拠
金属反射型保温材		NUREG/CR-6808
繊維質保温材	シュレッダーで細かく裁断したロックウール	内規* 別記 2
スラッジ		NUREG/CR-6224
塵土		NEDO-32686-A
錆片		NEDO-32686-A
耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損)		NEDO-32686-A
非 DBA 仕様塗装 (耐性未確認)		Supplement Response to Generic Letter 2004-02
耐 DBA 仕様塗装 (SA 時剥落)		NEDO-32686-A

「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について(内規) (平成 20 年 2 月 27 日付け平成 20・02・12 原院第 5 号)」

(3) 試験装置

① 装置の仕様

圧損試験装置は、大型化取替工認時と同じモジュール試験装置とし、概要図を図1に、仕様を表6に示す。

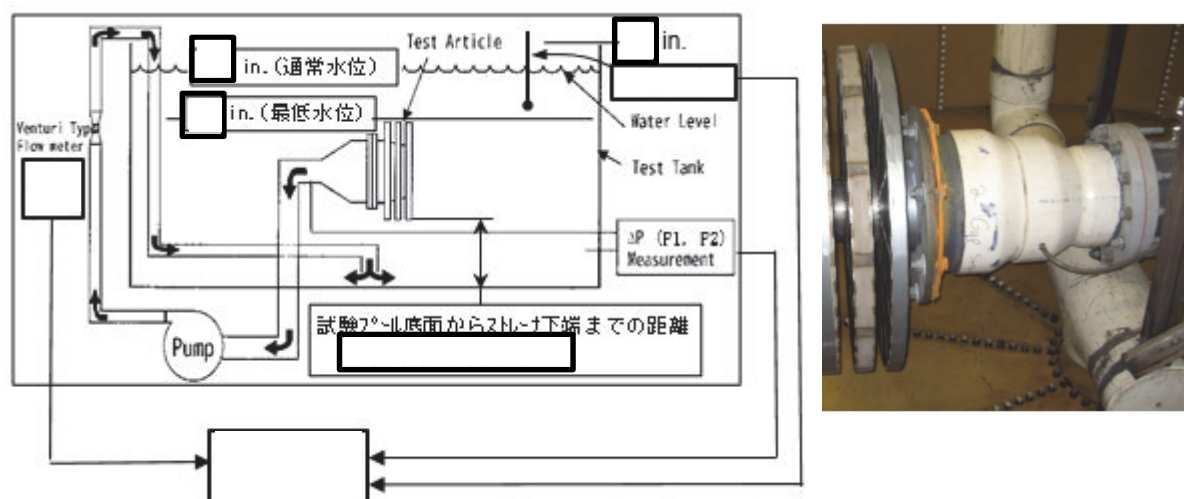


図1 モジュール試験装置概要図（左：系統概要図 右：ストレーナ写真）

表6 モジュール試験装置の仕様

プール寸法	直径	
	深さ	
プール容量		
ポンプ最大接続個数	1 台	
ポンプ能力		
ストレーナ直径		
プレート穴径		
プレート穴ピッチ		
ディスク間ギャップ		
評価用表面積		
評価用側面積		
試験プールからストレーナ下端までの距離		
攪拌機	箇所設置	

② ストレーナのマスキング

a. マスキング領域

現状使用可能な試験プールの最大水量は [] (ℓ) であり、ストレーナの圧損試験を実施するための最小水量は [] (ℓ) であるため、投入可能な AL00H 溶液は [] (ℓ) となる。

実機条件での AL00H は [] (kg) であり、実機 [] (ft²) と試験装置 ([] (ft²)) の表面積比は [] であることから、試験装置に投入する AL00H は [] (kg) となる。

一方、試験で投入できる AL00H 溶液の濃度上限は [] (g/ℓ) であることから、濃度上限値とした時の試験装置に投入する AL00H 溶液は [] (g) ÷ [] (g/ℓ) = [] (ℓ) である。

投入可能な AL00H 溶液は [] (ℓ) であり、全量を投入するために、ストレーナの表面積をさらに縮小する必要がある。

その縮小の割合は、 [] / [] = [] → 1/8 となる。

このため、以下のとおりストレーナをマスキングする。

$$\begin{aligned} \cdot \text{ストレーナの表面積} &= \text{現状表面積} \times \frac{[]}{[]} = [] \text{ ft}^2 \times \frac{[]}{[]} \\ \cdot \text{ストレーナの側面積} &= \text{現状側面積} \times \frac{[]}{[]} = [] \text{ ft}^2 \times \frac{[]}{[]} \end{aligned}$$

マスキングにより、試験水量比は実機水量比に比べて小さくなり、異物濃度は、実機以上となる。

$$\begin{aligned} \cdot \text{試験水量比 (ストレーナ単位面積当たり)} &: \frac{[]}{[]} \text{ m}^3/\text{m}^2 \\ \cdot \text{実機水量比 (ストレーナ単位面積当たり)} &: 105.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \end{aligned}$$

b. マスキング方向

マスキング方向は、実機における異物の付着状況を模擬できる下向きから吸込むよう実施する*。装置内のプール水戻り配管の攪拌効果及びストレーナ設置位置とプール底面の距離を実機より短くすることで、ストレーナへの異物の移行効果を高める構成とする。

注記* 上向きとした場合、マスキングによりフィルタ部が上向きのポケット状になることから、実機においてはサプレッション・プール底部に落下するフィルタ部に付着しない異物についても、ポケット内に保持され過度の保守性を持った評価となる可能性がある。

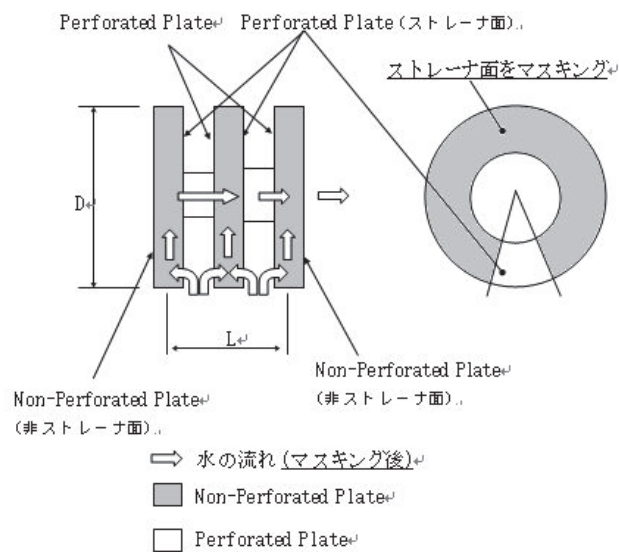


図2 マスキング概要

③ ストレーナ表面積

実機ストレーナ基準面積を表7に示す。

圧損試験で考慮するストレーナの基準面積，ストレーナ基準側面積は，下記の式で算出する。

・ストレーナ基準表面積

$$= (\text{有効表面積}) - (\text{その他異物 (ステッカー類) 付着面積}) \times 0.75$$

$$= \boxed{} - \boxed{} \times 0.75 = \boxed{} \text{ m}^2$$

・ストレーナ基準側面積

$$= \boxed{} \times \boxed{} \times \pi = \boxed{} \text{ m}^2$$

$$\boxed{} \div 0.0929 (\text{単位換算}) = \boxed{} \text{ ft}^2$$

表7 ストレーナ1個あたりの面積

系統	有効表面積	その他異物 (ステッカー 類) 付着面積	ストレーナ 基準表面積	ストレーナ 基準側面積
残留熱除去系	$\boxed{} \text{ m}^2$	$\boxed{} \text{ m}^2$	$\boxed{} \text{ m}^2$ $\boxed{} \text{ ft}^2$	$\boxed{} \text{ m}^2$ $\boxed{} \text{ ft}^2$

④ ストレーナ接近流速

接近流速は，以下の様に定義される。

$$U(\text{m/s}) = Q / (\pi \cdot D \cdot L)$$

ここで，

Q ：流量 (m^3/s)， D ：ストレーナ直径 (m)， L ：圧損評価長さ (m)

接近流速を算出するための D ， L について，実機ストレーナを図 3 に示す。

今回マスキングする試験装置の接近流速算出は，実機ストレーナと同様に試験装置のストレーナ直径と圧損評価長さから算出する。

・実機ストレーナ接近流速

$$= \boxed{} / \boxed{} = \boxed{} \text{ m/s}$$

・試験装置側面積

$$= \boxed{} \times \boxed{} \text{ t} \times \pi \boxed{} \text{ t}^2$$

・試験装置側面の接近流速

$$= \boxed{} / \boxed{} = \boxed{} = \boxed{} \text{ m/s}$$

注記＊

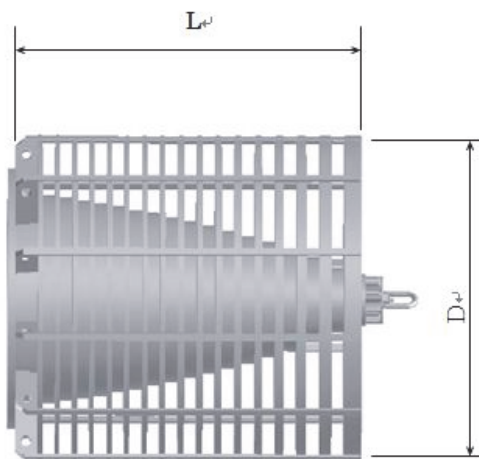


図 3 実機ストレーナ

⑤ 測定計器

試験に使用する測定計器を表 8 に示す。

表 8 計測装置の仕様

測定項目	使用計器(型式)	測定範囲
流 量 (GPM)	電磁流量計	
圧 損 (in H ₂ O)	差圧変換機	P1 P2
水 温 (° F)	熱電対	
測定間隔	データーシート* に記録。 	

注記* データーシートの書式を様式 1 に示す。

3. 試験要領

(1) 試験手順

① 異物の準備として、繊維質保温材、耐 DBA 仕様塗装(ジェット破損)、耐 DBA 仕様塗装 (SA 時剥落)を水に 時間浸す。

② プール内に通常水位まで水を張り、ヒーターを用いて水温を所定の温度 (°C) まで上げる。

③ プール内の水を AL00H 作成用として、ミキシングタンク ℓ に移す。

④ ポンプを起動し、 GPM*1 の流量で安定させた後、攪拌機の運転を開始しクリーン圧損を測定する。

注記*1 m³/h ÷ 台 × (流量スケーリング比) × (単位換算)
=

⑤ 異物を以下の順序で順次投入する。

デブリ投入前の攪拌機運転状態とデブリ投入中、プール内に水中カメラを投入してプール水中の攪拌状態を確認する。

ただし、スラッジ等を投入後にプール内の視認性が著しく低下した場合には、スラッジ投入初期の攪拌状態により攪拌できていることを判断する。

- ・ 金属反射型保温材
- ・ 繊維質保温材
- ・ スラッジ
- ・ 塵土
- ・ 錆片
- ・ 耐 DBA 仕様塗装(ジェット破損)
- ・ 非 DBA 仕様塗装(耐性未確認)
- ・ 耐 DBA 仕様塗装 (SA 時剥落)

⑥ 測定

- (a) ×(ターンオーバー時間)」までは分毎に圧損，流量及び水温を記録し，水面に浮遊するデブリの変化や透明度の変化が観察されたときに写真撮影を実施する。
- (b) ×(ターンオーバー時間)」以降は5分毎に圧損，流量及び水温を記録し，水面に浮遊するデブリの変化や透明度の変化が観察されたときに写真撮影を実施する。
- (c) 分間平均の圧損変化率が落ち着く（分間の圧損変化が測定値の%以下となる）まで圧損値を確認する。
- なお，測定値の%以下が測定計器の測定限界値以下の場合には，×(ターンオーバー時間)」経過した時点で圧損が静定したものとみなす。

⑦ 流量を増加して，GPM で安定させる。

以後，⑥ (a) ～(c)と同じ。

⑧ 化学影響生成異物を投入する。

以後，⑥ (a) ～(c)と同じ。(ALOOH 溶液は，WCAP-16530-NP-A に基づいて作成)

⑨ 攪拌機を停止後，ポンプを停止し試験を終了する。

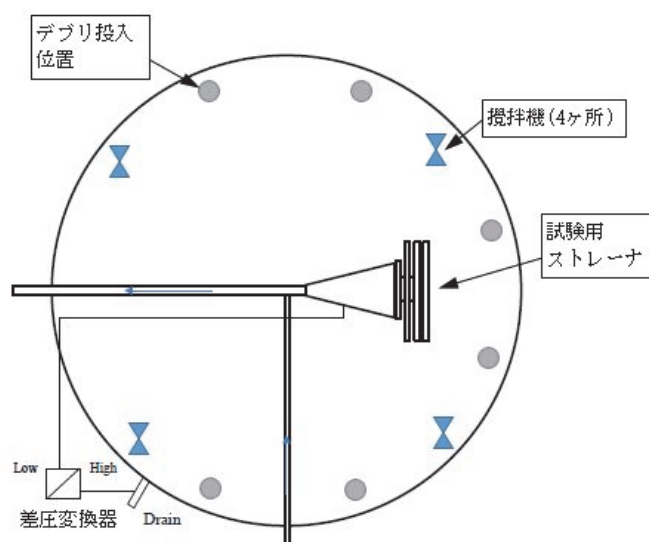


図4 デブリ投入位置（試験プール平面図）

(2) 実機ストレーナの圧損算出方法

下記 2 種類の方法にて実機ストレーナの圧損を算出し、保守的な方を採用する (H_{sa1} , H_{sa2} の大きい方)。

- ① 初めに、AL00H 投入直前の圧損試験結果(圧損 h_1) 及び d 値{インターファイバーディスタンス*}を用いて実機圧損(H_1)を算出する。

次に、AL00H 投入後の圧損試験結果(AL00H 投入による圧損上昇分 h_3)を H_1 加算して SA 時の実機圧損 (H_{sa1})を算出する。

$$H_{sa1} = H_1 + h_3, \text{ ここに } h_3 = h_2 - h_1 \quad (\text{図 5 参照})$$

- ② AL00H 投入後の圧損試験結果(圧損 h_2) , 及び d 値を用いて SA 時の実機圧損 (H_{sa2})を算出する。

注記* インターファイバーディスタンスは、繊維質間の水が通過できるスペース(距離)であり、実機模擬試験により求めた値である。

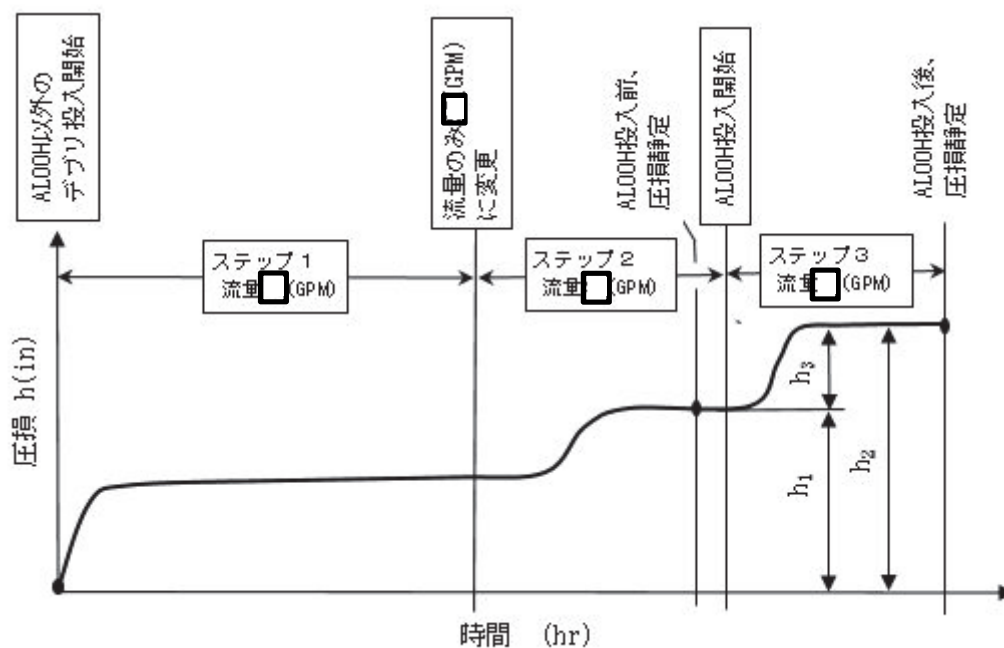


図 5 圧損試験結果の概要

Page ____ of ____

Data Sheet 14 November 2014

Write legibly and clearly identify reasons for termination of a test or subtest

Date: _____

Performed	Verified
1. Preparation: - Obtain a patient's history and physical examination. - Obtain informed consent from the patient. - Obtain necessary laboratory tests (e.g., blood glucose, hemoglobin A1c, lipid profile). - Obtain necessary imaging studies (e.g., ultrasound, CT scan, MRI). - Obtain necessary medical equipment (e.g., insulin pump, glucose meter, blood pressure cuff).	1. Preparation: - Obtain a patient's history and physical examination. - Obtain informed consent from the patient. - Obtain necessary laboratory tests (e.g., blood glucose, hemoglobin A1c, lipid profile). - Obtain necessary imaging studies (e.g., ultrasound, CT scan, MRI). - Obtain necessary medical equipment (e.g., insulin pump, glucose meter, blood pressure cuff).

Verified

Test Plan:

File/Test Name:

[illegible]

重大事故等時の発生異物量評価について

添付書類「V-1-8-4 圧力低減設備その他の安全設備のポンプの有効吸込水頭に関する説明書」に用いる異物量については、原子炉格納容器内の冷却材配管の破断による破損影響範囲内の保温材に加え、原子炉格納容器内の塗装、堆積異物、その他異物及び化学影響生成異物を考慮している。

本資料では、重大事故等時における圧損評価に用いるこれら発生異物量について説明する。

1. 設計基準事故時に考慮する発生異物量

設計基準事故時においては、原子炉格納容器内の冷却材配管の両端破断による原子炉冷却材喪失を想定し、配管破断時に破断口周囲の保温材等が破断口から流出した冷却材により破損し、破損した保温材等がドライウェルからサブプレッション・プールへ落下し、ECCS ポンプの吸込流によりストレーナに付着する事象を想定している。

設計基準事故時の圧損評価では、「非常用炉心冷却設備又は原子炉格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価について（内規）」の第1表に示す異物を考慮している。

第 1 表 圧損上昇の要因となる異物（設計基準事故時）

考慮する異物の種類		物量	補足
一般保温 (繊維質)		0 m ³	原子炉格納容器内の繊維質保温材を全て撤去済みであるため、考慮しない。
カプセル保温 (金属反射型)		m ²	破損影響範囲内の全ての保温材の金属箔の物量に余裕を見込んで算出している。
粒子状異物	耐 DBA 仕様塗装	39 kg	配管破断により発生する塗装として、内規別表第 3 に示す物量を考慮している。
	非 DBA 仕様塗装	kg	設計基準事故時の原子炉格納容器内環境における耐性を確認できていない以下の塗装の剥落を想定し、算出している。 空調ダクト 約 kg PLR ポンプ電動機 約 kg D/W クーラ 約 kg D/W クーラファン電動機 約 kg チェーンブロック類 約 kg 合計 kg を保守的に丸め、 kg として圧損評価に用いる。
	堆積異物	スラッジ	89 kg
		錆片	23 kg
		塵土	68 kg
その他異物	ステッカー	m ²	流路面積を低減させる異物として、内規別表第 3 に例示されている異物を参考に、現場調査結果から算出している。

2. 重大事故等時の発生異物量

非常用炉心冷却系統（以下「ECCS」という。）ストレーナの圧損上昇は、異物の付着によりストレーナの流路面積が低減し、流速が上昇することに起因する。

このため、原子炉格納器内環境の高温状態を維持することに伴う発生異物量の増加及び炉心の溶融や原子炉圧力容器の破損に伴う発生異物量の増加について、以下に考察する。

(1) 原子炉格納容器内環境の高温維持に伴う発生異物量の増加について

重大事故等時の原子炉格納容器内環境は、設計基準事故時よりも高温状態が長期間維持されるため、耐 DBA 仕様塗装の剥落による塗装物量の増加が想定される。

このため、設計基準事故時に剥落を考慮している塗装（配管破断時にジェット流で破損する耐 DBA 仕様塗装・非 DBA 仕様塗装）に加え、重大事故等時の環境における耐性が確認できていない耐 DBA 仕様塗装については、全量の剥落を想定する。重大事故等時に発生する塗装の物量を第 2 表に示す。

第 2 表 重大事故等時に発生する塗装の物量

異物の種類		SA 時	備考
塗 装	耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損)	39 kg	破損塗装が最大となる大破断 LOCA 時を想定するため、設計基準事故時と同様の評価となる。
	非 DBA 仕様塗装	□ kg	重大事故等時は設計基準事故時よりも原子炉格納容器内温度が高くなるため、設計基準事故時同様、非 DBA 仕様塗装の全剥落を想定する。
	耐 DBA 仕様塗装 (SA 環境剥落)	□ kg	重大事故等時は設計基準事故時よりも原子炉格納容器内温度が高くなるが、重大事故等時における塗装の耐性が確認できていないため、保守的にドライウェル及びペDESTAL（ドライウェル部）内の塗装の全剥落を想定する。 ドライウェル内：□ kg ペDESTAL 内：□ kg 合計 □ kg を保守的に丸め、□ kg と して圧損評価に用いる。

(2) 炉心の溶融に伴う発生異物量の増加について

炉心損傷時には、周辺被ばく低減のため、pH 制御装置により水酸化ナトリウムをサブプレッション・プール水へ添加することから、冷却材中の水酸化ナトリウムと原子炉格納容器内に存在する構造物（反応性の高い Al 又は Zn を含むもの）との化学反応により発生する異物（化学影響生成異物）を新たに考慮する必要がある。

PWR プラントにおいて化学影響生成異物の発生量評価に使用している WCAP-16530^{*1}では、原子炉格納容器内に存在する Al, Zn を含有する構造物の表面積に対して、溶解速度（温度、pH に依存）を掛けることで、Al, Zn の溶解量を算出し、溶解した Al, Zn がすべて水酸化物として析出することとして評価している。

東海第二発電所における化学影響生成異物の発生量は、PWR プラントの評価を参考に、下記も考慮して評価を行っている。

- ① ドライウェル及びペデスタル（ドライウェル部）の構造物は、塗装剥落後の金属表面からの金属の溶解を考慮する。
- ② 溶解速度算出において、pH が保守的に高く維持されるとして評価する。
- ③ WCAP-16530 では対象外としている Fe についても、炭素鋼の腐食速度 100 mdm^{*2}（40～200℃、純水）より溶解量を算出する。

化学影響生成異物の圧損評価においては、JNES-SS-1004^{*3}に従い、これらの析出異物（Al,Zn,Fe の水酸化物）を圧損試験代替異物であるオキシ水酸化アルミニウム（AlOOH）の重量へ換算し、圧損試験に用いる。

化学影響生成異物の異物量評価概要について、第3表に示す。

注記*1：「Evaluation of Post-Accident Chemical Effects in Containment Sump Fluids to Support GSI-191」（Westinghouse WCAP-16530-NP）

注記*2：1 か月あたりの腐食速度 mg/(dm²・month)

注記*3：「サンプストレーナ閉塞事象の化学影響に関する評価マニュアル」

（独立行政法人原子力安全基盤機構 原子力システム安全部 JNES-SS-1004）

第3表 化学影響生成異物の異物量評価概要

種別	溶解量算出手法	主な構造物	化学影響生成異物量*
Al	WCAP-16530 により，原子炉格納容器内環境（温度，pH）を考慮して算出する。	保温材外装板，電線管（Al-Zn メッキ）	kg
Zn		ジンク系塗装，亜鉛メッキ鋼構造物（グレーチング等），電線管（Al-Zn メッキ）	kg
Fe	炭素鋼腐食速度の知見から算出する。	炭素鋼配管・機器類（PCV 内面，ドライウエルローカルクーラ等）	kg
合計			kg ↓ kg

注記＊：圧損試験代替異物である AlOOH の重量を示す。

化学影響生成異物量の合計である kg を保守的に丸め， kg として圧損評価に用いる。

(3) 原子炉圧力容器の破損に伴う発生異物量の増加について

原子炉圧力容器が破損した場合には，熔融デブリや構造物がペDESTAL（ドライウエル部）に落下することとなる。しかし，ペDESTAL部は熔融デブリを全量保持できる容量を有しており，サブプレッション・プールには人通用開口部を経て流入する構造であること，ペDESTAL（ドライウエル部）内の構造物は比重が大きいこと（第4表参照）から，人通用開口部を経てサブプレッション・プールへ流入することは考えがたく，仮に比重が小さい異物がサブプレッション・プールへ流入した場合でも，比重の小さい異物はサブプレッション・プール水面付近に浮遊しており，ストレーナへ到達しないと考えられる。

（別紙－2 参照）

第4表 ペデスタル（ドライウェル部）内に存在する構造物の一覧

構造物	材質	比重	塗装	評価
ターンテーブル	SUS	7.75	kg	ペデスタル（ドライウェル部）内に存在する構造物は、比重が大きく、ペデスタル（ドライウェル部）内に沈降すると考えられるため、構造物自体がサプレッション・プールに流入することはないと考えられる*。ただし、塗装がされている構造物については、ドライウェル同様、全量の剥落を想定する。 （第2表に示すペデスタル内の耐DBA仕様塗装 kgに含まれている。）
ターンテーブル動力機構	SUS	7.75		
CRD ハウジング	SUS	7.75	—	
CRD 機構	SUS	7.75	—	
CRD ハウジングサポート	炭素鋼	7.78	kg	
ケーブルトレイ	炭素鋼	7.78	—	
SRNM 案内管	SUS	7.75	—	
LPRM 案内管	SUS	7.75	—	
TIP 案内管	SUS	7.75	—	
ED サンプ	SUS	7.75	—	
ED サンプクーラ	OFCu	8.94	—	
ED・FD スワンネック	SUS	7.75	—	
ED ベントスワンネック	SUS	7.75	—	
スワンネック柵	SUS	7.75	—	
コリウムシールド 支持構造物	SUS	7.75	—	
配管類	SUS	7.75	—	
計装品	SUS	7.75	—	
サポート類	SUS 炭素鋼	7.75 7.78	kg	
ケーブル類	銅 被覆材	8.92 0.9～1.8	ケーブルとしての比重は1以上であり、ペデスタル内に沈降すると考えられる*。万が一比重の小さい被覆材が流出しても、 サプレッション・プール水面付近に浮遊し、ストレーナに到達しないため、圧損に影響しない。	

注記*：ペデスタル（ドライウェル部）内の異物のサプレッション・プールへの異物流入経路は別紙－2を参照。

3. まとめ

以上より，重大事故等時の発生異物量評価についてまとめた結果を第5表に示す。
本発生異物量を考慮して，圧損評価を行う。

第5表 重大事故等時の発生異物量評価

異物の種類		DB	SA	補足
保温材	一般保温 (繊維質)	0 m ³		原子炉格納容器内に繊維質保温材を使用していないため、薄膜効果を生じることはない。
	カプセル保温 (金属反射型)	m ²		破損保温材が最大となる大破断 LOCA 時を想定し、DB 時の算出方法より更に保守的に破損影響範囲内の破損影響範囲内の全ての保温材の金属箔の物量に余裕を見込んで算出している。
塗装	耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損)	39 kg		破損塗装が最大となる大破断 LOCA 時を想定するため、設計基準事故時と同様の評価となる。
	非 DBA 仕様塗装	kg		重大事故等時は設計基準事故時よりも原子炉格納容器内温度が高くなるため、設計基準事故時同様、非 DBA 仕様塗装の全剥落を想定する。
	耐 DBA 仕様塗装 (SA 環境剥離)	—	kg	重大事故等時は設計基準事故時よりも原子炉格納容器内温度が高くなるが、重大事故等時における塗装の耐性が確認できていないため、保守的にドライウェル内の塗装の全剥落を想定する。
堆積異物	スラッジ	89 kg		堆積異物は通常運転時からサプレッション・プール内に存在する異物量を想定しており、異物管理及び原子炉起動の際の原子炉格納容器内清掃・点検を実施するため、内規別記 3 に示す異物を適用する。
	錆片	23 kg		
	塵土	68 kg		
化学影響生成異物		—	kg	WCAP 手法等により、Al、Zn、Fe を含有する原子炉格納容器内構造物の溶解・析出を想定する。構造物の溶解速度が保守的となるよう、原子炉格納容器内温度が最大となる大破断 LOCA 時注水機能喪失時の温度変化を包絡する条件とし、pH は高く維持されるものとして算出する。
その他異物		m ²		原子炉格納容器環境で破損するステッカー類(流路面積を低減させ、圧損上昇に影響するもの)について、現場調査に基づき、物量を算出する。
ペデスタル内構造物		—	0 m ²	構造物の塗装剥落及び化学影響生成異物について考慮する。なお、ペデスタル内構造物自体は圧損上昇の要因となる異物とならない。

補足 2-7

重大事故等時の発生異物量算出方法について

重大事故等時において追加発生を考慮する耐 DBA 仕様塗装の塗装重量及び化学影響生成異物の発生量は、いずれも原子炉格納容器内の構造物の表面積を基に算出している。

このため、以下では、原子炉格納容器内の構造物の表面積の算出について示したのち、耐 DBA 仕様塗装の塗装重量及び化学影響生成異物の発生量について示す。

1. 原子炉格納容器内の構造物の表面積について

重大事故等時において新たに発生が想定される、耐 DBA 仕様塗装量及び化学影響生成異物量の算出のため、原子炉格納容器内の構造物の表面積調査の概要及び調査結果を示す。

1.1 調査概要

原子炉格納容器内の構造物のうち、以下に該当する構造物の表面積を算出する。
調査対象を第別 1－1 表に示す。

第別 1－1 表 原子炉格納容器内の調査対象

発生異物		調査対象	代表的な構造物
耐 DBA 仕様塗装		ドライウエル又はペDESTAL (ドライウエル部) に設置されており、耐 DBA 仕様塗装がされている構造物。	PCV 壁面・床面 機器類 配管・弁類 架台・サポート類
化学影響生成異物*1	Al	アルミニウム、又は Al を含む合金メッキの構造物	保温材外装板 電線管*2 計測器
	Zn	亜鉛メッキ鋼、Zn を含む合金メッキの構造物、及びジンク系塗装を使用した構造物	グレーチング 電線管*2
	Fe	炭素鋼材料の構造物、亜鉛メッキ鋼の構造物	耐 DBA 仕様塗装がされた構造物のうち、炭素鋼材料の構造物

注記*1：ドライウエル又はペDESTAL（ドライウエル部）に設置されている塗装された構造物については、重大事故等時において塗装の全量剥落を想定するため、下地の金属材料からの溶解を考慮する。

注記*2：電線管に使用している Al・Zn めっきは、Al : Zn の重量比が % : % であるため、全表面積を Al、Zn の重量比で按分して評価する。

1.2 表面積の算出手順

抽出された対象構造物の表面積の算出に当たっては、構造図等の設計図面を用いて、以下のように算出する。構造物の表面積算出方法を第別 1－2 表に示す。

第別 1－2 表 構造物の表面積算出方法

No.	設備種別	算出方法
1	PCV 関係	構造図等を用いて、構成部品単位の表面積を算出し、それらを足し合わせて設備の表面積とする。
2	配管・弁類	配管図を用いて、配管外周、配管長から配管の表面積を算出する。弁類についても配管と同様に表面積を算出する。
3	配管サポート	【大口径（65A 以上）】 サポート図を用いて、配管サポートの構成部材単位の表面積を算出し、それらを足し合わせて配管サポートの表面積とする。 【小口径（50A 以下）】 配管口径ごとに設定した代表形状の配管サポートの表面積とサポート点数を掛け合わせ配管サポートの表面積とする。 代表形状の配管サポートの表面積は、構成部材単位の表面積を算出し、それらを足し合わせて算出する。 また、サポート点数は、配管図を用いて、配管長、サポート間隔（最も短いサポート間隔を用いる）から算出する。
4	ダクト類	ダクト図を用いて、ダクト外周（折込部も外周として加算する）、ダクト長さから表面積を算出する。
5	電線管	【電線管】 電線管配置図を用いて、外周、長さから表面積を算出する。 【電線管サポート】 代表形状の電線管サポートの表面積とサポート点数を掛け合わせ電線管サポートの表面積とする。 代表形状の電線管サポートの表面積は、構成部材単位の表面積を算出し、それらを足し合わせて算出する。 また、サポート点数は、電線管は位置図を用いて、電線管長、サポート間隔（最も短いサポート間隔）から算出する。
6	機器	構造図等を用いて、構成部品単位の表面積を算出し、それらを足し合わせて設備の表面積とする。
7	その他	構造図等を用いて、構成部品単位の表面積を算出し、それらを足し合わせて設備の表面積とする。 （チェンブロック モノレール等）

1.3 調査結果

ドライウエル内の構造物の表面積調査結果を第別 1－3 表に、ペデスタル（ドライウエル部）の構造物の表面積調査結果を第別 1－4 表に、サプレッション・チェンバ内の構造物の表面積調査結果を第別 1－5 表に示す。

第別 1－3 表 ドライウエル内構造物及び表面積一覧

分類	構造物	構造物 表面積 (m ²)	耐 DBA 仕様 塗装面積 (m ²)	溶解表面積 (m ²)		
				Al	Zn	Fe
PCV 関係	フランジ部					
	ライナ円錐部					
	ドライウエルスプレイ管					
	ドライウエル上部 シヤラゲ					
	ドライウエル下部 シヤラゲ					
	ジェットデフレクタ					
	ハッチ類					
	ドライウエルスプレイ サポート					
	原子炉遮へい壁					
	PCV スタビライザ					
	RPV スタビライザ					
	バルクヘッドプレート					
	燃料交換ベローズ					
	ドライウエルビーム シート					
	ドライウエル貫通部					
	貫通部保温材外装板					
	原子炉圧力容器基礎					
	ドライウエル床面					
	RPV 保温材外装板					
	グレーチング					
	ラジアルビーム ストラクチャ					
	サポートスチール					

分類	構造物	構造物 表面積 (m ²)	耐 DBA 仕様 塗装面積 (m ²)	溶解表面積 (m ²)		
				Al	Zn	Fe
	RPV 支持スカート内側					
	下鏡外面					
	その他構造物					
配管・弁類	配管・弁					
	保温材外装板					
配管サポート	大口径配管サポート					
	小口径配管サポート					
	操作架台					
	鉄板遮蔽					
ダクト類	ダクト					
	ダクトサポート					
	ダクトドレン					
電線管	電線管					
	電線管サポート					
機器 (PLR ポンプ)	PLR ポンプ(A)電動機					
	PLR ポンプ(B)電動機					
機器 (D/W クーラ)	D/W クーラファン					
	D/W クーラ、ファン電動機					
その他	計器類					
	チェーンブロック					
	モノレール, サポート					
	追加サポート					
合 計						

注記* : 非 DBA 仕様塗装を使用している。物量については, 第 1 表に示す。

第別 1－4 表 ペデスタル（ドライウェル部）内構造物及び表面積一覧

分類	構造物	構造物 表面積 (m ²)	耐 DBA 仕様 塗装面積 (m ²)	溶解表面積 (m ²)		
				Al	Zn	Fe
PCV 関係	原子炉圧力容器基礎					
	CRD レストレントビーム					
	CRD レストレント 支持金具					
	ペデスタル床面					
配管・弁類	配管・弁					
	保温材外装板					
配管サポート	大口径配管サポート					
	小口径配管サポート					
機器 (CRD 交換機)	プラットフォーム					
	グレーチング					
	旋回レール					
	プラットフォーム					
その他	計器類					
	その他					
合 計						

第別1－5表 サプレッション・チェンバ内構造物及び表面積一覧

分類	構造物	構造物 表面積 (m ²)	塗装面積 (m ²)	溶解表面積 (m ²)		
				Al	Zn	Fe
PCV 関係	サプレッション・チェンバ					
	アクセスハッチ					
	クエンチャサポート					
	真空破壊弁					
	アクセスハッチカバー, プラットホーム					
	サプレッション・チェンバ プラットホーム					
その他	計器類					
合 計						

2. 重大事故等時において追加発生を考慮する耐 DBA 仕様塗装の発生量

重大事故等時には，設計基準事故時よりも高温状態が長期間維持されるが，重大事故等時における塗装の耐性が確認できていないため，追加発生を考慮する耐 DBA 仕様塗装としては，ドライウェル及びペデスタル（ドライウェル部）に設置する構造物の塗装の全量剥落を想定する。

塗装重量は，ドライウェル及びペデスタル（ドライウェル部）内の塗装されている構造物の表面積に，塗装膜厚及び塗装密度を掛けることで算出する。

SA 環境において剥落すると想定した耐 DBA 仕様塗装の算出結果を第別 1－6 表に示す。

第別 1－6 表 耐 DBA 仕様塗装物量（SA 環境剥落分）の算出結果

	構造物の全表面積*1 (m ²)	塗装膜厚 (mm)	塗装密度 (g/cm ³)	塗装重量*3 (kg)
耐 DBA 仕様塗装 (ドライウェル)		塗装要領 より個別 に設定し ている。	*2	
耐 DBA 仕様塗装 (ペデスタル)				
合 計				

注記*1：原子炉格納容器内の構造物の表面積算出については，別紙に示す。

注記*2：エポキシ系塗装の密度の代表値として 1.4 g/cm³ と設定している。

注記*3：塗装重量の算出においては，保守的に裕度 1.1 倍を見込んで算出する。

以上より，ドライウェル及びペデスタル（ドライウェル）部に存在する塗装の全量である kg を保守的に丸め， kg とする。

3. 化学影響生成異物の発生量

化学影響生成異物の発生量は、pH 制御装置によりサプレッション・プール水に添加された水酸化ナトリウムと原子炉格納容器内に存在する構造物（Al, Zn, Fe を含むもの*）との化学反応により生成する量を、WCAP-16530 及び JNES-SS-1004 に基づき算出する。

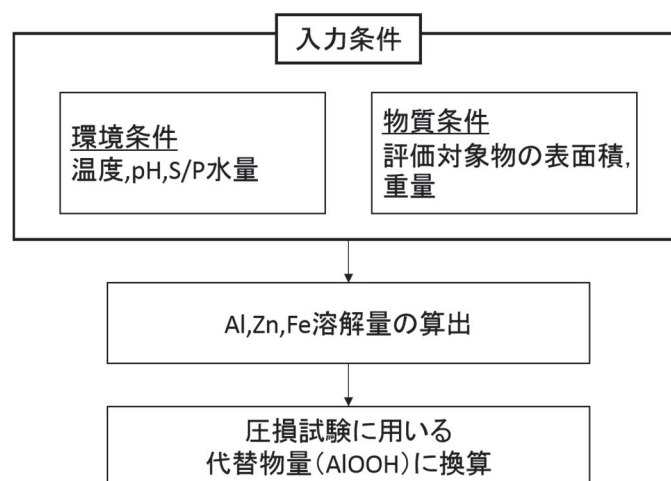
注記*：原子力安全基盤機構の調査では、国内プラントは従来から化学影響の主要因と考えられているアルミニウムや断熱材の腐食に加え、炭素鋼と亜鉛メッキ鋼腐食の影響が大きくなる傾向が示唆されており、JNES-SS-1004 にて提案している化学影響評価手法においても、Zn と Fe の影響を考慮することが推奨されている。

3.1 算出手順

WCAP-16530 に規定されている化学影響生成異物の発生量（析出量）の計算手順は、原子炉格納容器内に存在する構造物（Al, Zn を含むもの）の表面積に対し、原子炉格納容器 環境条件（温度,pH）を考慮して算出した溶解速度式を掛けることで、Al, Zn の溶解量を算出する。また、WCAP-16530 では対象外としている Fe についても、Al, Zn 同様に炭素鋼の腐食速度から溶解量を算出する。

化学影響生成異物による圧損評価においては、JNES-SS-1004 より、析出物と同等の圧損影響がある圧損試験代替物（AlOOH）の量に換算し、圧損試験に用いる。

圧損評価に使用する化学影響生成異物量の算定フローを、第別 1－1 図に示す。



第別 1－1 図 化学影響生成異物量の算定フロー

3.2 環境条件及び物質条件

溶解速度式の環境条件を第別 1－7 表に示す。また、原子炉格納容器内に存在する構造物のうち、Al, Zn, Fe を含む構造物の表面積の調査結果を第別 1－8 表に示す。

第別 1－7 表 想定する原子炉格納容器環境条件

項目	評価条件	
想定シナリオ	大破断 LOCA+ECCS 機能喪失+SBO (代替循環冷却を使用する場合)	
評価期間	事故発生から 30 日間 (720 時間) *	
原子炉格納容器内温度	【ドライウエル】 0～ 5hr : 200 °C 5～120hr : 150 °C 120～168hr : 140 °C 168～720hr : 60 °C	【サプレッション・プール】 0～168hr : 130 °C 168～720hr : 100 °C
S/P スプレイ水の pH	【ドライウエル】 代替循環冷却前 : 7 (0～1.5hr 後) 代替循環冷却後 : 12 (1.5hr 以降)	【サプレッション・プール】 NaOH 注入前 : 5.6 NaOH 注入後 : 12

注記* : 事故発生から 30 日以降は、逆先等によるストレーナの性能回復が十分可能であることから、30 日時点の異物量を単一ストレーナに付着する想定は保守的である。

第別 1－8 表 Al,Zn,Fe を含む構造物の表面積

	Al (m ²)		Zn (m ²)		Fe (m ²)	
ドライウエル						
ペDESTAL (ドライウエル部)						
サプレッション・チェンバ						
合 計						

3.3 溶解量評価

3.3.1 アルミニウム (Al) の溶解速度

Al の溶解速度式における係数を第別 1－9 表に示す。

第別 1－9 表 Al の溶解速度式における係数

元素	溶解速度式	単位	係数		
Al	$RR = 10^{[A+B(pHa)+C(1000/T)+D(pHa)^2+E(pHa)/(1000/T)]}$	mg/(m ² ・min)	A		
			B		
			C		
			D		
			E		

3.3.2 亜鉛 (Zn) の溶解速度

Zn の溶解速度式と係数を第別 1－10 表に示す。

第別 1－10 表 Zn の溶解速度式における係数

元素	溶解速度式	単位	係数		
Zn	$RR = 10^{[A+B(pHa)+C(1000/T)+D(pHa)^2+E(pHa)/(1000/T)]}$	mg/(m ² ・min)	A		
			B		
			C		
			D		
			E		

3.3.3 炭素鋼 (Fe) の溶解速度

炭素鋼の溶解速度は WCAP-16530 に記載されていないことから、炭素鋼の腐食速度の文献値*1である 100 mdm (mg/dm²・month) (40℃～200℃, 純水*2) を用いて溶解量を評価する。

注記*1 : E.G. Brush, W.L. Pearl, “Corrosion and Corrosion Product Release in Neutral Feedwater”, Corrosion, 28, 129-135 (1972)

注記*2 : 炭素鋼の腐食は、事故時に想定されるアルカリ環境において、純水環境よりも抑制されるが、保守的に純水における腐食速度を適用する。
丹野和夫, 湊昭 “火力および BWR 発電プラントにおける腐食による障害と水処理”

3.4 溶解量の評価

Al,Zn,Fe を含む構造物の表面積及び溶解速度から、各金属の溶解量を算出する。
また、WCAP-16530 及び JNES-SS-1004 に基づき、溶解した金属全てが水酸化物として析出すると想定する。各金属の溶解量及び生成することが想定される析出物を第別 1-1-1 表に示す。

第別 1-1-1 表 各金属の溶解量と想定される析出物

材料	表面積 (m ²)	溶解速度 (mg /m ² ・min)	溶解量 (kg)	想定される 析出物
アルミニウム (Al)				AlOOH
亜鉛 (Zn)				Zn(OH) ₂
炭素鋼 (Fe)				FeO(OH)

3.5 化学影響生成異物量の評価結果

圧損試験においては、各金属の溶解量と同等の圧損影響となるオキシ水酸化アルミニウム (AlOOH) を使用するため、各金属の溶解を換算し代替物量 (AlOOH 相当量) を求める。

3.5.1 代替物量評価

各金属の AlOOH への換算係数 (JNES-SS-1004 規定されている換算係数) を第別 1-1-2 表に示す。

第別 1-1-2 表 各金属の Al への換算係数

材料	Al への換算係数
アルミニウム (Al)	1
亜鉛 (Zn)	0.2
炭素鋼 (Fe)	2

3.5.2 化学影響生成異物量評価結果

各金属の溶解量及び圧損試験に用いる代替物量（AlOOH）の算出結果を第別 1－13 表に示す。

第別 1－13 表 各金属の溶解量及び圧損試験代替物量

元素	溶解量 (kg)	化学影響生成異物量	
		換算係数	代替物量 (kg)
アルミニウム (Al)		1	
亜鉛 (Zn)		0.2	
炭素鋼 (Fe)		2	
合 計			

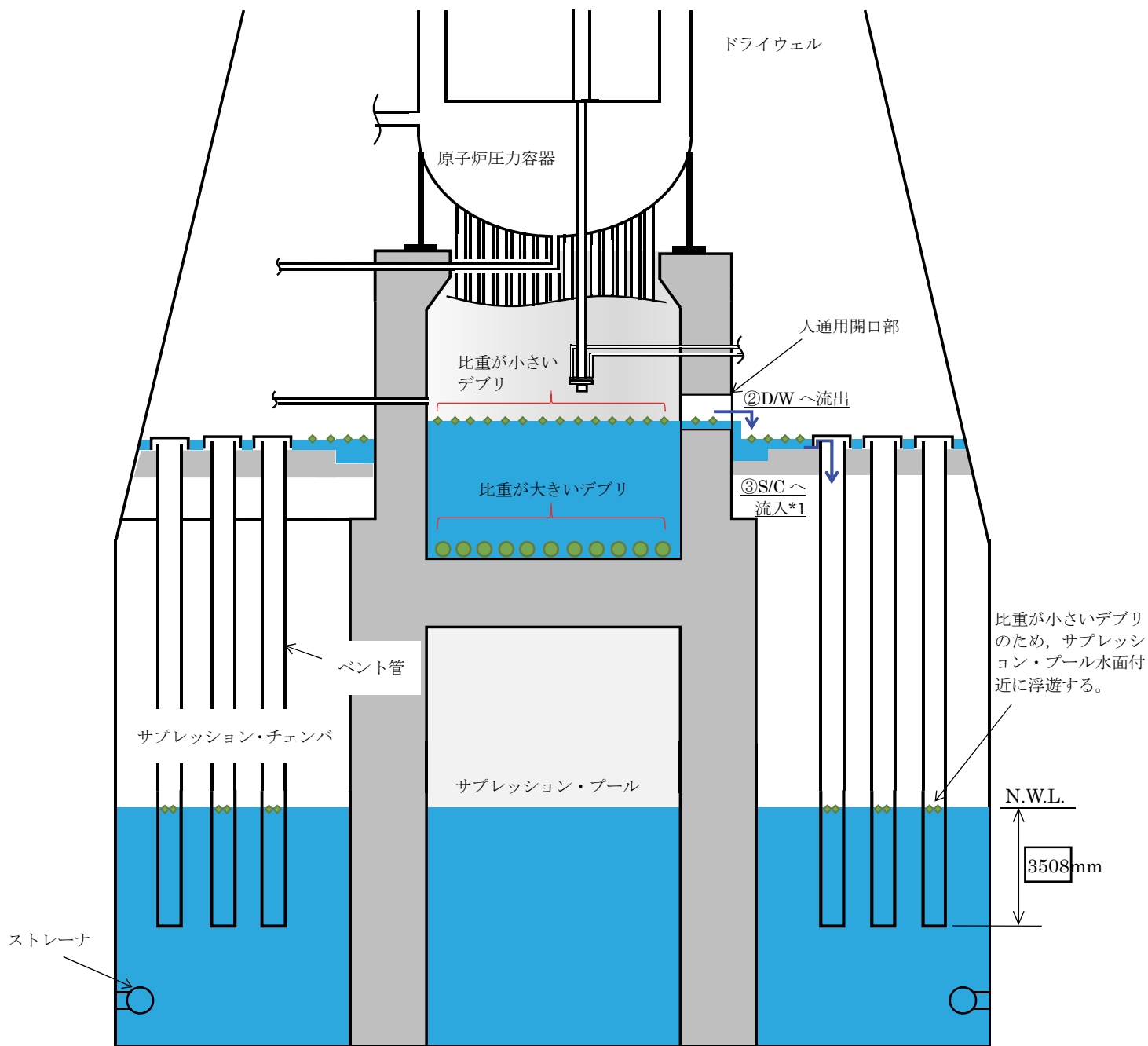
以上より、圧損評価に用いる化学影響生成異物量としては、代替物量の合計値 kg を保守的に丸めた kg とする。

ペデスタル（ドライウェル部）から
サプレッション・プールへの異物流入経路について

ペデスタル（ドライウェル部）（以下「ペデスタル」という。）内で発生した異物のサプレッション・プールへの流入経路は、以下のとおりである。流入経路の概要図を第別2－1図に示す。

- ① 代替循環系冷却ポンプを運転する事象発生から 1.5 時間後においては、破断口から代替循環冷却系ポンプの流量（250m³/h）相当の水がペデスタルへ流入する。
- ② ペデスタルの水位が上昇し、人通用開口部を超えた場合、上澄みがドライウェルへ流出する。これに伴い、水面付近の比重が小さい異物がドライウェルへ移行する。
- ③ ドライウェルの水位が上昇し、ベント管を通じてサプレッション・チェンバへ流入するが、その流入速度が小さいため、比重が小さい異物はサプレッション・プール水面に留まる。

以上より、ペデスタルからサプレッション・プールへ移行し得る比重が小さい異物は、水面付近に存在するものであり、これらの異物がサプレッション・プールへ移行したとしても、サプレッション・プール水面付近に存在することから、ストレーナへ到達する可能性は低いと考えられる。また、比重が大きい異物についてはペデスタル内に沈降し、ドライウェルへ移行することはないと推測される。



第別 2 - 1 図 ペデスタル内異物のサブプレッション・プールへの流入経路

注 1 : 代替循環冷却ポンプ流量 (250m³/h) とした場合の S/C への流入速度は 0.002m/s 程度となる。

$$[(250\text{m}^3/\text{h} / 3600) / (\pi / 4 \times 0.597^2 \times 108 \text{ 本})] = 0.002297\text{m/s} \rightarrow 0.002\text{m/s}$$

重大事故等時圧損試験における保守性について

GE 社製ストレーナの圧損試験の条件は、以下の保守性を有している。

(1) 重大事故等時における異物量

① 繊維質保温材

非常用炉心冷却系ストレーナ設計において、圧損上昇評価は圧損上昇の効果として大きな影響のある繊維質保温材の付着を前提条件としている。現状、原子炉格納容器内の繊維質保温材は、全て撤去しており、SA 環境における実力を把握するうえでは必ずしも考慮する必要はないと考えるが、本圧損試験では繊維質保温材の付着を見込んだ試験条件とする。

② 耐 DBA 仕様塗装

耐 DBA 仕様塗装は、DBA 環境（温度条件：171℃×1 時間＋121℃×72 時間＋93℃×96 時間）における耐性が確認された塗料であるものの、照射線量が高く、高温状態が長時間継続する SA 環境における耐性の不確かさを考慮し、ドライウエル及びペデスタル内の耐 DBA 仕様塗装は全て剥落するものとして物量を算定している。なお、現実的には耐 DBA 仕様塗装が事象初期（LOCA 発生直後のブローダウン過程）において剥落するとは考えられず、後述するサプレッション・チェンバへの移行タイミング・移行量ともに保守的な試験条件とする。

③ 異物量

重大事故等時に想定する異物量は、計算値に対し下記の余裕をみて設定している。

	【異物量(計算値)】	⇒	【異物量】
繊維質保温材	: 0(m ³)	⇒	
金属反射型保温材	: (m ²)	⇒	(m ²)
非 DBA 仕様塗装（耐性未確認）	: (kg)	⇒	(kg)
耐 DBA 仕様塗装（SA 時剥離分）	: (kg)	⇒	(kg)
化学影響生成異物（AlOOH）	: (kg)	⇒	(kg)

④ 化学影響生成異物

溶解する構造物については、WCAP-16530 に規定されている Al, Zn に加えて、WCAP-16530 では対象外としている Fe についても化学影響生成異物の生成に寄与するものとして考慮している。

Al, Zn の溶解速度式は、pH、温度の関数であるが、原子炉格納容器内温度が最大となる大破断 LOCA 時注水機能喪失時の原子炉格納容器温度（有効性評価における解析値）に余裕を見込んだ温度とし、pH 制御装置運転後は、高 pH（pH=12）を維持するものとしている。

(2) 異物の移行量

BWR のストレーナへ到達する異物は、以下の過程を経て移行すると想定される。

- a. LOCA 発生に伴い破断口から流出した原子炉冷却材がジェット流として噴出し、破断流の影響範囲 (ZOI) にある保温材、塗膜片が破損飛散する。
- b. LOCA ブローダウン過程および、その後の原子炉格納容器スプレイにより飛散した異物等が洗い流され、原子炉冷却材やスプレイ水等と共にベント管を通じてサブプレッション・チェンバへ流入する。
- c. サプレッション・チェンバ内の初期の過程においては LOCA 時のブローダウン過程により攪拌されている状況であり、サブプレッション・チェンバに流入した異物は、LOCA 後速やかに起動した ECCS ストレーナに吸引され表面に付着する。

重大事故時においては、

- ・耐 DBA 仕様塗装が LOCA 事象初期に全量剥離することは現実的には考えられず、実際には上記の a. ～ c. の過程の後、照射線量、高温状態が長時間継続することで徐々に剥離し、一部がスプレイ水とともにサブプレッション・チェンバへ流入すると想定され、さらにはサブプレッション・チェンバ内の流況は上記の c. と比較して静定している状況と考えられる。
- ・また、その他の保温材等の異物についても、代替循環冷却系ポンプの使用開始は、事象発生後 90 分後であり、その段階におけるサブプレッション・チェンバ内の流況は、上記の c. と比較して静定している状況であり、ブローダウン過程において流入した異物は、サブプレッション・チェンバ底部に沈降している状況が想定される。
なお、BWR のストレーナはサブプレッション・チェンバ底面からストレーナ下端までの約 mm、に沈降した異物が再浮遊するとは考えられない。

しかしながら本試験条件の前提としては、重大事故等時の異物の想定として、サブプレッション・チェンバ流入後の想定として、経路上での沈降等を考慮せず、全量ストレーナに到達としている (ドライウェルからサブプレッション・チェンバへの移行割合及びサブプレッション・チェンバからストレーナへの移行割合はいずれも 100%としている)。

(3) 圧損試験における保守性

① 試験流量

重大事故等における各事象 (有効性評価の事故シーケンスグループ) のうち、大破断 LOCA 時注水機能喪失時にサブプレッション・チェンバを水源として運転する代替循環冷却系ポンプの通水流量は、250m³/h である。

これに対して、圧損試験時には、ストレーナを兼用する残留熱除去系ポンプの定格流量 (1691.9m³/h) までをも考慮した代替循環冷却系ポンプの約 6.5 倍の試験流量としている。

なお、重大事故時において、ストレーナの圧損上昇が確認された場合には、逆洗等の措置により機能の回復が期待できるが、本試験は連続通水の条件にて実施する。

② 試験水量

圧損試験における水量は、異物濃度が実機で想定している異物濃度を下回らないように、ストレーナ表面積あたりの水量を少なくしている。

試験水量比（ストレーナ単位面積当たり）： m³/m²

実機水量比（ストレーナ単位面積当たり）：105.5 m³/m²

③ 温度条件

圧損試験に用いる ECCS 水源の水温は、既工事計画書同様、原子炉設置変更許可申請書添付書類十におけるサブプレッション・チェンバ水温解析結果である最低温度（約 50℃）に対して保守的により低い℃としている。

④ ストレーナ高さ

試験装置のストレーナ取付け高さは、実機のサブプレッション・チェンバ底面からストレーナ下端までの約mm であるのに対して、試験プール底面からストレーナ下端までの約mm と約の高さとしている。

試験装置のストレーナ下端が底面に近い位置となっているため、サブプレッション・チェンバ底面近傍に存在するデブリがストレーナに吸込み易い条件となっている。

－ 以上 －

内規	評価内容	既工認	PWR（教質2号）
経済産業省 平成20・02・12原院第5号 非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）を次のように定める。 平成20年2月27日 原子力安全・保安院長 廣田 康久 非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規） 本内規は、沸騰水型原子力発電設備（以下「BWR」という。）又は加圧水型原子力発電設備（以下「PWR」という。）の非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備（以下「ECCS」という。）に係るろ過装置（以下「ストレーナ」という。）について、閉塞事象の考慮に関しては発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令（昭和40年通商産業省令第62号、以下「省令」という。）第17条第3項及び第32条第5号イ、ストレーナの大型化に伴う構造強度に関しては省令第5条並びに第9条第2号及び第9号に規定する技術基準への適合性の判断基準を定めるものである。 1. ストレーナの性能評価 ストレーナの性能評価は、一次冷却材喪失事故（以下「LOCA」という。）時に破壊する保温材及び格納容器内に存在する他の異物がストレーナに付着することによる圧力損失（以下「圧損」という。）の上昇を考慮したECCSに係るポンプ（以下「ECCSポンプ」という。）の有効吸込水頭が、当該ポンプの必要有効吸込水頭以上であることを確認することであり、その方法は、次の（1）から（5）に規定するとおりである。 （1）保温材の破損量評価 LOCA時に破断する一次系配管の周辺に設置されている保温材について、その破損量が評価されていること。その際、配管の破断様式については、一次系大口径配管の完全周縁破断が設定され、配管の破断点については、保温材の管理状態及びその将来的な変動に配慮した上で、破損を想定した保温材（以下「破損保温材」という。）のストレーナへの付着による圧損上昇が最大となる点が設定されていること。 ② なお、保温材の破損を想定する破損影響範囲（以下「Z01」という。）は、別表第1	：ストレーナ圧損評価に関係しない項目 1. ストレーナの性能評価 （1）保温材の破損量評価 ① 【破断想定点の考え方はPWR同様】 内規に従い、保温材の破損量が最大となることが想定される、一次系配管である再循環系配管（600A-PLR-018）の完全両端破断を想定している。 ② 【Z01内保温材の算出方法はPWR同様】 内規別表第1に示す破損影響範囲に従い、破断想定点を中心に7.4D（600A×7.4）の半径の球の中に存在するカプセル保温（金属反射型）について、将来的な変動に配慮した物量として、 ㎡としている。	①平成17・10・13原院第4号「沸騰水型原子力発電設備における非常用炉心冷却設備及び格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価及び構造強度評価について」（以下「旧内規」という。）に従い、保温材の破損量が最大となる点を設定している。 ②旧内規図2（内規の別表第1に相当する。）に示す破損影響範囲に従い、設定している。	

内規	評価内容	既工認	PWR（敦賀2号）
	(2) 破損保温材のECCS水源への移行量評価 ③ 【保温材のECCS水源への移行量の考え方はPWR同様】 内規別表第2に従い、前記（1）で評価された保温材の破損量 m ² に対し、移行割合である50%（カプセル保温（金属反射型））を乗じた m ² がサブプレッション・プールに移行すると評価している。 (3) 破損保温材以外の異物のECCS水源への移行量評価 ④ 【保温材以外の異物量の考え方はPWR同様】 内規別表第3に従い、設定している。破損保温材以外の異物のサブプレッション・プールへの移行割合は考慮していない。異物量の詳細を⑩に示す。 (4) 異物付着による圧損上昇の評価 ⑤ 【接近流速設定の考え方はPWR同様】 内規に従い、代替循環冷却系ポンプ（250 m ³ /h）の単独運転を想定し、前記④で評価した異物の全量がストレーナに付着することを想定している。異物付着による圧損上昇が最も厳しくなるよう、保守的に残留熱除去系ポンプ運転時の定格流量（1691.9 m ³ /h）を想定している。 【ストレーナ形状の違いにより適用する評価式が異なるが、PWR同様別記1に示す式により評価】 異物付着による圧損上昇は、別記2に示す留意事項を考慮（詳細を⑩～⑭に示す。）した圧損試験結果を基に、繊維質・粒子状異物・化学影響生成異物による圧損はNEDO-32721式、金属反射型保温材による圧損はNUREG/CR-6808式により求められている。	③旧内規図2（内規別表第2に相当する。）に従い、保温材のECCS水源移行量を評価している。詳細は⑩に示す。 ④旧内規図2（内規別表第3に相当する。）に従い、設定している。破損保温材以外の異物のサブプレッション・プールへの移行割合は考慮していない。なお、非DBA仕様塗装は、旧内規で規定されていないため考慮していない。異物量の詳細を⑩に示す。 ⑤旧内規に従い、ECCS水源に移行した異物が各ストレーナに系統流量に基づき分配され、かつ、全量ストレーナに付着することを想定している。具体的には、RHRポンプ、HPCSポンプ、LPCSポンプの各1台運転を想定し、前記④の異物が各ポンプの定格流量により分配されるとして評価している。このため、ストレーナ1機当たりに付着する異物量は発生量の約1/3としている。 繊維質及び粒子状異物の圧損はNEDO-32721式、金属反射型保温材による圧損はNUREG/CR-6808式により求められている。	③内規別表第2に従い、保温材のECCS水源移行量を評価している。 ただし、滞留水区画の体積比率を減じている。詳細は⑩に示す。 ④内規別表第3に従い、設定している。非DBA仕様塗装は使用しておらず、破損保温材以外の異物のECCS水源への移行割合は考慮していない。異物量の詳細を⑩に示す。 ⑤内規に従い、評価している。なお、PWRでは、各ECCSポンプで1機のサンプルクリーンを兼用しているため、各ポンプの系統流量に基づく分配は考慮していない。 繊維質及び粒子状異物の圧損はNUREG/CR-6224式、金属反射型保温材による圧損はNUREG/CR-6808式に、また、化学影響生成異物の圧損は圧損試験により求められている。

③

破損保温材のECCS水源への移行量評価
(1) で評価された保温材の破損量に別表第2に示す割合を乗じた量が、ECCS水源（ECCSの再循環運転における水源をいい、BWRではサブプレッションプール、PWRでは格納容器再循環サンブをいう。以下同じ。）への移行量として評価されていること。ただし、PWRにおいては、格納容器内に放出される冷却材の全量に対する清潤水区画（冷却材の一部が滞留するおそれのある格納容器内の区画）の体積比を移行量に準じた値を、当該移行量から減じることができることとする。この場合において、体積比は15%を上限とする。

④

破損保温材以外の異物のECCS水源への移行量評価
破損保温材以外の格納容器内に存在する異物について、破断流・格納容器スプレイによる流動及び格納容器内雰囲気気を考慮の上で、ECCS水源への移行量が評価されていること。その際、存在する異物の量については、原則として、発電設備毎の状況調査に基づき保守的としていること。ただし、異物管理及び原子炉起動の際の格納容器内清掃・点検を実施している場合に限り、別表第3に示す異物の種類に応じ、当該異物の欄に示す量とすることができるとする。

⑤

異物付着による圧損上昇の評価
異物付着による圧損上昇の評価に当たっては、異物付着による圧損上昇の最も厳しくなるECCSの系統構成が仮定されていること。その際、ECCS水源に移行した異物が、各系統流量に基づき分配され、かつ、全量ストレーナに付着するとされていること。異物付着による圧損上昇量は、当該系統構成に基づき、次の①から⑤を考慮した上で、別記1に示すNUREG/CR-6224式又はNEDO-32721式のどちらから一方及びNUREG/CR-6808式を用いて求めた値の合計とする。その際、想定した異物付着量を踏まえた圧損試験の結果によって補正されていること。
なお、圧損試験の実施に当たっては、別記2に示す留意事項が考慮されていること。
① 圧損上昇評価の際に用いるECCS水源の水温は、保守的に低く設定されていること。
② 冷却材の接近流速（ECCSの再循環運転時の最低水位で水没するストレーナ面積の単位面積当たりの系統流量をいう。以下同じ。）は、系統の性能要求流量（電気事業法施行規則（平成7年通商産業省令第77号）第63条第1項第1号に基づく工業計画における記載値）以上を基に設定されていること。
③ 再循環運転時の最低水位は、冷却材がECCS水源に到達するまでの流路の障礙部が破損保温材等により閉塞し、再循環運転に寄与しない冷却材が生じる可能性がある場合は、その量を差し引き算出されていること。
④ 再循環運転時の最低水位で水没するストレーナ面積は、別表第3のその他異物として想定したステッカー一類の繊維状異物の7.5%分を差し引き算出されていること。
⑤ ストレナ表面に堆積した繊維状の異物（以下「繊維質」という。）が粒子状の異物（以下「粒子」という。）を捕捉することによる効果（以下「薄膜効果」という。）を踏まえ、以下の想定のもと最大の圧損上昇が評価されていること。
A 繊維質の想定される最大付着量が、薄膜効果の発生開始量未満の場合には、薄膜効果の発生開始量の繊維質が付着すること。
B 繊維質の想定される最大付着量が、薄膜効果の発生開始量以上の場合には、薄膜効果が発生すること。
なお、別記1の評価式以外でも、同等の圧損試験により妥当性が証明された式であれば、使用することができることとする。

⑥

⑦

⑧

⑨

⑩

⑪

⑫

⑬

⑭

⑮

⑯

⑰

⑱

⑲

⑳

㉑

㉒

㉓

㉔

㉕

㉖

㉗

㉘

㉙

㉚

㉛

㉜

㉝

㉞

㉟

㊱

㊲

㊳

㊴

㊵

㊶

㊷

㊸

㊹

㊺

㊻

㊼

㊽

㊾

㊿

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

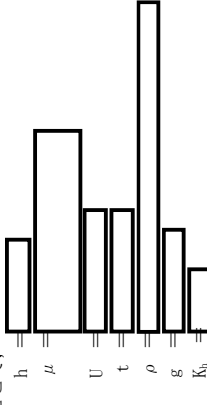
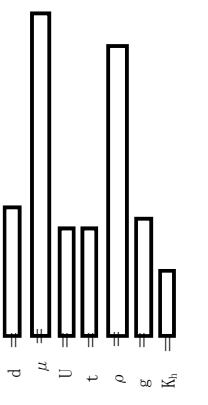
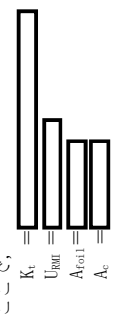
91

92

93</

内規	評価内容	既工認	PWR (教質2号)
	⑥ 【温度設定の考え方はPWR同様】 内規に従い、圧損上昇評価に用いる ECCS 水源の水 温は、既工事計画書同様、原子炉設置変更許可申請 書添付書類十におけるサブレッション・プール水温 解析結果である LOCA 後数十秒後の約 50℃から、保 守的に ℃としている。 冷却材の接近流速は、代替循環冷却系ポンプ (250 m³/h) に対して、異物付着による圧損上昇が最も厳 しくなるよう、残留熱除去系ストレーナに通水され る流量 1691.9 m³/h を設定している。 ⑦ 【有効表面積の考え方はPWR同様】 内規に従い、残留熱除去系ストレーナの有効表面積 は、既工事計画書にて算出した m² から、別 表第3のその他異物として想定したステッカー類 の総面積 m² の75%分を差し引き、 m² としている。 ⑧ 【PCV内に繊維質保温材を使用していない】 東海第二発電所では、格納容器内に存在する破損が想 定される繊維質保温材について、全て圧損影響の少な い金属反射型保温材等に交換しており、薄膜効果を生 じることはない。	⑥圧損上昇評価に用いる ECCS 水源の水 温については、同左。 冷却材の接近流速は、残留熱除去系 ストレーナに通水される流量 1691.9 m³/h を設定している。 ⑦既工認において、ステッカー類のそ の他異物は考慮していない。 ⑧ECCS 水源に移行すると想定した繊維 質保温材は薄膜効果発生開始量以上 のため、薄膜効果による圧損上昇を 想定している。	⑥内規に従い、以下よう に設定している。 ・圧損上昇評価の際に用い る水温は、NPSH 余裕がも つとも厳しくなる再循環 切替時点の温度が低めと なる評価を実施した結果 に余裕をみて 50℃として いる。 ・冷却材の接近流速は、工事 計画書記載値以上かつ配 管ルート上の圧損に基づく 最大流量 (m³/h) としている。 ⑦内規に従い、以下よう に設定している。 ・最低水位を算出する際は、 床ドレン及びギヤビディ ドレンが閉塞したことを 想定し、閉塞により滞留 する体積を差し引いてい る。 ・最低水位で水没するスク リーン面積は、その他異 物として想定したステッ カー類の総面積 (60m²) の 75% (45m²) を差し引いて いる。 ⑧ECCS 水源に移行すると想 定した繊維質保温材は薄 膜効果発生開始量以上の ため、薄膜効果による圧 損上昇を想定している。

内規	評価内容	既工認	PWR（教資2号）
⑨ ⑤ 有効吸込水頭の評価 上述の（1）から（4）までの規定に基づいて評価された圧損上昇を考慮したEOSポンプの有効吸込水頭が、当該ポンプの必要有効吸込水頭以上であることが確認されていること。 その際、EOS水源の水温は保守的に高く設定されているとともに、配管破断後に上昇する背圧は、原則として考慮されていないこと。ただし、背圧を考慮することがやむを得ない場合には、保守性を十分考慮した背圧であること。 2. ストレーナの耐震性及び構造強度の評価 性並びに材料及び構造強度に適合していること。 荷重の組合せについては、別表第4に示すように、死荷重、通常運転温度による熱荷重及び地震荷重に、異物付着による異物荷重及び差圧を組み合わせたものに、BWRにおいて、原子力安全委員会「BWR Mark-I（Ⅱ）型格納容器圧力抑制系に加わる動荷重の評価指針」に示される荷重も組み合わせていること。 ストレーナの許容応力については、別表第5に示すように、クラス2管に対する許容応力制限を適用し、異物付着による差圧に対する臨応力制限を設け、運転状態Ⅳにおいても運転状態Ⅰ・Ⅱと同じ許容応力であること。 圧損評価に關係しない項目 3. その他の評価（耐震・強度評価等の評価で考慮する。） ストレーナの細目の粗さは、EOSポンプ下流のスプレイノズル、EOSポンプシール部等、下流側機器の機能を損なうことのない設計であること。 附 則（平成20年2月27日、平成20・02・12 原院第5号） 1 本内規は、平成20年3月1日から施行する。 2 沸騰水型原子力発電設備における非常用炉心冷却設備及び格納容器熱除去設備に係る過装置の性能評価及び構造強度評価について（内規）（平成17年10月25日、平成17・10・13 原院第4号）は廃止する。	（5）有効吸込水頭の評価 ⑨LOCA 時に破損する保温材及び原子炉格納容器内に存在することによる異物がストレーナに付着することによる圧損の上昇を考慮したポンプの有効吸込水頭の算出においては、原子炉格納容器の背圧は考慮していない。 なお、全交流動力電源喪失事象においては、原子炉隔離時冷却ポンプ及び常設高压代替注水系ポンプは、設計基準対処施設としての使用条件を超えて運転する（LOCA 事象ではないため異物による圧損影響はない）が、当該系統の有効吸込水頭の評価においては、原子炉格納容器の背圧を考慮する。 原子炉格納容器の背圧は、全交流動力電源喪失事象における解析結果に基づき設定を行うが、当該評価を行う際には、解析の初期条件として格納容器圧力は大気圧、さらに、格納容器雰囲気温度を10℃に設定し、格納容器圧力の評価結果を低めに評価する感度解析結果に基づき設定する。 【PWR 同様、格納容器圧力の解析が保守的な結果を与えるよう初期条件を設定】	⑨LOCA 時に破損する保温材及び原子炉格納容器内に存在する異物がストレーナに付着することによる圧損の上昇を考慮したポンプの有効吸込水頭の算出においては、原子炉格納容器の背圧は考慮していない。	⑨LOCA 時に破損する保温材及び格納容器内に存在する異物がストレーナに付着することによる圧損の上昇を考慮したポンプの有効吸込水頭の算出において、原子炉格納容器の背圧を考慮している。 原子炉格納容器の背圧は、最も小さく評価する解析条件を設定して実施した解析の結果を用いている。

内規	別記1 《NUREG/CR-6224評価式》(繊維質・粒子状異物に対する式)⁽¹⁾ $\frac{dH}{dL_0} = C \left[3.5S_v^2(1-\varepsilon_m)^{1.5} \left[1 + 57(1-\varepsilon_m)^3 \right] \mu U + 0.66S_v \frac{(1-\varepsilon_m)}{\varepsilon_m} \rho_w U^2 \right] \left(\frac{dL_m}{dL_0} \right)$ dH: 圧力損失 (m) C: 変換定数 (m²/Pa) dL_0: ベッド厚さ (理論値) (m) dL_m: 付着後のベッド厚さ (m) S_v: 異物の比面積 (m²/m³) ε_m: 混合異物の空隙率 μ: 水の粘性係数 (kg/(m・s)) ρ_w: 水の密度 (kg/m³) U: 吸込流速 (接近流速) (m/s) GE製ストレーナでは使用しない。 《NEDO-32721評価式》(繊維質・粒子状異物に対する式)⁽²⁾ $h = \frac{\mu U t}{\rho g d^2} \cdot K_h$ h: 圧力損失 (m) U: ストレーナ側面に対する接近流速 (m/s) t: ストレーナ側面に対する異物厚さ (m) μ: 水の粘性 (kg/(m・s)) ρ: 水の密度 (kg/m³) g: 重力加速度 (m/s²) d: Interfiber Distance(異物間の隙間を表す値) (m) K_h: ストレーナ効率を表す無次元数、圧力損失を無次元化したもの 《NUREG/CR-6808評価式》(金属保温異物に対する式)⁽³⁾ $\Delta H = \frac{1.56 \times 10^{-5}}{K_i^2} U^2 \left(A_{fss} / A_m \right)$ ΔH: 圧力損失 (m) K_i: 金属箔のギャップ厚さ (m) U: 接近流速 (m/s) A_{fss}: 金属箔の表面積 (両面の合計値) (m²) A_m: ストレーナ表面積 (m²) 参考文献 (1) NUREG/CR-6224, G. Zigler et al., "Parametric Study of the Potential for BWR ECCS Strainer Blockage Due to LOCA Generated Debris", (SEA No. 83-554-06-A:1), USNRC, October 1995. (2) NEDO-32721 "Licensing Topical Report. Application Methodology for the General Electric Stacked Disk ECCS Suction Strainer," Revision 2, December 2001. (3) NUREG/CR-6808, "Knowledge Base for the Effect of Debris on Pressurized Water Reactor Emergency Core Cooling Sump Performance," USNRC, February 2003.	評価内容 【PWR同様、内規に基づく評価式で評価 圧損再試験後、再度算出する。】 金属反射型保温材による圧損は、NUREG/CR-6808 式により求める。 繊維質、粒子状異物及び化学影響生成異物の圧損は、NEDO-32721 式により求めるが、化学影響生成異物については、化学影響生成異物投入後の圧損上昇分を投入前の実機圧損に加算する方法 (PWR 手法) と化学影響生成異物投入後すべての異物を考慮した d 値から実機圧損を算出する方法 (従前の BWR 手法) で保守的となる評価を採用する。 NEDO-32721 式における d 値はストレーナ圧損試験結果から下式にて求める。 $d = \sqrt{\frac{\mu \cdot U \cdot t}{\rho \cdot g} \cdot \frac{K_h}{h}}$ ここで、 h =  ここで算出された d 値に基づき、事故時の環境を想定した圧損評価を実施している。 $h = \frac{\mu \cdot U \cdot t}{\rho \cdot g \cdot d^2} \cdot K_h$ ここで、 d =  金属反射型保温材による圧損は、NUREG/CR-6808 式を用する。 $h_{RMI} = (1.56 \times 10^{-5} / K_i^2) \cdot U_{RMI}^2 \cdot (A_{foil} / A_c) \cdot 0.0254 \cdot h_{RMI}$ ここで、 K_i = 	既承認 金属反射型保温材による圧損は、NUREG/CR-6808 式により求める。繊維質及び粒子状異物の圧損は、NEDO-32721 式により求める。 NEDO-32721 式における d 値はストレーナ圧損試験結果から求める。 PWR (教質 2号) 金属反射型保温材による圧損は、NUREG/CR-6808 式により求める。繊維質及び粒子状異物の圧損は、NUREG/CR-6224 式により求める。化学影響生成異物の圧損は圧損試験により求める。
----	---	---	---

内規	評価内容	既工認	PWR (教質 2号)
別記2 圧損試験の実施に当たった際の留意事項 圧損試験の実施に当たっては、プラント毎に実施の条件を踏まえるとともに、独立行政法人原子力安全基盤機構が実施した試験結果（JNES-SS-0703「PWRサンプスクリーニング閉塞に関する堆積形態と化学影響の評価」）を踏まえて、次の事項に留意すること。 1. 複数の種類の異物が付着した場合の圧損上昇については、付着量が何量であってもストレーナへの付着のさせ方によって圧損上昇量が異なる。具体的には、繊維質と粒子の組合せにおいて、繊維質と粒子を混合させたものを堆積させた場合に比べ、繊維質を堆積させた後に粒子を堆積させた場合などで圧損上昇量が大きくなる試験結果がある。そのため、圧損試験においては、実施で想定される条件を検討の上、上述の圧損上昇の特性を踏まえて、試験条件の妥当性を確認する必要がある。 2. 圧損試験においては、異物の溶解、析出、追加付着等により圧損上昇に経時変化が考えられることから、十分な試験時間を確保し、非保守的な評価とならないよう配慮するとともに、試験水量の実験条件との違いによる影響についても検討することが必要である。 3. 想定される異物としては破損保温材以外の異物もあることから、圧損試験においては、それらの異物の取扱いについて各異物の物性を踏まえて非保守的な評価とならないよう、試験の妥当性を確認する必要がある。 4. ストレーナに付着させる異物については、実施において想定される条件を検討の上、保守的な試験結果となるよう相当程度細かくする必要がある。 5. 試験流速については、実施と同等以上の接近流速にて測定するとともに、流速を変動させると、圧損上昇量に不可逆的な変化が生じる場合があることから、実施での運転状態を勘案して試験条件を設定する必要がある。 6. 試験温度については、水の粘性等について適切に取り扱っている限り特定の温度に限定する必要があるが、圧損試験の目的に照らして妥当であることを確認する必要がある。 7. PWRIにおいては、冷却材がほう酸水であり、ECCS系統の再循環運転において冷却材中に水酸化ナトリウム、ヒドラジン又はほう酸ナトリウムを添加することから、これらと格納容器内構造物や破損保温材等との化学反応によりストレーナの圧損が上昇する可能性があり、その上昇の割合は、異物等の種類、組合せによって異なるため、それらを考慮した上で、全体的な圧損上昇が最大となる条件で試験を行う必要がある。その際、実施の条件を模擬して日単位で圧損上昇が落ち着くまで試験を行う必要があるが、妥当性が確認された場合に限り、別途異物・薬剤等を投入することにより加速試験を行うことが可能である。 PWR の記載 参考文献 JNES-SS-0703「PWR サンプスクリーニング閉塞に関する堆積形態と化学影響の評価」、独立行政法人原子力安全基盤機構	別記2 圧損試験の実施に当たった際の留意事項 ⑫ 【投入異物の順序は PWR 同様、繊維質の後に粒子状異物を投入する。】 圧損試験における異物の投入順序については、実施で想定される異物の発生順序を考慮し、圧損が保守的に大きくなるよう、以下のとおり設定している。 ① 金属反射型保温材 ② 繊維質保温材 ③ スラッジ ④ 塵土 ⑤ 錆片 ⑥ 耐 DBA 仕様塗装（ｼﾞｬｯﾄ破損分） ⑦ 非 DBA 仕様塗装（耐性未確認） ⑧ 耐 DBA 仕様塗装（SA 時剥落）＊1 ⑨ 化学影響生成異物（ALOOH）＊2 注記＊1：原子炉格納容器内が高温状態を維持することにより、耐 DBA 塗装が剥落し、ストレーナに到達することを想定している。 注記＊2：pH 制御時の化学影響生成異物がストレーナに到達することを想定している。化学影響生成異物は pH 調整剤が格納容器内に注入され、溶解物がサブプレッション・プールに到達後、プール水が冷却された後に析出することを想定している。	⑫ 圧損試験における異物の投入順序については、実施で想定される異物の発生順序を考慮し、以下のとおり設定している。 ① スラッジ ② 塵土 ③ 錆片 ④ 耐 DBA 仕様塗装（ｼﾞｬｯﾄ破損分） ⑤ 繊維質保温材	PWR (教質 2号) ⑫ 圧損試験においては、内規に則り、繊維質を堆積させた後、粒子を付着させている。

内規	評価内容	既工認	PWR（教質2号）
別記2 圧損試験の実施に当たっての留意事項 圧損試験の実施に当たっては、プラント毎に実施の条件を踏まえるとともに、独立行政法人原子力安全基盤機構が実施した試験結果（JNES-SS-0703「PWRサンプスクリーニング閉塞に関する堆積形態と化学影響の評価」）を踏まえて、次の事項に留意すること。 1. 複数の種類の異物が付着した場合の圧損上昇については、付着量が何量であってもストレーナへの付着のさせ方によって圧損上昇量が異なる。具体的には、繊維質と粒子の組合せにおいて、繊維質と粒子を混合させたものを堆積させた場合に比べ、繊維質を堆積させた後に粒子を堆積させた場合などで圧損上昇量が大きくなる試験結果がある。そのため、圧損試験においては、実機で想定される条件を検討の上、上述の圧損上昇の特性を踏まえて、試験条件の妥当性を確認する必要がある。 2. 圧損試験においては、異物の溶解、析出、追加付着等により圧損上昇に経時変化が考えられることから、十分な試験時間を確保し、非保守的な評価とならないよう配慮するとともに、試験水量の実験条件との違いによる影響についても検討することが必要である。 3. 想定される異物としては破損保温材以外の異物もあることから、圧損試験においては、それらの異物の取扱いについて各異物の物性を踏まえて非保守的な評価とならないよう、試験の妥当性を確認する必要がある。 4. ストレーナに付着させる異物については、実機において想定される条件を検討の上、保守的な試験結果となるよう相当程度細かくする必要がある。 5. 試験流速については、実機と同等以上の接近流速にて測定するとともに、流速を変動させると、圧損上昇量に不可逆的な変化が生じる場合があることから、実機での運転状態を勘案して試験条件を設定する必要がある。 6. 試験温度については、水の粘性等について適切に取り扱っている限り特定の温度に限定する必要はないが、圧損試験の目的に照らして妥当であることを確認する必要がある。 7. PWRにおいては、冷却材がほう酸水であり、ECCS系統の再循環運転において冷却材中に水酸化ナトリウム、ヒドラジン又はほう酸ナトリウムを添加することから、これらと格納容器内構造物や破損保温材等との化学反応によりストレーナの圧損が上昇する可能性があり、その上昇の割合は、異物等の種類、組合せによって異なるため、それらを考慮した上で、全体的な圧損上昇が最大となる条件で試験を行う必要がある。その際、実機の条件を模擬して日単位で圧損上昇が落ち着くまで試験を行う必要があるが、妥当性が確認された場合に限り、別途異物・薬剤等を投入することにより加速試験を行うことができる。 PWR の記載 参考文献 JNES-SS-0703「PWR サンプスクリーニング閉塞に関する堆積形態と化学影響の評価」、独立行政法人原子力安全基盤機構	⑬ 【試験の終了判断はPWRと同等】 実機の SA 時に代替循環冷却系ポンプを運転する場合には、チャギングなどの水力学的動荷重は働いておらず、S/P 内のデブリは十分静定している状態であることが想定されるが、攪拌機を使用してストレーナに異物付着させるような状況を作った上で試験を実施している。圧損試験においては、 圧損試験設備内の戻り水は、定格流量時に生じる実機の接近流速と同等以上となるように試験装置の接近流速を設定し、試験タンク床にその流量を戻して攪拌させているとともに、試験中は攪拌機を使用して攪拌状態を維持する。 また、試験水量については、異物濃度を実機以上となるよう、ストレーナ単位表面積あたりの水量を小さく設定している。 試験水量比（ストレーナ単位面積当たり）： m³/m² 実機水量比（ストレーナ単位面積当たり）：105.5 m³/m² ⑭ 想定される異物の種類及び取扱いについては、圧損試験上非保守的な評価とならないよう、過去の試験実績を踏まえ、以下のとおり設定している。 【破損保温材】 繊維質：シュレツダーで細かく裁断したロックウールを圧損試験に投入している。 【繊維質のサイズはPWRと同等】 金属反射型保温材：NUREG/CR-6808 に記載のある、米国での金属保温材破壊試験結果に基づき金属箔を切断し、投入している。	⑬ 同左 ただし、試験水量比： とし評価している。	PWR（教質2号） ⑬ 圧損試験においては、圧損上昇が静定する状態まで確認している。具体的には、 ⑭ 保温材は実機にて使用しているものを使用する。 ● 繊維質はC/V内に最大量存在し、圧損上昇上保守的と考えられる繊維質保温材を使用する。 【異物の細かさ】 ・繊維はグレーチング通過サイズ以下になるように細かくしている。（グレーチング通過サイズ以下の割合は、保温材破壊試験の結果からみて保守的であることを確認している） ・ケイ酸カルシウムは十分微細と考えられる粒子状に粉碎している。 ・金属保温は、NUREG/CR-6808 に記載のある、米国での金属保温材破壊試験結果に基づき金属箔を切断している。

別記2 圧損試験の実施に当たった際の留意事項 圧損試験の実施に当たっては、プラント毎に実験の条件を踏まえとともに、独立行政法人原子力安全基盤機構が実施した試験結果（JNES-SS-0703「PWRサンプスクリーニング審査に関する堆積形態と化学影響の評価」）を踏まえて、次の事項に留意すること。 1. 複数の種類の異物が付着した場合の圧損上昇については、付着量が同量であってもストレーナーへの付着のさせ方によって圧損上昇量が異なる。具体的には、繊維質と粒子の組合せにおいて、繊維質と粒子を混合させたものを堆積させた場合に比べ、繊維質を堆積させた後に粒子を堆積させた場合などで圧損上昇量が大きくなる試験結果がある。そのため、圧損試験においては、実験で想定される条件を検討の上、上述の圧損上昇の特性を踏まえて、試験条件の妥当性を確認する必要がある。 2. 圧損試験においては、異物の溶解、析出、追加付着等により圧損上昇に経時変化が考えられることから、十分な試験時間を確保し、非保守的な評価とならないよう配慮するとともに、試験水量の実験条件との違いによる影響についても検討することが必要である。 3. 想定される異物としては破損保温材以外の異物もあることから、圧損試験においては、それらの異物の取扱いについて各異物の物性を踏まえて非保守的な評価とならないよう、試験の妥当性を確認する必要がある。 4. ストレーナーに付着させる異物については、実験において想定される条件を検討の上、保守的な試験結果となるよう相当程度細かくする必要がある。 5. 試験流速については、実験と同等以上の接近流速にて測定するとともに、流速を変動させると、圧損上昇量に不可逆的な変化が生じる場合があることから、実験での運転実態を勘案して試験条件を設定する必要がある。 6. 試験温度については、水の粘性等について適切に取り扱っている限り特定の温度に限定する必要はないが、圧損試験の目的に照らして妥当であることを確認する必要がある。 7. PWRにおいては、冷却材がほぼ糖水であり、EGS系統の再循環運転において冷却材中に水酸化ナトリウム、ヒドランジ又はほう酸ナトリウムを添加することから、これらと格納容器内構造物や破損保温材等との化学反応によりストレーナーの圧損が上昇する可能性があり、その上昇の度合いは、異物等の種類、組合せによって異なるため、それらを考慮した上で、全体的な圧損上昇が最大となる条件で試験を行う必要がある。その際、実験の条件を模擬して日単位で圧損上昇が落ち着くまで試験を行う必要があるが、妥当性が確認された場合に限り、別途異物・薬剤等を投入することにより加速試験を行うことができる。 PWR の記載 参考文献 JNES-SS-0703「PWR サンプスクリーニング審査に関する堆積形態と化学影響の評価」、独立行政法人原子力安全基盤機構	【金属保温材のサイズはPWR 同様】 【破損保温材以外の異物】 - 堆積異物 スラッジ：[] 程度の粒径の酸化鉄粉末を圧損試験に投入している。 銅片：[] のメッシュにてふるいにかけた酸化鉄を圧損試験に投入している。 塵土：[] 程度の粒径のケイ砂粉末を圧損試験に投入している。 - 耐 DBA 仕様塗装：[] 程度のペイントチップを圧損試験に投入している。 - 非 DBA 仕様塗装：[] 程度のシリコンカーバイド粉末を圧損試験に投入している。 【粒子状異物のサイズは文献より設定】 - その他異物：圧損試験に投入しない。 (格納容器内に存在するスツッカーの総面積の75%を、ストレーナー有効表面積から差し引いて評価しているため。) 【その他異物はPWR 同様試験に投入しない】 - 化学影響生成異物： WCAP 手法により合成した圧損試験代替異物であるオキシ水酸化アルミニウムを圧損試験に投入している。 【化学影響生成異物の取扱はPWR 同様】	- 堆積異物は NEI04-07 の SER APPENDIX7 に記載と同等の密度である珪砂を用い、粒子径分布についても同記載と同等に準備する。 - 塗装については、試験水槽へ投入後の繊維同士の隙間に入り込みやすいように若干小さい粒子径であり、密度がほぼ同等であるクルミ殻粉末を投入する。 【異物の細かさ】 - 塗装は、クルミ殻を、十分微細と考えられる粉末程度まで粉砕している。 - 化学影響生成異物は、WCAP-16530-NP を用いて算出し、オキシ水酸化アルミニウムを試験装置に投入している。
---	--	--

内規	評価内容	既工認	PWR（教質2号）
別記2 圧損試験の実施に当たっては、プラント毎に実験の条件を踏まえるとともに、独立行政法人原子力安全基盤機構が実施した試験結果（JNES-SS-0703「PWRサンプスクリーン閉塞に関する堆積形態と化学影響の評価」）を踏まえて、次の事項に留意すること。 ⑫ 複数の種類の異物が付着した場合の圧損上昇については、付着量が同量であってもストレーナへの付着のさせ方によって圧損上昇量が異なる。具体的には、繊維質と粒子の組合せにおいて、繊維質と粒子を混合させたものを堆積させた場合に比べ、繊維質を堆積させた後に粒子を堆積させた場合などで圧損上昇量が大きくなる試験結果がある。そのため、圧損試験においては、実験で想定される条件を検討の上、上述の圧損上昇の特性を踏まえて、試験条件の妥当性を確認する必要がある。 ⑬ 圧損試験においては、異物の溶解、析出、追加付着等により圧損上昇に経時変化が考えられることから、十分な試験時間を確保し、非保守的な評価とならないよう配慮するとともに、試験水量の実験条件との違いによる影響についても検討することが必要である。 ⑭ 想定される異物としては破損保温材以外の異物もあることから、圧損試験においては、それらの異物の取扱いについて各異物の物性を踏まえて非保守的な評価とならないよう、試験の妥当性を確認する必要がある。 ⑮ ストレーナに付着させる異物については、実験において想定される条件を検討の上、保守的な試験結果となるよう相当程度細かくする必要がある。 ⑯ 試験流速については、実験と同等以上の換流流速にて測定するとともに、流速を変動させると、圧損上昇量に不可逆的な変化が生じる場合があることから、実験での運転状態を勘案して試験条件を設定する必要がある。 ⑰ 試験温度については、水の粘性等について適切に取り扱っている限り特定の温度に限定する必要はないが、圧損試験の目的に照らして妥当であることを確認する必要がある。 ⑱ PWRにおいては、冷却材がほう酸水であり、ECCS系統の再循環運転において冷却材中に水酸化ナトリウム、ヒドランジンはほう酸ナトリウムを添加することから、これらと格納容器内構造物や破損保温材等との化学反応によりストレーナの圧損が上昇する可能性があり、その上昇の度合いは、異物等の種類、組合せによって異なるため、それらを考慮した上で、全体的な圧損上昇が最大となる条件で試験を行う必要がある。その際、実験の条件を模擬して日単位で圧損上昇が著しくまで試験を行う必要があるが、妥当性が確認された場合に限り、別途異物・薬剤等を投入することにより加速試験を行うことができる。 参考文献 JNES-SS-0703「PWR サンプスクリーン閉塞に関する堆積形態と化学影響の評価」、独立行政法人原子力安全基盤機構	⑮ 【接近流速の考え方はPWR同様】 接近流速は大きいほど異物がストレーナに吸着し、圧損が上昇することから、代替循環冷却系ポンプの定格流量 250m³/h を上回る残留熱除去系ポンプの定格流量 1691.9m³/h での運転を想定し、異物による圧損を評価している。 ⑯ 【温度設定の考え方はPWR同様】 温度が低くなるほど水の粘性が高くなり、圧損評価上保守的となるため、代替循環冷却系ポンプの評価としては、既工認同様、添付書類十のサブレンジョン・プール水温度解析結果より、LOCA 後数十秒後には約 50℃以上となることから、保守的に□℃として設定している。	⑮ 各 ECCS ポンプの定格流量から試験流速を算出している。 ⑯ 同左	⑮ 試験時の接近流速については、実験と同等以上としている。実験の運転手順ではプラントの状態に応じポンプを止めることも可能であるため、接近流速は遅くなり圧損は小さくなるが、圧損試験の際は、上記を考慮せず、接近流速を実機と同等以上で一定としている。 ⑯ 圧損試験は室温で実施することとし、試験時に水温計測を行い設計条件の水温に換算を行う。尚、水温の違いによる圧損の違いは各水温における水の動粘性係数で換算を行っている。

本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-028 改7
提出年月日	平成30年5月14日

V-1-3-3 燃料体等又は重量物の落下による使用済燃料貯蔵槽内の
燃料体等の破損の防止及び使用済燃料貯蔵槽の機能喪失の
防止に関する説明書

目 次

1. 概 要	1
2. 基本方針	1
3. 燃料取扱設備における燃料集合体の落下防止対策	1
3.1 燃料取替機	2
3.2 原子炉建屋クレーン	2
3.3 使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン	2
3.4 チャンネル着脱機	3
3.5 まとめ	3
4. 使用済燃料プール周辺設備等の重量物（燃料集合体以外）の落下防止対策	4
4.1 落下防止対策の基本的な考え方	4
4.2 落下防止対策の検討	4
4.3 落下防止対策の設計	8
a. 離隔，固縛等による落下防止対策	8
b. 耐震性確保による落下防止対策	10
5. 使用済燃料プール内への落下物による使用済燃料プール内の燃料体等への影響評価	13
5.1 基本方針	13
5.2 強度評価方法	18
5.3 評価条件	22
5.4 評価結果	22
別紙 1 燃料集合体落下時の使用済燃料プールライニングの健全性について	23

1. 概 要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第26条第1項第4号及び第7号並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に基づき、燃料取扱いに使用するクレーン、装置等の燃料取扱設備における、燃料集合体の落下防止対策について説明するものである。あわせて、技術基準規則第26条第2項第4号ニ及びその解釈に基づき、燃料取扱設備等の重量物が落下しても使用済燃料プールの機能が損なわれないことを説明する。

2. 基本方針

燃料取扱設備（キャスク除染ピットを除く）について、通常運転時に使用する燃料体又は使用済燃料（以下「燃料体等」という。）の落下防止機能（ワイヤロープ二重化、動力電源喪失時の自動ブレーキ機能等）を有する設計とする。

また、燃料体等の取扱中に想定される燃料体等の落下時及び重量物の落下時においても、使用済燃料プールの冷却機能、遮蔽機能が損なわれないようにするため、燃料体等の落下に対しては十分な厚さのステンレス鋼内張りを施設して使用済燃料プール水の減少に繋がる損傷を防止するとともに、クレーン等の重量物の落下に対しては適切な落下防止対策を施す設計とする。また、使用済燃料プール内への重量物の落下によって燃料体等が破損しないことを計算により確認する。

3. 燃料取扱設備における燃料集合体の落下防止対策

燃料取扱設備は、燃料取替機、原子炉建屋クレーン、チャンネル着脱機及び使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンで構成する。燃料取替機、原子炉建屋クレーン及びチャンネル着脱機は、新燃料を原子炉建屋内に搬入してから炉心に装荷するまで、及び使用済燃料を炉心から取り出し原子炉建屋外へ移送するまでの取扱いを行える設計とする。使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンは、使用済燃料乾式貯蔵建屋内において燃料集合体を装填した使用済燃料乾式貯蔵容器の取扱いを行える設計とする。使用済燃料の使用済燃料プールからの搬出には、使用済燃料輸送容器又は使用済燃料乾式貯蔵容器（以下「容器」という。）を使用する。搬出に際しては、原子炉建屋内のキャスク除染ピット等にて容器の除染を行う。

また、燃料取扱設備のうち、燃料取替機、原子炉建屋クレーンは、未臨界性を確保した容器に収納して吊り上げる場合を除き、燃料体等を1体ずつ取扱う構造とすることにより、臨界を防止する設計とし、燃料体等の炉心から使用済燃料プールへの移動、使用済燃料プールから炉心への移動及び容器への収納時等に燃料体等をラック上に吊り上げ、水面に近づいた状態にあっても燃料体等からの放射線の遮蔽に必要な水深を確保できる設計とする。チャンネル着脱機は、燃料体等を1体ずつ取扱う構造とすることにより、臨界を防止する設計とし、燃料体等の検査等を行う際に水面に近づいた状態にあっても、燃料体等からの放射線の遮蔽に必要な水深を確保できる設計とする。

さらに、燃料取扱設備は、地震荷重等の適切な組合せを考慮しても強度上耐えうる設計とするとともに、ワイヤロープの二重化、フック部の外れ止め及び動力電源喪失時の保持機能等を有することで、移動中の燃料体等の落下を防止する設計とする。

また、燃料取扱設備は、その機能の健全性を確認するため、定期的に試験及び検査を行う。

燃料取扱いに使用する燃料取替機，原子炉建屋クレーン，チャンネル着脱機及び使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンの概要を以下に示す。

3.1 燃料取替機

燃料取替機は原子炉建屋原子炉棟6階に設けたレール上を水平に移動するブリッジと、その上を移動するトロリで構成する。

トロリ上には、燃料体等をつかむためのグラップルを内蔵した燃料把握機があり、燃料体等は、グラップルにてつかまれた状態で原子炉ウェル及び使用済燃料プール内の適切な位置に移動することができる設計とする。

グラップルのフックは空気作動式とし、燃料体等をつかんだ状態で空気源が喪失しても、安全側に働いて燃料体等を落とすことのない構造とする。また、燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する設計とする。

ブリッジ及びトロリの駆動並びに燃料把握機の昇降を安全かつ確実に行うために、グラップルには機械的インターロックを設ける。

燃料取替機は、取扱い中に燃料体等を損傷させないように、あらかじめ設定する荷重値を超えた場合、上昇を阻止するインターロックを有することで燃料体等の破損やそれに伴う燃料体等の落下を防止する設計とする。あわせて、駆動源喪失の場合にも燃料体等の保持状態を維持する設計とする。

燃料取替機は耐震Bクラスで設計し、走行部はレールを抱え込む構造として地震時に落下することがない設計とする。耐震設計の方針は、添付資料「V-2-11-2-1 燃料取替機の耐震性についての計算書」に示す。

3.2 原子炉建屋クレーン

原子炉建屋クレーンは、原子炉建屋内壁に沿って設けたレール上を水平に移動するガーダと、その上を移動するトロリで構成する。

原子炉建屋クレーンは、原子炉建屋内で新燃料搬入容器、使用済燃料輸送容器の移送及び新燃料等の移送を安全かつ確実に行うものである。本クレーンは、新燃料搬入容器、使用済燃料輸送容器及び新燃料等の移送中において、駆動源が喪失しても確実に保持できる。

フックは、玉掛け用ワイヤロープ等が当該フックから外れることを防止するための装置を設ける。さらに、重量物を吊った状態において、使用済燃料プール上を通過できないよう、モード選択により、移送範囲の制限を行うため、インターロックを設ける。

また、重量物を移送する主巻フックはイコライザハンガをストッパ方式にすることで仮にワイヤロープが切れた場合でも重量物が落下せず、安全に保持できる設計とする。

原子炉建屋クレーンは耐震Bクラスで設計し、走行部は浮き上がり代を設けた構造として地震時に落下することがない設計とする。耐震設計の方針は、添付資料「V-2-11-2-2 原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算書」に示す。

3.3 使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン

使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンは、使用済燃料乾式貯蔵建屋内壁に沿って設けたレール上を水平に移動するガーダと、その上を移動するトロリで構成する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンは、使用済燃料乾式貯蔵建屋内で使用済燃料乾式貯蔵容器の移送を行うものである。本クレーンは、使用済燃料乾式貯蔵容器の移送中において、駆

動源が喪失しても確実に保持できる。

フックは、使用済燃料乾式貯蔵容器専用吊り治具又は玉掛け用ワイヤロープ等が当該フックから外れることを防止するための装置を設ける。さらに、重量物を吊った状態において、他の使用済燃料乾式貯蔵容器と接触しないインターロックを設けると共に、主巻ドラムに設けた回転速度計により巻速度を制限加速度以内にすることで、使用済燃料乾式貯蔵容器が異常着床しない設計とする。

主巻ワイヤロープは、横行トロリ上に設けた過巻防止装置によりワイヤロープの過巻による破断を防ぐ設計とする。

また、重量物を移送する主巻フックは二重のワイヤロープにすることで仮にワイヤロープ1本が切れた場合でも重量物が落下せず、安全に保持できる設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンは耐震Bクラスで設計し、走行部は浮き上がり代を設けた構造として地震時に落下することがない設計とする。耐震設計の方針は、添付資料「V-2-11-2-3 使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンの耐震性についての計算書」に示す。

3.4 チャンネル着脱機

チャンネル着脱機は、1 体のみ燃料体等を載せることのできる台座と燃料体等が倒れないよう上部で支持する固定具が一体となり昇降する装置である。チャンネル着脱機は、新燃料搬入等の際に燃料体等を保持して昇降し、原子炉建屋クレーンと燃料取替機間の受け渡しを行い、検査対象となった燃料体等のチャンネルボックスを取り外すための当該燃料体等の昇降、及び燃料体等の検査等のために当該燃料体等を昇降する装置である。チャンネル着脱機は、駆動源喪失の場合にも燃料体等の保持機能を維持する設計とするとともに、下限ストoppによる機械的インターロック及び燃料体等が倒れないよう上部で保持する固定具により燃料体等の使用済燃料プール床面への落下を防止する設計とする。

チャンネル着脱機は耐震Bクラスで設計し、走行部は浮き上がり代を設けた構造として地震時に落下することがない設計とする。耐震設計の方針は、添付資料「V-2-11-2-4 チャンネル着脱機の耐震性についての計算書」に示す。

3.5 まとめ

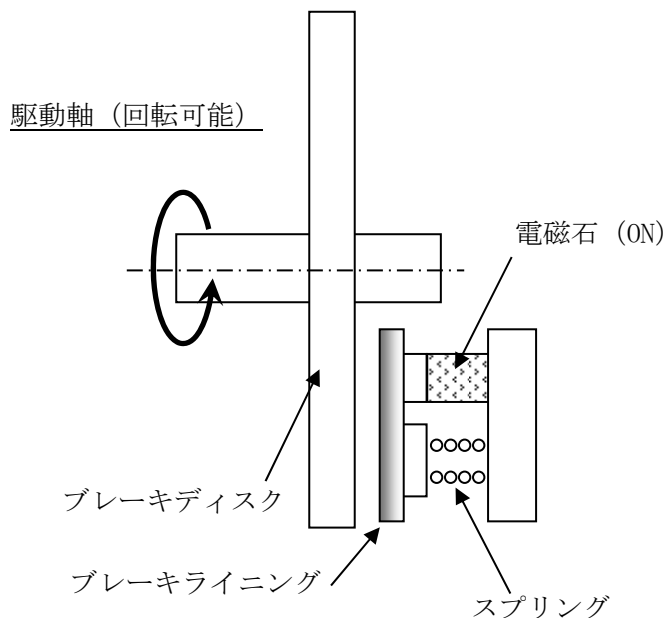
燃料取扱設備における燃料体等の落下防止対策をまとめたものを第1表に示す。また、第1図に燃料取替機及び原子炉建屋クレーンにおける電磁ブレーキの概要、第2図に同様に電磁ブレーキの動作原理、第3図に燃料把握機の二重ワイヤロープでグラップルを保持する構造、第4図にグラップルの空気源喪失時にも燃料体等をつかむ構造、第5図に原子炉建屋クレーンにおけるフックの外れ止め装置、第6図に原子炉建屋クレーンにおけるイコライザハンガのストopp方式概念図を示す。

第1表 燃料体等の落下防止対策

機器名称	落下防止対策
燃料取替機	(1) 巻き上げ機は電源遮断時に電磁ブレーキのスプリング機構で保持する構造 (2) 燃料把握機は二重ワイヤロープでグラップルを保持する構造 (3) グラップルは空気源喪失時にも燃料集合体をつかむ構造 (4) グラップルの機械的インターロック (5) 燃料体等取扱時の過荷重インターロック
原子炉建屋クレーン	(1) 巻き上げ機は電源遮断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2) フックの外れ止め (3) 主巻フックはイコライザハンガをストッパ方式にすることで仮にワイヤロープが切れた場合でも保持される構造 (4) モード選択による移送範囲を制限するインターロック
チャンネル着脱機	(1) 電源遮断時に電磁ブレーキで駆動軸を保持する構造 (2) 下限ストッパによる機械的インターロック (3) 固定具により燃料体等が倒れないよう上部で保持する構造
使用済燃料 乾式貯蔵建屋 天井クレーン	(1) 巻き上げ機は電源遮断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2) フックの外れ止め (3) 主巻フックは二重ワイヤロープでグラップルを保持する構造

【巻き上げ機運転時（電源投入時）の状態】

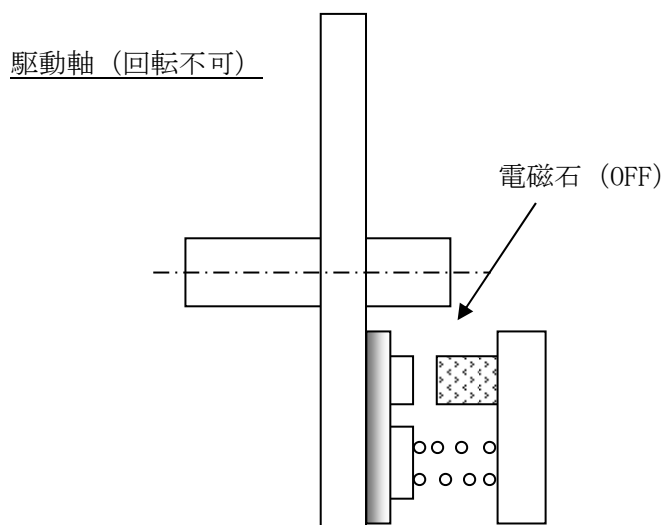
巻き上げ機運転時は、電磁石にてブレーキライニングを吸い寄せ、ブレーキライニングとブレーキディスクの間に隙間ができるため、駆動軸は回転可能な状態である。



第1図 電磁ブレーキの概要

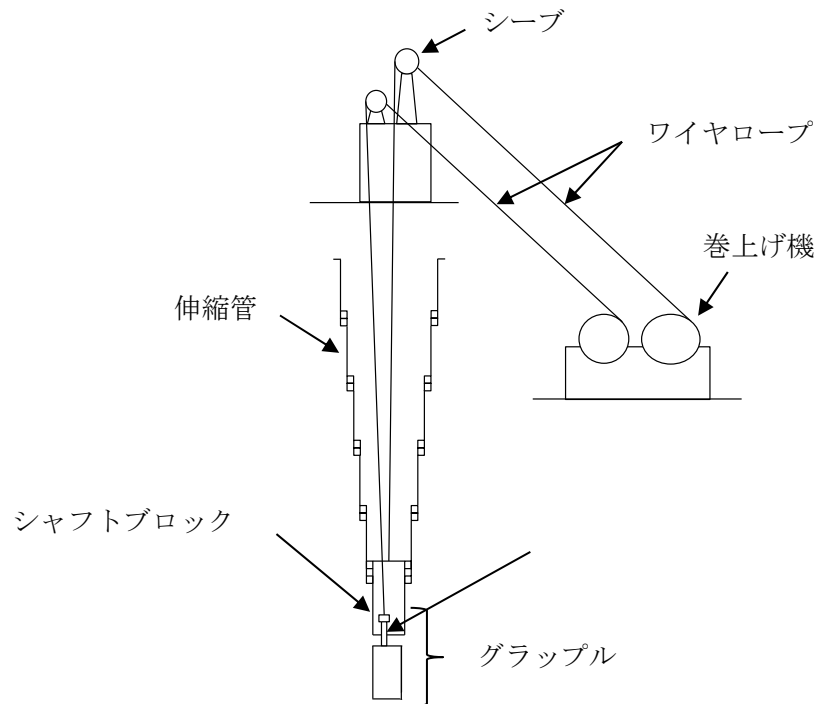
【巻き上げ機停止時（電源遮断時）の状態】

巻き上げ機停止時、あるいは、電源遮断時には、スプリングの力によってブレーキライニングをブレーキディスクに押し付け、駆動軸が回転できない状態である。



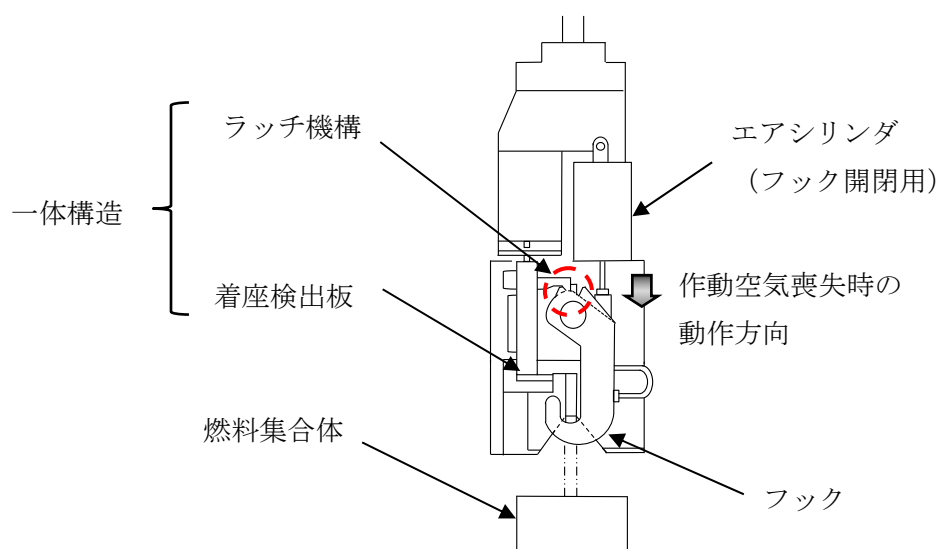
第2図 電磁ブレーキの動作原理

燃料取替機のワイヤロープは、二本有しており、一本が「燃料集合体並びにグラップル」を、もう一本が「伸縮管」をそれぞれ吊る構造となっている。仮にワイヤロープが一本破断したとしても、残りのワイヤロープ一本で燃料集合体並びにグラップル、伸縮管を保持でき、燃料集合体等を落下させず、安全に支持できる設計とする。

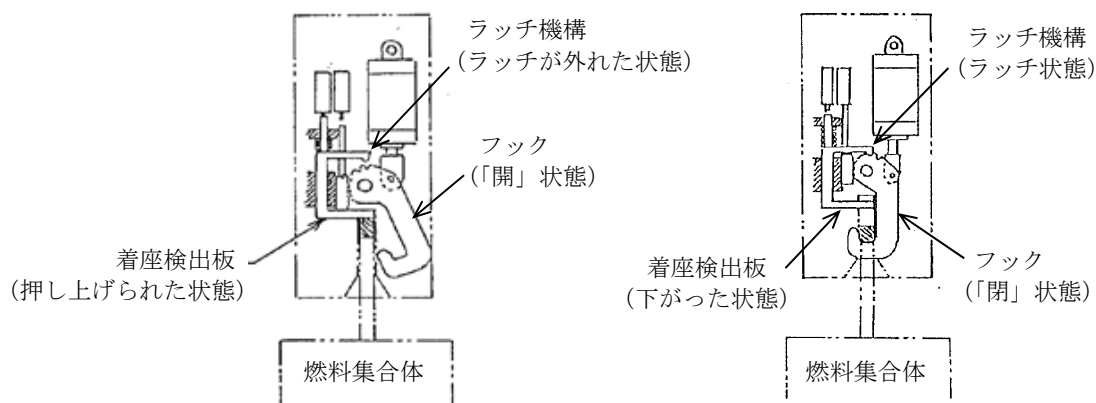


第3図 燃料把握機の二重ワイヤロープでグラップルを保持する構造

グラップルは、動力源となる作動空気が喪失した場合でも、フック開閉用のエアシリンダ内のバネによりフックが閉方向に動作する。また、燃料体等を吊った状態において、グラップルはラッチ機構によりフックが固定されるため、フックは開方向に動作しない。また、ラッチ機構をフック開方向に動作させるには、燃料集合体が着座し、ハンドル部が着座検出板を押し上げる必要があり、このような機械的インターロックを備えているとともに、フックは動力源となる作動空気が喪失した場合でも、フック開閉用エアシリンダ内のバネにより、常に閉方向に動作する。



グラップル部概念図

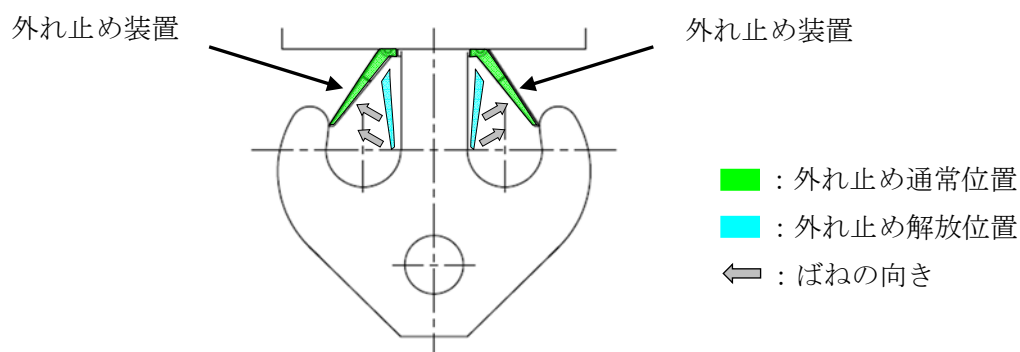


グラップルフック「開」状態

グラップルフック「閉」状態

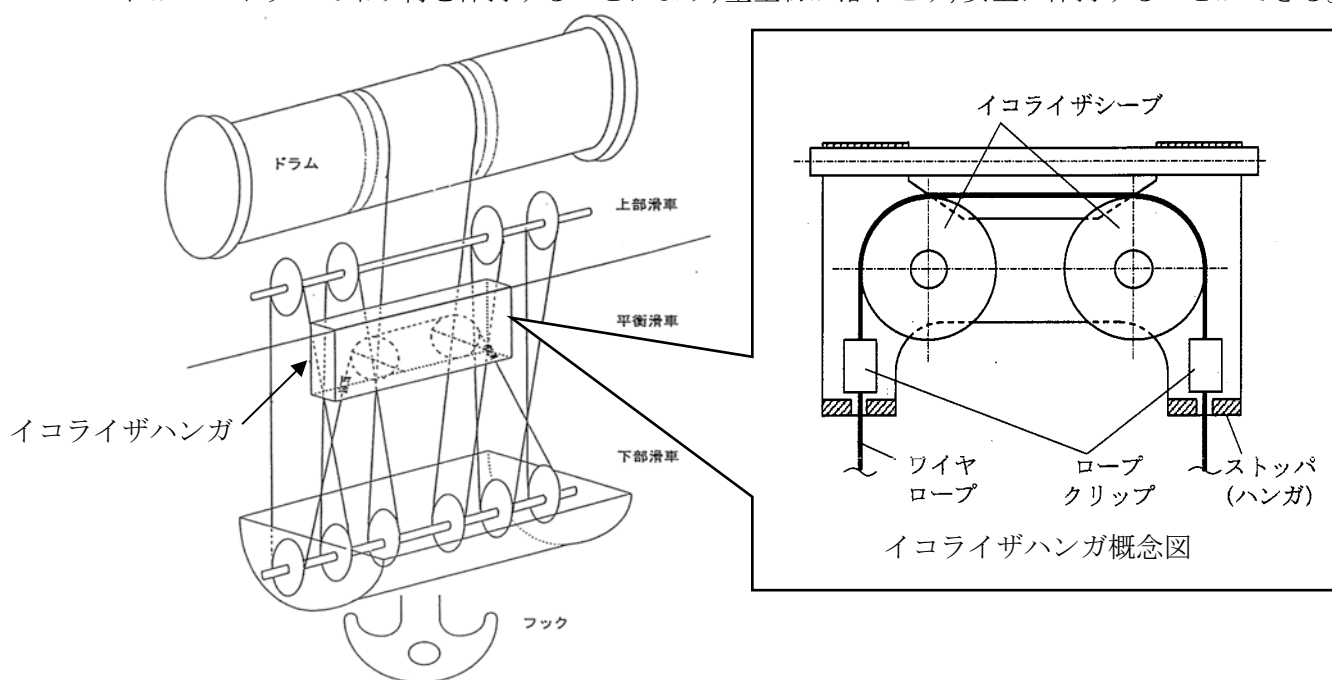
第4図 グラップルの空気源喪失時にも燃料体等をつかむ構造

フックの外れ止め装置は、吊荷がフックから外れないようにバネの力により通常位置に保持されるため、吊荷のフックからの脱落を防ぐことができる。



第5図 フックの外れ止め装置

主巻のイコライザハンガをストッパ方式にすることで、仮にワイヤロープが切れた場合でもいずれかのストッパで吊り荷を保持することにより、重量物が落下せず、安全に保持することができる。



第6図 イコライザハンガのストッパ方式概念図

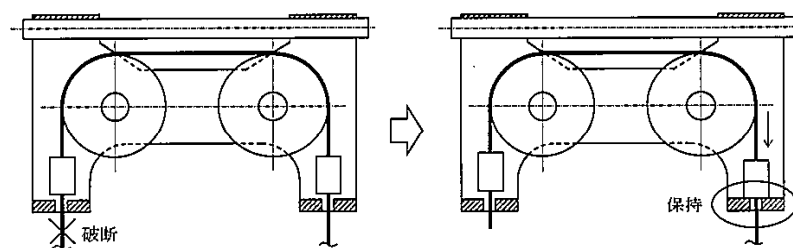
ワイヤロープ破断時の動作について

ケース①：ワイヤロープがイコライザハンガ外で破断した場合

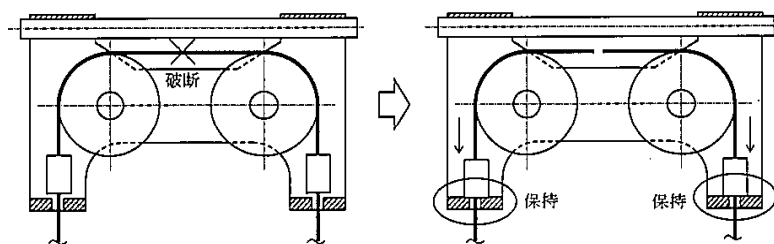
吊荷の質量により、イコライザハンガから破断していない方のワイヤロープが引き出されるが、ロープクリップがストッパに当たり保持されることにより、引き出しが止まり落下しない。

ケース②：ワイヤロープがイコライザハンガ内で破断した場合

吊荷の質量により、イコライザハンガから両方のワイヤロープが引き出されるが、それぞれのロープクリップがストッパに当たり保持されることにより、引き出しが止まり落下しない。



ワイヤロープがイコライザハンガ外で破断した場合の概要図



ワイヤロープがイコライザハンガ内で破断した場合の概要図

4. 使用済燃料プール周辺設備等の重量物（燃料集合体以外）の落下防止対策

4.1 落下防止対策の基本的な考え方

模擬燃料集合体の気中落下試験（以下「落下試験」という。）での最大減肉量を考慮しても使用済燃料プールの機能が損なわれない厚さ以上のステンレス鋼内張り（ライニング）を施設することから、気中落下時の衝突エネルギーが落下試験より大きい設備等に対して、適切な落下防止対策（離隔、固縛等又は基準地震動に対する落下防止設計）を実施する。

気中落下時の衝突エネルギーは、使用済燃料プールライニング面（EL. 34.689 m）からの各設備等の設置高さに応じた位置エネルギーとする。

気中落下時の衝突エネルギーが落下試験の衝突エネルギーより小さい設備等については、適切に落下防止するとともに、落下形態を含めて落下試験結果に包絡されるため、使用済燃料プール水の減少に繋がるようなステンレス鋼内張りの損傷のおそれはない。

なお、気中落下時の衝突エネルギーによる使用済燃料プール内張りの減肉量を評価しているため、実際に使用済燃料プール内に落下した場合に想定される水の浮力や落下中の水抵抗による衝突エネルギーの減少は保守的に考慮していない。

また、燃料集合体については、模擬燃料集合体の重量を超えるものもあるが、水中での重量が気中での模擬燃料集合体重量以下であるため、気中での模擬燃料集合体の衝突エネルギーを下回ることを確認している。

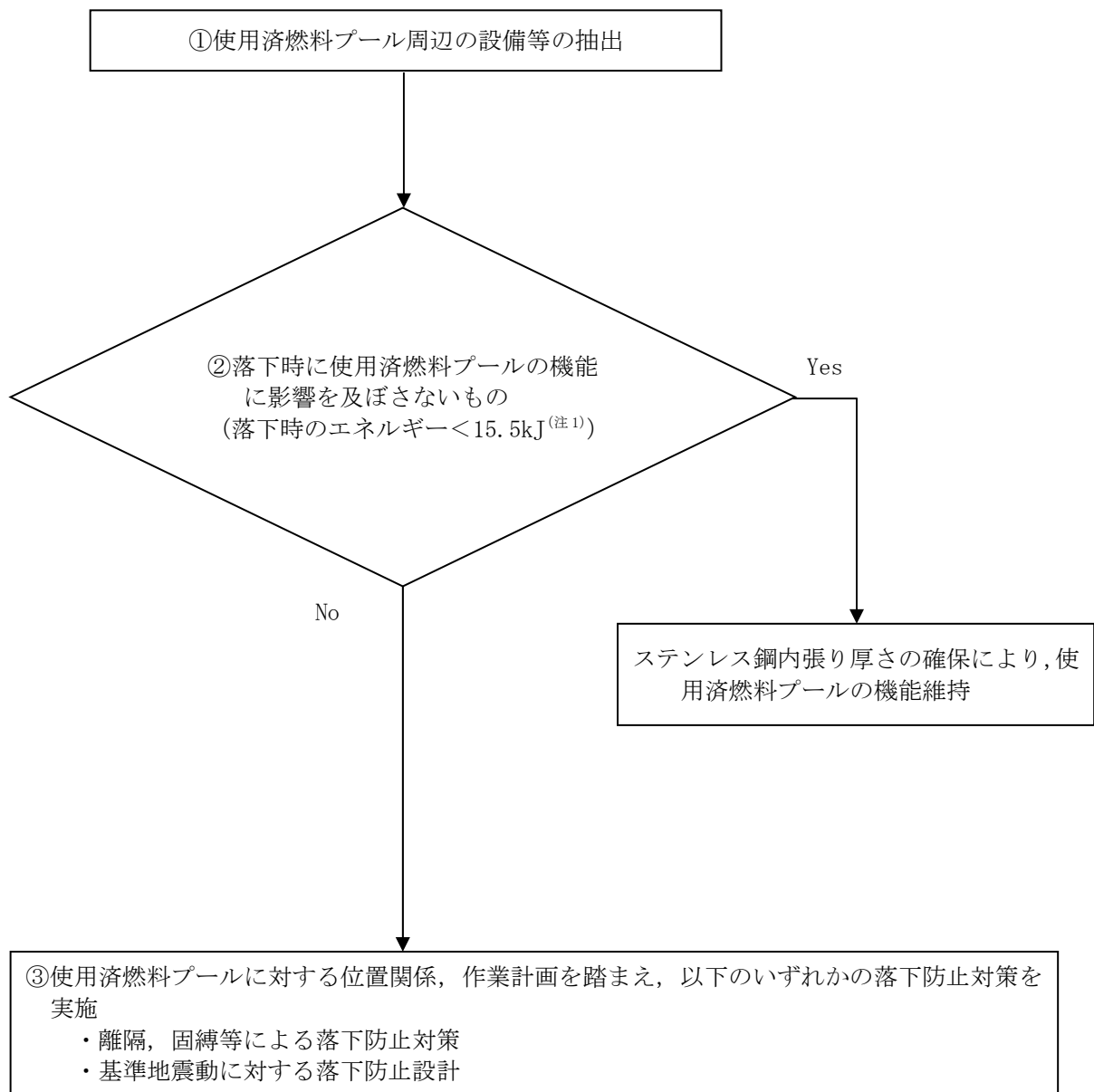
使用済燃料プールライニングの健全性については、別紙 1「燃料集合体落下時の使用済燃料プールライニングの健全性について」に示す。

4.2 落下防止対策の検討

使用済燃料プール周辺設備等の重量物のうち、使用済燃料プールへの落下時に使用済燃料プールの機能に影響を及ぼすおそれのある重量物について、使用済燃料プールとの位置関係、作

業計画，ウォークダウンの結果を踏まえて網羅的に抽出する。落下防止対策としては，気中落下時の衝突エネルギーが落下試験の衝突エネルギーより大きい設備等について，使用済燃料プールからの離隔を確保できる重量物は，十分な離隔距離を確保し，必要に応じて固縛又は固定等により落下防止を行う。十分な離隔を確保できない重量物は，基準地震動 S_s による地震荷重に対し使用済燃料プールへ落下しない設計を行う。

重量物の抽出フロー及び落下防止対策を第7図に，その結果を第2表に示す。



(注 1) 落下試験時の模擬燃料集合体の落下エネルギー

第 7 図 重量物の落下フロー及び落下防止対策

第2表 重量物の抽出結果及び落下防止対策

番号	①使用済燃料プール周辺設備等	②落下時に使用済燃料プールの機能に影響を及ぼさないもの ^(注1) (落下時のエネルギー<15.5kJ)			③使用済燃料プールに対する位置関係、作業計画を踏まえた落下防止対策
		重量	高さ	評価	
1	原子炉建屋原子炉棟	特定不可	～約 35m	—	基準地震動に対する落下防止対策
2	燃料取替機	約 23 t	約 12m	× 約 2.7MJ	基準地震動に対する落下防止対策
3	原子炉建屋クレーン	約 48 t	約 20m	× 約 9.4MJ	基準地震動に対する落下防止対策 離隔、固縛等による落下防止対策
4	その他クレーン	約 1000kg	約 17m	× 約 167kJ	基準地震動に対する落下防止対策
5	移送後の PCV ヘッド (取扱具含む)	約 56t	約 14m	× 約 7.7MJ	離隔、固縛等による落下防止対策
6	移送後の RPV ヘッド (取扱具含む)	約 4.6t	約 14m	× 約 631kJ	離隔、固縛等による落下防止対策
7	移送後の ドライヤ、セパレータ等 (取扱具含む)	約 430kg	約 12m	× 約 50.6kJ	離隔、固縛等による落下防止対策
8	プール内設置物	約 100kg	約 5m	○ 約 4.9 k J	基準地震動に対する落下防止対策
9	プールゲート類	約 2.7t	約 12m	× 約 318kJ	離隔、固縛等による落下防止対策
10	キャスク (取扱具含む)	約 120t	約 14m	× 約 16.5MJ	離隔、固縛等による落下防止対策
11	電源盤類	—	約 12m	—	離隔、固縛等による落下防止対策
12	フェンス・ラダー類	約 300 kg	約 12m	× 約 24kJ	離隔、固縛等による落下防止対策
13	装置類	約 800 kg	約 12m	× 約 94kJ	離隔、固縛等による落下防止対策
14	作業用機材類	<100kg	約 12m	○ <11.8kJ	—
15	計器・カメラ・通信機器類	<300kg	約 4m	○ <11.8kJ	—
16	試験・検査用機材類	約 500kg	約 14m	× 約 69 k J	離隔、固縛等による落下防止対策
17	コンクリートプラグ・ハッチ類	約 7.5t	約 14m	× 約 1.0MJ	離隔、固縛等による落下防止対策
18	空調機	約 100kg	約 14m	—	離隔、固縛等による落下防止対策
19	重大事故等対処設備	—	—	—	基準地震動に対する落下防止対策

(注1)：落下エネルギーが 15.504 kJ ($310 \text{ kg} \times 5.1 \text{ m} \times 9.80665 \text{ m/s}^2$) 以上であれば「×」、15.504 kJ 未満であれば「○」

(高さは、使用済燃料プールライニング面までの高さであり、落下時のエネルギーは、水の浮力、落下中の水抵抗を考慮しない気中落下した場合の保守的な値としている。)

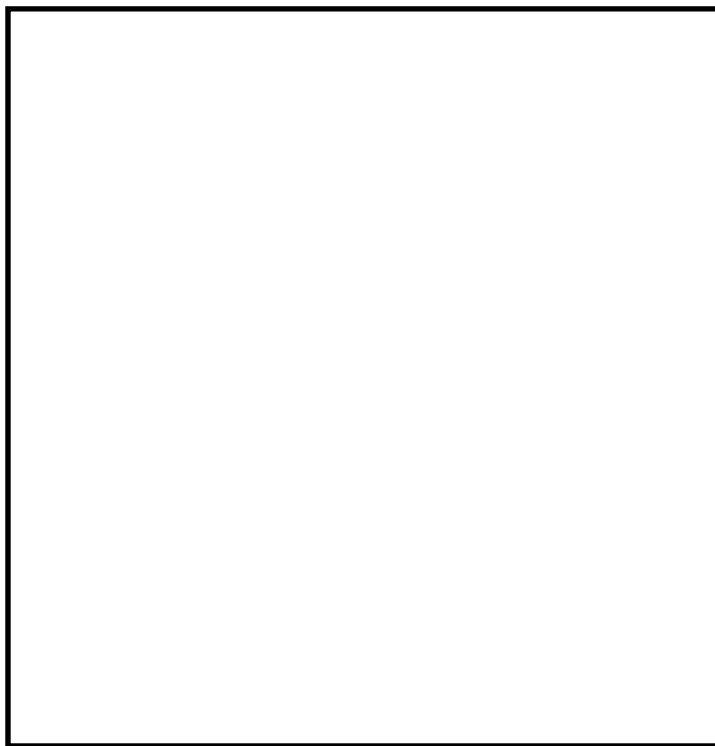
4.3 落下防止対策の設計

a. 離隔，固縛等による落下防止対策

(a) 原子炉建屋クレーン(第2表，番号3)

原子炉建屋クレーン走行レール及び横行レールは原子炉建屋原子炉棟運転床面全域を走行及び横行できるよう敷設されているが，重量物及びキャスクの移送を行う際には，重量物及びキャスクが使用済燃料プール上を通過しないよう，レールに沿って設置されたリミットスイッチ及びインターロックによる移送範囲の制限により，使用済燃料プールへの重量物及びキャスクの落下を防止する設計とする。

また，原子炉建屋クレーンの重量物移送及びキャスク移送のインターロックによる移送範囲を第8，9図に示す。



第8図 原子炉建屋クレーンのインターロック（Bモード）による
重量物移送範囲



第9図 原子炉建屋クレーンのインターロック（Aモード）による
キャスク移送範囲

(b) 原子炉建屋クレーンの吊荷（第2表 番号5, 6, 7, 9, 10）

重量物及びキャスクの移送を行う際には、重量物及びキャスクが使用済燃料プール上を通過しないよう、レールに沿って設置されたリミットスイッチ及びインターロックにより移送範囲を制限するため、重量物及びキャスクは使用済燃料プールへ落下しない。

原子炉建屋クレーンは、駆動電源喪失時保持機能、イコライザハンガのストップ方式化、フックの外れ止め金具等により、プールゲート等の落下防止を図っている。

(c) 燃料取替機の吊荷（燃料集合体及びツインブレードガイド）

重量物の移送を行う際には、重量物が使用済燃料プール内で落下しないよう、インターロックにより移送範囲や吊り上げ高さを制限することに加え、ワイヤロープ二重化等の構造上の対策により落下防止対策を図っている。

(d) PCV ヘッド、RPV ヘッド、電源盤等（第2表 番号5, 6, 10～13, 16～19）

PCV ヘッド、RPV ヘッド、電源盤類、コンクリートプラグ・ハッチ類、キャスク等は、設置高さが使用済燃料プールのフロアレベルであり、地震時に転倒しても、使用済燃料プールに落下しない設計とする。これら設備は重量物であり、車輪の

ような抵抗を緩和させる構造もないことから、転倒を仮定しても使用済燃料プールに届かない距離に設置する設計とする。

(e) ドライヤ、セパレータ等（取扱具含む）（第2表 番号7）

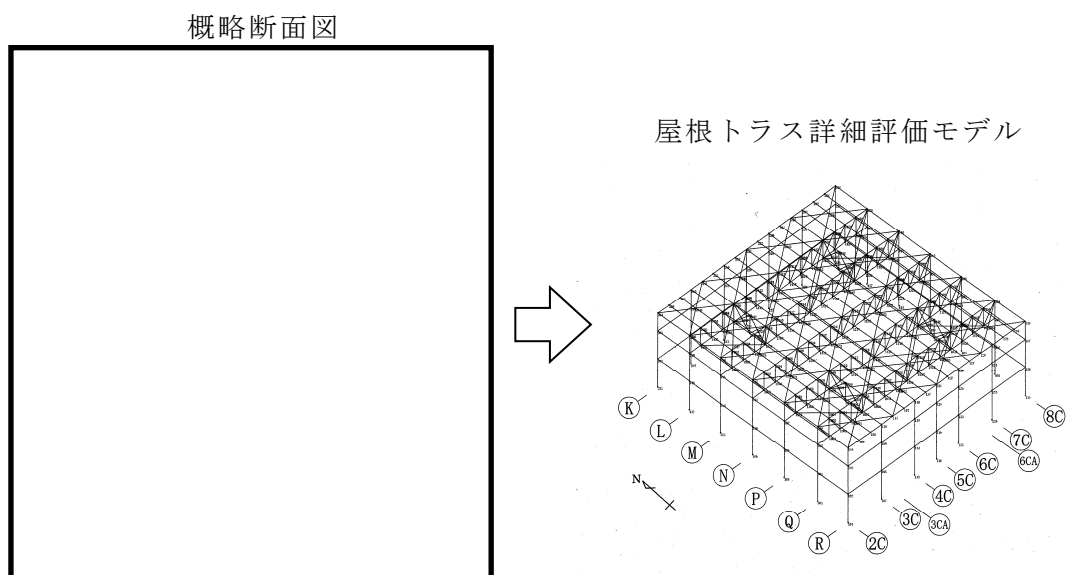
ドライヤ、セパレータ等は、D/Sプールに設置するため、使用済燃料プールに落下しない。

b. 耐震性確保による落下防止対策

(a) 原子炉建屋及び使用済燃料プール上部にある常設設備（第2表 番号1）

原子炉建屋については、原子炉建屋原子炉棟6階（EL.46.5 m）より上部の鉄筋コンクリート造の壁及び鉄骨造の屋根トラス、屋根面水平ブレース等を線材、面材により立体的にモデル化した立体架構モデルを作成し、基準地震動 S_s に対する評価を行い、屋根トラスにおいて水平地震動と鉛直地震動を同時に考慮した発生応力が終局応力を超えず、使用済燃料プール内に落下しない設計とする。なお、屋根については鋼板（デッキプレート）の上に鉄筋コンクリート造の床を設けた構造となっており、地震による剥落はない。原子炉建屋原子炉棟6階より上部を構成する壁は鉄筋コンクリート造の耐震壁であり、原子炉建屋原子炉棟6階より下部の耐震壁とあわせて基準地震動 S_s に対して落下しない設計とする。なお、使用済燃料プール上部にある常設設備としては天井照明があるが、その落下エネルギーは気中落下試験時の燃料集合体の落下エネルギーより小さいため評価不要である。

耐震設計評価結果については、添付資料「V-2-2-2 原子炉建屋の耐震性についての計算書」に示す。



第10図 原子炉建屋屋根評価モデル

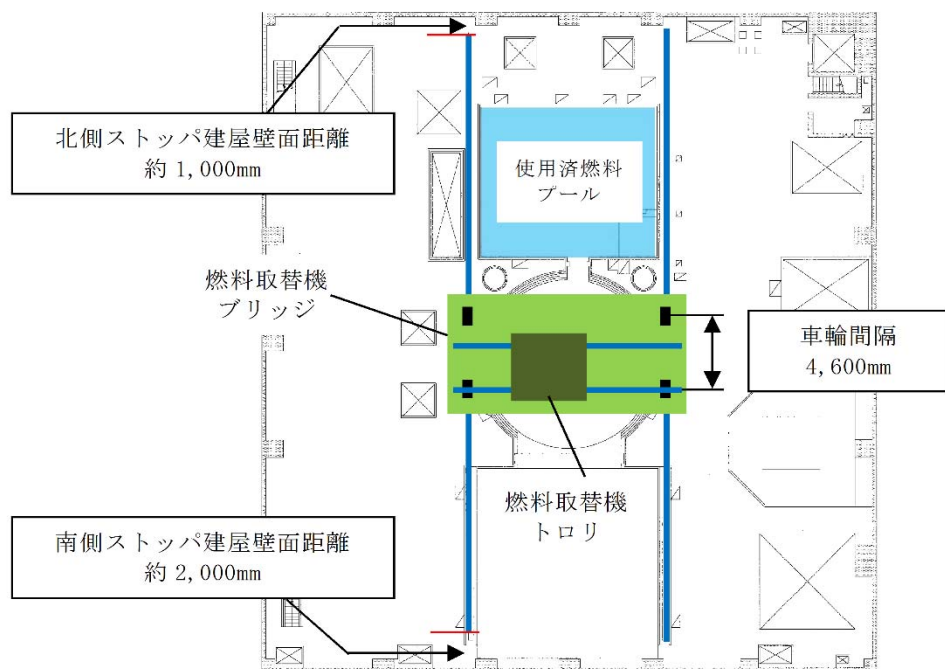
(b) 燃料取替機（第2表 番号2）

燃料取替機は、浮上りによる脱線を防止するため、脱線防止装置を設置する。脱線防止装置は、走行レールの頭部を脱線防止装置にて抱き込む構造であり、燃料取替機の浮上りにより走行、横行レールより脱線しない構造とする。

なお、各レールにはレール走行方向に対する脱線を防止するため、ストoppaが設置されているが、地震時等に走行、横行レール上を燃料取替機、トロリが滑り、仮に本ストoppaが損傷したとしても、走行レールについては建屋壁面との離隔距離より、燃料取替機の全車輪がレールから脱線するおそれは無く、横行レールについては、ブリッジ上部にレールが敷設されており、トロリが脱線したとしても走行レール外側（使用済燃料プールエリア外）へ脱線することから、使用済燃料プールに落下することはない。

燃料取替機は、想定される最大重量の吊荷（定格荷重：450kg）を吊った状態においても、基準地震動 S_s に対して使用済燃料プールに落下しない設計とする。

耐震設計評価結果については、添付資料「V-2-11-2-1 燃料取替機の耐震性についての計算書」に示す。



第 11 図 燃料取替機と使用済燃料プールの位置関係

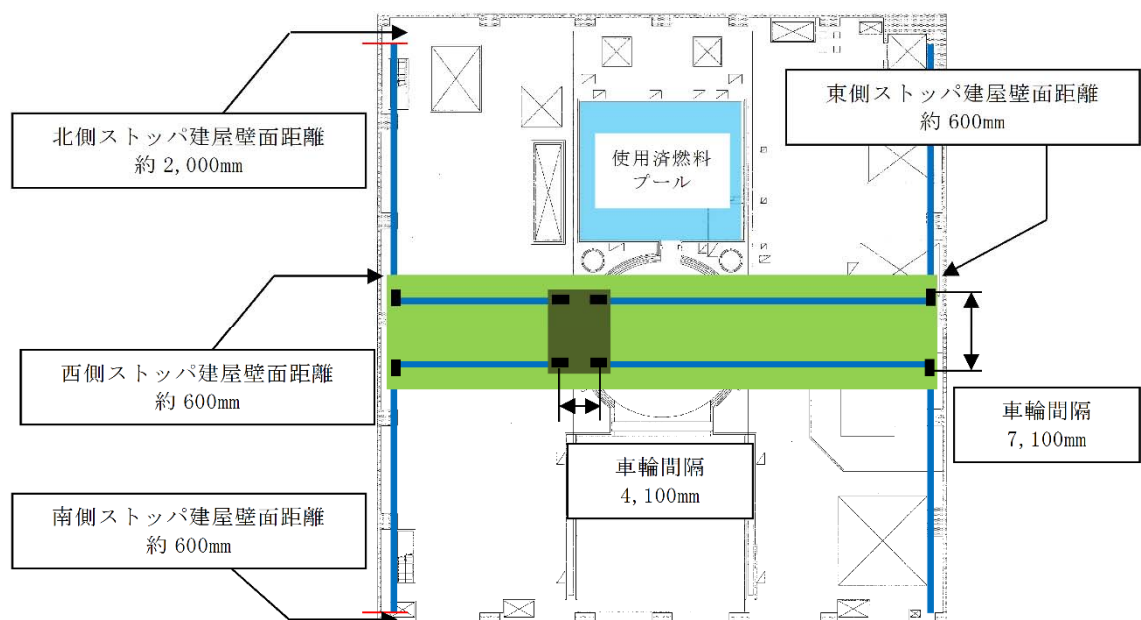
(c) 原子炉建屋クレーン（第2表 番号3）

原子炉建屋クレーンは、浮上りによる脱線を防止するため、脱線防止装置を設置する。脱線防止装置は、ランウェイガータ当り面、横行レールに対し、浮上り代を設けた構造であり、クレーンの浮上りにより走行、横行レールより脱線しない構造としている。

なお、各レールにはレール走行方向に対する脱線を防止するため、ストoppaが設置されているが、地震時等に走行、横行レール上を原子炉建屋クレーン、トロリが滑り、仮に本ストoppaが損傷したとしても、各レールと建屋壁面との離隔距離より、原子炉建屋クレーン、トロリがレールから脱線するおそれはなく、使用済燃料プールに落下することはない。

原子炉建屋クレーンは、下部に設置された上位クラス施設である使用済燃料プールに対して、波及的影響を及ぼさないことを確認することから、想定される最大重量の吊荷（定格荷重：125t）を吊った状態においても、基準地震動 S_s に対して使用済燃料プールへの落下を防止する設計とする。

耐震性評価結果については、添付資料「V-2-11-2-2 原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算書」にて示す。



第12図 原子炉建屋クレーンと使用済燃料プールの位置関係

(d) その他クレーン類（第2表 番号4）

使用済燃料プール用ジブクレーンは、燃料集合体外観検査時に検査対象燃料のチャンネル・ボックスの着脱に使用している。

使用済燃料プール用ジブクレーンは、使用済燃料プール手摺り外側に設置されており、使用済燃料プールと離隔距離が確保されることに加え、床面にボルトにて固定されていることから使用済燃料プールに落下することはない。

5. 使用済燃料プール内への落下物による使用済燃料プール内の燃料体等への影響評価

使用済燃料プール内への落下物によって使用済燃料プール内の燃料体等が破損しないことを計算により確認する。

5.1 基本方針

(1) 影響評価の基本的考え方

4.において気中落下時の衝突エネルギーが落下試験の衝突エネルギーより大きい設備等については適切な落下防止対策を実施することから、落下試験の衝突エネルギーを適用して使用済燃料プール内の燃料体等への影響評価を実施する。

以降においては、燃料体等からチャンネル・ボックスを除いた状態を「燃料集合体」と呼び、評価については、燃料集合体のうち核燃料物質及び核分裂生成物を内包する燃料被覆管が、放射性物質の閉じ込め機能を保持するよう、破損に至るような変形に対して妥当な安全余裕を有することを計算により確認する。

(2) 落下物の選定

上述のとおり第2表において落下防止対策を施さない重量物による落下エネルギーを包含できる落下物として、模擬燃料集合体を選定する。

(3) 評価方針

燃料集合体の概要を第13.1～2図及び燃料集合体とラックの関係図を第13.3図に示す。

燃料集合体の強度評価フローを第14図に示す。

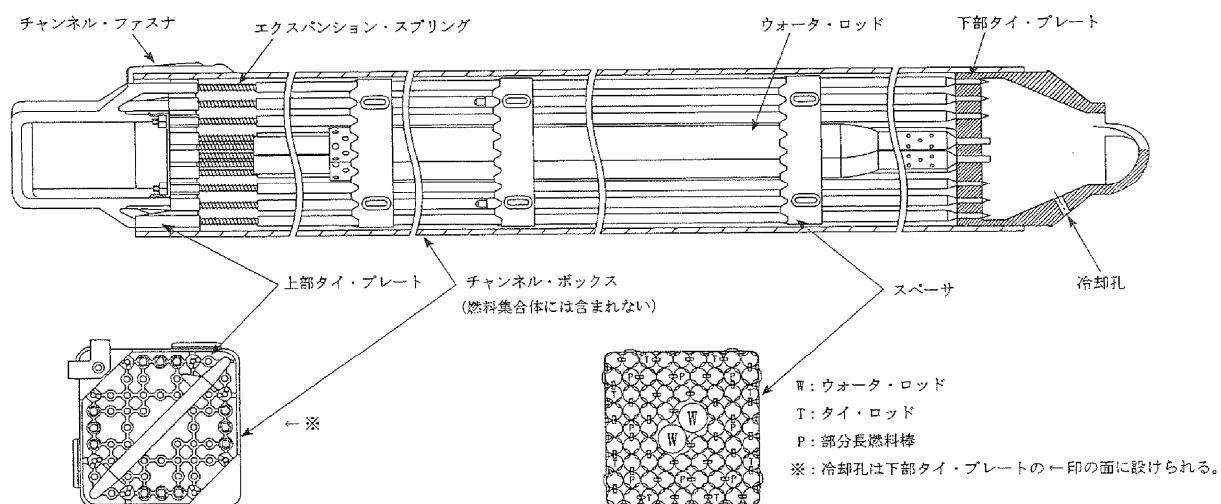
燃料集合体の強度評価においては、その構造を踏まえ、落下物による荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

落下物による燃料集合体への影響については、落下物の衝突により生じるひずみが許容値を超えないことを確認する。

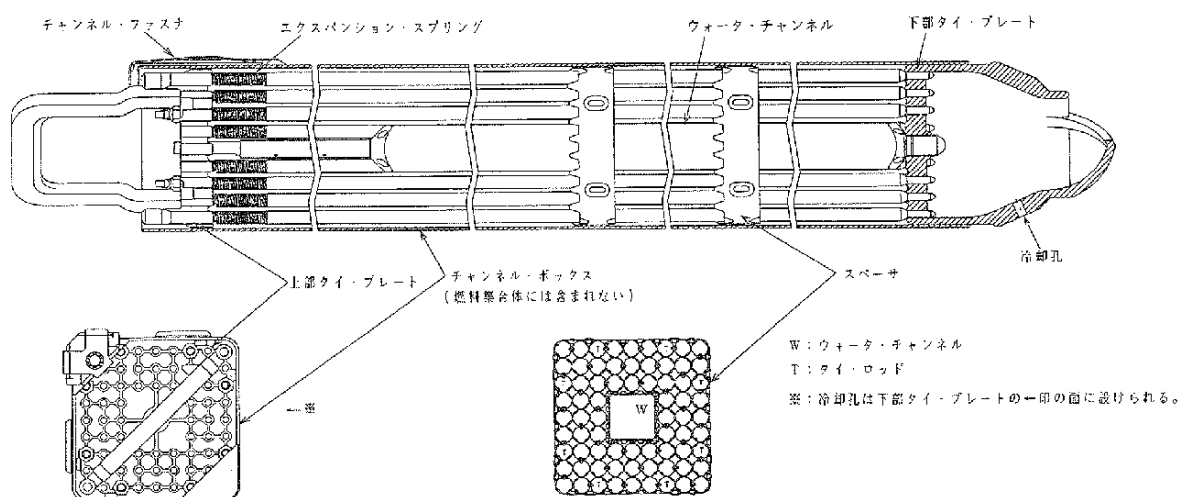
燃料集合体は冷却水中に貯蔵しているため、落下物には水の抵抗力及び浮力が生じるが、保守的に気中で落下する場合を想定する。また、落下物が同時に複数の燃料集合体に衝突することが考えられるが、保守的に1体の燃料集合体に落下物が衝突するものとして計算を行う。

燃料集合体は第 13.3 図のとおり，ラック内に貯蔵されている。燃料被覆管部分はラック内にあるが，燃料集合体上部は露出した状態にある。よって，落下物は燃料集合体の上部タイ・プレートに直接衝突するものとして評価を行う。

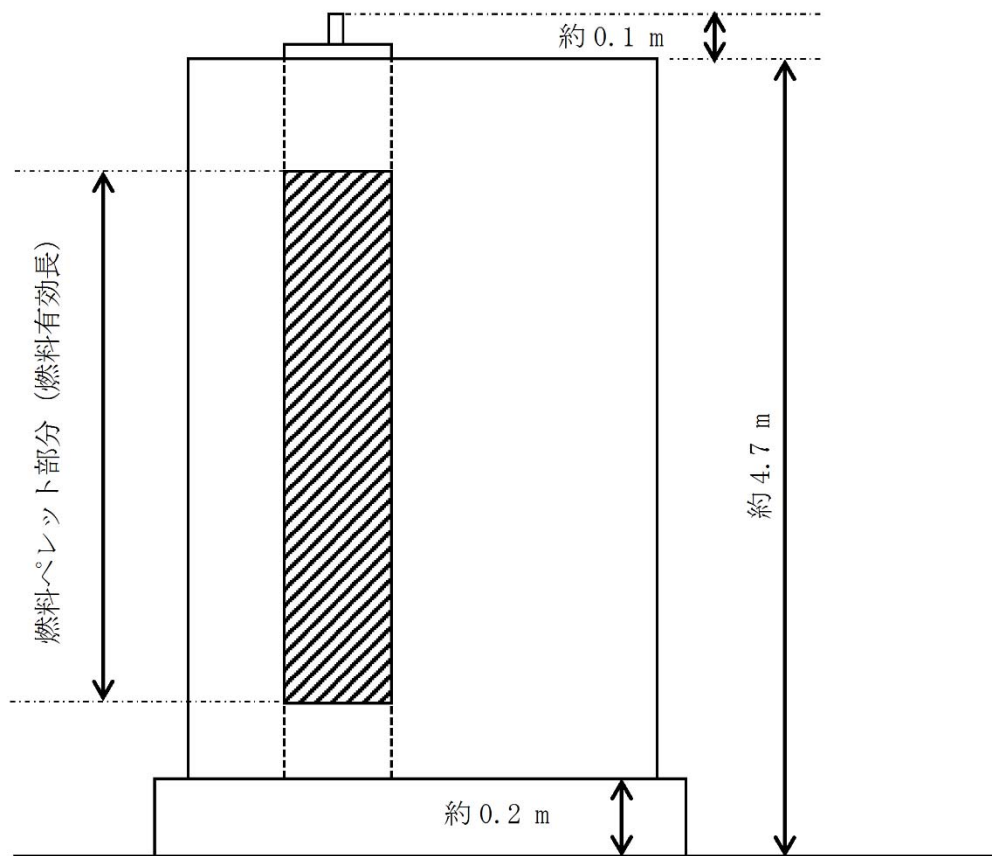
燃料集合体の許容限界は，燃料被覆管の破断伸びに適切な余裕を考慮した値とする。



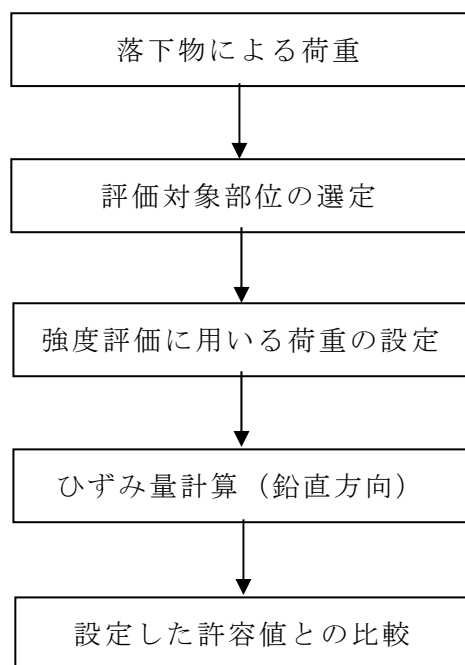
第 13.1 図 燃料集合体の概要 (9 × 9 燃料 (A 型))



第 13.2 図 燃料集合体の概要 (9 × 9 燃料 (B 型))



第 13.3 図 燃料集合体とラックの関係図



第 14 図 燃料集合体の強度評価フロー

5.2 強度評価方法

(1) 記号の定義

燃料集合体の強度評価に用いる記号を第 5 表に示す。

第 5 表 強度評価に用いる記号

記 号	単 位	定 義
A	m^2	燃料被覆管の断面積
E	MPa	燃料集合体の縦弾性係数
E_1	J	燃料集合体の変形エネルギー
L	m	燃料被覆管の長さ
m	kg	落下物の重量
g	m/s^2	重力加速度
h	m	落下高さ
W	J	落下物の落下エネルギー
ε_p	%	燃料被覆管の塑性ひずみ
ε_y	%	燃料被覆管の弾性ひずみ
π	—	円周率
σ_y	MPa	燃料被覆管の耐力

(2) 評価対象部位

燃料集合体の評価対象部位は、落下物による荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

落下物による衝撃荷重は、落下物が燃料集合体に直接衝突した際、燃料被覆管に作用し、ひずみが発生する。

落下物は上部タイ・プレートに衝突し、押し下げられた上部タイ・プレートは上部タイ・プレートと接続しているすべての燃料棒に荷重を伝達するため、落下物による荷重は燃料棒の局所に集中することはない。

このことから、燃料被覆管を評価対象部位とし設定する。

(3) 荷重の設定

燃料集合体の強度評価に用いる荷重は、第 6 表の荷重を用いる。なお、落下エネルギーの評価に用いる荷重及び高さについては、4.1 及び 5.1(1)に記載のとおり保守的に落下試験と同じ条件とする。

第 6 表 落下物の諸元

落下物の種類	m (kg)	g (m/s ²)	h (m)
模擬燃料集合体	310	9.80665	5.1

(4) 許容限界

燃料集合体のひずみの許容限界値は、燃料被覆管が破断しないこととすることから、「平成 18 年度リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等（貯蔵燃料長期健全性等確認試験に関する試験最終成果報告書）」（（独）原子力安全基盤機構）の試験データ等を踏まえて、許容ひずみは燃料被覆管の破断伸びに対して十分保守側の 1 %とする。

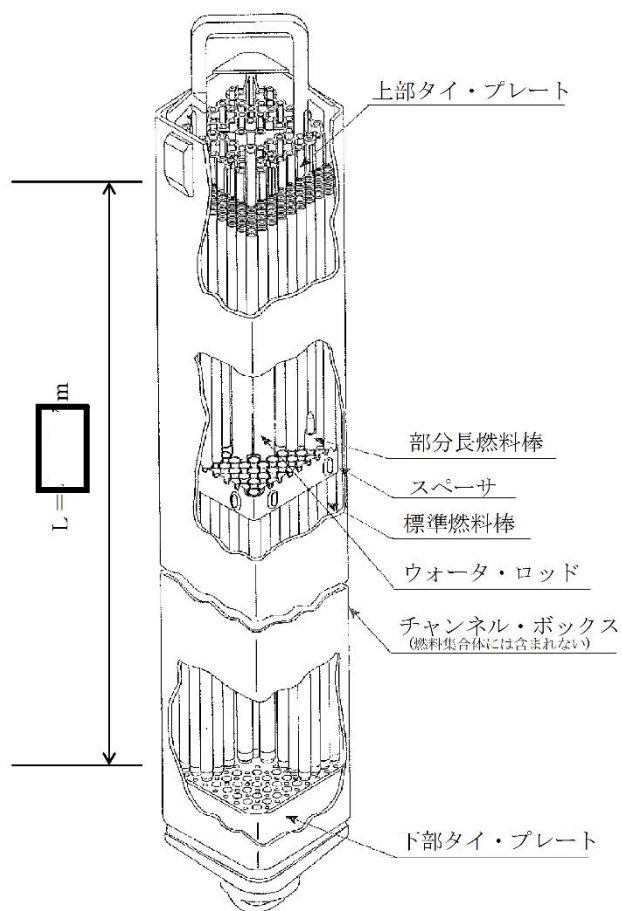
(5) 評価方法

燃料集合体の構造図を第 16 図に、断面図を第 17 図に示す。燃料集合体の強度評価については、落下物による落下エネルギーを用いて評価し、燃料被覆管に生じるひずみを算出する。

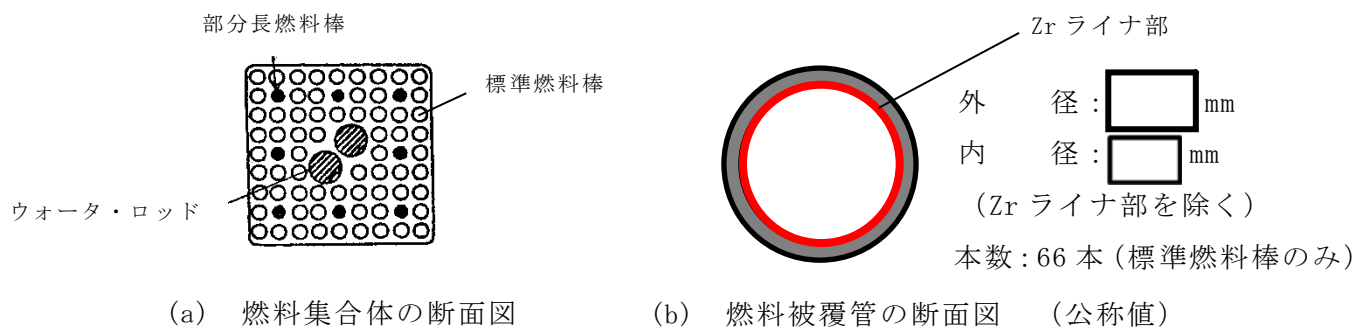
燃料集合体への衝突時には、落下物は周辺のラックセルとも衝突することが想定されるが、評価においては保守的に、燃料集合体のみに衝突するものとする。

評価に用いる燃料集合体は保守的に以下の燃料集合体を想定し、評価を行う。

- ・評価対象燃料集合体のうち、燃料被覆管断面積と燃料被覆管長さの積が小さくなる 9 × 9 燃料（A 型）燃料集合体の寸法を使用する。
- ・照射に伴い耐力は上昇するが、保守的に未照射時の値を使用する。
- ・燃料被覆管の断面積は減肉した照射済みの燃料を想定する。
- ・燃料集合体への衝撃荷重は燃料棒（標準燃料棒のみ）全数で受けるものとする。
- ・ウォータ・ロッド又はウォータ・チャンネルは保守的に無視する。



第 16 図 燃料集合体の構造図



第 17 図 燃料集合体の断面図

a. 衝突影響評価

落下物の衝突に伴う荷重は、燃料集合体の上部タイ・プレートを通じて燃料棒、ウォータ・ロッドに作用することになるが、落下エネルギーが全て燃料被覆管の変形に費やされるものとし、この際に燃料被覆管に生じるひずみを算出する。算出に当たっては、保守的な評価となるよう燃料被覆管は弾完全塑性体とし、第 18 図に示すとおり塑性変形に伴う硬化を考慮しないものとする。

(a) 落下物の落下エネルギー（鉛直成分）

$$W = m \cdot g \cdot$$

(b) 燃料被覆管の変形エネルギー

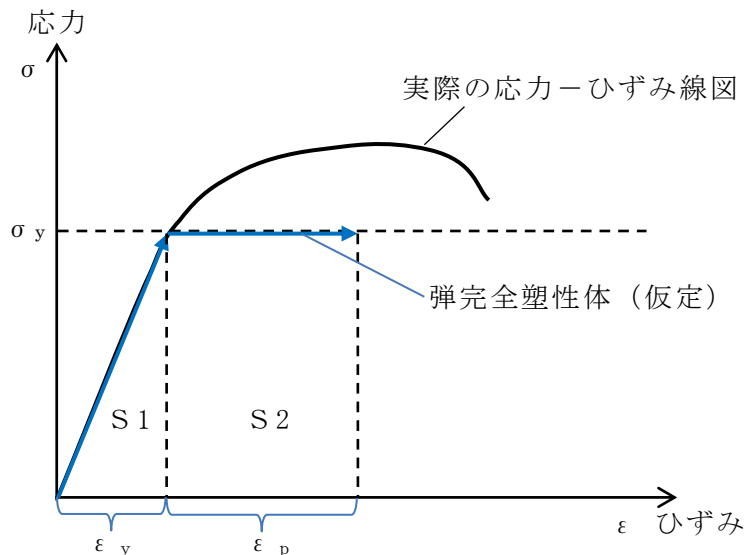
$$E_1 = (S1 + S2) \cdot A \cdot L = \left(\frac{1}{2} \cdot \sigma_y \cdot \varepsilon_y + \sigma_y \cdot \varepsilon_p \right) \cdot A \cdot L$$

$$\text{ここで } \varepsilon_y = \sigma_y / E$$

(a) 及び (b) より、 $W = E_1$ として塑性ひずみ ε_p を求める。

$$\varepsilon_p = \frac{m \cdot g \cdot h}{A \cdot L \cdot \sigma_y} - \frac{1}{2} \varepsilon_y$$

ただし、 $\left(\frac{1}{2} \cdot \sigma_y \cdot \varepsilon_y \right) \cdot A \cdot L$ が W よりも大きい場合、 $\varepsilon_p = 0$ （弾性範囲内）となる。



第 18 図 弾完全塑性体の保守性
(イメージ図)

5.3 評価条件

燃料集合体の強度評価に用いる評価条件を第 7 表に示す。

第 7 表 評価条件（燃料集合体）

燃料集合体の材料*	A (m^2)	L (m)
ジルカロイ-2	1.30×10^{-3}	

E (MPa)	σ_y (MPa)	ε_y (%)

注記 *：燃料集合体は複数の部材から構成されており，ここでは，計算に使用した縦弾性係数の引用部材を記載した。また，燃料被覆管の断面積 A については，「平成 18 年度高燃焼度 9 × 9 型燃料信頼性実証成果報告書（総合評価編）」（原子力安全基盤機構）」に記載されているとおり，使用済燃料の燃料被覆管は新燃料に比べ腐食により約 2 %減肉するため，保守的に 3.5 %減肉を考慮した値を使用する。

5.4 評価結果

燃料集合体の強度評価結果を第 8 表に示す。

燃料集合体に発生するひずみは許容ひずみ以下である。

第 8 表 評価結果

ε_p (%)	許容ひずみ (%)	裕度
0.86	1.0	1.16

燃料集合体落下時の使用済燃料プールライニングの健全性について

使用済燃料プールへの燃料集合体落下については、模擬燃料集合体を用いた気中落下試験を実施し、万一の燃料集合体の落下を想定した場合においても、ライニングが健全性を確保することを確認している*1。

試験結果としては、ライニングの最大減肉量は初期値3.85 mmに対して0.7 mmであった。また、落下試験後のライニング表面の浸透探傷試験の結果は、割れ等の有害な欠陥は認められず、燃料落下後のライニングは健全であることが確認された。

注記 *1：「沸騰水型原子力発電所燃料集合体落下時の燃料プールライニングの健全性について」（HLR-050）

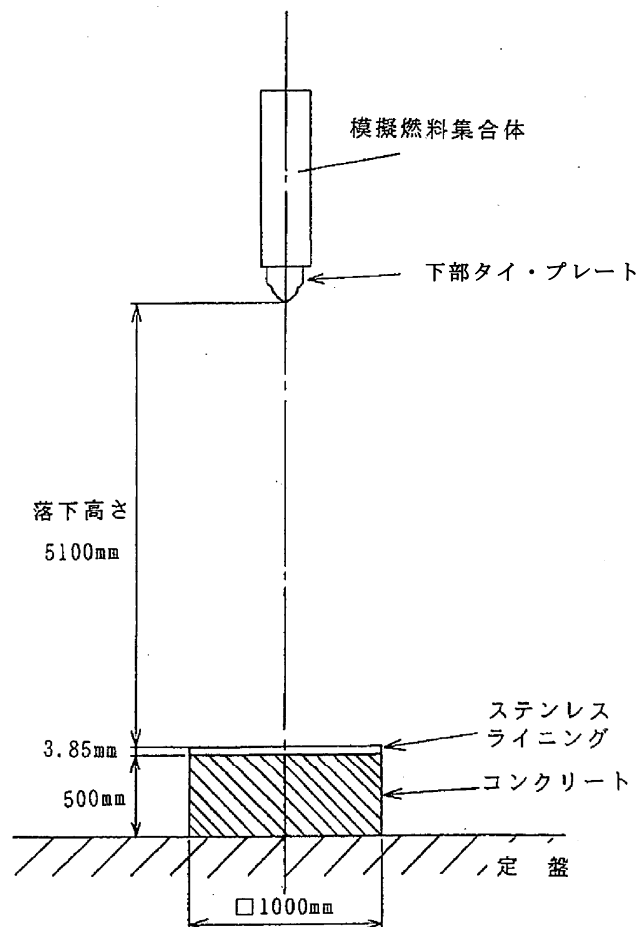


図1 模擬燃料集合体落下試験方法

図1は、気中による模擬燃料集合体の落下試験の方法を示したものである。水中の燃料集合体重量は、本試験で使用した模擬燃料集合体の重量未満であり、燃料集合体の高さについても、本試験の落下高さ未満となっている。また、燃料集合体の落下時は、水の抵抗による減速効果が期待できることから、この試験は保守的な評価結果となっている。

図1に示す落下試験における模擬燃料集合体重量は、チャンネル・ボックスを含めた状態で310 kgと保守的*2であり、燃料落下高さは燃料取替機による燃料移動高さを考慮し、5.1 mと安全側である。

注記 *2: 東海第二発電所にて取り扱っている燃料集合体重量（チャンネル・ボックス含む。）は、表1に示すとおり水中で310 kg未満であることを確認している。燃料装荷時等に使用するツインブレードガイドも、気中での重量は325 kgであるが、水中では284 kgと、310 kg未満になることを確認している。

表 1 燃料集合体重量

		燃料集合体重量 (kg)	
		気中	水中 *3
実 機	8 × 8 燃料		
	新型 8 × 8 燃料		
	新型 8 × 8 ジルコニ ウムライナ燃料		
	高燃焼度 8 × 8 燃料		
	9 × 9 燃料 (A 型)		
	9 × 9 燃料 (B 型)		
模擬燃料集合体		310	

注記 *3: 表中の各燃料集合体の水中重量は、気中重量から燃料棒体積分の水の重量のみを減じた値であり、実際の水中重量は表中の値以下となる。

本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-180-2 改 10
提出年月日	平成 30 年 5 月 28 日

工事計画に係る補足説明資料

補足-180-2 【燃料体等又は重量物の落下による使用済燃料貯蔵槽内の燃料体等の破損の防止及び使用済燃料貯蔵槽の機能喪失の防止に関する説明書に係る補足説明資料】

平成 30 年 5 月

日本原子力発電株式会社

1. 添付書類に係る補足説明資料

「核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設」に係る添付資料(共通資料は除く)の記載内容を補足するための説明資料リストを以下に示す。

工認添付資料	補足説明資料
V-1-3-3 燃料体等又は重量物の落下による使用済燃料貯蔵槽内の燃料体等の破損の防止及び使用済燃料貯蔵槽の機能喪失の防止に関する説明書	1. 使用済燃料プール周りの重量物の配置
	2. 燃料取替機及び原子炉建屋クレーンの待機場所について
	3. 原子炉建屋クレーンのインターロックについて
	4. 新燃料の取扱いにおける落下防止対策
	5. キャスク取扱い作業時における使用済燃料プールへの影響
	6. 照射済燃料及び使用済燃料取扱い作業時の使用済燃料プールへの影響
	7. ワイヤロープ及び主要部材の強度に関する説明について
	8. イコライザハンガの概要について
	9. 使用済燃料プールの機能に影響を及ぼすおそれのある重量物の抽出結果
	10. 技術基準規則への適合性
	別添1 重量物落下時のチャンネルボックスへの荷重について
	別添2 BWR燃料集合体落下時の使用済燃料プールライニングの健全性について

2. 別 紙

(1) 工認添付資料と設置許可まとめ資料との関係【核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設】

別紙 工認添付資料と設置許可まとめ資料との関係【核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設】

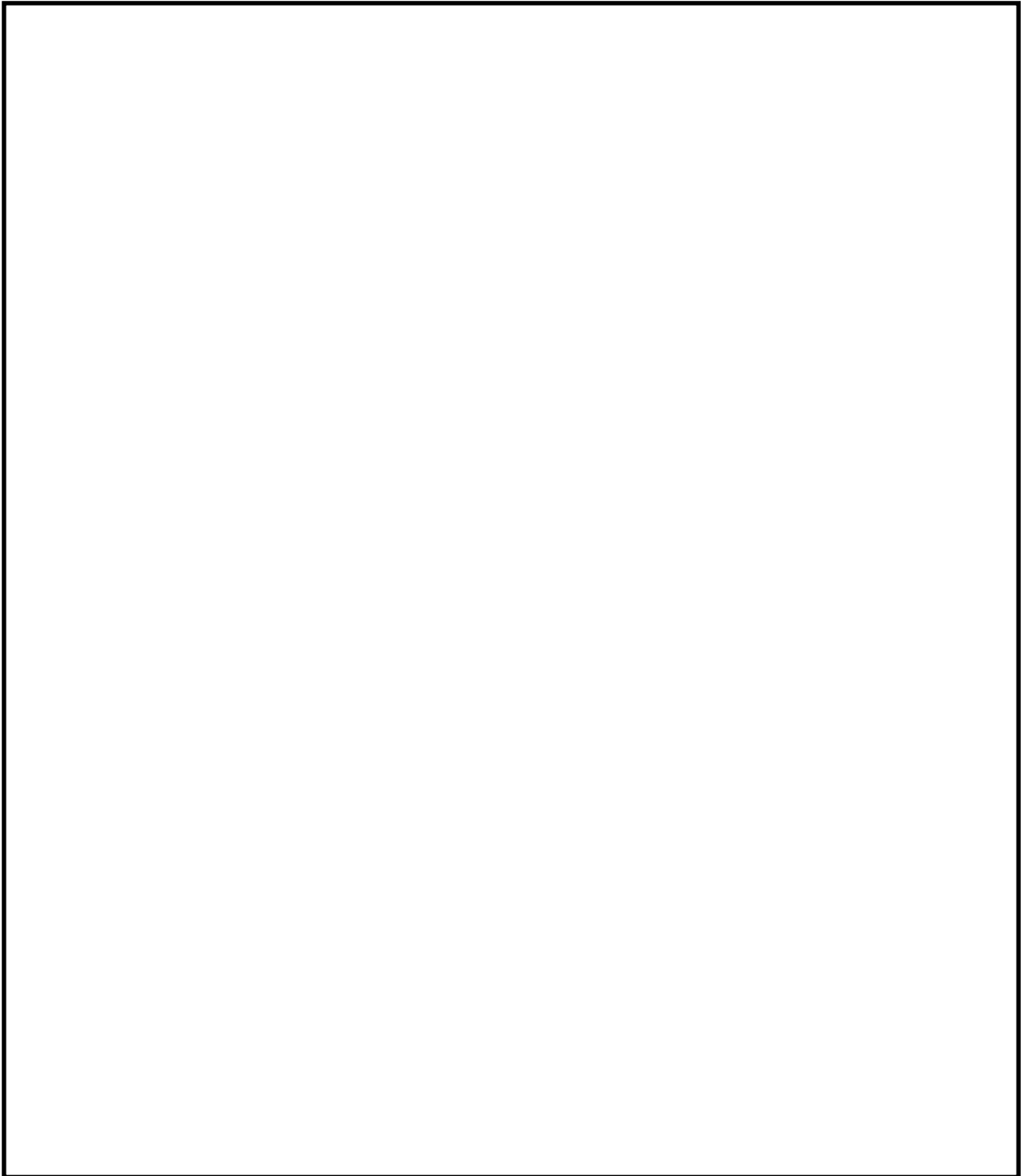
工認添付資料		設置許可まとめ資料		引用内容
V-1-3-3	燃料体等又は重量物の落下による使用済燃料貯蔵槽内の燃料体等の破損の防止及び使用済燃料貯蔵槽の機能喪失の防止に関する説明書	DB	第16条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	落下防止について引用 ただし、燃料取替機、原子炉建屋クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンに係る評価方法、評価結果については、各耐震計算書に示す。

補足説明資料目次

	頁
1. 使用済燃料プール周りの重量物の配置	1-1
2. 燃料取替機及び原子炉建屋クレーンの待機場所について.....	2-1
3. 原子炉建屋クレーンのインターロックについて.....	3-1
4. 新燃料の取扱いにおける落下防止対策.....	4-1
5. キャスク取扱い作業時における使用済燃料プールへの影響.....	5-1
6. 照射済燃料及び使用済燃料取扱い作業時の使用済燃料プールへの影響.....	6-1
7. ワイヤロープ及び主要部材の強度に関する説明について.....	7-1
8. イコライザハンガの概要について.....	8-1
9. 使用済燃料プールの機能に影響を及ぼすおそれのある重量物の抽出結果.....	9-1
10. 技術基準規則への適合性.....	10-1
別添1 重量物落下時のチャンネルボックスへの荷重について.....	別1-1
別添2 BWR燃料集合体落下時の使用済燃料プールライニングの健全性について.....	別2-2

1. 使用済燃料プール周りの重量物の配置

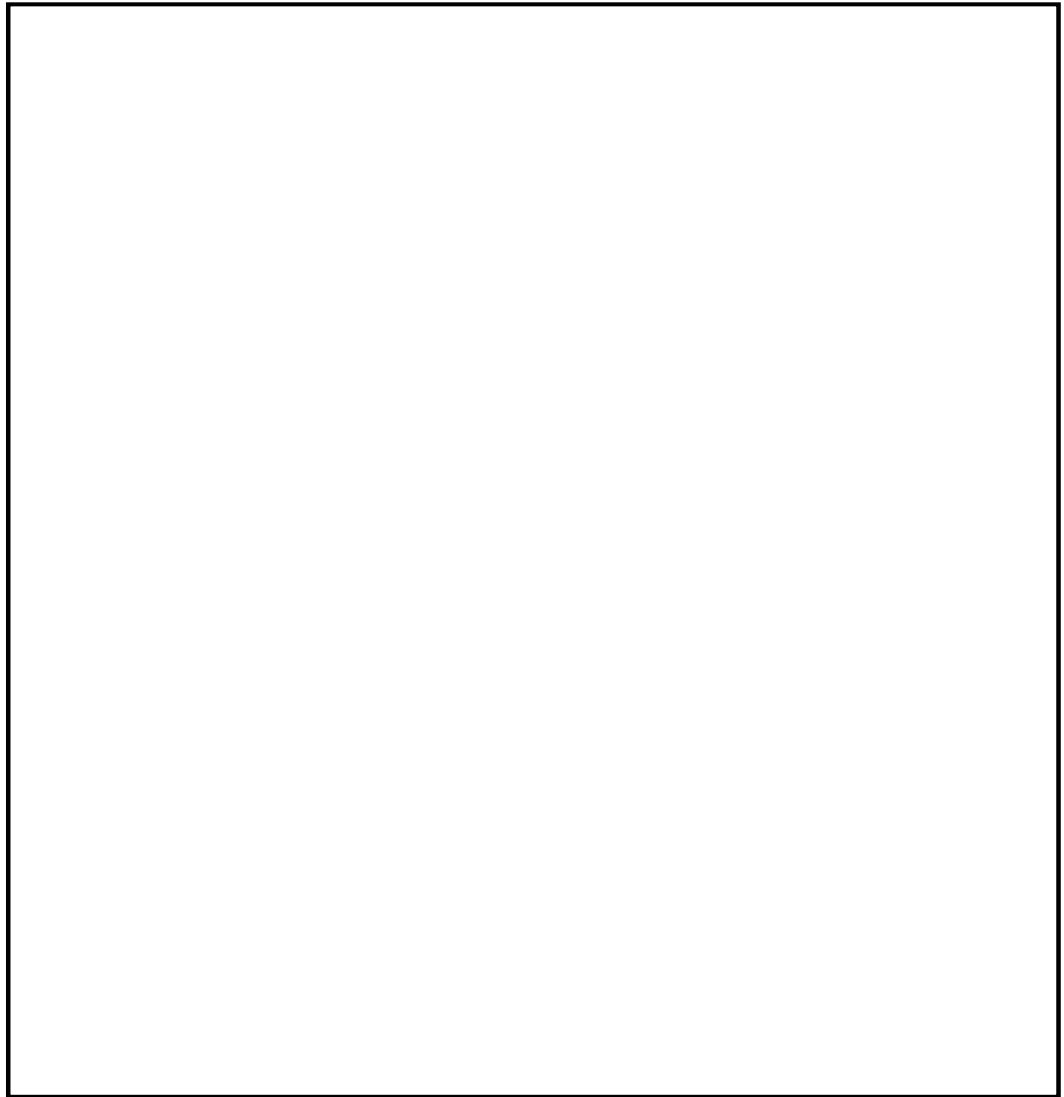
落下時に使用済燃料プールの機能へ影響を及ぼすおそれのある重量物の配置を第1-1図に示す。



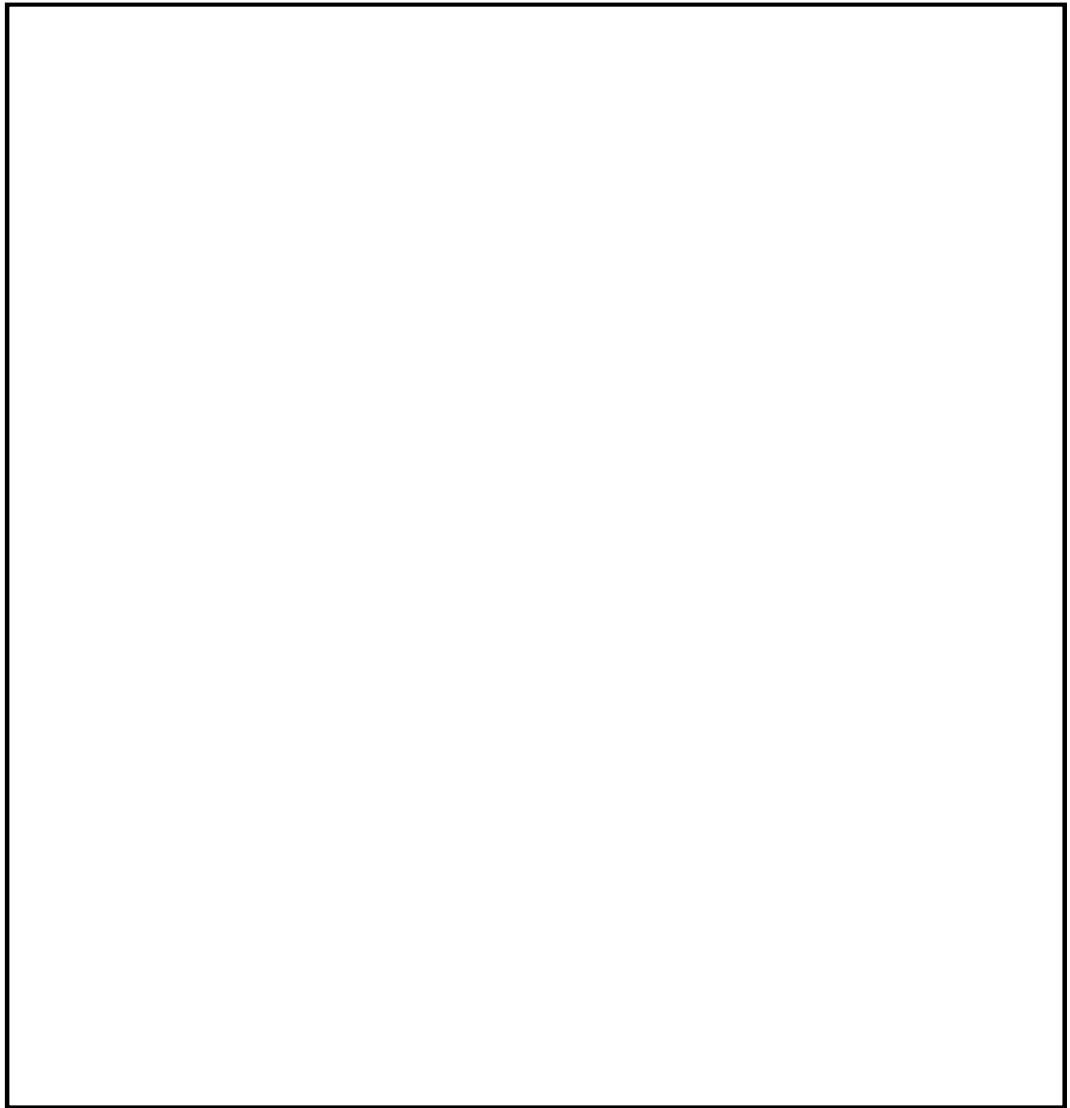
第 1-1 図 使用済燃料プール周りの重量物の配置

2. 燃料取替機及び原子炉建屋クレーンの待機場所について

燃料取替機及び原子炉建屋クレーンは、通常時、使用済燃料プール上へ待機配置せず待機位置はD/Sプール上とする運用にすることで、使用済燃料プールへの落下は防止される。第2-1～2図に東海第二発電所の燃料取替機及び原子炉建屋クレーンの通常時待機場所を示す。



第2-1図 燃料取替機待機場所



第2-2図 原子炉建屋クレーン待機場所

3. 原子炉建屋クレーンのインターロックについて

原子炉建屋クレーンは、使用済燃料プール上を重量物及びキャスク（使用済燃料輸送キャスク及び使用済燃料乾式貯蔵容器）が走行及び横行できないように可動範囲を制限するインターロックを設けている。

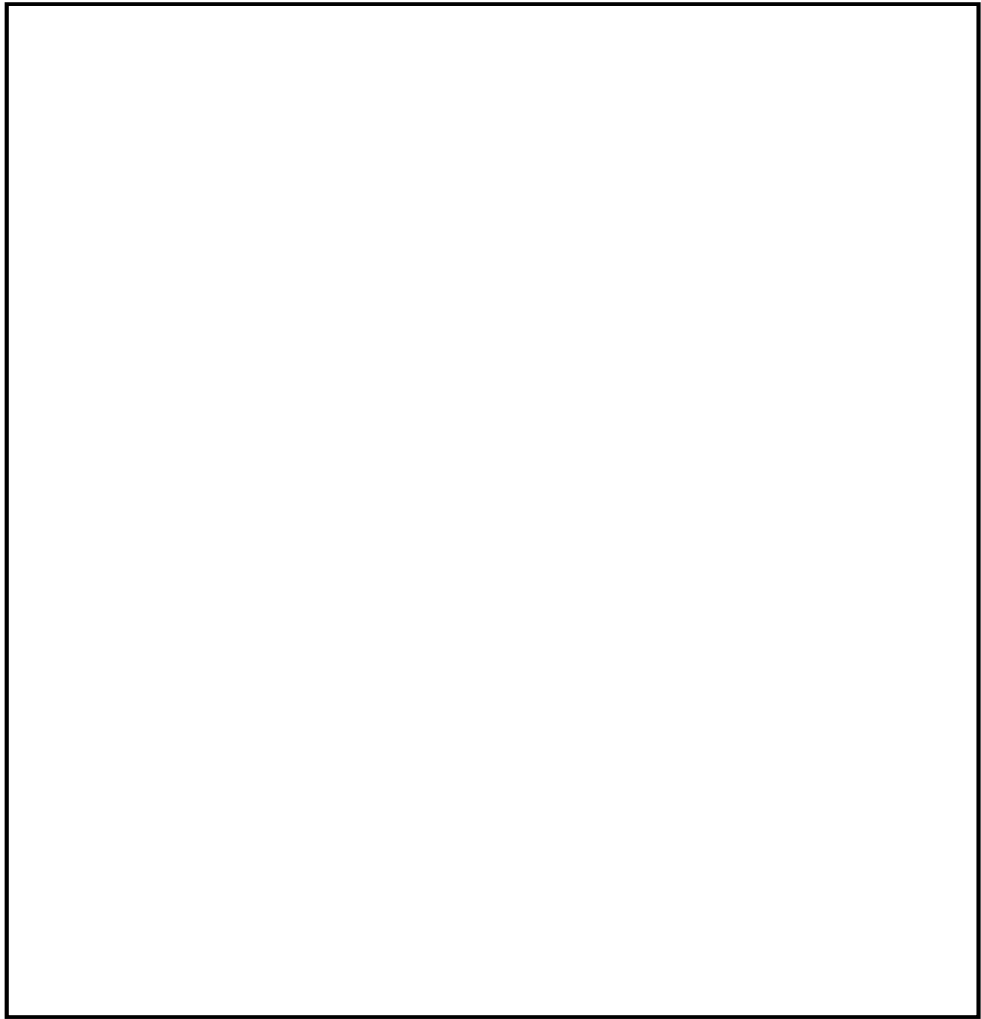
原子炉建屋クレーン走行レール及び横行レールは原子炉建屋原子炉棟6階床面全域を走行及び横行できるよう敷設されているが、重量物及びキャスクの移送を行う際には、重量物及びキャスクが使用済燃料プール上を通過しないよう、レールに沿って設置されたリミットスイッチ及びインターロックによる移送範囲の制限により、使用済燃料プールへの重量物及びキャスクの落下を防止する設計とする。

インターロックには3つのモード（A～Cモード）があり、取り扱う重量物に応じてモード選択を行い、移送範囲を制限することで、使用済燃料プールへの重量物及びキャスクの落下を防止している。上記について、3次文書「工事要領書作成手引き」にて原子炉建屋原子炉棟6階にて楊重作業を行う場合、インターロック（A～Cモード）のモード選択を行い、移送範囲を制限することを明確化し（使用済燃料プールへ移送を行わない場合は、A又はBモードとする。）、工事毎の要領書にて、走行範囲を明確にし、使用済燃料プールへの落下防止を図る。

原子炉建屋クレーンのインターロックによる重量物移送範囲とリミットスイッチ展開図の関係を第3-1～2図に示す。なお、使用済燃料プール上へアクセス可能なモードはCモードのみである。



第3-1図 原子炉建屋クレーンのインターロック（Bモード）による重量物移送範囲とリミットスイッチ展開図



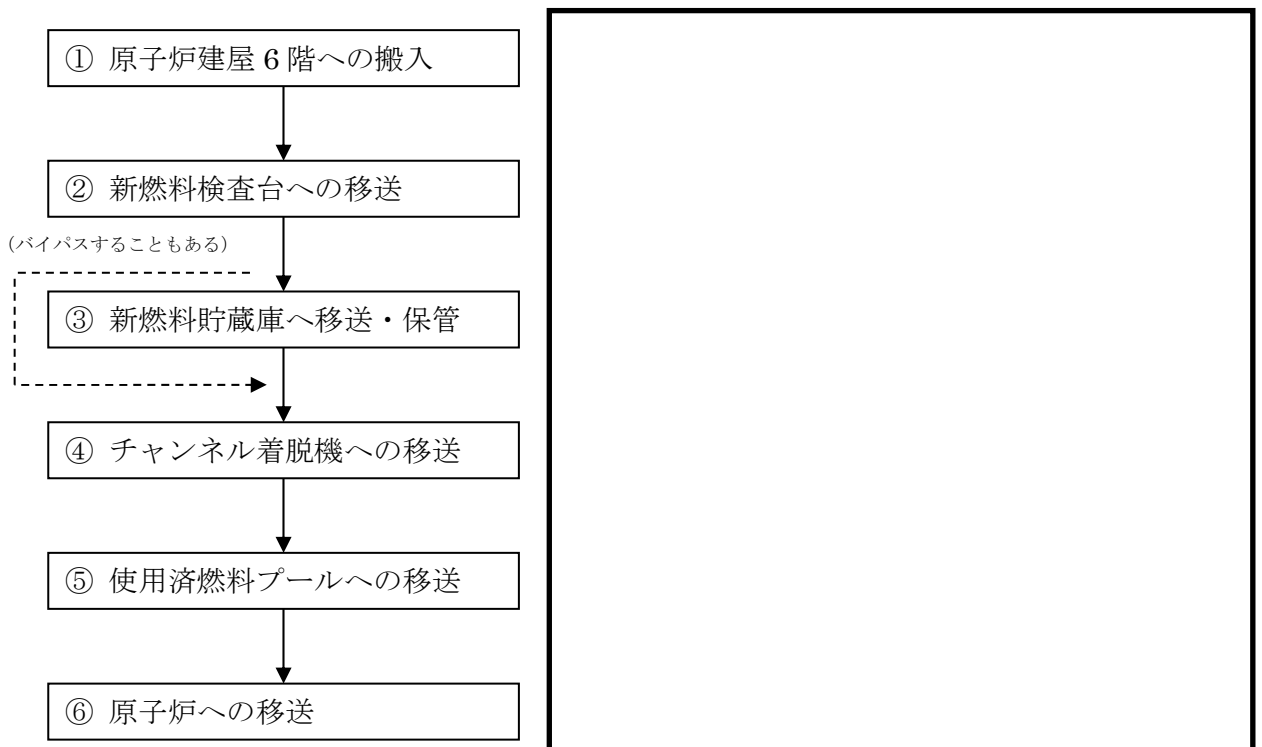
第3-2図 原子炉建屋クレーンのインターロック（Aモード）による
キャスク移送範囲とリミットスイッチ展開図

4. 新燃料の取扱いにおける落下防止対策

新燃料は、新燃料輸送容器に2体ずつ収納され原子炉建屋クレーン（主巻）によって原子炉建屋原子炉棟6階へ搬入する。輸送容器から新燃料検査台へは新燃料を1体ずつ原子炉建屋クレーン（補巻）によって移送し、受入検査を実施するとともにチャンネルボックスを装着する。新燃料検査台から新燃料貯蔵庫又はチャンネル着脱機へ原子炉建屋クレーン（補巻）にて移送する。新燃料貯蔵庫からチャンネル着脱機への移送にも原子炉建屋クレーン（補巻）を用いる。チャンネル着脱機から使用済燃料プールのラック、ラック間及びラックー原子炉間の移送は燃料取替機にて取り扱われる。

新燃料の取扱いに係る移送フロー及び経路（例）を第4-1図に示す。

＜新燃料移送フロー＞



第4-1図 新燃料の取扱いに係る移送フロー及び経路（例）

第4-1図に示すとおり、新燃料は、原子炉ウェル上を通過しているが、新燃料移送は運転中に実施するため、原子炉蓋は閉まっており、炉内に新燃料が落下することはない。また、新燃料を使用済燃料プールへ移送する際は、使用済燃料プール上を移送しない運用とし、使用済燃料プール上への落下を防止している。

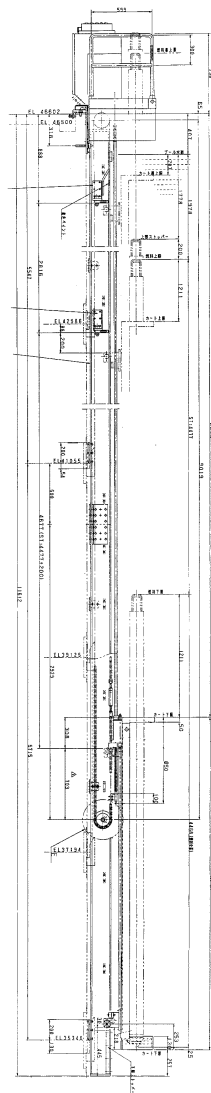
原子炉建屋クレーンは、動力源喪失時にて自動的にブレーキがかかる機能を有しているとともに、フックには外れ止め金具を装備し、新燃料の落下を防止する構造としており、速度制限、過巻防止用のリミットスイッチにより、誤操作等による新燃料の落下は防止される。

原子炉への燃料装荷の際には、燃料取替機による新燃料移送作業を行うこととなるが、燃料取替機についても、駆動源喪失時等における種々のインターロックが設けられており、新燃料の落下は防止される。

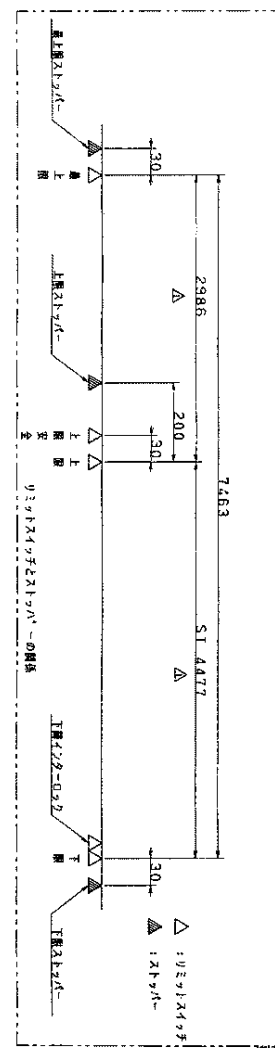
チャンネル着脱機（第4-2図）は、使用済燃料プールの床面に設置し、壁に固縛している。チャンネル着脱機において燃料は昇降台上に固定されて最上限ストップから下限ストップの位置までの間を昇降（第4-3図）し、直接ライナに衝突しないため、ライナを損傷させることはない。なお、燃料集合体外観検査時に燃料体等の昇降を行う際には、機械的なインターロックにより、上限ストップの位置までに上昇を制限する運用とする。

新燃料を受入れてから原子炉に装荷するまでに使用する設備は以下のとおり。

- ①原子炉建屋クレーン（主巻）
- ②原子炉建屋クレーン（補巻）
- ③新燃料検査台
- ④新燃料貯蔵庫
- ⑤チャンネル着脱機
- ⑥使用済燃料貯蔵ラック
- ⑦燃料取替機



第4-2図 チャンネル着脱機概略図



第4-3図 ストップの位置

原子炉建屋クレーン及び燃料取替機については、「新燃料, 再使用燃料又は使用済燃料の装荷, 取出又は保管等を行うために使用する設備」であることから, 燃料取扱設備である。ジブクレーンについては燃料集合体外観検査時のチャンネルボックスの着脱に使用するものの, 燃料集合体を直接扱わないことから, 燃料取扱設備には該当しない。チャンネル着脱機については, 燃料集合体の吊り上げての移動に使用する設備ではないが, チャンネルボックスの着脱, 燃料集合体外観検査のための一時的な仮置きと昇降, 新燃料搬入時の昇降に使用する設備であることから, 燃料取扱設備である。

5. キャスク取扱い作業時における使用済燃料プールへの影響

空のキャスクの取扱い作業は原子炉建屋クレーン（主巻）を使用し、機器ハッチより原子炉建屋原子炉棟6階床面へキャスクの移送を行い、キャスクピットにて燃料の装荷作業が行われる。ラックからキャスクピットのキャスクへの使用済燃料の移送には燃料取替機を用いる。作業概要について第5-1図に示す。

本作業時における原子炉建屋クレーンの運転は、キャスクが使用済燃料プール上を通過することがないように、インターロックによる可動範囲制限を行うことで、使用済燃料プールへのキャスクの落下は防止される設計としている。

また、原子炉建屋クレーンはインターロックによる運転の他、動力源喪失時にて自動的にブレーキがかかる機能を有しているとともに、フックには外れ止め金具が装備されており、速度制限、過巻防止用のリミットスイッチも設けられていることから、キャスクの落下は防止される設計としている。

なお、キャスクピットでのキャスク取扱い時に、仮に地震等にて原子炉建屋クレーンの各ブレーキ（横行、走行、巻上下）の機能が喪失した場合、キャスクは横行、走行方向及び鉛直方向に滑る恐れがあるが、キャスクをキャスクピットにて取り扱う際には、キャスクピットを使用済燃料プールと隔離して、キャスクピット単独で水抜き等を実施するためのキャスクピットゲートが設置されるため、キャスクが横行、走行方向及び鉛直方向に滑った※1,2としても、使用済燃料プール水位維持のためのライニング健全性は維持される。

使用済燃料を燃料取替機にてキャスクに装荷する際は、キャスクピットにアクセスするため、燃料取替機のモードをキャスクピットモードに切り替える。これによって、通常燃料を□mmしか吊り上げられないインターロックとなっているが、最大□mmまで吊り上げられるようになる。しかし当該モード切替は通常モードでアクセス不可となるキャスクピットゲートの手前で行うこととし、□mm以上の吊り上げもキャスクの手前であるキャスクピットゲート付近で行うこととする。また、ライナ下部には複数のリーク検知溝が走っているが、ほとんどがラックの下部に隠れており落下物が直接衝突することはない。ラック下部以外のリーク検知溝上は、燃料取替機の通常モードでインターロック上アクセスは可能であるが、燃料がその上部を通過することはないことから、リーク検知溝上に燃料が落下することはないものとする。

使用済燃料プールから取り出したキャスクは、原子炉建屋原子炉棟6階床面とは隔離された除染ピットにおいて、転倒防止装置を取り付けることにより固縛する。固体廃棄物移送容器等についても同様である。

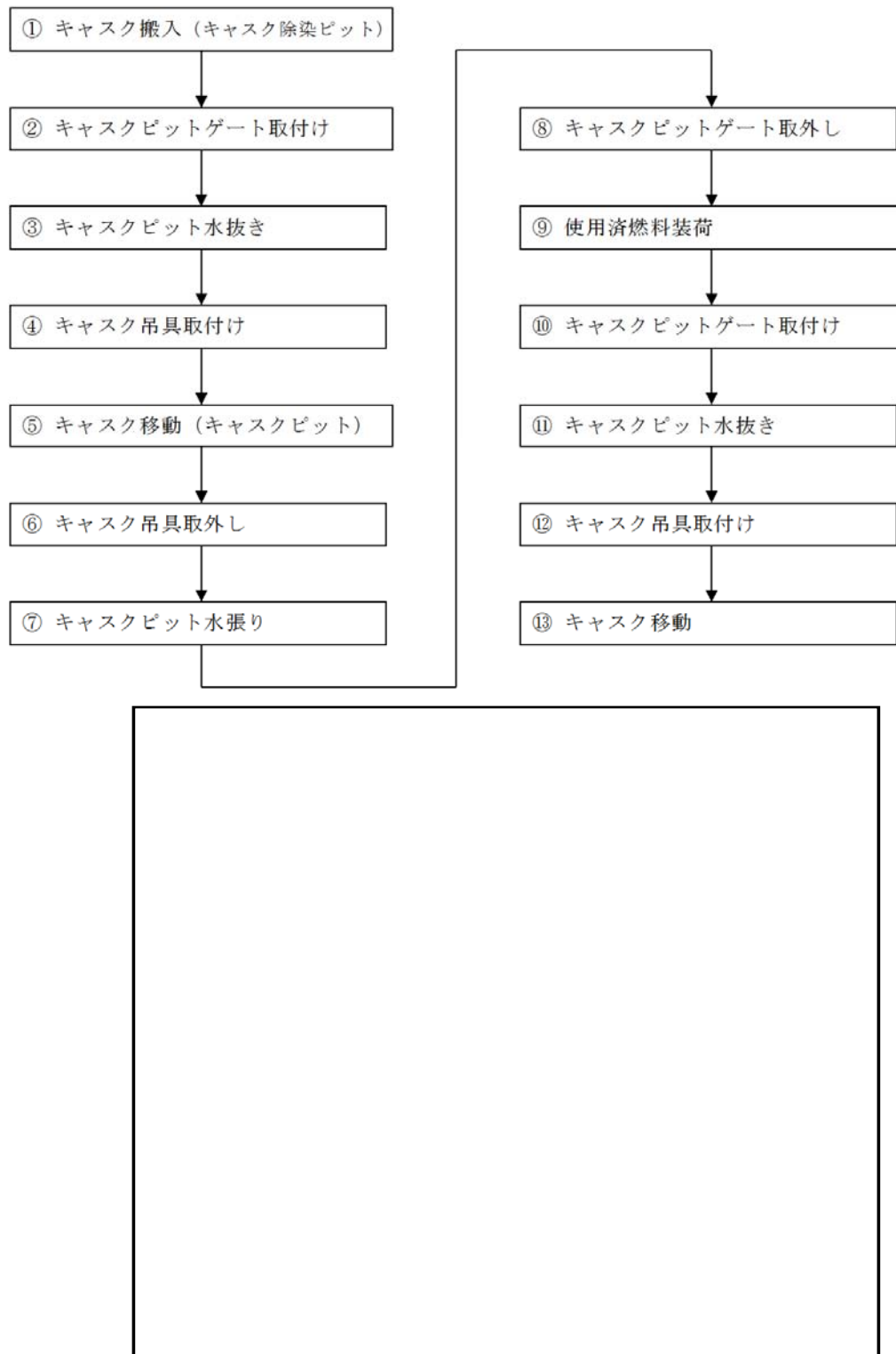
※1 キャスク取扱い時は、インターロック運転により可動範囲が制限されること及びキャスクピットはキャスクピットゲートにより使用済燃料プールと隔離されることから、キャスクが横行、走行方向に滑ったとしてもキャスクがキャスクピットエリア外の使用済燃料プール内に落下することはないものとする。

※2 鉛直方向ブレーキについて、制動力を上回る不可トルクが発生した場合のすべり量は、基準地震動S s時の評価にて示すこととする。

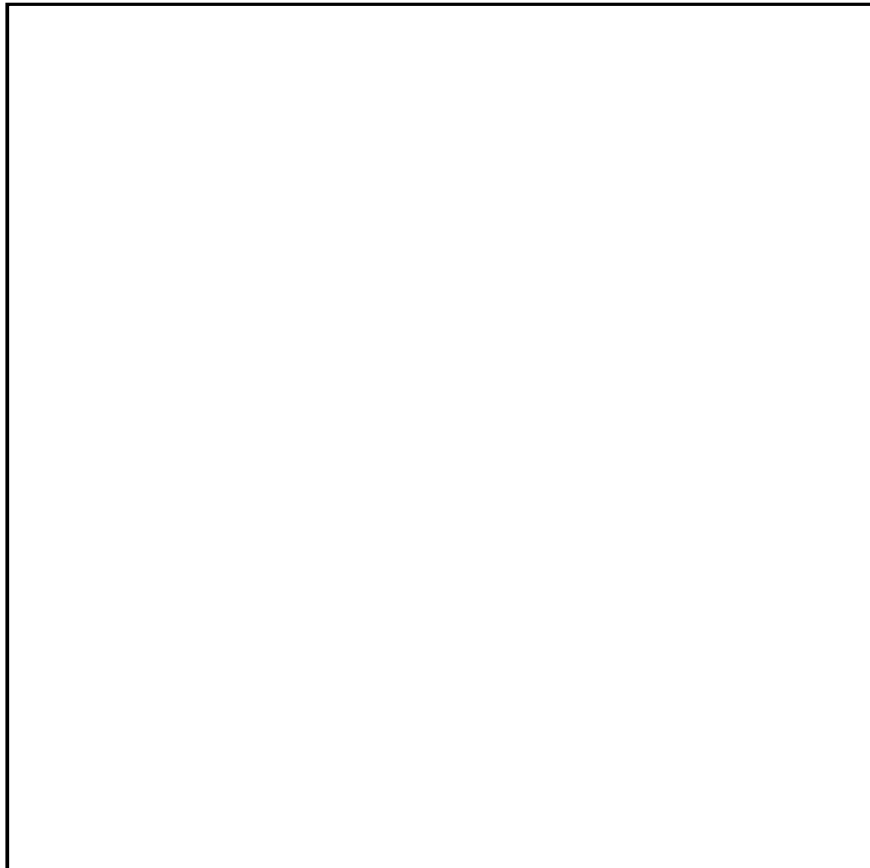
キャスクを原子炉建屋原子炉棟6階床面に搬入してから使用済燃料をキャスクに収納し、キャスクを搬出するまでに使用する設備は以下のとおり。

①原子炉建屋クレーン（主巻）

②燃料取替機



第5-1図 キャスク取扱い作業フロー（例）



キャスクの種類

番号	名称	外形 (mm)
1	キャスク (NFT-32B 型)	
2	ドライキャスク (A 社製)	
3	ドライキャスク (B 社製)	
4	ドライキャスク (C 社製)	

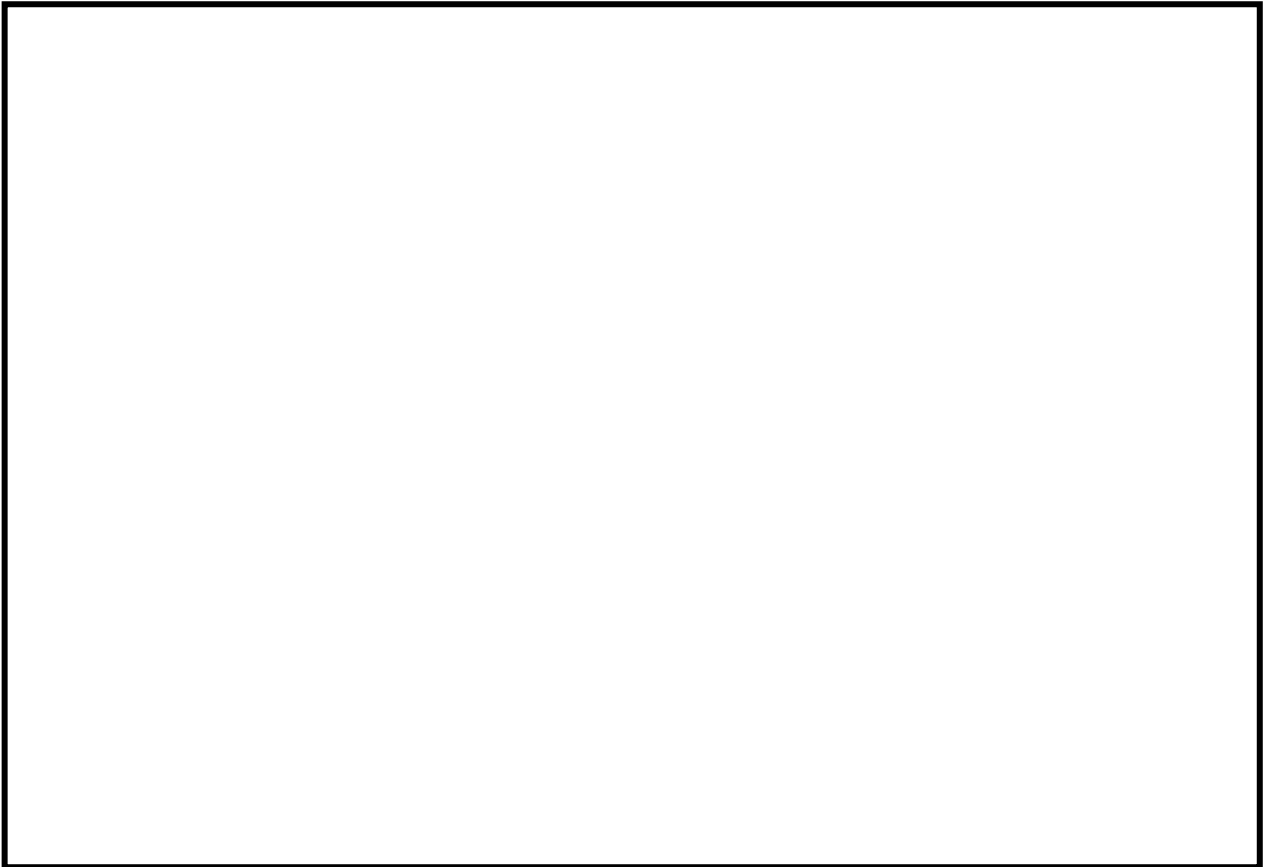
第5-2図 キャスクとキャスクピットゲートの位置関係

6. 照射済燃料及び使用済燃料取扱い時の使用済燃料プールへの影響

照射済燃料及び使用済燃料は、直接には燃料取替機のみにて取り扱われ、ラックから燃料取替機によって移動し、使用済燃料プール内にて必要に応じて検査され、所定の場所（燃料装荷の場合は炉心、それ以外の場合は使用済燃料プール、使用済燃料乾式貯蔵キャスク、輸送キャスク、などを指す）へ移動される。

使用済燃料の使用済燃料プール上での移動経路（例）を第6-1図に示す。

なお、使用済燃料プール底部のライナの下に設置されている漏えい検知溝については第6-1図に示す箇所にて、ラックに隠れていない箇所は存在するが、燃料取替機が原子炉ウェルから使用済燃料プール内へ自動モードにて入ってくる場合、燃料取替機は最南端の使用済燃料貯蔵ラックに燃料を貯蔵する場合であっても、ラック南端のほぼ真上を移動して各ラックへ向かうため、燃料が直接検知溝上へ落下することはない。また、自動モードでは北側ラック上へは移動できず、手動モードにてチャンネル着脱機上へ移動する場合も、ほとんどがラック上を移動することになる。



第6-1図 使用済燃料の使用済燃料プール上での移動経路（例）

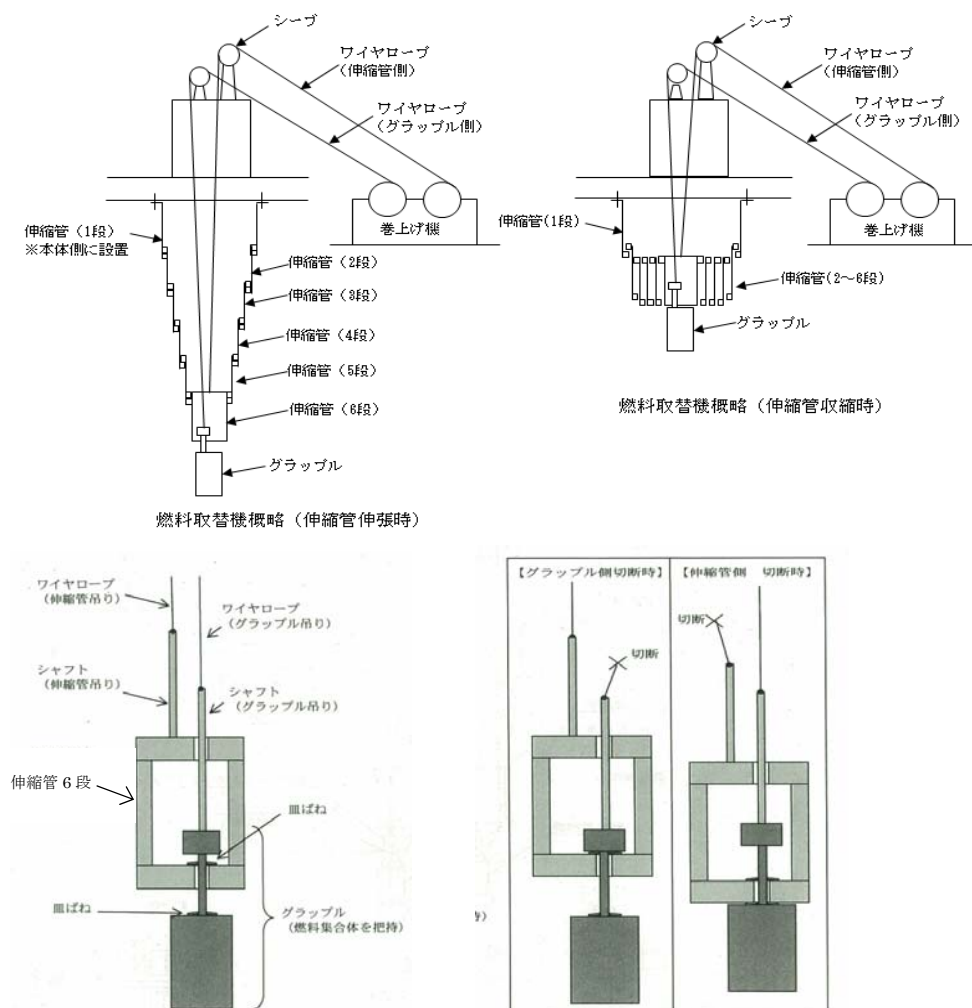
7. ワイヤロープ及び主要部材の強度に関する説明について

燃料取替機のワイヤロープは、二本有しており、一本が「燃料集合体及びグラップル」を、もう一本が「伸縮管」をそれぞれ吊る構造となっている。（第7-1図参照）

燃料取替機は、定格荷重を450 kgとしており、クレーン構造規格適用除外揚重機（0.5 t未満のため）となるが、ホイスト、走行レール、ガータの設計については、クレーン構造規格を準用し、その他の部品は、JIS及びメーカー社内規格等に基づいた設計としており、各ワイヤロープは、当該規格要求を満足する安全率を有した設計としている。

万が一どちらかのワイヤロープが切断した場合でも、残り一本のワイヤロープで吊荷（燃料集合体 約320 kg）、伸縮管（本体側に設置（固定）された1段を除く2～6段の荷重：約800 kg）及びグラップル（約30 kg）を保持可能な設計としている。

ワイヤロープの破断荷重（119 kN）に対し、使用上の最大荷重は12.5 kN（定格荷重 450 kg、グラップル 約30 kg、伸縮管（2～6段の荷重）約800 kg：合計約1280 kg）であり、約10倍の安全率を有しており、クレーン構造規格要求（3.55倍）を満足した設計となっている。また、燃料吊り荷重伝達ルートにおける、ワイヤロープ以外の主要強度部材（フック、グラップルシャフト、ワイヤ取付部等）においても、クレーン構造規格に定めるワイヤロープと同等以上の安全率を有する設計としている。



第7-1図 ワイヤロープ概要図

- ・片側ワイヤロープが切断した場合の衝撃荷重について

ワイヤロープ 2 本の内、伸縮管側のワイヤロープが切断したと仮定する。

ワイヤロープの破断荷重：119000 N ①

衝撃荷重はワイヤロープが伸縮管荷重等を受けて伸縮するため、質量を伸縮管2段～6段（約800 kg）とする。

伸縮管の落下距離（伸縮管－グラップル間）を46 mm

ワイヤ固有周期を 0.145 s

固有周期 $T = 2\pi\sqrt{m/k}$ （m/k）（出典元：機械工学便覧 第7章 線形系の振動より）

（m：伸縮管荷重（約800 kg），k：ワイヤのバネ定数（約 1500×10^3 N/m））

バネ定数 $k = E \cdot A / L$ （下記2式より求める）

（E：ワイヤの弾性係数 約 110000 [N/mm²]（メーカー指示値を採用。尚、ワイヤはプレテンション加工^{※1}を実施しており、経年後の固くなった状態を想定），A：ワイヤの断面積 89.2 [mm²]（ワイヤロープは、約10倍の安全率を有した設計であり、2定検毎に交換を行うことから、顕著な恒久的伸びは発生しないため、断面積の縮小は考慮せず、製作時の寸法を想定）、L：ワイヤの長さ（巻出し長さ） 約 6.5 [m]（グラップルを最上限位置まで巻上げ、伸縮管2～6段の荷重が掛かった状態を想定））

ワイヤ（鋼材）の伸び λ と力Pの関係式 $\lambda = P \cdot L / (E \cdot A)$ （出典元：機械工学便覧 第1章 変形する固体の力学より）

バネの伸びと力Pの関係式 $P = k \cdot \lambda$ （出典元：機械工学便覧 第7章 線形系の振動より）

※1：製作完了後、引張装置を使用し、所定の荷重（張力）をかけ、一定時間保持した後、荷重を元に戻すことを一定回数繰り返すことで、使用初期に生じる初期伸び及びロープ径の細りが少なくなる。尚、加工により弾性係数が約1.3倍増加する。

ワイヤロープ切断時、ワイヤロープに発生する衝撃荷重：40000 N（詳細は下記参照）

$\int F dt = m \cdot v$ （出典元：（力積）－（運動量変化）の関係式 機械工学便覧 第6章 衝突より）

よって、 $F = (2 \cdot \pi \cdot m \cdot V) / T$

（m：伸縮管荷重（約800 kg），T：ワイヤ固有周期（0.145 s），V：落下距離到達時の速度（0.95 m/s ※自由落下での落下距離46 mm到達時の速度））

F=約33000 N

以上により、余裕をみて衝撃荷重を40000 Nとする。②

ワイヤロープの負担荷重 $480^{※2} \times 9.8 + 40000$ ② = 44704 N ③

※2：定格荷重 450 kg，グラップル 約30 kg

よって、破断荷重①／負担荷重③； $119000 / 44704 = 2.66$

≒2倍以上

上記結果により、片側ワイヤロープ（伸縮管側）が切断した場合においても、もう片側のワイヤロープにて保持可能な設計を有している。

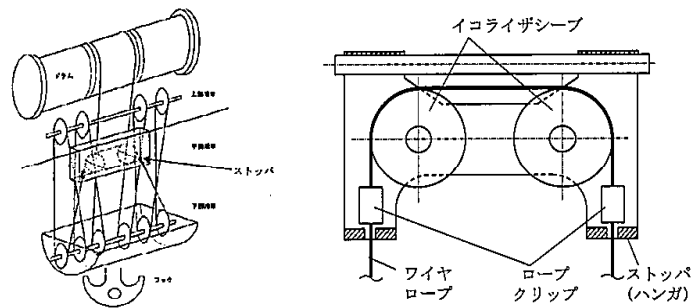
なお、ワイヤロープ更新時、購入仕様書に既設ワイヤロープの仕様（材質、寸法、破断荷重等）、適用法令及び基準を記載し手配を行い、必要な検査を実施し、検査成績書の確認をもって、当社が要求した仕様、基準等に基づき製作されていることを確認する。

8. イコライザハンガの概要について

8.1 ストッパの機構について

イコライザハンガのストッパ機構は、ワイヤロープ、ロープクリップ、イコライザシーブ及びストッパで構成されている。

ワイヤロープが破断したとすると、吊荷の質量によりイコライザハンガからロープが引き出されるが、第8-1図のようにイコライザハンガのロープにロープクリップが取り付けられ、その下方にストッパが備えられた構造であり、ロープクリップがイコライザハンガに当たり保持されることで、引き出しが止まるので吊荷は落下しない。



第8-1図 イコライザハンガのストッパ概念図

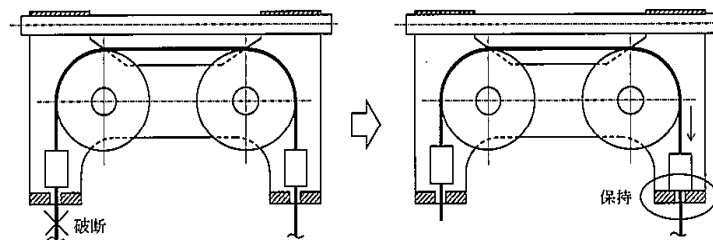
8.2 ワイヤロープ破断時の動作について

ケース①：ワイヤロープがイコライザハンガ外で破断した場合

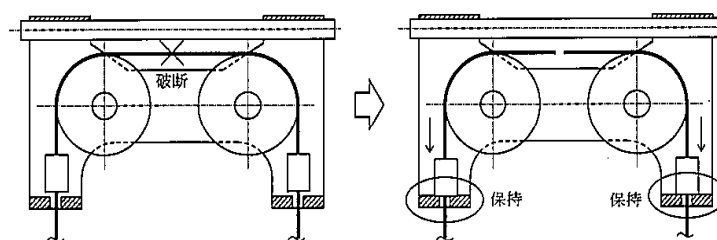
吊荷の質量により、イコライザハンガから破断していない方のワイヤロープが引き出されるが、ロープクリップがストッパに当たり保持されることにより、引き出しが止まり落下しない。

ケース②：ワイヤロープがイコライザハンガ内で破断した場合

吊荷の質量により、イコライザハンガから両方のワイヤロープが引き出されるが、それぞれのロープクリップがストッパに当たり保持されることにより、引き出しが止まり落下しない。



第8-2図 ワイヤロープがイコライザハンガ外で破断した場合の概要図



第8-3図 ワイヤロープがイコライザハンガ内で破断した場合の概要図

8.3 ストップ機能の実証実験等の有無について

ロープクリップの把握力試験にて確認している。（限界値約550 kNに対しワイヤ1本あたり約220 kNの荷重）

8.4 ロープクリップの点検について

定期検査毎に外観点検，ボルトのハンマリング及びマーキングを行い，ずれの有無を確認することとしている。

9. 使用済燃料プールの機能に影響を及ぼすおそれのある重量物の抽出結果

使用済燃料プール周辺設備等の重量物について、使用済燃料プールへの落下時に使用済燃料プールの機能に影響を及ぼすおそれのある重量物について、使用済燃料プールとの位置関係、作業計画を踏まえて抽出した結果の詳細を第1表に示す。

また、使用済燃料プールの機能に影響を及ぼすおそれのある重量物のうち、使用済燃料プールのフロアレベルに設置するものの一覧（第2表）及び配置図（第9-1図）を以下に示す。

第1表 使用済燃料プールの機能に影響を及ぼすおそれのある重量物の抽出結果※¹

番号	抽出項目	詳細	抽出の考え方	使用済燃料プールに対する位置関係、作業計画を踏まえた落下防止対策
1	原子炉建屋原子炉棟	屋根トラス、耐震壁等 天井照明	作業計画を踏まえ抽出	基準地震動に対する落下防止対策
2	燃料取替機	燃料取替機	作業計画を踏まえ抽出	同上
3	原子炉建屋クレーン	原子炉建屋クレーン	作業計画を踏まえ抽出	同上
4	その他クレーン	使用済燃料プール用ジブクレーン	作業計画を踏まえ抽出	同上
5	PCVヘッド (取扱具含む)	PCVヘッド PCVヘッド吊具	ウォークダウンにより抽出	離隔、固縛等による落下防止対策※ ^{2,3}
6	RPVヘッド (取扱具含む)	RPVヘッド (+スタッドボルトテンション) RPVヘッドフランジガasket ミラーインシュレーション スタッドボルト着脱装置 ミラーインシュレーションペロー	ウォークダウンにより抽出	同上※ ^{2,3}
7	ドライヤ、セパレータ等 (取扱具含む)	ドライヤ セパレータ シュラウドヘッドボルト シュラウドヘッドボルトレンチ D/S吊具 MSラインブラグ MSLP用電源箱 MSLP用空気圧縮機 MSLP用電動チェーンブロック マルチストロングバック D/S水中移動装置	作業計画を踏まえ抽出 (プール床置きだが作業時吊り上げる)	同上※ ³
8	プール内設置物	制御棒ハンガ 制御棒 燃料集合体(ツインブレードガイド含む) 収納缶類 LPRM等使用済炉内計装品 使用済チャンネルボックス 使用済カートリッジフィルタ	作業計画を踏まえ抽出 (プール床置きだが作業時吊り上げる)	落下時に使用済燃料プールの機能に影響を及ぼさない
9	プールゲート類	燃料プールゲート(大) 燃料プールゲート(小) キャスクビットゲート	作業計画を踏まえ抽出 (プール床置きだが作業時吊り上げる)	離隔、固縛等による落下防止対策※ ³
10	キャスク (取扱具含む)	キャスク キャスク吊具 ドライキャスク ドライキャスク吊具 固体廃棄物移送容器 固体廃棄物移送容器用垂直吊具(R/B用)	作業計画を踏まえ抽出 (ウォークダウン時はなし。作業時原子炉建屋に搬入)	同上※ ³
11	電源盤類	照明用トランス 照明用分電盤 チャンネル着脱機制御盤 作業用分電盤 中継端子箱 原子炉建屋クレーン電源切替盤、 操作盤 水中照明電源箱 シッピング用操作盤部 シッピング動力盤 開閉器 キャスクビット排水用電源盤	ウォークダウンにより抽出	落下時に使用済燃料プールの機能に影響を及ぼさない
12	フェンス・ラダー類	手摺り(除染機用レール含む) 可動ステージ開放用ホイスト架台 原子炉ウェル用梯子 DSP昇降梯子 パーテーション	ウォークダウンにより抽出	離隔、固縛等による落下防止対策※ ²
13	装置類	集塵装置(収納コンテナ含む) DSPパッキン用減圧器 酸化膜厚測定装置 水中テレビ制御装置 燃料付着物採取用装置 (本体、ボール、ヘッド) 水位調整装置 リークテスト測定装置	ウォークダウンにより抽出	同上※ ²

番号	抽出項目	詳細	抽出の考え方	使用済燃料プールに対する位置関係、作業計画を踏まえた落下防止対策
14	作業用機材類	SFPゲート用架台 工具類 大型セイバーソー 遮へい体 防災シート類 足場材 水中簡易清掃装置保管箱 局所排風機 ウェル用資機材 ローリングタワー フィルタ収納容器 LPRM収納箱 テント 酸化膜厚測定装置架台 工具箱（引き出しタイプ）鋼製 ドロップライト収納箱 グラッブル収納箱 水中カメラ支持ポール チャンネル固縛仮置き架台 NFV用吊り具ワイヤ 除染ビット用クーラー スポットクーラー 注水ユニット キャスク底部固定金具 足場収納箱	ウォークダウンにより抽出	落下時に使用済燃料プールの機能に影響を及ぼさない
15	計器・カメラ・通信機器類	差圧計 エリアモニタ プロセスモニタ ページング 固定電話 監視カメラ IAEAカメラ 使用済燃料プール温度計 使用済燃料プール水位計 水素濃度計 D/Sプールレベルスイッチ（保管箱含む） RCWサージタンク液位計 地震計	ウォークダウンにより抽出	同上
16	試験・検査用機材類	テンショナ用テストブロック スタッドボルト試験片 FHM用テストウェイト シッパーキャップ架台（16キャップ含む） シッピング装置架台	ウォークダウンにより抽出	離隔、固縛等による落下防止対策※2
17	コンクリートプラグ・ハッチ類	可動ステージ キャスク除染ビットカバー DSプールカバー 原子炉ウェルシールドプラグ スキマサージタンク用コンクリートプラグ SFPスロットプラグ SFPスロットプラグ吊具 DSPスロットプラグ DSPスロットプラグ吊具 新燃料貯蔵庫コンクリートプラグ FPC F/Dコンクリートプラグ CUW F/Dコンクリートプラグ	ウォークダウンにより抽出	同上※2,3
18	空調機	空調機 FHM操作室空調機	ウォークダウンにより抽出	同上※2
19	重大事故対処設備	静的触媒式水素再結合器 常設スプレイヘッド	作業計画を踏まえ抽出	基準地震動に対する落下防止対策

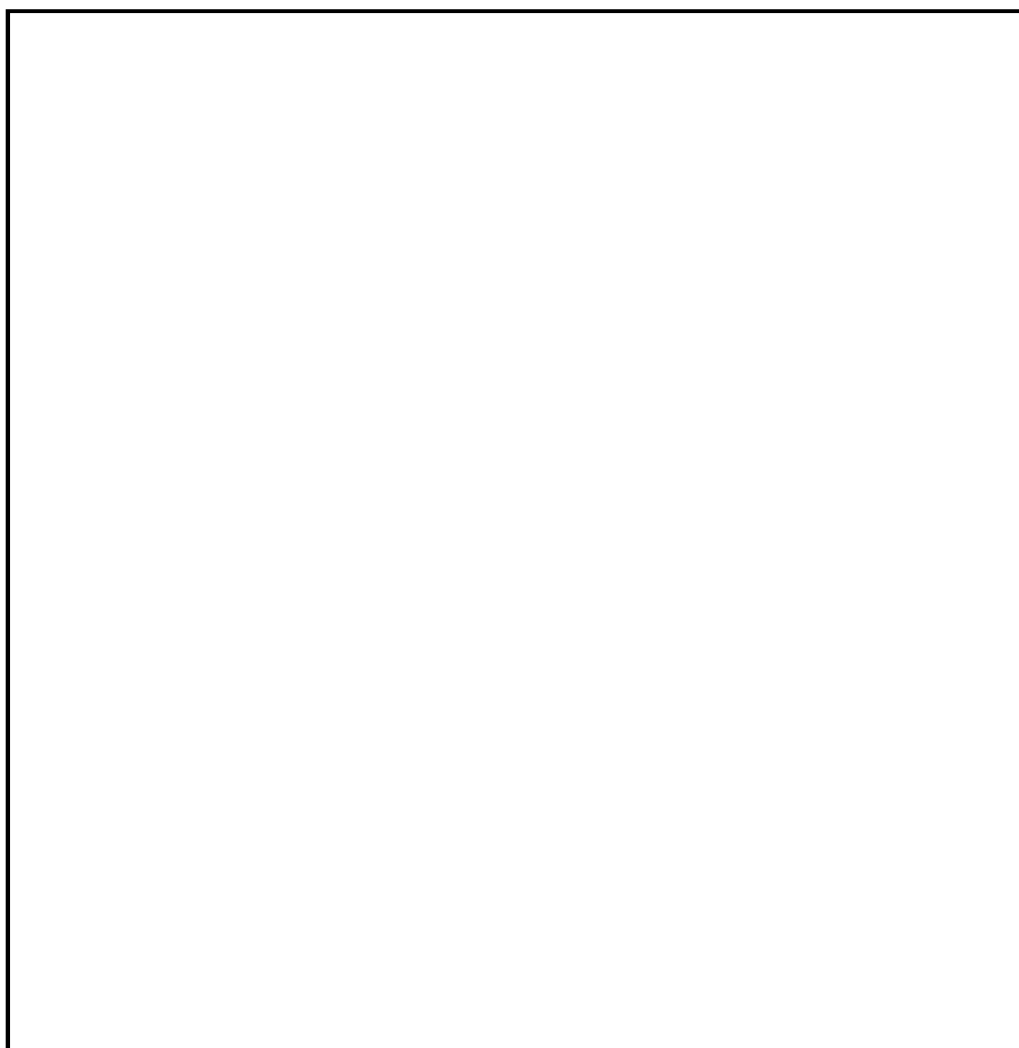
※1 なお、重量物の抽出にあたっては、ニューシア情報を確認し重量物の固縛措置等に関して、東海第二発電所で反映が必要な事項はないことを確認している。

※2 離隔、固縛等による落下防止対策の詳細について第2表にて記載する。

※3 吊り上げ時の落下防止対策の詳細について第3表にて記載する。

第2表 使用済燃料プールのフロアレベルに設置するものの一覧

番号	抽出項目	No	詳細	離隔の考え方 (SFPからの距離、設置高さ、重量、形状、 床の段差)
5	PCVヘッド (取扱具含む)	1	PCVヘッド	SFPからの距離、重量、形状
		2	PCVヘッド吊具	
6	RPVヘッド (取扱具含む)	3	RPVヘッド (+スタッドボルトテンシヨナ)	SFPからの距離、重量、形状
		4	RPVヘッドフランジガスケツト	
		5	ミラーインシュレーション	
		6	スタッドボルト着脱装置	
		7	ミラーインシュレーションベロー	
12	フェンス・ラダー類	8	手摺り(除染機用レール含む)	SFPからの距離、床の段差
		9	可動ステージ開放用ホイスト架台	
		10	原子炉ウェル用梯子	
		11	DSP昇降梯子	
		12	パーテーション	
13	装置類	13	集塵装置(収納コンテナ含む)	SFPからの距離、床の段差
		14	DSPバッキン用減圧器	
		15	酸化膜厚測定装置	
		16	水中テレビ制御装置	
		17	燃料付着物採取用装置 (本体、ボール、ヘッド)	
		18	水位調整装置	
		19	リークテスト測定装置	
16	試験・検査用機材類	20	テンシヨナ用テストブロック	SFPからの距離、床の段差
		21	スタッドボルト試験片	
		22	FHM用テストウエイト	
		23	シッパーキャップ架台 (16キャップ含む)	
		24	SHIPPING 装置架台	
17	コンクリート プラグ・ハッチ類	25	可動ステージ	SFPからの距離、重量、形状
		26	キャスク除染ビットカバー	
		27	DSブルーカバー	
		28	原子炉ウェルシールドブラグ	
		29	スキマサーージタンク用コンクリートブラグ	
		30	SFPスロットブラグ	
		31	SFPスロットブラグ吊具	
		32	DSPスロットブラグ	
		33	DSPスロットブラグ吊具	
		34	新燃料貯蔵庫コンクリートブラグ	
		35	FPC F/Dコンクリートブラグ	
		36	CUW F/Dコンクリートブラグ	
		18	空調機	
38	FHM操作室空調機			



第9-1図 使用済燃料プールのフロアレベルに設置するものの一覧

第3表 吊荷の落下防止対策

番号	抽出項目	詳細	使用するクレーン (主巻・補巻・モノ レールホイスト) 及 び吊具 (専用・汎用 のワイヤ・スリン グ・吊具)	適用法令・安全率の 考え方
5	PCVヘッド (取扱具含む)	PCVヘッド	主巻・専用吊具	主巻は工認-028 3. 落下防止対策による。 吊具はメーカ社内基準に基づき、強度評価を実施。
		PCVヘッド吊具	主巻	工認-028 3. 落下防止対策による。
6	RPVヘッド (取扱具含む)	RPVヘッド (+スタッドボルトテンシヨナ)	主巻・専用吊具	主巻は工認-028 3. 落下防止対策による。 吊具はメーカ社内基準に基づき、強度評価を実施。
		RPVヘッドフランジガasket ミラーインシュレーション スタッドボルト着脱装置	補巻・汎用吊具 (ワイヤロープ)	補巻はクレーン構造規格による。 ワイヤロープはクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		ミラーインシュレーションペロー	補巻・汎用吊具 (ワイヤロープ)	補巻はクレーン構造規格による。 ワイヤロープはクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
7	ドライヤ、セバレータ等 (取扱具含む)	ドライヤ	主巻・専用吊具	主巻は工認-028 3. 落下防止対策による。 吊具はメーカ社内基準に基づき、強度評価を実施。(二重化)
		セバレータ		
		シュラウドヘッドボルト	補巻・汎用吊具 (ワイヤロープ)	補巻はクレーン構造規格による。 ワイヤロープはクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		シュラウドヘッドボルトレンチ		
		D/S吊具	主巻	主巻は工認-028 3. 落下防止対策による。
		MSラインプラグ	補巻・汎用吊具 (ワイヤロープ及び ナイロンスリング)	補巻はクレーン構造規格による。 ワイヤロープはクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。 ナイロンスリングは使用荷重に基づき選定。
		MSLP用電源箱		
		MSLP用空気圧縮機		
		MSLP用電動チェーンブロック		
		マルチストロングバック	補巻・専用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はメーカ社内基準に基づき、強度評価を実施。
9	プールゲート類	D/S水中移動装置	主巻	工認-028 3. 落下防止対策による
		燃料プールゲート(大)	補巻・汎用吊具 (ワイヤロープ)	補巻はクレーン構造規格による。 ワイヤロープはクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		燃料プールゲート(小)		
		キャスクピットゲート	補巻・汎用のワイヤ	補巻については〇〇 汎用のワイヤについてはクレーン則の玉掛基準に余裕をみたものを使用。
10	キャスク (取扱具含む)	キャスク	主巻・専用吊具	主巻については工認-028 3. 落下防止対策による。専用吊具は二重化。
		キャスク吊具	主巻	工認-028 3. 落下防止対策による。
		ドライキャスク	主巻・専用吊具	主巻については工認-028 3. 落下防止対策による。専用吊具は二重化。
		ドライキャスク吊具	主巻	工認-028 3. 落下防止対策による。
		固体廃棄物移送容器	主巻・専用吊具	主巻については工認-028 3. 落下防止対策による。汎用のワイヤについてはクレーン則の玉掛基準に余裕をみたものを使用。
		固体廃棄物移送容器用垂直吊具 (R/B用)	主巻	工認-028 3. 落下防止対策による。
		水位調整装置	—	—
		リークテスト測定装置	—	—
17	コンクリート プラグ・ハッチ類	可動ステージ	—	—
		キャスク除染ピットカバー	主巻・汎用のワイヤ	工認-028 3. 落下防止対策による。汎用のワイヤについてはクレーン則の玉掛基準に余裕をみたものを使用。
		DSプールカバー	補巻・汎用吊具 (ワイヤロープ)	補巻はクレーン構造規格による。 ワイヤロープはクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		原子炉ウェルシールドプラグ	主巻・汎用吊具 (ナイロンスリング)	主巻は工認-028 3. 落下防止対策による。 ナイロンスリングは使用荷重に基づき選定。
		スキマサージタンク用コンクリートプラグ	補巻・汎用吊具 (ワイヤロープ)	補巻はクレーン構造規格による。 ワイヤロープはクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		SFPスロットプラグ	補巻・専用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はメーカ社内基準に基づき、強度評価を実施。
		SFPスロットプラグ吊具	補巻	補巻はクレーン構造規格による。

		DSPスロットプラグ	主巻・専用吊具	主巻は工認-028 3. 落下防止対策による。 吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
		DSPスロットプラグ吊具	主巻	主巻は工認-028 3. 落下防止対策による。
		新燃料貯蔵庫コンクリートプラグ	補巻・汎用のワイヤ	補巻については〇〇 汎用のワイヤについてはクレーン則の玉掛基準に余裕をみたものを使用。
		FPC F/Dコンクリートプラグ	モノレールホイスト	クレーン等構造規格による。
		CUW F/Dコンクリートプラグ		

10. 技術基準規則への適合性

第1表に燃料取扱設備の技術基準規則第26条への適合性と適合方針を示す。

第1表 燃料取扱設備の技術基準規則と条文への適合性

	燃料取扱設備	条文	技術基準規則の解釈	条文への適合性	
1	燃料取替機	第二十六条 通常運転時に使用する燃料体又は使用済燃料（以下この条において「燃料体等」という。）を取り扱う設備は、次に定めるところにより施設しなければならない。 一 燃料体等を取り扱う能力を有するものであること。	1 第26条に規定する「燃料を取り扱う設備」とは、新燃料、再使用燃料又は使用済燃料の装荷、取出又は保管等を行うために使用する設備をいう 2 第1号に規定する「通常運転時において使用する燃料を取り扱う能力」とは、新燃料の搬入から使用済燃料の搬出までの取扱いにおいて、関連する機器間を連携し、当該燃料を搬入、搬出又は保管できる能力があること。	○	新燃料を原子炉建屋内に搬入してから炉心に装荷するまで、及び使用済燃料を炉心から取り出し原子炉建屋外へ搬出するまでの取扱いを行える設計とする。

		二 燃料体等 が臨界に達 するおそれ がない構造 であること。	3 第2号に規定する 「燃料が臨界に達 するおそれがない 構造であること」と は、臨界計算により 燃料が臨界に達し ないことを確認さ れた構造であるこ と。	○	燃料体等を1体ずつ 取扱う構造とすること により、臨界を防止 する設計とする。
		三 崩壊熱に より燃料体 等が溶融し ないもので あること。	4 第3号に規定する 「燃料が溶融しな い」とは、設計計算 により、燃料が溶融 しないことを確認 された冷却能力を 有すること。	○	燃料体等（新燃料を 除く。）の移送は、す べて水中で行い、崩壊 熱により溶融しない 設計とする。
		四 取扱中に 燃料体等が 破損しない こと。	5 第4号に規定する 「燃料が破損する おそれがないこと」 とは、以下によ ること。 ・燃料交換機にあつ ては、掴み機構のワ イヤーを二重化する こと。ただし、昭和5 2年以前に施設し、 又は施設に着手した 原子炉施設において は、構成する機械器 具の機能、構造及び 動作原理を考慮し、 同等の機能維持が確 認されること。 ・燃料交換機にあつ ては、燃料取扱中に	○	燃料取替機のワイ ヤロープは、二本有し ており、一本が「燃料 集合体及びグラップ ル」を、もう一本が「伸 縮管」をそれぞれ吊る 構造となっている。 取扱い中に燃料体 等を損傷させないよ

			過荷重となった場合は上昇阻止される措置がなされていること。この場合において、取扱い時の荷重監視等による運転管理による対応も含まれる。		う、あらかじめ設定する荷重値を超えた場合、上昇を阻止するインターロックを有することで燃料体等の破損やそれに伴う燃料体等の落下を防止する設計とする。
		七 燃料体等の取扱い中に燃料体等を取り扱うための動力源がなくなった場合に、燃料体等を保持する構造を有する機器を設けることにより燃料体等の落下を防止できること。	8 第7号に規定する「燃料取扱い中に燃料を取り扱うための動力源が無くなった場合でも燃料を保持する機構」とは、動力源である電源又は空気が喪失した場合でも燃料を保持できる性能を有すること。	○	駆動源喪失の場合にも燃料体等の保持状態を維持する設計とする。
2	原子炉建屋クレーン	通常運転時に使用する燃料体又は使用済燃料（以下この条において「燃料体等」という。）を取り扱う設備は、次に定めるところにより施設しな	1 第26条に規定する「燃料を取り扱う設備」とは、新燃料、再使用燃料又は使用済燃料の装荷、取出又は保管等を行うために使用する設備をいう	○	

		ればなら ない。 一 燃料体等 を取り扱う 能力を有す るものであ ること。	2 第1号に規定する 「通常運転時にお いて使用する燃料 を取り扱う能力」と は、新燃料の搬入か ら使用済燃料の搬 出までの取扱いに おいて、関連する機 器間を連携し、当該 燃料を搬入、搬出又 は保管できる能力 があること。		新燃料を原子炉建 屋内に搬入してから 炉心に装荷するまで、 及び使用済燃料を炉 心から取り出し原子 炉建屋外へ搬出する までの取扱いを行え る設計とする。
		二 燃料体等 が臨界に達 するおそれ がない構造 であること。	3 第2号に規定する 「燃料が臨界に達 するおそれがない 構造であること」と は、臨界計算により 燃料が臨界に達し ないことを確認さ れた構造であるこ と。	○	燃料体等を1体ずつ 取扱う構造とするこ とにより、臨界を防止 する設計とする。
		三 崩壊熱に より燃料体 等が溶融し ないもので あること。	4 第3号に規定する 「燃料が溶融しな い」とは、設計計算 により、燃料が溶融 しないことを確認 された冷却能力を 有すること。	○	燃料体等（新燃料を 除く。）の移送は、す べて水中で行い、崩壊 熱により溶融しない 設計とする。
		四 取扱中に 燃料体等が 破損しない こと。	5 第4号に規定する 「燃料が破損する おそれがないこと」 とは、以下によるこ と。	○	

			・原子炉建屋天井クレーンにあっては、吊り上げられた使用済燃料運搬用容器が燃料プールに貯蔵された燃料上を走行できない措置を行うこと。 ただし、措置には、運用管理での対応も含むものとする。この運用管理にあっては、運搬用容器が燃料上に行かないことを確実にするものであること。また、フックのワイヤー外れ止めを設けること。		原子炉建屋クレーンは、使用済燃料プール上を重量物及びキャスクが走行及び横行できないように可動範囲を制限するインターロックを設けている。 重量物を移送する主巻フックはイコライザハンガをストッパ方式にすることで仮にワイヤロープが切れた場合でも重量物が落下せず、安全に保持できる設計とする。
		七 燃料体等の取扱中に燃料体等を取り扱うための動力源がなくなった場合に、燃料体等を保持する構造を有する機器を設けることにより燃料体等の落下を防止できること。	8 第7号に規定する「燃料取扱い中に燃料を取り扱うための動力源が無くなった場合でも燃料を保持する機構」とは、動力源である電源又は空気が喪失した場合でも燃料を保持できる性能を有すること。	○	原子炉建屋クレーンは、原子炉建屋内で新燃料搬入容器、使用済燃料輸送容器の移送及び新燃料等の移送を安全かつ確実に行うものである。本クレーンは、新燃料搬入容器、使用済燃料輸送容器及び新燃料等の移送中において、駆動源が喪失しても確実に保持できる。

3	使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン	通常運転時に使用する燃料体又は使用済燃料（以下この条において「燃料体等」という。）を取り扱う設備は、次に定めるところにより施設しなければならない。 一 燃料体等を取り扱う能力を有するものであること。	1 第26条に規定する「燃料を取り扱う設備」とは、新燃料、再使用燃料又は使用済燃料の装荷、取出又は保管等を行うために使用する設備をいう 2 第1号に規定する「通常運転時において使用する燃料を取り扱う能力」とは、新燃料の搬入から使用済燃料の搬出までの取扱いにおいて、関連する機器間を連携し、当該燃料を搬入、搬出又は保管できる能力があること。	○	使用済燃料乾式貯蔵建屋内において燃料集合体を装填した使用済燃料乾式貯蔵容器の取扱いを行える設計とする。
		二 燃料体等が臨界に達するおそれがない構造であること。	3 第2号に規定する「燃料が臨界に達するおそれがない構造であること」とは、臨界計算により燃料が臨界に達しないことを確認された構造であること。		使用済燃料乾式貯蔵容器を取扱うこととし、直接燃料集合体の取扱いを行わない設計とする。

		三 崩壊熱により燃料体等が溶融しないものであること。	4 第3号に規定する「燃料が溶融しない」とは、設計計算により、燃料が溶融しないことを確認された冷却能力を有すること。	○	使用済燃料乾式貯蔵容器を取扱うこととし、直接燃料集合体の取扱いを行わない設計とする。
		四 取扱中に燃料体等が破損しないこと。	5 第4号に規定する「燃料が破損するおそれがないこと」とは、以下によること。 ・原子炉建屋天井クレーンにあっては、吊り上げられた使用済燃料運搬用容器が燃料プールに貯蔵された燃料上を走行できない措置を行うこと。 ただし、措置には、運用管理での対応も含むものとする。この運用管理にあっては、運搬用容器が燃料上に行かないことを確実にするものであること。また、フックのワイヤー外れ止めを設けること。	○	使用済燃料乾式貯蔵容器を取扱うこととし、直接燃料集合体の取扱いを行わない設計とする。 フックは、使用済燃料乾式貯蔵容器専用吊り治具または玉掛け用ワイヤロープ等が当該フックから外れることを防止するための装置を設ける。

		七 燃料体等の取扱中に燃料体等を取り扱うための動力源がなくなった場合に、燃料体等を保持する構造を有する機器を設けることにより燃料体等の落下を防止できること。	8 第7号に規定する「燃料取扱い中に燃料を取り扱うための動力源が無くなった場合でも燃料を保持する機構」とは、動力源である電源又は空気が喪失した場合でも燃料を保持できる性能を有すること。	○	使用済燃料乾式貯蔵容器の移送中において、駆動源が喪失しても確実に保持できる。
4	チャンネル着脱機	通常運転時に使用する燃料体又は使用済燃料（以下この条において「燃料体等」という。）を取り扱う設備は、次に定めるところにより施設しなければならない。 一 燃料体等を取り扱う能力を有するものであること。	1 第26条に規定する「燃料を取り扱う設備」とは、新燃料、再使用燃料又は使用済燃料の装荷、取出又は保管等を行うために使用する設備をいう 2 第1号に規定する「通常運転時において使用する燃料を取り扱う能力」とは、新燃料の搬入から使用済燃料の搬出までの取扱いに	○	新燃料を新燃料貯蔵庫又は新燃料検査台から使用済燃料貯蔵ラックに装荷するまでの取扱い、及び新燃料、再使用燃料の検査ができる設計とす

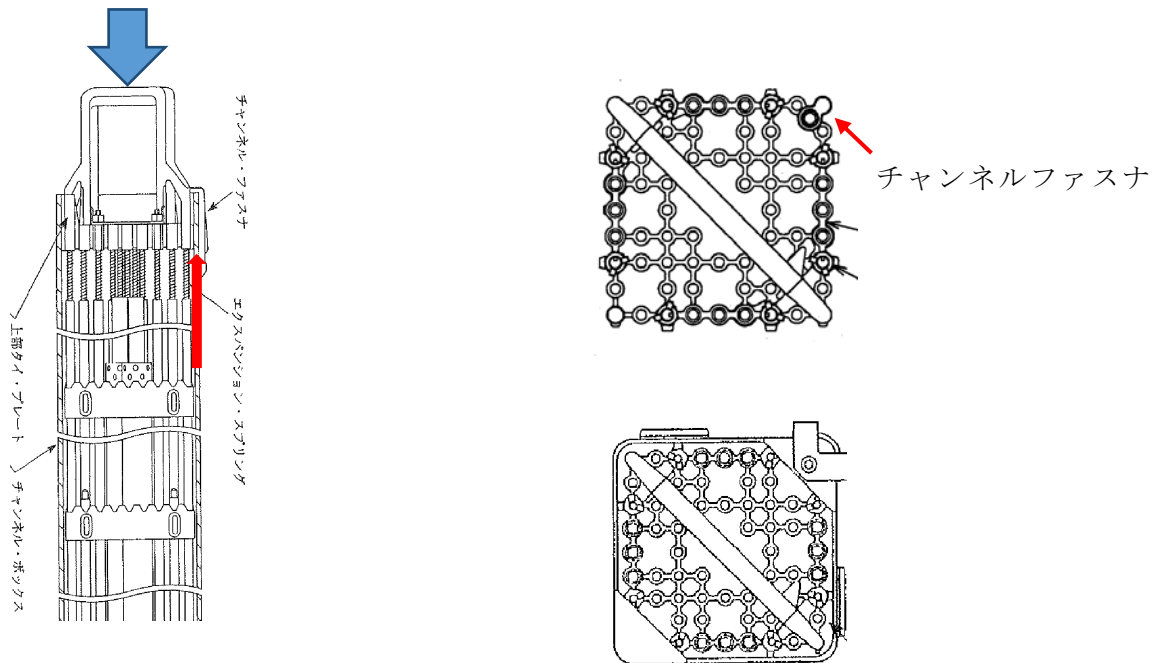
			において、関連する機器間を連携し、当該燃料を搬入、搬出又は保管できる能力があること。		る。
	二 燃料体等が臨界に達するおそれがない構造であること。	3 第2号に規定する「燃料が臨界に達するおそれがない構造であること」とは、臨界計算により燃料が臨界に達しないことを確認された構造であること。	○		燃料体等を1体ずつ取扱う構造とすることにより、臨界を防止する設計とする。
	三 崩壊熱により燃料体等が溶融しないものであること。	4 第3号に規定する「燃料が溶融しない」とは、設計計算により、燃料が溶融しないことを確認された冷却能力を有すること。	○		燃料体等（新燃料を除く。）の移送は、すべて水中で行い、崩壊熱により溶融しない設計とする。
	四 取扱中に燃料体等が破損しないこと。	—	○		機械的な下限インターロックを設け、チェーンが切れて落下した場合でも床まで落ちることのない設計とする。
	七 燃料体等の取扱中に燃料体等を取り扱うための動力源	8 第7号に規定する「燃料取扱い中に燃料を取り扱うための動力源が無くなった場合でも燃	○		燃料の取扱中において、駆動源が喪失しても確実に保持できる。

		がなくなっ た場合に、燃 料体等を保 持する構造 を有する機 器を設ける ことにより 燃料体等の 落下を防止 できること。	料を保持する機構」 とは、動力源である 電源又は空気が喪 失した場合でも燃 料を保持できる性 能を有すること。		
--	--	--	--	--	--

重量物落下時のチャンネルボックスへの荷重について

チャンネルボックスはチャンネルファスナによって上部タイプレートに結合されており、チャンネルファスナを通じて上部タイプレートを支えている。その荷重は摩擦によって7つのスペーサ及び下部タイプレートにかかっている。7つのスペーサは2本のウォータロッドのうちの1本に結合しており、支持されている。したがって、燃料棒でなくウォータロッドにチャンネルボックスへの重量物の荷重がかかることになる（第1図）。

以上を考慮すると、チャンネルボックスによる支持を無視し、燃料棒のみで落下物の荷重を受け止める想定は保守的であると考えられる。



第1図チャンネルボックスの受ける荷重について

BWR燃料集合体落下時の使用済燃料プールライニングの健全性について

1. 確認方法

BWR燃料集合体落下時の使用済燃料プールライニングの健全性の確認方法は、文献1※の落下試験に基づいている。

文献1においては、落下時にライニングに衝突する下部タイプレート部分を特に模擬した310 kgの模擬燃料集合体を、気中にて高さ5.1 mから落下させている。

ライニングは厚さ3.85 mmであり、模擬燃料集合体が落下して衝突したことにより、0.7 mm減肉したものの、割れ等の有害な欠陥は認められず、健全性が確認された。

このときの落下エネルギーは、

$$310 \text{ kg} \times g \times 5.1 \text{ m} \approx 15.5 \text{ kJ}$$

であるので、使用済燃料プールにおけるBWR燃料集合体落下を想定する場合、下部タイプレートの形状は燃料集合体によらずほぼ同等であることから、この落下エネルギーを超えないことの確認によりライニングの健全性を判断できる。

※：「沸騰水型原子力発電所燃料集合体落下時の燃料プールライニングの健全性について」（HLR-050）

2. 落下試験の保守性

文献1の燃料集合体落下試験には、以下の保守性がある。

(1) 燃料集合体重量（気中）

東海第二発電所の燃料に対し、8×8燃料 kg)を除き、全ての燃料よりも重い310 kgの模擬燃料集合体を使用している。

(2) 燃料集合体重量（水中）

気中の落下試験であるため、水中で落下する燃料集合体の浮力は無視している。

(3) 水の抵抗を無視

気中の落下試験であるため、水中で落下する燃料集合体を受ける水の抵抗を無視している。

(4) ライニング厚さ

東海第二発電所の使用済燃料プールライニング厚さは、公称値6 mm、設計値 mmであり、落下試験に使用したライニング厚さはそれよりも薄い3.85 mmであり、また、落下試験により0.7 mm減肉したものの、割れ等の有害な欠陥は認められず健全であった。

(5) 落下高さ

東海第二発電所の使用済燃料プール中で燃料取替機が通常の燃料移動の際の吊上

げ高さ [] mm に対し、落下試験時は高さ 5.1 m から落下させた。

3. 東海第二発電所の運用における確認

使用済燃料プール水中における燃料取扱いの運用において、2. の保守性を超えて非保守的となる項目がある場合、その他の項目の保守性を考慮したうえで、1. のとおり落下エネルギーによる確認が必要となる。

(1) 燃料集合体重量

8 × 8 燃料のみ、落下試験に用いた模擬燃料集合体を上回る重量 [] kg) である。

→ 排水体積分の水による浮力を考慮することにより、落下エネルギーを評価する。(工認-029にて重量が310 kgを下回ることを評価済)

(2) 落下高さ

使用済燃料プールにおける燃料取扱いの運用において、吊上げ高さの上限は2種類あり、通常時は上記の通り [] mm で落下試験の落下高さ 5.1 m に包絡されるが、キャスク装荷時は上限を切り替え、キャスクの最大寸法に応じて [] mm としており、包絡されない。

→ 排水体積分の水による浮力を考慮することに加え、落下中の水の抵抗を考慮することにより、落下エネルギーを評価する。(4. を参照)

新燃料搬入の場合、使用済燃料プールへの入水時は、気中吊上げ高さを含めると最大 [] m の高さになる。

→ 気中で作業員が目視しながら直接新燃料を扱うこと等から、使用済燃料プールライニングに落下させないよう運用している。

4. 水の抵抗を考慮した落下エネルギー評価

(1) 落下エネルギー評価式

燃料集合体の変位(落下移動距離)を x とし、以下に示す運動方程式を用いて、6 m 落下後の衝突直前の速度及び衝突エネルギーを評価する。本評価では、燃料集合体は垂直に落下し、落下中に水による浮力及び抵抗(抗力)を受けることを想定する。燃料集合体が水中で受ける抗力を算出する上では、燃料集合体の形状は直方体とみなす。

$$m_1 \times d^2 x / dt^2 = (m_1 - \rho V) \times g - D$$

これを、速度 v の式にすると

$$m_1 \times dv/dt = m_2 \times g - D$$

ここで、

g : 重力加速度, 9.80665 m/s²

m_1 : 燃料集合体の質量(気中), [] kg (東海第二発電所SFP内最大重量燃料: 8 × 8 燃料)

m_2 : 燃料集合体の質量(水中), [] kg (浮力考慮) ($m_1 - \rho V$)

D : 抗力 ($=1/2 \times \rho \times C_d \times A \times v^2$)

ρ : 水の密度, $9.8045 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$ (大気圧・65 °C)

C_d : 抗力係数, 0.80 (直方体を仮定し, 極小値0.87にさらに保守性をみて小さくした値)

(出典) 機械設計便覧編集委員会「第3版機械設計便覧」丸善, 平成4年3月10日

A : 流れに垂直な面の投影面積, 正方形断面 ($0.13 \text{ m} \times 0.13 \text{ m} = 1.69 \times 10^{-2} \text{ m}^2$) を仮定

V : 燃料集合体体積, m^3 (メーカー設計値)

上記微分方程式より,

$$v = \sqrt{(m_2 g / k) \times \tanh(k / m_1 \sqrt{(m_2 g / k) \times t})}$$

ここで,

$$k = 1/2 \times \rho \times C_d \times A$$

(2) 落下エネルギー評価結果

6m落下時点の速度 v は 9.6m/s と評価され, このときの落下エネルギーは,

$$\text{} \times 9.6^2 / 2 \div \text{} \text{ kJ}$$

であり, 15.5 kJ を下回るため, ライニングの健全性を確認した。

なお, 上記に従った燃料集合体の気中と水中の落下距離と落下速度の関係を示したグラフを図1に示す。

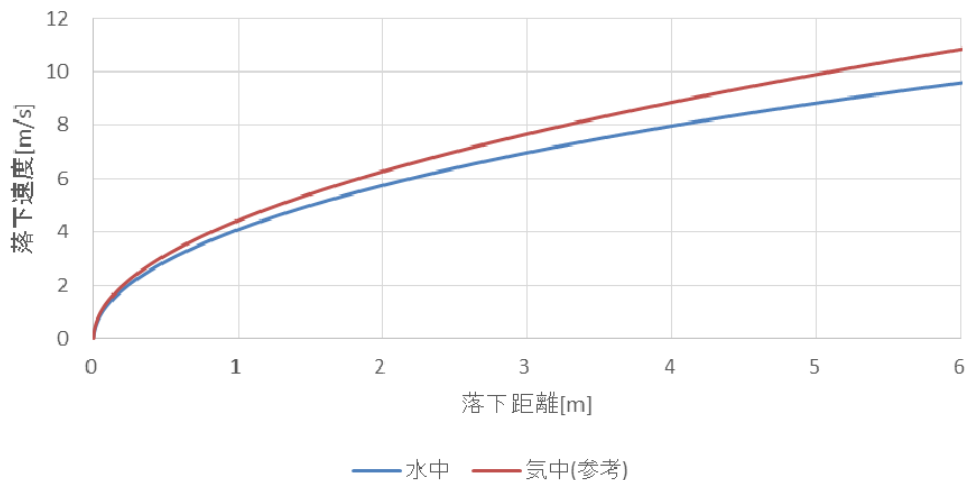


図1 燃料集合体の落下距離と落下速度の関係

(3) 抗力係数の保守性

抗力係数として保守的に直方体を仮定している。燃料集合体は, 落下時の先端となる下部タイプレートの外観が円錐形で, 一見, 直方体よりも水の抵抗が少ないように見えるが, 下部タイプレートの先端から見た様子等の例は図2のとおりで, 流れ込む水を受ける部分には燃料棒等の底面及び燃料棒の支持部品がある。さらに, 8×8燃料の場合は63本の燃料棒の他, 上下部タイプレート, 7つのスペーサ, 1本のウォ

ータロッド及びチャンネルボックスが存在しており、他の種類の燃料でも同様に、水の抵抗を受ける表面積が直方体に比べて大きいいため、燃料集合体の抗力係数は直方体に比べ大きいと考えられる。

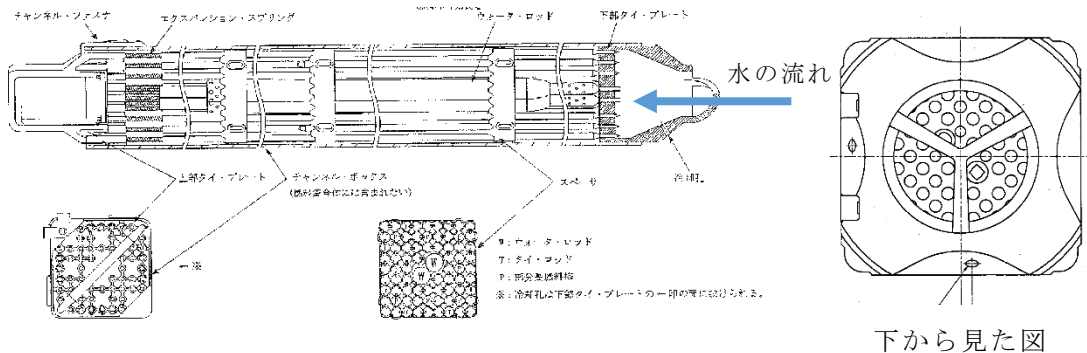


図2 燃料集合体下部タイプレート（9×9燃料（A型）の例）

また、以下に示すように抗力係数は L/d (L : 長手方向の長さ, d : 断面の代表長さ) 依存性があり、薄板から厚みが増して柱状に至る過程で、薄板の間は抗力係数が大きく、厚みが増すにしたがって一旦小さくなり、柱状となって長くなるにしたがって側面抵抗の影響によりまた抗力係数は大きくなる傾向があると考えられる。したがってさらに、抗力係数を極小値である 0.87 からより保守的に 0.80 とした場合を考慮し、6 m 落下時点での落下エネルギーを計算しても約 kJ であり、落下試験における落下エネルギーを包絡している。

（4）抗力係数の保守性についての考察

①形状による抗力係数

- 直方体（断面は正方形，流れは長手方向）（レイノルズ数 $Re = 1.7 \times 10^5$ ）（下線は極小値）

（出典）機械設計便覧編集委員会「第3版機械設計便覧」丸善，平成4年3月10日

寸法の割合 L/d	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
抗力係数 C_d	1.25	1.25	1.15	0.97	<u>0.87</u>	0.90	0.93	0.95	0.95

ここで、 L : 長手方向の長さ, d : 一辺の長さ

- その他の三次元物体

（出典）日本機械学会「機械工学便覧」，2006年1月20日（図4）

- 円柱（断面は円，流れは長手方向）（レイノルズ数 $Re = 3.6 \times 10^5$ ）（下線は極小値）

寸法の割合 L/d	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	7.0
抗力係数 C_d	1.00	0.84	<u>0.76</u>	0.78	0.80	0.88

ここで、 L : 長手方向の長さ, d : 円の半径

- 円錐（断面は円，流れは頂点から底面の方向）（レイノルズ数 $Re = 2.7 \times 10^5$ ）
- | | | | |
|------------|-------------|------|-----------------------------|
| 頂角 | 60° | 30° | |
| 抗力係数 C_d | <u>0.51</u> | 0.33 | （図 3 を参考に、60° の円錐の値を代表値とする） |

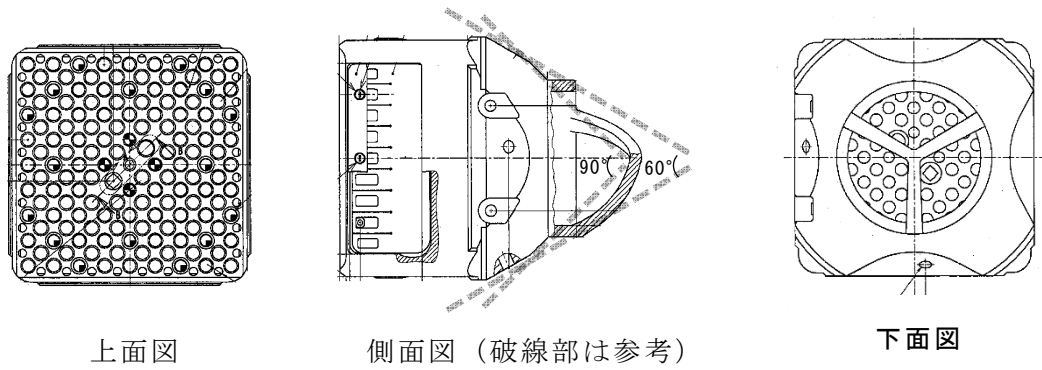


図 3 下部タイプレート図（9 × 9 燃料（A 型）の例）

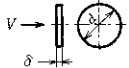
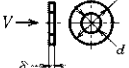
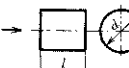
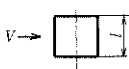
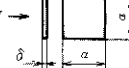
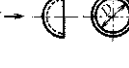
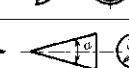
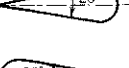
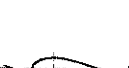
	物体	寸法の割合	基準面積 A	レイノルズ数	C_D
(a)		$\delta=0.01 d$	$(\pi d^2)/4$	9.6×10^5	1.12
		$d/D=0.2$ 0.4 0.6 0.8 $\delta=0.01 d$	$\{\pi(D^2-d^2)\}/4$	3.6×10^5	1.16 1.20 1.22 1.76
(b)		$l/d=0.5$ 1.0 2.0 4.0 6.0 7.0	$(\pi d^2)/4$	3.6×10^5	1.00 0.84 0.76 0.78 0.80 0.88
		$l/d=1$ 2 5 10 20 40	ld	0.9×10^5	0.64 0.69 0.76 0.80 0.92 0.98
(c)		$\delta=0.01 a$	a^2	3.9×10^5	1.14
		$a/b=2$ 5 10 20 ∞	ab	$(0.9-3.9) \times 10^5$	1.15 1.22 1.27 1.50 1.86
			$(\pi D^2)/4$	4×10^5 5×10^5	0.36 0.40
			$(\pi D^2)/4$	4×10^5 5×10^5	1.44 1.42
		$\alpha=60^\circ$ 30°	$(\pi d^2)/4$	2.7×10^5	0.51 0.33
			$(\pi d^2)/4$	1.4×10^5	0.16
			$(\pi d^2)/4$	1.4×10^5	0.09
		$l/d=3.0$ 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0	$(\pi d^2)/4$	$(5 \sim 6) \times 10^5$	0.049 0.048 0.051 0.055 0.060 0.067 0.072

図4 種々の三次元物体の抗力係数

○抗力係数と落下エネルギー

上記の例のうち、下線部の抗力係数よりも保守的な値にて落下エネルギーを計算した結果は以下のとおり。

抗力係数 C_d 0.50 0.70 0.80 0.95

落下エネルギー(kJ)

抗力係数を 0.50(頂角 60° の円錐以下)と仮定しても落下エネルギーは kJ となり、
15.5kJ を下回る。

②抗力係数のレイノルズ数依存性について

①の考察において示した抗力係数の実験値は、いずれもレイノルズ数 ($Re = vd/\nu$, v : 流速, d : 代表長さ, ν : 動粘性係数) が実機 SFP よりも小さい場合のものとなっている。実機 SFP における Re は、落下速度 (流速) を $9.5 \sim 10.5$ m/s (図 1 の 6 m (ライナ衝突時) の値参照), 代表長さを燃料集合体幅の 0.13 m, 動粘性係数を $0.443 \times 10^{-6} \sim 1.004 \times 10^{-6}$ m²/s (@ $65^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$) とすると, $Re = 1.36 \sim 2.79 \times 10^6$ であり, ①の例よりも 1 桁程度大きい。

文献においては, 図 4 に示すような三次元物体に対する流れについて, Re と C_d の関係を広く示したものは少ないが, 例えば図 4 (a) のように, 流れに直交する円板の抗力係数については, Re と図 5 のような関係にあり, $Re = 10^3 \sim 10^7$ の広範囲に渡って C_d に変化はない。

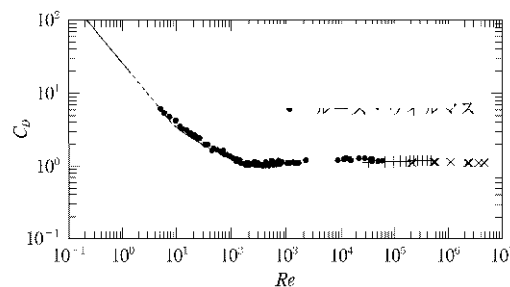


図 5 円板の抗力係数

また, 澤田ら「気流に平行に磁力支持された円柱の抵抗係数」(日本風工学会論文集, 第 29 巻第 4 号 (通号第 101 号) 平成 16 年 10 月) には, 直径 45 mm の円柱の長さを変化させ, 図 6 のような結果を得ており, $Re = 60,000 \sim 100,000$ の範囲では L/d によらず C_d に変化はない。

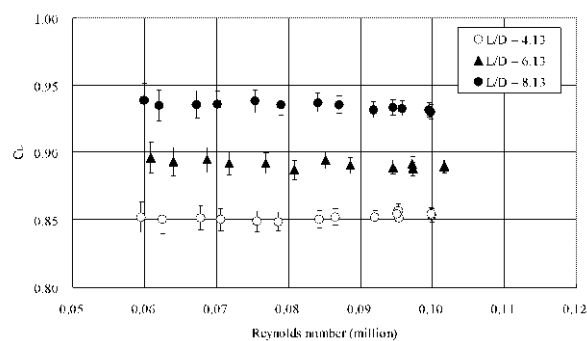


図 6 抗力係数 C_d のレイノルズ数依存性

③抗力係数の L/d 依存性について

P. 2 の抗力 D は, 流れに垂直な面の投影面積 A の関数としているが, 本来は圧力抵抗 (A の関数) と摩擦抵抗 (流れと平行な面の関数) の和であるところ, 一般的な形として圧力抵抗で代表させた形としている。抗力係数 C_d は, 圧力抵抗だけでなく摩擦抵抗の影響も受

けた挙動を示す。

L/d が大きくなると、摩擦抵抗を受ける面積が増大するため、抗力係数 C_d は大きくなる傾向にあると考えられる。前出の文献（澤田ら「気流に平行に磁力支持された円柱の抵抗係数」（日本風工学会論文集，第 29 巻第 4 号（通号第 101 号）平成 16 年 10 月））に，図 7 があり，燃料集合体の L/d (L : チャンネルボックス長さ約 4.25 m, d : 約 0.13 m とすると， $L/d \approx 33$) は含まない範囲であるものの， L/d 増に対して C_d は増加している。

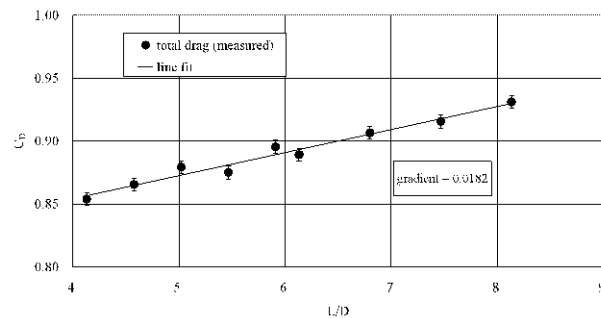


図 7 抗力係数 C_d の L/d 依存性

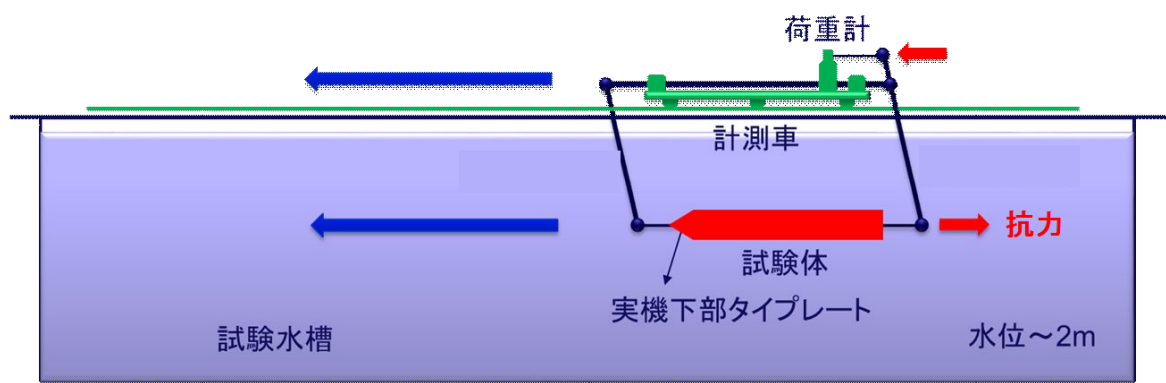
(5) 抗力係数確認試験について

図 8 に抗力係数確認試験のイメージを示す。

上述の通り，燃料集合体落下における抗力係数は，0.80 を仮定すれば十分保守的であるが， L/d に関する文献データが，実機 $L/d \approx 33$ に対して比較的小さい値の範囲のみ示されていることから，実機データに近い条件で燃料集合体の抗力係数を測定する試験を実施し，0.80 を上回ることを確認する。

試験は，2018 年 6 月 18 日～21 日の間に実施し，6 月末までに結果説明する。本試験においては，実機と同等の Re 数を得ることが難しいことが分かっており，複数の速度にてそれぞれデータを採取し，抗力係数の Re 数依存性が小さいことを示す方針だが，広範囲に渡る Re 数にて実績のある CFD 解析を用いて同年 6 月 21 日までに抗力係数を示す。

なお，(4) ①に示したとおり，燃料集合体の抗力係数 0.50 までは落下試験結果の落下エネルギー 15.5 kJ を上回ることが分かっているが，試験結果により抗力係数が 0.50 を下回る場合には，SFP 内にて燃料集合体を 5.1 m を超えて吊上げる範囲の床に，ライナを保護するために必要な厚さの金属板を敷く。



走行距離~130m

図 8 抗力係数測定試験イメージ