

6.1.3 止水機構に関する補足説明

目次

6.1.3.0	(概要版) 実証試験と三次元動的解析結果の概要並びに止水板の据付け管理基準	.....P(1)～P(14)
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	.....P1～P46
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	.....P47～P66
6.1.3.3	二次元・三次元動的解析の結果について	.....P67～P111
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	.....P112～P130
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	.....P131～P168
6.1.3.6	実証試験結果と三次元動的解析結果による評価について	.....P169～P195
6.1.3.7	止水機構における耐震・強度評価	.....P196～P208
6.1.3.8	止水機構のうち防衝板における衝突解析	.....P209～P213
6.1.3.9	止水板の設置時における隙間の解析及び衝突解析による評価について	.....P214～P230
6.1.3.10	止水機構の据付けに係る自主検査の管理基準について	.....P231～P232

6.1.3.0 (概要版)実証試験と三次元動的解析結果の概要並びに止水板の据付け管理基準

1. 実証試験及び解析ケース一覧

止水機構の挙動確認のため、本震時、余震時に分類し実証試験と三次元動的解析のケースを選定した。選定した中でも実際の検証に用いる「検証ケース」と「データ拡充」に分類し各実施ケースの目的を明確にして実施した。

本震時のケースを表1(1/2)に余震時のケースを表1(2/2)に示す。図1に実証試験装置と三次元動的解析モデルを示す。

表1(1/2) 実証試験及び三次元動的解析ケース【本震時】

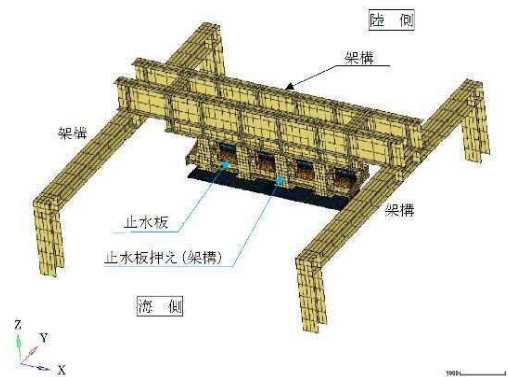
	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		実証試験及び三次元動的解析ケースの目的
	X	Y	Z	実証試験	実機	
①3方向 (X方向(堤軸)包絡波)	1G	3G (X包絡波)	1G	○	○	<p>【データ拡充】3方向データ</p> <p>◆実証試験において、鋼製防護壁側の堤軸側の水平方向の包絡波を入力し止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。</p> <p>◆3次元動的解析における止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。</p>
②3方向 (Y方向(堤軸直角)包絡波)	1G	3G (Y包絡波)	1G	○	○	<p>【検証ケース】3方向データ(実機と同じ方向確認)</p> <p>◆実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。</p> <p>◆3次元動的解析については、実証試験と実証試験モデルケースの検証を行うとともに実機モデルケース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。</p>
③鉛直 (鋼製防護壁包絡波)	-	-	1G	○	-	<p>【データ拡充】鉛直方向データ</p> <p>◆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。</p> <p>◆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。</p>
④鉛直 (取水路側包絡波)	-	-	波形入力	○	○	<p>【検証ケース】鉛直方向データ(実機と同じ方向確認)</p> <p>◆実証試験において止水板の挙動は、鉛直方向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する。</p> <p>◆3次元動的解析については、実証試験と実証試験モデルケースの検証を行うとともに実機モデルケース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。</p>

表 1(2/2) 実証試験及び三次元動的解析ケース【余震時】

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		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 (Y方向(堤軸直角)包絡波)	1 G	2 G (Y包絡波)	1 G	○	○	<p>【検証ケース】 3方向データ(実機と同じ方向確認)</p> <p>◆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。</p> <p>◆3次元動的解析については、実証試験と実証試験モデルケースの検証を行うとともに実機モデルケース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。</p>
② 鉛直 (鋼製防護壁波形入力)	—	—	1 G	○	—	<p>【データ拡充】 鉛直方向データ</p> <p>◆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。</p> <p>◆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。</p>
③ 鉛直 (取水路側波形入力)	—	—	波形入力	○	○	<p>【検証ケース】 鉛直方向データ(実機と同じ方向確認)</p> <p>◆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する。</p> <p>◆3次元動的解析については、実証試験と実証試験モデルケースの検証を行うとともに実機モデルケース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。</p>



実証試験装置



三次元動的解析モデル

図 1 実証試験装置と三次元動的解析モデル

2. 実証試験結果に生じるうねりの解明

(1) 振動台による影響

実証試験の鉛直変位の結果から約5秒(0.2Hz)のうねりが確認できたが、実証試験用入力波による実証試験時のY方向のフーリエスペクトルからは約5秒(0.2Hz)のところにピークは現れなかったため、振動台による影響を調査した。その結果、振動台にピッチングによる回転変位が確認できた。図2から図3に振動台にうねり成分があることを示す。

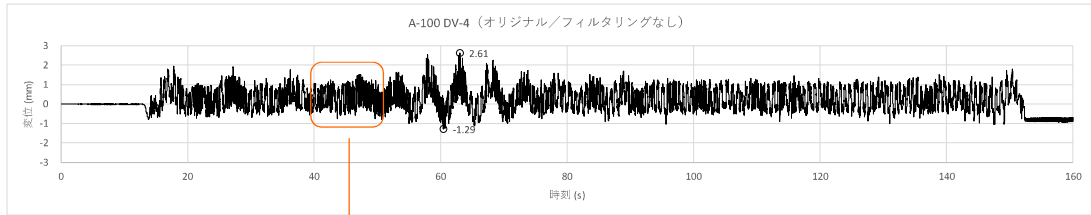


図2 実証試験結果

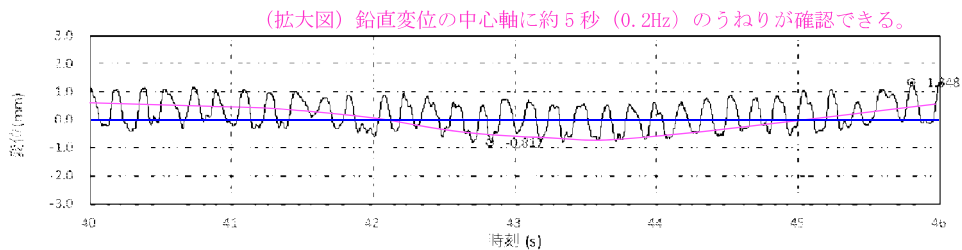
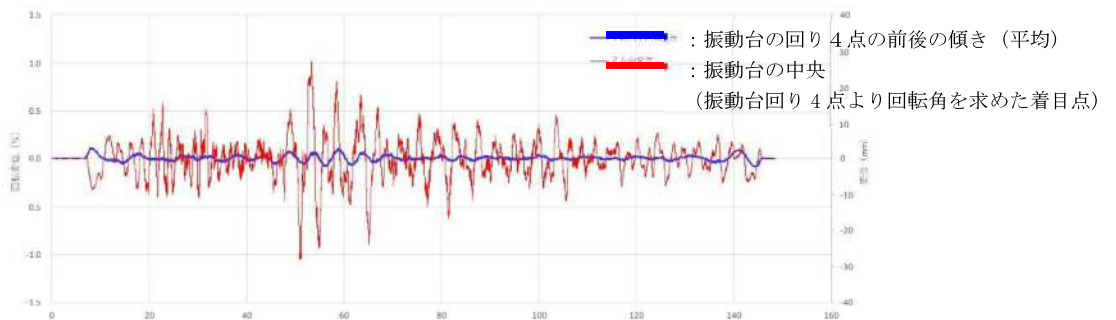


図3 実証試験結果(拡大)

回転変位と鉛直変位の0.20Hzは振動台のローリングによる影響を示している。また、回転変位の0.10Hzも同様に長周期成分が他の設備等に見られない周波数であること、及び振動台のローリングによる影響であることを確認した。図4に振動台のY軸の回転変位と中央部の鉛直変位を示す。



振動台のY軸の回転変位と中央部の卓越振動数

種別	卓越振動数(Hz)
回転変位	0.10, 0.20
中央部鉛直変位	0.20

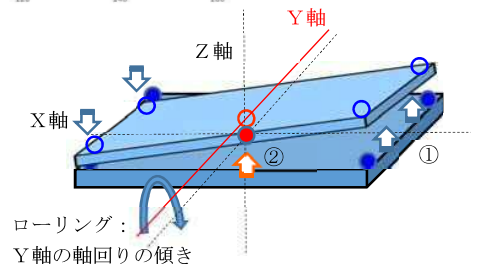


図4 振動台のY軸の回転変位と中央部の鉛直変位

(2) 実証試験に生じるうねりの評価

各評価対象による周波数成分を評価した結果を表 2 に示す。

表 2 各評価対象の周波数分析結果

	(1) 実証試験用入力波	(2) 浮き基礎	(3) 試験装置	(4) 振動台	(5) 止水板
周波数 (Hz)	—	—	—	0.10, 0.20 (ピッチング) 0.10, 0.20 (ローリング)	—
	1.09	1.1 (固有値)	1.09	1.09	—
	1.22 (固有値) ※	—	1.21	—	—
	5.77 (固有値) ※	—	5.77	5.77	—
	—	—	—	—	10.55 (固有値)

※：鋼製防護壁の Y 方向の固有周期

各評価対象の周波数が伝達し各対象設備に同様の周波数が検出されていることから、実証試験のうねりの原因は、実証試験装置や供試体（止水板等）の影響ではないことが分かった。

振動台による影響は、ピッチングとローリング共に（0.10Hz, 0.20Hz）による影響であることから、実証試験に生じているうねりは振動台によるものと推測される。

そのため、実証試験に生じている振動台のピッチング成分を除去するため、止水板の鉛直変位におけるフーリエスペクトルから、0.3Hz 以下のフィルタリングにより影響を除去した止水板の挙動を確認する。図 5 に止水板の鉛直変位におけるフィルタリングの実施範囲を示す。

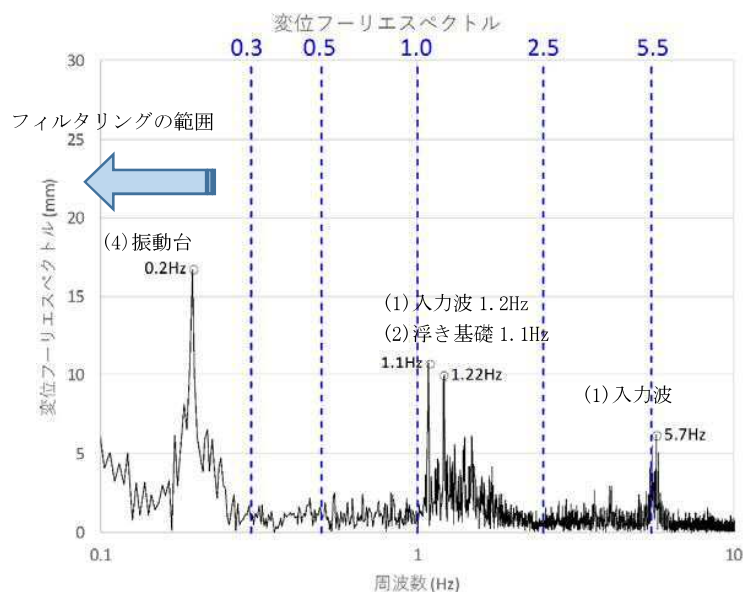


図 5 止水板の鉛直変位におけるフィルタリング実施範囲

(3) フィルタリングによる評価

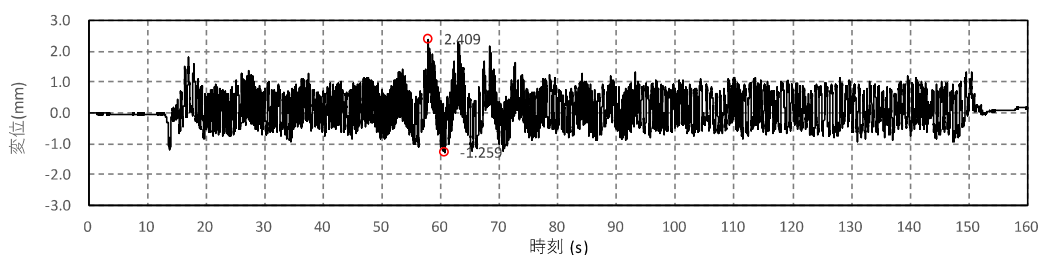
実証試験にて得られたデータについて、0.3Hz以下のフィルタリングを掛けた結果を図6に示す。また、フィルタリング前後の浮き上がり量について表3に示す。

<3方向(Y方向(堤軸直角)包絡波)>

a. 水平(Y方向)最大加速度(2回目)

◆鉛直変位測定点 B (DV-2)

<計測波形>



<フィルタリング後の波形>

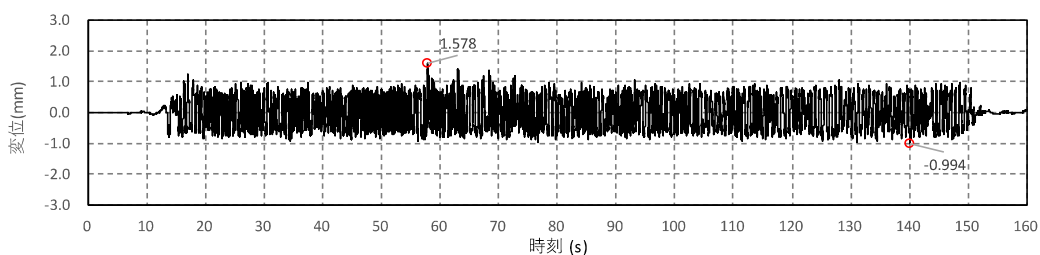


図6 3方向同時加振のフィルタリング前後の時刻歴波形

表3 止水板の鉛直変位量(止水板接続部 (mm))

<3方向(Y方向(堤軸直角))>

		②3方向(Y方向(堤軸直角)包絡波)		水密ゴムの浮き上がり量 3mm以下*
		計測値	フィルタリング後	
止水板の地震時の鉛直変位量	1回目	2.40 (DV-2)	1.52 (DV-2)	○
		2.35 (DV-3)	1.30 (DV-3)	
	2回目	2.41 (DV-2)	1.58 (DV-2)	○
		2.20 (DV-3)	1.49 (DV-3)	

<鉛直方向(取水路側包絡波)>

		④鉛直方向(取水路側包絡波)		水密ゴムの浮き上がり量 3mm以下*
		計測値	フィルタリング後	
止水板の地震時の鉛直変位量	1回目	0.96 (DV-2)	0.42 (DV-2)	○
		0.86 (DV-3)	0.56 (DV-3)	

注記 * : 底面水密ゴムの突き出し量が3mmのため、止水板が3mm浮き上がった場合においても、設計上水密ゴムは密着している状態。図7に浮き上がり量の考え方を示す。

<底面水密ゴムの浮き上がり量>

底面水密ゴムの浮き上がり量について 3mm の突き出し量があることから、3mm 止水板が浮き上がった場合においても、設計上底面水密ゴムは密着している状態にあり、水密性は確保できる。図 7 に底面水密ゴムの据付け状態を示す。

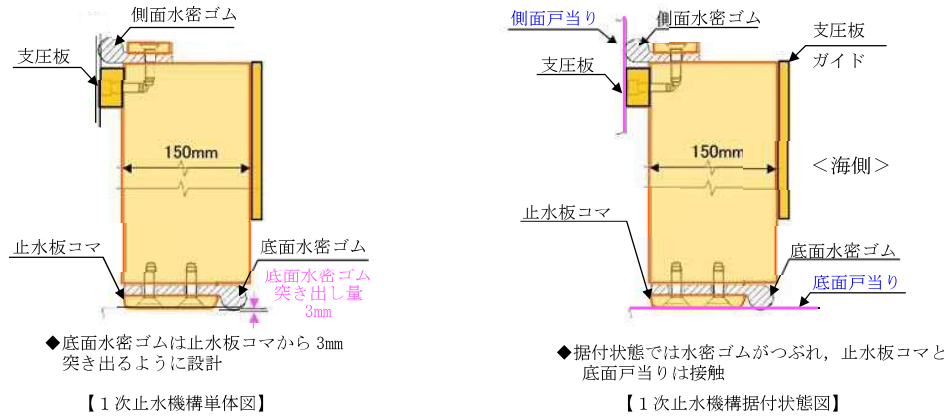


図 7 底面水密ゴムの据付け状態

(参考) 止水板の隙間による傾き量

止水板の浮き上がりについて、前述のとおり止水板が 3mm 浮き上がった場合においても水密ゴムは密着しており水密性は確保できる。ここでは、実証試験にて確認できる上下の小刻みによる鉛直変位量の挙動の要因について、止水板と側面戸当りとの隙間 (3mm) による傾きが原因で生じるものであることを評価した。図 8 に止水板と側面戸当りとの隙間 (3mm) による傾きが原因で生じる鉛直変位量を示す。

したがって、実証試験による鉛直変位量の測定結果には、止水板と側面戸当りとの隙間 (3mm) による傾きが原因で生じる鉛直変位量が含まれていることに留意が必要である。

◆通常状態 300mm

- ・陸側に傾いた場合 301.72mm (+1.72mm) ⇒隙間による傾きの最大値+1.72mm
- ・海側に傾いた場合 299.26mm (-0.74mm)

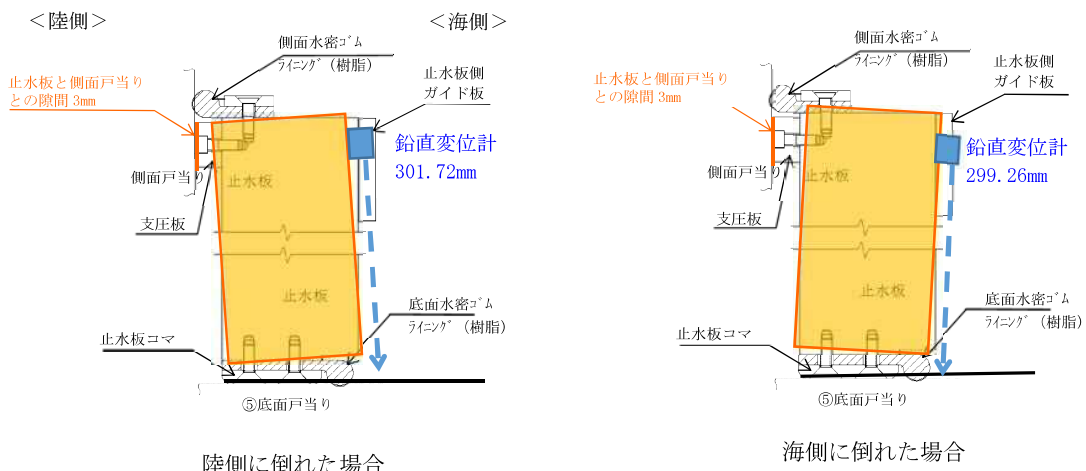


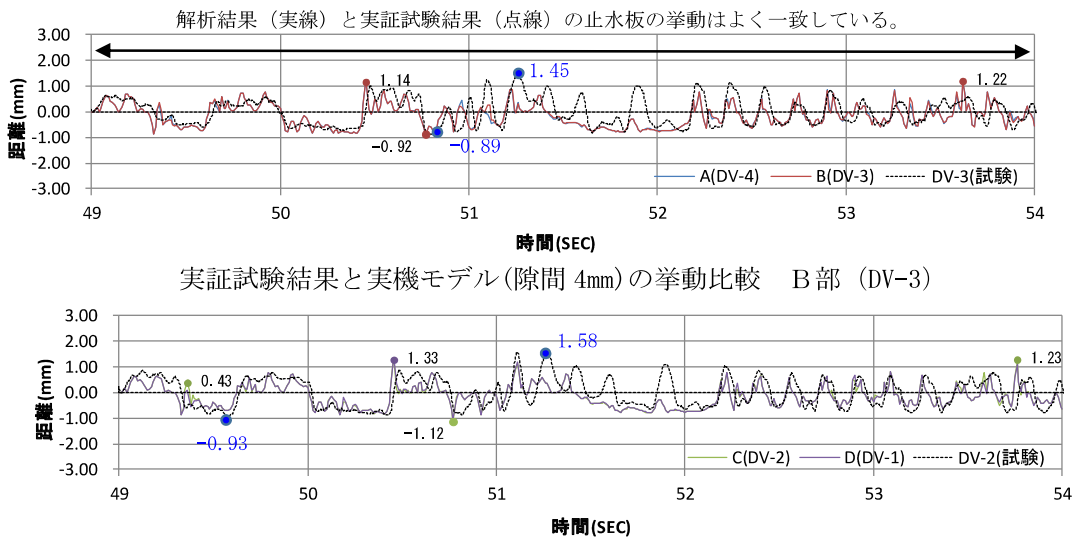
図 8 止水板と側面戸当りとの隙間 (3mm) による傾きが原因で生じる鉛直変位量

4. 実証試験結果と三次元動的解析との検証

【本震時】

実証試験結果と3次元動的解析の結果から3方向同時加振及び鉛直単独について検証を実施した。3方向同時加振においては、実証試験における0.2Hzのうねりが確認されたことから、うねりの成分を検証し、精度の高い解析モデルが確認でき信頼性が向上した。

図9に実証試験結果と実機モデル（隙間4mm）との挙動比較、表4に止水板の鉛直変位を示す。



実証試験結果と実機モデル（隙間4mm）の挙動比較 C部（DV-2）

解析結果（実線）と実証試験結果の止水板の挙動はよく一致している。
鉛直の変位量も誤差はわずかであり解析モデルの精度が向上した。

図9 実証試験結果と実機モデル（隙間4mm）との挙動比較

表4 止水板の鉛直変位比較 (mm)

止水板の鉛直変位		②3方向（Y方向（堤軸直角）包絡波）		実証試験と解析モデルとの差 (②-①)
		実証試験(①)	隙間4mmモデル(②)	
浮き上がり量 (プラス側)	1.45(DV-3)	1.22(DV-3)	-0.23~-0.25	
	1.58(DV-2)	1.33(DV-2)		
沈み込み量 (マイナス側)	-0.89(DV-3)	-0.92(DV-3)	-0.03~-0.19	
	-0.93(DV-2)	-1.12(DV-2)		

図9から止水板の挙動や鉛直変位量について、精度の高い解析モデルが確認でき信頼性が向上した。浮き上がりについては、実証試験の鉛直変位量の結果が解析結果をわずかに上回ることから、地震時における浮き上がりが大きくなる可能性がある。しかしながら、止水機構には2次止水機構を設ける設計であり、仮に、1次止水機構の水密ゴムの浮き上がりによる漏水が発生したとしても敷地内には浸水しない。

【余震時】

実証試験と実証試験モデルとの検証について、3方向及び鉛直方向の挙動について、検証する。図10に検証結果の比較を示す。

＜止水板の挙動＞

止水板の挙動について、実証試験及び三次元的解析の結果、止水板の横断方向に前後の動きを繰り返している。また、実証試験は振動台のピッチングの影響(0.2Hz)のため僅かにうねりがあるが、三次元的解析とよく似た挙動を示している結果となった。

＜止水板の浮き上がり量＞

実証試験及び三次元的解析値の浮き上がり量は、1mm前後の変位量であり、突出する大きな浮き上がり量はなく、実証試験と三次元的解析の結果は、よく一致した結果が得られた。

各ケースにおける浮き上がり量は、以下のとおり。

	実証試験 (mm)	三次元的解析 (mm)
3方向同時	0.338	1.21
鉛直方向	0.436	0.11

＜検証結果＞

余震時においては、津波荷重を考慮する必要があることから、実証試験ではロードセルによる模擬の荷重を与えた。また三次元的解析においては、境界条件に水压を模擬して各々の結果を比較検証した。その結果、止水板による挙動及び浮き上がりについて、よく一致した結果が得られたことから、本震時同様に余震時においても精度の高い解析モデルが確認でき信頼性が向上した事を確認した。

図10に各々の結果を示す。

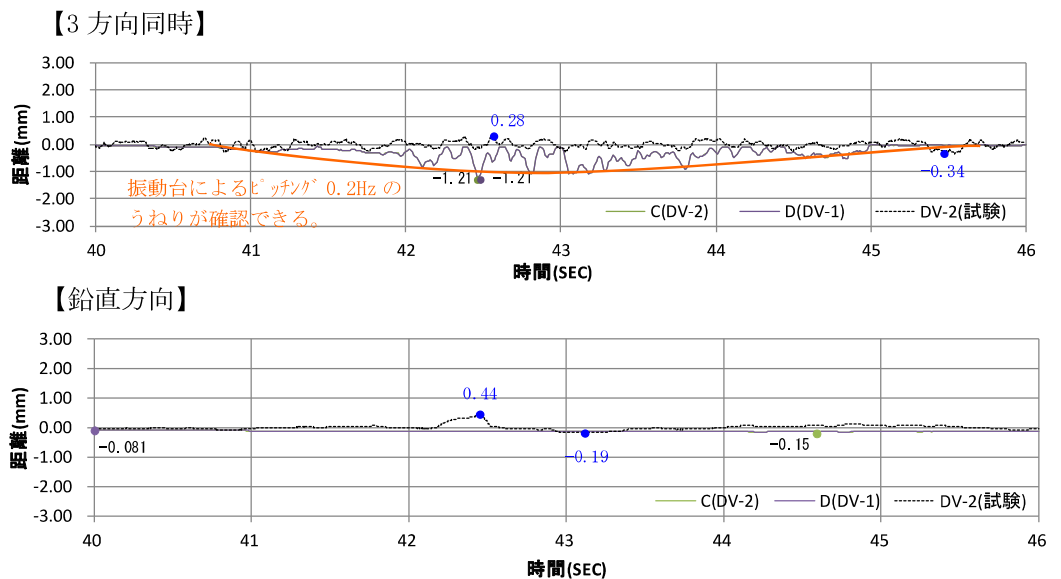


図10 余震時 実証試験及び三次元的解析（3方向及び鉛直方向）の変位結果比較

5. 止水板設置時の隙間における設計条件の整理

(1) 止水板設置時の隙間の管理値

三次元的解析は、ガイド間の隙間の寸法について公称値の3mmとし評価してきたが、製作や施工上の設置時における公差を考慮した場合に、隙間3mmから最大6mmにて設置することから、三次元的解析においては、設置時における施工上の公差によるばらつき等も考慮した解析ケースを選定する。

図 11 に、止水板と止水板ガイドとの設置時の隙間を示す。

< 止水板と止水板ガイド間の設置時の寸法 >

	止水板厚さ A (mm)	止水板ガイド付き 厚さ B (mm)	ガイド間隔 C (mm)	【隙間管理値】 C-B (mm)
図面寸法	150	210	213	3
実機寸法 (製作公差含む)	150 ⁺¹ -0	210±3 (ライク調整)	213 ⁺⁶ -3 (ライク調整)	3 ⁺³ -0
解析モデル	150	210 ⁺⁰ -3	213	3 ⁺³ -0

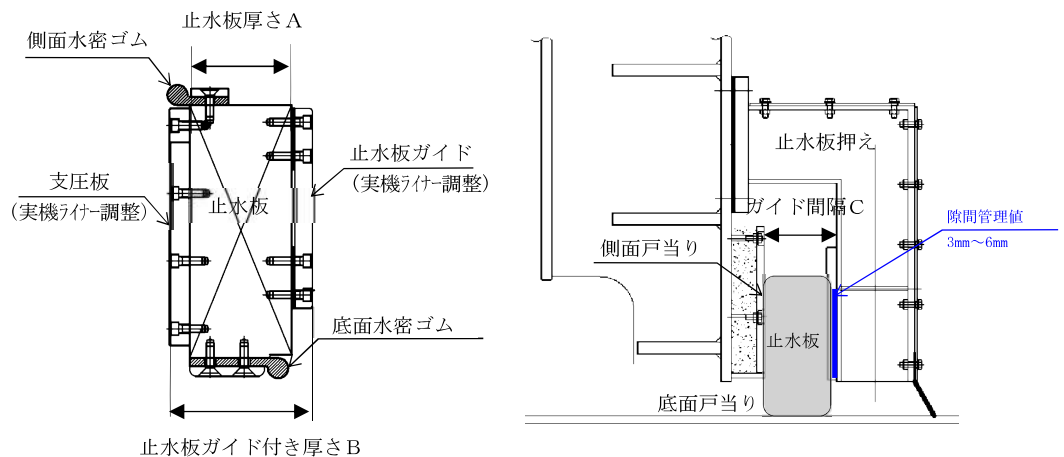
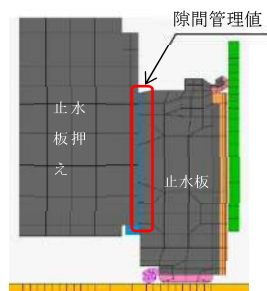


図 11 実機における止水板とガイド間の寸法管理値

(2) 設計条件設定に伴う解析ケース

隙間の管理に伴う三次元的解析のモデルとケース数を図 12 に示す。



【解析条件】

◆三次元的解析のケース

	ケース 1	ケース 2	ケース 3
隙間	3mm	4mm	6mm

◆地震動：基準地震動 S_s（3方向同時加振）

◆継続時間：鋼製防護壁の鉛直加速度最大時付近
40 秒から 44 秒

図 12 三次元的解析のモデルとケース数

(3) 三次元的解析（応力評価）の結果

三次元的解析における応力評価の解析結果を止水板設置の隙間ケース毎に整理した結果を表5に示す。

解析の結果から、ケース3の6mmの場合であればケース1, 2の発生応力よりも顕著に応力が大きくなる傾向があること及び他のケースを包絡していることから、三次元的解析及び応力評価においてはケース3（隙間6mm）のケースを評価や解析においてのベースケースとする。

表5 止水板設置の隙間ケースにおける三次元的解析結果（衝突応力）

評価対象部位	ケース1 (隙間：3mm)	ケース2 (隙間：4mm)	ケース3 (隙間：6mm)	許容応力 (MPa)
①止水板	185.4	121.5	348.6	345
②止水板コマ	794.9	962.4	1975.7	245
③止水板ガイド	599.9	829.2	1308.7	245
④支圧板	21.8	14.4	13.1	44
⑤止水板押え	829.0	538.0	915.1	450
評価	公称値ケース	ケース1とケース3の 中間ケース	【ベースケース】 支圧板以外の全ての 部位の包絡ケース	

三次元的解析における評価の結果、ケース1の隙間3mmのケースでは止水板とガイドとの隙間が小さいことから、止水板を比較的拘束する結果が得られたが、ケース3の6mmの場合には止水板とガイドとの隙間が大きいため、止水板が自由に動きやすく衝突応力に大きい結果が得られたものと思われる。

< 止水板 >

止水板の中央付近に許容応力をわずかに上回っている衝突応力が確認できることから衝突による応力として評価する。

また、時刻歴波形から許容応力以下のところにも小さな衝突応力が確認できる結果となった。図13に三次元的解析の結果と時刻歴波形を示す。

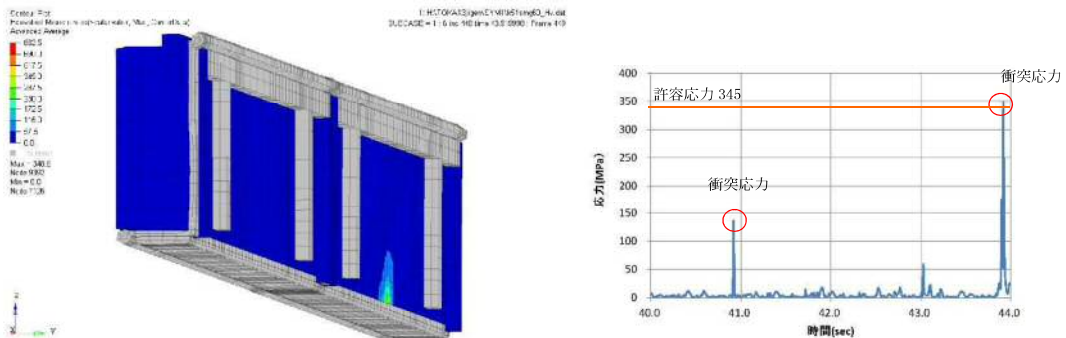


図13 止水板の三次元的解析結果と時刻歴波形

浮き上がりの回数は、三次元動的解析における評価の結果、隙間が大きくなる場合（ケース2,3）に、浮き上がる回数が増える傾向が得られた。また、ケース1の隙間3mmの場合は、浮き上がる回数が他のケースより多く確認できる結果となった。

そのため、ケース1の隙間3mmのケースを止水板の挙動（浮き上がり）のベースケースとする。表6に結果を示す。

表6 止水板設置の隙間ケースにおける止水板の浮き上がり結果（最大値）

	ケース1 (隙間:3mm)	ケース2 (隙間:4mm)	ケース3 (隙間:6mm)
止水板の浮き上がり量	4.11mm	6.25mm	4.16mm
止水板の浮き上がりの回数 (3mm [*] 以上)	5回	3回	2回
評価	【ベースケース】 3mm以上の浮き上がりの回数が多い。	浮き上がりの最大値のケース。その他は3mm前後の小さな挙動。	浮き上がりの回数が少ない。

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

隙間が小さいケース1の隙間3mmの場合は、側面戸当りと止水板押えに拘束され、鉛直方向（Z方向）の動きに追従しているものと思われる。ケース3の隙間6mmの場合は隙間が大きい分、側面戸当りと止水板押えに拘束されにくいことから、浮き上がりの回数は減る傾向にある。図14に浮き上がり量と回数の解析結果を示す。

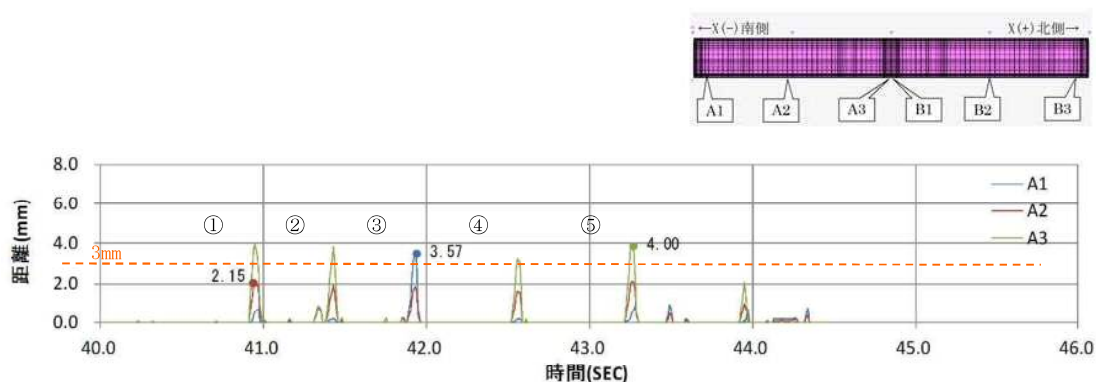


図14 浮き上がり量と回数の解析結果

6. 衝突解析結果に伴う対策

5項(3) 三次元的解析（応力評価）の結果にて衝突荷重を緩和させるため止水板ガイドの対策について検討する。図15に止水板ガイドの衝突緩和対策を示す。

<対策方針>

- ①衝突荷重を直接受ける止水板ガイドの材質を変更（CSC703⇒CAC304）し強度を向上させる。更に、衝突を和らげる対策として、止水板ガイドと止水板との間に緩衝材（ゴム製）を挟み込み衝突を緩和する構造にする。
- ②緩衝材（ゴム製）を止水板と止水板ガイドとの間に同じ幅の寸法の緩衝材（ゴム製）を挟むことから、止水板ガイドの全体の寸法は変更しない。そのため、止水板の挙動に影響を与えない構造にする。

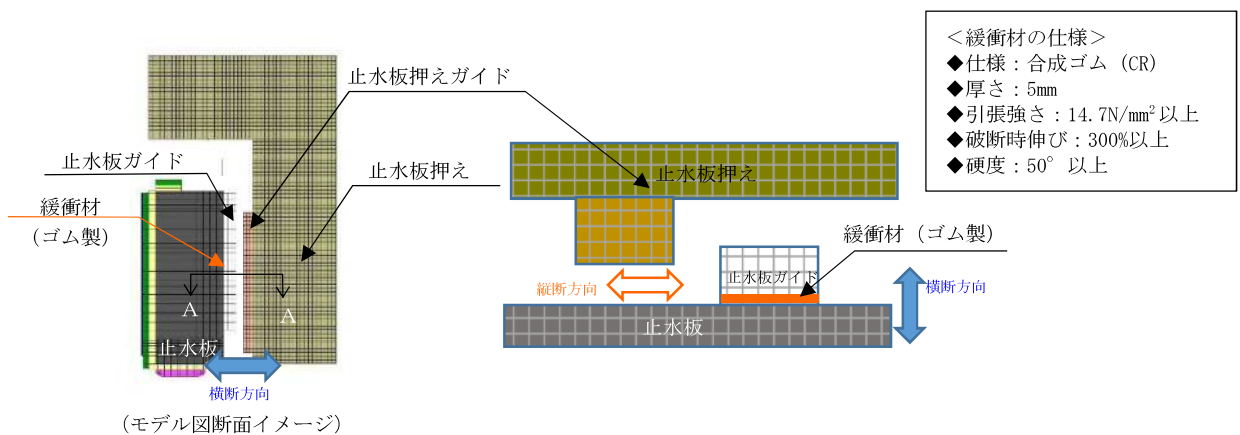


図15 止水板ガイドの衝突緩和対策

【評価結果（対策後）】

上記衝突緩和対策後に基づき、三次元的解析を実施した結果、評価部位において発生応力が許容応力を下回る結果になった。表7に結果を示す。

表7 止水板ガイドの対策後の評価結果

上段：横断方向，下段：縦断方向

	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	評価
①止水板(SUS304N2)	17	300	○
	9		
②止水板コマ(CAC703)	5	171	○
	2		
③止水板ガイド(CAC304)	169	249	○
	46		
④止水板押え(SM570)	288	382	○
	183		

<凡例> ○：横断・縦断共に許容応力以下
×：横断・縦断共に許容応力超え

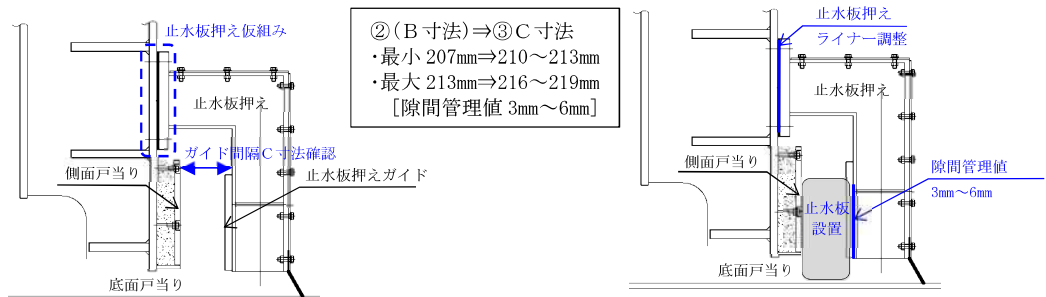
△：横断・縦断どちらかが許容応力超え

7. 止水機構の据付けに係る自主検査の管理基準

(1) 構造部材の据付け管理

止水機構の据付けに係る自主検査の管理基準は、評価対象部位の「材料検査」として「材料」「個数」「外観」の検査を行い、据付け時には「外観・寸法検査」を行う。なお、「材料検査」、「据付け検査」時の公差については、製作誤差等を考慮した判定基準を検査要領書の中で明確に示す。

ただし、止水板の「据付け検査」については、止水板の挙動に影響を与えることから、据付け管理の精度を以下のとおりとした「据付け検査」を行う。図 16 に止水板の据付け公差を示す。



図③ ガイド間隔寸法（C寸法:止水板設置前）

図④ ガイド間隔据付け寸法（C寸法:止水板設置後）

(単位: mm)				
	①止水板A寸法	②止水板ガイド厚さ B寸法	③ガイド間隔 C寸法	④隙間管理値 (C-B)
公称値 / () : 公差	150 (+1mm/-0mm)	210 (±3mm)	213 (+6mm/-3mm)	3 (+3mm/-0mm)
/ [] : 許容範囲	[150~151mm]	[207~213mm]	[210~219mm]	[3~6mm]

図 16 止水板の据付け公差について

その他の構造部材についての製作公差は、JISによる寸法公差を適用し部材の製作を実施する。また、現地施工の際の施工上の管理値には、ダム・堰施設技術基準（案）に基づく寸法許容値にて管理する。

(2) 水密ゴムの管理

止水機構の水密ゴムは、メーカーの推奨は約 20 年としているが、通常の維持管理として外観点検及び定期的な硬度測定によるトレンド管理を実施していく。

日常の管理は、止水板押え付近の外観目視点検を行い、比較的大きい異物等の噛み込みを運転員のパトロールにて管理する。

水密ゴムについては、定期的（1 回／定検毎）に硬度測定を行い水密ゴムのトレンド管理を行う。硬度測定は直接設置している水密ゴムを測定する。

実際に設置する水密ゴム（底面水密ゴム、側面水密ゴム）の硬さは $55 \pm 5^\circ$ で設置され、硬度の適正な範囲内で管理するため、ダム・堰施設技術基準（案）に記載の $50 \sim 70^\circ$ の範囲でトレンド管理を実施する。

底面水密ゴム、側面水密ゴムの物性値及び、ダム・堰施設技術基準（案）の記載を表 8 に示す。

表8 水密ゴム（クロロプレン系合成ゴム）の物性値

試験項目	物性値	規格値	試験条件 試験方法
硬さ（DURO-A型）	55	55 ± 5	JIS K6253
引張り強さ（MPa）	16.3	14.7以上	JIS K6251
伸び（%）	500	300以上	

<ダム・堰施設技術基準（案）>

表3.3.4-3 水密ゴムの形状と特性

ゴム形状	P 形	L, Y 形	ケーソン形	平 形
使用箇所	側部および上部	側 部	四 方	底 部
適用水深	低圧～高圧	低 圧	高 圧	低圧～高圧
硬 (ショア)	$50 \sim 70^\circ$	$50 \sim 60^\circ$	$50 \sim 70^\circ$	$50 \sim 60^\circ$

また、水密ゴム接触面のライニング（UPE）の部分については、止水板の定期的な確認（1 回/定検毎）を実施する。ライニング（UPE）の部分は、接触面のため直接目視が困難なことから定期検査時において、止水板を若干吊り上げ摩耗状況を目視確認で行う。摩耗状況の著しい箇所については、非接触部と比較し摩耗等の計測を行い、必要に応じて取替又は補修できるように計画する。

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ともに、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。

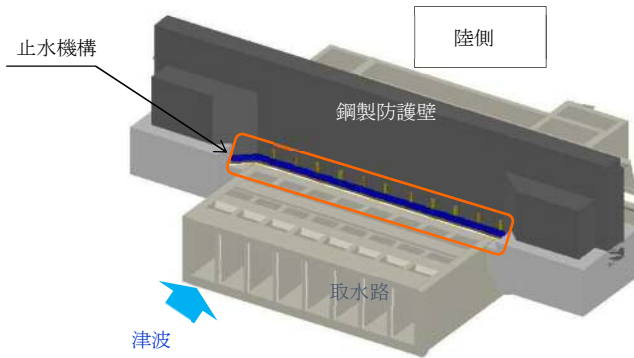


図 止水機構の設置位置

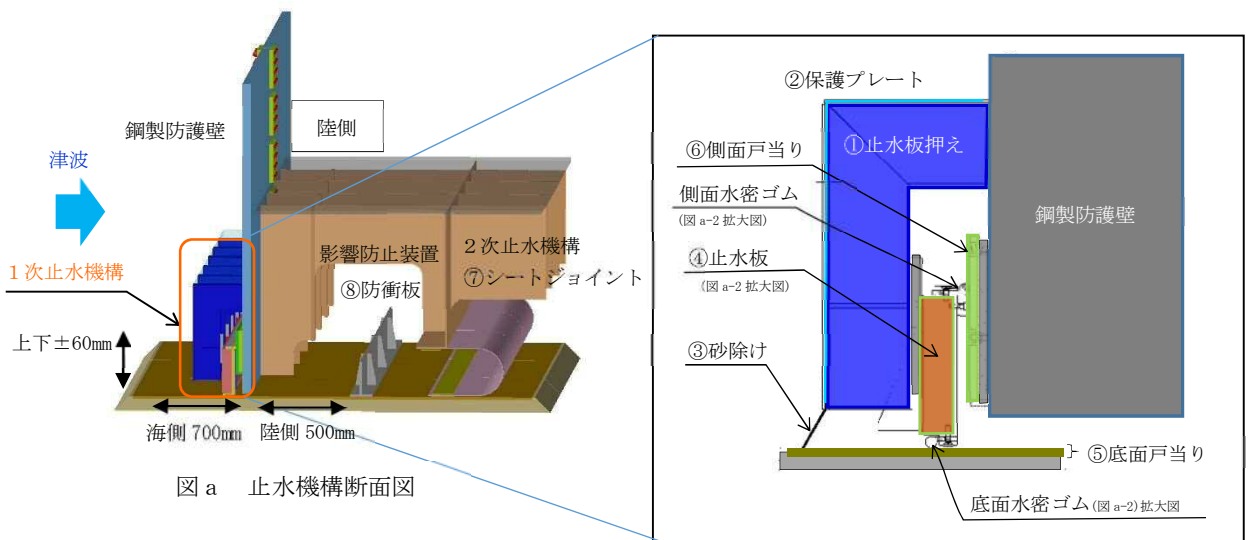


図 a 止水機構断面図

図 a-1 1次止水機構拡大図

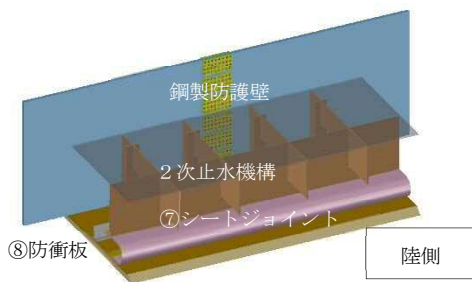


図 b 2次止水機構の構造

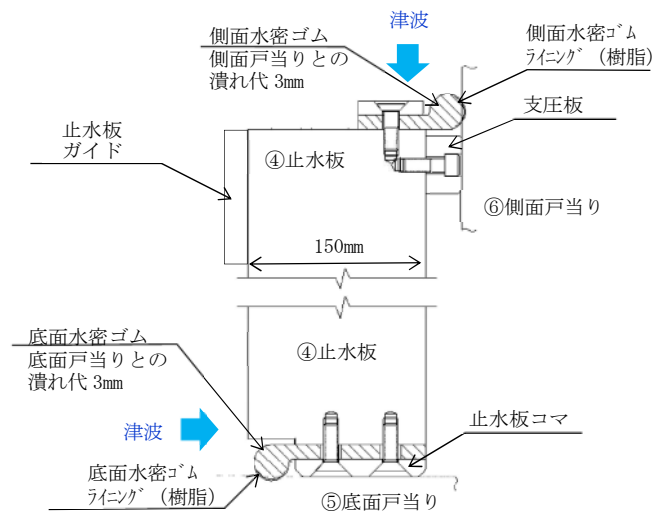


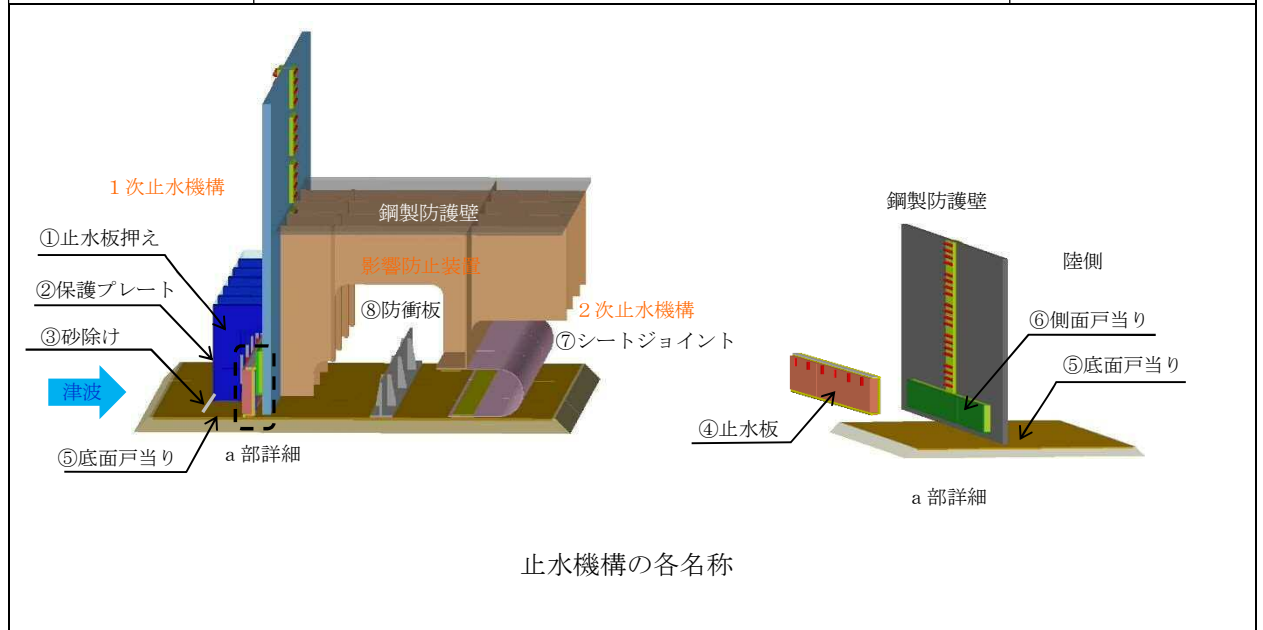
図 a-2 止水板、底面・側面水密ゴム拡大図

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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 止水板を支持する。 ・ 漂流物等から止水板を防護する。 	鋼製, ステンレス
② 保護プレート	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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) ^{※3}
⑥ 側面戸当り	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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) ^{※3}
⑦ シートジョイント ^{※1}	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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。 	ポリエステル繊維
⑧ 防衝板 ^{※2}	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1次止水機構の損傷又は保守に伴う取外し時に漂流物が2次止水機構に到達することを防止する。 	鋼製



※1：2次止水機構

※2 影響防止装置

※3：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）については以下のとおり。

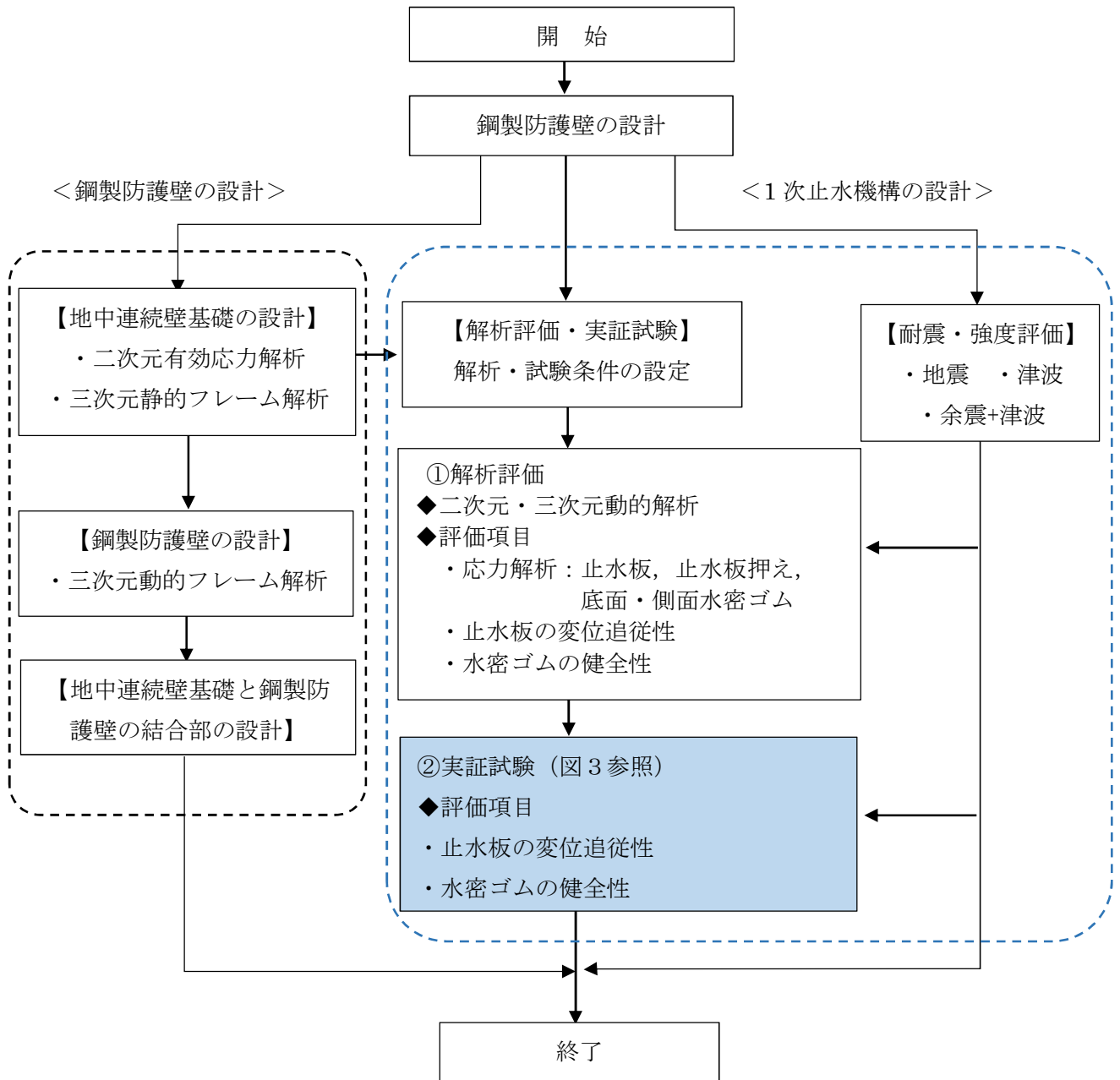


図2 鋼製防護壁と1次止水機構の検討フロー

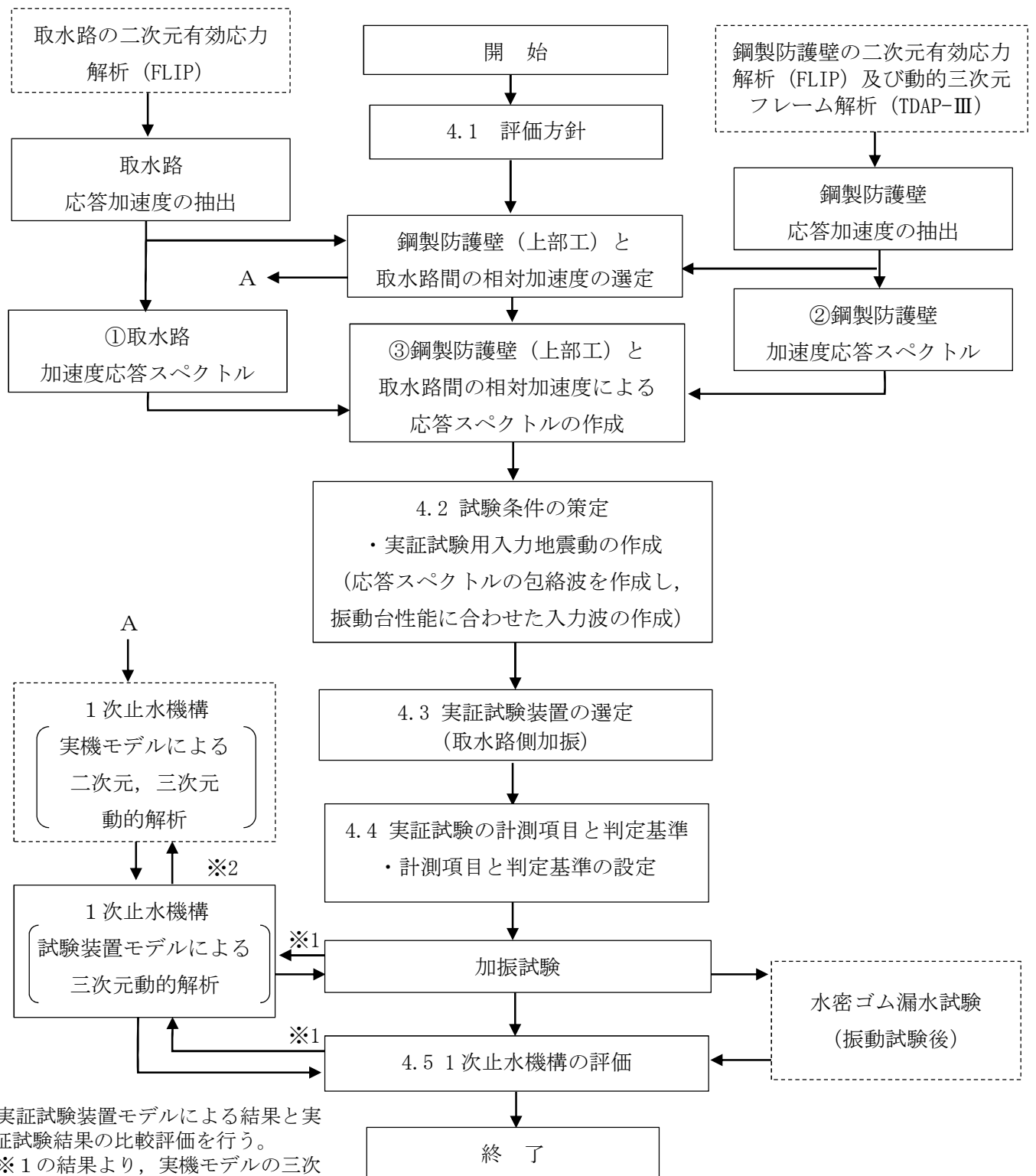


図3 1次止水機構の実証試験評価フロー

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 試験条件の策定

(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。ただし、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。

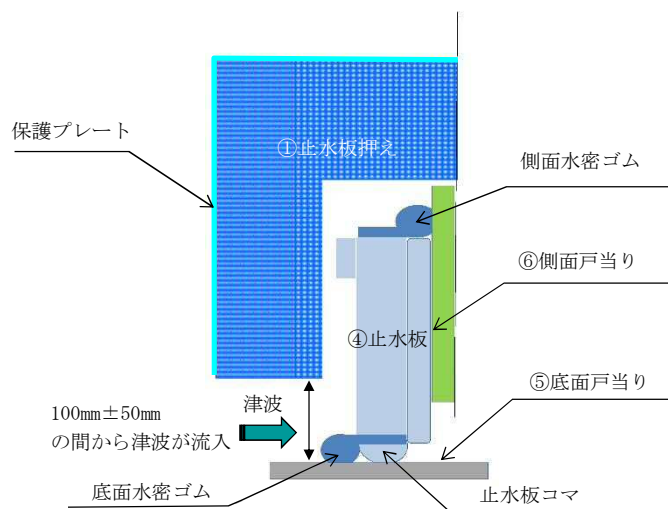


図3 止水板への流入イメージ

(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 実証試験装置の選定

(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)

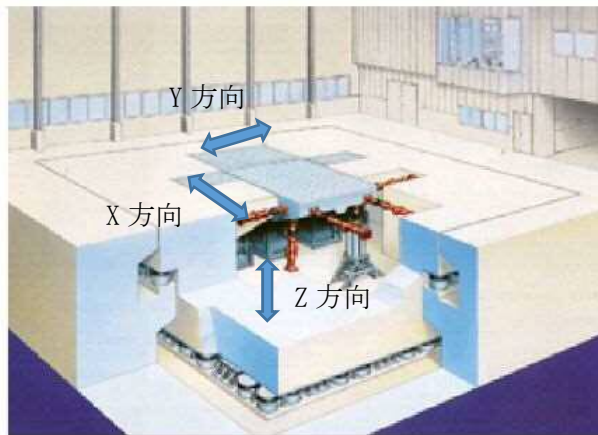
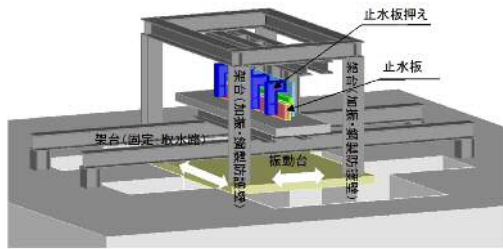
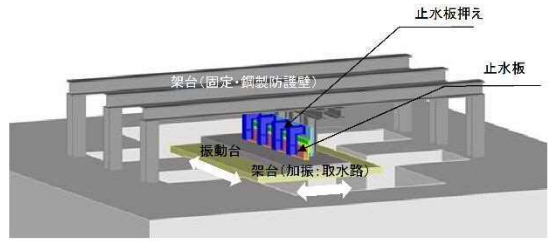


図4 大型3軸振動台の概要

(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

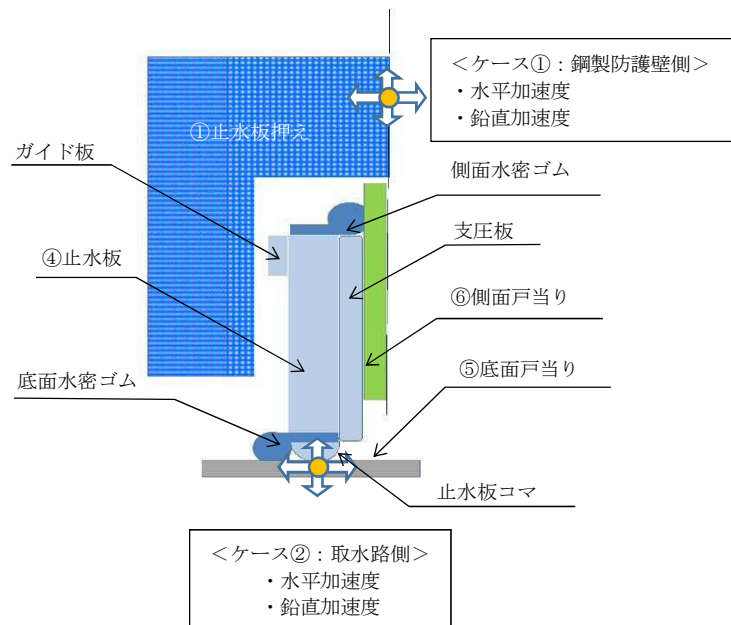
	ケース①	ケース②
固定	取水路	鋼製防護壁
加振	鋼製防護壁	取水路
装置概要		
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製防護壁側を直接加振するため、止水板に対する加速度（水平）が伝わりやすい。 鋼製防護壁側を直接加振するため、水平の慣性力が入りやすく、底面及び側面水密ゴムの挙動が確認しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> 固定基礎に架構を設置することで鋼製防護壁を想定した架構の剛性が得られやすい。 取水路側を直接加振するため、止水板に対する加速度（鉛直）が伝わりやすい。 取水路側を直接加振するため、底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	<ul style="list-style-type: none"> 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②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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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)

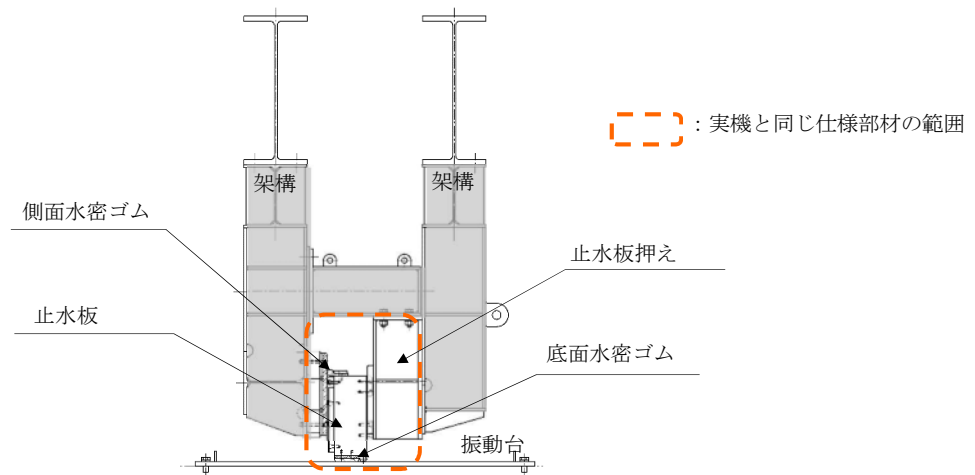


図 5 実機と同じ仕様部材の部位

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。

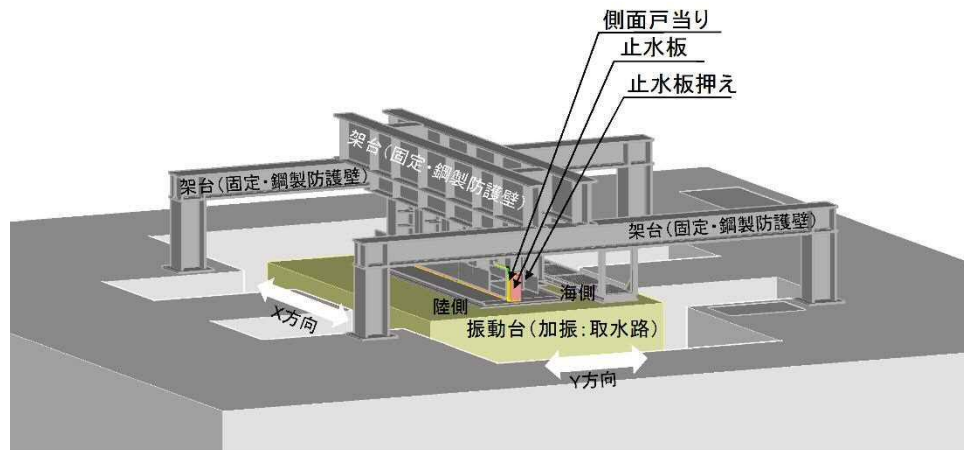


図 6 実証試験の鳥観図

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)

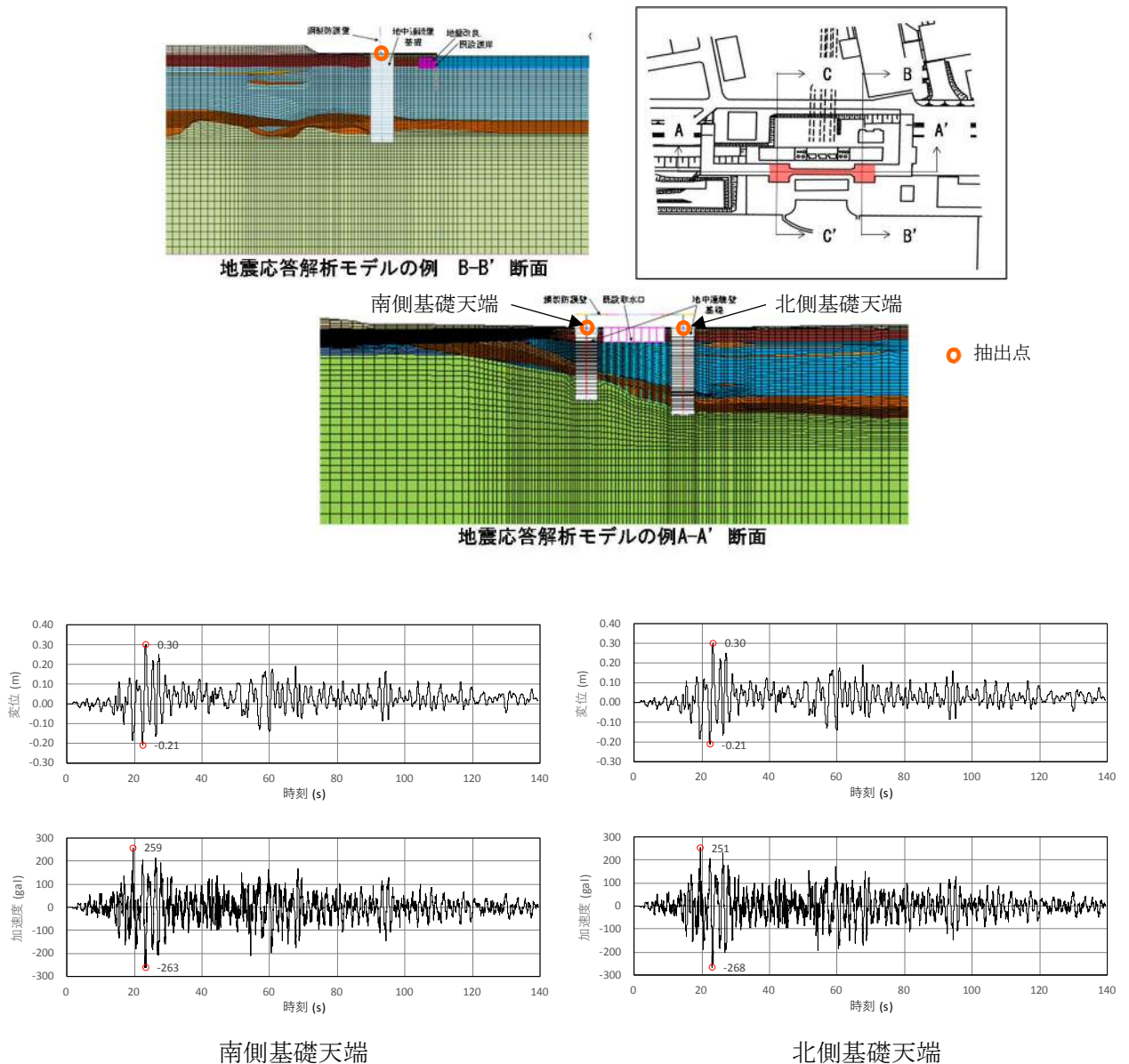


図7 鋼製防護壁基礎の二次元有効応力解析による応答時刻歴（堤軸方向；A-A断面）

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)

◎ 入力する変位時刻歴には組合せ係数法を考慮し、下記の2ケースを実施する。
 堤軸方向(X)ケース : X1.0, Y0.4, Z1.0
 堤軸直交方向(Y)ケース : X0.4, Y1.0, Z1.0

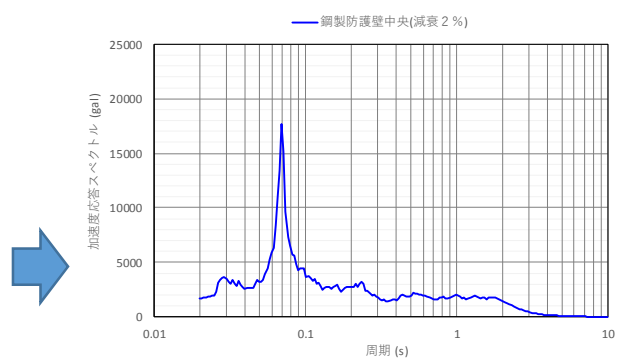
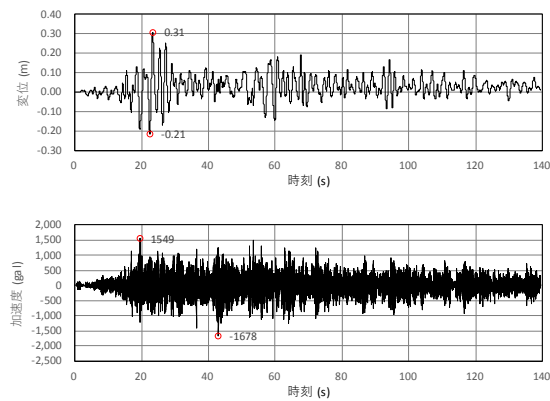
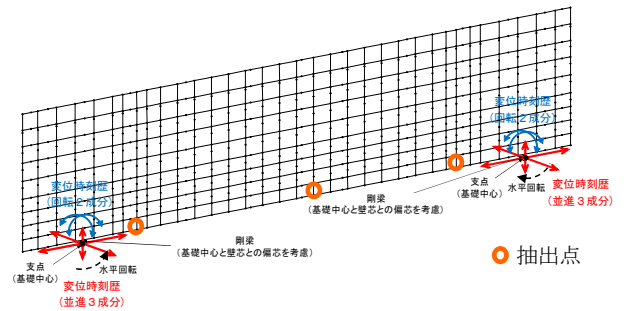


図8 鋼製防護壁の三次元フレーム解析による中央部の応答時刻歴と応答スペクトル(堤軸方向)

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)

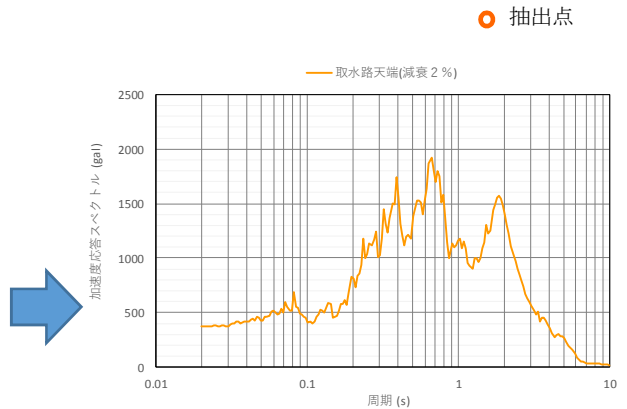
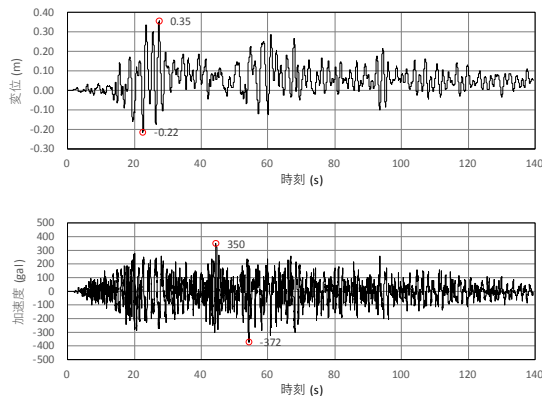
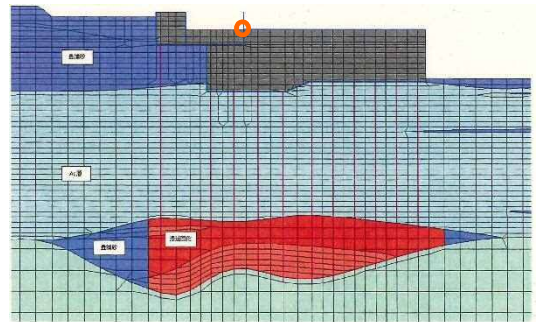
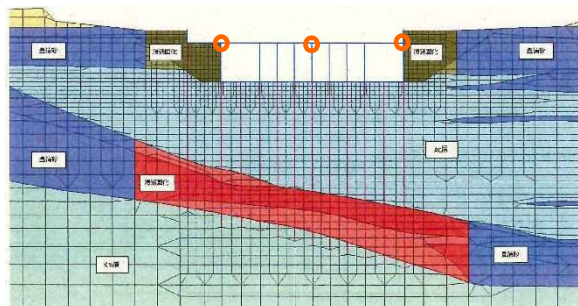
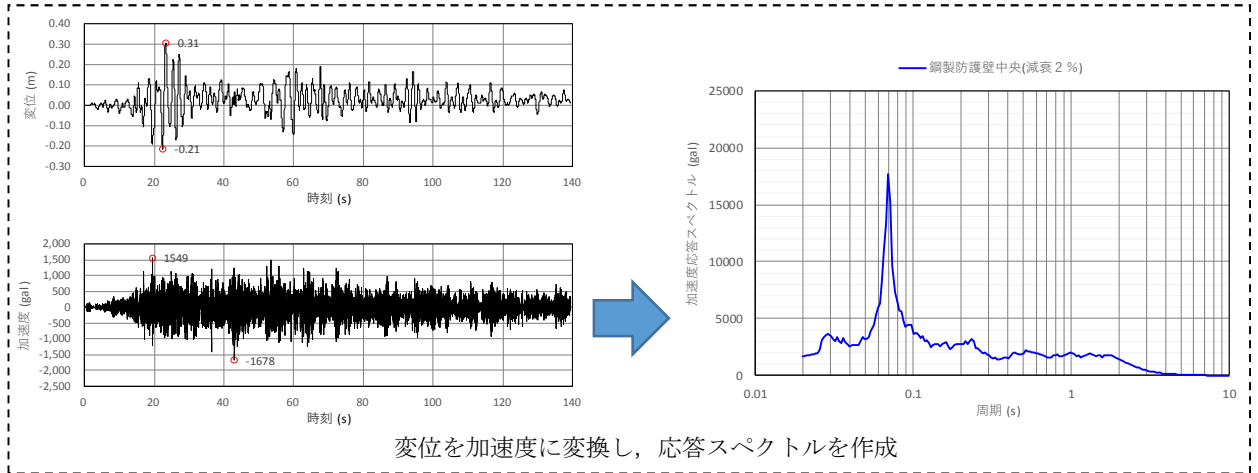


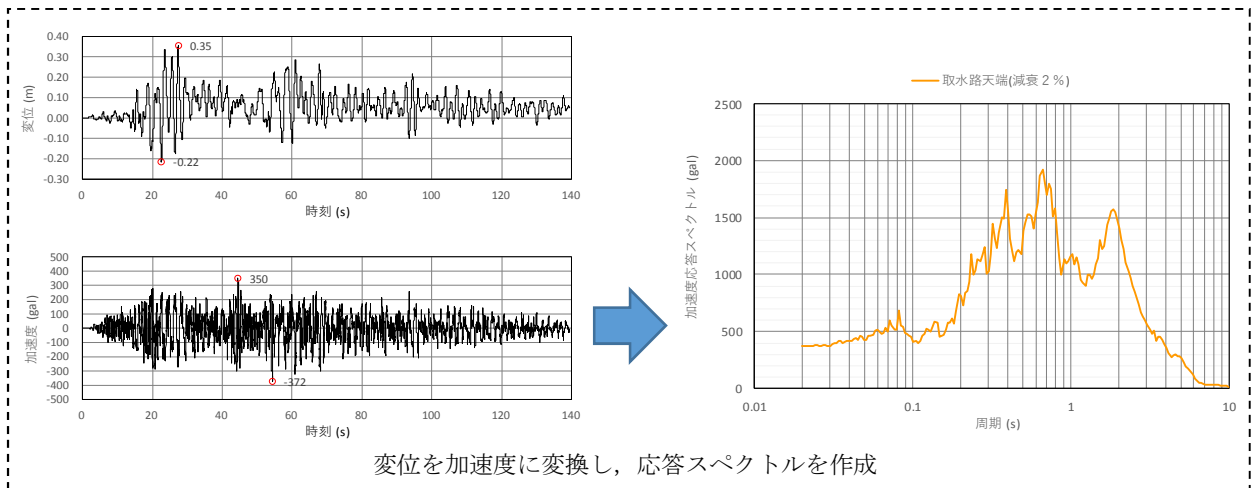
図9 既設取水路の二次元有効応力解析による応答時刻歴と応答スペクトル(堤軸方向)

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)

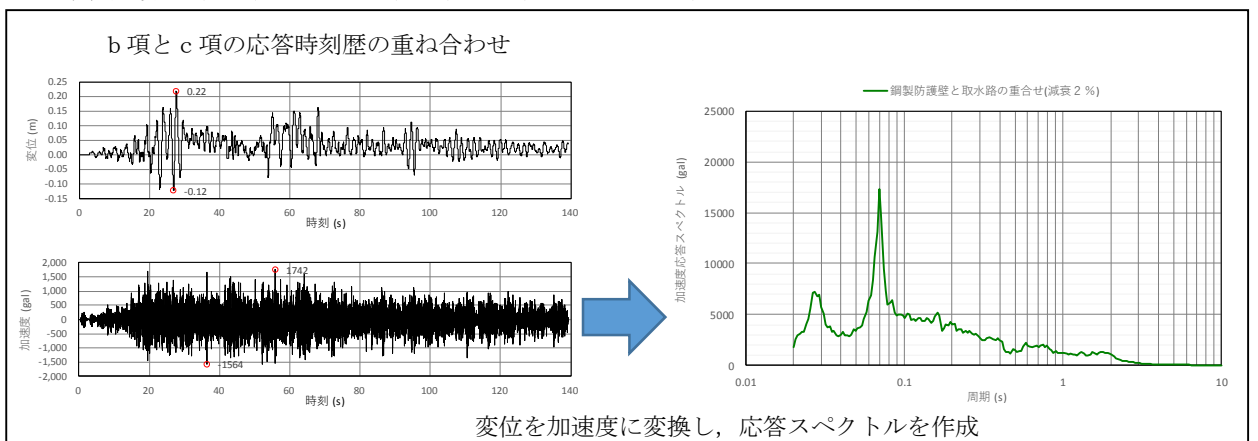


図 10 鋼製防護壁と取水路を重ね合わせた応答スペクトル

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(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。

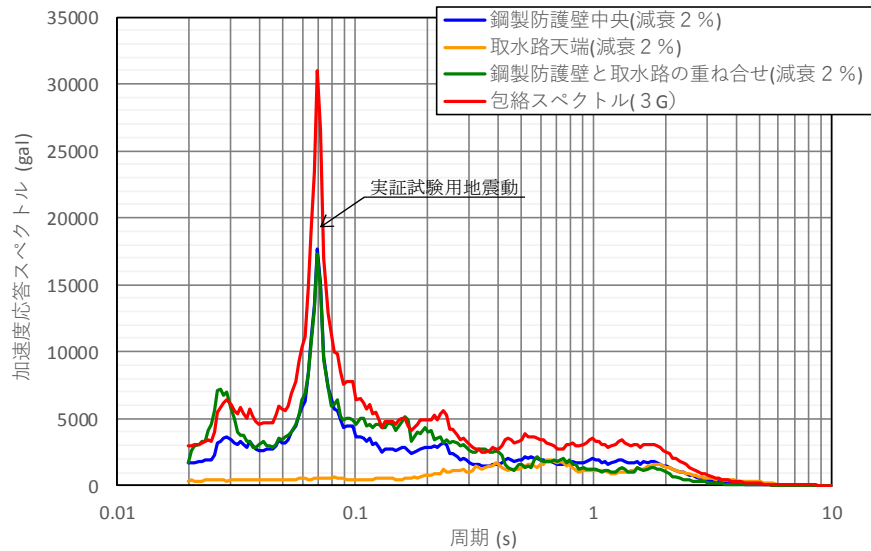


図11 応答スペクトルの包絡波の作成(堤軸方向)

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。

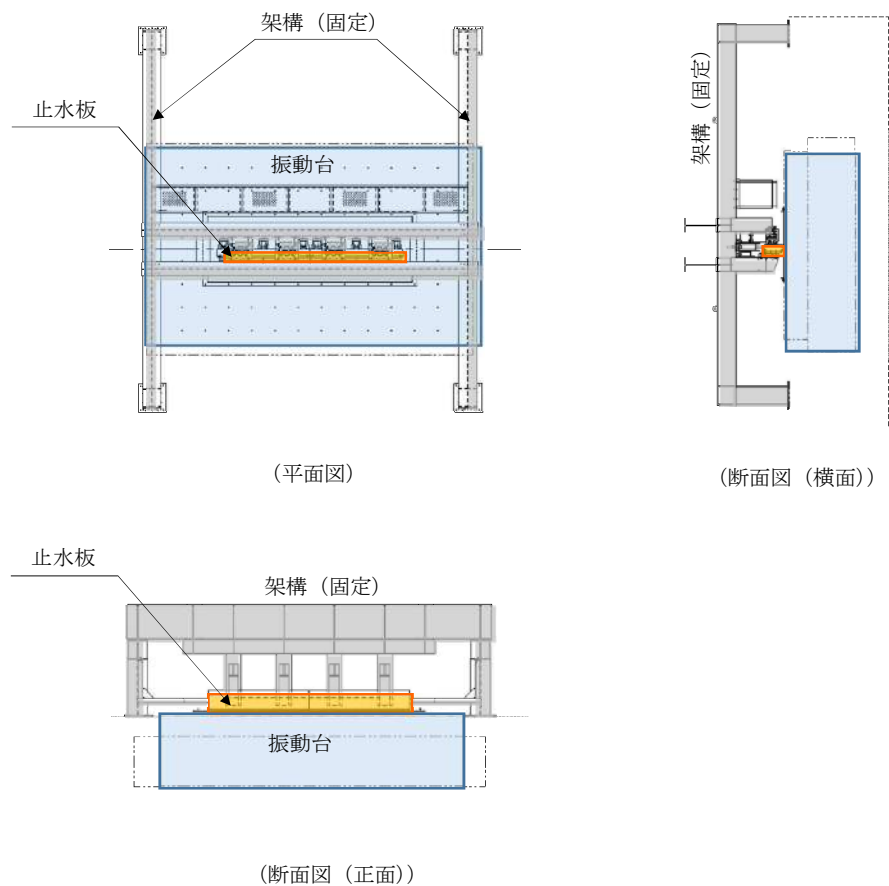


図 12 実証試験の試験装置構造図

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。

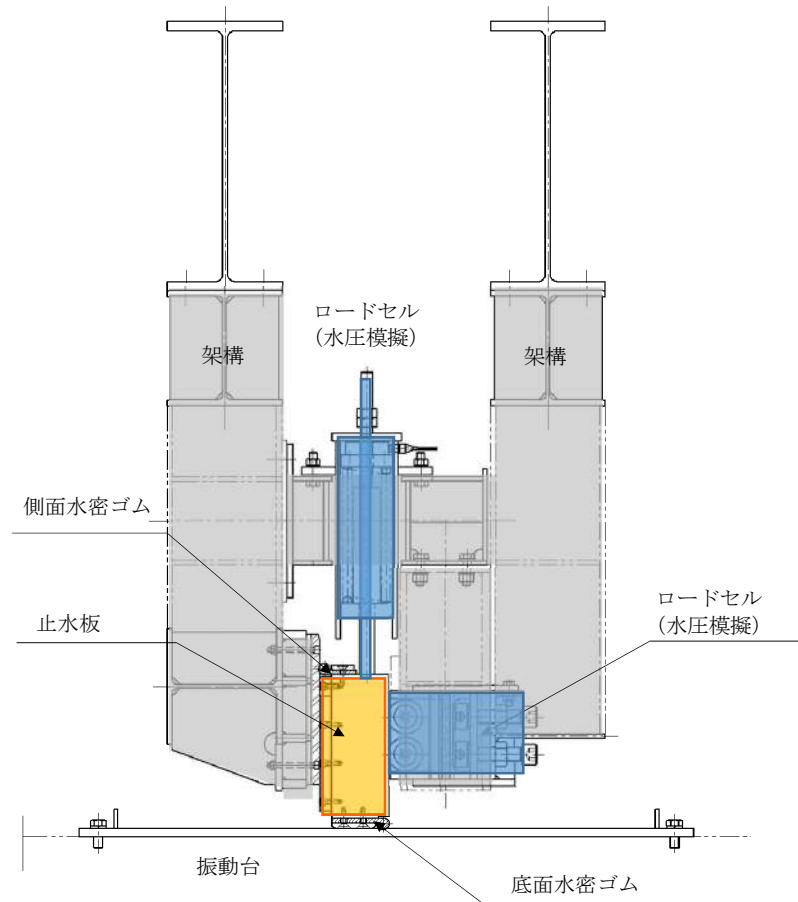


図 13 余震+津波時の試験装置の構造図

(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。

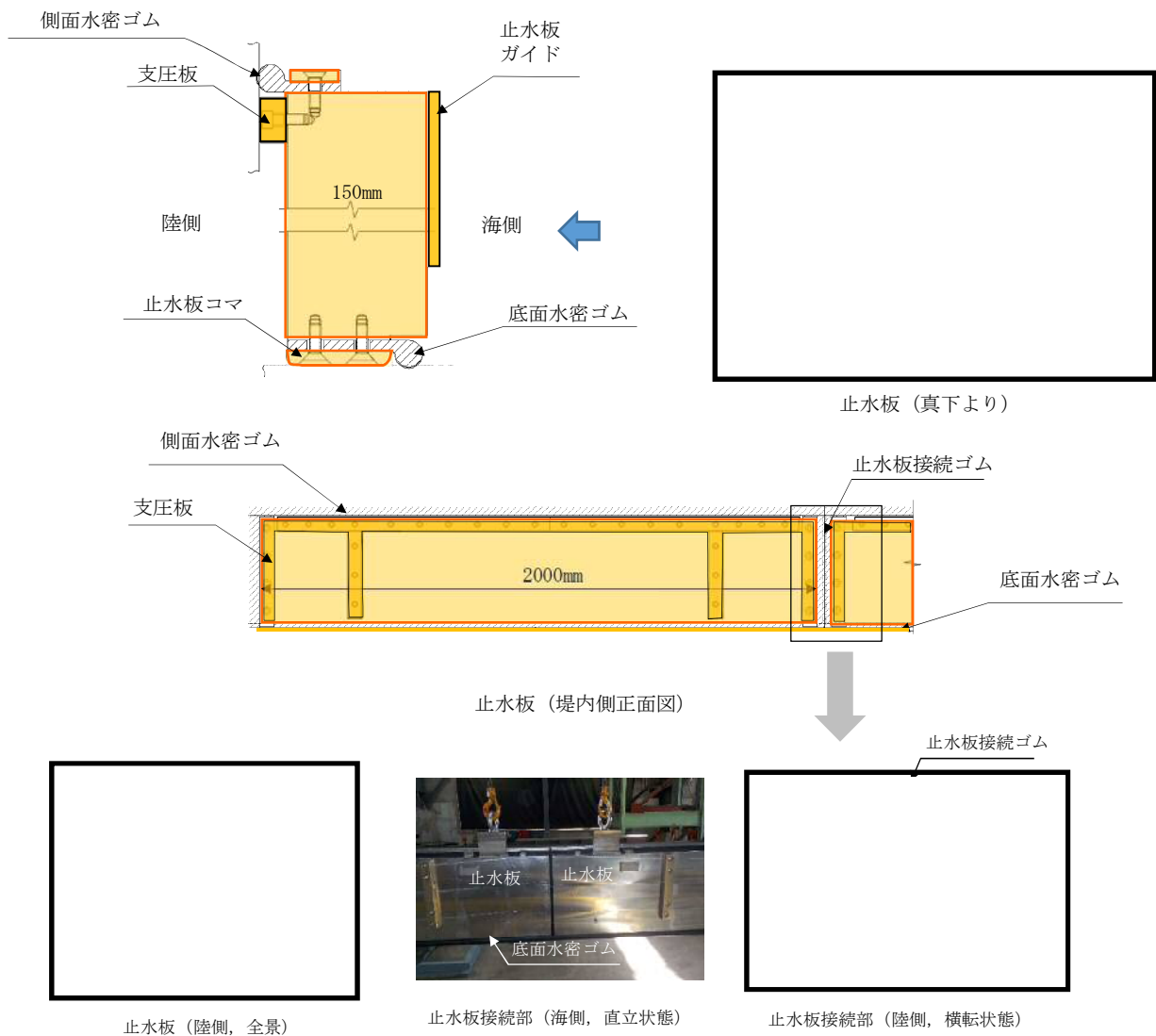


図14 止水板の構造及び水密ゴムの構造

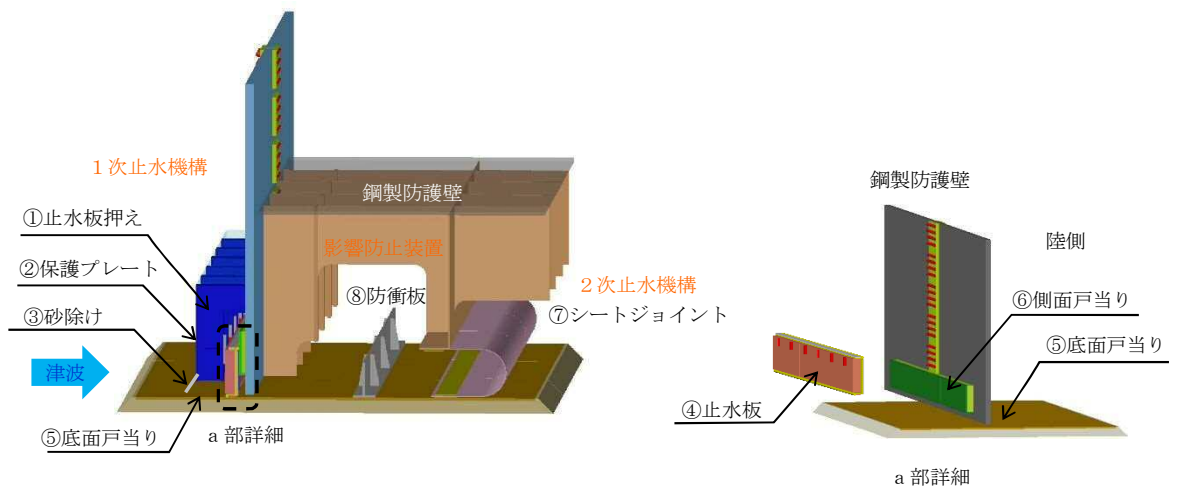
4.4 実証試験の計測項目と判定基準

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	<ul style="list-style-type: none"> ◆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 	<ul style="list-style-type: none"> ◆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	<ul style="list-style-type: none"> ◆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 	<ul style="list-style-type: none"> ◆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	<ul style="list-style-type: none"> ◆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 	<ul style="list-style-type: none"> ◆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）

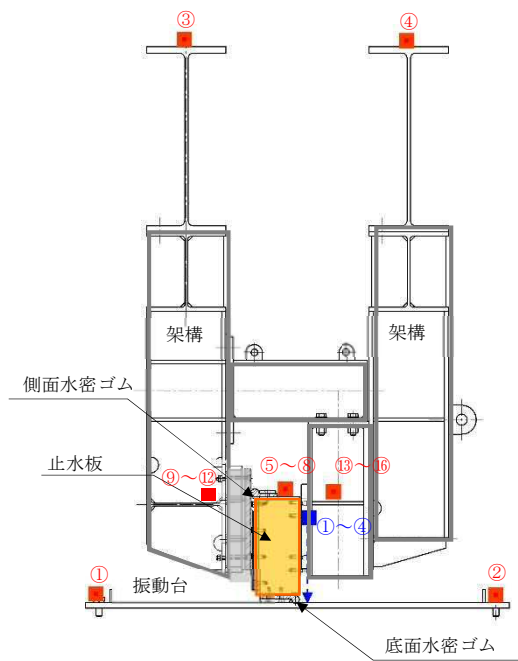
※各部位毎の計測項目については、表7の1次止水機構の各部位毎の評価項目に示す。



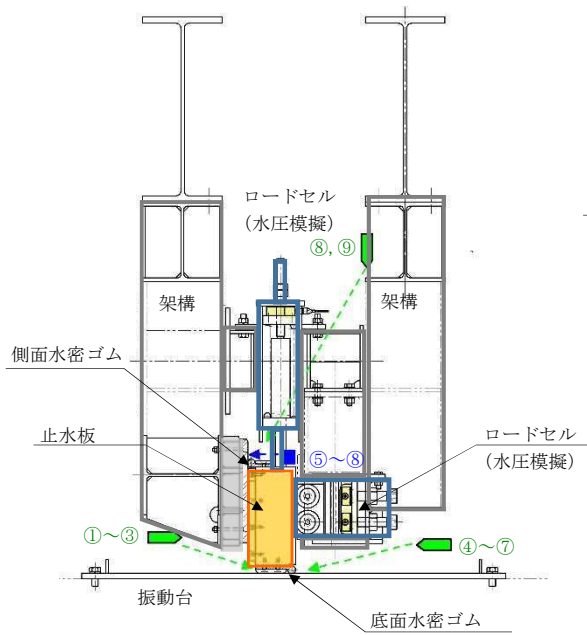
止水機構の各名称

表6 各部位の検査項目

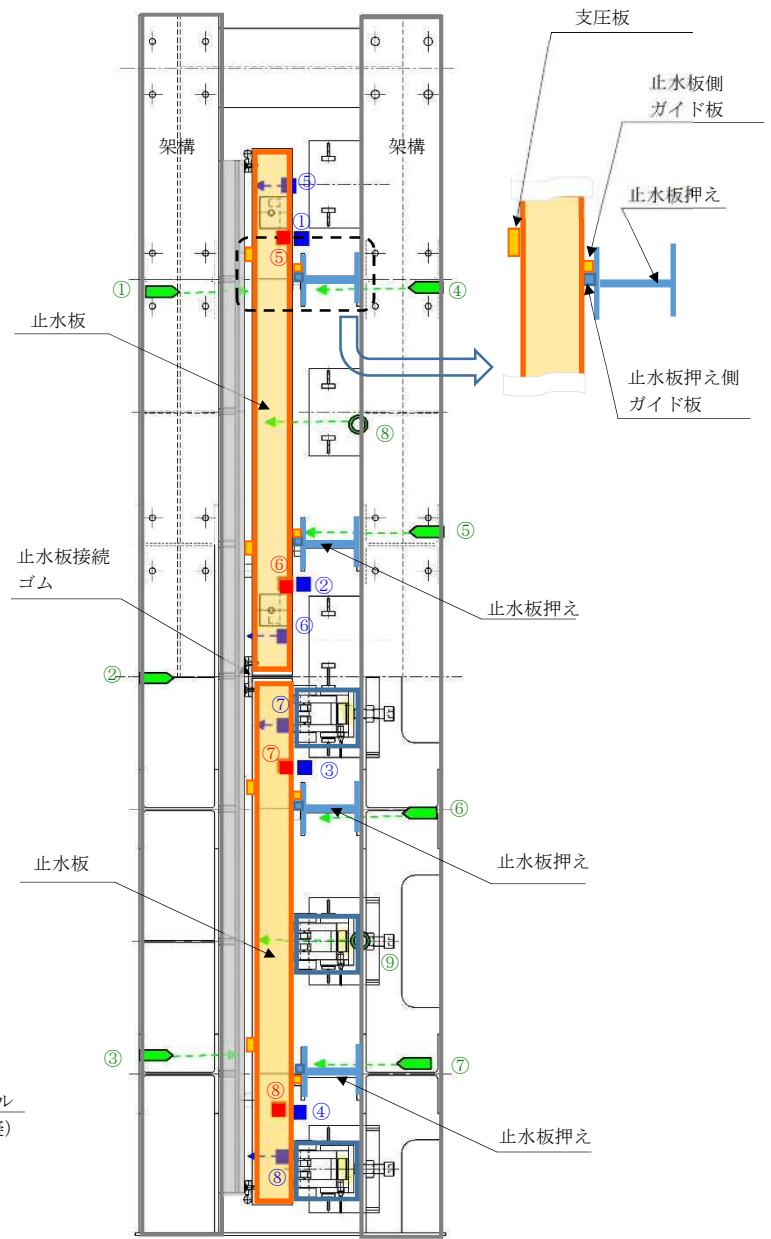
各部位	目的	確認項目	
①止水板押え	止水板の追従性に影響を与える部材の健全性を確認する。	挙動確認	◆止水板押えの加速度計測 (⑬～⑯)
		健全性確認	◆寸法計測 ・止水板押えと止水板の隙間計測 ・止水板押え側ガイド板の平面度測定 ・止水板押え側ガイド板と止水板側ガイドとの寸法測定 ◆外観目視検査 ・変形, 摩耗等の確認
④止水板 (底面止水板コマ部含む)	止水板の追従性及び健全性を確認する。	挙動確認	◆止水板と底面, 側面戸当りの変位計測 (①～⑧) (レーザー変位計による止水板の挙動確認) ◆止水板の加速度計測 (⑤～⑧) ◆ビデオ撮影 (①～⑨)
		健全性確認	◆寸法計測 ・止水板, 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，レーザー変位計）



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 実証試験時の計測装置の配置

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とおり分析し、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。

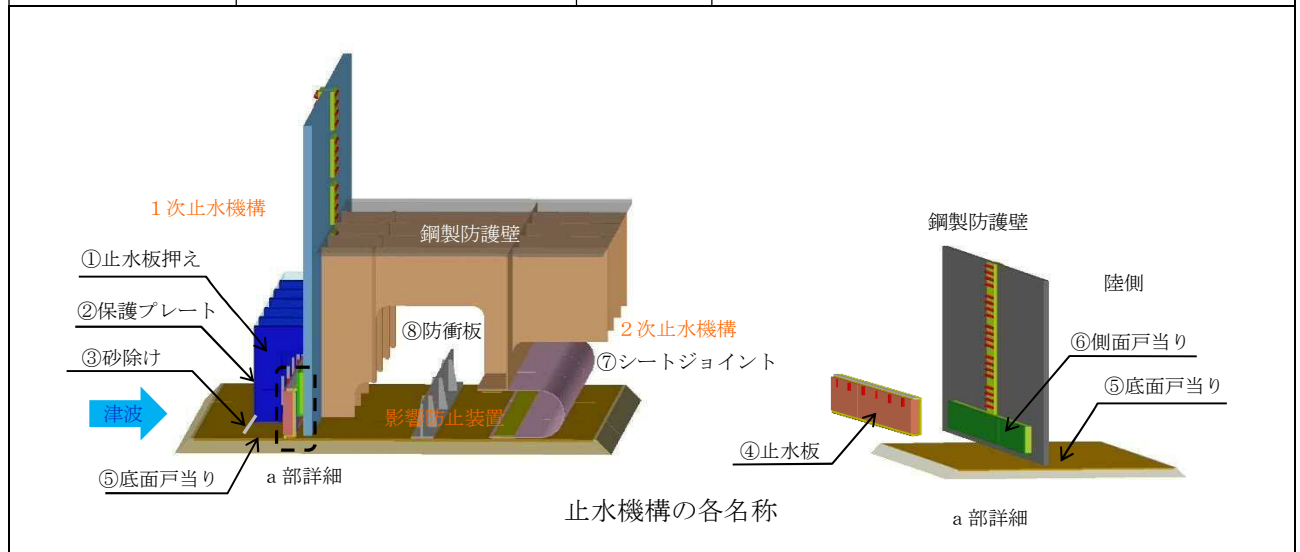
④漏水試験の実施（別途実施）

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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> ◆二次元・三次元動的解析 <ul style="list-style-type: none"> ・応力評価 ・追従性評価 ・余震+津波
		実証試験	<ul style="list-style-type: none"> ◆挙動評価 <ul style="list-style-type: none"> ・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)	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> ◆二次元・三次元動的解析 <ul style="list-style-type: none"> ・応力評価 ・追従性評価 ・余震+津波
		実証試験	<ul style="list-style-type: none"> ◆挙動評価 <ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> ◆挙動評価 <ul style="list-style-type: none"> ・追従性評価 (ビデオ撮影) ・外観目視検査
底面・側面 水密ゴム	<ul style="list-style-type: none"> 底面・側面戸当りとのシール性を確保する。 	耐震評価	<ul style="list-style-type: none"> ◆二次元・三次元動的解析 <ul style="list-style-type: none"> ・応力評価 ・追従性評価 ・余震+津波
		実証試験	<ul style="list-style-type: none"> ◆挙動評価 <ul style="list-style-type: none"> ・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)



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わず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当たり、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_g (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。

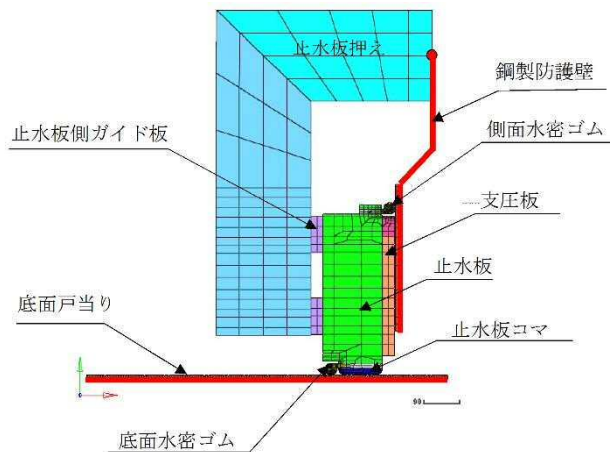


図16 二次元動的解析モデル図

(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) 物性値及び摩擦係数

各部の物性値と摩擦係数は表 11 に示すとおり。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 物性値及び摩擦係数

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) 解析条件

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 (止水板押えの根元も含む) は剛として水平相対変位、鉛直変位及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 (止水板押え据付け部も含む) は剛として固定した。

③解析地震波

本震及び余震ともに、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 T.P. +20m の静水圧及び動水圧とした。

(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ないが、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

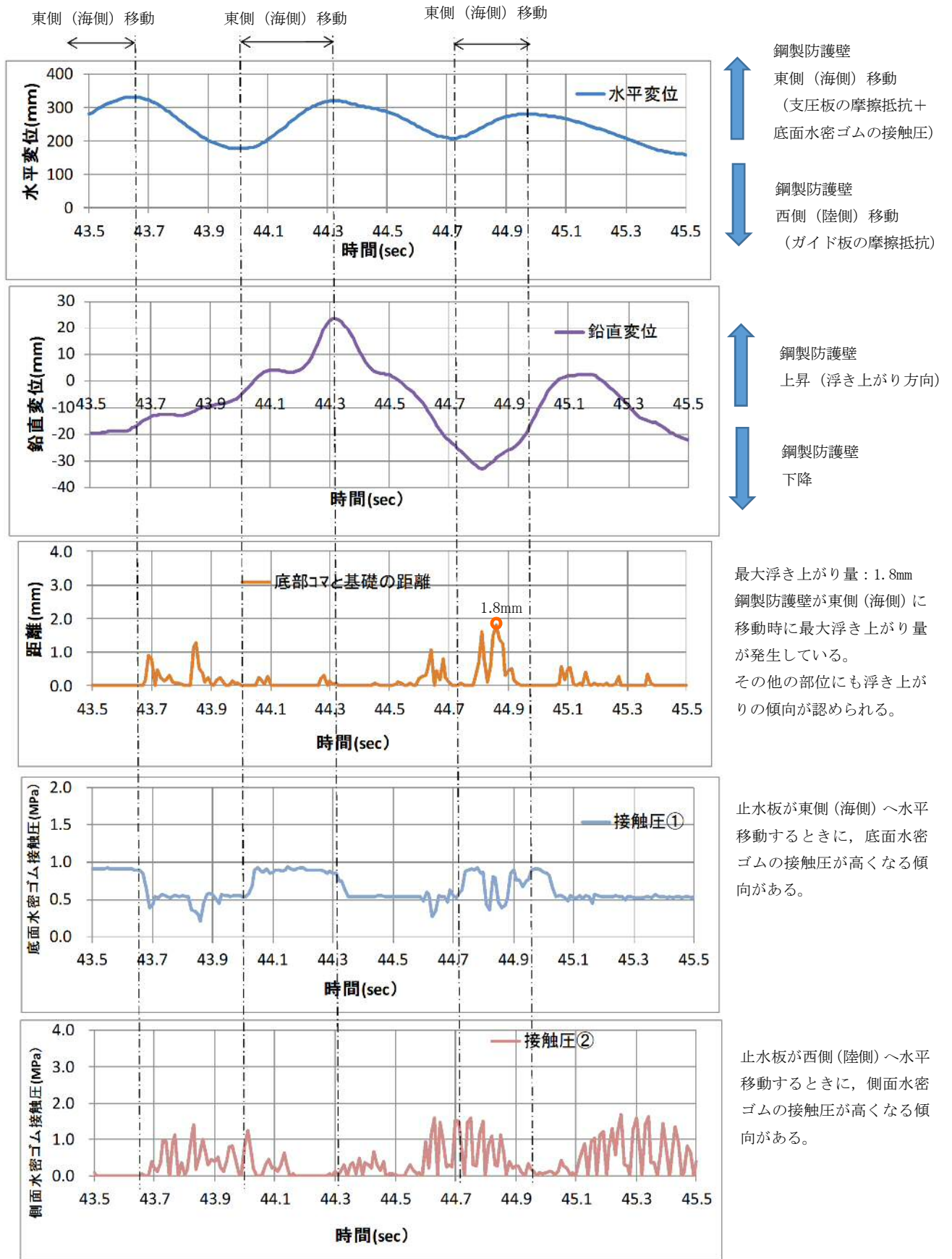


図 17 本震時 鋼製防護壁側揺動（CASE1-1）

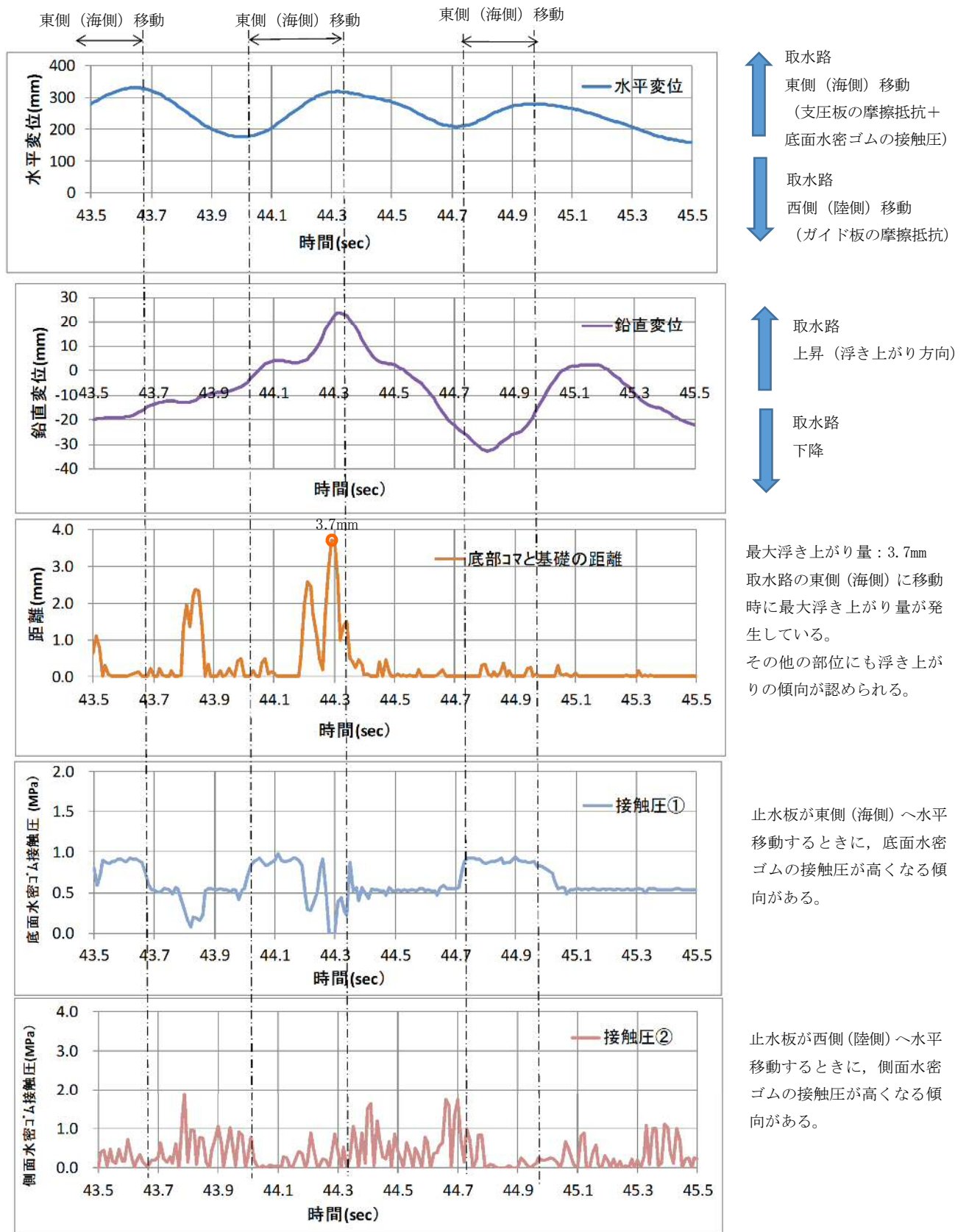


図 18 本震時 取水路側（基礎）摺動 (CASE2-1)

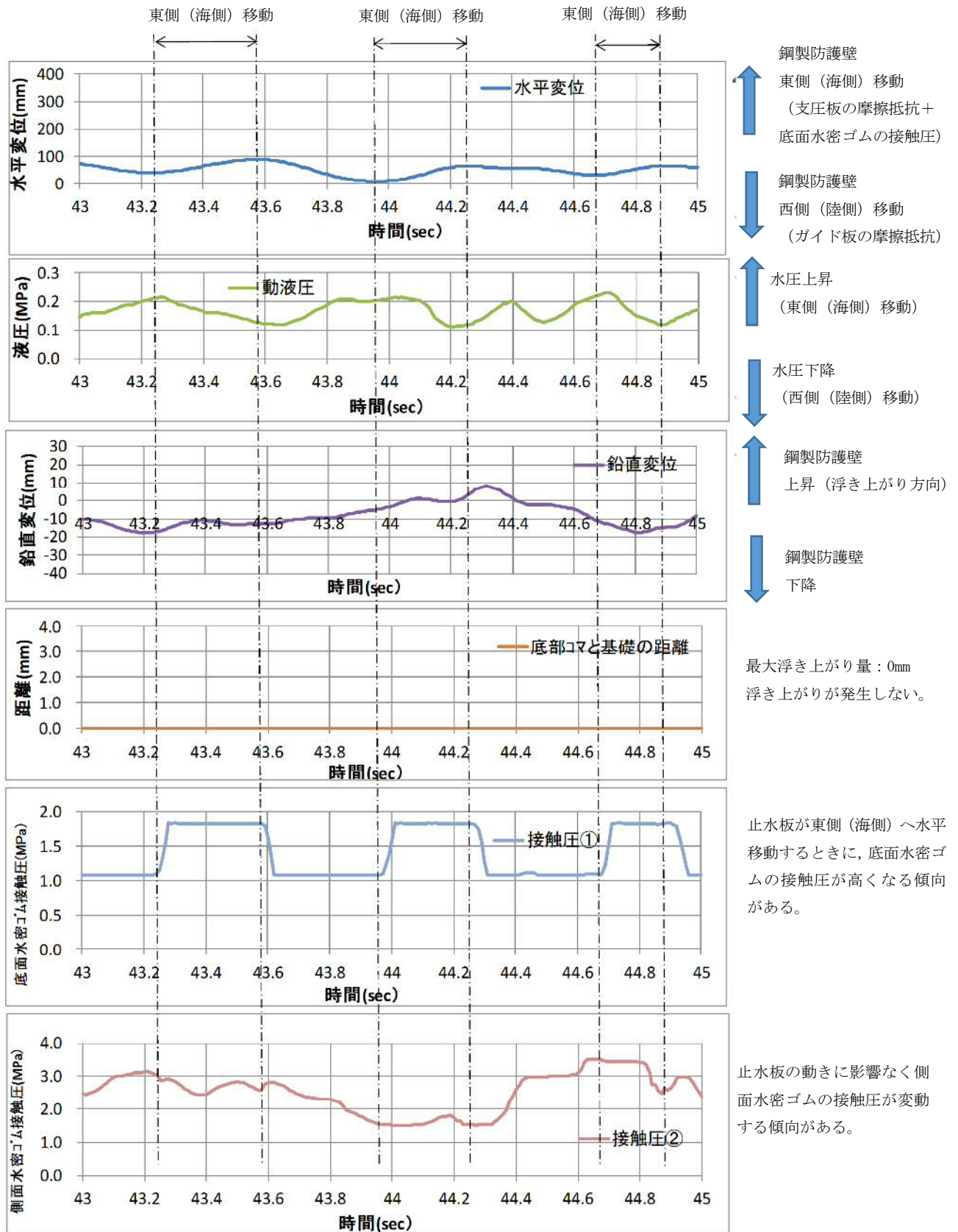


図 19 余震時 鋼製防護壁摺動 (CASE1-2)

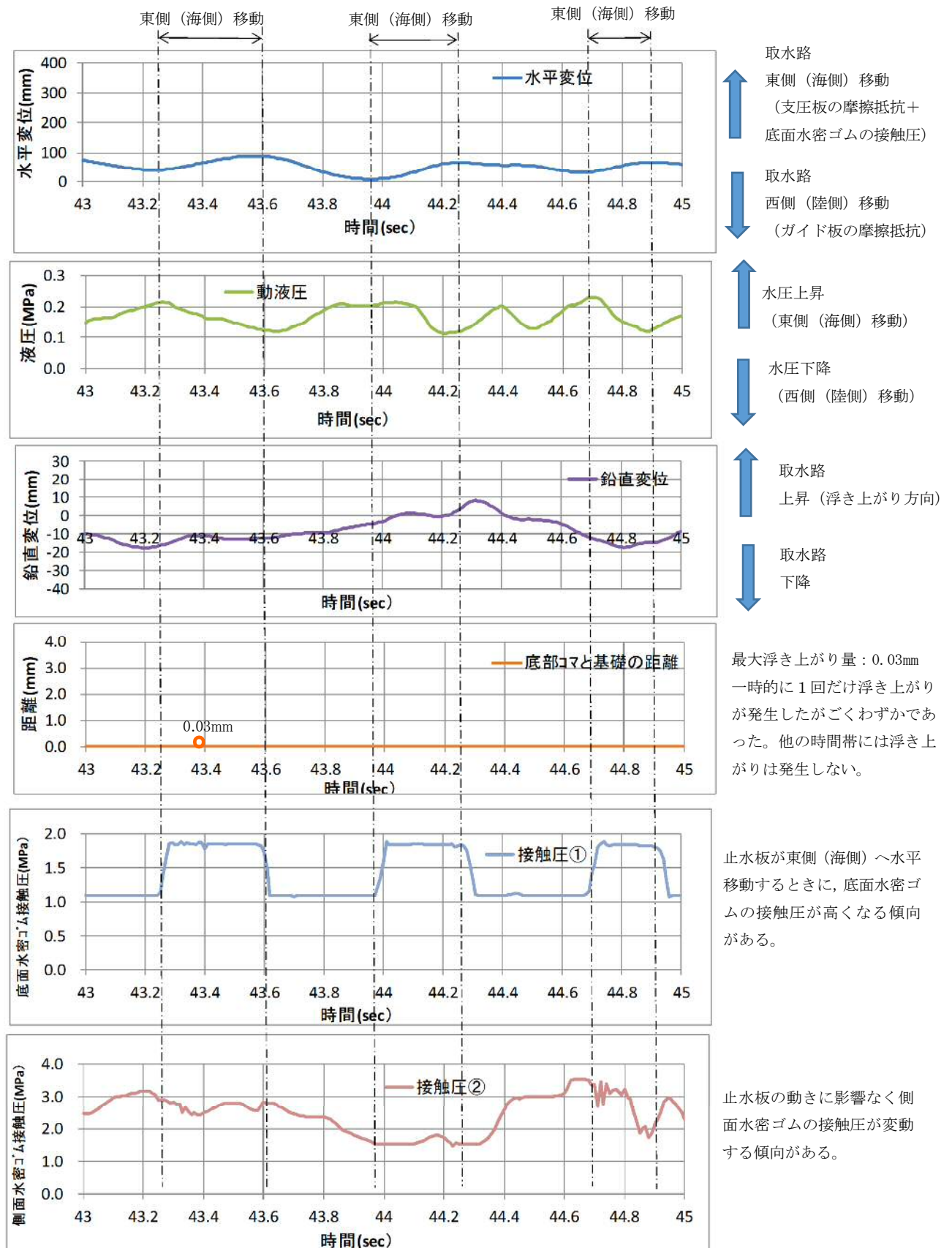


図 20 余震時 取水路側（基礎）摺動 (CASE2-2)

【補足説明 3】 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

(1) 止水板の長手方向の挙動について

止水板は、①止水板押えの止水板押えガイドと④止水板の止水板ガイドにて長手方向の移動を制限している。止水板ガイド板と止水板押えガイドの隙間は5mmで管理している。図21に止水板と止水板押えのガイド構造について示す。

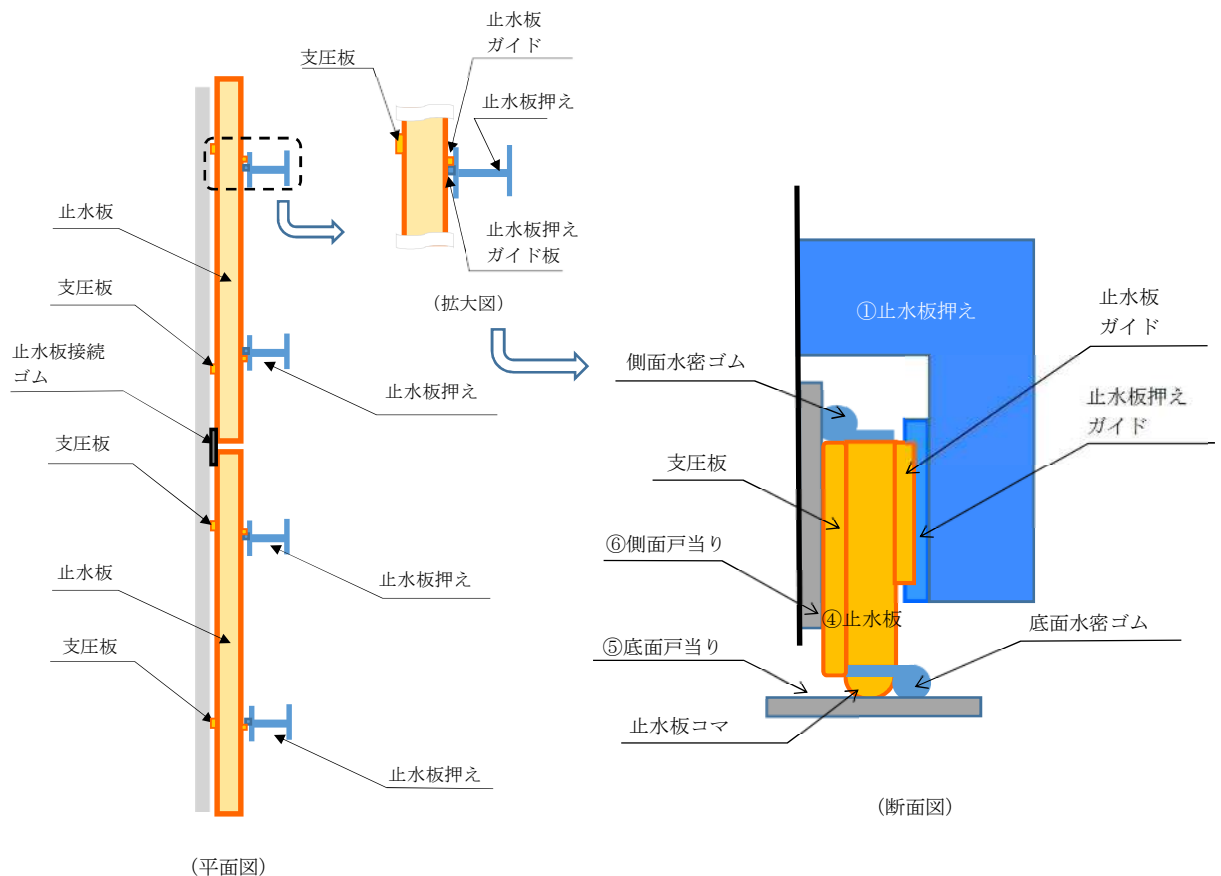


図 21 止水板と止水板押えのガイド構造について

(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合せと同じ状態で実証試験を実施する。

表 12 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 12 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。
- ・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））
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，止水板ガイド，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），水圧模擬，摩擦係数しきい値確認

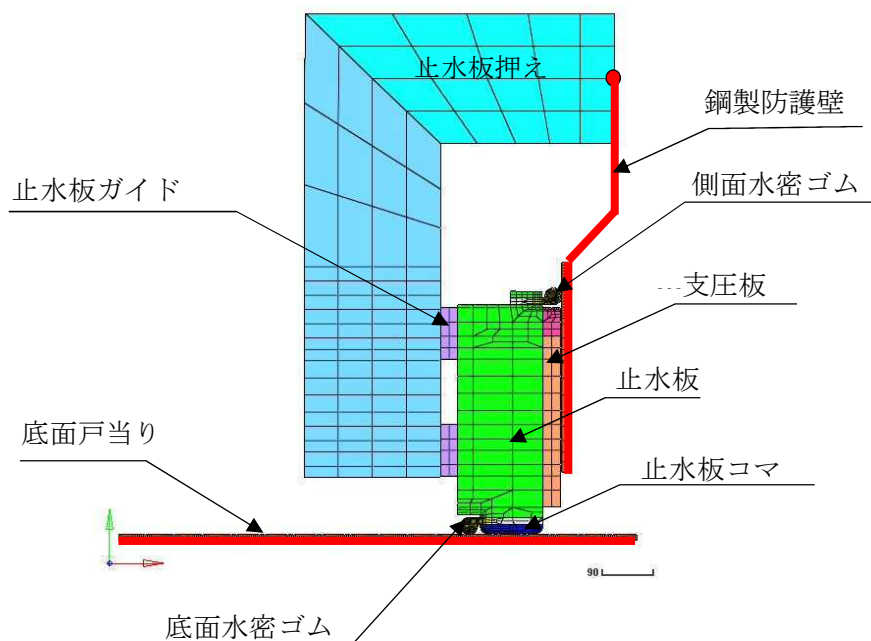


図 22 二次元動的解析モデル

(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））
- ・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，止水板ガイド，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

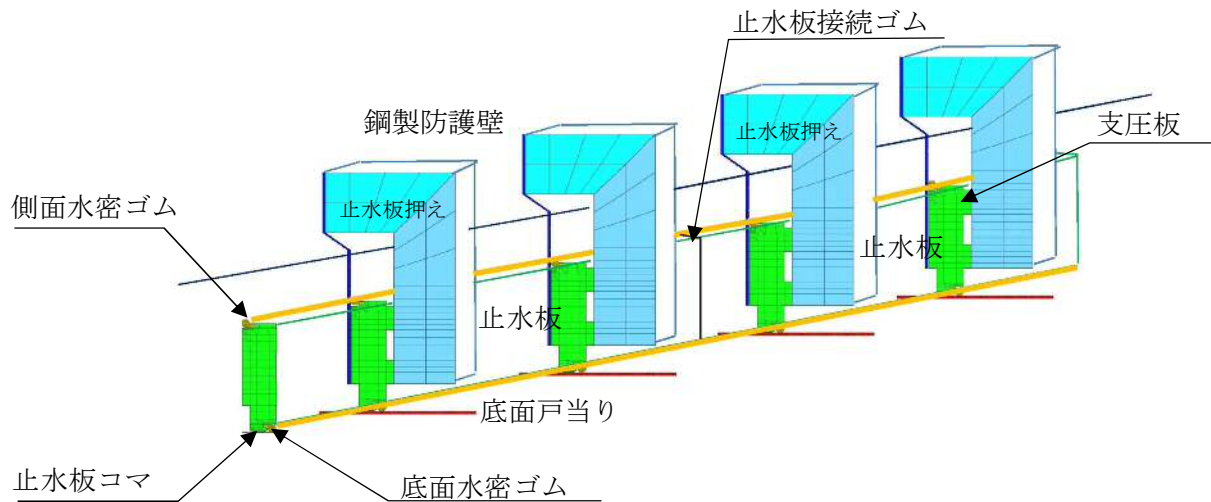


図 23 三次元的解析モデル

【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に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枘に収集し、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。

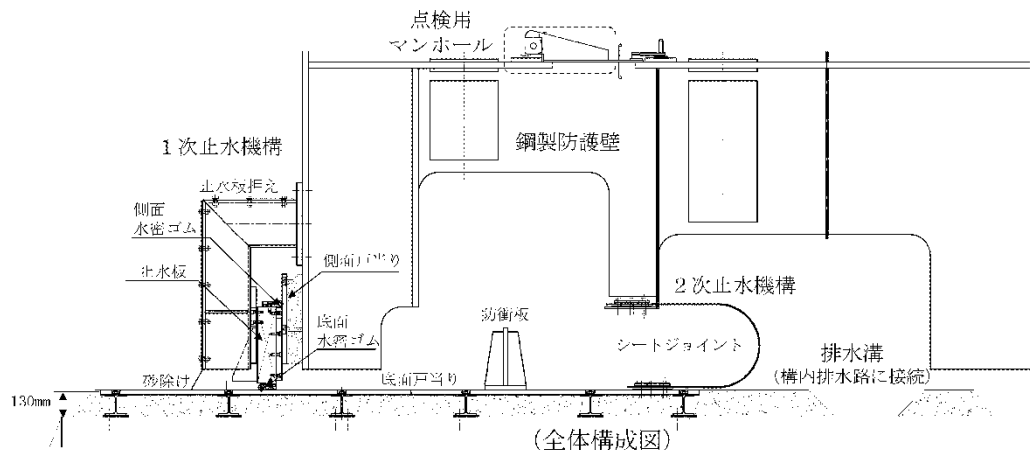


図 24 止水機構全体の概要

【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、表15に漏水試験結果、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）」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（MPa）

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

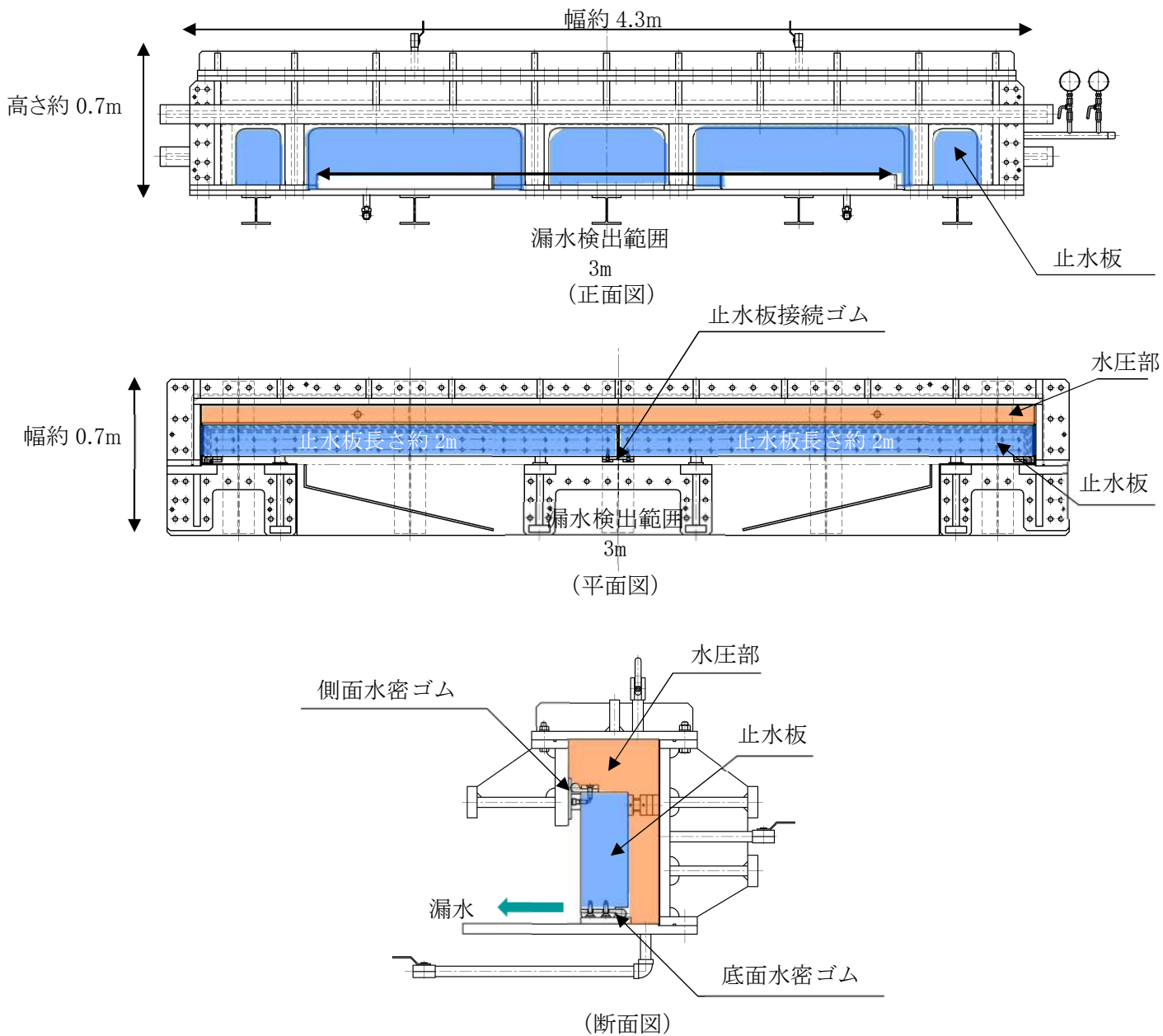
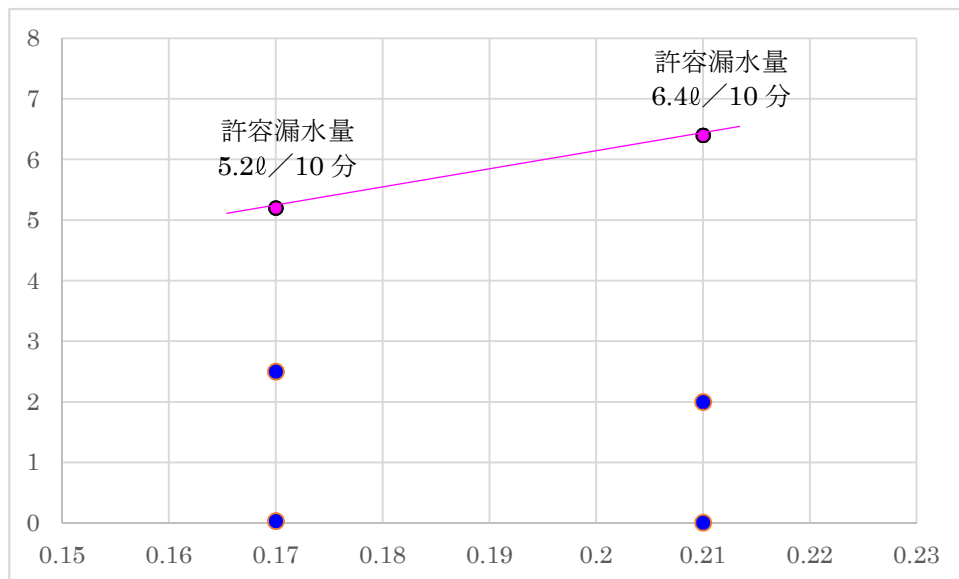


図 25 漏水試験の装置概要図

表15 漏水試験結果

	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 (1回目加振)	0.17	10	2.5	5.2	○
	0.21	10	2.0	6.4	○
試験体2 (2回目加振)	0.17	10	0.035	5.2	○
	0.21	10	0.005	6.4	○

※1：漏水量は1m当たり10分間漏水量。



試験圧力と漏水量

実証試験後の水密ゴムの漏水試験（表 15）は、未使用品の試験（表 17）に比べて漏水量はやや多い結果となった。実証試験後の水密ゴムの方は、止水板 2 枚分を合わせた水密ゴムであること及び 2 枚の止水板を接続する接続ゴムの部分もあることから、漏水量は多い結果となった。

ただし、試験体 1 と 2 で漏水量にばらつきが生じたものの許容漏水量に対して十分な裕度は確保できていることから、実証試験の水密ゴムは健全であった。

<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 16 に試験装置の主要仕様、表 17 に漏水試験結果、図 26 に試験装置の概要図、図 27 に試験圧力と漏水量を示す。

表 16 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

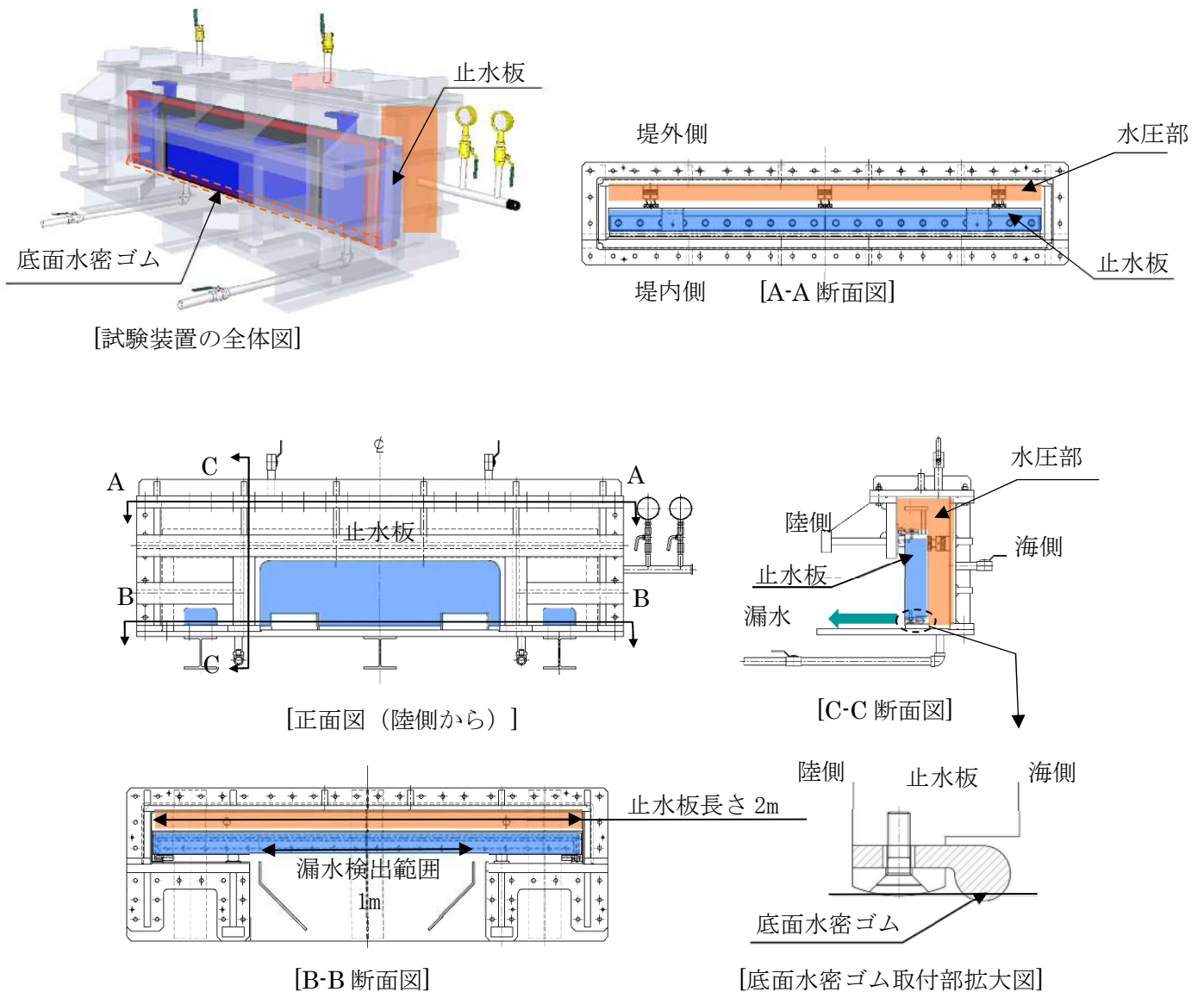


図 26 試験装置概要図

表17 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1m当たり10分間漏水量。

※2：未使用品（新品）の場合の許容漏水量

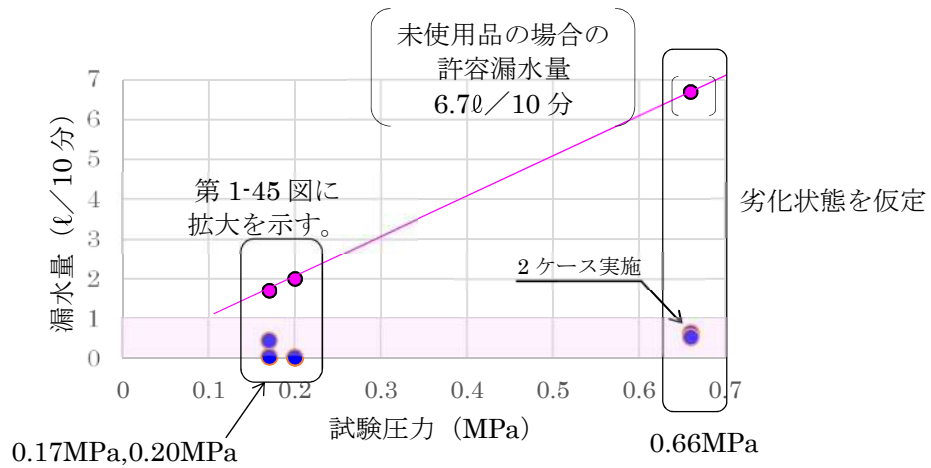


図 27 試験圧力と漏水量（高圧）

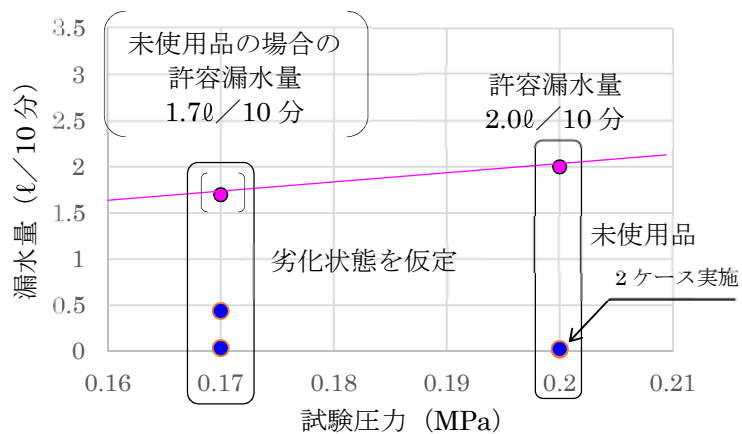


図 27 試験圧力と漏水量（低圧）

【補足説明 7】 2次止水機構シートジョイントの漏水試験結果について

2次止水機構に設置するシートジョイントについて漏水試験を実施した。

試験体に用いたシートジョイントと固定部は、実機と同じ材質、構造、固定方法を用いシートジョイントの漏水試験を実施した。表 18 にシートジョイントの試験条件を示す。

表 18 シートジョイント試験条件

項目		仕様
試験体	寸法	縦約 0.5m×横約 0.5m のシートジョイント
	材質	ポリエステル繊維 (#800 二重)
	試験水圧	0.17MPa, 0.21MPa
	試験部位	シートジョイント, 固定部
	試験体	3 体
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

<試験装置>

シートジョイントの試験体約 0.5m×約 0.5m を作成し試験装置内に設置し試験を実施した。試験装置の概要を図 28 に示す。

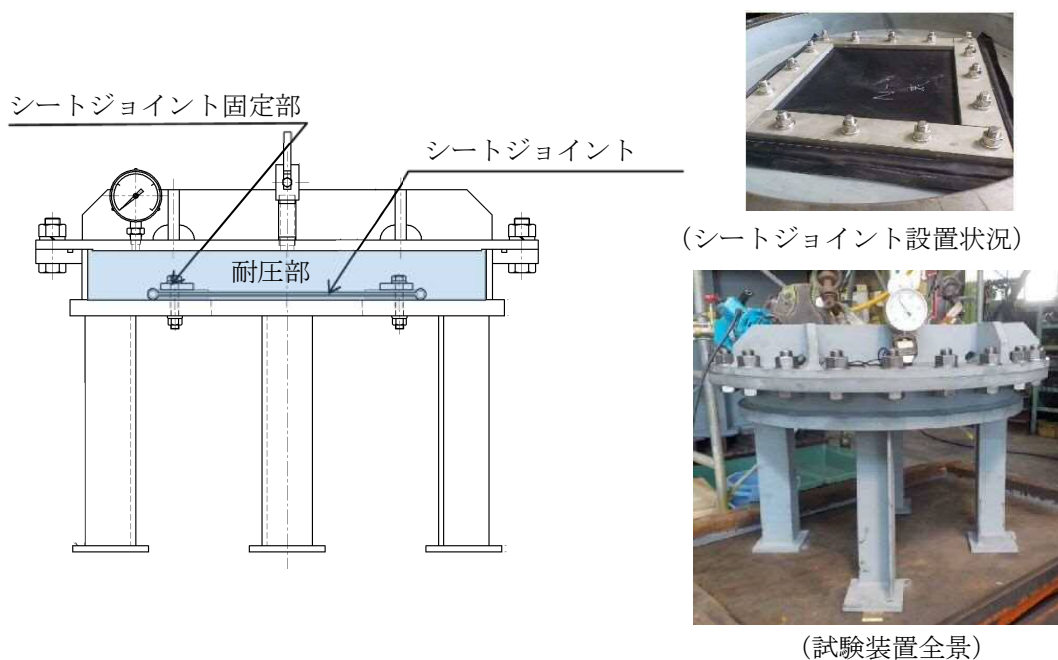


図 28 シートジョイント試験装置概要

<試験結果>

シートジョイントの漏水試験の結果は以下のとおり。試験体3体共にシートジョイント及び固定部からの漏水はなく良好な結果となった。表19に漏水試験結果を示す。

表19 シートジョイントの漏水試験結果

	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 (新品)	0.17	10	0	1.73	○
	0.21	10	0	2.14	○
試験体2 (新品)	0.17	10	0	1.73	○
	0.21	10	0	2.14	○
試験体3 (新品)	0.17	10	0	1.73	○
	0.21	10	0	2.14	○

*「ダム・堰施設技術基準(案)」で規定する保持時間(10分)及び許容漏水量算定式に基づく100cm当たりの許容漏水量を算出

- ・許容漏水量： $W = 10.2 L \times P$
- W：漏水量 (ml/min)
- P：設計圧力 (MPa)
- L：長辺の長さ (cm)

試験体1の試験の状況を図29に示す。

試験後の状況はシート部が伸びた状態であったが外観に異常なく健全な状態であった。



シートジョイントの全景 (試験前)



漏水試験時の状況 (0.17MPa10分後)



シートジョイントの全景 (試験後)



漏水試験時の状況 (0.21MPa10分後)

図29 シートジョイントの漏水試験の状況

【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 30 に要因と対策（案）を示す。

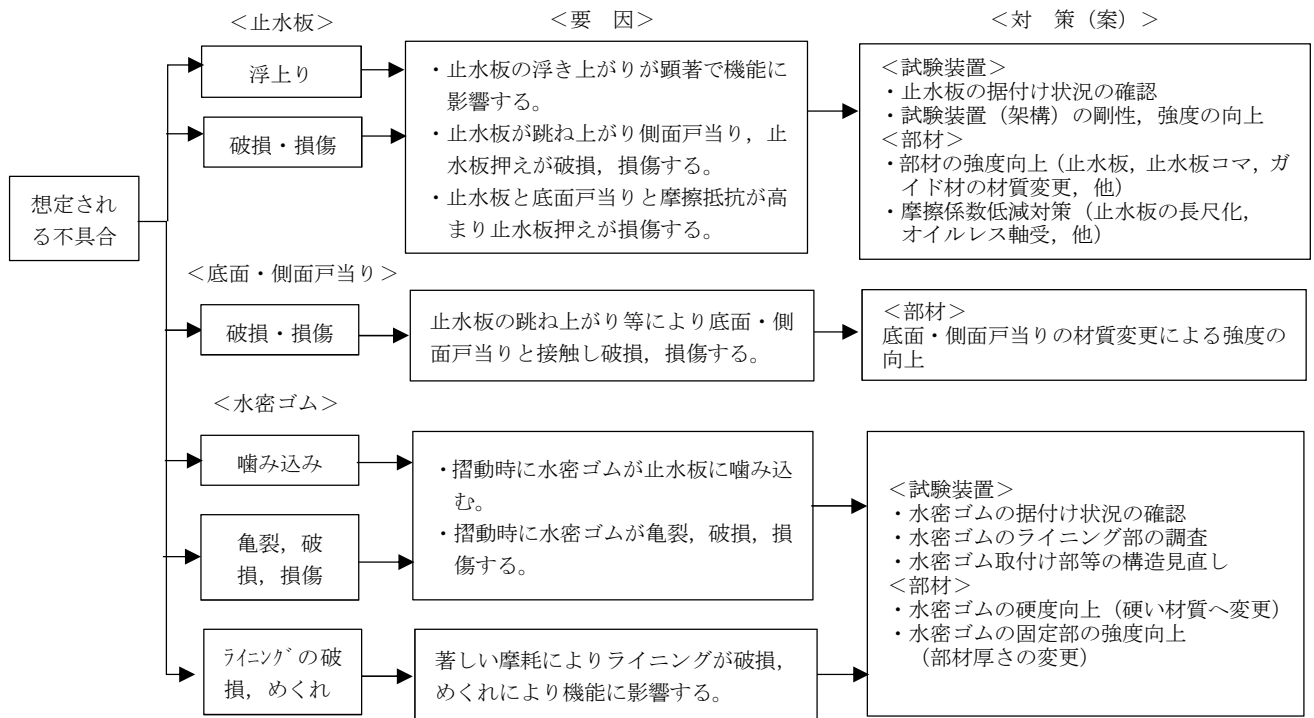


図 30 実証試験時における不具合時に対する対策（案）

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



3. 試験体制

実証試験体制は、図1に示す。

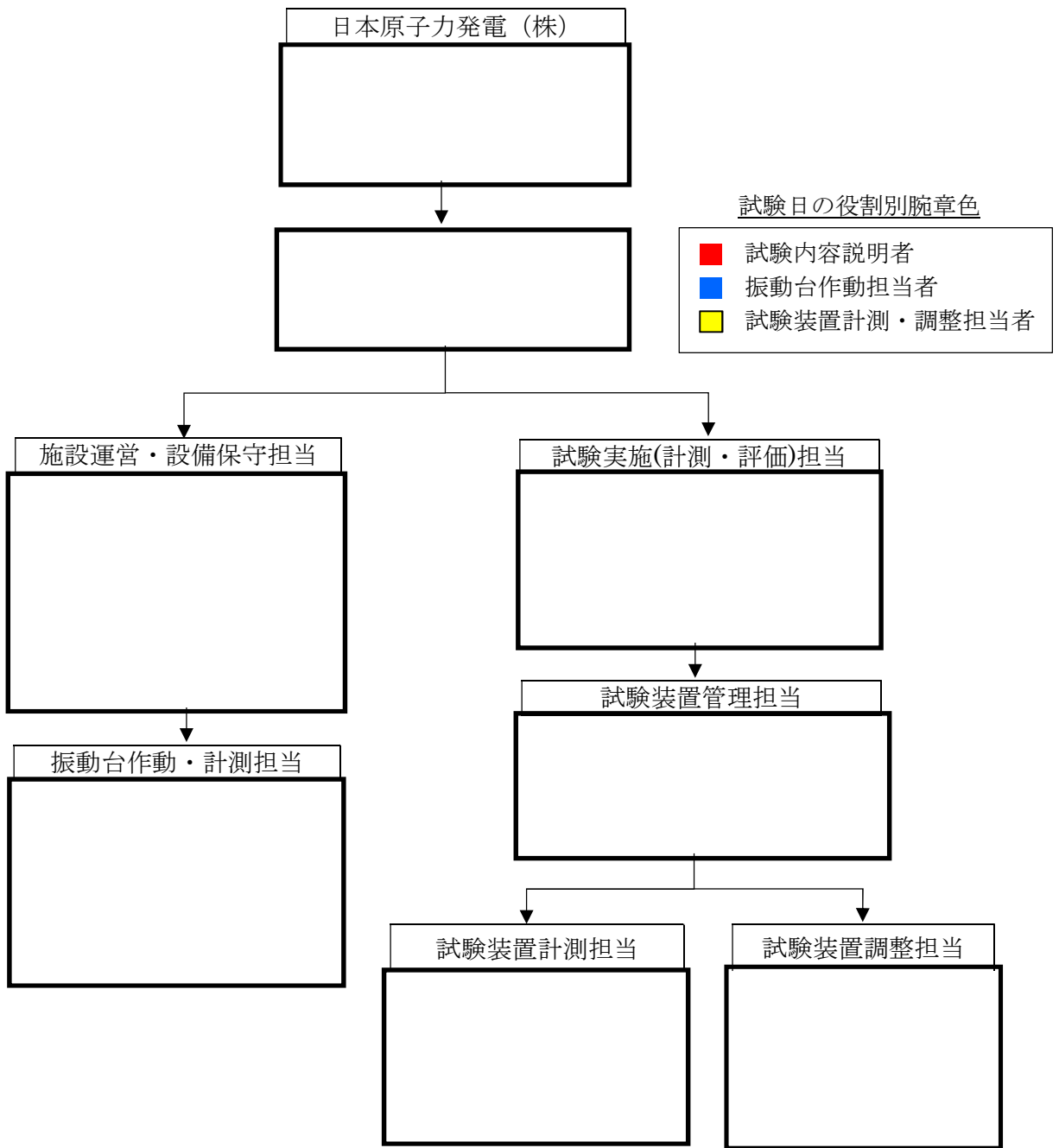


図1 実証試験体制

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に試験装置の鳥瞰図を示す。

実証装置装置の概要については、参考資料に示す。

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)

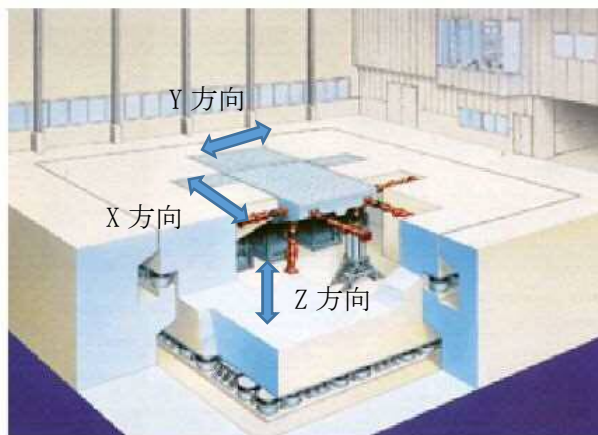


図2 大型3軸振動台の概要



図3 振動台平面図

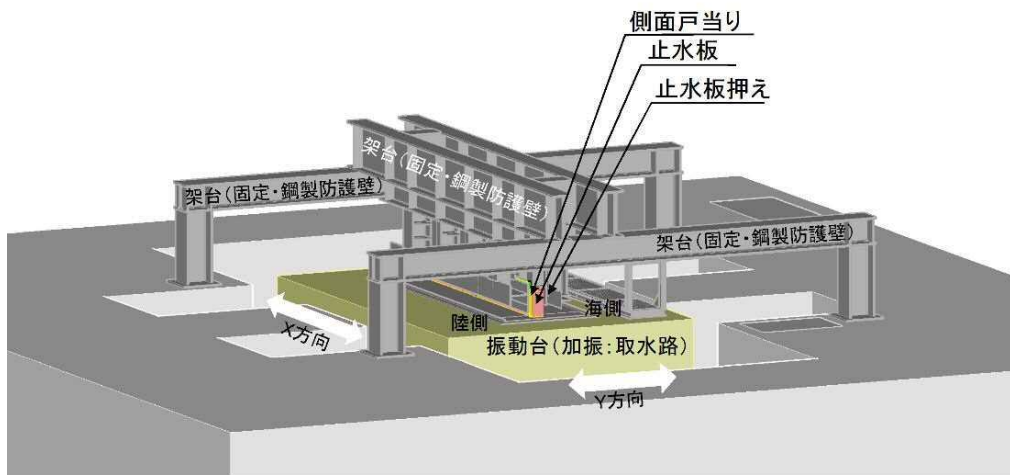


図4 試験装置の鳥観図

5. 試験条件

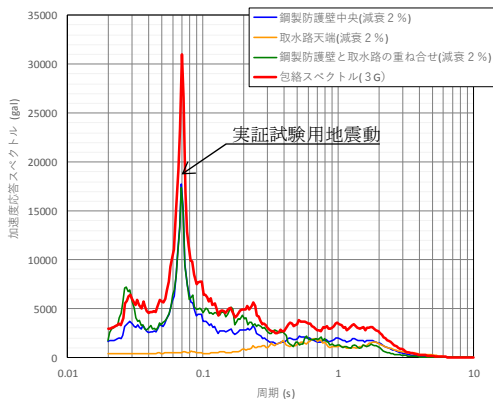
(1) 実証試験用地震動

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。

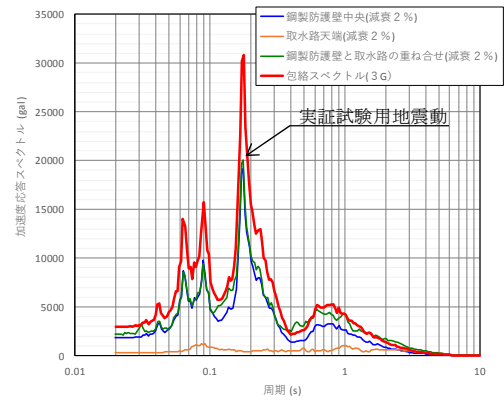
図5に本震による三方向（X，Y，Z）の実証試験用地震動の加速度応答スペクトルを示す。模擬地震動の詳細については「6.1.3.4 実証試験に用いる地震動の作成，実証試験及び三次元動的解析のケースについて」に示す。

表1 実証試験用応答スペクトルに用いる入力地震動

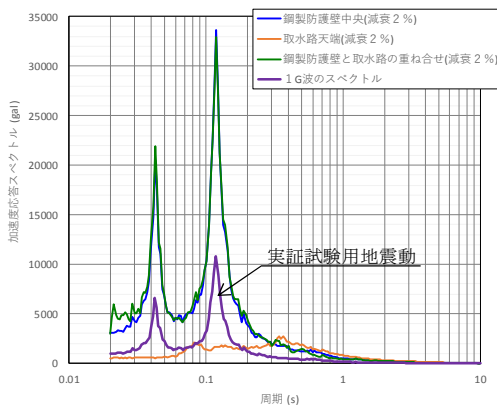
種類	入力地震動
本震	$S_s - D1$
余震+津波	$S_d - D1$



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

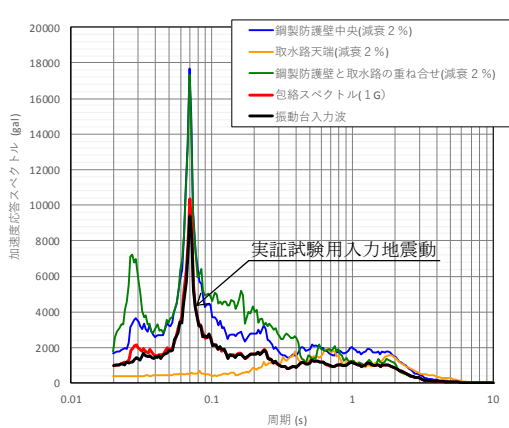
図5 本震による三方向（X，Y，Z）の実証試験用地震動の加速度応答スペクトル

(2) 実証試験用入力地震動

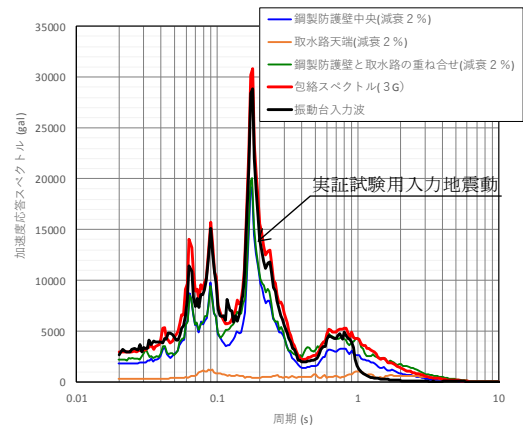
実証試験用入力地震動は、変位量に対する振動台性能の制限内に地震動を収めることを目的として、実証試験用地震動にハイパスフィルタ（HPF）を掛け、長周期成分をカットした地震動である。

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。

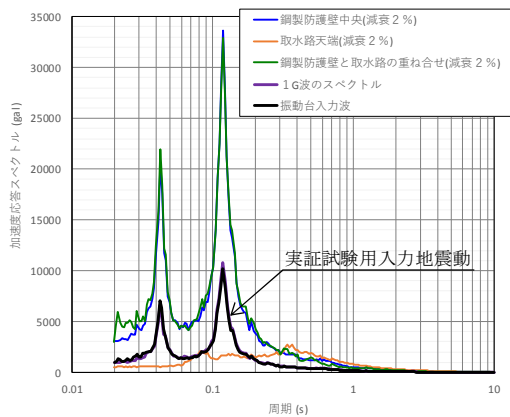
図6の入力加速度が最大3GであるY方向（EW）の加速度応答スペクトル図から周期1sec付近でHPFが掛かっていることが読み取れるが、最大加速度レベルは実証試験用地震動とほぼ同一レベルであることを確認した。



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

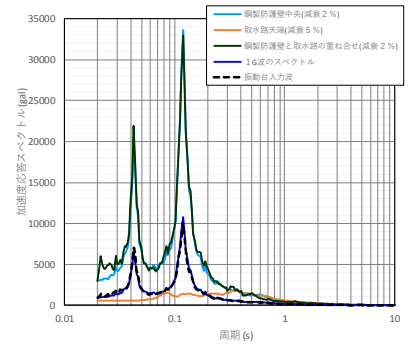
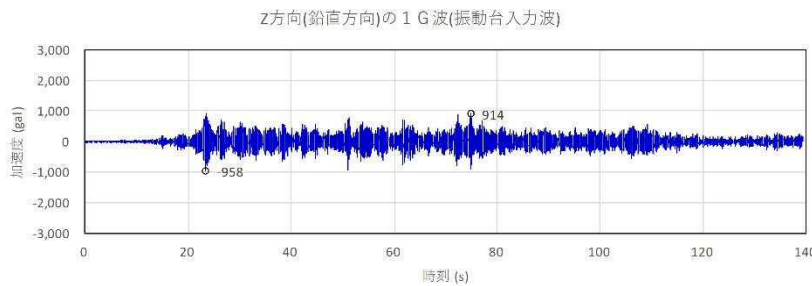
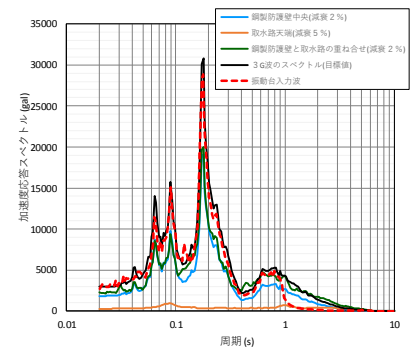
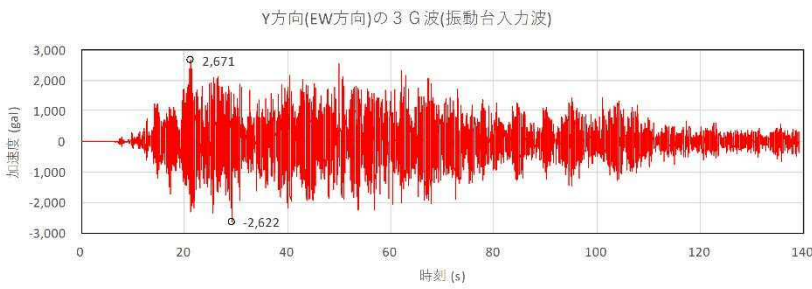
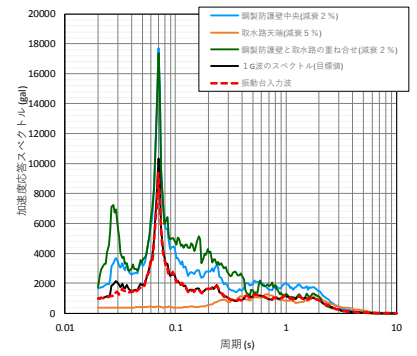
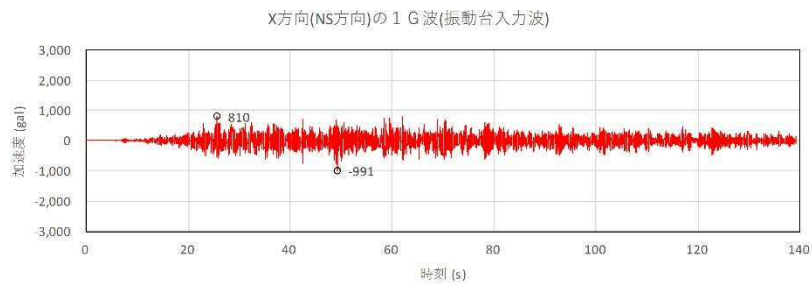


図7 ②3方向(Y方向(堤軸直交)包絡波)実証試験用入力地震動

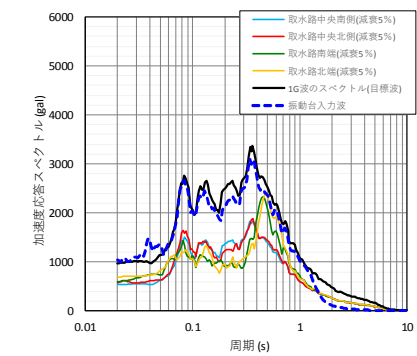
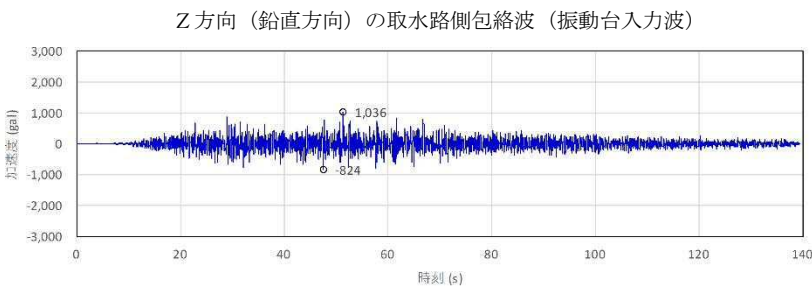


図8 ④鉛直(取水路側包絡波)実証試験用入力地震動

(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（案）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 (DURO-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)当たり3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。

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

<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)当たり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。

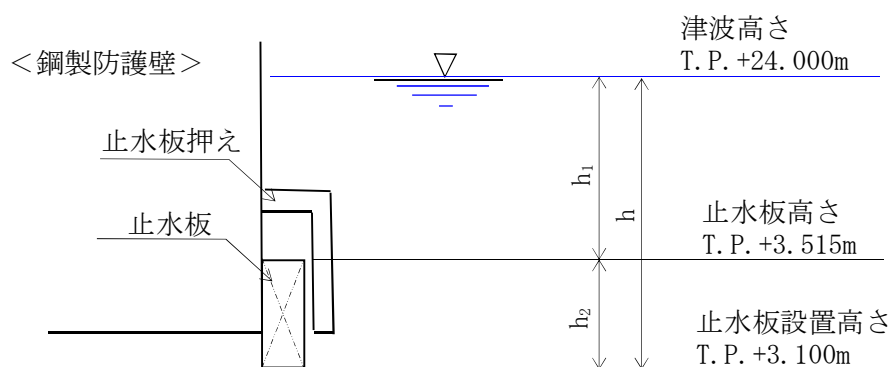
$$W_v = 29.0 \text{ kN/m} \times 2 \text{ m} \div 2 = 29.0 \text{ kN}$$

<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



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

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

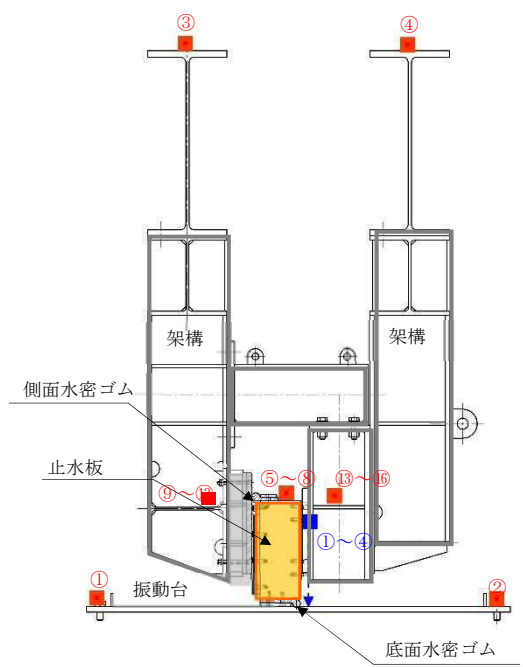
$$h_2 = 0.415 \text{ m}$$

(7) 実証試験に係る計測項目

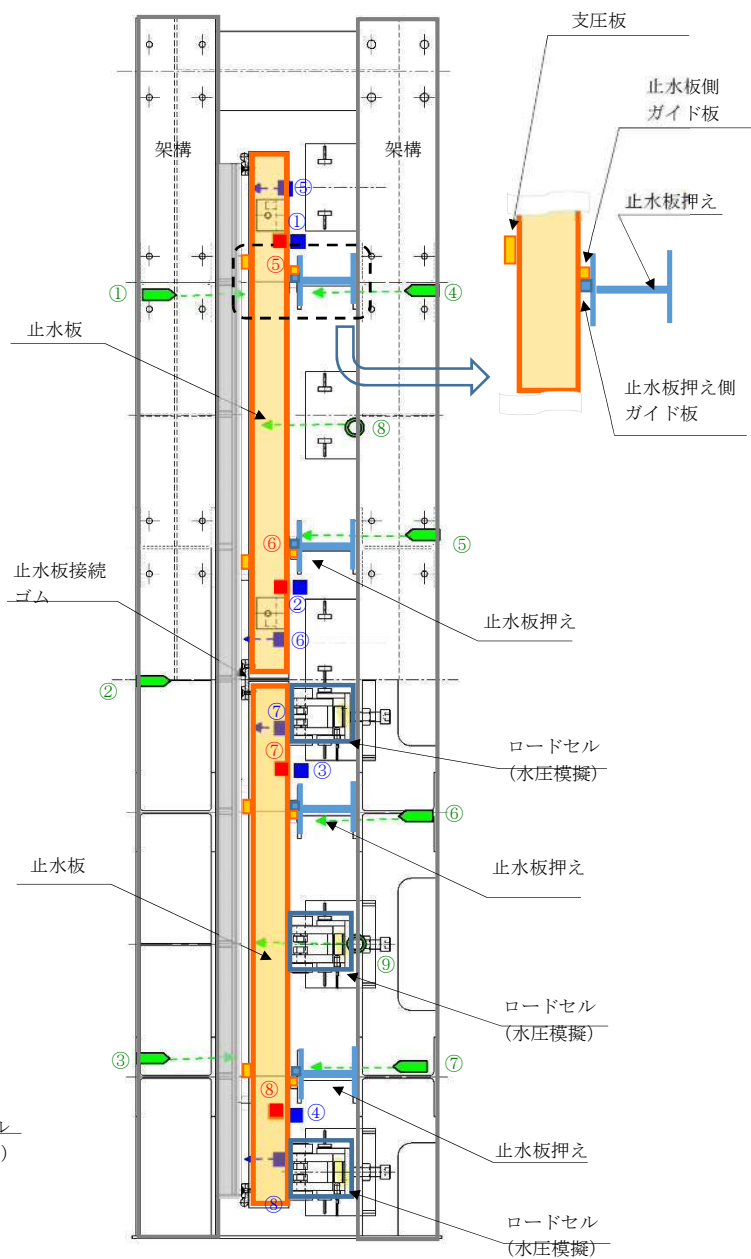
実証試験における計測項目（表6）計測箇所（図9）及び計測器一覧（表7）を示す。

表6 実証試験における計測項目

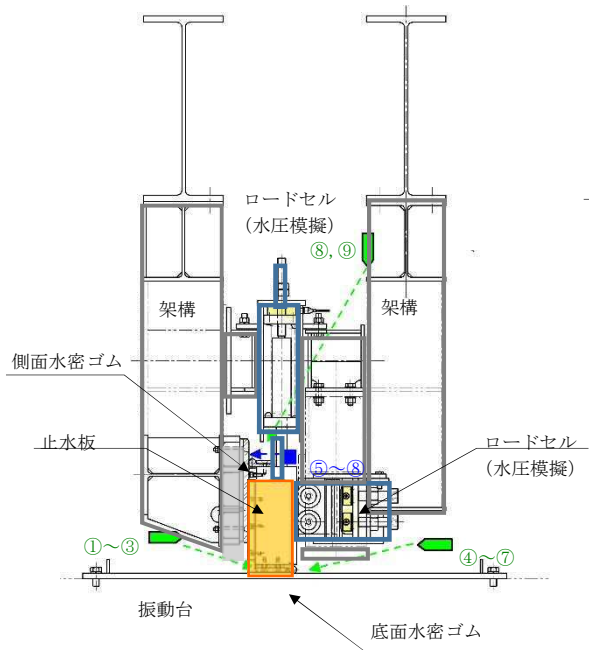
各部位	目的	確認項目	
①止水板押え	止水板の追従性に影響を与える部材の健全性を確認する。	挙動確認	◆止水板押えの加速度計測（⑬～⑰）
		健全性確認	◆寸法計測 ・止水板押えと止水板の隙間計測 ・止水板押え側ガイド板の平面度測定 ・止水板押え側ガイド板と止水板側ガイドとの寸法測定 ◆外観目視検査 ・変形，摩耗等の確認
④止水板 （底面止水板コマ部含む）	止水板の追従性及び健全性を確認する。	挙動確認	◆止水板と底面，側面戸当りの変位計測（①～⑧） （レーザー変位計による止水板の挙動確認） ◆止水板の加速度計測（⑤～⑧） ◆ビデオ撮影（①～⑨）
		健全性確認	◆寸法計測 ・止水板，支圧板の寸法測定 ・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, レーザー変位計)



平面図



断面図 (ロードセル (水圧模擬))

<凡例>

- : 加速度計
- : レーザー変位計
- ➡ : 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
CCD 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

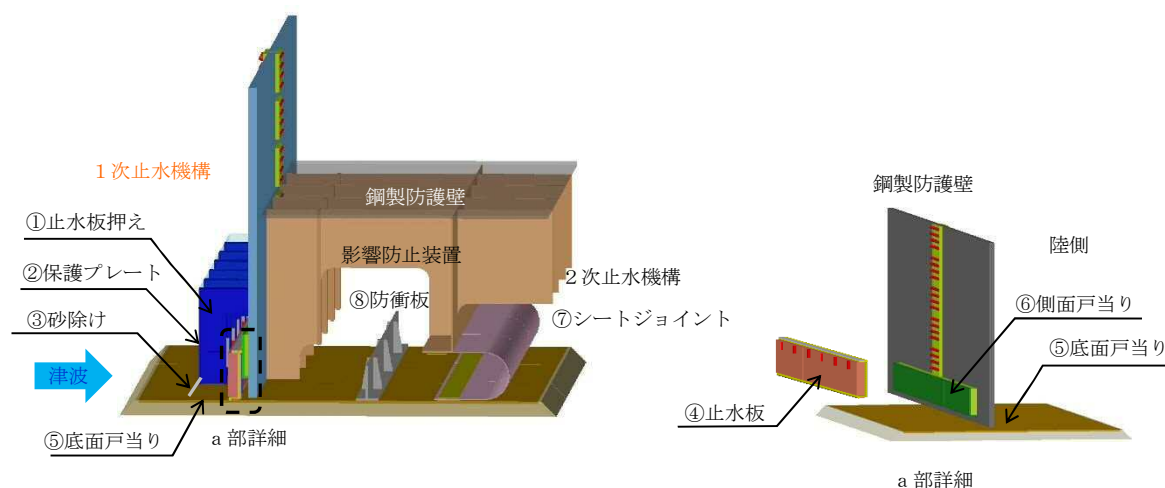
(8) 実証試験の計測項目と判定基準

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	<ul style="list-style-type: none"> ◆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 	<ul style="list-style-type: none"> ◆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	<ul style="list-style-type: none"> ◆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 	<ul style="list-style-type: none"> ◆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	<ul style="list-style-type: none"> ◆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 	<ul style="list-style-type: none"> ◆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 (XYZ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。

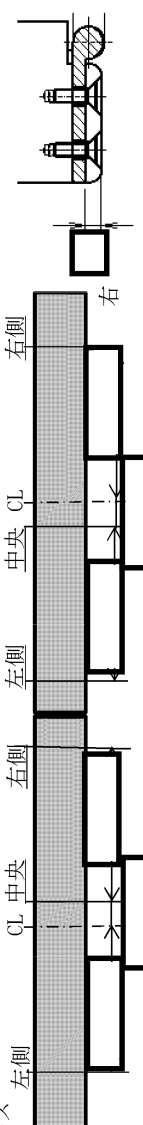
発注者	日本原子力発電株式会社 殿											
業務名	東海第二発電所											
実験名	一次止水機構 振動試験											
実施日												
受注者												
再委託先												
実施場所												
試験 NO.	UPE 有無	計測場所		底面止水板		試験 NO.	UPE 有無	計測場所		底面止水板		備考
		止水板	位置	加振前	加振後			止水板	位置	加振前	加振後	
1		右	右側			3	有り	右	右側			
			中央						中央			
			左側						左側			
		左	右側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

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									
発注者			受注者			再委託先		担当	
発注者			受注者			承認		審査	
止水板の軸直角方向隙間 (mm) C = B - A									
備考									
止水板厚さ									
位置		設計値 (mm)		計測値 (mm)		位置		ガイド間隔	
右側		[]		[]		1		上	
左側		[]		[]		2		下	
右側		[]		[]		3		上	
左側		[]		[]		4		下	
止水板の軸直角方向隙間 (mm) C = B - A									
備考									
平面配置									
止水板厚さ: A									
止水板押え及び側面戸当り									
ガイド間隔: B									
備考									

図 10 品質記録の例 (2/3) (止水板押えと側面戸当りの寸法計測の例)

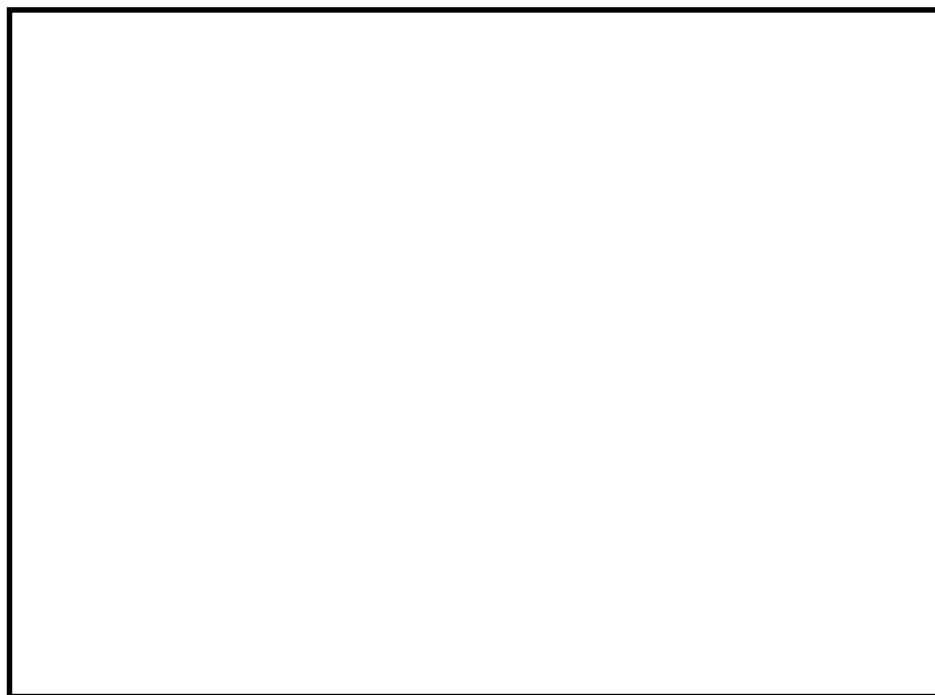
発注者	日本原子力発電株式会社 殿										
業務名	東海第二発電所										
実験名	一次止水機構 振動試験										
実施日											
受注者											
再委託先											
実施場所											
止水板ガイド板間隔	設計値(mm)	計測値(mm) : D	止水板押えガイド板間隔						設計値(mm)	計測値(mm) : E	備考
			位置	ガイド板軸方向隙間(mm)							
右	上		右	上							
	下			下							
中央	上		中央	上							
	下			下							
左	上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

平面配置

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)

実証試験装置の概要について参考図 1～参考図 4 の写真にて示す。



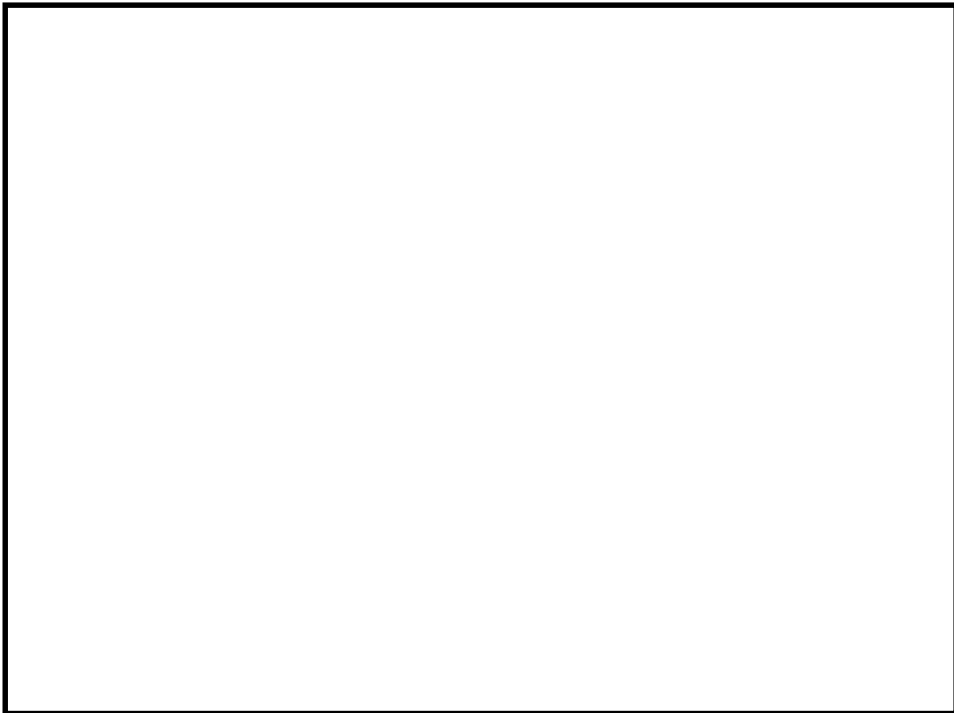
参考図 1 止水機構 実証試験全景



参考図 2 止水機構 実証試験全景（真上）



参考図 3 止水機構 実証試験全景（真横）



参考図 4 止水機構 実証試験全景（陸側より）

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。
- ・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））
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，止水板ガイド，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（止水板浮き上がり），水圧模擬，摩擦係数しきい値確認

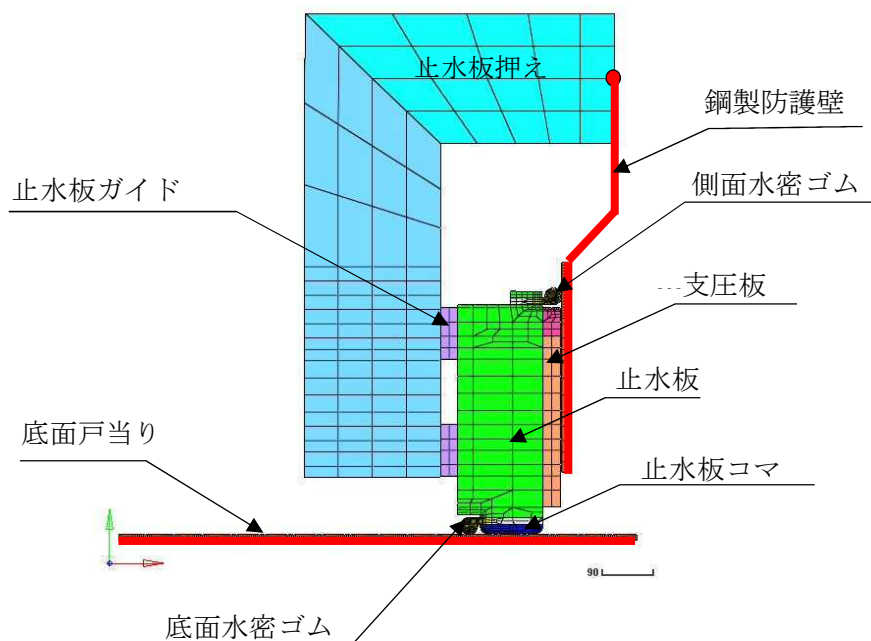


図1 二次元動的解析モデル

(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））
- ・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，止水板ガイド，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，浮き上がり），水压模擬

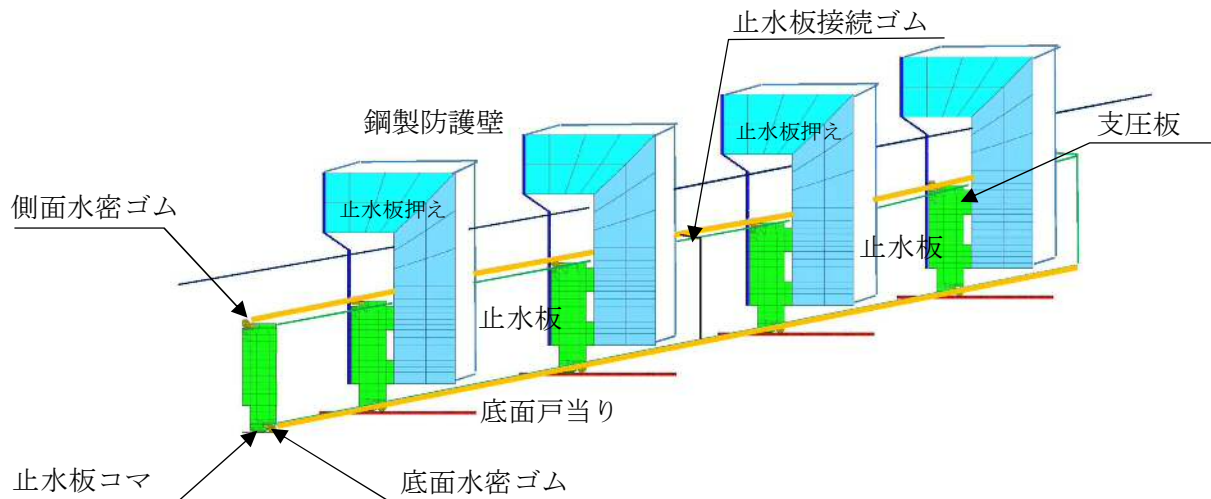


図2 三次元的解析モデル

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及び摩擦係数

各部の物性値と摩擦係数は表 1 に示すとおり。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 物性値及び摩擦係数

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

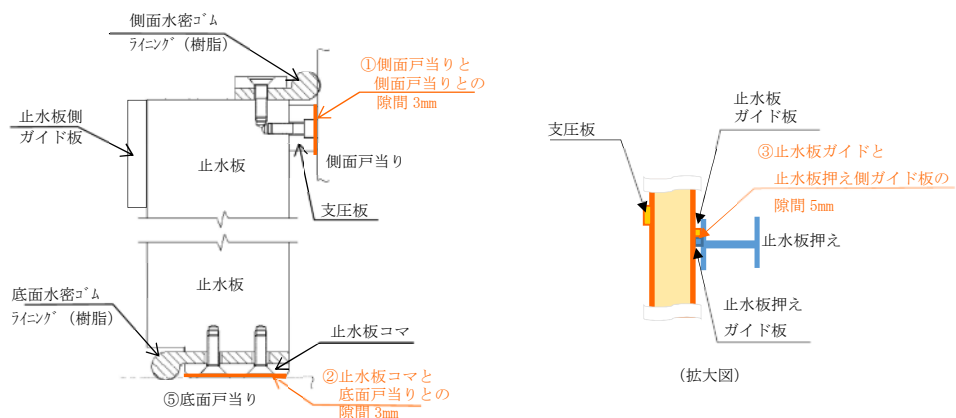


図 3 解析モデル上の隙間

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。

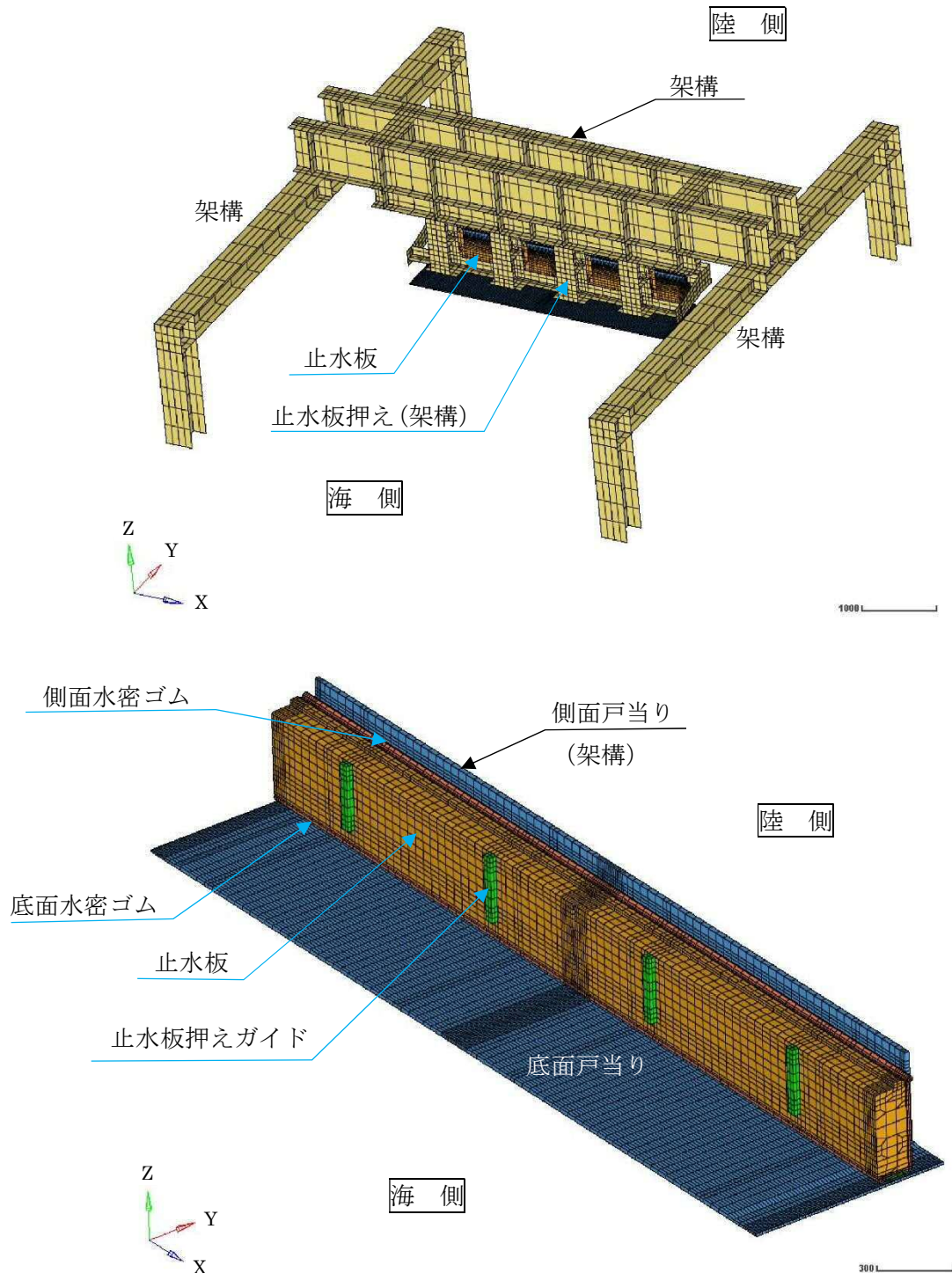


図4 三次元解析モデル（実証試験用）（1/2）

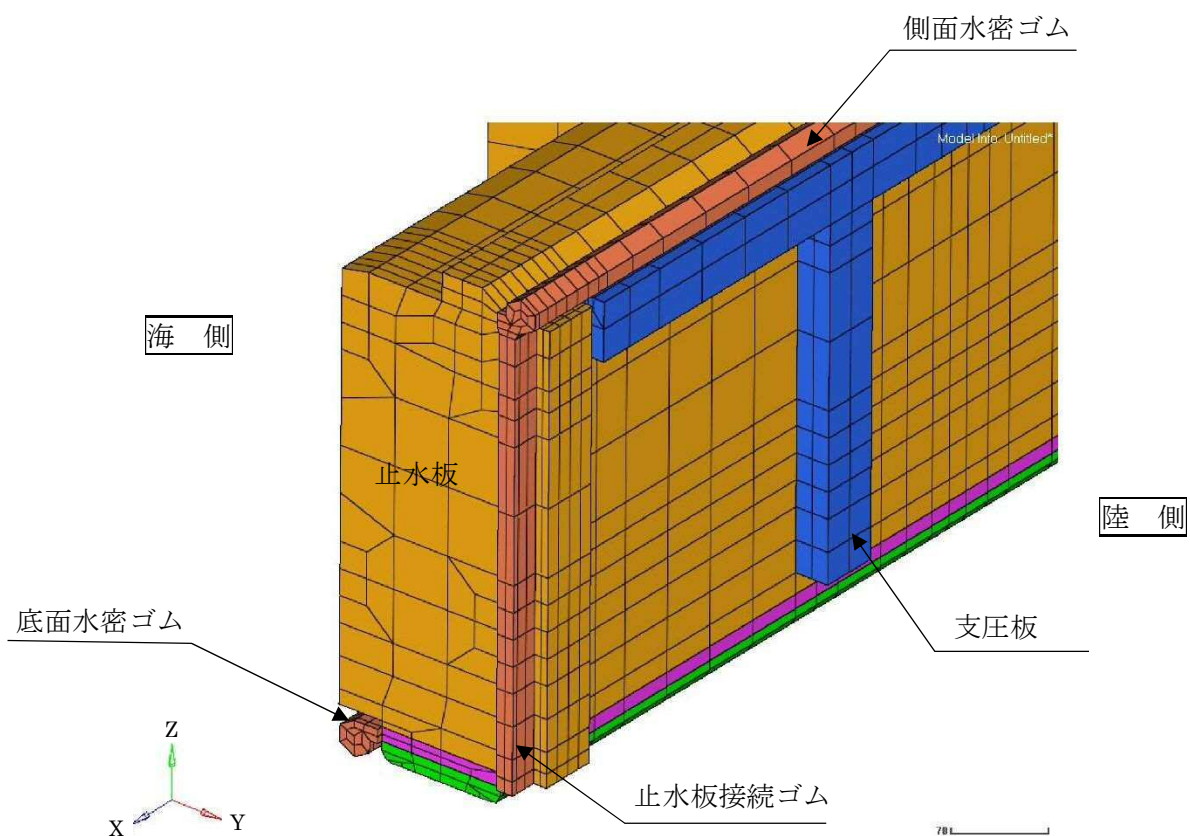
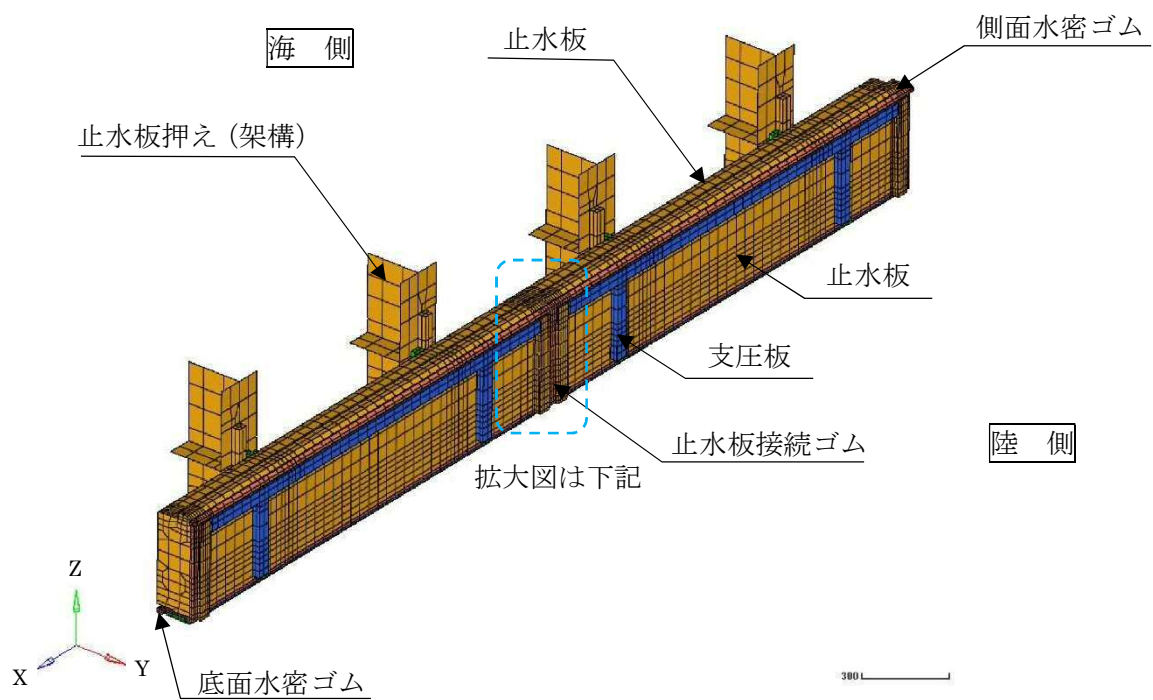


図4 三次元解析モデル(実証試験用)(2/2)

(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及び摩擦係数
各部の物性値と摩擦係数は表 1 に示すとおり。

表1 物性値及び摩擦係数

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

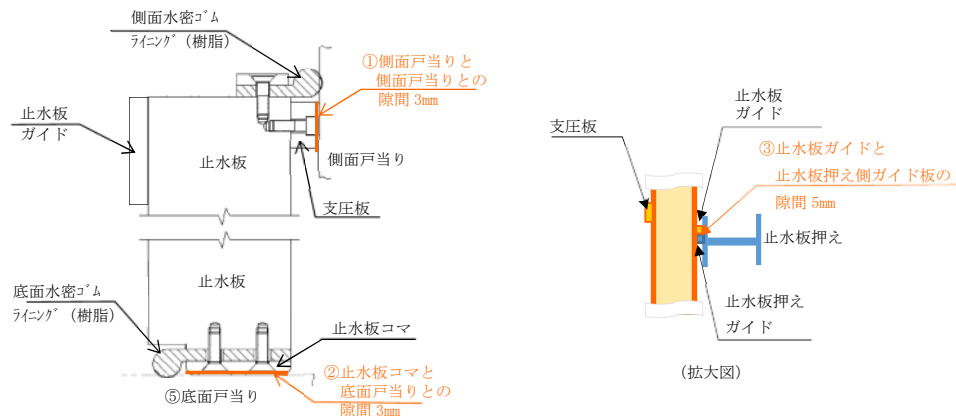


図 5 解析モデル上の隙間

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。

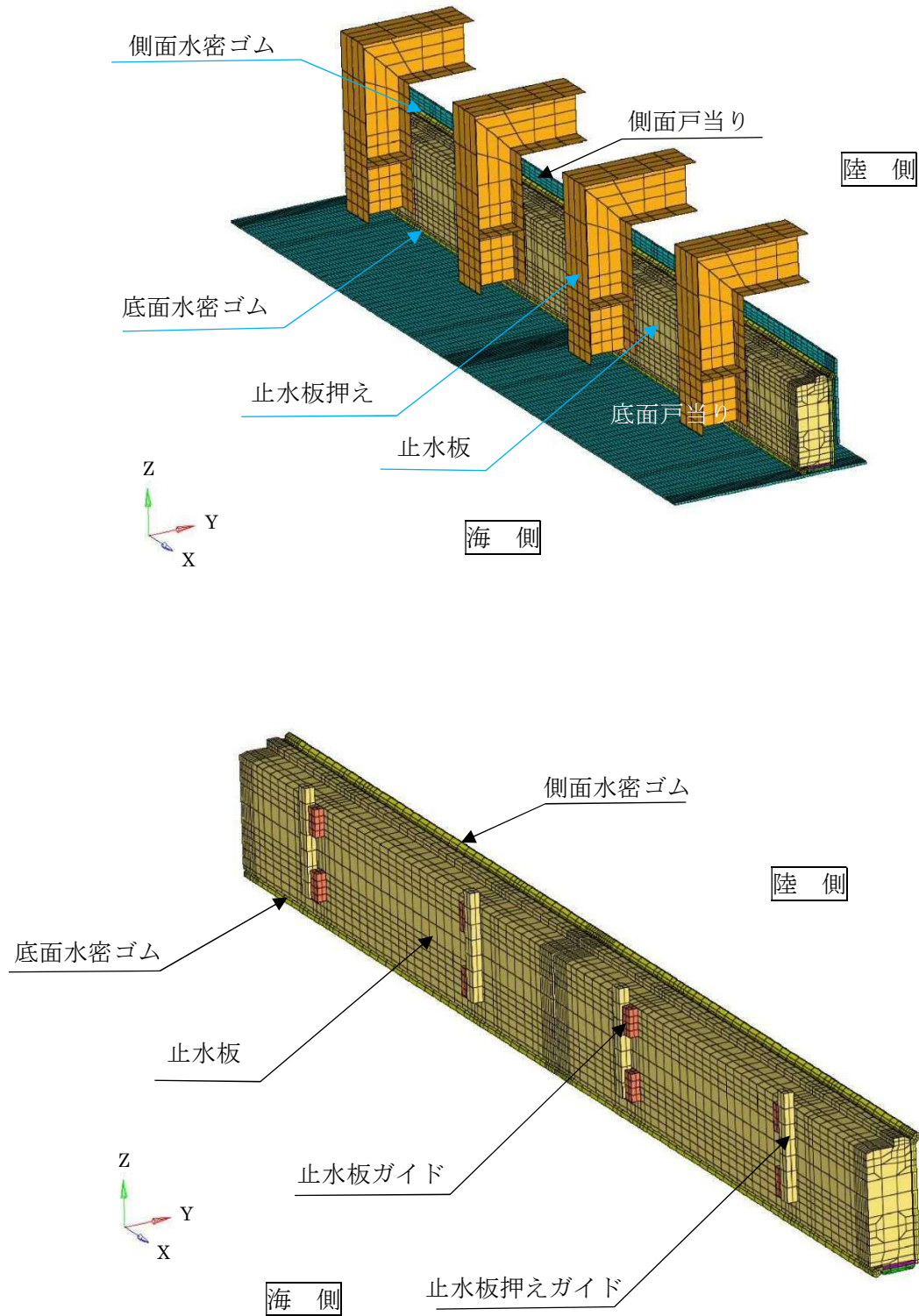


図6 三次元解析モデル（実機用）（1/2）

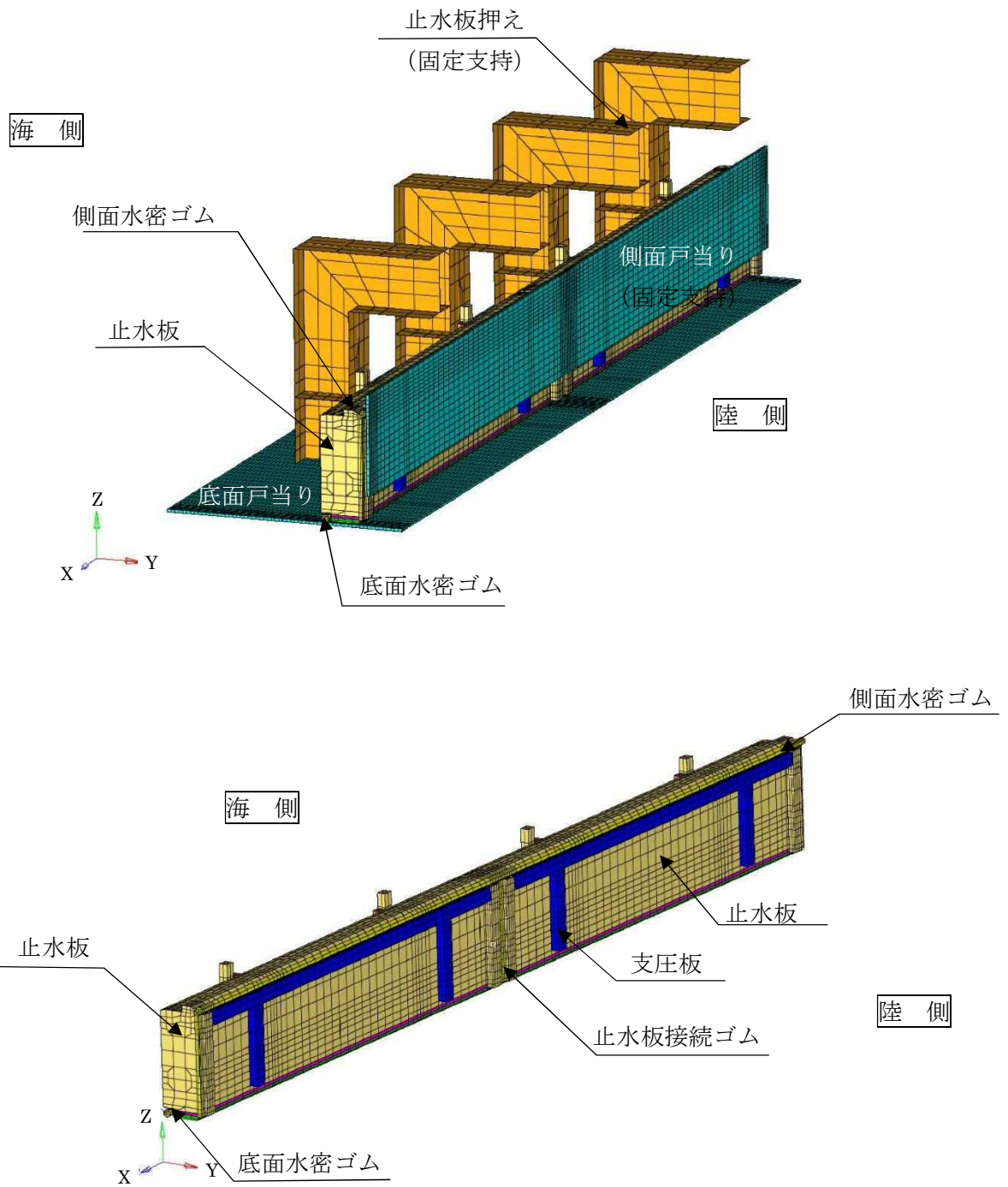


図6 三次元解析モデル (実機用) (2/2)

(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とも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とも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

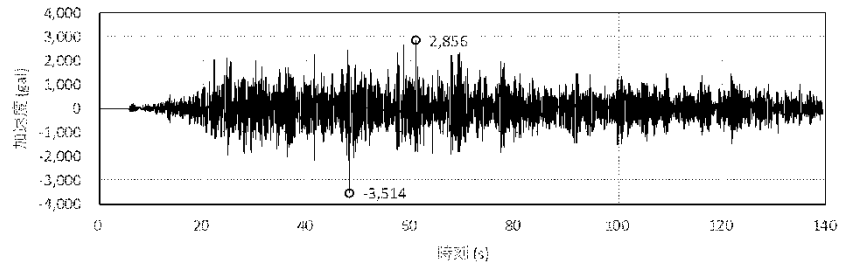
○: 解析実施ケース

【本震時】

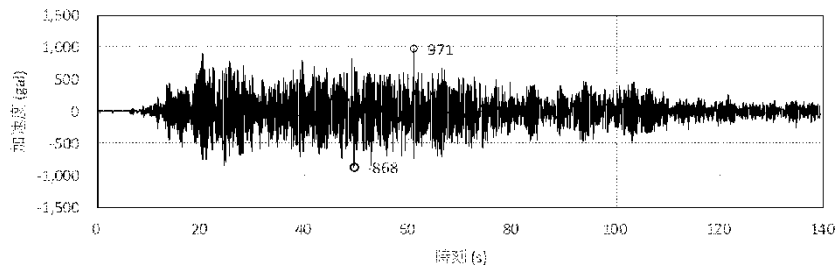
①3 方向（X 方向（堤軸）包絡波）の解析結果

(a) 加速度時刻歴

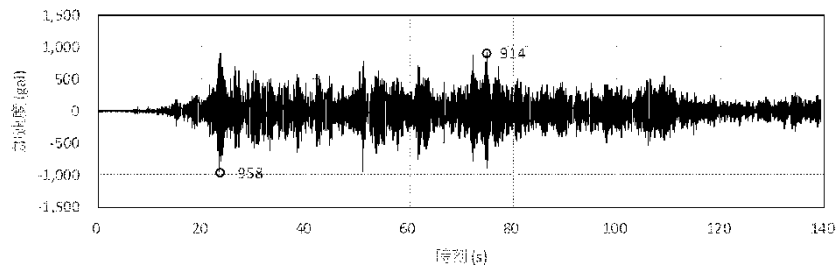
3 軸方向（X, Y, Z）の加速度時刻歴を図 7 に示す。



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。

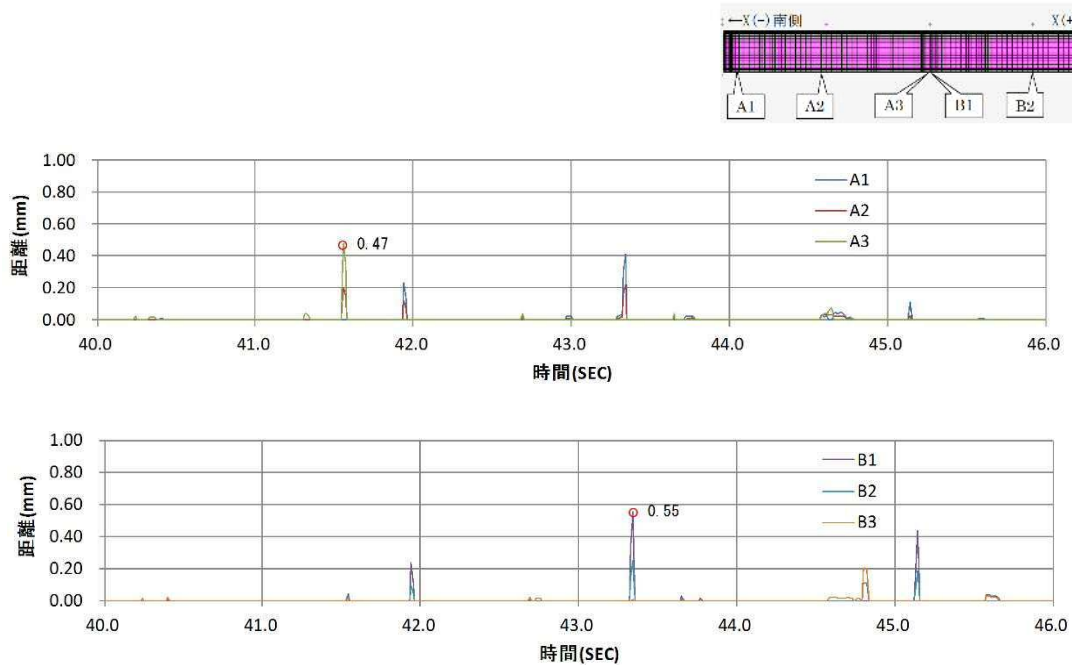


図8-1 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮き上がり量)

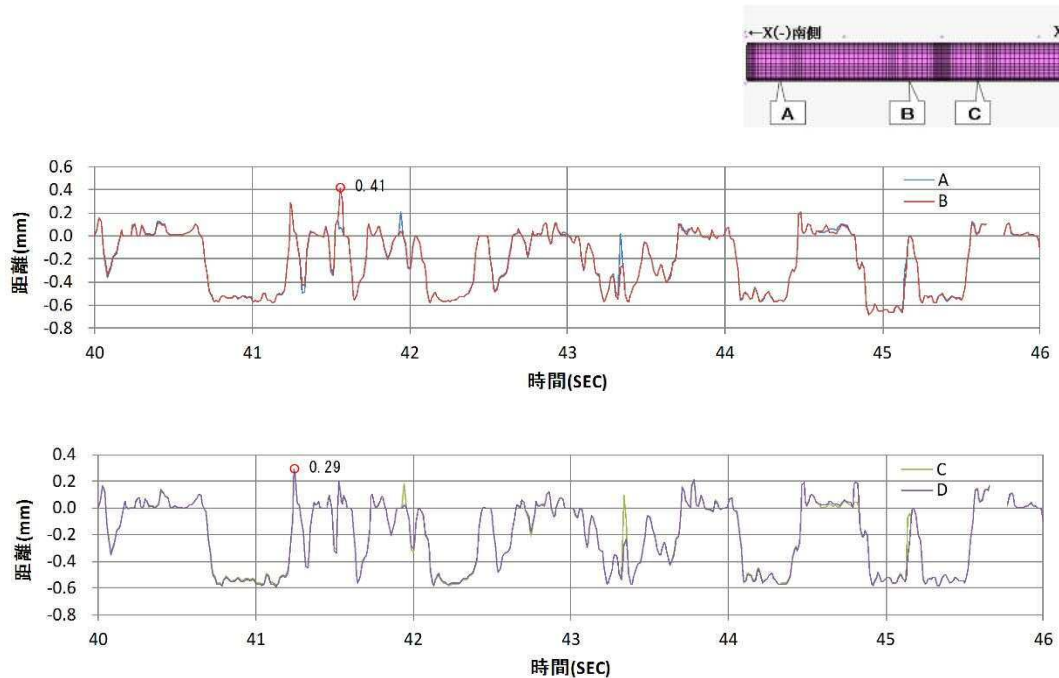


図8-2 止水板と底面戸当りとの距離 (浮き上がり量) 実証試験計測位置

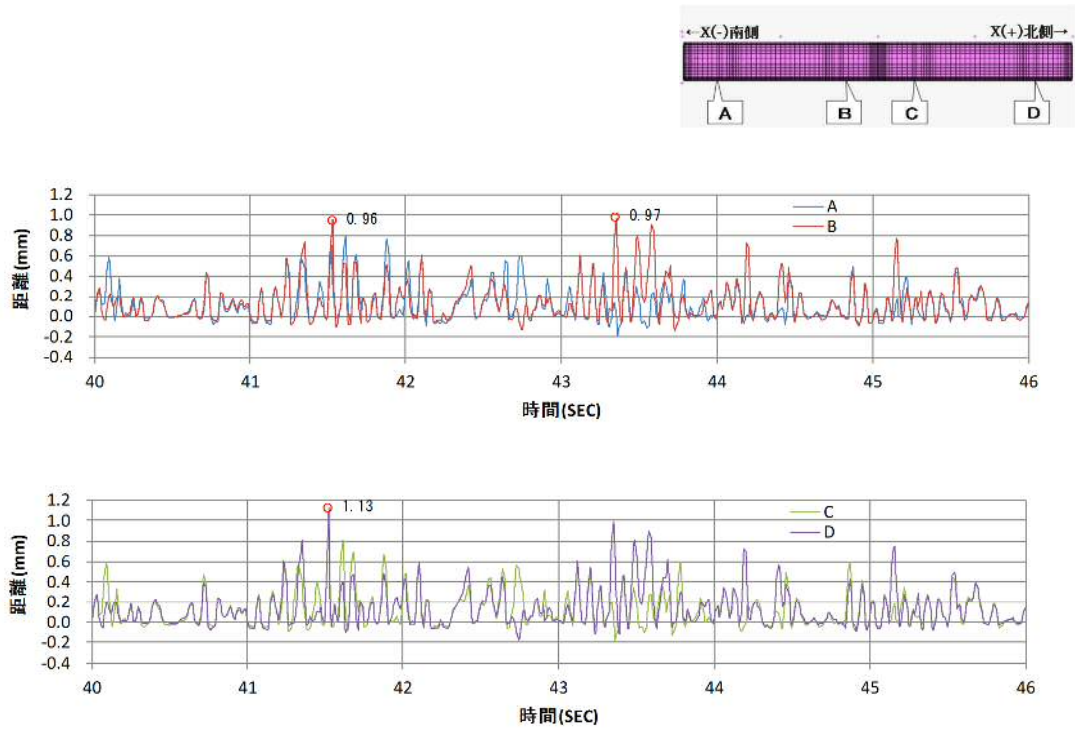


図 8-3 止水板と側面戸当りとの距離

図 8 (1/2) 3 方向 (X 方向 (堤軸) 包絡波) の解析結果

(c) 実機モデルの解析

実機モデルの解析結果を図 8 に示す。

浮き上がり量は最大で 0.65mm(図 8-4)であることを確認した。

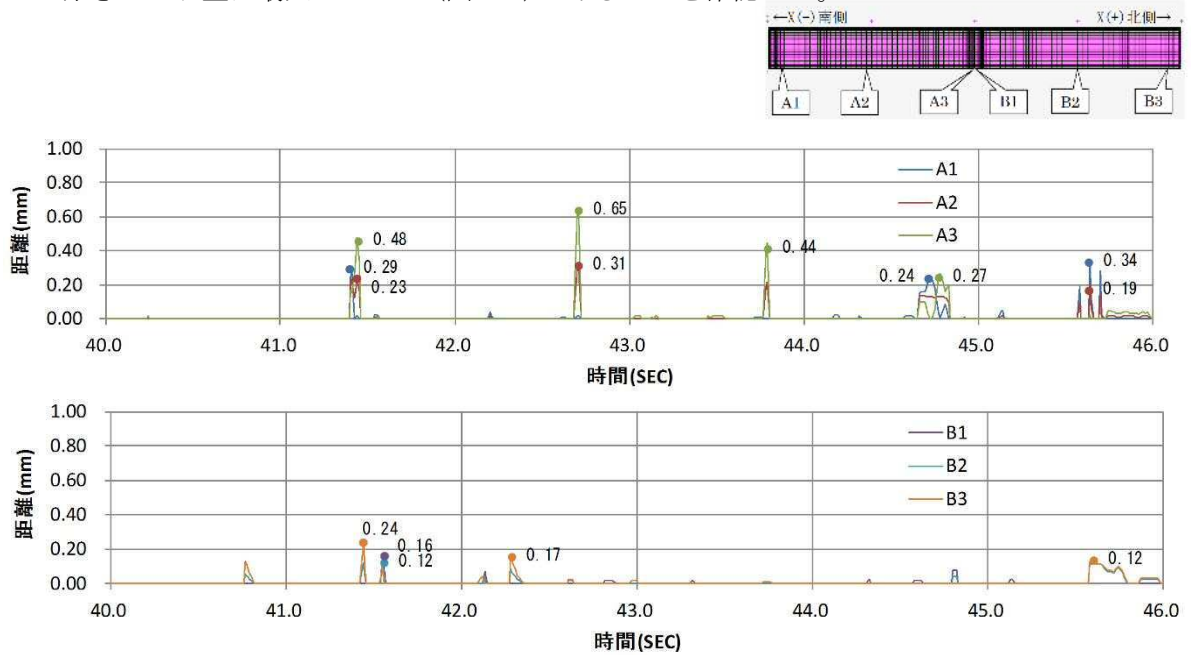


図 8-4 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮き上がり量)

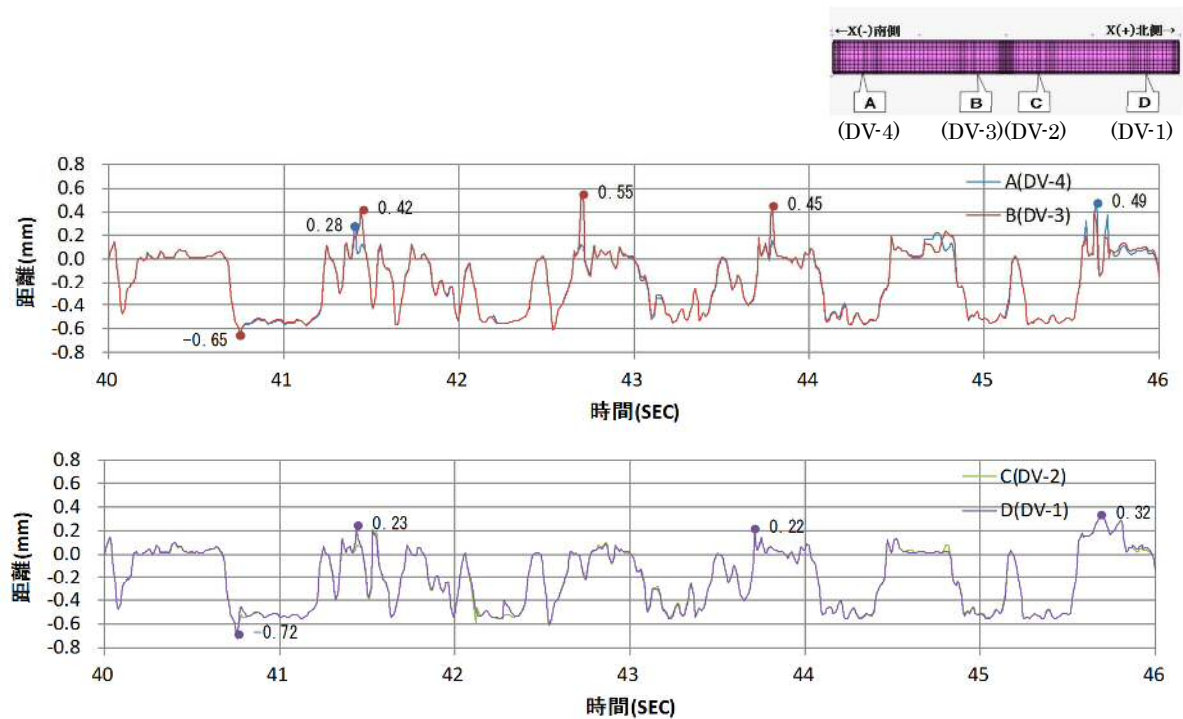


図 8-5 止水板と底面戸当りとの距離 (浮き上がり量) 実証試験計測位置

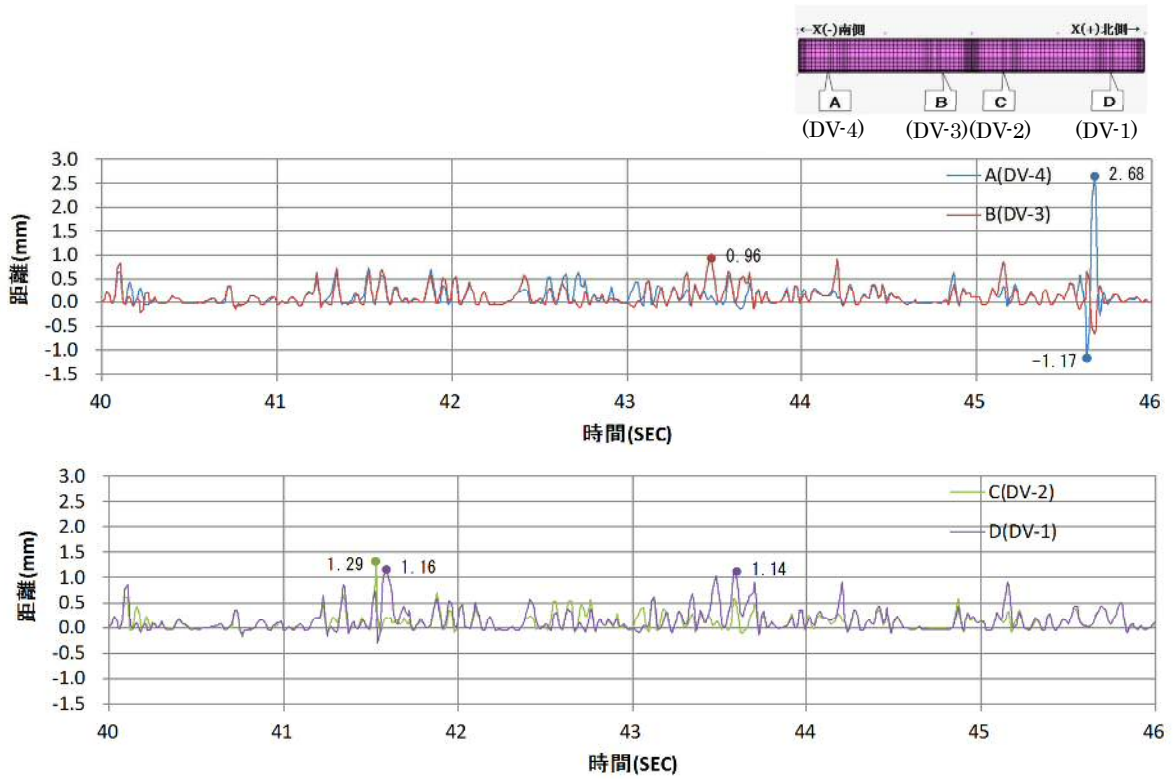


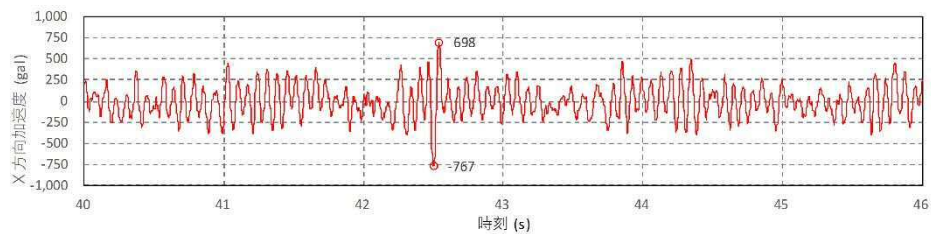
図 8-6 止水板と側面戸当りとの距離（浮き上がり量）実証試験計測位置

図 8 (2/2) 3 方向 (X 方向 (堤軸) 包絡波) の解析結果

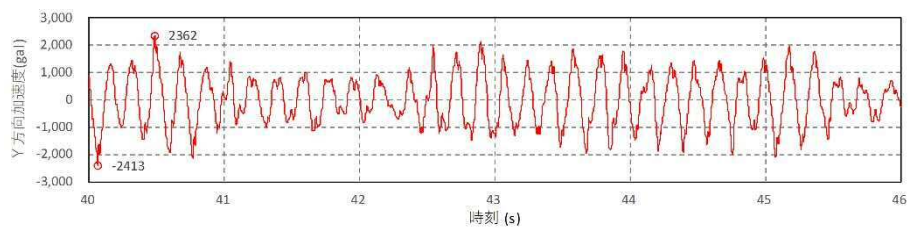
②3 方向（Y 方向（堤軸直角）包絡波）の解析結果

(a) 加速度時刻歴

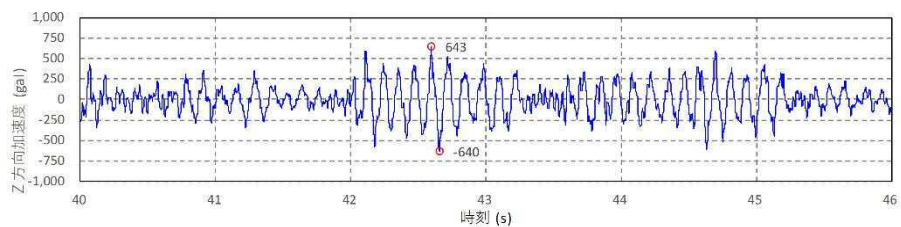
3 軸方向（X， Y， Z）の加速度時刻歴を図 9 に示す。



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。

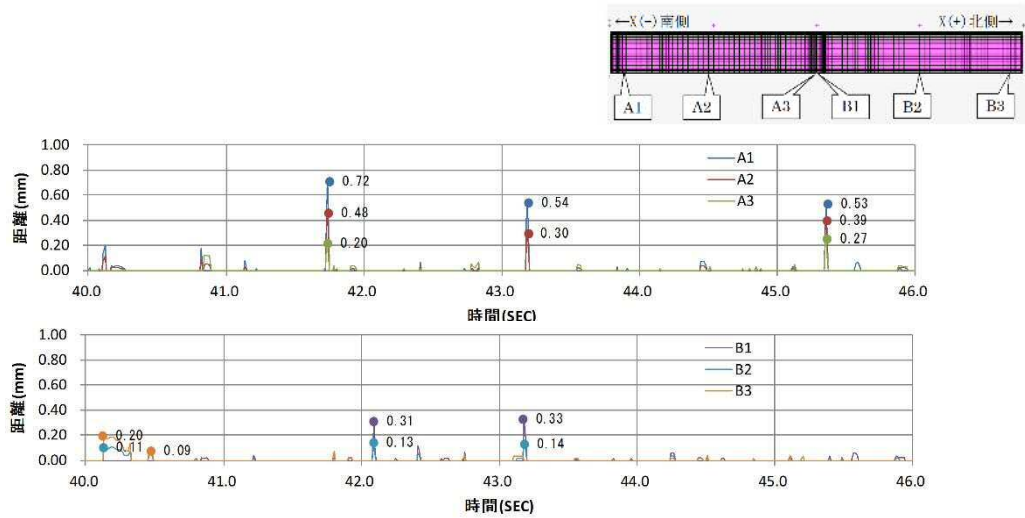


図 10-1 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮き上がり量)

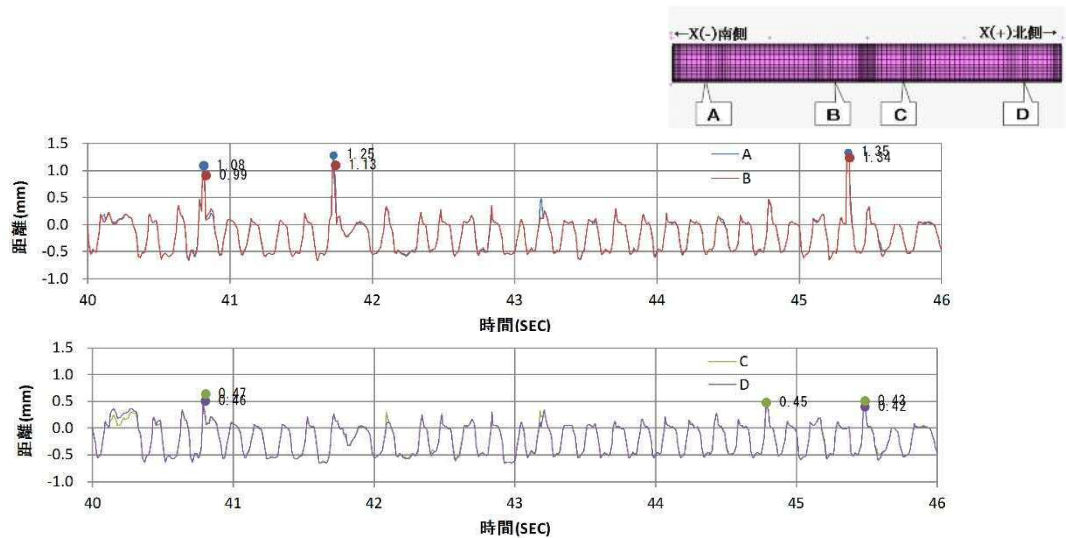


図 10-2 止水板と底面戸当りとの距離 (浮き上がり量) 実証試験計測位

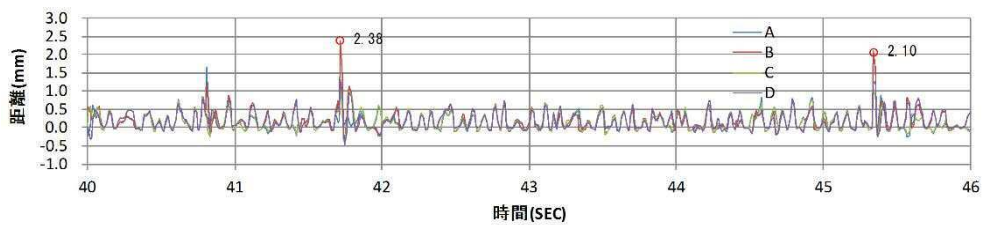


図 10-3 止水板と側面戸当りとの距離

図 10 (1/2) 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】

(c) 実機モデルの解析

実機モデルの解析結果を図 10 に示す。

浮き上がり量は最大で 1.92mm(図 10-4)であることを確認した。

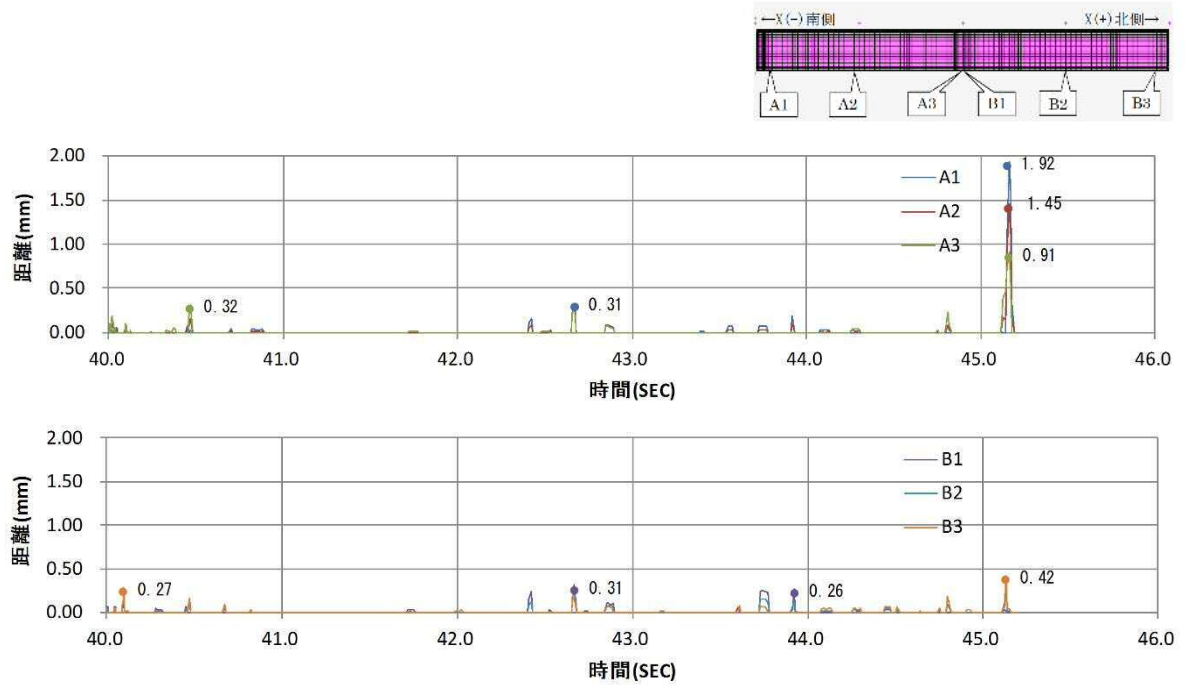


図 10-4 止水板コマと底面戸当りとの距離（浮き上がり量）

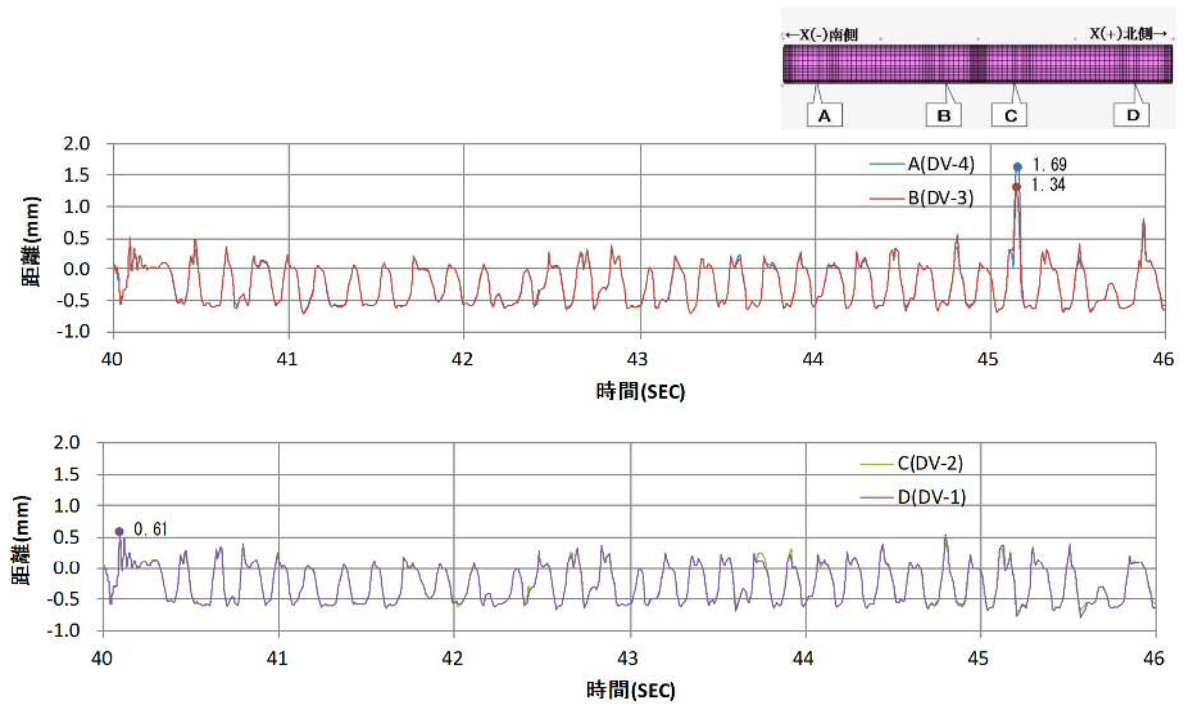


図 10-5 止水板と底面戸当りとの距離（浮き上がり量）実証試験計測位

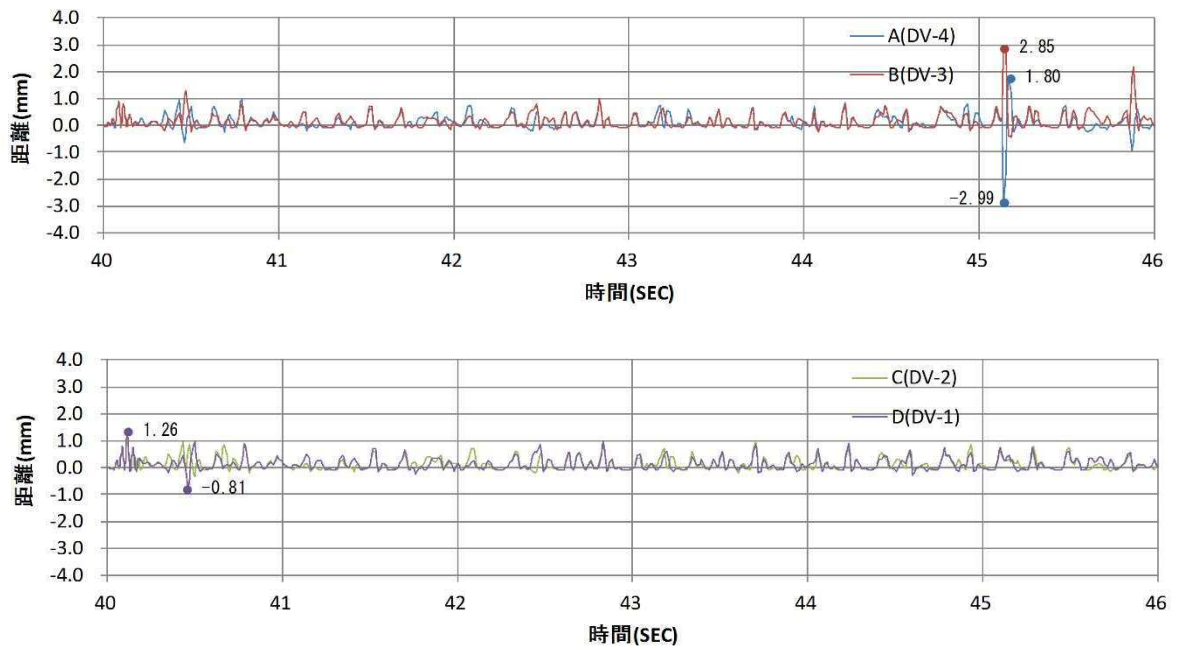


図 10-6 止水板と側面戸当りとの距離（浮き上がり量）実証試験計測位

図 10 (2/2) 3 方向（Y 方向（堤軸直角）包絡波）の解析結果

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。

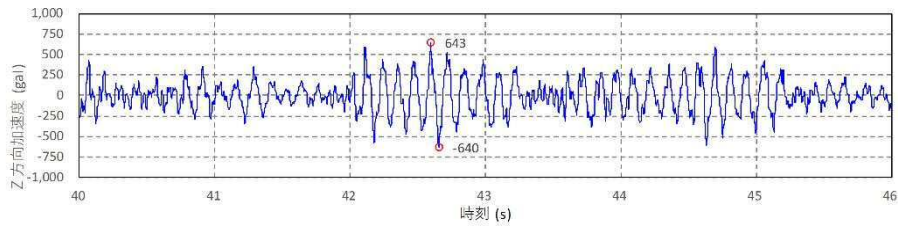


図 11 鉛直（鋼製防護壁包絡波）の加速度時刻歴

(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。

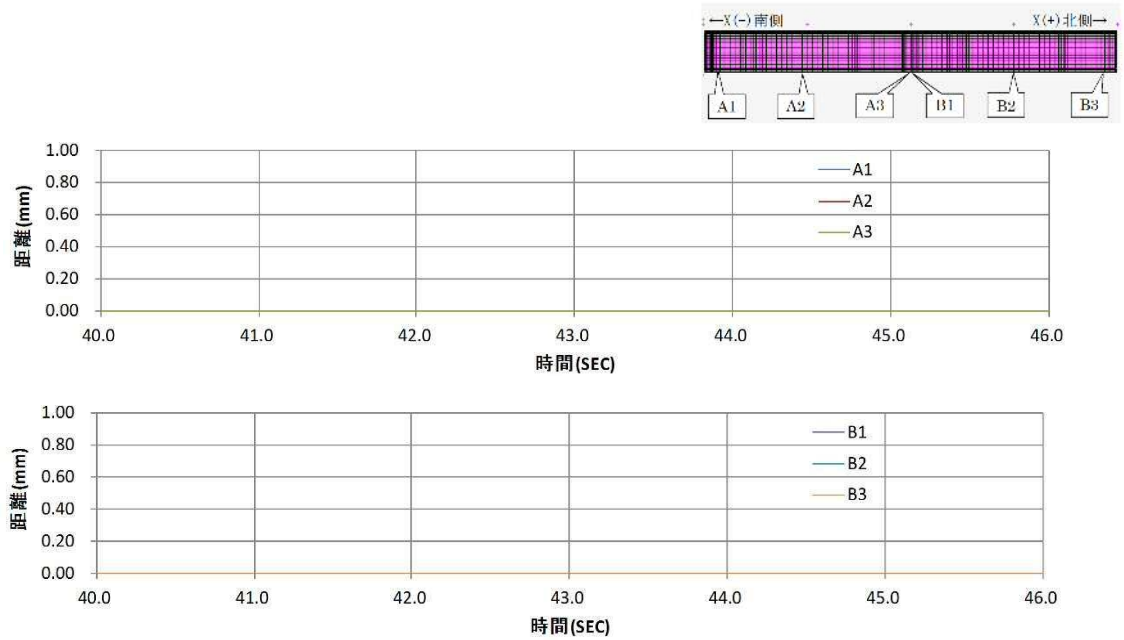


図 12-1 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮き上がり量)

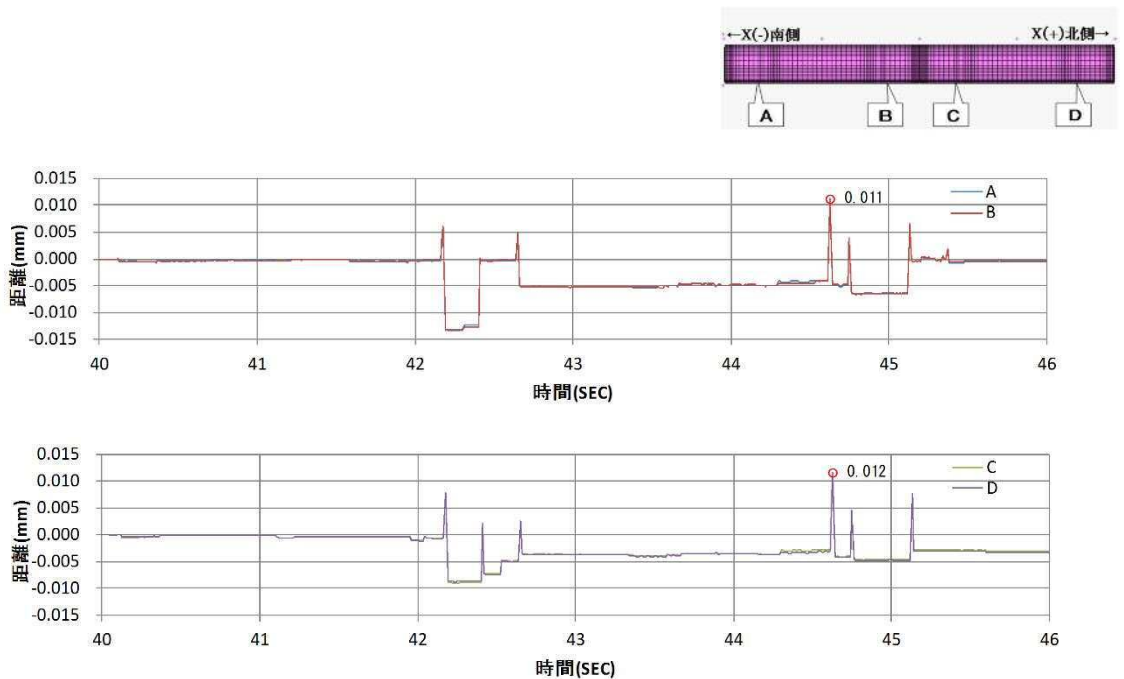


図 12-2 止水板と底面戸当りとの距離 (浮き上がり量) 実証試験計測位置

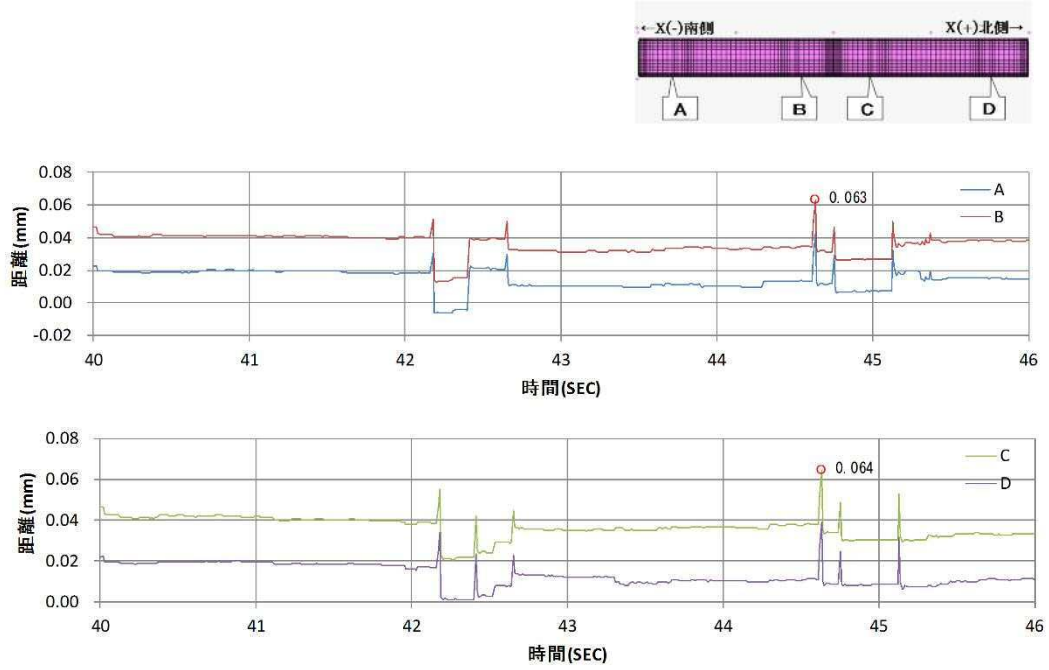


図 12-3 止水板と側面戸当りとの距離

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。

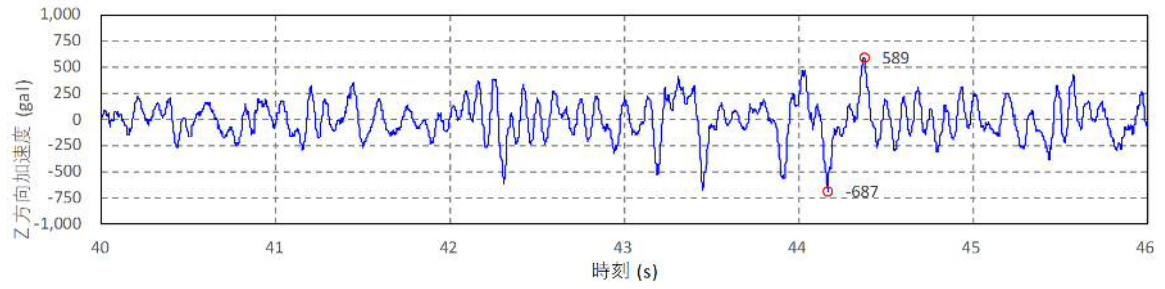


図13 鉛直（取水路波形入力）の加速度時刻歴

(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。

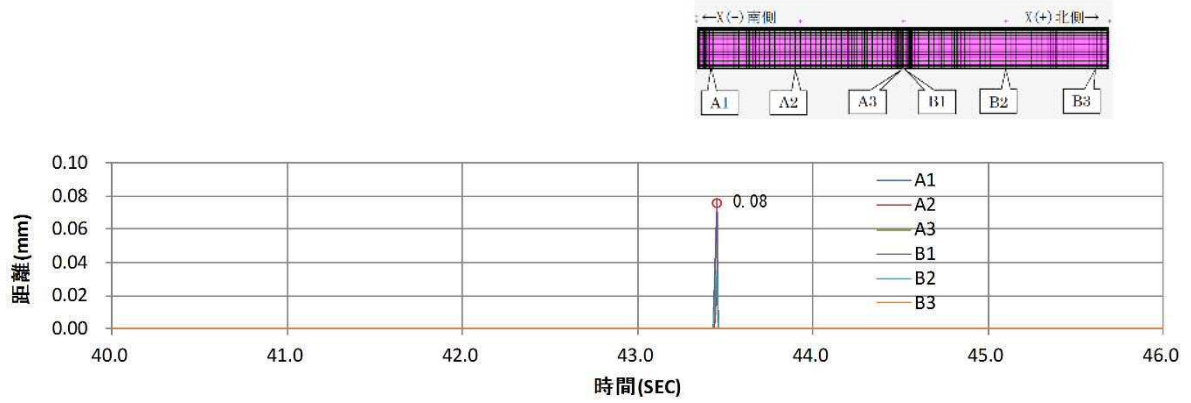


図 14-1 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮き上がり量)

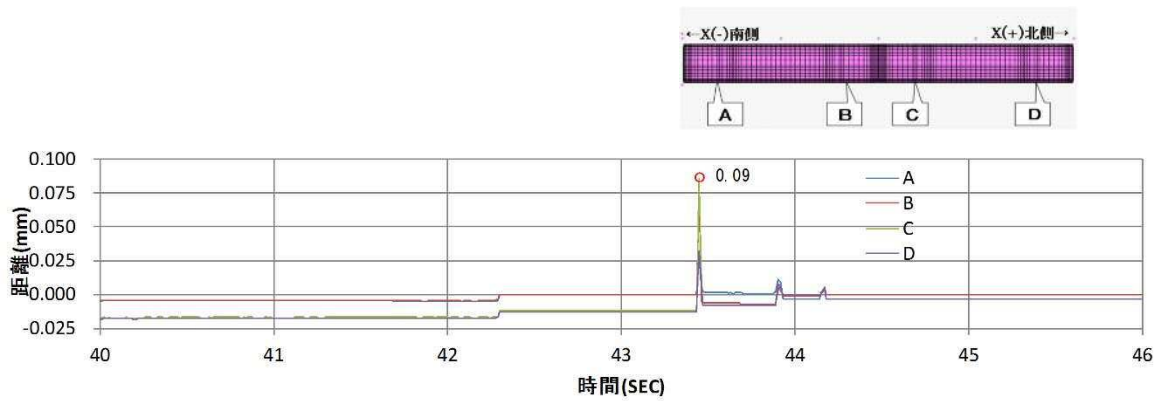


図 14-2 止水板と底面戸当りとの距離 (浮き上がり量) 実証試験計測位置

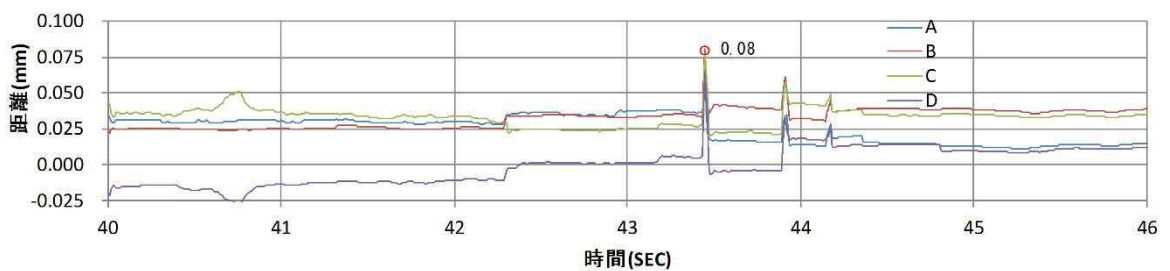


図 14-3 止水板と側面戸当りとの距離

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 14 に示す。

浮き上がり量は最大で 0.05mm (図 14-4) であることを確認した。

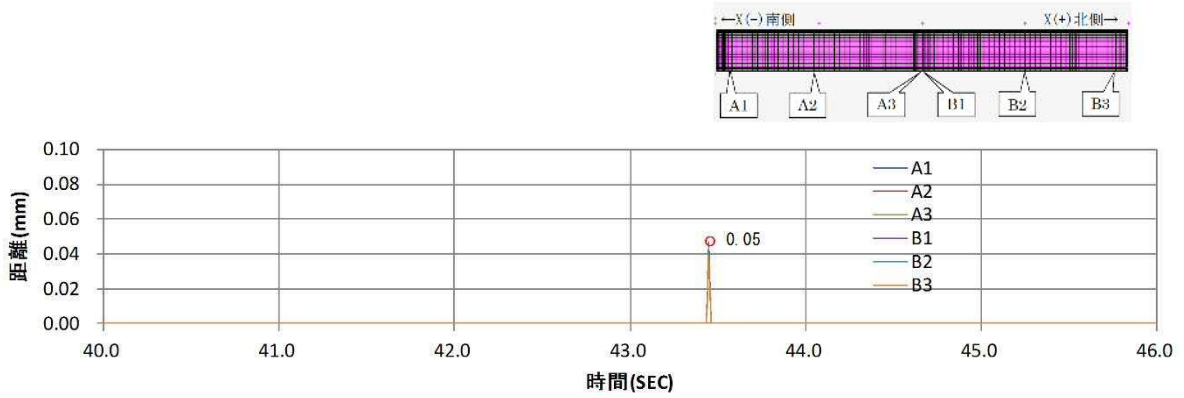


図 14-4 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮き上がり量)

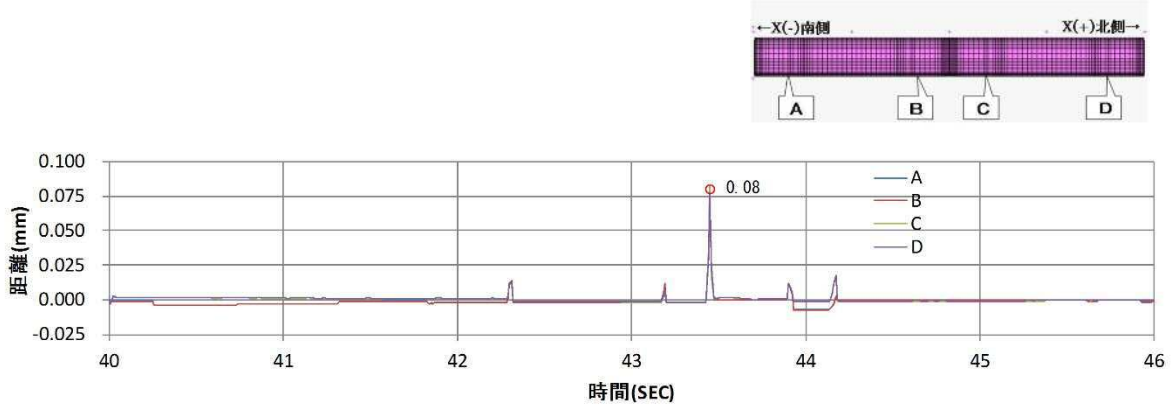


図 14-5 止水板と底面戸当りとの距離 (浮き上がり量) 実証試験計測位置

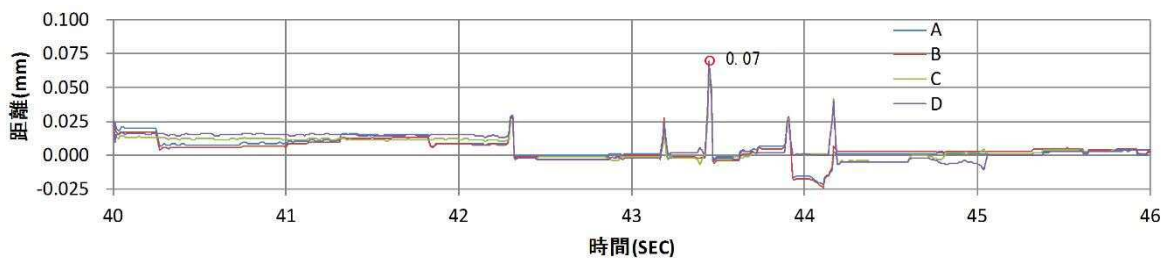


図 14-6 止水板と側面戸当りとの距離

図 14 (2/2) 鉛直 (取水路波形入力) の解析結果

【実機モデル】

⑤基準地震動（ S_s ）（ S_s -D1）の解析結果
 （鋼製防護壁，取水路の同時加振）

(a) 実機モデルでの加振結果

実証試験モデルの解析結果を図15に示す。

浮き上がり量は最大で5.25mmであることを確認した。

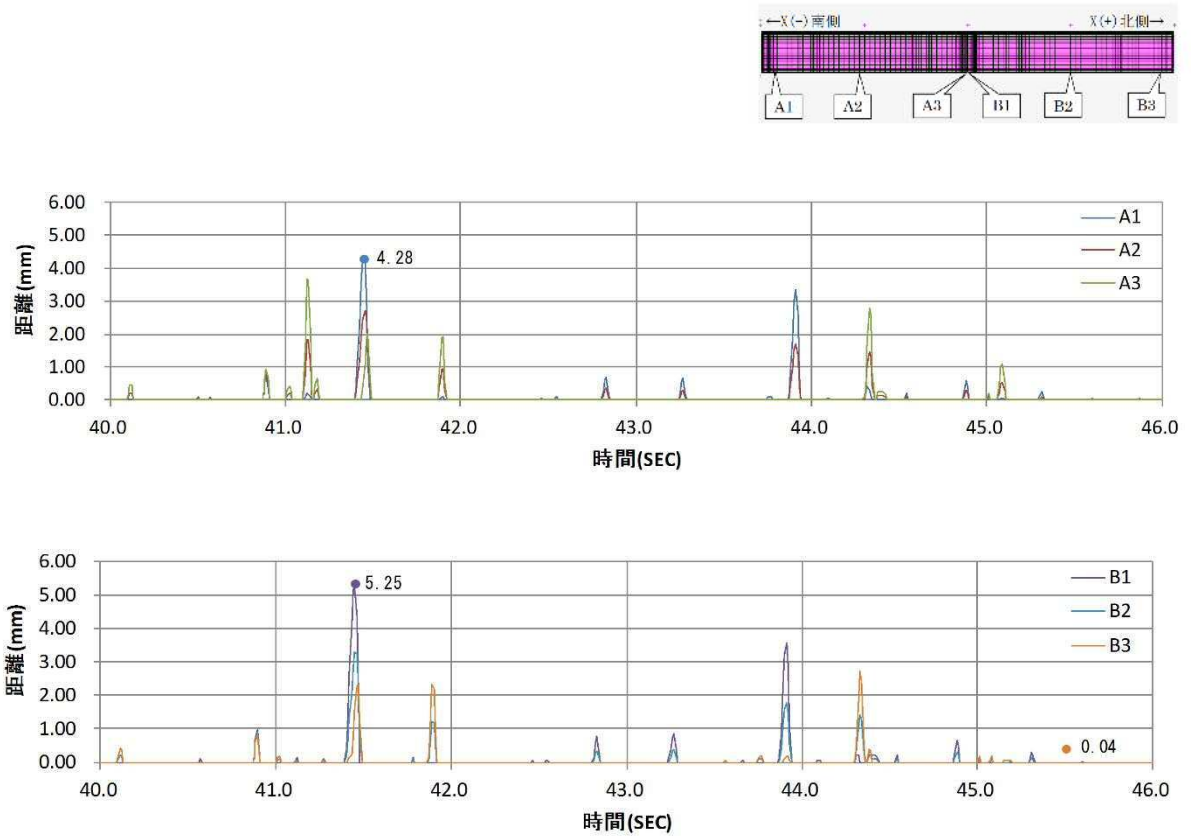


図15 止水板コマと底面戸当りとの距離（浮き上がり量）

⑤基準地震動（ S_s ）（断層波 S_s -22）の解析結果
 （鋼製防護壁，取水路の同時加振）

(a) 実機モデルでの加振結果

実証試験モデルの解析結果を図 16 に示す。

浮き上がり量は最大で 9.36mm であることを確認した。

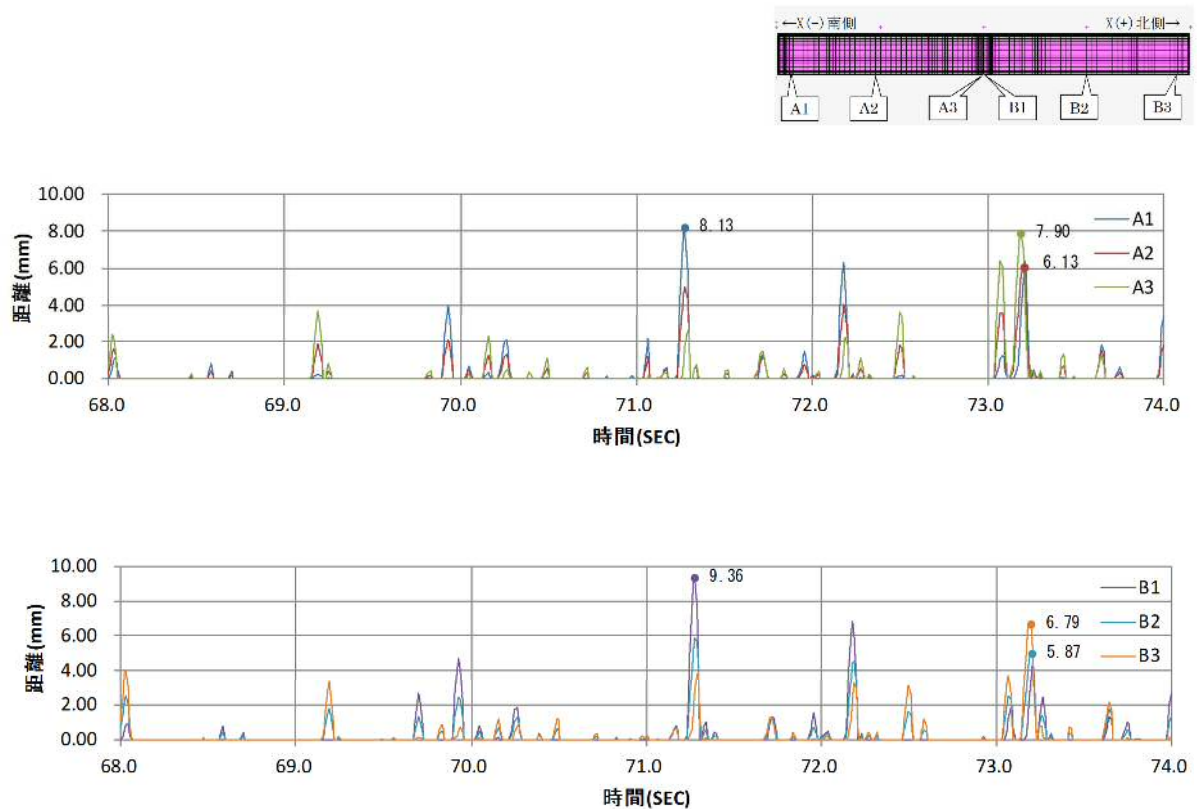


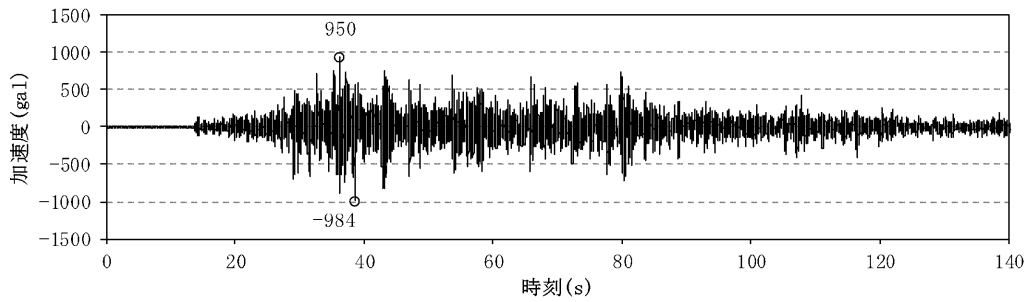
図 16 止水板コマと底面戸当りとの距離（浮き上がり量）

【余震時】

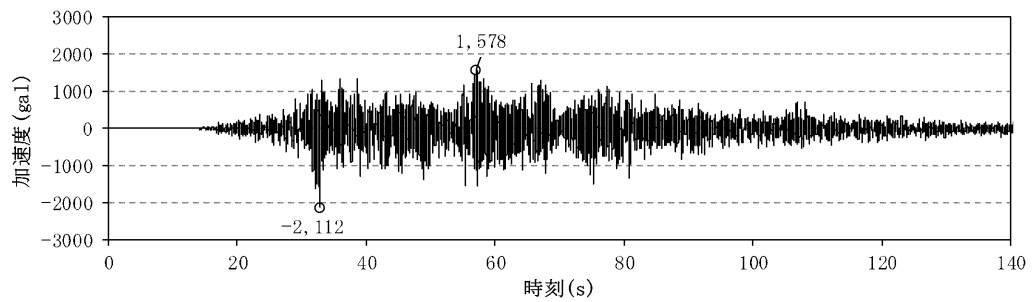
①3 方向同時（Y 方向（堤軸直交）包絡波）の解析結果

(a) 加速度時刻歴

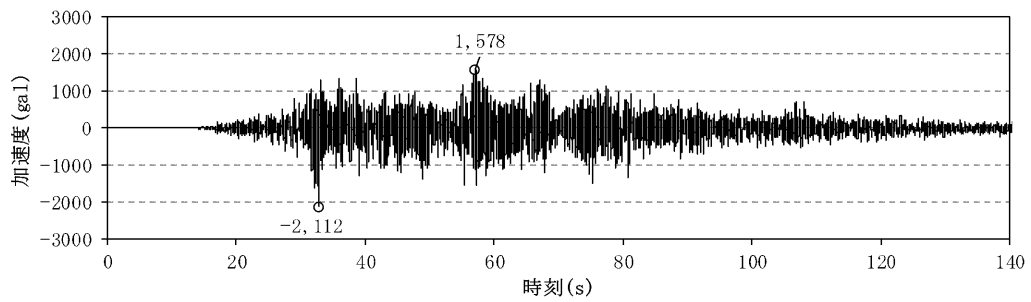
3 軸方向（X, Y, Z）の加速度時刻歴を図 17 に示す。



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 17 3 方向（Y 方向（堤軸直角）包絡波）の加速度時刻歴

(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 18 に示す。

浮き上がり量は最大で 0.23mm (図 18-1) であることを確認した。

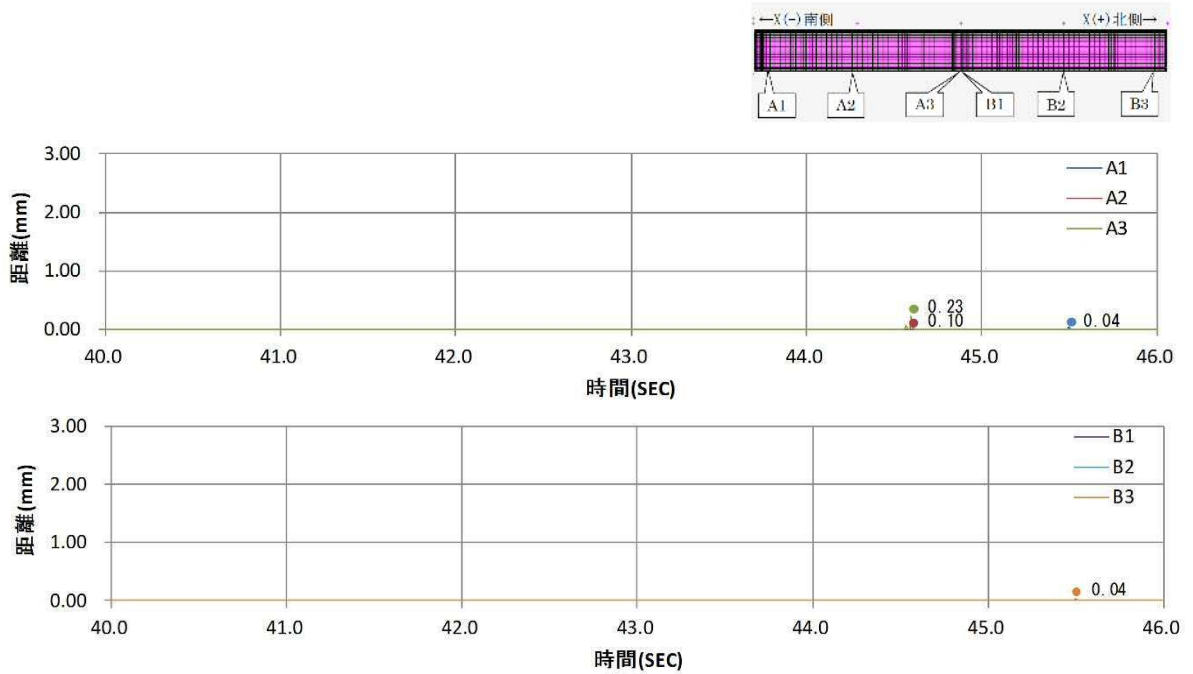


図 18-1 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮き上がり量)

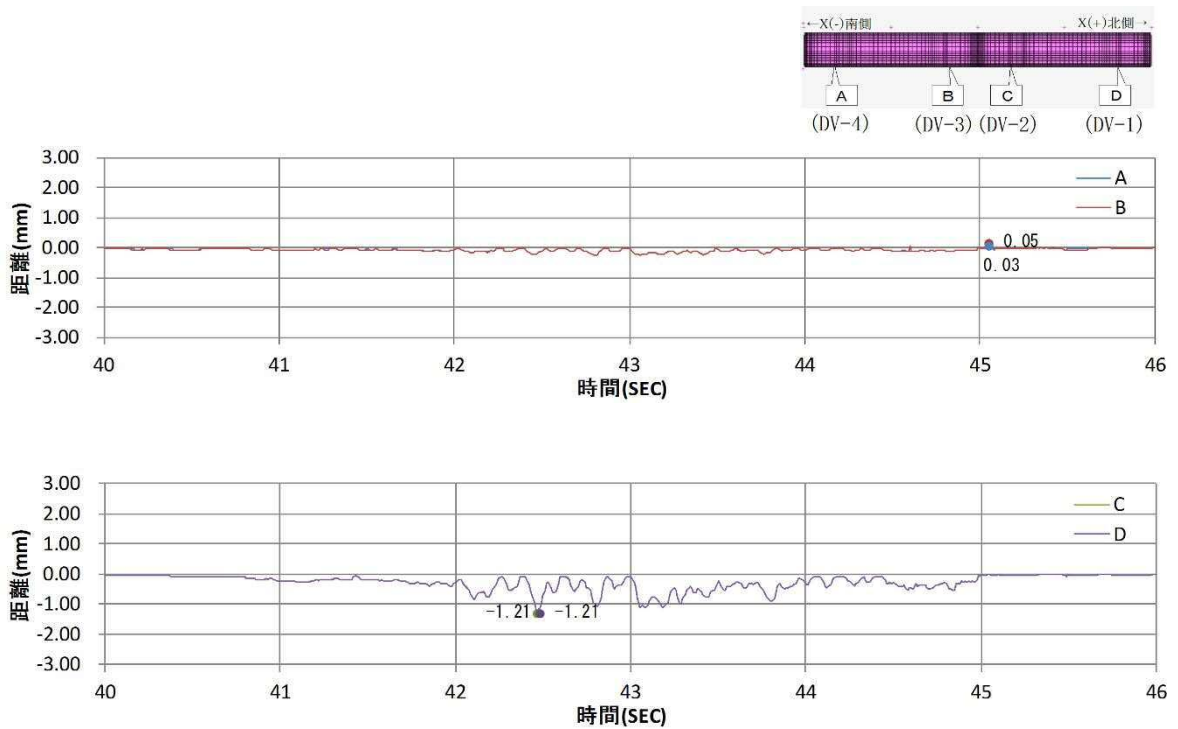


図 18-2 止水板と底面戸当りとの距離 (浮き上がり量) 実証試験計測位置

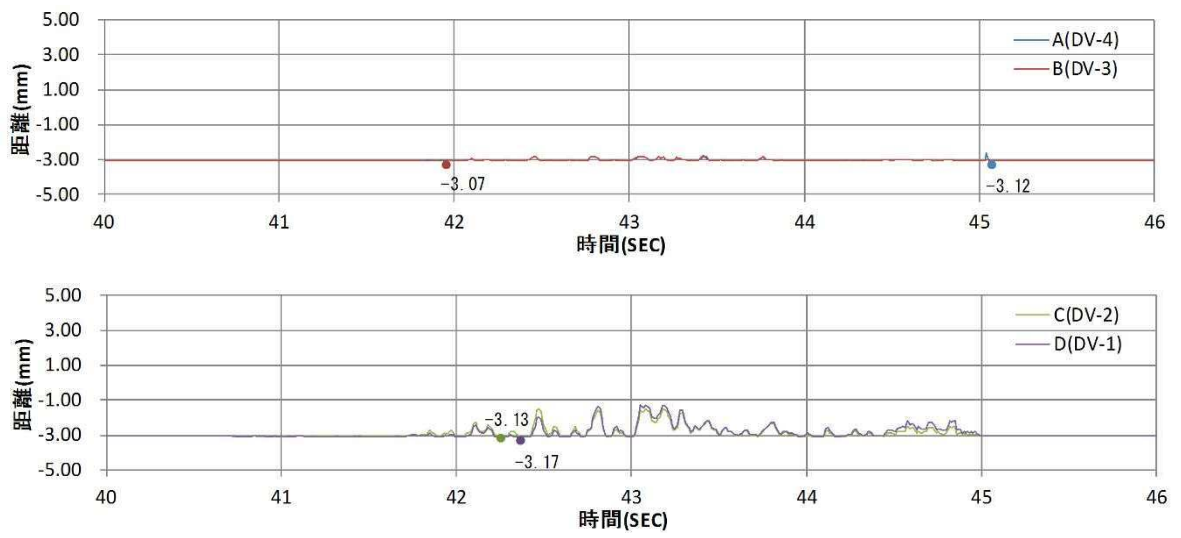


図 18-3 止水板と側面戸当りとの距離

図 18 (1/2) 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】

(c) 実機モデルの解析結果

実機モデルの解析結果を図 18 に示す。

浮き上がり量は最大で 0.08mm (図 18-4) であることを確認した。

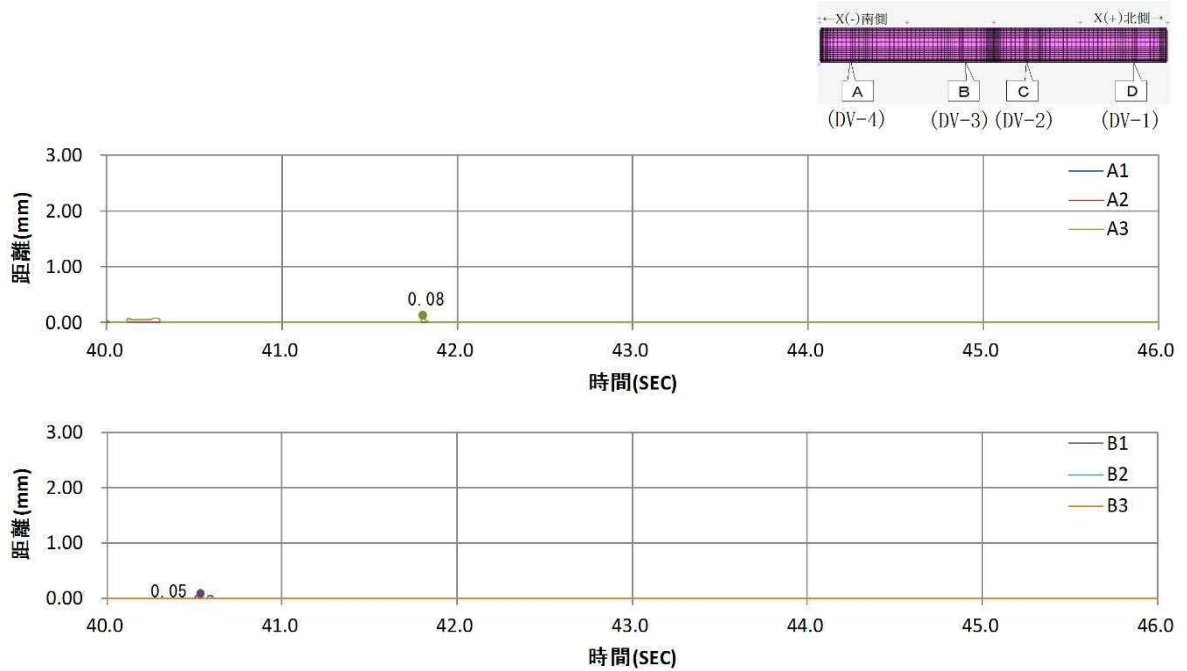


図 18-4 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮き上がり量)

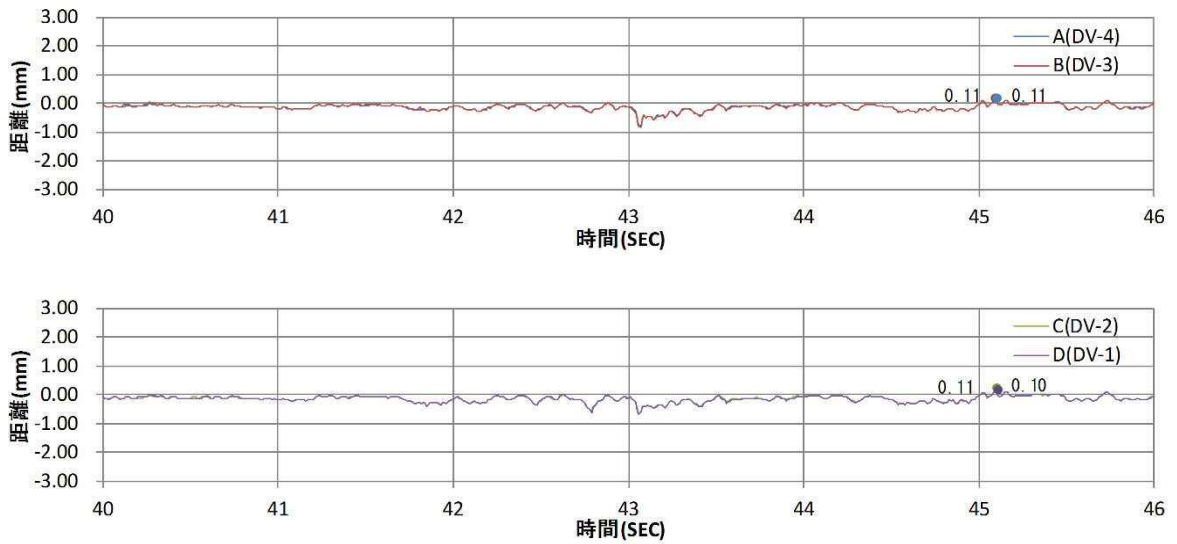


図 18-5 止水板と底面戸当りとの距離 (浮き上がり量) 実証試験計測位置

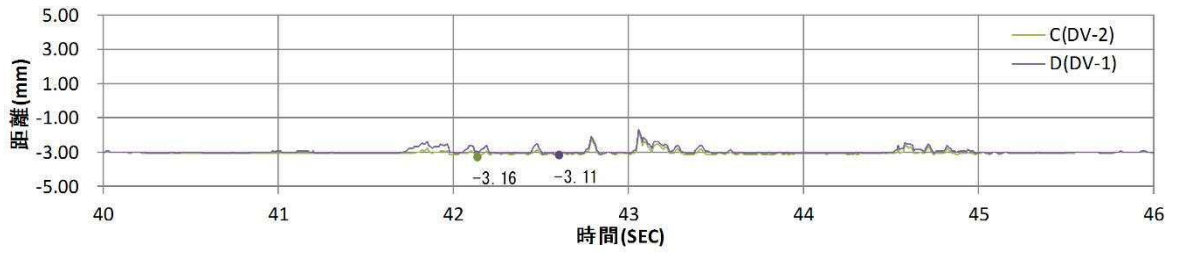
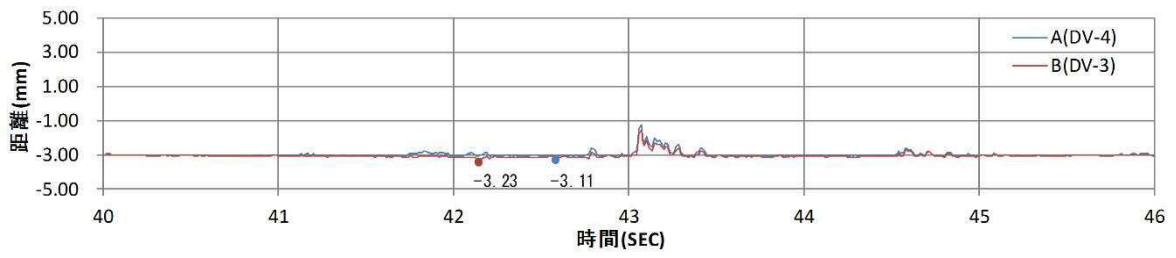


図 18-6 止水板と側面戸当りとの距離

図 18 (2/2) 3 方向 (Y 方向 (堤軸直角) 包絡波) の解析結果
【実機モデル】

③鉛直（取水路側波形入力）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 19 に示す。

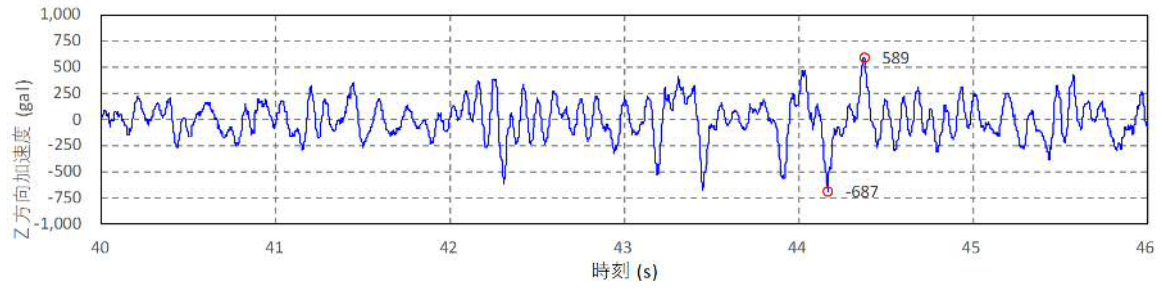


図 19 鉛直（取水路波形入力）の加速度時刻歴

(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 20 に示す。

浮き上がり量は最大で 0.00mm (図 20-1) であることを確認した。

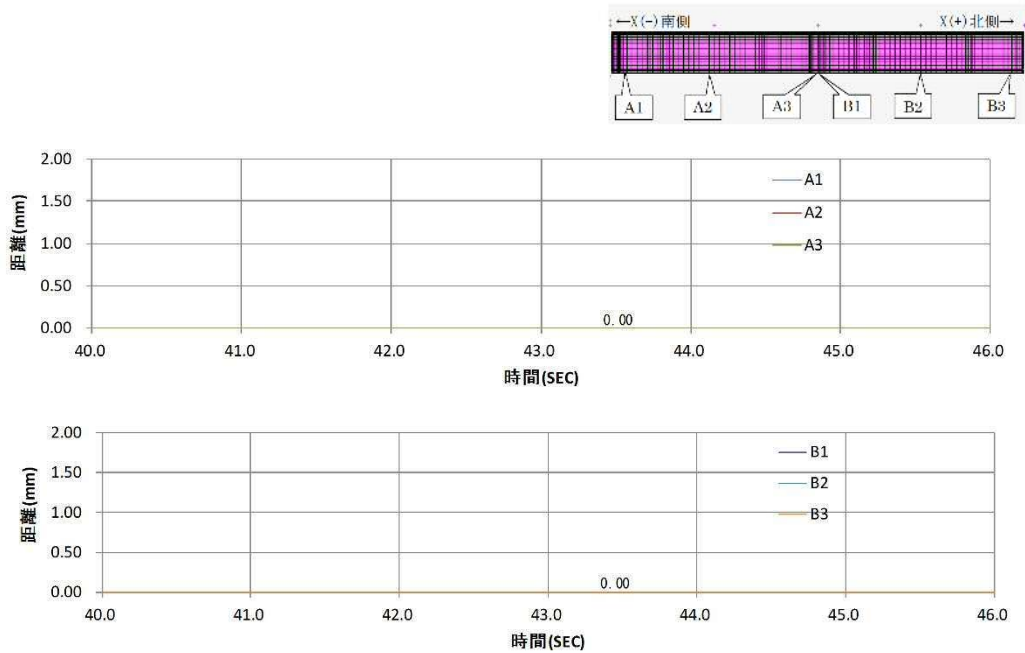


図 20-1 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮き上がり量)

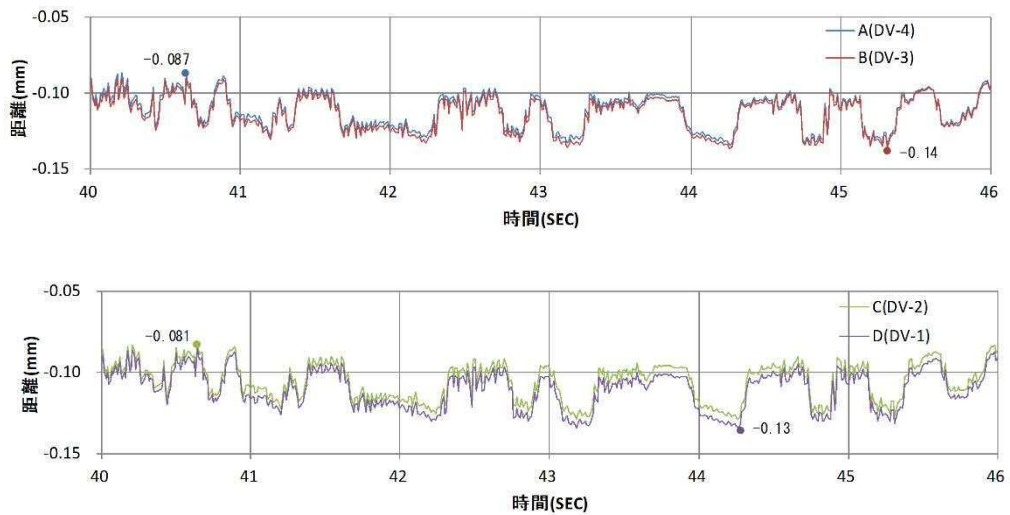


図 20-2 止水板と底面戸当りとの距離 (浮き上がり量) 実証試験計測位置

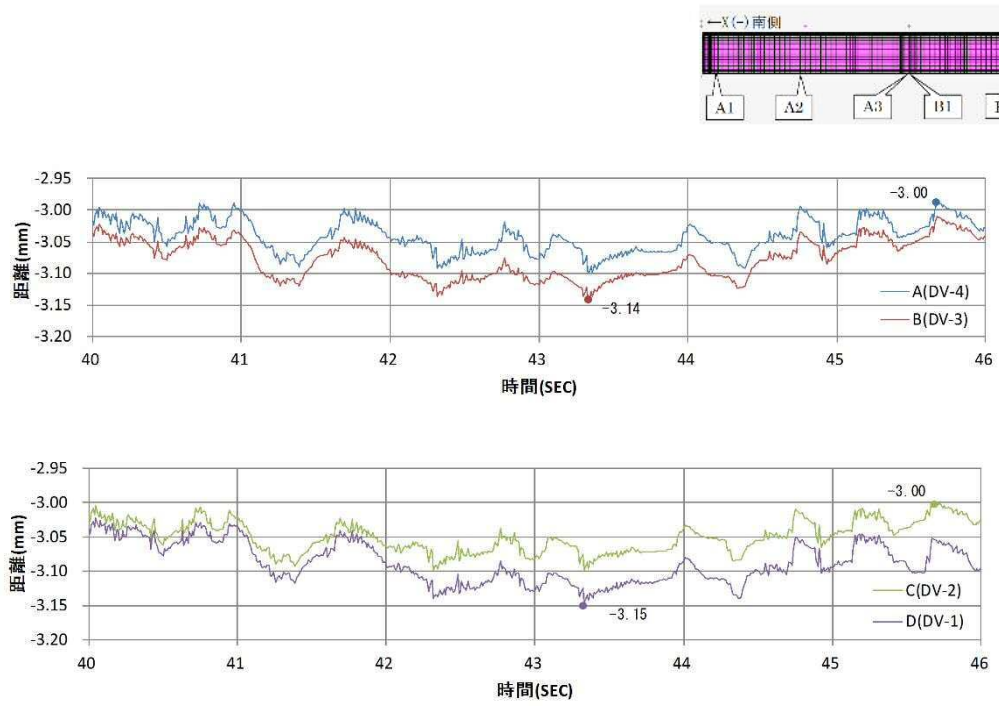


図 20-3 止水板と側面戸当りとの距離

図 20 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 21 に示す。

浮き上がり量は最大で 0.27mm (図 21-1) であることを確認した。

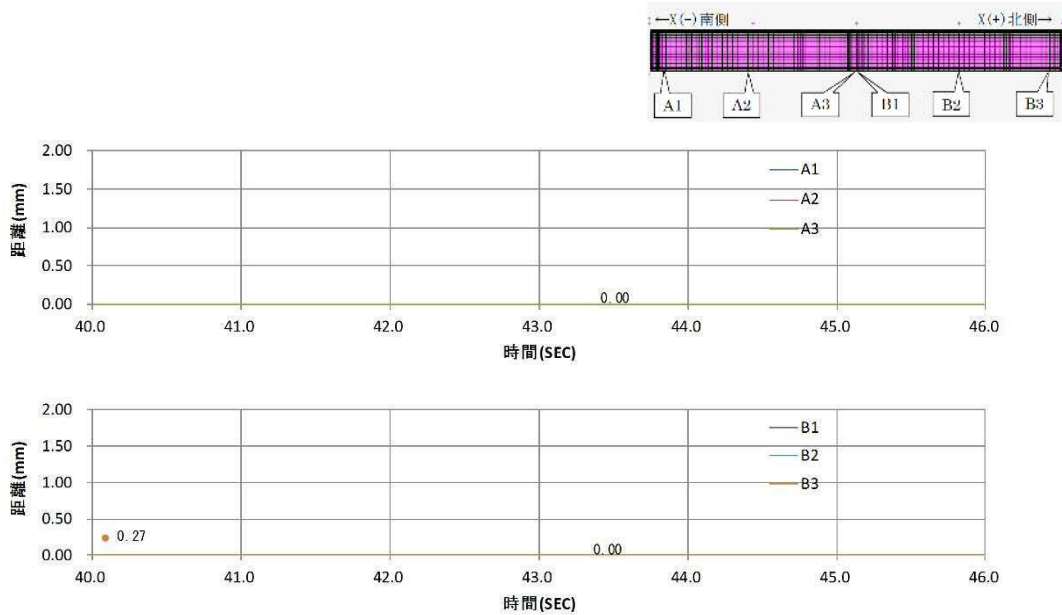


図 21-1 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮き上がり量)

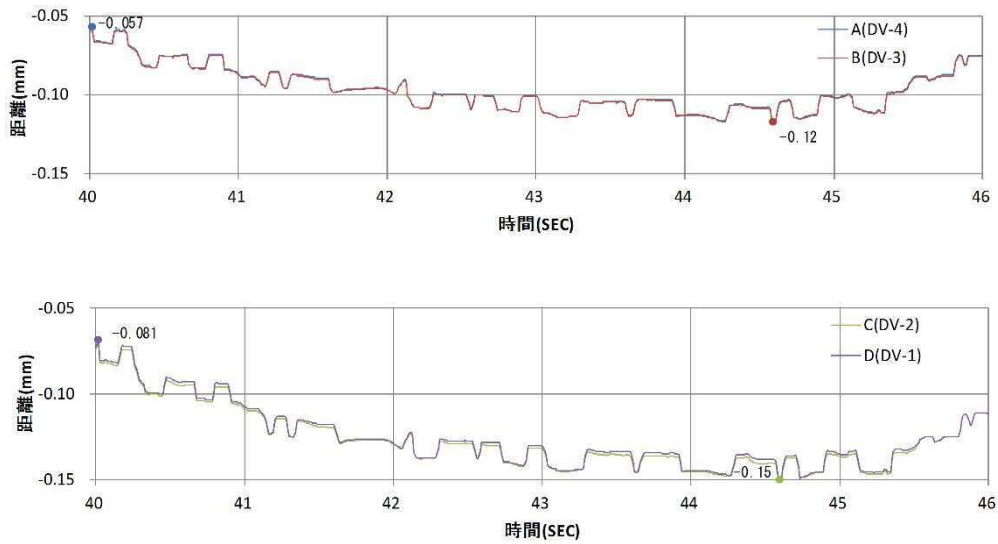


図 21-2 止水板と底面戸当りとの距離 (浮き上がり量) 実証試験計測位置

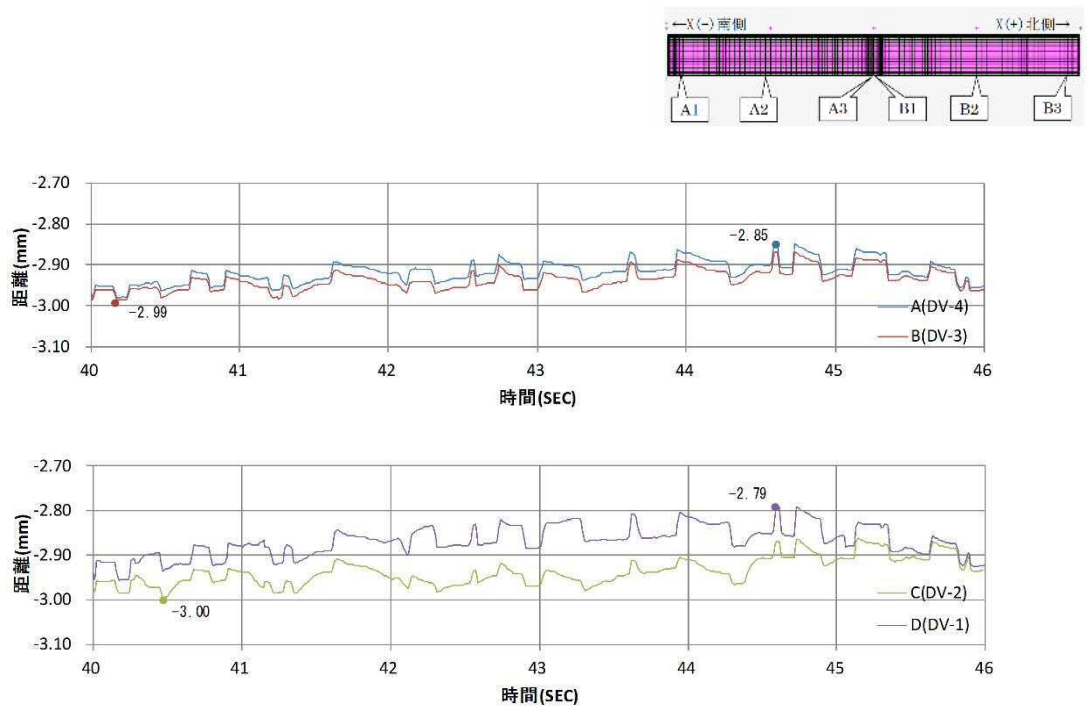


図 21-3 止水板と側面戸当りとの距離

図 21 鉛直（取水路波形入力）の解析結果
【実機モデル】

④基準地震動（ S_d ）（ S_d-D1 ）の解析結果
 （鋼製防護壁，取水路の同時加振）

(a) 実機モデルでの加振結果

実証試験モデルの解析結果を図 22 に示す。

浮き上がり量は最大で 2.11mm であることを確認した。

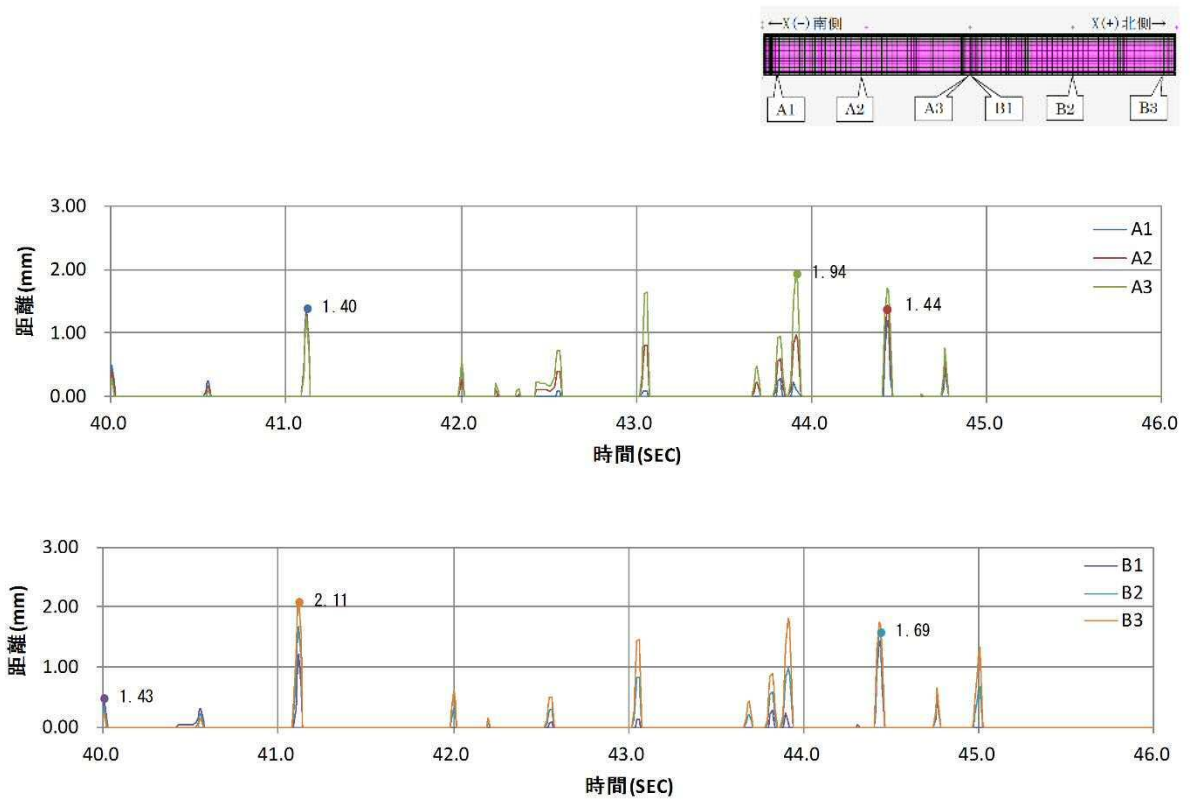


図 22 止水板コマと底面戸当りとの距離（浮き上がり量）

(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 23 に示す。

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 24, 図 25 に示す。

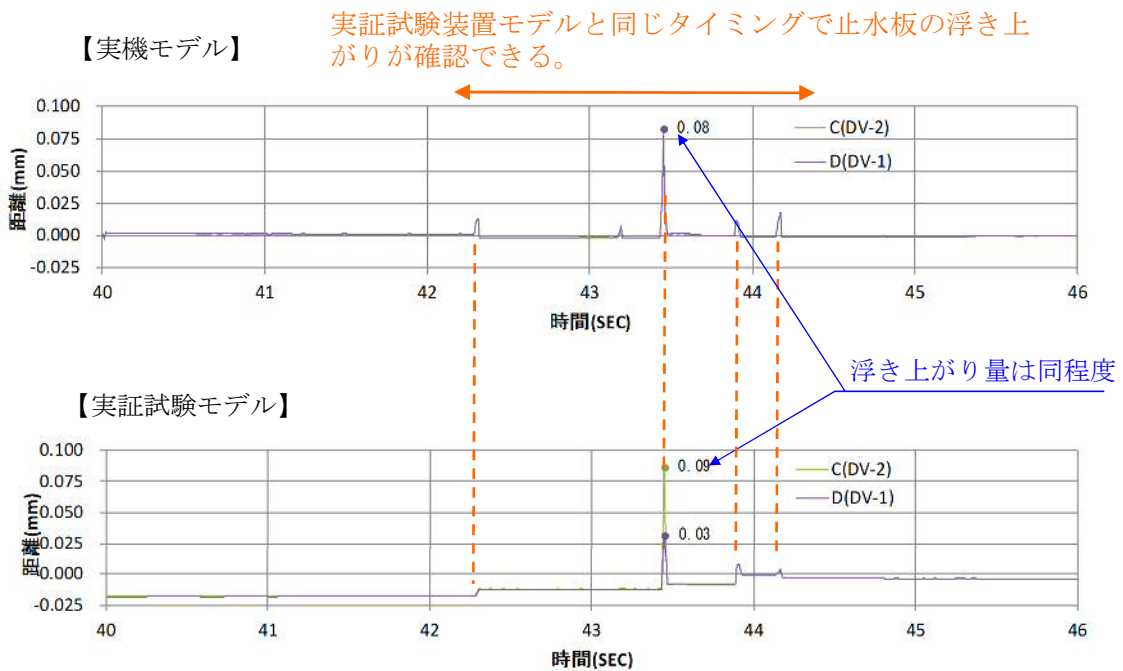


図 23 実機モデルと実証試験モデルの三次元動的解析結果の比較

【実証試験モデルの検証】

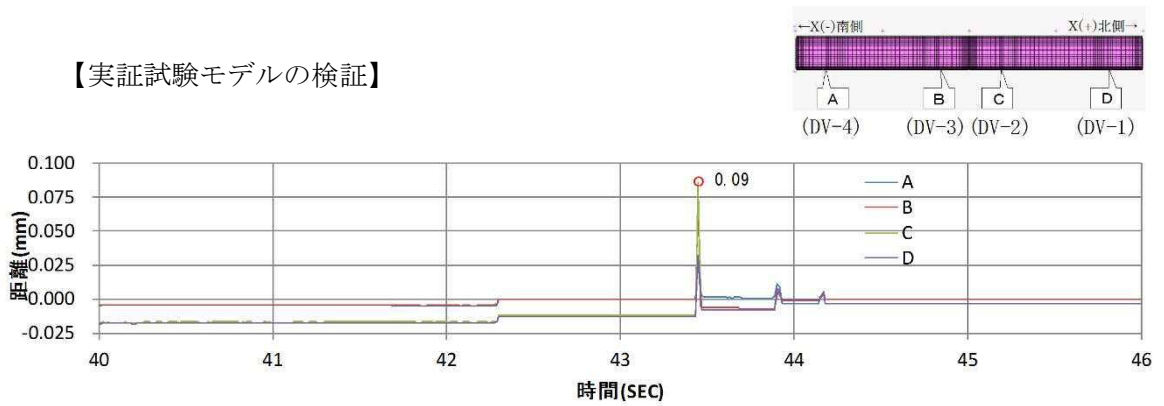


図 24-1 止水板コマと底面戸当たりとの浮き上り量

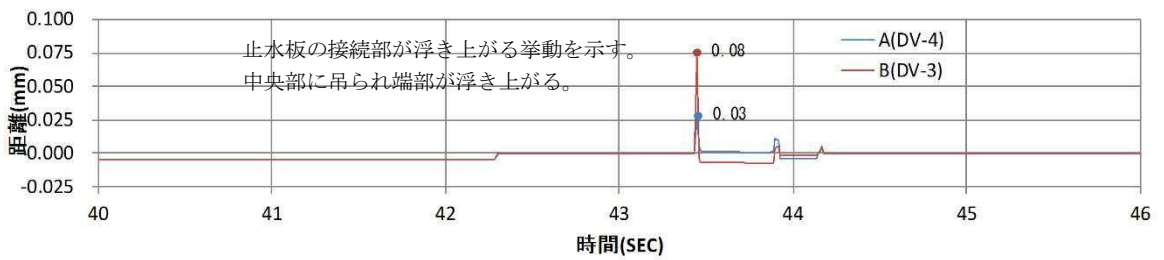


図 24-2 止水板 (A, B) の浮き上がり量

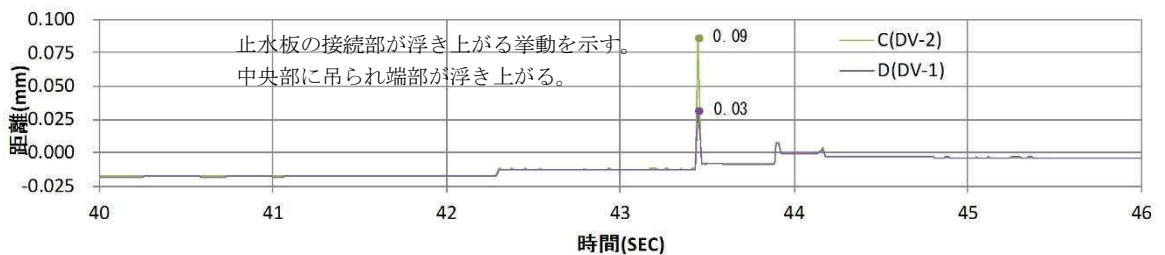
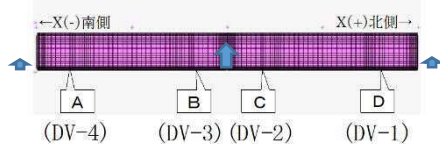


図 24-3 止水板 (C, D) の浮き上がり量

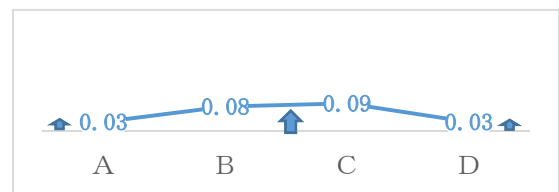
図 24 実証試験モデルの三次元動的解析結果

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】

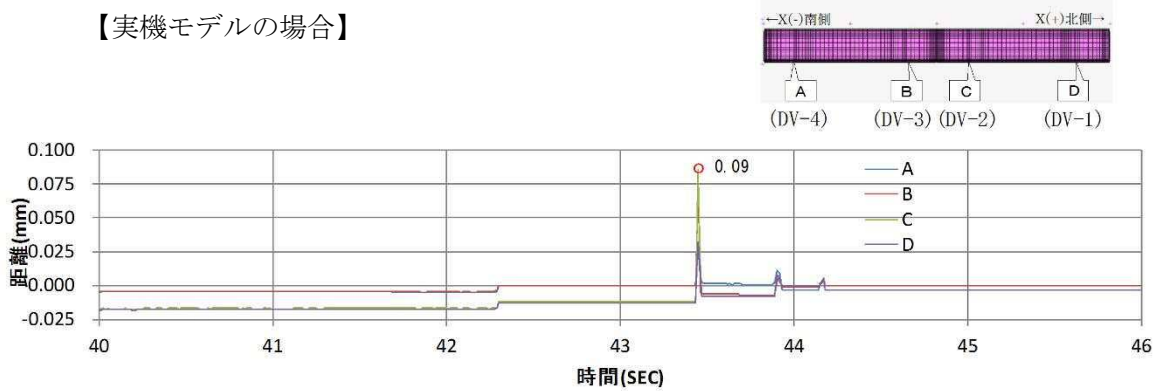


図 25-1 止水板コマと底面戸当りとの浮き上がり量

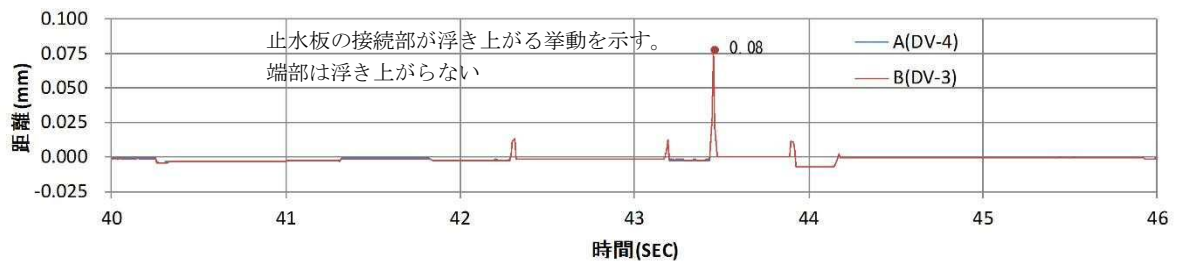


図 25-2 止水板 (A, B) の浮き上がり量

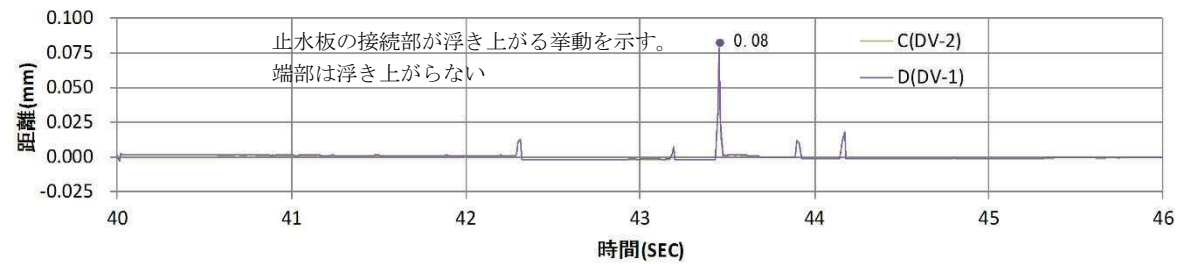
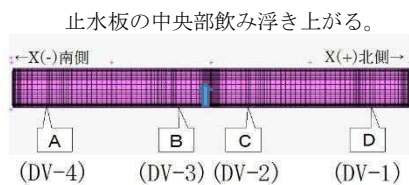


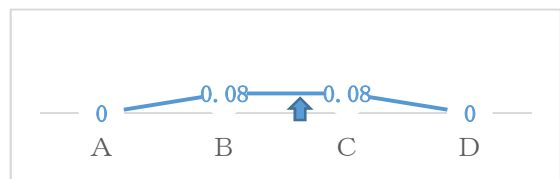
図 25-3 止水板 (C, D) の浮き上がり量

図 25 実機モデルの三次元動的解析結果

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 26 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。

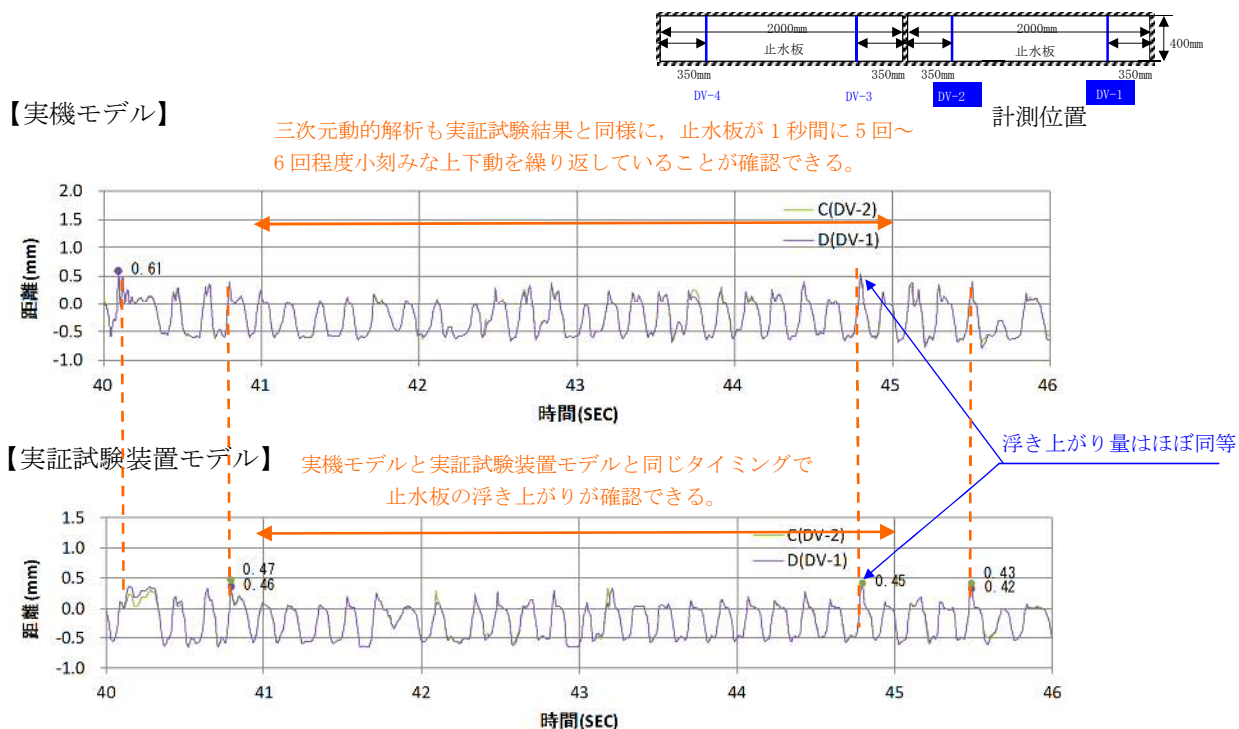


図 26 実機モデルと実証試験装置モデルの三次元動的解析結果の比較

<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。ただし，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27に示す。

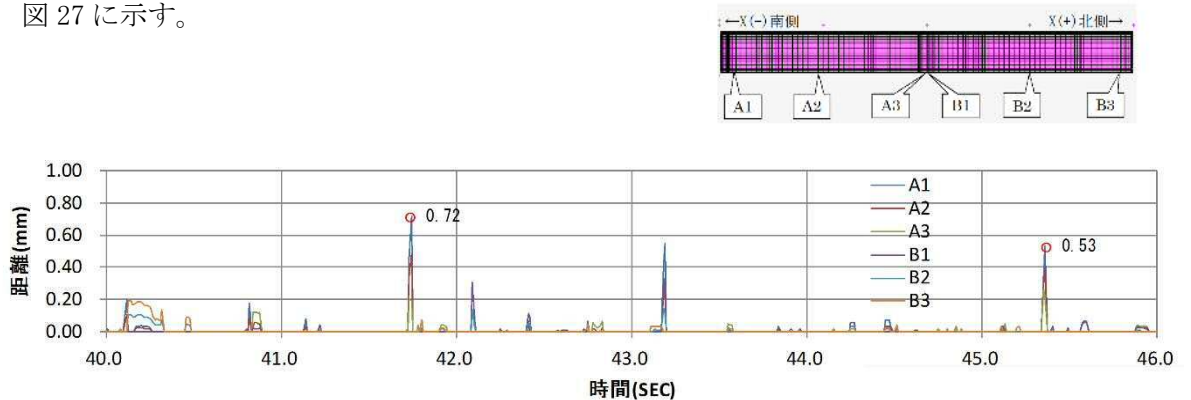


図 27-1 止水板コマと底面戸当りとの距離（浮き上がり量）

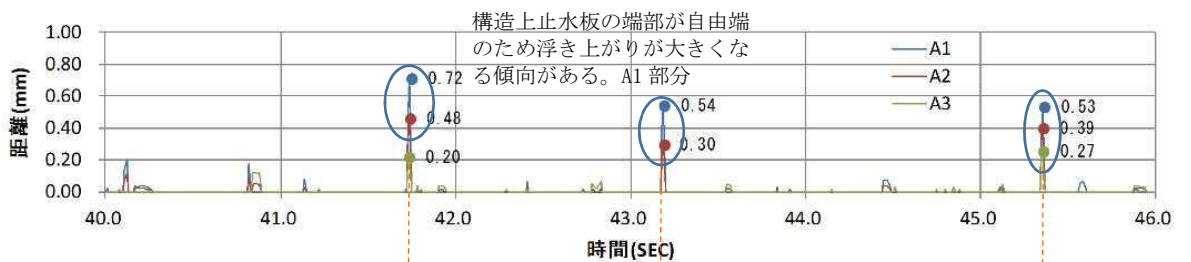


図 27-2 止水板の A 側（A1～A3）の浮き上がり量

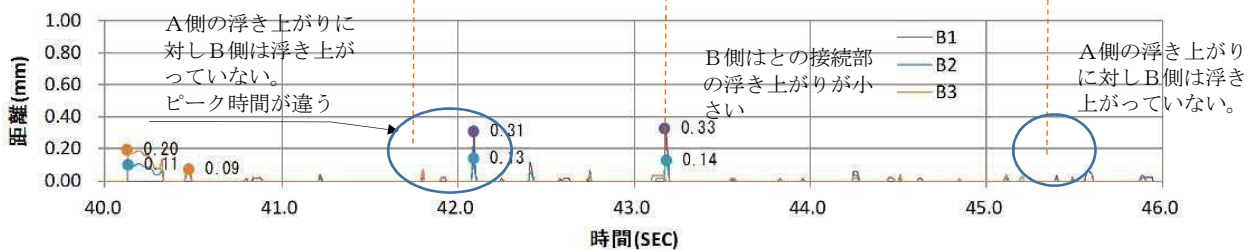


図 27-3 止水板の B 側（B1～B3）の浮き上がり量

図 27 実証試験モデルにおける三次元動的解析の挙動の検証結果

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。

(7)水密ゴムの摩擦係数について（二次元動的解析）

水密ゴムの摩擦係数について二次元動的解析を実施し、水密ゴムの摩擦係数のしきい値を明確にする。二次元動的解析の結果、水密ゴムの摩擦係数のしきい値は0.9であることを確認した。

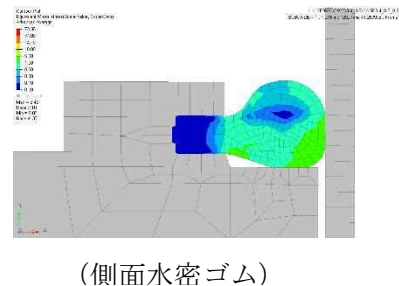
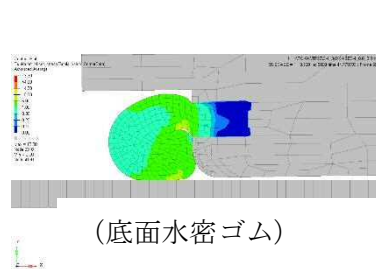
<評価方法>

二次元動的解析により水密ゴム（底面水密ゴム，側面水密ゴム）の発生応力が許容応力以下になることを確認する。

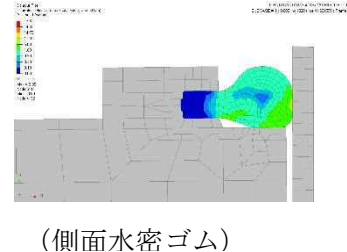
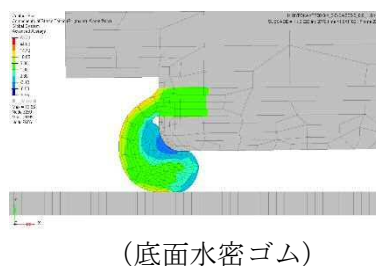
<評価結果>

二次元動的解析の結果、水密ゴムの摩擦係数0.9の場合は、底面水密ゴム，側面水密ゴムの発生応力は許容応力を下回ったが、摩擦係数1.0の場合は底面水密ゴムの発生応力が、許容応力を上回る結果となった。水密ゴムの二次元動的解析結果を図28に示す。

水密ゴム摩擦係数		発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	評価
0.9	底面水密ゴム	13.0	14.7	○
	側面水密ゴム	3.4		○
1.0	底面水密ゴム	30.2		×
	側面水密ゴム	8.4		○



応力コンター図【摩擦係数0.9】



応力コンター図【摩擦係数1.0】

図28 水密ゴムの二次元動的解析結果

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

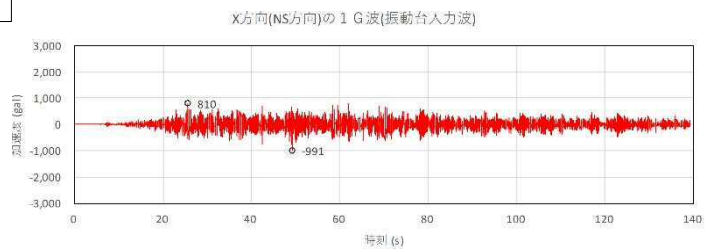
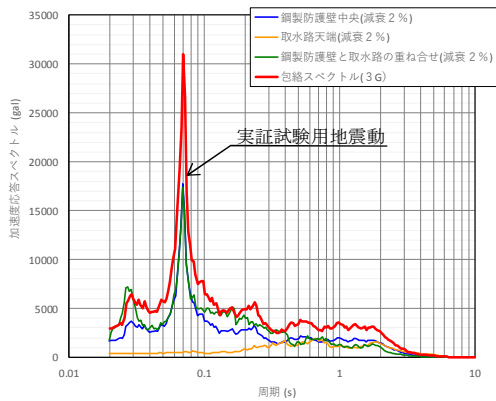
1. 本震

(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

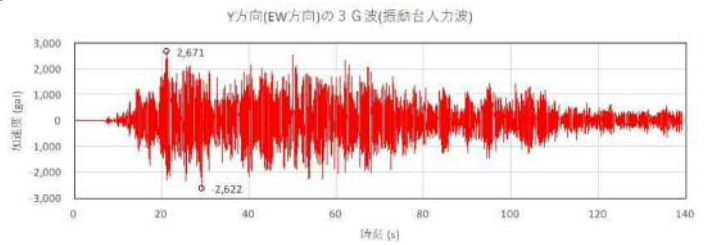
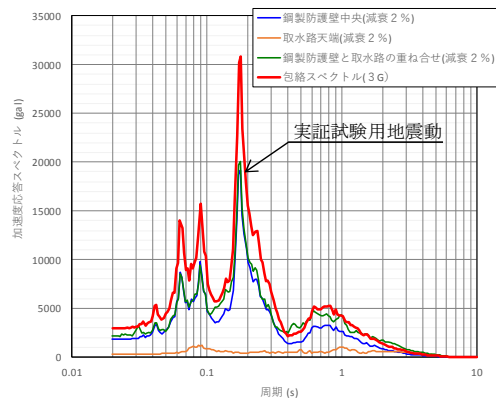
X Y方向の水平加振については，振動台の能力(3G)の範囲で包絡波を作成した。

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。

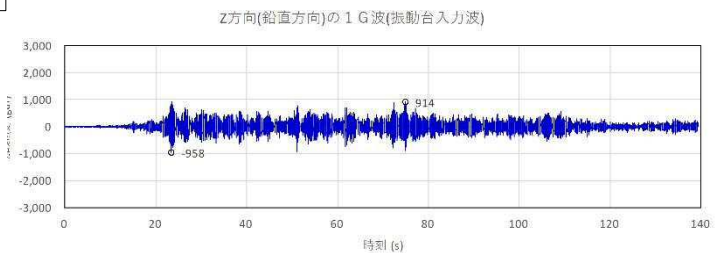
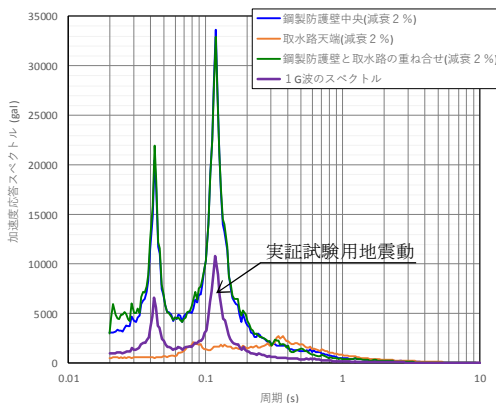
図1に三方向(X, Y, Z)の実証試験用地震動の加速度応答スペクトルと加速度時刻歴を示す。



加速度応答スペクトルと時刻歴波形 (X方向 (NS))



加速度応答スペクトルと時刻歴波形 (Y方向 (EW))



加速度応答スペクトルと時刻歴波形 (Z方向)

図1 3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、4.3(3)実証試験の試験条件の項目に示す。

【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）

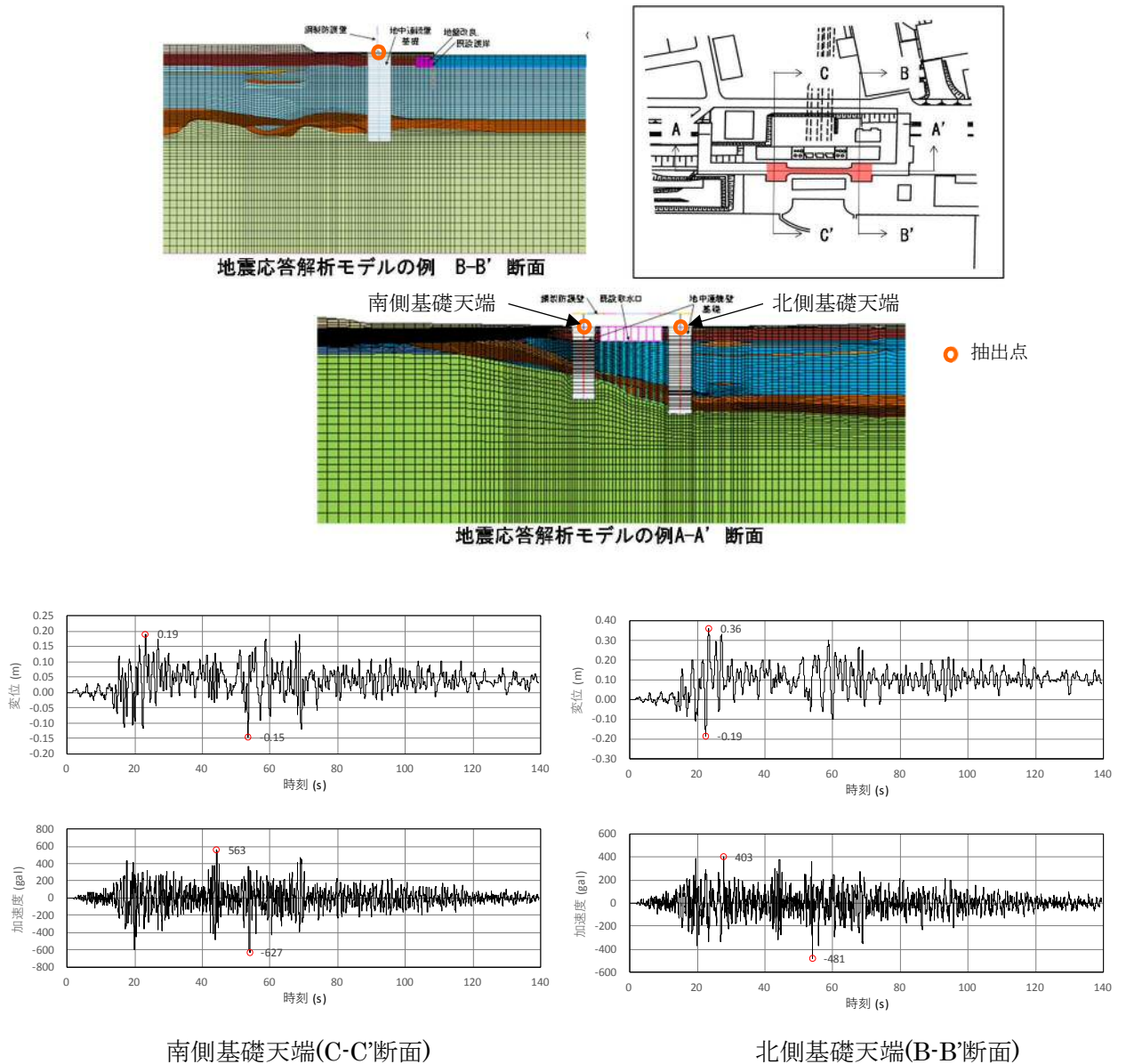


図2 鋼製防護壁基礎の二次元有効応力解析による応答時刻歴

(堤軸直角方向；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)

◎ 入力する変位時刻歴には組合せ係数法を考慮し、下記の 2 ケースを実施する。
 堤軸方向(X)着目ケース：X1.0, Y0.4, Z1.0
 堤軸直交方向(Y)着目ケース：X0.4, Y1.0, Z1.0

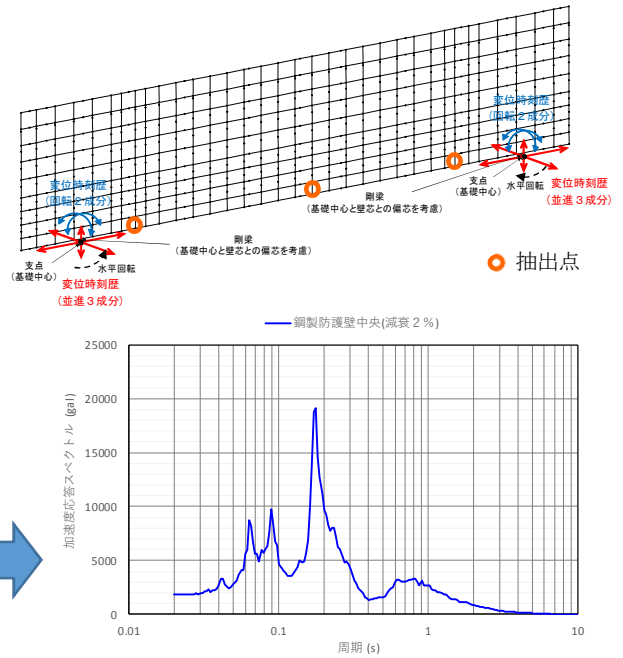
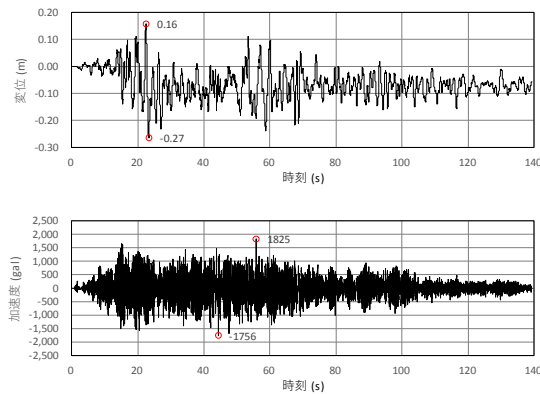


図 3 鋼製防護壁の三次元フレーム解析による中央部の応答時刻歴と応答スペクトル (堤軸直交方向)

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 4 参照)

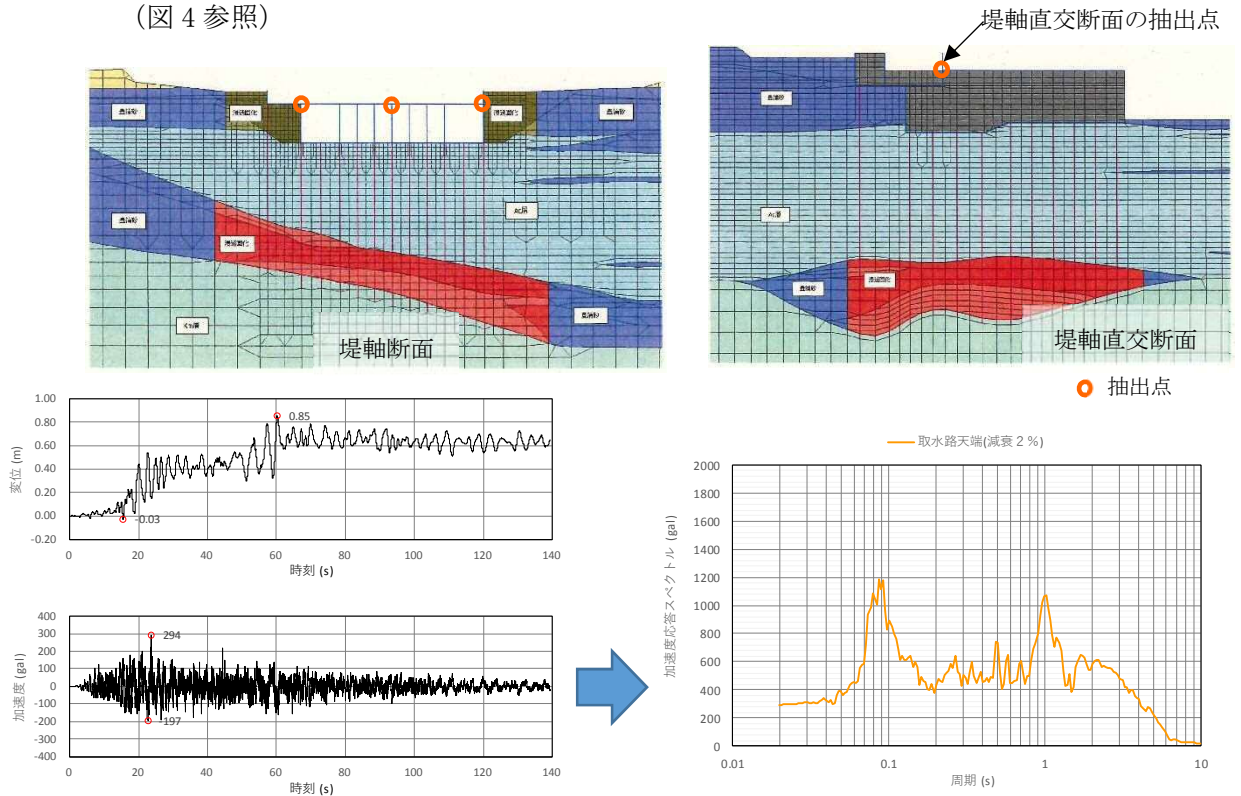
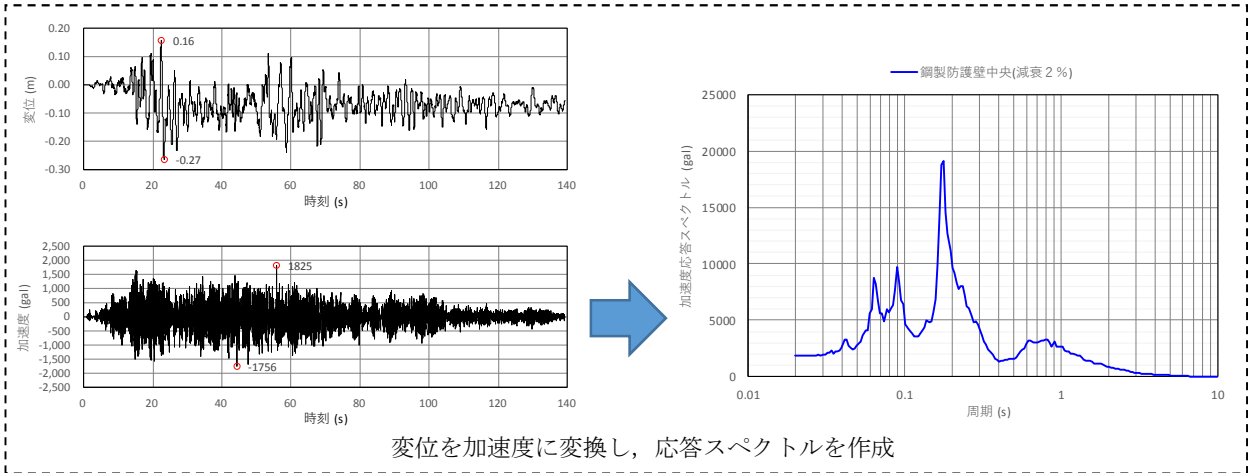


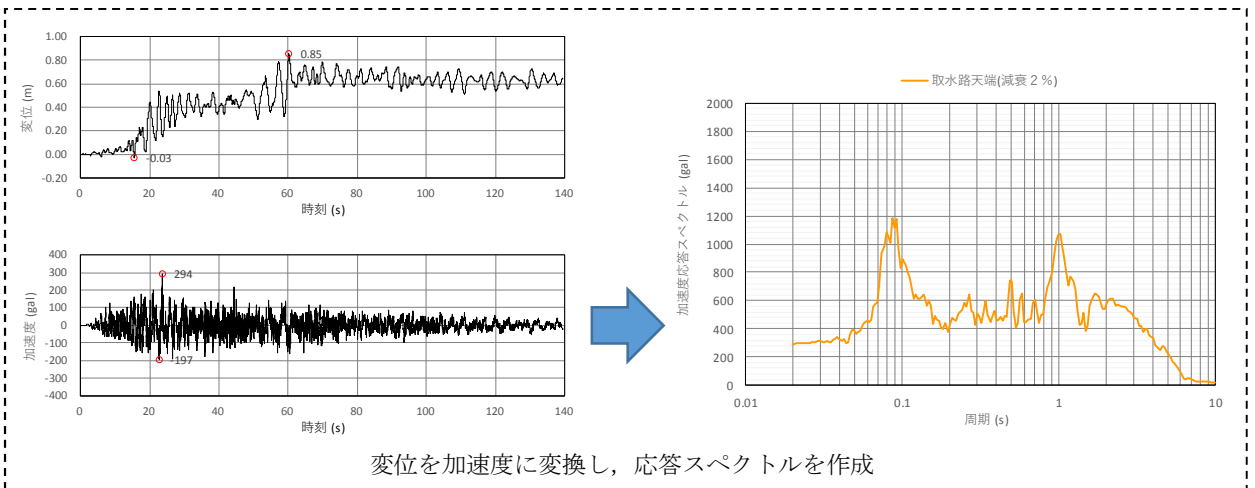
図 4 既設取水路の二次元有効応力解析による応答時刻歴と応答スペクトル(堤軸直交方向)

- 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 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)

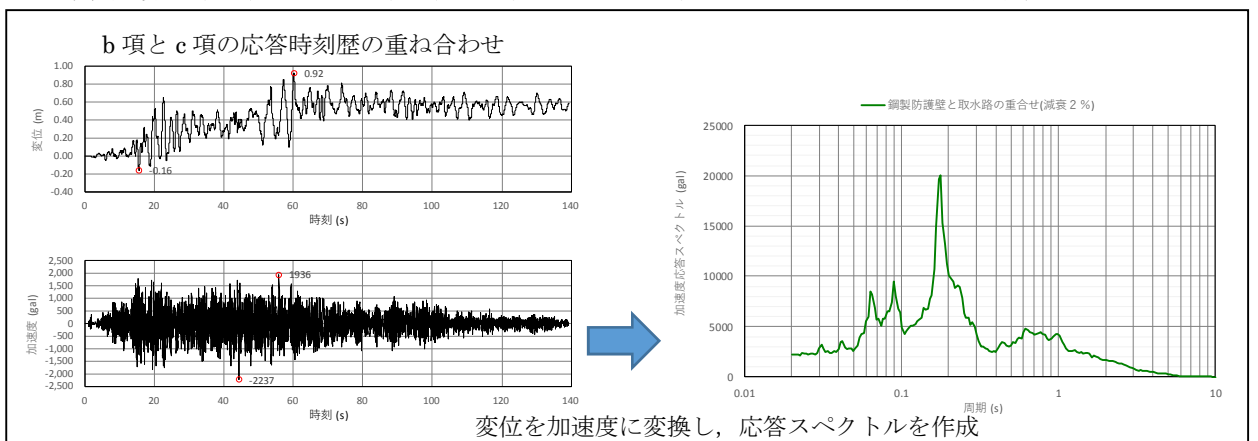


図 5 鋼製防護壁と取水路を重ね合わせた応答スペクトルの作成

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)

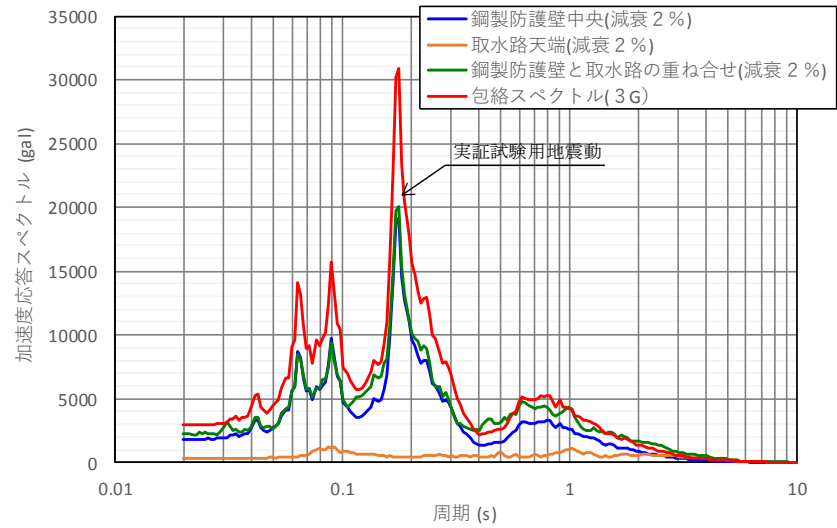


図 6 応答スペクトルの包絡波の作成(堤軸直交方向)

【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)

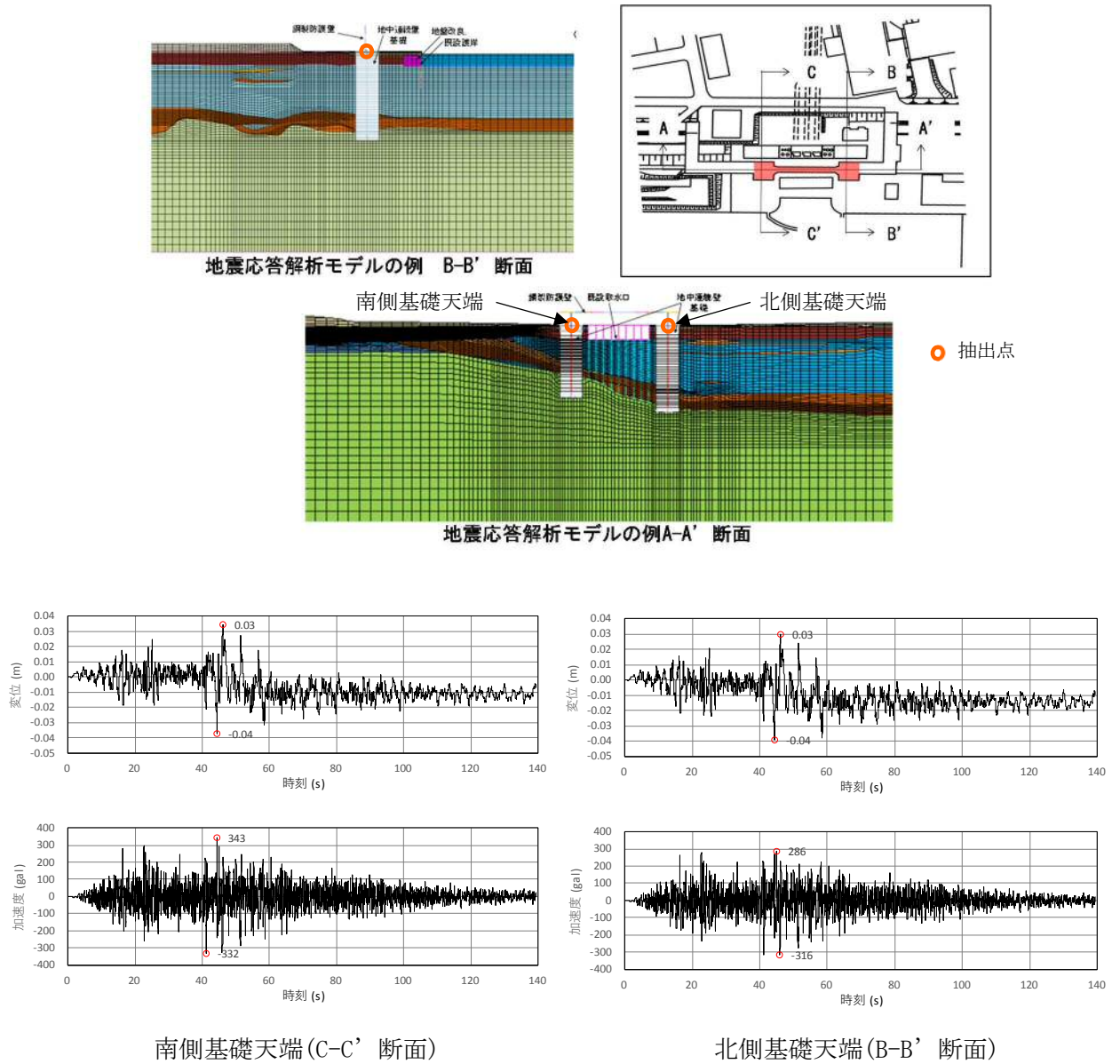


図 7 鋼製防護壁基礎の二次元有効応力解析による応答時刻歴 (鉛直方向)

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)

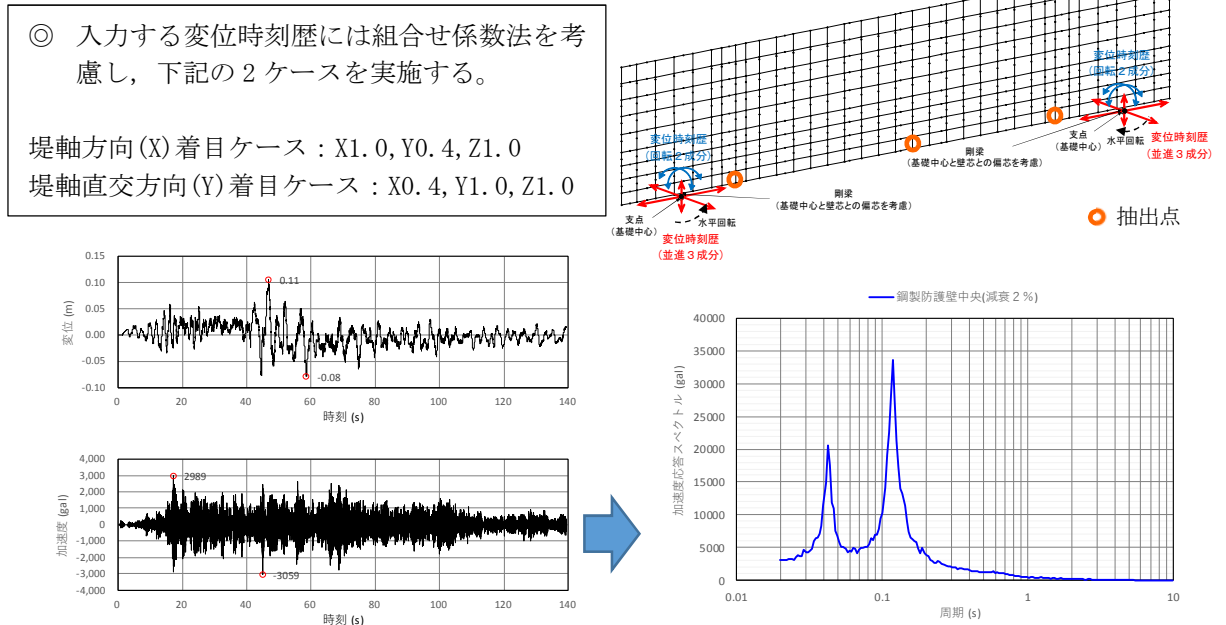


図 8 鋼製防護壁の三次元フレーム解析による中央部の応答時刻歴と応答スペクトル(鉛直方向)

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)

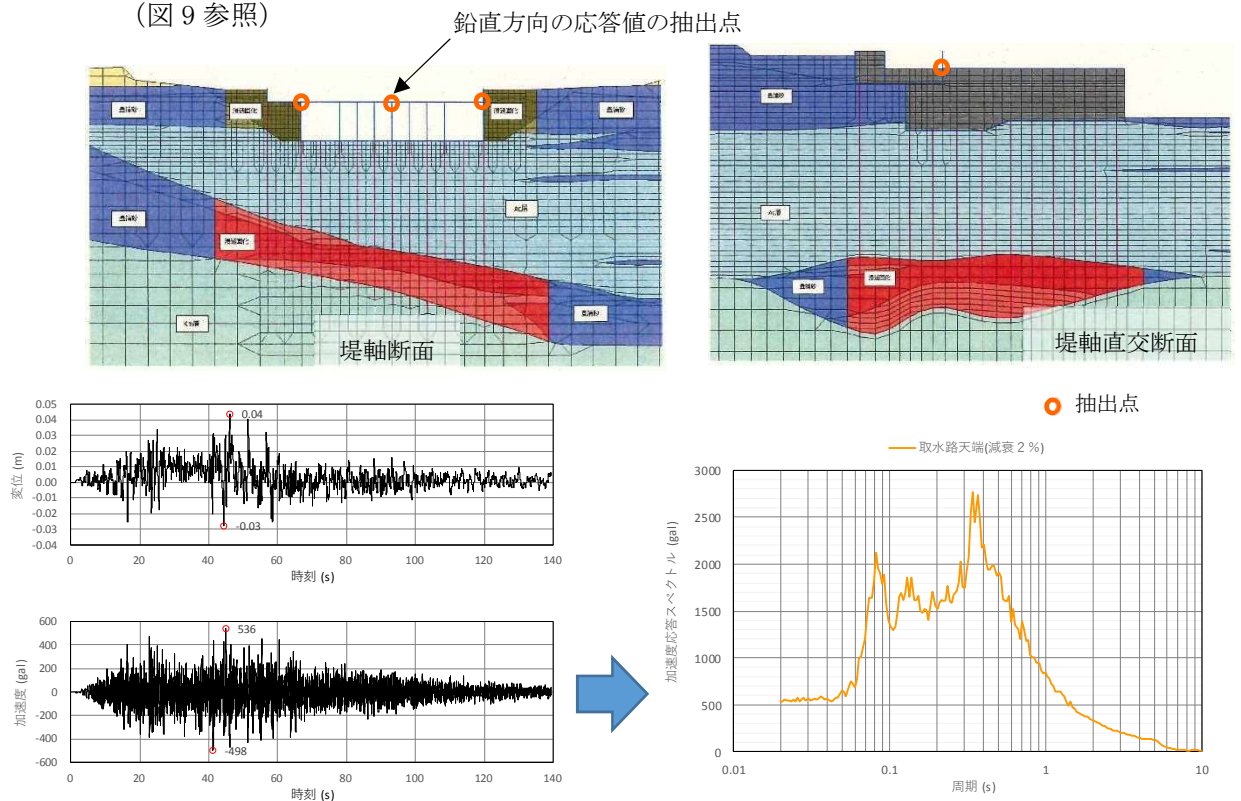
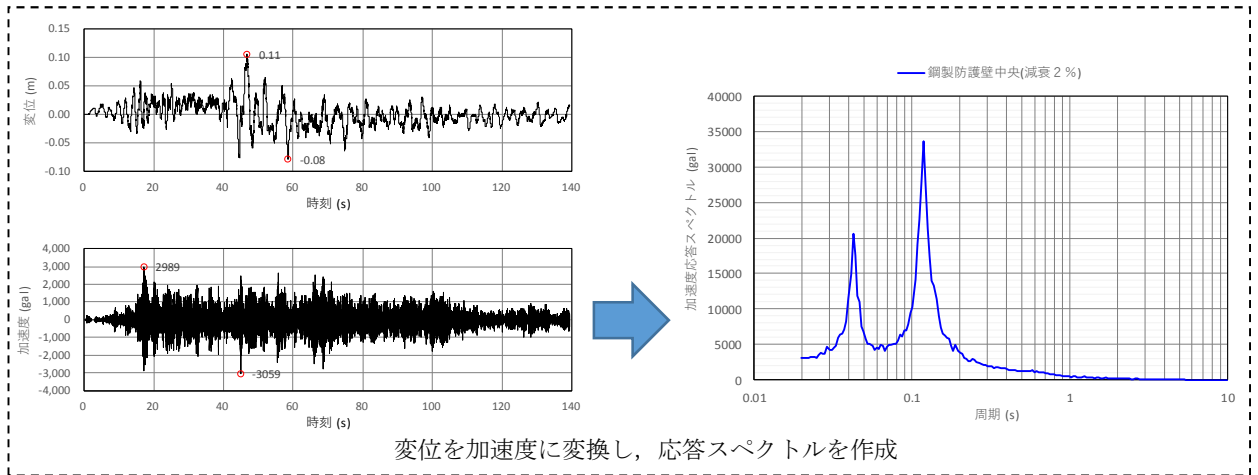


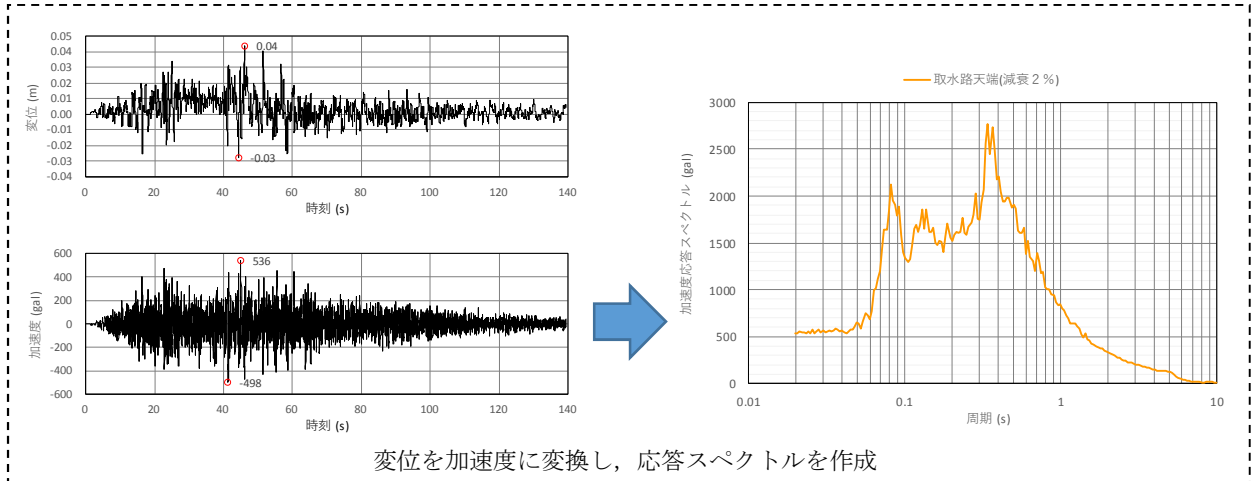
図 9 既設取水路の二次元有効応力解析による応答時刻歴と応答スペクトル(鉛直方向)

- 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(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)

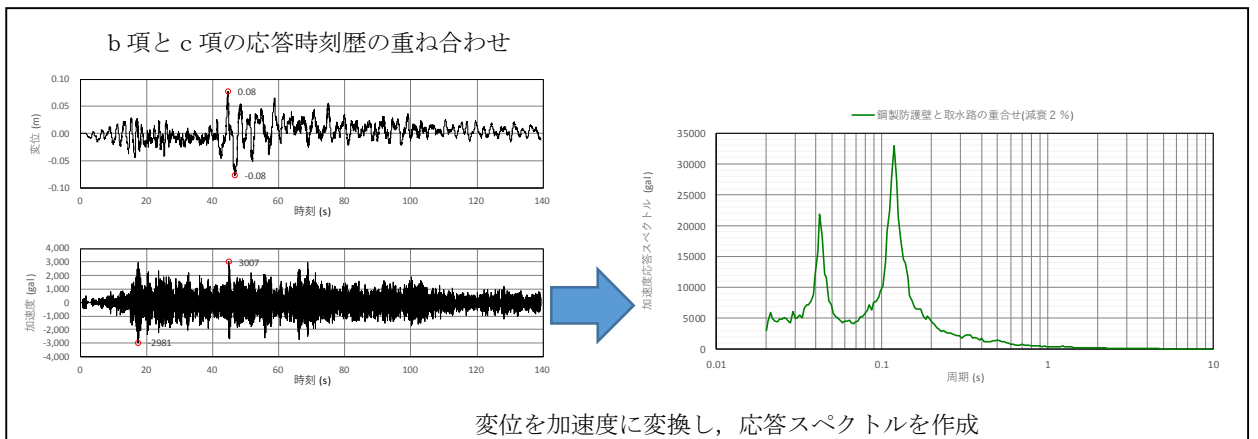


図 10 鋼製防護壁と取水路を重ね合わせた応答スペクトルの作成

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。

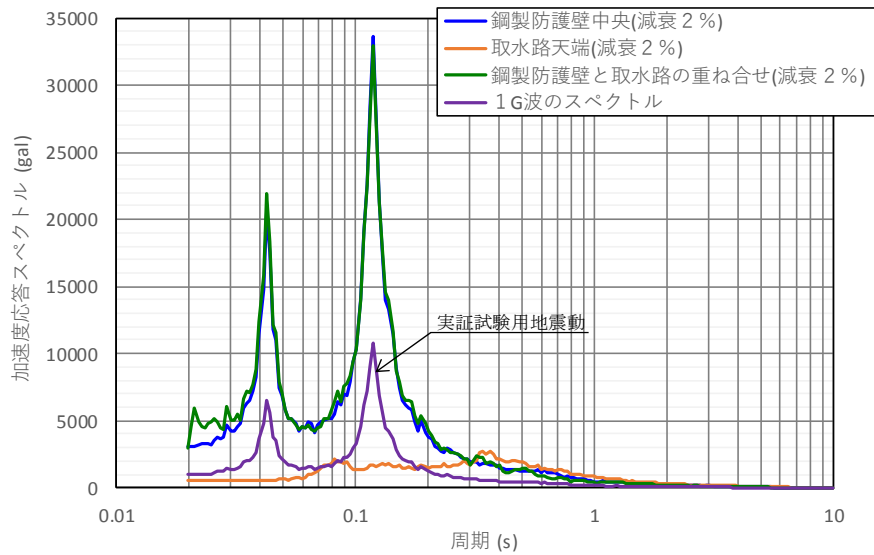


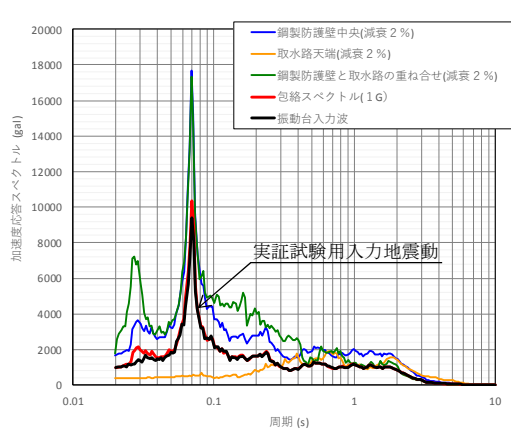
図 11 応答スペクトルの包絡波の作成(鉛直方向)

(4) 実証試験用入力地震動

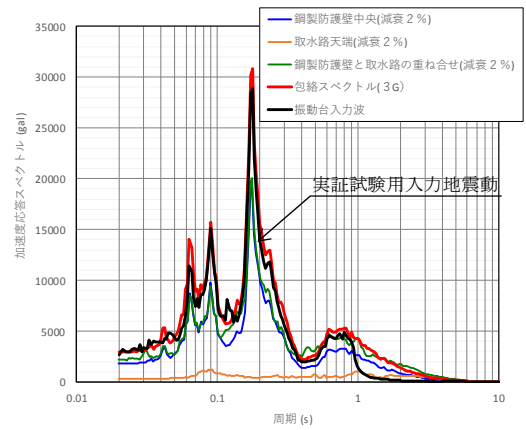
実証試験用入力地震動は、変位量に対する振動台性能の制限内に地震動を収めることを目的として、実証試験用地震動にハイパスフィルタ（HPF）を掛け、長周期成分をカットした地震動である。

実証試験に用いる振動台へ入力する入力波形を示す。

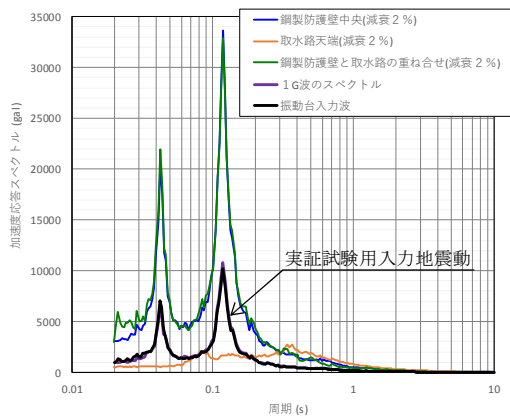
図 12 の入力加速度が最大 3G である Y 方向（EW）の加速度応答スペクトル図から周期 1sec 付近で HPF が掛かっていることが読み取れるが、最大加速度レベルは実証試験用地震動とほぼ同一レベルであることを確認した。



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。

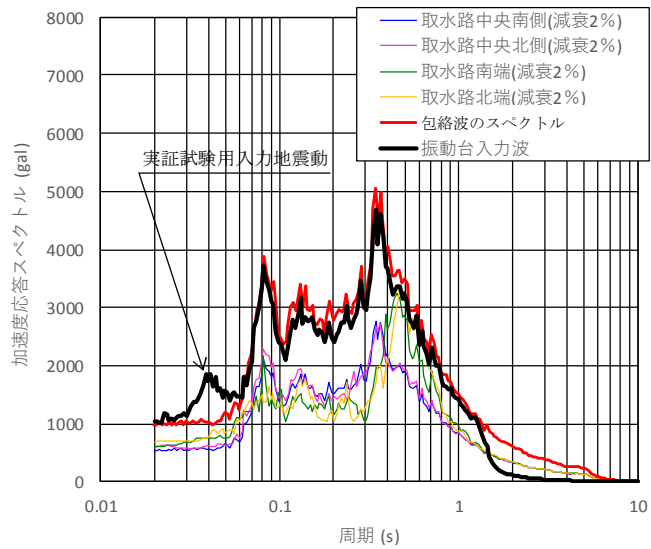


図13 取水路上面の加速度応答スペクトル(包絡波は取水路中央南側の1.83倍

※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

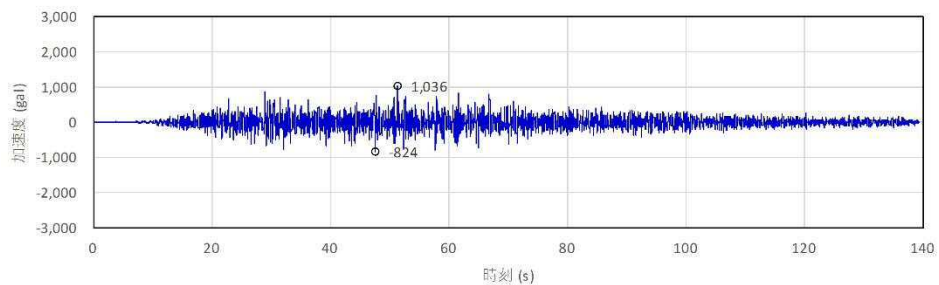


図14 取水路の鉛直方向の包絡波の加速度時刻歴(包絡波は取水路中央南側の1.83倍)

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

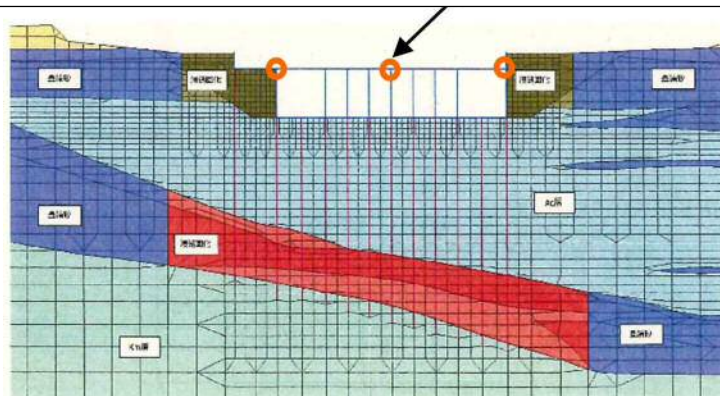


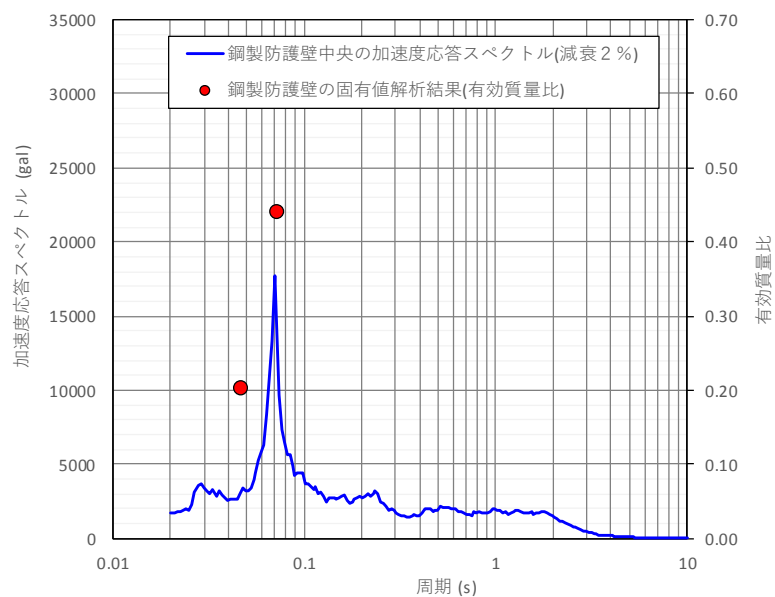
図15 加速度応答スペクトルの算出位置

(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及び鋼製防護壁と取水路の重ね合わ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

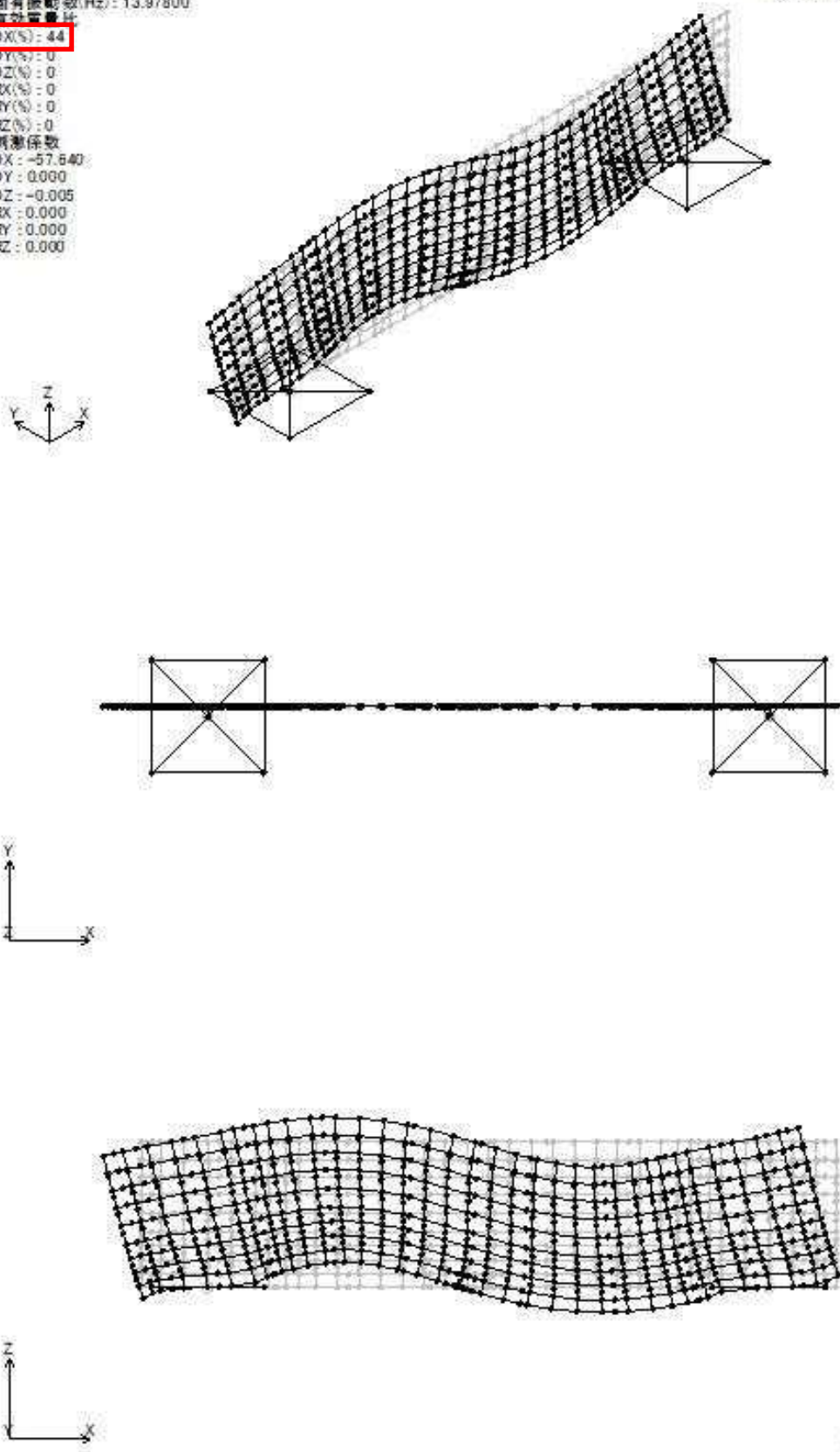
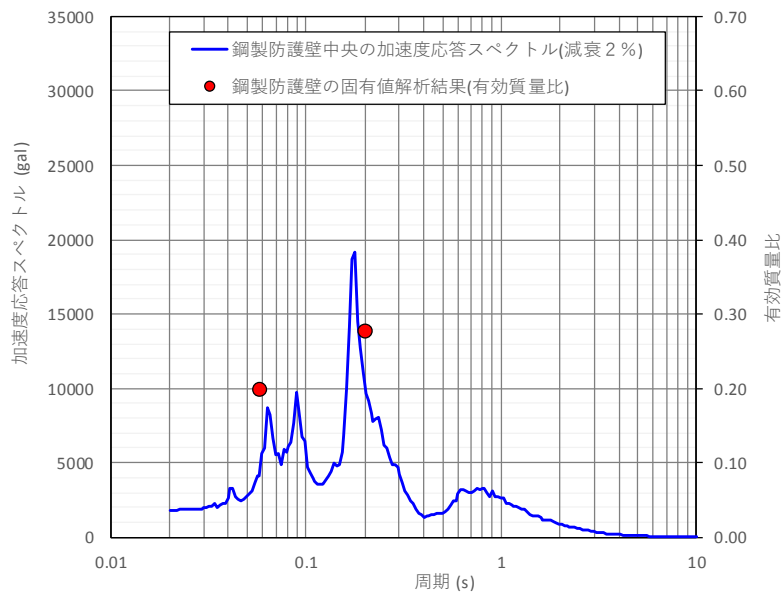


図 17 有効質量比最大ピーク時の鋼製防護壁のモード図(堤軸方向)

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: 45.880
 DZ: -0.011
 RX: 0.000
 RY: 0.000
 RZ: 0.000

No.1:固有値解析 MODE No.1

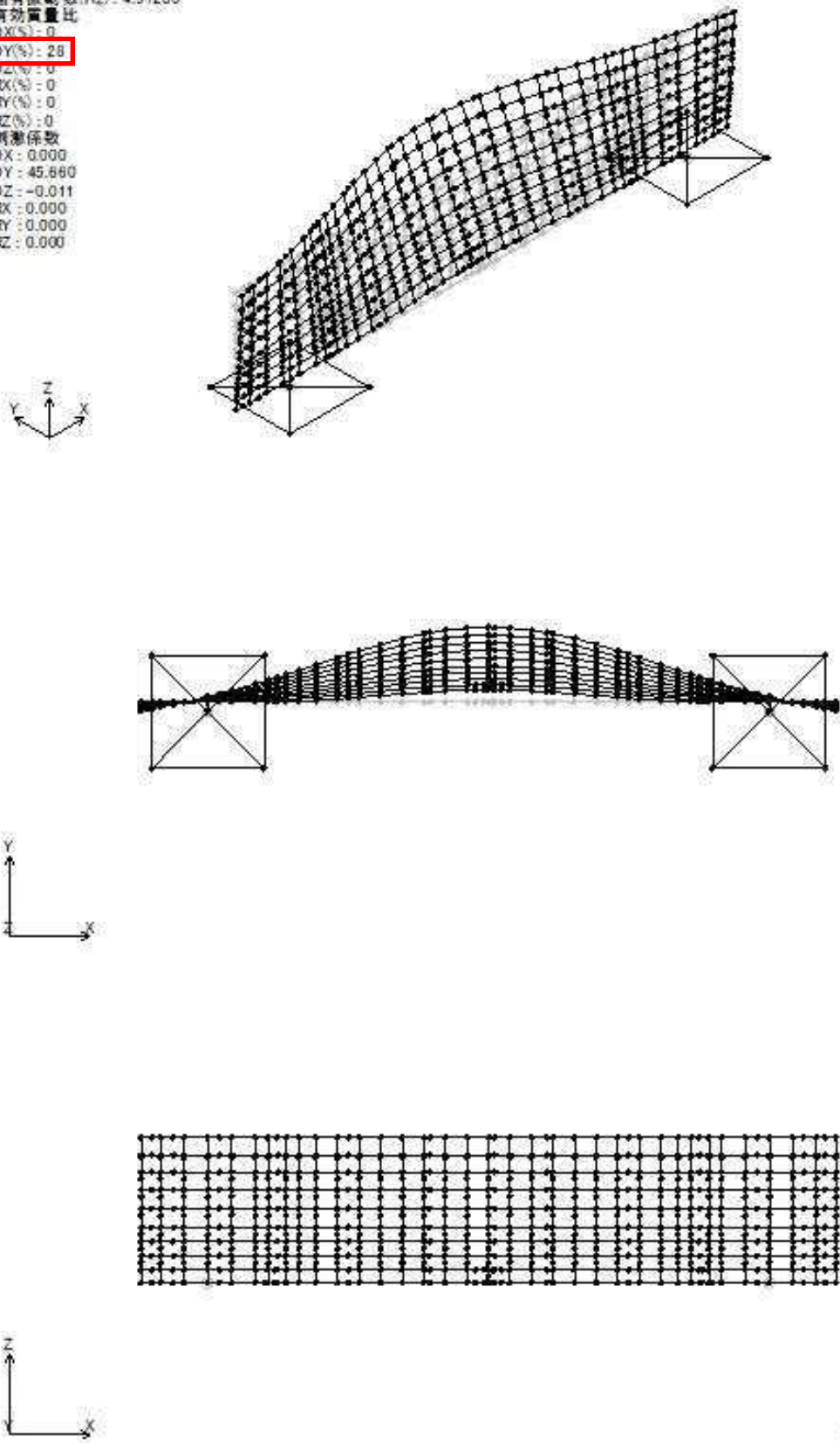
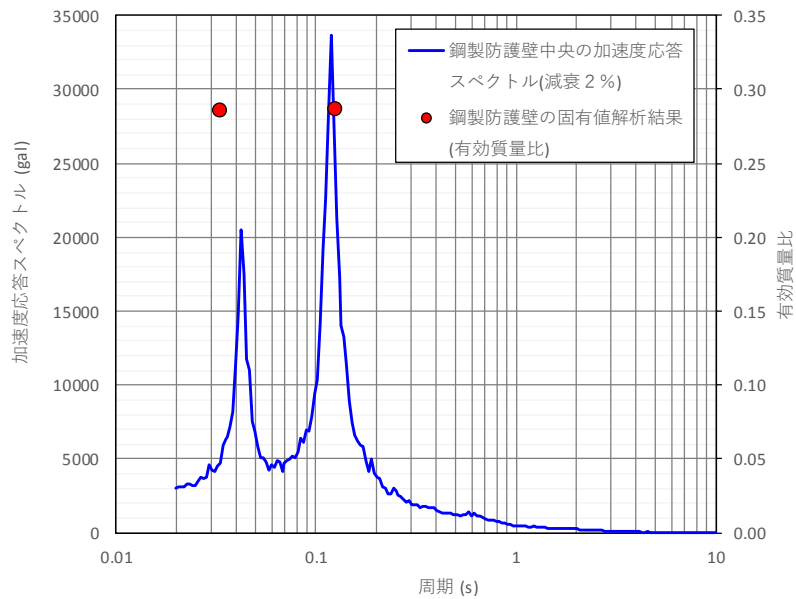


図 19 有効質量比最大ピーク時の鋼製防護壁のモード図(堤軸直交方向)

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: 48.490
 RX: 0.000
 RY: 0.000
 RZ: 0.000

No.1:固有値解析 MODE No.2

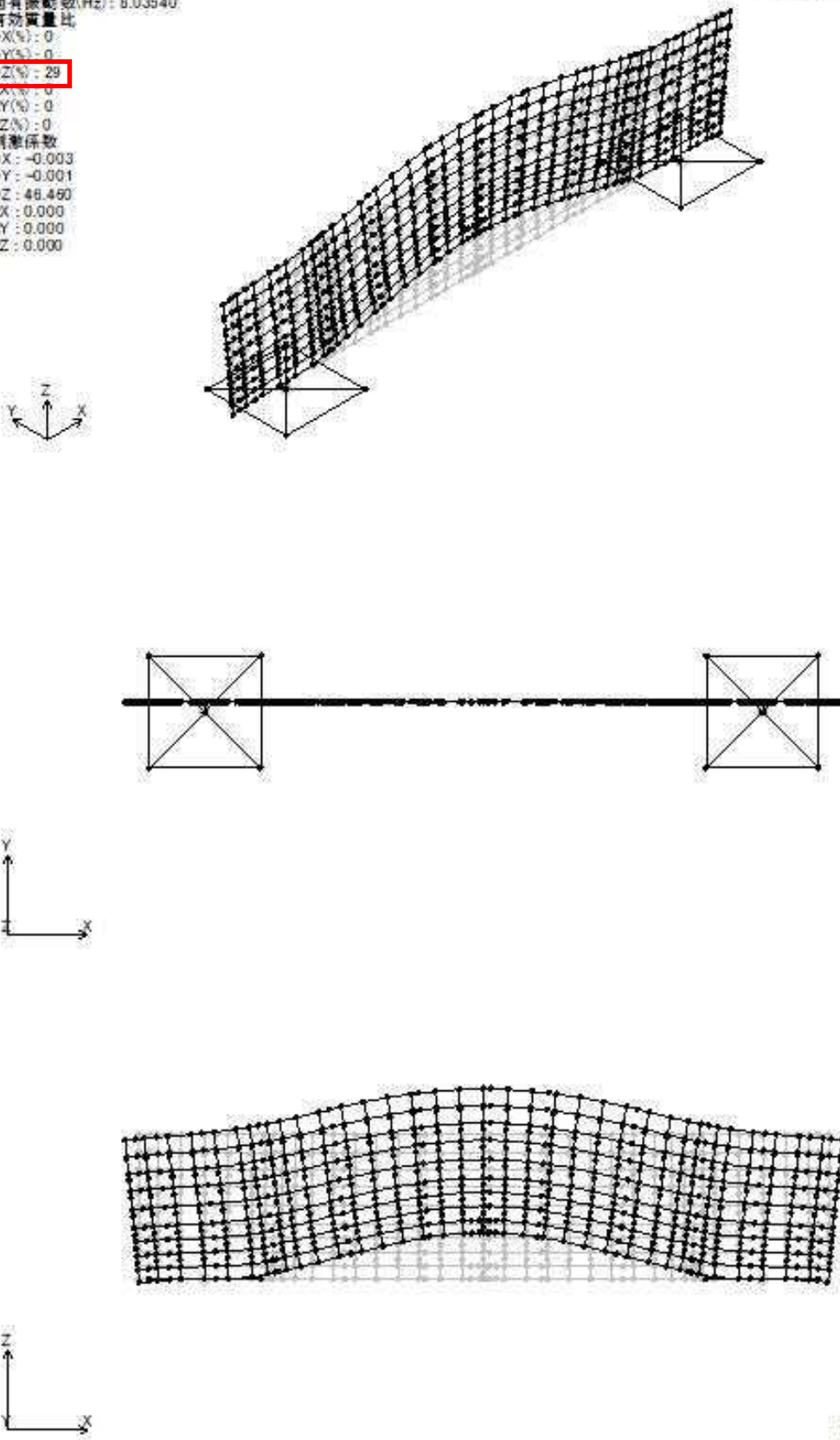


図 21 有効質量比最大ピーク時の鋼製防護壁のモード図(鉛直方向)

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. 実証試験ケースと三次元動的解析のケース

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	
①3方向 (X方向(堤軸)包絡波)	1G	3G (X包絡波)	1G	○	○	3方向同時 (Y方向にX方向の地震動を入力。方向反転)
②3方向 (Y方向(堤軸直角)包絡波)	1G	3G (Y包絡波)	1G	○	○	3方向同時
③鉛直 (鋼製防護壁包絡波)	—	—	1G	○	—	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	
①3方向 (Y方向(堤軸直交)包絡波)	1G	2G (Y包絡波)	1G	○	○	3方向同時
②鉛直 (鋼製防護壁波形入力)	—	—	1G	—	—	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

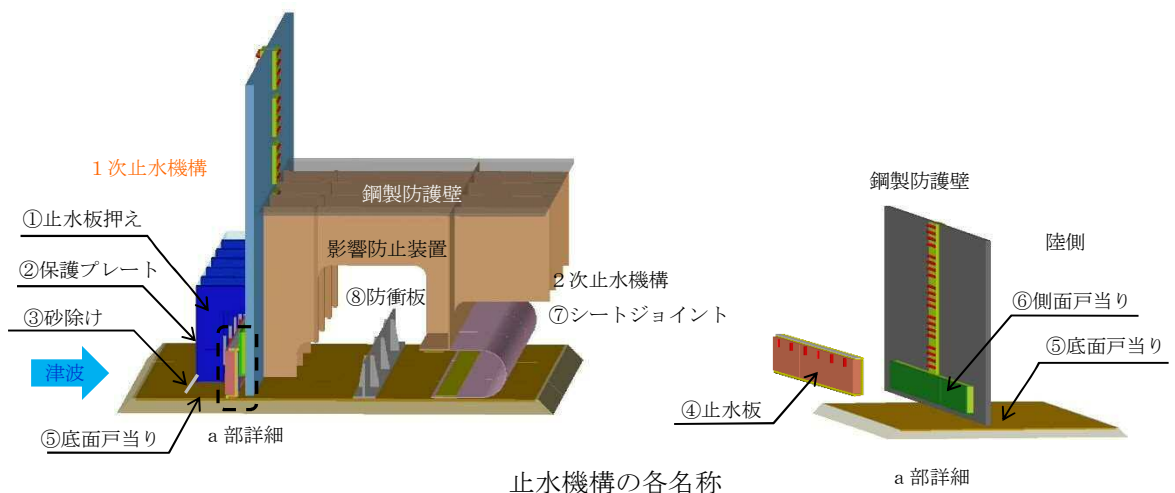
実証試験では以下の項目について判定を行い、「止水板の地震時の追従性」、「水密ゴムの健全性」及び「1次止水機構の構成部品の健全性」について確認し、止水機構全体に影響がないことを確認した。表3に実証試験の確認項目と試験結果を示す。

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、想定どお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	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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

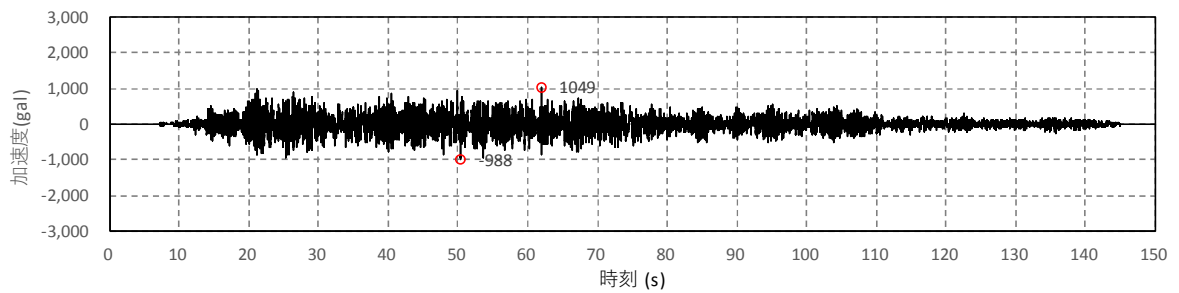
①3方向（X方向（堤軸）包絡波）

a. 水平（Y方向）加速度最大（1回目）

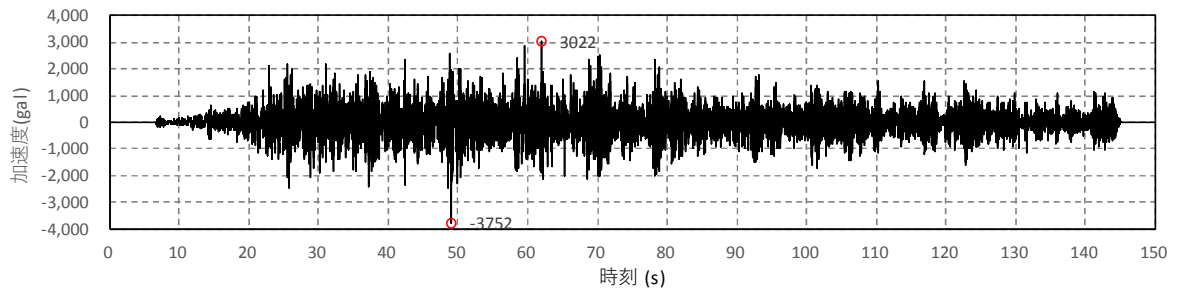
【振動台上応答加速度変位】

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

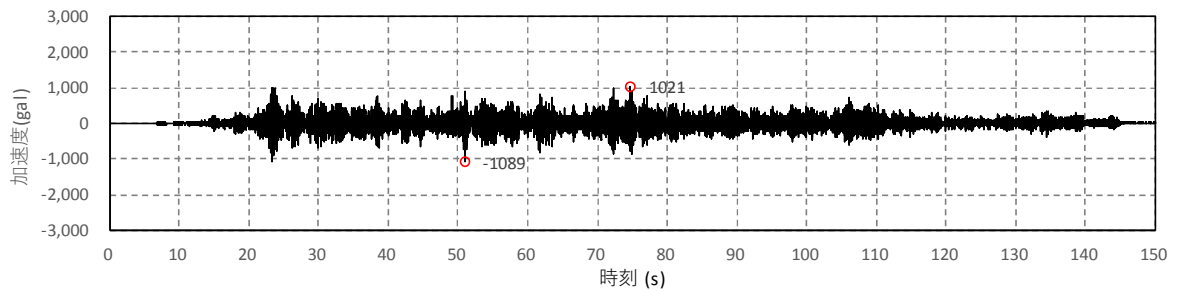
X方向



Y方向



Z方向



【鉛直変位時刻歴波形】

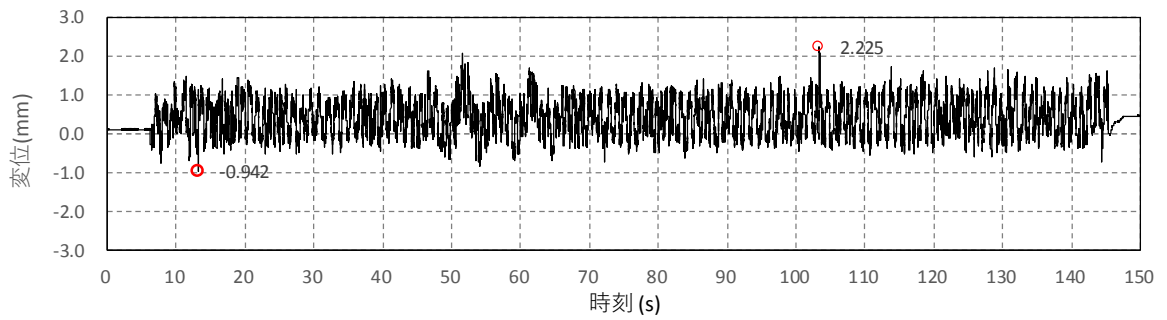


図-a DV-1 時刻歴波形

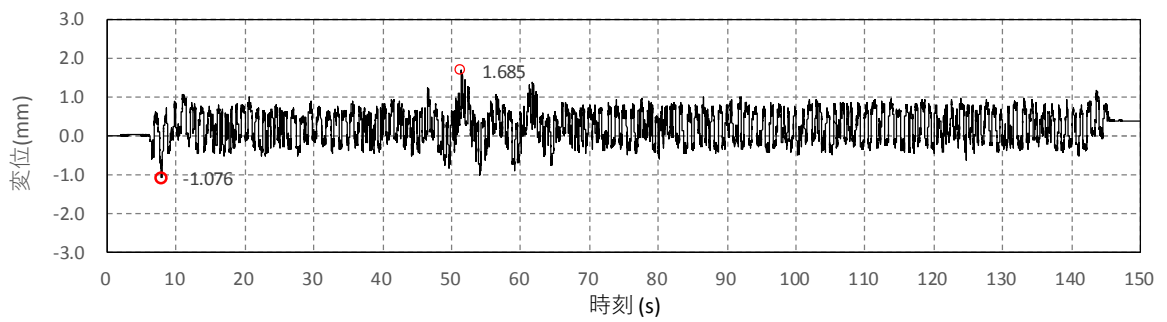


図-b DV-2 時刻歴波形

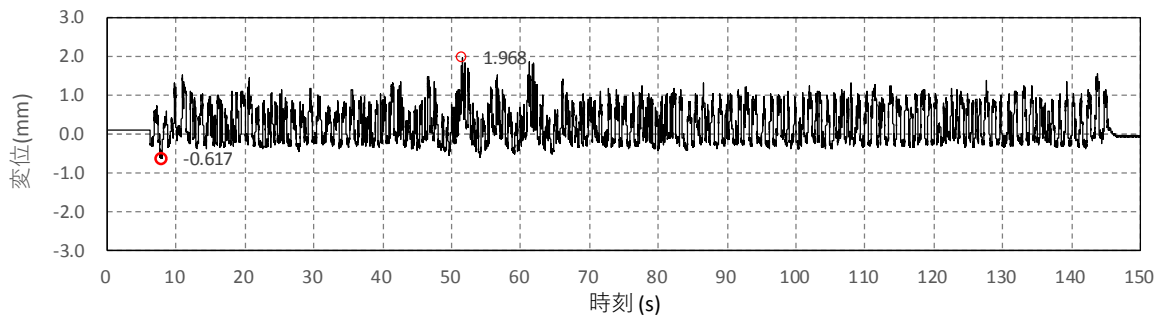


図-c DV-3 時刻歴波形

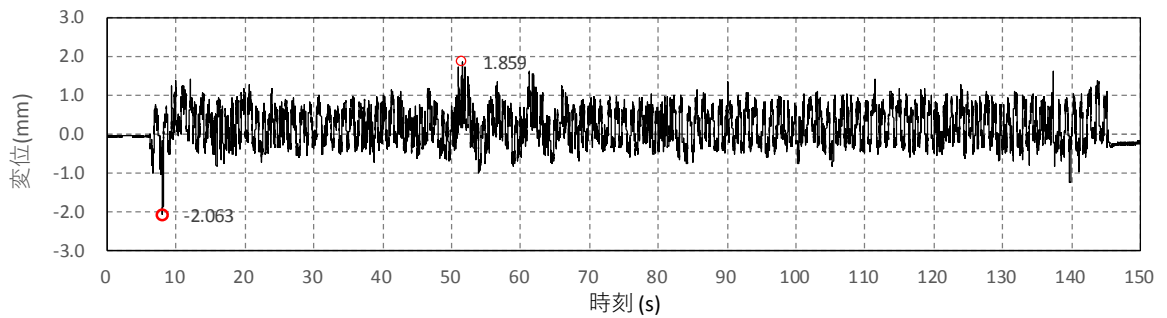


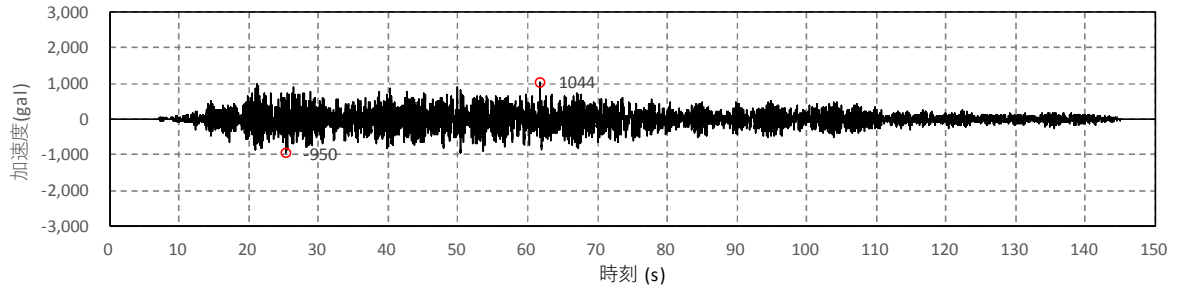
図-d DV-4 時刻歴波形

b. 水平（Y方向）加速度最大（2回目）

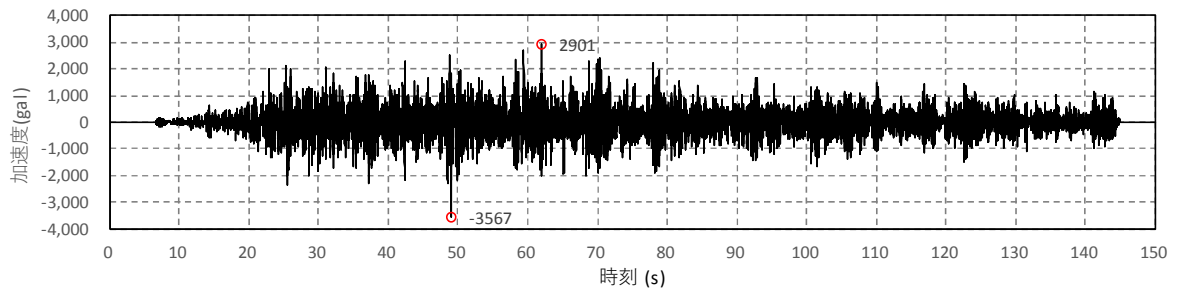
【振動台上応答加速度波形】

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

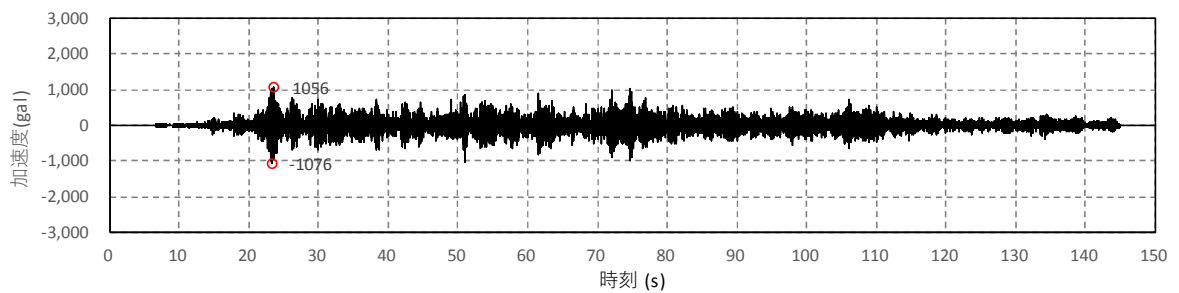
X方向



Y方向



Z方向



【鉛直変位時刻歴波形】

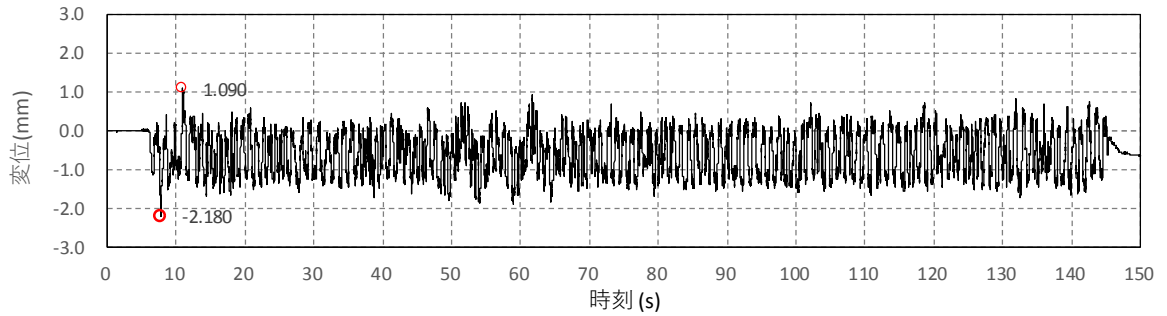


図-a DV-1 時刻歴波形

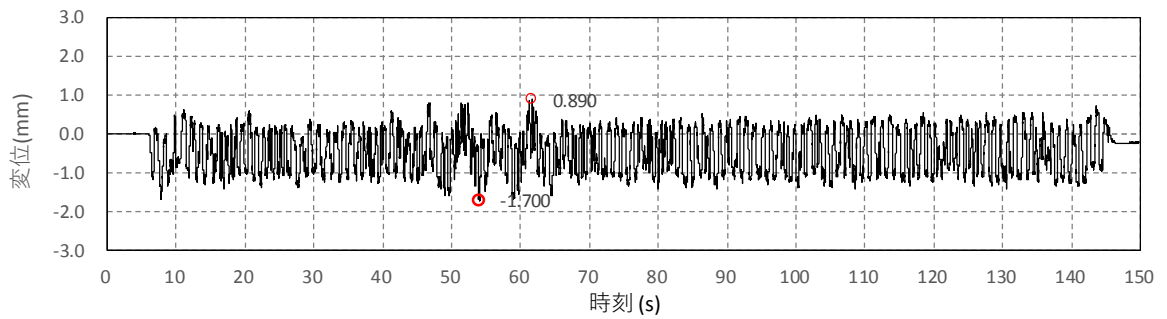


図-b DV-2 時刻歴波形

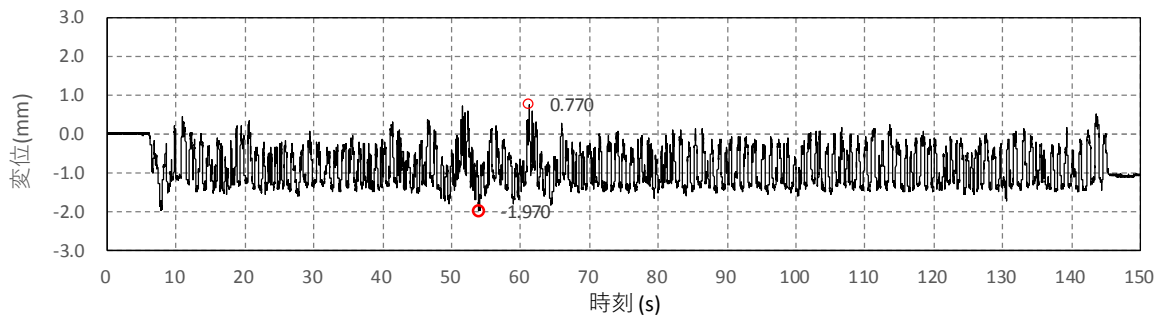


図-c DV-3 時刻歴波形

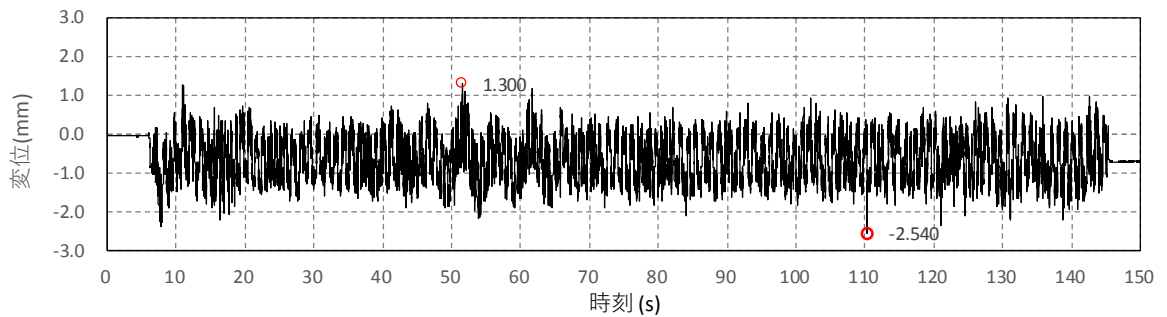


図-d DV-4 時刻歴波形

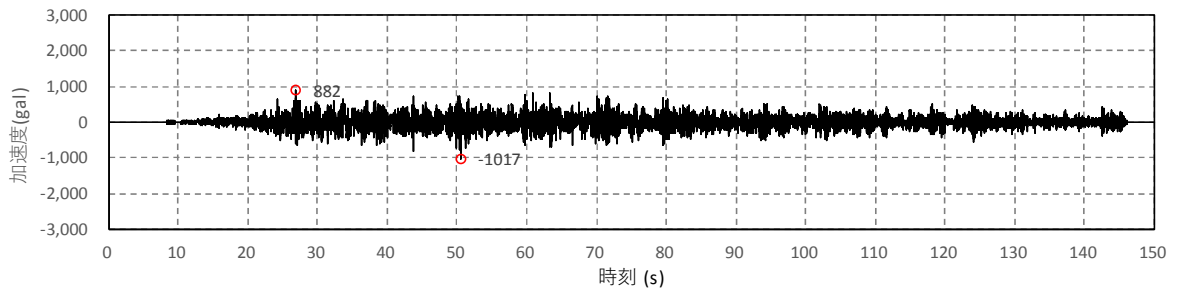
②3 方向 (Y 方向 (堤軸直角) 包絡波)

a. 水平 (Y 方向) 加速度最大 (1 回目)

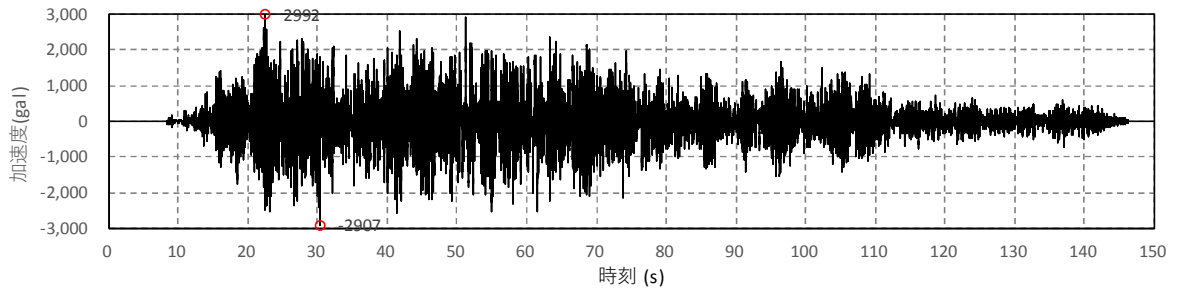
【振動台上応答加速度波形】

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

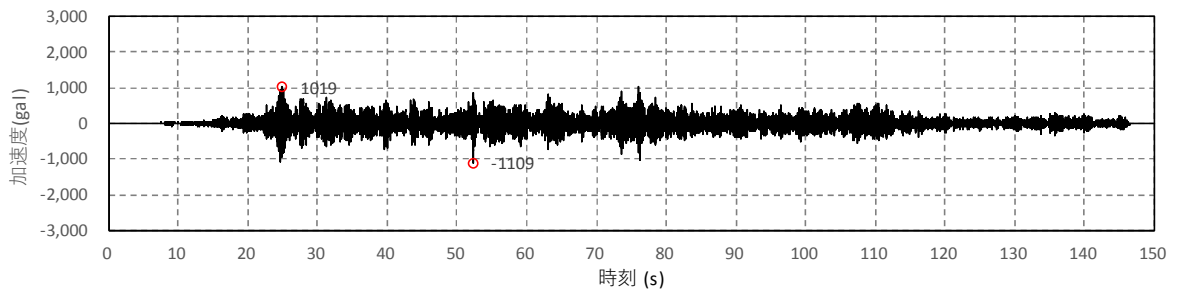
X 方向



Y 方向



Z 方向



【鉛直変位時刻歴波形】

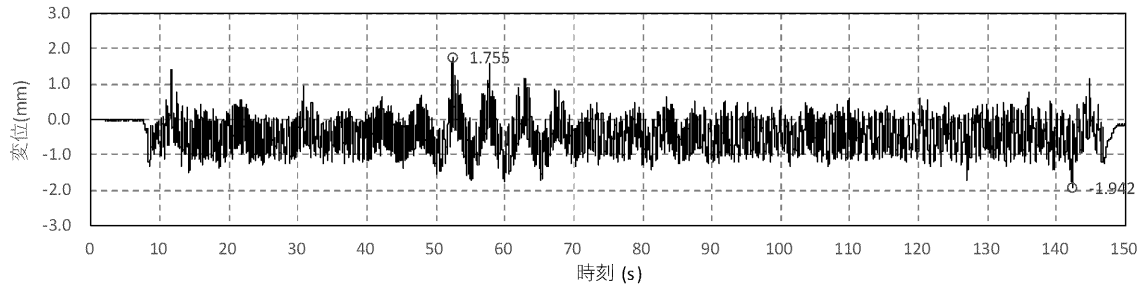


図-a DV-1 時刻歴波形

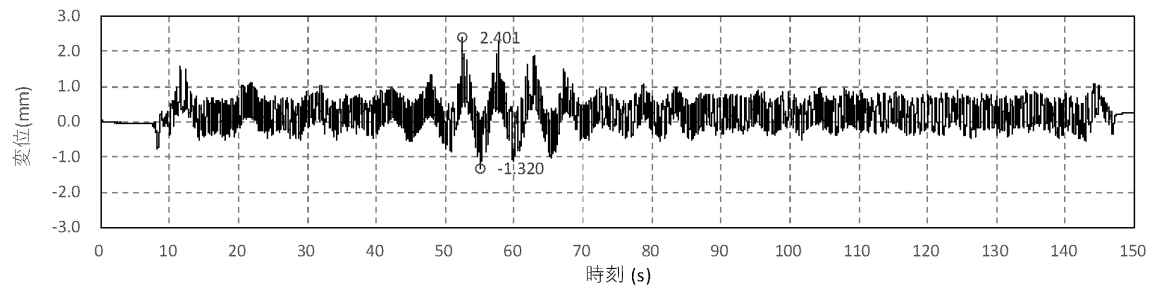


図-b DV-2 時刻歴波形

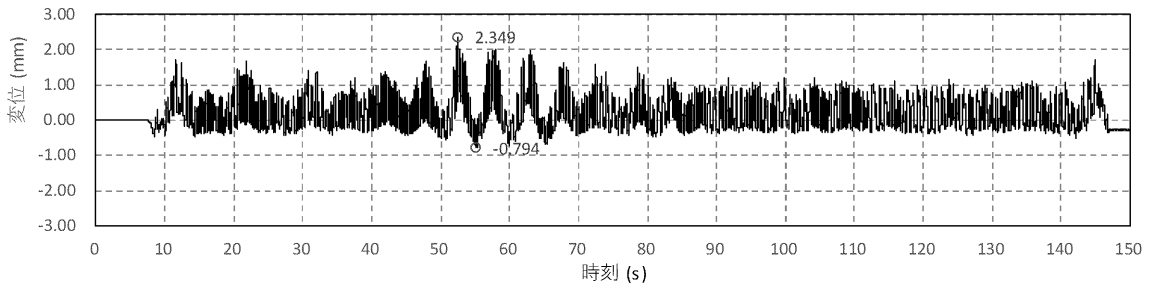


図-c DV-3 時刻歴波形

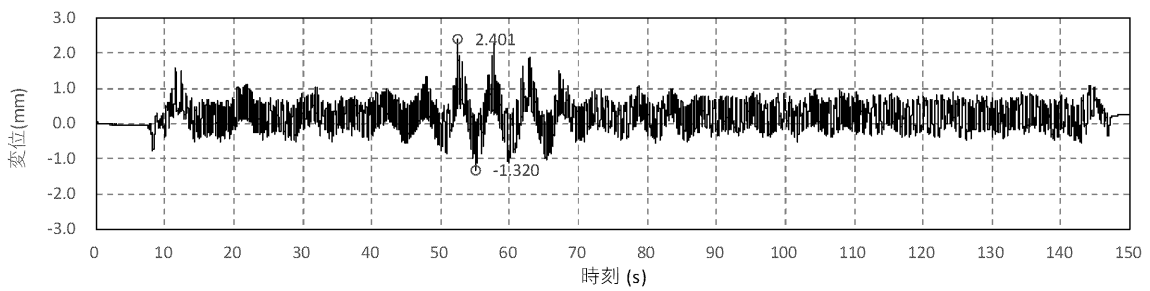


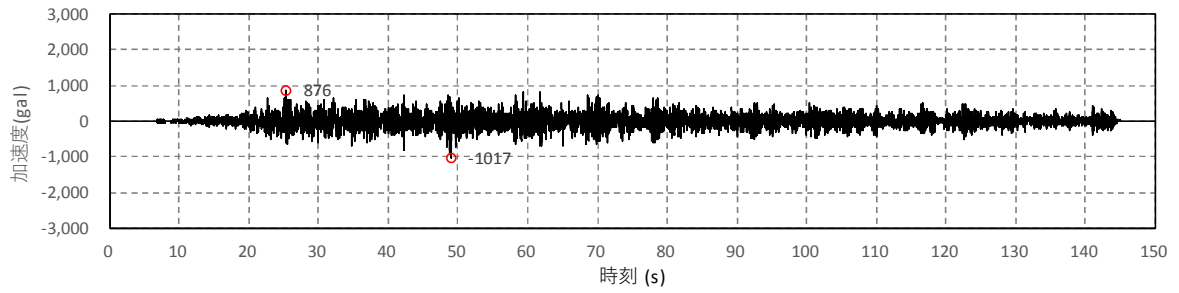
図-d DV-4 時刻歴波形

b. 水平 (Y方向) 加速度最大 (2回目)

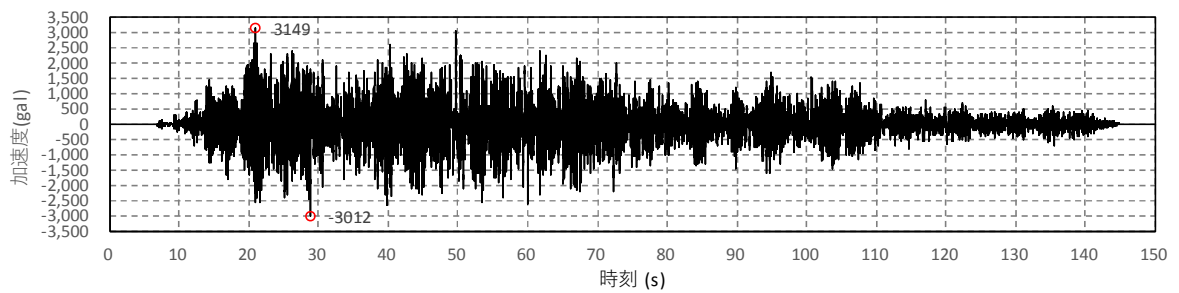
【振動台上応答加速度波形】

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

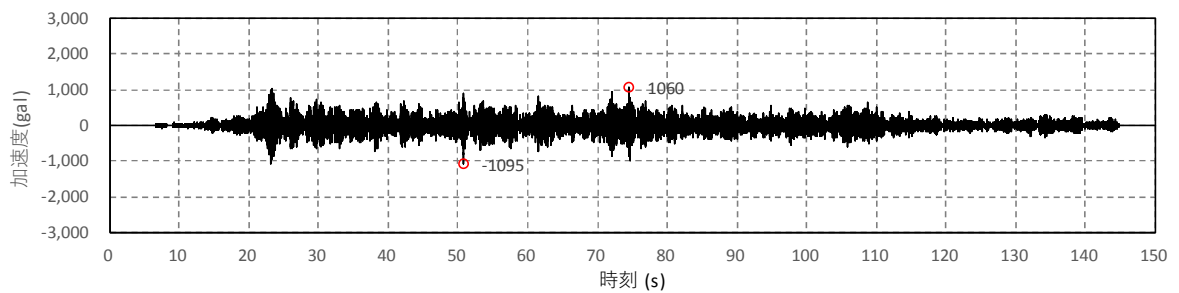
X方向



Y方向



Z方向



【鉛直変位時刻歴波形】

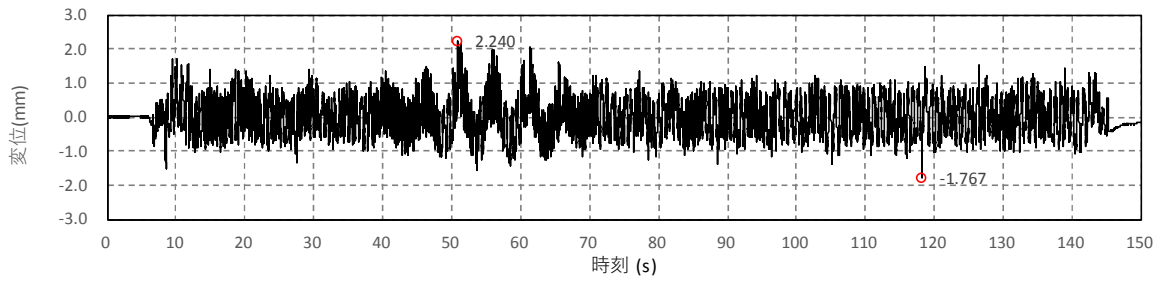


図-a DV-1 時刻歴波形

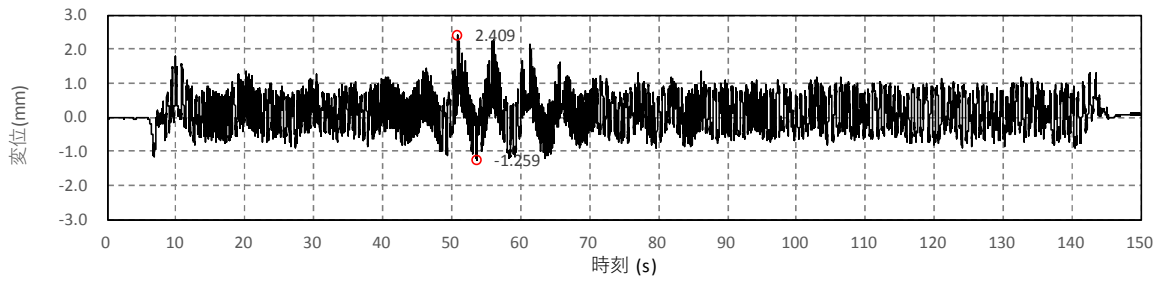


図-b DV-2 時刻歴波形

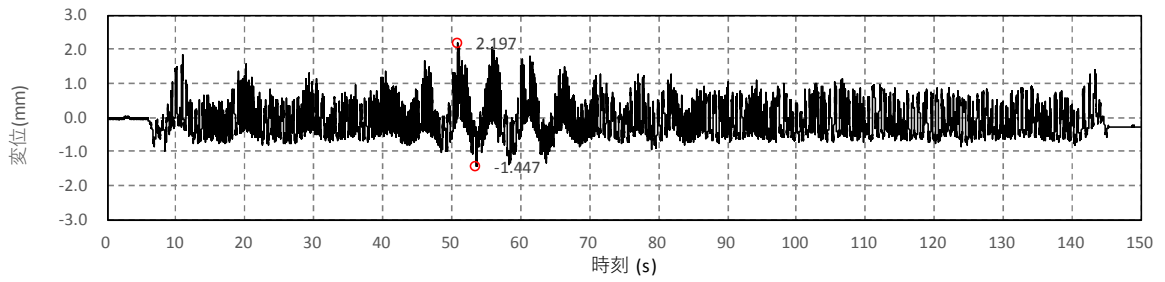


図-c DV-3 時刻歴波形

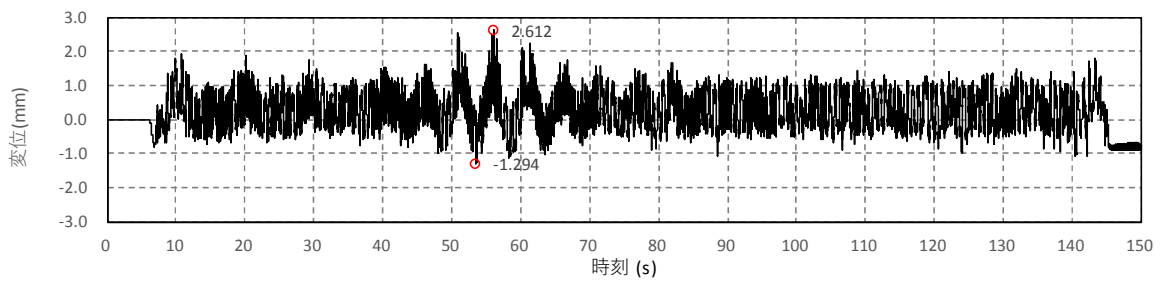


図-d DV-4 時刻歴波形

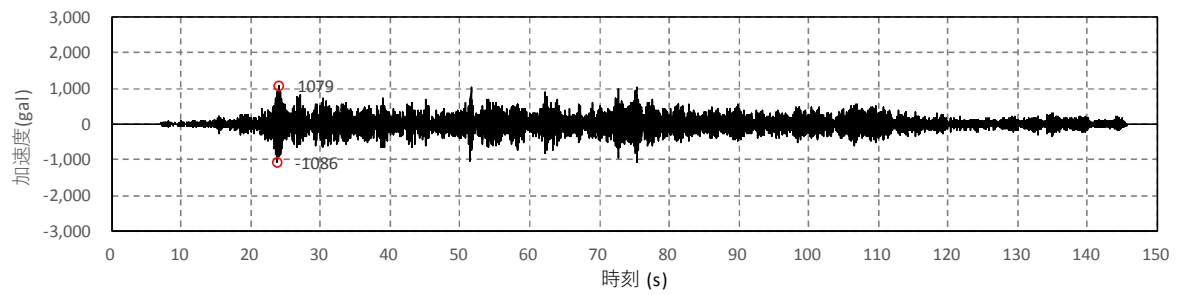
③鉛直（鋼製防護壁包絡波）

a. 鉛直最大加速度（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】

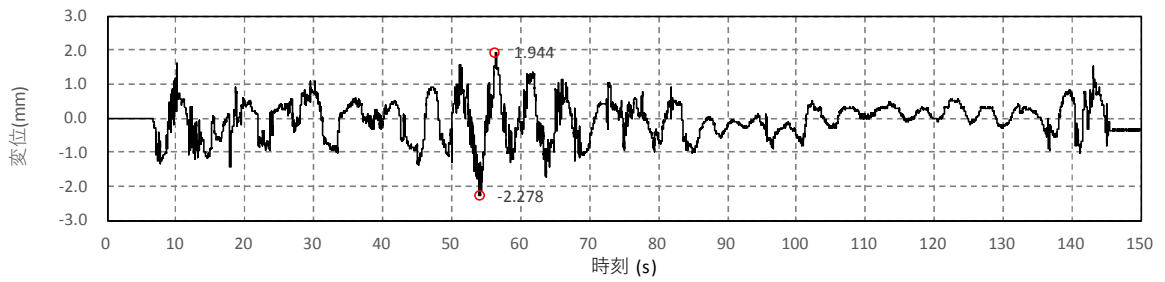


図-a DV-1 時刻歴波形

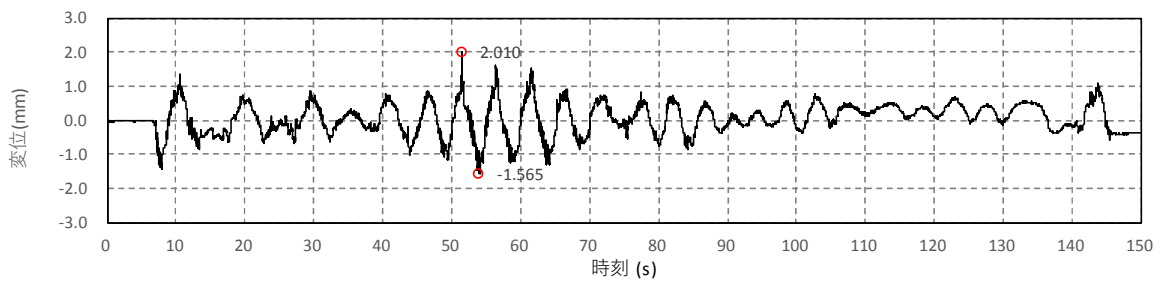


図-b DV-2 時刻歴波形

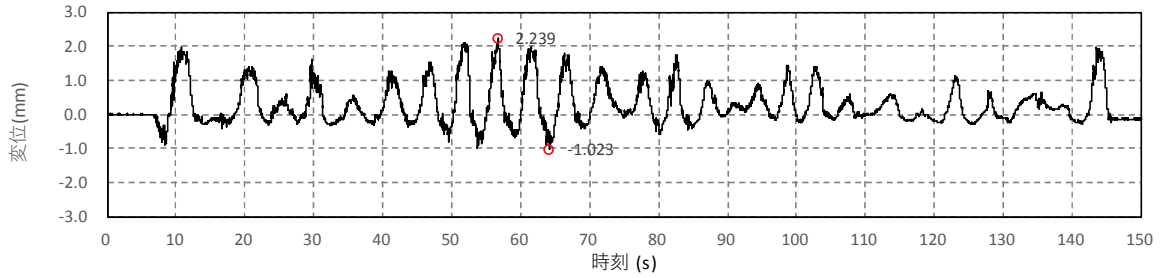


図-c DV-3 時刻歴波形

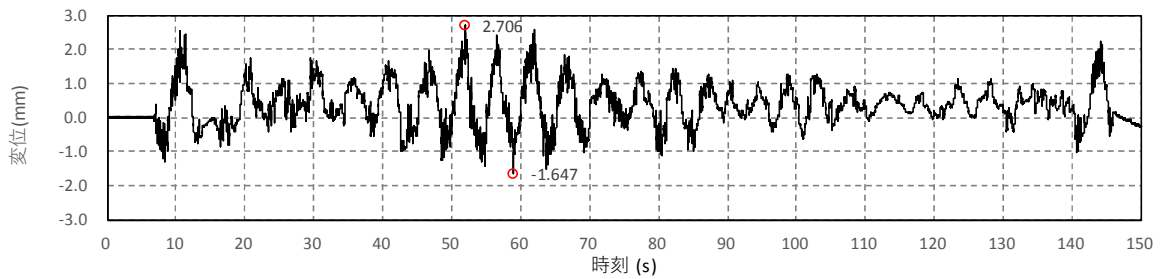


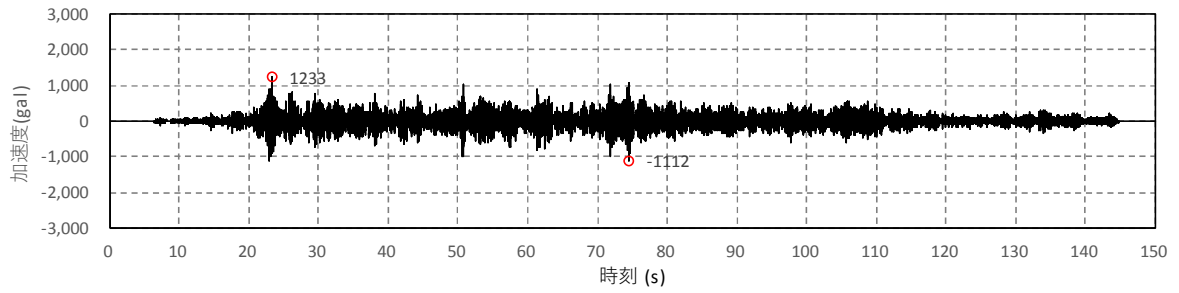
図-d DV-4 時刻歴波形

b. 鉛直最大加速度（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】

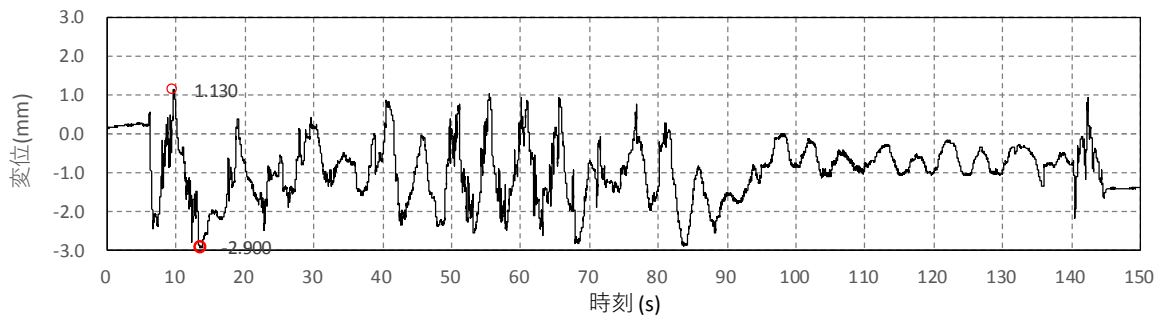


図-a DV-1 時刻歴波形

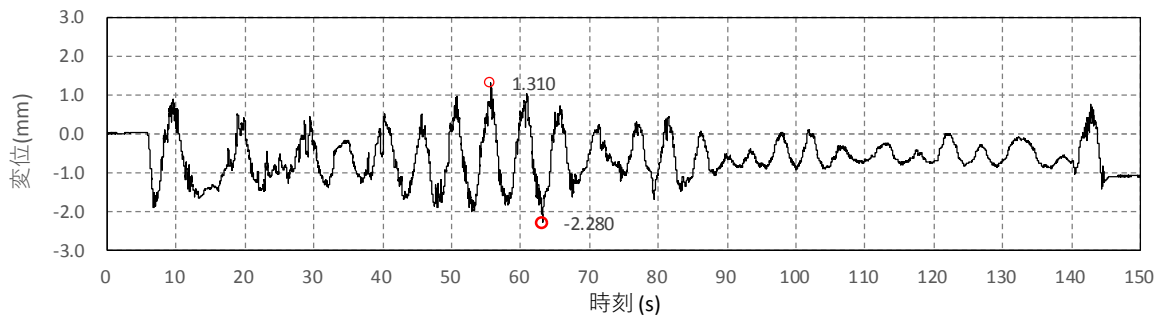


図-b DV-2 時刻歴波形

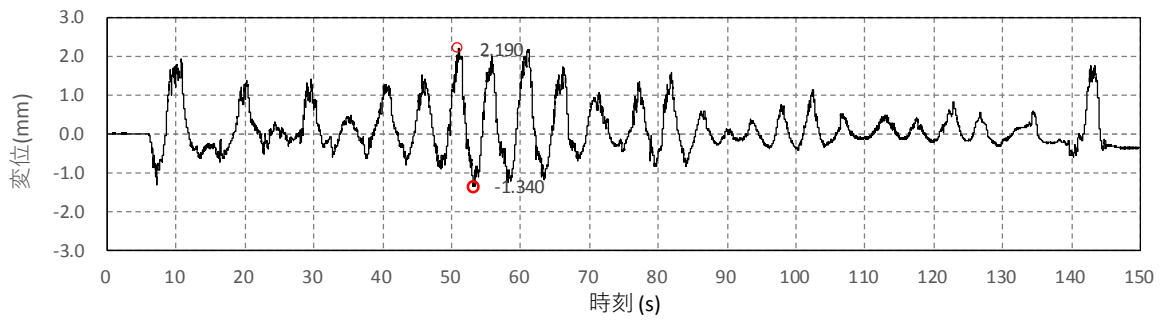


図-c DV-3 時刻歴波形

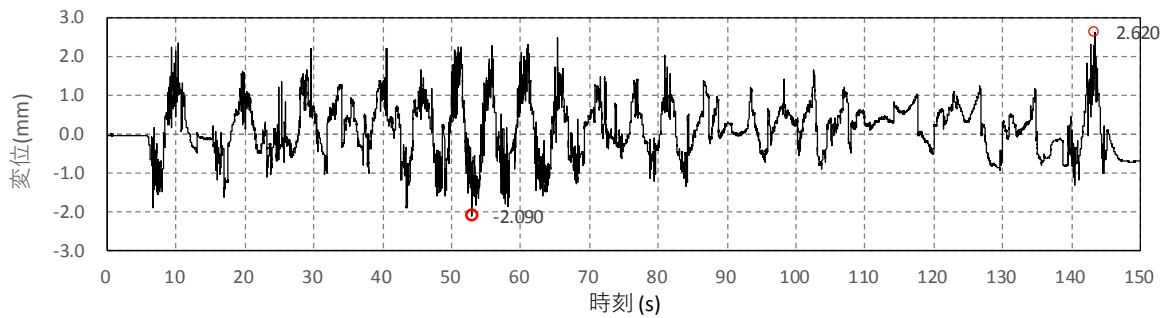


図-d DV-4 時刻歴波形

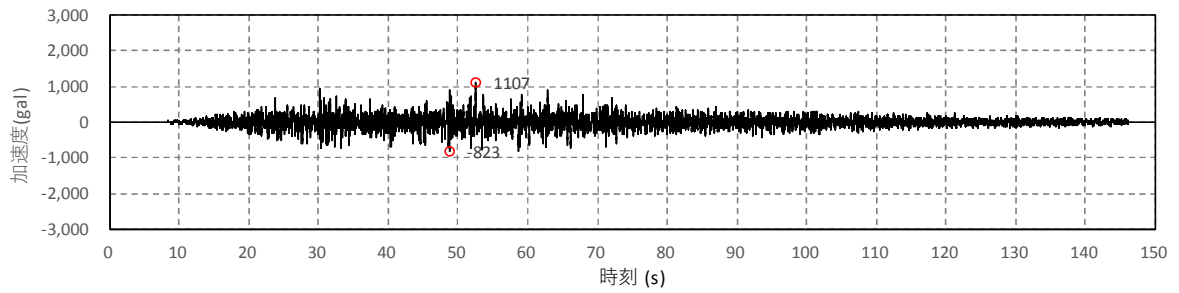
④鉛直（取水路包絡波）

a. 鉛直最大加速度（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】

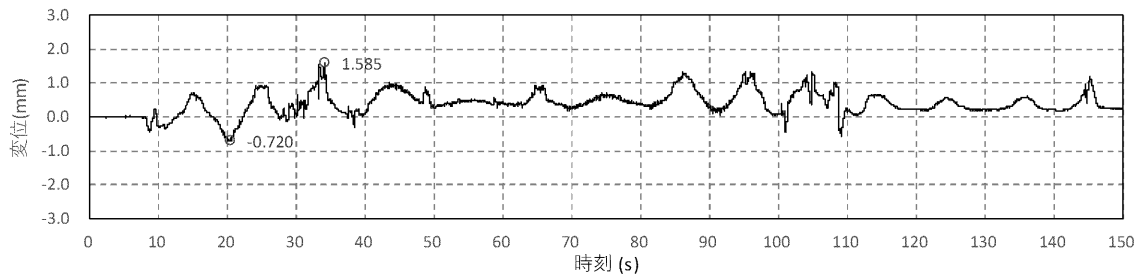


図-a DV-1 時刻歴波形

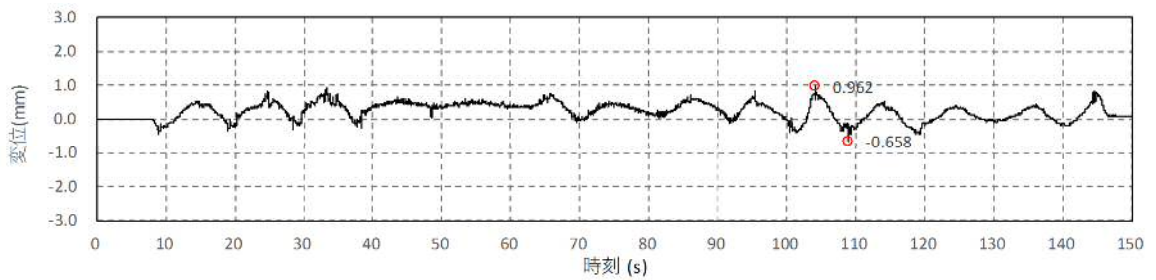


図-b DV-2 時刻歴波形

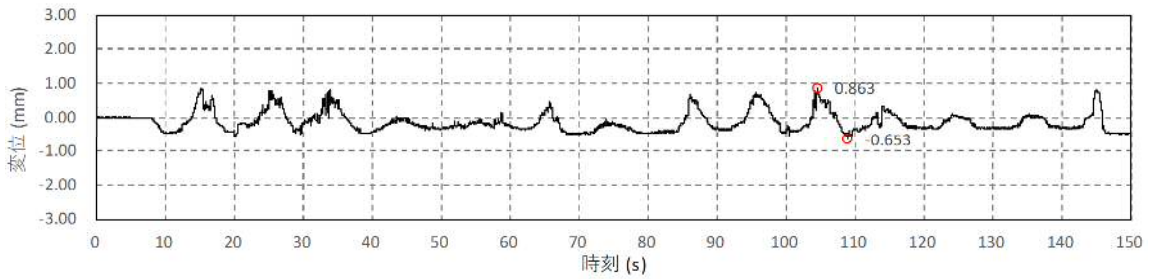


図-c DV-3 時刻歴波形

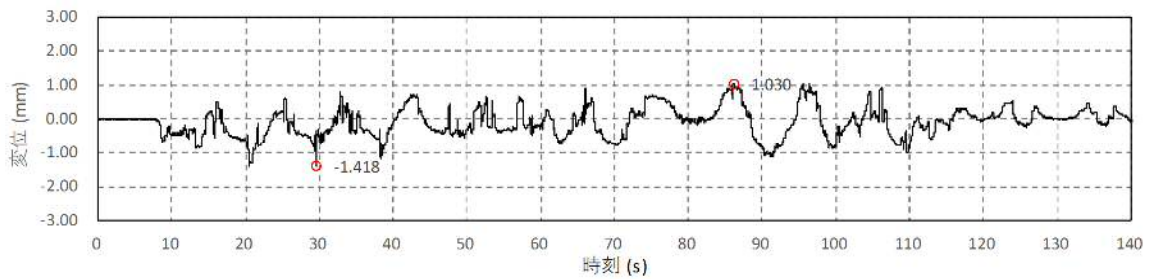


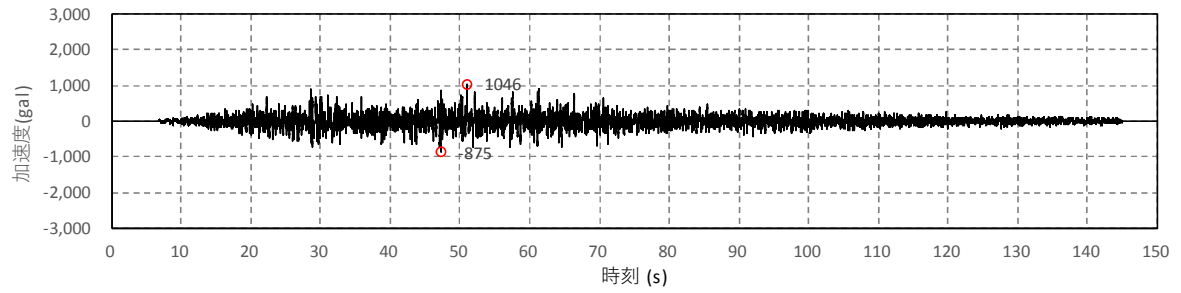
図-d DV-4 時刻歴波形

b. 鉛直最大加速度 (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】

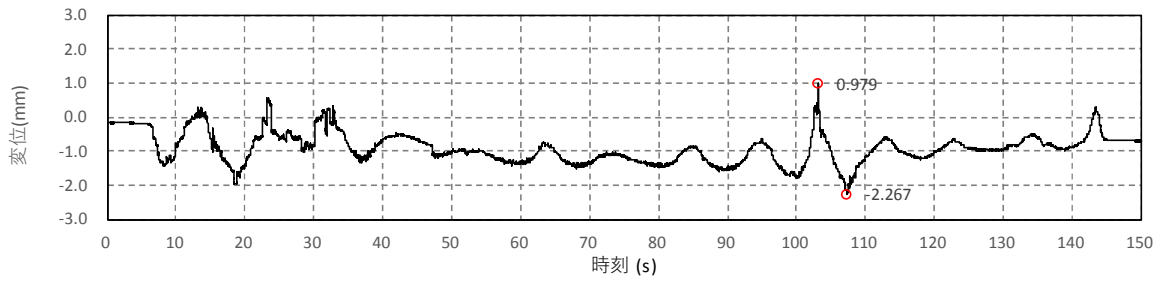


図-a DV-1 時刻歴波形

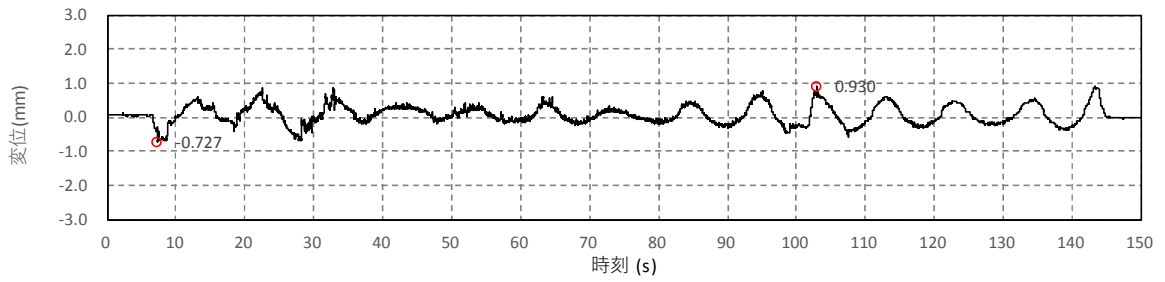


図-b DV-2 時刻歴波形

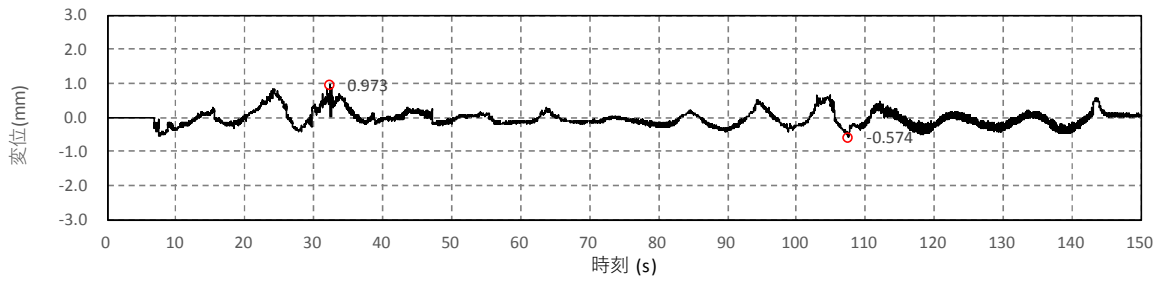


図-c DV-3 時刻歴波形

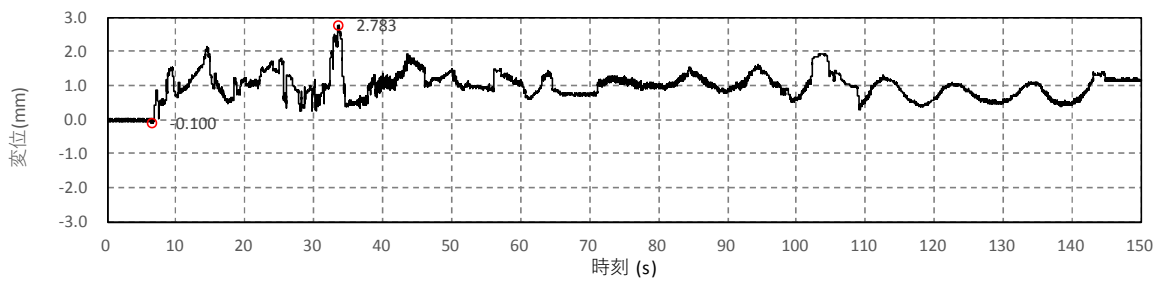


図-d DV-4 時刻歴波形

(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

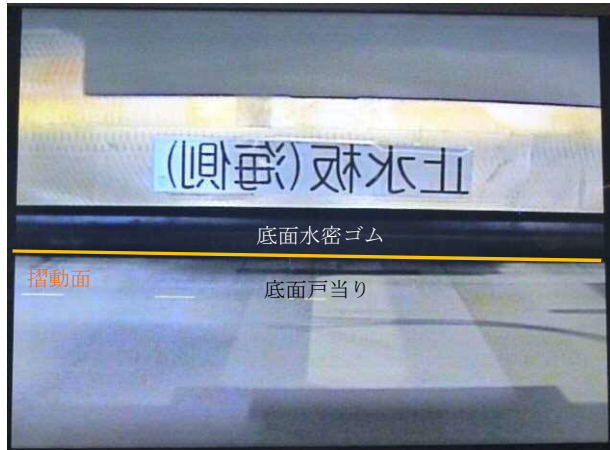


写真 1 底面水密ゴムと底面戸当り
(海側より)

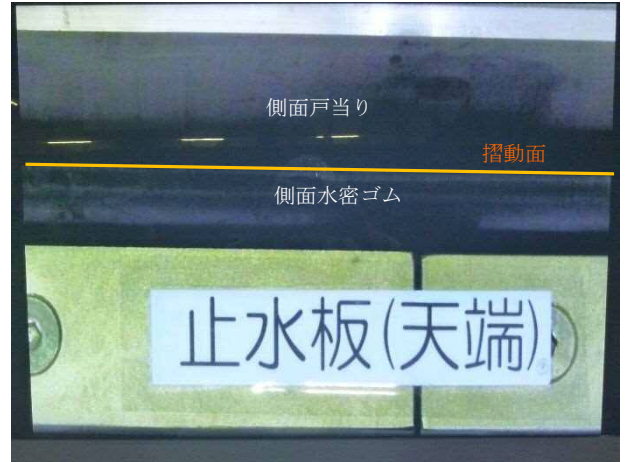


写真 2 側面水密ゴムと側面戸当り
(海側より)

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。

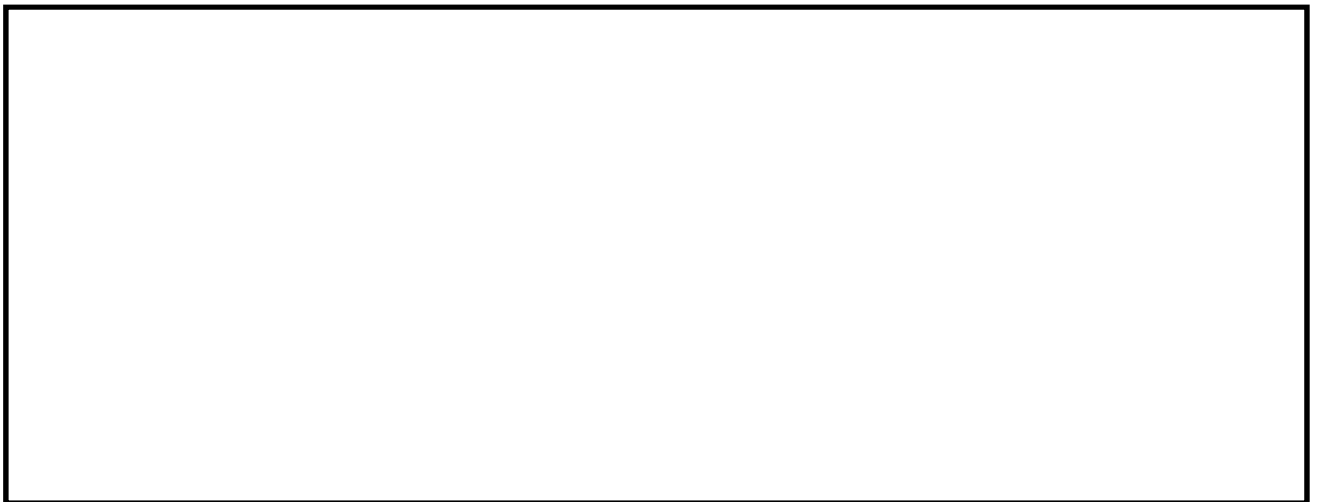


写真 3 底面水密ゴムと底面戸当り
(陸側より)

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 5 加振時の止水板の挙動

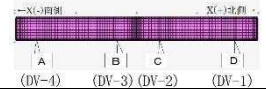
(3) 確認結果【本震時】

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)	2.55 (DV-4)	2.71 (DV-4)	1.59 (DV-1)
		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)	2.40(DV-2) 2.35(DV-3)	2.01(DV-2) 2.24(DV-3)	0.96(DV-2) 0.86(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 6 (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6 (2/2) 加振試験後における水密ゴムの点検結果

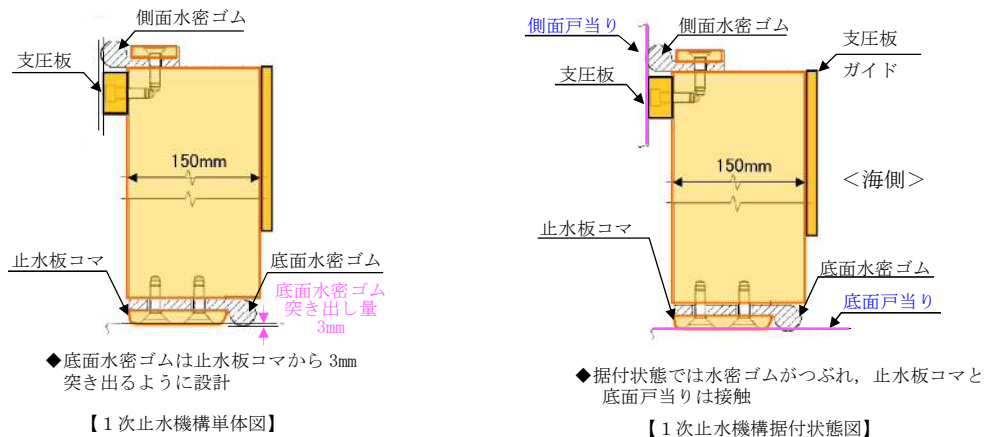


図1 底面，側面水密ゴムの単体及び据付け状況

(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。

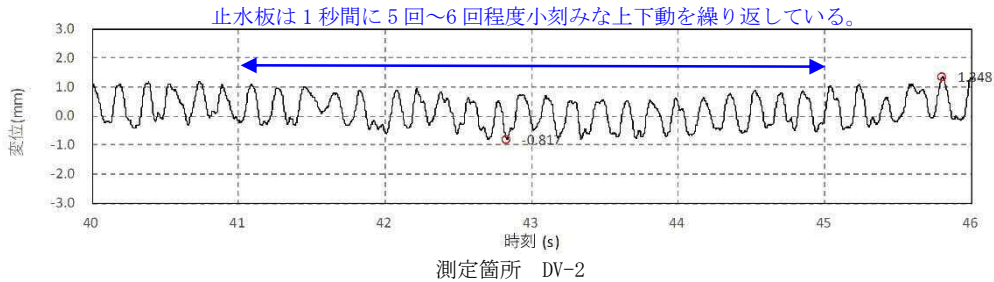
表7 実証試験及び3次元動的解析ケースの目的【本震時】

	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	○	○	<p>【データ拡充】 3方向データ</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆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	○	○	<p>【検証ケース】 3方向データ（実機と同じ方向確認）</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆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モデルケースの検証を行うとともに実機モデルケース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	○	—	<p>【データ拡充】 鉛直方向データ</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆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	○	○	<p>【検証ケース】 鉛直方向データ（実機と同じ方向確認）</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆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する。 ◆3次元動的解析については，実証試験と実証試験モデルケースの検証を行うとともに実機モデルケース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。

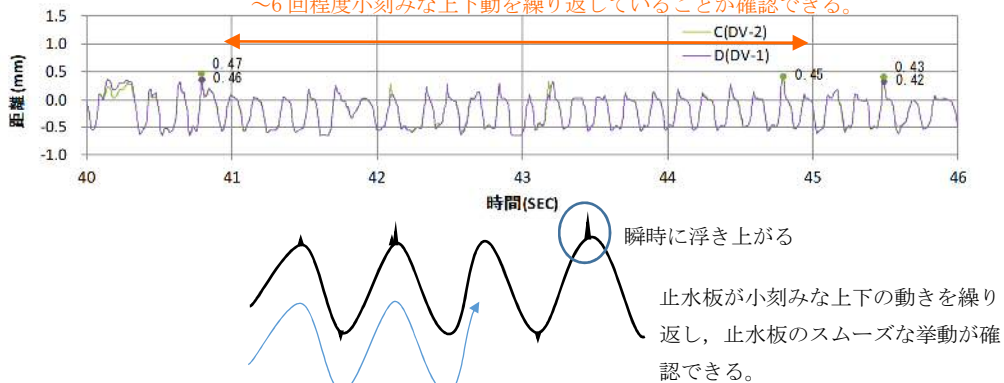
b. 実証試験と実証試験モデルとの検証 (② 3方向Y方向 (堤軸直角) 包絡波での検証)

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。

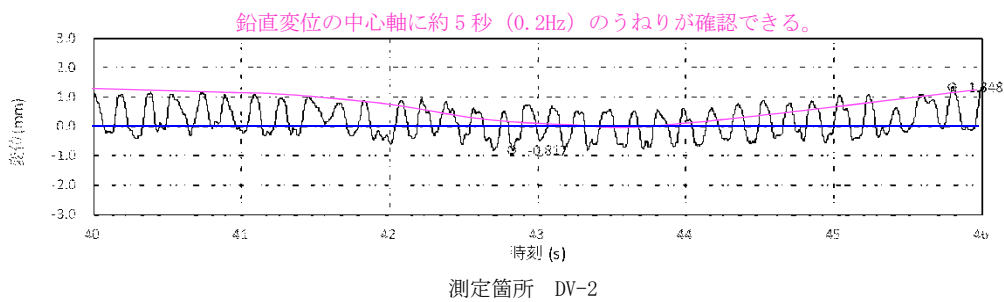
◆ 以上のとおり、三次元動的解析は「実証試験結果」をよく再現できていることから、解析の信頼性は確認できたものと考えられる。このため、実機止水板の地震時の追従性評価への三次元動的解析の適用は問題ないと判断される。

< 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。うねりの原因については、「6.1.3.5 実証試験結果と三次元動的解析結果における評価について」に示す。

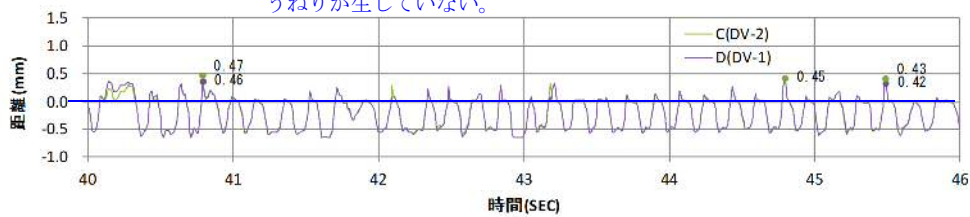
一方、実証試験装置モデルによる三次元動的解析は、加振台のみが振動する条件になっているため、実証試験のような中心軸のうねりが生じていないものと推定される。

【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. 止水板の隙間による傾き量

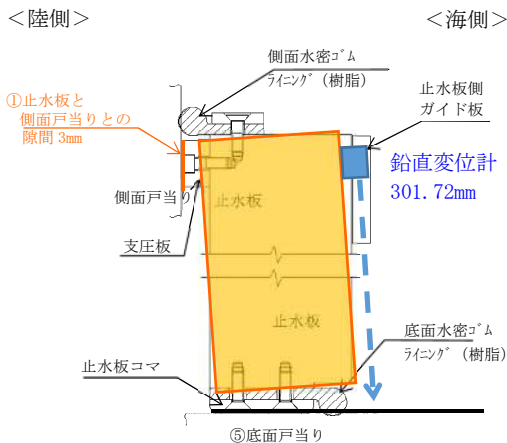
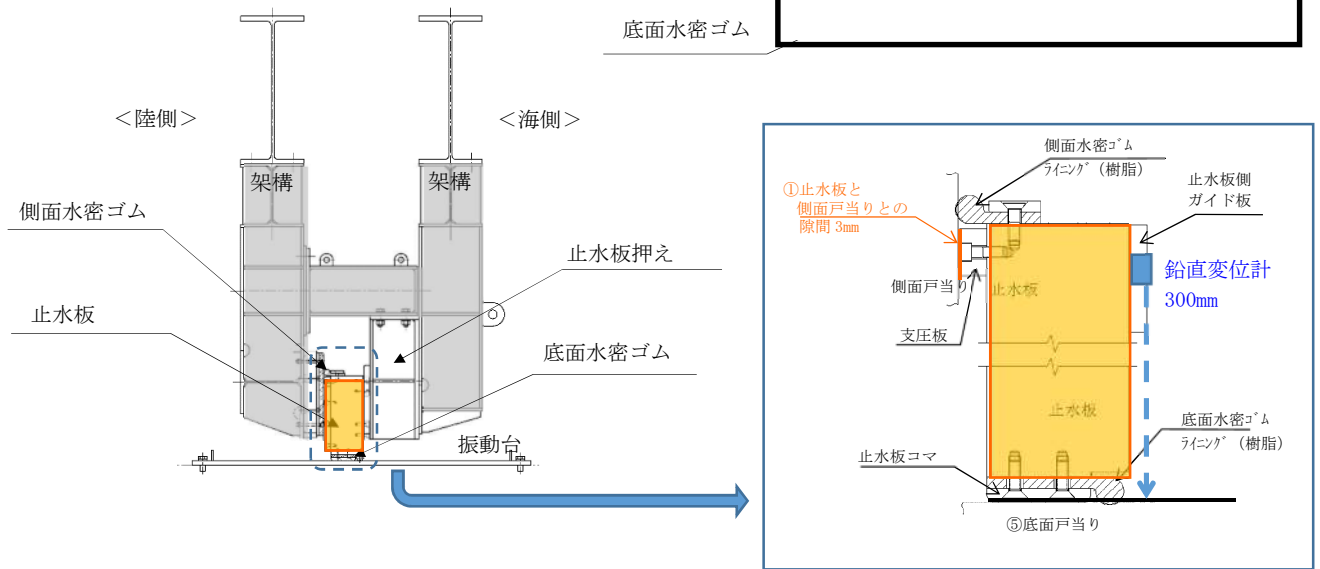
b 項 c 項の特徴にてみられる止水板の上下の挙動について

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量に影響している。

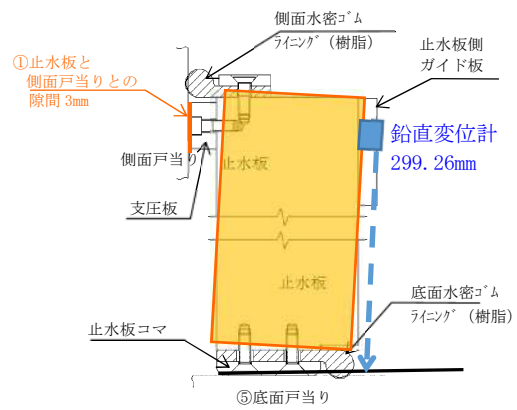
以下は図面寸法による算出結果を示す。

◆通常状態 300mm

- ・陸側に傾いた場合 301.72mm (+1.72mm)
⇒浮き上がる際に考慮する傾き+1.72mm
- ・海側に傾いた場合 299.26mm (-0.74mm)



陸側に倒れた場合



海側に倒れた場合

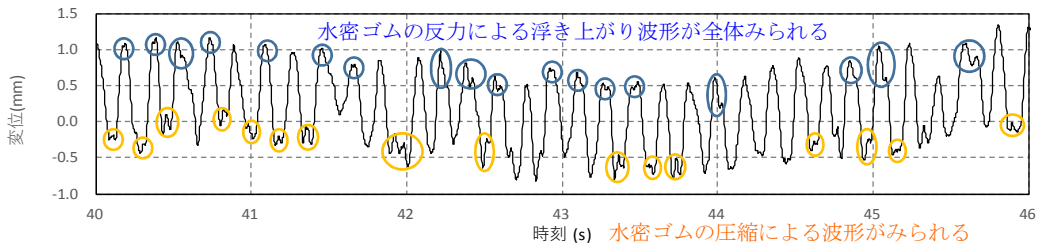
実証試験にて確認できる上下の小刻みによる鉛直変位量の挙動の要因について、止水板と側面戸当りとの隙間 (3mm) による傾きが原因で生じるものであることを評価した。上記に止水板と側面戸当りとの隙間 (3mm) による傾きが原因で生じる鉛直変位量を示す。

したがって、実証試験による鉛直変位量の測定結果には、止水板と側面戸当りとの隙間 (3mm) による傾きが原因で生じる鉛直変位量が含まれていることに留意が必要である。

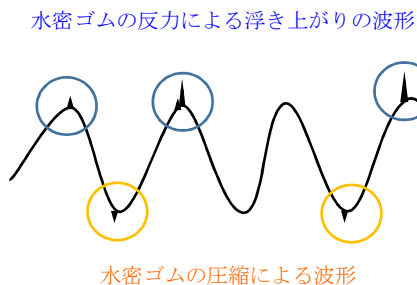
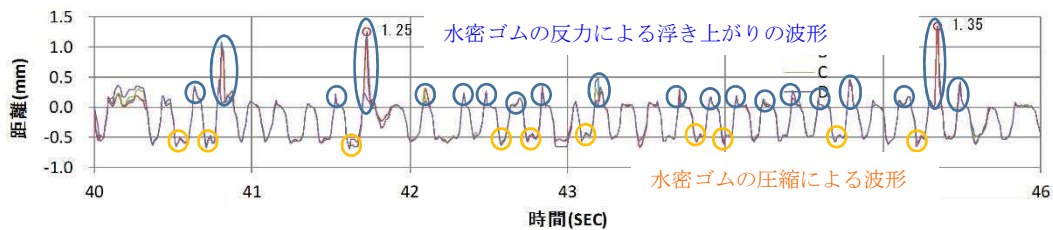
d. 水密ゴムの浮き上がりと圧縮による挙動について

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や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や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。

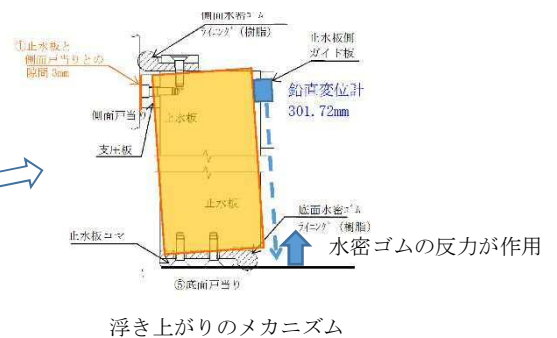
<実証試験> 3 方向鉛直変位



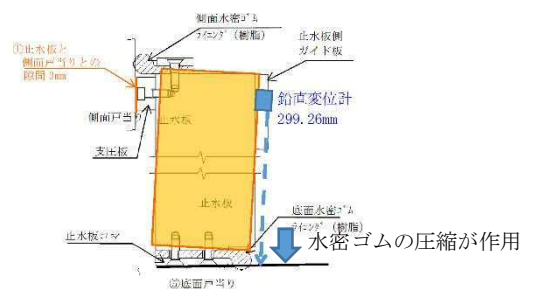
<3次元動的解析> 3 方向鉛直変位



止水板の鉛直変位の模式図（3方向加振）



浮き上がりのメカニズム



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

①3 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

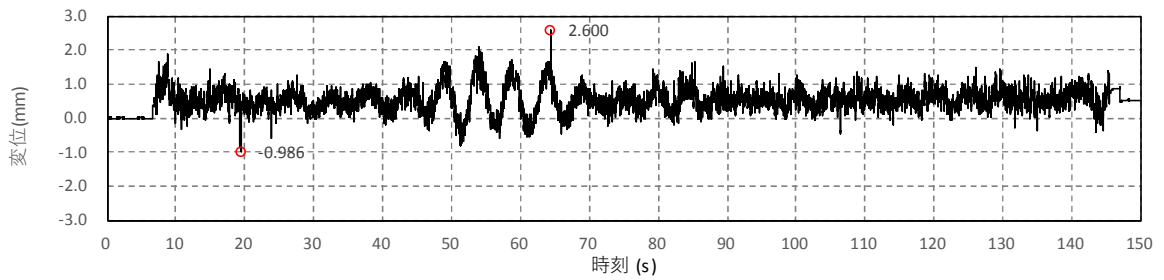


図-a DV-1 時刻歴波形

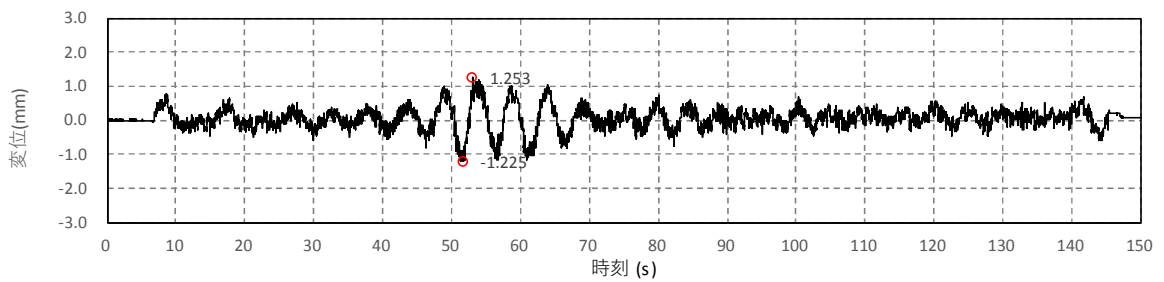


図-b DV-2 時刻歴波形

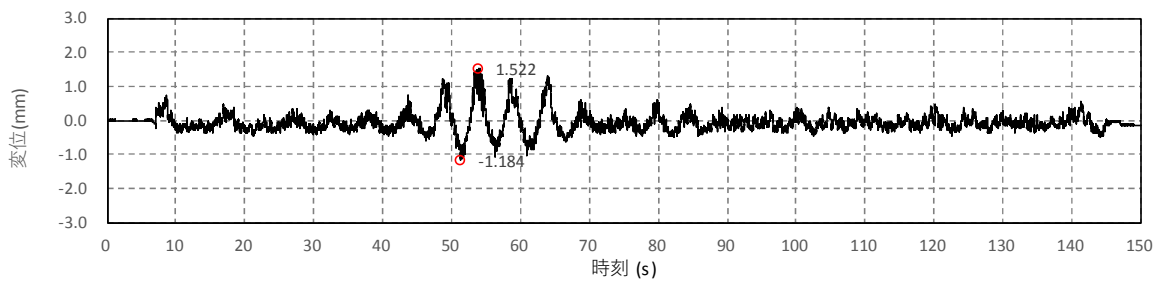


図-c DV-3 時刻歴波形

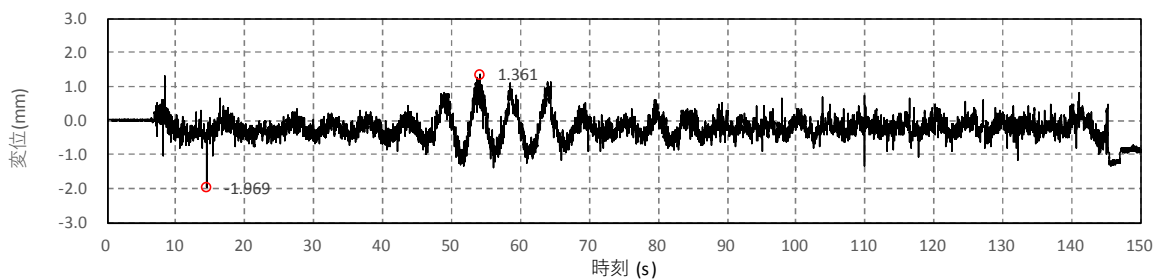


図-d DV-4 時刻歴波形

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

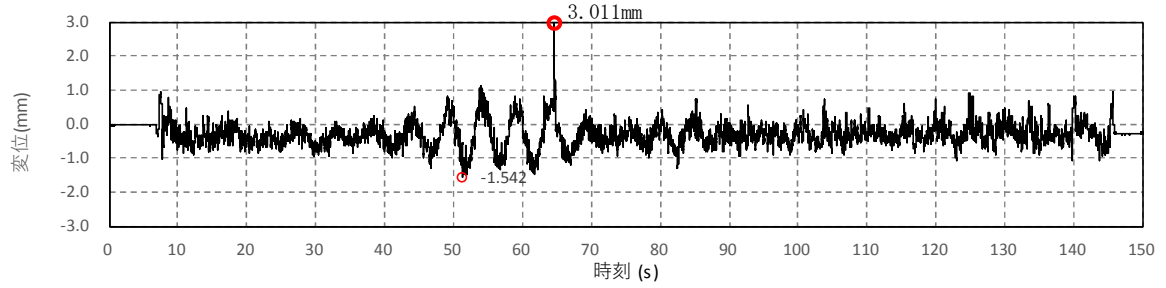


図-a DV-1 時刻歴波形

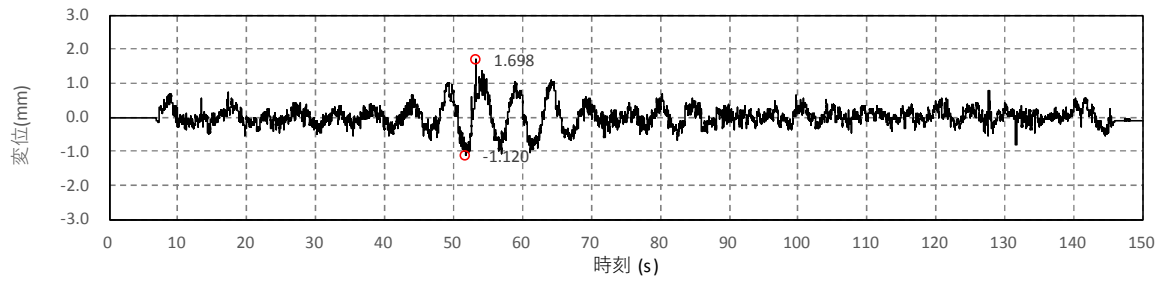


図-b DV-2 時刻歴波形

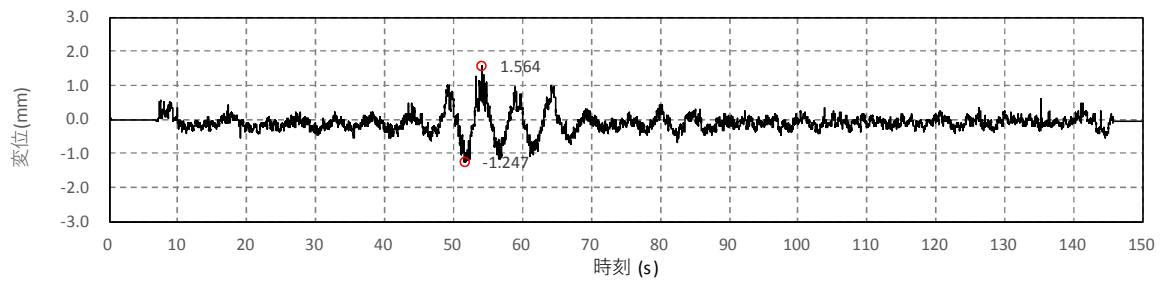


図-c DV-3 時刻歴波形

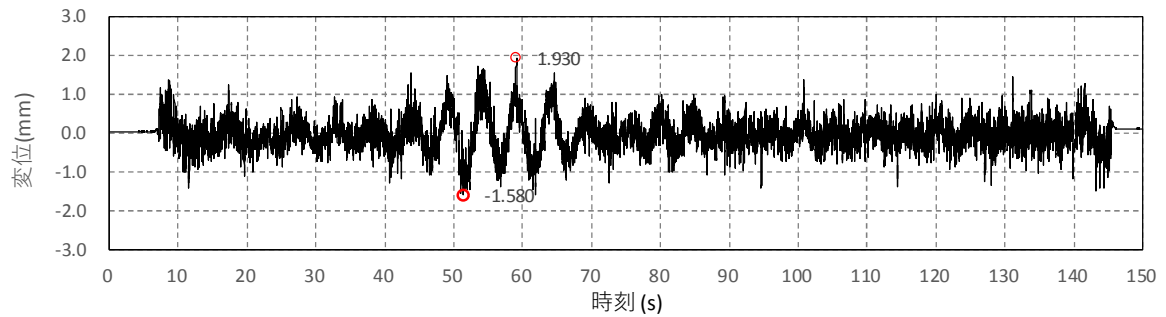


図-d DV-4 時刻歴波形

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

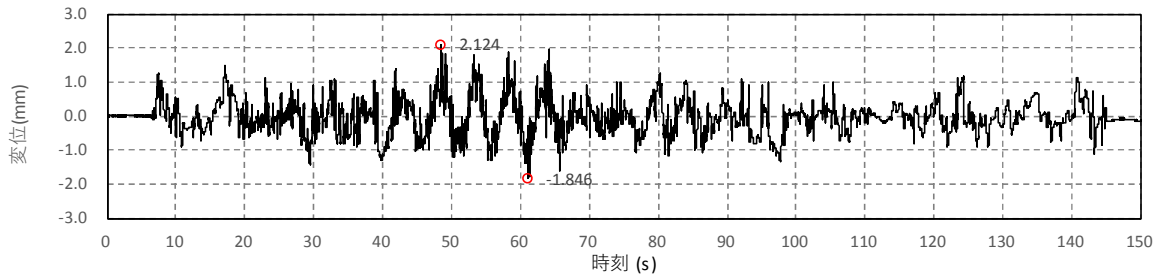


図-a DV-1 時刻歴波形

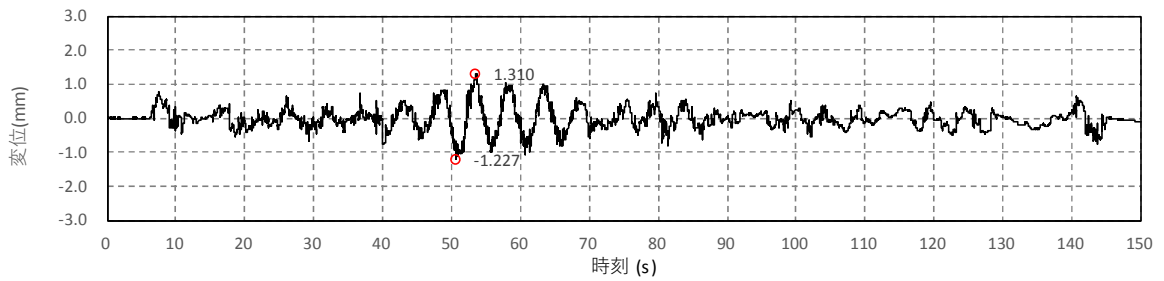


図-b DV-2 時刻歴波形

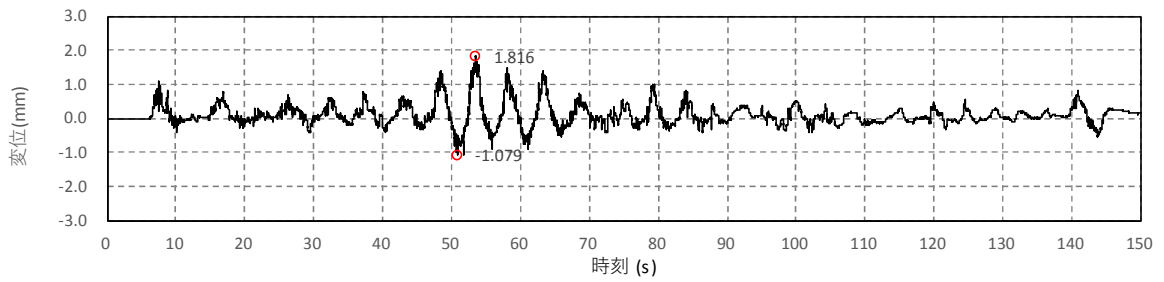


図-c DV-3 時刻歴波形

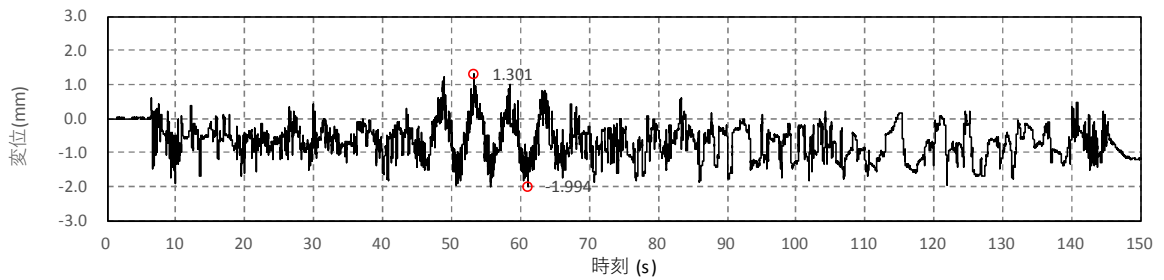


図-d DV-4 時刻歴波形

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

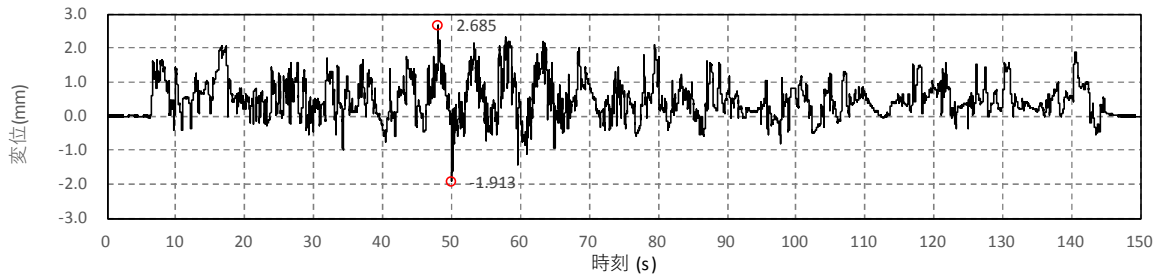


図-a DV-1時刻歴波形

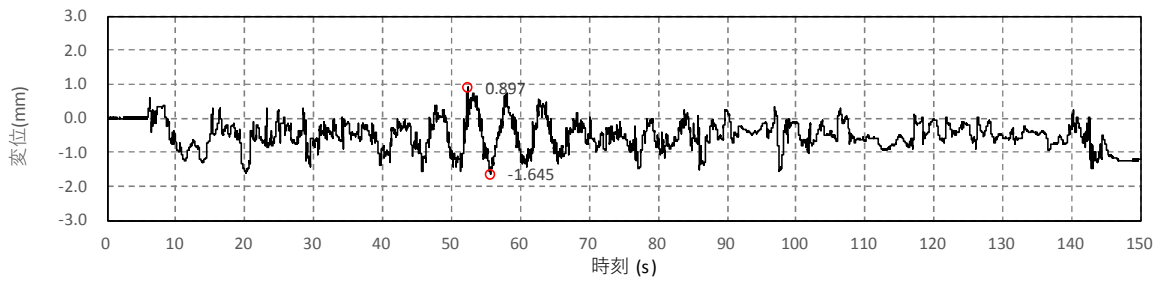


図-b DV-2時刻歴波形

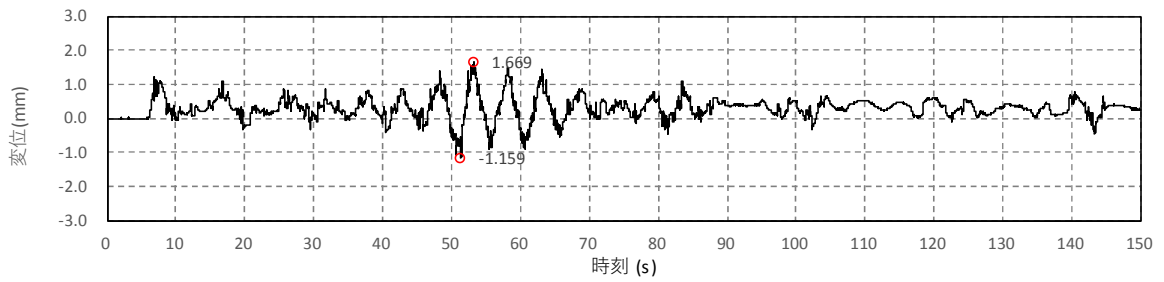


図-c DV-3時刻歴波形

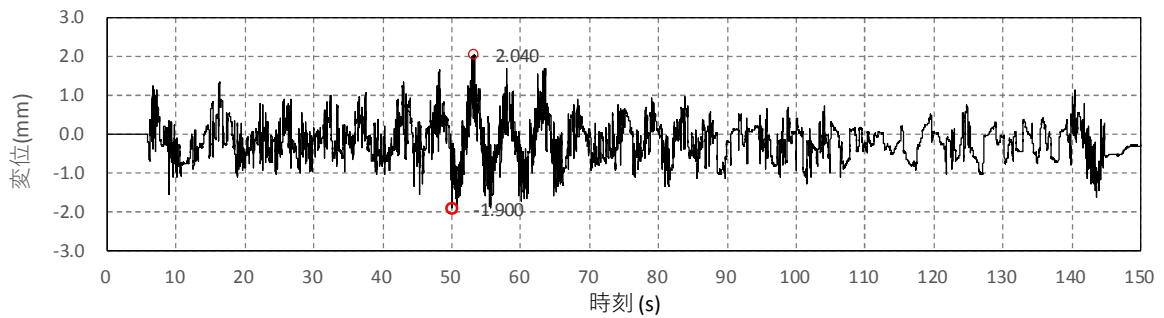


図-d DV-4時刻歴波形

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

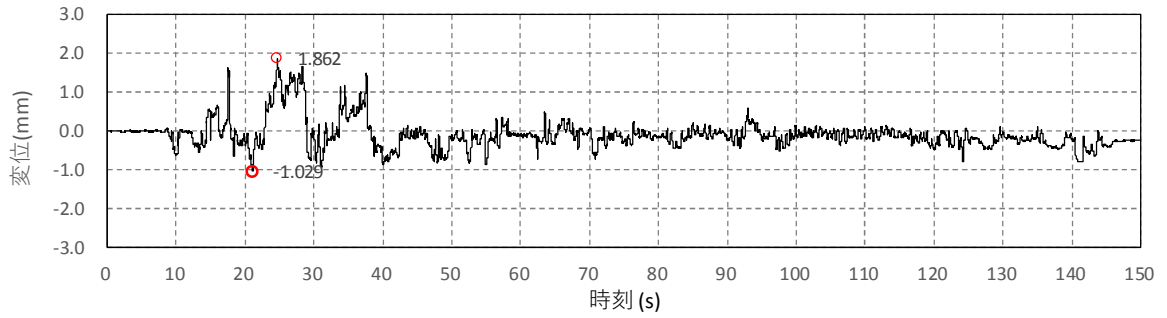


図-a DV-1 時刻歴波形

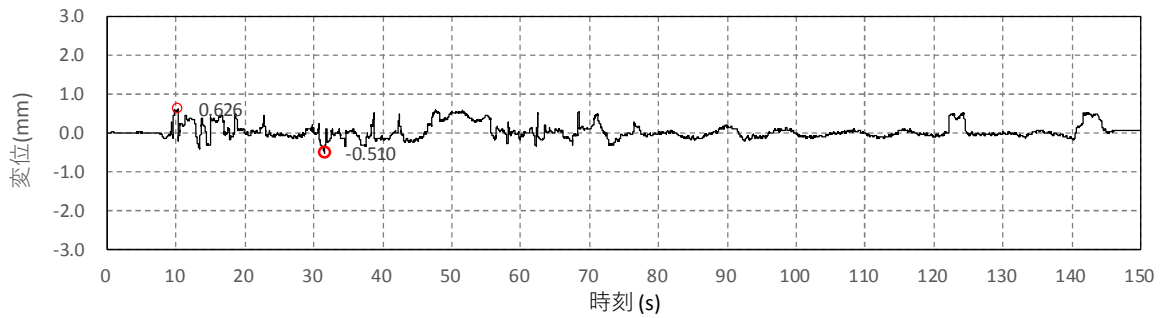


図-b DV-2 時刻歴波形

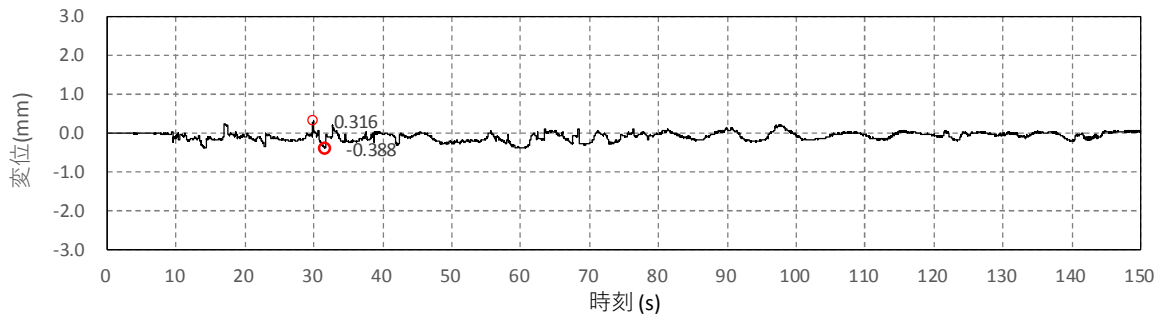


図-c DV-3 時刻歴波形

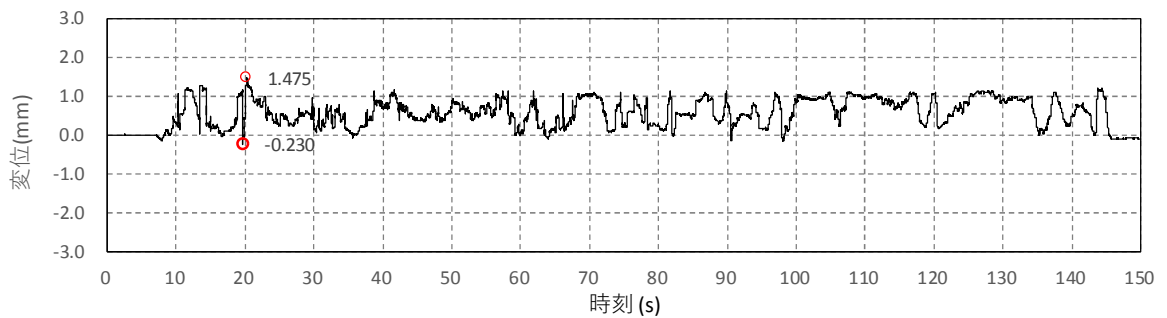


図-d DV-4 時刻歴波形

b. 鉛直最大変位 (1 回目)

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

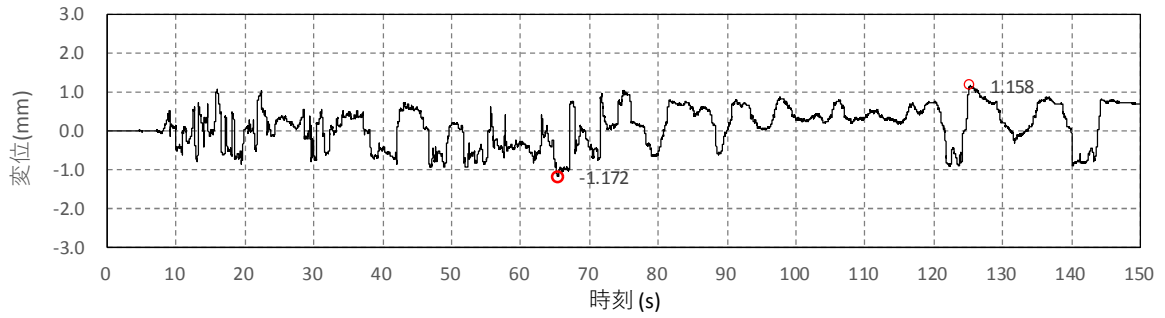


図-a DV-1 時刻歴波形

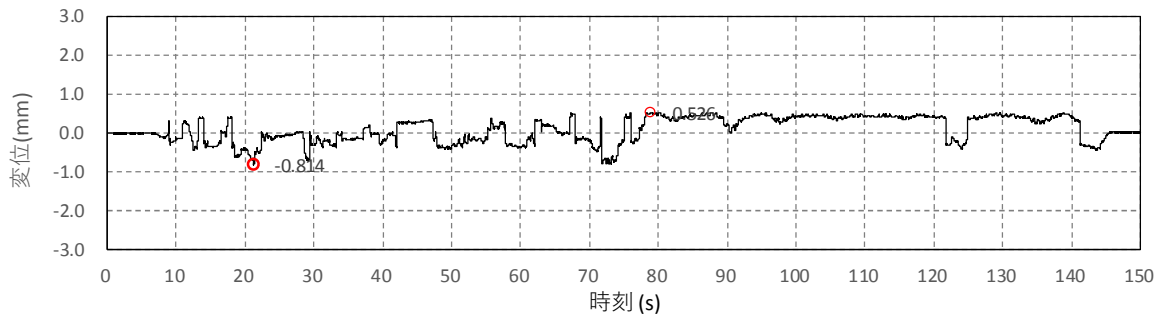


図-b DV-2 時刻歴波形

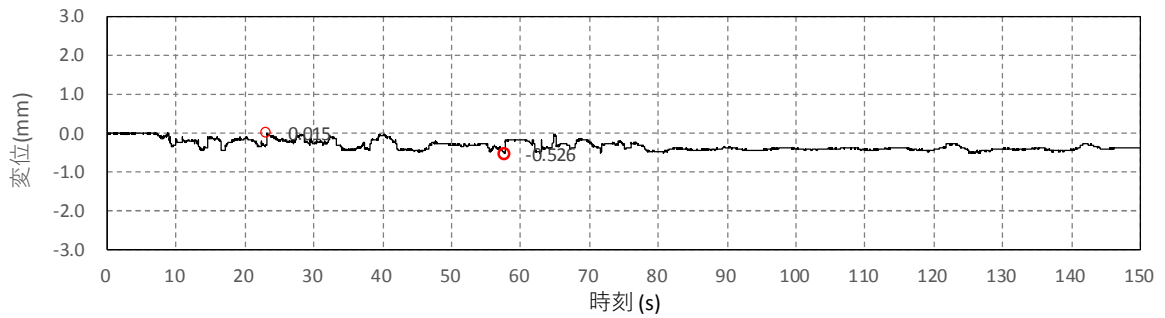


図-c DV-3 時刻歴波形

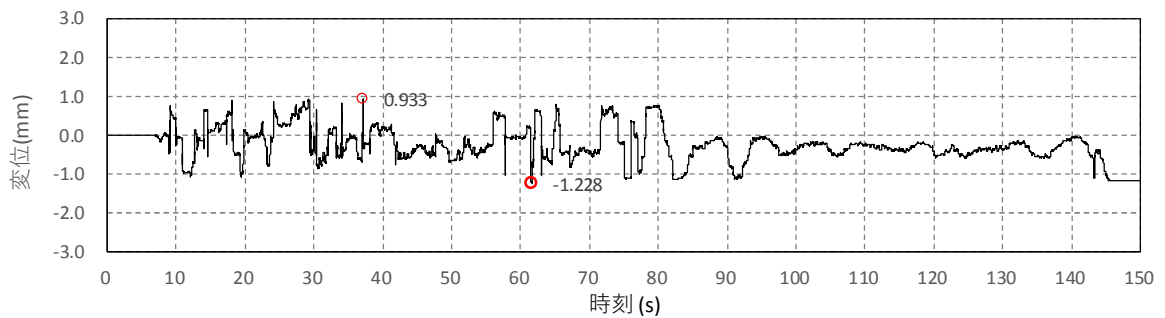


図-d DV-4 時刻歴波形

(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)

		①3 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))

			①3 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))

			①3 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	
① 3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モデルケースの検証を行うとともに実機モデルケース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 (取水路側波形入力)	—	—	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する。 ◆3次元動的解析については，実証試験と実証試験モデルケースの検証を行うとともに実機モデルケース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。

b. 実証試験と実証試験モデルとの検証について

実証試験と実証試験モデルとの検証について、3方向及び鉛直方向の挙動について、検証する。図2に検証結果の比較を示す。

<止水板の挙動>

止水板の挙動について、実証試験及び三次元動的解析の結果、止水板の横断方向に前後の動きを繰り返している。また、実証試験は振動台のピッチングの影響(0.2Hz)のため僅かにうねりがあるが、三次元動的解析とよく似た挙動を示している結果となった。

<止水板の浮き上がり量>

実証試験及び三次元動的解析値の浮き上がり量は、1mm前後の変位量であり、突出する大きな浮き上がり量はなく、実証試験と三次元動的解析の結果は、よく一致した結果が得られた。

各ケースにおける浮き上がり量は、以下のとおり。

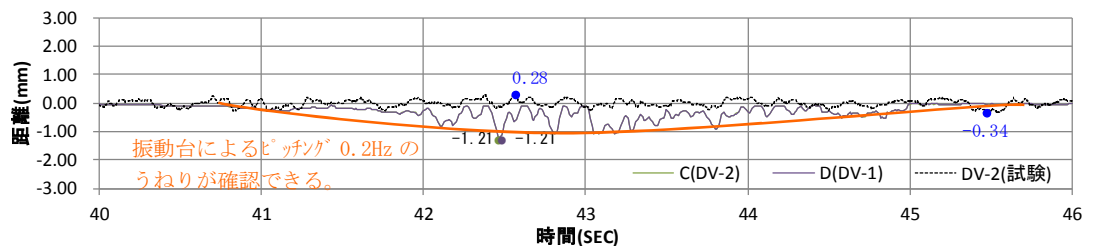
	実証試験 (mm)	三次元動的解析 (mm)
3方向同時	0.338	1.21
鉛直方向	0.436	0.11

<検証結果>

余震時においては、津波荷重を考慮する必要があることから、実証試験ではロードセルによる模擬の荷重を与えた。また三次元動的解析においては、境界条件に水压を模擬して各々の結果を比較検証した。その結果、止水板による挙動及び浮き上がりについて、よく一致した結果が得られたことから、本震時同様に余震時においても精度の高い解析モデルが確認でき信頼性が向上した事を確認した。

以下に各々の結果を示す。

【3方向同時】



【鉛直方向】

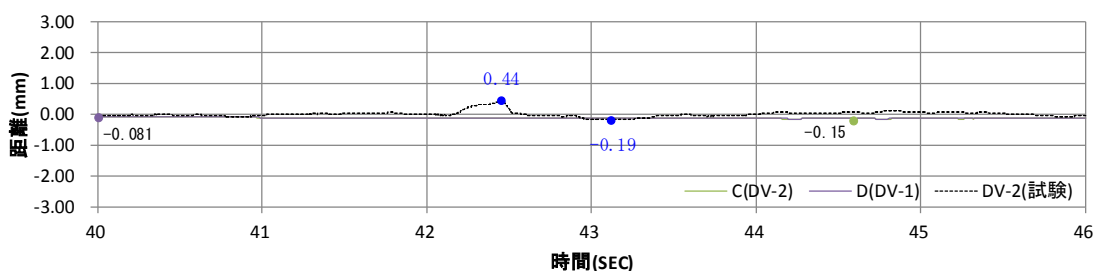


図2 余震時 実証試験及び三次元動的解析(3方向及び鉛直方向)の変位結果比較

(4) 水密ゴムのライニングなしの試験結果について

a. 実証試験結果

実証試験において、ライニングがなしの水密ゴムを使用した試験では、安全に配慮しつつ試験を実施する計画であったが、試験台を所定の位置へ約 10cm 油圧上昇した際に水密ゴムがまくれ込み、試験の継続が困難であると判断し試験を中止した。写真 1、写真 2 に試験時の状況を示す。

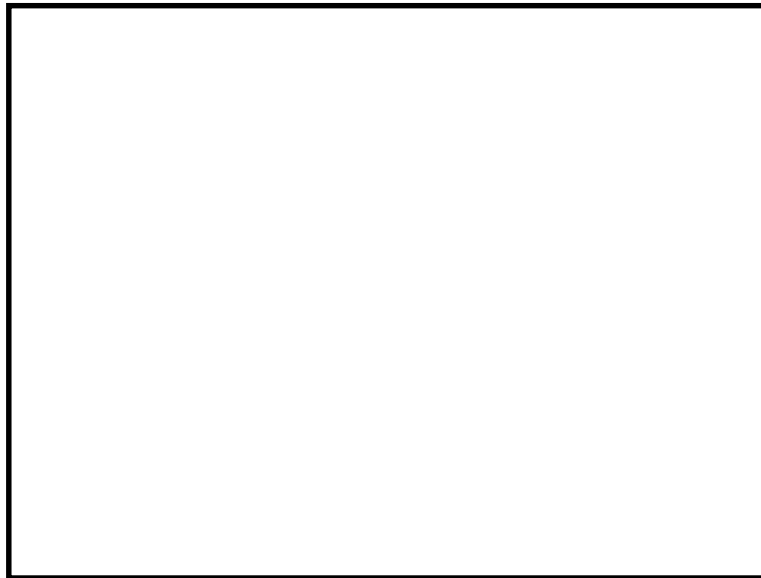


写真 1 試験時の状況



写真 2 試験時の状況 (a 部拡大)

6.1.3.6 実証試験結果と三次元動的解析結果における評価について

1. 評価目的

止水機構の実証試験結果の挙動において、三次元動的解析結果との挙動に相違する部分が見受けられることから、実証試験結果における要因を分析評価し、三次元動的解析モデルの信頼性を評価する。

2. 評価・検証項目

実証試験結果と三次元動的解析との止水板の挙動について、以下の項目について検討を実施し、実証試験結果と三次元動的解析結果との挙動の相違点等について評価する。

図1に実証試験結果における三次元動的解析との挙動等の相違点に対する評価方針を示す。

<評価項目>

①実証試験に生じるうねりの解明

うねりが3方向同時加振時に発生し、鉛直のみの時には発生しない理由。

②実証試験の浮き上がり量が三次元動的解析より大きくなることの分析

③その他、実証試験及び三次元動的解析の結果に生じた挙動等の相違についての評価 (架構自体の挙動、振動台の挙動など)

④①～③の検討を踏まえ、三次元動的解析モデルの更なる信頼性の向上

工事計画認可申請時の評価用のため、改良点等を抽出しモデルの信頼性を向上

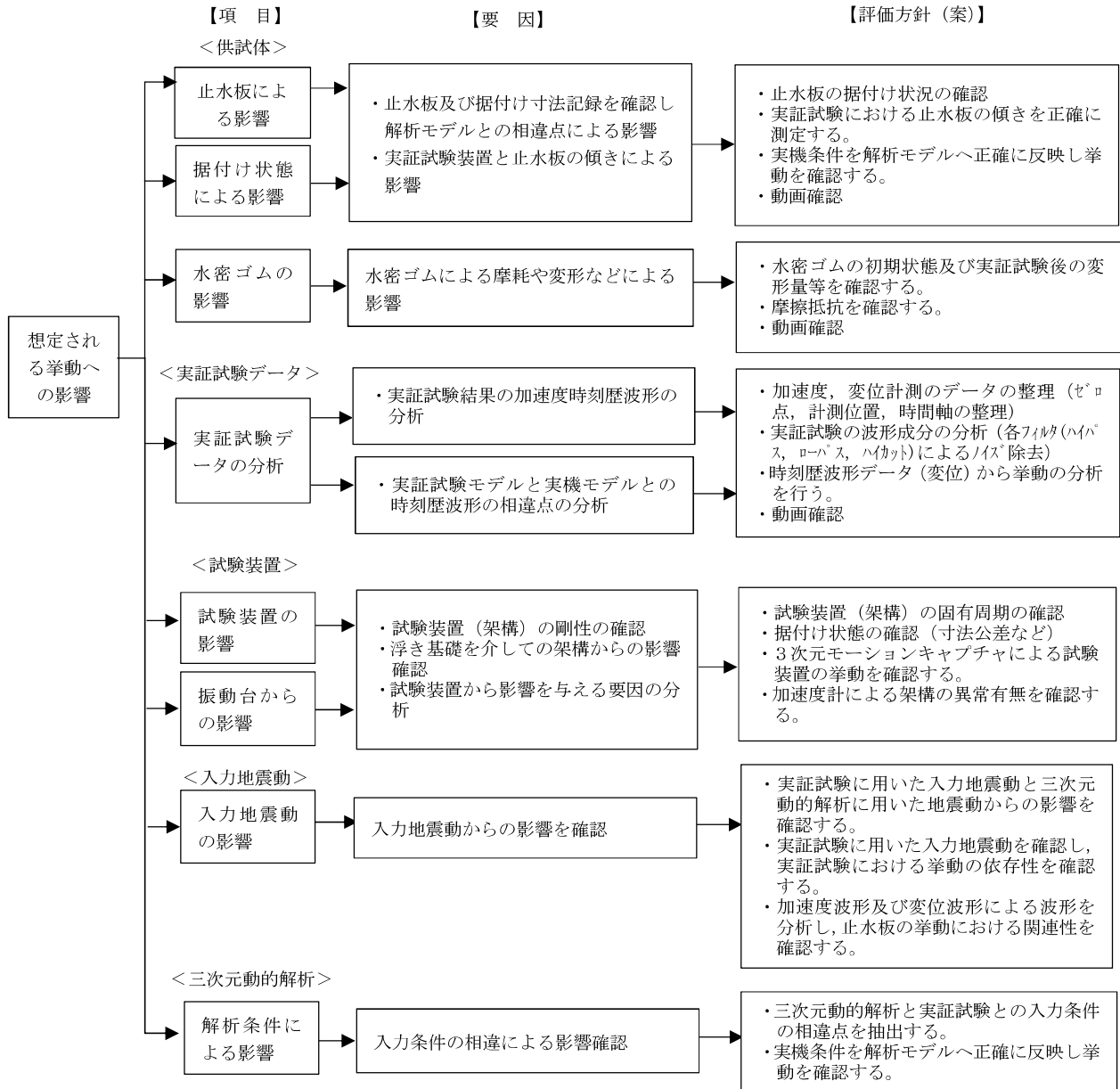


図1 実証試験結果における三次元的解析との挙動等の相違点に対する評価方針

3. 実証試験に生じるうねりの解明

実証試験における 3 方向同時加振の鉛直変位の結果から、長周期のうねりが認められたことから、評価項目の「①実証試験に生じるうねりの解明」及び「③その他実証試験及び三次元動的解析の結果に生じた挙動等の相違についての評価」について本項で説明する。

(1) 実証試験用入力波による影響

実証試験時における 3 方向同時加振時の実証試験用地震動は、「Y 方向（堤軸直角）包絡波」で鋼製防護壁の応答加速度を包絡させた地震動を用いている。

そのため、振動台より伝達される実証試験用地震動の Y 方向についてフーリエスペクトルを作成し周波数成分を分析した。

その結果、卓越周波数に 3 つのピーク（1.09Hz, 1.22Hz, 5.77Hz）を確認した。卓越周波数の 1.22Hz と 5.77Hz については、鋼製防護壁の Y 方向の固有周期と一致している。

表 1 に実証試験時の入力地震動における卓越振動数、図 2 に実証試験時の Y 方向フーリエスペクトル図を示す。

表 1 実証試験時の入力地震動における卓越振動数

方向	卓越振動数 (Hz)	
	1 回目	2 回目
X 方向	0.72, 14.48	0.72, 14.48
Y 方向	1.09, 1.22, 5.77	1.09, 1.22, 5.78
Z 方向	8.25, 23.75	8.25, 23.75

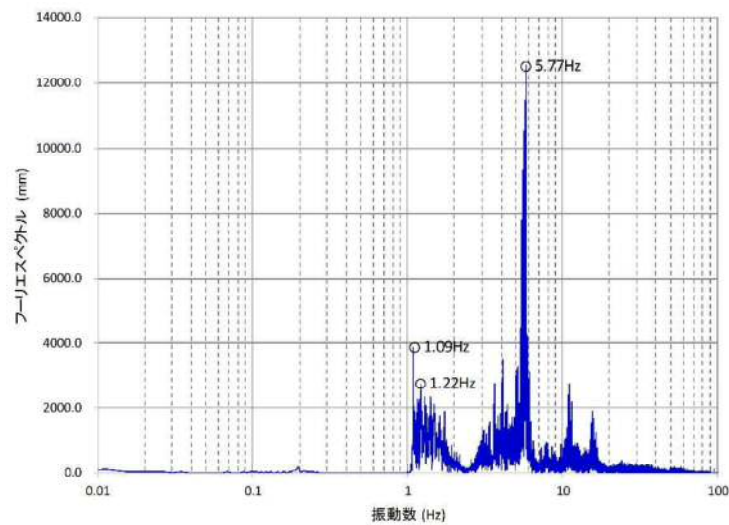
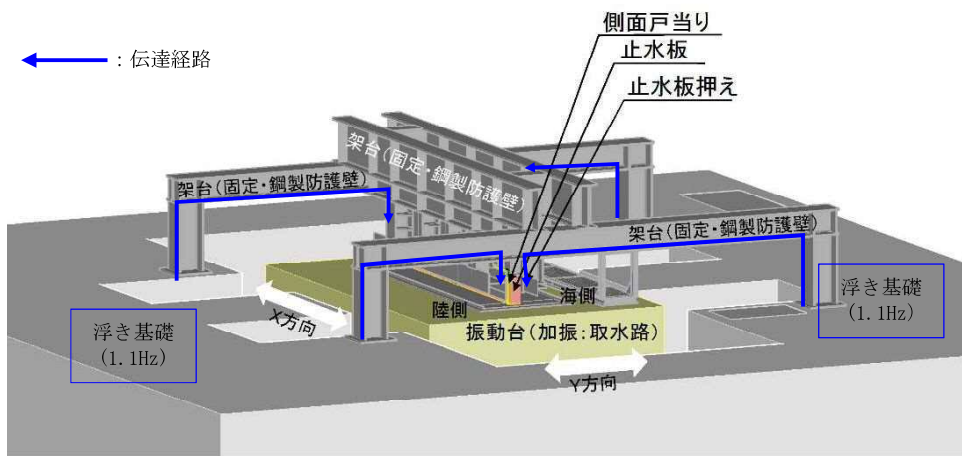


図 2 実証試験時の Y 方向のフーリエスペクトル

(2) 浮き基礎による影響

実証試験時に用いた加振装置において浮き基礎の影響を確認した。その結果、浮き基礎の固有周期は 1.1Hz 程度であることを確認した。

浮き基礎からの振動（周波数）は、架台を経由し止水板の摺動時の振動（周波数）として伝達したと思われる。図 3 に浮き基礎からの振動（周波数）の伝達イメージと固有振動数を示す。



浮き基礎からの振動（周波数）の伝達イメージ

浮き基礎の固有振動数

浮き基礎の軸	1次固有振動数 (Hz)
X軸	1.16
Y軸	1.13
Z軸	1.16

浮き基礎の固有振動数は、「特性把握加振」（ランダム波による逆伝達関数を求める加振）の結果から 3 成分ともに 1.1Hz 程度であった。

図 3 浮き基礎からの振動（周波数）の伝達イメージと固有振動数

(3) 試験装置による影響

試験装置の影響を検討するに当たり想定される事象として考えられることは、取水路を模擬した振動台にアクチュエータによる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、架構側も揺れた影響によることが想定される。

その影響を確認するため、振動試験装置の固有周期について固有値解析を実施した。その結果、X : 5.58Hz, Y : 15.29Hz, Z : 12.94Hz であることが分かった。

その結果、3方向同時加振中にみられる長周期のうねりとは異なる短い周期であることから、試験装置による影響ではないと評価する。

また、加振時における試験装置架構下端（Y方向）の卓越振動数は、3つのピーク（1.09Hz, 1.21Hz, 5.77Hz）を確認した。

表2に試験装置の固有振動数及び周期、表3に加振時における試験装置の架構下端（Y方向）の卓越振動数、図4に実証試験装置の解析モデル図を示す。

表2 試験装置の固有振動数及び周期

モード	止水板質量考慮		備考
	振動数(Hz)	周期 T(s)	
モード1	5.58	0.18	X方向
モード2	12.94	0.077	Z方向
モード3	15.29	0.065	Y方向

表3 加振時における試験装置架構下端（Y方向）の卓越振動数

架構（縦材下端）	卓越振動数(Hz)
海側	1.09, 1.21, 5.77
陸側	1.09, 1.21, 4.07, 5.77

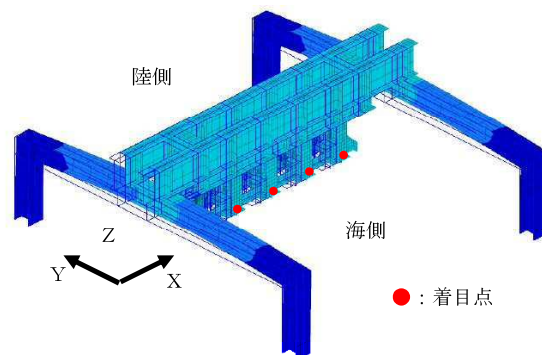


図4 実証試験装置の解析モード図

(4) 振動台による影響

実証試験の鉛直変位の結果から約5秒(0.2Hz)のうねりが確認できたが、実証試験用入力波による実証試験時のY方向のフーリエスペクトルからは約5秒(0.2Hz)のところにピークは現れなかったため、振動台による影響を調査した。その結果、振動台にピッチングによる回転変位が確認できた。図5から図7に振動台にうねり成分があることを示す。

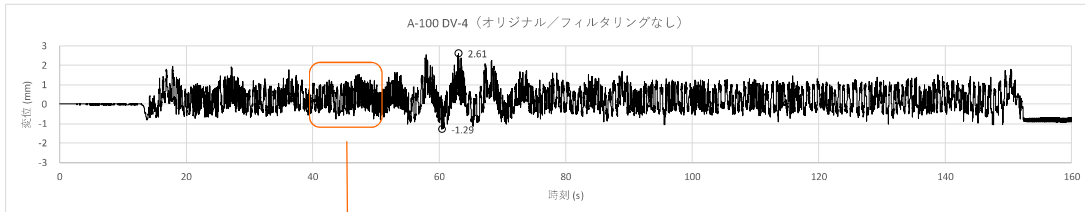


図5 実証試験結果

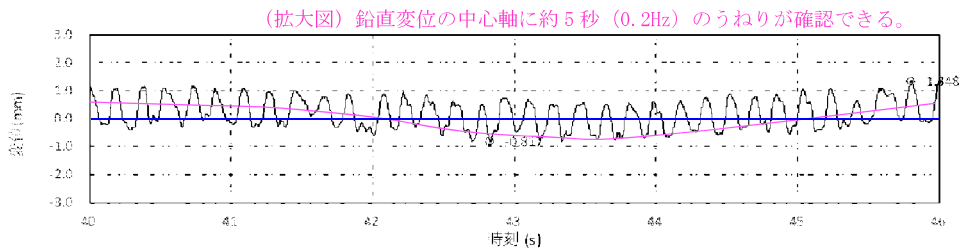


図6 実証試験結果(拡大)

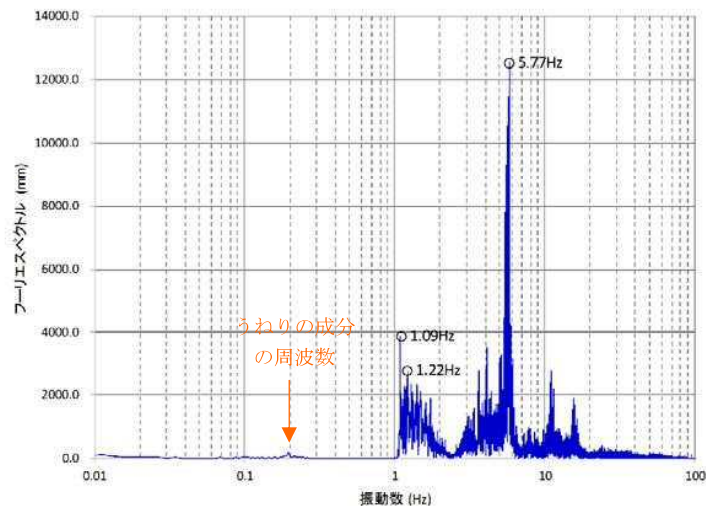


図7 実証試験入力波によるY方向のフーリエスペクトル

a. 振動台のうねりの分析

振動台に設置したモーショキャプチャ測定値による振動台のX軸の回転変位と中央部の鉛直変位算出結果を図8に示す。

その結果、水平Y方向のみの単独加振時において振動台中心に回転変位（青線）及び鉛直変位（赤線）が生じていた。振動台の回転変位（青線）と鉛直変位（赤線）の周期について周波数分析を行い回転変位は0.10Hz, 0.20Hz, 鉛直変位は0.21Hz, 1.09Hz, 5.77Hzであった。図9に振動台のX軸の回転変位と中央部鉛直変位のフーリエスペクトルを示す。

鉛直変位のうち0.21Hzは振動台のピッチングによる影響があるものと思われること、及び周波数1.09Hz, 5.77Hzは、実証試験用入力地震動の卓越周波数に近い周波数であることを確認した。

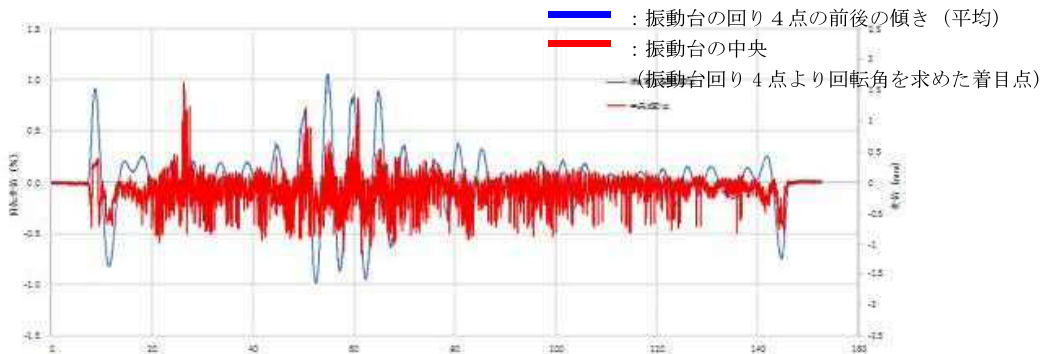


図8 振動台のX軸の回転変位と中央部の鉛直変位

振動台のX軸の回転変位と中央部の卓越振動数

種別	卓越振動数 (Hz)
回転変位	0.10, 0.20
中央部鉛直変位	0.21, 1.09, 5.77

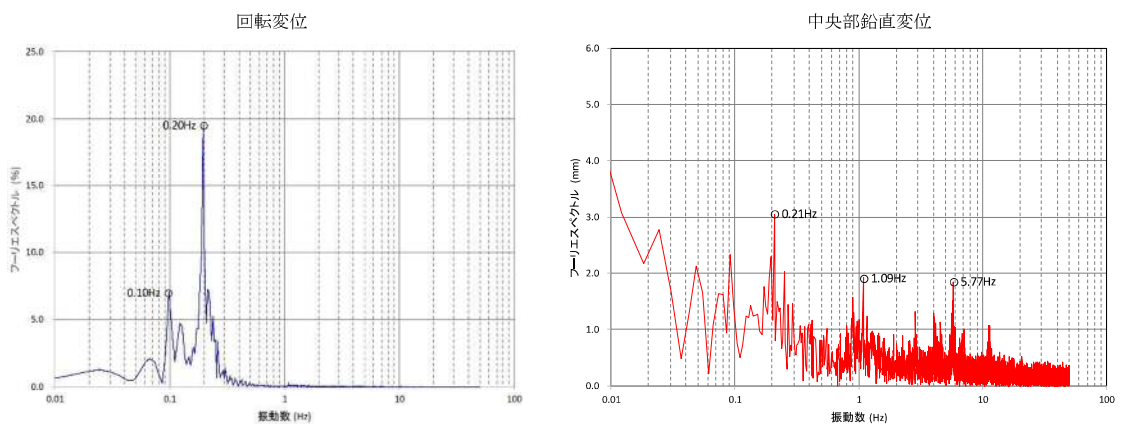


図9 振動台のX軸の回転変位と中央部の卓越周波数とフーリエスペクトル

b. 振動台の変位の計測方法

3次元モーションキャプチャによる振動台の影響について評価を行った。

振動台の影響をみるためにY方向（3G）のみの加振時データの実証試験データを分析した。

その結果、振動台にピッチングによる影響が確認された。図10に振動台の特性と図11にモーションキャプチャの測定点を示す。図12にモーションキャプチャ設置位置による回転成分と鉛直成分の算出方法を示す。

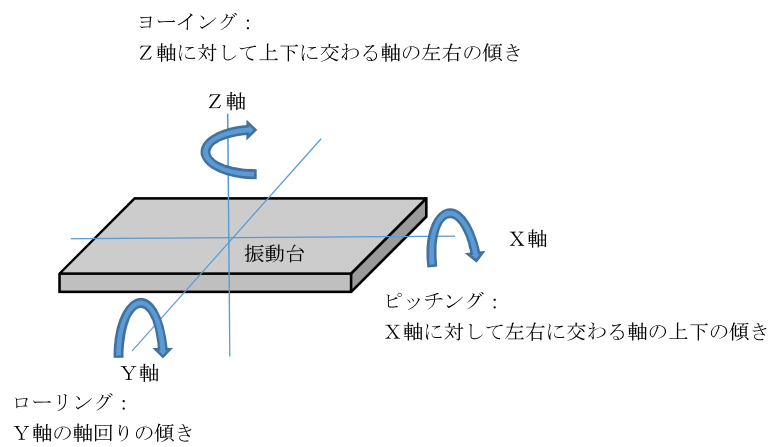


図10 振動台の傾きの特性

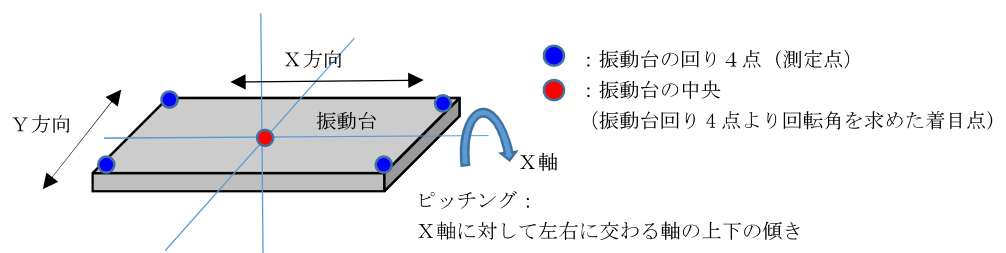


図11 モーションキャプチャの測定点

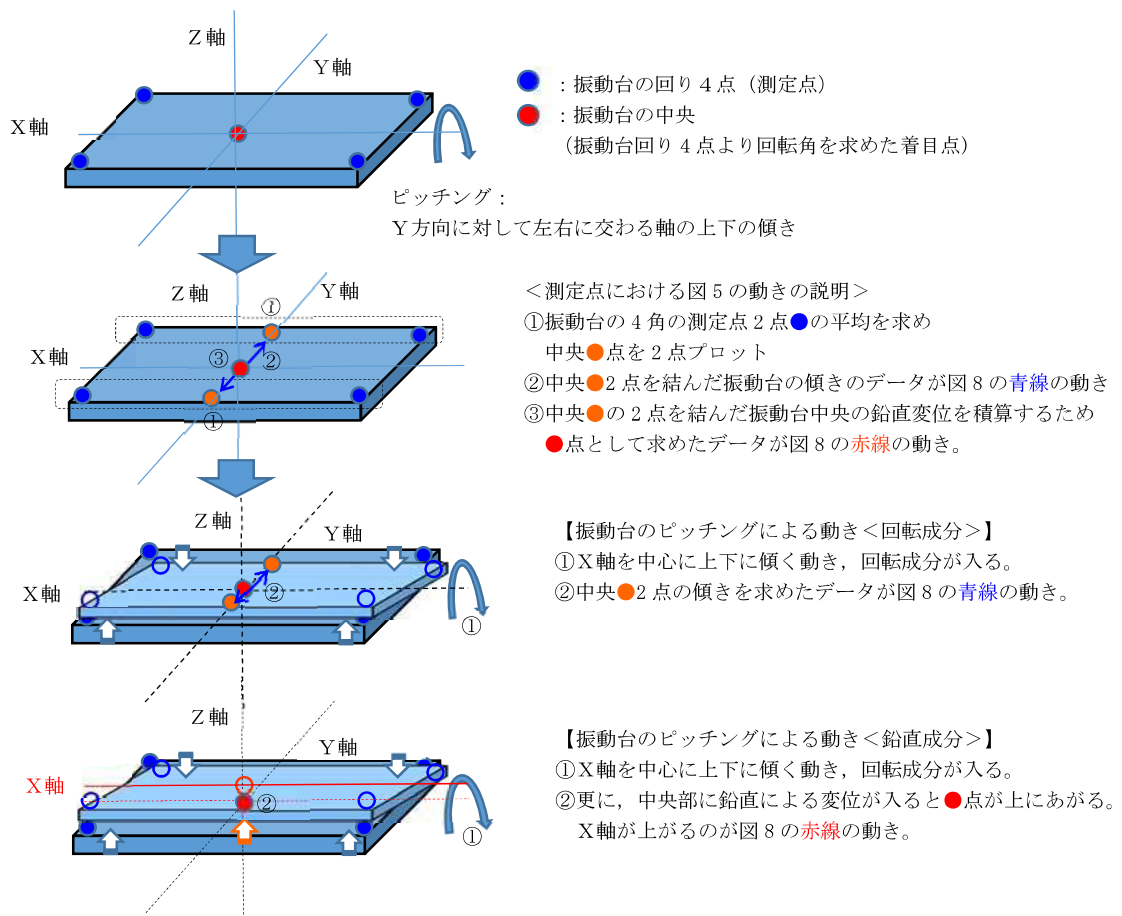


図 12 モーションキャプチャ設置位置による回転成分と鉛直成分の算出方法

c. 振動台の要因

振動台を 3 次元で振動させる場合、入力地震動に対し入力成分にない回転成分などが応答に発生し、入力に対して誤差が生じる。この誤差を低減し振動台を正確に振動させるため、振動台の特性を反映した逆伝達関数を用いて制御している。振動台の特性を把握して逆伝達関数を設定する作業は定期点検時に実施されている。

今回の試験における要求波形 X 方向 : 1G, Y 方向 : 3G, Z 方向 : 1G の加振波形作り込み作業の際、定期点検時(2 月)に設定されていた通常使用頻度の高い大振動ではなく、一般に低い入力により振動台の特性を把握し、誤差を制御するデータが設定されていたが、振動台の特性把握加振時の加速度レベルが $800\text{cm/s}^2 \sim 1000\text{cm/s}^2$ であり、今回の実証試験では、止水機構の実証試験にて再現したい 3000cm/s^2 の入力波形に対して小さく、十分に補正がかからなかった。そのため回転成分があらわれ 0.2Hz 周辺でのうねりが発生したと思われる。

加振波形の作成を行う際に、加速度スペクトルの合致度と加速度最大値の確認に傾注し、振動台の回転成分の確認が不足であった。

d. 振動台の変位調査

振動台の変位調査として、先にピッチングによる影響を確認したが、本項ではY軸に対する回転変位（ローリング）についての影響を調査する。

振動台に設置したモーションキャプチャ測定値による振動台のY軸の回転変位と中央部の鉛直変位算出結果を図13に示す。

その結果、3方向同時加振時において振動台中心に回転変位（青線）及び鉛直変位（赤線）が生じていた。振動台の回転変位（青線）と鉛直変位（赤線）の周期について周波数分析を行い回転変位は0.10Hz、0.20Hzで、鉛直変位は0.20Hzであった。図14に振動台のY軸の回転変位と中央部鉛直変位のフーリエスペクトルを示す。

回転変位と鉛直変位の0.20Hzは振動台のローリングによる影響を示している。また、回転変位の0.10Hzも同様に長周期成分が他の設備等に見られない周波数であること、及び振動台のローリングによる影響であることを確認した。

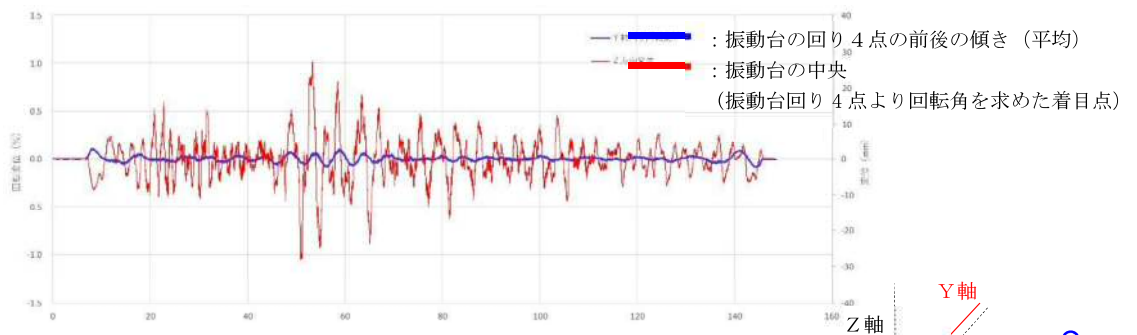


図13 振動台のY軸の回転変位と中央部の鉛直変位

振動台のY軸の回転変位と中央部の卓越振動数

種別	卓越振動数(Hz)
回転変位	0.10, 0.20
中央部鉛直変位	0.20

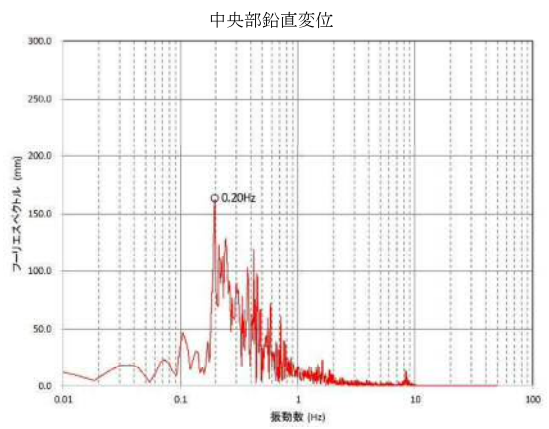
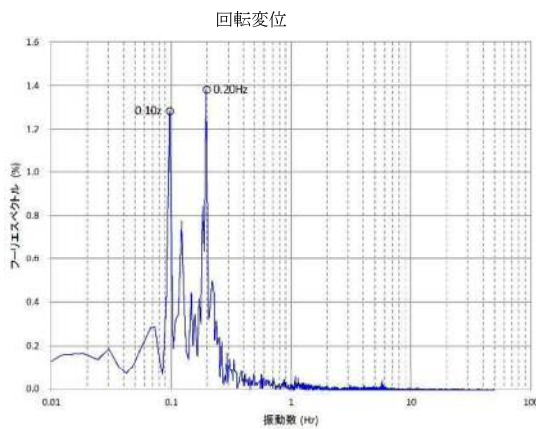
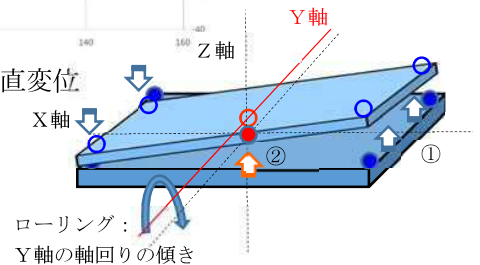


図14 振動台のY軸の回転変位と中央部の卓越周波数とフーリエスペクトル

(5) 止水板の挙動について

a. 止水板の固有値解析

止水板の固有値解析を実施した。止水板の固有値は 10.55Hz であった。

図 15 に止水板の固有周期解析モデル図を示す。

<解析条件>

○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)

○解析内容

線型固有値解析 (止水ゴムを弾性体とした解析)

○モデルの説明

6面ソリッド要素

<解析結果>

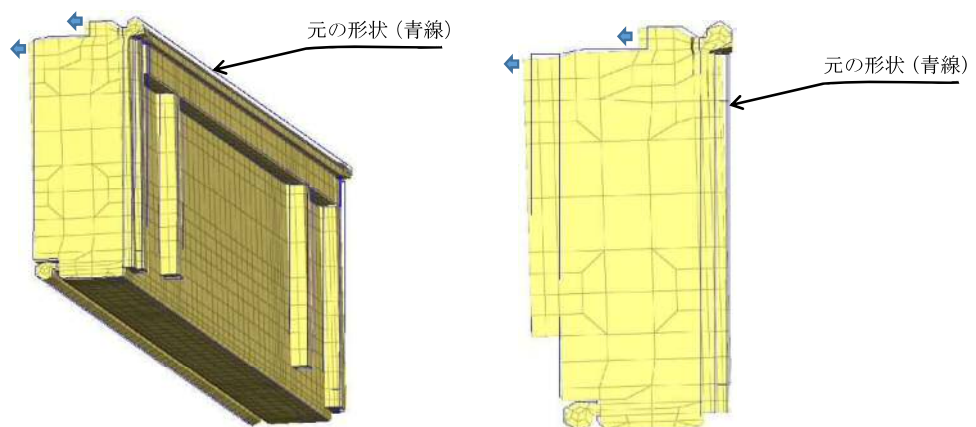


図 15 止水板の固有周期解析モデル図

b. 鉛直変位におけるピッチングの影響

(4)項にて振動台におけるピッチングによる影響を確認した。ここではピッチングによる影響と思われる長周期のピークが止水板の挙動に表れてないか確認する。そのため、止水板の鉛直変位のフーリエスペクトルを作成し周期を分析し、周期のピーク 0.2Hz, 1.1Hz, 5.7Hz を確認した。その結果、ピッチングによる影響である周波数 0.2Hz が確認できた。図 16 に止水板の鉛直変位におけるフーリエスペクトルを示す。

また、前項 a にて確認した止水板の固有値解析の結果 10.55Hz とは周波数が共振領域にはないことを確認した。

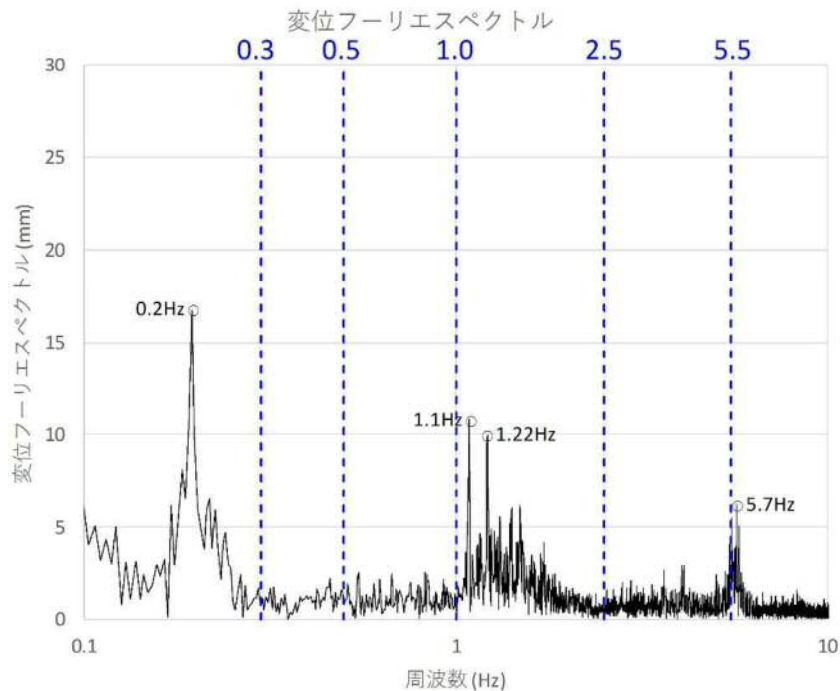


図 16 止水板の鉛直変位におけるフーリエスペクトル図

(6) 実証試験に生じるうねりの評価

各評価対象による周波数成分を評価した結果を表4に示す。

表4 各評価対象の周波数分析結果

	(1)実証試験用入力波	(2)浮き基礎	(3)試験装置	(4)振動台	(5)止水板
周波数 (Hz)	—	—	—	0.10, 0.20 (ピッチング) 0.10, 0.20 (ローリング)	—
	1.09	1.1 (固有値)	1.09	1.09	—
	1.22 (固有値) ※	—	1.21	—	—
	5.77 (固有値) ※	—	5.77	5.77	—
	—	—	—	—	10.55 (固有値)

※：鋼製防護壁のY方向の固有周期

各評価対象の周波数が伝達し各対象設備に同様の周波数が検出されていることから、実証試験のうねりの原因は、実証試験装置や供試体（止水板等）の影響ではないことが分かった。

振動台による影響は、ピッチングとローリング共に（0.10Hz, 0.20Hz）による影響であることから、実証試験に生じているうねりは振動台によるものと推測される。

そのため、実証試験に生じている振動台のピッチング成分を除去するため、止水板の鉛直変位におけるフーリエスペクトルから、0.3Hz以下のフィルタリングにより影響を除去した止水板の挙動を確認する。図17に止水板の鉛直変位におけるフィルタリングの実施範囲を示す

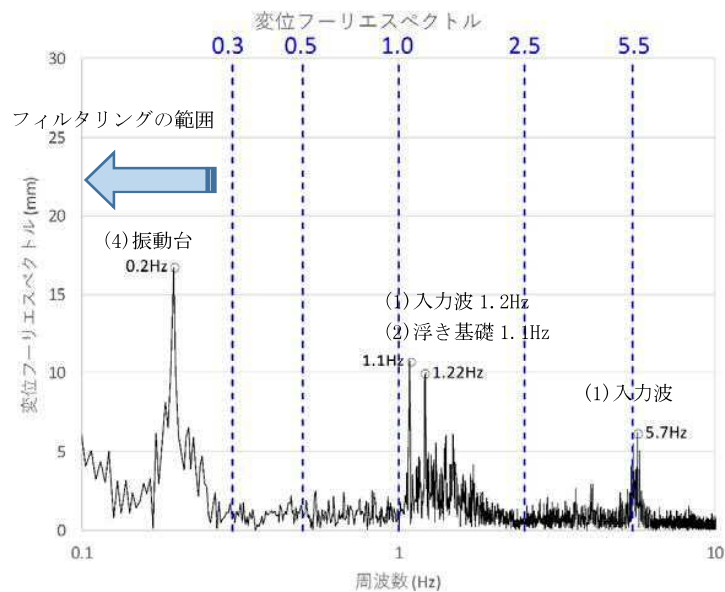
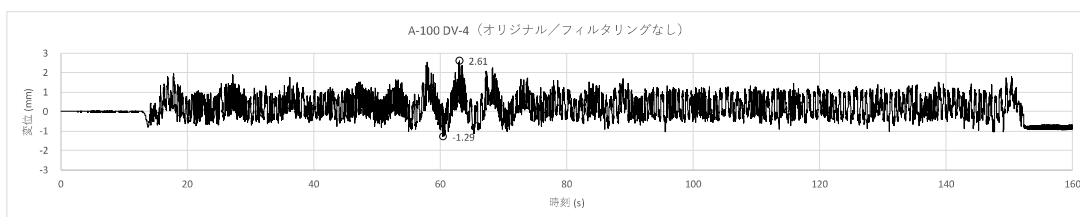


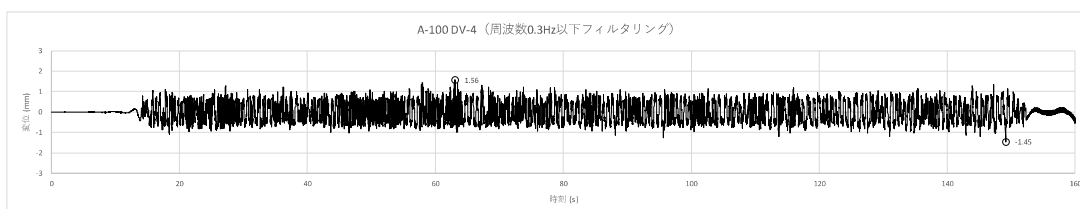
図17 止水板の鉛直変位におけるフィルタリング実施範囲

実証試験にて得られた鉛直変位の結果から振動台のピッチングにおける周波数を除去するため実証試験の鉛直変位のデータに対し、0.3Hz以下の周波数をフィルタリングした波形を以下に抽出した。

その結果、止水板の実証試験の鉛直変位の結果から、ピッチングを除去した止水板の鉛直変位データを把握することができ、ピッチングが実証試験におけるうねりの成分であることが明らかになった。図18に3方向同時加振時（Y方向）の鉛直変位時刻歴波形を示す。



実証試験時の鉛直変位（計測値）



実証試験時の鉛直変位（0.3Hz以下フィルタ）

図18 3方向同時加振時の鉛直変位時刻歴波形フィルタリング結果

今後は、止水板の挙動について三次元動的解析結果と実証試験データとの比較や検討時には、必要に応じてフィルタリング（0.3Hz以下）を通した止水板の挙動と比較することで検証を実施する。

(7) 実証試験結果とフィルタリング (0.3Hz 以下) 結果との比較

実機に近い実証試験の止水板の接続部 B (DV-2) と C (DV-3) の鉛直変位の結果について比較した。うねりの影響のある成分を除去した結果、鉛直変位量は減少し止水板の鉛直挙動の範囲内となった。表 5 に止水板の鉛直変位量と浮き上がり量、図 19 に 3 方向同時加振のフィルタリング前後及び鉛直方向加振時のフィルタリング前後の時刻歴波形を示す。

止水板の上下の挙動の詳細は、「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」に示す。

表 5 止水板の鉛直変位量と浮き上がり量 (止水板接続部 (mm))

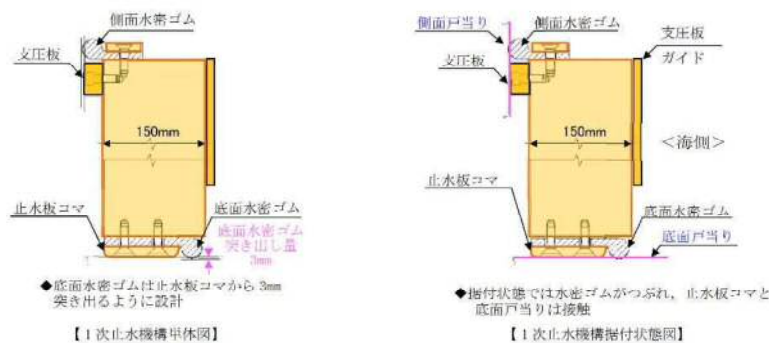
< 3 方向 (Y 方向 (堤軸直角)) >

		② 3 方向 (Y 方向 (堤軸直角) 包絡波)		水密ゴムの浮き上がり量 3mm 以下*
		計測値	フィルタリング後	
止水板の地震時の鉛直変位量	1 回目	2.40 (DV-2) 2.35 (DV-3)	1.52 (DV-2) 1.30 (DV-3)	○
	2 回目	2.41 (DV-2) 2.20 (DV-3)	1.58 (DV-2) 1.49 (DV-3)	○

< 鉛直方向 (取水路側包絡波) >

		④ 鉛直方向 (取水路側包絡波)		水密ゴムの浮き上がり量 3mm 以下*
		計測値	フィルタリング後	
止水板の地震時の鉛直変位量	1 回目	0.96 (DV-2) 0.86 (DV-3)	0.42 (DV-2) 0.56 (DV-3)	○

注記 * : 底面水密ゴムの突き出し量が 3mm のため、止水板が 3mm 浮き上がった場合においても、設計上水密ゴムは密着している状態。以下に浮き上がり量の考え方を示す。



< 底面水密ゴムの浮き上がり量 >

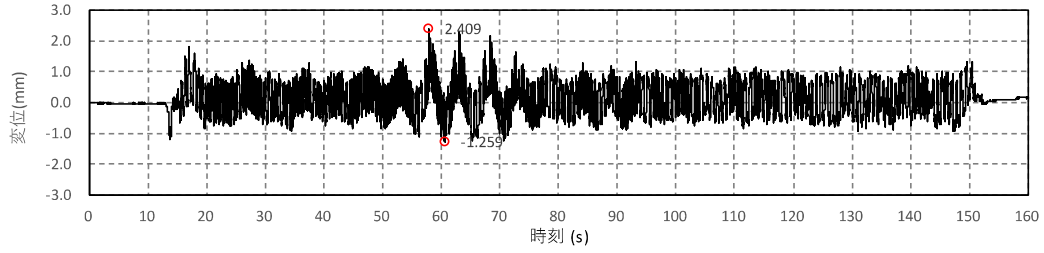
底面水密ゴムの浮き上がり量について 3mm の突き出し量があることから、3mm 止水板が浮き上がった場合においても、設計上底面水密ゴムは密着している状態にあり、水密性は確保できる。

<3方向(Y方向(堤軸直角)包絡波)>

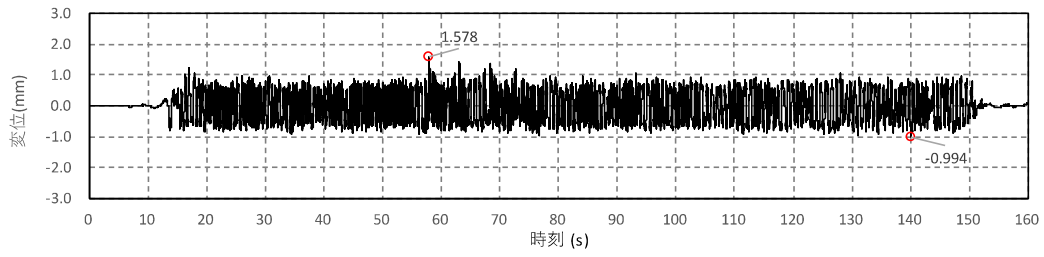
a. 水平(Y方向)最大加速度(2回目)

◆鉛直変位測定点 B (DV-2)

<計測波形>

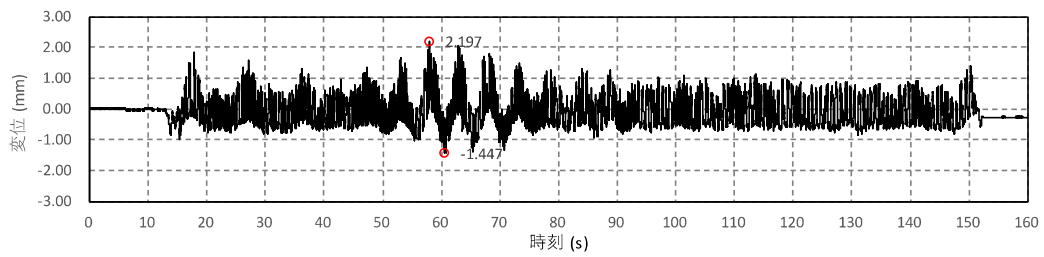


<フィルタリング後の波形>



◆鉛直変位測定点 C (DV-3)

<計測波形>



<フィルタリング後の波形>

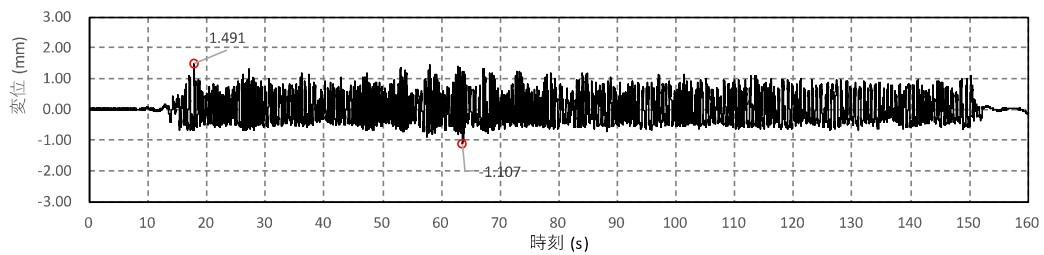


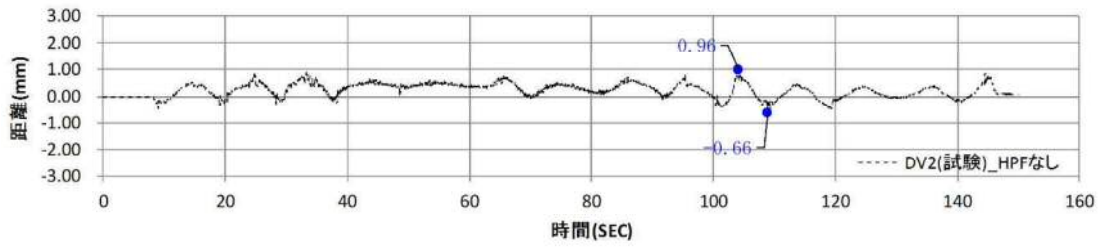
図 19(1/2) 3方向同時加振のフィルタリング前後の時刻歴波形

<鉛直（取水路側包絡波）>

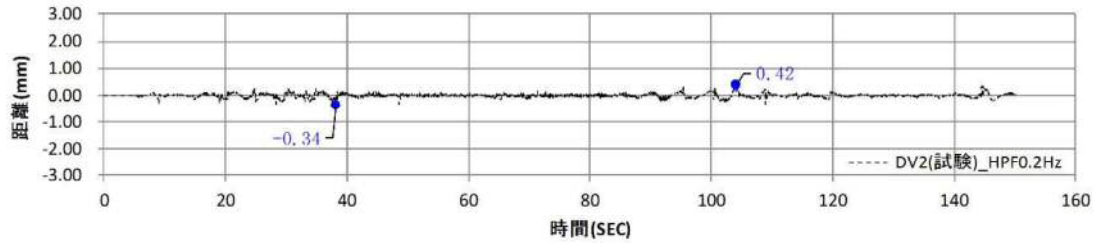
a. 鉛直最大加速度（1回目）

◆鉛直変位測定点 B (DV-2)

<計測波形>

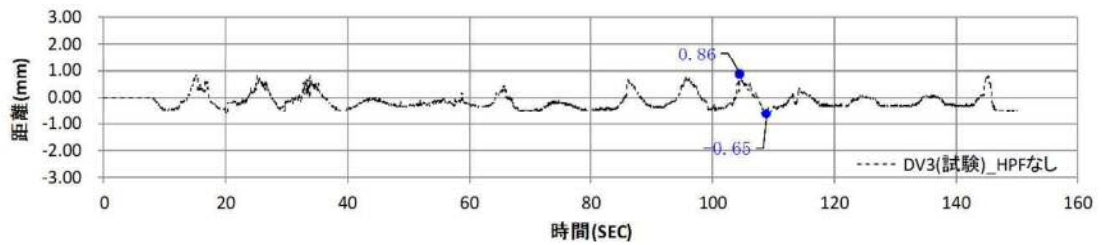


<フィルタリング後の波形>



◆鉛直変位測定点 C (DV-3)

<計測波形>



<フィルタリング後の波形>

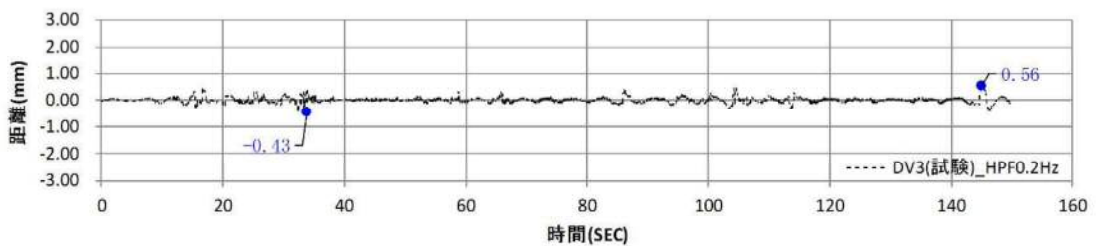


図 19(2/2) 鉛直方向加振時のフィルタリング前後の時刻歴波形

(8) 三次元動的解析フィルタリングによる再現性の検証

底面戸当り側に 0.2Hz の回転変位 (図 8 の振動台の回転変位 (青線)) を与えた場合の三次元動的解析を実施し、止水板の鉛直変位の動きにうねりが生じるか確認した。

三次元動的解析の結果、止水板の鉛直変位の動きに 0.2Hz のうねりが認められ、実証試験結果と同じうねりの挙動が確認できた。また、三次元動的解析モデルは、実証試験の鉛直変位量よりも大きくなる結果が認められた。

表 6 に止水板の鉛直変位量の比較、図 20 から図 21 にモデル図及び解析結果を示す。

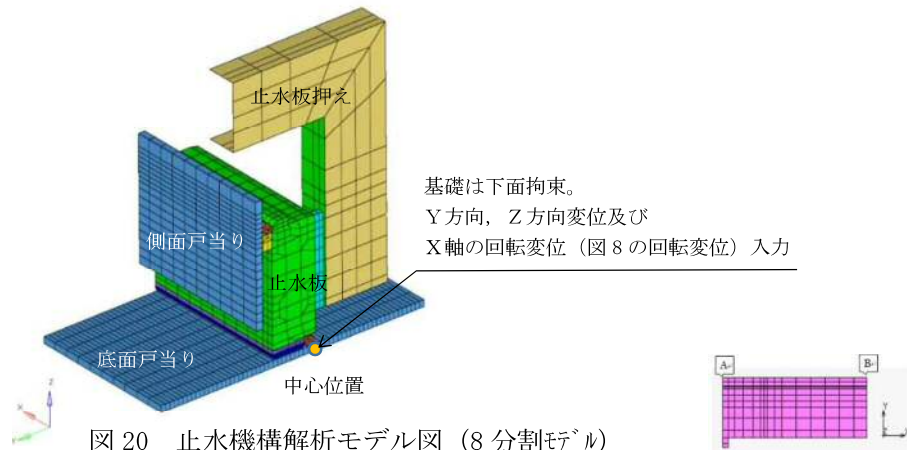


図 20 止水機構解析モデル図 (8分割モデル)

三次元動的解析も実証試験結果と同様に止水板に 0.2Hz 程度のうねりが確認できる。

止水板モデル平面図 (上面)

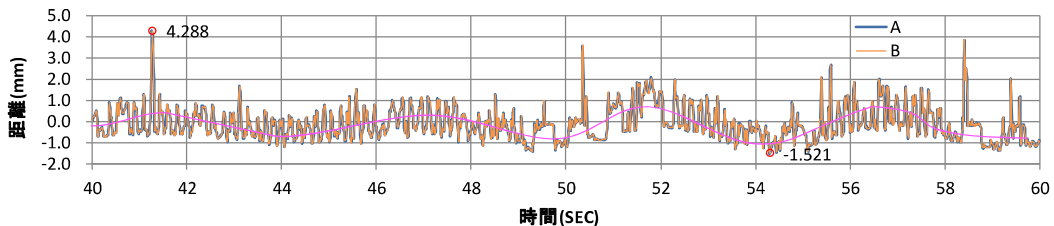


図 21 三次元動的解析 (実機モデル) の結果
<8分割, 0.2Hz 回転変位入力>

表 6 止水板の鉛直変位量の比較 (mm)

止水板の鉛直変位量		② 3方向 (Y方向 (堤軸直角) 包絡波)		実証試験との差 (②-①)
		実証試験 (①)	0.2Hz 回転変位モデル (②) 8分割モデル (参考値) ※	
浮き上がり量 (プラス側)		2.41	4.29	+1.88
沈み込み量 (マイナス側)		-1.26	-1.52	-0.26

※ : 8分割モデルの特徴 : フルスケールモデルは実機と同じ奥行方向の拘束条件に対し、8分割モデルは平面的な二次元動的解析に近いことから、浮き上がりに対しての応力が平面的に一律かかる状態になり、鉛直変位量が大きくなる傾向にある。

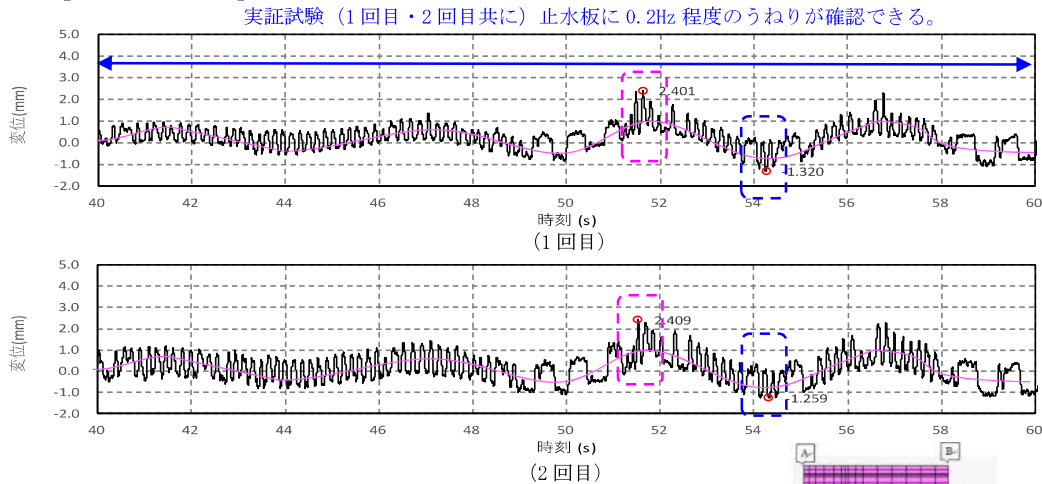
前述より、実証試験の観測値と三次元動的解析の実機モデルに回転変位を与えた結果との検証結果を以下に示す。

- ◆実証試験結果及び三次元動的解析の実機モデル共に 0.2Hz 程度のうねりが確認できた。
- ◆浮き上がり量のプラス側（浮き上がる：桃色点線）は、実証試験よりも三次元動的解析の実機モデルの方が大きくなる傾向がある。また、浮き上がる時間帯は、実証試験と違う時間帯で発生することが確認できた。
- ◆浮き上がり量のマイナス側（沈み込む：青色点線）は、ほぼ同じ量で同じ時間帯に発生することが確認できた。

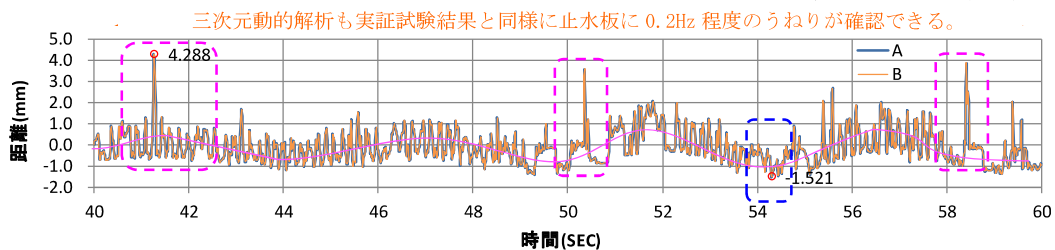
実証試験の観測値と三次元動的解析の実機モデルに 0.2Hz 程度のうねりを確認し、実機モデルへの再現性を確認した。図 22 に実証試験結果と実機モデルとの比較を示す。

また、三次元動的解析の実機モデルは、実証試験結果に比べ鉛直変位のプラス側（浮き上がる側）が大きく保守的な値であることが分かった。また、マイナス側（沈み込み側）は同じ沈み込み量及び時間帯であることが分かった。

【実証試験結果】



【実機モデル（8分割モデル）】（0.2Hz 回転変位入力）



浮き上がり量は、実証試験結果よりも大きくなる傾向が得られた。（桃色点線）
 また、浮き上がる時間帯は、鉛直変位のプラス側（桃色点線）は違う時間帯で浮き上がるが、マイナス側（青色点線）は、同じ沈み込み量及び同じ時間帯になることが確認できた。

図 22 実証試験結果と実機モデルとの比較

(9) 実証試験における振動台のピッチングとローリングの影響について

実証試験において、実際の波形にはない振動台による回転変位 0.1, 0.2Hz 程度の長周期のうねりの影響が考えられる。ピッチングとローリングの影響により試験条件は実際の入力波形である短周期成分とピッチングとローリングの長周期成分が混在した状況での試験となった。しかし、図 12 に示す振動台のピッチングとローリングの周波数が 0.1, 0.2Hz であり止水板の周波数 10.55Hz から離隔が大きいことより共振することなく、止水板の挙動に影響を与えることはなかった。

止水板の挙動については、振動台のピッチングとローリングの周波数成分(0.1, 0.2Hz)を除去するためフィルタリング(0.3Hz 以下)を掛けることにより、止水板の挙動を正確に把握することができる結果となった。

図 23 に止水板の鉛直変位における振動台と止水板の固有周期について示す。

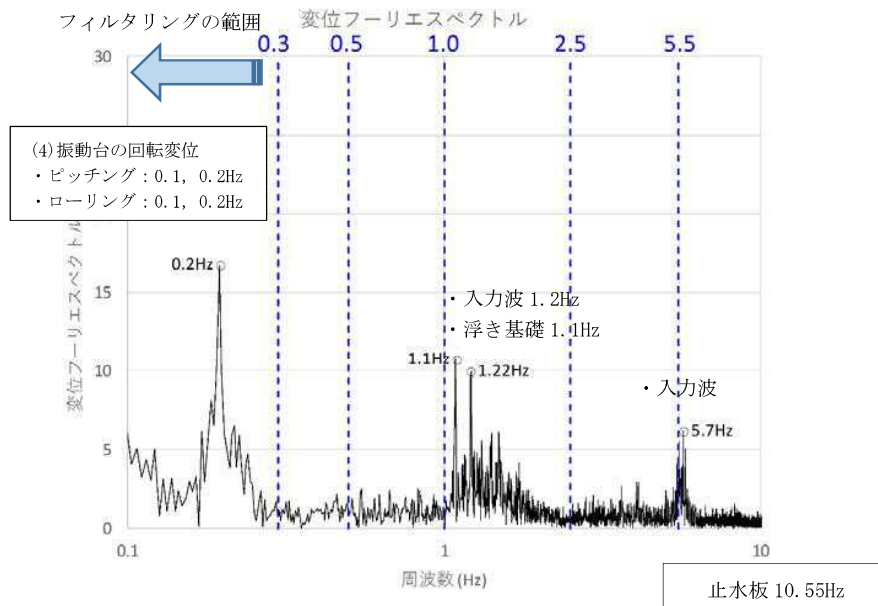


図 23 止水板の鉛直変位における振動台と止水板の固有周期

4. 三次元的解析モデルの信頼性の向上及び設計への反映事項

三次元的解析モデルの信頼性を向上させるため、解析モデルに製作公差を含めた解析モデルを作成し三次元的解析を実施した。実際の試験装置の支圧板厚さとガイド間隔の隙間を 4mm にして三次元的解析を実施した。

図 24 に実証試験の試験装置における止水板とガイド間の寸法を示す。

<寸法記録>

	止水板厚さ A (mm)	ガイド間隔 (mm)	隙間 (mm)
図面寸法	210	213	3
実際の試験装置の寸法 (製作公差含む)	207	211~210	3~4

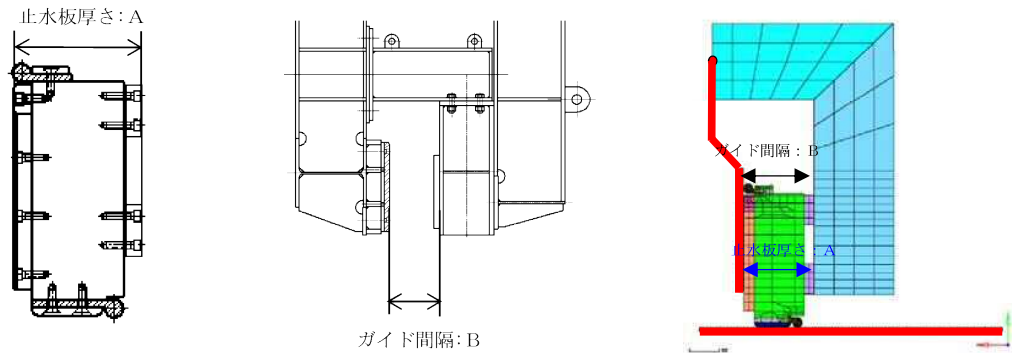
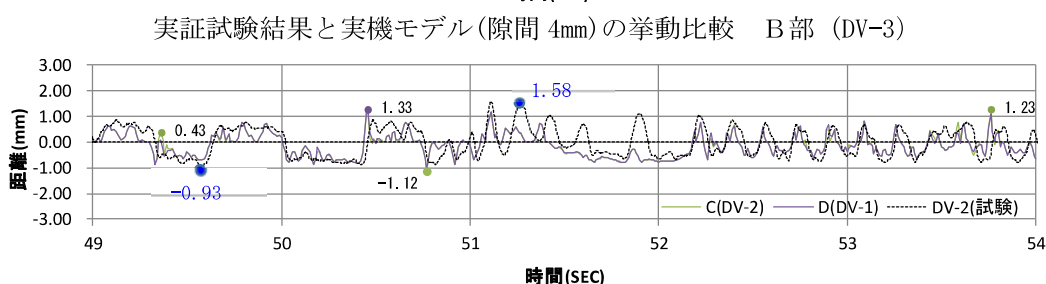
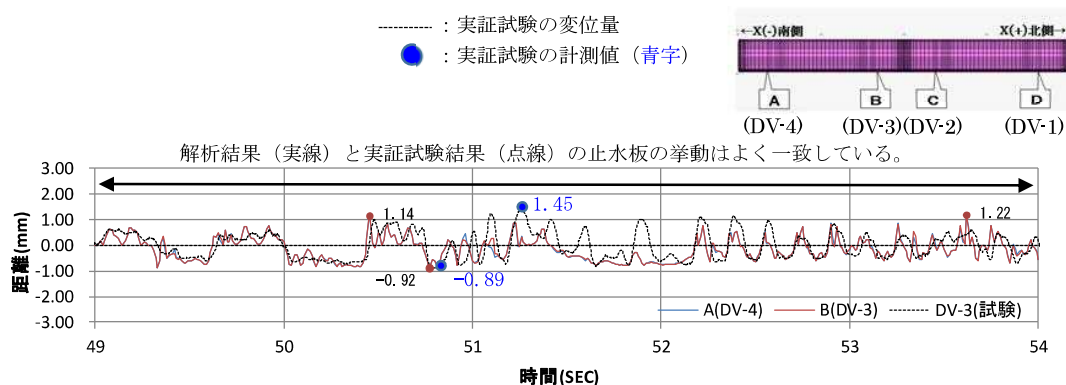


図 24 実証試験の試験装置における止水板とガイド間の寸法

実証試験結果（フィルタリング後）と実機モデル（隙間 4mm）の 3 方向同時加振時の結果について比較した。その結果、実証試験結果と実機モデル（隙間 4mm）との比較において、浮き上がり量の差がわずかであり、よく一致した結果が得られた。また、止水板の浮き上がりや挙動に対してもよく一致しており、解析モデルの信頼性が向上した結果が得られた。

図 25 に実証試験結果と実際の試験装置の隙間（4mm）での解析比較，表 7 に止水板の鉛直変位について示す。



実証試験結果と実機モデル (隙間 4mm) の挙動比較 C部 (DV-2)

解析結果 (実線) と実証試験結果の止水板の挙動はよく一致している。
 鉛直の変位量も誤差はわずかであり解析モデルの精度が向上した。

図 25 実証試験結果と実機モデル (隙間 4mm) との挙動比較

表 7 止水板の鉛直変位比較 (mm)

止水板の鉛直変位		② 3 方向 (Y 方向 (堤軸直角) 包絡波)		実証試験と解析モデルとの差 (②-①)
		実証試験 (①)	隙間 4mm モデル (②)	
浮き上がり量 (プラス側)	1.45 (DV-3)	1.22 (DV-3)	-0.23 ~ -0.25	
	1.58 (DV-2)	1.33 (DV-2)		
沈み込み量 (マイナス側)	-0.89 (DV-3)	-0.92 (DV-3)	-0.03 ~ -0.19	
	-0.93 (DV-2)	-1.12 (DV-2)		

図 23 から止水板の挙動や鉛直変位量について、精度の高い解析モデルが確認でき信頼性が向上した。浮き上がりについては、実証試験の鉛直変位量の結果が解析結果をわずかに上回ることから、地震時における浮き上がりが大きくなる可能性がある。しかしながら、止水機構には 2 次止水機構を設ける設計であり、仮に、1 次止水機構の水密ゴムの浮き上がりによる漏水が発生したとしても敷地内には浸水しない。

(参考) 鉛直方向の検証結果

鉛直方向は振動台のみによる加振のため、振動台によるピッチングの影響が実証試験結果にどの程度影響するか評価が可能であることから、実証試験結果（フィルタリング後）と実機モデル（隙間 3mm）の鉛直方向時の結果について検証する。

その結果、実証試験結果と実機モデル（隙間 3mm）との比較において、浮き上がり量の差が（0.05mm 以下）ごくわずかであり、よく一致した結果が得られた。また、止水板の浮き上がりや挙動に対してもよく一致しており、3方向同時加振時と同様に解析モデルの信頼性が確認できた。

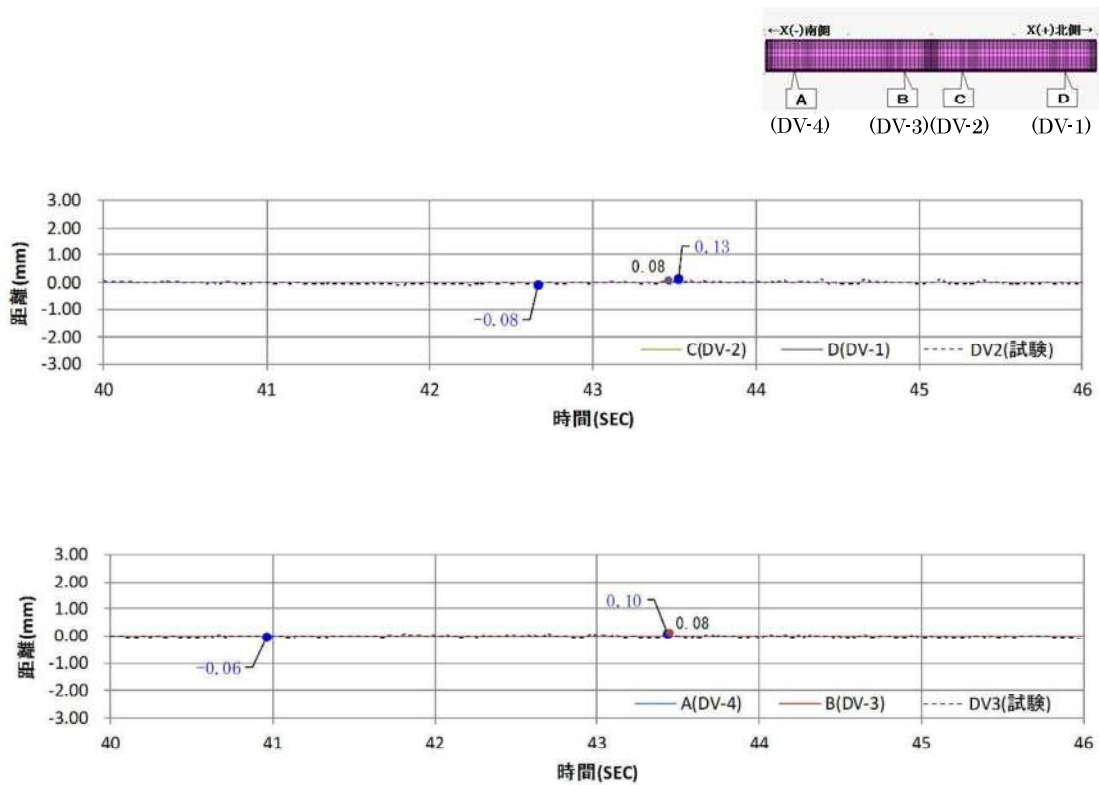


図 25 実証試験結果と実機モデル（隙間 3mm）との挙動比較

5.1 次止水機構の構造設計への反映事項

三次元動的解析の実機モデルが実証試験と同じ止水板の挙動を確認したため、三次元動的解析モデルの信頼性は高く、地震時における浸水防止機能に影響を与えることのないよう反映する。

実機の構造設計については、静的荷重による強度計算、耐震計算を実施し、動的な評価として三次元動的解析による解析結果を構造設計に適切に反映することで設備の構造信頼性を高める。なお、2次止水機構については、別途工事計画認可申請書に強度計算を実施する。

図 26 に 1 次止水機構の工事認可申請書構造設計フローを示す。

以下に今後設計への反映項目を示す。

①解析モデルの信頼性の向上

実証試験の結果と三次元動的解析モデルを比較すると止水板の挙動や浮上り量において、隙間 4mm モデルが実証試験に近い結果が得られている。今後の止水機構の構造設計においては、原則設計の公称値である隙間 3mm モデルにて強度評価を実施し、止水板の挙動や浮き上がり量、発生応力にいてのばらつきを考慮し、隙間 4mm モデルの解析結果と比較し応力評価する。

また、製作、施工上止水板ガイド付き厚さとガイド間隔は、最少 3mm 最大 6mm で施工することから、6mm の隙間モデルにおける三次元動的解析も実施し、解析モデルのばらつきを評価し解析モデルの信頼性向上を図る。6 項に詳細を示す。

②衝突の部材に与える影響評価

止水板の鉛直変位の挙動の結果から、前後（海側・陸側）の傾きが確認できる。

実証試験中においても止水板と止水板押えや底面・側面戸当りとの接触音が認められることから三次元動的解析の結果より、衝突の部材に与える影響評価を実施し構造設計への影響を評価する。

③実証試験結果及び三次元動的解析結果の報告

実証試験にて得られた止水板の挙動、変位追従性、水密ゴムの健全性の観点より結果を取りまとめる。また、動的解析（二次元・三次元）による結果も合わせて集約し、構造部材の許容応力の照査、水密ゴムの応力照査について評価する。

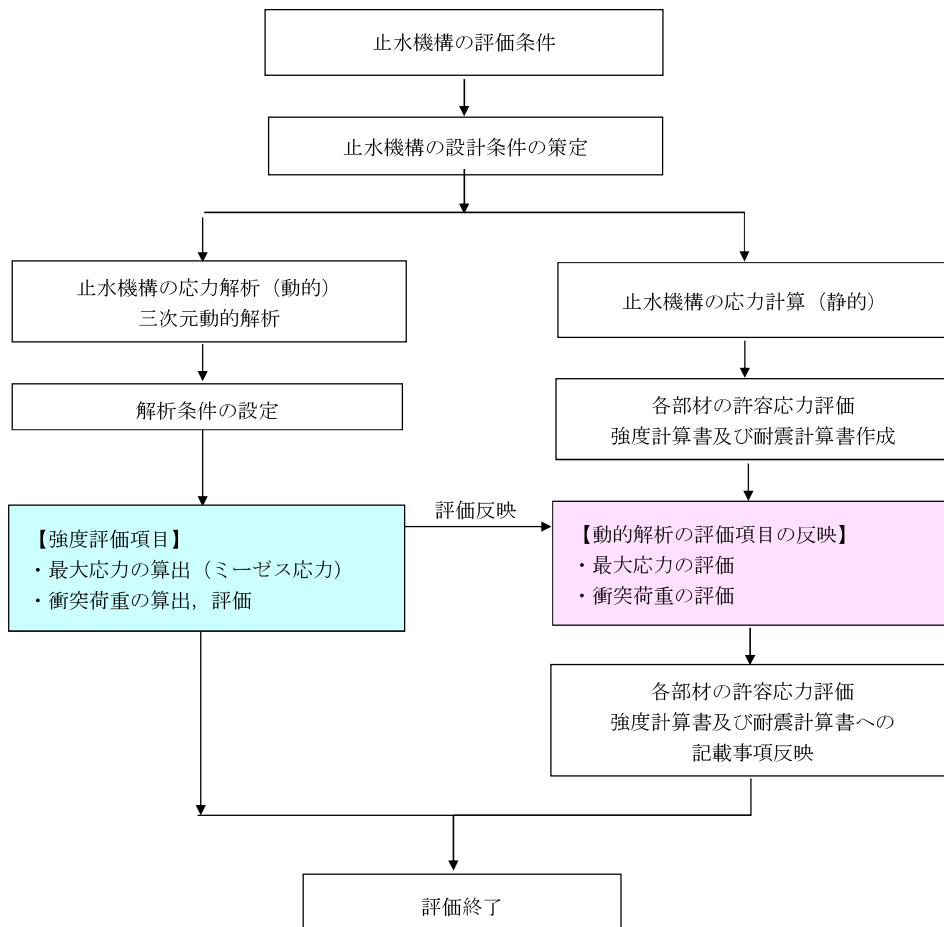


図 26 1次止水機構の工事認可申請書構造設計フロー

6. 実機製作における公差の考え方

前述にてモデルの公差を原則 3mm とし、ばらつきを考慮し 4mm においても解析を実施し信頼性の高いモデルであることを確認した。ここでは、実際の製作における隙間を考慮した場合の解析モデルのケースについて、実機寸法を整理した。

止水板ガイド付き厚さとガイド間隔は、最少 3mm 最大 6mm で施工することから、6mm の隙間モデルにおける三次元動的解析も実施し、解析モデルのばらつきを評価し解析モデルの信頼性向上を図る。図 27 の実機における止水板とガイド隙間の寸法を示す。

なお、設置時における隙間の管理は、止水板押えの位置（約 1m 間隔）にて管理する。

< 止水板と止水板ガイド間の寸法 >

	止水板厚さ A (mm)	止水板ガイド付き 厚さ B (mm)	ガイド間隔 C (mm)	【隙間管理値】 C-B (mm)
図面寸法	150	210	213	3
実機寸法 (製作公差含む)	150 ⁺¹ ₋₀	210±3 (ライナ調整)	213 ⁺⁶ ₋₃ (ライナ調整)	3 ⁺³ ₋₀
解析モデル	150	210 ⁺⁰ ₋₃	213	3 ⁺³ ₋₀

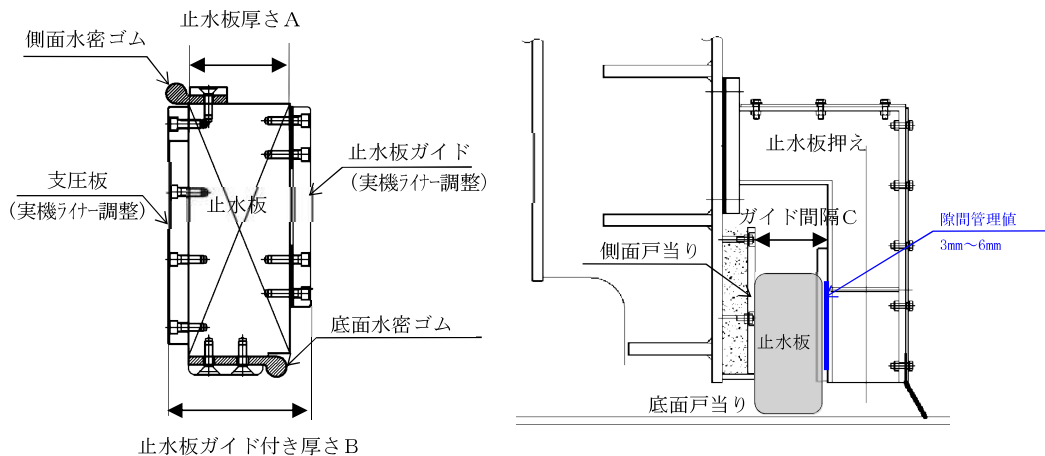


図 27 実機における止水板とガイド間の寸法

三次元動的解析モデルについては、ガイド間の隙間の寸法について公称値の 3mm を基本として評価する。また、製作、施工上のばらつきを考慮した 1mm 増加の 4mm、最大 6mm の 2 ケースの三次元動的解析を実施し、ばらつき等の保守的なモデルを設計に反映する。

なお、実機製作の隙間の管理も同様に、3mm~6mm にて設置することにより、止水板の挙動は三次元動的解析と同等の挙動を示す。次頁に実機における具体的な止水機構の寸法管理方法について説明する。

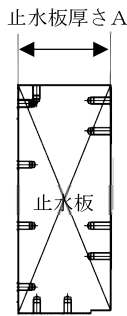
<実機における止水機構の寸法管理方法> (図 28 参照)

①止水板単体の板厚測定 (図①：A寸法)

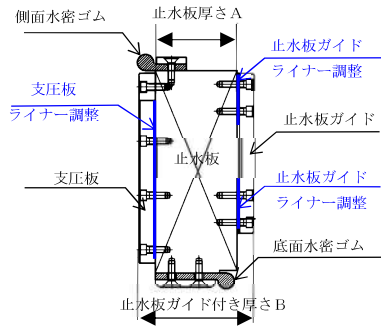
A寸法が 150mm(+1mm/-0mm)の公差内であることを確認する。

②止水板ガイド (30mm), 支圧板 (30mm) の設置 (図②：B寸法)

ボルトにて取り付ける際、寸法調整のため止水板と止水板ガイドの間及び支圧板の間の取付け部にライナー(ステンレス鋼)により調整し、止水板厚さ 150mm(+1mm/-0mm)を含めた、止水板ガイド付き厚さのB寸法を 210mm±3mm になるように調整し設置する。



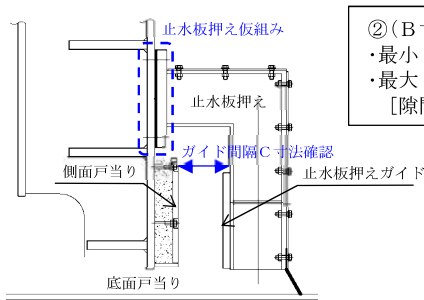
図① 止水板の測定 (A寸法)



図② 止水板ガイド付き厚さの測定 (B寸法)

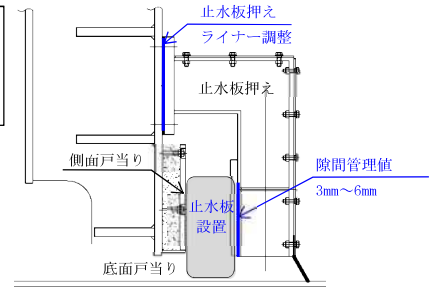
③止水板押えを仮組状態でガイド間隔C寸法を測定し、②で測定した止水板ガイド付き厚さB寸法を差引き止水板押えライナー調整の厚さを決める。その際、C寸法が④管理値内 3mm(+3mm/-0mm)に入るようライナー厚さを調整する。(図③：C寸法)

④止水板及び止水板押え設置後にガイド間隔C寸法を測定し、管理値内 3mm(+3mm/-0mm)であることを確認する。隙間管理値は 3mm～6mm にて管理する。(図④)



図③ ガイド間隔寸法 (C寸法:止水板設置前)

②(B寸法)⇒③C寸法
 ・最小 207mm⇒210～213mm
 ・最大 213mm⇒216～219mm
 [隙間管理値 3mm～6mm]



図④ ガイド間隔据付け寸法 (C寸法:止水板設置後)

(単位: mm)

	①止水板A寸法	②止水板ガイド厚さ B寸法	③ガイド間隔 C寸法	④隙間管理値 (C-B)
公称値 / (): 公差	150(+1mm/-0mm)	210(±3mm)	213(+6mm/-3mm)	3(+3mm/-0mm)
/ [] : 許容範囲	[150～151mm]	[207～213mm]	[210～219mm]	[3～6mm]

図 28 実機における止水機構の据付け手順及び寸法管理方法

6.1.3.7 止水機構における耐震・強度評価について

1. 目的

鋼製防護壁の止水機構（1次・2次）の耐震・強度評価方法について説明する。

2. 配置

止水機構の全体配置を図1に示す。止水機構の断面を図2に示す。

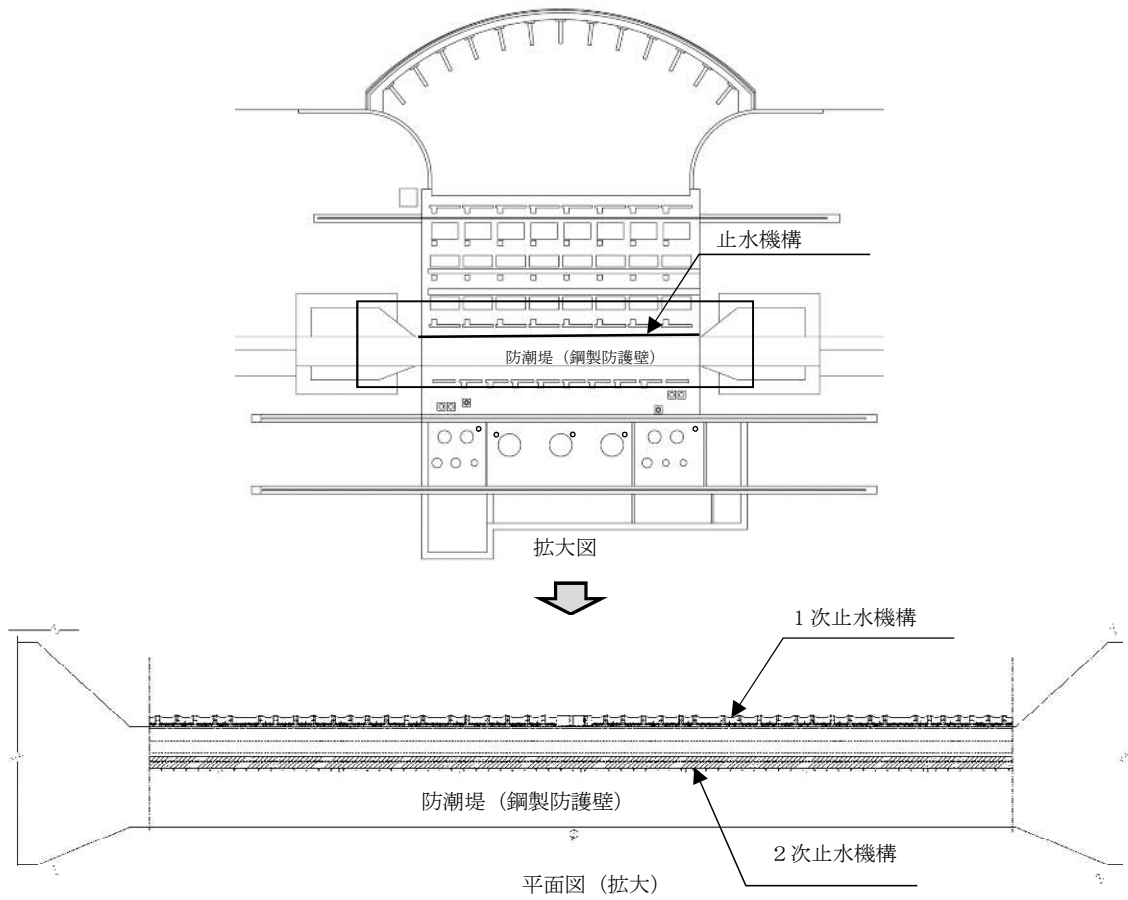
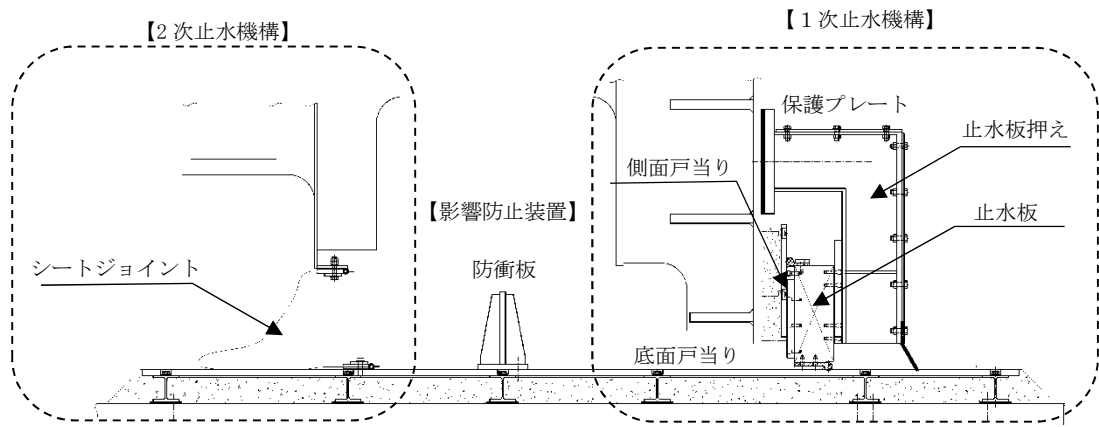


図1 1次止水機構の全体配置図



(断面図)

図2 止水機構の断面図

3. 1次止水機構の評価対象の評価方法

1次止水機構の評価対象部位を図3に示す。各部位の構造及び評価項目等については①～⑩に詳細に記載する。

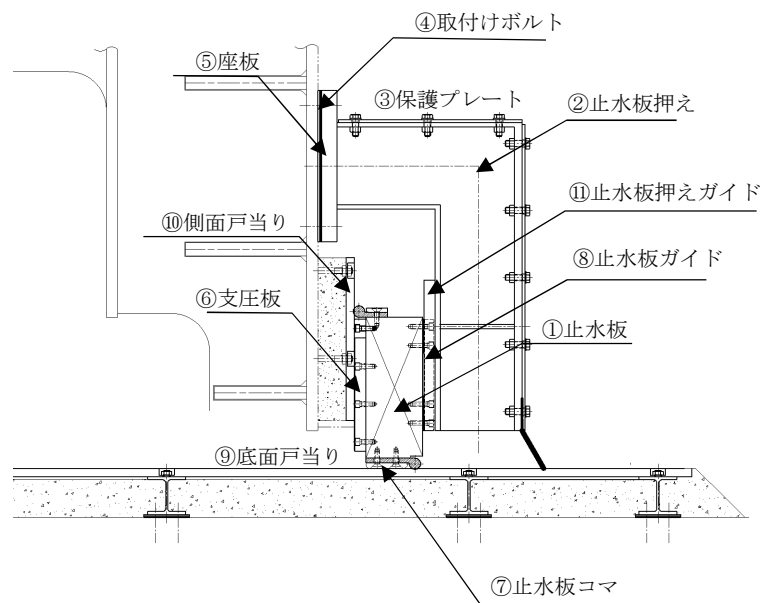


図3 1次止水機構の評価対象部位

①止水板

止水板の仕様とモデル化の概要を図4に示す。

評価部位	—	①止水板				
主要寸法	止水板長さ	mm	1990 (2000*)	1740 (1750*)	1540 (1550*)	1490 (1500*)
	止水板高さ	mm	400			
	止水板厚さ	mm	150			
材料	—	SUS304N2				
個数	—		13	7	1	2
応力評価項目	—	曲げ応力, せん断応力				

注記 * : 公称値

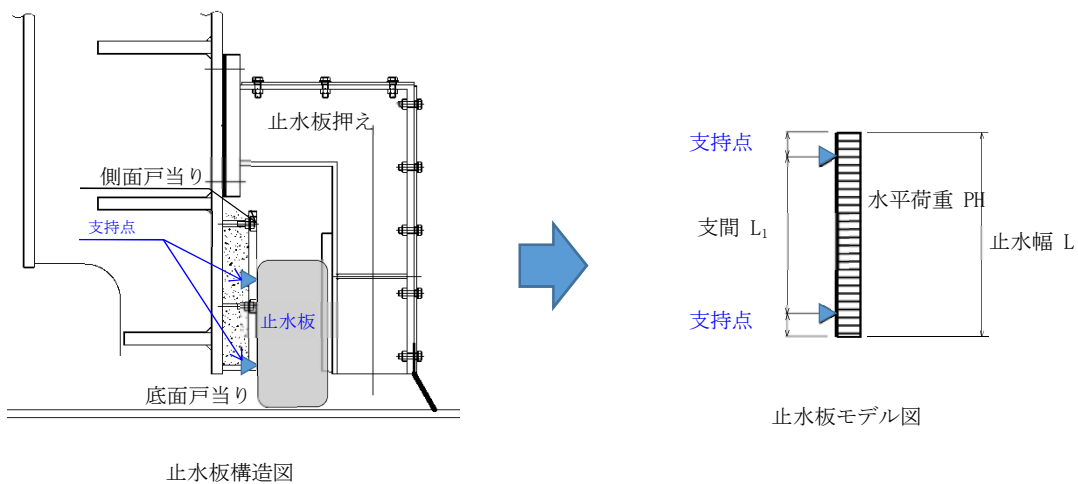


図4 止水板の構造及びモデルの設定

②止水板押え

止水板押えの全体配置図を図5に、止水板押えの構造及びモデルの設定を図6に示す。

- ◆材料：SM570，SUS329J4L
- ◆寸法：H200-230
- ◆数量：46箇所（止水板1枚に2箇所設置）
- ◆応力評価項目：＜上面＞曲げ応力，せん断応力
＜正面＞曲げ応力，せん断応力

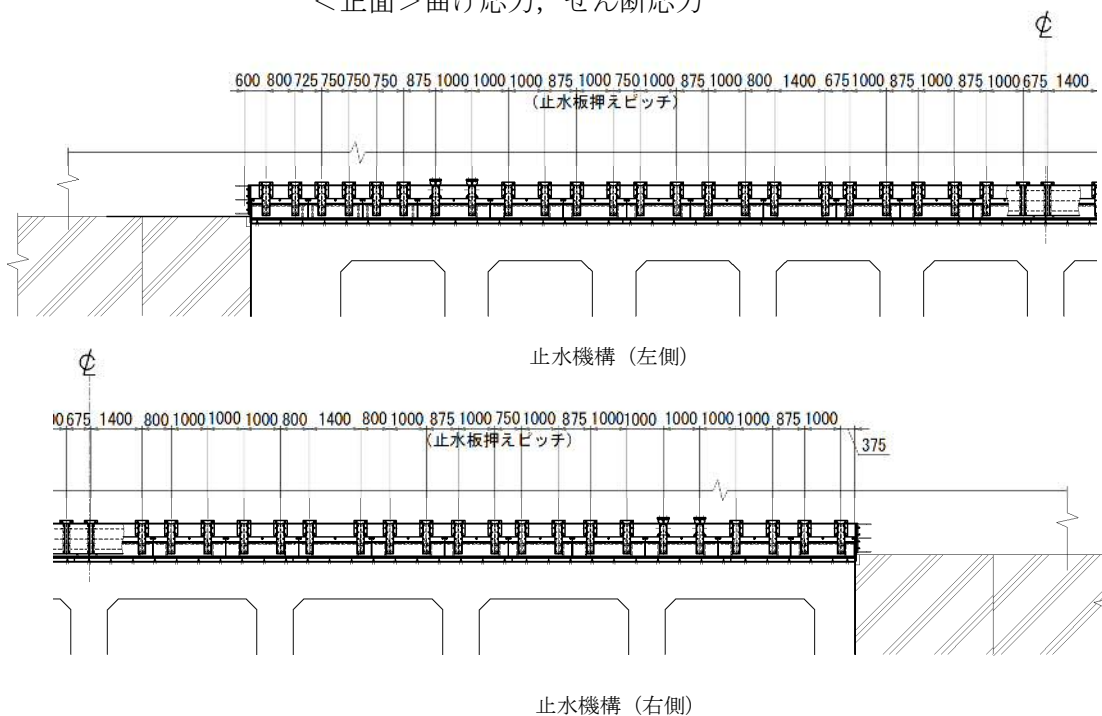


図5 止水板押えの全体配置（正面図：海側より）

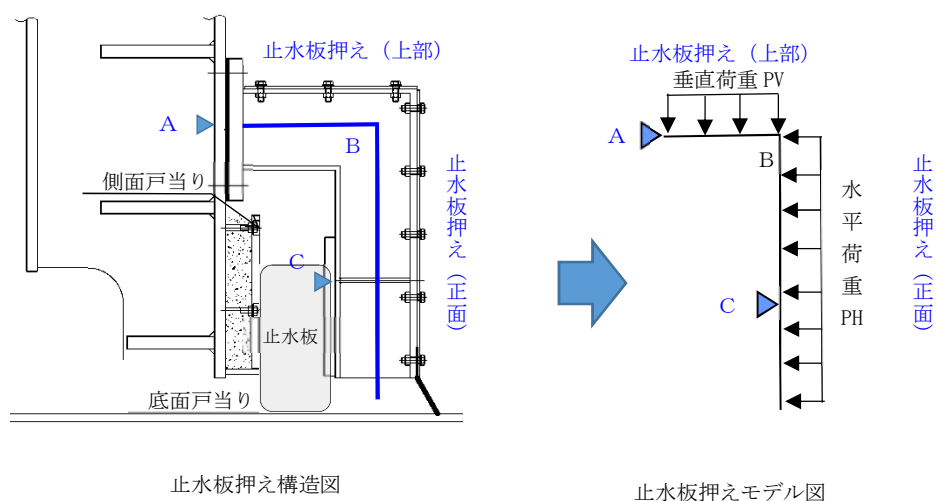


図6 止水板押えの構造及びモデルの設定

③保護プレート (図7)

◆材 料：SUS821L1

◆応力評価項目：＜上面，正面＞曲げ応力，せん断応力

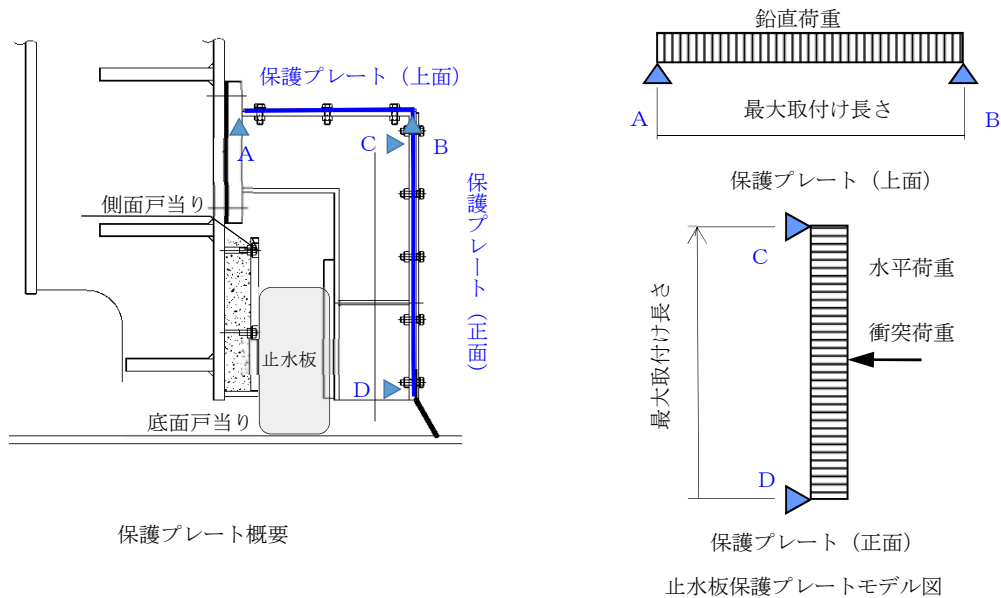


図7 保護プレートのモデルの設定

④取付けボルト，⑤座板 (図8)

◆材 料：S45CH

◆応力評価項目：＜取付けボルト＞引張り応力，せん断応力
 ＜座 板＞曲げ応力，せん断応力

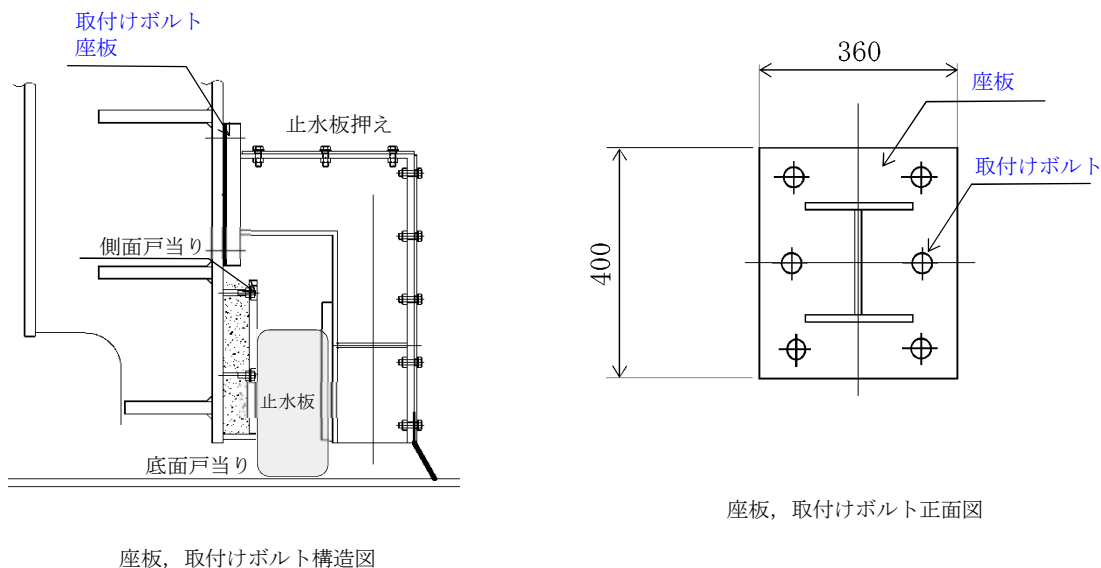
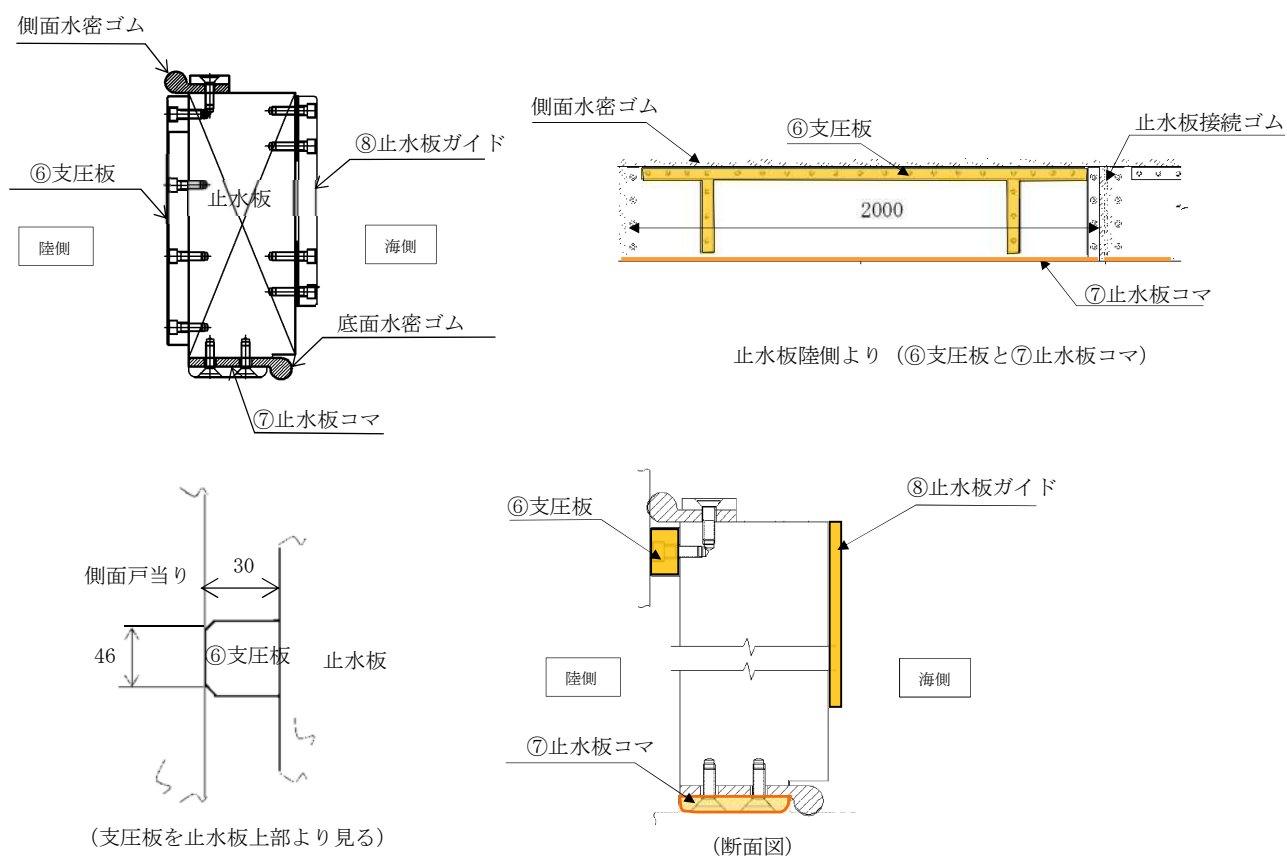


図8 取付けボルト，座板の構造

⑥支圧板, ⑦止水板コマ, ⑧止水板ガイド (図9)



評価部位		—	⑥支圧板	⑦止水板コマ	⑧止水板ガイド
主要寸法	長さ	mm	止水板の長さに合わせる	止水板の長さに合わせる	止水板押えの位置に設置
	厚さ	mm	30	15	30
材料		—	超高分子量ポリエチレン(UPE)	CAC703	CAC304
個数		—	23箇所*1	23箇所*1	46箇所*2
応力評価項目		—	支圧応力	支圧応力	支圧応力

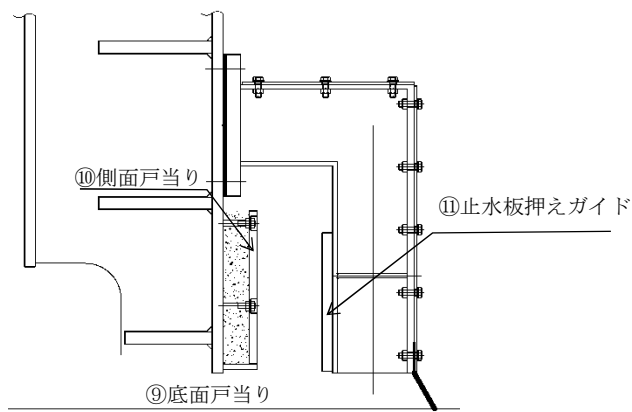
*1: 止水板1枚につき1箇所とする。

*2: 止水板1枚につき2箇所, 合計46箇所

図9 支圧板, 止水板コマ, 止水板ガイドの構造

⑨底面戸当り，⑩側面戸当り，⑪止水板押えガイド（図10）

◆応力評価項目：<底面戸当り，側面戸当り>圧縮応力
 <止水板押えガイド>圧縮応力，せん断応力



評価部位		—	⑨底面戸当り	⑩側面戸当り	⑪止水板押えガイド
主要寸法	長さ	mm	L42800×W37000	42800	L370×W40
	厚さ	mm	22	22	26
材料		—	SUS316	SUS316	CAC304
個数		—	1式*1	1式*2	46箇所*3
応力評価項目		—	支圧応力	支圧応力	支圧応力

*1：止水機構全域に設置するため1式とする。

*2：止水板と同じ位置の全域に設置するため1式とする。

*3：止水板ガイド箇所と同じ46箇所

図10 底面戸当り，側面戸当り，止水板押えガイドの構造

4. 2次止水機構，防衝板（影響防止装置）の評価部位
2次止水機構と防衝板の配置を図11に示す。

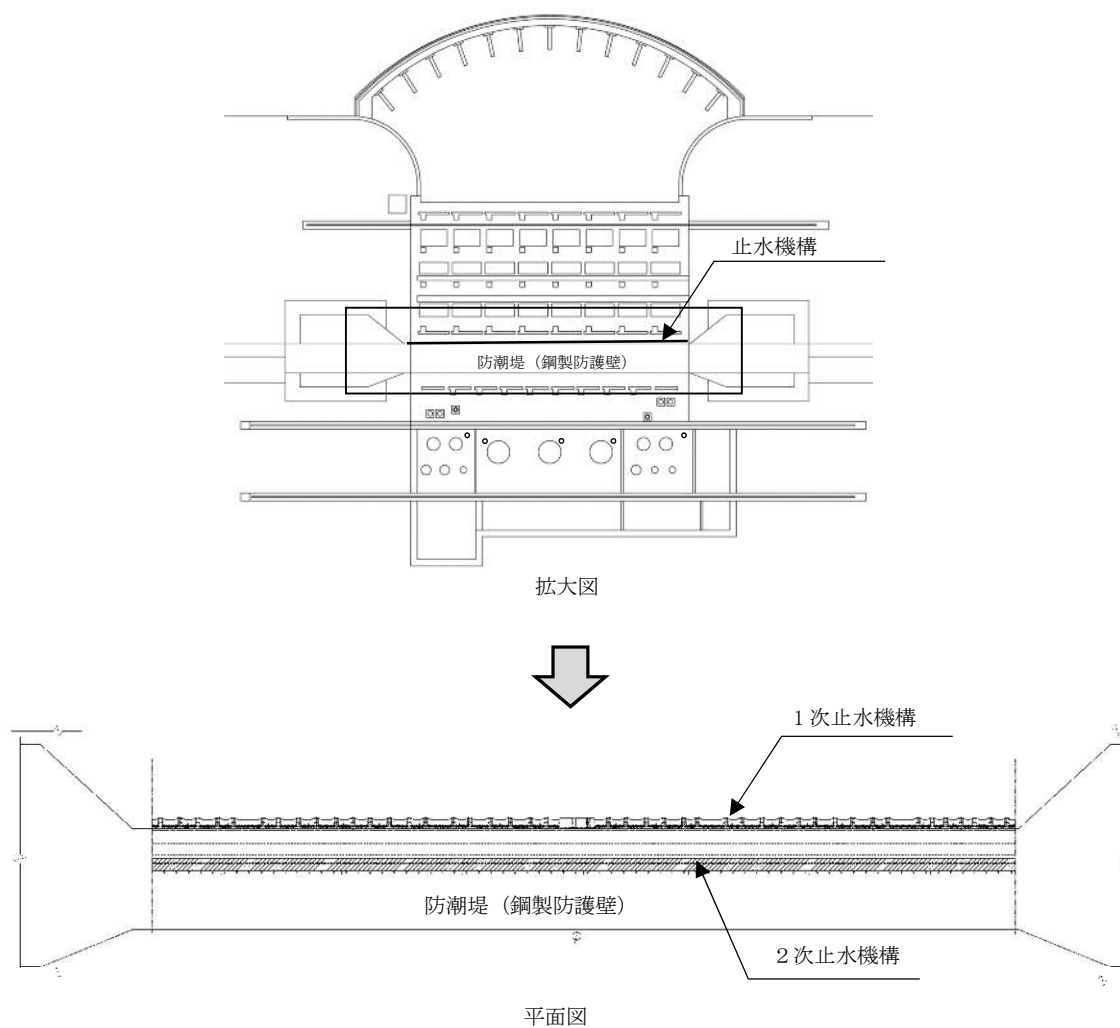


図11 2次止水機構の配置図

⑫シートジョイント, ⑬防衝板 (影響防止装置) (図 12)

評価部位		—	⑫シートジョイント	⑬防衝板 (基礎ボルト含む)
主要寸法	長さ	mm	約 43000* ¹	約 43000* ¹
	高さ	mm	1500* ²	300
	厚さ	mm	—	25
材 料		—	ポリエステル繊維 (#800 二重) 補強ベルト (100×2t 両面)	SUS304
個 数		—	1 式* ³	1 式* ²
応力評価項目		—	引張り強度	曲げ応力 せん断応力

*1: 止水機構の全長を示す。

*2: シートジョイントの取付け部長さを示す。

*3: 止水機構の全長部分に設置するため, 1 式とする。

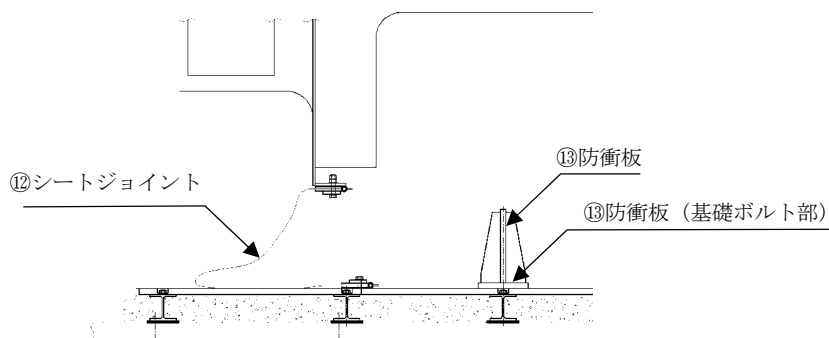
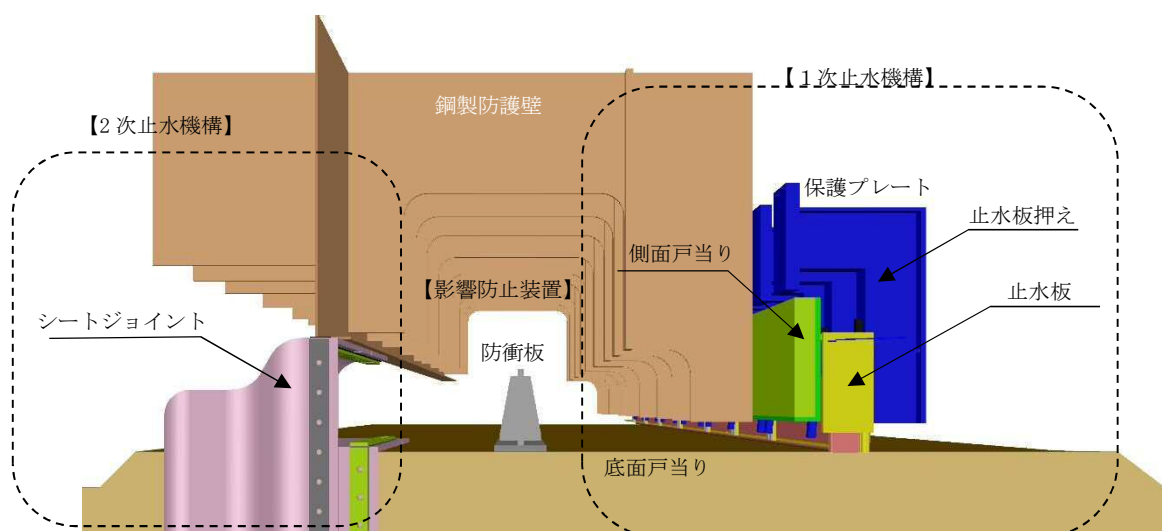


図 12 シートジョイントと防衝板の配置

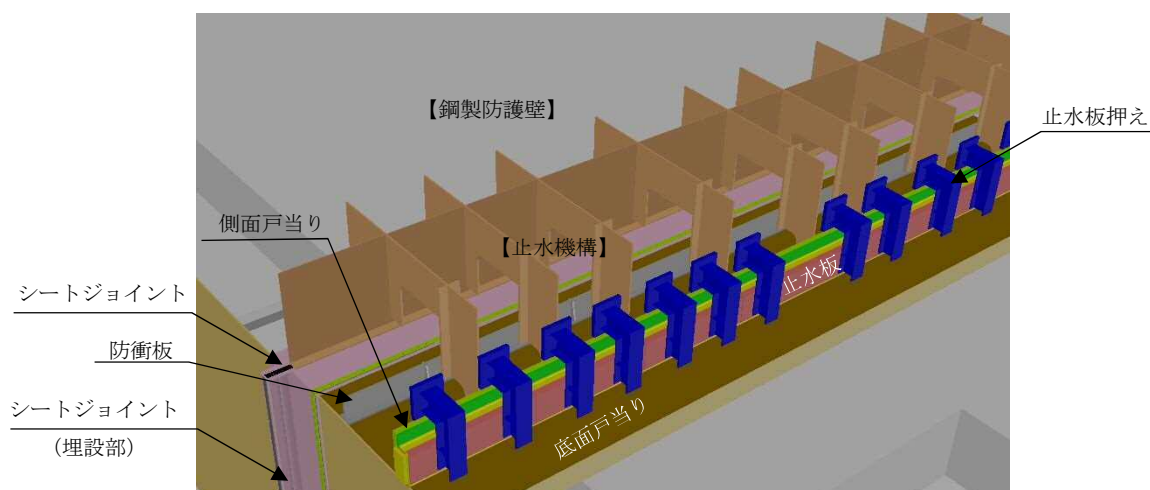
(1) シートジョイントの構造

止水機構の2次止水機構にシートジョイントを設置する。シートジョイントは、防潮堤の境界部に設置する止水ジョイント部材と同等の材質のものを設置する。

鋼製防護壁の端部は、鋼製防護壁の地震時変位による追従性を確保するためシートジョイントに余長を持たせ、変位を吸収する構造とする。また、止水時の水密性を確保するため、埋設部はボルトにて固定し水密性を維持する。シートジョイントの埋設部には、形状維持の観点から砂（珪砂9号）と粘土を充填し形状を確保する。



(止水機構 断面鳥瞰図)



(止水機構 海側南東方向より鳥瞰図)

図 13 止水機構の概要

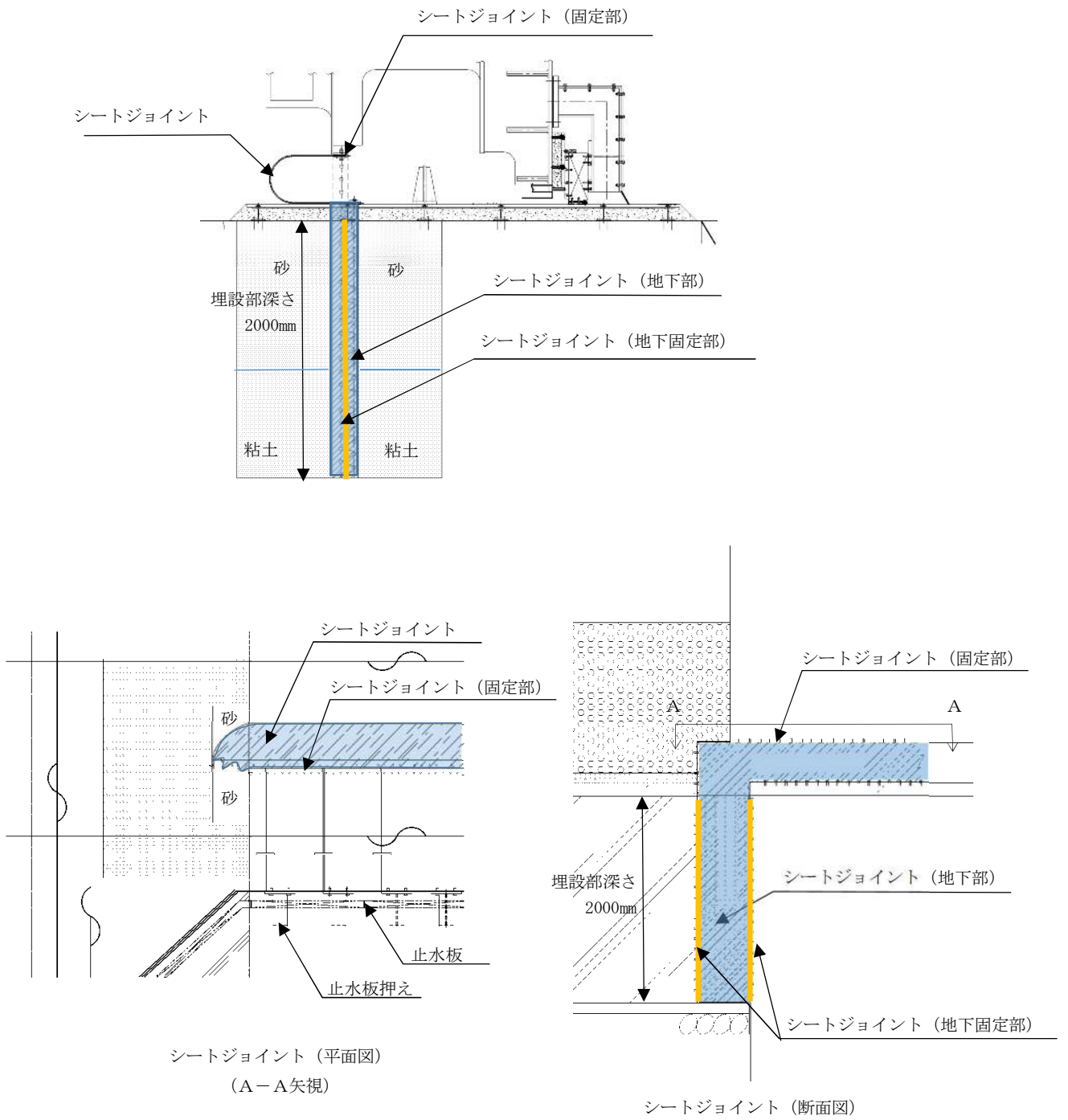


図 14 シートジョイント端部の構造

<シートジョイントの長さの考え方>

シートジョイント固定部の位置が陸側に 700mm 移動した場合の最大変位時の状態のシートジョイントの径間距離にたわみを考慮した長さ (856mm) に両端の取付け部長さ (100mm, 70mm) を加えた長さ (約 1000mm) の 1.5 倍以上とした 1500mm と設定する。図 15 にシートジョイントの長さの設定を示す。

【シートジョイントの固定部位置】：陸側 700mm, 海側 500mm

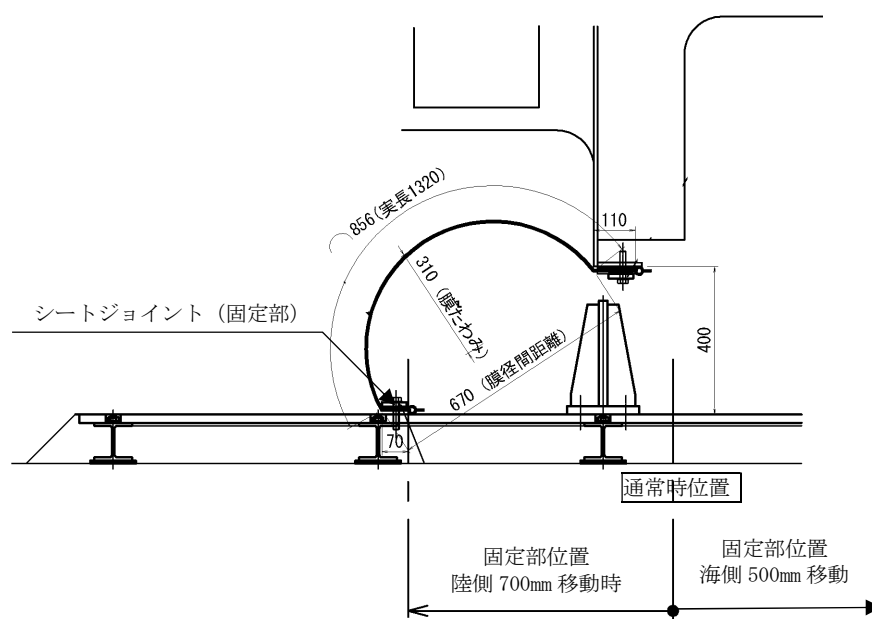


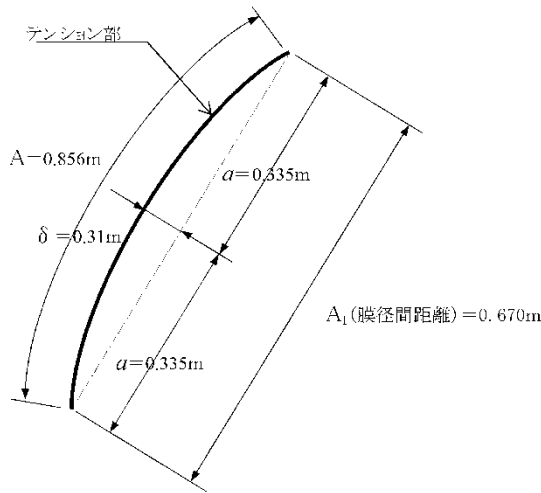
図 15 シートジョイントの長さの設定 (固定部位置陸側 700mm 移動時)

(2) シートジョイントの張力の算出

シートジョイントの構造計算書に用いる張力の計算方法について、以下のとおり。

①張力の算定

2次止水機構のシートジョイントを取り付ける場合の張力を算出する。図16にたわみ形状図を示す。



$$T_c = \frac{P_1 \cdot a}{2 \cdot \delta} \cdot \sqrt{a^2 + 4 \cdot \delta^2}$$

- T_c : シートジョイントに発生する張力 (kN/m)
- a : シートジョイントの径間距離 (A1) の 1/2
 $a = 0.67 \times 0.5 = 0.335$
- δ : たわみ量 (0.31m)
- P_1 : 水圧 (=272.8kN/m²)

図16 たわみ形状図

②シートジョイント強度の照査

シートジョイントに対する安全率は、 $SF \geq 1.5$ としシートジョイントの必要張力 (T_{cb}) を求める。

$$T_{cb}/SF \geq T_c$$

T_{cb} : 必要張力 (90kN/30cm)

T_c : シートジョイントに発生する張力 (105.1kN/m)

シートジョイントの必要張力 105.1kN/m は、30cm 当たり 31.6kN/30cm

60kN/30cm (判定値) \geq 31.6kN/30cm となる。

6.1.3.8 止水機構のうち防衝板における衝突解析について

1. 目的

鋼製防護壁の1次止水機構の補修時等における津波襲来時において、石などの漂流物が2次止水機構のシートジョイントに到達する前に防衝板（影響防止装置）へ衝突する。その場合の防衝板への漂流物の影響について評価する。

2. 評価の方法

1次止水機構の隙間（100mm）より津波の浸水に伴う漂流物を想定する。その際、防衝板へ衝突した後の漂流物の軌跡や2次止水機構のシートジョイントへの影響について評価する。

(1) 評価条件

【評価条件】

- ・ 津波条件：T.P. +24.0m 静水圧
- ・ 解析ソフト：PFC_Ver5.0
- ・ 流体解析：ANSYS FLUENT

【止水機構の構造条件】

図1に止水機構の構造及びモデル化の範囲を示す。

- ① 止水板は補修等により設置していない状態
- ② 通常状態で100mmの隙間。100mmの隙間より漂流物を想定する。
- ③ 防衝板の仕様：
 - ・ 材質：SUSU304
 - ・ 寸法：高さ300mm×厚さ22mm
 - ・ 据付け状況：ボルト固定

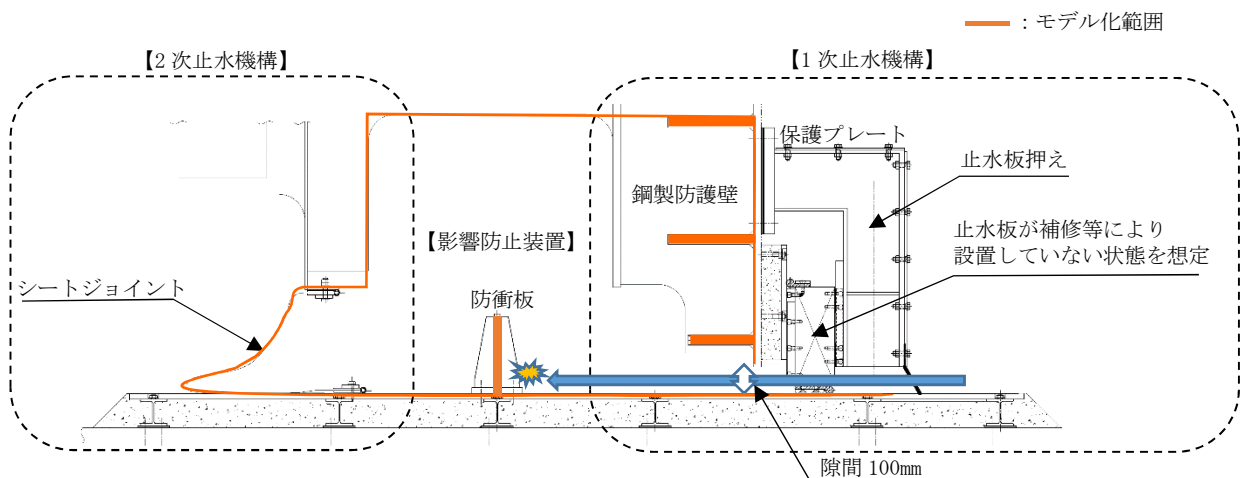


図1 止水機構の構造及び解析モデルの範囲図

【漂流物】

- ①漂流物は花崗岩を想定し、比重は 2750kg/m^3 （一般的に $2600\sim 2800\text{kg/m}^3$ ）
- ②防衝板に衝突した影響を把握するため、岩塊の形状の違う 2 ケースを選定。

図 2 に岩塊のモデル化を示す。

- ・ 1 ケース：岩塊（四角形状）： $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 100\text{mm}$
- ・ 2 ケース：岩塊（丸形状）：直径 100mm

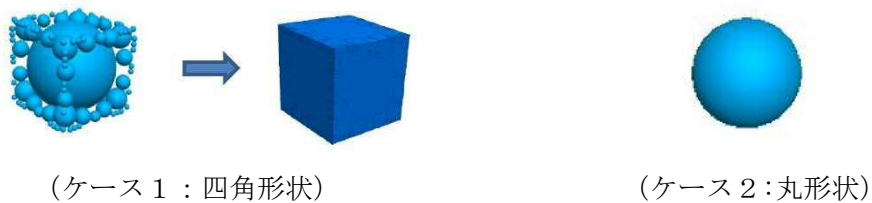


図 2 岩塊のモデル化

【解析モデル図】

止水機構の構造条件に基づく図 1 のモデル化の範囲を図 3 に止水機構のモデル化を示す。

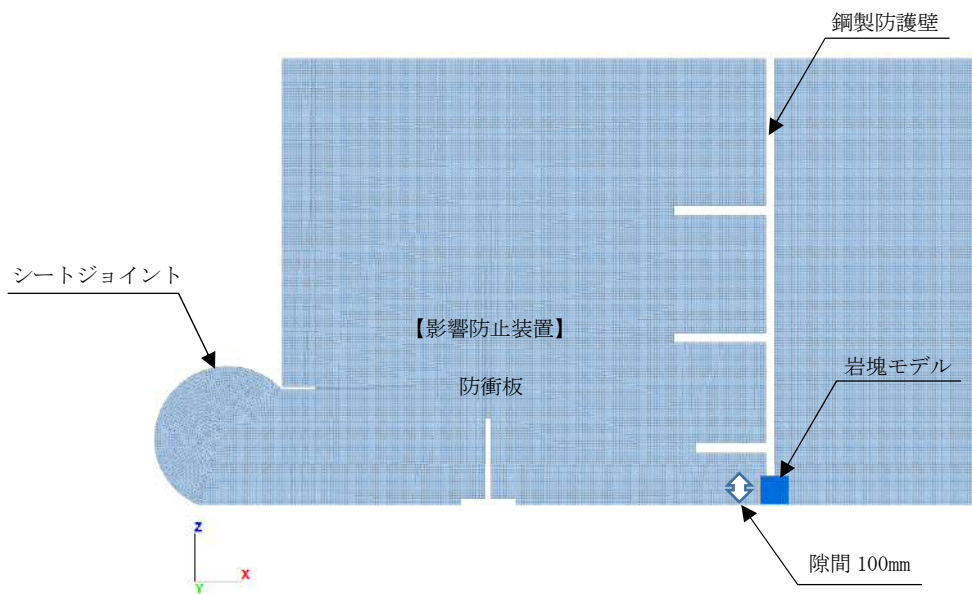


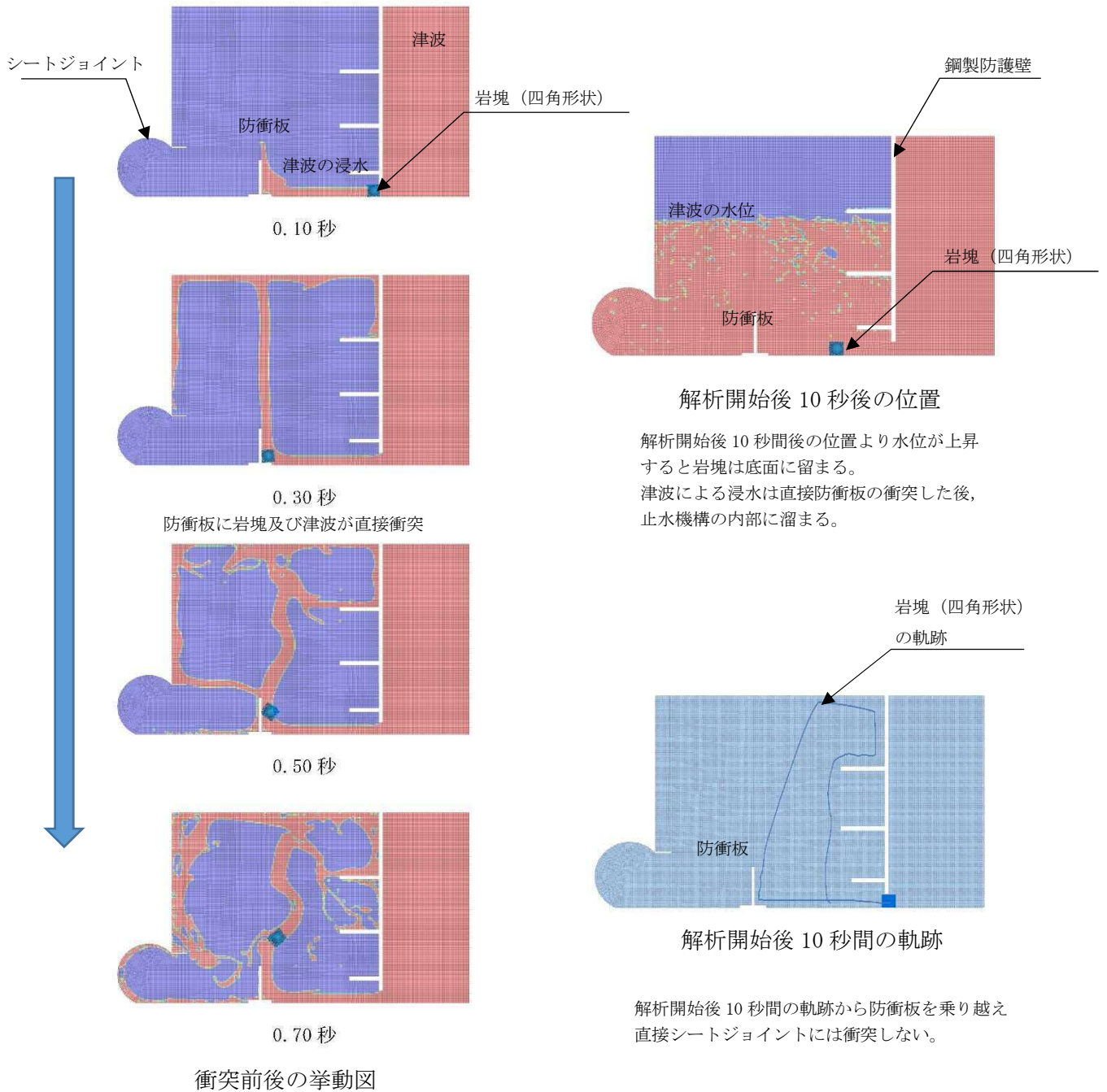
図 3 止水機構のモデル化

3. 挙動の解析結果

(1) ケース 1 岩塊（四角形状）

以下に岩塊（四角形状）の解析結果を示す。

止水板の設置位置の隙間 100mm の間から侵入し、0.3 秒後には防衝板に衝突、その後上部に跳ね上がることから、シートジョイントには直撃せず底面部分に留まることを確認した。図 4 に岩塊（四角形状）の解析結果を示す。



解析開始後 10 秒間後の位置より水位が上昇すると岩塊は底面に留まる。津波による浸水は直接防衝板の衝突した後、止水機構の内部に溜まる。

解析開始後 10 秒間の軌跡から防衝板を乗り越え直接シートジョイントには衝突しない。

図 4 岩塊（四角形状）の解析結果

(2) ケース 2 岩塊（丸形状）

以下に岩塊（丸形状）の解析結果を示す。

止水板の設置位置の隙間 100mm の間から侵入し、0.3 秒後には防衝板に衝突、その後上部に跳ね上がることから、シートジョイントには直撃せず底面部分に留まることを確認した。図 5 に岩塊（丸形状）の解析結果を示す。

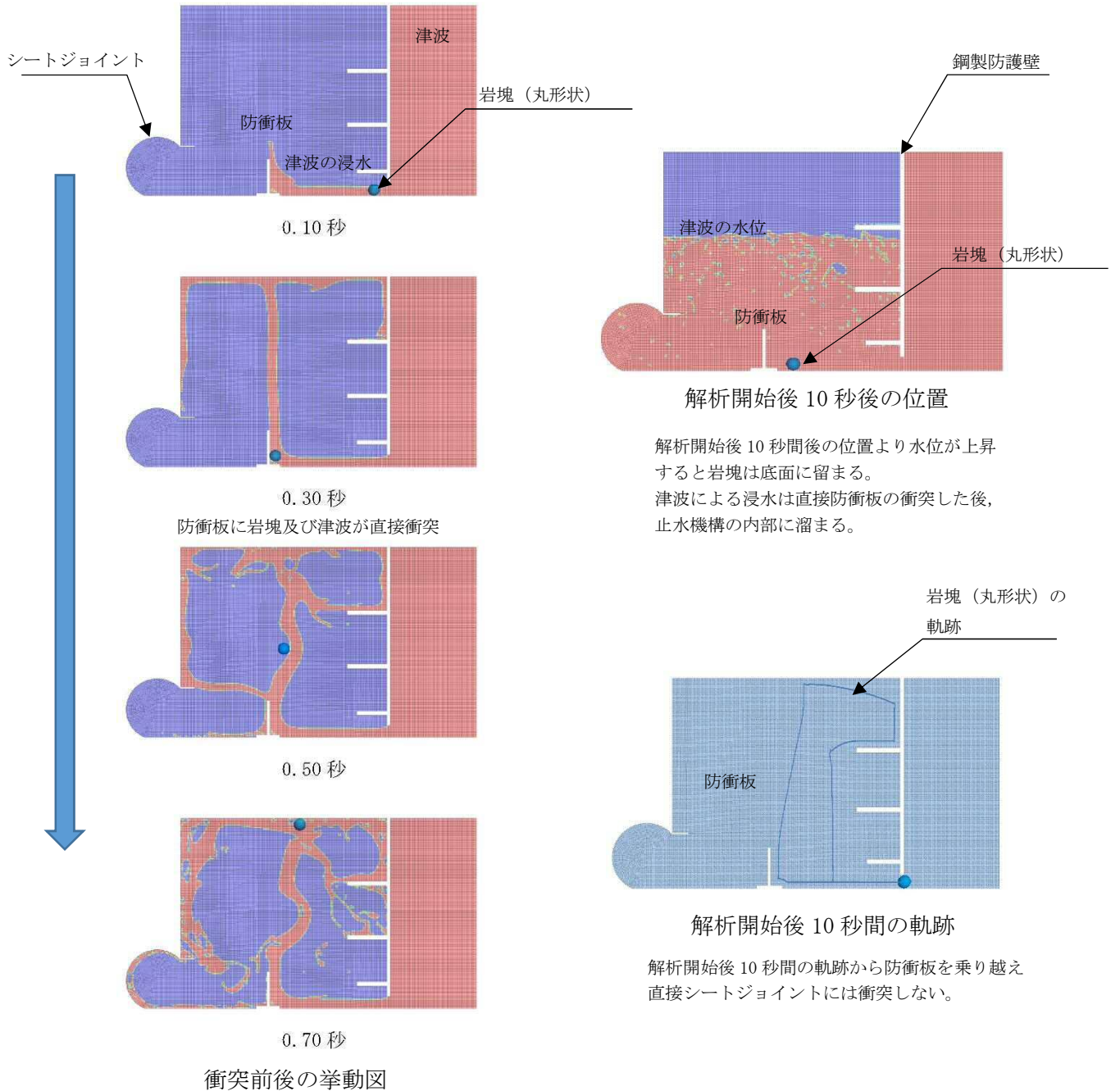


図 5 岩塊（丸形状）の解析結果

4. 衝突解析結果から算出された衝突力による評価

前述の解析結果より防衝板への衝突は、約 0.3 秒後に衝突している。その際の衝突力について解析より求め、強度計算書に反映する。

表 1 衝突板への衝突力の算定

	①衝突力 (N)	強度計算書上に用いる衝突力 (N) ①衝突力×1.2 倍
ケース 1 (四角形状)	11395	13674
ケース 2 (丸形状)	2058	2470

強度計算書に用いる荷重は、最大荷重のケース 1 (四角形状) にて算出した荷重 (11395N) に計算書上のばらつき等を考慮し 1.2 倍の衝突力 13674N を強度計算書に用い評価する。表 1 に衝突版への衝突力の算定を示す。

また、シートジョイントについては、岩塊が直接衝突することがないこと及び津波の浸水も直接受けることがないことから、静水圧による荷重を考慮した強度計算書の評価とする。

6.1.3.9 止水板の設置時における隙間の解析及び衝突解析による評価について

1. 目的

鋼製防護壁の1次止水機構の止水板は、止水板押えと側面戸当りの隙間が3mm～6mmにて設置されることから、解析や応力評価の影響について評価する。

2. 概要

三次元動的解析は、ガイド間の隙間の寸法について公称値の3mmとし評価してきたが、製作や施工上の設置時における公差を考慮した場合に、隙間3mmから最大6mmにて設置することから、三次元動的解析においては、設置時における施工上の公差によるばらつき等も考慮した解析ケースを選定する。

なお、解析ケースの選定については、三次元動的解析による応力評価（衝突応力含む）及び止水板の浮き上がりの観点から適切な解析ケースを選定する。

図1に、止水板と止水板ガイドとの設置時の隙間を示す。

<止水板と止水板ガイド間の設置時の寸法>

	止水板厚さ A (mm)	止水板ガイド付き 厚さB (mm)	ガイド間隔 C (mm)	【隙間管理値】 C-B (mm)
図面寸法	150	210	213	3
実機寸法 (製作公差含む)	150 ⁺¹ ₋₀	210±3 (ライナー調整)	213 ⁺⁶ ₋₃ (ライナー調整)	3 ⁺³ ₋₀
解析モデル	150	210 ⁺⁰ ₋₃	213	3 ⁺³ ₋₀

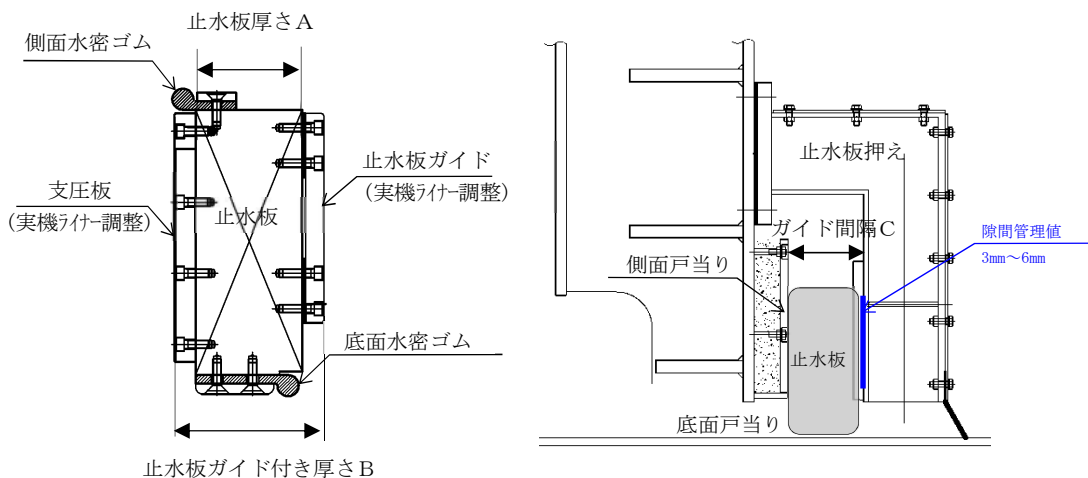


図1 実機における止水板とガイド間の寸法管理値

3. 応力解析の評価フロー

止水板設置時における隙間のケースにおける応力解析及び衝突解析による評価フローについて図2に示す。

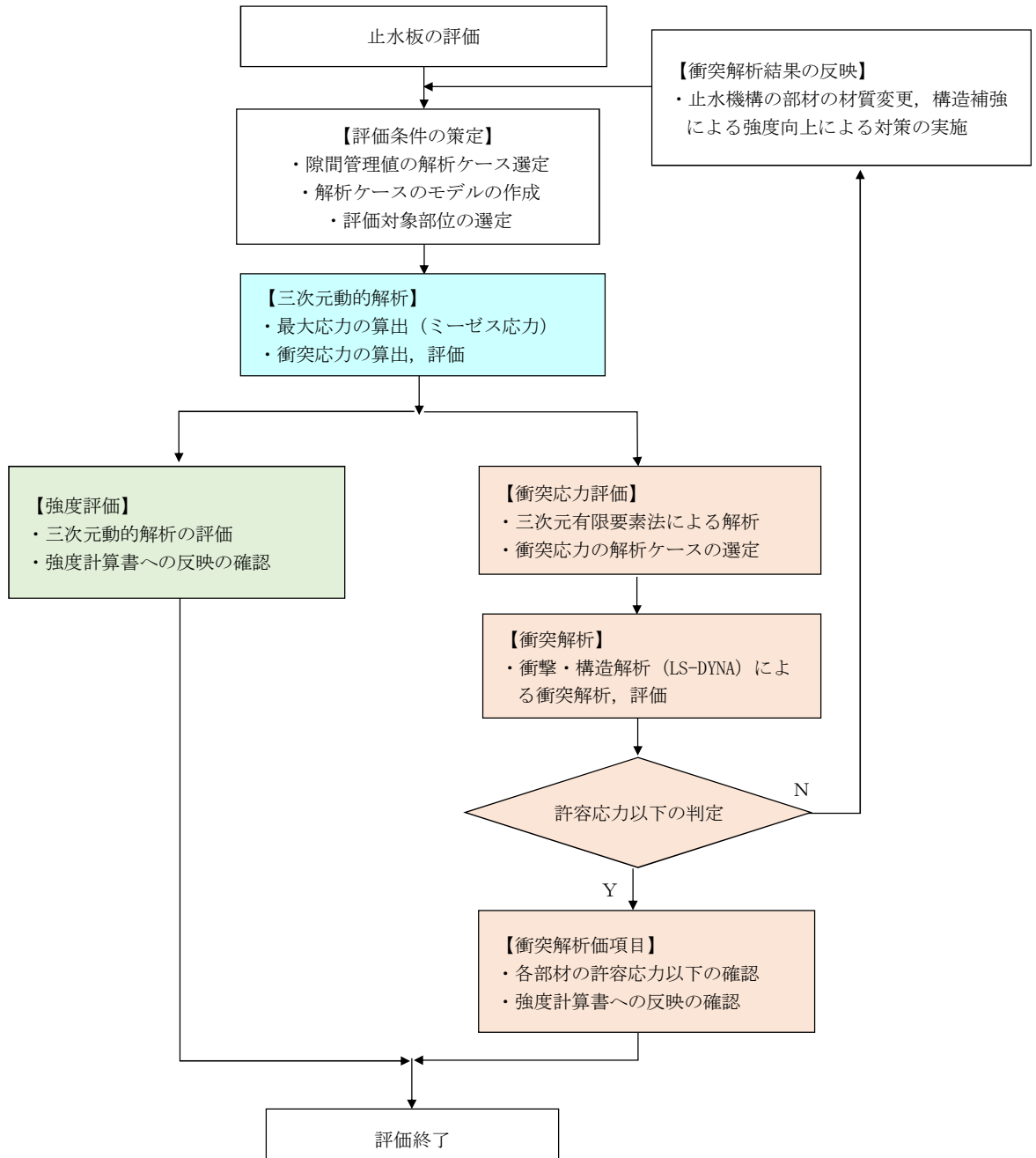
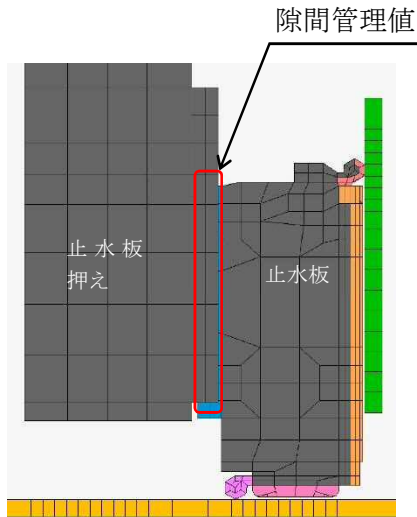


図2 止水板の設置時における隙間の解析及び衝突解析による評価フロー

4. 評価条件の策定

(1) 三次元動的解析モデルと解析ケース

図3に三次元動的解析のモデルとケース数



【解析条件】

◆三次元動的解析のケース

	ケース 1	ケース 2	ケース 3
隙間	3mm	4mm	6mm

◆地震動：基準地震動 S_s (3方向同時加振)

◆継続時間：鋼製防護壁の鉛直加速度最大時付近 40秒から44秒

図3 三次元動的解析のモデルとケース数

(2) 評価対象部位の選定

三次元動的解析の評価対象部位は、止水板の挙動に影響を与える部位を選定した。図4に解析における評価対象部位を示す。

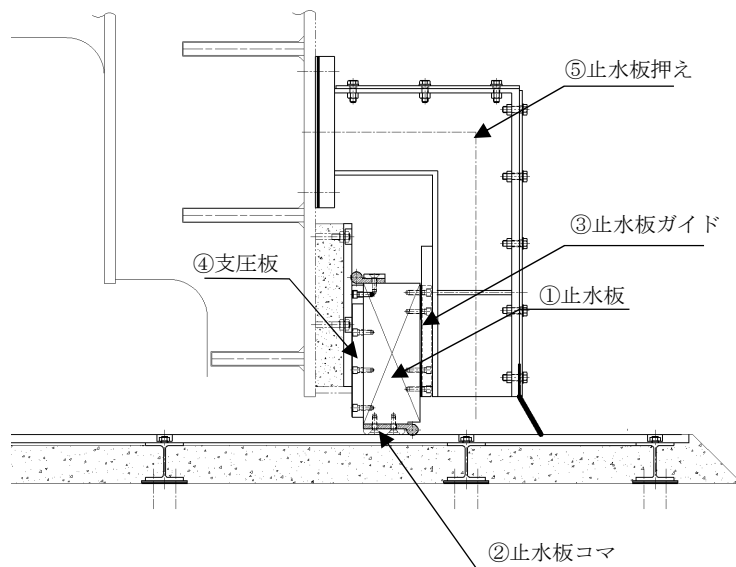


図4 解析における評価対象部位

5. 三次元動的解析（応力評価）の結果

三次元動的解析における応力評価の解析結果を止水板設置の隙間ケース毎に整理した結果を表1に示す。

解析の結果から、ケース3の6mmの場合であればケース1, 2の発生応力よりも顕著に応力が大きくなる傾向があること及び他のケースを包絡していることから、三次元動的解析及び応力評価においてはケース3（隙間6mm）のケースを評価や解析におけるベースケースとする。

表1 止水板設置の隙間ケースにおける三次元動的解析結果（衝突応力）

評価対象部位	ケース1 (隙間：3mm)	ケース2 (隙間：4mm)	ケース3 (隙間：6mm)	許容応力 (MPa)
①止水板	185.4	121.5	348.6	345
②止水板コマ	794.9	962.4	1975.7	245
③止水板ガイド	599.9	829.2	1308.7	245
④支圧板	21.8	14.4	13.1	44
⑤止水板押え	829.0	538.0	915.1	450
評価	公称値ケース	ケース1とケース3の 中間ケース	【ベースケース】 支圧板以外の全ての 部位の包絡ケース	

三次元動的解析における評価の結果、ケース1の隙間3mmのケースでは止水板とガイドとの隙間が小さいことから、止水板を比較的拘束する結果が得られたが、ケース3の6mmの場合には止水板とガイドとの隙間が大きいため、止水板が自由に動きやすく衝突応力に大きい結果が得られたものと思われる。

図5から図8にケース3の①止水板、②止水板コマ、③止水板ガイド、⑤止水板押えの三次元動的解析の結果を示す。

【ケース 3 隙間 6mm の解析結果】

<①止水板>

止水板の中央付近に許容応力をわずかに上回っている衝突応力が確認できることから衝突による応力として評価する。

また、時刻歴波形から許容応力以下のところにも小さな衝突応力が確認できる結果となった。図 5 に三次元動的解析の結果と時刻歴波形を示す。

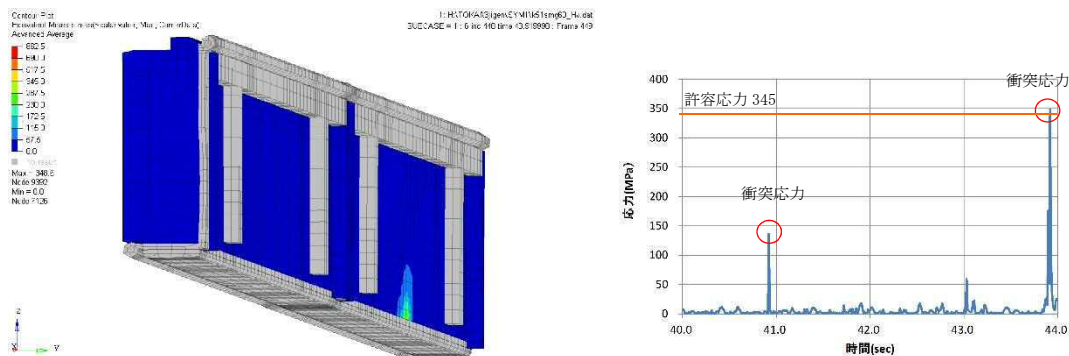


図 5 止水板の三次元動的解析結果と時刻歴波形

<②止水板コマ>

止水板コマの端部に衝突応力が確認できることから衝突による応力として評価する。

また、時刻歴波形から許容応力の近傍の部分に衝突応力が確認できる結果となった。図 6 に三次元動的解析の結果と時刻歴波形を示す。

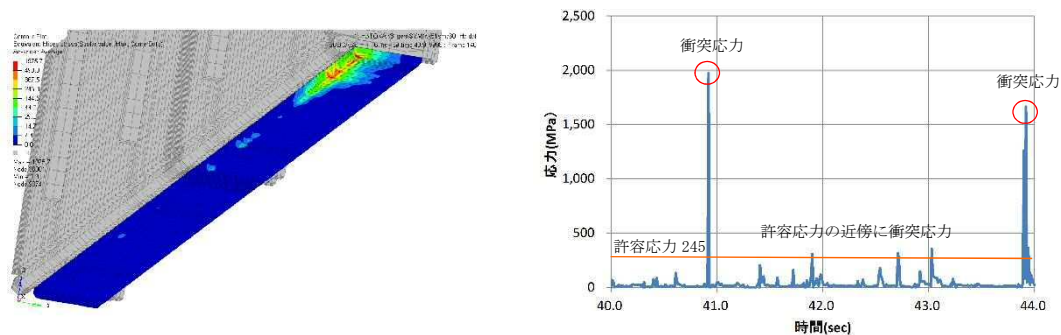


図 6 止水板コマの三次元動的解析結果と時刻歴波形

<③止水板ガイド>

止水板ガイドに衝突応力が確認できることから衝突による応力として評価する。

また、時刻歴波形から許容応力以下のところにもいくつかの衝突応力が確認できる結果となった。図7に三次元動的解析の結果と時刻歴波形を示す。

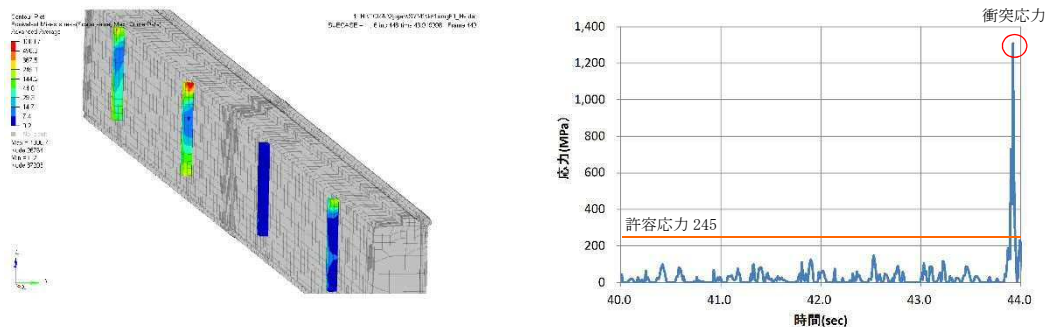


図7 止水板ガイドの三次元動的解析結果と時刻歴波形

<⑤止水板押え>

止水板押えを鋼製防護壁に取り付ける部分やL字の曲り部の近傍に衝突応力が確認できることから衝突による応力として評価する。

また、時刻歴波形から許容応力以下のところにもいくつかの衝突応力が確認できる結果となった。図8に三次元動的解析の結果と時刻歴波形を示す。

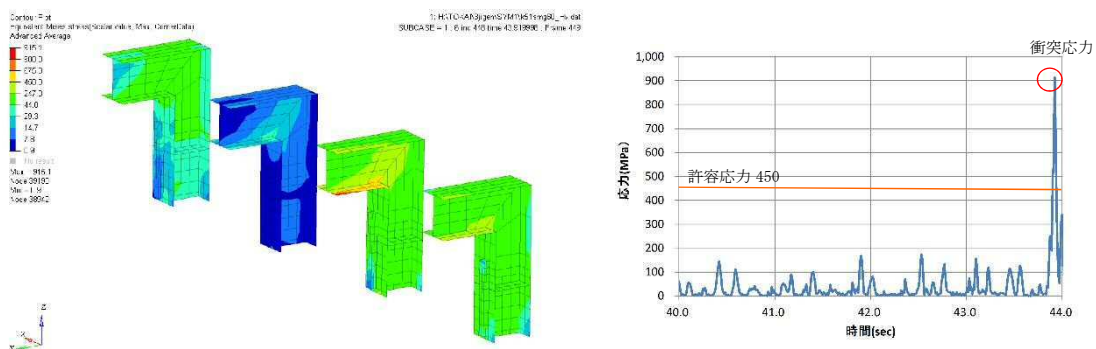


図8 止水板押えの三次元動的解析結果と時刻歴波形

6. 衝突応力の評価

前項 5 項の三次元動的解析の結果から、衝突応力が認められたため、三次元有限要素法による衝突解析を実施し衝突応力について評価する。

(1) 解析条件

- ・加振条件：基準地震動 S_s ($S_s - D1$)
- ・解析手法：非線形時刻歴応答解析
- ・解析ソフト：LS-DYNA (衝撃・構造解析ソフトウェア)
- ・解析モデル：三次元有限要素法解析モデル (ガイド間の隙間 6mm)

図 9 に止水板とガイド間のモデル図を示す。

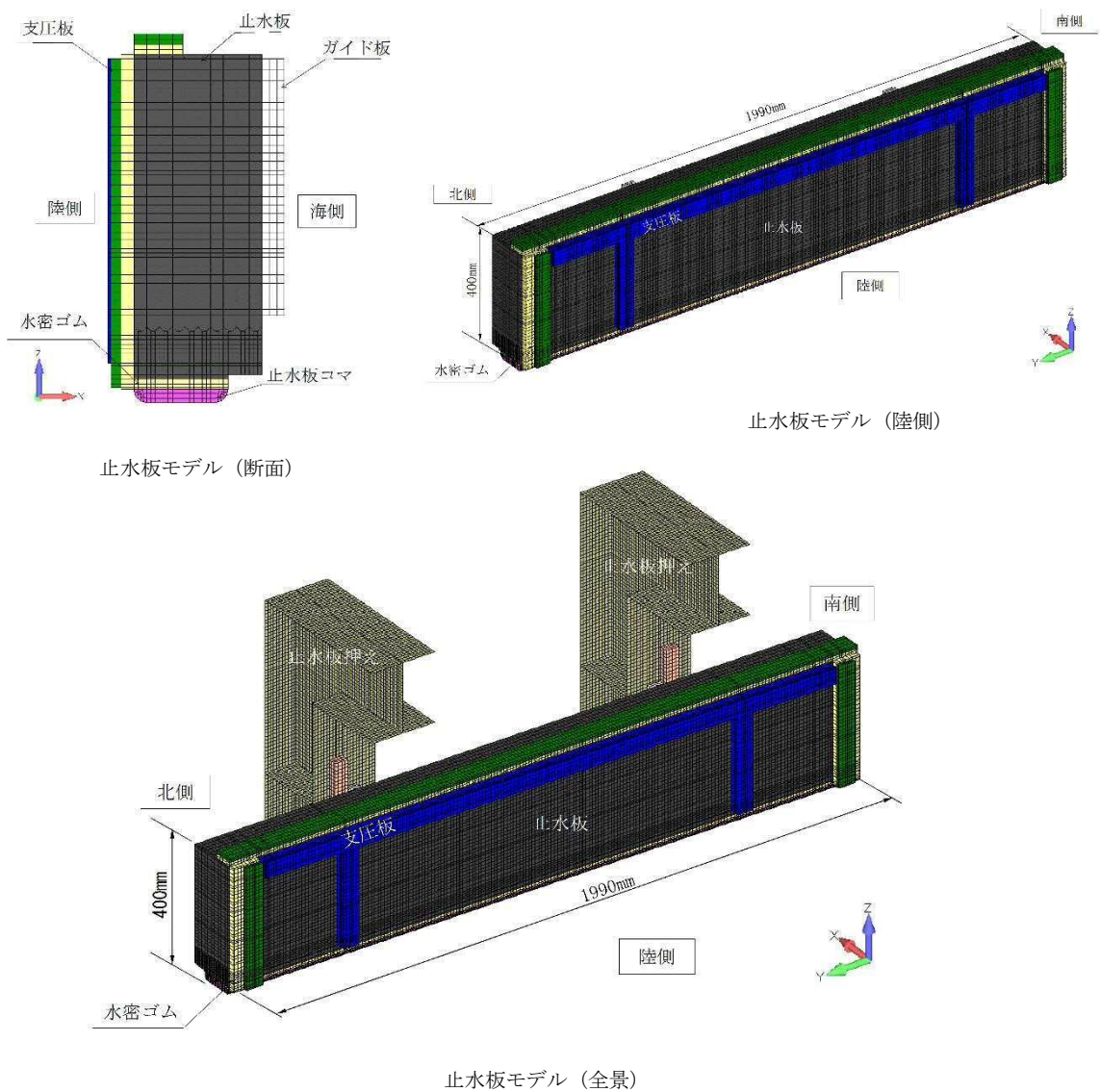


図 9 止水板とガイド間のモデル図

(2) 止水板の衝突条件

止水板の衝突応力の算出に係る止水板の解析条件（イメージ）を図 10 に示す。

<衝突条件>

- ①隣り合う止水板とは接続しない。
- ②止水板の傾きは三次元動的解析結果の数値を用いる。
- ③南側の止水板位置を解析開始時の衝突点とする。

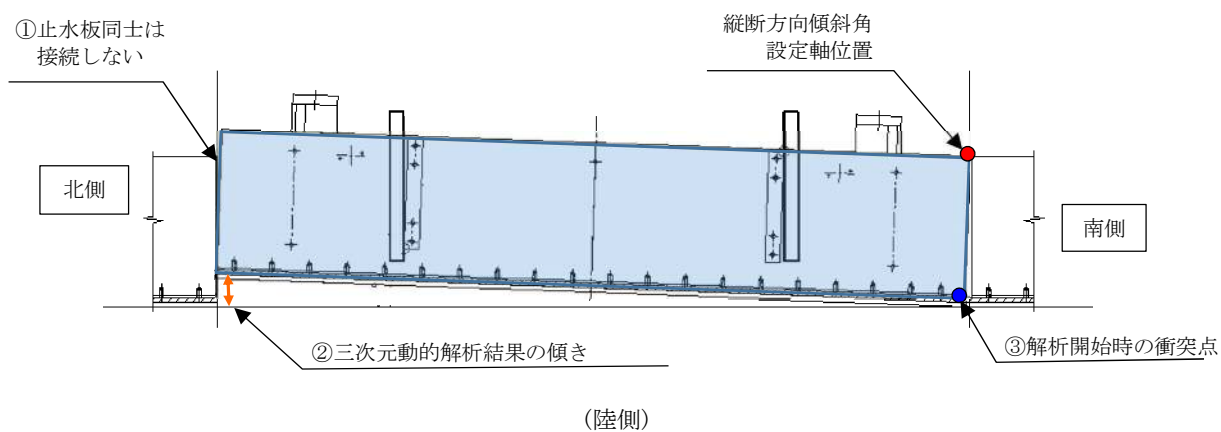


図 10 止水板の衝突応力の算出に係る止水板の解析条件（イメージ）

(3) 衝突解析の結果

a. 評価条件

衝突解析に用いる評価条件について、以下のとおり。評価ケースは横断方向と縦断方向の2ケース実施する。評価部位については三次元動的解析の結果から以下の対象箇所とする。図11に衝突解析の評価部位と解析条件を示す。

<評価対象部位>

- ・ 止水板 ・ 止水板コマ ・ 止水板ガイド ・ 止水板押え

<評価条件>

- ・ ガイド間の隙間 : 隙間 6mm
- ・ 衝突速度 : 1200mm/s (三次元動的解析から求めた衝突速度)
- ・ 横断方向の傾斜角 : 1.238° (図面上から求めた傾斜角)
- ・ 縦断方向の傾斜角 : 0.2° (三次元動的解析から求めた傾斜角)

衝突解析の解析条件

衝突方向	衝突速度 (mm/s)	傾斜方向と角度	
		横断方向	縦断方向
横断方向	1200	1.238	0.2
縦断方向	1200	1.238	0.2

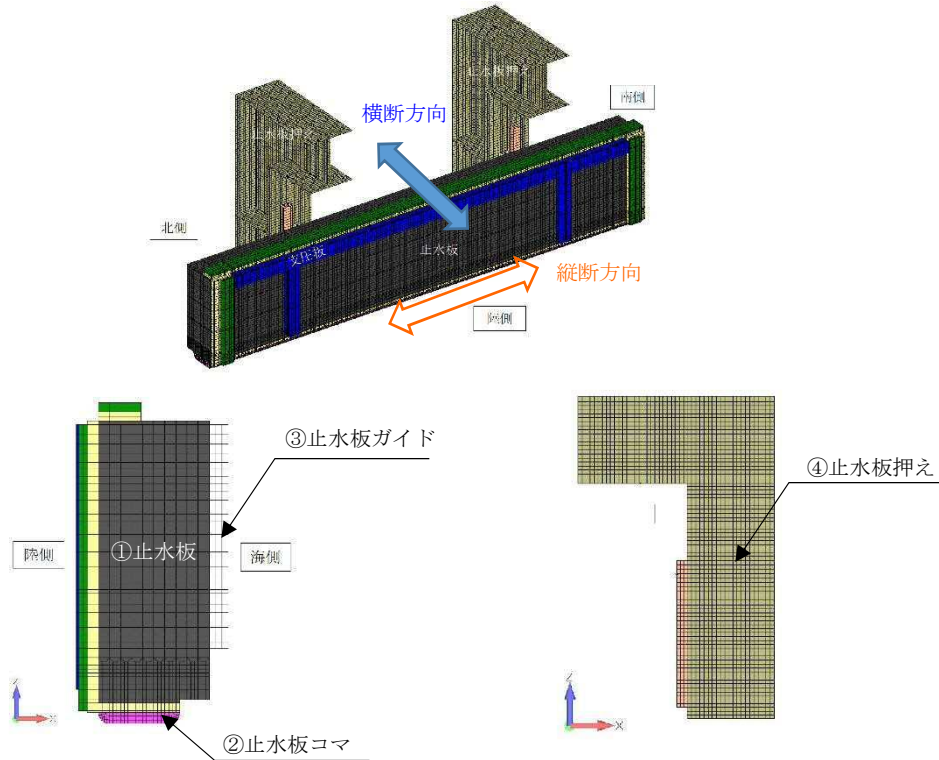


図11 衝突解析の評価部位と解析条件

b. 評価結果

衝突解析の解析結果から、止水板ガイド及び止水板押えの部分の発生応力が許容応力を超える結果になった。

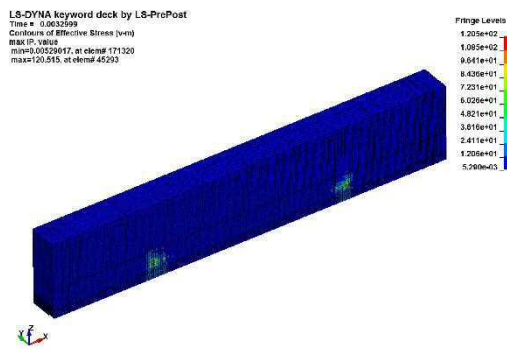
上段：横断方向，下段：縦断方向

	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	評価
①止水板(SUS304N2)	121	300	○
	120		
②止水板コマ(CAC703)	19	171	○
	11		
③止水板ガイド(CAC703)	395	171	×
	360		
④止水板押え (SM570)	330	382	△
	571		

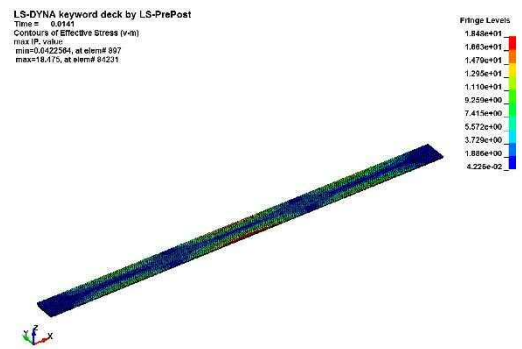
<凡例> ○：横断・縦断共に許容応力以下 △：横断・縦断どちらかが許容応力超え
 ×：横断・縦断共に許容応力超え

各部位における評価結果を図 12 の止水機構の衝突解析結果に示す。

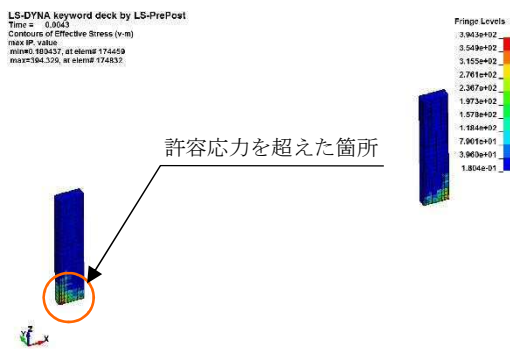
①止水板



②止水コマ



③止水板ガイド



④止水板押え

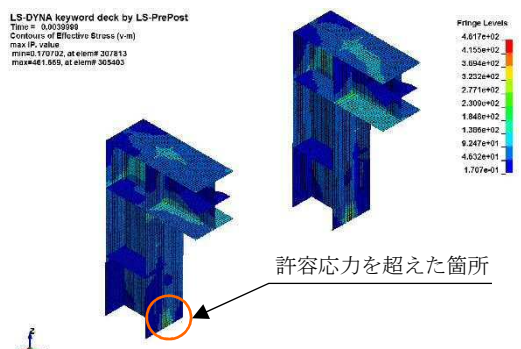


図 12 止水機構の衝突解析結果（横断方向）

(4) 衝突解析結果の反映

衝突解析の評価結果より、止水板ガイドと止水板押えは許容応力を超える結果となった。衝突荷重の要因として、止水板は隙間を保持した状態で設置しており、地震時には小刻みに挙動することから衝突荷重が発生しやすい構造にある。

そのため、衝突の要因となる止水板側の止水板ガイドについて対策を実施する。止水板ガイドの機能と対策を示す。

a. 止水板ガイドの機能

止水板ガイドは、止水板の地震時の挙動を円滑にするため、止水板押え（横断方向：最大 6mm）と止水板押えガイド（縦断方向：5mm）と一定の隙間を保持した状態で設置されている。図 13 に止水板ガイドと止水板押えガイドとの位置関係を示す。

止水板ガイドに掛かる荷重は、止水板の固定荷重に地震時の水平震度を加えた荷重が地震時に止水板押え側に支圧として、止水板ガイドに支圧応力として伝達する。衝突荷重の緩和対策については、この機能、役割に影響を与えない構造を検討する。

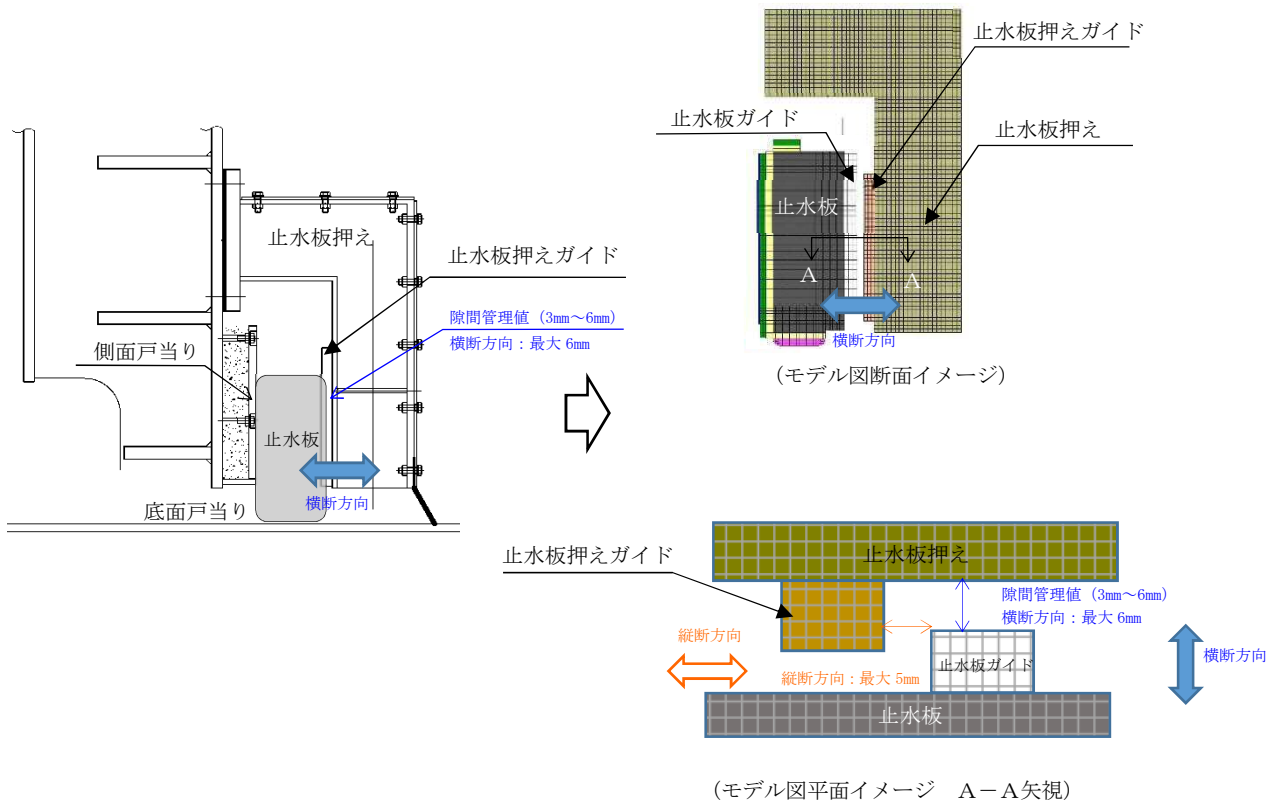


図 13 止水板ガイドと止水板押えガイドとの位置関係

b. 止水板ガイドの衝突荷重の要因と対策

止水板押えと止水板との隙間が最大 6mm にて設計しており、構造の特徴として止水板が小刻みに動く挙動を示すことは実証試験及び三次元動的解析からも確認されている。そのため、衝突荷重は構造上から発生するものであることから、止水板ガイドの衝突荷重の要因と対策を図 14 に示す。

以下の要因から対策として、材料による強度の向上及び衝突緩和対策を実施する。

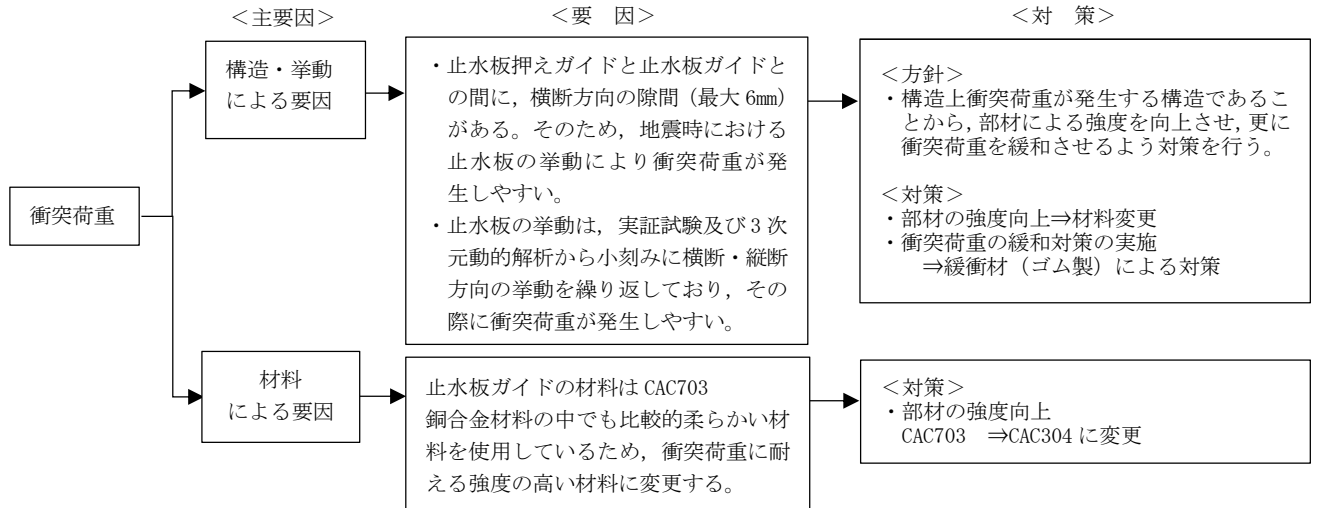
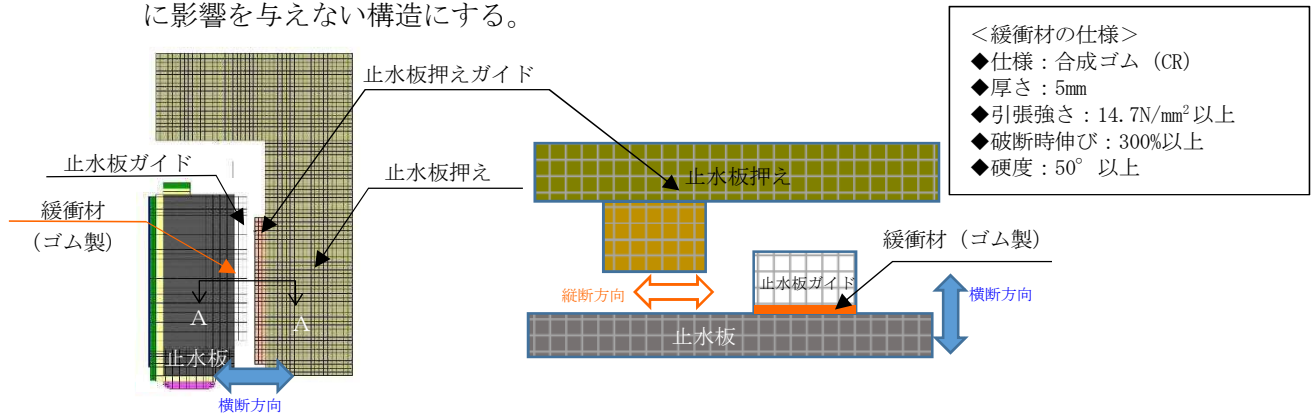


図 14 止水板ガイドの衝突荷重の要因と対策

<対 策>

止水板ガイドの衝突緩和対策について図 15 に示す。

- ①衝突荷重を直接受ける止水板ガイドの材質を変更（CSC703⇒CAC304）し強度を向上させる。更に、衝突を和らげる対策として、止水板ガイドと止水板との間に緩衝材（ゴム製）を挟み込み衝突を緩和する構造にする。
- ②緩衝材（ゴム製）を止水板と止水板ガイドとの間に同じ幅の寸法の緩衝材（ゴム製）を挟むことから、止水板ガイドの全体の寸法は変更しない。そのため、止水板の挙動に影響を与えない構造にする。



(モデル図断面イメージ) 図 15 止水板ガイドの衝突緩和対策

c. 評価結果（対策後）

衝突緩和対策後の衝突解析の結果から、評価部位において発生応力が許容応力を下回る結果になった。

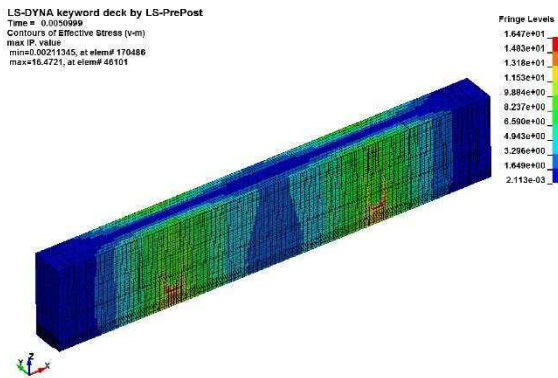
上段：横断方向，下段：縦断方向

	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	評価
①止水板(SUS304N2)	17	300	○
	9		
②止水板コマ(CAC703)	5	171	○
	2		
③止水板ガイド(CAC304)	169	249	○
	46		
④止水板押え(SM570)	288	382	○
	183		

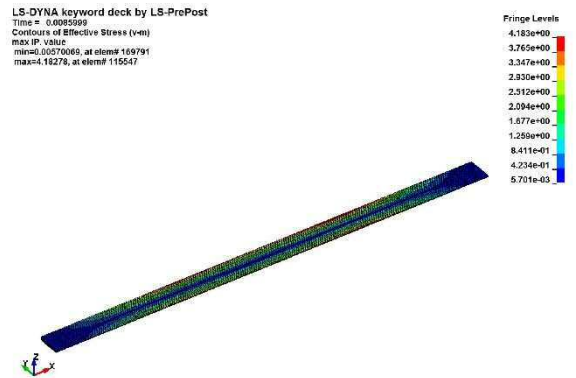
<凡例> ○：横断・縦断共に許容応力以下 △：横断・縦断どちらかが許容応力超え
 ×：横断・縦断共に許容応力超え

各部位における評価結果を図16の止水機構の衝突解析結果に示す。

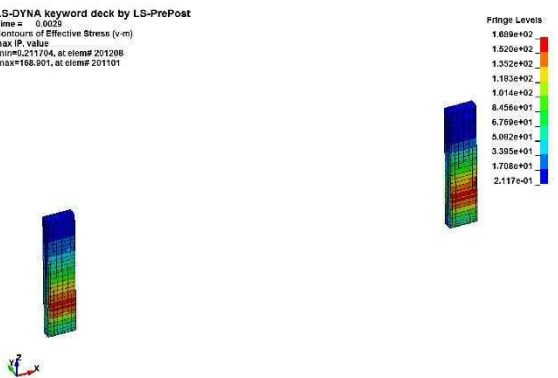
①止水板



②止水板コマ



③止水板ガイド



④止水板押え

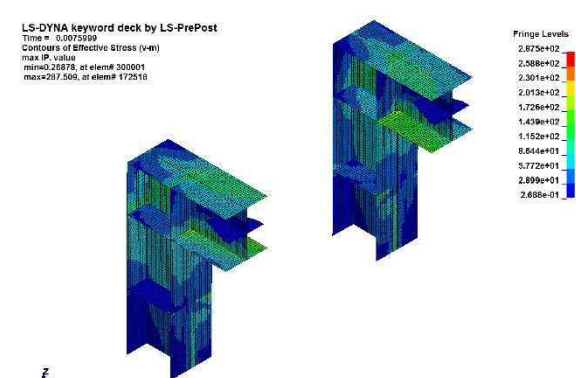


図16 止水機構の衝突解析結果（横断方向）

d. 対策の評価

衝突緩和対策の評価の結果、発生応力が許容応力を下回る結果が得られた。

表 2 に衝突緩和対策による効果を示す。

表 2 衝突緩和策による効果

	許容応力 (N/mm ²)	発生応力 (N/mm ²)		発生応力の 低減効果
		対策前	対策後	
③止水板ガイド (CAC304)	171 (CAC703) ↓ 249 (CAC304)	395	169	約 57%低減
		360	46	約 87%低減
④止水板押え (SM570)	382	330	288	約 12%低減
		571	183	約 67%低減

上段：横断方向，下段：縦断方向

止水板ガイドの発生応力が、対策前の発生応力から最大で約 87%の発生応力を低減する効果が得られた。また、止水板ガイドの材料については、強度の高い CAC304 に変更し許容応力の向上を図り、発生応力に対して十分な裕度を確保する結果となった。

実機においても衝突緩和対策を反映した構造を採用する。

7. 三次元的解析（止水板の浮き上がり）の結果

三次元的解析における止水板の浮き上がりの解析結果を止水板設置の隙間ケース毎に整理した。表 3 に結果を示す。

ケース毎の解析結果から、浮き上がりの量の最大値に大小の差は生じているが、著しく大きく浮き上がるような結果は得られなかった。

浮き上がりの回数は、三次元的解析における評価の結果、隙間が大きくなる場合（ケース 2, 3）に、浮き上がる回数が減る傾向が得られた。また、ケース 1 の隙間 3mm の場合は、浮き上がる回数が他のケースより多く確認できる結果となった。

そのため、ケース 1 の隙間 3mm のケースを止水板の挙動（浮き上がり）のベースケースとする。

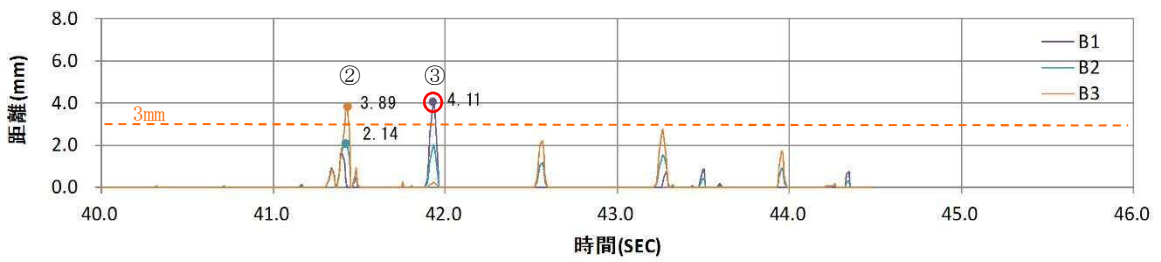
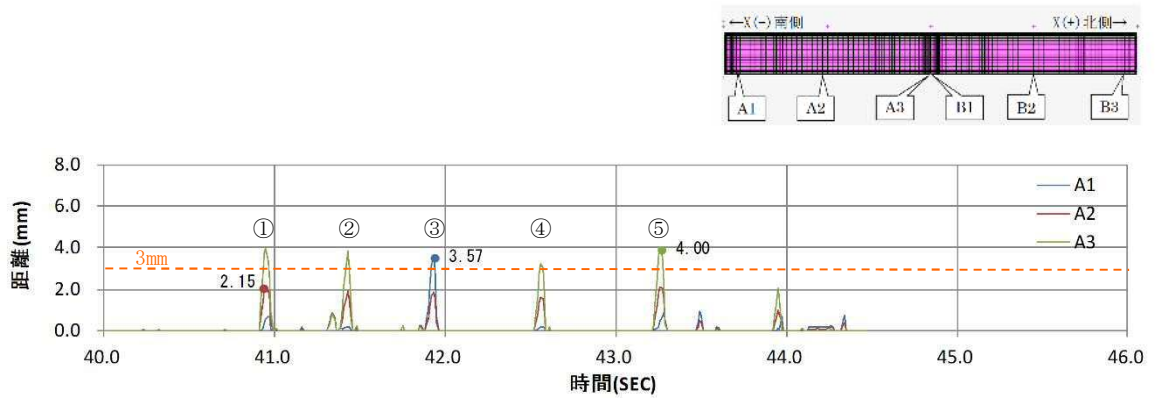
表 3 止水板設置の隙間ケースにおける止水板の浮き上がり結果（最大値）

	ケース 1 (隙間:3mm)	ケース 2 (隙間:4mm)	ケース 3 (隙間:6mm)
止水板の 浮き上がり量	4.11mm	6.25mm	4.16mm
止水板の浮き上 がりの回数 (3mm※以上)	5 回	3 回	2 回
評価	【ベースケース】 3mm 以上の浮き上がりの 回数が多い。	浮き上がりの最大値のケ ース。その他は 3mm 前後 の小さな挙動。	浮き上がりの回数が少な い。

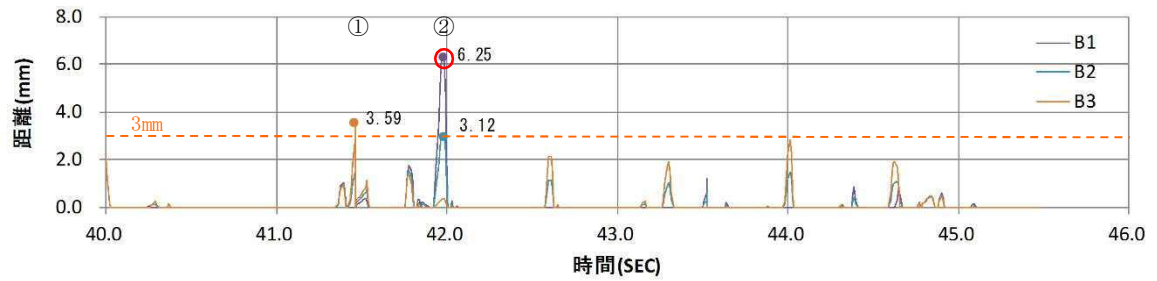
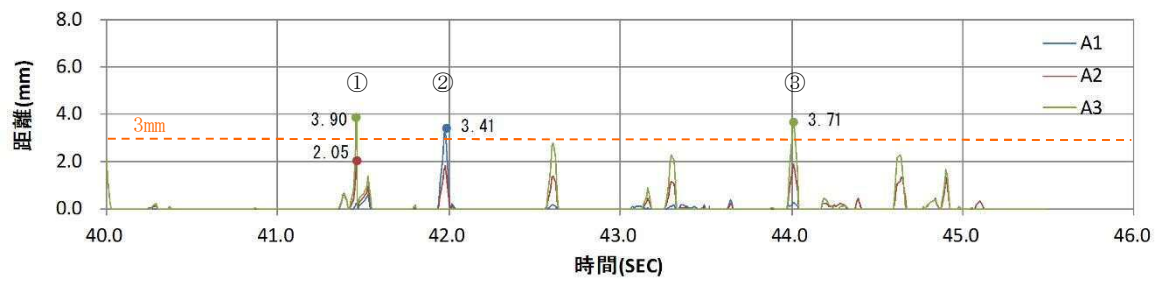
※3mm：3mm 以下の浮き上がりであれば、設計上水密ゴムは底面戸当りと接触状態を示す。

隙間が小さいケース 1 の隙間 3mm の場合は、側面戸当りと止水板押えに拘束され、鉛直方向（Z 方向）の動きに追従しているものと思われる。ケース 3 の隙間 6mm の場合は隙間が大きい分、側面戸当りと止水板押えに拘束されにくいことから、浮き上がりの回数は減る傾向にある。

図 17 に各ケースの浮き上がり量と回数の解析結果を示す。

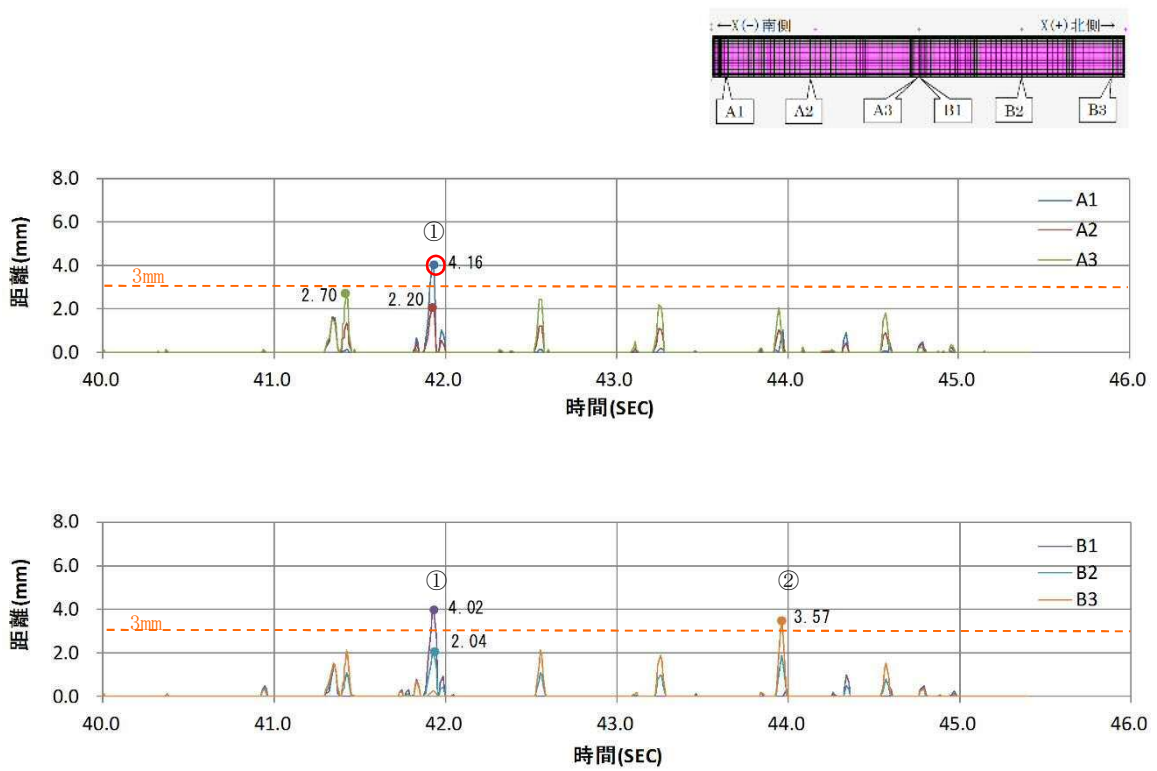


ケース 1 (隙間 : 3mm)



ケース 2 (隙間 : 4mm)

図 17 (1/2) 各ケースの浮き上がり量と回数の解析結果



ケース 3 (隙間 : 6mm)

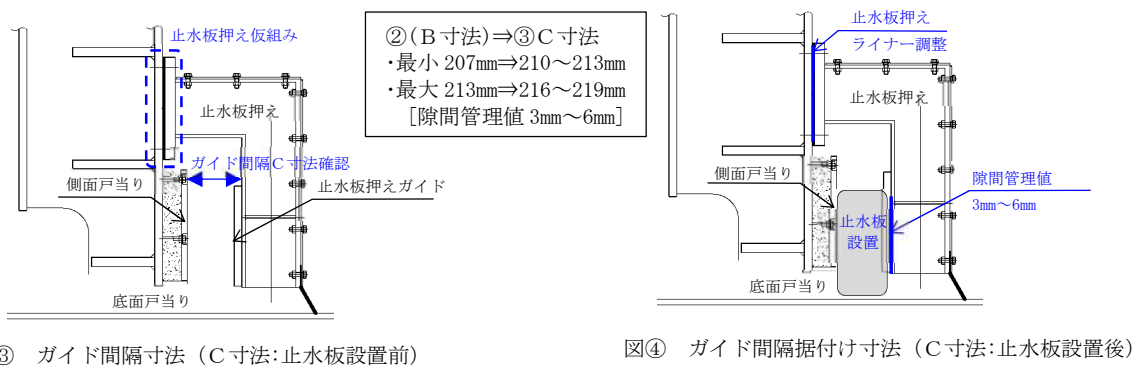
図 17 (2/2) 各ケースの浮き上がり量と回数の解析結果

6.1.3.10 止水機構の据付けに係る自主検査の管理基準について

1. 構造部材の据付け管理

止水機構の据付けに係る自主検査の管理基準は、前述の3項から4項に記載のある評価対象部位①～③について「材料検査」として「主要寸法」「材料」「個数」「外観」の検査を行い、据付け時には「外観・寸法検査」を行う。なお、「材料検査」、「据付け検査」時の公差については、製作誤差等を考慮した判定基準を検査要領書の中で明確に示す。

ただし、止水板の「据付け検査」については、止水板の挙動に影響を与えることから、据付け管理の精度を以下のとおりとした「据付け検査」を行う。図17に止水板の据付け公差を示す。



図③ ガイド間隔寸法 (C寸法:止水板設置前)

図④ ガイド間隔据付け寸法 (C寸法:止水板設置後)

(単位: mm)

	①止水板A寸法	②止水板ガイド厚さ B寸法	③ガイド間隔 C寸法	④隙間管理値 (C-B)
公称値 / (): 公差	150 (+1mm/-0mm)	210 (±3mm)	213 (+6mm/-3mm)	3 (+3mm/-0mm)
/ []: 許容範囲	[150～151mm]	[207～213mm]	[210～219mm]	[3～6mm]

図17 止水板の据付け公差について

その他の構造部材についての製作公差は、JISによる寸法公差を適用し部材の製作を実施する。また、現地施工の際の施工上の管理値には、ダム・堰施設技術基準(案)に基づく寸法許容値にて管理する。

2. 水密ゴムの管理

止水機構の水密ゴムは、メーカーの推奨は約 20 年としているが、通常の維持管理として外観点検及び定期的な硬度測定によるトレンドを管理していく。

日常の管理は、止水板押え付近の外観目視点検を行い、比較的大きい異物等の噛み込みを運転員のパトロールにて管理する。

水密ゴムについては、定期的（1 回／定検毎）に硬度測定を行い水密ゴムのトレンド管理を行う。硬度測定は直接設置している水密ゴムを測定する。

実際に設置する底面水密ゴム、側面水密ゴムの硬さは $55 \pm 5^\circ$ で設置され、硬度の上限はダム・堰施設技術基準（案）に記載の $50 \sim 70^\circ$ の範囲でトレンドを管理していく。

底面水密ゴム、側面水密ゴムの物性値及び、ダム・堰施設技術基準（案）の記載を表 1 に示す。

表1 水密ゴム（クロロプレン系合成ゴム）の物性値

試験項目	物性値	規格値	試験条件 試験方法
硬さ（DURO-A型）	55	55 ± 5	JIS K6253
引張り強さ（MPa）	16.3	14.7以上	JIS K6251
伸び（%）	500	300以上	

<ダム・堰施設技術基準（案）>

表3.3.4-3 水密ゴムの形状と特性

ゴム形状	P 形	L, Y 形	ケーソン形	平 形
使用箇所	側部および上部	側 部	四 方	底 部
適用水深	低圧～高圧	低 圧	高 圧	低圧～高圧
硬 (ショア)	$50^\circ \sim 70^\circ$	$50^\circ \sim 60^\circ$	$50^\circ \sim 70^\circ$	$50^\circ \sim 60^\circ$

また、水密ゴム接触面のライニング（UPE）の部分については直接目視が困難なことから止水板の定期的な確認（1 回/定検毎）として、外観点検にて摩耗状況を確認する。その際、止水板は若干吊り上げて確認を行う。