

令和2年度原子力規制庁委託成果報告書

耐津波設計・フラジリティ評価手法の整備に係る  
防潮堤水理試験（砂移動影響）  
（令和2年度分）

京都大学

令和2年12月

---

本報告書は、原子力規制委員会原子力規制庁からの委託により実施した業務の成果をとりまとめたものです。

本報告書に関する問い合わせは、原子力規制庁までお願いします。

---

## 【I 業務概要】

### 目次

第 1 章 業務概要 .....	I-1
1-1 業務の目的.....	I-1
1-2 業務内容 .....	I-1

---

## 第1章 業務概要

### 1-1 業務の目的

本事業は、防潮堤に関する耐津波設計評価に関連する内容として、砂移動影響に係る水理試験及びシミュレーション解析を実施し、試験・解析データを取得する。水理試験結果及び解析結果を整理・分析することで、砂移動による影響を把握することを目的とする。

### 1-2 業務内容

#### (1) 全体概要

本事業では、下記(i)に関する水理試験、解析の結果及び類似事業で得られた知見を基に、以下を実施する。

##### (i) 砂移動による影響の把握

類似事業で得られた結果については、無償貸与を可能とする。

本事業の詳細については、原子力規制庁担当者と協議して決定することとする。協議の中で不要と判断されたケース等については、実施しない又は別のケースに変更することも可能とする。



## 【II 水理試験編】

### 目次

第1章 業務概要 .....	II-1
1-1 業務の目的.....	II-1
1-2 業務内容 .....	II-1
第2章 予備実験 .....	II-7
2-1 入力波の設定 .....	II-7
第3章 本実験 .....	II-20
3-1 固定床実験.....	II-29
3-2 移動床実験.....	II-50
第4章 結果のまとめ .....	II-97
4-1 結果のまとめ .....	II-97
4-2 結果の考察.....	II-99
Appendix .....	II-A-1

---

## 第 1 章 業務概要

### 1-1 業務の目的

本業務は、防潮堤に関する耐津波設計評価に関連する内容として、砂移動影響に係る水理試験及びシミュレーション解析を実施し、試験・解析データを取得する。水理試験結果及び解析結果を整理・分析することで、砂移動による影響を把握することを目的とする。

### 1-2 業務内容

#### 1-2-1 全体概要

本事業では、下記(1)に関する水理試験、解析の結果及び類似事業で得られた知見を基に、以下を実施する。

##### (1) 砂移動による影響の把握

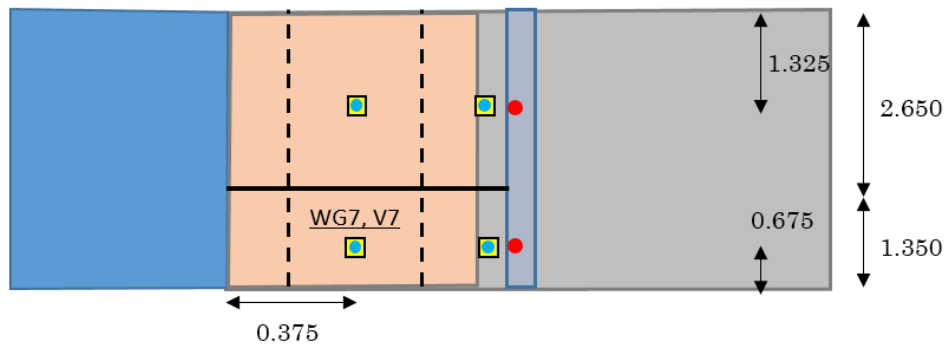
#### 1-2-2 砂移動による影響の把握

##### (1) 試験装置の作成

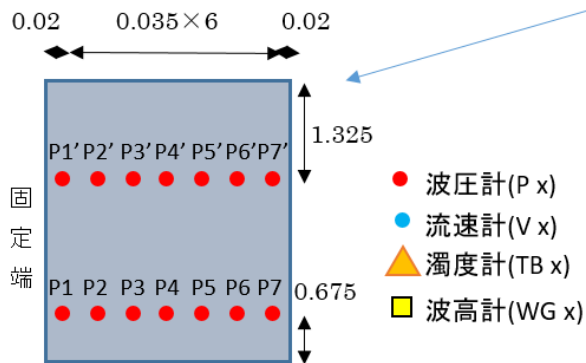
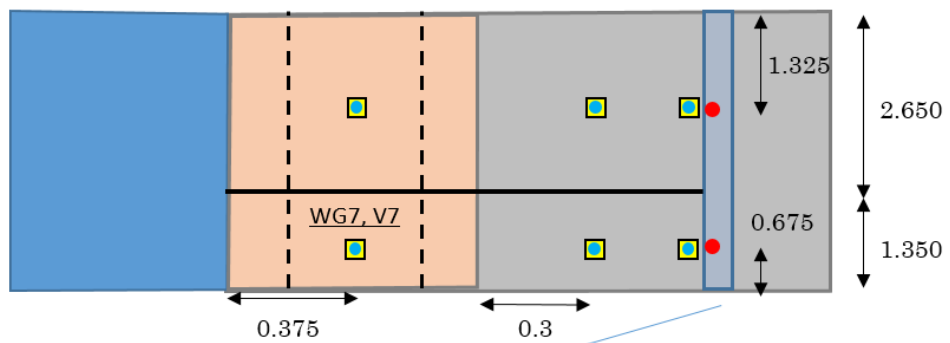
図 1-1, 1-2 に示す試験装置を作成する。試験装置の作成に当たっては、以下の点を確実にする。

- ・濁度計は、水中の微粒子の混入度（濁度）を光の透過光量の変化として時系列で変化を捉えられる形式とする。
- ・仕切り板（白色）は、防潮堤まで延長し、固定床エリアに移動床エリアの砂粒が流入しないことを確実にする。また、固定床のみの水理試験でも仕切り板は同じ条件で設置する。
- ・高速度ビデオにより、移動床の変形の時系列変化を確認できるようにする。
- ・砂丘の締め固めの程度は、同一条件となるように留意する。試験計測後は砂丘地形全体をいったん撤去し、次ケース実施時に前の地形を残さないようにする。
- ・波検定を実施する際は、「移動床 堤体位置-1.375」の試験装置・計測位置で堤体、砂丘地形を取り除いた状態で用いる。

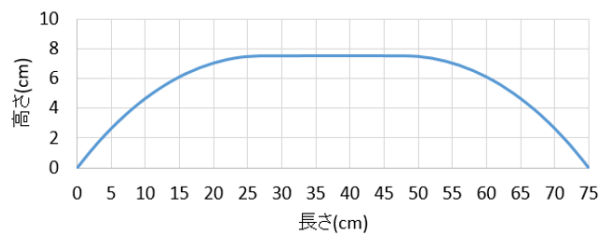
固定床 堤体位置-0.80



固定床 堤体位置-1.375



砂丘断面形状



半径	r(cm)	52.63
中心座標1	x(cm)	27.077
	y(cm)	-45.134
中心座標2	x(cm)	47.923
	y(cm)	-45.134

図 1-1 実験模型のイメージ（固定床実験；断面図，単位：m）

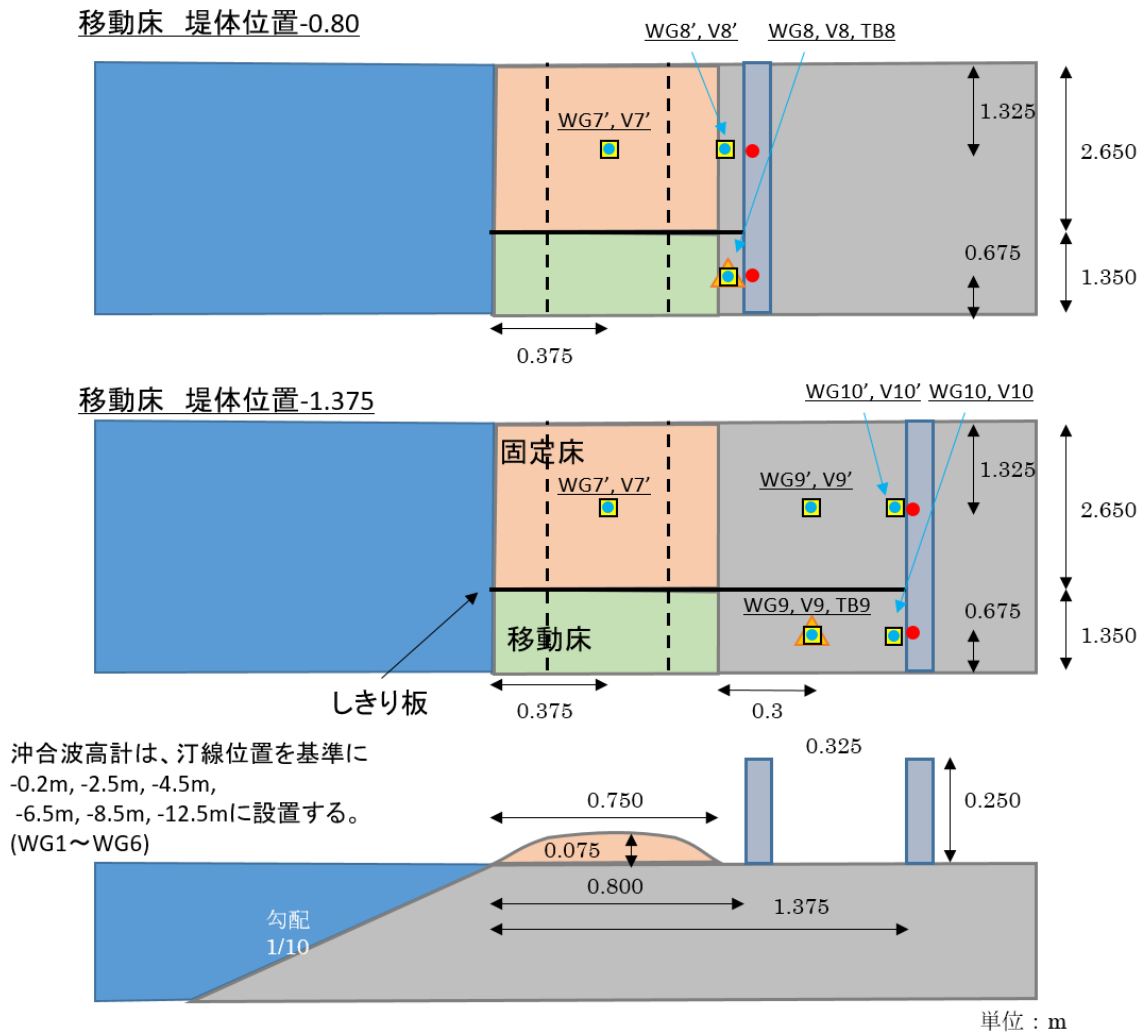


図 1-2 実験模型のイメージ（移動床実験；断面図，単位：m）

## (2) 入力波の作成

水理試験で用いる入力波は、沖合-12.5m 位置にて図 1-3 に示す目標波形となるようにする。ただし、長周期波の波形については目安とし、詳細は規制庁担当者と協議の上、波形を決定する。なお、作成した波が防潮堤を越流しない範囲の最大波高となることを目指す。

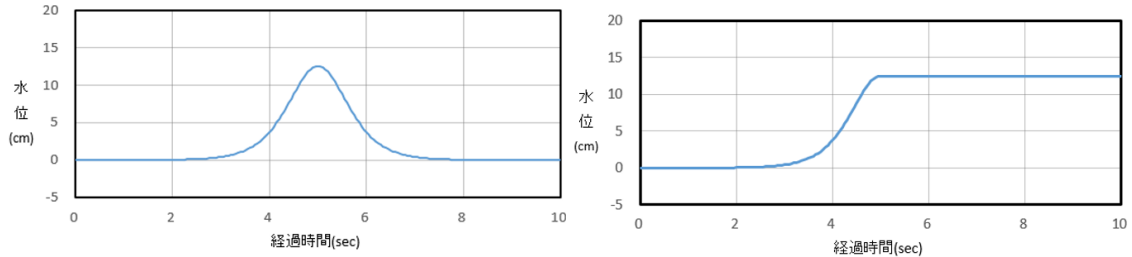


図 1-3 造波形状(孤立波 12.5cm, 長周期波)

## (3) 水理試験の実施

表 1-1 に示す試験ケース (51 ケース) で水理試験を実施する。水理試験の実施に当たっては、以下の点を確実にする。

- ・波検定により、目標波形と同一の波を作成できていることを確認してから、固定床試験及び移動床試験を実施する。なお、波検定では反射波影響が生じないように、防潮堤設置位置後方に障害物を配置しない。
- ・通水前後で、砂丘地形の中央付近（縦断方向、幅方向とも）にて、砂丘の空隙率と含水率を砂サンプリングによって計測する。繰り返しの最初の 1 ケースのみで計測する。砂サンプリングの位置については、図 1-4 に示す。
- ・高速度カメラの映像を元に、砂丘形状を計測する。計測では、防潮堤の反射波影響が出ていない最大時刻の状態及び、通水終了後の 2 種類の形状を記録する。

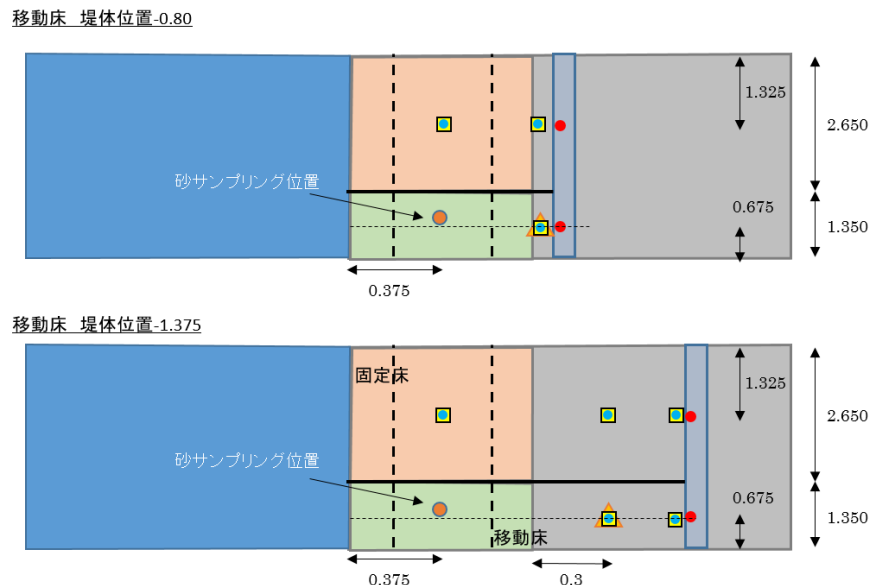


図 1-4 砂サンプリング位置

表 1-1 試験条件

		波高	波形	防潮堤位置	砂丘粒径	砂丘形状	回数
堤体無	Case1-3	12.5cm	孤立波	-	6号珪砂	丸み断面	各3
	Case4-6	協議	長周期				
固定床	Case7-11	12.5	孤立波	-137.5cm	-	丸み断面	各5
	Case12-16			-80cm			
	Case17-21	協議	長周期	-137.5cm			
	Case22-26			-80cm			
移動床	Case27-31	12.5	孤立波	-137.5cm	6号珪砂	丸み断面	各5
	Case32-36			-80cm			
	Case37-41	協議	長周期	-137.5cm	7号珪砂		
	Case42-46			-137.5cm	6号珪砂		
	Case47-51			-80cm			

(4) 試験結果の整理

前項で実施した水理試験で計測したデータを整理する。データ整理に当たっては、以下の点に留意する。

- ・各測定点の時系列データ（波圧、波高、流速、濁度）については、フィルタリングを実施して、不要なノイズを除去する。
- ・防潮堤に生じる高さ方向7点の圧力データの時系列から、防潮堤に生じる荷重の時系列を算出する。
- ・陸上に設置したそれぞれの計測点で、同位置の波高及び流速から、フルード数の時系列を算出する。
- ・砂丘上の流速（移動床上には流速計を設置していないため、固定床上の計測値を利用する。）及び粒子径、粒子密度からシールズ数の時系列を算出する。
- ・計測した濁度から、濁度及び密度の時系列変化及び最大密度を算出する。
- ・各時系列データ（波圧、波高、流速、濁度、波力、フルード数、シールズ数、密度）については、時刻と各計測データの関係がわかる形でエクセルデータに変換し、提供できる形で整理する。
- ・防潮堤近傍の波高最大値以前の時刻を段波領域、最大値以降の時刻を持続波領域とし、それぞれの領域において、防潮堤に生じる最大荷重を算出する。

- 
- 上記で評価した段波領域の最大荷重および、持続波領域の最大荷重について、固定床と移動床（同条件のもの同士）で比率を算出し、波力の増加率として算出する。
  - 高速度カメラの画像解析により求めた入射波のみの変形形状及び、通水後の変形形状から砂丘侵食量を算出する。画像解析では、対象時刻の砂丘の表面を 1cm ピッチで読取り、残っている砂丘の体積を算出し、初期状態の体積との比率を全てのケースでそれぞれ算出する。
  - 移動床の各ケースでは、上記の通り、①段波領域の波力の増加率、②持続波領域の波力の増加率、③入射波のみの砂丘侵食量、④通水後の砂丘侵食量について、結果を整理すること。
  - 移動床の各ケースにおける、最大段波波力発生時の波圧分布及び最大持続波力発生時の波圧分布、入射波のみの砂丘侵食形状、通水後の砂丘侵食形状を図示する。
  - 算出した最大密度と①段波領域の波力の増加率、②持続波領域の波力の増加率を比較し、波力の増加が何に起因するものか、分析・考察する。

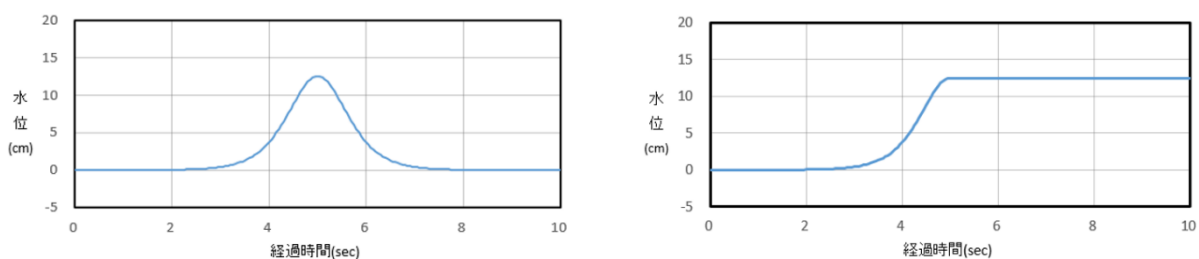
## 第 2 章 予備実験

### 2-1 入力波の設定

#### 2-1-1 実験の概要

本試験の実施に先立ち、長周期波に相当する造波形状を設定するため、孤立波と流れを合成した津波流について基礎信号の作成を行い、所定の造波形状が得られるようにする。また孤立波の設定も行う。

設定を行う入力波は、沖合-12.5m 位置にて図 2-1-1 に示す波形を目標とする。ただし、長周期波の波形については目安とし、詳細は規制庁担当者と協議の上、波形を決定する。



孤立波のイメージ図

長周期波のイメージ図

図2-1-1 造波目標形状(孤立波，長周期波)

なお、実験は京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリー内に設置されている津波再現水槽で行い、海底地形勾配は 1/10（単純勾配）で行う。

#### 2-1-2 実験条件

##### (1) 実験水槽（津波再現水槽）

実験に用いた水槽は、長さ 45m、幅 4.0m、水深 0.8m の津波再現水槽である。図 2-1-2 に実験水槽の概要を示す。なお、用いた水槽各部の材質は、床部：鋼製、固定床部・防潮堤部：木製（防水塗装）である。

##### (2) 計測機器設置位置

図 2-1-3 に実験に用いた計測機器及びその設置位置を示す。



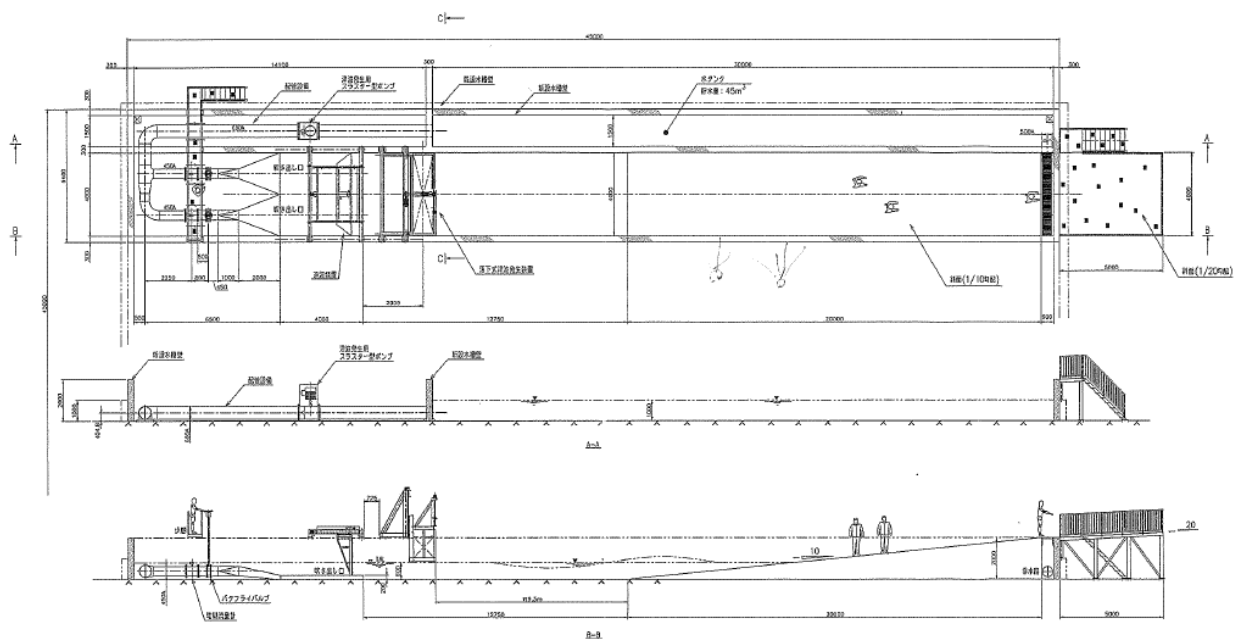
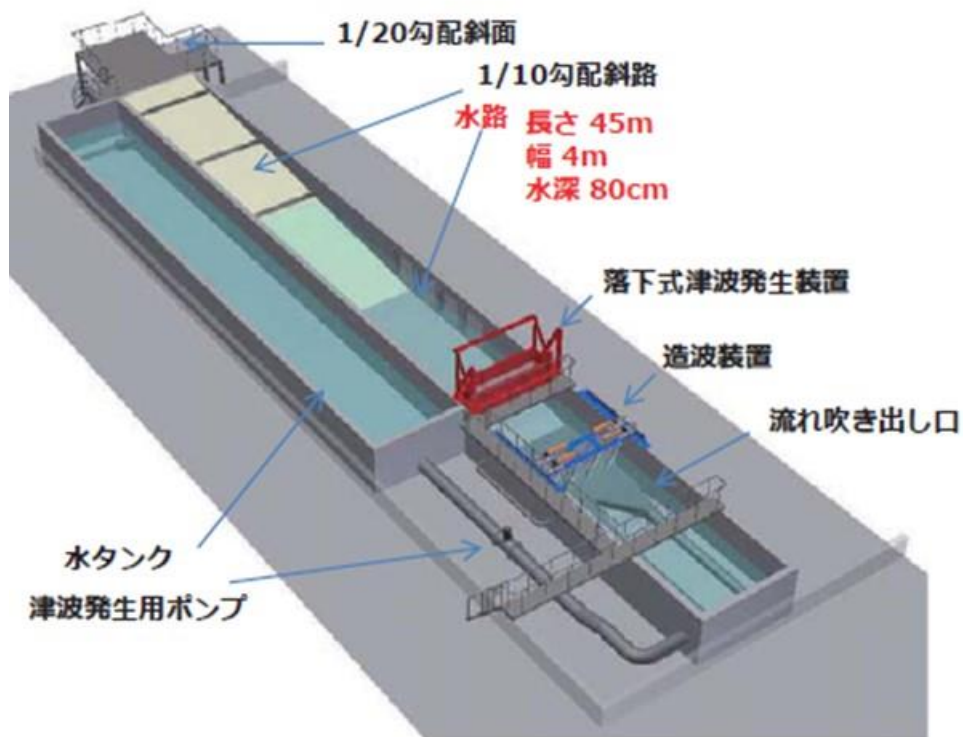


図 2-1-2 実験水槽（津波再現水槽）

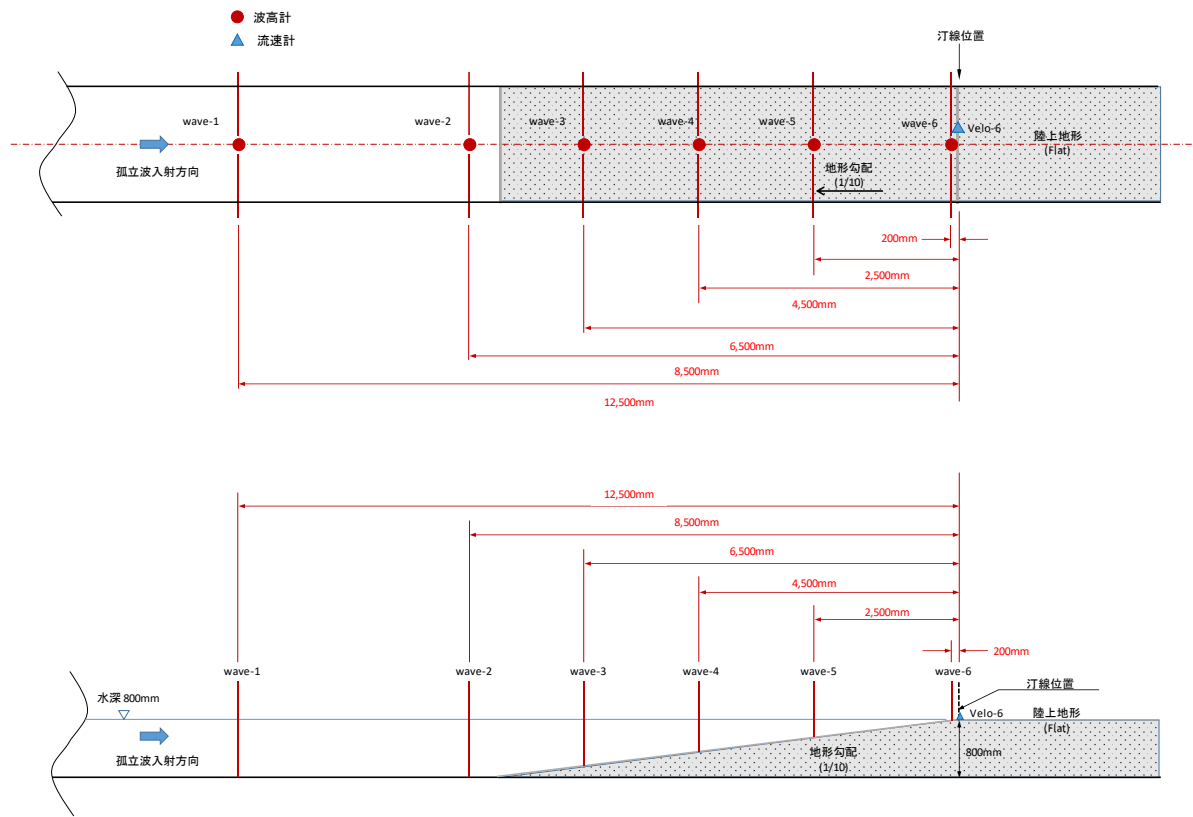


図 2-1-3 計測機器・設置状況 (流速計・波高計)



写真 2-1-1 実験水槽と各計測機器設置状況

## 2-1-3 実験結果

### (1)長周期波

表 2-1-1 に実施した実験ケースを示す。また規制庁との打合せの方針に従い、このうちの G5 の条件を基本として、陸側地形模型を取り除いた条件で改めてデータ確認を行った（表 2-1-2）。

表 2-1-1 実験ケース一覧表（長周期波；その 1）

No.	ケース	波高 cm	Period T(水面波形)												Delay λ(sec)					
			周期				振幅(cm)				開始時間(sec)				孤立波	潮流	時間差			
1	C1	7.1	60	120	240			2.5	2.0	2.5			5.0	5.0	5.0			12.5	11.0	1.5
2	C2	7.1	60	120	240			2.5	2.0	2.5			5.0	5.0	5.0			12.0	11.0	1.0
3	C3	7.1	60	120	240			2.5	2.0	2.5			5.0	5.0	5.0			11.5	11.0	0.5
4	C4	7.1	50	120	240			2.5	2.0	2.5			5.0	5.0	5.0			11.5	11.0	0.5
5	C5	7.1	40	120	240			2.5	2.0	2.5			5.0	5.0	5.0			11.5	11.0	0.5
6	C5.2	7.1	40	80	160			2.5	2.0	2.5			5.0	5.0	5.0			11.5	11.0	0.5
7	C6	7.1	60	80	160			2.5	2.0	2.5			5.0	5.0	5.0			11.5	11.0	0.5
8	C6.2	7.1	60	80	160			5.0	2.0	2.5			5.0	5.0	5.0			11.5	11.0	0.5
9	D1	7.1	40	60	80	160		2.0	2.0	2.5	2.5		5.0	5.0	5.0	5.0		11.5	11.0	0.5
10	D2	5.0	40	60	80	160		2.0	2.0	2.5	2.5		5.0	5.0	5.0	5.0		11.5	11.0	0.5
11	D3	4.1	40	60	80	160		2.0	2.0	2.5	2.5		5.0	5.0	5.0	5.0		11.0	11.0	0.0
12	D4	4.1	40	60	80	160		2.0	2.0	2.5	2.5		5.0	10.0	10.0	10.0		11.0	11.0	0.0
13	D5	4.1	40	60	80	160		2.0	2.0	2.5	2.5		5.0	6.0	7.0	8.0		11.0	11.0	0.0
14	D6	4.1	40	60	120	240		2.0	2.0	2.5	2.5		5.0	10.0	10.0	10.0		11.0	11.0	0.0
15	D7	4.1	60	120	240			2.5	3.0	2.5			5.0	10.0	10.0			11.0	11.0	0.0
16	D7.2	7.1	60	120	240			2.5	3.0	2.5			5.0	10.0	10.0			11.0	11.0	0.0
17	D7.3	7.1	60	120	240			2.5	3.0	2.5			5.0	5.0	10.0			11.0	11.0	0.0
18	D8	4.1	60	30	120	240		2.5	2.0	3.0	2.5		5.0	7.0	10.0	10.0		11.0	11.0	0.0
19	E1	7.1	60	120	30			2.0	3.0	2.0			5.0	5.0	7.0			11.0	11.0	0.0
20	E2	4.1	60	40	80	160		2.0	2.0	2.5	2.5		5.0	7.0	7.0	8.0		11.0	11.0	0.0
21	E3	4.1	30	60	80	160		2.0	2.0	2.5	2.5		5.0	5.0	10.0	10.0		11.0	11.0	0.0
22	E4	4.1	40	60	120	240		2.0	2.0	3.0	2.5		5.0	5.0	5.0	10.0		11.0	11.0	0.0
23	E5	4.1	40	60	120	240		2.0	2.0	3.0	2.5		5.0	7.0	5.0	8.0		11.0	11.0	0.0
24	E6	4.1	40	40	120			2.0	2.0	3.0			5.0	7.0	5.0			11.0	11.0	0.0
25	E7	4.1	30	60	80	160	240	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	5.0	5.0	10.0	10.0	8.0	11.0	11.0	0.0
26	E8	4.1	30	60	80	240		2.0	2.0	2.5	2.5		5.0	5.0	8.0	8.0		11.0	11.0	0.0
27	E9	4.1	30	60	80	160	240	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	5.0	5.0	10.0	8.0	8.0	11.0	11.0	0.0
28	E10	4.1	30	60	80	160	240	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	5.0	10.0	8.0	8.0	8.0	11.0	11.0	0.0
29	F1	7.1	60	120	240			2.5	3.0	2.5			5.0	10.0	5.0			11.0	11.0	0.0
30	F2	なし	60	120	240			2.5	3.0	2.5			5.0	10.0	5.0			11.0	11.0	0.0
31	F3	なし	60	120	240			5.0	3.0	2.5			5.0	10.0	5.0			11.0	11.0	0.0
32	F4	なし	30	60	120	240		3.0	2.5	2.0	2.5		5.0	10.0	10.0	5.0		11.0	11.0	0.0
33	F5	7.1	30	60	120			3.0	2.5	2.0			15.0	5.0	10.0			11.0	11.0	0.0
34	F6	4.1	30	60	120			3.0	2.5	2.0			15.0	5.0	10.0			11.0	11.0	0.0
35	G1	なし	60	60	120	240		2.5	2.5	2.0	2.5		5.0	7.5	7.5	5.0		11.0	11.0	0.0
36	G2	3.0	60	60	120	240		2.5	2.5	2.0	2.5		5.0	7.5	7.5	5.0		11.0	11.0	0.0
37	G3	3.0	60	60	120	240		3.0	2.5	2.0	2.5		5.0	7.5	7.5	5.0		11.0	11.0	0.0
38	G4	3.0	60	60	120	240		3.5	2.5	2.0	2.5		5.0	7.5	7.5	5.0		11.0	11.0	0.0
39	G5	4.1	60	60	120	240		3.5	2.5	2.0	2.5		5.0	7.5	7.5	5.0		11.0	11.0	0.0

表 2-1-2 実験ケース一覧表 (長周期波 ; その 2)

No.	ケース	孤立波	潮流波											Delay $\lambda$ (sec)			備考	
		波高(cm)	周期				振幅(cm)				開始時間(sec)			孤立波	潮流	時間差		
40	G5-0	3.8	60	60	120	240	3.5	2.5	2.0	2.5	5.0	7.5	7.5	5.0	11.0	11.0	0.0	陸側地形 模型撤去
41	G5-1	3.8	60	60	120	240	3.5	2.5	3.0	3.0	5.0	15.0	7.5	5.0	11.0	11.0	0.0	
42	G5-2	3.0	60	60	120	240	3.5	2.5	3.0	3.0	5.0	15.0	7.5	5.0	11.0	11.0	0.0	
43	G1-0	なし	60	60	120	240	2.5	2.5	2.0	2.5	5.0	7.5	7.5	5.0	-	11.0	-	
44	G1-1	〃	60	60	120	240	5.0	2.5	3.0	2.5	5.0	15.0	10.0	5.0	-	11.0	-	
45	G6	2.0	60	60	120	240	5.0	2.5	3.0	2.5	5.0	15.0	10.0	5.0	12.0	11.0	1.0	

表 2-1-1 に示した実験では、陸側地形の撤去が不十分であった (図 2-1-4 ; ケース G5) ため、陸側地形模型を取り除いた条件で改めてデータ確認を行った。

結果を図 2-1-5 (ケース G5-0) に示す。沖波波形は比較的良好だが、汀線における波形の継続性が今一つであるため、再調整を行うこととした。

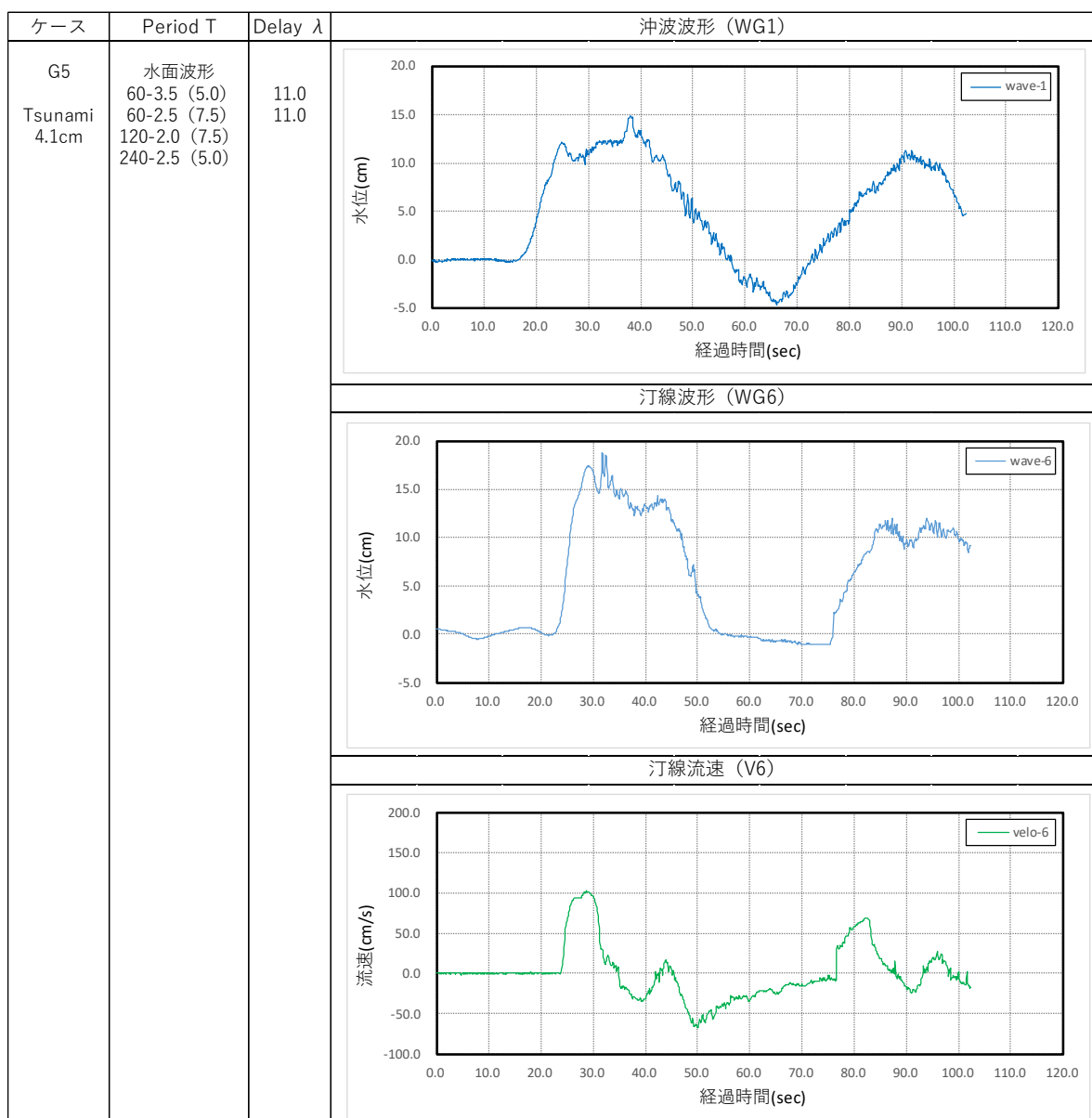


図 2-1-4 長周期波設定実験波形 (ケース G5 ; 陸側地形模型残あり)

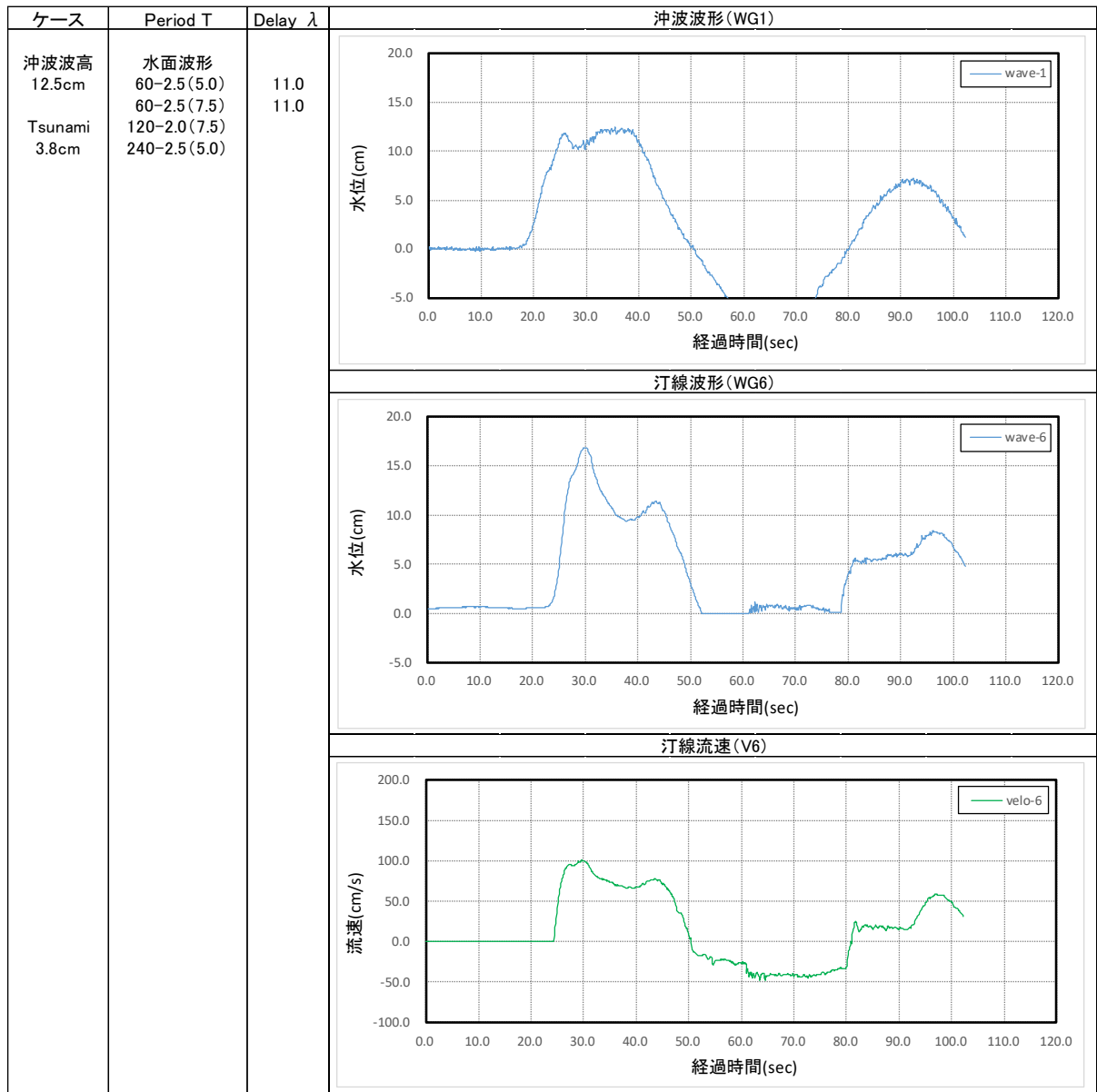


図 2-1-5 長周期波設定実験波形（ケース G5-0；陸側地形模型撤去）

再調整実験の方針は、以下の 2 種について行うものとした。

- ① G5 のケースを基本に、汀線での波高のピーク値を 15cm 程度に抑え、かつ後続流の波高を上げてフラットな波形に近づける。
- ② G1 のケース（孤立波成分なし）を基本に、汀線での波高を上げる。

再調整実験で改めてデータ確認を行った結果を図 2-1-6, 2-1-7 に示す。①の条件の再調整版がケース G5-2 であり、②の条件の再調整版が G1-1 であるが、両者の更なる発展形がケース G6 となる。汀線における波形の継続性が最も高い G6 条件を長周期波の代表とする。

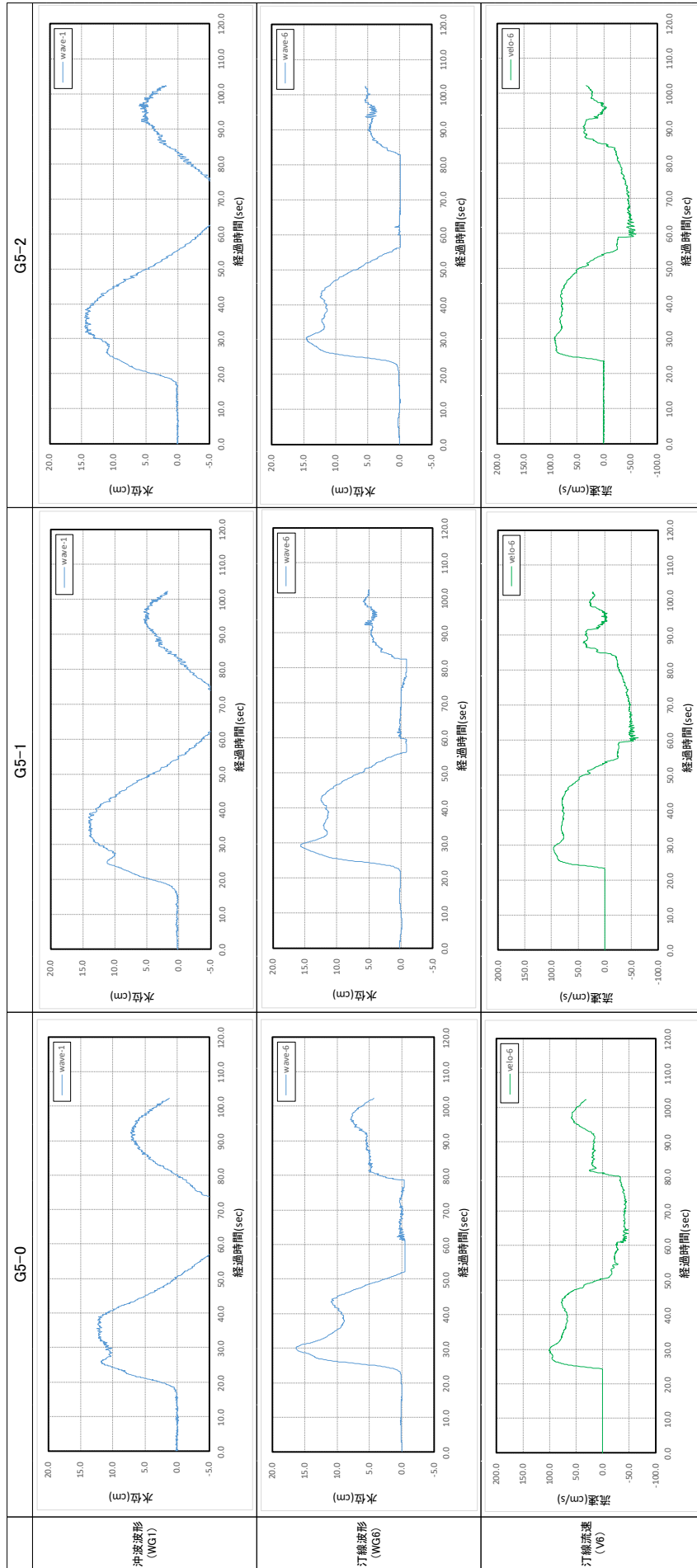


図 2-1-6 長周期波設定実験波形（ケース G5-0～G5-2；陸側地形模型撤去）【再設定】(1)



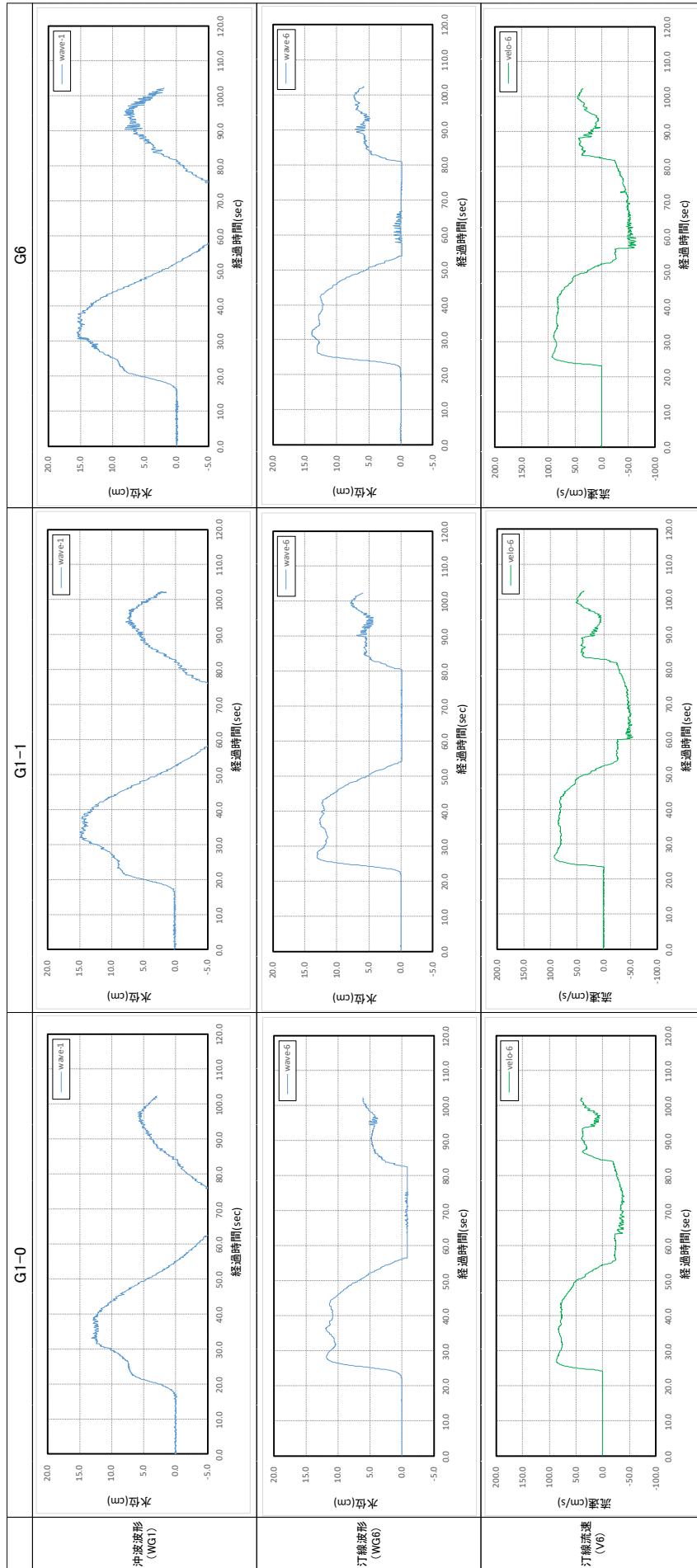


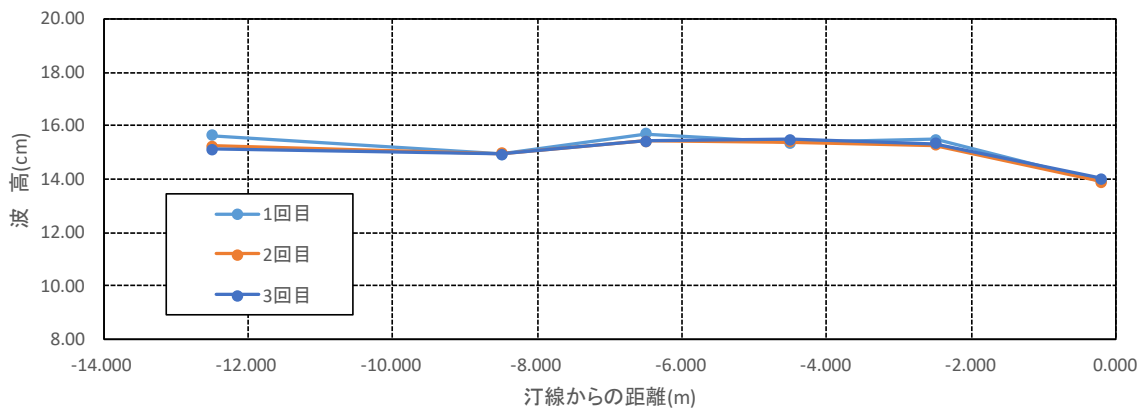
図 2-1-7 長周期波設定実験波形 (ケース G1-0, G1-1, G6 ; 陸側地形模型撤去) 【再設定】 (2)



長周期波の代表としてピックアップしたケース G6 の条件について、設定結果を表 2-1-3 および図 2-1-8, 2-1-9 に示す。

表 2-1-3 長周期波設定実験結果 (G6 ; 陸側地形模型撤去)

	波高(cm)						流速(cm/s)	Fr数
	WG1	WG2	WG3	WG4	WG5	WG6	V6	F6
汀線からの距離(m)	12.500	8.500	6.500	4.500	2.500	0.200	0.000	0.000
1回目	15.63	14.92	15.71	15.35	15.47	13.91	92.61	0.793
2回目	15.25	14.96	15.43	15.40	15.27	13.88	92.29	0.791
3回目	15.13	14.94	15.43	15.49	15.33	14.02	91.85	0.784
平均	15.34	14.94	15.52	15.41	15.36	13.94	92.25	0.789



波高分布(長周期波)

図 2-1-8 長周期波 波高分布 (G6 ; 陸側地形模型撤去)

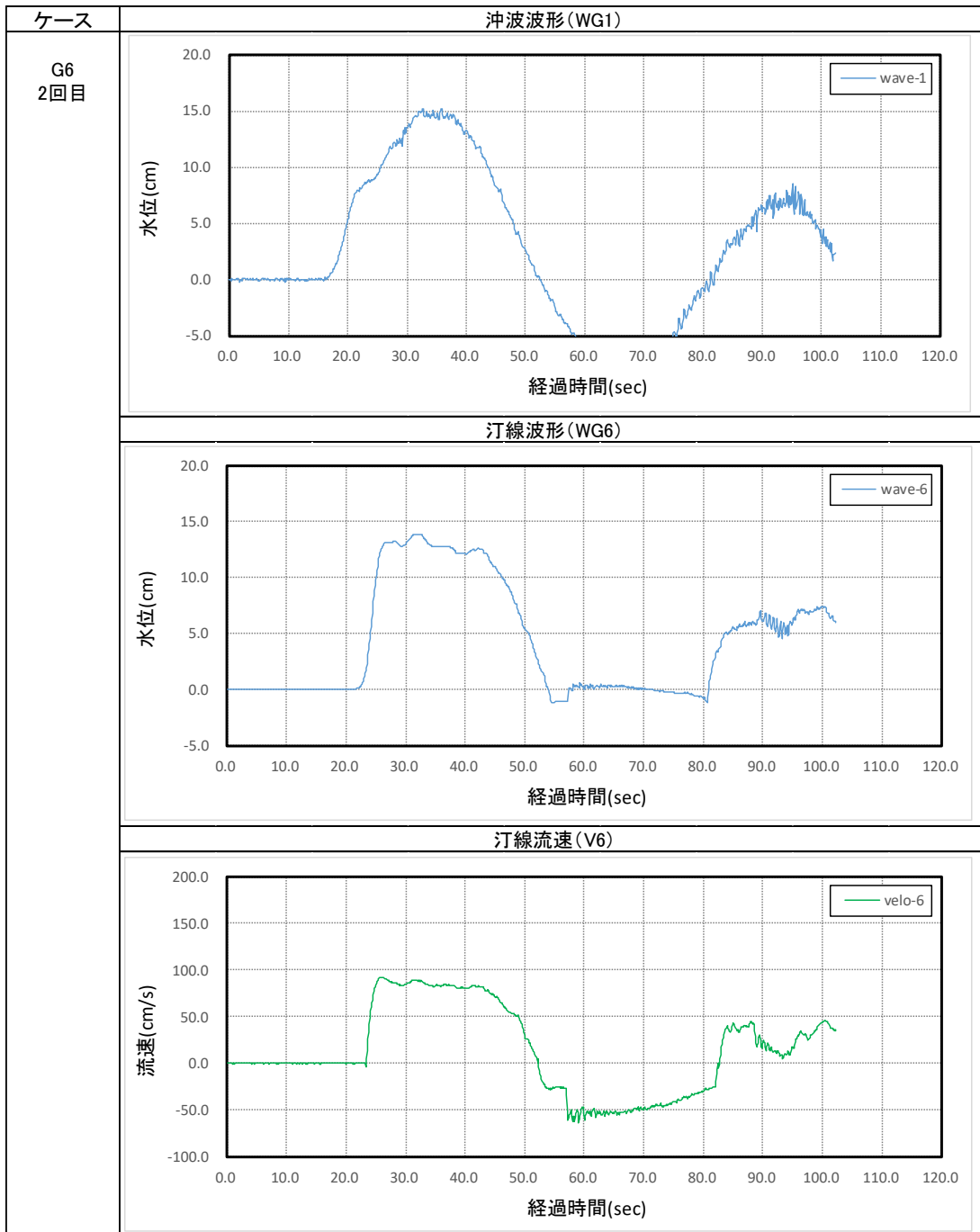


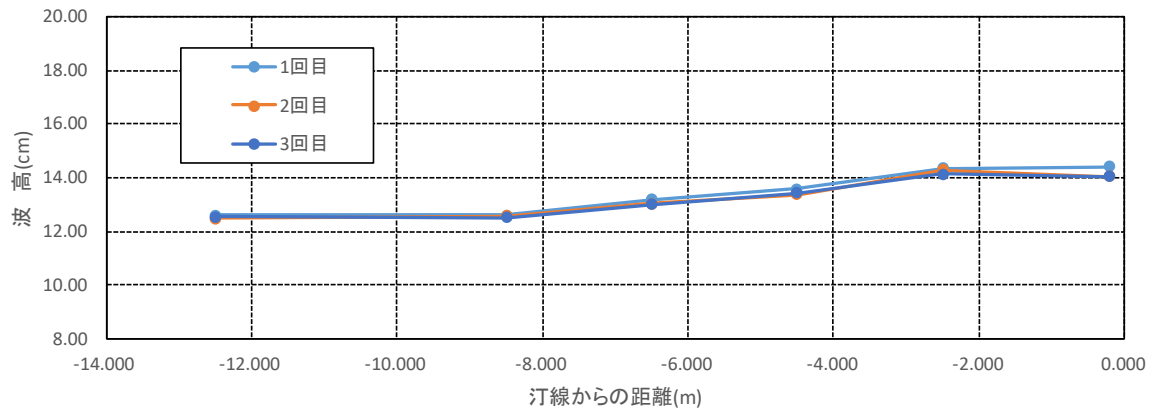
図 2-1-9 長周期波設定実験波形の 1 例 (G6 ; 陸側地形模型撤去)

(2)孤立波

沖波波高（沖合－12.5m位置での波高）が12.5cmとなる孤立波の設定を行った。結果を表2-1-4および図2-1-10、2-1-11に示す。

表 2-1-4 孤立波設定実験結果（沖波波高 12.5cm；陸側地形模型撤去）

	波高(cm)						流速(cm/s)	Fr数
	WG1	WG2	WG3	WG4	WG5	WG6	V6	F6
汀線からの距離(m)	12.500	8.500	6.500	4.500	2.500	0.200	0.000	0.000
1回目	12.59	12.59	13.18	13.57	14.35	14.41	145.84	1.227
2回目	12.48	12.56	13.03	13.35	14.29	14.04	143.61	1.225
3回目	12.53	12.50	13.00	13.43	14.13	14.05	156.50	1.334
平均	12.53	12.55	13.07	13.45	14.26	14.17	148.65	1.262



波高分布 (孤立波、沖波波高:12.5cm)

図 2-1-10 孤立波 波高分布（沖波波高 12.5cm；陸側地形模型撤去）

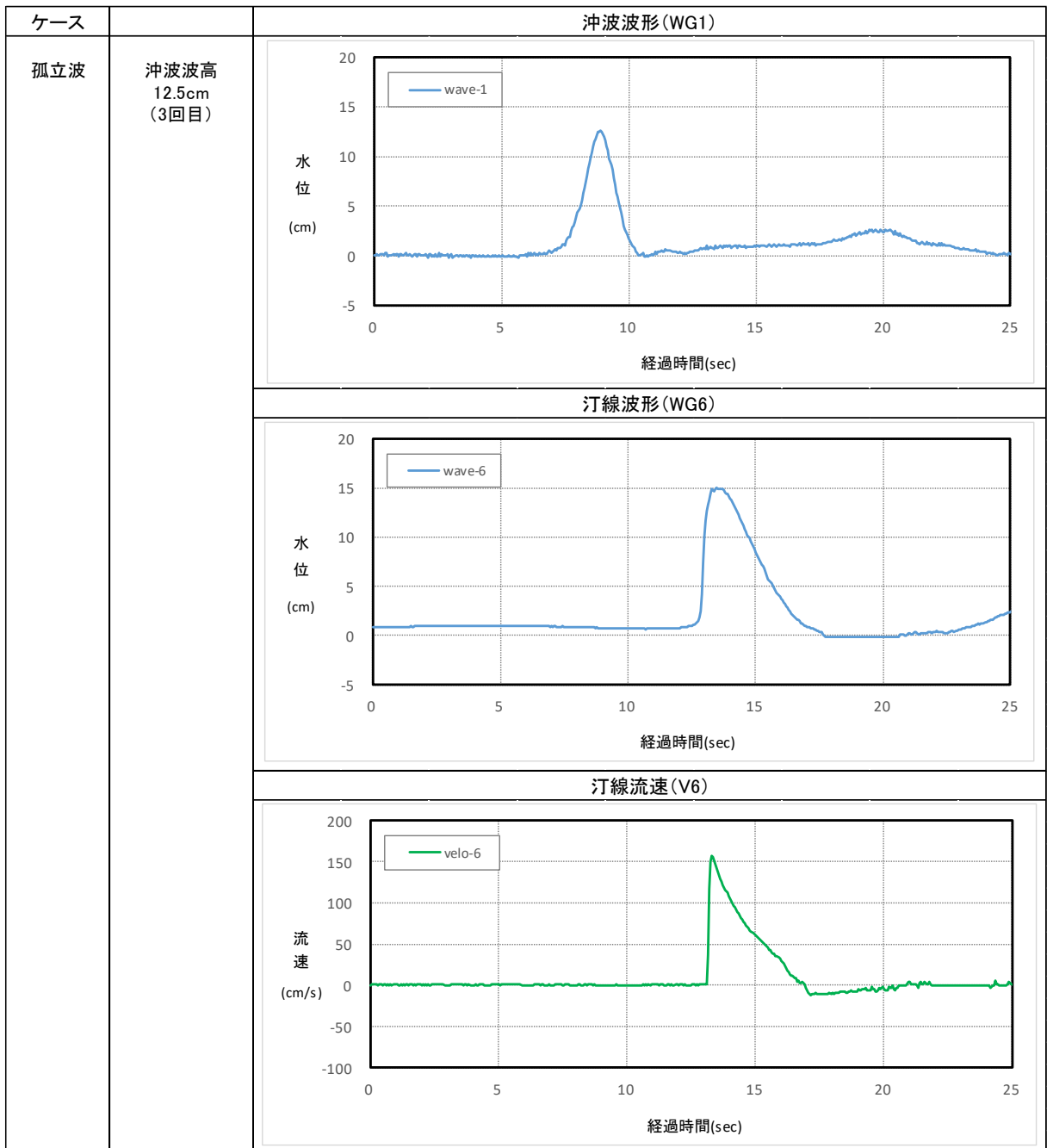


図 2-1-11 孤立波設定実験波形の 1 例（沖波波高 12.5cm；陸側地形模型撤去）

### 第3章 本実験

#### (1) 実験ケース

本試験の試験ケースの一覧を表 3-1（固定床；20 ケース），表 3-2（移動床；31 ケース）に示す。

表 3-1 固定床実験ケース一覧

実験ケース		実験条件			
		波浪条件	防潮堤位置	砂丘	試行
固定床	Case 7	孤立波:H=12.5cm	-137.5cm	丸み断面	1回目
	Case 8	"	"	"	2回目
	Case 9	"	"	"	3回目
	Case 10	"	"	"	4回目
	Case 11	"	"	"	5回目
	Case 12	孤立波:H=12.5cm	-80.0cm	丸み断面	1回目
	Case 13	"	"	"	2回目
	Case 14	"	"	"	3回目
	Case 15	"	"	"	4回目
	Case 16	"	"	"	5回目
	Case 17	長周期波:H=12.5cm	-137.5cm	丸み断面	1回目
	Case 18	"	"	"	2回目
	Case 19	"	"	"	3回目
	Case 20	"	"	"	4回目
	Case 21	"	"	"	5回目
	Case 22	長周期波:H=12.5cm	-80.0cm	丸み断面	1回目
	Case 23	"	"	"	2回目
	Case 24	"	"	"	3回目
	Case 25	"	"	"	4回目
	Case 26	"	"	"	5回目

表 3-2 移動床実験ケース一覧

実験ケース		実験条件				
		波浪条件	防潮堤位置	砂丘	珪砂粒径	試行
移動床 (防潮堤なし)	Case 1	孤立波：H=12.5cm	—	丸み断面	$d_m=0.20\text{mm}$	1回目
	Case 2	〃	—	〃	〃	2回目
	Case 3	〃	—	〃	〃	3回目
	Case 4	長周期波：H=12.5cm	—	丸み断面	$d_m=0.20\text{mm}$	1回目
	Case 5	〃	—	〃	〃	2回目
	Case 6	〃	—	〃	〃	3回目
移動床	Case 27	孤立波：H=12.5cm	-137.5cm	丸み断面	$d_m=0.20\text{mm}$	1回目
	Case 28	〃	〃	〃	〃	2回目
	Case 29	〃	〃	〃	〃	3回目
	Case 30	〃	〃	〃	〃	4回目
	Case 31	〃	〃	〃	〃	5回目
	Case 32	孤立波：H=12.5cm	-80.0cm	丸み断面	$d_m=0.20\text{mm}$	1回目
	Case 33	〃	〃	〃	〃	2回目
	Case 34	〃	〃	〃	〃	3回目
	Case 35	〃	〃	〃	〃	4回目
	Case 36	〃	〃	〃	〃	5回目
	Case 37	長周期波：H=12.5cm	-137.5cm	丸み断面	$d_m=0.11\text{mm}$	1回目
	Case 38	〃	〃	〃	〃	2回目
	Case 39	〃	〃	〃	〃	3回目
	Case 40	〃	〃	〃	〃	4回目
	Case 41	〃	〃	〃	〃	5回目
	Case 42	長周期波：H=12.5cm	-137.5cm	丸み断面	$d_m=0.20\text{mm}$	1回目
	Case 43	〃	〃	〃	〃	2回目
	Case 44	〃	〃	〃	〃	3回目
	Case 45	〃	〃	〃	〃	4回目
	Case 46	〃	〃	〃	〃	5回目
	Case 47	長周期波：H=12.5cm	-80.0cm	丸み断面	$d_m=0.20\text{mm}$	1回目
	Case 48	〃	〃	〃	〃	2回目
	Case 49	〃	〃	〃	〃	3回目
	Case 50	〃	〃	〃	〃	4回目
Case 51	〃	〃	〃	〃	5回目	

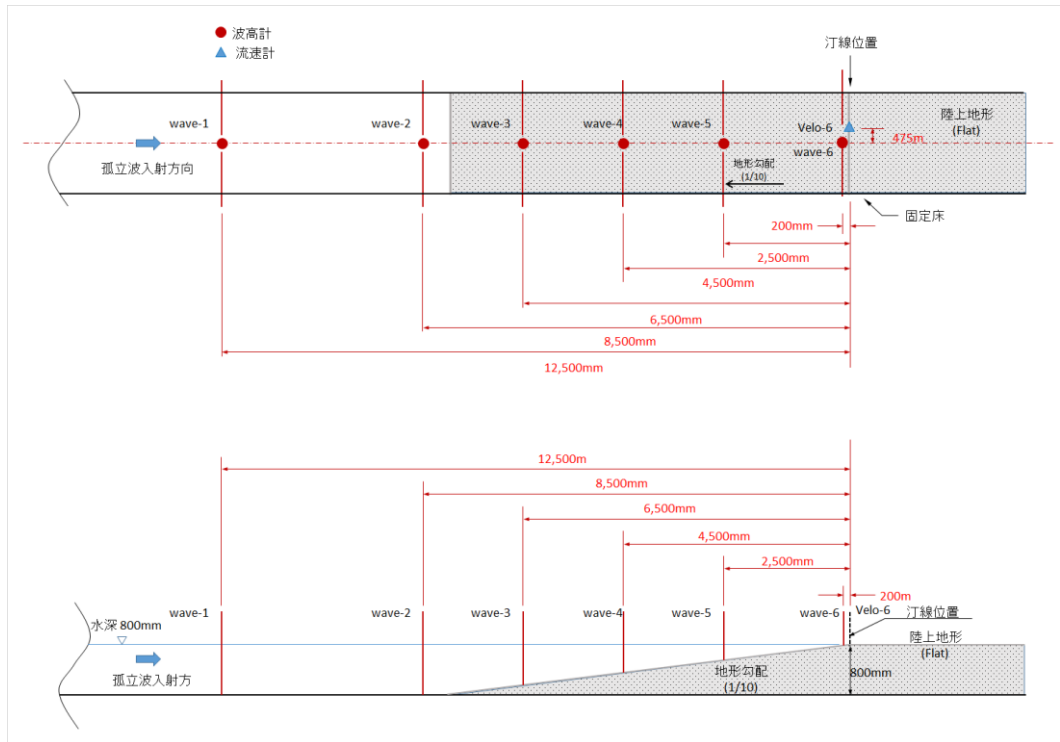
## (2) 計測項目及び計測方法

計測項目・計測方法の一覧を表 3-3 に、計測位置の略図を図 3-1～3-4 に、示す。実験水槽と各計測機器設置状況を写真 3-1、3-2 に示す。

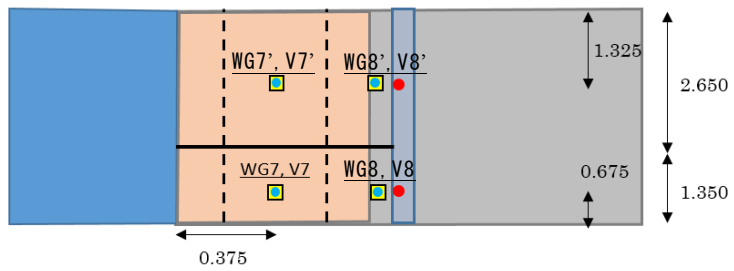
表 3-3 計測項目・計測方法

計測項目	計測位置	計測方法	計測回数	備考
波高	W1(沖波), WG6(汀線) WG7, WG7'(砂丘天端), WG8, WG8'(砂丘背面1), WG9, WG9'(砂丘背面2), WG10, WG10'(堤前面)	各測定点の時系列データをサンプリング周波数1,000Hzで記録する。必要に応じてフィルタリングを実施し、不要なノイズを除去する。	ケース毎	固定床実験：測点6～8 移動床実験：測点5～7
流速	V6(汀線) V7, V7'(砂丘天端), V8, V8'(砂丘背面1), V9, V9'(砂丘背面2), V10, V10'(堤前面)	各測定点の時系列データをサンプリング周波数1,000Hzで記録する。必要に応じてフィルタリングを実施し、不要なノイズを除去する。 →波高データと合わせてフルード数の時系列を算出する。	〃	固定床実験：測点5～7 移動床実験：測点4～6
波圧	P1'～P7'(固定床側) P1～P7(移動床側)	各測定点の時系列データをサンプリング周波数1,000Hzで記録する。必要に応じてフィルタリングを実施し、不要なノイズを除去する。高さ方向7点の圧力データの時系列から、防潮堤に生じる荷重の時系列、最大値を算出する。	〃	C-1～6を除く
濁度	TB8(砂丘背面1) TB9(砂丘背面2)	濁度計は、水中の微粒子の混入度(濁度)を光の透過光量の変化として時系列で変化を捉えられる形式を用いる。予め用いる移動床材料ごとに濁度～密度(濃度)のキャリブレーション(換算関係の把握)を行い、その時系列と最大値を整理する。	〃	C-1～6 C27～51
摩擦速度 (→シールズ数)	V6(汀線) V7, V7'(砂丘天端), V8, V8'(砂丘背面1), V9, V9'(砂丘背面2), V10, V10'(堤前面)	波高、流速および移動床材料粒径(又は粗度係数)を用いて以下の式を用いて算出。 $u/u_* = h^{1/6} / (n \cdot g^{1/2})$ 【Manning則】	〃	摩擦速度 $u_*$ 算定時にはManning則を適用
砂丘形状	ガラス面沿い	高速度カメラで撮影した映像をもとに、縦断方向に1cmピッチで砂面高さを計測(ガラス面に設置したビットメジャーのメモリを読み取り)。防潮堤の反射波影響が出ていない最大時刻の状態及び、通水終了後の2種類の形状を計測する。	〃	
砂丘の空隙率 n	砂丘地形の 中央付近 (縦断方向、 幅方向とも) 図参照	計測位置の砂丘地形を、円筒形のサンプラーを押し込んでサンプリング。サンプリングした試料の体積Vと重量( $W_s+W_w$ )を計測。サンプリング試料を乾燥炉で18時間以上乾燥させ、乾燥状態の重量( $W_s$ )を計測。 $W_s$ を砂の単位体積重量 $\gamma_s$ (公称値)で除すことで砂の実体積 $V_s$ を求め、空隙率 $n = (V - V_s) / V$ を計算する。 また乾燥前後の重量差から含水量 $W_w$ を算出し、含水率 $w = V_w / V_v$ を計算する( $V_w = W_w$ )。	同一条件 ケースにつき 各1回 (通水前後)	通水前後で同じ箇所 で実施
砂丘の含水率 w				

項目	作成方法	回数	備考
砂丘地形作成	砂は1週間浸水して十分養生したものを使用。成形は鑊を用いてある程度締め固めるように実施(同一条件となるよう留意)。型枠で所定の形状となっているかチェックするとともに、主要箇所の砂面をレベルでもチェックする。試験計測後は砂丘地形全体をいったん撤去し、次ケース実施時に前の地形を残さない。	ケース毎	



固定床 堤体位置-0.80



固定床 堤体位置-1.375

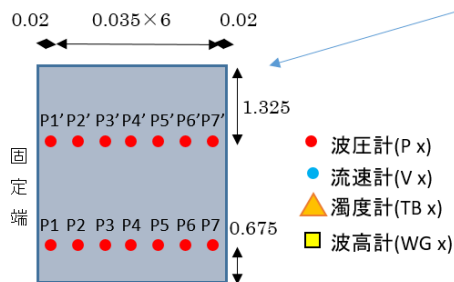
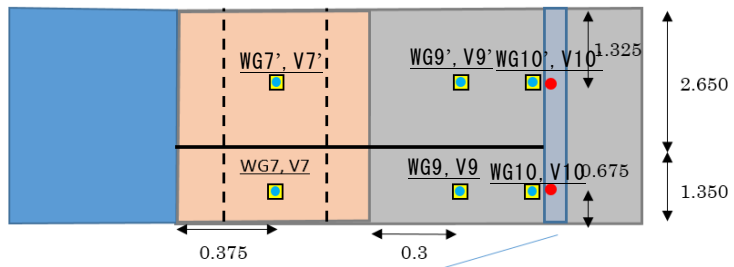
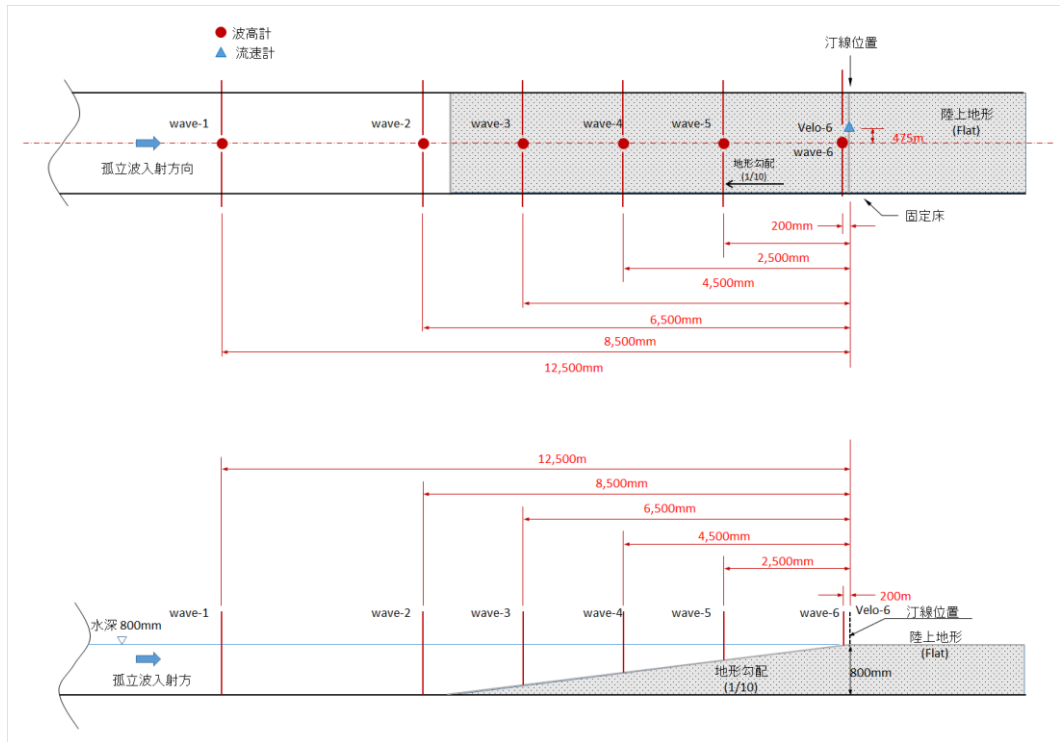
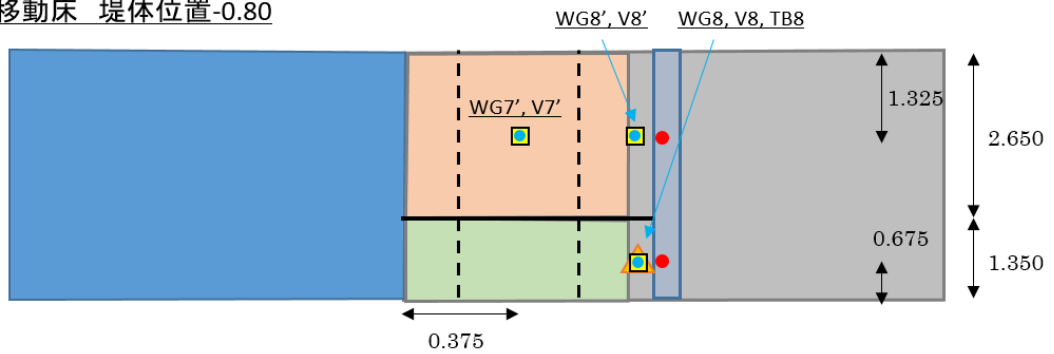


図 3-1 実験水槽と各計測項目の計測位置 概要図 (固定床)

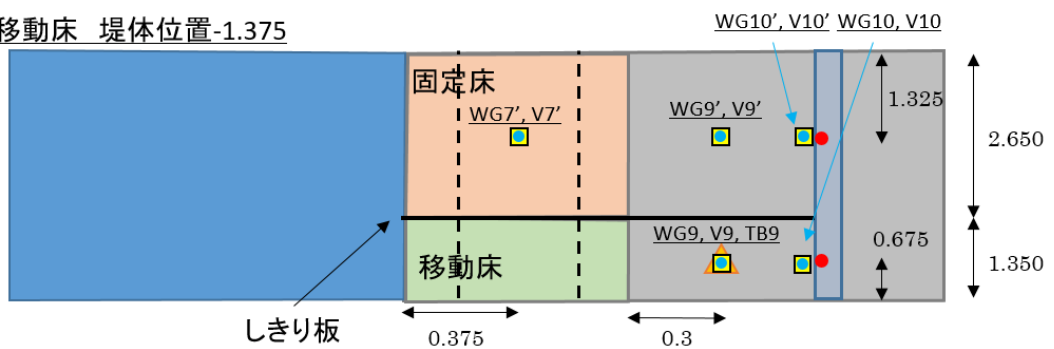




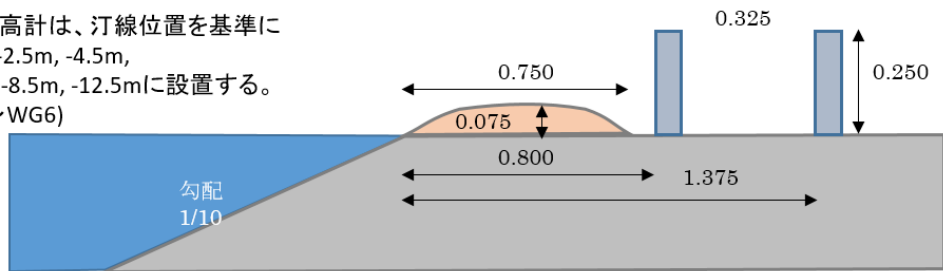
移動床 堤体位置-0.80



移動床 堤体位置-1.375



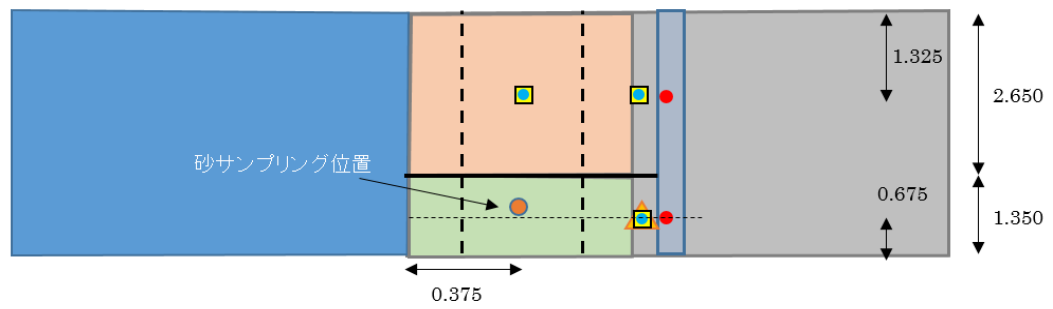
沖合波高計は、汀線位置を基準に  
-0.2m, -2.5m, -4.5m,  
-6.5m, -8.5m, -12.5mに設置する。  
(WG1~WG6)



単位：m

図 3-2 実験水槽と各計測項目の計測位置 概要図 (移動床)

移動床 堤体位置-0.80



移動床 堤体位置-1.375

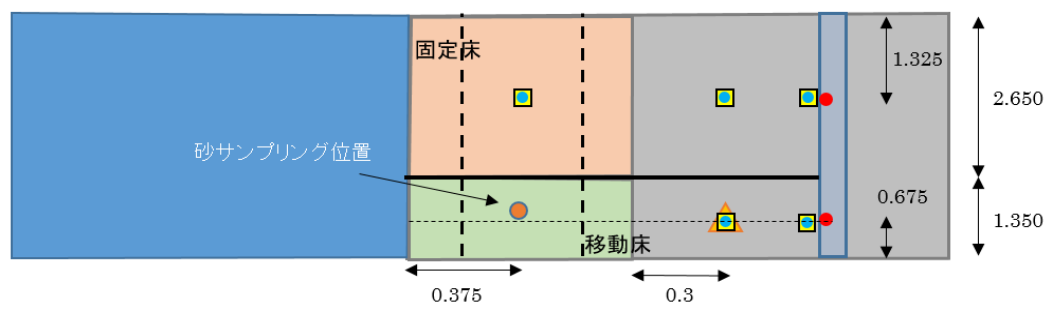
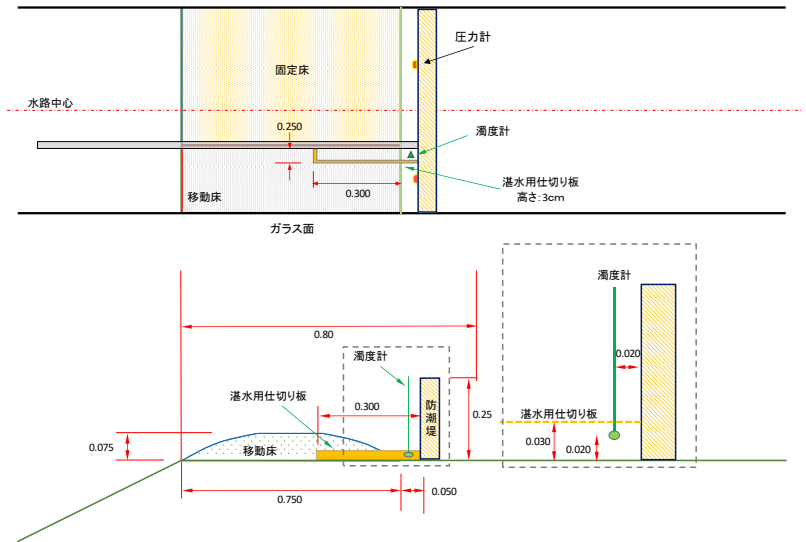


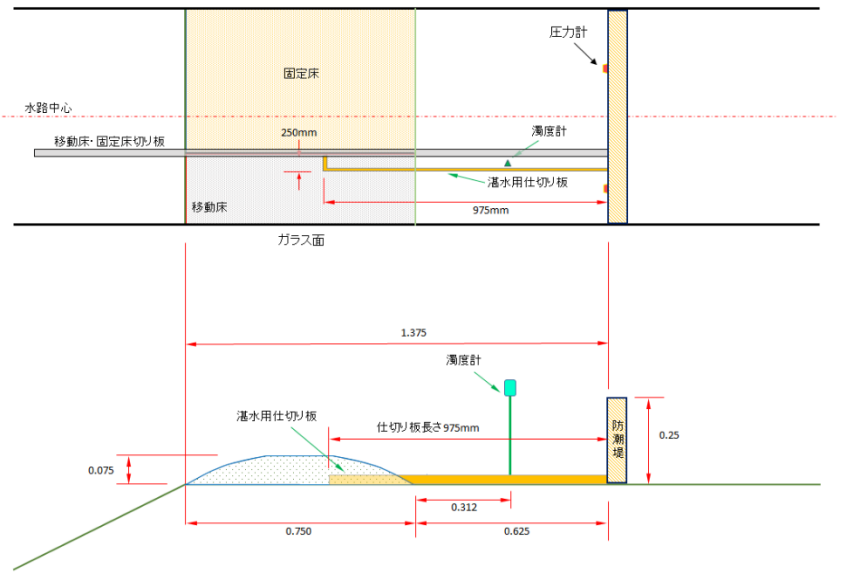
図 3-3 土砂サンプリング位置 概要図 (移動床)

※図中の単位は m



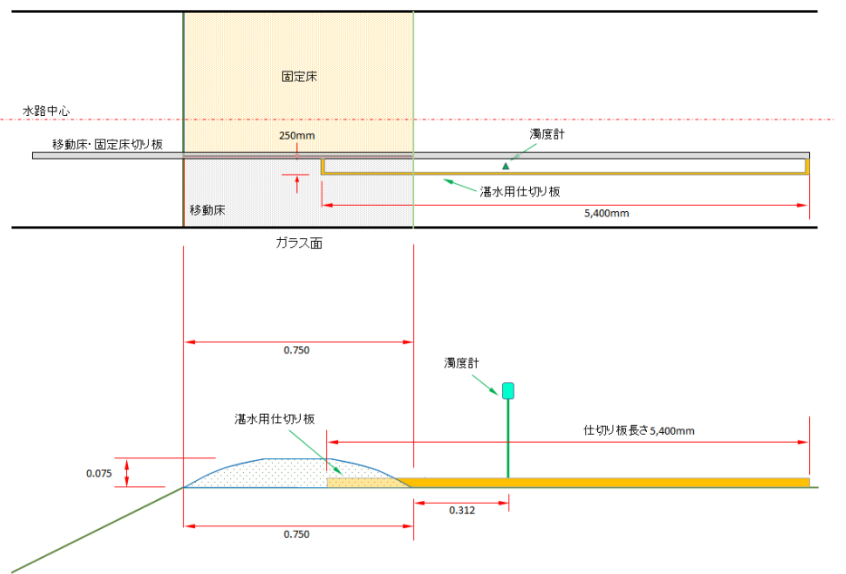
a) 防潮堤位置 : -80.0cm

※図中の単位は m



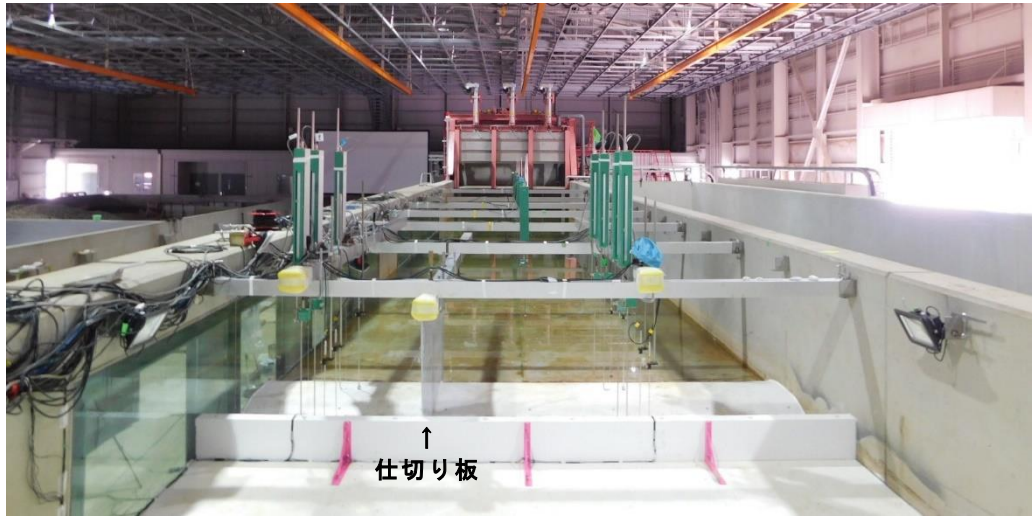
b) 防潮堤位置 : -137.5cm

※図中の単位は m

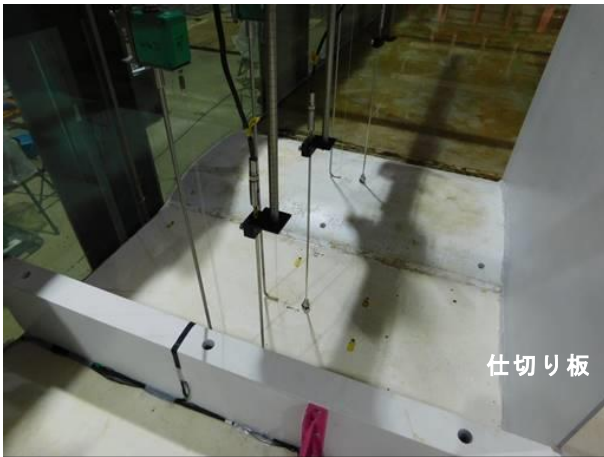


c) 防潮堤なし

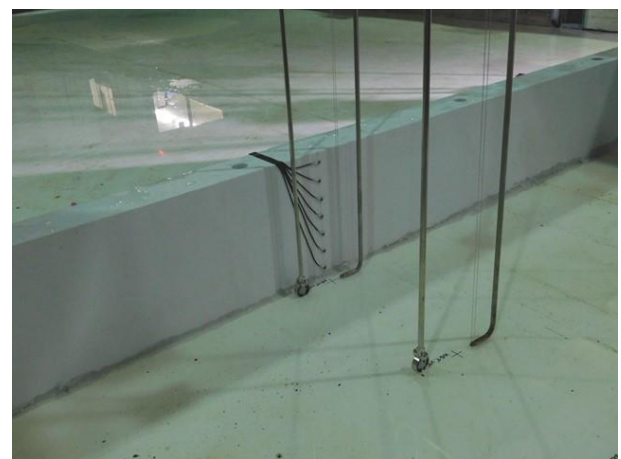
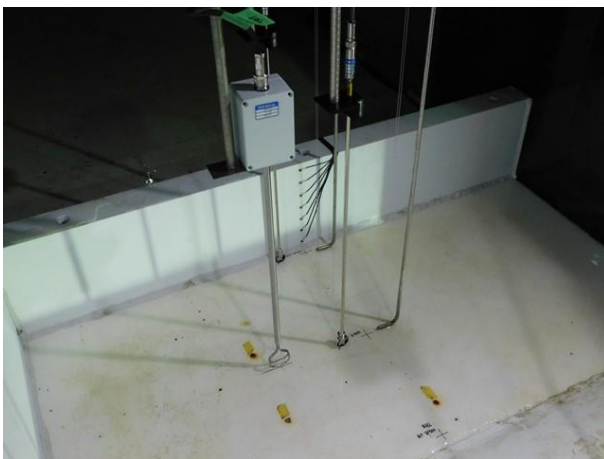
図 3-4 濁度計の設置状況図 (移動床)



全 景



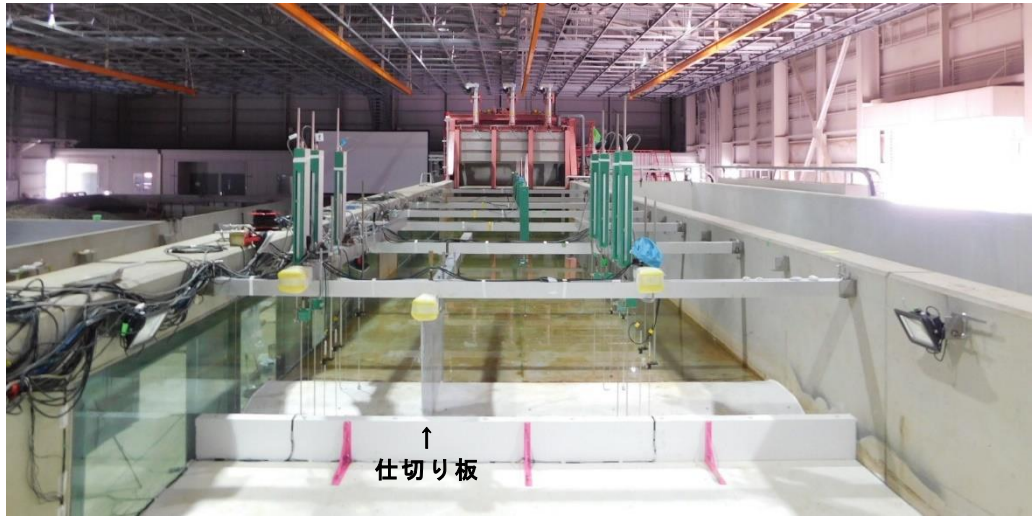
流速計・波高計 設置状況



波圧計 設置状況 (※濁度計は仮設置)

写真 3-1 実験水槽と各計測機器設置状況 (固定床)





↑  
仕切り板

全 景



仕切り板



流速計・波高計 設置状況



波圧計・濁度計 設置状況

写真 3-2 実験水槽と各計測機器設置状況

### 3-1 固定床実験

#### 3-1-1 実験の概要

固定床実験で行った実験ケースを表 3-1-1 に示す。実験条件は、波浪 2 種類（孤立波，長周期波），防潮堤位置 2 種類（汀線-80cm，-137.5cm）で各条件について 5 回試行する（合計 20 ケース）。

表 3-1-1 固定床実験ケース一覧

実験ケース		実験条件			
		波浪条件	防潮堤位置	砂丘	試行
固定床	Case 7	孤立波:H=12.5cm	-137.5cm	丸み断面	1回目
	Case 8	"	"	"	2回目
	Case 9	"	"	"	3回目
	Case 10	"	"	"	4回目
	Case 11	"	"	"	5回目
	Case 12	孤立波:H=12.5cm	-80.0cm	丸み断面	1回目
	Case 13	"	"	"	2回目
	Case 14	"	"	"	3回目
	Case 15	"	"	"	4回目
	Case 16	"	"	"	5回目
	Case 17	長周期波:H=12.5cm	-137.5cm	丸み断面	1回目
	Case 18	"	"	"	2回目
	Case 19	"	"	"	3回目
	Case 20	"	"	"	4回目
	Case 21	"	"	"	5回目
	Case 22	長周期波:H=12.5cm	-80.0cm	丸み断面	1回目
	Case 23	"	"	"	2回目
	Case 24	"	"	"	3回目
	Case 25	"	"	"	4回目
	Case 26	"	"	"	5回目

なお，計測した防潮堤の作用波圧は，以下に示す方法で整理を行っている。

#### (1) 波力算定式

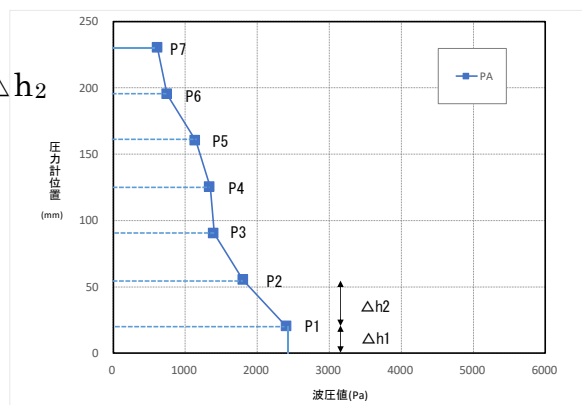
$$F = P1 \times \Delta h_1 + \sum (P_i + P_{i+1}) / 2 \times \Delta h_2$$

( i = 1 ~ 6 )

$$\Delta h_1 = 2.0\text{cm}, \quad \Delta h_2 = 3.5\text{cm}$$

(単位 : Pa · cm または N/cm,

$$1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2 = 1/10,000 \text{ N/cm}^2)$$

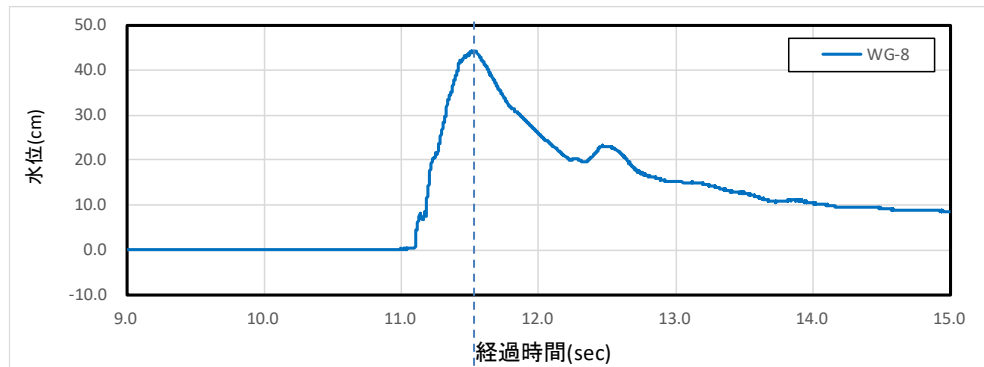


波力算定模式図

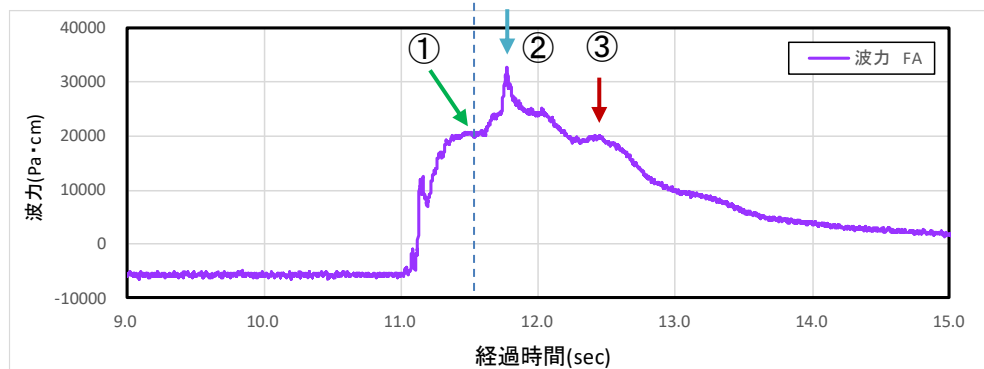
## (2)波力の名称と定義

波力の名称を以下のように定義した（孤立波の場合）

- ① 衝撃段波最大波力値： 堤体前面最大浸水深以前の時刻の波力最大値
- ② 持続波最大波力値 1： 堤体前面最大浸水深以後の時刻の波力最大値
- ③ 持続波最大波力値 2： 一般的な重複波圧と判断される静水圧での最大値



防潮堤前面の水位計 WG8 の時系列波形図（ケース 12）



防潮堤作用波力 FA の時系列波形図（ケース 12）

波力の名称模式図（孤立波の場合）

※長周期波は衝撃段波領域がないため、持続波最大波力値として整理  
（堤体前面最大浸水深の発生時刻に無関係）

---

### 3-1-2 実験結果

固定床実験に関する結果を下記の通り示す。

#### (1)時系列波形データ

##### ①孤立波

図 3-1-1 沖波波高

図 3-1-2 波高, 流速, フルード数 (ケース 7; 防潮堤位置-137.5cm)

図 3-1-3 波高, 流速, フルード数 (ケース 12; 防潮堤位置 -80.0cm)

図 3-1-4, 3-1-5 防潮堤作用波圧, 波力

写真 3-1-1 実験時流況の一例 (孤立波)

##### ②長周期波

図 3-1-6 沖波波高

図 3-1-7 波高, 流速, フルード数 (ケース 17; 防潮堤位置-137.5cm)

図 3-1-8 波高, 流速, フルード数 (ケース 22; 防潮堤位置 -80.0cm)

図 3-1-9, 3-1-10 防潮堤作用波圧, 波力

写真 3-1-2 実験時流況の一例 (長周期波)

※時系列のゼロ点; 造波システムの稼働開始時間 (スイッチ ON の時間)

#### (2)防潮堤作用波圧分布

図 3-1-11~13 防潮堤作用波圧分布 (孤立波)

図 3-1.14 防潮堤作用波圧分布 (長周期波)

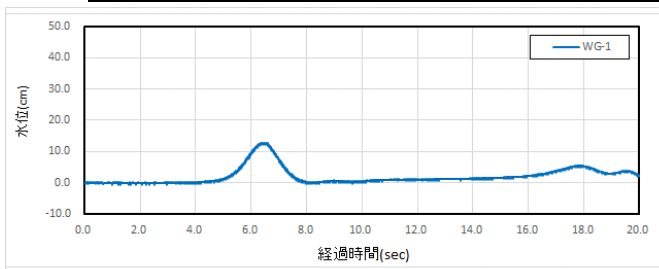
表 3-1-2 波力一覧表 (孤立波)

表 3-1-3 波力一覧表 (長周期波)

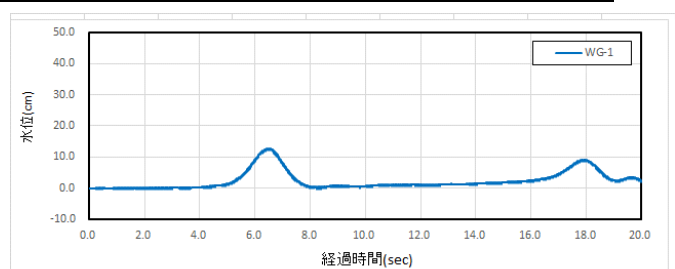
防潮堤に作用する波圧分布の特徴については、以下のようなのである。

- ・総じて防潮堤位置 -80.0cm よりも防潮堤位置-137.5cmの方が、波圧分布のばらつきが大きい傾向にある。
- ・孤立波の持続波最大時 2, および長周期波の波圧分布は、ほぼ静水圧分布に近い。
- ・孤立波では作用波力が  
(防潮堤位置 -80.0cm) > (防潮堤位置-137.5cm) であるのに対し、  
長周期波では作用波力が  
(防潮堤位置 -80.0cm) < (防潮堤位置-137.5cm) となる。  
このうち、孤立波については防潮堤前面の水位の違いがその主要因と考えられる (防潮堤位置 -80.0cmの方が防潮堤と砂丘地形との間の空間が狭く、この部分の水位が上昇しやすい)。
- ・孤立波の衝撃段波最大時の波圧分布は、いずれの防潮堤位置でも防潮堤上部に波圧がほとんど作用しておらず、下部に集中している。また防潮堤前面の最大水位発生時=防潮堤作用波力の最大時とはならない。

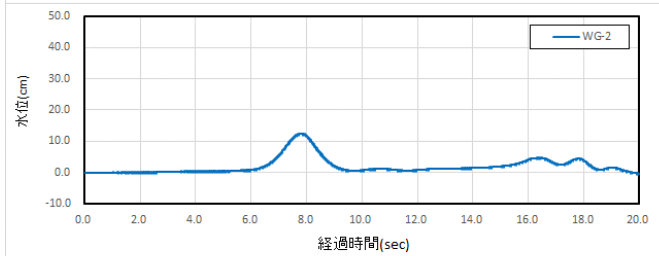




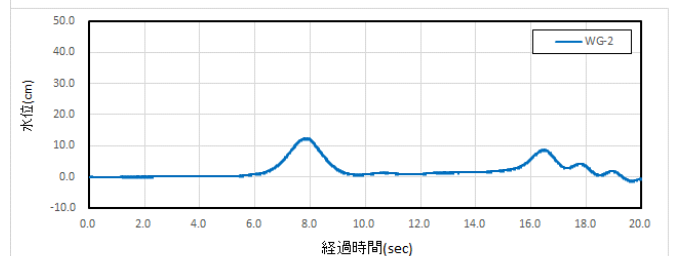
水位計 WG1 の時系列波形図



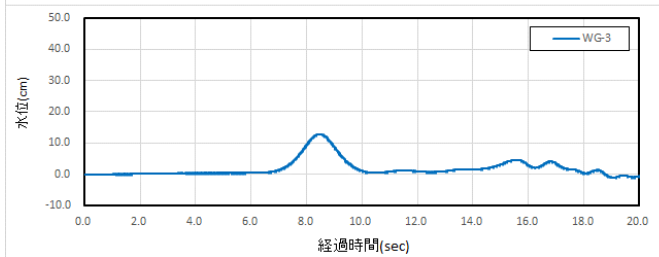
水位計 WG1 の時系列波形図



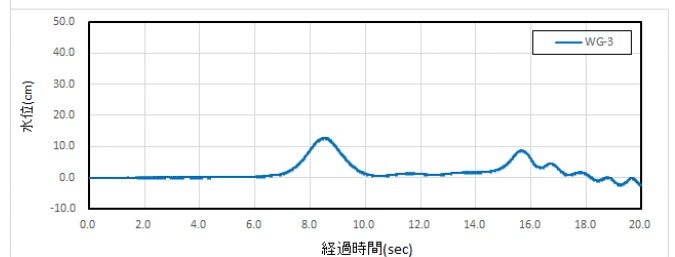
水位計 WG2 の時系列波形図



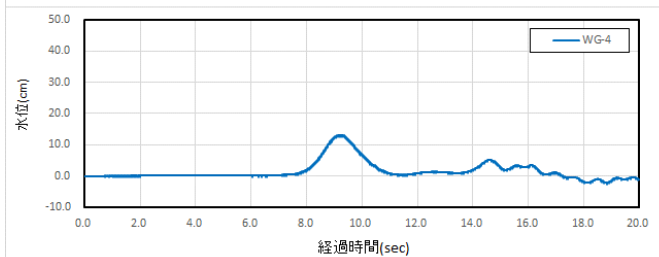
水位計 WG2 の時系列波形図



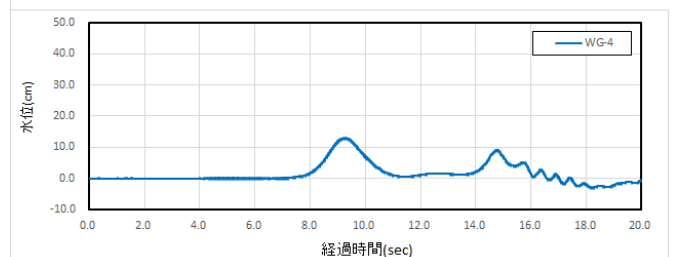
水位計 WG3 の時系列波形図



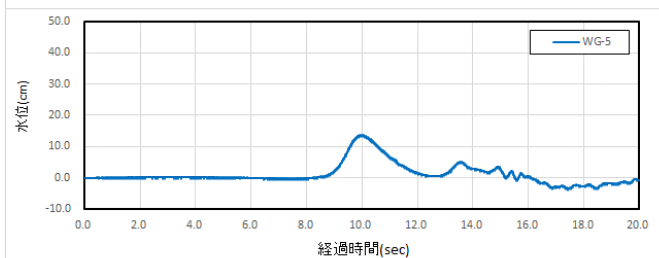
水位計 WG3 の時系列波形図



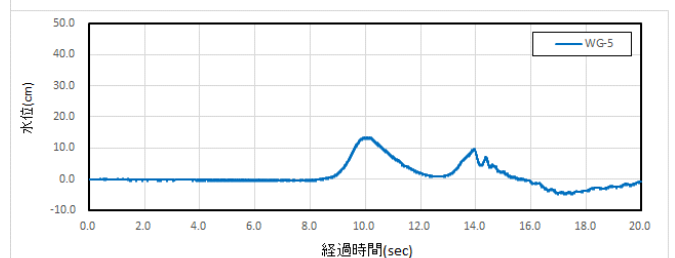
水位計 WG4 の時系列波形図



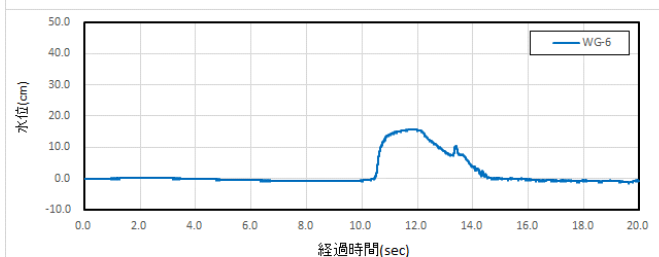
水位計 WG4 の時系列波形図



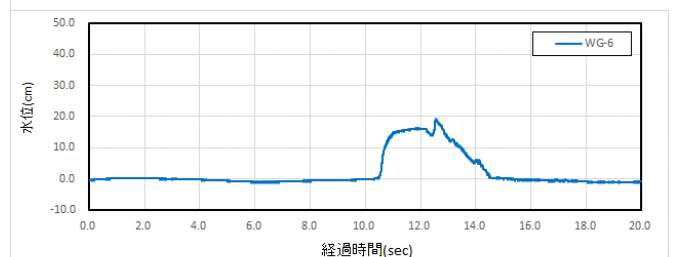
水位計 WG5 の時系列波形図



水位計 WG5 の時系列波形図



水位計 WG6 の時系列波形図



水位計 WG6 の時系列波形図

ケース 7 ; 防潮堤位置-137.5cm

ケース 12 ; 防潮堤位置-80.0cm

図 3-1-1 孤立波実験波形の一例 (ケース 7, 12) 【沖波波高】

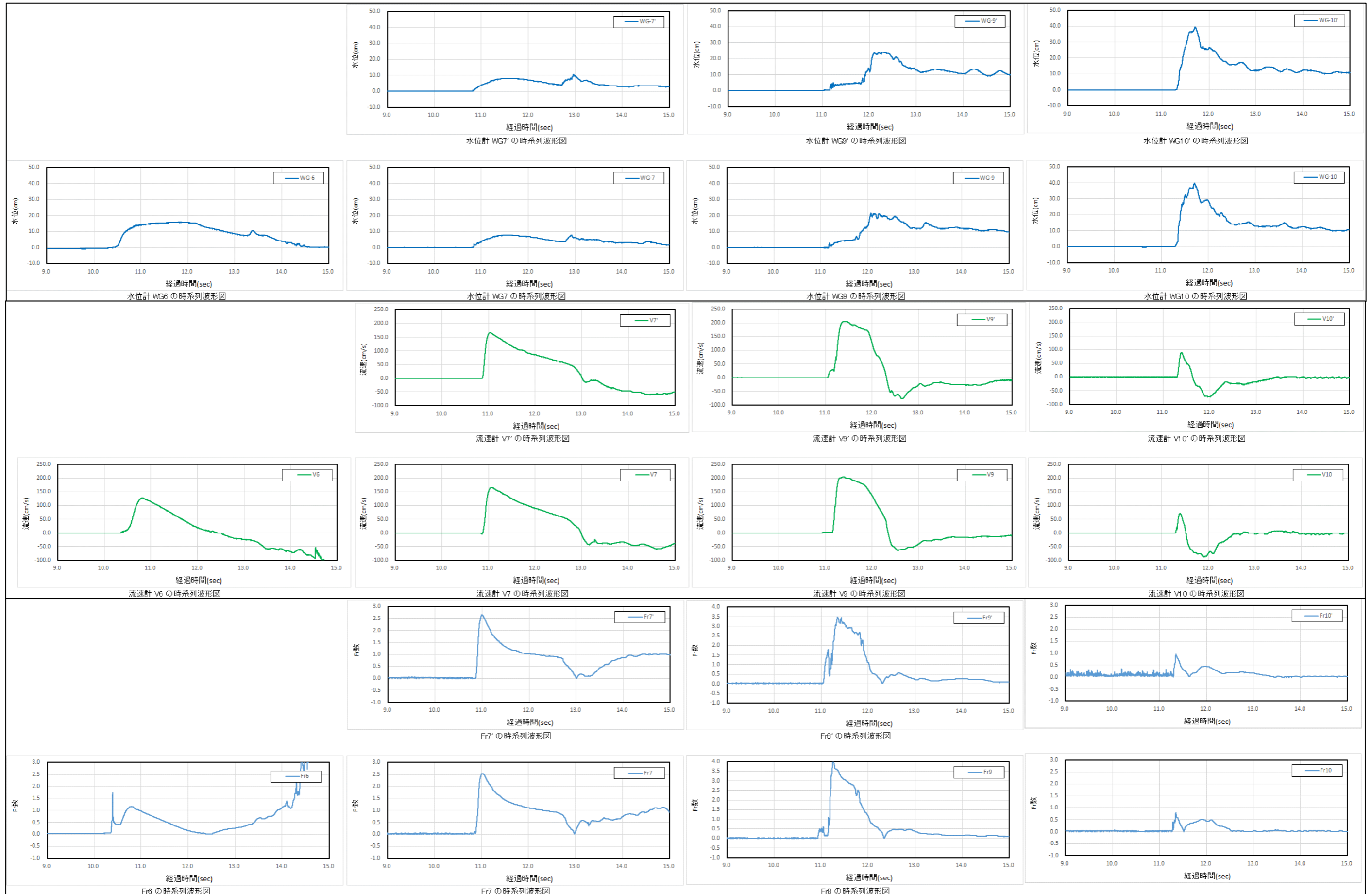


図 3-1-2 孤立波実験波形の一例 (ケース 7 ; 防潮堤位置-137.5cm) 【波高, 流速, フルード数】

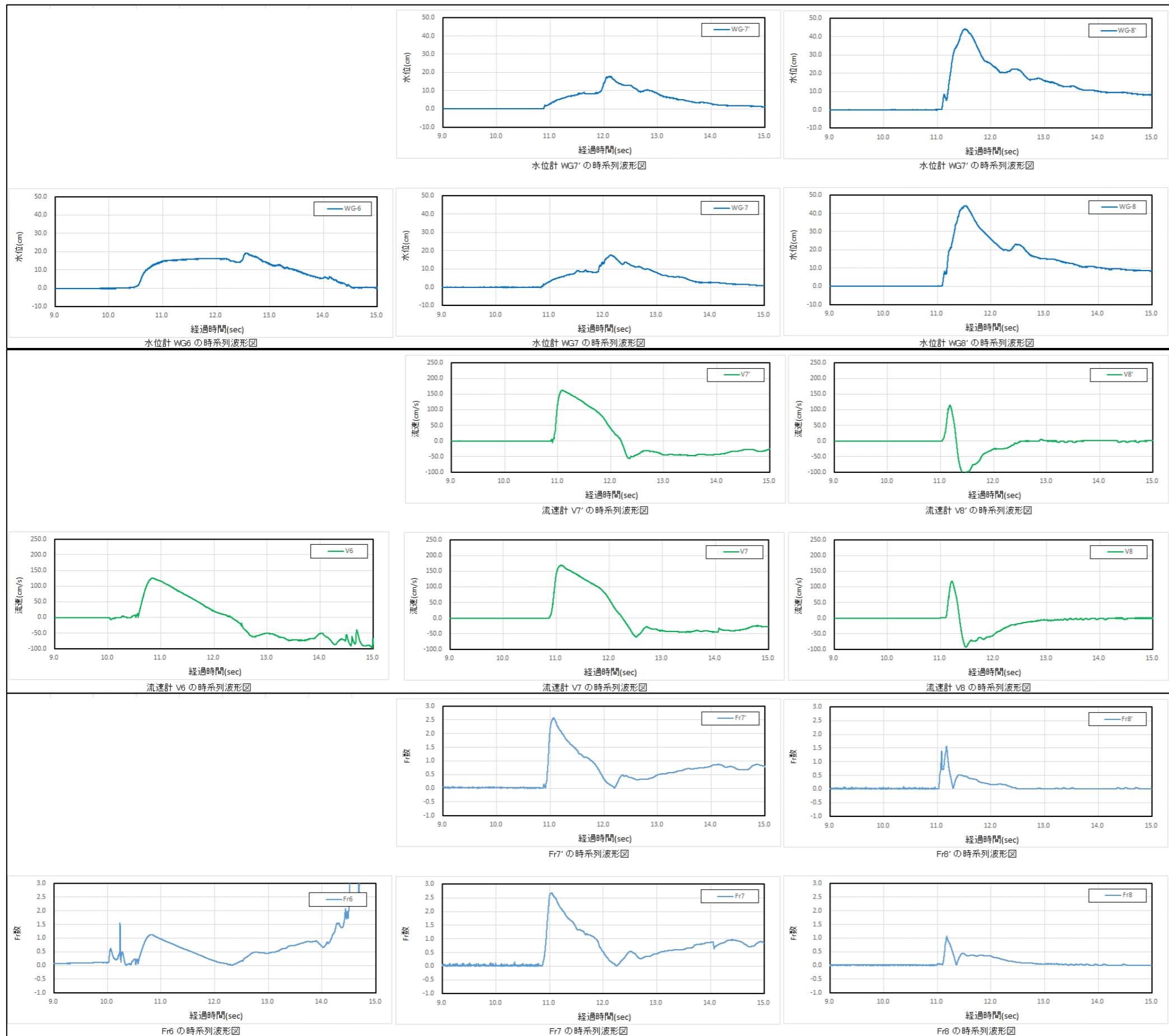


図 3-1-3 孤立波実験波形の一例 (ケース 12 ; 防潮堤位置 -80.0cm) 【波高, 流速, フルード数】

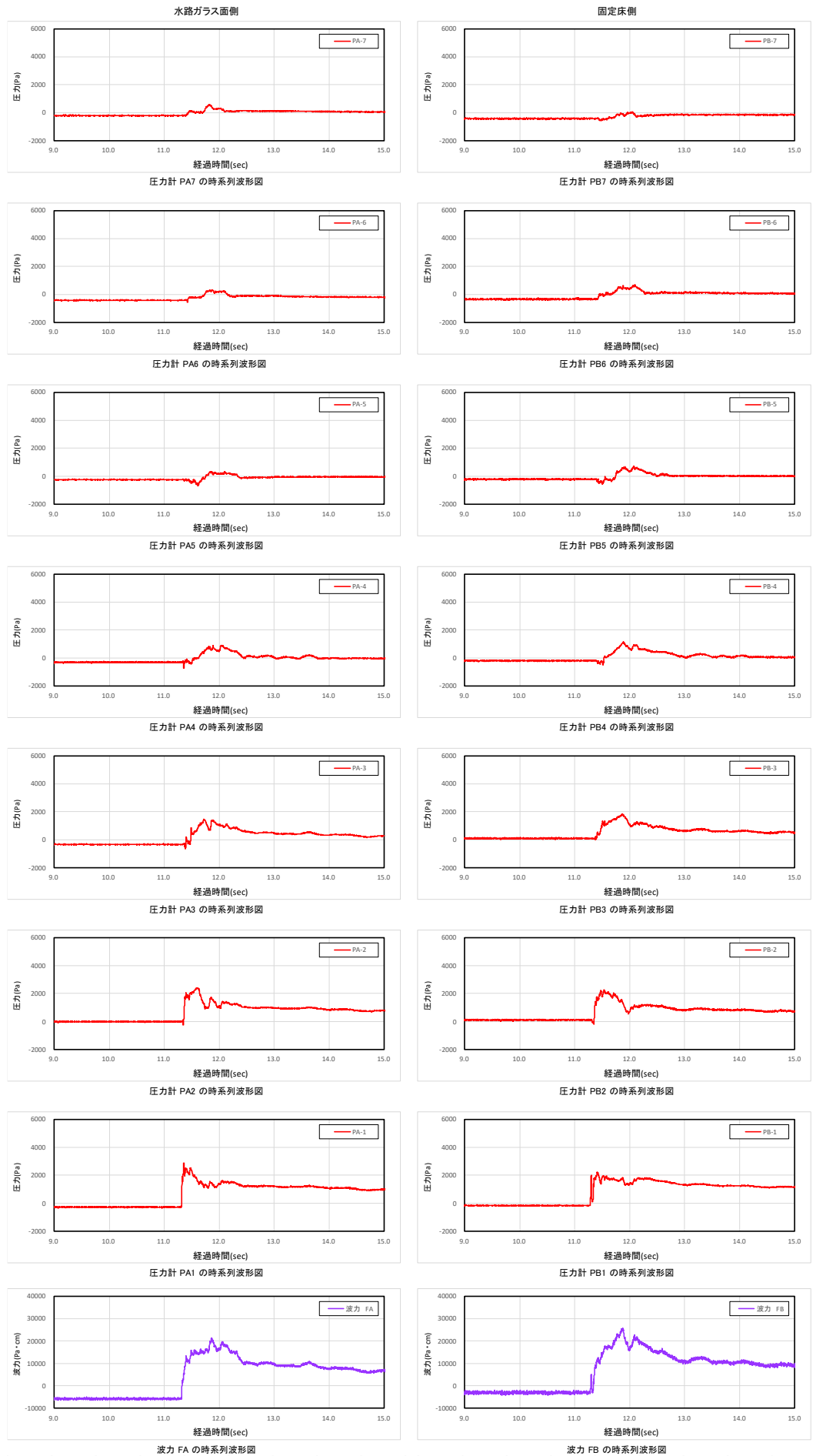


図 3-1-4 孤立波実験波形の一例（ケース 7）【防潮堤作用波圧】

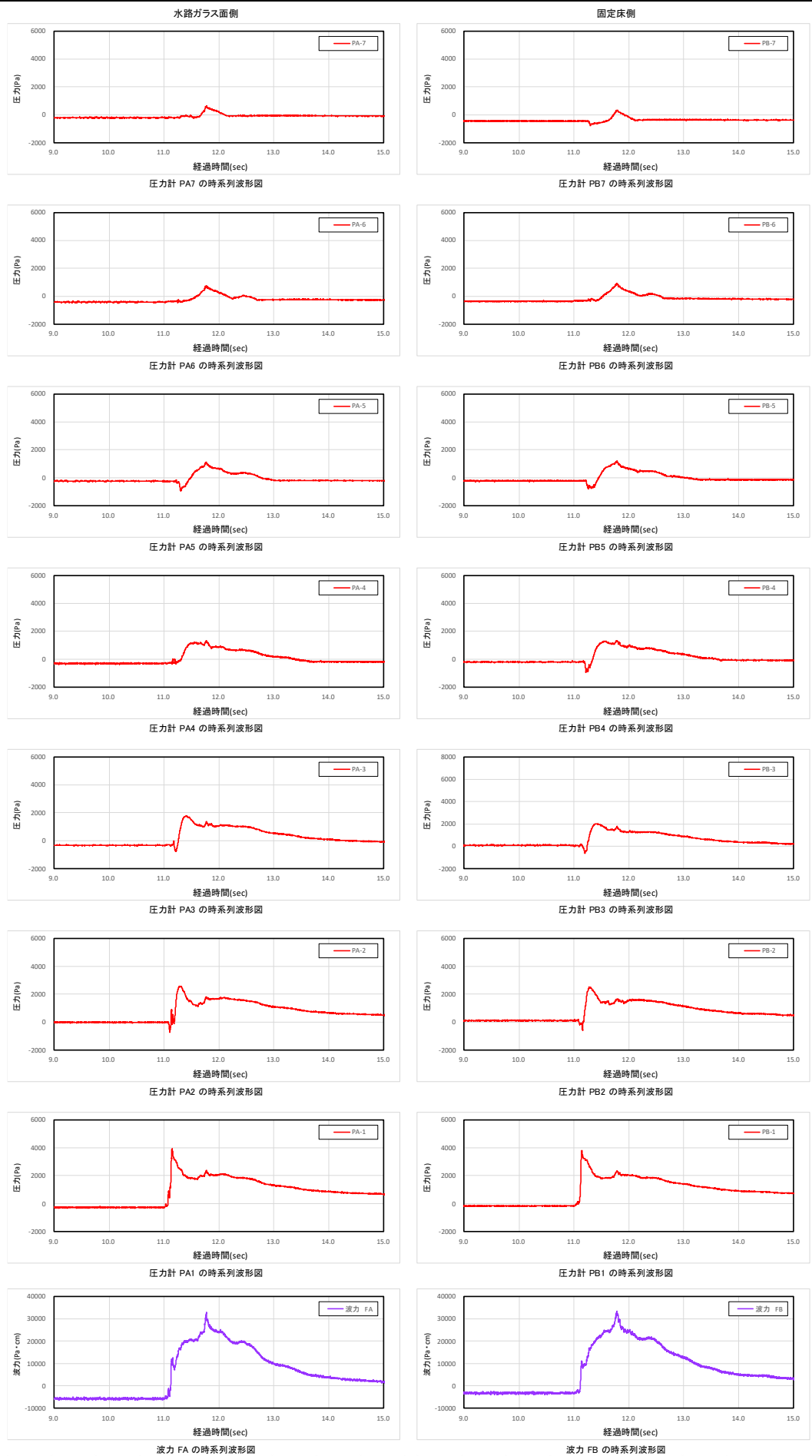


図 3-1-5 孤立波実験波形の一例（ケース 12）【防潮堤作用波圧】




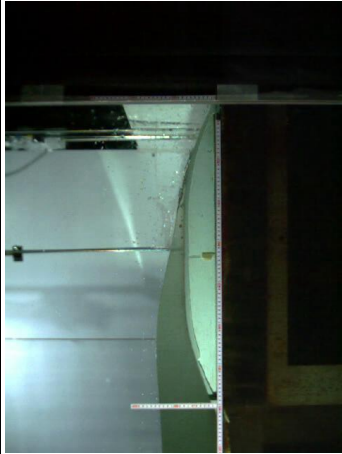
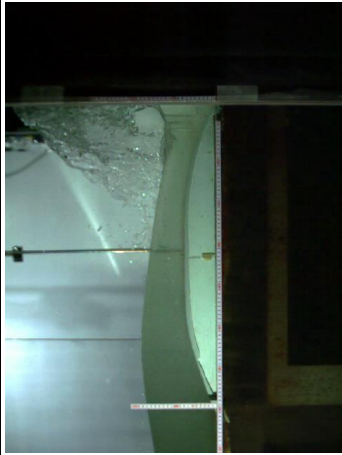

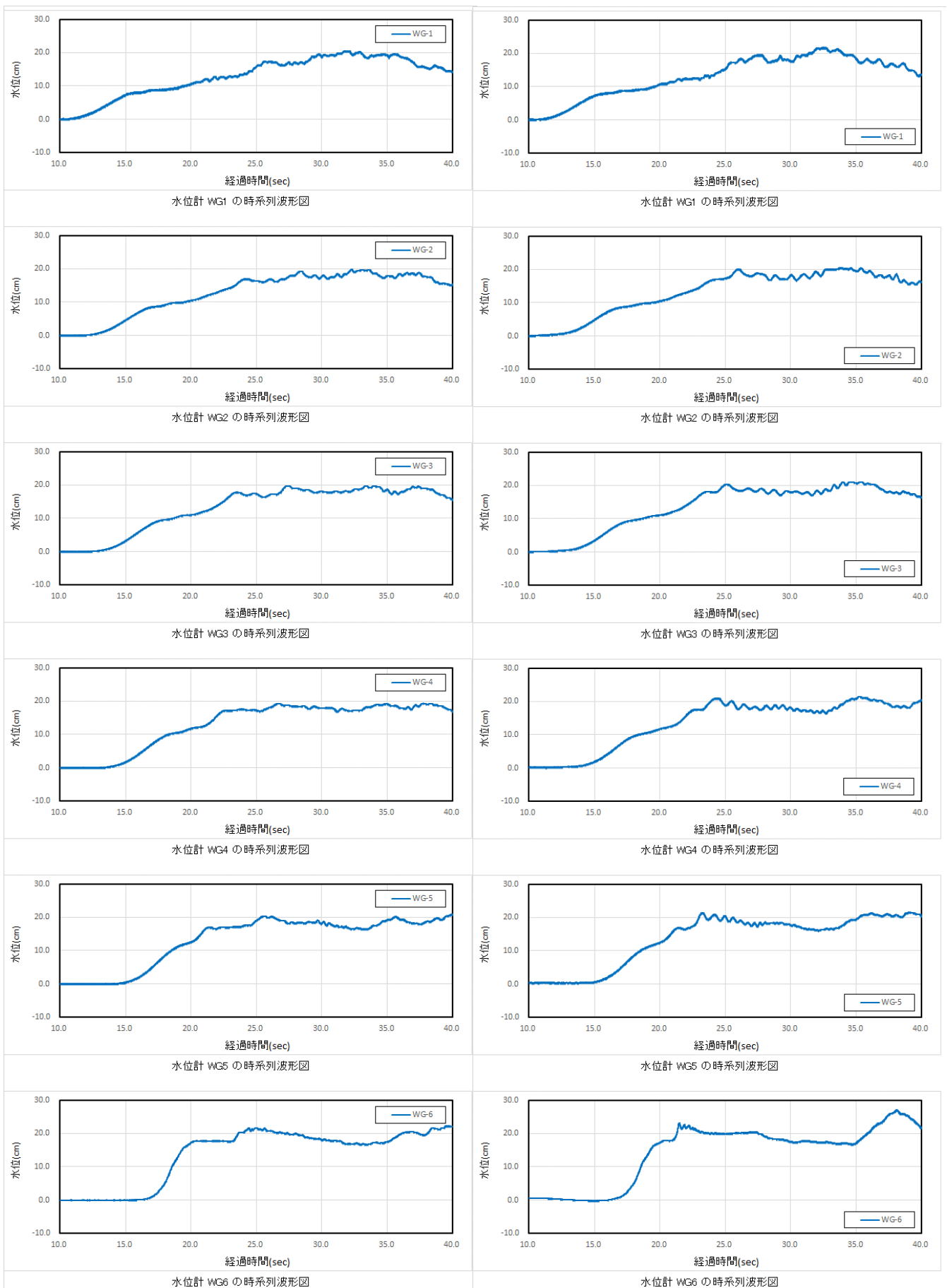
	津波到達時	最大水深時	津波通過後
<p>Case7</p> <p>孤立波 防潮堤位置 砂丘形状</p> <p>H=12.5cm -137.5cm 丸み形状 (固定床)</p>			
<p>Case12</p> <p>孤立波 防潮堤位置 砂丘形状</p> <p>H=12.5cm -80.0cm 丸み形状 (固定床)</p>			

写真 3-1-1 実験時流況の一例（孤立波）



ケース 17 ; 防潮堤位置 - 137.5cm

ケース 22 ; 防潮堤位置 - 80.0cm

図 3-1-6 長周期波実験波形の一例 (ケース 17, 22) 【沖波波高】



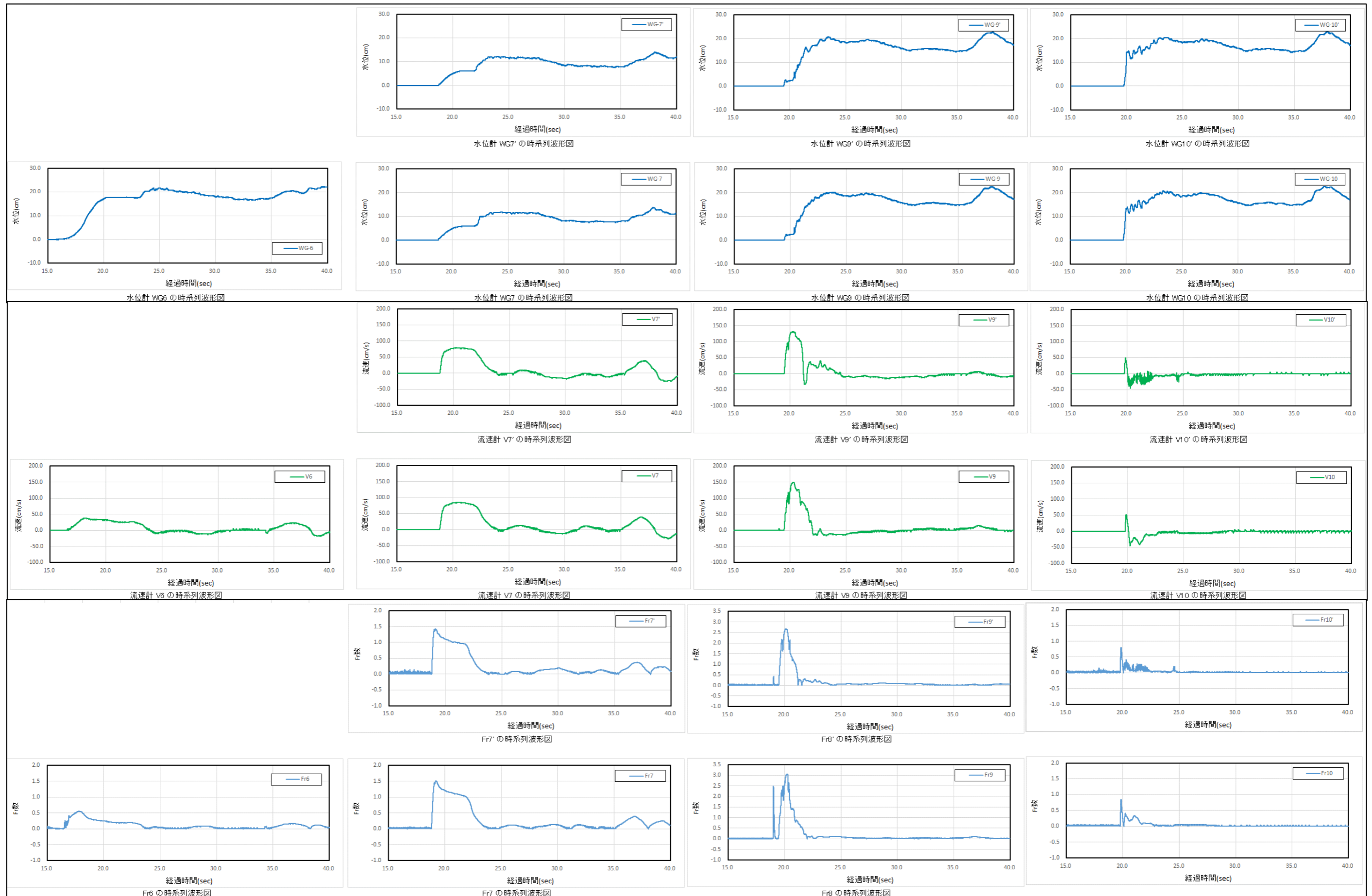


図 3-1-7 長周期波実験波形の一例 (ケース 17 ; 防潮堤位置-137.5cm) 【波高, 流速, フルード数】



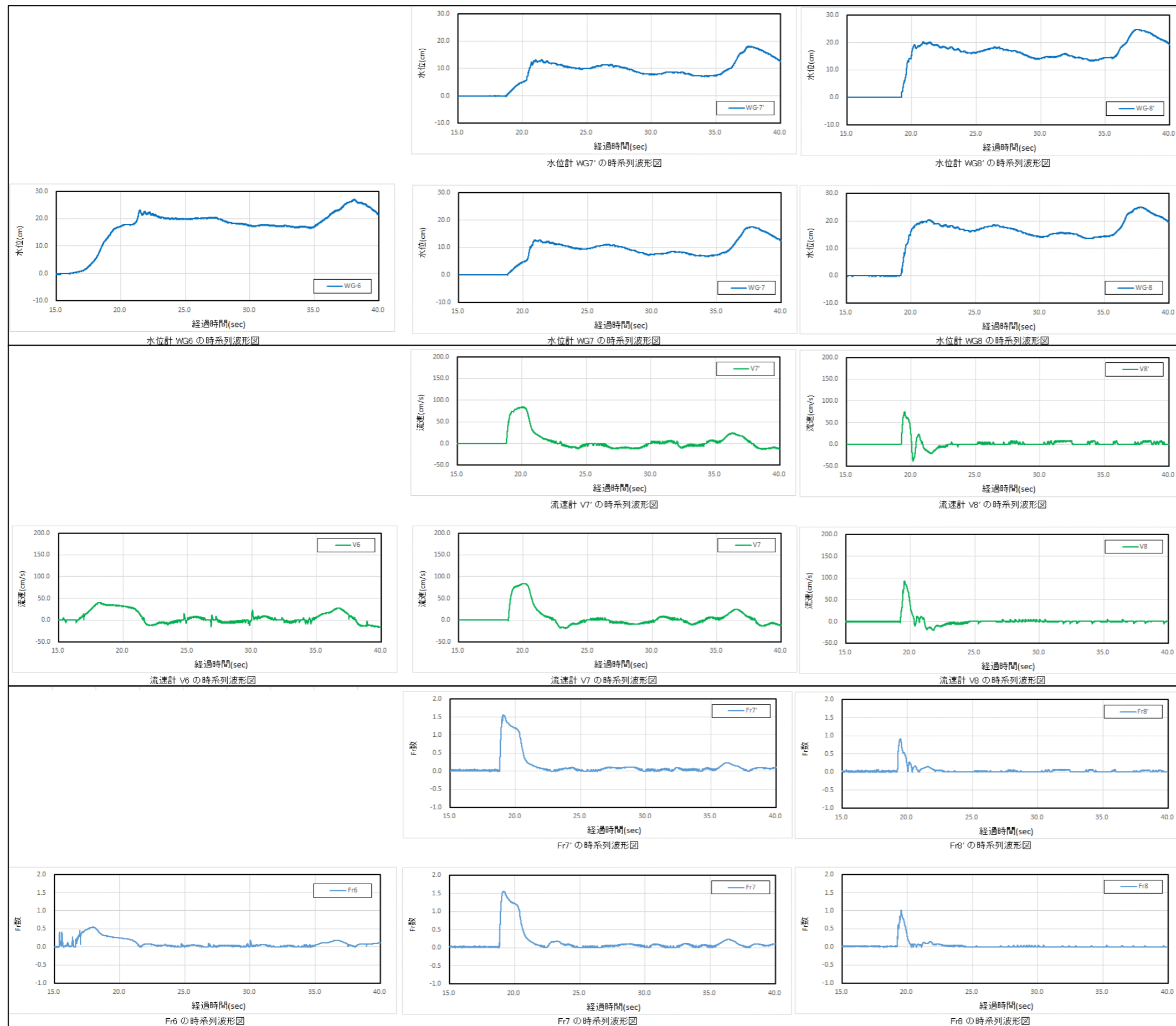


図 3-1-8 長周期波実験波形の一例 (ケース 22 ; 防潮堤位置-80.0cm) 【波高, 流速, フルード数】

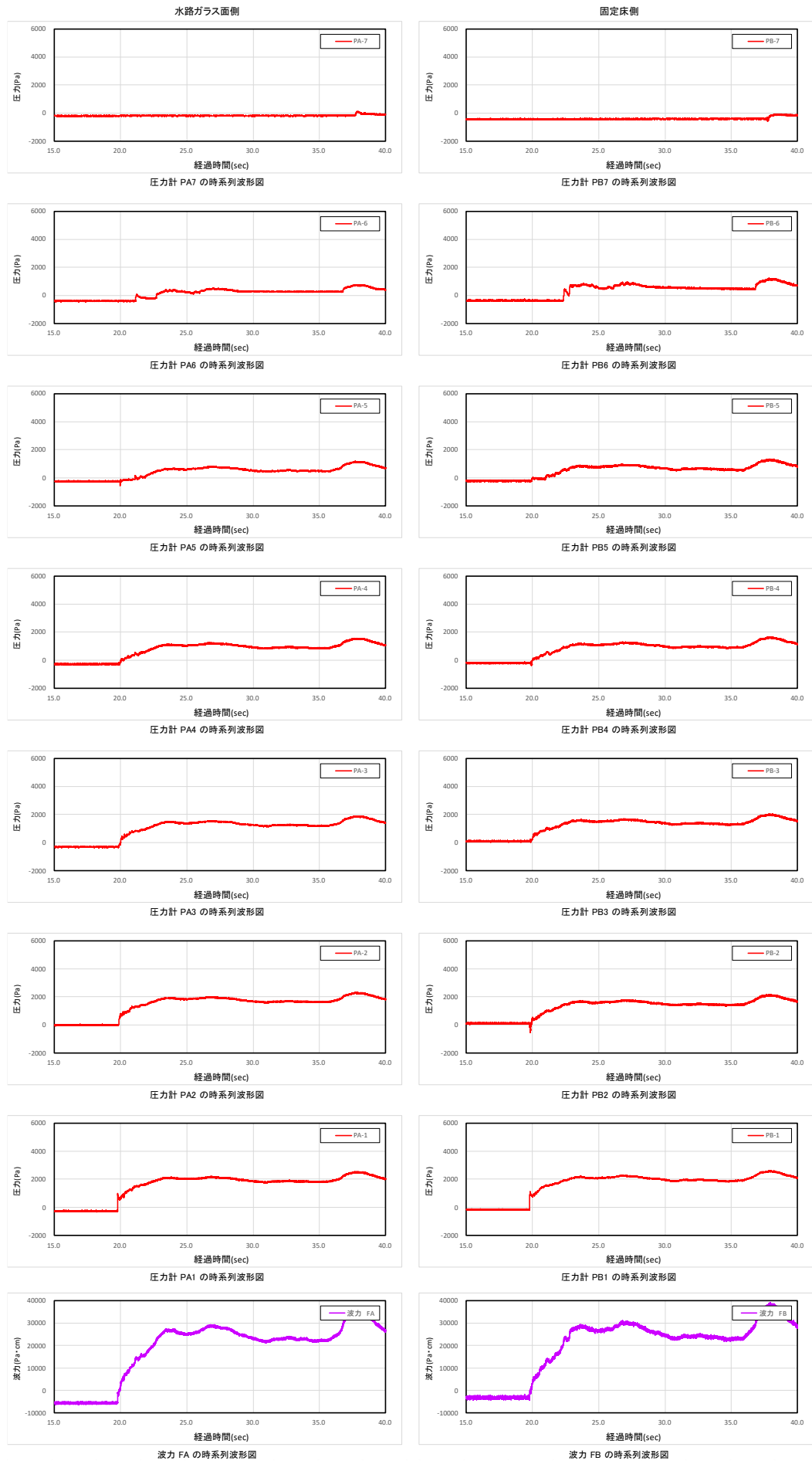


図 3-1-9 長周期波実験波形の一例 (ケース 17) 【防潮堤作用波圧】

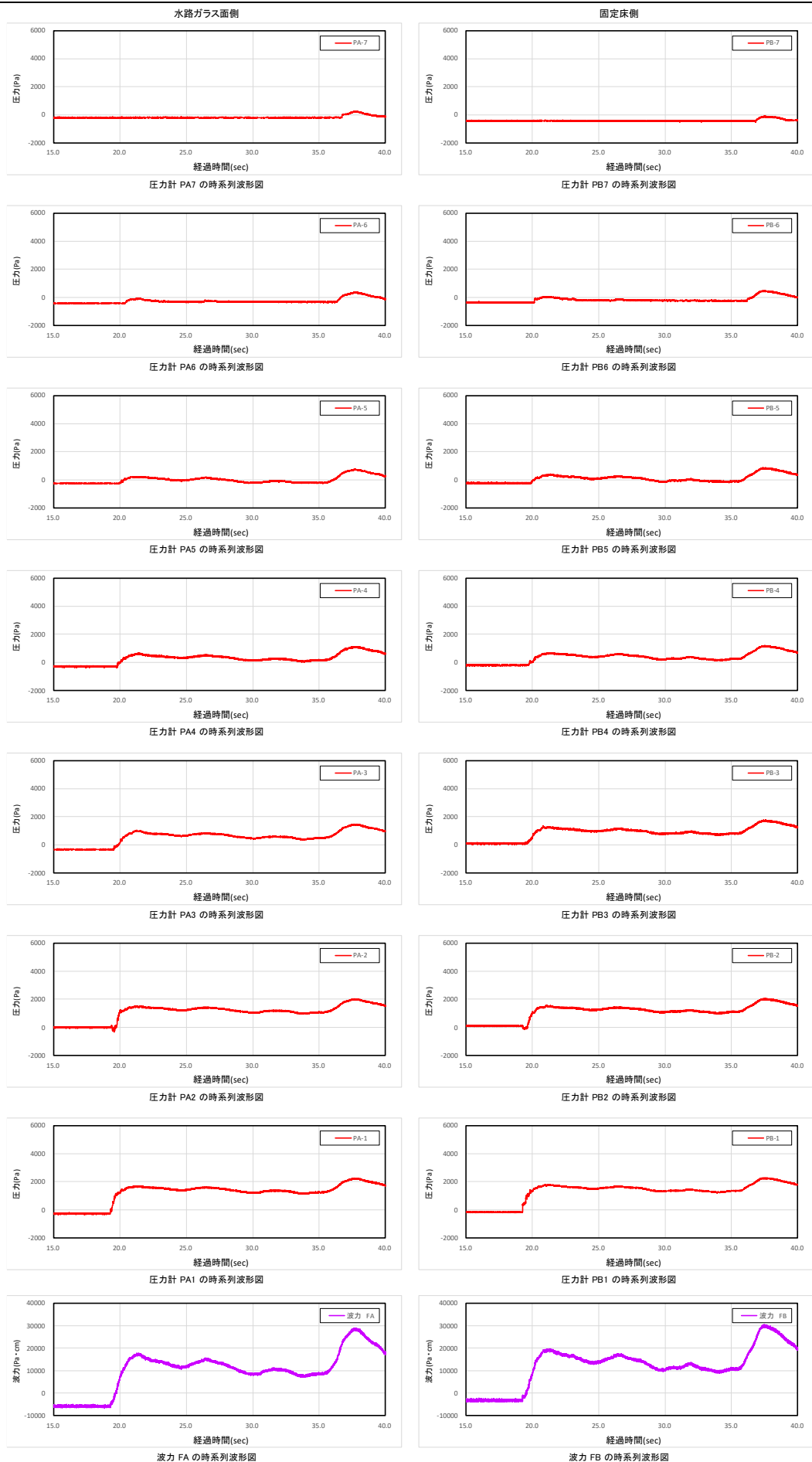


図 3-1-10 長周期波実験波形の一例（ケース 22）【防潮堤作用波圧】


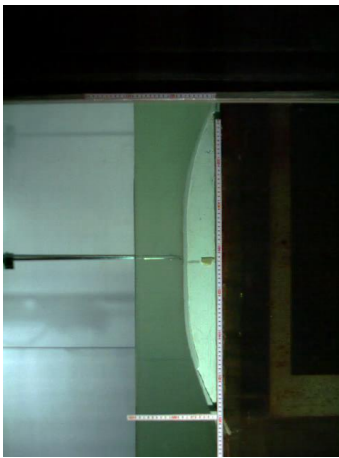

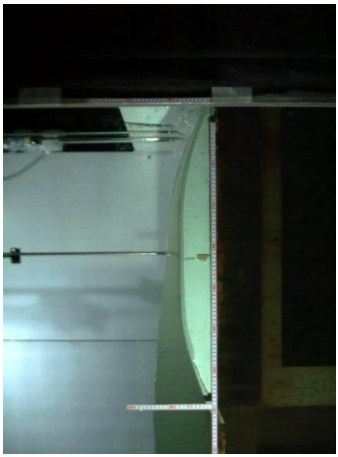
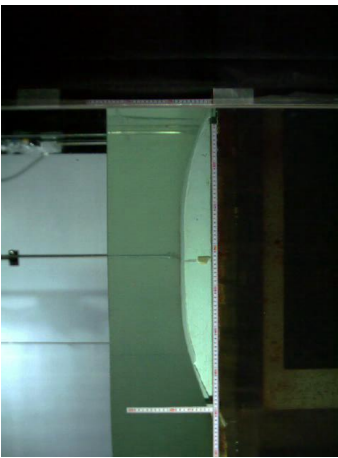
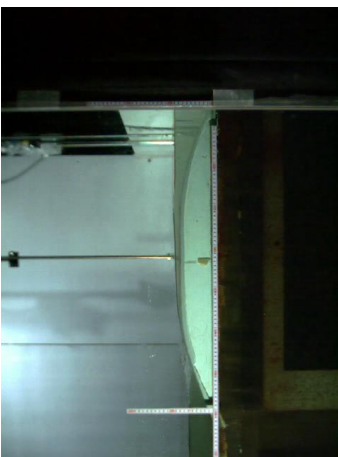
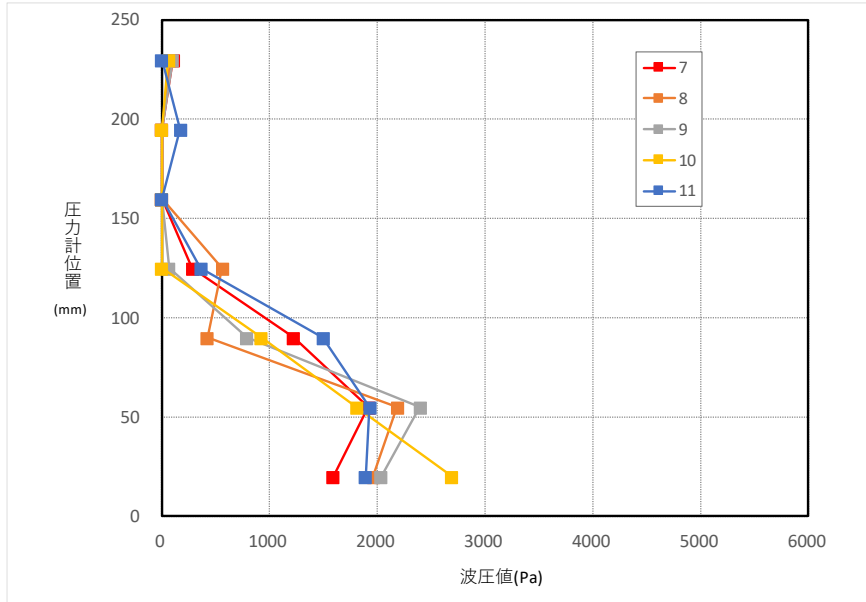
	津波到達時	最大水深時	津波通過後
Case17 長周期波 防潮堤位置 砂丘形状 H=12.5cm -137.5cm 丸み形状 (固定床)			
Case22 長周期波 防潮堤位置 砂丘形状 H=12.5cm -80.0cm 丸み形状 (固定床)			

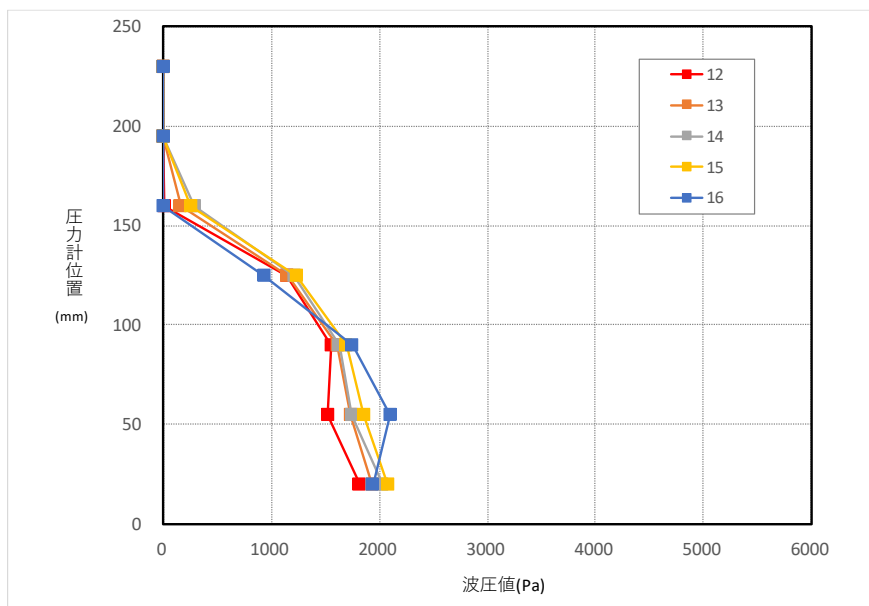
写真 3-1-2 実験時流況の一例（長周期波）

衝撃段波力最大値作用時 (孤立波, -137.5cm)										
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit	(Pa)							(N/cm)	(sec)
7	PA	101.85	0.00	0.00	281.51	1223.99	1917.76	1588.25	1.812	11.658
8	PA	76.15	0.00	0.00	562.67	420.28	2186.47	1962.28	1.858	11.455
9	PA	100.84	0.00	0.00	63.04	786.12	2393.60	2032.97	1.915	11.481
10	PA	59.81	0.00	0.00	0.00	922.79	1806.96	2692.56	1.976	11.472
11	PA	0.00	0.00	0.00	426.79	1402.27	1982.17	1775.39	2.000	11.630
	PA 平均値	67.73	0.00	0.00	266.80	951.09	2,057.39	2,010.29	1.912	11.539



衝撃段波最大時 (ケース 7~11 ; 防潮堤位置-137.5cm)

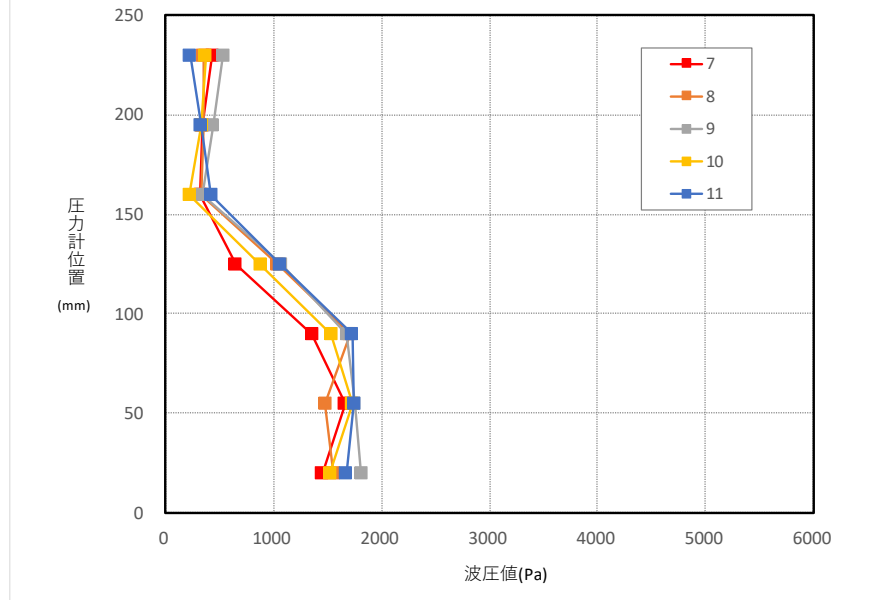
衝撃段波力最大値作用時 (孤立波, -80.0cm)										
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit	(Pa)							(N/cm)	(sec)
12	PA	0.00	0.00	7.65	1145.32	1554.00	1520.76	1818.51	2.162	11.483
13	PA	0.00	0.00	160.20	1149.13	1612.78	1735.17	1931.37	2.354	11.436
14	PA	0.00	0.00	285.65	1213.20	1625.59	1744.36	2026.90	2.464	11.408
15	PA	0.00	0.00	254.98	1230.44	1693.06	1856.42	2078.75	2.542	11.390
16	PA	0.00	0.00	0.00	934.61	1752.43	2101.52	1938.29	2.403	11.424
	PA 平均値	0.00	0.00	141.69	1,134.54	1,647.57	1,791.65	1,958.76	2.385	11.428



衝撃段波最大時 (ケース 12~16 ; 防潮堤位置-80.0cm)

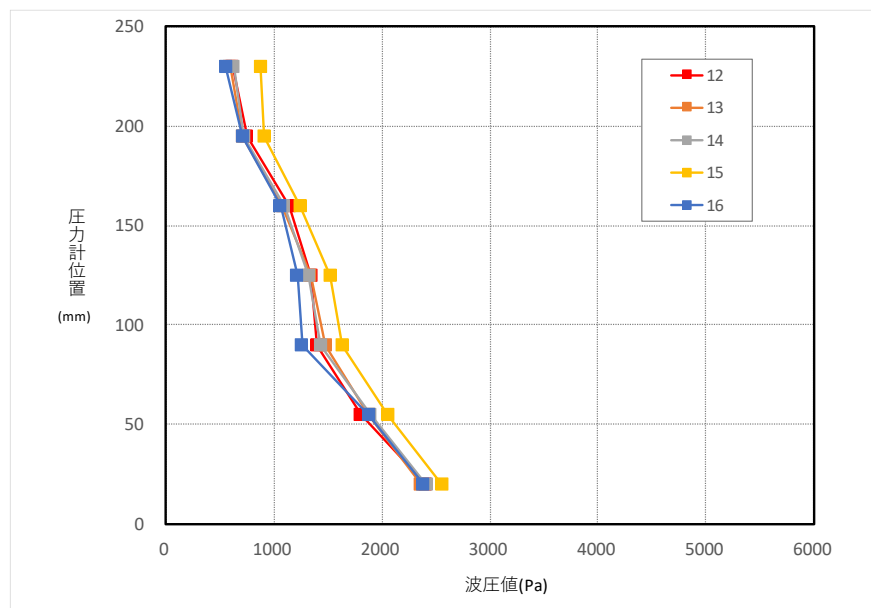
図 3-1-11 孤立波実験波形 (ケース 7~16) 【防潮堤作用波圧分布】(1)

持続波力最大値(1)作用時(孤立波, -137.5cm)										
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit									
7	PA	430.46	340.15	321.30	651.43	1354.93	1660.54	1449.69	2.134	11.864
8	PA	346.69	346.49	331.97	1039.37	1708.67	1476.67	1554.43	2.360	11.859
9	PA	533.04	439.16	340.61	1074.13	1679.36	1753.23	1811.35	2.623	11.842
10	PA	373.06	334.07	219.16	875.86	1535.61	1729.44	1523.32	2.279	11.850
11	PA	224.28	327.75	419.05	1063.17	1729.47	1744.56	1672.01	2.516	11.826
	PA 平均値	381.51	357.52	326.42	940.79	1,601.61	1,672.89	1,602.16	2.382	11.848



持続波最大時 1 (ケース 7~11 ; 防潮堤位置-137.5cm)

持続波力最大値(1)作用時(孤立波, -80.0cm)										
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit									
12	PA	616.56	751.12	1141.46	1343.56	1399.55	1807.88	2407.07	3.266	11.769
13	PA	593.94	711.32	1079.86	1338.92	1477.03	1877.97	2361.01	3.259	11.711
14	PA	626.77	723.31	1094.63	1322.23	1431.66	1894.22	2411.24	3.277	11.725
15	PA	875.74	911.16	1242.09	1522.71	1635.02	2054.42	2559.41	3.691	11.693
16	PA	552.40	709.70	1062.91	1219.21	1263.67	1880.35	2384.46	3.138	11.791
	PA 平均値	653.08	761.32	1,124.19	1,349.33	1,441.39	1,902.97	2,424.64	3.326	11.738

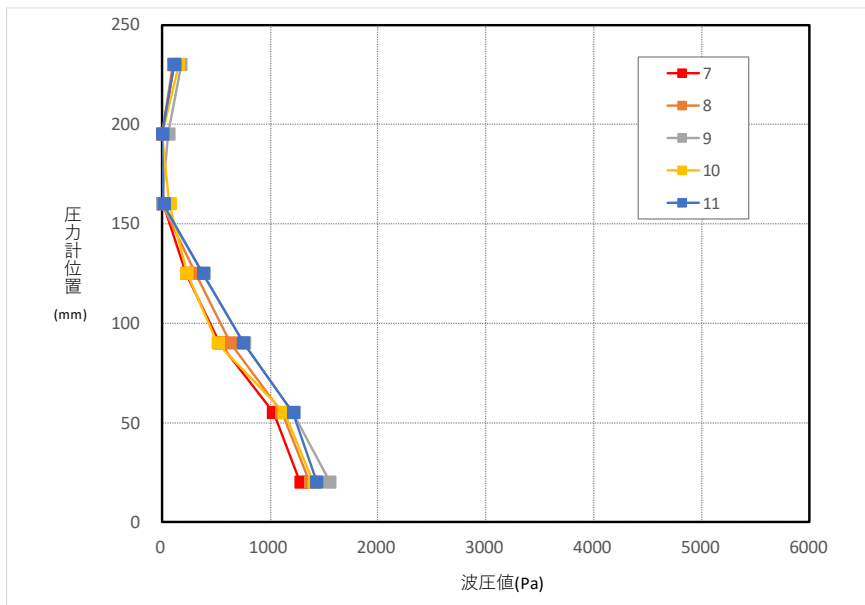


持続波最大時 1 (ケース 12~16 ; 防潮堤位置-80.0cm)

図 3-1-12 孤立波実験波形 (ケース 7~16) 【防潮堤作用波圧分布】(2)

持続波力最大値(2)作用時(孤立波, -137.5cm)

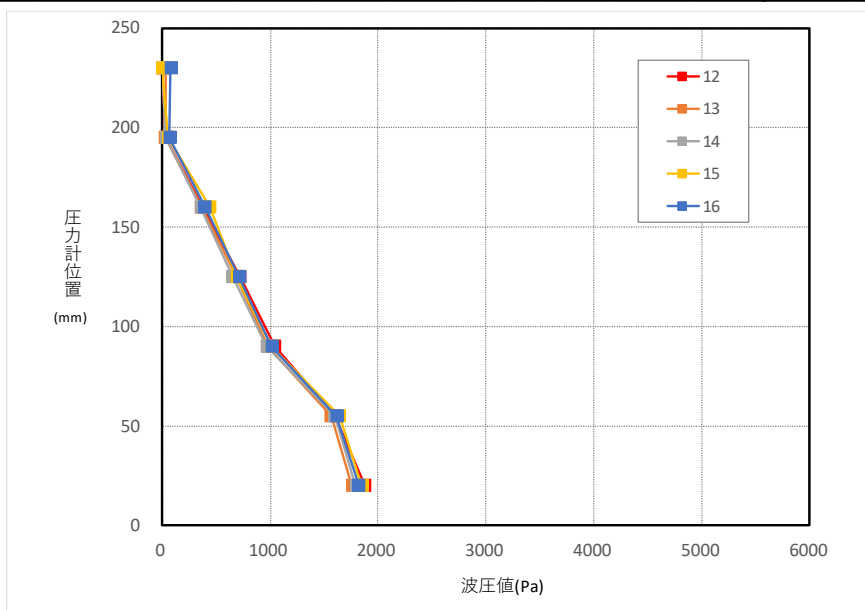
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit	(Pa)								
7	PA	108.85	0.00	7.60	224.79	534.25	1030.89	1280.98	1.129	13.636
8	PA	101.42	0.00	0.00	308.54	630.63	1107.69	1367.81	1.247	12.502
9	PA	170.82	54.97	0.00	380.78	759.53	1213.02	1555.80	1.456	12.560
10	PA	153.49	0.00	68.01	230.90	511.80	1131.33	1401.23	1.232	12.659
12	PA	114.68	0.00	13.25	379.46	754.73	1215.00	1433.39	1.384	12.500
	PA 平均値	129.85	10.99	17.77	304.89	638.19	1,139.59	1,407.84	1.290	12.771



持続波最大時 2 (ケース 7~11 ; 防潮堤位置-137.5cm)

持続波力最大値(2)作用時(孤立波, -80.0cm)

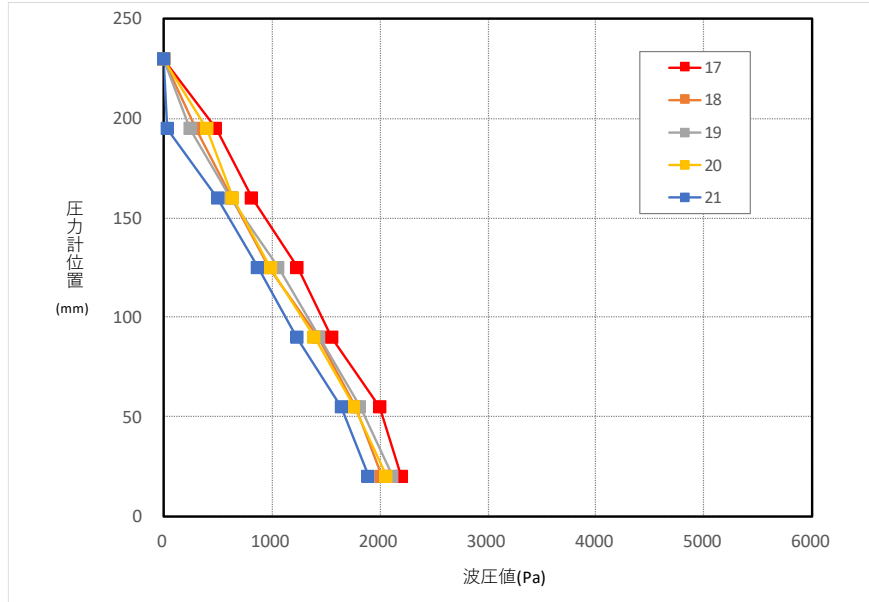
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit	(Pa)								
12	PA	0.00	33.91	379.29	721.37	1040.09	1601.53	1876.39	2.025	12.410
13	PA	27.09	30.86	361.44	688.24	974.21	1561.61	1759.49	1.930	12.420
14	PA	0.00	36.43	355.98	652.73	969.14	1594.79	1790.82	1.935	12.390
15	PA	0.00	56.20	441.86	691.24	1014.90	1639.69	1848.02	2.038	12.383
16	PA	78.24	68.31	397.42	712.27	1014.64	1612.98	1819.09	2.028	12.436
	PA 平均値	21.07	45.14	387.20	693.17	1,002.60	1,602.12	1,818.76	1.991	12.408



持続波最大時 2 (ケース 12~16 ; 防潮堤位置-80.0cm)

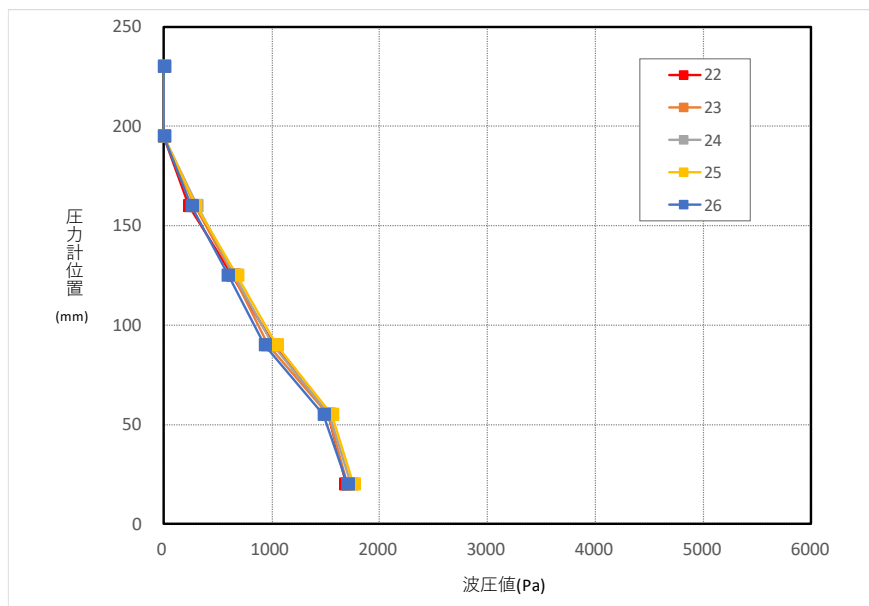
図 3-1-13 孤立波実験波形 (ケース 7~16) 【防潮堤作用波圧分布】(4)

持続波力最大値作用時 (長周期波, -137.5cm)										
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit	(Pa)								
17	PA	0.00	482.07	818.32	1240.39	1557.85	1999.75	2198.40	2.959	26.786
18	PA	0.00	291.03	631.11	978.05	1433.07	1780.78	2016.70	2.546	23.792
19	PA	0.00	243.32	619.48	1058.31	1438.95	1818.78	2116.57	2.606	27.012
20	PA	0.00	398.30	638.61	990.87	1395.28	1759.26	2059.71	2.586	23.165
21	PA	0.00	33.45	499.44	870.64	1232.34	1643.39	1895.82	2.209	27.600
	PA 平均値	0.00	289.64	641.39	1,027.65	1,411.50	1,800.39	2,057.44	2.581	25.671



持続波最大時 (ケース 17~21 ; 防潮堤位置-137.5cm)

持続波力最大値作用時 (長周期波, -80.0cm)										
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit	(Pa)								
22	PA	0.00	0.00	233.45	635.54	1016.37	1520.99	1688.77	1.826	21.257
23	PA	0.00	0.00	287.85	646.39	963.27	1526.73	1704.10	1.838	27.600
24	PA	0.00	0.00	307.97	657.50	1015.62	1535.24	1736.66	1.882	21.471
25	PA	0.00	0.00	295.86	677.21	1048.78	1559.93	1757.04	1.913	20.965
26	PA	0.00	0.00	257.87	597.37	936.12	1481.27	1702.33	1.784	21.113
	PA 平均値	0.00	0.00	276.60	642.80	996.03	1,524.83	1,717.78	1.848	22.481



持続波最大時 (ケース 22~26 ; 防潮堤位置-80.0cm)

図 3-1-14 長周期波実験波形 (ケース 17~26) 【防潮堤作用波圧分布】



表 3-1-2 波力一覽表 (孤立波)

実験ケース	実験条件				測定位置	段波領域の最大波力値		持続波領域の最大波力値(1)		持続波領域の最大波力値(2)		防潮堤前面の水位最大値		備考
	波浪条件	防潮堤位置	砂丘	試行		波力 (N/cm)	発生時間(s)	波力 (N/cm)	発生時間(s)	波力 (N/cm)	発生時間(s)	水位 (cm)	発生時間(s)	
Case 7	孤立波: H=12.5cm	-137.5cm	丸み断面	1回目	1.812	11.658	2.134	11.864	1.129	13.636	39.85	11.707		
Case 8	"	"	"	2回目	2.117	11.707	2.579	11.873	1.337	13.306	39.27	11.709		
Case 9	"	"	"	3回目	1.858	11.455	2.360	11.859	1.247	12.502	42.29	11.670		
Case 10	"	"	"	4回目	1.985	11.570	2.728	11.835	1.665	12.596	39.09	11.584		
Case 11	"	"	"	5回目	1.915	11.481	2.623	11.842	1.456	12.560	44.96	11.578		
				平均	2.196	11.603	3.076	11.843	1.726	12.605	42.19	11.635		
					1.976	11.472	2.279	11.850	1.232	12.659	41.81	11.584		
					1.903	11.689	2.670	11.853	1.637	12.634	37.35	11.689		
					2.000	11.630	2.516	11.826	1.384	12.500	41.77	11.636		
					2.091	11.625	2.663	11.829	1.577	12.668	38.12	11.652		
				平均	1.912	11.539	2.382	11.848	1.290	12.771	42.14	11.635		
					2.058	11.639	2.743	11.847	1.589	12.762	39.20	11.654		
Case 12	孤立波: H=12.5cm	-80.0cm	丸み断面	1回目	2.162	11.483	3.266	11.769	2.025	12.410	44.25	11.505		
Case 13	"	"	"	2回目	2.405	11.514	3.343	11.785	2.238	12.410	44.24	11.515		
Case 14	"	"	"	3回目	2.354	11.436	3.259	11.711	1.930	12.420	44.68	11.454		
Case 15	"	"	"	4回目	2.478	11.471	3.577	11.737	2.161	12.291	43.58	11.471		
Case 16	"	"	"	5回目	2.464	11.408	3.277	11.725	1.935	12.390	41.14	11.560		
				平均	2.620	11.404	3.649	11.704	2.234	12.358	43.19	11.453		
					2.542	11.390	3.691	11.693	2.038	12.383	42.08	11.527		
					2.703	11.390	3.695	11.689	2.366	12.291	44.74	11.435		
					2.403	11.424	3.138	11.791	2.028	12.436	42.41	11.435		
					2.395	11.528	3.170	11.738	2.175	12.230	45.13	11.539		
				平均	2.385	11.428	3.326	11.738	1.991	12.408	42.91	11.496		
					2.520	11.461	3.487	11.731	2.235	12.316	44.18	11.483		

固定床

表 3-1-3 波力一覽表 (長周期波)

実験ケース	実験条件				測定位置	最大波力値		備考
	波浪条件	防潮堤位置	砂丘	試行		波力 (N/cm)	発生時間(s)	
Case 17	長周期波：H=12.5cm	-137.5cm	丸み断面	1回目	A	2.959	26.786	
Case 18	"	"	"	2回目	B	3.179	26.775	
Case 19	"	"	"	3回目	A	2.546	23.792	
Case 20	"	"	"	4回目	B	2.887	23.362	
Case 21	"	"	"	5回目	A	2.606	27.012	
				平均	B	2.916	27.180	
Case 22	長周期波：H=12.5cm	-80.0cm	丸み断面	1回目	A	2.586	23.165	
Case 23	"	"	"	2回目	B	2.927	23.093	
Case 24	"	"	"	3回目	A	2.209	27.600	
Case 25	"	"	"	4回目	B	2.502	27.649	
Case 26	"	"	"	5回目	A	2.581	25.671	
				平均	B	2.882	25.612	
				1回目	A	1.826	21.257	
				2回目	B	2.044	21.355	
				3回目	A	1.838	27.600	
				4回目	B	2.050	21.126	
				5回目	A	1.882	21.471	
				平均	B	2.034	21.161	
					A	1.913	20.965	
					B	2.054	20.866	
					A	1.784	21.113	
					B	2.013	21.463	
					A	1.848	22.481	
					B	2.039	21.194	

固定床

## 3-2 移動床実験

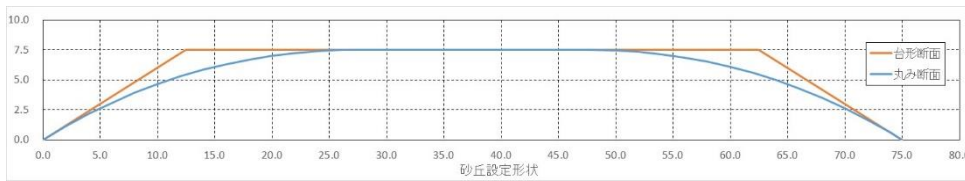
### 3-2-1 実験の概要

移動床実験で行った実験ケースを表 3-2-1 に示す。実験条件は、波浪 2 種類（孤立波，長周期波），防潮堤位置 2 種類（汀線-80cm，-137.5cm），砂丘形状 1 種類，使用移動床材料 2 種類（平均粒径 0.20mm，0.11mm）で各条件について 5 回試行する（粒径 0.11mm は長周期波，防潮堤位置-137.5cm の条件のみ）。また防潮堤がない条件についても孤立波，長周期波それぞれ 3 回試行する（合計 31 ケース）。

表 3-2-1 移動床実験ケース一覧

実験ケース	実験条件					備考	
	波浪条件	防潮堤位置	砂丘	珪砂粒径	試行		
移動床 (防潮堤なし)	Case 1	孤立波：H=12.5cm	-	丸み断面	$d_m=0.20\text{mm}$	1回目	
	Case 2	〃	-	〃	〃	2回目	
	Case 3	〃	-	〃	〃	3回目	
	Case 4	長周期波：H=12.5cm	-	丸み断面	$d_m=0.20\text{mm}$	1回目	
	Case 5	〃	-	〃	〃	2回目	
	Case 6	〃	-	〃	〃	3回目	
移動床	Case 27	孤立波：H=12.5cm	-137.5cm	丸み断面	$d_m=0.20\text{mm}$	1回目	
	Case 28	〃	〃	〃	〃	2回目	
	Case 29	〃	〃	〃	〃	3回目	
	Case 30	〃	〃	〃	〃	4回目	
	Case 31	〃	〃	〃	〃	5回目	
	Case 32	孤立波：H=12.5cm	-80.0cm	丸み断面	$d_m=0.20\text{mm}$	1回目	
	Case 33	〃	〃	〃	〃	2回目	
	Case 34	〃	〃	〃	〃	3回目	
	Case 35	〃	〃	〃	〃	4回目	
	Case 36	〃	〃	〃	〃	5回目	
	Case 37	長周期波：H=12.5cm	-137.5cm	丸み断面	$d_m=0.11\text{mm}$	1回目	
	Case 38	〃	〃	〃	〃	2回目	
	Case 39	〃	〃	〃	〃	3回目	
	Case 40	〃	〃	〃	〃	4回目	
	Case 41	〃	〃	〃	〃	5回目	
	Case 42	長周期波：H=12.5cm	-137.5cm	丸み断面	$d_m=0.20\text{mm}$	1回目	
	Case 43	〃	〃	〃	〃	2回目	
	Case 44	〃	〃	〃	〃	3回目	
	Case 45	〃	〃	〃	〃	4回目	
	Case 46	〃	〃	〃	〃	5回目	
Case 47	長周期波：H=12.5cm	-80.0cm	丸み断面	$d_m=0.20\text{mm}$	1回目		
Case 48	〃	〃	〃	〃	2回目		
Case 49	〃	〃	〃	〃	3回目		
Case 50	〃	〃	〃	〃	4回目	※V8流速計が土砂で埋没	
Case 51	〃	〃	〃	〃	5回目		

移動床実験で再現した砂丘形状（丸み断面）を以下に示す。



【砂丘の縦断形状】

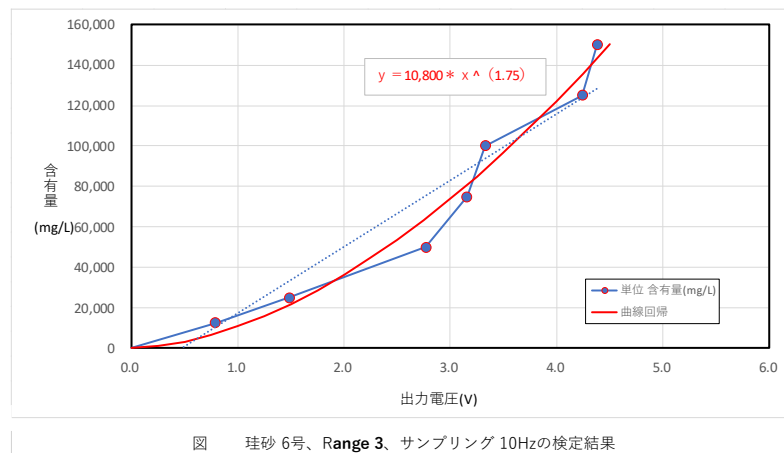
半径	r(cm)	52.63
中心座標1	x(cm)	27.077
	y(cm)	-45.134
中心座標2	x(cm)	47.923
	y(cm)	-45.134

丸み断面	
X(cm)	Y(cm)
0.0	0.00
2.0	1.14
4.0	2.17
6.0	3.09
8.0	3.92
10.0	4.65
12.0	5.29
14.0	5.85
16.0	6.32
18.0	6.71
20.0	7.02
22.0	7.25
24.0	7.41
26.0	7.48
27.077	7.50
47.923	7.50
50.0	7.46
52.0	7.34
54.0	7.14
56.0	6.87
58.0	6.52
60.0	6.09
62.0	5.58
64.0	4.98
66.0	4.29
68.0	3.52
70.0	2.64
72.0	1.67
74.0	0.58
75.0	0.00

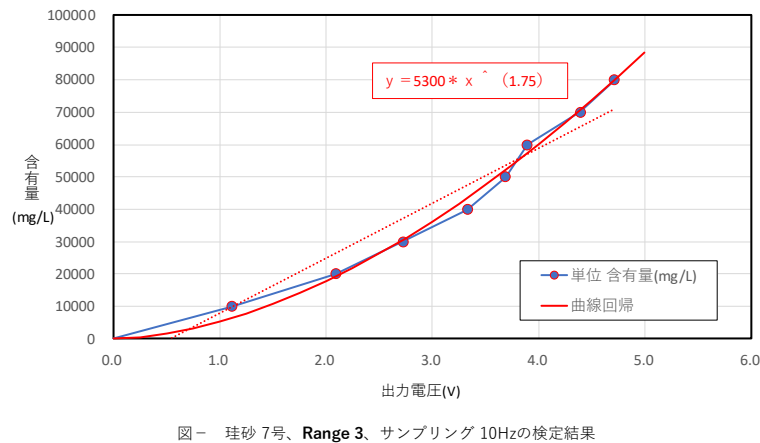
なお移動床実験を実施するにあたり、濁度計測のための予備実験（キャリブレーション）を行った結果と、実験結果の整理に用いた各諸元の算定方法を以下に示す。

(1) 濁度計の計測値の処理

- ・カオリン材料による土砂濃度（＝濁度）でキャリブレーションを行うのではなく、今回用いる砂丘材料（6号・7号珪砂）を用いて直接（電圧～土砂濃度）の特性について予備実験によりキャリブレーション設定を行った。なお、密度時系列を土砂濃度時系列と読み替え、最大密度を最大土砂濃度と読み替えた。結果を図 3-2-1 に示す。



(6号珪砂)

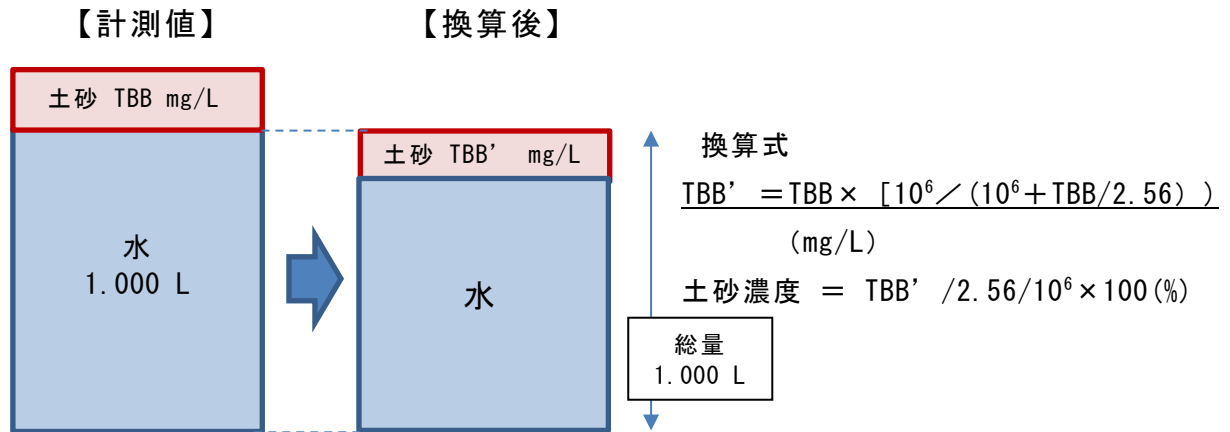


(7号珪砂)

図 3-2-1 濁度計・キャリブレーション設定結果の一例

## (2) 土砂濃度換算式

図 3-2-1 に示した実験は、水 1L に対する混入土砂の割合で設定しているため、総量が 1L の条件に換算し直して土砂濃度を整理した。以下に換算式を示す。



## (3) 摩擦速度・シールズ数の算定方法

- ・ 摩擦速度  $u^*$  → Manning 則による算定式

$$u/u^* = (h^{1/3}/gn^2)^{1/2}$$

$$u^* = g^{1/2}n \cdot u/h^{1/6}$$

- ・ Manning の粗度係数  $n$  → Manning - Strickler 式

$$n = ks^{1/6} / (7.66 \cdot g^{1/2})$$

(粗度高さ  $ks = d$  ; 粒径)

- ・ シールズ数  $\tau^*$

$$\tau^* = u^{*2} / sgd \quad (s ; \text{土粒子の水中比重} = 1.56)$$

- ・ 限界摩擦速度  $u_{*c}$  → 岩垣の式

$$2.14 \leq R^* \leq 54.2 \quad ; \quad \tau_{*c} = 0.195 R^{*-7/16}$$

$$R^* = (sgd^3)^{1/2} / \nu \quad (\nu : \text{動粘性係数} = 0.01 \text{cm}^2/\text{s})$$

d(cm)	$R^*$	$\tau_{*c}$	$u_{*c}(\text{cm/s})$
0.020	11.06	0.068	1.443
0.011	4.51	0.101	1.302

## (4) その他

砂丘形状計測時の通水最大時の判断基準は、記録した高速ビデオ画像から、砂丘の洗掘開始後に砂の移動が止まった時(戻り流れが発生する直前)とした。

---

## 3-2-2 実験結果

移動床実験に関する結果を下記の通り示す。

### (1)時系列波形データ

図 3-2-2 時系列波形の一例（防潮堤なし；孤立波，長周期波）

【波高，流速，フルード数】

図 3-2-3 長周期波実験・時系列波形比較の一例（固定床と移動床）

【波高，流速，フルード数】

図 3-2-4 長周期波実験・時系列波形比較の一例（固定床と移動床）

【波高，流速，フルード数】

図 3-2-5 時系列波形比較の一例（固定床と移動床）

【防潮堤作用波圧】

写真 3-2-1～3.2.3 実験時流況の一例

### (2)防潮堤作用波圧分布

図 3-2-6 孤立波実験波形比較【防潮堤作用波圧分布】

図 3-2-7 長周期波実験波形比較【防潮堤作用波圧分布】

図 3-2-8 実験波形比較（5 ケースの平均値）【防潮堤作用波圧分布】

表 3-2-2 波力一覧表（孤立波 case27～36）

表 3-2-3 波力一覧表（長周期波 case37～51）

### (3)土砂濃度

図 3-2-9 砂丘背面土砂濃度時系列波形

図 3-2-10 時系列波形の一例（孤立波 case 32, 37, 長周期波 case 47）

【摩擦速度，シールズ数】

### (4)砂丘形状

図 3-2-11 砂丘形状図（代表ケース）

表 3-2-4 砂丘形状（洗掘量）一覧

図 3-2-12 砂丘形状図（全データ）

写真 3-2-1 ～3-2-7 砂丘状況の一例

表 3-2-5 砂丘の空隙率，含水率

---

前頁に示した移動床実験の結果について、その特徴を以下に示す。

(波高・流速)

- ・固定床と移動床の比較をした場合、孤立波で防潮堤位置が-137.5cm の条件で砂丘岸側の測点での若干の波高減衰、流速低下がみられるが、その他の条件では明確な波高減衰、流速低下は見られない（変化はほとんどない）。

(防潮堤の作用波圧分布・作用波力)

- ・固定床と移動床の比較をした場合、孤立波の衝撃段波最大時による波力にはほぼ差がないが、持続波最大時による波力は移動床>固定床となる傾向がある。また長周期波では最大波力が移動床<固定床となる傾向がある。
- ・固定床と移動床の波圧分布の比較をした場合、孤立波の持続波最大時2及び長周期波ではその分布形に差はほとんどないが、孤立波の衝撃段波最大時および持続波最大時1には分布形に差が生じている。
- ・固定床と移動床の波力、波圧分布に差を生じる主要因は、砂丘の洗掘に伴うエネルギー損失等によって生じる減少傾向と、洗掘された土砂が水中に混入することにより水の単位堆積重量が増すことによる増加傾向とのバランスによって生じていると推察される。

(砂丘形状)

- ・砂丘の洗掘量は、防潮堤なしの条件で砂丘総堆積の10~50%程度であるのに対し、防潮堤を設置した条件では5%以下となる。特に長周期波でその傾向は顕著となる。
- ・防潮堤位置-137.5cm の条件での砂丘の洗掘量は、孤立波<長周期波となる。これは、洗掘されやすい条件となる流れ場の継続時間が長いことによると推察される。このことは防潮堤なしの条件でも如実に表れている。
- ・粒径による洗掘量の差はほとんどない。

(土砂濃度)

- ・孤立波で防潮堤位置が-137.5cm の場合、土砂濃度の最大値が2山目に来る。それ以外の条件ではいずれも初期のピーク値が最大となる。
- ・防潮堤を設置した条件では、各ケースの土砂濃度の最大値は概ね前述の砂丘洗掘量に比例し、長周期波で防潮堤位置が-137.5cm の条件が最も大きい（ただし  $d_m=0.11\text{mm}$  の条件を除く）。

$d_m=0.11\text{mm}$  の条件での土砂濃度が他のケースに比べて低い理由は、濁度計センサーが底面付近に設置していることによると推察される。つまり、掃流成分の多い  $d_m=0.20\text{mm}$  は底面付近の濃度が高いため大きな値が計測され、浮遊成分の多い  $d_m=0.11\text{mm}$  は水中に拡散されている土砂の割合が高いため、底面付近の濃度の値が相対的に小さくなったと考えられる。



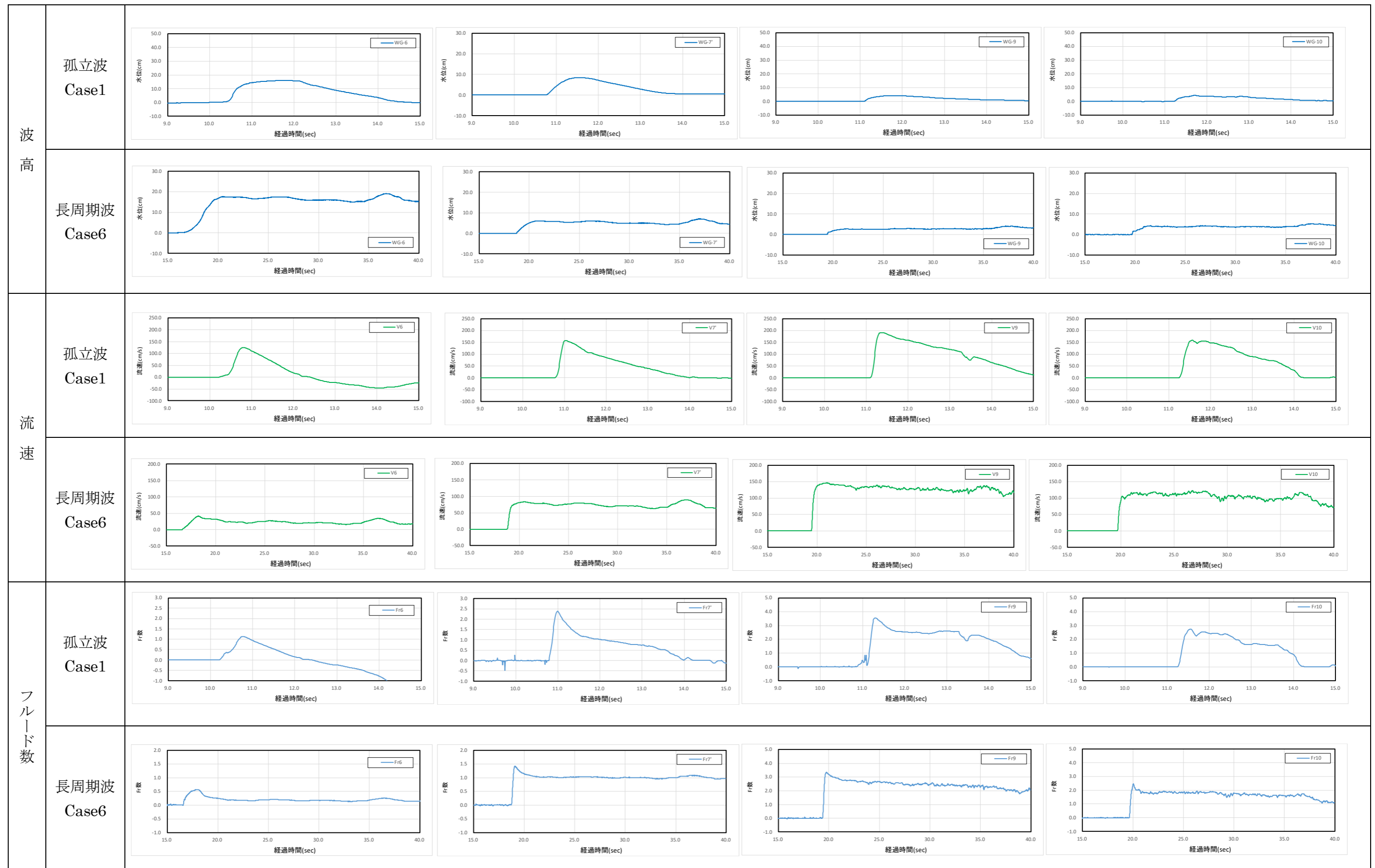


図 3-2-2 時系列波形比較の一例（ケース 1, 6 ; 防潮堤なし）【波高, 流速, フルード数】

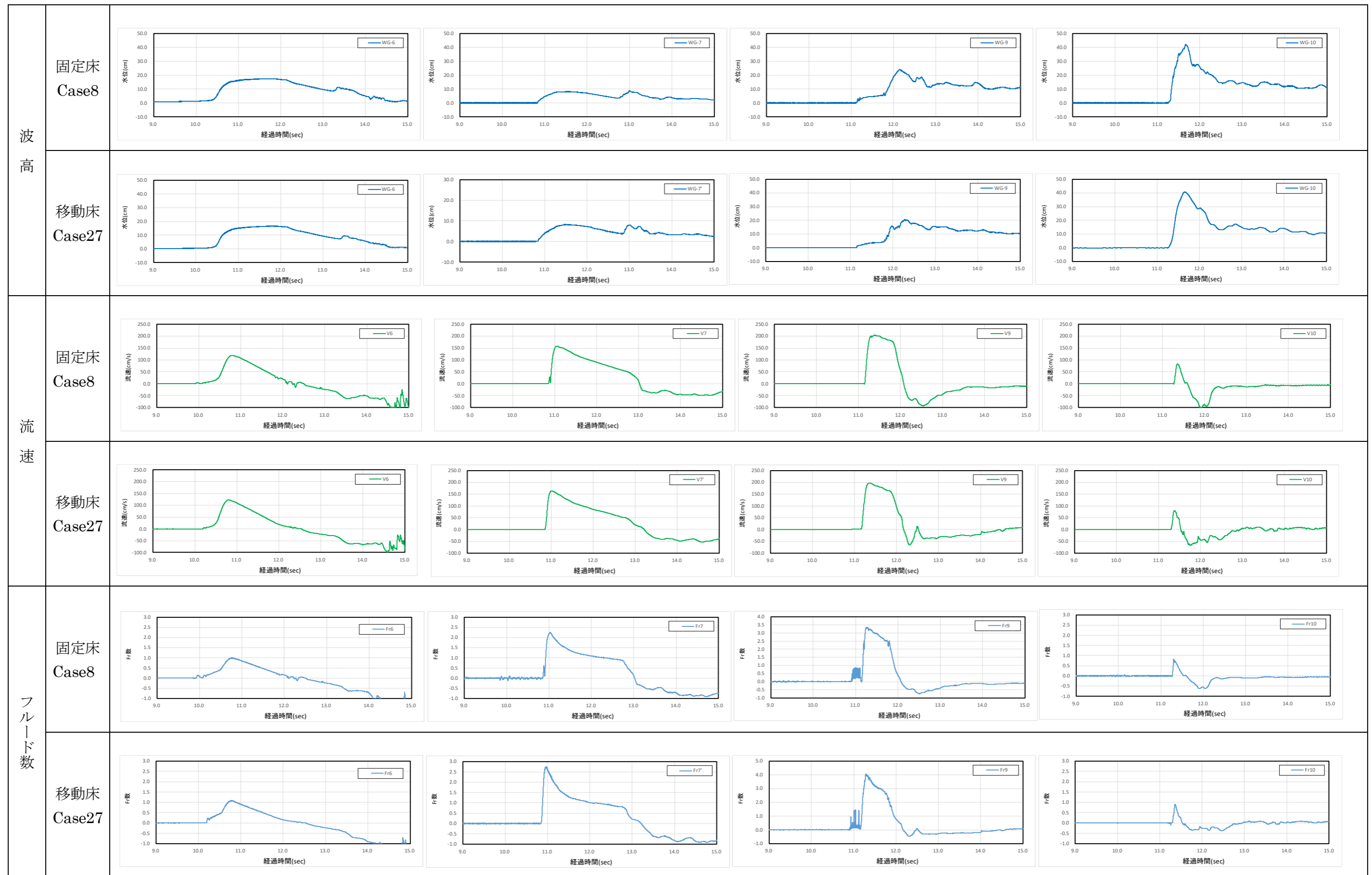


図 3-2-3 (1) 孤立波実験・時系列波形比較の一例 (ケース 8, 27 ; 防潮堤位置-137.5cm) 【波高, 流速, フルード数】

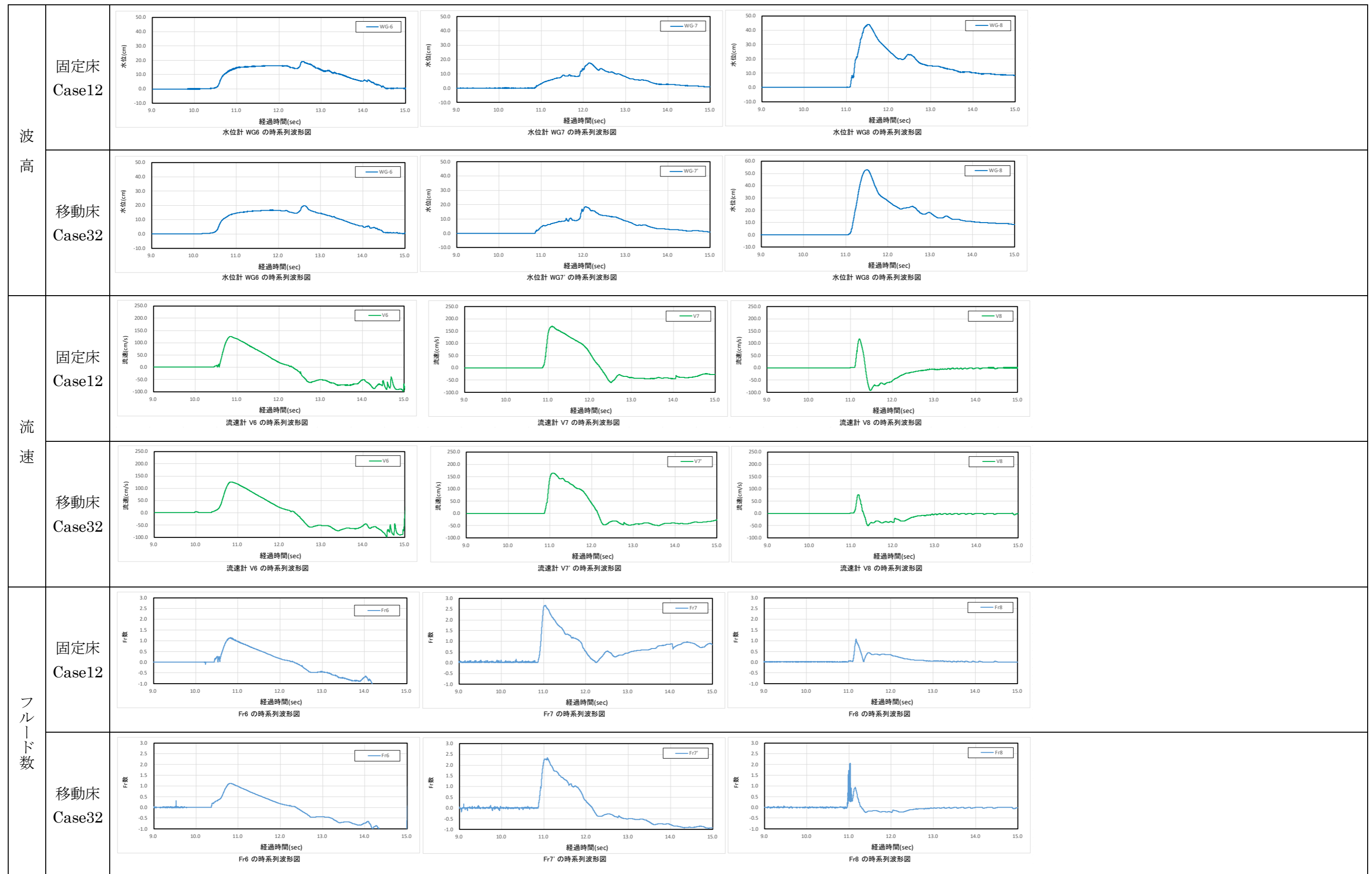


図 3-2-3 (2) 孤立波実験・時系列波形比較の一例 (ケース 12, 32 ; 防潮堤位置-80.0cm) 【波高, 流速, フルード数】

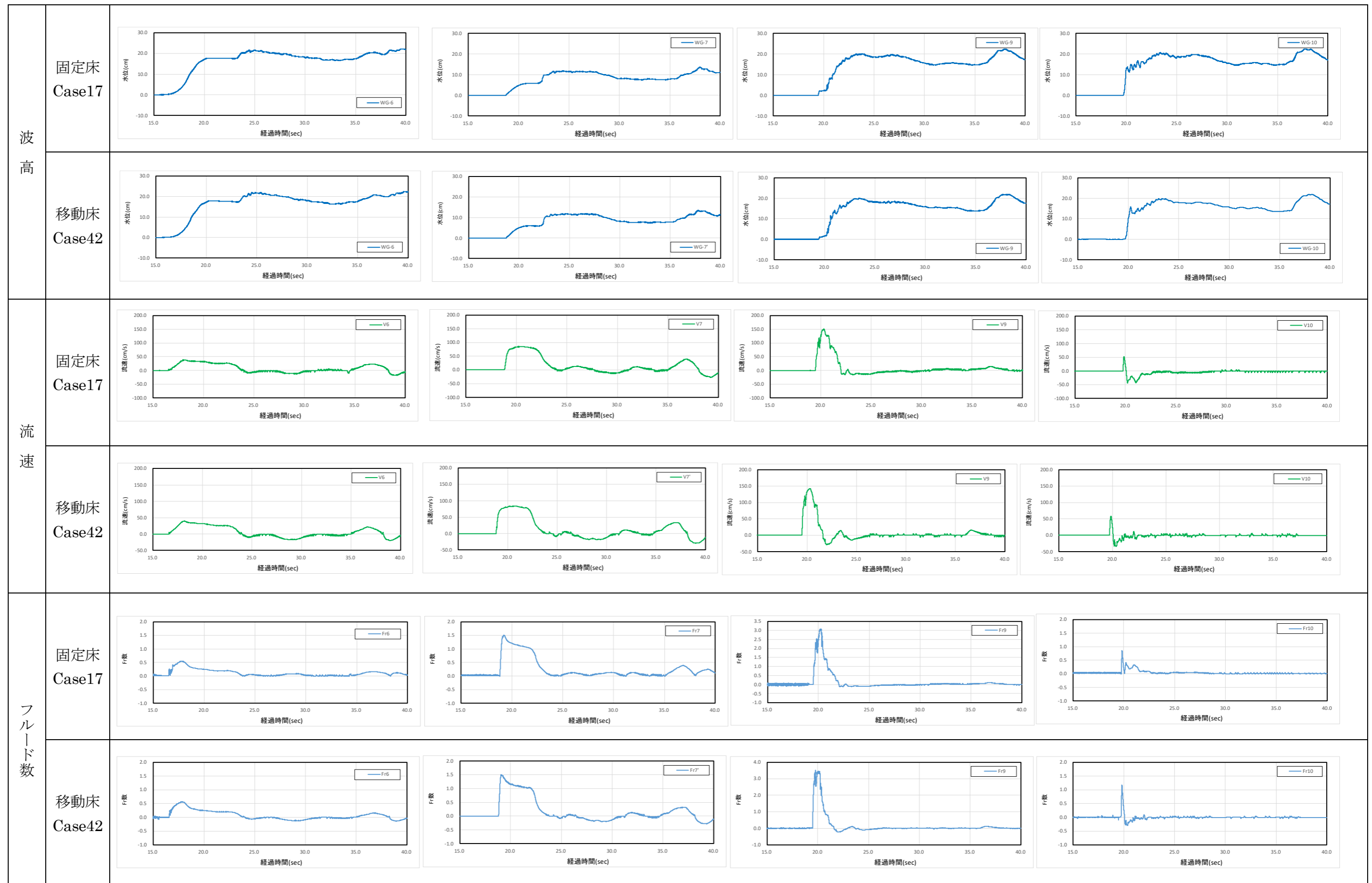


図 3-2-4 (1) 長周期波実験・時系列波形比較の一例 (ケース 17, 42 ; 防潮堤位置-137.5cm) 【波高, 流速, フルード数】

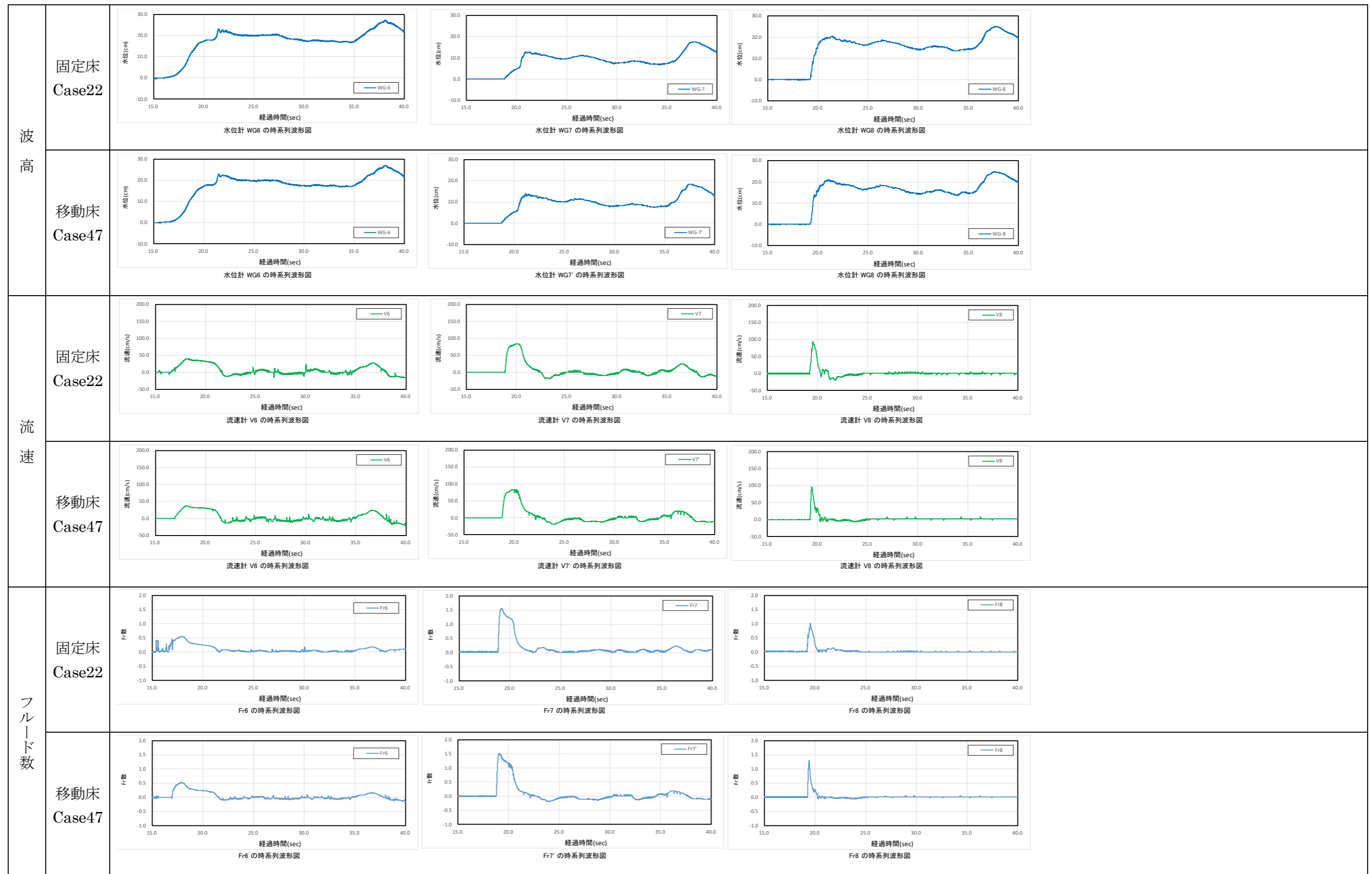
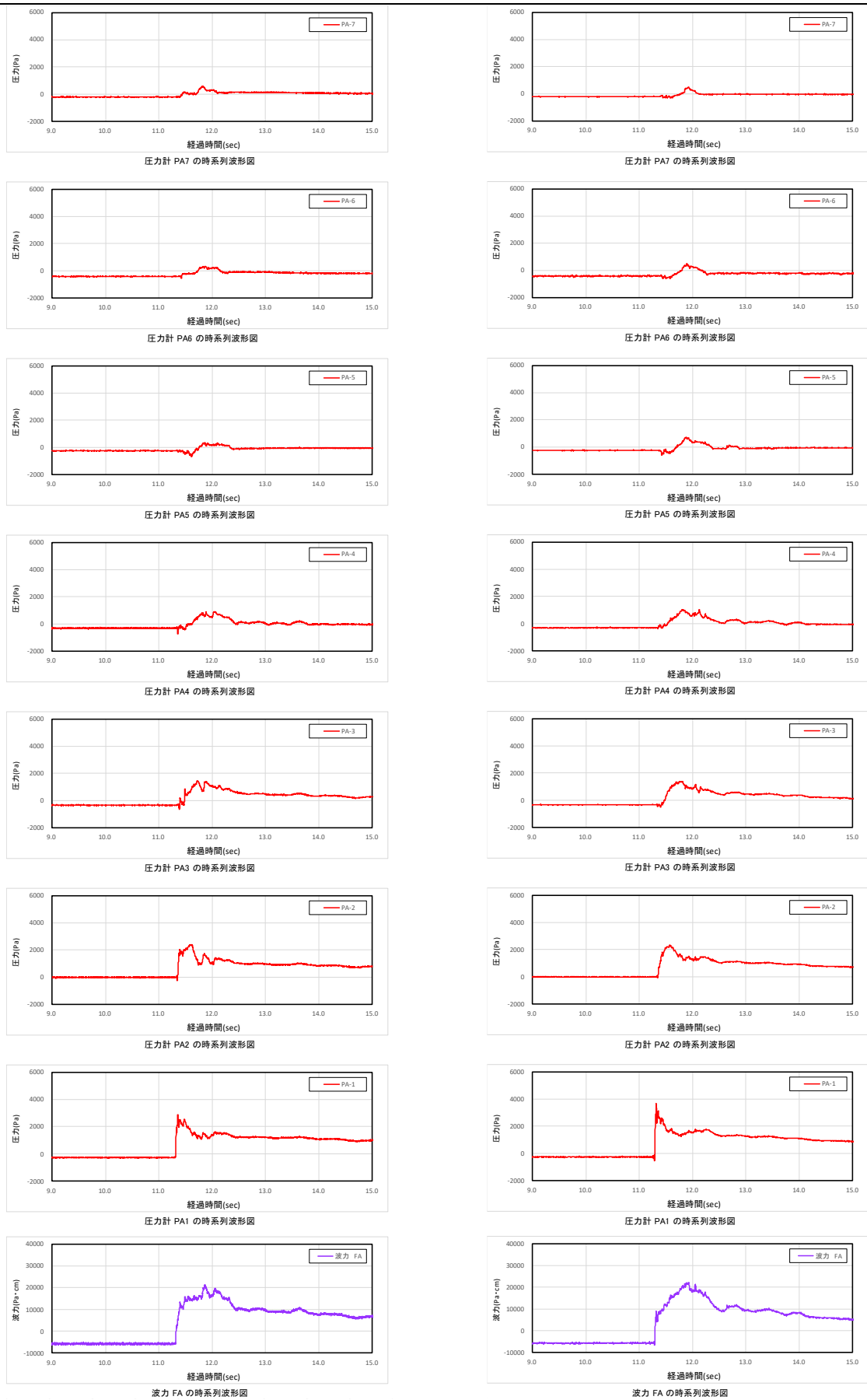


図 3-2-4 (2) 長周期波実験・時系列波形比較の一例 (ケース 22, 47; 防潮堤位置-80.0cm) 【波高, 流速, フルード数】

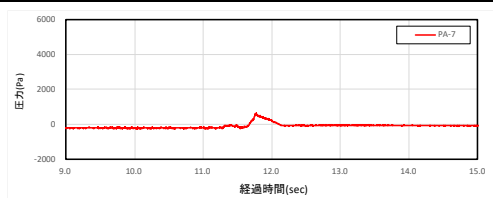


ケース 7 (孤立波, 固定床)

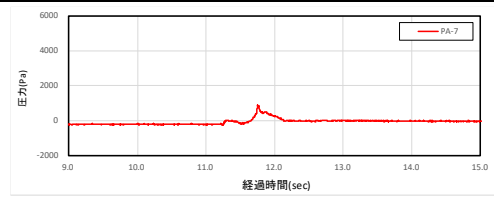
ケース 31 (孤立波, 移動床)

図 3-2-5 (1) 時系列波形比較の一例 (孤立波, 防潮堤位置-137.5cm)

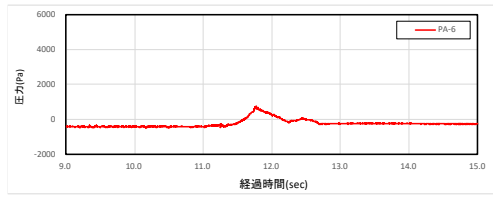
【防潮堤作用波圧】



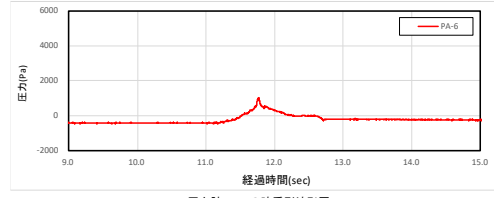
圧力計 PA7 の時系列波形図



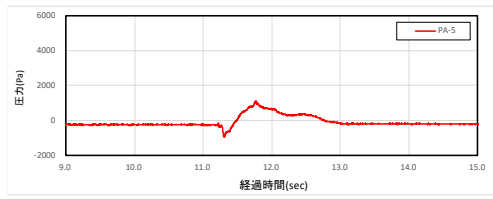
圧力計 PA7 の時系列波形図



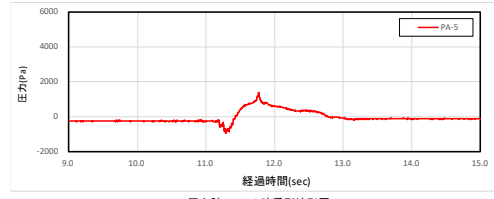
圧力計 PA6 の時系列波形図



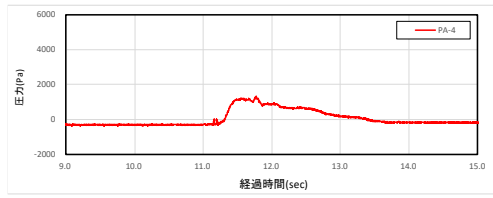
圧力計 PA6 の時系列波形図



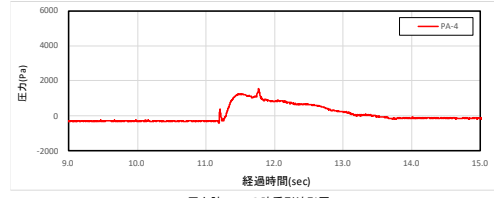
圧力計 PA5 の時系列波形図



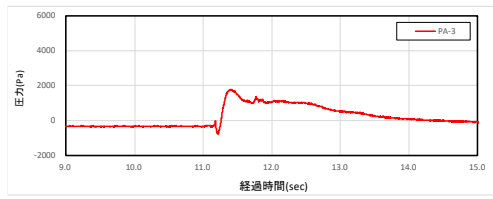
圧力計 PA5 の時系列波形図



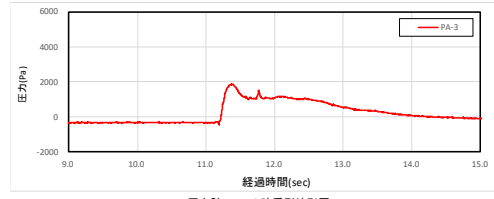
圧力計 PA4 の時系列波形図



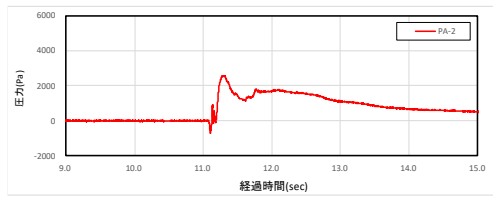
圧力計 PA4 の時系列波形図



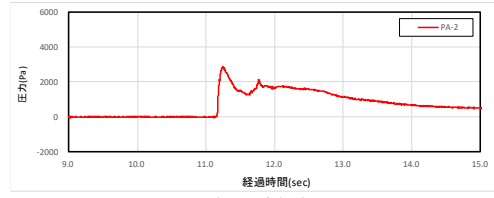
圧力計 PA3 の時系列波形図



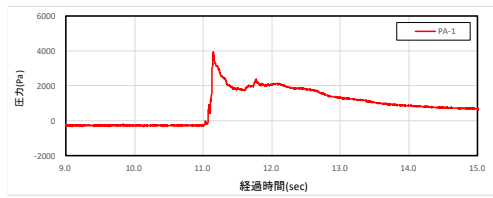
圧力計 PA3 の時系列波形図



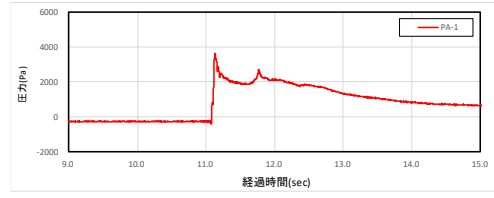
圧力計 PA2 の時系列波形図



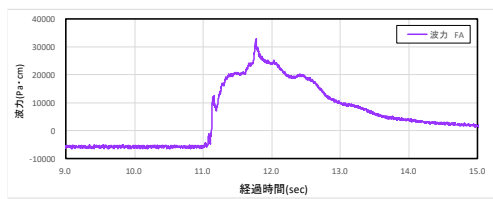
圧力計 PA2 の時系列波形図



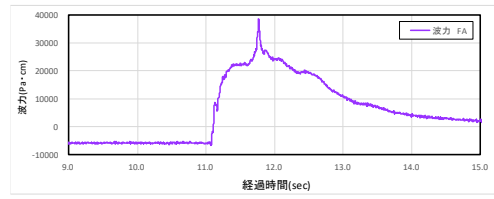
圧力計 PA1 の時系列波形図



圧力計 PA1 の時系列波形図



波力 FA の時系列波形図



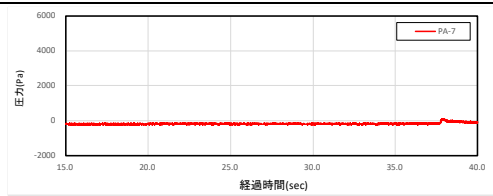
波力 FA の時系列波形図

ケース 12 (孤立波, 固定床)

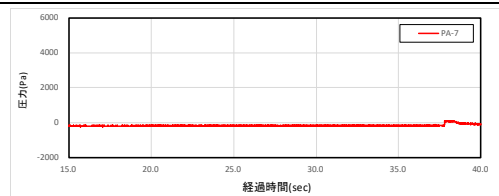
ケース 32 (孤立波, 移動床)

図 3-2-5 (2) 時系列波形比較の一例 (孤立波, 防潮堤位置-80.0cm)

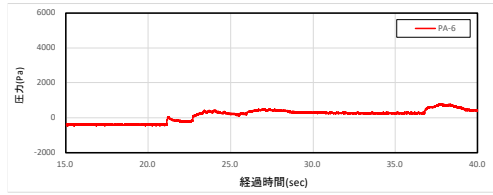
【防潮堤作用波圧】



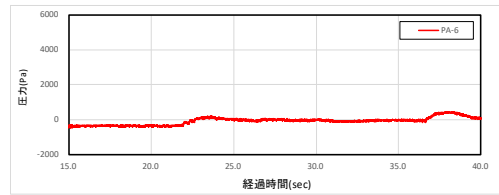
圧力計 PA7 の時系列波形図



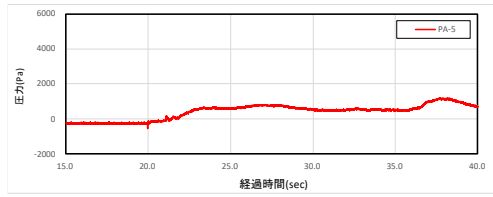
圧力計 PA7 の時系列波形図



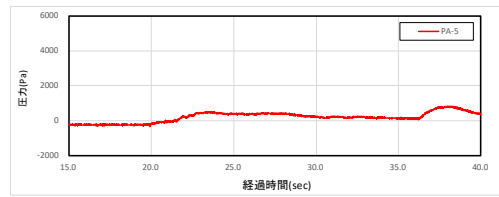
圧力計 PA6 の時系列波形図



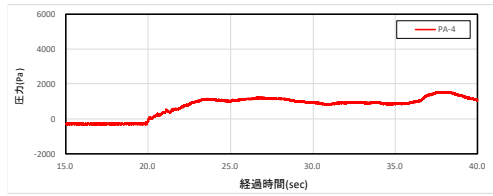
圧力計 PA6 の時系列波形図



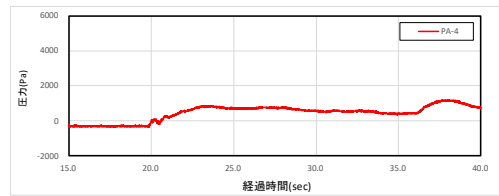
圧力計 PA5 の時系列波形図



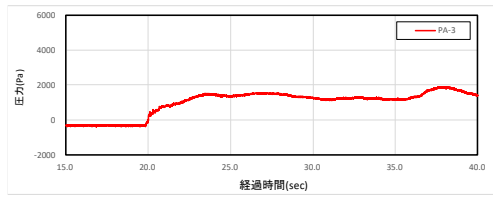
圧力計 PA5 の時系列波形図



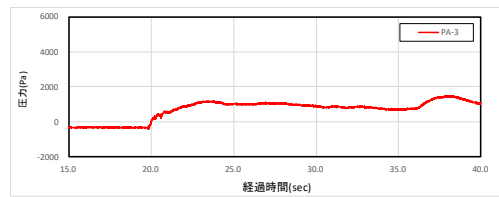
圧力計 PA4 の時系列波形図



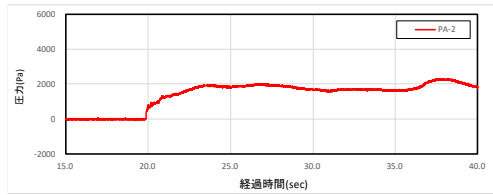
圧力計 PA4 の時系列波形図



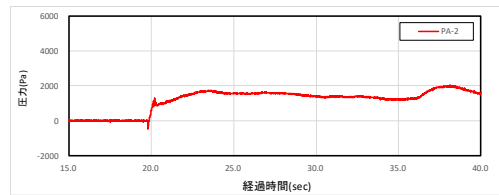
圧力計 PA3 の時系列波形図



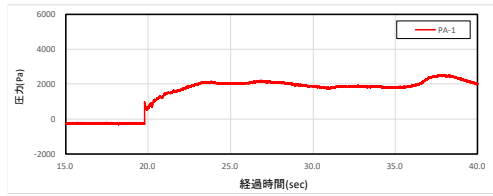
圧力計 PA3 の時系列波形図



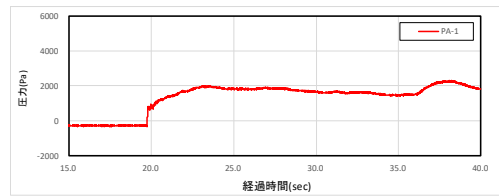
圧力計 PA2 の時系列波形図



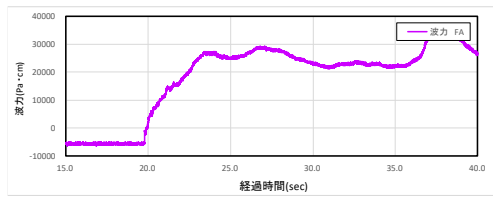
圧力計 PA2 の時系列波形図



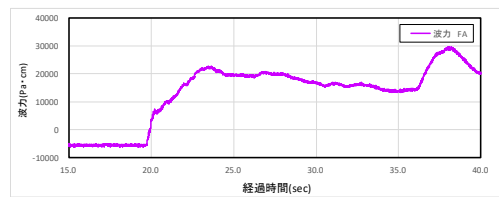
圧力計 PA1 の時系列波形図



圧力計 PA1 の時系列波形図



波力 FA の時系列波形図



波力 FA の時系列波形図

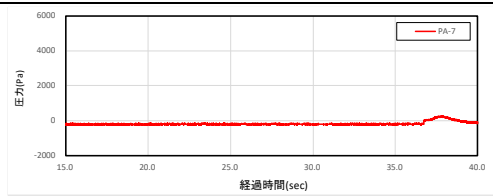
ケース 17 (長周期波, 固定床)

ケース 42 (長周期波, 移動床)

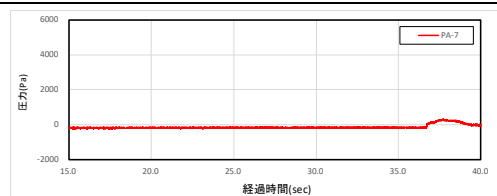
図 3-2-5 (3) 時系列波形比較の一例 (長周期波, 防潮堤位置-137.5cm)

【防潮堤作用波圧】

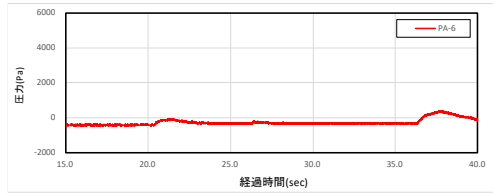




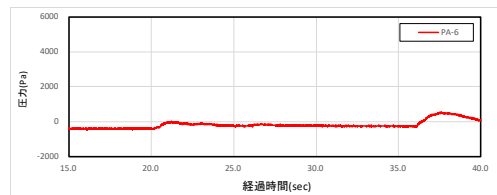
圧力計 PA7 の時系列波形図



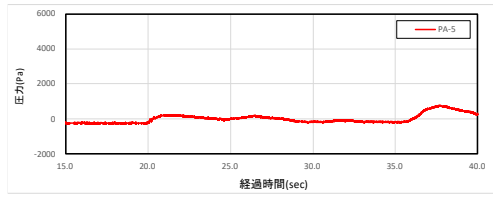
圧力計 PA7 の時系列波形図



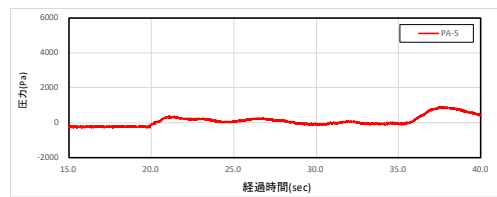
圧力計 PA6 の時系列波形図



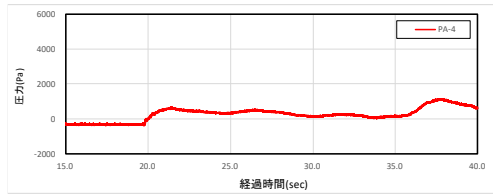
圧力計 PA6 の時系列波形図



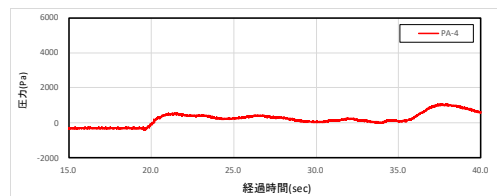
圧力計 PA5 の時系列波形図



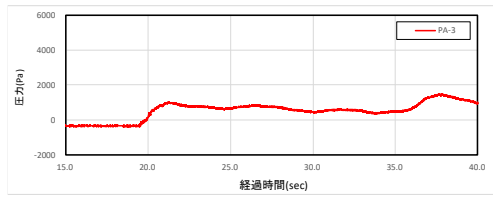
圧力計 PA5 の時系列波形図



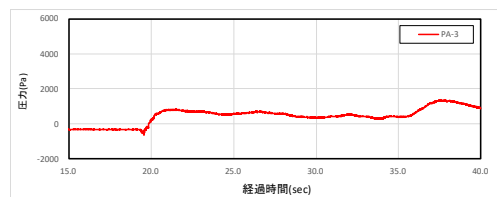
圧力計 PA4 の時系列波形図



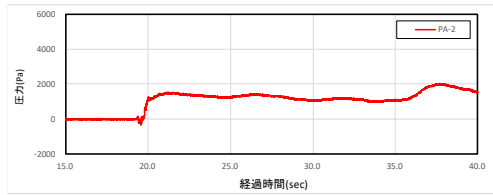
圧力計 PA4 の時系列波形図



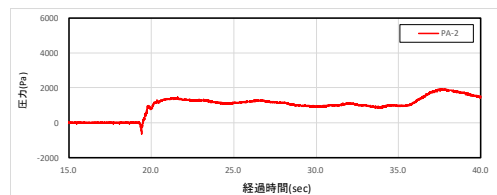
圧力計 PA3 の時系列波形図



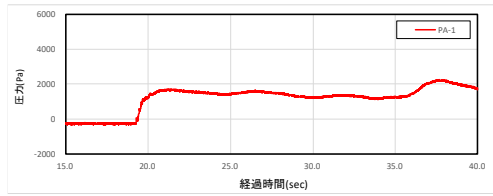
圧力計 PA3 の時系列波形図



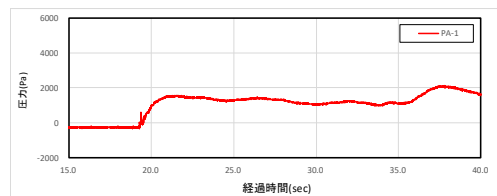
圧力計 PA2 の時系列波形図



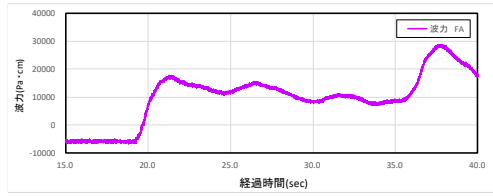
圧力計 PA2 の時系列波形図



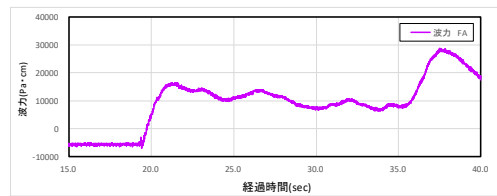
圧力計 PA1 の時系列波形図



圧力計 PA1 の時系列波形図



波力 FA の時系列波形図



波力 FA の時系列波形図

ケース 22 (長周期波, 固定床)

ケース 47 (長周期波, 移動床)

図 3-2-5 (4) 時系列波形比較の一例 (長周期波, 防潮堤位置-80.0cm)

【防潮堤作用波圧】




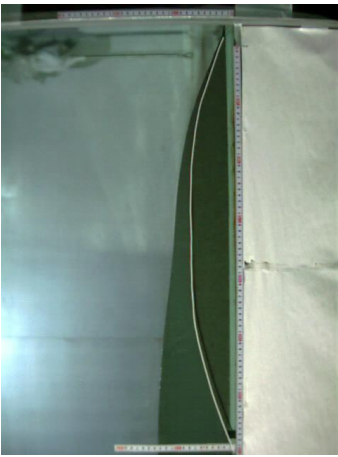


	津波到達時	最大水深時	津波通過後
Case1 孤立波 防潮堤位置なし 砂丘形状 珪砂粒径 H=12.5cm 丸み形状 dm=0.20mm			
Case4 長周期波 防潮堤位置なし 砂丘形状 珪砂粒径 H=12.5cm 丸み形状 dm=0.20mm			

写真 3-2-1 実験時流況の一例（防潮堤なし）




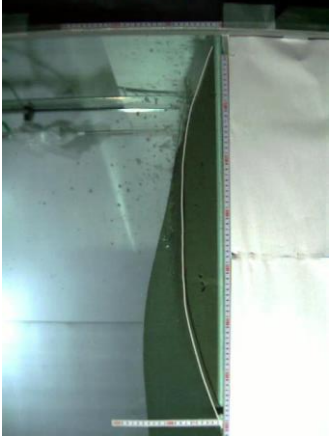
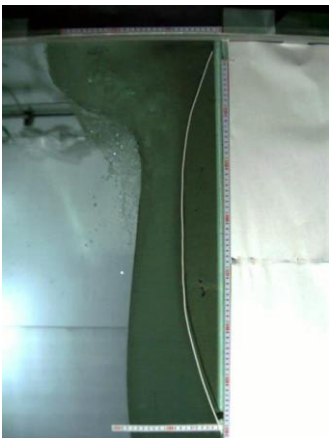
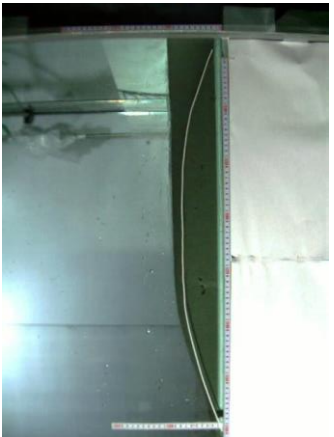
	津波到達時	最大水深時	津波通過後
Case27	<p>孤立波 H=12.5cm 防潮堤位置 -137.5cm 砂丘形状 丸み形状 珪砂粒径 dm=0.20mm</p> 		
Case32	<p>孤立波 H=12.5cm 防潮堤位置 -80.0cm 砂丘形状 丸み形状 珪砂粒径 dm=0.20mm</p> 		

写真 3-2-2 実験時流況の一例（孤立波）

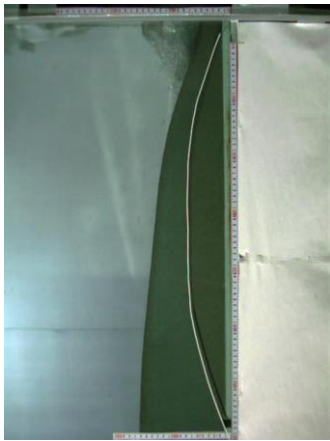
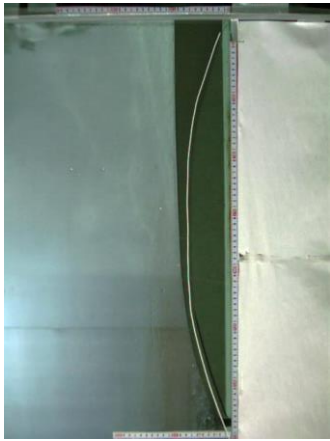




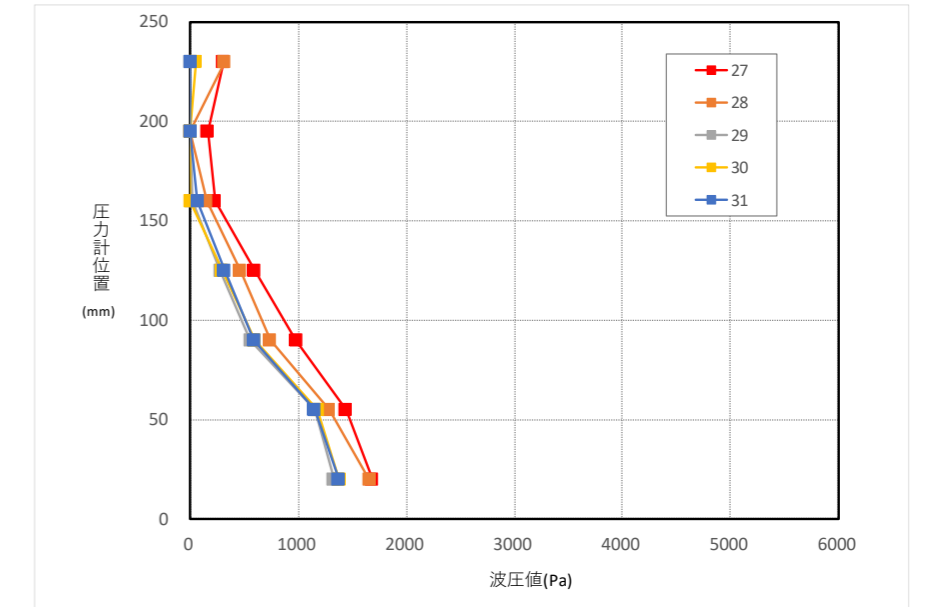
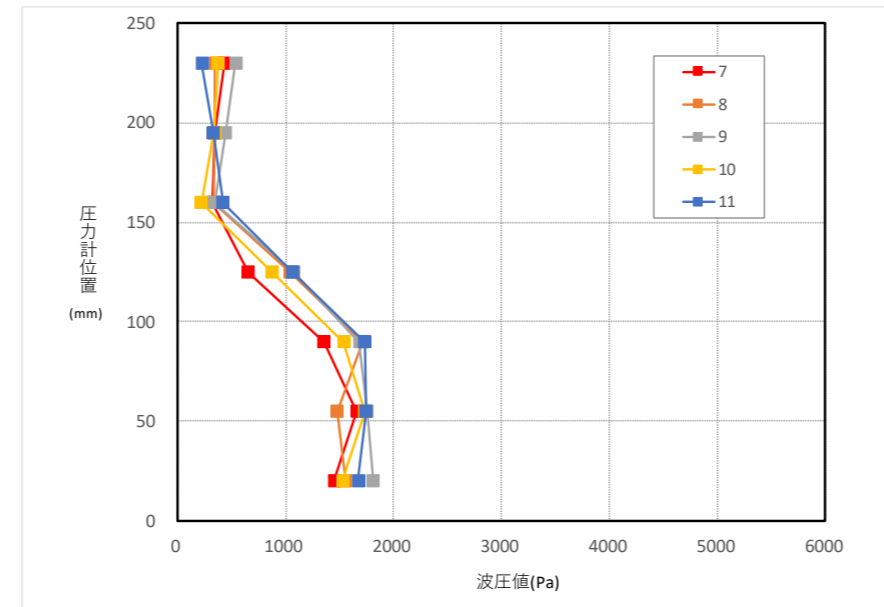
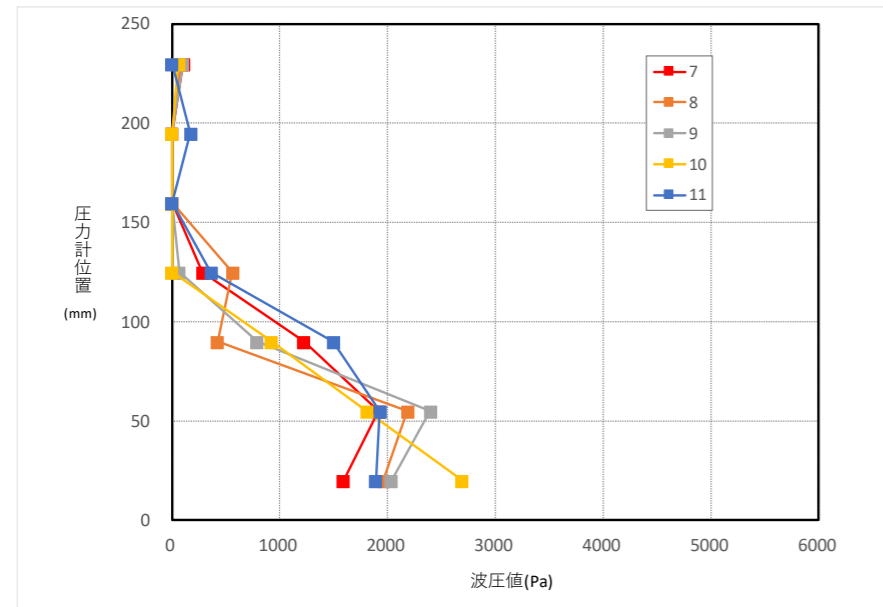
	津波到達時	最大水深時	津波通過後
Case37	<p>長周期波 防潮堤位置 砂丘形状 珪砂粒径</p> <p>H=12.5cm -137.5cm 丸み形状 dm=0.11mm</p>		
Case42	<p>長周期波 防潮堤位置 砂丘形状 珪砂粒径</p> <p>H=12.5cm -137.5cm 丸み形状 dm=0.20mm</p>		
Case47	<p>長周期波 防潮堤位置 砂丘形状 珪砂粒径</p> <p>H=12.5cm -80.0cm 丸み形状 dm=0.20mm</p>		

写真 3-2-2 実験時流況の一例（長周期波）

衝撃段波力最大値作用時(孤立波, -137.5cm)										
case	機器名 Unit	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
		(Pa)							(N/cm)	(sec)
7	PA	101.85	0.00	0.00	281.51	1223.99	1917.76	1588.25	1.812	11.658
8	PA	76.15	0.00	0.00	562.67	420.28	2186.47	1962.28	1.858	11.455
9	PA	100.84	0.00	0.00	63.04	786.12	2393.60	2032.97	1.915	11.481
10	PA	59.81	0.00	0.00	0.00	922.79	1806.96	2692.56	1.976	11.472
11	PA	0.00	0.00	0.00	426.79	1402.27	1982.17	1775.39	2.000	11.630
	PA 平均値	67.73	0.00	0.00	266.80	951.09	2,057.39	2,010.29	1.912	11.539

持続波力最大値(1)作用時(孤立波, -137.5cm)										
case	機器名 Unit	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
		(Pa)							(N/cm)	(sec)
7	PA	430.46	340.15	321.30	651.43	1354.93	1660.54	1449.69	2.134	11.864
8	PA	346.69	346.49	331.97	1039.37	1708.67	1476.67	1554.43	2.360	11.859
9	PA	533.04	439.16	340.61	1074.13	1679.36	1753.23	1811.35	2.623	11.842
10	PA	373.06	334.07	219.16	875.86	1535.61	1729.44	1523.32	2.279	11.850
11	PA	224.28	327.75	419.05	1063.17	1729.47	1744.56	1672.01	2.516	11.826
	PA 平均値	381.51	357.52	326.42	940.79	1,601.61	1,672.89	1,602.16	2.382	11.848

持続波力最大値(2)作用時(孤立波, -137.5cm)										
case	機器名 Unit	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
		(Pa)							(N/cm)	(sec)
7	PA	108.85	0.00	7.60	224.79	534.25	1030.89	1280.98	1.129	13.636
8	PA	101.42	0.00	0.00	308.54	630.63	1107.69	1367.81	1.247	12.502
9	PA	170.82	54.97	0.00	380.78	759.53	1213.02	1555.80	1.456	12.560
10	PA	153.49	0.00	68.01	230.90	511.80	1131.33	1401.23	1.232	12.659
12	PA	114.68	0.00	13.25	379.46	754.73	1215.00	1433.39	1.384	12.500
	PA 平均値	129.85	10.99	17.77	304.89	638.19	1,139.59	1,407.84	1.290	12.771



衝撃段波最大時(ケース7~11;防潮堤位置-137.5cm)【固定床】

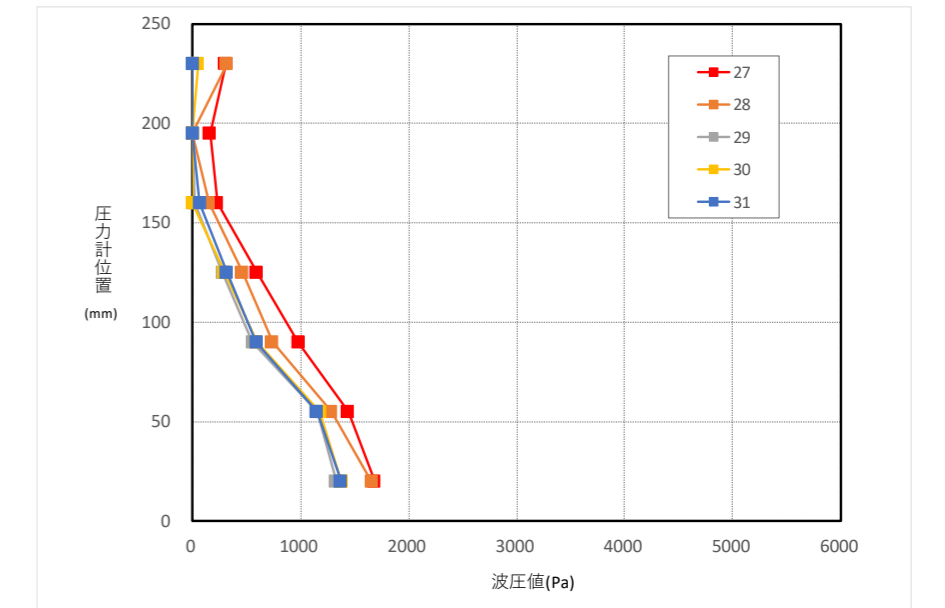
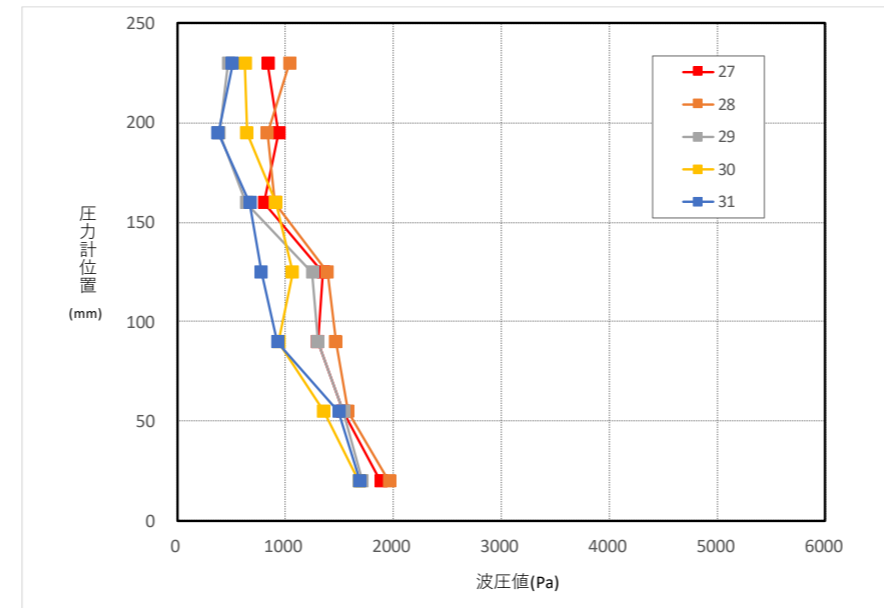
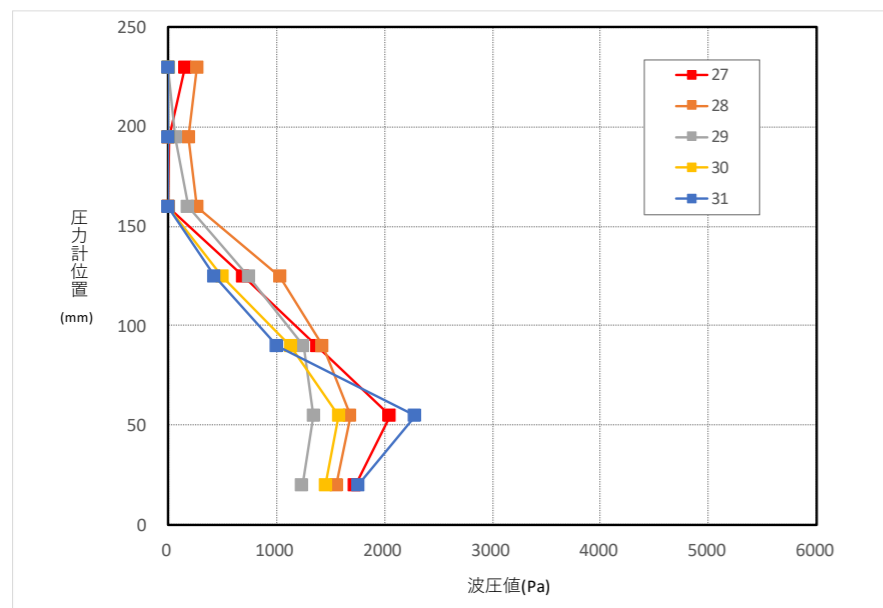
持続波最大時1(ケース7~11;防潮堤位置-137.5cm)【固定床】

持続波最大時2(ケース7~11;防潮堤位置-137.5cm)【固定床】

衝撃段波力最大値作用時(孤立波, -137.5cm)										
case	機器名 Unit	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
		(Pa)							(N/cm)	(sec)
27	PA	153.92	3.79	0.00	692.29	1375.60	2049.29	1727.65	2.117	11.648
28	PA	267.96	187.27	265.25	1031.96	1429.50	1684.99	1553.19	2.239	11.733
29	PA	0.00	65.80	181.56	745.90	1252.31	1342.66	1239.93	1.721	11.784
30	PA	0.00	0.00	0.00	497.93	1133.50	1578.05	1458.28	1.670	11.599
31	PA	0.00	0.00	0.00	424.95	1003.92	2284.22	1756.83	1.958	11.590
	PA 平均値	84.38	51.37	89.36	678.61	1,238.97	1,787.84	1,547.18	1.941	11.671

持続波力最大値(1)作用時(孤立波, -137.5cm)										
case	機器名 Unit	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
		(Pa)							(N/cm)	(sec)
27	PA	839.33	937.88	802.77	1347.95	1301.43	1532.01	1885.82	2.927	11.899
28	PA	1041.02	835.01	905.25	1387.22	1469.03	1579.31	1961.86	3.079	11.900
29	PA	470.05	385.70	640.54	1247.52	1302.27	1540.92	1709.92	2.514	11.922
30	PA	628.54	644.52	911.74	1066.49	937.06	1352.93	1682.07	2.460	11.897
31	PA	512.14	376.05	671.50	778.15	925.15	1493.39	1687.90	2.208	11.928
	PA 平均値	698.22	635.83	786.36	1,165.47	1,186.99	1,499.71	1,785.51	2.638	11.909

持続波力最大値(2)作用時(孤立波, -137.5cm)										
case	機器名 Unit	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
		(Pa)							(N/cm)	(sec)
27	PA	303.91	161.11	228.30	595.21	979.13	1440.96	1683.13	1.876	12.766
28	PA	313.58	0.00	146.42	460.34	739.91	1280.64	1655.18	1.595	12.814
29	PA	0.00	0.00	12.28	274.13	553.23	1154.64	1329.63	1.197	12.761
30	PA	46.08	0.00	0.00	292.06	596.18	1178.33	1378.64	1.248	12.698
31	PA	0.00	0.00	64.81	315.92	588.64	1151.72	1371.13	1.257	12.825
	PA 平均値	132.71	32.22	90.36	387.53	691.42	1,241.26	1,483.54	1.435	12.773



衝撃段波最大時(ケース27~31;防潮堤位置-137.5cm)【移動床】

持続波最大時1(ケース27~31;防潮堤位置-137.5cm)【移動床】

持続波最大時2(ケース27~31;防潮堤位置-137.5cm)【移動床】

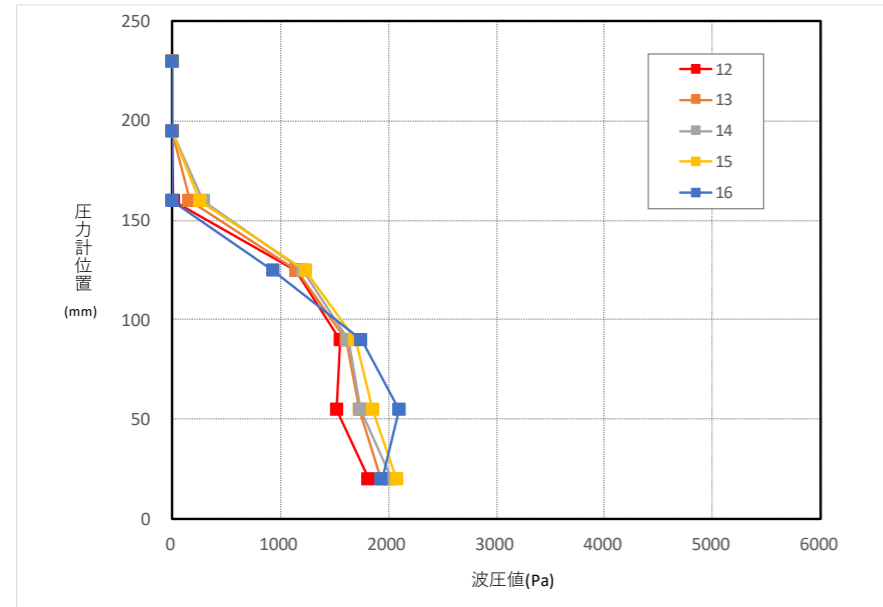
図3-2-6(1) 孤立波実験波形比較(ケース27~31)【防潮堤作用波圧分布】



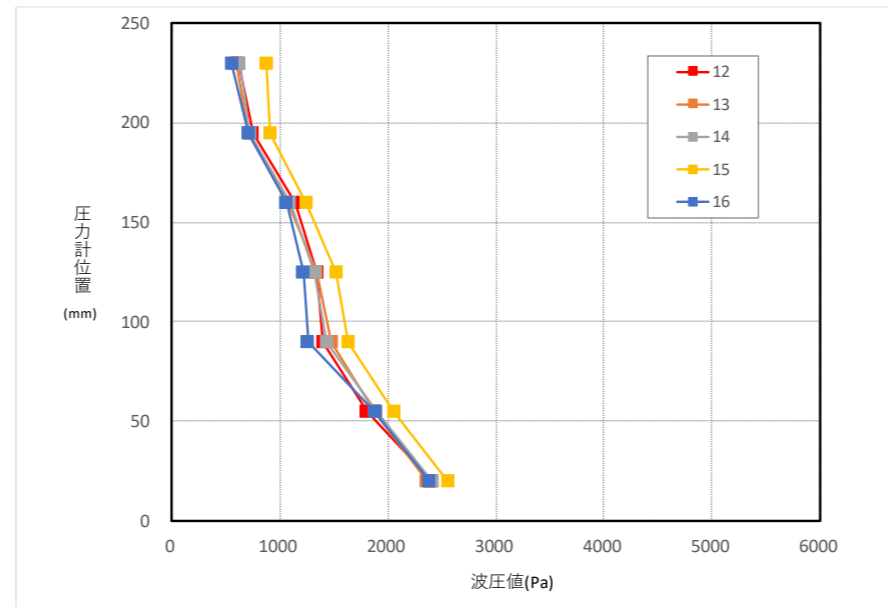
衝撃段波力最大値作用時(孤立波, -80.0cm)										
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit	(Pa)							(N/cm)	
12	PA	0.00	0.00	7.65	1145.32	1554.00	1520.76	1818.51	2.162	11.483
13	PA	0.00	0.00	160.20	1149.13	1612.78	1735.17	1931.37	2.354	11.436
14	PA	0.00	0.00	285.65	1213.20	1625.59	1744.36	2026.90	2.464	11.408
15	PA	0.00	0.00	254.98	1230.44	1693.06	1856.42	2078.75	2.542	11.390
16	PA	0.00	0.00	0.00	934.61	1752.43	2101.52	1938.29	2.403	11.424
	PA 平均値	0.00	0.00	141.69	1,134.54	1,647.57	1,791.65	1,958.76	2.385	11.428

持続波力最大値(1)作用時(孤立波, -80.0cm)										
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit	(Pa)							(N/cm)	
12	PA	616.56	751.12	1141.46	1343.56	1399.55	1807.88	2407.07	3.266	11.769
13	PA	593.94	711.32	1079.86	1338.92	1477.03	1877.97	2361.01	3.259	11.711
14	PA	626.77	723.31	1094.63	1322.23	1431.66	1894.22	2411.24	3.277	11.725
15	PA	875.74	911.16	1242.09	1522.71	1635.02	2054.42	2559.41	3.691	11.693
16	PA	552.40	709.70	1062.91	1219.21	1263.67	1880.35	2384.46	3.138	11.791
	PA 平均値	653.08	761.32	1,124.19	1,349.33	1,441.39	1,902.97	2,424.64	3.326	11.738

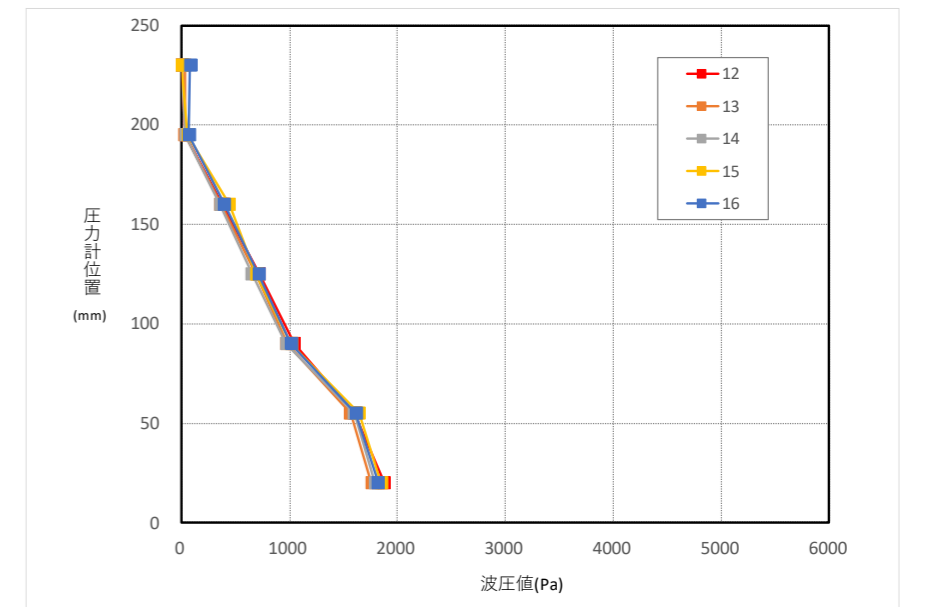
持続波力最大値(2)作用時(孤立波, -80.0cm)										
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit	(Pa)							(N/cm)	
12	PA	0.00	33.91	379.29	721.37	1040.09	1601.53	1876.39	2.025	12.410
13	PA	27.09	30.86	361.44	688.24	974.21	1561.61	1759.49	1.930	12.420
14	PA	0.00	36.43	355.98	652.73	969.14	1594.79	1790.82	1.935	12.390
15	PA	0.00	56.20	441.86	691.24	1014.90	1639.69	1848.02	2.038	12.383
16	PA	78.24	68.31	397.42	712.27	1014.64	1612.98	1819.09	2.028	12.436
	PA 平均値	21.07	45.14	387.20	693.17	1,002.60	1,602.12	1,818.76	1.991	12.408



衝撃段波最大時(ケース 12~16; 防潮堤位置-80.0cm)【固定床】



持続波最大時1(ケース 12~16; 防潮堤位置-80.0cm)【固定床】

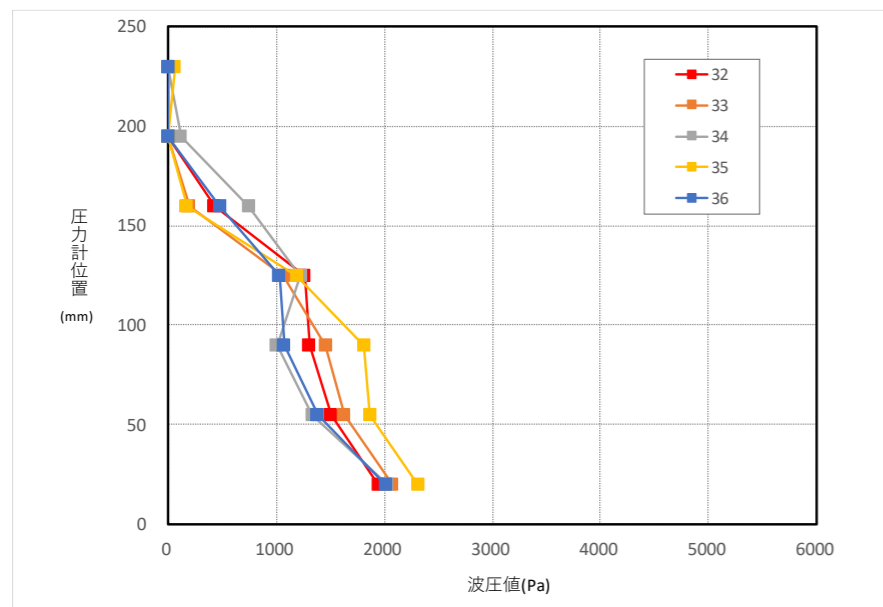


持続波最大時2(ケース 12~16; 防潮堤位置-80.0cm)【固定床】

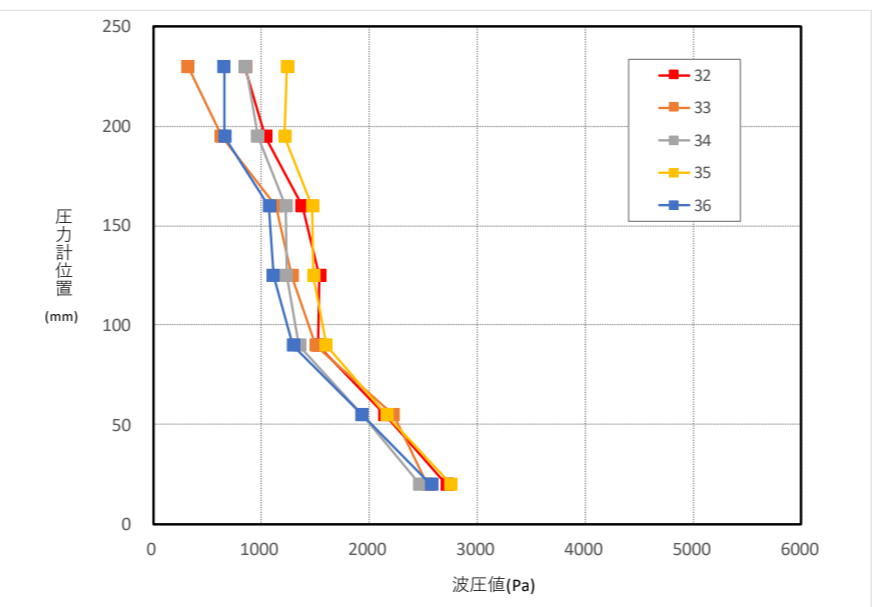
衝撃段波力最大値作用時(孤立波, -80.0cm)										
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit	(Pa)							(N/cm)	
32	PA	0.00	0.00	424.99	1261.89	1306.49	1508.38	1942.52	2.304	11.498
33	PA	0.00	0.00	195.55	1068.19	1455.29	1628.21	2072.45	2.299	11.393
34	PA	0.00	117.81	743.73	1222.92	1006.51	1331.60	2027.32	2.308	11.513
35	PA	58.33	0.00	172.89	1186.06	1812.37	1867.99	2311.82	2.641	11.351
36	PA	0.00	0.00	477.24	1025.53	1072.56	1384.64	2014.22	2.141	11.481
	PA 平均値	11.67	23.56	402.88	1,152.92	1,330.84	1,544.16	2,073.66	2.339	11.447

持続波力最大値(1)作用時(孤立波, -80.0cm)										
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit	(Pa)							(N/cm)	
32	PA	851.07	1037.19	1379.93	1540.11	1526.35	2147.67	2718.73	3.839	11.767
33	PA	320.30	633.98	1139.61	1282.95	1504.88	2224.24	2543.06	3.385	11.712
34	PA	853.70	964.57	1229.93	1233.20	1352.17	1932.60	2466.75	3.424	11.742
35	PA	1240.16	1216.41	1473.28	1485.56	1601.99	2159.69	2755.90	4.028	11.699
36	PA	652.30	662.32	1070.36	1109.23	1295.92	1932.44	2571.26	3.203	11.720
	PA 平均値	783.51	902.89	1,258.62	1,330.21	1,456.26	2,079.33	2,611.14	3.576	11.728

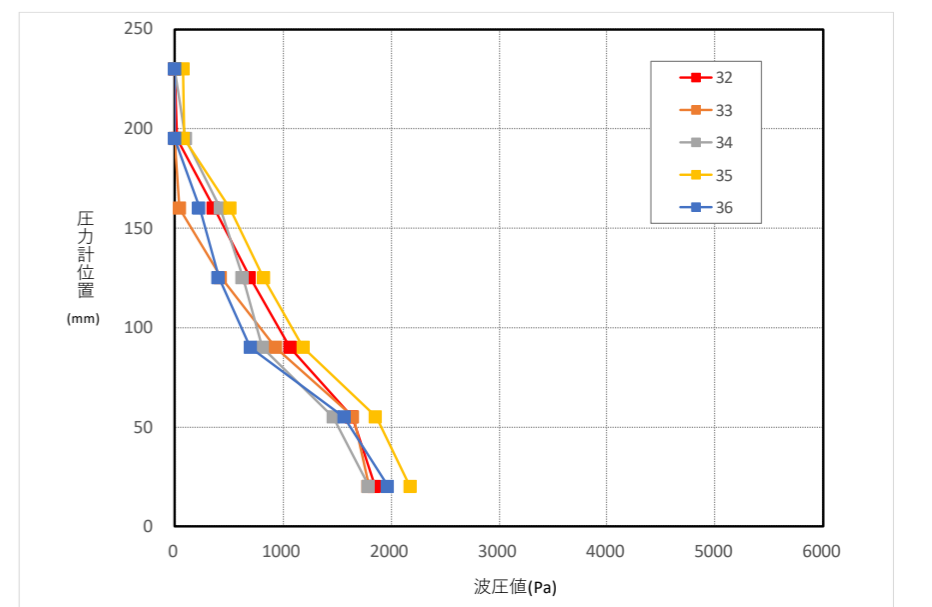
持続波力最大値(2)作用時(孤立波, -80.0cm)										
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit	(Pa)							(N/cm)	
32	PA	0.00	20.84	359.65	691.35	1065.61	1636.56	1849.63	2.015	12.437
33	PA	0.00	0.00	40.51	424.32	933.68	1648.23	1796.95	1.740	12.332
34	PA	0.00	97.69	422.17	628.67	813.23	1465.68	1795.46	1.873	12.478
35	PA	75.37	84.27	510.26	823.98	1189.45	1859.65	2180.91	2.395	12.315
36	PA	0.00	0.00	224.57	401.75	698.86	1564.65	1972.87	1.751	12.429
	PA 平均値	15.07	40.56	311.43	594.01	940.17	1,634.96	1,919.16	1.955	12.398



衝撃段波最大時(ケース 32~36; 防潮堤位置-80.0cm)【移動床】



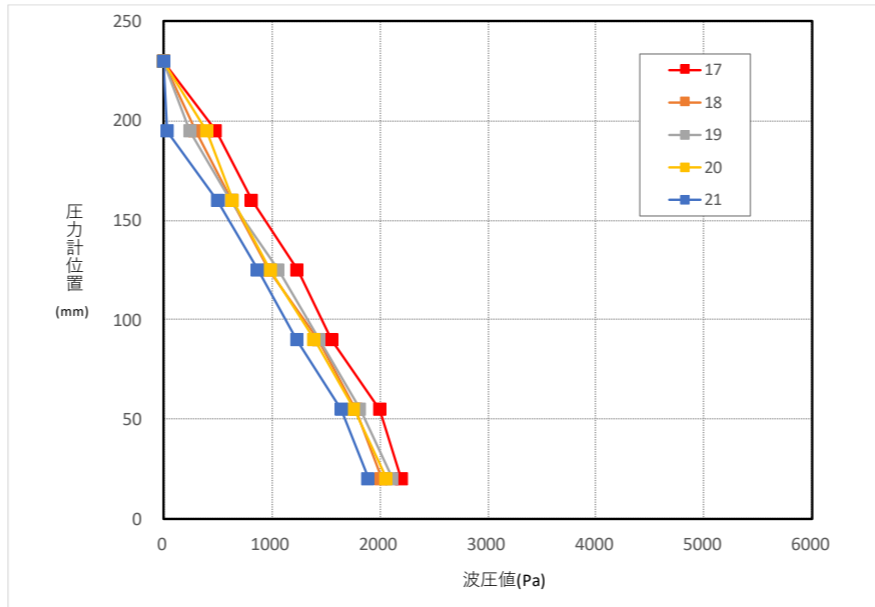
持続波最大時1(ケース 32~36; 防潮堤位置-80.0cm)【移動床】



持続波最大時2(ケース 32~36; 防潮堤位置-80.0cm)【移動床】

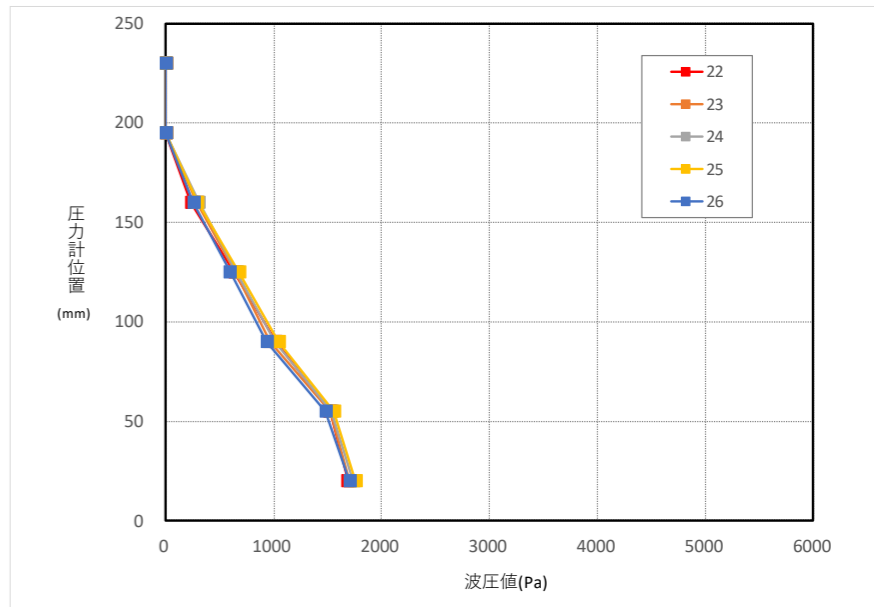
図 3-2-6 (2) 孤立波実験波形比較(ケース 32~36)【防潮堤作用波圧分布】

持続波力最大値作用時 (長周期波, -137.5cm)										
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit									
17	PA	0.00	482.07	818.32	1240.39	1557.85	1999.75	2198.40	2.959	26.786
18	PA	0.00	291.03	631.11	978.05	1433.07	1780.78	2016.70	2.546	23.792
19	PA	0.00	243.32	619.48	1058.31	1438.95	1818.78	2116.57	2.606	27.012
20	PA	0.00	398.30	638.61	990.87	1395.28	1759.26	2059.71	2.586	23.165
21	PA	0.00	33.45	499.44	870.64	1232.34	1643.39	1895.82	2.209	27.600
	PA 平均値	0.00	289.64	641.39	1,027.65	1,411.50	1,800.39	2,057.44	2.581	25.671



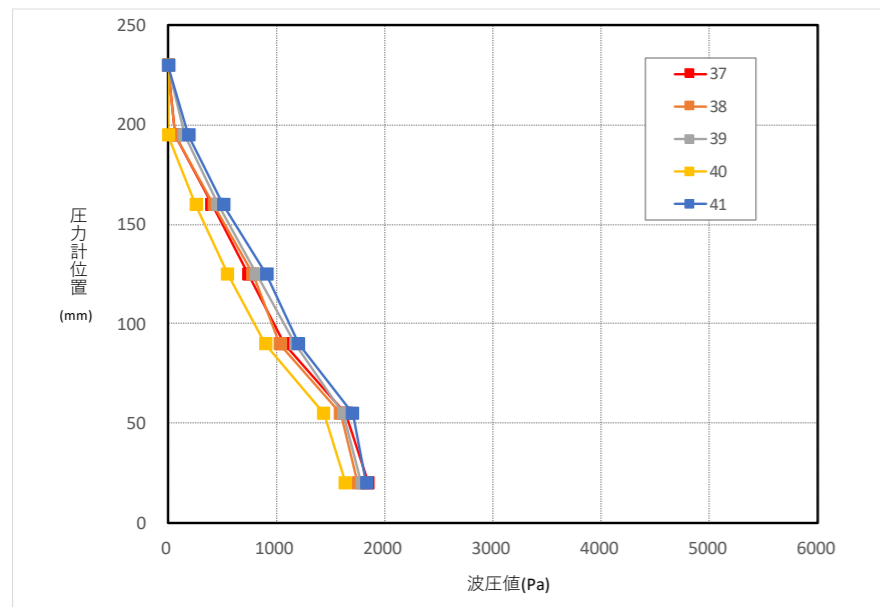
持続波最大時 (ケース 17~21 ; 防潮堤位置-137.5cm) 【固定床】

持続波力最大値作用時 (長周期波, -80.0cm)										
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit									
22	PA	0.00	0.00	233.45	635.54	1016.37	1520.99	1688.77	1.826	21.257
23	PA	0.00	0.00	287.85	646.39	963.27	1526.73	1704.10	1.838	27.600
24	PA	0.00	0.00	307.97	657.50	1015.62	1535.24	1736.66	1.882	21.471
25	PA	0.00	0.00	295.86	677.21	1048.78	1559.93	1757.04	1.913	20.965
26	PA	0.00	0.00	257.87	597.37	936.12	1481.27	1702.33	1.784	21.113
	PA 平均値	0.00	0.00	276.60	642.80	996.03	1,524.83	1,717.78	1.848	22.481



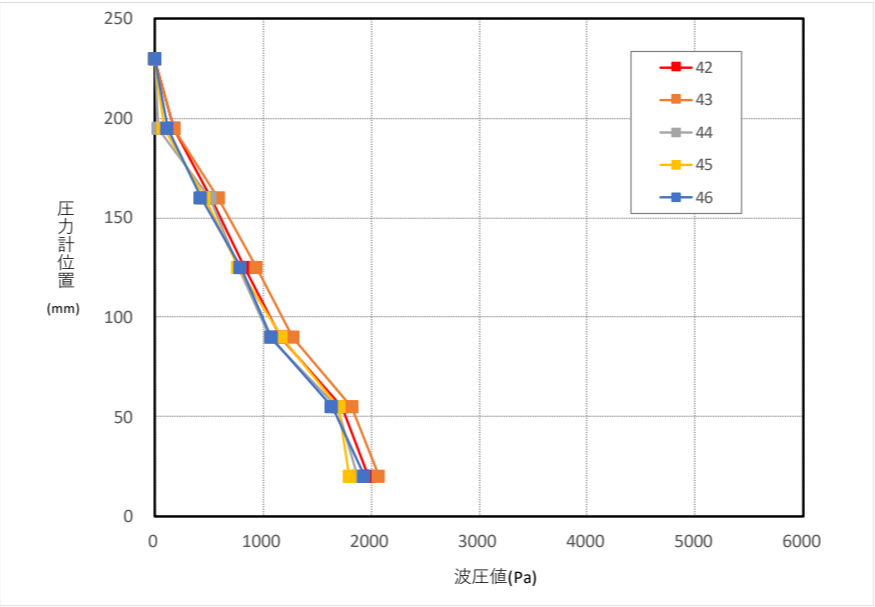
持続波最大時 (ケース 22~26 ; 防潮堤位置-80.0cm) 【固定床】

持続波力最大値作用時 (長周期波, -137.5cm, d=0.11mm)										
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit									
37	PA	0.00	67.25	405.32	745.67	1077.02	1642.14	1848.82	2.071	23.703
38	PA	0.00	60.84	425.52	785.33	1031.16	1595.12	1754.14	2.022	23.668
39	PA	0.00	150.50	461.52	816.24	1176.71	1620.18	1789.02	2.150	23.563
40	PA	0.00	0.00	256.01	549.95	899.06	1438.25	1640.37	1.715	23.364
41	PA	0.00	190.76	511.91	909.73	1203.05	1706.41	1830.22	2.269	23.489
	PA 平均値	0.00	93.87	412.06	761.39	1,077.40	1,600.42	1,772.51	2.045	23.557



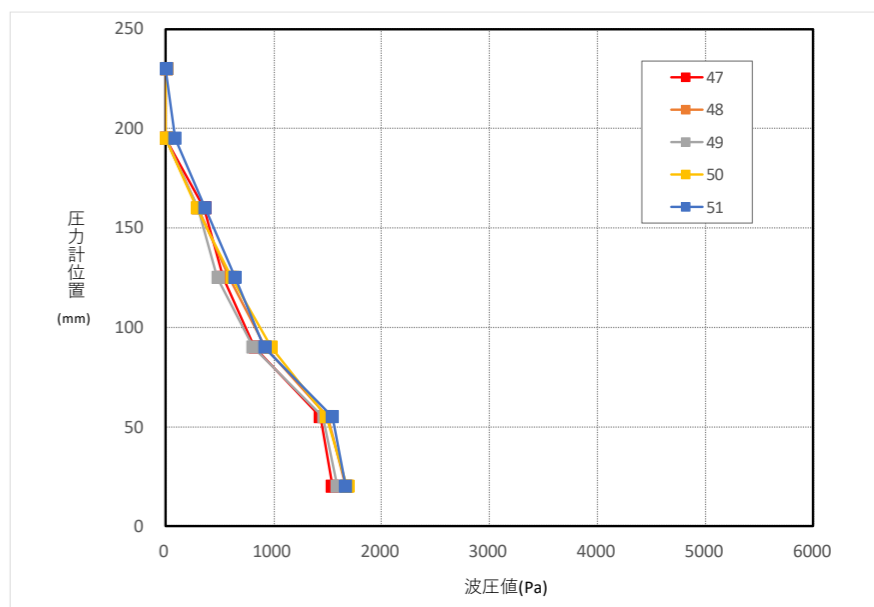
持続波最大時 (ケース 37~41 ; 防潮堤位置-137.5cm) 【d=0.11mm】

持続波力最大値作用時 (長周期波, -137.5cm)										
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit									
42	PA	0.00	174.17	516.23	830.50	1166.91	1730.09	1975.88	2.287	23.429
43	PA	0.00	174.41	589.87	940.18	1275.78	1823.92	2071.00	2.458	23.556
44	PA	0.00	29.81	508.07	777.57	1064.30	1692.01	1878.65	2.130	23.523
45	PA	0.00	84.27	461.44	772.38	1170.96	1700.37	1800.93	2.142	23.382
46	PA	0.00	116.55	425.02	793.90	1078.93	1636.99	1938.46	2.145	23.649
	PA 平均値	0.00	115.84	500.13	822.91	1,151.38	1,716.67	1,932.99	2.232	23.508



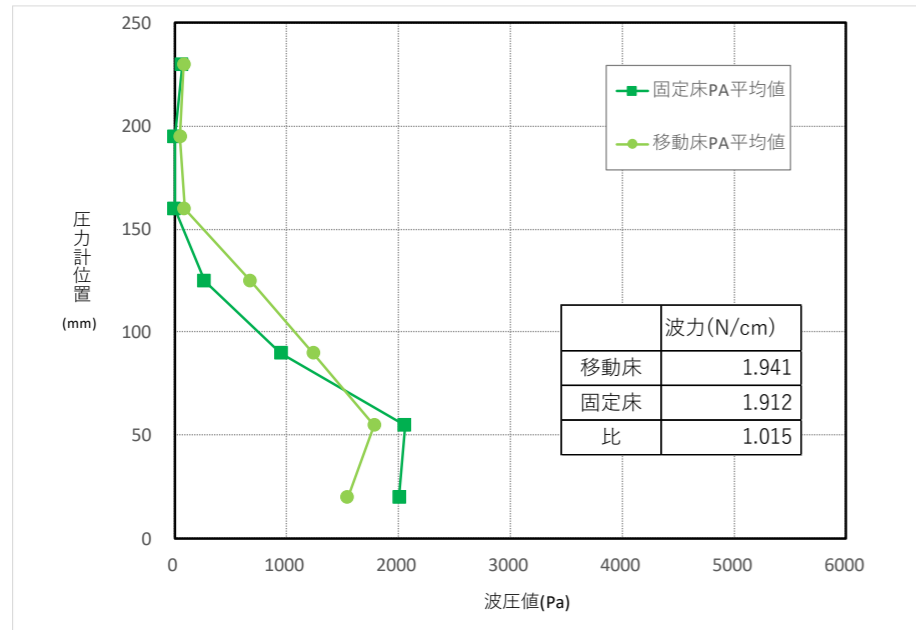
持続波最大時 (ケース 42~46 ; 防潮堤位置-137.5cm) 【d=0.20mm】

持続波力最大値作用時 (長周期波, -80.0cm)										
case	機器名	P-7	P-6	P-5	P-4	P-3	P-2	P-1	F	作用時間
	Unit									
47	PA	0.00	0.00	356.71	530.32	824.07	1430.06	1544.05	1.678	21.410
48	PA	0.00	0.00	298.25	592.55	921.12	1497.98	1668.05	1.784	21.152
49	PA	0.00	0.00	299.80	477.96	806.38	1457.59	1584.58	1.659	21.285
50	PA	0.00	0.00	291.51	613.88	976.81	1488.62	1680.25	1.810	21.047
51	PA	0.00	82.87	361.54	638.85	910.93	1542.83	1661.87	1.861	21.205
	PA 平均値	0.00	16.57	321.56	570.71	887.86	1,483.41	1,627.76	1.758	21.220

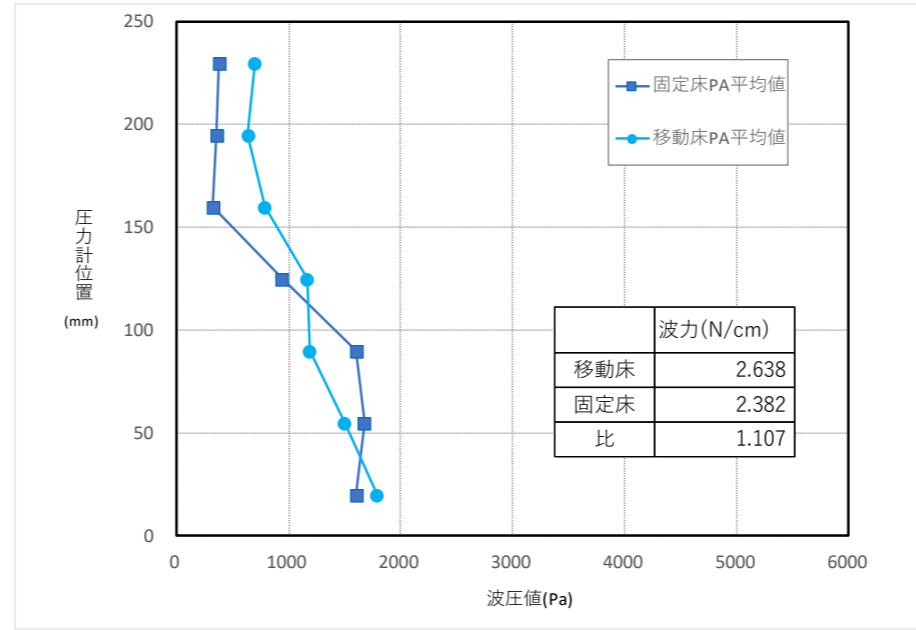


持続波最大時 (ケース 47~51 ; 防潮堤位置-80.0cm) 【d=0.20mm】

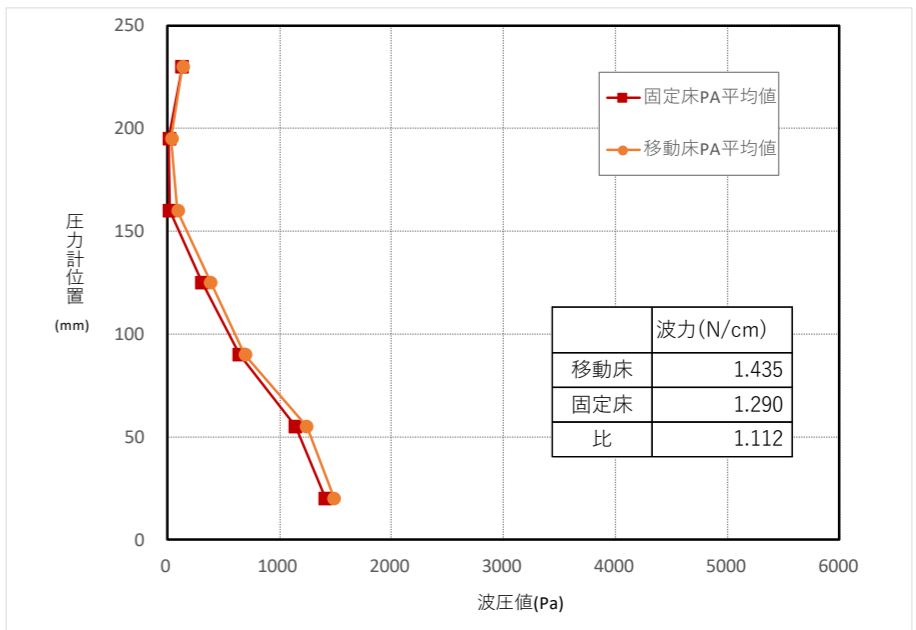
図 3-2-7 長周期波実験波形比較 (ケース 37~41, 42~46, 47~51) 【防潮堤作用波圧分布】



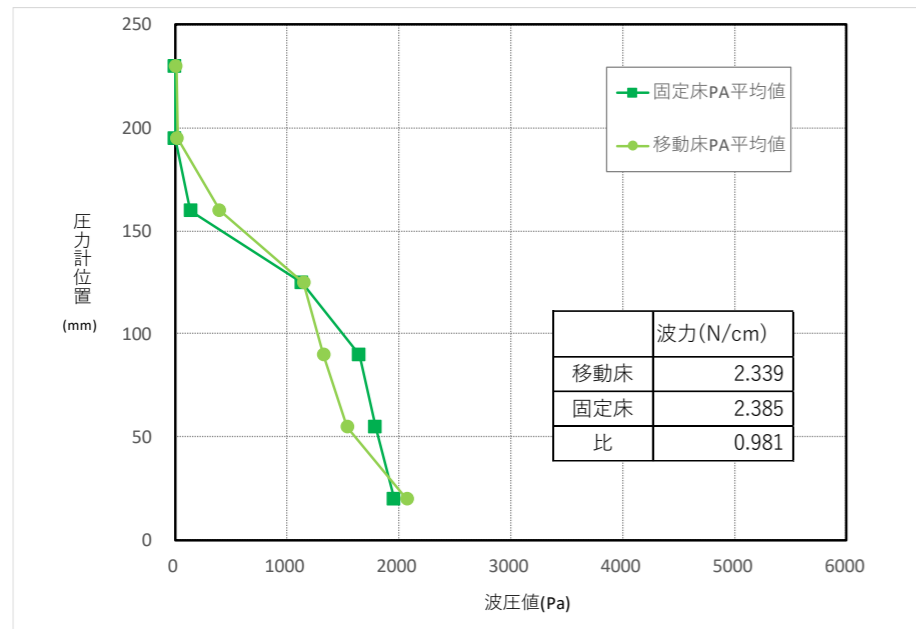
衝撃段波最大時（孤立波；防潮堤位置-137.5cm）



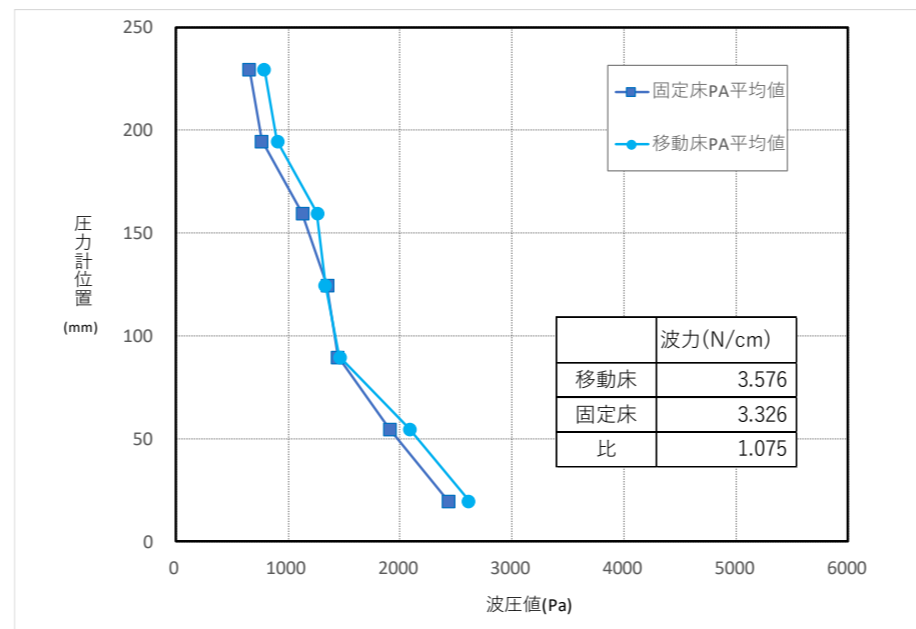
持続波最大時 1（孤立波；防潮堤位置-137.5cm）  
ケース 27～31；5 ケースの平均値



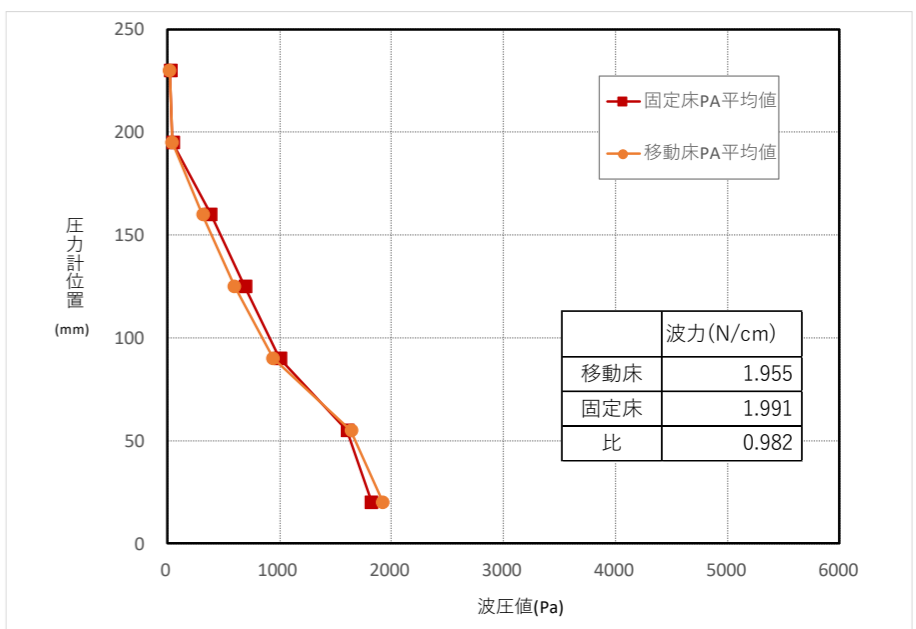
持続波最大時 2（孤立波；防潮堤位置-137.5cm）



衝撃段波最大時（孤立波；防潮堤位置-80.0cm）



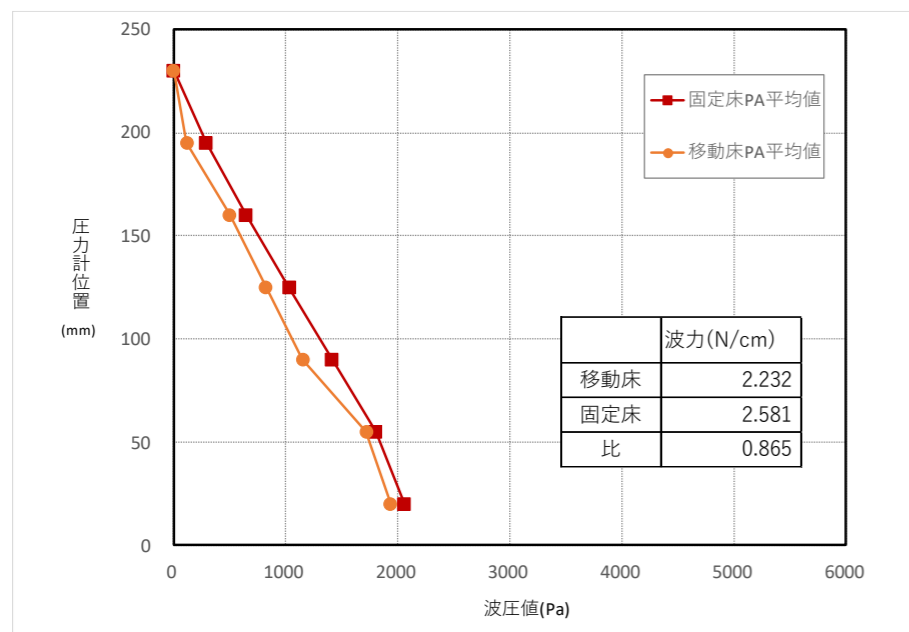
持続波最大時 1（孤立波；防潮堤位置-80.0cm）  
ケース 32～36；5 ケースの平均値



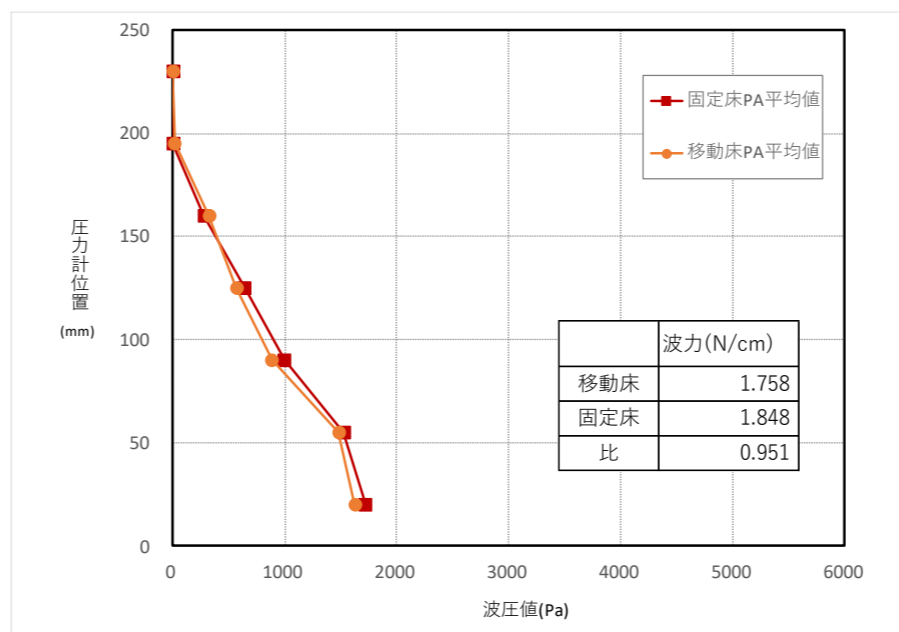
持続波最大時 2（孤立波；防潮堤位置-80.0cm）

図 3.2.8 (1) 実験波形比較（ケース 27～31, 32～36；5 ケースの平均値）  
【防潮堤作用波圧分布；固定床実験と移動床実験の比較】



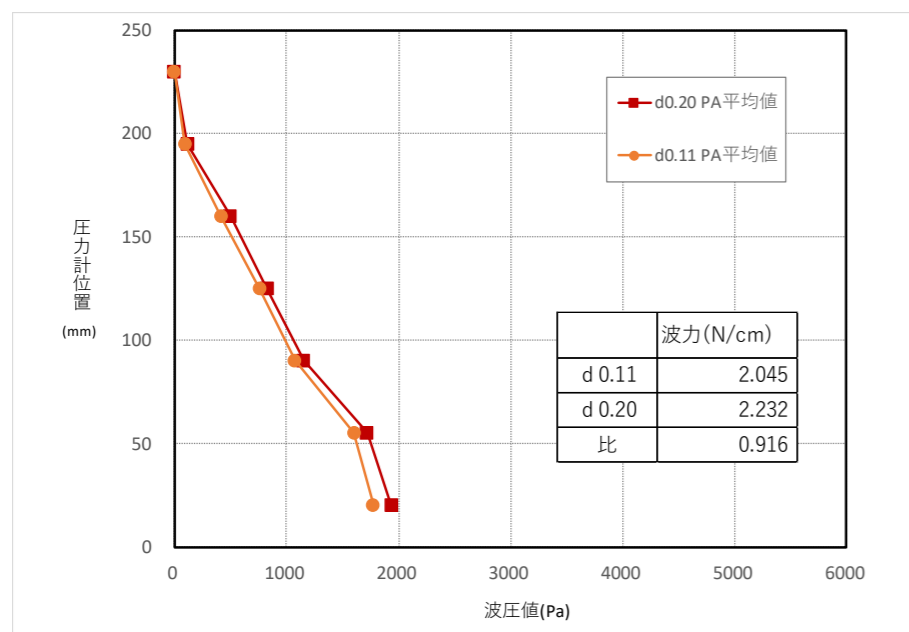


持続波最大時（長周期波；防潮堤位置-137.5cm）



持続波最大時（長周期波；防潮堤位置-80.0cm）

図 3-2-8 (2) 実験波形比較（ケース 42～46, 47～51；5 ケースの平均値）  
【防潮堤作用波圧分布；固定床実験と移動床実験の比較】



持続波最大時（長周期波；防潮堤位置-137.5cm）

防潮堤作用波力；固定床実験と移動床実験の比較一覧

	防潮堤位置	段波領域の最大波力値		持続波領域の最大波力値(1)		持続波領域の最大波力値(2)		発生時間
		波力 (N/cm)	移/固 比率	波力 (N/cm)	移/固 比率	波力 (N/cm)	移/固 比率	
孤立波	-137.5cm	1.941	1.015	2.638	1.107	1.435	1.112	任意
	-80.0cm	2.339	0.981	3.576	1.075	1.955	0.982	〃
長周期波	-137.5cm	-	-	-	-	2.232	0.865	〃
	-80.0cm	-	-	-	-	1.758	0.951	〃

図 3-2-8 (3) 実験波形比較（ケース 37～41；5 ケースの平均値）  
【防潮堤作用波圧分布；d=0.20mm と d=0.11mm の比較】

表 3-2-2 波力一覽表 (移動床, 孤立波)

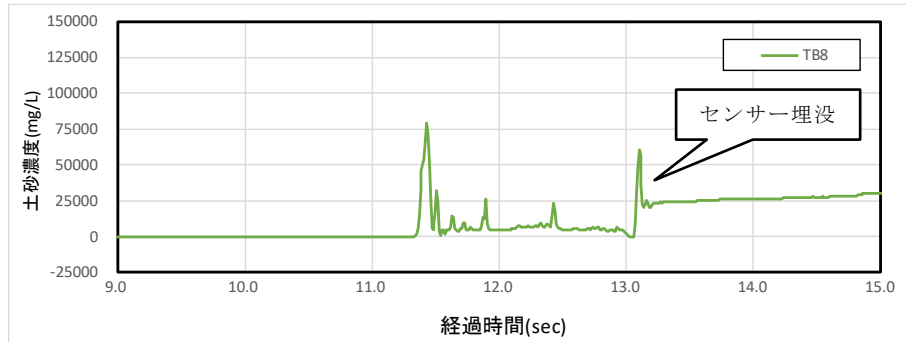
実験ケース	実験条件				測定位置	段波領域の最大波力値		持続波領域の最大波力値(1)		持続波領域の最大波力値(2)		防潮堤前面の水位最大値		備考
	波浪条件	防潮堤位置	砂丘	珪砂粒径		試行	波力 (N/cm)	発生時間(s)	波力 (N/cm)	発生時間(s)	波力 (N/cm)	発生時間(s)	水位 (cm)	
移動床	Case 27	孤立波: H=12.5cm	-137.5cm	丸み断面	dm=0.20mm	1回目	2,117	11.648	2,927	11.899	1,876	12.766	40.65	11.653
	Case 28	"	"	"	"	2回目	1,935	11.589	3,002	11.877	1,724	12.725	36.20	11.637
	Case 29	"	"	"	"	3回目	2,239	11.733	3,079	11.900	1,595	12.814	35.85	11.762
	Case 30	"	"	"	"	4回目	2,189	11.604	2,823	11.859	1,795	12.770	36.93	11.671
	Case 31	"	"	"	"	5回目	1,721	11.784	2,514	11.922	1,197	12.761	36.14	11.798
							2,086	11.492	2,394	11.897	1,260	12.723	35.55	11.661
							1,670	11.599	2,460	11.897	1,248	12.698	36.64	11.607
							1,893	11.587	2,482	11.850	1,287	13.626	39.09	11.591
							1,958	11.590	2,208	11.928	1,257	12.825	37.22	11.630
							2,015	11.610	2,375	11.841	1,344	13.557	38.32	11.648
						1,941	11.671	2,638	11.909	1,435	12.773	37.30	11.690	
						2,024	11.576	2,615	11.865	1,482	13.080	37.22	11.642	
					平均									
	Case 32	孤立波: H=12.5cm	-80.0cm	丸み断面	dm=0.20mm	1回目	2,304	11.498	3,839	11.767	2,015	12.437	53.09	11.506
	Case 33	"	"	"	"	2回目	2,728	11.498	3,809	11.756	2,567	12.401	44.14	11.516
	Case 34	"	"	"	"	3回目	2,299	11.393	3,385	11.712	1,740	12.332	49.15	11.450
	Case 35	"	"	"	"	4回目	2,294	11.466	2,999	11.71	1,761	12.331	46.52	11.466
	Case 36	"	"	"	"	5回目	2,308	11.513	3,424	11.742	1,873	12.478	45.90	11.551
							2,466	11.465	3,495	11.716	2,245	12.282	44.63	11.522
							2,641	11.351	4,028	11.699	2,395	12.315	46.90	11.434
							2,904	11.476	3,731	11.684	2,616	12.393	46.50	11.481
							2,141	11.481	3,203	11.72	1,751	12.429	49.00	11.491
							2,627	11.462	3,667	11.704	2,200	12.309	44.41	11.469
							2,339	11.447	3,576	11.728	1,955	12.398	48.81	11.486
							2,604	11.473	3,540	11.714	2,278	12.343	45.24	11.491

表 3-2-3 波力一覽表 (移動床, 長周期波)

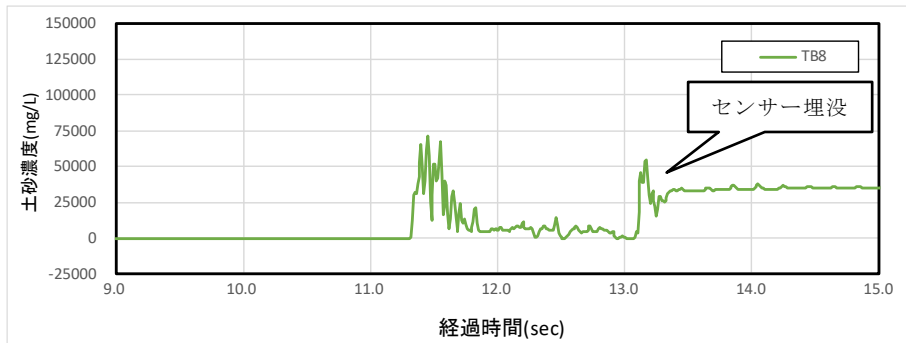
実験ケース	実験条件			測定位置		最大波力値		備考
	波浪条件	防潮堤位置	砂丘	珪砂粒径	試行	波力 (N/cm)	発生時間 (s)	
Case 37	長周期波: H=12.5cm	-137.5cm	丸み断面	dm=0.11mm	1回目	2.071	23.703	
Case 38	"	"	"	"	2回目	2.428	26.991	
Case 39	"	"	"	"	3回目	2.022	23.668	
Case 40	"	"	"	"	4回目	2.832	27.148	
Case 41	"	"	"	"	5回目	2.150	23.563	
					平均	2.757	27.041	
Case 42	長周期波: H=12.5cm	-137.5cm	丸み断面	dm=0.20mm	1回目	1.715	23.364	
Case 43	"	"	"	"	2回目	2.590	27.127	
Case 44	"	"	"	"	3回目	2.269	23.489	
Case 45	"	"	"	"	4回目	3.209	27.089	
Case 46	"	"	"	"	5回目	2.045	23.557	
					平均	2.763	27.079	
Case 47	長周期波: H=12.5cm	-80.0cm	丸み断面	dm=0.20mm	1回目	2.287	23.429	
Case 48	"	"	"	"	2回目	2.714	27.060	
Case 49	"	"	"	"	3回目	2.458	23.556	
Case 50	"	"	"	"	4回目	3.223	26.918	
Case 51	"	"	"	"	5回目	2.130	23.523	
					平均	2.634	26.954	
					平均	2.142	23.382	
					平均	2.723	26.821	
					平均	2.145	23.649	
					平均	2.488	26.931	
					平均	2.232	23.508	
					平均	2.756	26.937	
Case 47	長周期波: H=12.5cm	-80.0cm	丸み断面	dm=0.20mm	1回目	1.678	21.410	
Case 48	"	"	"	"	2回目	2.095	21.164	
Case 49	"	"	"	"	3回目	1.784	21.152	
Case 50	"	"	"	"	4回目	2.001	21.040	
Case 51	"	"	"	"	5回目	1.659	21.285	
					平均	1.858	21.457	
					平均	1.810	21.047	
					平均	1.992	21.351	
					平均	1.861	21.205	
					平均	1.957	21.659	
					平均	1.758	21.220	
					平均	1.981	21.334	

移動床

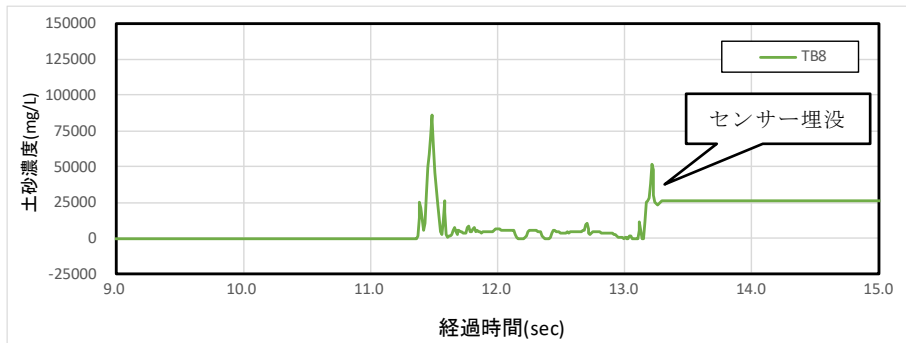
	最大土砂濃度	
	mg/L	%
case1	76,579.2	2.99
case2	68,941.4	2.69
case3	82,901.2	3.24
平均	76,140.6	2.97



Case1



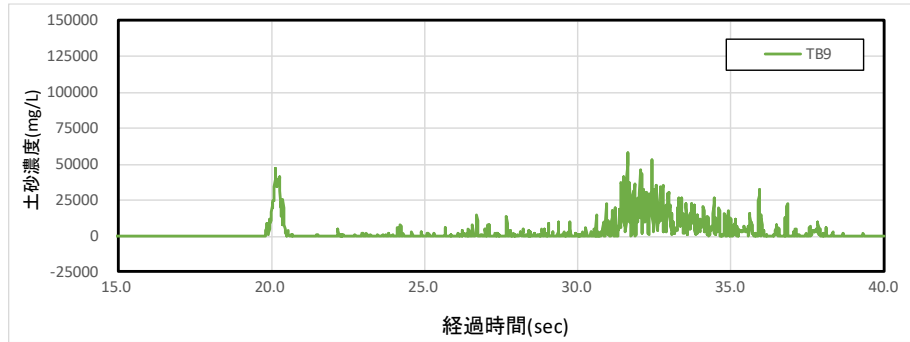
Case2



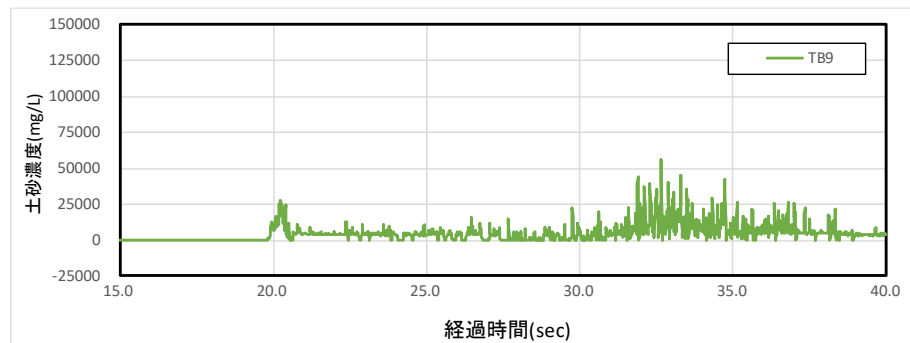
Case3

図 3-2-9 (1) 砂丘背面土砂濃度時系列波形 (ケース 1~3)  
[孤立波, 防潮堤なし]

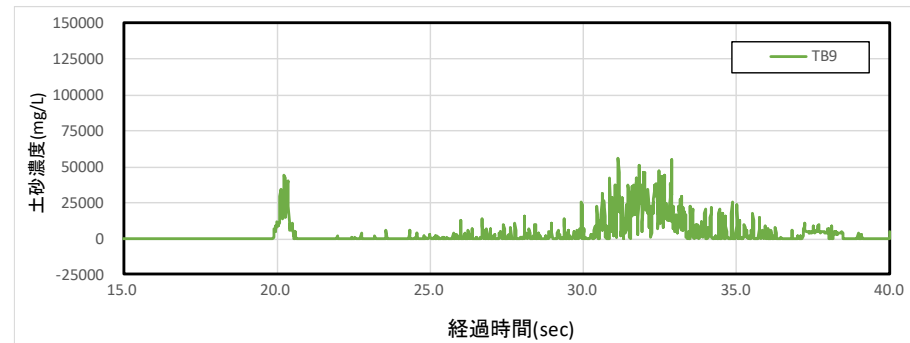
	最大土砂濃度	
	mg/L	%
case4	56,847.2	2.22
case5	54,861.0	2.14
case6	54,750.2	2.14
平均	55,486.1	2.17



Case4



Case5



Case6

図 3-2-9 (2) 砂丘背面土砂濃度時系列波形 (ケース 4~6)  
[長周期波, 防潮堤なし]

	最大土砂濃度	
	mg/L	%
case27	140,536.1	5.49
case28	114,853.2	4.49
case29	102,518.2	4.00
case30	117,527.4	4.59
case31	134,647.6	5.26
平均	122,016.5	4.77

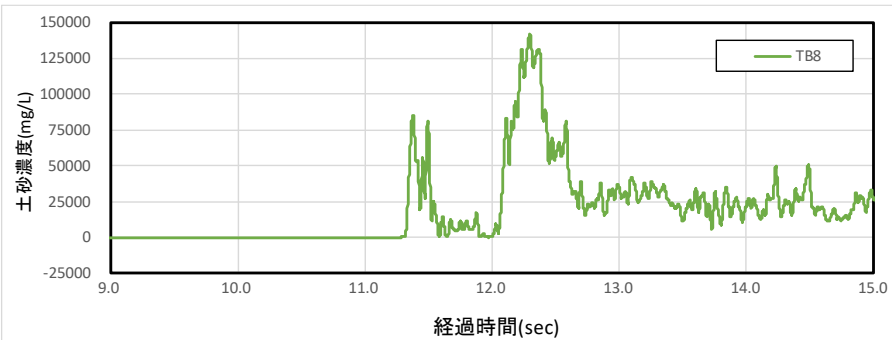
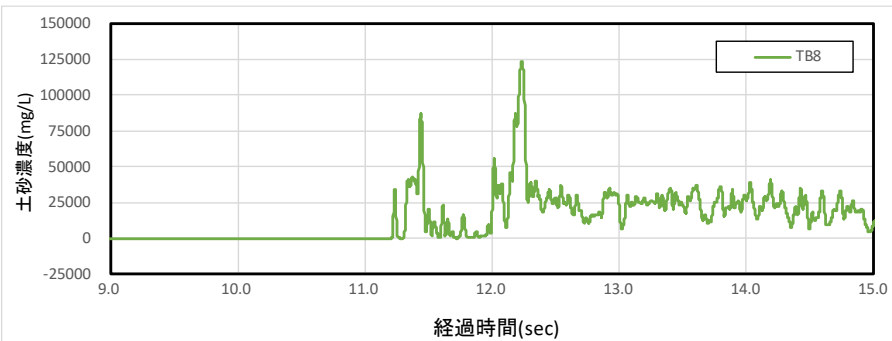
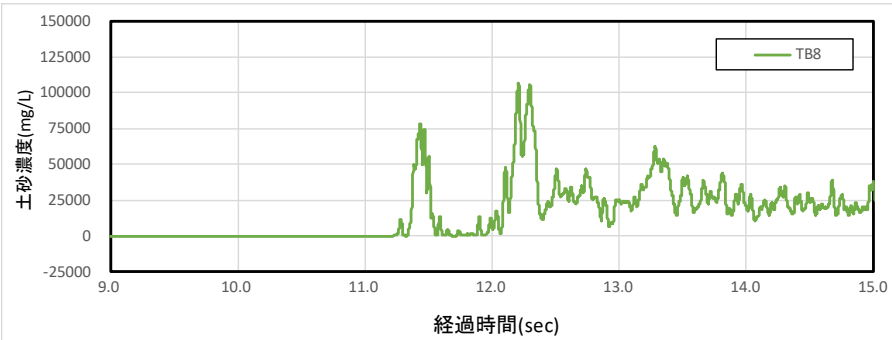
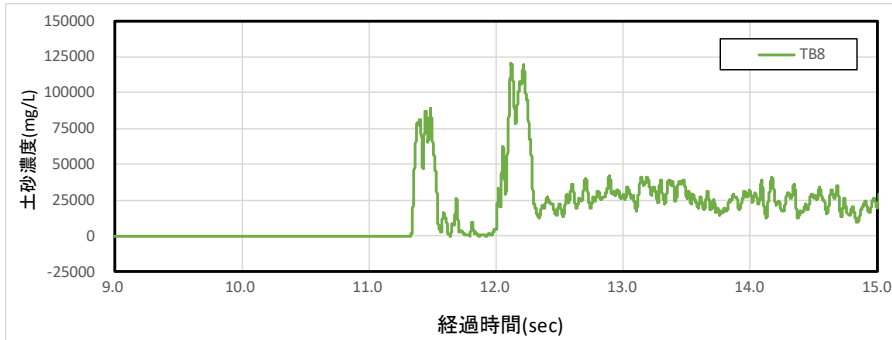
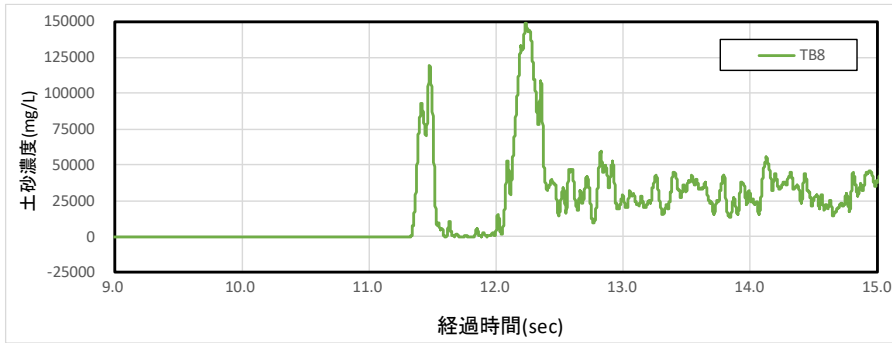
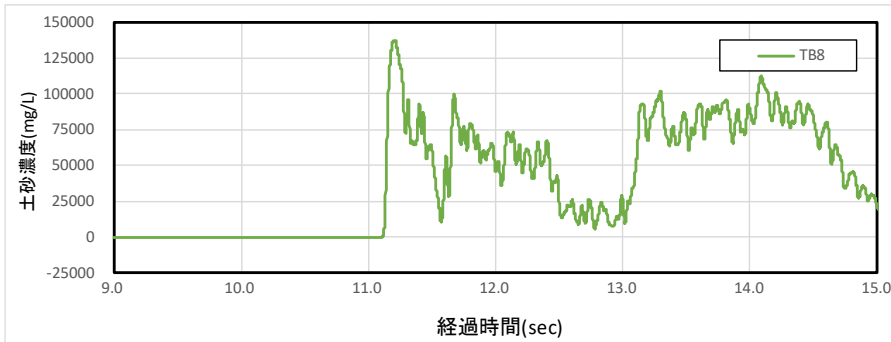
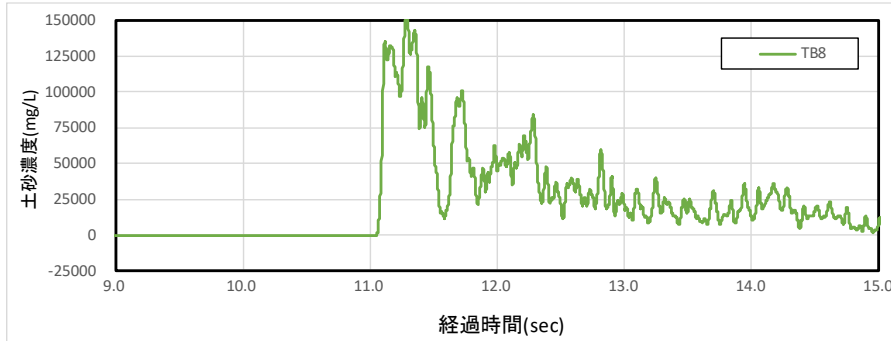


図 3-2-9 (3) 砂丘背面土砂濃度時系列波形 (ケース 27~31)  
[孤立波 ; 防潮堤位置-137.5cm, d=0.20mm]

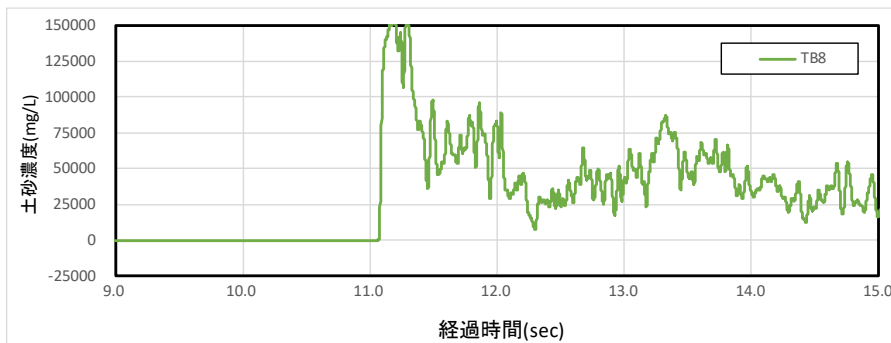


	最大土砂濃度	
	mg/L	%
case32	130,442.2	5.10
case33	145,237.0	5.67
case34	146,953.6	5.74
case35	128,133.9	5.01
case36	130,687.1	5.10
平均	136,290.8	5.32

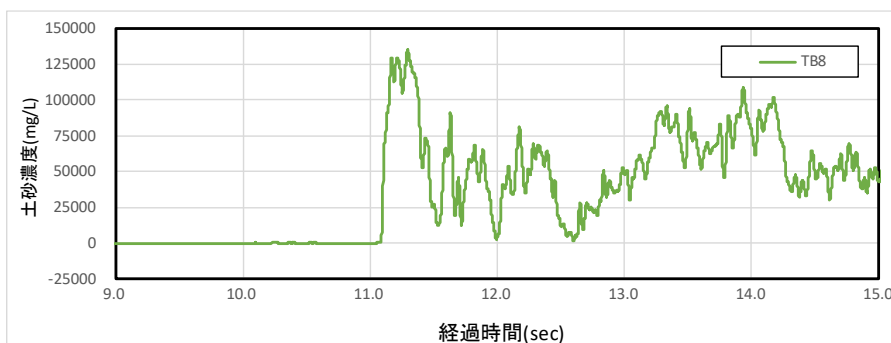
Case32



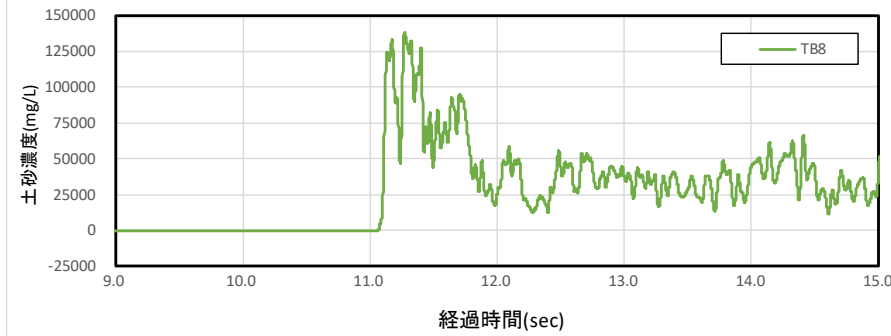
Case33



Case34

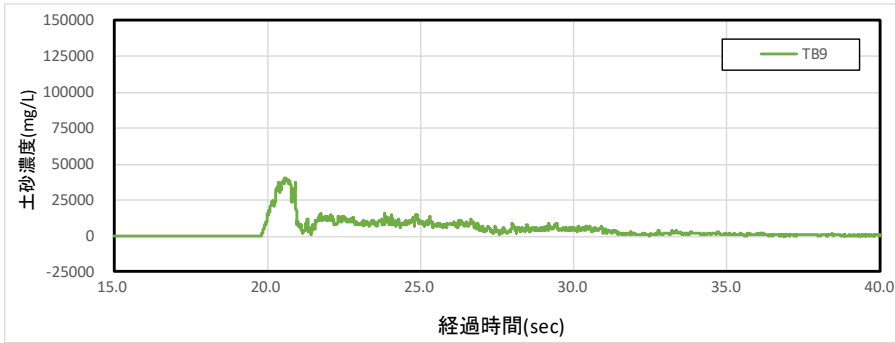


Case35



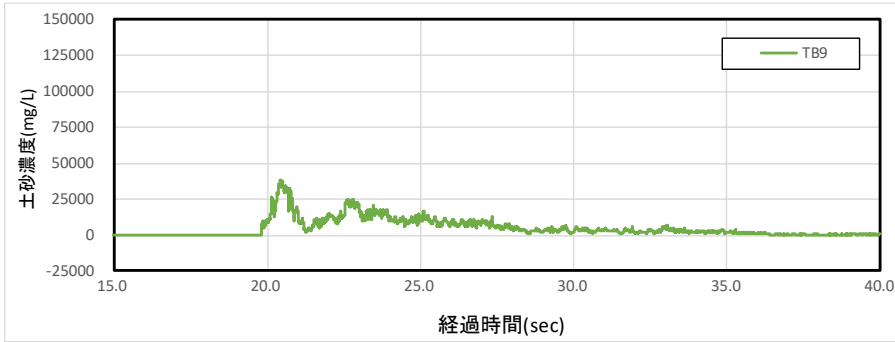
Case36

図 3-2-9 (4) 砂丘背面土砂濃度時系列波形 (ケース 32~36)  
[孤立波; 防潮堤位置-80.0cm, d=0.20mm]



	最大土砂濃度	
	mg/L	%
case37	39,773.6	1.55
case38	38,149.0	1.49
case39	45,682.5	1.78
case40	39,521.9	1.54
case41	39,085.9	1.53
平均	40,442.6	1.58

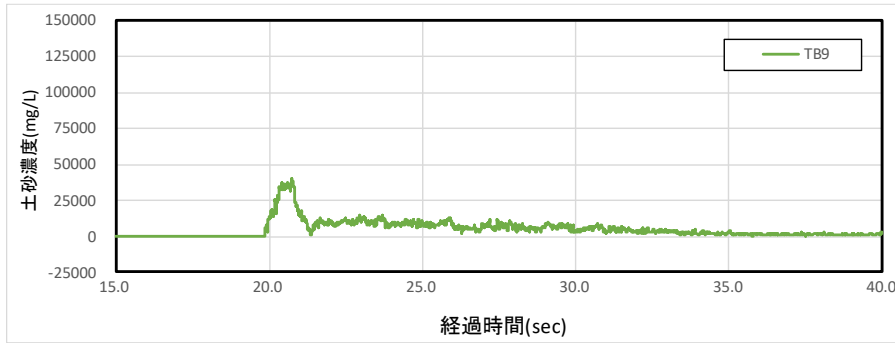
Case37



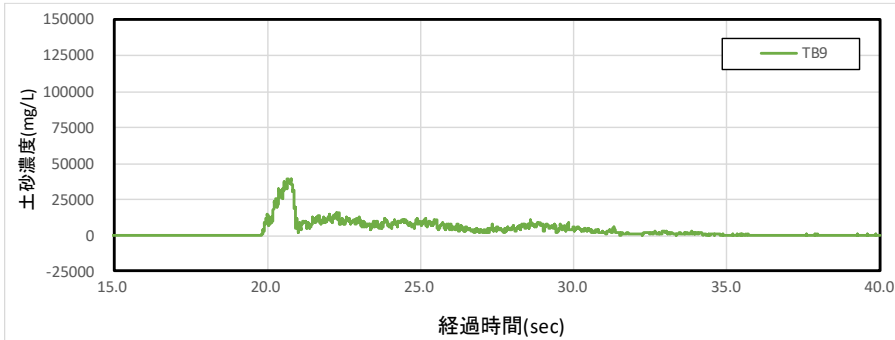
Case38



Case39



Case40



Case41

図 3-2-9 (5) 砂丘背面土砂濃度時系列波形 (ケース 37~41)  
[長周期波 ; 防潮堤位置-137.5cm, d=0.11mm]



	最大土砂濃度	
	mg/L	%
case42	121,195.2	4.73
case43	142,009.9	5.55
case44	147,751.9	5.77
case45	151,371.0	5.91
case46	155,632.6	6.08
平均	143,592.1	5.61

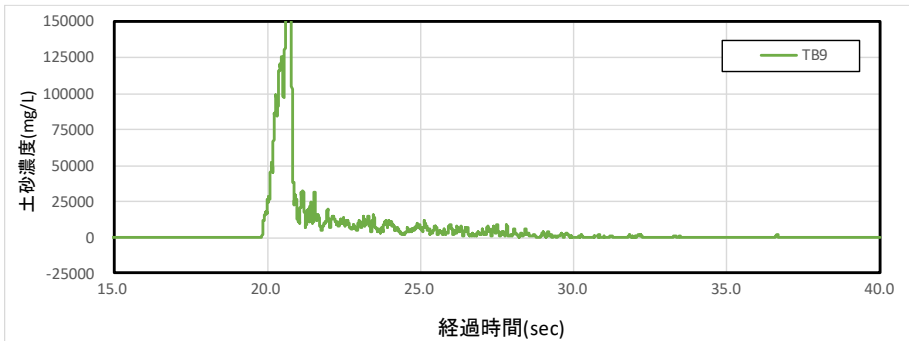
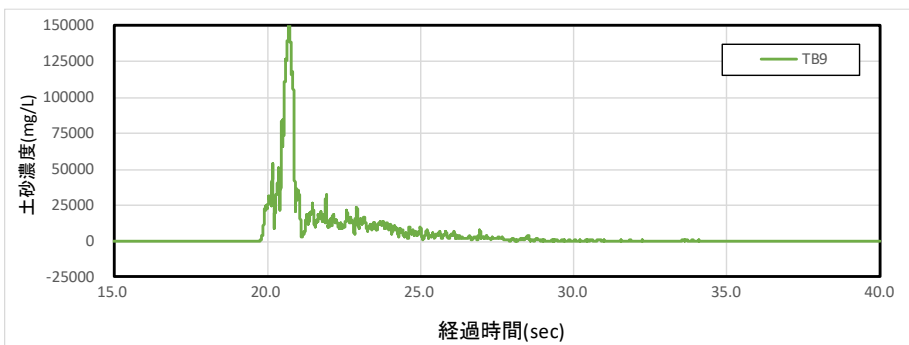
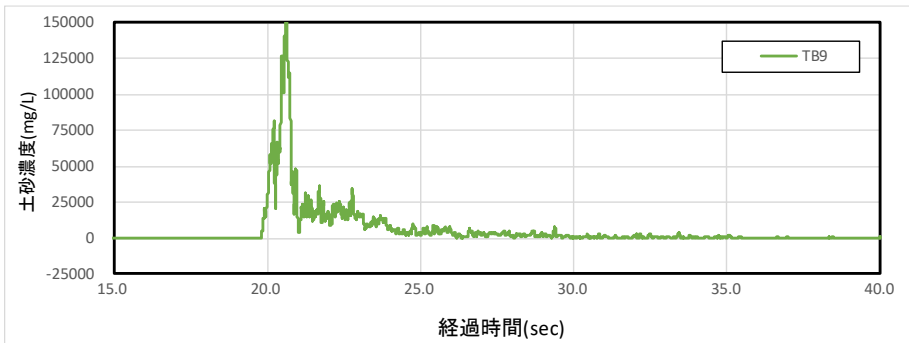
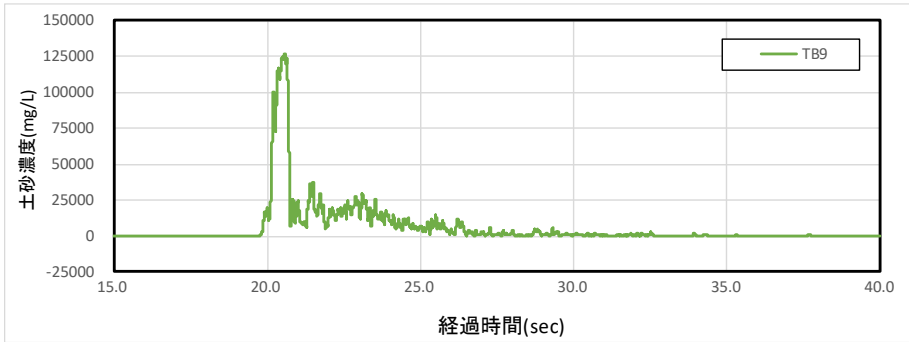
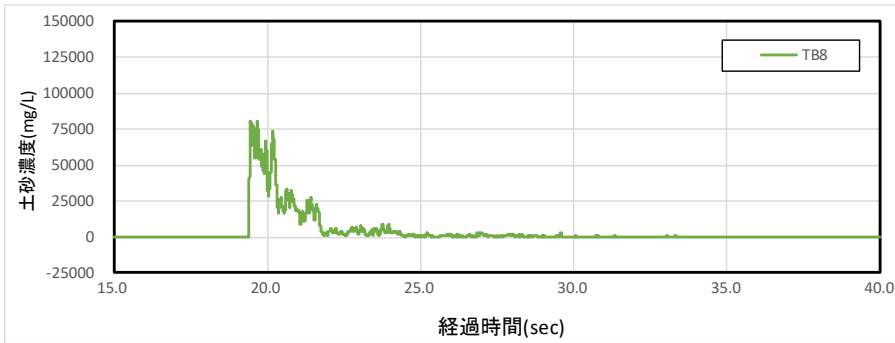
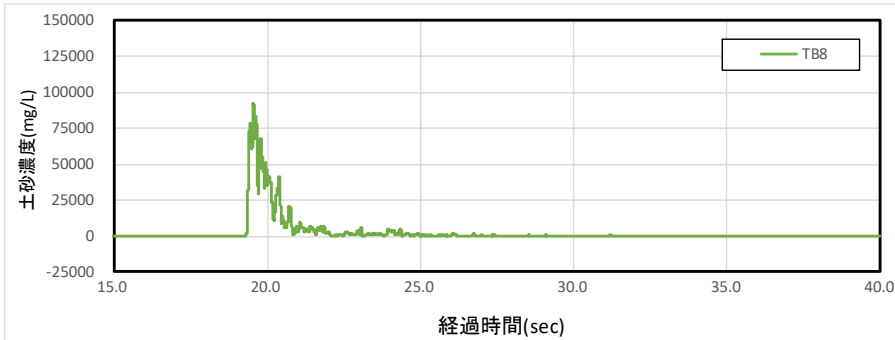


図 3-2-9 (6) 砂丘背面土砂濃度時系列波形 (ケース 42~46)  
 [長周期波 ; 防潮堤位置-137.5cm, d=0.20mm]

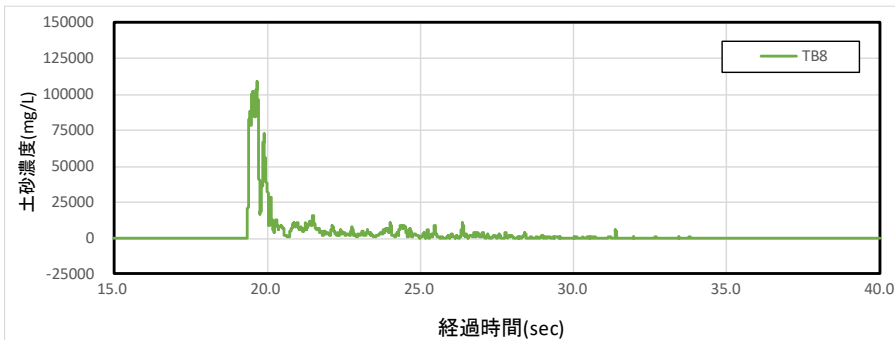
	最大土砂濃度	
	mg/L	%
case47	78,366.2	3.06
case48	88,792.3	3.47
case49	104,305.7	4.07
case50	107,018.4	4.18
case51	91,106.8	3.56
平均	93,917.9	3.67



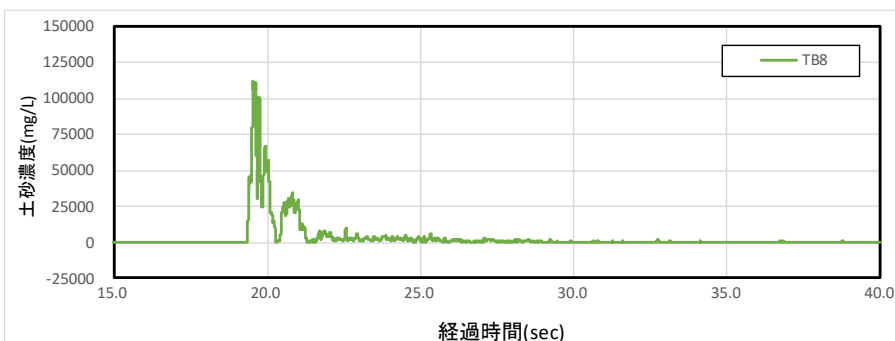
Case47



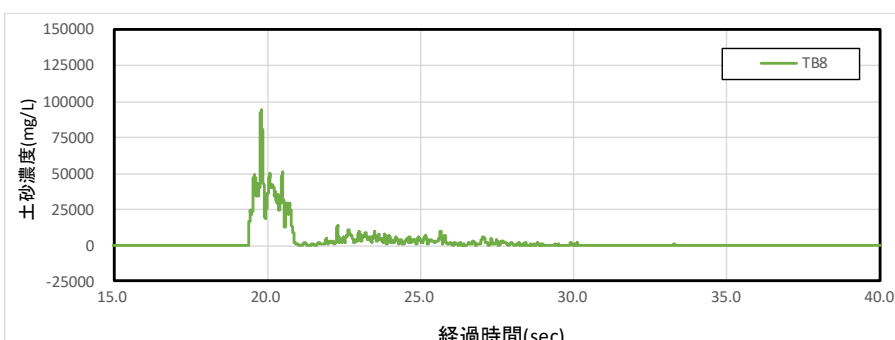
Case48



Case49



Case50



Case51

図 3-2-9 (7) 砂丘背面土砂濃度時系列波形 (ケース 47~51)  
[長周期波 ; 防潮堤位置-80.0cm, d=0.20mm]

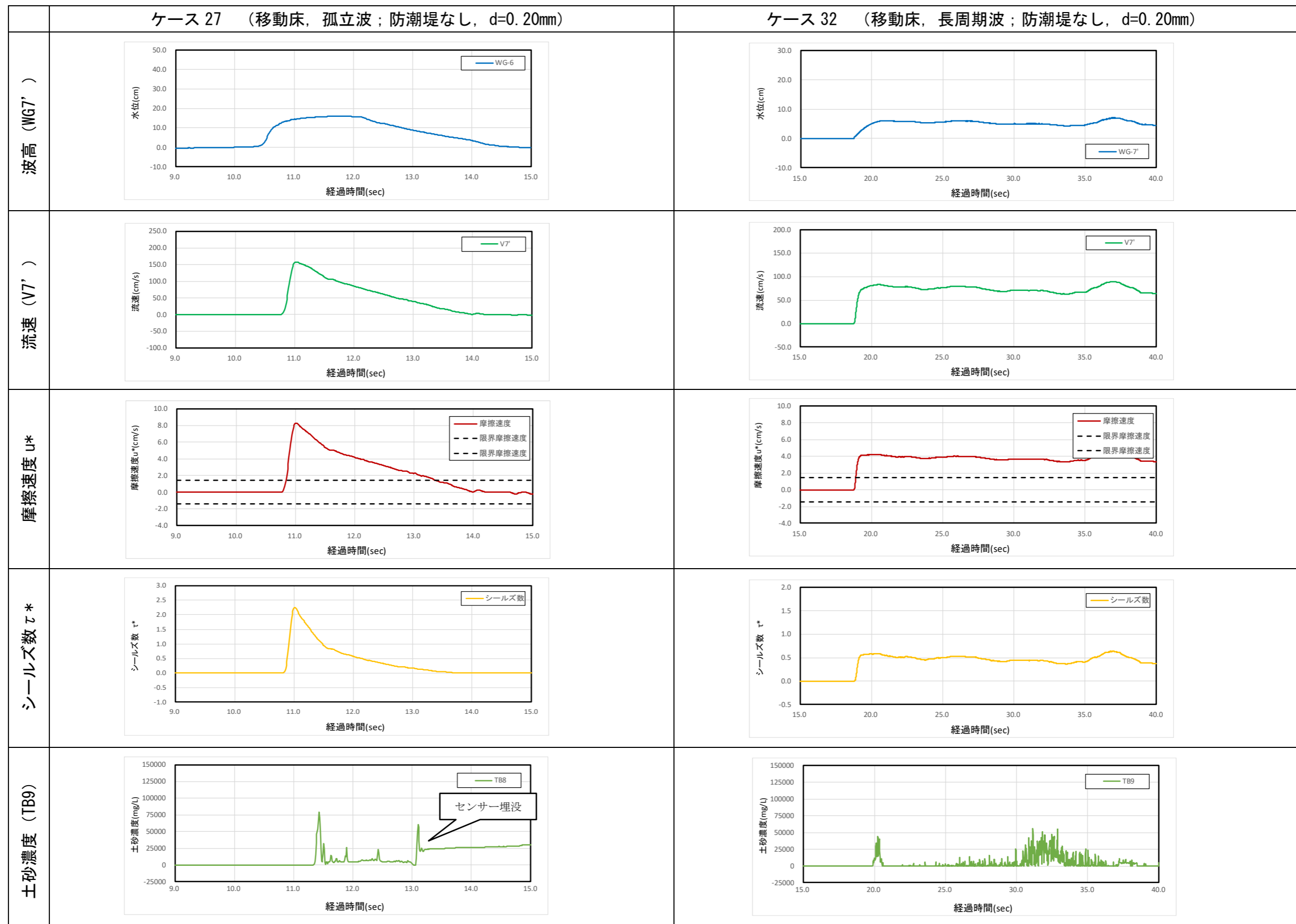


図 3-2-10 (1) 時系列波形の一例 (ケース 1, 6 ; 防潮堤なし) 【摩擦速度, シールズ数】

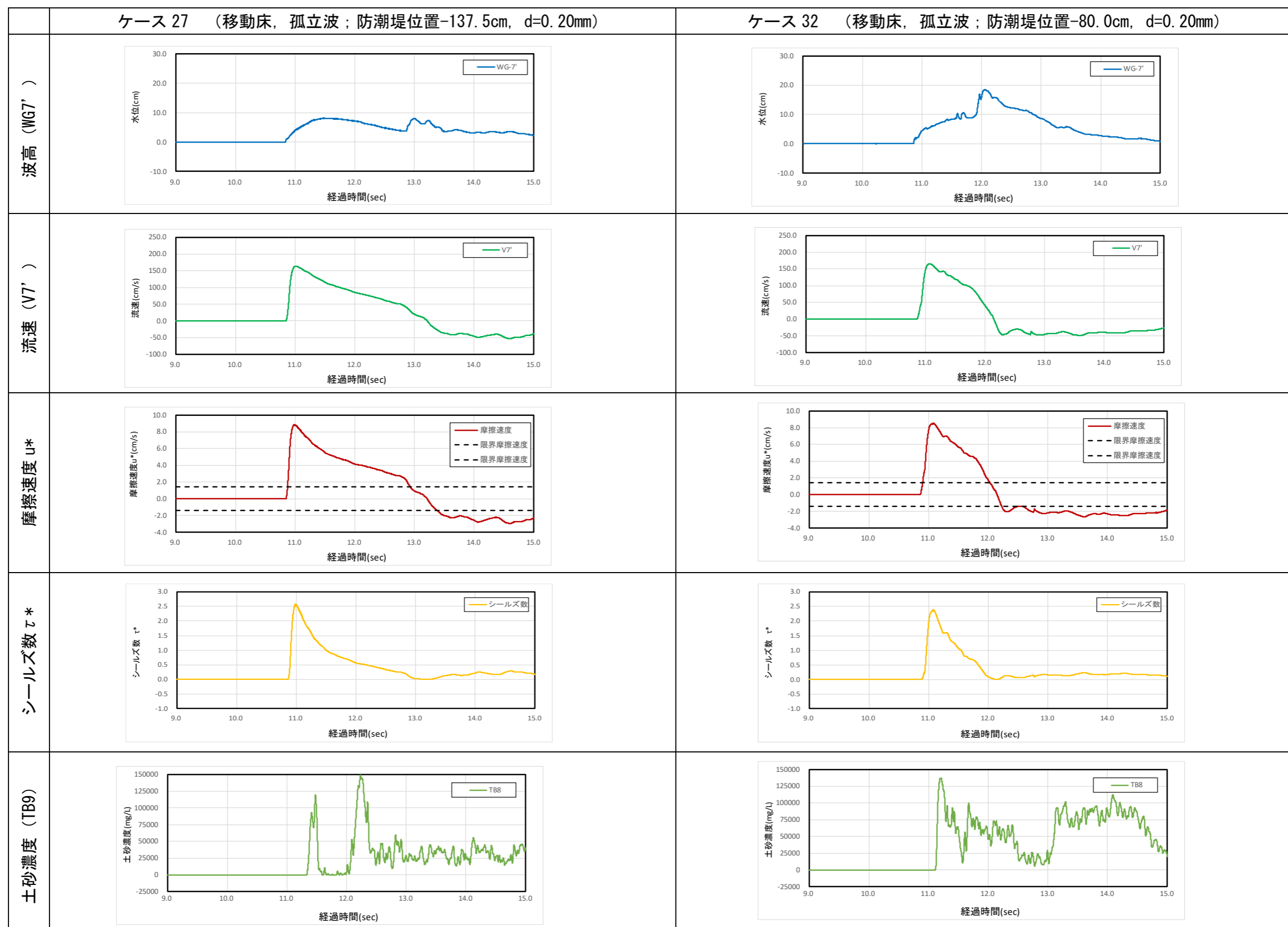


図 3-2-10 (2) 時系列波形の一例 (ケース 27, 32 ; 孤立波) 【摩擦速度, シールズ数】

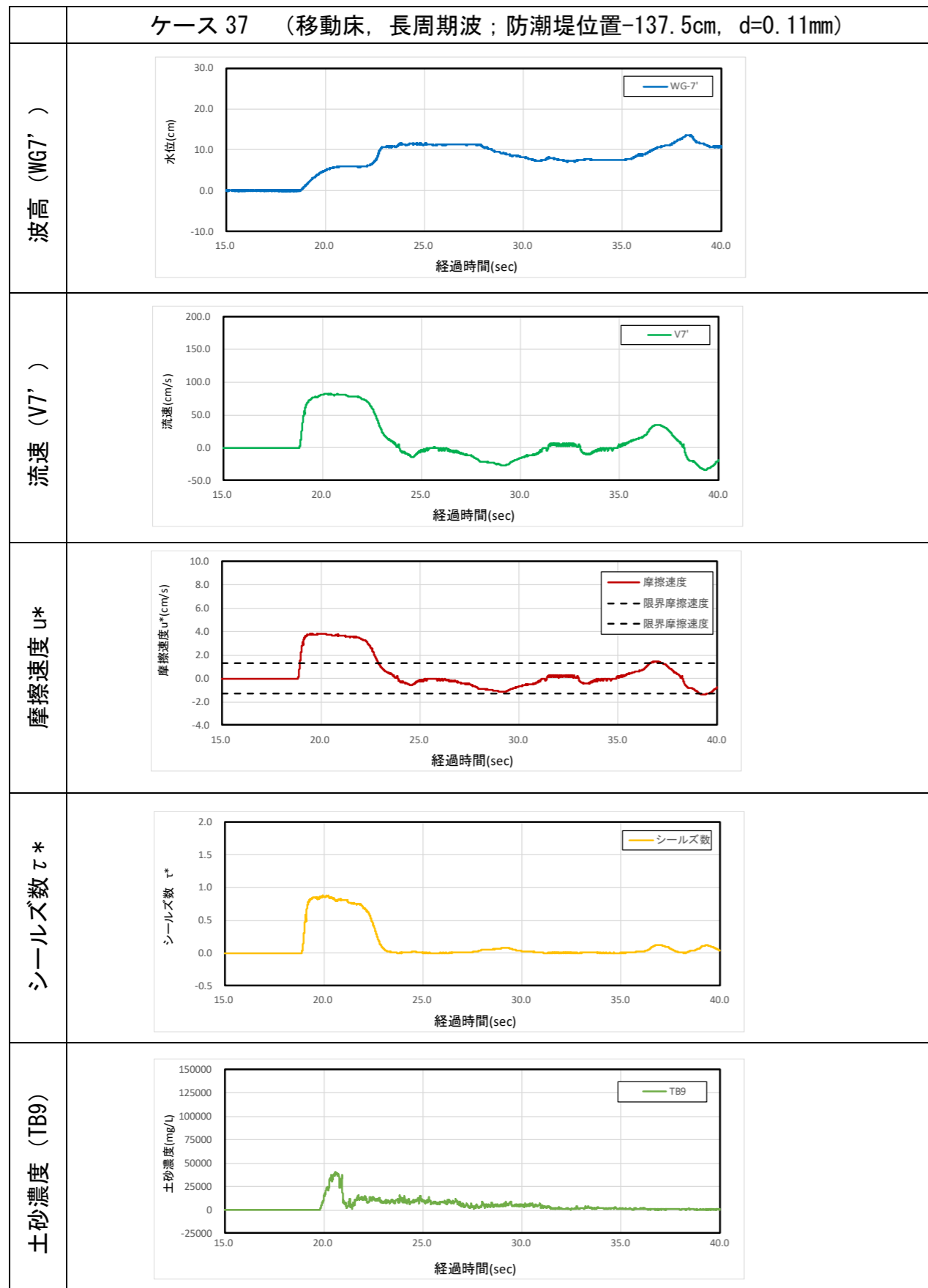


図 3-2-10 (3) 時系列波形の一例 (ケース 37 ; 長周期波(1)) 【摩擦速度, シールズ数】

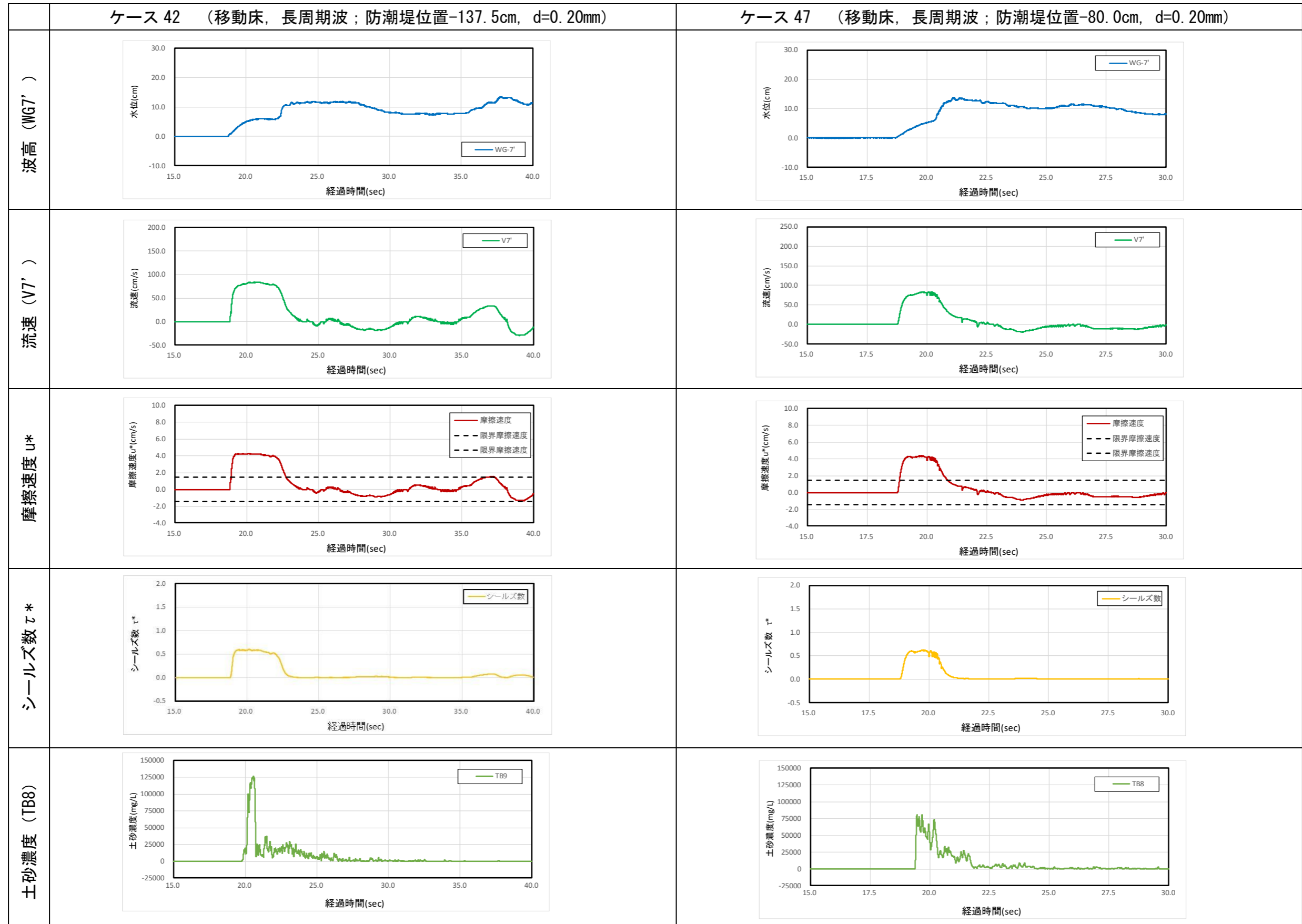
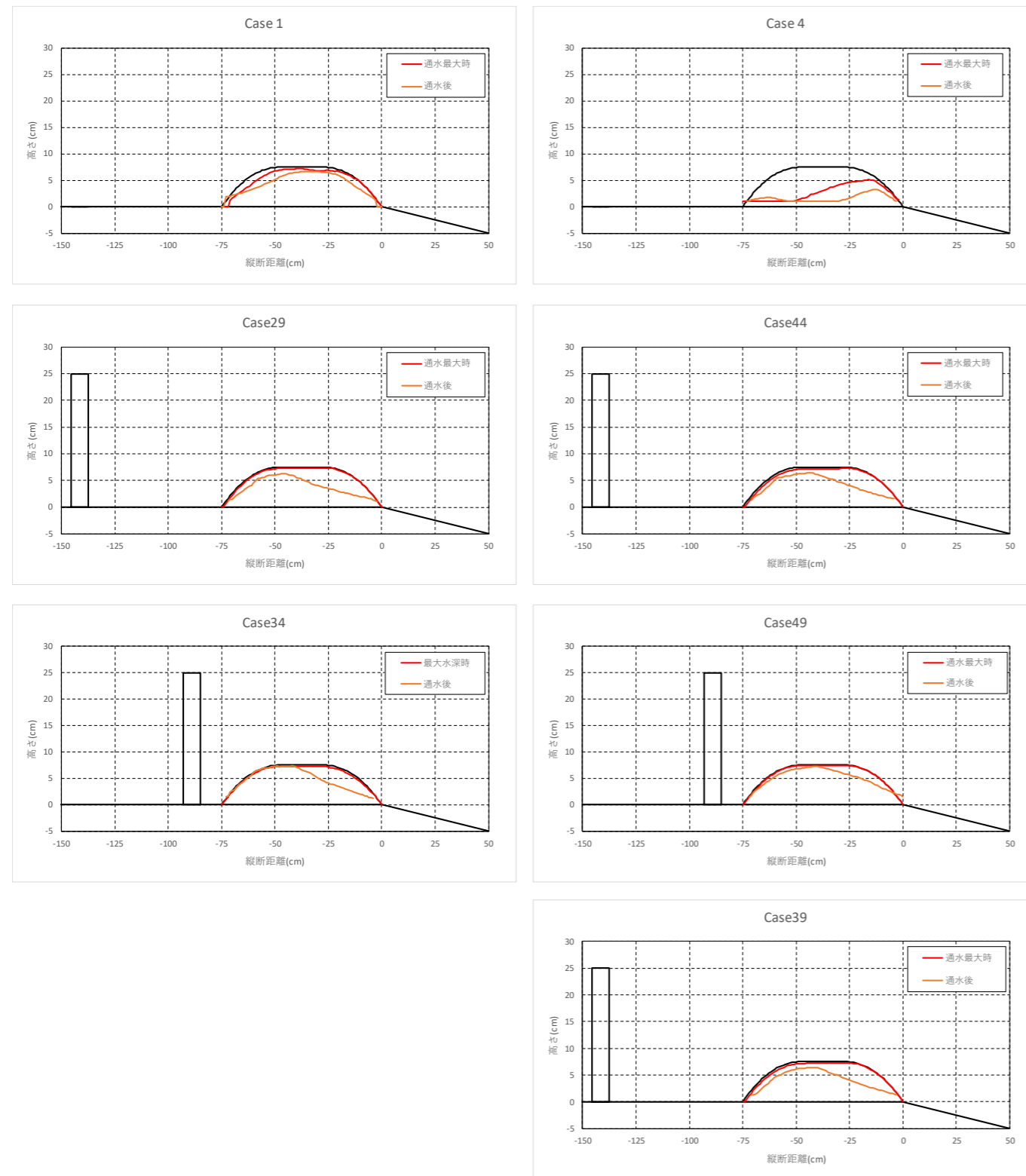


図 3-2-10 (4) 時系列波形の一例 (ケース 42, 47; 長周期波(2)) 【摩擦速度, シールズ数】

表 3-2-4(1) 砂丘形状 (洗掘量) 一覧 (全データ)



孤立波

長周期波

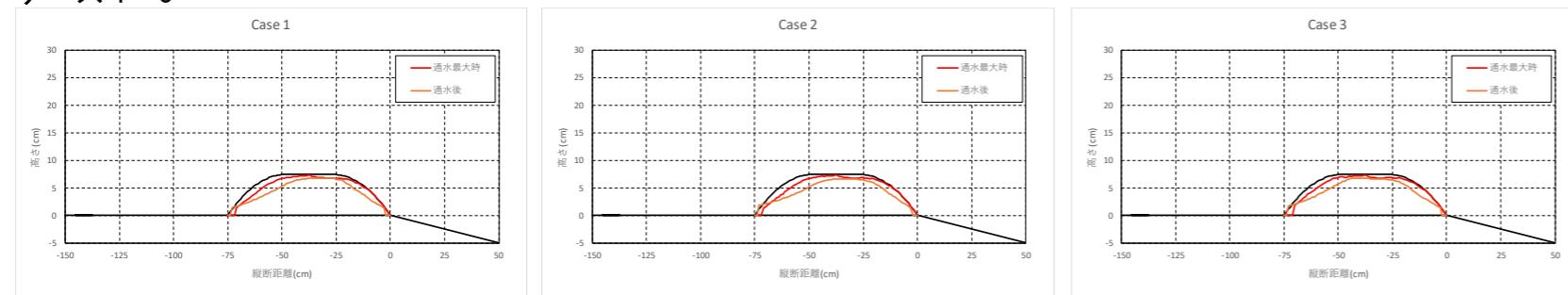
図 3-2-11 砂丘形状図 (代表ケース)

	波浪条件	防潮堤位置	珪砂粒径	通水最大時洗掘量			通水後洗掘量	
				(cm <sup>2</sup> )	(%)	時刻(sec)	(cm <sup>2</sup> )	(%)
Case1	孤立波	なし	dm=0.20mm	46.22	10.72	12.98	102.41	23.75
Case2	〃	〃	〃	47.44	11.00	12.99	101.75	23.60
Case3	〃	〃	〃	41.84	9.70	13.03	93.59	21.70
Case4	長周期波	なし	dm=0.20mm	232.84	53.99	32.89	315.47	73.16
Case5	〃	〃	〃	224.41	52.04	32.87	303.82	70.45
Case6	〃	〃	〃	224.65	52.10	32.95	297.30	68.94
Case27	孤立波	-137.5cm	dm=0.20mm	10.96	2.54	11.74	140.42	32.56
Case28	〃	〃	〃	9.71	2.25	11.66	158.02	36.64
Case29	〃	〃	〃	11.21	2.60	11.75	158.79	36.82
Case30	〃	〃	〃	11.06	2.56	11.73	169.55	39.32
Case31	〃	〃	〃	11.46	2.66	11.75	178.92	41.49
Case32	孤立波	-80.0cm	dm=0.20mm	5.16	1.20	11.82	126.58	29.35
Case33	〃	〃	〃	12.86	2.98	11.77	128.02	29.69
Case34	〃	〃	〃	20.31	4.71	11.82	99.82	23.15
Case35	〃	〃	〃	13.36	3.10	11.78	127.42	29.55
Case36	〃	〃	〃	13.21	3.06	11.78	117.62	27.27
Case37	長周期波	-137.5cm	dm=0.11mm	18.81	4.36	20.16	134.16	31.11
Case38	〃	〃	〃	19.06	4.42	20.09	160.32	37.18
Case39	〃	〃	〃	21.36	4.95	20.12	146.35	33.94
Case40	〃	〃	〃	20.66	4.79	20.10	132.50	30.73
Case41	〃	〃	〃	19.16	4.44	20.12	138.40	32.09
Case42	長周期波	-137.5cm	dm=0.20mm	19.46	4.51	20.06	191.21	44.34
Case43	〃	〃	〃	19.96	4.63	20.08	194.55	45.11
Case44	〃	〃	〃	20.36	4.72	20.08	141.60	32.84
Case45	〃	〃	〃	16.91	3.92	20.04	138.93	32.22
Case46	〃	〃	〃	17.31	4.01	20.02	131.76	30.55
Case47	長周期波	-80.0cm	dm=0.20mm	4.96	1.15	19.46	91.09	21.12
Case48	〃	〃	〃	5.96	1.38	19.44	83.89	19.45
Case49	〃	〃	〃	6.56	1.52	19.47	66.51	15.42
Case50	〃	〃	〃	4.26	0.99	19.43	86.80	20.13
Case51	〃	〃	〃	4.06	0.94	19.45	83.46	19.35

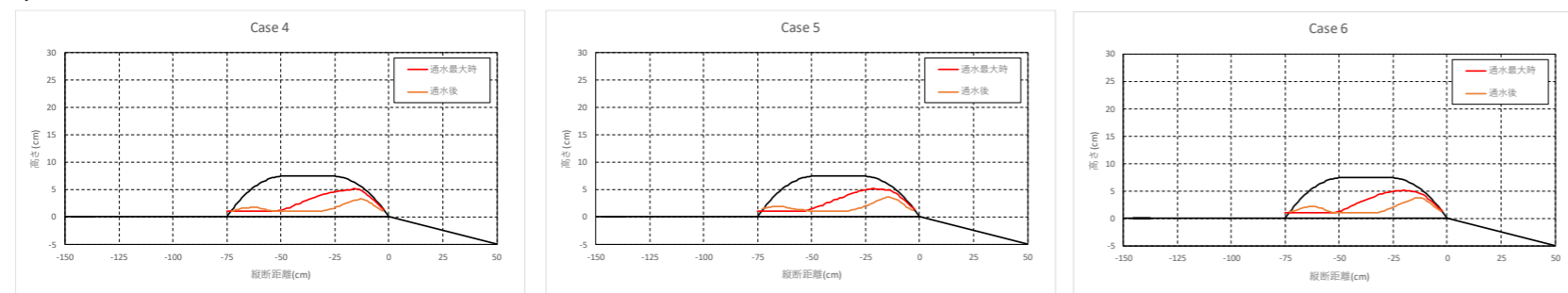
表 3-2-4(2) 砂丘形状 (洗掘量) 一覧 (平均値)

	波浪条件	防潮堤位置	珪砂粒径	通水最大時洗掘量			通水後洗掘量	
				(cm <sup>2</sup> )	(%)	時刻(sec)	(cm <sup>2</sup> )	(%)
Case1-3	孤立波	なし	dm=0.20mm	45.17	10.47	13.00	99.25	23.02
Case4-6	長周期波	なし	dm=0.20mm	227.30	52.71	32.90	305.53	70.85
Case27-31	孤立波	-137.5cm	dm=0.20mm	10.88	2.52	11.73	161.14	37.37
Case32-36		-80.0cm	dm=0.20mm	12.98	3.01	11.79	119.89	27.80
Case37-41	長周期波	-137.5cm	dm=0.11mm	19.81	4.59	20.12	142.35	33.01
Case42-46		-137.5cm	dm=0.20mm	18.80	4.36	20.06	159.61	37.01
Case47-51		-80.0cm	dm=0.20mm	5.16	1.20	19.45	82.35	19.10

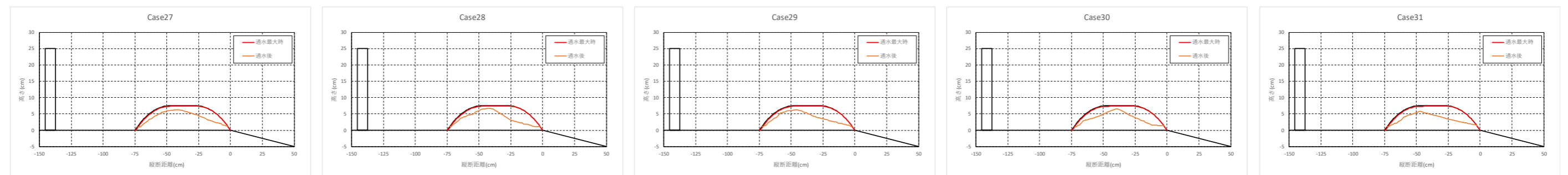
ケース 1~3



ケース 4~6



ケース 27~31



ケース 32~36

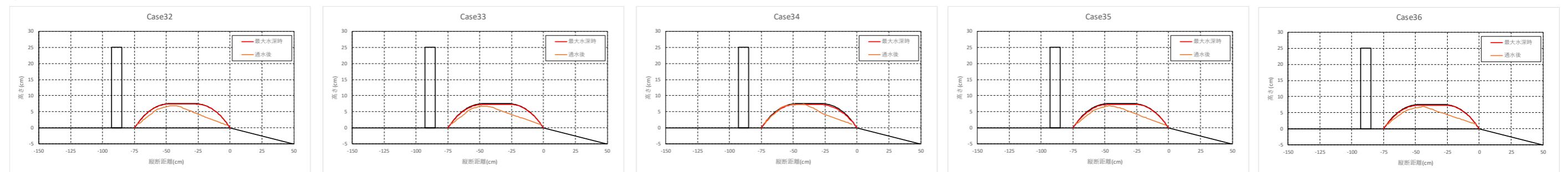
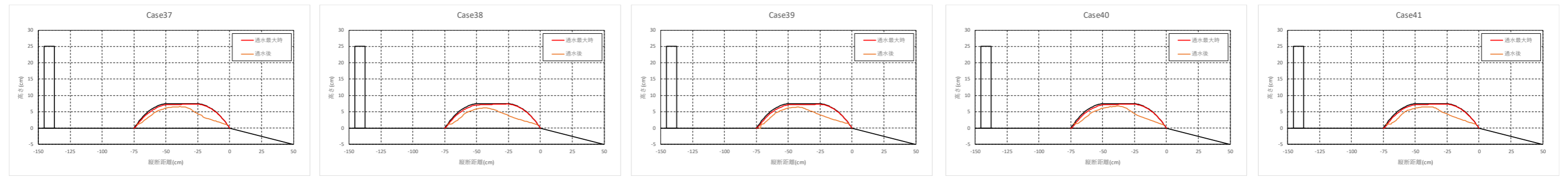


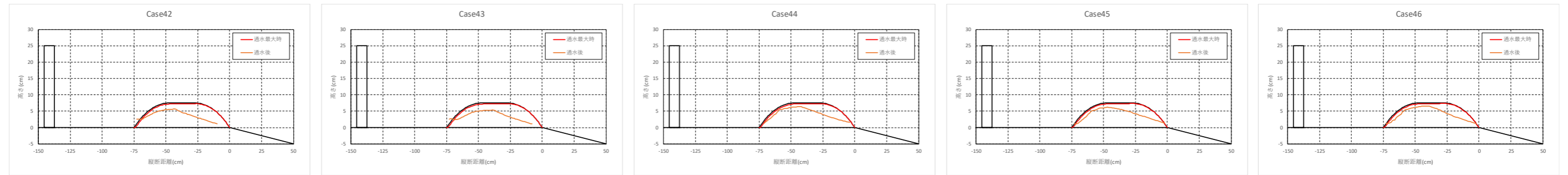
図 3-2-12 (1) 砂丘形状図 (全データその 1)



ケース 37~41



ケース 42~46



ケース 47~51

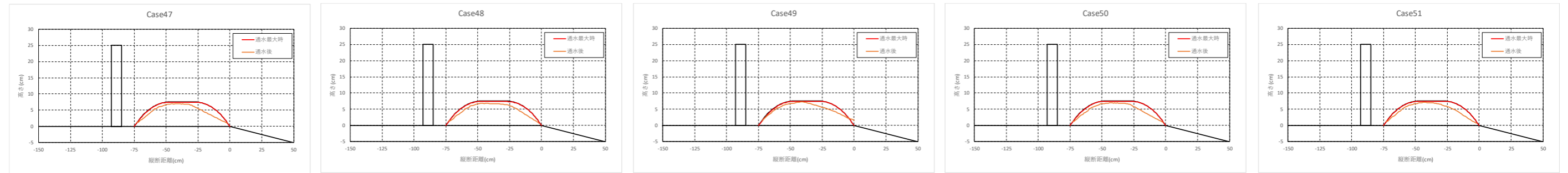


図 3-2-12 (2) 砂丘形状図 (全データその 2)


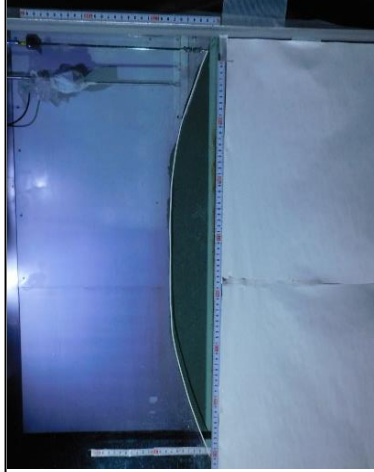



	沖から全景	側面から	実験状況
造波前			
Case2 造波後			<p>孤立波 H=12.5cm 防潮堤位置 なし 砂丘形状 丸み形状 珪砂粒径 <math>d_m=0.20\text{mm}</math></p>

写真 3-2-1 砂丘状況の一例  
(孤立波, 防潮堤なし,  $d_m 0.20\text{mm}$ )


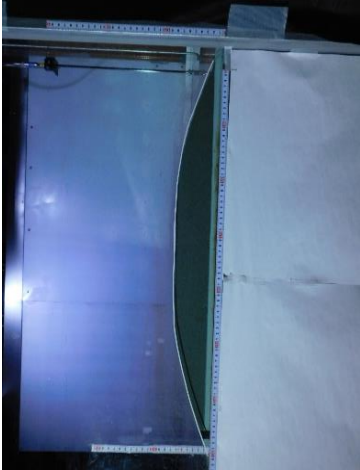
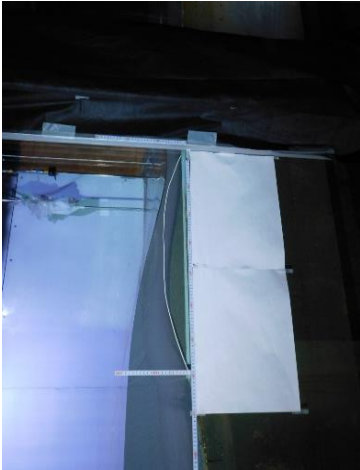

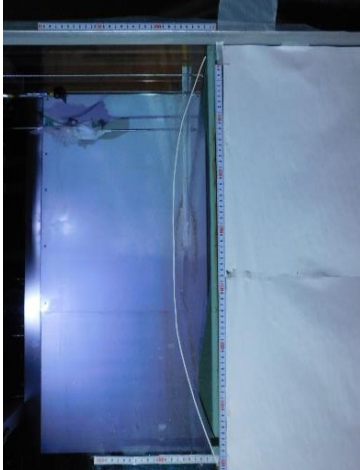
		沖から全景	側面から	実験状況
造波前				<p>長周期波 H=12.5cm  防潮堤位置 なし  砂丘形状 丸み形状  珪砂粒径 <math>d_m=0.20\text{mm}</math></p>
Case4 造波後				

写真 3-2-2 砂丘状況の一例  
(長周期波, 防潮堤なし,  $d_m 0.20\text{mm}$ )


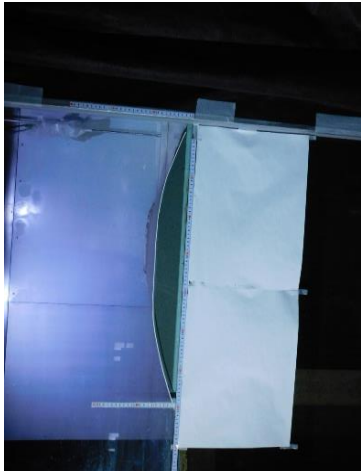

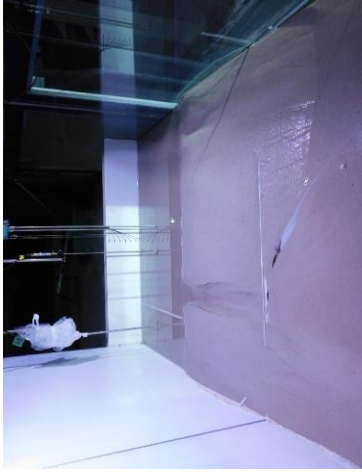
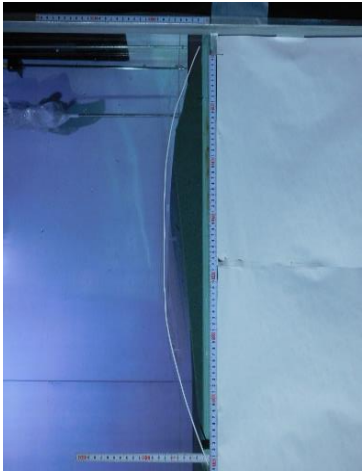
Case27	造波前				<p>実験状況</p> <p>孤立波 H=12.5cm 防潮堤位置 -137.5cm 砂丘形状 丸み形状 珪砂粒径 <math>d_m=0.20\text{mm}</math></p>
	造波後				

写真 3-2-3 砂丘状況の一例  
(孤立波, 防潮堤位置-137.5cm,  $d_m0.20\text{mm}$ )






		沖から全景	側面から	実験状況
造波前				<p>孤立波 H=12.5cm  防潮堤位置 -80.0cm  砂丘形状 丸み形状  珪砂粒径 <math>d_m=0.20\text{mm}</math></p>
Case32	造波後			

写真 3-2-4 砂丘状況の一例  
(孤立波, 防潮堤位置-80.0cm,  $d_m 0.20\text{mm}$ )





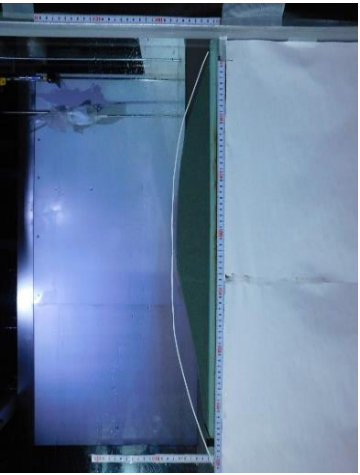
					<p>Case37</p> <p>造波前</p> <p>造波後</p> <p>実験状況</p> <p>長周期波 H=12.5cm 防潮堤位置 -137.5cm 砂丘形状 丸み形状 珪砂粒径 <math>d_m=0.11\text{mm}</math></p>
					

写真 3-2-5 砂丘状況の一例  
(長周期波, 防潮堤位置-137.5cm,  $d_m0.11\text{mm}$ )

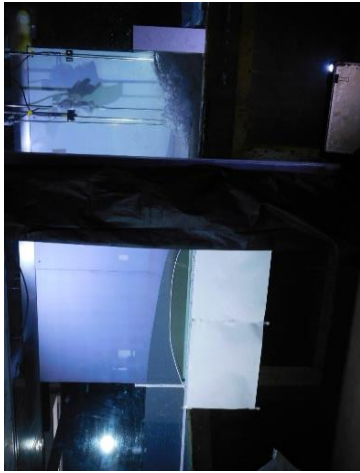




			<p>実験状況</p> 
<p>造波前</p>			<p>長周期波 H=12.5cm 防潮堤位置 -137.5cm 砂丘形状 丸み形状 珪砂粒径 <math>d_m=0.20\text{mm}</math></p>
<p>Case42</p>	<p>造波後</p>		

写真 3-2-6 砂丘状況の一例  
(長周期波, 防潮堤位置-137.5cm,  $d_m0.20\text{mm}$ )

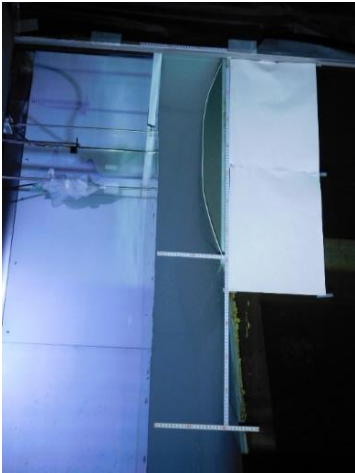


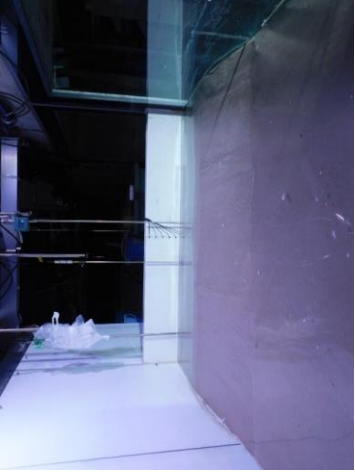
			<p>実験状況</p> 
Case47	<p>造波前</p> 	<p>側面から</p> 	<p>長周期波 H=12.5cm  防潮堤位置 -80.0cm  砂丘形状 丸み形状  珪砂粒径 <math>d_m=0.20\text{mm}</math></p>
	<p>造波後</p> 		

写真 3-2-7 砂丘状況の一例  
(長周期波, 防潮堤位置-80.0cm,  $d_m0.20\text{mm}$ )



表 3-2-5 砂丘の空隙率，含水率

実験ケース	実験条件		試行	サンプル時		乾燥後		空隙率 ( $V_v/V$ )	含水率 ( $V_w/V_v$ )	
	防潮堤位置	珪砂粒径		波浪条件	体積(V)	質量(W1)	質量(W2)			体積(Vs)
case1	なし	6号( $d_n=0.20\text{mm}$ )	孤立波	実験前	70.43cm <sup>3</sup>	127.2g	98.0g	38.28cm <sup>3</sup>	0.46	0.91
				実験後		128.5g	99.5g	38.87cm <sup>3</sup>	0.45	0.92
case4	なし	6号( $d_n=0.20\text{mm}$ )	長周期波	実験前	70.43cm <sup>3</sup>	127.0g	97.5g	38.09cm <sup>3</sup>	0.46	0.91
				実験後		-	-	-	-	-
case30	-137.5cm	6号( $d_n=0.20\text{mm}$ )	孤立波	実験前	70.43cm <sup>3</sup>	126.0g	97.0g	37.89cm <sup>3</sup>	0.46	0.89
				実験後		128.0g	98.0g	38.28cm <sup>3</sup>	0.46	0.93
case34	-80.0cm	6号( $d_n=0.20\text{mm}$ )	孤立波	実験前	70.43cm <sup>3</sup>	121.8g	92.0g	35.94cm <sup>3</sup>	0.49	0.86
				実験後		127.7g	97.0g	37.89cm <sup>3</sup>	0.46	0.94
case38	-137.5cm	7号( $d_n=0.11\text{mm}$ )	長周期波	実験前	70.43cm <sup>3</sup>	127.0g	105.4g	41.17cm <sup>3</sup>	0.42	0.74
				実験後		124.4g	96.2g	37.58cm <sup>3</sup>	0.47	0.86
case38 (全層厚)	-137.5cm	7号( $d_n=0.11\text{mm}$ )	長周期波	実験前	101.88cm <sup>3</sup>	193.0g	150.0g	58.59cm <sup>3</sup>	0.44	0.93
				実験後		209.2g	164.3g	64.18cm <sup>3</sup>	0.41	0.99
case46	-137.5cm	6号( $d_n=0.20\text{mm}$ )	長周期波	実験前	70.43cm <sup>3</sup>	127.7g	98.3g	38.40cm <sup>3</sup>	0.45	0.92
				実験後		129.7g	100.3g	39.18cm <sup>3</sup>	0.44	0.94
case49	-80.0cm	6号( $d_n=0.20\text{mm}$ )	長周期波	実験前	70.43cm <sup>3</sup>	126.1g	98.0g	38.28cm <sup>3</sup>	0.46	0.87
				実験後		130.7g	101.0g	39.45cm <sup>3</sup>	0.44	0.96

※ case4は砂丘の大半が洗掘され、残土のサンプリングが不能なため、実験後のデータなし

---

## 第4章 結果のまとめ

### 4-1 結果のまとめ

#### (1) 予備実験

本試験の実施に先立ち、長周期波の造波形状について、孤立波と流れを合成した津波流について基礎信号の作成を行い、所定の造波形状が得られるよう設定を行った。また孤立波についても設定を行った。長周期波における設定は、当初沖合-12.5m位置（沖波条件）にて波形の目標を設定したが、汀線位置における浅海変形の度合いが著しいため、汀線位置における波形で設定した。

#### (2) 本実験

##### 1) 固定床実験

孤立波では作用波力が（防潮堤位置 -80.0cm）>（防潮堤位置-137.5cm）であるのに対し、長周期波では作用波力が（防潮堤位置 -80.0cm）<（防潮堤位置-137.5cm）となる。孤立波については防潮堤前面の水位の違いがその主要因と考えられる。

孤立波の衝撃段波最大時の波圧分布は、いずれの防潮堤位置でも防潮堤上部に波圧がほとんど作用しておらず下部に集中している。防潮堤前面の最大水位発生時＝防潮堤作用波力の最大時とはならない。

##### 2) 移動床実験

固定床と移動床の比較をした場合、孤立波で防潮堤位置が-137.5cmの条件で砂丘岸側の測点での若干の波高減衰、流速低下がみられるが、その他の条件では変化はほとんどない。

孤立波の持続波最大時波力は移動床>固定床となる傾向があり、長周期波では最大波力が移動床<固定床となる傾向がある。またその波圧分布を比較した場合固定床と移動床で孤立波の持続波最大時2及び長周期波ではその分布形に差はほとんどないが、孤立波の衝撃段波最大時および持続波最大時1には分布形に差が生じている。これらの固定床と移動床の波力、波圧分布に差を生じる主要因は、砂丘の洗掘に伴うエネルギー損失等によって生じる減少傾向と、洗掘された土砂が水中に混入することにより水の単位堆積重量が増すことによる増加傾向とのバランスによって生じていると推察される。

砂丘の洗掘量は、防潮堤なしの条件で砂丘総堆積の10～50%程度であるのに対し、防潮堤を設置した条件では5%以下となる。特に長周期波でその傾向は顕著となる。また防潮堤なし、防潮堤位置-137.5cmの条件での砂丘の洗掘量は、孤立波<長周期波となる。これは、長周期波の方が洗掘されやすい条件となる流れ場の継続時間が長いことによると推察される。

防潮堤を設置した条件では、各ケースの土砂濃度の最大値は概ね前述の砂丘洗掘量に比例し、長周期波で防潮堤位置が-137.5cmの条件が最も大きい（ただし $d_m=0.11\text{mm}$ の条件を除く）。

---

dm=0.11mm の条件での土砂濃度が他のケースに比べて低い理由は、粒径による洗掘量の差がほとんどないことを考慮すると、濁度計センサーが底面付近に設置していることによると推察される。つまり、掃流成分の多い dm=0.20mm は底面付近の濃度が高いため大きな値が計測され、浮遊成分の多い dm=0.11mm は水中に拡散されている土砂の割合が高いため、底面付近の濃度の値が相対的に小さくなったと考えられる。

## 4-2 結果の考察

### 4-2-1 防潮堤作用波力に対する砂移動の影響度合いについて

ここでは固定床実験及び移動床実験それぞれで計測・算定された波力（段波領域，持続波領域）の相違について，何に起因するものかについて分析・考察を行った。

#### (1)防潮堤前面波高と作用波力の関係

固定床実験及び移動床実験それぞれ同一条件における防潮堤作用波力の比（移／固）と，防潮堤前面で計測した最大波高の比（移／固）の関係を図 4-2-1 に示す。なお，値は 5 回試行の平均値を用いている。

長周期波の場合，波高比が大きい方が波力比も大きくなる傾向にあるが，波力比そのものは 1 より小さく，固定床実験の方が大きな値であることを示している。

孤立波の場合は，段波領域，持続波領域に拘わらず波高比が大きい方が波力比は小さくなる傾向にあり，この因子だけでは説明がつかない。

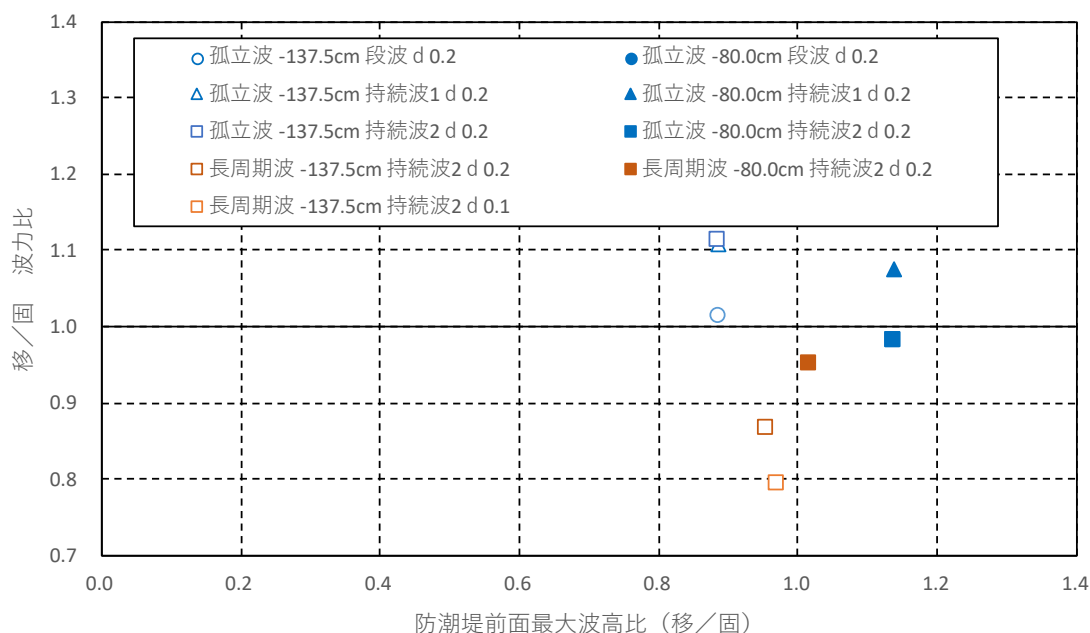


図 4-2-2 防潮堤前面最大波高比と防潮堤作用波力比の関係

#### (2)防潮堤前面流速と作用波力の関係

固定床実験及び移動床実験それぞれ同一条件における防潮堤作用波力の比（移／固）と，防潮堤前面で計測した最大流速の速度水頭換算値の比（移／固）の関係を図 4-2-2 に示す。なお，値は 5 回試行の平均値を用いている。

孤立波の場合，速度水頭比が大きいほど（段波領域，持続波領域に拘わらず）波力比は大きくなる傾向にある。また速度水頭比そのものは 1 より小さく，移動床による減速効果が生じていることが伺える。

長周期波の場合，速度水頭比が大きい方が波力比は小さくなる傾向で，この因子だけでは説明がつかない。

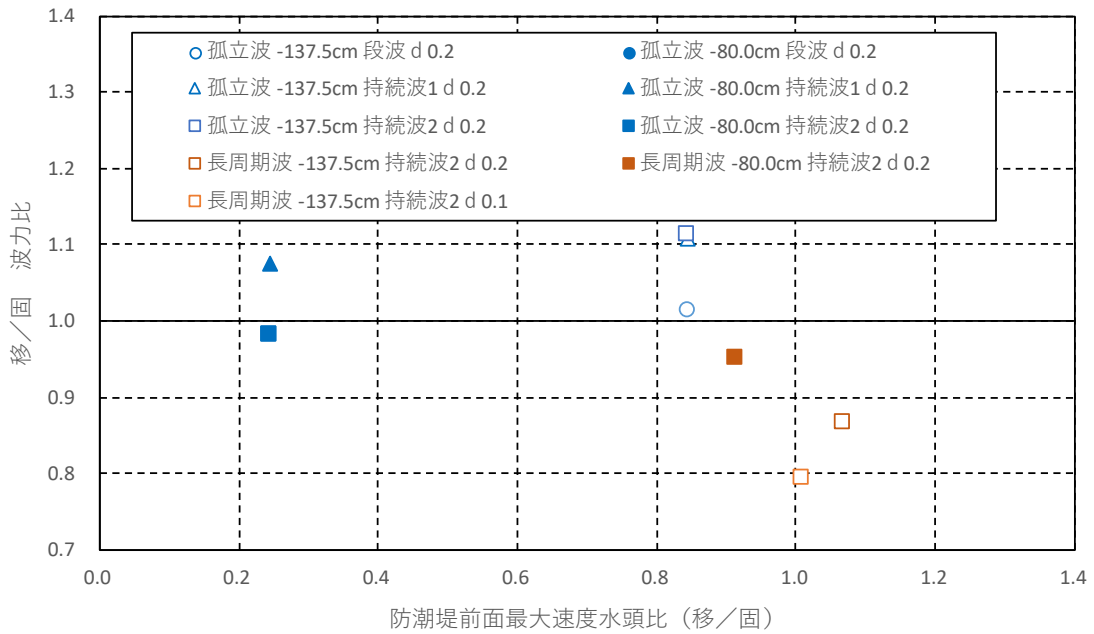


図 4-2-2 防潮堤前面最大速度水頭比と防潮堤作用波力比の関係

(3) 防潮堤前面土砂濃度と作用波力比の関係

固定床実験及び移動床実験それぞれ同一条件における防潮堤作用波力の比（移／固）と、防潮堤前面で計測した最大土砂濃度の関係を図 4-2-3 に示す。なお、値は 5 回試行の平均値を用いている。

細粒砂を用いた  $dm=0.11mm$  のケースを除き、孤立波（段波領域、持続波領域）、長周期波に拘わらず土砂濃度が大きいほど作用波力比は減少傾向にあり、砂丘の洗掘に要するエネルギー分が減少していることが推察される。

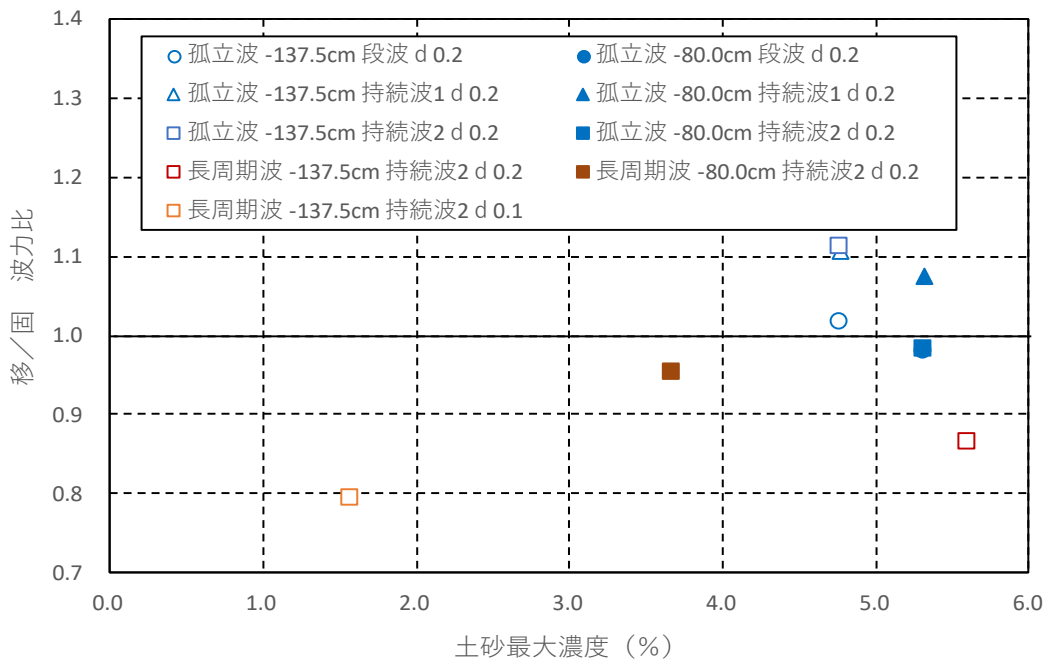


図 4-2-3 防潮堤前面最大土砂濃度と防潮堤作用波力比の関係

---

防潮堤作用波力に対する砂移動の影響について、幾つかの因子について分析を行った結果、防潮堤前面の水理量（波高，流速）では明確な傾向を説明できるまでに至らなかったが，防潮堤前面の土砂濃度とは因果関係があり，砂丘地形が移動床となることで流体の単位堆積重量が増えることによる作用波力の増加よりは，砂丘の洗掘に要するエネルギー分が減少して作用波力が減少する影響の方が大きいことが分かった。



---

## 【III シミュレーション解析編】

### 目次

第1章 再現解析.....	III-1
1-1 本章の目的.....	III-1
1-2 再現解析条件.....	III-1
1-3 再現解析の時系列結果.....	III-10
1-3-1 水位時系列の解析結果.....	III-10
1-3-2 流速時系列の解析結果.....	III-22
1-3-3 フルード数時系列の解析結果.....	III-28
1-3-4 波力時系列の解析結果.....	III-32
1-3-5 シールズ数時系列の解析結果.....	III-38
1-3-6 砂密度時系列の解析結果.....	III-40
1-4-1 流速場，浮遊砂濃度の解析結果と砂面形状変化の比較.....	III-42
1-4-2 砂面形状変化の解析ケース間の比較.....	III-68
1-5 再現解析の波力の増加率.....	III-70
1-6 再現解析の砂丘侵食量.....	III-71
1-7 第1章のまとめ.....	III-72
第2章 感度解析.....	III-74
2-1 本章の目的と感度解析条件.....	III-74
2-2 砂丘の粒径現地調査.....	III-76
2-3 理想長周期波 A,B における通過波検定.....	III-81
2-4 感度解析の時系列結果.....	III-82
2-4-1 水位時系列の解析結果.....	III-82
2-4-2 流速時系列の解析結果.....	III-89
2-4-3 フルード数時系列の解析結果.....	III-93
2-4-4 波力時系列の解析結果.....	III-96
2-4-5 シールズ数時系列の解析結果.....	III-101
2-4-6 砂密度時系列の解析結果.....	III-103
2-5 感度解析の空間変化.....	III-105
2-5-1 流速場，浮遊砂濃度の分布.....	III-105
2-5-2 砂面形状変化の比較.....	III-119
2-6 感度解析の波力の増加率.....	III-121
2-7 感度解析の砂丘侵食量.....	III-122
2-7 第2章のまとめ.....	III-123
Appendix 1 段波波圧及び持続波圧の評価方法.....	III-A-1
Appendix 2 洗掘影響の把握解析.....	III-A-3

---



---

---

## 第 1 章 再現解析

### 1-1 本章の目的

本章は、類似事業の水理試験およびシミュレーション解析を参考に再現解析を行って、解析手法の傾向などを確認し、再現精度の向上に資する。

### 1-2 再現解析条件

表 1-2-1 に再現解析を行った全 11 ケースの一覧を示す。

表 1-2-1 再現解析ケース一覧

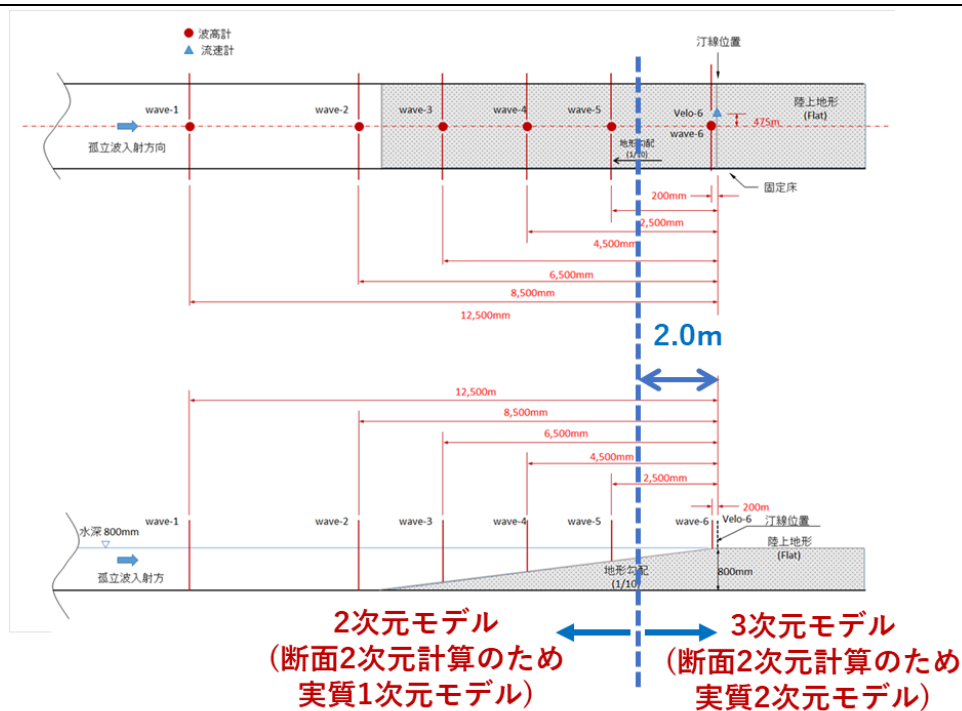
	ケース名	波高	入力波形	防潮堤位置	砂丘粒径	砂丘形状
堤体無	Case52	12.5cm	孤立波	—	6号珪砂	丸み断面 [模型]
	Case53	12.5cm	長周期波			
固定床	Case54	12.5cm	孤立波	-137.5cm	—	丸み断面 [模型]
	Case55	12.5cm		-80cm		
	Case56	12.5cm	長周期波	-137.5cm		
	Case57	12.5cm		-80cm		
移動床	Case58	12.5cm	孤立波	-137.5cm	6号珪砂	
	Case59	12.5cm		-80cm		
	Case60	12.5cm	長周期波	-137.5cm	7号珪砂	
	Case61	12.5cm		-137.5cm	6号珪砂	
	Case62	12.5cm		-80cm		

#### (1)解析領域

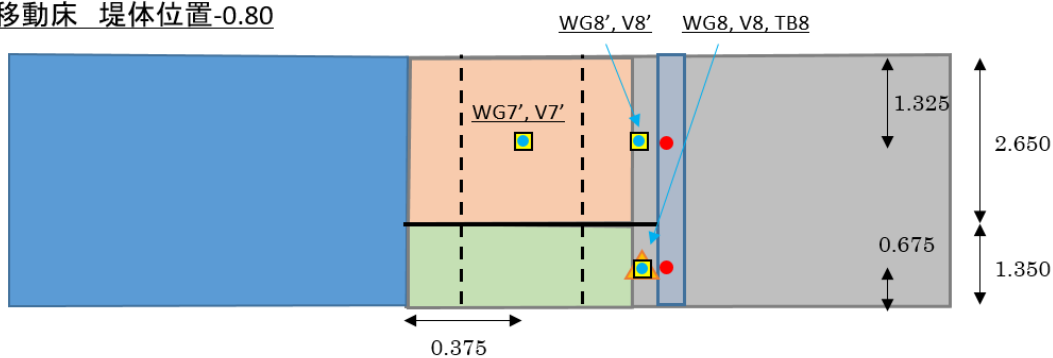
対象地形を図 1-2-1 に示すように、海底地形と陸上部には堤体及び砂丘を設置した。堤体高は 25cm とし、設置位置は護岸汀線から 80cm 及び 137.5cm 陸側の 2 種類とした。

造波境界、直線部、地形勾配、遡上区間の一連の水路をモデル化し、水路縦断方向 (x 方向) については図 1-2-1 に示す wave01(WG1)地点から護岸汀線より陸側に 2.5m までとし、水路鉛直方向 (z 方向) については地上 1.0m までとした。水路横断方向 (y 方向) については、幅 4m とした。

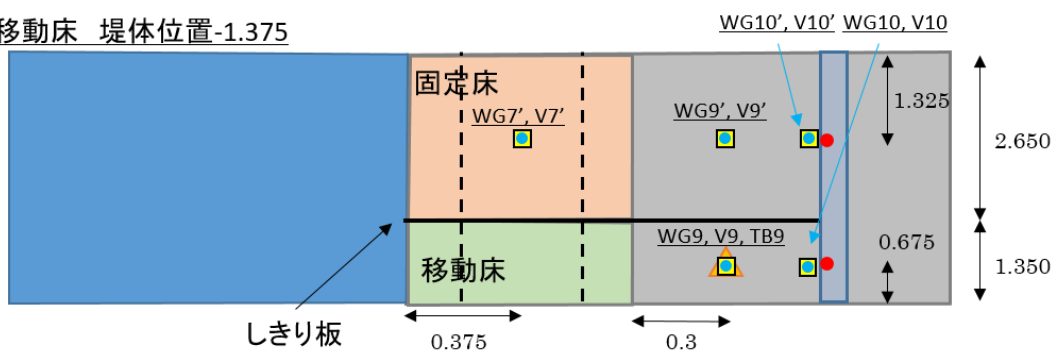
また、二次元モデルと三次元モデルとの境界においては、汀線より 2.0m 沖側の地点を境界とした。当該地点より岸側を三次元モデルとし、当該地点よりも沖側を二次元モデルとしてそれぞれ計算した。ただし、本計算では断面 2 次元計算とするため、当該境界より岸側を実質 2 次元モデル、当該境界より沖側を実質 1 次元モデルとなる (図 1-2-1 参照)。



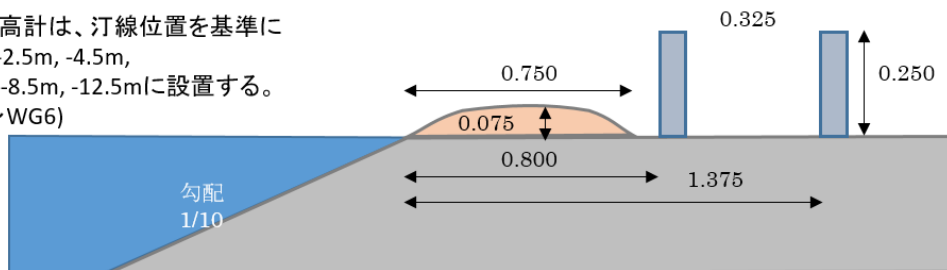
移動床 堤体位置-0.80



移動床 堤体位置-1.375



沖合波高計は、汀線位置を基準に  
-0.2m, -2.5m, -4.5m,  
-6.5m, -8.5m, -12.5mに設置する。  
(WG1~WG6)



単位：m

図 1-2-1 計測機器の設置位置

---

## (2)計算時間，解析出力間隔

計算時間については，基本的には，孤立波においては 13s 以上，長周期波においては 35s 以上とするが，ケースにより計算の終了時刻が異なる．

解析出力間隔については，固定ではなく，孤立波は 0.025s 間隔より細かく，長周期波は 0.25s 間隔より細かく，計算時間帯またはケースごとで異なる．ただし，流速及び浮遊砂濃度の空間分布（スナップショット）においては，孤立波は 0.05s 間隔，長周期波は 0.5s 間隔で出力する．

## (3)計算メッシュ

計算メッシュは，試験水槽の形状を適切に表現できるように作成した．水路縦断方向及び鉛直方向のメッシュ分割は，遡上時の津波の変形・伝播過程を詳細に検討できるように，水路縦断方向（x 方向）および鉛直方向（z 方向）の計算メッシュサイズを 1cm に設定した．一方，横断方向（y 方向）のメッシュは断面 2 次元計算のため，1 分割であり 4m となる．

#### (4)入力波の作成方法

孤立波の作成については、波高と水深を入力し、プログラム内で波が自動生成される。一方、長周期波については、試験の波高データを用いる。具体的に、解析ケース **Case53** の砂丘無しのケースで通過波検定を実施し、入力長周期波を作成する。以下の説明図で、当該試験データを「長周期波 G6」とする。

図 1-2-2 は、試験データ(長周期波 G6)をそのまま入力して得られた wave01(WG1)地点 (図 1-2-1 参照) における水位の時系列波形図を示し、解析結果を赤線と試験結果を青線で示した図である。

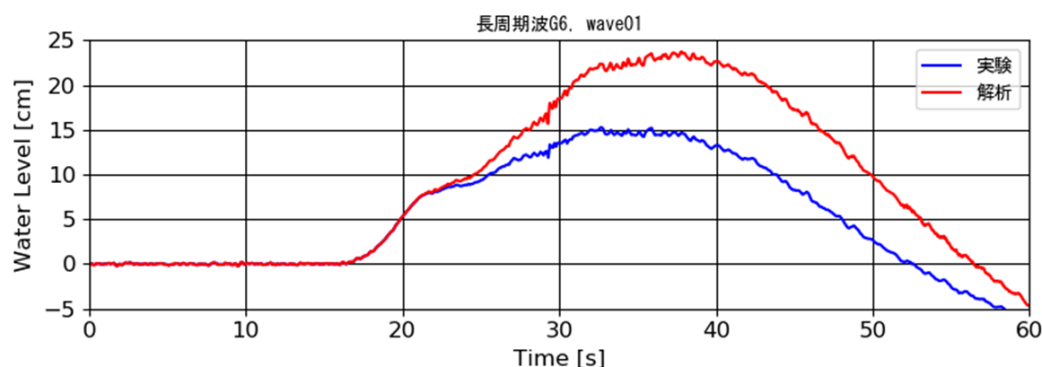


図 1-2-2 wave01 地点の水位時系列

水理試験の wave01 地点の長周期波をそのまま入力して計算すると、図 1-2-2 に示すように、25 秒辺りから試験結果と解析結果が大きく乖離する。

そこで、計算値 Cal から当該残差 Res (=計算値 Cal-試験値 Exp) を差し引いたものを入力長周期波 I として計算する。このとき、当該残差に補正係数 coef を乗じて計算を実施する。

$$I = \text{Cal} - \text{coef} \times \text{Res} \quad \dots\dots\dots(1)$$

補正係数 coef を 1.0, 0.8, 0.7, 0.6 の 4 パターンとしてケーススタディした結果 (図 1-2-3~図 1-2-6 参照) , 補正係数 coef が 0.7 の時に、解析結果は最も試験データにフィッティングした (図 1-2-5 参照) 。このため、補正係数 coef は 0.7 を採用し、入力波とした。

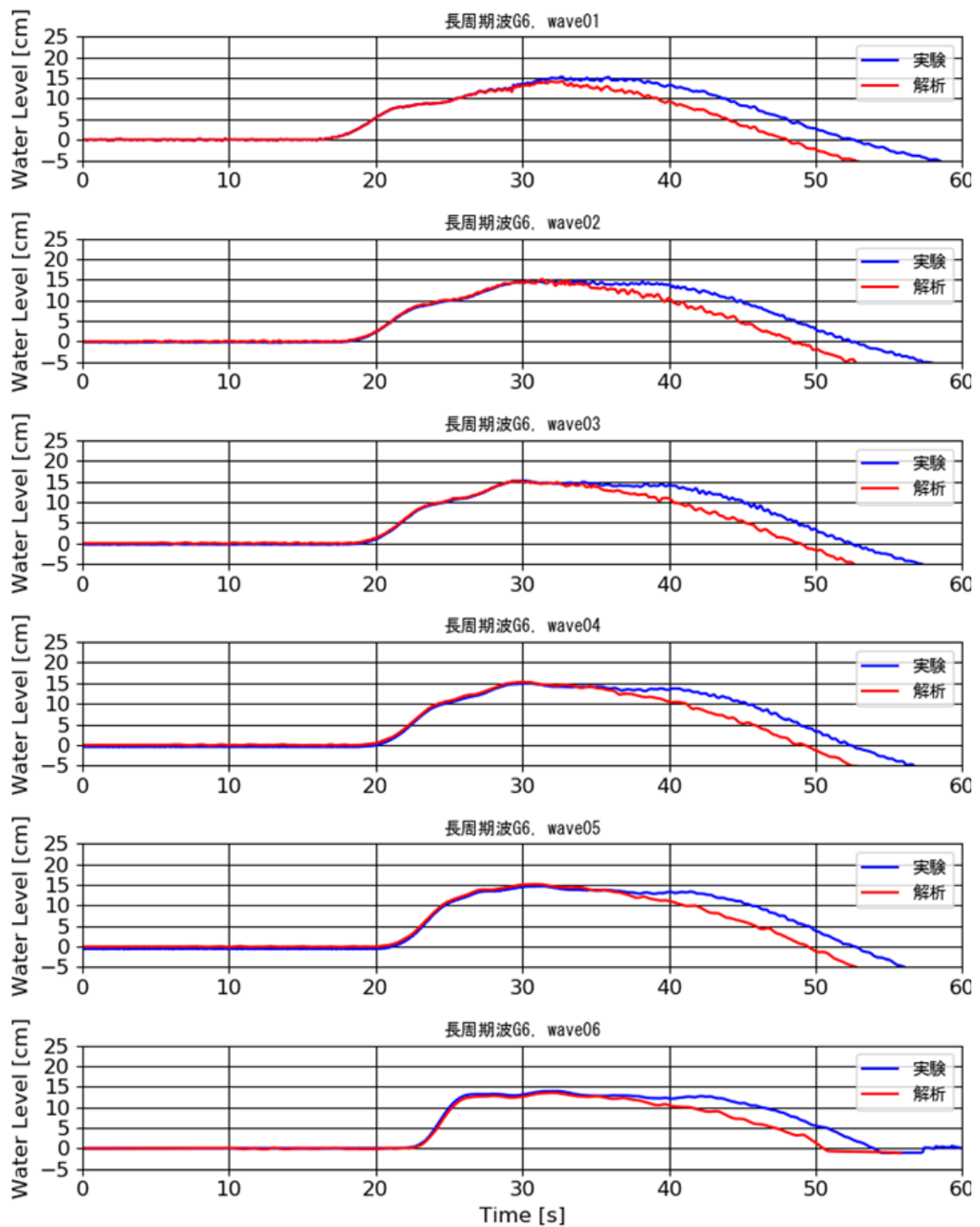


図 1-2-3 coef = 1.0 の WG1~WG6 地点の水位時系列

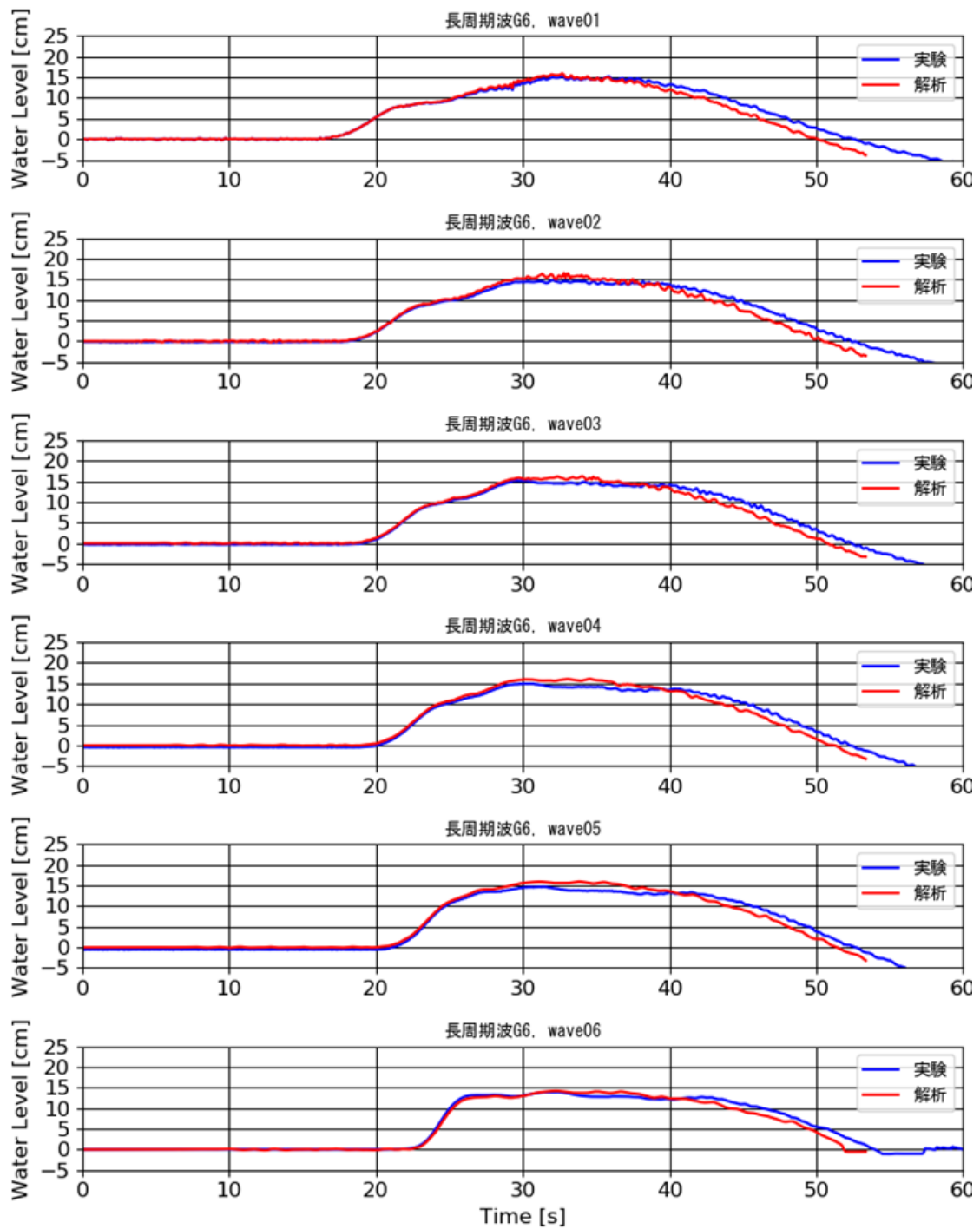


図 1-2-4 coef = 0.8 の WG1~WG6 地点の水位時系列

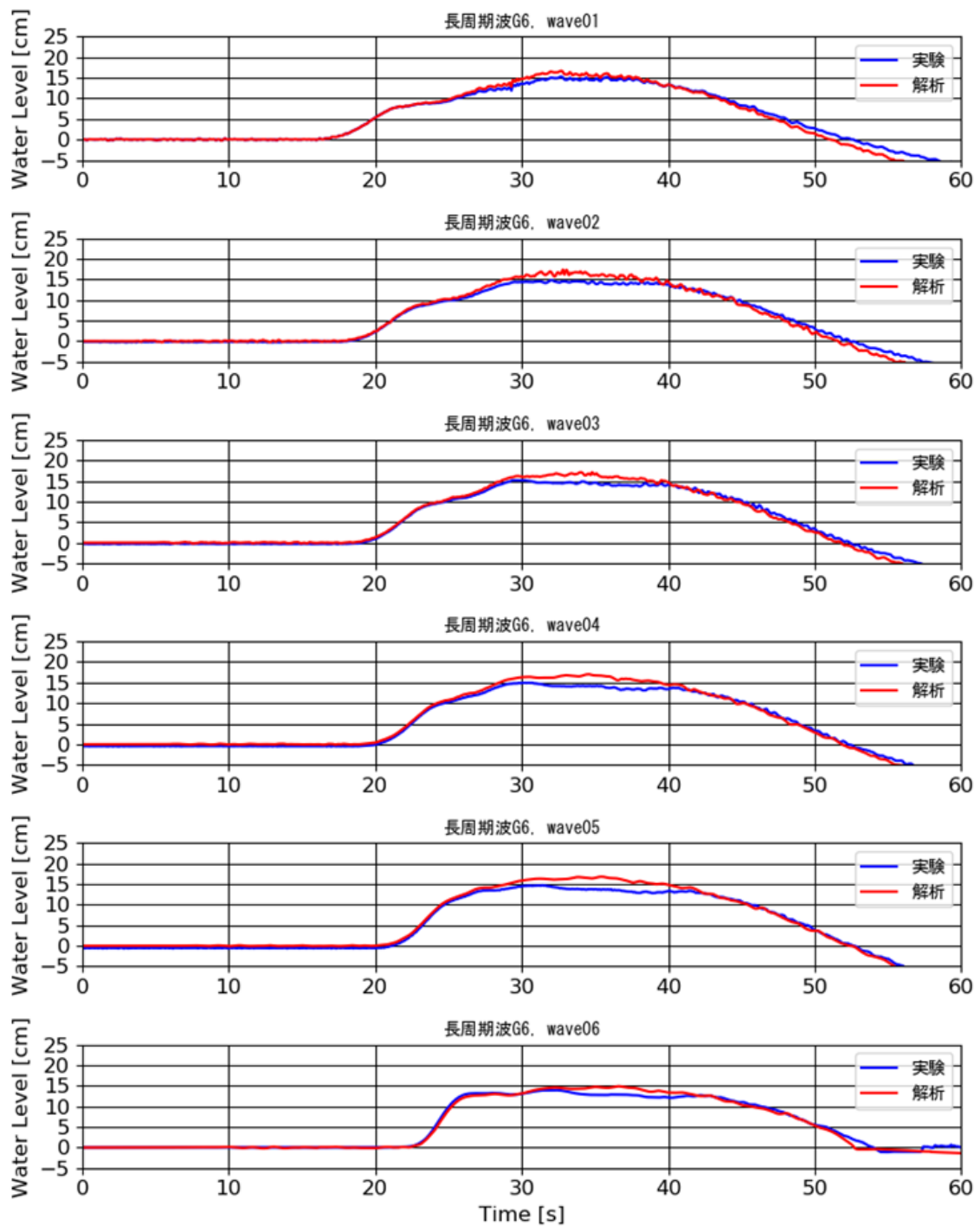


図 1-2-5 coef = 0.7 の WG1～WG6 地点の水位時系列



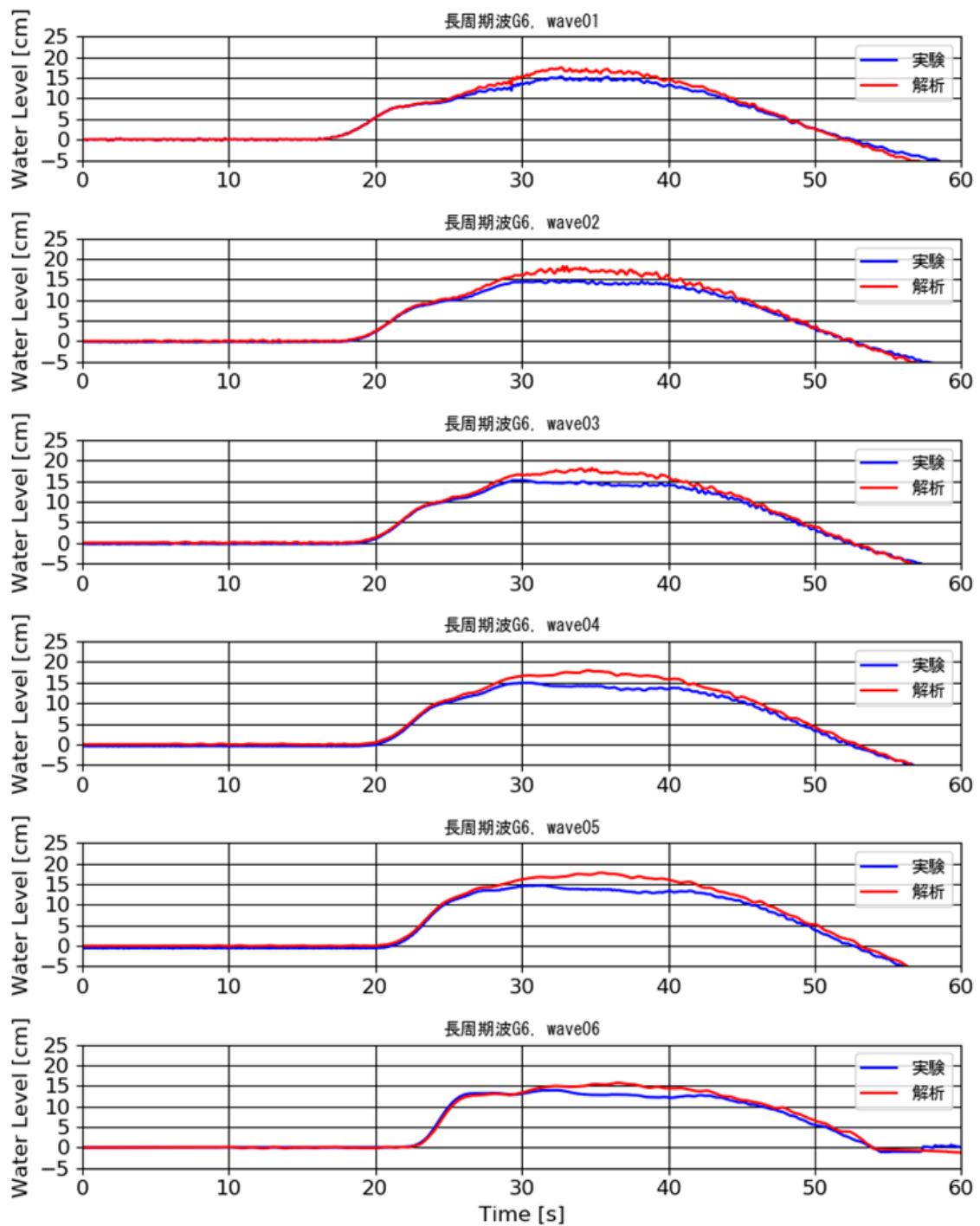


図 1-2-6 coef = 0.6 の WG1~WG6 地点の水位時系列

---

### (5) 砂丘諸元

砂丘における境界条件は、Free-Slip を用いた。砂丘粒径においては、6号珪砂（0.2mm）、7号珪砂（0.11mm）の2種類のサイズとした。

### (6) 試験結果と比較する出力位置

次に、後述する水位、流速、フルード数、波力、シールズ数、浮遊砂濃度の時系列の解析結果と試験結果との比較する位置を確認する。図 1-2-1 に計測機器の設置位置を示す。図 1-2-1 に示すように、水位計は沖側に wave01~wave06（WG01~WG06）、岸側に WG07~WG10 及び W7'~W10' が設置され、流速計は沖側に Velo-6（V6）、岸側に V8~V10（PA 側）及び V7'~V10'（PB 側）で設置されている。また、波圧計は防潮堤前面の赤丸位置に設置され、防潮堤の上部と下部を 2cm 空け、3.5cm 間隔に 7 点設置している。さらに、濁度計は堤体位置が -0.8m のときは TB8 に、堤体位置が -1.375m のときは TB9 に設置されている。

---

## 1-3 再現解析の時系列結果

### 1-3-1 水位時系列の解析結果

各計測地点の水位について、試験結果と解析結果を比較し、モデルの妥当性を検証する。図 1-3-1-1～図 1-3-1-11 に、WG01～WG10 地点（図 1-2-1 参照）での水位時系列図を、試験結果及び解析結果と比較してそれぞれ示す。なお、試験結果は、WG8～WG10 地点を PA と示し、WG07'～WG10' 地点を PB と示す。

(1) 試験結果との比較

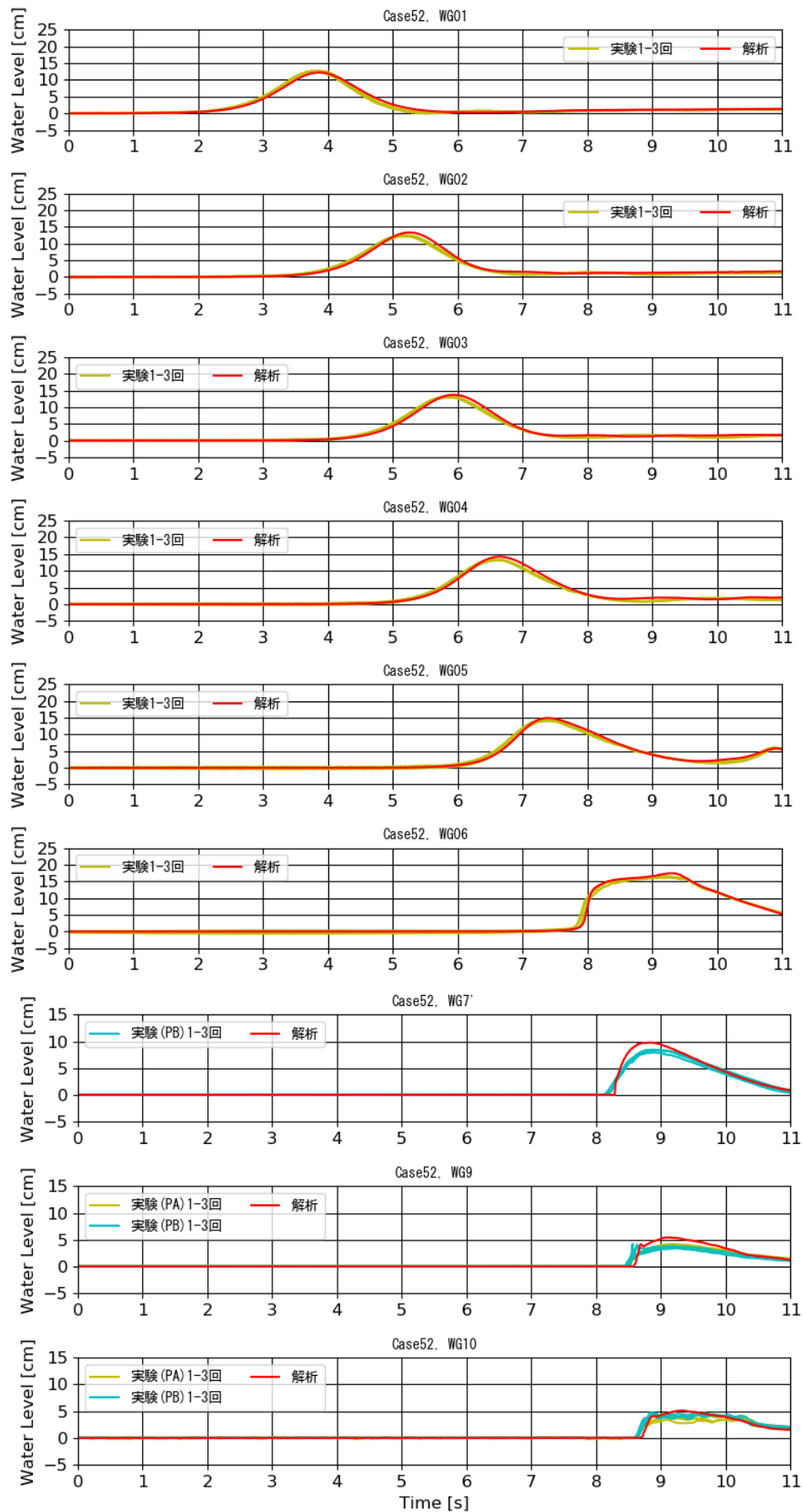


図 1-3-1-1 Case52（移動床）における水位時系列波形  
 【孤立波 12.5cm，堤体無し，6号珪砂】

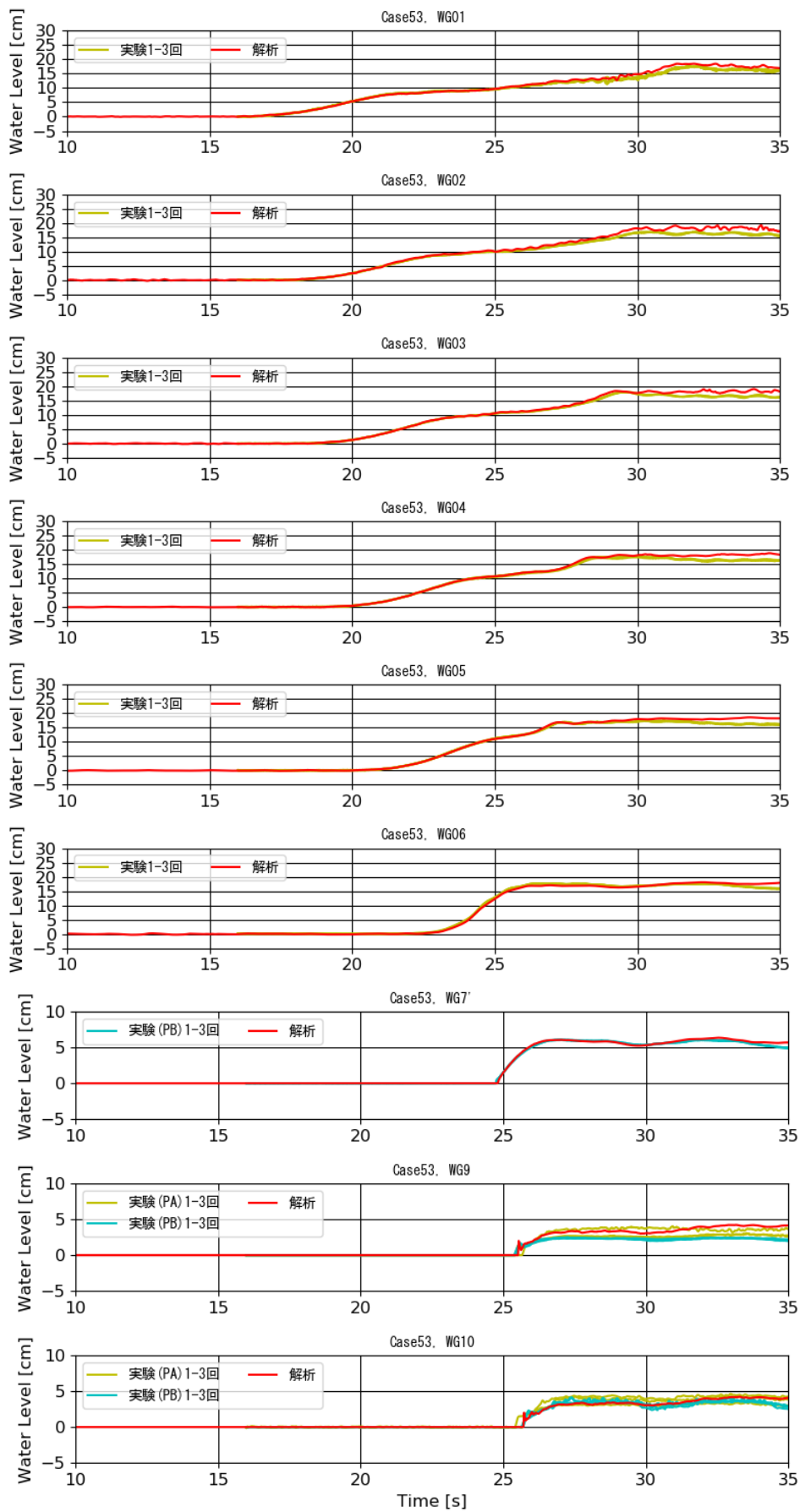


図 1-3-1-2 Case53 (移動床) における水位時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体無し, 6号珪砂】

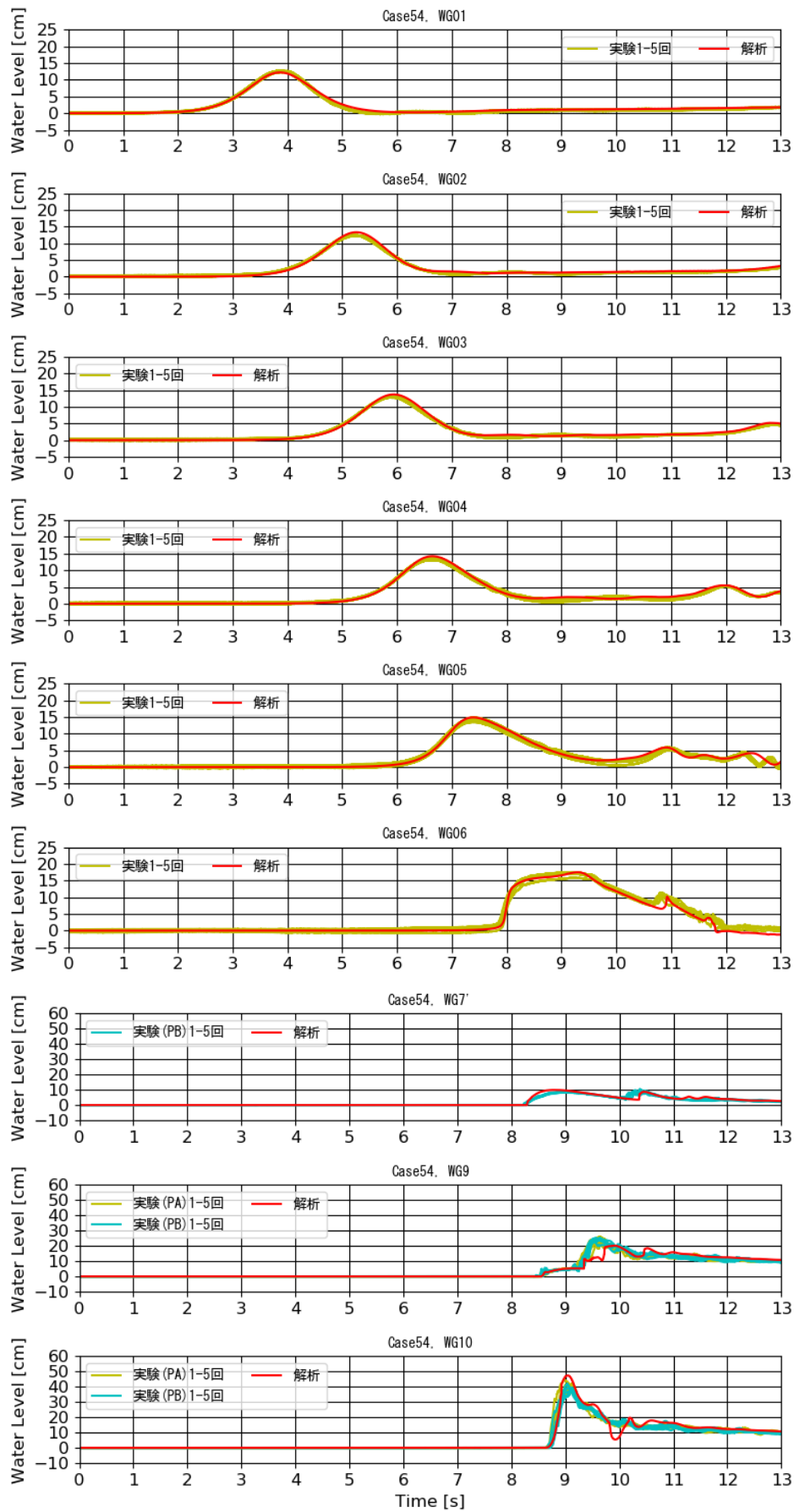


図 1-3-1-3 Case54 (固定床) における水位時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 固定床】

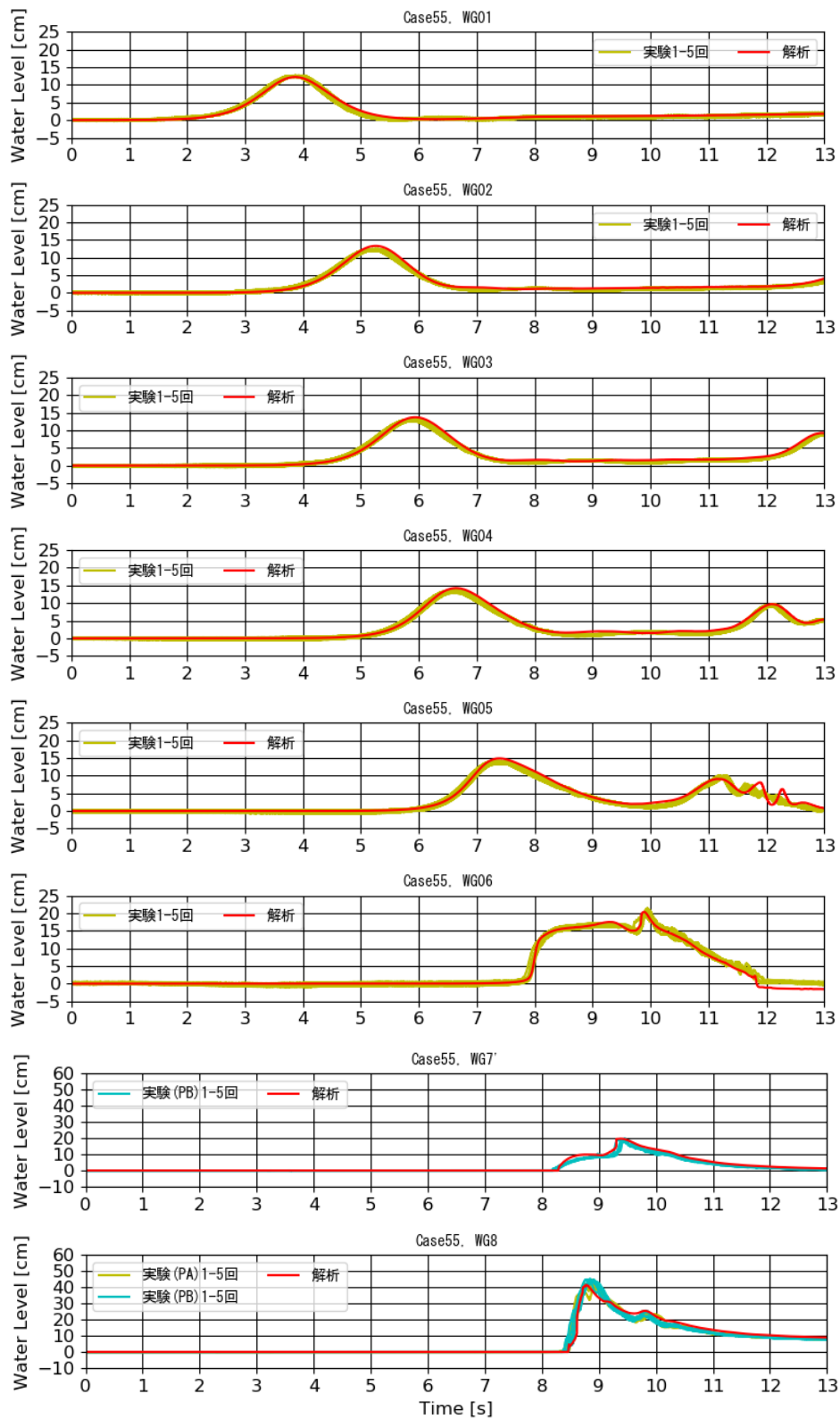


図 1-3-1-4 Case55 (固定床) における水位時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 固定床】

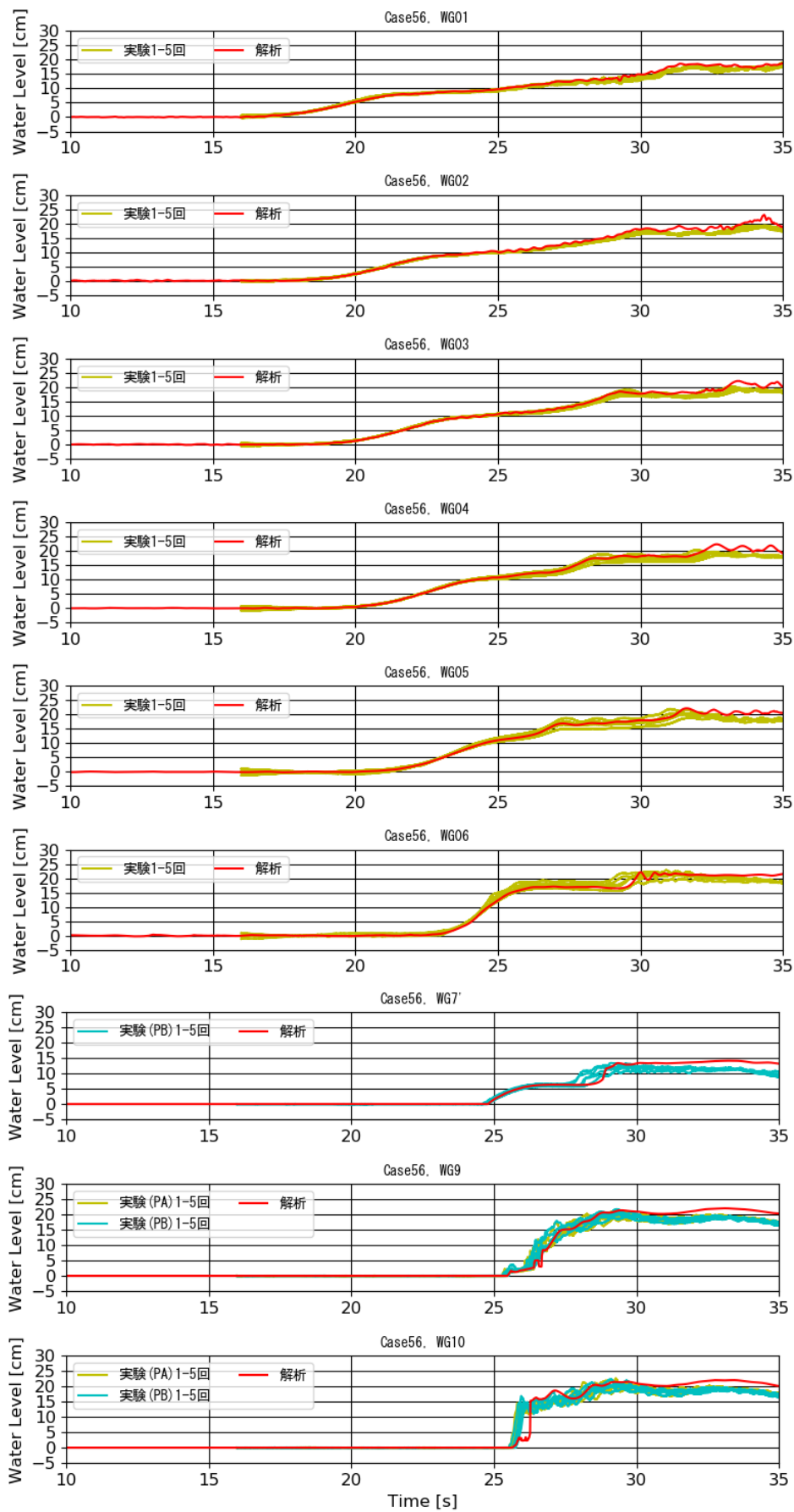


図 1-3-1-5 Case56 (固定床) における水位時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 固定床】



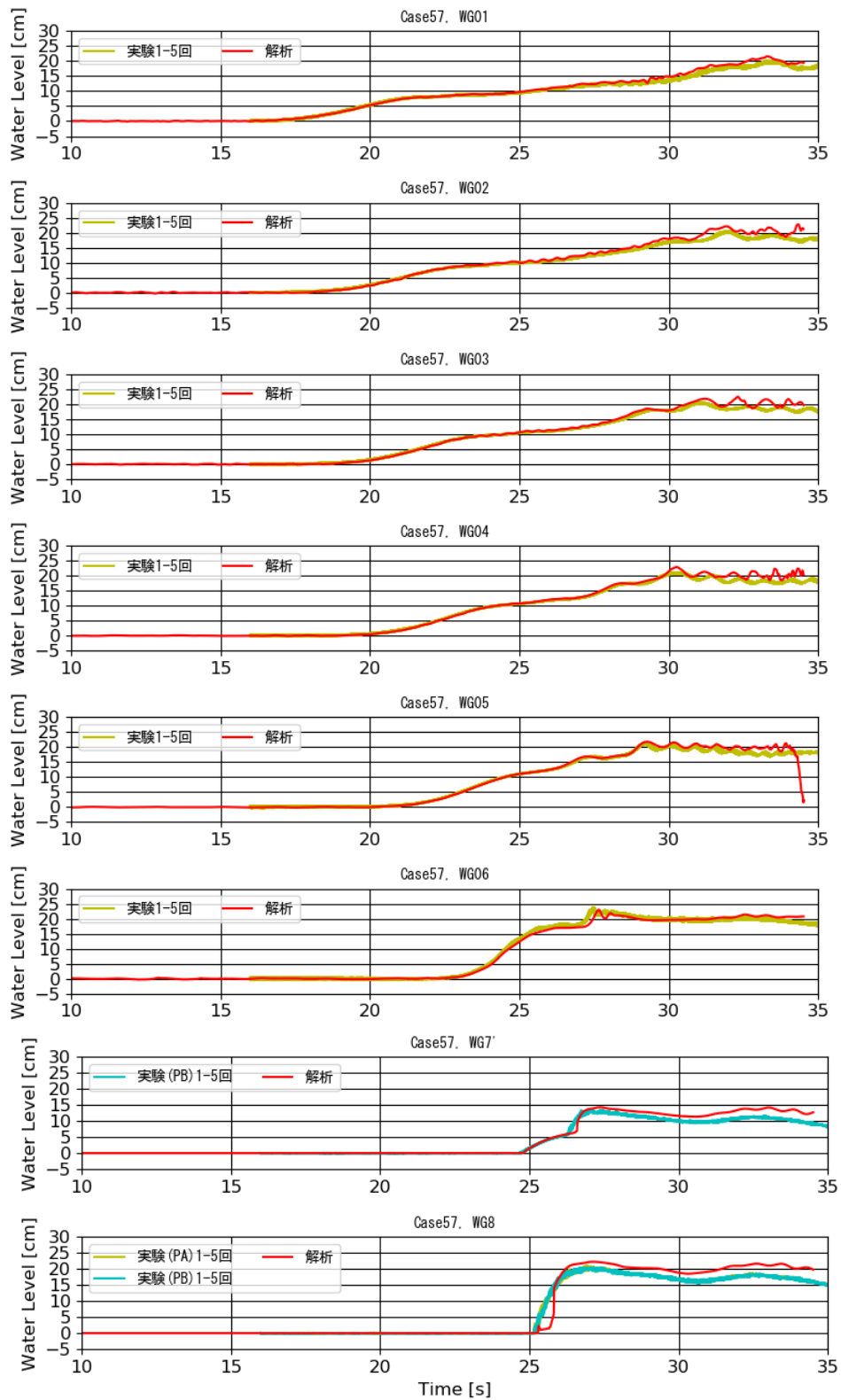


図 1-3-1-6 Case57 (固定床) における水位時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 固定床】

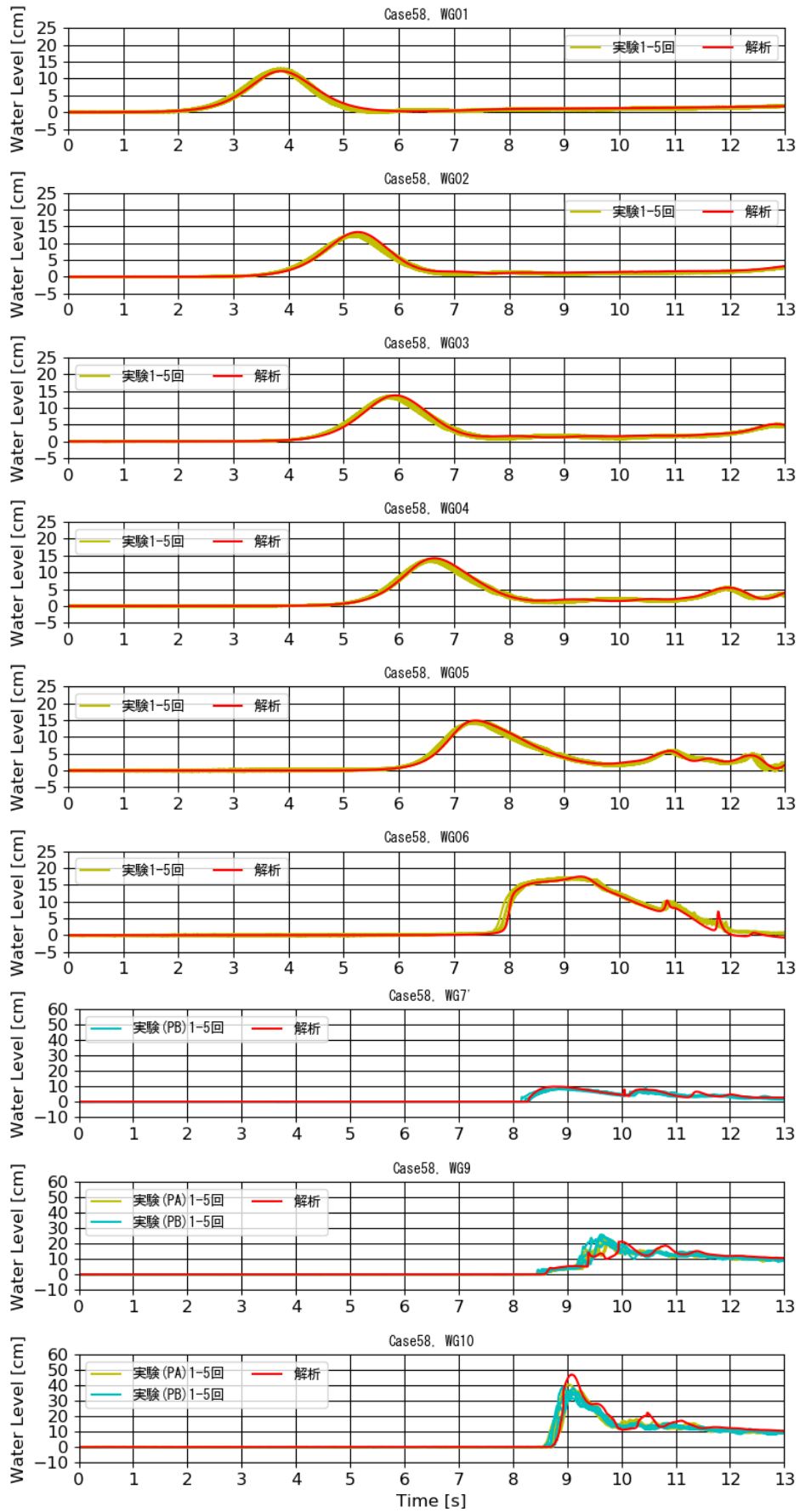


図 1-3-1-7 Case58 (移動床) における水位時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

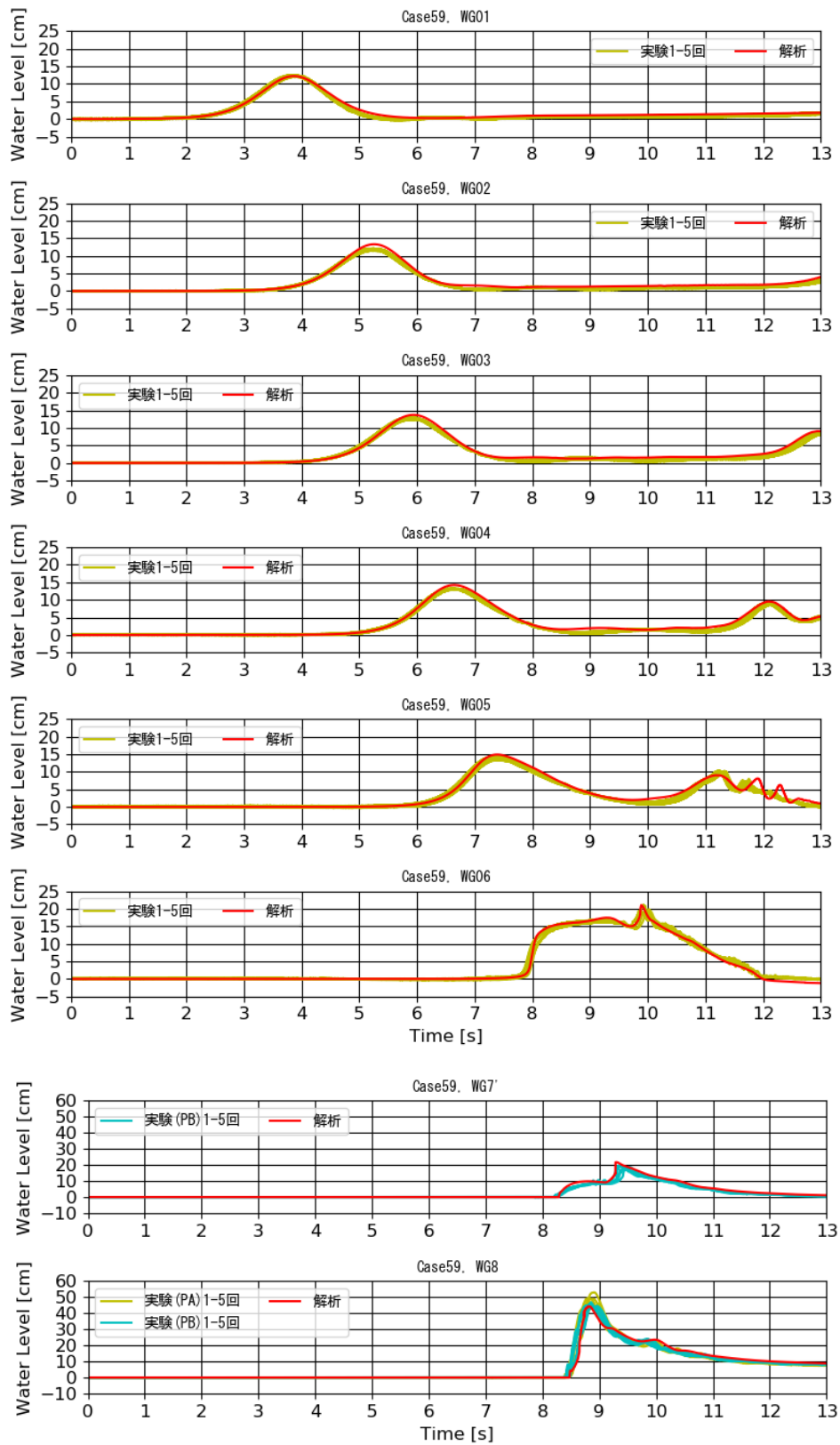


図 1-3-1-8 Case59 (移動床) における水位時系列波形  
 【孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

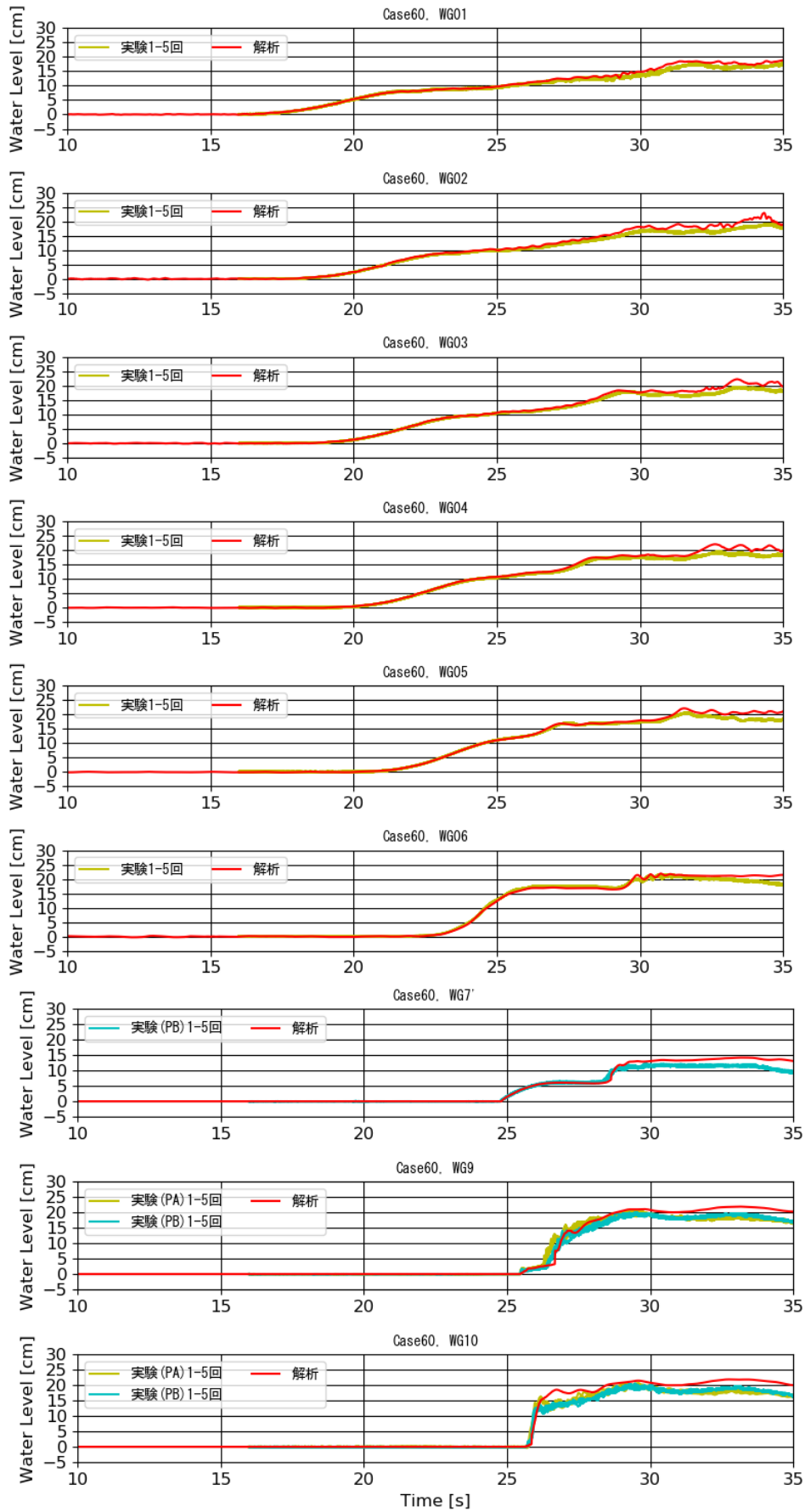


図 1-3-1-9 Case60 (移動床) における水位時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 7号珪砂】

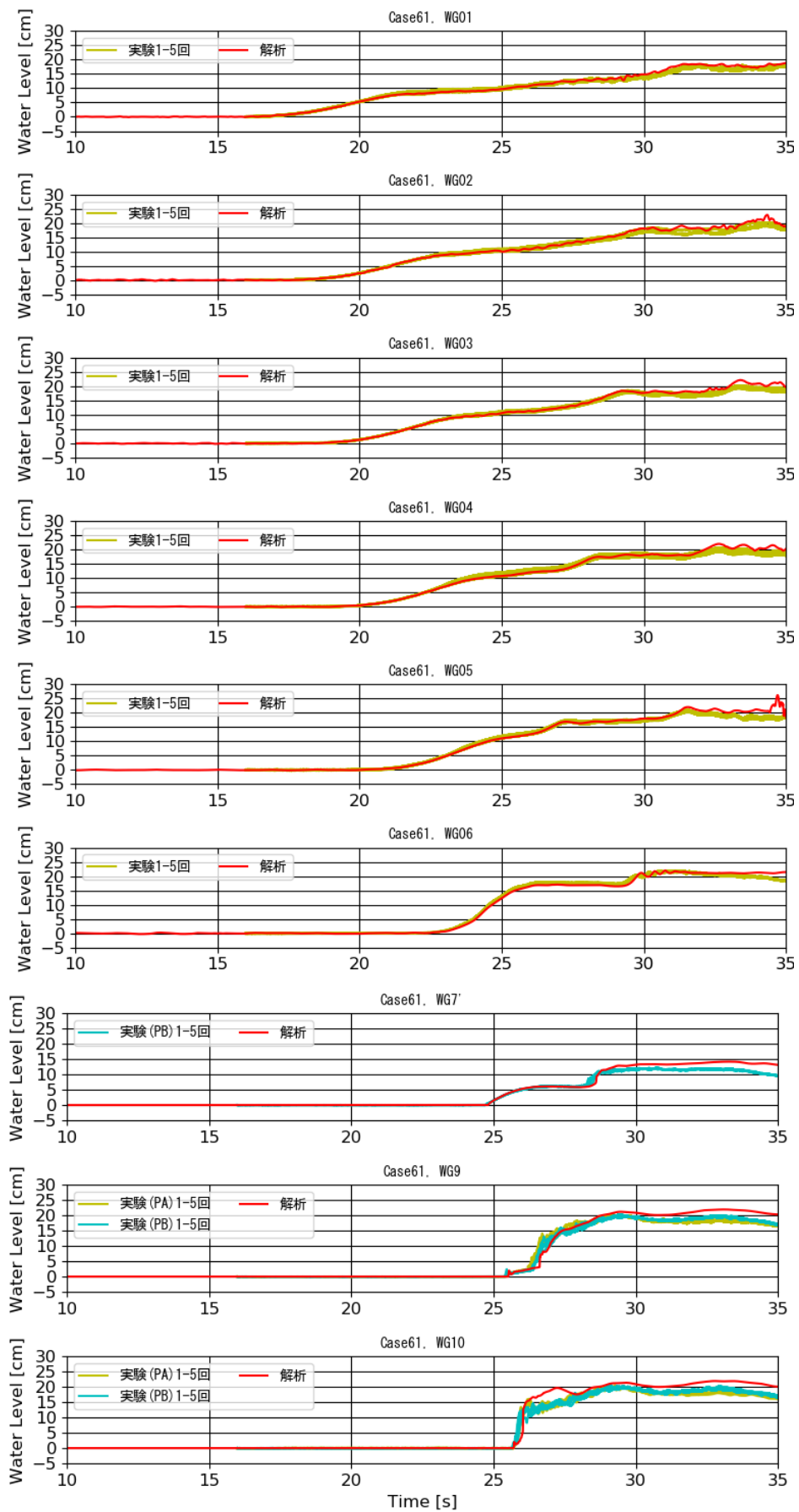


図 1-3-1-10 Case61 (移動床) における水位時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

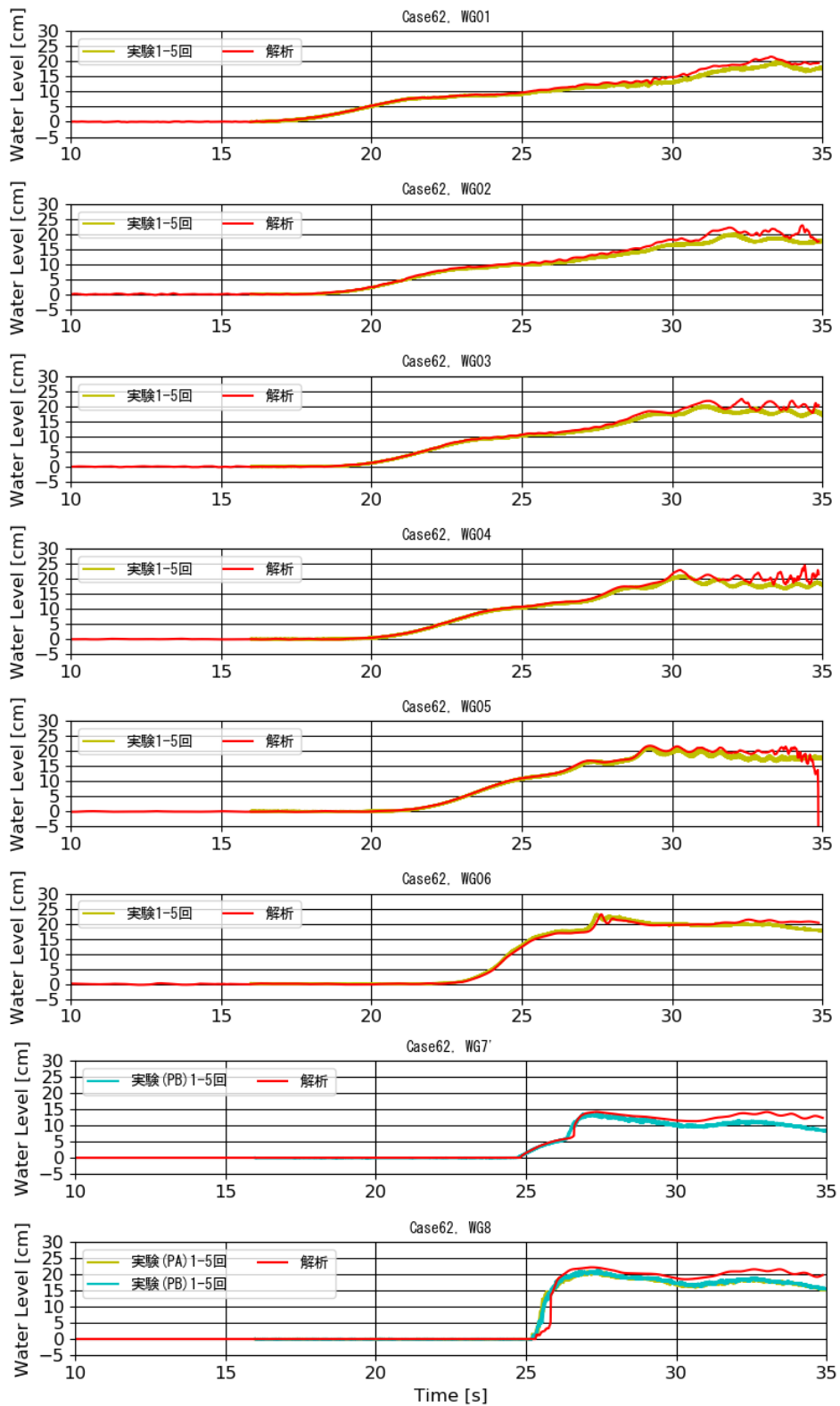


図 1-3-1-11 Case62 (移動床) における水位時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

### 1-3-2 流速時系列の解析結果

各計測地点の流速について、試験結果と解析結果を比較し、モデルの妥当性を検証する。図 1-3-2-1～図 1-3-2-11 に、V6,V7',V8~V10 地点（図 1-2-1 参照）での流速時系列図を、試験結果及び解析結果と比較してそれぞれ示す。なお、試験結果は、V6,V8~V10 地点を PA と示し、V7'~V10'地点を PB と示す。

#### (1) 試験結果との比較

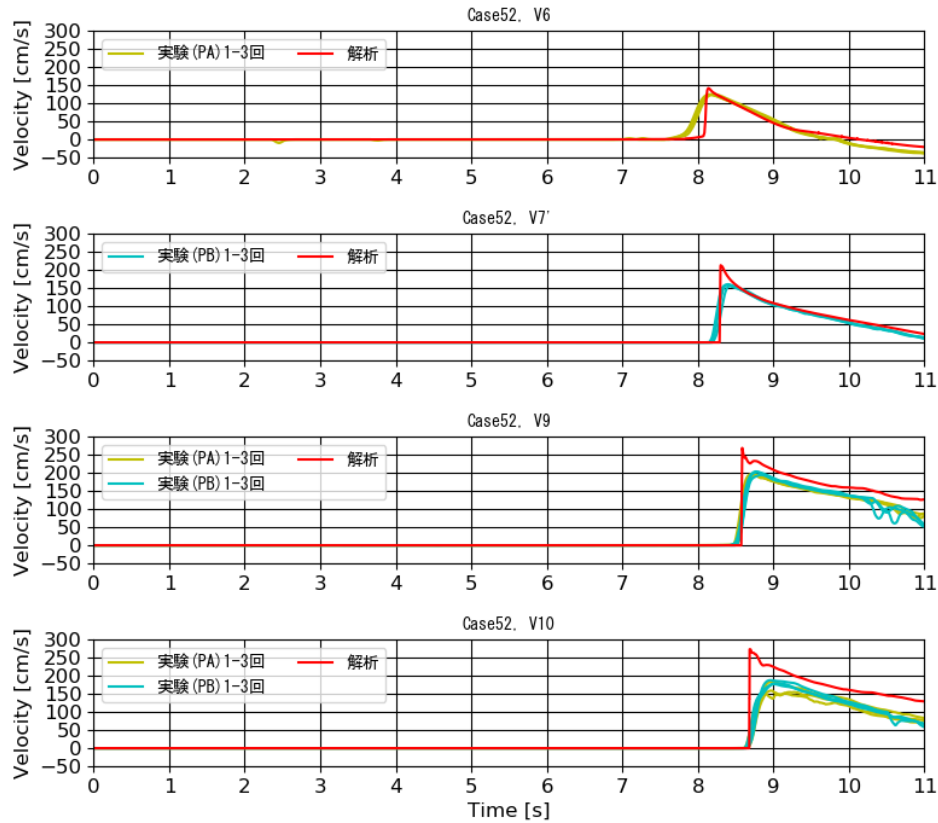


図 1-3-2-1 Case52（移動床）における流速時系列波形  
【孤立波 12.5cm，堤体無し，6号珪砂】

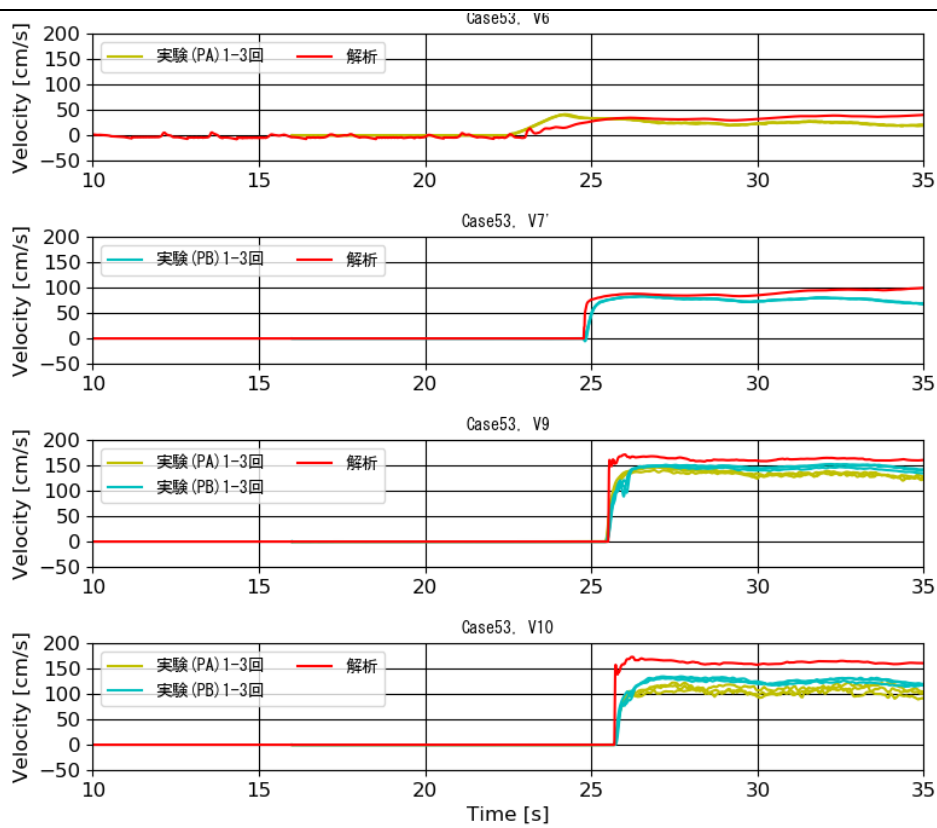


図 1-3-2-2 Case53 (移動床) における流速時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体無し, 6号珪砂】

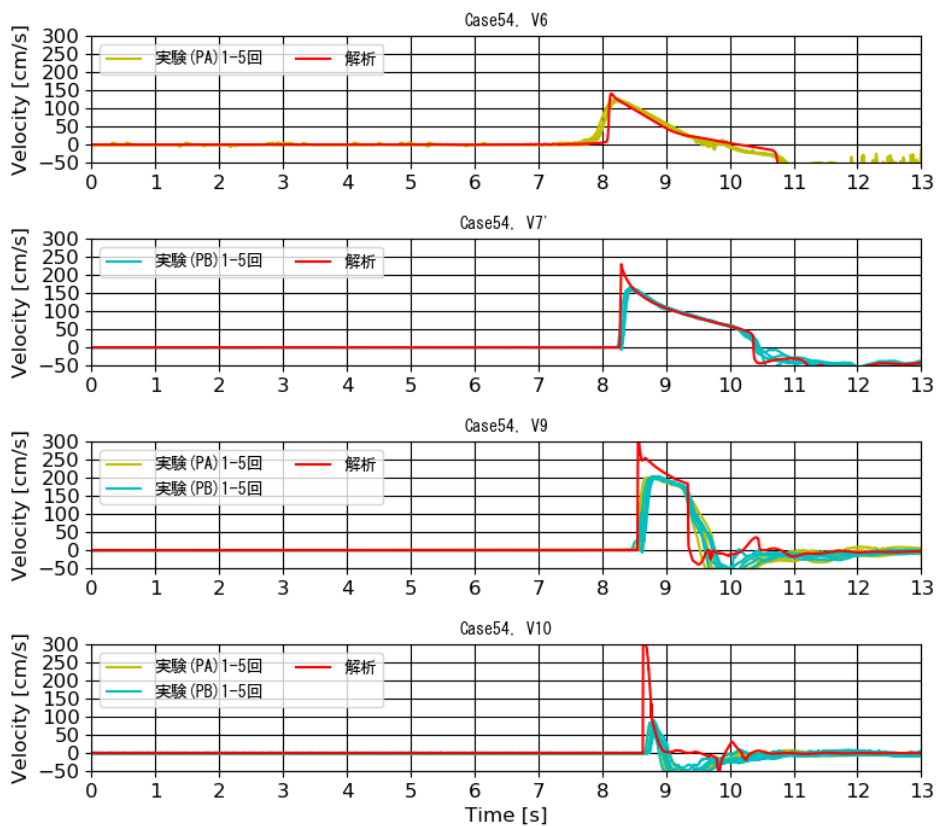


図 1-3-2-3 Case54 (固定床) における流速時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 固定床】



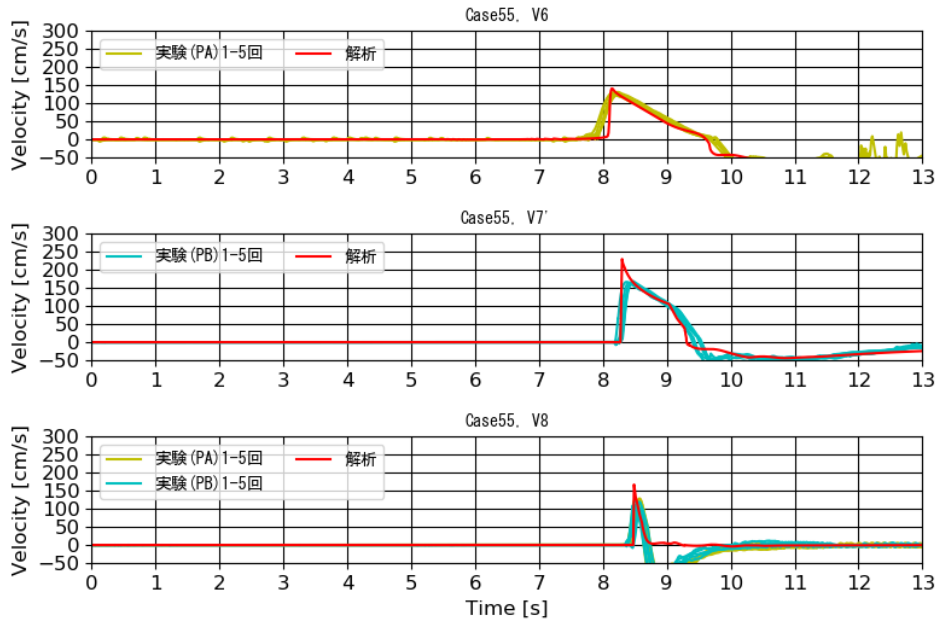


図 1-3-2-4 Case55（固定床）における流速時系列波形  
【孤立波 12.5cm，堤体-80.0cm，固定床】

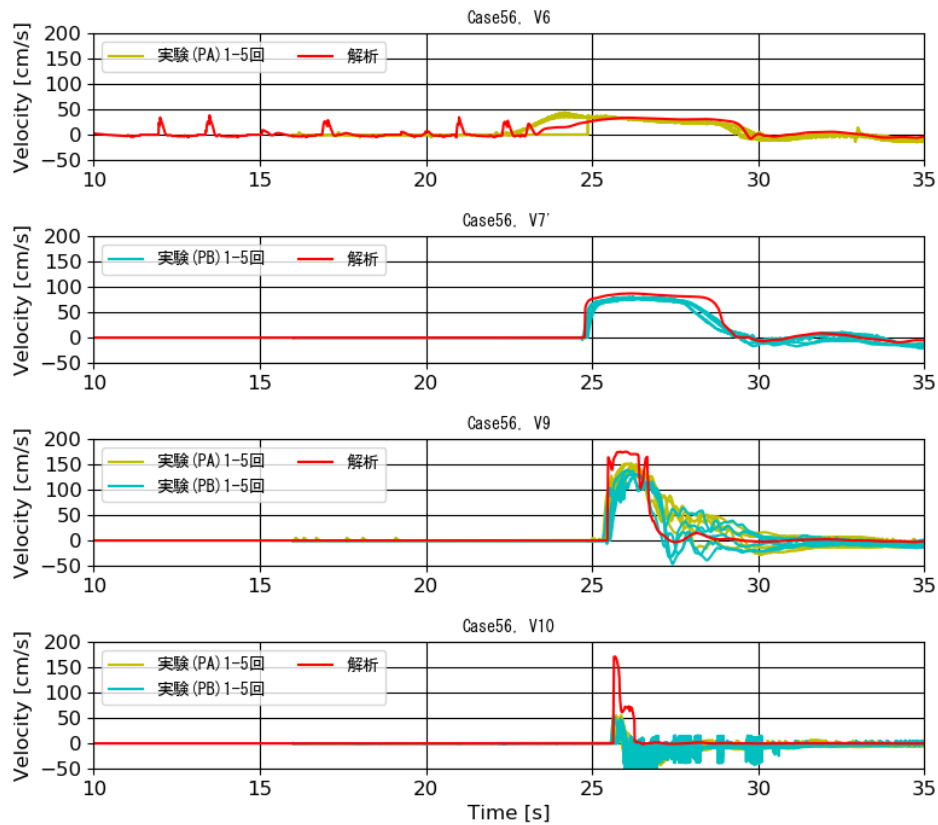


図 1-3-2-5 Case56（固定床）における流速時系列波形  
【長周期波 12.5cm，堤体-137.5cm，固定床】

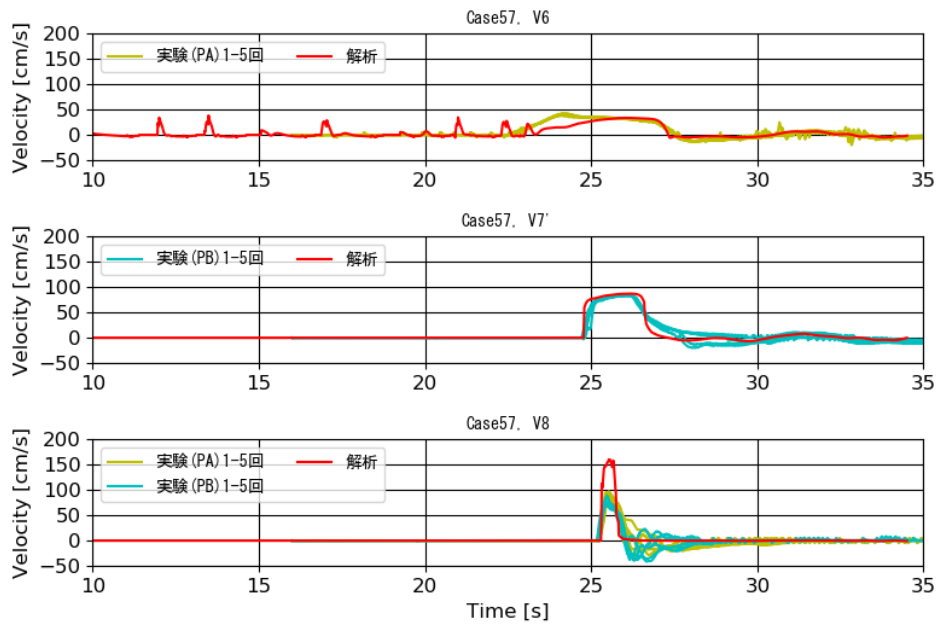


図 1-3-2-6 Case57（固定床）における流速時系列波形  
【長周期波 12.5cm，堤体-80.0cm，固定床】

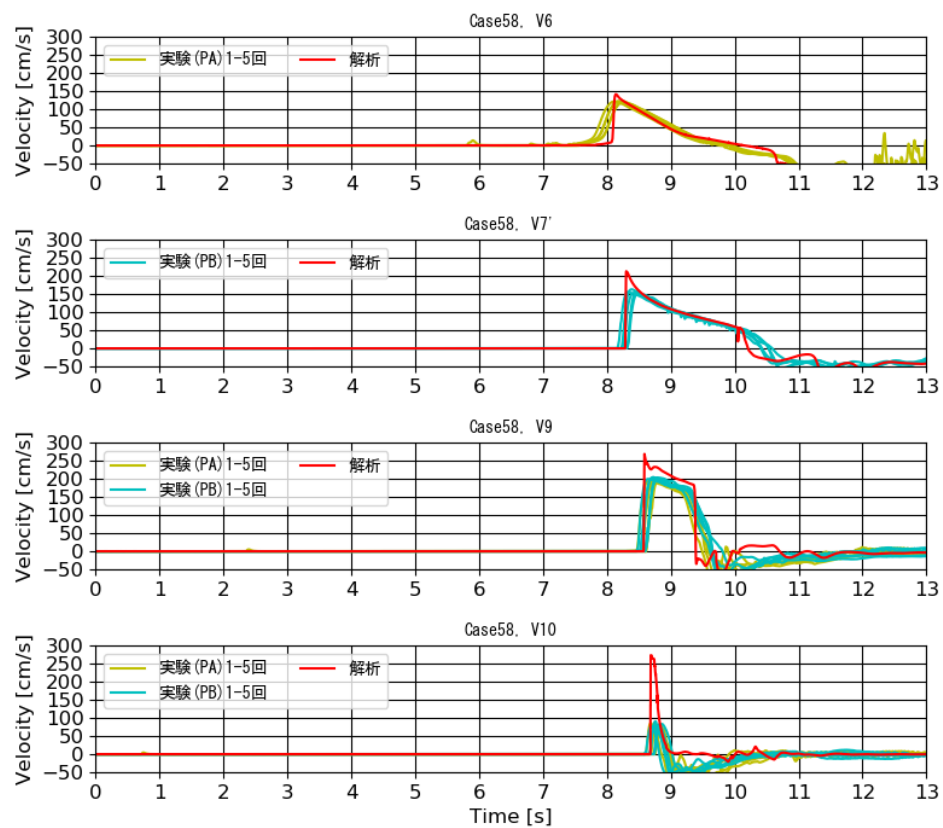


図 1-3-2-7 Case58（移動床）における流速時系列波形  
【孤立波 12.5cm，堤体-137.5cm，6号珪砂】

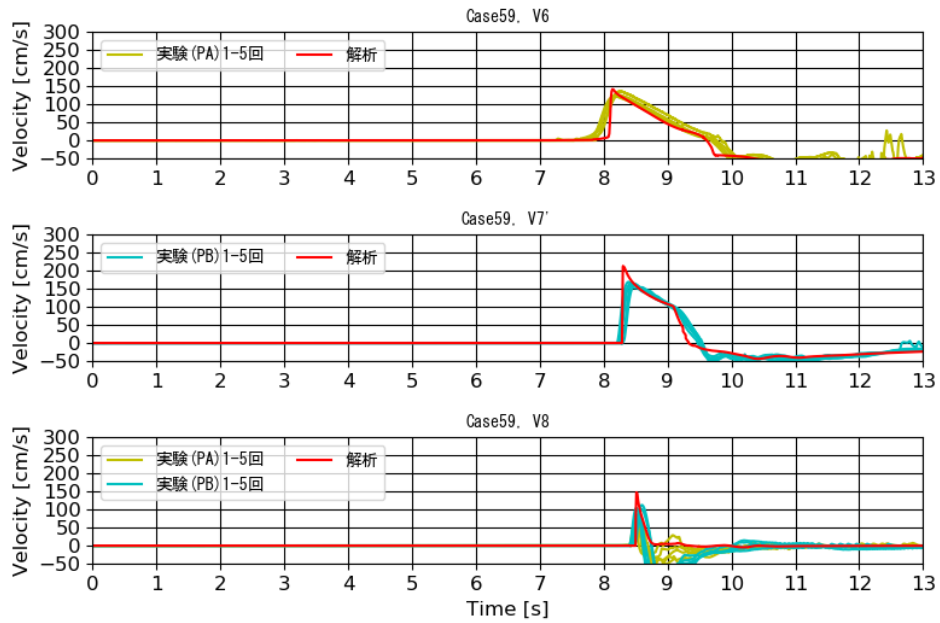


図 1-3-2-8 Case59 (移動床) における流速時系列波形  
 【孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

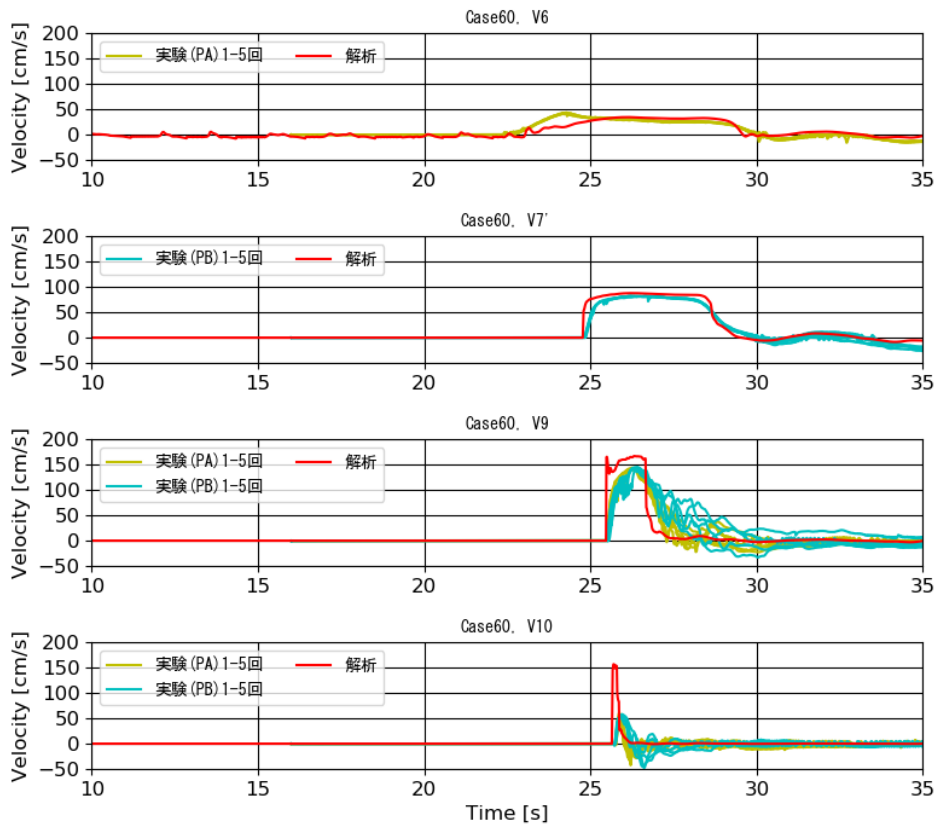


図 1-3-2-9 Case60 (移動床) における流速時系列波形  
 【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 7号珪砂】

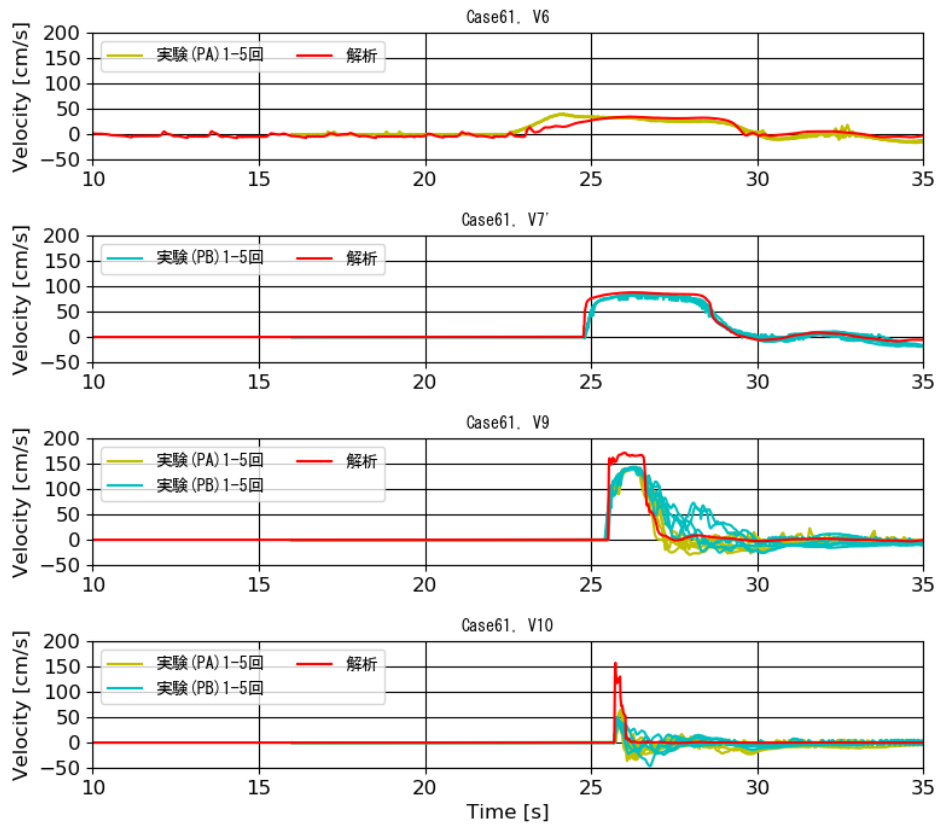


図 1-3-2-10 Case61（移動床）における流速時系列波形  
【長周期波 12.5cm，堤体-137.5cm，6号珪砂】

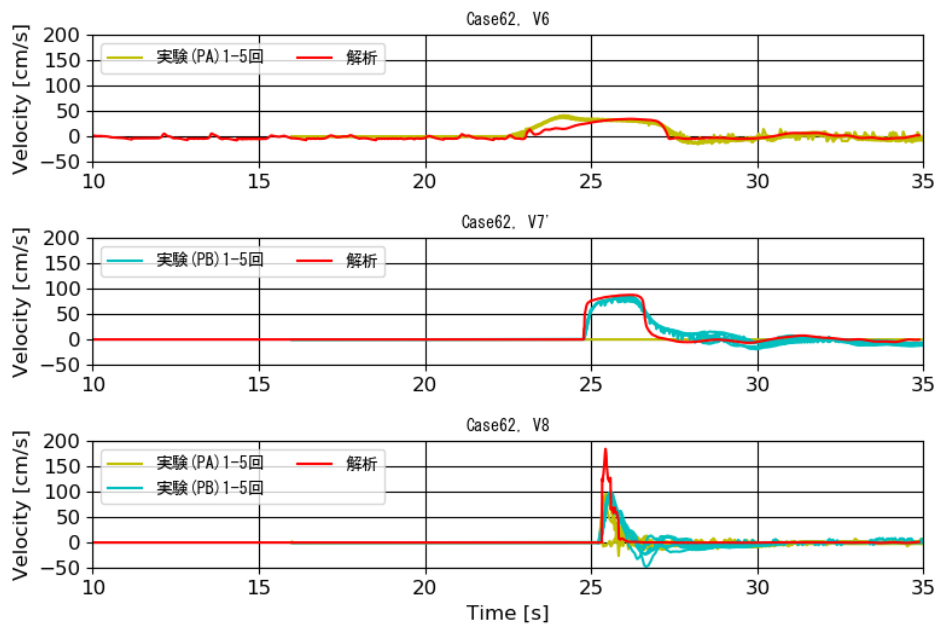


図 1-3-2-11 Case62（移動床）における流速時系列波形  
【長周期波 12.5cm，堤体-80.0cm，6号珪砂】

### 1-3-3 フルード数時系列の解析結果

各計測地点のフルード数について、試験結果と解析結果を比較し、モデルの妥当性を検証する。図 1-3-3-1～図 1-3-3-11 に、V7',V8~V10 地点（図 1-2-1 参照）でのフルード数時系列図を、試験結果及び解析結果と比較してそれぞれ示す。なお、試験結果は、V6,V8~V10 地点を PA と示し、V7'~V10'地点を PB と示す。

#### (1) 試験結果との比較

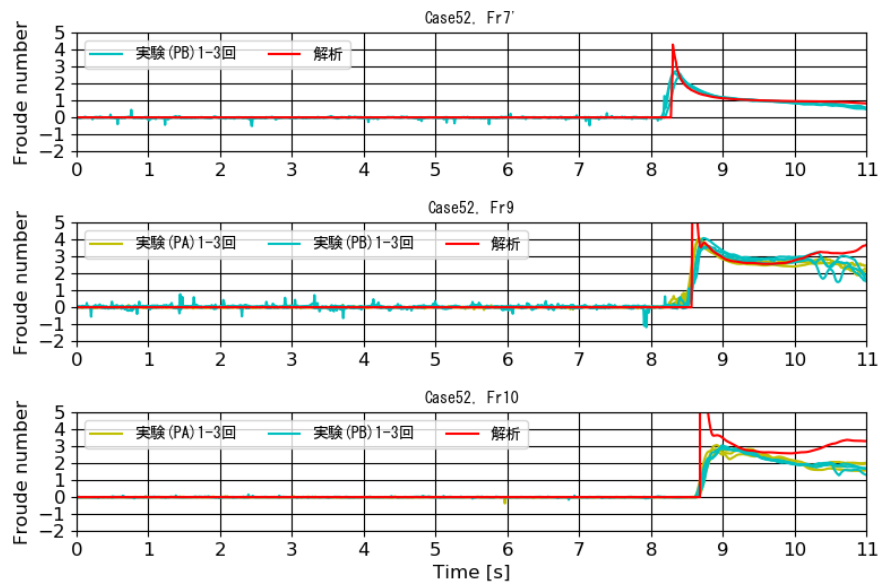


図 1-3-3-1 Case52（移動床）におけるフルード数時系列波形  
【孤立波 12.5cm，堤体無し，6号珪砂】

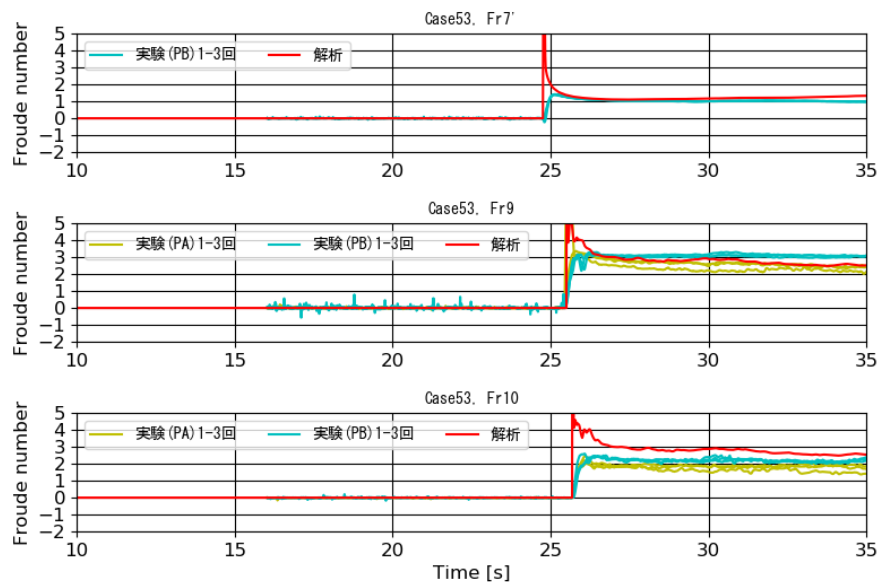


図 1-3-3-2 Case53（移動床）におけるフルード数時系列波形  
【長周期波 12.5cm，堤体無し，6号珪砂】

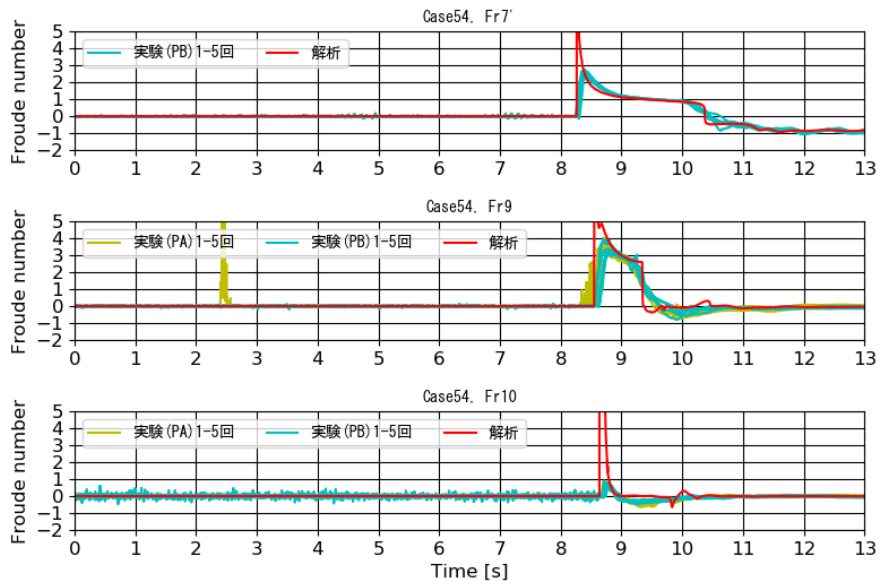


図 1-3-3-3 Case54 (固定床) におけるフルード数時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 固定床】

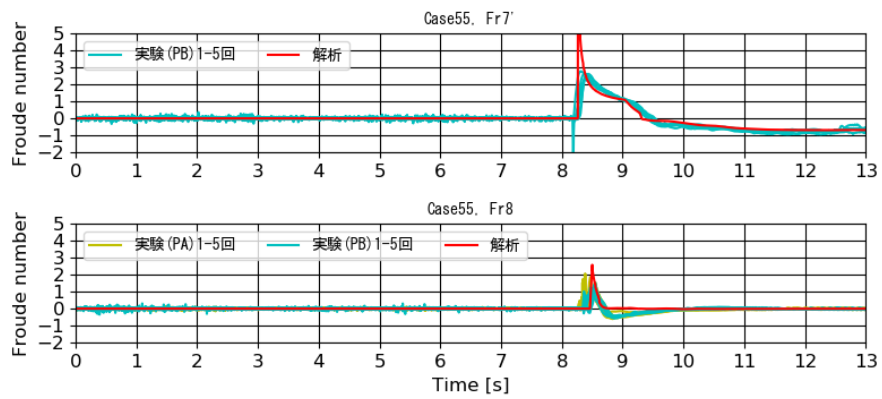


図 1-3-3-4 Case55 (固定床) におけるフルード数時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 固定床】

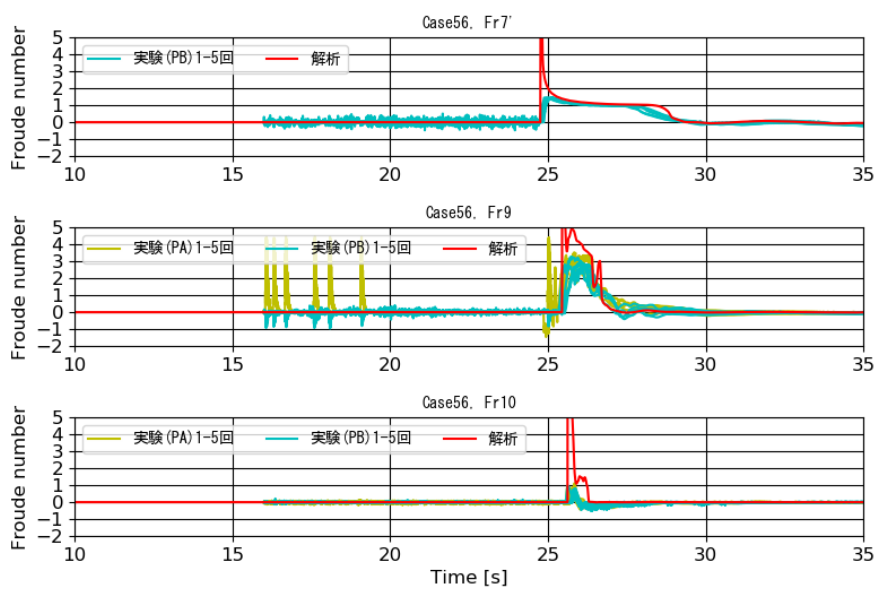


図 1-3-3-5 Case56 (固定床) におけるフルード数時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 固定床】

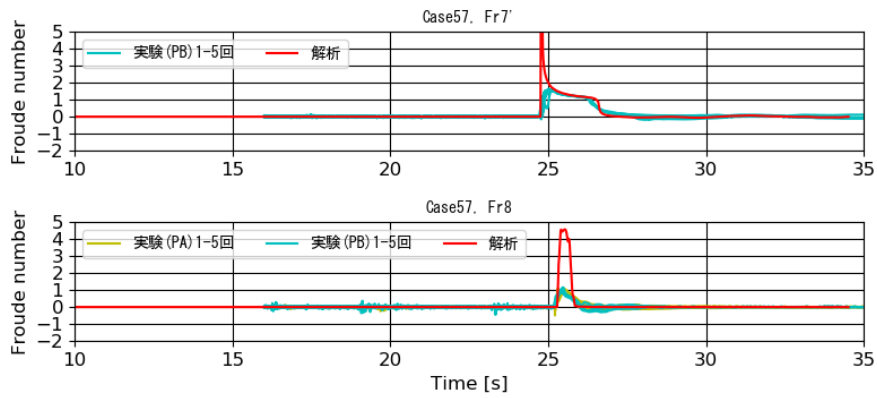


図 1-3-3-6 Case57（固定床）におけるフルード数時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 固定床】

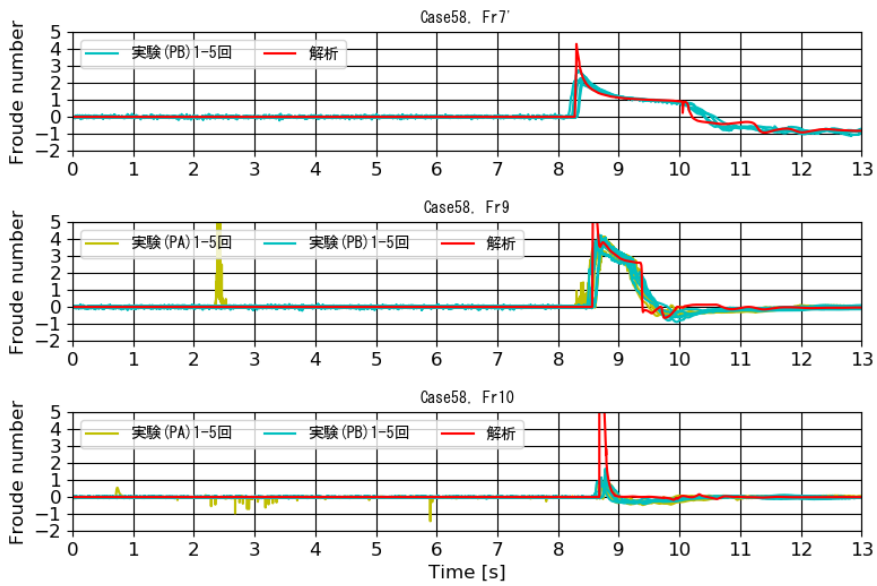


図 1-3-3-7 Case58（移動床）におけるフルード数時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

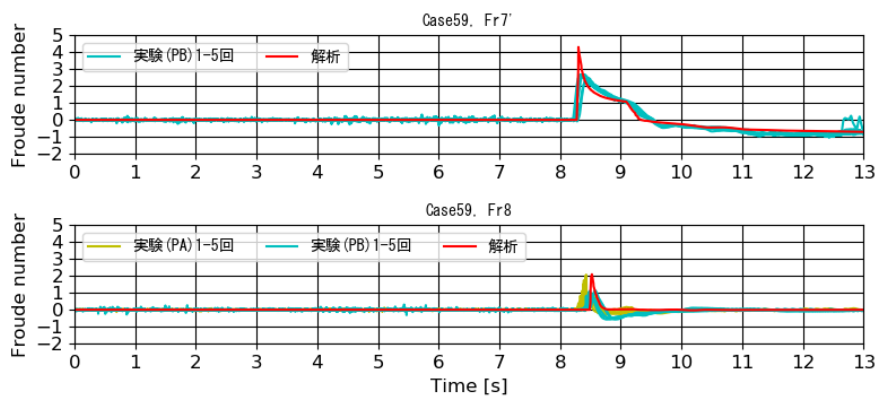


図 1-3-3-8 Case59（移動床）におけるフルード数時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

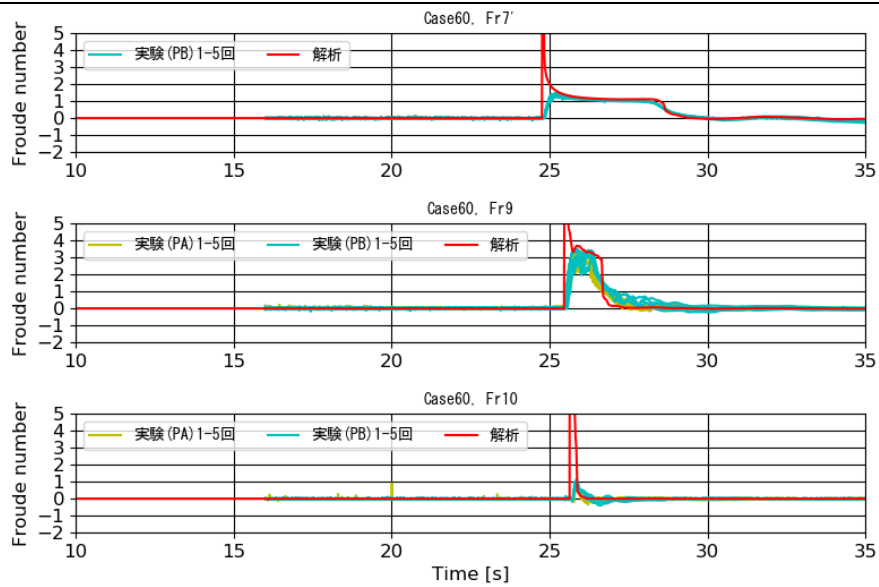


図 1-3-3-9 Case60（移動床）におけるフルード数時系列波形  
【長周期波 12.5cm，堤体-137.5cm，7号珪砂】

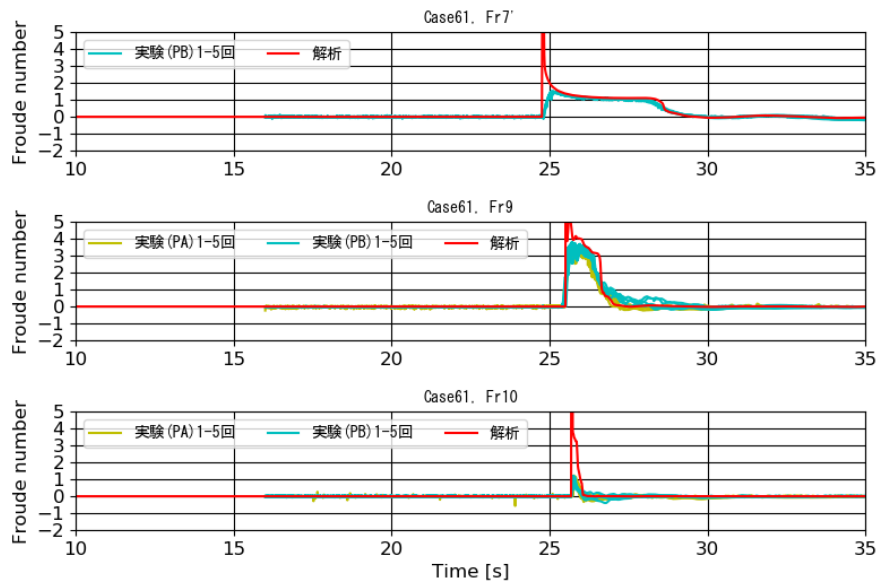


図 1-3-3-10 Case61（移動床）におけるフルード数時系列波形  
【長周期波 12.5cm，堤体-137.5cm，6号珪砂】

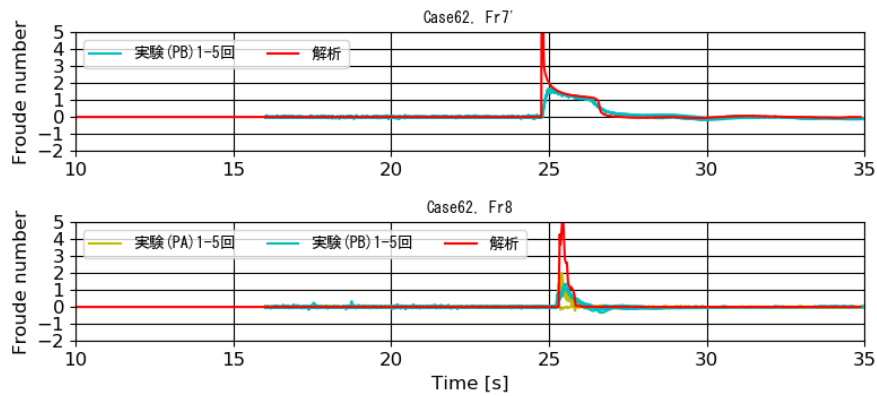


図 1-3-3-11 Case62（移動床）におけるフルード数時系列波形  
【長周期波 12.5cm，堤体-80.0cm，6号珪砂】



### 1-3-4 波力時系列の解析結果

#### (1) 試験結果との比較

計測地点の波力について、試験結果と解析結果を比較し、モデルの妥当性を検証する。図 1-3-4-1～図 1-3-4-9 に、防潮堤前面地点（図 1-2-1 の赤丸印参照）での波力時系列図を、試験結果及び解析結果と比較してそれぞれ示す。

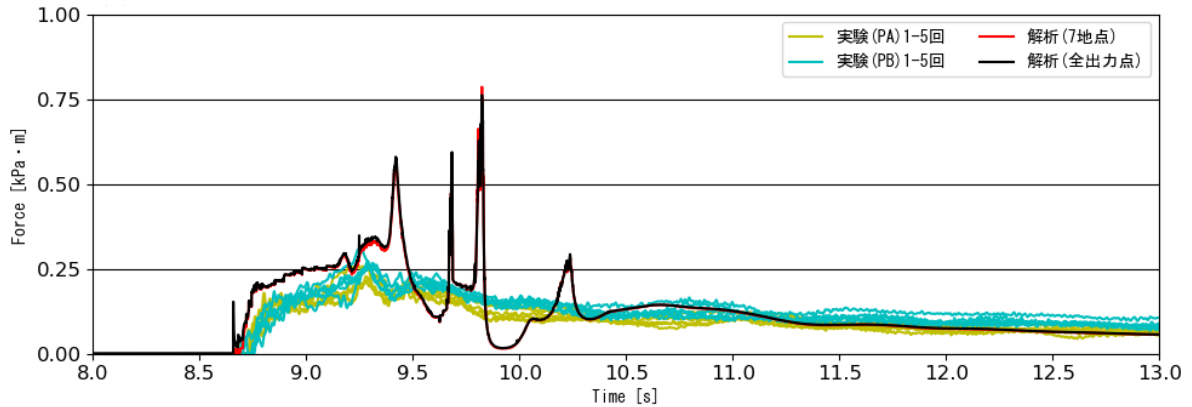


図 1-3-4-1 Case54（固定床）における波力時系列波形  
【孤立波 12.5cm，堤体-137.5cm，固定床】

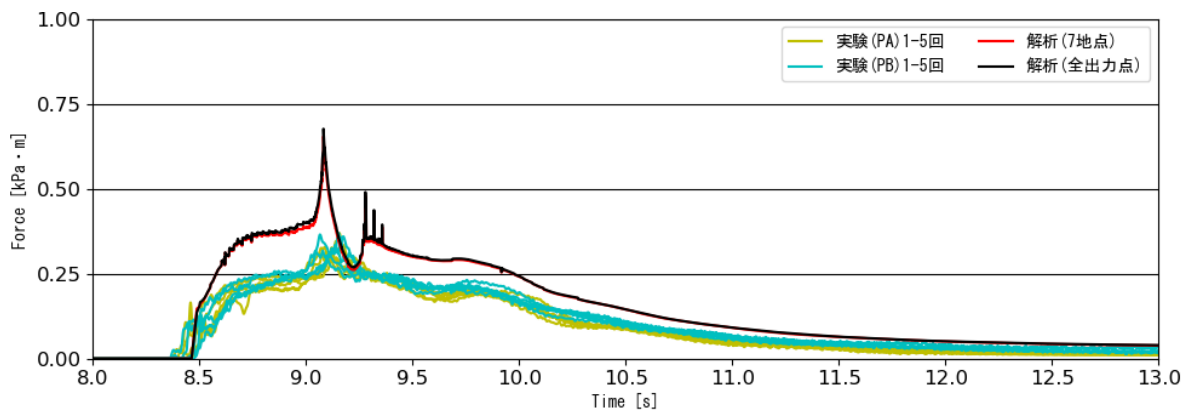


図 1-3-4-2 Case55（固定床）における波力時系列波形  
【孤立波 12.5cm，堤体-80.0cm，固定床】

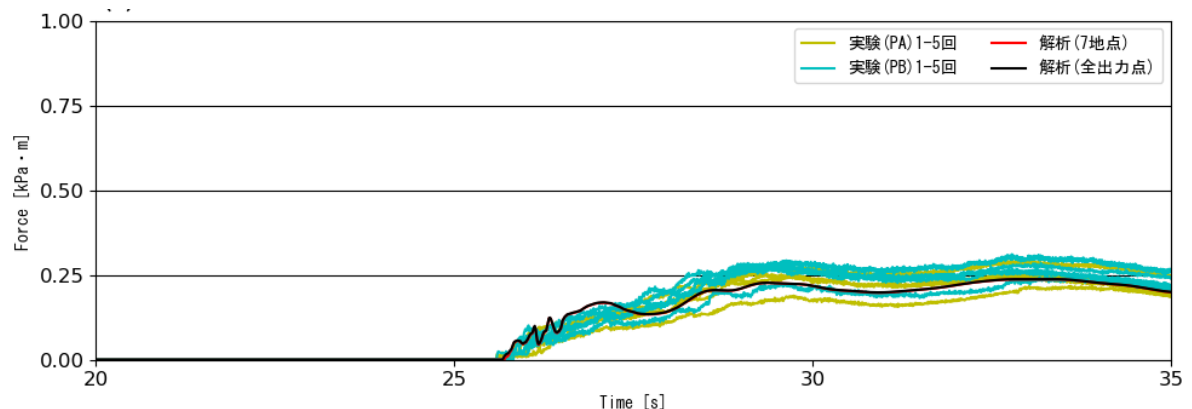


図 1-3-4-3 Case56（固定床）における波力時系列波形  
【長周期波 12.5cm，堤体-137.5cm，固定床】

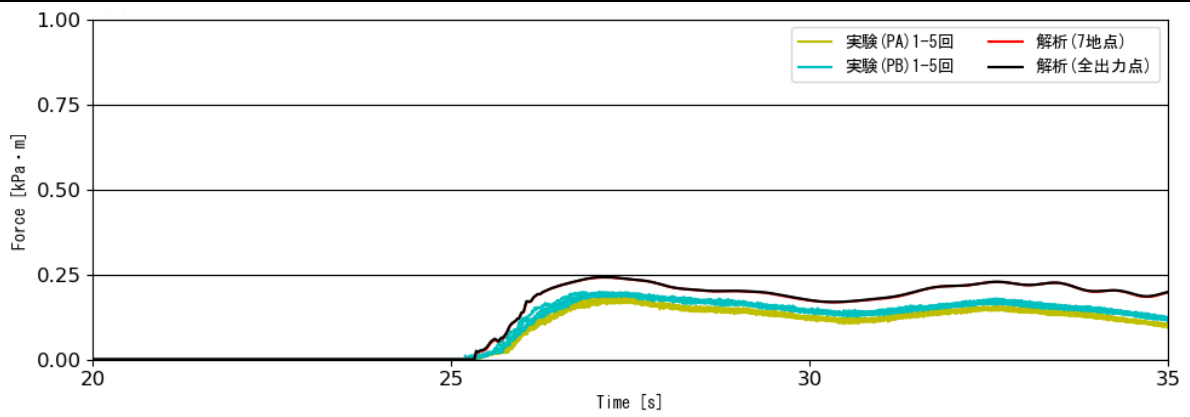


図 1-3-4-4 Case57 (固定床) における波力時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 固定床】

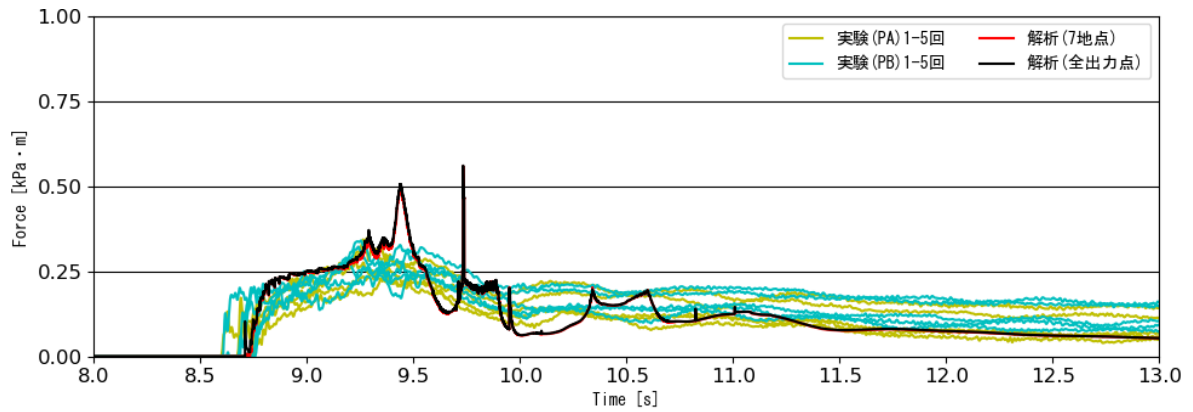


図 1-3-4-5 Case58 (移動床) における波力時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

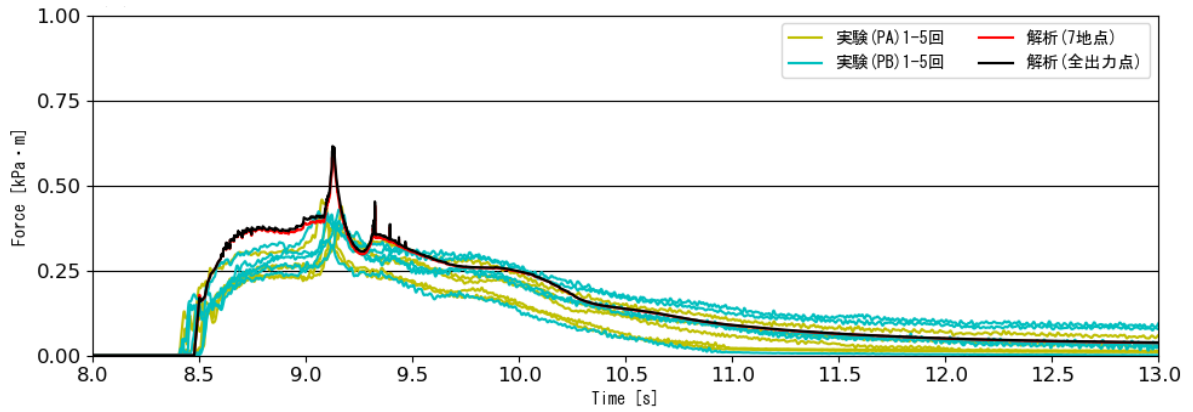


図 1-3-4-6 Case59 (移動床) における波力時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

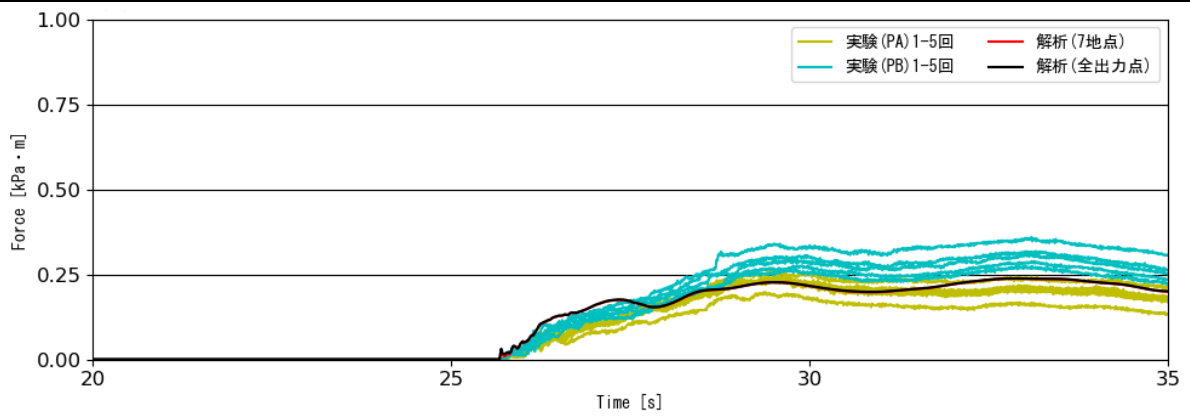


図 1-3-4-7 Case60 (移動床) における波力時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 7号珪砂】

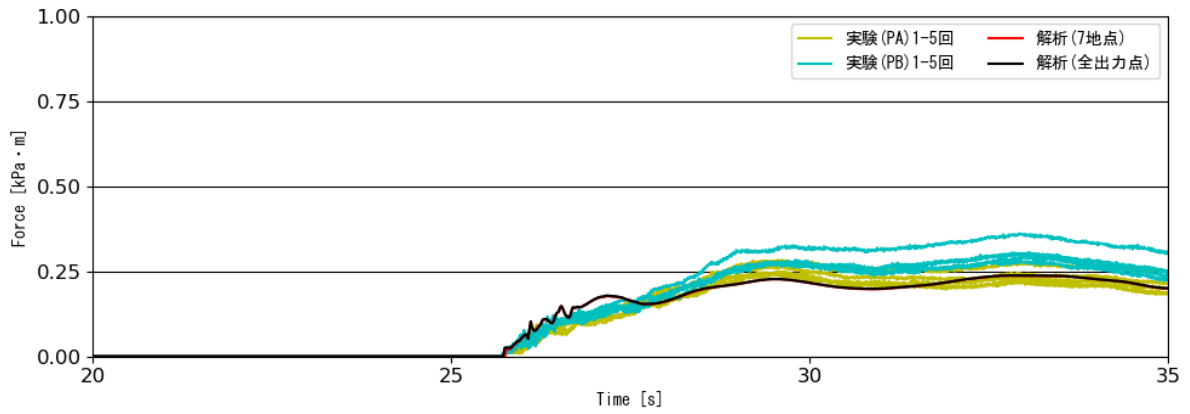


図 1-3-4-8 Case61 (移動床) における波力時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

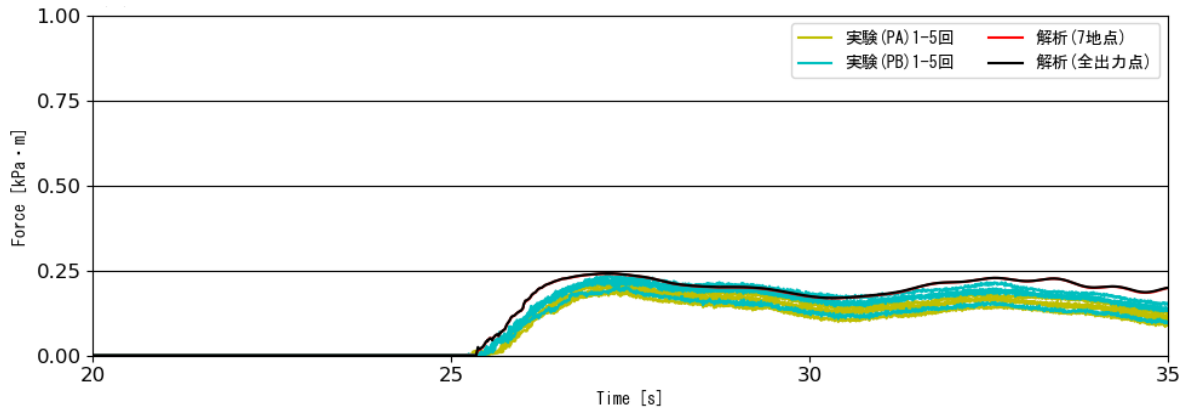


図 1-3-4-9 Case62 (移動床) における波力時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

## (2)移動床と固定床との解析結果の比較

計測地点の波力について、同じ解析条件下の移動床と固定床の解析結果の比較を行い、モデルの妥当性を検証する。図 1-3-4-10～図 1-3-4-14 に、防潮堤前面地点（図 1-2-1 の赤丸印参照）での波力時系列図について、移動床解析結果を赤線、固定床解析結果を青線で比較してそれぞれ示す。

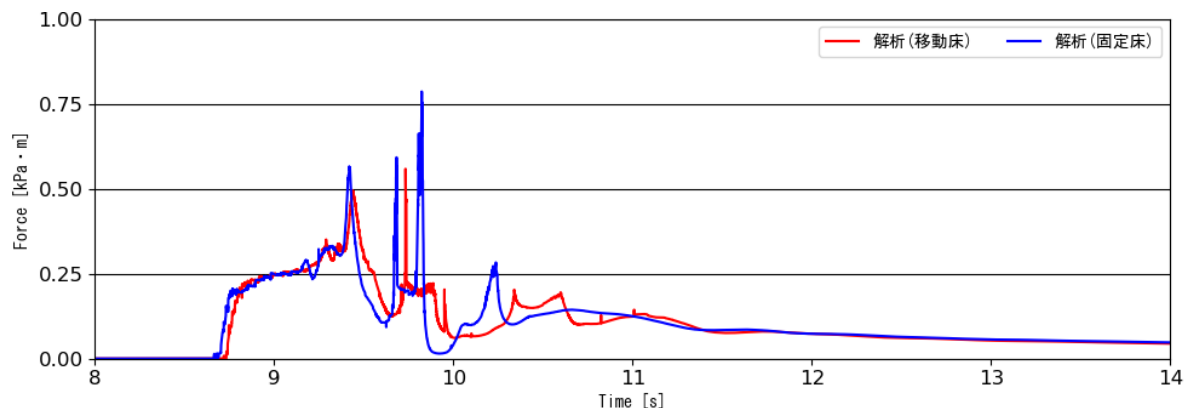


図 1-3-4-10 Case58（移動床）と Case54（固定床）における波力時系列波形  
【孤立波 12.5cm，堤体-137.5cm，6号珪砂／固定床】

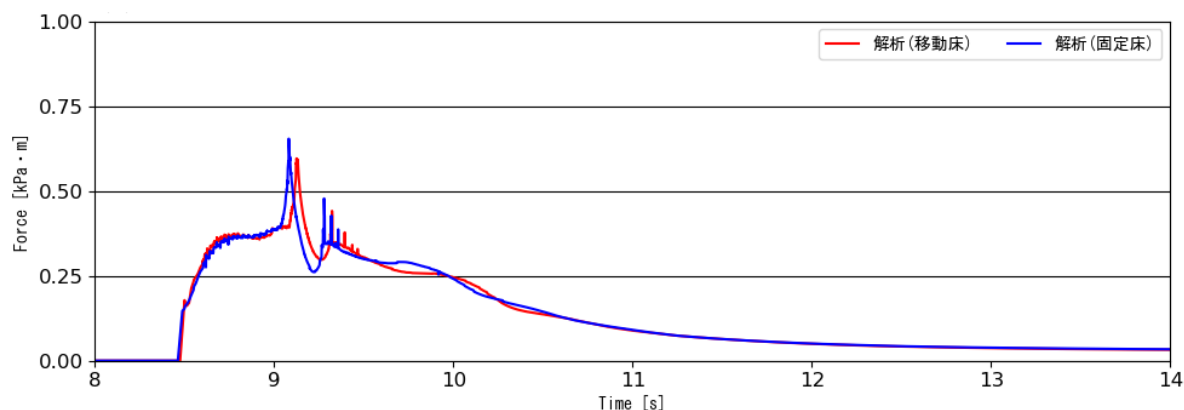


図 1-3-4-11 Case59（移動床）と Case55（固定床）における波力時系列波形  
【孤立波 12.5cm，堤体-80.0cm，6号珪砂／固定床】

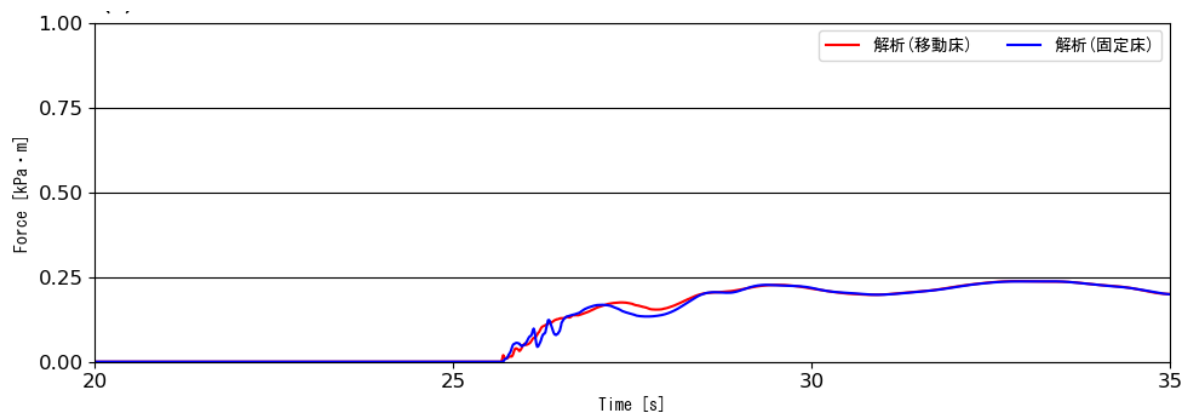


図 1-3-4-12 Case60（移動床）と Case56（固定床）における波力時系列波形  
【長周期波 12.5cm，堤体-137.5cm，7号珪砂／固定床】

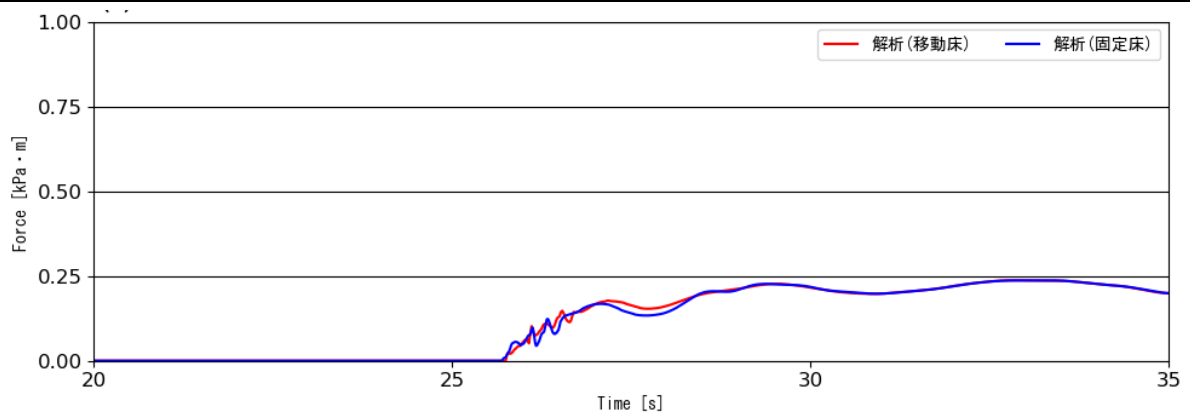


図 1-3-4-13 Case61 (移動床) と Case56 (固定床) における波力時系列波形  
 【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂/固定床】

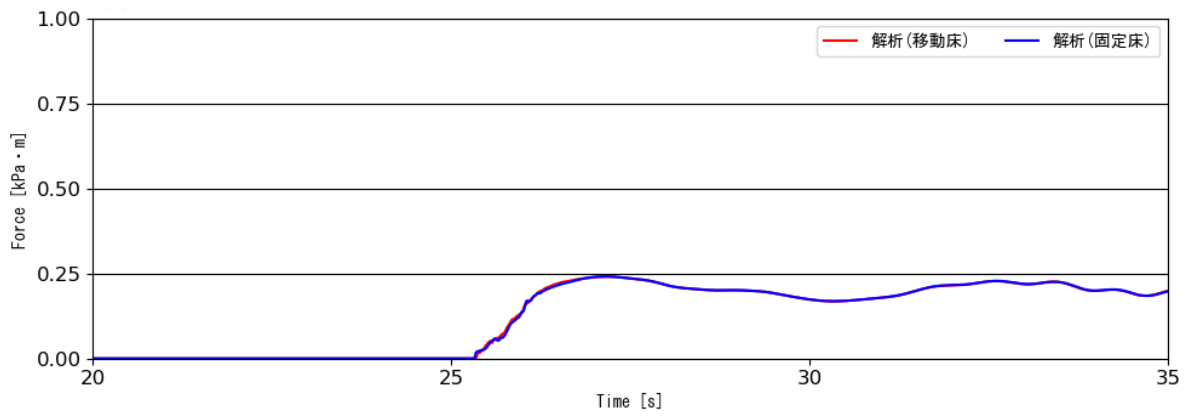


図 1-3-4-14 Case62 (移動床) と Case57 (固定床) における波力時系列波形  
 【長周期波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂/固定床】

## (2) 砂粒径の差異の比較

計測地点の波力について、砂粒径の差異による比較を行い、モデルの妥当性を検証する。図 1-3-4-15 に、防潮堤前面地点（図 1-2-1 の赤丸印参照）での波力時系列図について、移動床解析結果を赤線、固定床解析結果を青線で比較してそれぞれ示す。

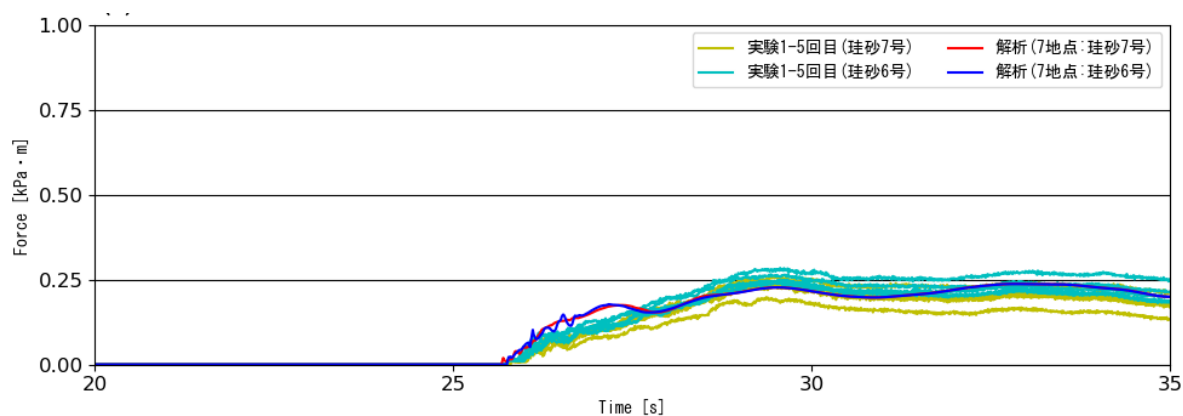


図 1-3-4-15 Case60 (7号) と Case61 (6号) における波力時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 7号珪砂/6号珪砂】

### 1-3-5 シールズ数時系列の解析結果

計測地点のシールズ数について、試験結果と解析結果を比較し、モデルの妥当性を検証する。図 1-3-5-1～図 1-3-5-7 に、V7'地点（図 1-2-1 参照）でのシールズ数時系列図を、試験結果及び解析結果と比較してそれぞれ示す。

#### (1) 試験結果との比較

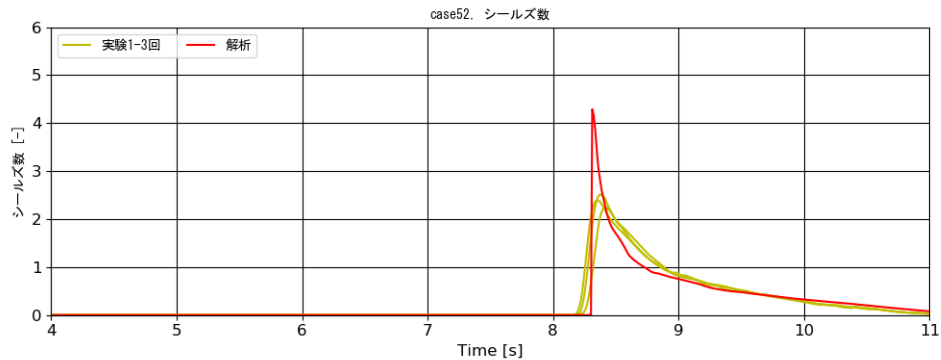


図 1-3-5-1 Case52 におけるシールズ数時系列波形  
【孤立波 12.5cm，堤体無し，6号珪砂】

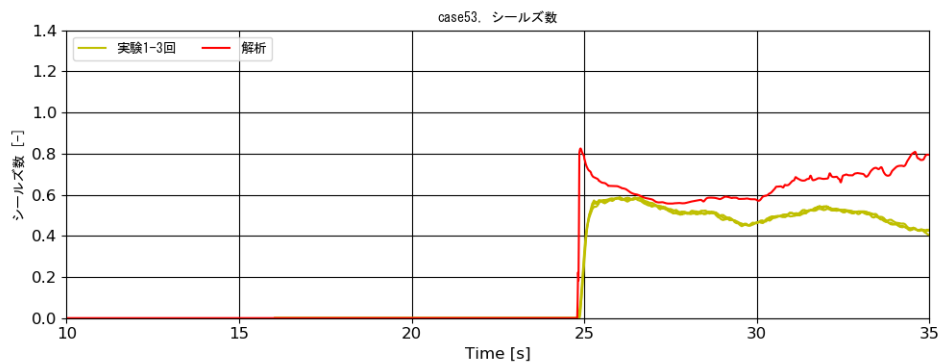


図 1-3-5-2 Case53 におけるシールズ数時系列波形  
【長周期波 12.5cm，堤体無し，6号珪砂】

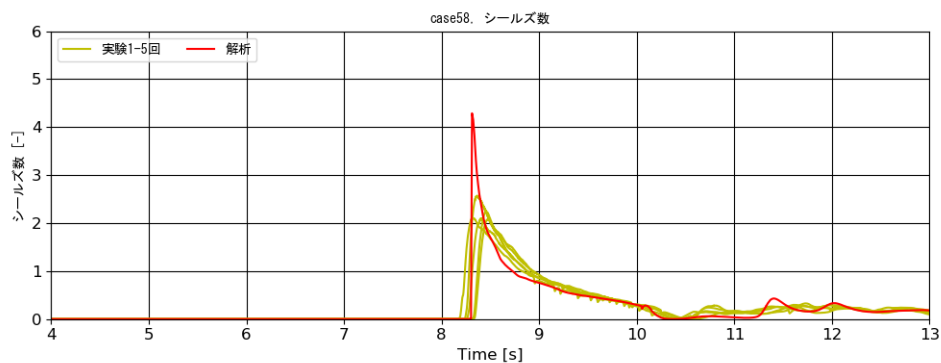


図 1-3-5-3 Case58 におけるシールズ数時系列波形  
【孤立波 12.5cm，堤体-137.5cm，6号珪砂】

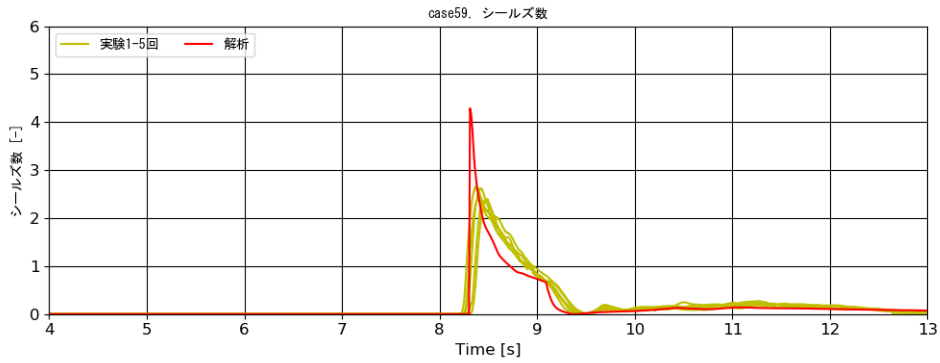


図 1-3-5-4 Case59 におけるシールズ数時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

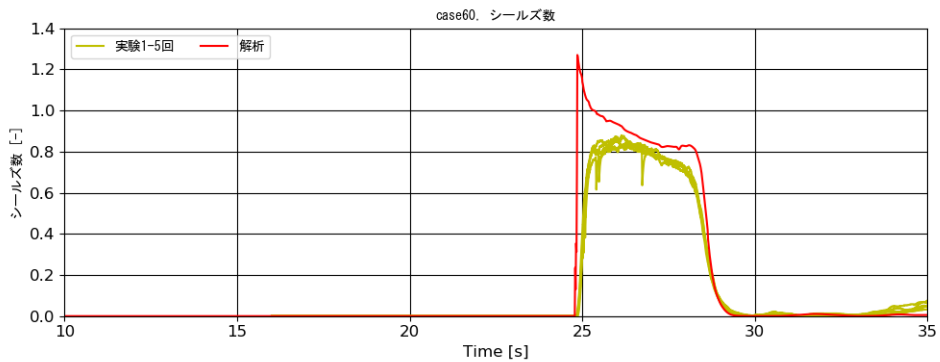


図 1-3-5-5 Case60 におけるシールズ数時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 7号珪砂】

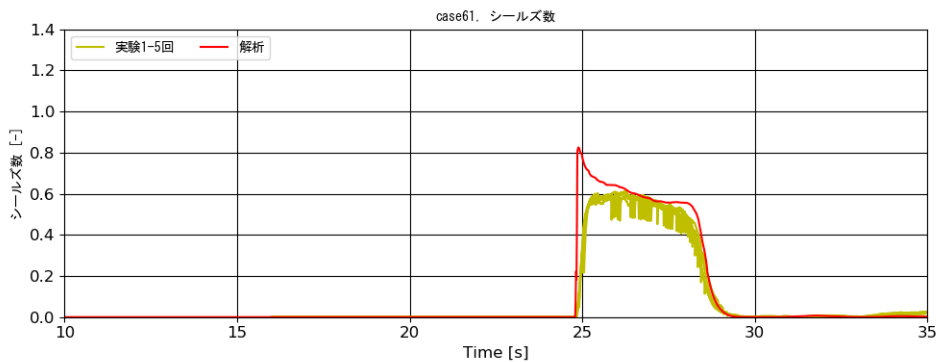


図 1-3-5-6 Case61 におけるシールズ数時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

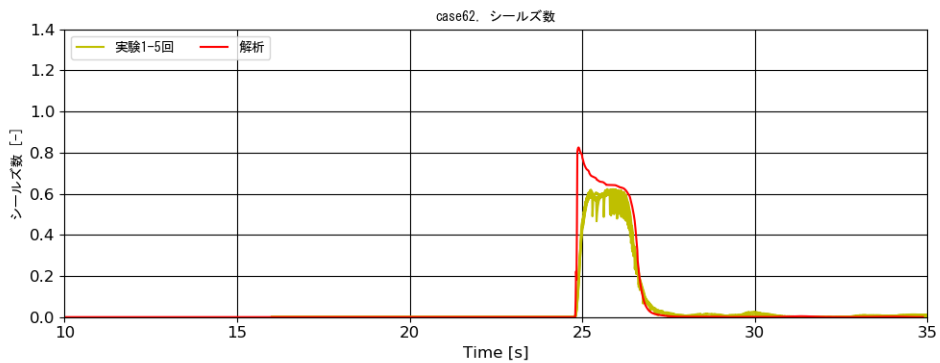


図 1-3-5-7 Case62 におけるシールズ数時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】



### 1-3-6 砂密度時系列の解析結果

計測地点の砂密度（浮遊砂濃度）について，試験結果と解析結果を比較し，モデルの妥当性を検証する．図 1-3-6-1～図 1-3-6-7 に，V7'地点（図 1-2-1 参照）での砂密度時系列図を，試験結果及び解析結果と比較してそれぞれ示す．

#### (1) 試験結果との比較

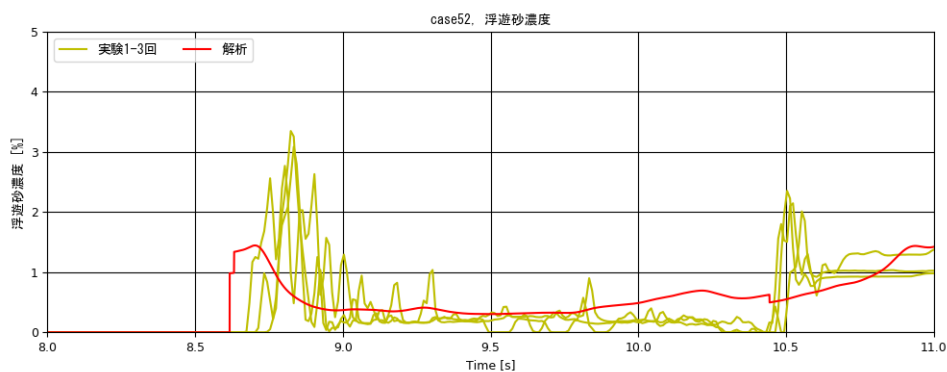


図 1-3-6-1 Case52 における砂密度時系列波形  
【孤立波 12.5cm，堤体無し，6号珪砂】

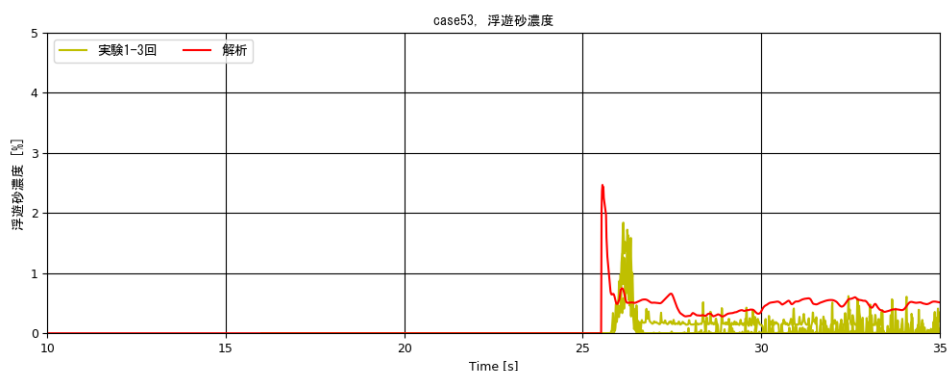


図 1-3-6-2 Case53 における砂密度時系列波形  
【長周期波 12.5cm，堤体無し，6号珪砂】

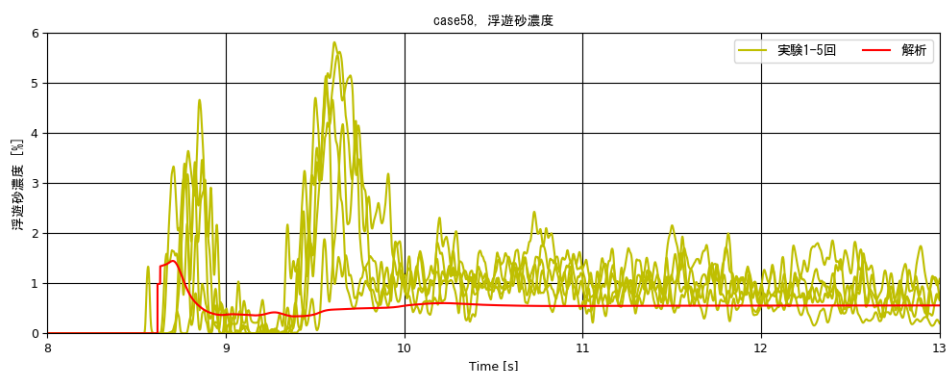


図 1-3-6-3 Case58 における砂密度時系列波形  
【孤立波 12.5cm，堤体-137.5cm，6号珪砂】

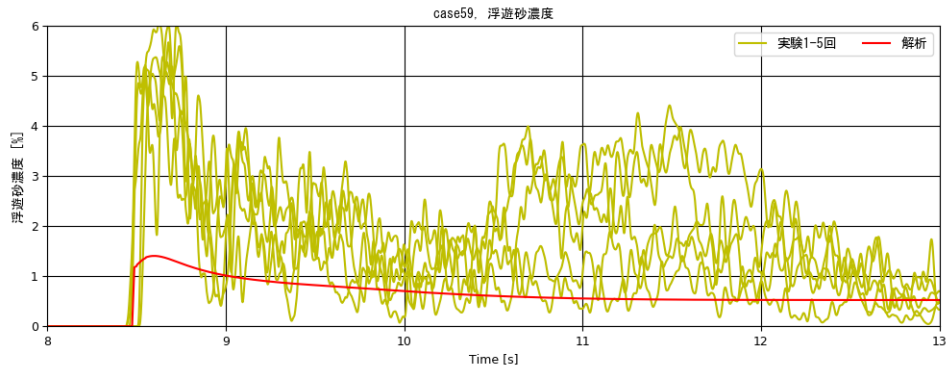


図 1-3-6-4 Case59 における砂密度時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

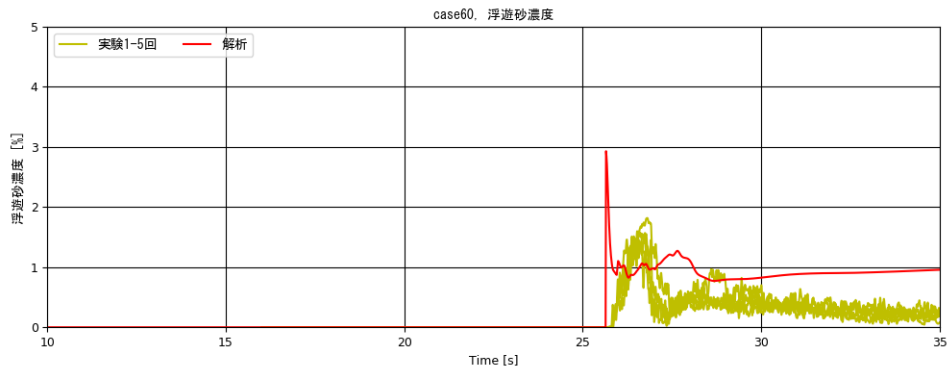


図 1-3-6-5 Case60 における砂密度時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 7号珪砂】

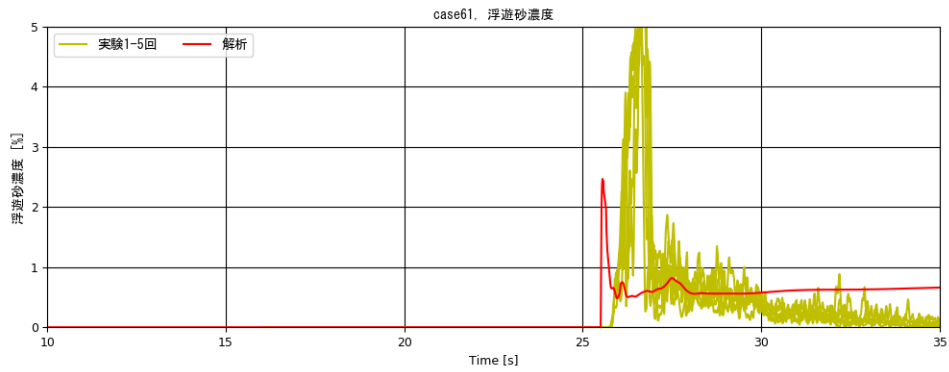


図 1-3-6-6 Case61 における砂密度時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

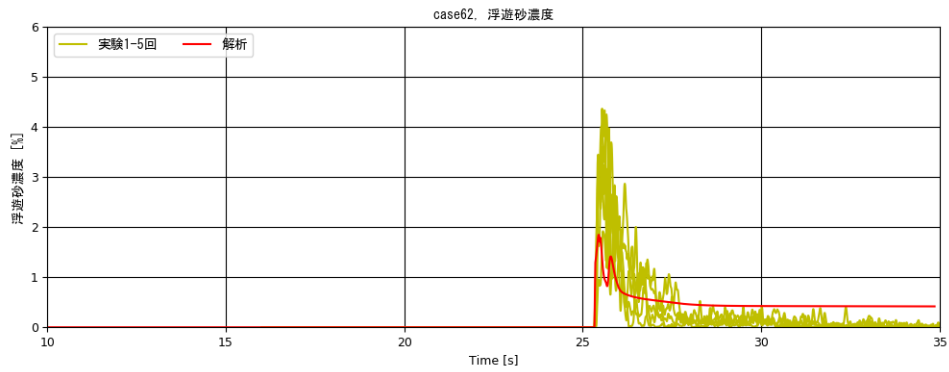


図 1-3-6-7 Case62 における砂密度時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

---

## 1-4 再現解析の空間変化

### 1-4-1 流速場，浮遊砂濃度の解析結果と砂面形状変化の比較

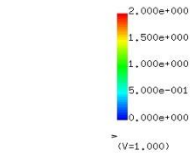
以下では，Case52～Case62における流速場の計算結果，Case52,53，Case58～Case62における浮遊砂濃度分布の計算結果及びCase52,53，Case58～Case62における防潮堤前面の砂面形状変化を示す（図 1-4-1-1～図 1-4-1-25 参照）．ここでの浮遊砂濃度の単位は mg/l である．

ここで，全ケースの砂面形状変化における入射波のみの砂面形状の解析結果は，試験結果と同様に，押し波が防潮堤に達し，水位が最大になる時刻の砂面形状とした．また，通水後の砂面形状の解析結果は，計算終了時刻の砂面形状とした．

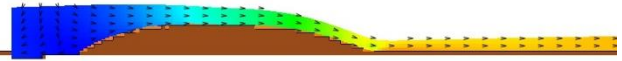
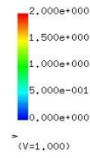
(1) Case52 (孤立波 12.5cm, 堤体無し, 6号珪砂)

図 1-4-1-1 に, Case52 の断面二次元流速スナップショットを示す.

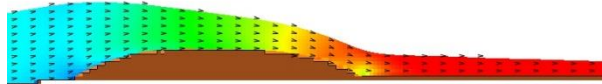
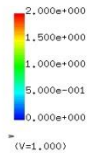
T= 8.00229 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



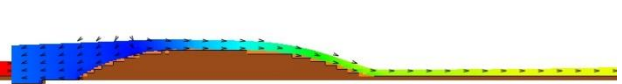
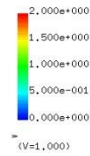
T= 10.00161 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



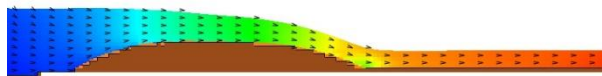
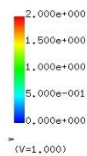
T= 9.00195 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 11.15122 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

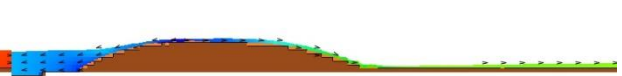
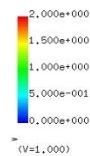


図 1-4-1-1 Case52 の断面二次元流速スナップショット

【孤立波 12.5cm, 堤体無し, 6号珪砂】

図 1-4-1-2 に、Case52 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

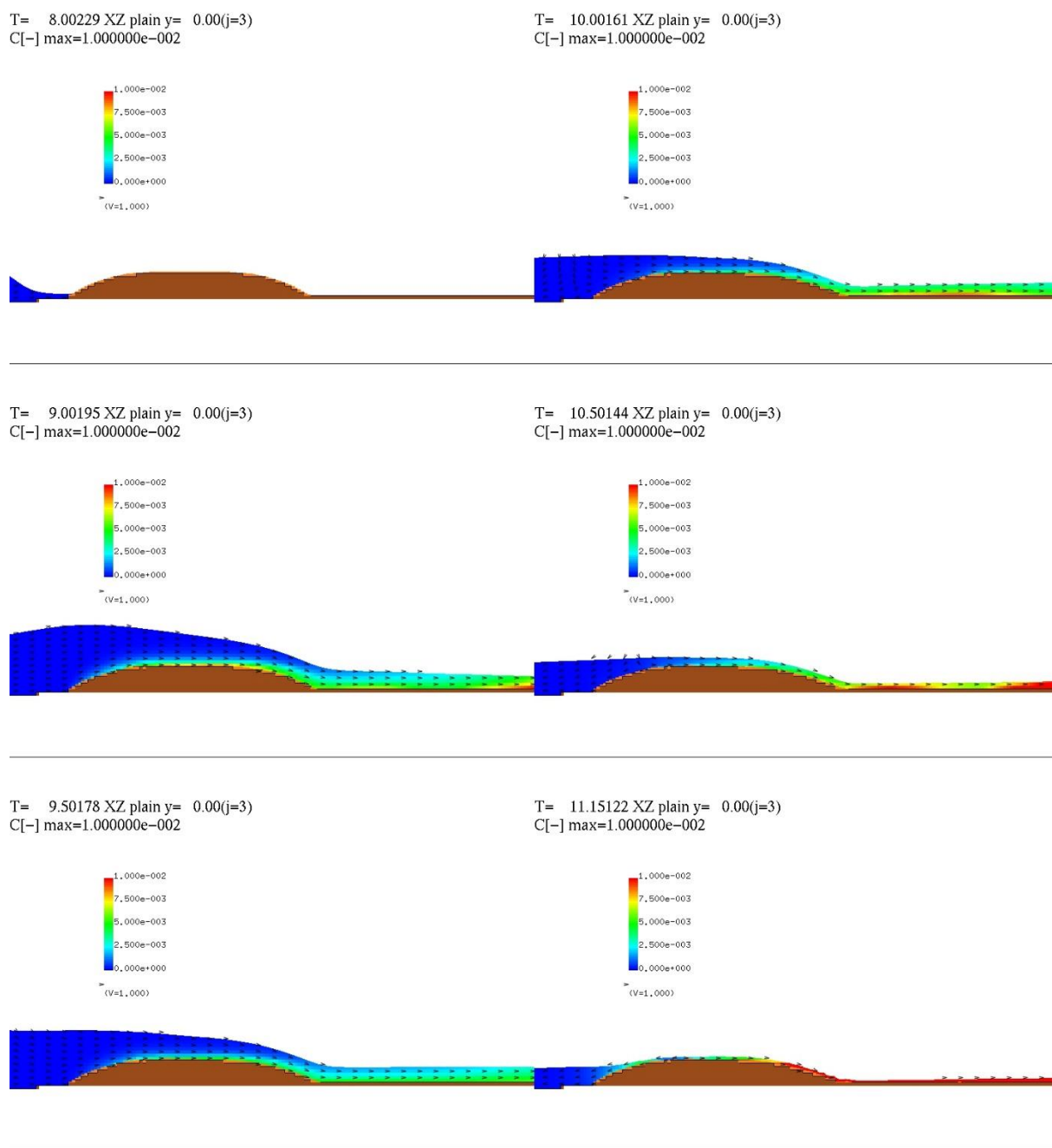


図 1-4-1-2 Case52 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【孤立波 12.5cm，堤体無し，6号珪砂】

Case52 の砂面形状変化を図 1-4-1-3 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果を実線、試験結果を破線で示す。また、青線は入射波のみの砂面形状を示し、赤線は通水後の砂面形状を示す。

なお、ここでいう入射波のみの砂面形状とは、防潮堤が汀線-137.5cm に存在すると仮定した際に押し波が防潮堤に達し、水位が最大になる時刻の砂面形状とした。

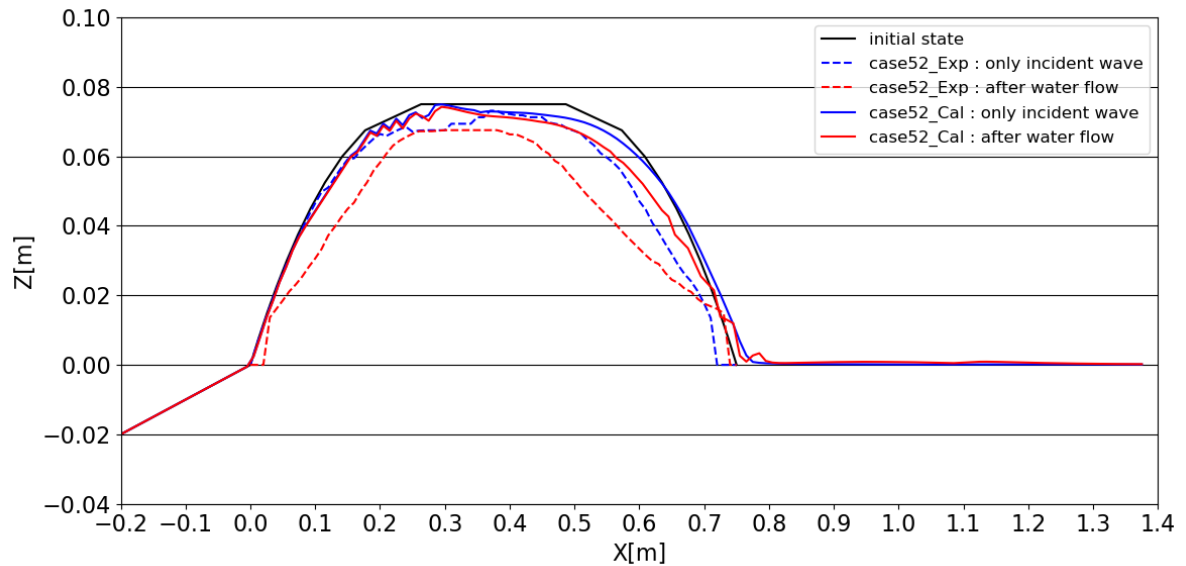
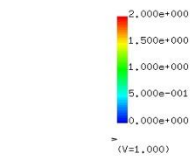


図 1-4-1-3 Case52 における砂面形状変化  
【孤立波 12.5cm, 堤体無し, 6号珪砂】

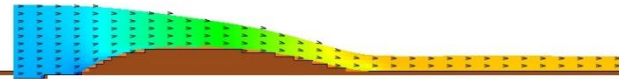
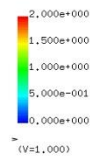
(2) Case53 (長周期波 12.5cm, 堤体無し, 6号珪砂)

図 1-4-1-4 に, Case53 の断面二次元流速スナップショットを示す.

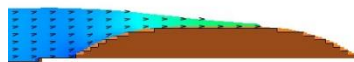
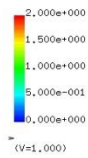
T= 15.00241 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



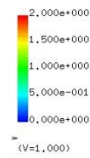
T= 35.00063 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



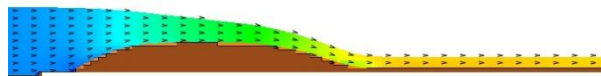
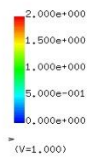
T= 25.00152 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 40.00143 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 30.00232 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 50.00054 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

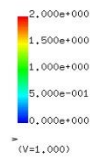
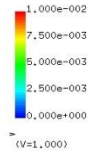


図 1-4-1-4 Case53 の断面二次元流速スナップショット

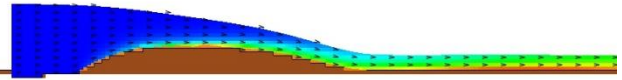
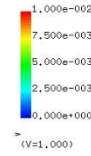
【孤立波 12.5cm, 堤体無し, 6号珪砂】

図 1-4-1-5 に、Case53 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

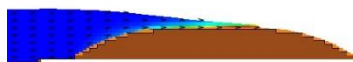
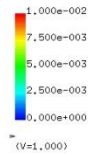
T= 15.00241 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



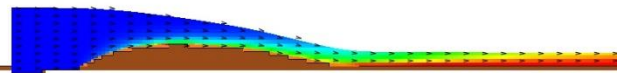
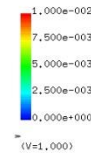
T= 35.00063 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



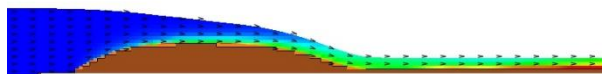
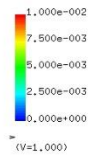
T= 25.00152 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 40.00143 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 30.00232 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 50.00054 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002

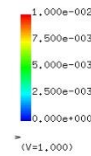


図 1-4-1-5 Case53 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【孤立波 12.5cm, 堤体無し, 6号珪砂】



Case53 の砂面形状変化を図 1-4-1-6 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果を実線、試験結果を破線で示す。また、青線は入射波のみの砂面形状を示し、赤線は通水後の砂面形状を示す。

なお、ここでいう入射波のみの砂面形状とは、防潮堤が汀線-137.5cm に存在すると仮定した際に押し波が防潮堤に達し、水位が最大になる時刻の砂面形状とした。

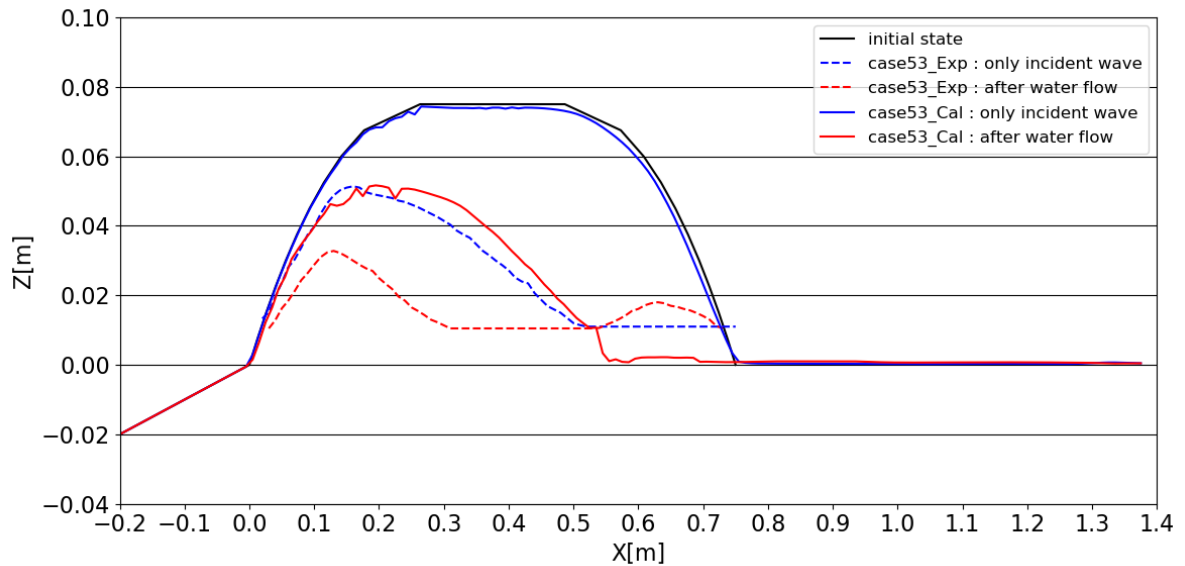


図 1-4-1-6 Case53 における砂面形状変化  
【長周期波 12.5cm，堤体無し，6号珪砂】

(3) Case54 (孤立波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 固定床)

図 1-4-1-7 に, Case54 の断面二次元流速スナップショットを示す.

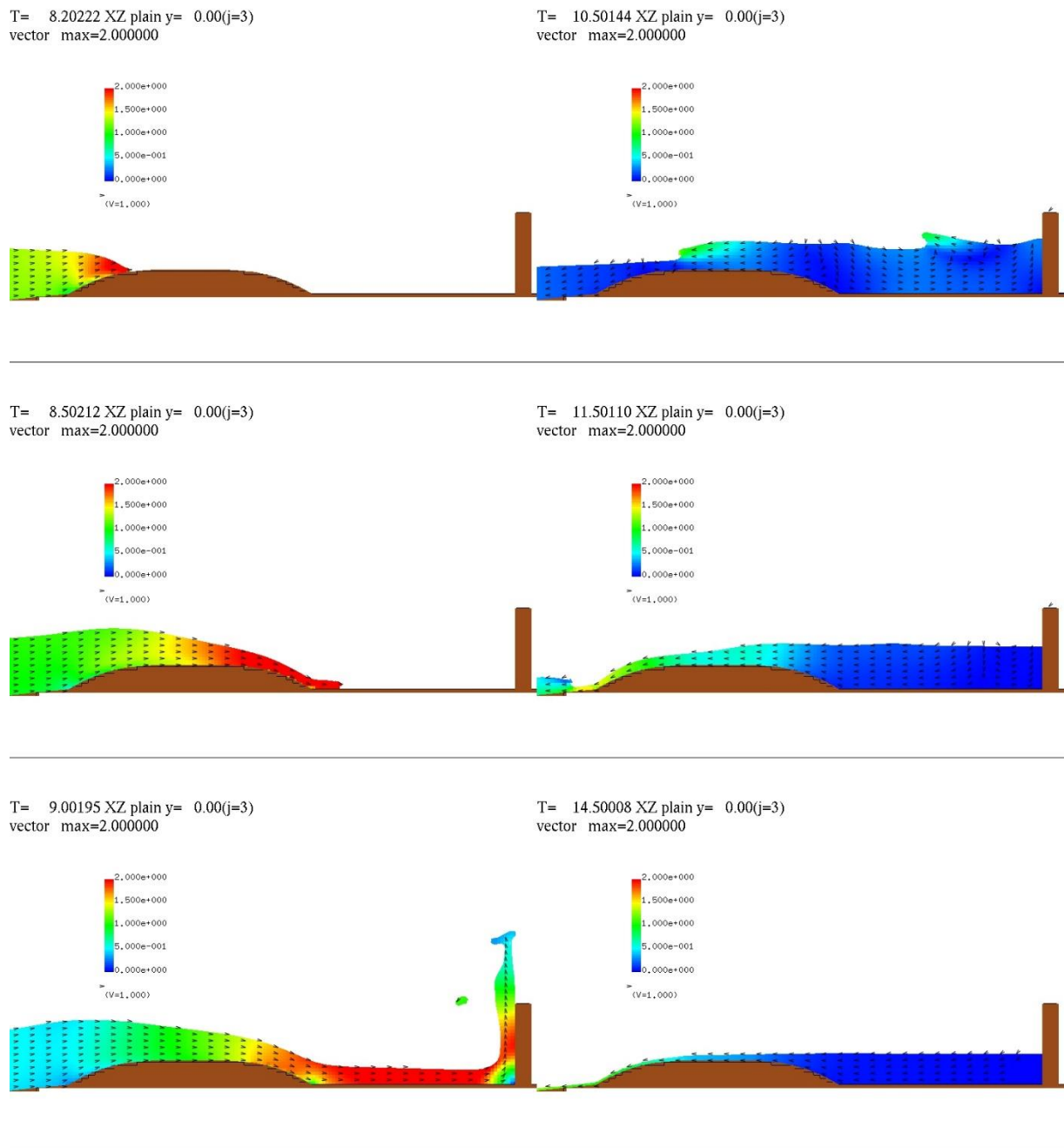


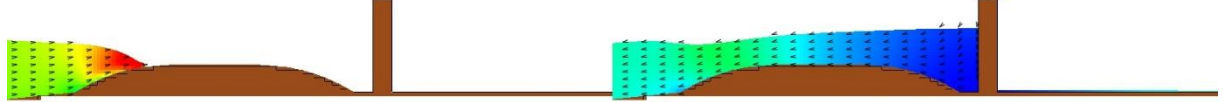
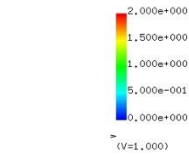
図 1-4-1-7 Case54 の断面二次元流速スナップショット

【孤立波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 固定床】

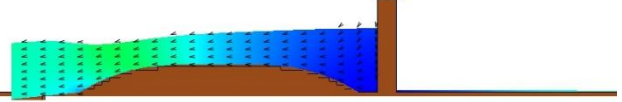
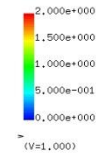
(4) Case55 (孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 固定床)

図 1-4-1-8 に, Case55 の断面二次元流速スナップショットを示す.

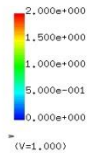
T= 8.20222 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



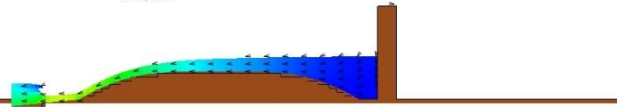
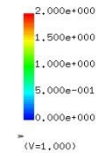
T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



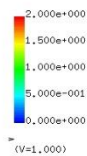
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 11.50110 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 9.00195 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 14.50008 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

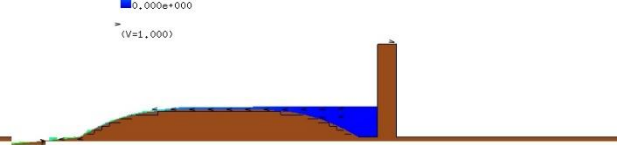
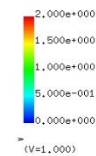


図 1-4-1-8 Case55 の断面二次元流速スナップショット

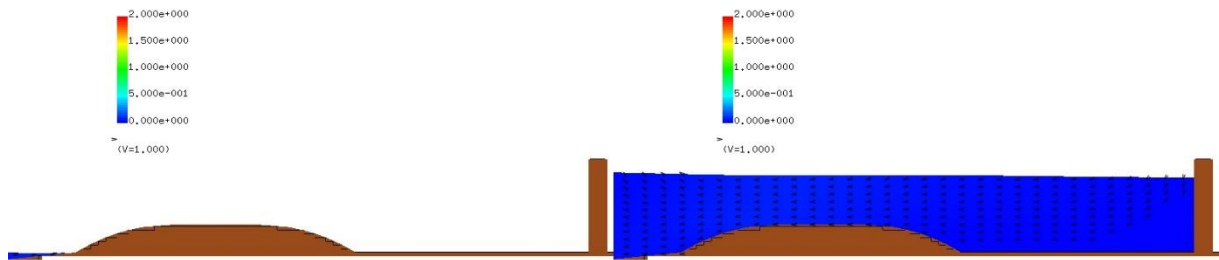
【孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 固定床】

(5) Case56 (長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 固定床)

図 1-4-1-9 に, Case56 の断面二次元流速スナップショットを示す.

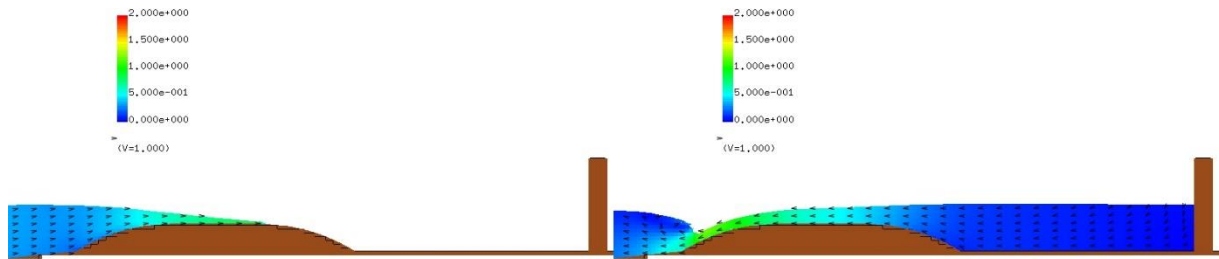
T= 15.00241 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

T= 35.00063 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 25.00152 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

T= 40.00143 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 30.00232 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

T= 42.50058 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

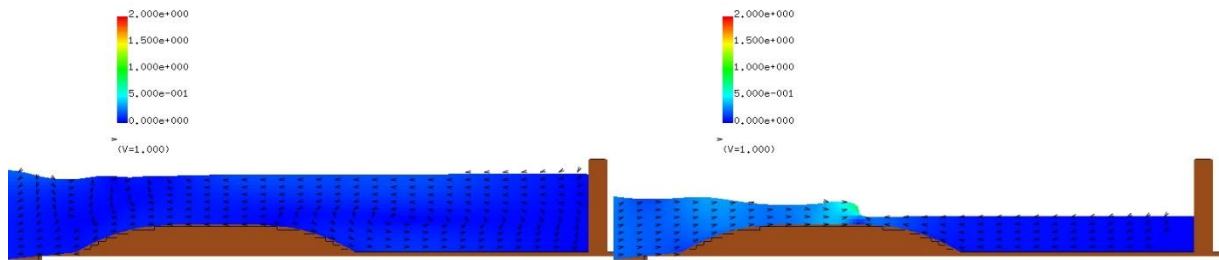


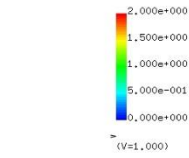
図 1-4-1-9 Case56 の断面二次元流速スナップショット

【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 固定床】

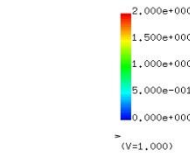
(6) Case57 (長周期 12.5cm, 堤体-80.0cm, 固定床)

図 1-4-1-10 に, Case57 の断面二次元流速スナップショットを示す.

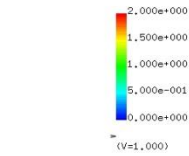
T= 24.00186 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



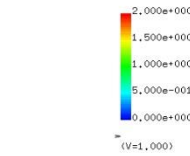
T= 30.00232 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



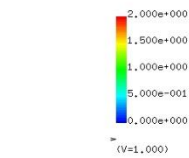
T= 25.00152 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 32.00164 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 27.00084 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 34.50080 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

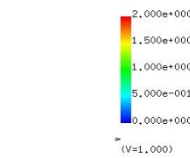


図 1-4-1-10 Case57 の断面二次元流速スナップショット

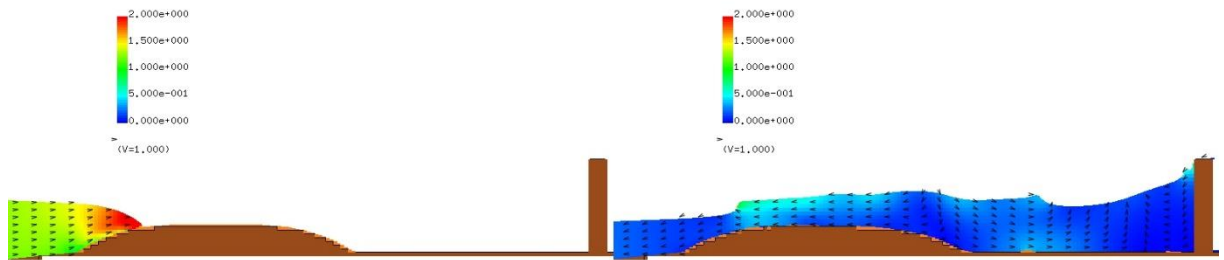
【長周期波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 固定床】

(7) Case58 (孤立波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂)

図 1-4-1-11 に, Case58 の断面二次元流速スナップショットを示す.

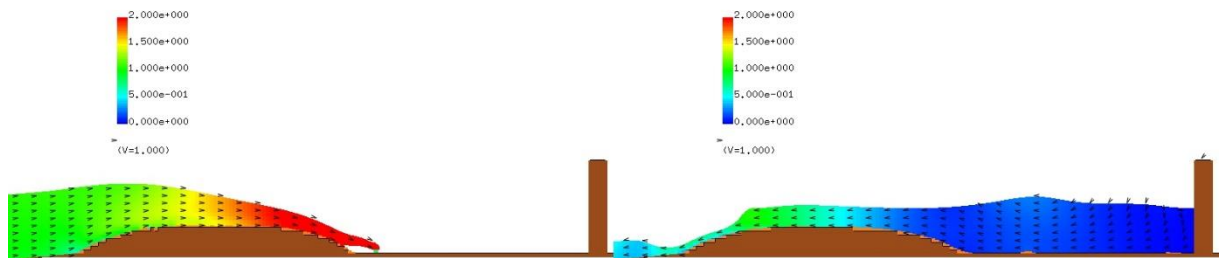
T= 8.20222 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

T= 11.50110 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 9.00195 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

T= 14.50008 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

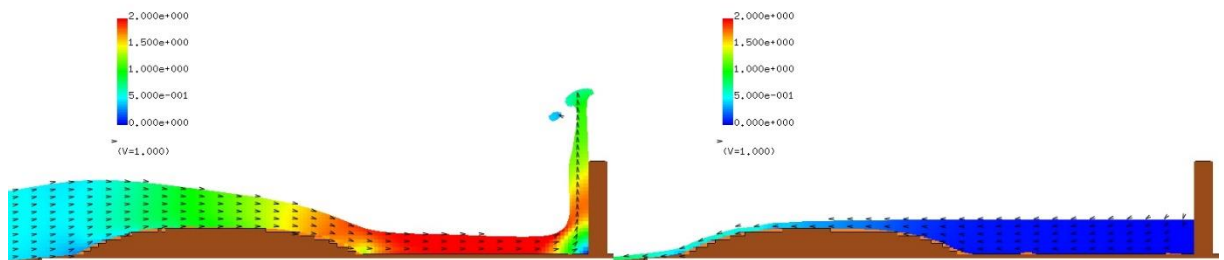


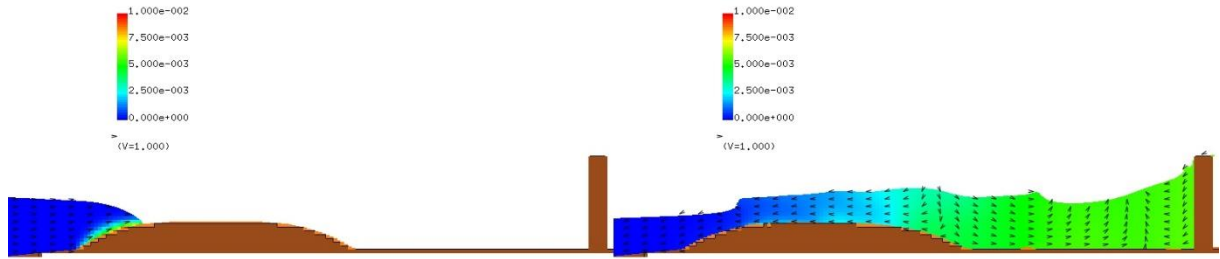
図 1-4-1-11 Case58 の断面二次元流速スナップショット

【孤立波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

図 1-4-1-12 に、Case58 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

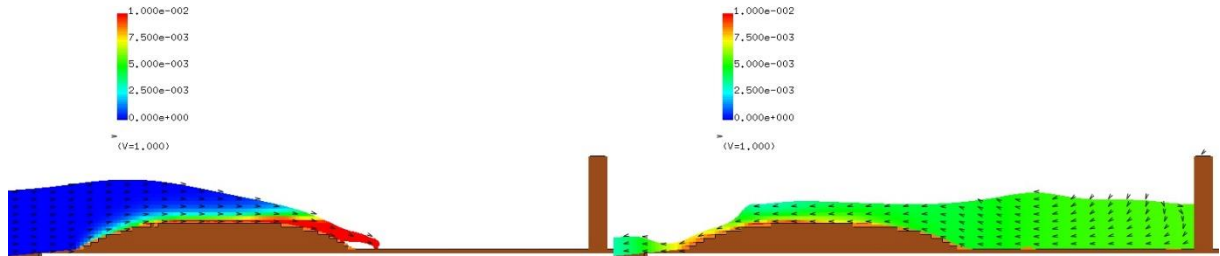
T= 8.20222 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002

T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002

T= 11.50110 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 9.00195 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002

T= 14.50008 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002

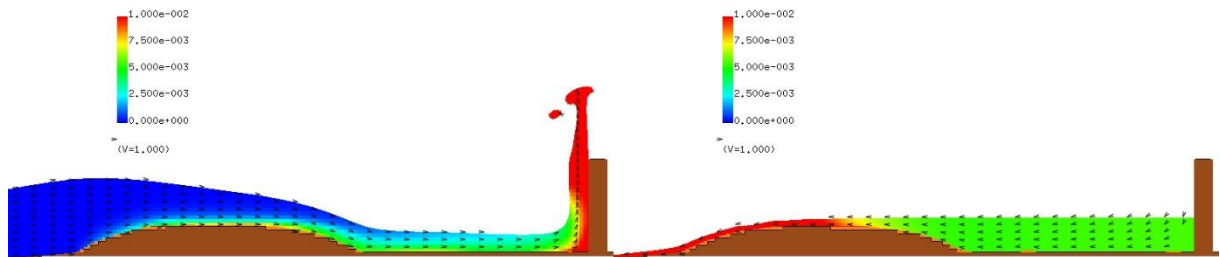


図 1-4-1-12 Case58 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【孤立波 12.5cm，堤体-137.5cm，6号珪砂】

Case58 の砂面形状変化を図 1-4-1-13 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果を実線、試験結果を破線で示す。また、青線は入射波のみの砂面形状を示し、赤線は通水後の砂面形状を示す。

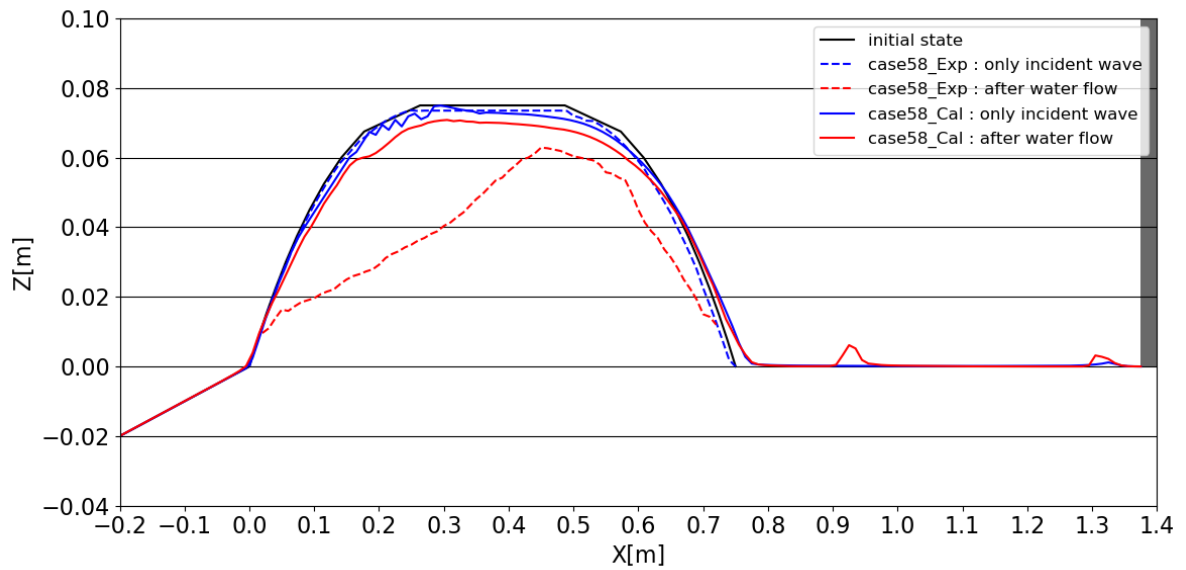


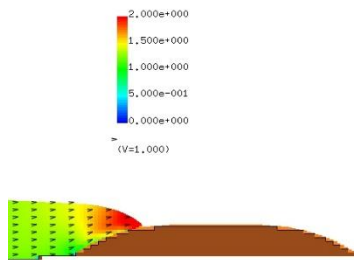
図 1-4-1-13 Case58 における砂面形状変化  
【孤立波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】



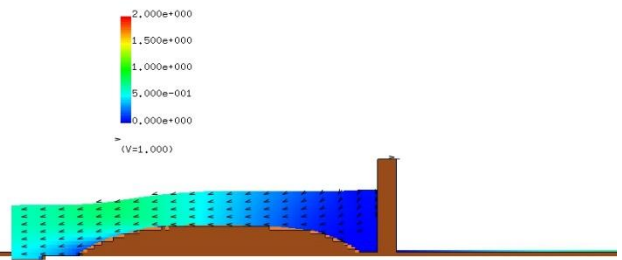
(8) Case59 (孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂)

図 1-4-1-14 に, Case59 の断面二次元流速スナップショットを示す.

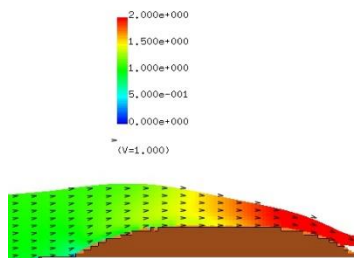
T= 8.20222 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



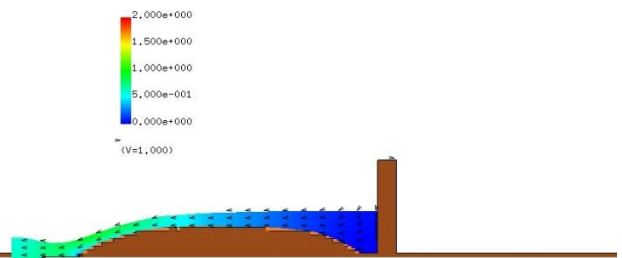
T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



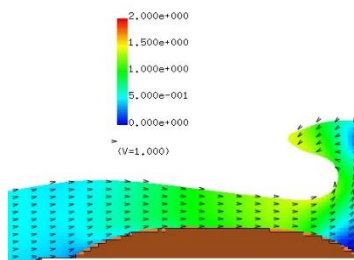
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 11.50110 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 9.00195 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 14.50008 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

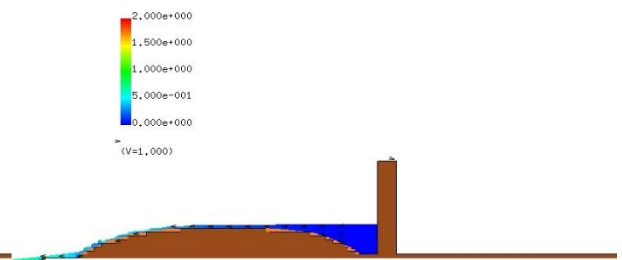
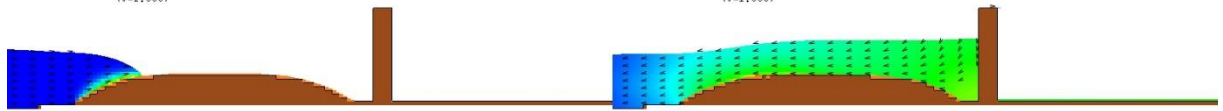
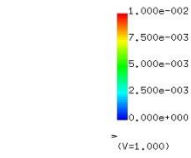


図 1-4-1-14 Case59 の断面二次元流速スナップショット

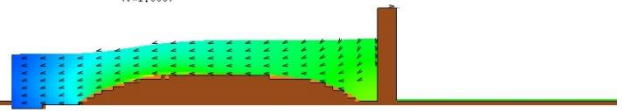
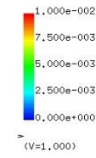
【孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

図 1-4-1-15 に、Case59 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

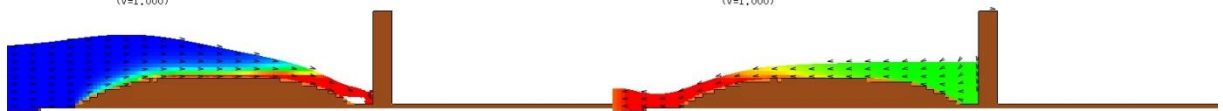
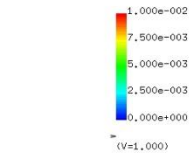
T= 8.20222 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



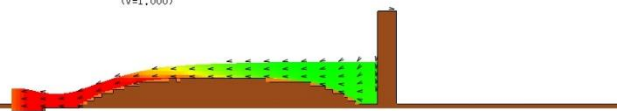
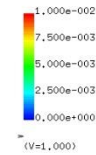
T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



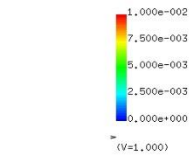
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 11.50110 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 9.00195 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 14.50008 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002

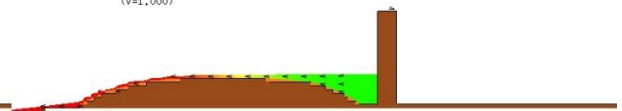
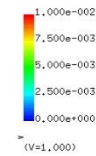


図 1-4-1-15 Case59 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

Case59 の砂面形状変化を図 1-4-1-16 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果を実線、試験結果を破線で示す。また、青線は入射波のみの砂面形状を示し、赤線は通水後の砂面形状を示す。

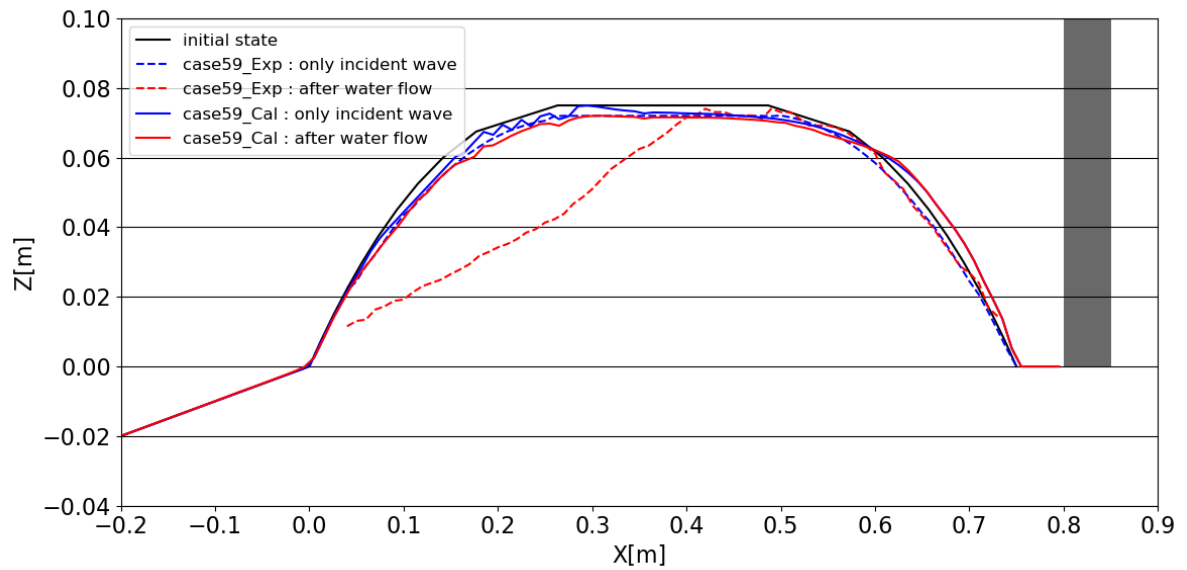
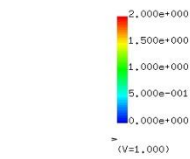


図 1-4-1-16 Case59 における砂面形状変化  
【孤立波 12.5cm，堤体-80.0cm，6号珪砂】

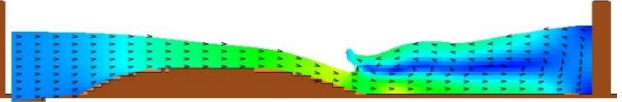
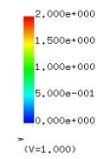
(9) Case60 (孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂)

図 1-4-1-17 に, Case60 の断面二次元流速スナップショットを示す.

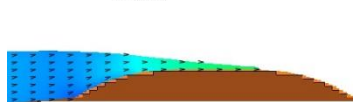
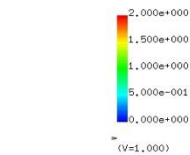
T= 15.00241 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



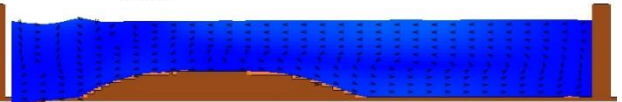
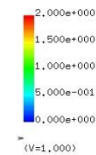
T= 27.50067 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



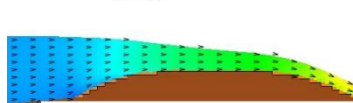
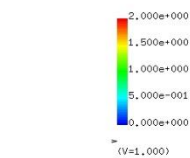
T= 25.00152 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 30.00232 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 26.00118 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 50.00054 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

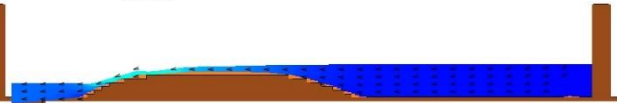
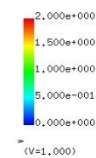
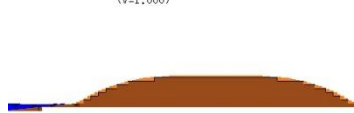
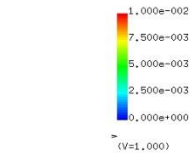


図 1-4-1-17 Case60 の断面二次元流速スナップショット

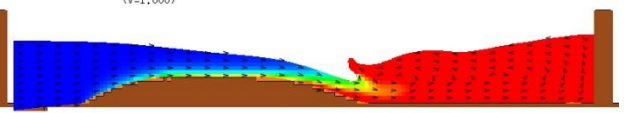
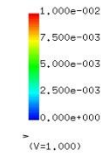
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 7号珪砂】

図 1-4-1-18 に、Case60 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

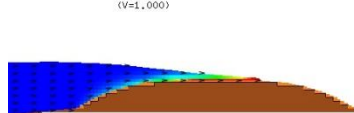
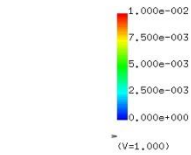
T= 15.00241 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



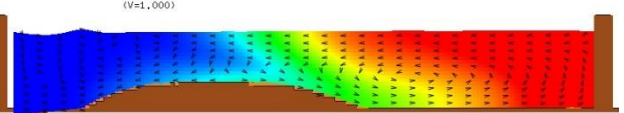
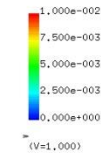
T= 27.50067 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



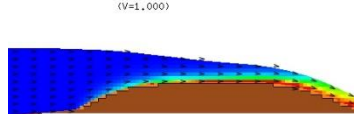
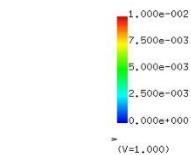
T= 25.00152 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 30.00232 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 26.00118 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 50.00054 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002

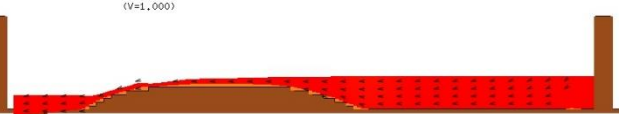
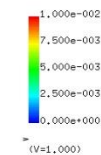


図 1-4-1-18 Case60 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【長周期波 12.5cm，堤体-137.5cm，7号珪砂】

Case60 の砂面形状変化を図 1-4-1-19 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果を実線、試験結果を破線で示す。また、青線は入射波のみの砂面形状を示し、赤線は通水後の砂面形状を示す。

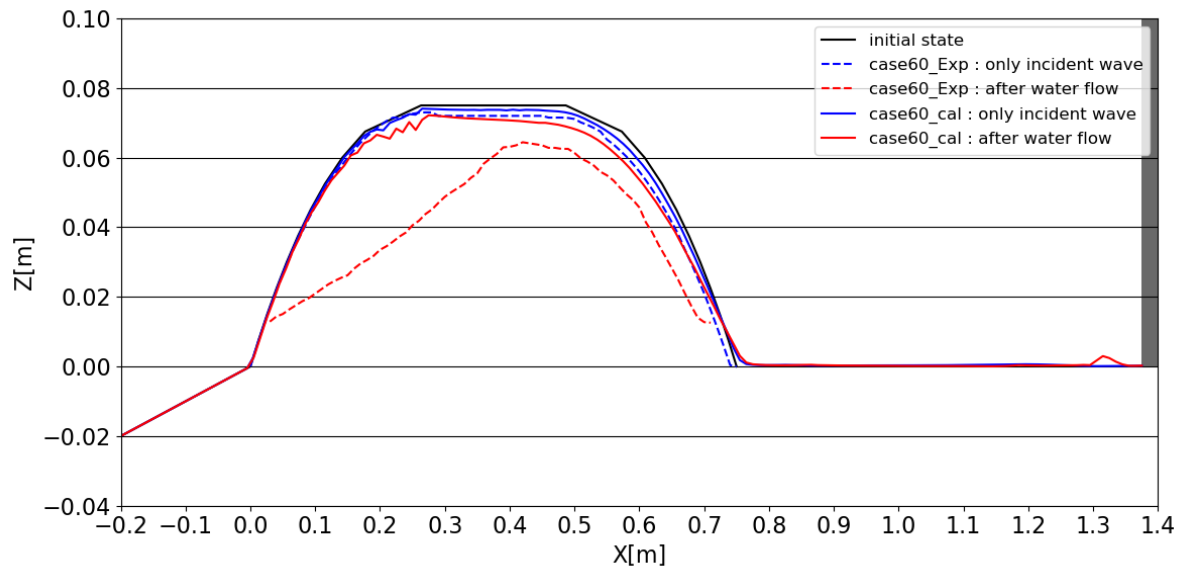
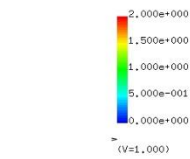


図 1-4-1-19 Case60 における砂面形状変化  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 7号珪砂】

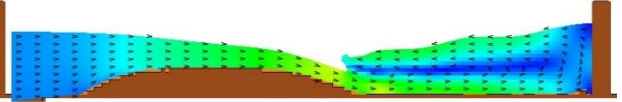
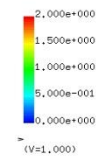
(10) Case61 (長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂)

図 1-4-1-20 に, Case61 の断面二次元流速スナップショットを示す.

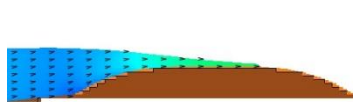
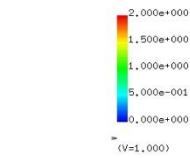
T= 15.00241 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



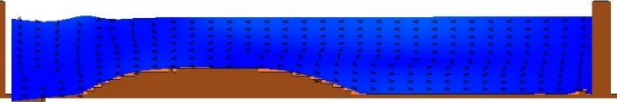
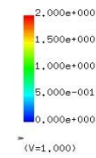
T= 27.50067 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



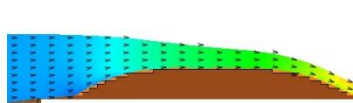
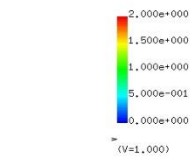
T= 25.00152 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 30.00232 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 26.00118 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 40.00143 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

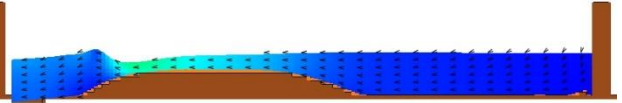
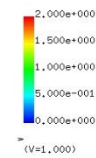
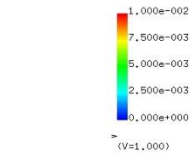


図 1-4-1-20 Case61 の断面二次元流速スナップショット

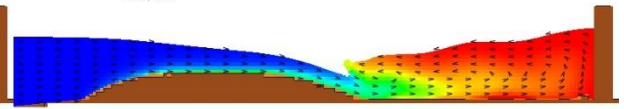
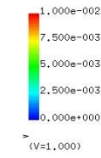
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

図 1-4-1-21 に、Case61 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

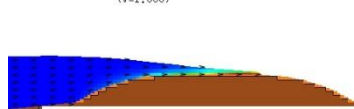
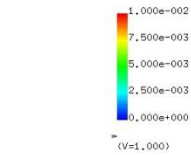
T= 15.00241 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



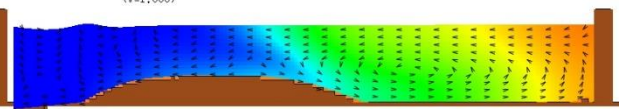
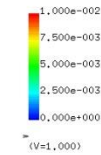
T= 27.50067 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



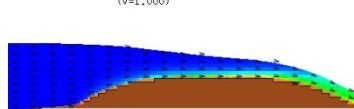
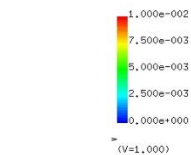
T= 25.00152 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 30.00232 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 26.00118 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 40.00143 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002

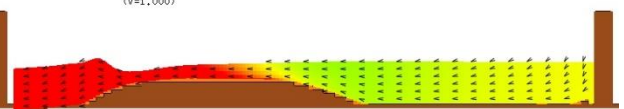
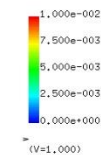


図 1-4-1-21 Case61 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【長周期波 12.5cm，堤体-137.5cm，6号珪砂】



Case61 の砂面形状変化を図 1-4-1-22 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果を実線、試験結果を破線で示す。また、青線は入射波のみの砂面形状を示し、赤線は通水後の砂面形状を示す。

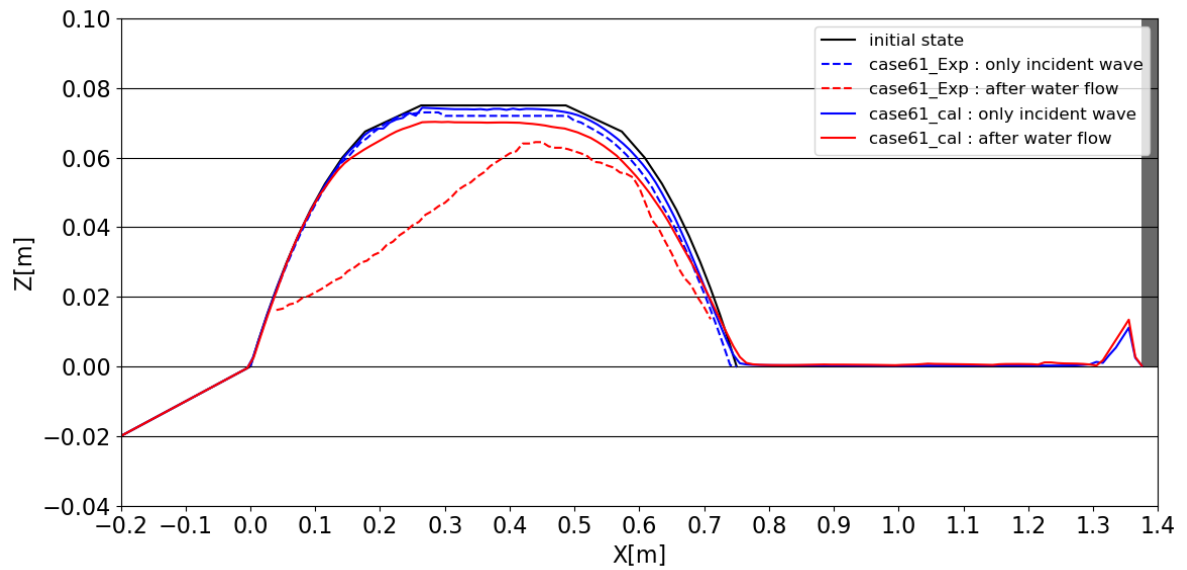
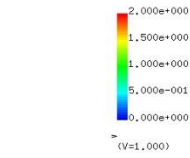


図 1-4-1-22 Case61 における砂面形状変化  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

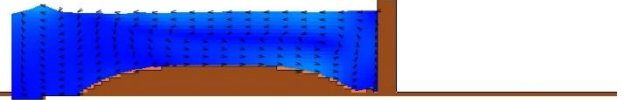
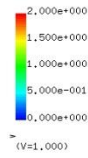
(11) Case62 (長周期波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂)

図 1-4-1-23 に, Case62 の断面二次元流速スナップショットを示す.

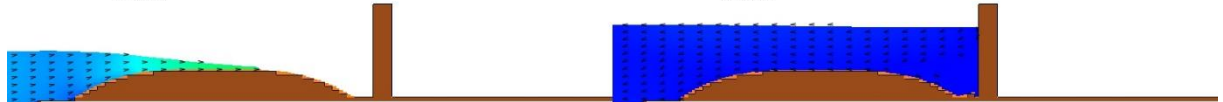
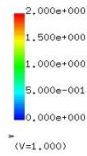
T= 15.00241 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



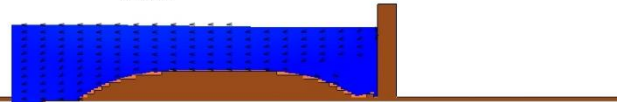
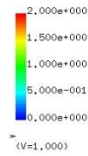
T= 27.50067 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



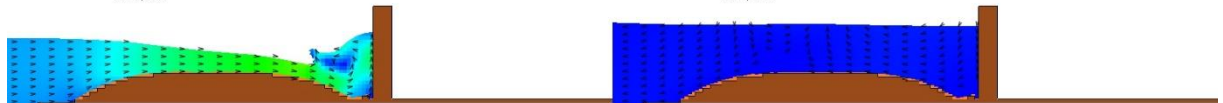
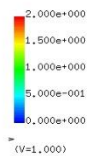
T= 25.00152 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 30.00232 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 26.00118 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 34.50080 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

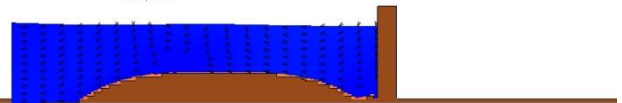
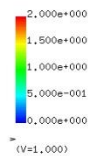
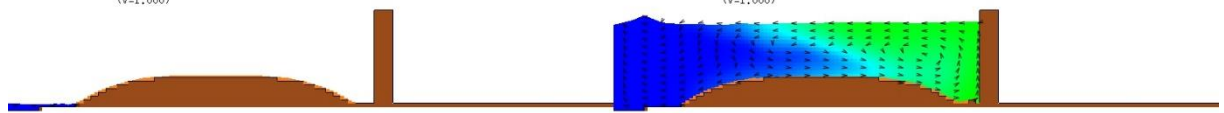
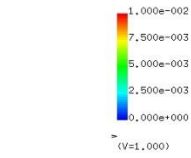


図 1-4-1-23 Case62 の断面二次元流速スナップショット

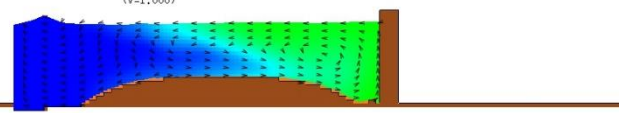
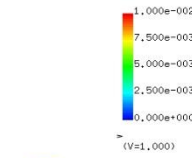
【長周期波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

図 1-4-1-24 に、Case62 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

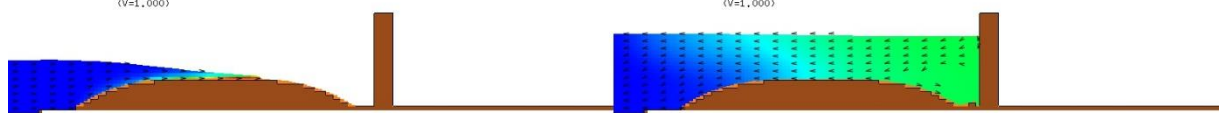
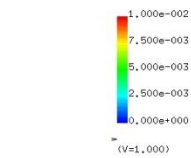
T= 15.00241 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



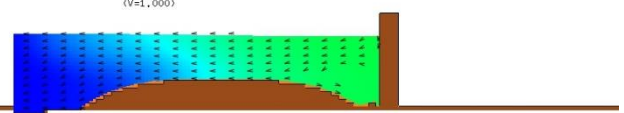
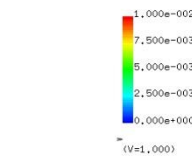
T= 27.50067 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



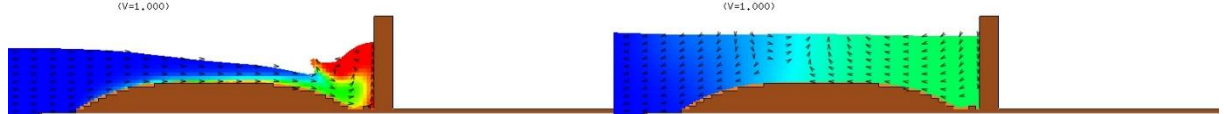
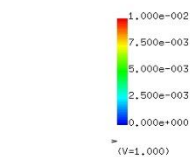
T= 25.00152 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 30.00232 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 26.00118 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 34.50080 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002

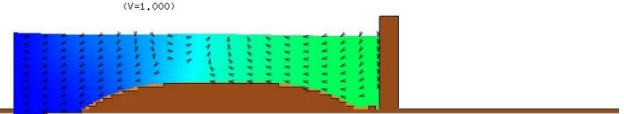
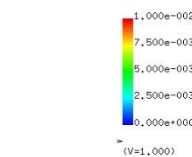


図 1-4-1-24 Case62 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【長周期波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

Case62 の砂面形状変化を図 1-4-1-25 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果を実線、試験結果を破線で示す。また、青線は入射波のみの砂面形状を示し、赤線は通水後の砂面形状を示す。

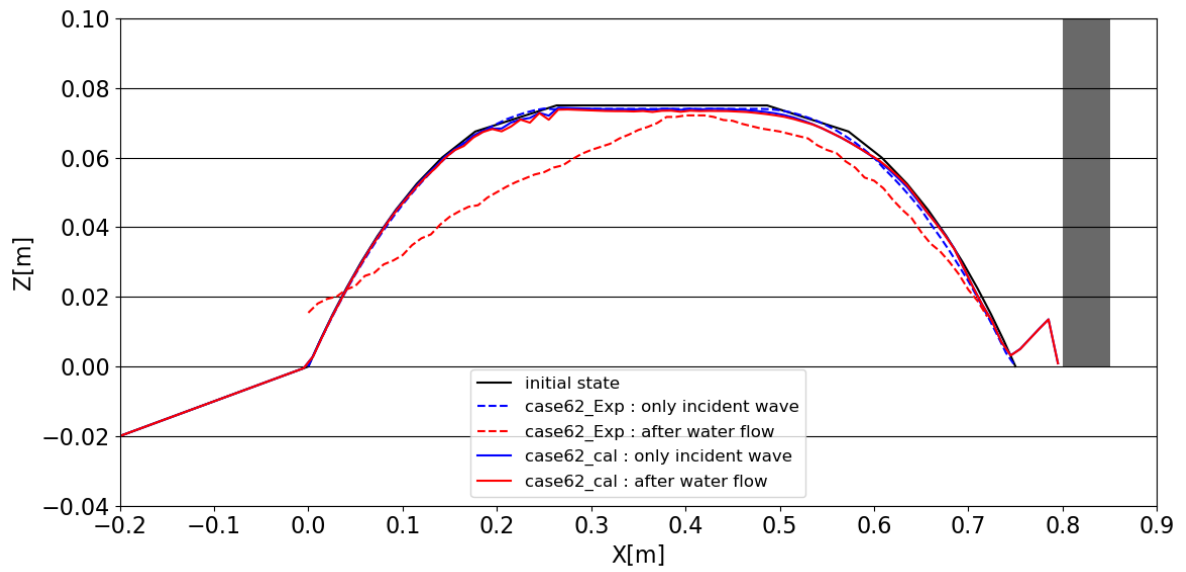


図 1-4-1-25 Case62 における砂面形状変化  
【長周期波 12.5cm，堤体-80.0cm，6号珪砂】

### 1-4-2 砂面形状変化の解析ケース間の比較

砂面形状変化について、ケース間で比較し、モデルの妥当性を検証する。図 1-4-2-1～図 1-4-2-3 に、砂面形状変化を、解析結果間で比較した結果をそれぞれ示す。実線は入射波のみの砂面形状を示し、破線は通水後の砂面形状を示す。

#### (1) 堤体の有無・位置による差異

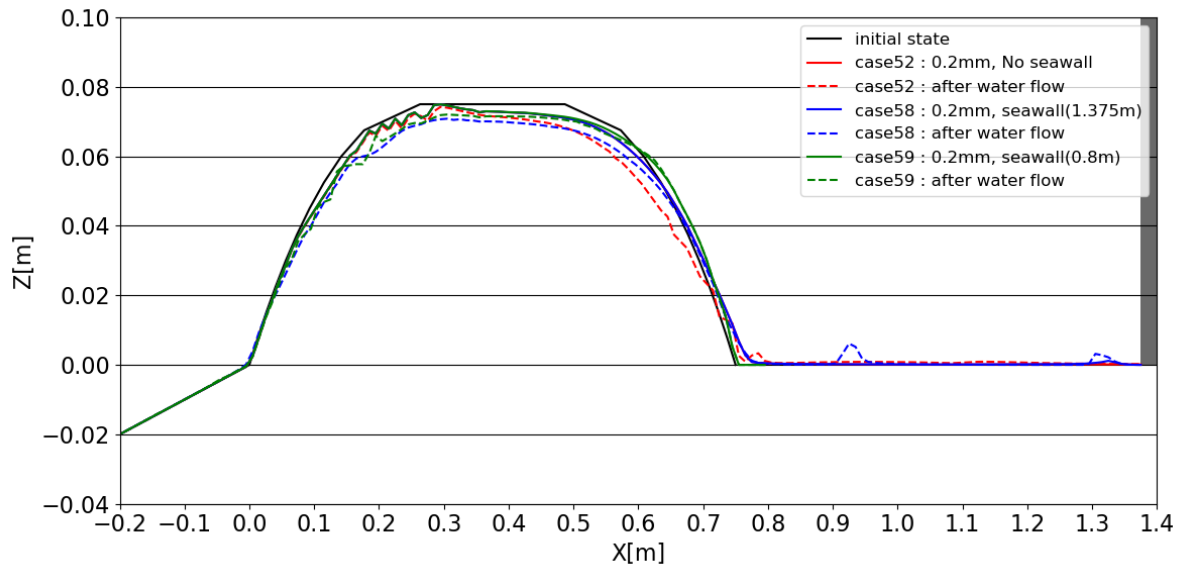


図 1-4-2-1 Case52,58,59 における砂面形状変化の比較

【孤立波 12.5cm，堤体無し／堤体-137.5cm／堤体-80.0cm，6号珪砂】

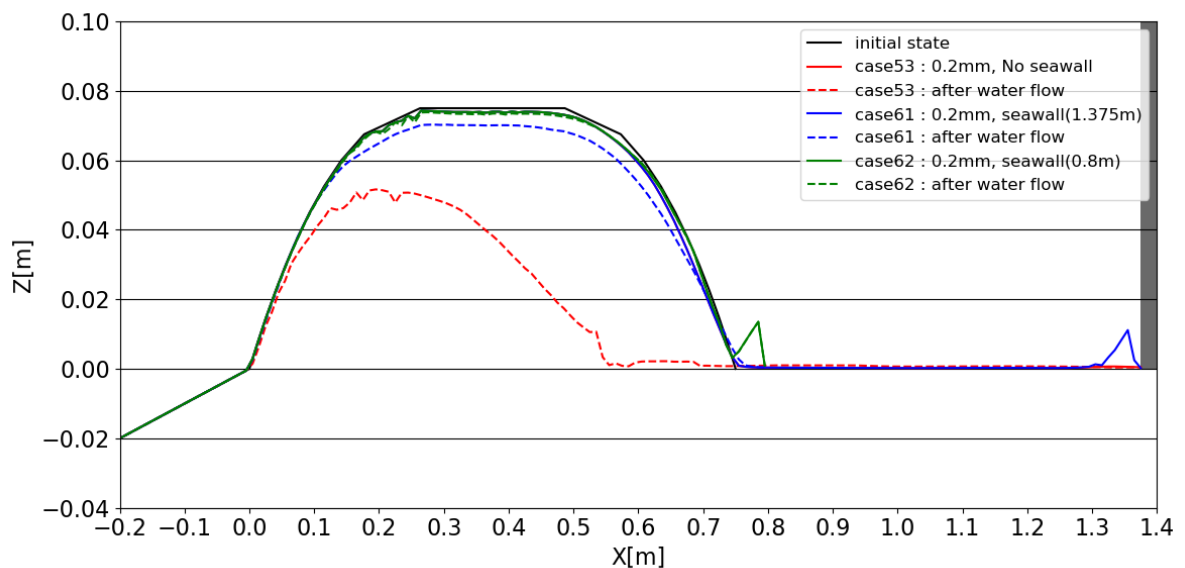


図 1-4-2-2 Case53,61,62 における砂面形状変化の比較

【長周期波 12.5cm，堤体無し／堤体-137.5cm／堤体-80.0cm，6号珪砂】

(2)砂粒径による差異

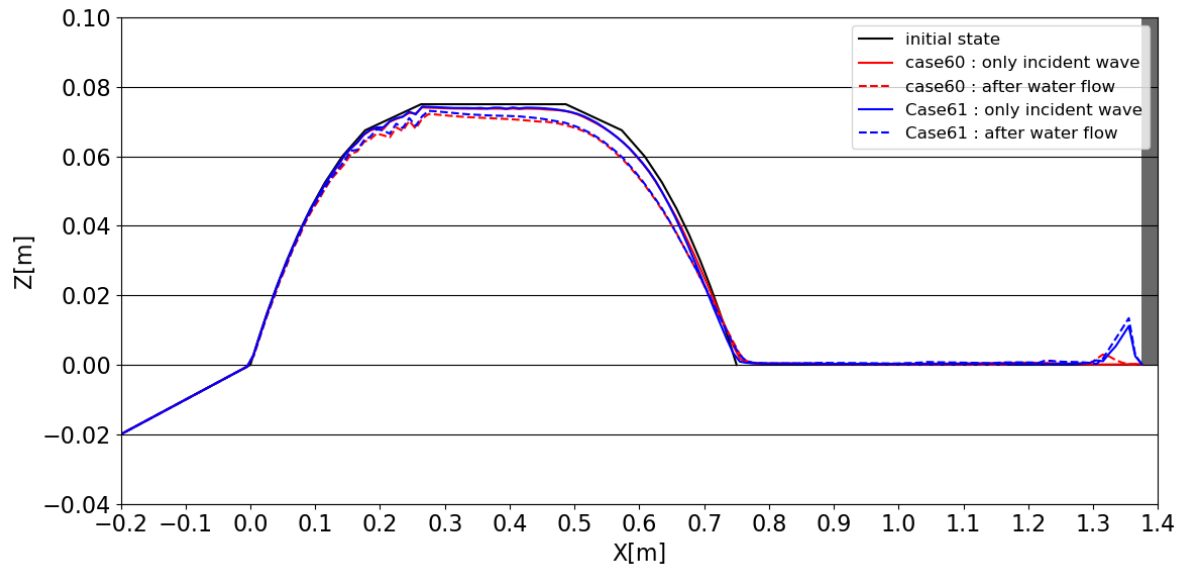


図 1-4-2-3 Case60,61 における砂面形状変化の比較  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 7号珪砂/6号珪砂】

## 1-5 再現解析の波力の増加率

以下では、防潮堤作用波力に対する砂移動の影響度合いを定量的に評価するために、再現解析ケースについて、【II 水理試験編】の II-72 頁の表と同様に、移動床の各ケースにおける波力に関する所量を整理した。表 1-5-1-1 は、Case58～Case62 の段波領域の最大波力値、持続領域の最大波力値、及び、同条件下の固定床の最大波力値に対する比率（増加率）を示す。ここで、「持続領域最大波力値 A」とは、持続領域で且つ水塊落下時刻前までの最大波力値を示し、「持続領域最大波力値 B」とは、持続領域で且つ計算終了時刻までの最大波力値を示す。また、最大波力値の「増加率」とは、固定床の最大波力値を 1 としたとき、どの程度増加したかの倍率を示すものとする。なお、段波領域最大波力値に示す括弧内は堤体前面の波高が最大になる時刻を示し、持続領域最大波力値 A に示す括弧内は水塊落下時刻の直前の時刻を示す。また、ケース名の括弧に示す番号は、比率算出に用いた同条件下の固定床のケース番号を示す。

また、持続領域で且つ水塊落下時刻以降に、計算上、波圧（波力）が通常より大きくなる（ノイズが入る）場合がある。このため、持続領域最大波力値 B を求める際、当該ノイズを除去して算出した。具体的には、図 1-3-4-10 に示されるように、Case54 では「9.67s～9.69s, 9.79s～9.83s」、Case58 では「9.73s～9.74s」の時間帯の波力値を除外し、持続領域最大波力値 B を算出した。

表 1-5-1-1 防潮堤作用波力：固定床と移動床の比較一覧

ケース名	段波領域最大波力値		持続領域最大波力値 A		持続領域最大波力値 B	
	(kPa・m)	比率 移/固	(kPa・m)	比率 移/固	(kPa・m)	比率 移/固
孤立波，堤体 - 137.5cm, 0.2mm 【Case58(54)】	0.248 (9.0s)	0.983 (9.0s)	0.350 (9.35s)	1.056 (9.35s)	0.565	0.873
孤立波，堤体 - 80.0cm, 0.2mm 【Case59(55)】	0.373 (8.8s)	1.020 (8.8s)	0.393 (9.05s)	0.949 (9.05s)	0.595	0.911
長周期波，堤体 - 137.5cm, 0.11mm 【Case60(56)】	—	—	—	—	0.237	1.000
長周期波，堤体 - 137.5cm, 0.2mm 【Case61(56)】	—	—	—	—	0.237	0.999
長周期波，堤体 - 80.0cm, 0.2mm 【Case62(57)】	—	—	—	—	0.240	1.001

## 1-6 再現解析の砂丘侵食量

以下では、砂移動の影響度合いを定量的に評価するために、入射波のみによる砂丘侵食量及び通水後の砂丘侵食量について、【II 水理試験編】の表 3-2-4(2)と同様に、移動床の各ケースの砂丘侵食量に関する所量を整理した。表 1-6-1-1 は、Case52,53, Case58～Case62 の入射波のみの砂丘侵食量及び通水後の砂丘侵食量を示す。ここで、「砂丘侵食量(%)」とは、初期地形の断面積に対して、どの程度侵食されたかの割合を示すものとする。

表 1-6-1-1 砂丘侵食量に関する一覧表

ケース名	入射波のみの侵食量		通水後の侵食量	
	(cm <sup>2</sup> )	%	(cm <sup>2</sup> )	%
孤立波, 0.2mm 【Case52】	13.846	3.202	29.635	6.852
長周期波, 0.2mm 【Case53】	10.265	2.373	239.123	55.291
孤立波, 堤体-137.5cm, 0.2mm 【Case58】	13.846	3.202	32.546	7.525
孤立波, 堤体-80.0cm, 0.2mm 【Case59】	12.035	2.783	21.539	4.980
長周期波, 堤体-137.5cm, 0.11mm 【Case60】	9.816	2.270	30.712	7.101
長周期波, 堤体-137.5cm, 0.2mm 【Case61】	10.276	2.376	26.438	6.113
長周期波, 堤体-80.0cm, 0.2mm 【Case62】	7.419	1.715	9.624	2.225



---

## 1-7 第1章のまとめ

### [1] 各物理量の時系列について

1-3 に示した再現解析における各物理量（水位，流速，フルード数，波力，シールズ数，砂密度）の時系列について，それぞれ解析結果を整理する．

#### (1) 水位時系列

水位時系列波形の解析結果と水理模型試験結果との比較については，解析水位は試験水位を高い精度で再現しており，入力波の精度としては十分であると考えられる（図 1-3-1-1～図 1-3-1-11 参照）．

#### (2) 流速時系列，フルード数時系列

流速時系列波形，フルード数時系列波形については，試験結果を概ね再現しており，再現性は高いことが確認された．ただし，防潮堤前面における流速，フルード数は，試験結果より若干大きくなる傾向が見られた（図 1-3-2-1～図 1-3-2-11 及び図 1-3-3-1～図 1-3-3-11 参照）．

#### (3) 波力時系列

防潮堤に作用する波力時系列波形の試験結果との比較については，波力のオーダー，大局的な変化は試験結果を概ね再現しており，再現性は高いことが確認された．また，移動床と固定床との解析結果の比較については，大きな差異は見られない．更に，砂粒径の差異による比較についても，顕著な差異は見られなかった（図 1-3-4-1～図 1-3-4-15 参照）．

#### (4) シールズ数時系列

シールズ数時系列波形解析結果と水理模型試験結果との比較については，シールズ数のオーダー，大局的な変化は試験結果を概ね再現しており，再現性は高いことが確認された（図 1-3-5-1～図 1-3-5-7 参照）．

#### (5) 砂密度（浮遊砂濃度）時系列

浮遊砂濃度時系列波形解析結果と水理模型試験結果との比較については，解析結果は試験結果のピーク値を表現できないケースもあるが，浮遊砂濃度のオーダーに関しては試験結果を概ね再現していることが確認された（図 1-3-6-1～図 1-3-6-7 参照）．

---

## [2] 砂面形状変化の比較について

1-4 に示した砂面形状変化の比較について、解析結果を整理する。

### (1) 試験結果との比較

砂面形状変化の解析結果と水理模型試験結果との比較については、入射波のみの砂面形状は、堤体なしの場合（Case52,53）を除いて、概して、試験結果と調和的であると考えられる。一方、通水後の砂面形状は試験とは大きく乖離する。これは、試験では第一波に続き、第二波、第三波と連続して作用し、洗堀される点が挙げられる。

### (2) 解析ケース間の比較

砂面形状変化の解析ケース間の比較については、堤体の有無・位置による差異（堤体無し／堤体-137.5cm／堤体-80.0cm の間）で、通水後を比較すると、堤体無し、堤体-137.5cm、堤体-80.0cm の順に、侵食される様子が確認された（図 1-4-2-1, 図 1-4-2-2 参照）。

また、砂粒径の差異については、大きな差異は見られないが、若干、Case60 の粒径が小さい方が侵食される傾向が見られた（図 1-4-2-3 参照）。これは、粒径が小さくなるほど、砂をより大量に巻き上げると考えられ、Case60 と Case61 の断面二次元浮遊砂濃度スナップショットで示されるように、浮遊砂濃度が Case60 の方が全体的に高くなっていることから矛盾しない結果である（図 1-4-1-18, 図 1-4-1-21 参照）。

## [3] 波力の増加率について

1-5 に示した波力の増加率について、表 1-5-1-1 に示されるように、波力の最大値で見ると、孤立波、長周期波ともに、固定床と移動床との波力の大きな差異は見られない。

## [4] 砂丘侵食量について

1-6 に示した入射波のみの砂丘侵食量及び通水後の砂丘侵食量について、表 1-6-1-1 に示されるように、入射波のみの砂丘侵食量に着目すると、長周期波より孤立波の方が、侵食量が多いことが確認される。また、通水後の砂丘侵食量に着目すると、堤体無し、堤体-137.5cm、堤体-80.0cm の順に、侵食される様子が確認され、この傾向は試験結果と調和的である。更に、砂粒径の差異においても、Case61 より Case60 の粒径が小さい方が、侵食量が多く、試験結果と同様である（【II 水理試験編】の表 3-2-4(2)を参照）。

## 第2章 感度解析

### 2-1 本章の目的と感度解析条件

第1章の再現解析の結果より、モデルの妥当性が示されたのを受けて、第2章では、理想波形を想定し、現地スケールにて感度解析を実施する。

実施した解析ケースは表 2-1-1 に示し、ケース数は「7」とした。

表 2-1-1 感度解析ケースの一覧

	ケース名	波高	入力波形	防潮堤位置	砂丘粒径	砂丘形状
固定床	Case63	12.5cm	長周期波	-137.5cm	—	更地
移動床	Case64	15.0cm	理想長周期波 A	-137.5cm	6号珪砂	丸み断面 [模型]
	Case65	15.0cm	理想長周期波 B			
	Case66	6m	理想長周期波 A*	-110m	0.5mm (後述の現地調査結果を反映)	丸み断面 [現地]
	Case67	10m	孤立波			
	Case68	10m	理想長周期波 A*			
Case69	10m	理想長周期波 A*	-110m			

※ 理想長周期波 A\* : Case64 の模型スケールにおける理想長周期波 A を現地スケールに換算した波形。

※ Case64~Case69 において、同条件下で固定床計算を実施し、それらのケースを「Case64s~Case69s」と命名する。

※ Case69 と同条件下で、砂粒径のみ 0.2mm に変更して移動床計算を実施した。当該ケースを「Case69r」と命名する。

#### (1)解析領域

模型スケール Case63~Case65 においては、再現解析の解析領域と同様である。現地スケール Case66~Case69 の場合は、フルード相似に従い、長さスケールを 80 倍とすることで、同様に、造波境界、直線部、地形勾配、遡上区間の一連の水路をモデル化した。

具体的には、堤体高は 20.0m とし、設置位置は護岸汀線から 64m 及び 110m 陸側の 2 種類とした。水路縦断方向 (x 方向) については wave01(WG1)地点から護岸汀線より陸側に 200.0m までとし、水路鉛直方向 (z 方向) については地上 80.0m までとした。水路横断方向 (y 方向) については、幅 320.0m とした。

また、二次元モデルと三次元モデルとの境界においては、汀線より 160.0m 沖側の地点を境界とした。

#### (2)計算時間、解析出力間隔

模型スケール Case64~Case65 の孤立波、理想長周期波 A の計算時間について

---

ては、13s 以上、模型スケール Case63 の長周期波においては 35s 以上とする。現地スケール Case66～Case69 の場合は、孤立波、理想長周期波 A\*ともに、130.0s 以上とする。

解析出力間隔については、固定ではなく、Case64～Case65 については、0.025s 間隔より細かく、Case63, Case66～Case69 については、長周期波は 0.25s 間隔より細かく、計算時間帯またはケースごとで異なる。ただし、流速及び浮遊砂濃度の空間分布（スナップショット）においては、Case64～Case65 は 0.05s 間隔、Case63, Case66～Case69 は 0.5s 間隔で出力する。

### (3)計算メッシュ

模型スケール Case63～Case65 においては、再現解析の解析領域と同様である。現地スケール Case66～Case69 の場合は、フルード相似に従い、長さスケールを 80 倍とすることで、水路縦断方向（x 方向）および鉛直方向（z 方向）の計算メッシュサイズを 0.8m に設定した。一方、横断方向（y 方向）のメッシュは断面 2 次元計算のため、1 分割であり 320.0m となる。

### (4)入力波の作成方法

孤立波の作成については、波高と水深を入力し、プログラム内で波が自動生成される。一方、理想長周期波 A については、先述の再現解析条件の入力波作成と同様に、通過波検定により入力波を生成した。詳細は 2-3 にて後述する。

また、理想長周期波 A\*については、理想長周期波 A に対して、フルード相似則に従い、波高を 80 倍、時間スケールを $\sqrt{80}$ 倍として入力波を作成した。

### (5)砂丘諸元

砂丘における境界条件は、Free-Slip を用いた。また、模型スケール Case64～Case65 における砂粒径においては、0.2mm サイズとした。一方、現地スケール Case66～Case69 においては、フルード相似則は成り立たないため、2-2 で後述する現地調査結果を反映し、砂丘粒径 0.5mm のサイズとした。

### (6)試験結果と比較する出力位置

後述する水位、流速、フルード数、波力、シールズ数、浮遊砂濃度の時系列の解析結果と試験結果との比較する位置は、模型スケール Case63～Case65 においては、再現解析の解析領域と同様であり、現地スケール Case66～Case69 の場合は、フルード相似に従い、長さスケールを 80 倍として、出力位置を設定している。

## 2-2 砂丘の粒径現地調査

現地調査を実施した大潟海岸は、新潟県上越市に位置し、約 10～5 万年前頃に形成された古砂丘と、約 1 万年前頃以降に形成された新砂丘からなる。その海拔は高いところで 30～40m である。砂丘上で 4 点の砂を採取した；

- A : 直浜（観測所北側の砂丘露頭部上層（新砂丘））
- B : 土底浜（観測所山側（新砂丘））
- C : 直浜露頭（北側露頭下層（古砂丘））
- D : 潟町砂丘（観測所の南、砂丘地の南端（古砂丘））

### (1) 粒度分析結果

各調査地点における砂の粒度分析を行った結果を以下に示す。なお、採取砂は約 500 グラムで試行は 1 回である。（すべてのケースの平均中央粒径 0.5 mm）

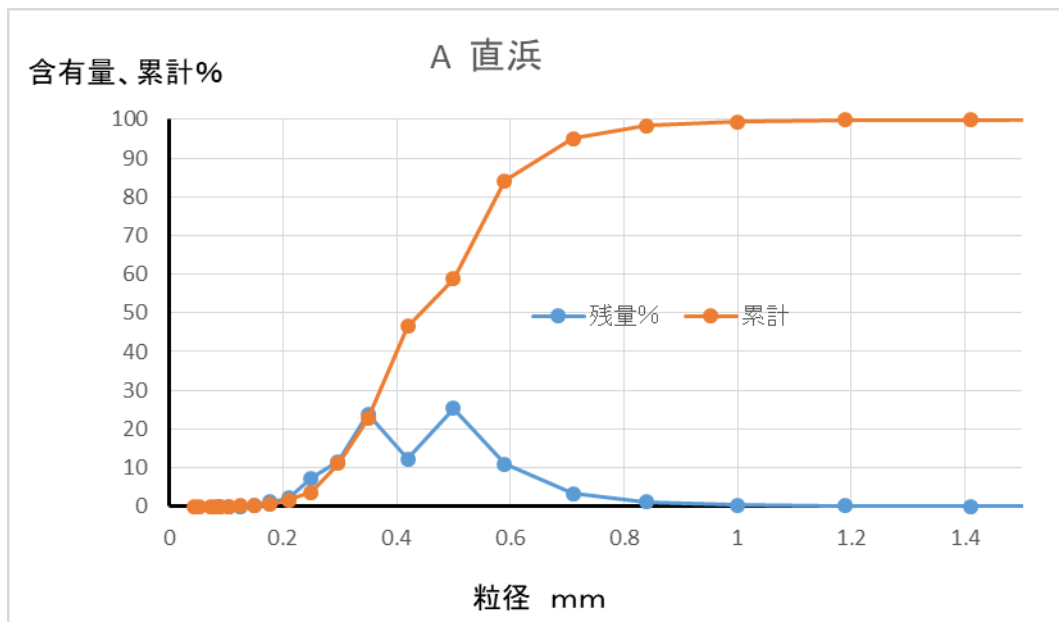


図 2-2-1 粒度分布と累計曲線（A 点） \* 中央粒径 0.45 mm

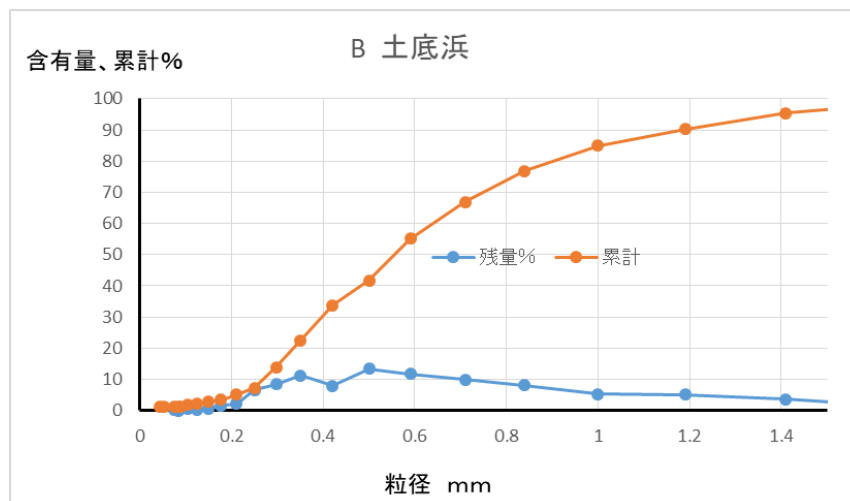


図 2-2-2 粒度分布と累計曲線（B 点） \* 中央粒径 0.56 mm

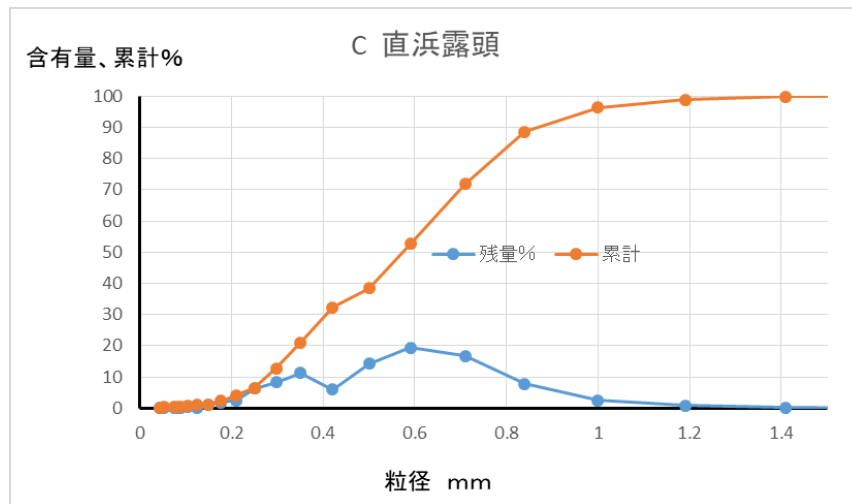


図 2-2-3 粒度分布と累計曲線 (C 点) \* 中央粒径 0.59 mm

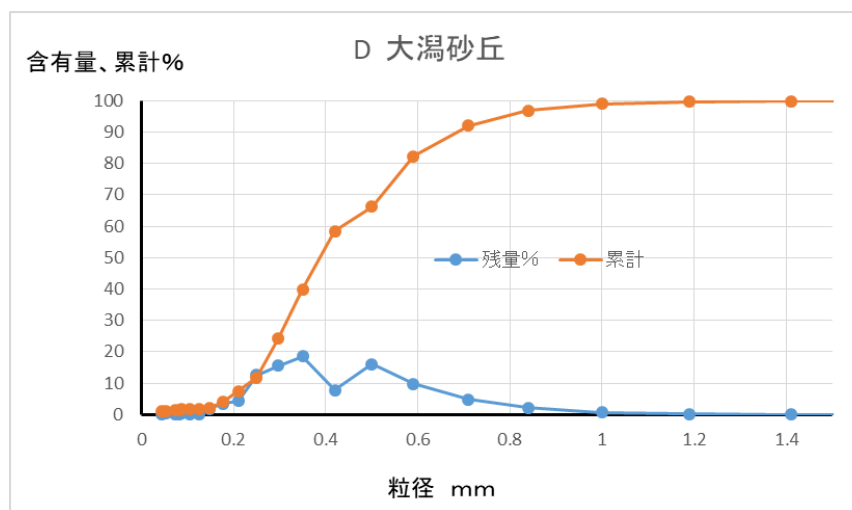


図 2-2-4 粒度分布と累計曲線 (D 点) \* 中央粒径 0.40 mm

## (2) 粒径分布に関する文献調査

海岸の砂移動および粒径分布に関する主要な文献から我が国の海岸における海岸砂丘・砂浜の粒径を調べた。養浜砂事業を除くと、ほぼ 0.4-0.5 mm として考えることができる。

表-1 文献による海岸粒径の分布調査

場所	粒径	文献名
仙台湾(沿岸漂砂)	0.25-0.4mm	佐藤昭二他 2 名 (1966) 仙台湾沿岸お漂砂について、第 13 回海岸工学講演会講演集、pp.176-182.
房総半島平砂浦	0.4mm	溝口裕他 1 名(1961)海岸における砂の粒径分布について、第 8 回海岸工学講演会講演集、pp.151-155.
モデル仮想海岸	0.3-1.0 mm	田中仁他 1 名 (1998) 海浜粒度組成変化の予測モデル、海岸工学論文集、第 45 巻、pp.511-515.
鴨川市東条・前原海岸	0.4-0.6 mm	熊田貴之他 5 名 (2002) 混合粒径砂の分級過程を考慮した海浜変形モデルの開発、海岸工学論文集、第 49 巻、pp.476-480.
鳥取県皆生海岸	0.25 mm	澁谷容子他 2 名 (2008) 養浜土砂の移流拡散を考慮した等深線変化予測モデルに関する研究、海岸工学論文集、第 55 巻、pp.761-765.
徳島県蒲生田海岸	0.68 mm	渡辺国広他 2 名 (2001) 離岸堤の建設がアカウミガメの上陸・産卵行動へ与えた影響、海岸工学論文集、第 48 巻、pp.1196-1200.

---

### (3) 砂移動試験における相似の考え方について

砂を取り扱う試験では、フルードの相似則は成り立たないので、以下に示すシールズ数の大きさを目安として考える。一般にシールズ数は底質の移動しやすさを表す無次元量で、底質に作用する外力と底質の重量による抵抗力の比として定義される。シールズ数が大きい方が、底質に作用する力が相対的に大きく、底質は動きやすい。

$$\psi = \frac{u_*^2}{\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1\right)gd} \quad (1)$$

ここで、  
 $\rho$  水の密度  
 $\rho_s$  底質の密度  
 $\psi$  シールズ数  
 $u_*$  摩擦速度 ( $= \sqrt{\tau/\rho}$ ) ( $\tau$  はせん断力)  
 $g$  重力加速度  
 $d$  底質の粒径

模型での値に添え字  $m$  を、実機での値に  $p$  を付けて表すと、実機と模型でのシールズ数の関係は式(2)のようになる。この値(模型/実機)が1であれば、模型試験での結果は実機での砂の移動現象をほぼ精度よく表すことになる。

$$\frac{\psi_m}{\psi_p} = \left(\frac{u_{sm}}{u_{sp}}\right)^2 \left(\frac{d_p}{d_m}\right) \quad (2)$$

\* (重力加速度と密度は模型でも実機でも同じなので、その比率は1)

ここで、式(2)の意味は次のようになる；

$$\frac{\psi_m}{\psi_p} > 1 \quad : \quad \text{模型での砂の動きが実機よりも相対的に大きい。}$$

$$\frac{\psi_m}{\psi_p} = 1 \quad : \quad \text{模型での現象は実機での現象をほぼ再現できる。}$$

$$\frac{\psi_m}{\psi_p} < 1 \quad : \quad \text{実機での砂の動きが模型よりも相対的に大きい。}$$

試験縮尺が  $S$  とすると、上式(2)の右辺の第1項は  $(1/S)$  となる。 (\*\*  $u$  の縮尺は  $S^{1/2}$ )



---

$$\frac{\psi_m}{\psi_p} = \frac{1}{S} \left( \frac{d_p}{d_m} \right) \quad (3)$$

ここで、本受託試験での条件を考える。試験で用いる珪砂(dm)は粒径 0.2 および 0.1mm である。現地砂浜での砂粒径(dp)を 0.5 mm とすると、上式(3)右辺第 2 項(dp/dm)は、それぞれ 2.5 および 5 になる。S に試験縮尺 S=80 を入れるとシールズ数の比(式(3))が 2.5/80 および 5/80 になる。すなわち、シールズ数の比で考えると、おおよそ 1/10 のオーダーと考えられ、ワンオーダー小さい数(動きにくい)での試験を行っていることに相当する。逆に考えると、シールズ数でワンオーダーしか変わらない程度で結果を判断できている。したがって、シールズ数の差が侵食・堆積量の差にどの程度効いてくるのかを今後、引き続き精査するものの、結果が大きく異なることにはならないと思われる。

## 2-3 理想長周期波 A, B における通過波検定

理想長周期波 A, B に対してフィッティングさせた解析結果を示す。

### (1) 理想長周期波 A の水位時系列の解析結果

図 2-3-1-1 は、WG01 地点（図 1-2-1 参照）での水位時系列図を、理想波形と解析結果を比較して示す。解析結果を赤線と理想波形を青線で示した図である。

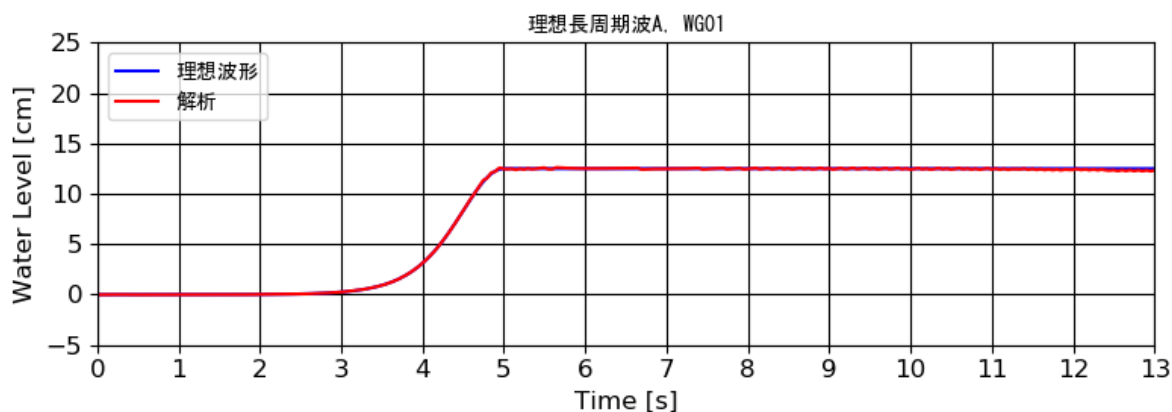


図 2-3-1-1 理想長周期波 A の水位時系列波形

### (2) 理想長周期波 B の水位時系列の解析結果

図 2-3-1-2 は、WG06 地点（図 1-2-1 参照）での水位時系列図を、理想波形と解析結果を比較して示す。解析結果を赤線と理想波形を青線で示した図である。

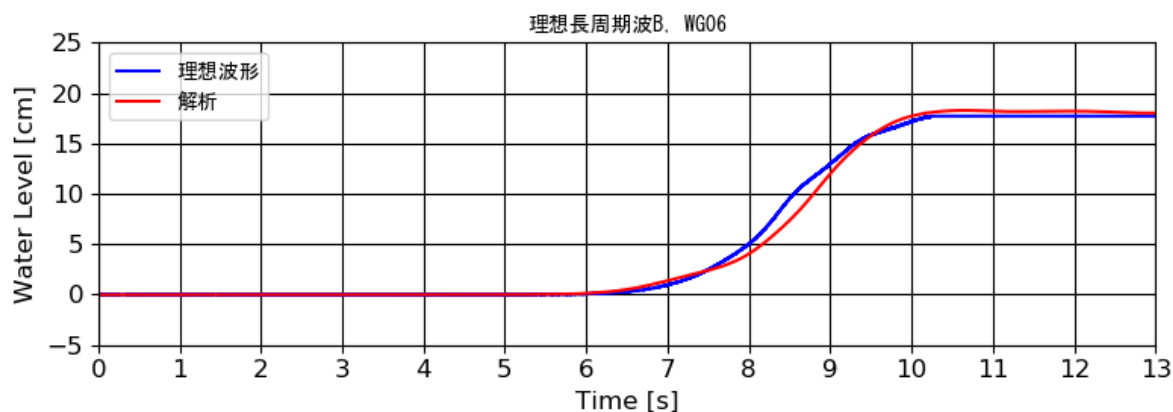


図 2-3-1-2 理想長周期波 B の水位時系列波形

水位時系列波形の解析結果と理想波形との比較より、理想長周期波 A, B ともに、解析水位は理想水位を高い精度で再現しており、入力波の精度としては十分であると考えられる。この結果を受けて、感度解析に上記入力波を用いて計算を実施した。

---

## 2-4 感度解析の時系列結果

### 2-4-1 水位時系列の解析結果

各計測地点の水位について、解析ケース間で比較する。図 2-4-1-1～図 2-4-1-6 に、WG01～WG10 地点（図 1-2-1 参照）での水位時系列図を、各ケース間で比較してそれぞれ示す。

具体的に、解析ケース間の比較とは、下記(1)～(4)の比較をいう。なお、現地スケールと模型スケールの比較においては、上述したようにフルード相似則に従い、模型スケールを現地スケールに換算して比較している。

- (1) 砂丘の有無による差異：
  - ・ Case63（固定床）と Case56（固定床）
- (2) 理想長周期波 A,B による差異：
  - ・ Case64（移動床）と Case65（移動床）
- (3) 波高の違いによる差異：
  - ・ Case66（移動床）と Case69（移動床）
- (4) 現地スケールと換算後の模型スケールとの比較：
  - ・ Case67（移動床）と Case58（移動床）
  - ・ Case68（移動床）と Case64（移動床）
  - ・ Case69（移動床）と Case64（移動床）

(1) 砂丘の有無による差異

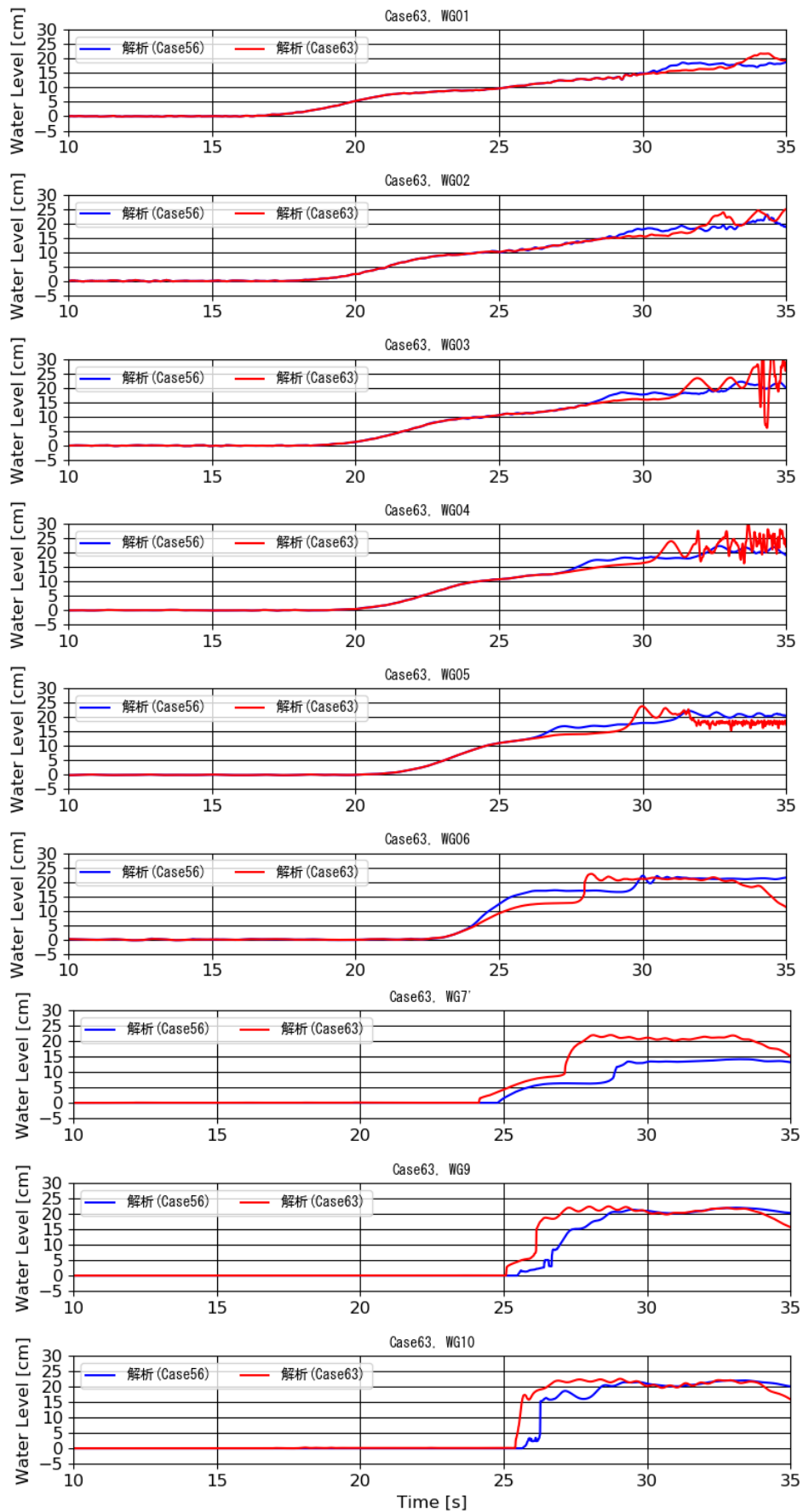


図 2-4-1-1 Case63 (固定床) と Case56 (固定床) における水位時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 更地/砂丘】

(2) 理想長周期波 A,B による差異

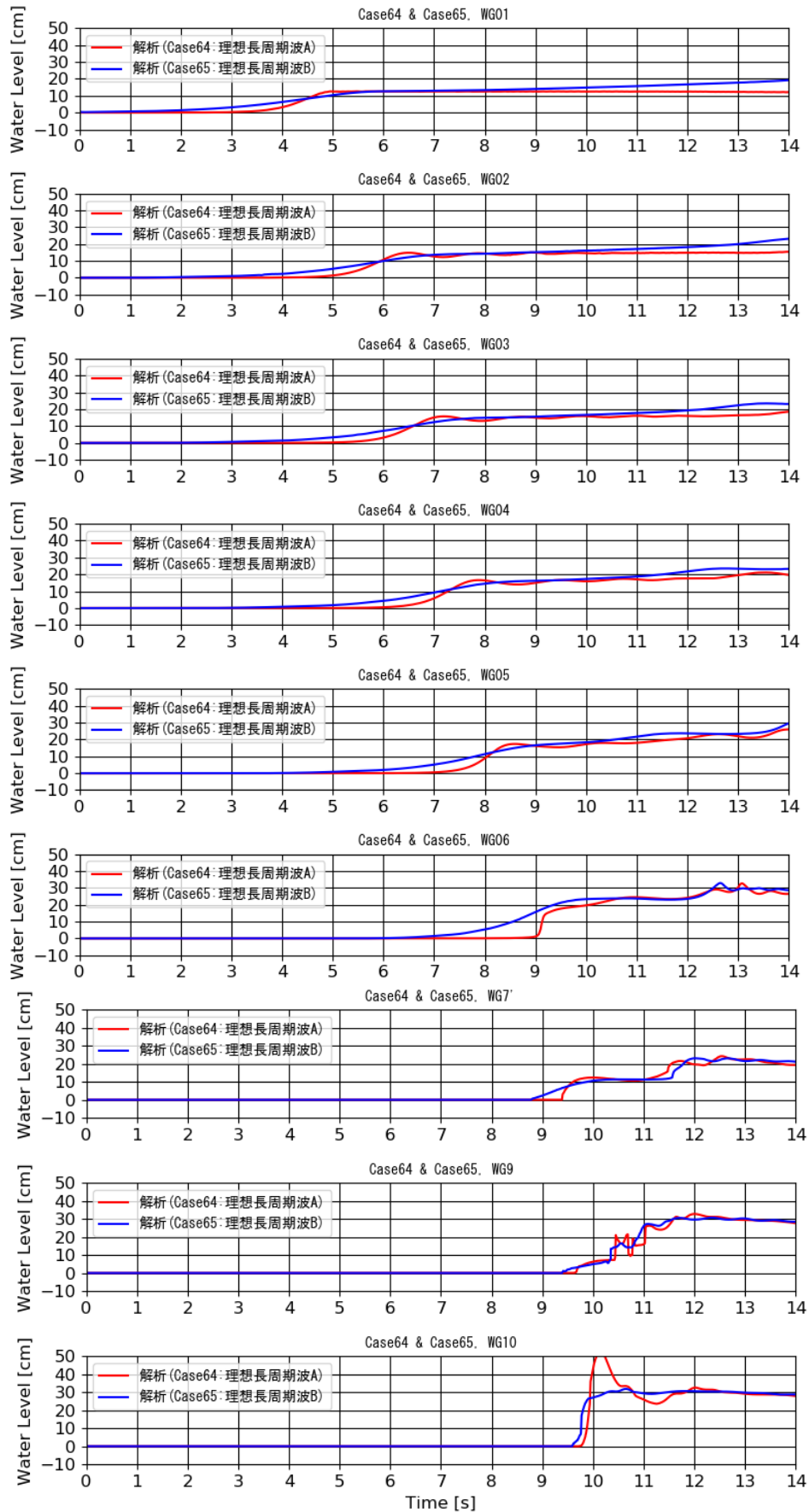


図 2-4-1-2 Case64 (移動床) と Case65 (移動床) における水位時系列波形  
【理想長周期波 A/B, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

(3) 波高の違いによる差異

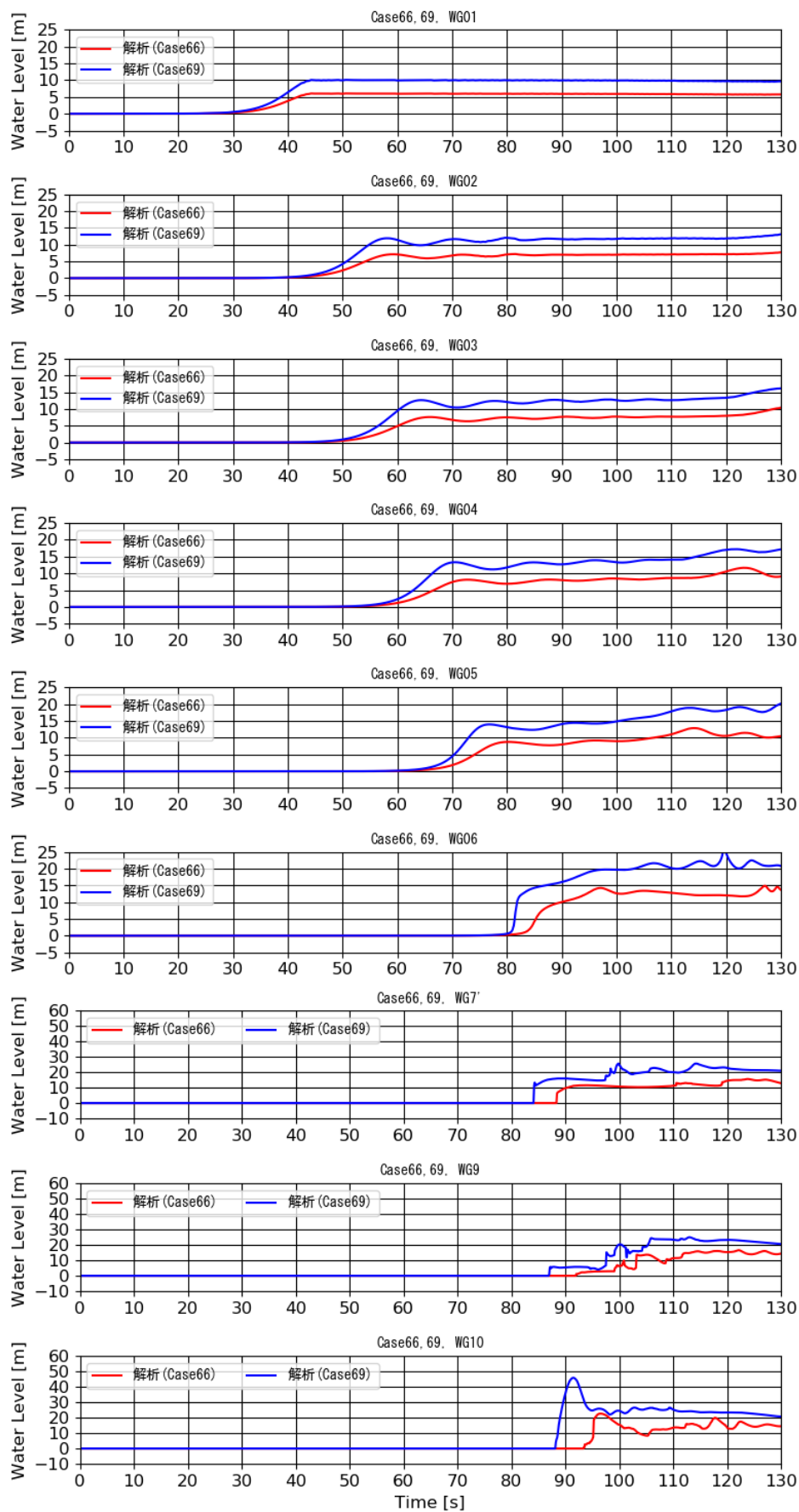


図 2-4-1-3 Case66（移動床）と Case69（移動床）における水位時系列波形  
 【理想長周期波  $A^* 6\text{m}/A^* 10\text{m}$ , 堤体-110.0m, 0.5mm】

(4) 現地スケールと模型スケール（換算版）との比較

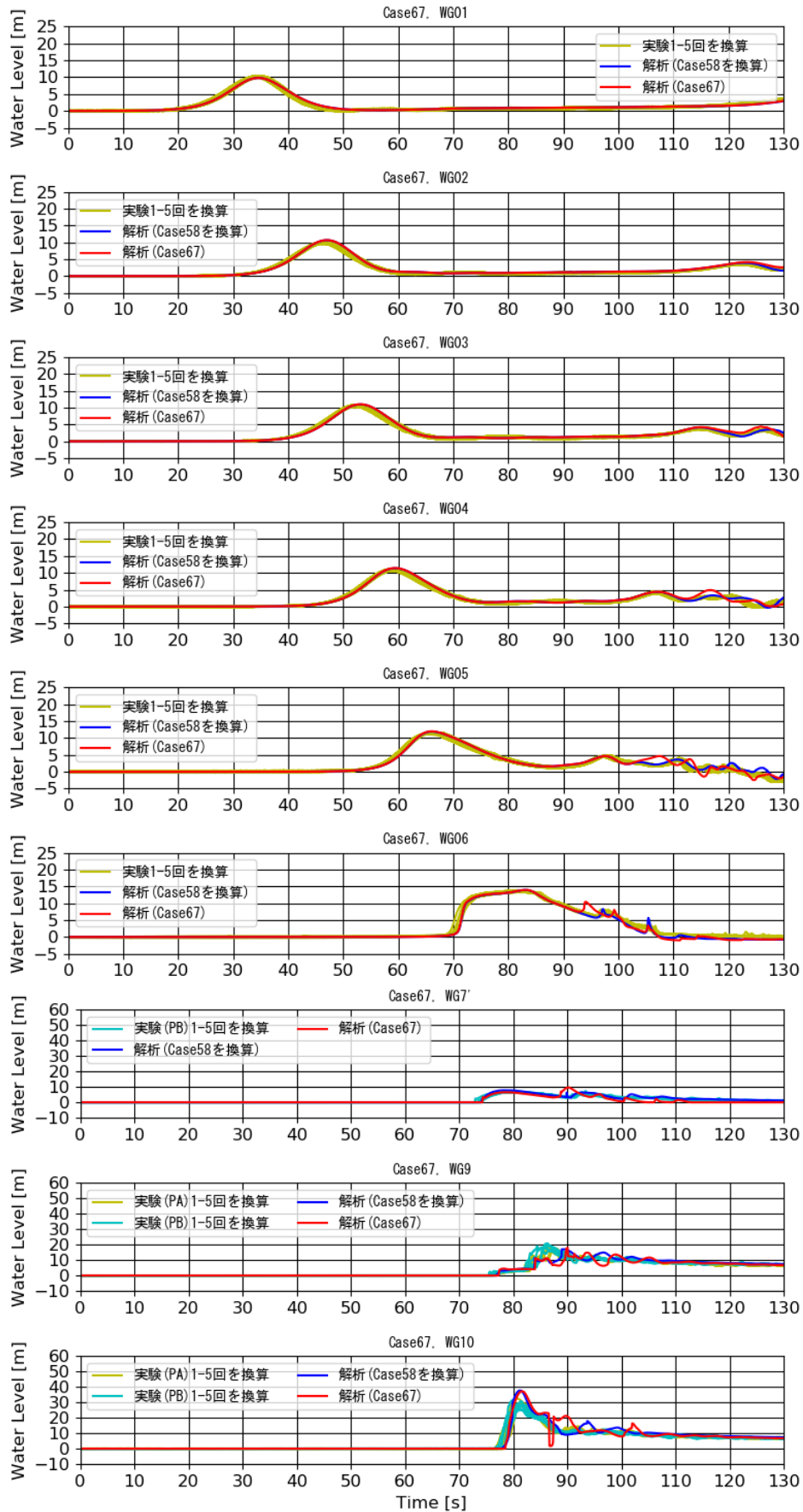


図 2-4-1-4 Case67（移動床）と Case58（移動床）における水位時系列波形  
 【孤立波 10m／孤立波 12.5cm を換算，堤体-110.0m，0.5mm／6号珪砂】

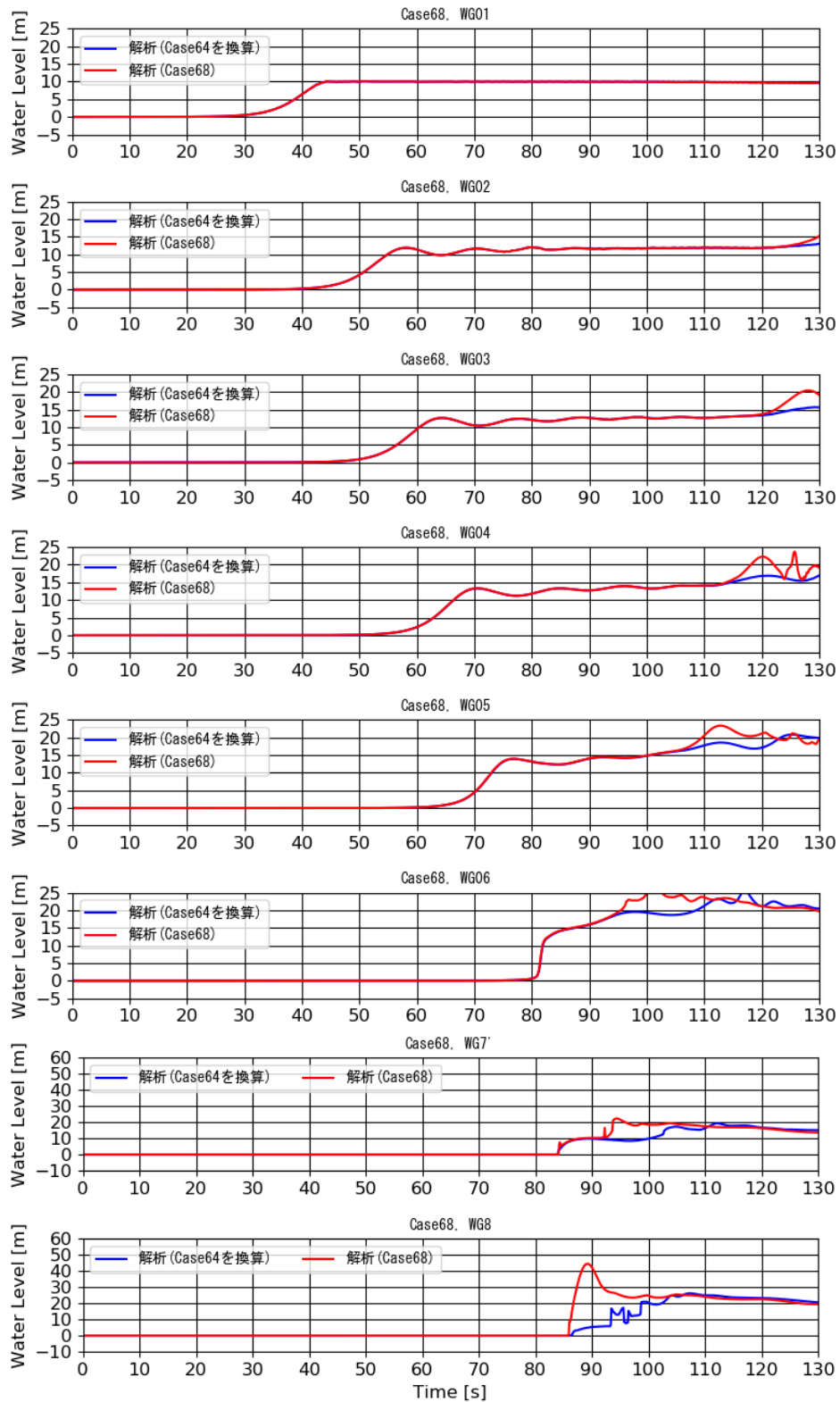


図 2-4-1-5 Case68 (移動床) と Case64 (移動床) における水位時系列波形  
【理想長周期波  $A \cdot 10m/A$  を換算, 堤体-64.0m/-110.0m, 0.5mm/6号珪砂】



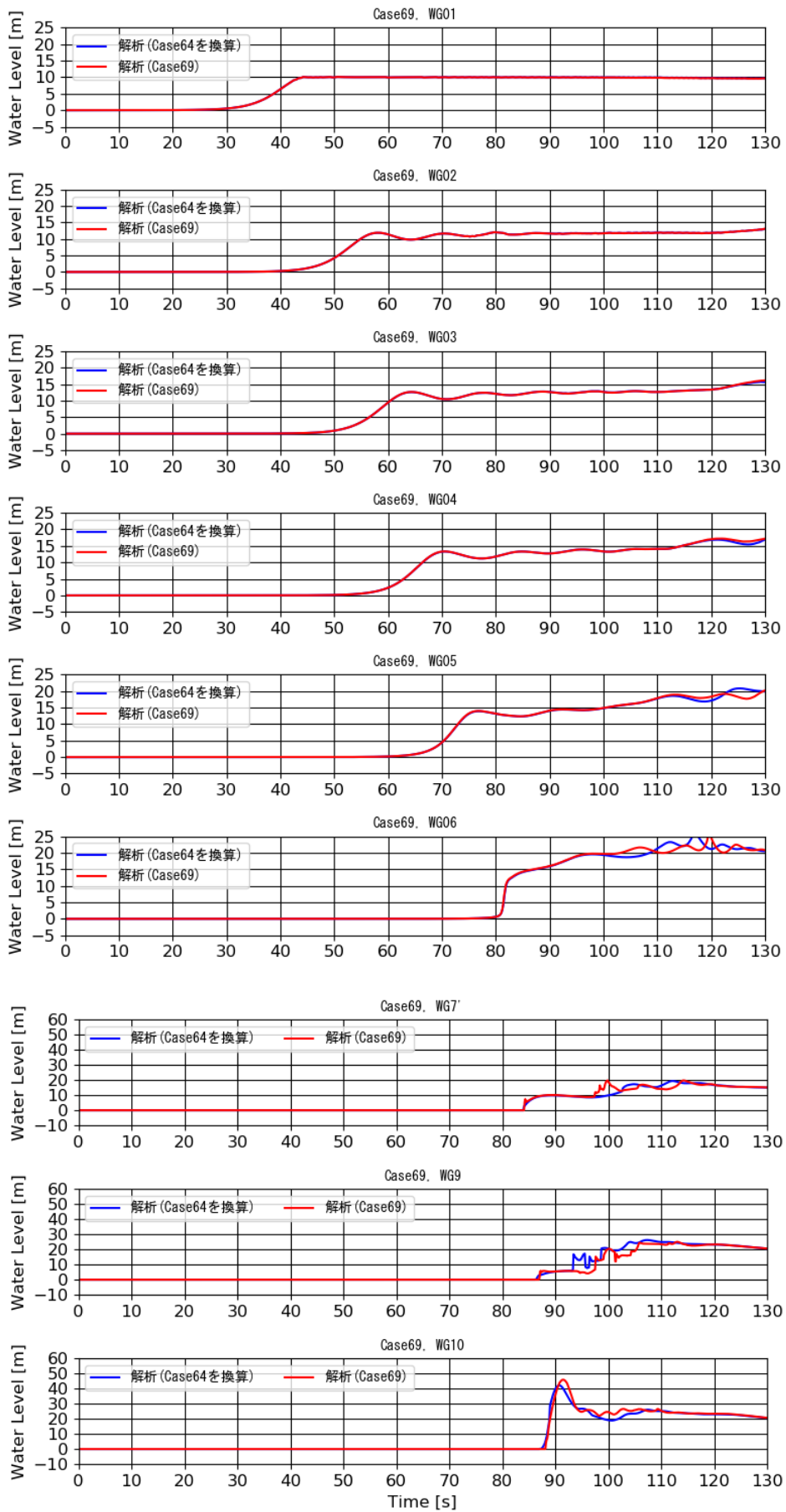


図 2-4-1-6 Case69（移動床）と Case64（移動床）における水位時系列波形  
 【理想長周期波  $A^* 10\text{m}/A$  を換算，堤体-110.0m，0.5mm/6号珪砂】

## 2-4-2 流速時系列の解析結果

各計測地点の流速について、解析ケース間で比較する。図 2-4-2-1～図 2-4-2-6 に、V6, V7~V10 (V7'~V10') 地点 (図 1-2-1 参照) での流速時系列図を、各ケース間で比較してそれぞれ示す。なお、解析ケース間とは、水位時系列と同様である。

### (1) 砂丘の有無による差異

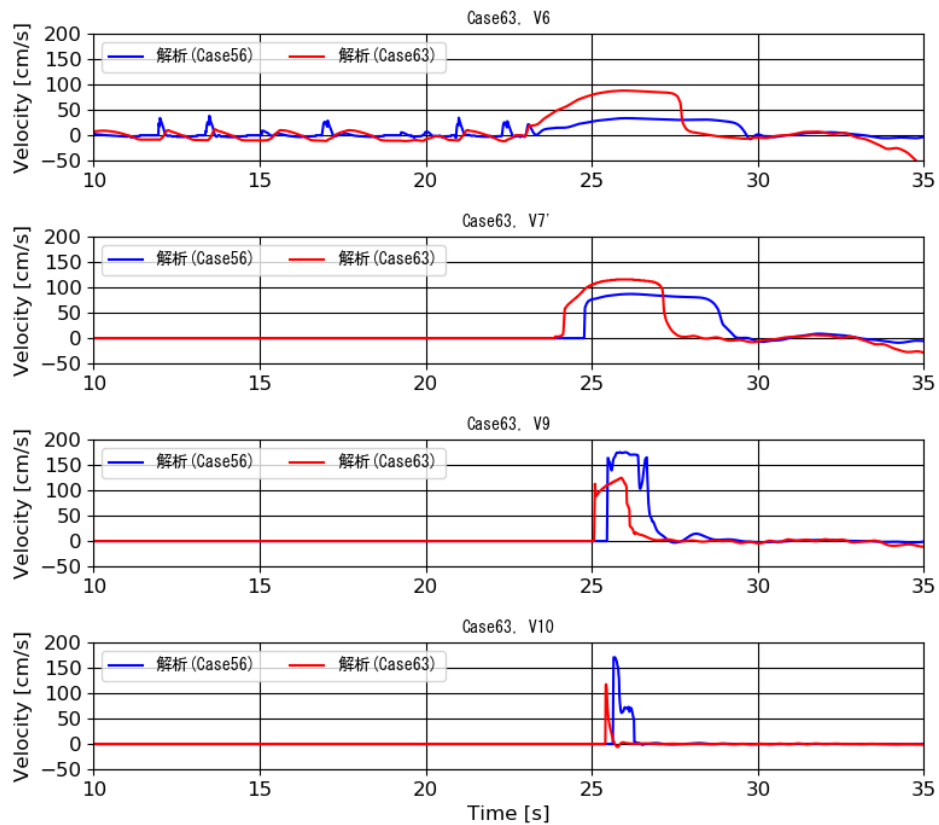


図 2-4-2-1 Case63 (固定床) と Case56 (固定床) における流速時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 更地/砂丘】

(2) 理想長周期波 A,B による差異

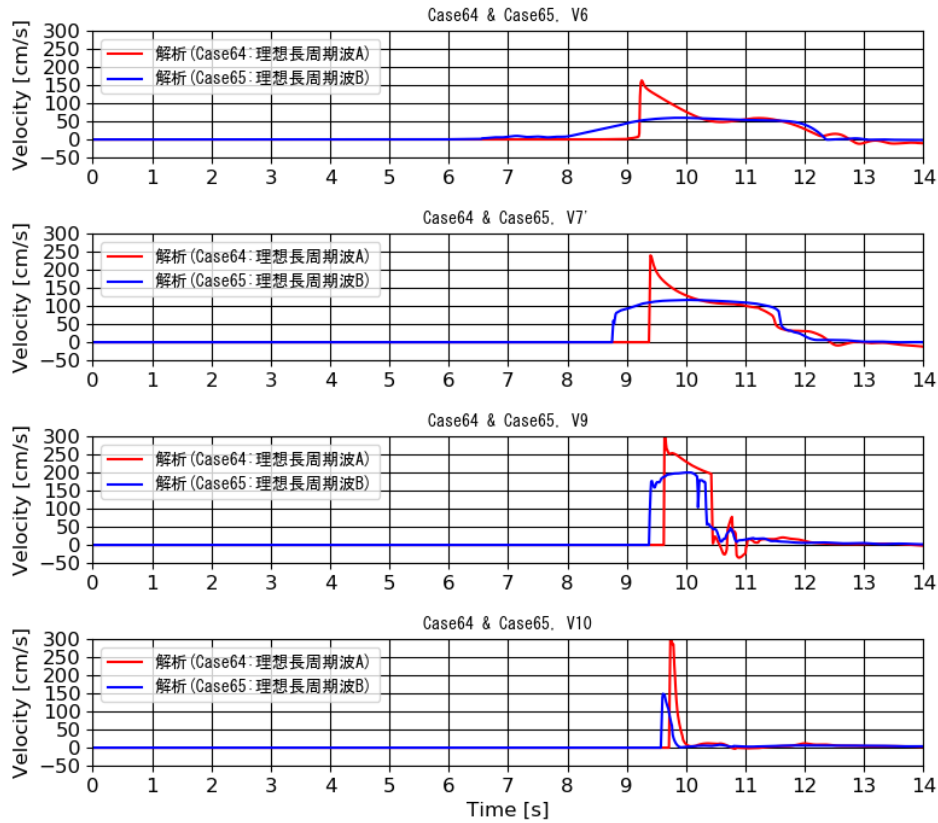


図 2-4-2-2 Case64 (移動床) と Case65 (移動床) における流速時系列波形  
【理想長周期波 A/B, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

(3) 波高の違いによる差異

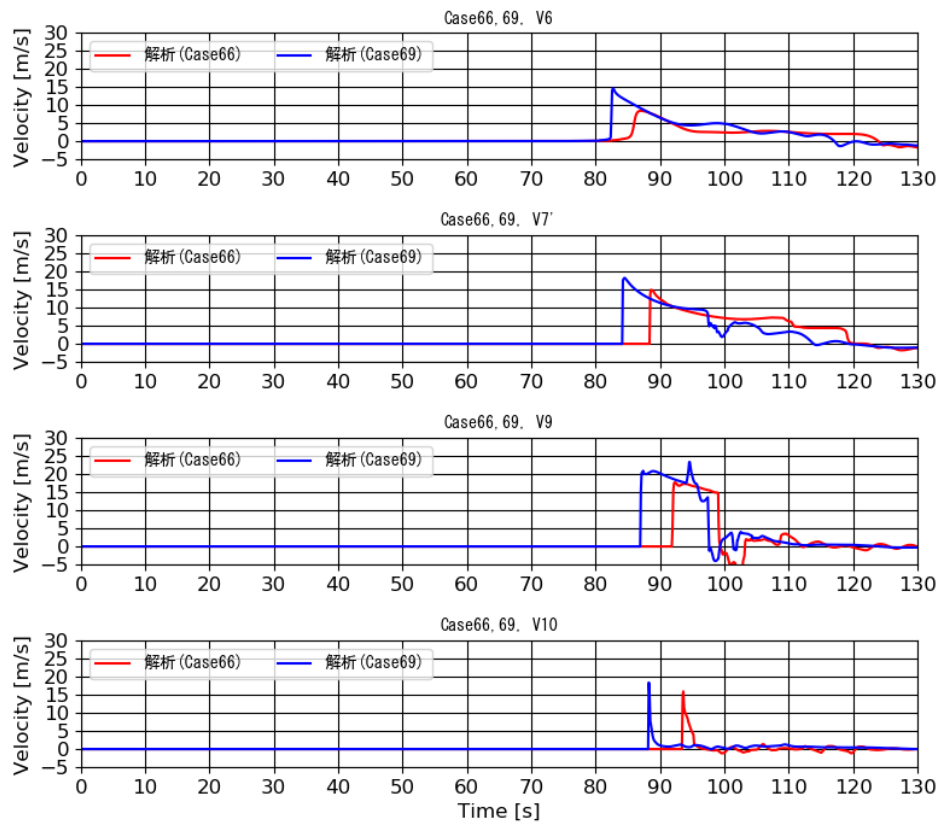


図 2-4-2-3 Case66 (移動床) と Case69 (移動床) における流速時系列波形  
【理想長周期波 A\* 6m/A\*10m, 堤体-110.0m, 0.5mm】

(4) 現地スケールと模型スケール（換算版）との比較

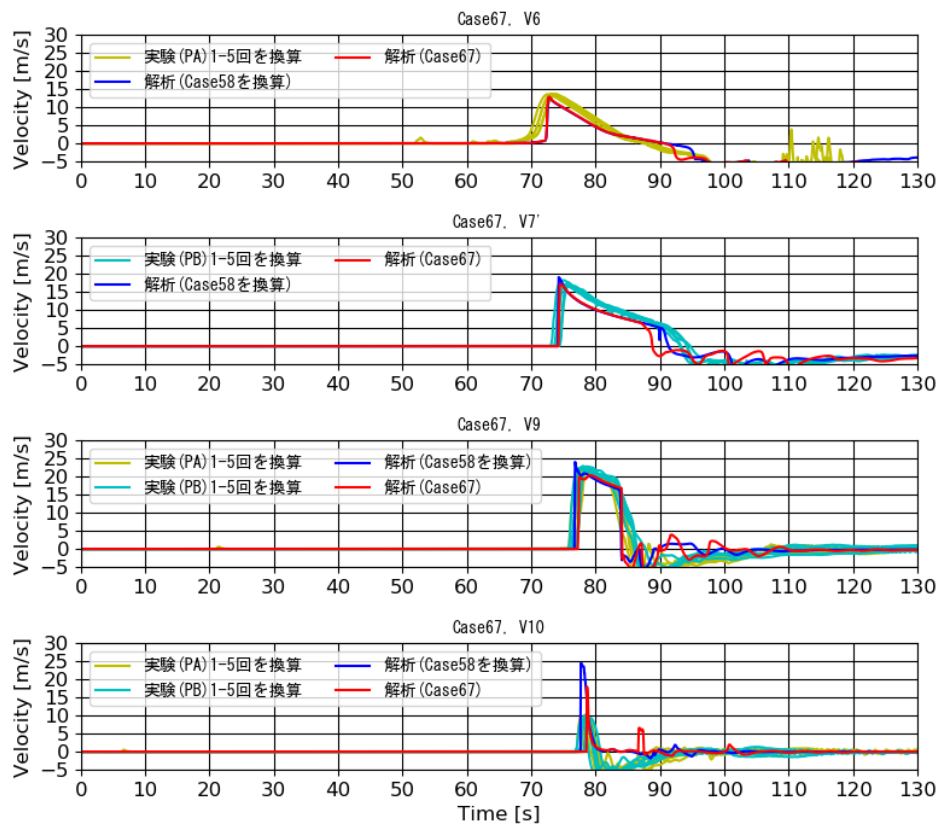


図 2-4-2-4 Case67（移動床）と Case58（移動床）における流速時系列波形  
【孤立波 10m／孤立波 12.5cm を換算，堤体-110.0m，0.5mm／6 号珪砂】

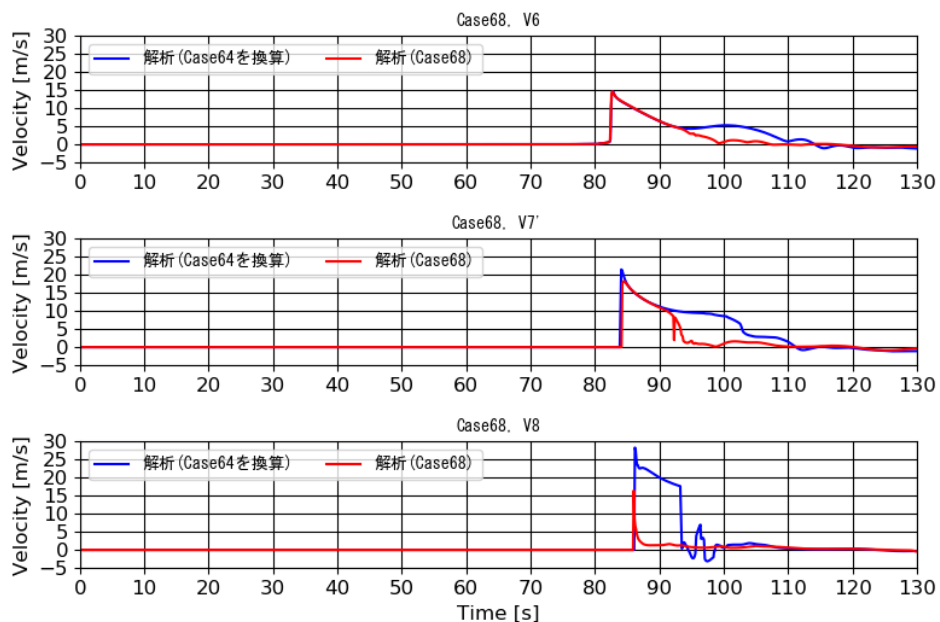


図 2-4-2-5 Case68（移動床）と Case69（移動床）における流速時系列波形  
【理想長周期波  $A^* 10m/A$  を換算，堤体-64.0m／-110m，0.5mm／6 号珪砂】

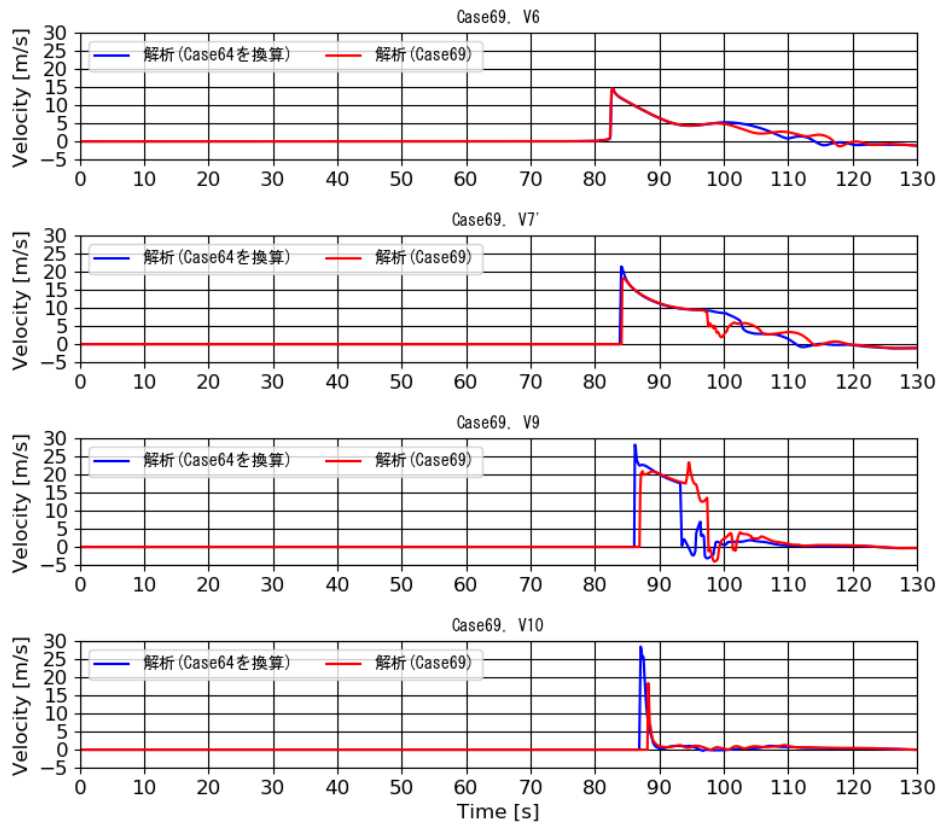


図 2-4-2-6 Case69 (移動床) と Case64 (移動床) における流速時系列波形  
 【理想長周期波  $A \cdot 10\text{m}/A$  を換算, 堤体-110.0m, 0.5mm/6号珪砂】

### 2-4-3 フルード数時系列の解析結果

各計測地点のフルード数について、解析ケース間で比較する。図 2-4-3-1～図 2-4-3-6 に、V7～V10 (V7'～V10') 地点 (図 1-2-1 参照) でのフルード数時系列図を、解析ケース間で比較してそれぞれ示す。なお、解析ケース間とは、水位時系列と同様である。

#### (1) 砂丘の有無による差異

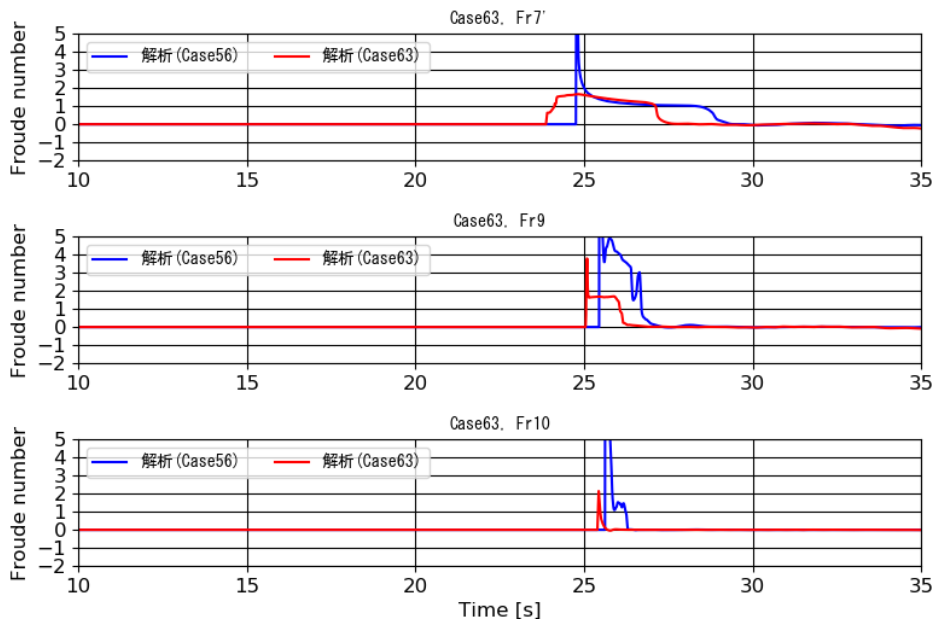


図 2-4-3-1 Case63 (固定床) と Case56 (固定床) におけるフルード数時系列波形【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 更地/砂丘】

#### (2) 理想長周期波 A,B による差異

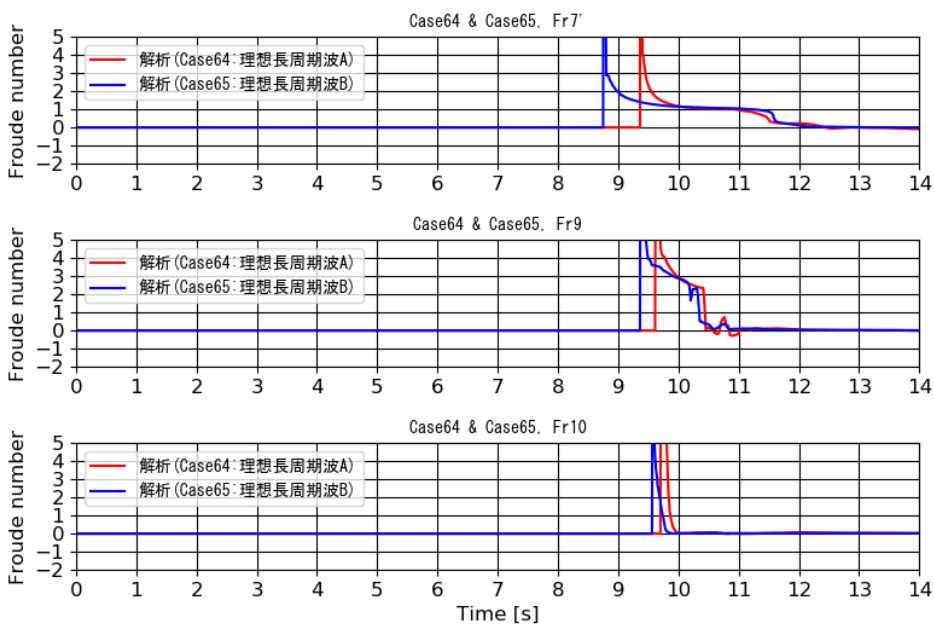


図 2-4-3-2 Case64 (移動床) と Case65 (移動床) におけるフルード数時系列波形【理想長周期波 A/B, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

(3) 波高の違いによる差異

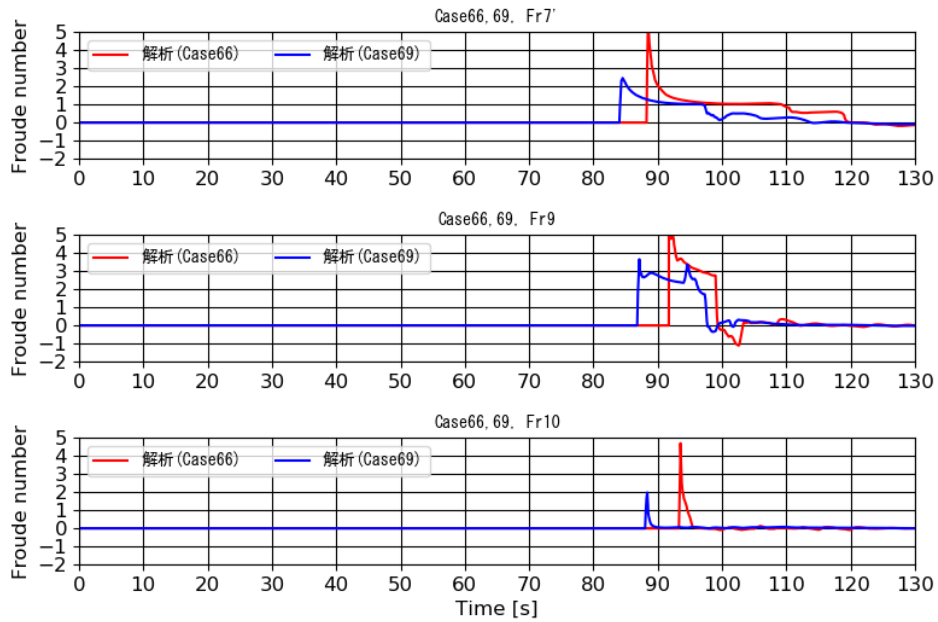


図 2-4-3-3 Case66（移動床）と Case69（移動床）におけるフルード数時系列波形【理想長周期波  $A^* 6m/A^*10m$ ，堤体-110.0m，0.5mm】

(4) 現地スケールと模型スケール（換算版）との比較

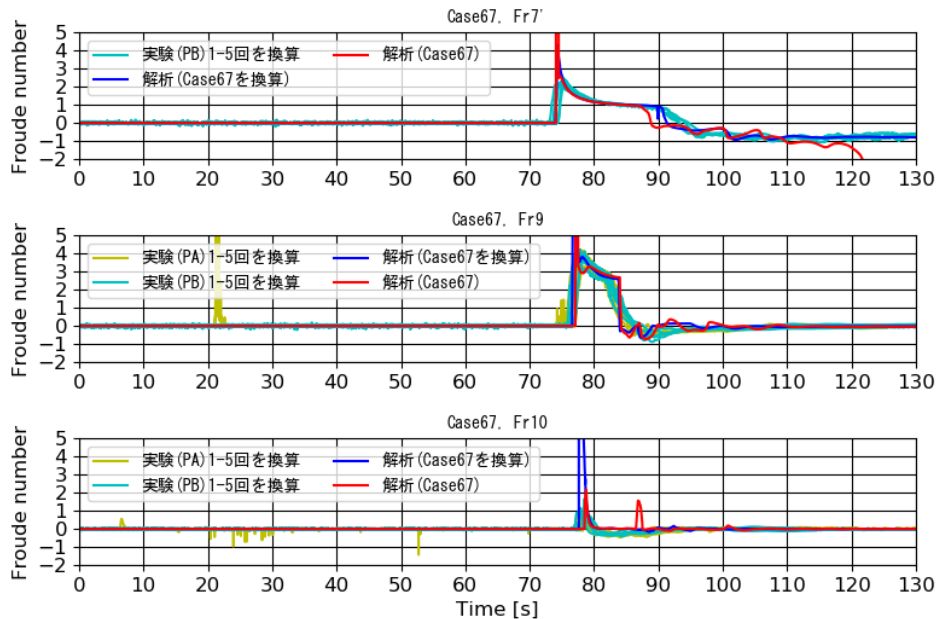


図 2-4-3-4 Case67（移動床）と Case58（移動床）におけるフルード数時系列波形【孤立波 10m／孤立波 12.5cm を換算，堤体-110.0m，0.5mm／6号珪砂】

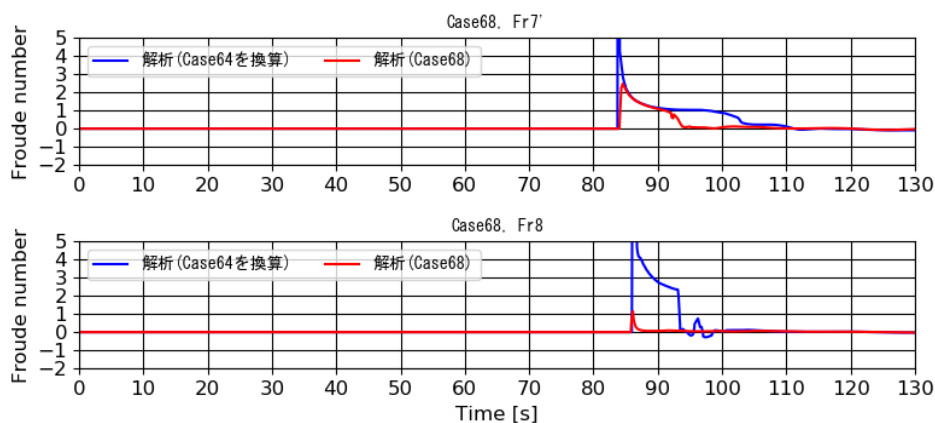


図 2-4-3-5 Case68（移動床）と Case64（移動床）におけるフルード数時系列波形【理想長周期波  $A^* 10m/A$  を換算，堤体-64.0m/-110m，0.5mm/6号珪砂】

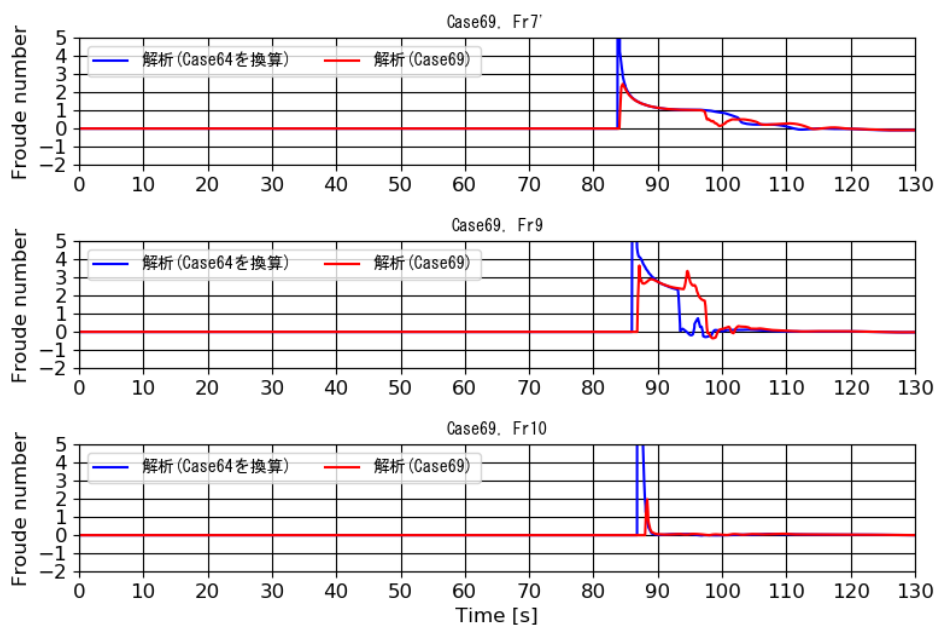


図 2-4-3-6 Case69（移動床）と Case64（移動床）におけるフルード数時系列波形【理想長周期波  $A^* 10m/A$  を換算，堤体-110.0m，0.5mm/6号珪砂】



#### 2-4-4 波力時系列の解析結果

計測地点の波力について，解析ケース間で比較する．図 2-4-4-1～図 2-4-4-12 に，防潮堤前面地点（図 1-2-1 の赤丸印参照）での波力時系列図を，解析ケース間で比較してそれぞれ示す．ここで，解析ケース間とは，水位時系列の(1)-(4)の比較内容に加え，移動床と固定床による差異，理想長周期波 A と長周期波による比較，及び，砂粒径による差異を考える．

なお，グラフに示す現地スケールの縦軸の波力は， $*10^3 \text{ kPa} \cdot \text{m}$  としている．

##### (1) 砂丘の有無による差異

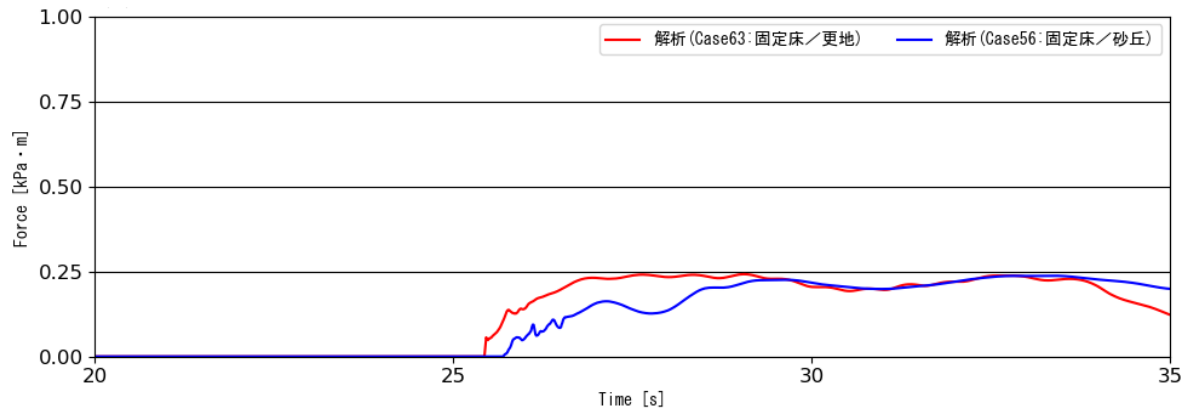


図 2-4-4-1 Case63（固定床）と Case56（固定床）における波力時系列波形  
【長周期波 12.5cm，堤体-137.5cm，更地／砂丘】

##### (2) 理想長周期波 A,B による差異

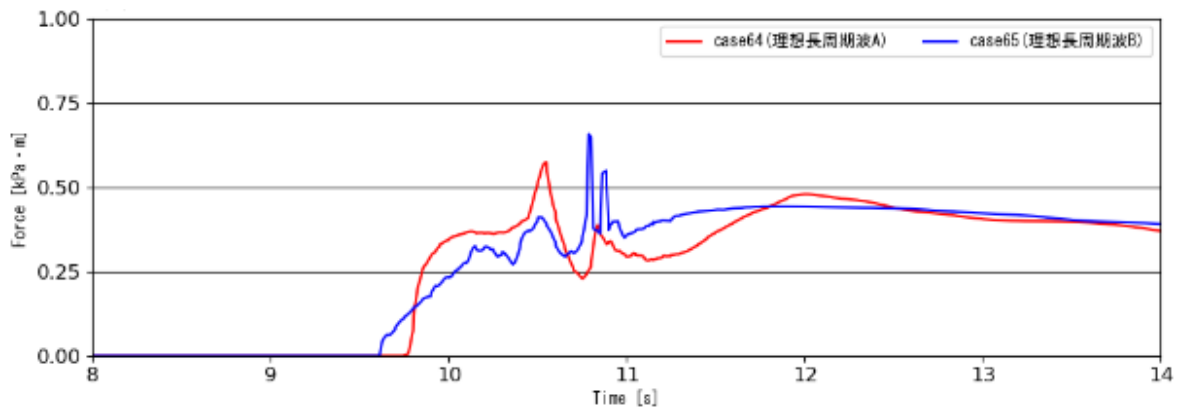


図 2-4-4-2 Case64（移動床）と Case65（移動床）における波力時系列波形  
【理想長周期波 A/B，堤体-137.5cm，6号珪砂】

(3) 波高の違いによる差異

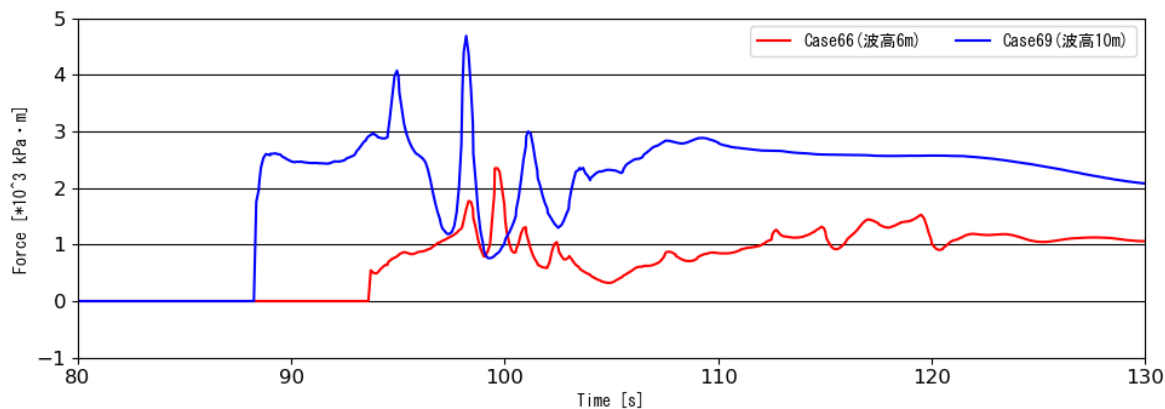


図 2-4-4-3 Case66 (移動床) と Case69 (移動床) における波力時系列波形  
【理想長周期波  $A*6\text{m}/A*10\text{m}$ , 堤体-110.0m, 0.5mm】

(4) 現地スケールと模型スケール (換算版)

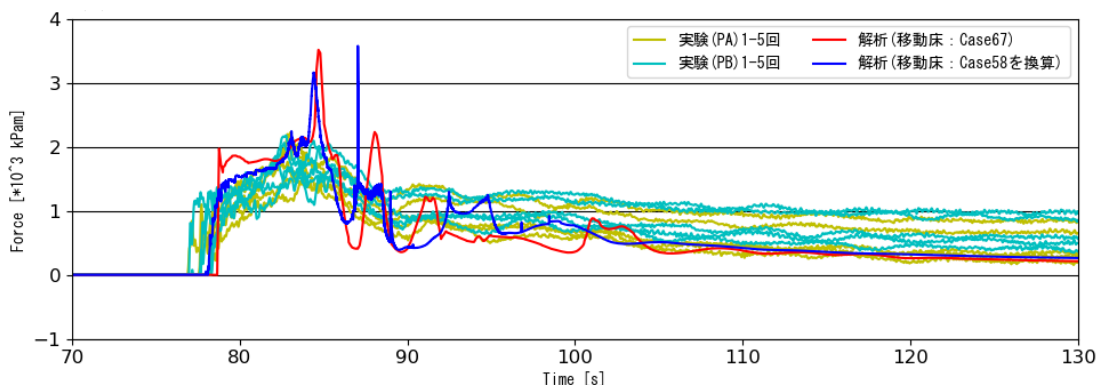


図 2-4-4-4 Case67 (移動床) と Case58 (移動床) における波力時系列波形  
【孤立波 10m/孤立波 12.5cm を換算, 堤体-110.0m, 0.5mm/6号珪砂】

(5) 移動床と固定床による差異

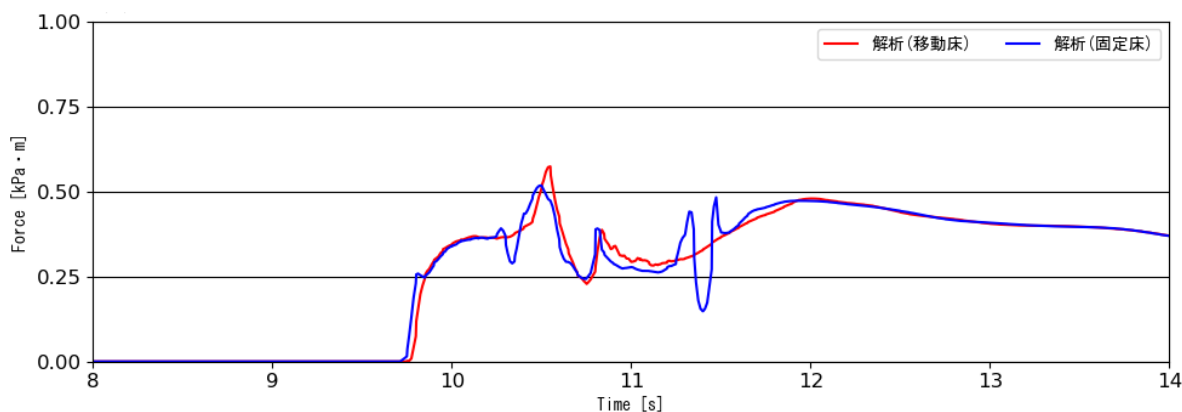


図 2-4-4-5 Case64 (移動床) と Case64s (固定床) における波力時系列波形  
【理想長周期波 A, 堤体-137.5cm, 6号珪砂/固定床】

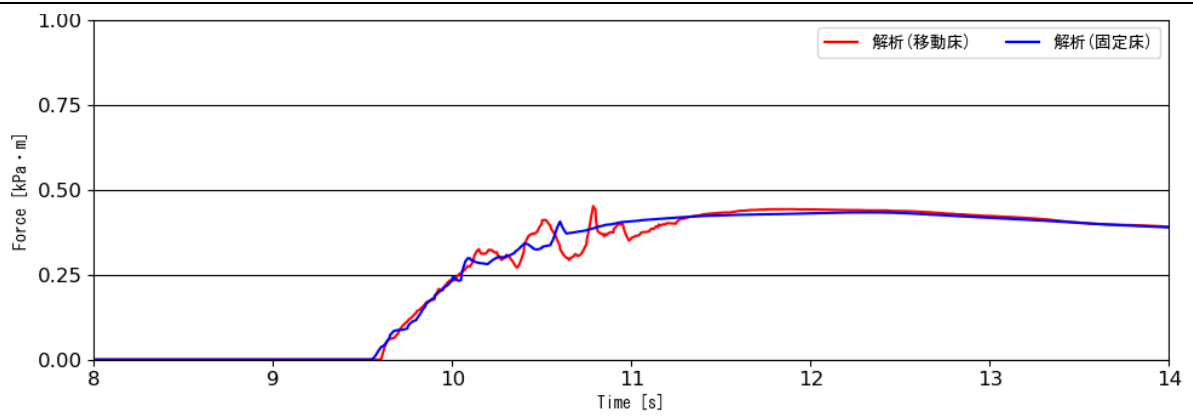


図 2-4-4-6 Case65 (移動床) と Case65s (固定床) における波力時系列波形  
【理想長周期波 B, 堤体-137.5cm, 6号珪砂/固定床】

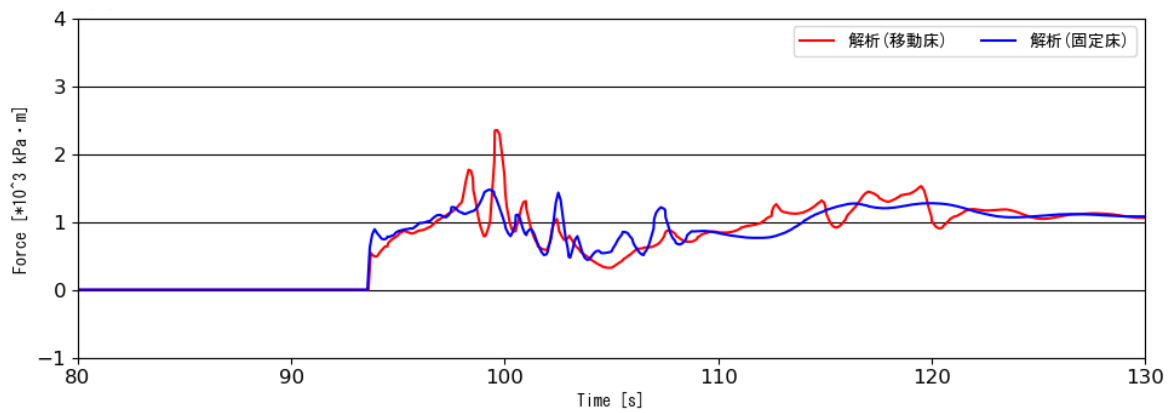


図 2-4-4-7 Case66 (移動床) と Case66s (固定床) における波力時系列波形  
【理想長周期波 A\* 6m, 堤体-110.0m, 0.5mm/固定床】

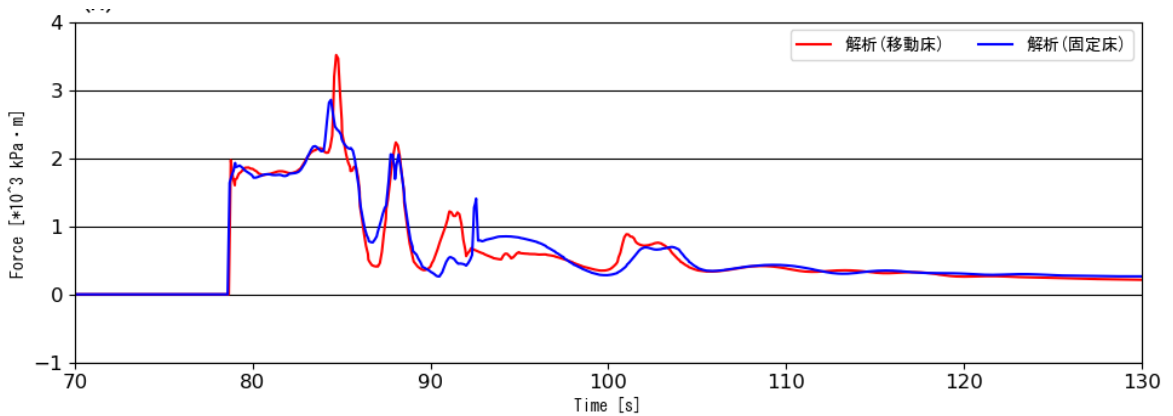


図 2-4-4-8 Case67 (移動床) と Case67s (固定床) における波力時系列波形  
【孤立波 10m, 堤体-110.0m, 0.5mm/固定床】

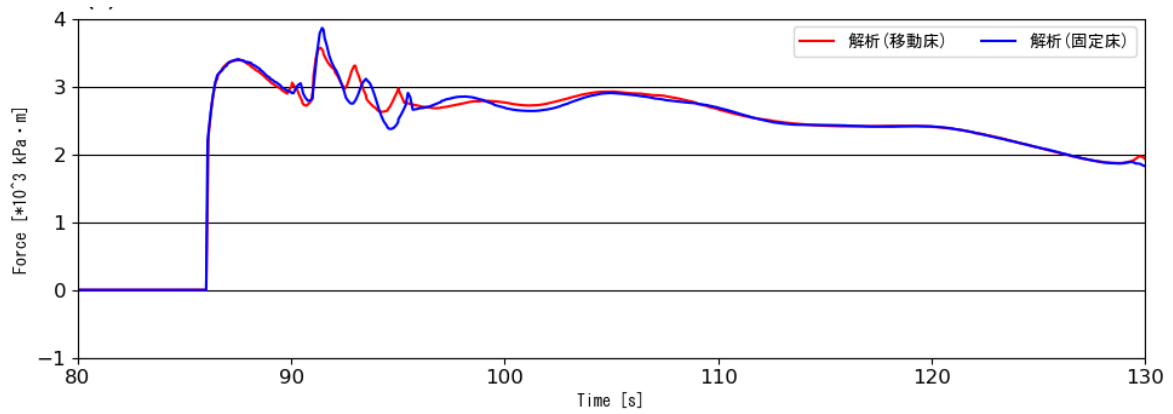


図 2-4-4-9 Case68 (移動床) と Case68s (固定床) における波力時系列波形  
【理想長周期波  $A*10m$ , 堤体-64.0m, 0.5mm/固定床】

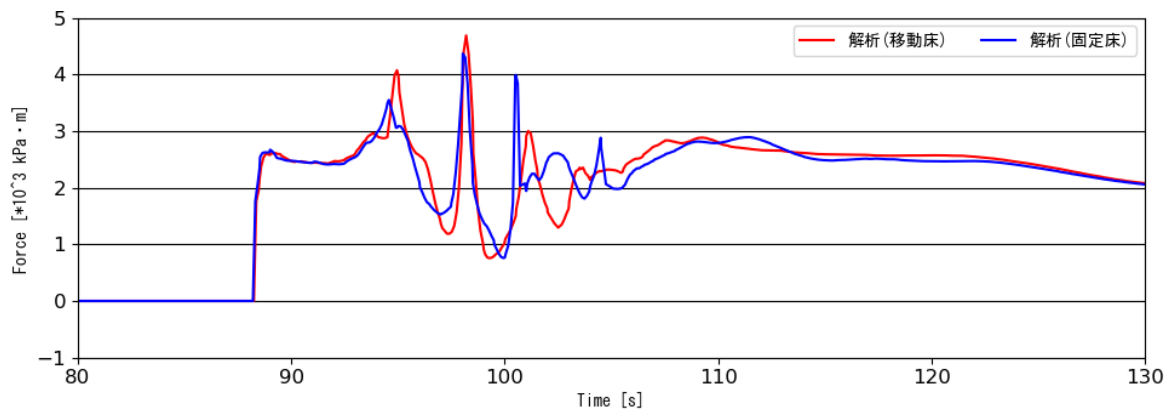


図 2-4-4-10 Case69 (移動床) と Case69s (固定床) における波力時系列波形  
【理想長周期波  $A*10m$ , 堤体-110.0m, 0.5mm/固定床】

(6) 理想長周期波 A と孤立波による比較

下記の理想長周期波 A と孤立波は、別波形の比較となるため、立ち上がり時刻を合わせて表示する。

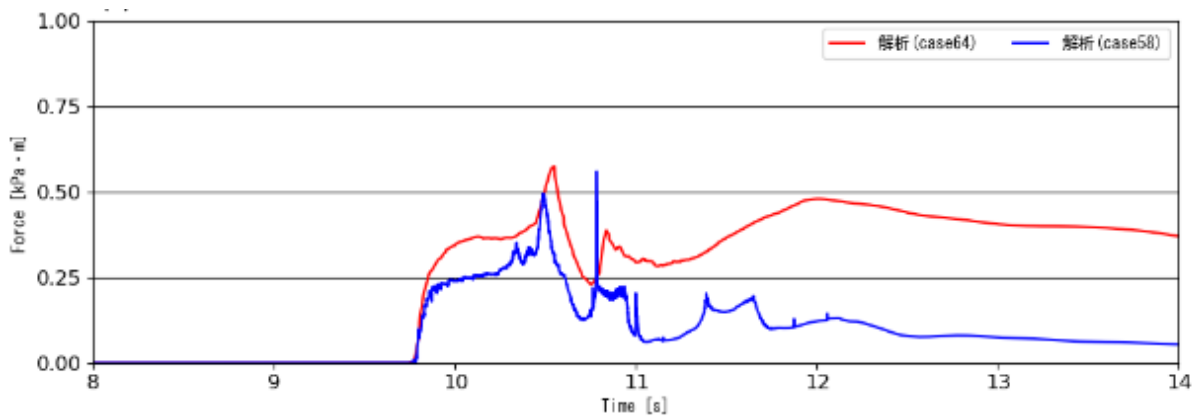


図 2-4-4-11 Case64 (移動床) と Case58 (移動床) における波力時系列波形  
【理想長周期波 A/孤立波, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

(7)砂粒径による差異

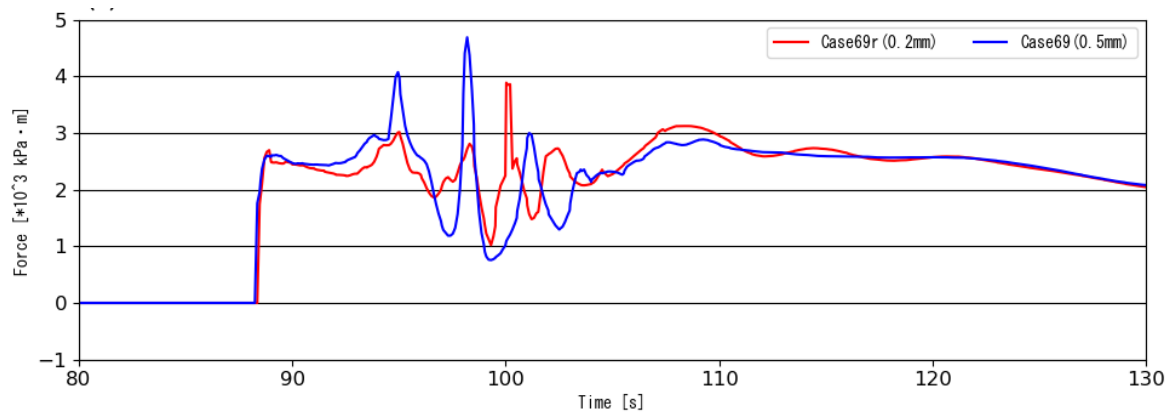


図 2-4-4-12 Case69r (0.2mm) と Case69 (0.5mm) における波力時系列波形  
【理想長周期波  $A^* 10\text{m}$ , 堤体-110.0m, 0.2mm/0.5mm】

### 2-4-5 シールズ数時系列の解析結果

計測地点のシールズ数について、解析ケース間で比較する。図 2-4-5-1～図 2-4-5-3 に、V7 地点（図 1-2-1 参照）でのシールズ数時系列図を、解析ケース間で比較してそれぞれ示す。なお、解析ケース間とは、水位時系列の(2)-(3)の比較内容に加え、砂粒径による差異を考える。

#### (1) 理想長周期波 A,B による差異

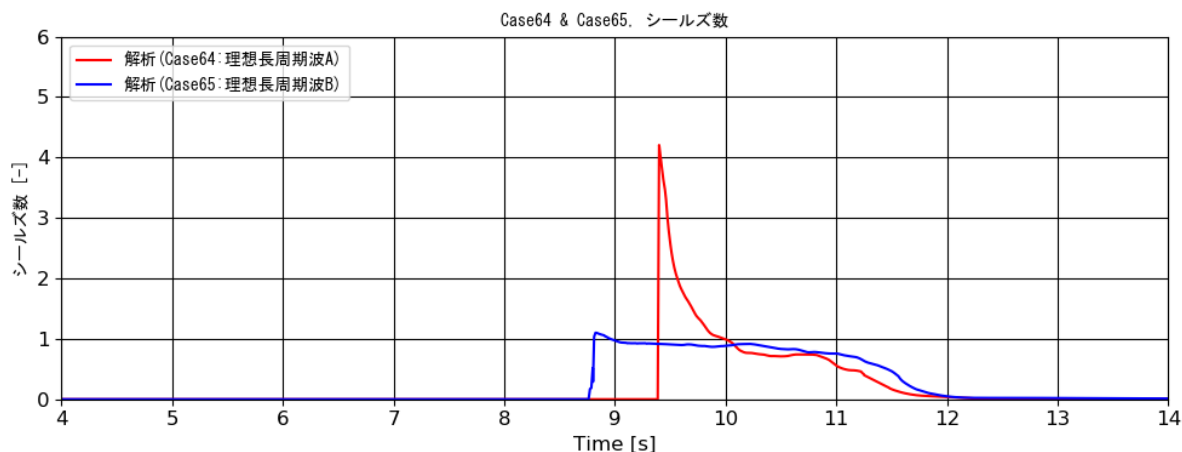


図 2-4-5-1 Case64（移動床）と Case65（移動床）におけるシールズ数時系列波形【理想長周期波 A/B，堤体-137.5cm，6号珪砂】

#### (2) 波高の違いによる差異

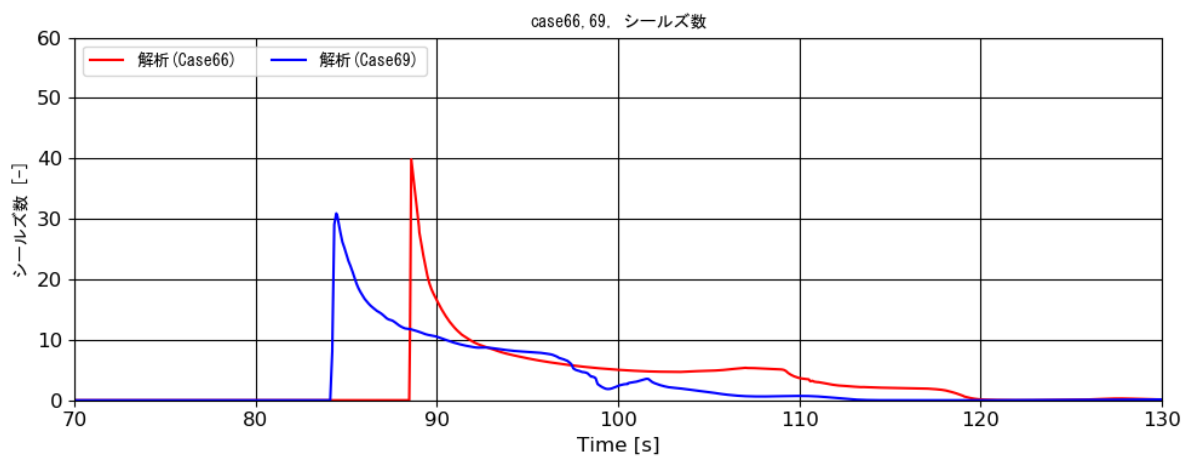


図 2-4-5-2 Case66（移動床）と Case69（移動床）におけるシールズ数時系列波形【理想長周期波  $A^* 6m/A^*10m$ ，堤体-110.0m，0.5mm】

### (3) 砂粒径による差異

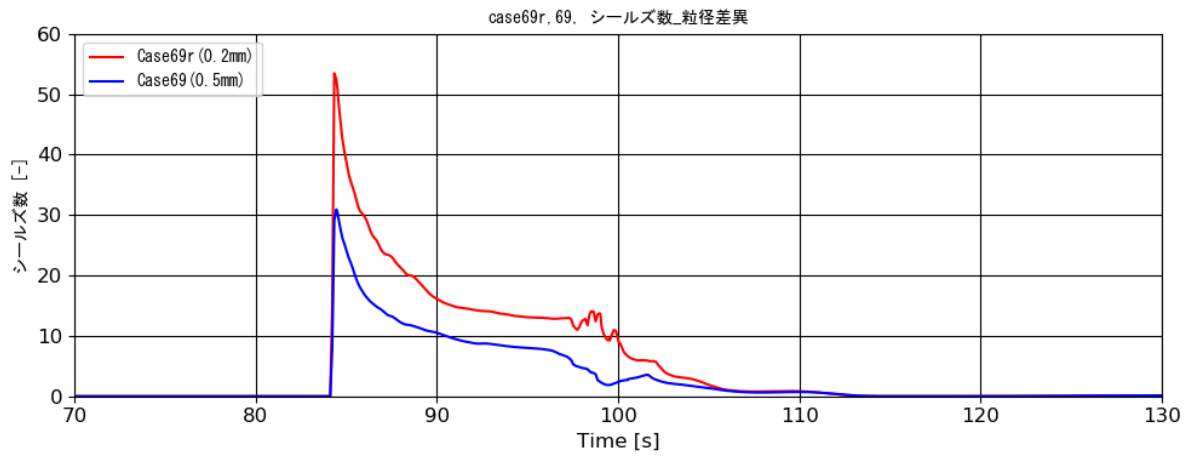


図 2-4-5-3 Case69r,69 におけるシールズ数時系列波形  
【理想長周期波  $A^* 10m$ , 堤体-110.0m, 0.2mm/0.5mm】

## 2-4-6 砂密度時系列の解析結果

計測地点の砂密度（浮遊砂濃度）について、解析ケース間で比較する。図 2-4-6-1～図 2-4-6-3 に、V7 地点（図 1-2-1 参照）での砂密度時系列図を、解析ケース間で比較してそれぞれ示す。なお、解析ケース間とは、水位時系列の(2)-(3)の比較内容に加え、砂粒径による差異を考える。

### (1) 理想長周期波 A,B による差異

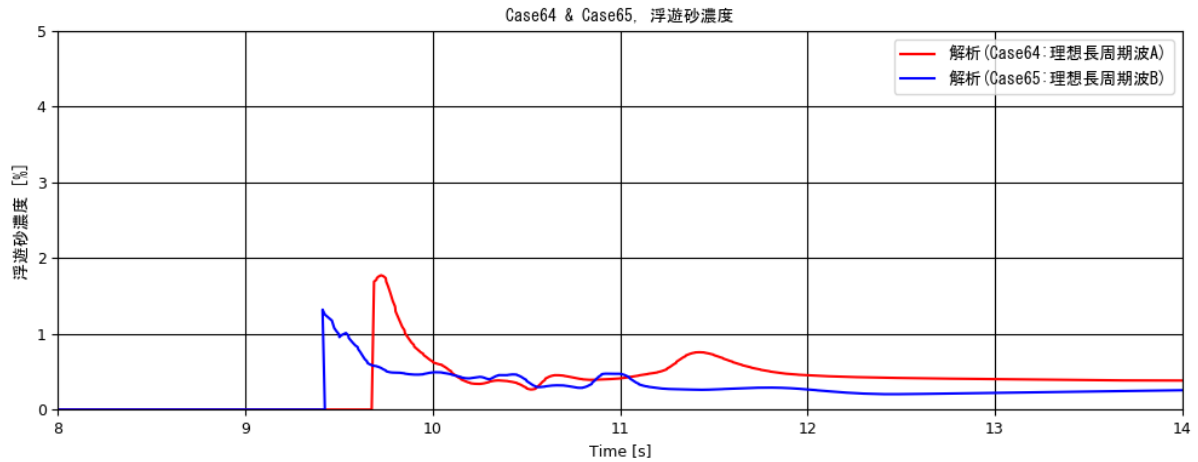


図 2-4-6-1 Case64（移動床）と Case65（移動床）における砂密度時系列波形  
【理想長周期波 A/B, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

### (2) 波高の違いによる差異

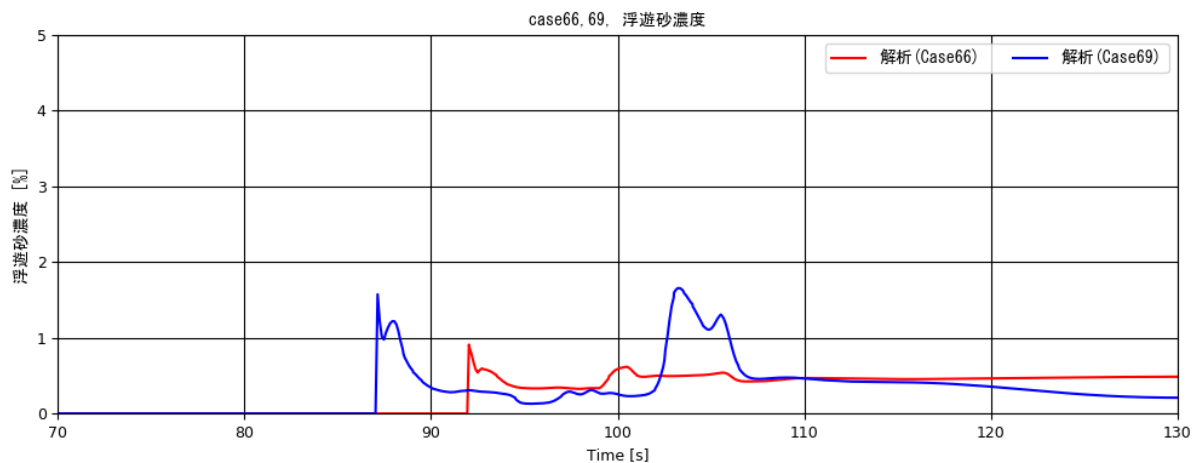


図 2-4-6-2 Case66（移動床）と Case69（移動床）における砂密度時系列波形  
【理想長周期波  $A^* 6m/A^* 10m$ , 堤体-110.0m, 0.5mm】



### (3) 砂粒径による差異

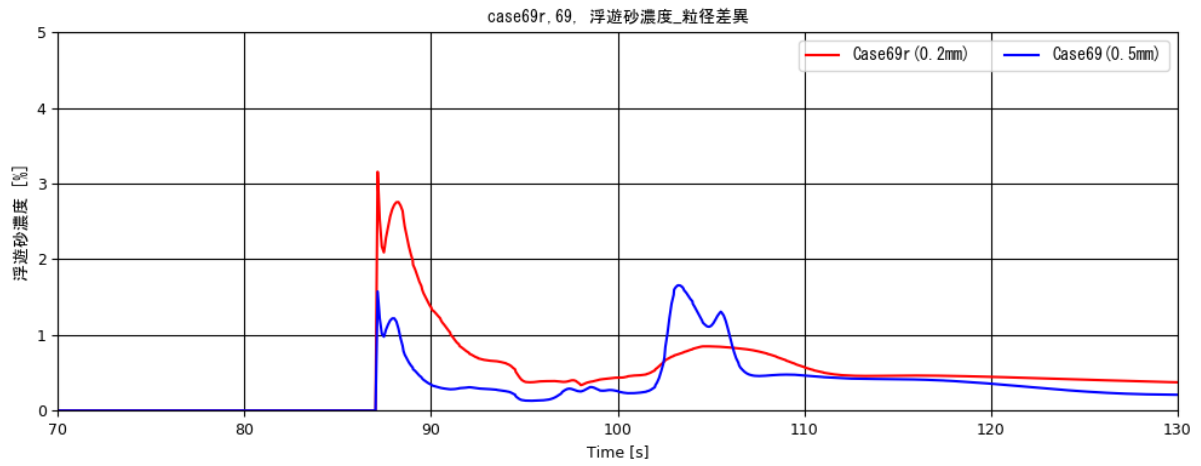


図 2-4-6-3 Case69r,69 におけるにおける砂密度時系列波形  
【理想長周期波  $A^* 10\text{m}$ , 堤体-110.0m, 0.2mm/0.5mm】

---

## 2-5 感度解析の空間変化

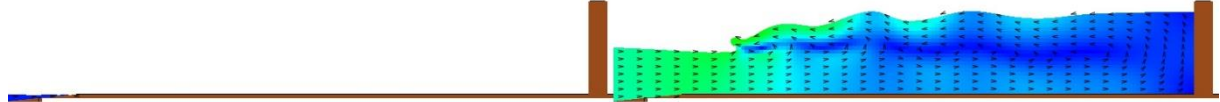
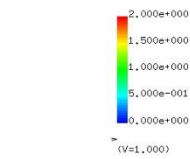
### 2-5-1 流速場，浮遊砂濃度の分布

以下では，Case63～Case69 における流速場の計算結果，及び，浮遊砂濃度分布の計算結果を示す（図 2-5-1-1～図 2-5-1-13 参照）．ここでの浮遊砂濃度の単位は mg/l である．

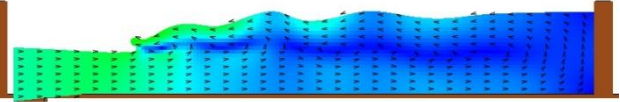
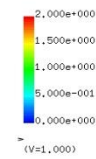
(1) Case63 (長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 更地)

図 2-5-1-1 に, Case63 の断面二次元流速スナップショットを示す.

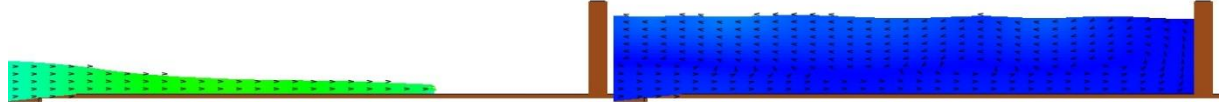
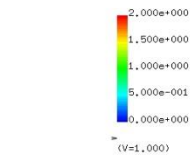
T= 15.00241 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



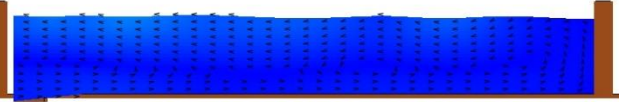
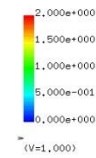
T= 27.50067 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



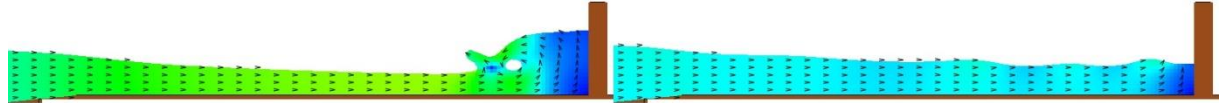
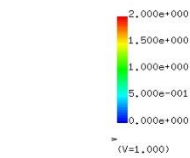
T= 25.00152 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 30.00232 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 26.00118 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 39.00177 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

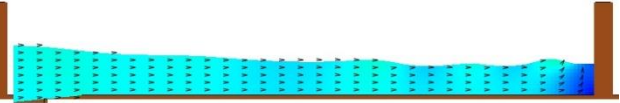
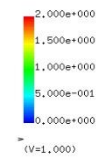


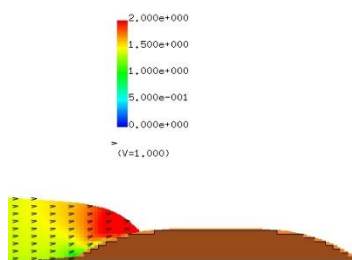
図 2-5-1-1 Case63 の断面二次元流速スナップショット

【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 更地】

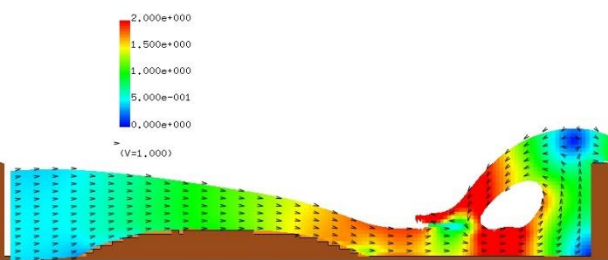
(2) Case64 (理想長周期波 A, 堤体-137.5cm, 6号珪砂)

図 2-5-1-2 に, Case64 の断面二次元流速スナップショットを示す.

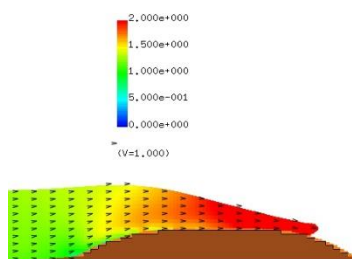
T= 9.30184 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



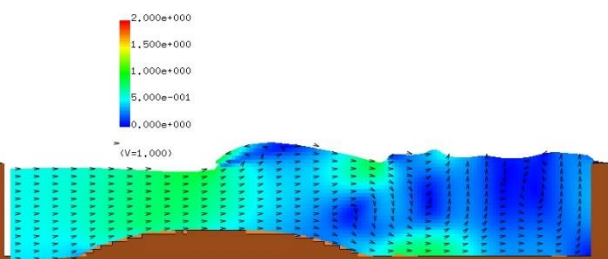
T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



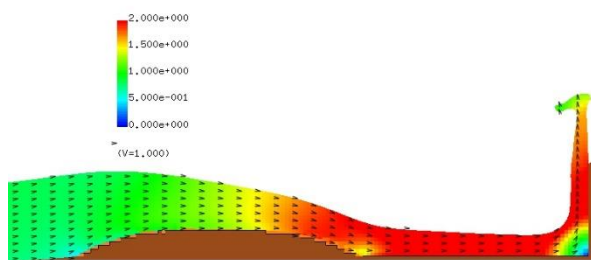
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 11.50110 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 10.00161 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 14.50008 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

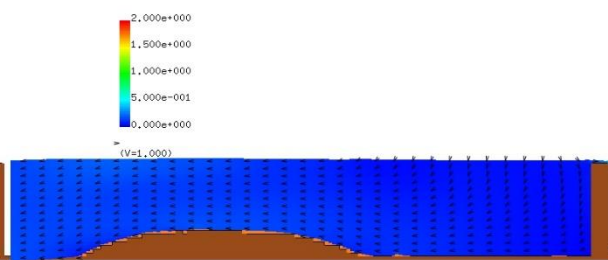
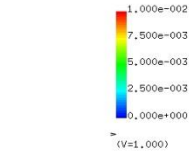


図 2-5-1-2 Case64 の断面二次元流速スナップショット

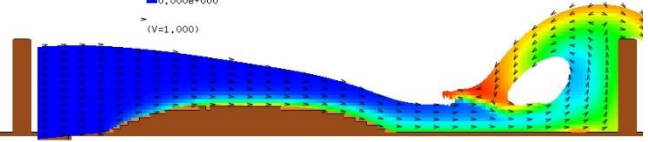
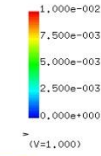
【理想長周期波 A, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

図 2-5-1-3 に、Case64 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

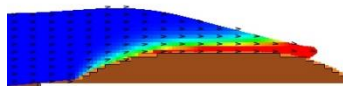
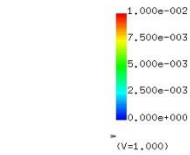
T= 9.30184 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



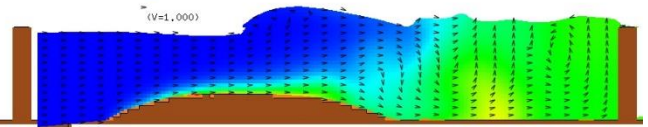
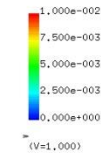
T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



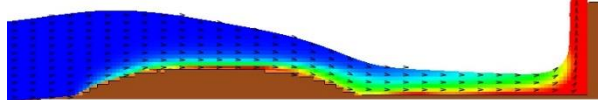
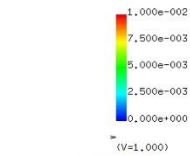
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 11.50110 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 10.00161 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 14.50008 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002

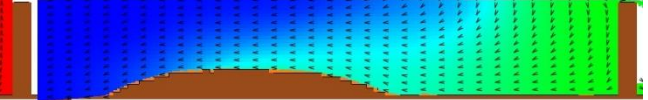
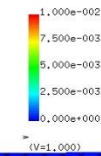


図 2-5-1-3 Case64 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【理想長周期波 A, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

(3) Case65 (理想長周期波 B, 堤体-137.5cm, 6号珪砂)

図 2-5-1-4 に, Case65 の断面二次元流速スナップショットを示す.

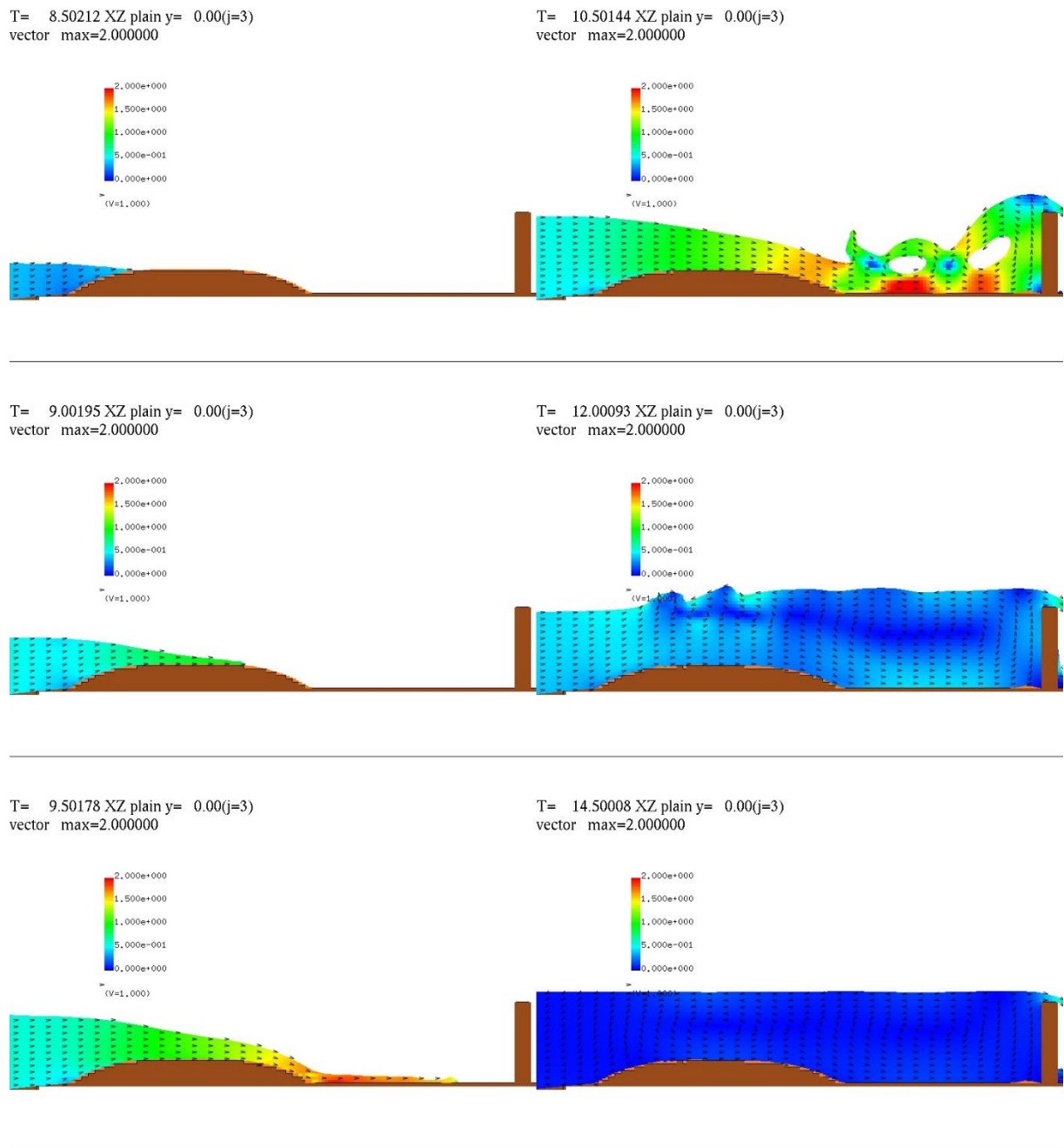
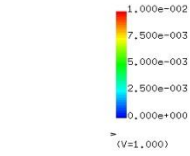


図 2-5-1-4 Case65 の断面二次元流速スナップショット

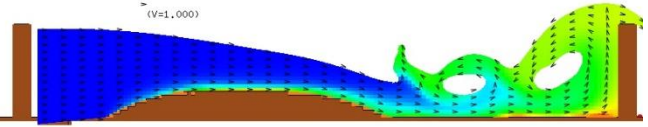
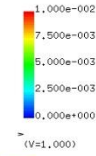
【孤立波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

図 2-5-1-5 に、Case65 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

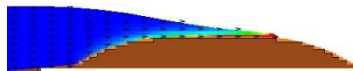
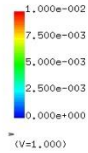
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



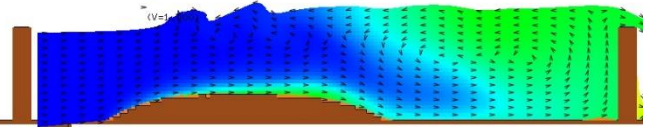
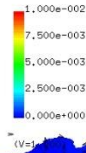
T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



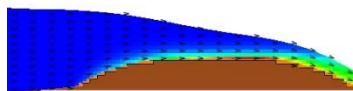
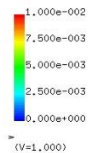
T= 9.00195 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 12.00093 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 14.50008 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002

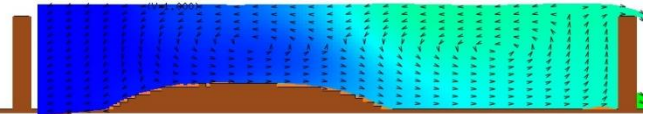
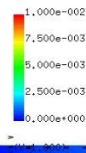


図 2-5-1-5 Case65 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【孤立波 12.5cm，堤体-137.5cm，6号珪砂】

(4) Case66 (理想長周期波  $A^* 6\text{m}$ , 堤体-110.0m, 0.5mm)

図 2-5-1-6 に, Case66 の断面二次元流速スナップショットを示す.

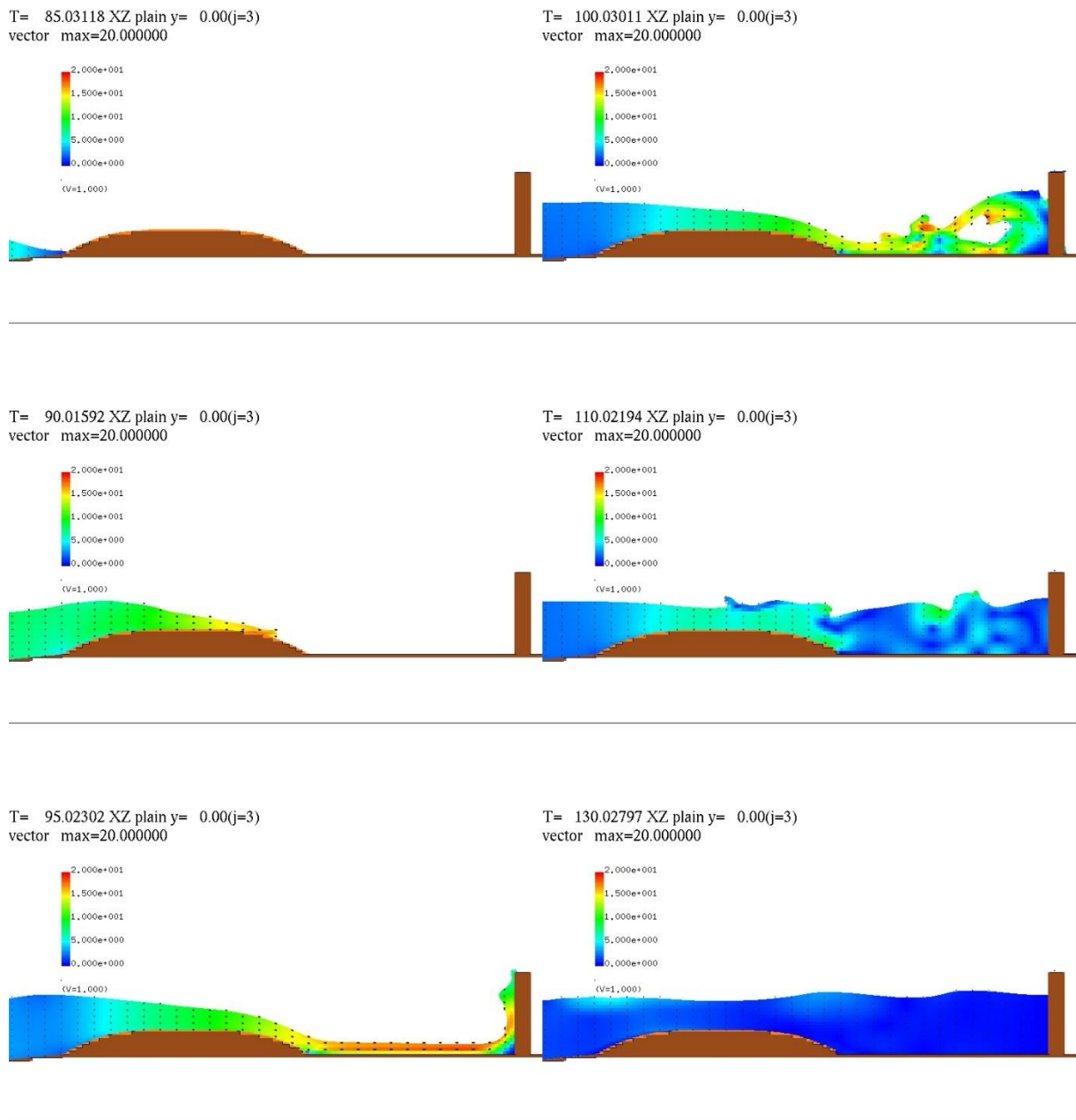


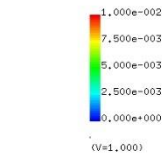
図 2-5-1-6 Case66 の断面二次元流速スナップショット

【理想長周期波  $A^* 6\text{m}$ , 堤体-110.0m, 0.5mm】

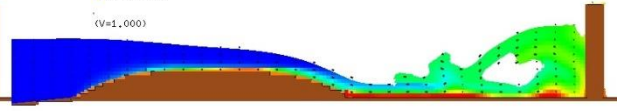
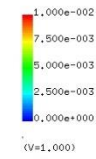


図 2-5-1-7 に、Case66 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

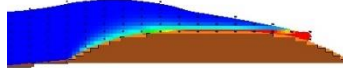
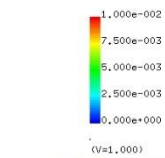
T= 85.03118 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



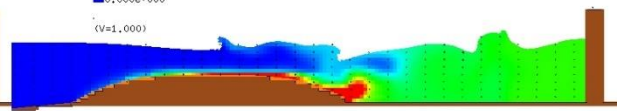
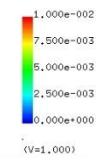
T= 100.03011 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



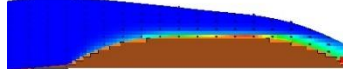
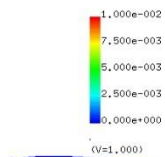
T= 90.01592 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 110.02194 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 95.02302 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002



T= 130.02797 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=1.000000e-002

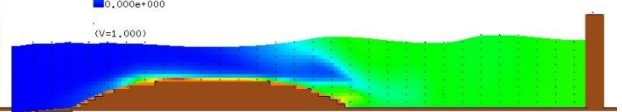
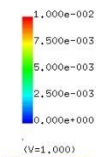


図 2-5-1-7 Case66 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【理想長周期波 A\* 6m, 堤体-110.0m, 0.5mm】

(5) Case67 (孤立波 10.0m, 堤体-110.0m, 0.5mm)

図 2-5-1-8 に, Case67 の断面二次元流速スナップショットを示す.

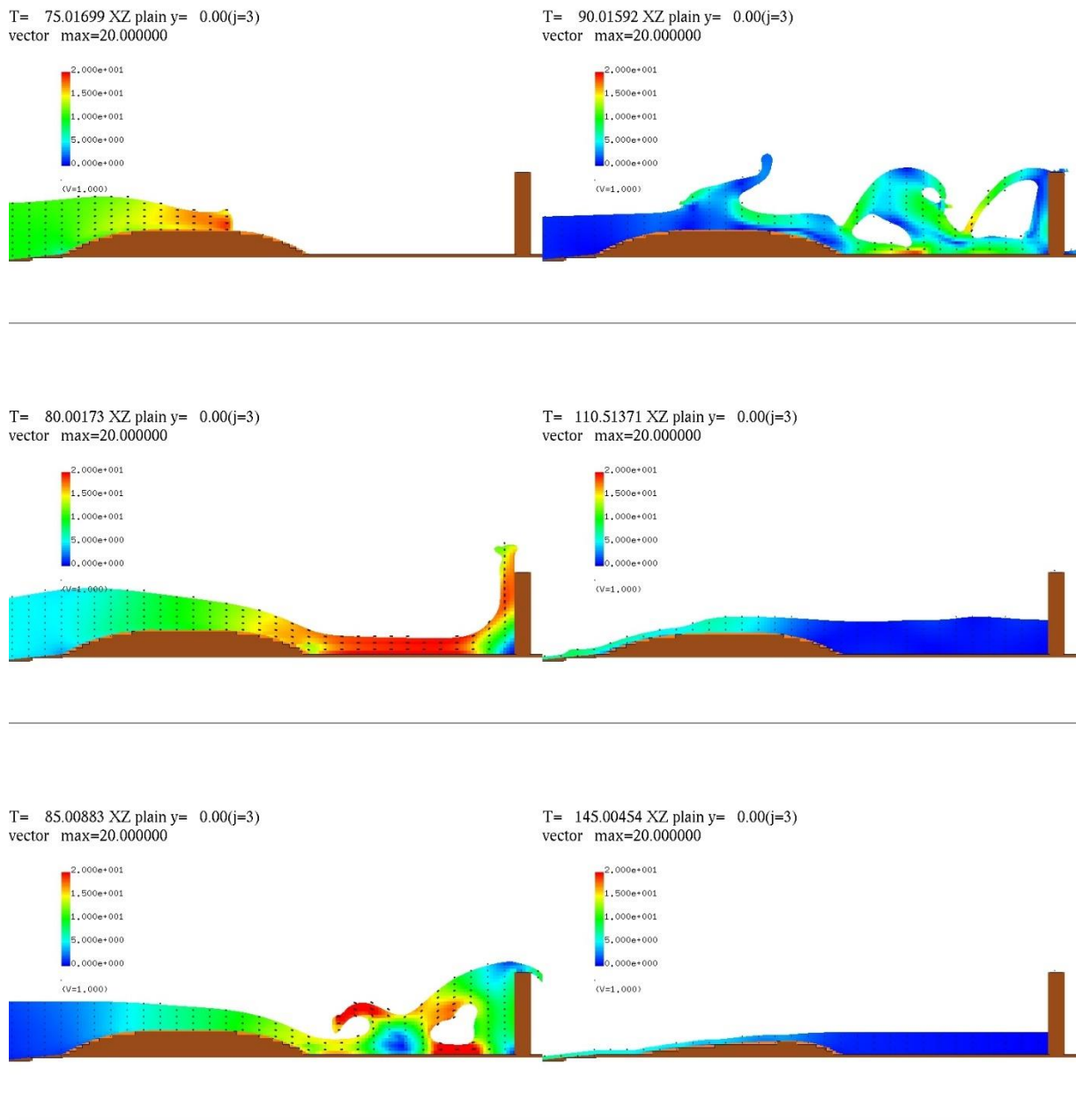


図 2-5-1-8 Case67 の断面二次元流速スナップショット

【孤立波 10.0m, 堤体-110.0m, 0.5mm】

図 2-5-1-9 に、Case67 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

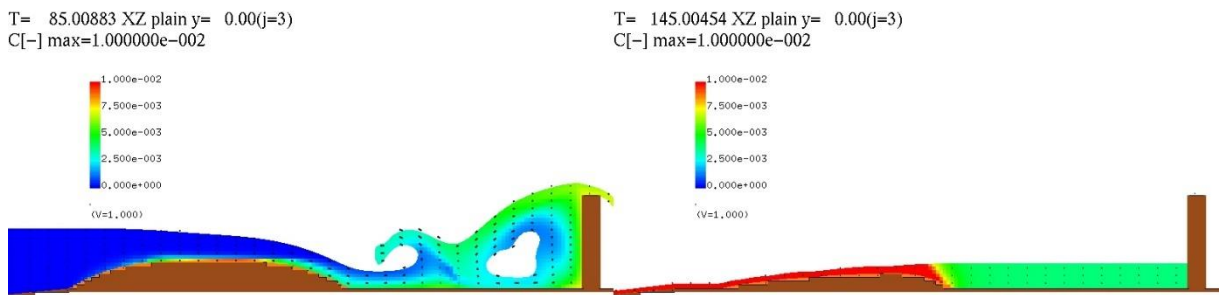
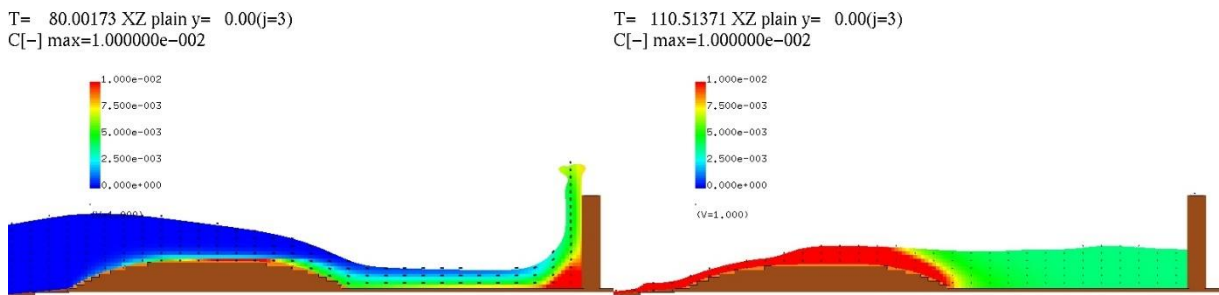
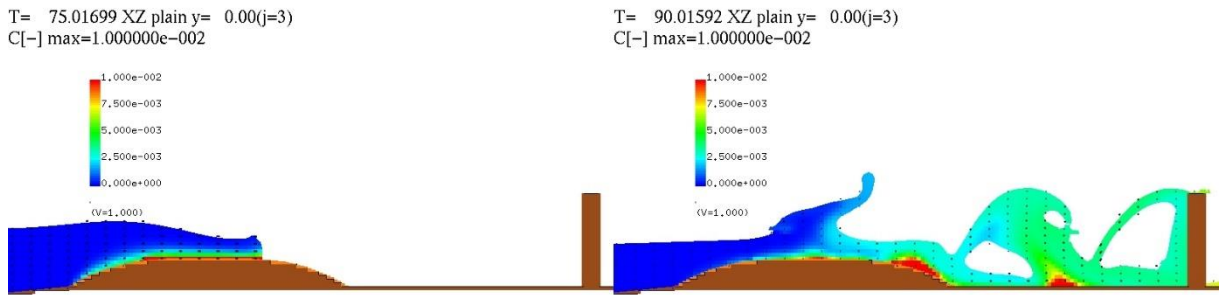


図 2-5-1-9 Case67 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【孤立波 10.0m, 堤体-110.0m, 0.5mm】

(6) Case68 (理想長周期波  $A^* 10\text{m}$ , 堤体-64.0m, 0.5mm)

図 2-5-1-10 に, Case68 の断面二次元流速スナップショットを示す.

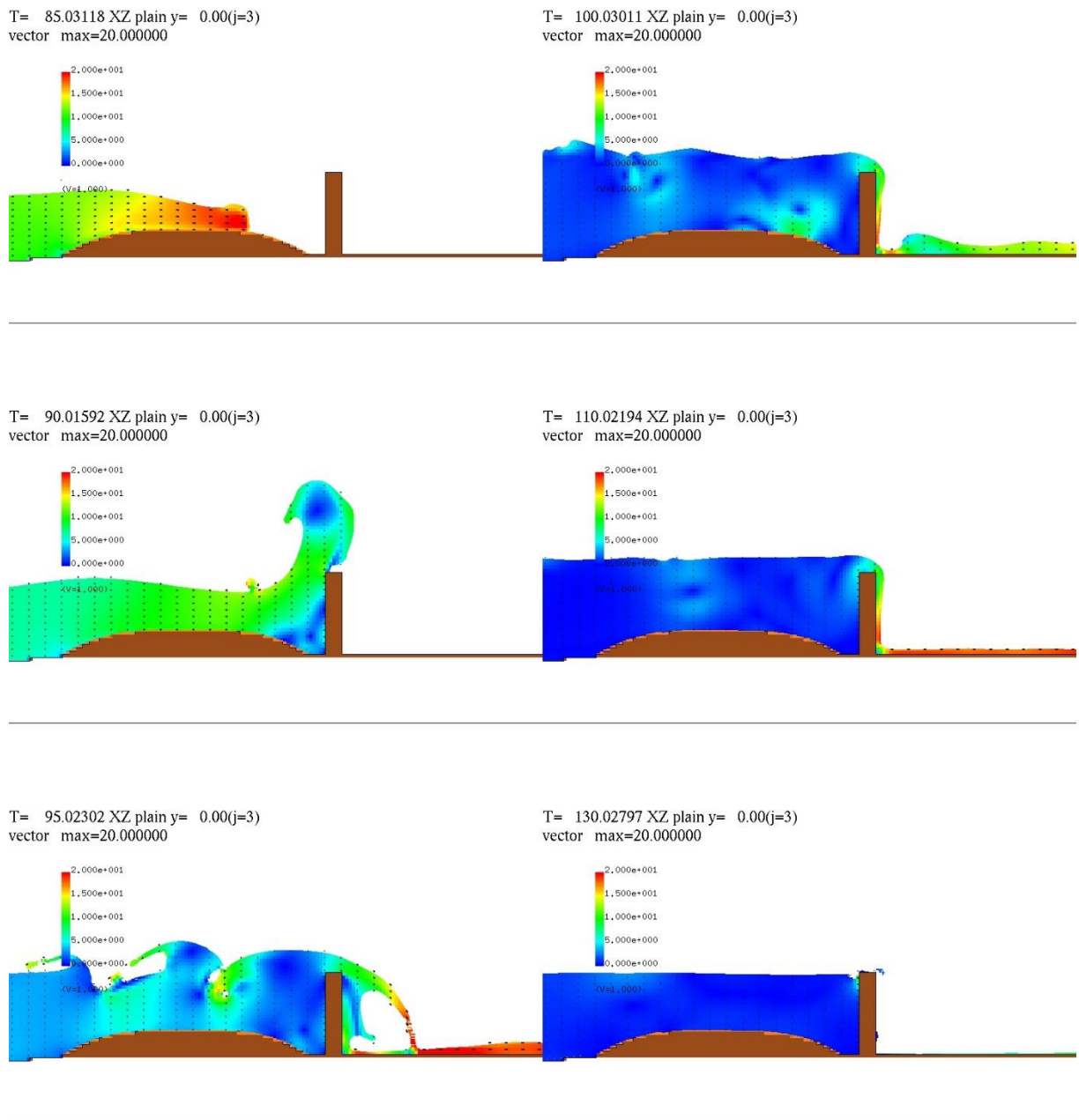


図 2-5-1-10 Case68 の断面二次元流速スナップショット

【理想長周期波  $A^* 10\text{m}$ , 堤体-64.0m, 0.5mm】

図 2-5-1-11 に、Case68 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

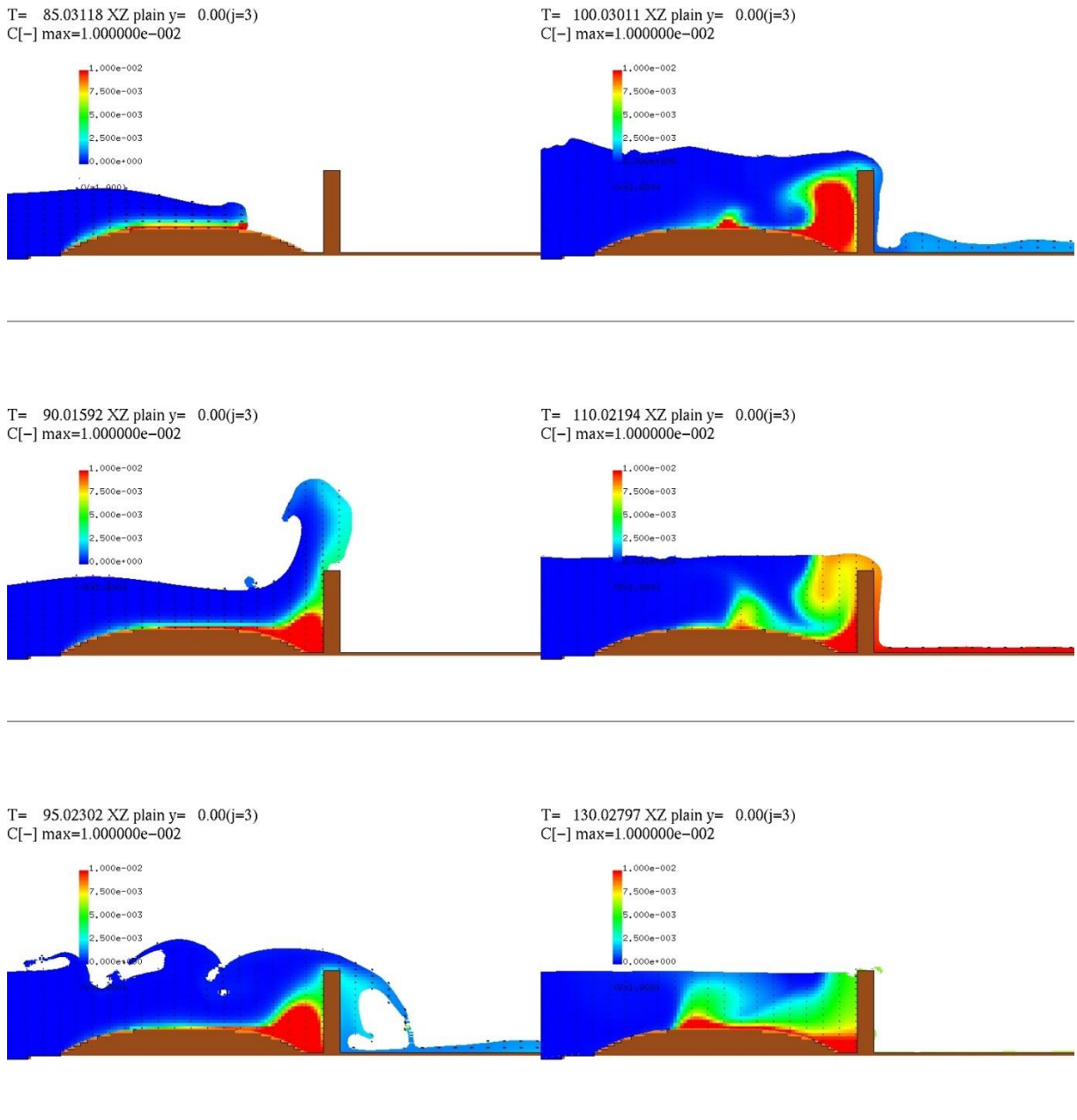


図 2-5-1-11 Case68 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【理想長周期波 A\* 10m, 堤体-64.0m, 0.5mm】

(7) Case69 (理想長周期波  $A^* 10\text{m}$ , 堤体-110.0m, 0.5mm)

図 2-5-1-12 に, Case69 の断面二次元流速スナップショットを示す.

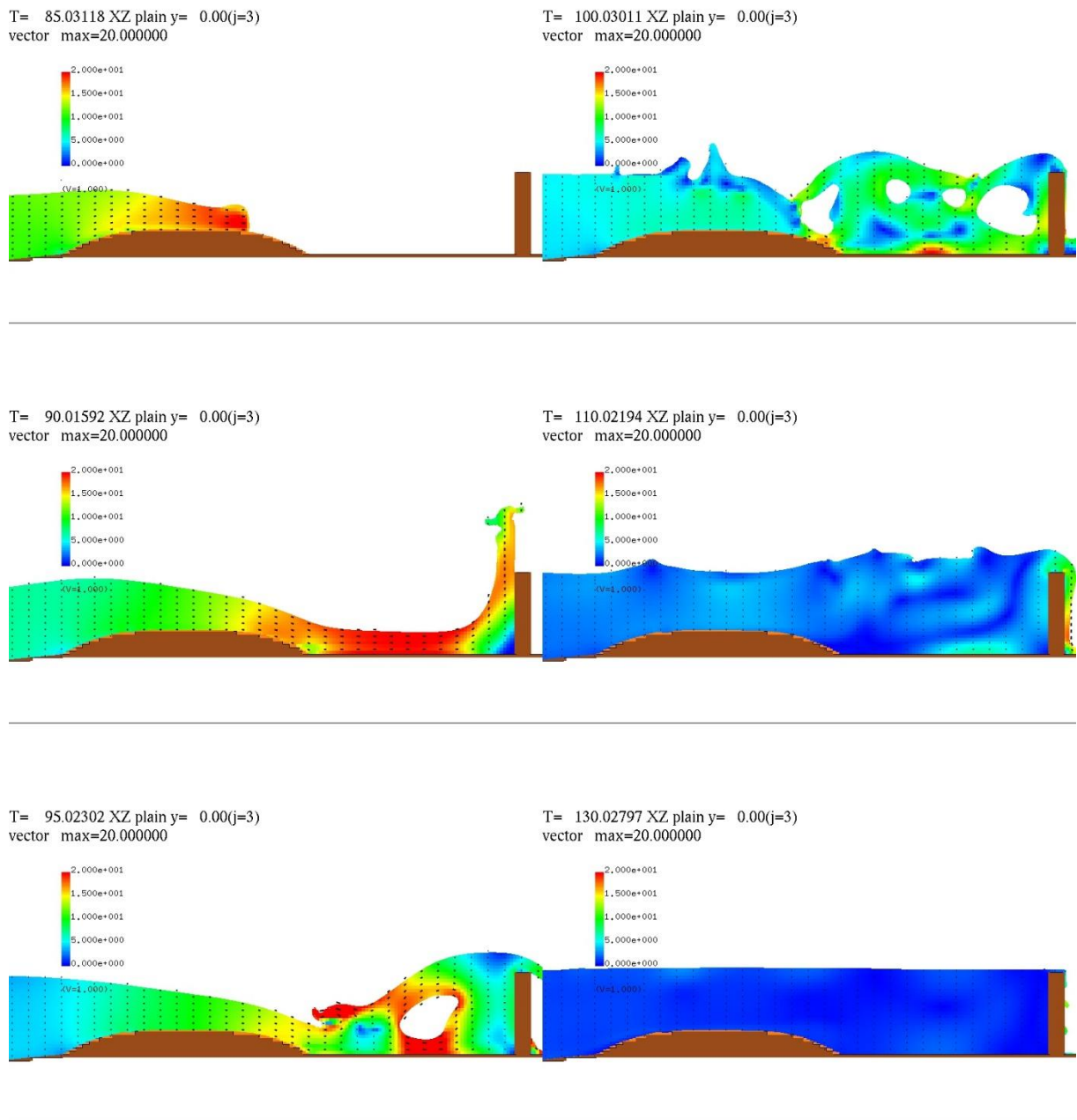


図 2-5-1-12 Case69 の断面二次元流速スナップショット

【理想長周期波  $A^* 10\text{m}$ , 堤体-110.0m, 0.5mm】



図 2-5-1-13 に、Case69 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

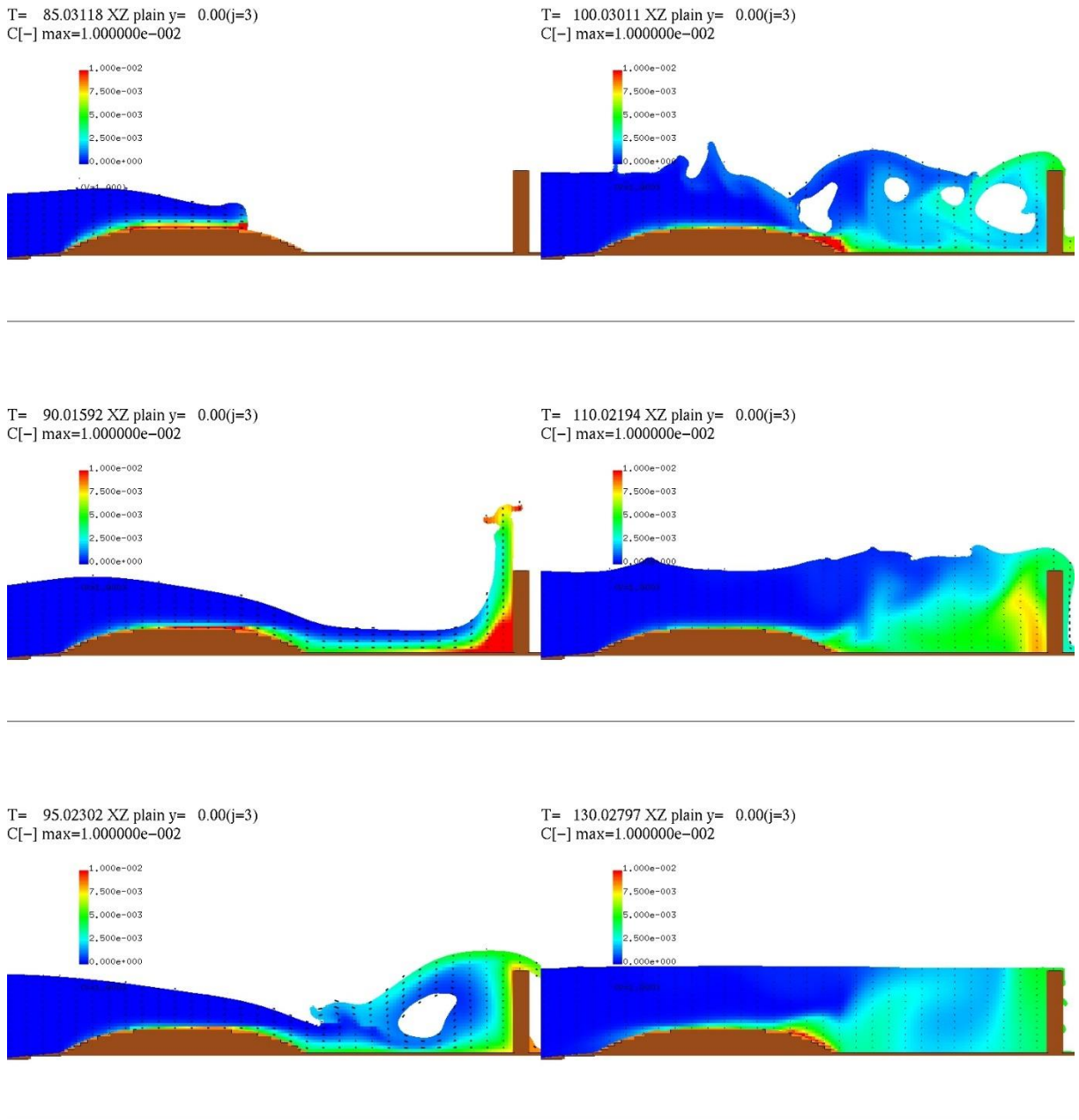


図 2-5-1-13 Case69 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【理想長周期波  $A^* 10m$ , 堤体-110.0m,  $0.5mm$ 】

## 2-5-2 砂面形状変化の比較

砂面形状変化について、解析ケース間で比較する。図 2-5-2-1～図 2-5-2-6 に、防潮堤前面の砂面形状変化を、解析ケース間で比較してそれぞれ示す。ここで、解析ケース間とは、水位時系列の(2)-(3)の比較内容に加え、砂粒径による差異を考える。また、通水後の砂面形状の解析結果は、計算終了時刻の砂面形状とした。なお、各図ともに、入射波のみの砂面形状を実線で示し、通水後の砂面形状を破線で示す。

### (1)理想長周期波 A,B による差異

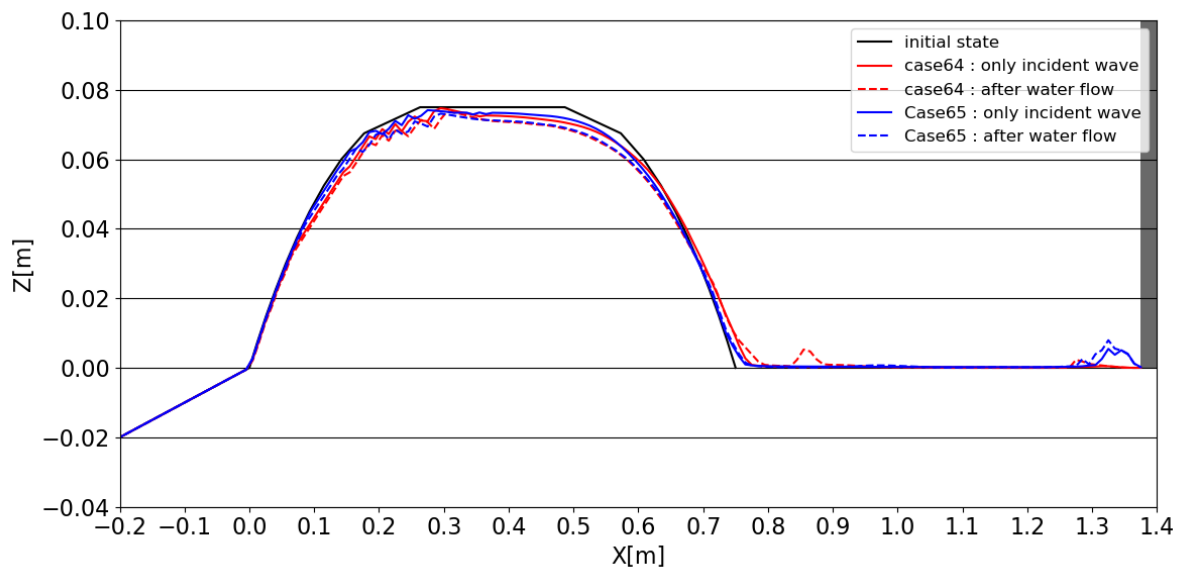


図 2-5-2-1 Case64,65 における砂面形状変化の比較

【理想長周期波 A/B, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

### (2)波高の違いによる差異

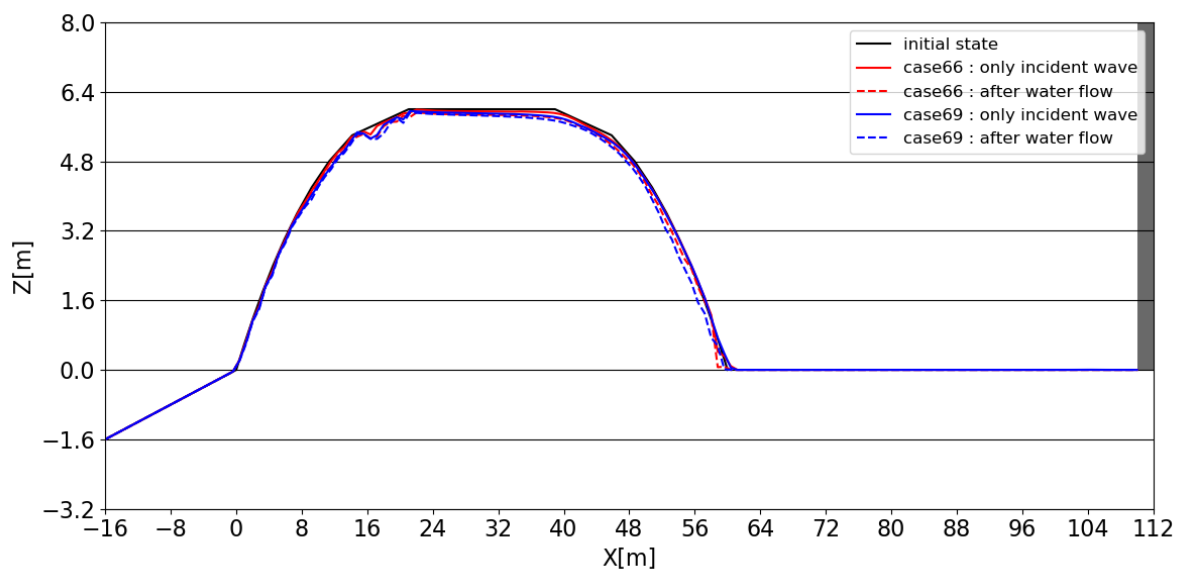


図 2-5-2-2 Case66,69 における砂面形状変化の比較

【理想長周期波  $A^* 6m/A^* 10m$ , 堤体-110.0m, 0.5mm】



(3)砂粒径による差異

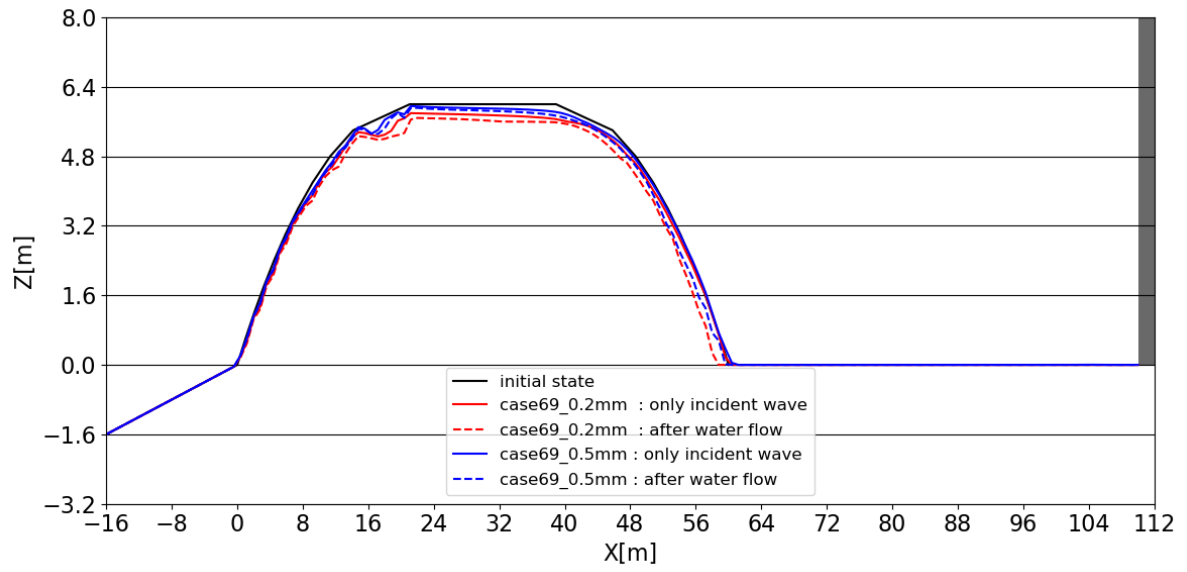


図 2-5-2-6 Case69r,69 における砂面形状変化の比較  
【理想長周期波  $A^*$  10m, 堤体-110.0m, 0.2mm/0.5mm】

## 2-6 感度解析の波力の増加率

以下では、防潮堤作用波力に対する砂移動の影響度合いを定量的に評価するために、感度解析ケースについて、【II 水理試験編】の II-72 頁の表と同様に、移動床の各ケースにおける波力に関する所量を整理した。表 2-6-1-1 は、Case64～Case69 の段波領域の最大波力値、持続領域の最大波力値、及び、同条件下の固定床の最大波力値に対する比率（増加率）を示す。ここで、「持続領域最大波力値 A」、「持続領域最大波力値 B」等の定義は 1-5 と同様である。

また、持続領域で且つ水塊落下時刻以降に、計算上、波圧（波力）が通常より大きくなる（ノイズが入る）場合がある。具体的には、図 2-4-4-10、図 2-4-4-12 に示されるように、Case69 の「97.5s～103.0s」の時間帯、Case69s の「96.9s～101.0s」の時間帯、Case69r の「100.0s～100.2s」の時間帯に該当し、当該時間帯の波力値を除外し、持続領域最大波力値 B を算出した。

表 2-6-1-1 防潮堤作用波力：固定床と移動床の比較一覧

ケース名	段波領域最大波力値		持続領域最大波力値 A		持続領域最大波力値 B	
	(kPa・m)	比率 移/ 固	(kPa・m)	比率 移/ 固	(kPa・m)	比率 移/ 固
理想長周期波 A, 堤体-137.5cm, 0.2mm 【Case64(64s)】	—	—	0.378 (10.4s)	0.965 (10.4s)	0.573	1.108
理想長周期波 B, 堤体-137.5cm, 0.2mm 【Case65(65s)】	—	—	—	—	0.451	1.042
理想長周期波 A* 6m, 堤体-110.0m, 0.5mm 【Case66(66s)】	—	—	1147.587 (97.5s)	0.996 (97.5s)	2349.799	1.594
孤立波 10.0m, 堤体-110.0m, 0.5mm 【Case67(67s)】	1968.698 (82.0s)	1.021 (82.0s)	2144.609 (84.0s)	0.952 (84.0s)	3512.039	1.230
理想長周期波 A* 10m, 堤体-64.0m, 0.5mm 【Case68(68s)】	—	—	3394.283 (91.0s)	0.998 (91.0s)	3568.360	0.924
理想長周期波 A* 10m, 堤体-110.0m, 0.5mm 【Case69(69s)】	—	—	2961.817 (94.0s)	0.996 (94.0s)	4071.793	1.148
理想長周期波 A* 10m, 堤体-110.0m, 0.2mm 【Case69r(69s)】	—	—	2694.548 (94.0s)	0.906 (94.0s)	3014.387	0.850

## 2-7 感度解析の砂丘侵食量

以下では、砂移動の影響度合いを定量的に評価するために、感度解析ケースにおける入射波のみによる砂丘侵食量及び通水後の砂丘侵食量について、【II 水理試験編】の表 3-2-4(2)と同様に、移動床の各ケースの砂丘侵食量に関する所量を整理した。表 2-7-1-1 は、Case64～Case69 の入射波のみの砂丘侵食量及び通水後の砂丘侵食量を示す。ここで、「砂丘侵食量(%)」とは、初期地形の断面積に対して、どの程度侵食されたかの割合を示すものとする。

表 2-7-1-1 砂丘侵食量に関する一覧表

ケース名	入射波のみの侵食量		通水後の侵食量	
	(cm <sup>2</sup> )	%	(cm <sup>2</sup> )	%
理想長周期波 A, 堤体-137.5cm, 0.2mm 【Case64】	16.91	3.91	28.65	6.63
理想長周期波 B, 堤体-137.5cm, 0.2mm 【Case65】	11.73	2.71	23.39	5.41
理想長周期波 A* 6m, 堤体-110.0m, 0.5mm 【Case66】	355.82	1.03	968.33	2.80
孤立波 10.0m, 堤体-110.0m, 0.5mm 【Case67】	537.69	1.15	22689.63	65.58
理想長周期波 A* 10m, 堤体-64.0m, 0.5mm 【Case68】	460.22	1.33	1308.54	3.78
理想長周期波 A* 10m, 堤体-110.0m, 0.5mm 【Case69】	675.85	1.95	1453.63	4.20
理想長周期波 A* 10m, 堤体-110.0m, 0.2mm 【Case69r】	1520.54	4.39	2895.82	8.37

---

## 2-7 第2章のまとめ

### [1] 各物理量の時系列について

2-3, 2-4 に示した感度解析における各物理量（水位，流速，フルード数，波力，シールズ数，砂密度）の時系列について，それぞれ解析結果を整理する．

#### (1) 水位時系列

理想長周期波 A,B の通過波検定により，計算水位は理想波形を高い精度で再現しており，入力波の精度としては十分であると考えられる（図 2-3-1-1 及び図 2-3-1-2 参照）．また，現地スケールの解析水位と換算後の模型スケールの試験水位との比較については，解析水位は試験水位を高い精度で再現しており，入力波の精度としては十分であると考えられる（図 2-4-1-4 参照）．

#### (2) 流速時系列，フルード数時系列

現地スケールの流速時系列波形，フルード数時系列波形と換算後の模型スケールの流速時系列波形，フルード数時系列波形については，模型スケールと同等の結果が得られていることが確認された（図 2-4-2-4，図 2-4-3-4 参照）．ただし，防潮堤前面における流速，フルード数は，試験結果より若干大きくなる傾向が見られた（図 2-4-2-4，図 2-4-3-4 参照）．

#### (3) 波力時系列

防潮堤に作用する波力時系列波形における砂丘の有無による差異については，更地の方が，砂丘が存在する場合より大きくなる傾向が確認された（図 2-4-4-1 参照）．これは，砂丘が存在する場合は，波のエネルギー損失により波力が小さくなることが示唆される．また，移動床と固定床との解析結果の比較については，大きな差異は見られない（表 2-5-1-1 参照）．

#### (4) シールズ数時系列

理想長周期波 A,B によるシールズ数時系列波形解析比較については，理想長周期波 A の方が孤立波に近いシールズ数分布を示すのに対し（図 2-4-5-1，図 1-3-5-3 参照），理想長周期波 B については長周期波に近いシールズ数分布を示す（図 2-4-5-1，図 1-3-5-6 参照）ことが確認された．

#### (5) 砂密度（浮遊砂濃度）時系列

理想長周期波 A,B による浮遊砂濃度時系列波形解析比較については，理想長周期波 B の方が浮遊砂濃度分布のピークが大きくなることが確認された（図 2-4-6-1 参照）．

---

## [2] 砂面形状変化の比較について

2-5 に示した感度解析における砂面形状変化の比較について、解析結果を整理する。

### (1) 理想長周期波 A,B による比較

理想長周期波 A,B については、入射波のみの侵食量に大きな差異は見られないが、通水後の侵食量は、砂丘の沖側では理想長周期波 A の方が侵食量が大きく、砂丘の堤体側では理想長周期波 B の方が侵食量が大きくなる傾向が見られた（図 2-5-2-1 参照）。

## [3] 波力の増加率について

2-6 に示した感度解析における波力の増加率について、表 2-6-1-1 に示されるように、波力の最大値で見ると、固定床と移動床で大きな差異は見られない。

## [4] 砂丘侵食量について

2-7 に示した感度解析における入射波のみの砂丘侵食量及び通水後の砂丘侵食量について、表 2-7-1-1 に示されるように、Case64,65 の理想長周期波 A,B は、再現解析のケースと比較して、入射波のみ、通水後ともに、侵食量が少ない。

## Appendix 1 段波波圧及び持続波圧の評価方法

防潮堤に作用する津波波圧は図 A-1 に示すように、段波波圧と持続波圧がある。段波波圧は、最初に防潮堤に衝突する津波が与える継続時間の短い波圧のことである。一方、持続波圧は、段波波圧の後の継続時間の長い波圧のことであり、防潮堤には主に静的な波圧が加わる。防潮堤の設計にあたっては、このような 2 種類の津波波圧を考慮する必要がある。本検討では、解析で得られる津波波圧を段波波圧と持続波圧に分類し、それぞれ比較を行った。

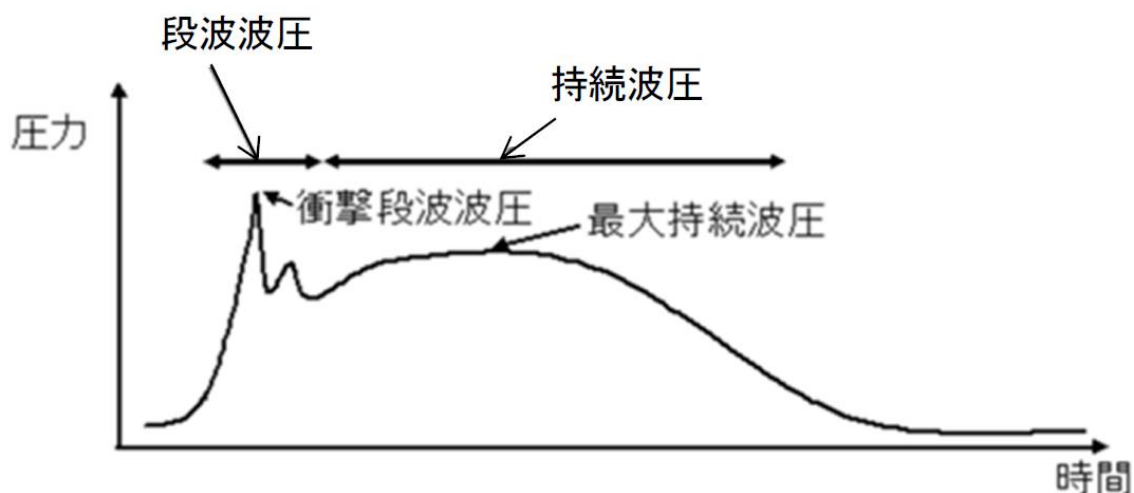


図 A-1 防潮堤に作用する津波波圧の模式図<sup>1</sup>

津波が防潮堤に衝突した瞬間に段波波圧が生じ、その後持続波圧が生じており、図 A-1 の模式図と波形は似ているため、本解析においては、段波波圧と持続波圧に分類して評価する。

段波波圧と持続波圧の分類については、図 A-2 の模式図で示すように、防潮堤前面での最大せり上り波高の時刻より早い時間帯を段波波圧、遅い時間帯を持続波圧として分類した。すなわち、波圧の立ち上がり時刻を段波波圧開始時刻と設定し、また、防潮堤前面における最大水位となる時刻を最大せり上り波高の時刻として各ケース算出し、最大せり上り波高の時刻を持続波圧開始時刻（段波波圧終了時刻）と設定した。

<sup>1</sup>石田 暢生，森谷 寛，中村 英孝，飯島 亨，川内 英史：NRA 技術報告：防潮堤に作用する津波波圧評価に用いる水深係数の適用範囲について，原子力規制委員会，平成 26 年 12 月

<sup>2</sup>森谷 寛，石田 暢生，鳥山 拓也，中村 英孝，飯島 亨，川内英史：段波の作用を受ける直立壁式の防潮堤の構造応答に着目した津波波力評価，土木学会論文集 B2（海岸工学），土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 72, No. 2, pp.I\_1027-I\_1032, 2016.

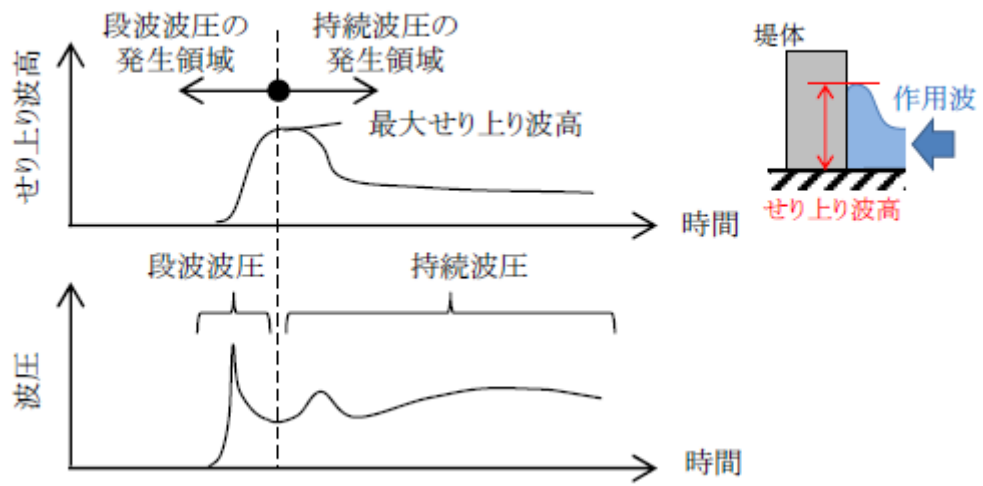


図 A-2 段波波圧と持続波圧の分類手法の模式図<sup>2</sup>

---

## Appendix 2 洗掘影響の把握解析

本検討で用いた河床変動モデルの概要を以下に示す。河川・海岸への適用を考え、土砂の分級過程および河床の粗粒化や、細粒化現象を表現できるように、混合砂礫モデルを導入し、粒径毎に流砂量を計算する。

流砂の移動については、掃流砂、浮遊砂、Wash load を考慮する。浮遊砂・Wash load については、浮上・沈降および非定常の 3 次元移流拡散方程式を解く非平衡モデルとする。

掃流砂量については式(1)に示す芦田・道上式<sup>9)</sup>により評価する。

$$\frac{q_{bk}}{\sqrt{sgd_k^3}} = 17P_{bk} \times \tau_{*ek}^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*ck}}{\tau_{*k}}\right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*ck}}{\tau_{*k}}}\right) \dots (1)$$

ここに、 $s$  : 河床材料の水中比重 (=1.65) ,  $g$  : 重力加速度,

添字  $k$  : 粒径階,  $d_m$  : 河床材料の平均粒径,  $P_{bk}$  : 河床表層の粒径階  $d_k$  の含有率,  $\tau_{*k}, \tau_{*ek}, \tau_{*ck}$  : 粒径階  $d_k$  に対する無次元掃流力と無次元有効掃流力, 無次元限界掃流力 である。

$\tau_{*ek}$  を算定する為の有効摩擦速度  $u_{*e}$  は次の式(2)で与えられる。

$$u_{*e} = \frac{u}{6.0 + 5.75 \log_{10} \frac{R}{D_m(1 + 2\tau_{*m})}} \dots (2)$$

浮遊砂については、浮上・沈降過程および非定常の 3 次元移流拡散方程式を解く非平衡モデルとする。浮遊砂の浮上量  $E_{sk}$  は、次の式(3)で与えられる。

$$E_{sk} = W_{sk} C_{ek} \dots (3)$$

ここに、 $W_{sk}$  : 粒径階  $d_k$  に対する沈降速度,  $C_{ek}$  : 粒径階  $d_k$  に対する浮遊砂の平衡基準面濃度である。



粒径毎の沈降速度  $W_{sk}$  は次式の Rubey 式によって与えられる。

$$W_{sk} = \sqrt{sgd_k} \left( \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36v^2}{sgd_k^3}} - \sqrt{\frac{36v^2}{sgd_k^3}} \right) \dots (4)$$

ここに、 $\nu$  : 水の動粘性係数である。

また、平衡基準面濃度については、式(5)に示す芦田・道上式<sup>10)</sup>による平衡基準面濃度式により評価する。

$$C_{ek} = P_{bk} k_0 \left\{ \frac{g(\xi_0)}{\xi_0} - G(\xi_0) \right\} \dots (5)$$

ただし、 $g(\xi_0)$ 、 $G(\xi_0)$  は次のように与えられる。

$$g(\xi_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\xi_0^2\right)$$

$$G(\xi_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\xi_0}^{\infty} \exp\left(-\frac{1}{2}\xi^2\right) d\xi$$

ここに、 $k_0$  : 比例定数 (=0.025) ,  $\xi_0$  :  $W_{sk}/\sigma_P$  ,  $\xi$  :  $W_P/\sigma_P$  ,  $W_P$  : 砂礫の鉛直方向の変動速度,  $\sigma_P$  :  $W_P$  の標準偏差 (=0.75 $u_*$ )

河床高の変化については、各粒径毎、流砂形態毎に求められた流砂量を用いて式(6)に示す流砂の連続式により計算する。

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = \frac{-1}{(1-\lambda)} \sum_k \left\{ \frac{\partial q_{bzk}}{\partial x} + \frac{\partial q_{byk}}{\partial y} + (E_{sk} - D_{sk}) \right\} \dots (6)$$

ここに、 $z_b$  : 河床高,

$q_{bzk}$  :  $x$  方向の粒径階  $k$  の単位幅掃流砂量,

$q_{byk}$  :  $y$ 方向の粒径階  $k$  の単位幅掃流砂量,

$E_{sk}, D_{sk}$  : 粒径階 の浮遊砂の浮上量と沈降量

である.

河床材料変化については, 侵食と堆積が繰り返される場合には, 河床材料は複雑な多層構造となる. このような場合に, 河床表面に限らず河床の深さ方向における粒度分布の時間変化を計算する必要がある. そこで本研究では, 混合層の概念に遷移層と堆積層の概念を導入し, 粒度分布の鉛直方向の変化を考慮した芦田・江頭・劉らの多層モデル<sup>11)</sup>を用いる.

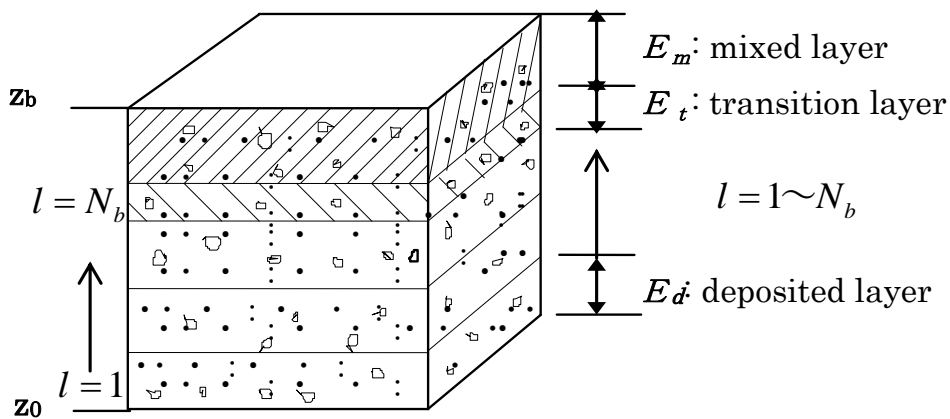


図 A-3 河床材料の粒度分布変化モデル模式図

図 A-3 に示すように, 河床をある基準面  $Z_0$  から河床面  $Z_b$  まで鉛直に多数の層に区分する. 最上層は交換層(mixed layer)で, その厚さは  $E_m$  である. そのすぐ下の層は遷移層 (transition layer) で, 厚さは  $E_t$  である. その他の下層領域は堆積層 (deposited layer) と呼ばれ, 厚さは全て  $E_d$  である. 上記の変数を用いて, 河床の構成は次式で表される.

$$z_b = E_m + E_t + N_b \times E_d + z_0$$

ここに,  $N_b$  は堆積層の総数である.  $E_d$  は常に一定値とするが,  $E_t$  は河床変動に伴い変化し, 次式に示すような制限を受ける.

$$0 < E_t \leq E_d$$

---

河床表層における河床材料の各粒径階の含有率の変化は次の式(7)により評価する.

$$\frac{\partial P_{bk}}{\partial t} - \frac{1}{E_m} \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{1}{E_m} \frac{\partial z_b}{\partial t} (\eta P_{bk} + (1-\eta) P_{bko}) = 0 \quad \dots (7)$$

ここに、 $\lambda$  : 河床材料の空隙率,  $P_{bk}$  : 交換層の粒径階  $D_k$  の含有率,  $P_{bko}$  : 交換層の下層における粒径階  $D_k$  の含有率,  $E_m$  は交換層の厚さである. また,  $\eta$  は係数で, 侵食のとき  $\eta = 0$ , 堆積のとき  $\eta = 1$  である.

河床に土砂が堆積していく場合, 堆積高が設定している河床材料層厚を上回った時点で遷移層の粒度分布を堆積層第 1 層目に繰り下げる処理を行う. 逆に河床が侵食される場合, 侵食高が河床材料層厚を上回った時点で堆積層第 1 層の粒度分布を遷移層に繰り上げる処理を行う. このような処理により, 河床の深さ方向の粒度分布の変化を計算・記憶していく.

---

## 【IV 総括編】

### 目次

第1章 本事業で取得した知見の整理・分析 .....	IV-2
1-1 本章の目的 .....	IV-2
1-2 波力評価 .....	IV-2
1-2-1 波力評価①：固定床と移動床の比較 .....	IV-2
1-2-2 波力評価②：砂粒径差異による比較 .....	IV-9
1-2-3 波力評価③：堤体位置相違による比較 .....	IV-13
1-2-4 波力評価④：試験結果の再現性 .....	IV-16
1-2-5 波力評価の総括 .....	IV-20
1-3 シールズ数評価 .....	IV-22
1-3-1 シールズ数評価①：砂粒径差異による比較 .....	IV-22
1-3-2 シールズ数評価②：試験結果の再現性 .....	IV-24
1-3-3 シールズ数の総括 .....	IV-26
1-4 濃度評価 .....	IV-27
1-4-1 濃度評価①：砂粒径差異による比較 .....	IV-27
1-4-2 濃度評価②：試験結果の再現性 .....	IV-29
1-4-3 濃度の総括 .....	IV-31
1-5 侵食量評価 .....	IV-32
1-5-1 侵食量評価①：砂粒径差異による比較 .....	IV-32
1-5-2 侵食量評価②：堤体位置相違による比較 .....	IV-37
1-5-3 侵食量評価③：試験結果の再現性 .....	IV-40
1-5-4 侵食量の総括 .....	IV-43
1-6 全体総括 .....	IV-44

---

---

## 第1章 本事業で取得した知見の整理・分析

### 1-1 本章の目的

これまで実施した試験結果及び解析結果から得られた知見について整理・分析を行い、妥当性を評価する。以下では、各物理量の評価として、「波力評価」、「シールズ数評価」、「濃度評価」、「侵食量評価」を順次行う。

### 1-2 波力評価

#### 1-2-1 波力評価①：固定床と移動床の比較

波力評価の1つ目として、「固定床の方が移動床より波力は大きい(移/固<1)」としたときに、下記4項目で試験結果と解析結果を評価し判定を行う。

◎：明らかに大きい。10%以上(移/固 $\leq$ 0.9)

○：概ね大きい。5%以上10%未満(0.9<移/固 $\leq$ 0.95)

△：大きな差異はない、または、判断が難しい。5%未満(0.95<移/固<1.05)

×：小さい(1.05 $\leq$ 移/固)

また、下記用語については省略して記す。

堤・遠：堤体位置 -137.5cm

堤・近：堤体位置 -80.0cm

時系列：試験においては、代表ケースの時系列のトレンドを指す。

最大値：試験においては、平均最大値を指す。

持続領域最大波力値 A：持続領域で且つ水塊落下時刻前までの最大波力値

持続領域最大波力値 B：持続領域で且つ計算終了時刻までの最大波力値

なお、時系列のトレンドを見る際の段波領域とは、下記時刻までとして評価する。

#### ◆試験(II-44 参照)

孤立波[堤・遠]：11.5s

孤立波[堤・近]：11.4s

#### ◆解析(模型スケール)

孤立波[堤・遠]：9.0s

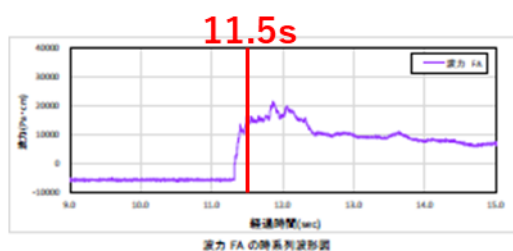
孤立波[堤・近]：8.8s

#### ◆解析(現地スケール)

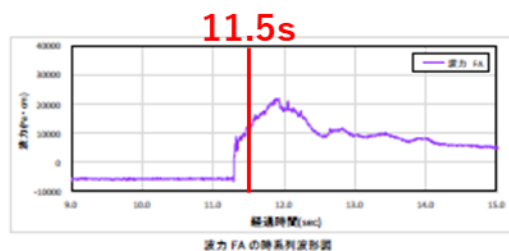
孤立波[堤・遠]：82.0s

(1) 試験評価

試験結果における評価判定をする際に、参照する【II 水理試験編】の図及び表を下記に再掲する。

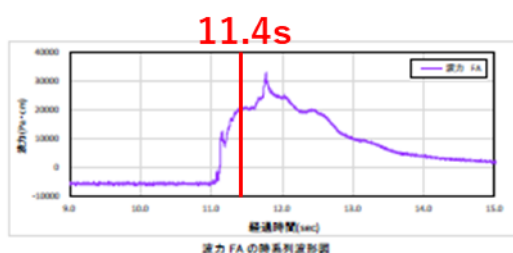


ケース 7 (孤立波, 固定床)

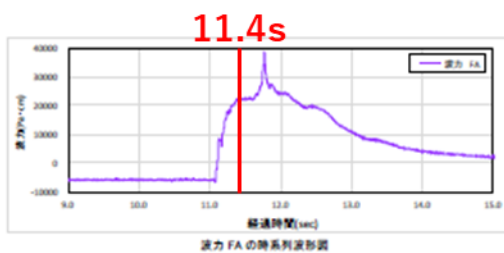


ケース 31 (孤立波, 移動床)

図 3-2-5 (1) 時系列波形比較の一例 (孤立波, 防潮堤位置-137.5cm)

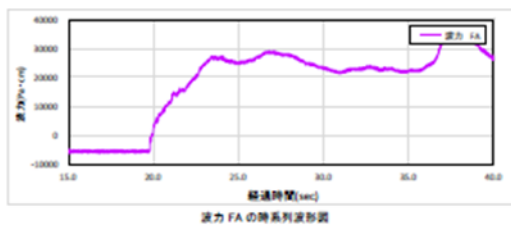


ケース 12 (孤立波, 固定床)

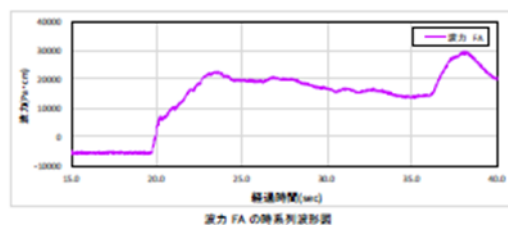


ケース 32 (孤立波, 移動床)

図 3-2-5 (2) 時系列波形比較の一例 (孤立波, 防潮堤位置-80.0cm)

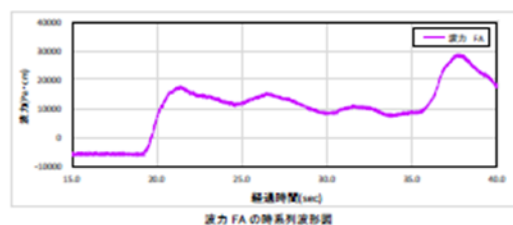


ケース 17 (長周期波, 固定床)

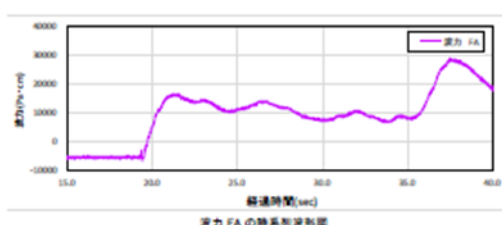


ケース 42 (長周期波, 移動床)

図 3-2-5 (3) 時系列波形比較の一例 (長周期波, 防潮堤位置-137.5cm)



ケース 22 (長周期波, 固定床)



ケース 47 (長周期波, 移動床)

図 3-2-5 (4) 時系列波形比較の一例 (長周期波, 防潮堤位置-80.0cm)

【II 水理試験編】における「図 3-2-5(1)-(4) 時系列波形比較の一例」から抜粋

【II 水理試験編】における「II-72 頁の表」から抜粋

防潮堤作用波力；固定床実験と移動床実験の比較一覧

	防潮堤位置	段波領域の最大波力値		持続波領域の最大波力値(1)		持続波領域の最大波力値(2)	
		波力 (N/cm)	移/固 比率	波力 (N/cm)	移/固 比率	波力 (N/cm)	移/固 比率
孤立波	-137.5cm	1.941	1.015	2.638	1.107	1.435	1.112
	-80.0cm	2.339	0.981	3.576	1.075	1.955	0.982
長周期波	-137.5cm	-	-	-	-	2.232	0.865
	-80.0cm	-	-	-	-	1.758	0.951

【II 水理試験編】から抜粋した上記の図及び表にもとづいて、波力評価①に対して、試験結果の判定を行った結果を表 1-2-1-1 に示す。

表 1-2-1-1 波力評価①に対する試験結果の判定

波力評価①：固定床の方が大きい(移/固<1)	
試験	<p><b>孤立波(段波)：</b>                      [堤・遠]時系列○(図 3-2-5(1))11.5s 未満，最大値△                      [堤・近]時系列△(図 3-2-5(2))11.4s 未満，最大値△</p> <p><b>孤立波(持続)：</b>                      [堤・遠]時系列△(図 3-2-5(1))11.5s 以上，最大値×                      [堤・近]時系列△(図 3-2-5(2))11.4s 以上，最大値×</p> <p><b>長周期波：</b>                      [堤・遠]時系列◎(図 3-2-5(3))，最大値◎                      [堤・近]時系列△(図 3-2-5(4))，最大値△</p>

## (2) 解析(模型スケール)評価

解析結果(模型スケール)における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の図及び表を下記に再掲する。

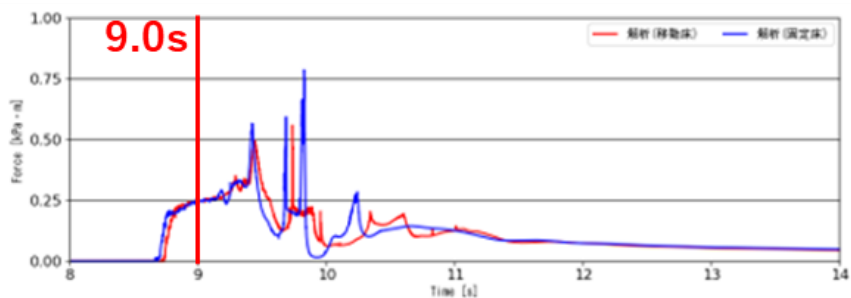


図 1-3-4-10 Case58 (移動床) と Case54 (固定床) における波力時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂/固定床】

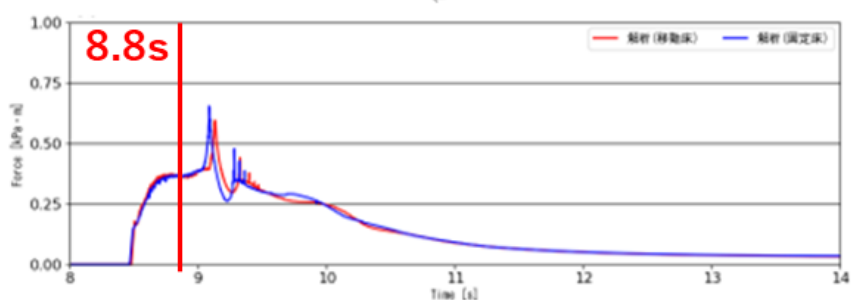


図 1-3-4-11 Case59 (移動床) と Case55 (固定床) における波力時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂/固定床】

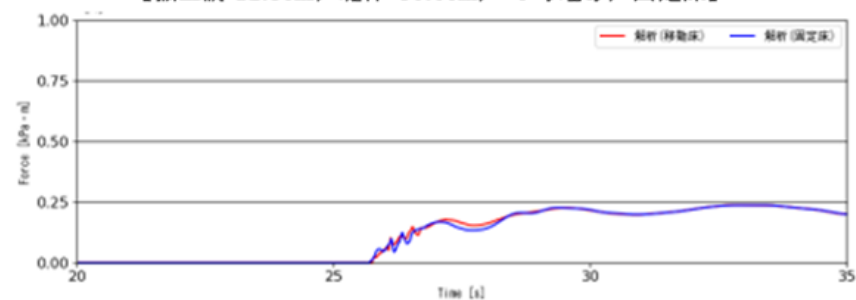


図 1-3-4-13 Case61 (移動床) と Case56 (固定床) における波力時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂/固定床】

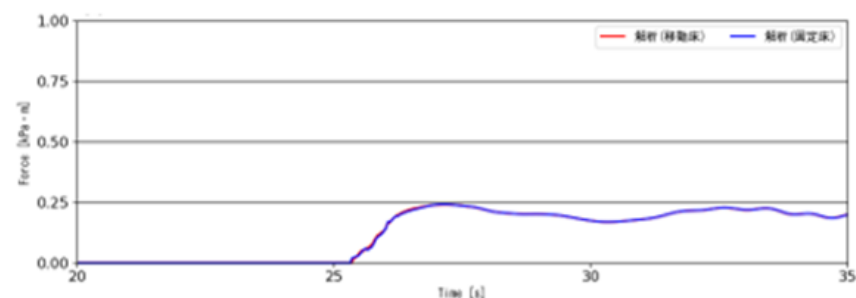


図 1-3-4-14 Case62 (移動床) と Case57 (固定床) における波力時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂/固定床】

【III シミュレーション解析編】における「図 1-3-4-10, 1-3-4-11, 1-3-4-13, 1-3-4-14 波力時系列波形図」から抜粋



【III シミュレーション解析編】における「表 1-5-1-1」から抜粋

表 1-5-1-1 防潮堤作用波力：固定床と移動床の比較一覧

ケース名	段波領域最大波力値		持続領域最大波力値 A		持続領域最大波力値 B	
	(kPa・m)	比率 移/固	(kPa・m)	比率 移/固	(kPa・m)	比率 移/固
孤立波，堤体 - 137.5cm, 0.2mm 【Case58(54)】	0.248 (9.0s)	0.983 (9.0s)	0.350 (9.35s)	1.056 (9.35s)	0.565	0.873
孤立波，堤体 - 80.0cm, 0.2mm 【Case59(55)】	0.373 (8.8s)	1.020 (8.8s)	0.393 (9.05s)	0.949 (9.05s)	0.595	0.911
長周期波，堤体 - 137.5cm, 0.11mm 【Case60(56)】	-	-	-	-	0.237	1.000
長周期波，堤体 - 137.5cm, 0.2mm 【Case61(56)】	-	-	-	-	0.237	0.999
長周期波，堤体 - 80.0cm, 0.2mm 【Case62(57)】	-	-	-	-	0.240	1.001

【III シミュレーション解析編】から抜粋した上記の図及び表にもとづいて、波力評価①に対して、解析結果（模型スケール）の判定を行った結果を表 1-2-1-2 に示す。なお、「最大値 A」とは、持続波領域最大値 A に対する波力最大値の比率を示し、「最大値 B」とは、持続波領域最大値 B に対する波力最大値の比率を示す。

表 1-2-1-2 波力評価①に対する解析結果（模型スケール）の判定

波力評価①：固定床の方が大きい(移/固<1)	
解析 (模型)	<p>孤立波(段波)：</p> <p>[堤・遠]時系列△(図 1-3-4-10 9.0s 未満)，最大値△</p> <p>[堤・近]時系列△(図 1-3-4-11 8.8s 未満)，最大値△</p> <p>孤立波(持続)：</p> <p>[堤・遠]時系列△(図 1-3-4-10 9.0s 以上)，最大値 A×，最大値 B◎</p> <p>[堤・近]時系列△(図 1-3-4-11 8.8s 以上)，最大値 A○，最大値 B○</p> <p>長周期波：</p> <p>[堤・遠]時系列△(図 1-3-4-13)，最大値△</p> <p>[堤・近]時系列△(図 1-3-4-14)，最大値△</p>

### (3) 解析(現地スケール)評価

解析結果(現地スケール)における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の図及び表を下記に再掲する。

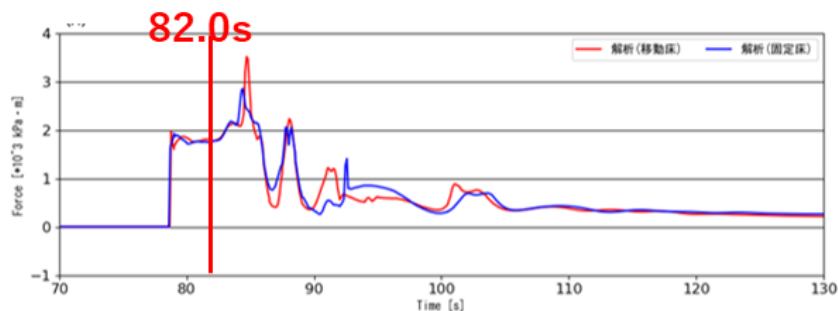


図 2-4-4-8 Case67 (移動床) と Case67s (固定床) における波力時系列波形  
【孤立波 10m, 堤体-110.0m, 0.5mm/固定床】

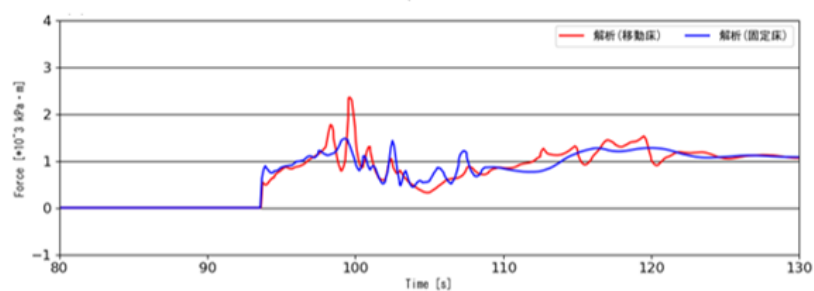


図 2-4-4-7 Case66 (移動床) と Case66s (固定床) における波力時系列波形  
【理想長周期波 A\* 6m, 堤体-110.0m, 0.5mm/固定床】

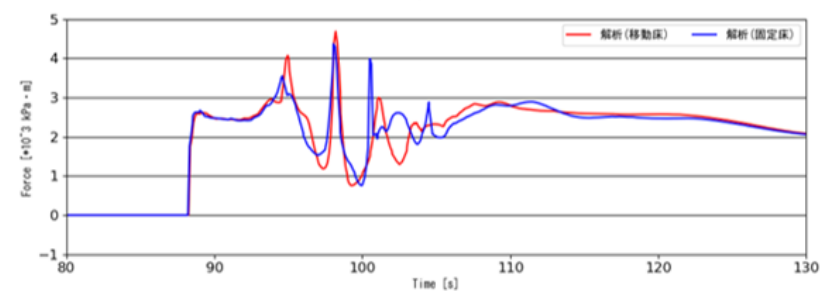


図 2-4-4-10 Case69 (移動床) と Case69s (固定床) における波力時系列波形  
【理想長周期波 A\* 10m, 堤体-110.0m, 0.5mm/固定床】

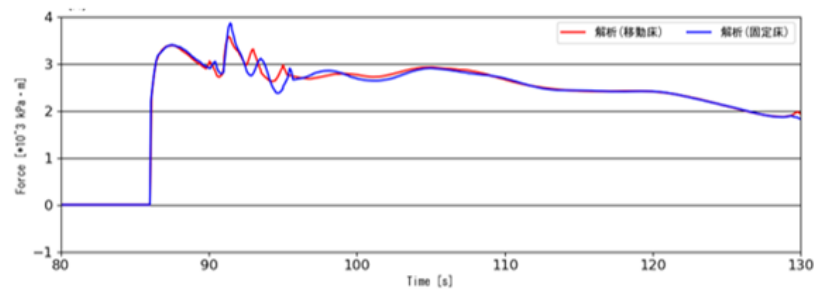


図 2-4-4-9 Case68 (移動床) と Case68s (固定床) における波力時系列波形  
【理想長周期波 A\* 10m, 堤体-64.0m, 0.5mm/固定床】

【III シミュレーション解析編】における「図 2-4-4-8, 2-4-4-7, 2-4-4-10, 2-4-4-9 波力時系列波形図」から抜粋

【III シミュレーション解析編】における「表 2-6-1-1」から抜粋

表 2-6-1-1 防潮堤作用波力：固定床と移動床の比較一覧

ケース名	段波領域最大波力値		持続領域最大波力値 A		持続領域最大波力値 B	
	(kPa・m)	比率移/固	(kPa・m)	比率移/固	(kPa・m)	比率移/固
理想長周期波 A* 6m, 橋体-110.0m, 0.5mm 【Case66(66a)】	-	-	1147.587 (97.5s)	0.996 (97.5s)	2349.799	1.594
孤立波 10.0m, 橋体-110.0m, 0.5mm 【Case67(67a)】	1968.698 (82.0s)	1.021 (82.0s)	2144.609 (84.0s)	0.952 (84.0s)	3512.039	1.230
理想長周期波 A* 10m, 橋体-64.0m, 0.5mm 【Case68(68a)】	-	-	3394.283 (91.0s)	0.998 (91.0s)	3568.360	0.924
理想長周期波 A* 10m, 橋体-110.0m, 0.5mm 【Case69(69a)】	-	-	2961.817 (94.0s)	0.996 (94.0s)	4071.793	1.148

【III シミュレーション解析編】から抜粋した上記の図及び表にもとづいて、波力評価①に対して、解析結果（現地スケール）の判定を行った結果を表 1-2-1-3 に示す。ここで、「最大値 A」とは、持続波領域最大値 A に対する波力最大値の比率を示し、「最大値 B」とは、持続波領域最大値 B に対する波力最大値の比率を示す。

なお、水塊落下以降は計算上、波圧（波力）が通常より大きくなる場合がある。このため、最大値 B では正しく評価できていない場合が有りうる。具体的に、波力が過大になるケースとしては、相対的に波高の小さい Case66, Case67, Case69 で影響が顕著になる。これは、計算上、閉じ込められた空気セルが水セルに変化するとき、実現象では生じない圧力波が生じるためと考えられる。

表 1-2-1-3 波力評価①に対する解析結果（現地スケール）の判定

波力評価①：固定床の方が大きい(移/固<1)	
解析 (現地)	孤立波(段波)： [堤・遠]時系列△(図 2-4-4-8 82.0s 未満)，最大値△ 孤立波(持続)： [堤・遠]時系列△(図 2-4-4-8 82.0s 以上)，最大値 A△，最大値 B× 理想長周期波 A： [堤・遠/波高 6m]時系列△(図 2-4-4-7)，最大値 A△，最大値 B×(case66) [堤・遠/波高 10m]時系列△(図 2-4-4-10)，最大値 A△，最大値 B×(case69) [堤・近]時系列△(図 2-4-4-9)，最大値 A△，最大値 A△(case68)

## 1-2-2 波力評価②：砂粒径差異による比較

波力評価の2つ目として、「粒径大の方が波力は大きい（粒大/粒小 $>1$ ）」としたときに、下記4項目で試験結果と解析結果を評価し判定を行う。

- ◎：明らかに大きい．10%以上(粒大/粒小 $\geq 1.1$ )
- ：概ね大きい．5%以上 10%未満( $1.05 \leq$ 粒大/粒小 $< 1.1$ )
- △：大きな差異はない，または，判断が難しい．5%未満( $0.95 <$ 粒大/粒小 $< 1.05$ )
- ×：小さい(粒大/粒小 $\leq 0.95$ )

### (1) 試験評価

試験結果における評価判定をする際に、参照する図及び表を下記に再掲する。

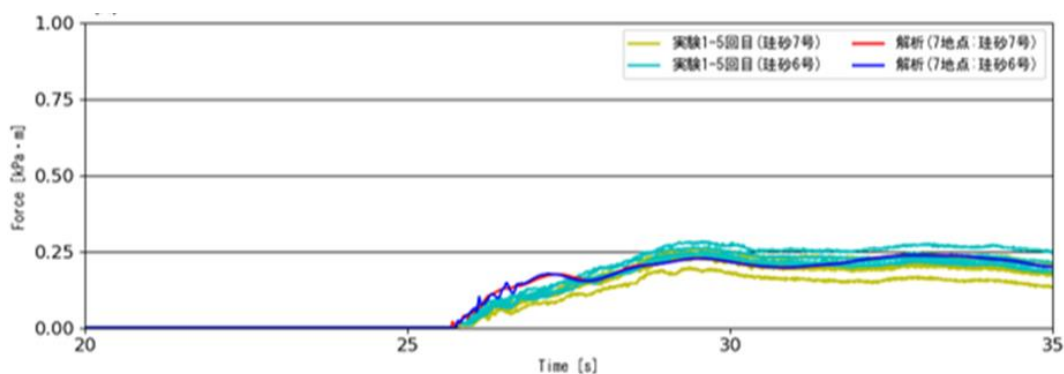


図 1-3-4-15 Case60 (7号) と Case61 (6号) における波力時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 7号珪砂/6号珪砂】

【III シミュレーション解析編】における「図 1-3-4-15 波力時系列波形図」から抜粋

【II 水理試験編】における「表 3-2-3」から抜粋

表 3-2-3 波力一覧表（移動床，長周期波）

実験ケース	実験条件					測定位置	最大波力値		
	波浪条件	防溺堤位置	砂丘	珪砂粒径	試行		波力 (N/cm)	発生時間(s)	
移動床	Case 37	長周期波： H=12.5cm	-137.5cm	丸み断面	dm=0.11mm	1回目	A	2.071	23.703
							B	2.428	26.991
	Case 38	"	"	"	"	2回目	A	2.022	23.668
							B	2.832	27.148
	Case 39	"	"	"	"	3回目	A	2.150	23.563
							B	2.757	27.041
	Case 40	"	"	"	"	4回目	A	1.715	23.364
							B	2.590	27.127
	Case 41	"	"	"	"	5回目	A	2.269	23.489
							B	3.209	27.089
						平均	A	2.045	23.557
							B	2.763	27.079
	Case 42	長周期波： H=12.5cm	-137.5cm	丸み断面	dm=0.20mm	1回目	A	2.287	23.429
							B	2.714	27.060
Case 43	"	"	"	"	2回目	A	2.458	23.556	
						B	3.223	26.918	
Case 44	"	"	"	"	3回目	A	2.130	23.523	
						B	2.634	26.954	
Case 45	"	"	"	"	4回目	A	2.142	23.382	
						B	2.723	26.821	
Case 46	"	"	"	"	5回目	A	2.145	23.649	
						B	2.488	26.931	
					平均	A	2.232	23.508	
						B	2.756	26.937	

【II 水理試験編】から抜粋した上記の図及び表にもとづいて，波力評価②に対して，試験結果の判定を行った結果を表 1-2-2-1 に示す。

表 1-2-2-1 波力評価②に対する試験結果の判定

波力評価②：粒径大の方が大きい(粒大/粒小>1)	
試験	長周期波： 時系列△(図 1-3-4-15) 最大値○(表 3-2-3, 2.232/2.045=1.091)

(2) 解析(模型スケール)評価

解析結果(模型スケール)における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の図及び表を下記に再掲する。

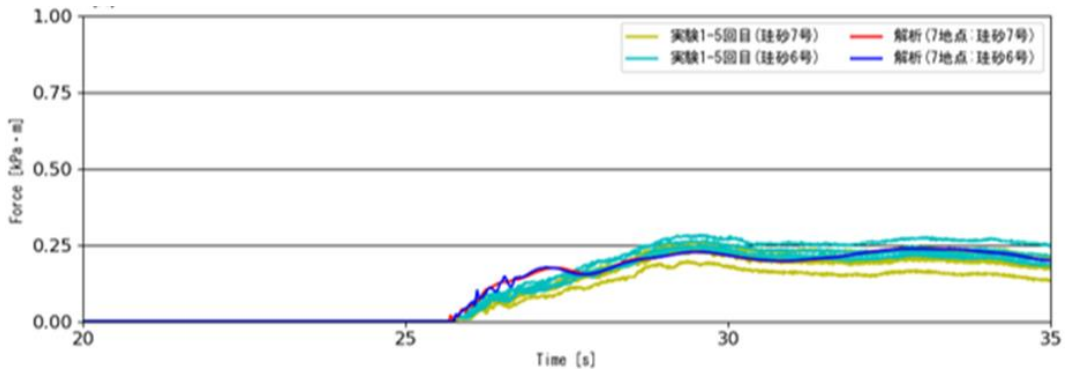


図 1-3-4-15 Case60 (7号) と Case61 (6号) における波力時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 7号珪砂/6号珪砂】

【III シミュレーション解析編】における「図 1-3-4-15 波力時系列波形図」から抜粋

【III シミュレーション解析編】における「表 1-5-1-1」から抜粋

表 1-5-1-1 防潮堤作用波力：固定床と移動床の比較一覧

ケース名	取波領域最大波力値		沖渡領域最大波力値 A		沖渡領域最大波力値 B	
	(kPa・m)	比率 移/固	(kPa・m)	比率 移/固	(kPa・m)	比率 移/固
孤立波、堤体-137.5cm, 0.2mm 【Case58(54)】	0.248 (9.0s)	0.983 (9.0s)	0.350 (9.35s)	1.056 (9.35s)	0.565	0.873
孤立波、堤体-80.0cm, 0.2mm 【Case59(55)】	0.373 (8.8s)	1.020 (8.8s)	0.393 (9.05s)	0.949 (9.05s)	0.595	0.911
長周期波、堤体-137.5cm, 0.11mm 【Case60(56)】	-	-	-	-	0.237	1.000
長周期波、堤体-137.5cm, 0.2mm 【Case61(56)】	-	-	-	-	0.237	0.999

【III シミュレーション解析編】から抜粋した上記の図及び表にもとづいて、波力評価②に対して、解析結果（模型スケール）の判定を行った結果を表 1-2-2-2 に示す。

表 1-2-2-2 波力評価②に対する解析結果（模型スケール）の判定

波力評価②：粒径大の方が大きい(粒大/粒小>1)	
解析(模型)	長周期波： 時系列△(図 1-3-4-15) 最大値△(表 1-5-1-1, 0.237/0.237=1.00)

(3)解析(現地スケール)評価

解析結果(現地スケール)における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の図及び表を下記に再掲する。

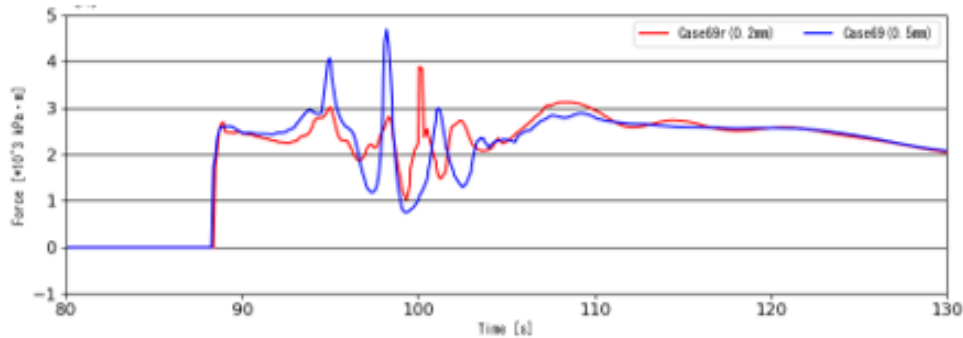


図 2-4-4-12 Case69r (0.2mm) と Case69 (0.5mm) における波力時系列波形  
【理想長周期波 A\* 10m, 堤体-110.0m, 0.2mm/0.5mm】

【III シミュレーション解析編】における「図 2-4-4-12 波力時系列波形図」から抜粋

表 2-6-1-1 防潮堤作用波力：固定床と移動床の比較一覧

ケース名	取波領域最大波力値		押流領域最大波力値 A		押流領域最大波力値 B	
	(kPa・m)	比率 移/因	(kPa・m)	比率 移/因	(kPa・m)	比率 移/因
理想長周期波 A* 10m, 堤体-110.0m, 0.5mm 【Case69(69s)】	-	-	2961.817 (94.0s)	0.996 (94.0s)	4071.793	1.148
理想長周期波 A* 10m, 堤体-110.0m, 0.2mm 【Case69r(69s)】	-	-	2694.548 (94.0s)	0.906 (94.0s)	3014.387	0.850

【III シミュレーション解析編】における「表 2-6-1-1」から抜粋

【III シミュレーション解析編】から抜粋した上記の図及び表にもとづいて、波力評価②に対して、解析結果(現地スケール)の判定を行った結果を表 1-2-2-3 に示す。なお、「最大値 A」とは、持続波領域最大値 A に対する波力最大値の比率を示し、「最大値 B」とは、持続波領域最大値 B に対する波力最大値の比率を示す。

表 1-2-2-3 波力評価②に対する解析結果(現地スケール)の判定

	波力評価②：粒径大の方が大きい(粒大/粒小>1)
解析 (現地)	理想長周期波 A： 時系列△(図 2-4-4-12) 最大値 A○(表 2-6-1-1, 2961.817/2694.548=1.099) 最大値 B◎(表 2-6-1-1, 4071.793/3014.387=1.351)



### 1-2-3 波力評価③：堤体位置相違による比較

波力評価の 3 つ目として、「堤体位置が砂丘に近い方が波力は大きい（近/遠>1）」としたときに、下記 4 項目で試験結果と解析結果を定量的に評価し判定を行う。

◎：明らかに大きい。10%以上(近/遠>=1.1)

○：概ね大きい。5%以上 10%未満(1.05<=近/遠<1.1)

△：大きな差異はない、または、判断が難しい。5%未満(0.95<近/遠<1.05)

×：小さい(近/遠<=0.95)

#### (1) 試験評価

試験結果における評価判定をする際に、参照する【II 水理試験編】の表を下記に再掲する。

【II 水理試験編】における「II-72 頁の表」から抜粋

防潮堤作用波力；固定床実験と移動床実験の比較一覧

	防潮堤位置	段波領域の最大波力値		持続波領域の最大波力値(1)		持続波領域の最大波力値(2)	
		波力 (N/cm)	移/固比率	波力 (N/cm)	移/固比率	波力 (N/cm)	移/固比率
孤立波	-137.5cm	1.941	1.015	2.638	1.107	1.435	1.112
	-80.0cm	2.339	0.981	3.576	1.075	1.955	0.982
長周期波	-137.5cm	-	-	-	-	2.232	0.865
	-80.0cm	-	-	-	-	1.758	0.951

【II 水理試験編】から抜粋した上記の表にもとづいて、波力評価③に対して、試験結果の判定を行った結果を表 1-2-3-1 に示す。

表 1-2-3-1 波力評価③に対する試験結果の判定

波力評価③：堤体位置が近い方が大きい(近/遠>1)	
試験	孤立波(段波)：◎(上図の茶色, 2.339/1.941=1.205) 孤立波(持続)：◎(上図の桃色, 3.576/2.638=1.356) 長周期波：×(上図の緑色, 1.758/2.232=0.788)



(2) 解析(模型スケール)評価

解析結果(模型スケール)における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の表を下記に再掲する。

【III シミュレーション解析編】における「表 1-5-1-1」から抜粋

表 1-5-1-1 防潮堤作用波力：固定床と移動床の比較一覧

ケース名	段波領域最大波力値		持続領域最大波力値 A		持続領域最大波力値 B	
	(kPa・m)	比率 移/固	(kPa・m)	比率 移/固	(kPa・m)	比率 移/固
孤立波、堤体- 137.5cm, 0.2mm 【Case58(54)】	0.248 (9.0s)	0.983 (9.0s)	0.350 (9.35s)	1.056 (9.35s)	0.565	0.873
孤立波、堤体- 80.0cm, 0.2mm 【Case59(55)】	0.373 (8.8s)	1.020 (8.8s)	0.393 (9.05s)	0.949 (9.05s)	0.595	0.911
長周期波、堤体- 137.5cm, 0.2mm 【Case61(56)】	-	-	-	-	0.237	0.999
長周期波、堤体- 80.0cm, 0.2mm 【Case62(57)】	-	-	-	-	0.240	1.001

【III シミュレーション解析編】から抜粋した上記の表にもとづいて、波力評価③に対して、解析結果（模型スケール）の判定を行った結果を表 1-2-3-2 に示す。なお、「最大値 A」とは、持続波領域最大値 A に対する波力最大値の比率を示し、「最大値 B」とは、持続波領域最大値 B に対する波力最大値の比率を示す。

表 1-2-3-2 波力評価③に対する解析結果（模型スケール）の判定

波力評価③：堤体位置が近い方が大きい(近/遠>1)	
解析 (模型)	孤立波(段波)：◎ (表 1-5-1-1 の茶色, $0.373/0.248=1.504$ ) 孤立波(持続)： 最大値 A◎ (表 1-5-1-1 の桃色, $0.393/0.350=1.123$ ) 最大値 B○ (表 1-5-1-1 の紫色, $0.595/0.565=1.053$ ) 長周期波：△ (表 1-5-1-1 の緑色, $0.240/0.237=1.013$ )

(3) 解析(現地スケール)評価

解析結果(現地スケール)における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の表を下記に再掲する。

【III シミュレーション解析編】における「表 2-6-1-1」から抜粋

表 2-6-1-1 防潮堤作用波力：固定床と移動床の比較一覧

ケース名	取波領域最大波力値		沖渡領域最大波力値 A		沖渡領域最大波力値 B	
	(kPa・m)	比率 移/固	(kPa・m)	比率 移/固	(kPa・m)	比率 移/固
理想長周期波 A* 10m, 橋体 64.0m, 0.5mm 【Case68(68s)】	-	-	3394.283 (91.0s)	0.998 (91.0s)	3568.360	0.924
理想長周期波 A* 10m, 橋体 110.0m, 0.5mm 【Case69(69s)】	-	-	2961.817 (94.0s)	0.996 (94.0s)	4071.793	1.148

【III シミュレーション解析編】から抜粋した上記の表にもとづいて、波力評価③に対して、解析結果(現地スケール)の判定を行った結果を表 1-2-3-3 に示す。なお、「最大値 A」とは、持続波領域最大値 A に対する波力最大値の比率を示し、「最大値 B」とは、持続波領域最大値 B に対する波力最大値の比率を示す。

表 1-2-3-3 波力評価③に対する解析結果(現地スケール)の判定

波力評価③：堤体位置が近い方が大きい(近/遠>1)	
解析 (現地)	理想長周期波 A： 最大値 A◎ (表 2-6-1-1 の桃色, 3394.283/2961.817=1.146) 最大値 B× (表 2-6-1-1 の緑色, 3568.360/4071.793=0.876)

#### 1-2-4 波力評価④：試験結果の再現性

波力評価の4つ目として、「試験結果の再現性」としたときに、下記4項目で試験結果と解析結果を定性的に評価し判定を行う。

◎：明らかに一致している。

○：概ね一致している。

△：判断が難しい。

×：不一致である。

##### (1)解析(模型スケール)評価

解析(模型スケール)評価における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の図を下記に再掲する。

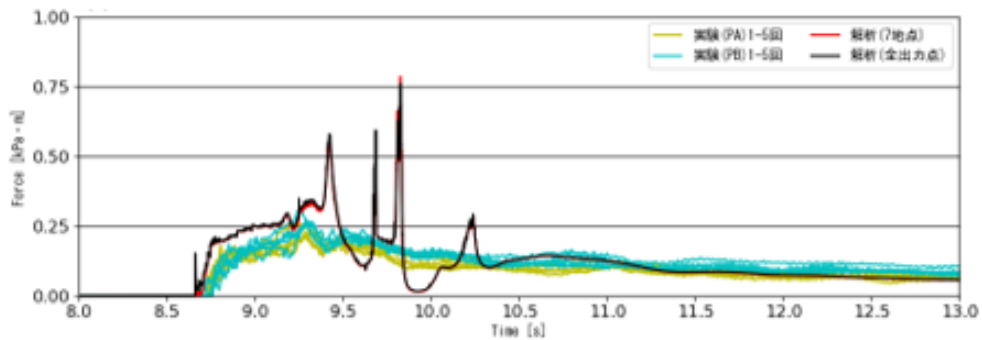


図 1-3-4-1 Case54 (固定床)における波力時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 固定床】

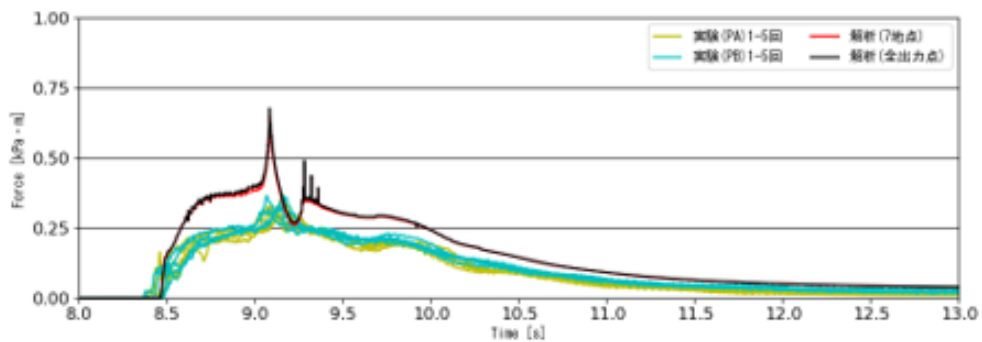


図 1-3-4-2 Case55 (固定床)における波力時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 固定床】

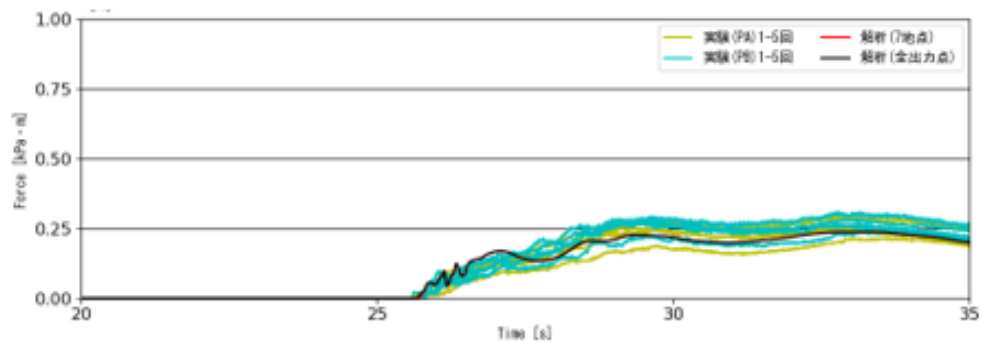


図 1-3-4-3 Case56 (固定床)における波力時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 固定床】

【III シミュレーション解析編】における「図 1-3-4-1～図 1-3-4-3 波力時系列波形図」から抜粋

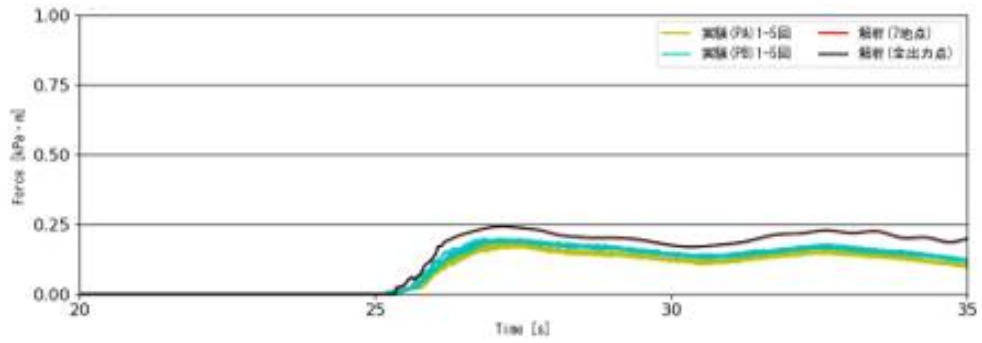


図 1-3-4-4 Case57 (固定床)における波力時系列波形  
 【長周期波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 固定床】

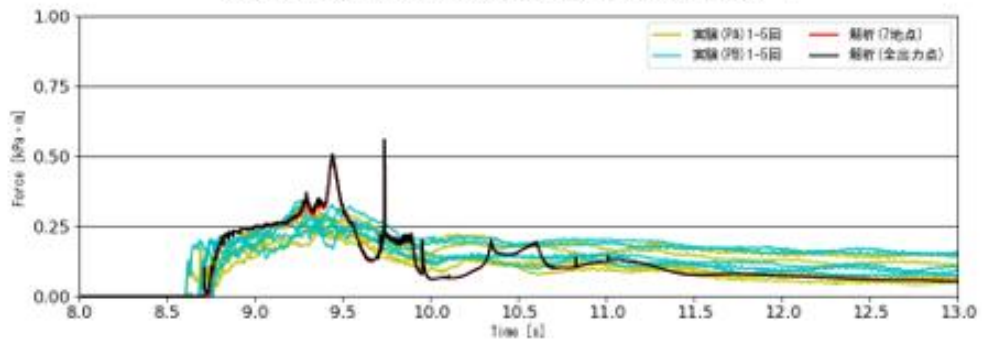


図 1-3-4-5 Case58 (移動床)における波力時系列波形  
 【孤立波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

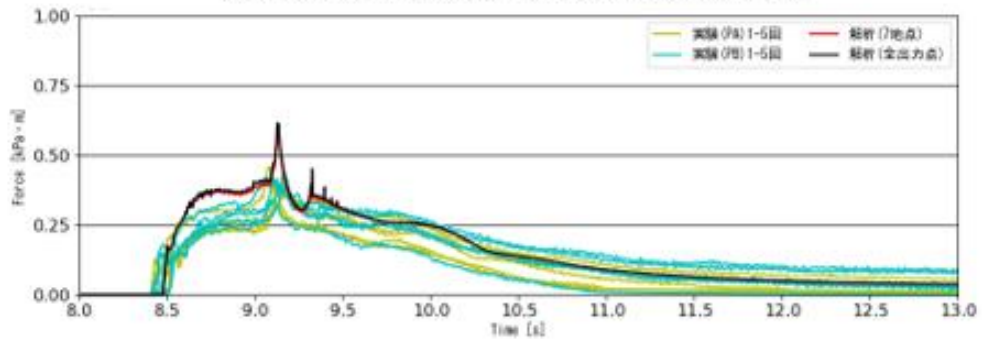


図 1-3-4-6 Case59 (移動床)における波力時系列波形  
 【孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

【III シミュレーション解析編】における「図 1-3-4-4～図 1-3-4-6 波力時系列波形図」から抜粋

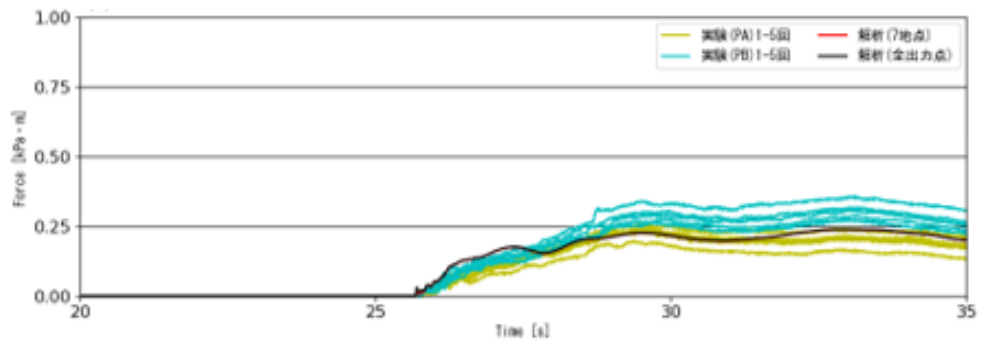


図 1-3-4-7 Case60 (移動床) における波力時系列波形  
 【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 7号珪砂】

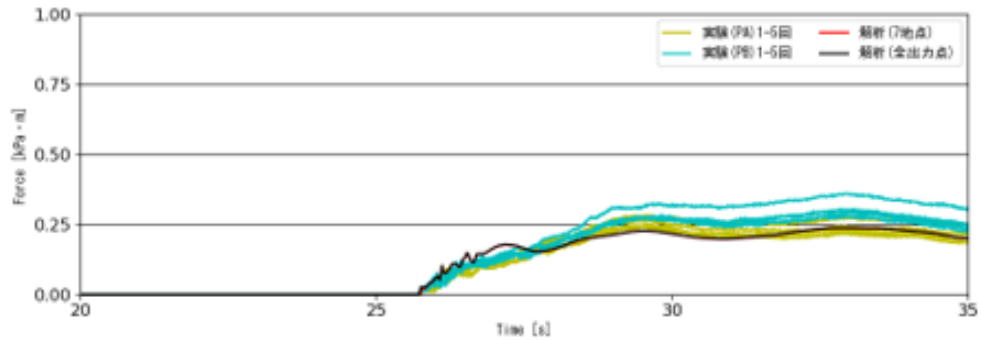


図 1-3-4-8 Case61 (移動床) における波力時系列波形  
 【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

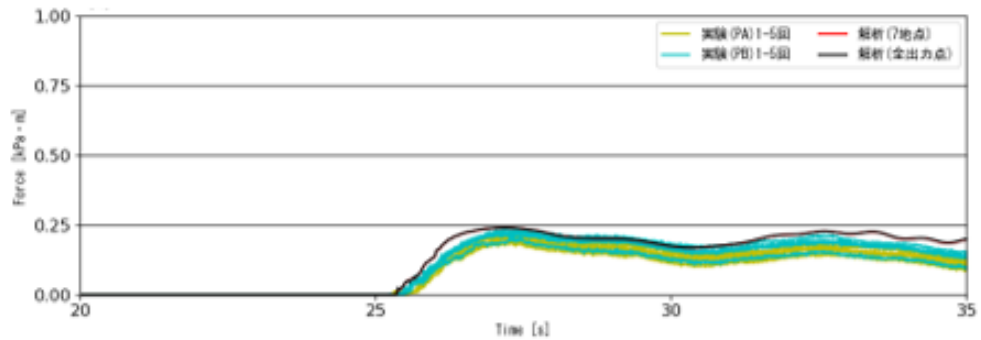


図 1-3-4-9 Case62 (移動床) における波力時系列波形  
 【長周期波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

【III シミュレーション解析編】における「図 1-3-4-4～図 1-3-4-6 波力時系列波形図」から抜粋

「試験再現性」の判定として、孤立波（段波領域）は、図 1-3-4-1, 1-3-4-5 の 9.0s 未満及び図 1-3-4-2, 1-3-4-6 の 8.8s 未満から示されるように、○と判定でき、孤立波（持続領域）は、図 1-3-4-1, 1-3-4-5 の 9.0s 以降及び図 1-3-4-2, 1-3-4-6 の 8.8s 以降から示されるように、△と判定できる。

一方、図 1-3-4-3, 1-3-4-4, 1-3-4-7, 1-3-4-8, 1-3-4-9 から示されるように、長周期波は◎と判定できる。

## (2)解析(現地スケール)評価

解析(現地スケール)評価における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の図を下記に再掲する。

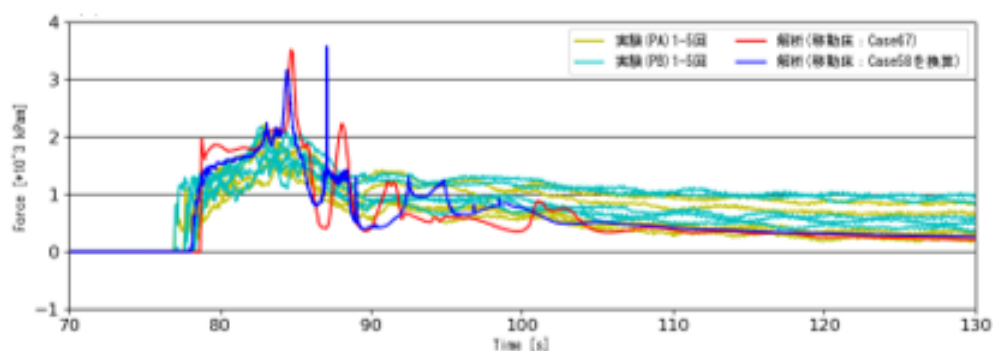


図 2-4-4-4 Case67 (移動床) と Case58 (移動床) における波力時系列波形  
【孤立波 10m/孤立波 12.5cmを換算, 堤体-110.0m, 0.5mm/6号珪砂】\*

【III シミュレーション解析編】における「図 2-4-4-4 波力時系列波形図」から抜粋

図 2-4-4-4 から示されるように、「試験再現性」の判定として、孤立波は○と判定できる。

### 1-2-5 波力評価の総括

波力評価①～④にて評価した判定結果を総括表として表 1-2-4-1 に整理する。

表 1-2-4-1 波力評価に関する総括表

	波力評価①： 固定床の方が大きい	波力評価②： 粒径大の方が 大きい	波力評価③： 堤体位置が近 い方が大きい	波力評価④：試験 結果の再現性
試験	孤立波(段波)： [堤・遠]時系列○最大値△ [堤・近]時系列△最大値△ 孤立波(持続)： [堤・遠]時系列△最大値× [堤・近]時系列△最大値× 長周期波： [堤・遠]時系列◎最大値◎ [堤・近]時系列△最大値△	長周期波： 時系列△ 最大値○	孤立波(段波)： ◎ 孤立波(持続)： ◎ 長周期波： ×	—
解析 (模型)	孤立波(段波)： [堤・遠]時系列△最大値△ [堤・近]時系列△最大値△ 孤立波(持続)： [堤・遠]時系列△ 最大値 A×，最大値 B◎ [堤・近]時系列△ 最大値 A○，最大値 B○ 長周期波： [堤・遠]時系列△最大値△ [堤・近]時系列△最大値△	長周期波： 時系列△ 最大値△	孤立波(段波)： ◎ 孤立波(持続)： 最大値 A◎ 最大値 B○ 長周期波： △	孤立波(段波)： [堤・遠]○ [堤・近]○ 孤立波(持続)： [堤・遠]△ [堤・近]△ 長周期波：◎
解析 (現地)	孤立波(段波)： [堤・遠]時系列△最大値△ 孤立波(持続)： [堤・遠]時系列△ 最大値 A△，最大値 B× 理想長周期波 A： [堤・遠 6m]時系列△ 最大値 A△，最大値 B× [堤・遠 10m]時系列△ 最大値 A△，最大値 B× [堤・近]時系列△ 最大値 A△，最大値 B△	理想長周期波 A： 時系列△ 最大値 A○ 最大値 B◎	理想長周期波 A： 最大値 A◎ 最大値 B×  ※孤立波は比 較対象なし	理想長周期波 A：○

---

表 1-2-4-1 に示されるように、①固定床と移動床の違い、②粒径の大小および③堤体の遠近の三項目に着目して評価を行った。

試験結果から、①固定床と移動床の違いが波力に与える影響が小さいこと、②粒径の違いも本事業で選択した粒径では影響が小さいことが分かった。また、③堤体が近い場合は、波力が大きくなることが分かった。

解析による試験結果の再現性については、孤立波、長周期ともおおむねその現象を再現した。ただし、解析による落水後の波力評価は試験結果と大きく異なるものとなった。

また、三項目の再現解析間の傾向は、試験間の傾向とおおむね一致した。同様に、三項目の再現解析間の傾向は、三項目の現地解析間の傾向ともおおむね一致した。



### 1-3 シールズ数評価

#### 1-3-1 シールズ数評価①：砂粒径差異による比較

シールズ数評価の1つ目として、「粒径小の方がシールズ数は大きい」としたときに、下記4項目で試験結果と解析結果を定性的に評価し判定を行う。

◎：明らかに大きい。

○：概ね大きい。

△：大きな差異はない，または，判断が難しい。

×：小さい。

#### (1) 試験評価及び解析(模型スケール)評価

試験評価及び解析(模型スケール)評価における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の図を下記に再掲する。

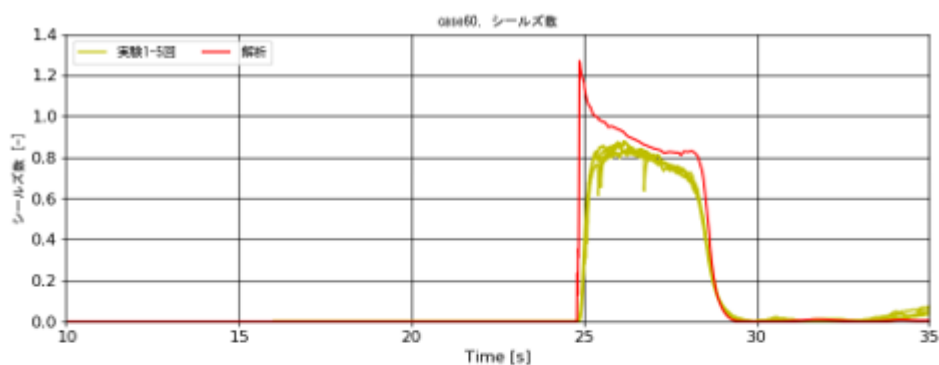


図 1-3-5-5 Case60 におけるシールズ数時系列波形  
【長周期波 12.5cm，堤体-137.5cm，7号珪砂】

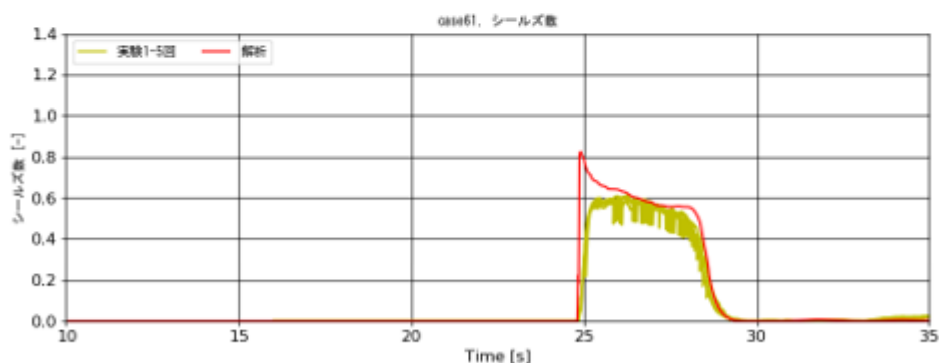


図 1-3-5-6 Case61 におけるシールズ数時系列波形  
【長周期波 12.5cm，堤体-137.5cm，6号珪砂】

【III シミュレーション解析編】における「図 1-3-5-5, 1-3-5-6 シールズ数時系列波形図」から抜粋

図 1-3-5-5, 1-3-5-6 から示されるように、「粒径小の方がシールズ数は大きい」判定として、試験評価及び解析(模型スケール)評価の両方ともに、◎と判定できる。

## (2) 解析(現地スケール)評価

解析(現地スケール)評価における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の図を下記に再掲する。

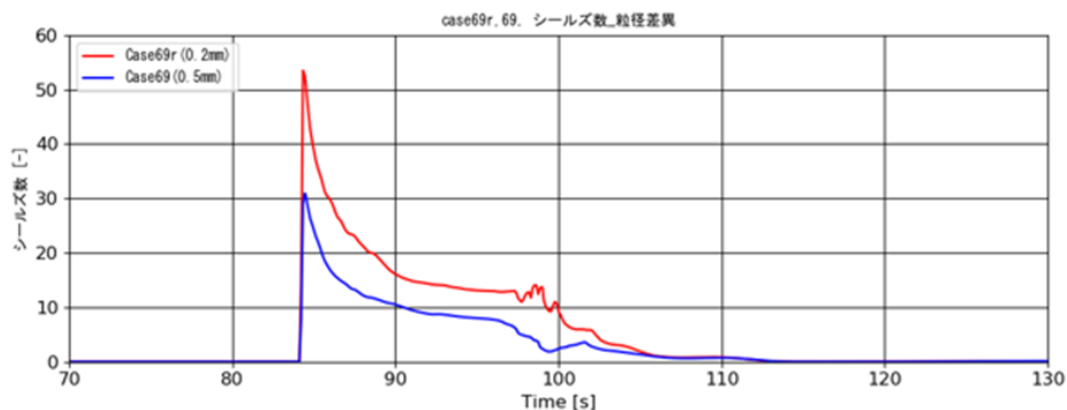


図 2-4-5-6 Case69r,69 におけるシールズ数時系列波形  
【理想長周期波  $A^* 10m$ , 堤体-110.0m, 0.2mm/0.5mm】

【III シミュレーション解析編】における「図 2-4-5-6 シールズ数時系列波形図」から抜粋

図 2-4-5-6 から示されるように、「粒径小の方がシールズ数は大きい」判定として、解析(現地スケール)評価は、◎と判定できる。

### 1-3-2 シールズ数評価②：試験結果の再現性

シールズ数評価の2つ目として、「試験結果の再現性」としたときに、下記4項目で試験結果と解析結果を定性的に評価し判定を行う。

- ◎：明らかに一致している。
- ：概ね一致している。
- △：判断が難しい。
- ×：不一致である。

#### (1) 解析(模型スケール)評価

解析(模型スケール)評価における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の図を下記に再掲する。

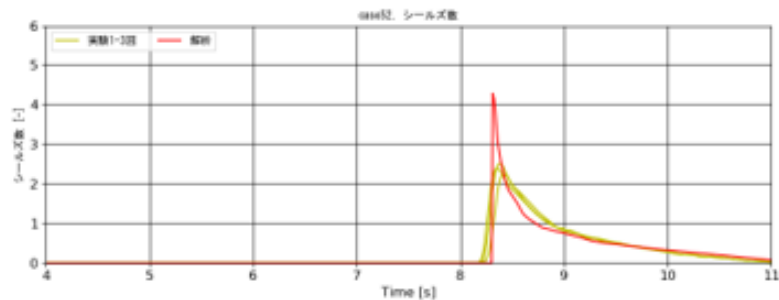


図 1-3-5-1 Case52におけるシールズ数時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体無し, 6号珪砂】

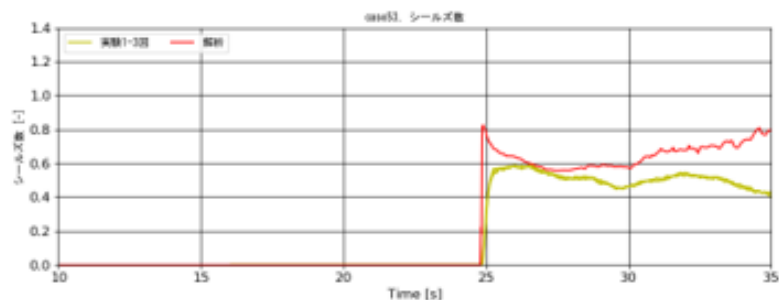


図 1-3-5-2 Case53におけるシールズ数時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体無し, 6号珪砂】

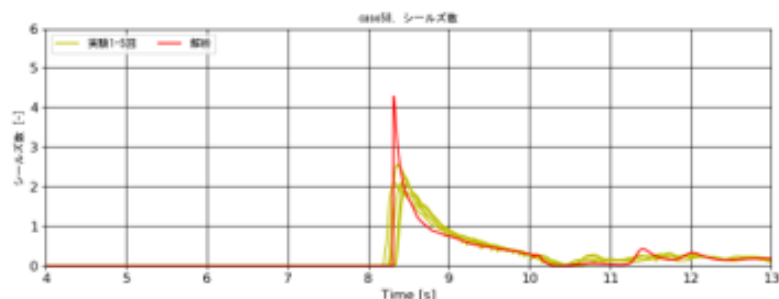


図 1-3-5-3 Case58におけるシールズ数時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

【III シミュレーション解析編】における「図 1-3-5-1～1-3-5-3 シールズ数時系列波形図」から抜粋

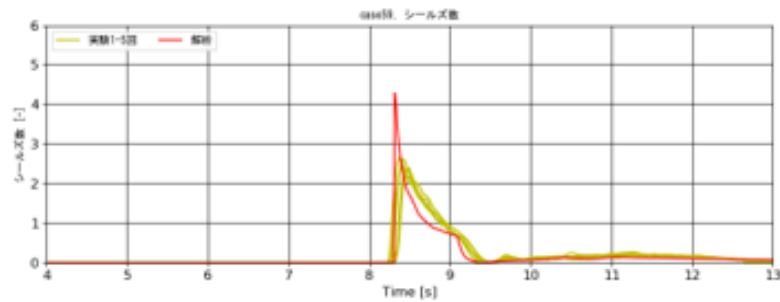


図 1-3-5-4 Case59におけるシールズ数時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

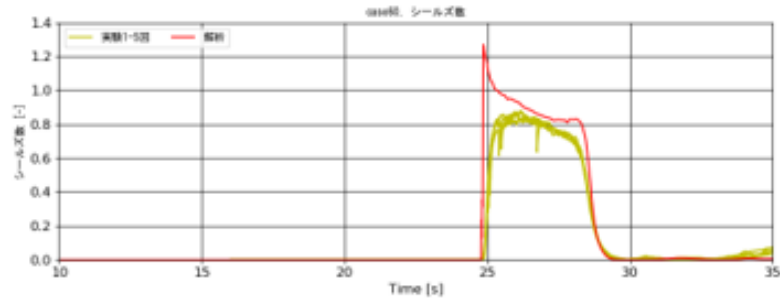


図 1-3-5-5 Case60におけるシールズ数時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 7号珪砂】

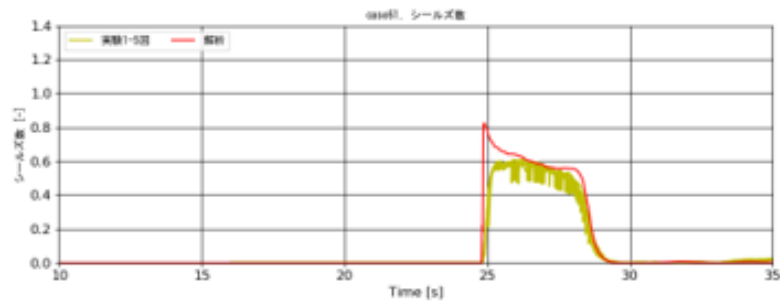


図 1-3-5-6 Case61におけるシールズ数時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

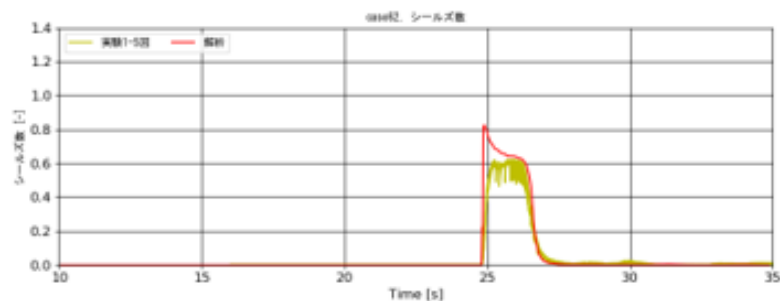


図 1-3-5-7 Case62におけるシールズ数時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

【III シミュレーション解析編】における「図 1-3-5-4～1-3-5-7 シールズ数時系列波形図」から抜粋

図 1-3-5-1～1-3-5-7 から示されるように、「試験再現性」の判定として、○と判定できる。

### 1-3-3 シールズ数の総括

シールズ数評価①～②にて評価した結果を総括表として表 1-3-3-1 に整理する.

表 1-3-3-1 シールズ数評価に関する総括表

	シールズ数評価①：粒径小の方が大きい	シールズ数評価②：試験結果の再現性
試験	長周期波：◎	—
解析 (模型)	長周期波：◎	堤体無：○ 堤体有：○
解析 (現地)	理想長周期波 A：◎	—

表 1-3-3-1 に示されるように，試験結果から粒径が小さいほうがシールズ数が大きくなった．再現解析においても同様の結果を得た．シールズ数の定義から考えて妥当な結果であると評価できる．

## 1-4 濃度評価

### 1-4-1 濃度評価①：砂粒径差異による比較

濃度評価の1つ目として、「粒径小の方が濃度は大きい」としたときに、下記4項目で試験結果と解析結果を定性的に評価し判定を行う。

◎：明らかに大きい。

○：概ね大きい。

△：大きな差異はない，または，判断が難しい。

×：小さい。

#### (1) 試験評価及び解析(模型スケール)評価

試験評価及び解析(模型スケール)評価における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の図を下記に再掲する。

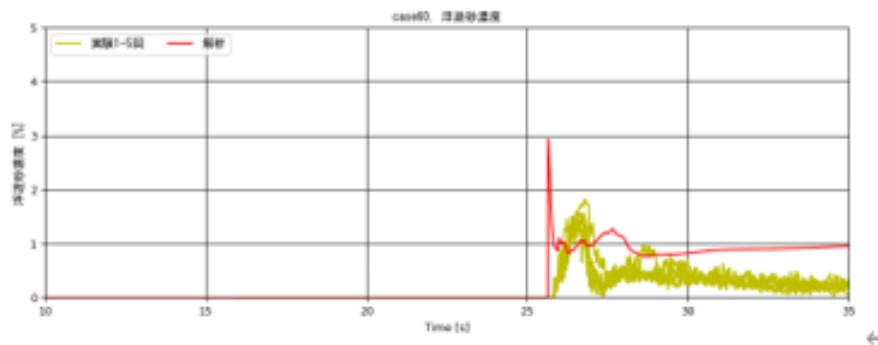


図 1-3-6-5 Case60における砂密度時系列波形  
【長周期波 12.5cm，堤体-137.5cm，7号珪砂】

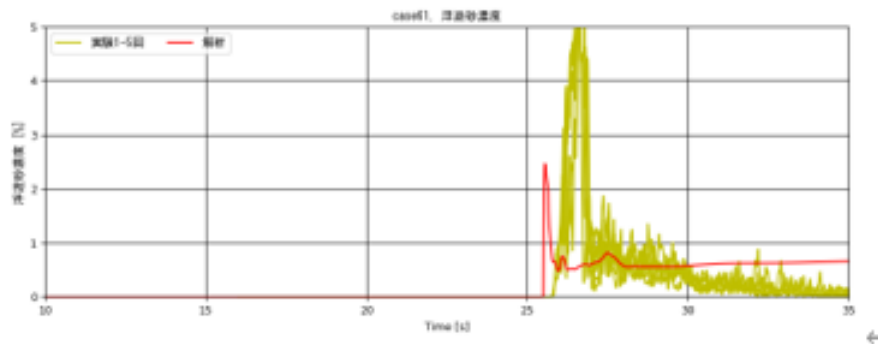


図 1-3-6-6 Case61における砂密度時系列波形  
【長周期波 12.5cm，堤体-137.5cm，6号珪砂】

【III シミュレーション解析編】における「図 1-3-6-5, 1-3-6-6 砂密度時系列波形図」から抜粋

図 1-3-6-5, 1-3-6-6 から示されるように、「粒径小の方が濃度は大きい」判定として、試験評価は×，解析(模型スケール)評価は◎と判定できる。

## (2)解析(現地スケール)評価

解析(現地スケール)評価における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の図を下記に再掲する。

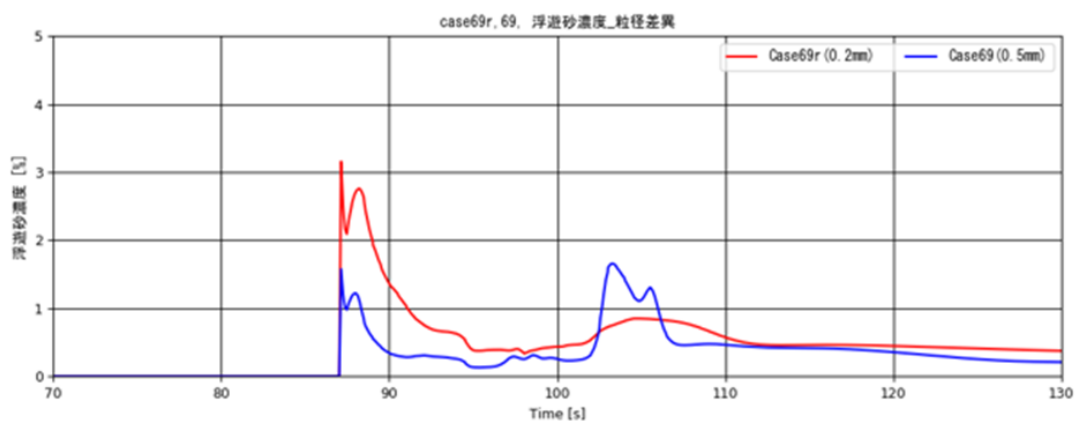


図 2-4-6-6 Case69r,69 におけるにおける砂密度時系列波形 ←

【理想長周期波  $A^* 10\text{m}$ , 堤体-110.0m, 0.2mm/0.5mm】 ←

【III シミュレーション解析編】における「図 2-4-6-6 砂密度時系列波形図」から抜粋

図 2-4-6-6 から示されるように、「粒径小の方が濃度は大きい」判定として、解析(現地スケール)評価は◎と判定できる。

## 1-4-2 濃度評価②：試験結果の再現性

濃度評価の2つ目として、「試験結果の再現性」としたときに、下記4項目で試験結果と解析結果を定性的に評価し判定を行う。

- ◎：明らかに一致している。
- ：概ね一致している。
- △：判断が難しい。
- ×：不一致である。

### (1) 解析(模型スケール)評価

解析(模型スケール)評価における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の図を下記に再掲する。

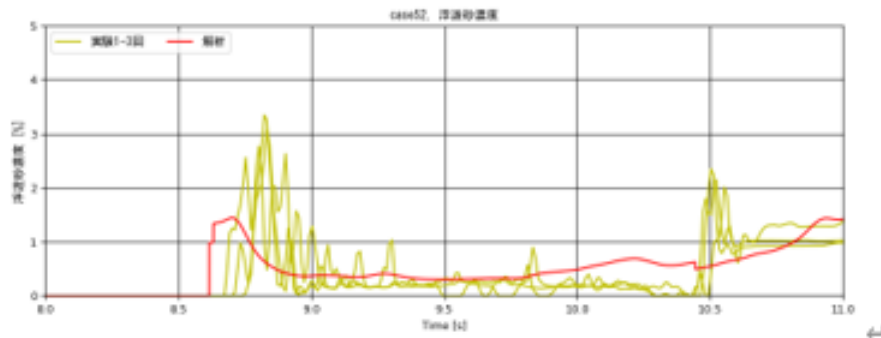


図 1-3-6-1 Case52における砂密度時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体無し, 6号珪砂】

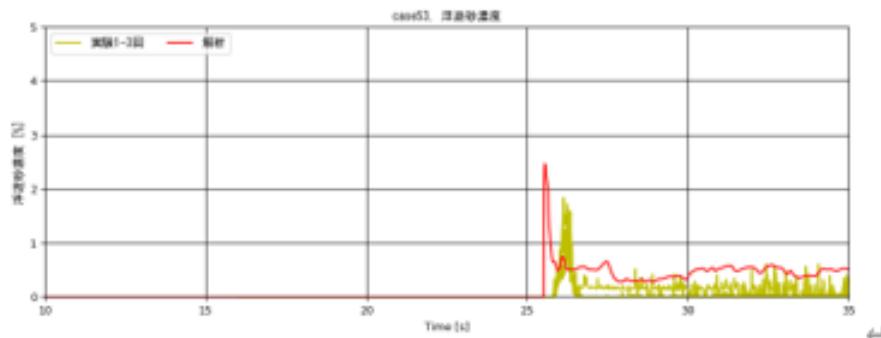


図 1-3-6-2 Case53における砂密度時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体無し, 6号珪砂】

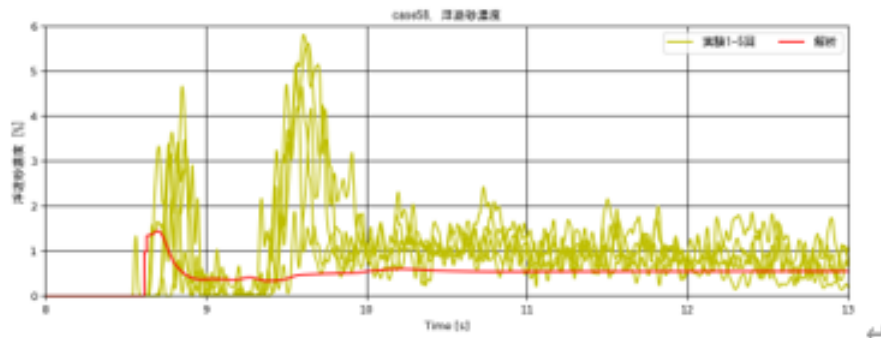


図 1-3-6-3 Case58における砂密度時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

【III シミュレーション解析編】における「図 1-3-6-1～1-3-6-3 砂密度時系列波形図」から抜粋



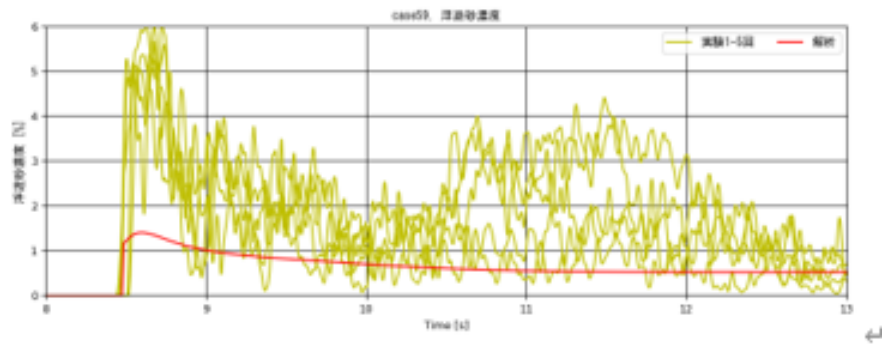


図 1-3-6-4 Case59における砂密度時系列波形  
【孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

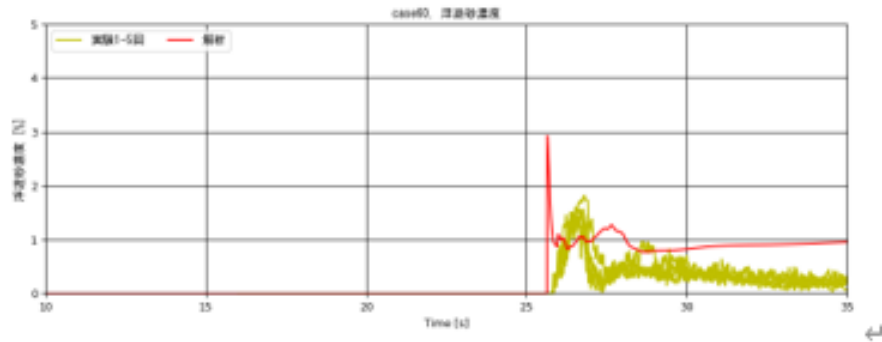


図 1-3-6-5 Case60における砂密度時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 7号珪砂】

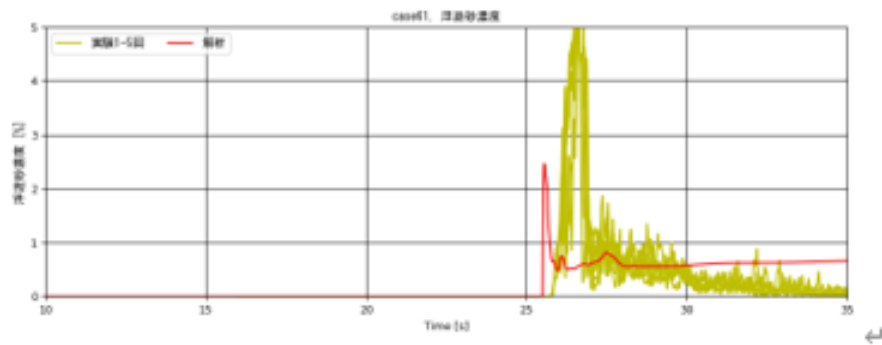


図 1-3-6-6 Case61における砂密度時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

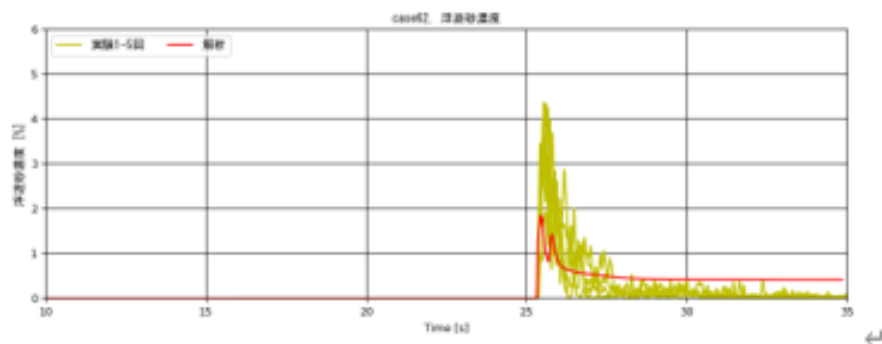


図 1-3-6-7 Case62における砂密度時系列波形  
【長周期波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

【III シミュレーション解析編】における「図 1-3-6-4～1-3-6-7 砂密度時系列波形図」から抜粋

図 1-3-6-1～1-3-6-7 から示されるように、「試験再現性」の判定として、堤体有無にかかわらず△と判定できる。

### 1-4-3 濃度の総括

濃度評価①～②にて評価した結果を総括表として表 1-4-3-1 に整理する.

表 1-4-3-1 濃度評価に関する総括表

	濃度評価①：粒径小の方が大きい	濃度評価②：試験結果の再現性
試験	長周期波：×	—
解析 (模型)	長周期波：◎	堤体無：△ 堤体有：△
解析 (現地)	理想長周期波 A：◎	—

表 1-4-3-1 から示されるように，試験結果から粒径が小さいほうが濃度が小さい結果となった．その一方で，解析では逆の結果となった．

粒径が小さいほうがシールズ数が大きいことを考えれば，解析の方が適切な値を示していると考えられる．

## 1-5 侵食量評価

### 1-5-1 侵食量評価①：砂粒径差異による比較

侵食量評価の1つ目として、「粒径小の方が侵食量は大きい(粒小/粒大 $>1$ )」としたときに、下記4項目で試験結果と解析結果を定量的に評価し判定を行う。

◎：明らかに大きい。10%以上(粒小/粒大 $\geq 1.1$ )

○：概ね大きい。5%以上10%未満( $1.05 \leq$ 粒小/粒大 $< 1.1$ )

△：大きな差異はない、または、判断が難しい。5%未満( $0.95 <$ 粒小/粒大 $< 1.05$ )

×：小さい(粒小/粒大 $\leq 0.95$ )

下記は省略して記す。

(入)入射波のみの侵食量

(通)通水後の侵食量

### (1) 試験評価

試験評価における評価判定をする際に、参照する【II 水理試験編】の表を下記に再掲する。

【II 水理試験編】における「表 3-2-4(2)」から抜粋

表 3-2-4(2) 砂丘形状 (洗掘量) 一覧 (平均値)

	波浪条件	防潮堤位置	珪砂粒径	通水最大時洗掘量			通水後洗掘量	
				( $\text{cm}^2$ )	(%)	時刻(sec)	( $\text{cm}^2$ )	(%)
Case1-3	孤立波	なし	dm=0.20mm	45.17	10.47	13.00	99.25	23.02
Case4-6	長周期波	なし	dm=0.20mm	227.30	52.71	32.90	305.53	70.85
Case27-31	孤立波	-137.5cm	dm=0.20mm	10.88	2.52	11.73	161.14	37.37
Case32-36		-80.0cm	dm=0.20mm	12.98	3.01	11.79	119.89	27.80
Case37-41	長周期波	-137.5cm	dm=0.11mm	19.81	4.59	20.12	142.35	33.01
Case42-46		-137.5cm	dm=0.20mm	18.80	4.36	20.06	159.61	37.01
Case47-51		-80.0cm	dm=0.20mm	5.16	1.20	19.45	82.35	19.10

【II 水理試験編】から抜粋した上記の表にもとづいて、侵食量評価①に対して、試験結果の判定を行った結果を表 1-5-1-1 に示す。

表 1-5-1-1 侵食量評価①に対する試験結果の判定

	侵食量評価①：小粒径の方が侵食量は大きい(粒小/粒大 $>1$ )
試験	長周期波(入)：○( $19.81/18.80=1.054$ ) 長周期波(通)：×( $142.35/159.61=0.892$ ) (表 3-2-4(2))

(2) 解析(模型スケール)評価

解析(模型スケール)評価における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の図及び表を下記に再掲する。

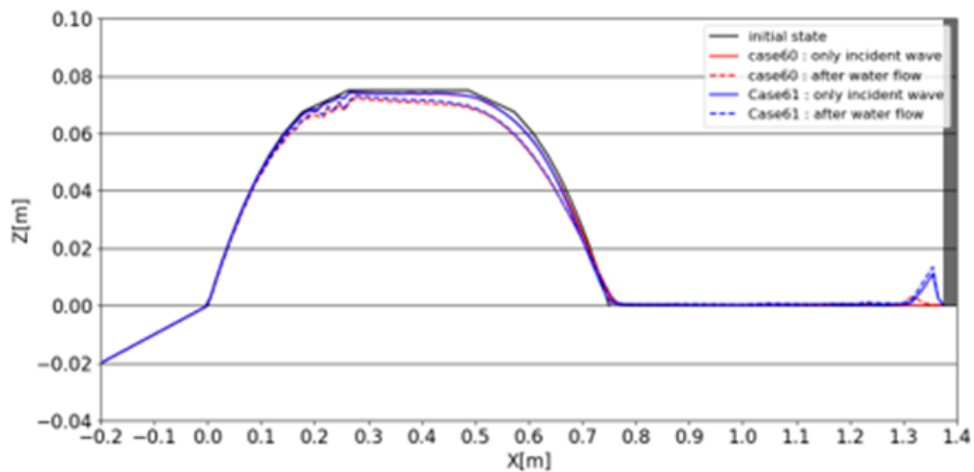


図 1-4-2-3 Case60,61における砂面形状変化の比較  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 7号珪砂/6号珪砂】

【III シミュレーション解析編】における「図 1-4-2-3 砂面形状変化の比較図」から抜粋

【III シミュレーション解析編】における「表 1-6-1-1」から抜粋

表 1-6-1-1 砂丘侵食量に関する一覧表

ケース名	入射波のみの侵食量		通水後の侵食量	
	(cm <sup>2</sup> )	%	(cm <sup>2</sup> )	%
孤立波, 0.2mm 【Case52】	13.846	3.202	29.635	6.852
長周期波, 0.2mm 【Case53】	10.265	2.373	239.123	55.291
孤立波, 堤体-137.5cm, 0.2mm 【Case58】	13.846	3.202	32.546	7.525
孤立波, 堤体-80.0cm, 0.2mm 【Case59】	12.035	2.783	21.539	4.980
長周期波, 堤体-137.5cm, 0.11mm 【Case60】	9.816	2.270	30.712	7.101
長周期波, 堤体-137.5cm, 0.2mm 【Case61】	10.276	2.376	26.438	6.113

---

【III シミュレーション解析編】から抜粋した上記の図及び表にもとづいて、侵食量評価①に対して、解析結果（模型スケール）の判定を行った結果を表 1-5-1-2 に示す。

表 1-5-1-2 侵食量評価①に対する解析結果（模型スケール）の判定

	侵食量評価①：小粒径の方が侵食量は大きい(粒小/粒大>1)
解析 (模型)	長周期波(入)：△(9.816/10.276=0.955) 長周期波(通)：◎(30.712/26.438=1.162) (図 1-4-2-3, 表 1-6-1-1)

(3) 解析(現地スケール)評価

解析(現地スケール)評価における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の図及び表を下記に再掲する。

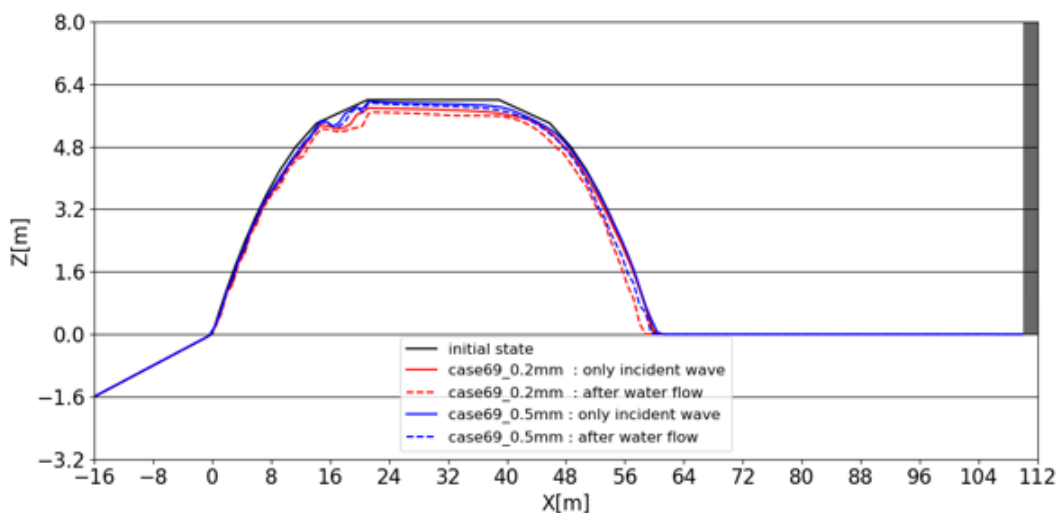


図 2-5-2-6 Case69r.69 における砂面形状変化の比較  
 【理想長周期波  $A^* 10m$ , 堤体-110.0m, 0.2mm/0.5mm】

【III シミュレーション解析編】における「図 1-4-2-3 砂面形状変化の比較図」から抜粋

【III シミュレーション解析編】における「表 2-7-1-1」から抜粋

表 2-7-1-1 砂丘侵食量に関する一覧表

ケース名	入射波のみの侵食量		通水後の侵食量	
	( $cm^2$ )	(%)	( $cm^2$ )	(%)
理想長周期波 $A^* 10m$ , 堤体-110.0m, 0.5mm 【Case69】	675.85	1.95	1453.63	4.20
理想長周期波 $A^* 10m$ , 堤体-110.0m, 0.2mm 【Case69r】	1520.54	4.39	2895.82	8.37

【III シミュレーション解析編】から抜粋した上記の図及び表にもとづいて、侵食量評価①に対して、解析結果（現地スケール）の判定を行った結果を表 1-5-1-1 に示す。

表 1-5-1-2 侵食量評価①に対する解析結果（現地スケール）の判定

	侵食量評価①：小粒径の方が侵食量は大きい(粒小/粒大>1)
解析 (現地)	理想長周期波 A (入)：◎(1520.54/675.85=2.250) 理想長周期波 A (通)：◎(2895.82/1453.63=1.992) (図 2-5-2-6, 表 2-7-1-1)

### 1-5-2 侵食量評価②：堤体位置相違による比較

侵食量評価の2つ目として、「堤体位置が砂丘に対して遠い方が侵食量は大きい(遠/近>1)」としたときに、下記4項目で試験結果と解析結果を定量的に評価し判定を行う。

- ◎：明らかに大きい．10%以上(遠/近>=1.1)
- ：概ね大きい．5%以上10%未満(1.05<=遠/近<1.1)
- △：大きな差異はない，または，判断が難しい．5%未満(0.95<遠/近<1.05)
- ×：小さい(遠/近<=0.95)

#### (1) 試験評価

試験評価における評価判定をする際に、参照する【II 水理試験編】の表を下記に再掲する。

【II 水理試験編】における「表 3-2-4(2)」から抜粋

表 3-2-4(2) 砂丘形状 (洗掘量) 一覧 (平均値)

	波浪条件	防潮堤位置	珪砂粒径	通水最大時洗掘量			通水後洗掘量	
				(cm <sup>2</sup> )	(%)	時刻(sec)	(cm <sup>2</sup> )	(%)
Case1-3	孤立波	なし	dm=0.20mm	45.17	10.47	13.00	99.25	23.02
Case4-6	長周期波	なし	dm=0.20mm	227.30	52.71	32.90	305.53	70.85
Case27-31	孤立波	-137.5cm	dm=0.20mm	10.88	2.52	11.73	161.14	37.37
Case32-36		-80.0cm	dm=0.20mm	12.98	3.01	11.79	119.89	27.80
Case37-41	長周期波	-137.5cm	dm=0.11mm	19.81	4.59	20.12	142.35	33.01
Case42-46		-137.5cm	dm=0.20mm	18.80	4.36	20.06	159.61	37.01
Case47-51		-80.0cm	dm=0.20mm	5.16	1.20	19.45	82.35	19.10

【II 水理試験編】から抜粋した上記の表にもとづいて、侵食量評価②に対して、試験結果の判定を行った結果を表 1-5-2-1 に示す。

表 1-5-2-1 侵食量評価②に対する試験結果の判定

	侵食量評価②：堤体位置が遠い方が侵食量は大きい(遠/近>1)
試験	孤立波(入)：×(10.88/12.98=0.838) 孤立波(通)：◎(161.14/119.89=1.344) 長周期波(入)：◎(18.80/5.16=3.643) 長周期波(通)：◎(159.61/82.35=1.938) (表 3-2-4(2))



(2) 解析(模型スケール)評価

解析(模型スケール)評価における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の表を下記に再掲する。

表 1-6-1-1 砂丘侵食量に関する一覧表

ケース名	入射波のみの侵食量		通水後の侵食量	
	(cm <sup>2</sup> )	%	(cm <sup>2</sup> )	%
孤立波, 0.2mm 【Case52】	13.846	3.202	29.635	6.852
長周期波, 0.2mm 【Case53】	10.265	2.373	239.123	55.291
孤立波, 堤体-137.5cm, 0.2mm 【Case58】	13.846	3.202	32.546	7.525
孤立波, 堤体-80.0cm, 0.2mm 【Case59】	12.035	2.783	21.539	4.980
長周期波, 堤体-137.5cm, 0.11mm 【Case60】	9.816	2.270	30.712	7.101
長周期波, 堤体-137.5cm, 0.2mm 【Case61】	10.276	2.376	26.438	6.113
長周期波, 堤体-80.0cm, 0.2mm 【Case62】	7.419	1.715	9.624	2.225

【III シミュレーション解析編】から抜粋した上記の表にもとづいて、侵食量評価②に対して、解析結果（模型スケール）の判定を行った結果を表 1-5-2-2 に示す。

表 1-5-2-2 侵食量評価②に対する解析結果（模型スケール）の判定

	侵食量評価②：堤体位置が遠い方が侵食量は大きい(遠/近>1)
解析 (模型)	孤立波(入)：◎(13.846/12.035=1.150) 孤立波(通)：◎(32.546/21.539=1.511) 長周期波(入)：◎(10.276/7.419=1.385) 長周期波(通)：◎(26.438/9.624=2.747) (表 1-6-1-1)

### (3) 解析(現地スケール)評価

解析(現地スケール)評価における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の表を下記に再掲する。

表 2-7-1-1 砂丘侵食量に関する一覧表

ケース名	入射波のみの侵食量		通水後の侵食量	
	(cm <sup>2</sup> )	%	(cm <sup>2</sup> )	%
理想長周期波 A, 堤体-137.5cm, 0.5mm 【Case64】	16.91	3.91	28.65	6.63
理想長周期波 B, 堤体-137.5cm, 0.5mm 【Case65】	11.73	2.71	23.39	5.41
理想長周期波 A* 6m, 堤体-110.0m, 0.5mm 【Case66】	355.82	1.03	968.33	2.80
孤立波 10.0m, 堤体-110.0m, 0.5mm 【Case67】	537.69	1.15	22689.63	65.58
理想長周期波 A* 10m, 堤体-64.0m, 0.5mm 【Case68】	460.22	1.33	1308.54	3.78
理想長周期波 A* 10m, 堤体-110.0m, 0.5mm 【Case69】	675.85	1.95	1453.63	4.20

【III シミュレーション解析編】から抜粋した上記の表にもとづいて、侵食量評価②に対して、解析結果(現地スケール)の判定を行った結果を表 1-5-2-3 に示す。

表 1-5-2-3 侵食量評価②に対する解析結果(現地スケール)の判定

	侵食量評価②：堤体位置が遠い方が侵食量は大きい(遠/近>1)
解析 (現地)	理想長周期波 A(入)：◎(675.85/460.22=1.469) 理想長周期波 A(通)：◎(1453.63/1308.54=1.111) (表 2-7-1-1)

なお、孤立波 Case67 の通水後の侵食量が、同じ堤体位置の理想長周期波 A の Case69 の通水後の侵食量より顕著に大きくなる(上表の【III シミュレーション解析編】の表 2-7-1-1 参照)。この理由としては、堤体からの反射波による砂丘底面付近の流速が、Case67 の方が Case69 より大きいため、Case67 の方が侵食が進んだと示唆される。

### 1-5-3 侵食量評価③：試験結果の再現性

侵食量評価の3つ目として、「試験結果の再現性」としたときに、下記4項目で試験結果と解析結果を定性的に評価し判定を行う。なお、試験での通水後とは第一波に続き、第二波、第三波と連続して作用することで洗堀されるため、解析では試験のような通水後の砂面形状は再現できない。したがって、ここでの評価は入射波のみを対象とする。

- ◎：明らかに一致している。
- ：概ね一致している。
- △：判断が難しい。
- ×：不一致である。

#### (1)解析(模型スケール)評価

解析(模型スケール)評価における評価判定をする際に、参照する【III シミュレーション解析編】の図を下記に再掲する。

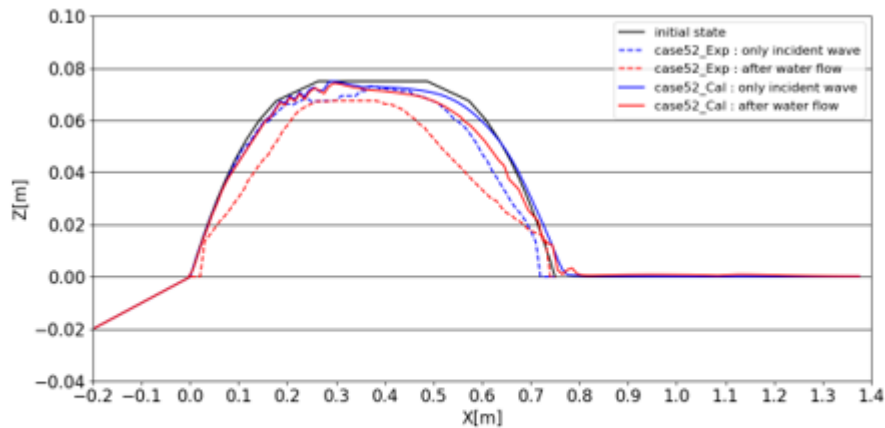


図 1-4-1-3 Case52における砂面形状変化  
【孤立波 12.5cm, 堤体無し, 6号珪砂】

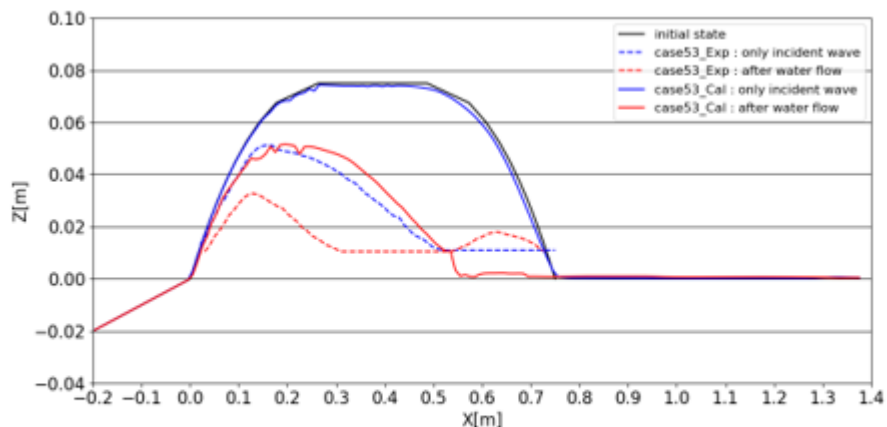


図 1-4-1-6 Case53における砂面形状変化  
【長周期波 12.5cm, 堤体無し, 6号珪砂】

【III シミュレーション解析編】における「図 1-4-1-3～図 1-4-1-6 波力時系列波形図」から抜粋

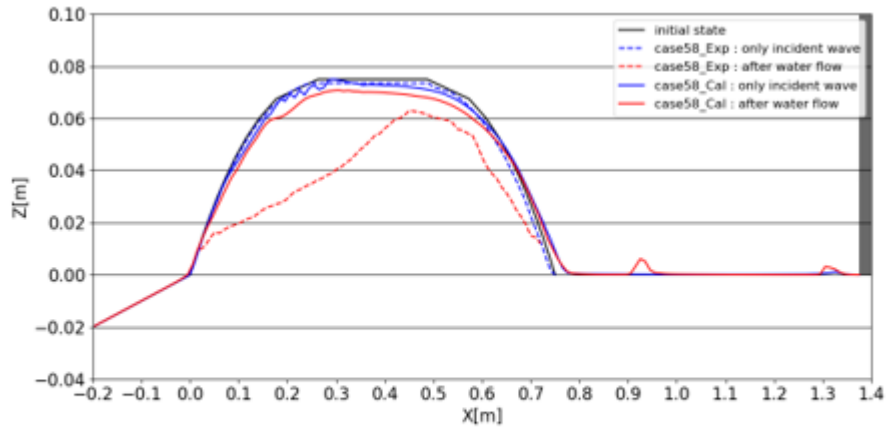


図 1-4-1-13 Case58 における砂面形状変化  
 【孤立波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

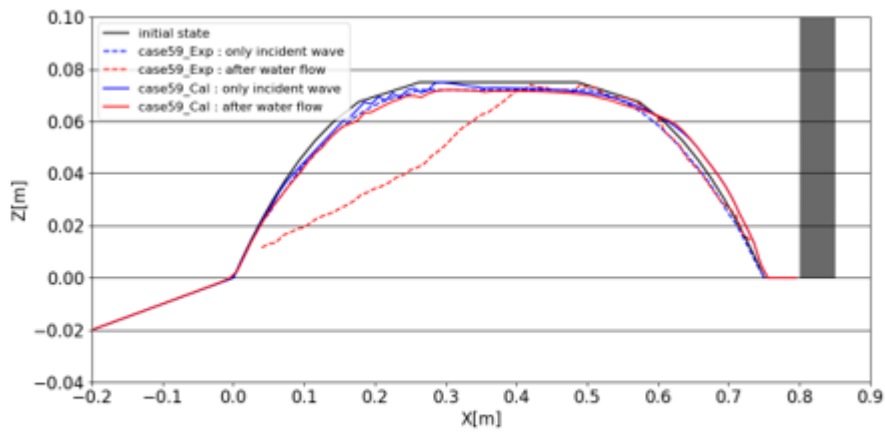


図 1-4-1-16 Case59 における砂面形状変化  
 【孤立波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

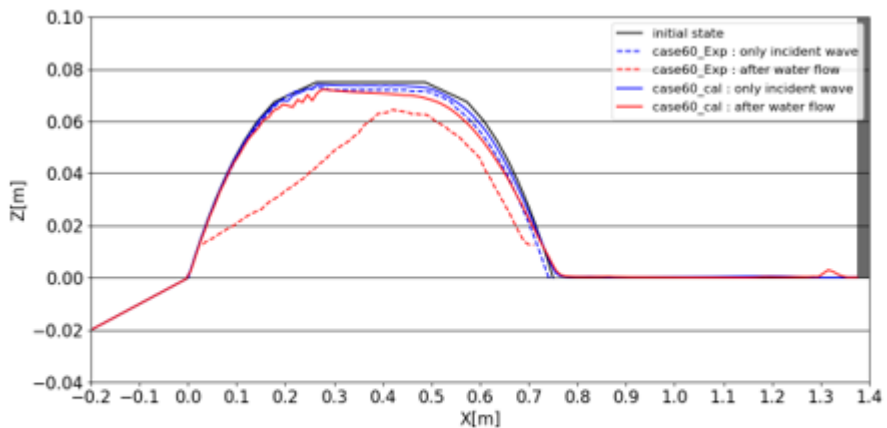


図 1-4-1-19 Case60 における砂面形状変化  
 【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 7号珪砂】

【III シミュレーション解析編】における「図 1-4-1-13, 1-4-1-16, 1-4-1-19 波力時系列波形図」から抜粋

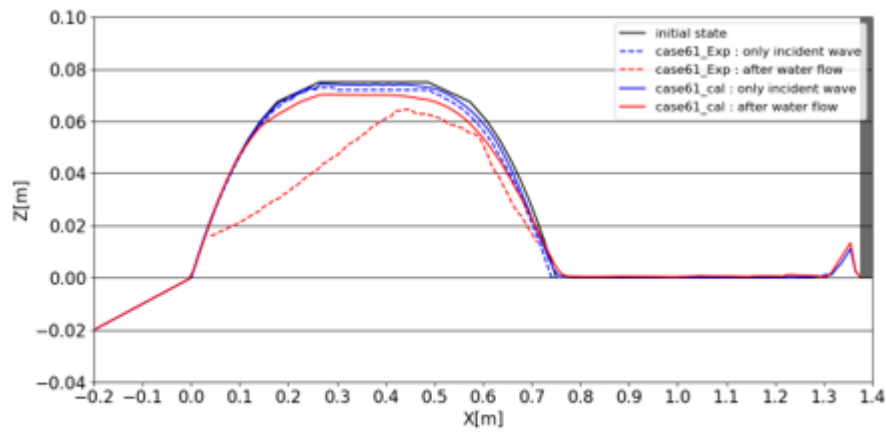


図 1-4-1-22 Case61における砂面形状変化  
【長周期波 12.5cm, 堤体-137.5cm, 6号珪砂】

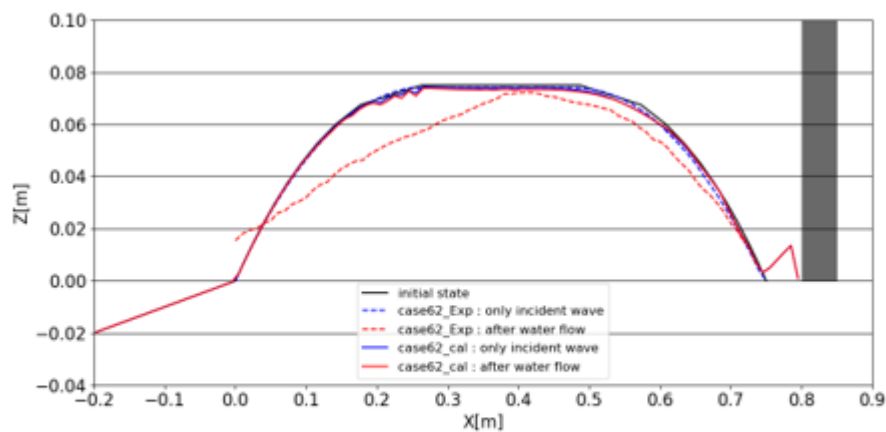


図 1-4-1-25 Case62における砂面形状変化  
【長周期波 12.5cm, 堤体-80.0cm, 6号珪砂】

【III シミュレーション解析編】における「図 1-4-1-22, 1-4-1-25 波力時系列波形図」から抜粋

上記の図の青色実線が入射波のみの解析結果, 青色破線が入射波のみの解析結果を示す。「試験再現性」の判定として, 図 1-4-1-3, 1-4-1-6 から示されるように, 堤体無しでは×, 図 1-4-1-13, 1-4-1-16, 1-4-1-19, 1-4-1-22, 1-4-1-25 から示されるように, 堤体有りでは○と判定できる.

#### 1-5-4 侵食量の総括

侵食量評価①～③にて評価した結果を総括表として表 1-5-4-1 に整理する。

表 1-5-4-1 侵食量評価に関する総括表

	侵食量評価①：粒径小の方が侵食される	侵食量評価②：堤体位置が遠い方が侵食される	侵食量評価③：試験結果の再現性
試験	長周期波(入)：○ 長周期波(通)：×	孤立波(入)：× 孤立波(通)：◎ 長周期波(入)：◎ 長周期波(通)：◎	—
解析 (模型)	長周期波(入)：△ 長周期波(通)：◎	孤立波(入)：◎ 孤立波(通)：◎ 長周期波(入)：◎ 長周期波(通)：◎	堤体無：× 堤体有：○
解析 (現地)	理想長周期波 A(入)：◎ 理想長周期波 A(通)：◎	理想長周期波 A(入)：◎ 理想長周期波 A(通)：◎	—

表 1-5-4-1 から示されるように、入射波に対して、①粒径の大小、②堤体の遠近の二項目に着目して評価を行った。

試験結果から、①粒径が小さいほうがより侵食される結果となった。また、②に関し、孤立波では堤体が近いほうが侵食され、長周期波では堤体が遠いほうが侵食された。

解析による試験結果の再現性については、堤体なしの場合十分再現できず、堤体がある場合おおむね再現した。堤体なしの場合に十分再現できなかった原因として、長時間計算により計算領域陸側端に到達した波による流れの変化が考えられる。

また、二項目の再現解析間の傾向は、長周期波については一致したが、孤立波は逆の傾向となった。堤体が遠いほうが侵食時間が長くなるため、より多く侵食されると考えられることから、この孤立波の結果については、解析の方が適切な値を示していると考えられる。

一方、二項目の再現解析間の傾向は、二項目の現地解析間（ただし、理想長周期波 A）の傾向とおおむね一致した。

---

## 1-6 全体総括

本事業の範囲では以下のことが明らかになった。

- (1)固定床と移動床の違いは、水塊落下時刻前までを見れば、作用荷重に明確な差違を与えない。
- (2)粒径が小さいほうがシールズ数が大きくなり、濁質濃度も大きくなる結果となったが、濁質濃度も大きくなっても作用荷重が明確には大きくなるらない。
- (3)堤体の遠近は、作用荷重に明確な影響を与える。
- (4)(1)～(3)の現象を解析により予測可能である。
- (5)現地スケールにおいても、模型スケールと同様の傾向を示した。