

---

令和元年度原子力施設等防災対策等委託成果報告書

耐津波設計・脆弱性評価手法の整備に  
係る防潮堤水理試験（砂移動影響）

（令和元年度分）

京都大学

令和 元年 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 類似事業で取得した知見の整理・分析】

### 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2章 類似事業で取得した知見の整理・分析.....	I-3
2-1 類似事業で実施した解析.....	I-3
2-2 類似事業の分析・検討を踏まえた今後の課題.....	I-27
2-2-1 解析に関する検討事項.....	I-27
2-2-2 水理試験に関する検討事項.....	I-27

---

## 第 1 章 業務概要

### 1-1 業務の目的

平成 25 年 7 月，新規制基準や関連する審査ガイドが施行された。また，平成 25 年 11 月改正の核原料物質，核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律では，「発電用原子炉施設の安全性の向上のための評価」を事業者に求め，「原子力規制委員会で定める時期ごとに，当該発電用原子炉施設の安全性について，自ら評価をしなければならない」としている。さらに，平成 25 年 11 月策定の「実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド」では，新規制基準を適用したプラントの安全性向上を「外部事象に係る確率論的リスク評価（PRA）」等を用いて評価することが求められており，リスク評価に資する施設・設備のフラジリティ評価手法の高度化が必要となっている。

本事業は，防潮堤に関する耐津波設計・フラジリティ評価手法の高度化を目的に，必要に応じて水理試験及び解析を実施し，砂移動の影響を含む防潮堤の作用荷重に関する試験データを取得する。類似事業で取得した結果（無償貸与が可能な物品を参照）と併せて，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。

### 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。

#### (2) 砂移動による影響の把握

##### (2-1) 類似事業で取得した知見の整理・分析

類似事業で得られた知見を基に，水理試験の再現性を解析により確認した砂移動条件等の範囲及び解析コードの適用範囲について，整理・分析する。

砂移動条件等とは，下記の通り，砂丘の粒径などの防潮堤前面砂丘に関する条件だけでなく，入力津波条件等の入力に関する条件設定も含める。

##### 【砂移動条件等の例】

1. 砂丘の粒径
2. 防潮堤位置
3. 入力津波条件（波形，周期等）
4. 海岸地形
5. 縮尺比
6. 砂丘の間隙水圧

【砂移動条件等と再現解析確認範囲の纏め例】

砂丘の粒径	A		B	
入力津波	波形：孤立波 周期：A	波形：孤立波 周期：B	波形：孤立波 周期：A	波形：孤立波 周期：B
縮尺比	1/80		A	
実施内容	水理試験及び数値解析		数値解析	
再現性	再現性を確認	再現性を未確認 (適用範囲外)	(解析コードの適用範囲内)	
...	...		...	
作用荷重への影響	影響無し		影響あり (A%増加)	

(2-2) 水理試験条件及び解析条件の策定

(2-1) で整理した砂移動条件等を踏まえ、(2-3)で実施する水理試験条件及び解析条件を策定する。

実施条件の策定にあたっては、少なくとも下記の2項目について確認できる形とし、水理試験及び解析の最少試験ケース数は合計72ケースとする。

① 再現解析の高度化

(2-1)で整理・分析した結果を踏まえ、水理試験結果に対する再現解析結果の再現性確保の観点から、水理試験及び(あるいは)再現解析に係る条件を策定すること。なお、再現解析条件の策定にあたっては、②の実機解析条件についても適用可能なものとする。

② 実機縮尺による粒径変化の影響把握

①で策定した再現解析条件を適用し、礫を含む少なくとも3ケースの粒径についての実機解析(=1/1縮尺解析)において、粒径変化に伴う防潮堤に対する作用荷重への影響を把握する実機解析条件を策定すること。

(2-3) 砂移動影響に関する水理試験及び解析の実施

水理試験を実施する場合、(2-2)①で策定した試験条件に基づいて水理試験を実施し、砂移動による防潮堤への作用荷重に関する水理試験データを取得し、整理・分析すること。水理試験データとしては、少なくとも防潮堤に作用する波圧、土圧及び砂移動の状況等を計測すること。

(2-2)①で策定した再現解析条件に基づいた再現解析を実施し、水理試験結果を適切に再現できることを確認・検証すること。

(2-2)②で策定した実機解析条件に基づいた実機解析を実施し、粒径変化に伴う防潮堤に対する作用荷重への影響に係る影響を整理・分析すること。

(2-4) 砂移動による影響の把握

水理試験で計測されたデータ、解析で得られたデータ、類似事業で得られた知見等を整理・分析し、砂移動による防潮堤の作用荷重への影響を把握する。

水理試験の再現性を解析により確認した範囲及び解析コードの適用範囲について整理するとともに、砂移動による防潮堤の作用荷重への影響が現れる砂移動条件等についても分析する。

---

## 第2章 類似事業で取得した知見の整理・分析

### 2-1 類似事業で実施した解析

類似事業で得られた知見を基に、水理試験の再現性を解析により確認した砂移動条件等の範囲及び解析コードの適用範囲について、整理・分析する。ここでは、対象とする現象、すなわち、「防潮堤に作用する砂丘の影響を考慮した波力の挙動」に関して、類似事業から得られた知見を整理する。ここでいう類似事業とは、「平成30年度原子力施設等防災対策等委託成果報告書 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）」を指し、以下「平成30年度報告書」と略す。

平成30年度報告書で実施した解析は以下の通りである。このうち、実験との比較可能な解析ケースは、A(a)、A(b)およびB(a)である。なお、平成30年度報告書で入力した津波はすべて孤立波である。

#### A. 固定床解析（河床勾配1/10）

##### (a)通過波の津波変形(4×1=4)

入力波高4(7.5, 10.0, 12.5, 15.0cm); 防潮堤なし1

##### (b)防潮堤による津波変形・作用波圧(4×2=8)

入力波高4(7.5, 10.0, 12.5, 15.0cm); 防潮堤位置2(-75.0cm,-137.cm)

#### B. 移動床解析

##### (a)実験比較ケース(3×1×2=6) (河床勾配1/10)

入力波高3(7.5, 10.0, 12.5cm): 防潮堤位置2(-75.0cm,-137.cm); 粒径1(0.23mm)

##### (b)粒径変化(3×2×3=18)(河床勾配1/40)

入力波高3(7.5, 10.0, 12.5cm); 防潮堤位置2(-75.0cm,-137.cm); 粒径3(0.23mm,0.005mm,0.85mm)

合計 3×2×3=18

##### (c)砂層考慮(3×1×1=3) (河床勾配1/40)

入力波高3(7.5, 10.0, 12.5cm); 防潮堤位置1(-75.0cm); 粒径1(0.23mm)

以下、それぞれのケースについて結果を考察する。

---

## A. 固定床解析

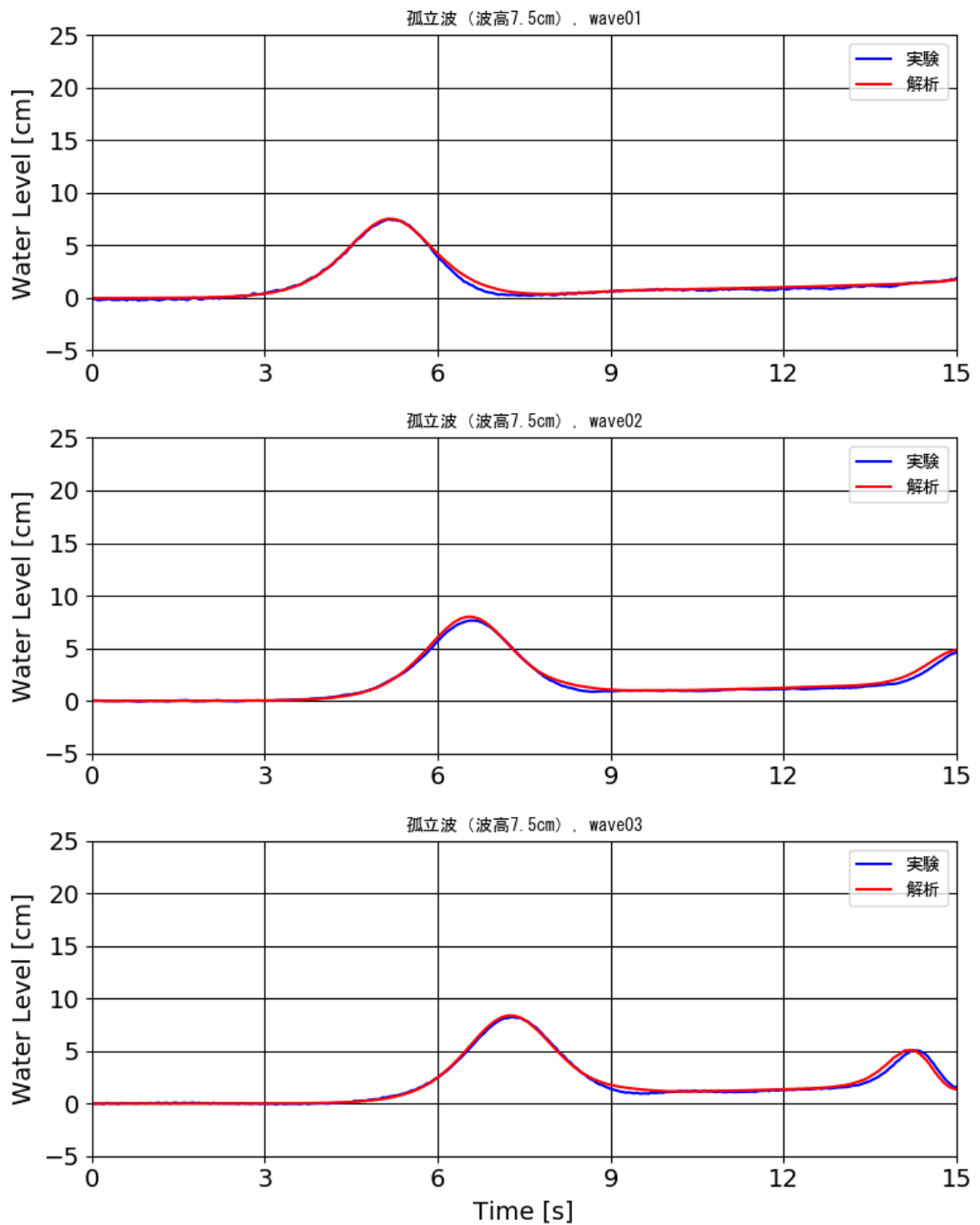
(a)通過波の津波変形（平成30年度報告書の図1-3-5-1～図1-3-5-8参照，計測位置 wave01～wave06は図2-2-2参照）

（整合点）水位時系列波形の数値計算結果と水理模型試験結果との比較について，沖合から砕波帯前面にかけて（wave01～wave05）の計算水位は水理模型試験における計測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．

（不整合点）これに対し，砕波後（wave06＝汀線から沖側に20cm）の計算水位は，試験結果を過大評価している．これはすべての入力波高で共通している．波形を確認すると，水位の上昇時や下降時の挙動はほぼ位置しているが，ピーク付近で，計算では水位が立ち上がりの勢いそのままに上昇するが，試験の水位は上昇が弱くなっている．

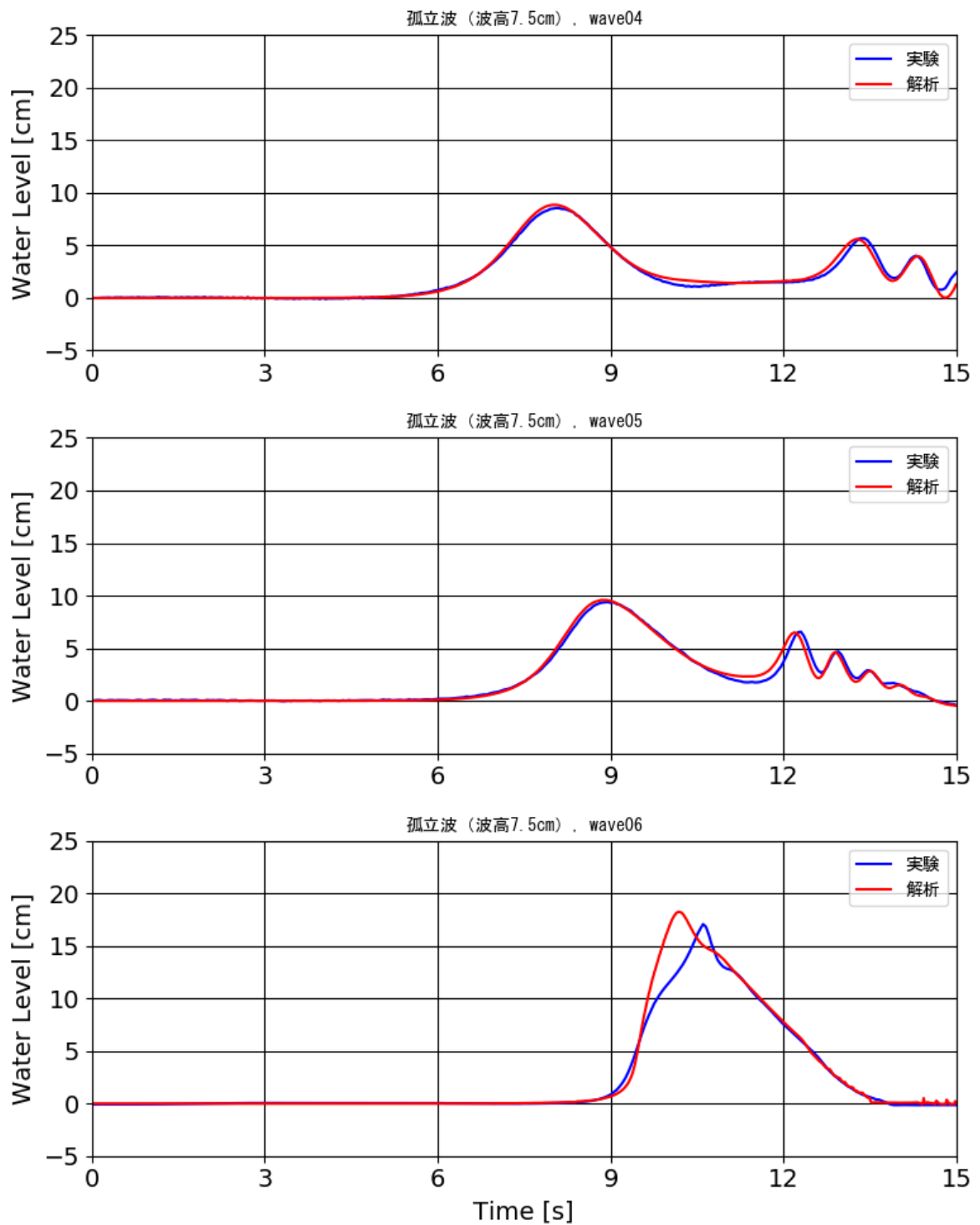
表 1-1-1 通過波の津波変形（固定床）の整理

Case	実施内容	縮尺	勾配	防潮堤位置	入力波高	波高再現性
1	実験及び 解析	1/80	1/10	防潮堤なし	7.5cm	砕波後の波 高が過大評 価．
2					10.0cm	
3					12.5cm	
4					15.0cm	

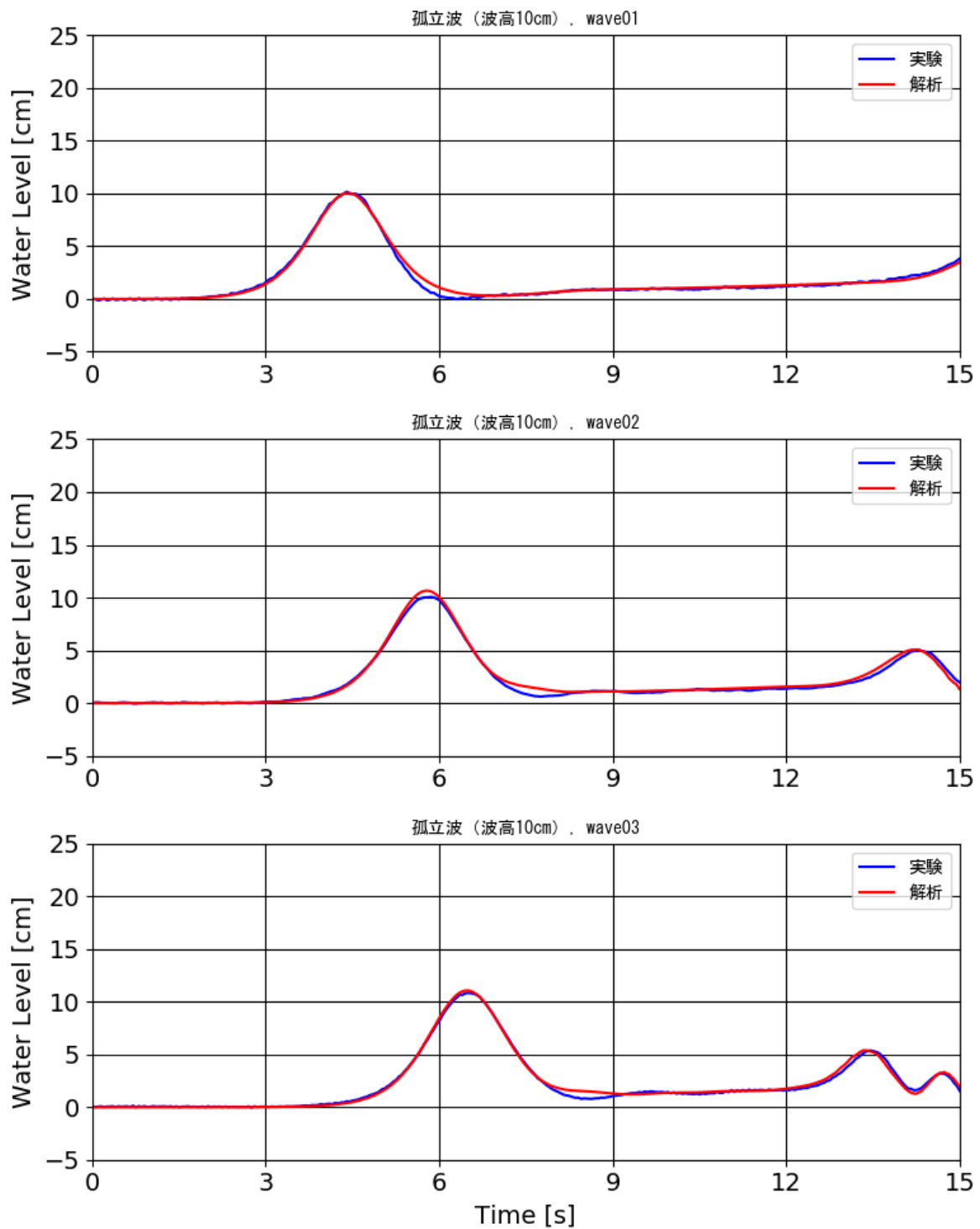


平成 30 年度報告書における「図 1-3-5-1 Case1 の時系列波形図 (wave01~wave03)【孤立波：波高 7.5cm】」から抜粋

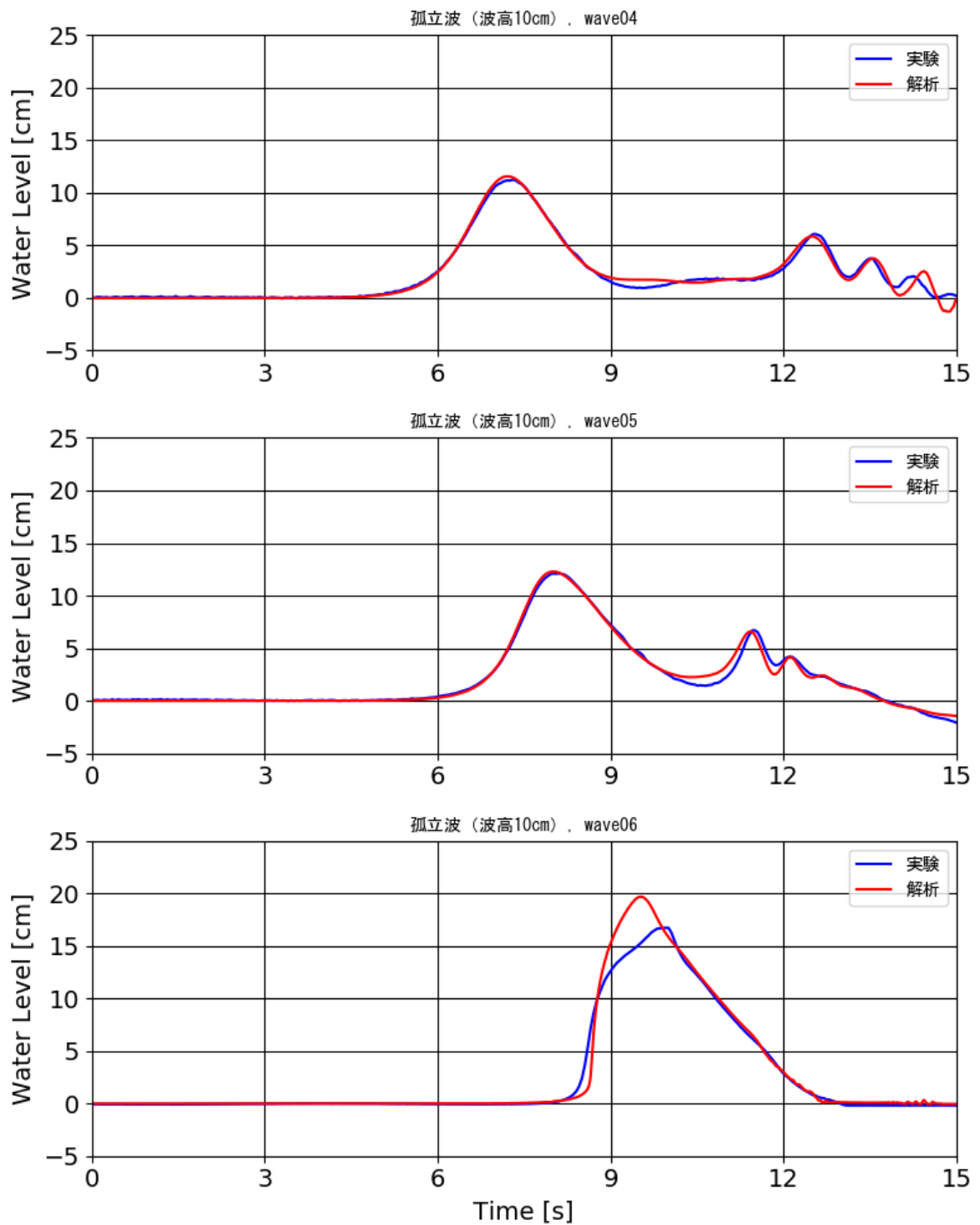




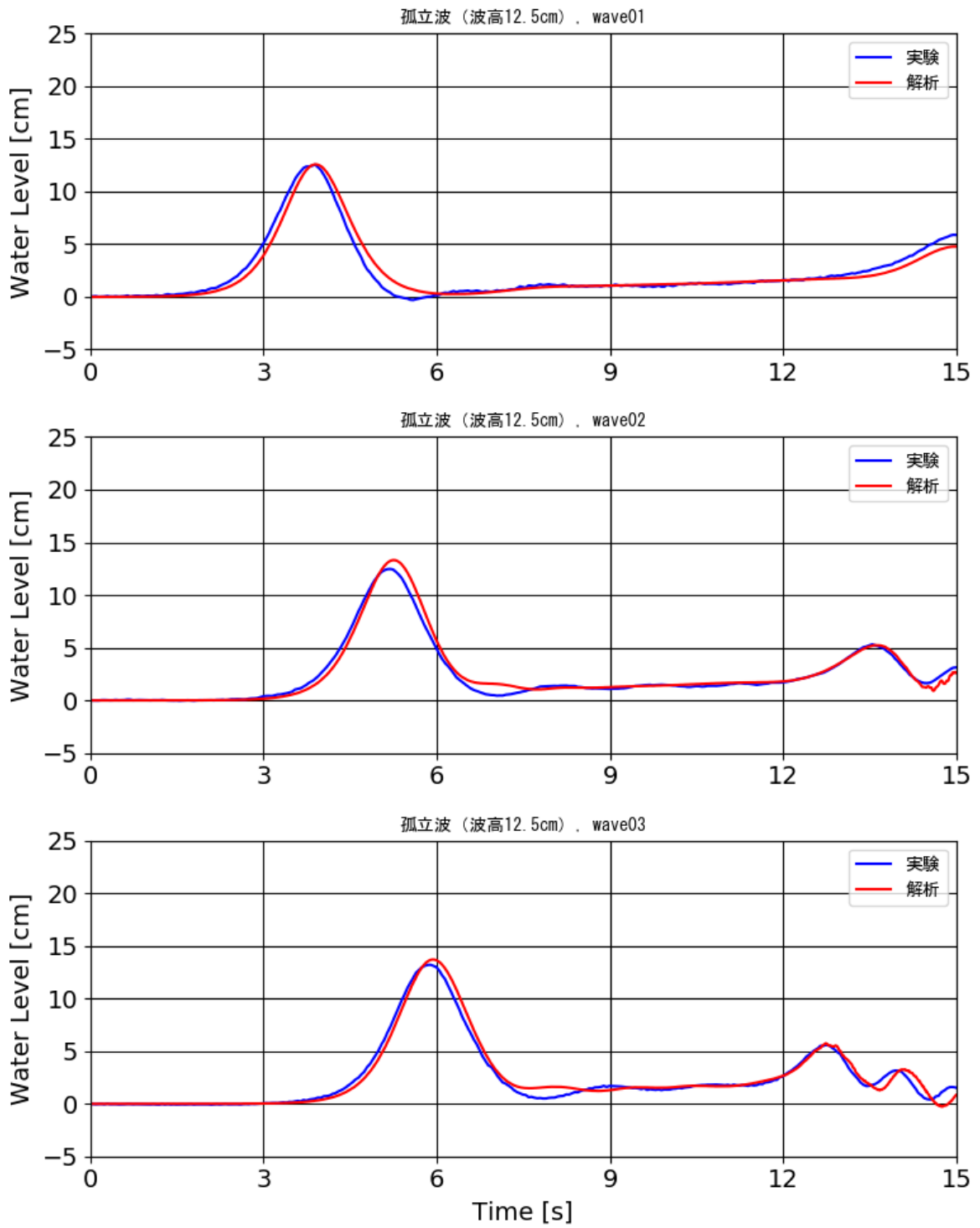
平成 30 年度報告書における「図 1-3-5-2 Case1 の時系列波形図 (wave04~wave06) 【孤立波：波高 7.5cm】」から抜粋



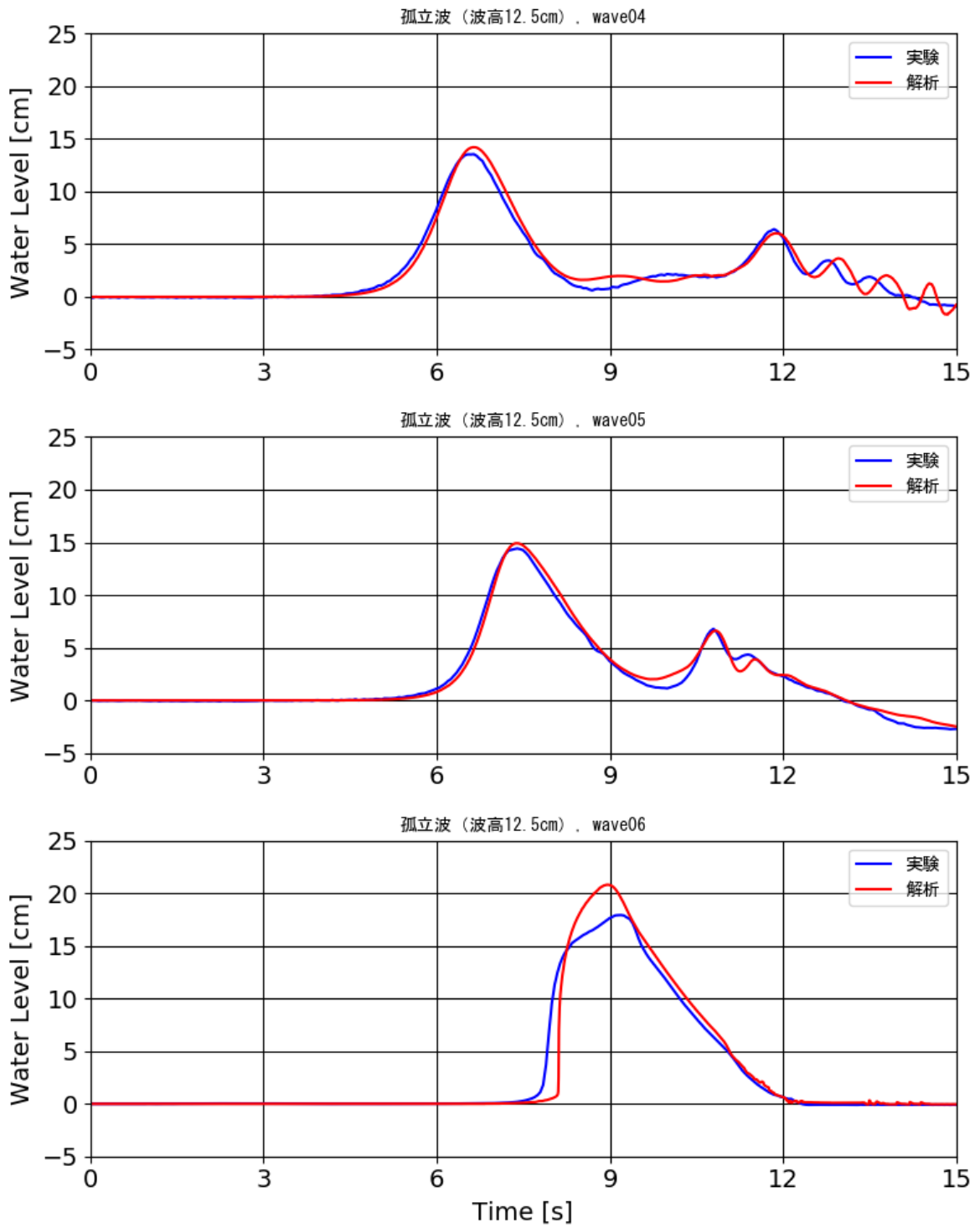
平成 30 年度報告書における「図 1-3-5-3 Case2 の時系列波形図 (wave01~wave03)【孤立波：波高 10cm】」から抜粋



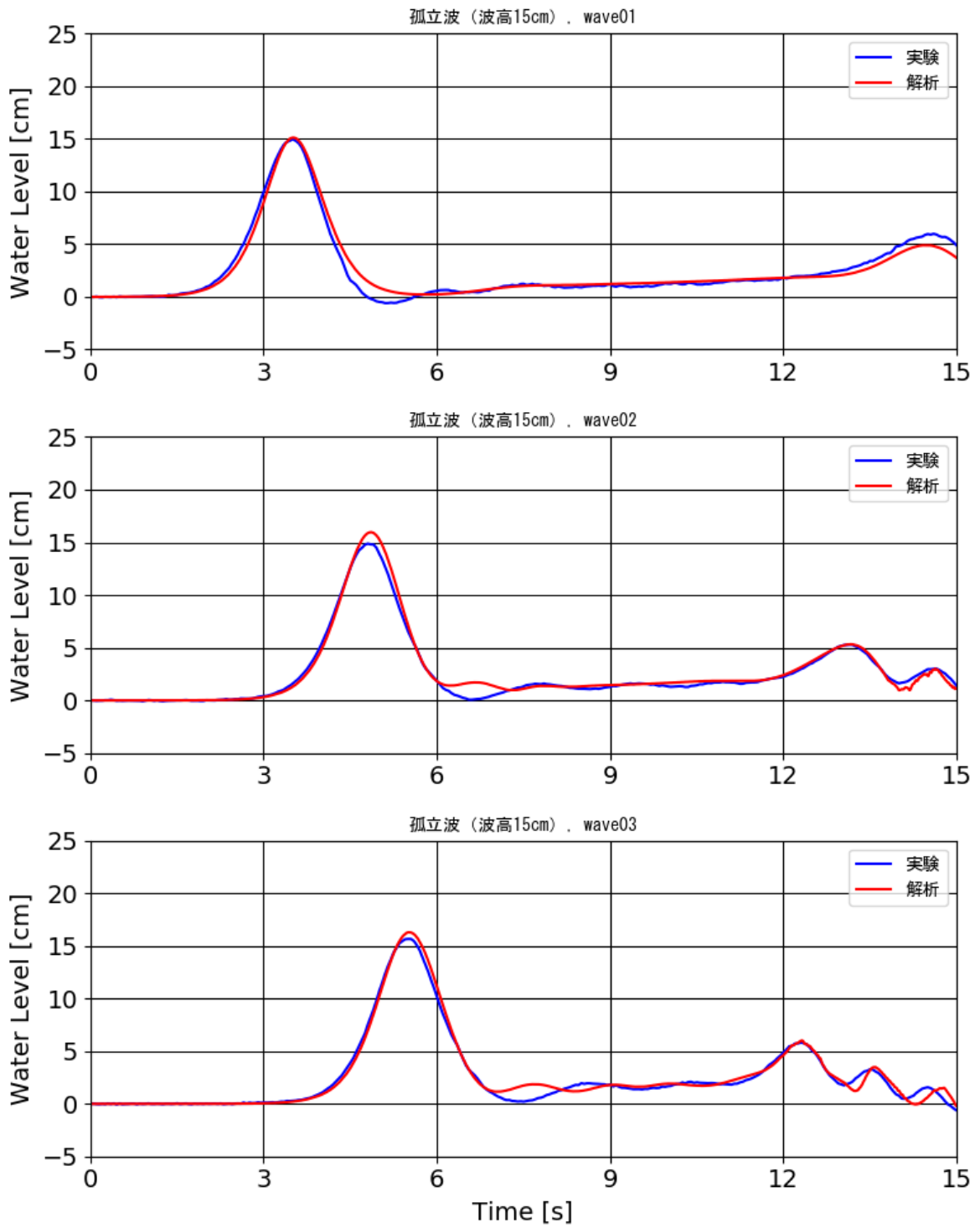
平成 30 年度報告書における「図 1-3-5-4 Case2 の時系列波形図 (wave04~wave06)【孤立波：波高 10cm】」から抜粋



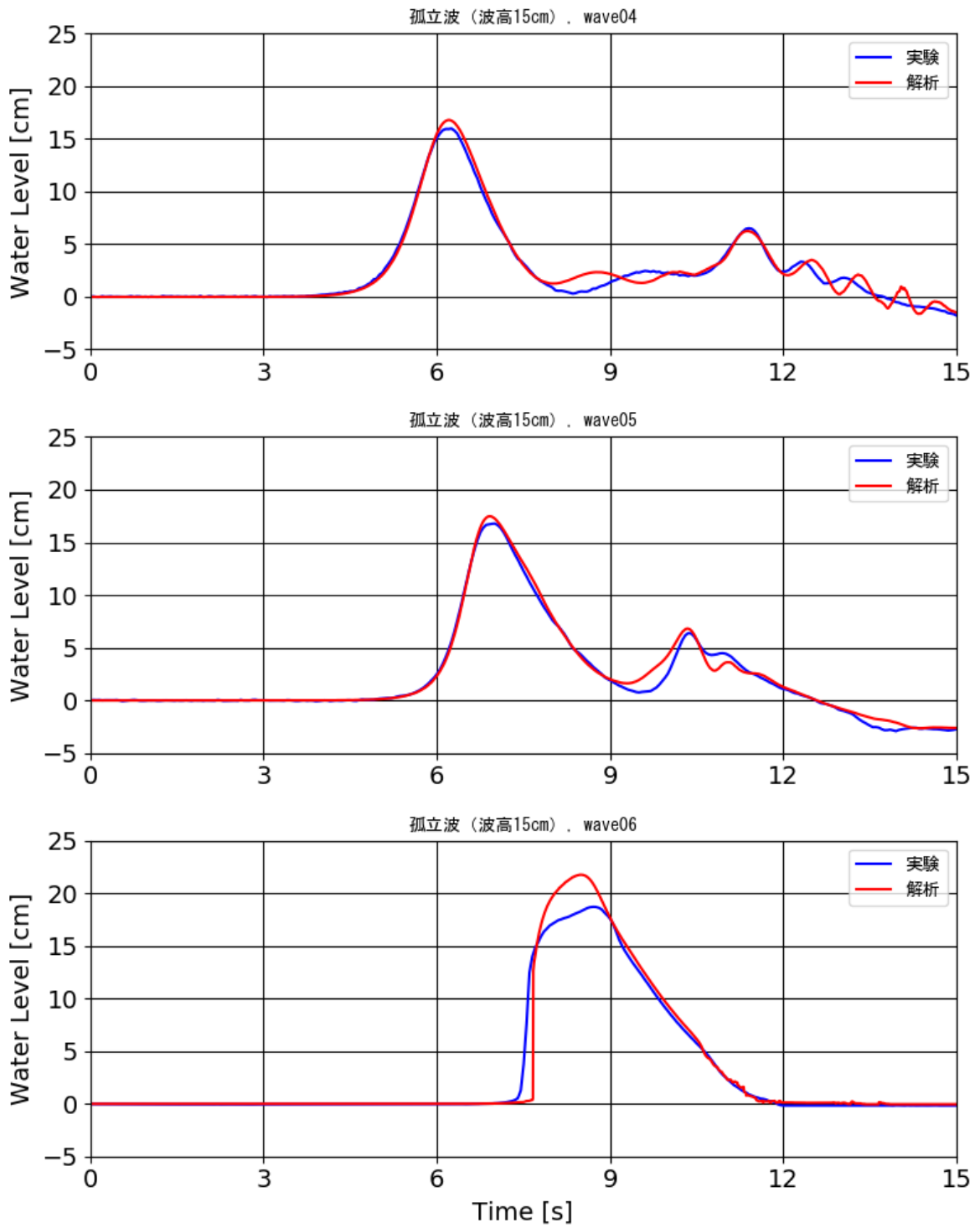
平成 30 年度報告書における「図 1-3-5-5 Case3 の時系列波形図  
 (wave01~wave03)【孤立波：波高 12.5cm】」から抜粋



平成 30 年度報告書における「図 1-3-5-6 Case3 の時系列波形図 (wave04~wave06) 【孤立波：波高 12.5cm】」から抜粋



平成 30 年度報告書における「図 1-3-5-7 Case4 の時系列波形図 (wave01~wave03)【孤立波：波高 15cm】」から抜粋



平成 30 年度報告書における「図 1-3-5-8 Case4 の時系列波形図 (wave04~wave06)【孤立波：波高 15cm】」から抜粋

---

この過大評価は、砕波によるエネルギー減衰を適切に再現できているかどうか起因すると思われるが、実験との乖離が大きかった wave06 地点(【III シミュレーション解析編】の図 2-2-2 参照)の挙動を再度確認し、適切な解析法を検討した結果について報告する。

比較点の位置や解析での波高出力方法、解析方法(2次元計算のみ(SWE)や、3次元計算を含むハイブリット(HYB))などについて検討を行った。その結果、水理試験の計測点に対し、解析での出力点に孤立波入射方向に対し、+20cmのずれが確認されたため、修正した結果を以下に示す。

図 2-1-1~図 2-1-3 は、孤立波 12.5cm の入力波高における水位の時系列波形図を示す。ここで wave06 地点は各図の 3 つ目に相当する。図 2-1-1 は修正前の計測位置における計算結果であり、図 2-1-2 は修正後の計測位置における計算結果を示し、両者ともに 3次元計算を含むハイブリット(HYB)計算結果である。図 2-1-3 は修正後の計測位置における 2次元計算のみ(SWE)の計算結果を示す。



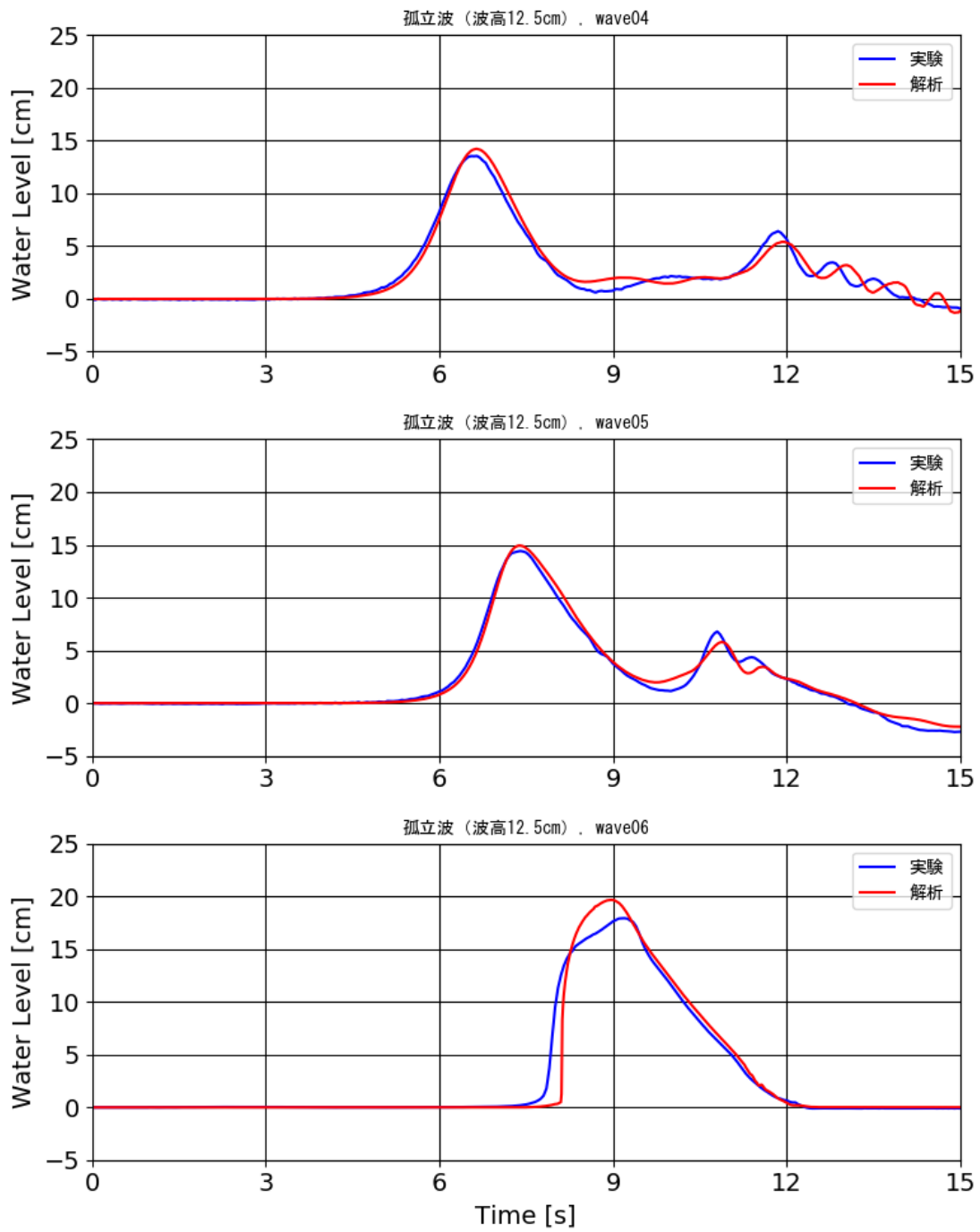


図 2-1-1 計測位置修正前の HYB における時系列波形図 (wave04~wave06)

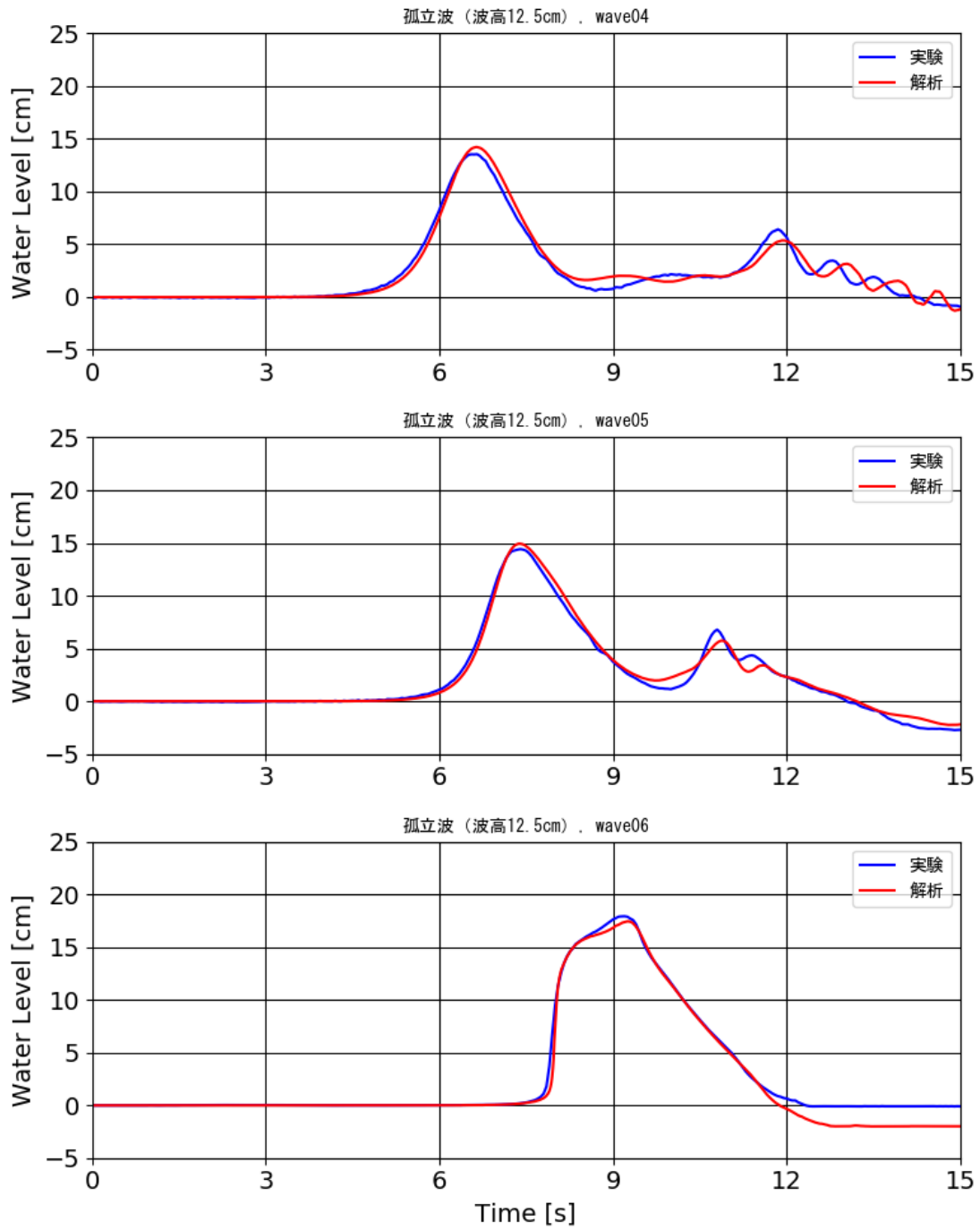


図 2-1-2 計測位置修正後の HYB における時系列波形図 (wave04~wave06)

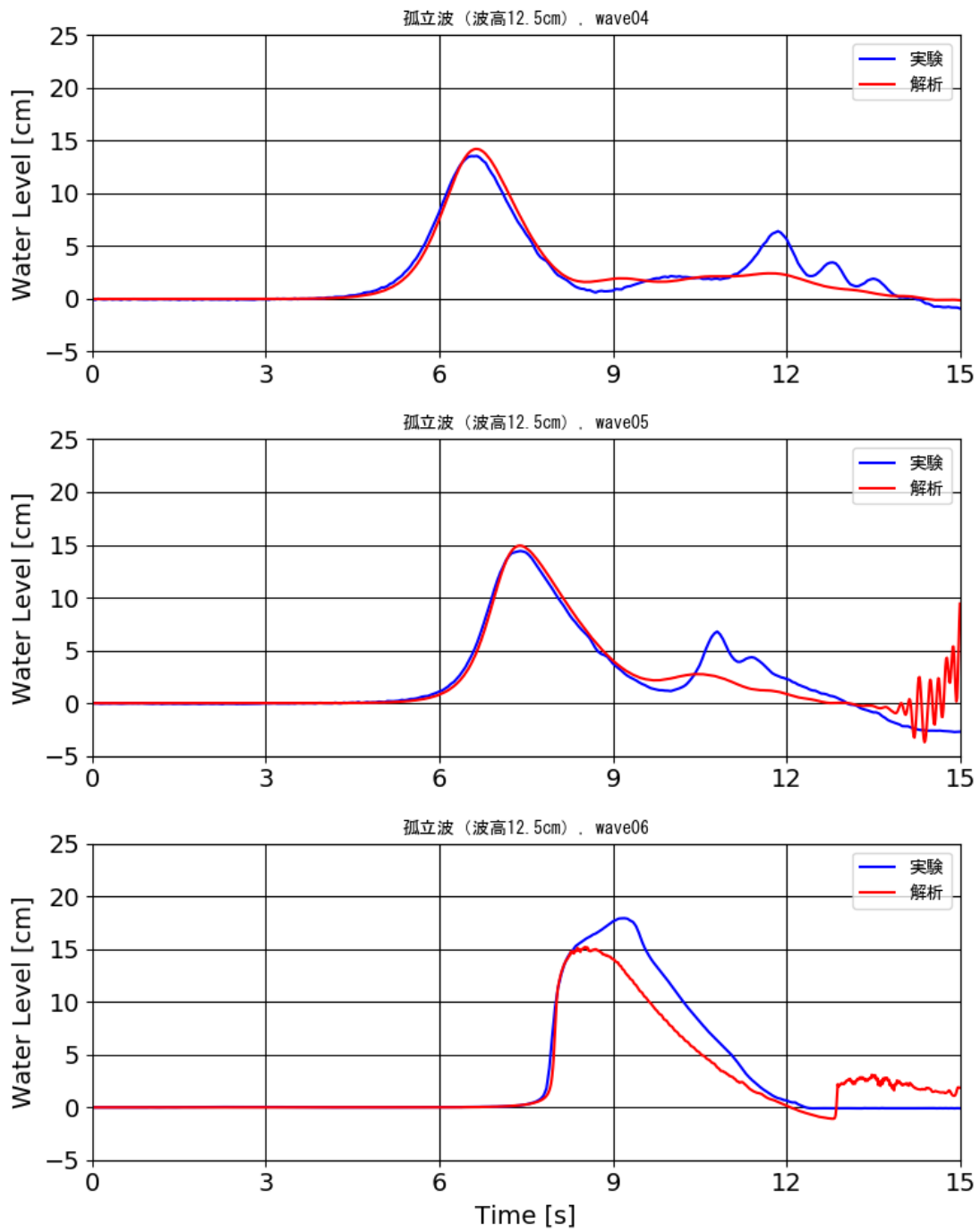


図 2-1-3 計測位置修正後の SWE における時系列波形図 (wave04~wave06)

---

図 2-1-1～図 2-1-2 で示されるように， wave06 地点の出力位置修正前後で波のピーク周辺の様子が変わり，修正後の方が実験結果と調和的となる（図 2-1-2 参照）。

また，SWE 計算では wave06 地点は波のピークが実験より小さくなる（図 2-1-3 参照）。

以上のことから，計測点 wave06 の水位時間変化の水理試験との乖離は，出力位置の修正により解消され，解析モデル本体の修正を要しないことが分かった。

このため，本解析モデルにより，砕波によるエネルギー減衰を適切に再現できることが再確認されるとともに，水深積分（SWE）計算のみでは，wave06 の水位変動を適切に再現できないことが確認された。

## (b)防潮堤による津波変形・作用波圧

### ○試験結果との比較

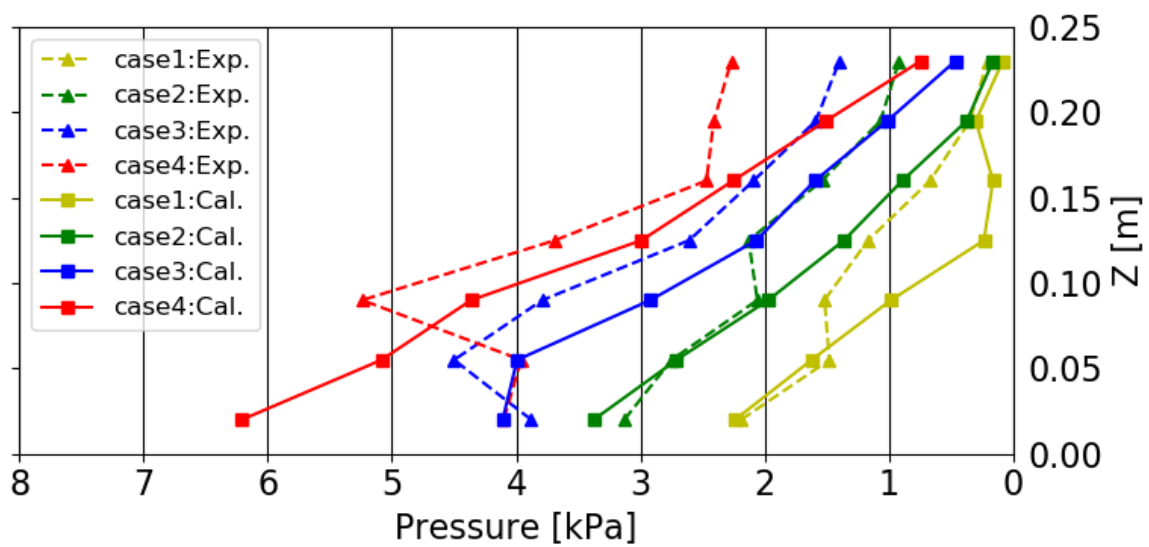
(整合点) 段波波圧最大値の鉛直分布の試験結果との比較(平成30年度報告書の図1-4-5-29及び図1-4-5-30参照)をしたところ、波圧のオーダーは試験結果と概ね一致しており、波圧のオーダーは予測できる。

(不整合点) 実験スケールで25cmの防潮堤のうち、15cmより上方の計測点については、解析結果が試験結果を過小評価している。この原因は、流れを単相流で扱っていることが影響していると考えられるが、詳細な検討が必要である。

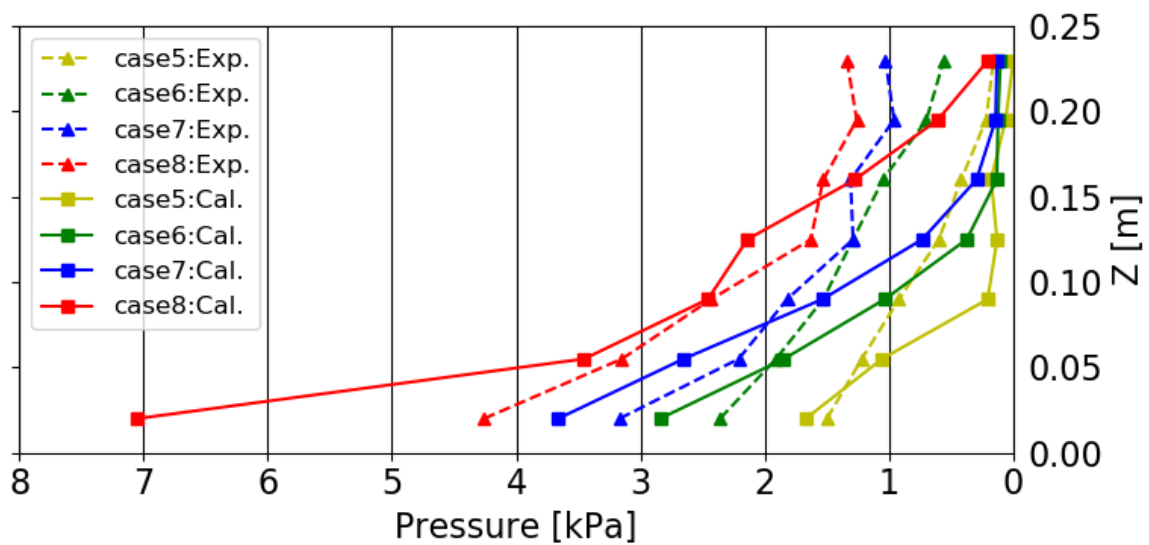
(不整合点) また、孤立波15cm、防潮堤位置汀線-137.5cmのケース(Case8)の防潮堤下部の計測地点における解析結果と試験結果との乖離している。防潮堤位置汀線-137.5cmのケースでは、砂丘を乗り越えた津波が砂丘と防潮堤の間の水平部を高速に流れ、防潮堤下部に衝突して大きな圧力を生じさせる。孤立波15cmのケースが特に乖離が大きかったのは、水平部の流れの速度が実験よりも大きかったためと考えられる。水平部鉛直方向のメッシュ間隔や底面摩擦等を工夫することで、水平部の流れを減速してこの乖離を小さくすることが可能である。なお、孤立波15cmのケースは、防潮堤を越流するため、以降は検討対象としない。

表 1-1-2 防潮堤による津波変形・作用波圧(固定床)の整理

Case	実施内容	縮尺	勾配	防潮堤位置	入力波高	波圧再現性	作用加重への影響
1	水理試験 及び解析	1/80	1/10	汀線 -75cm	7.5cm	堤体上 部で過 小評価	未実施
2					10.0cm		
3					12.5cm		
4					15.0cm		
5				汀線- 137.5cm	7.5cm	堤体上 部で過 小評価	未実施
6					10.0cm		
7					12.5cm		
8					15.0cm		



平成 30 年度報告書における「図 1-4-5-29 段波波圧の最大値の試験結果との比較【孤立波 7.5, 10, 12.5, 15cm, 汀線-75cm】」から抜粋



平成 30 年度報告書における「図 1-4-5-30 段波波圧の最大値の試験結果との比較【孤立波 7.5, 10, 12.5, 15cm, 汀線-137.5cm】」から抜粋

## B. 移動床解析

### (a)実験比較ケース

**波圧の比較：**（平成 30 年度報告書の図 2-8-1-1 及び図 2-8-1-2 参照）

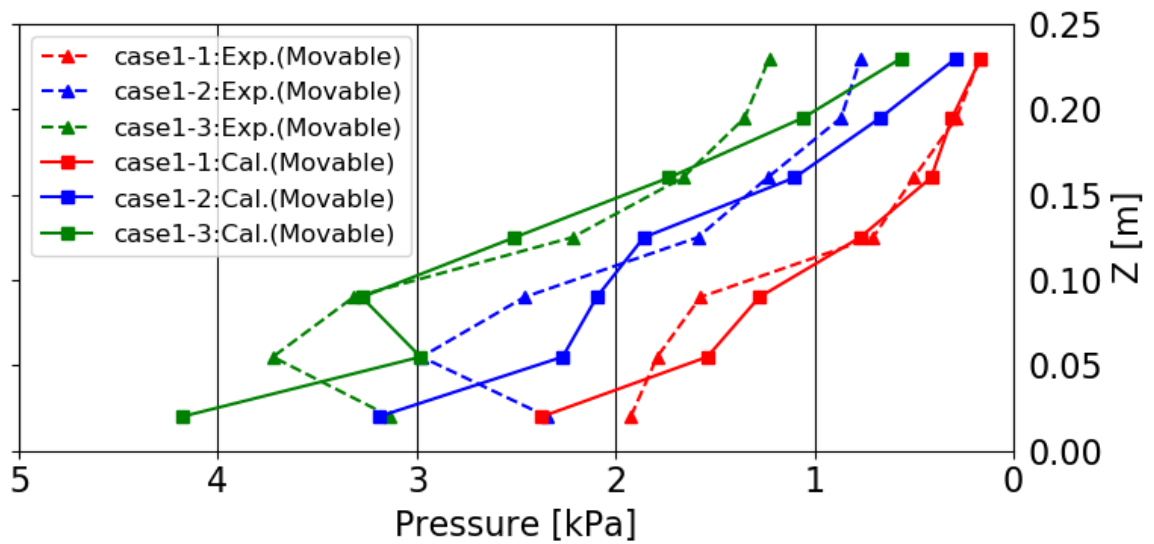
（整合点）防潮堤に作用する波圧の鉛直分布の試験結果との比較については、波圧のオーダーは試験結果と概ね一致しており、再現性は高いことが確認された。

（不整合点）ただし、固定床の場合と同様に、実験スケールで 25cm の防潮堤のうち、15cm より上方の計測点については、計算結果が試験結果を過小評価している。

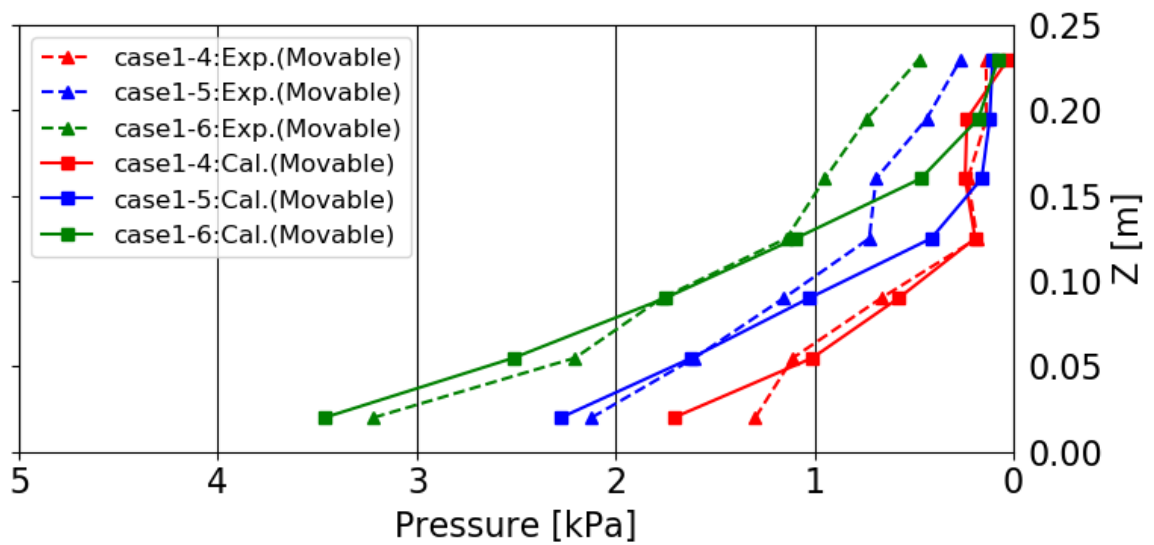
（整合点）防潮堤に作用する波圧分布の傾向は、固定床と移動床で顕著な違いは見られない（平成 30 年度報告書の図 2-8-1-3 及び図 2-8-1-4 参照）。これは、砂丘材料が固定床から移動床に変わったことによって、津波波形の状況に顕著な変化は見られなかったものと考えられる。これは実験の傾向と整合する。

表1-1-3 実験比較ケース（移動床）の整理

Case	実施内容	縮尺	粒径 (mm)	勾配	防潮堤位置	入力波高	波圧再現性	砂移動再現性	作用加重への影響
1-1	水理試験及び解析	1/80	0.025	1/10	汀線-75cm	7.5cm	堤体上部で過小評価	概ね再現	未実施
1-2						10.0cm			
1-3						12.5cm			
1-4					汀線-137.5cm	7.5cm	堤体上部で過小評価		
1-5						10.0cm			
1-6						12.5cm			

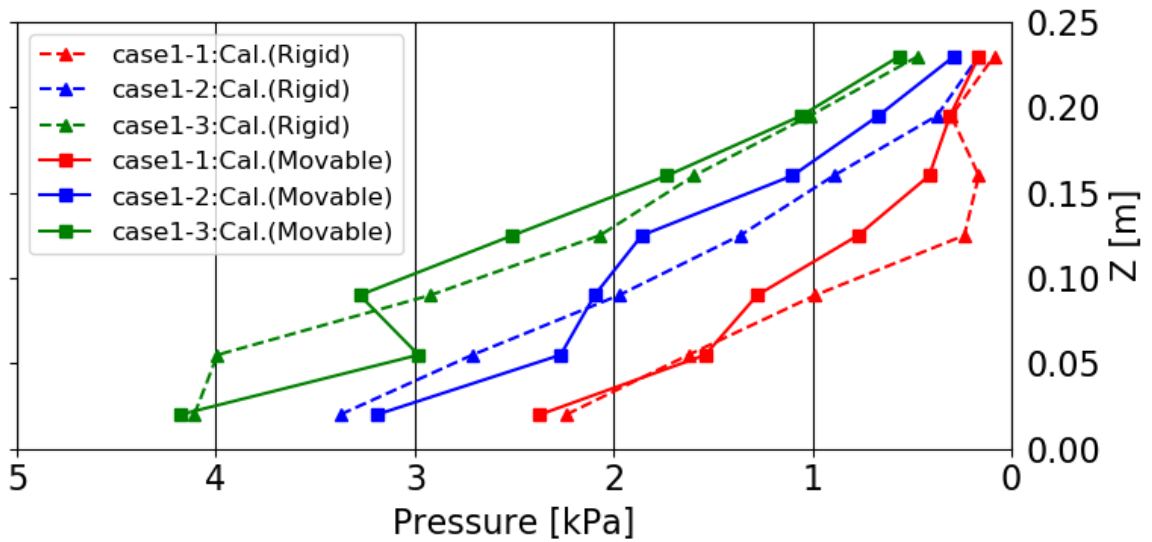


平成 30 年度報告書における「図 2-8-1-1 防潮堤に作用する段波波圧の最大値【防潮堤位置：汀線-75cm】」から抜粋

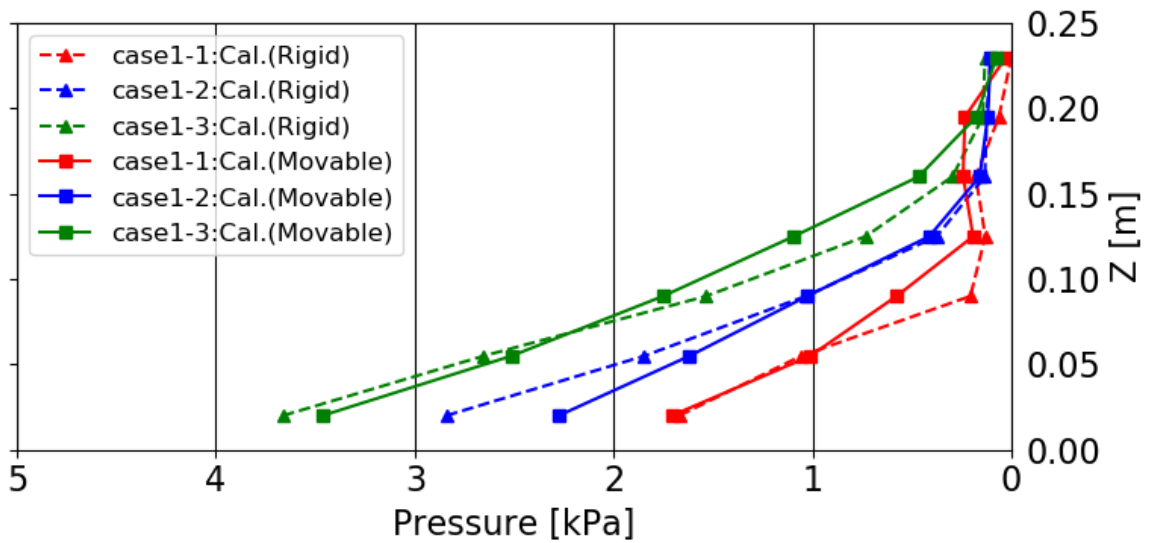


平成 30 年度報告書における「図 2-8-1-2 防潮堤に作用する段波波圧の最大値【防潮堤位置：汀線-137.5cm】」から抜粋





平成 30 年度報告書における「図 2-8-1-3 防潮堤に作用する段波波圧の最大値【防潮堤位置：汀線-75cm】」から抜粋



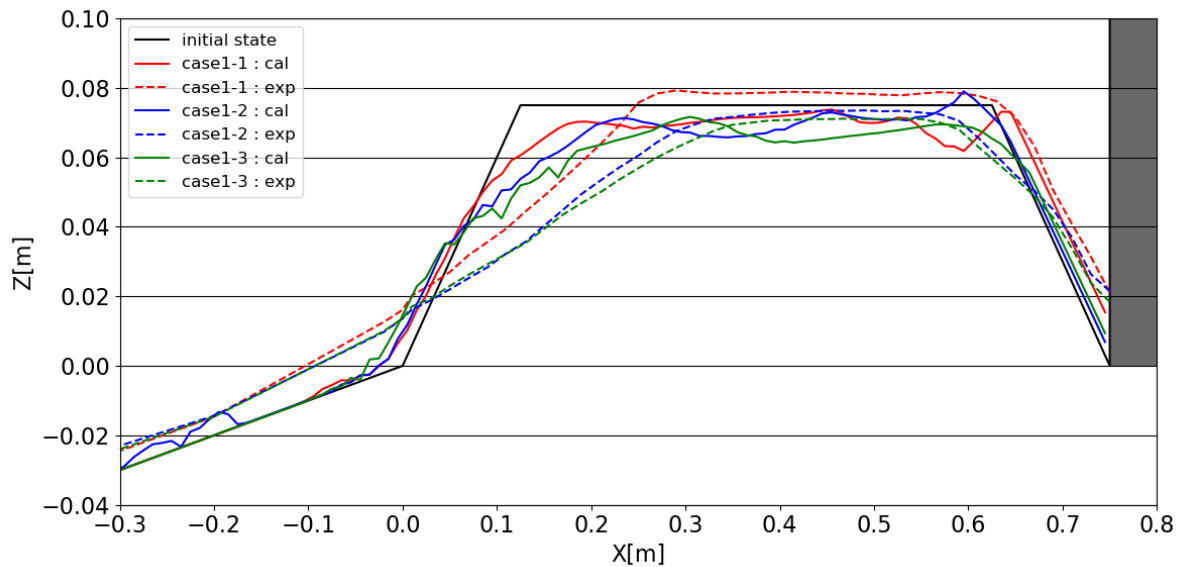
平成 30 年度報告書における「図 2-8-1-4 防潮堤に作用する段波波圧の最大値【防潮堤位置：汀線-137.5cm】」から抜粋

砂丘地形の河床変動高の縦断分布：（平成 30 年度報告書の図 2-8-2-19 及び図 2-8-2-20 参照）

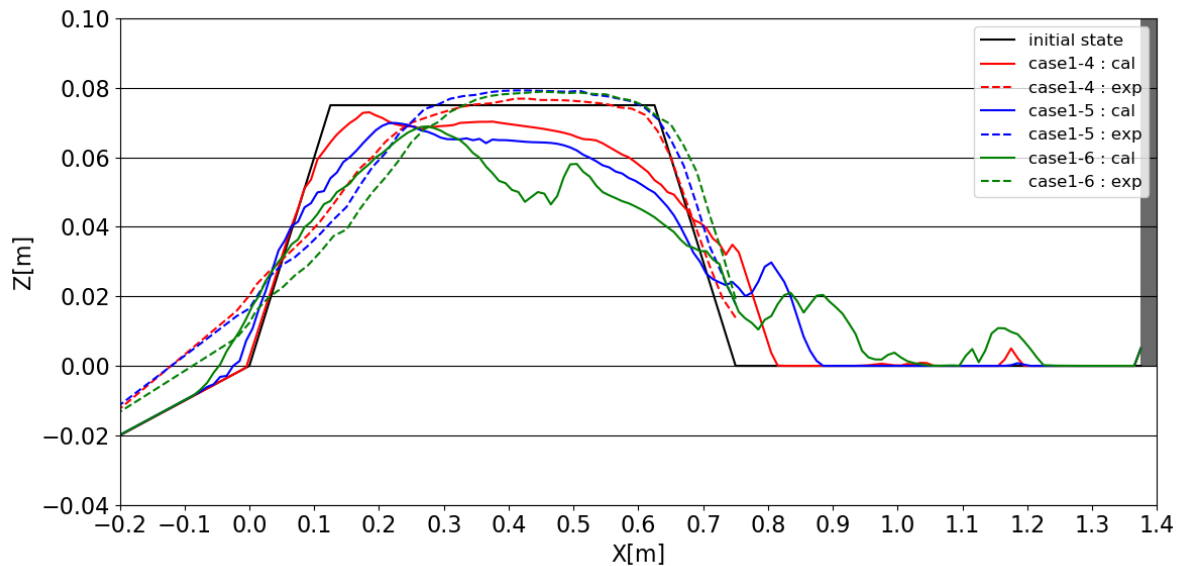
（整合点）砂丘地形の沖側先端（法肩）の侵食については，防潮堤位置が汀線 -75cm 及び汀線-137.5cm の両ケースとも波高が大きいほど侵食が進む傾向にあり，これは試験結果と調和的である．

（整合点）砂丘地形の防潮堤側先端（法肩）の防潮堤位置が汀線-75cm のケースの侵食については，試験結果と解析結果の差違が小さい．

（不整合点）一方，砂丘地形の防潮堤側先端（法肩）の汀線-137.5cm のケースの侵食については，計算結果は試験結果よりも大幅に侵食が進む過大評価となった．この理由としては，試験結果では，防潮堤側先端において気泡混入により砂丘を飛び越えるような流れ場となっているが，計算結果では，砂丘に沿った流れとなっており，計算結果と試験結果で砂丘の地形変化に違いが発生したと考えられる．



平成 30 年度報告書における「図 2-8-2-19 各ケースにおける河床変動高の試験結果と解析結果との比較【河床勾配：1/10，防潮堤位置：-75cm】」から抜粋



平成 30 年度報告書における「図 2-8-2-20 各ケースにおける河床変動高の試験結果と解析結果との比較【河床勾配：1/10，防潮堤位置：-137.5cm】」から抜粋

#### 浮遊砂濃度分布：

浮遊砂濃度分布については、砂丘表層付近で最も高くなる傾向にある。総じて、押し波時は砂丘中央から防潮堤前面までの表層で浮遊砂濃度が相対的に高くなり、引き波時には防潮堤前面から沖側に向かって時々刻々と高くなっていく傾向にある。ここで、引き波時における砂丘地形の防潮堤側先端（法肩）の浮遊砂濃度が、防潮堤位置が汀線-75cm より汀線-137.5cm の方が相対的に高くなっており、侵食が進んだことを裏付けている。

---

### (b)砂粒径変化ケース

防潮堤に作用する波圧分布の傾向は、砂粒径変化で顕著な違いは見られない。これは、砂粒径が変わったことによって、津波波形の状況に顕著な変化は見られなかった。

砂粒径変化による河床変動高の縦断分布については、防潮堤位置が汀線-75cm 及び汀線-137.5cm の両ケースとも、砂粒径が最も小さい0.005mm のケースに砂丘地形の侵食が最も進む傾向が捉えられ、0.23mm 及び0.85mm の砂粒径ケース間の差異は殆ど見られなかった。これは、浮遊砂濃度分布が、砂粒径が0.85mm, 0.23mm, 0.005mm の順に浮遊砂濃度が高くなることと関連している。すなわち、砂粒径が小さいほど砂の巻き上がりが強まり、結果として、砂丘地形の侵食が進んだものと示唆される。

### (c)砂層考慮ケース

防潮堤に作用する波圧分布の傾向は、砂層を考慮したことにより顕著な違いは見られない。これは、砂層を考慮した（非一様分布にした）ことによって、津波波形の状況に顕著な変化は見られなかったものと考えられる。

砂層を考慮した（非一様分布にした）ことによる河床変動高の縦断分布については、何れの波高においても砂丘上端部における侵食（変形）に差異は殆ど見られなかった。これは、浮遊砂濃度分布が砂層を考慮した（非一様分布にした）ことによる差異が見られなかったものと関連しており、砂の巻き上がりに違いは見られなかったものと考えられる。

ただし、本解析で使用した砂粒径は試験材料の0.23mmを採用したため差異が殆ど見られなかったが、例えば、砂粒径が上記の0.005mmのケースにおいて同条件下で解析を実施すると、侵食後の砂丘地形に大きな違いが生じるものと考えられる。

表1-1-4 粒径等変化ケース（移動床）の整理

case	実施内容及び縮尺	砂層の有無	海底勾配	防潮堤位置 (cm)	入力波高 (cm)	粒径 (mm)	波圧評価 (段：段波波力， 持：持続波力； 低位置，中位置は， 防潮堤高さを基準 とした)	砂移動評価	作用加重への影響	
2-1	解析 1/80	無し	1/40	汀線 -75	7.5	0.23	段：低位置で0.005が大きい。 持：粒径影響なし	侵食： 0.005の ケース が最も 侵食。  浮遊砂 濃度： 細かい ほど高 い。	未実施	
2-2						0.005				
2-3						0.85				
2-4					10.0	0.23				段：低位置で0.005, 0.85が大きい。 持：粒径影響なし
2-5						0.005				
2-6						0.85				
2-7					12.5	0.23				段：全体的に0.005が大きい。 持：粒径影響なし
2-8						0.005				
2-9						0.85				
2-10				汀線 -137.5	7.5	0.23	段：中位置で差 違がある。持：粒 径影響なし			
2-11						0.005				
2-12						0.85				
2-13					10.0	0.23	段：0.005,0.23, 0.85の順に大き い。持：粒径影響 なし			
2-14						0.005				
2-15						0.85				
2-16					12.5	0.23	段：低位置で0.005が大きい。 持：粒径影響なし			
2-17						0.005				
2-18						0.85				
3-1	有り	汀線 -75	7.5	0.23	段：層考慮有無 により低位置で 差違が見られる (12.5を除く)。 持：層考慮の影 響なし	砂層の 影響は 見られ ない				
3-2			10.0							
3-3			12.5							

---

## 2-2 類似事業の分析・検討を踏まえた今後の課題

### 2-2-1 解析に関する検討事項

以上を踏まえ、解析関係で、今後検討すべき項目を整理する。

#### (1) 通過波検定における砕波後の波高の過大評価

この過大評価は、砕波によるエネルギー減衰を適切に再現できているかどうか  
に起因すると思われるが、実験との乖離が大きかった wave06 地点の挙動を再度  
確認した結果、出力位置の修正により解消され、解析モデル本体の修正を要し  
ないことが分かった。

このため、本解析モデルにより、砕波によるエネルギー減衰を適切に再現で  
きることが再確認された。

#### (2) 波圧解析における防潮堤上部圧力の過小評価

この項目は、防潮堤の作用加重に影響を与えるとともに、過小評価であるこ  
とから、現象の解明と適切な再現方法の検討が必要である。まずは、実験での  
防潮堤への津波作用状況を再度詳細に分析し、単相流か気泡流かなどを見極め、  
それに応じた解析手法を検討する。

#### (3) 砂移動解析における砂丘地形の防潮堤側先端（法肩）の汀線-137.5cm のケースの侵食過大評価

この項目は、過大評価であるが解析の信頼性向上のため、より再現性を高め  
ることが望まれる。具体的には、まず、津波波高の小さいケース（実験でも剥  
離が発生しないケース）での解析を行い、砂面に接触しながら通過する津波に  
よる洗掘に関する再現性を確認する。

次に、津波波高の大きいケース（実験で剥離が発生するケース）での解析を  
行い、空気層が存在する場合における再現性を確認する。

#### (4) 作用荷重への影響の定量化

作用荷重への影響評価が未実施であったので、それを補完する。

### 2-2-2 水理試験に関する検討事項

平成 30 年度報告書の水理試験では、砂移動が総じて小規模であった。その原  
因として、砂丘の形状や砂の締め固め度などの影響が考えられる。また、平成 30  
年度報告書では孤立波のみを入力波として用いたが、より周期の長い波の場合の  
変化も考慮すべきである。

よって、平成 30 年度報告書のケースをリファレンスとして、これらのパラメ  
ータを変化させた試験を行い、砂移動挙動の変化を確認するとともに、これらの  
ケースについてもシミュレーション解析を実施することが望ましい。



## 【II 水理試験編】

### 目次

第1章 業務概要 .....	1
1-1 業務の目的 .....	1
1-2 業務内容 .....	1
第2章 予備実験 .....	3
2-1 通過波の設定 .....	3
第3章 本実験 .....	19
3-1 昨年度の再現実験 (E1) .....	22
3-2 砂丘端に丸みを持たせた実験 (E2) .....	33
3-3 防潮堤をなくした実験 (E3) .....	42
3-4 砂丘材料を細粒径とした実験 (E4) .....	50
3-5 砂丘材料を細粒径とし砂丘端に丸みを持たせた実験 (E5) .....	60
第4章 結果のまとめ .....	68
4-1 結果のまとめ .....	68
4-2 結果の考察 .....	69
参考資料 .....	76



---

## 第 1 章 業務概要

### 1-1 業務の目的

平成 25 年 7 月，新規制基準や関連する審査ガイドが施行された。また，平成 25 年 11 月改正の核原料物質，核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律では，「発電用原子炉施設の安全性の向上のための評価」を事業者に求め，「原子力規制委員会で定める時期ごとに，当該発電用原子炉施設の安全性について，自ら評価をしなければならない」としている。

さらに，平成 25 年 11 月策定の「実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド」（以下「運用ガイド」という。）では，新規制基準を適用したプラントの安全性向上を「外部事象に係る確率論的リスク評価（PRA）」（以下「リスク評価」という。）等を用いて評価することが求められており，リスク評価に資する施設・設備のフラジリティ評価手法の高度化が必要となっている。

本業務は，防潮堤に関する耐津波設計・フラジリティ評価手法の高度化を目的に，必要に応じて水理試験及び解析を実施し，砂移動の影響を含む防潮堤の作用荷重に関する試験データを取得する。また類似事業で取得した結果（無償貸与が可能な物品を参照）と併せて，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

本業務では，防潮堤を対象とした（砂丘地形の）砂移動の影響に関する水理試験，シミュレーション解析を行う。

水理試験には，京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーに設置されている津波再現水槽を用いる。またシミュレーション解析は京都大学防災研究所宇治地区研究所本館に設置されている計算機（Dell 社製 PowerEdge R930 4 台）を使用し，京都大学防災研究所で開発された完全 3 次元流体解析モデルを用いる。

#### (1) 水理試験

砂丘地形の砂移動の影響を念頭に，水理試験により津波変形の状況，砂丘の侵食変形状況，及び防潮堤に作用する波力等を計測する。試験模型のイメージを図 1-1 に示す。

水理試験で対象とする砂移動条件は，特記仕様書に記載の項目のうち，

- ・砂丘の粒径（→小粒径）
- ・防潮堤位置（→設置の有無）
- ・入力津波条件（→波高による砂丘通過状況の変化）
- ・砂丘の間隙水圧（→空隙率，含水率の確認）

とし，また砂丘形状の隅角部での剥離による空気混入の影響を確認するため，

- ・砂丘断面形状（→隅角部なし）

についても検討を行う。

---

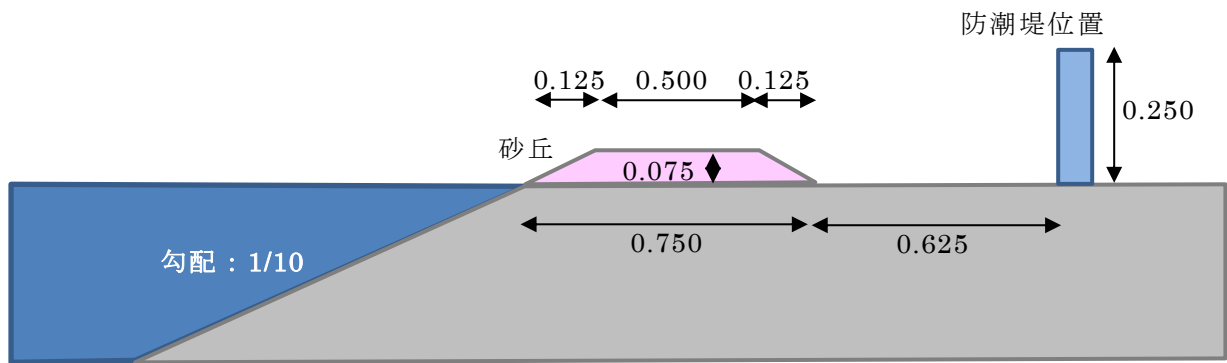


図 1-1 実験模型のイメージ（断面図，単位：m）

本試験に先立って予備実験（波の検定）「7 ケース」を行い，実験で用いる入力津波波形として，孤立波 2 種類を選定する．

本試験の試験ケースは，

- ① 防潮堤設置の実験：4 ケース（入力津波波形 2 種類×繰り返し回数 2）
  - ② 砂丘形状改良実験：4 ケース（入力津波波形 2 種類×繰り返し回数 2）
  - ③ 防潮堤なしの実験：4 ケース（入力津波波形 2 種類×繰り返し回数 2）
  - ④ 砂丘材料変更実験：4 ケース（入力津波波形 2 種類×繰り返し回数 2）
  - ⑤ ②と④の組合せ実験：2 ケース（入力津波波形 1 種類×繰り返し回数 2）
- の計 18 ケースとする．したがって，上述の予備実験（波の検定）7 ケースと併せて，本検討では「合計 25 ケース」の実験を実施する．

測定項目は水位，流速の測定，水面形の動画撮影および実験後の砂丘(変形)形状とする．詳細な測定位置等は，後述の図 2-1-2 に示す通りである．

## (2) シミュレーション解析

詳細は【III シミュレーション解析編】にて後述する．

---

## 第 2 章 予備実験

### 2-1 通過波の設定

#### 2-1-1 実験の概要

津波波力特性の把握を目的に水理試験を行うのに先立ち、以下の 7 種類の波を試験水槽内で再現し、波高の設定を行った。

孤立波 波高 7.5cm 【沖波】

10.0cm //

12.5cm //

15.0cm //

20.0cm //

長周期波 波高 12.5cm 【沖波】

15.0cm //

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 2-1-1 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。

※固定床：汀線に砂丘模型を設置した条件、移動床：砂丘模型なしの条件で実施した。

※高速ビデオの画像をより鮮明にするため、同じ光量で照度が増すように固定床と移動床の仕切り板（白色）を嵩上げした（前年度との相違点）。

##### (2) 計測機器設置位置

図 2-1-2 に実験に用いた計測機器及びその設置位置を示す。

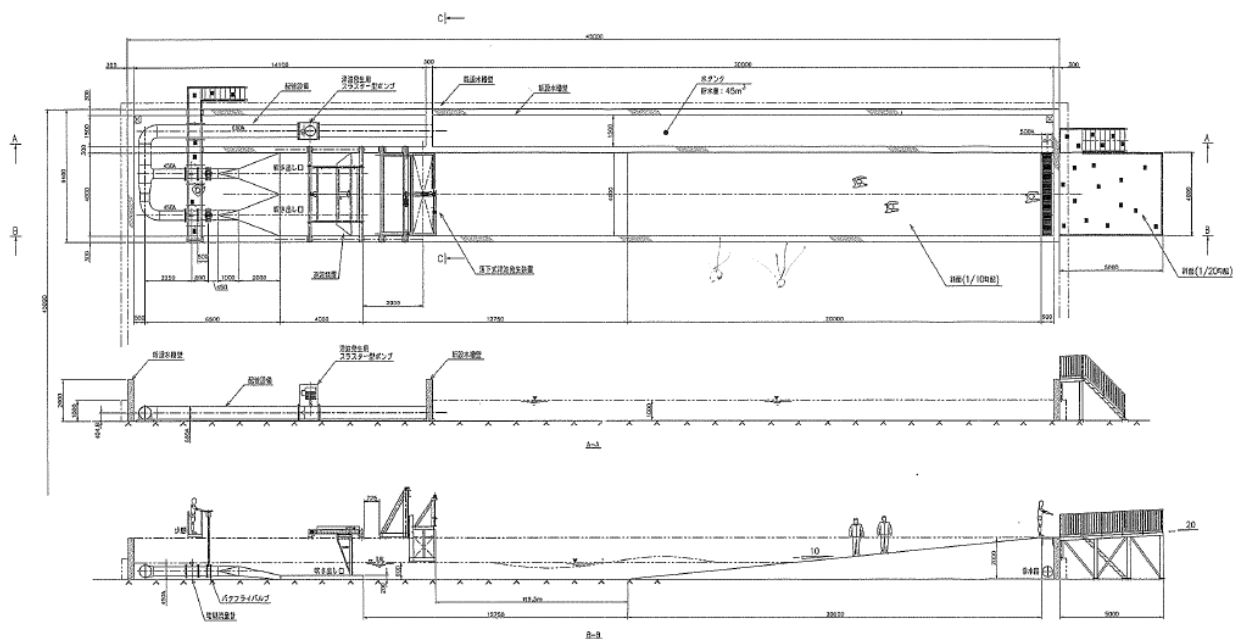
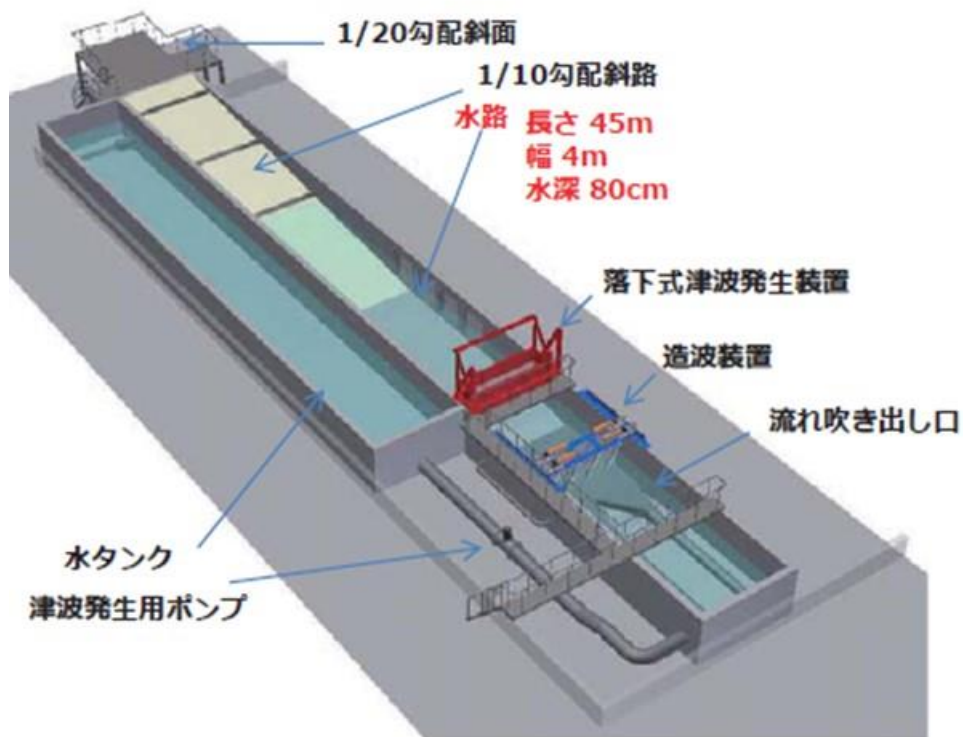


図 2-1-1 実験水槽（津波再現水槽）

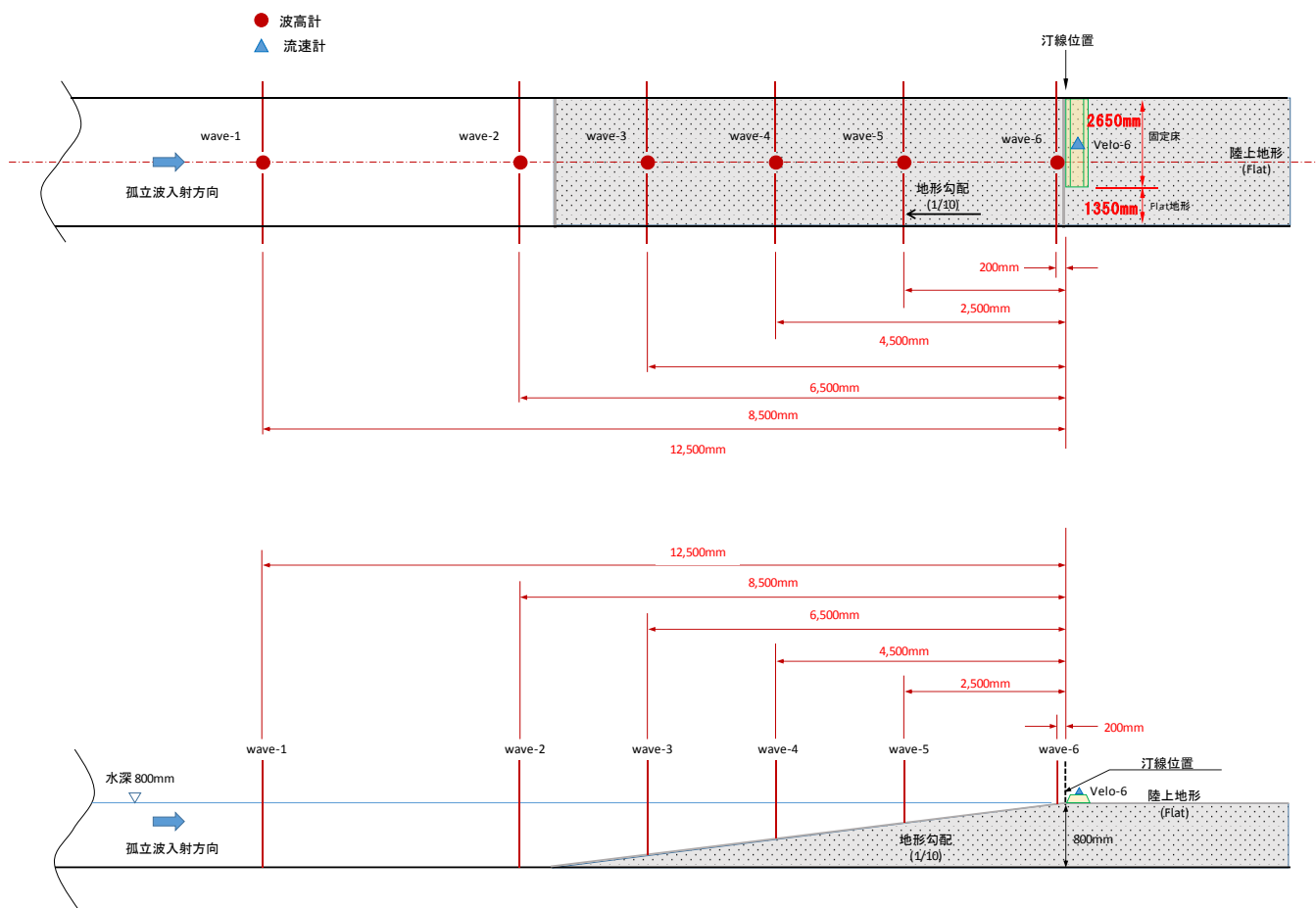
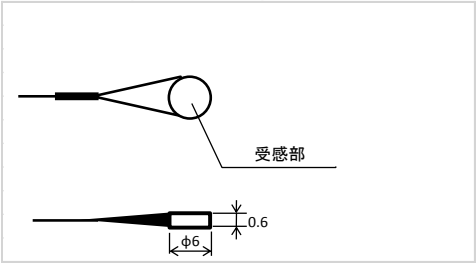


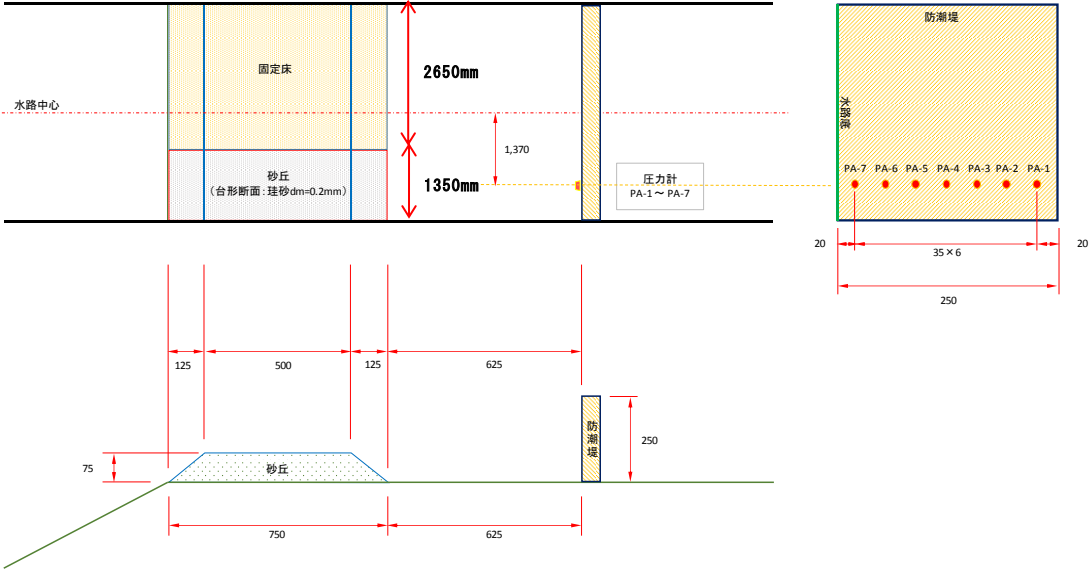
図 2-1-2(1) 計測機器・設置状況 (流速計・波高計)

- 圧力計の仕様**
- ◇メーカー：(株)共和電業
  - ◇型名：PS-05KC
  - ◇容量：50KPa
  - ◇固有振動数：約 10KHz
  - ◇許容過負荷：150%

圧力計受感部



※図中の単位は mm



砂丘と防潮堤の設置状況図



図 2-1-2(2) 計測機器・設置状況 (圧力計)

### 2-1-3 実験結果

入力津波波形（孤立波）に関する設定予備実験の結果について、図 2-1-3～2-1-9 に各波高条件における波高分布を示す。

機器名	wave-1	wave-2	wave-3	wave-4	wave-5	wave-6	velo-6
Unit	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/s)
汀線からの距離 (mm)	12500	8500	6500	4500	2500	200	-375
1 回目	7.47	7.73	8.10	8.66	9.45	17.12	111.50
2 回目	7.37	7.69	8.19	8.82	9.75	17.44	110.18
平均値	7.42	7.71	8.15	8.74	9.60	17.28	110.84

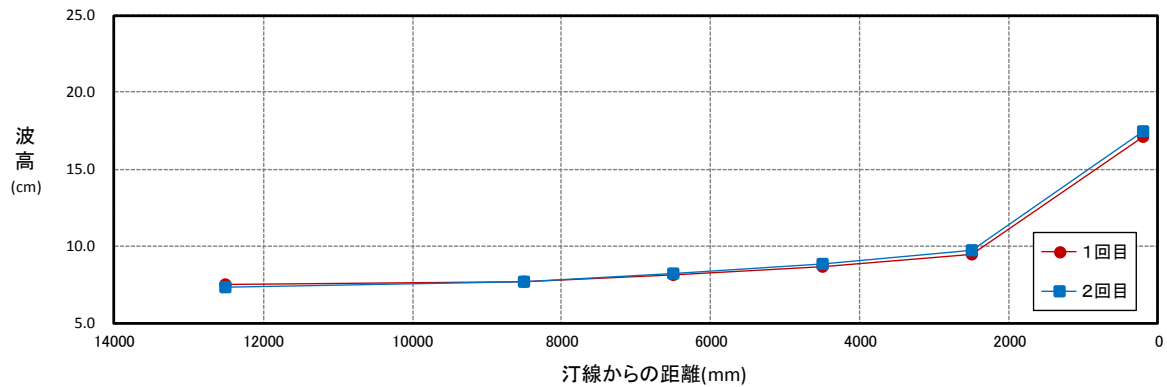


図2-1-3 入射波高 H=7.5cmにおける波高分布（孤立波）

機器名	wave-1	wave-2	wave-3	wave-4	wave-5	wave-6	velo-6
Unit	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/s)
汀線からの距離 (mm)	12500	8500	6500	4500	2500	200	-375
1 回目	9.99	10.41	10.89	11.45	12.24	17.24	128.98
2 回目	9.80	10.43	10.91	11.34	12.14	17.25	136.30
平均値	9.89	10.42	10.90	11.39	12.19	17.24	132.64

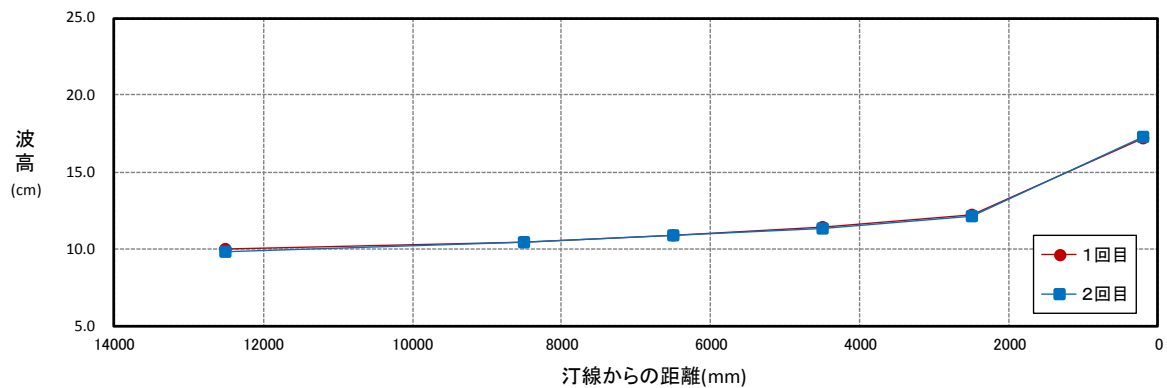


図2-1-4 入射波高 H=10.0cmにおける波高分布（孤立波）

機器名	wave-1	wave-2	wave-3	wave-4	wave-5	wave-6	velo-6
Unit	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/s)
汀線からの距離(mm)	12500	8500	6500	4500	2500	200	-375
1回目	12.22	12.56	12.86	13.50	14.36	16.83	167.30
2回目	12.52	13.11	13.50	14.18	15.24	17.53	151.93
平均値	12.37	12.83	13.18	13.84	14.80	17.18	159.61

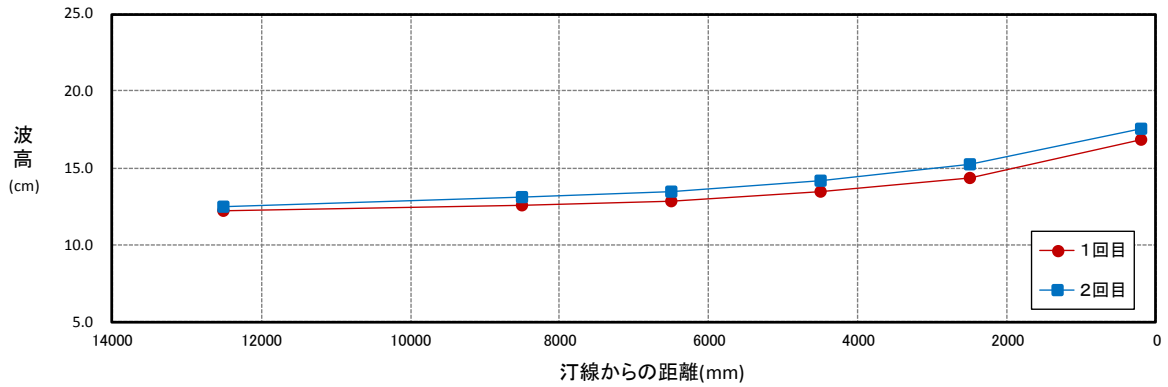


図2-1-5 入射波高 H=12.5cmにおける波高分布（孤立波）

機器名	wave-1	wave-2	wave-3	wave-4	wave-5	wave-6	velo-6
Unit	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/s)
汀線からの距離(mm)	12500	8500	6500	4500	2500	200	-375
1回目	15.09	15.76	16.23	16.70	17.46	17.82	149.04
2回目	15.14	15.31	15.92	16.49	17.55	17.86	166.19
平均値	15.11	15.54	16.08	16.60	17.51	17.84	157.62

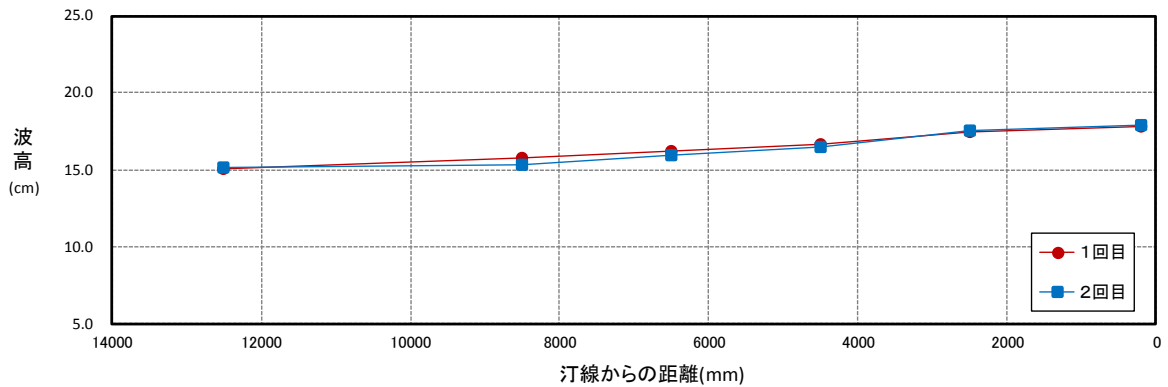


図2-1-6 入射波高 H=15.0cmにおける波高分布（孤立波）



機器名	wave-1	wave-2	wave-3	wave-4	wave-5	wave-6	velo-6
Unit	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/s)
汀線からの距離 (mm)	12500	8500	6500	4500	2500	200	-375
1 回目	19.68	20.05	20.50	20.80	21.47	20.17	0. V
2 回目	19.87	20.08	20.64	20.70	21.41	20.12	0. V
平均値	19.78	20.06	20.57	20.75	21.44	20.14	-

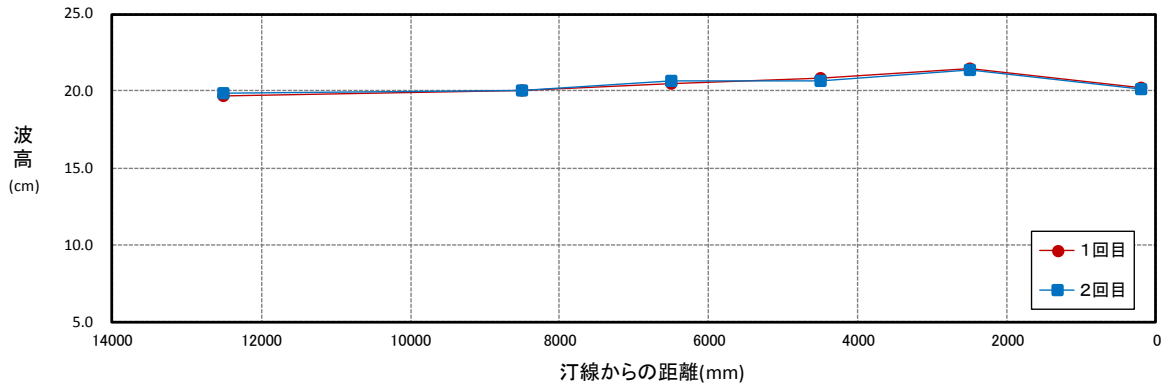


図2-1-7 入射波高 H=20.0cmにおける波高分布（孤立波）

機器名	wave-1	wave-2	wave-3	wave-4	wave-5	wave-6	velo-6
Unit	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/s)
汀線からの距離 (mm)	12500	8500	6500	4500	2500	200	-375
1 回目	12.63	12.77	13.56	15.79	17.70	12.23	153.38
2 回目	12.57	12.72	13.45	15.78	17.28	13.26	133.51
平均値	12.60	12.75	13.51	15.78	17.49	12.74	143.44

注) wave-1~5はゼロアップクロス法、wave-6は峰高さ

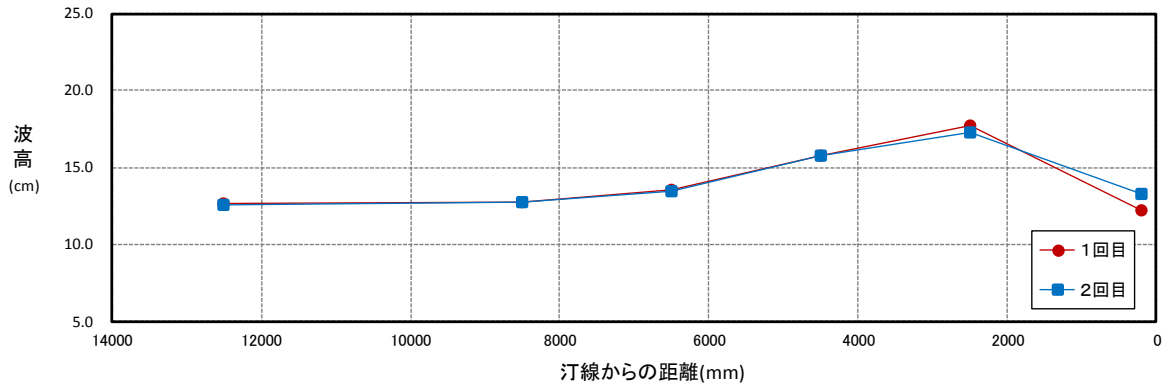


図2-1-8 入射波高 H=12.5cmにおける波高分布 (長波)

機器名	wave-1	wave-2	wave-3	wave-4	wave-5	wave-6	velo-6
Unit	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/s)
汀線からの距離 (mm)	12500	8500	6500	4500	2500	200	-375
1 回目	14.71	14.90	15.64	18.37	20.82	13.76	152.41
2 回目	15.00	15.21	16.04	18.75	21.36	12.53	155.65
平均値	14.86	15.06	15.84	18.56	21.09	13.14	154.03

注) wave-1~5はゼロアップクロス法、wave-6は峰高さ

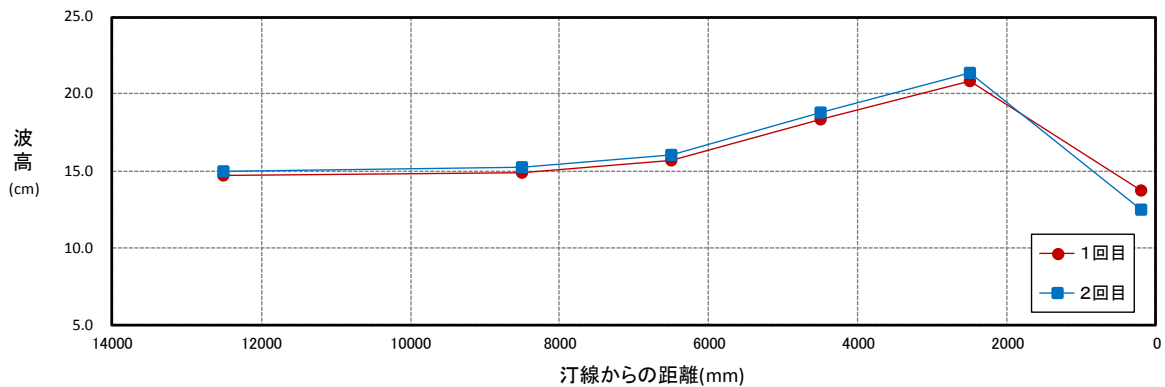


図2-1-9 入射波高 H=15.0cmにおける波高分布 (長波)

---

図 2-1-10～図 2-1-11 に波高分布（平均値）の比較図を，図 2-1-12～図 2-1-13 に各波高と汀線上の流速の関係を示す．また，写真 2-1-1～写真 2-1-4 に各波高条件における通過波の状況を示す．

孤立波の条件では，設定波高 20cm の条件では汀線に至るまでに砕波し，波高が減衰するとともに，汀線付近の流速が 2.0m/s 以上となり，用いた流速計の許容範囲を超えたため，計測不能であった（OV 表示）．

長波条件ではいずれも汀線に至るまでに砕波し，波高が減衰するとともに，波中に空気が多量に混入する．

なお，図 2-1-14 に目標波形と沖の波高計（wave-1；汀線から 12.5m 位置）で測定した測定波形の比較を示す．波高計の設置位置が造波板から離れているためにピークの発生時刻はずれているが，両波形はピーク値がほぼ一致し，すそ幅もよく似ているので，目標とする孤立波が再現されていると考えることができる．

以上の結果より，今回の実験の目的の趣旨から，砕波して波中に空気が多量に混入する条件の長波は不適と判断し，本実験の条件として採用しない．

また孤立波の条件として，防潮堤を超えないことを制約条件としていることから，設定波高 12.5cm 以下の条件を原則とする．具体的には波浪変形状況を加味して本実験の条件を設定波高 7.5cm，12.5cm の 2 種類とした．

機器名	wave-1	wave-2	wave-3	wave-4	wave-5	wave-6
Unit	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
汀線からの距離(mm)	12500	8500	6500	4500	2500	200
H=7.5cm	7.42	7.71	8.15	8.74	9.60	17.28
H=10.0cm	9.89	10.42	10.90	11.39	12.19	17.24
H=12.5cm	12.37	12.83	13.18	13.84	14.80	17.18
H=15.0cm	15.11	15.54	16.08	16.60	17.51	17.84
H=20.0cm	19.78	20.06	20.57	20.75	21.44	20.14

注) 波高は、1回目と2回目の平均値

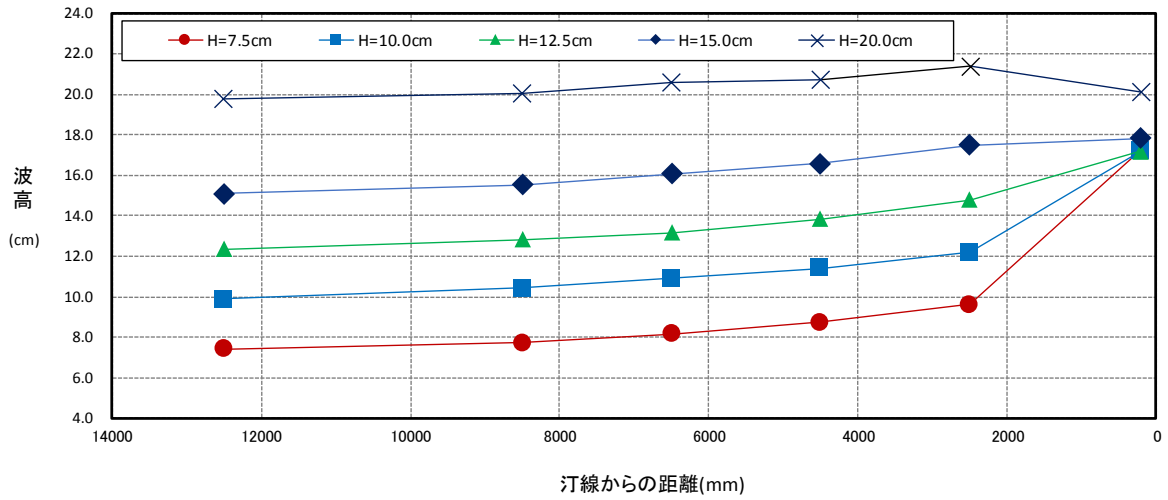


図2-1-10 入射波高の違いによる波高分布の比較図 (孤立波)

機器名	wave-1	wave-2	wave-3	wave-4	wave-5	wave-6
Unit	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
汀線からの距離(mm)	12500	8500	6500	4500	2500	200
H=12.5cm	12.60	12.75	13.51	15.78	17.49	12.74
H=15.0cm	14.86	15.06	15.84	18.56	21.09	13.14

注) 波高は、1回目と2回目の平均値

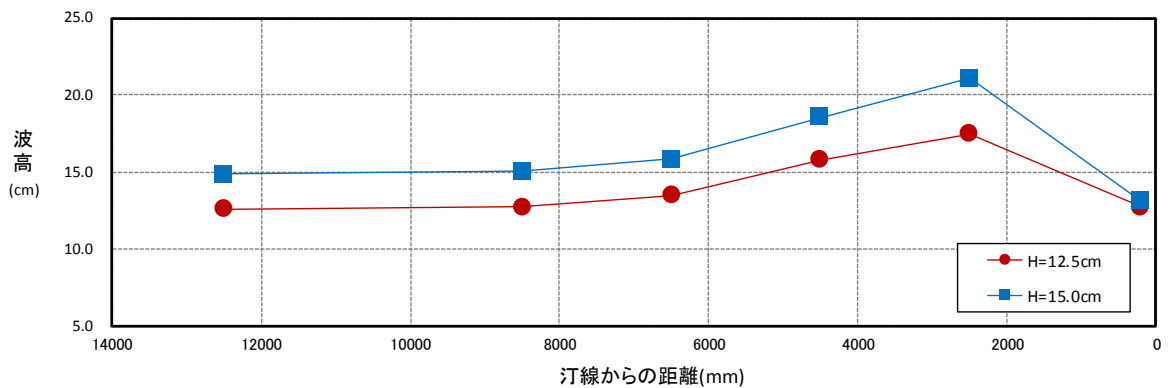


図2-1-11 入射波高の違いによる波高分布の比較図 (長波)

入射波高	7.5cm	10.0cm	12.5cm	15.0cm	20.0cm
機器名	velo-6				
Unit	(cm/s)				
汀線からの距離(mm)	-375				
1回目	111.50	128.98	167.30	149.04	0.V
2回目	110.18	136.30	151.93	166.19	0.V
平均値	110.84	132.64	159.61	157.62	-

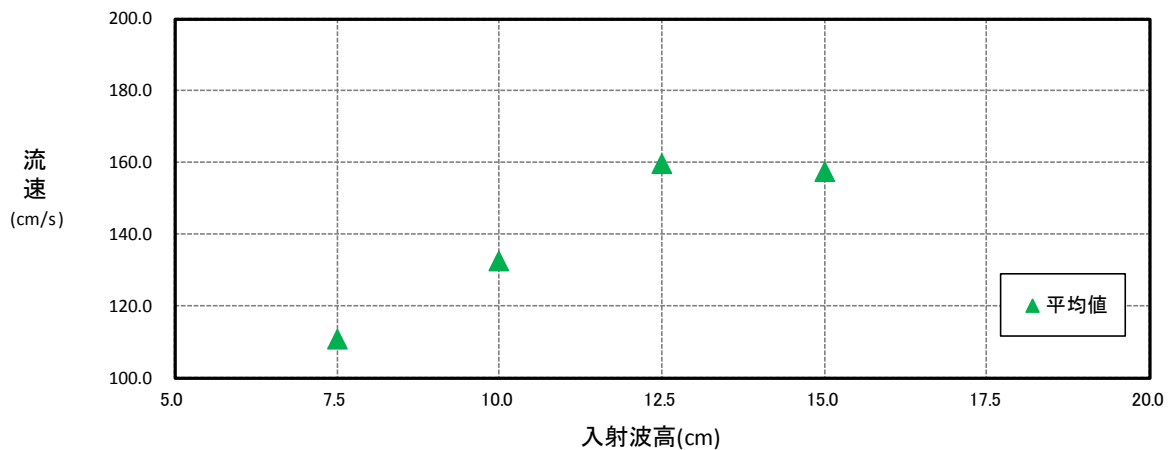


図2-1-12 流速測定結果の比較図(孤立波)

入射波高	12.5cm	15.0cm
機器名	velo-6	
Unit	(cm/s)	
汀線からの距離(mm)	-375	
1回目	153.38	152.41
2回目	133.51	155.65
平均値	143.44	154.03

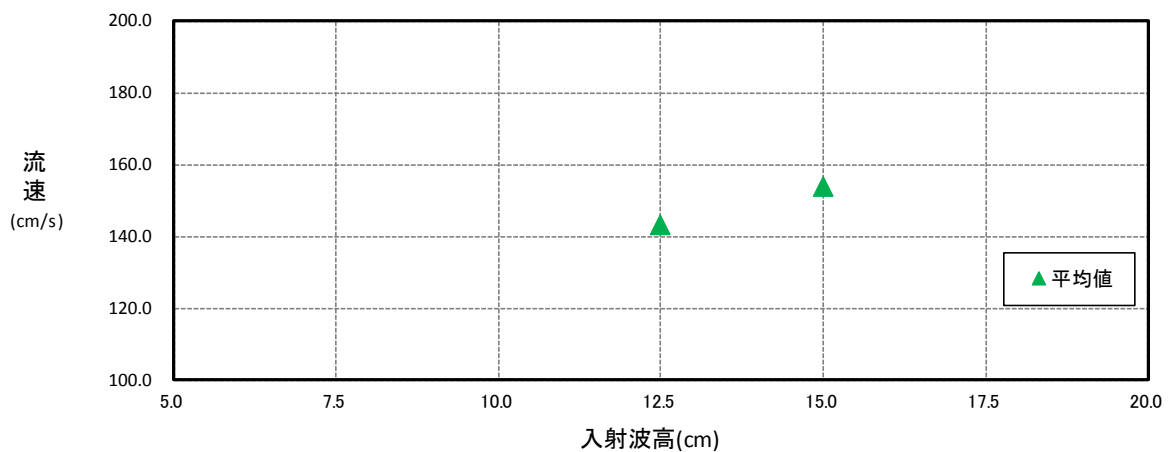
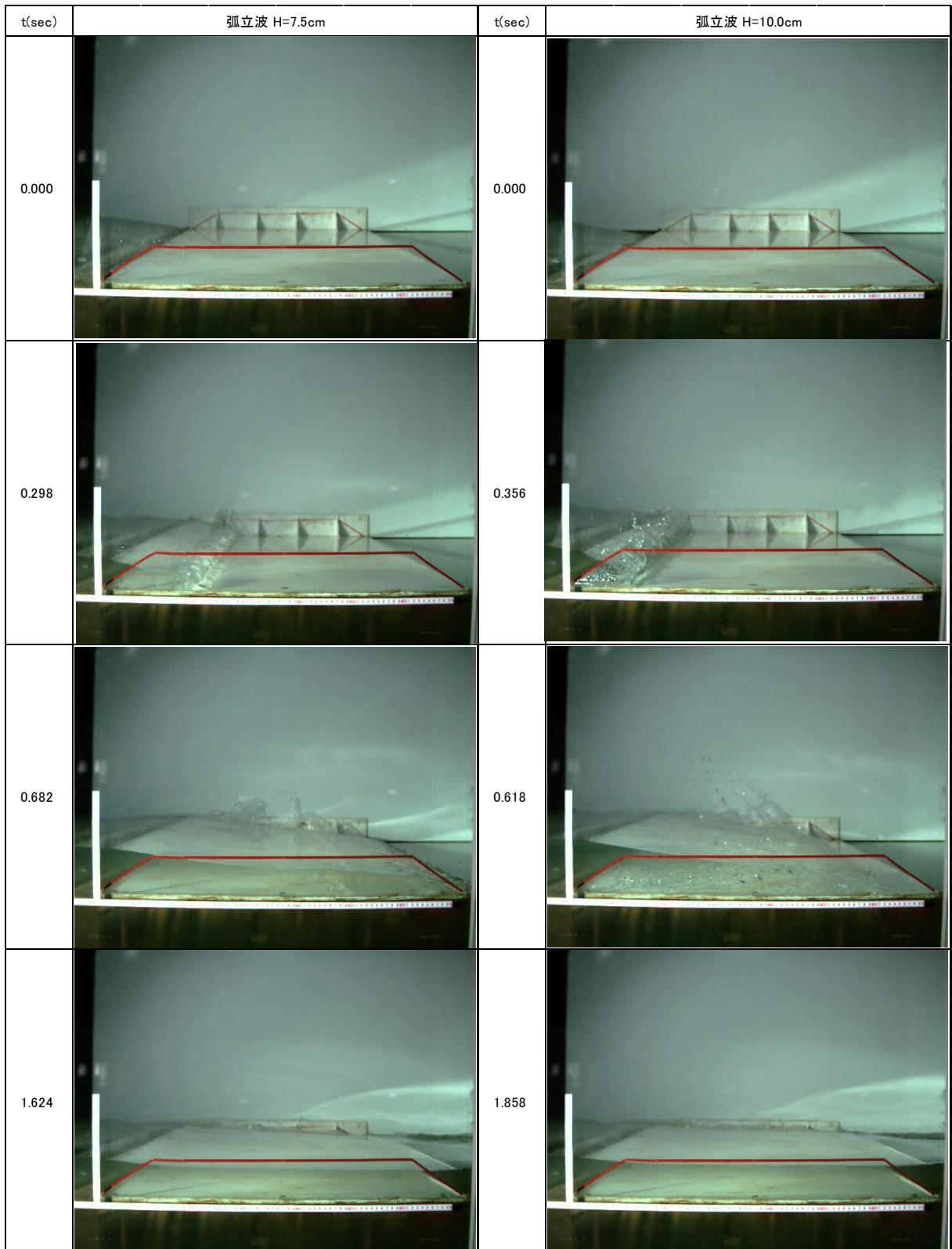
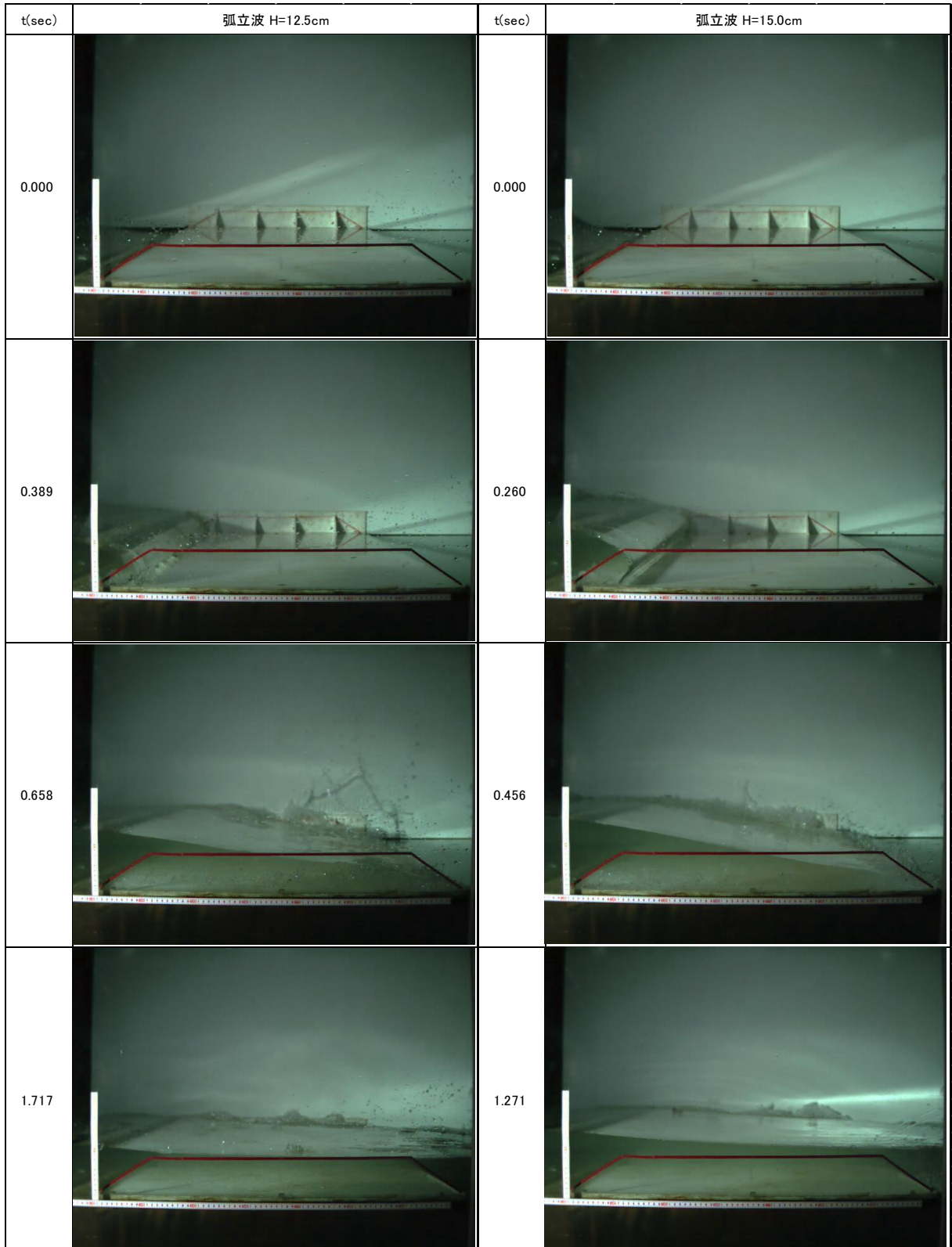


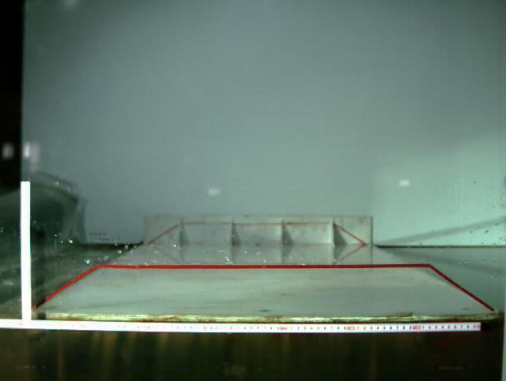
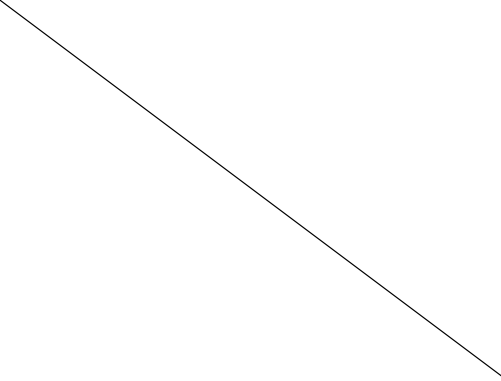
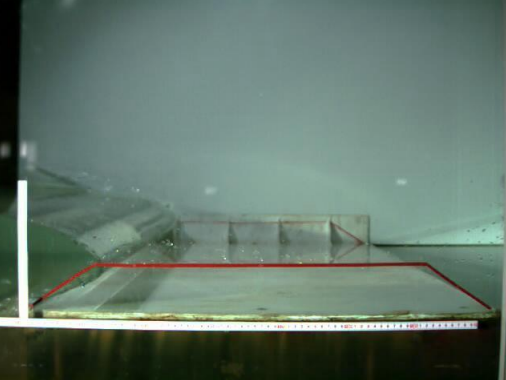
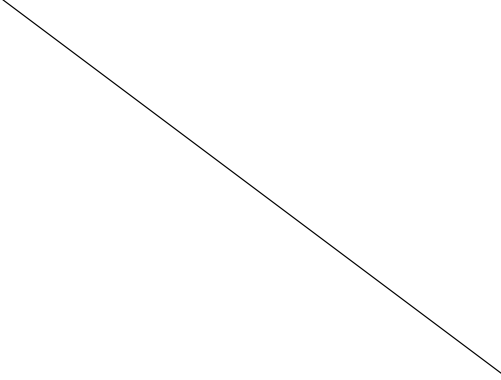
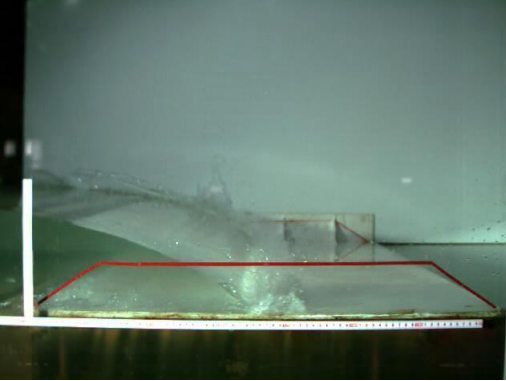
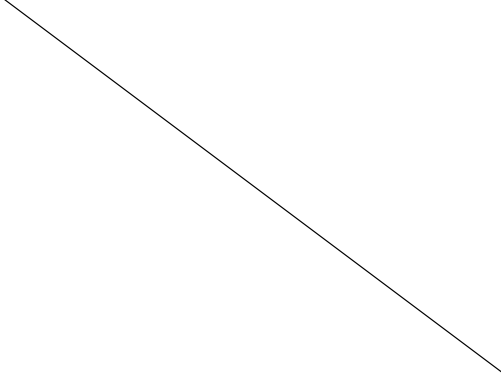
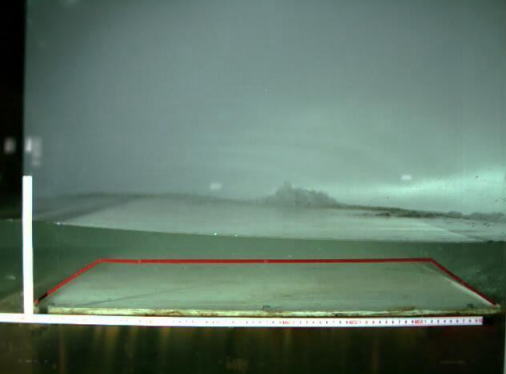
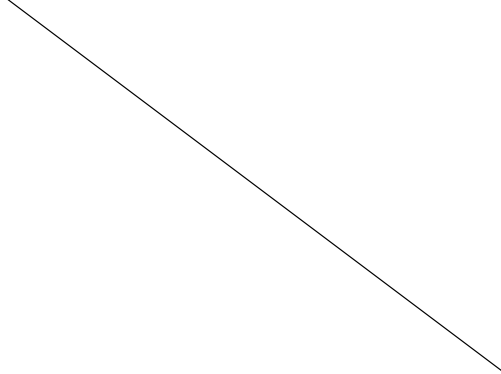
図2-1-13 流速測定結果の比較図(長波)



※ t : 汀線に波が達した時刻を t = 0 とした場合の経過時間  
 写真 2-1-1 津波変形状況 (時系列写真) 【孤立波 H=7.5cm, 10.0cm】

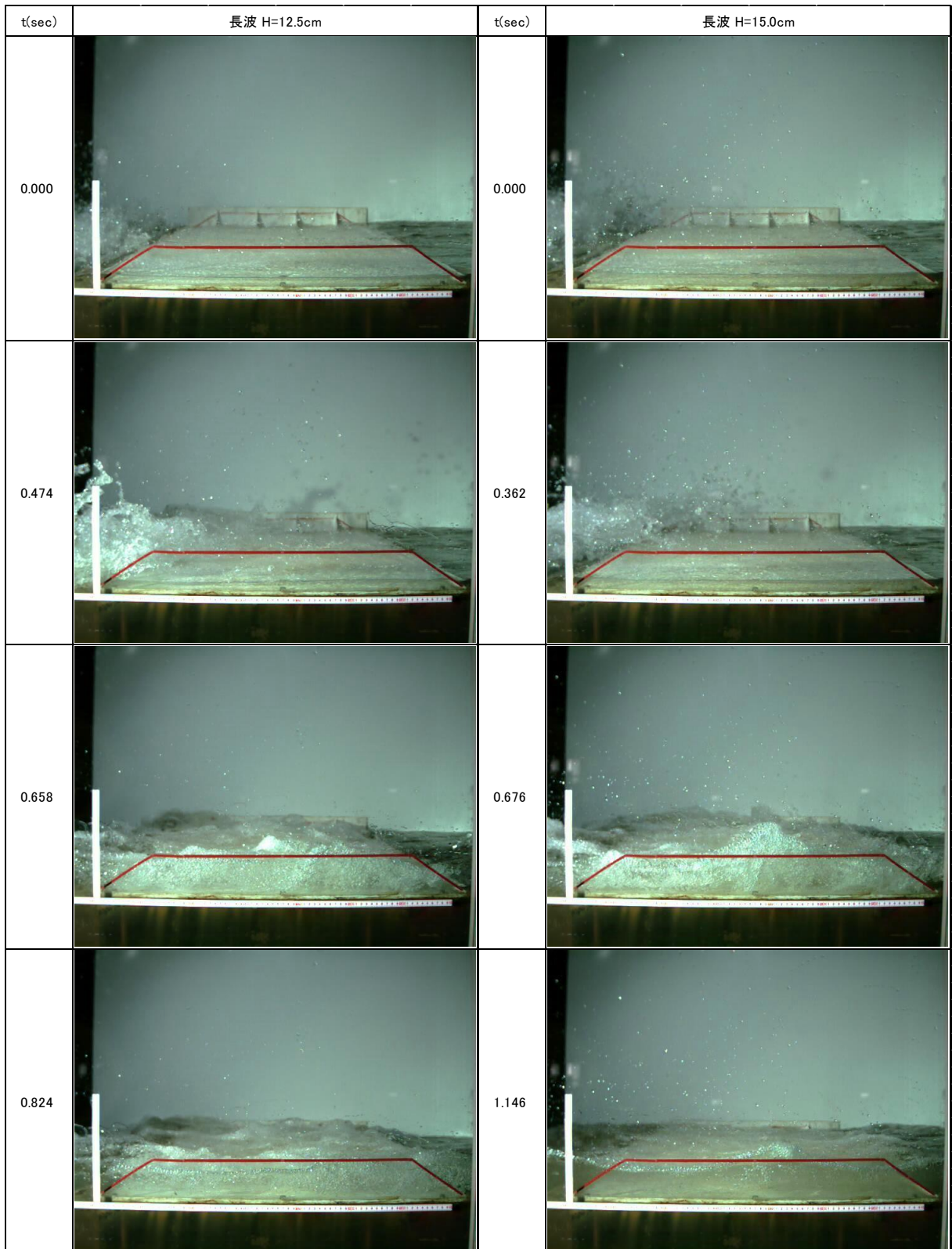


※ t : 汀線に波が達した時刻を t = 0 とした場合の経過時間  
 写真 2-1-2 津波変形状況 (時系列写真) 【孤立波 H=12.5cm, 15.0cm】

t(sec)	孤立波 H=20.0cm		
0.000			
0.130			
0.194			
1.178			

※ t : 汀線に波が達した時刻を t = 0 とした場合の経過時間  
 写真 2-1-3 津波変形状況（時系列写真）【孤立波 H=20.0cm】





※ t : 汀線に波が達した時刻を t = 0 とした場合の経過時間  
 写真 2-1-4 津波変形状況 (時系列写真) 【長波 H=12.5cm, 15.0cm】

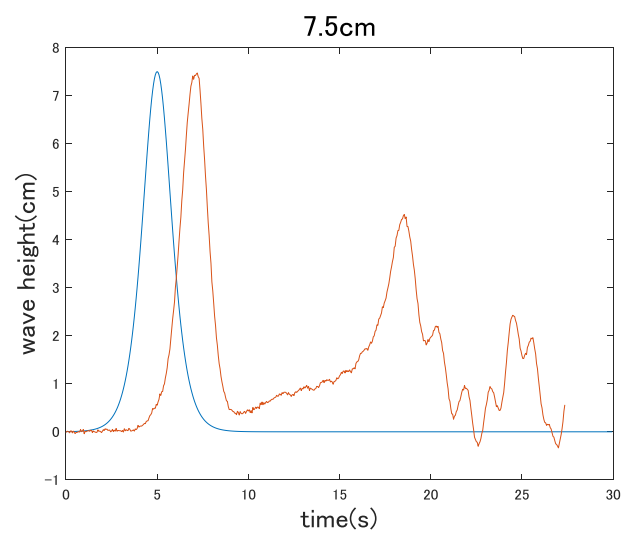
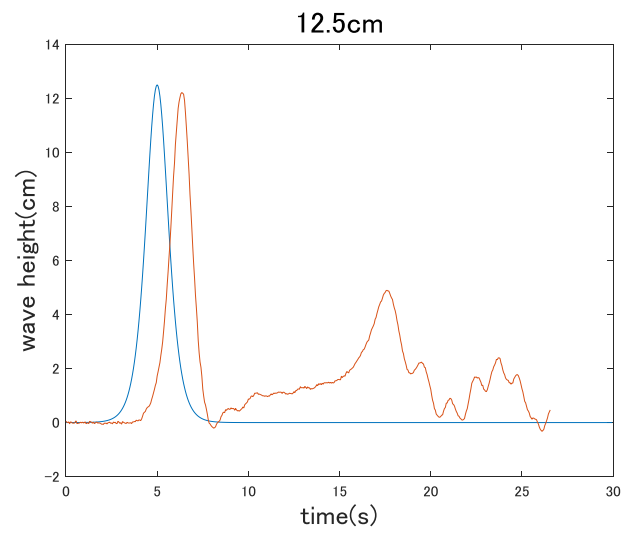
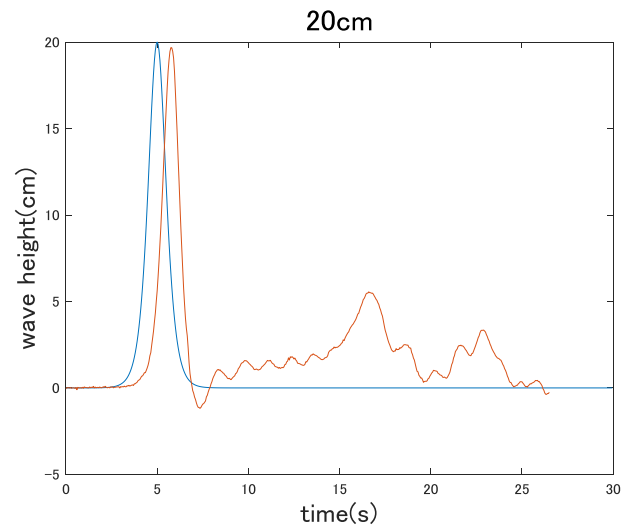


図 2-1-14 波高計で測定した沖波測定波形と目標波形の比較

## 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 3-1-1 に示す。各ケースの目的、位置付けは以下のとおりである。

ケースNo.	実験名称	目的・内容
E0	波の検定(予備実験)	実験で設定する波の検定、本実験で実施する波浪条件の選定
E1	昨年度の再現実験	昨年度の再現；他ケースの比較対象基準（防潮堤前面に砂丘地形がある場合で、防潮堤位置が汀線から137.5cm位置の条件）
E2	砂丘端に丸みを持たせた実験	台形断面の砂丘の場合、隅角部から剥離による空気混入があり、それが生じない形状とした場合の状況を確認
E3	防潮堤をなくした実験	昨年度の実験で砂丘地形～防潮堤に溜まった水の戻り流れでかなり洗掘されたことから、その影響を軽減・除去した場合の状況を確認
E4	砂丘材料を細粒径とした実験	昨年度の実験で砂丘の移動度合いが小さい理由として、再現粒径が大きいことが想定されるため、粒径を小さくした場合の状況を確認

### (2) 計測項目及び計測方法

- 1)波高，流速 …… 前章予備実験に記載した方法と同じ（図 2-1-2(1)参照）  
サンプリング周波数；1,000Hz  
サンプリング時間； 30sec 程度
- 2)波圧 …… 防潮堤前面に圧力センサーを設置し，作用波圧を計測する（図 2-1-2(2)参照）。  
サンプリング周波数；1,000Hz  
サンプリング時間； 10sec 程度
- 3)通水後の砂丘形状，その他 …… 表 3-1-2 に示す通り。  
※表中の浸水深については実験後に各ケースで随時行う。

### (3) 砂丘地形作成方法

砂丘地形の移動床部分の作成方法は，表 3-1-2 に示す通り。  
(固定床部分は，木製で白色の防水塗装を施し，水路床にビスで固定している)

表 3-1-1 試験ケース一覧

実験ケース	実験条件				計測項目				備考					
	実施順	波浪条件	防潮堤位置	砂丘	珪砂粒径	試行	波高	流速		作用波圧	高速ビデオ	通水後の砂丘形状	砂丘の空隙率・含水率 <sup>※4</sup>	
E0 (波の検定)	1	孤立波：H=7.5cm	-	-	-	-	○	○	○	○			2波を選定 (前年度とラップするケースを含む)	
		孤立波：H=10.0cm	-	-	-	-	○	○	○	○				
		孤立波：H=12.5cm	-	-	-	-	○	○	○	○				
		孤立波：H=15.0cm	-	-	-	-	○	○	○	○				
E1	3	孤立波：H=20.0cm	-	-	-	-	○	△ <sup>※1</sup>	○	○			いづれの条件も汀線までに 碎波するため不採用	
		長波：H=12.5cm	-	-	-	-	○	○	○	○				
		長波：H=15.0cm	-	-	-	-	○	○	○	○				
		孤立波：H=7.5cm	-137.5cm	台形断面	d <sub>m</sub> =0.20mm	1回目	○	○	○	○	○ <sup>※2</sup>	○ <sup>※3</sup>		○
E2	4	"	"	"	"	"	○	○	○	○			丸みは数値シミュレーション結果を 石にモデル化し、予備実験で 概ね再現のないことを確認	
		孤立波：H=12.5cm	"	"	"	"	"	○	○	○	○ <sup>※2</sup>	○ <sup>※3</sup>		○
		"	"	"	"	"	"	"	○	○	○			
		"	"	"	"	"	"	"	○	○	○			
E3	2	孤立波：H=7.5cm	-	台形断面	d <sub>m</sub> =0.20mm	1回目	○	○	○	○	○ <sup>※2</sup>	○ <sup>※3</sup>		
		"	-	"	"	"	"	○	○	○				
		孤立波：H=12.5cm	-	"	"	"	"	○	○	○	○			
		"	-	"	"	"	"	○	○	○	○			
E4	5	孤立波：H=7.5cm	-137.5cm	台形断面	d <sub>m</sub> =0.11mm	1回目	○	○	○	○	○ <sup>※2</sup>	○ <sup>※3</sup>	○	
		"	"	"	"	"	"	○	○	○				
		孤立波：H=12.5cm	"	"	"	"	"	○	○	○	○ <sup>※2</sup>	○ <sup>※3</sup>	○	
		"	"	"	"	"	"	○	○	○	○			
E5	6	孤立波：H=12.5cm	-137.5cm	丸み断面	d <sub>m</sub> =0.11mm	1回目	○	○	○	○	○ <sup>※2</sup>	○ <sup>※3</sup>	○	
		"	"	"	"	"	"	○	○	○	○			

【H30年度からの変更点】圧力測定は防潮堤のみ（移動床部分に1列6点）、高速カメラの画質を向上させるため、固定床と移動床の境目の仕切り壁高を上げる（奥側を撮影しない）

※1：波高20cmの場合、流速は2.0m/s以上となる（流速計の測定可能範囲を超える；0V）

※2：ビデオ画像から浸水深（砂丘背面の水位）を計測することを含む

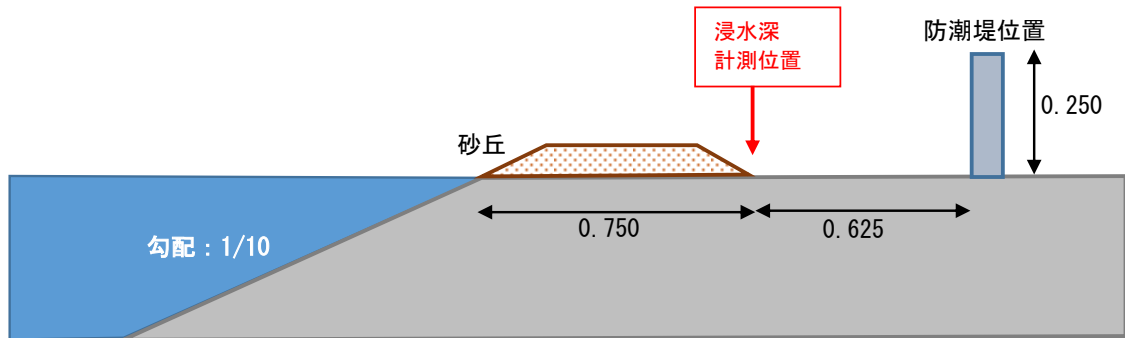
※3：通水後の平面形状を写真で記録する、また反射波（戻り流れ）を除く入射波成分のみで変形した成分をビデオ画像から計測することを含む

※4：実験開始前・後で計測を行う（空隙率： $n = V_v / [全体積]$ 、含水率 $w = V_w / [全体積]$ 、水の単位体積重量を $\gamma_w = 1 \text{gf/cm}^3$ とすると、 $V_w = W_w / [水の重量]$ ）

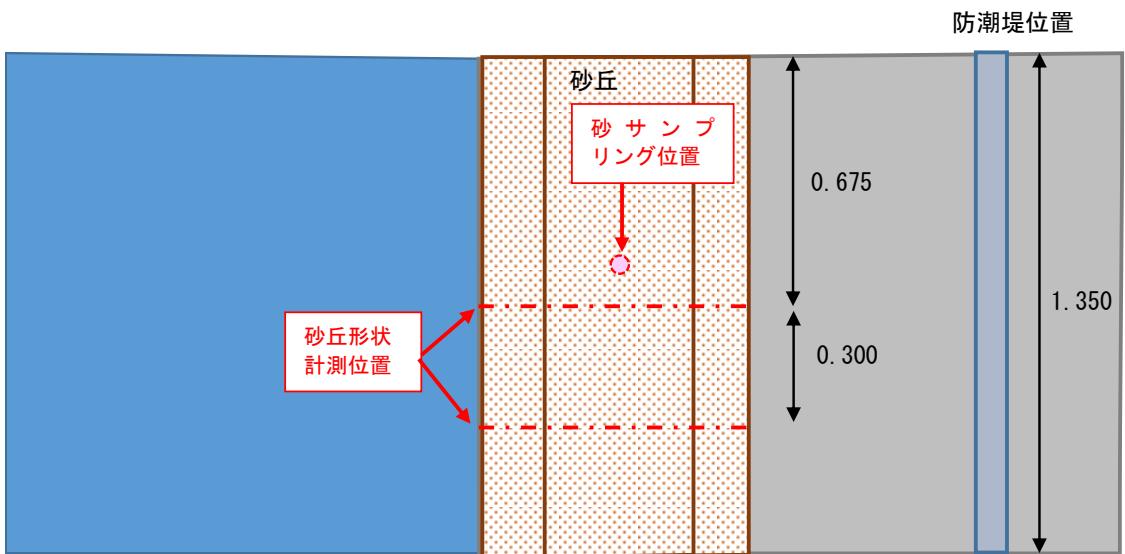
表 3-1-2 計測項目・計測方法

計測項目	計測位置	計測方法	計測回数	備考
浸水深	砂丘下流端 (法尻位置)	計測位置にゲージを貼り、高速ビデオ画像から水面高を読み取り。波浪通過後の戻り流れが生じる時刻までに、最大水位と平均的な水面高を目測。	各ケース 1回	
通水後の砂丘形状	砂丘幅方向中心 及びガラス面寄り	左記に示した測線に沿って縦断方向に2cmピッチで砂面高さを計測。砂面にあてたスタッフのメモリをレベルで読取り。	〃	計測位置は下図参照
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)	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(Ws+Ww)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(Ws)を計測。Wsを砂の単位体積重量γs(公称値)で除すことで砂の実体積Vs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Wwを算出し、含水率 $w = V_w / V_v$ を計算する( $V_w = W_w$ )。	対象ケース につき通水 前後各1回	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	砂はすでに1週間浸水して十分養生したものを使用。ケースごとに養生をせずに連続して使用。成形は鏝を用いてある程度締め固めるように実施。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。実験計測後は砂丘地形を全体にわたって解し、次ケース実施時に残地形をそのまま用いない。	ケース毎	



(縦断面図)



(平面図)

図 計測位置図 (図中数字単位 : m)

### 3-1 昨年度の再現実験 (E1)

#### 3-1-1 実験の概要

予備実験で設定した津波条件で、昨年度実施した実験ケースのうち、防潮堤前面に砂丘地形がある場合で、防潮堤位置が汀線から 137.5cm 位置の条件を再現した実験を行い、以後に行う他ケースの比較対象基準とする。

孤立波 波高 7.5cm 【沖波】 (試行: 2回)  
12.5cm " ( " )

計測項目は以下の通り。計測位置は前章の図 2-1-2 に示した通り。

- ・波高
- ・流速
- ・高速ビデオ (砂丘上の流況記録) ※1
- ・通水後の砂丘形状※2
- ・防潮堤の作用波圧

※1 画像解析により反射波 (戻り流れ) を除く入射波成分のみで変形した砂丘形状を計測する。

※2 縦断分布を横断方向に 2 測線で計測し、平面形状を写真で記録する。

#### 3-1-2 実験結果

図 3-1-1～図 3-1-2 に各波高条件における波高分布 (平均値)・流速分布を、写真 3-1-1～写真 3-1-2 に各波高条件における砂丘上の通過波の状況を示す。また図 3-1-3～写真 3-1-5 および写真 3-1-3 に通水後の砂丘形状を、図 3-1-6～図 3-1-7 に防潮堤に作用する圧力分布を示す。なお、砂丘地形からサンプリングした供試体の空隙率、含水率は下表に示す通りである。

実験ケース	波浪条件	サンプリング	空隙率 ( $V_v/V$ )	含水率 ( $V_w/V_v$ )
E1	H= 7.5cm	実験前	0.50	0.79
		実験後	0.46	0.91
	H=12.5cm	実験前	0.48	0.84
		実験後	0.47	0.90

昨年度 (平成 30 年度) に行った実験との比較から、通水後の砂丘形状では水平部分と岸側法面部分で今回の実験の方がやや洗掘度合いが大きい。沖側法面部分の洗掘形状はよく一致している。洗掘形状の違いの原因は固定床と移動床の仕切板設置条件が変わったこと等が推定される。なお、図 3-1-5 には通水後の砂丘形状とともに、画像解析から読み取った入射波のみによる変形形状も併示しているが、波高 12.5cm の場合の沖側法面部分を除き、入射波によって変形している部分はほとんどない。波高 12.5cm の場合は、沖側法面部分が

---

削られることにより，台形形状から丸みを帯びた形状に変化しており，沖側法面から砂丘頂部にかけての流れの性状が丸み断面に近づくことが考えられる．

また防潮堤に作用する圧力分布について，今回の結果が H30 よりやや大きくなっているのは，仕切り壁の影響と考えられる．圧力の大きさに多少の差異はあるものの，ある程度の再現性は示されている．

以上の結果から，境界条件の違いによる影響が多少あるものの，昨年度に行った実験と概ね同じ傾向の結果が得られており，ある程度の再現性は担保されていると考えられ，以後に実施するケースとの比較は，このケースを基準とする．

機器名	wave-1	wave-2	wave-3	wave-4	wave-5	wave-6
Unit	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
汀線からの距離(mm)	12500	8500	6500	4500	2500	200
H=7.5cm	7.59	7.88	8.19	8.92	9.53	16.27
H=12.5cm	12.53	13.10	13.70	14.21	15.09	17.36

注) 波高は、1回目と2回目の平均値

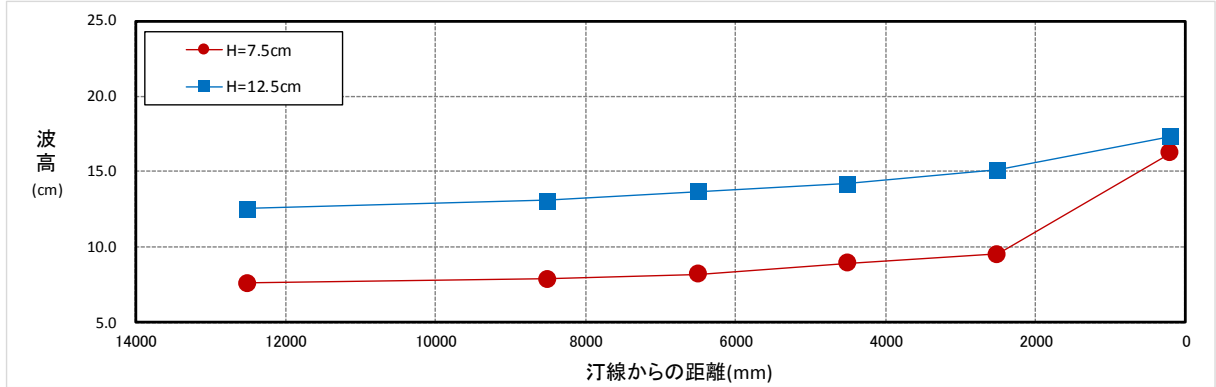


図 3-1-1 各波高条件における波高分布 (ケース E1, 平均値)

入射波高	7.5cm	12.5cm
機器名	velo-6	
Unit	(cm/s)	
汀線からの距離(mm)	-375	
1 回目	115.92	164.78
2 回目	115.72	167.10
平均値	115.82	165.94

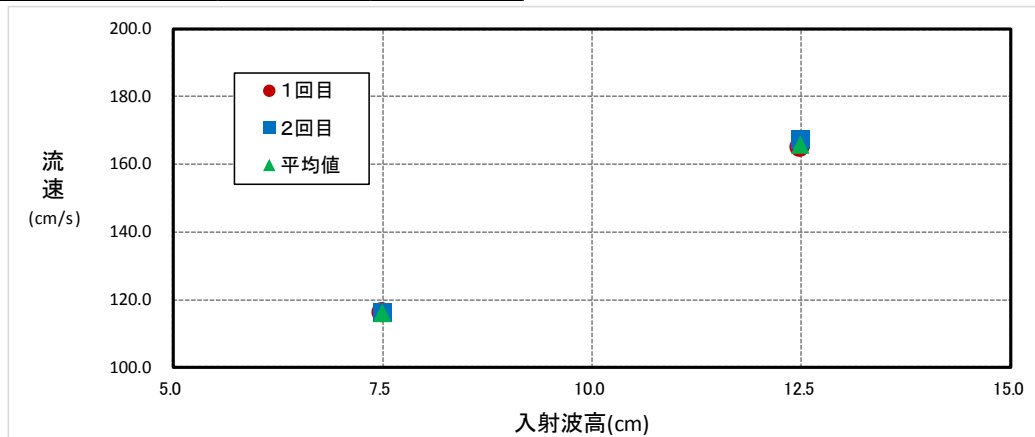
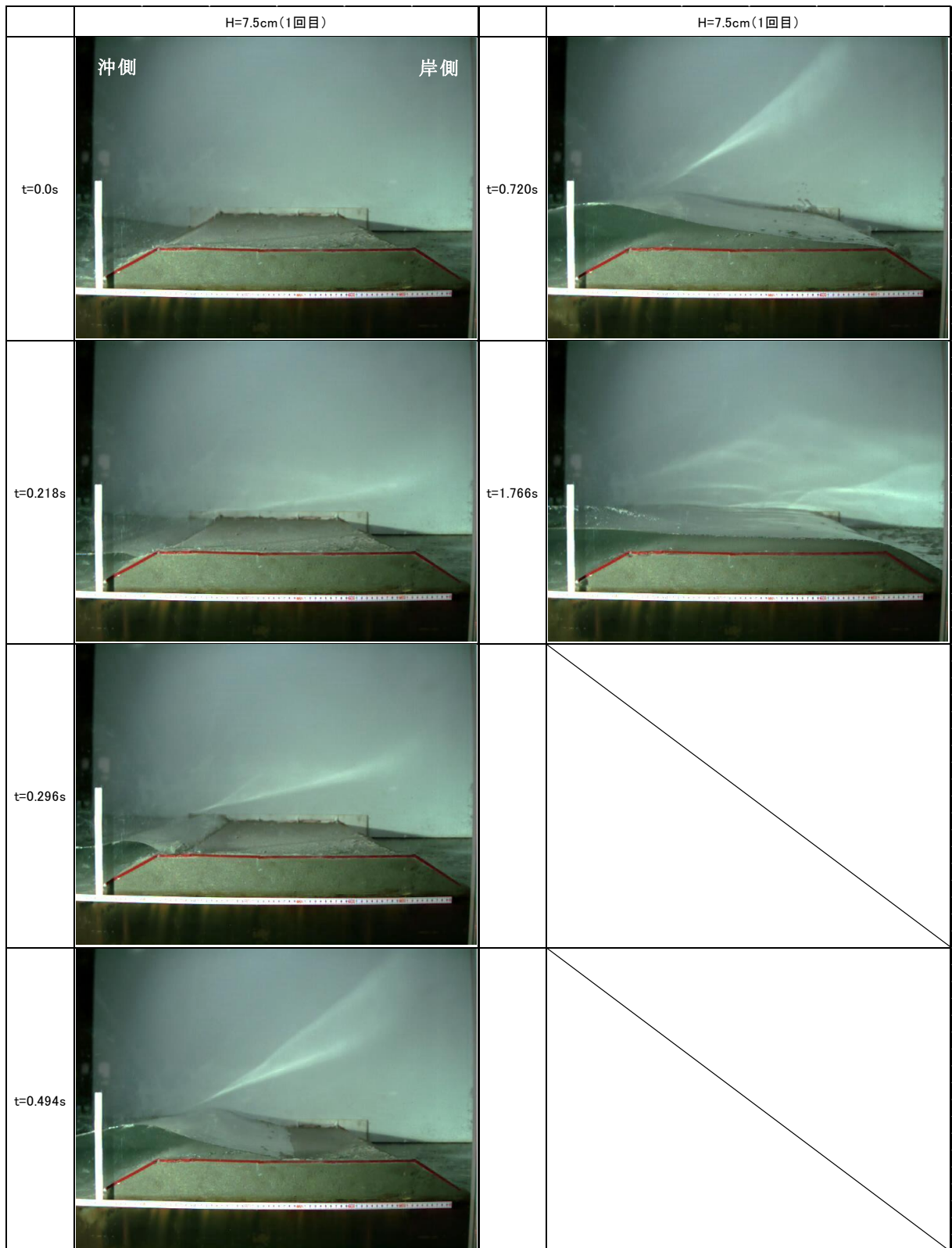


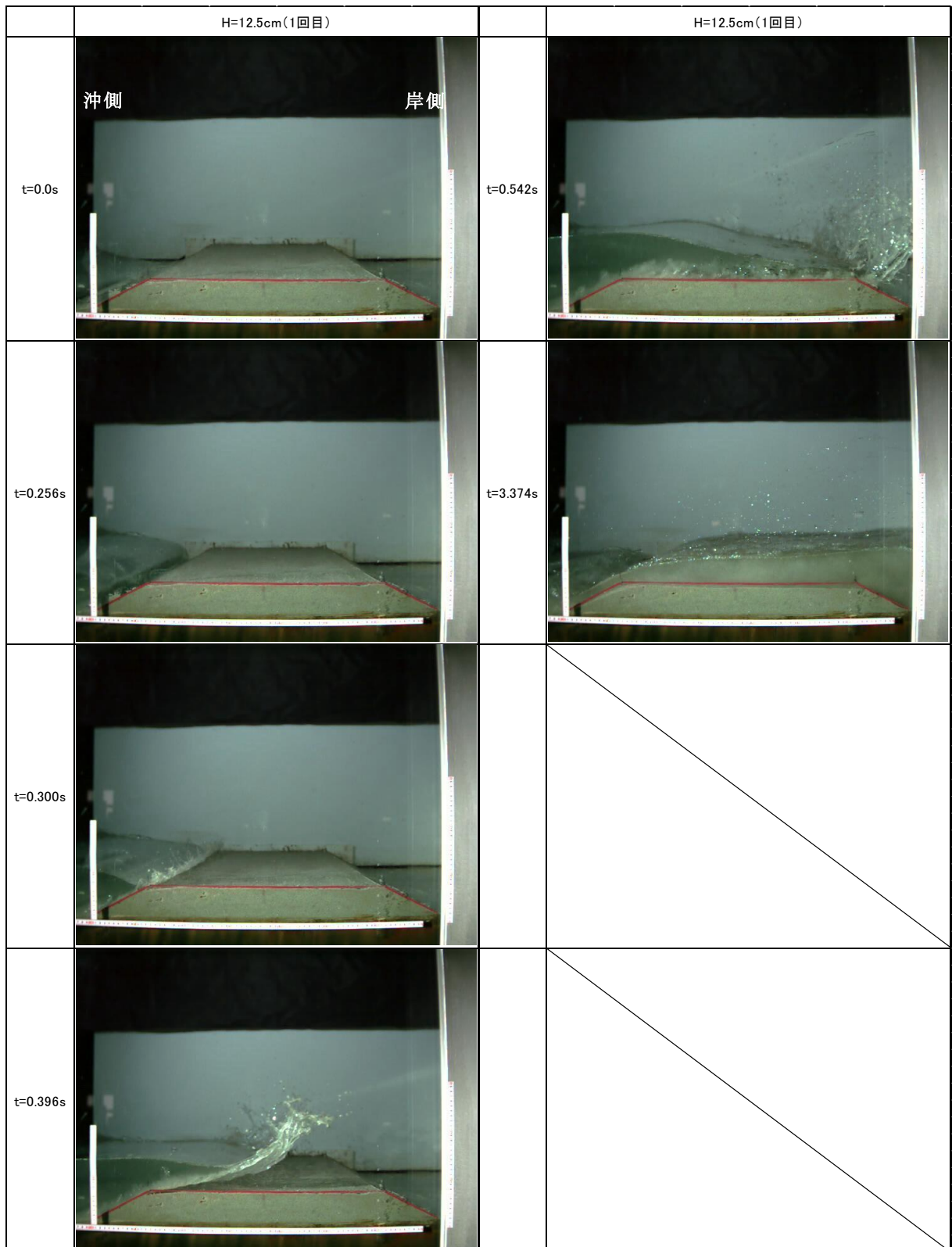
図 3-1-2 各波高条件における流速 (ケース E1, 汀線付近)



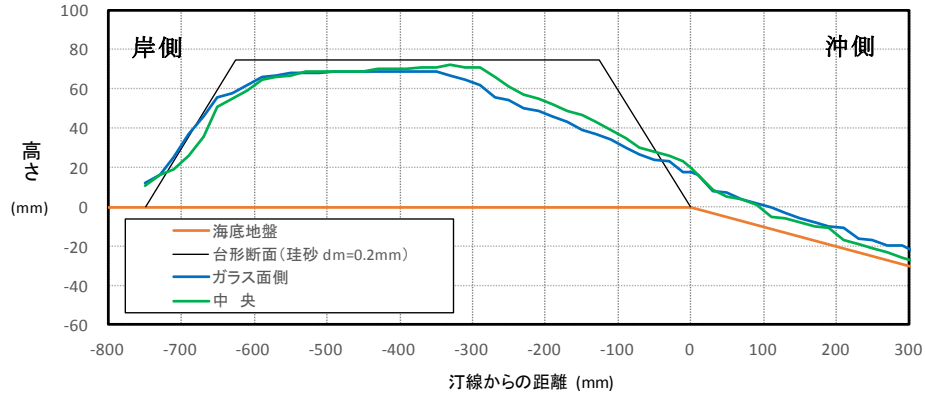


※ t : 汀線に波が達した時刻を t = 0 とした場合の経過時間

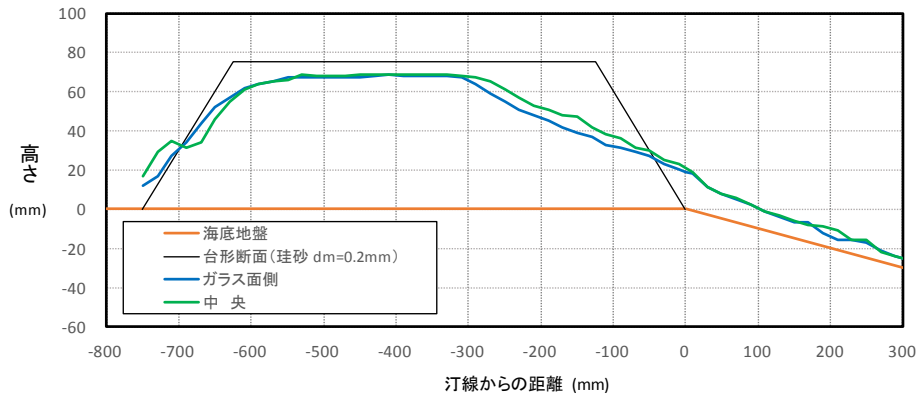
写真 3-1-1 砂丘上の通過波の状況の一例 (ケース E1, H=7.5cm, 1 回目)



※ t : 汀線に波が達した時刻を t = 0 とした場合の経過時間  
 写真 3-1-2 砂丘上の通過波の状況の一例 (ケース E1, H=12.5cm, 1 回目)

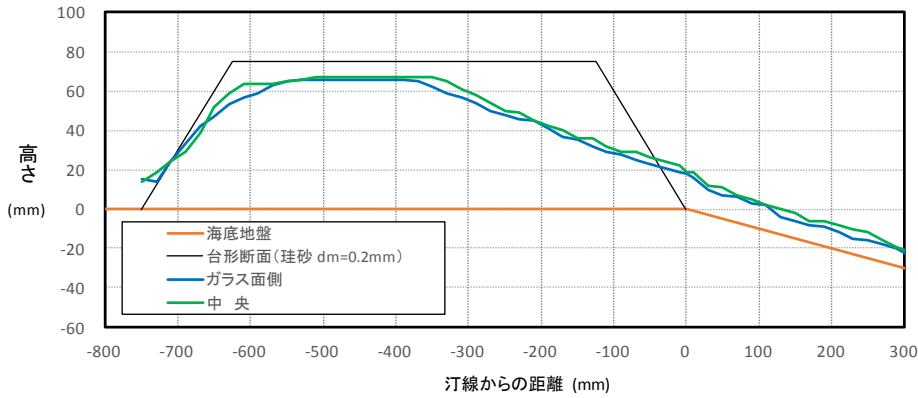


1 回目

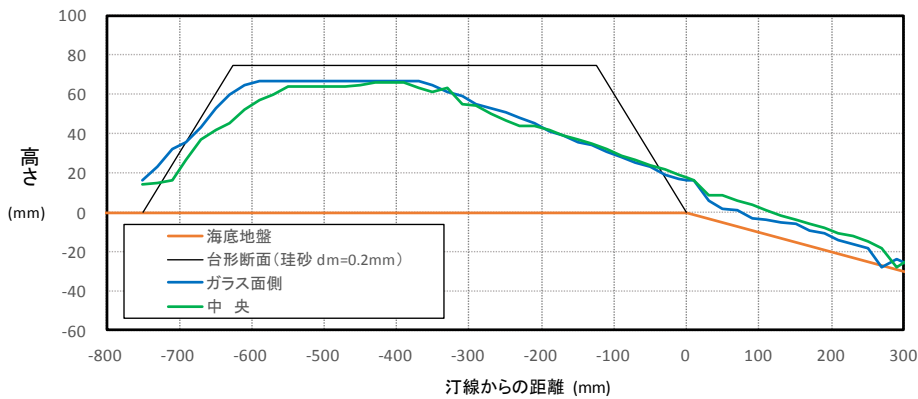


2 回目

通水後の砂丘形状 (E1, H=7.5cm)



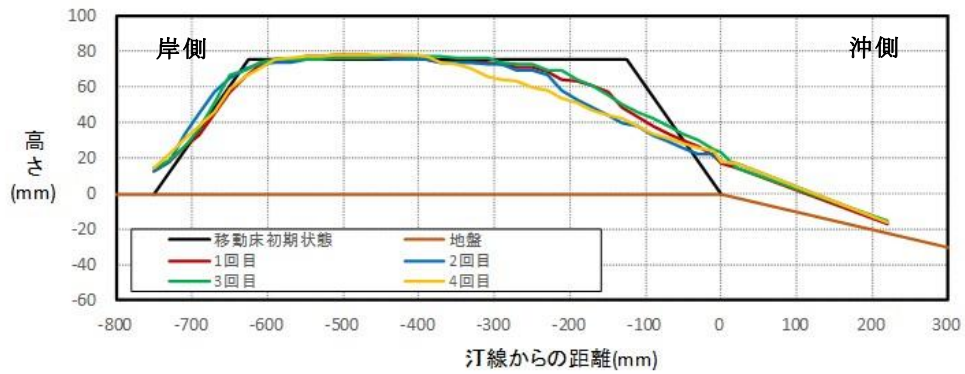
1 回目



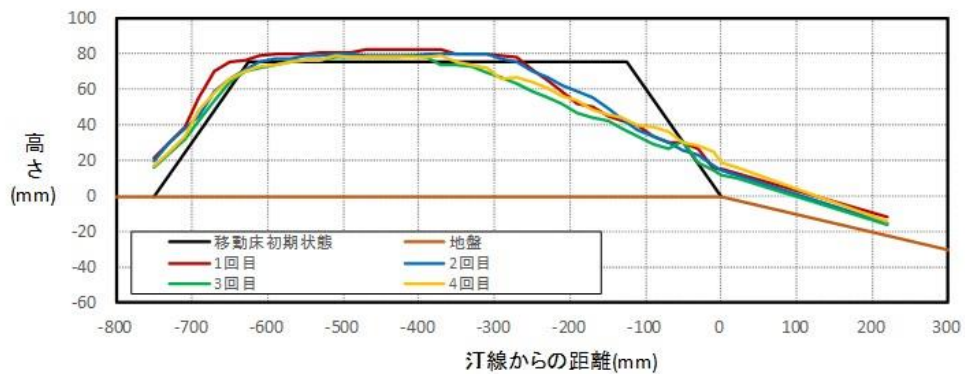
2 回目

通水後の砂丘形状 (E1, H=12.5cm)

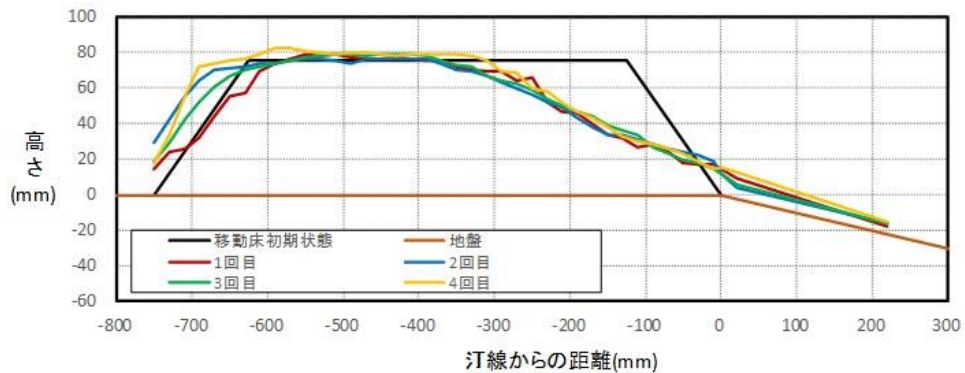
図 3-1-3 通水後の砂丘形状 (ケース E1)



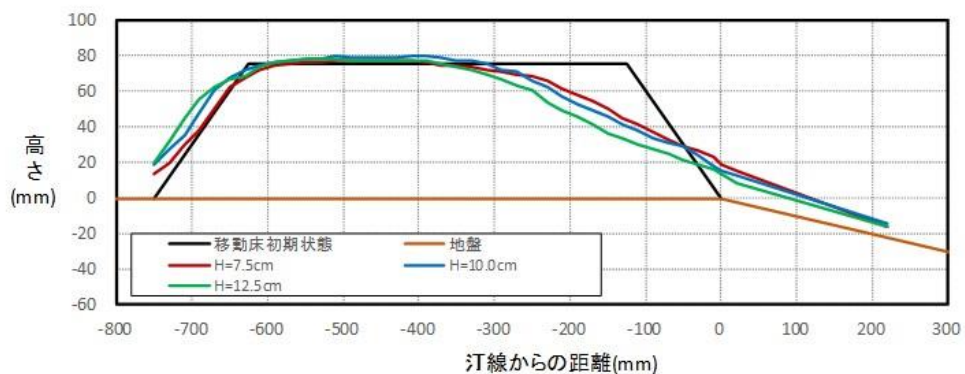
波高 7.5cmにおける移動床の高さ計測結果(ガラス面側)



波高 10.0cmにおける移動床の高さ計測結果(ガラス面側)

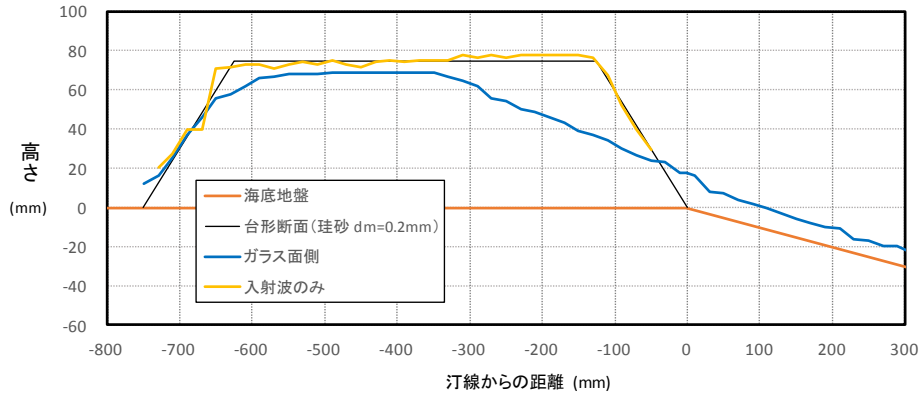


波高 12.5cmにおける移動床の高さ計測結果(ガラス面側)



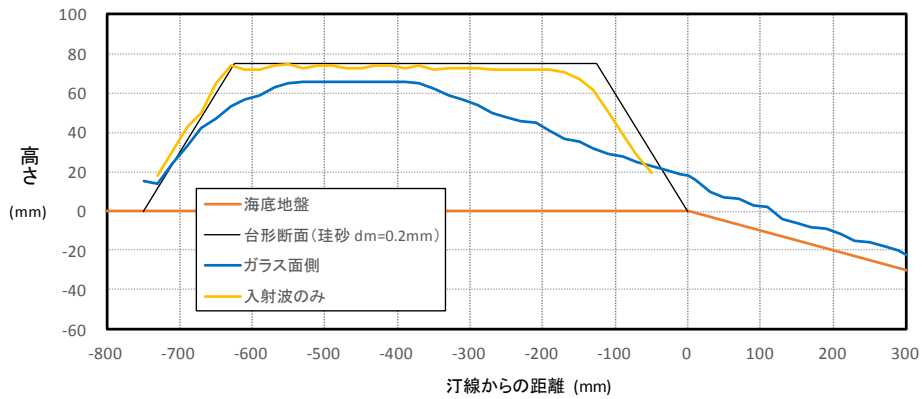
高さ計測値の平均値による各波高での比較(ガラス面側)

図 3-1-4 【参考：H30 実験】 通水後の砂丘地形の縦断測定結果 (防潮堤位置 2；汀線-137.5cm，測線；ガラス面側)



1 回目

通水中・通水後の砂丘形状（E1, H=7.5cm）



1 回目

通水中・通水後の砂丘形状（E1, H=12.5cm）

図 3-1-5 通水中・通水後の砂丘形状（ケース E1）

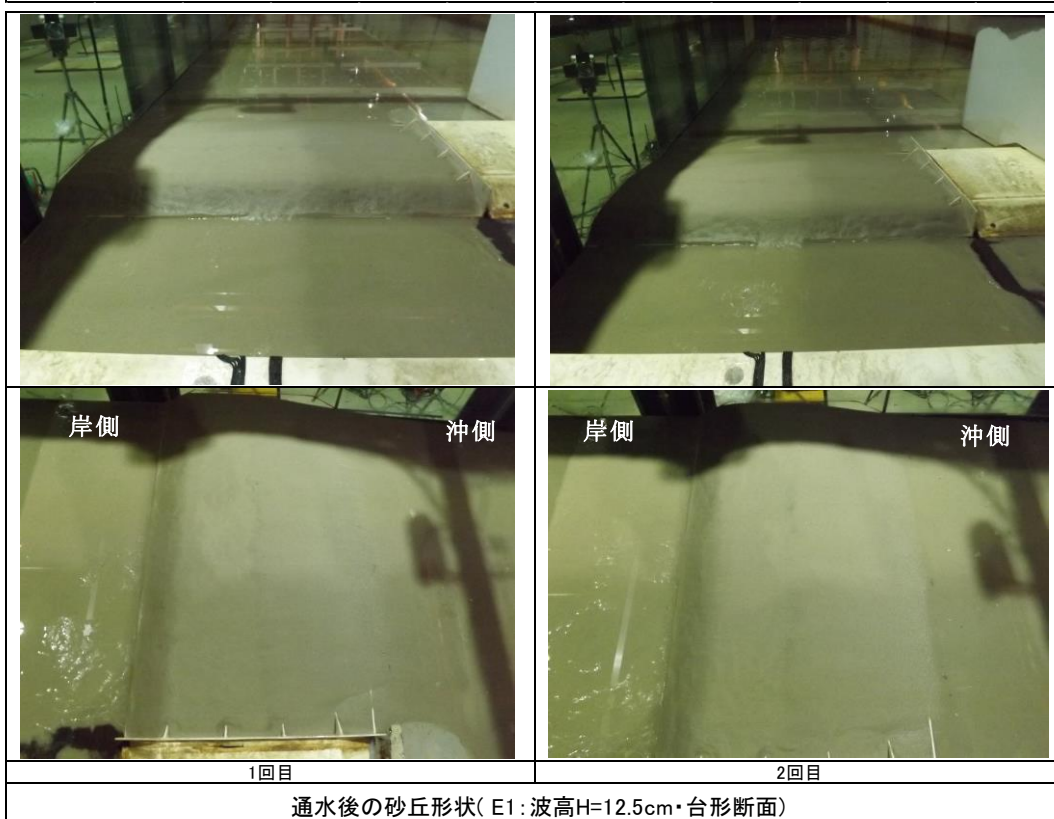
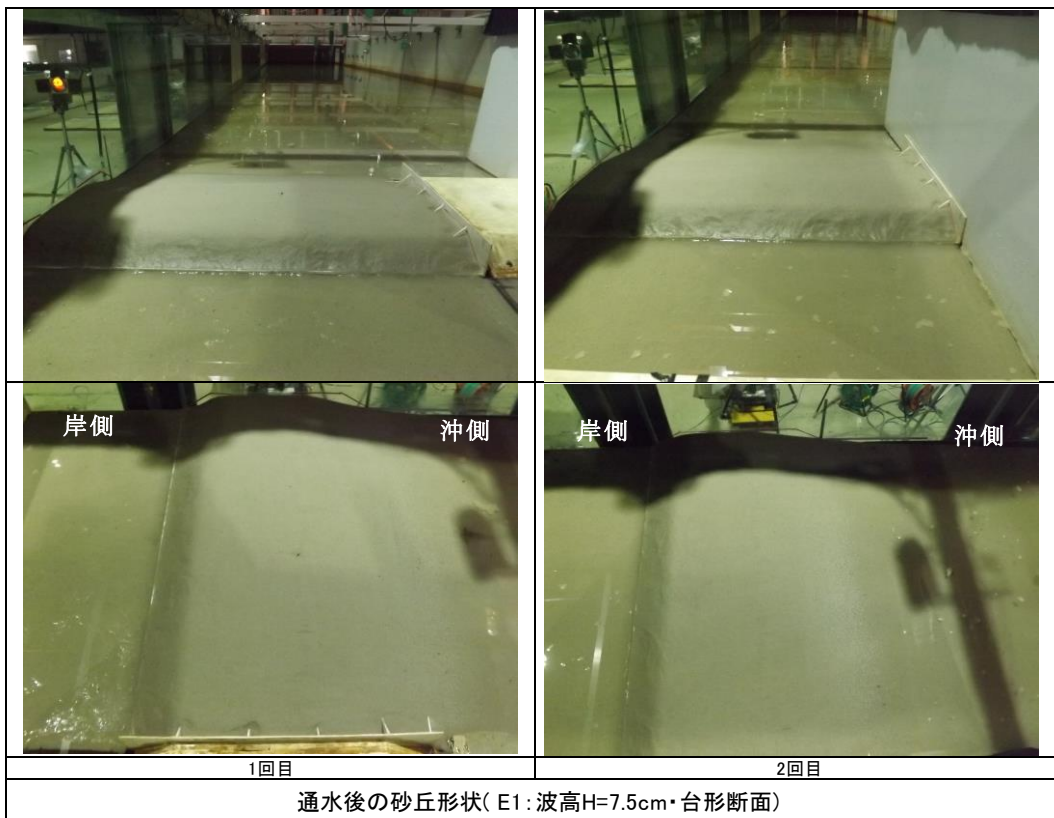
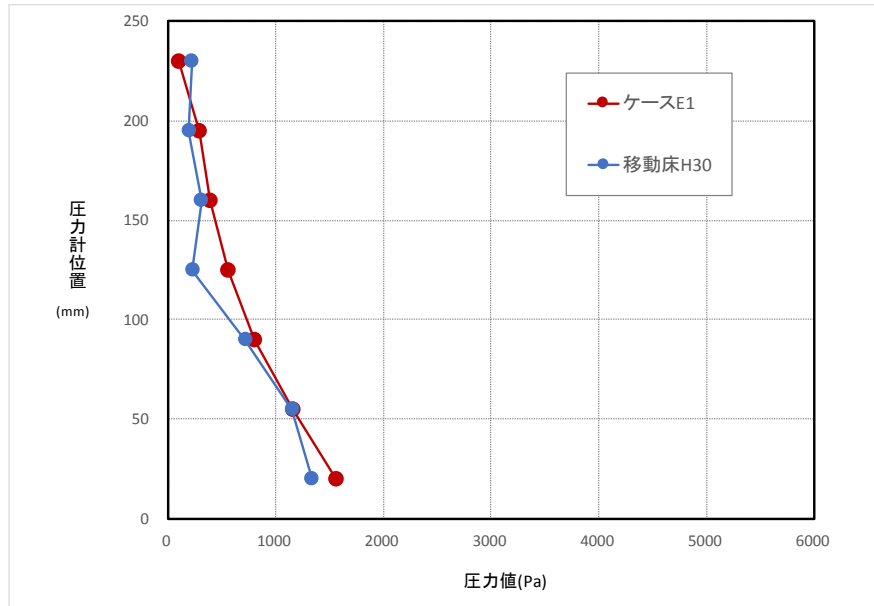
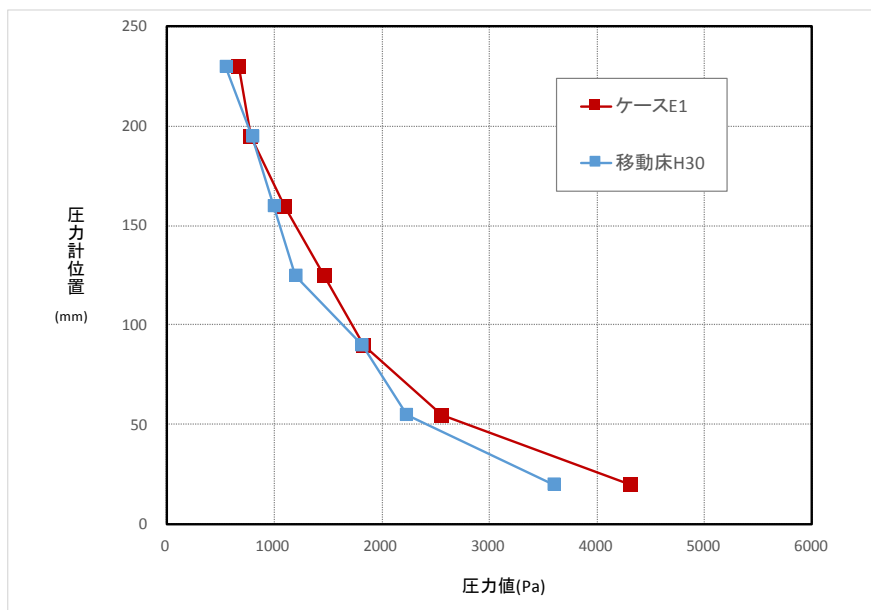


写真 3-1-3 通水後の砂丘形状 (ケース E1)

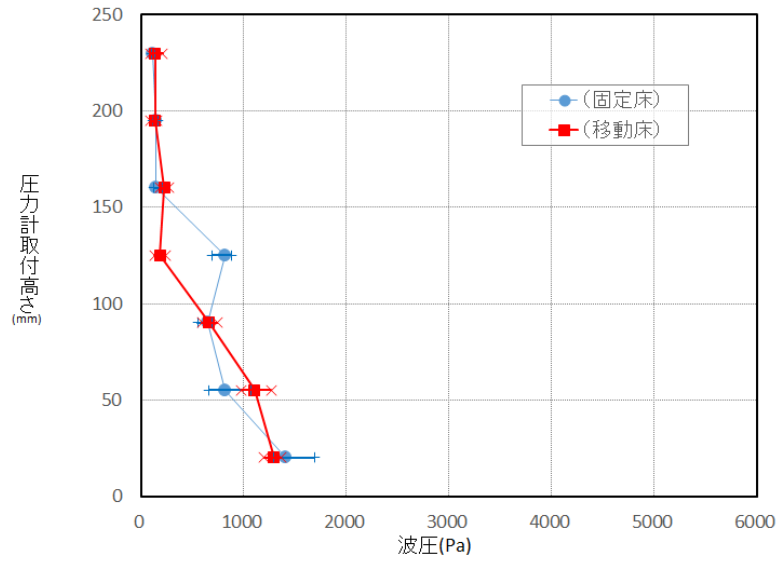


防潮堤作用圧力 (E1, H=7.5cm)

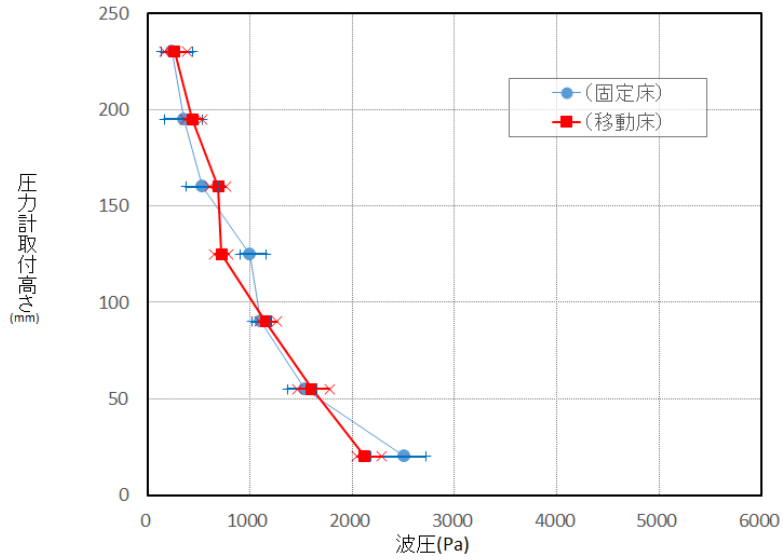


防潮堤作用圧力 (E1, H=12.5cm)

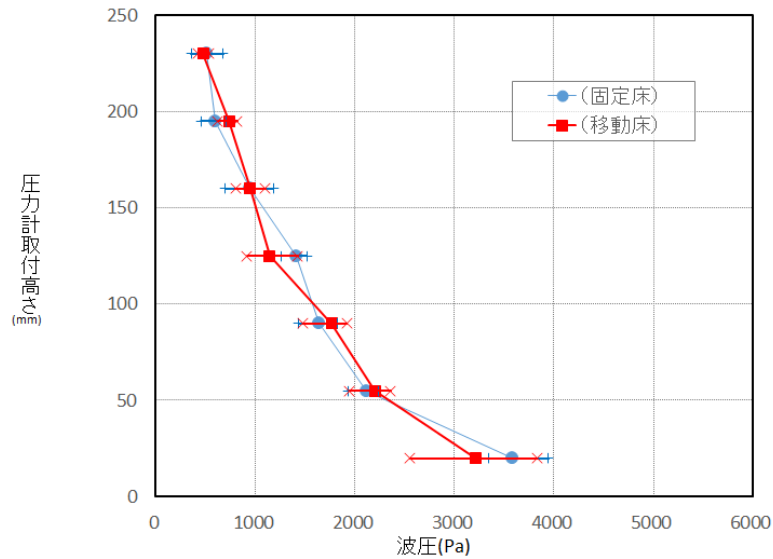
図 3-1-6 防潮堤作用圧力 (ケース E1 ; 2 試行の平均値)



波高 7.5cmにおける防潮堤の波圧分布 (4回試行のばらつき範囲)



波高 10.0cmにおける防潮堤の波圧分布 (4回試行のばらつき範囲)



波高 12.5cmにおける防潮堤の波圧分布 (4回試行のばらつき範囲)

図 3-1-7 【参考：H30 実験】 防潮堤に作用する圧力 (防潮堤位置 2 ; 汀線-137.5cm)



## 3-2 砂丘端に丸みを持たせた実験 (E2)

### 3-2-1 実験の概要

ケース E1 で示した砂丘が台形断面の場合、隅角部から剥離による空気混入があり、空気混入することで掃流的な洗掘作用が弱まっていることが想定される。よってここでは砂丘地形の隅角部をなくし、剥離がほぼない条件で実験を行って、剥離ありの条件と比較し、その影響度合い（洗掘状況の違い）を把握する。実験条件は、砂丘形状以外はケース E1 と同じで以下の通り。

孤立波 波高 7.5cm【沖波】 (試行：2回)  
 12.5cm " ( " )

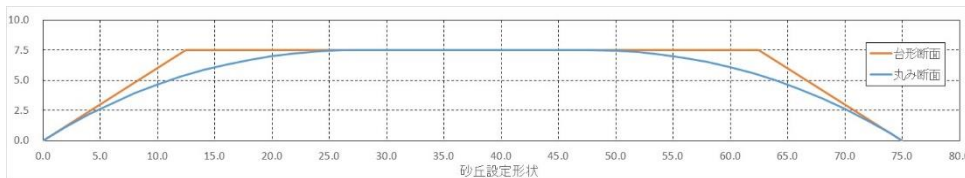
計測項目は以下の通り。

- ・波高
- ・流速
- ・高速ビデオ（砂丘上の流況記録）※1
- ・防潮堤に作用する圧力分布
- ・通水後の砂丘形状※2
- ・防潮堤の作用波圧

※1 画像解析により浸水深（砂丘岸側法面付近の水位），および反射波（戻り流れ）を除く入射波成分のみで変形した砂丘形状を計測する。なお浸水深データは巻末資料に示す。

※2 縦断分布を横断方向に 2 測線で計測し，平面形状を写真で記録する。

砂丘形状は以下のように設定した。



【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

台形断面		丸み断面	
X(cm)	Y(cm)	X(cm)	Y(cm)
0.0	0.0	0.0	0.00
12.5	7.5	2.0	1.14
62.5	7.5	4.0	2.17
75.0	0.0	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

---

### 3-2-2 実験結果

図 3-2-1～図 3-2-2 に各波高条件における波高分布（平均値）・流速分布を、写真 3-2-1～写真 3-2-2 に各波高条件における砂丘上の通過波の状況を示す。また図 3-2-3～図 3-2-4 および写真 3-2-3 に通水後の砂丘形状を、図 3-2-5 に防潮堤に作用する圧力分布を示す。

写真 3-2-1～写真 3-2-2 に示した砂丘上の通過波の状況から、ケース E1 の  $H=12.5\text{cm}$  で見られたような、砂丘隅角部からの剥離に伴う空気発生は E2 ではほぼ見られない。これに伴って入射波による砂丘地形の変形状況は、ケース E1 より砂丘侵食量（4-2-1 参照）で 5～6%程度増える（図 3-2-4）。

また防潮堤に作用する圧力分布は、ケース E1 に比べてその分布形状に大きな変化はないが、 $H=7.5\text{cm}$  の平均波圧（4-2-1 参照）はケース E1 よりやや大きくなる（2 割強）。これは波の進行に対する砂丘の隅角部による形状ロス之差が表れたものと推定される。ただし  $H=12.5\text{cm}$  では逆にやや減少しており（1 割程度）、波高が高い条件では、入射波で台形形状から丸み形状に近づくため、形状ロス之差が顕著ではなくなることが示唆される。

機器名	wave-1	wave-2	wave-3	wave-4	wave-5	wave-6
Unit	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
汀線からの距離(mm)	12500	8500	6500	4500	2500	200
H=7.5cm	7.51	7.93	8.27	8.68	9.46	16.79
H=12.5cm	12.50	13.33	13.81	14.09	15.07	17.47

注) 波高は、1回目と2回目の平均値

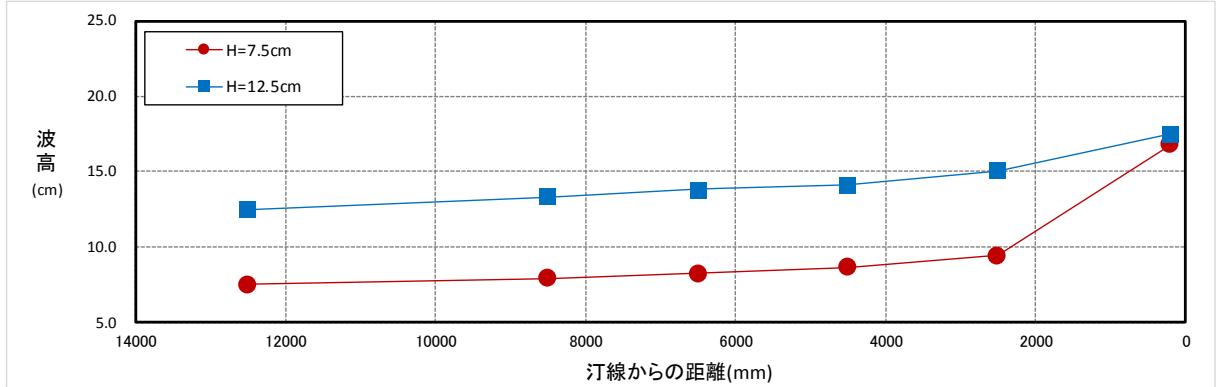


図 3-2-1 各波高条件における波高分布 (ケース E2, 平均値)

入射波高	7.5cm	12.5cm
機器名	velo-6	
Unit	(cm/s)	
汀線からの距離(mm)	-375	
1 回目	111.01	150.96
2 回目	115.46	162.28
平均値	113.24	156.62

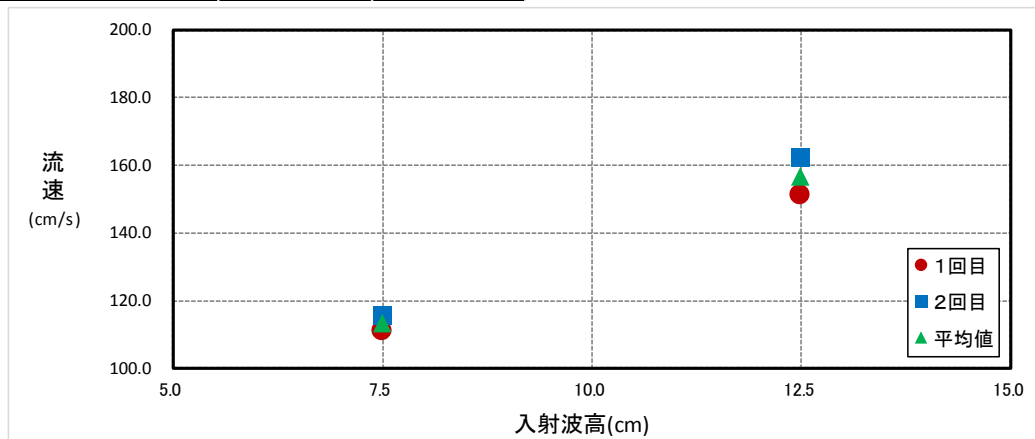
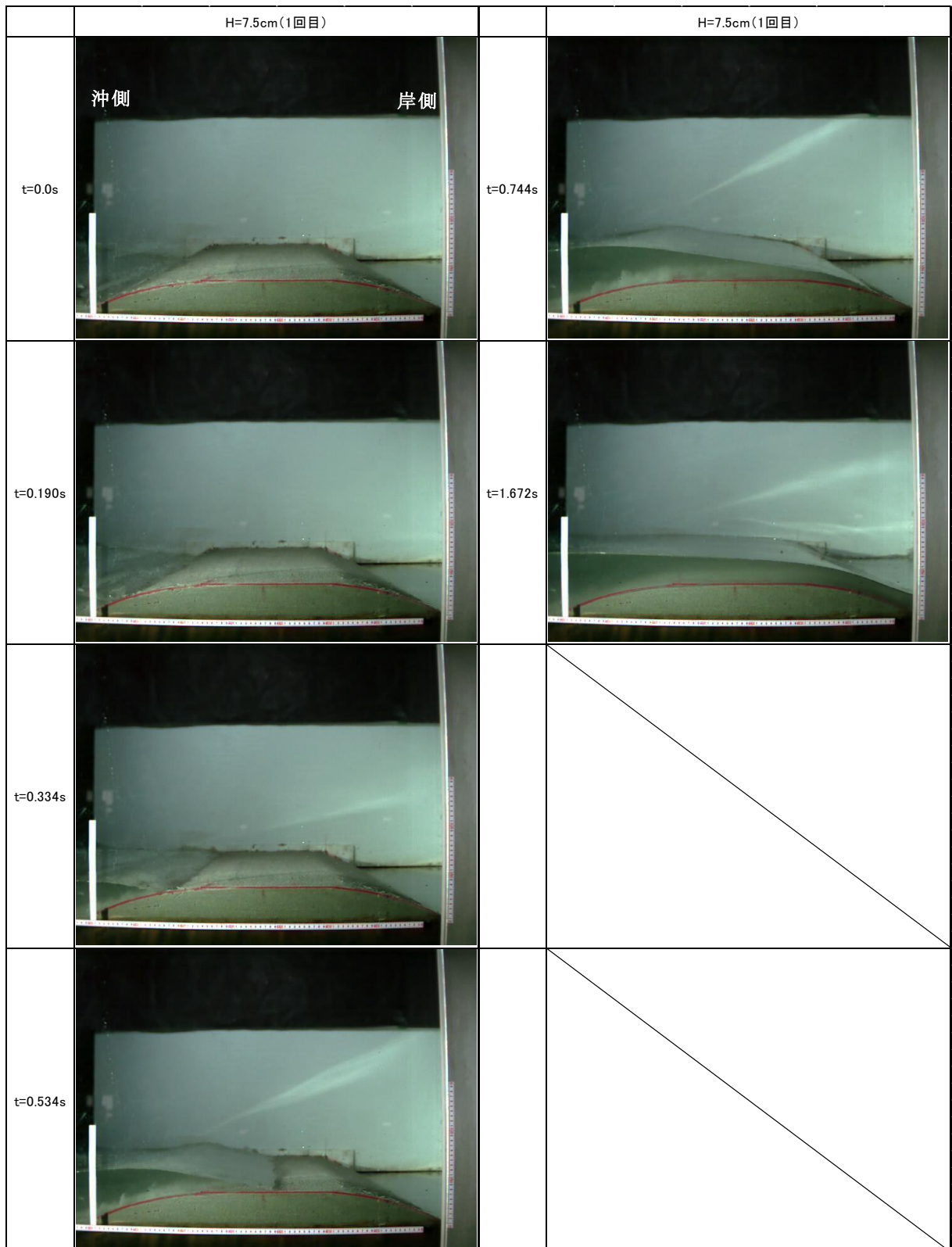
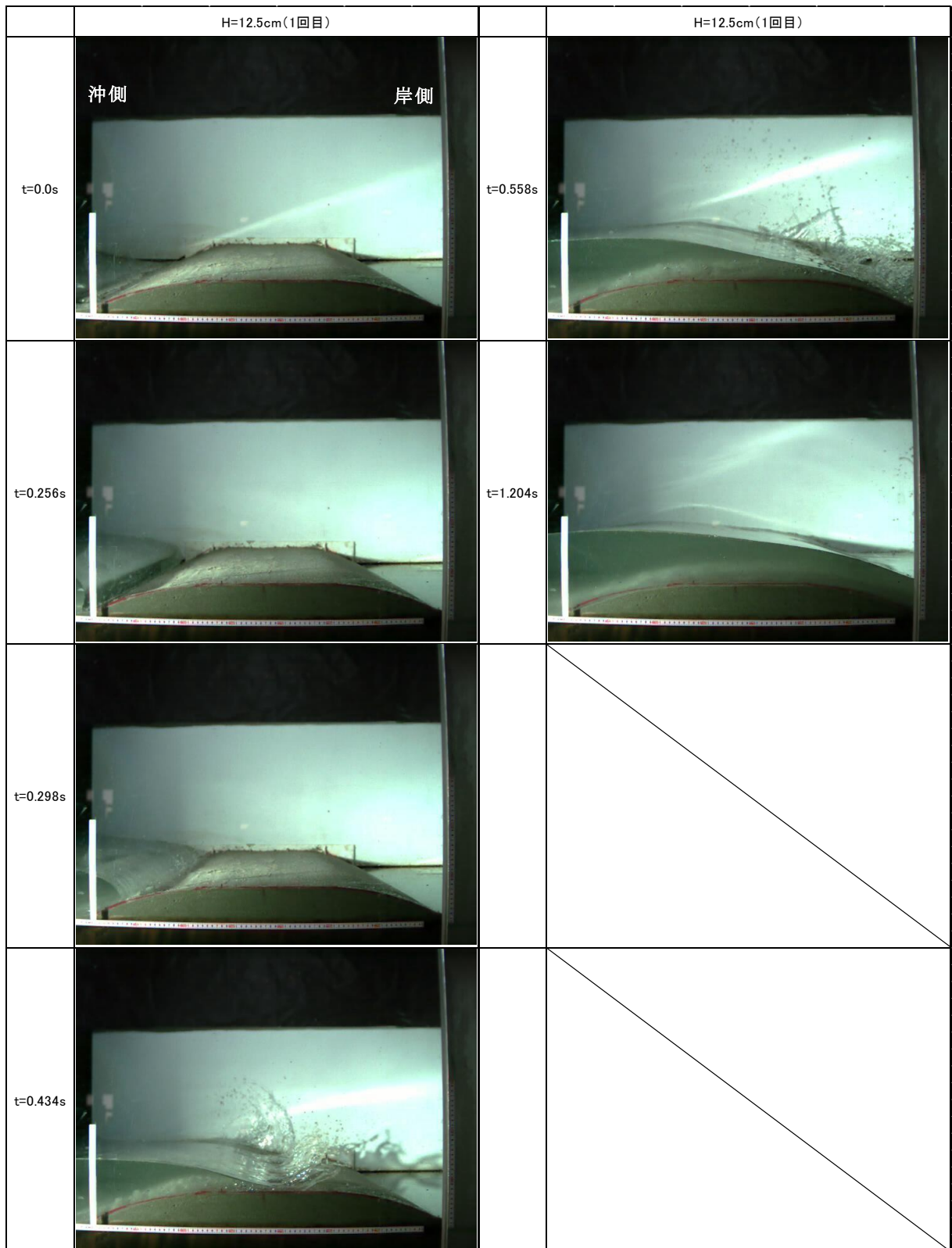


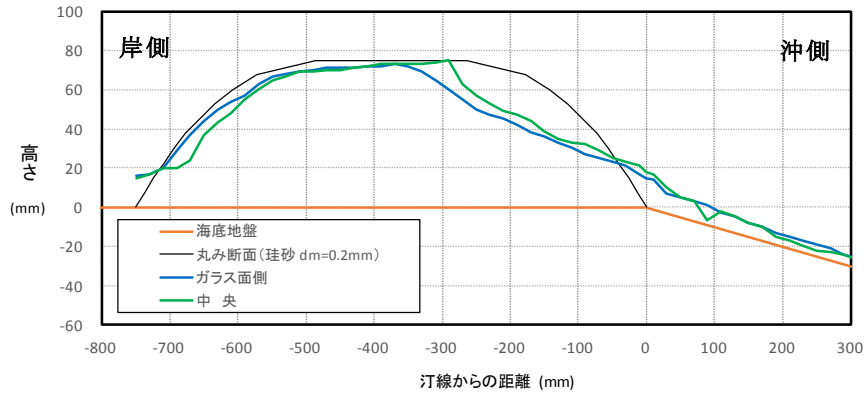
図 3-2-2 各波高条件における流速 (ケース E2, 汀線付近)



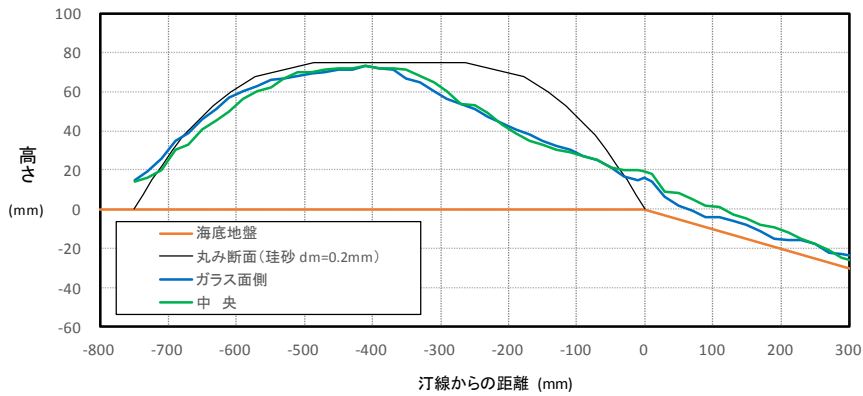
※ t : 汀線に波が達した時刻を t = 0 とした場合の経過時間  
 写真 3-2-1 砂丘上の通過波の状況の一例 (ケース E2, H=7.5cm, 1 回目)



※ t : 汀線に波が達した時刻を t = 0 とした場合の経過時間  
 写真 3-2-2 砂丘上の通過波の状況の一例 (ケース E2, H=12.5cm, 1 回目)

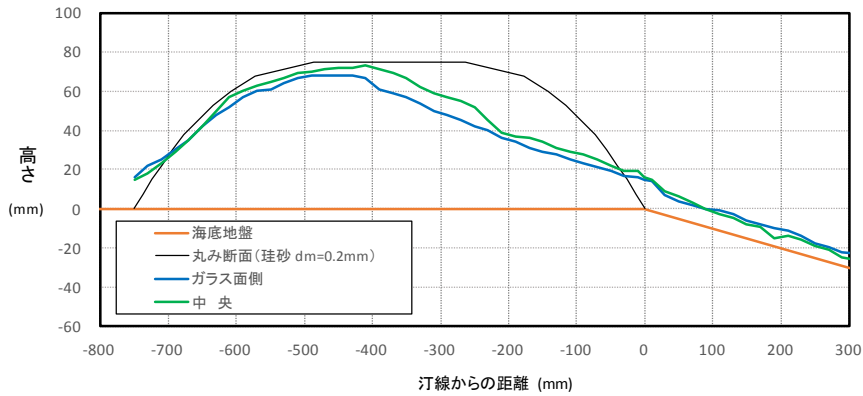


1 回目

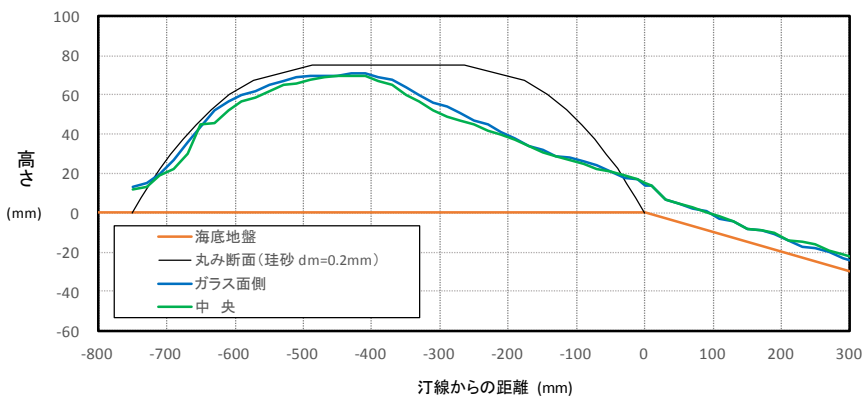


2 回目

通水後の砂丘形状 (E2, H=7.5cm)



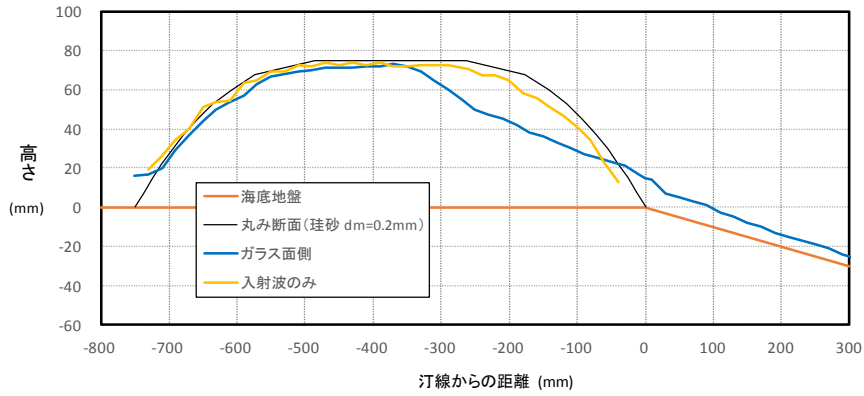
1 回目



2 回目

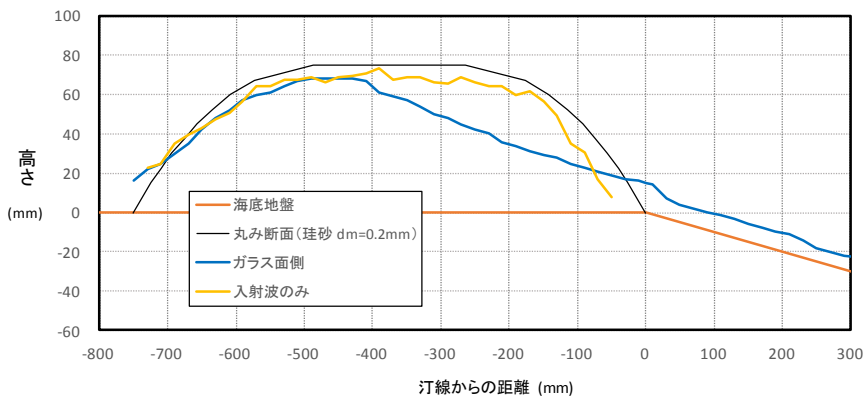
通水後の砂丘形状 (E2, H=12.5cm)

図 3-2-3 通水後の砂丘形状 (ケース E2)



1 回目

通水中・通水後の砂丘形状 (E2,  $H=7.5\text{cm}$ )



1 回目

通水中・通水後の砂丘形状 (E2,  $H=12.5\text{cm}$ )

図 3-2-4 通水中・通水後の砂丘形状 (ケース E2)

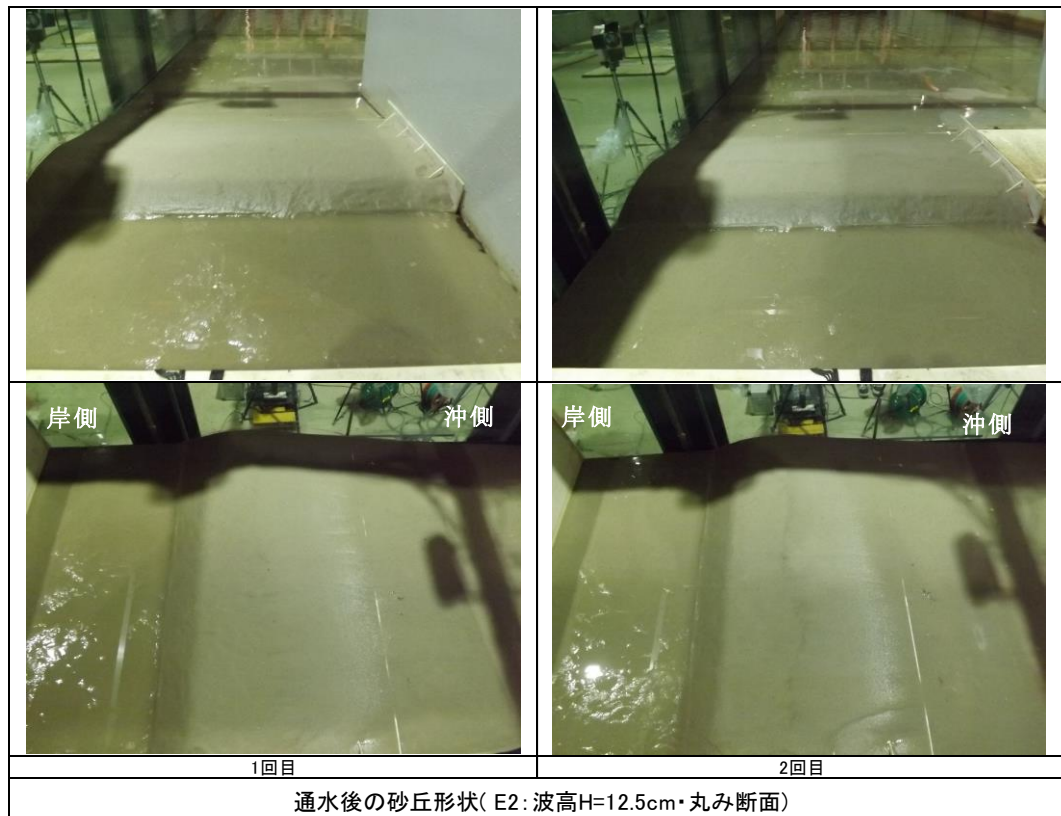
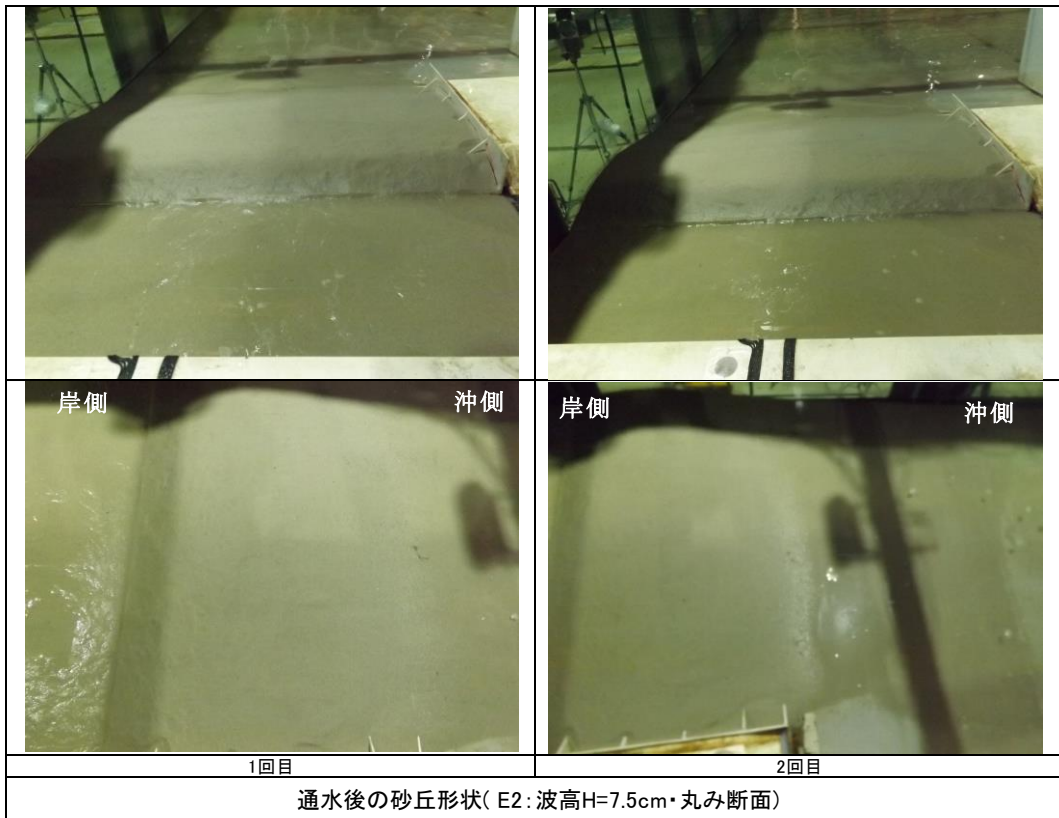
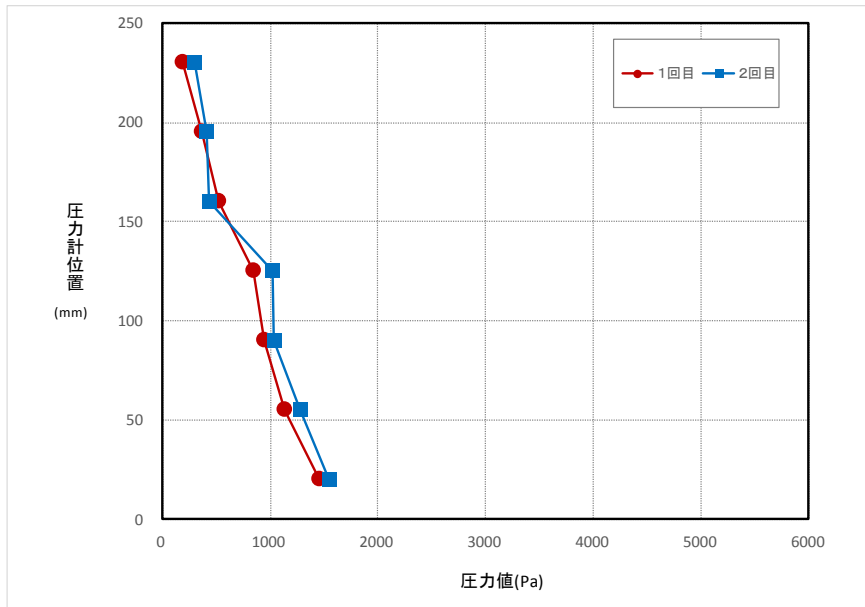
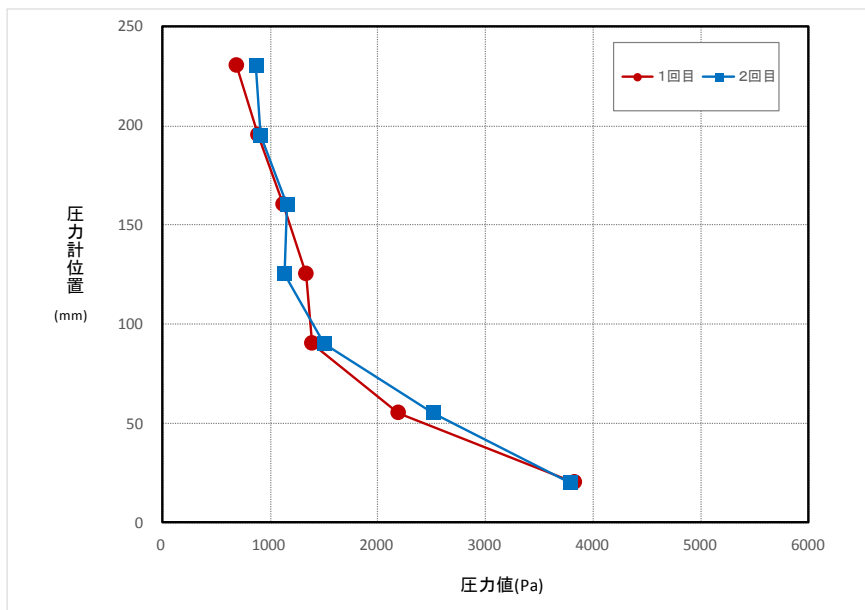


写真 3-2-3 通水後の砂丘形状 (ケース E2)





防潮堤作用圧力 (E2, H=7.5cm)



防潮堤作用圧力 (E2, H=12.5cm)

図 3-2-5 防潮堤作用圧力 (ケース E2)

※ 作用圧力の時系列データは巻末資料に示す

### 3-3 防潮堤をなくした実験 (E3)

#### 3-3-1 実験の概要

ケース E1 で模型実験における洗掘現象の大半が、防潮堤と砂丘の間に溜まった流水の“戻り流れ”によって生じており、津波自体の作用流体力による洗掘作用がよく分からない。よって防潮堤なしの（防潮堤と砂丘の間に流水が溜まらない）条件で実験し、津波（進行波）のみによる洗掘作用を分離・評価することを試みる。

予備実験で設定した下記の津波条件について、防潮堤をなくした条件でそれぞれ 2 回試行し、津波による砂丘形状の変形の計測を行った。なお何れのケースも初期河床が台形断面の砂丘形状の条件で行っている。

孤立波 波高 7.5cm 【沖波】 (試行：2 回)  
12.5cm " ( " )

計測項目は以下の通り。

- ・波高
- ・流速
- ・高速ビデオ（砂丘上の流況記録）
- ・通水後の砂丘形状

#### 3-3-2 実験結果

図 3-3-1～3-3-2 に各波高条件における波高分布（平均値）・流速分布を、写真 3-3-1～3-3-2 に各波高条件における砂丘上の通過波の状況を示す。また、図 3-3-3～3-3-4 および写真 3-3-3 に通水後の砂丘形状を示す。なお、砂丘地形からサンプリングした供試体の空隙率、含水率は下表に示す通りである。

実験ケース	波浪条件	サンプリング	空隙率	含水率
			( $V_v/V$ )	( $V_w/V_v$ )
E3	H= 7.5cm	実験前	0.50	0.82
		実験後	0.47	0.83
	H=12.5cm	実験前	0.53	0.75
		実験後	0.49	0.82

砂丘背面に防潮堤がない条件としているが、防潮堤位置より更に岸側がフラットではない（高い）ことから、反射波がやや残る条件となっている。反射波の影響がより大きい波高 12.5cm の条件では、砂丘沖側のり面が反射波を含む戻り流れ成分によって侵食されるが、波高 7.5cm の条件では、反射波による戻り流れがほとんど生じないため、この部分の侵食度合いは比較的小さい。

なお、図 3-3-4 に示した入射波のみによる砂丘の変形度合いはケース E1 と E3 で比較的良好一致しており、同一条件での実験のばらつきは比較的小さい。またケース E1 でも示したように、波高 12.5cm の場合の沖側法面部分を除き、

---

入射波によって変形している部分はほとんどなく、砂丘の変形はその大半が防潮堤と砂丘の間に溜まった流水の戻り流れ成分によって生じている。

以上の結果より、防潮堤なしの（防潮堤と砂丘の間に流水が溜まらない）条件で実験し、津波（進行波）のみによる洗掘作用を分離・評価することを試みたが、水槽の制約で反射波を完全になくせなかったことから、通水後の砂丘形状の違いは明確にできなかったが、画像解析による入射波のみによる変形度合いとの比較から、洗掘現象の大半が、防潮堤と砂丘の間に溜まった流水の“戻り流れ”によって生じていることが改めて確認された。

機器名	wave-1	wave-2	wave-3	wave-4	wave-5	wave-6
Unit	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
汀線からの距離(mm)	12500	8500	6500	4500	2500	200
H=7.5cm	7.54	7.75	8.18	8.78	9.53	16.48
H=12.5cm	12.76	13.13	13.58	14.26	15.07	17.19

注) 波高は、1回目と2回目の平均値

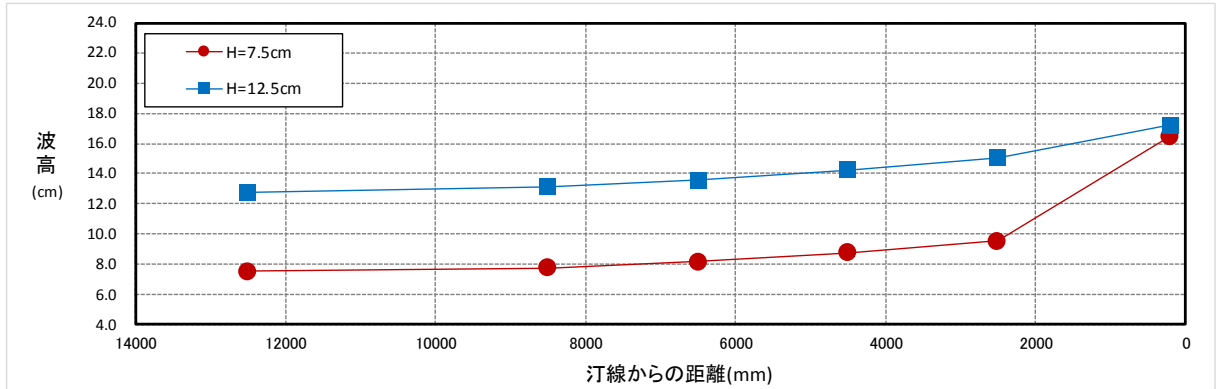


図 3-3-1 各波高条件における波高分布 (ケース E3, 平均値)

入射波高	7.5cm	12.5cm
機器名	velo-6	
Unit	(cm/s)	
汀線からの距離(mm)	-375	
1回目	117.18	147.73
2回目	116.66	159.96
平均値	116.92	153.85

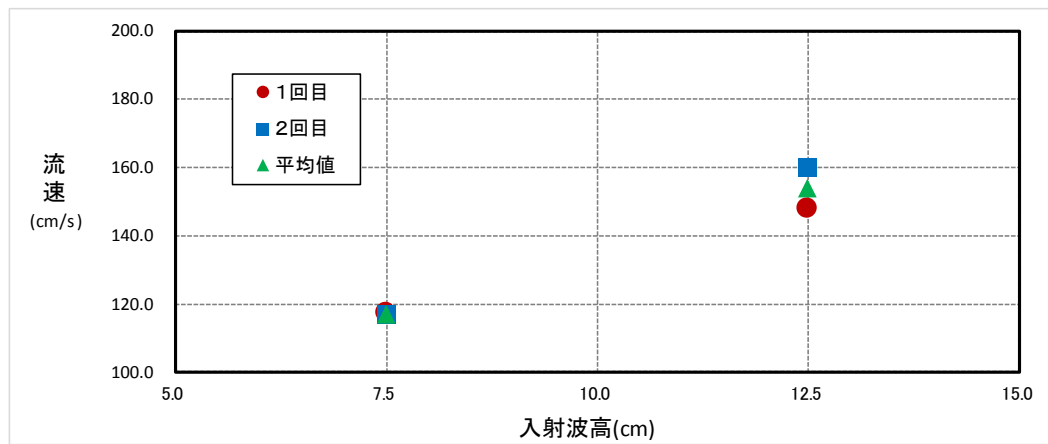
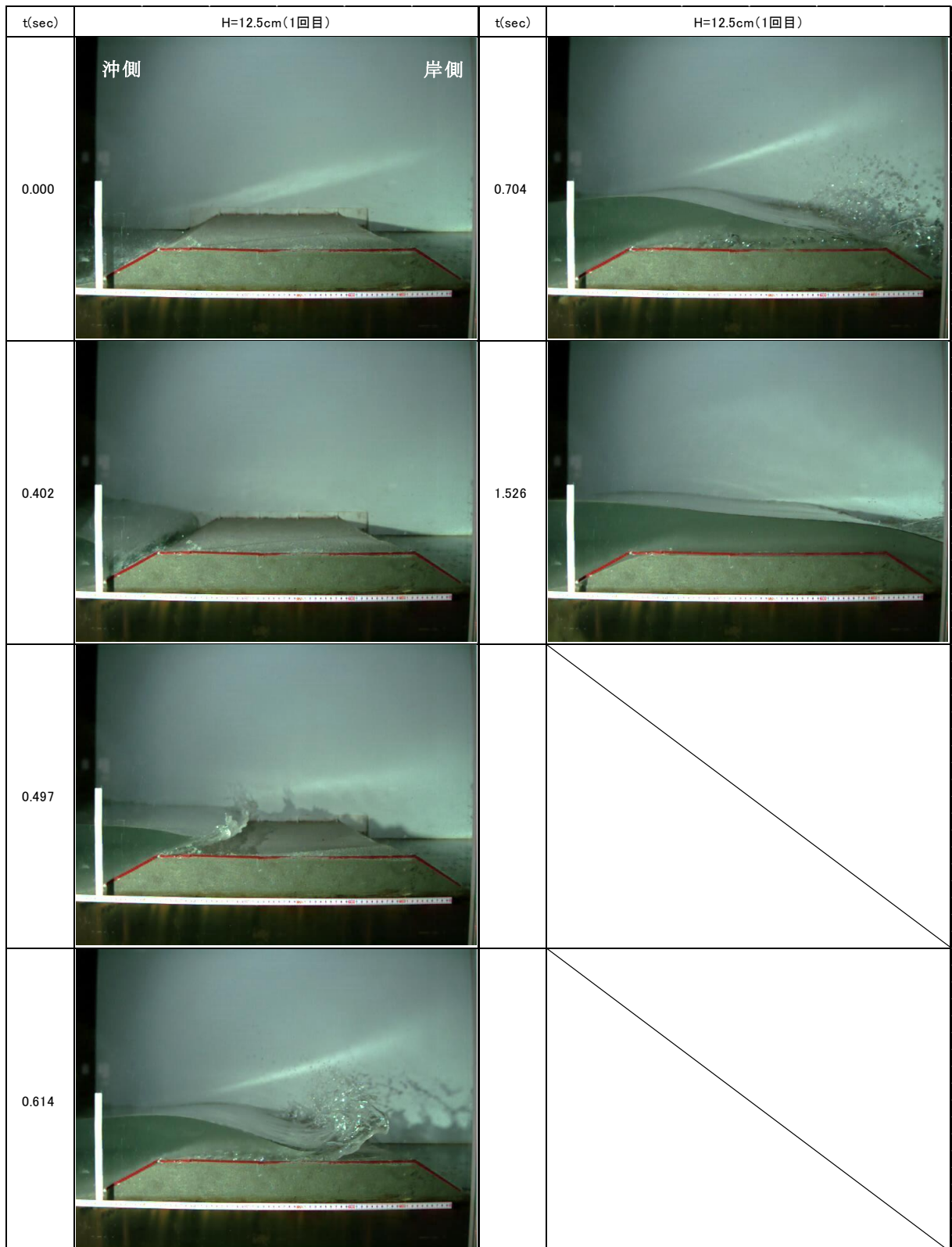


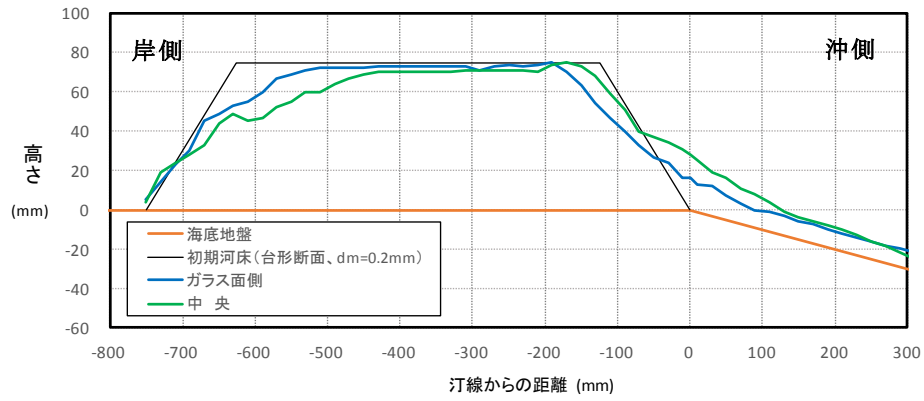
図 3-3-2 各波高条件における流速 (ケース E3, 汀線付近)

t(sec)	H=7.5cm(1回目)	t(sec)	H=7.5cm(1回目)
0.000		0.786	
0.288		2.122	
0.362			
0.562			

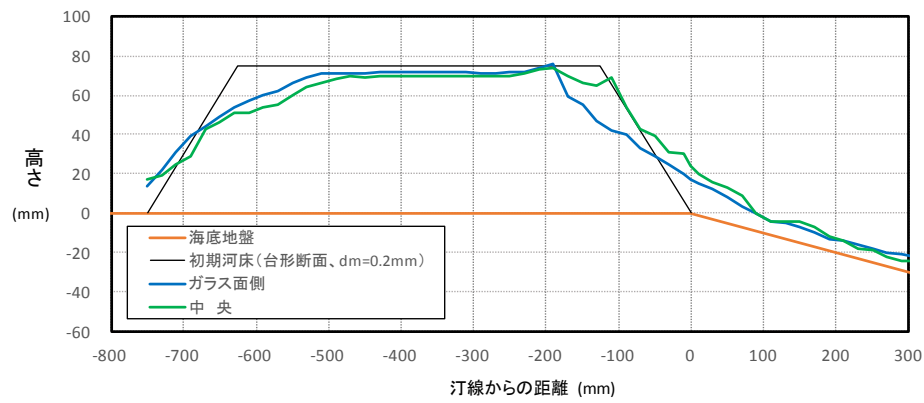
※ t : 汀線に波が達した時刻を t = 0 とした場合の経過時間  
 写真 3-3-1 砂丘上の通過波の状況の一例 (ケース E3, H=7.5cm, 1 回目)



※ t : 汀線に波が達した時刻を t = 0 とした場合の経過時間  
 写真 3-3-2 砂丘上の通過波の状況の一例 (ケース E3, H=12.5cm, 1 回目)

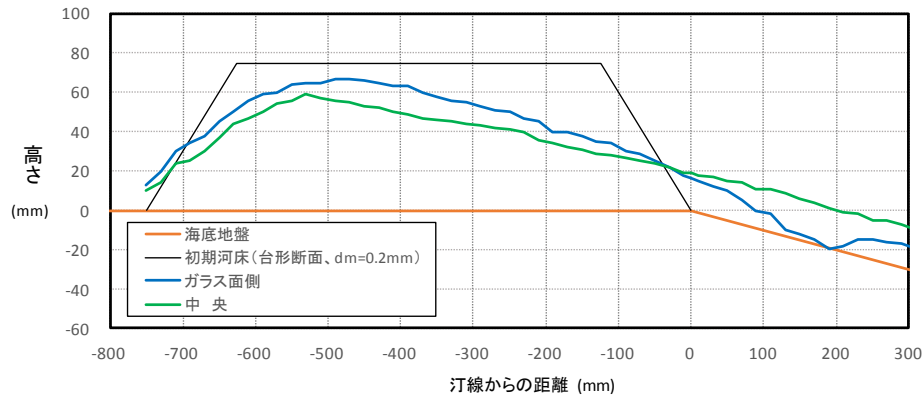


1 回目

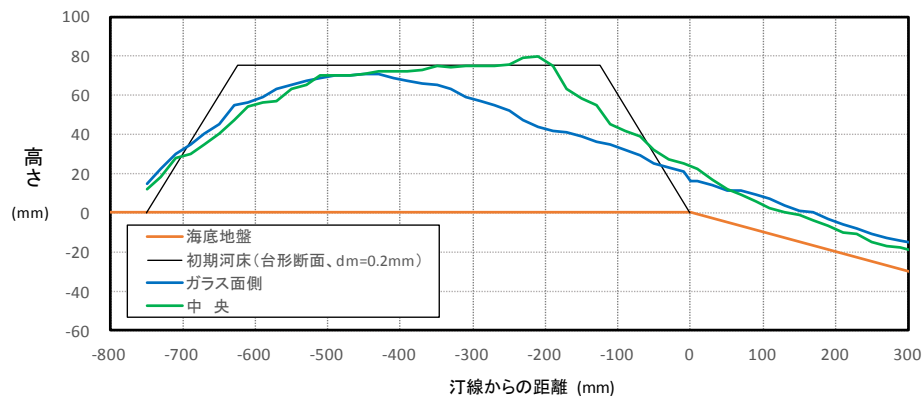


2 回目

通水後の砂丘形状 (E3:防潮堤なし, H=7.5cm)



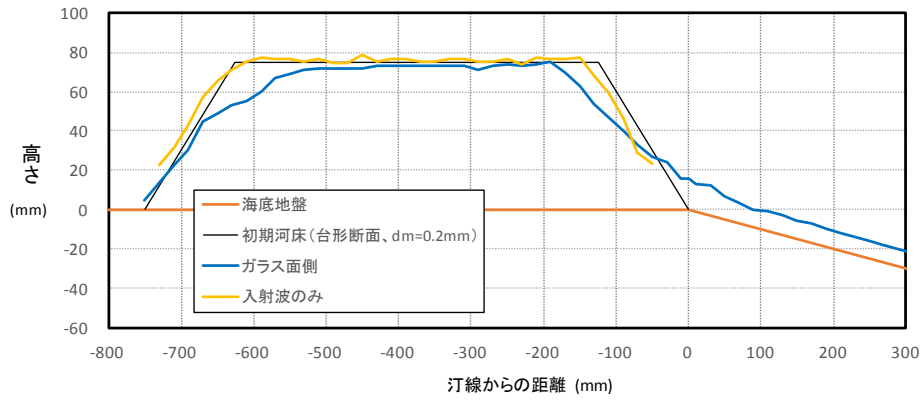
1 回目



2 回目

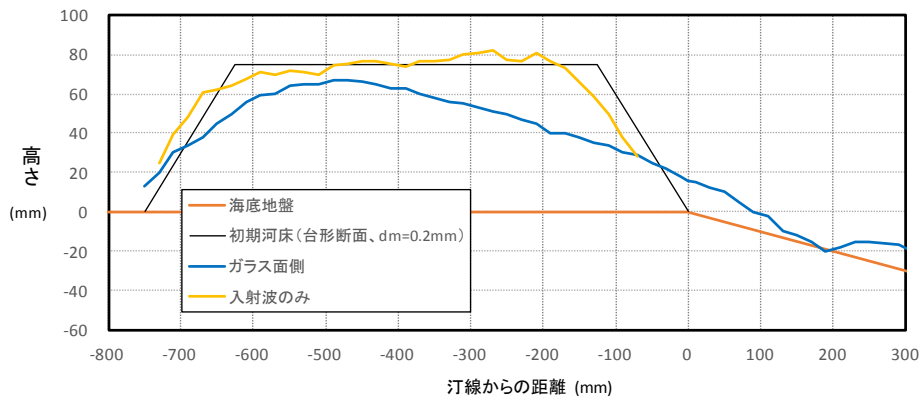
通水後の砂丘形状 (E3:防潮堤なし, H=12.5cm)

図 3-3-3 通水後の砂丘形状 (ケース E3:防潮堤なし)



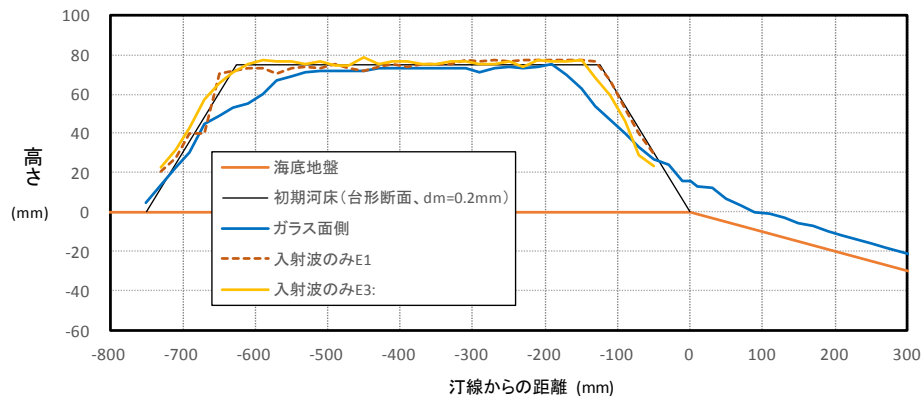
1 回目

通水中・通水後の砂丘形状 (E3, H=7.5cm)

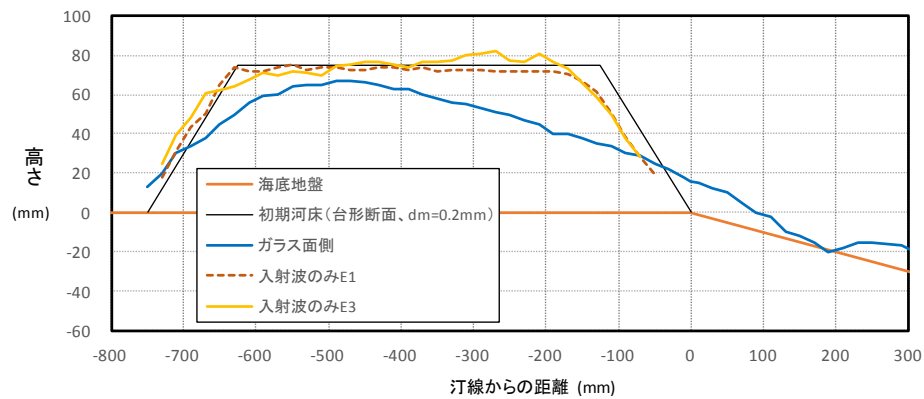


1 回目

通水中・通水後の砂丘形状 (E3, H=12.5cm)



通水中・通水後の砂丘形状比較 (E1 と E3, H=7.5cm)



通水中・通水後の砂丘形状比較 (E1 と E3, H=12.5cm)

図 3-3-4 通水中・通水後の砂丘形状 (ケース E3)



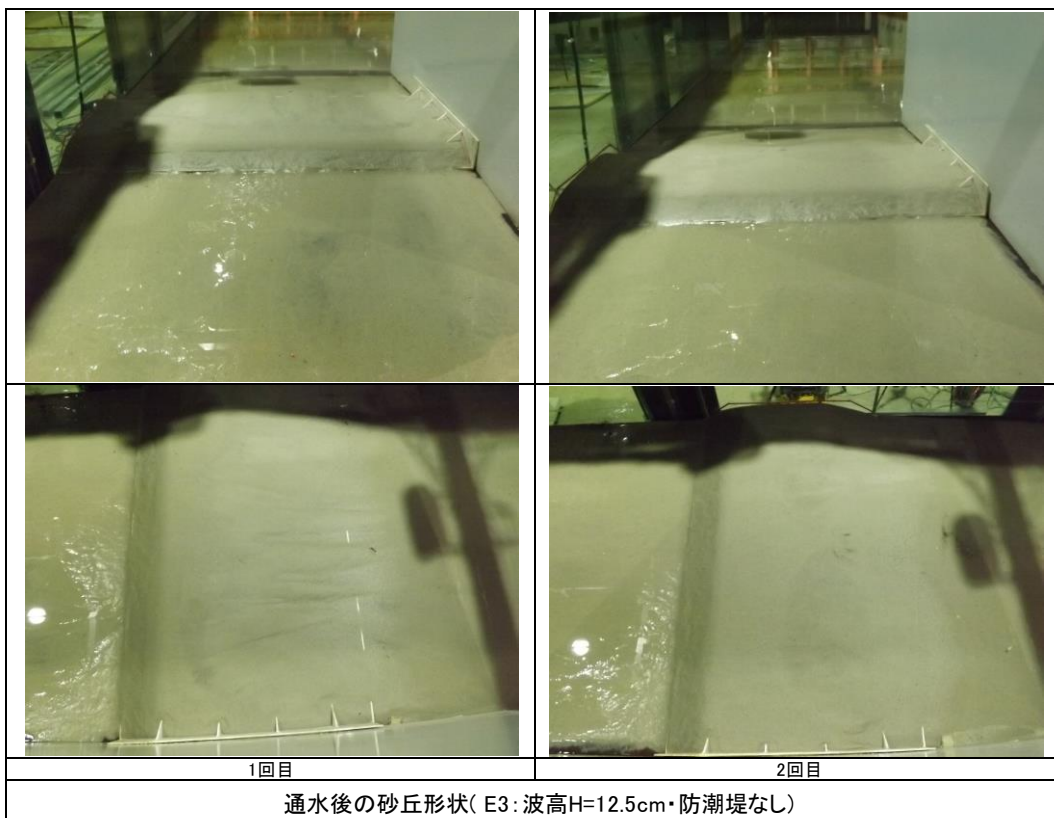
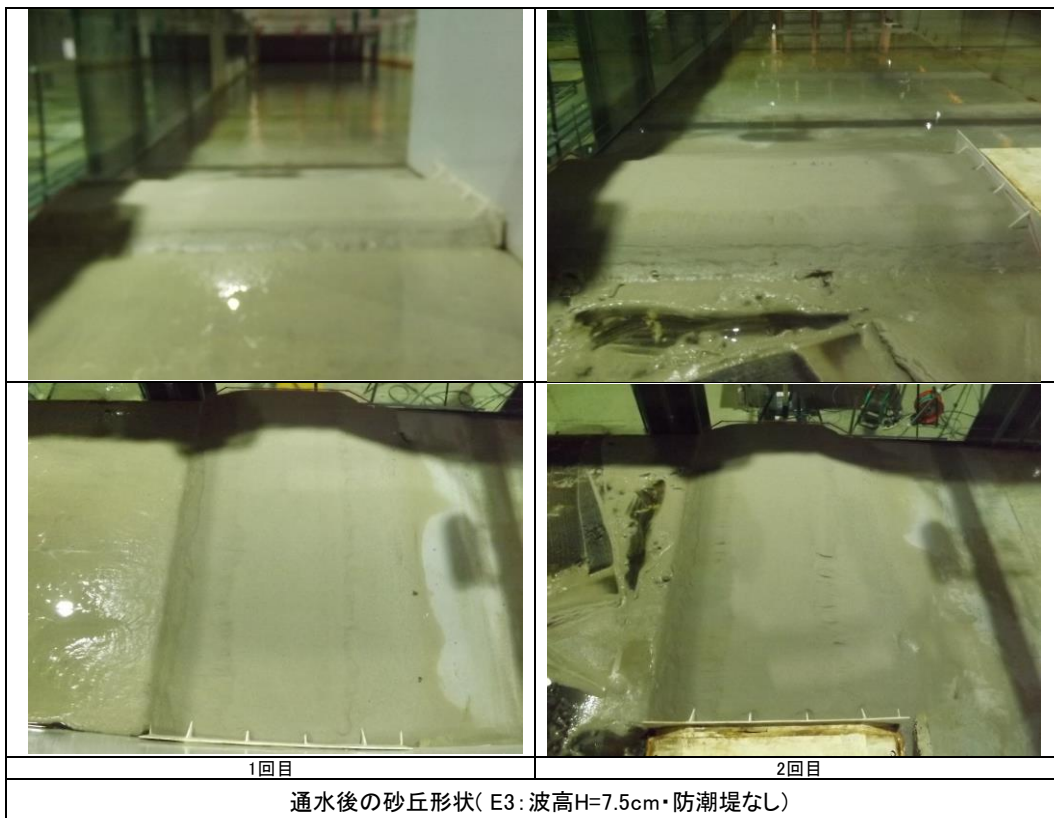


写真 3-3-3 通水後の砂丘形状 (ケース E3)

### 3-4 砂丘材料を細粒径とした実験 (E4)

#### 3-4-1 実験の概要

模型実験で用いていた移動床材料の再現粒径が大きく、洗掘しにくい条件となっていた(模型粒径が  $d_m \doteq 0.2\text{mm}$  で模型縮尺を 1/80 相当とすると、実物値 16mm で、砂粒というより小礫)。そこで模型再現粒径をもっと小さくして移動限界を下げ、洗掘しやすい条件でその影響度合い(洗掘状況の違い)を把握する。ただし、既に模型再現の限界(下限)に近い粒径であること、粒径が小さすぎると模型上、掃流→浮遊の移動形態になってしまい、土砂移動形態の相似性が損なわれることから、半分程度の粒径を用いることとした。

実験条件は、砂丘材料以外はケース E1 と同じで以下の通り。

孤立波 波高 7.5cm 【沖波】 (試行: 2 回)  
 12.5cm " ( " )

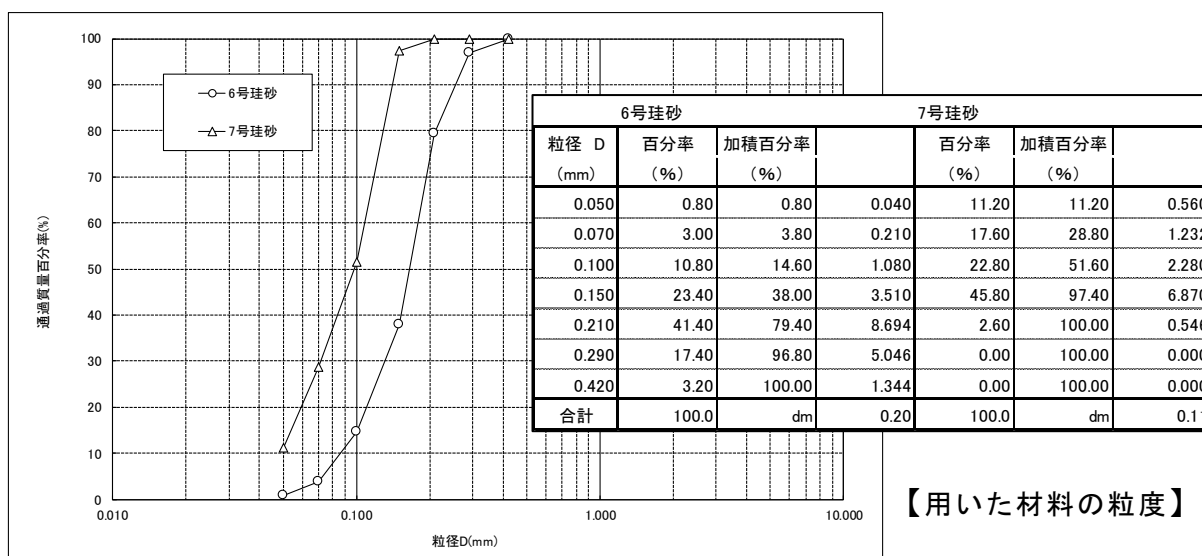
計測項目は以下の通り。

- ・ 波高
- ・ 流速
- ・ 高速ビデオ(砂丘上の流況記録) ※1
- ・ 防潮堤に作用する圧力分布
- ・ 通水後の砂丘形状 ※2
- ・ 防潮堤の作用波圧

※1 画像解析により反射波(戻り流れ)を除く入射波成分のみで変形した砂丘形状を計測する。

※2 縦断分布を横断方向に 2 測線で計測し、平面形状を写真で記録する。

用いた材料は珪砂 7 号 (E1 は 6 号) で粒度は下図の通り ( $d_m=0.11\text{mm}$ )。



### 3-4-2 実験結果

図 3-4-1～図 3-4-2 に各波高条件における波高分布（平均値）・流速分布を、写真 3-4-1～写真 3-4-2 に各波高条件における砂丘上の通過波の状況を示す。また、図 3-4-3～図 3-4-5 および写真 3-4-3 に通水後の砂丘形状を、図 3-4-6 に防潮堤に作用する圧力分布を示す。

通水後の砂丘形状は、ケース E1 と E4 で顕著な差はなく、むしろ粒径の小さな E4 の方が E1 より変形度合いが小さい箇所も見受けられる。ただし図 3-4-5 に示すように、入射波のみによる砂丘の変形度合いは、ケース E1 より E4 の方がやや大きい（砂丘沖側法面隅角部付近、砂丘侵食量（4-2-1 参照）で 2～3%）。

なお、ケース E4 では砂丘材料が洗掘されて巻き上がると、なかなか沈降せず、水中に懸濁状態で長時間留まるが、波圧分布はケース E1 と E4 で顕著な差はない（むしろ平均波圧（4-2-1 参照）で 4～10% 程度低下する）。そのため今回の条件範囲内では、粒径が小さくなり浮遊砂濃度が増加したとしても、防潮堤に作用する波圧に大きな影響はないと考えられる。

以上の結果から、模型再現粒径を小さくして移動限界を下げ、洗掘しやすい条件でその影響度合い（洗掘状況の違い）を確認したが、目に見えて砂丘の洗掘状況が違うということはなく、その差は僅かであった（砂丘侵食量（4-2-1 参照）で 2～3%）。このことは模型で洗掘し難いことの主要因が、必ずしも粒径によるものではなく、（例えば砂丘地形の空隙率や含水率のような）他要因であることが示唆される。

ちなみに、 $dm=0.2mm$  と  $0.11mm$  の条件について、それぞれ限界掃流力（岩垣の式\*）を算定すると、その比率は 1 : 0.814 であり、大雑把には“2 割程度動きやすい”と想定していた。

#### ※岩垣の式（限界掃流力）抜粋

$$u^{*2} = \{0.1235(\sigma / \rho - 1)g\}^{25/12} \nu^{7/16} d^{11/32}$$

（ $2.14 \leq R^* \leq 54.2$  の場合）

ここに、

$$R^* = \{(\sigma / \rho - 1)g\}^{1/2} d^{3/2} / \nu$$

$u^*$  : 摩擦速度 (cm/s)

$\sigma$  : 土粒子の比重 (= 2.56)

$\rho$  : 水の比重 (= 1)

$\nu$  : 水の動粘性係数 (=  $0.01\text{cm}^2/\text{s}$ )

$d$  : 土粒子粒径 (cm)

(掃流力  $\tau = \rho u^{*2}$ )

(今回の実験条件)

	1	2
土粒子の比重 $\sigma$	2.56	2.56
粒径(cm) $d$	0.011	0.02
$R^*$	4.511	11.059
(摩擦速度) <sup>2</sup> $u^{*2}$	1.698	2.085
限界掃流力比 $\tau_{d1}/\tau_{d2}$	0.814	—

機器名	wave-1	wave-2	wave-3	wave-4	wave-5	wave-6
Unit	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
汀線からの距離(mm)	12500	8500	6500	4500	2500	200
H=7.5cm	7.54	7.83	8.28	8.78	9.70	16.92
H=12.5cm	12.64	12.84	13.48	13.99	14.68	17.30

注) 波高は、1回目と2回目の平均値

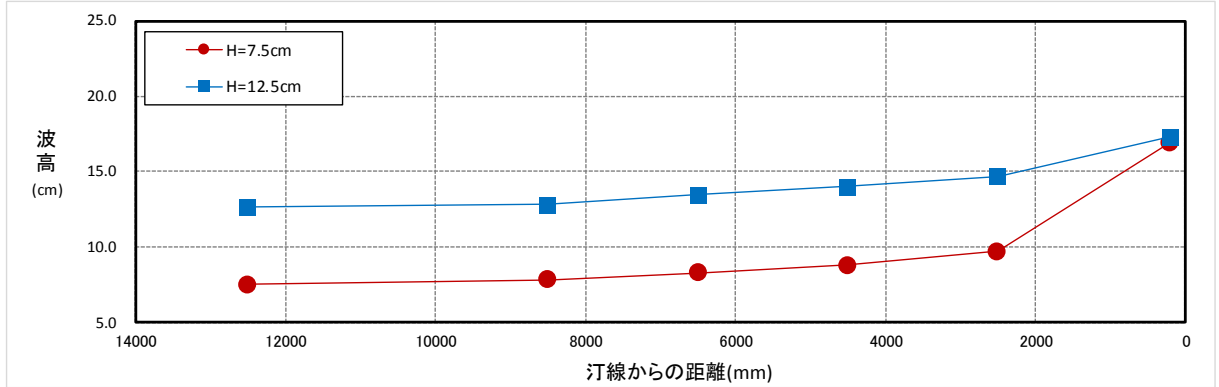


図 3-4-1 各波高条件における波高分布 (ケース E4, 平均値)

入射波高	7.5cm	12.5cm
機器名	velo-6	
Unit	(cm/s)	
汀線からの距離(mm)	-375	
1 回目	110.91	163.65
2 回目	114.57	163.30
平均値	112.74	163.48

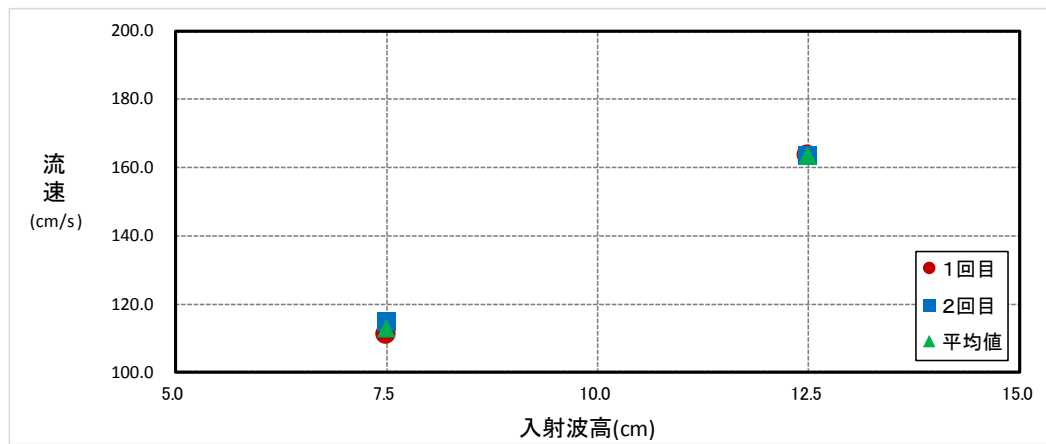
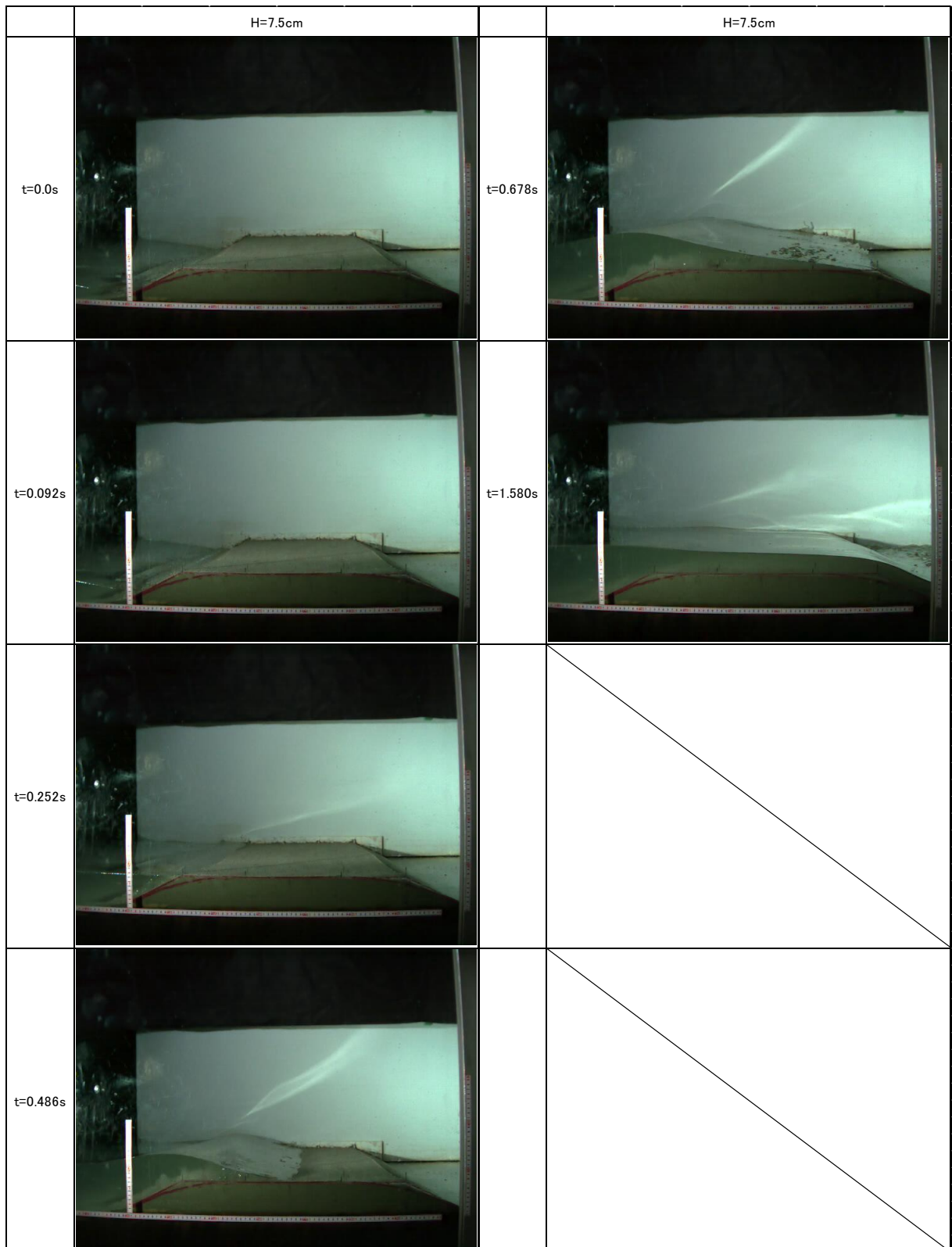
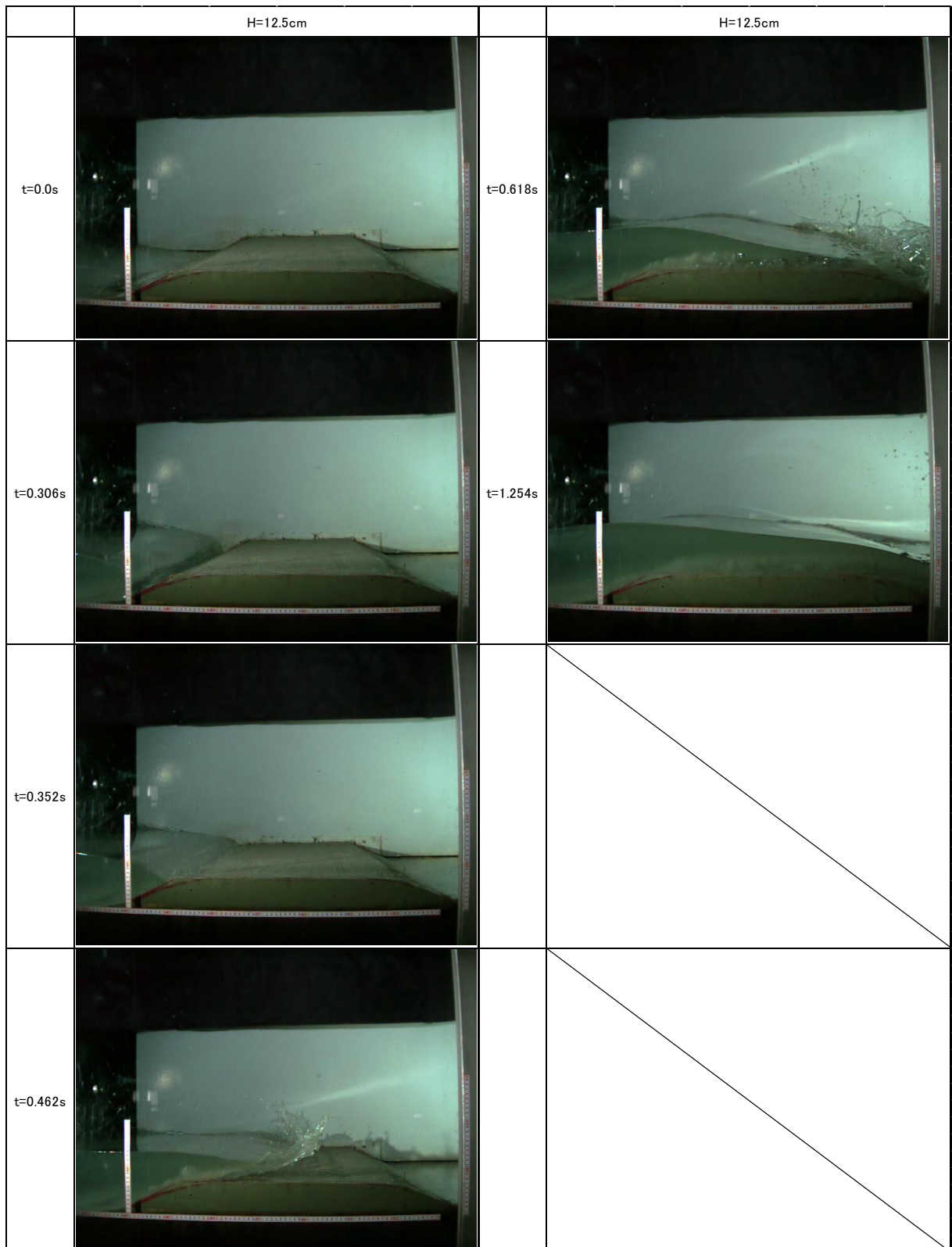


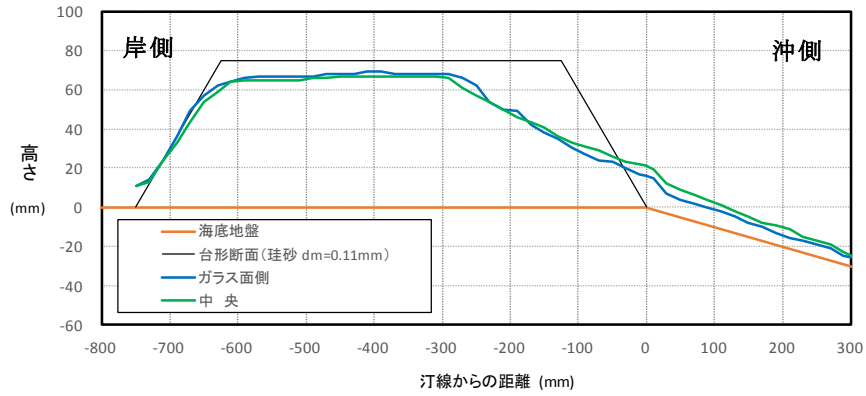
図 3-4-2 各波高条件における流速 (ケース E4, 汀線付近)



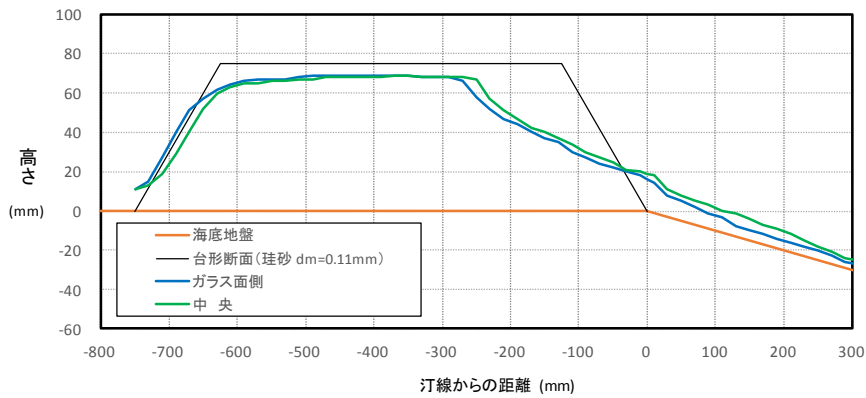
※ t : 汀線に波が達した時刻を t = 0 とした場合の経過時間  
 写真 3-4-1 砂丘上の通過波の状況の一例 (ケース E4, H=7.5cm, 1 回目)



※ t : 汀線に波が達した時刻を t = 0 とした場合の経過時間  
 写真 3-4-2 砂丘上の通過波の状況の一例 (ケース E4, H=12.5cm, 1 回目)

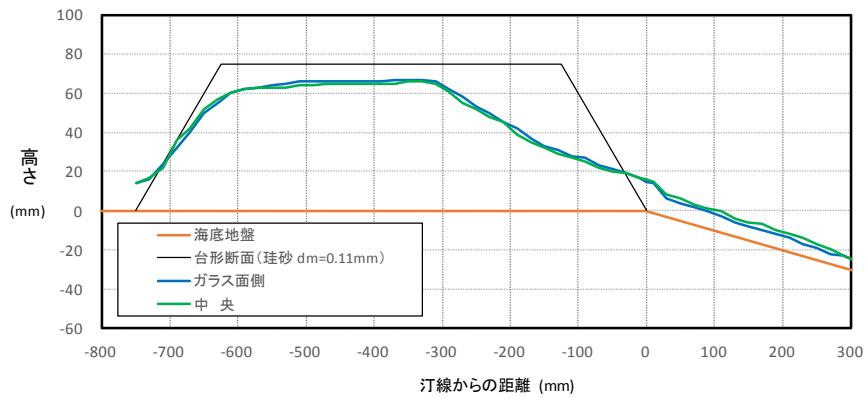


1 回目

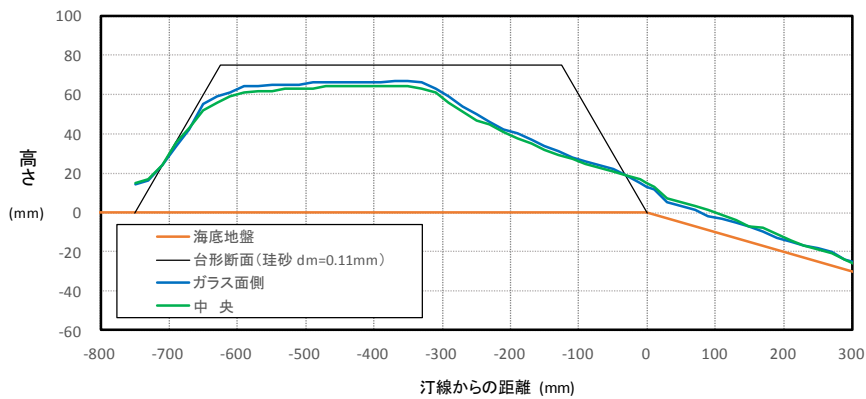


2 回目

通水後の砂丘形状 (E4, H=7.5cm)



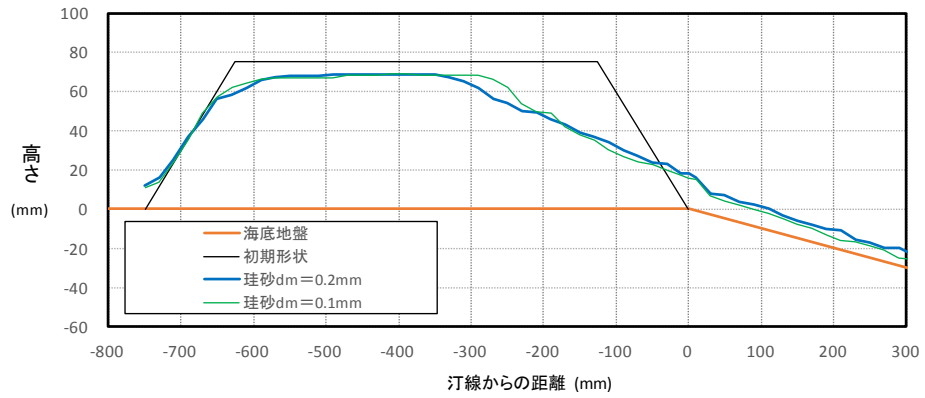
1 回目



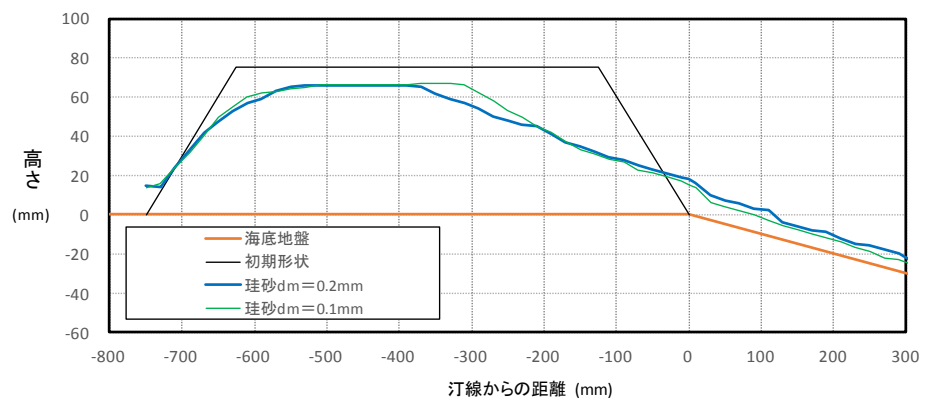
2 回目

通水後の砂丘形状 (E4, H=12.5cm)

図 3-4-3 通水後の砂丘形状 (ケース E4: 砂丘材料を細粒径)



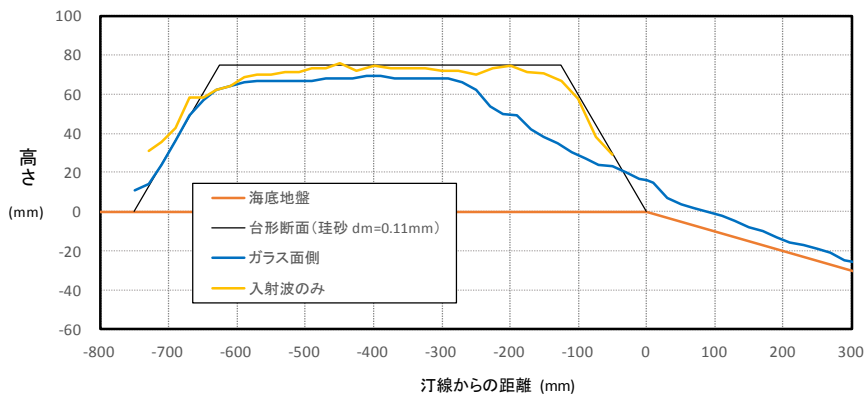
通水後の砂丘形状比較 (E1 と E4, H=7.5cm 1 回目)



通水後の砂丘形状比較 (E1 と E4, H=12.5cm 1 回目)

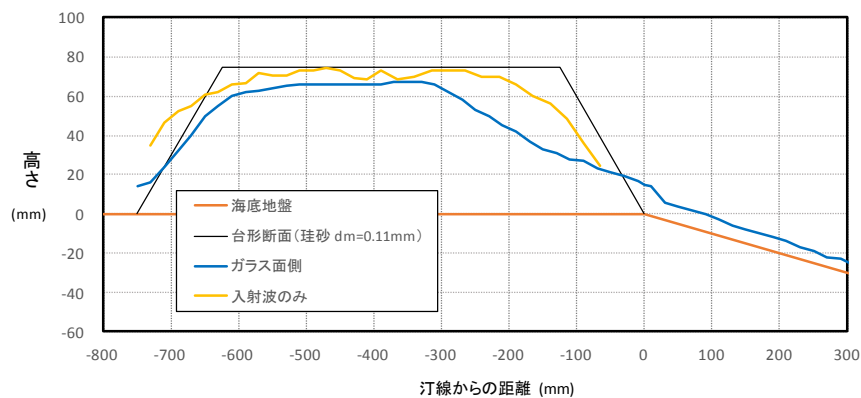
図 3-4-4 通水後の砂丘形状 (ケース E1 と E4)





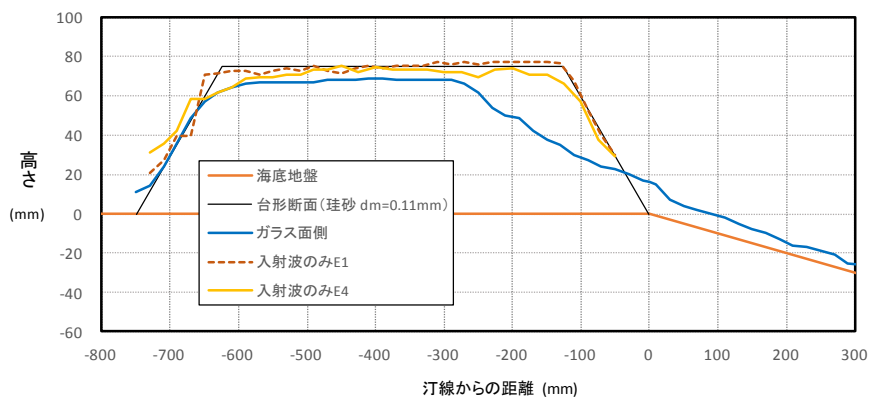
1 回目

通水中・通水後の砂丘形状 (E4, H=7.5cm)

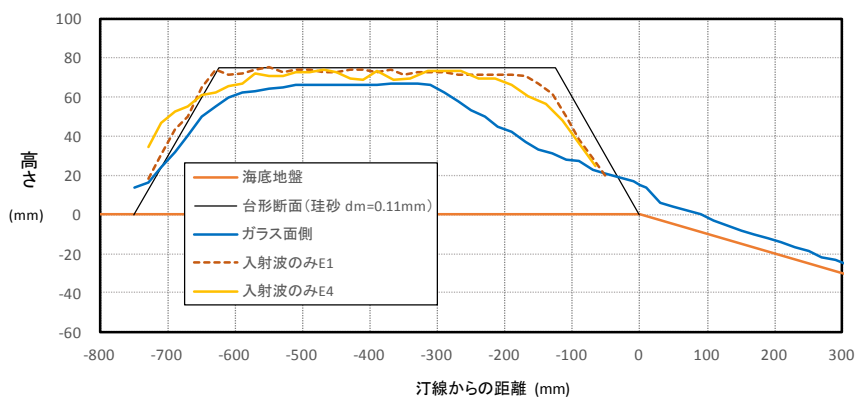


1 回目

通水中・通水後の砂丘形状 (E4, H=12.5cm)



通水中・通水後の砂丘形状比較 (E1 と E4, H=7.5cm)



通水中・通水後の砂丘形状比較 (E1 と E4, H=12.5cm)

図 3-4-5 通水中・通水後の砂丘形状 (ケース E4)

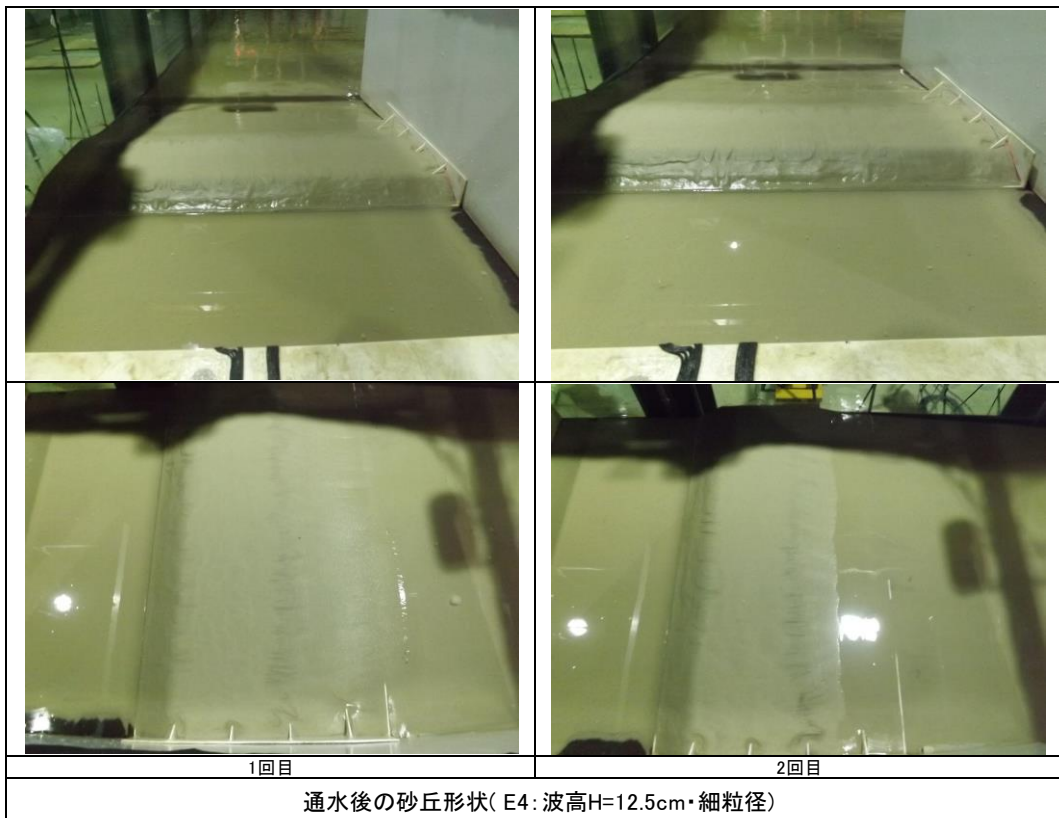
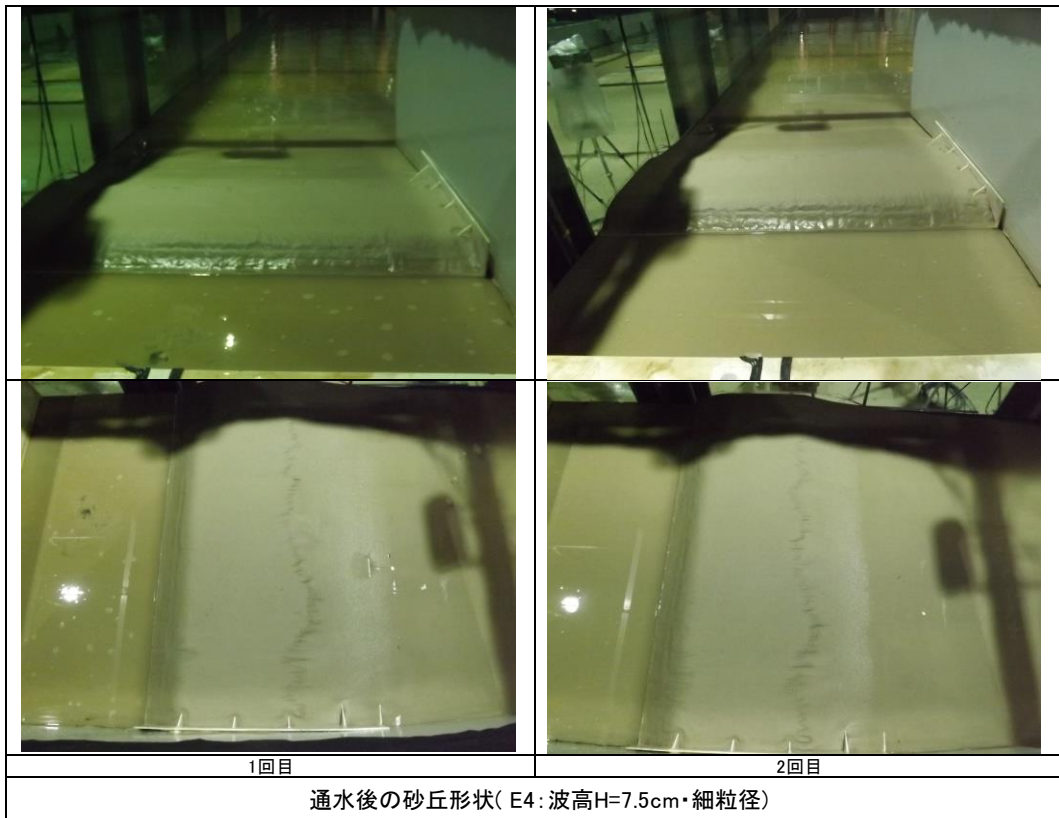
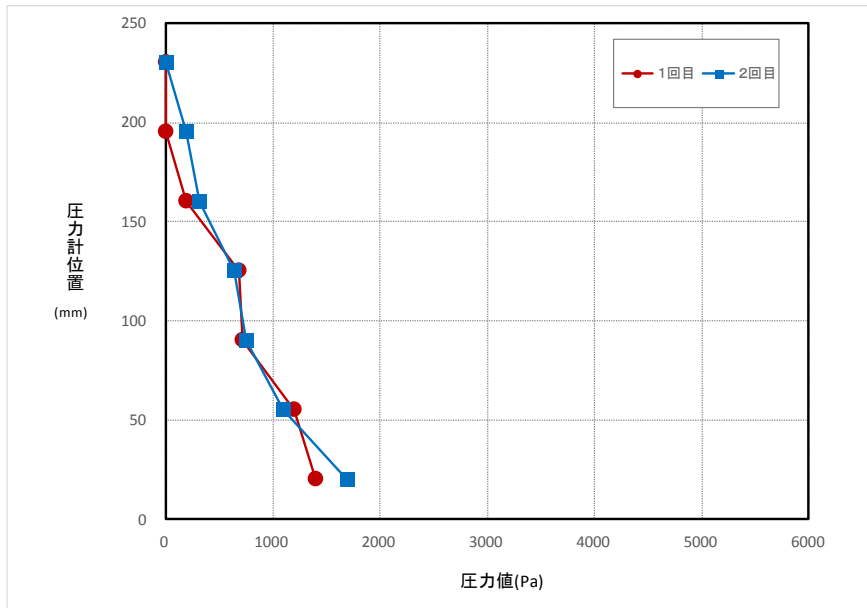
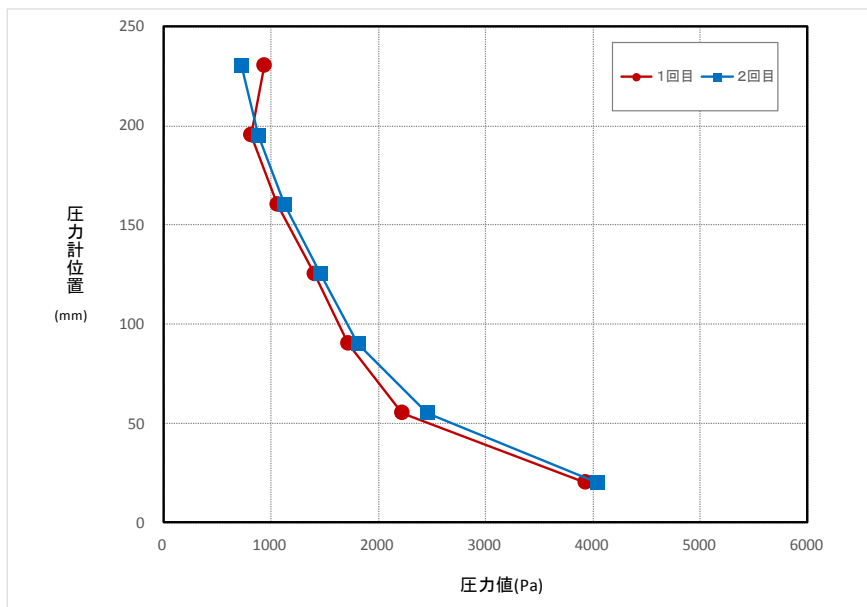


写真 3-4-3 通水後の砂丘形状 (ケース E4)



防潮堤作用圧力 (E4, H=7.5cm)



防潮堤作用圧力 (E4, H=12.5cm)

図 3-4-6 防潮堤作用圧力 (ケース E4)

---

### 3-5 砂丘材料を細粒径とし砂丘端に丸みを持たせた実験 (E5)

#### 3-5-1 実験の概要

ここでは、先に示したケース E2 (砂丘端に丸みを持たせた形状) の効果と E4 (砂丘材料を細粒径) の効果を合わせた場合の状況について、確認を行った。

実験条件は以下の通り。

孤立波 波高 12.5cm 【沖波】 (試行：2回)

計測項目は以下の通り。

- ・波高
- ・流速
- ・高速ビデオ (砂丘上の流況記録) ※1
- ・防潮堤に作用する圧力分布
- ・通水後の砂丘形状※2
- ・防潮堤の作用波圧

※1 画像解析により浸水深 (砂丘岸側法面付近の水位) , および反射波 (戻り流れ) を除く入射波成分のみで変形した砂丘形状を計測する。なお浸水深データは巻末資料に示す。

※2 縦断分布を横断方向に 2 測線で計測し、平面形状を写真で記録する。

なお、砂丘形状の詳細については 3-2 節に、用いた粒度については 3-4 節に示す。

---

### 3-5-2 実験結果

図 3-5-1 に波高分布（平均値）・流速分布を，写真 3-5-1 に砂丘上の通過波の状況を示す．また，図 3-5-2～3-5-3 および写真 3-4-2 に通水後の砂丘形状を，図 3-4-4 に防潮堤に作用する圧力分布を示す．なお，砂丘地形からサンプリングした供試体の空隙率，含水率は下表に示す通りである．

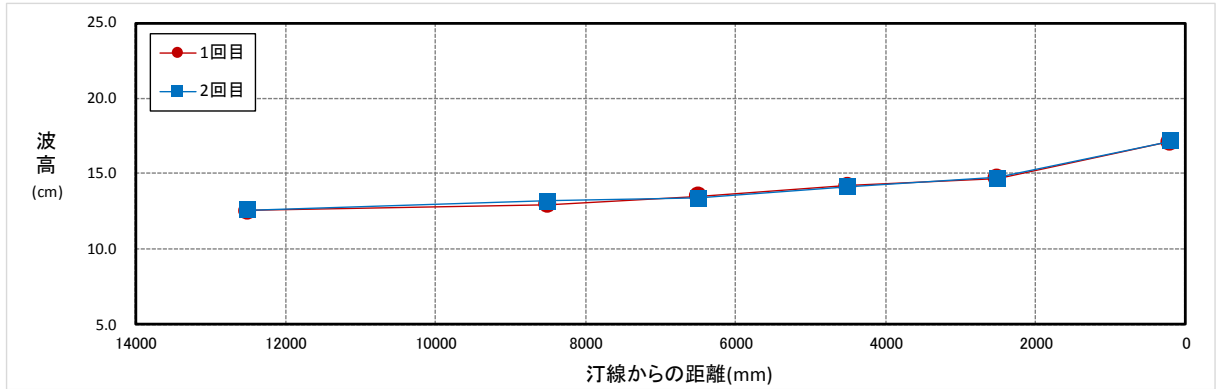
実験ケース	波浪条件	サンプリング	空隙率	含水率
			( $V_v/V$ )	( $V_w/V_v$ )
E5	H=12.5cm	実験前	0.47	0.85
		実験後	0.47	0.92

通水後の砂丘形状は，ケース E2 に比べ E5 の方がやや洗掘されている度合いが大きい（図 3-5-2）が，入射波のみによる変形形状ではケース E2 に比べ E5 の洗掘度合いは必ずしも大きいわけではなく“粒径が小さい方が洗掘されやすい”とは言えない（E2 に対して 1.7%減少；表 4-1-4）．

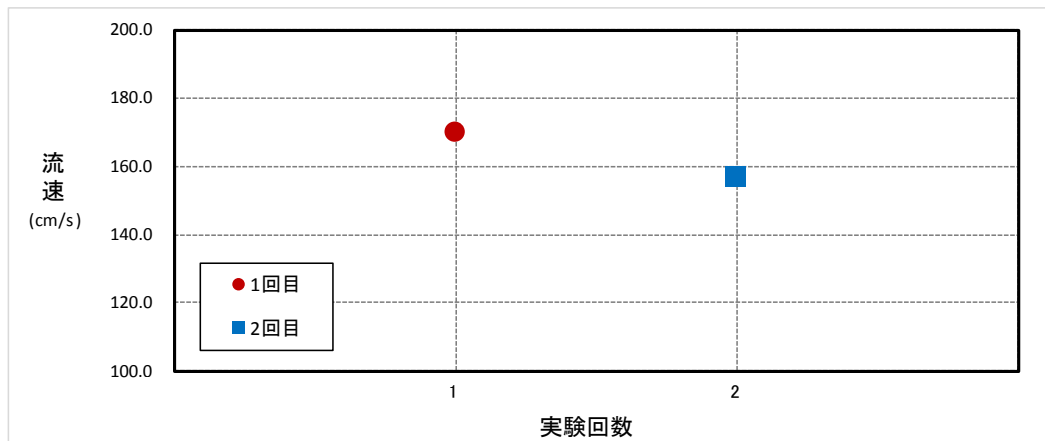
防潮堤に作用する波圧分布もケース E2 と E5 で顕著な差はなく，平均波圧の値も差がない（表 4-1-4）．

以上から，ケース E2（砂丘端に丸みを持たせた形状）の効果と E4（砂丘材料を細粒径）の効果을合わせた場合（E5）の状況について確認を行ったが，砂丘隅角部による剥離がなくなることと，粒径が小さくなることによる相乗効果のようなものは確認されなかった（表 4-1-4）．

機器名	wave-1	wave-2	wave-3	wave-4	wave-5	wave-6	velo-6
Unit	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/s)
汀線からの距離 (mm)	12500	8500	6500	4500	2500	200	-375
1回目	12.55	12.95	13.50	14.20	14.70	17.14	169.59
2回目	12.57	13.20	13.39	14.16	14.75	17.16	156.35
平均値	12.56	13.07	13.44	14.18	14.73	17.15	162.97

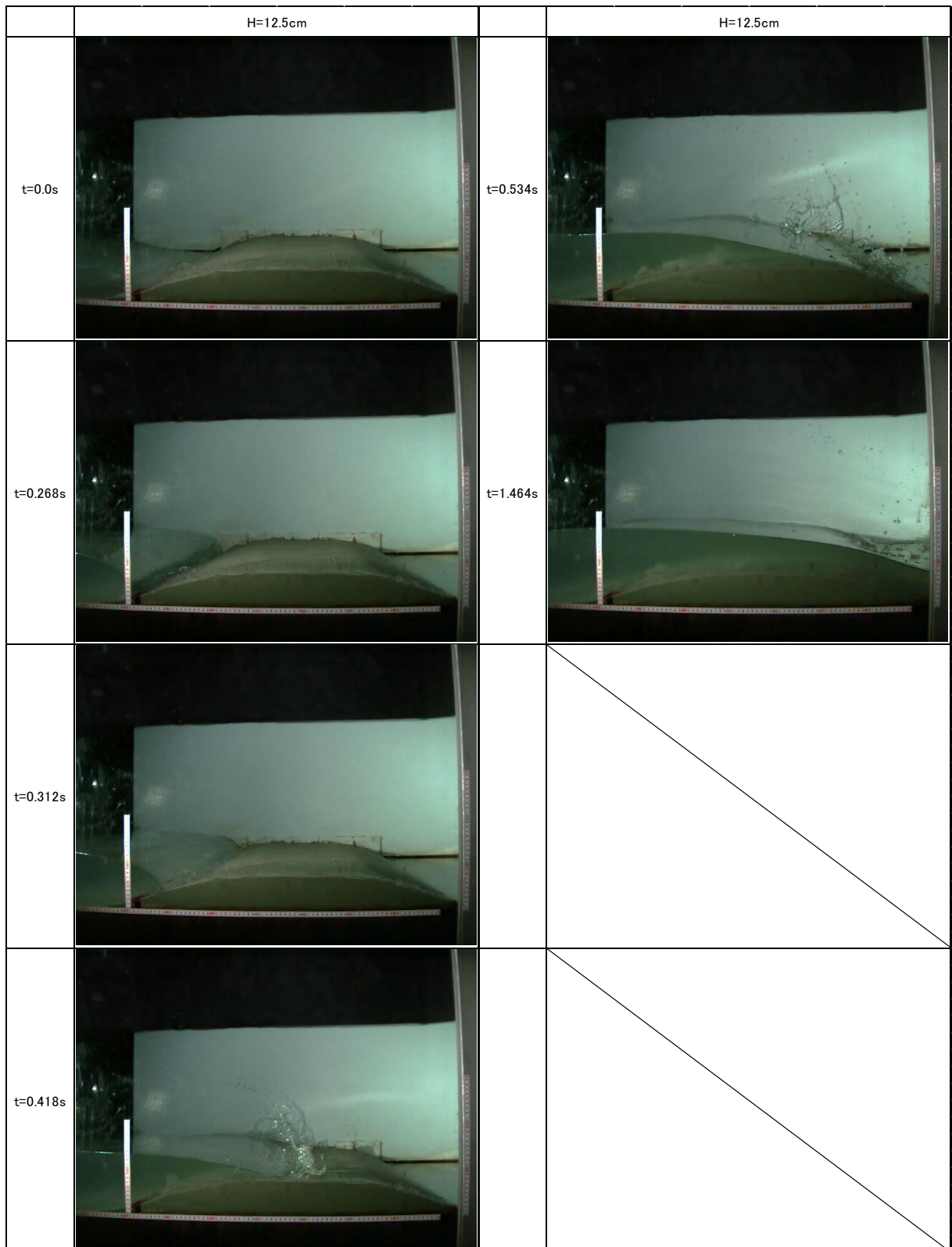


波高分布 (ケース E5)



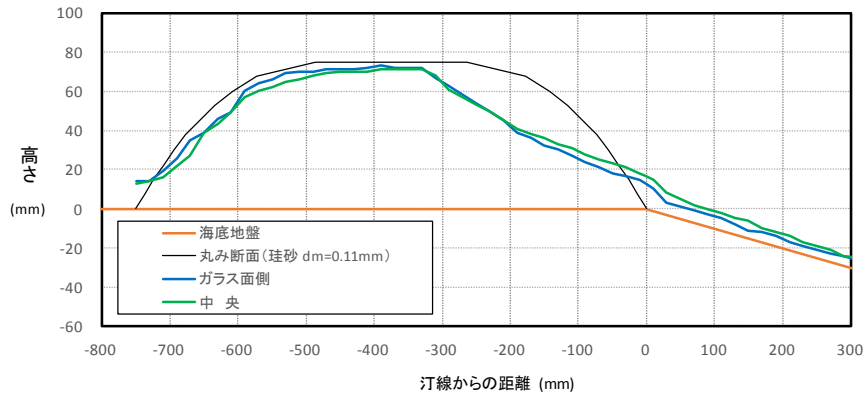
流速 (ケース E5, 汀線付近)

図 3-5-1 波高分布 (平均値) ・流速分布 (ケース E5)

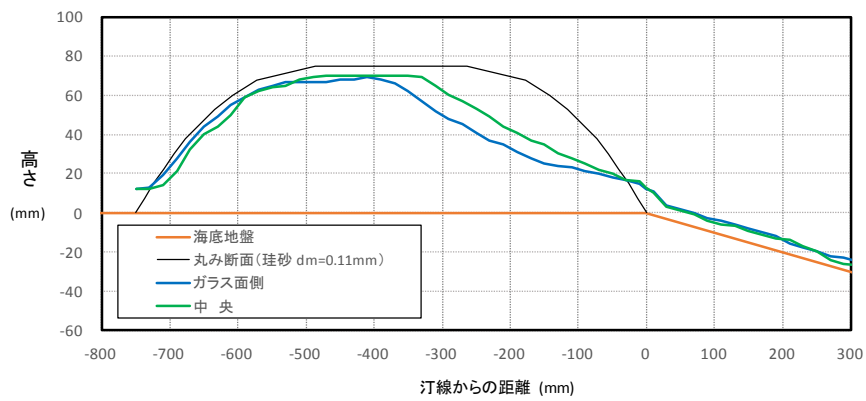


※ t : 汀線に波が達した時刻を t = 0 とした場合の経過時間

写真 3-5-1 砂丘上の通過波の状況の一例 (ケース E5, H=12.5cm, 1 回目)

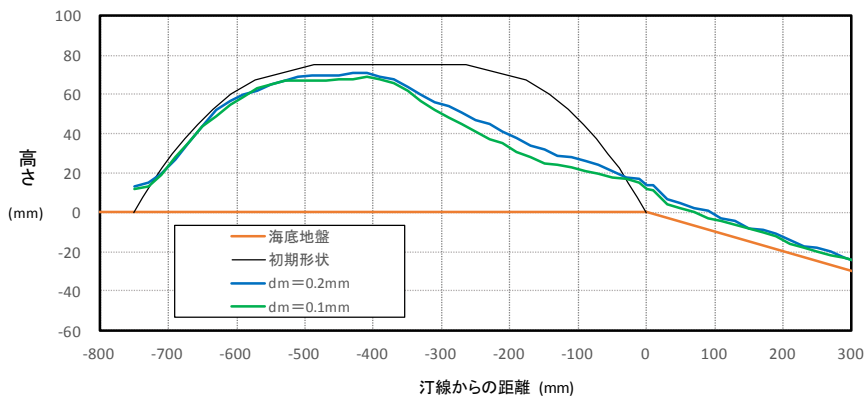


1 回目



2 回目

(E5, H=12.5cm)

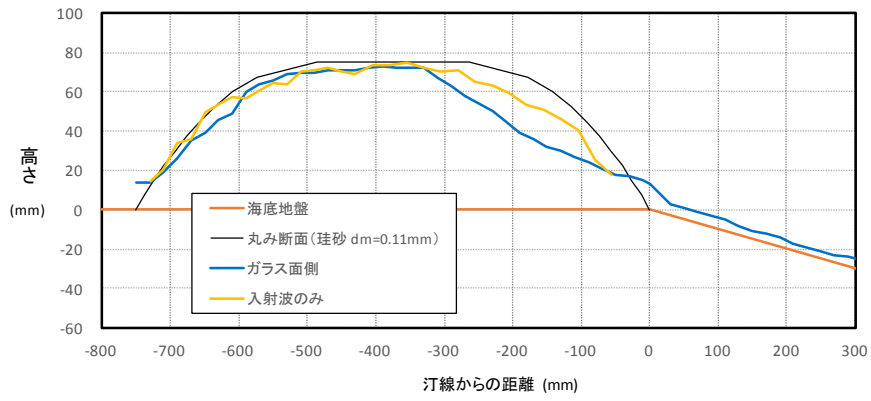


2 回目

(ケース E2 と E5 の比較 ; 粒径の違い, H=12.5cm)

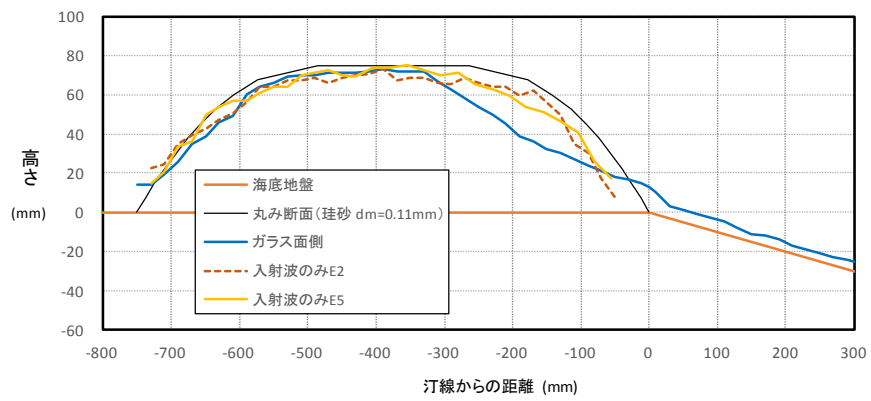
図 3-5-2 通水後の砂丘形状 (ケース E5: 丸み断面 & 細粒径)





1 回目

通水中・通水後の砂丘形状 (E5, H=12.5cm)



通水中・通水後の砂丘形状比較 (E2 と E5, H=12.5cm)

図 3-5-3 通水中・通水後の砂丘形状 (ケース E5)

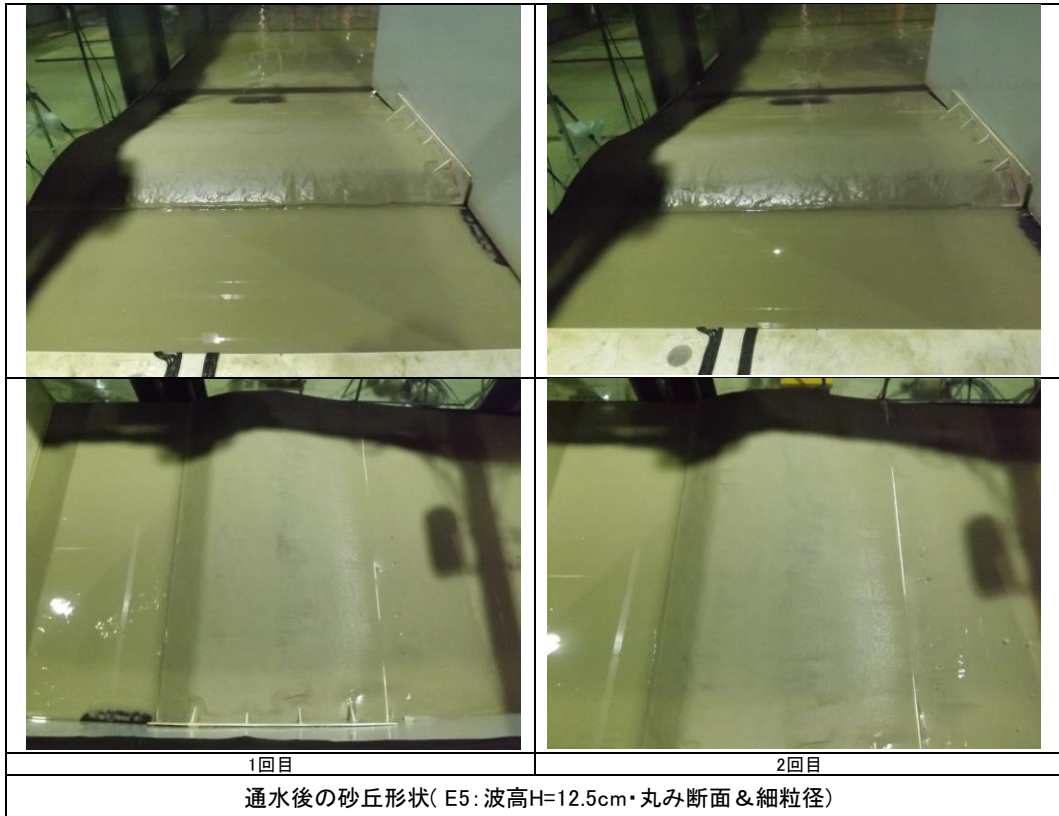
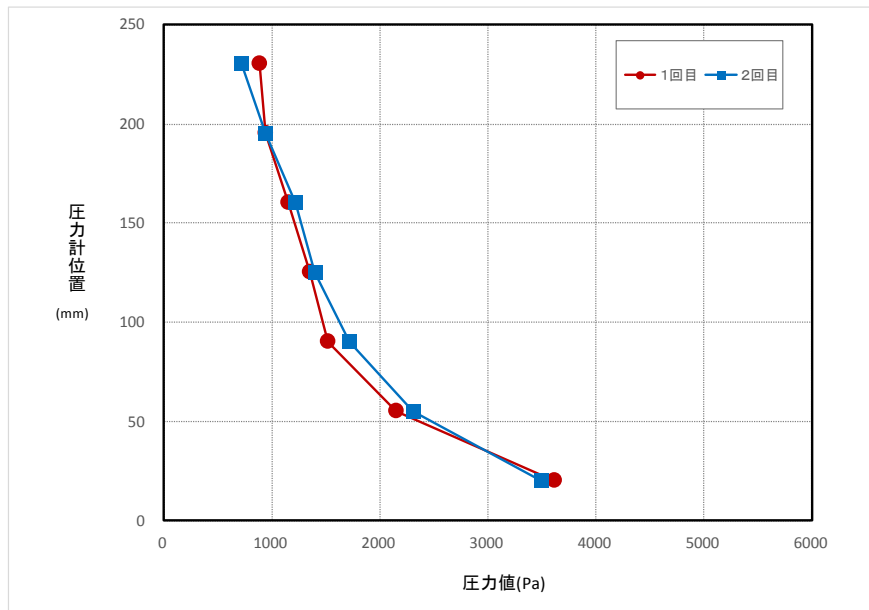


写真 3-5-2 通水後の砂丘形状 (ケース E5)



防潮堤作用圧力 (E5, H=12.5cm)

図 3-5-4 防潮堤作用圧力 (ケース E5)

※ 作用圧力の時系列データは巻末資料に示す

---

## 第 4 章 結果のまとめ

### 4-1 結果のまとめ

#### (1) 予備実験

孤立波の波高 5 種および長周期波の波高 2 種について予備実験を行い，所定の波高が造波されていることを確認するとともに，本実験で用いる波を，主として孤立波の波高を 7.5cm，12.5cm の 2 種とすることを設定した。

#### (2) 本実験

##### 1) 昨年度の再現実験（ケース E1）

境界条件の違いによる影響が多少あるものの，昨年度に行った実験と概ね同じ傾向の結果（砂丘の変形形状，防潮堤に作用する圧力分布等）が得られており，ある程度の再現性があることが確認された。また，波高が大きい場合に沖側法面部分が削られ，台形形状から丸み形状の流れ性状に近づくことが考えられる。

##### 2) 砂丘端に丸みを持たせた実験（ケース E2）

ケース E1 で砂丘の隅角部から剥離による空気混入があり，空気混入することで掃流的な洗掘作用が弱まっていることが考えられ，この影響を解消した条件の E2 では砂丘の洗掘度合いが増すと想定していたが，その度合いはケース E1 より砂丘侵食量（4-2-1 参照）で 5～6% 程度増える程度であった。防潮堤に作用する平均波圧（4-2-1 参照）は， $H=7.5\text{cm}$  の圧力値はケース E1 より大きくなる（2 割強）が， $H=12.5\text{cm}$  では逆にやや減少する（1 割程度）。波高が高い条件では，入射波で台形形状から丸み形状に近づくため，形状ロスの差が顕著ではなくなることが示唆される。

##### 3) 防潮堤をなくした実験（ケース E3）

防潮堤なしの（防潮堤と砂丘の間に流水が溜まらない）条件で実験し，津波（進行波）のみによる洗掘作用を分離・評価することを試みたが，水槽の制約で反射波を完全になくせなかったことから，通水後の砂丘形状の違いは明確にできなかった。ただし入射波のみによる砂丘の変形度合いと，通水後の砂丘形状の比較から，洗掘現象の大半が防潮堤と砂丘の間に溜まった流水の“戻り流れ”によって生じていることが改めて確認された。

##### 4) 砂丘材料を細粒径とした実験（ケース E4）

模型再現粒径を小さくして移動限界を下げ，洗掘しやすい条件でその影響度合い（洗掘状況の違い）を確認したが，想定したほどの砂丘の洗掘状況の違いはなく，その差は砂丘侵食量（4-2-1 参照）で 2～3% 程度であった。このことから，模型で洗掘し難いことの主要因は，必ずしも粒径によるものではない。また波圧分布はケース E1 と顕著な差はなく，平均波圧（4-2-1 参照）は 4～10%

---

程度低下する．そのため今回の条件範囲内では，粒径が小さくなり浮遊砂濃度が増加したとしても，防潮堤に作用する波圧に大きな影響はないと考えられる．

#### 5) 砂丘材料を細粒径とし砂丘端に丸みを持たせた実験（ケース E5）

ケース E2（砂丘端に丸みを持たせた形状）の効果と E4（砂丘材料を細粒径）の効果을合わせた場合の状況について確認を行った結果，砂丘隅角部による剥離がなくなることと，粒径が小さくなることによる相乗効果のようなものは確認されなかった．

### 4-2 結果の考察

#### 4-2-1 防潮堤作用圧力に対する砂移動の影響度合い

今回実施した水理試験のデータについて，表 4-1-1 に示すように各実験ケースの条件と水理量，砂移動に関する所量を整理した．なお表中に示す値は，以下のような処理で与えている．

- ・ 防潮堤への作用波力の増加率：

移動床実験の平均波圧／固定床実験の平均波圧（H30）※平均波圧は，各測定点における最大波圧（全時間）を測定点数で平均したものである．防潮堤高さを乗ずることで，単位幅あたりの作用波力と等価となる．（ただし，厳密には各測定点の最大波圧の時間が異なる．）

※固定床実験の平均波圧（H30）は台形断面であるため，E1 及び E4 以外の防潮堤への作用波力の増加率は，参考値となる．

- ・ 砂丘頂部流速：

今回の各ケースの砂丘頂部流速（プロペラ流速計）を使用・

- ・ 砂丘侵食量（砂の崩れ程度）：

画像解析により求めた入射波のみの変形状から侵食量を算出．具体的には入射波が通過して反射波が戻る前の画像を抽出し，その画像から砂丘の表面を 1cm ピッチで読み取り，残っている砂丘の体積を算出して，初期河床時の体積と比較．

また，H30 に実施した固定床条件（移動床実験の固定床部分のデータ）での圧力分布と今回の移動床実験での各ケースの圧力分布との比較を図 4-1-1 に示す．ただし，各測定点における最大波圧（全時間）の分布となる．更に，砂丘侵食量と防潮堤への作用波力の増加率との関係を図 4-1-2 に示す．

まず圧力分布について，今回の移動床実験の結果は，固定床実験と比べてその分布形に大きな違いはない．また防潮堤への作用波力の増加率は最大でも，1.12（丸み断面で 1.23）である．

防潮堤への作用波力の増加率が概ね 1 を超えた原因として，今回の試験条件では浮遊砂影響は大きくないと考えられることから，波によって沖側法面部分が削られ，特に波高が高い条件で，台形断面による形状ロスの顕著が少なくなったと考えられる．

---

また、令和元年度の結果が H30 年度の結果に比べて全体的にやや大きい傾向にあることも原因の一つとして考えられる。仕切り壁の存在により流れ幅が途中から狭まり、流れ方向流速が相対的に大きくなることで平均波圧が全体的に大きくなったと考えられる。

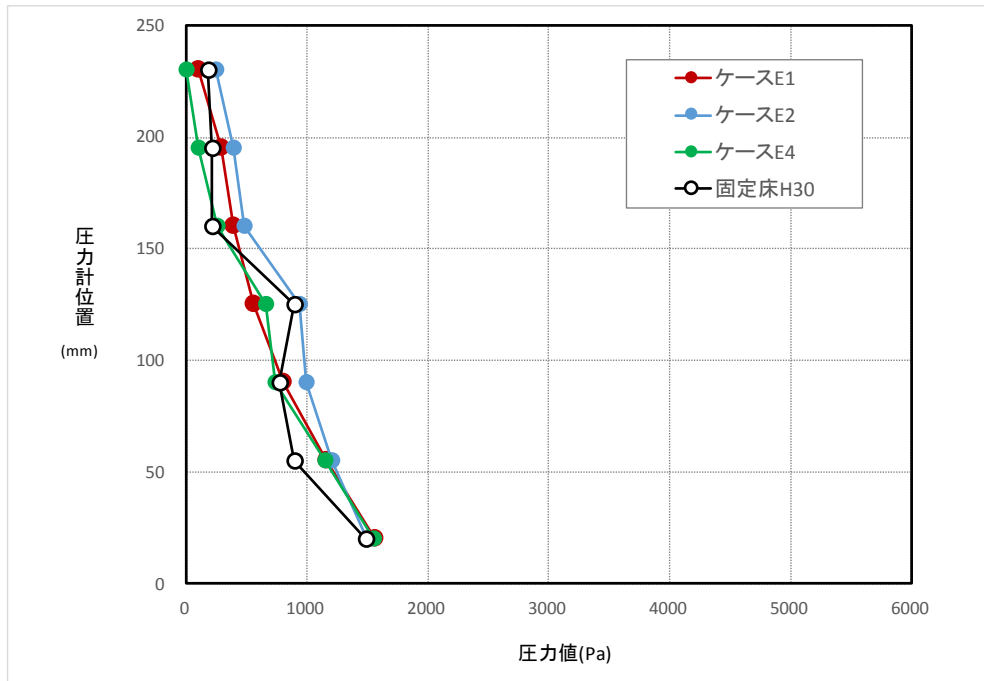
今後の課題としては、仕切り壁を設置した上での固定床実験を実施して、令和元年度の試験結果と比較することが挙げられる。

なお、砂丘侵食量と防潮堤への作用波力の増加率については、強い関係性はなかった。

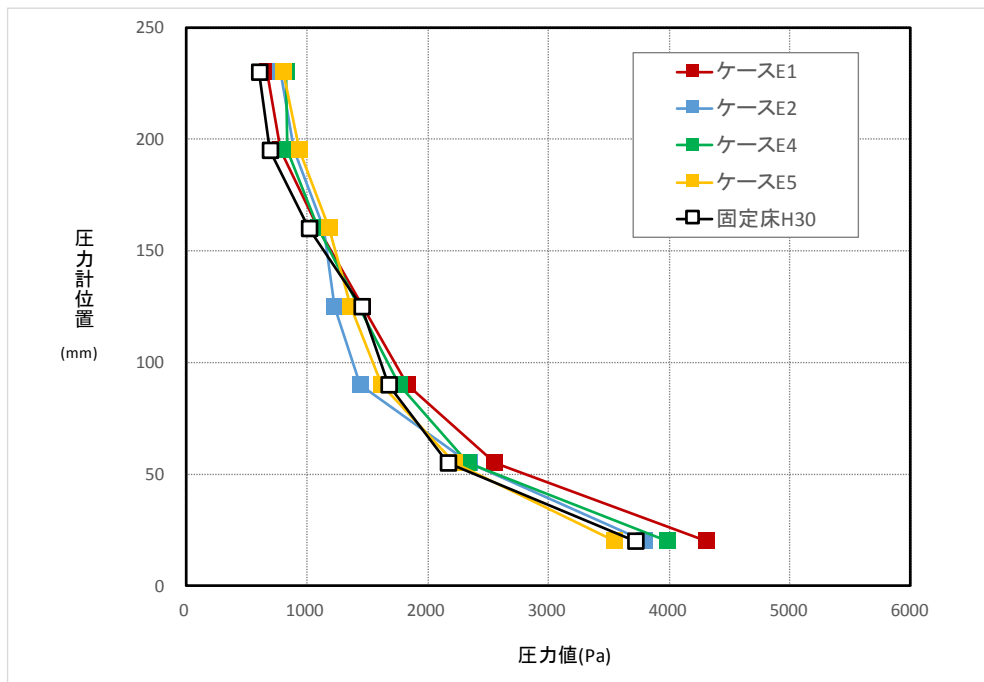
表4-1-1 防潮堤への作用荷重への砂移動の影響に関する一覧表

実験ケース	防潮堤位置	波浪条件 (孤立波波高)	砂丘粒径	砂丘形状	砂丘頂部流速 (cm/s)	砂丘浸食量 (入射波のみ)		平均波圧		備考
						(cm <sup>2</sup> )	(%)	(Pa)	増加率	
固定床		H=7.5cm	—	台形断面	11084	—	—	664.0	1.00	H30年実施
		H=12.5cm	—	"	15961	—	—	1618.4	1.00	
ケースE1		H=7.5cm	0.2mm	"	11592	1.10	0.2	696.6	1.05	
		H=12.5cm	"	"	16594	22.37	4.8	1815.8	1.12	
ケースE2	汀線-137.5cm	H=7.5cm	"	丸み断面	11324	21.93	5.1	819.2	1.23	※砂丘形状が異なるため参考値
		H=12.5cm	"	"	15662	48.10	11.1	1663.9	1.03	
ケースE4		H=7.5cm	0.1mm	台形断面	11274	13.28	2.8	633.3	0.95	
		H=12.5cm	"	"	16348	32.65	7.0	1755	1.08	
ケースE5		H=12.5cm	"	丸み断面	16297	40.44	9.4	1669.6	1.03	※砂丘形状が異なるため参考値

※) 1,000Pa≒0.1N/cm<sup>2</sup>



防潮堤に作用する圧力分布比較 (H=7.5cm)



防潮堤に作用する圧力分布比較 (H=12.5cm)

図 4-1-1 防潮堤に作用する圧力分布比較

※H30 実験実施時と今回の実験では、固定床と移動床の仕切り壁条件が異なる



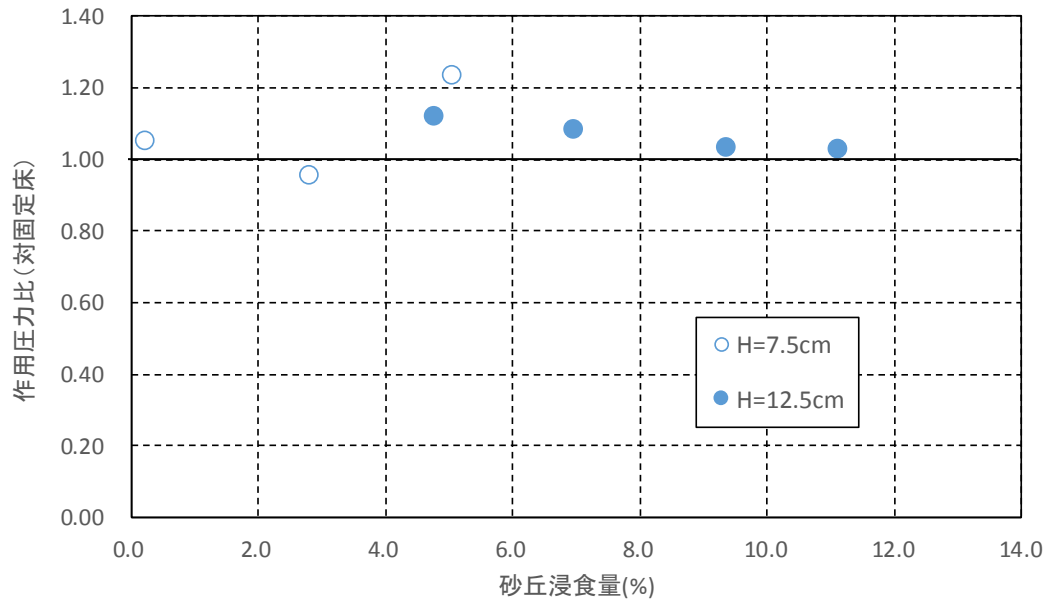


図 4-1-2 砂丘の浸食量と作用圧力比(固定床実験値を基準)との関係

---

## 4-2-2 砂丘洗掘の要因について

### (1) 作用力と作用時間

今回与えた入射波は、沖波波高が 7.5cm および 12.5cm の孤立波であり、特に波高 12.5cm の条件では汀線上で巻波砕波する等、かなりのポテンシャルを有した条件と考えられる。しかし今回の実験では入射波のみでは砂丘の顕著な洗掘変形は見られず、むしろ戻り流れによる洗掘の方が顕著に表れた。このことから、波浪自体の作用力の大きさだけでなく、その（継続）作用時間が洗掘の度合いに関係していることが推察される。

つまり、入射波の作用力は大きくてもその作用時間が瞬時であるため、洗掘度合いが小さいが、戻り流れによる掃流力は、力そのものは入射波の作用力ほどではないが、その作用時間が長い（継続する）ため、結果として顕著な洗掘の発生に結びついていると考えられる。

今後の課題としては入射波条件を、外力として作用時間が長くなるような（例えば長周期の波の）条件を選定することが挙げられる。

### (2) 空隙率、含水率

今回の実験で、幾つか代表的なケースで砂丘地形の空隙率、含水率を計測した（表 4-2-1）。空隙率は決して小さい値ではなく、0.46~0.53 と半分程度が空隙であるとの結果が得られた。またその空隙の 8~9 割が水で満たされている（含水率が 80~90% 程度）。なお用いた珪砂が比較的単一粒径に近いことが、空隙率が比較的大きな理由と考えられる。

一方で、絶乾状態でも空隙率が 0.57 程度であることから、著しく締固められている状態ではないと推定される。にもかかわらず砂丘模型が洗掘されにくい状態である理由は、含水率の高さ（80~90% 程度）にあることが推察される。

つまり、空隙に水が充満することで土粒子間の“結束力”が強まるとともに、外部からの更なる水の浸透がしにくくなる状態であることが、結果として洗掘し難い状態となっている、と推察される。

今後の課題としては、砂丘成形時の含水率をもっと小さくした条件で設定して実験を行うことが考えられる。ただし、予備的に成形可能な含水率を確認しておく必要がある。

表4-2-1 各ケースの砂丘地形の空隙率・含水率

実験ケース	波浪条件	サンプリング	空隙率 ( $V_v/V$ )	含水率 ( $V_w/V_v$ )
E1	H= 7.5cm	実験前	0.50	0.79
		実験後	0.46	0.91
	H=12.5cm	実験前	0.48	0.84
		実験後	0.47	0.90

実験ケース	波浪条件	サンプリング	空隙率 ( $V_v/V$ )	含水率 ( $V_w/V_v$ )
E3	H= 7.5cm	実験前	0.50	0.82
		実験後	0.47	0.83
	H=12.5cm	実験前	0.53	0.75
		実験後	0.49	0.82

実験ケース	波浪条件	サンプリング	空隙率 ( $V_v/V$ )	含水率 ( $V_w/V_v$ )
E5	H=12.5cm	実験前	0.47	0.85
		実験後	0.47	0.92

【参考】	絶乾状態	6号珪砂	7号珪砂
	空隙率	0.566	0.578

---

## 参考資料

ここでは、参考資料として以下に示す項目について添付している。

- ・ 砂丘岸側法面付近の浸水深データ
- ・ 空隙率・含水率データ
- ・ 入射波成分のみによる砂丘地形形状写真（画像読取りデータ作成用）
- ・ 防潮堤に作用する波圧の時系列データ
- ・ 平成30年度波圧測定データ
- ・ 実験視察状況



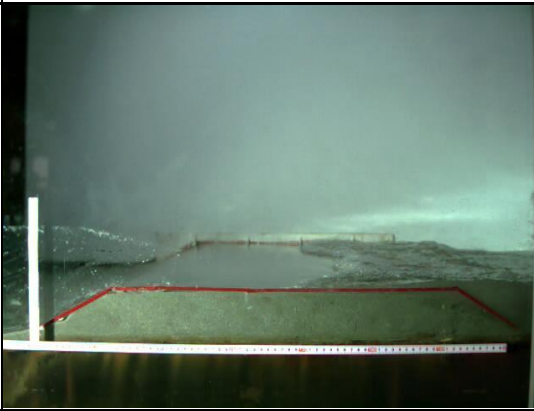
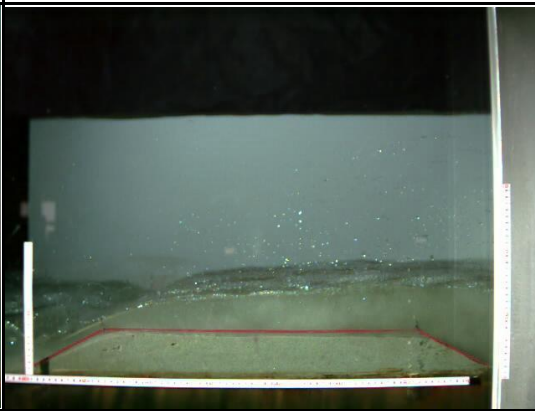
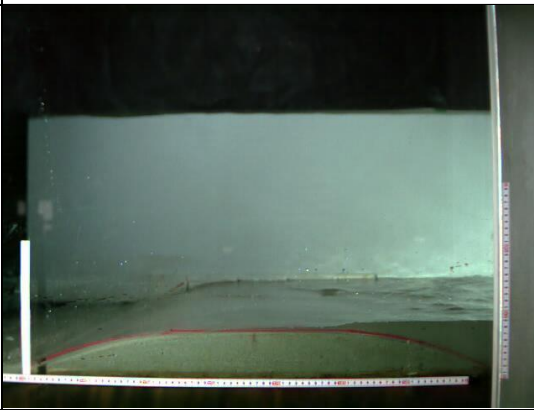
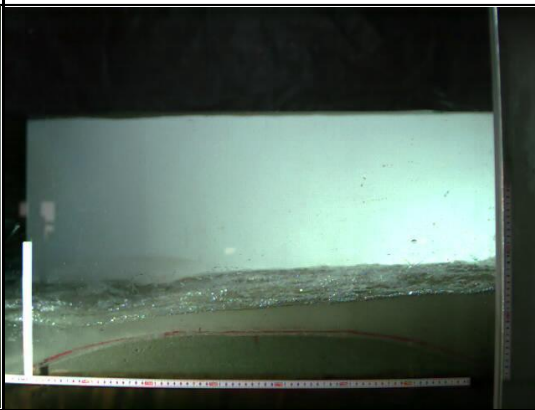
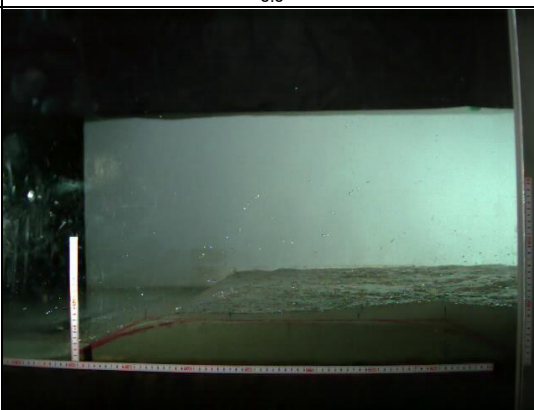
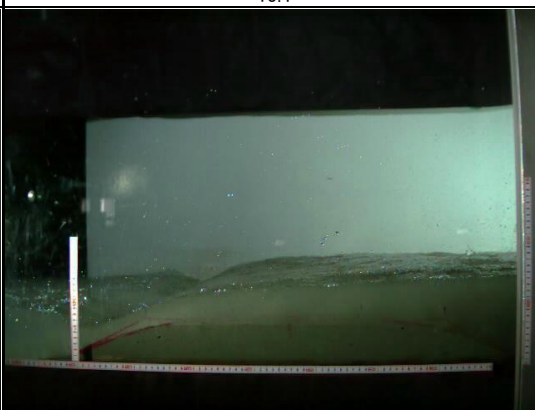
## 参考資料

ここでは、参考資料として以下に示す項目について添付している。

- ・ 砂丘岸側法面付近の浸水深データ
- ・ 空隙率・含水率データ
- ・ 入射波成分のみによる砂丘地形形状写真（画像読取りデータ作成用）
- ・ 防潮堤に作用する波圧の時系列データ
- ・ 平成30年度波圧測定データ
- ・ 実験視察状況

【砂丘岸側法面付近の浸水深データ】

表 各ケースの砂丘岸側法面付近の浸水深

実験ケース	波高H=7.5cm	波高H=12.5cm
E1 昨年度の 再現実験		
浸水深(cm)	7.9	16.5
E2 砂丘端に丸み を持たせた 実験		
浸水深(cm)	8.8	13.4
E4 砂丘材料を 細粒径とした 実験		
浸水深(cm)	9.8	14.5



【空隙率・含水率データ】

表 各ケースの砂丘地形の空隙率・含水率

実験ケース	波浪条件	サンプリング	空隙率	含水率
			( $V_v/V$ )	( $V_w/V_v$ )
E1	H= 7.5cm	実験前	0.50	0.79
		実験後	0.46	0.91
	H=12.5cm	実験前	0.48	0.84
		実験後	0.47	0.90

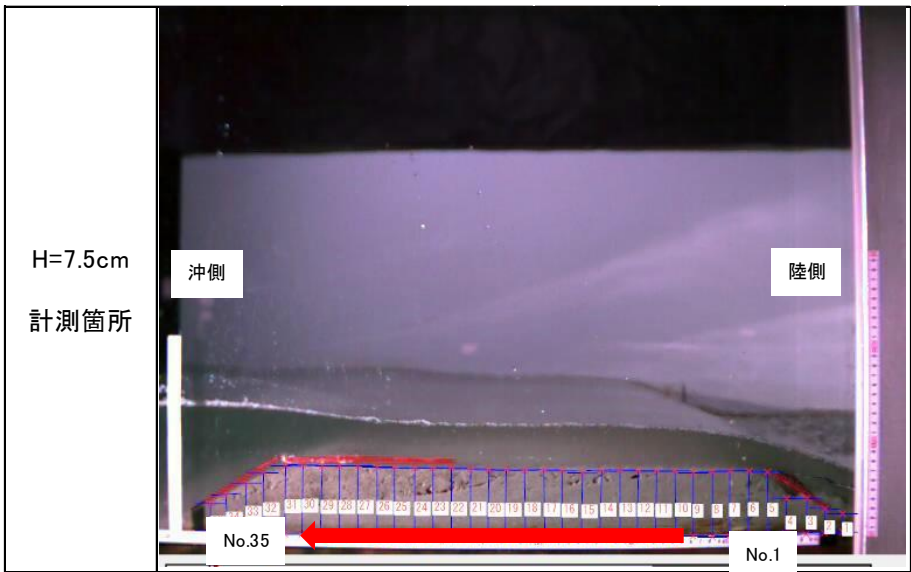
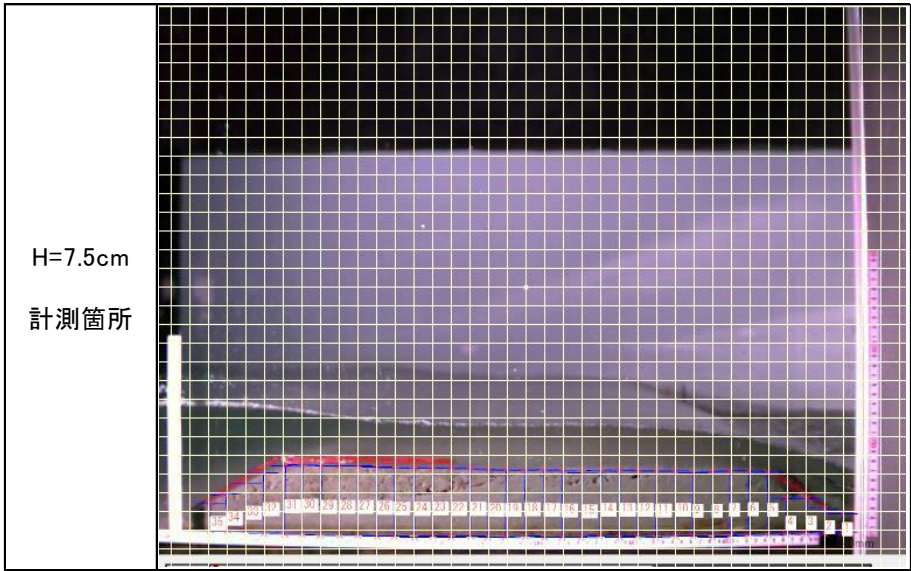
実験ケース	波浪条件	サンプリング	空隙率	含水率
			( $V_v/V$ )	( $V_w/V_v$ )
E3	H= 7.5cm	実験前	0.50	0.82
		実験後	0.47	0.83
	H=12.5cm	実験前	0.53	0.75
		実験後	0.49	0.82

実験ケース	波浪条件	サンプリング	空隙率	含水率
			( $V_v/V$ )	( $V_w/V_v$ )
E5	H=12.5cm	実験前	0.47	0.85
		実験後	0.47	0.92

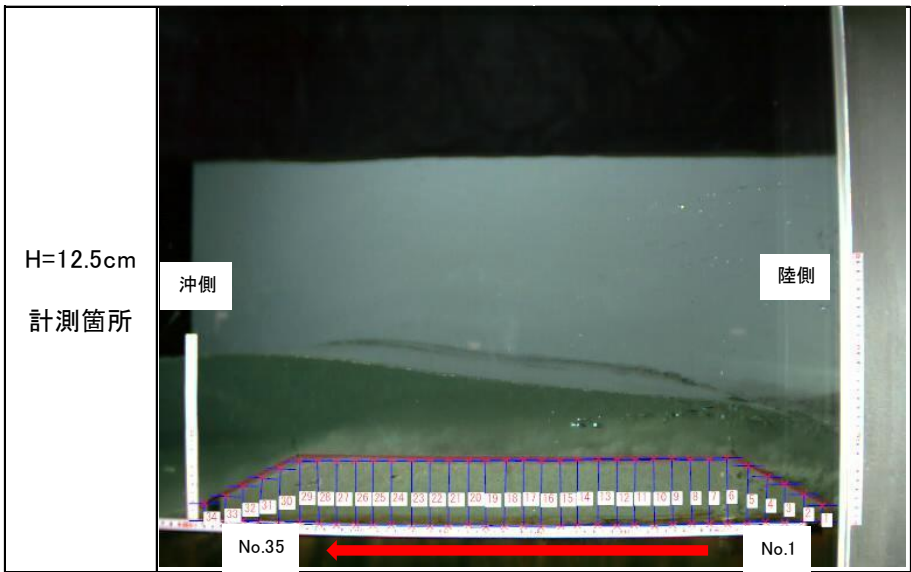
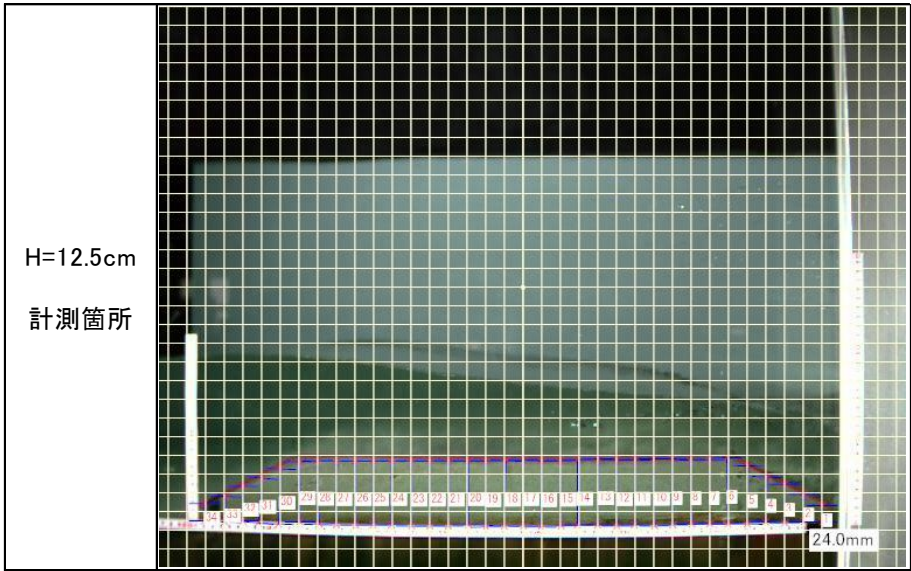
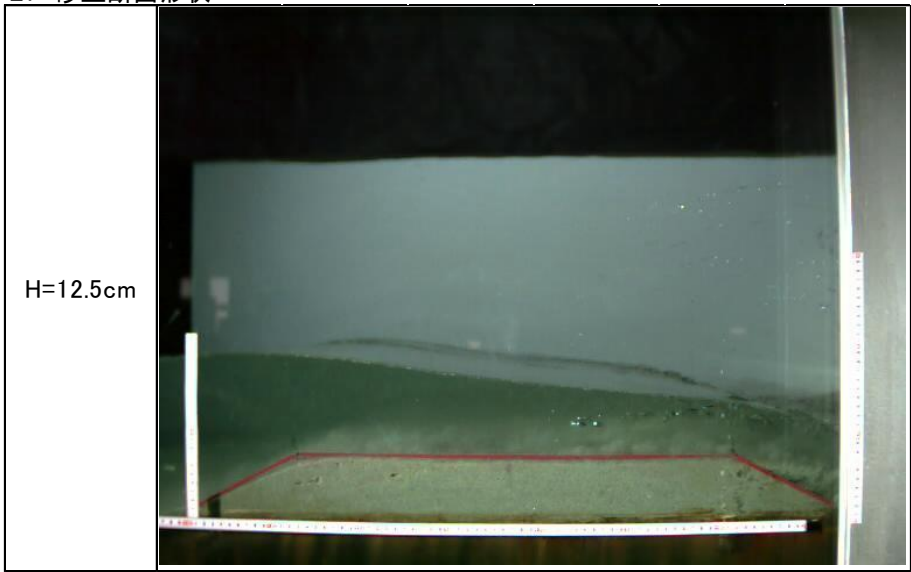
【参考】	絶乾状態	6号珪砂	7号珪砂
	空隙率	0.566	0.578

【入射波成分のみによる砂丘地形形状写真（画像読取りデータ作成用）】

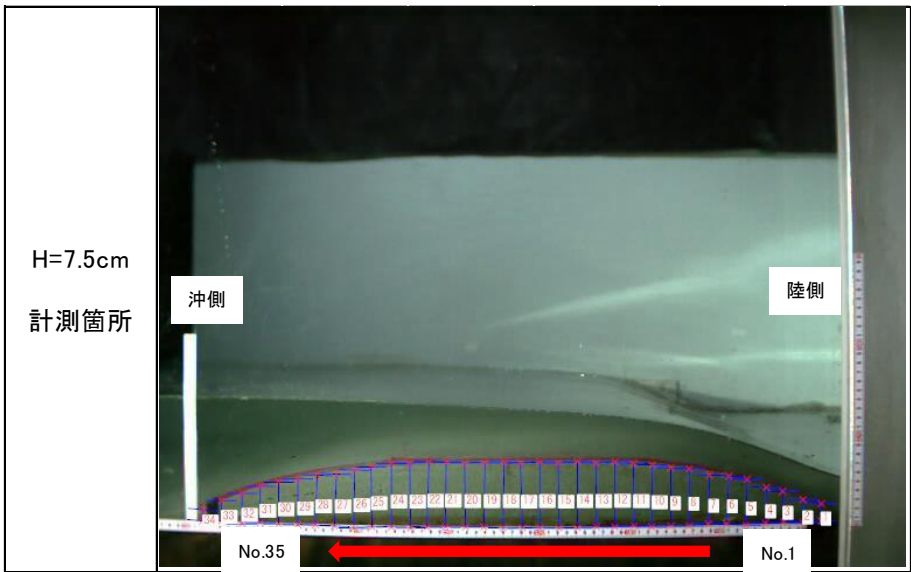
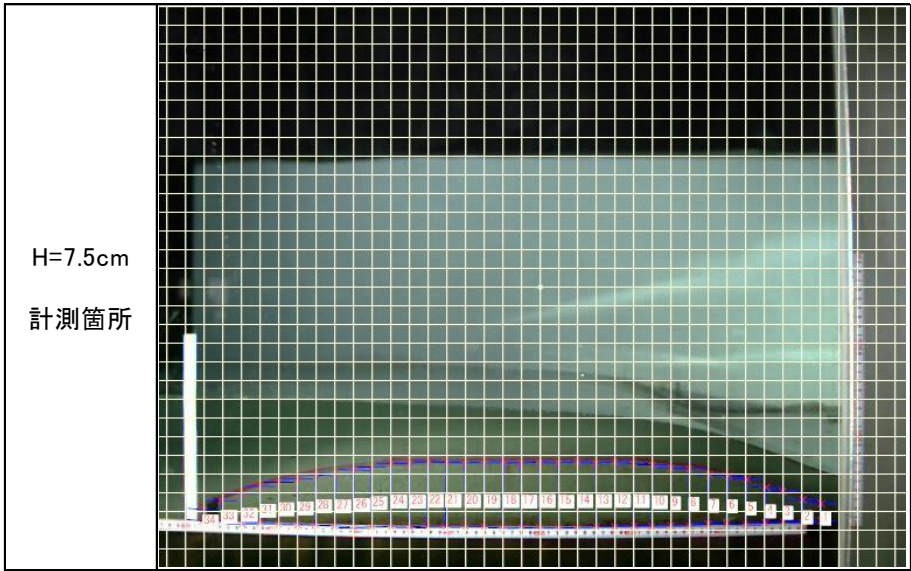
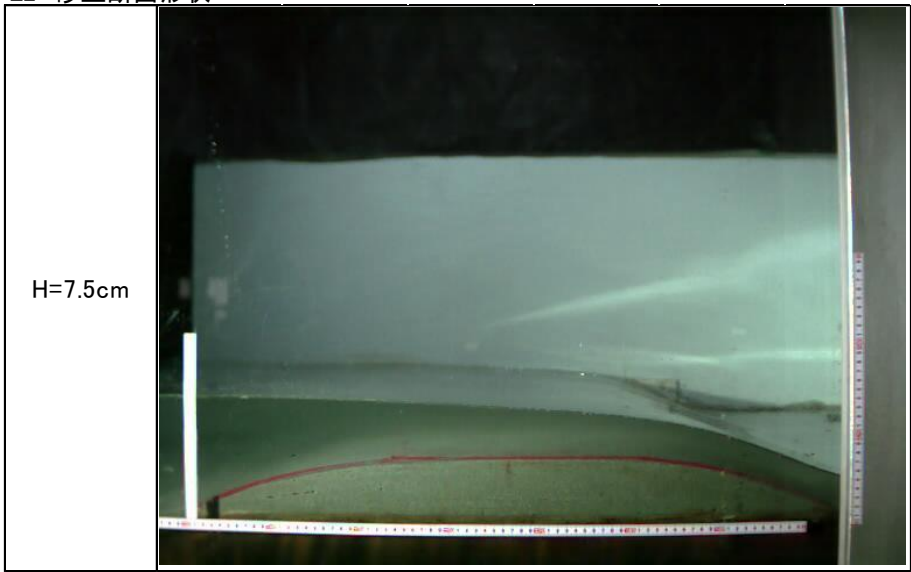
E1 砂丘断面形状



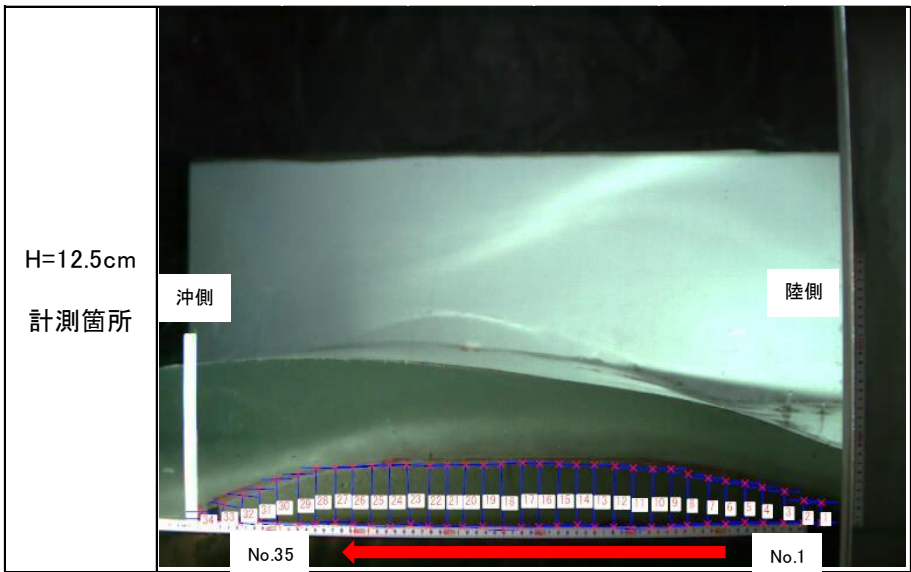
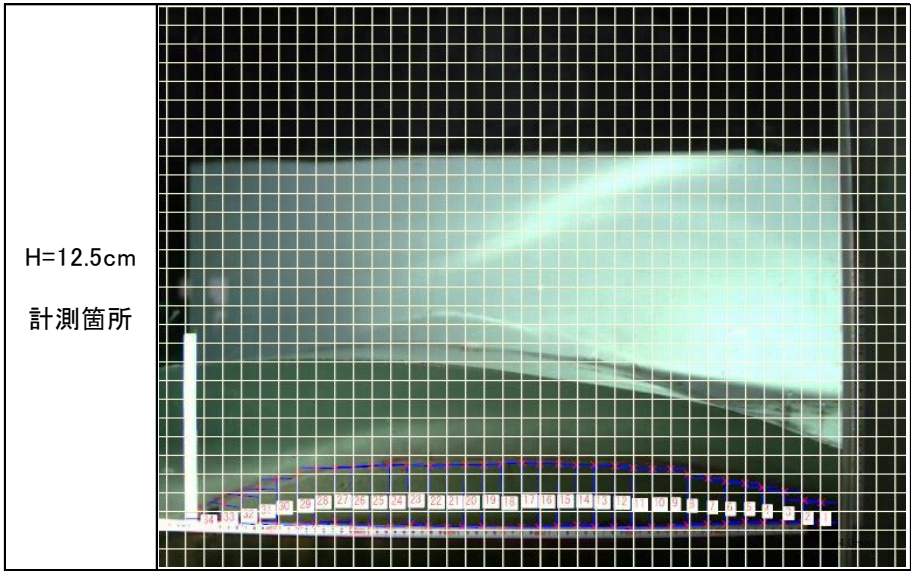
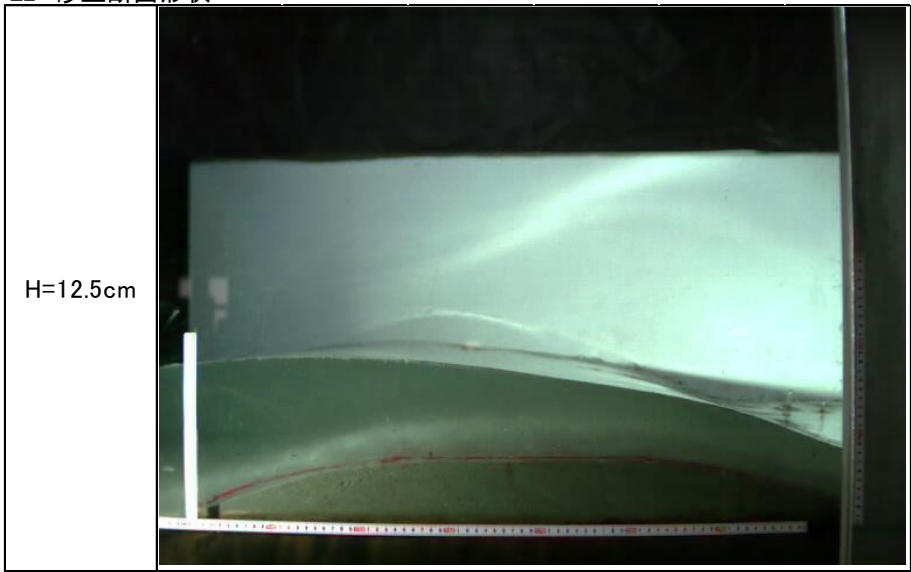
E1 砂丘断面形状



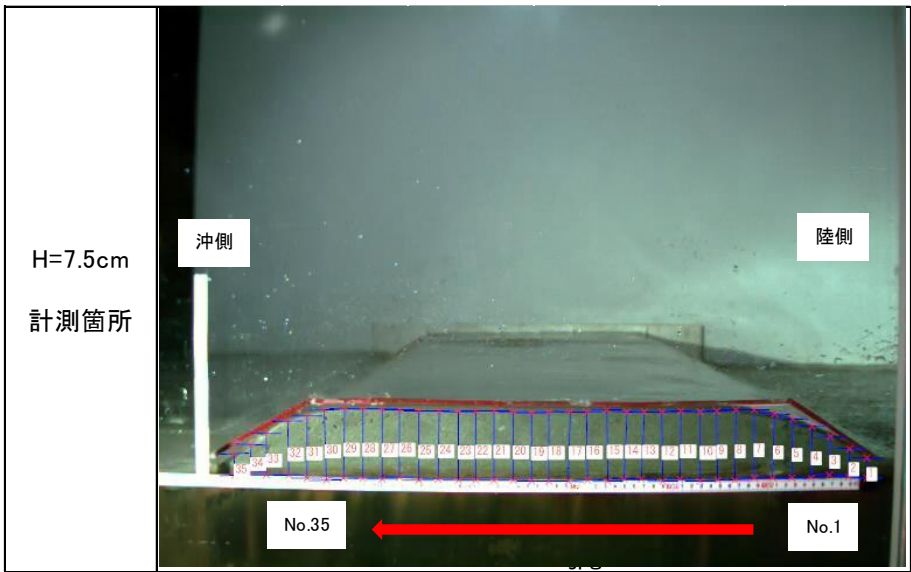
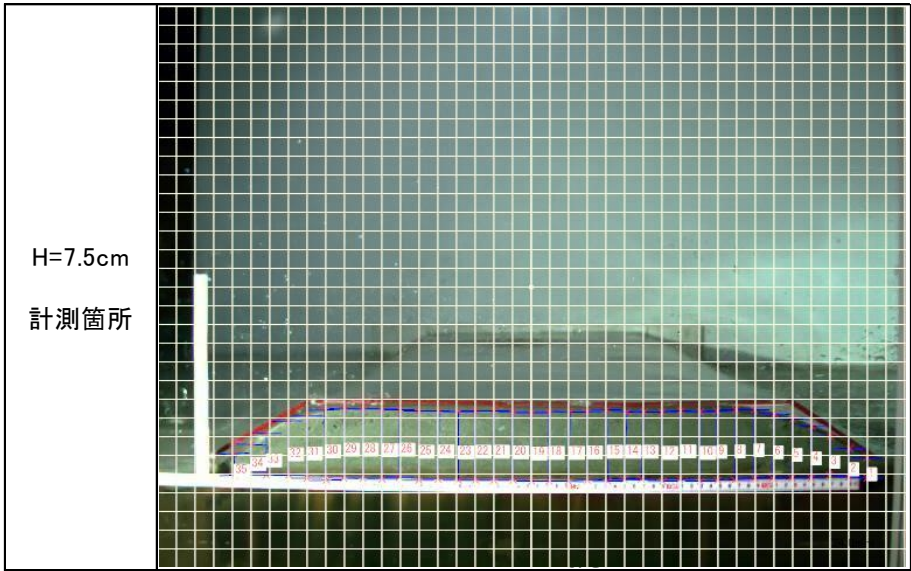
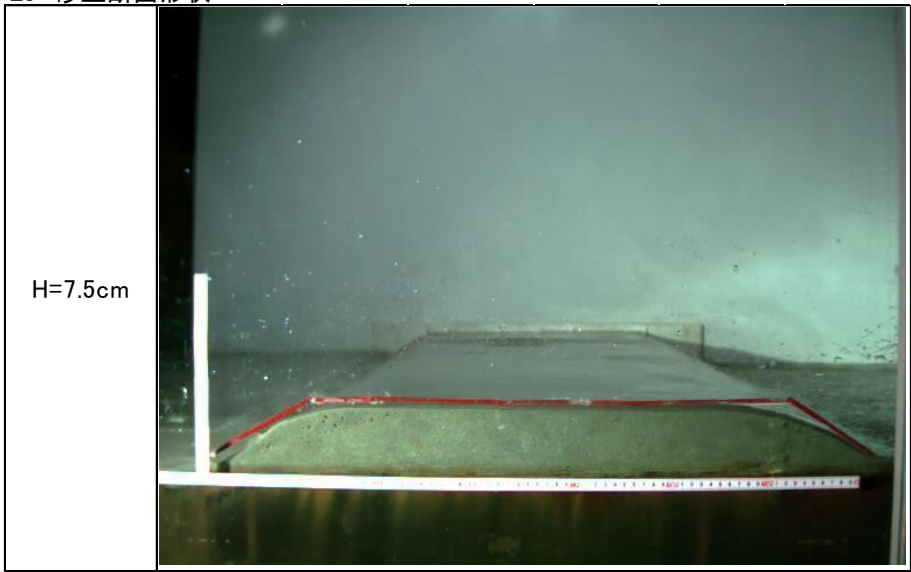
E2 砂丘断面形状



E2 砂丘断面形状

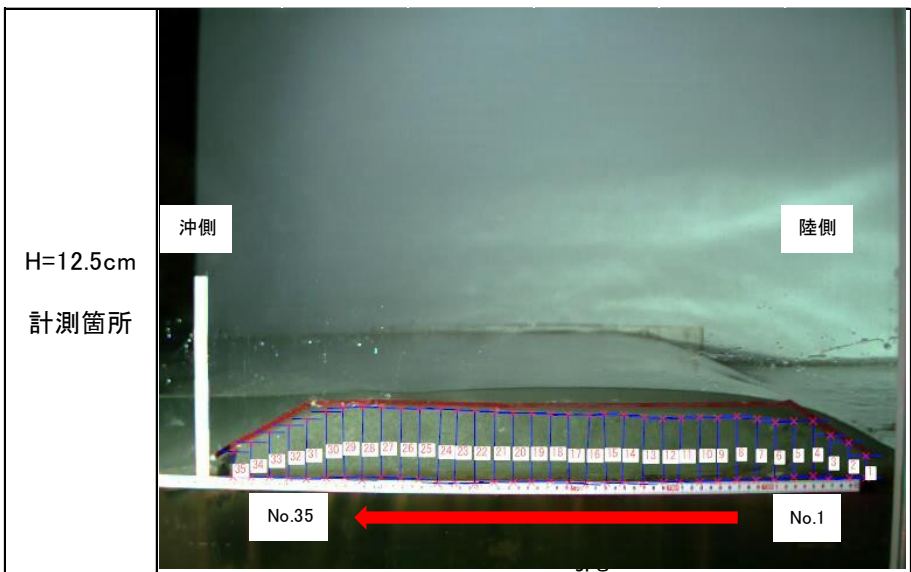
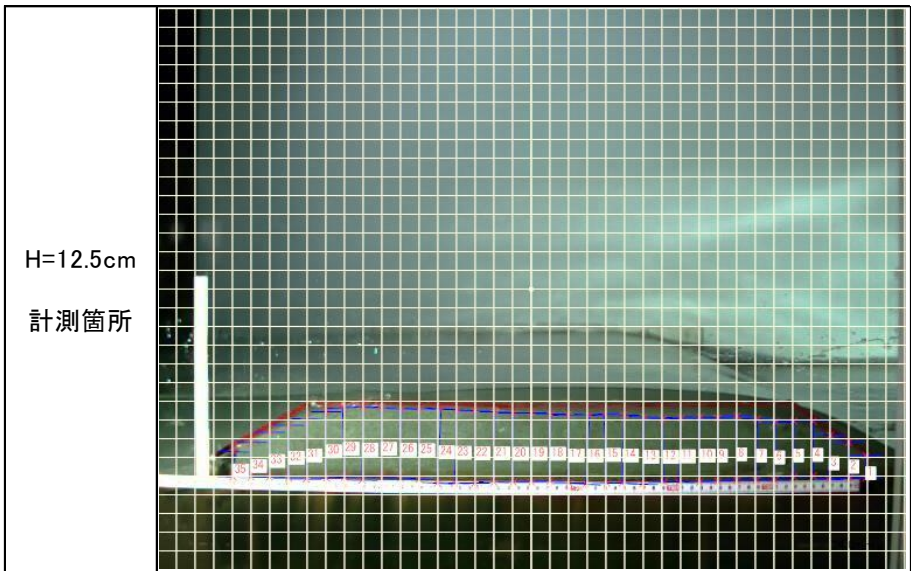


E3 砂丘断面形状

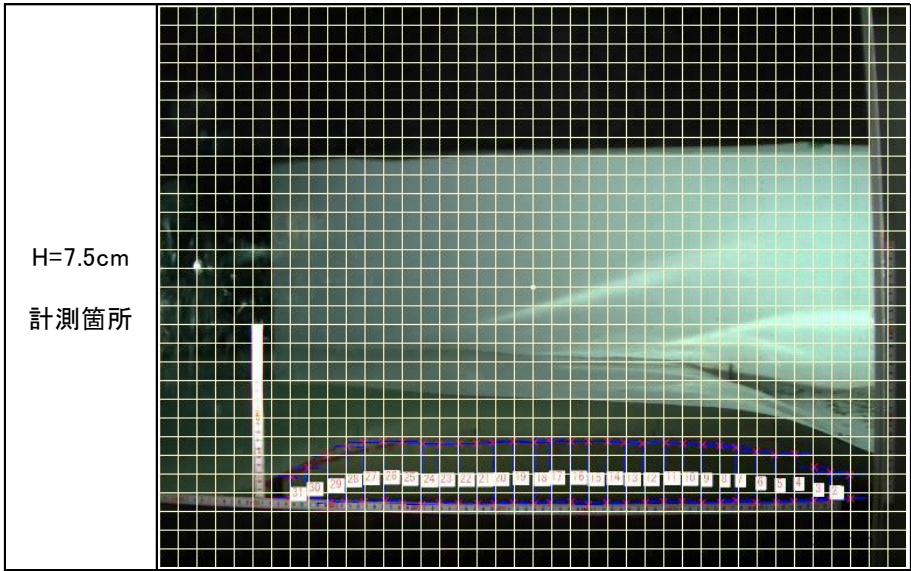
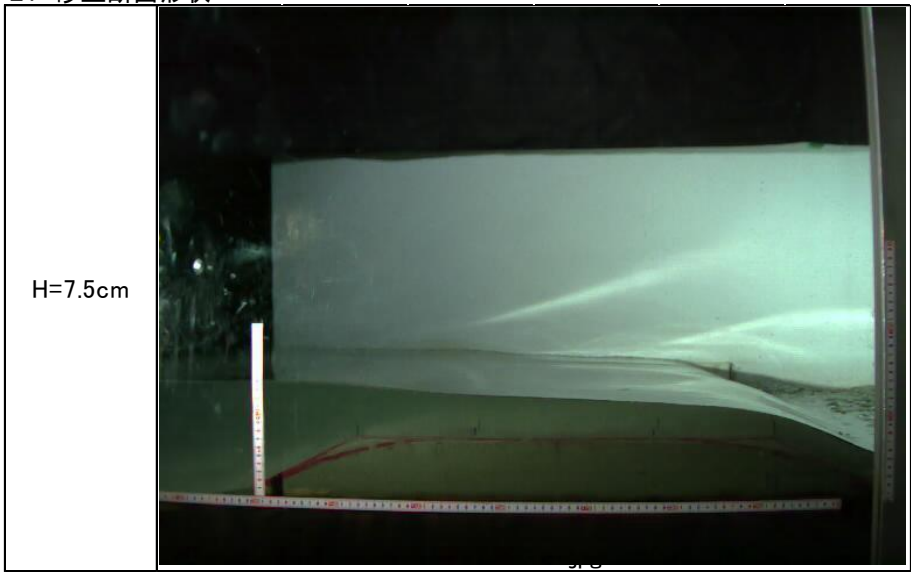




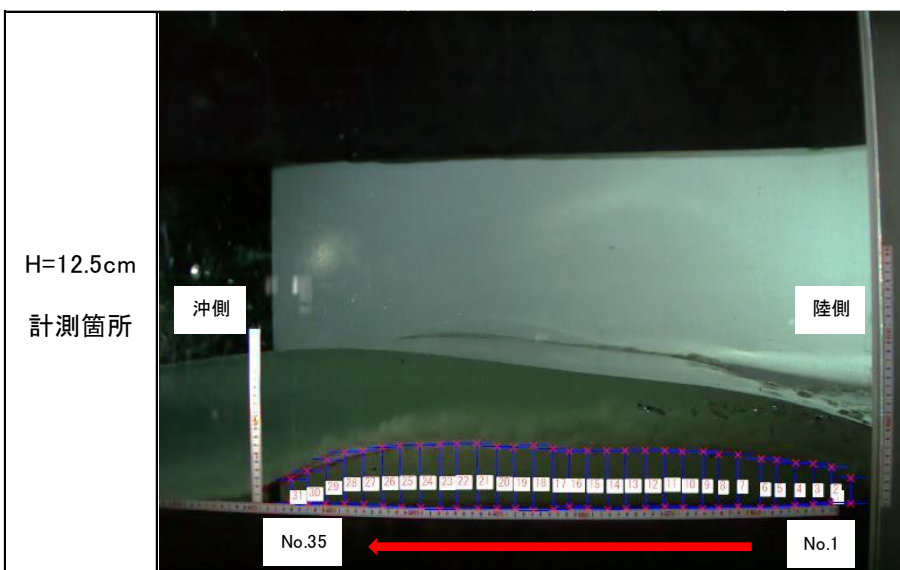
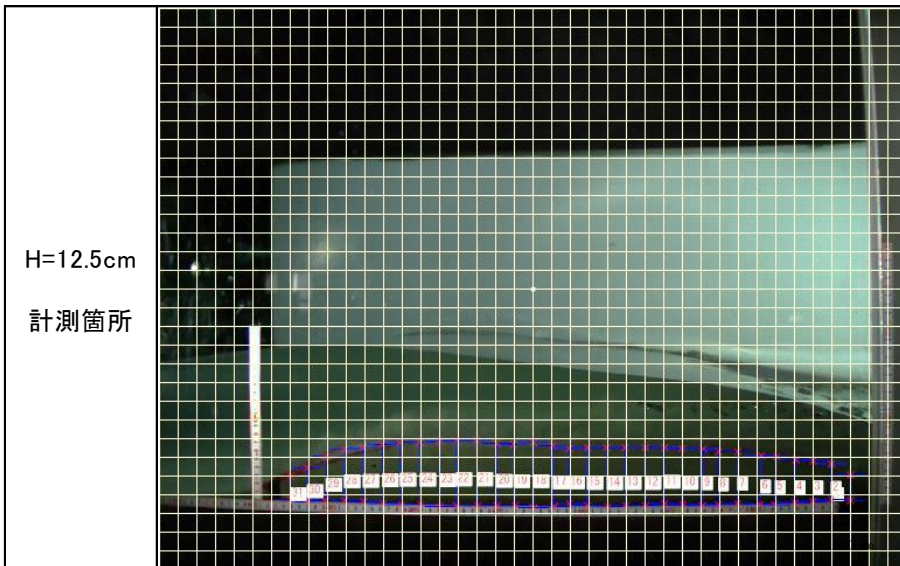
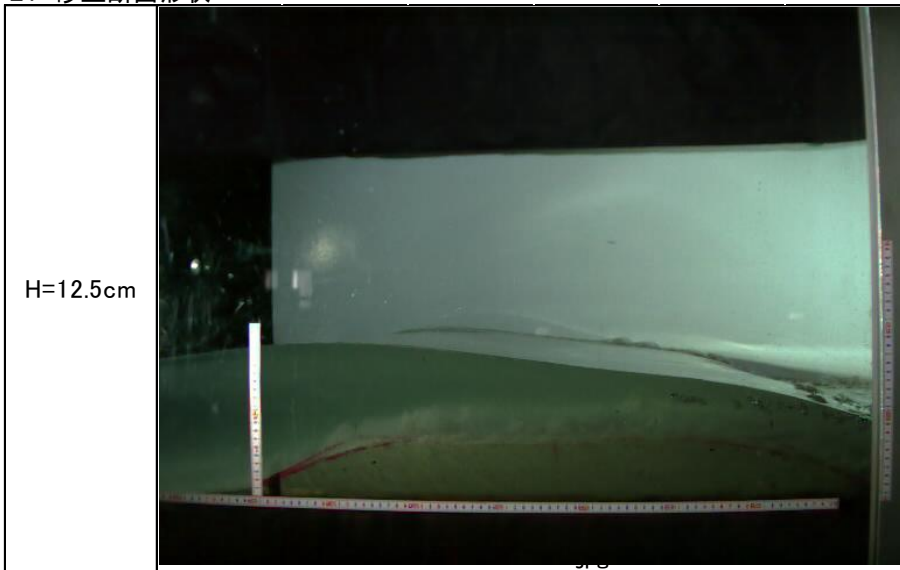
E3 砂丘断面形状



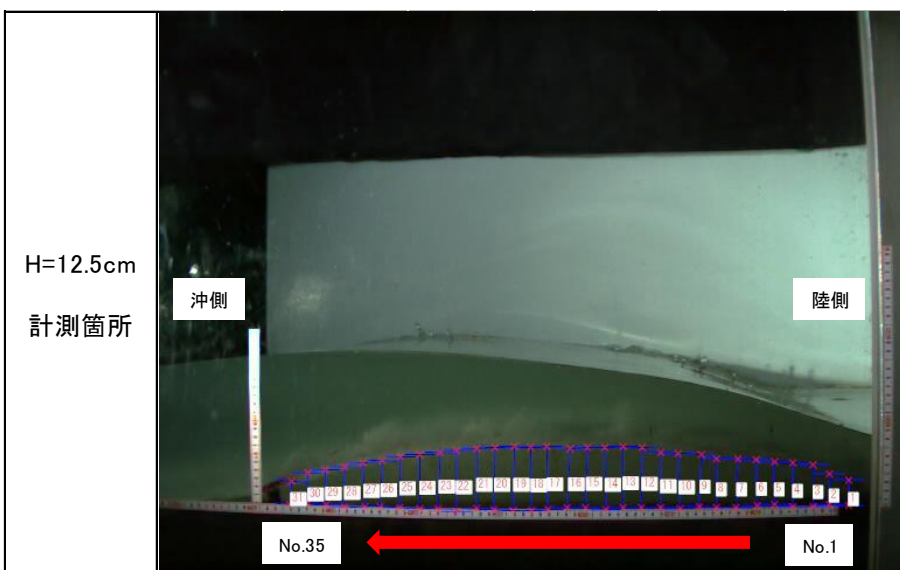
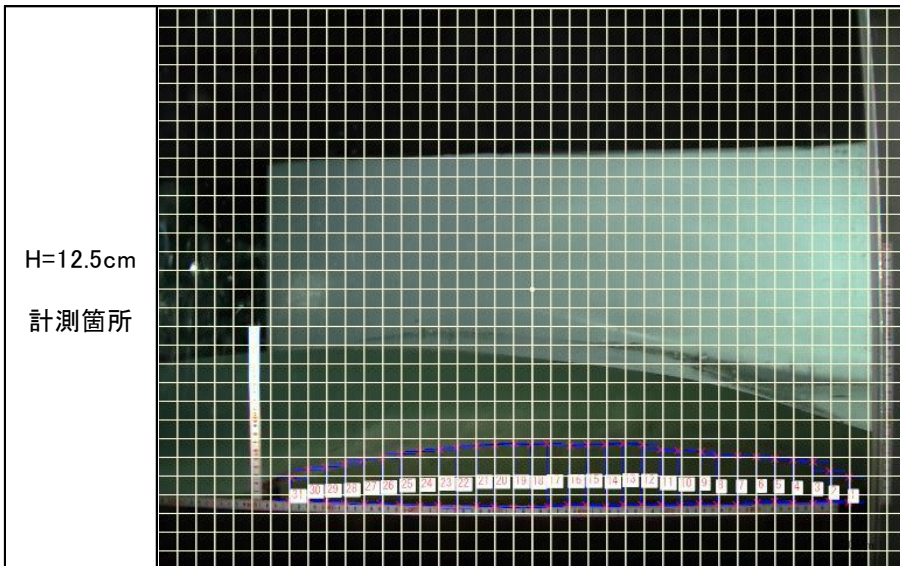
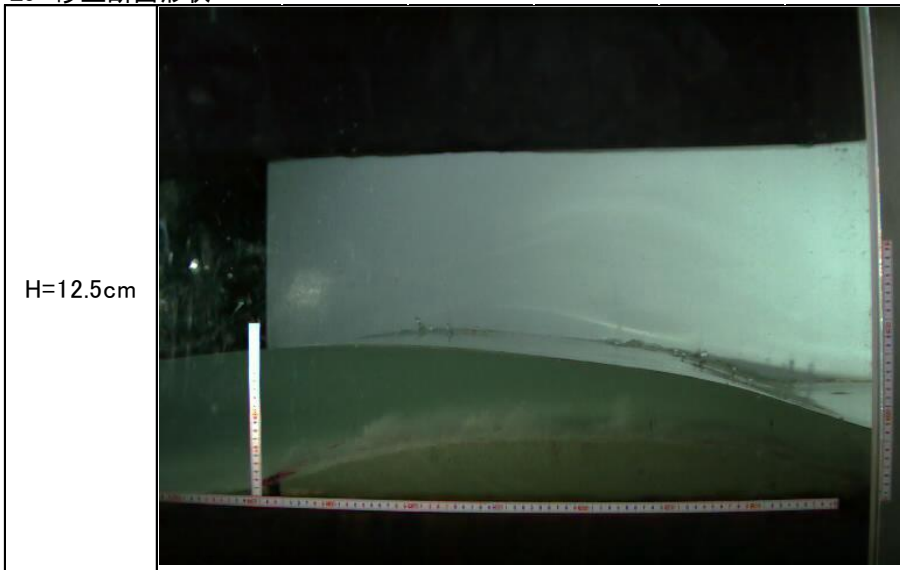
E4 砂丘断面形状



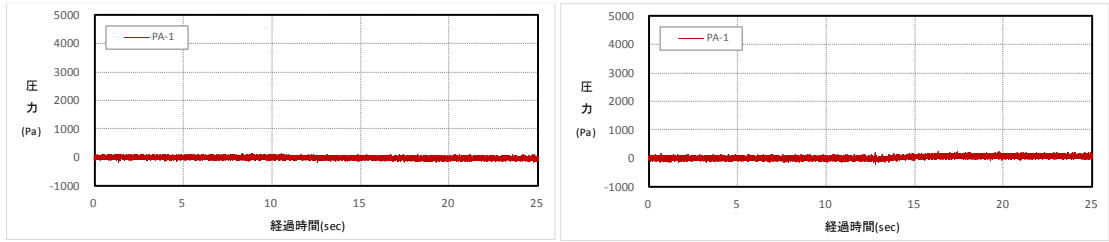
E4 砂丘断面形状



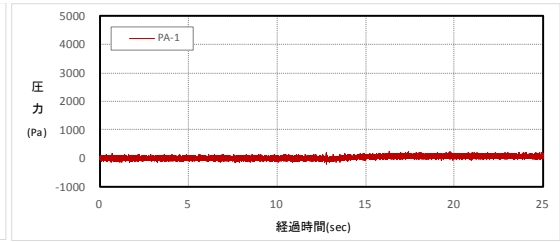
E5 砂丘断面形状



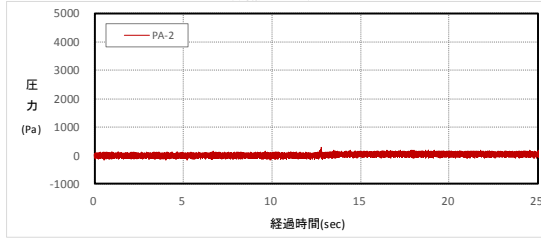
【防潮堤に作用する波圧の時系列データ】



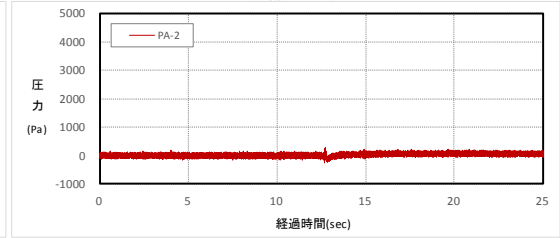
(測点:PA-1)



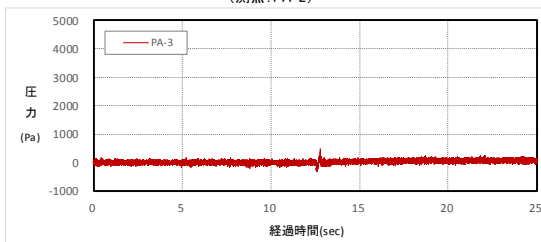
(測点:PA-1)



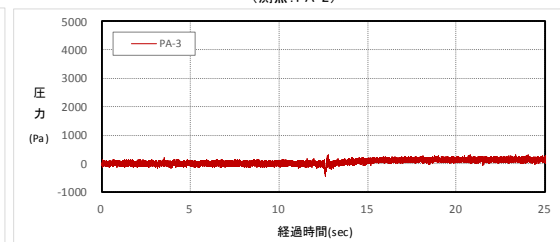
(測点:PA-2)



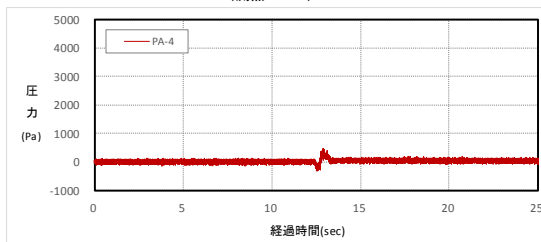
(測点:PA-2)



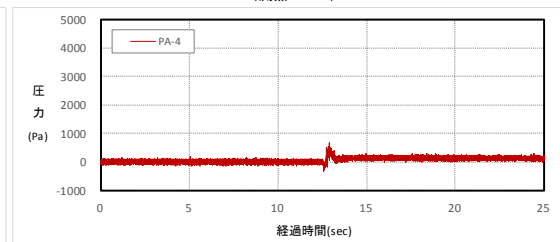
(測点:PA-3)



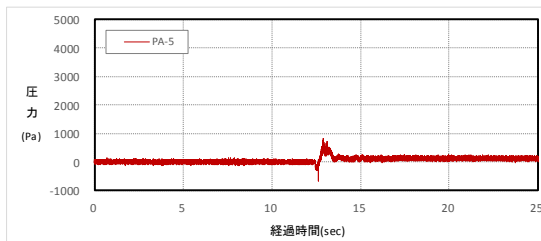
(測点:PA-3)



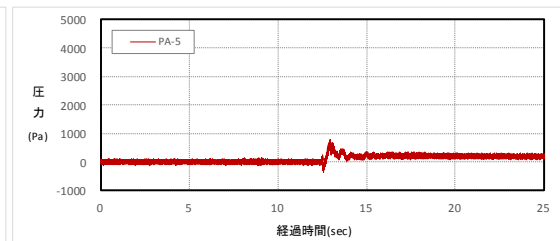
(測点:PA-4)



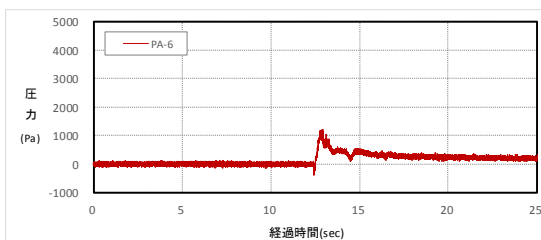
(測点:PA-4)



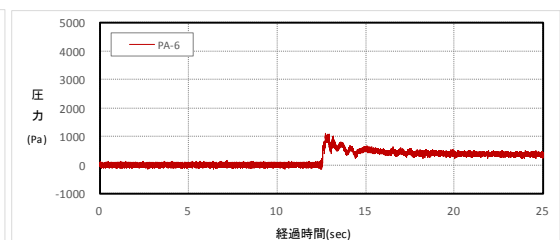
(測点:PA-5)



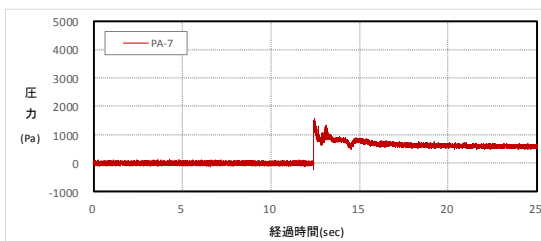
(測点:PA-5)



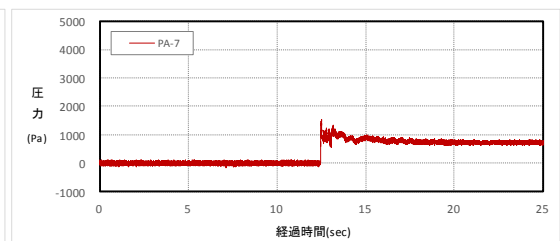
(測点:PA-6)



(測点:PA-6)



(測点:PA-7)

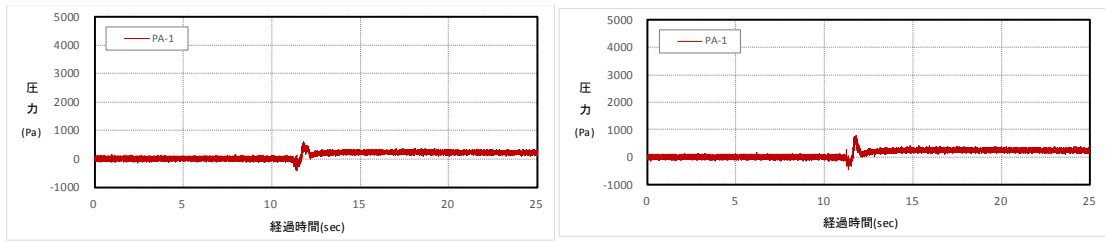


(測点:PA-7)

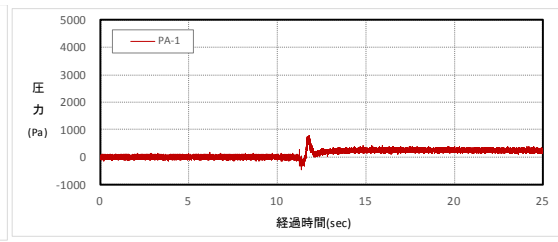
【1回目】

【2回目】

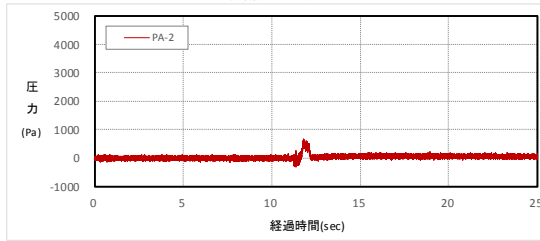
防潮堤作用圧力・時系列データ(ケースE1, H=7.5cm)



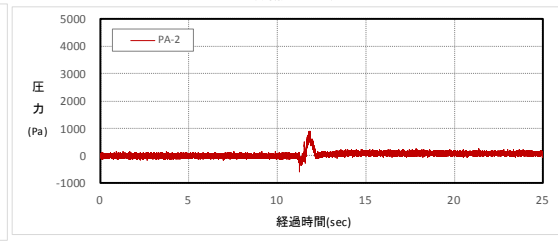
(測点:PA-1)



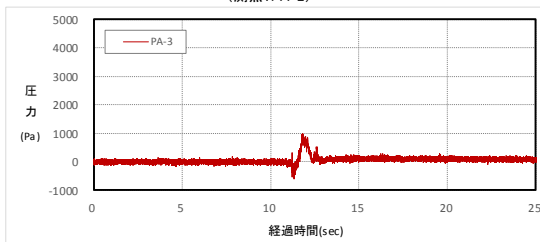
(測点:PA-1)



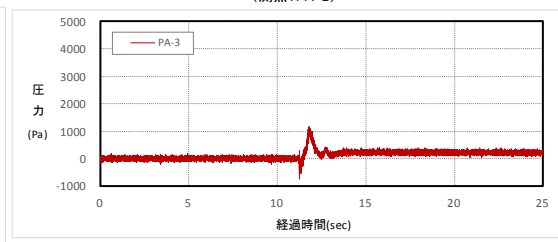
(測点:PA-2)



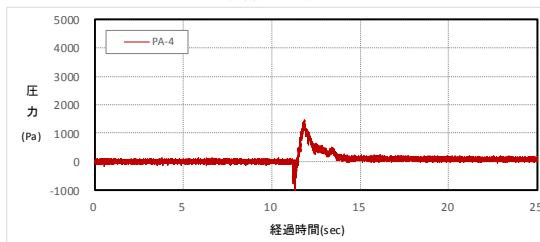
(測点:PA-2)



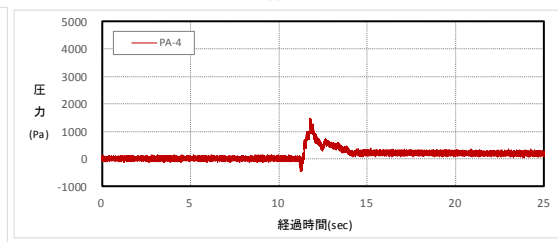
(測点:PA-3)



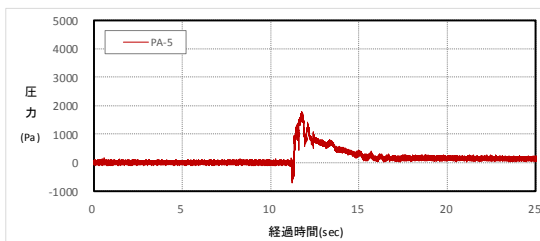
(測点:PA-3)



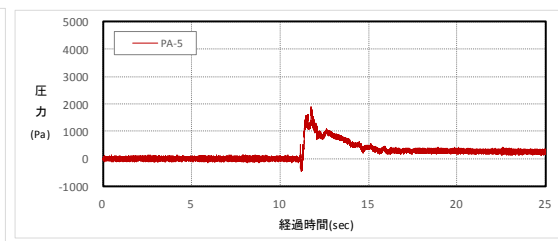
(測点:PA-4)



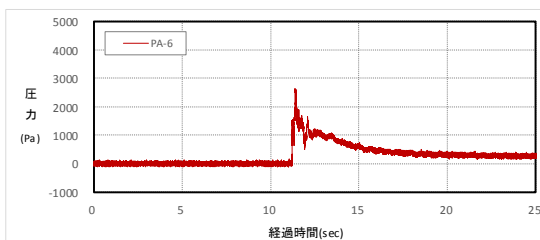
(測点:PA-4)



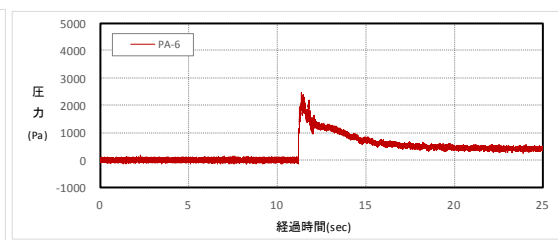
(測点:PA-5)



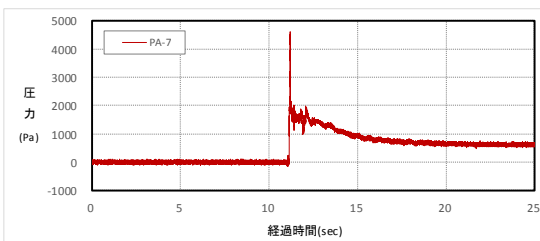
(測点:PA-5)



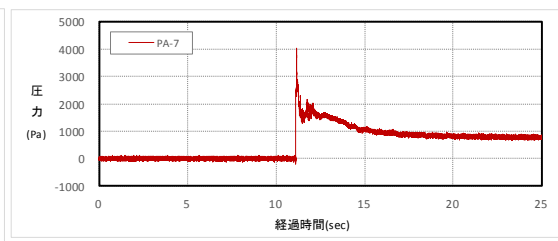
(測点:PA-6)



(測点:PA-6)



(測点:PA-7)

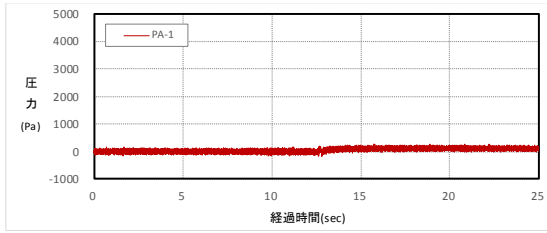


(測点:PA-7)

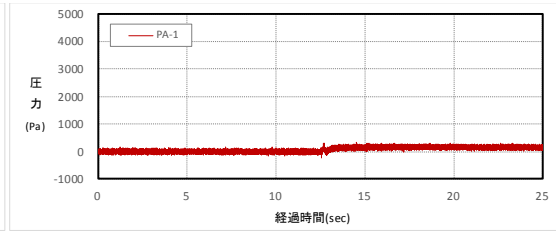
【1回目】

【2回目】

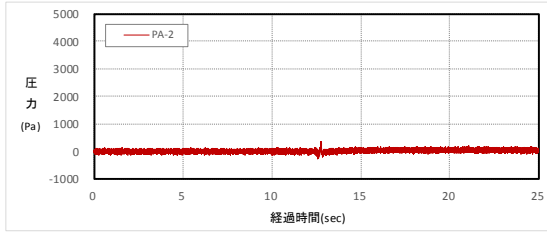
防潮堤作用圧力・時系列データ(ケースE1, H=12.5cm)



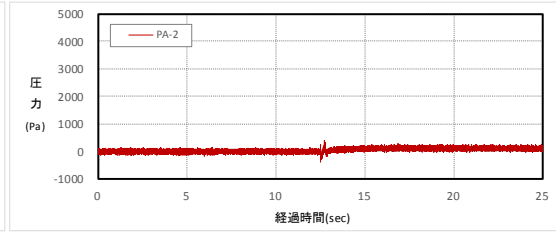
(測点:PA-1)



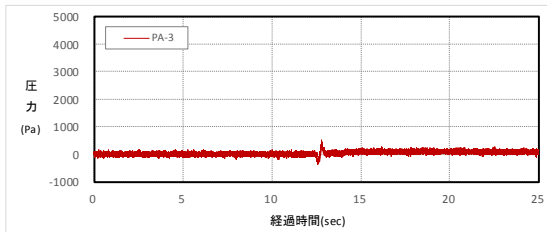
(測点:PA-1)



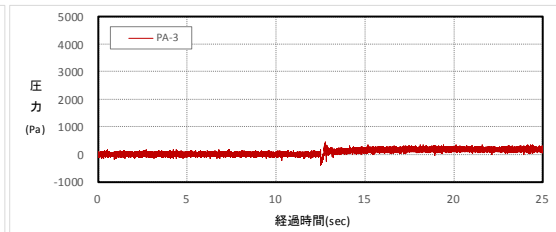
(測点:PA-2)



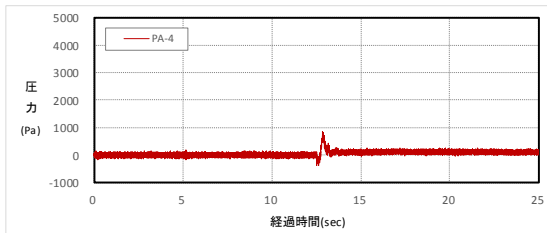
(測点:PA-2)



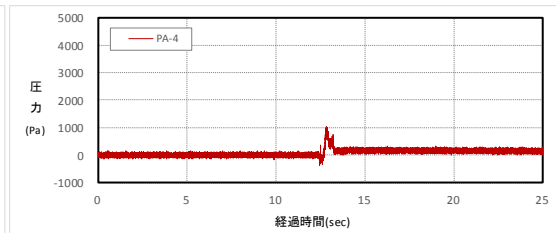
(測点:PA-3)



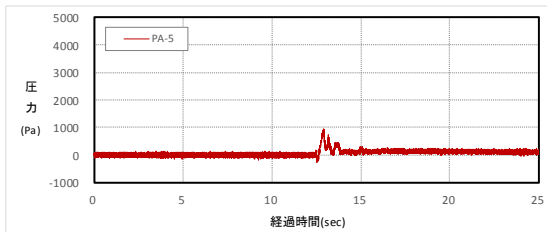
(測点:PA-3)



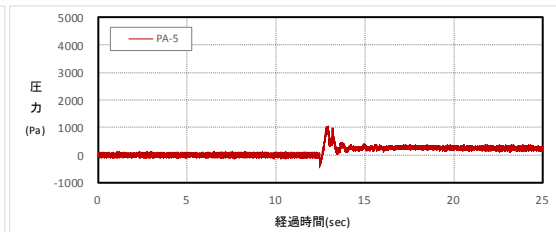
(測点:PA-4)



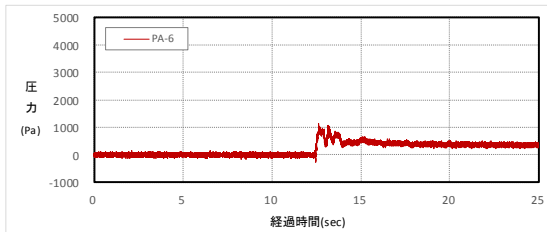
(測点:PA-4)



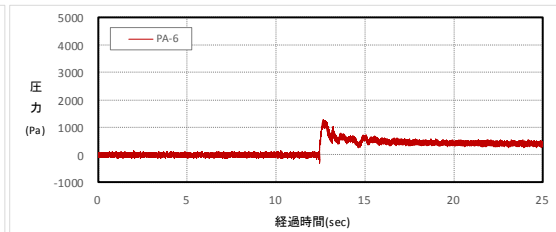
(測点:PA-5)



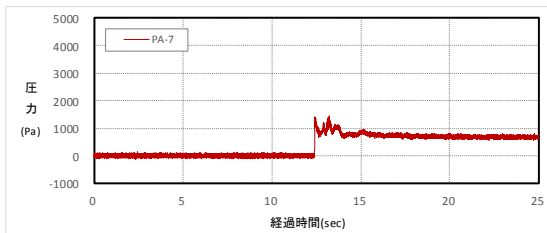
(測点:PA-5)



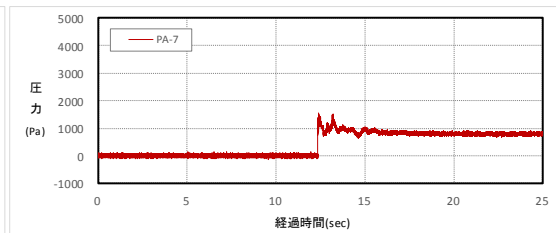
(測点:PA-6)



(測点:PA-6)



(測点:PA-7)



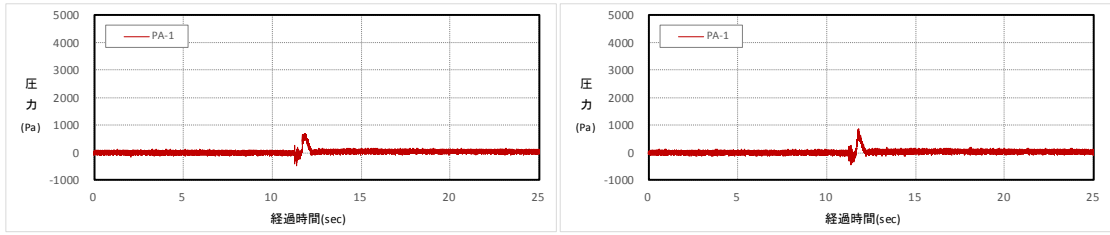
(測点:PA-7)

【1回目】

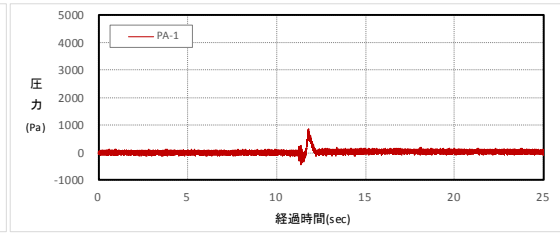
【2回目】

防潮堤作用圧力・時系列データ(ケースE2, H=7.5cm)

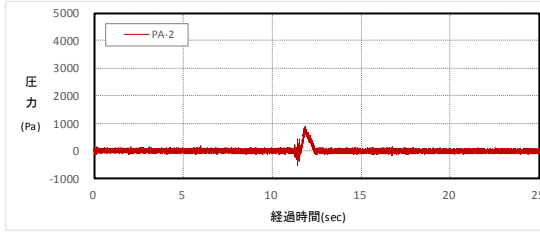




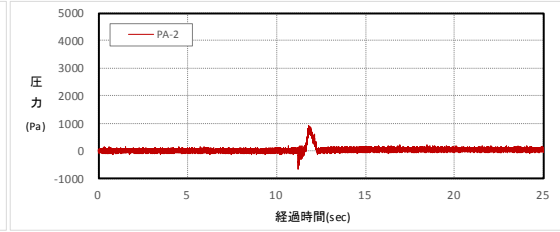
(測点:PA-1)



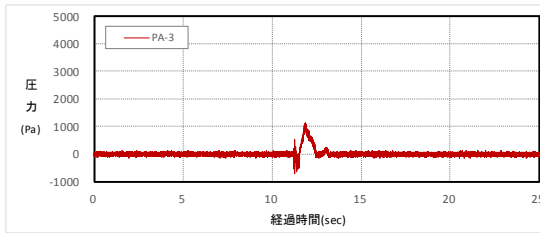
(測点:PA-1)



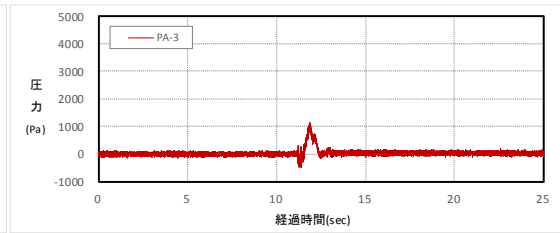
(測点:PA-2)



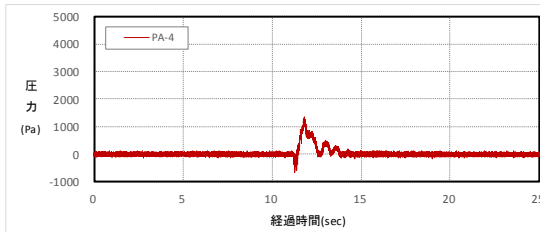
(測点:PA-2)



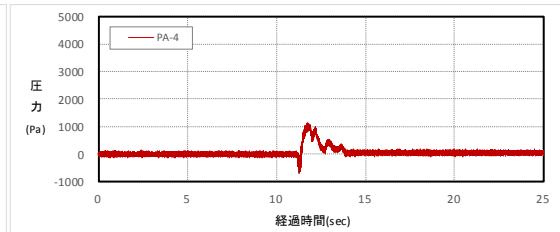
(測点:PA-3)



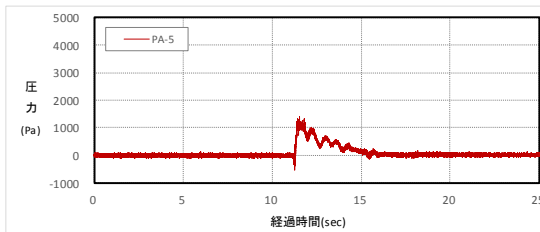
(測点:PA-3)



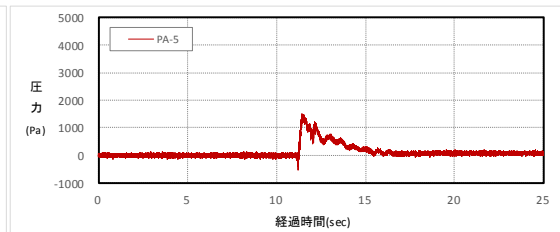
(測点:PA-4)



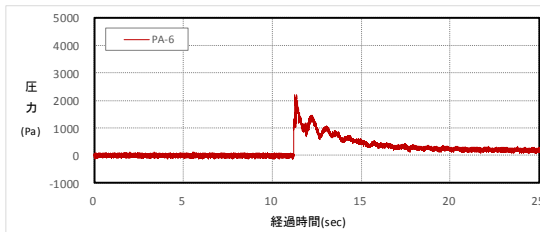
(測点:PA-4)



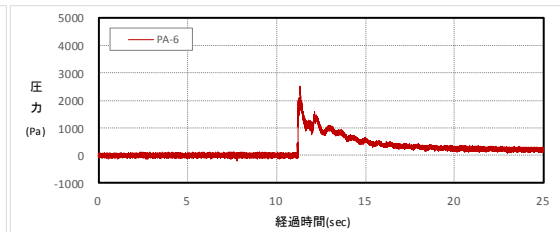
(測点:PA-5)



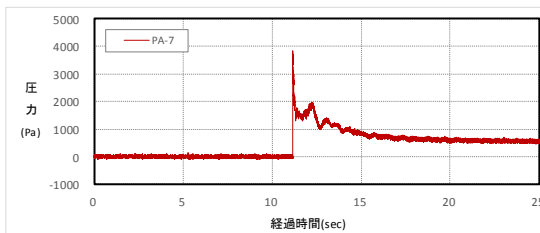
(測点:PA-5)



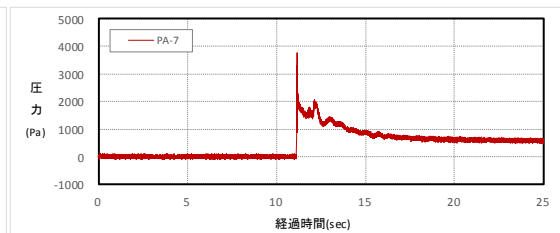
(測点:PA-6)



(測点:PA-6)



(測点:PA-7)

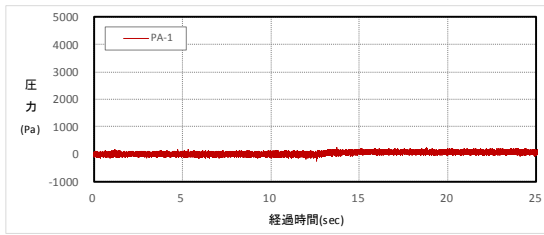


(測点:PA-7)

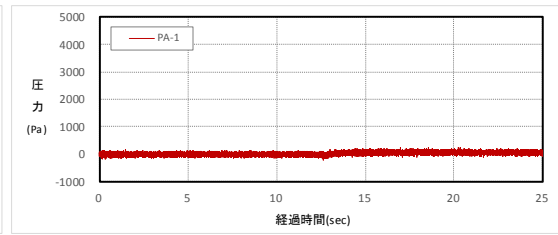
【1回目】

【2回目】

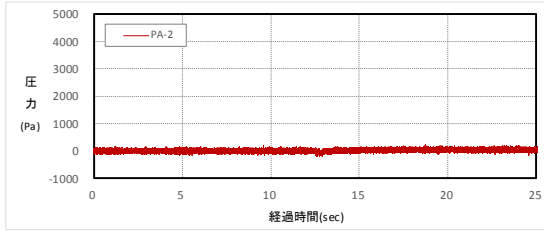
防潮堤作用圧力・時系列データ(ケースE2, H=12.5cm)



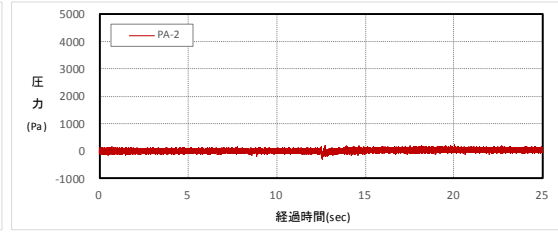
(測点:PA-1)



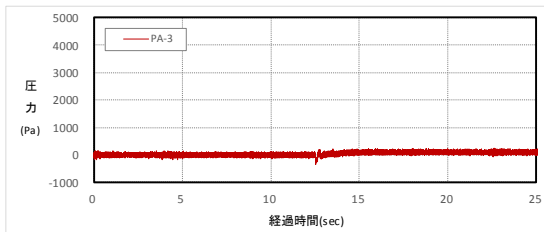
(測点:PA-1)



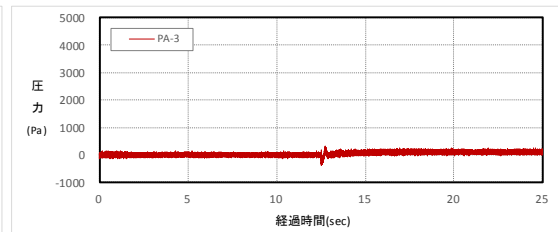
(測点:PA-2)



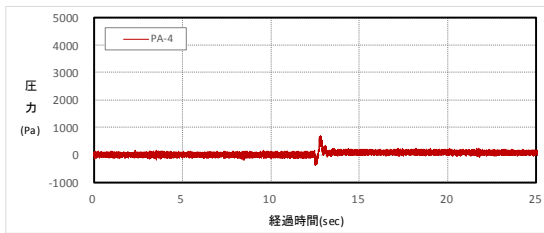
(測点:PA-2)



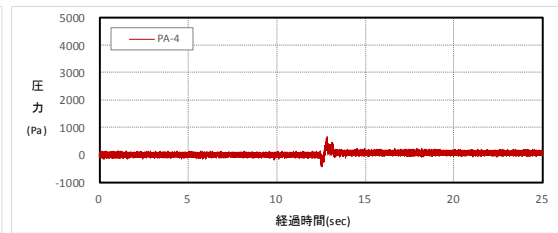
(測点:PA-3)



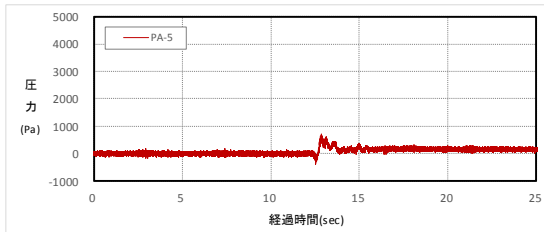
(測点:PA-3)



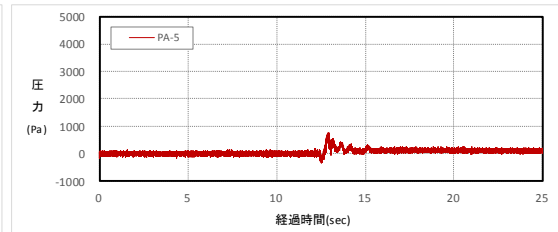
(測点:PA-4)



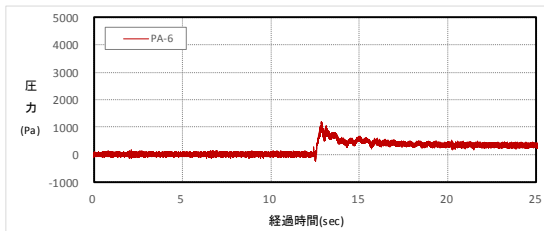
(測点:PA-4)



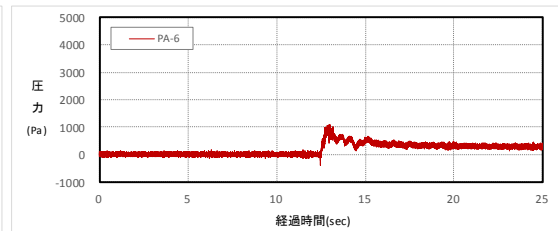
(測点:PA-5)



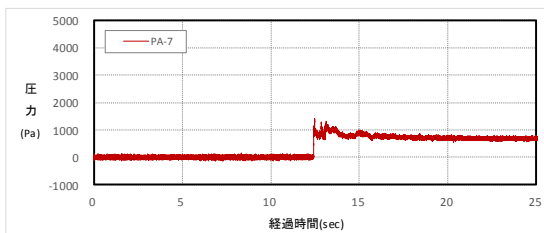
(測点:PA-5)



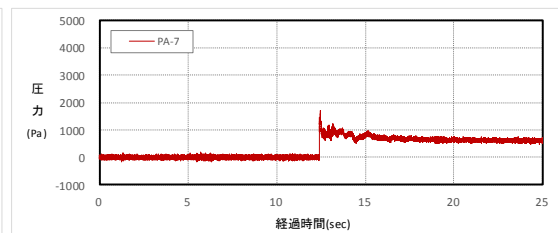
(測点:PA-6)



(測点:PA-6)



(測点:PA-7)

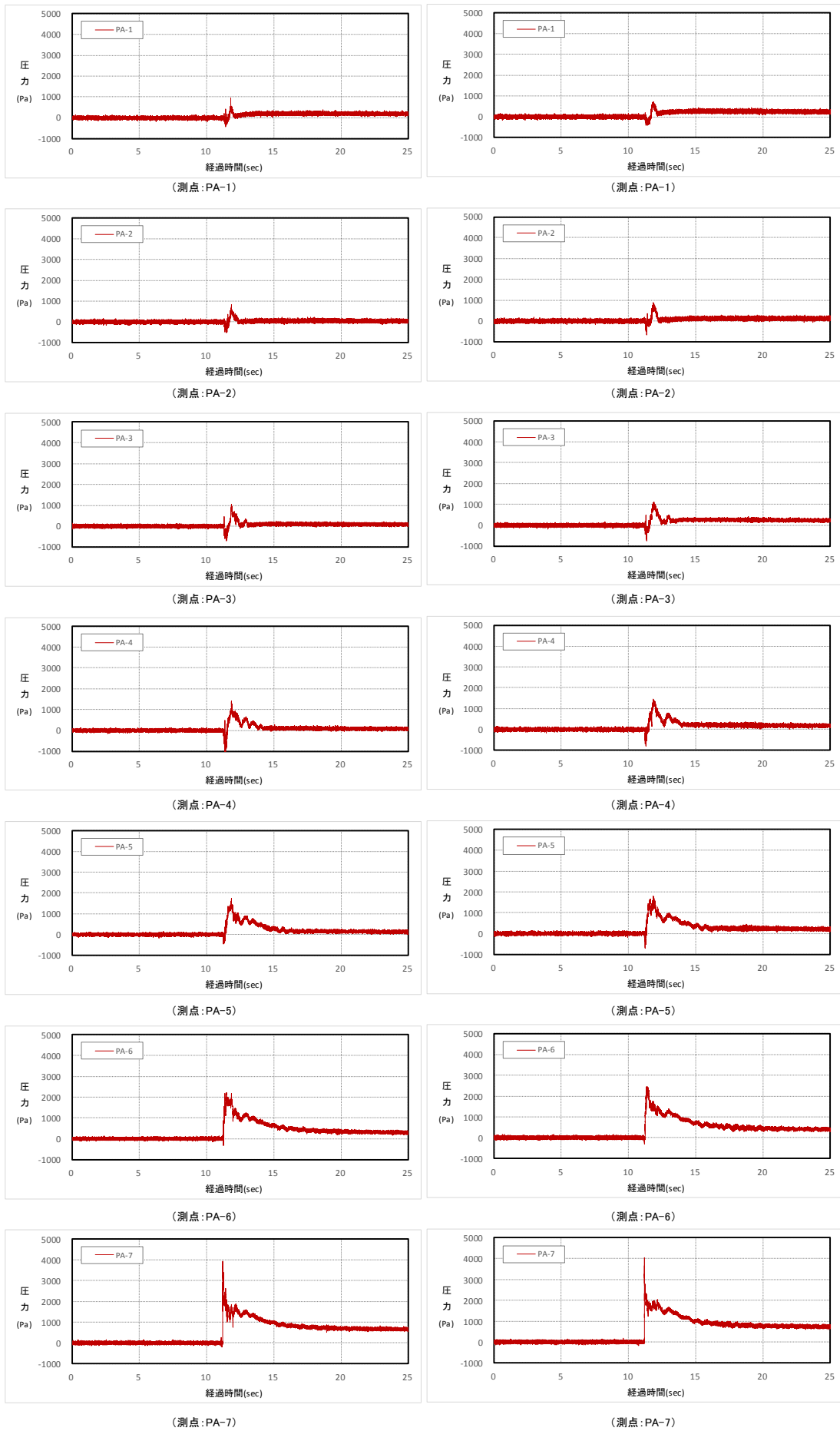


(測点:PA-7)

【1回目】

【2回目】

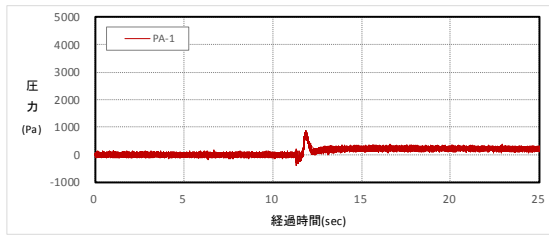
防潮堤作用圧力・時系列データ(ケースE4, H=7.5cm)



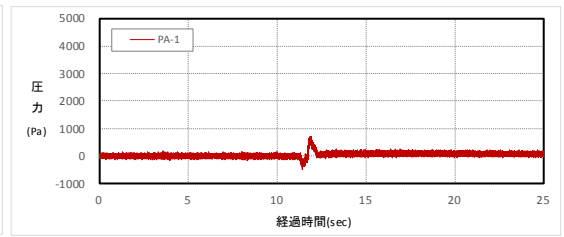
【1回目】

【2回目】

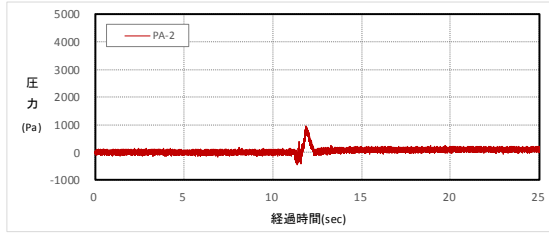
防潮堤作用圧力・時系列データ(ケースE4, H=12.5cm)



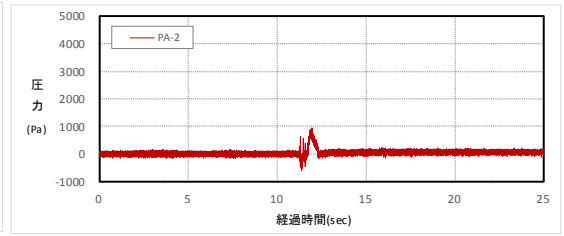
(測点:PA-1)



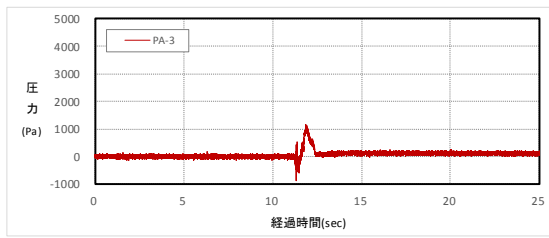
(測点:PA-1)



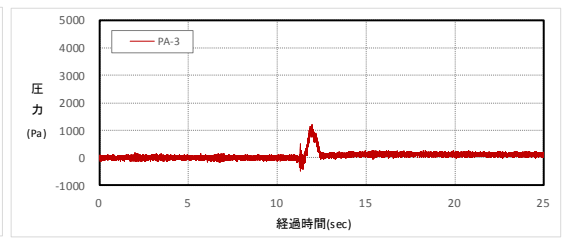
(測点:PA-2)



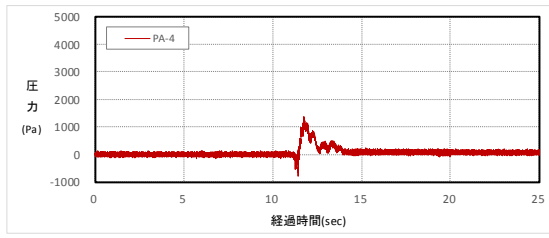
(測点:PA-2)



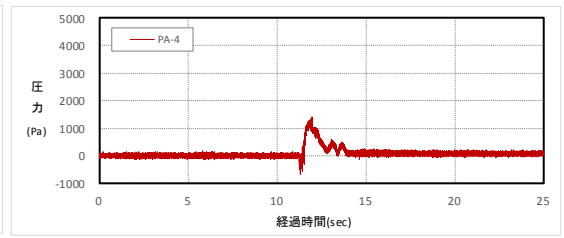
(測点:PA-3)



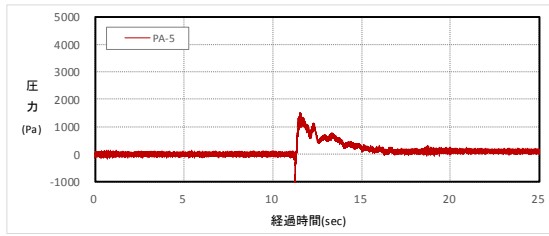
(測点:PA-3)



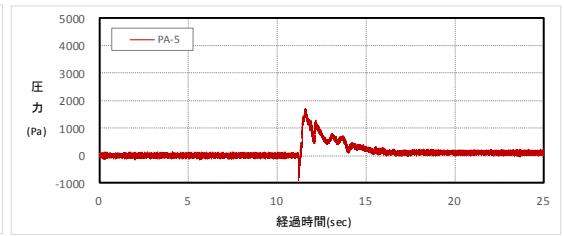
(測点:PA-4)



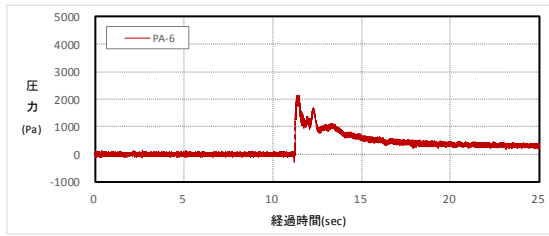
(測点:PA-4)



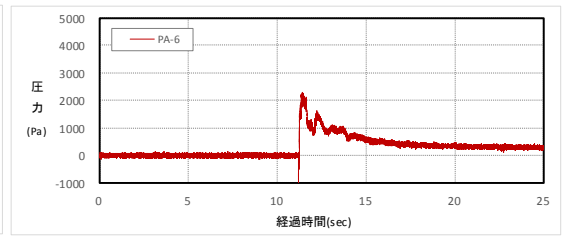
(測点:PA-5)



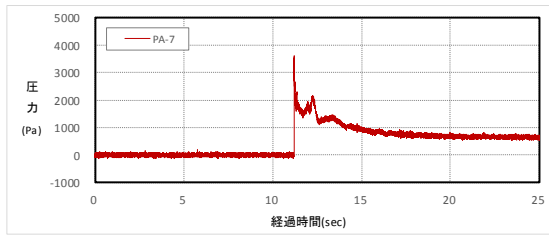
(測点:PA-5)



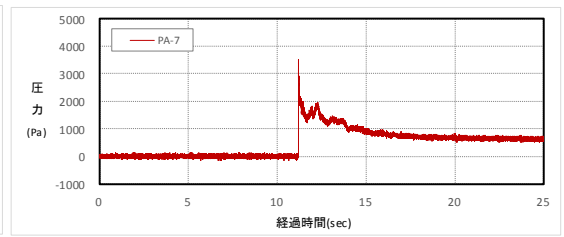
(測点:PA-6)



(測点:PA-6)



(測点:PA-7)



(測点:PA-7)

【1回目】

【2回目】

防潮堤作用圧力・時系列データ(ケースE5, H=12.5cm)

【平成30年度波圧測定データ】

## 固定床H 3 0 実験データ

(データ①を使用)

### ①移動床実験

☆PA-1 ~ PA-7 の波圧分布 (固定床のみ)

機器名	PA-1	PA-2	PA-3	PA-4	PA-5	PA-6	PA-7
Unit	(Pa)						
水路底からの距離(mm)	20	55	90	125	160	195	230
H=7.5cm	1488.96	890.32	765.47	892.71	213.38	216.66	180.24
H=10.0cm	2580.55	1567.29	1164.08	1050.30	614.74	442.24	302.87
H=12.5cm	3719.56	2167.34	1681.37	1448.05	1013.72	697.87	601.12

### ②固定床実験

☆PA-1 ~ PA-7 の波圧分布

機器名	PA-1	PA-2	PA-3	PA-4	PA-5	PA-6	PA-7
Unit	(Pa)						
水路底からの距離(mm)	20	55	90	125	160	195	230
H=7.5cm	1454.60	1468.56	1260.95	658.53	536.45	293.57	189.34
H=10.0cm	2164.99	1980.85	1635.81	1381.98	1049.31	862.79	474.19
H=12.5cm	2981.02	2220.45	1807.23	1274.32	1118.44	992.17	970.54

### ③固定床実験

☆PB-1 ~ PB-7 の波圧分布

機器名	PB-1	PB-2	PB-3	PB-4	PB-5	PB-6	PB-7
Unit	(Pa)						
水路底からの距離(mm)	20	55	90	125	160	195	230
H=7.5cm	1554.44	973.60	579.78	541.99	306.59	146.07	129.76
H=10.0cm	2563.24	1840.88	1430.36	1192.96	1042.50	530.33	653.45
H=12.5cm	3355.17	2190.05	1834.90	1310.96	1505.81	933.01	1082.92

### ④平均

機器名	PA-1	PA-2	PA-3	PA-4	PA-5	PA-6	PA-7
Unit	(Pa)						
水路底からの距離(mm)	20	55	90	125	160	195	230
H=7.5cm	1499.33	1110.83	868.73	697.74	352.14	218.77	166.45
H=10.0cm	2436.26	1796.34	1410.08	1208.41	902.18	611.79	476.84
H=12.5cm	3351.92	2192.61	1774.50	1344.44	1212.66	874.35	884.86

### ⑤移動床実験

☆PB-1 ~ PB-7 の波圧分布 (移動床のみ)

機器名	PB-1	PB-2	PB-3	PB-4	PB-5	PB-6	PB-7
Unit	(Pa)						
水路底からの距離(mm)	20	55	90	125	160	195	230
H=7.5cm	1333.65	1151.50	715.84	223.49	308.01	192.47	218.61
H=10.0cm	2178.39	1676.32	1261.16	812.29	750.45	558.93	366.66
H=12.5cm	3599.44	2231.73	1817.69	1196.49	999.66	797.30	551.62

## 【実験視察状況】





---

## 【III シミュレーション解析編】

### 目次

第1章 業務概要	1
1-1 業務の目的	1
1-2 業務内容	1
1-3 シミュレーション解析の概要	2
1-4 対象とする水理試験の概要	2
第2章 再現解析の高度化に向けた感度解析	6
2-1 本章の目的	6
2-2 感度解析条件	6
2-3 感度解析結果	7
2-3-1 防潮堤に作用する波圧の時系列	7
2-3-2 防潮堤に作用する段波波圧と持続波圧	19
2-3-3 流速場、浮遊砂濃度の解析結果	22
2-3-4 砂面形状変化	40
2-4 第2章のまとめ	42
2-4-1 防潮堤に作用する波圧に及ぼす影響	42
2-4-2 砂面形状変化に及ぼす影響	43
第3章 再現解析の高度化及び実機縮尺による粒径変化の影響把握	45
3-1 本章の目的	45
3-2 実施した解析ケース	45
3-3 模型スケール解析結果	48
3-3-1 水位及び流速時系列の試験結果との比較	48
3-3-2 防潮堤に作用する波圧の比較	54
3-3-3 流速場、浮遊砂濃度の解析結果と砂面形状変化の比較	58
3-3-4 入力波波高および砂粒径の差異による砂面形状変化の比較	116
3-3-5 砂移動による防潮堤への作用荷重への影響	121
3-4 現地スケール解析結果	126
3-4-1 水位時系列の模型スケールとの比較	126
3-4-2 砂丘頂部における流速時系列の比較	130
3-4-3 流速場、浮遊砂濃度の解析結果と砂面形状変化の比較	132
3-4-4 入力波波高および砂粒径の差異による砂面形状変化の比較	193
3-4-5 砂移動による防潮堤への作用荷重への影響	199
3-5 第3章のまとめ	204
第4章 シミュレーション解析のまとめと考察	206
付録1 段波波圧及び持続波圧の評価方法	1
付録2 洗掘影響の把握解析	3

---



---

## 第 1 章 業務概要

### 1-1 業務の目的

平成 25 年 7 月、新規制基準や関連する審査ガイドが施行された。また、平成 25 年 11 月改正の核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律では、「発電用原子炉施設の安全性の向上のための評価」を事業者に求め、「原子力規制委員会で定める時期ごとに、当該発電用原子炉施設の安全性について、自ら評価をしなければならない」としている。さらに、平成 25 年 11 月策定の「実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド」では、新規制基準を適用したプラントの安全性向上を「外部事象に係る確率論的リスク評価（PRA）」等を用いて評価することが求められており、リスク評価に資する施設・設備のフラジリティ評価手法の高度化が必要となっている。

本事業は、防潮堤に関する耐津波設計・フラジリティ評価手法の高度化を目的に、必要に応じて水理試験及び解析を実施し、砂移動の影響を含む防潮堤の作用荷重に関する試験データを取得する。類似事業で取得した結果（無償貸与が可能な物品を参照）と併せて、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。

### 1-2 業務内容

#### (1) 全体概要

本事業では、防潮堤に作用する津波荷重に対する砂移動による影響の把握を行う。

#### (2) 砂移動による影響の把握

検討の手順は以下の通り。

##### (2-1) 類似事業で取得した知見の整理・分析（詳細は【I 類似事業で取得した知見の整理・分析】参照）

類似事業で得られた知見を基に、水理試験の再現性を解析により確認した砂移動条件等の範囲及び解析コードの適用範囲について、整理・分析する。

砂移動条件等とは、【I 類似事業で取得した知見の整理・分析】の 1-2 業務内容に示した通り、砂丘の粒径などの防潮堤前面砂丘に関する条件だけでなく、入力津波条件等の入力に関する条件設定も含める。

##### (2-2) 水理試験条件（詳細は【II 水理試験編】参照）及び解析条件の策定

(2-1) で整理した砂移動条件等を踏まえ、(2-3) で実施する水理試験条件及び解析条件を策定する。

実施条件の策定にあたっては、少なくとも下記の 2 項目について確認できる形とし、水理試験及び解析の最少試験ケース数は合計 72 ケースとする。

#### ① 再現解析の高度化

(2-1) で整理・分析した結果を踏まえ、水理試験結果に対する再現解析結果の再現性確保の観点から、水理試験及び（あるいは）再現解析に係る条件を策定すること。なお、再現解析条件の策定にあたっては、②の実機解析

---

条件についても適用可能なものとする。

## ② 実機縮尺による粒径変化の影響把握

①で策定した再現解析条件を適用し、礫を含む少なくとも3ケースの粒径についての実機解析（=1/1 縮尺解析）において、粒径変化に伴う防潮堤に対する作用荷重への影響を把握する実機解析条件を策定する。

### (2-3) 砂移動影響に関する水理試験及び解析の実施

水理試験を実施する場合、(2-2)①で策定した試験条件に基づいて水理試験を実施し、砂移動による防潮堤への作用荷重に関する水理試験データを取得し、整理・分析すること。水理試験データとしては、少なくとも防潮堤に作用する波圧、土圧及び砂移動の状況等を計測する。

(2-2)①で策定した再現解析条件に基づいた再現解析を実施し、水理試験結果を適切に再現できることを確認・検証する。

(2-2)②で策定した実機解析条件に基づいた実機解析を実施し、粒径変化に伴う防潮堤に対する作用荷重への影響に係る影響を整理・分析する。

### (2-4) 砂移動による影響の把握

水理試験で計測されたデータ、解析で得られたデータ、類似事業で得られた知見等を整理・分析し、砂移動による防潮堤の作用荷重への影響を把握する。水理試験の再現性を解析により確認した範囲及び解析コードの適用範囲について整理するとともに、砂移動による防潮堤の作用荷重への影響が現れる砂移動条件等についても分析する。

## 1-3 シミュレーション解析の概要

耐津波設計・脆弱性評価手法の高度化に資することを目的に、水理模型試験結果を対象とした完全三次元流体解析モデル（H-FRESH）による数値シミュレーションを実施することで、防潮堤に作用する津波荷重に対する砂丘の影響を考慮した波力に関するデータを取得する。

## 1-4 対象とする水理試験の概要

津波波力を受ける防潮堤を対象とする水理試験を実施し、防潮堤（堤体模型）に作用する津波荷重に対する砂丘の影響を考慮した津波波力特性に関する試験データを取得している（詳細は【II 水理試験編】参照）。

### (1) 水理試験模型

水理試験模型の概要を図 1-4-1 に示す。海底地形は単純勾配（勾配 1/10）としている。

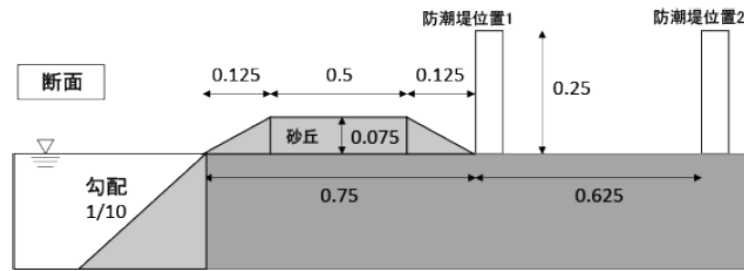


図 1-4-1 水理試験模型の概要図

(2) 試験水槽 (津波再現水槽)

水理試験に用いた水槽は、長さ 45m、幅 4.0m、水深 0.8m の津波再現水槽である。図 1-4-2 に試験水槽の概要を示す。

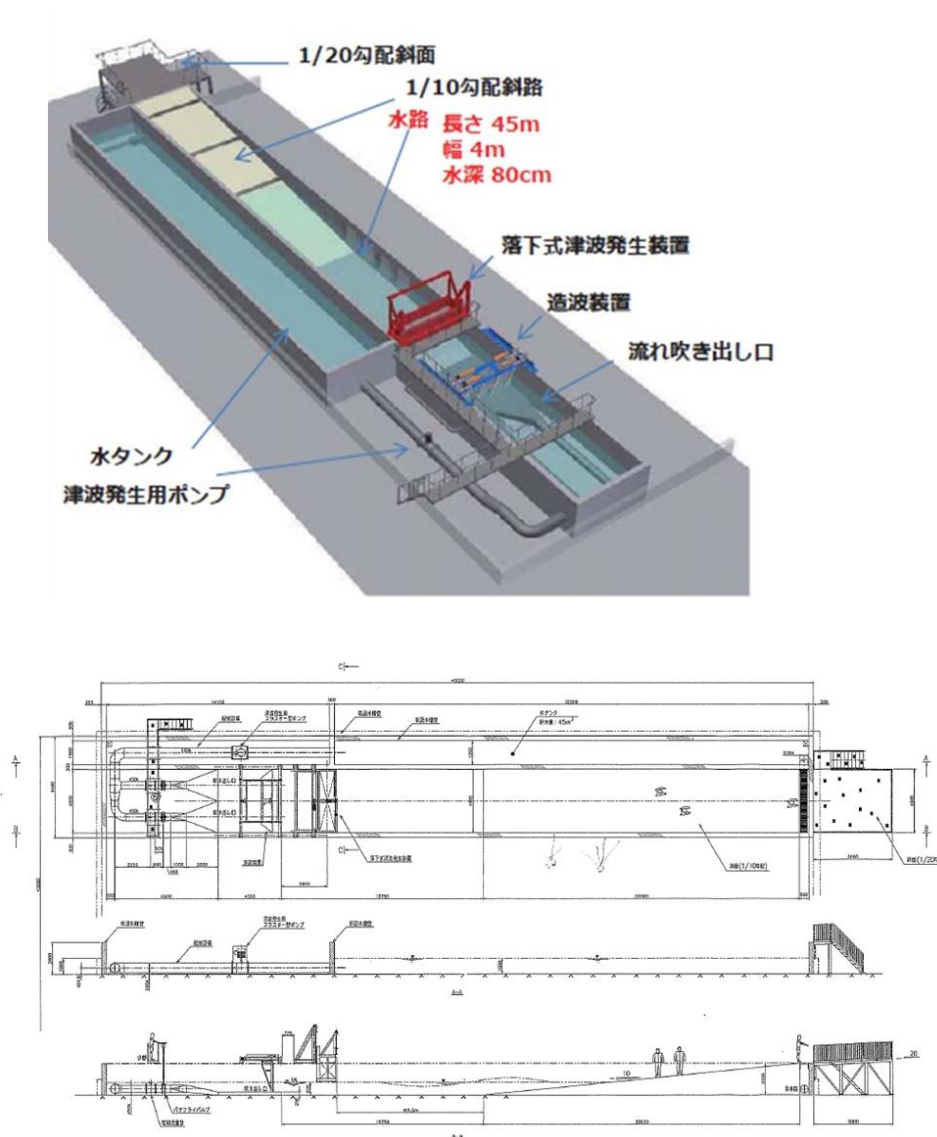


図 1-4-2 試験水槽 (津波再現水槽)

### (3) 計測機器設置位置

図 1-4-3 に試験に用いた計測機器及びその設置位置を示す。図 1-4-3 に示すように、水位計の位置は wave01～wave06，流速計の位置は Velo-6 である。図 1-4-4 に水位計設置状況を示す。

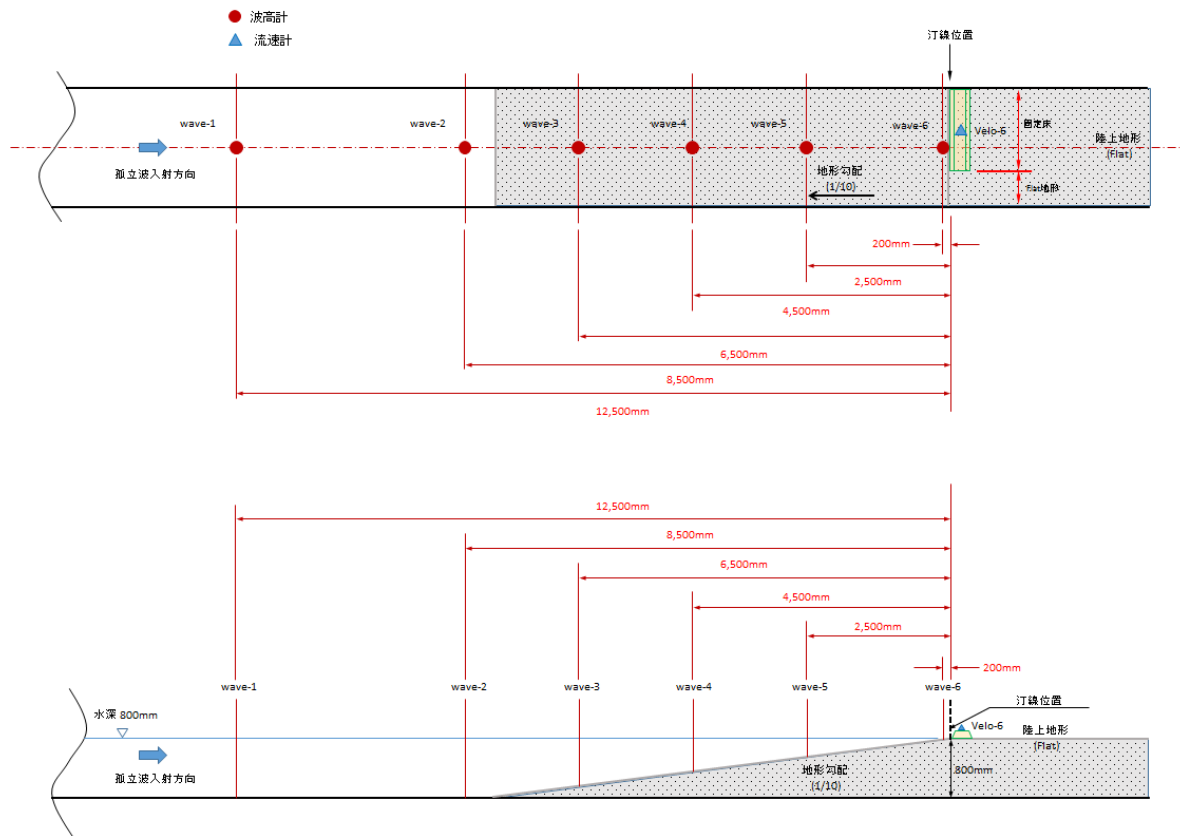


図 1-4-3 試験に用いた計測機器及びその設置位置



図 1-4-4 水位計設置状況

---

図 1-4-5 は、図 1-4-1 の防潮堤に対して波圧計の設置位置を示したものである。図 1-4-5 に示すように、防潮堤の上部と下部を 2cm 空け、等間隔になるように設置している。

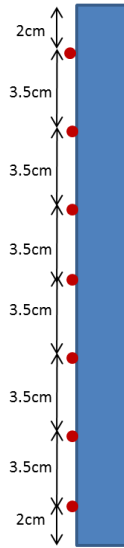


図 1-4-5 波圧計の設置位置

## 第2章 再現解析の高度化に向けた感度解析

### 2-1 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感度分析を行って、解析手法の傾向などを確認し、再建精度の向上に資する。

### 2-2 感度解析条件

表 2-2-1 に感度解析を行った全 9 ケースの一覧を示す。

表 2-2-1 感度解析ケース一覧

ケース名	入力波	入力波波高	堤体位置	砂粒径	解析時間
Case 1	孤立波	7.5cm	汀線-75cm	0.23mm	15s
Case 2		12.5cm			
Case 3		20.0cm			
Case 4		7.5cm	汀線-137.5cm		
Case 5		12.5cm			
Case 6		20.0cm			
Case 7		7.5cm	なし		
Case 8		12.5cm			
Case 9		20.0cm			

計算メッシュは、図 2-2-1 の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、計算メッシュサイズを 1cm に設定した。横断方向のメッシュ分割は、津波の横断方向の変化が少ないことから、計算メッシュサイズを 4m に設定した。



## 2-3 感度解析結果

### 2-3-1 防潮堤に作用する波圧の時系列

防潮堤計測地点（図 1-4-3 参照）における Case1～Case6 の波圧時系列のグラフを図 2-3-1-1～図 2-3-1-12 に示す。すなわち，各図の(a)～(g)は，防潮堤最下部から 2.0, 5.5, 9.0, 12.5, 16.0, 19.5, 23.0cm の計測高における波圧時系列分布である。

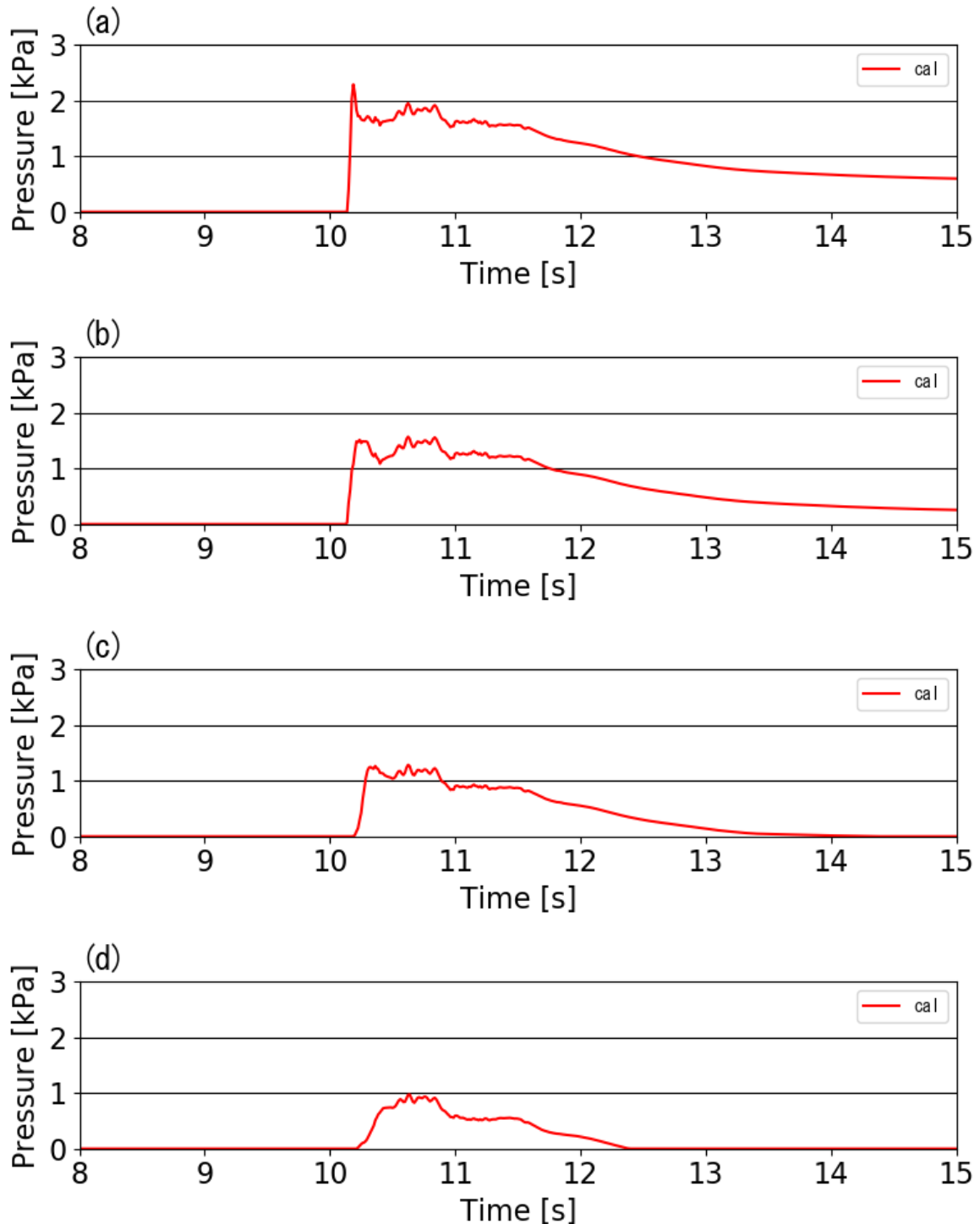


図 2-3-1-1 Case1 における波圧時系列(1/2)

【孤立波 7.5cm, 汀線-75cm, 計測高(a)2.0cm,(b)5.5cm,(c)9.0cm,(d)12.5cm】

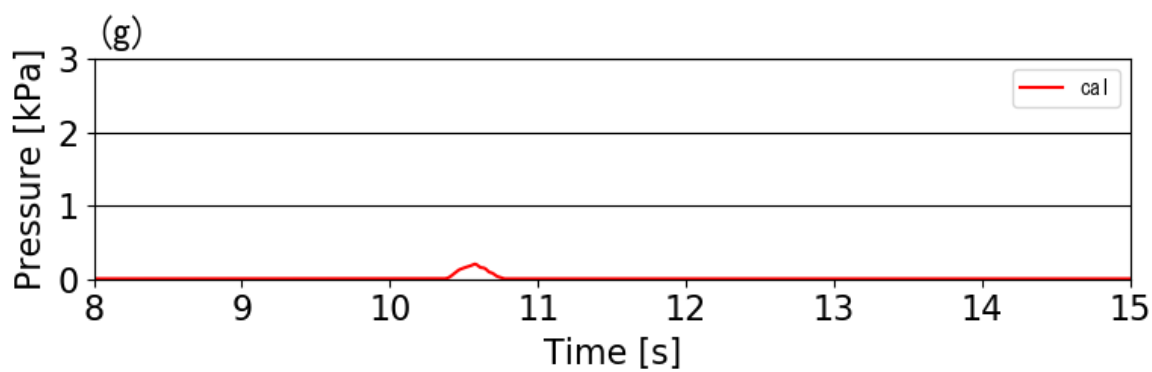
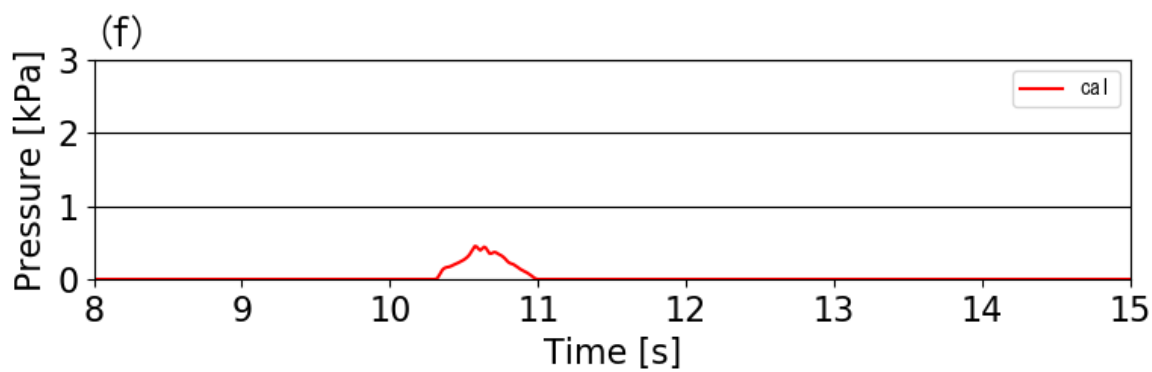
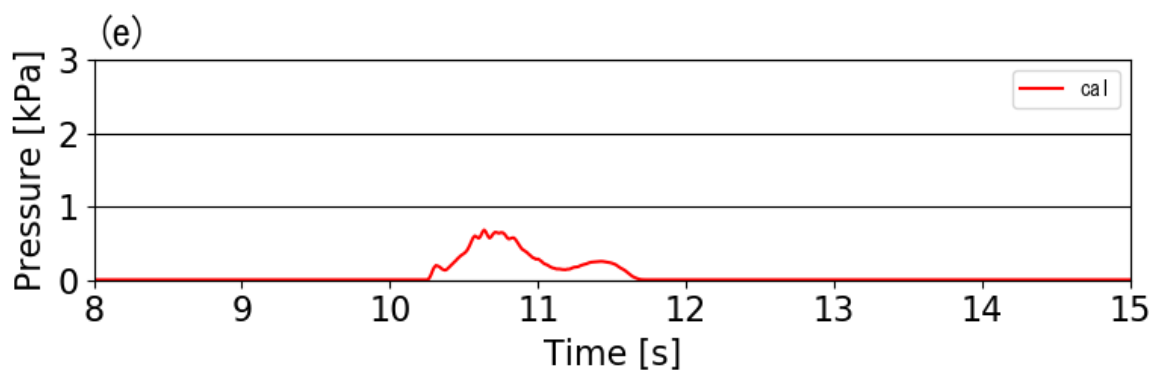


図 2-3-1-2 Case1 における波圧時系列(2/2)  
【孤立波 7.5cm, 汀線-75cm, 計測高(e)16.0cm,(f)19.5cm,(g)23.0cm】

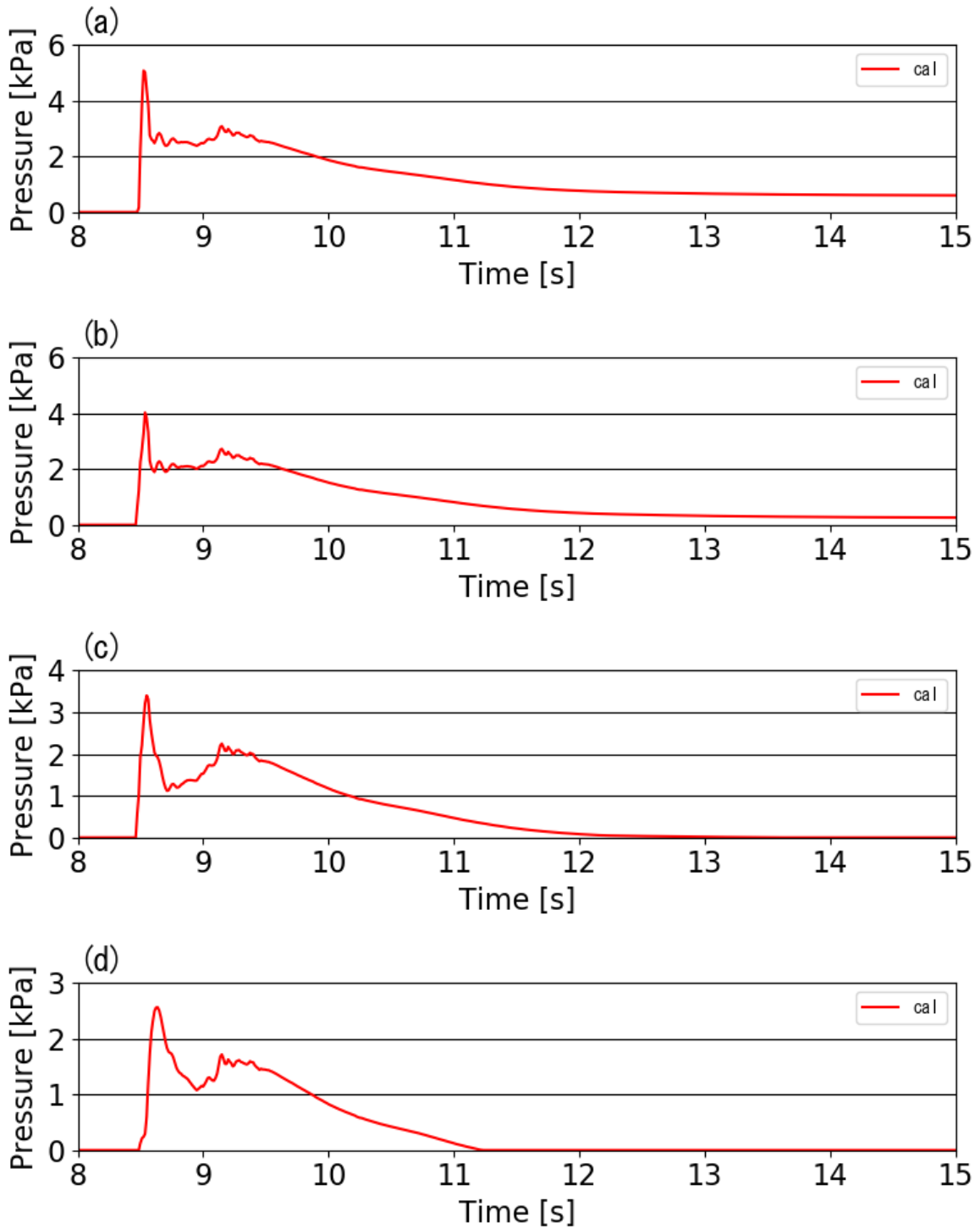


図 2-3-1-3 Case2 における波圧時系列(1/2)

【孤立波 12.5cm, 汀線-75cm, 計測高(a)2.0cm,(b)5.5cm,(c)9.0cm,(d)12.5cm】

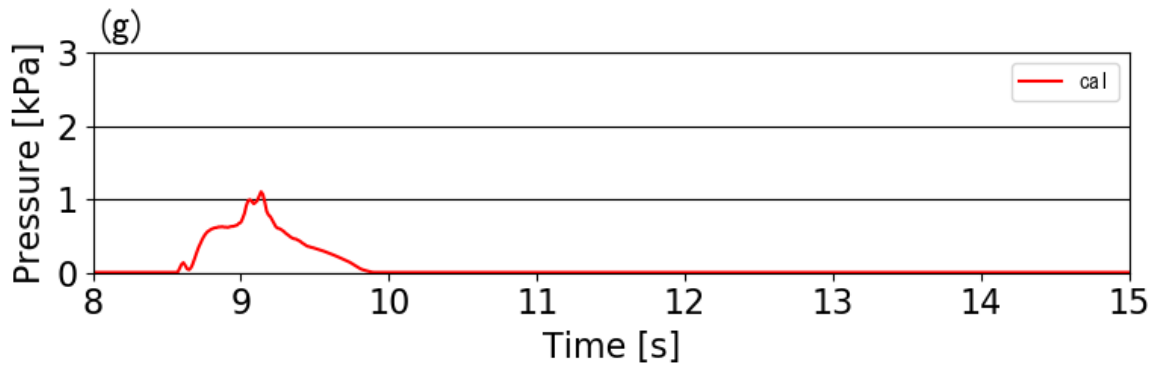
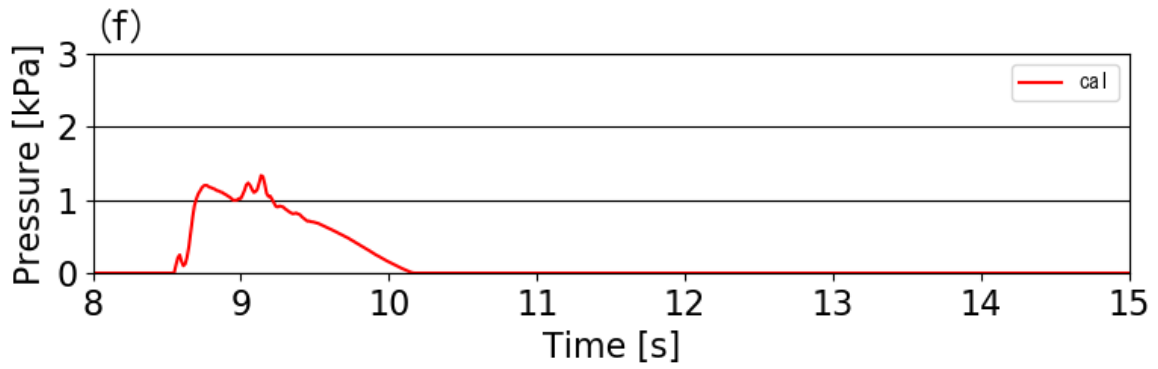
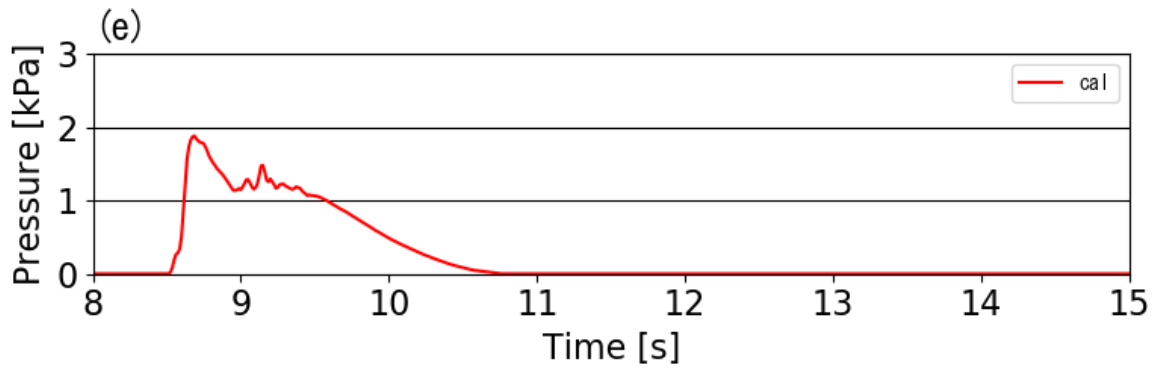


図 2-3-1-4 Case2 における波圧時系列(2/2)

【孤立波 12.5cm, 汀線-75cm, 計測高(e)16.0cm,(f)19.5cm,(g)23.0cm】

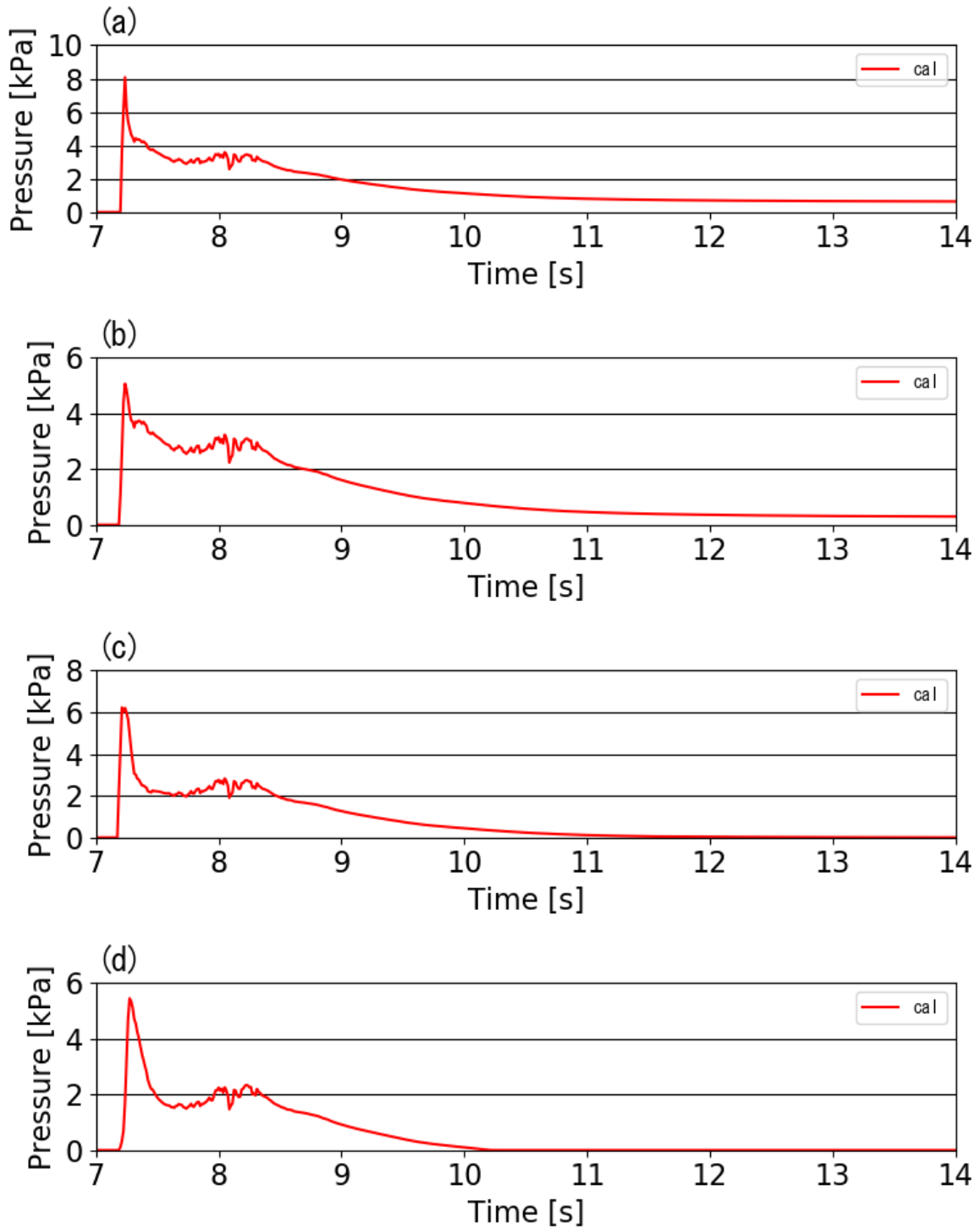


図 2-3-1-5 Case3 における波圧時系列(1/2)

【孤立波 20.0cm, 汀線-75cm, 計測高(a)2.0cm,(b)5.5cm,(c)9.0cm,(d)12.5cm】

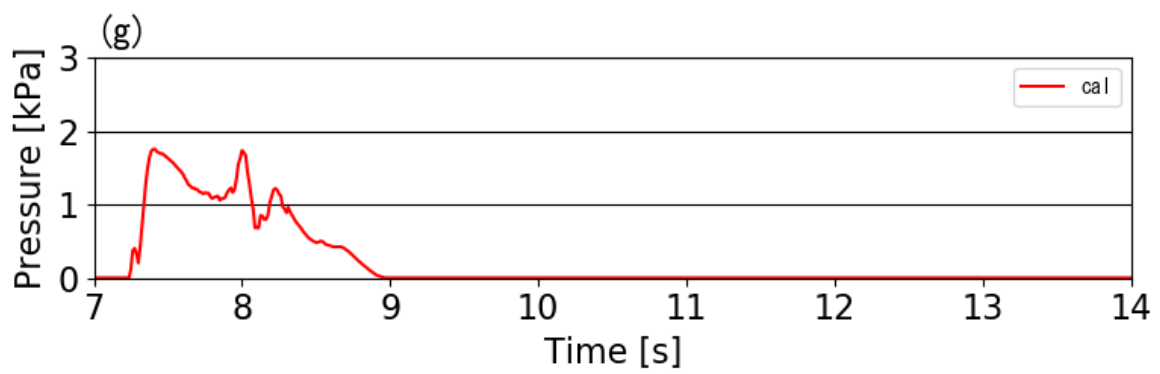
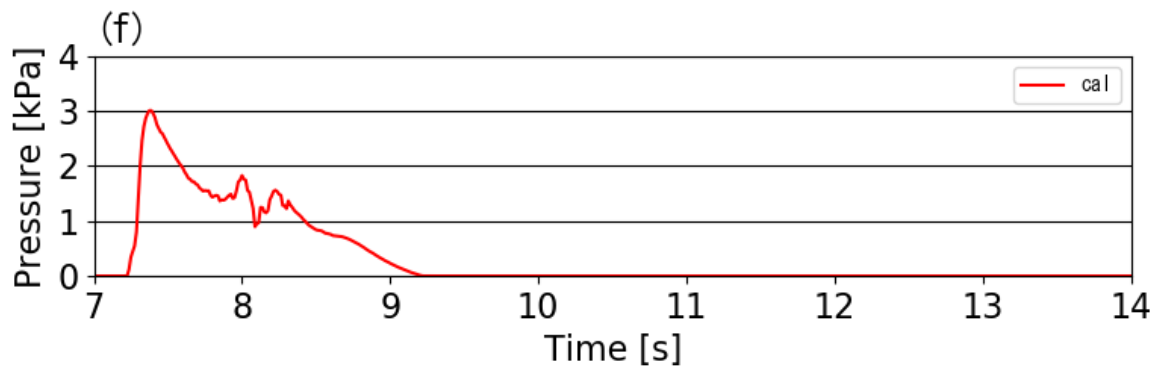
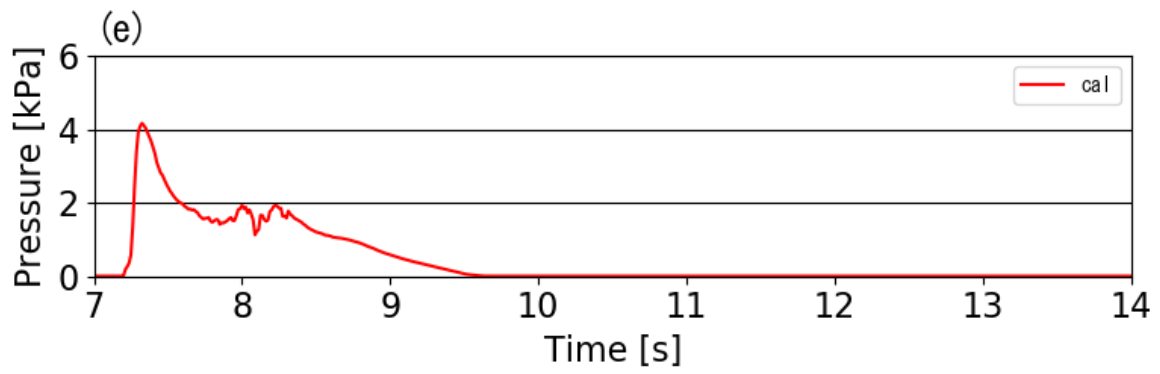


図 2-3-1-6 Case3 における波圧時系列(2/2)  
【孤立波 20.0cm, 汀線-75cm, 計測高(e)16.0cm,(f)19.5cm,(g)23.0cm】

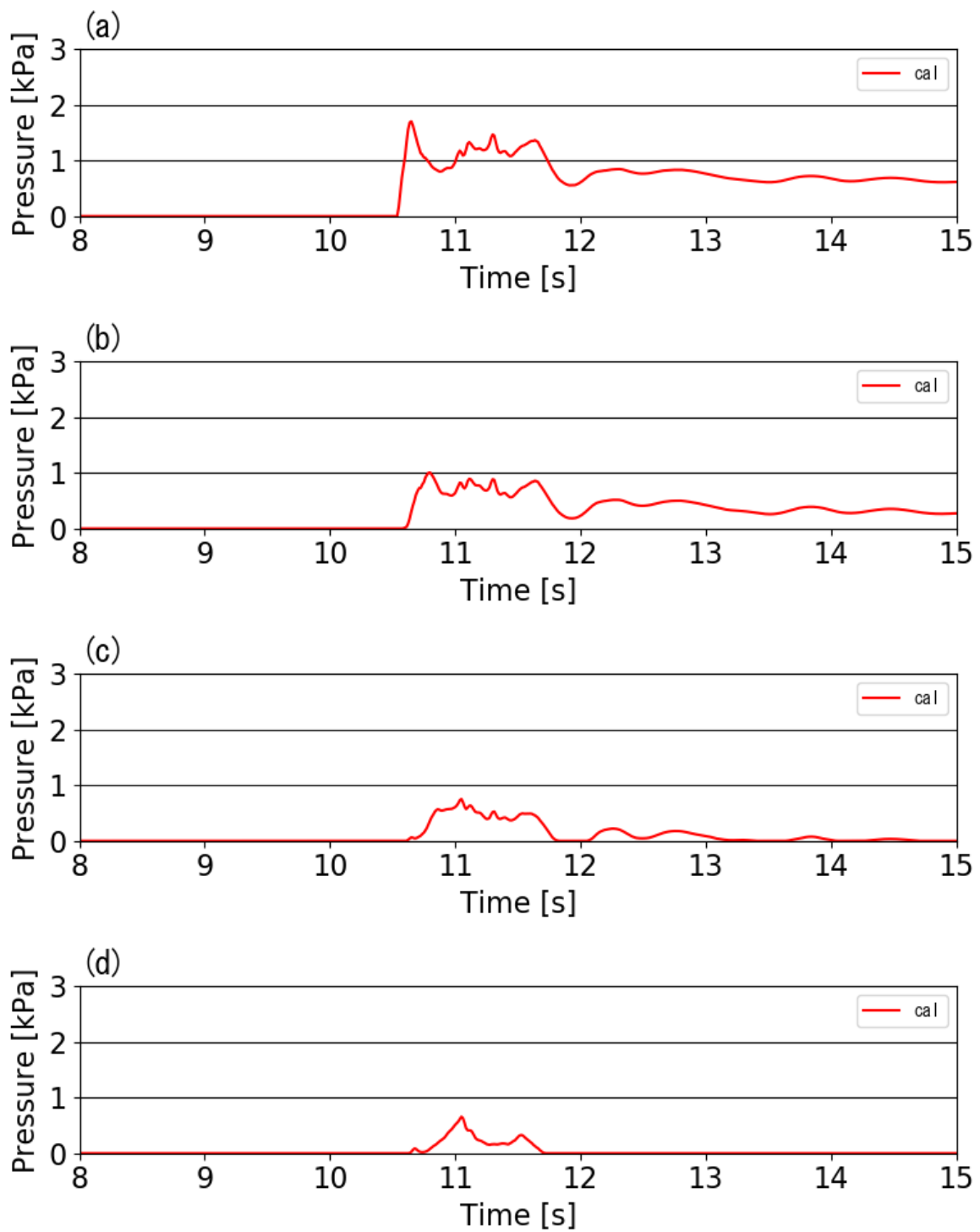


図 2-3-1-7 Case4 における波圧時系列(1/2)

【孤立波 7.5cm, 汀線-137.5cm, 計測高(a)2.0cm,(b)5.5cm,(c)9.0cm,(d)12.5cm】

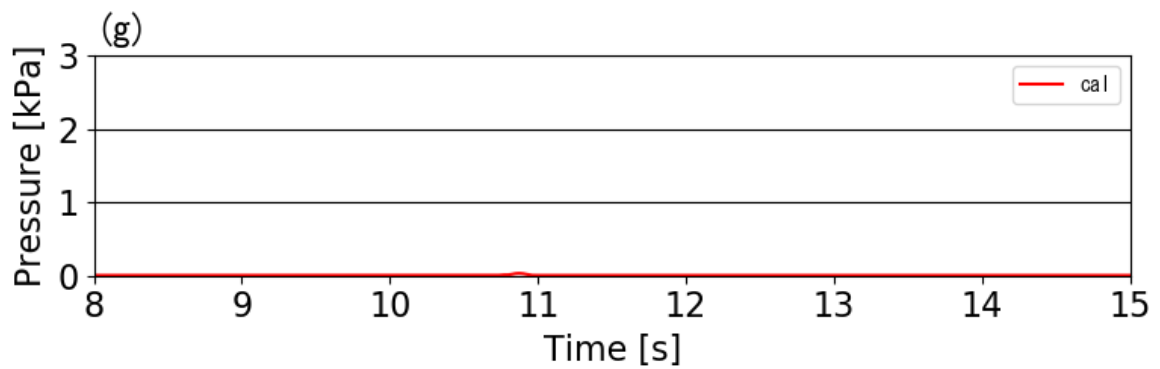
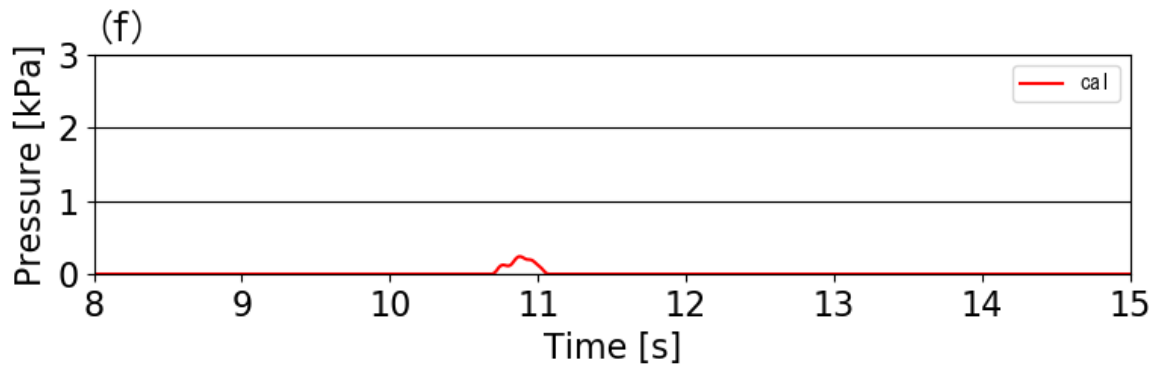
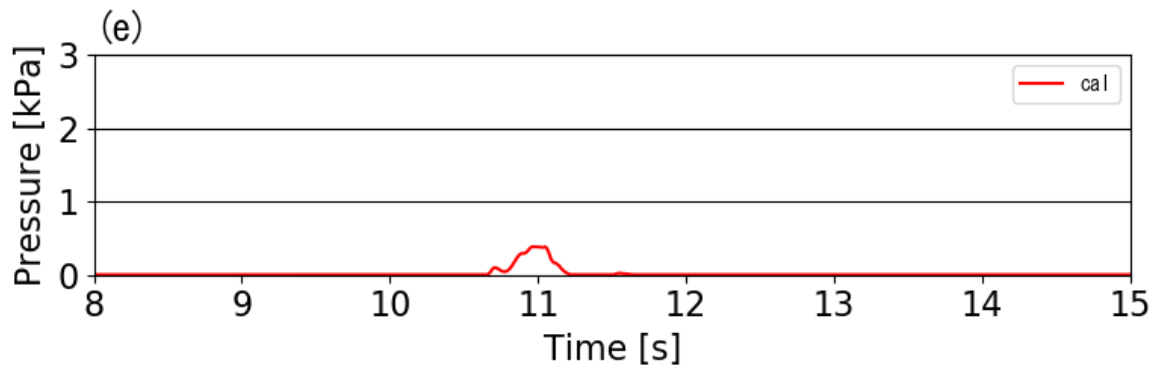


図 2-3-1-8 Case4 における波圧時系列(2/2)

【孤立波 7.5cm, 汀線-137.5cm, 計測高(e)16.0cm,(f)19.5cm,(g)23.0cm】



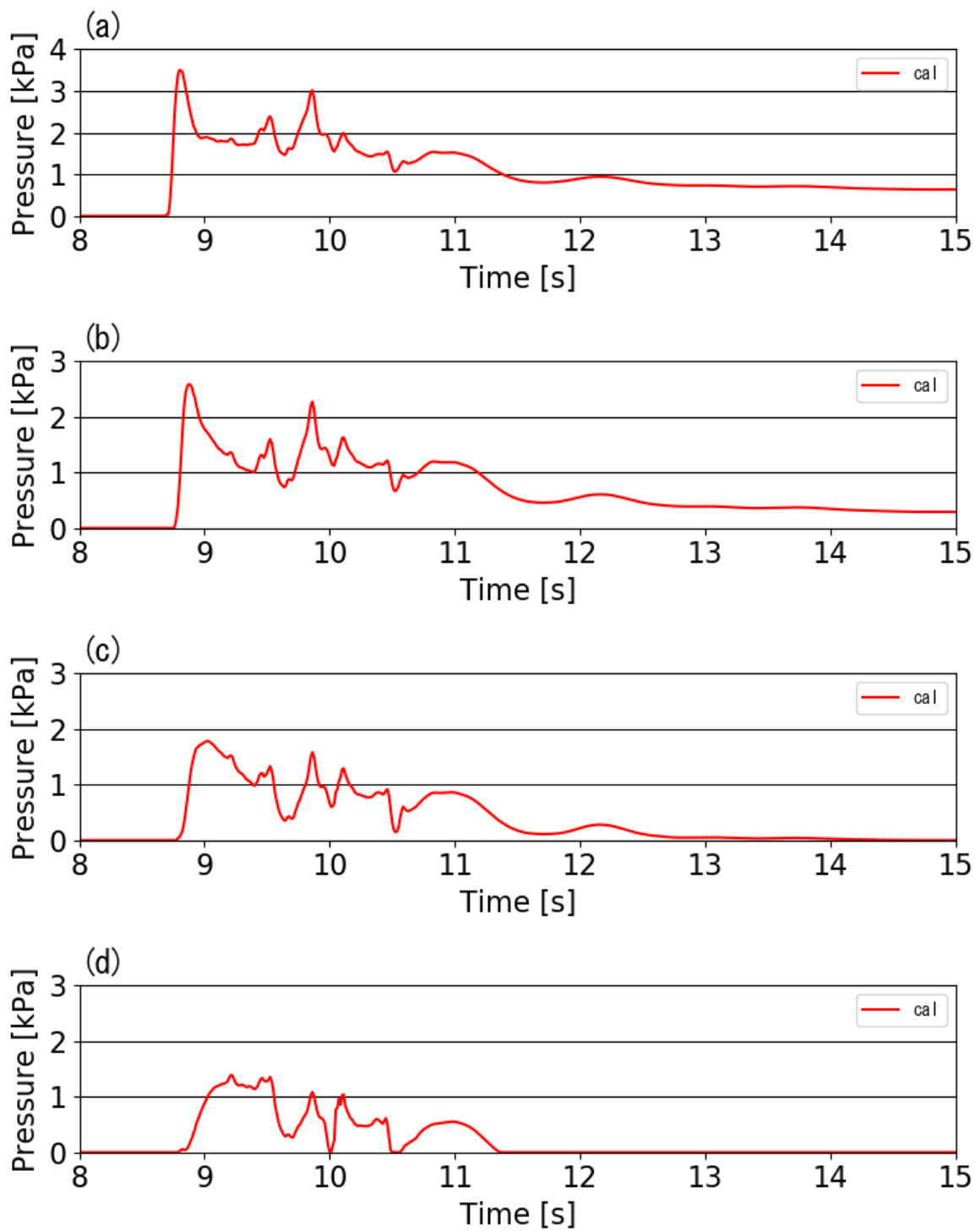


図 2-3-1-9 Case5 における波圧時系列(1/2)

【孤立波 12.5cm, 汀線-137.5cm, 計測高(a)2.0cm,(b)5.5cm,(c)9.0cm,(d)12.5cm】

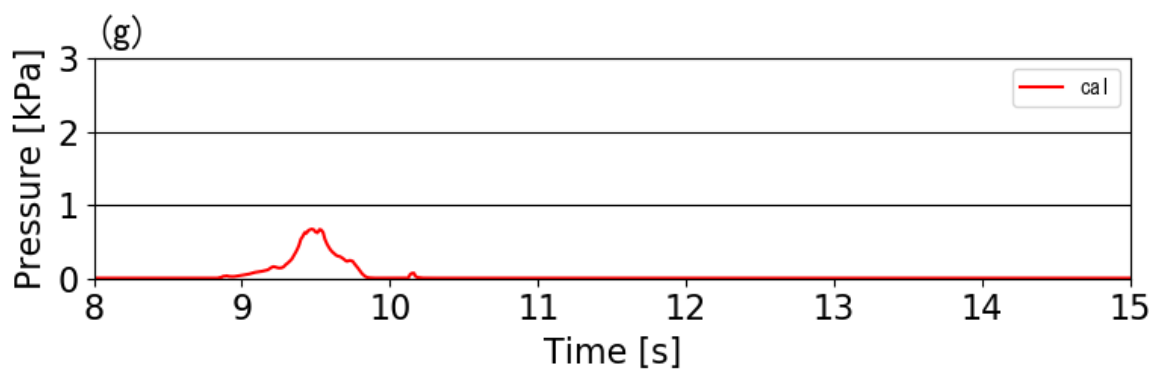
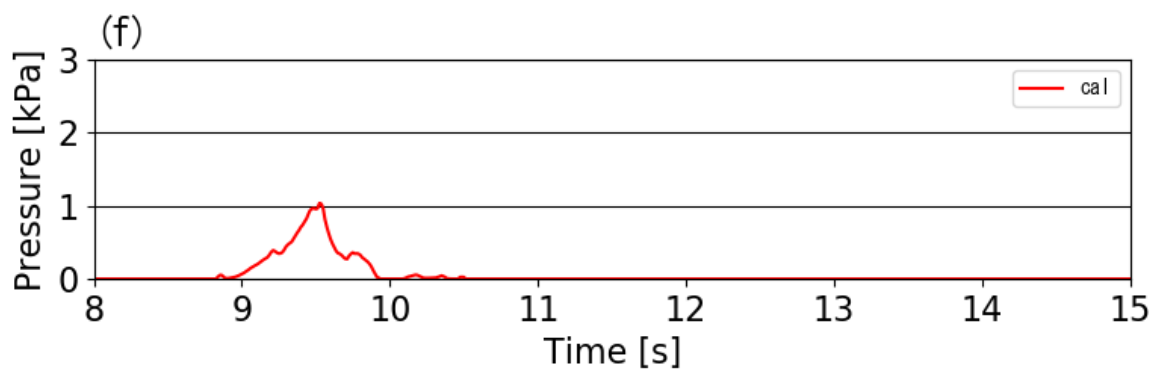
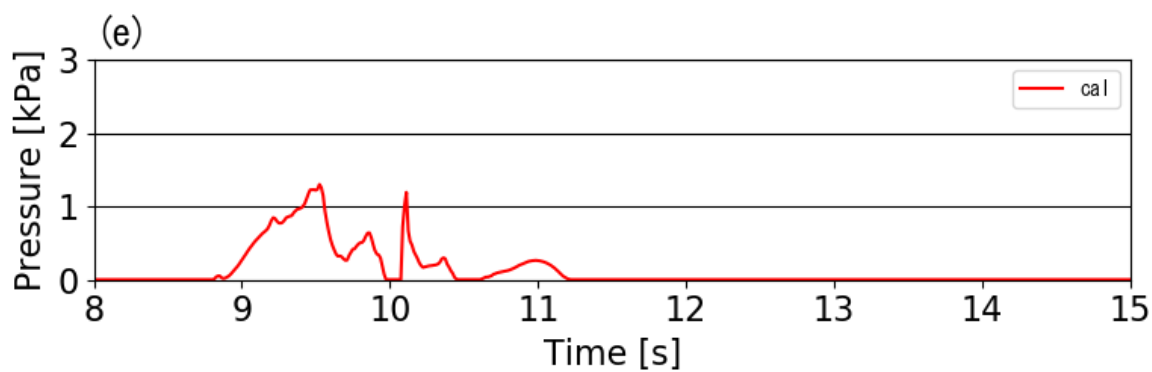


図 2-3-1-10 Case5 における波圧時系列(2/2)

【孤立波 12.5cm, 汀線-137.5cm, 計測高(e)16.0cm,(f)19.5cm,(g)23.0cm】

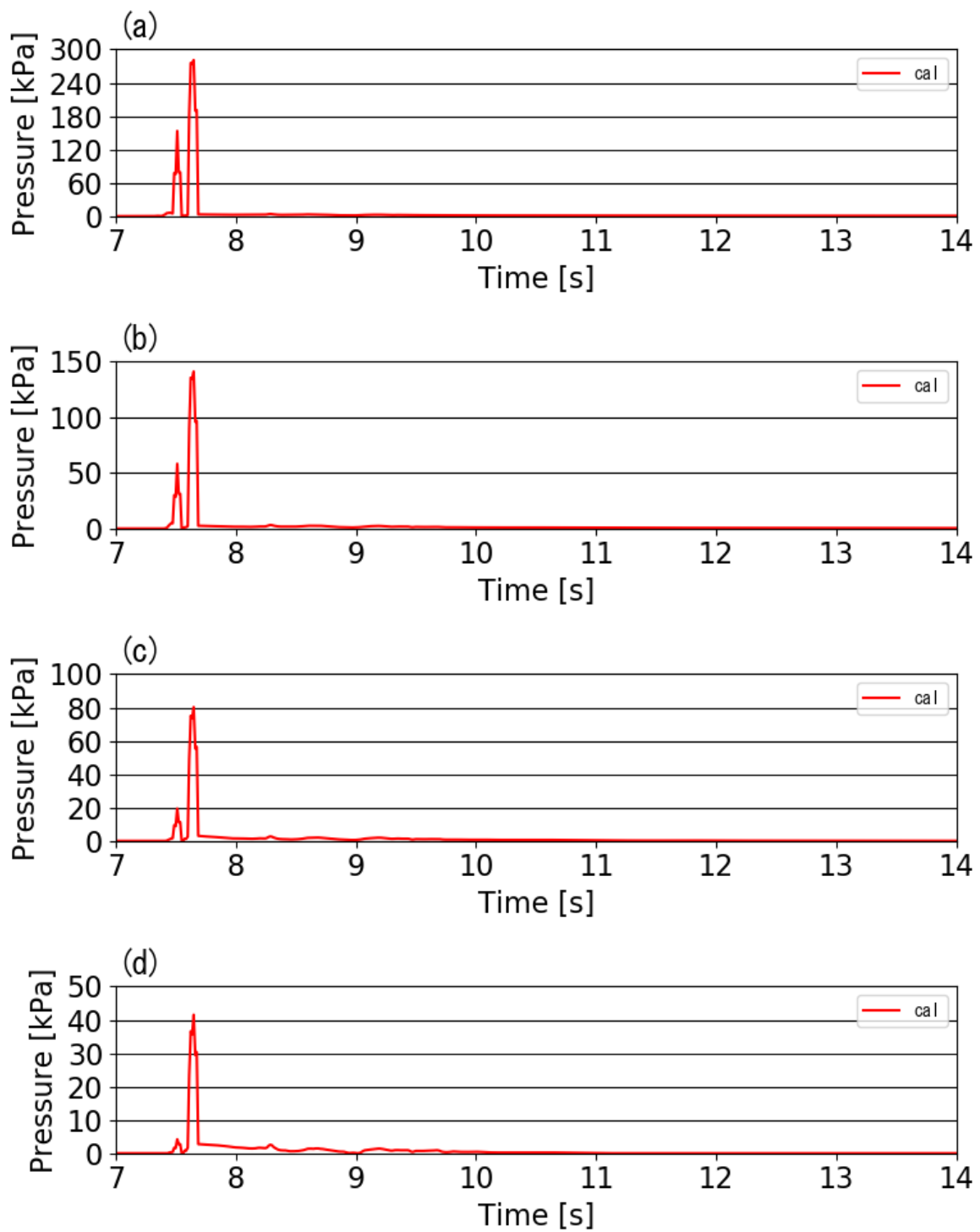


図 2-3-1-11 Case6 における波圧時系列(1/2)

【孤立波 20.0cm, 汀線-137.5cm, 計測高(a)2.0cm,(b)5.5cm,(c)9.0cm,(d)12.5cm】

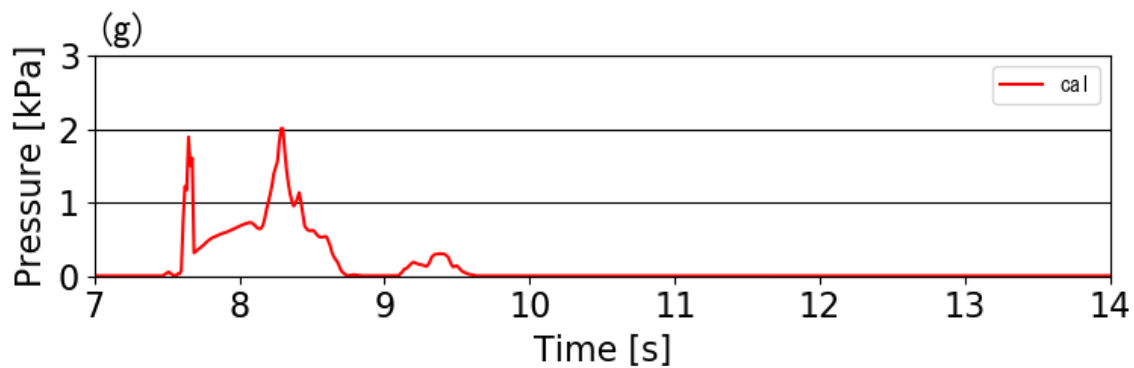
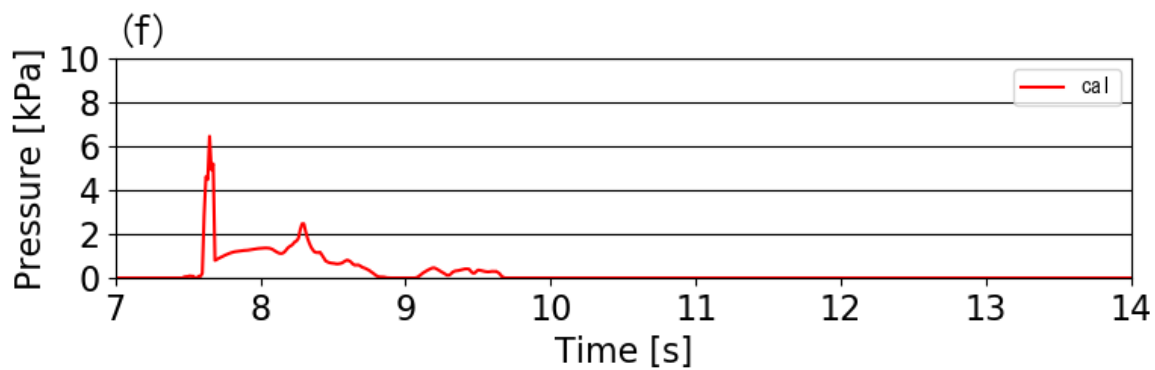
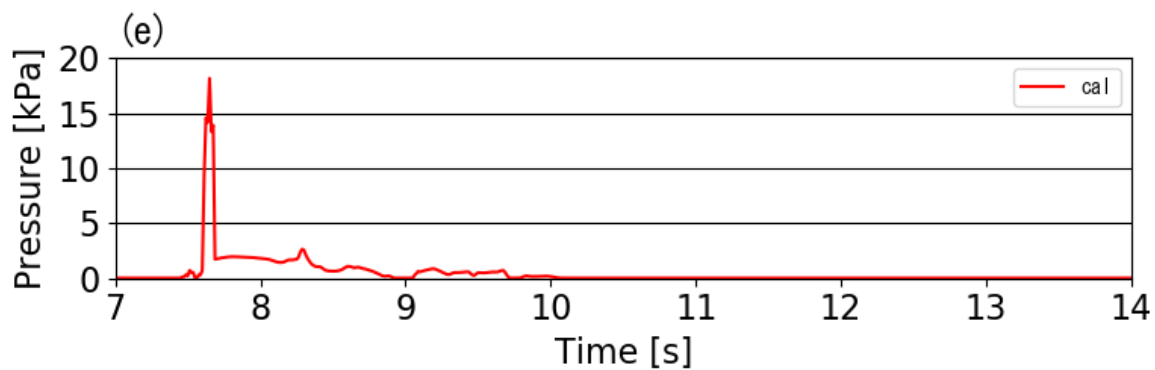


図 2-3-1-12 Case6 における波圧時系列(2/2)  
【孤立波 20.0cm, 汀線-137.5cm, 計測高(e)16.0cm,(f)19.5cm,(g)23.0cm】

---

## 2-3-2 防潮堤に作用する段波波圧と持続波圧

付録1の考え方に基づき、2-3-1の波圧時系列から段波波圧と持続波圧の最大値を算出する。表2-3-2-1にCase1～Case6の波圧時系列の段波波圧開始、持続波圧開始の各時刻を示す。なお、持続波圧の継続時間は計算終了時刻までとした。

表 2-3-2-1 段波波圧及び持続波圧の開始時刻

ケース名	段波波圧開始時刻	持続波圧開始時刻
Case1	10.1sec	10.5sec
Case2	8.5sec	8.8sec
Case3	7.2sec	7.5sec
Case4	10.6sec	10.9sec
Case5	8.7sec	9.1sec
Case6	7.3sec	7.9sec

(1) 段波波圧の最大値

図 2-3-2-1 は Case1~Case3 の防潮堤位置が汀線-75cm の場合の段波波圧最大値, 図 2-3-2-2 は Case4~Case6 の防潮堤位置が汀線-137.5cm の場合の段波波圧最大値を示す.

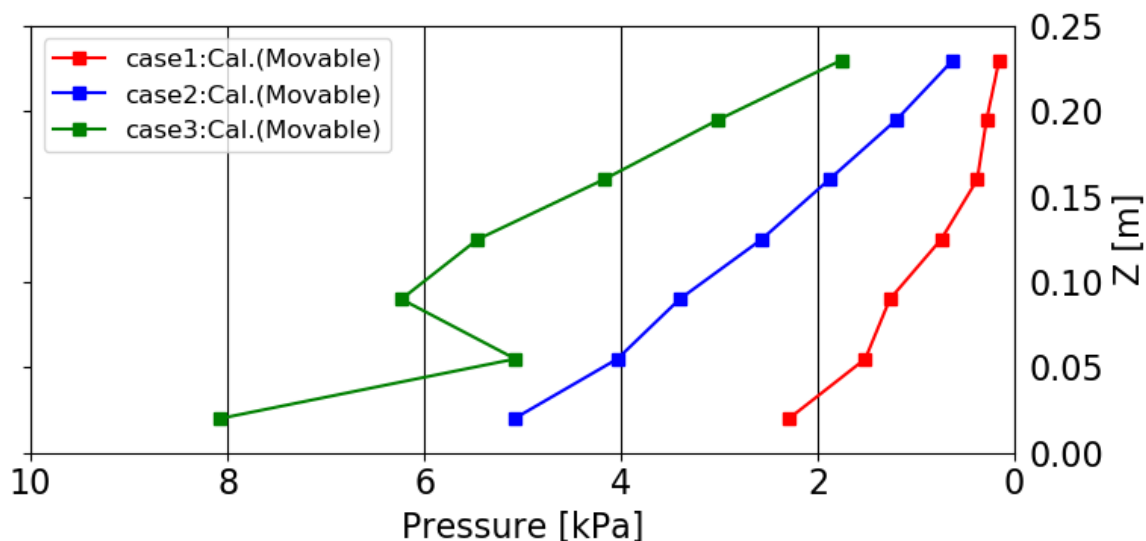


図 2-3-2-1 Case1~3 における防潮堤に作用する段波波圧の最大値

【防潮堤位置：汀線-75cm】

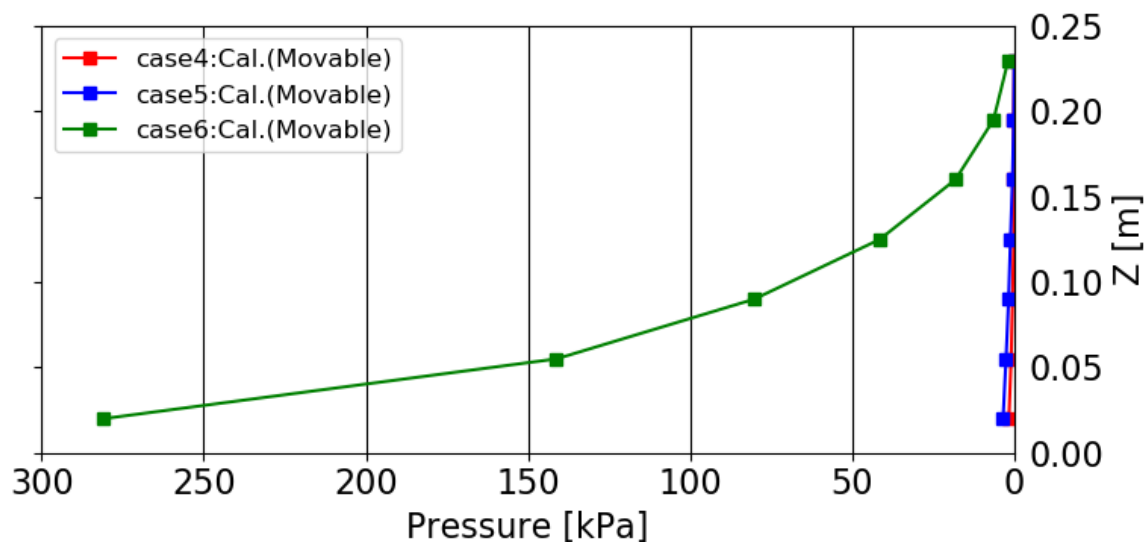


図 2-3-2-2 Case4~6 における防潮堤に作用する段波波圧の最大値

【防潮堤位置：汀線-137.5cm】

## (2) 持続波圧の最大値

図 2-3-2-3 は Case1~Case3 の防潮堤位置が汀線-75cm の場合の持続波圧最大値を示し, 図 2-3-2-4 は Case4~Case6 の防潮堤位置が汀線-137.5cm の場合の持続波圧最大値を示す.

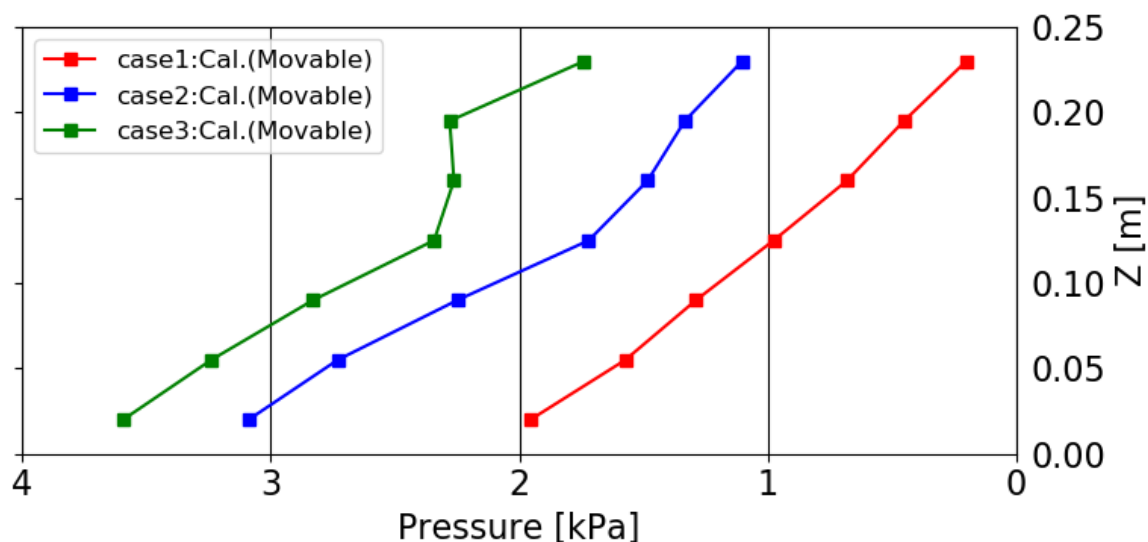


図 2-3-2-3 Case1~3 における防潮堤に作用する持続波圧の最大値  
【防潮堤位置：汀線-75cm】

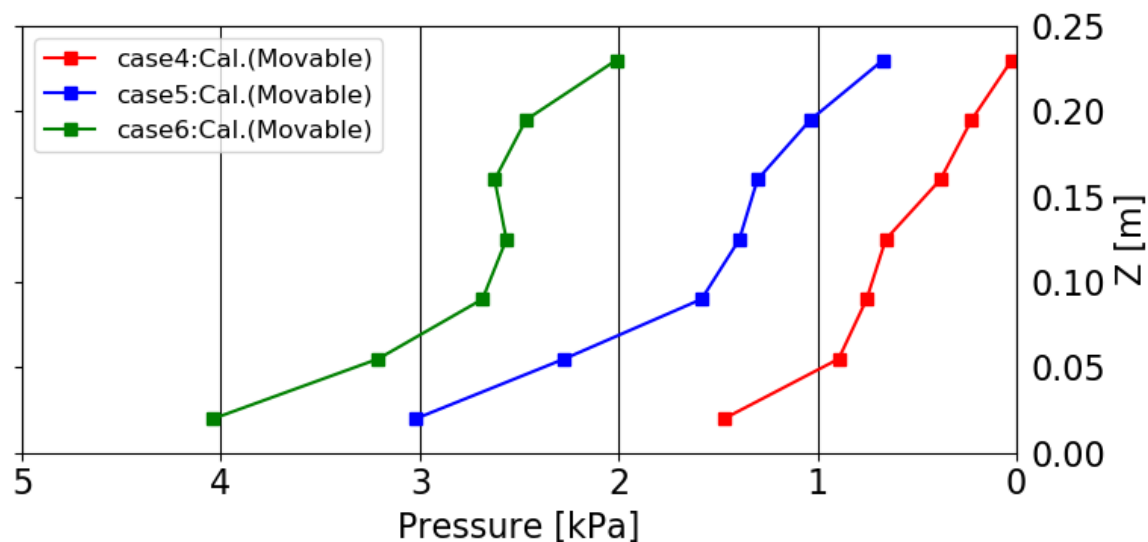


図 2-3-2-4 Case4~6 における防潮堤に作用する持続波圧の最大値  
【防潮堤位置：汀線-137.5cm】

### 2-3-3 流速場，浮遊砂濃度の解析結果

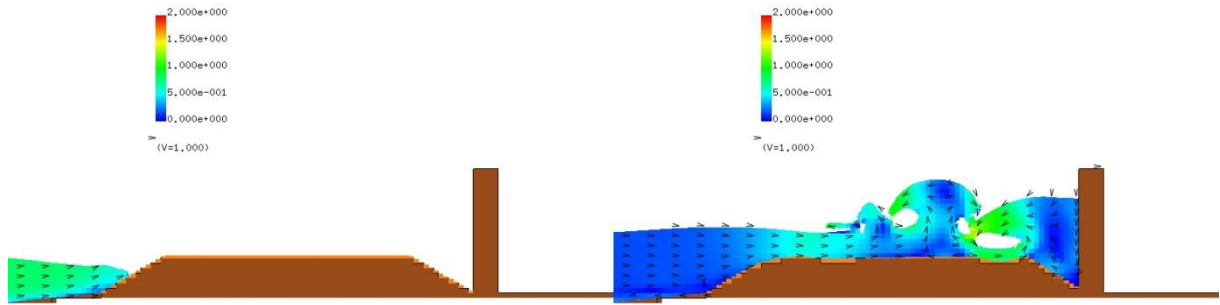
Case1～Case9 における流速場，浮遊砂濃度分布の計算結果を示す。

(1) Case1 (入力波高：7.5cm，防潮堤位置：汀線-75cm)

図 2-3-3-1 に，Case1 の断面二次元流速スナップショットを示す。

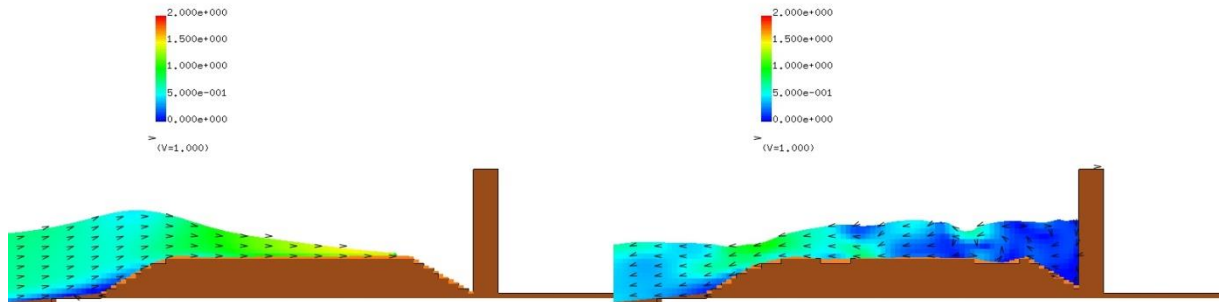
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

T= 11.00127 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= 12.00093 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= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

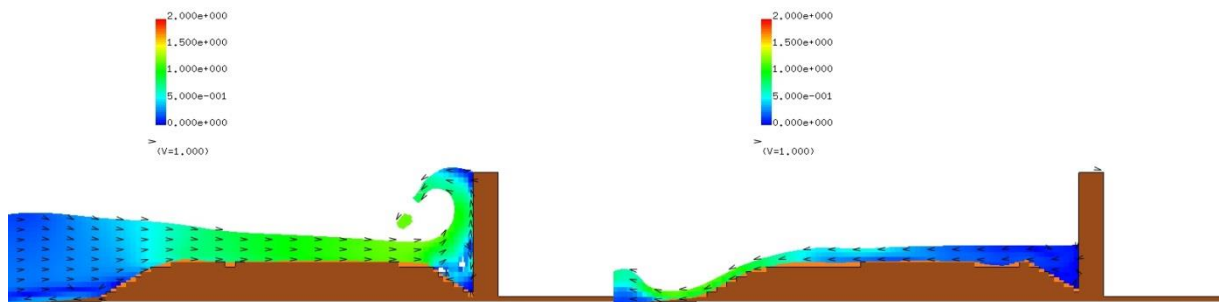


図 2-3-3-1 Case1 の断面二次元流速スナップショット

【入力波高：7.5cm，防潮堤位置：-75cm】



図 2-3-3-2 に、Case1 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

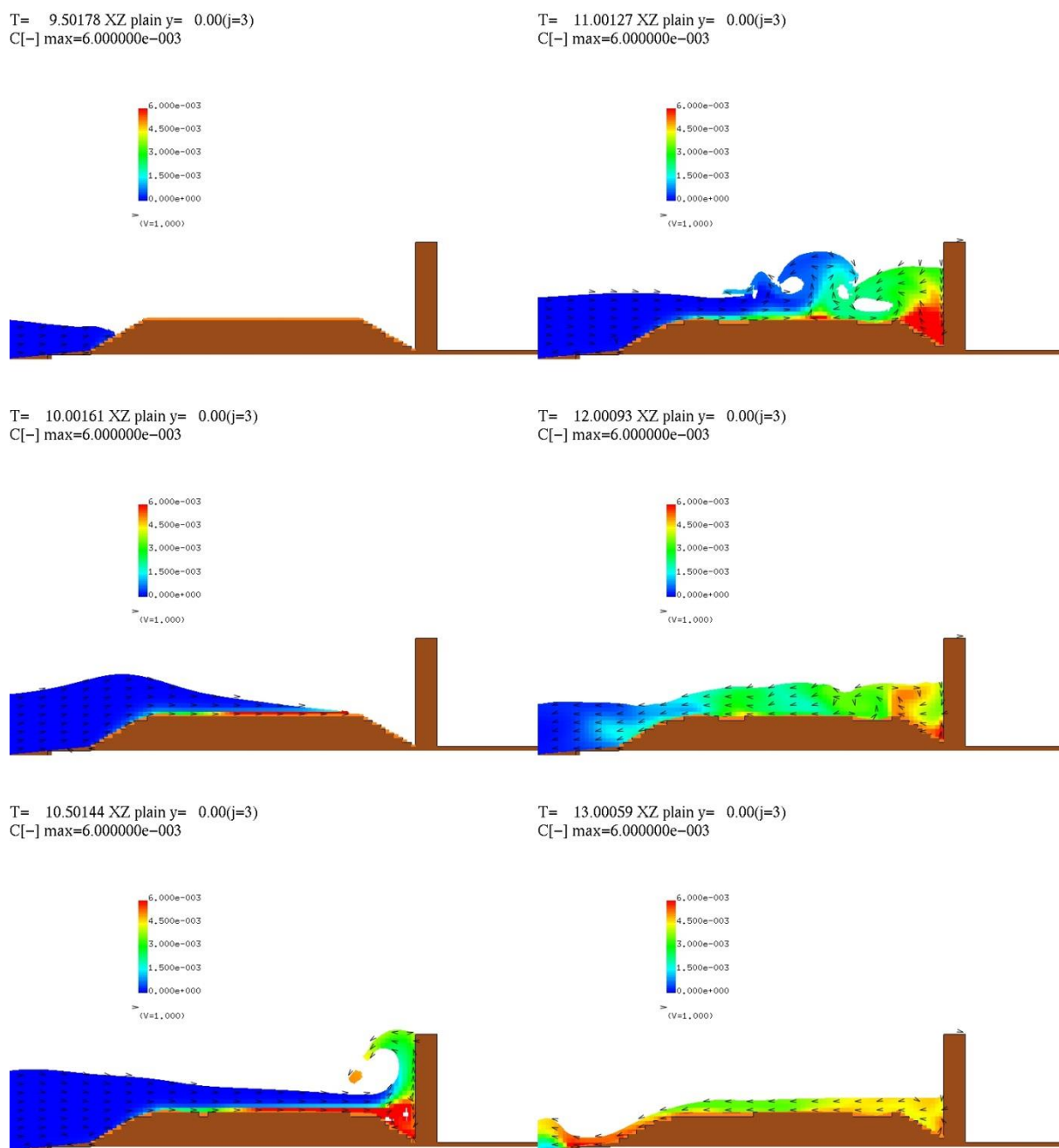


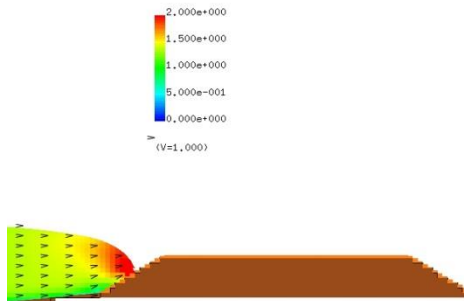
図 2-3-3-2 Case1 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【入力波高：7.5cm，防潮堤位置：-75cm】

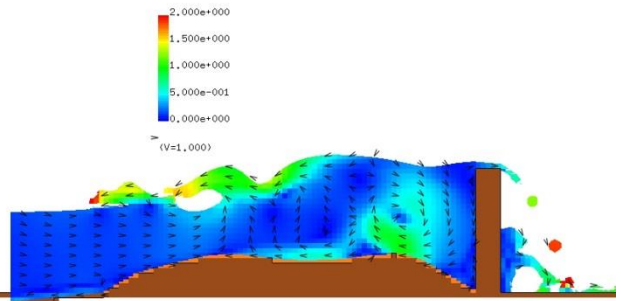
(2) Case2 (入力波高 : 12.5cm, 防潮堤位置 : 汀線-75cm)

図 2-3-3-3 に, Case2 の断面二次元流速スナップショットを示す.

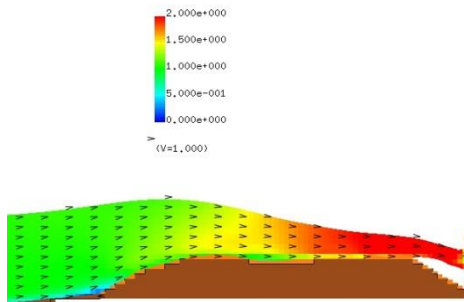
T= 8.15223 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



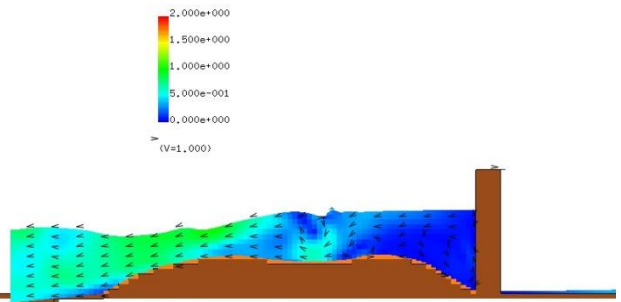
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



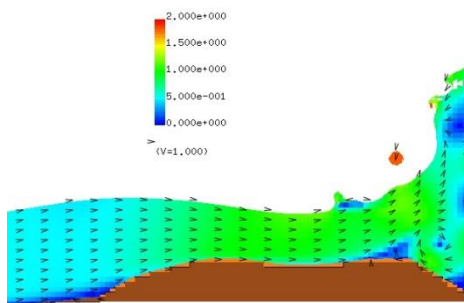
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



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



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



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

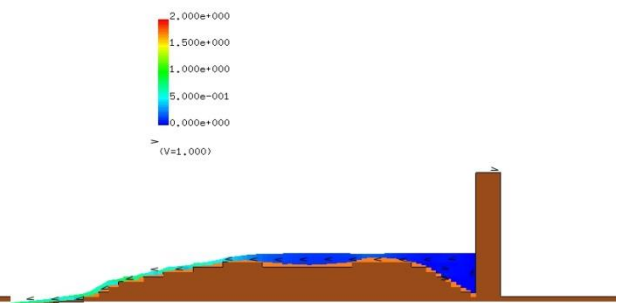
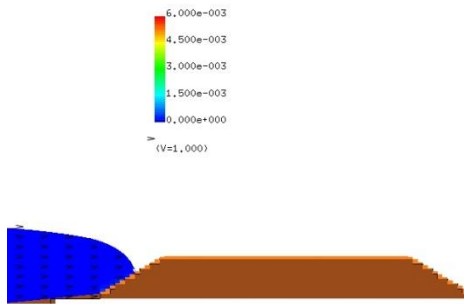


図 2-3-3-3 Case2 の断面二次元流速スナップショット

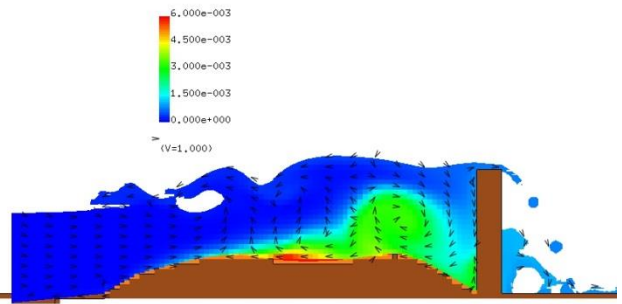
【入力波高 : 12.5cm, 防潮堤位置 : -75cm】

図 2-3-3-4 に, Case2 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す.

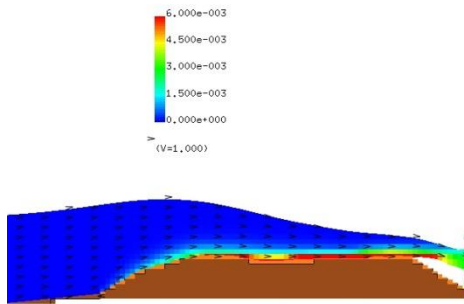
T= 8.15223 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



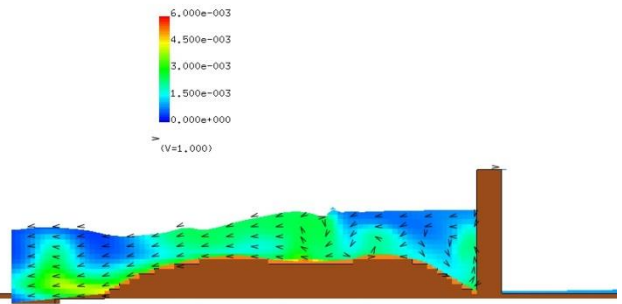
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



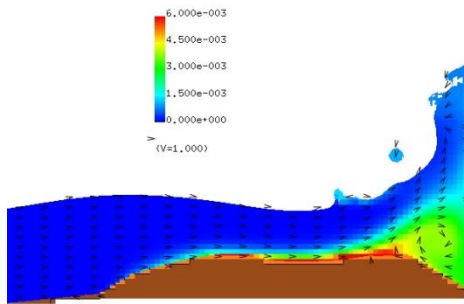
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 9.00195 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

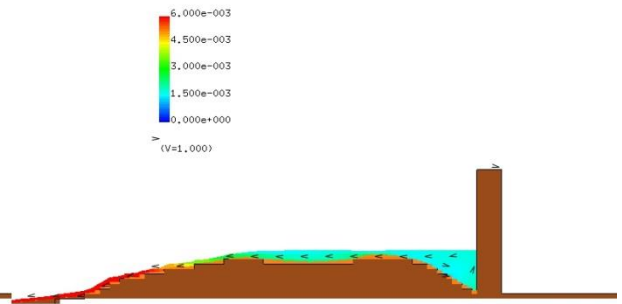


図 2-3-3-4 Case2 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【入力波高 : 12.5cm, 防潮堤位置 : -75cm】

(3) Case3 (入力波高 : 20.0cm, 防潮堤位置 : 汀線-75cm)

図 2-3-3-5 は, Case3 の断面二次元流速スナップショットを示す.

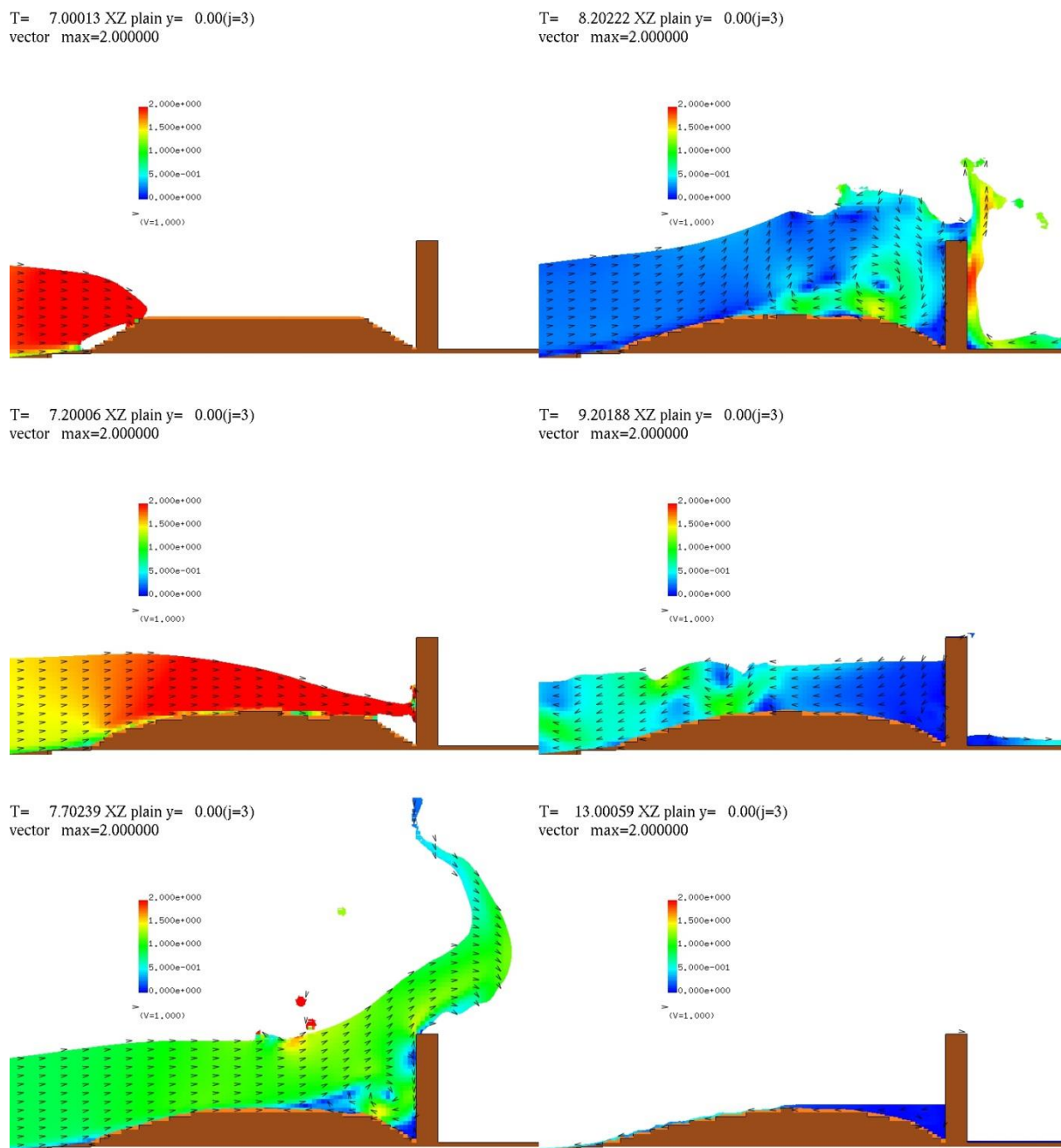
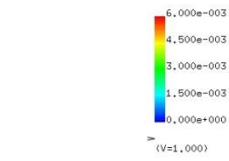


図 2-3-3-5 Case3 の断面二次元流速スナップショット

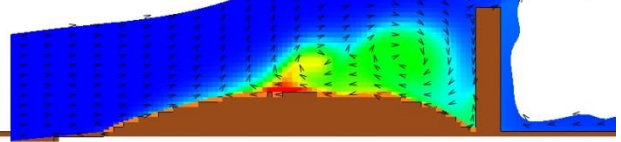
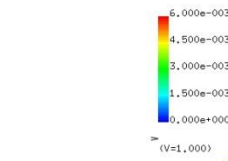
【入力波高 : 20.0cm, 防潮堤位置 : -75cm】

図 2-3-3-6 は、Case3 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

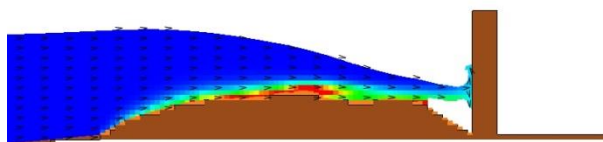
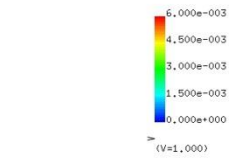
T= 7.0013 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



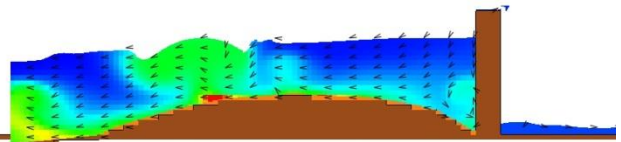
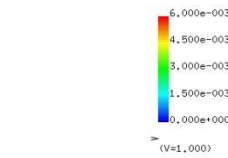
T= 8.2022 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



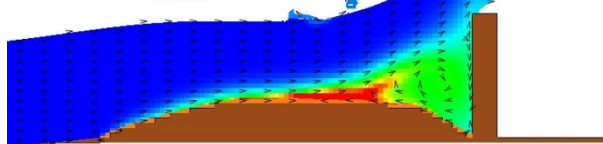
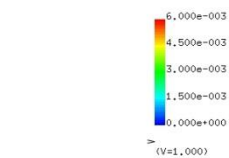
T= 7.20006 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 9.20188 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 7.70239 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

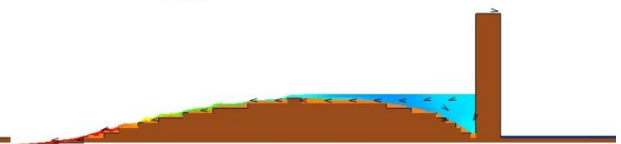
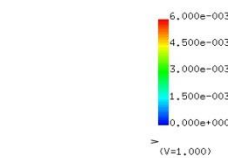


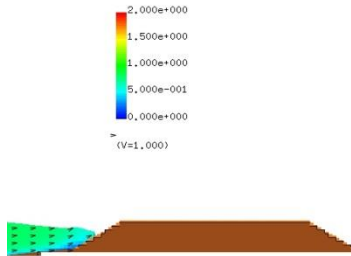
図 2-3-3-6 Case3 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【入力波高：20.0cm，防潮堤位置：-75cm】

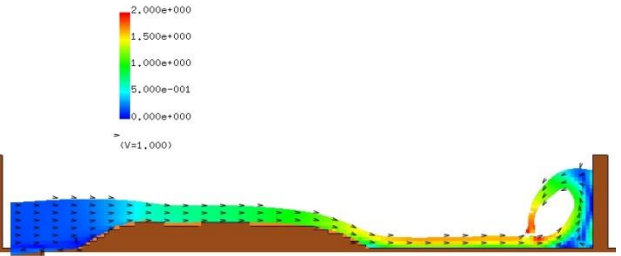
(4) Case4 (入力波高 : 7.5cm, 防潮堤位置 : 汀線-137.5cm )

図 2-3-3-7 は, Case4 の断面二次元流速スナップショットを示す.

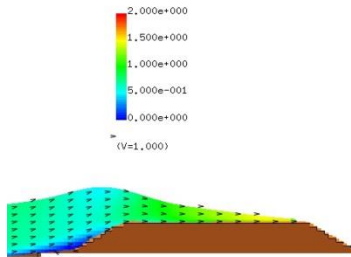
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



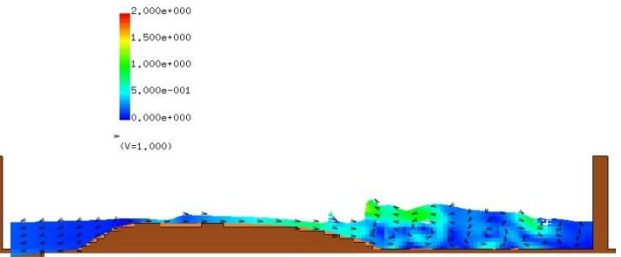
T= 11.00127 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



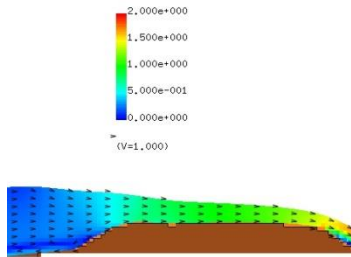
T= 10.00161 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 12.00093 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= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

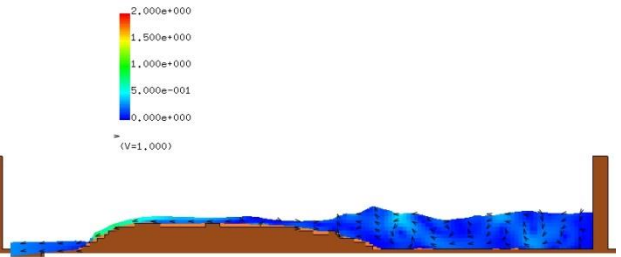


図 2-3-3-7 Case4 の断面二次元流速スナップショット

【入力波高 : 7.5cm, 防潮堤位置 : -137.5cm】

図 2-3-3-8 に, Case4 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す.

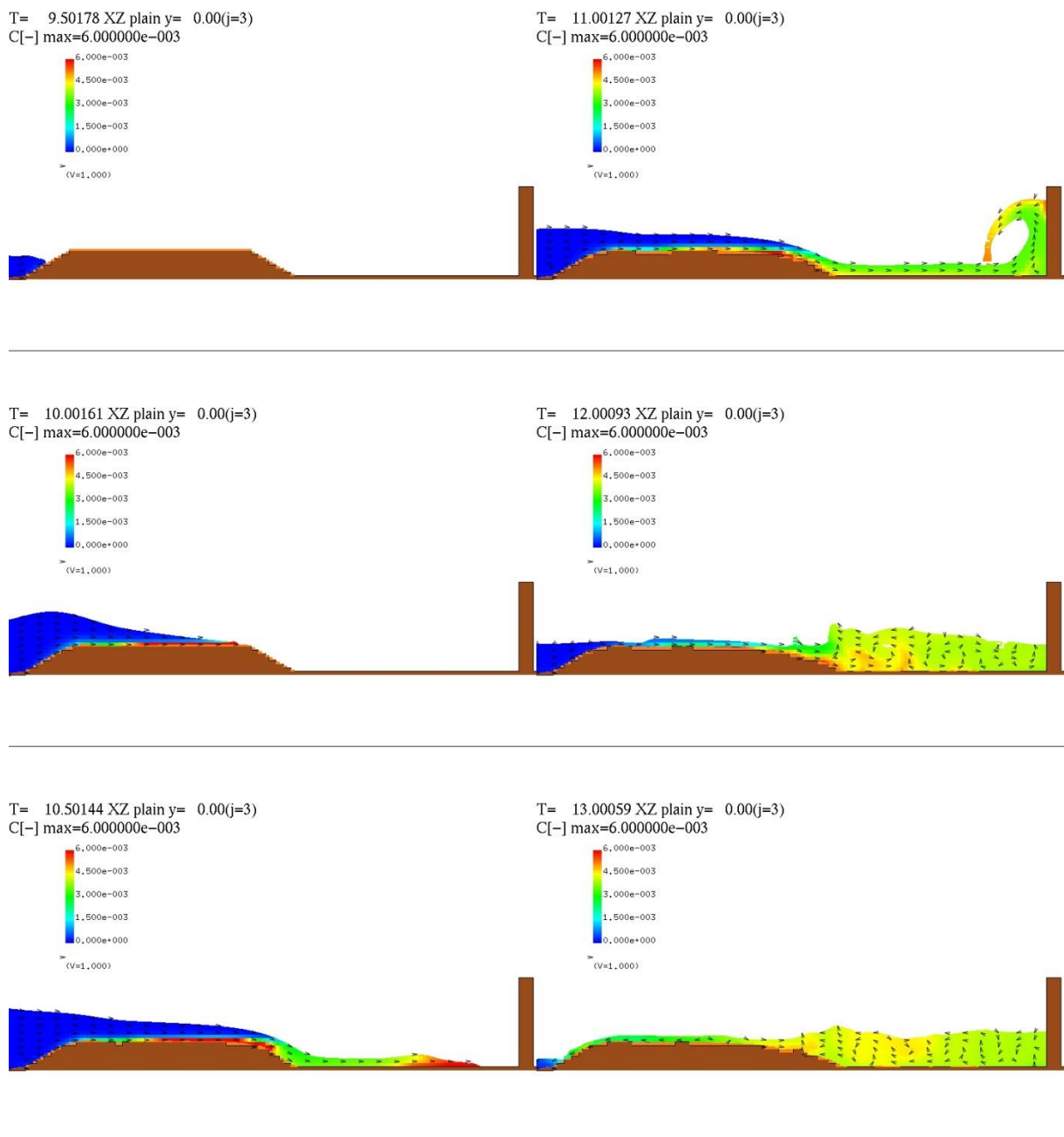


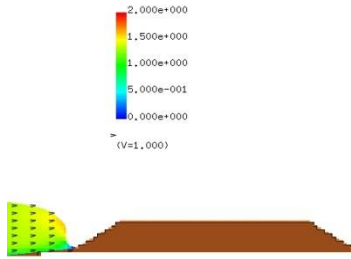
図 2-3-3-8 Case4 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【入力波高：7.5cm, 防潮堤位置：-137.5cm】

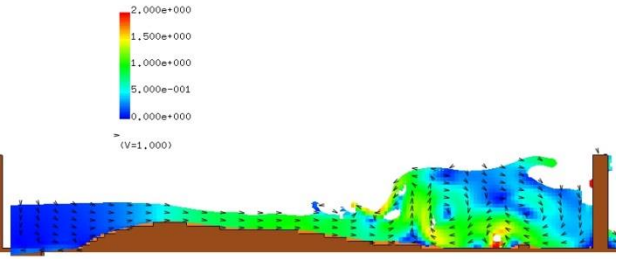
(5) Case5 (入力波高 : 12.5cm, 防潮堤位置 : 汀線-137.5cm)

図 2-3-3-9 に, Case5 の断面二次元流速スナップショットを示す.

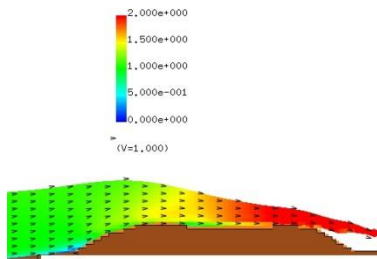
T= 8.10225 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



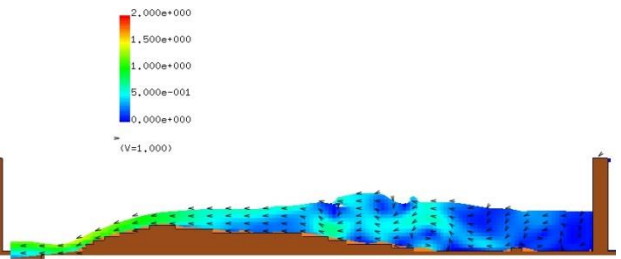
T= 10.00161 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



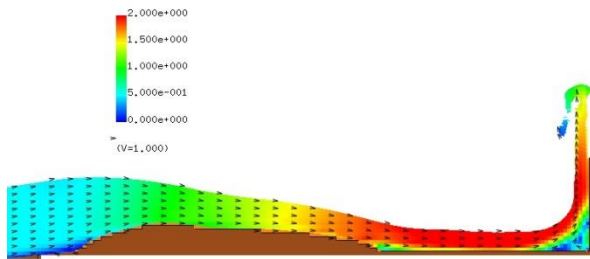
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



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= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

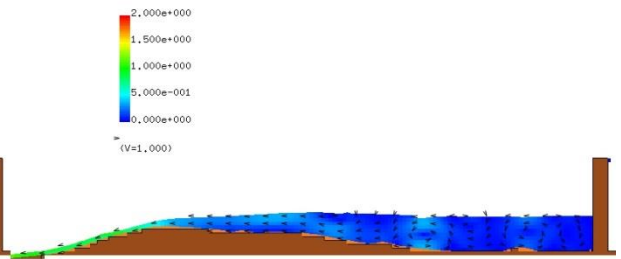


図 2-3-3-9 Case5 の断面二次元流速スナップショット

【入力波高 : 12.5cm, 防潮堤位置 : -137.5cm】



図 2-3-3-10 に, Case5 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

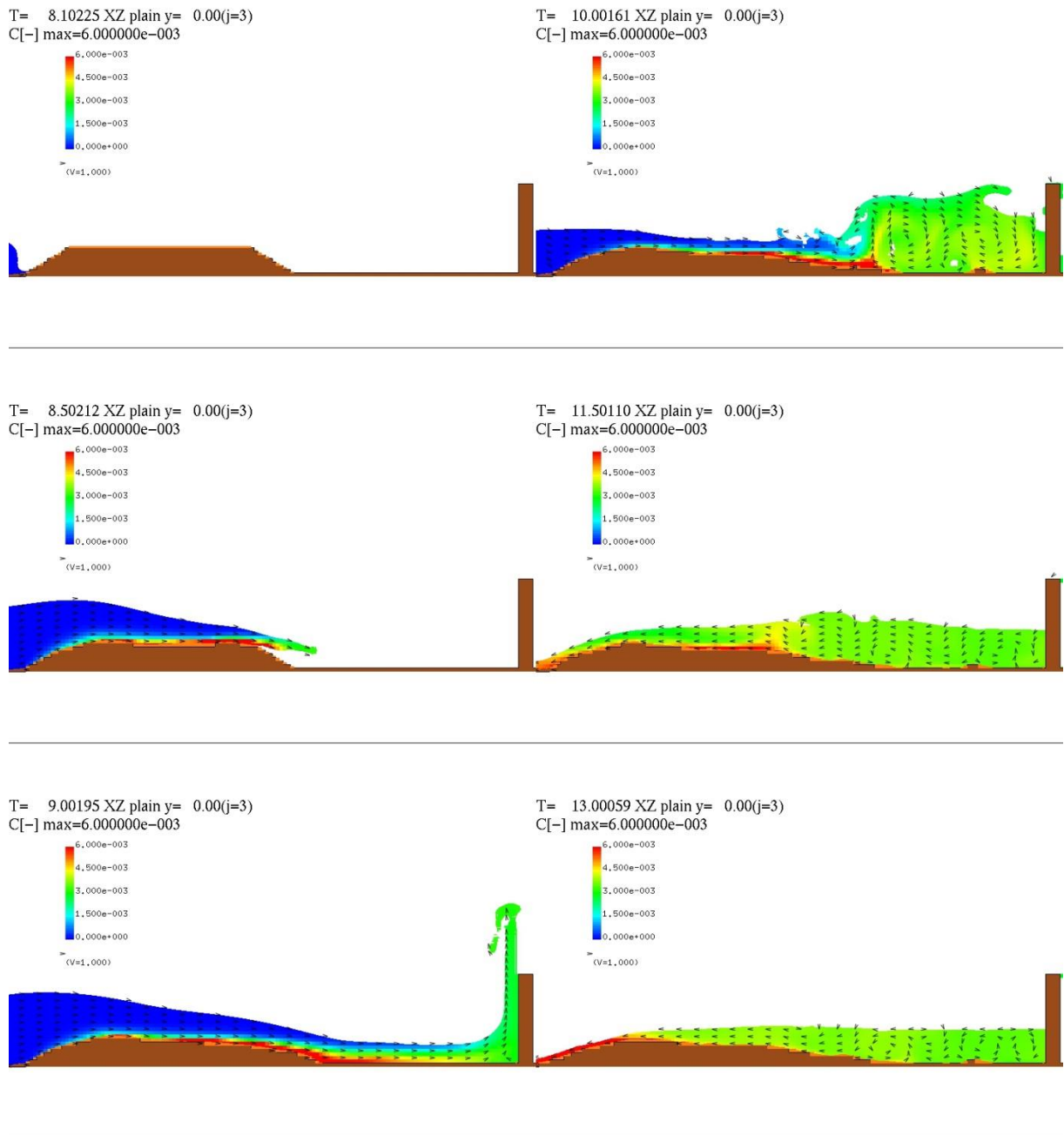


図 2-3-3-10 Case5 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【入力波高 : 12.5cm, 防潮堤位置 : -137.5cm】

(6) Case6 (入力波高 : 20.0cm, 防潮堤位置 : 汀線-137.5cm)

図 2-3-3-11 に, Case6 の断面二次元流速スナップショットを示す.

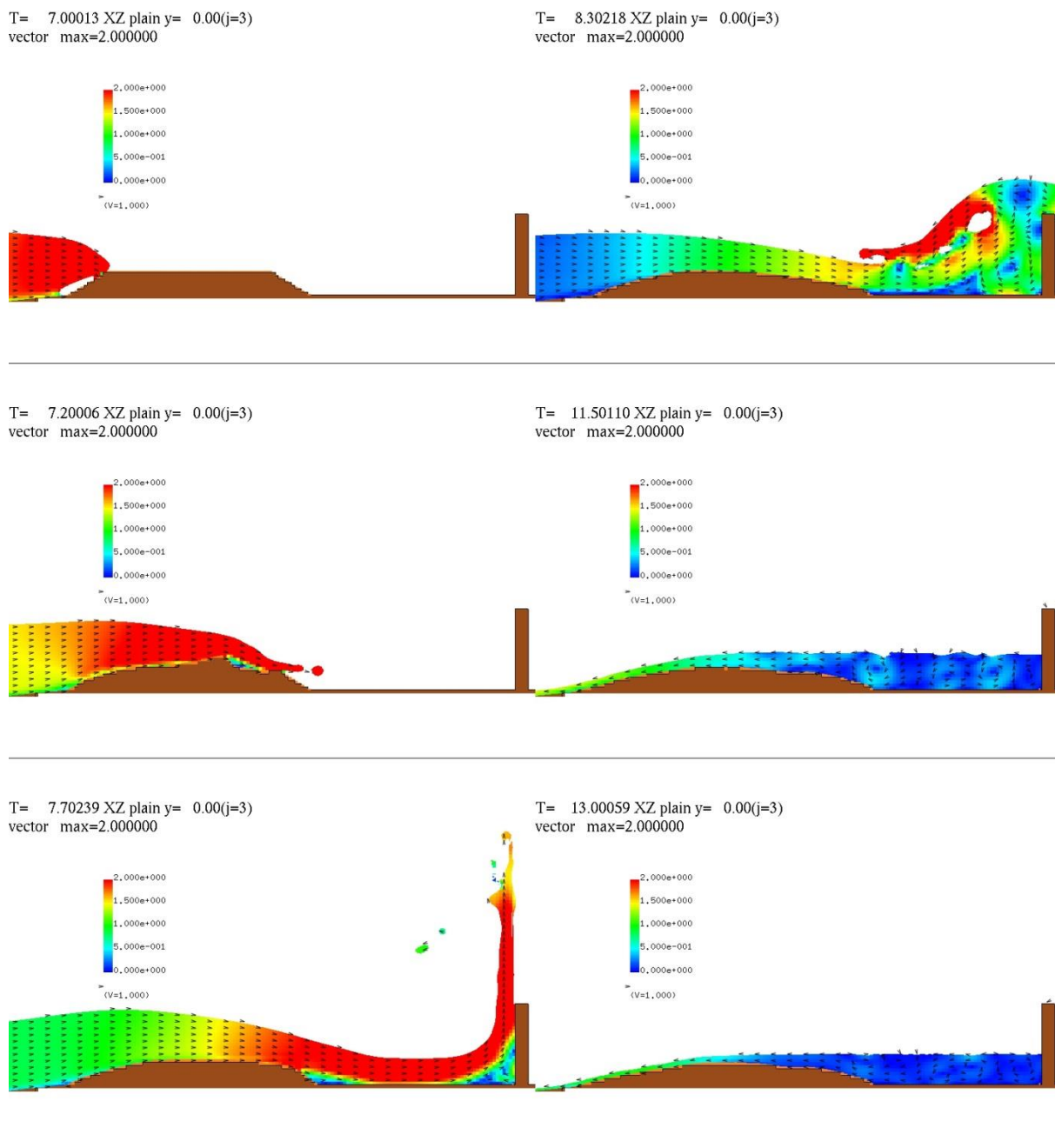


図 2-3-3-11 Case6 の断面二次元流速スナップショット

【入力波高 : 20.0cm, 防潮堤位置 : -137.5cm】

図 2-3-3-12 は, Case6 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

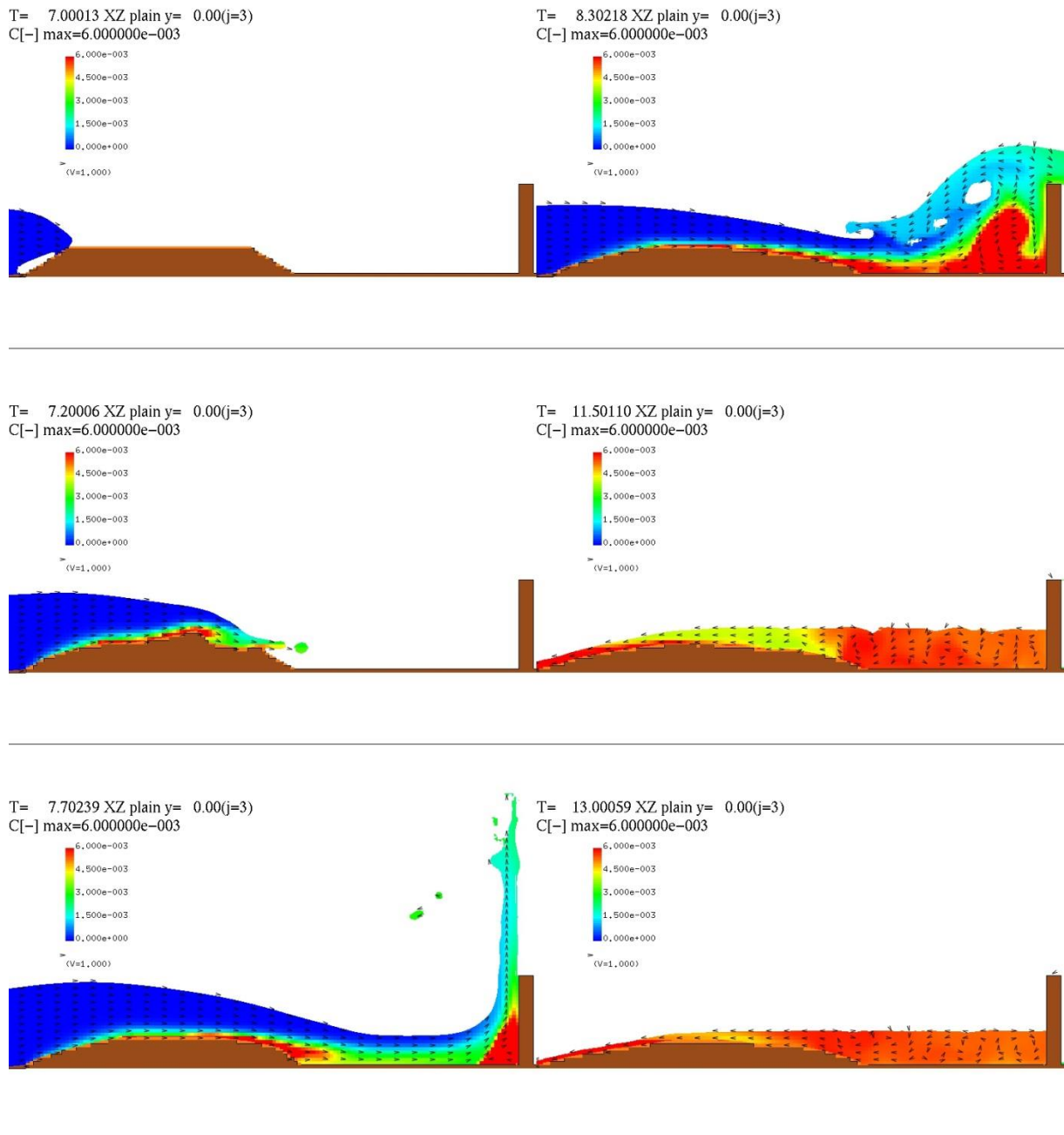


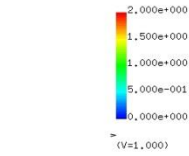
図 2-3-3-12 Case6 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【入力波高 : 20.0cm, 防潮堤位置 : -137.5cm】

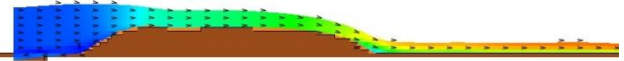
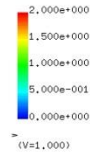
(7) Case7 (入力波高 : 7.5cm, 防潮堤なし)

図 2-3-3-13 に, Case7 の断面二次元流速スナップショットを示す.

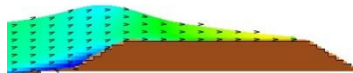
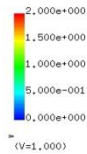
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



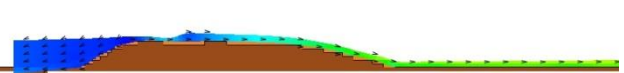
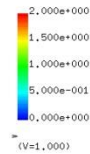
T= 11.00127 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



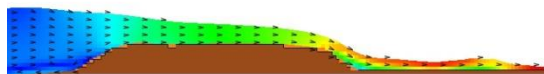
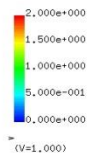
T= 10.00161 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 12.00093 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= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

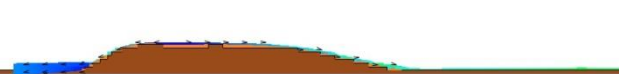
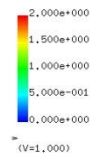


図 2-3-3-13 Case7 の断面二次元流速スナップショット

【入力波高 : 7.5cm, 防潮堤なし】

図 2-3-3-14 に, Case7 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

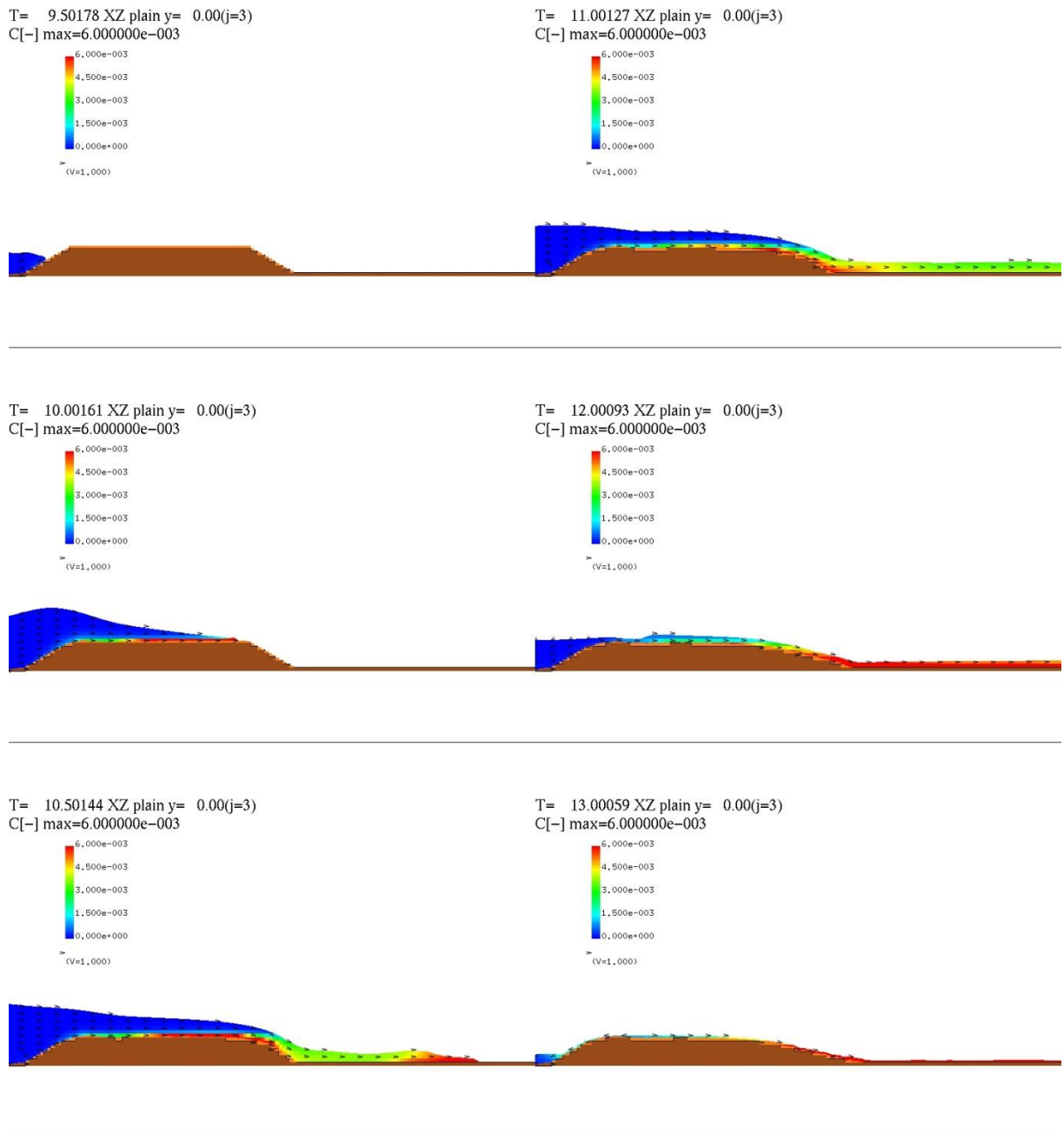


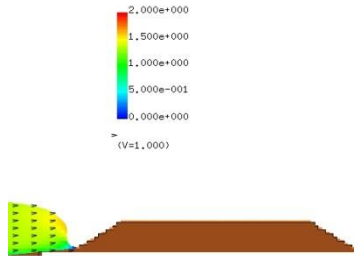
図 2-3-3-14 Case7 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【入力波高：7.5cm，防潮堤なし】

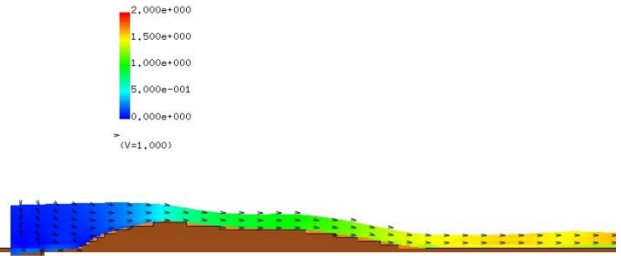
(8) Case8 (入力波高 : 12.5cm, 防潮堤なし)

図 2-3-3-15 に, Case8 の断面二次元流速スナップショットを示す.

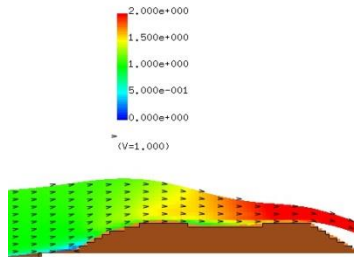
T= 8.10225 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



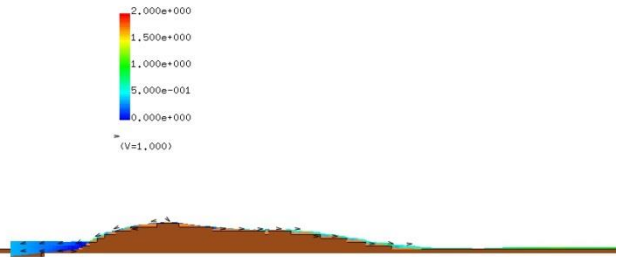
T= 10.00161 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



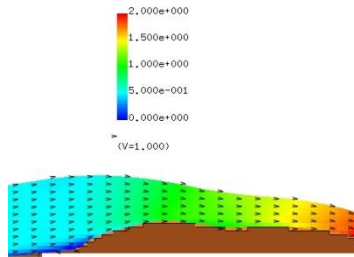
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



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= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

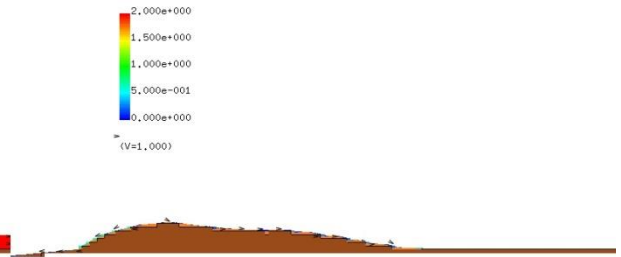


図 2-3-3-15 Case8 の断面二次元流速スナップショット

【入力波高 : 12.5cm, 防潮堤なし】

図 2-3-3-16 に, Case8 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

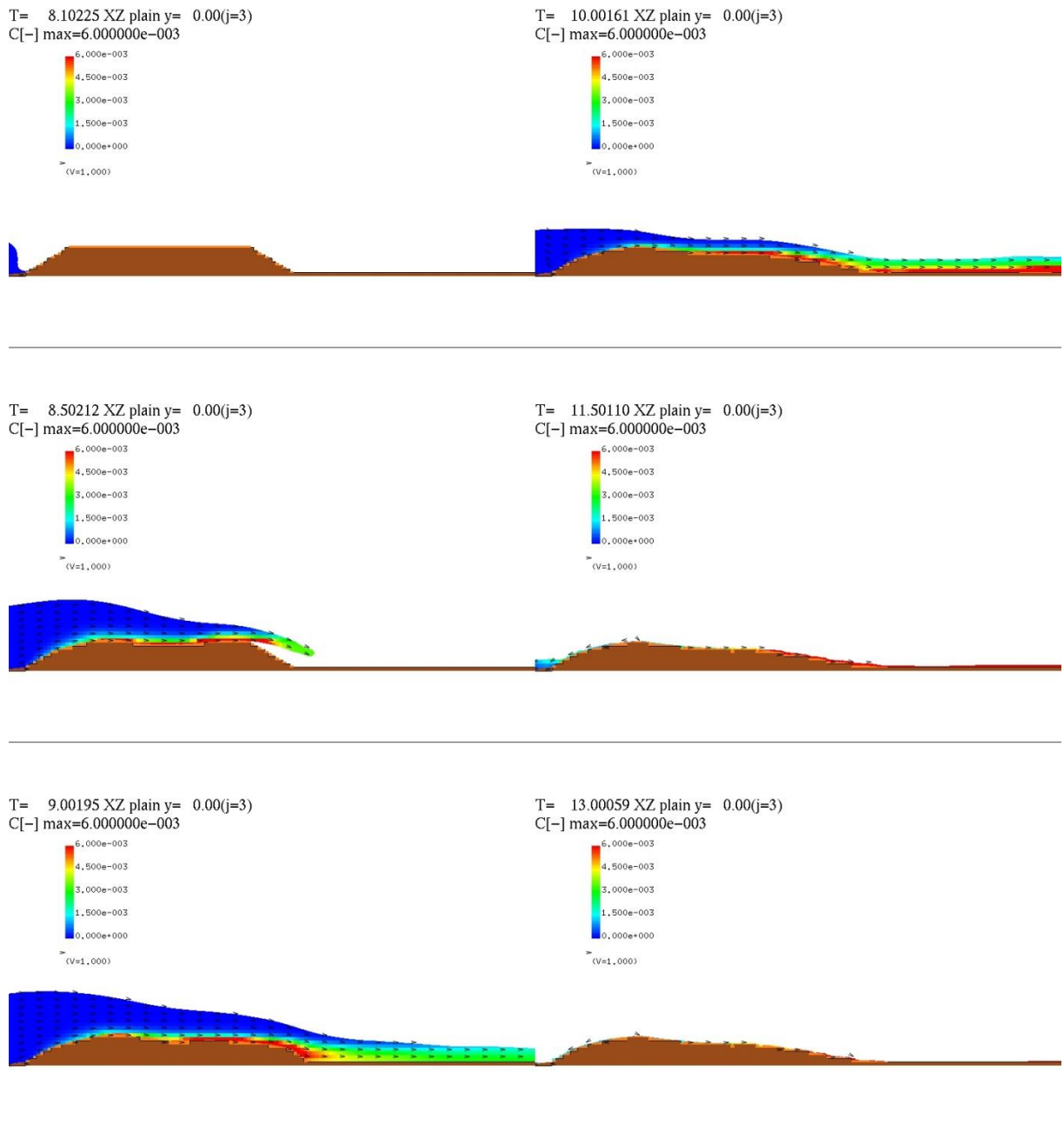


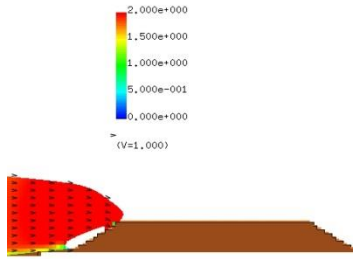
図 2-3-3-16 Case8 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【入力波高 : 12.5cm, 防潮堤なし】

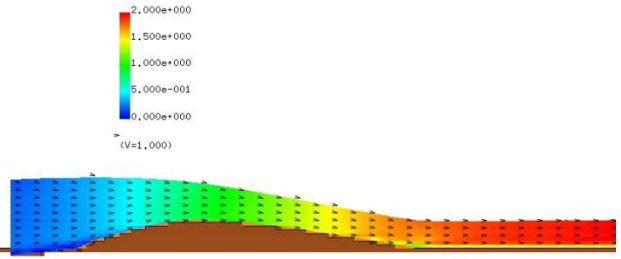
(9) Case9 (入力波高 : 20.0cm, 防潮堤なし)

図 2-3-3-17 に, Case9 の断面二次元流速スナップショットを示す.

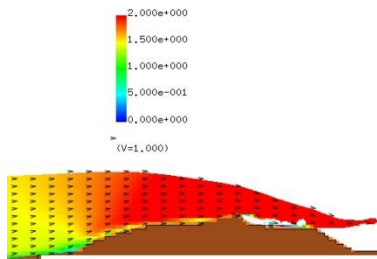
T= 7.00013 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



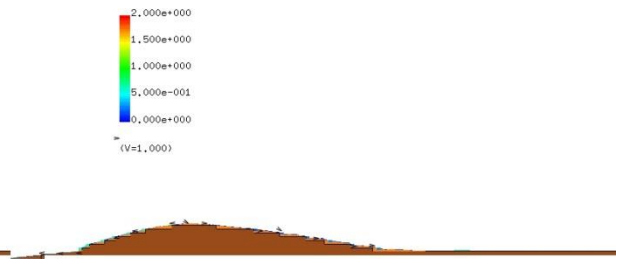
T= 8.30218 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



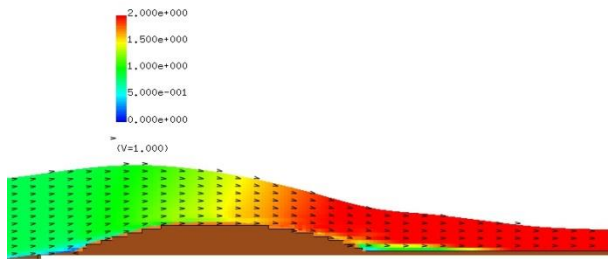
T= 7.20006 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



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



T= 7.70239 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

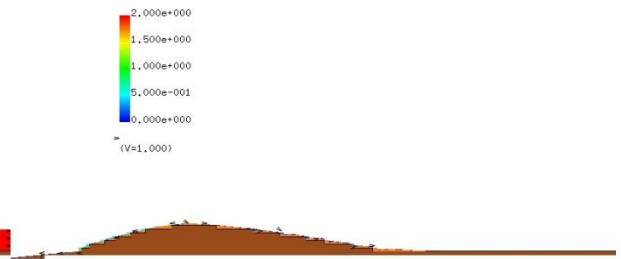


図 2-3-3-17 Case9 の断面二次元流速スナップショット

【入力波高 : 20.0cm, 防潮堤なし】



図 2-3-3-18 に, Case9 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

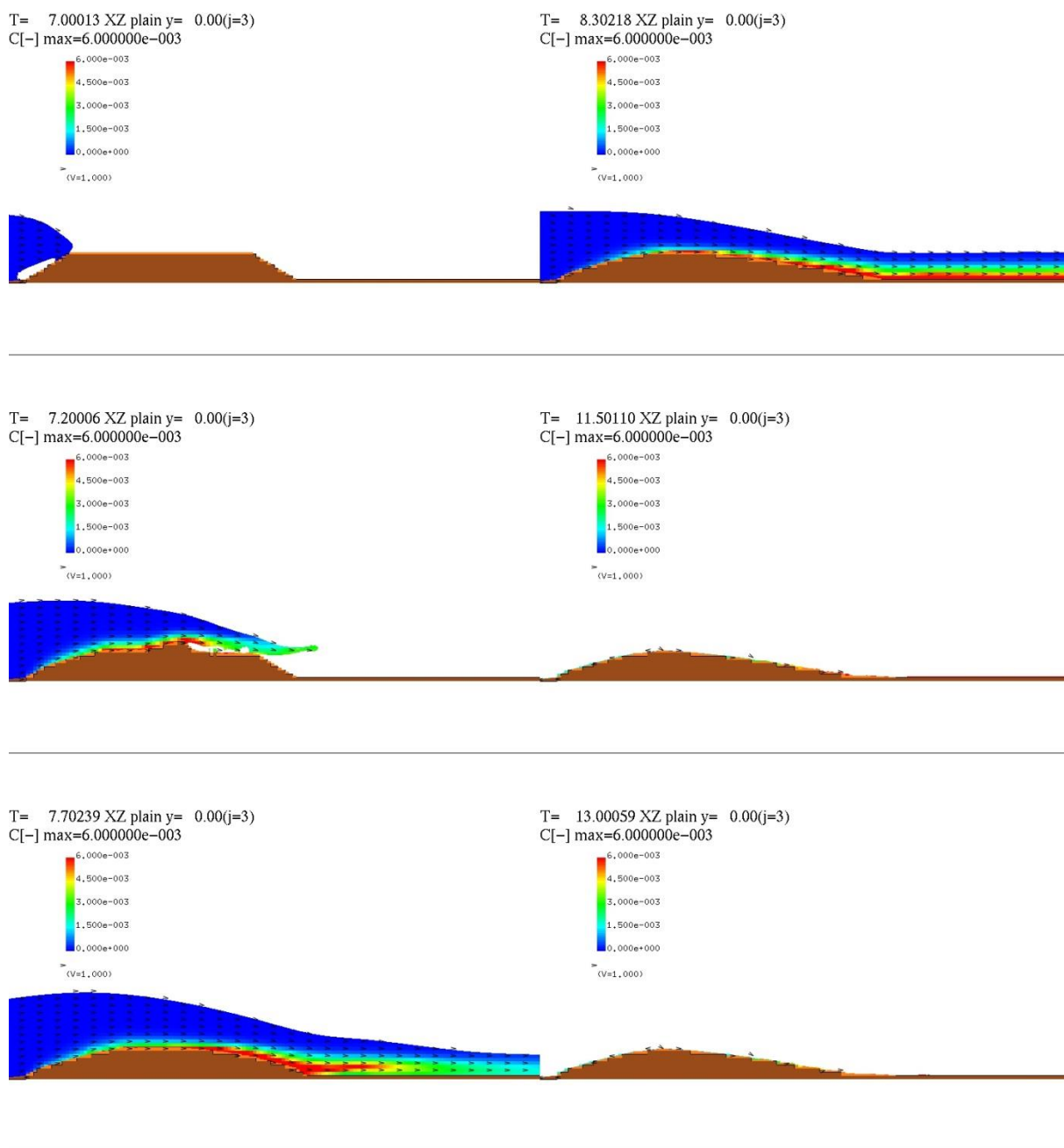


図 2-3-3-18 Case9 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【入力波高：20.0cm，防潮堤なし】

### 2-3-4 砂面形状変化

Case1~Case6における砂面形状変化を示す。防潮堤からの第一波の引き波が十分収まる時刻の砂移動結果を採用した。図 2-3-4-1 に Case1~3 (防潮堤位置 : -75cm), 図 2-3-4-2 に Case4~Case6 (防潮堤位置 : -137.5cm),

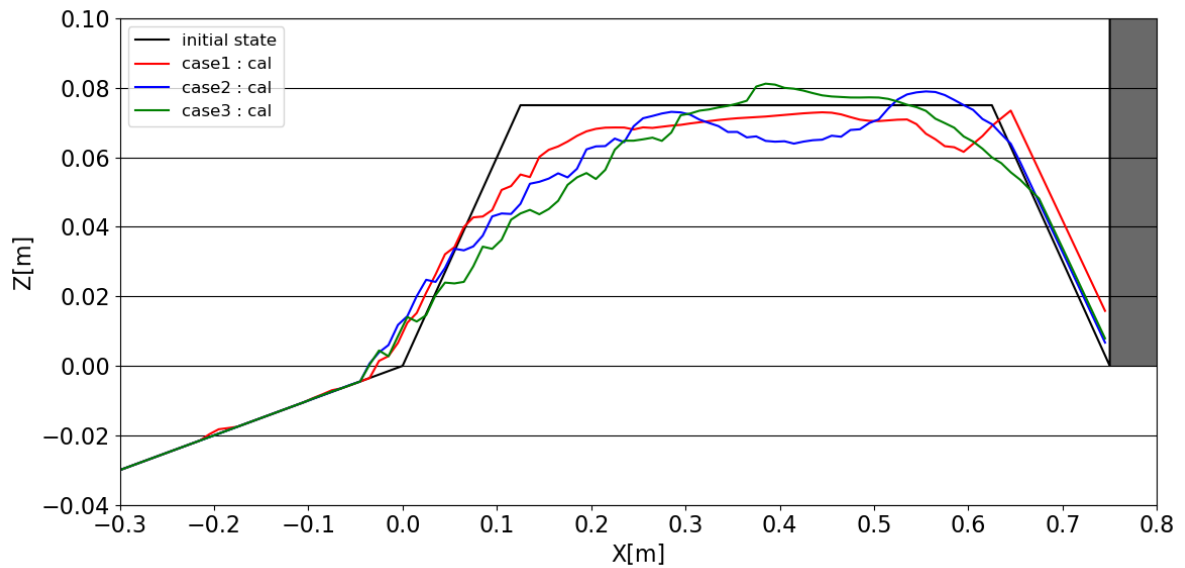


図 2-3-4-1 Case1~Case3 における砂面形状変化の比較  
【防潮堤位置 : -75cm】

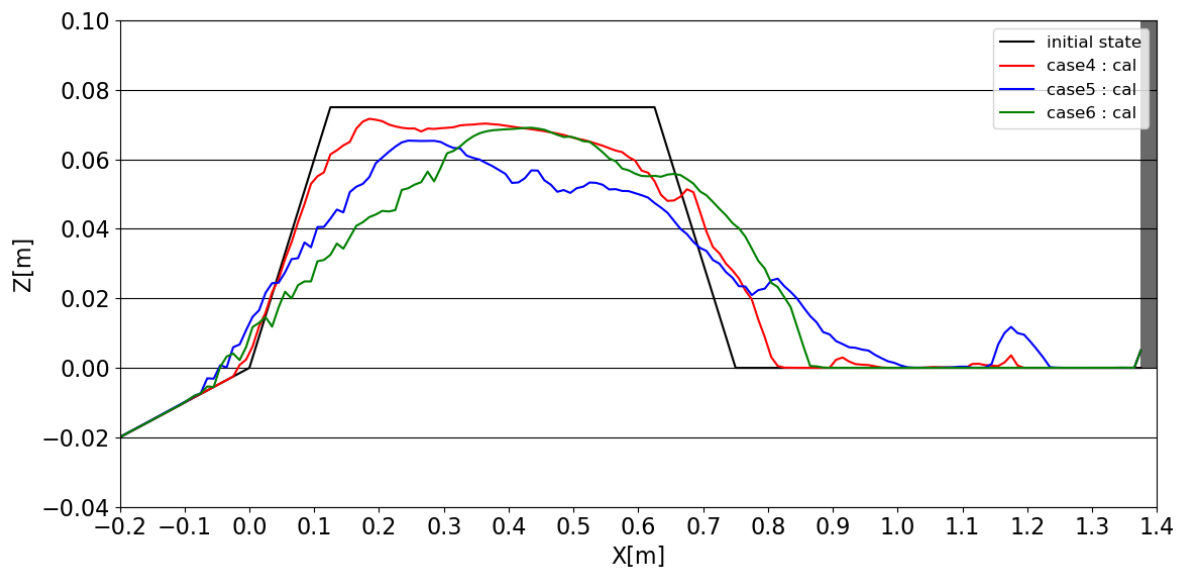


図 2-3-4-2 Case4~Case6 における砂面形状変化の比較  
【防潮堤位置 : -137.5cm】

次に、Case7~Case9（防潮堤なし）における砂面形状変化解析結果と試験結果の比較を図 2-3-4-3 に示す。解析結果を実線で示し、Case7 及び Case8 の試験結果を破線で示す。なお、試験結果においては測定された「ガラス面側」の砂面高と「移動床中央」の砂面高との平均値を示している。

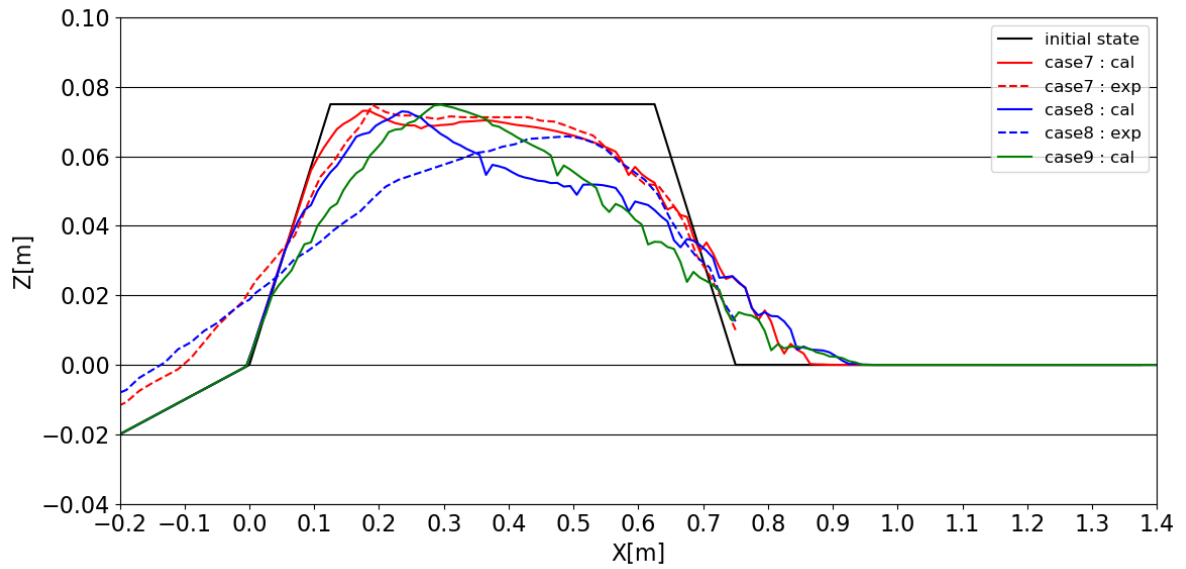


図 2-3-4-3 Case7~Case9 における砂面形状変化の比較  
【防潮堤なし】

---

## 2-4 第2章のまとめ

2-3 に示した入力波波高の差異，及び，防潮堤位置・有無が，「防潮堤に作用する波圧」及び「砂面形状変化」に及ぼす影響について，下記(A)-(D)の4つに大別してそれぞれ解析結果を整理する．

### 2-4-1 防潮堤に作用する波圧に及ぼす影響

#### (A) 入力波波高の影響

- ・ 段波波圧の最大値については，全計測地点において波高が大きくなるとともに波圧も大きくなる傾向があるが，計測地点下部においては計測地点上部より更にその傾向が強く現れる（図 2-3-2-1，図 2-3-2-2 参照）．
- ・ 一方，持続波圧の最大値についても同様に，全計測地点において波高が大きくなるとともに波圧も大きくなる傾向があるが，段波波圧の最大値ほど顕著な変化は見られない（図 2-3-2-3，図 2-3-2-4 参照）．
- ・ また，波圧時系列分布（図 2-3-1-1～図 2-3-1-12 参照）によると，入力波波高が大きくなるとともに防潮堤に作用する波圧の立ち上がり時刻が早くなる．これは，防潮堤に波が到達する時間が短くなるためであり，図 2-3-3-1，図 2-3-3-3 及び図 2-3-3-5（図 2-3-3-7，図 2-3-3-9 及び図 2-3-3-11）の断面二次元流速スナップショットの結果とも矛盾しない結果である．

#### (B) 防潮堤位置の影響

- ・ 防潮堤位置が汀線-75cm と汀線-137.5cm にある場合を同じ波高において比較すると，波高 7.5cm 及び 12.5cm では，汀線-75cm のケースの方が，段波波圧の最大値及び持続波圧の最大値ともに全計測地点において波圧が大きくなる傾向を示しているが，波高 20.0cm のケースでは，逆の傾向を示している（図 2-3-2-1～図 2-3-2-4 参照）．とりわけ，波高 20.0cm の防潮堤位置が汀線-137.5cm のケースでは，段波波圧の最大値が他ケースより 1～2 オーダー大きくなる結果が得られている．これは，波高が大きくなることに加え，防潮堤の位置がより岸側に伸びた分，砂丘を乗り越えた津波が砂丘と防潮堤の間の水平部をより高速に流れた後，防潮堤に衝突する（図 2-3-3-11 参照）ため，より大きな波圧が生じたものと示唆される．
- ・ 波圧時系列分布（図 2-3-1-1～図 2-3-1-12 参照）によると，総じて，汀線-75cm のケースでは持続波圧は時間とともに徐々に減衰する傾向が見られるのに対し，汀線-137.5cm のケースでは持続波圧における時系列波形の乱れが比較的長く続いてから減衰する傾向にある．当該波形の乱れは，とりわけ，入力波波高の大きなケースで見られる（図 2-3-1-9～図 2-3-1-12 参照）．これもまた，防潮堤の位置がより岸側に伸びた分，砂丘を乗り越えた津波が砂丘と防潮堤の間の水平部を高速に流れた後，防

---

潮堤に衝突する（図 2-3-3-9 及び図 2-3-3-11 参照）ことで、その波が砕けたことで生じたものと示唆される。

## 2-4-2 砂面形状変化に及ぼす影響

### (C) 入力波波高の差異が砂面形状変化に及ぼす影響

- ・ 入力波波高の差異が砂面形状変化に及ぼす影響については、概して、砂丘地形の沖側先端において、入力波波高が大きいほど侵食が進む傾向を示している（図 2-3-4-1～図 2-3-4-3 参照）。これは、波高が大きくなるほど、砂をより大量に巻き上げると考えられ、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（防潮堤位置-75cm は図 2-3-3-2, 図 2-3-3-4, 図 2-3-3-6 参照, 防潮堤位置-137.5cm は図 2-3-3-8, 図 2-3-3-10, 図 2-3-3-12 参照, 防潮堤なしは図 2-3-3-14, 図 2-3-3-16, 図 2-3-3-18 参照）。

### (D) 防潮堤位置・有無が砂面形状変化に及ぼす影響

防潮堤位置の影響：防潮堤位置が汀線-75cm のケースでは、砂丘地形の先端（法肩）のうち、相対的に沖側先端の侵食が進むのに対して、汀線-137.5cm のケース及び防潮堤なしのケースでは、相対的に防潮堤側先端の侵食が進む傾向が捉えられている（図 2-3-4-1～図 2-3-4-3 参照）。これは、防潮堤位置が汀線-75cm のケースでは、砂丘を乗り越えた津波が直ぐに防潮堤に衝突することで、防潮堤側先端付近の流れが減衰・減速するのに対して（図 2-3-3-1, 図 2-3-3-3, 図 2-3-3-5 参照）、防潮堤が汀線-137.5cm のケース及び防潮堤なしのケースでは、防潮堤により直ぐに遮られることがないため、流速の大きな流れが防潮堤側先端付近を一定時間通水する（図 2-3-3-7, 図 2-3-3-9, 図 2-3-3-11, 図 2-3-3-13, 図 2-3-3-15, 図 2-3-3-17 参照）。すなわち、砂丘地形の防潮堤側先端付近に、この高速流が一定時間通水したことにより、侵食が進んだものと示唆される。

- ・ 防潮堤の有無の影響：砂丘地形の沖側先端及びその周辺の分布に顕著な差異が見られる。具体的には、防潮堤ありのケースでは砂丘地形の沖側先端で侵食され、汀線 0 付近に堆積されている（図 2-3-4-1～図 2-3-4-2 参照）。これに対して、防潮堤なしのケースでは沖側先端での侵食量も相対的に少なく、汀線 0 付近に堆積されていない（図 2-3-4-3 参照）。これは、断面二次元流速スナップショットで示されるように、防潮堤ありのケースでは防潮堤が水をせき止める効果があるため、砂丘地形の沖側先端及びその周辺に水（流れ）が存在し続ける結果となるのに対して（図 2-3-3-1, 図 2-3-3-3, 図 2-3-3-5, 図 2-3-3-7, 図 2-3-3-9, 図 2-3-3-11 参照）、防潮堤なしのケースでは水をせき止めるものがないため津波が

---

通水した後は水の存在がない（図 2-3-3-13, 図 2-3-3-15, 図 2-3-3-17 参照）。すなわち，流れの存在がないため，侵食が進むことも堆積されることもないと考えられる。

- ・ 防潮堤なしの試験結果との比較結果については，砂丘地形の沖側先端及びその周辺では，解析結果と試験結果との間に乖離が見られた（図 2-3-4-3 参照）。具体的には，試験結果では砂丘地形の岸側より沖側先端における侵食が進むのに対して，解析結果では沖側より岸側先端における侵食が進む結果となった。今後，この試験結果との乖離について詳細な検討が必要である。

---

## 第3章 再現解析の高度化及び実機縮尺による粒径変化の影響把握

### 3-1 本章の目的

第2章の結果より，試験結果では砂丘地形の岸側先端に比べ沖側先端における侵食が進むのに対して，解析結果では沖側先端よりも岸側先端において侵食が進む結果となった．この解析結果と試験結果との乖離の主な要因として，

- ① まず，解析では第一波のみを作用させているが，試験では第一波に続き，第二波，第三波と連続して作用する点が挙げられる．
- ② また，岸側先端の侵食が試験結果より解析結果の方が，相対的に大きかった要因として，解析における土砂移動限界が小さく設定されている可能性も挙げられる．

そこで，第2章の結果及び分析を踏まえて，本章では

- ① 水理試験における試験データを第1波の影響のみを考慮し，第1波の押し波が防潮堤に作用するまでの結果を整理し，これに合わせて解析データも同様の時刻までの砂面形状変化として結果を整理した．
- ② また，解析における土砂移動限界値を，感度分析より第2章の6倍大きく設定することで，再現解析の高度化を試みた．加えて，実機縮尺による粒径変化の影響把握のため，現地スケール（模型スケールを80倍）での解析を実施する．

### 3-2 実施した解析ケース

水理試験結果に対する再現解析結果の再現性確保の観点から，再現解析に係る条件として実施した「模型スケール」の解析ケース一覧を表3-2-1に示す．実施ケース数は19とした．また，模型縮尺を1/80と想定した場合の「現地スケール」の解析ケース一覧を表3-2-2に示す．実施ケース数は20とした．両表において，試験と比較可能なケースにおいては，ケース名の後ろに”\_E1”，”\_E2”，”\_E3”，”\_E4”，”\_E5”と明記し，試験と比較できないケースにおいては，ケース名のみとなる．

すなわち，Case1-1\_E1が試験のE1ケース（波高7.5cm），Case1-3\_E1が試験のE1ケース（波高12.5cm），Case1-4\_E2が試験のE2ケース（波高7.5cm），Case1-6\_E2が試験のE2ケース（波高12.5cm），Case1-7\_E3が試験のE3ケース（波高7.5cm），Case1-9\_E3が試験のE3ケース（波高12.5cm），Case1-11\_E4が試験のE4ケース（波高7.5cm），Case1-13\_E4が試験のE4ケース（波高12.5cm），Case1-16\_E5が試験のE5ケース（波高12.5cm）と比較可能であることを示す．

計算メッシュは，模型スケール解析(Case1-\*)については，第2章と同一とし（2-2参照），現地スケール解析(Case2-\*)の場合，フルード相似に従い，長さスケールを80倍，時間スケールを $\sqrt{80}$ 倍とした．

砂粒径においては，フルード相似則は成り立たないため，模型スケールと現地スケールとは同様のサイズとした．このため，現地スケールにおいては，実際より粒径が小さく砂移動しやすくなることを見込まれる．

表 3-2-1 模型スケール解析ケースの一覧

ケース名	スケール	砂丘地形	入力波	入力波波高	堤体位置	砂粒径	
Case1- 1_E1	模型 (縮尺 比:1/80)	台形断面	孤立波	7.5cm	汀線 -137.5cm	0.23mm	
Case1- 2				10.0cm			
Case1- 3_E1				12.5cm			
Case1- 4_E2		7.5cm					
Case1- 5		10.0cm					
Case1- 6_E2		12.5cm					
Case1- 7_E3		台形断面		7.5cm	なし		
Case1- 8				10.0cm			
Case1- 9_E3				12.5cm			
Case1- 10		丸み断面		12.5cm			
Case1- 11_E4		台形断面		7.5cm	汀線 -137.5cm		0.11mm
Case1- 12				10.0cm			
Case1- 13_E4				12.5cm			
Case1- 14		7.5cm					
Case1- 15		10.0cm					
Case1- 16_E5		12.5cm					
Case1- 17		台形断面		7.5cm	なし		
Case1- 18				12.5cm			
Case1- 19				12.5cm			



表 3-2-2 現地スケール解析ケースの一覧

ケース名	スケール	砂丘地形	入力波	入力波波高	堤体位置	砂粒径
Case2- 1_E1	現地 (縮尺 比:1/1)	台形断面	孤立波	6.0m	汀線 -110.0m	0.23mm
Case2- 2				8.0m		
Case2- 3_E1				10.0m		
Case2- 4_E2		6.0m				
Case2- 5		8.0m				
Case2- 6_E2		10.0m				
Case2- 7_E3		台形断面		6.0m	なし	
Case2- 8				8.0m		
Case2- 9_E3				10.0m		
Case2- 10		丸み断面		10.0m		
Case2- 11_E4		台形断面		6.0m	汀線 -110.0m	0.11mm
Case2- 12				8.0m		
Case2- 13_E4				10.0m		
Case2- 14		丸み断面		6.0m		
Case2- 15				8.0m		
Case2- 16_E5				10.0m		
Case2- 17		台形断面		6.0m	なし	
Case2- 18				10.0m		
Case2- 19		丸み断面		10.0m		
Case2- 20		台形断面			10.0m	汀線 -110.0m

---

### 3-3 模型スケール解析結果

#### 3-3-1 水位及び流速時系列の試験結果との比較

##### (1) 水位時系列の比較

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 3-3-1-1～図 3-3-1-3 に、wave01～wave06 地点(図 1-4-3 参照)での水位時系列図を、試験結果及び模型スケールの解析結果と比較してそれぞれ示す。

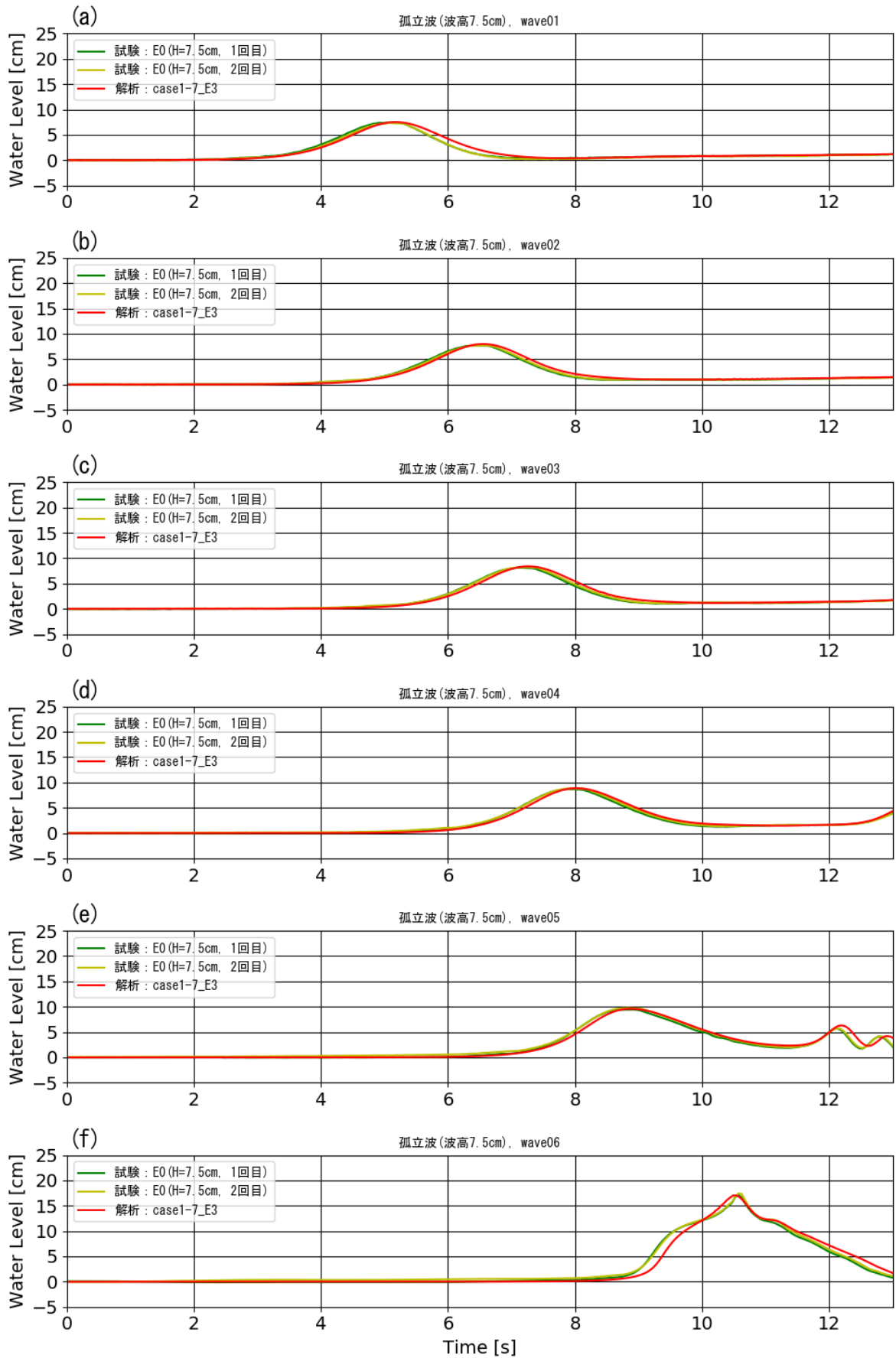


図 3-3-1-1 水位時系列波形の比較

【台形断面，波高：7.5cm，防潮堤なし】

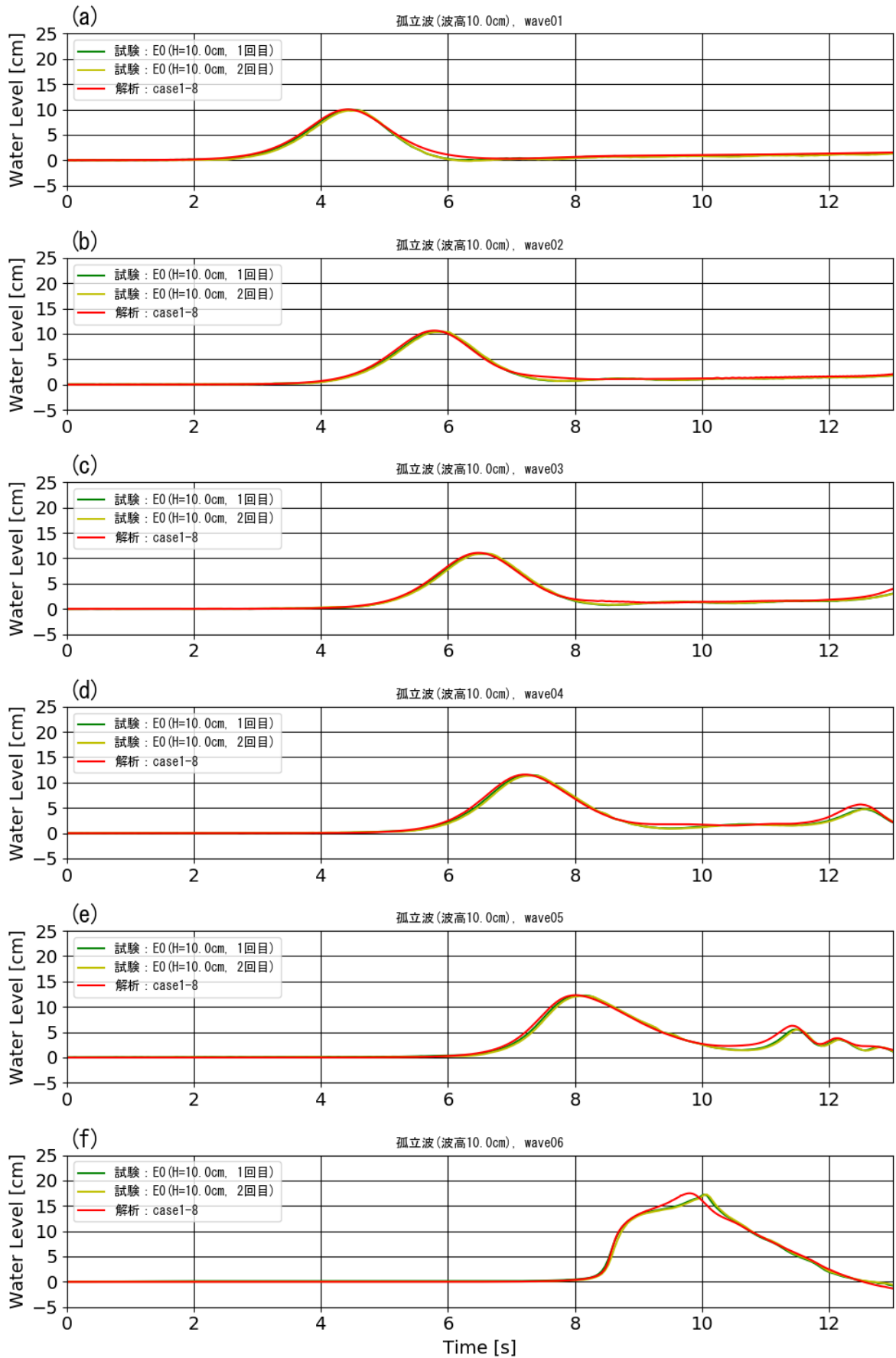


図 3-3-1-2 水位時系列波形の比較  
【台形断面, 波高: 10.0cm, 防潮堤なし】

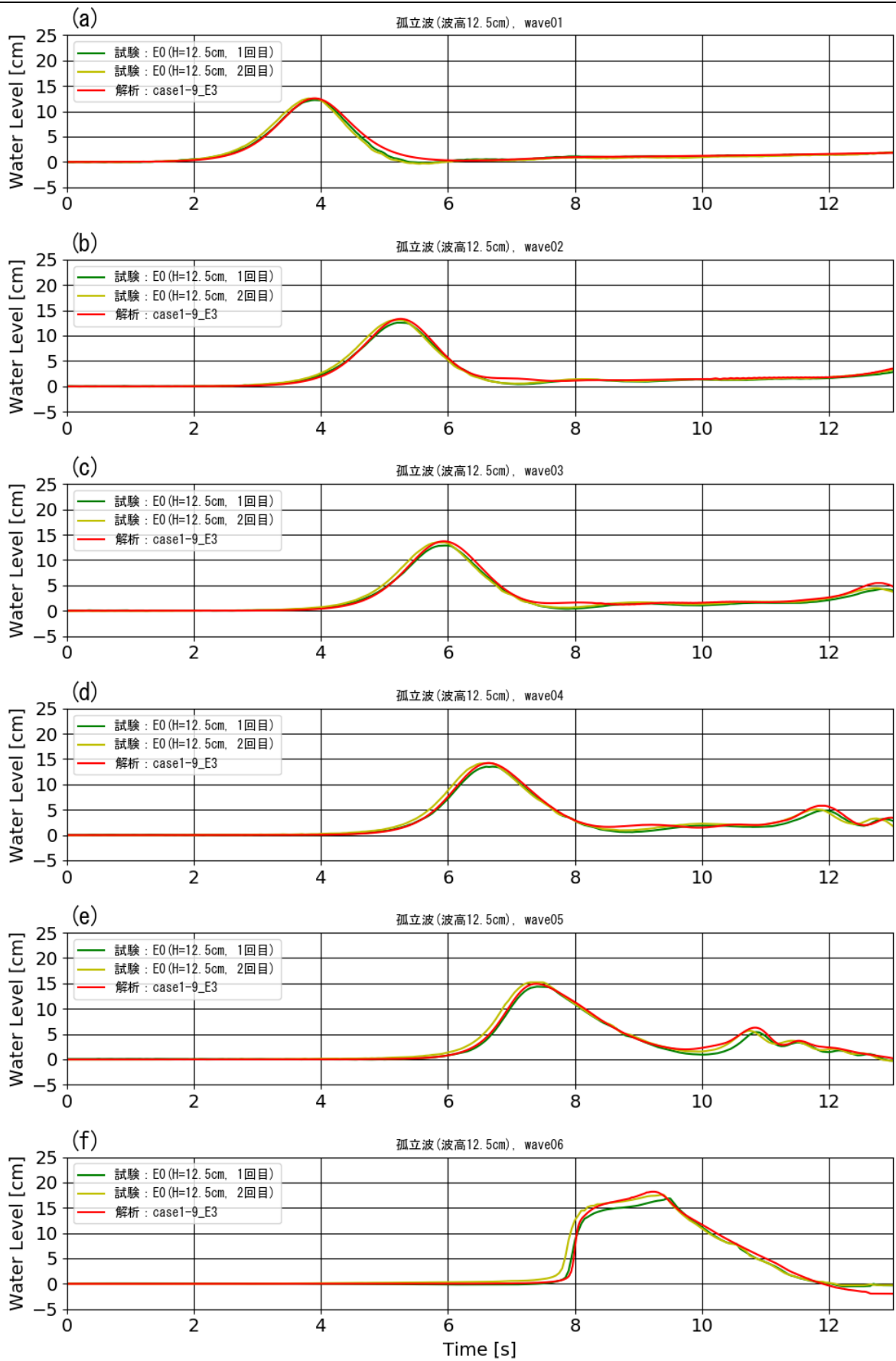


図 3-3-1-3 水位時系列波形の比較  
【台形断面, 波高: 12.5cm, 防潮堤なし】

## (2) 砂丘頂部における流速の比較

砂丘の砂移動に大きく依存する流速について、砂丘頂部における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 3-3-1-4～図 3-3-1-6 に、砂丘頂部に該当する Velo-06 地点（図 1-4-3 参照）での流速時系列図を、試験結果と比較してそれぞれ示す。

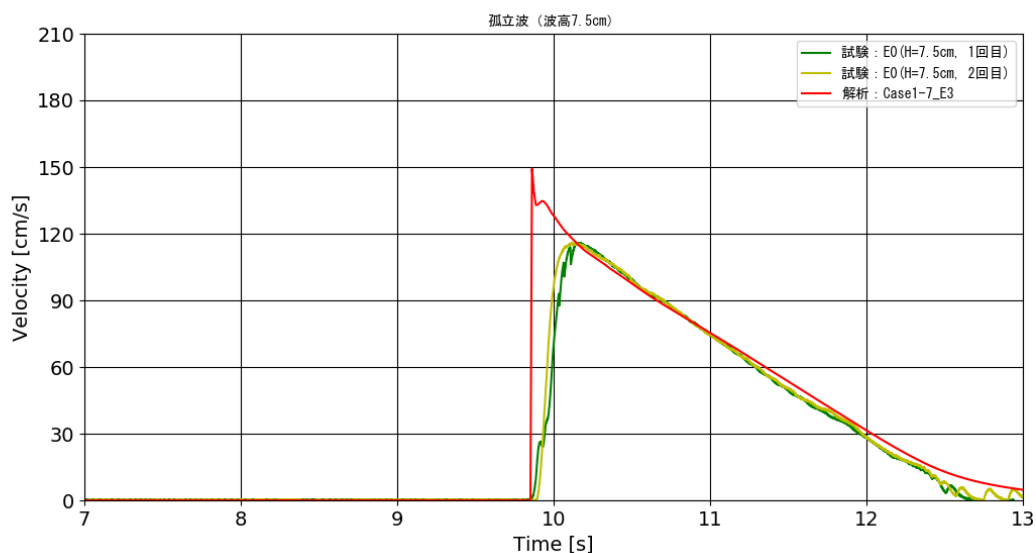


図 3-3-1-4 砂丘頂部における流速

【台形断面，波高：7.5cm，防潮堤なし】

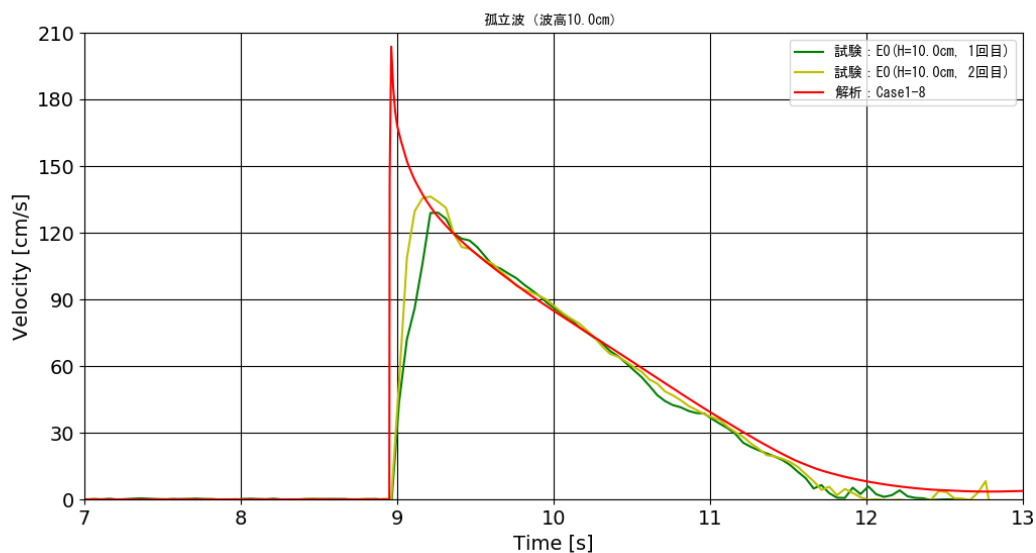


図 3-3-1-5 砂丘頂部における流速

【台形断面，波高：10.0cm，防潮堤なし】

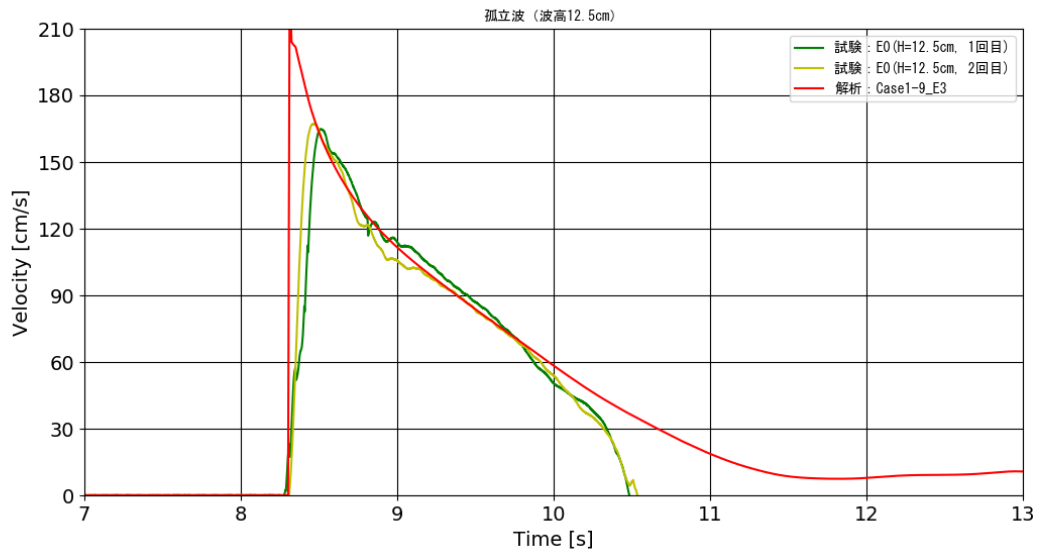


図 3-3-1-6 砂丘頂部における流速

【台形断面，波高：12.5cm，防潮堤なし】

### 3-3-2 防潮堤に作用する波圧の比較

試験結果と比較可能な Case1-1\_E1, Case1-3\_E1, Case1-4\_E2, Case1-6\_E2, Case1-11\_E4, Case1-13\_E5 の各計測地点における波圧の最大値を試験結果と比較し、モデルの妥当性を検証する。なお、図 3-3-2-1～図 3-3-2-7 において、赤の実線が解析結果を示し、緑の破線が 1 回目の試験結果を、黄色の破線が 2 回目の試験結果を示す。

図 3-3-2-1 及び図 3-3-2-2 は Case1-1\_E1 及び Case1-3\_E1 の移動床における防潮堤に作用する波圧の最大値を試験結果と比較して示す。

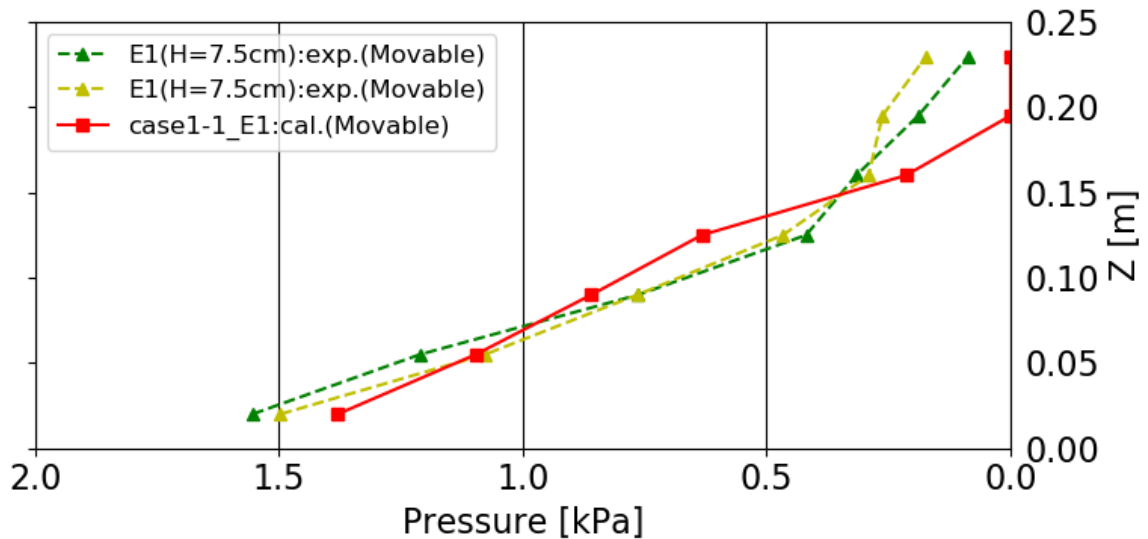


図 3-3-2-1 Case1-1\_E1 の防潮堤に作用する波圧の最大値

【台形断面，波高：7.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

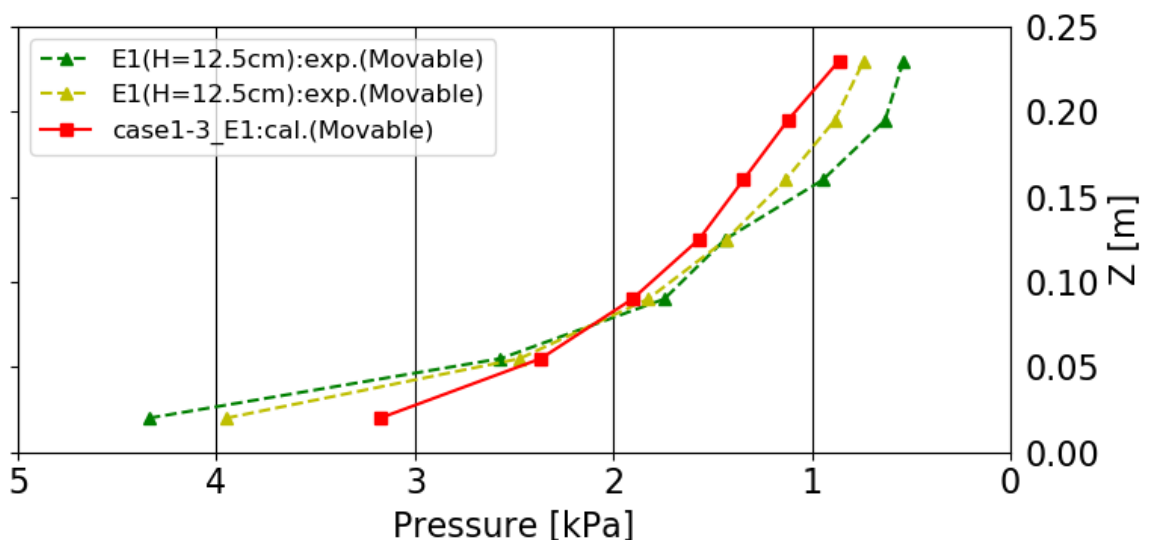


図 3-3-2-2 Case1-3\_E1 の防潮堤に作用する波圧の最大値

【台形断面，波高：12.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】



図 3-3-2-3 及び図 3-3-2-4 は Case1-4\_E2 及び Case1-6\_E2 の移動床における防潮堤に作用する波圧の最大値を試験結果と比較して示す。

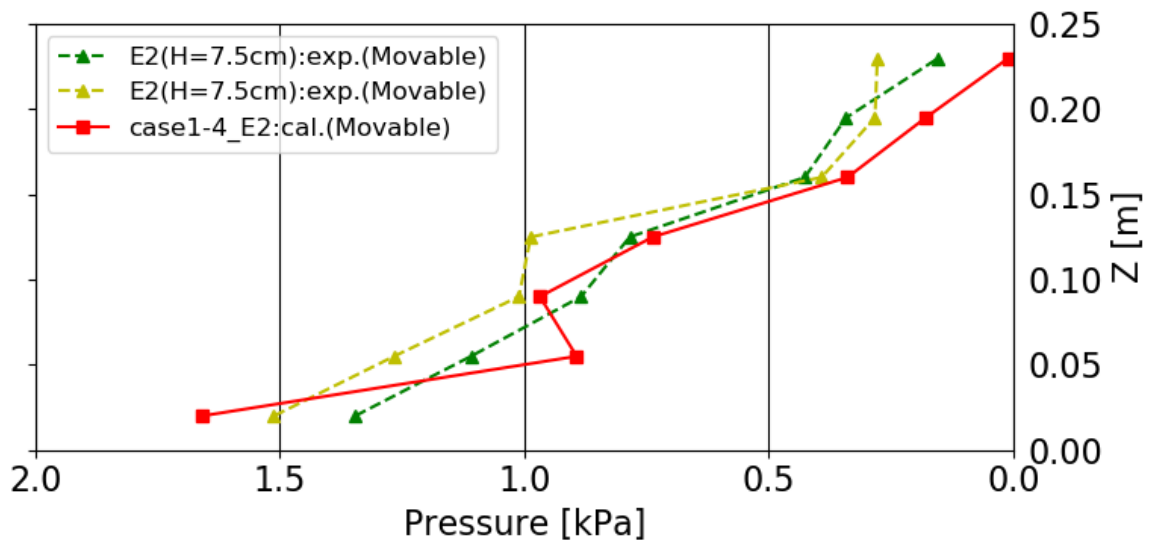


図 3-3-2-3 Case1-4\_E2 の防潮堤に作用する波圧の最大値

【台形断面，波高：7.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

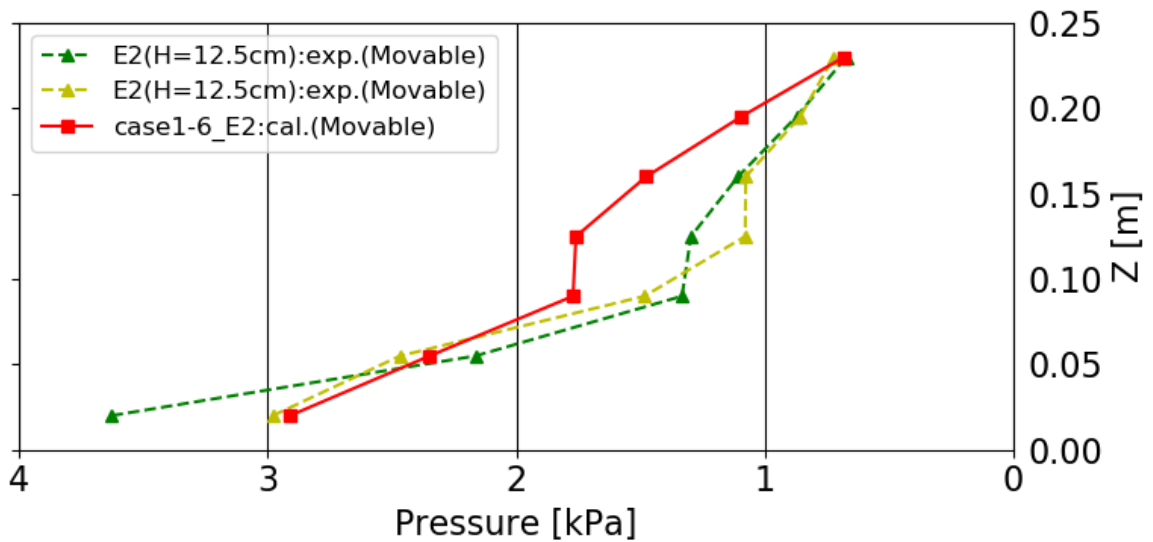


図 3-3-2-4 Case1-6\_E2 の防潮堤に作用する波圧の最大値

【台形断面，波高：12.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

図 3-3-2-5 及び図 3-3-2-6 は Case1-11\_E4 及び Case1-13\_E4 の移動床における防潮堤に作用する波圧の最大値を試験結果と比較して示す。

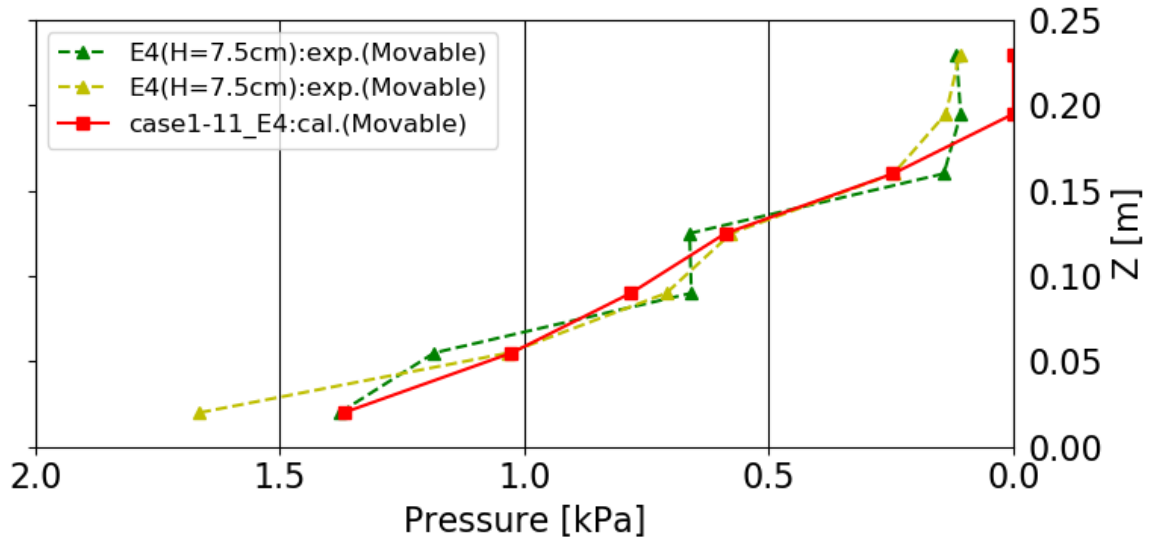


図 3-3-2-5 Case1-11\_E4 の防潮堤に作用する波圧の最大値

【台形断面，波高：7.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

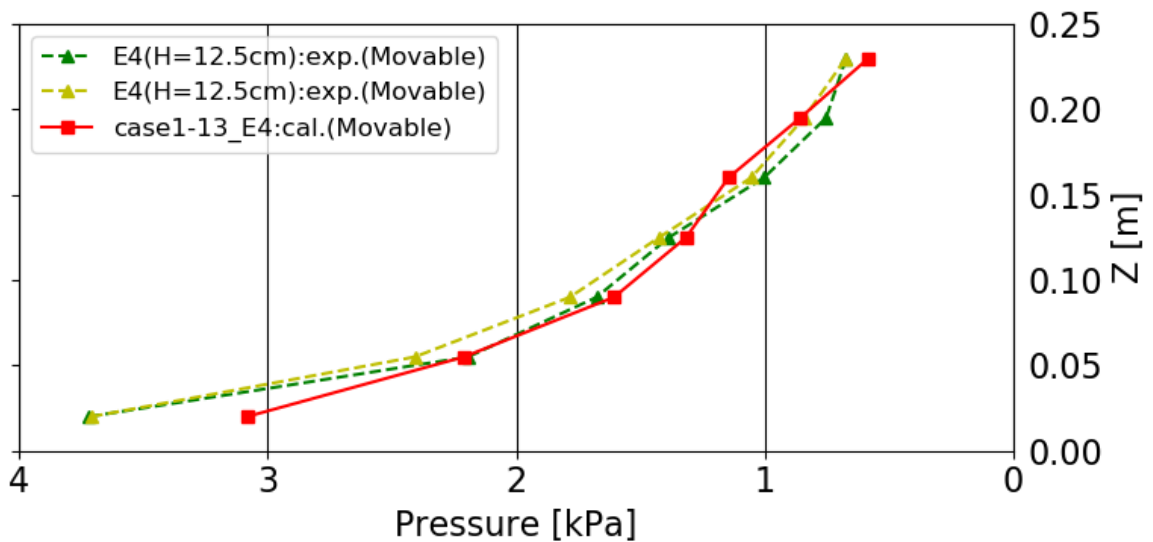


図 3-3-2-6 Case1-13\_E4 の防潮堤に作用する波圧の最大値

【台形断面，波高：12.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

図 3-3-2-7 は Case1-16\_E5 の移動床における防潮堤に作用する波圧の最大値を試験結果と比較して示す。

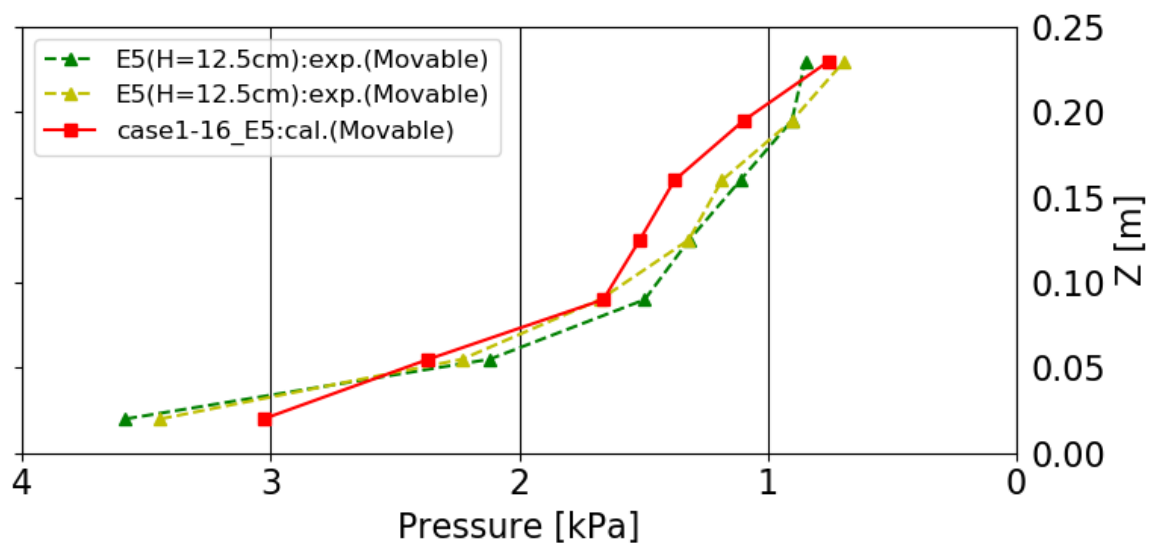


図 3-3-2-7 Case1-16\_E5 の防潮堤に作用する波圧の最大値

【台形断面，波高：7.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

---

### 3-3-3 流速場，浮遊砂濃度の解析結果と砂面形状変化の比較

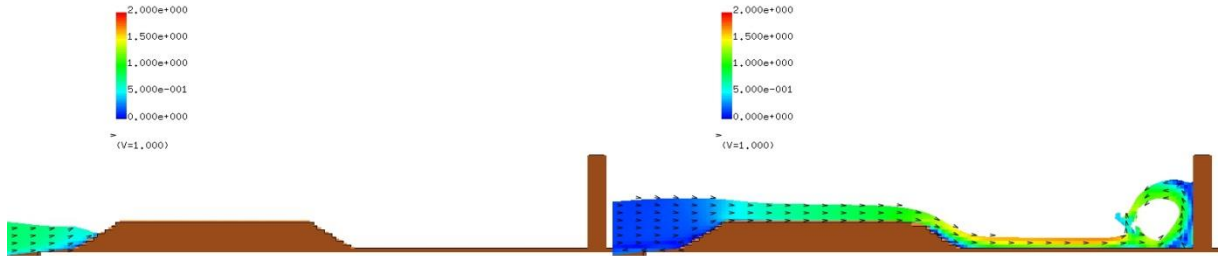
以下では，Case1-1\_E1～Case1-19 における流速場の計算結果，浮遊砂濃度分布の計算結果及び防潮堤前面における砂面形状変化を示す（図 3-3-3-1～図 3-3-3-57 参照）．ここでの浮遊砂濃度の単位は mg/l である．なお，全ケースの砂面形状変化について，解析結果においては押し波が防潮堤に達するまでの時刻の結果を図化した．

(1) Case1-1\_E1 (台形断面, 波高 7.5cm, 汀線-137.5cm, 砂粒径 0.23mm)

図 3-3-3-1 に, Case1-1\_E1 の断面二次元流速スナップショットを示す.

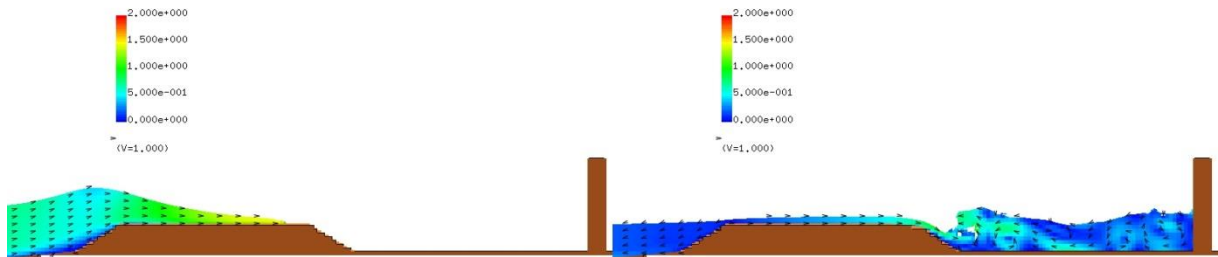
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

T= 11.00127 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= 12.00093 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= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

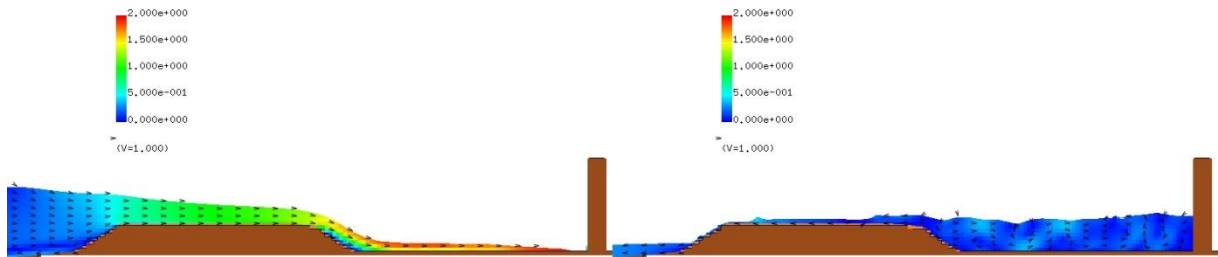
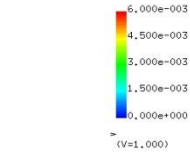


図 3-3-3-1 Case1-1\_E1 の断面二次元流速スナップショット

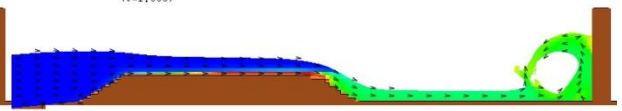
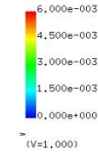
【台形断面, 波高 : 7.5cm, 堤体位置 : 汀線-137.5cm, 砂粒径 : 0.23mm】

図 3-3-3-2 に、Case1-1\_E1 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

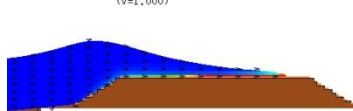
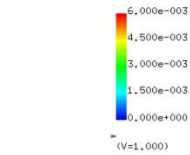
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



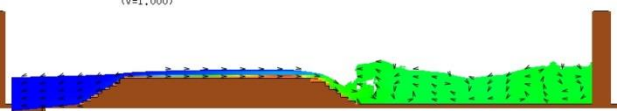
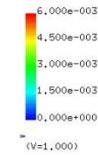
T= 11.00127 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



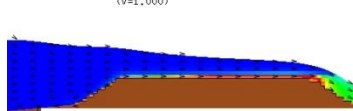
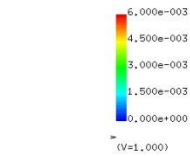
T= 10.00161 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 12.00093 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

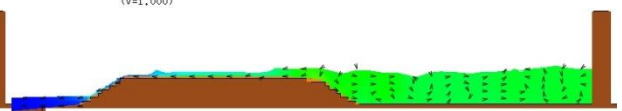
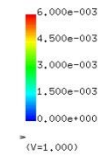


図 3-3-3-2 Case1-1\_E1 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【台形断面，波高：7.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

Case1-1\_E1 の砂面形状変化を図 3-3-3-3 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高を水色の破線で示す。

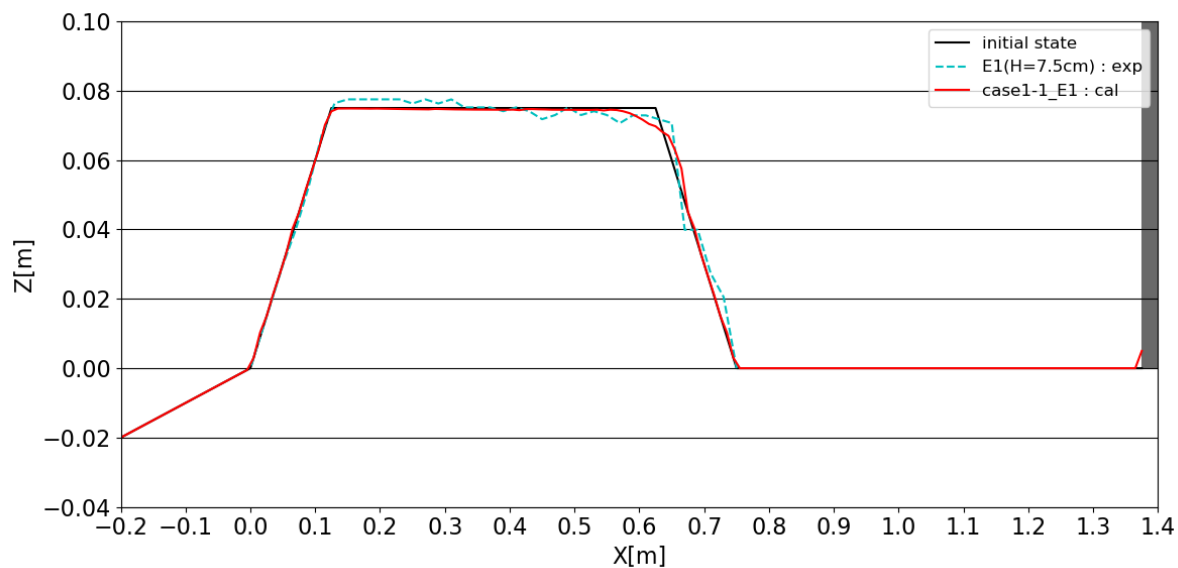


図 3-3-3-3 Case1-1\_E1 の砂面形状変化

【台形断面，波高：7.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

(2) Case1-2 (台形断面, 波高 10.0cm, 汀線-137.5cm, 砂粒径 0.23mm)

図 3-3-3-4 に, Case1-2 の断面二次元流速スナップショットを示す.

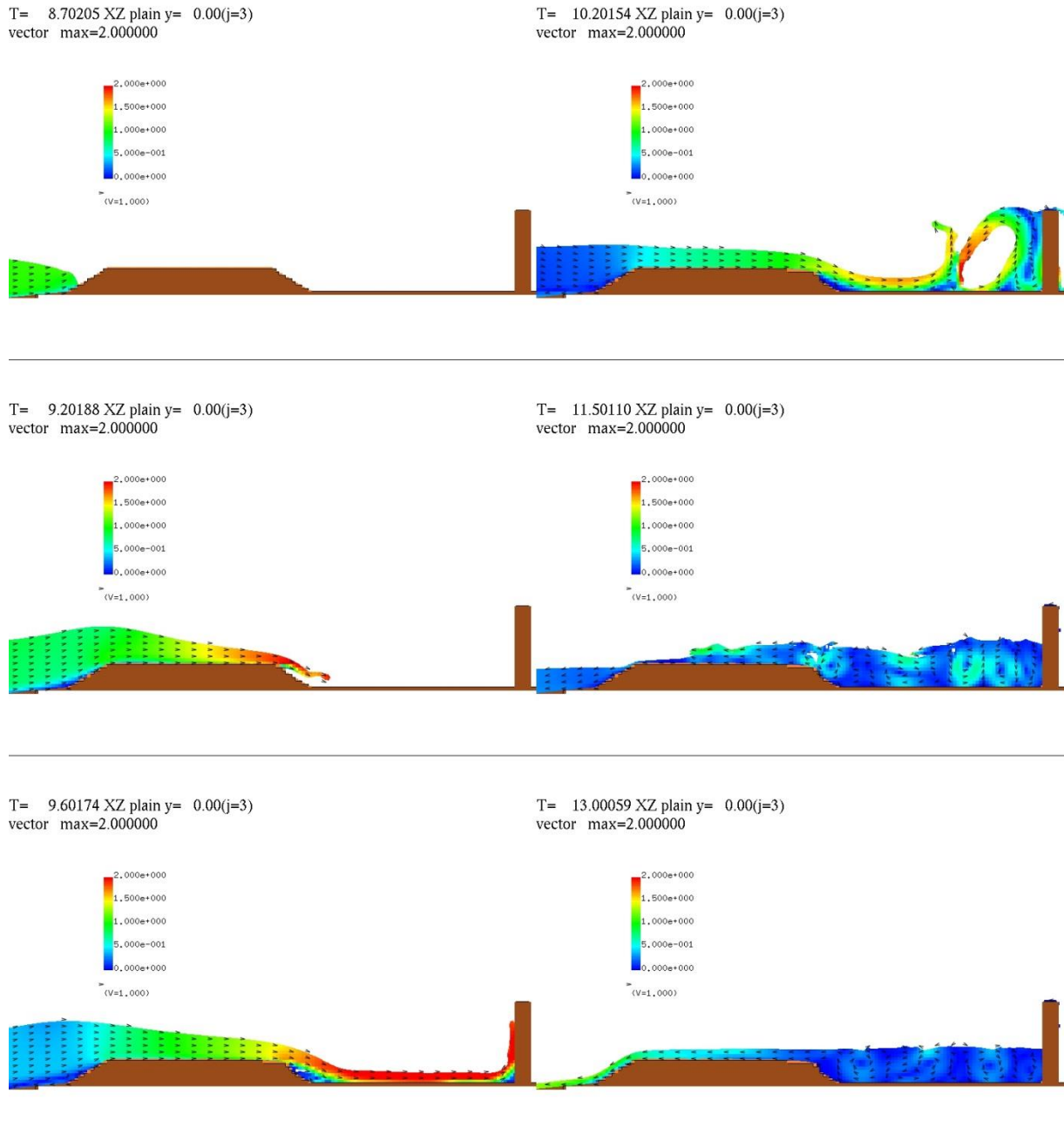


図 3-3-3-4 Case1-2 の断面二次元流速スナップショット

【台形断面, 波高 : 10.0cm, 堤体位置 : 汀線-137.5cm, 砂粒径 : 0.23mm】



図 3-3-3-5 に、Case1-2 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

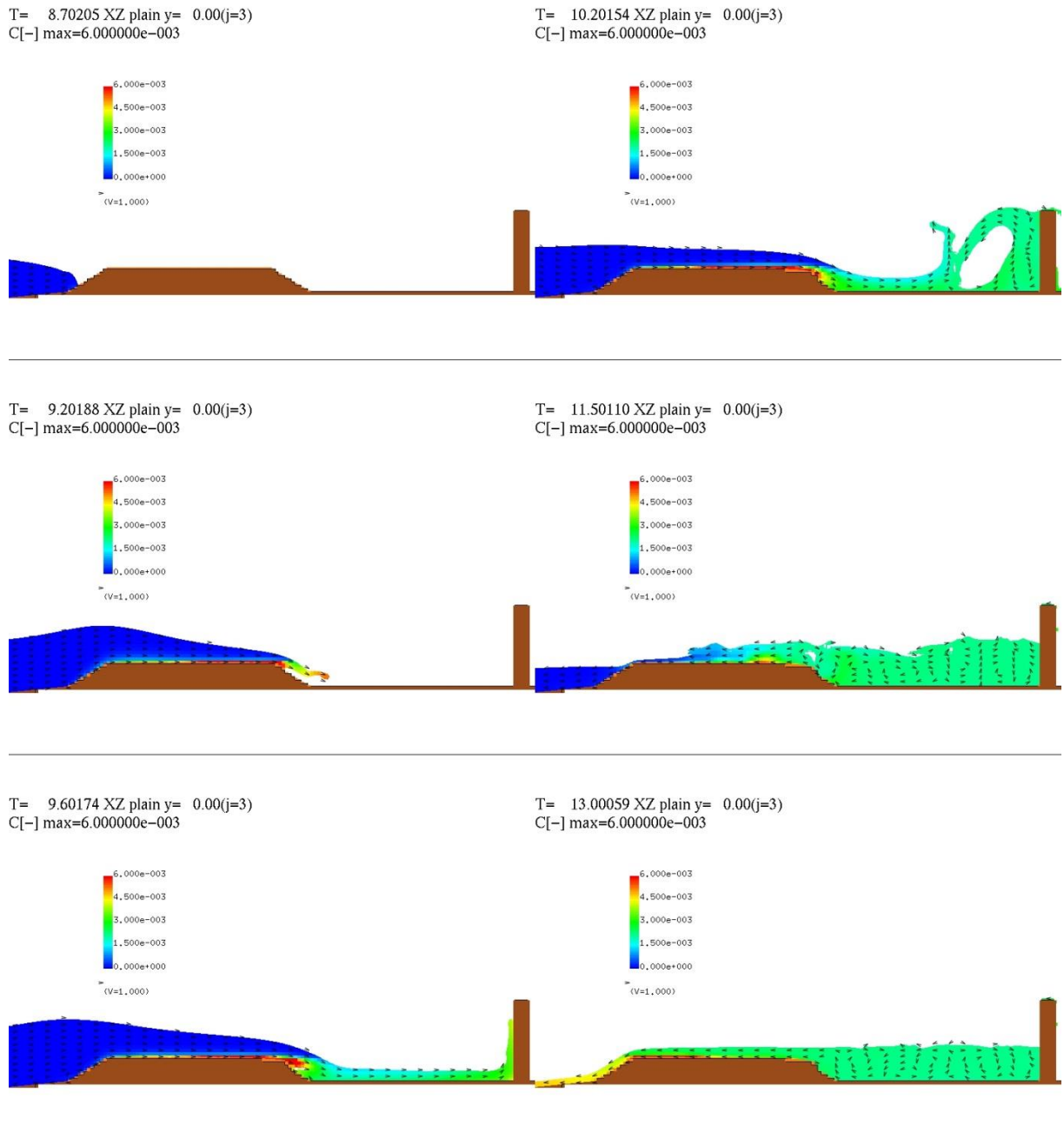


図 3-3-3-5 Case1-2 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【台形断面，波高：10.0cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

---

Case1-2 の砂面形状変化を図 3-3-3-6 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。

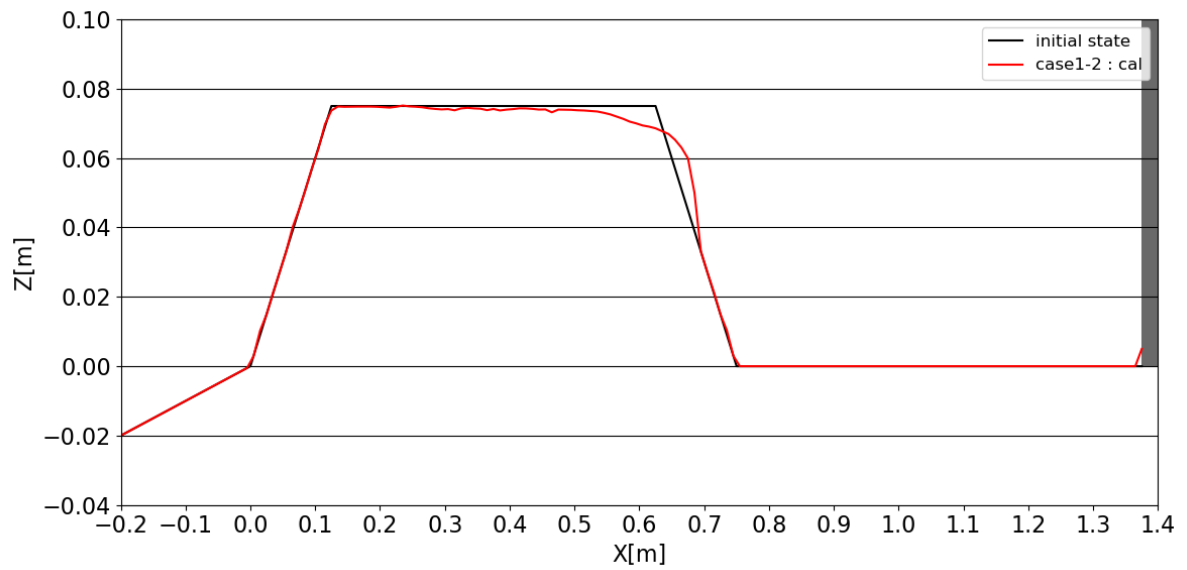


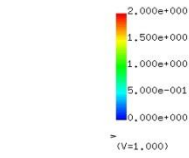
図 3-3-3-6 Case1-2 の砂面形状変化

【台形断面，波高：10.0cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

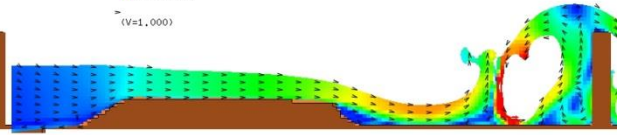
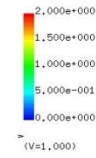
(3)Case1-3\_E1 (台形断面, 波高 12.5cm, 汀線-137.5cm, 砂粒径 0.23mm)

図 3-3-3-7 は, Case1-3\_E1 の断面二次元流速スナップショットを示す.

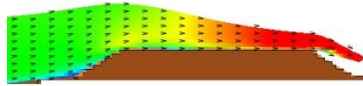
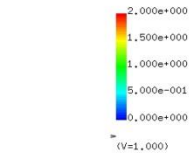
T= 8.15223 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



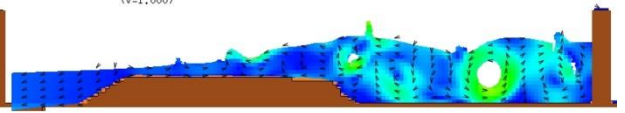
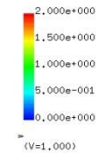
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



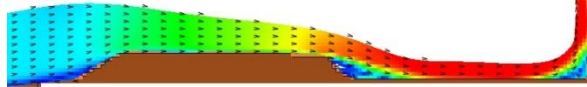
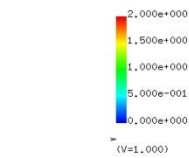
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



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



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



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

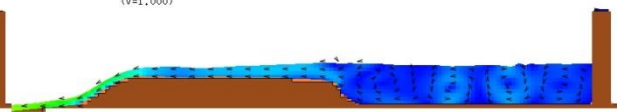
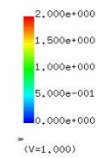


図 3-3-3-7 Case1-3\_E1 の断面二次元流速スナップショット

【台形断面, 波高 : 12.5cm, 堤体位置 : 汀線-137.5cm, 砂粒径 : 0.23mm】

図 3-3-3-8 に、Case1-3\_E1 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

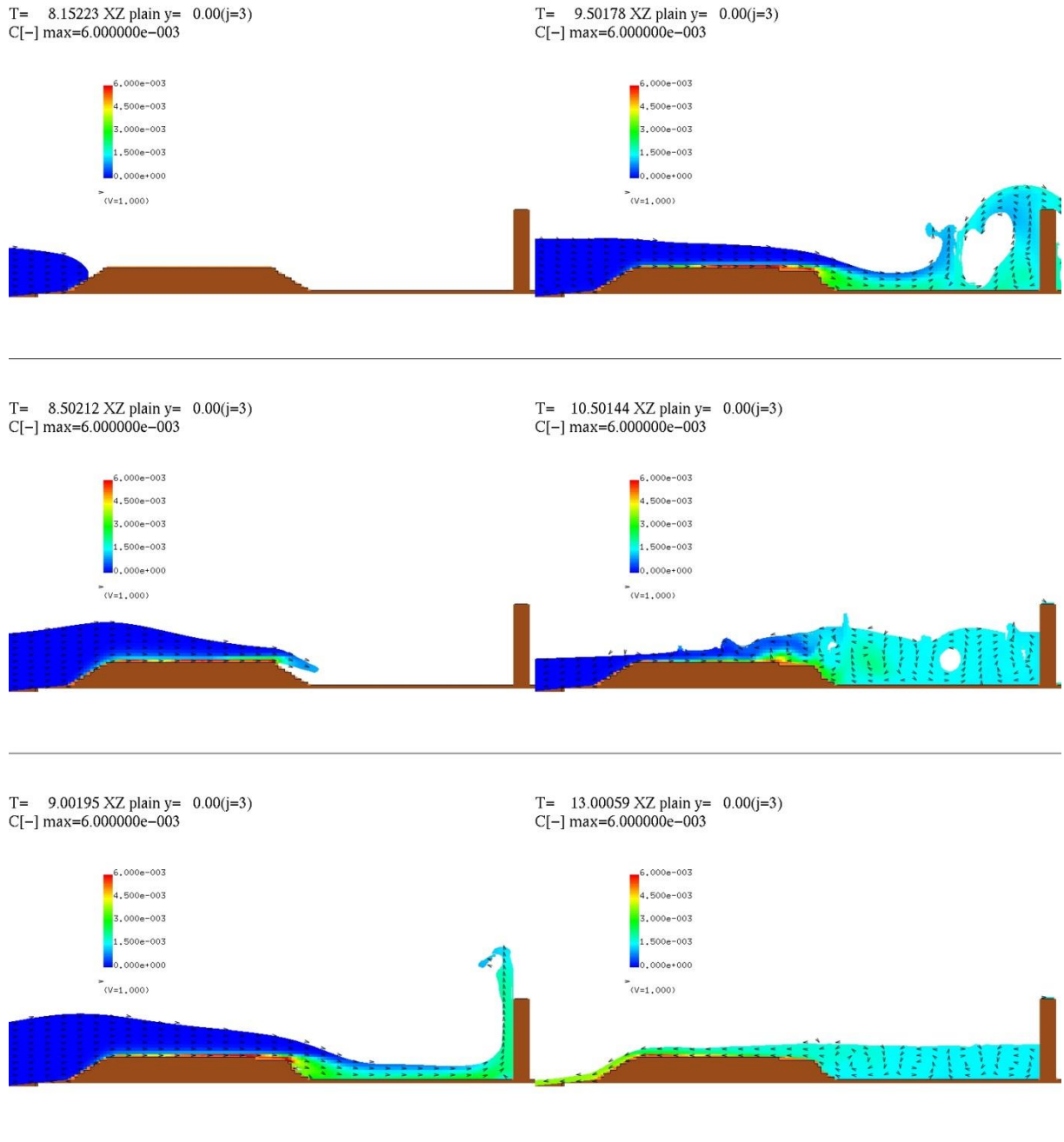


図 3-3-3-8 Case1-3\_E1 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【台形断面，波高：12.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

Case1-3\_E1 の砂面形状変化を図 3-3-3-9 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高を水色の破線で示す。

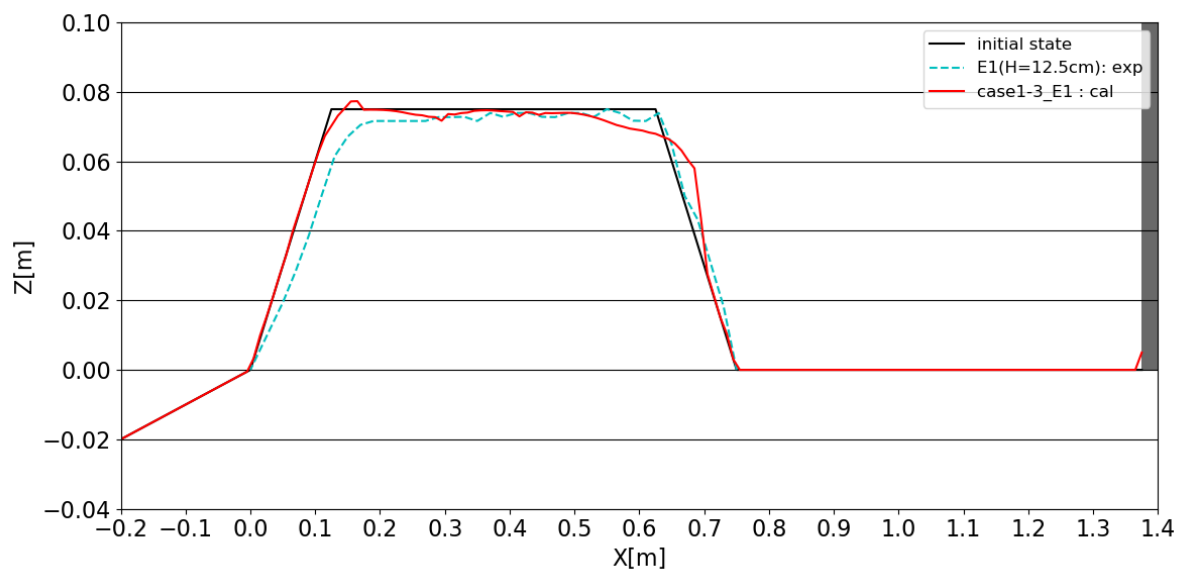


図 3-3-3-9 Case1-3\_E1 の砂面形状変化

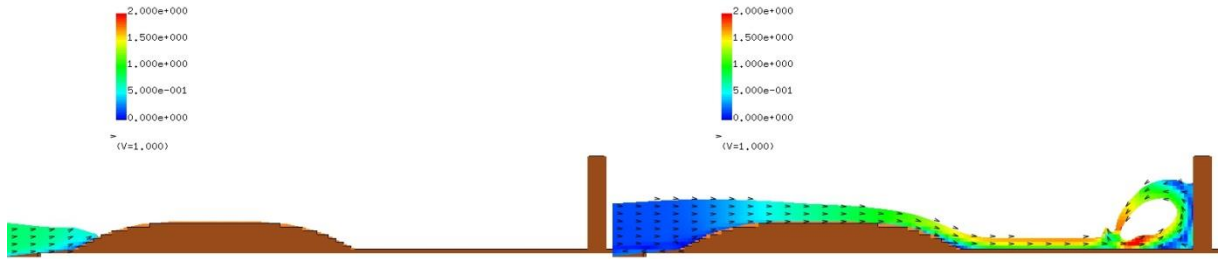
【台形断面，波高：12.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

(4) Case1-4\_E2 (丸み断面, 波高 7.5cm, 汀線-137.5cm, 砂粒径 0.23mm)

図 3-3-3-10 は, Case1-4\_E2 の断面二次元流速スナップショットを示す.

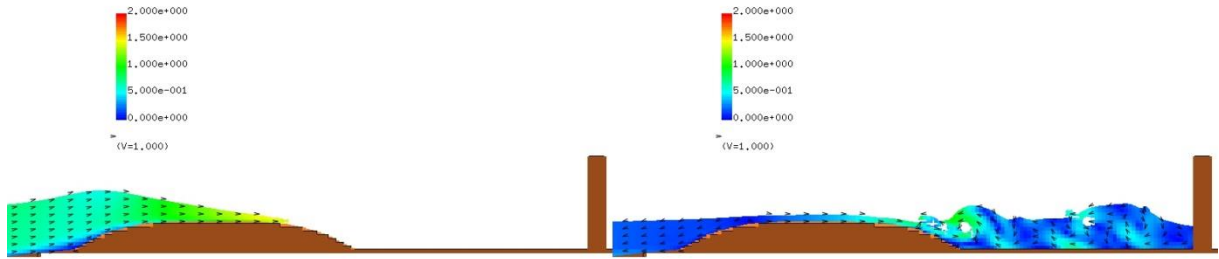
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

T= 11.00127 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= 12.00093 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= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

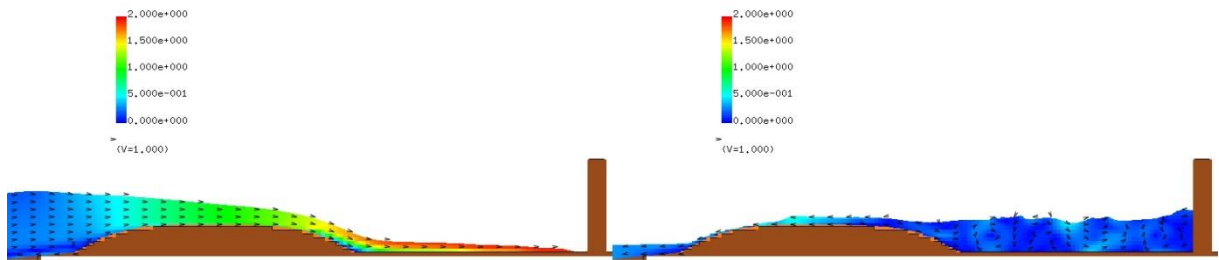
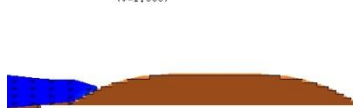
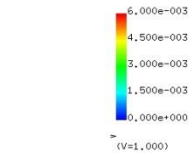


図 3-3-3-10 Case1-4\_E2 の断面二次元流速スナップショット

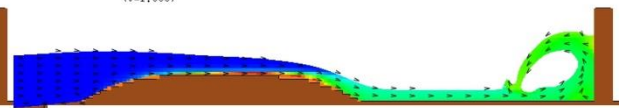
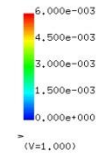
【丸み断面, 波高 : 7.5cm, 堤体位置 : 汀線-137.5cm, 砂粒径 : 0.23mm】

図 3-3-3-11 は、Case1-4\_E2 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

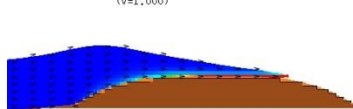
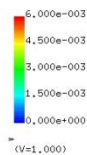
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



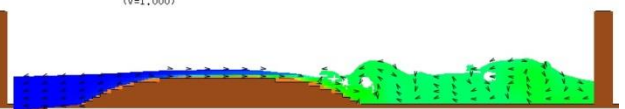
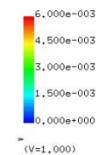
T= 11.00127 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



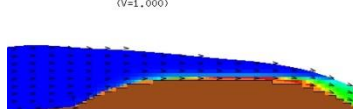
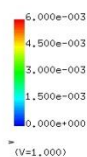
T= 10.00161 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 12.00093 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

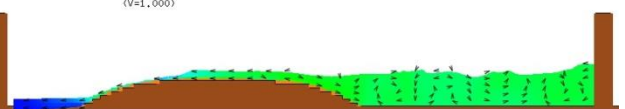
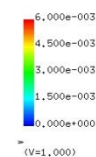


図 3-3-3-11 Case1-4\_E2 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
【丸み断面，波高：7.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

Case1-4\_E2 の砂面形状変化を図 3-3-3-12 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高を水色の破線で示す。

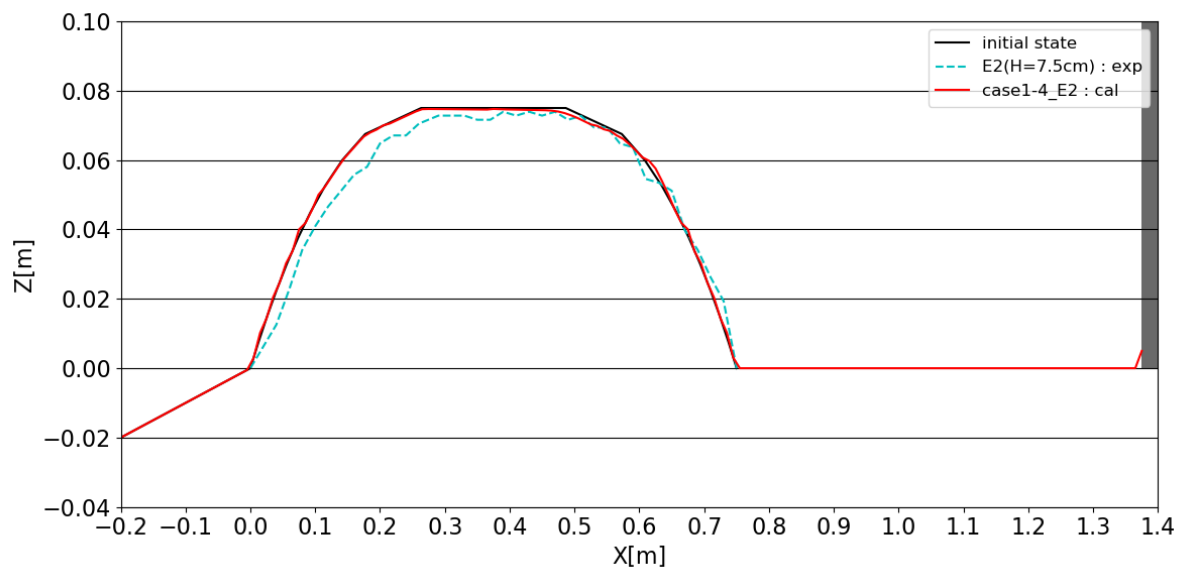


図 3-3-3-12 Case1-4\_E2 の砂面形状変化

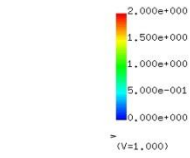
【丸み断面，波高：7.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】



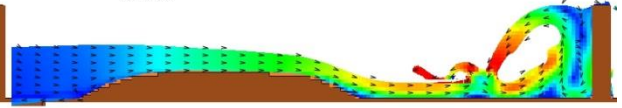
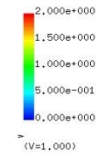
(5) Case1-5 (丸み断面, 波高 10.0cm, 汀線-137.5cm, 砂粒径 0.23mm)

図 3-3-3-13 は, Case1-5 の断面二次元流速スナップショットを示す.

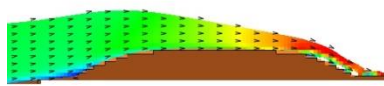
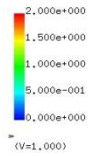
T= 8.70205 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



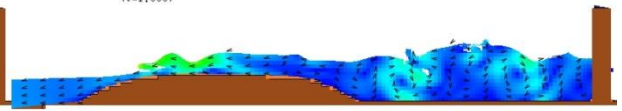
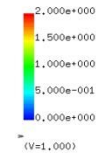
T= 10.20154 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



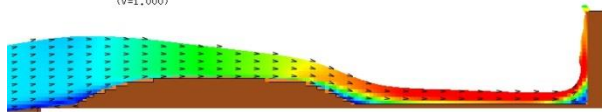
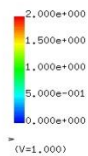
T= 9.20188 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



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



T= 9.60174 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

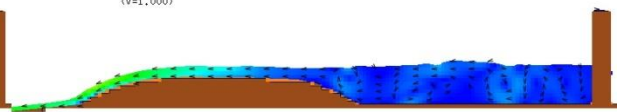
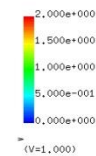


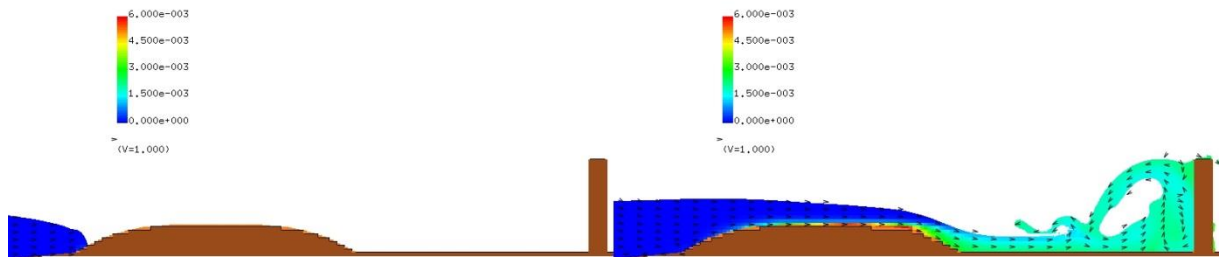
図 3-3-3-13 Case1-5 の断面二次元流速スナップショット

【丸み断面, 波高 : 10.0cm, 堤体位置 : 汀線-137.5cm, 砂粒径 : 0.23mm】

図 3-3-3-14 は、Case1-5 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

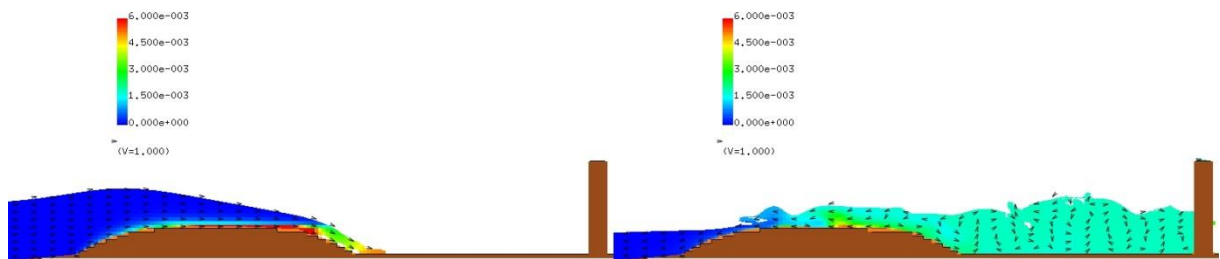
T= 8.70205 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

T= 10.20154 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 9.20188 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

T= 11.50110 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 9.60174 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

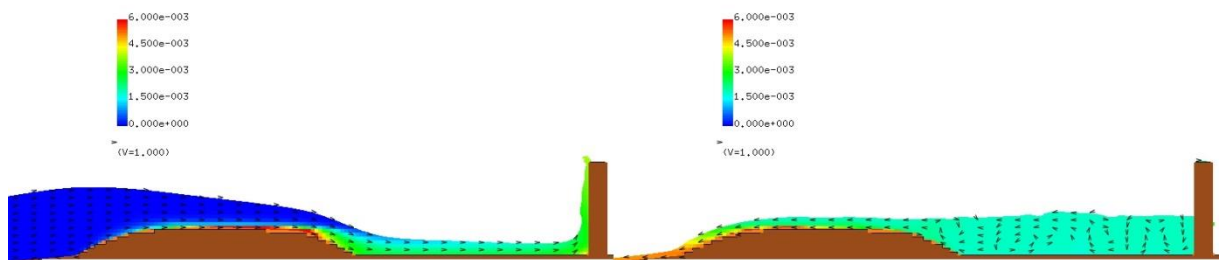


図 3-3-3-14 Case1-5 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
【丸み断面，波高：10.0cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

Case1-5 の砂面形状変化を図 3-3-3-15 に示す. 砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し, 解析結果の河床高を赤の実線で示す.

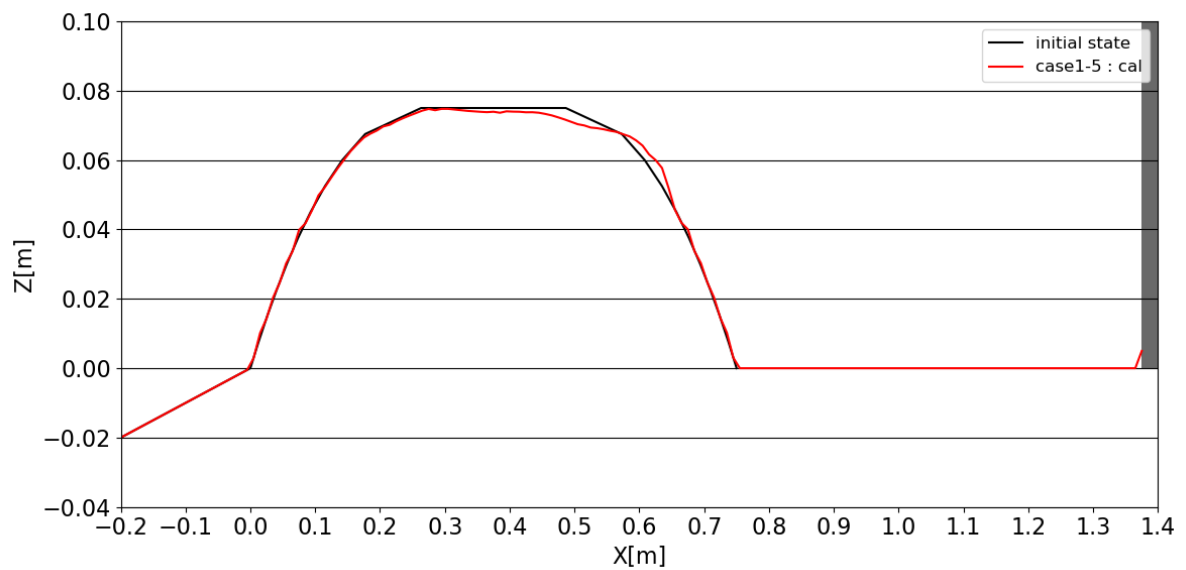


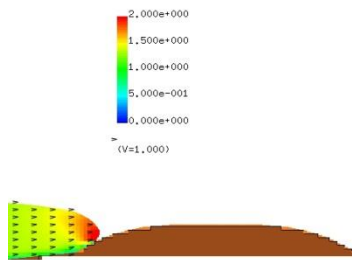
図 3-3-3-15 Case1-5 の砂面形状変化

【丸み断面, 波高 : 10.0cm, 堤体位置 : 汀線-137.5cm, 砂粒径 : 0.23mm】

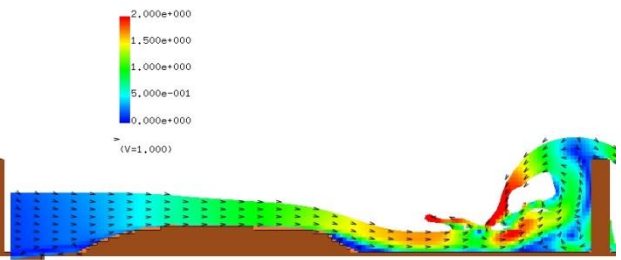
(6) Case1-6\_E2 (丸み断面, 波高 12.5cm, 汀線-137.5cm, 砂粒径 0.23mm)

図 3-3-3-16 は, Case1-6\_E2 の断面二次元流速スナップショットを示す.

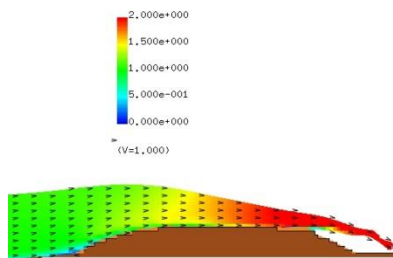
T= 8.15223 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



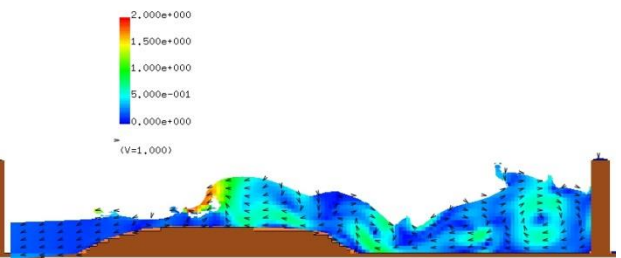
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



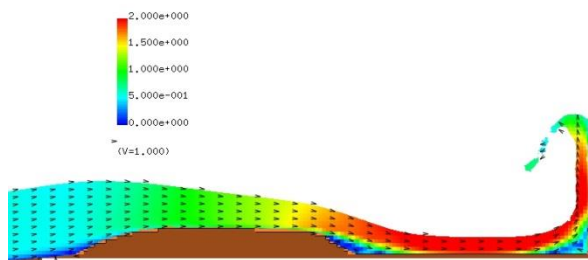
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



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



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



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

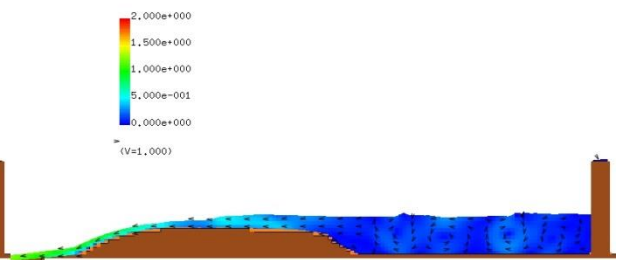
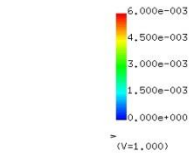


図 3-3-3-16 Case1-6\_E2 の断面二次元流速スナップショット

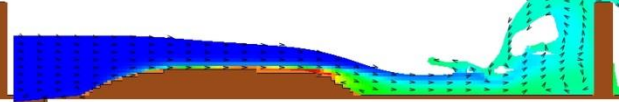
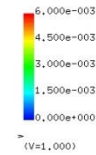
【丸み断面, 波高 : 12.5cm, 堤体位置 : 汀線-137.5cm, 砂粒径 : 0.23mm】

図 3-3-3-17 は、Case1-6\_E2 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

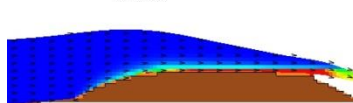
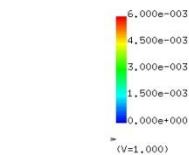
T= 8.15223 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



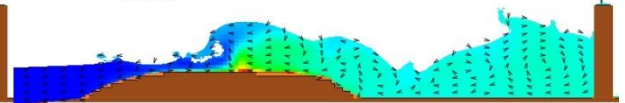
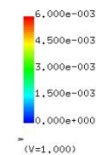
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



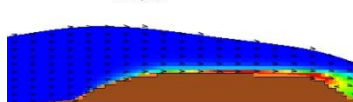
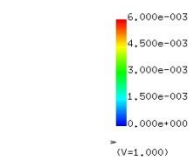
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 9.00195 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

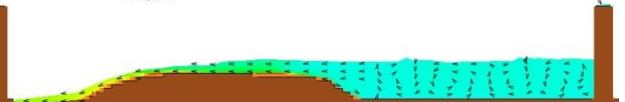
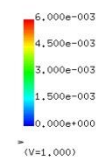


図 3-3-3-17 Case1-6\_E2 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
【丸み断面，波高：12.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

Case1-6\_E2 の砂面形状変化を図 3-3-3-18 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高を水色の破線で示す。

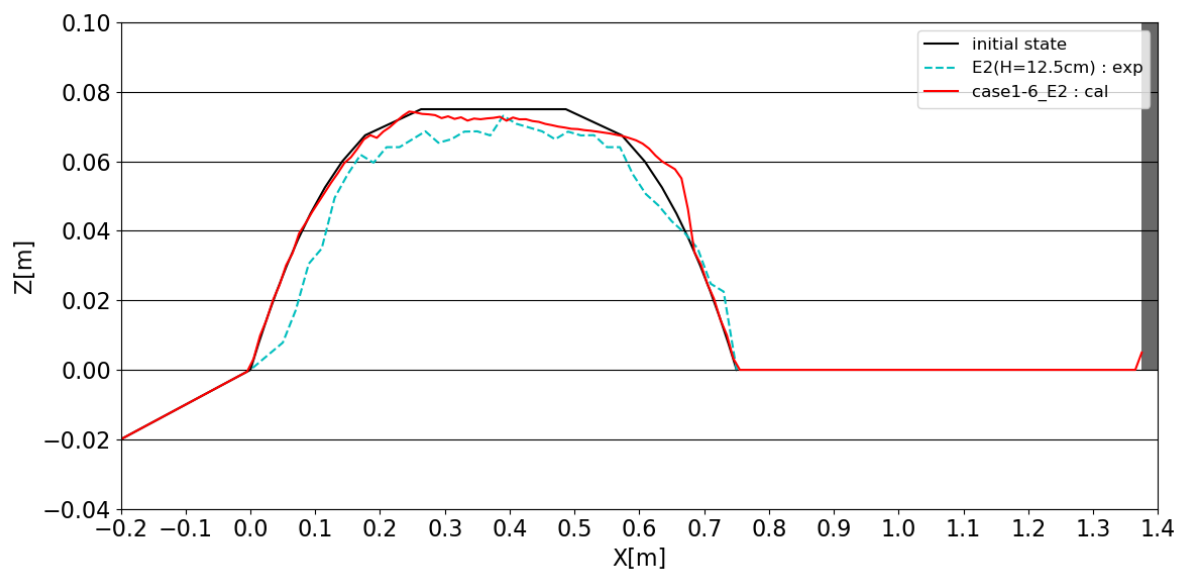


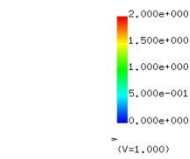
図 3-3-3-18 Case1-6\_E2 の砂面形状変化

【丸み断面，波高：12.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

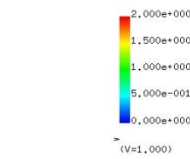
(7) Case1-7\_E3 (台形断面, 波高 7.5cm, 防潮堤なし, 砂粒径 0.23mm)

図 3-3-3-19 は, Case1-7\_E3 の断面二次元流速スナップショットを示す.

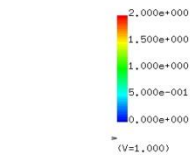
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



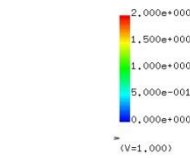
T= 11.00127 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



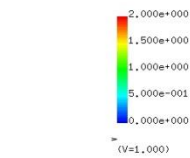
T= 10.00161 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 12.00093 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= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

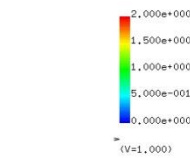
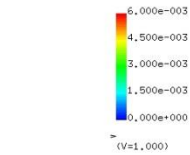


図 3-3-3-19 Case1-7\_E3 の断面二次元流速スナップショット

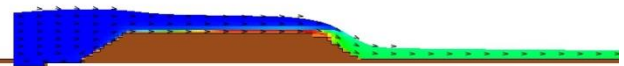
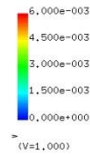
【台形断面, 波高 : 7.5cm, 防潮堤なし, 砂粒径 : 0.23mm】

図 3-3-3-20 は、Case1-7\_E3 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

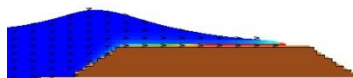
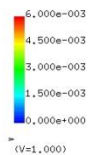
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



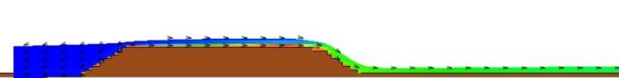
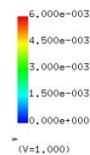
T= 11.00127 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



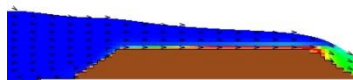
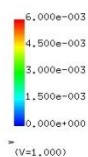
T= 10.00161 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 12.00093 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

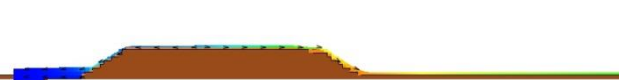
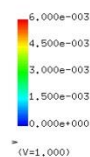


図 3-3-3-20 Case1-7\_E3 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【台形断面，波高：7.5cm，防潮堤なし，砂粒径：0.23mm】



Case1-7\_E3 の砂面形状変化を図 3-3-3-21 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高を水色の破線で示す。

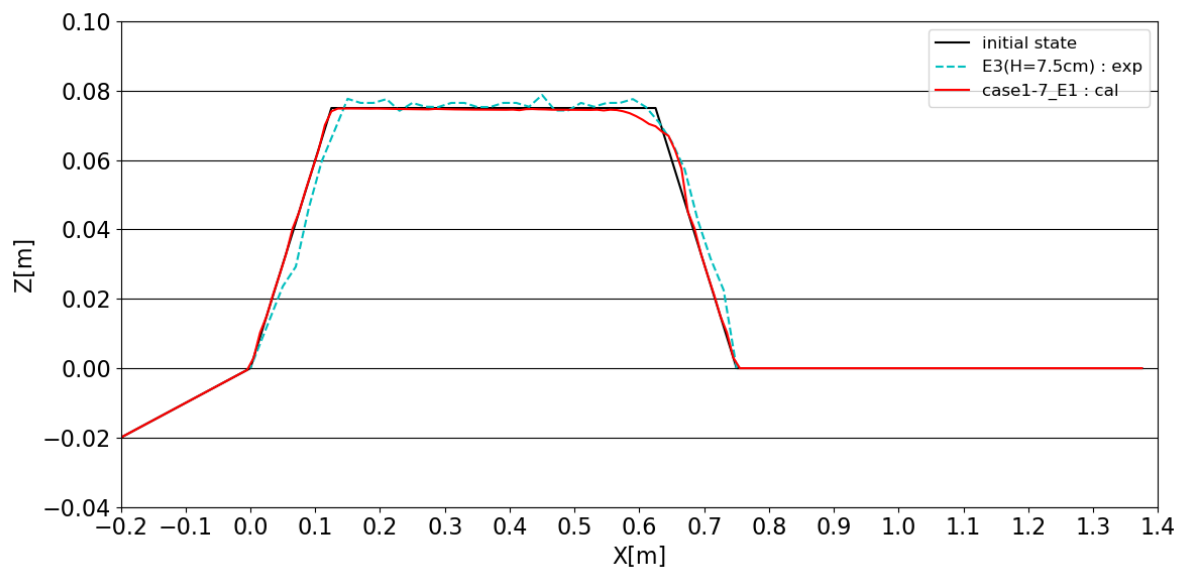


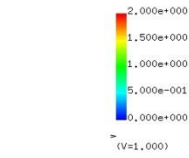
図 3-3-3-21 Case1-7\_E3 の砂面形状変化

【台形断面，波高：7.5cm，防潮堤なし，砂粒径：0.23mm】

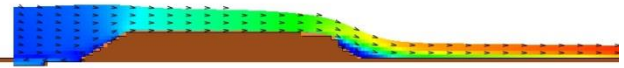
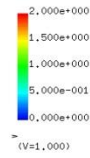
(8) Case1-8 (台形断面, 波高 10.0cm, 防潮堤なし, 砂粒径 0.23mm)

図 3-3-3-22 は, Case1-8 の断面二次元流速スナップショットを示す.

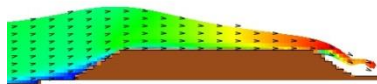
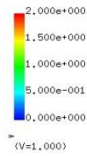
T= 8.70205 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



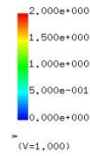
T= 10.20154 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



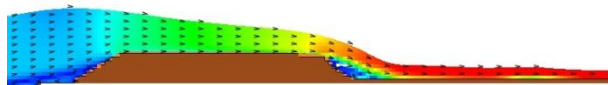
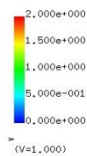
T= 9.20188 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



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



T= 9.60174 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

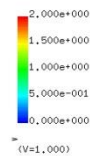
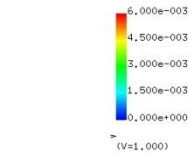


図 3-3-3-22 Case1-8 の断面二次元流速スナップショット

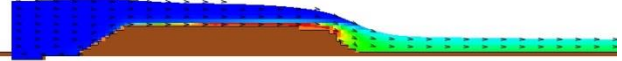
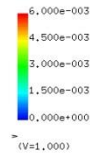
【台形断面, 波高 : 10.0cm, 防潮堤なし, 砂粒径 : 0.23mm】

図 3-3-3-23 は, Case1-8 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す.

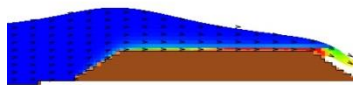
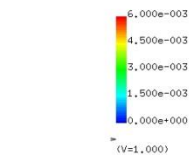
T= 8.70205 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



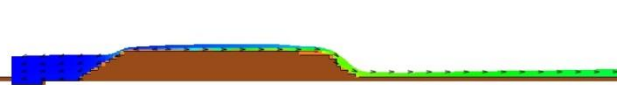
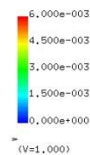
T= 10.20154 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



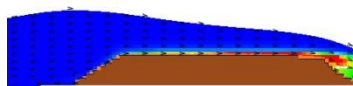
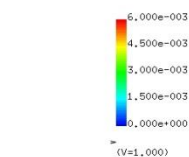
T= 9.20188 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 11.50110 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 9.60174 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

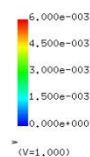


図 3-3-3-23 Case1-8 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【台形断面, 波高: 10.0cm, 防潮堤なし, 砂粒径: 0.23mm】

Case1-8 の砂面形状変化を図 3-3-3-24 に示す. 砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し, 解析結果の河床高を赤の実線で示す.

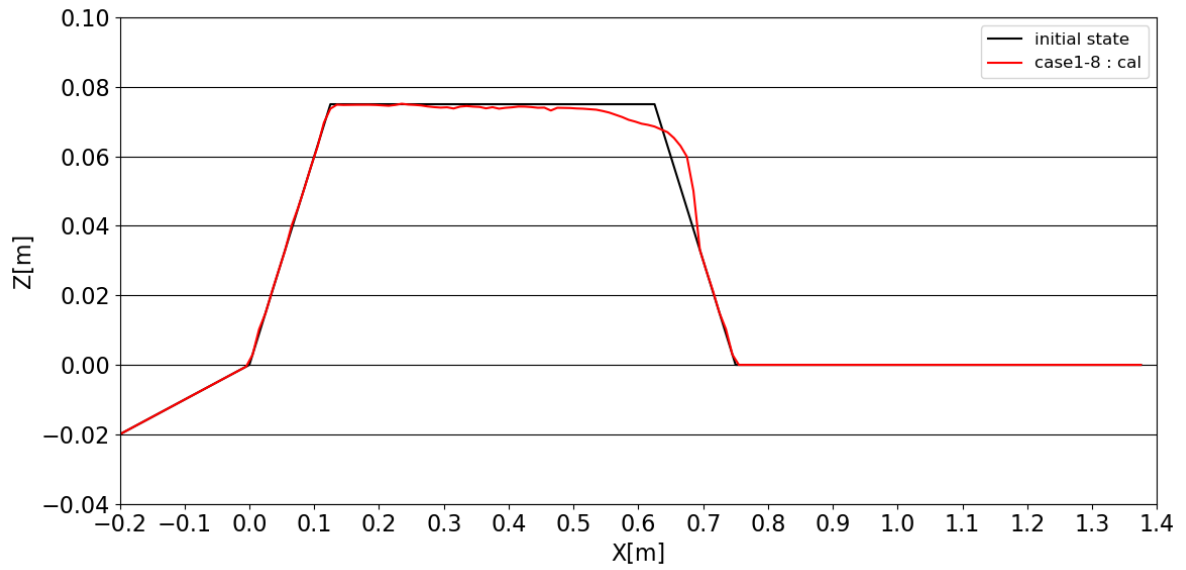


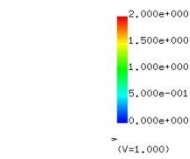
図 3-3-3-24 Case1-8 の砂面形状変化

【台形断面, 波高 : 10.0cm, 防潮堤なし, 砂粒径 : 0.23mm】

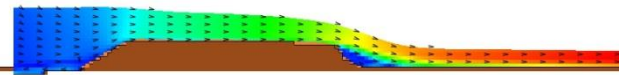
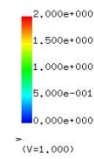
(9) 台形断面，波高 12.5cm，防潮堤なし，砂粒径 0.23mm (Case1-9\_E3)

図 3-3-3-25 は，Case1-9\_E3 の断面二次元流速スナップショットを示す。

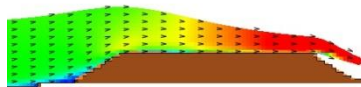
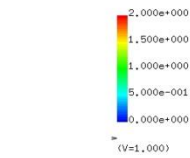
T= 8.15223 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



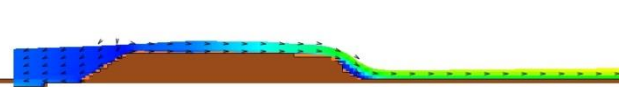
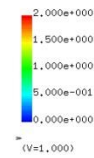
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



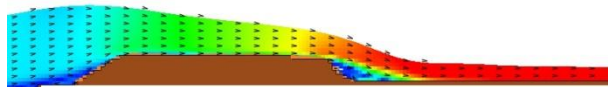
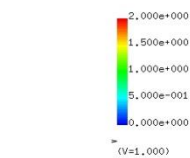
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



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



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



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

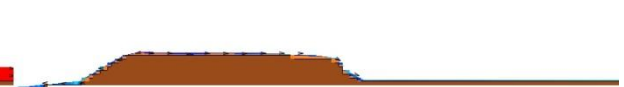
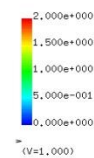
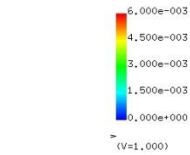


図 3-3-3-25 Case1-9\_E3 の断面二次元流速スナップショット

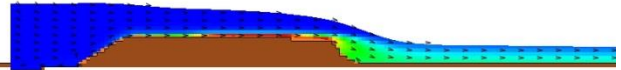
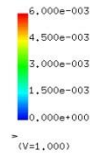
【台形断面，波高：12.5cm，防潮堤なし，砂粒径：0.23mm】

図 3-3-3-26 は、Case1-9\_E3 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

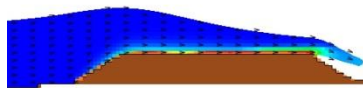
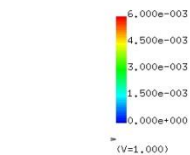
T= 8.15223 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



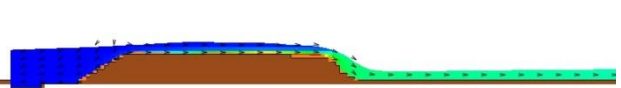
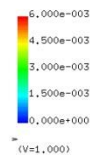
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



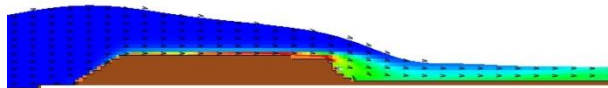
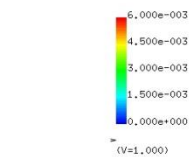
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 9.00195 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

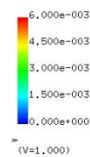


図 3-3-3-26 Case1-9\_E3 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【台形断面，波高：12.5cm，防潮堤なし，砂粒径：0.23mm】

Case1-9\_E3 の砂面形状変化を図 3-3-3-27 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高を水色の破線で示す。

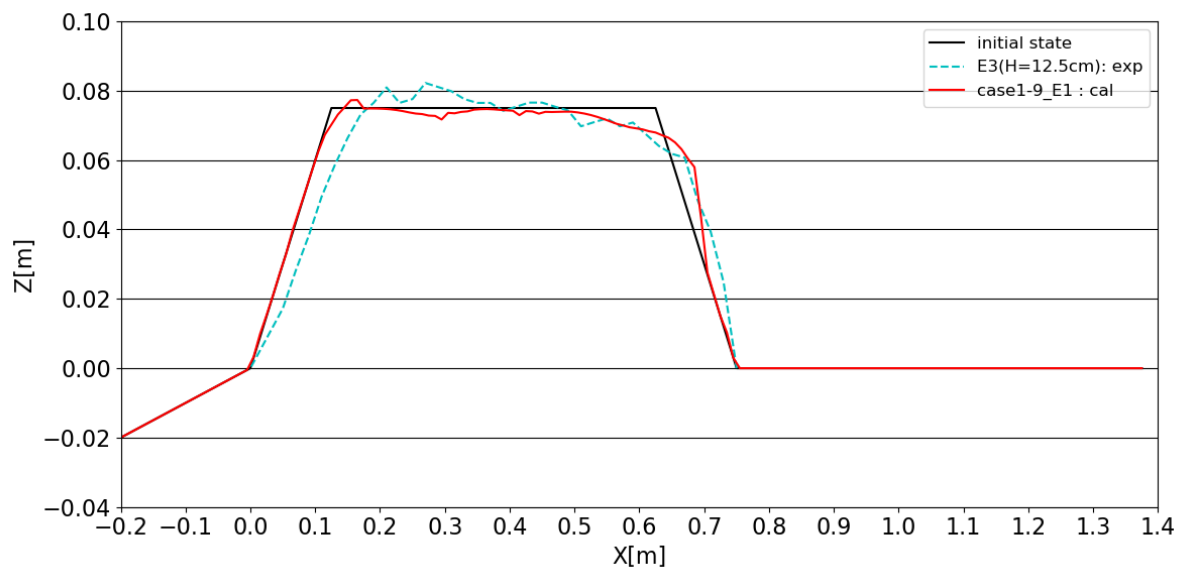


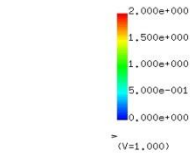
図 3-3-3-27 Case1-9\_E3 の砂面形状変化

【台形断面，波高：12.5cm，防潮堤なし，砂粒径：0.23mm】

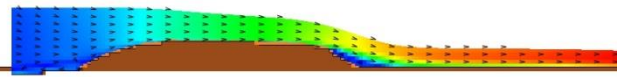
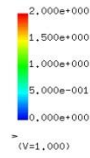
(10) Case1-10 (丸み断面, 波高 12.5cm, 防潮堤なし, 砂粒径 0.23mm)

図 3-3-3-28 は, Case1-10 の断面二次元流速スナップショットを示す.

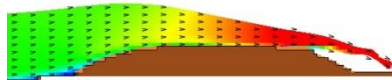
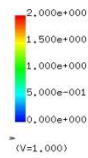
T= 8.15223 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



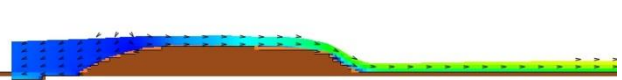
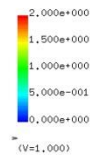
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



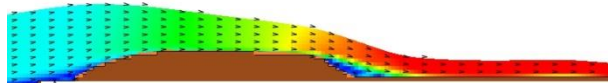
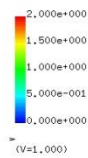
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



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



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



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

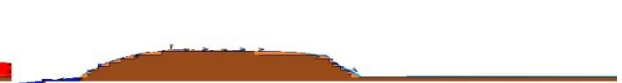
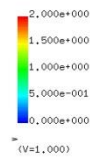


図 3-3-3-28 Case1-10 の断面二次元流速スナップショット

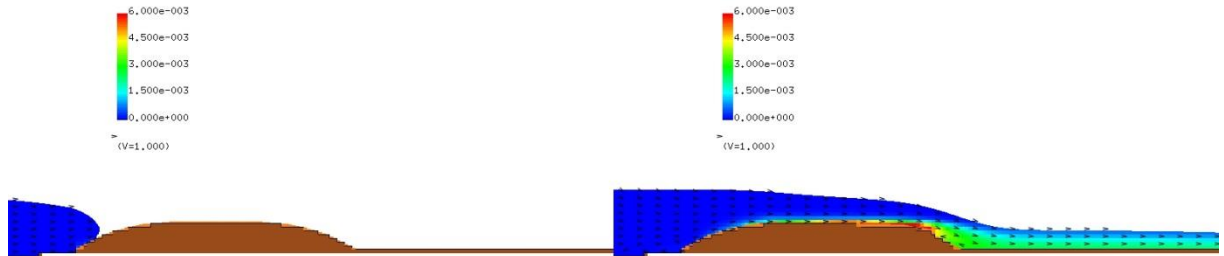
【丸み断面, 波高 : 12.5cm, 防潮堤なし, 砂粒径 : 0.23mm】



図 3-3-3-29 は、Case1-10 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

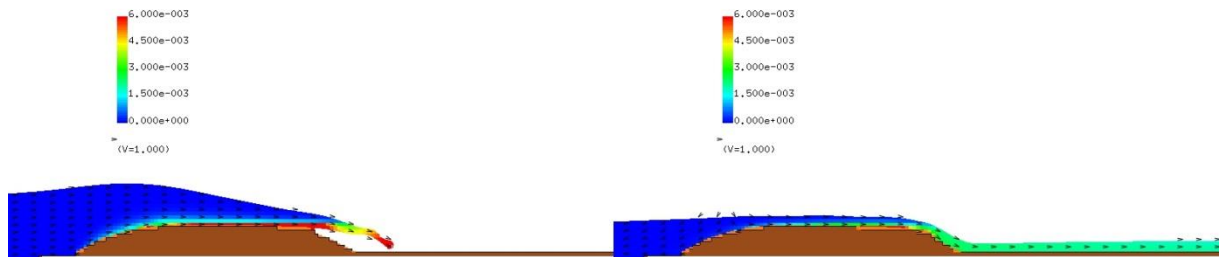
T= 8.15223 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 9.00195 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

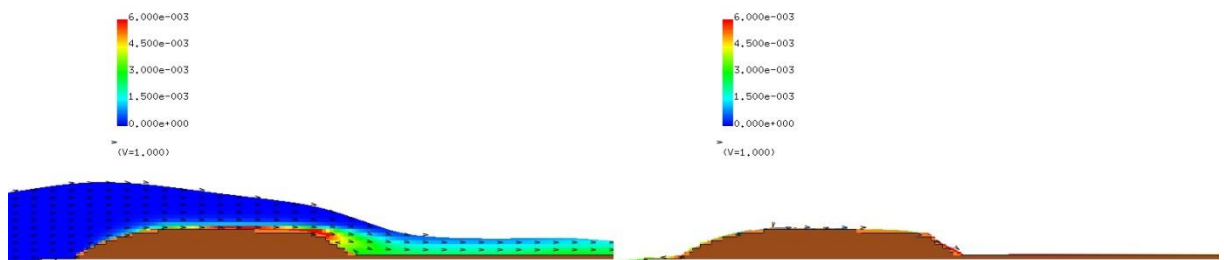


図 3-3-3-29 Case1-10 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【丸み断面，波高：12.5cm，防潮堤なし，砂粒径：0.23mm】

Case1-10 の砂面形状変化を図 3-3-3-30 に示す．砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し，解析結果の河床高を赤の実線で示す．

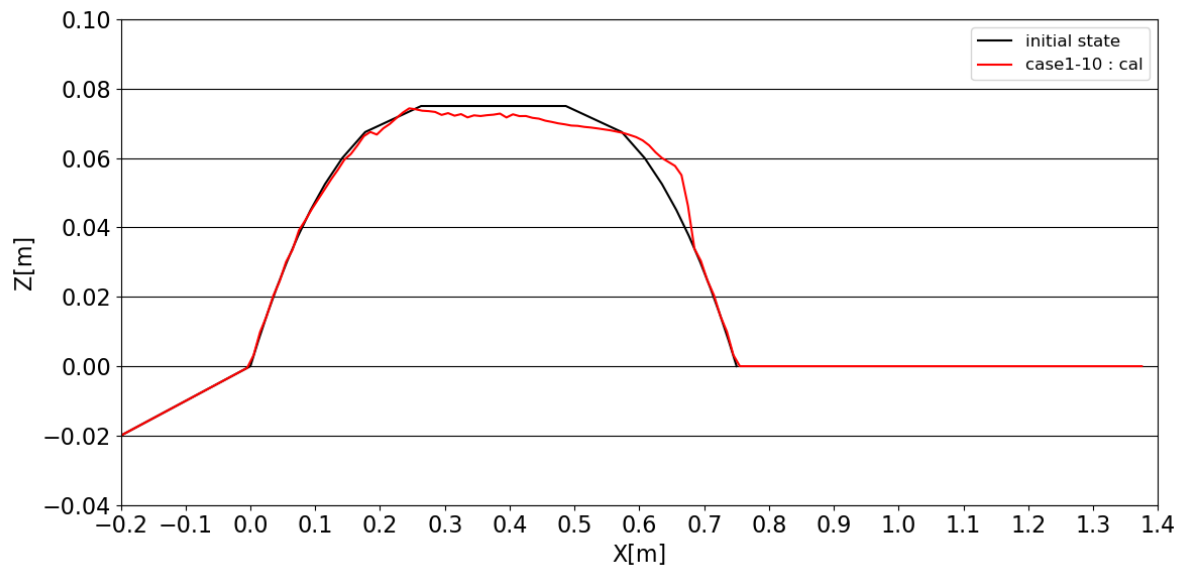


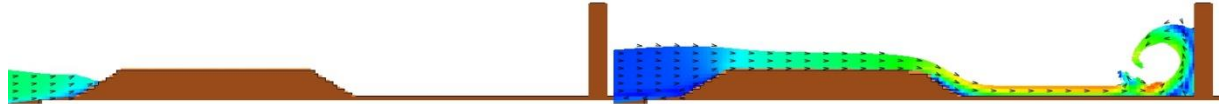
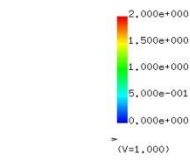
図 3-3-3-30 Case1-10 の砂面形状変化

【丸み断面，波高：12.5cm，防潮堤なし，砂粒径：0.23mm】

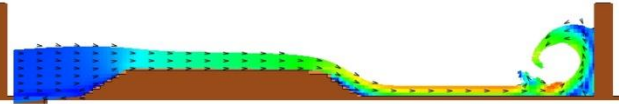
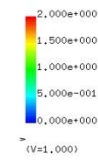
(11) Case1-11\_E4 (台形断面, 波高 7.5cm, 汀線-137.5cm, 砂粒径 0.11mm)

図 3-3-3-31 は, Case1-11\_E4 の断面二次元流速スナップショットを示す.

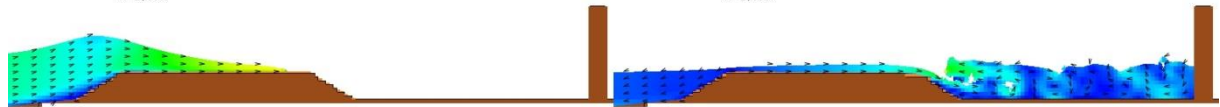
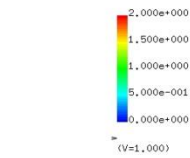
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



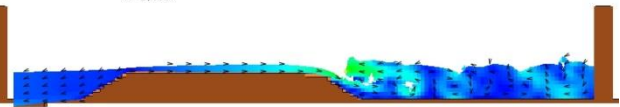
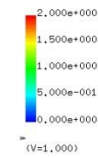
T= 11.00127 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



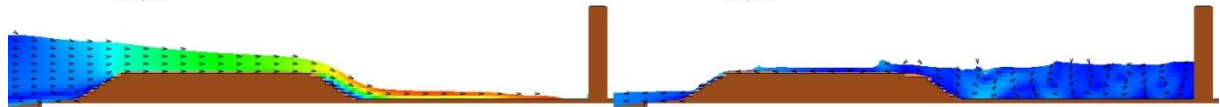
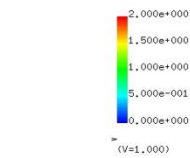
T= 10.00161 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 12.00093 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= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

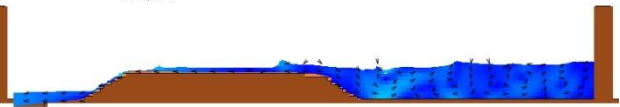
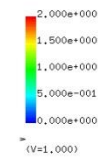


図 3-3-3-31 Case1-11\_E4 の断面二次元流速スナップショット

【台形断面, 波高 : 7.5cm, 堤体位置 : 汀線-137.5cm, 砂粒径 : 0.11mm】

図 3-3-3-32 は、Case1-11\_E4 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

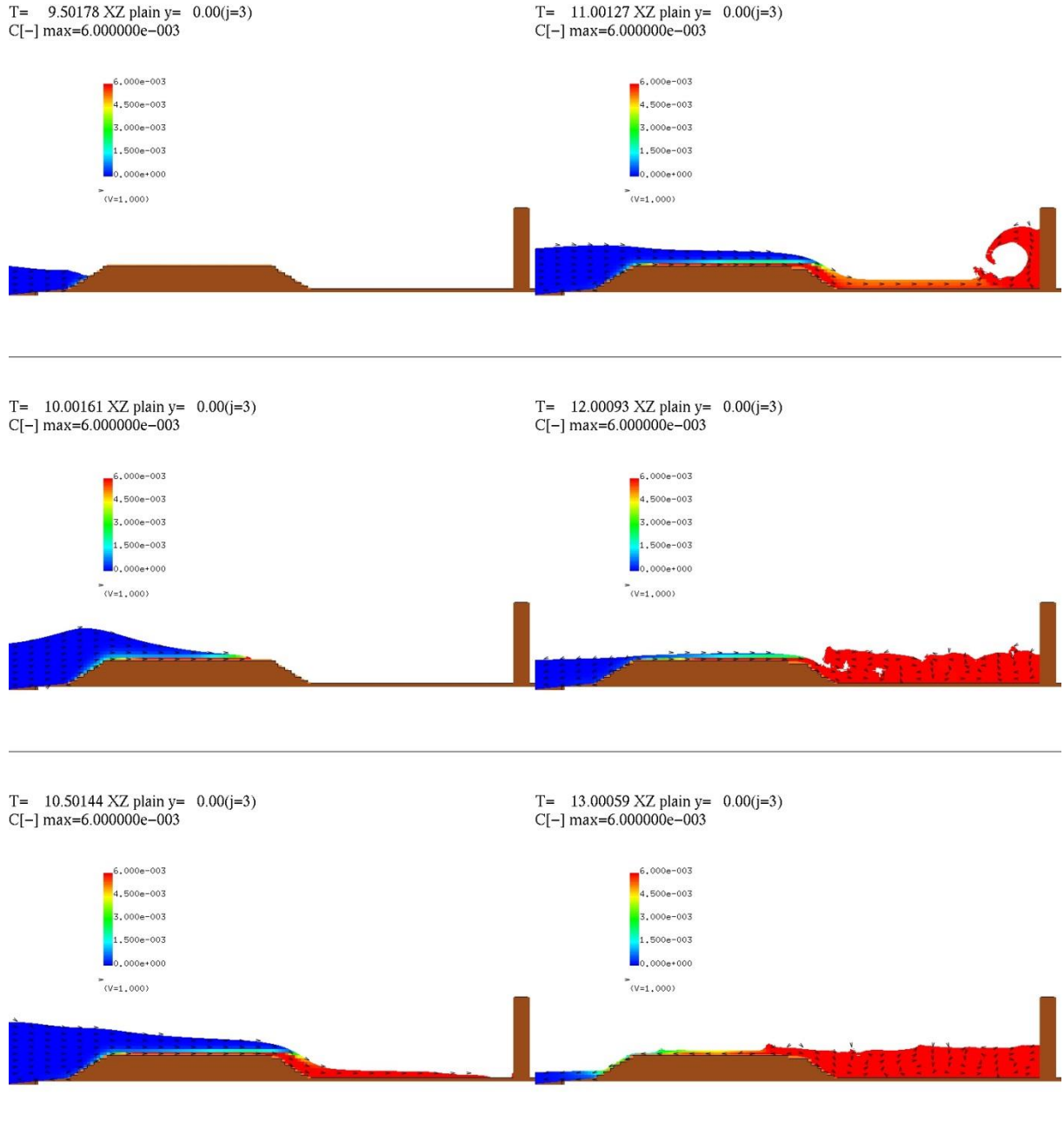


図 3-3-3-32 Case1-11\_E4 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
 【台形断面，波高：7.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.11mm】

Case1-11\_E4 の砂面形状変化を図 3-3-3-33 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高を水色の破線で示す。

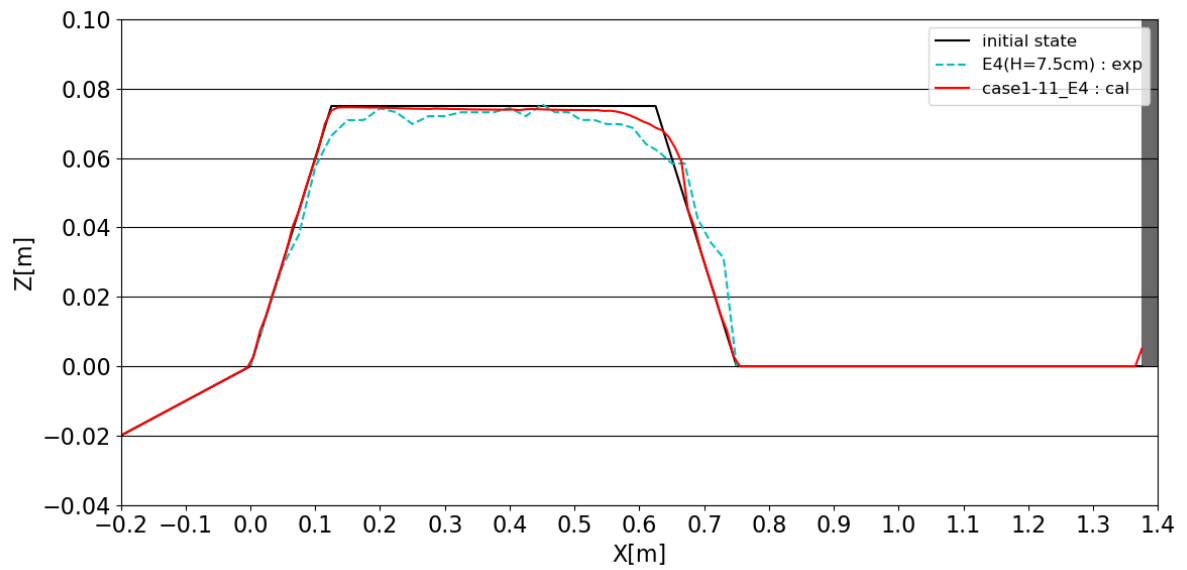


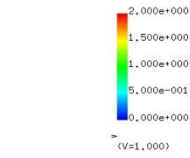
図 3-3-3-33 Case1-11\_E4 の砂面形状変化

【台形断面，波高：7.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.11mm】

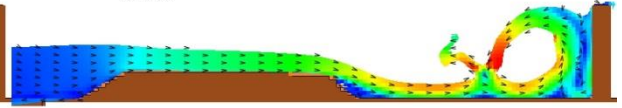
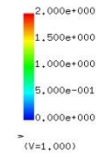
(12) Case1-12 (台形断面, 波高 10.0cm, 汀線-137.5cm, 砂粒径 0.11mm)

図 3-3-3-34 は, Case1-12 の断面二次元流速スナップショットを示す.

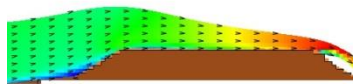
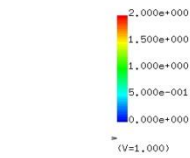
T= 8.70205 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



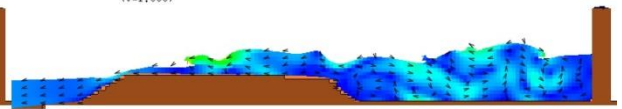
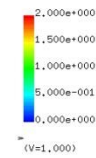
T= 10.20154 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



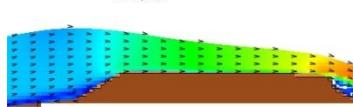
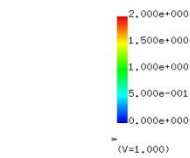
T= 9.20188 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



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



T= 9.60174 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

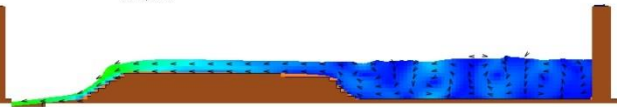
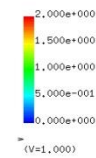


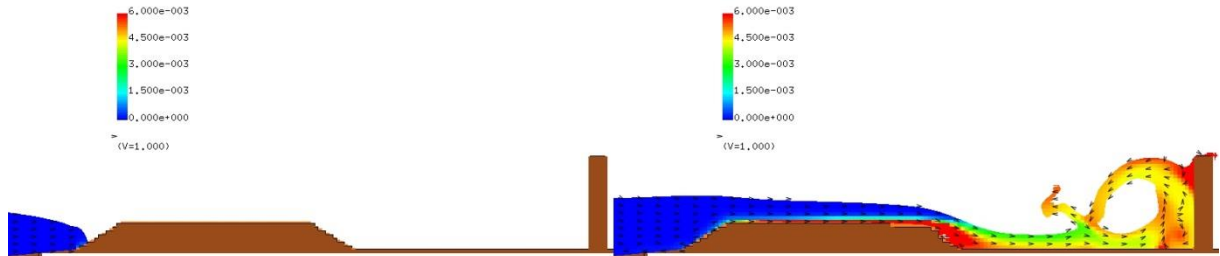
図 3-3-3-34 Case1-12 の断面二次元流速スナップショット

【台形断面, 波高 : 10.0cm, 堤体位置 : 汀線-137.5cm, 砂粒径 : 0.11mm】

図 3-3-3-35 は、Case1-12 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

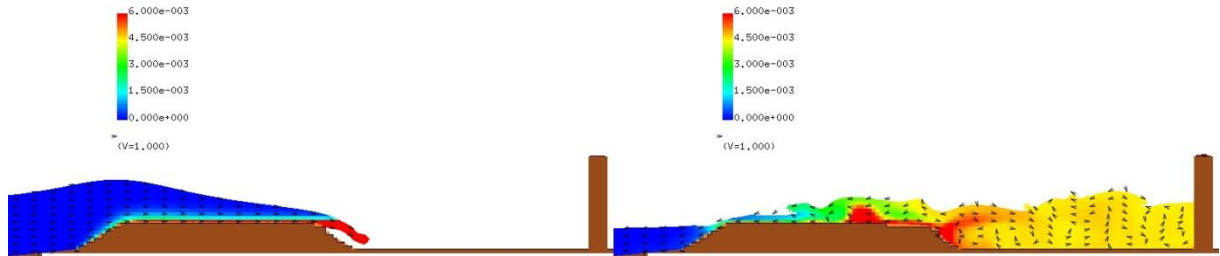
T= 8.70205 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

T= 10.20154 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 9.20188 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

T= 11.50110 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 9.60174 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

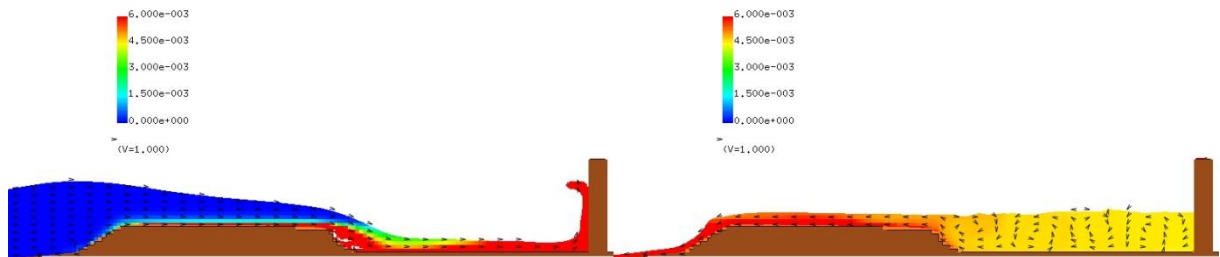


図 3-3-3-35 Case1-12 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【台形断面，波高：10.0cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.11mm】

Case1-12 の砂面形状変化を図 3-3-3-36 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高を水色の破線で示す。

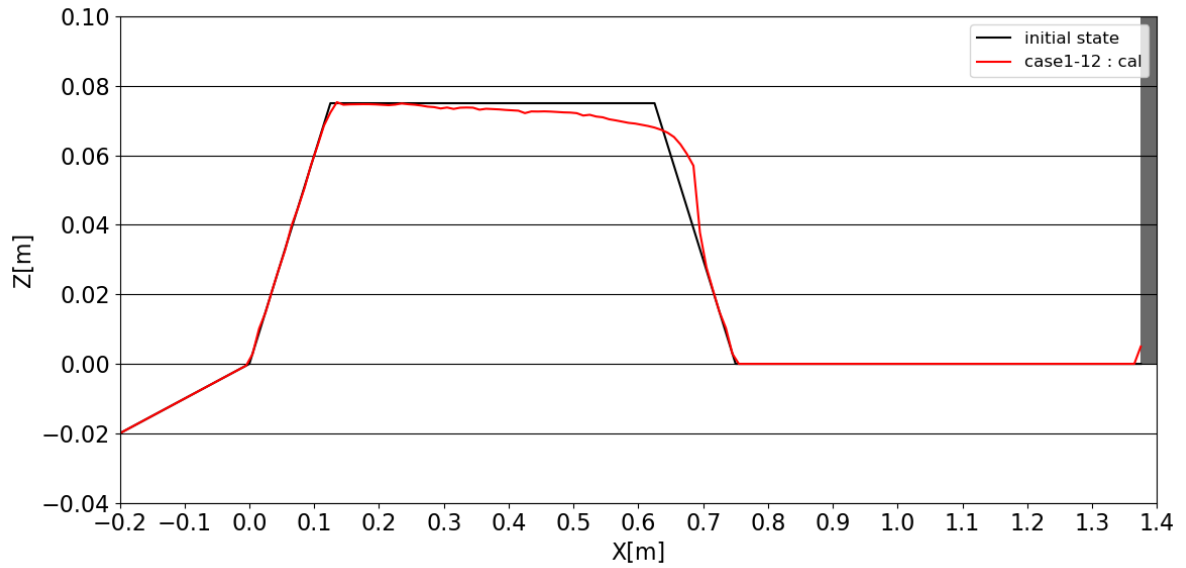


図 3-3-3-36 Case1-12 の砂面形状変化

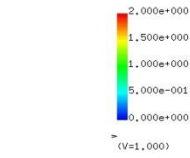
【台形断面，波高：10.0cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.11mm】



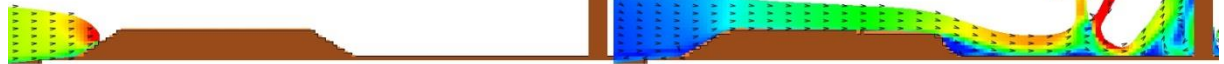
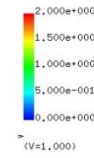
(13) Case1-13\_E4 (台形断面, 波高 12.5cm, 汀線-137.5cm, 砂粒径 0.11mm)

図 3-3-3-37 は, Case1-13\_E4 の断面二次元流速スナップショットを示す.

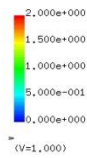
T= 8.15223 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



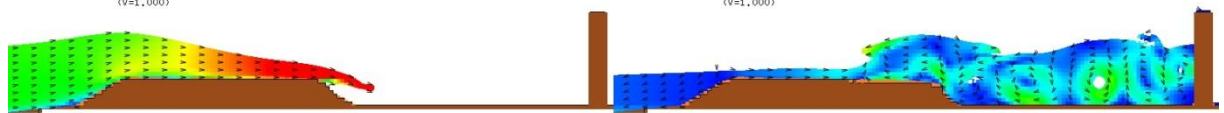
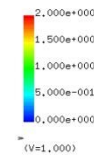
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



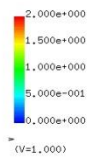
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



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



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



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

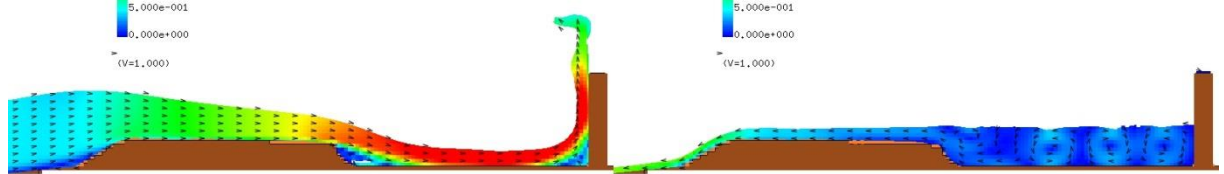
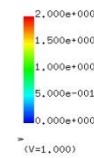


図 3-3-3-37 Case1-13\_E4 の断面二次元流速スナップショット

【台形断面, 波高 : 12.5cm, 堤体位置 : 汀線-137.5cm, 砂粒径 : 0.11mm】

図 3-3-3-38 は、Case1-13\_E4 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

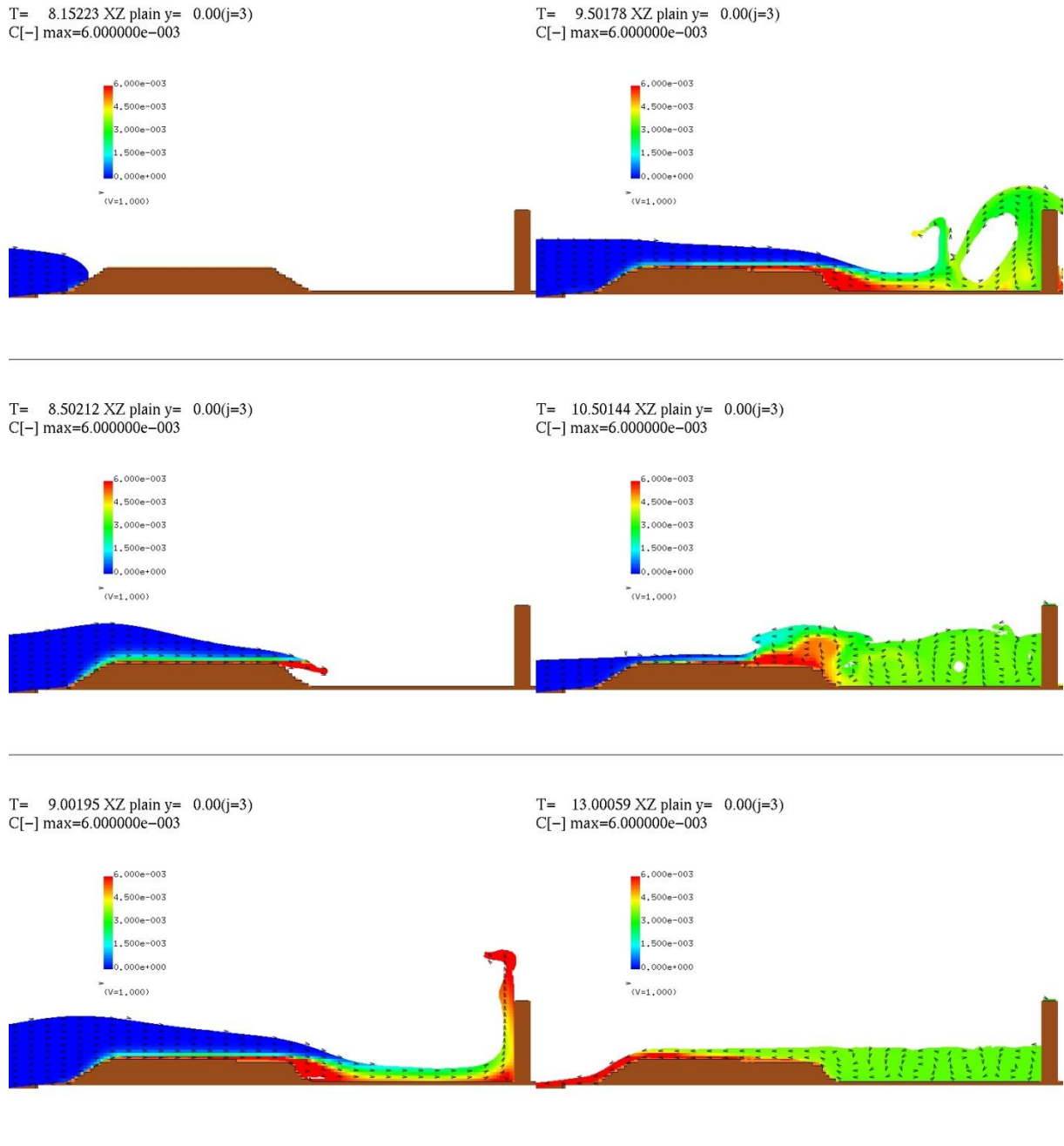


図 3-3-3-38 Case1-13\_E4 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
**【台形断面，波高：12.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.11mm】**

Case1-13\_E4 の砂面形状変化を図 3-3-3-39 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高を水色の破線で示す。

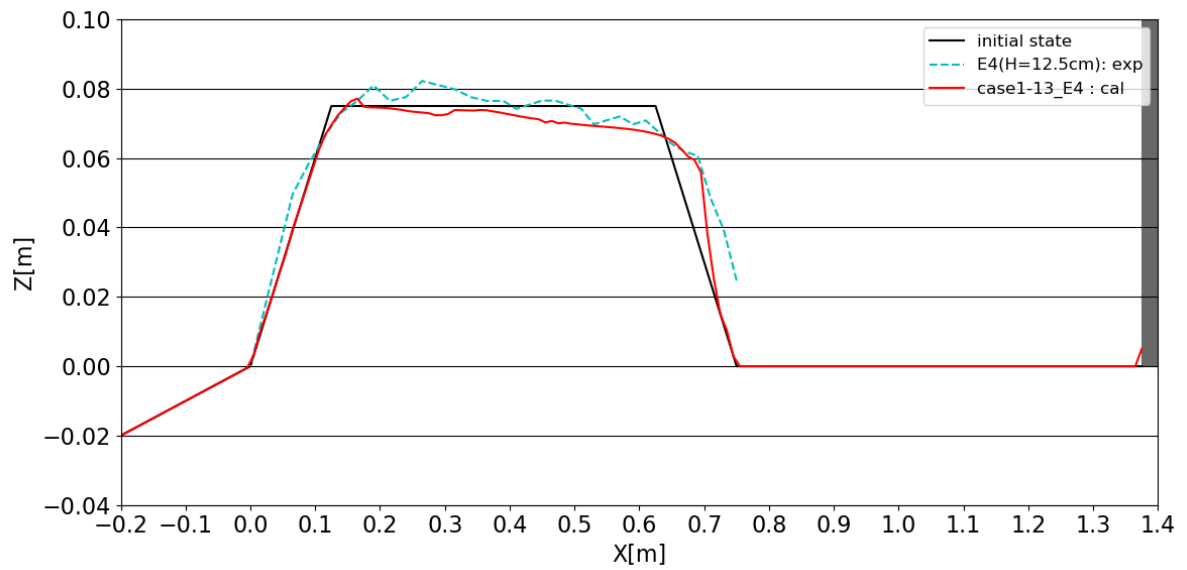


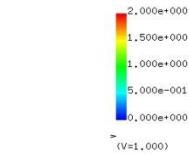
図 3-3-3-39 Case1-13\_E4 の砂面形状変化

【台形断面，波高：12.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.11mm】

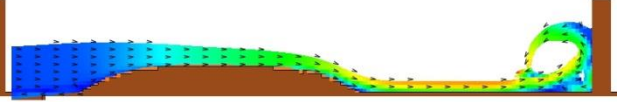
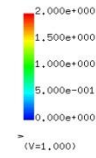
(14) Case1-14 (丸み断面, 波高 7.5cm, 汀線-137.5cm, 砂粒径 0.11mm)

図 3-3-3-40 は, Case1-14 の断面二次元流速スナップショットを示す.

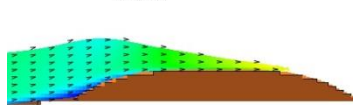
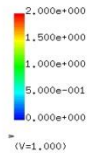
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



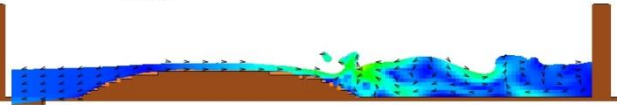
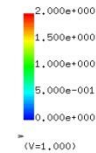
T= 11.00127 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



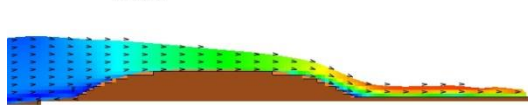
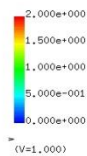
T= 10.00161 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 12.00093 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= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

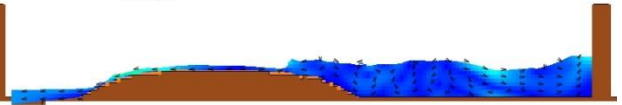
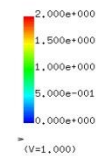


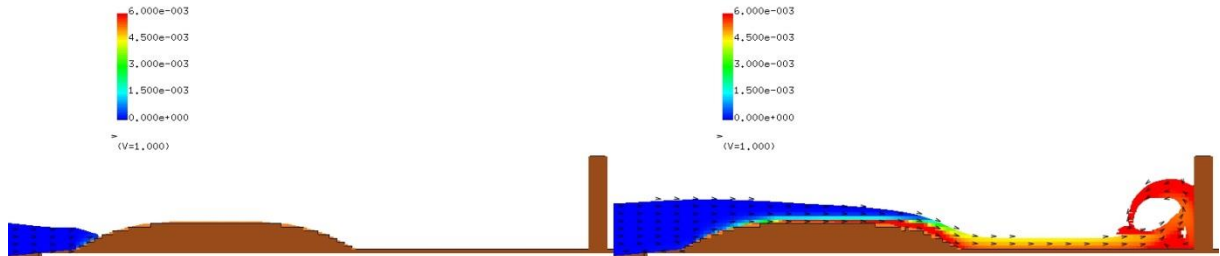
図 3-3-3-40 Case1-14 の断面二次元流速スナップショット

【丸み断面, 波高 : 7.5cm, 堤体位置 : 汀線-137.5cm, 砂粒径 : 0.11mm】

図 3-3-3-41 は、Case1-14 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

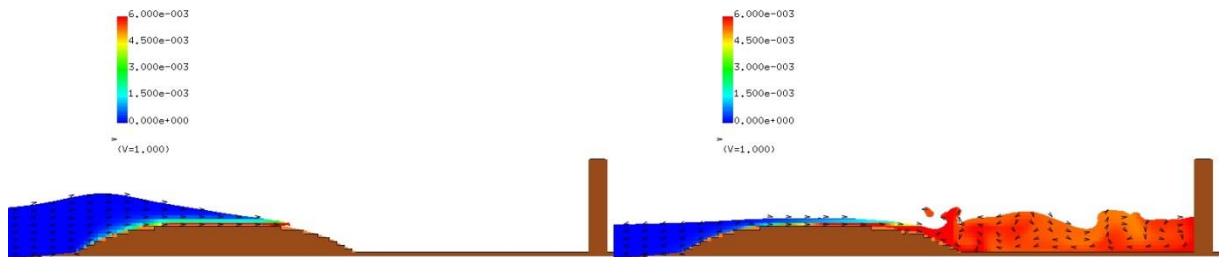
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

T= 11.00127 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 10.00161 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

T= 12.00093 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

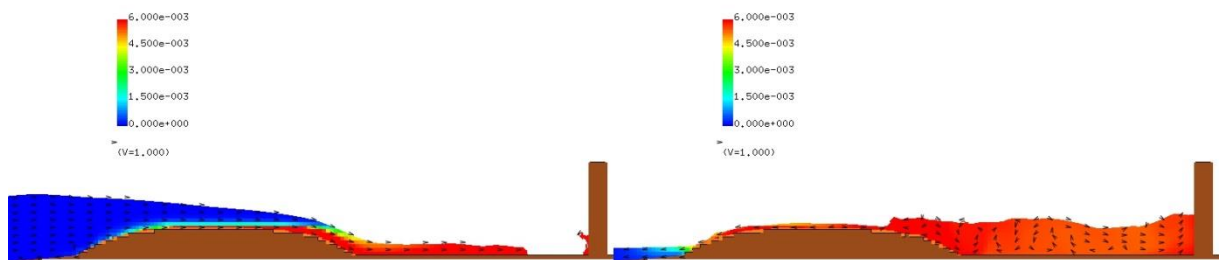


図 3-3-3-41 Case1-14 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
【丸み断面，波高：7.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.11mm】

Case1-14 の砂面形状変化を図 3-3-3-42 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。

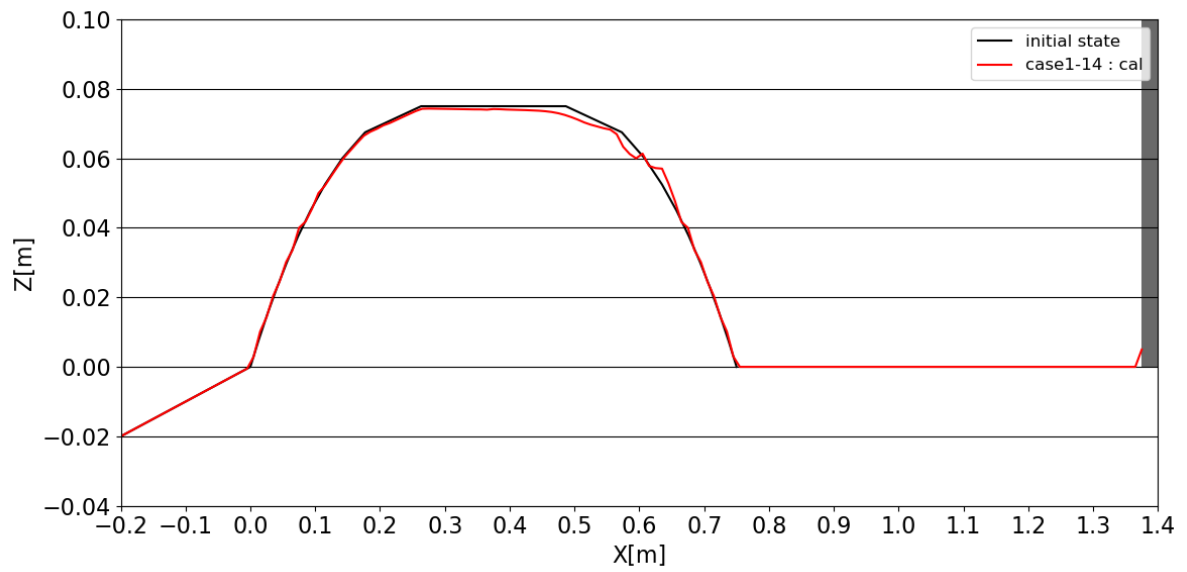


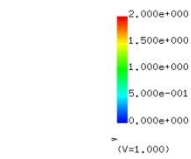
図 3-3-3-42 Case1-14 の砂面形状変化

【丸み断面，波高：7.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.11mm】

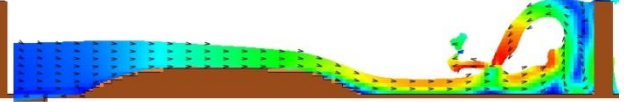
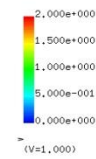
(15) 丸み断面, 波高 10.0cm, 汀線-137.5cm, 砂粒径 0.11mm (Case1-15)

図 3-3-3-43 は, Case1-15 の断面二次元流速スナップショットを示す.

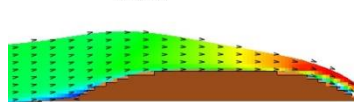
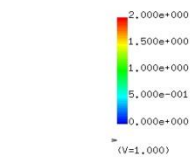
T= 8.70205 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



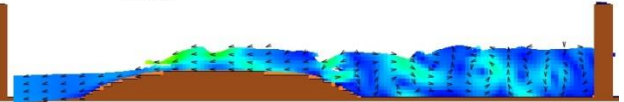
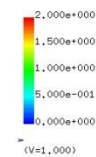
T= 10.20154 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



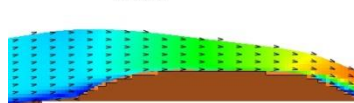
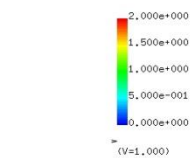
T= 9.20188 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



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



T= 9.60174 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

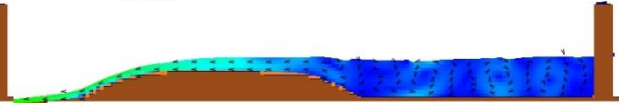
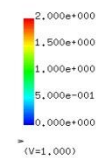


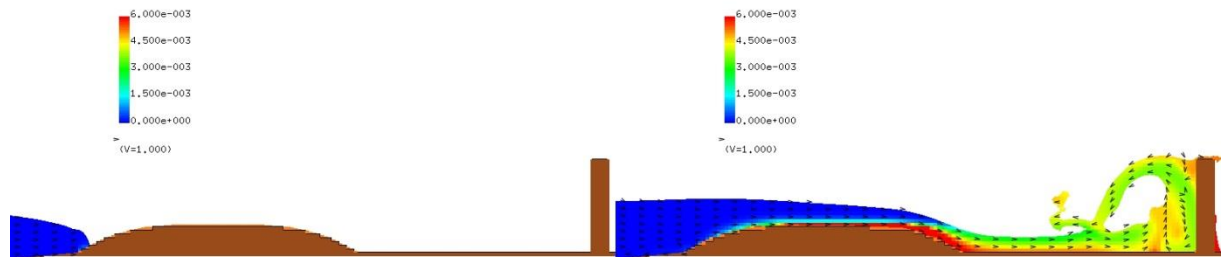
図 3-3-3-43 Case1-15 の断面二次元流速スナップショット

【丸み断面, 波高 : 10.0cm, 堤体位置 : 汀線-137.5cm, 砂粒径 : 0.11mm】

図 3-3-3-44 は、Case1-15 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

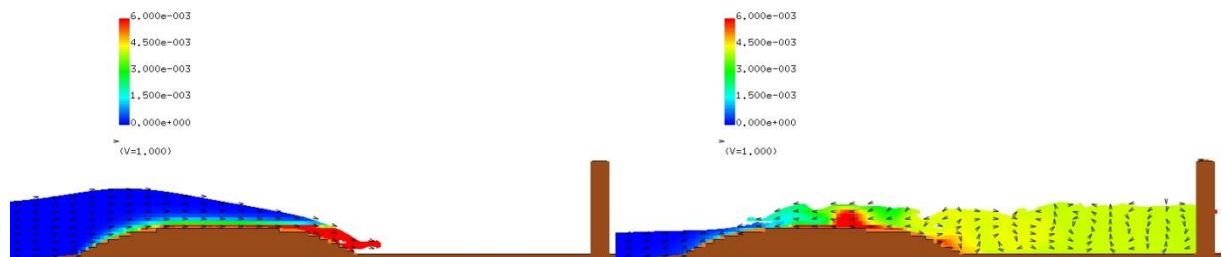
T= 8.70205 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

T= 10.20154 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 9.20188 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

T= 11.50110 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 9.60174 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

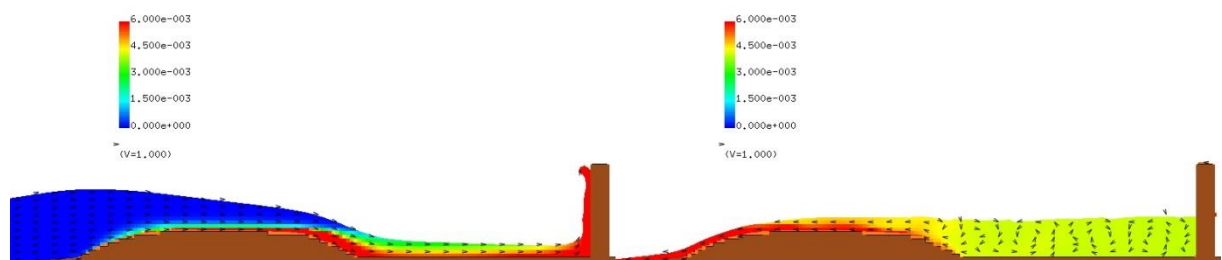


図 3-3-3-44 Case1-15 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【丸み断面，波高：10.0cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.11mm】



Case1-15 の砂面形状変化を図 3-3-3-45 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。

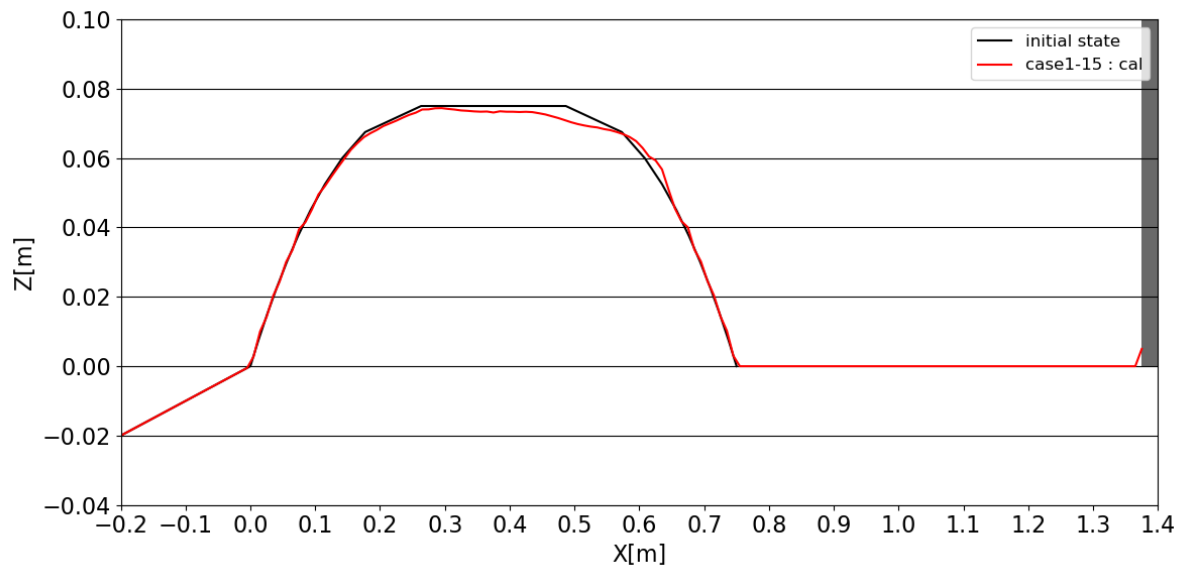


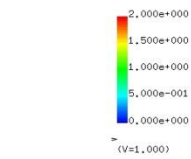
図 3-3-3-45 Case1-15 の砂面形状変化

【丸み断面，波高：10.0cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.11mm】

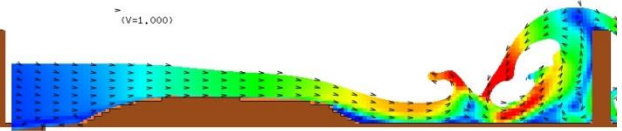
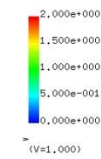
(16) Case1-16\_E5 (丸み断面, 波高 12.5cm, 汀線-137.5cm, 砂粒径 0.11mm)

図 3-3-3-46 は, Case1-16\_E5 の断面二次元流速スナップショットを示す.

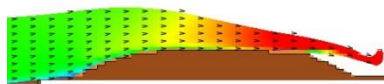
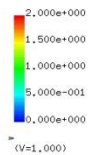
T= 8.15223 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



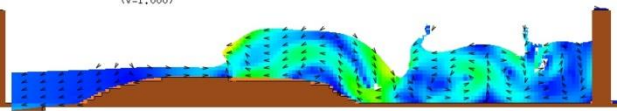
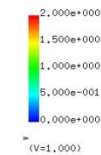
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



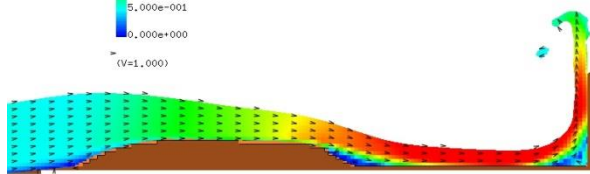
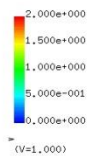
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



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



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



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

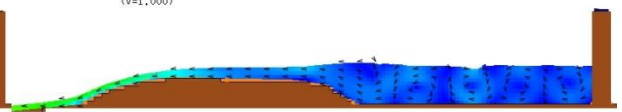
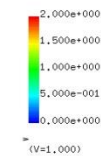


図 3-3-3-46 Case1-16\_E5 の断面二次元流速スナップショット

【丸み断面, 波高 : 12.5cm, 堤体位置 : 汀線-137.5cm, 砂粒径 : 0.11mm】

図 3-3-3-47 は、Case1-16\_E5 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

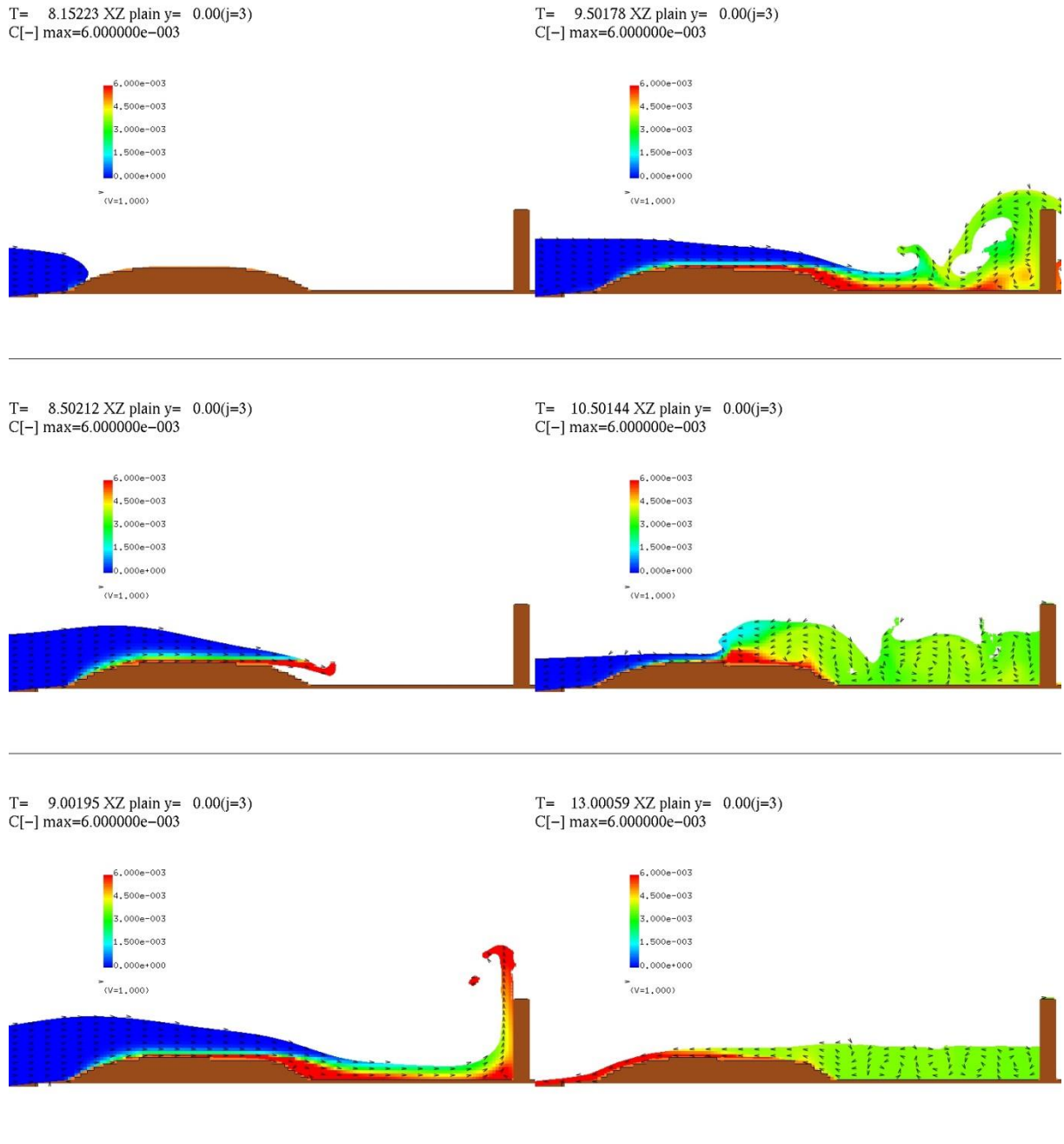


図 3-3-3-47 Case1-16\_E5 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
**【丸み断面，波高：12.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.11mm】**

Case1-16\_E5 の砂面形状変化を図 3-3-3-48 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高を水色の破線で示す。

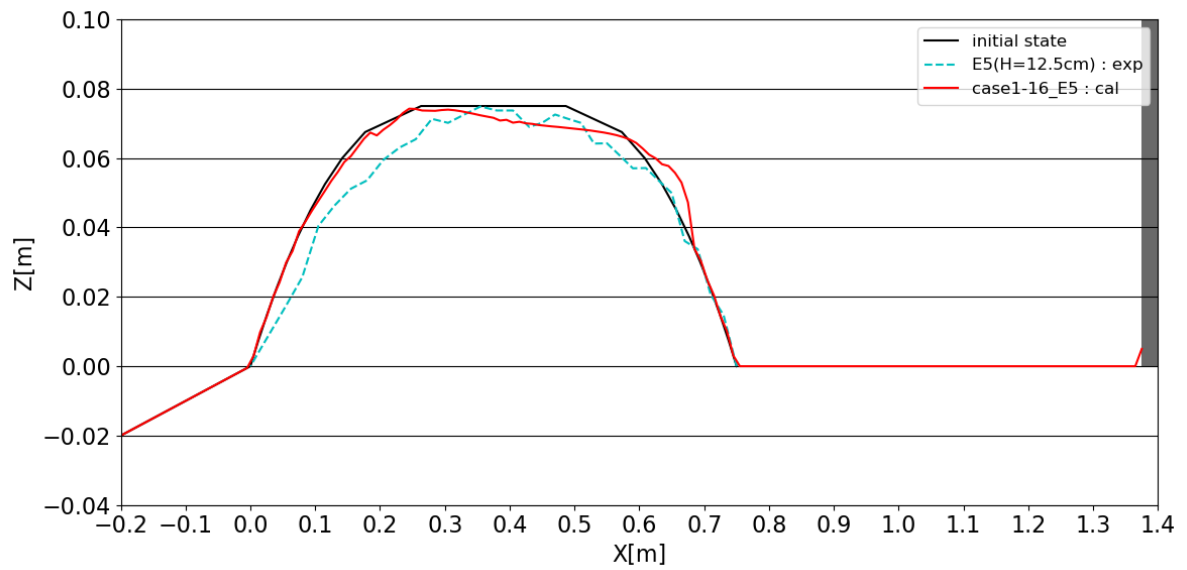


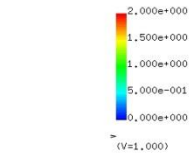
図 3-3-3-48 Case1-16\_E5 の砂面形状変化

【丸み断面，波高：12.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.11mm】

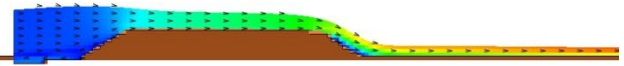
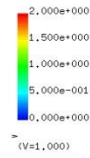
(17) Case1-17 (台形断面, 波高 7.5cm, 防潮堤なし, 砂粒径 0.11mm)

図 3-3-3-49 は, Case1-17 の断面二次元流速スナップショットを示す.

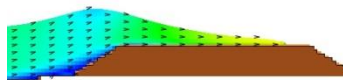
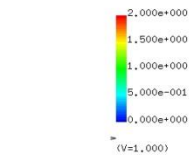
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



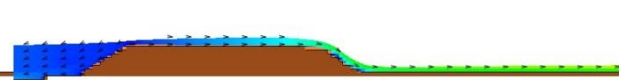
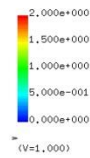
T= 11.00127 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



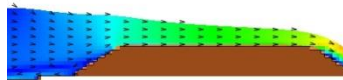
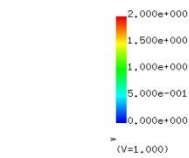
T= 10.00161 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



T= 12.00093 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= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

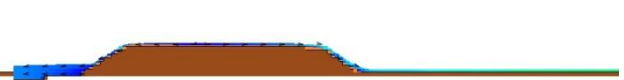
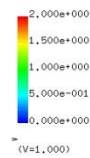
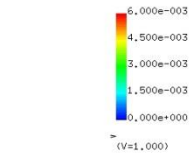


図 3-3-3-49 Case1-17 の断面二次元流速スナップショット

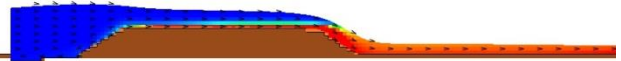
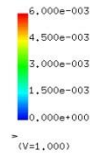
【台形断面, 波高 : 7.5cm, 防潮堤なし, 砂粒径 : 0.11mm】

図 3-3-3-50 は、Case1-17 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

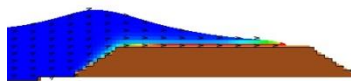
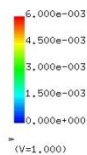
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



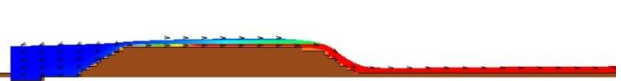
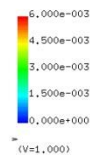
T= 11.00127 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



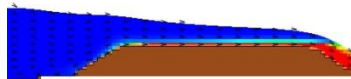
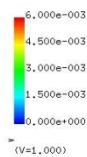
T= 10.00161 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 12.00093 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

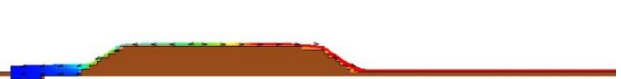
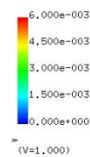


図 3-3-3-50 Case1-17 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【台形断面，波高：7.5cm，防潮堤なし，砂粒径：0.11mm】

Case1-17 の砂面形状変化を図 3-3-3-51 に示す．砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し，解析結果の河床高を赤の実線で示す．

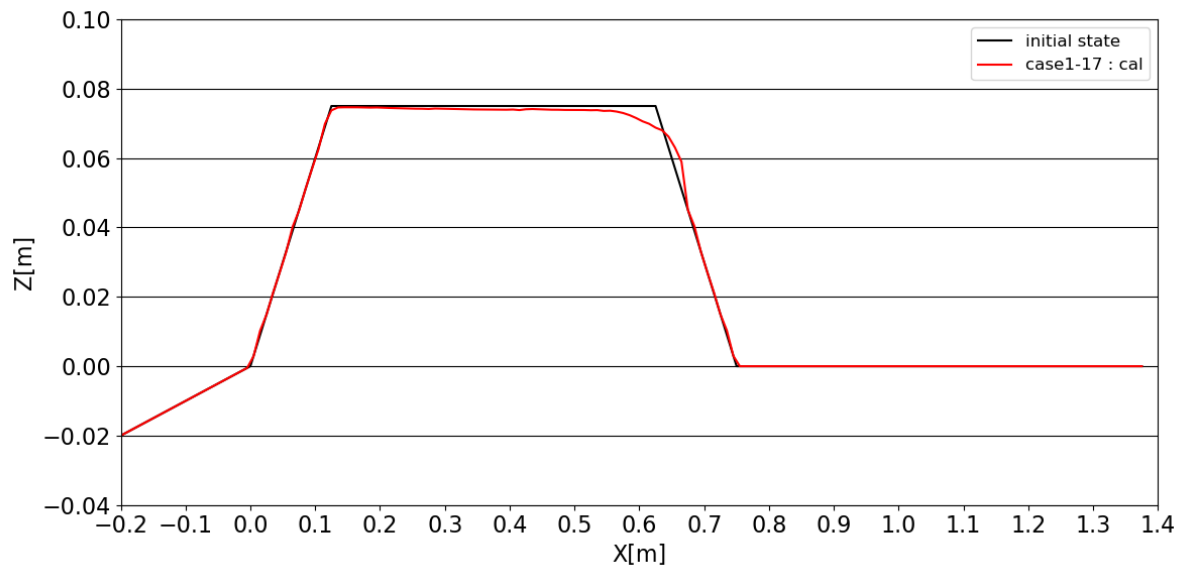


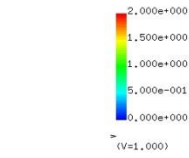
図 3-3-3-51 Case1-17 の砂面形状変化

【台形断面，波高：7.5cm，防潮堤なし，砂粒径：0.11mm】

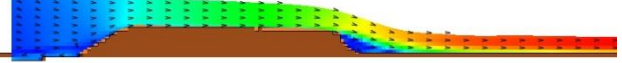
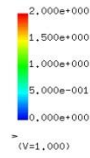
(18) Case1-18 (台形断面, 波高 12.5cm, 防潮堤なし, 砂粒径 0.11mm)

図 3-3-3-52 は, Case1-18 の断面二次元流速スナップショットを示す.

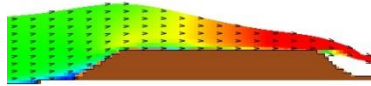
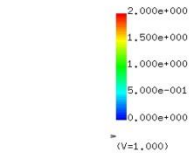
T= 8.15223 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



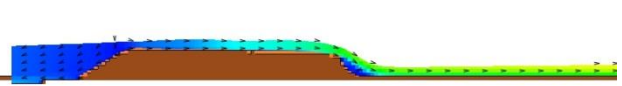
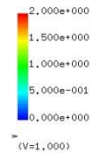
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



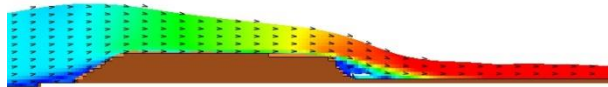
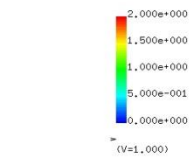
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000



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



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



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

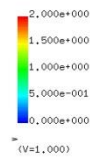


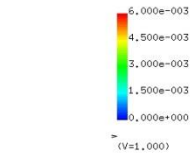
図 3-3-3-52 Case1-18 の断面二次元流速スナップショット

【台形断面, 波高 : 12.5cm, 防潮堤なし, 砂粒径 : 0.11mm】

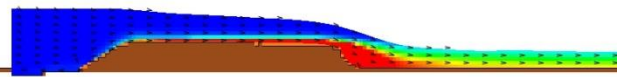
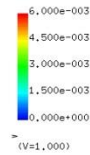


図 3-3-3-53 は、Case1-18 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

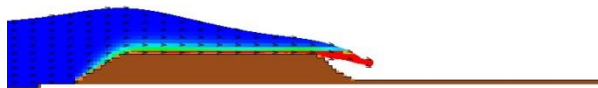
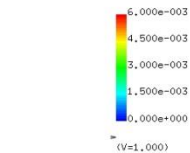
T= 8.15223 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



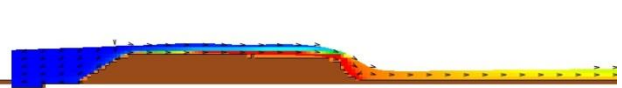
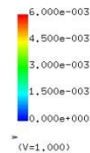
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



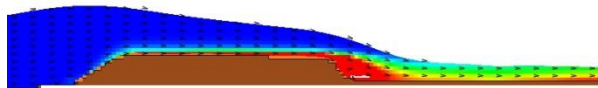
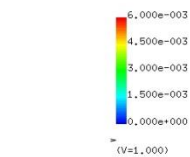
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 9.00195 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

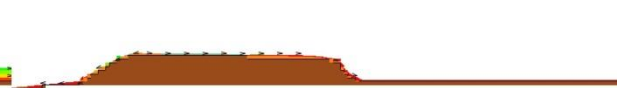
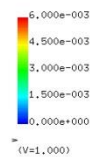


図 3-3-3-53 Case1-18 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【台形断面，波高：12.5cm，防潮堤なし，砂粒径：0.11mm】

Case1-18 の砂面形状変化を図 3-3-3-54 に示す．砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し，解析結果の河床高を赤の実線で示す．

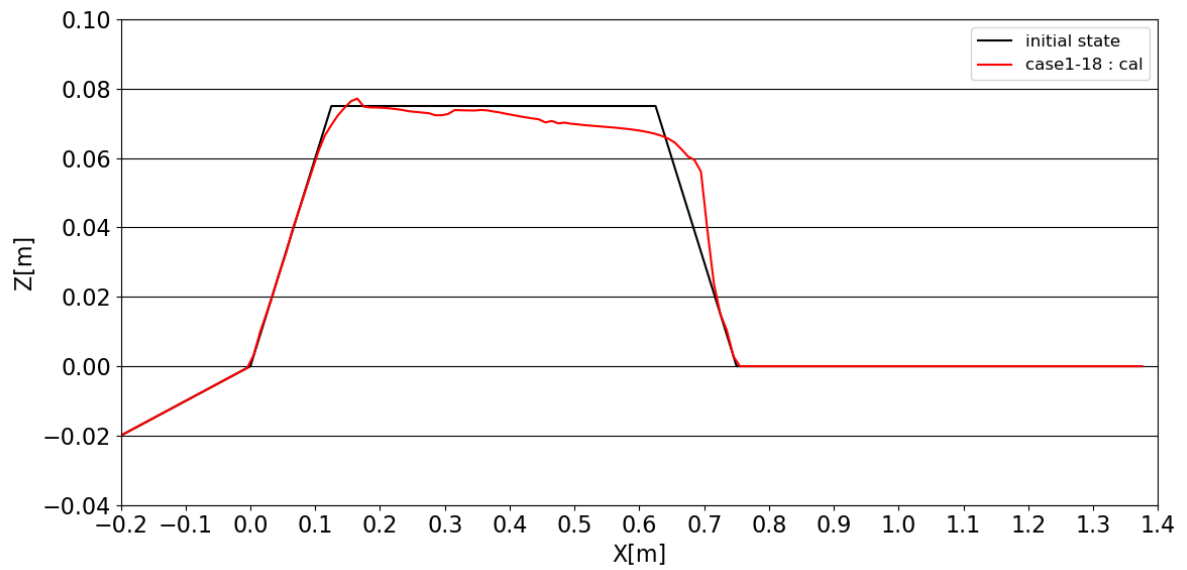


図 3-3-3-54 Case1-18 の砂面形状変化

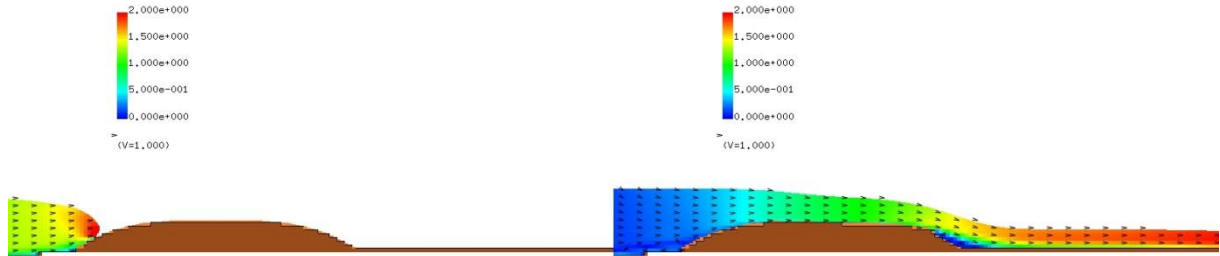
【台形断面，波高：12.5cm，防潮堤なし，砂粒径：0.11mm】

(19) Case1-19 (丸み断面, 波高 12.5cm, 防潮堤なし, 砂粒径 0.11mm)

図 3-3-3-55 は, Case1-19【丸み断面, 波高 : 12.5cm, 防潮堤なし, 砂粒径 : 0.11mm】の断面二次元流速スナップショットを示す.

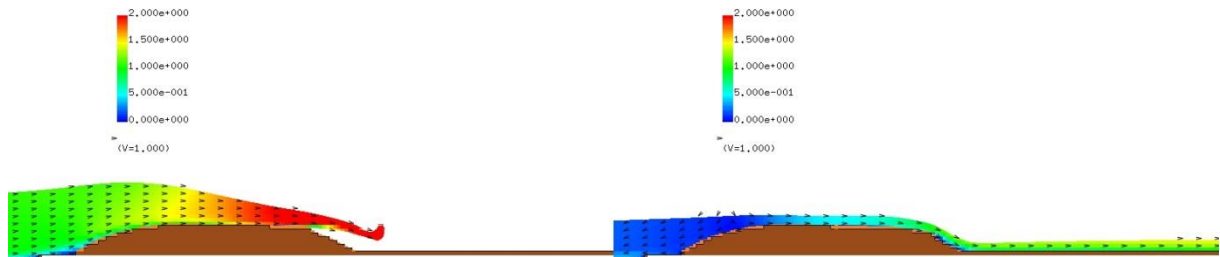
T= 8.15223 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

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



T= 8.50212 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= 9.00195 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=2.000000

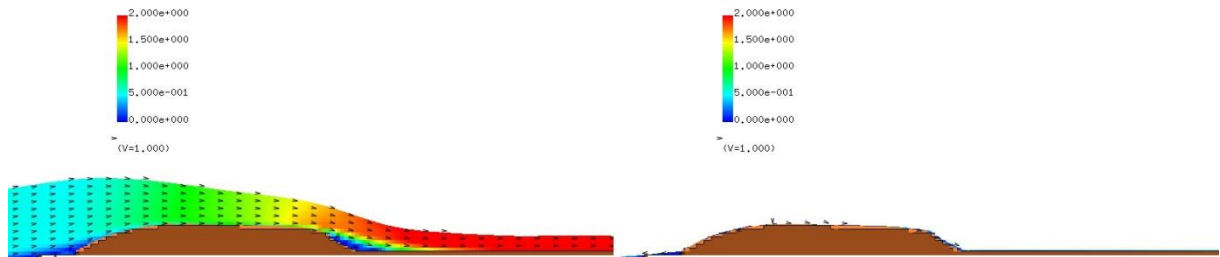
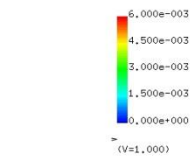


図 3-3-3-55 Case1-19 の断面二次元流速スナップショット

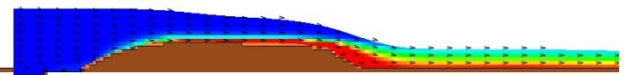
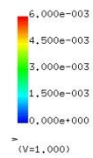
【丸み断面, 波高 : 12.5cm, 防潮堤なし, 砂粒径 : 0.11mm】

図 3-3-3-56 は、Case1-19 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

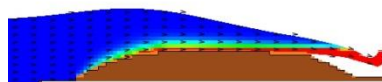
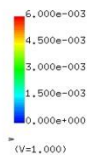
T= 8.15223 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



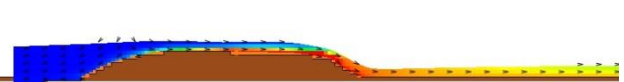
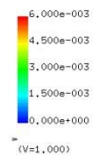
T= 9.50178 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



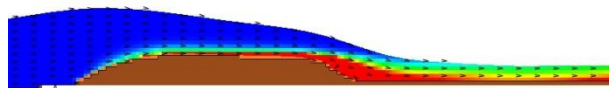
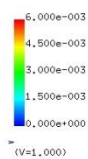
T= 8.50212 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 10.50144 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 9.00195 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003



T= 13.00059 XZ plain y= 0.00(j=3)  
C[-] max=6.000000e-003

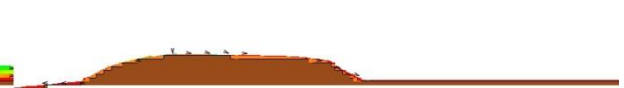
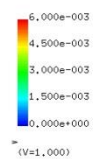


図 3-3-3-56 Case1-19 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【丸み断面，波高：12.5cm，防潮堤なし，砂粒径：0.11mm】

Case1-19 の砂面形状変化を図 3-3-3-57 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。

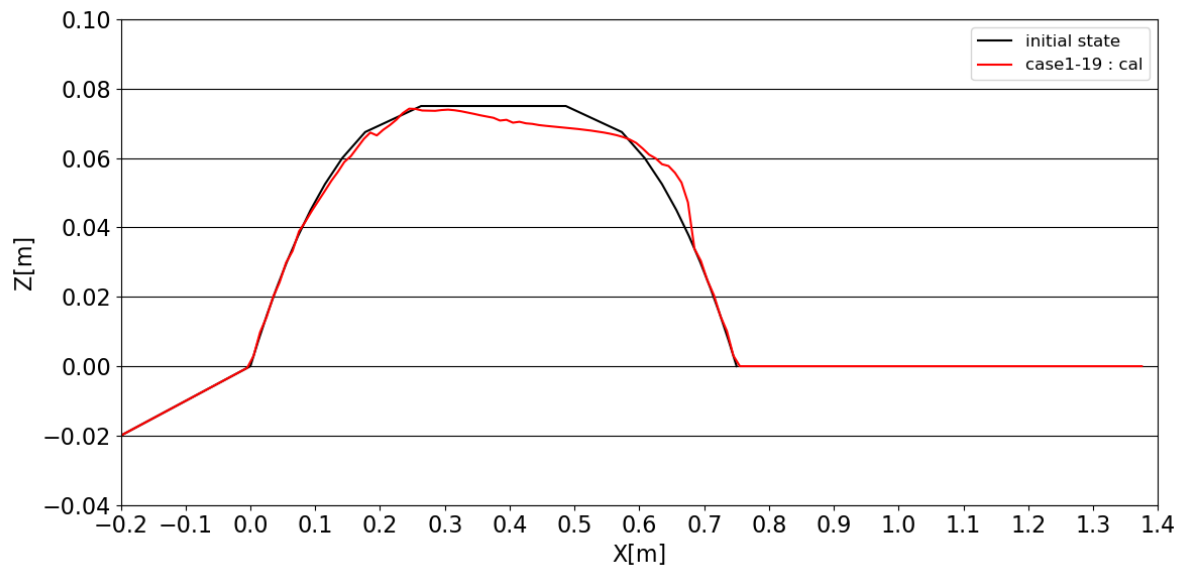


図 3-3-3-57 Case1-19 の砂面形状変化

【丸み断面，波高：12.5cm，防潮堤なし，砂粒径：0.11mm】

### 3-3-4 入力波波高および砂粒径の差異による砂面形状変化の比較

Case1-1\_E1~Case1-19 における砂面形状変化の比較を、図 3-3-4-1~図 3-3-4-10 に各々まとめて示す。ここでは、赤の実線と破線は入力波波高7.5cm、青の実線は入力波波高10.0cm、緑の実線は入力波波高12.5cmの結果を示す。

#### (a) 入力波波高の差異による砂面形状変化の比較

図 3-3-4-1~図 3-3-4-6では、入力波波高の差異による砂面形状変化の比較結果を示す。ここでは、実線は解析結果、破線は試験結果を示す。

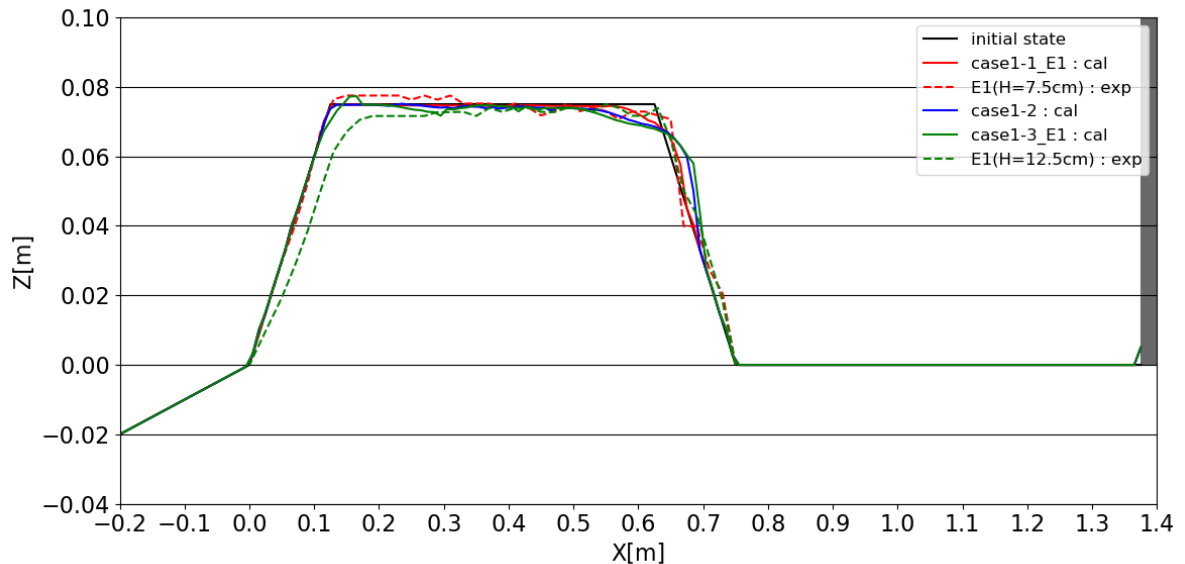


図 3-3-4-1 波高の差異による砂面形状変化の比較

【台形断面，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

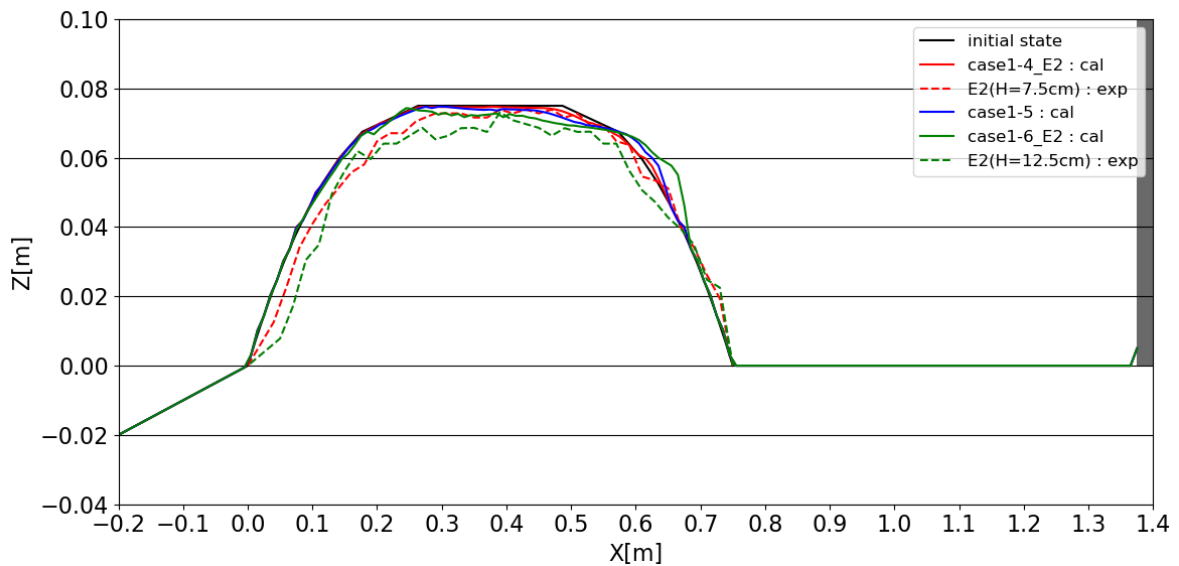


図 3-3-4-2 波高の差異による砂面形状変化の比較

【丸み断面，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

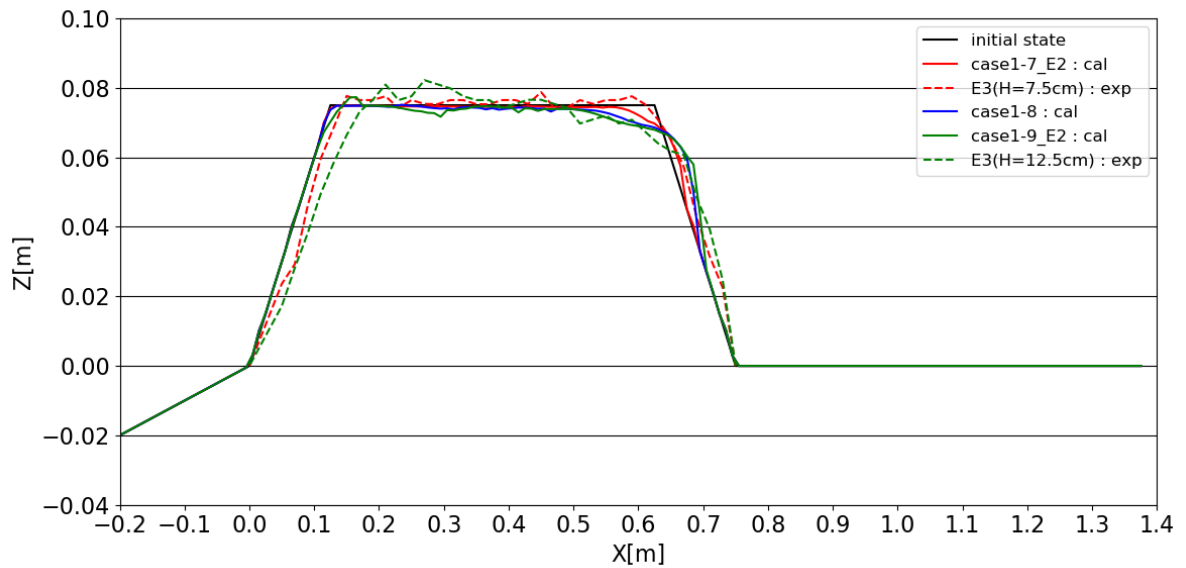


図 3-3-4-3 波高の差異による砂面形状変化の比較

【台形断面，防潮堤なし，砂粒径：0.23mm】

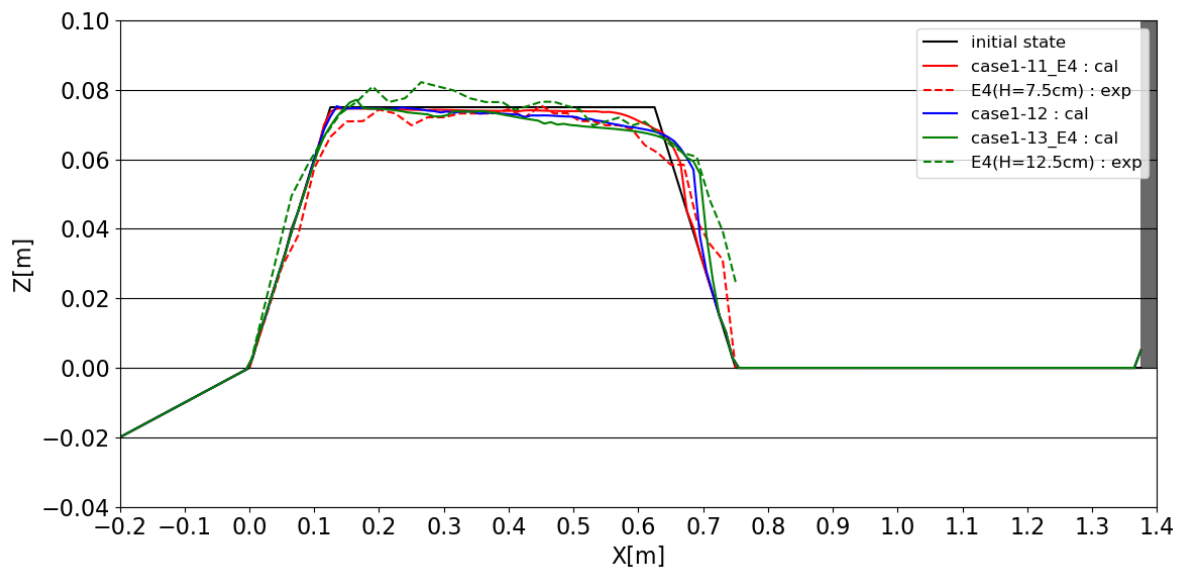


図 3-3-4-4 波高の差異による砂面形状変化の比較

【台形断面，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.11mm】

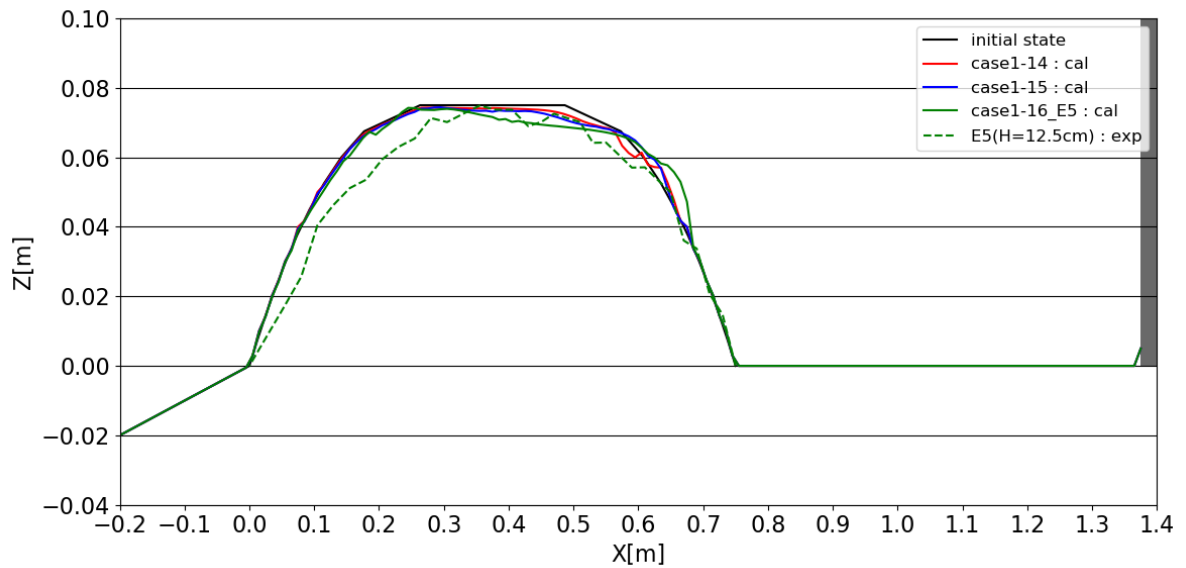


図 3-3-4-5 波高の差異による砂面形状の比較

【丸み断面，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.11mm】

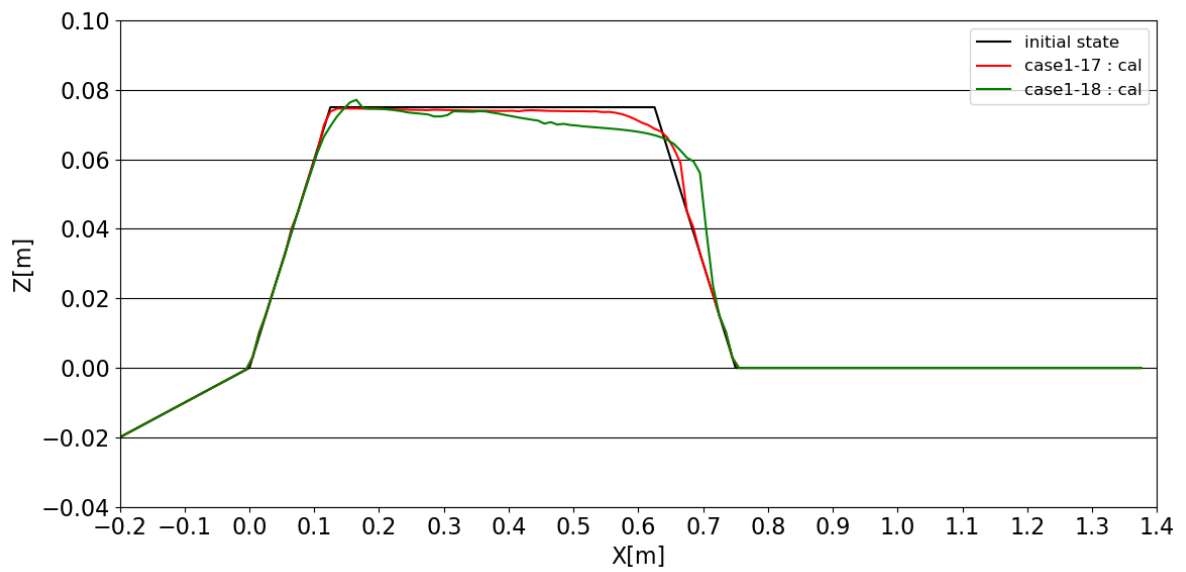


図 3-3-4-6 波高の差異による砂面形状変化の比較

【台形断面，防潮堤なし，砂粒径：0.11mm】



## (b) 砂粒径の差異による砂面形状変化の比較

図 3-3-4-7～図 3-3-4-10では、入力波波高の差異による砂面形状変化の比較結果を示す。ここでは、実線は解析結果の砂粒径が0.23mm、破線は解析結果の砂粒径が0.11mmを示す。

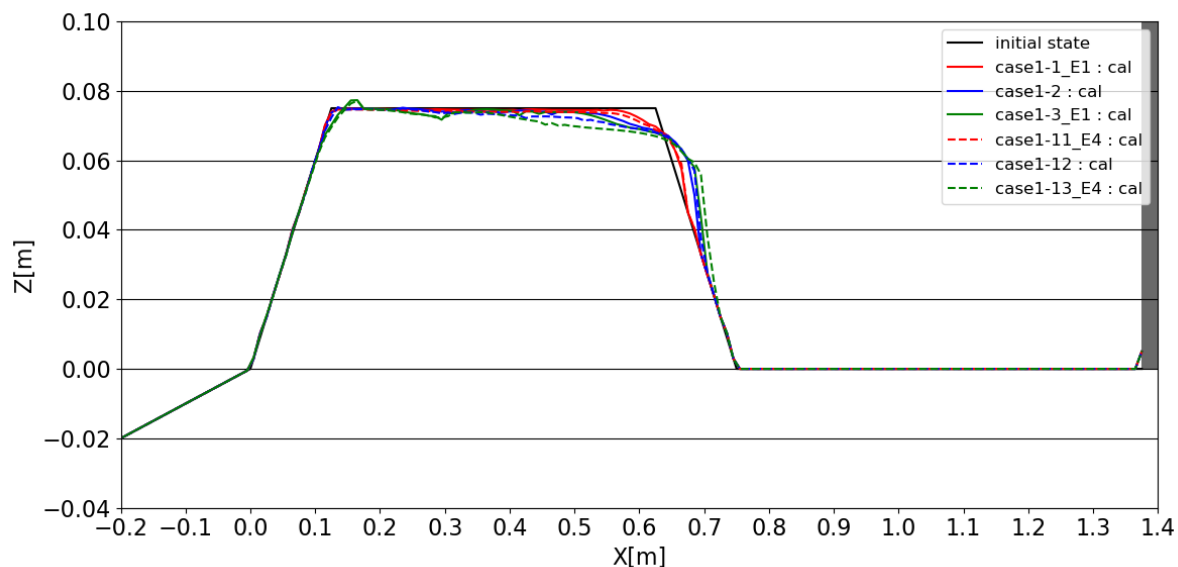


図 3-3-4-7 砂粒径の差異による砂面形状変化の比較

【台形断面，堤体位置：汀線-137.5cm】

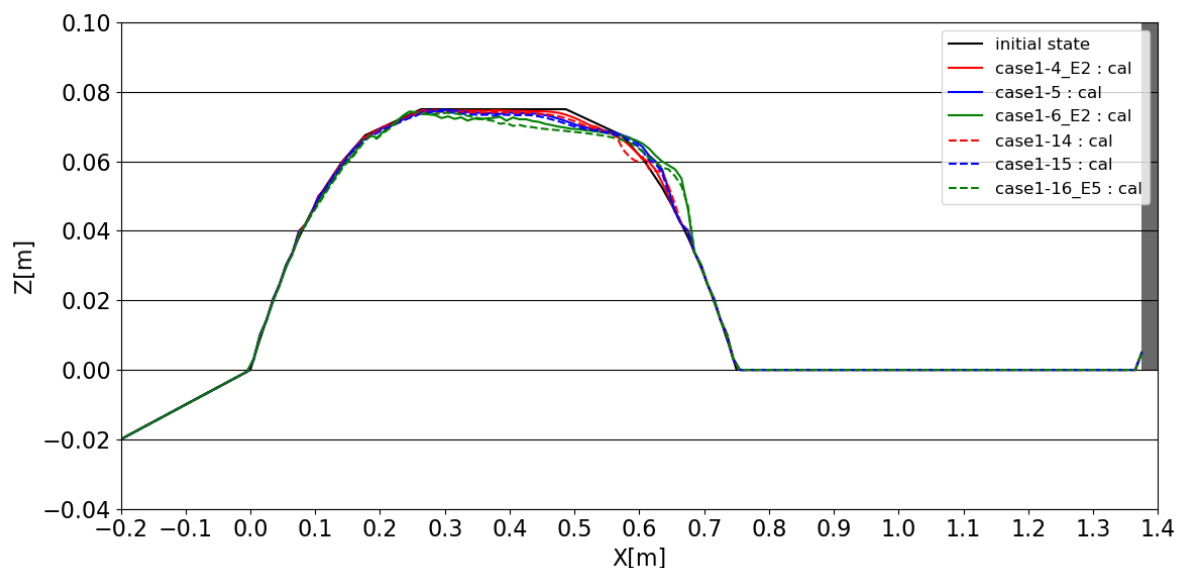


図 3-3-4-8 砂粒径の差異による砂面形状変化の比較

【丸み断面，堤体位置：汀線-137.5cm】

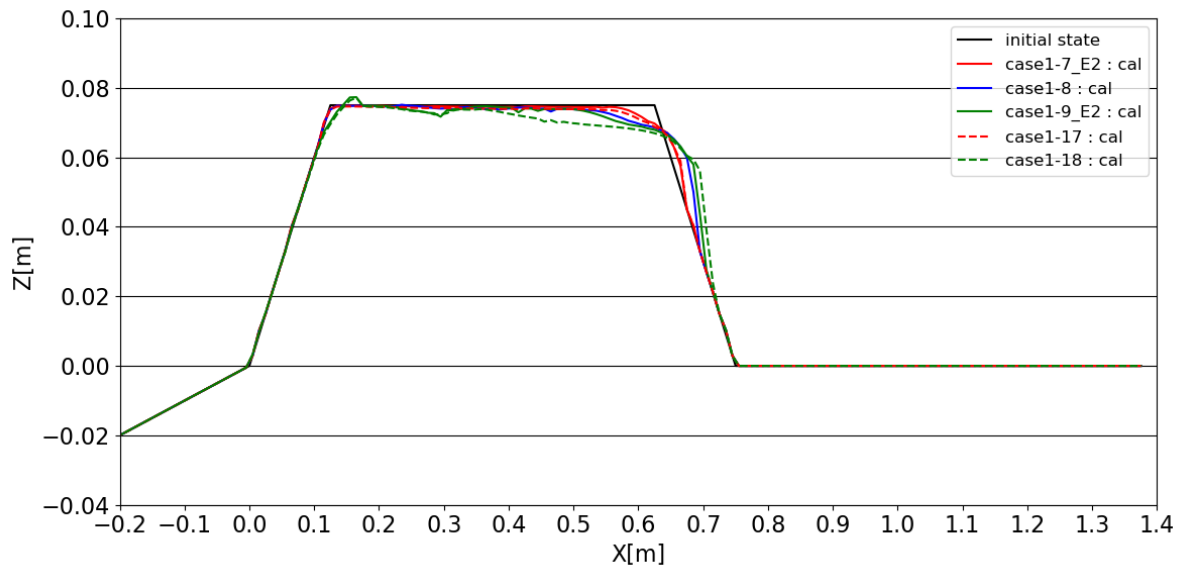


図 3-3-4-9 砂粒径の差異による砂面形状変化の比較

【台形断面，防潮堤なし】

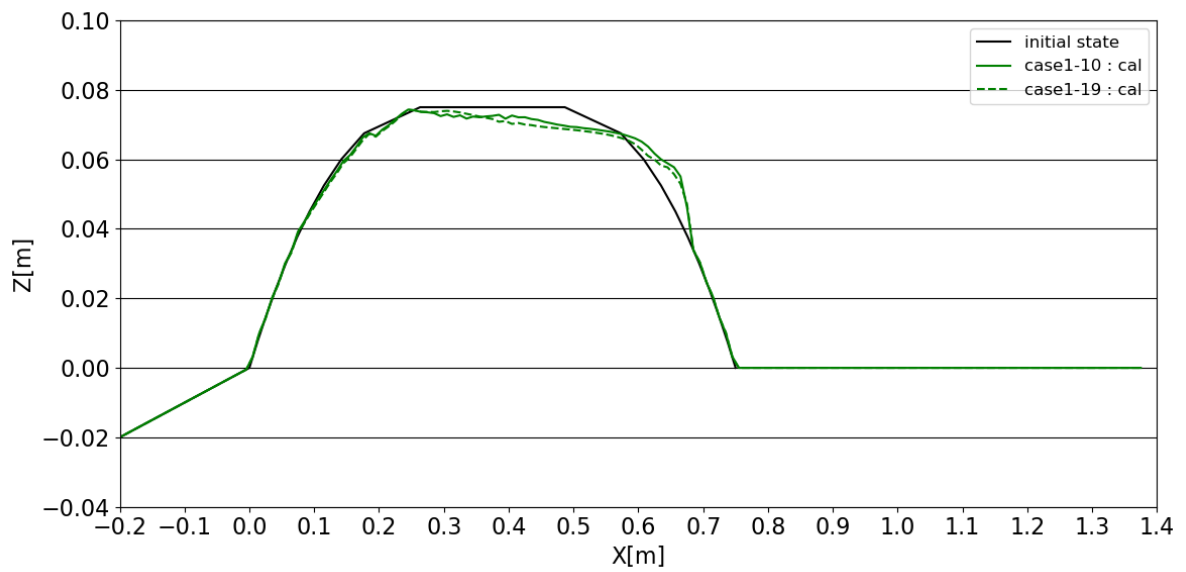


図 3-3-4-10 砂粒径の差異による砂面形状変化の比較

【丸み断面，防潮堤なし】

### 3-3-5 砂移動による防潮堤への作用荷重への影響

砂移動による防潮堤への作用荷重の影響を把握するため、防潮堤に作用する波圧の最大値を砂丘の粒径の差異により比較して示す。図 3-3-5-1 が【台形断面，波高：7.5cm】，図 3-3-5-2 が【台形断面，波高：12.5cm】，図 3-3-5-3 が【丸み断面，波高：7.5cm】，図 3-3-5-4 が【丸み断面，波高：12.5cm】の結果を示す。なお，赤の実線が解析結果の粒径が 0.23mm の結果を示し，緑の実線が解析結果の粒径が 0.11mm の結果を，青色の実線が固定床の解析結果を示す。

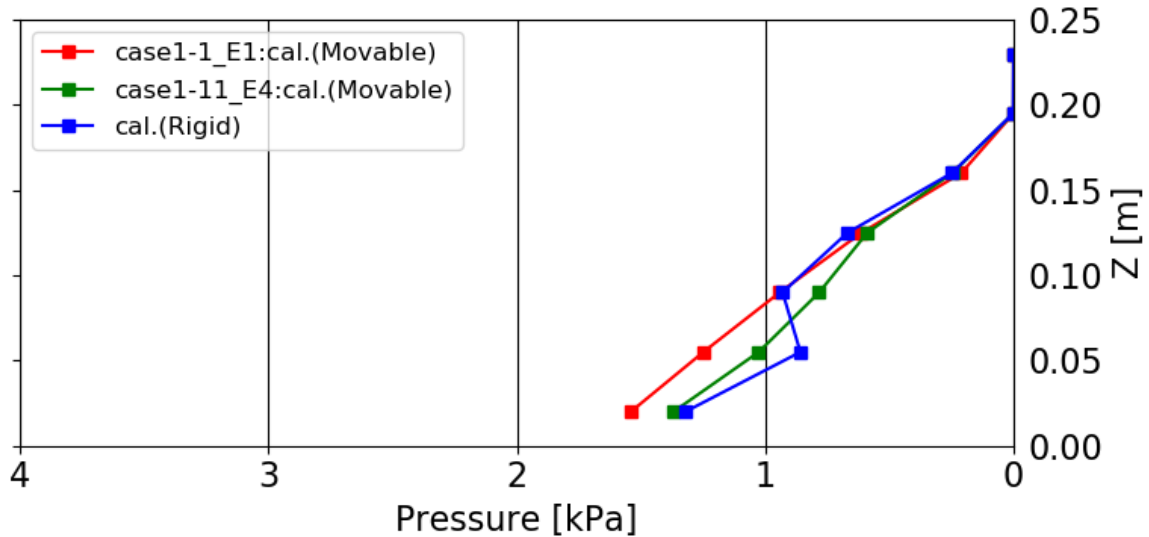


図 3-3-5-1 砂粒径の差異による防潮堤に作用する波圧の最大値の比較

【台形断面，波高：7.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm】

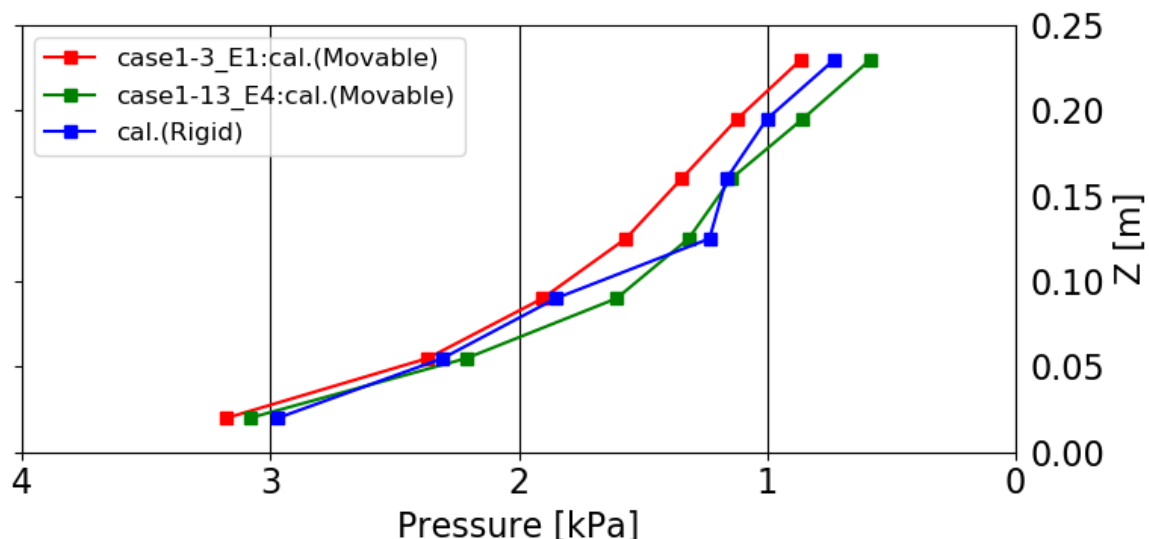


図 3-3-5-2 砂粒径の差異による防潮堤に作用する波圧の最大値の比較

【台形断面，波高：12.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm】

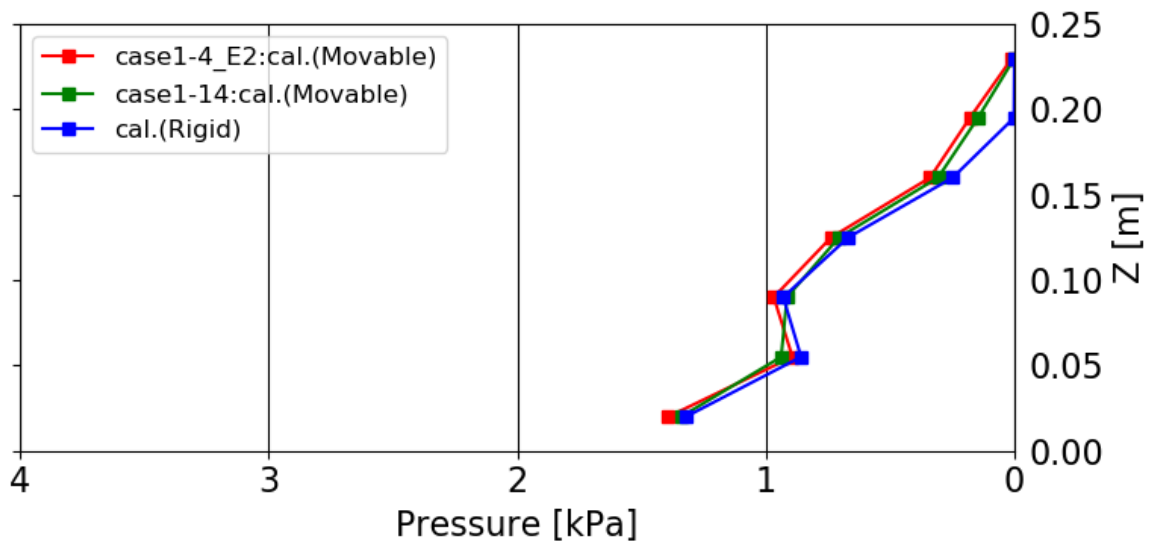


図 3-3-5-3 砂粒径の差異による防潮堤に作用する波圧の最大値の比較

【丸み断面，波高：7.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm】

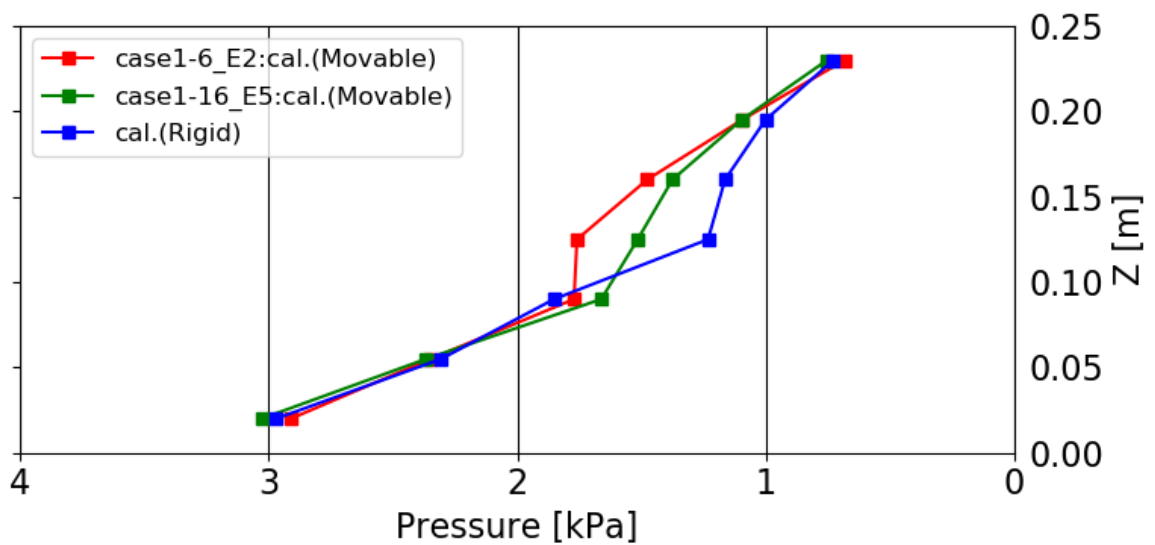


図 3-3-5-4 砂粒径の差異による防潮堤に作用する波圧の最大値の比較

【丸み断面，波高：12.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm】

図 3-3-5-5~図 3-3-5-8 は，図 3-3-5-1~図 3-3-5-4 に対応する砂丘頂部における流速時系列を各々示す．図 3-3-5-5 が【台形断面，波高：7.5cm】，図 3-3-5-6 が【台形断面，波高：12.5cm】，図 3-3-5-7 が【丸み断面，波高：7.5cm】，図 3-3-5-8 が【丸み断面，波高：12.5cm】の結果を示す．なお，赤の実線が解析結果の粒径が 0.23mm の結果を示し，緑の実線が解析結果の粒径が 0.11mm の結果を，青色の実線が固定床の解析結果を示す．

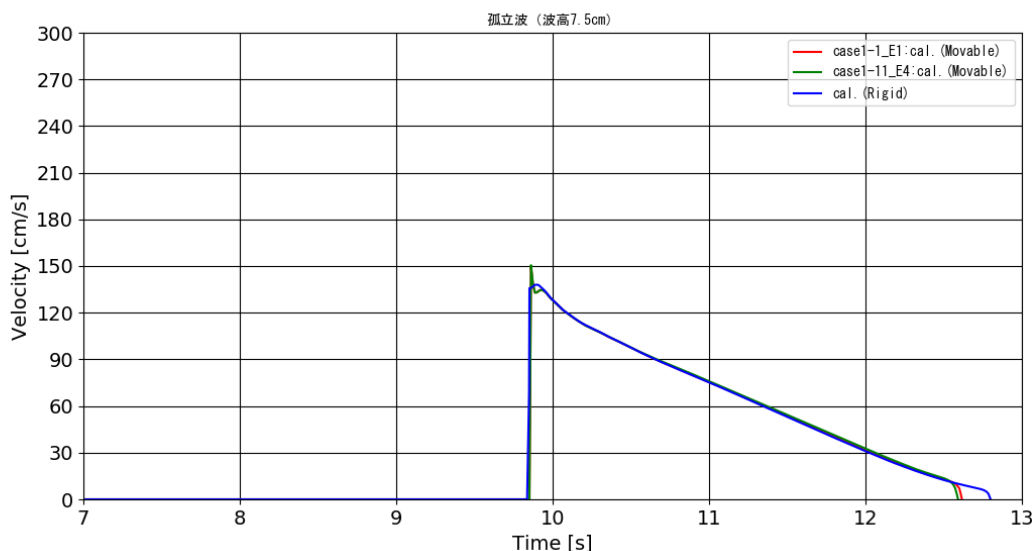


図 3-3-5-5 砂粒径の差異による砂丘頂部における流速時系列の比較  
【台形断面，波高：7.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm】

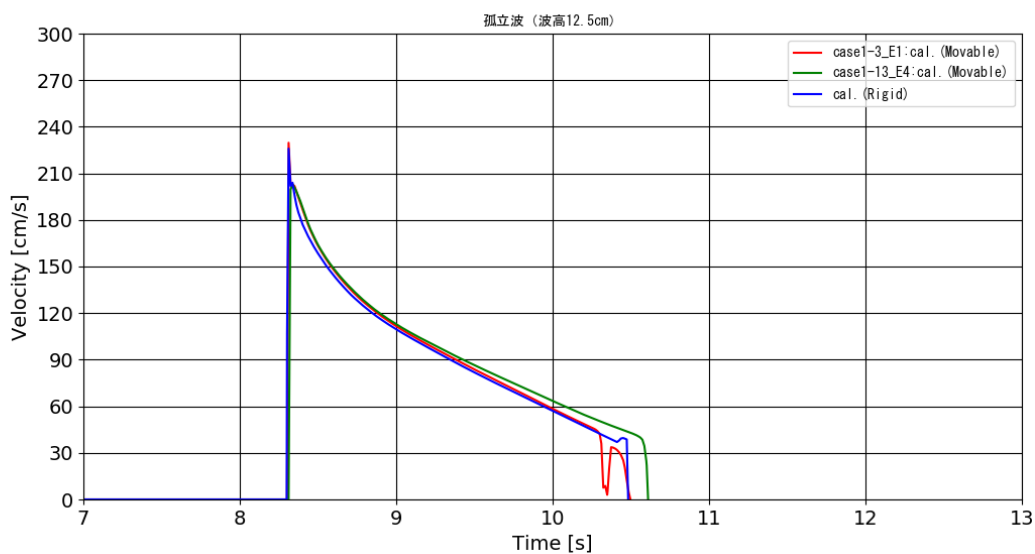


図 3-3-5-6 砂粒径の差異による砂丘頂部における流速時系列の比較  
【台形断面，波高：12.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm】

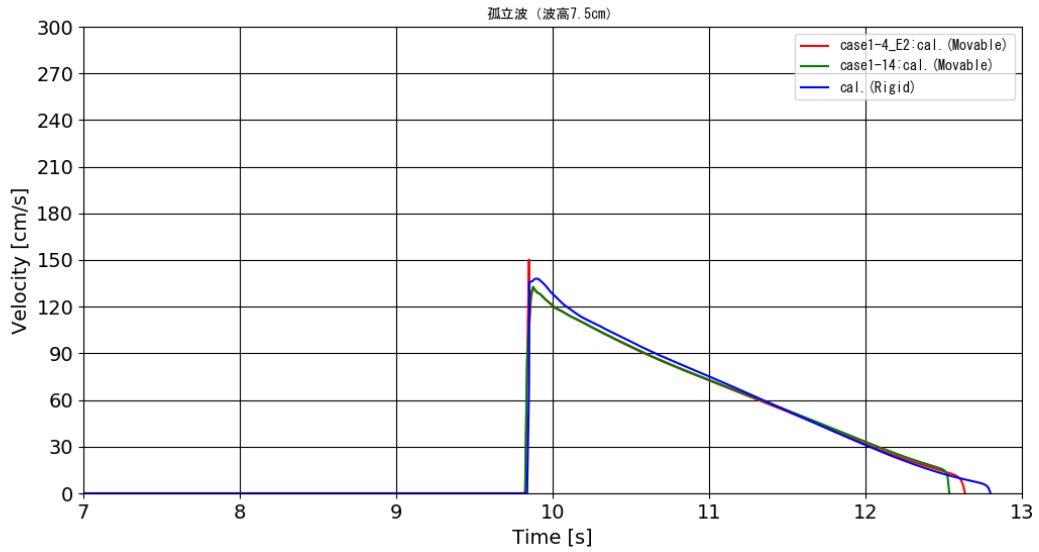


図 3-3-5-7 砂粒径の差異による砂丘頂部における流速時系列の比較

【丸み断面，波高：7.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm】

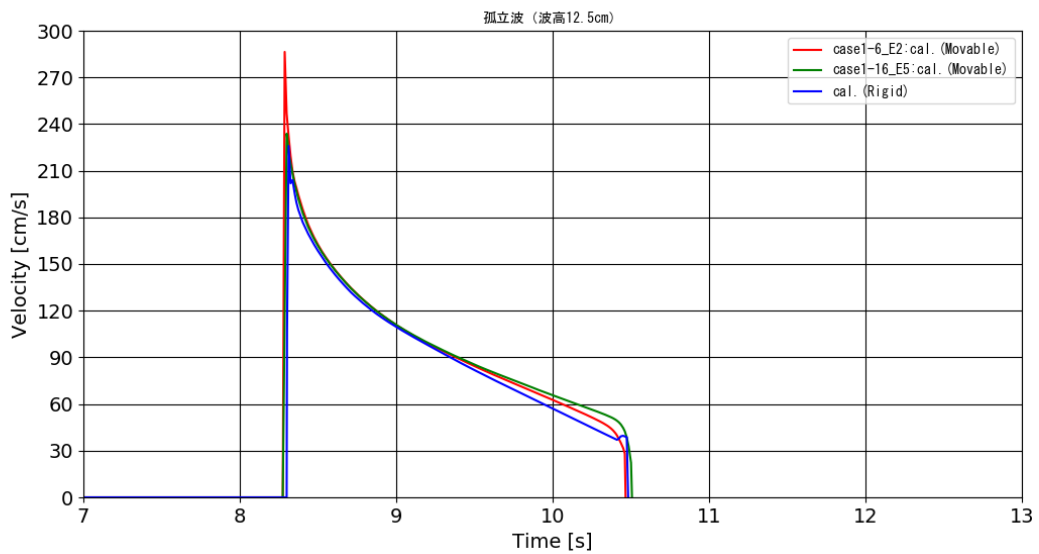


図 3-3-5-8 砂粒径の差異による砂丘頂部における流速時系列の比較

【丸み断面，波高：12.5cm，堤体位置：汀線-137.5cm】

防潮堤作用圧力に対する砂移動の影響度合いを把握するために、試験と比較可能なケースについて、【II 水理試験編】の表 4-1-1 と同様に、表 3-3-5-1 に各ケースの水理量、砂移動に関する所量を整理した。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し、また「平均波圧」とは、各計測地点の最大値の平均を取ったものであり、平均波圧の「増加率」とは、固定床の平均波圧を 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。

表 3-3-5-1 防潮堤への作用荷重への砂移動の影響に関する一覧表

ケース名	砂丘頂部 流速(cm/s)	砂丘侵食量		平均波圧	
		(cm <sup>2</sup> )	(%)	(Pa)	増加率
固定床 (H=7.5cm)	137.98	—	—	575.3	1.00
固定床 (H=12.5cm)	225.92	—	—	1607.6	1.00
case1-1_E1	149.30	3.79	0.7	650.4	1.13
case1-3_E1	229.70	10.34	1.8	1763.6	1.10
case1-4_E2	150.26	2.71	0.5	683.5	1.19
case1-6_E2	286.39	10.87	2.0	1720.7	1.07
case1-11_E4	150.53	6.76	1.2	573.1	1.00
case1-13_E4	203.06	17.56	3.1	1543.1	0.96
case1-14	132.84	5.98	1.1	633.08	1.10
case1-16_E5	233.86	13.68	2.6	1685.4	1.05

---

### 3-4 現地スケール解析結果

#### 3-4-1 水位時系列の模型スケールとの比較

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 3-4-1-1～図 3-4-1-3 に，wave01～wave06 地点（図 1-4-3 参照）での水位時系列波形図を，試験結果及び模型スケールの解析結果と比較してそれぞれ示す．ここで，試験結果及び模型スケールの解析結果は，現地スケールに換算（長さを 80 倍，時間を $\sqrt{80}$ 倍）した結果として示す．



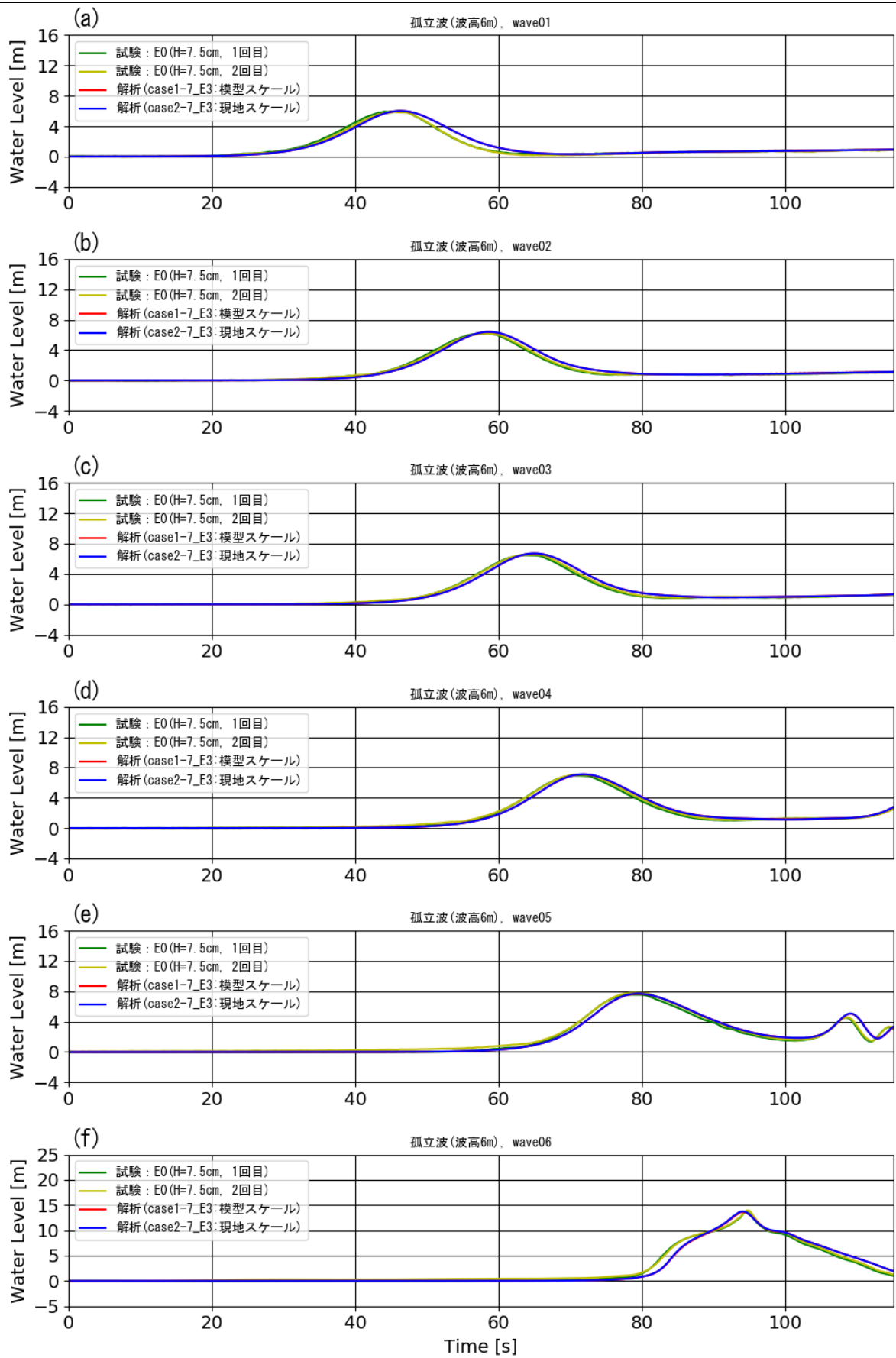


図 3-4-1-1 水位時系列波形の比較

【台形断面, 波高: 6.0m, 防潮堤なし】

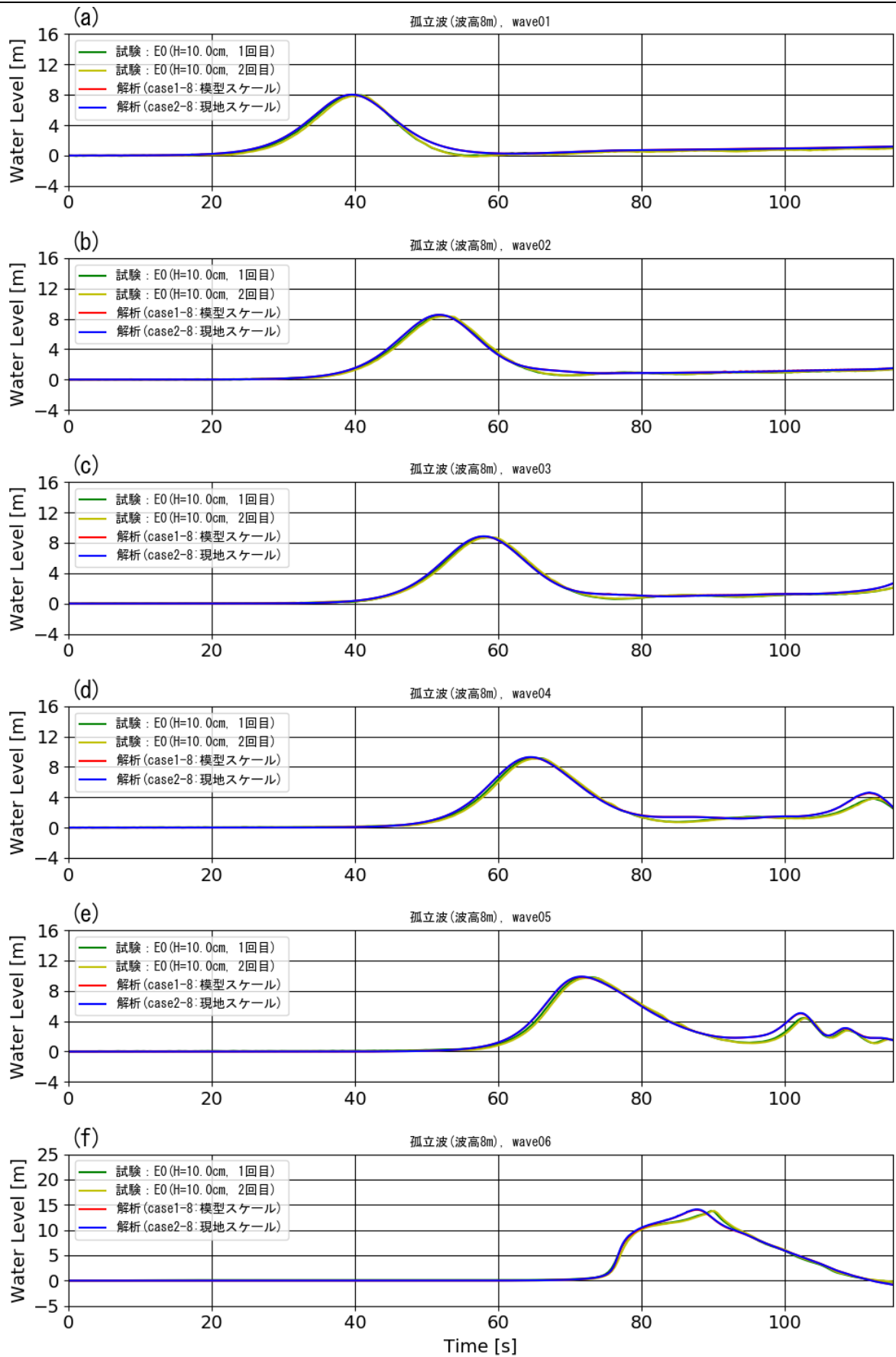


図 3-4-1-2 水位時系列波形の比較

【台形断面，波高：8.0m，防潮堤なし】

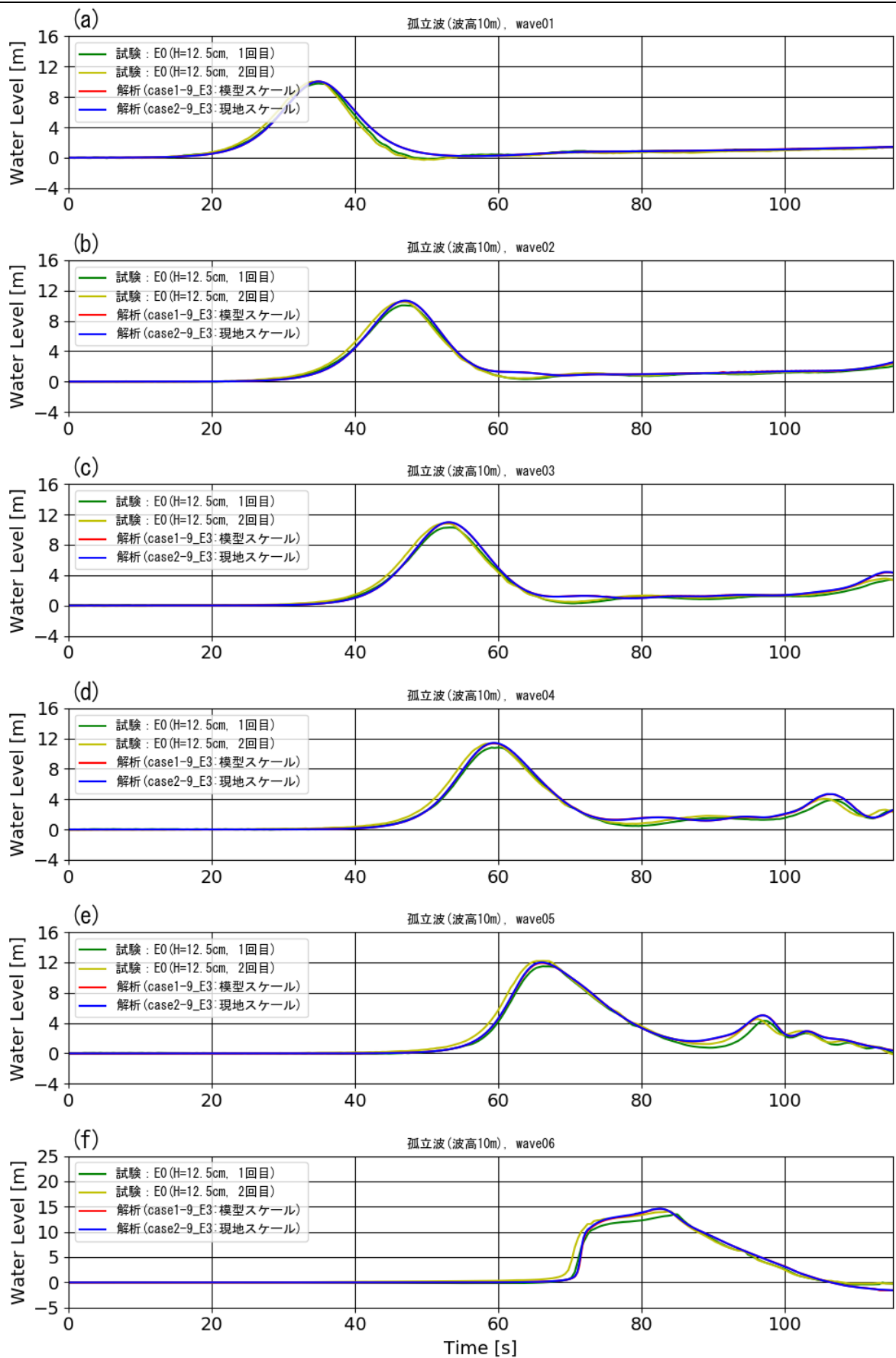


図 3-4-1-3 水位時系列波形の比較

【台形断面，波高：10.0m，防潮堤なし】

### 3-4-2 砂丘頂部における流速時系列の比較

砂丘の砂移動に大きく依存する流速について、模型スケールと同様に、砂丘頂部における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 3-4-2-1～図 3-4-2-3 に、砂丘頂部に該当する Velo-06 地点（図 2-2-2 参照）での流速時系列波形図を、試験結果と比較してそれぞれ示す。ここで、試験結果は、現地スケールに換算した結果として示す。

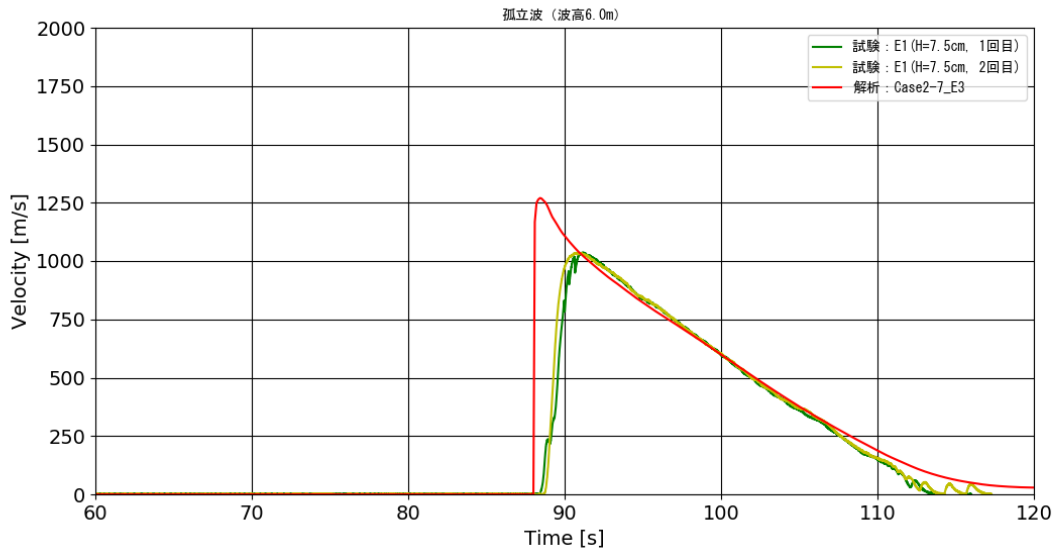


図 3-4-2-1 砂丘頂部における流速の比較

【台形断面，波高：6.0m，防潮堤なし】

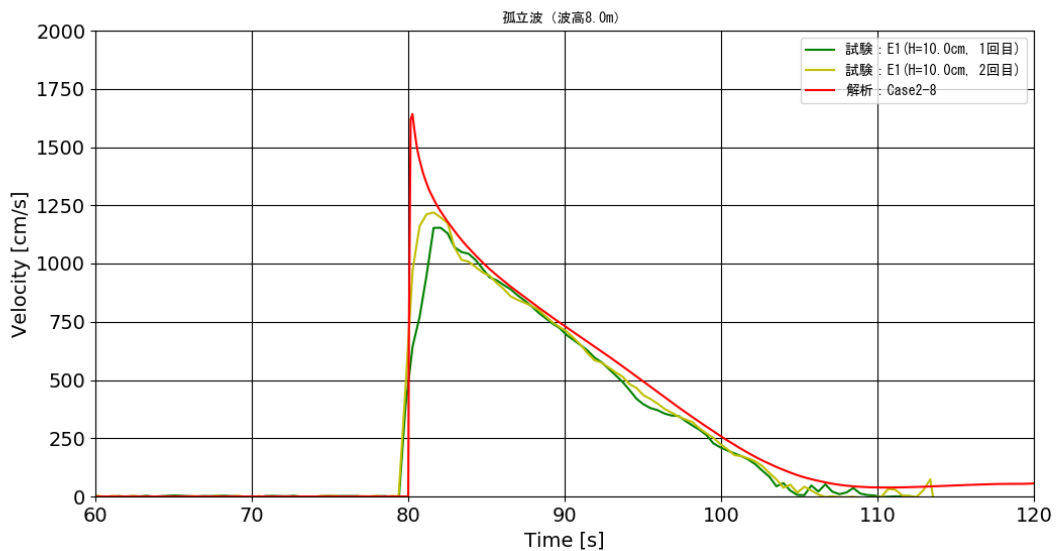


図 3-4-2-2 砂丘頂部における流速の比較

【台形断面，波高：8.0m，防潮堤なし】

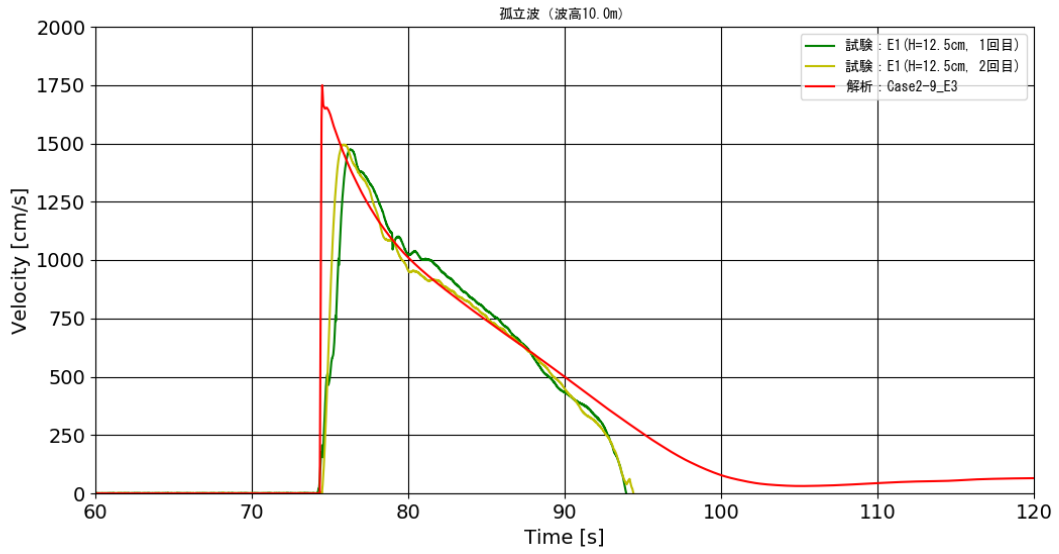


図 3-4-2-3 砂丘頂部における流速の比較

【台形断面，波高：10.0m，防潮堤なし】

---

### 3-4-3 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，Case2-1\_E1～Case2-20 における流速場の計算結果，浮遊砂濃度分布の計算結果及び防潮堤前面における砂面形状変化の計算結果を示す（図 3-4-3-1～図 3-4-3-10 参照）．ここでの浮遊砂濃度の単位は mg/l である．なお，全ケースの砂面形状変化について，解析結果においては押し波が防潮堤に達するまでの時刻の結果を図化した．

(1) Case2-1\_E1 (台形断面, 波高 6.0m, 汀線-110.0m, 砂粒径 0.23mm)

図 3-4-3-1 は, Case2-1\_E1 の断面二次元流速スナップショットを示す.

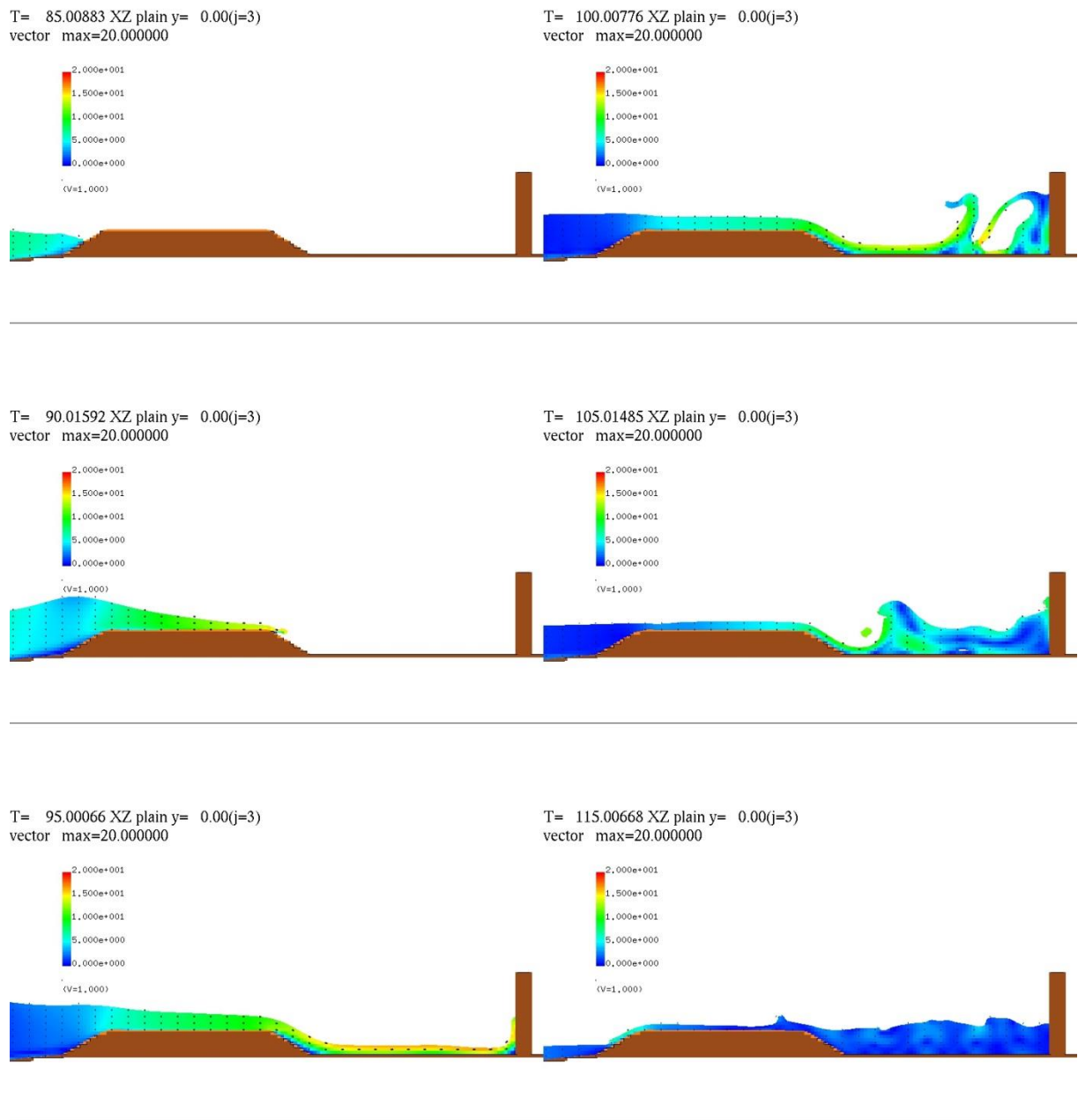


図 3-4-3-1 Case2-1\_E1 の断面二次元流速スナップショット

【台形断面, 波高 : 6.0m, 堤体位置 : 汀線-110.0m, 砂粒径 : 0.23mm】

図 3-4-3-2 は、Case2-1\_E1 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

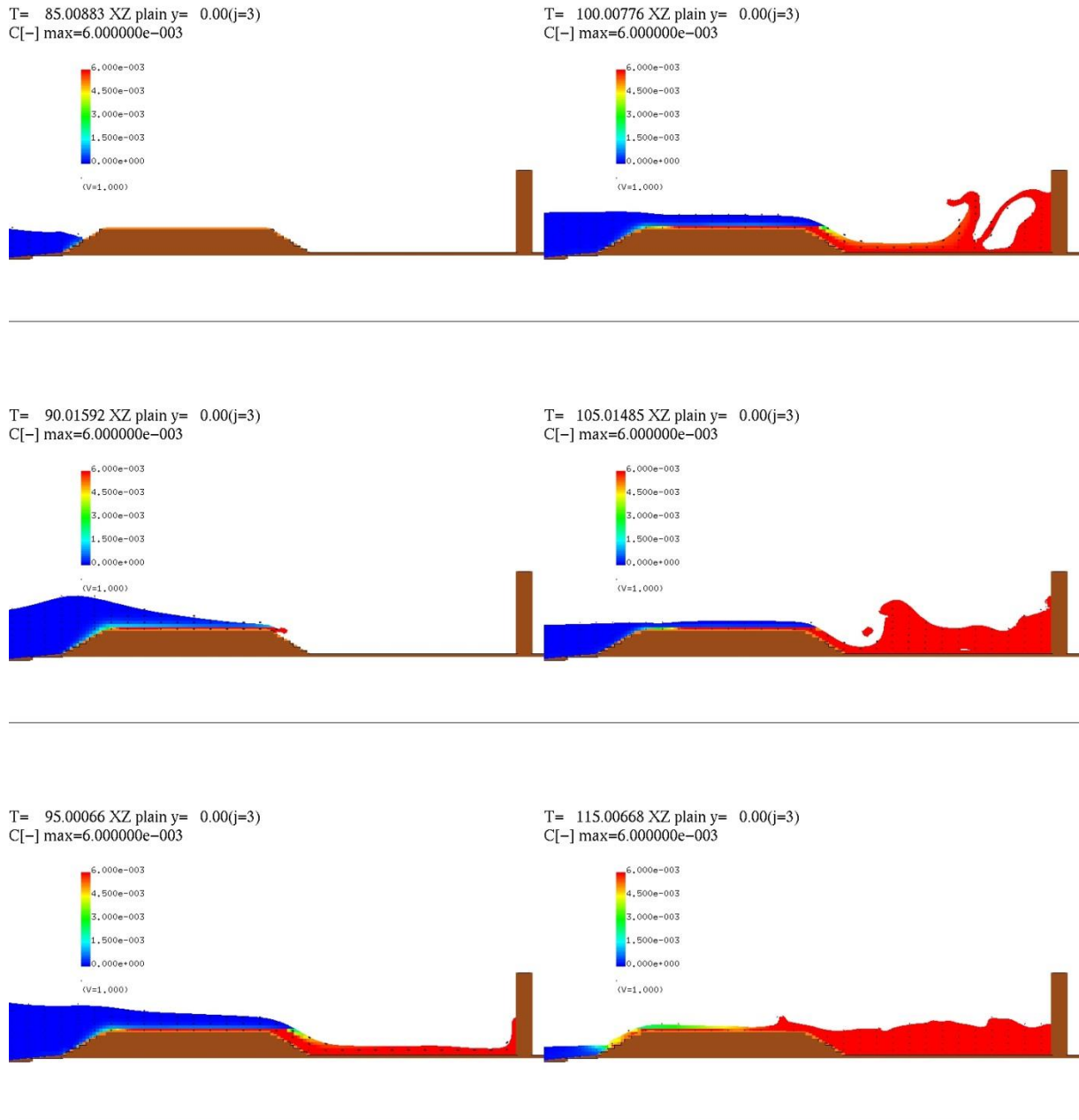


図 3-4-3-2 Case2-1\_E1 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【台形断面，波高：6.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.23mm】



Case2-1\_E1 の砂面形状変化を図 3-4-3-3 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高は現地スケールに換算して（80 倍にして）水色の破線で示す。

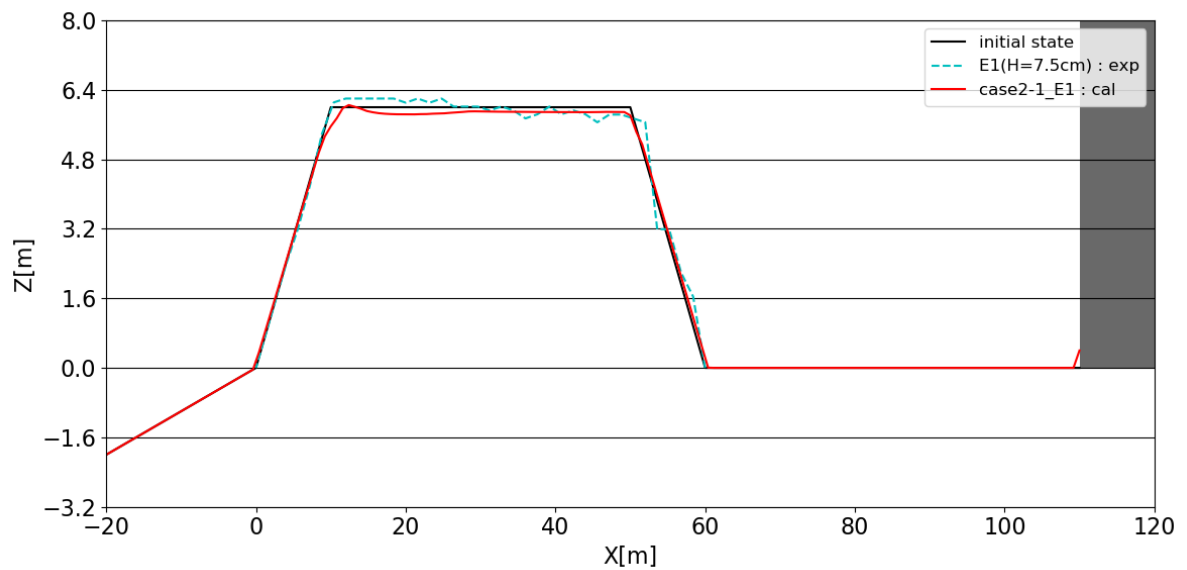


図 3-4-3-3 Case2-1\_E1 の砂面形状変化

【台形断面，波高：6.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.23mm】

(2) Case2-2 (台形断面, 波高 8.0m, 汀線-110.0m, 砂粒径 0.23mm)

図 3-4-3-4 は, Case2-2 の断面二次元流速スナップショットを示す.

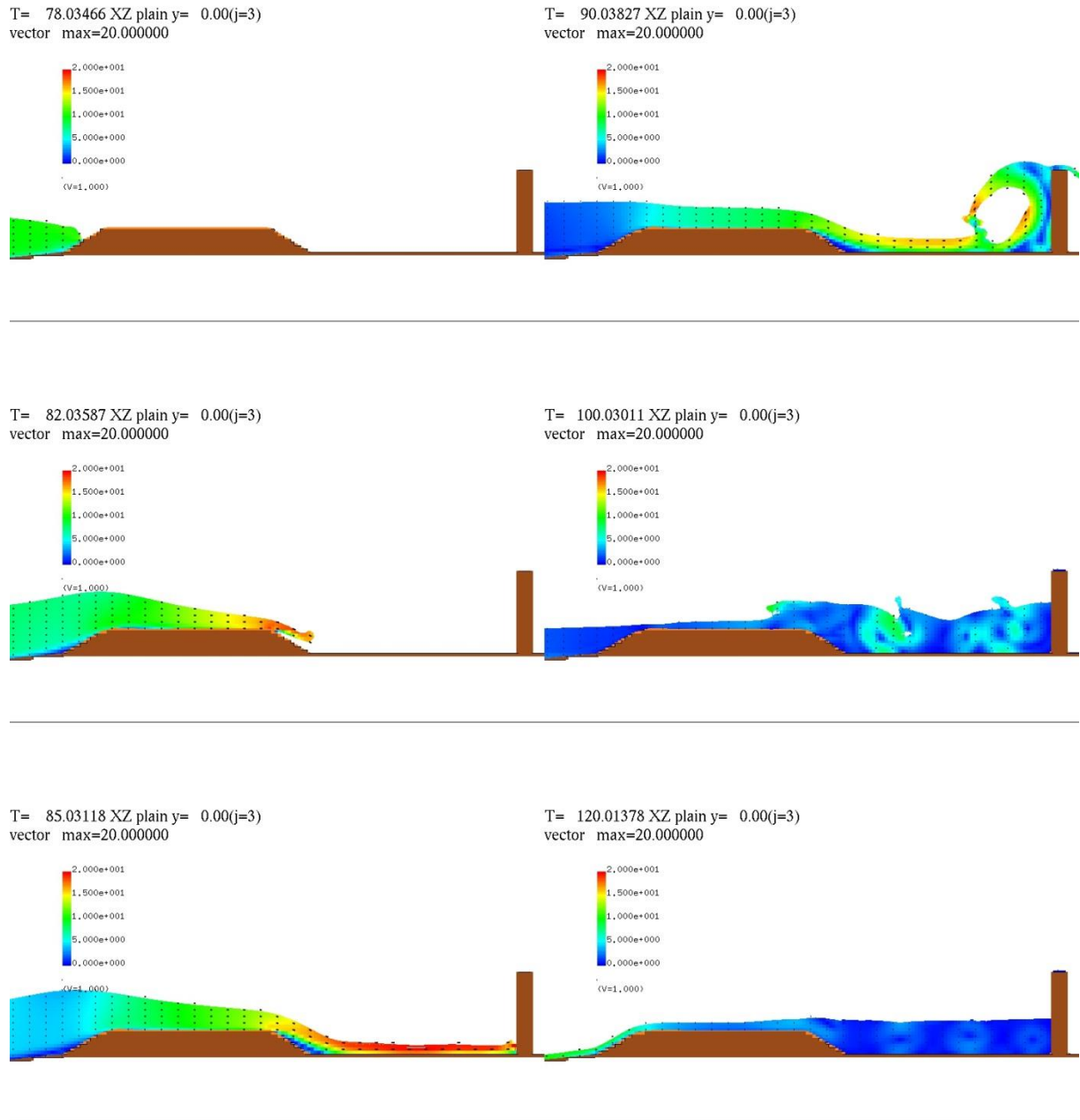


図 3-4-3-4 Case2-2 の断面二次元流速スナップショット

【台形断面, 波高 : 8.0m, 堤体位置 : 汀線-110.0m, 砂粒径 : 0.23mm】

図 3-4-3-5 は、Case2-2 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

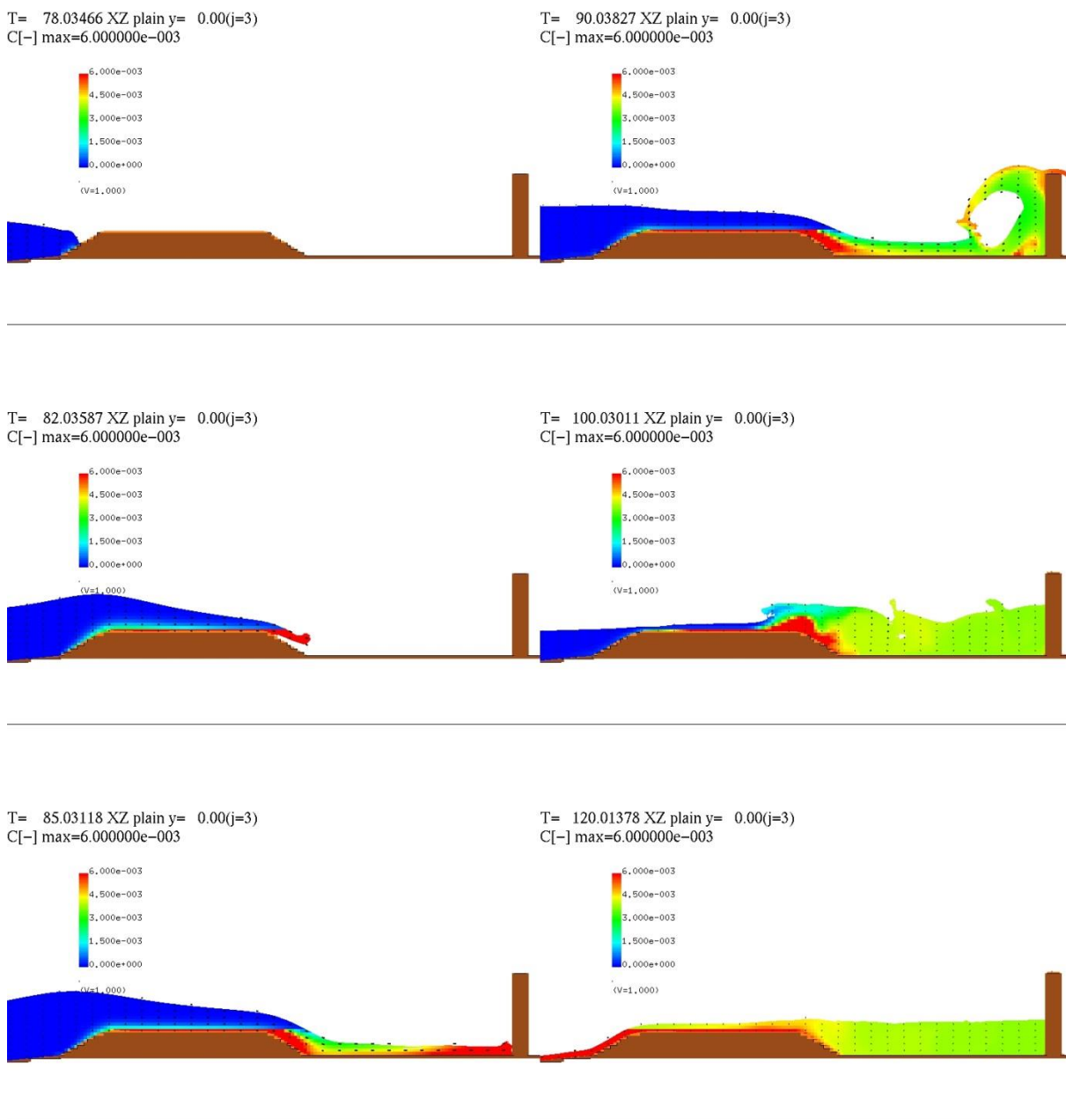


図 3-4-3-5 Case2-2 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【台形断面，波高：8.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.23mm】

Case2-2 の砂面形状変化を図 3-4-3-6 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。

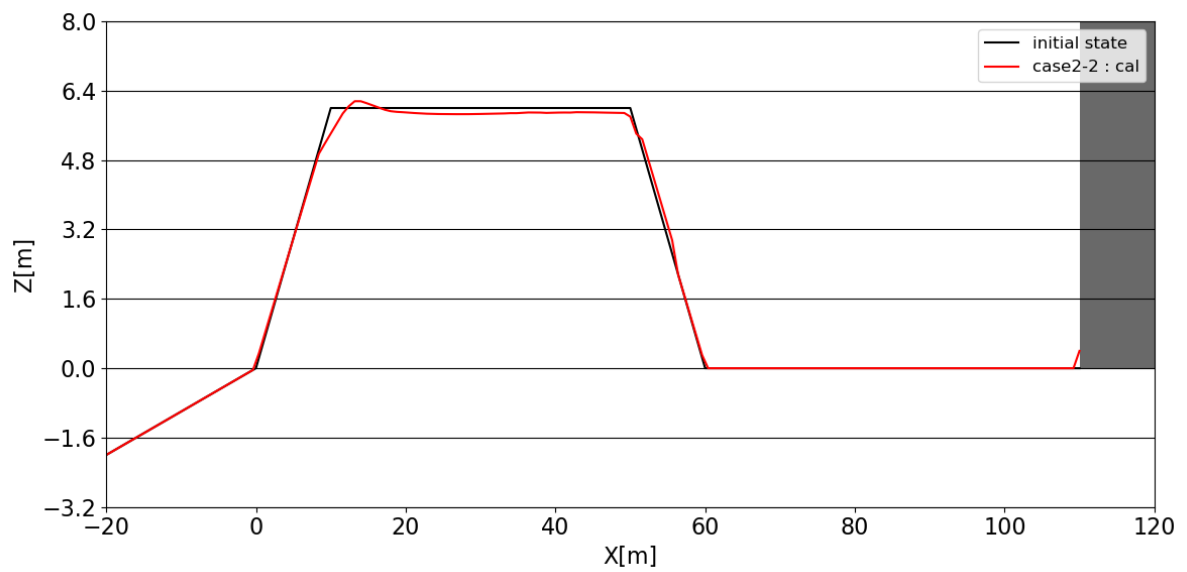


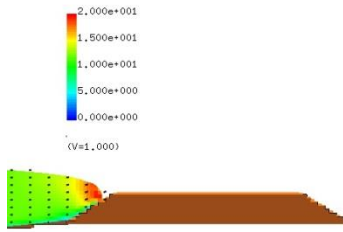
図 3-4-3-6 Case2-2 の砂面形状変化

【台形断面，波高：8.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.23mm】

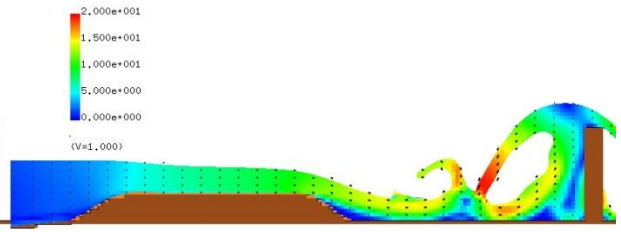
(3) Case2-3\_E1 (台形断面, 波高 10.0m, 汀線-110.0m, 砂粒径 0.23mm)

図 3-4-3-7 は, Case2-3\_E1 の断面二次元流速スナップショットを示す.

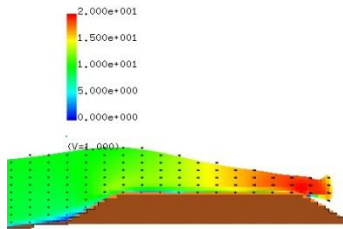
T= 73.00521 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



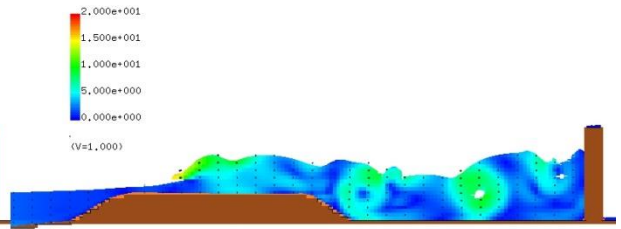
T= 85.00883 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



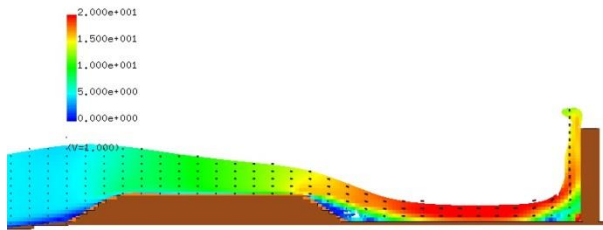
T= 76.00053 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 95.00066 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 80.00173 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 120.01378 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000

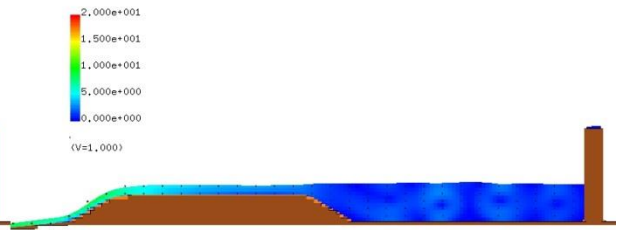


図 3-4-3-7 Case2-3\_E1 の断面二次元流速スナップショット

【台形断面, 波高 : 10.0m, 堤体位置 : 汀線-110.0m, 砂粒径 : 0.23mm】

図 3-4-3-8 は、Case2-3\_E1 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

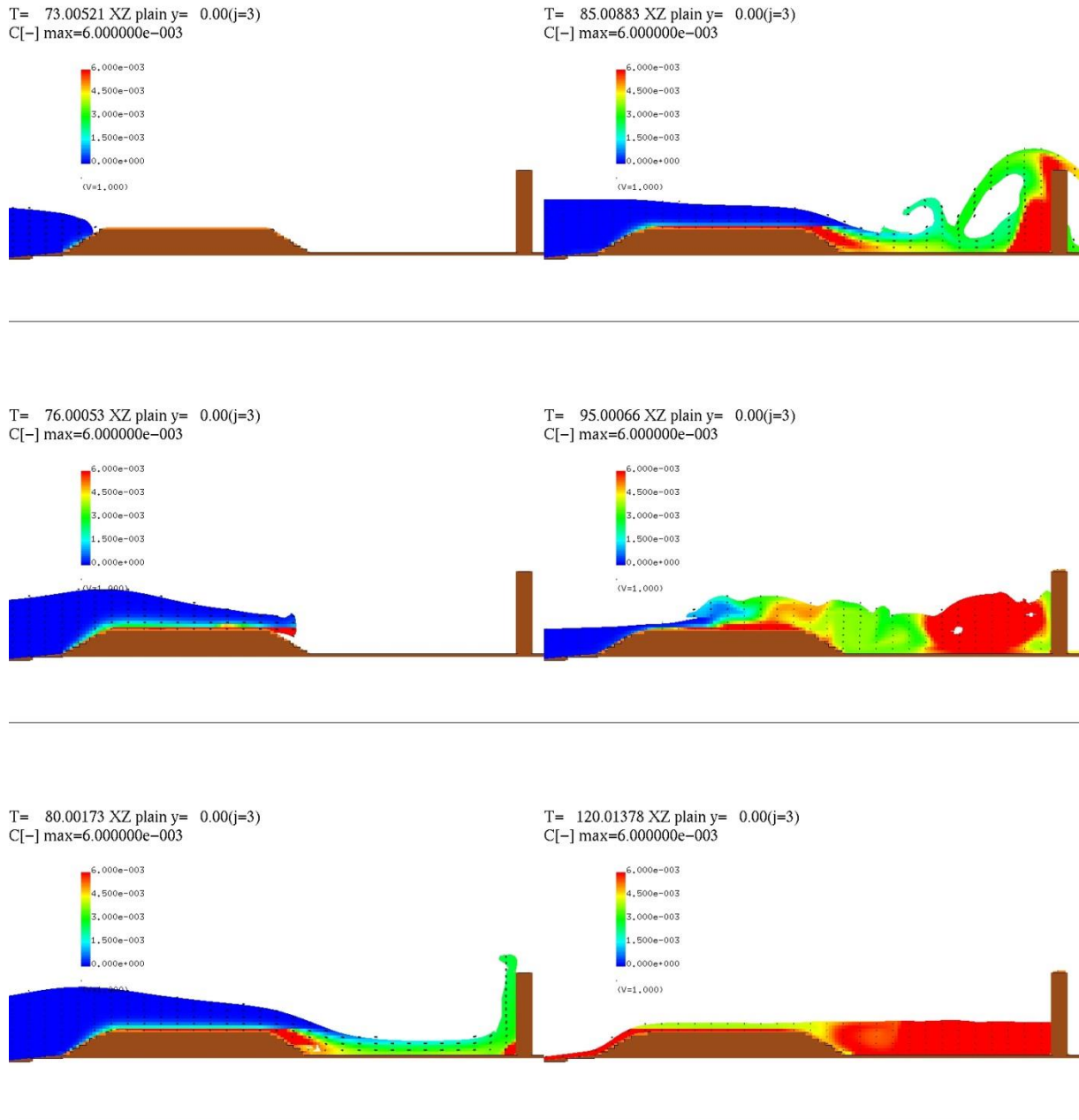


図 3-4-3-8 Case2-3\_E1 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
【台形断面，波高：10.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.23mm】

Case2-3\_E1 の砂面形状変化を図 3-4-3-9 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高は現地スケールに換算して（80 倍にして）水色の破線で示す。

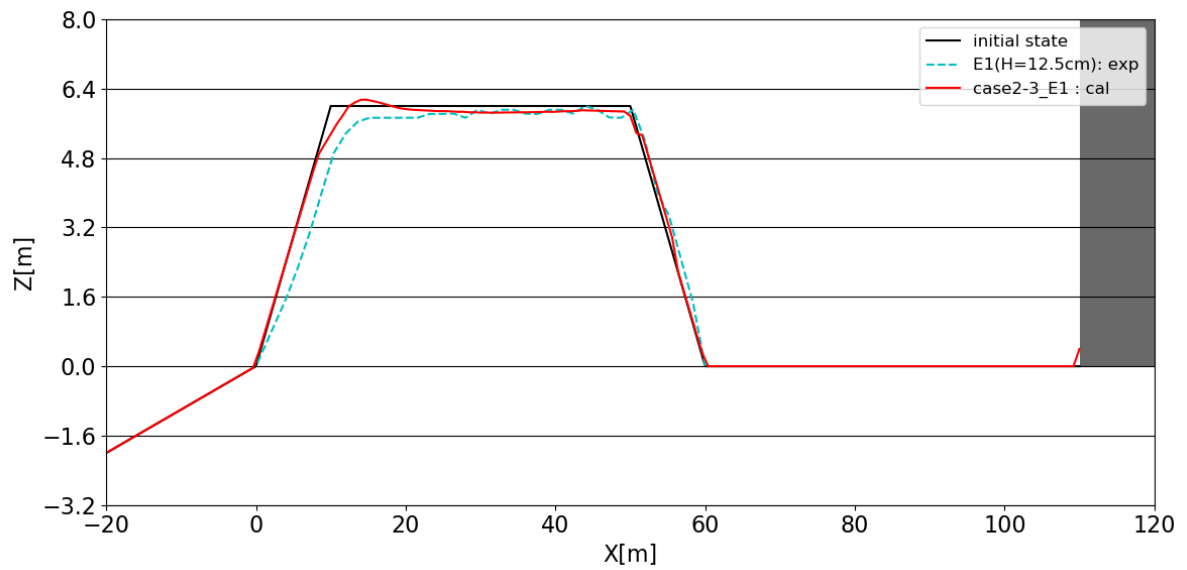


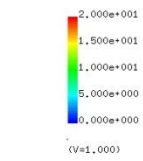
図 3-4-3-9 Case2-3\_E1 の砂面形状変化

【台形断面，波高：10.0m，堤体位置：汀線-137.5cm，砂粒径：0.23mm】

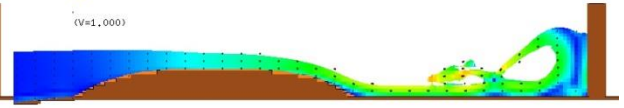
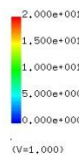
(4) Case2-4\_E2 (丸み断面, 波高 6.0m, 汀線-110.0m, 砂粒径 0.23mm)

図 3-4-3-10 は, Case2-4\_E2 の断面二次元流速スナップショットを示す.

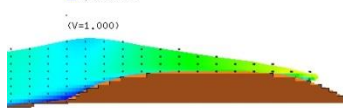
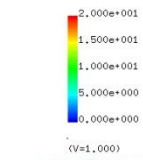
T= 85.00883 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



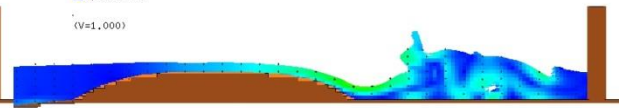
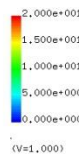
T= 100.00776 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



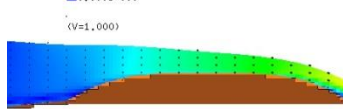
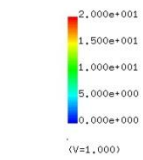
T= 90.01592 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 105.01485 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 95.00066 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 115.00668 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000

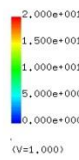


図 3-4-3-10 Case2-4\_E2 の断面二次元流速スナップショット

【丸み断面, 波高 : 6.0m, 堤体位置 : 汀線-110.0m, 砂粒径 : 0.23mm】



図 3-4-3-11 は、Case2-4\_E2 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

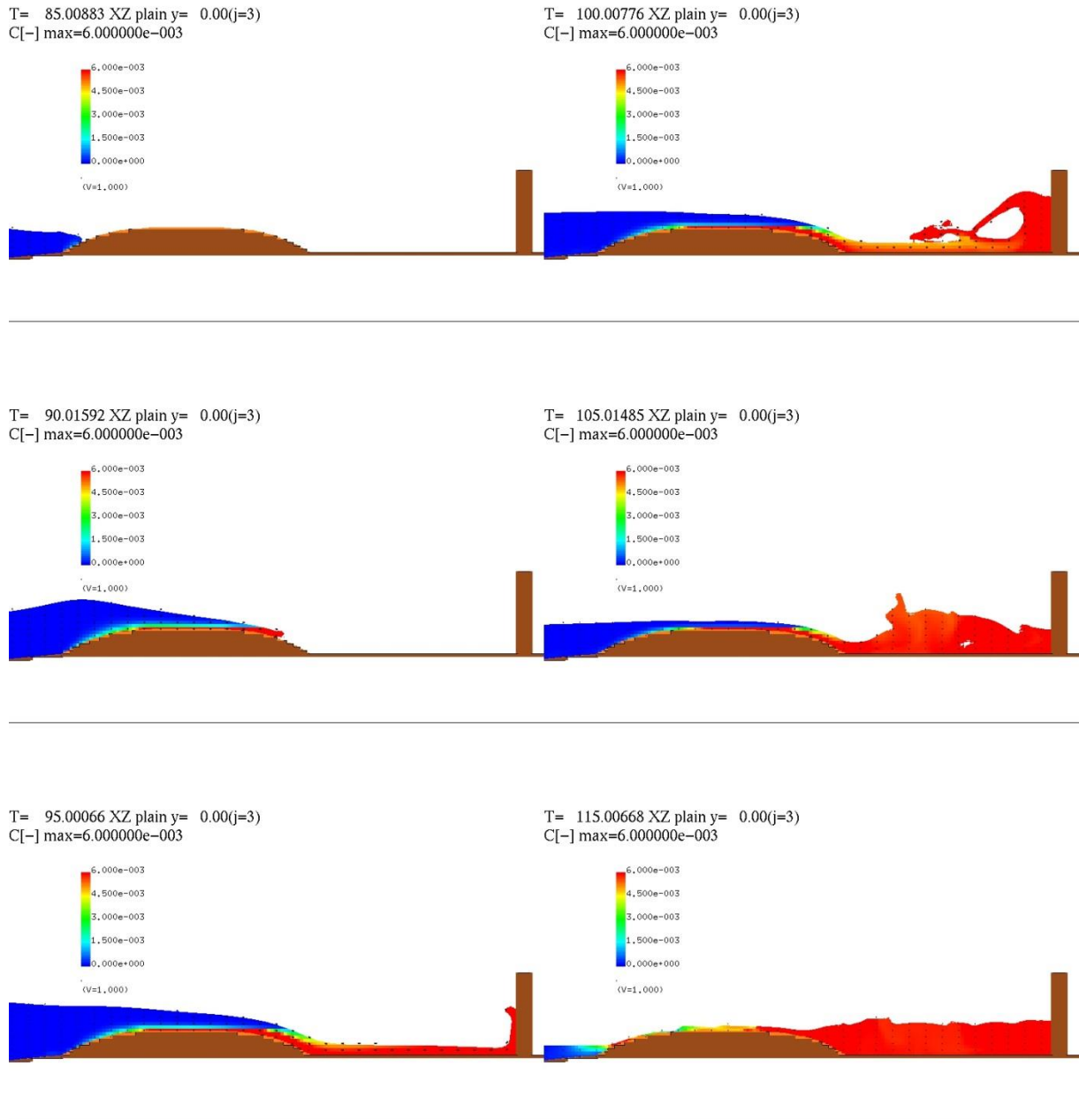


図 3-4-3-11 Case2-4\_E2 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
 【丸み断面，波高：6.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.23mm】

Case2-4 の砂面形状変化を図 3-4-3-12 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高は現地スケールに換算して（80 倍にして）水色の破線で示す。

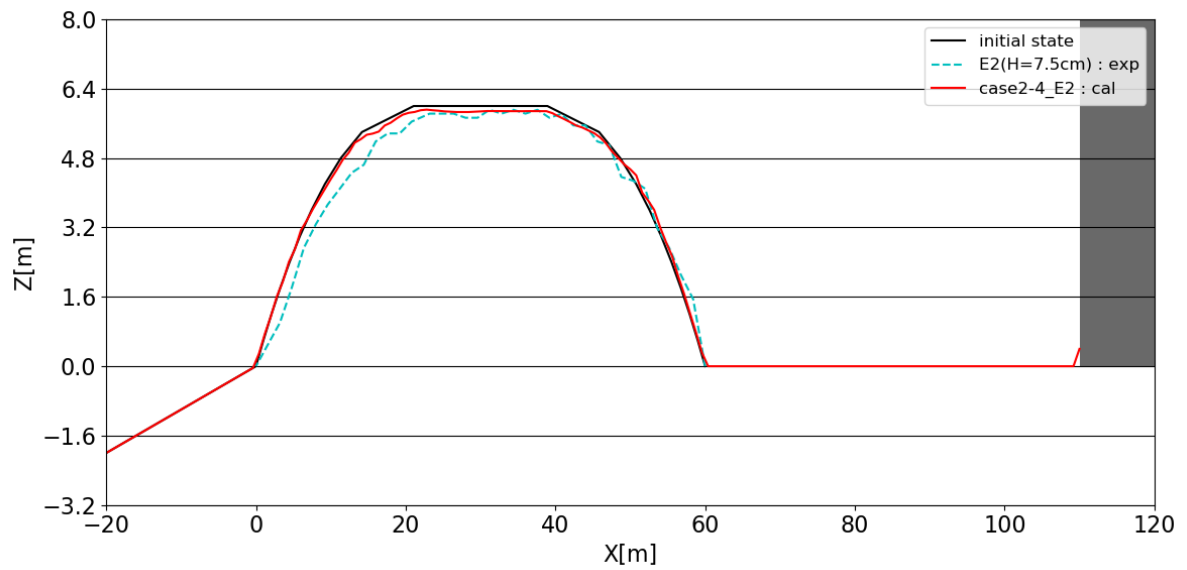


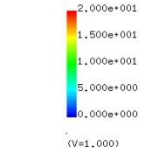
図 3-4-3-12 Case2-4\_E2 の砂面形状変化

【丸み断面，波高：6.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.23mm】

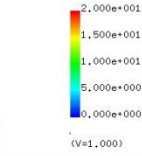
(5) Case2-5 (丸み断面, 波高 8.0m, 汀線-110.0m, 砂粒径 0.23mm)

図 3-4-3-13 は, Case2-5【丸み断面, 波高: 8.0m, 堤体位置: 汀線-110.0m, 砂粒径: 0.23mm】の断面二次元流速スナップショットを示す.

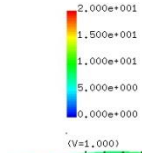
T= 78.01231 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



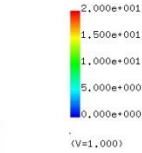
T= 90.50769 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



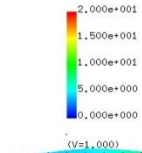
T= 82.01351 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 100.00776 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 85.00883 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 120.01378 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000

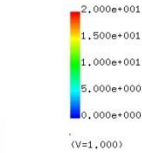


図 3-4-3-13 Case2-5 の断面二次元流速スナップショット

【丸み断面, 波高: 8.0m, 堤体位置: 汀線-110.0m, 砂粒径: 0.23mm】

図 3-4-3-14 は、Case2-5 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

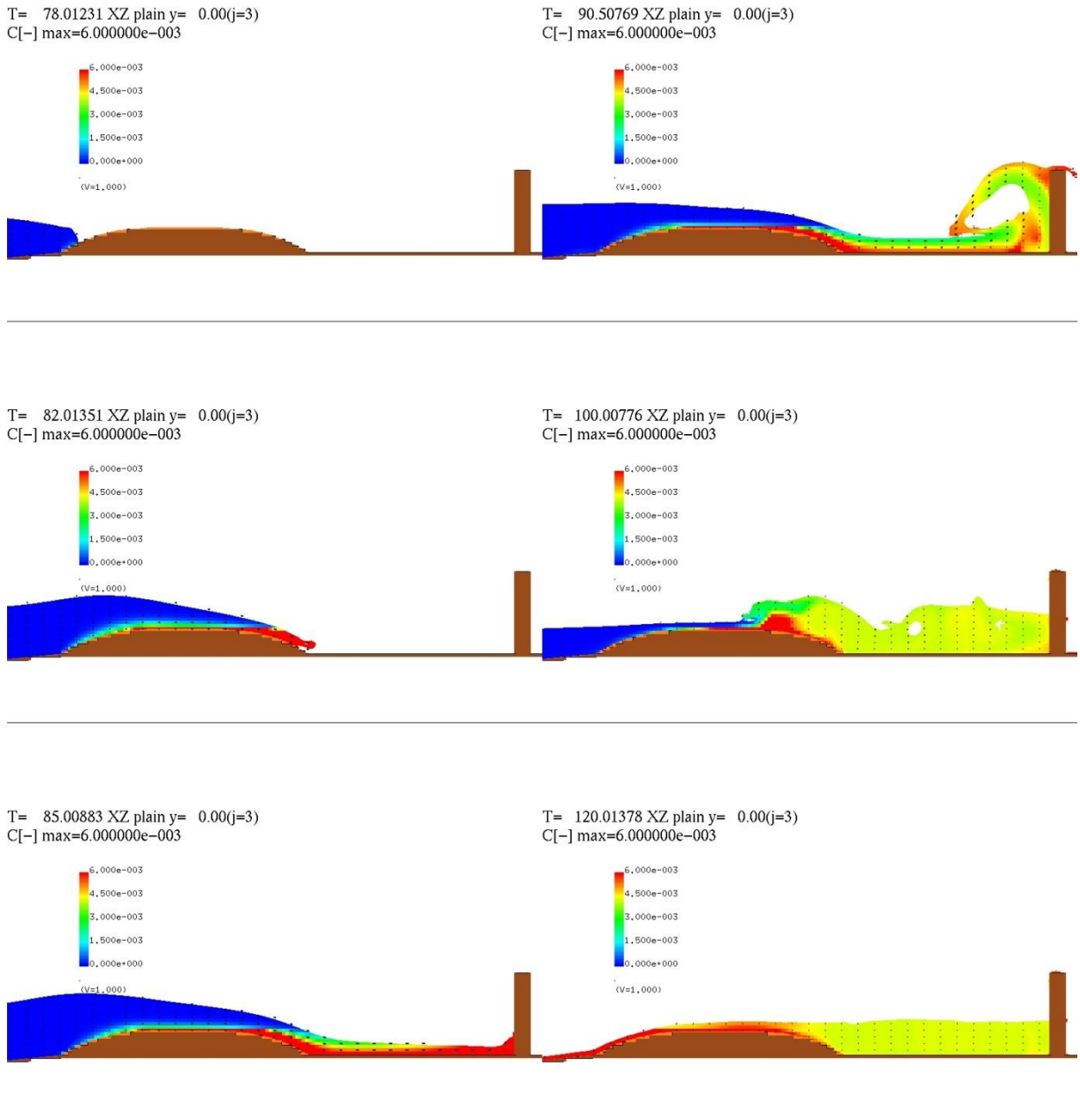


図 3-4-3-14 Case2-5 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
**【丸み断面，波高：8.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.23mm】**

Case2-5 の砂面形状変化を図 3-4-3-15 に示す. 砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し, 解析結果の河床高を赤の実線で示す.

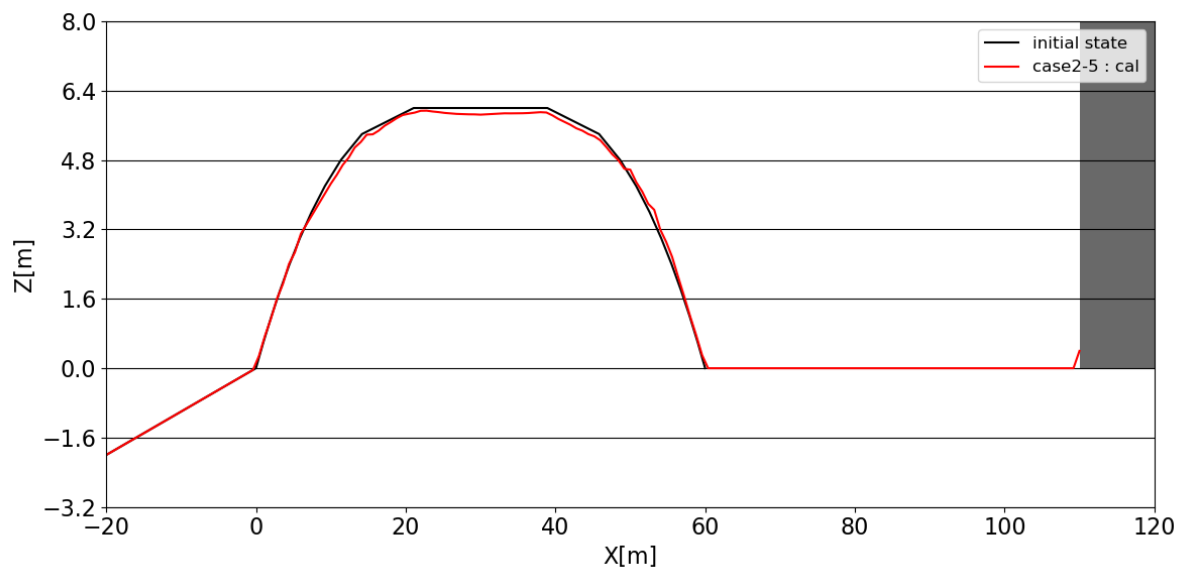


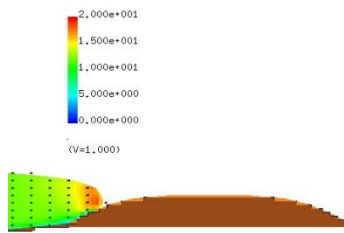
図 3-4-3-15 Case2-5 の砂面形状変化

【丸み断面, 波高 : 8.0m, 堤体位置 : 汀線-110.0m, 砂粒径 : 0.23mm】

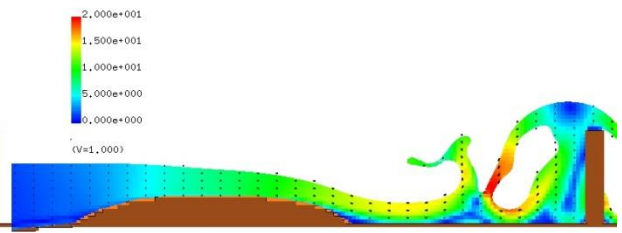
(6) Case2-6\_E2 (丸み断面, 波高 10.0m, 汀線-110.0m, 砂粒径 0.23mm)

図 3-4-3-16 は, Case2-6\_E2 の断面二次元流速スナップショットを示す.

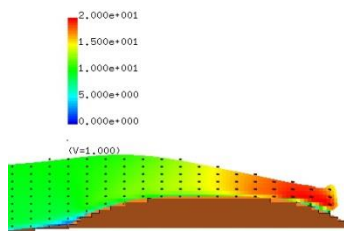
T= 73.00521 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



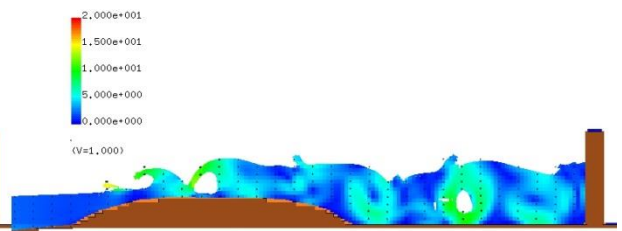
T= 85.00883 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



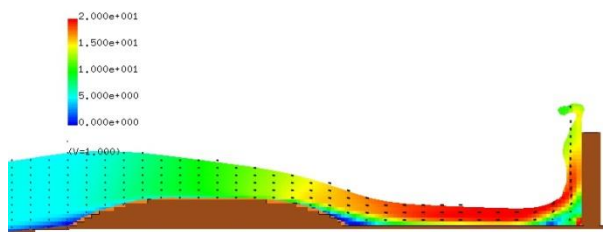
T= 76.00053 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 95.00066 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 80.00173 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 120.01378 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000

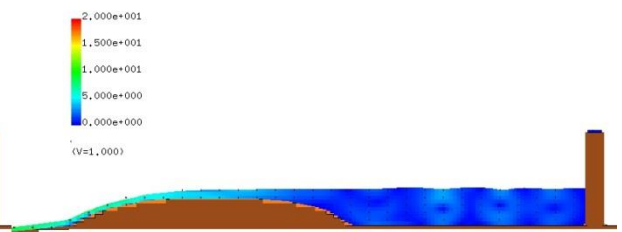


図 3-4-3-16 Case2-6\_E2 の断面二次元流速スナップショット

【丸み断面, 波高 : 10.0m, 堤体位置 : 汀線-110.0m, 砂粒径 : 0.23mm】

図 3-4-3-17 は、Case2-6\_E2 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

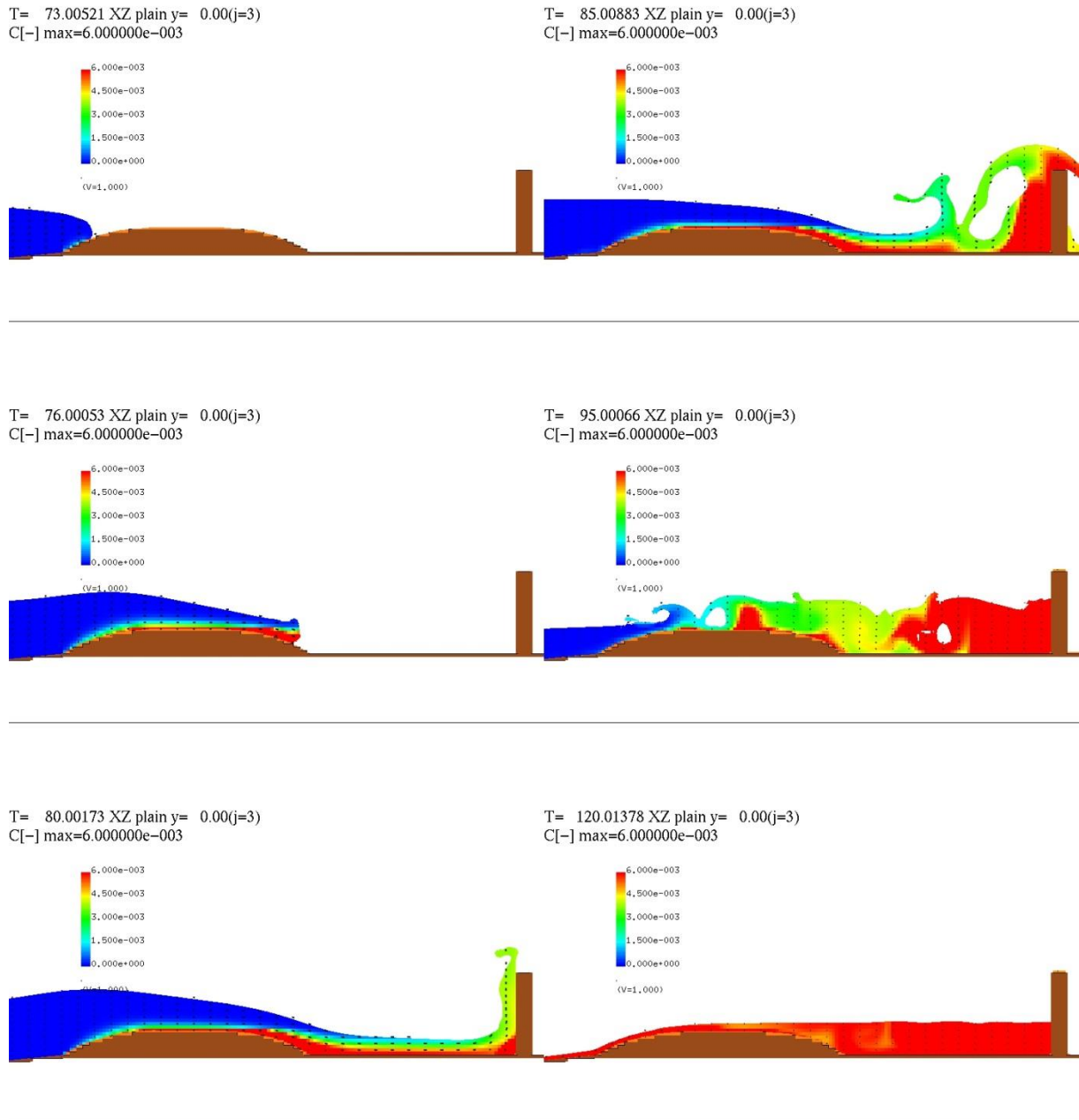


図 3-4-3-17 Case2-6\_E2 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
 【丸み断面，波高：10.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.23mm】

Case2-6\_E2 の砂面形状変化を図 3-4-3-18 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高は現地スケールに換算して（80 倍にして）水色の破線で示す。

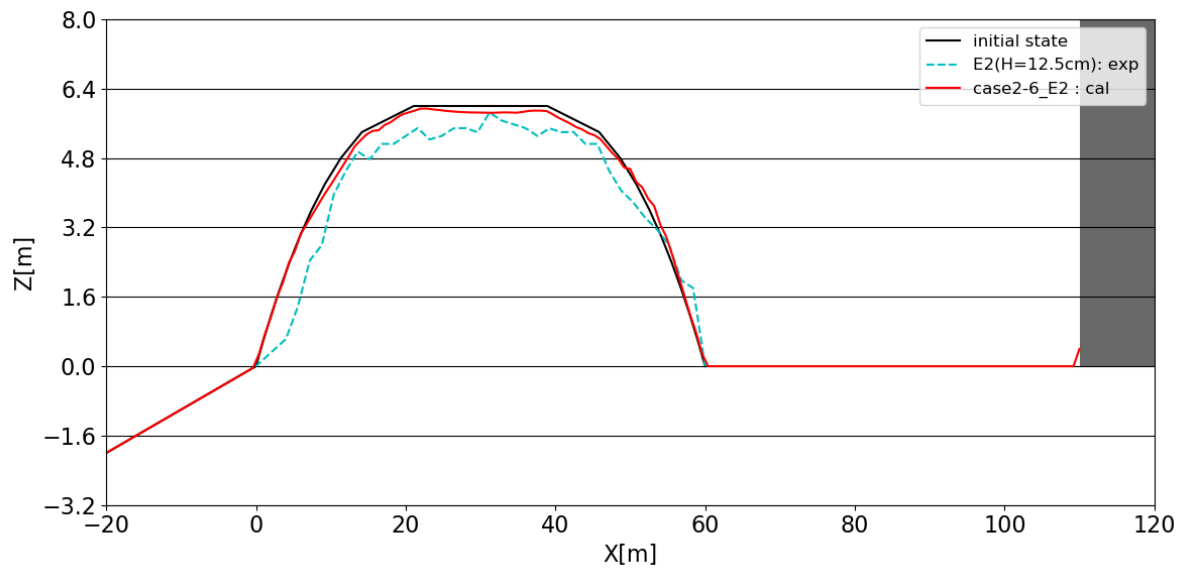


図 3-4-3-18 Case2-6\_E2 の砂面形状変化

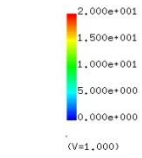
【丸み断面，波高：10.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.23mm】



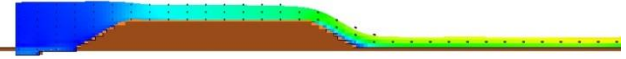
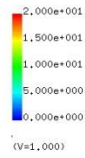
(7) Case2-7\_E3 (台形断面, 波高 6.0m, 防潮堤なし, 砂粒径 0.23mm)

図 3-4-3-19 は, Case2-7\_E3 の断面二次元流速スナップショットを示す。

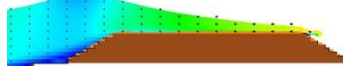
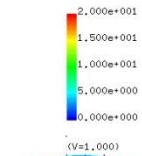
T= 85.00883 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



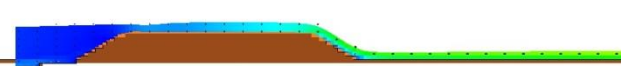
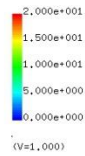
T= 100.00776 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



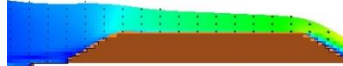
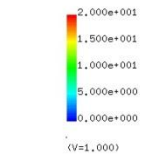
T= 90.01592 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 105.01485 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 95.00066 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 115.00668 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000

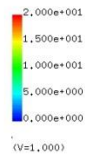


図 3-4-3-19 Case2-7\_E3 の断面二次元流速スナップショット

【台形断面, 波高 : 6.0m, 防潮堤なし, 砂粒径 : 0.23mm】

図 3-4-3-20 は、Case2-7\_E3【台形断面，波高：6.0m，防潮堤なし，砂粒径：0.23mm】の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

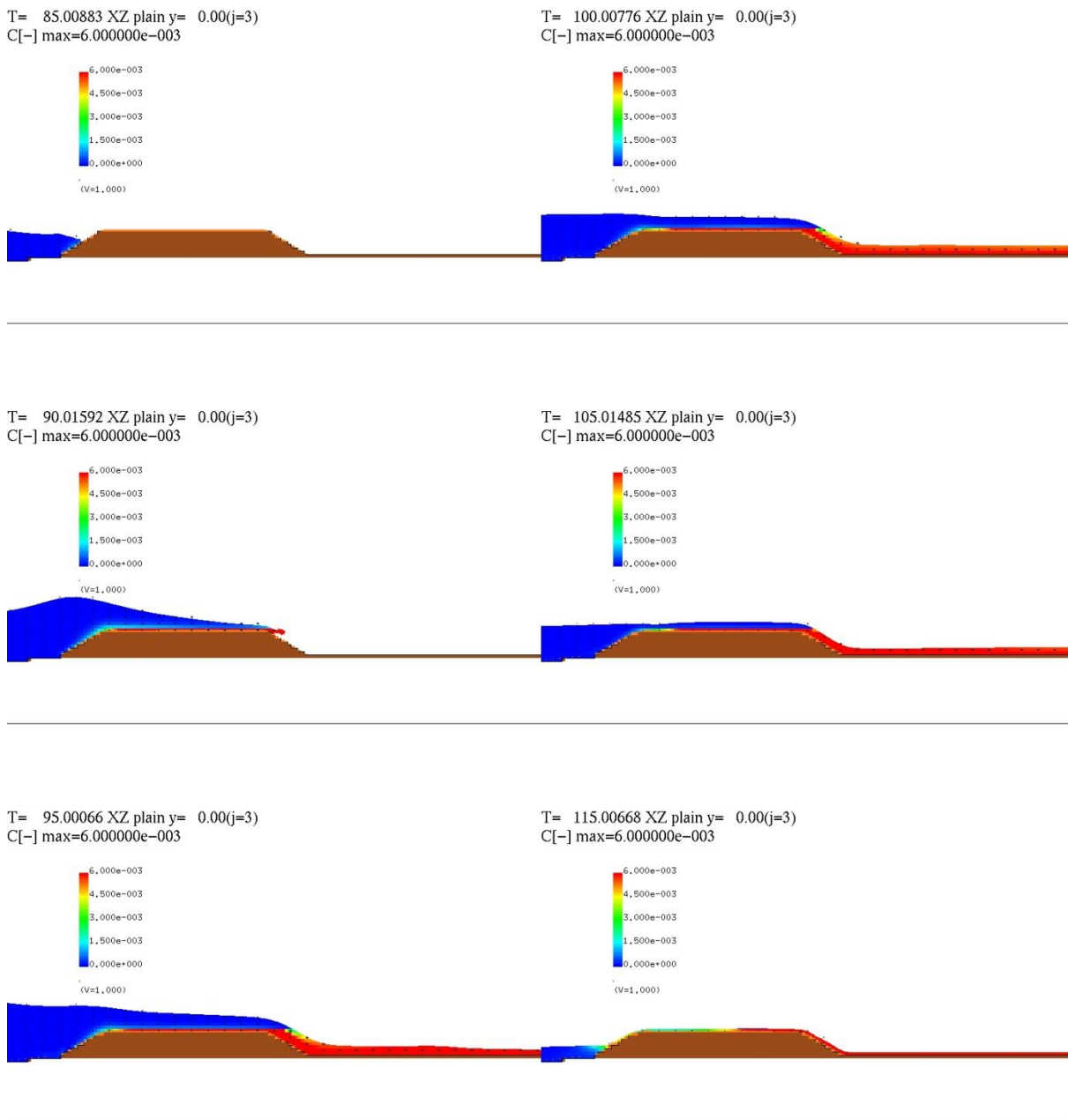


図 3-4-3-20 Case2-7\_E3 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
【台形断面，波高：6.0m，防潮堤なし，砂粒径：0.23mm】

Case2-7\_E3 の砂面形状変化を図 3-4-3-21 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高は現地スケールに換算して（80 倍にして）水色の破線で示す。

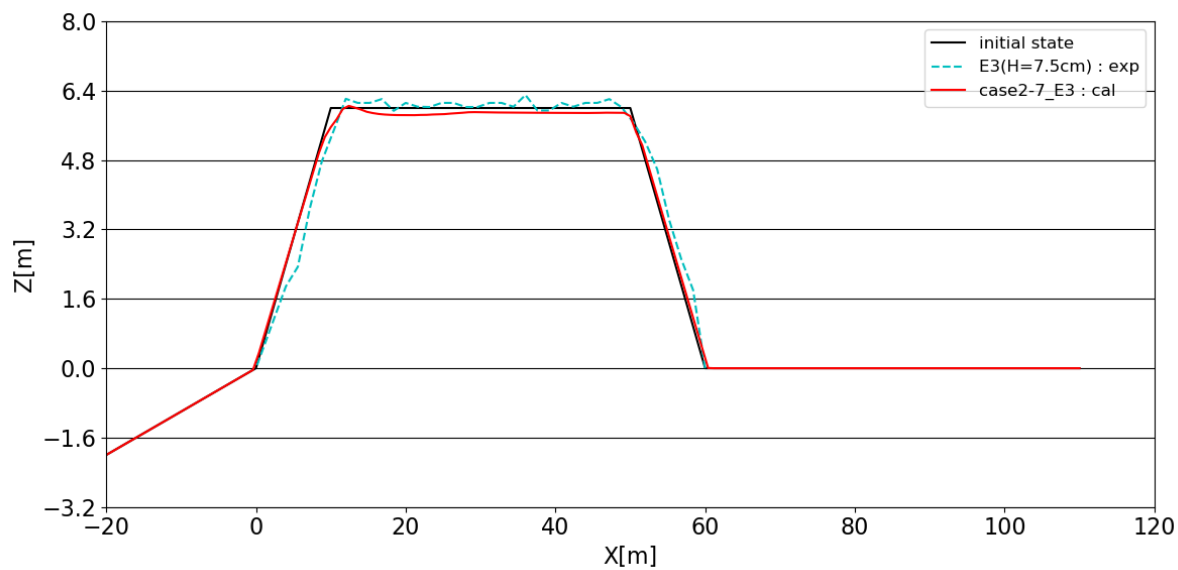


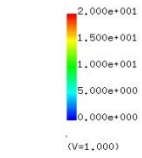
図 3-4-3-21 Case2-7\_E3 の砂面形状変化

【台形断面，波高：6.0m，防潮堤なし，砂粒径：0.23mm】

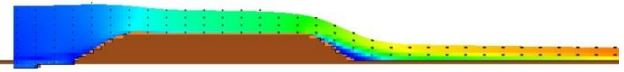
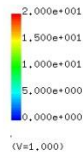
(8) Case2-8 (台形断面, 波高 8.0m, 防潮堤なし, 砂粒径 0.23mm)

図 3-4-3-22 は, Case2-8 の断面二次元流速スナップショットを示す.

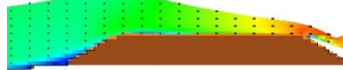
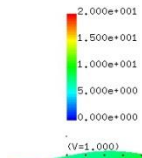
T= 78.01231 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



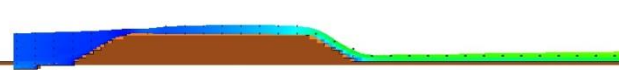
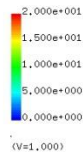
T= 90.50769 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



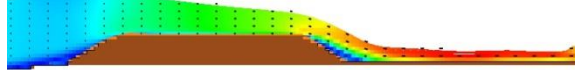
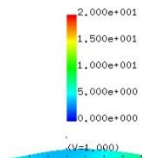
T= 82.01351 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 100.00776 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 85.00883 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 120.01378 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000

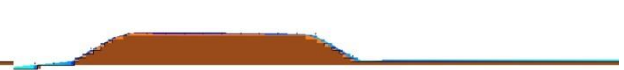
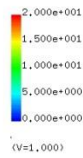


図 3-4-3-22 Case2-8 の断面二次元流速スナップショット

【台形断面, 波高 : 8.0m, 防潮堤なし, 砂粒径 : 0.23mm】

図 3-4-3-23 は、Case2-8 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

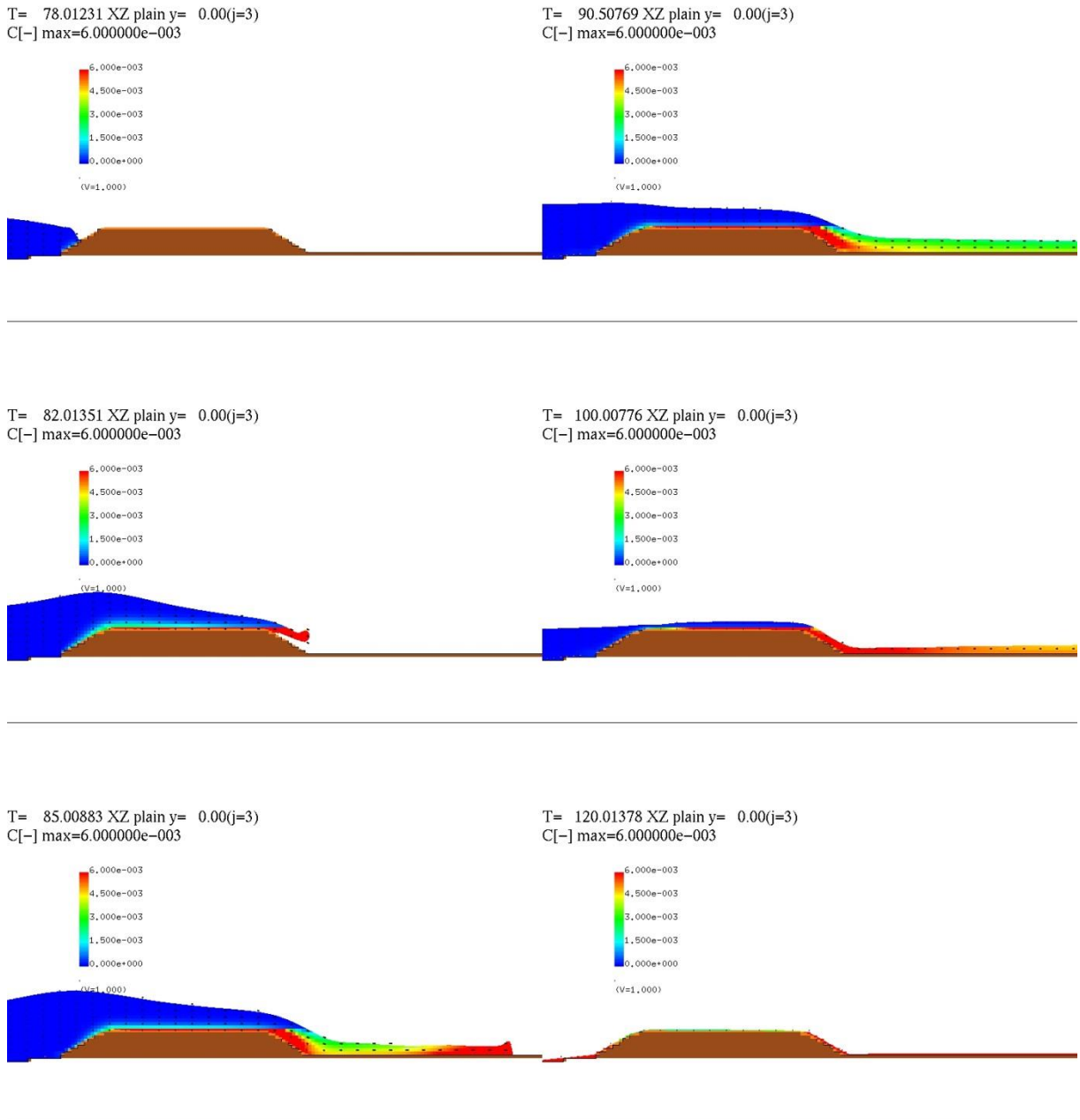


図 3-4-3-23 Case2-8 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【台形断面，波高：8.0m，防潮堤なし，砂粒径：0.23mm】

Case2-8 の砂面形状変化を図 3-4-3-24 に示す. 砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し, 解析結果の河床高を赤の実線で示す.

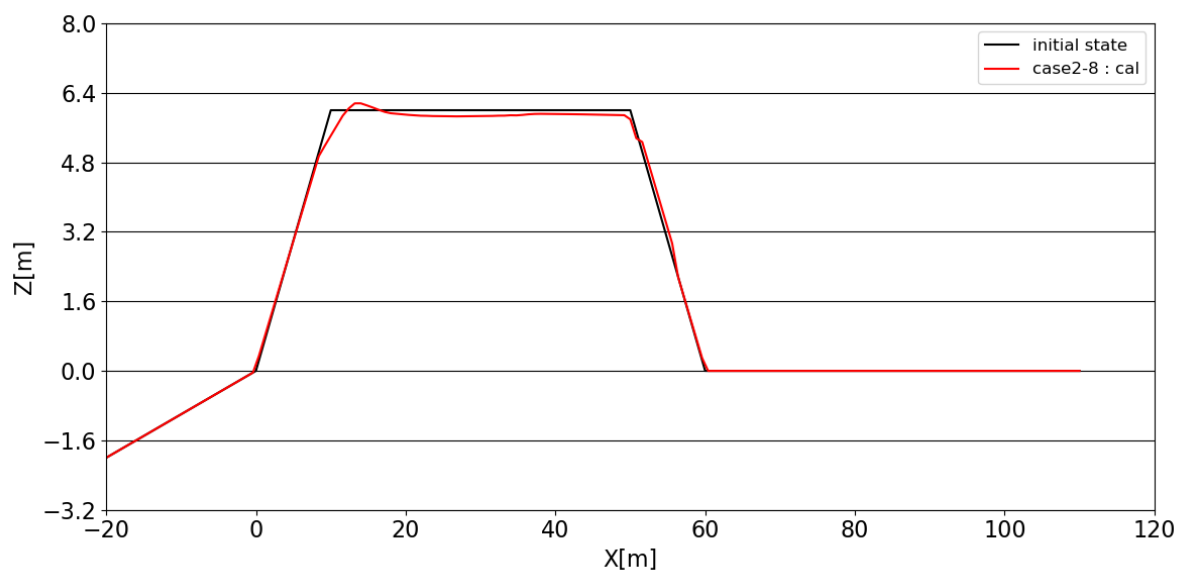


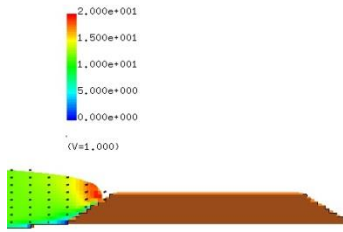
図 3-4-3-24 Case2-8 の砂面形状変化

【台形断面, 波高 : 8.0m, 防潮堤なし, 砂粒径 : 0.23mm】

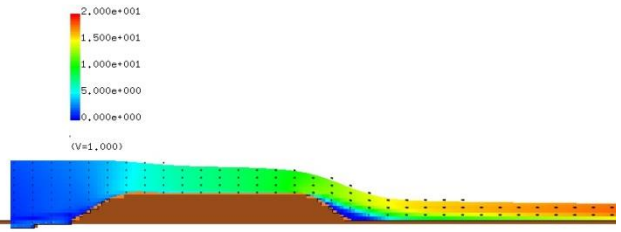
(9) Case2-9\_E3 (台形断面, 波高 10.0m, 防潮堤なし, 砂粒径 0.23mm)

図 3-4-3-25 は, Case2-9\_E3 の断面二次元流速スナップショットを示す.

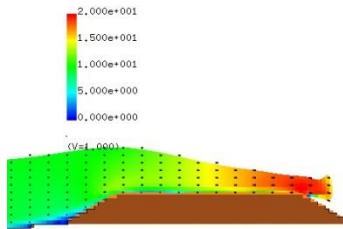
T= 73.00521 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



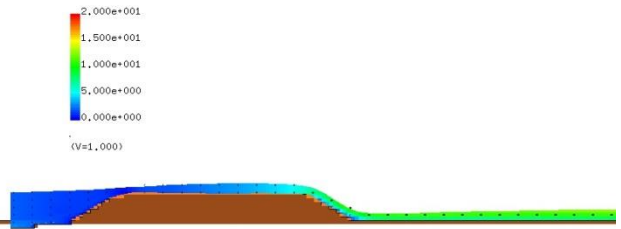
T= 85.00883 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



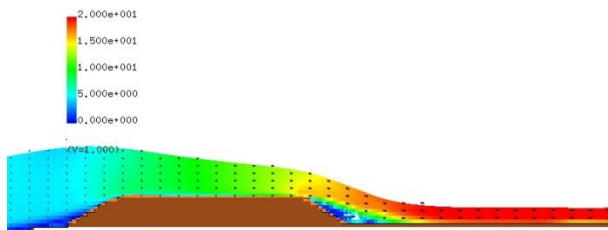
T= 76.00053 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 95.00066 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 80.00173 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 120.01378 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000

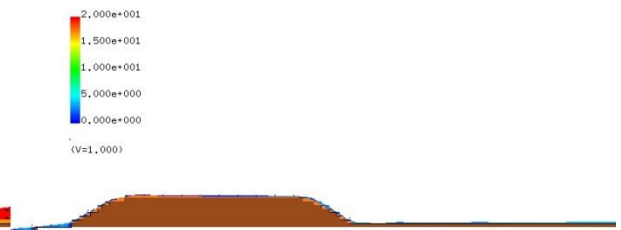


図 3-4-3-25 Case2-9\_E3 の断面二次元流速スナップショット

【台形断面, 波高 : 10.0m, 防潮堤なし, 砂粒径 : 0.23mm】

図 3-4-3-26 は、Case2-9\_E3 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

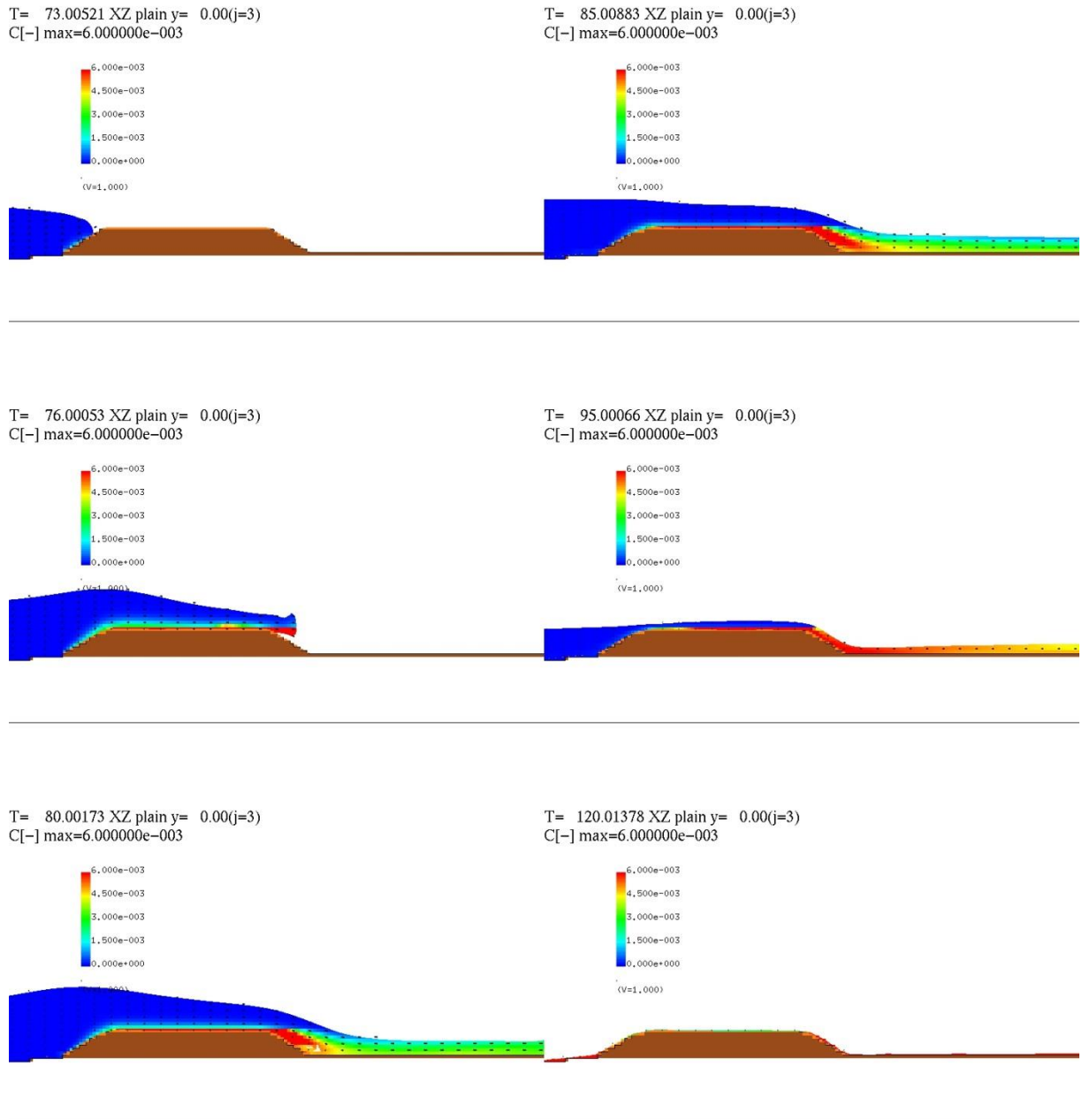


図 3-4-3-26 Case2-9\_E3 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【台形断面，波高：10.0m，防潮堤なし，砂粒径：0.23mm】



Case2-9\_E3 の砂面形状変化を図 3-4-3-27 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高は現地スケールに換算して（80 倍にして）水色の破線で示す。

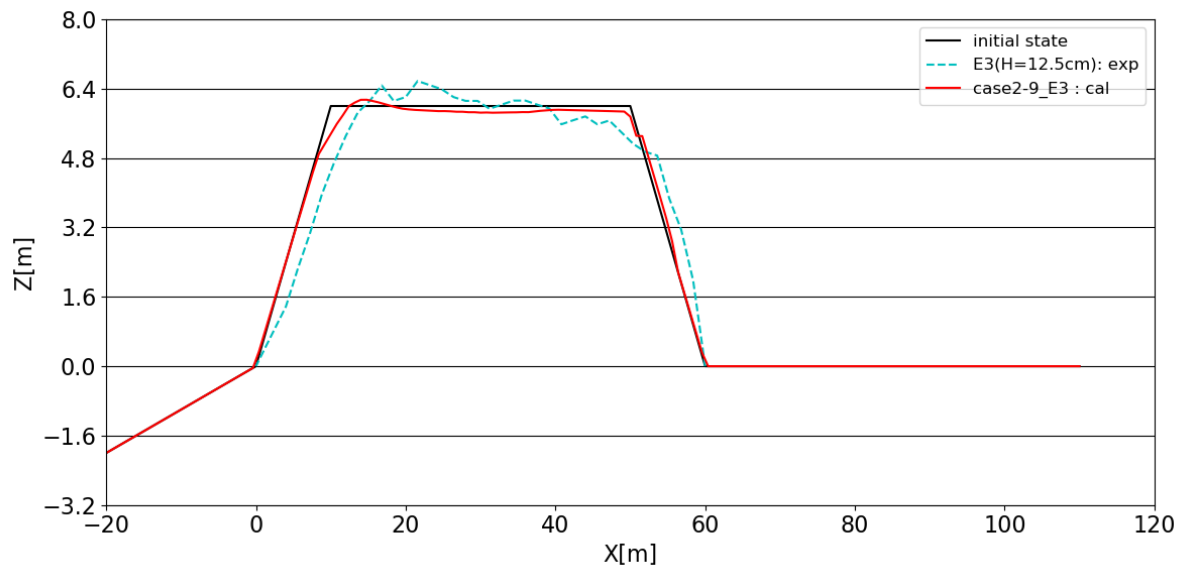


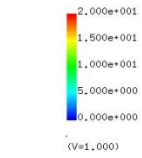
図 3-4-3-27 Case2-9\_E3 の砂面形状変化

【台形断面，波高：10.0m，防潮堤なし，砂粒径：0.23mm】

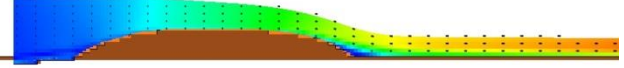
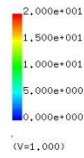
(10) Case2-10 (丸み断面, 波高 10.0m, 防潮堤なし, 砂粒径 0.23mm)

図 3-4-3-28 は, Case2-10 の断面二次元流速スナップショットを示す.

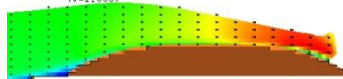
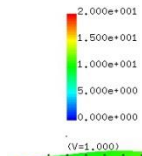
T= 73.00521 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



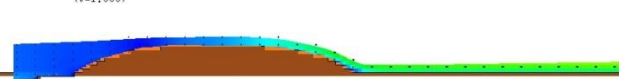
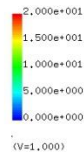
T= 85.00883 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



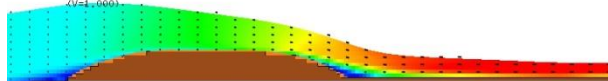
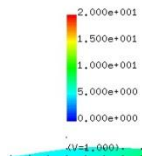
T= 76.00053 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 95.00066 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 80.00173 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 120.01378 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000

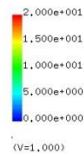


図 3-4-3-28 Case2-10 の断面二次元流速スナップショット

【丸み断面, 波高 : 10.0m, 防潮堤なし, 砂粒径 : 0.23mm】

図 3-4-3-29 は、Case2-10 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

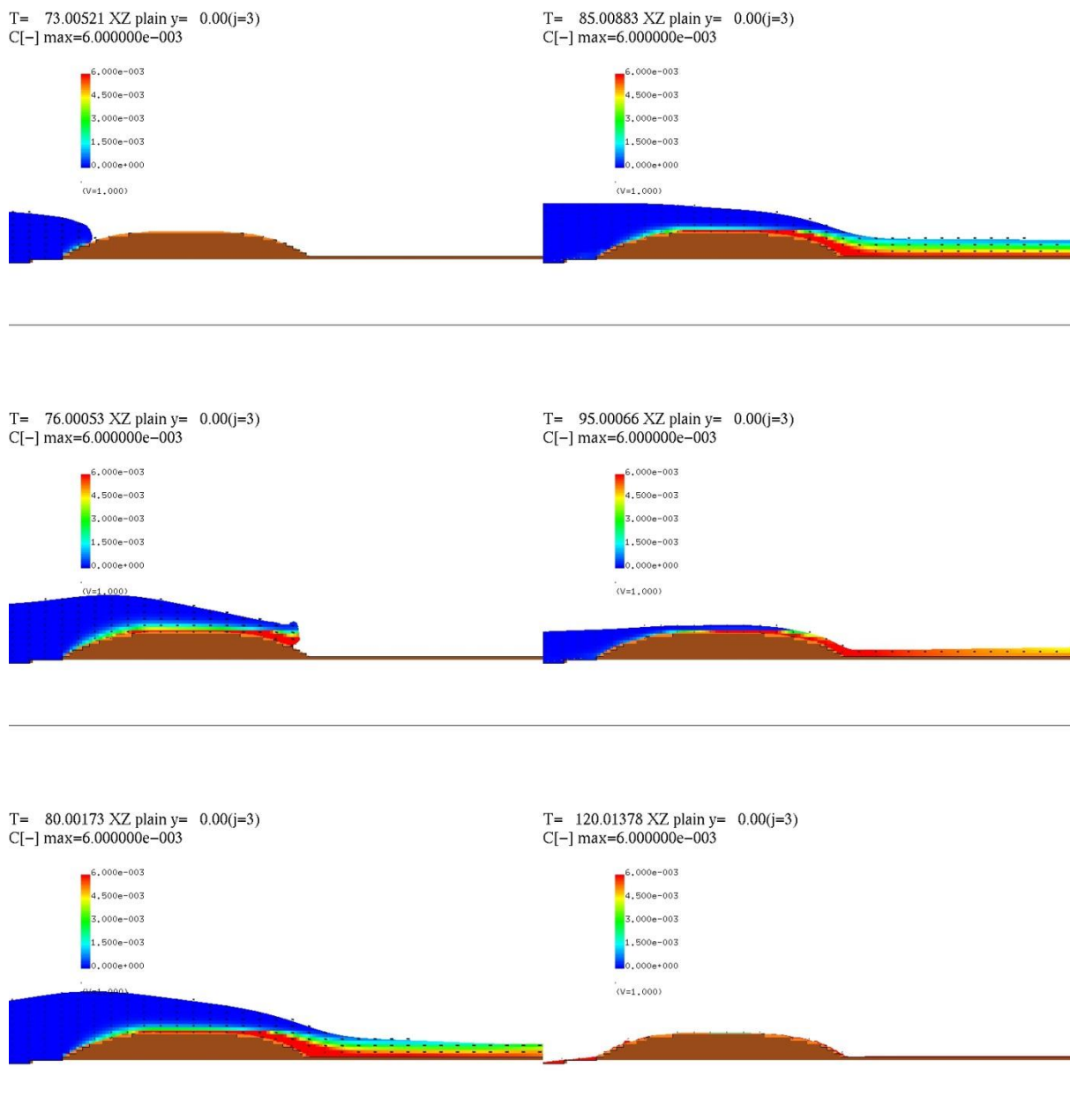


図 3-4-3-29 Case2-10 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
【丸み断面，波高：10.0m，防潮堤なし，砂粒径：0.23mm】

Case2-10 の砂面形状変化を図 3-4-3-30 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。

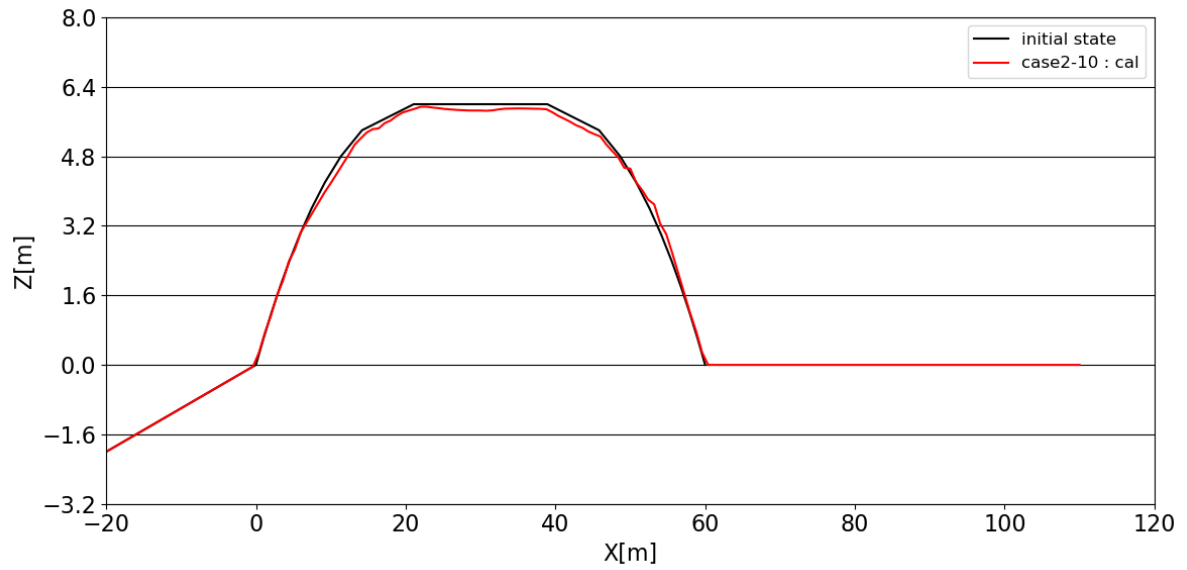


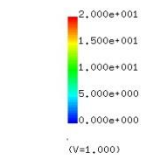
図 3-4-3-30 Case2-10 の砂面形状変化

【丸み断面，波高：10.0m，防潮堤なし，砂粒径：0.23mm】

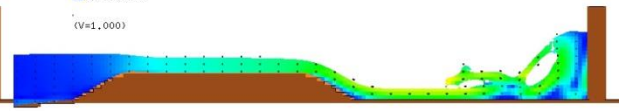
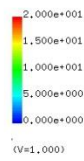
(11) Case2-11\_E4 (台形断面, 波高 6.0m, 汀線-110.0m, 砂粒径 0.11mm)

図 3-4-3-31 は, Case2-11\_E4 の断面二次元流速スナップショットを示す.

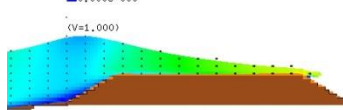
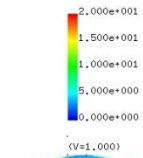
T= 85.00883 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



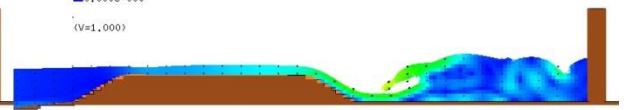
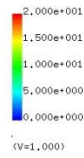
T= 100.00776 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



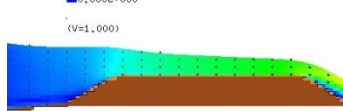
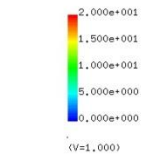
T= 90.01592 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 105.01485 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 95.00066 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 115.00668 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000

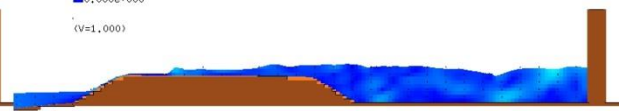
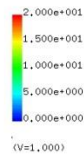


図 3-4-3-31 Case2-11\_E4 の断面二次元流速スナップショット

【台形断面, 波高 : 6.0m, 堤体位置 : 汀線-110.0m, 砂粒径 : 0.11mm】

図 3-4-3-32 は、Case2-11\_E4 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

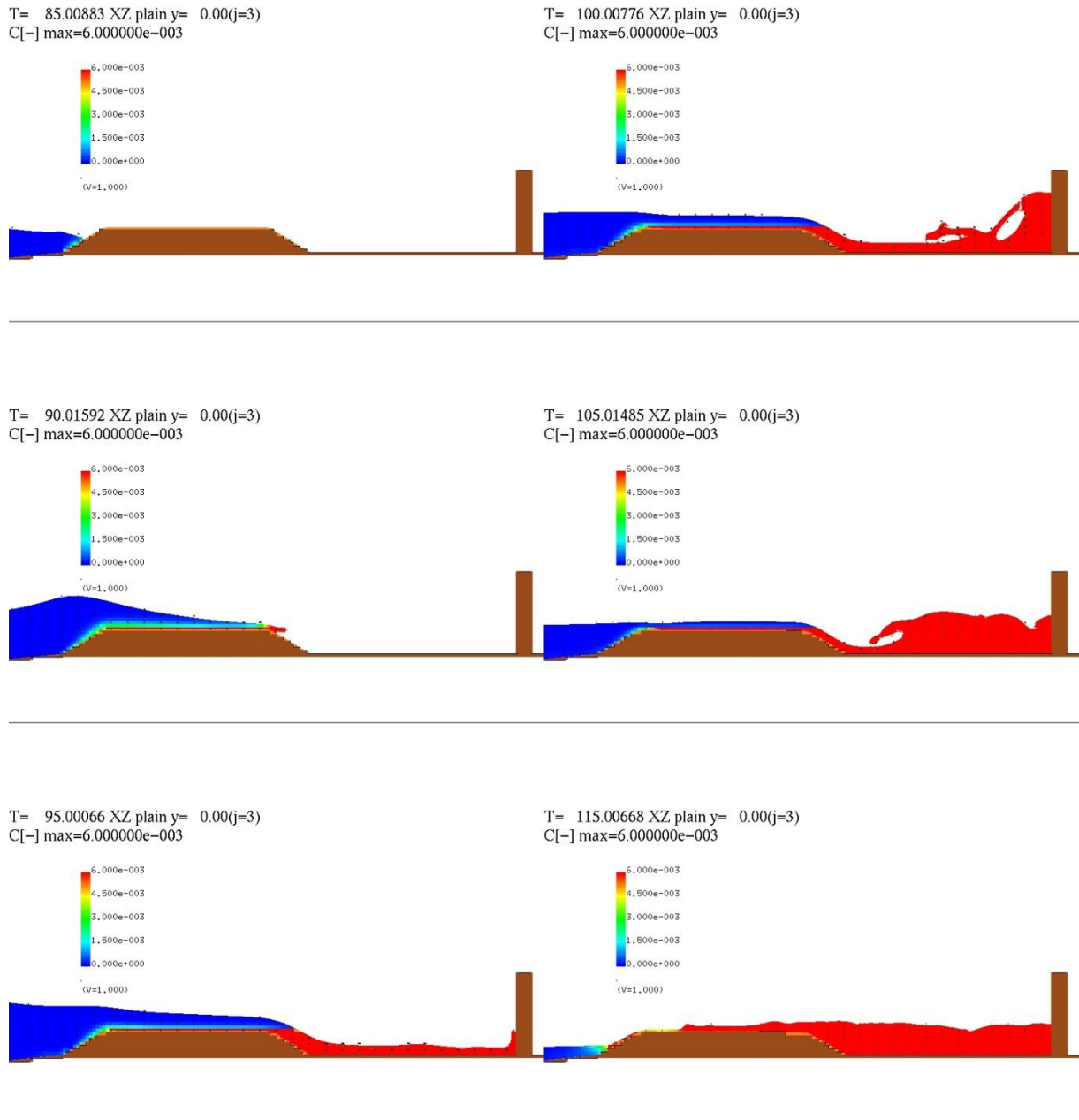


図 3-4-3-32 Case2-11\_E4 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【台形断面，波高：6.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.11mm】

Case2-11\_E4 の砂面形状変化を図 3-4-3-33 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高は現地スケールに換算して（80 倍にして）水色の破線で示す。

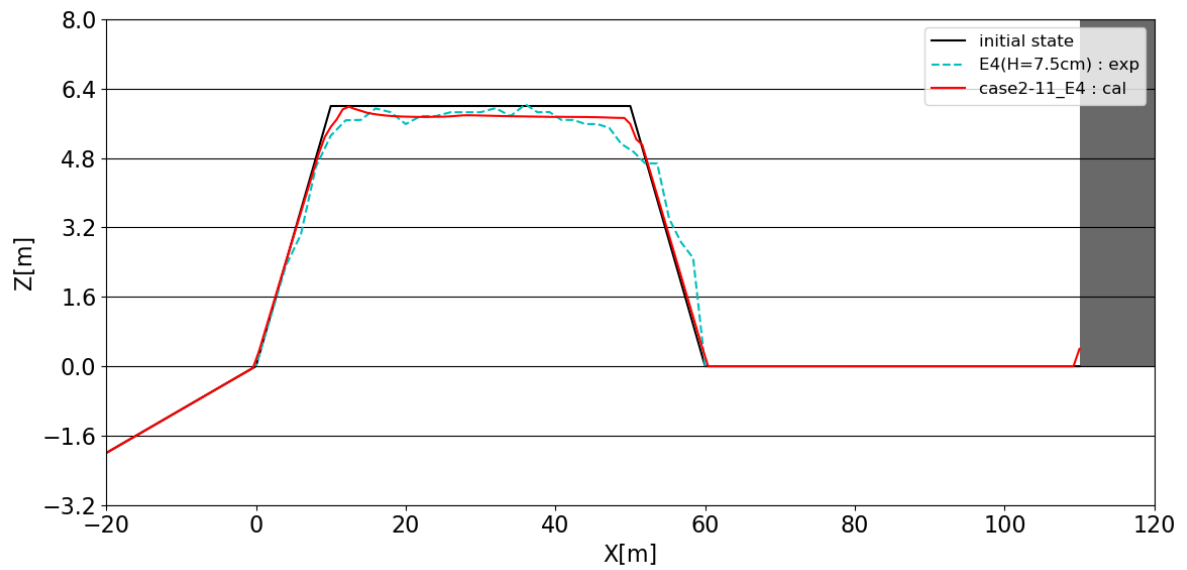


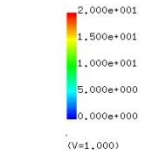
図 3-4-3-33 Case2-11\_E4 の砂面形状変化

【台形断面，波高：6.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.11mm】

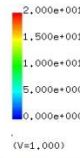
(12) Case2-12 (台形断面, 波高 8.0m, 汀線-110.0m, 砂粒径 0.11mm)

図 3-4-3-34 は, Case2-12【台形断面, 波高: 8.0m, 堤体位置: 汀線-110.0m, 砂粒径: 0.11mm】の断面二次元流速スナップショットを示す.

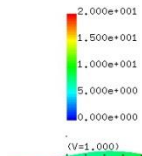
T= 78.01231 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



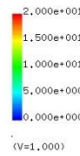
T= 90.50769 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



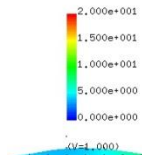
T= 82.01351 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 100.00776 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 85.00883 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 120.01378 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000

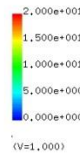


図 3-4-3-34 Case2-12 の断面二次元流速スナップショット

【台形断面, 波高: 8.0m, 堤体位置: 汀線-110.0m, 砂粒径: 0.11mm】



図 3-4-3-35 は、Case2-12 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

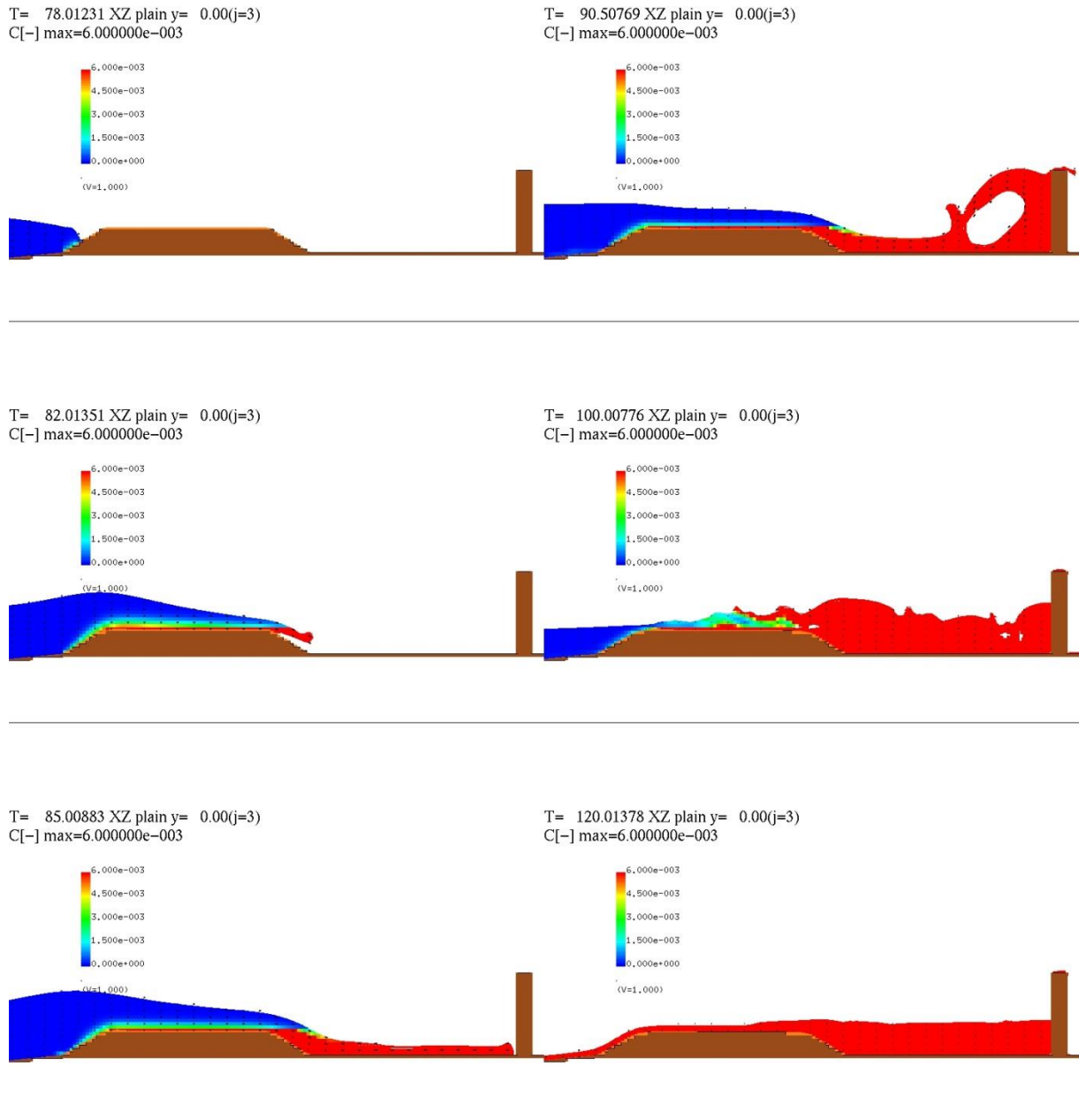


図 3-4-3-35 Case2-12 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
 【台形断面，波高：8.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.11mm】

Case2-12 の砂面形状変化を図 3-4-3-36 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。

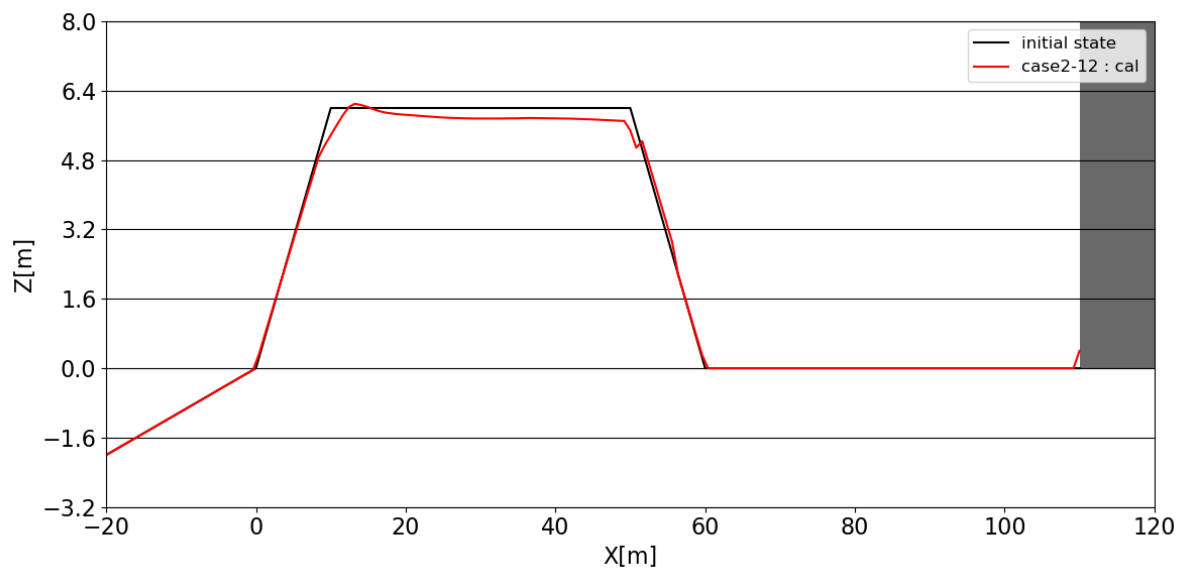


図 3-4-3-36 Case2-12 の砂面形状変化

【台形断面，波高：8.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.11mm】

(13) Case2-13\_E4 (台形断面, 波高 10.0m, 汀線-110.0m, 砂粒径 0.11mm)

図 3-4-3-37 は, Case2-13\_E4 の断面二次元流速スナップショットを示す.

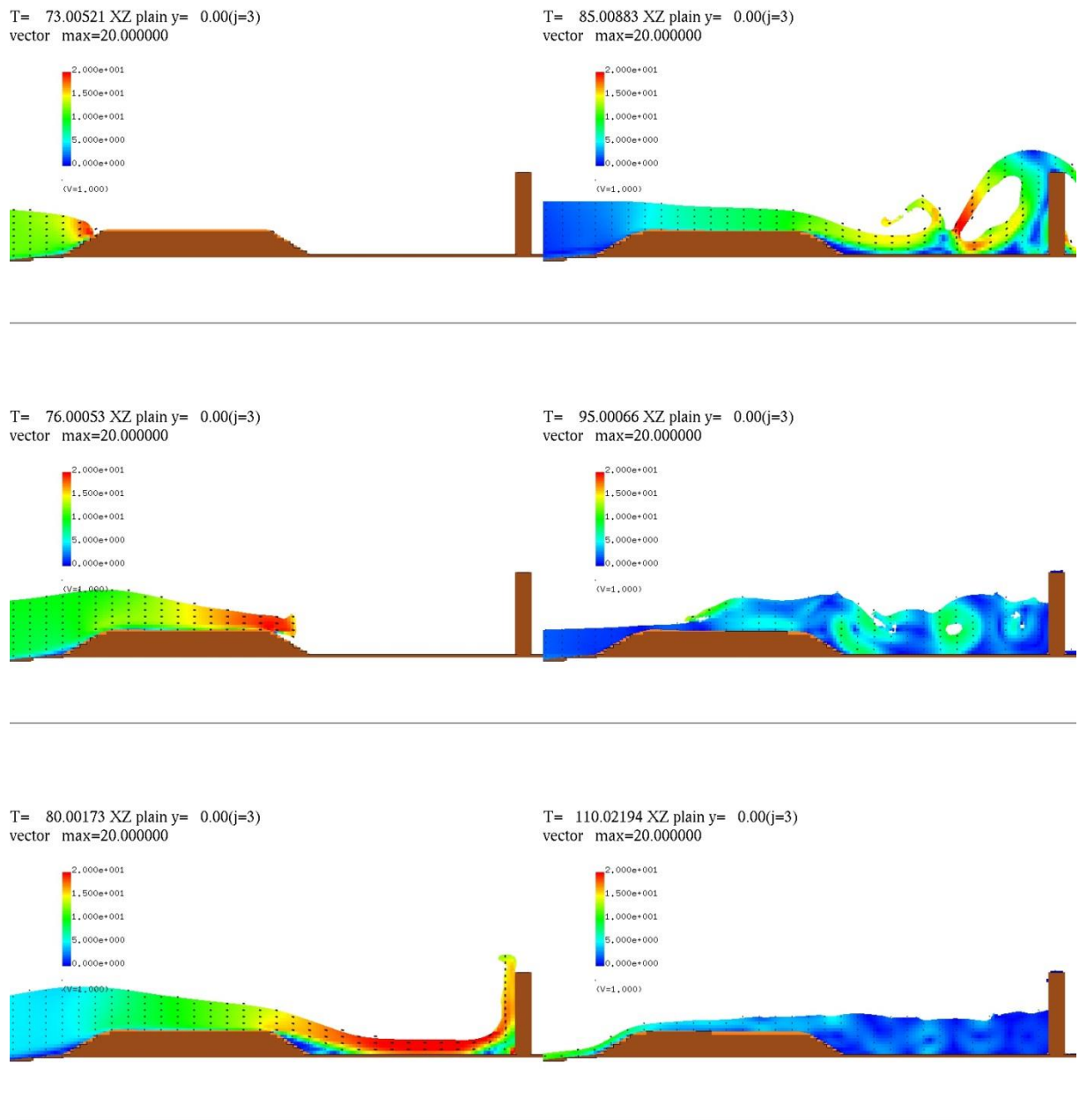


図 3-4-3-37 Case2-13\_E4 の断面二次元流速スナップショット

【台形断面, 波高 : 10.0m, 堤体位置 : 汀線-110.0m, 砂粒径 : 0.11mm】

図 3-4-3-38 は、Case2-13\_E4 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

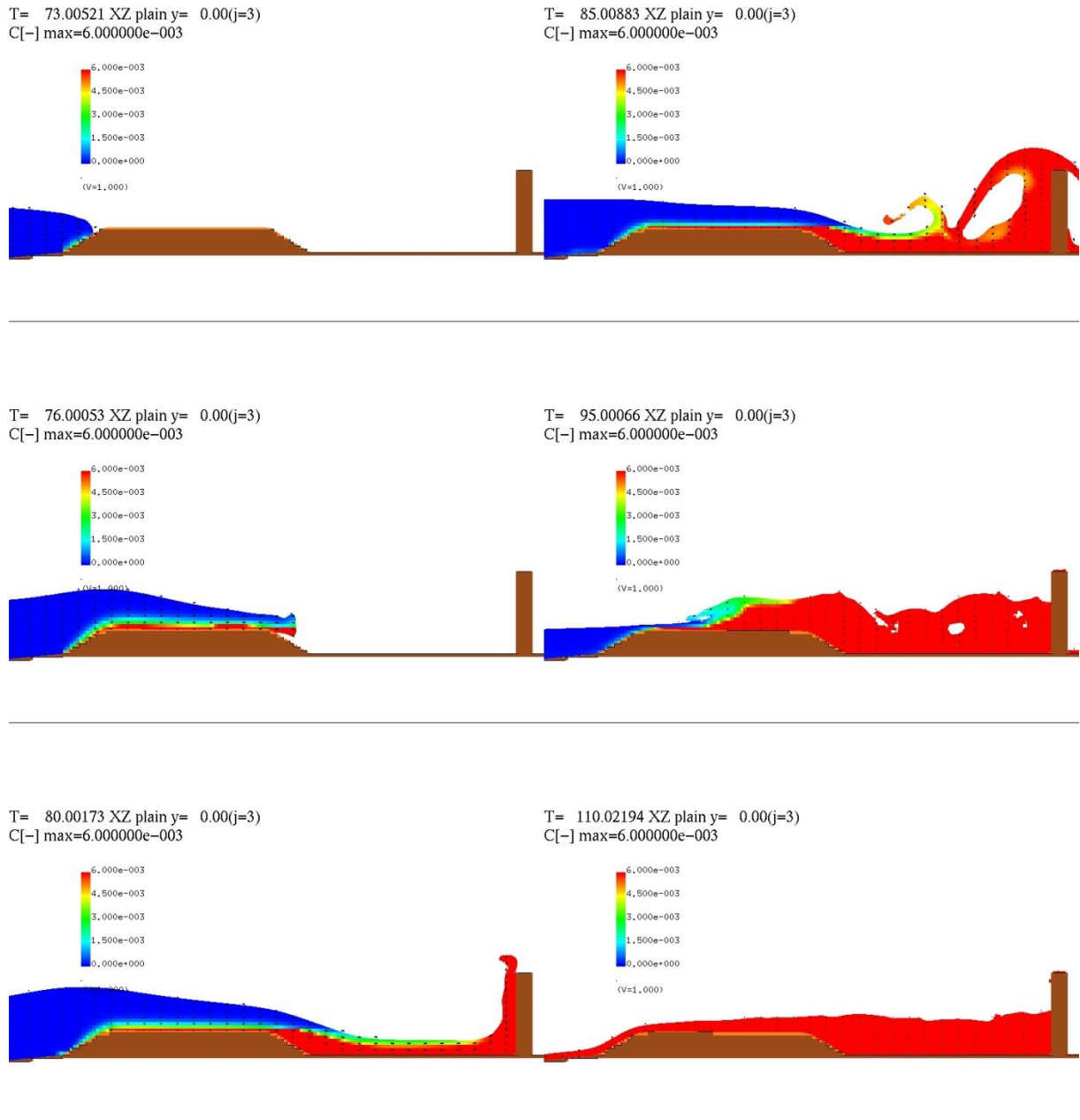


図 3-4-3-38 Case2-13\_E4 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
 【台形断面，波高：10.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.11mm】

Case2-13\_E4 の砂面形状変化を図 3-4-3-39 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高は現地スケールに換算して（80 倍にして）水色の破線で示す。

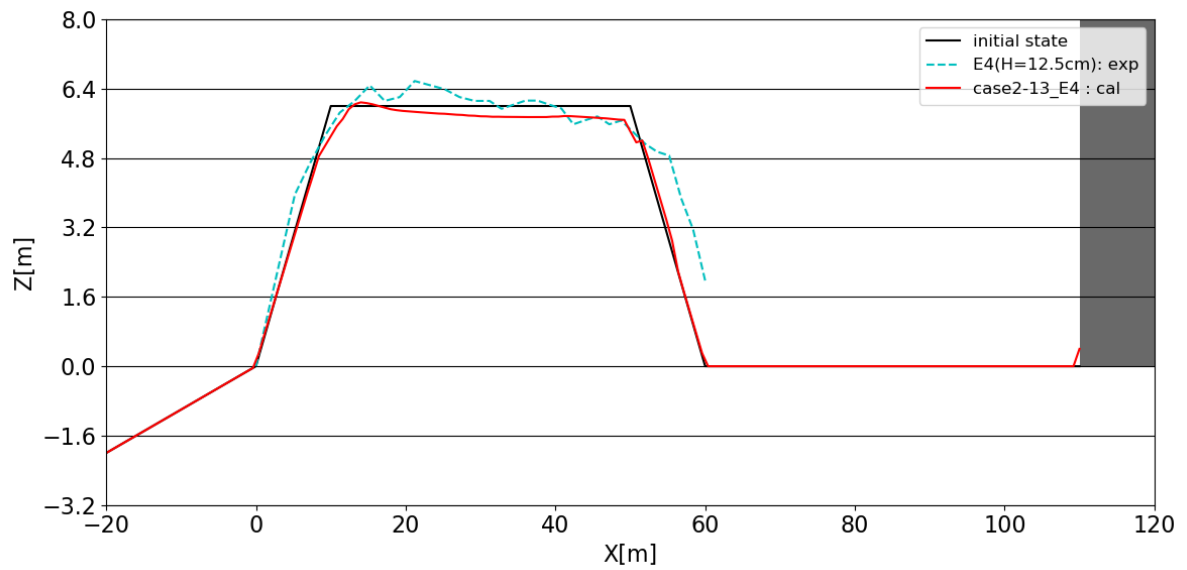


図 3-4-3-39 Case2-13\_E4 の砂面形状変化

【台形断面，波高：10.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.11mm】

(14) Case2-14 (丸み断面, 波高 6.0m, 汀線-110.0m, 砂粒径 0.11mm)

図 3-4-3-40 は, Case2-14 の断面二次元流速スナップショットを示す.

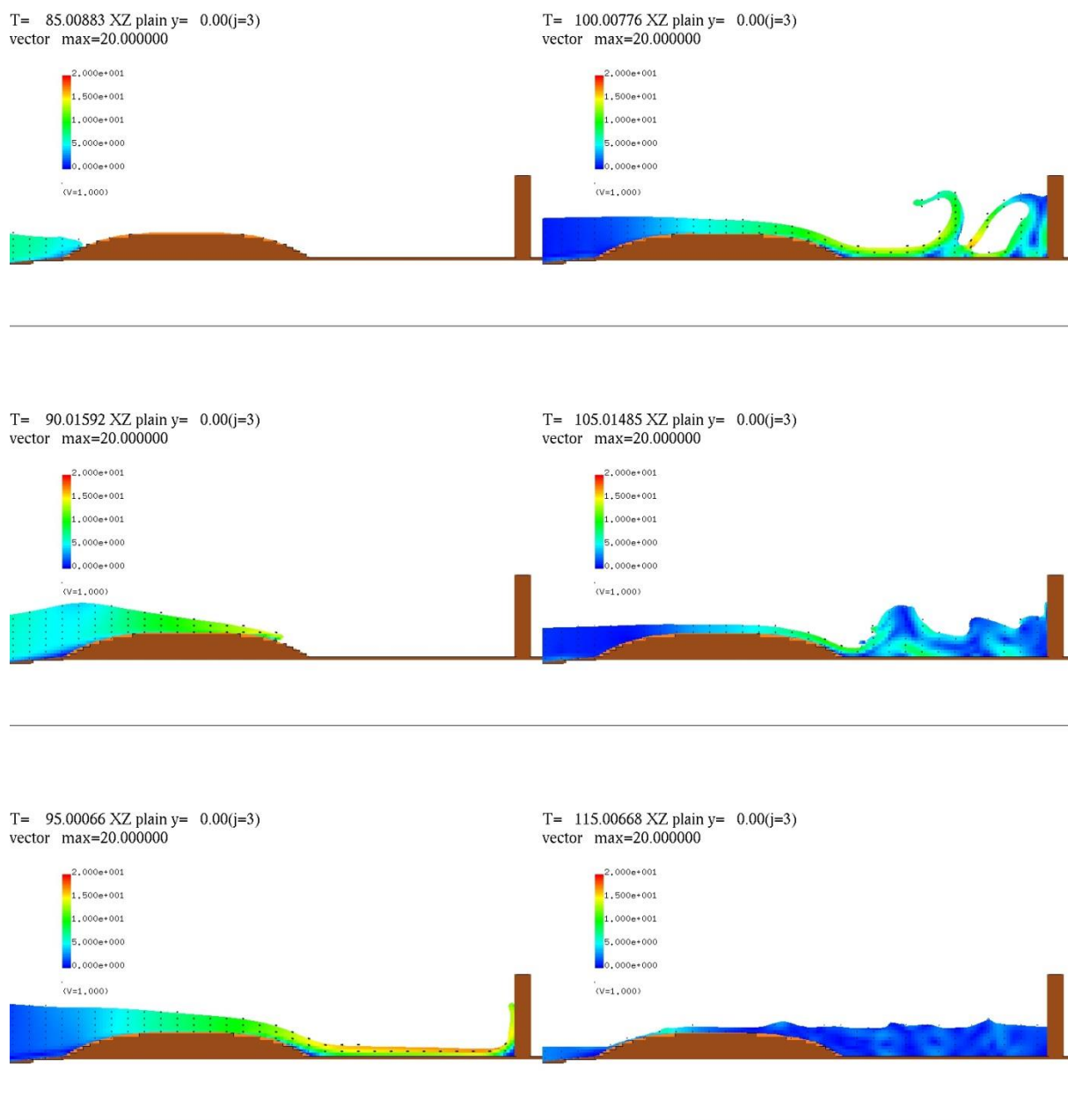


図 3-4-3-40 Case2-14 の断面二次元流速スナップショット

【丸み断面, 波高 : 6.0m, 堤体位置 : 汀線-110.0m, 砂粒径 : 0.11mm】

図 3-4-3-41 は、Case2-14 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

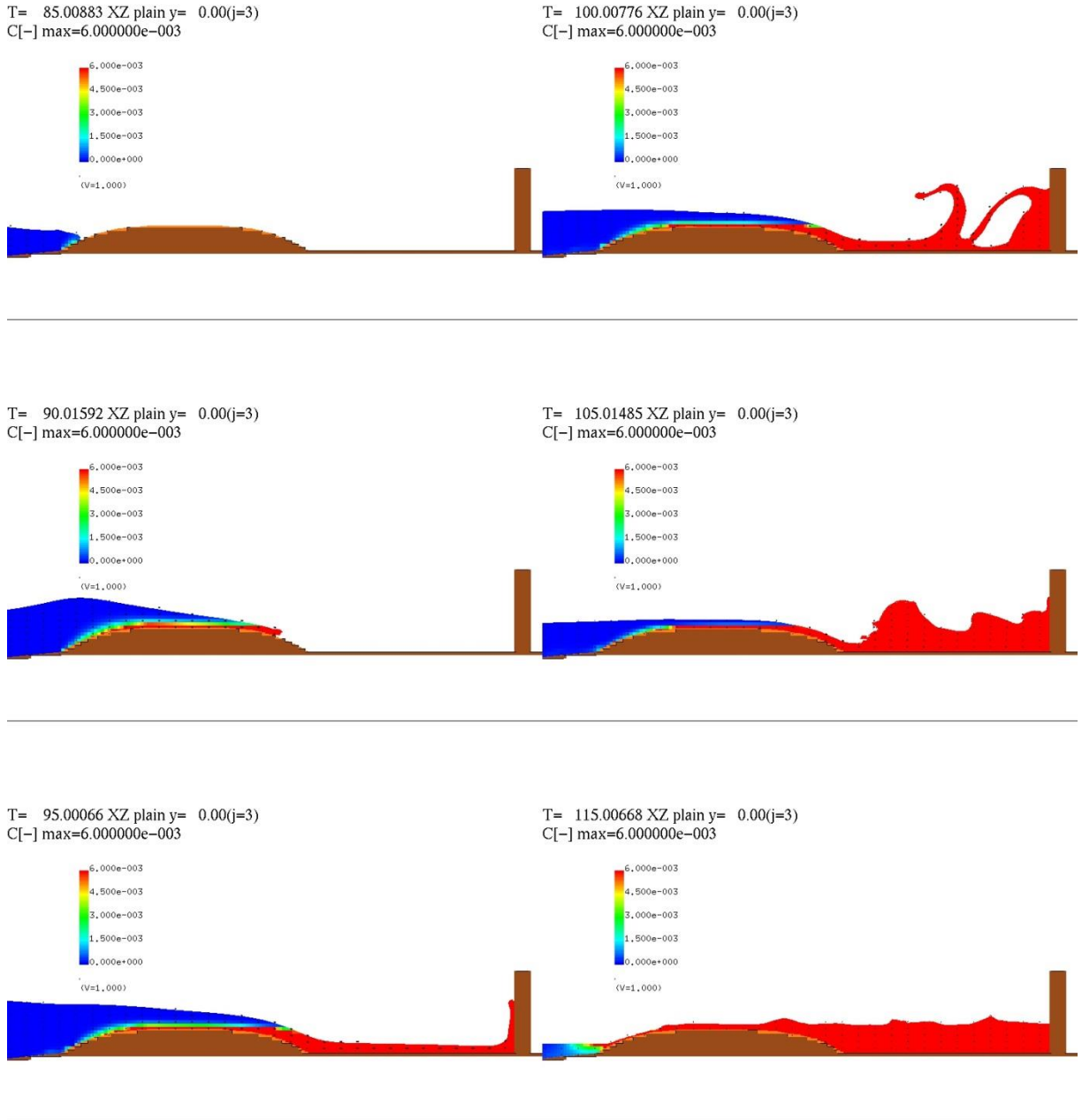


図 3-4-3-41 Case2-14 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
 【丸み断面，波高：6.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.11mm】

Case2-14 の砂面形状変化を図 3-4-3-42 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。

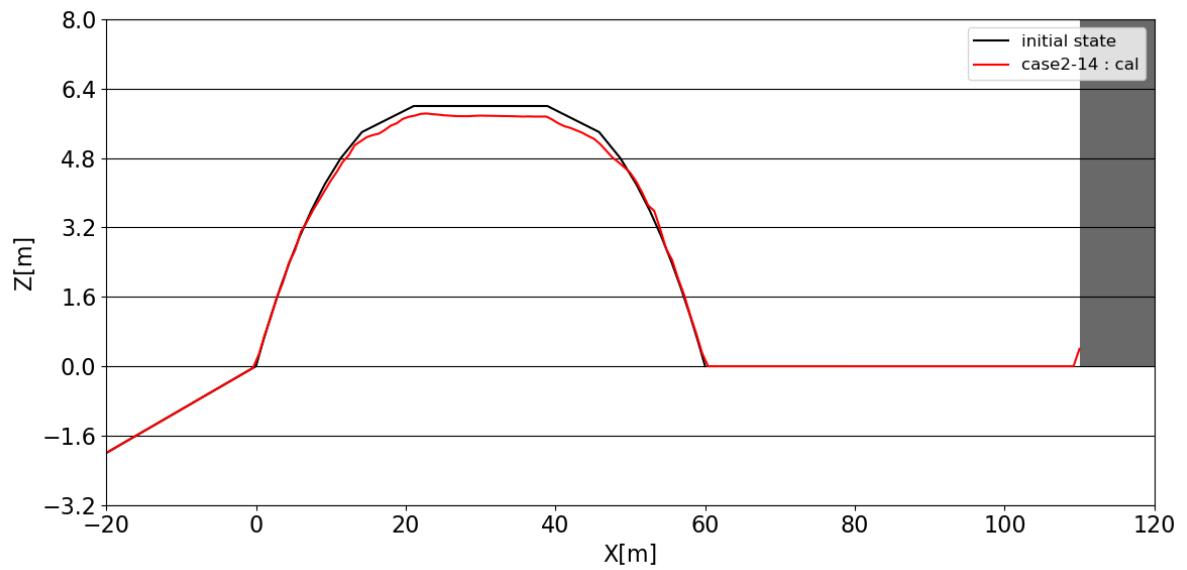


図 3-4-3-42 Case2-14 の砂面形状変化

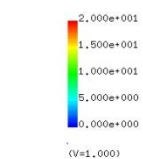
【丸み断面，波高：6.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.11mm】



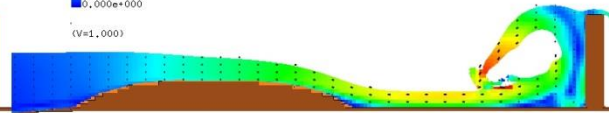
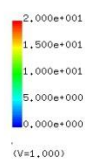
(15) Case2-15 (丸み断面, 波高 8.0m, 汀線-110.0m, 砂粒径 0.11mm)

図 3-4-3-43 は, Case2-15 の断面二次元流速スナップショットを示す.

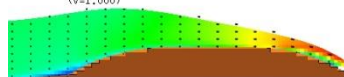
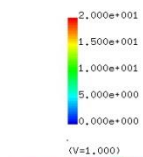
T= 78.01231 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



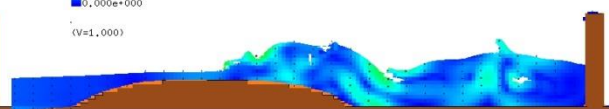
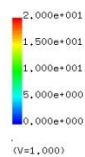
T= 90.50769 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



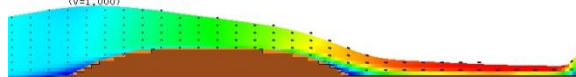
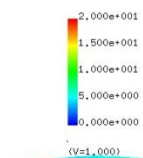
T= 82.01351 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 100.00776 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 85.00883 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 120.01378 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000

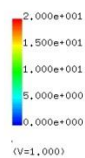


図 3-4-3-43 Case2-15 の断面二次元流速スナップショット

【丸み断面, 波高 : 8.0m, 堤体位置 : 汀線-110.0m, 砂粒径 : 0.11mm】

図 3-4-3-44 は、Case2-15 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

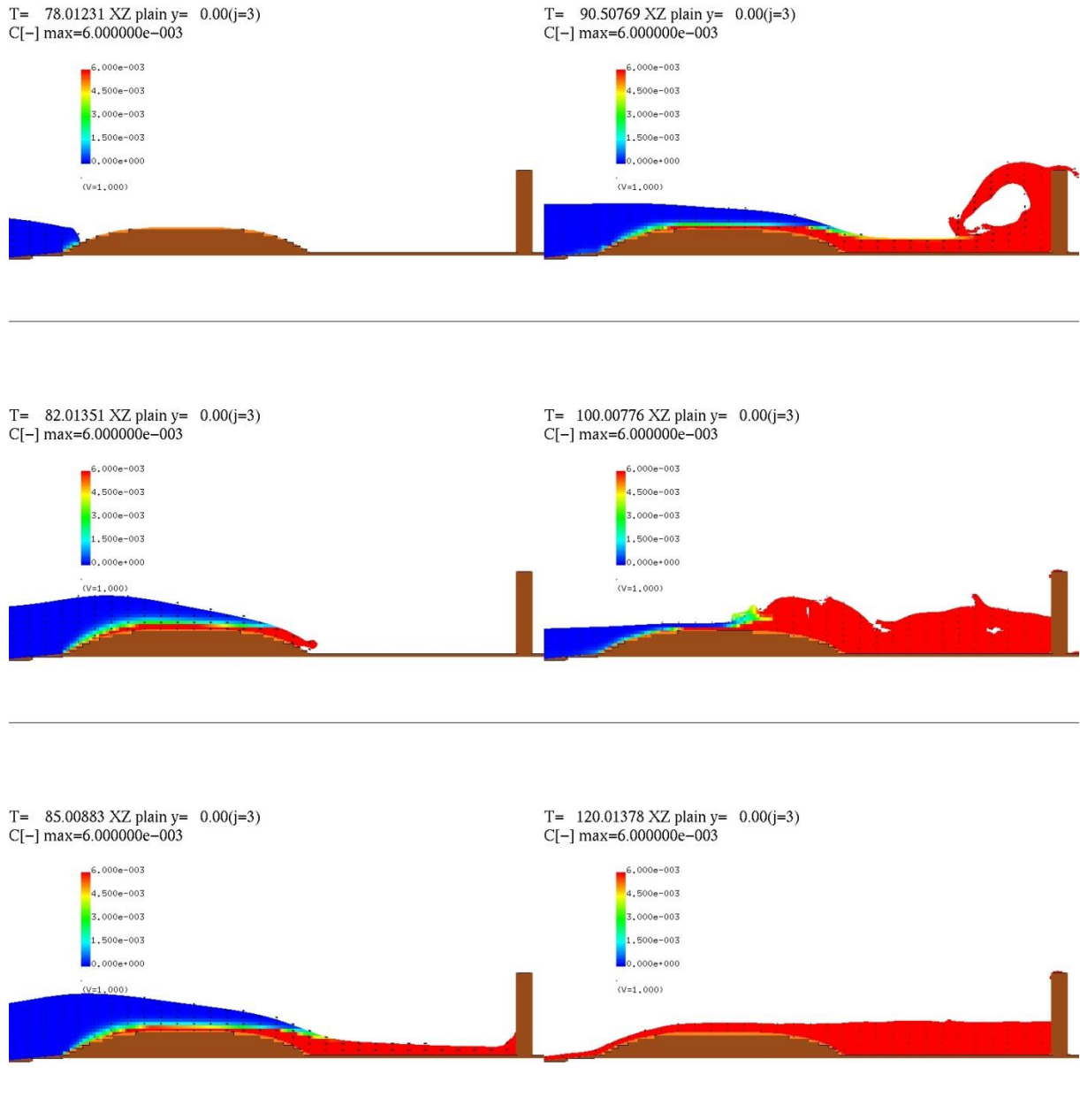


図 3-4-3-44 Case2-15 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
【丸み断面，波高：8.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.11mm】

Case2-15 の砂面形状変化を図 3-4-3-45 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。

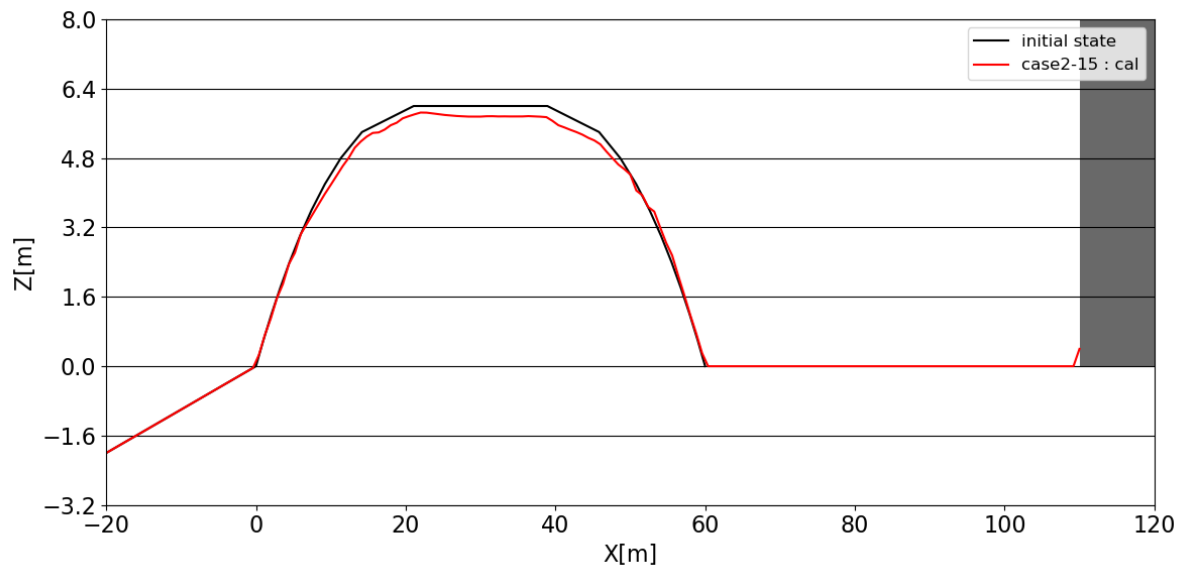


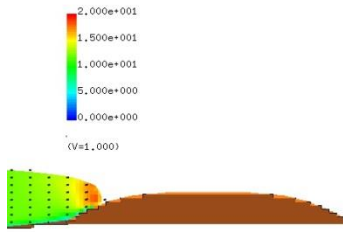
図 3-4-3-45 Case2-15 の砂面形状変化

【丸み断面，波高：8.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.11mm】

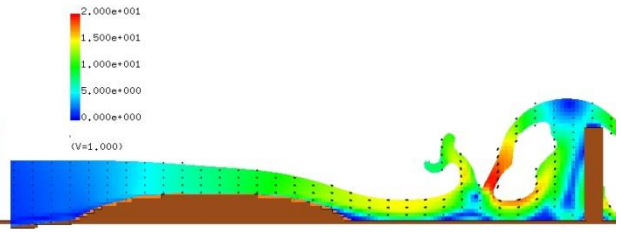
(16) Case2-16\_E5 (丸み断面, 波高 10.0m, 汀線-110.0m, 砂粒径 0.11mm)

図 3-4-3-46 は, Case2-16\_E5 の断面二次元流速スナップショットを示す.

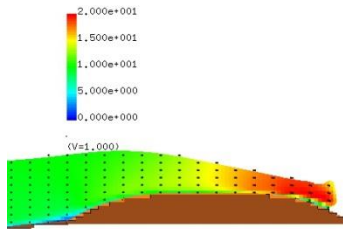
T= 73.00521 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



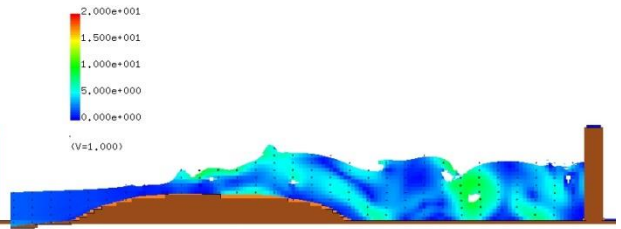
T= 85.00883 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



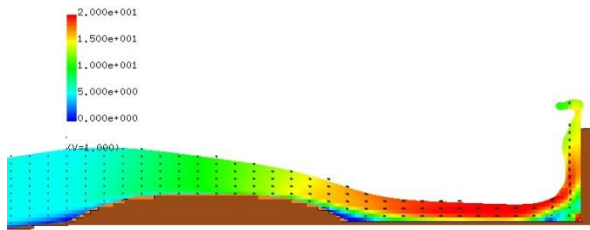
T= 76.00053 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 95.00066 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 80.00173 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 110.02194 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000

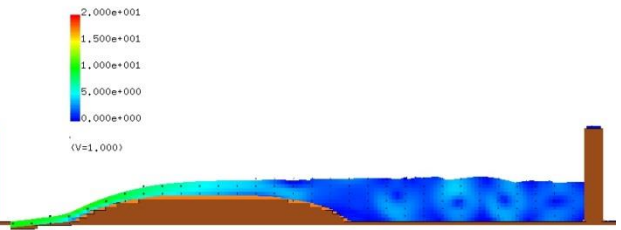


図 3-4-3-46 Case2-16\_E5 の断面二次元流速スナップショット

【丸み断面, 波高 : 10.0m, 堤体位置 : 汀線-110.0m, 砂粒径 : 0.11mm】

図 3-4-3-47 は、Case2-16\_E5 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

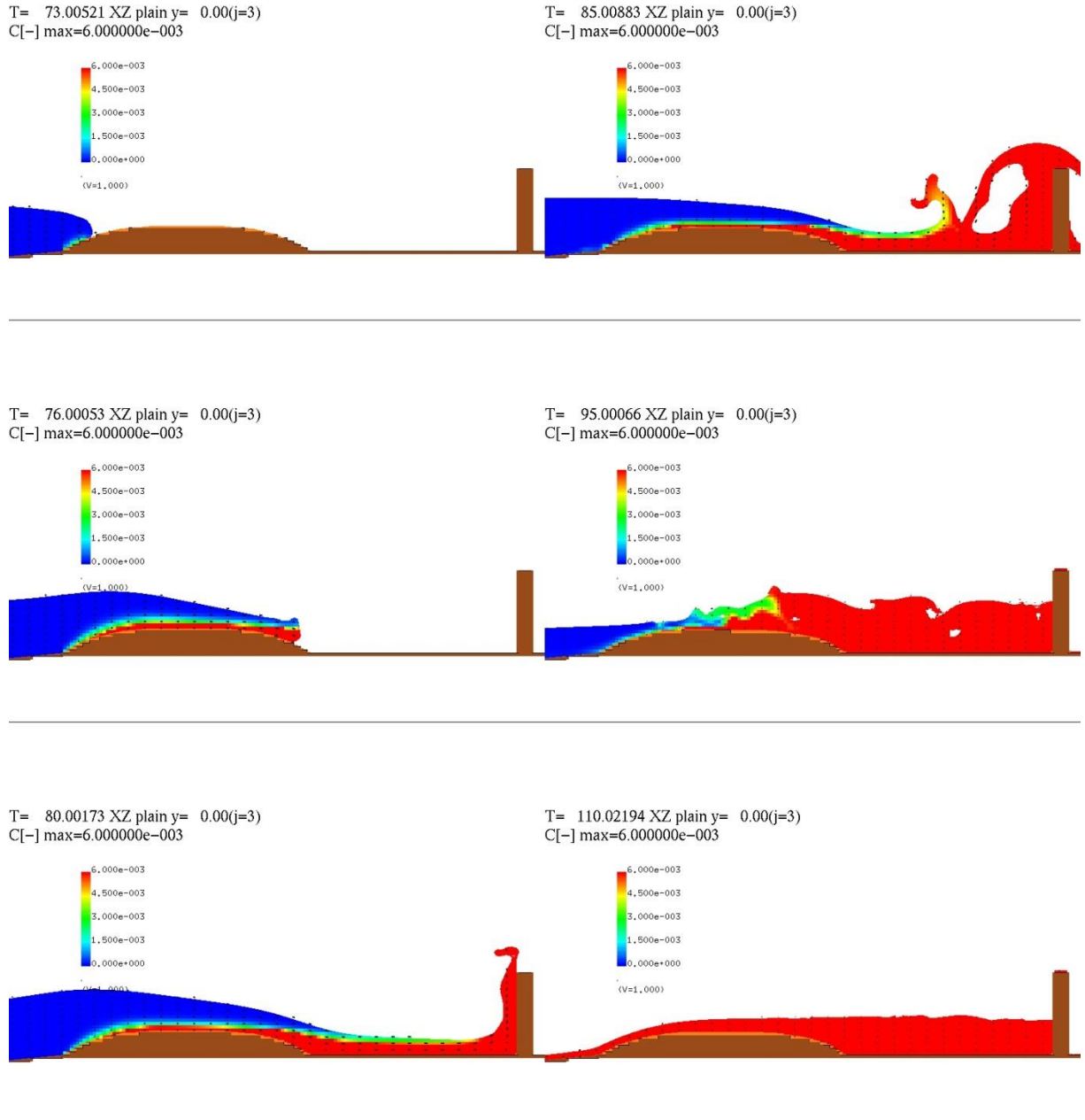


図 3-4-3-47 Case2-16\_E5 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
 【丸み断面，波高：10.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.11mm】

Case2-16\_E5 の砂面形状変化を図 3-4-3-48 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。また、試験結果の河床高は現地スケールに換算して（80 倍にして）水色の破線で示す。

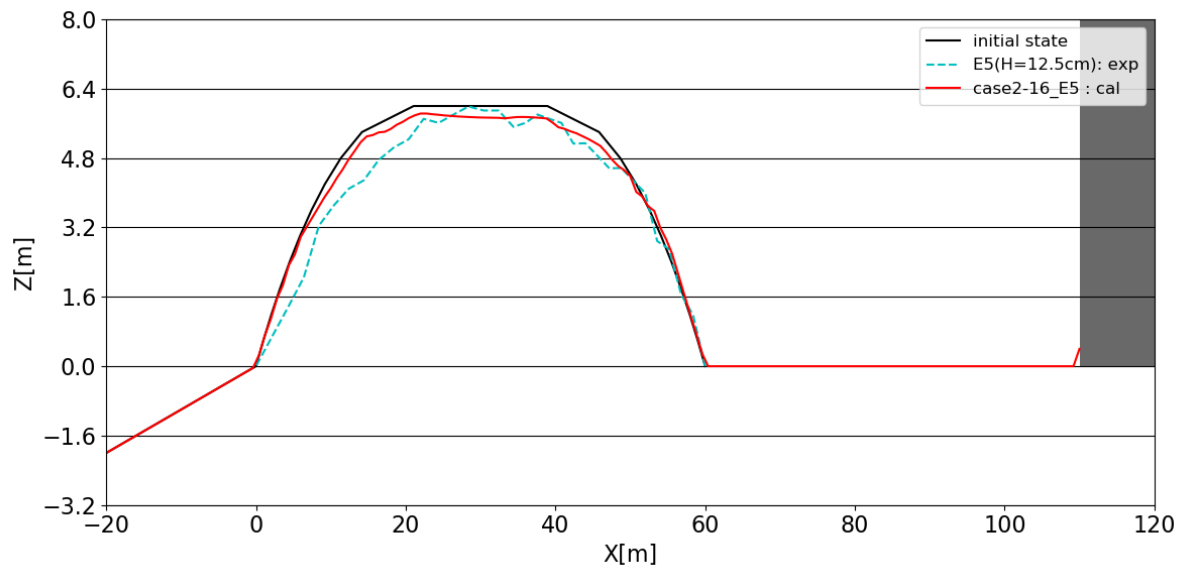


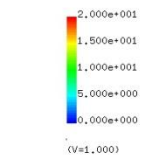
図 3-4-3-48 Case2-16\_E5 の砂面形状変化

【丸み断面，波高：10.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.11mm】

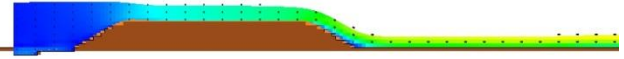
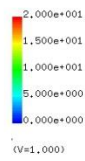
(17) Case2-17 (台形断面, 波高 6.0m, 防潮堤なし, 砂粒径 0.11mm)

図 3-4-3-49 は, Case2-17 の断面二次元流速スナップショットを示す.

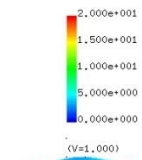
T= 85.00883 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



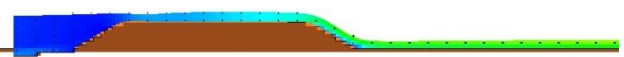
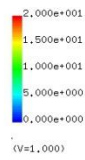
T= 100.00776 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



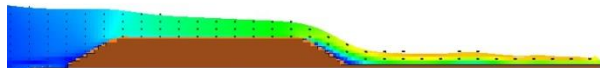
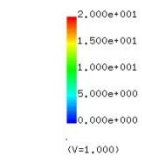
T= 90.01592 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 105.01485 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 95.00066 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 115.00668 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000

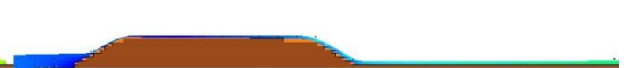
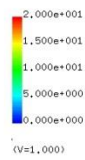


図 3-4-3-49 Case2-17 の断面二次元流速スナップショット

【台形断面, 波高 : 6.0m, 防潮堤なし, 砂粒径 : 0.11mm】

図 3-4-3-50 は、Case2-17 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

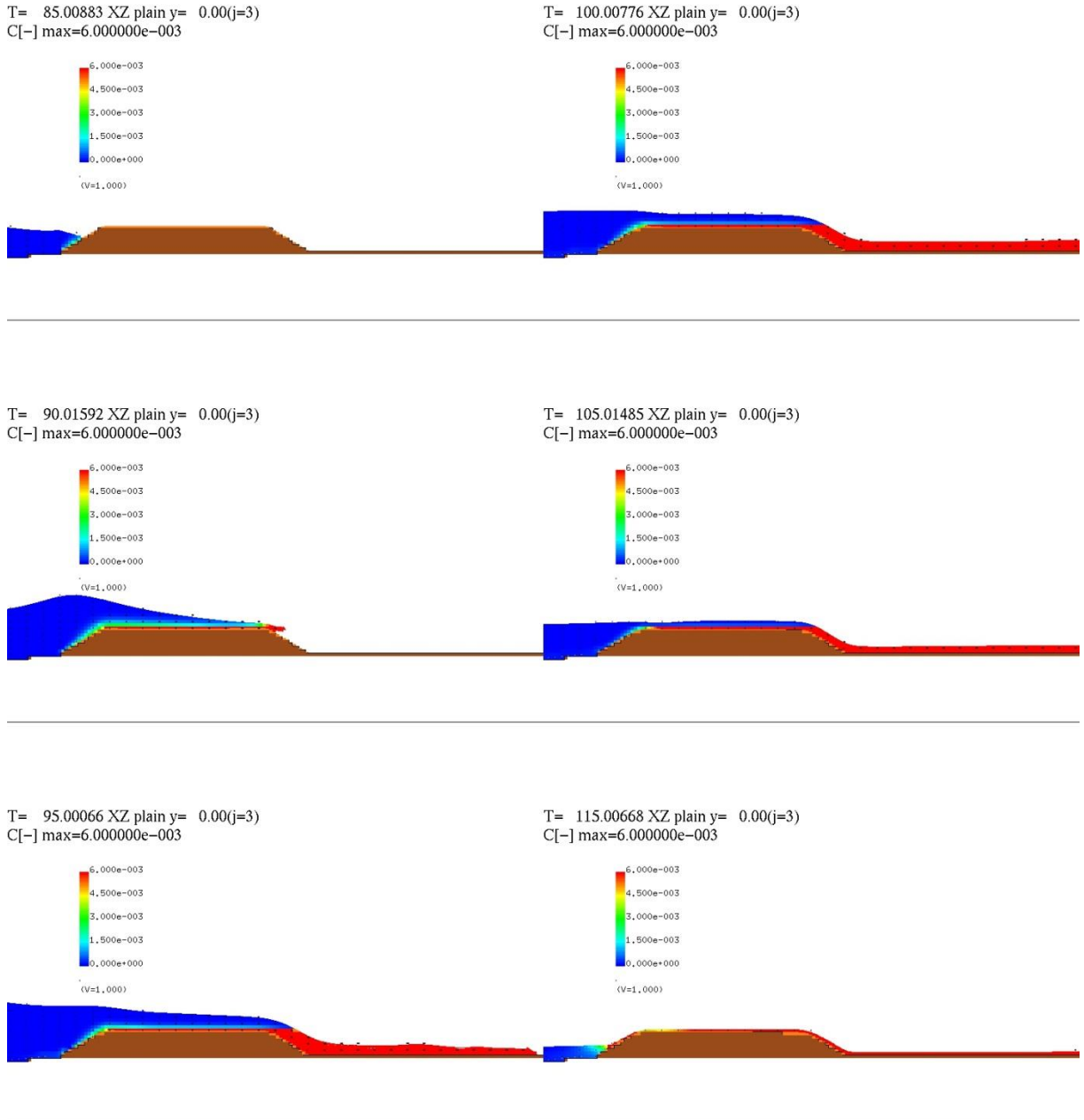


図 3-4-3-50 Case2-17 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【台形断面，波高：6.0m，防潮堤なし，砂粒径：0.11mm】



Case2-17 の砂面形状変化を図 3-4-3-51 に示す．砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し，解析結果の河床高を赤の実線で示す．

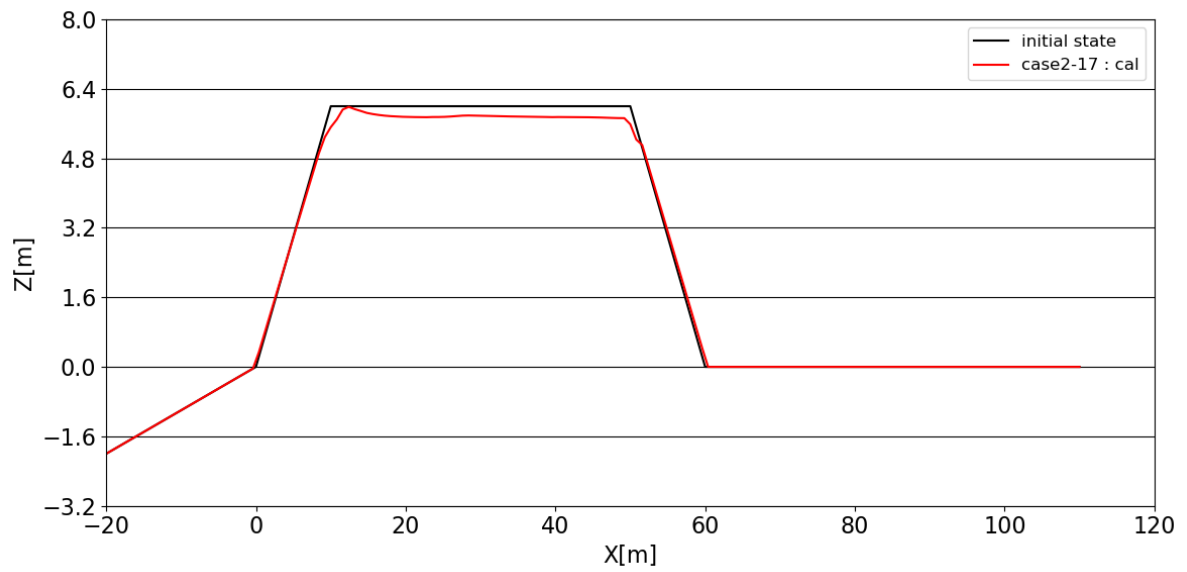


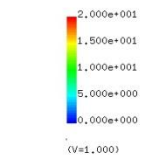
図 3-4-3-51 Case2-17 の砂面形状変化

【台形断面，波高：6.0m，防潮堤なし，砂粒径：0.11mm】

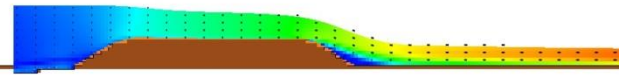
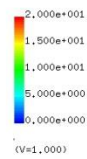
(18) Case2-18 (台形断面, 波高 10.0m, 防潮堤なし, 砂粒径 0.11mm)

図 3-4-3-52 は, Case2-18 の断面二次元流速スナップショットを示す.

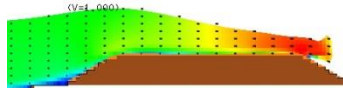
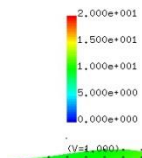
T= 73.00521 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



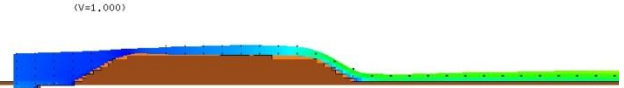
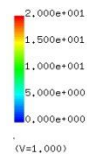
T= 85.00883 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



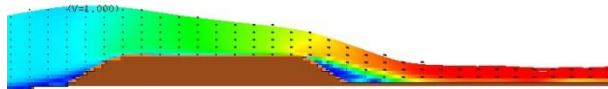
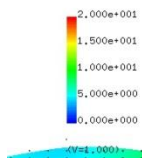
T= 76.00053 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 95.00066 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 80.00173 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 110.02194 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000

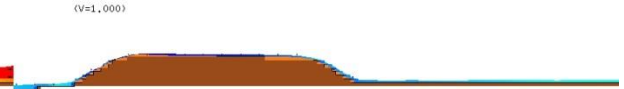
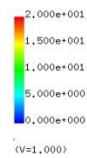


図 3-4-3-52 Case2-18 の断面二次元流速スナップショット

【台形断面, 波高 : 10.0m, 防潮堤なし, 砂粒径 : 0.11mm】

図 3-4-3-53 は、Case2-18 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

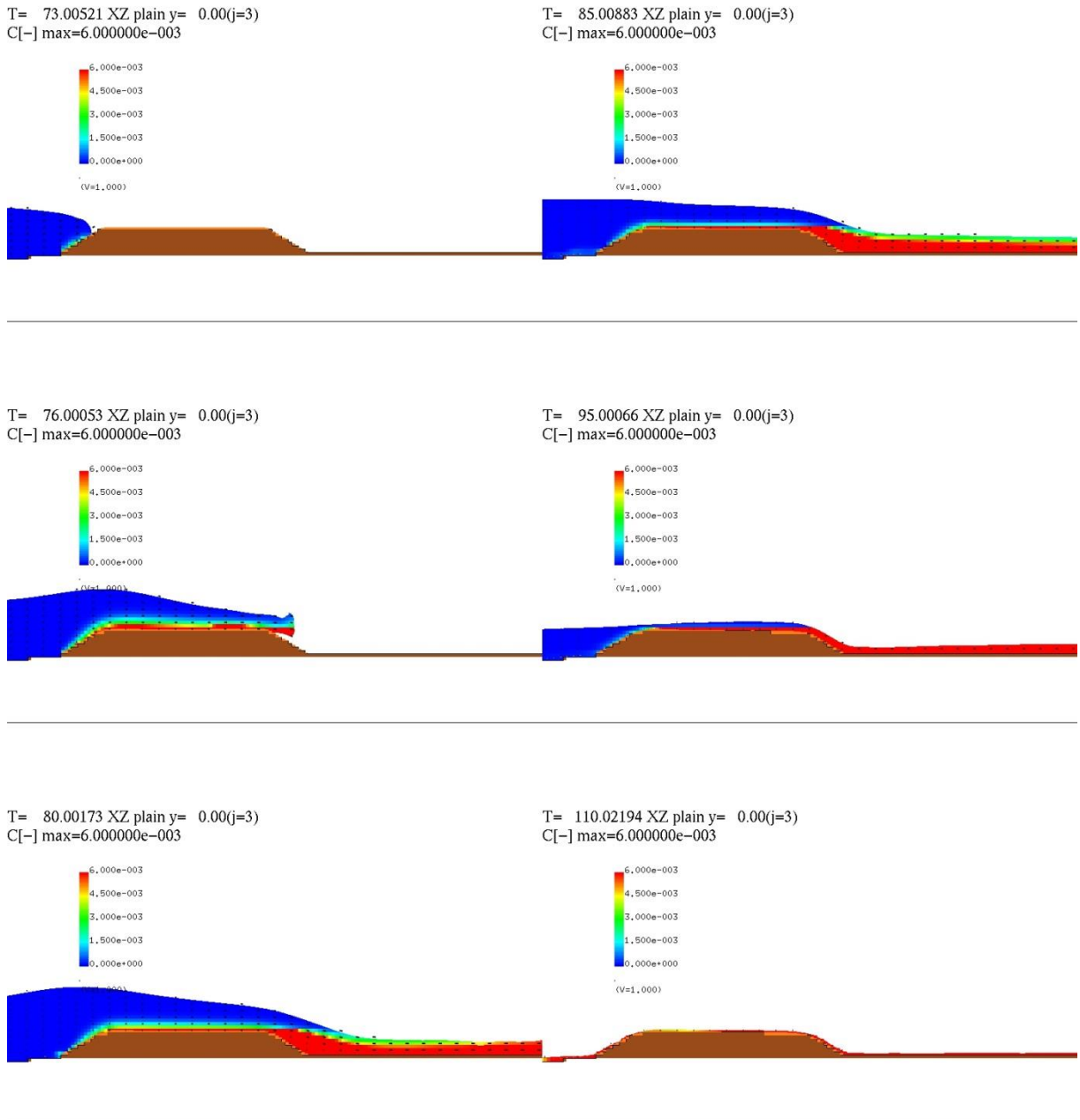


図 3-4-3-53 Case2-18 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【台形断面，波高：10.0m，防潮堤なし，砂粒径：0.11mm】

Case2-18 の砂面形状変化を図 3-4-3-54 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。

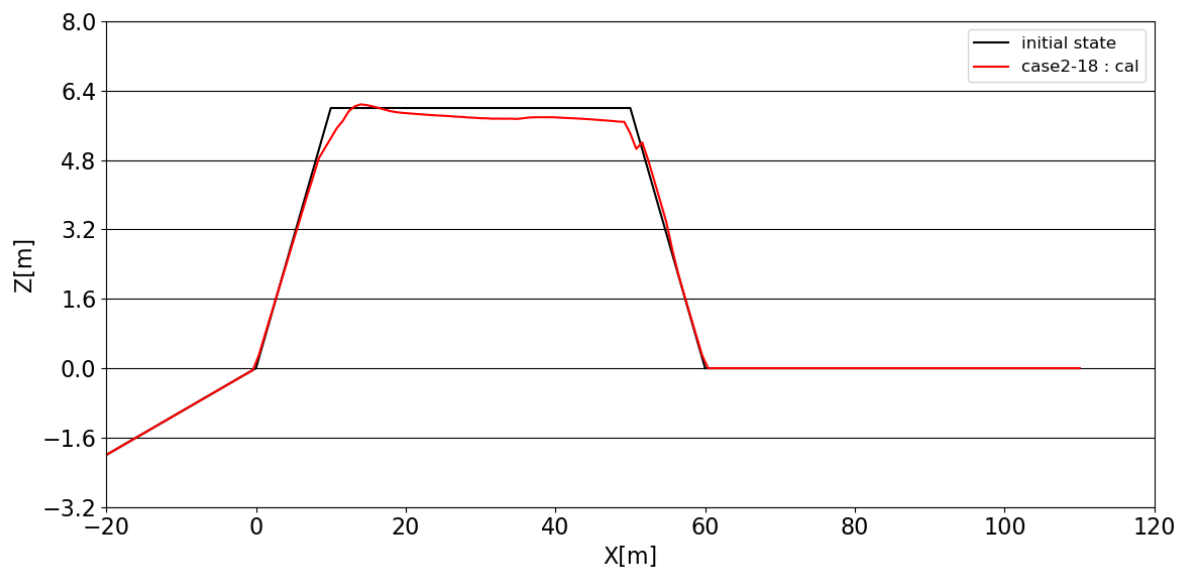


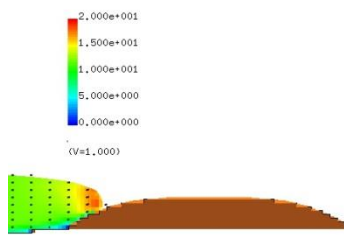
図 3-4-3-54 Case2-18 の砂面形状変化

【台形断面，波高：10.0m，防潮堤なし，砂粒径：0.11mm】

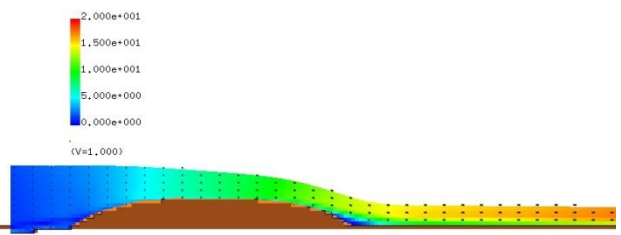
(19) Case2-19 (丸み断面, 波高 10.0m, 防潮堤なし, 砂粒径 0.11mm)

図 3-4-3-55 は, Case2-19 の断面二次元流速スナップショットを示す.

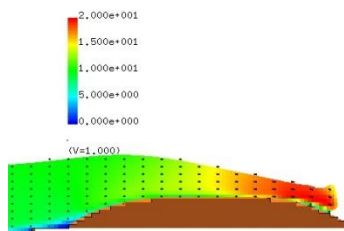
T= 73.00521 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



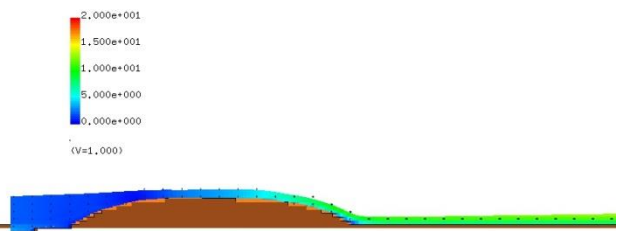
T= 85.00883 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



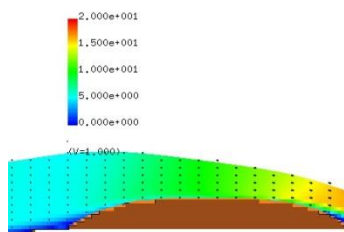
T= 76.00053 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 95.00066 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 80.00173 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 110.02194 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000

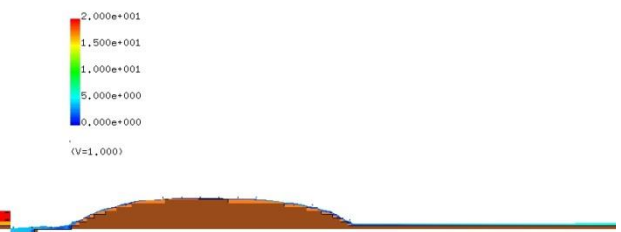


図 3-4-3-55 Case2-19 の断面二次元流速スナップショット

【丸み断面, 波高 : 10.0m, 防潮堤なし, 砂粒径 : 0.11mm】

図 3-4-3-56 は、Case2-19 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

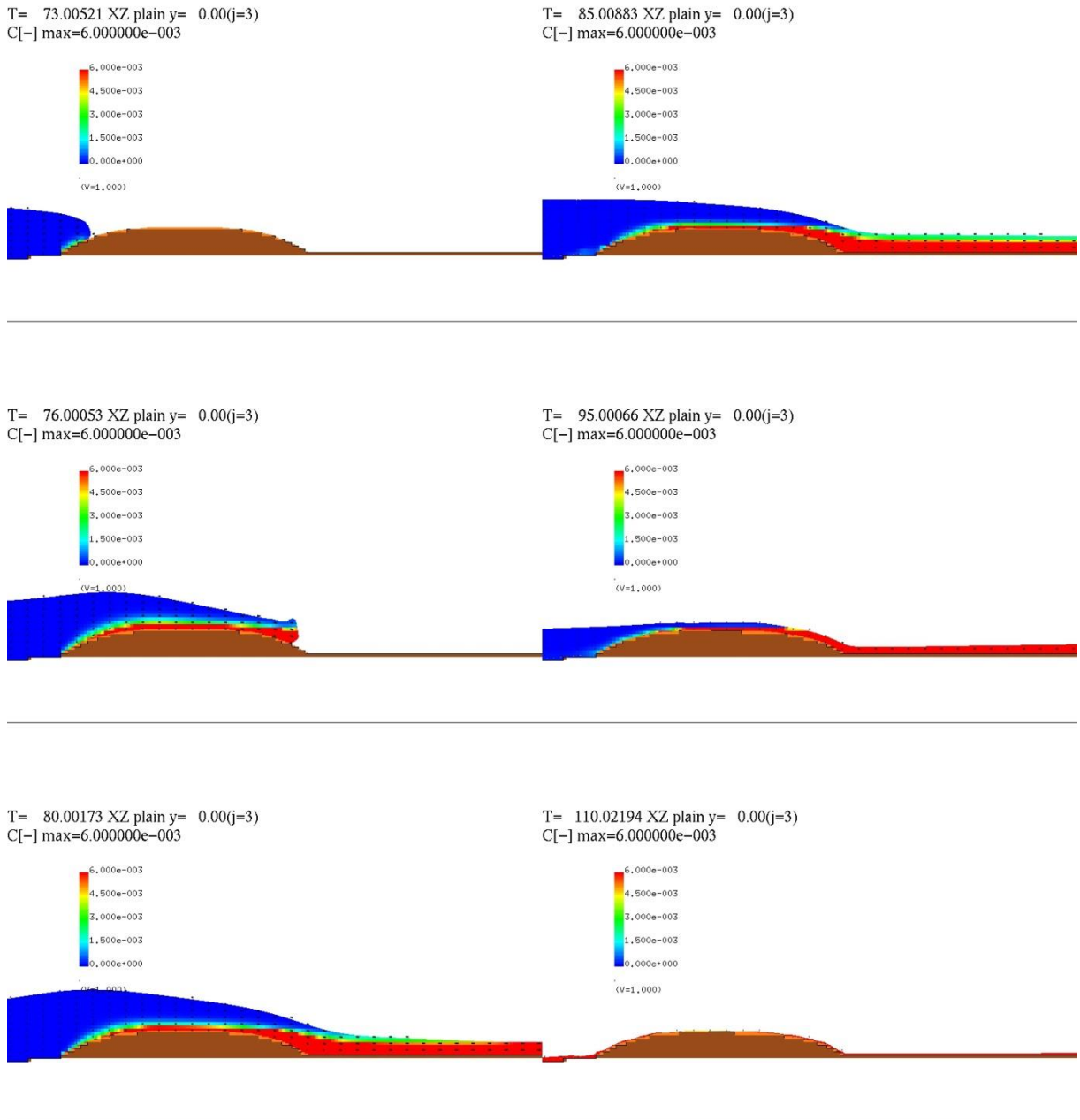


図 3-4-3-56 Case2-19 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット

【丸み断面，波高：10.0m，防潮堤なし，砂粒径：0.11mm】

Case2-19 の砂面形状変化を図 3-4-3-57 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。

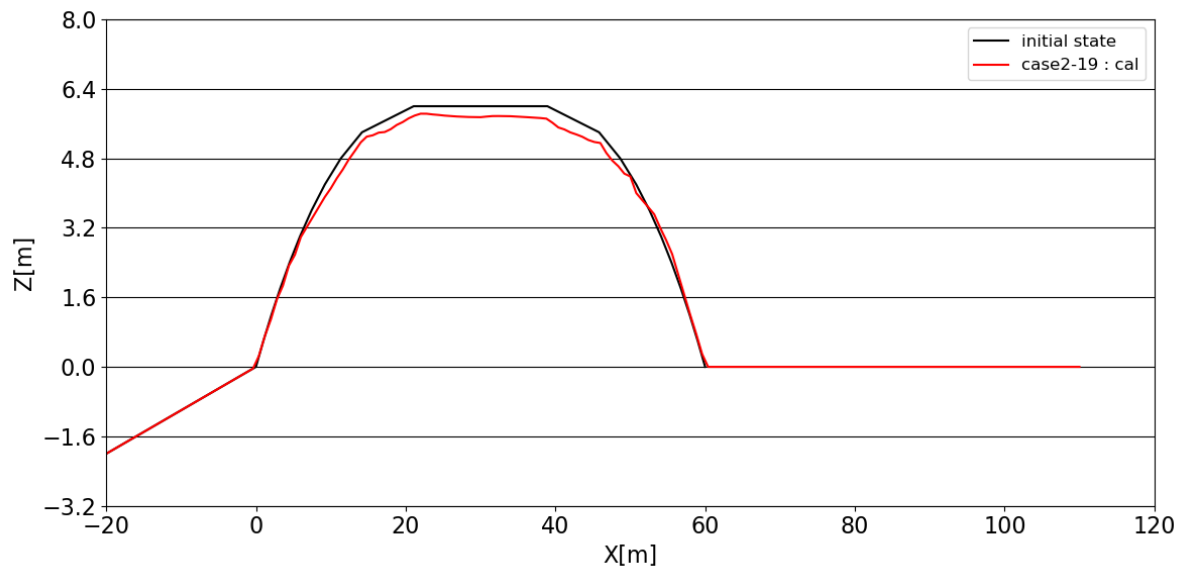


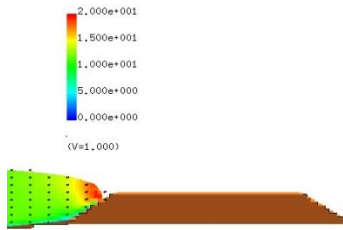
図 3-4-3-57 Case2-19 の砂面形状変化

【丸み断面，波高：10.0m，防潮堤なし，砂粒径：0.11mm】

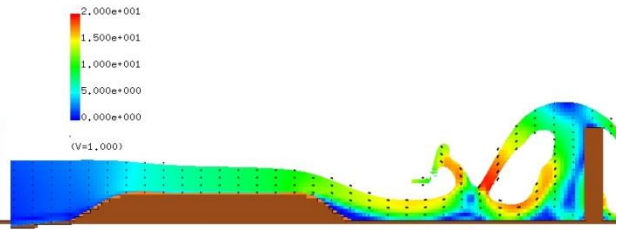
(20) Case2-20 (台形断面, 波高 10.0m, 汀線-110.0m, 砂粒径 2.3mm)

図 3-4-3-58 は, Case2-20 の断面二次元流速スナップショットを示す.

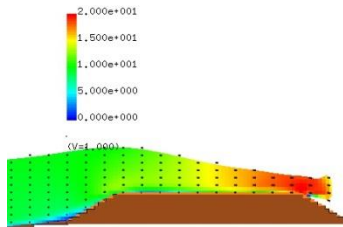
T= 73.00521 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



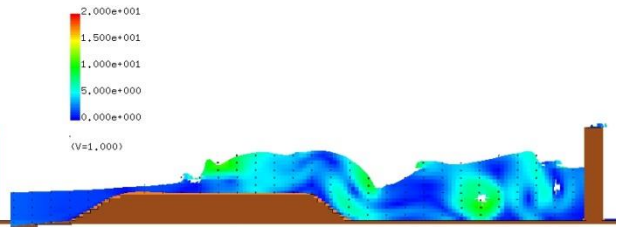
T= 85.00883 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



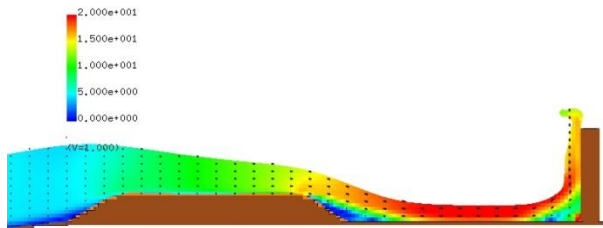
T= 76.00053 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 95.00066 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 80.00173 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000



T= 120.01378 XZ plain y= 0.00(j=3)  
vector max=20.000000

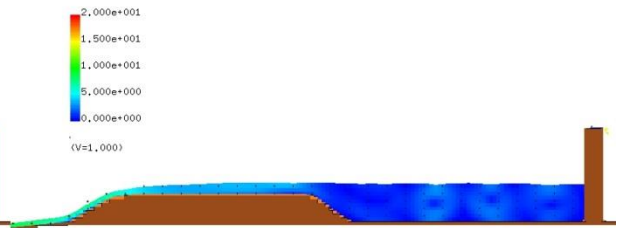


図 3-4-3-58 Case2-20 の断面二次元流速スナップショット

【台形断面, 波高 : 10.0m, 堤体位置 : 汀線-110.0m, 砂粒径 : 2.3mm】



図 3-4-3-59 は、Case2-20 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショットを示す。

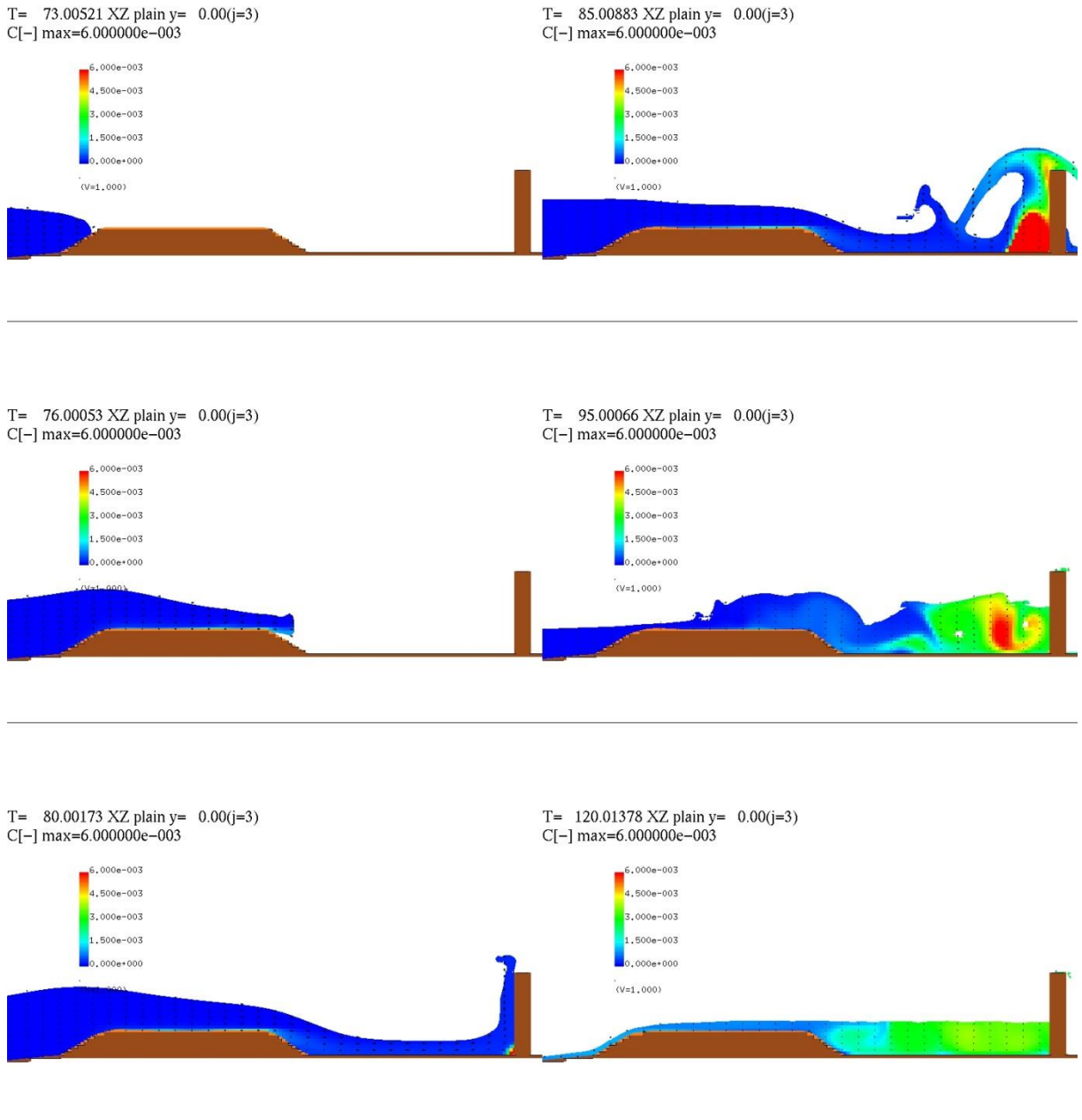


図 3-4-3-59 Case2-20 の断面二次元浮遊砂濃度分布スナップショット  
 【台形断面，波高：10.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：2.3mm】

Case2-20 の砂面形状変化を図 3-4-3-60 に示す。砂丘地形の初期状態を黒の実線で示し、解析結果の河床高を赤の実線で示す。

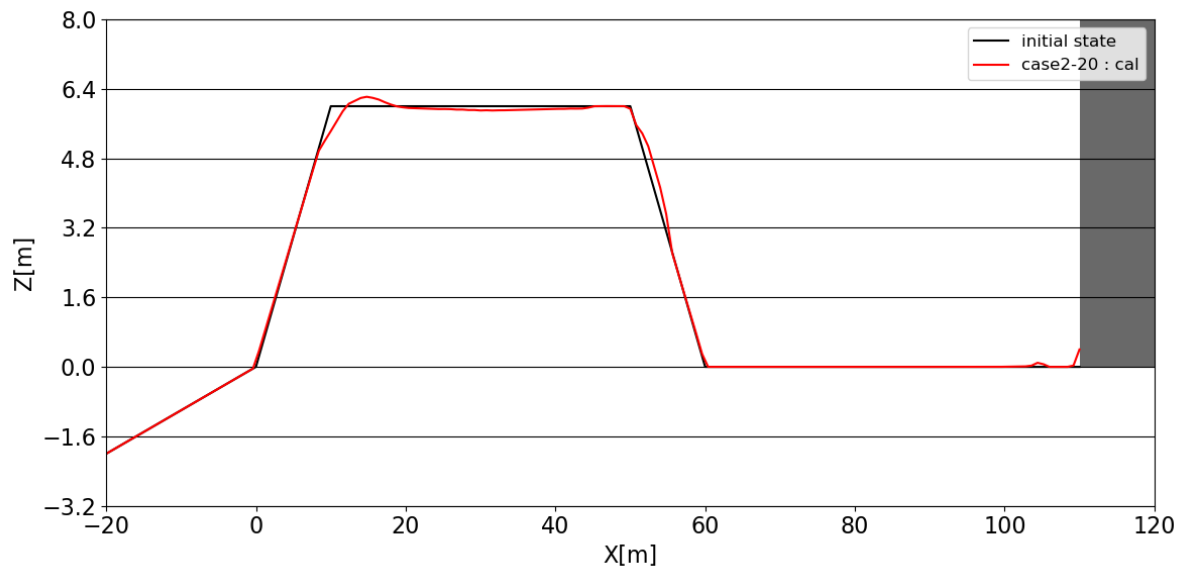


図 3-4-3-60 Case2-20 の砂面形状変化

【台形断面，波高：10.0m，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：2.3mm】

### 3-4-4 入力波波高および砂粒径の差異による砂面形状変化の比較

Case2-1\_E1~Case2-20における砂面形状変化の比較を，図 3-4-4-1～図 3-4-4-71 に各々まとめて示す。

#### (a) 入力波波高の差異による砂面形状変化の比較

図 3-4-4-1～図 3-4-4-6では，入力波波高の差異による砂面形状変化の比較結果を示す。ここでは，実線は解析結果，破線は実験結果を示し，赤線は入力波高6.0m，青線は入力波高8.0m，緑線は入力波高10.0mの結果を示す。

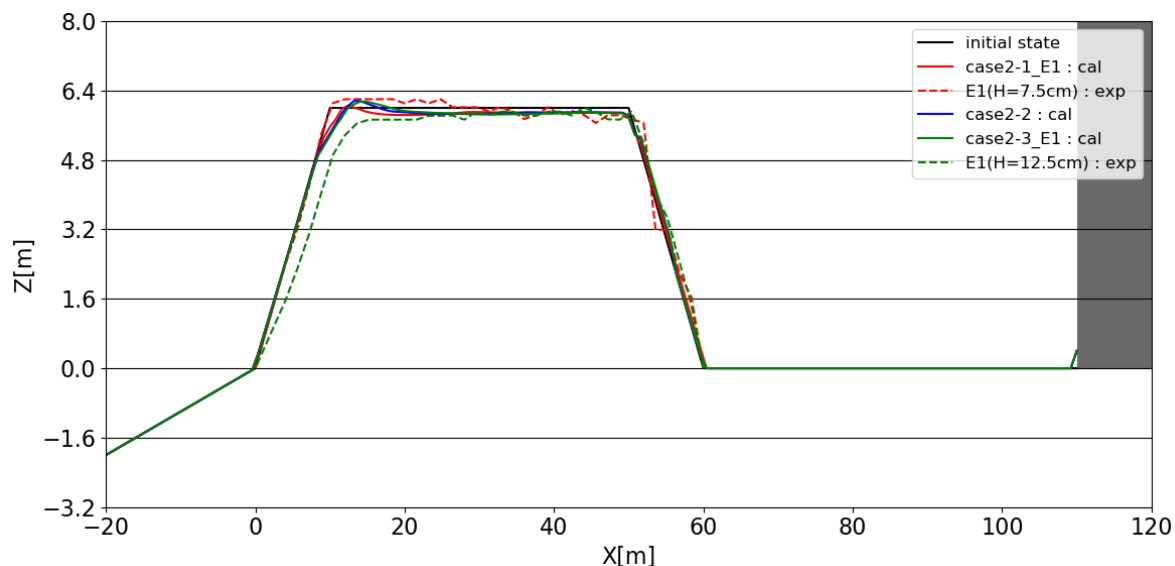


図 3-4-4-1 波高の差異による砂面形状変化の比較

【台形断面，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.23mm】

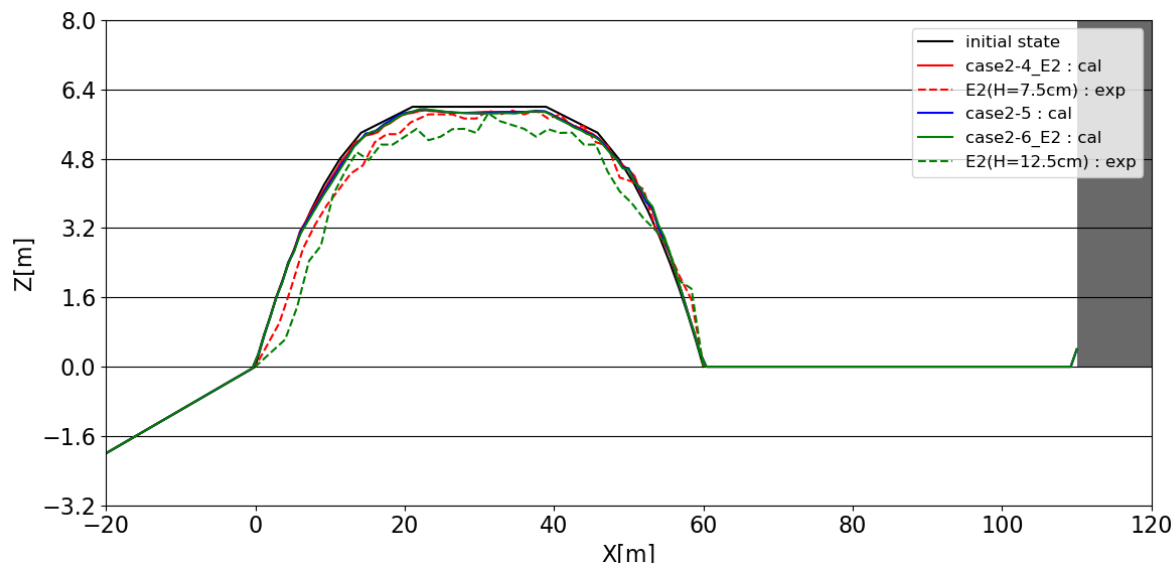


図 3-4-4-2 波高の差異による砂面形状変化の比較

【丸み断面，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.23mm】

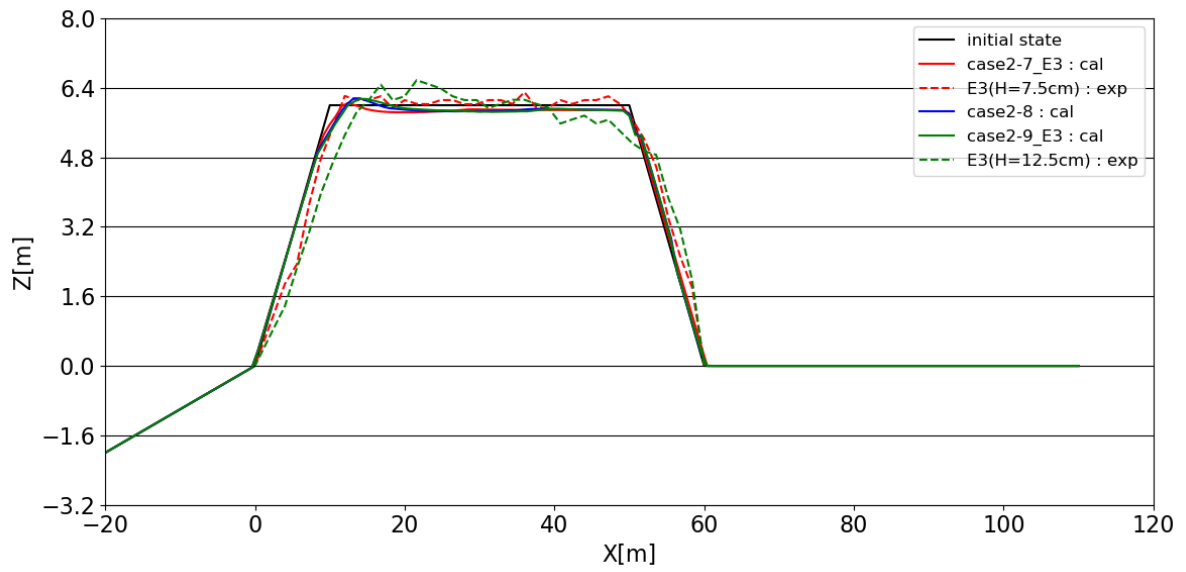


図 3-4-4-3 波高の差異による砂面形状変化の比較

【台形断面，防潮堤なし，砂粒径：0.23mm】

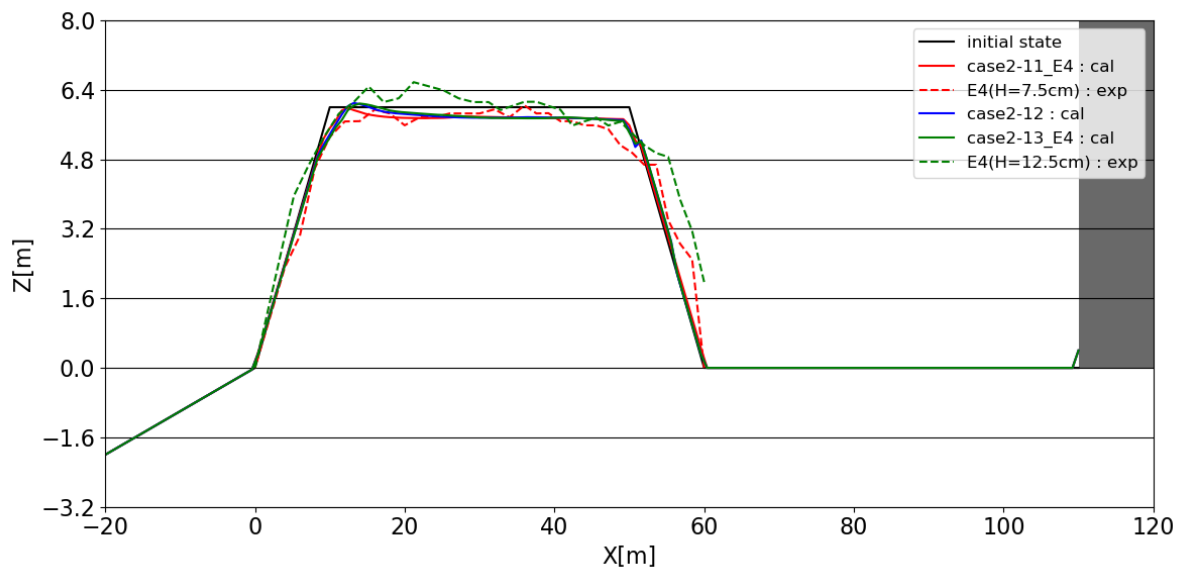


図 3-4-4-4 波高の差異による砂面形状変化の比較

【台形断面，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.11mm】

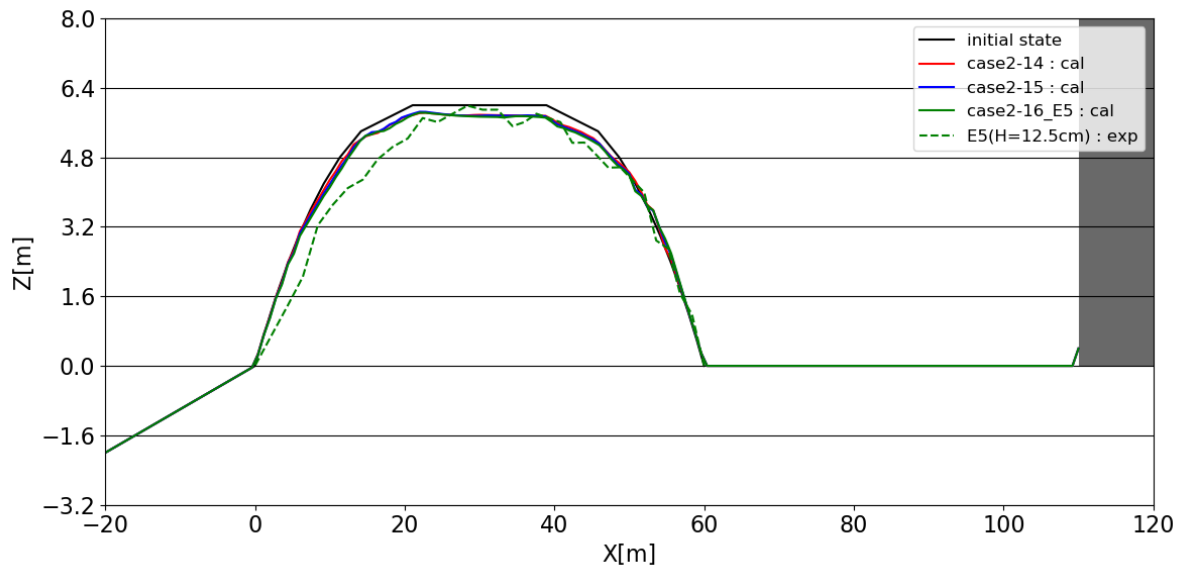


図 3-4-4-5 波高の差異による砂面形状変化の比較

【丸み断面，堤体位置：汀線-110.0m，砂粒径：0.11mm】

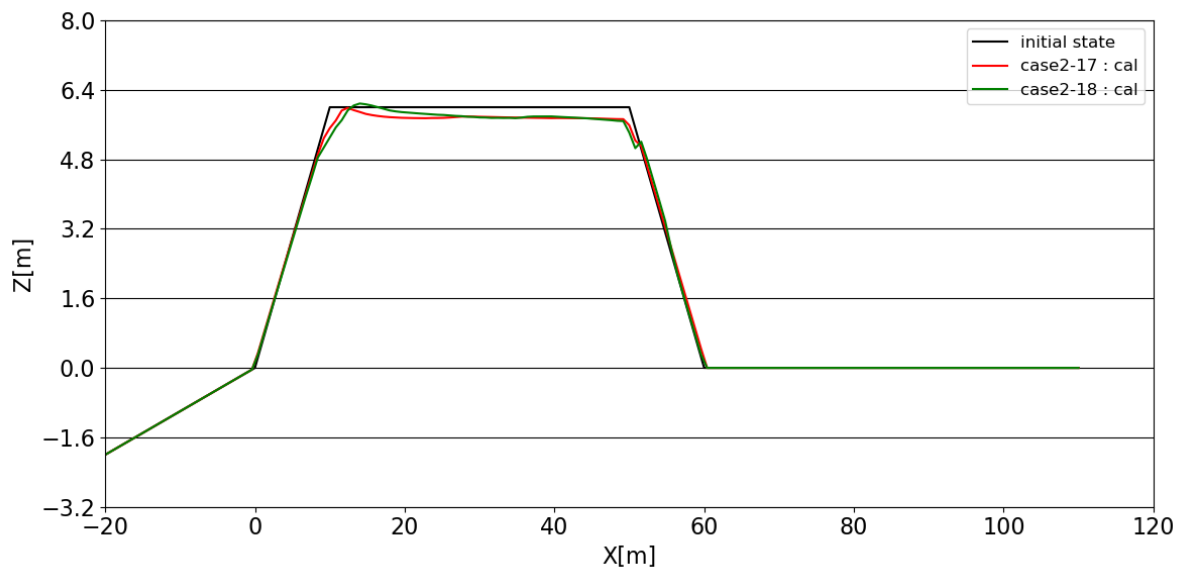


図 3-4-4-6 波高の差異による砂面形状変化の比較

【台形断面，防潮堤なし，砂粒径：0.11mm】

### (b) 砂粒径の差異による砂面形状変化の比較

図 3-4-4-7～図 3-4-4-10では、砂粒径の差異による砂面形状変化の比較結果を示す。ここでは、実線は解析結果の砂粒径が0.23mm、破線は解析結果の砂粒径が0.11mmを示す。

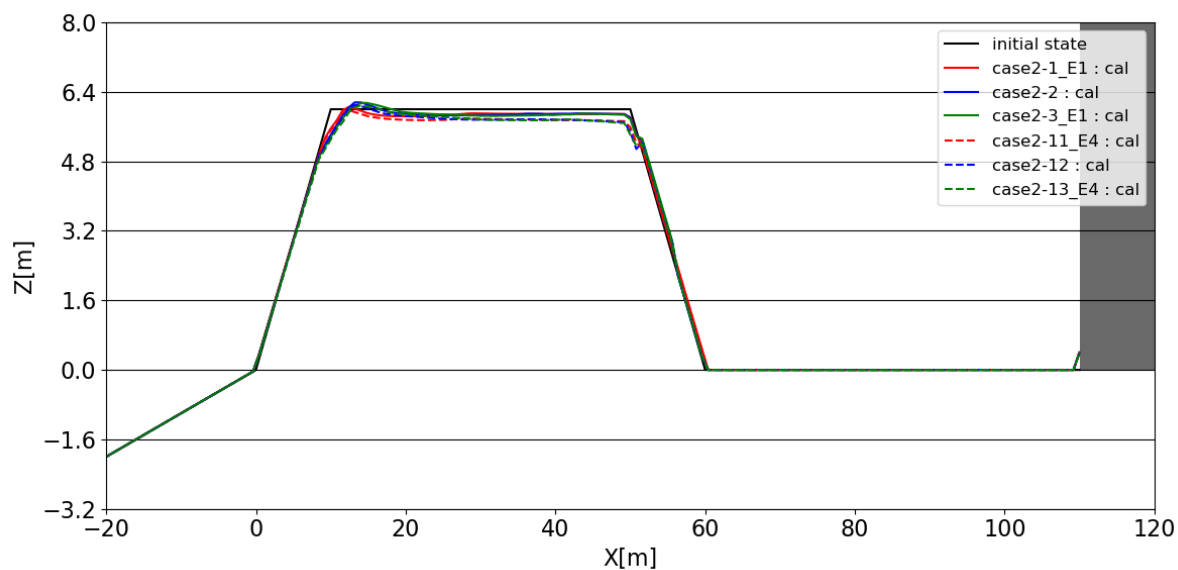


図 3-4-4-7 砂粒径の差異による砂面形状変化の比較

【台形断面，堤体位置：汀線-110.0m】

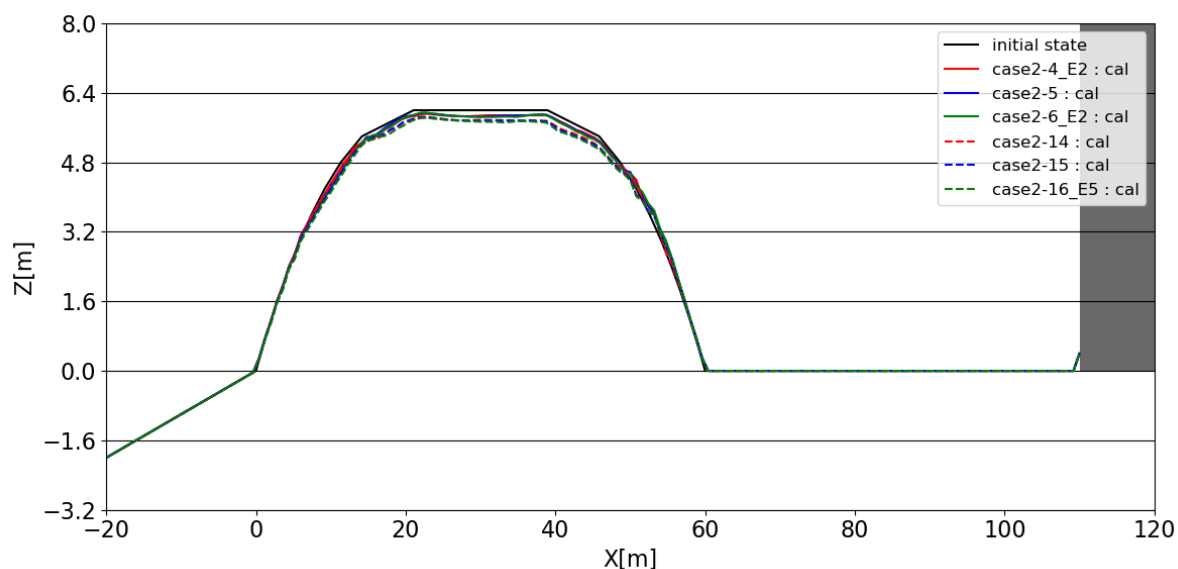


図 3-4-4-8 砂粒径の差異による砂面形状変化の比較

【丸み断面，堤体位置：汀線-110.0m】

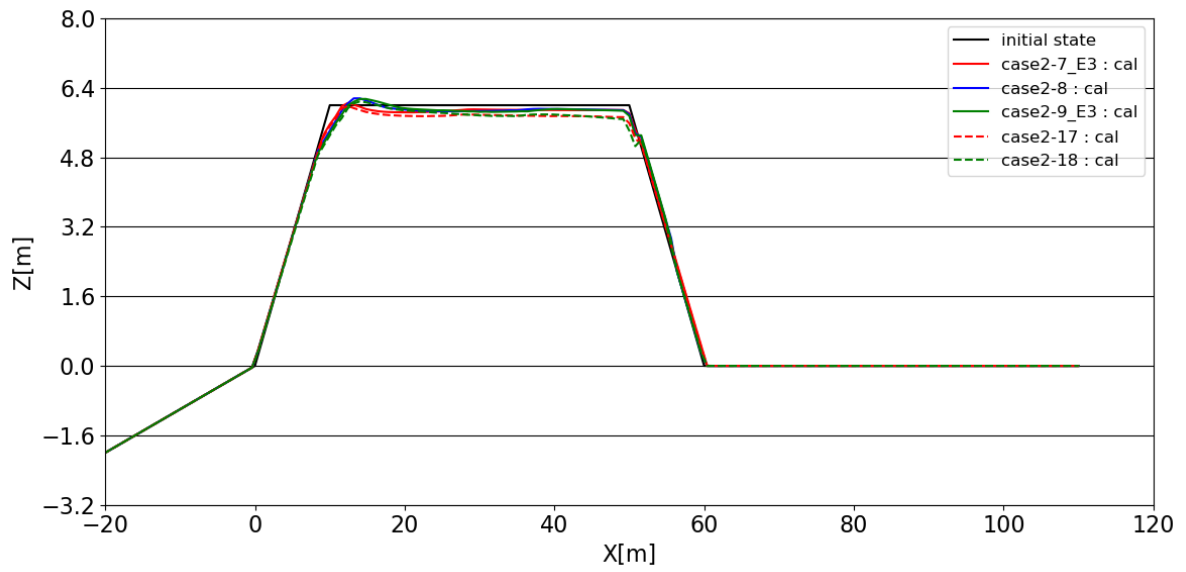


図 3-4-4-9 砂粒径の差異による砂面形状変化の比較

【台形断面，防潮堤なし】

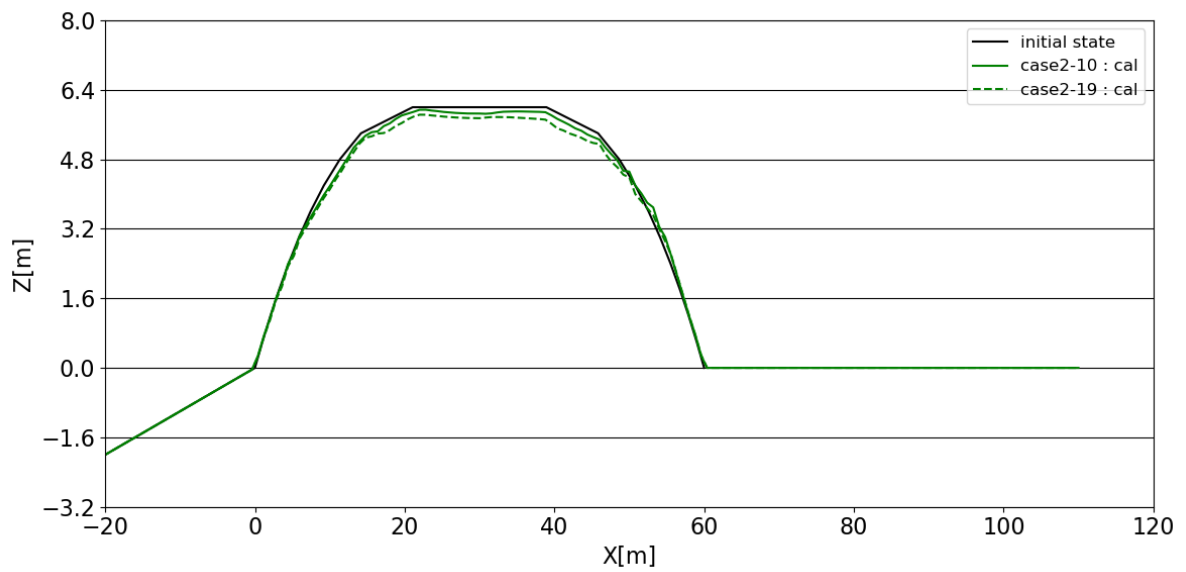


図 3-4-4-10 砂粒径の差異による砂面形状変化の比較

【丸み断面，防潮堤なし】

図 3-4-4-11では、礫を含む3種類の砂粒径の差異による砂面形状変化の比較結果を示す。ここでは、赤の実線は解析結果の砂粒径が0.23mm、青の実線は解析結果の砂粒径が0.11mm、緑の実線は解析結果の砂粒径が2.3mm（礫に相当）を示す。

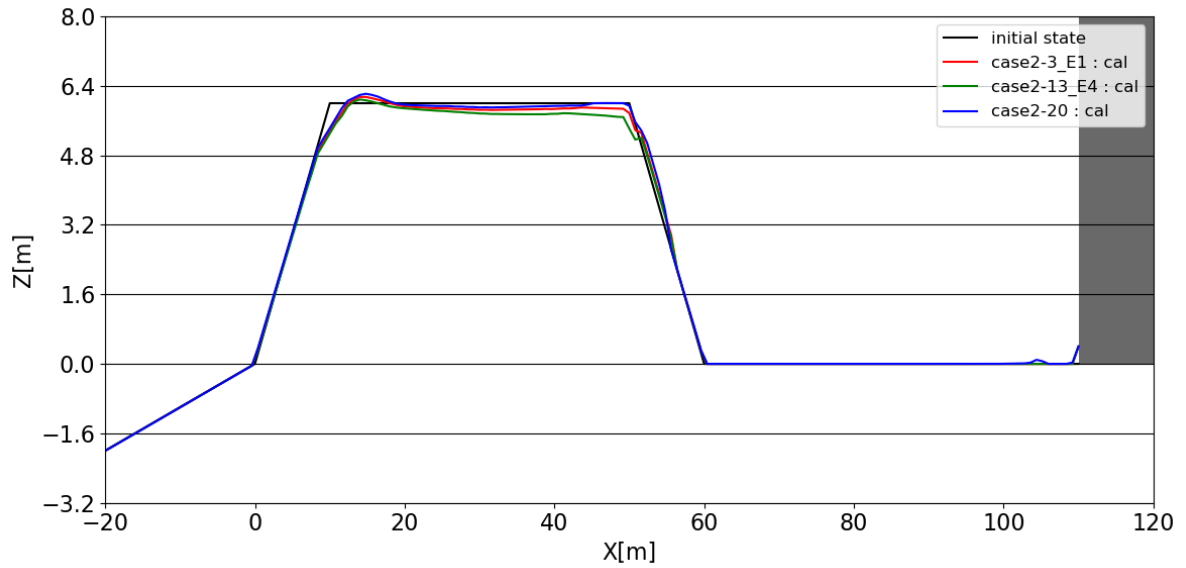


図 3-4-4-11 砂粒径の差異による砂面形状変化の比較

【台形断面，波高：10.0m，堤体位置：汀線-110.0m】



### 3-4-5 砂移動による防潮堤への作用荷重への影響

砂移動による防潮堤への作用荷重の影響を把握するため、模型スケールと同様に、防潮堤に作用する波圧の最大値を砂丘の粒径の差異により比較して示す。図 3-4-5-1 が【台形断面、波高：6.0m】，図 3-4-5-2 が【台形断面、波高：10.0m】，図 3-4-5-3 が【丸み断面、波高：6.0m】，図 3-4-5-4 が【丸み断面、波高：10.0m】の結果を示す。なお、赤の実線が解析結果の粒径が 0.23mm の結果を示し、緑の実線が解析結果の粒径が 0.11mm の結果を示し、青の実線が解析結果の粒径が 2.3mm の結果を示す。

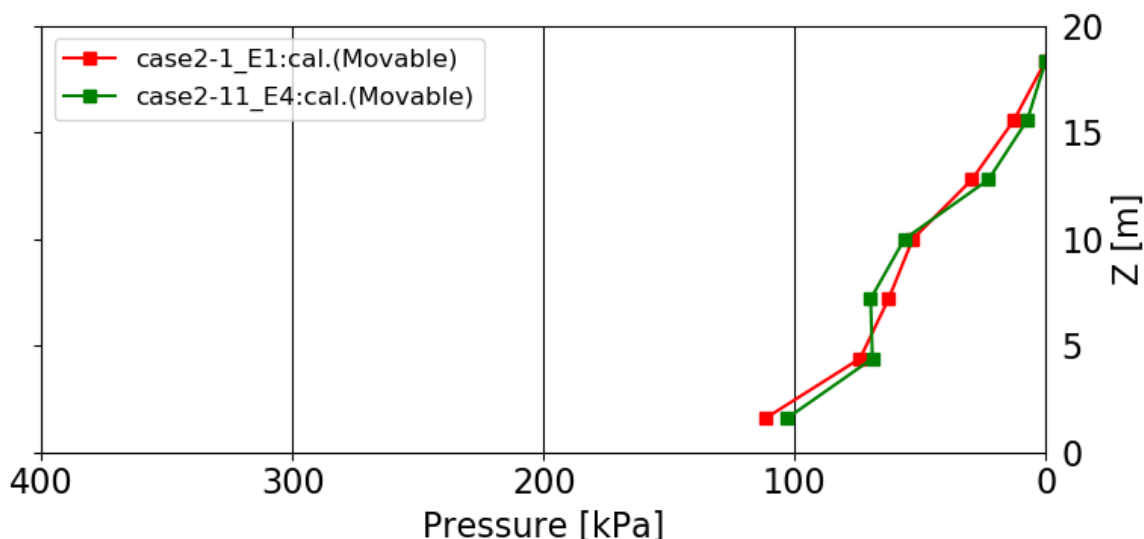


図 3-4-5-1 砂粒径の差異による防潮堤に作用する波圧の最大値の比較

【台形断面、波高：6.0m、堤体位置：汀線-110.0m】

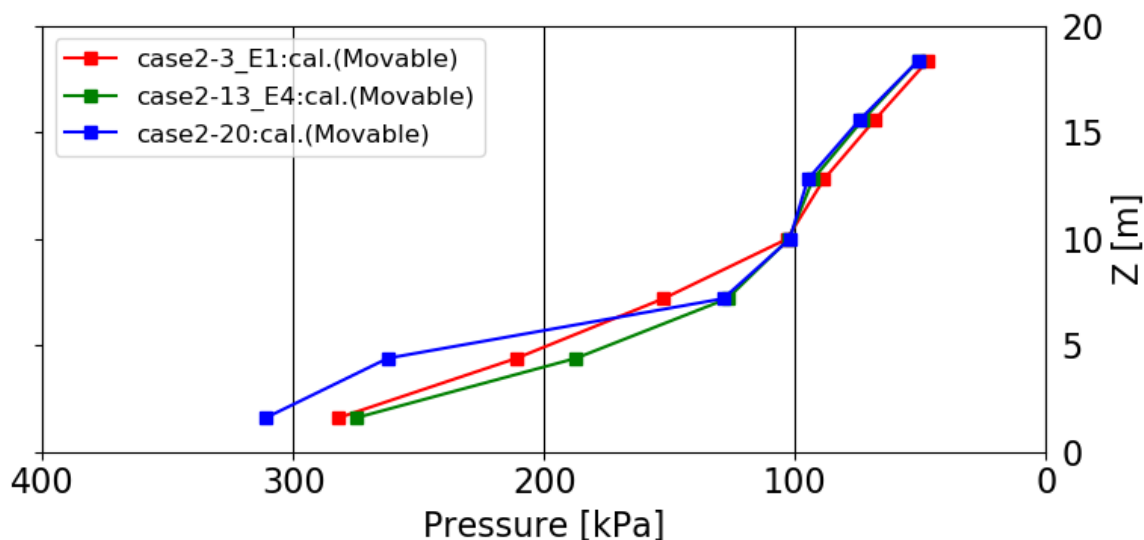


図 3-4-5-2 砂粒径の差異による防潮堤に作用する波圧の最大値の比較

【台形断面、波高：10.0m、堤体位置：汀線-110.0m】

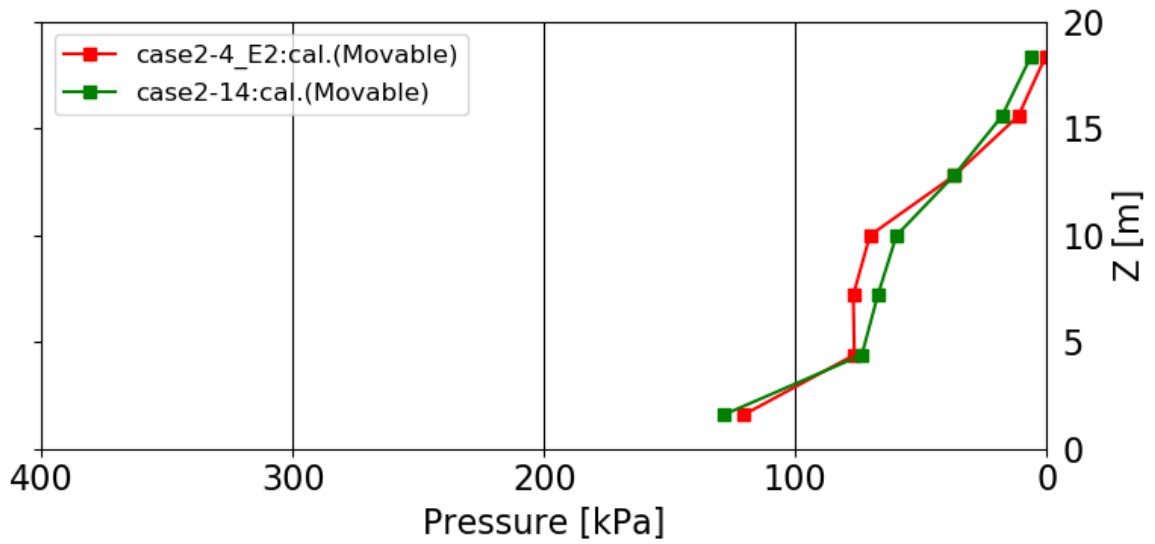


図 3-4-5-3 砂粒径の差異による防潮堤に作用する波圧の最大値の比較

【丸み断面，波高：6.0m，堤体位置：汀線-110.0m】

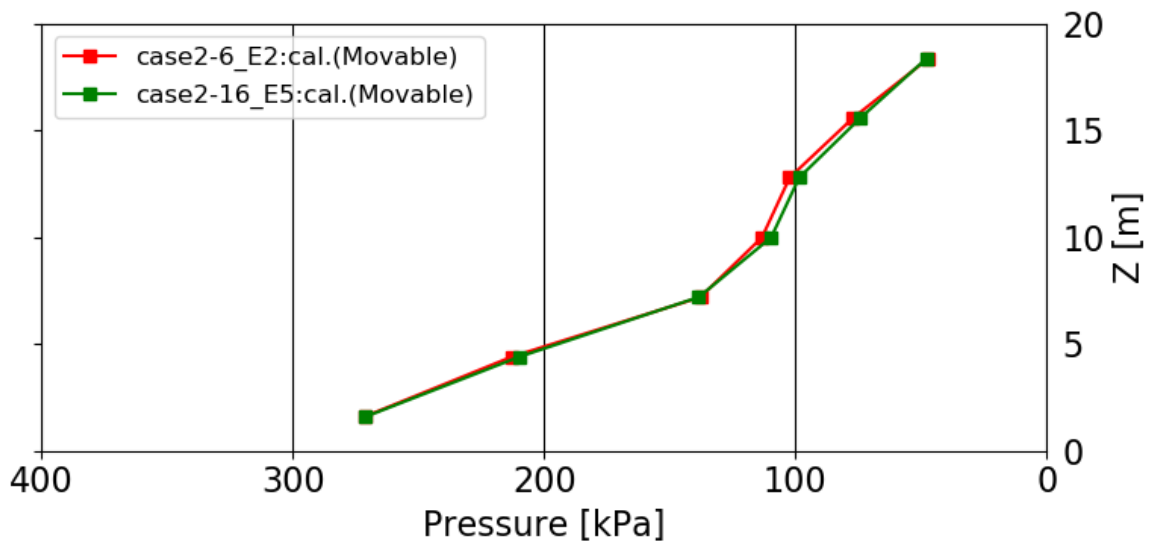


図 3-4-5-4 砂粒径の差異による防潮堤に作用する波圧の最大値の比較

【丸み断面，波高：10.0m，堤体位置：汀線-110.0m】

図 3-4-5-5~図 3-4-5-8 は，図 3-4-5-1~図 3-4-5-4 に対応する砂丘頂部における流速時系列を各々示す．図 3-4-5-5 が【台形断面，波高：6.0m】，図 3-4-5-6 が【台形断面，波高：10.0m】，図 3-4-5-7 が【丸み断面，波高：6.0m】，図 3-4-5-8 が【丸み断面，波高：10.0m】の結果を示す．なお，赤の実線が解析結果の粒径が 0.23mm の結果を示し，緑の実線が解析結果の粒径が 0.11mm の結果を，青色の実線が解析結果の粒径が 2.3mm の結果を示す．

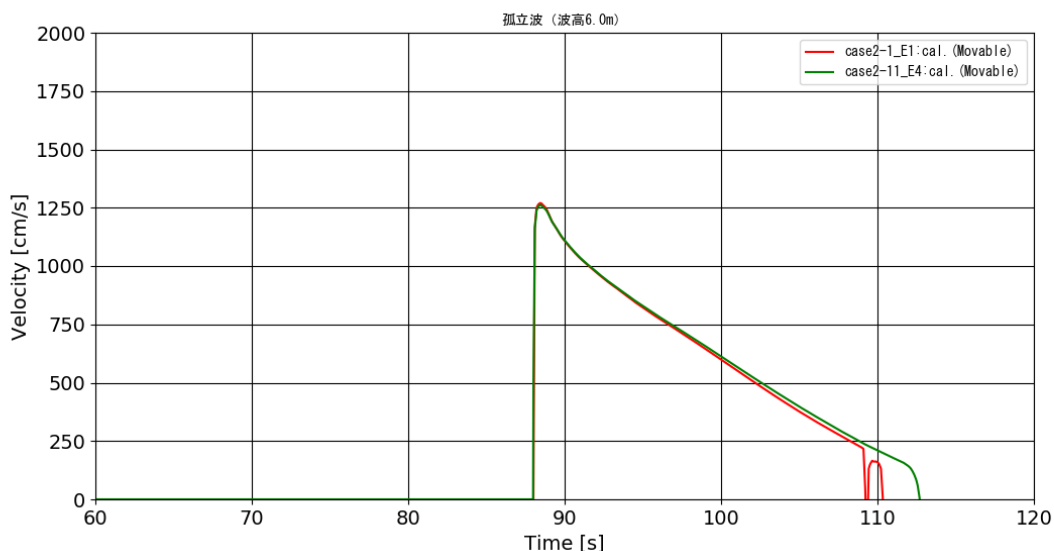


図 3-4-5-5 砂粒径の差異による砂丘頂部における流速時系列の比較

【台形断面，波高：6.0m，堤体位置：汀線-110.0m】

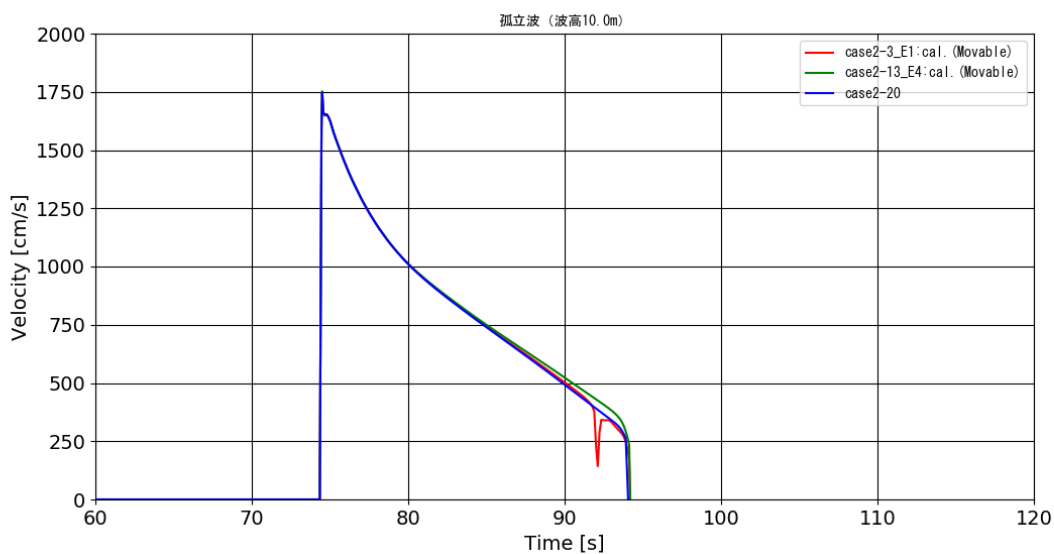


図 3-4-5-6 砂粒径の差異による砂丘頂部における流速時系列の比較

【台形断面，波高：10.0m，堤体位置：汀線-110.0m】

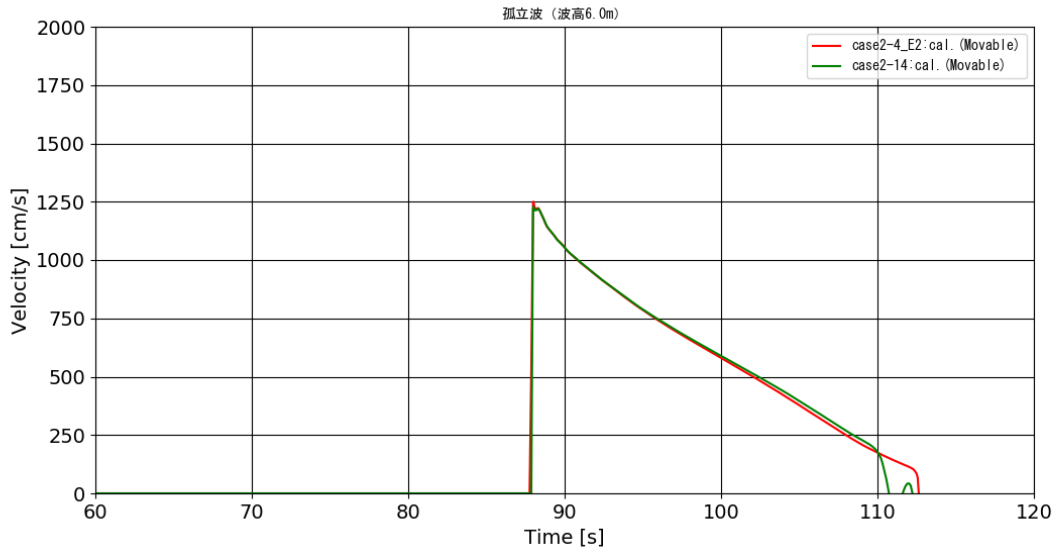


図 3-4-5-7 砂粒径の差異による砂丘頂部における流速時系列の比較

【丸み断面，波高：6.0m，堤体位置：汀線-110.0m】

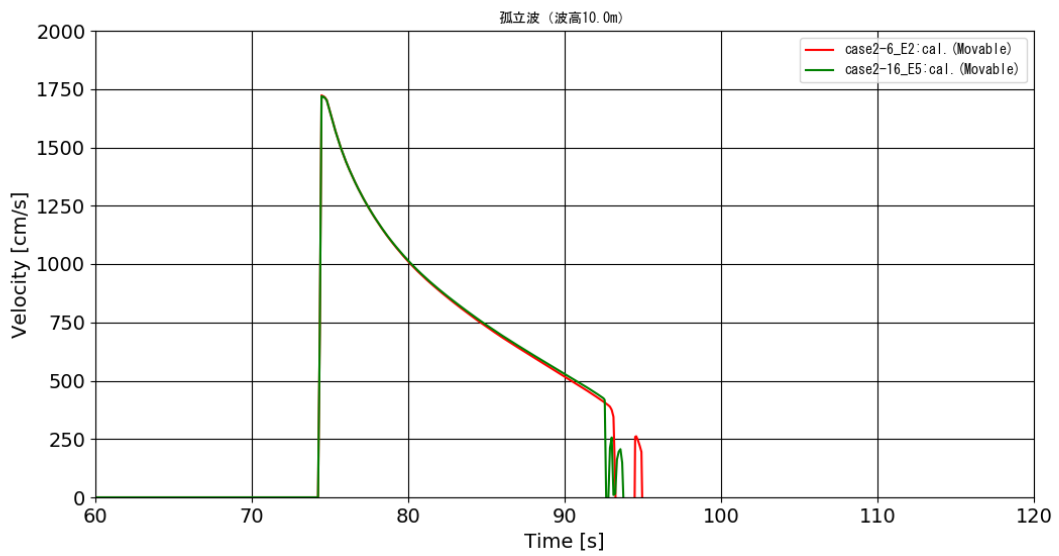


図 3-4-5-8 砂粒径の差異による砂丘頂部における流速時系列の比較

【丸み断面，波高：10.0m，堤体位置：汀線-110.0m】

防潮堤作用圧力に対する砂移動の影響度合いを把握するために、実機スケールについて、表 3-4-5-1 に各ケースの水理量、砂移動に関する所量を整理した。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し、また、「平均波圧」とは、各計測地点の最大値の平均を取ったものであり、平均波圧の「比率」とは、表 3-3-5-1 の模型スケールの各ケースにおける平均波圧を 1 としたときの倍率を示すものとする。

表 3-4-5-1 防潮堤への作用荷重への砂移動の影響に関する一覧表

ケース名	砂丘頂部 流速(cm/s)	砂丘侵食量		平均波圧	
		(cm <sup>2</sup> )	(%)	(kPa)	比率
Case2-1_E1	1270.0	696.96	1.5	49.07	75.4
Case2-3_E1	1749.2	748.96	1.6	136.07	77.2
Case2-4_E2	1250.3	598.85	1.4	56.15	82.2
Case2-6_E2	1723.4	757.43	1.8	137.43	79.9
Case2-11_E4	1261.9	1310.69	2.9	46.93	81.9
Case2-13_E4	1752.1	1295.27	2.8	129.79	84.1
Case2-14	1228.5	1130.52	2.6	55.72	88.0
Case2-16_E5	1719.2	1478.53	3.5	135.65	80.5
Case2-20	1746.7	400.49	0.9	146.30	—

---

### 3-5 第3章のまとめ

水位時系列波形の試験結果との比較について、沖合から砕波帯前面にかけての計算水位は試験における計測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。なお、砕波後の計算水位と計測水位には若干差異があるものの、砕波後の流体運動においても良好に再現しているといえる。砂丘頂部における流速時系列波形についても、水理試験の結果を精度良く再現していると言える。

3-3 及び 3-4 に示した解析結果について、下記(i)-(iv)の4つに大別してそれぞれ解析結果を整理する。

#### (i) 入力波波高の差異が砂面形状変化に及ぼす影響について

- ・ 入力波波高の差異が砂面形状変化に及ぼす影響については、概して、砂丘地形の岸側先端において、入力波波高が大きいほど侵食が進む傾向を示している（とりわけ、模型スケール図 3-3-4-1～図 3-3-4-10 参照）。これは、波高が大きくなるほど、砂をより大量に巻き上げると考えられ、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。

#### (ii) 砂粒径の差異が砂面形状変化に及ぼす影響について

- ・ 砂粒径の差異が砂面形状変化に及ぼす影響については、防潮堤の有無に関わらず、砂粒径が小さくなるほど砂丘地形の侵食が進む傾向が捉えられた（図 3-3-4-7～図 3-3-4-10 及び図 3-4-4-7～図 3-4-4-11 参照）。この理由としては、浮遊砂濃度分布が、砂粒径が小さいほど浮遊砂濃度が高くなることと関連している。すなわち、砂粒径が小さいほど砂の巻き上がりが強まり、結果として、砂丘地形の侵食が進んだものと示唆される。

#### (iii) 砂移動による防潮堤への作用荷重への影響について

- ・ 砂移動による防潮堤への作用荷重への影響については、砂粒径の差異により防潮堤に作用する波圧に影響が及ぶことが分かった。具体的には、砂粒径が大きい方が防潮堤の各計測地点の最大波圧が概して大きくなる傾向が捉えられた（図 3-3-5-1～図 3-3-5-4, 図 3-4-5-1～図 3-4-5-4, 表 3-3-5-1 及び表 3-4-5-1 参照）。また、砂粒径が大きいほど砂丘頂部の流速が概して大きくなる傾向がある（図 3-3-5-5～図 3-3-5-8 及び図 3-4-5-5～図 3-4-5-8 参照）。このため、砂粒径が大きいほど、砂丘頂部の流速が大きくなり、防潮堤に作用する波圧が大きくなったことが分かる。加えて、固定床より移動床の方が防潮堤の各計測地点の最大波圧が概して大きくなる傾向が捉えられた（図 3-3-5-1～図 3-3-5-4 及び表 3-3-5-1 参照）。これらは、【II 水理試験編】の図 4-1-1 の試験結果とも調和的である。

---

(iv) 模型スケールと現地スケールの違いによる波力の違いについて

- ・ 模型スケールと現地スケールの違いによる波力の違いについては，現地スケールが模型スケールの約 80 倍程度大きくなる結果が得られた（表 3-4-5-の平均波圧の「比率」を参照）．これにより，フルード相似則の関係が成り立つ結果が得られ，モデルの妥当性が示せた．また，両スケールとも，砂丘の断面形状による波力の顕著な差異は見られなかった（図 3-3-5-1～図 3-3-5-4，表 3-3-5-1 及び図 3-3-6-1～図 3-3-6-4，表 3-4-5-1 参照）．

---

## 第4章 シミュレーション解析のまとめと考察

### (1) 解析結果のまとめ

実施した各解析について、以下に整理する。

#### [1] 再現解析の高度化に向けた感度分析

再現解析の高度化に向けた感度分析においては、入力波は3条件(孤立波)、堤体位置は、堤体位置1, 2(汀線-75cm, 汀線-137.5cm)及び堤体なしの3条件であり、「合計9ケース」の解析を実施した。

#### [1-1] 入力波波高の差異が波圧に及ぼす影響

段波波圧の最大値については、全計測地点において波高が大きくなるとともに波圧も大きくなる傾向があるが、計測地点下部においては計測地点上部より更にその傾向が強く現れる。一方、持続波圧の最大値についても同様に、全計測地点において波高が大きくなるとともに波圧も大きくなる傾向があるが、段波波圧の最大値ほど顕著な変化は見られない。また、波圧時系列分布によると、入力波波高が大きくなるとともに防潮堤に作用する波圧の立ち上がり時刻が早くなる。これは、防潮堤に波が到達する時間が短くなるためであり、断面二次元流速 スナップショットの結果とも矛盾しない結果である。

#### [1-2] 防潮堤位置が波圧に及ぼす影響

防潮堤位置が汀線-75cm と汀線-137.5cm にある場合を同じ波高において比較すると、波高 7.5cm 及び 12.5cm では、汀線-75cm のケースの方が、段波波圧の最大値及び持続波圧の最大値ともに全計測地点において波圧が大きくなる傾向を示しているが、波高 20.0cm のケースでは、逆の傾向を示している。とりわけ、波高 20.0cm の防潮堤位置が汀線-137.5cm のケースでは、段波波圧の最大値が他ケースより1~2オーダー大きくなる結果が得られている。これは、波高が大きくなることに加え、防潮堤の位置がより岸側に伸びた分、砂丘を乗り越えた津波が砂丘と防潮堤の間の水平部をより高速に流れた後、防潮堤に衝突するため、より大きな波圧が生じたものと示唆される。波圧時系列分布によると、総じて、汀線-75cm のケースでは持続波圧は時間とともに徐々に減衰する傾向が見られるのに対し、汀線-137.5cm のケースでは持続波圧における時系列波形の乱れが比較的長く続いてから減衰する傾向にある。当該波形の乱れは、とりわけ、入力波波高の大きなケースに見られる。これもまた、防潮堤の位置がより岸側に伸びた分、砂丘を乗り越えた津波が砂丘と防潮堤の間の水平部を高速に流れた後、防潮堤に衝突することで、その波が砕けたことで生じたものと示唆される。

#### [1-3] 防潮堤位置・有無が砂面形状変化に及ぼす影響

防潮堤位置が汀線-75cm のケースでは、砂丘地形の先端(法肩)のうち、相対的に沖側先端の侵食が進むのに対して、汀線-137.5cm のケース及び防潮堤なしのケースでは、相対的に防潮堤側先端の侵食が進む傾向が捉えられている。



---

これは、防潮堤位置が汀線-75cm のケースでは、砂丘を乗り越えた津波が直ぐに防潮堤に衝突することで、防潮堤側先端付近の流れが減衰・減速するのに対して、防潮堤が汀線-137.5cm のケース及び防潮堤なしのケースでは、防潮堤により直ぐに遮られることがないため、流速の大きな流れが防潮堤側先端付近を一定時間通水する。すなわち、砂丘地形の防潮堤側先端付近に、この高速流が一定時間通水したことにより、侵食が進んだものと示唆される。一方、防潮堤の有無が砂面形状変化に与える影響については、砂丘地形の沖側先端及びその周辺の分布に顕著な差異が見られる。具体的には、防潮堤ありのケースでは砂丘地形の沖側先端で侵食され、汀線 0 付近に堆積されている。これに対して、防潮堤なしのケースでは沖側先端での侵食量も相対的に少なく、汀線 0 付近に堆積されていない。これは、断面二次元流速スナップショットで示されるように、防潮堤ありのケースでは防潮堤が水をせき止める効果があるため、砂丘地形の沖側先端及びその周辺に水（流れ）が存在し続ける結果となるのに対して、防潮堤なしのケースでは水をせき止めるものがないため津波が通水した後は水の存在がない。すなわち、流れの存在がないため、侵食が進むことも堆積されることもないと考えられる。また、防潮堤なしの試験結果との比較については、砂丘地形の沖側先端及びその周辺では、解析結果と試験結果との間に乖離が見られた。具体的には、試験結果では砂丘地形の岸側より沖側先端における侵食が進むのに対して、解析結果では沖側より岸側先端における侵食が進む結果となった。今後、この試験結果との乖離について詳細な検討が必要である。

## [2] 再現解析の高度化及び実機縮尺による粒径変化の影響把握

[1]の結果を受けて、再現解析の高度化及び実機縮尺による粒径変化の影響把握においては、模型スケール解析を 19 ケース、現地スケール解析を 20 ケースの「合計 39 ケース」の解析を実施した。上述[1]の 9 ケースと併せて、本検討では「合計 48 ケース」の解析を実施したことになる。

### [2-1]水位時系列波形の解析精度

沖合から砕波帯前面にかけての計算水位は試験における計測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。なお、砕波後の計算水位と計測水位には若干差異があるものの、砕波後の流体運動においても良好に再現しているといえる。砂丘頂部における流速時系列波形についても、水理試験の結果を精度良く再現していると言える。

### [2-2]入力波波高の差異が砂面形状変化に及ぼす影響

概して、砂丘地形の岸側先端において、入力波波高が大きいほど侵食が進む傾向を示している。これは、波高が大きくなるほど、砂をより大量に巻き上げると考えられ、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。

---

### [2-3] 砂粒径の差異が砂面形状変化に及ぼす影響

防潮堤の有無に関わらず、砂粒径が小さくなるほど砂丘地形の侵食が進む傾向が捉えられた。この理由としては、浮遊砂濃度分布が、砂粒径が小さいほど浮遊砂濃度が高くなることと関連している。すなわち、砂粒径が小さいほど砂の巻き上がりが強まり、結果として、砂丘地形の侵食が進んだものと示唆される。

### [2-4] 砂移動による防潮堤への作用荷重への影響

砂粒径の差異により防潮堤に作用する波圧に影響が及ぶことが分かった。具体的には、砂粒径が大きい方が防潮堤の各計測地点の最大波圧が概して大きくなる傾向が捉えられた。ここで、砂粒径が大きいほど砂丘頂部の流速が概して大きくなる傾向がある。このため、砂粒径が大きいほど、砂丘頂部の流速が大きくなり、防潮堤に作用する波圧が大きくなったことが分かる。加えて、固定床より移動床の方が防潮堤の各計測地点の最大波圧が概して大きくなる傾向が捉えられた。これらは、水理試験結果とも調和的である。

### [2-5] 模型スケールと現地スケールの違いによる波力の違いについて

模型スケールと現地スケールの違いによる波力の違いについては、各計測地点ともに、現地スケールが模型スケールの約 80 倍程度大きくなる結果が得られた。これにより、フルード相似則の関係が成り立つ結果が得られ、モデルの妥当性が示せた。また、両スケールとも、砂丘の断面形状による波力の顕著な差異は見られなかった。

## (2) 解析結果全体の考察まとめと課題

### [1] 解析コードの適用範囲（本事業で確認できた適用範囲）

#### a) 津波流動の再現性

本事業で取得した砂丘に接近する津波水位の時間変化および砂丘上を流れる流速の時間変化の計測結果と解析結果を比較した結果、十分な津波挙動の再現精度を有していることが確認できた。

#### b) 砂移動の変化に関する再現性

本事業の水理試験で測定結果に基づいて、押し波作用時の砂丘形状の変化結果を再現するようにシミュレーション解析に用いる土砂移動限界を変更した。その結果、一般的に用いる値より、大きくする方向に調整することで、押し波作用時において、試験と同様な砂移動を再現した。しかし、今回の土砂移動限界の物理的意味に関する考察が必要である。

一方、本事業では、引き波を含めた津波作用全体での砂移動や、押し波のみが長時間作用する場合の砂移動については再現性が確認できなかった。

#### c) 作用荷重の再現性

平均波圧を水理試験およびシミュレーション解析で比較した結果を図 4-1 に示す（【II 水理試験編】の表 4-1-1, 表 3-4-4-1 より作成）。同図より平均波圧の再現性が高いと判断され、本研究の範囲では、水理試験で測定された波圧分布を概ね再現することができたと言える。

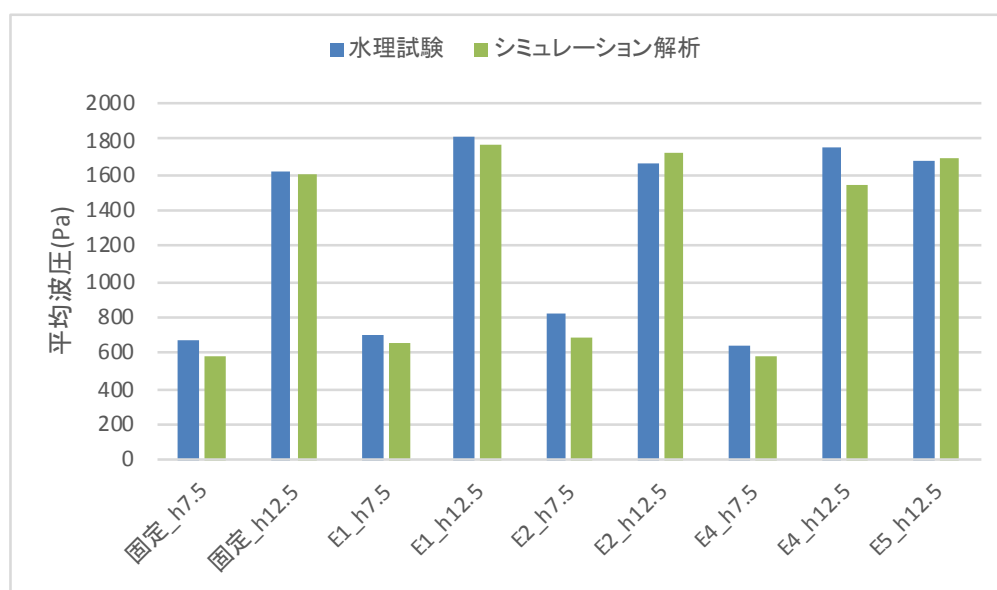


図 4-1 平均波圧の水理試験と解析の比較

ただし、計測点別に詳細に確認すると、防潮堤下端付近に設置された波圧測定点では、試験と解析で一致しないケースが確認された。防潮堤下端付近では、波が防潮堤に衝突した直後の極めて短い時間に大きな波圧が観測され、その波圧の正確な計測およびその解析での再現は非常に困難である。一方で、作用時間の短さから防潮堤全体を考えた場合の荷重に対する寄与度は小さい。よって、今後は、波力や転倒モーメント等で試験と比較することを検討する。

## [2] 作用荷重への影響が現れる砂移動条件の分析

今回の検討により、砂粒径の差異により防潮堤に作用する波圧に影響が及ぶことが分かった。具体的には、砂粒径が大きい方が防潮堤の各計測地点の最大波圧が概して大きくなる傾向が捉えられた。ここで、砂粒径が大きいほど砂丘頂部の流速が概して大きくなる傾向がある。このため、砂粒径が大きいほど、砂丘頂部の流速が大きくなり、防潮堤に作用する波圧が大きくなったことが分かる。これらの傾向は、砂粒径の大きいケースで特に明確になっている。

加えて、固定床より移動床の方が防潮堤の各計測地点の最大波圧が概して大きくなる傾向が捉えられた。これらは水理試験結果とも調和的である。この原因を考察するため、固定床解析で、粗度を変化させた解析を行った結果を図 4-2 に示す。同図では、固定床解析で、砂面上の粗度のみを変化させている。この結果から、砂面上の粗度が荷重の増加にはつながらないことが分かる。すなわち、砂面上の砂は粗度として流れに影響を与えているのではなく、変形することによって、流速等に変化を与えている可能性がある。

また、浮遊砂濃度が荷重に与える影響は、今回の検討のような洗掘量の小さな検討では、水理試験の結果を踏まえても大きくないと判断されるが、小さいとしてもどの程度であるかについては、引き続き検討する必要がある。

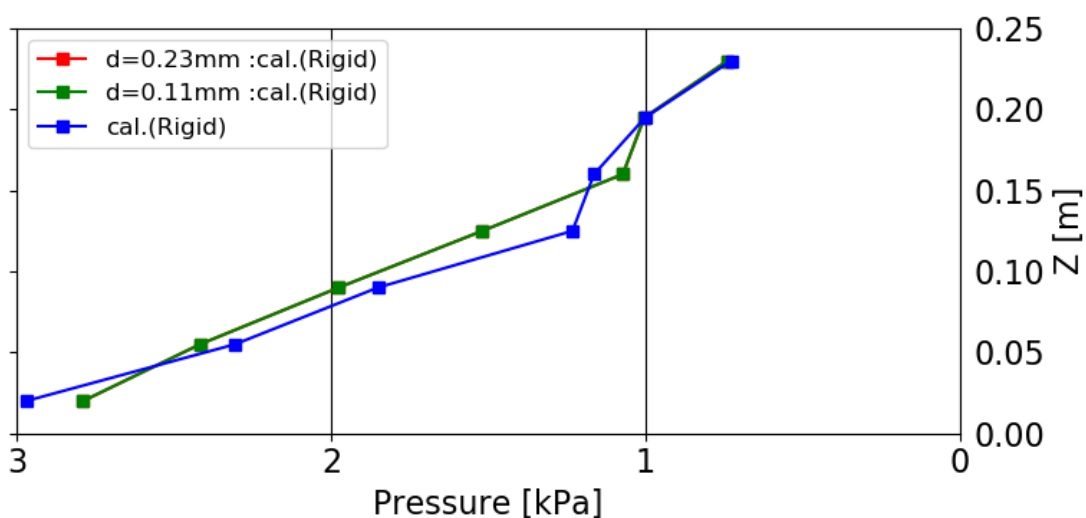


図 4-2 粗度のみを変化させた固定床解析による作用荷重の変化

以上

## 付録 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。

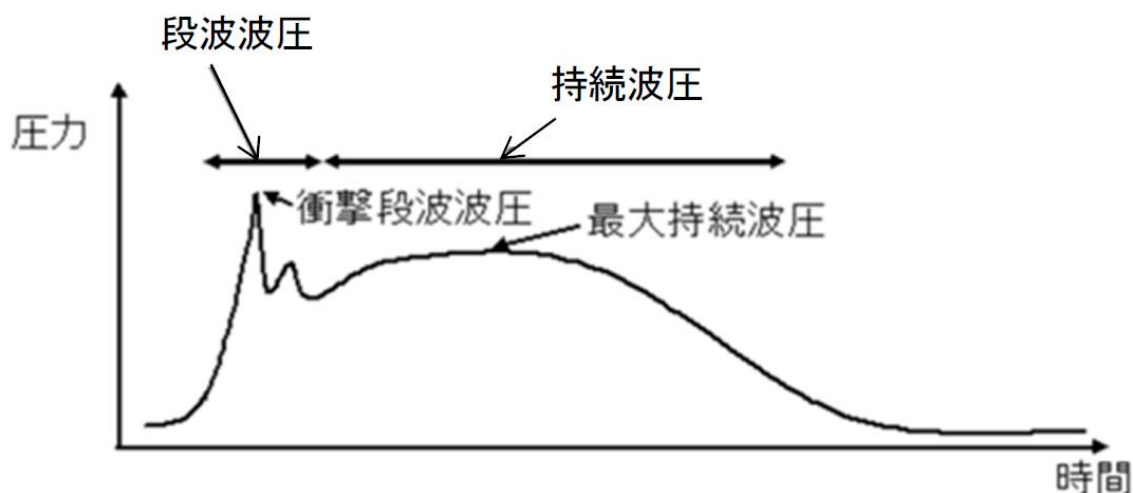


図 A-1 防潮堤に作用する津波波圧の模式図<sup>1</sup>

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.

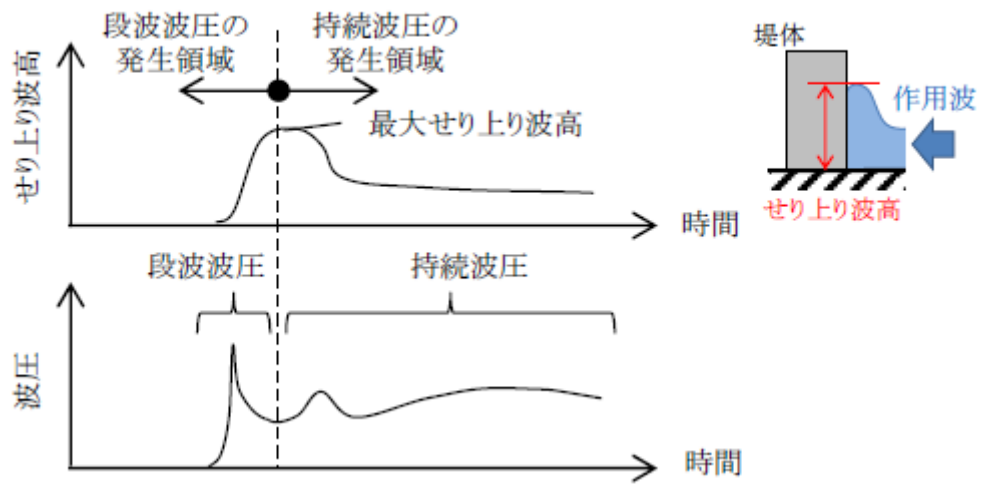


図 A-2 段波波圧と持続波圧の分類手法の模式図<sup>2</sup>

---

## 付録 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。

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

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.

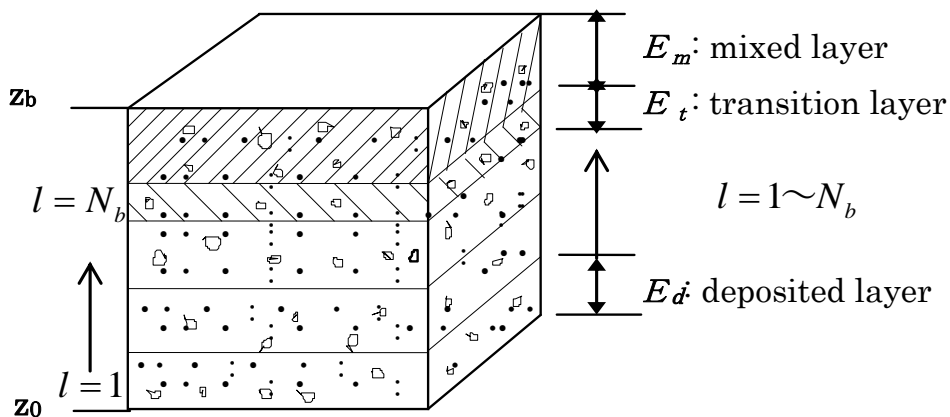


図 B-1 河床材料の粒度分布変化モデル模式図

図 B-1 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.