

9. 漂流物試験再現シミュレーション

9.1. シミュレーション手法と解析条件

(1)解析モデル

解析コードは、類似事業で採用された京都大学開発の解析コードを使用した。本コードは、漂流物を質点ではなくその形状を正確に反映させることができ、並進 3 自由度および回転 3 自由度を考慮した漂流物の挙動解析が可能なモデルである。ただし計算時間短縮のため、沖合については平面二次元解析モデルで計算し、水路斜面部から直立護岸を含む岸側の領域は三次元解析モデルで計算を行うこととした。

(2)解析領域

対象地形を図-9.1.1 に示す、(a)直立護岸および(b)単純勾配の海底地形とし、陸上部には堤体を設置した。堤体高は 0.6 m とし、設置位置は護岸汀線と護岸から 0.625m 陸側の 2 種類とした。造波境界、直線部、単純勾配斜面、直線部、直立護岸、遡上区間の一連の水路をモデル化し、横断方向については計算時間節約のために小型船舶型の場合幅 20cm、流木型の場合は幅 4cm とした。

また、二次元モデルと三次元モデルとの境界においては、後述する海底地形のうち、直立護岸では、入力波 Wd10 が汀線より 8.5m 沖側の地点、Wd20,30,40 が汀線より 7.0m 沖側の地点を境界とし、単純勾配では、入力波 Wd10 が汀線より 5.0m 沖側の地点、Wd20,30,40 が汀線より 4.0m 沖側の地点を境界とした。当該地点より岸側を三次元モデルとし、当該地点よりも沖側を二次元モデルとしてそれぞれ計算した（図-9.1.1、表-9.1.1 参照）。

(3)計算メッシュ

計算メッシュは、試験水路の形状を適切に表現できるように作成した。漂流物として船舶型を使用する場合において、三次元モデルに関しては、水路縦断方向および鉛直方向の分割について計算メッシュサイズを 2.0cm に設定し、横断方向の分割については 4.0 cm とした。

一方、流木型を使用する場合においては、漂流物のサイズが船舶型と比較して非常に小さいため、水路縦断方向および鉛直方向の分割については 0.5cm に設定し、横断方向の分割については 1.0 cm とした（表-9.1.1 参照）。

(4)初期条件

初期条件は静水状態(沖合直線部水深 60cm)とした。

(5)入力津波条件

津波の入力は、図-9.1.1 の A 点において計測された水位時系列の計測結果を用いた。ただし、水理試験では直立護岸のみを対象としたため、単純勾配地形については地形形状が同一の類似事業（平成 29 年度実施）で得られた計測地点 A における計測結果を適用した。入力波は、図-9.1.2 に示す、Wd10～Wd40 の 4 種類の波形とした。

(6)漂流物条件

漂流物の形状については、水理試験で用いた 3 ケースを設定した（漂流物試験方法を参照）。船舶型漂流物 A、B の体積はそれぞれ $2.3775 \times 10^{-4} \text{m}^3$ 、 $1.6275 \times 10^{-4} \text{m}^3$ であるため、密度は 651.3kg/m^3 、 633.6kg/m^3 としている。また、流木型漂流物 C は形状を x 方向の長さが 0.105m、

y 方向及び z 方向の長さが 0.018m の直方体と簡略化して用い、当該体積は $3.402 \times 10^{-5} \text{m}^3$ であるため、密度は 676.1kg/m^3 としている。

上述した解析条件をもとに、水理試験を対象に、数値シミュレーション解析を実施し、解析手法の適用性を確認した。

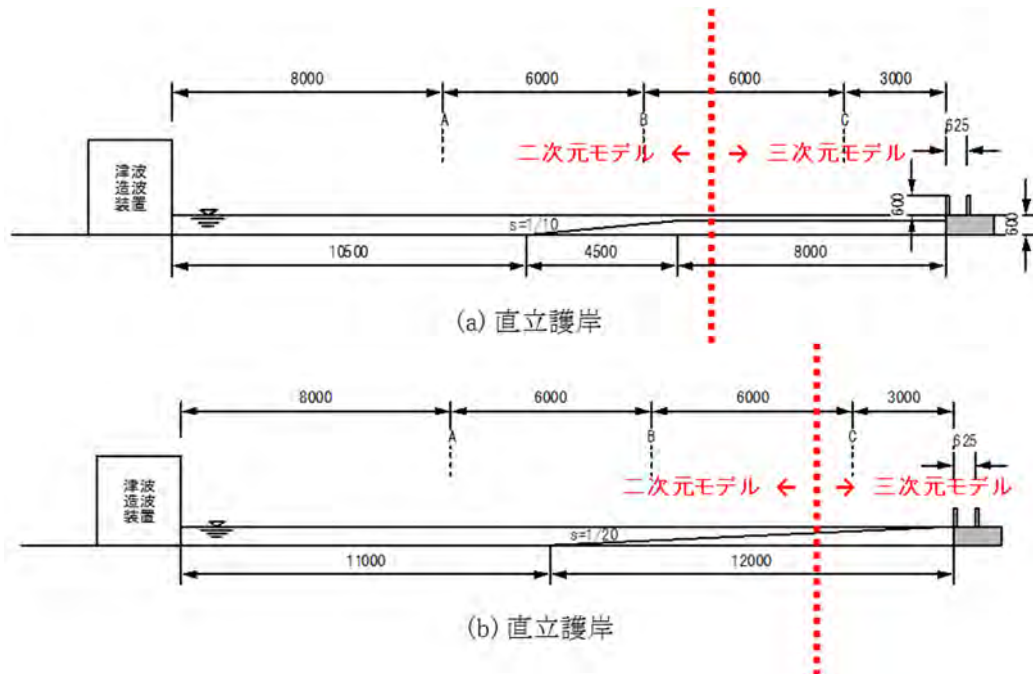


図- 9.1.1 地形および堤体条件（断面図，単位：mm）入力津波条件

表- 9.1.1 解析条件

地形	2次元モデルと3次元モデルとの境界位置		3次元領域メッシュサイズ
直立護岸	Wd10	汀線より 8.5m 沖側	<船舶型> x, z 方向：2.0cm y 方向：4.0cm
	Wd20	汀線より 7.0m 沖側	
	Wd30		
	Wd40		
単純勾配	Wd10	汀線より 6.0m 沖側	<船舶型> x, z 方向：2.0cm y 方向：4.0cm
	Wd20	汀線より 4.0m 沖側	
	Wd30		
	Wd40		

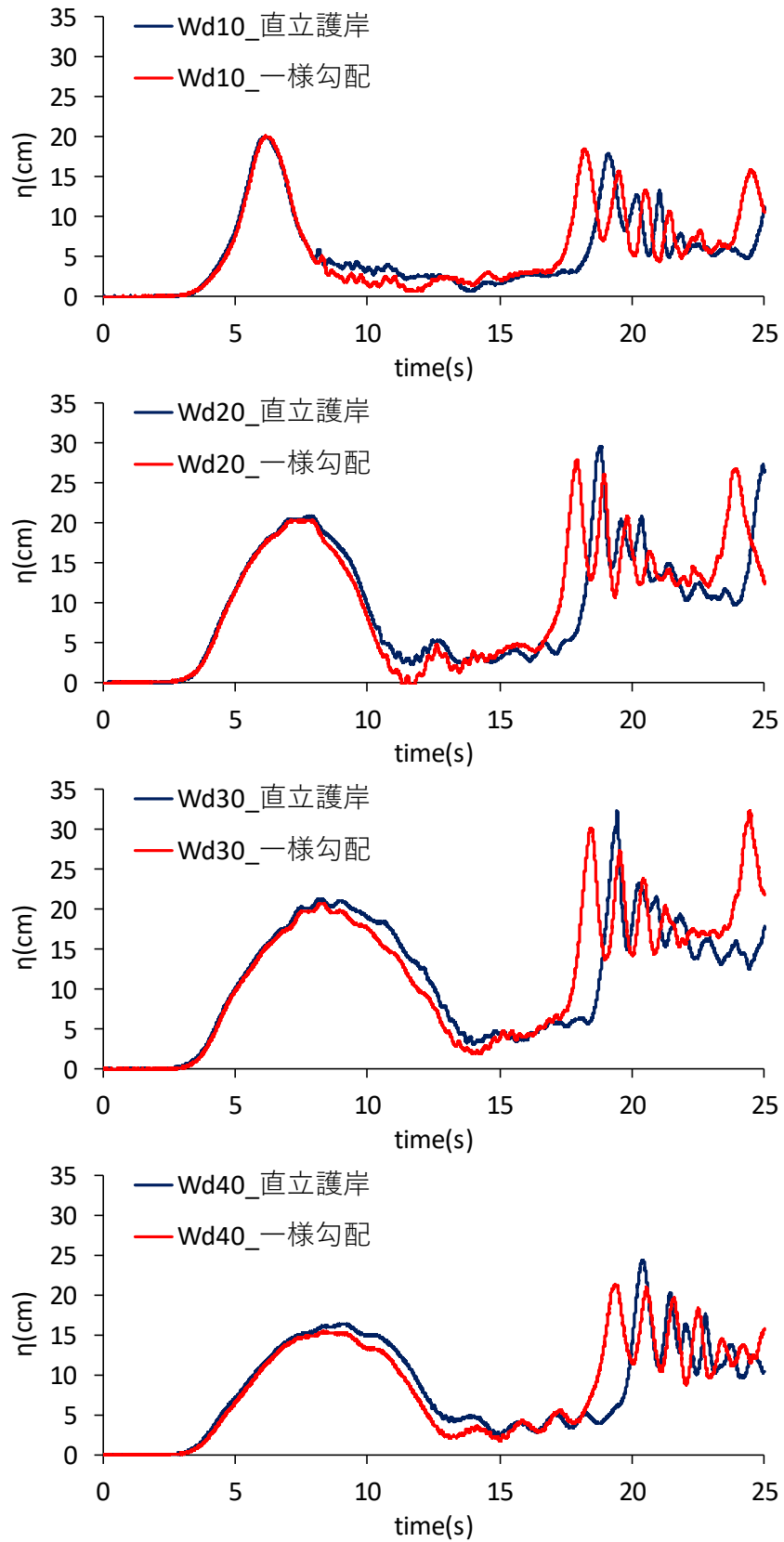


図- 9.1.2 入力津波条件 (計測位置 : 点 A)

9.2. 解析ケース

直立護岸，単純勾配地形を対象に，それぞれ 18 ケース，合計 36 ケースの解析を実施した．直立護岸，単純勾配における解析条件のケース一覧を表- 9.2.1 に示す．

表- 9.2.1 シミュレーション解析ケース一覧

ケース名		波形	堤体位置	漂流物	漂流物位置
直立護岸	単純勾配				
F-Wd10-0-A-05	S-Wd10-1-A-05	Wd10	0 m	A	0.5m
F-Wd20-0-A-05	S-Wd20-1-A-05	Wd20			0.5m
F-Wd30-0-A-05	S-Wd30-1-A-05	Wd30			0.5m
F-Wd40-0-A-05	S-Wd40-1-A-05	Wd40			0.5m
F-Wd20-0-A-10	S-Wd20-1-A-10	Wd20			1.0m
F-Wd20-0-A-20	S-Wd20-1-A-20	Wd20			2.0m
F-Wd20-0-B-05	S-Wd20-1-B-05	Wd20		B	0.5m
F-Wd20-0-C-05	S-Wd20-1-C-05	Wd20		C	0.5m
F-Wd40-0-B-05	S-Wd10-2-A-05	Wd40		B	0.5m
F-Wd10-1-A-05	S-Wd20-2-A-05	Wd10		0.625 m	A
F-Wd20-1-A-05	S-Wd30-2-A-05	Wd20	0.5m		
F-Wd30-1-A-05	S-Wd40-2-A-05	Wd30	0.5m		
F-Wd40-1-A-05	S-Wd20-2-A-10	Wd40	0.5m		
F-Wd20-1-A-10	S-Wd20-2-A-20	Wd20	1.0m		
F-Wd20-1-A-20	S-Wd20-2-B-05	Wd20	2.0m		
F-Wd20-1-B-05	S-Wd20-2-C-05	Wd20	B		0.5m
F-Wd20-1-C-05	S-Wd10-1-A-05	Wd20	C		0.5m
F-Wd40-1-B-05	S-Wd20-1-A-05	Wd40	B		0.5m

9.3. 解析結果

9.3.1. 水位の時系列波形

図-9.3.1 に、直立護岸の試験ケースについて、A~C 地点および汀線位置(d)での水位時系列波形図をそれぞれ示す。ここには、堤体位置 0m、漂流物 A、漂流物初期位置 0.5m のケースを示した。漂流物ありの解析結果を赤線、漂流物なしの解析結果を緑線とし、試験結果を青線で示した。また同様に、単純勾配のケースについて図-9.3.2 に示す。なお、単純勾配の結果に示した試験結果は、前述の類似事業において取得されたものである。

シミュレーション解析結果は、試験結果に比較して若干波速が大きい傾向にあるものの、その波形は水理試験の結果を精度良く再現していると言える。水位は、水槽中央（漂流物衝突位置）で算出しているため、堤体前面での水位に若干の違いがあるものの、漂流物の有無による水位変動の違いはわずかであることが分かる。

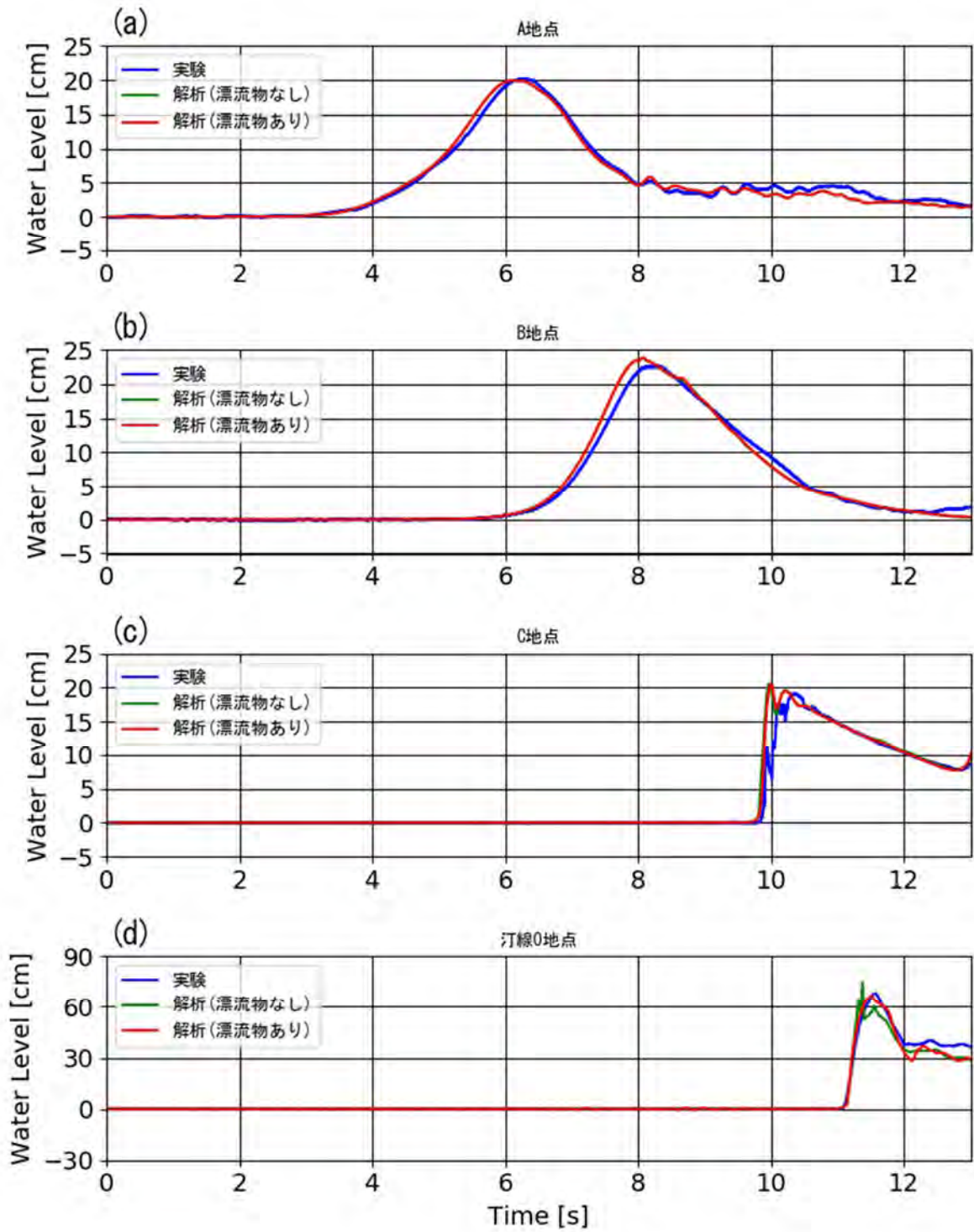
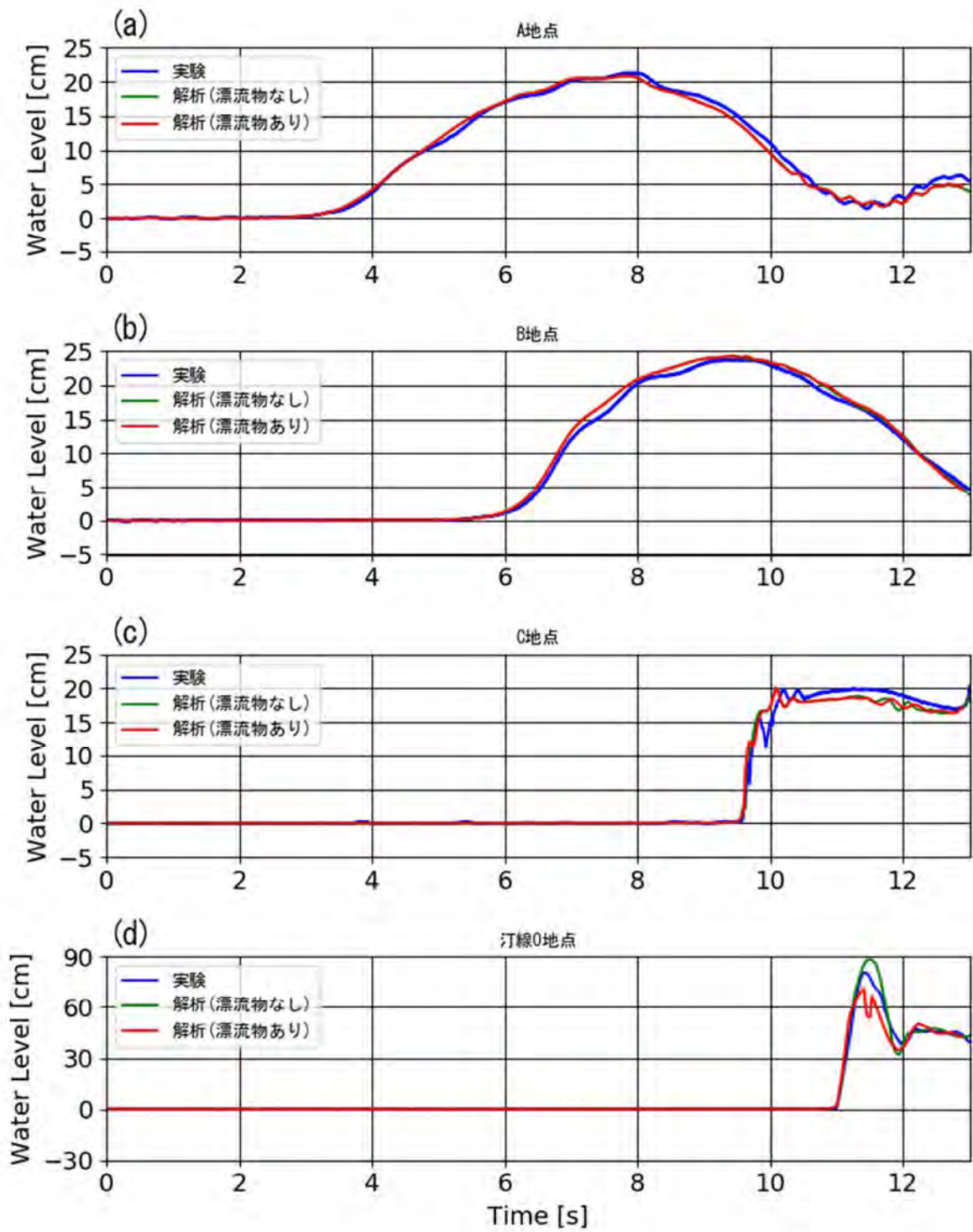
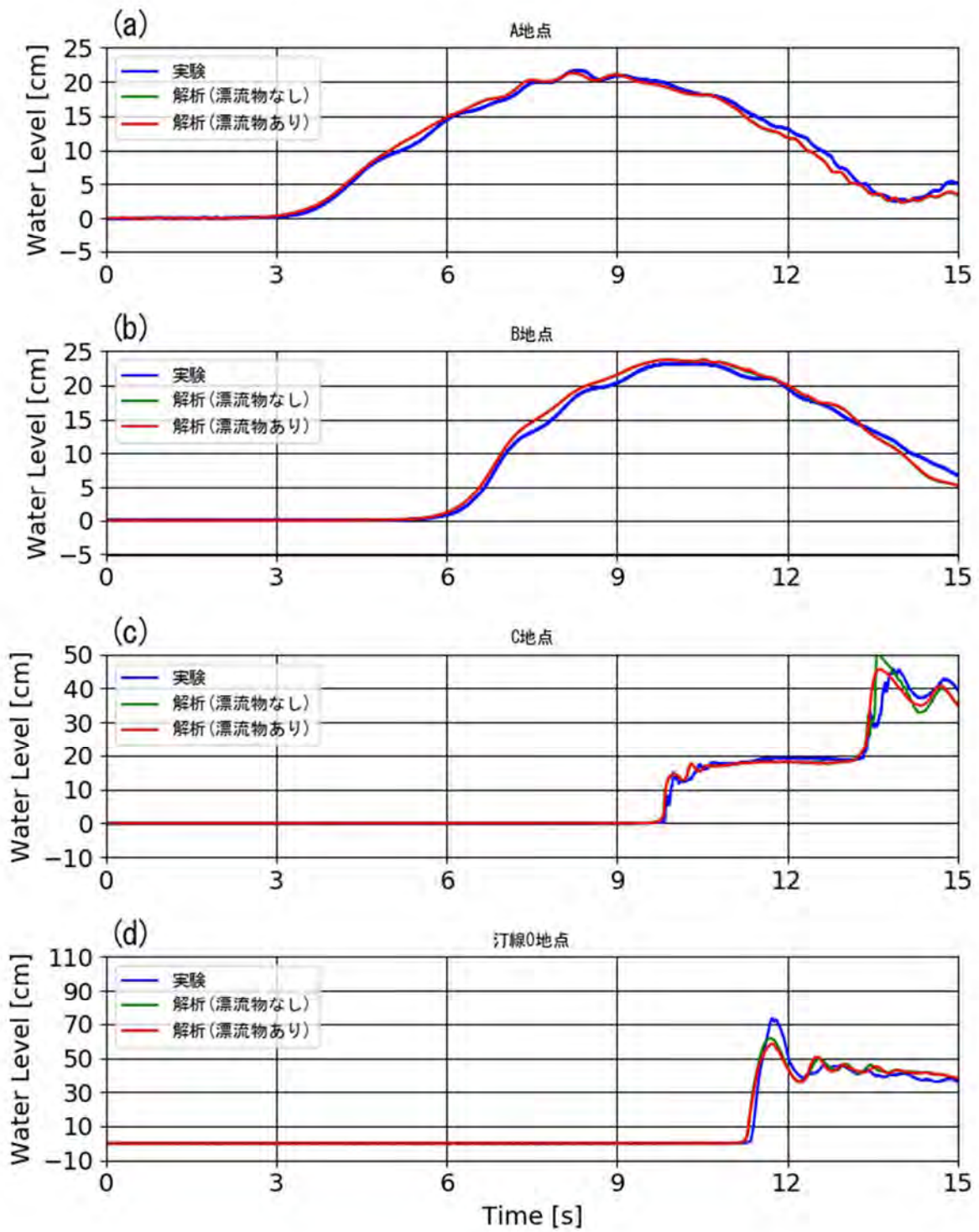


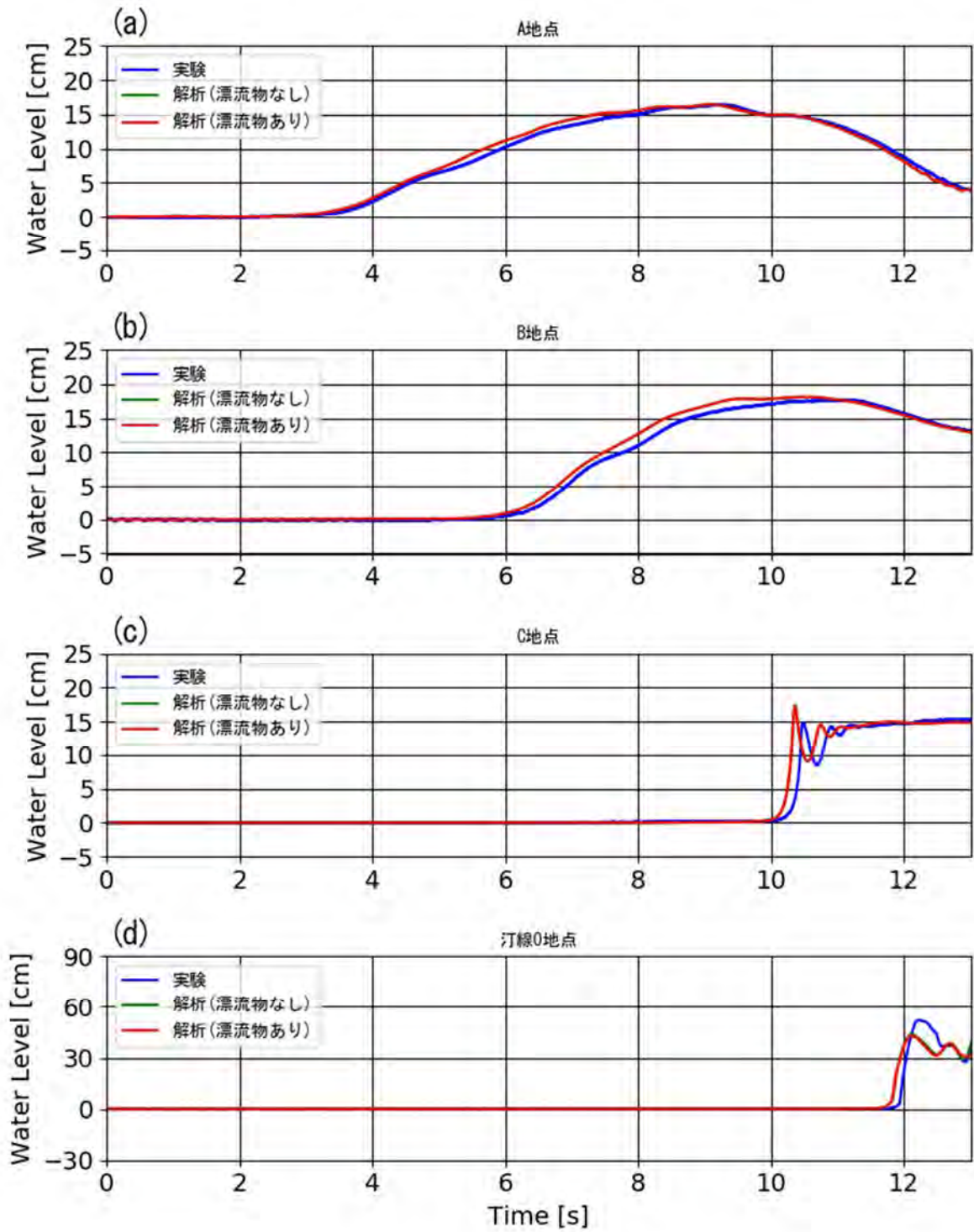
図-9.3.1 水位時系列波形 (直立護岸, F-Wd10-0-A-05)



図・9.3.1 水位時系列波形 (直立護岸, F-Wd20-0-A-05)



図・9.3.1 水位時系列波形 (直立護岸, F-Wd30-0-A-05)



図・9.3.1 水位時系列波形 (直立護岸, F-Wd40-0-A-05)

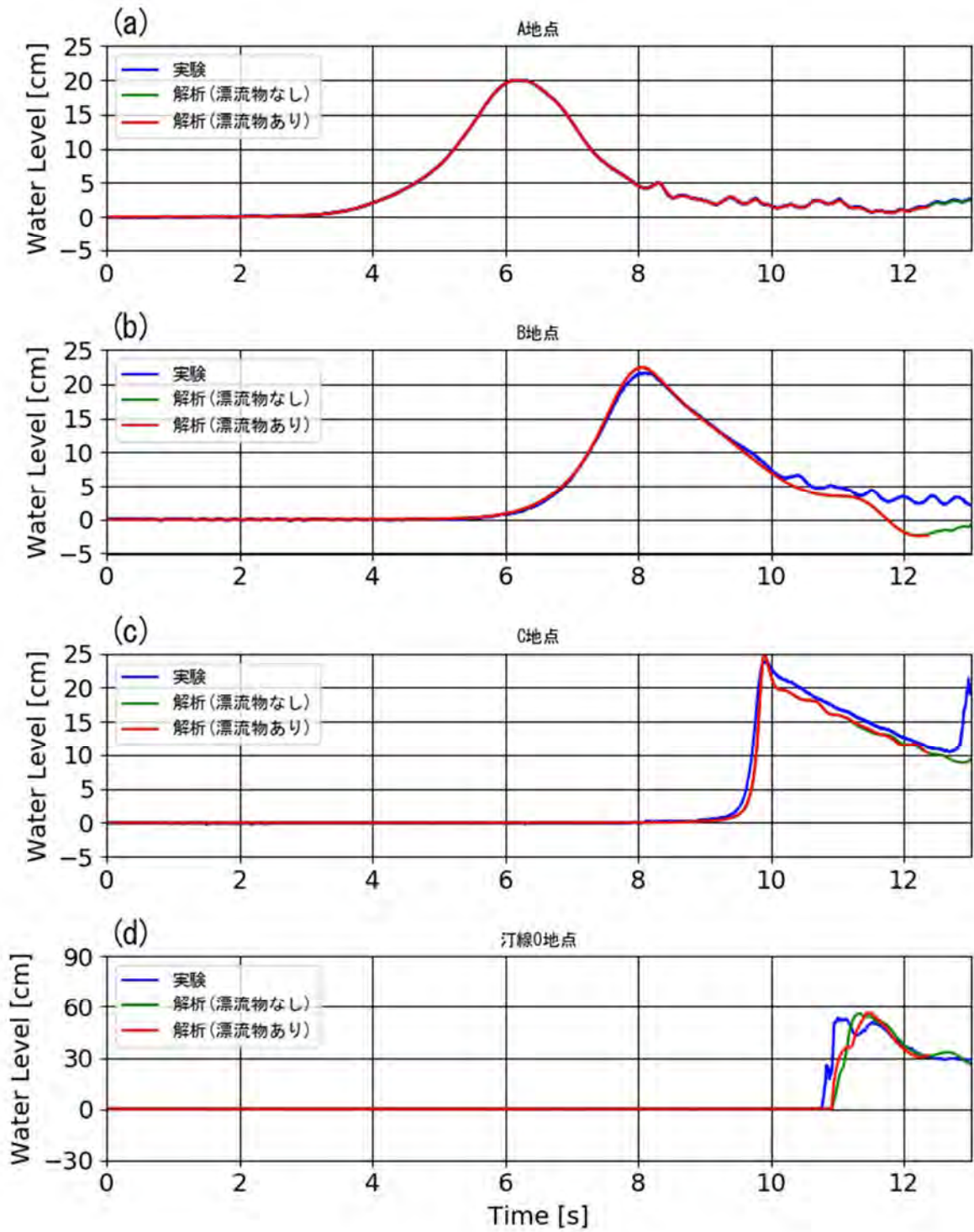


図- 9.3.2 水位時系列波形 (単純勾配, S-Wd10-0-A-05)

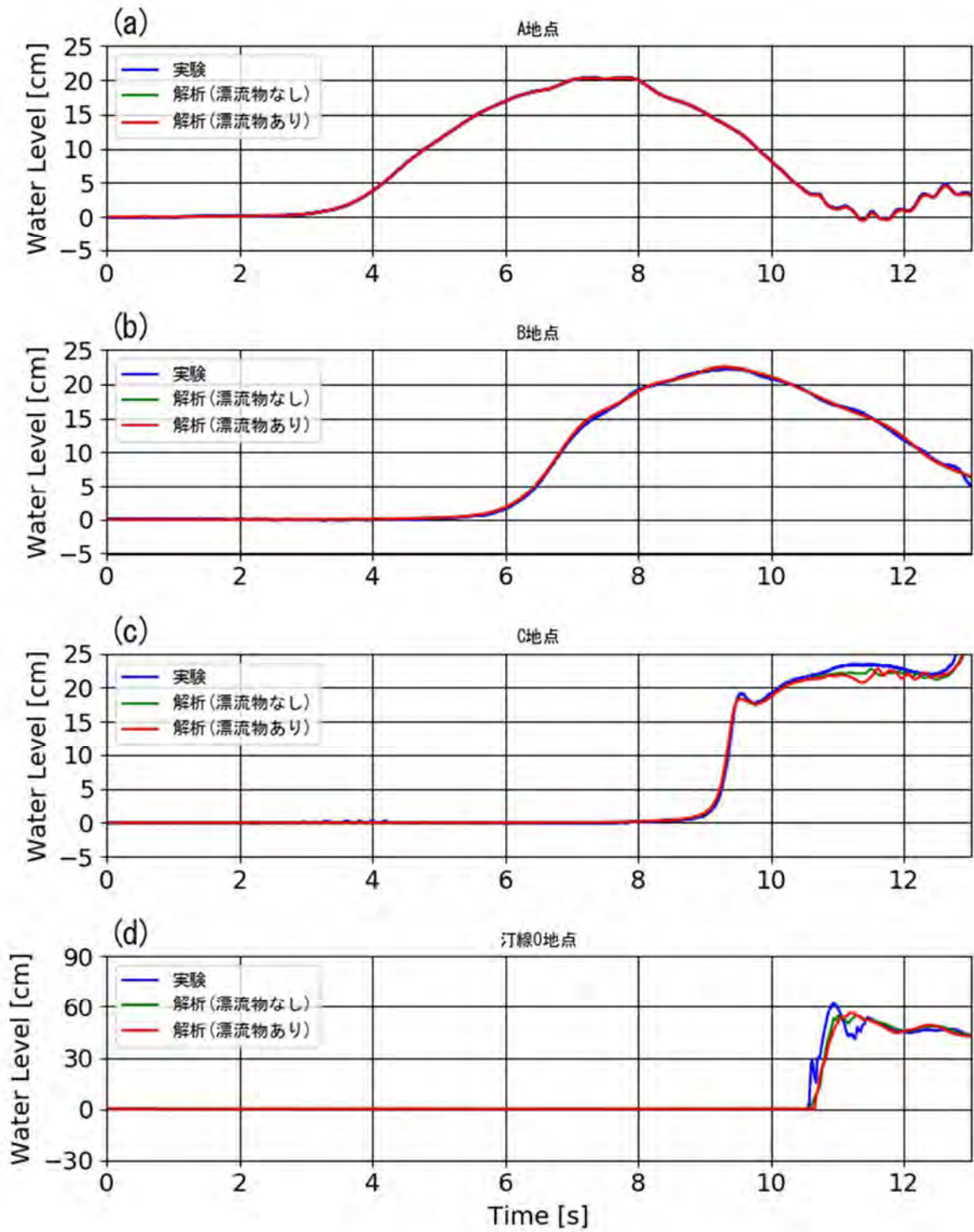


図- 9.3.2 水位時系列波形 (単純勾配, S-Wd20-0-A-05)

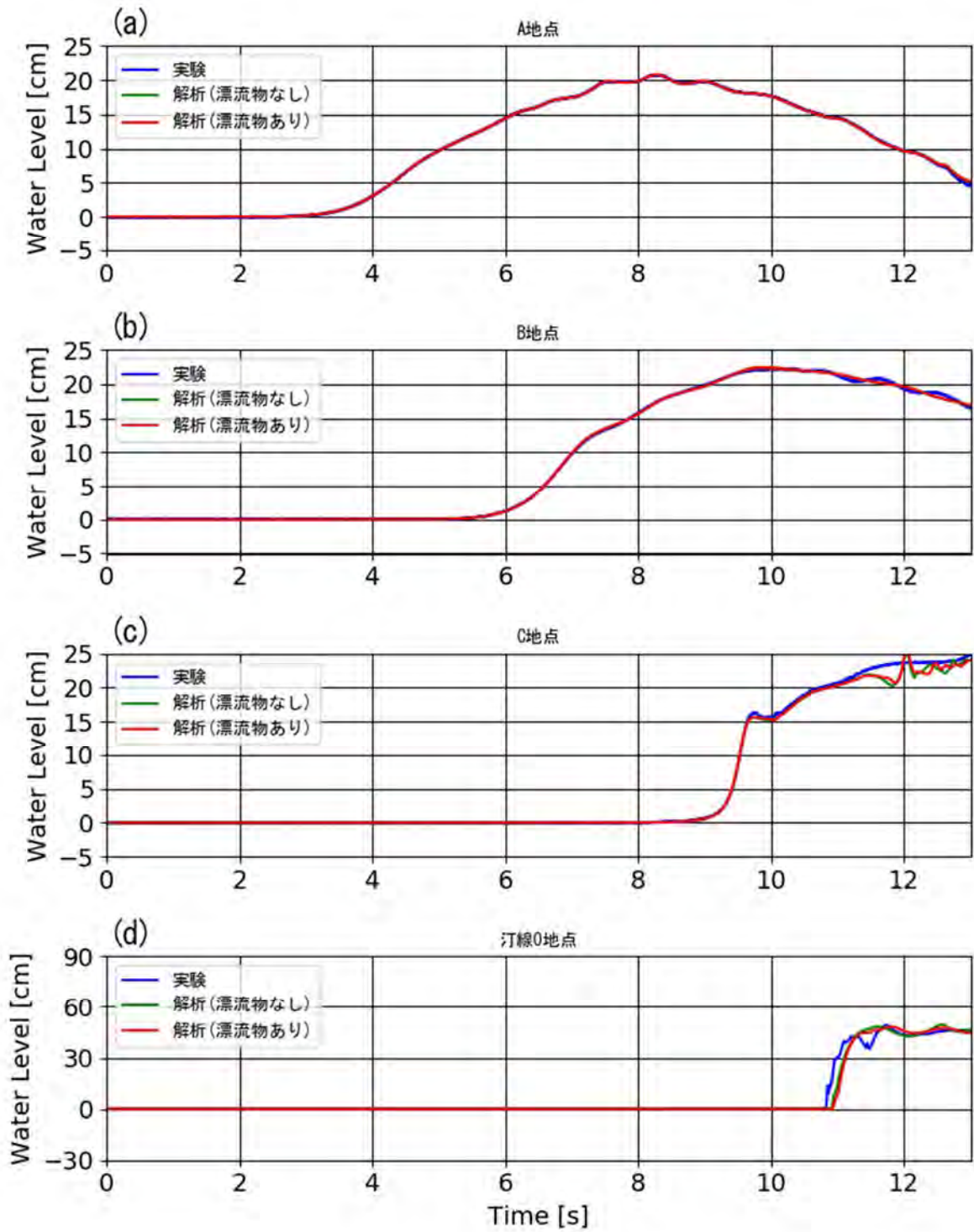


図- 9.3.2 水位時系列波形 (単純勾配, S-Wd30-0-A-05)

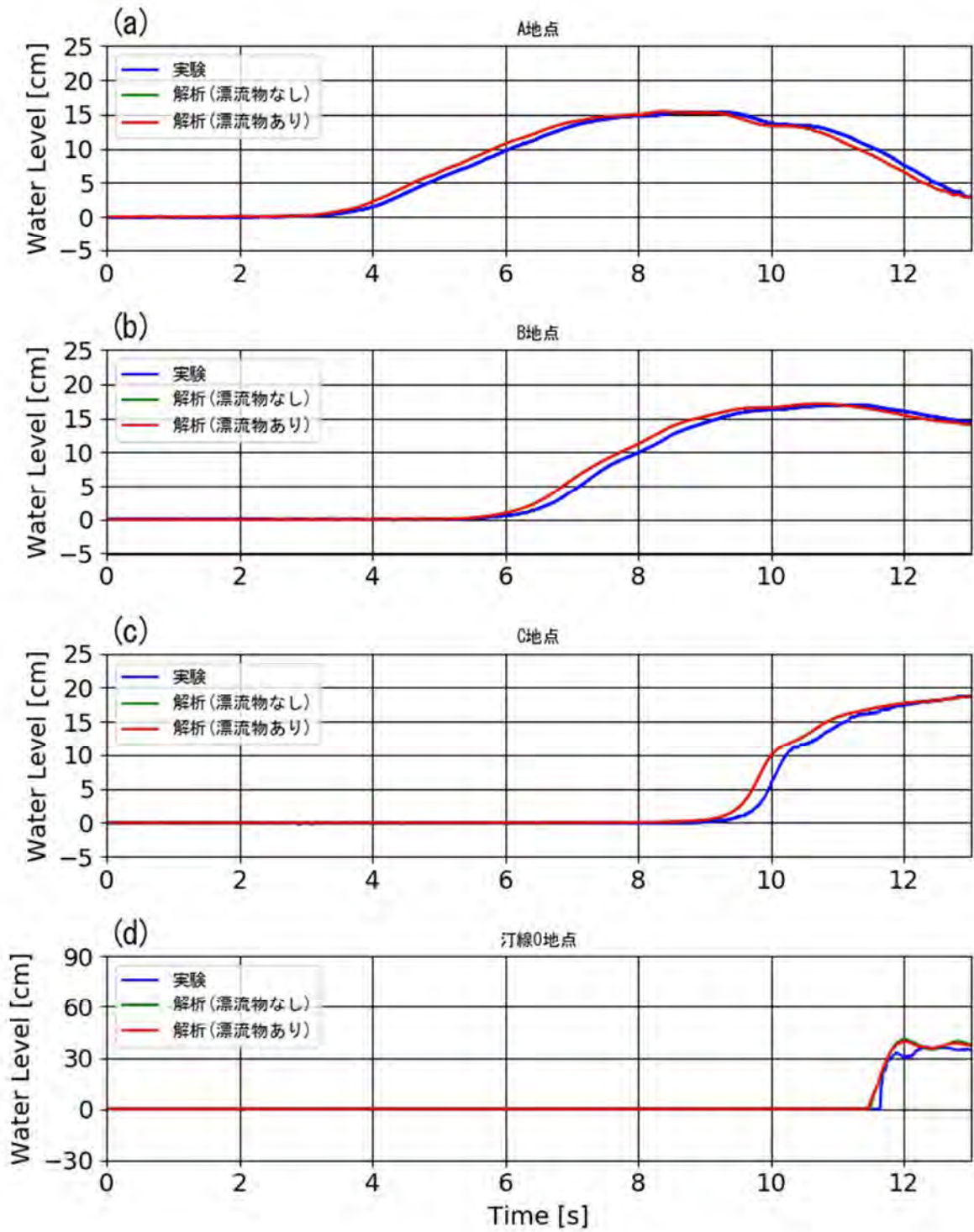


図- 9.3.2 水位時系列波形 (単純勾配, S-Wd40-0-A-05)

9.3.2. 流速の時系列波形

図-9.3.3 に、直立護岸の試験ケースについて、A~C 地点および汀線位置(d)での流速時系列図をそれぞれ示す。ここには、堤体位置 0m、漂流物 A、漂流物初期位置 0.5m のケースを示した。なお、シミュレーション結果の流速は鉛直方向に平均した断面平均流速である。漂流物ありの解析結果を赤線、漂流物なしの解析結果を緑線とし、試験結果を青線で示した。また同様に、単純勾配のケースについて、図-9.3.4 に示す。なお、単純勾配の結果に示した試験結果は、前述の類似事業において取得されたものである。

シミュレーション解析結果は、水位の解析結果と同様、水理試験の結果を精度良く再現していると言える。また、漂流物の有無による流速変動の違いもわずかである。ただし、直立護岸の汀線位置での解析結果と試験結果に比較的大きな差異が表れている。これは地形の隅角部のため流向の変化点となり、鉛直方向のわずかな位置の違いで流速が異なることから、水理試験におけるプロペラ流速計の計測結果と厳密には解析結果の算出点が一致しないことが要因と考えられる。

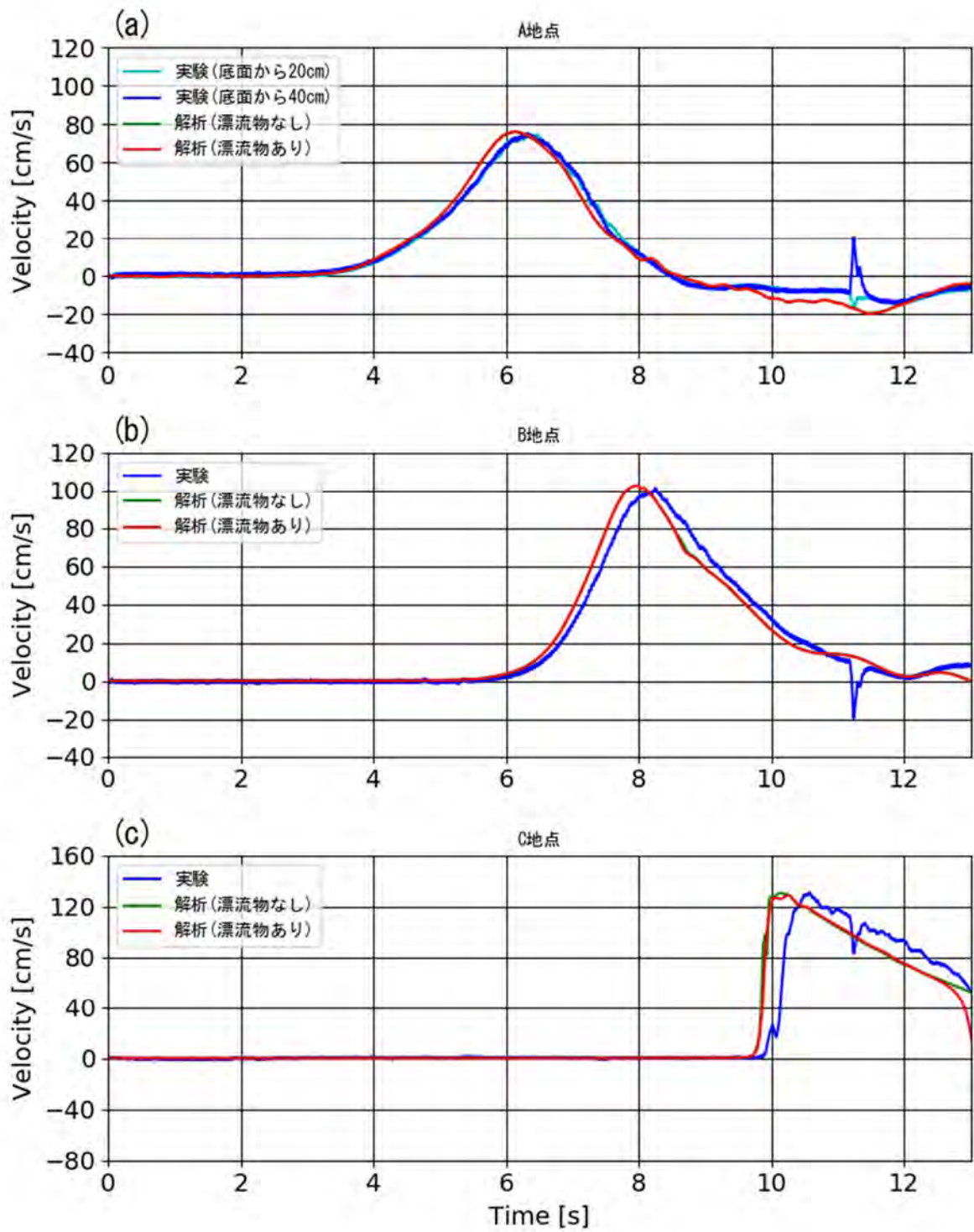


図- 9.3.3 流速時系列波形 (直立護岸, F-Wd10-0-A-05)

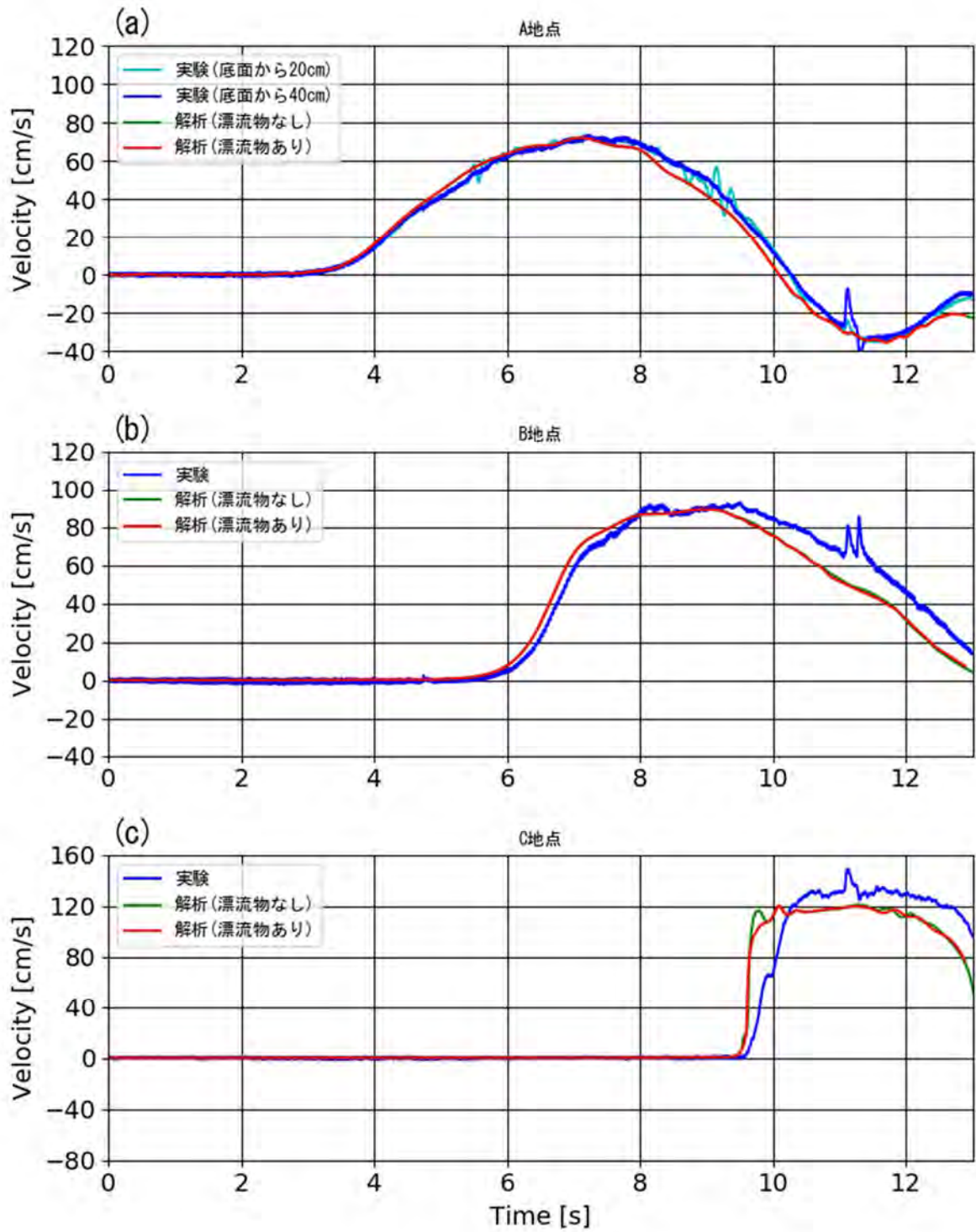


図- 9.3.3 流速時系列波形 (直立護岸, F-Wd20-0-A-05)

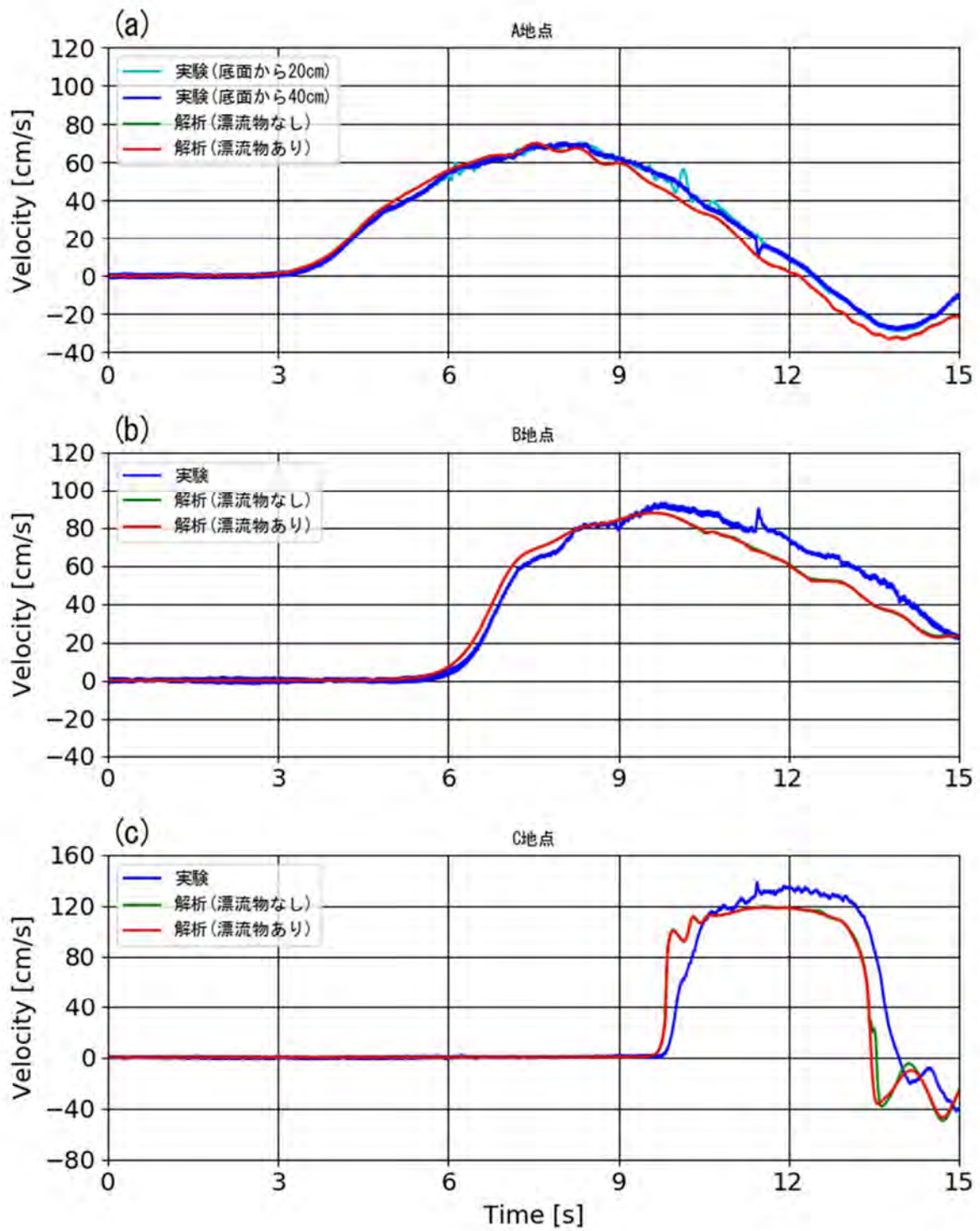


図- 9.3.3 流速時系列波形 (直立護岸, F-Wd30-0-A-05)

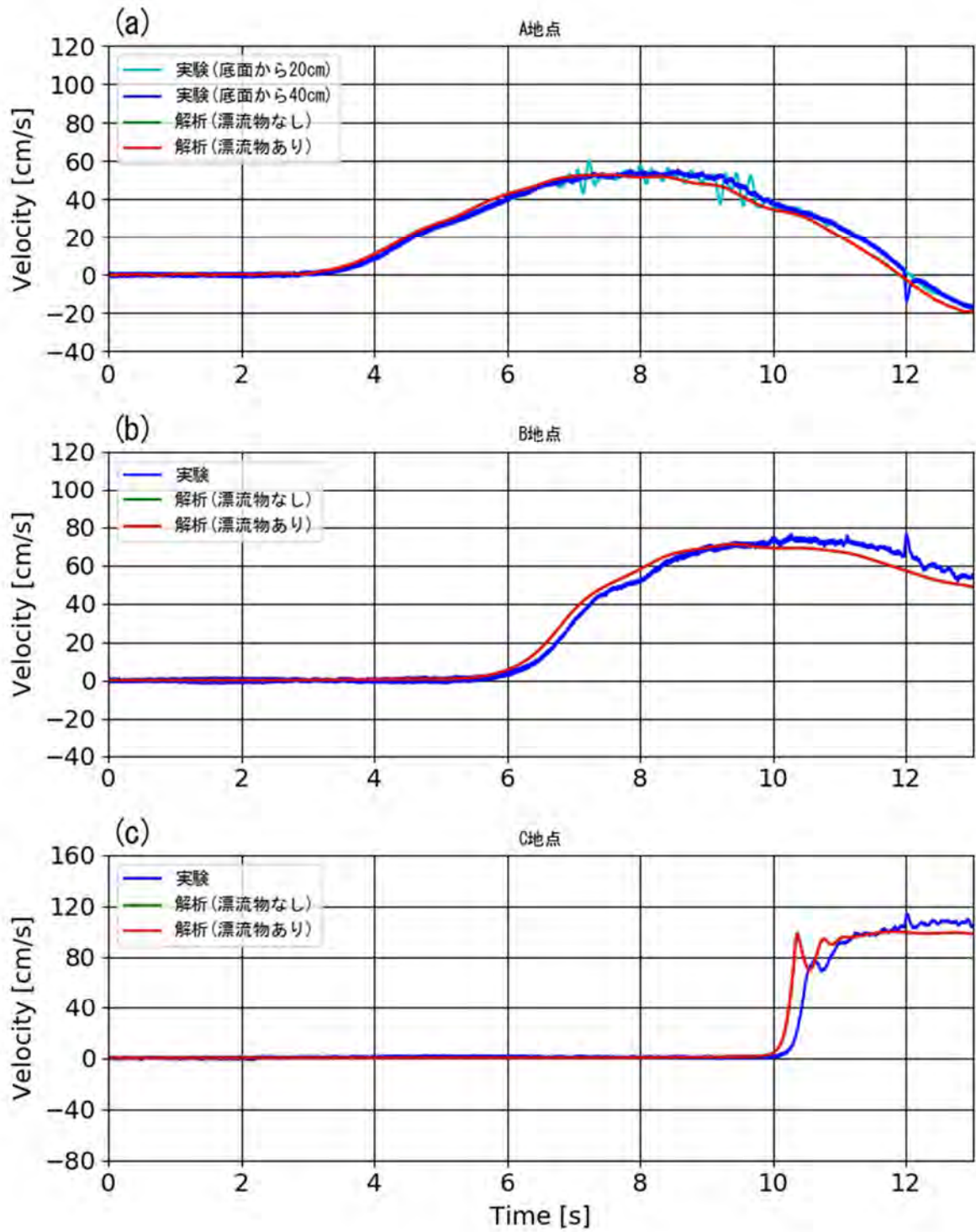


図- 9.3.3 流速時系列波形 (直立護岸, F-Wd40-0-A-05)

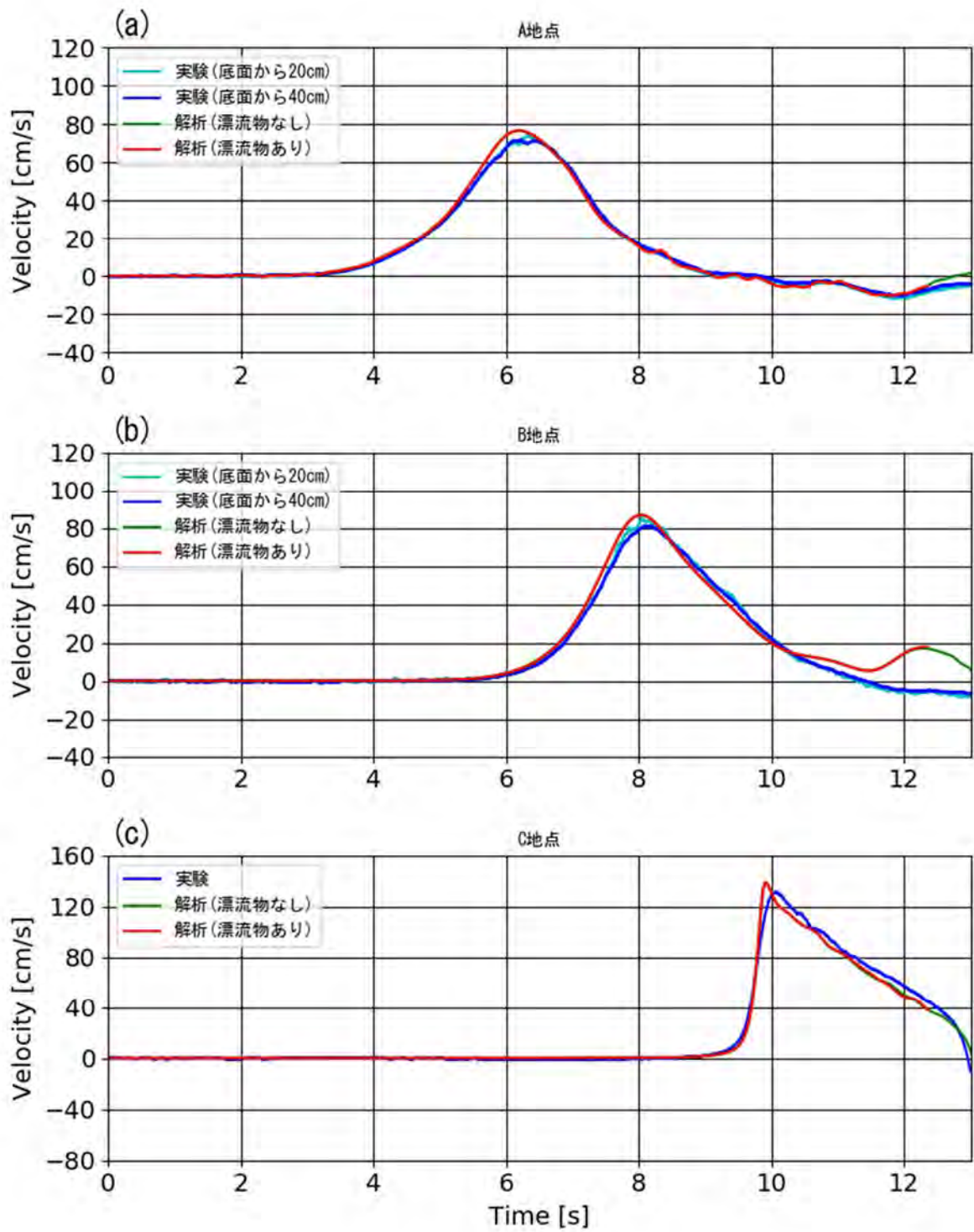


図- 9.3.4 流速時系列波形 (単純勾配, S-Wd10-0-A-05)

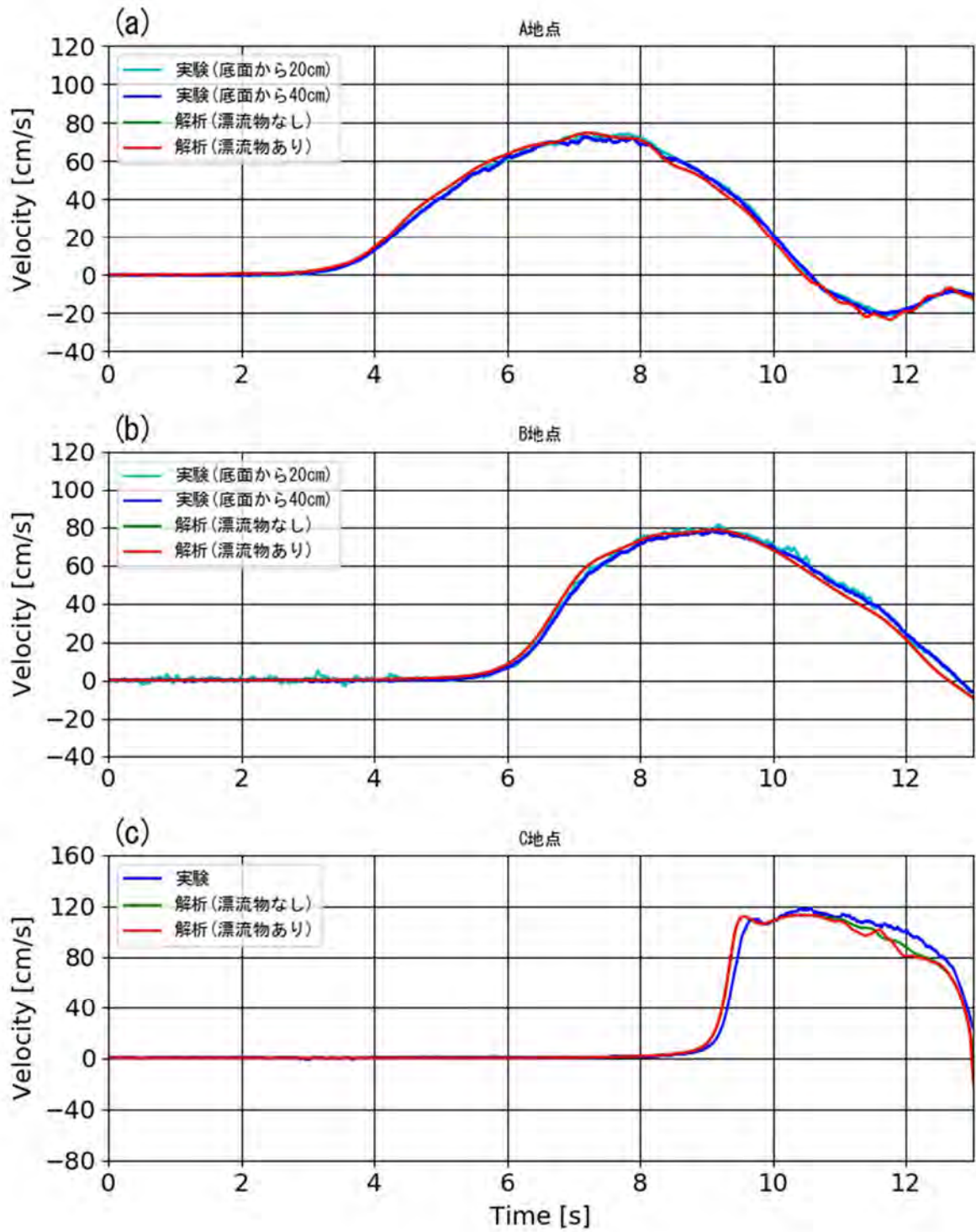


図- 9.3.4 流速時系列波形 (単純勾配, S-Wd20-0-A-05)

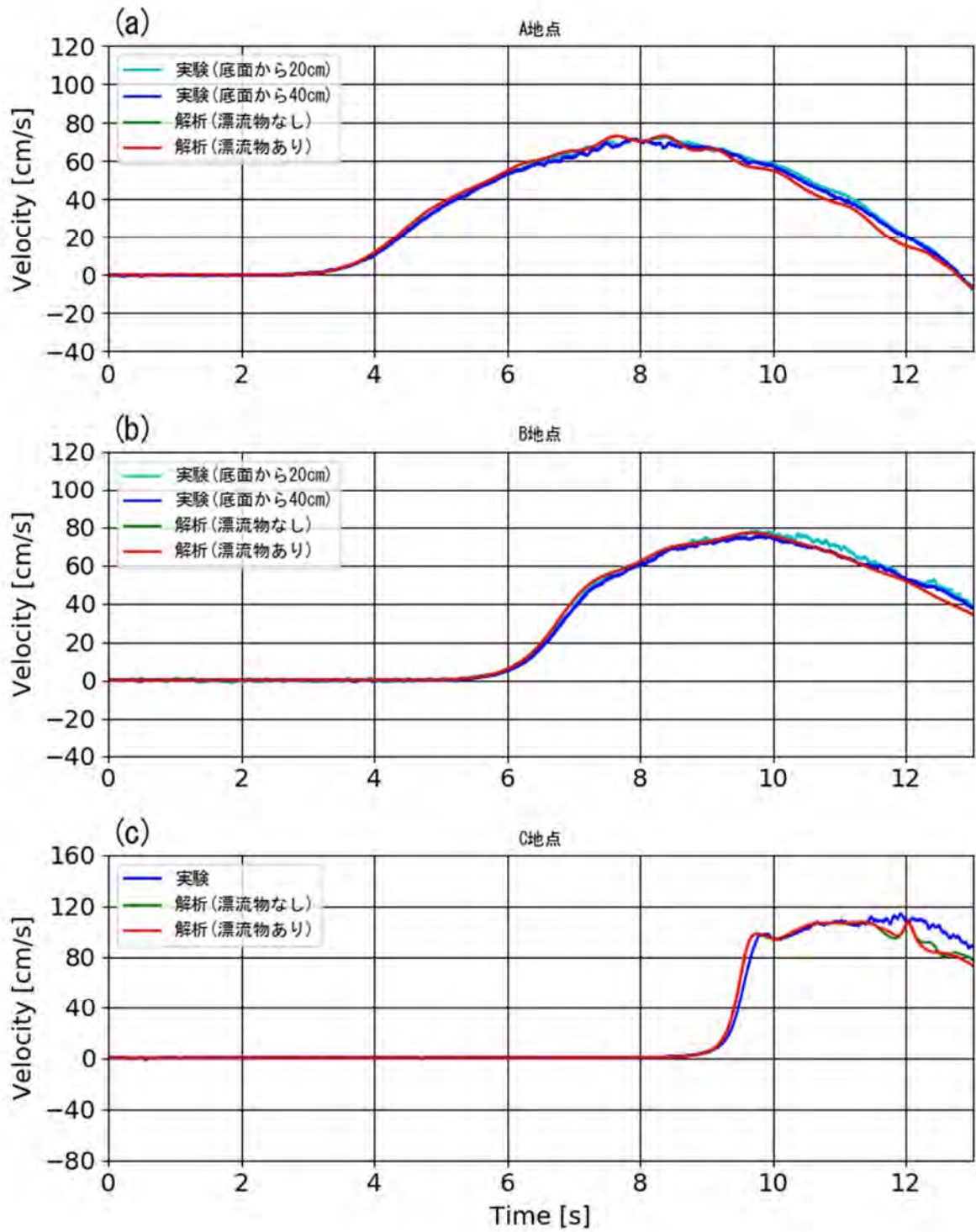


図- 9.3.4 流速時系列波形 (単純勾配, S-Wd30-0-A-05)

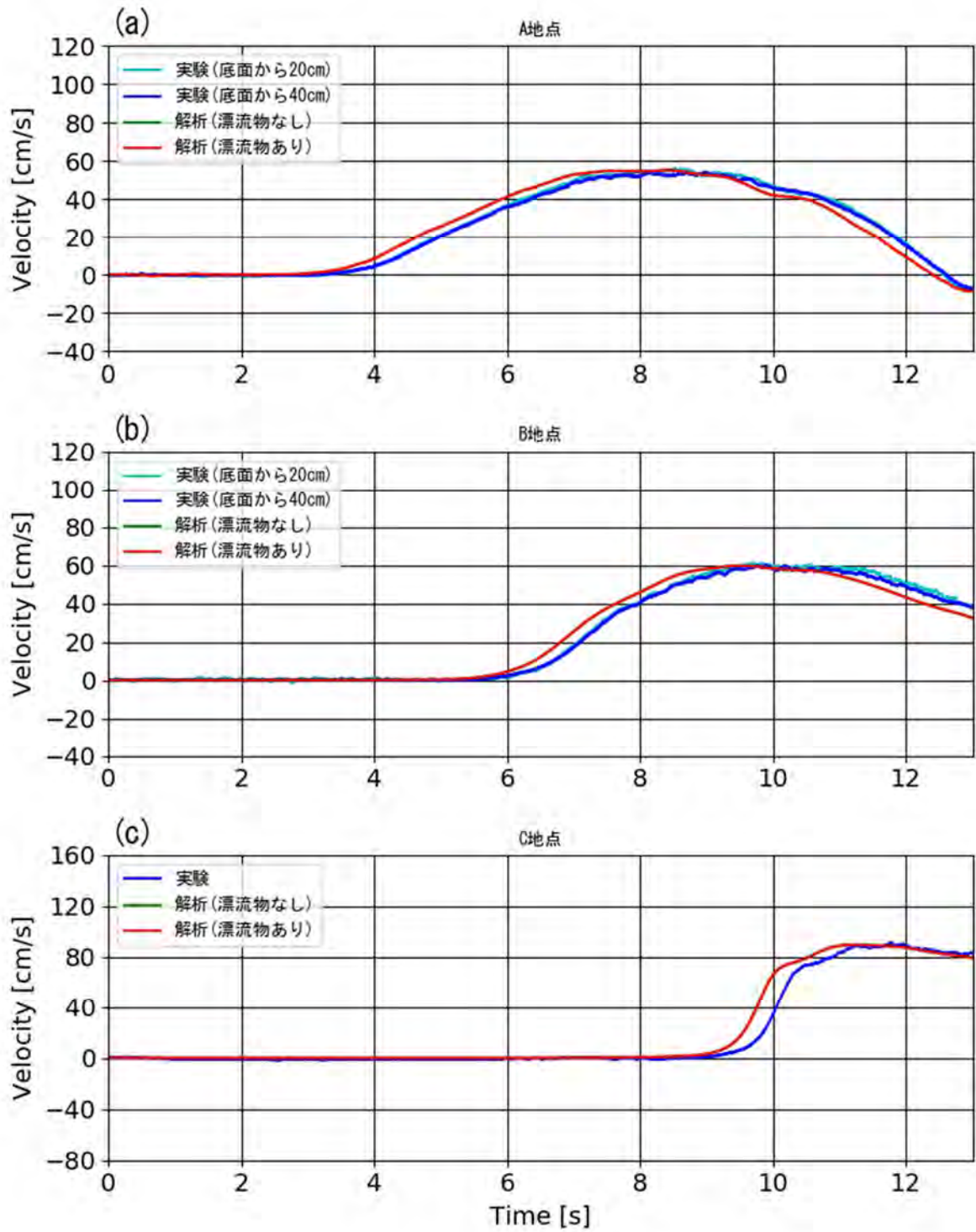


図- 9.3.4 流速時系列波形 (単純勾配, S-Wd40-0-A-05)

9.3.3. 波圧の時系列波形

図-9.3.5～図-9.3.8は、堤体前面で計測された圧力の時系列波形図をそれぞれ示した図であり、漂流物ありの解析結果を赤線、漂流物なしの解析結果を緑線とし、試験結果を青線で示す。p1～p7は、堤体下部から p1:2.5cm, p2:7.5cm, p3:12.5cm, p4:17.5cm, p5:22.5cm, p7:32.5cm, の各地点の圧力を示している。なお、試験データとの比較は、直立護岸のケースのみとなり、水理試験では漂流物の衝突しない位置で圧力を計測しているため、比較の対象は漂流物なしの解析となる。また前述したように、漂流物 TypeC においては堤体位置に波が到達する前に計算が発散してしまうため、漂流物なしの結果のみを示している。

例えば、図-9.3.5の F-Wd20-0-A-05 では、11.5s 付近において、漂流物ありとなしで 35kPa 程度の明らかな違いが表れている。図中には、差異が明らかに現れているケースに破線で丸印を付けた。この差異が、漂流物の衝突によるものと考えられる。ただし、水理試験の結果で示したひずみゲージの時系列変動と比較すると、衝突の影響の継続時間が長く、短周期の変動が表れない。これは、数値シミュレーションでは、堤体や漂流物を剛体として考えているためであり、構造物同士の衝突による反発の影響が考慮出来ないためである。

構造物を剛体と考える場合、ひずみは生じないことになる。流体と構造物の衝突を考えた場合、流体の動きに対してひずみの速度は非常に速く、変位量は非常に小さいため、流体の動きや、流体と構造物の間に働く圧力への影響はほとんどないと考えられる。一方で、構造物同士の衝突によって働く力を考える場合、剛性等により固有周期などの動的現象が大きく影響される。本手法によれば、後述するように漂流物の衝突可能性等の定性的な特徴は再現すること可能と考えられるが、漂流物の衝突力を定量的に評価するには、動的な構造解析が可能な解析モデルを取り込む必要がある。

漂流物が堤体に近接していない状態では、漂流物の有無による違いはほとんどないと考えられるが、漂流物のありとなしの結果を比較すると、上述の衝突の影響以外にも多少の相違が生じている。要因としては、漂流物に対する解析領域の水路幅の影響が考えられ、水路幅が十分に大きくないために、津波の挙動に対して漂流物の存在の影響が表れていると考えられる。ただし、その差は作用圧力の大きさに比較するとわずかである。実際の津波評価への適用の際には、解析領域を広げることにより増大する計算時間の増加と要求される解析精度を比較して領域を設定する必要がある。

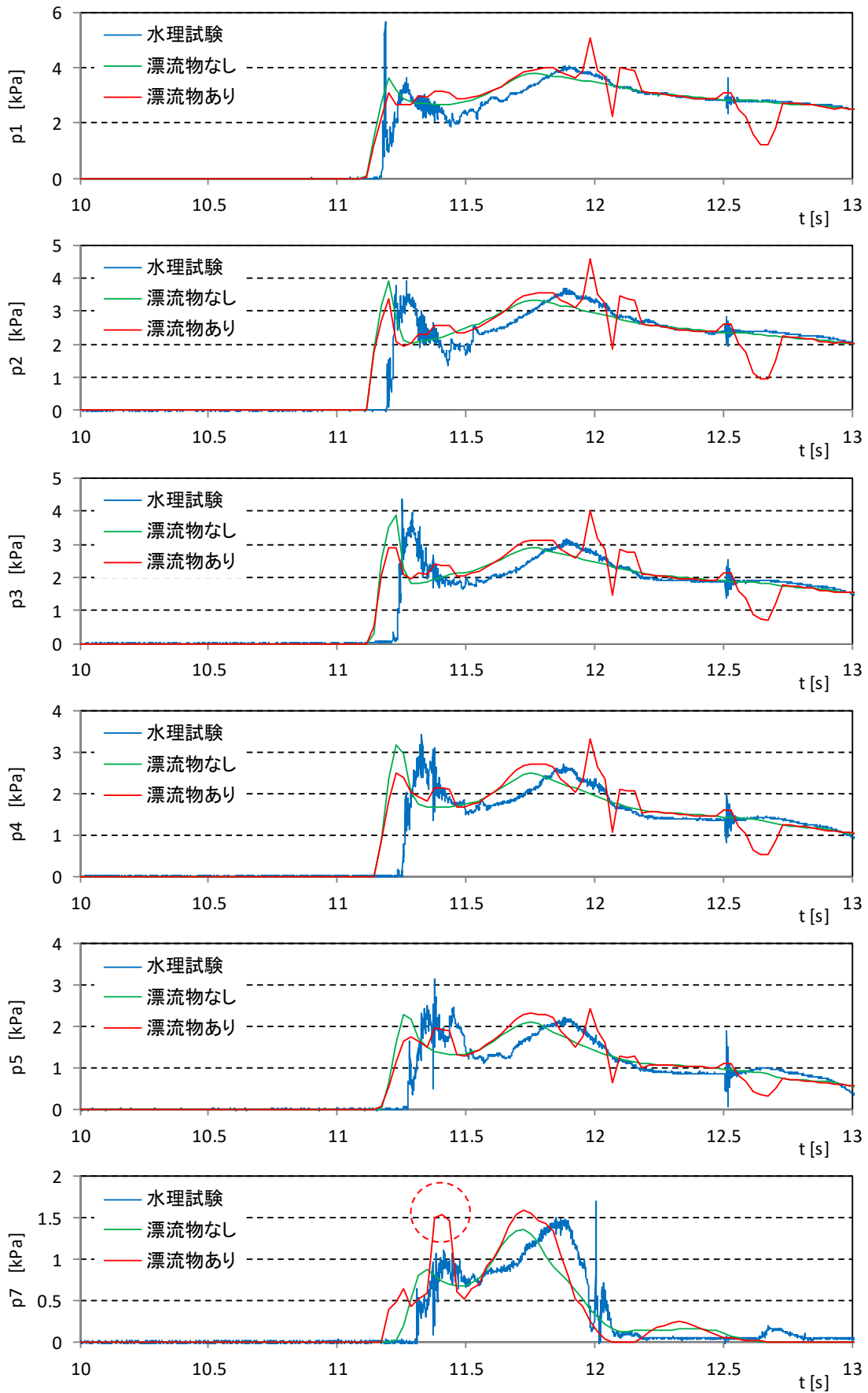


図- 9.3.5 波圧時系列波形（直立護岸，堤体位置 0m，漂流物 A-0.5m，F-Wd10-0-A-05）

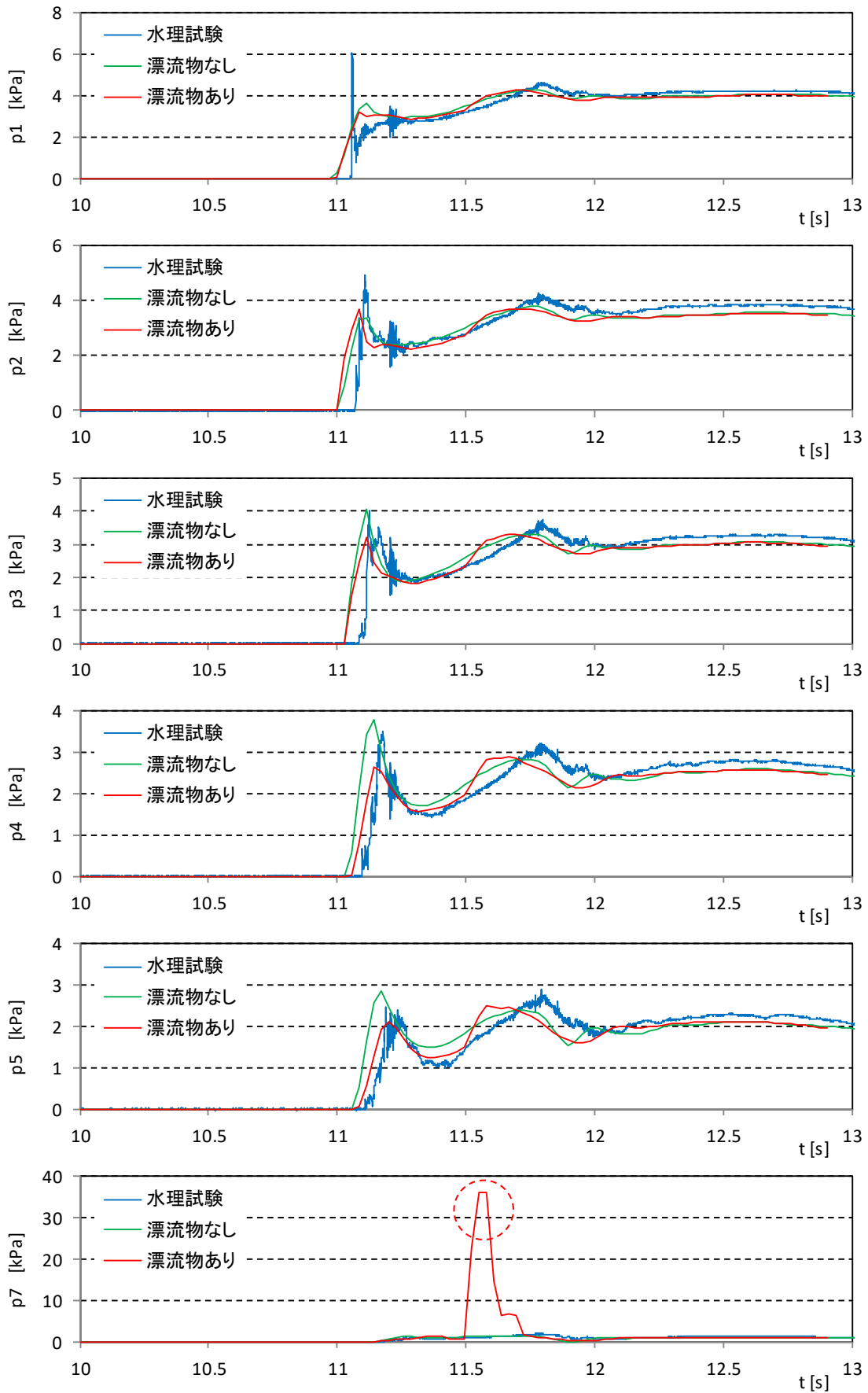


図- 9.3.5 波圧時系列波形（直立護岸，堤体位置 0m，漂流物 A-0.5m，F-Wd20-0-A-05）

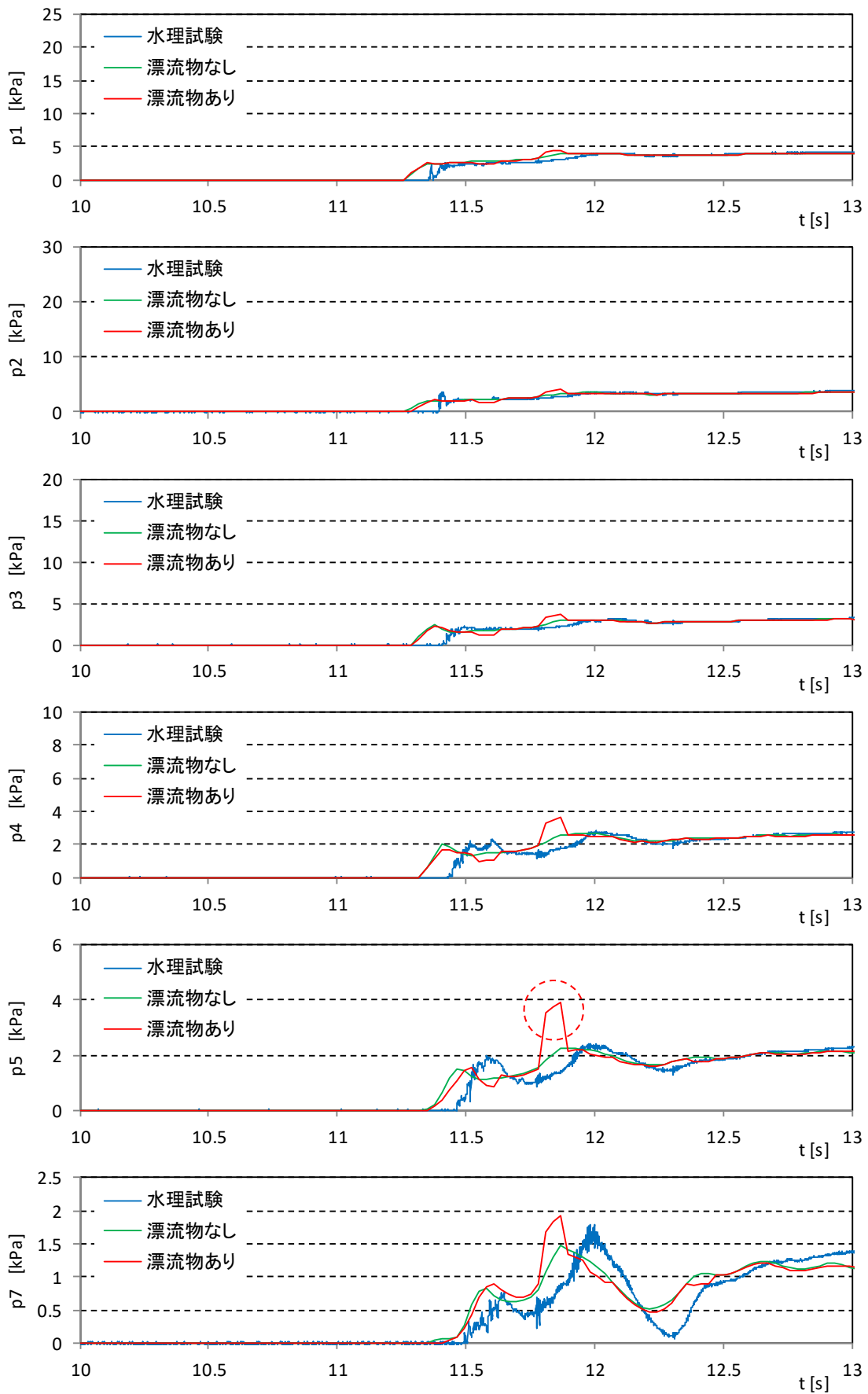


図- 9.3.5 波圧時系列波形 (直立護岸, 堤体位置 0m, 漂流物 A-0.5m, F-Wd30-0-A-05)

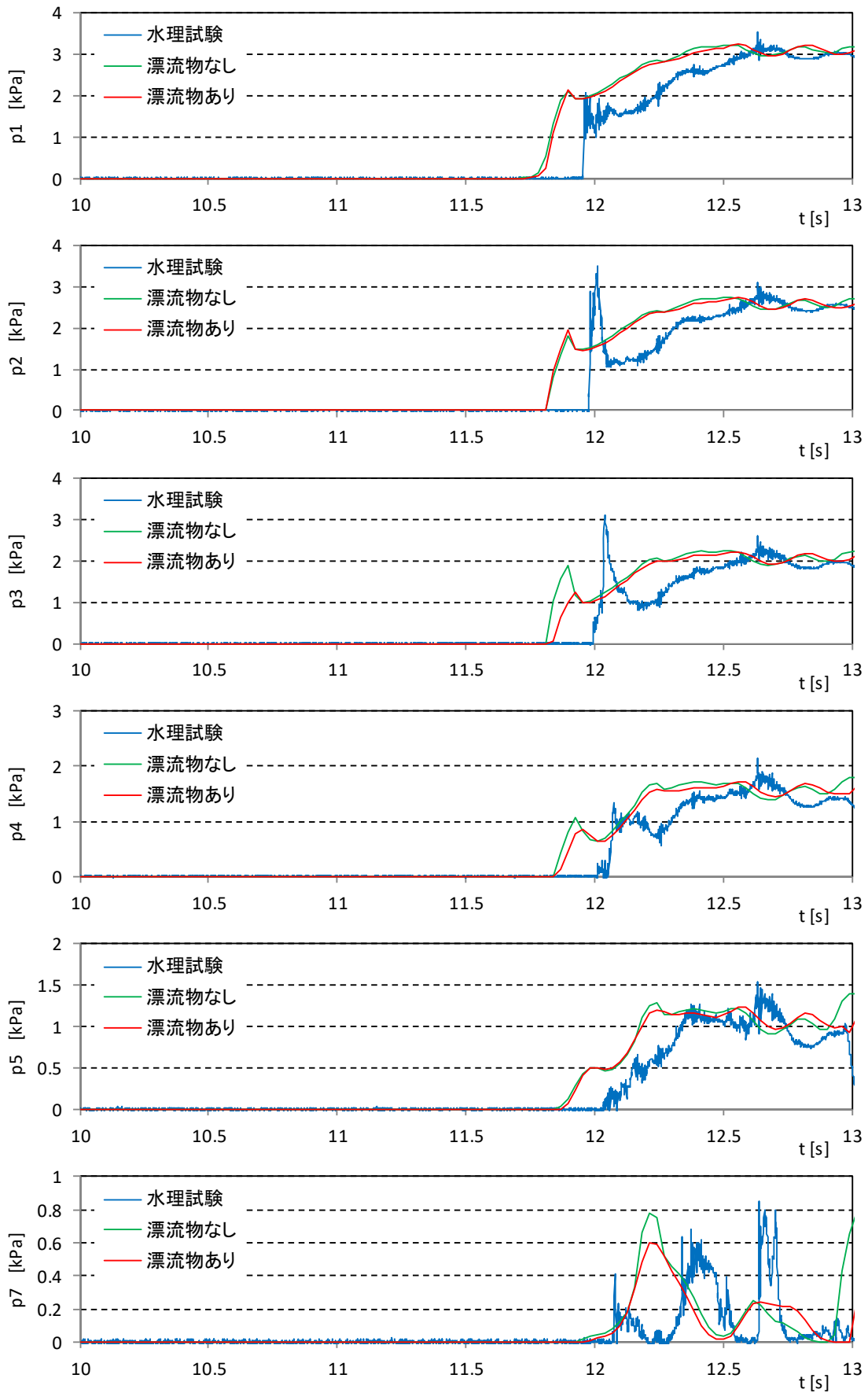


図- 9.3.5 波圧時系列波形 (直立護岸, 堤体位置 0m, 漂流物 A-0.5m, F-Wd40-0-A-05)

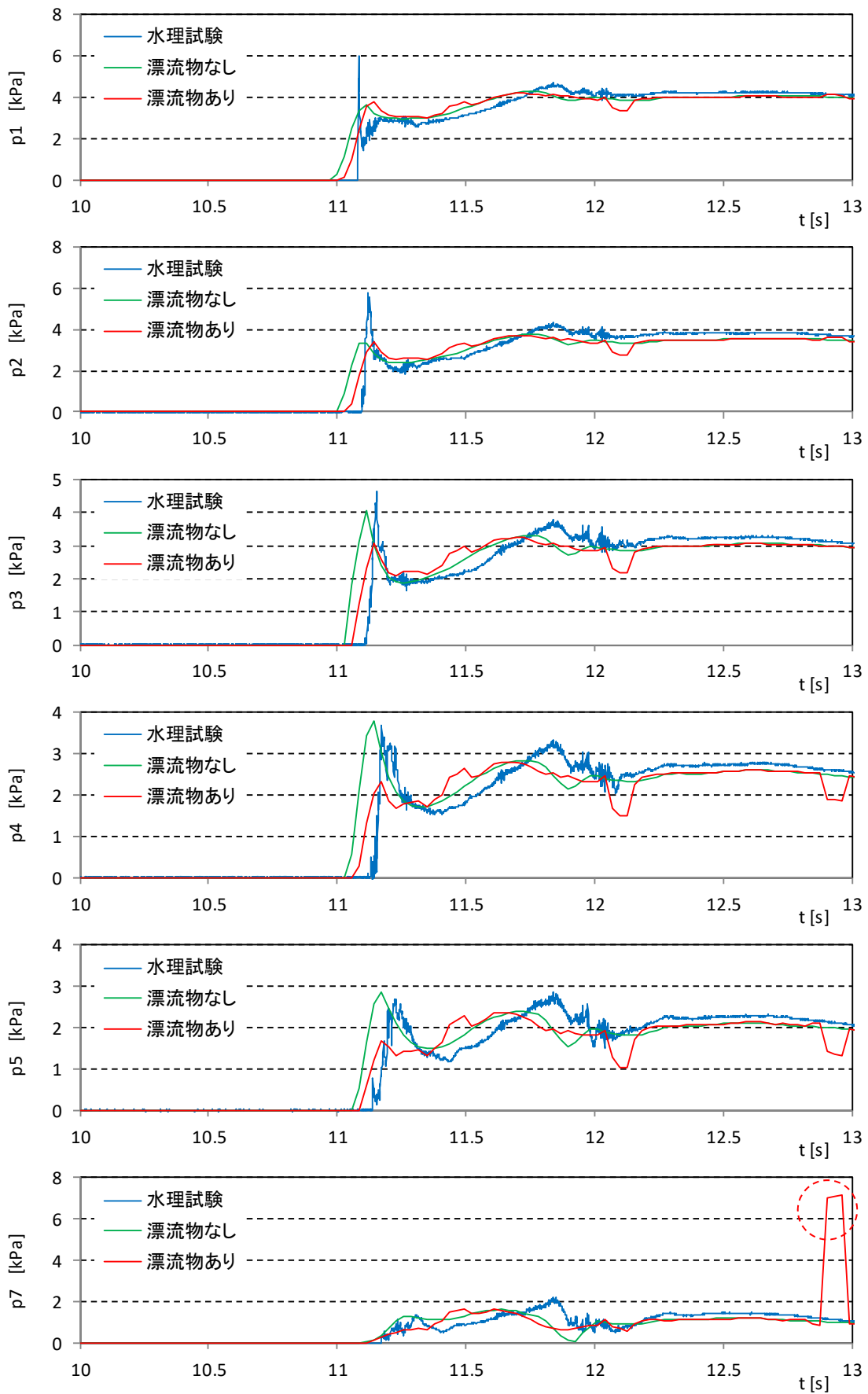


図- 9.3.5 波圧時系列波形 (直立護岸, 堤体位置 0m, 漂流物 A-1.0m, F-Wd20-0-A-10)

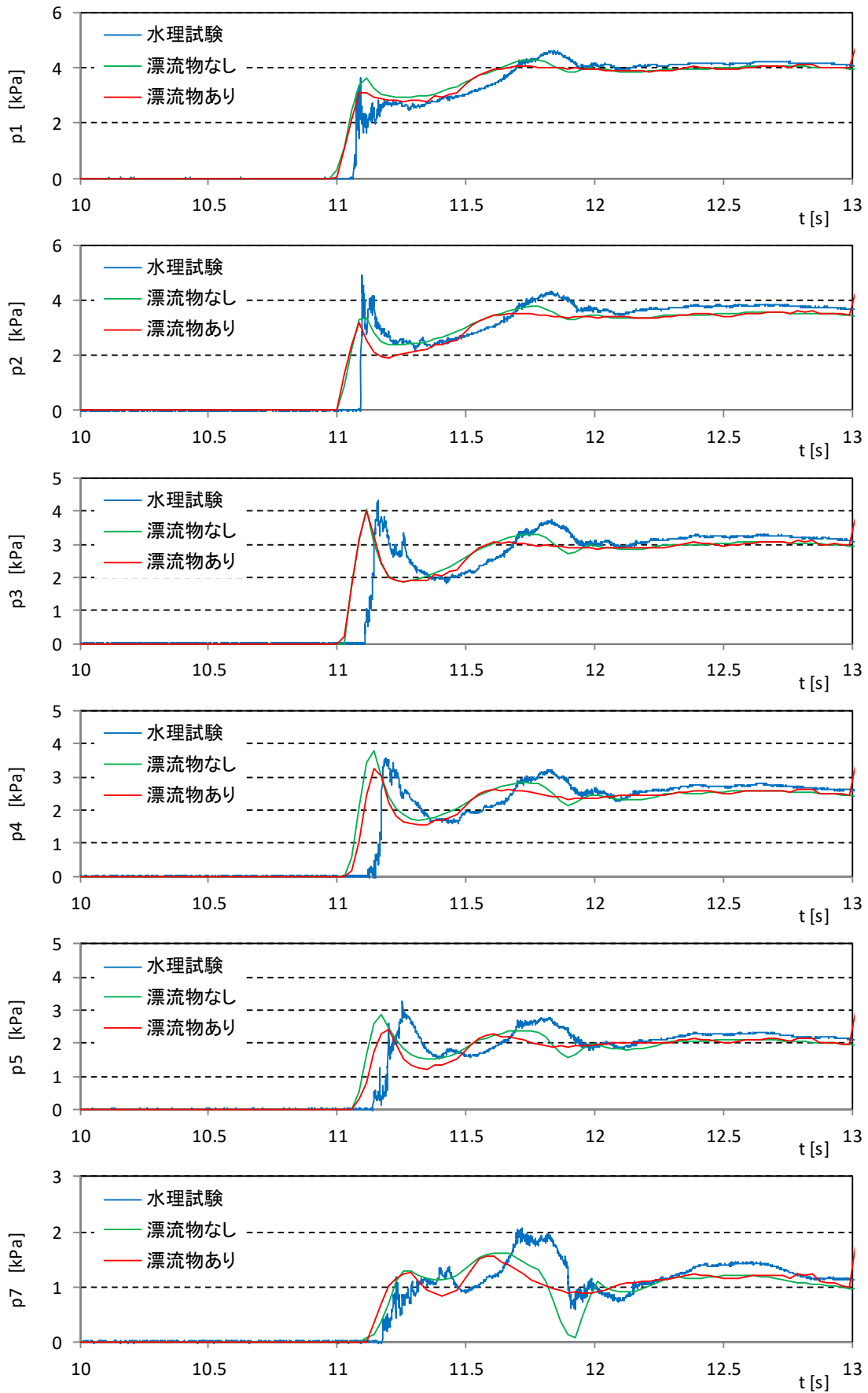


図- 9.3.5 波圧時系列波形（直立護岸，堤体位置 0m，漂流物 A-2.0m，F-Wd20-0-A-20）

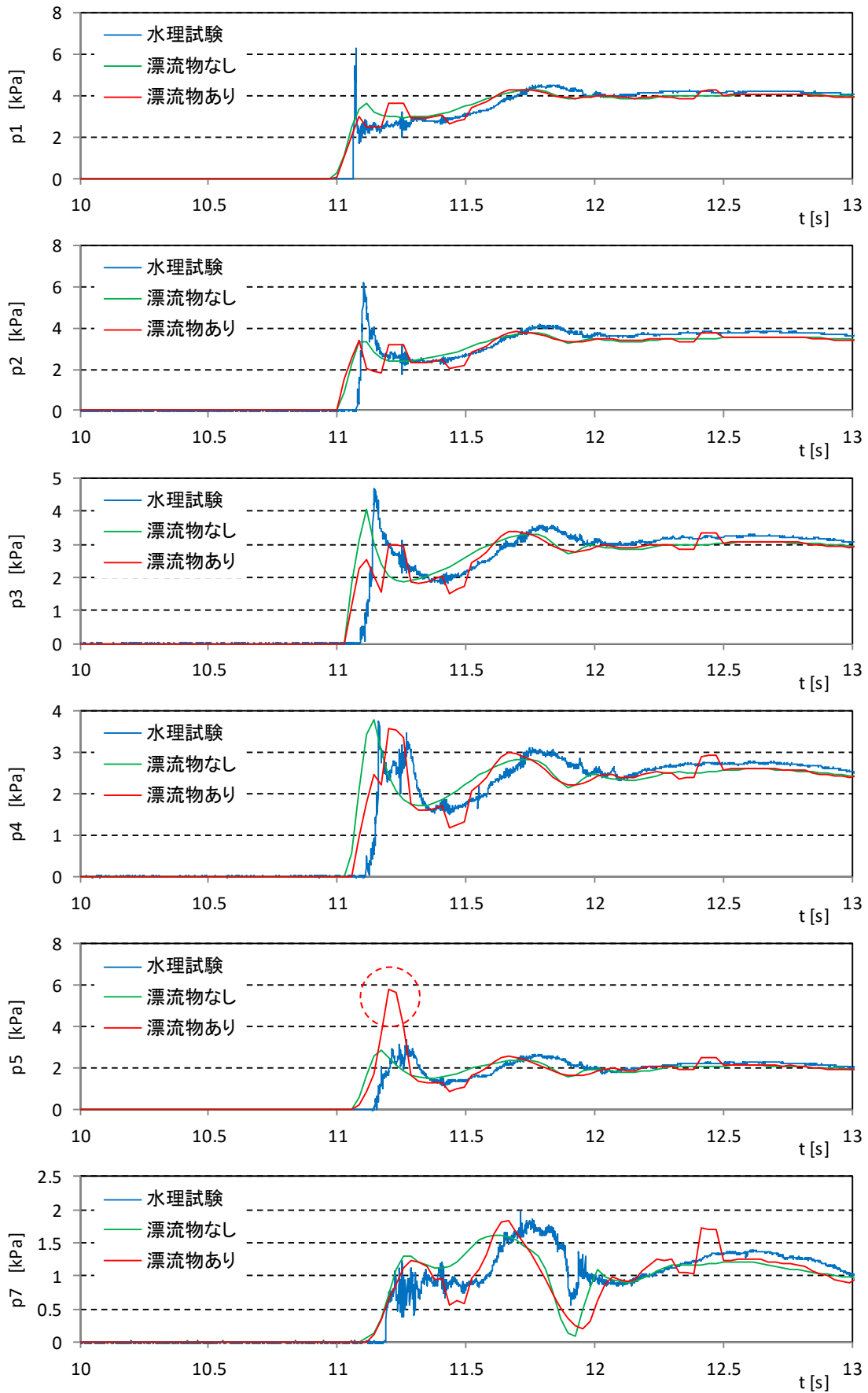


図- 9.3.5 波圧時系列波形 (直立護岸, 堤体位置 0m, 漂流物 B-0.5m, F-Wd20-0-B-05)

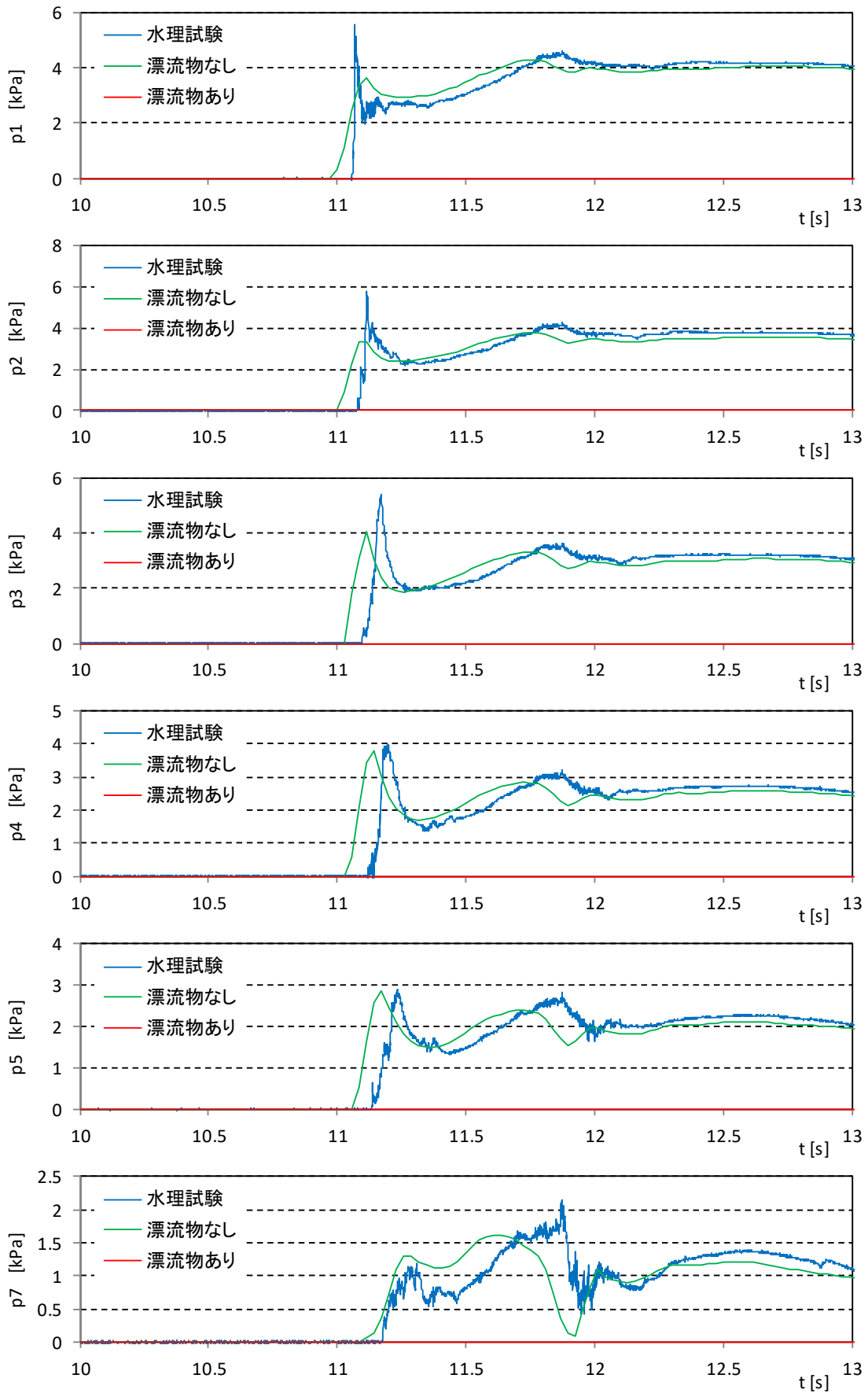


図- 9.3.5 波圧時系列波形（直立護岸，堤体位置 0m，漂流物 C-0.5m，F-Wd20-0-C-05）

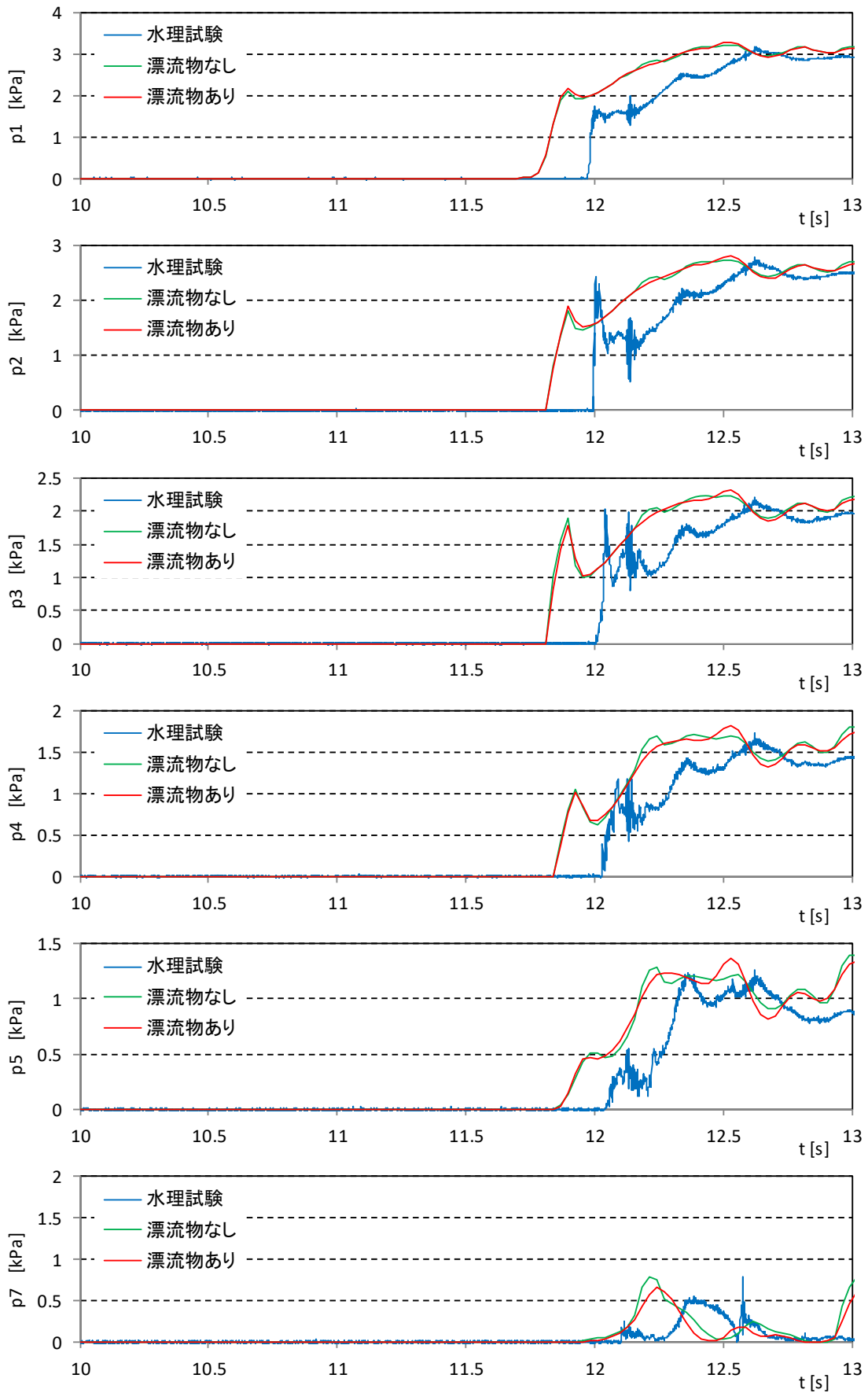


図- 9.3.5 波圧時系列波形 (直立護岸, 堤体位置 0m, 漂流物 B-0.5m, F-Wd40-0-B-05)

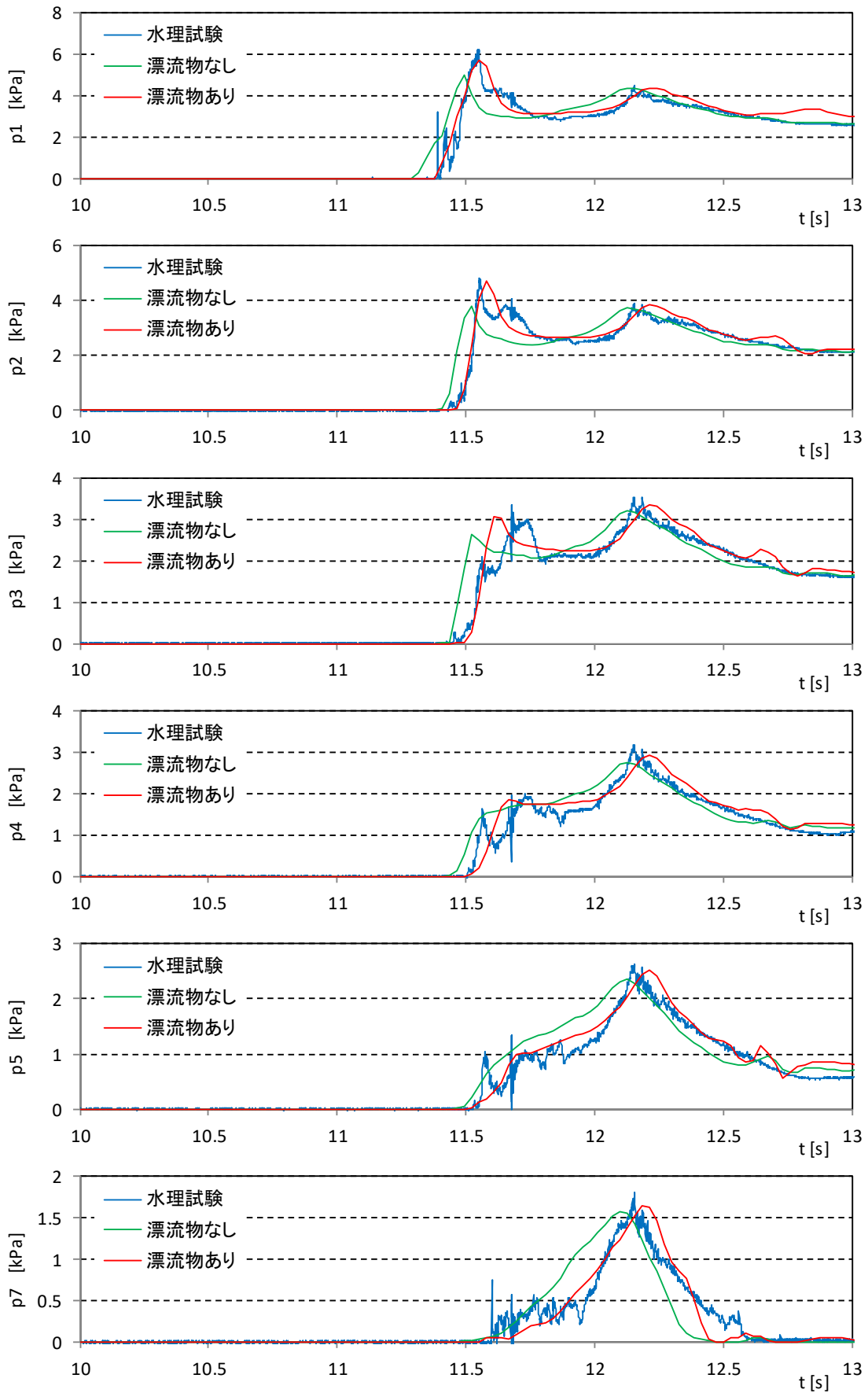


図-9.3.6 波圧時系列波形（直立護岸，堤体位置 0.625m，漂流物 A-0.5m，F-Wd10-1-A-05）

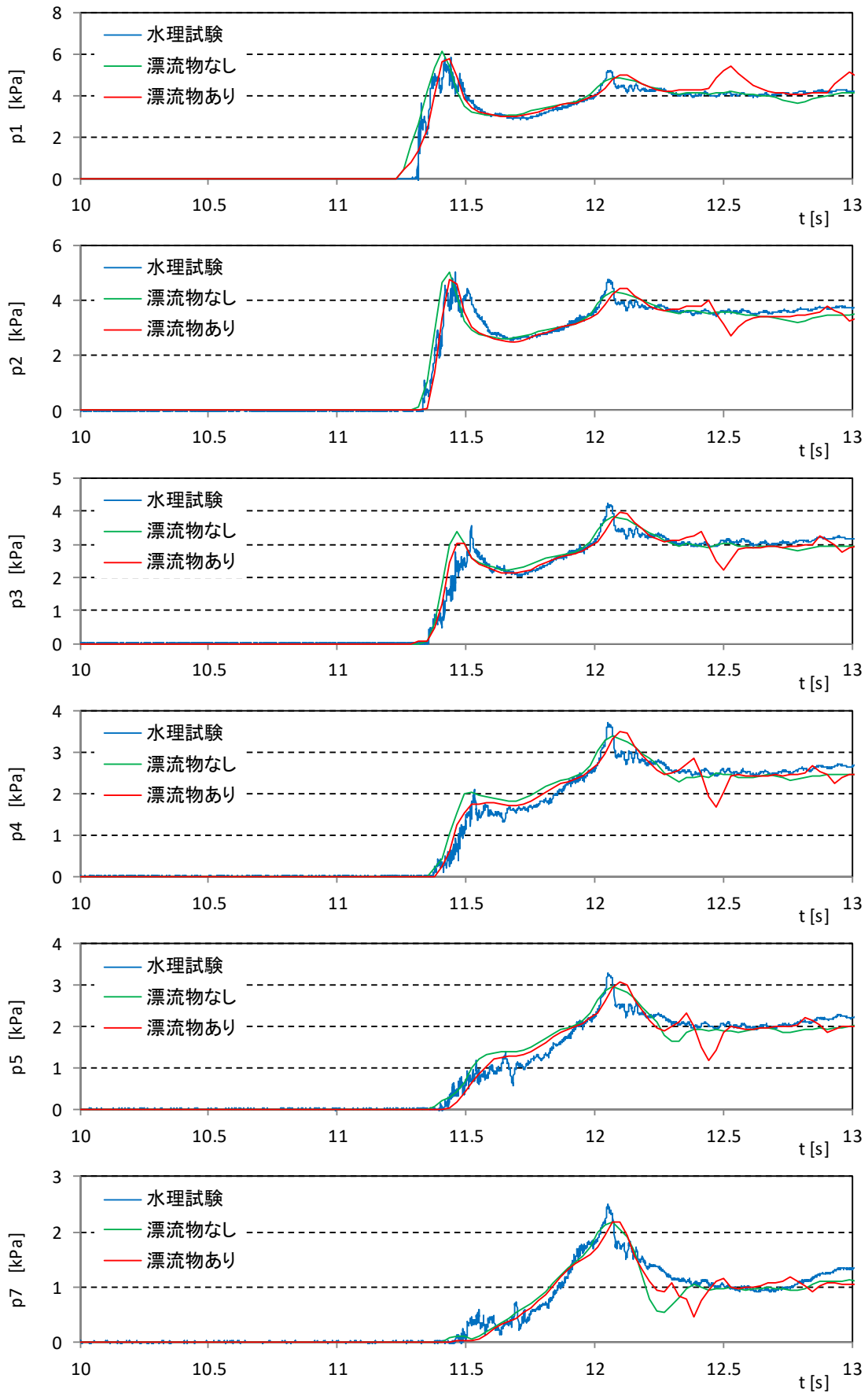


図-9.3.6 波圧時系列波形（直立護岸，堤体位置 0.625m，漂流物 A-0.5m，F-Wd20-1-A-05）

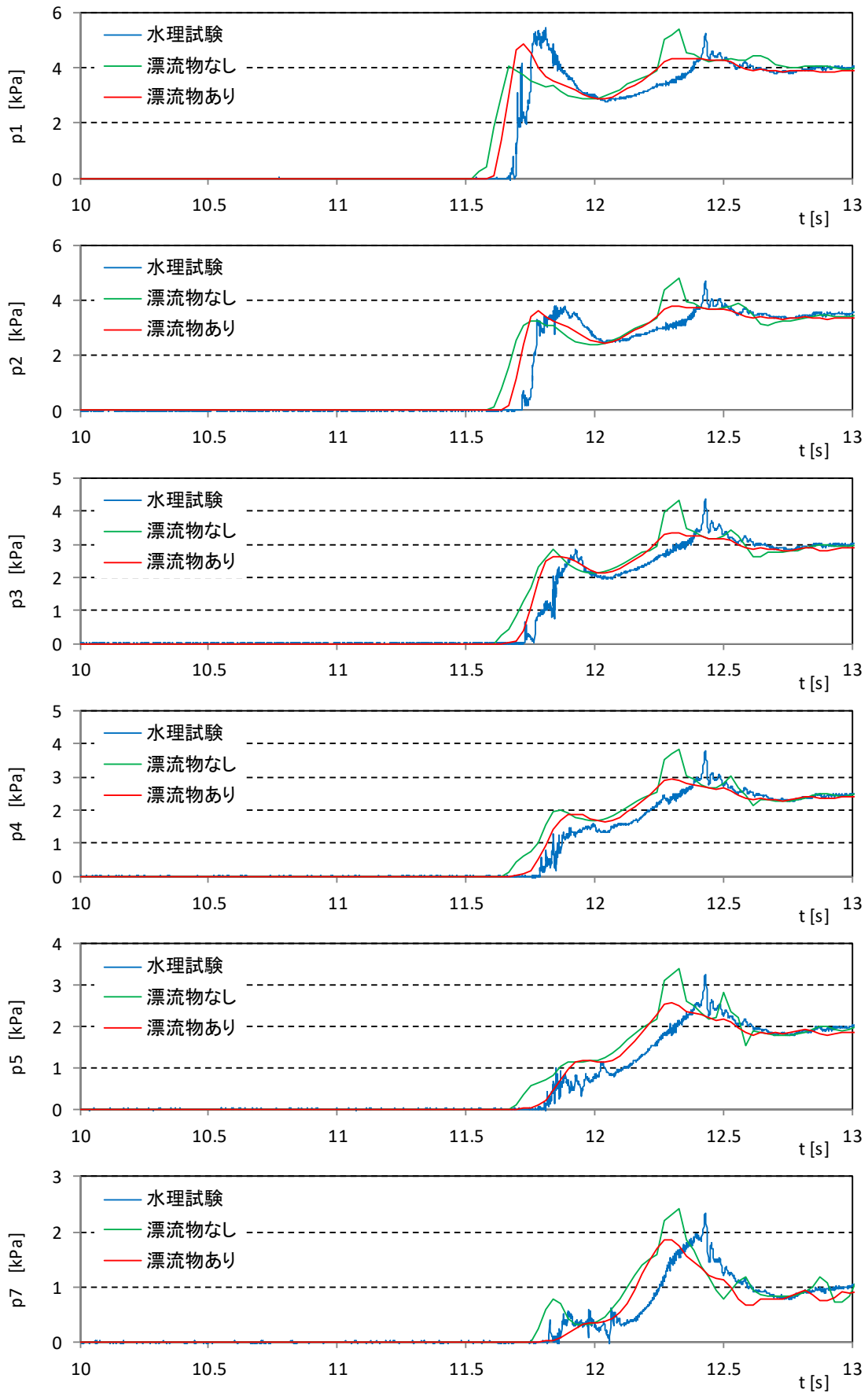


図-9.3.6 波圧時系列波形（直立護岸，堤体位置 0.625m，漂流物 A-0.5m，F-Wd30-1-A-05）

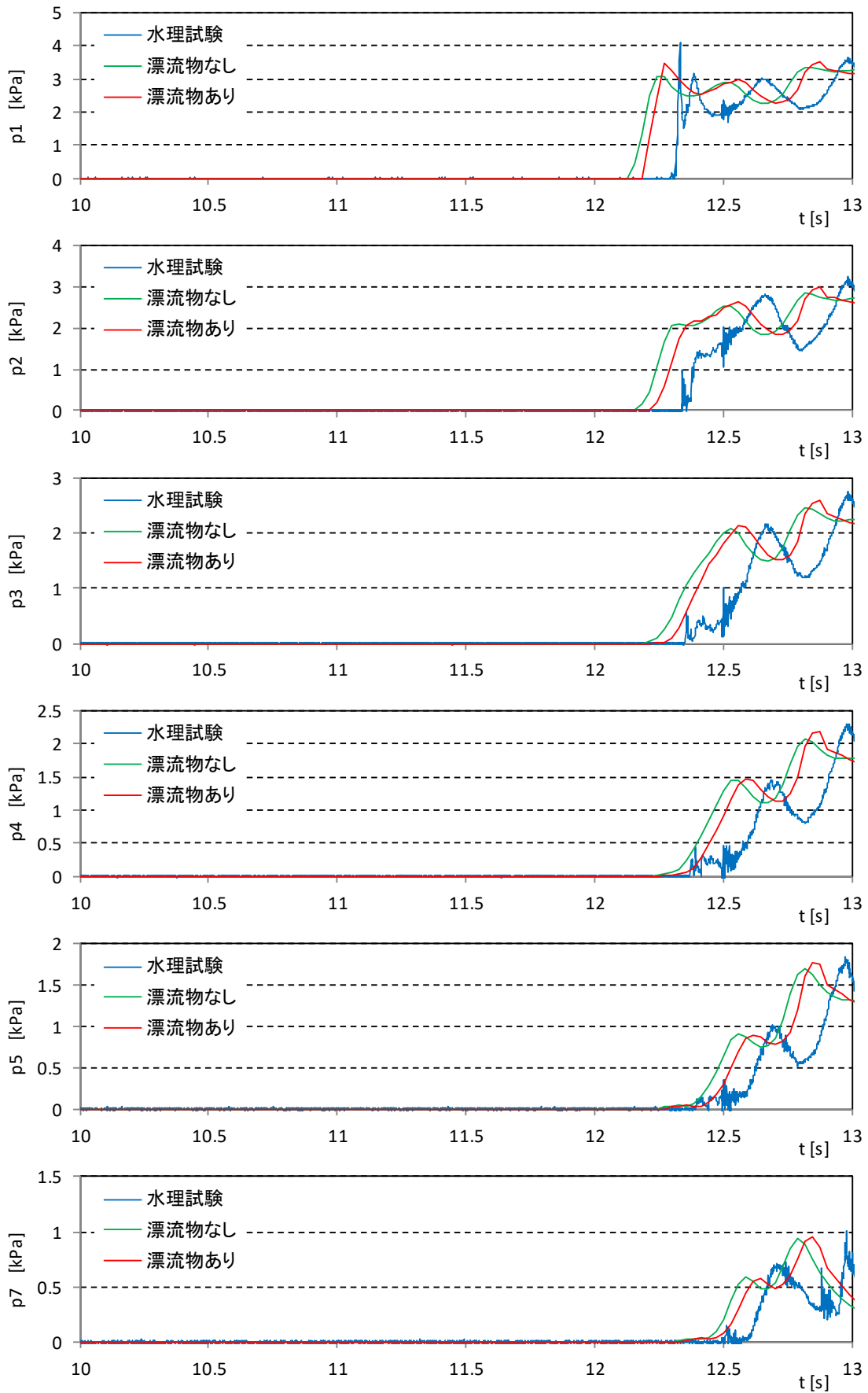


図-9.3.6 波圧時系列波形（直立護岸，堤体位置 0.625m，漂流物 A-0.5m，F-Wd40-1-A-05）

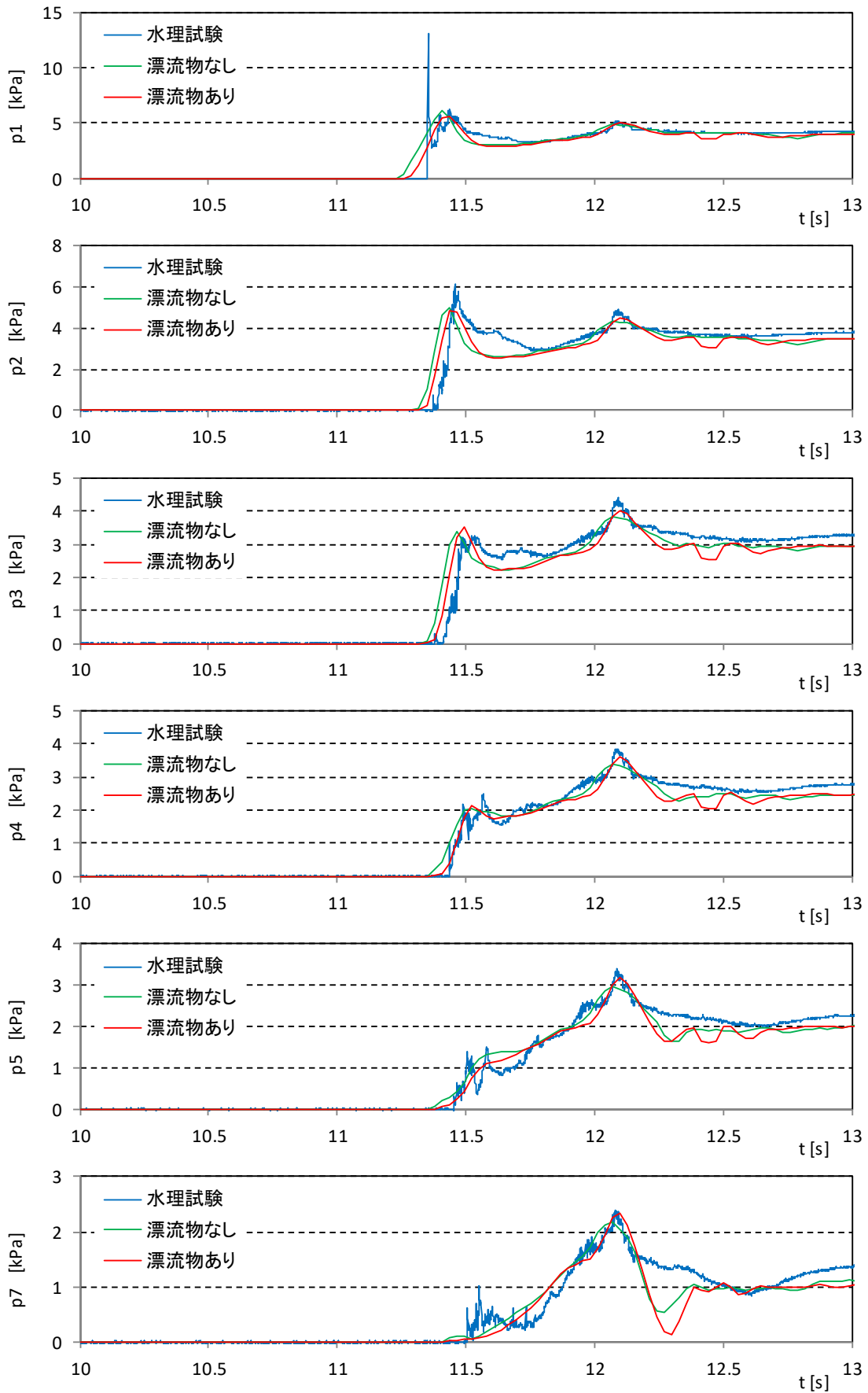


図-9.3.6 波圧時系列波形（直立護岸，堤体位置 0.625m，漂流物 A-1.0m，F-Wd20-1-A-10）

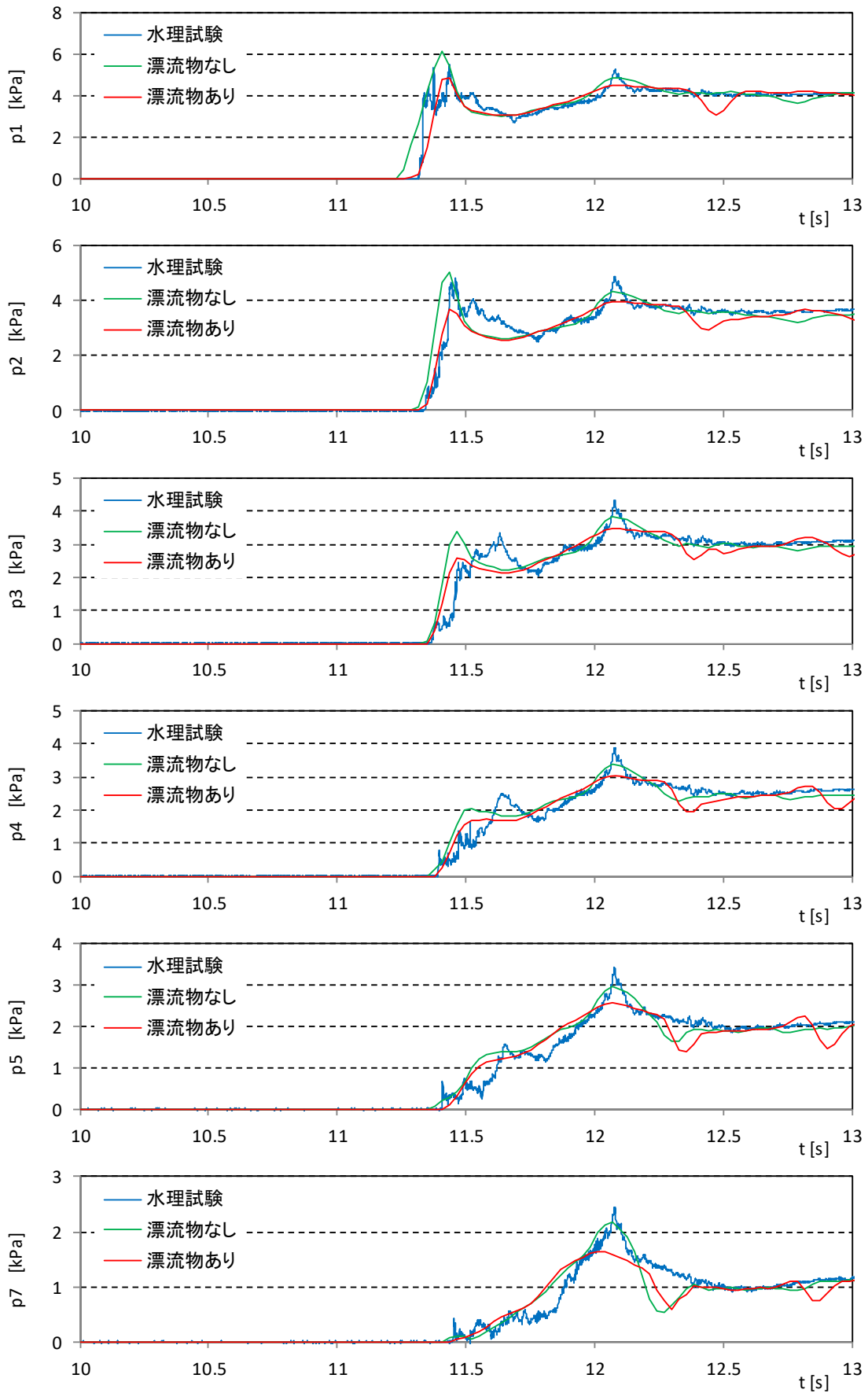


図- 9.3.6 波圧時系列波形 (直立護岸, 堤体位置 0.625m, 漂流物 A-2.0m, F-Wd20-1-A-20)

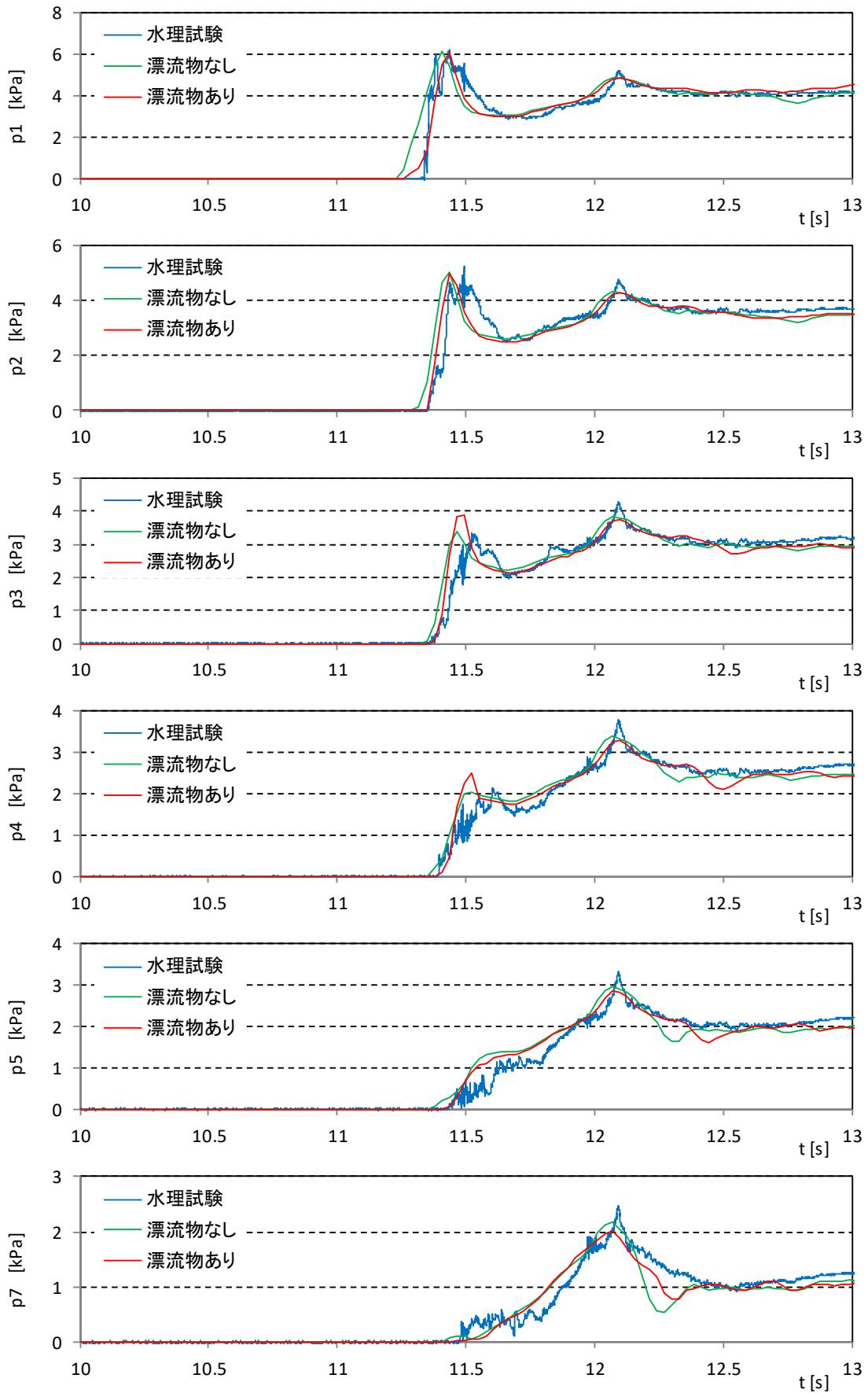


図-9.3.6 波圧時系列波形（直立護岸，堤体位置 0.625m，漂流物 B-0.5m，F-Wd20-1-B-05）

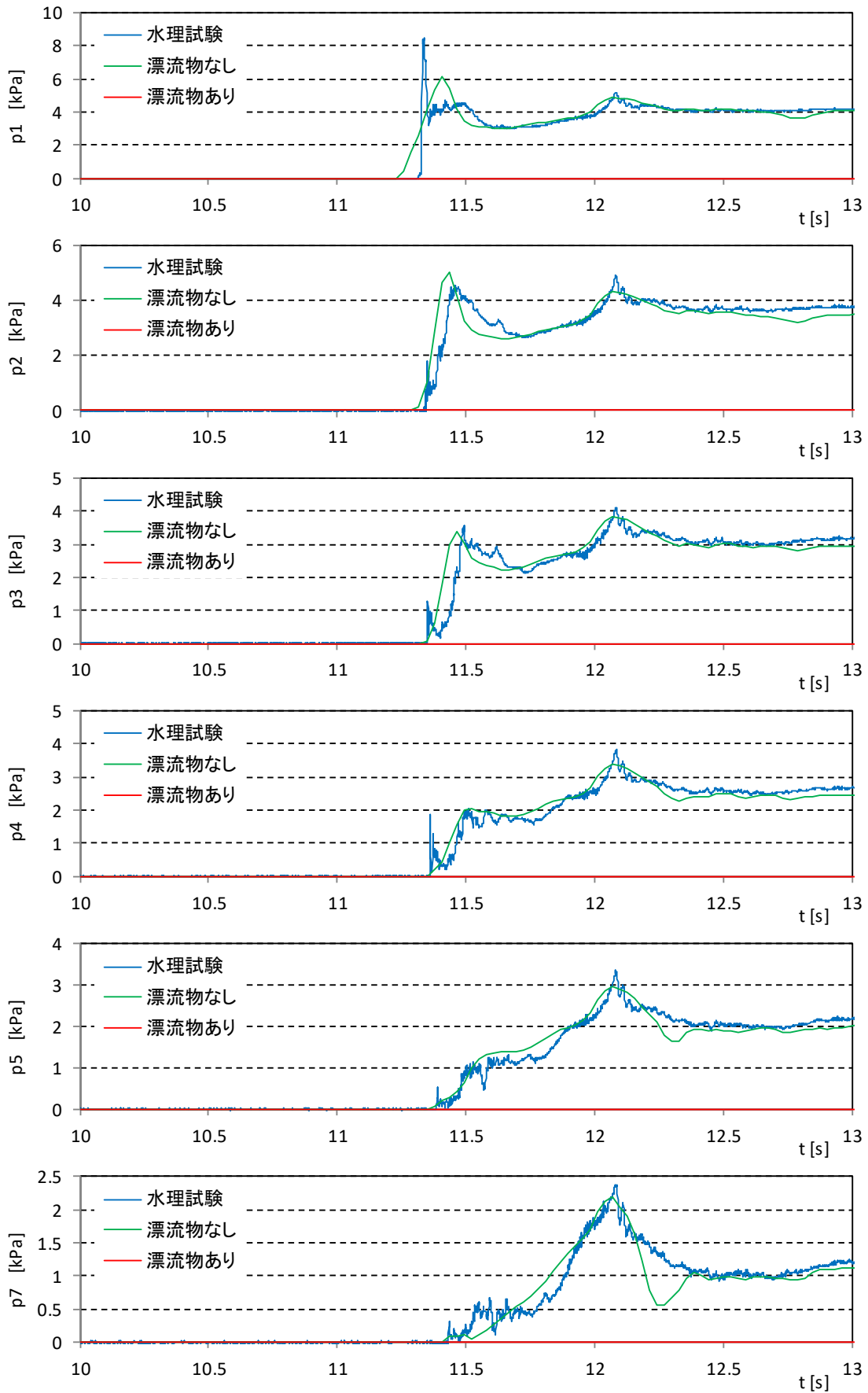


図-9.3.6 波圧時系列波形（直立護岸，堤体位置 0.625m，漂流物 C-0.5m，F-Wd20-1-C-05）

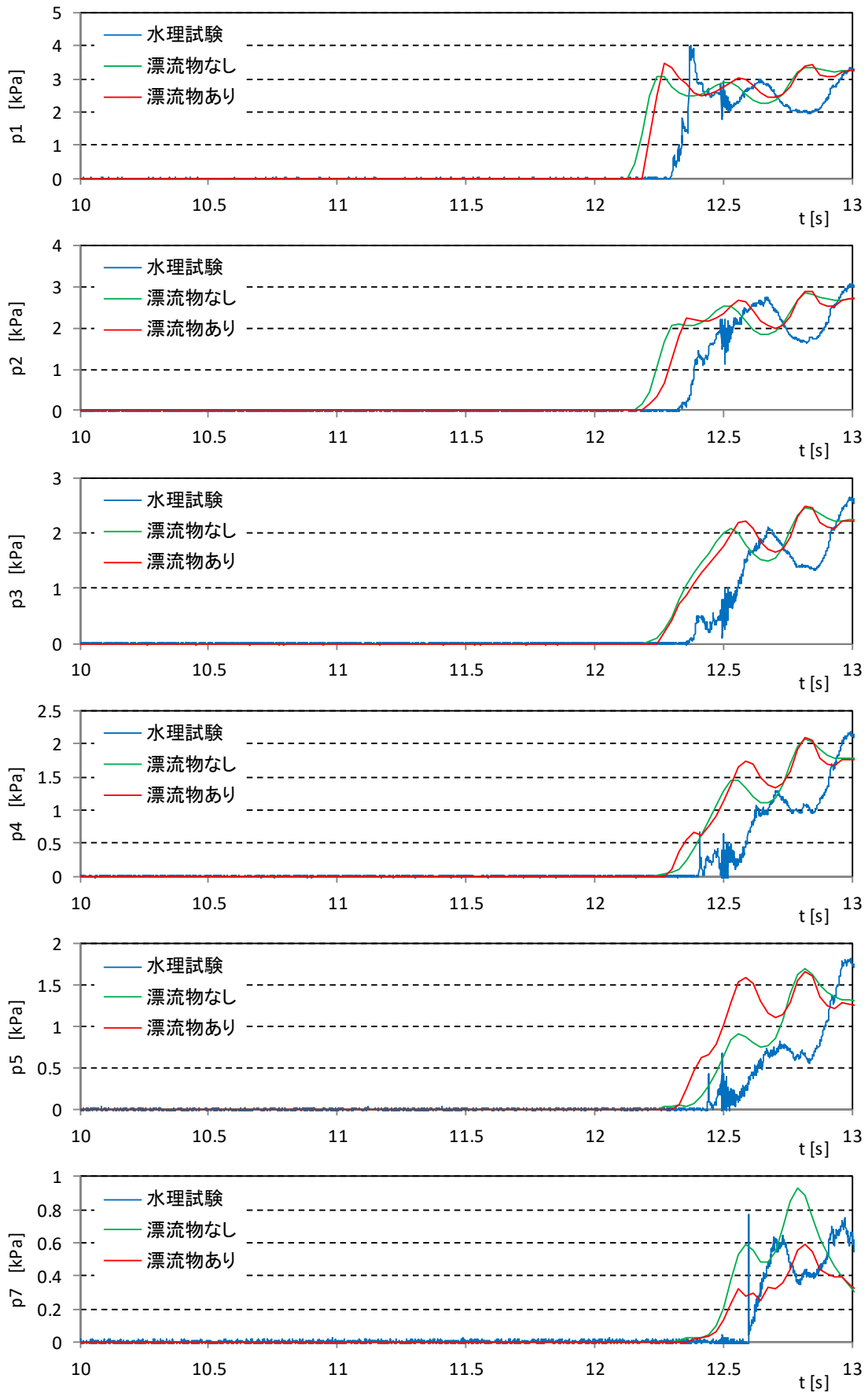


図-9.3.6 波圧時系列波形（直立護岸，堤体位置 0.625m，漂流物 B-0.5m，F-Wd40-1-B-05）

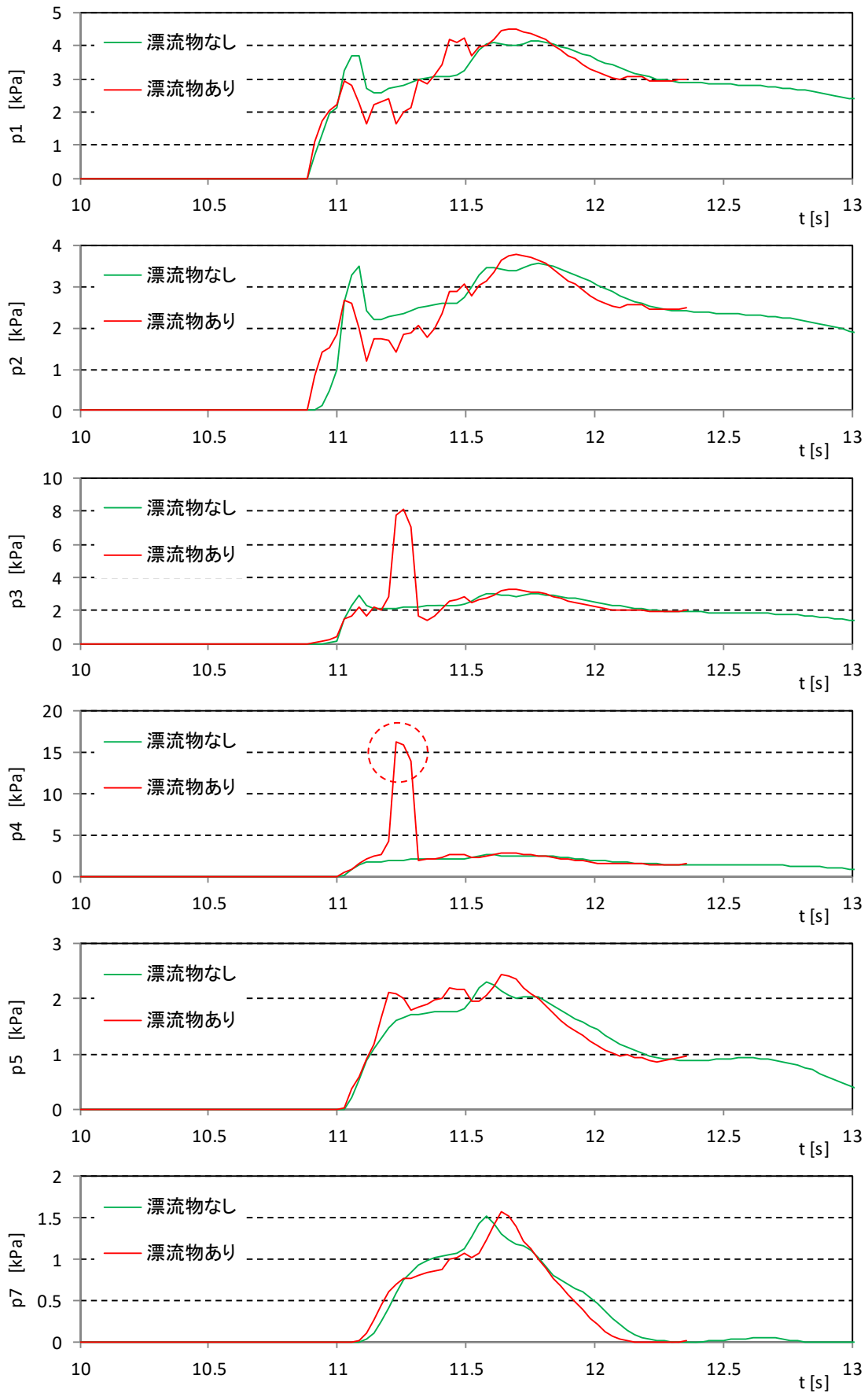


図- 9.3.7 波圧時系列波形 (単純勾配, 堤体位置 0m, 漂流物 A-0.5m, S-Wd10-0-A-05)

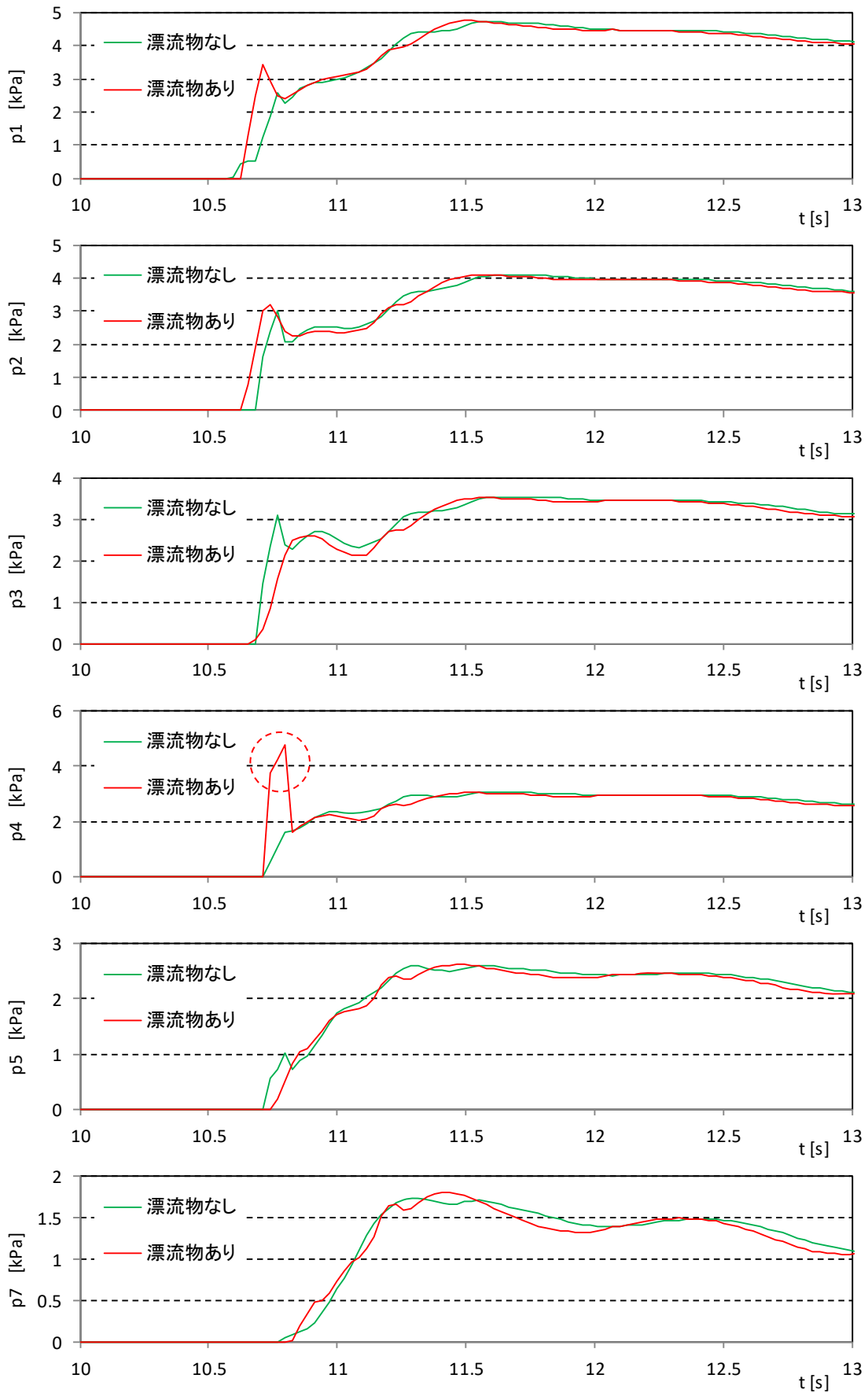


図- 9.3.7 波圧時系列波形 (単純勾配, 堤体位置 0m, 漂流物 A-0.5m, S-Wd20-0-A-05)

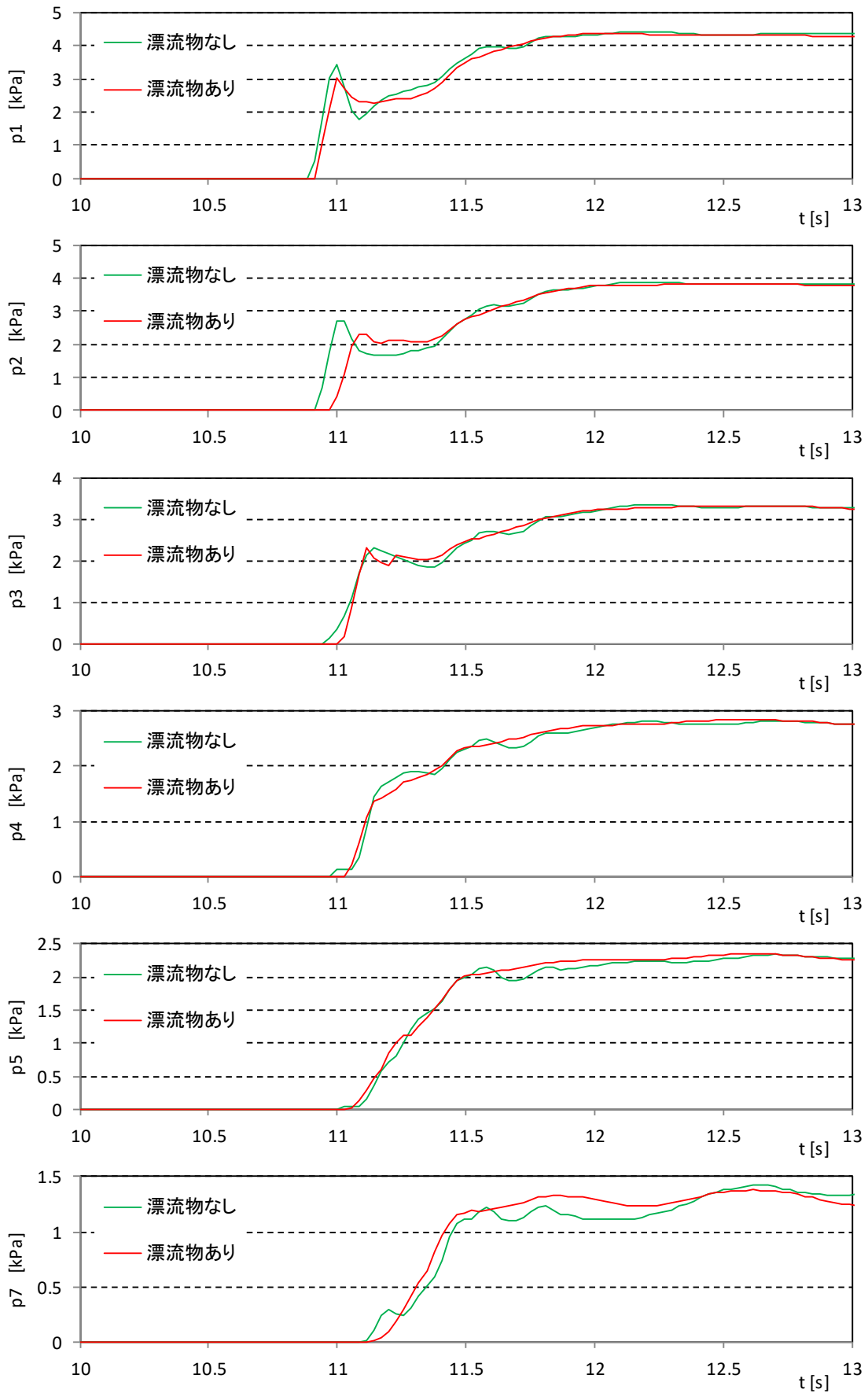


図- 9.3.7 波圧時系列波形 (単純勾配, 堤体位置 0m, 漂流物 A-0.5m, S-Wd30-0-A-05)

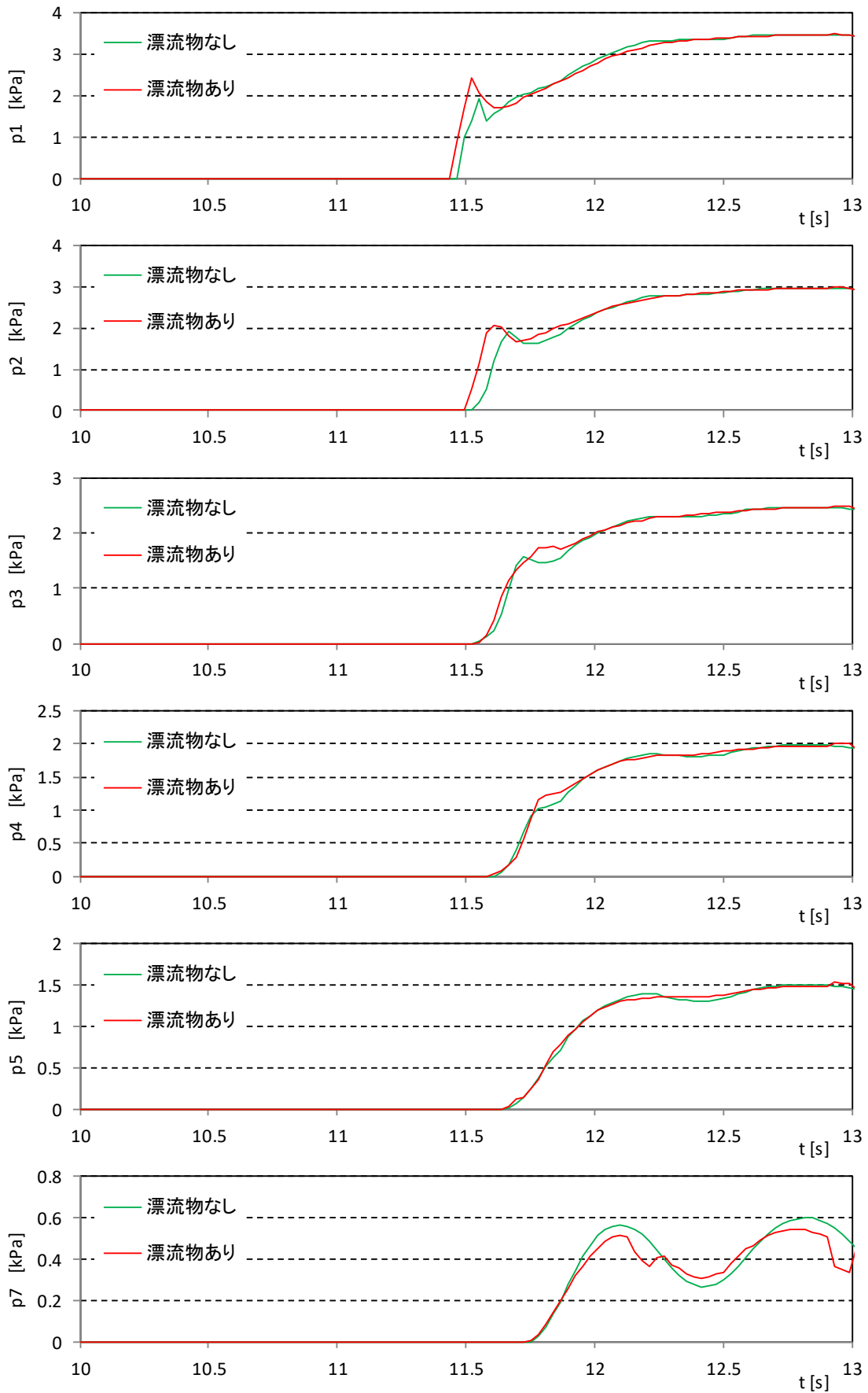


図- 9.3.7 波圧時系列波形 (単純勾配, 堤体位置 0m, 漂流物 A-0.5m, S-Wd40-0-A-05)

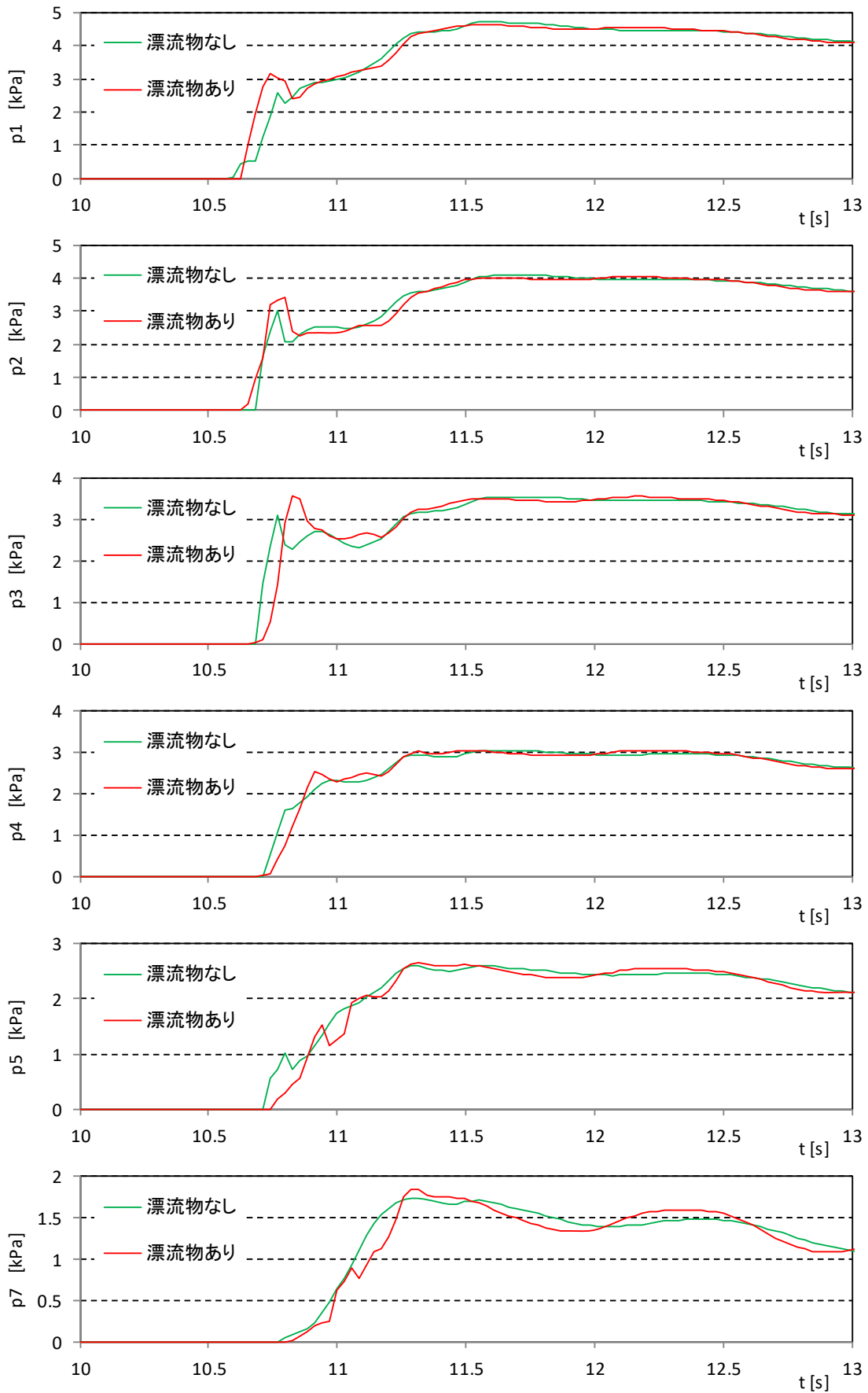


図- 9.3.7 波圧時系列波形 (単純勾配, 堤体位置 0m, 漂流物 A-1.0m, S-Wd20-0-A-10)

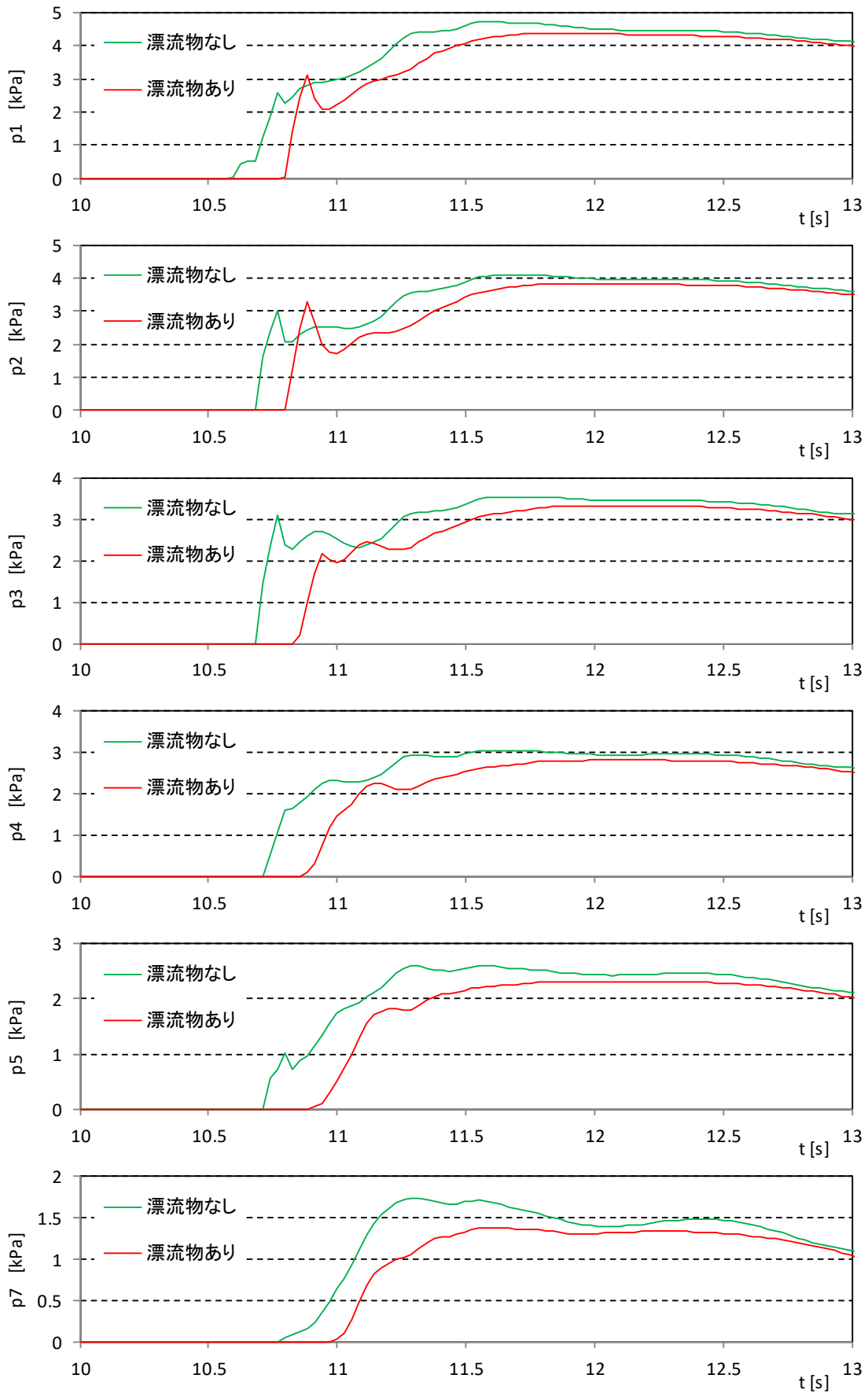


図- 9.3.7 波圧時系列波形 (単純勾配, 堤体位置 0m, 漂流物 A-2.0m, S-Wd20-0-A-20)

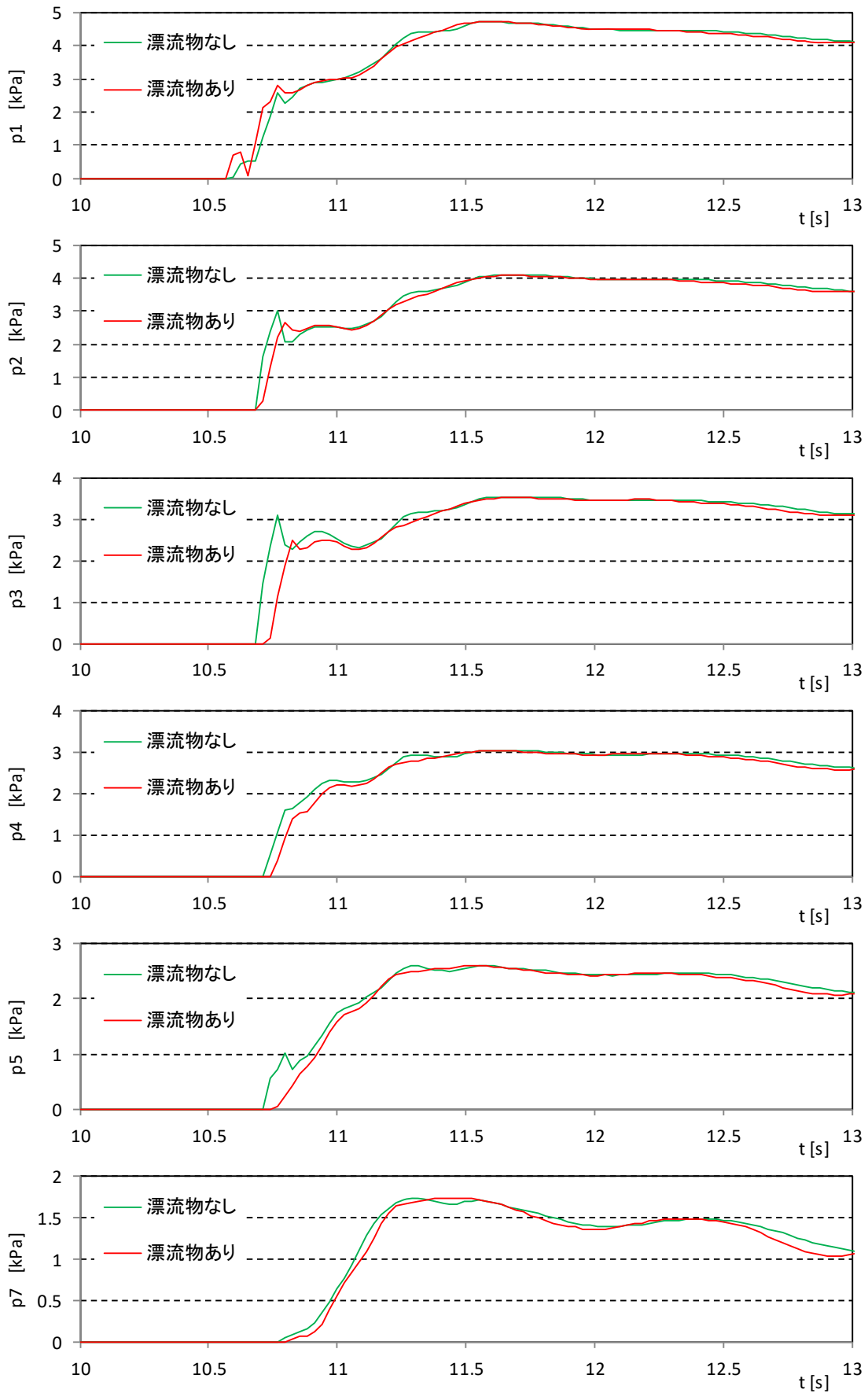


図- 9.3.7 波圧時系列波形 (単純勾配, 堤体位置 0m, 漂流物 B-0.5m, S-Wd20-0-B-05)

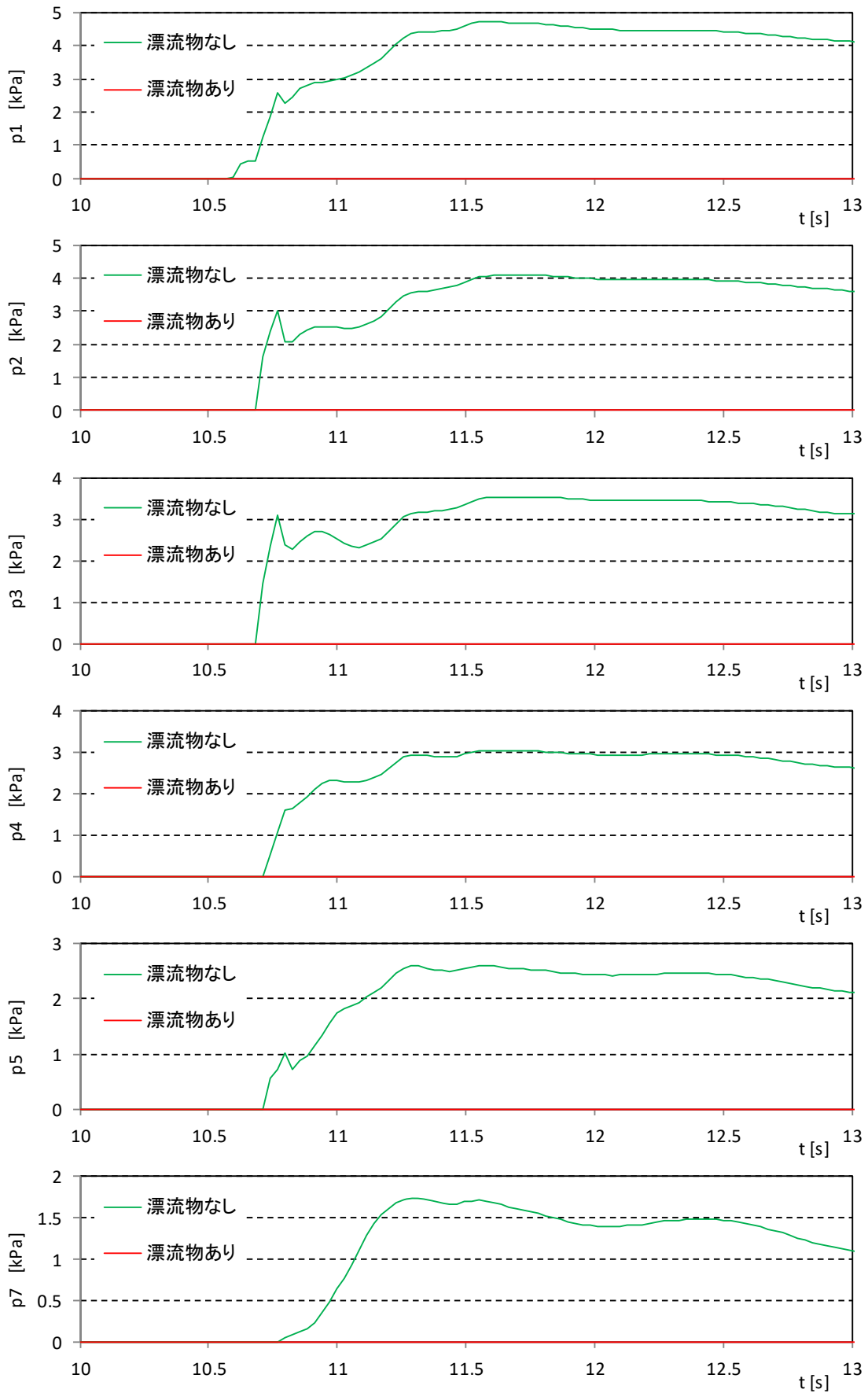


図- 9.3.7 波圧時系列波形 (単純勾配, 堤体位置 0m, 漂流物 C-0.5m, S-Wd20-0-C-05)

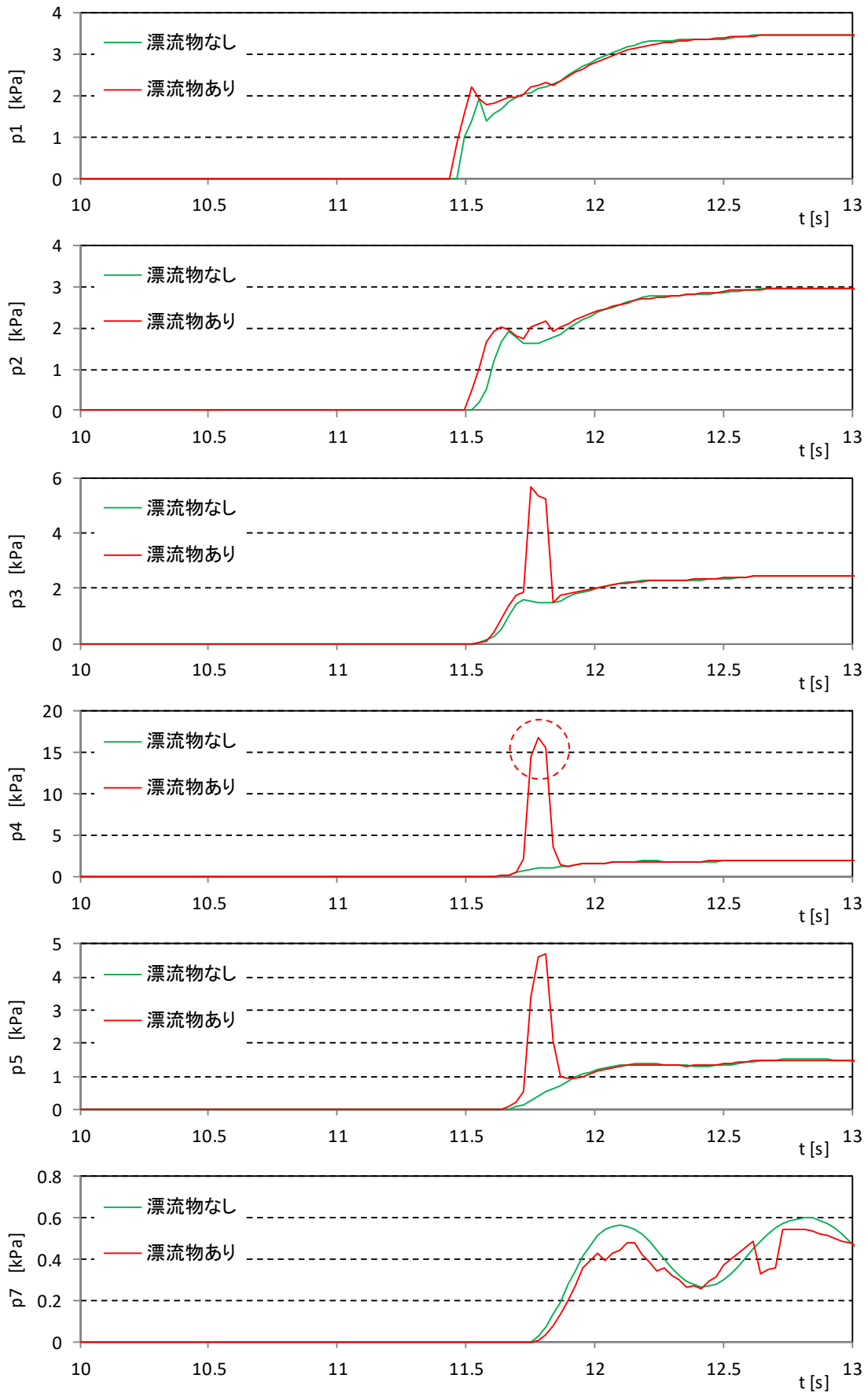


図- 9.3.7 波圧時系列波形 (単純勾配, 堤体位置 0m, 漂流物 B-0.5m, S-Wd40-0-B-05)

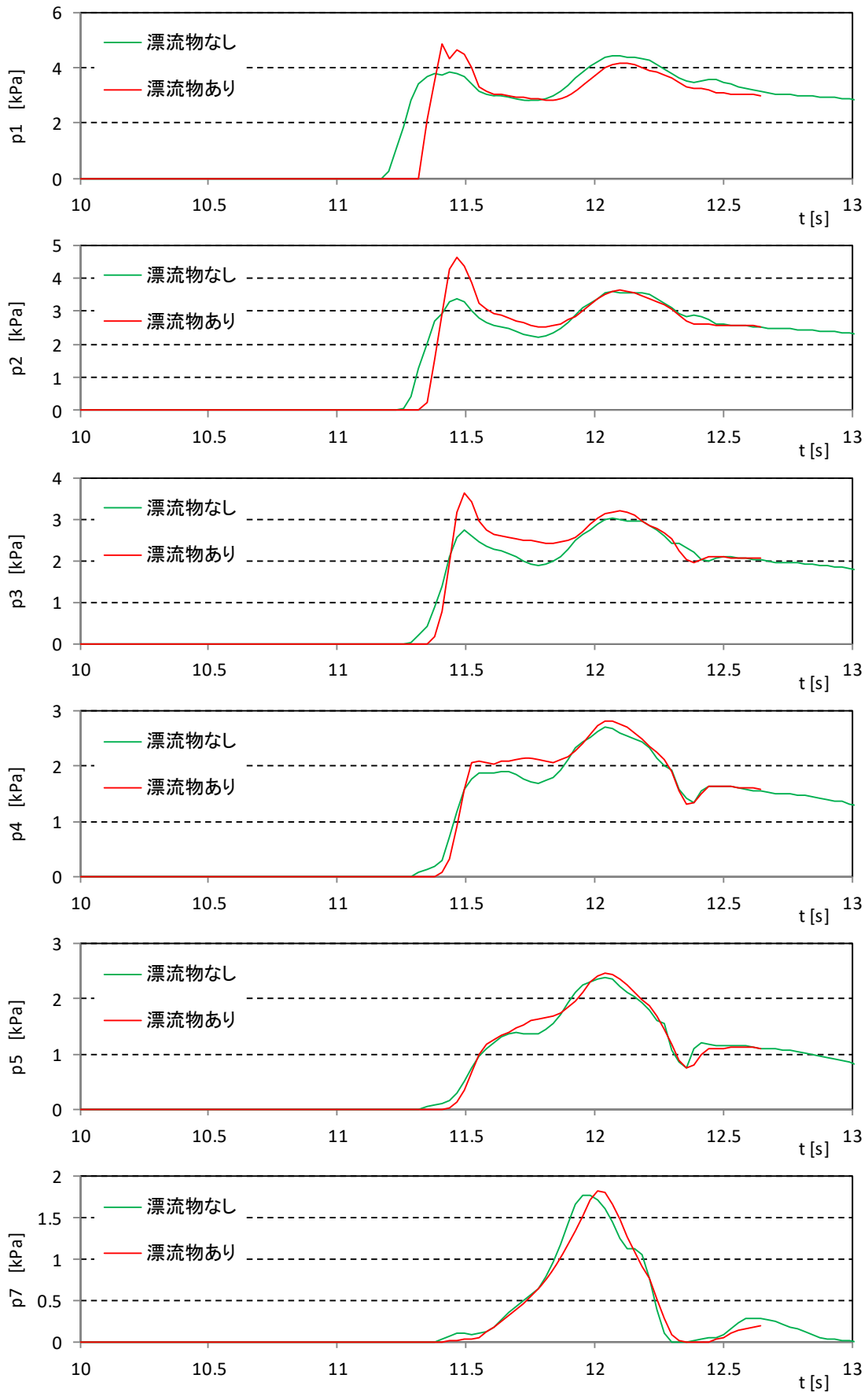


図-9.3.8 波圧時系列波形 (単純勾配, 堤体位置 0.625m, 漂流物 A-0.5m, S-Wd10-1-A-05)

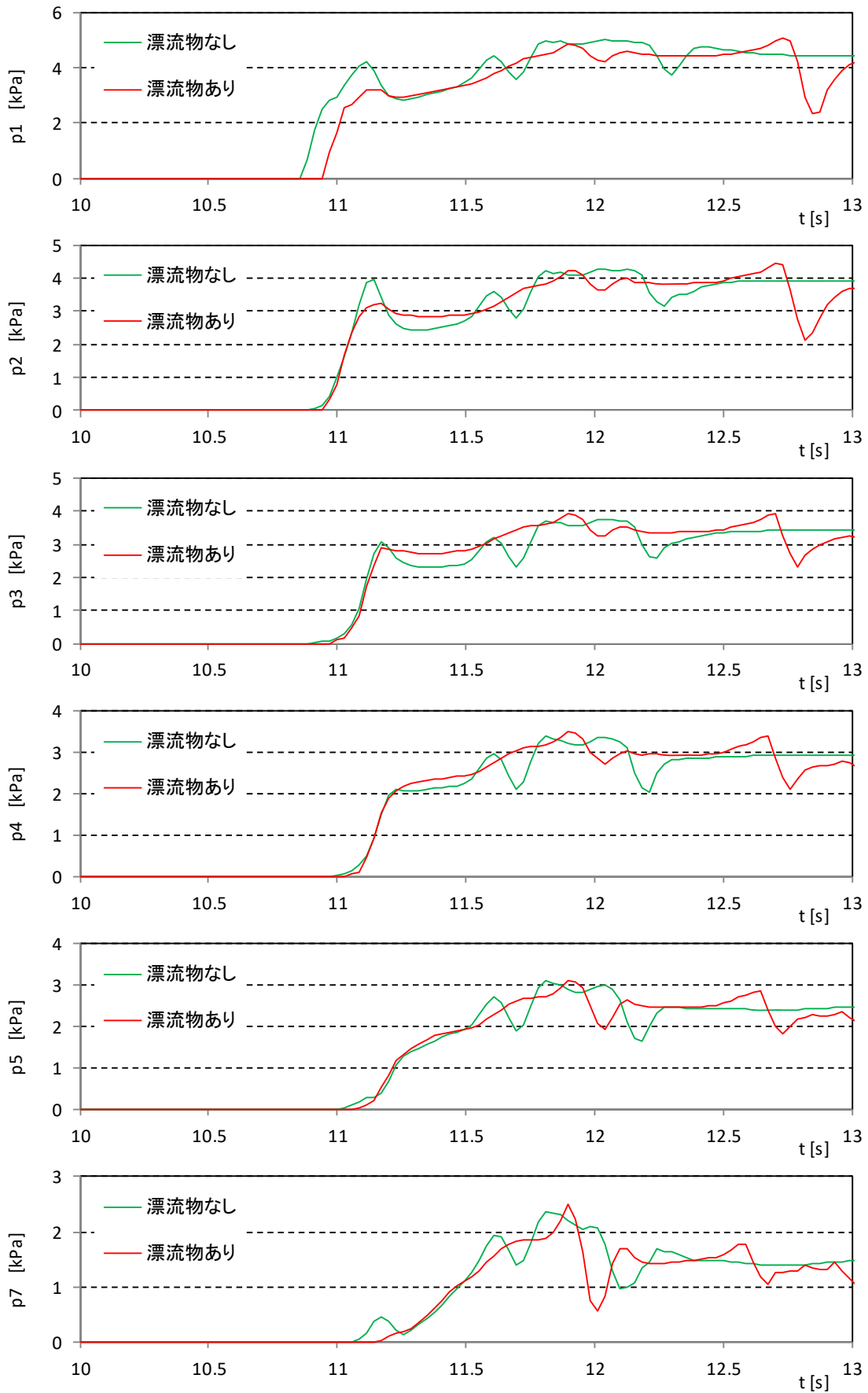


図-9.3.8 波圧時系列波形 (単純勾配, 堤体位置 0.625m, 漂流物 A-0.5m, S-Wd20-1-A-05)

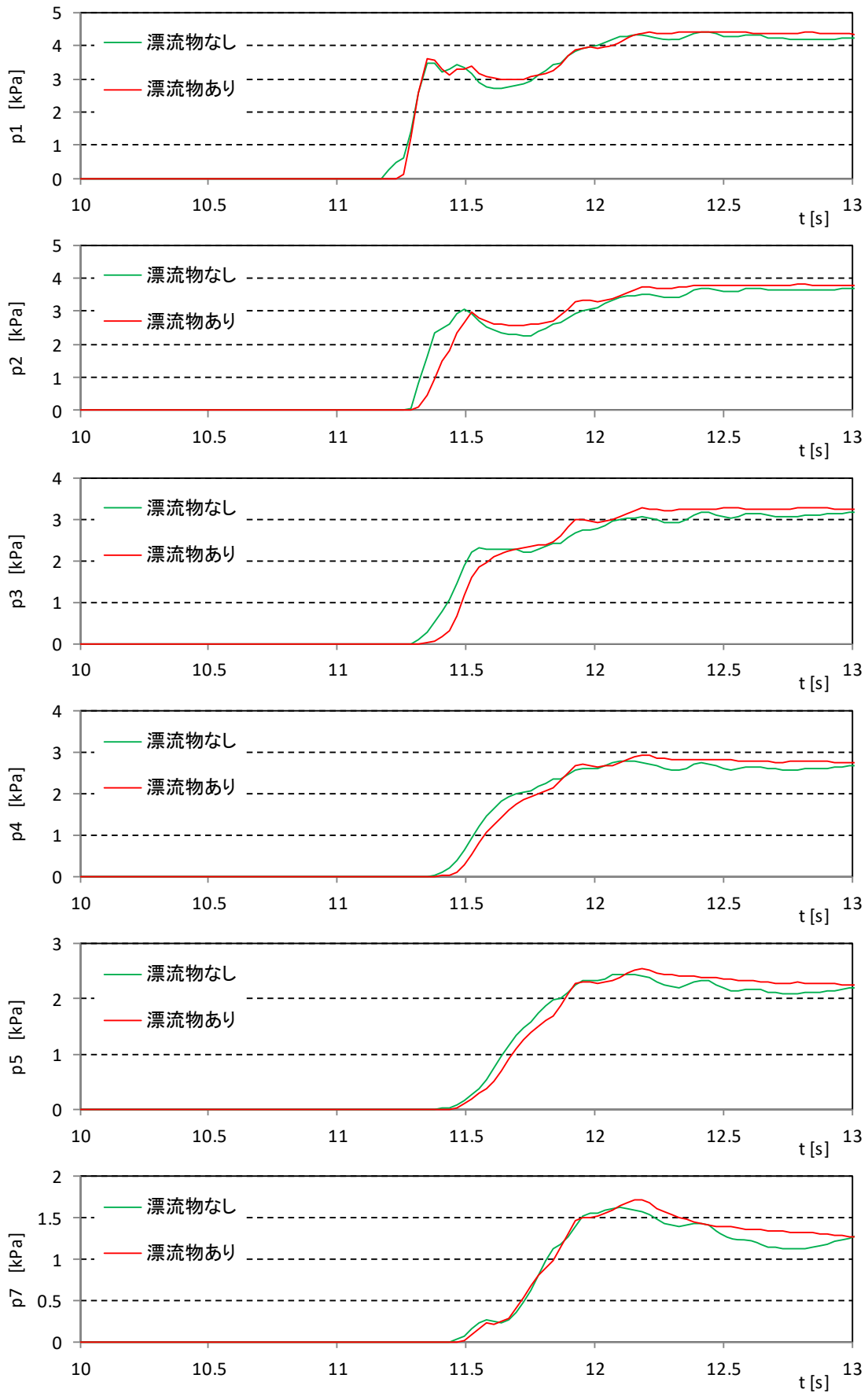


図-9.3.8 波圧時系列波形 (単純勾配, 堤体位置 0.625m, 漂流物 A-0.5m, S-Wd30-1-A-05)

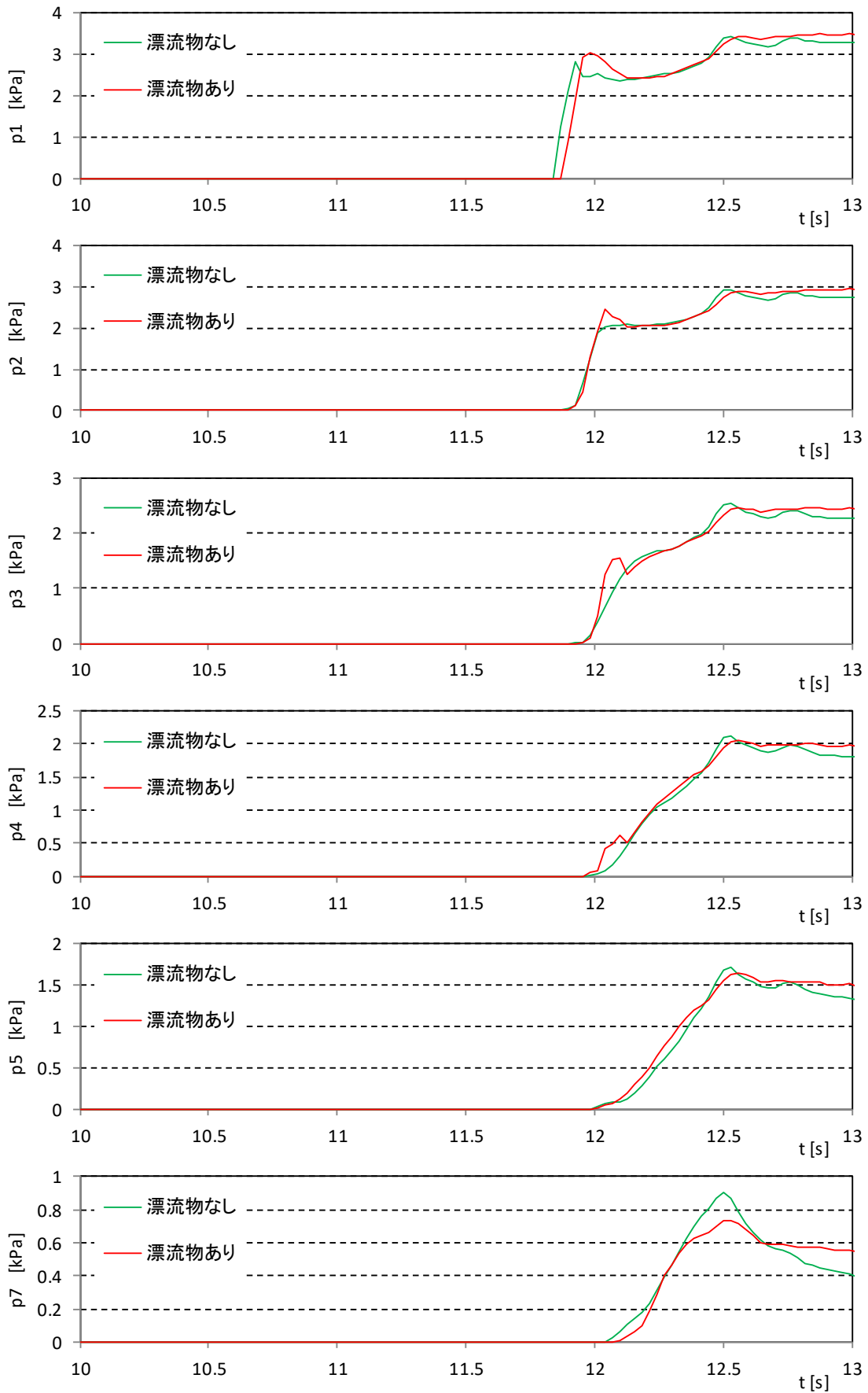


図-9.3.8 波圧時系列波形 (単純勾配, 堤体位置 0.625m, 漂流物 A-0.5m, S-Wd40-1-A-05)

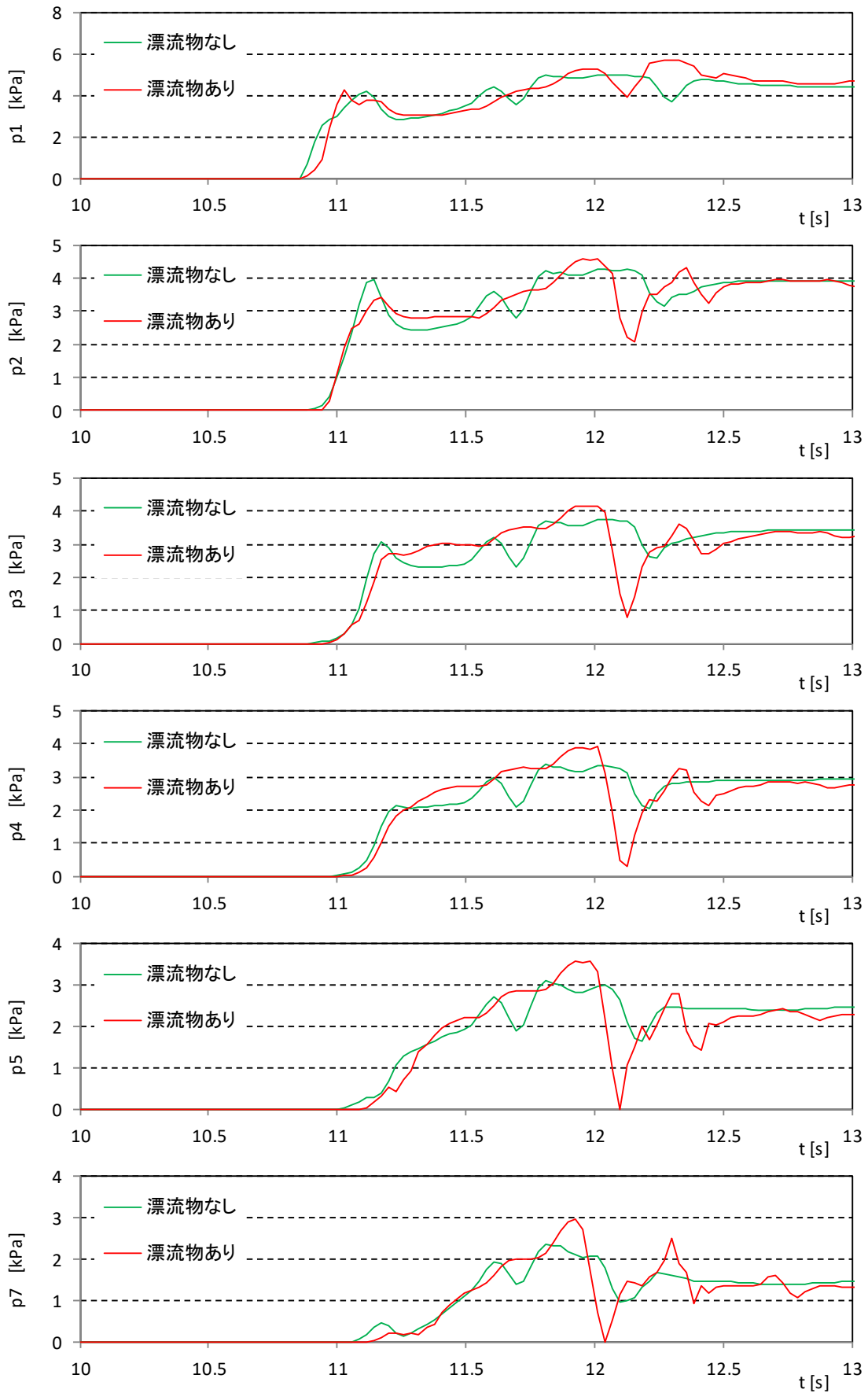


図-9.3.8 波圧時系列波形 (単純勾配, 堤体位置 0.625m, 漂流物 A-1.0m, S-Wd20-1-A-10)

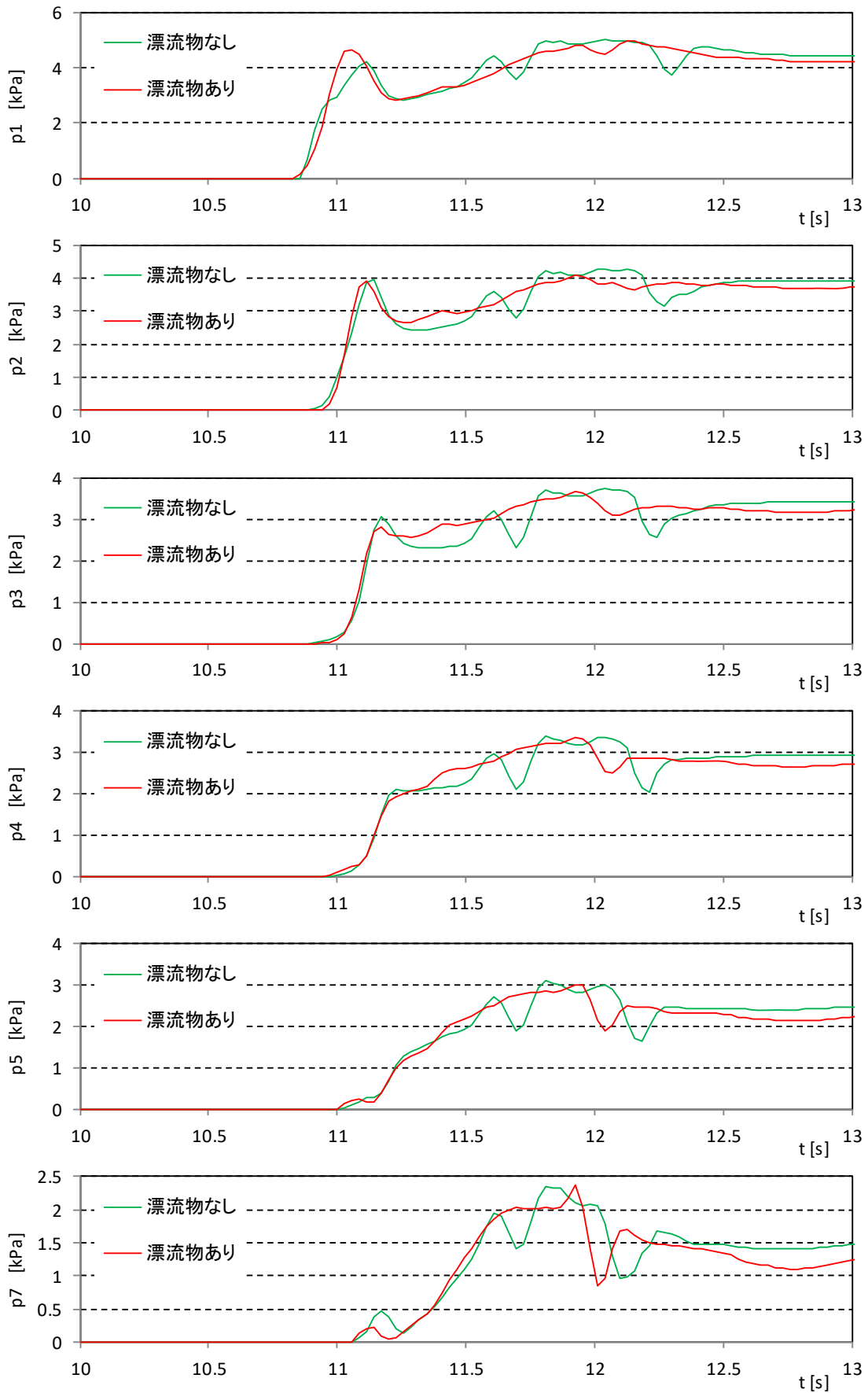


図-9.3.8 波圧時系列波形 (単純勾配, 堤体位置 0.625m, 漂流物 A-2.0m, S-Wd20-1-A-20)

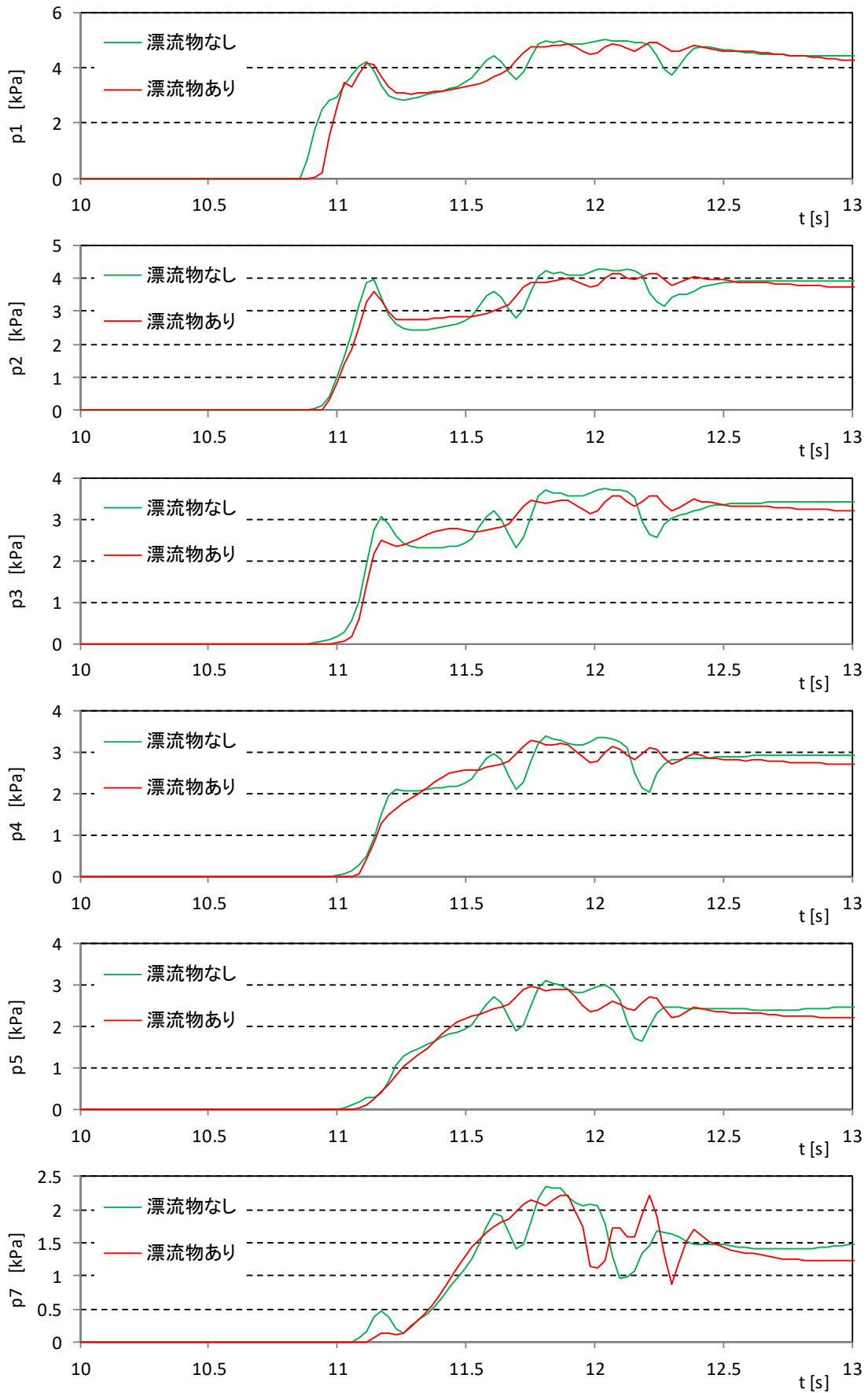


図-9.3.8 波圧時系列波形 (単純勾配, 堤体位置 0.625m, 漂流物 B-0.5m, S-Wd20-1-B-05)

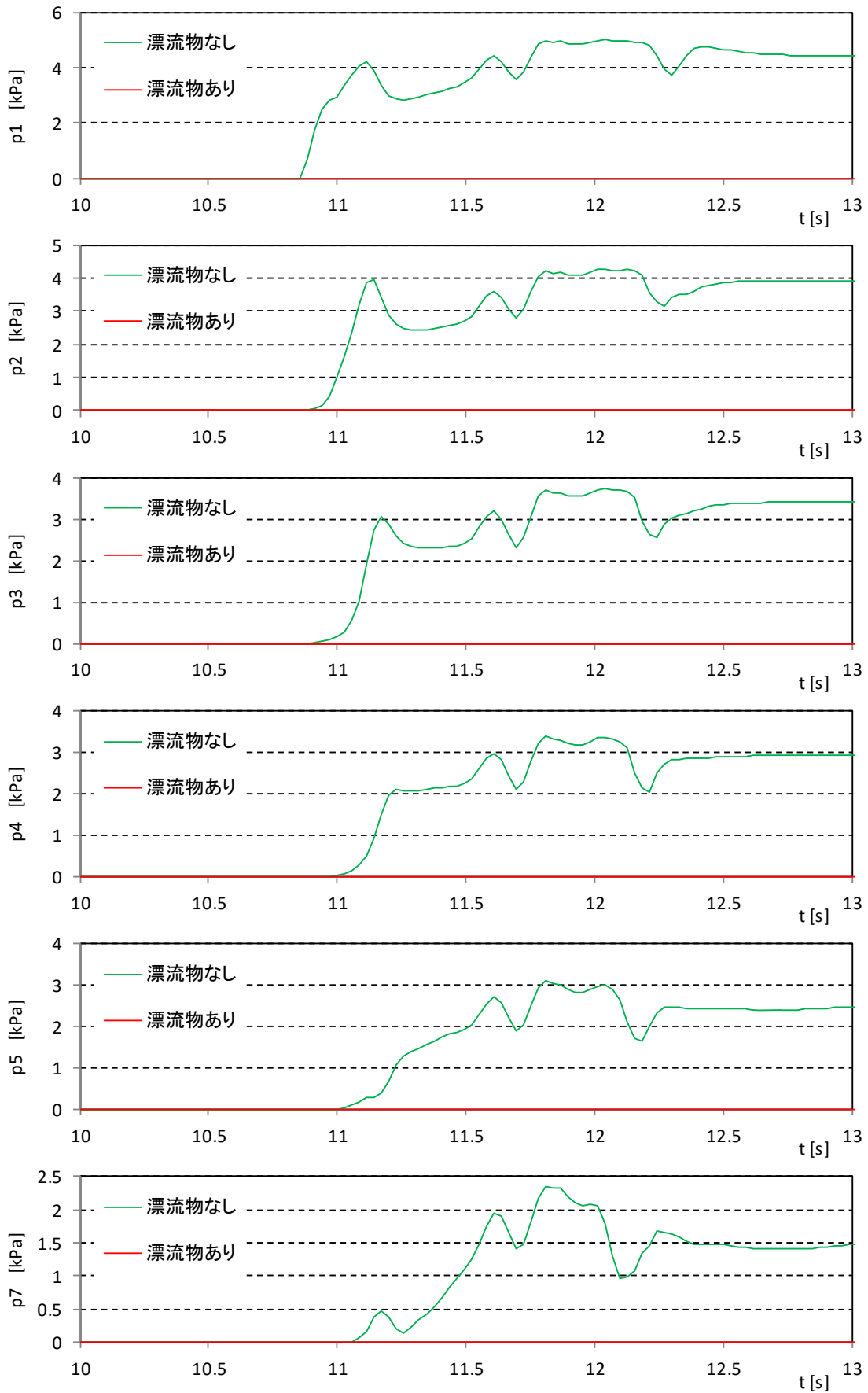


図-9.3.8 波圧時系列波形 (単純勾配, 堤体位置 0.625m, 漂流物 C-0.5m, S-Wd20-1-C-05)

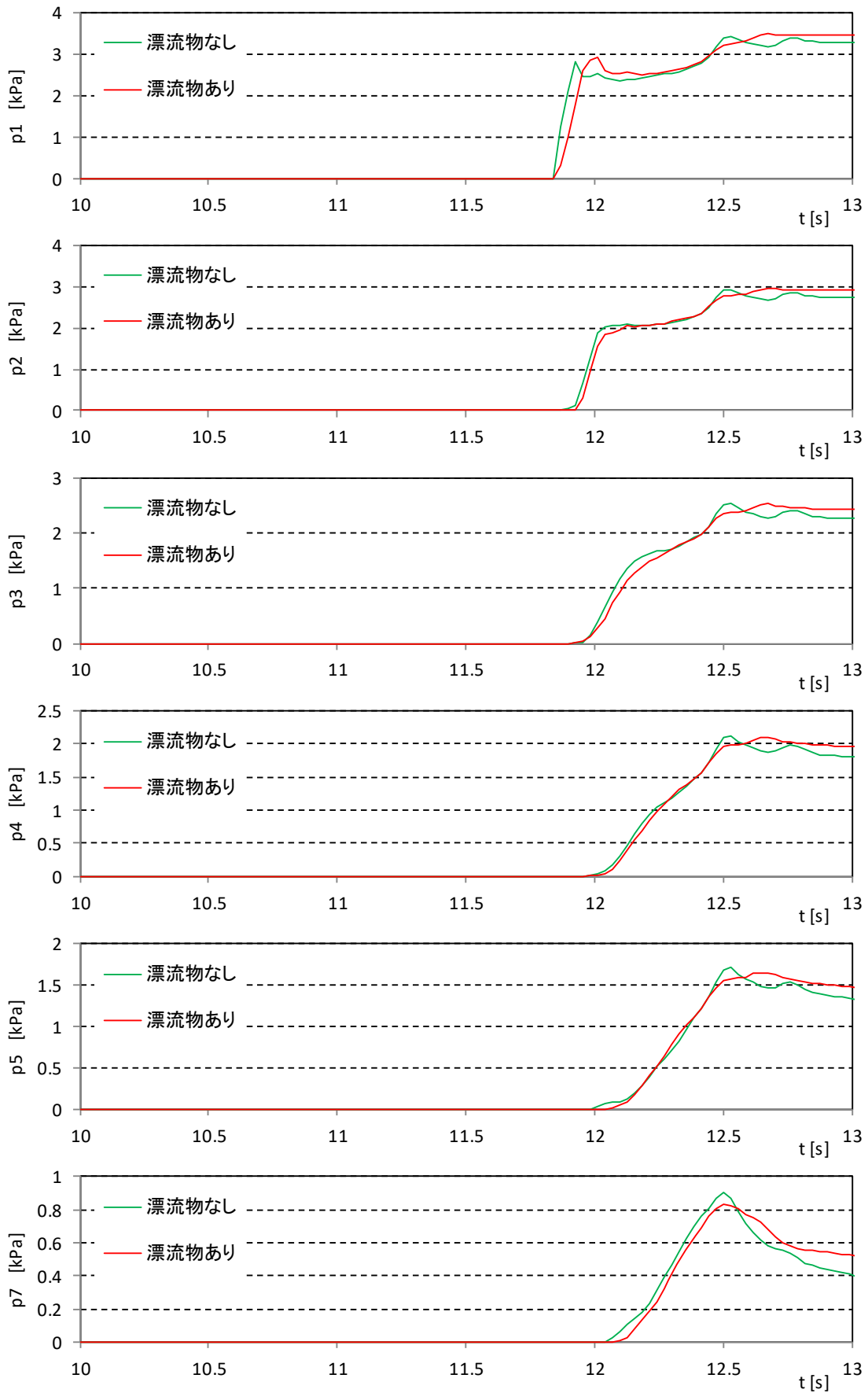


図-9.3.8 波圧時系列波形 (単純勾配, 堤体位置 0.625m, 漂流物 B-0.5m, S-Wd40-1-B-05)

9.3.4. 圧力の鉛直分布

表-9.3.1に、堤体へ津波が到達した時刻と、漂流物の重心位置がもつとも堤体に近づいた時刻を示す。なお、漂流物Cについては、漂流物が衝突する前にシミュレーションが発散して、数値シミュレーションが継続できなかった。

水理試験では、顕著な衝突が生じる際には、津波到達から0.1~0.2s後に衝突しているが、数値シミュレーションでは0.5s程度後に衝突あるいは最接近している。ただし、水理試験では、同じ条件であっても顕著な衝突が確認できない場合があり、この場合は漂流物あるいは漂流物が堤体に最接近する時間は、0.2s後よりも遅い。シミュレーションでは、この漂流物衝突の不確実性が考慮できないため、漂流物の衝突の有無を数値シミュレーションで判断するには、解析モデルにこの不確実性を取り込む必要があり、今後の課題である。漂流物の衝突が遅れた場合、津波の先端部分が漂流物の衝突に先行して到達するため、堤体と漂流物の間に水塊が挟まれることになり、衝突力が低減すると考えられる。漂流物の衝突時間が水理試験に遅れていることから、数値シミュレーションにおいて漂流物の動き出しの加速度が小さく評価されていることが想定される。漂流物の軌跡について水理試験と比較し、漂流開始時に漂流物を加速させる抗力等の力の評価手法について、今後検討する必要がある。

図-9.3.9~図-9.3.12に、表-9.3.1に示した漂流物最接近時刻における、漂流物がある場合とない場合の鉛直圧力分布を示す。同図には、水理試験で得られた波圧分布を同時に示した。

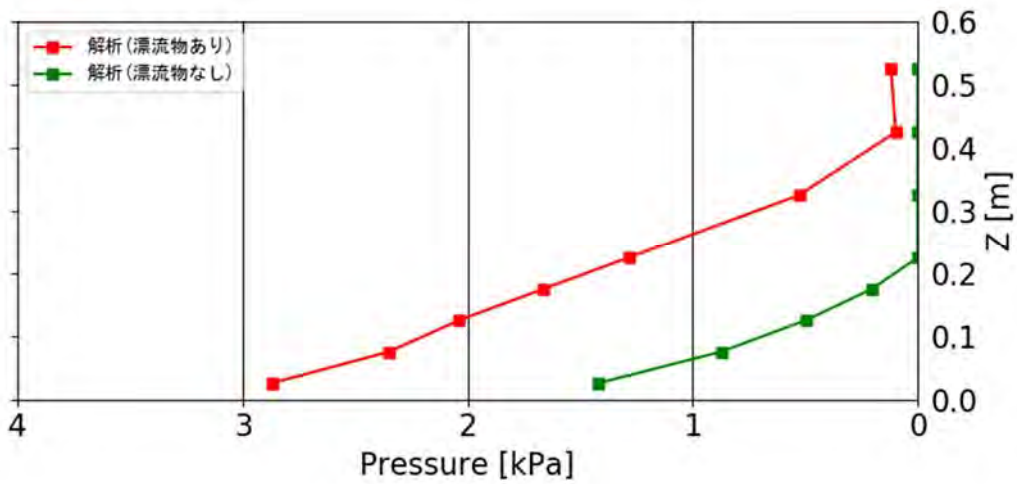
数値シミュレーションでは、堤体を剛体として解析しているため、ひずみの算出は出来ず、水理試験の結果と直接比較することは出来ない。図-9.3.9~図-9.3.12において、漂流物の有無により圧力分布が異なるケースは、顕著な漂流物の衝突があるケースと考えられる。すなわち、漂流物が堤体に衝突することで、堤体前面で計測される圧力は大きな値となる。そこで、漂流物有無の圧力の差異から、衝突の可能性について検討した結果を、表-9.3.2にまとめる。ここで、10kPa以上の顕著な差異が見られたケースを衝突の可能性が高い「○」とし、差異は10kPa以下と小さいが、圧力の鉛直分布や前述の時系列を確認することで衝突の可能性が確認できるケースを「△」、差異がほとんど確認できないものを衝突の可能性が低いとため「×」とした。

表-9.3.2において、直立護岸では、Wd20のケースのみで衝突が確認されている。直立護岸の水理試験では、周期特性が短い波形ほど衝突しやすいという特徴があったが、これが、数値シミュレーションのWd30, Wd40で衝突が確認出来ない要因の1つと考えられる。Wd10で衝突が確認されないのは、巻波型の碎波をともなって漂流物を連行するため、解析による再現性に課題があると考えられる。また、初期位置の違いについて比較(F-Wd20-0-A-05, F-Wd20-0-A-10, F-Wd20-0-A-20)すると、漂流物の初期位置が堤体に近いほど衝突しやすいという水理試験の傾向と同じ結果になっていることが分かる。また、より質量の大きい漂流物Aの方がBよりも衝突しやすい(F-Wd20-0-A-05, F-Wd20-0-B-05,)という傾向も、水理試験の結果に一致する。

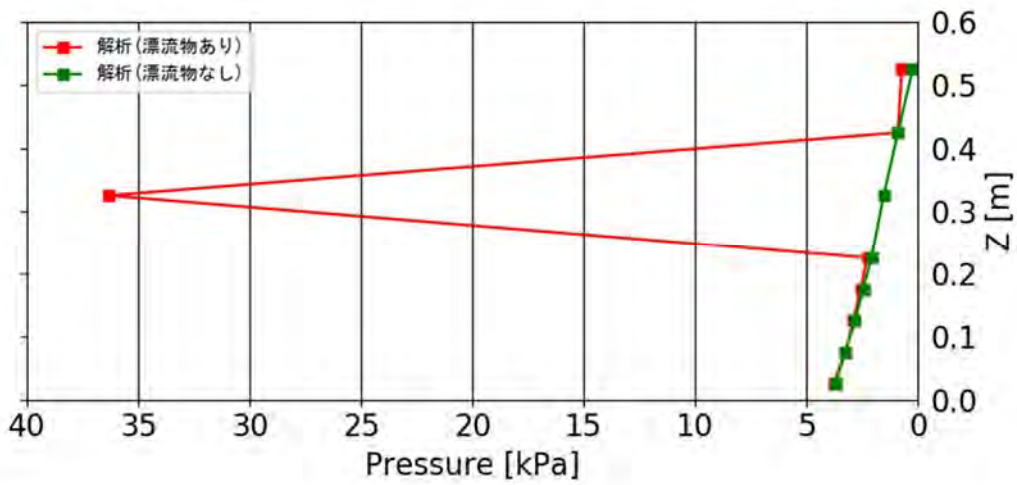
一方、水理試験の結果がないため検証は出来ないが、単純勾配の場合は、直立護岸に比較して衝突する確率が総じて低い。単純勾配では、すべてのケースで巻波型の碎波をともなって堤体に衝突するため、漂流物が波の内部に取り込まれる形となる。実際の現象として顕著な衝突が生じ難いと考えられるが、数値シミュレーションによる再現が困難な現象であることも想定される。

表- 9.3.1 津波到達時刻と漂流物最接近時刻

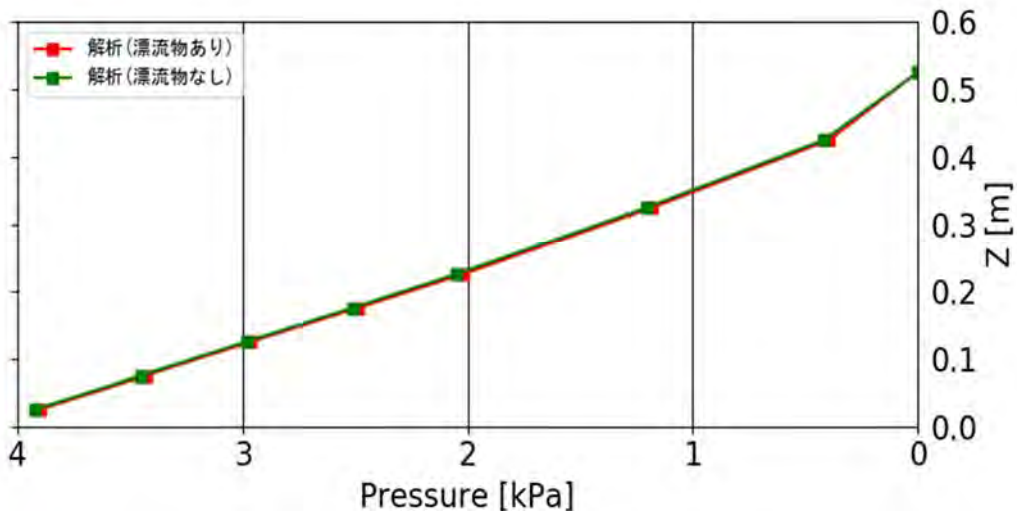
ケース名	津波到達時刻	漂流物最接近時刻	ケース名	津波到達時刻	漂流物最接近時刻
F-Wd10-0-A-05	11.0s	11.5s	S-Wd10-0-A-05	10.9s	11.2s
F-Wd20-0-A-05	10.9s	11.5s	S-Wd20-0-A-05	10.7s	10.8s
F-Wd30-0-A-05	11.2s	12.6s	S-Wd30-0-A-05	11.0s	11.2s
F-Wd40-0-A-05	11.6s	13.1s	S-Wd40-0-A-05	11.5s	11.9s
F-Wd20-0-A-10	10.9s	12.8s	S-Wd20-0-A-10	10.7s	11.0s
F-Wd20-0-A-20	10.9s	14.0s	S-Wd20-0-A-20	10.8s	11.1s
F-Wd20-0-B-05	10.9s	11.4s	S-Wd20-0-B-05	10.7s	10.8s
F-Wd20-0-C-05	—	—	S-Wd20-0-C-05	—	—
F-Wd40-0-B-05	11.6s	13.1s	S-Wd40-0-B-05	11.5s	11.8s
F-Wd10-1-A-05	11.4s	11.8s	S-Wd10-1-A-05	11.2s	11.4s
F-Wd20-1-A-05	11.3s	11.7s	S-Wd20-1-A-05	11.0s	11.2s
F-Wd30-1-A-05	11.6s	12.0s	S-Wd30-1-A-05	11.2s	11.5s
F-Wd40-1-A-05	12.2s	12.5s	S-Wd40-1-A-05	11.9s	12.1s
F-Wd20-1-A-10	11.3s	11.7s	S-Wd20-1-A-10	10.9s	11.2s
F-Wd20-1-A-20	11.3s	12.9s	S-Wd20-1-A-20	10.9s	11.4s
F-Wd20-1-B-05	11.3s	11.6s	S-Wd20-1-B-05	10.9s	11.1s
F-Wd20-1-C-05	—	—	S-Wd20-1-C-05	—	—
F-Wd40-1-B-05	12.2s	12.5s	S-Wd40-1-B-05	11.9s	12.1s



(a) 漂流物 A-0.5m, F-Wd10-0-A-05

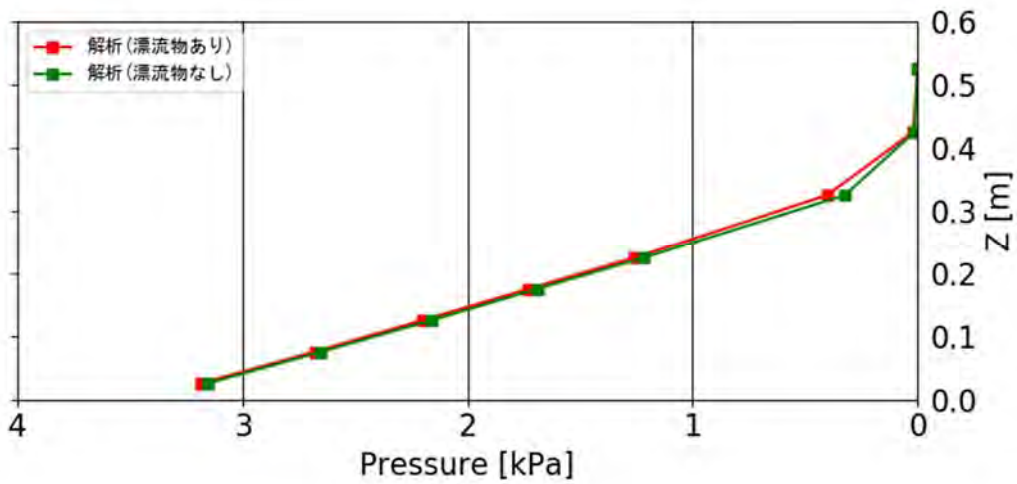


(b) 漂流物 A-0.5m, F-Wd20-0-A-05

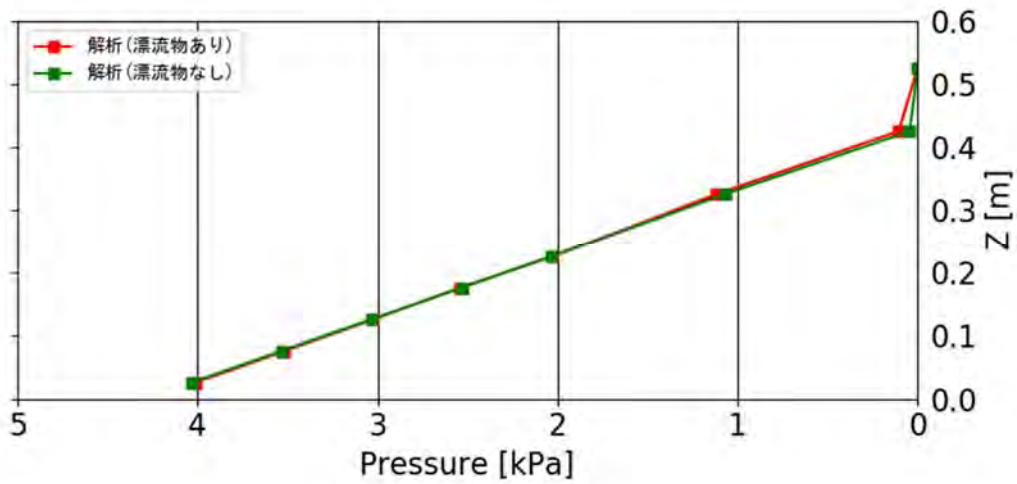


(c) 漂流物 A-0.5m, F-Wd30-0-A-05

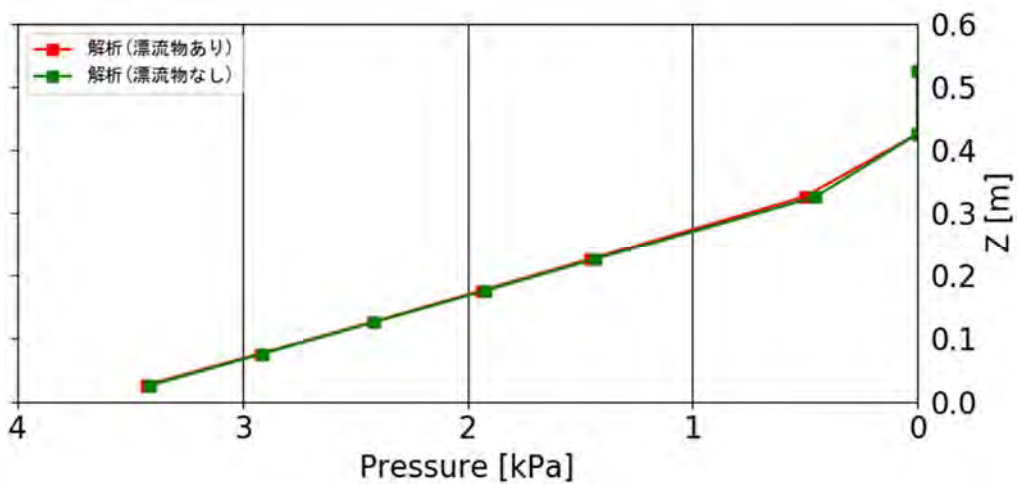
図- 9.3.9 漂流物最接近時の鉛直波圧分布(直立護岸, 堤体位置 0m)



(d) 漂流物 A-0.5m, F-Wd40-0-A-05

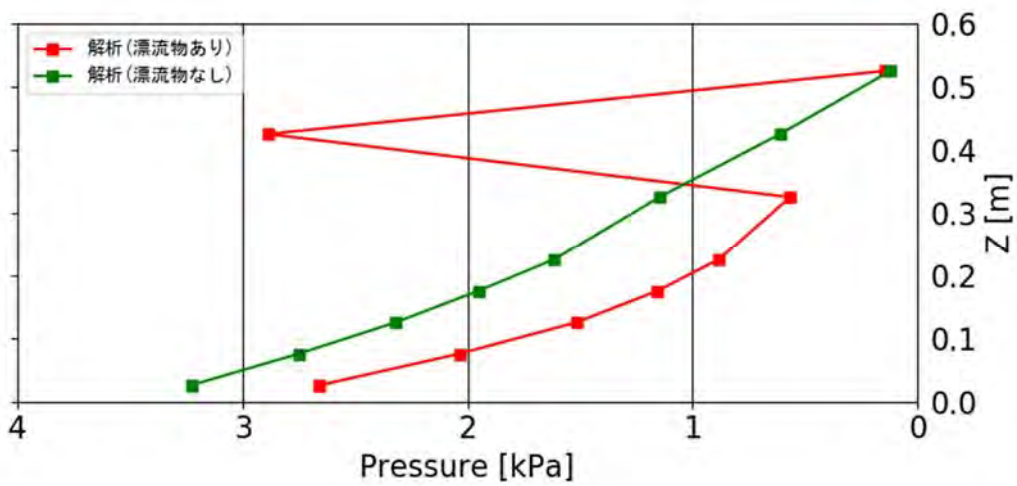


(e) 漂流物 A-1.0m, F-Wd20-0-A-10

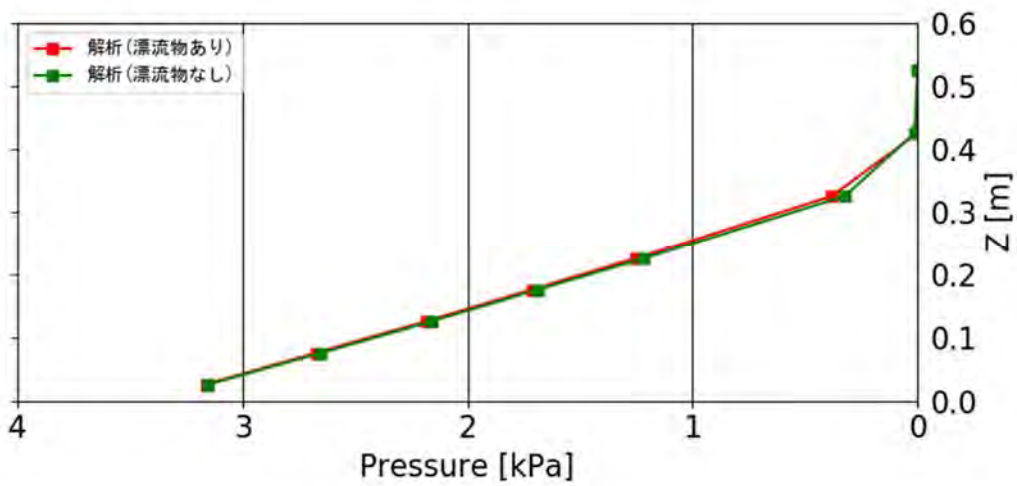


(f) 漂流物 A-2.0m, F-Wd20-0-A-20

図- 9.3.9 漂流物最接近時の鉛直波圧分布(直立護岸, 堤体位置 0m)

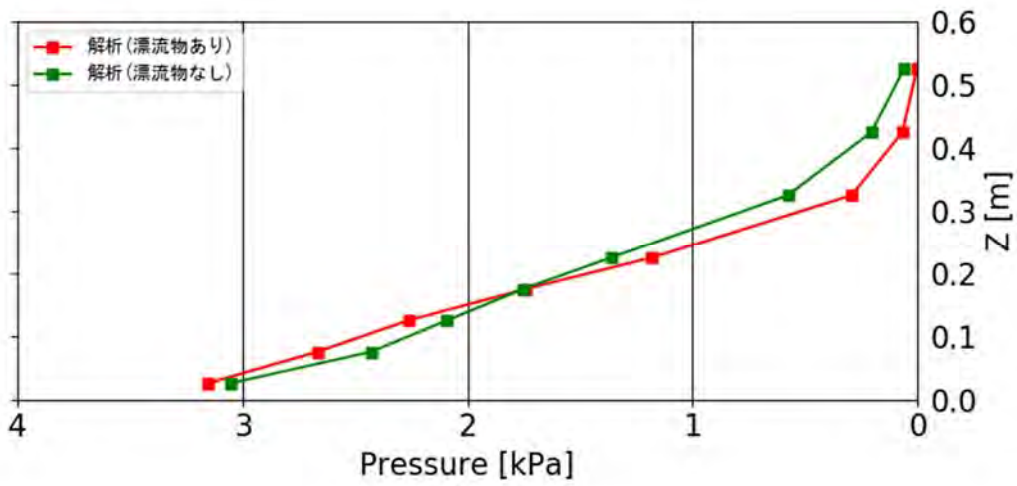


(g) 漂流物 B-0.5m, F-Wd20-0-B-05

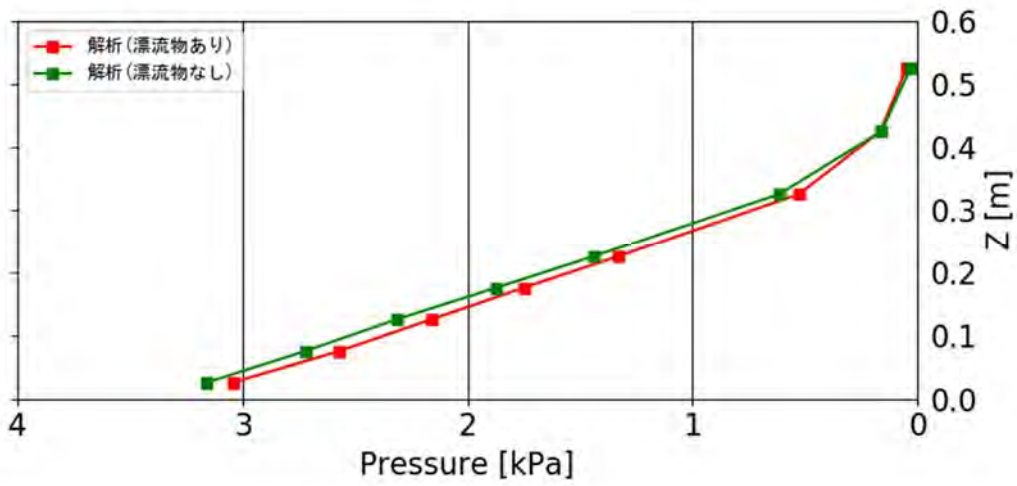


(h) 漂流物 B-0.5m, F-Wd40-0-B-05

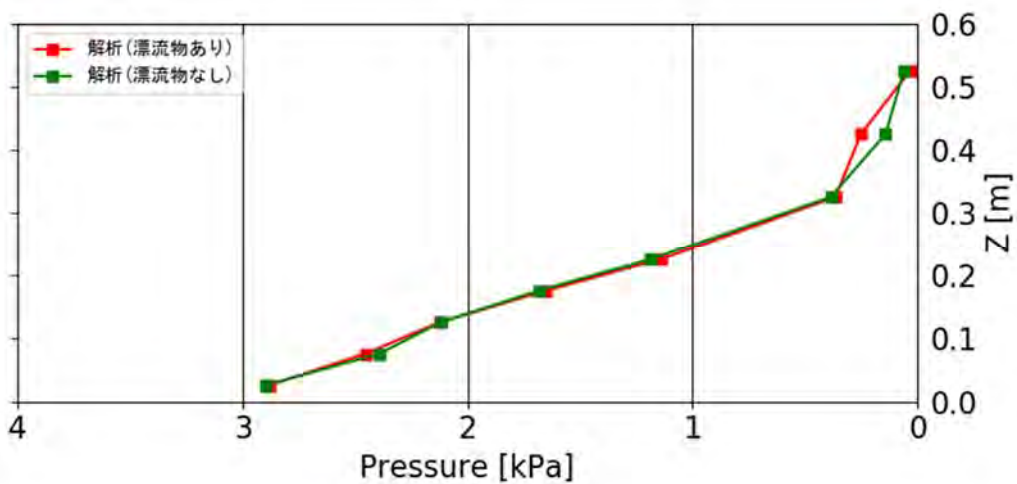
図- 9.3.9 漂流物最接近時の鉛直波圧分布(直立護岸, 堤体位置 0m)



(a) 漂流物 A-0.5m, F-Wd10-1-A-05

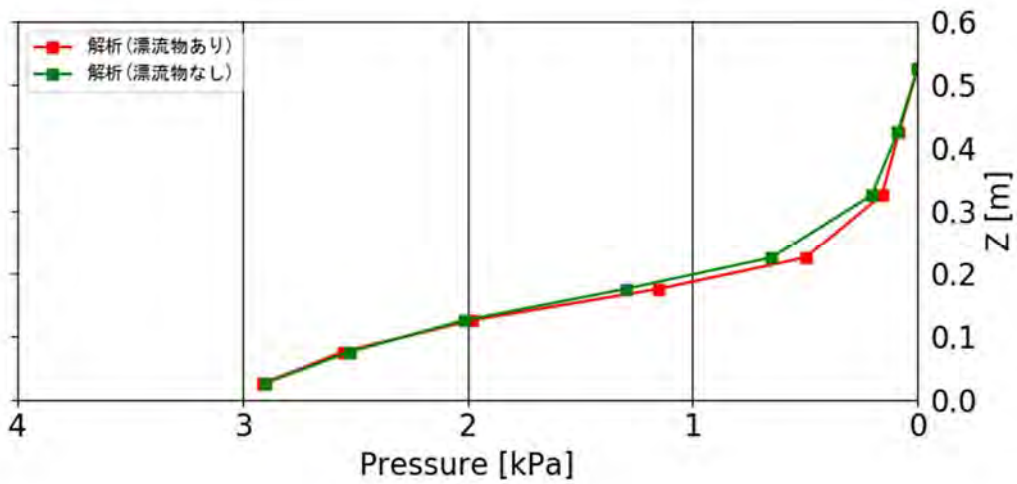


(b) 漂流物 A-0.5m, F-Wd20-1-A-05

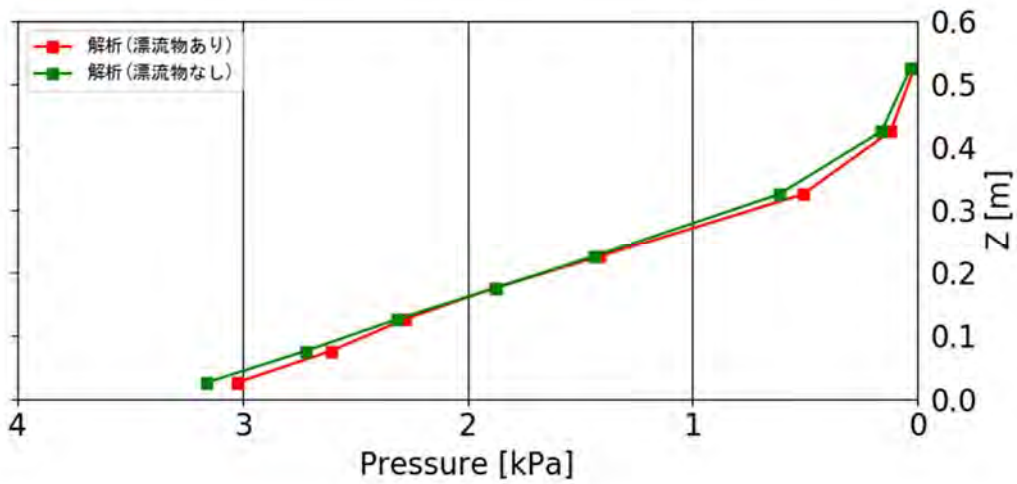


(c) 漂流物 A-0.5m, F-Wd30-1-A-05

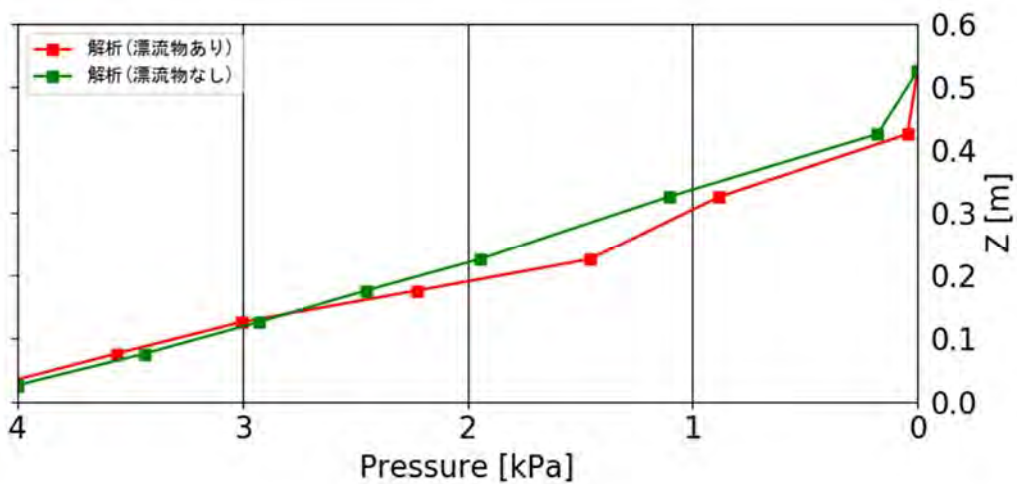
図- 9.3.10 漂流物最接近時の鉛直波圧分布(直立護岸, 堤体位置 0.625m)



(d) 漂流物 A-0.5m, F-Wd40-1-A-05

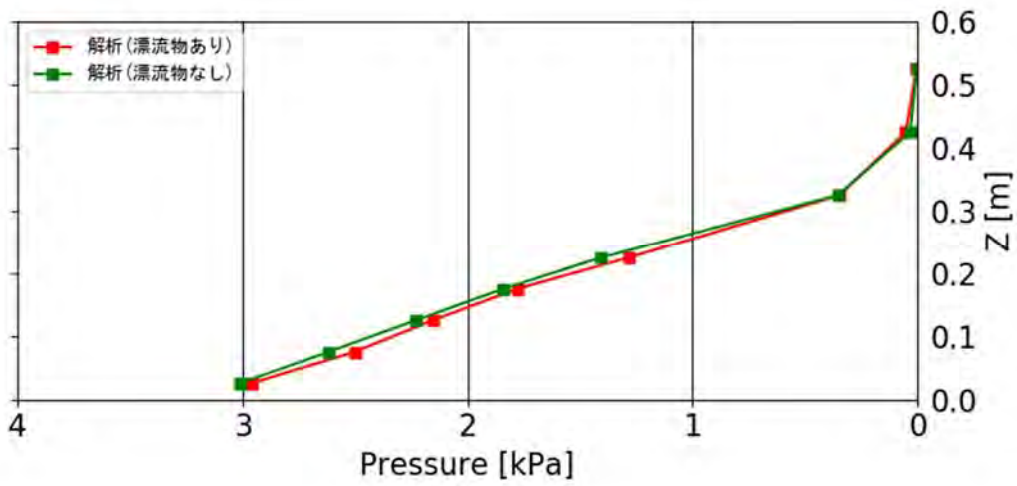


(e) 漂流物 A-1.0m, F-Wd20-1-A-10

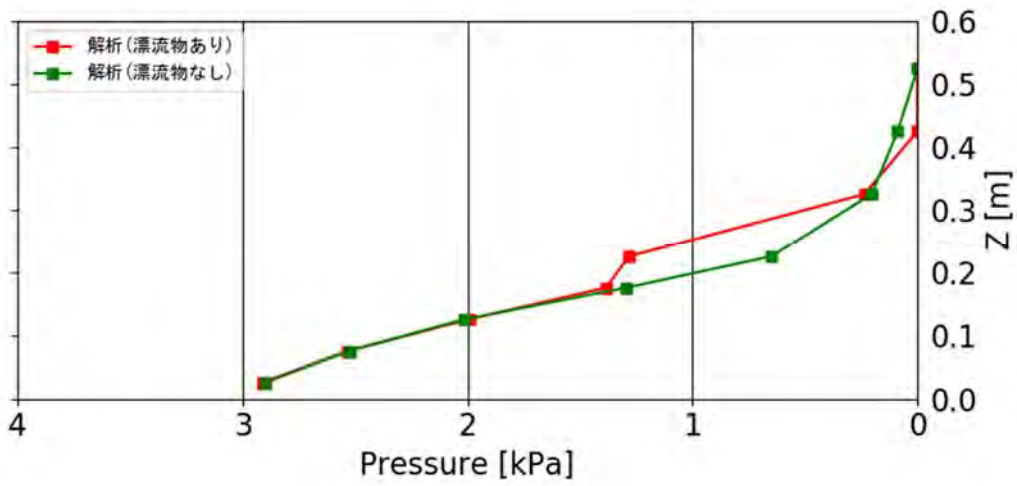


(f) 漂流物 A-2.0m, F-Wd20-1-A-20

図- 9.3.10 漂流物最接近時の鉛直波圧分布(直立護岸, 堤体位置 0.625m)

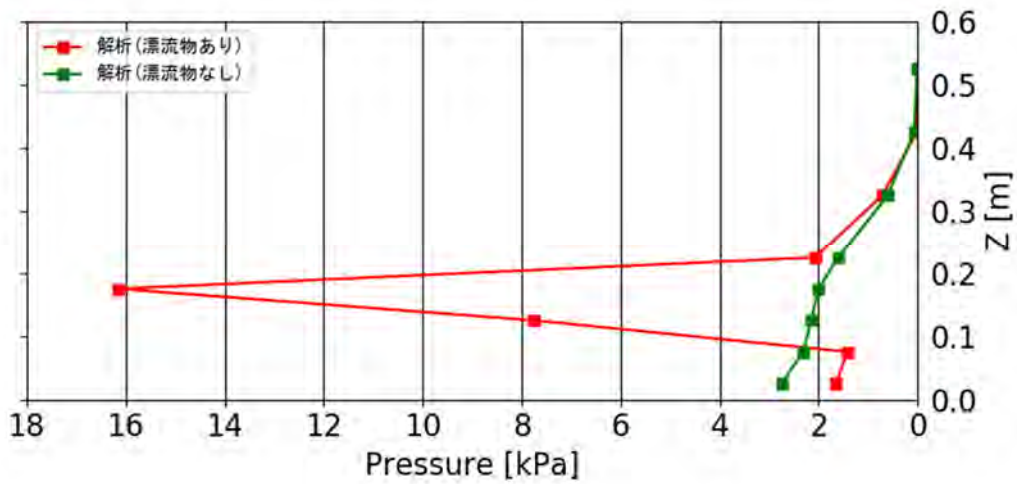


(g) 漂流物 B-0.5m, F-Wd20-1-B-05

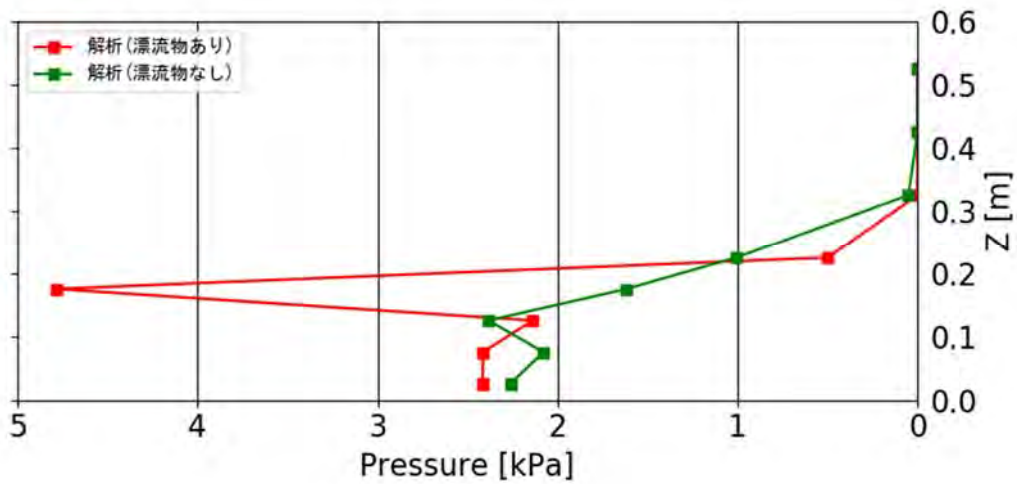


(h) 漂流物 B-0.5m, F-Wd40-1-B-05

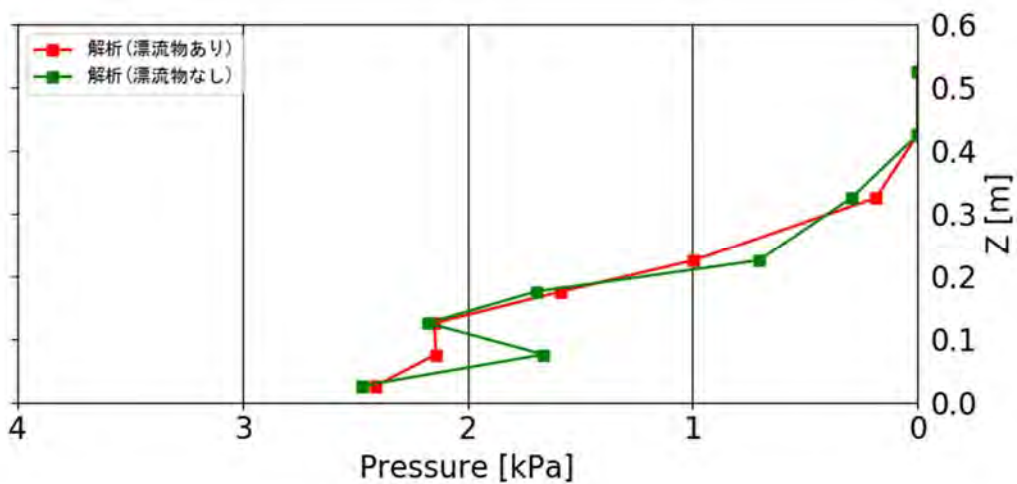
図- 9.3.10 漂流物最接近時の鉛直波圧分布(直立護岸, 堤体位置 0.625m)



(a) 漂流物 A-0.5m, S-Wd10-0-A-05

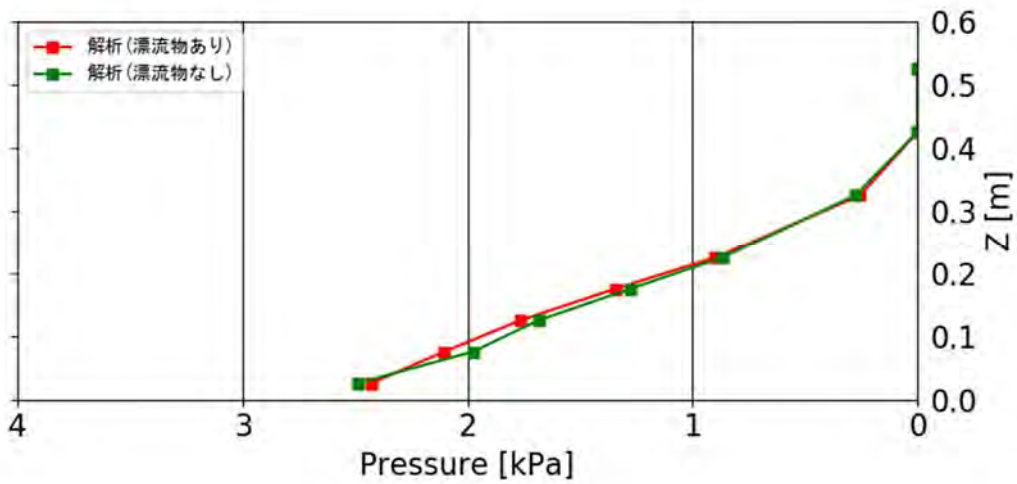


(b) 漂流物 A-0.5m, S-Wd20-0-A-05

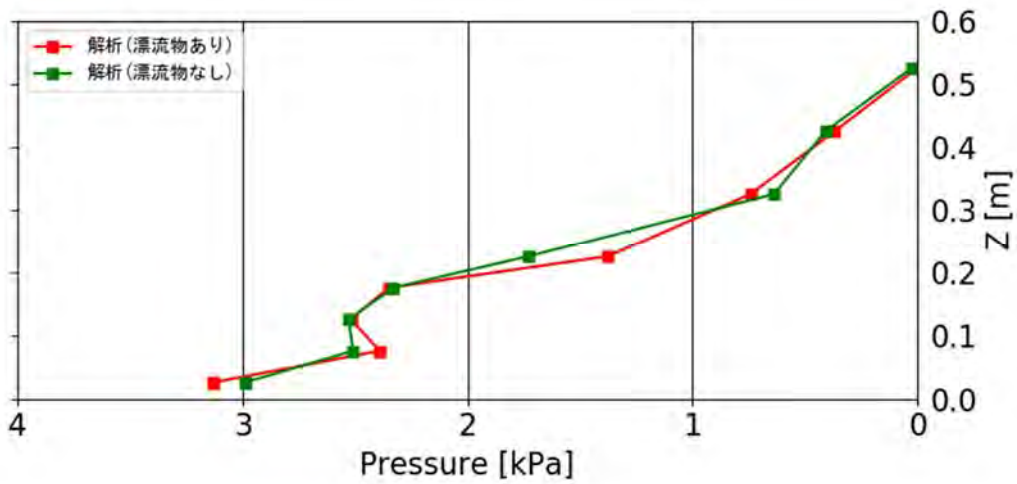


(c) 漂流物 A-0.5m, S-Wd30-0-A-05

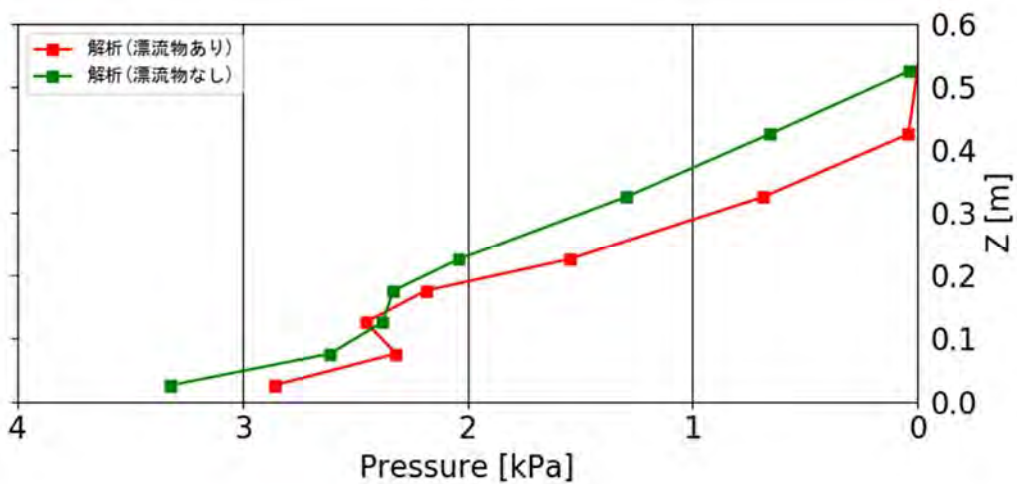
図- 9.3.11 漂流物最接近時の鉛直波圧分布(単純勾配, 堤体位置 0m)



(d) 漂流物 A-0.5m, S-Wd40-0-A-05

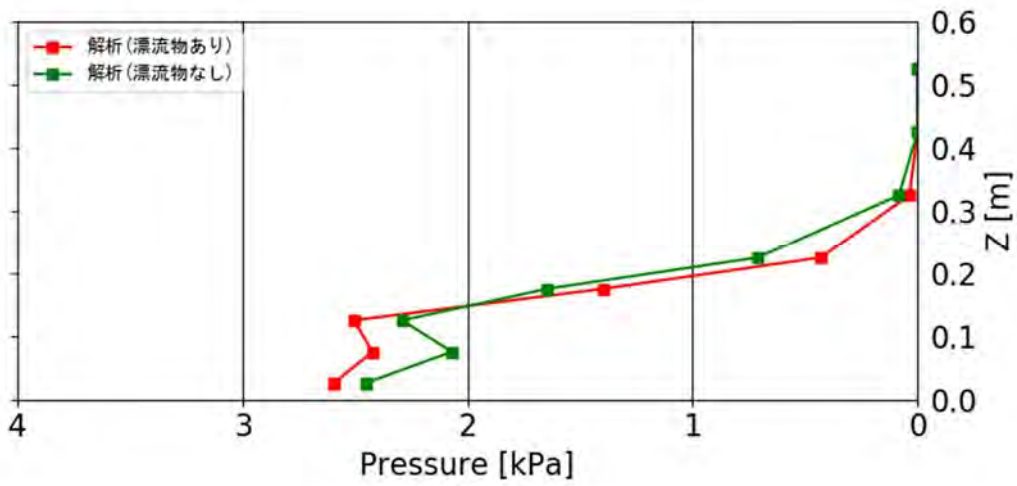


(e) 漂流物 A-1.0m, S-Wd20-0-A-10

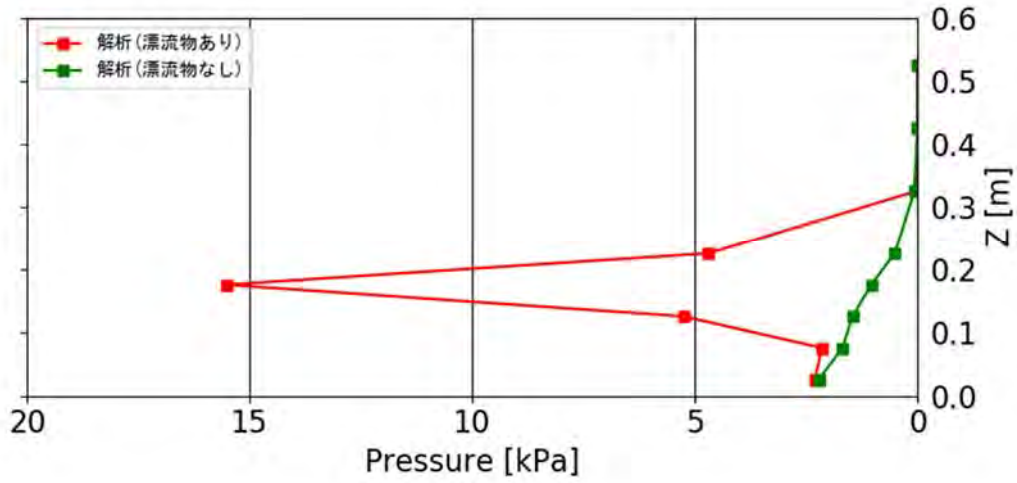


(f) 漂流物 A-2.0m, S-Wd20-0-A-20

図- 9.3.11 漂流物最接近時の鉛直波圧分布(単純勾配, 堤体位置 0m)

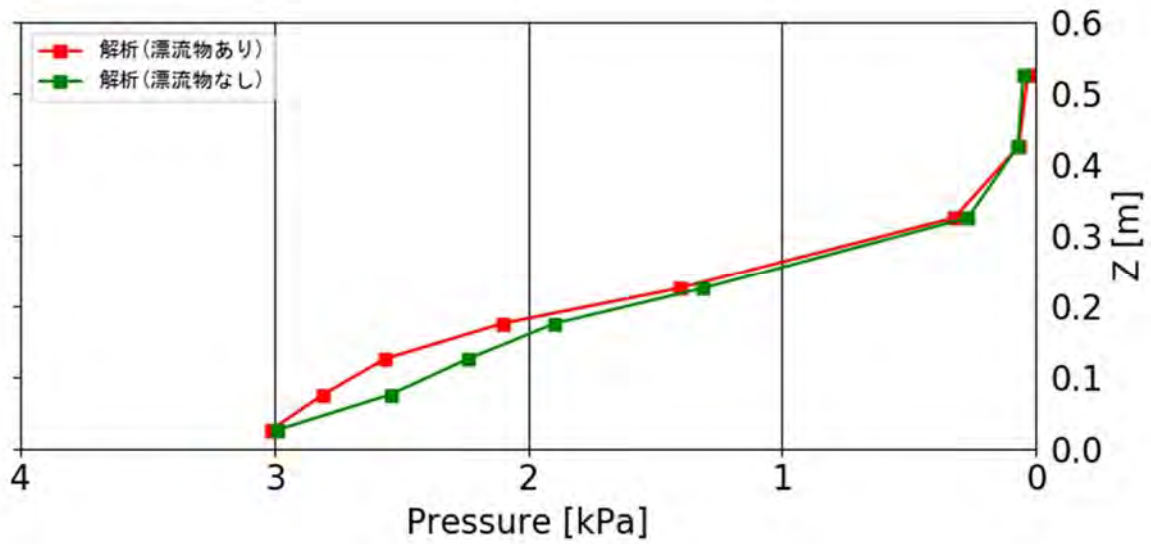


(g) 漂流物 B-0.5m, S-Wd20-0-B-05

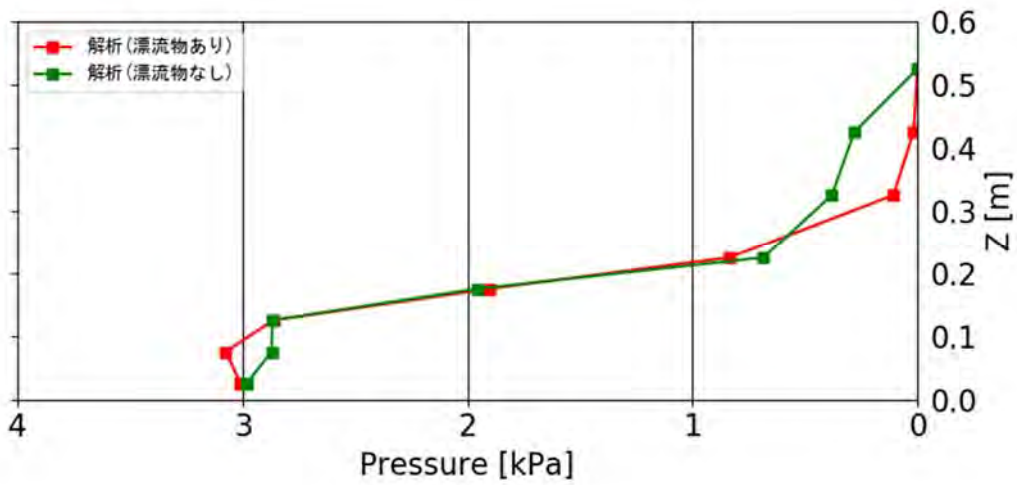


(h) 漂流物 B-0.5m, S-Wd40-0-B-05

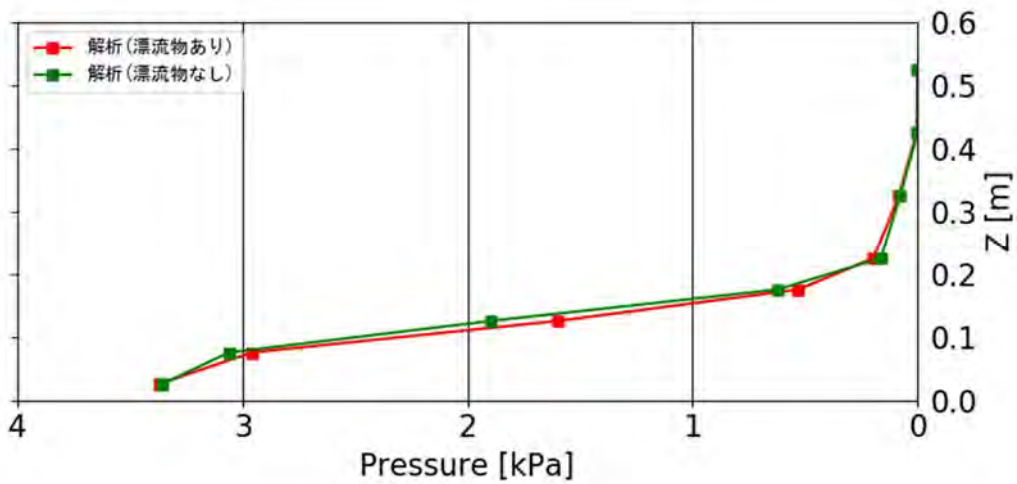
図- 9.3.11 漂流物最接近時の鉛直波圧分布(単純勾配, 堤体位置 0m)



(a) 漂流物 A-0.5m, S-Wd10-1-A-05

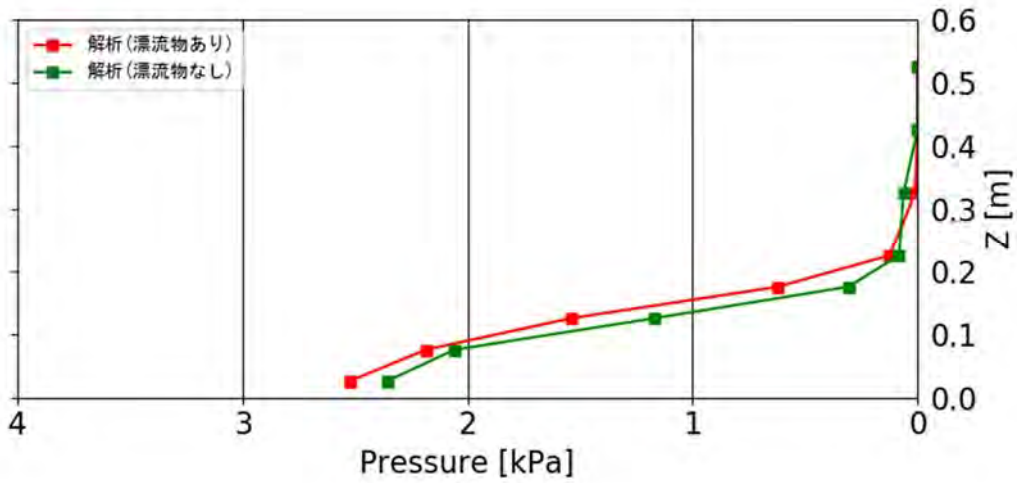


(b) 漂流物 A-0.5m, S-Wd20-1-A-05

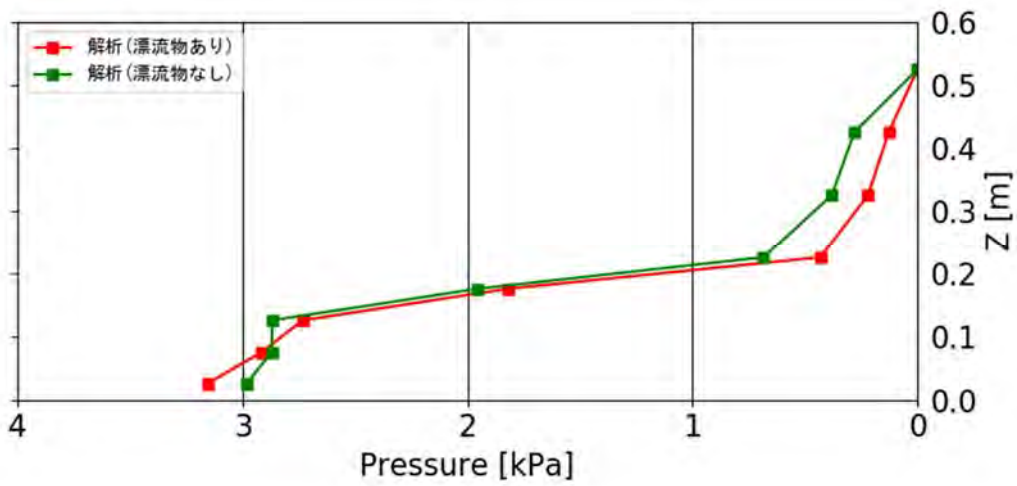


(c) 漂流物 A-0.5m, S-Wd30-1-A-05

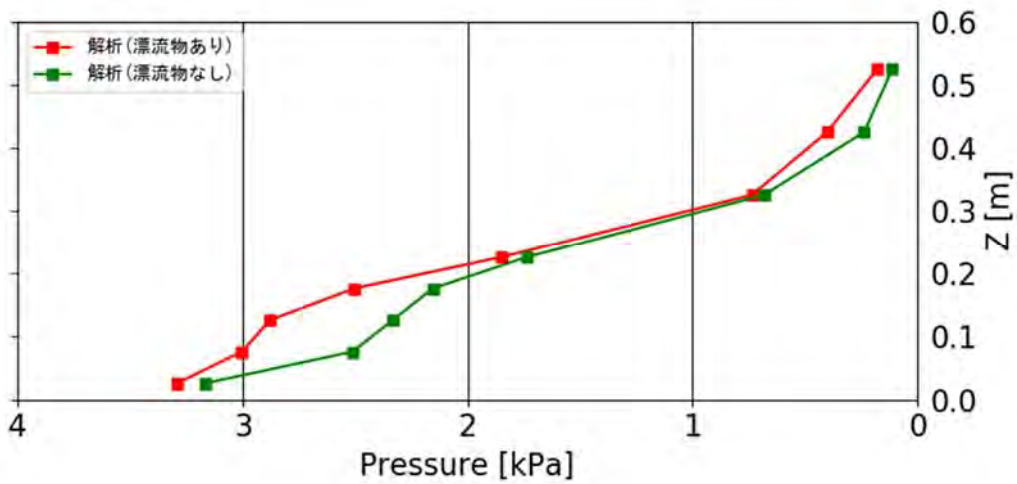
図- 9.3.12 漂流物最接近時の鉛直波圧分布(単純勾配, 堤体位置 0.625m)



(d) 漂流物 A-0.5m, S-Wd40-1-A-05

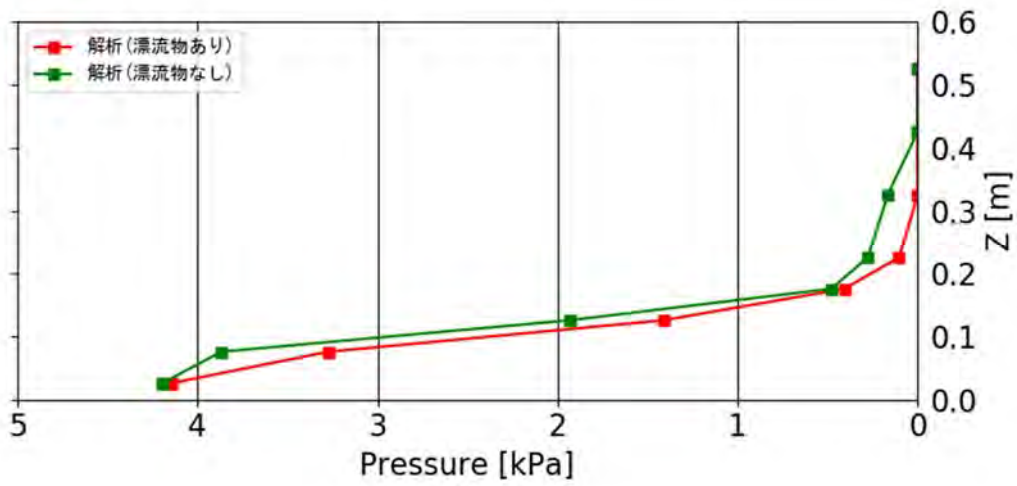


(e) 漂流物 A-1.0m, S-Wd20-1-A-10

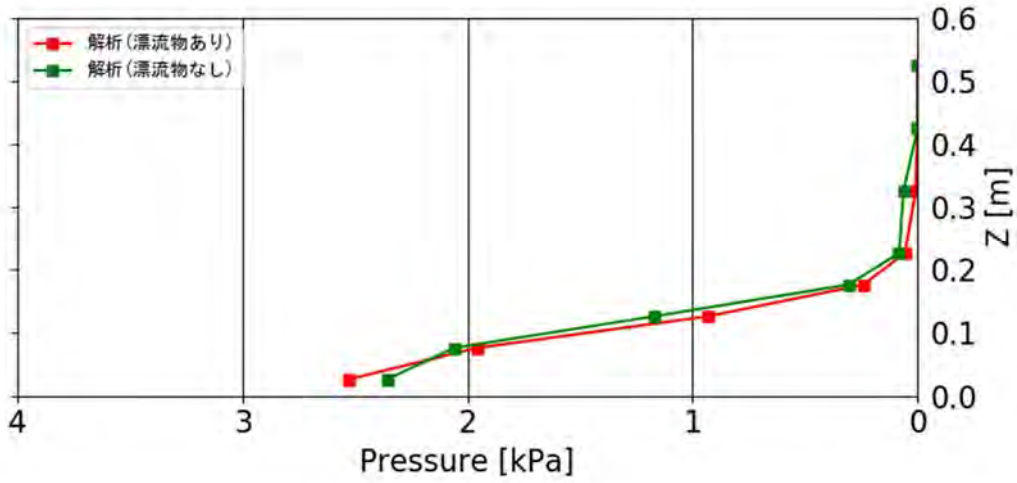


(f) 漂流物 A-2.0m, S-Wd20-1-A-20

図- 9.3.12 漂流物最接近時の鉛直波圧分布(単純勾配, 堤体位置 0.625m)



(g) 漂流物 B-0.5m, S-Wd20-1-B-05



(h) 漂流物 B-0.5m, S-Wd40-1-B-05

図- 9.3.12 漂流物最接近時の鉛直波圧分布(単純勾配, 堤体位置 0.625m)

表- 9.3.2 衝突判断結果

直立護岸			単純勾配		
	漂流物の有無による 最大圧力差[kPa]	衝突判定		漂流物の有無による 最大圧力差[kPa]	衝突判定
F-Wd10-0-A-05	1.6	△	S-Wd10-0-A-05	14.2	○
F-Wd20-0-A-05	34.8	○	S-Wd20-0-A-05	3.2	△
F-Wd30-0-A-05	1.7	△	S-Wd30-0-A-05	0.6	×
F-Wd40-0-A-05	0.2	×	S-Wd40-0-A-05	1.4	×
F-Wd20-0-A-10	6.2	△	S-Wd20-0-A-10	1.5	×
F-Wd20-0-A-20	0.8	×	S-Wd20-0-A-20	0.9	×
F-Wd20-0-B-05	3.5	△	S-Wd20-0-B-05	0.9	×
F-Wd20-0-C-05	-	-	S-Wd20-0-C-05	-	-
F-Wd40-0-B-05	0.2	×	S-Wd40-0-B-05	15.7	○
F-Wd10-1-A-05	2.3	×	S-Wd10-1-A-05	1.2	×
F-Wd20-1-A-05	1.2	×	S-Wd20-1-A-05	1.1	×
F-Wd30-1-A-05	1.2	×	S-Wd30-1-A-05	0.4	×
F-Wd40-1-A-05	0.5	×	S-Wd40-1-A-05	0.6	×
F-Wd20-1-A-10	0.8	×	S-Wd20-1-A-10	2.0	×
F-Wd20-1-A-20	0.6	×	S-Wd20-1-A-20	1.2	×
F-Wd20-1-B-05	0.8	×	S-Wd20-1-B-05	1.1	×
F-Wd20-1-C-05	-	-	S-Wd20-1-C-05	-	-
F-Wd40-1-B-05	0.8	×	S-Wd40-1-B-05	0.4	×

9.3.5. 漂流物の移動軌跡

漂流物が堤体に衝突した可能性を更に検討するため、図- 9.3.13～図- 9.3.16 に、漂流物の移動軌跡（重心点）および比較結果を示す。前述の圧力の計測結果からの判断では、衝突が確認されるケースが少なかったが、移動軌跡を確認すると多くのケースで漂流物は堤体近傍まで近づいていることが分かる。堤体近傍の動きを除けば、多くのケースで漂流物は堤体に接近しており、衝突の可能性を再現していると見る事が出来る。実際の現象の不規則性を考慮すれば、ある閾値を設定して、閾値以上に堤体に近接した場合には衝突の可能性があると判断してやれば、衝突確率的な評価は可能である。

ただし、堤体近傍での漂流物の挙動を正確に算定するには、漂流物回りや漂流物と堤体の間の、局所的な圧力変動やの流速場を再現する必要がある。衝突力の定量評価のためには、詳細な解析格子や構造物の動的解析モデルの導入や、あるいは、接近判断や接近速度などによる衝突力の評価モデルの適用が考えられる。

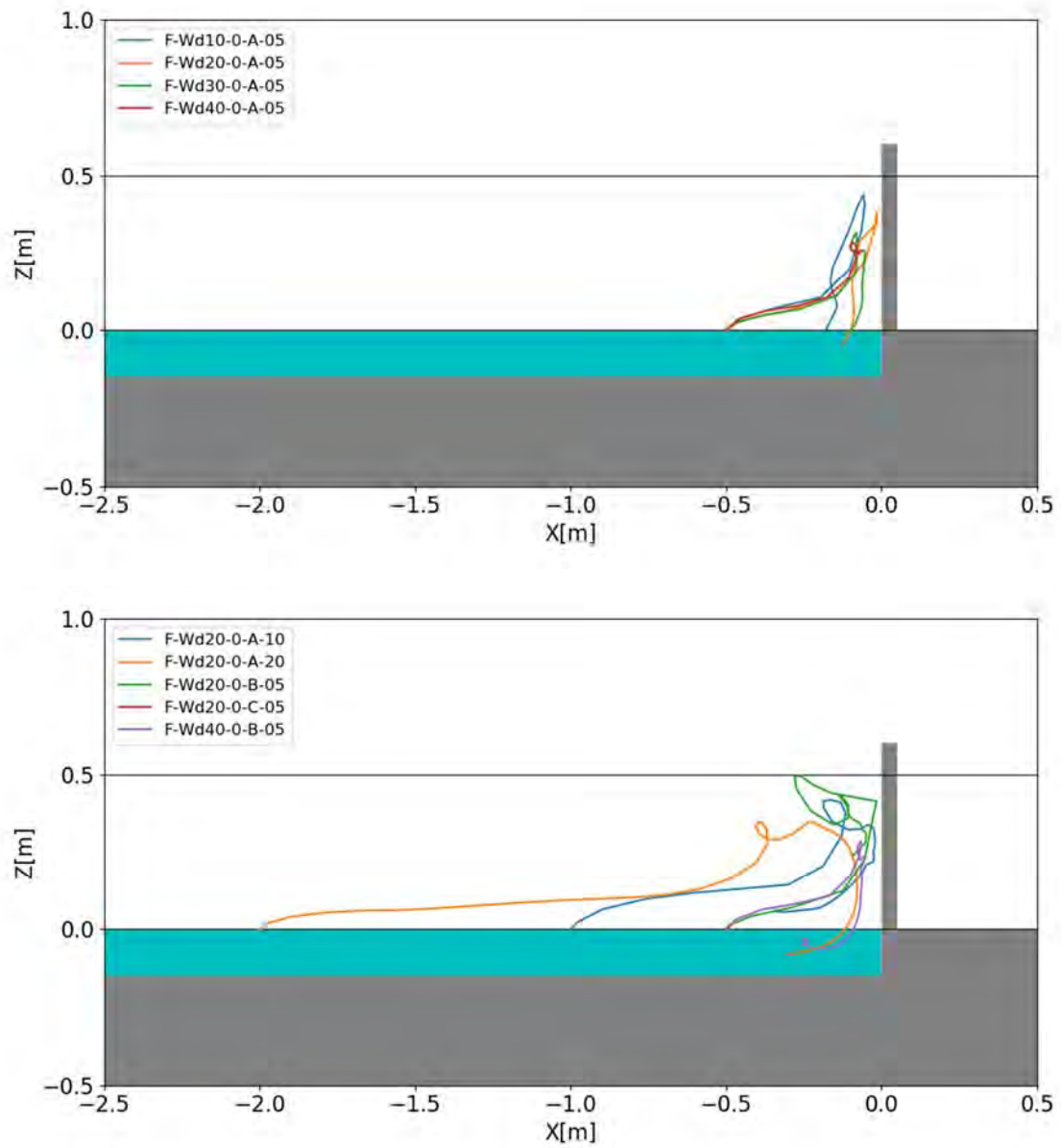


図- 9.3.13 漂流物の移動軌跡（直立護岸，堤体位置 0m）

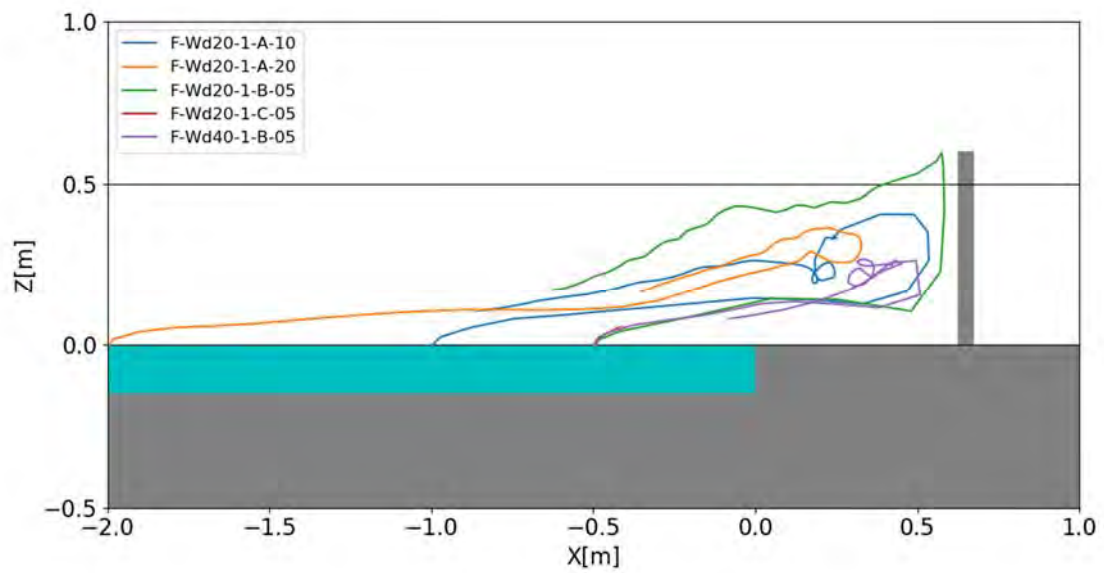
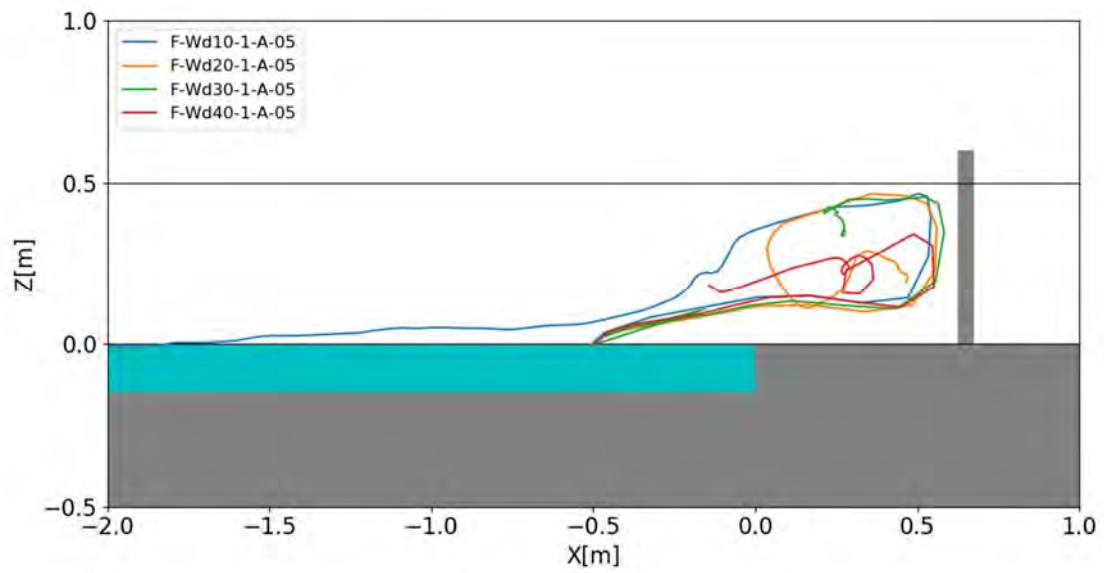


図- 9.3.14 漂流物の移動軌跡 (直立護岸, 堤体位置 0.625m)

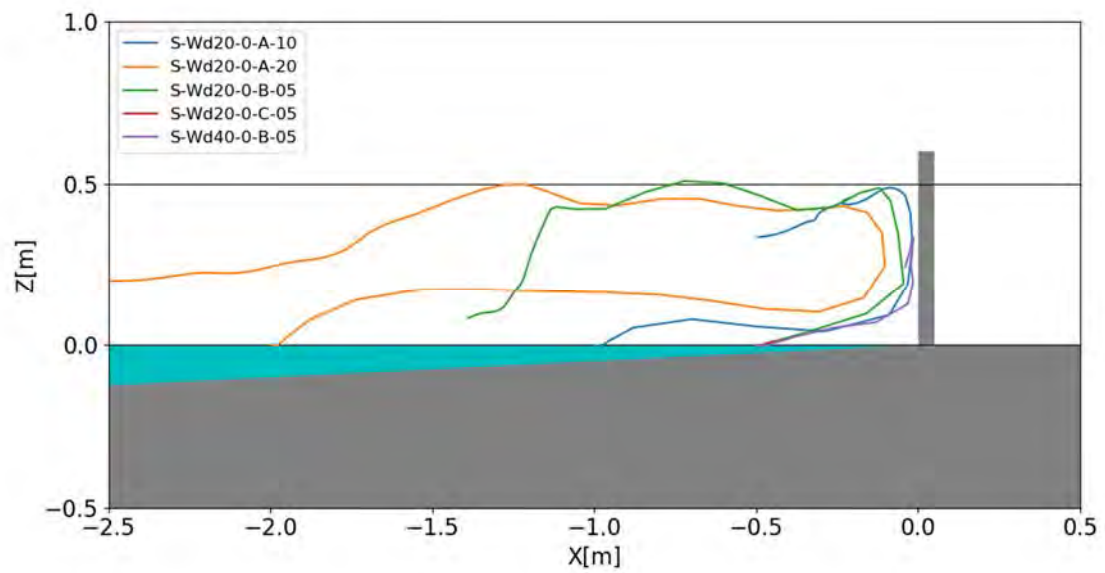
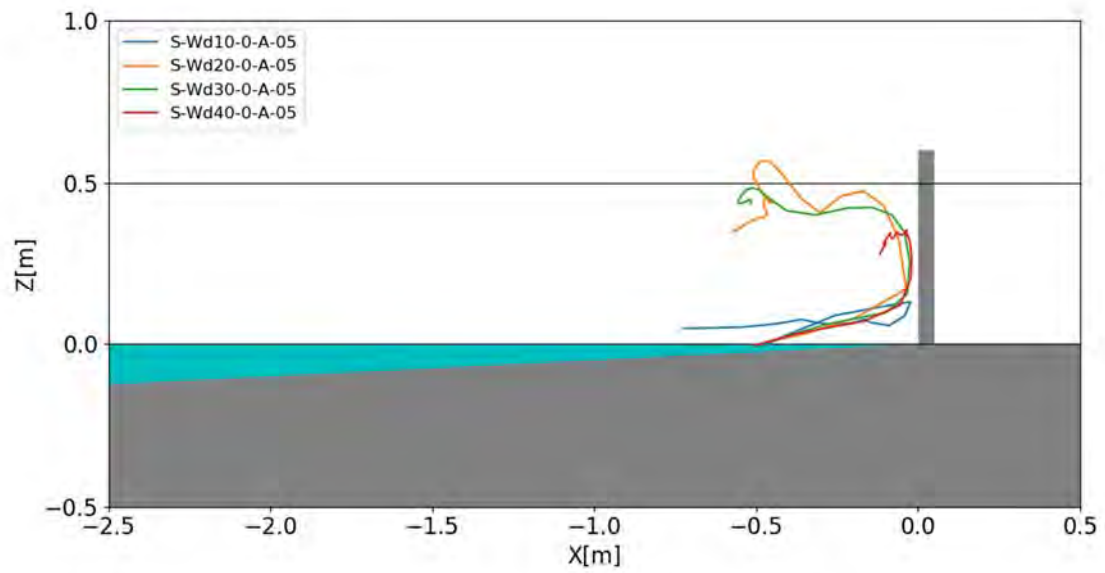


図- 9.3.15 漂流物の移動軌跡 (単純勾配, 堤体位置 0m)

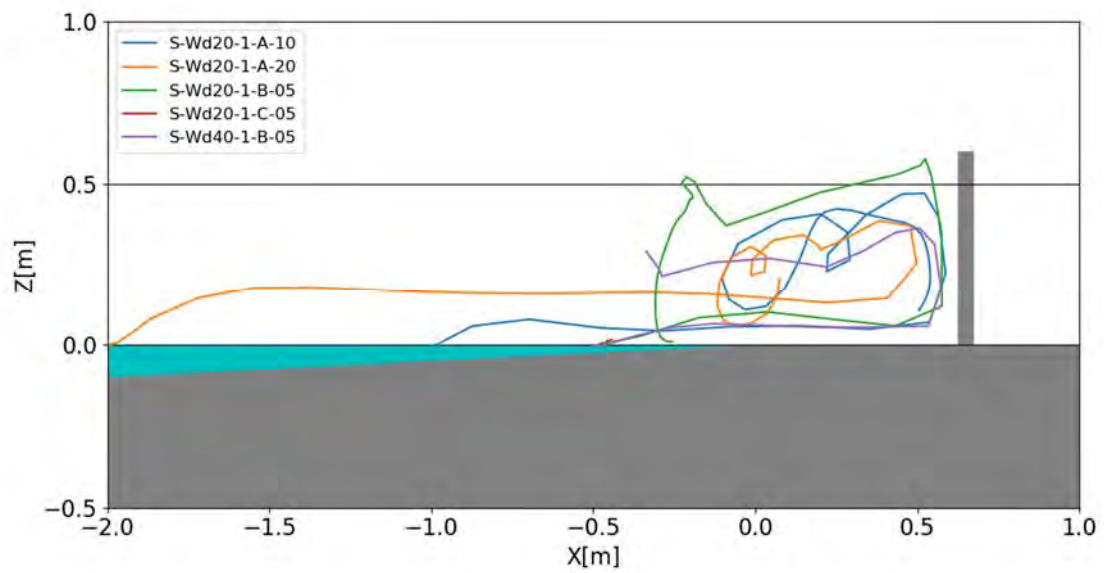
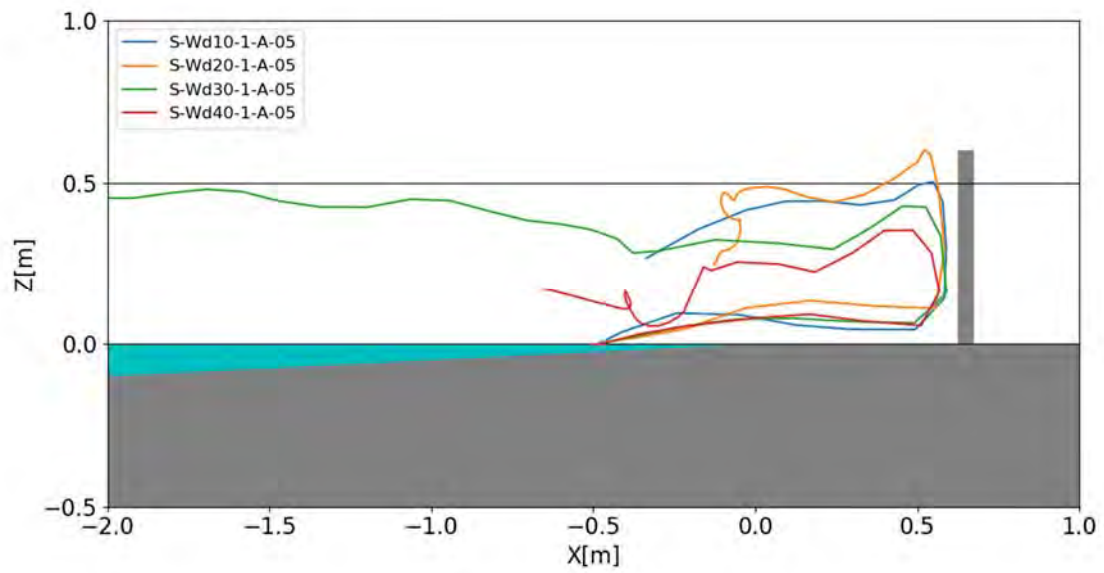


図- 9.3.16 漂流物の移動軌跡（単純勾配，堤体位置 0.625m）

9.3.6. 漂流物の衝突状況

解析結果については可視化のため動画を作成した。図- 9.3.17～図- 9.3.52 に、これらのスナップショットを示す。漂流物および水面を示した 3 次元鳥瞰図，鉛直断面流速分布，鉛直断面圧力分布をケースごとに順に示す。

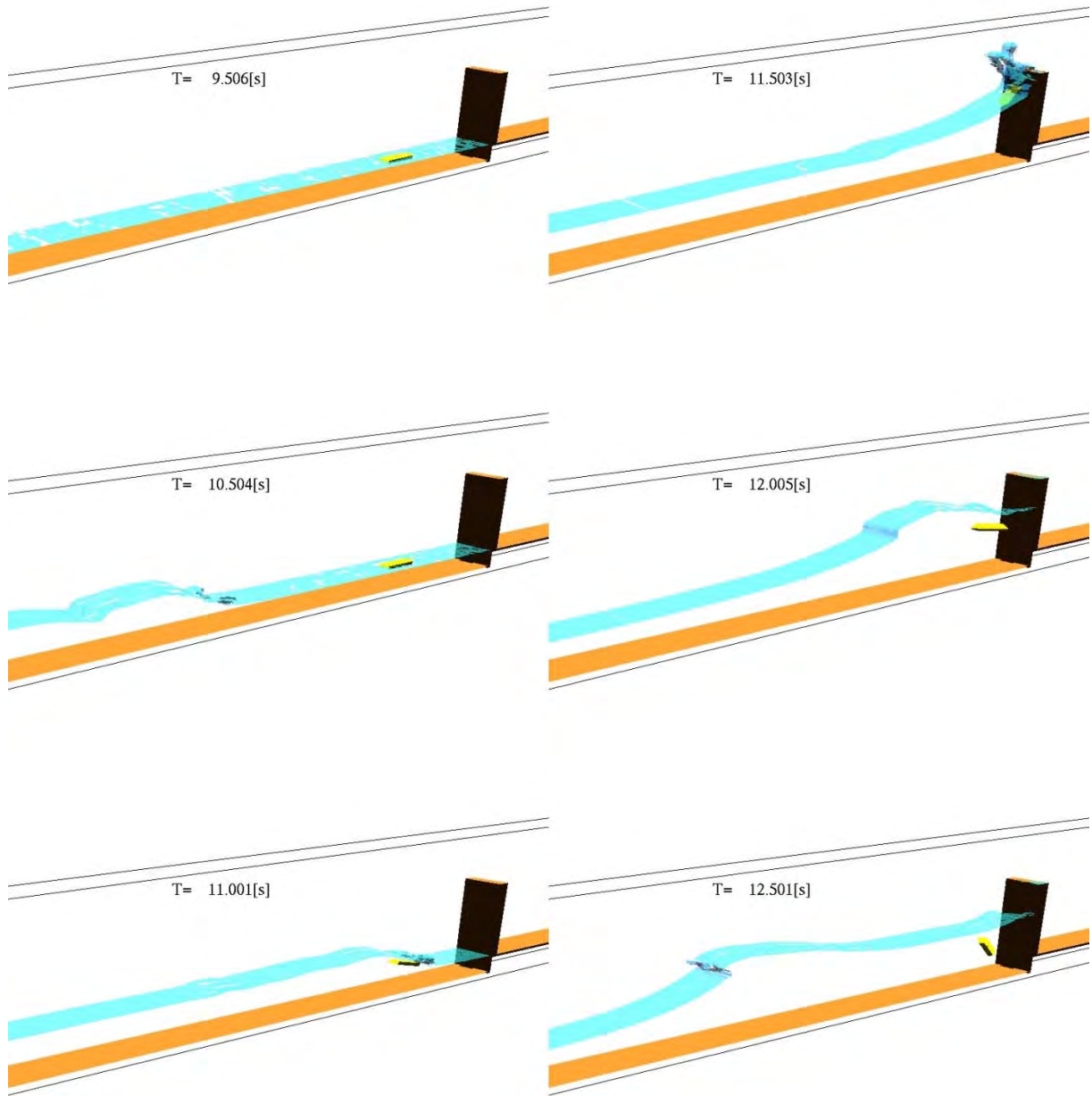
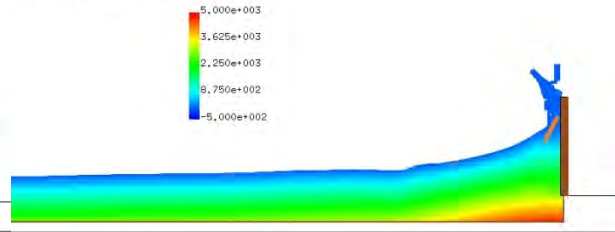


図- 9.3.17 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wd10-0-A-05)

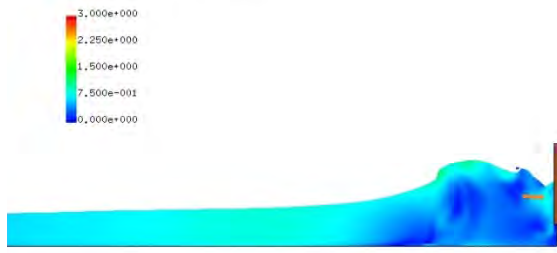
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



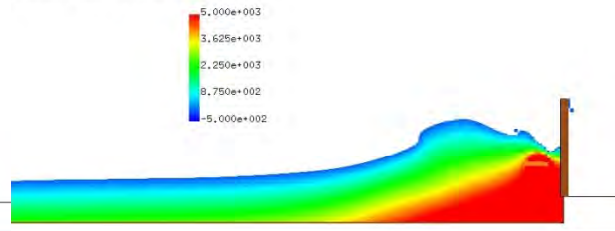
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



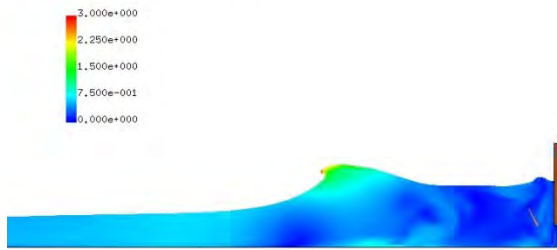
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



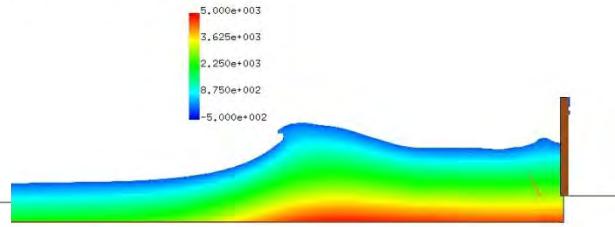
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



T= 12.5012 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5012 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.17 流速及び圧力の鉛直断面分 (F-Wd10-0-A-05)

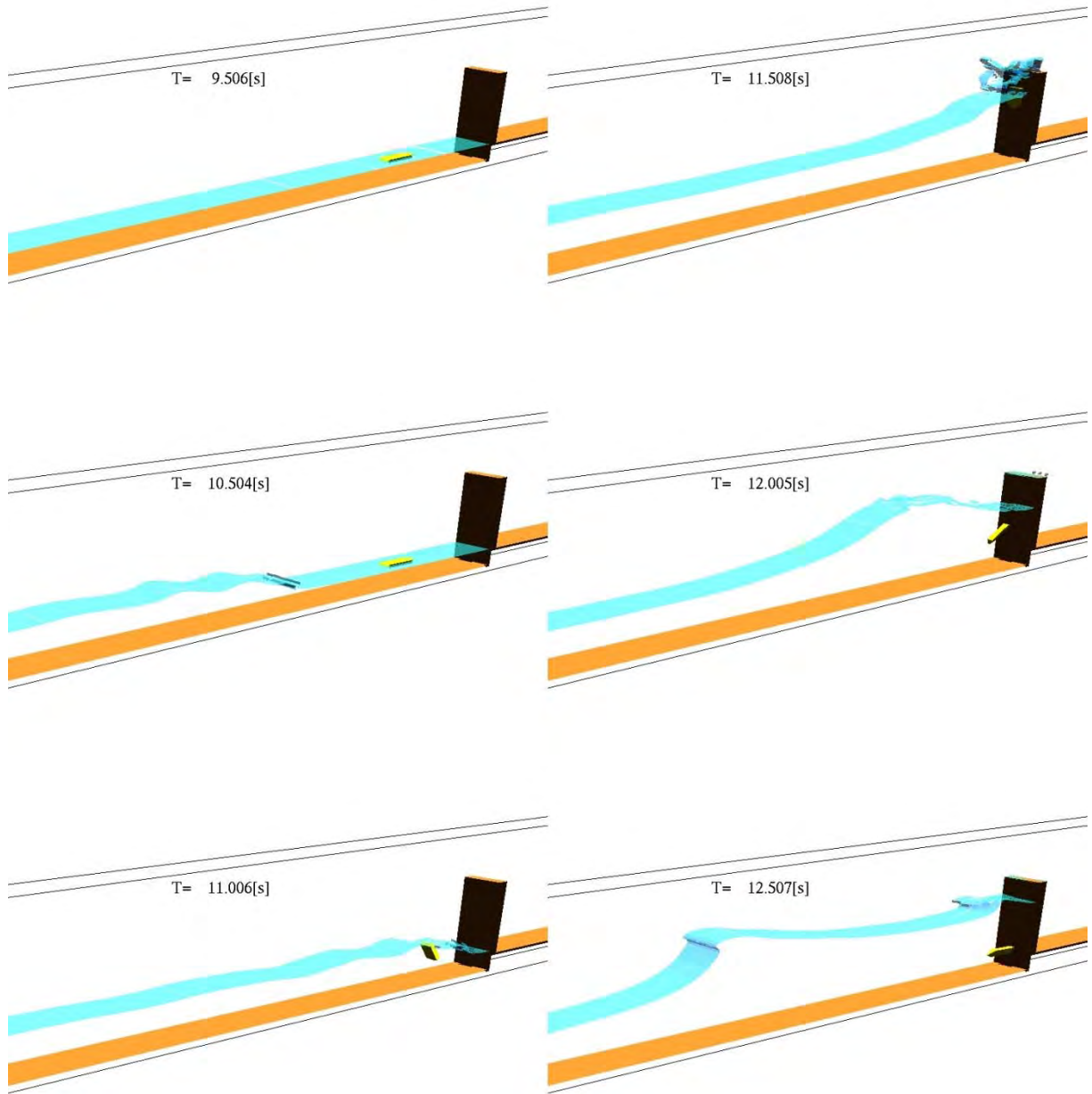
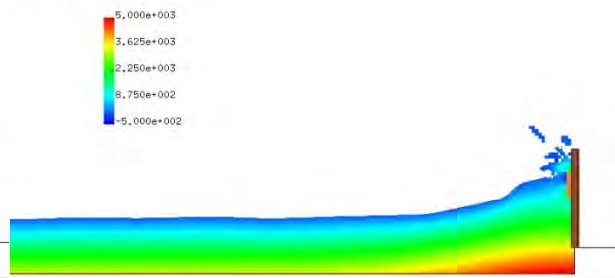


図-9.3.18 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wd20-0-A-05)

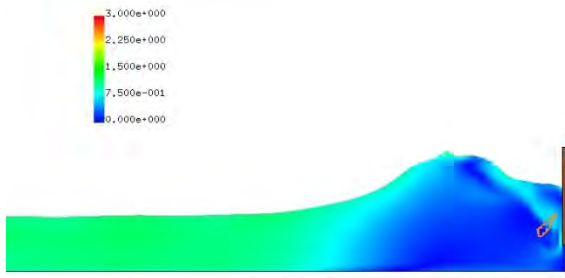
$\Gamma = 11.5085$ XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



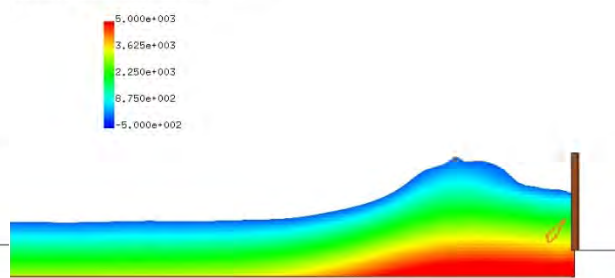
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



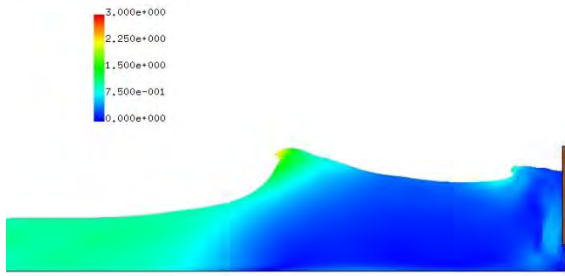
$\Gamma = 12.0048$ XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



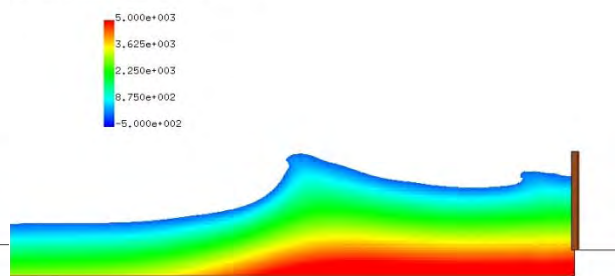
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



$\Gamma = 12.5069$ XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.18 流速及び圧力の鉛直断面分 (F-Wd20-0-A-05)

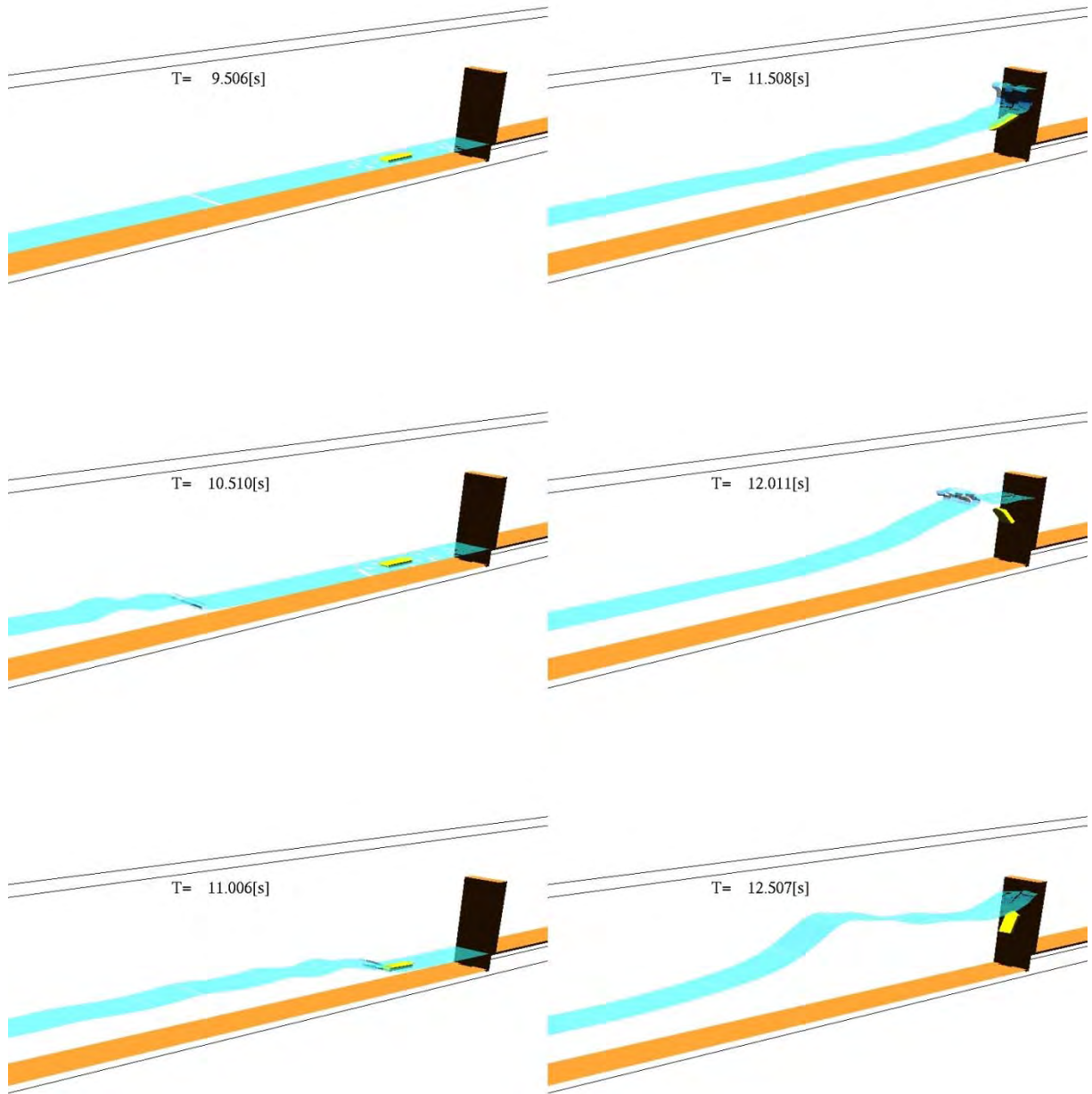
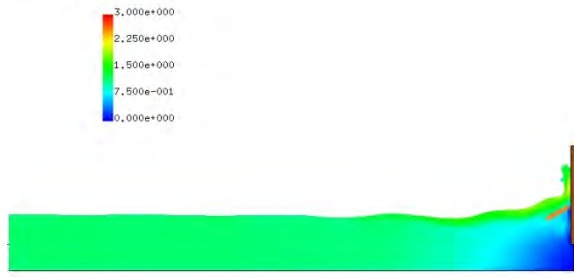
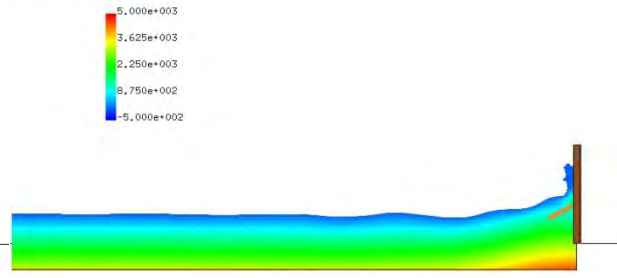


図-9.3.19 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wd30-0-A-05)

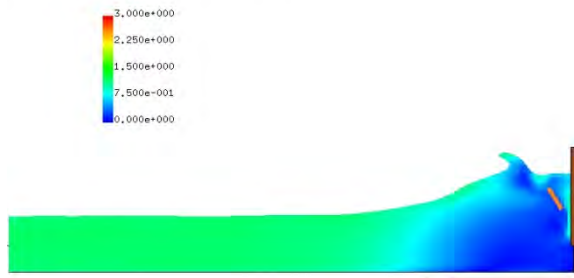
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



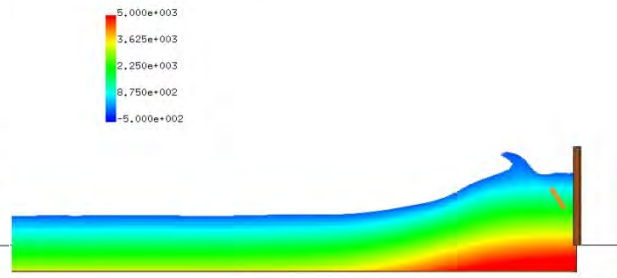
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



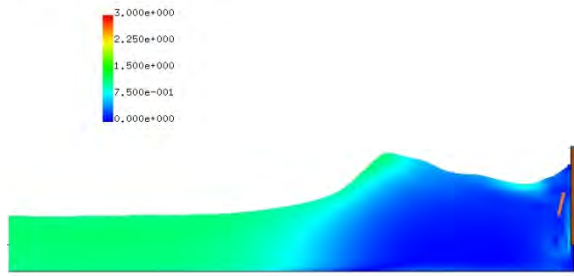
T= 12.0106 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



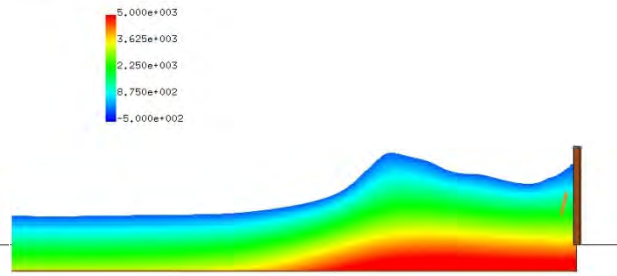
T= 12.0106 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.19 流速及び圧力の鉛直断面分 (F-Wd30-0-A-05)

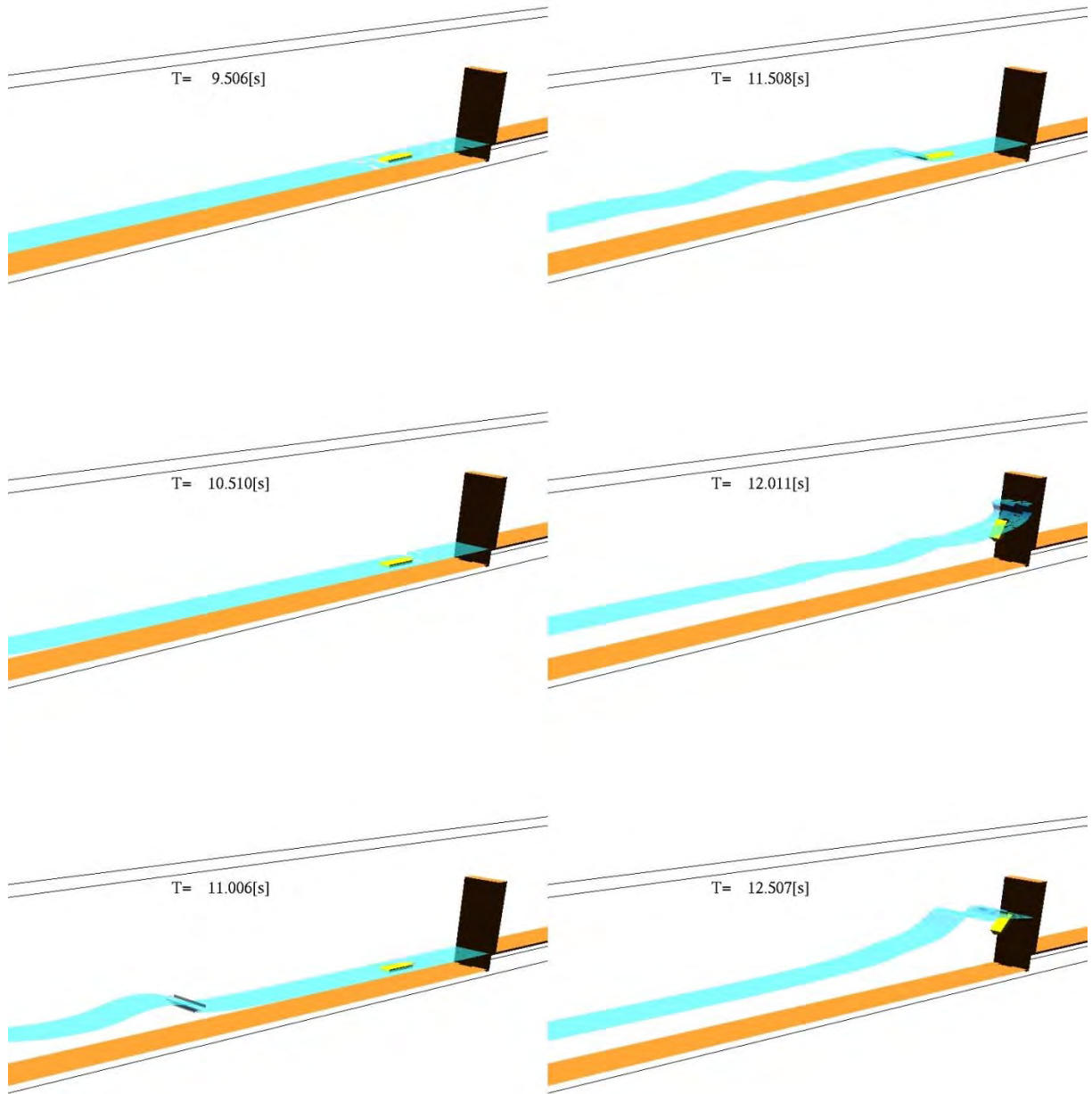
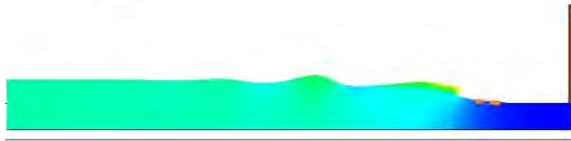
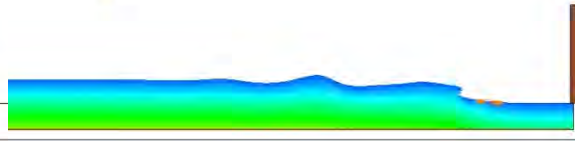
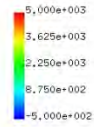


図-9.3.20 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wd40-0-A-05)

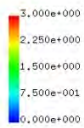
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



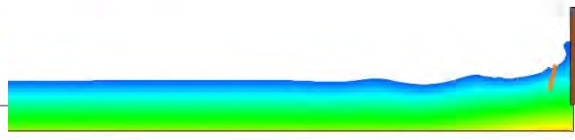
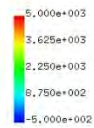
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



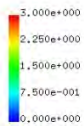
T= 12.0106 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



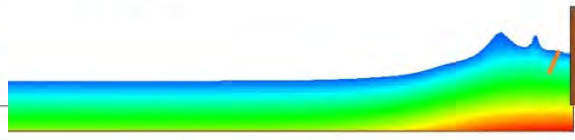
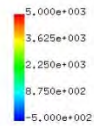
T= 12.0106 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.20 流速及び圧力の鉛直断面分 (F-Wd40-0-A-05)

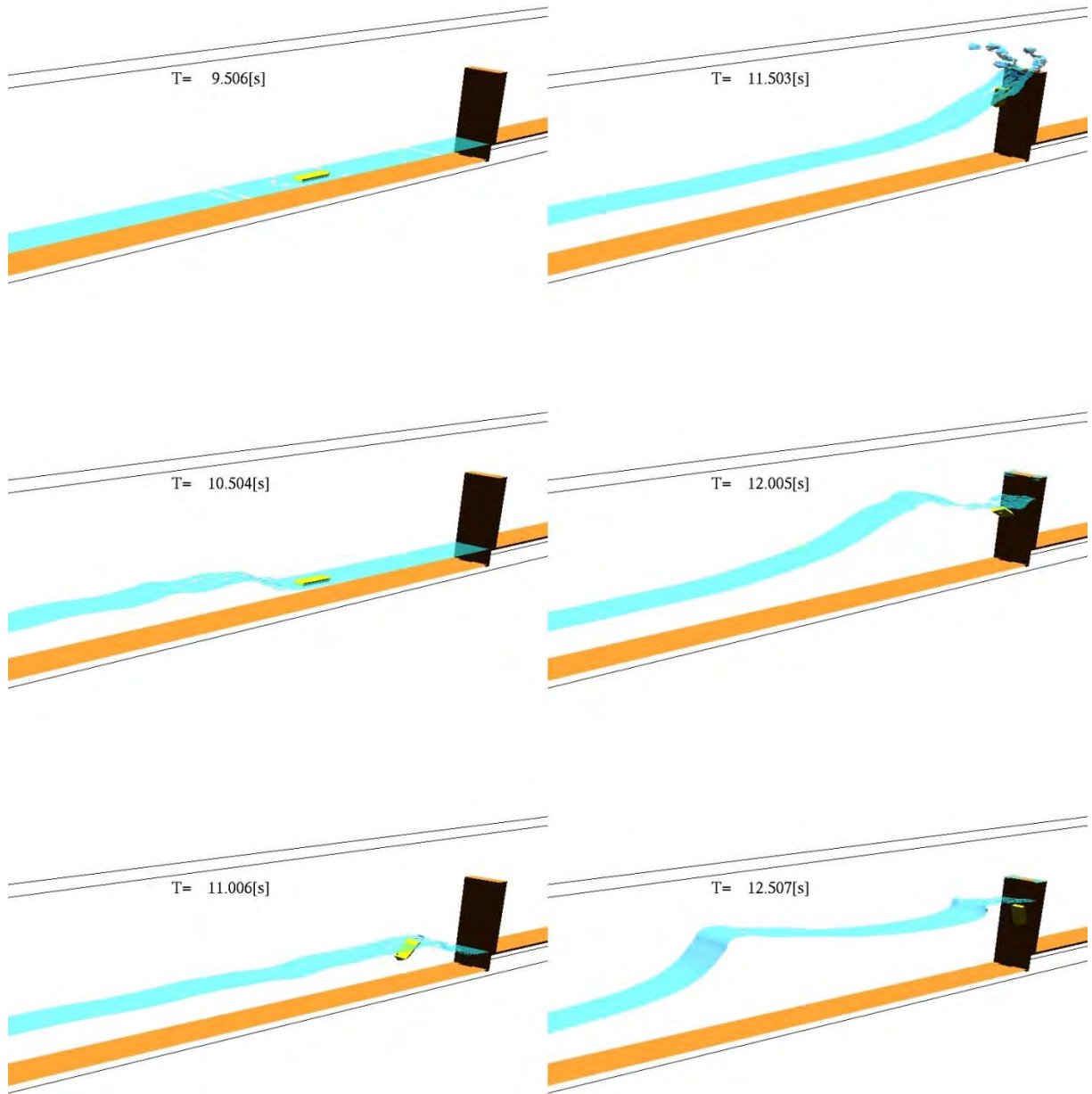
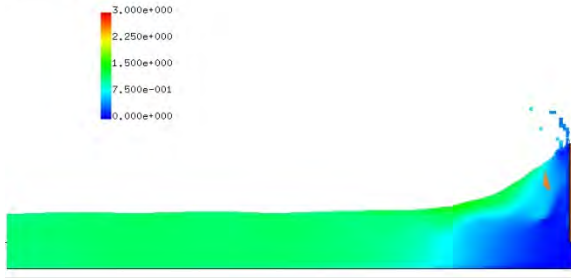
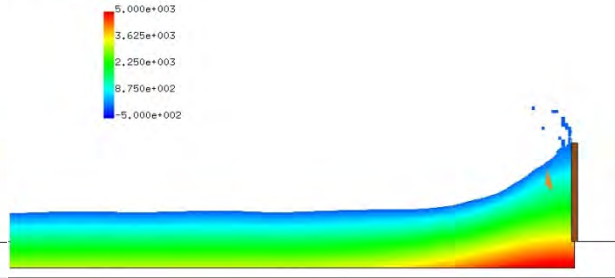


図- 9.3.21 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wd20-0-A-10)

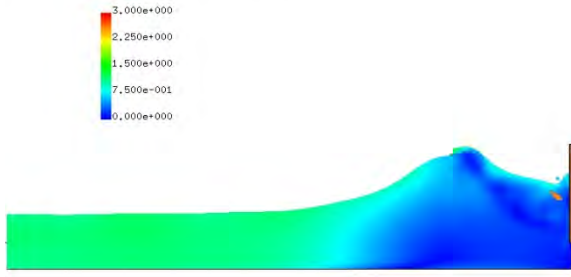
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



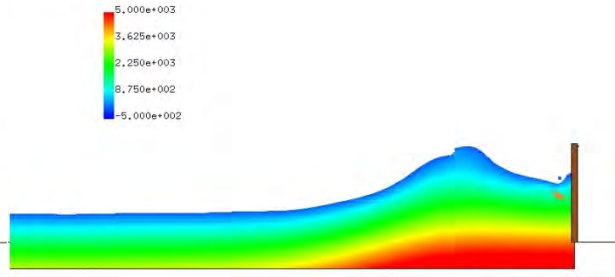
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



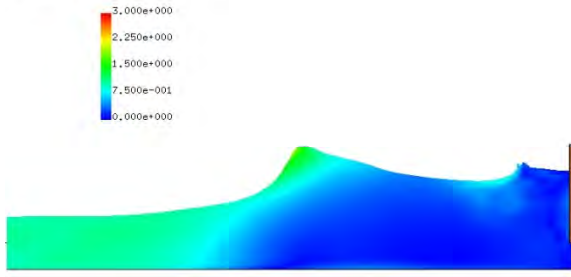
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



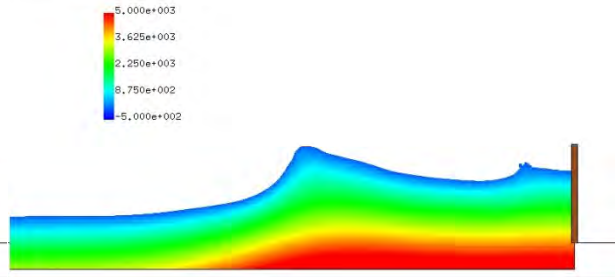
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.21 流速及び圧力の鉛直断面分 (F-Wd20-0-A-10)

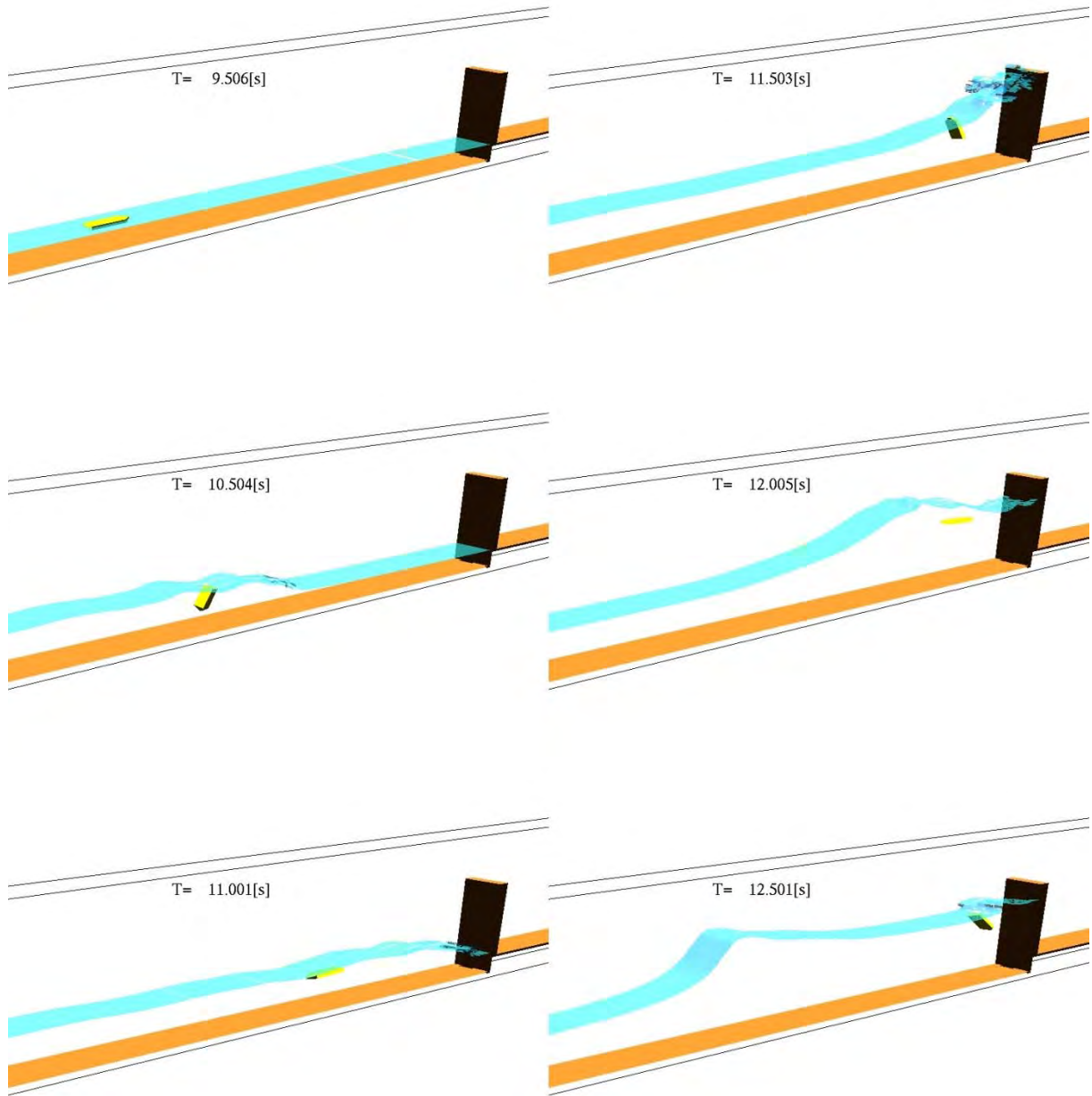
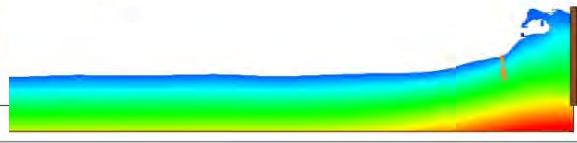
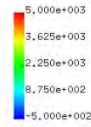


図- 9.3.22 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wd20-0-A-20)

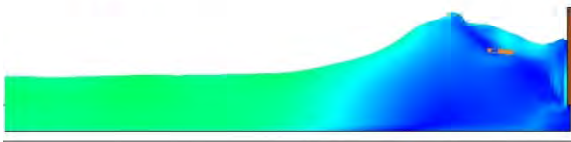
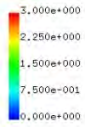
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



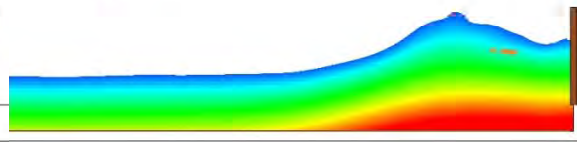
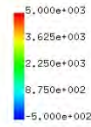
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



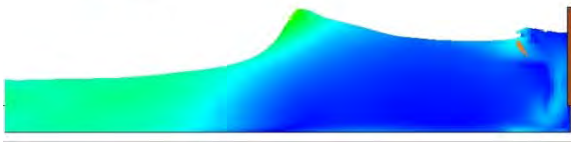
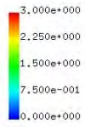
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



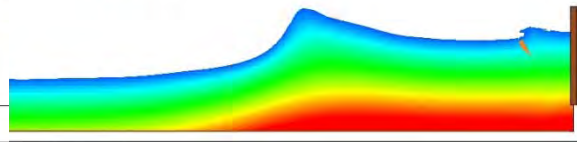
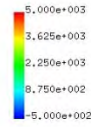
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



T= 12.5012 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5012 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.22 流速及び圧力の鉛直断面分 (F-Wd20-0-A-20)

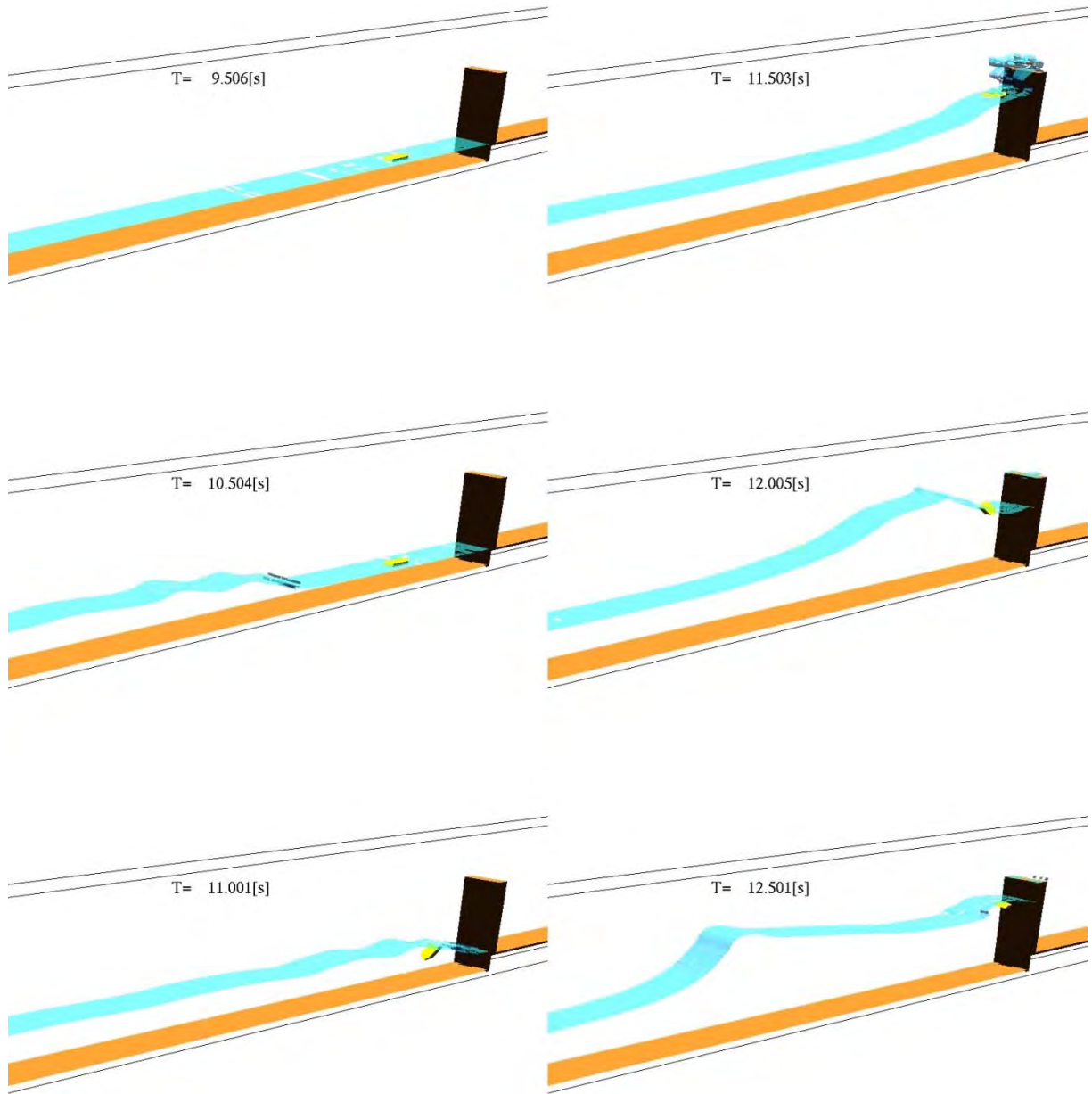
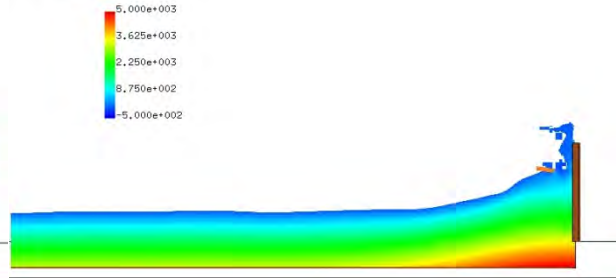


図-9.3.23 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wd20-0-B-05)

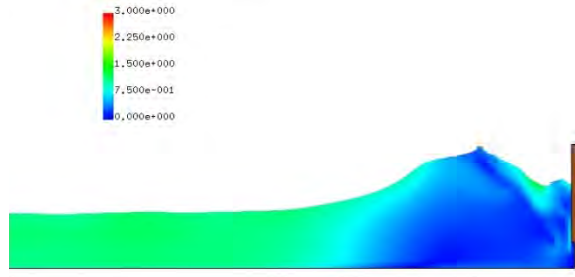
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



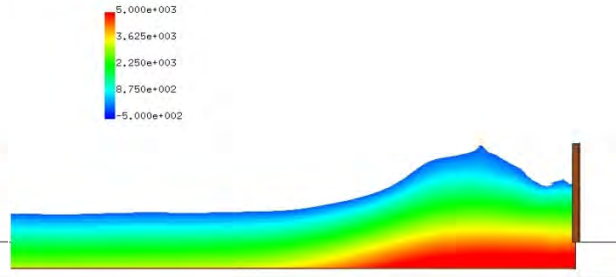
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



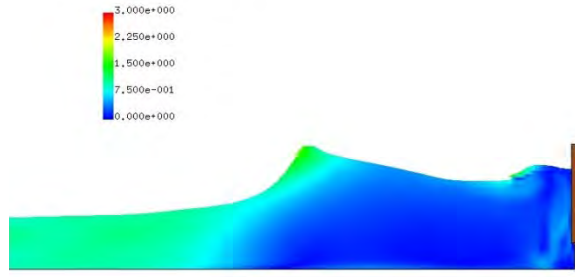
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



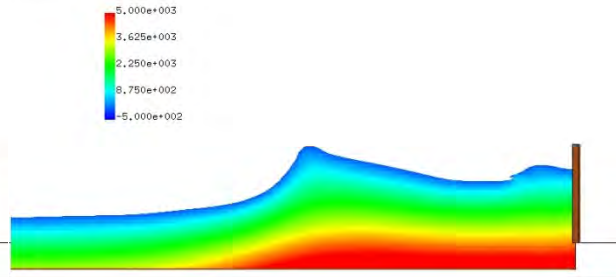
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



T= 12.5012 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5012 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.23 流速及び圧力の鉛直断面分 (F-Wd20-0-B-05)

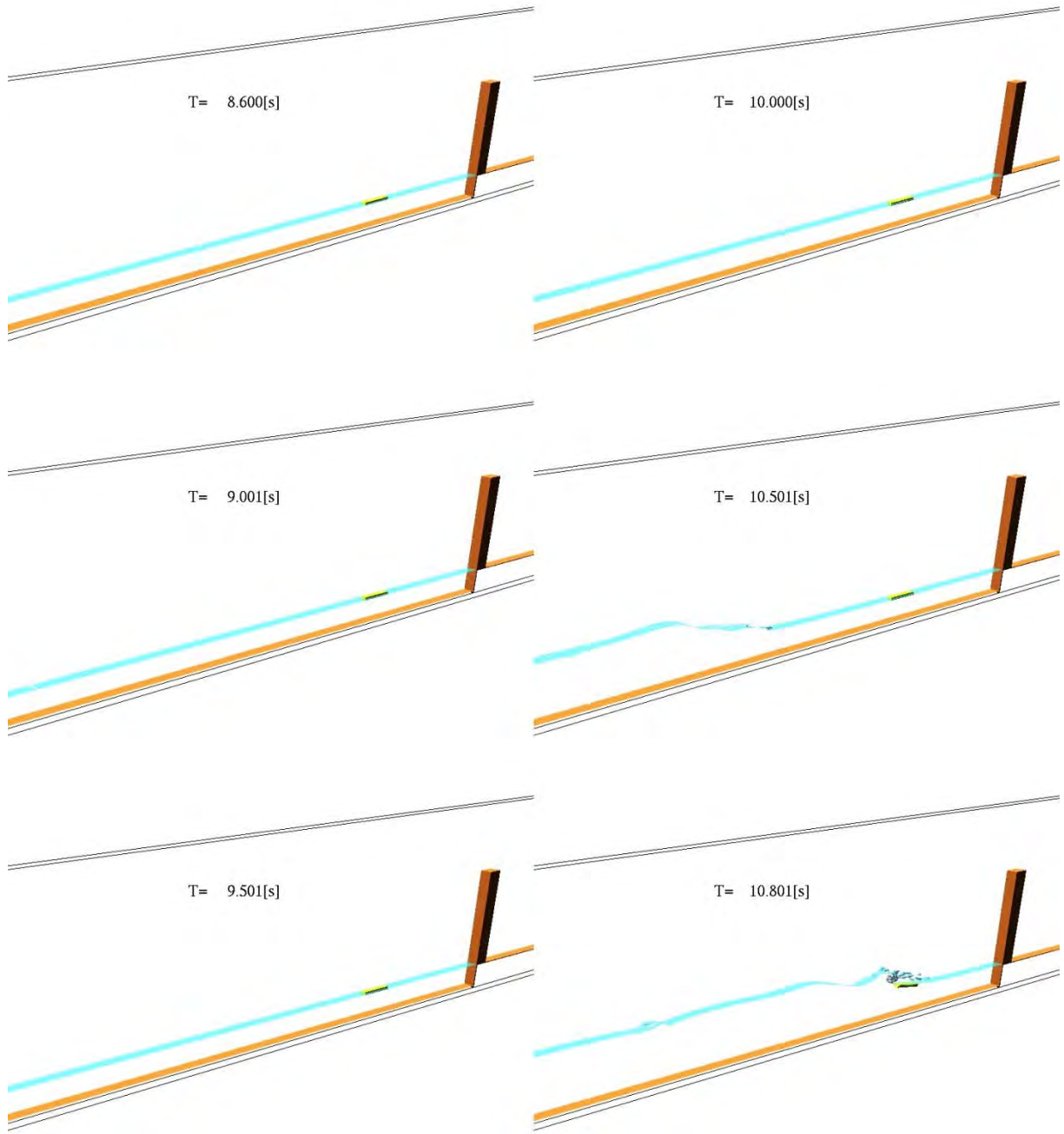
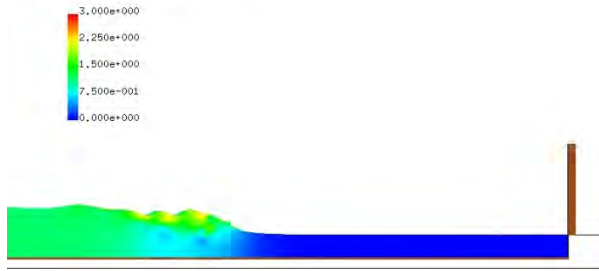
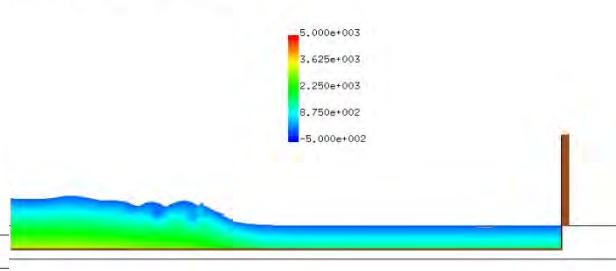


図- 9.3.24 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wd20-0-C-05)

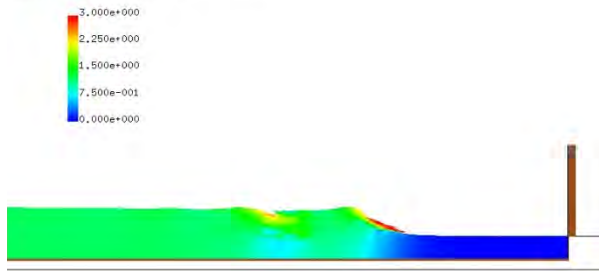
T= 10.0004 XZ plain y= 0.50(j=5)
vector max=3.000000



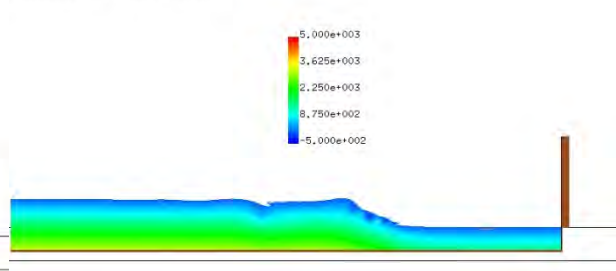
T= 10.0004 XZ plain y= 0.50(j=5)
presurre max=5000.000000



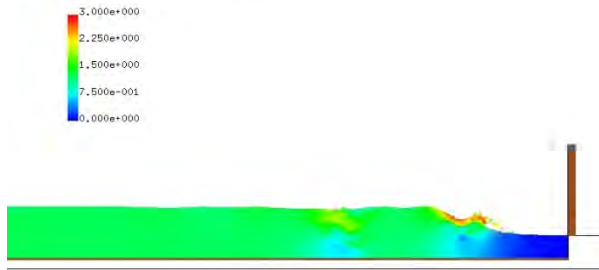
T= 10.5013 XZ plain y= 0.50(j=5)
vector max=3.000000



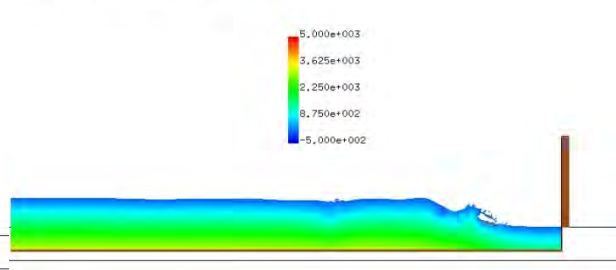
T= 10.5013 XZ plain y= 0.50(j=5)
presurre max=5000.000000



T= 10.8006 XZ plain y= 0.50(j=5)
vector max=3.000000



T= 10.8006 XZ plain y= 0.50(j=5)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.24 流速及び圧力の鉛直断面分 (F-Wd20-0-C-05)

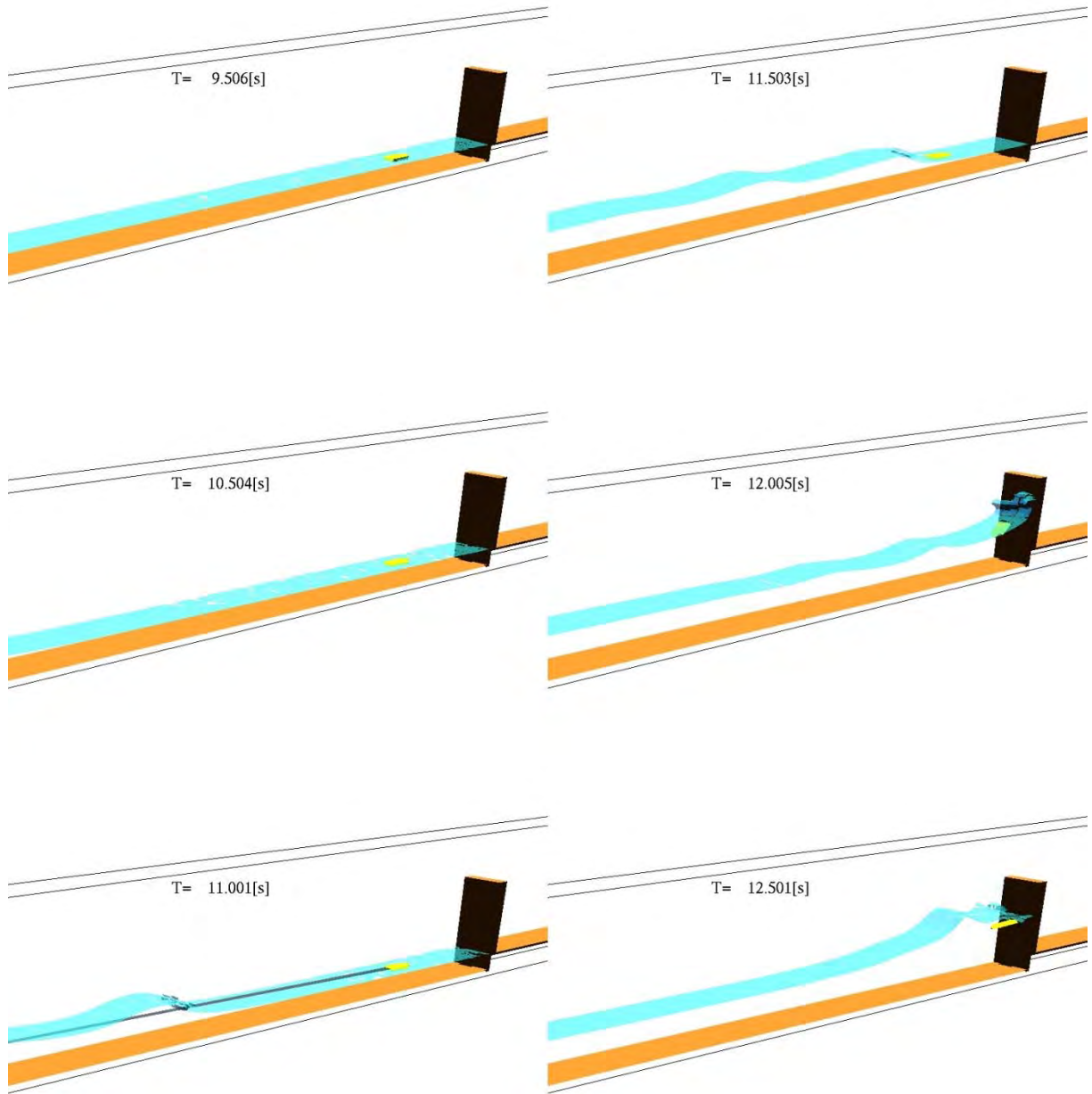
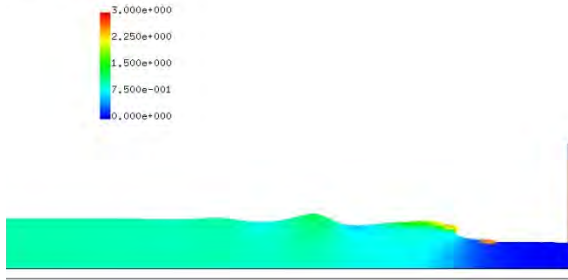
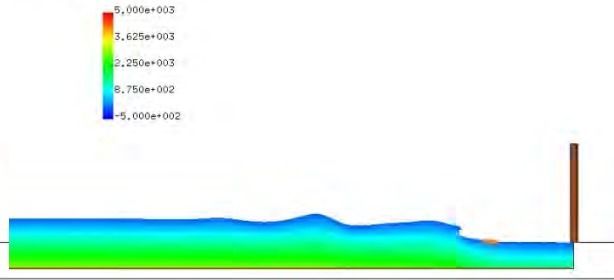


図- 9.3.25 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wd40-0-B-05)

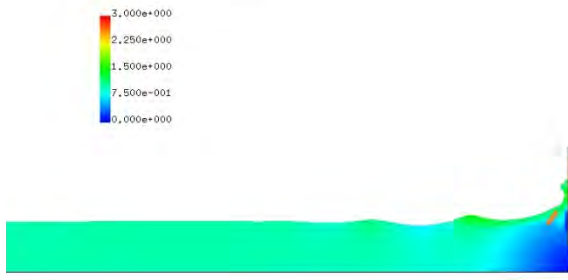
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



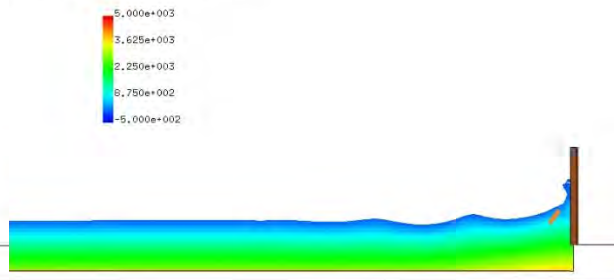
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



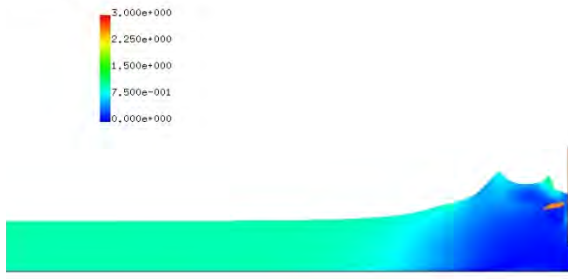
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



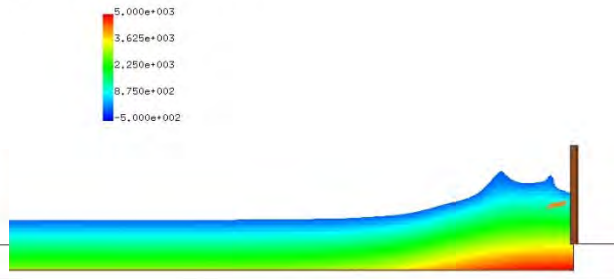
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



T= 12.5012 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5012 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.25 流速及び圧力の鉛直断面分 (F-Wd40-0-B-05)

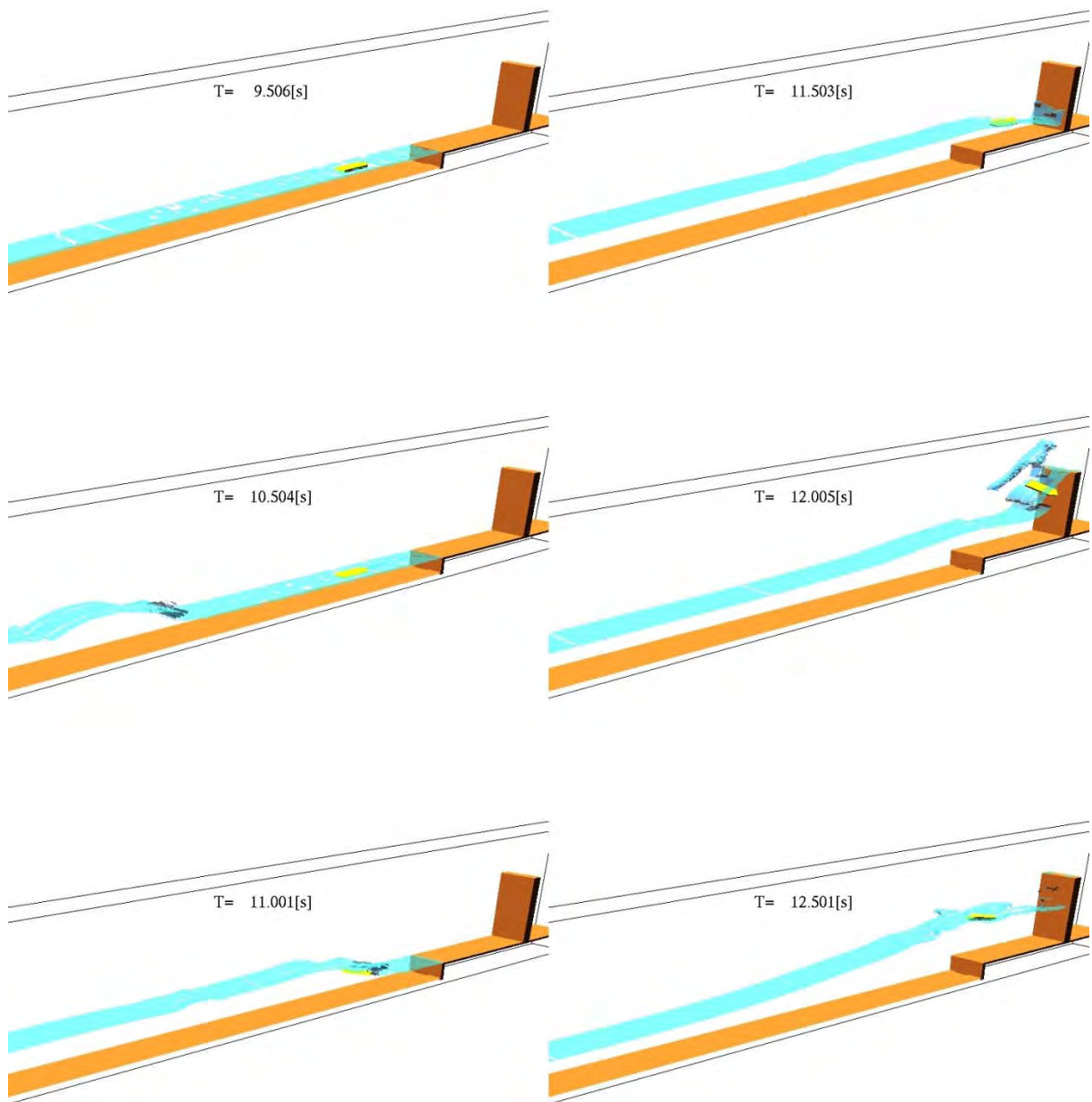
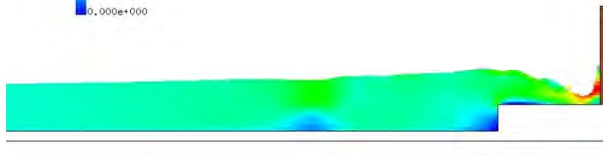
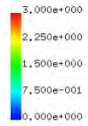
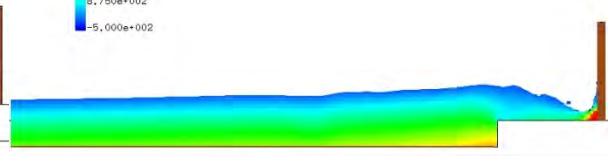
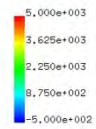


図- 9.3.26 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wd10-1-A-05)

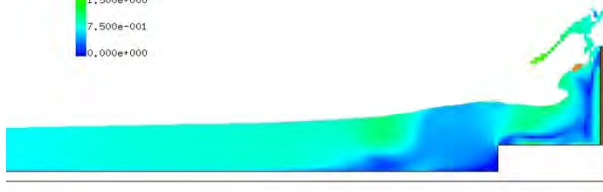
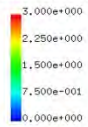
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



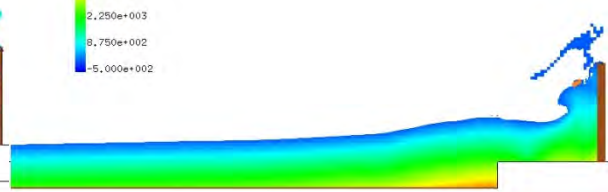
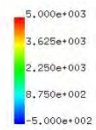
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



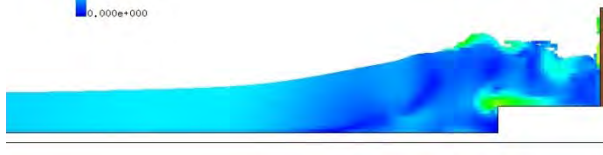
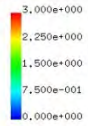
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



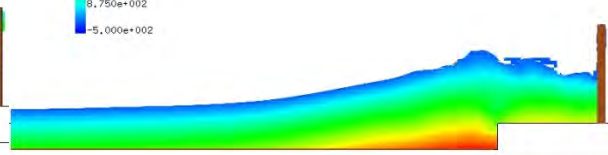
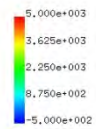
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



T= 12.5012 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5012 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.26 流速及び圧力の鉛直断面分 (F-Wd10-1-A-05)

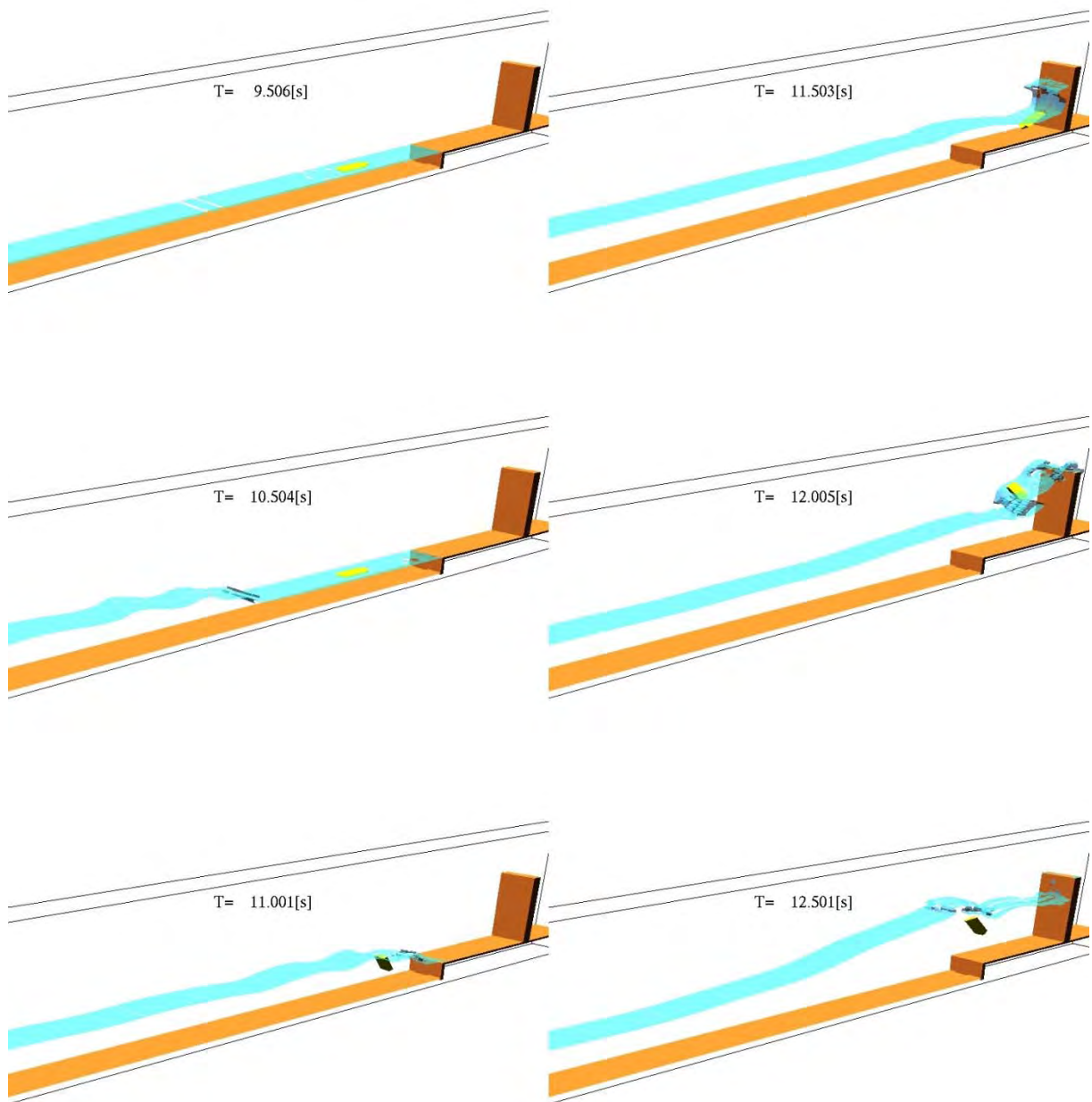
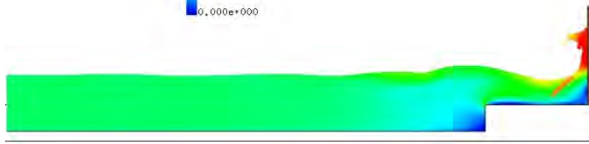
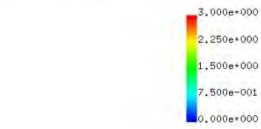
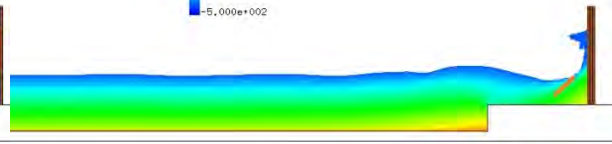
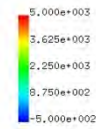


図- 9.3.27 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wd20-1-A-05)

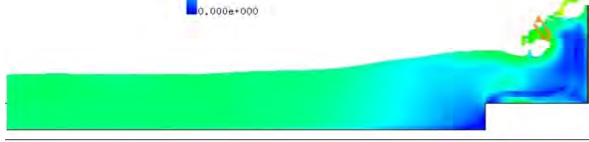
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



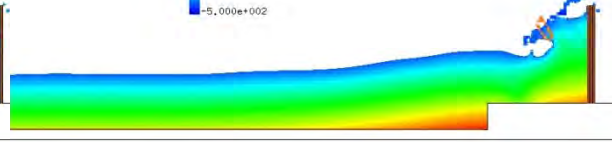
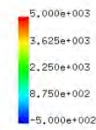
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



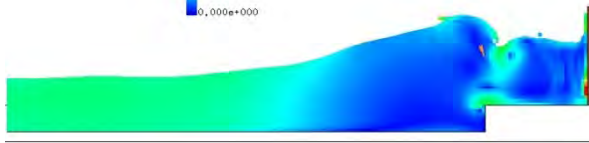
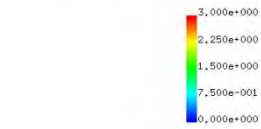
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



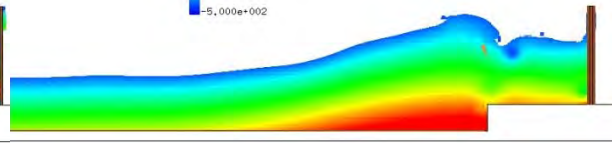
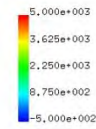
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



T= 12.5012 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5012 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.27 流速及び圧力の鉛直断面分 (F-Wd20-1-A-05)

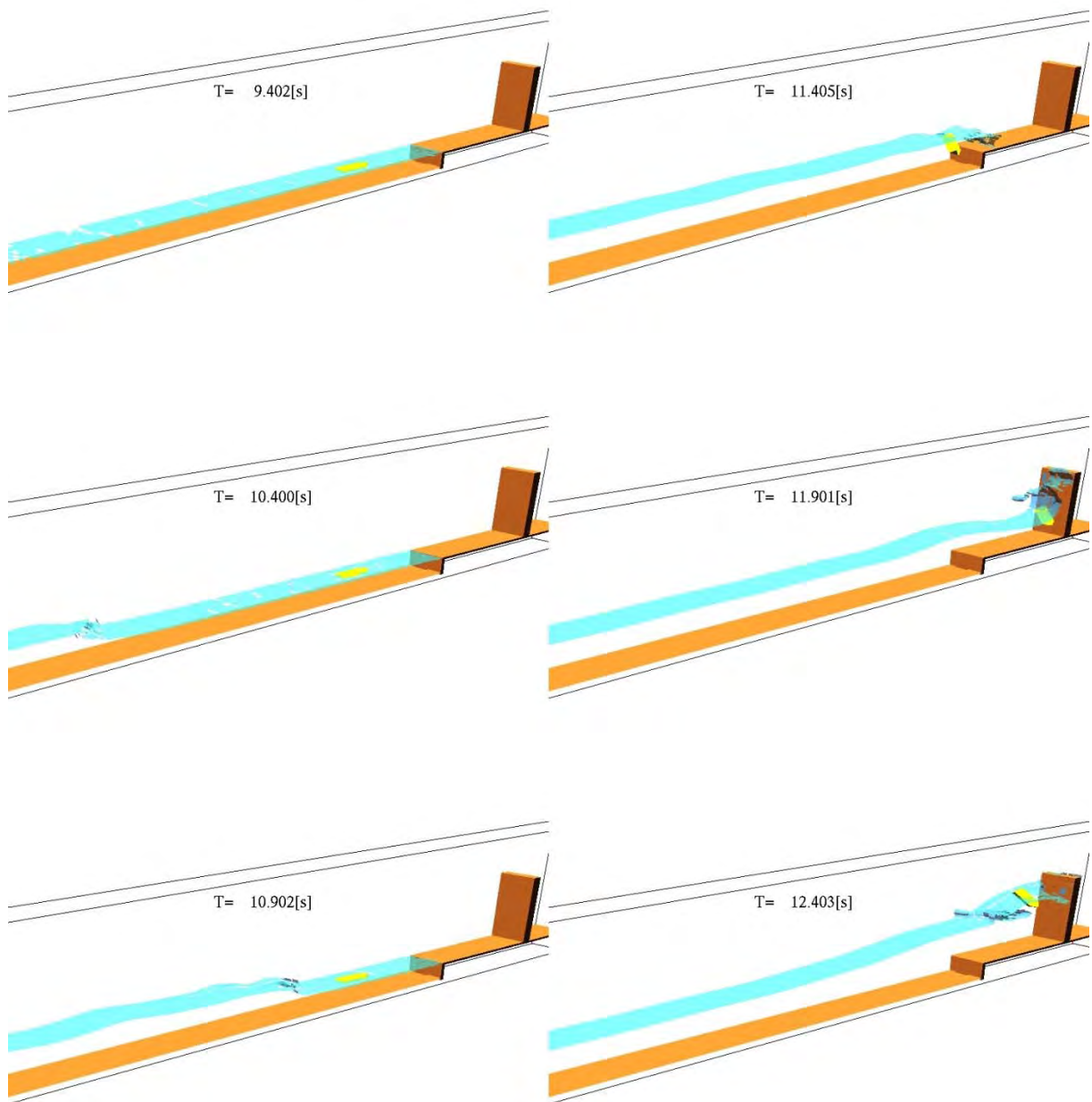
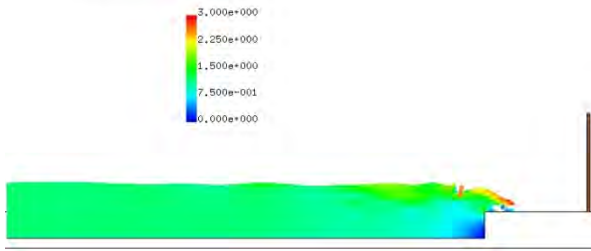
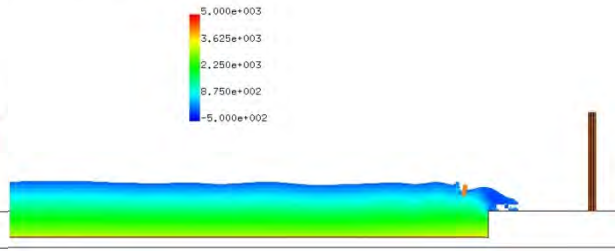


図- 9.3.28 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wd30-1-A-05)

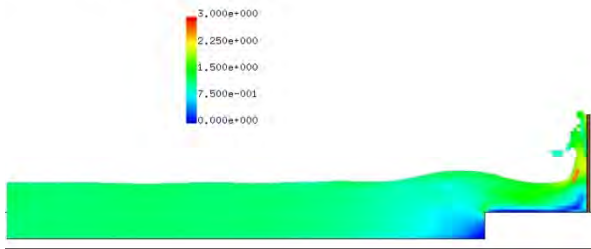
T= 11.4046 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



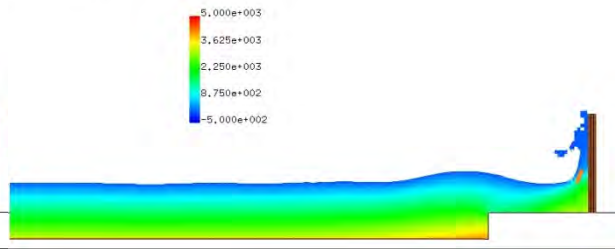
T= 11.4046 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



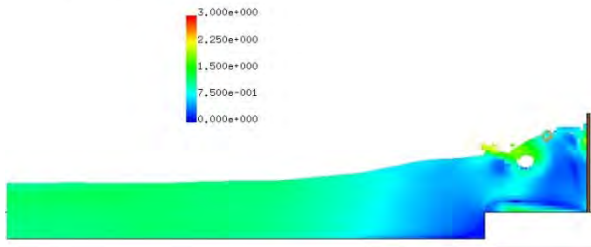
T= 11.9009 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



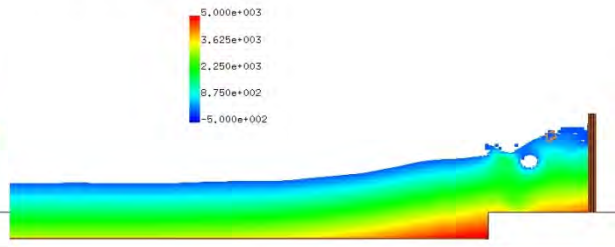
T= 11.9009 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



T= 12.4030 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.4030 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.28 流速及び圧力の鉛直断面分 (F-Wd30-1-A-05)

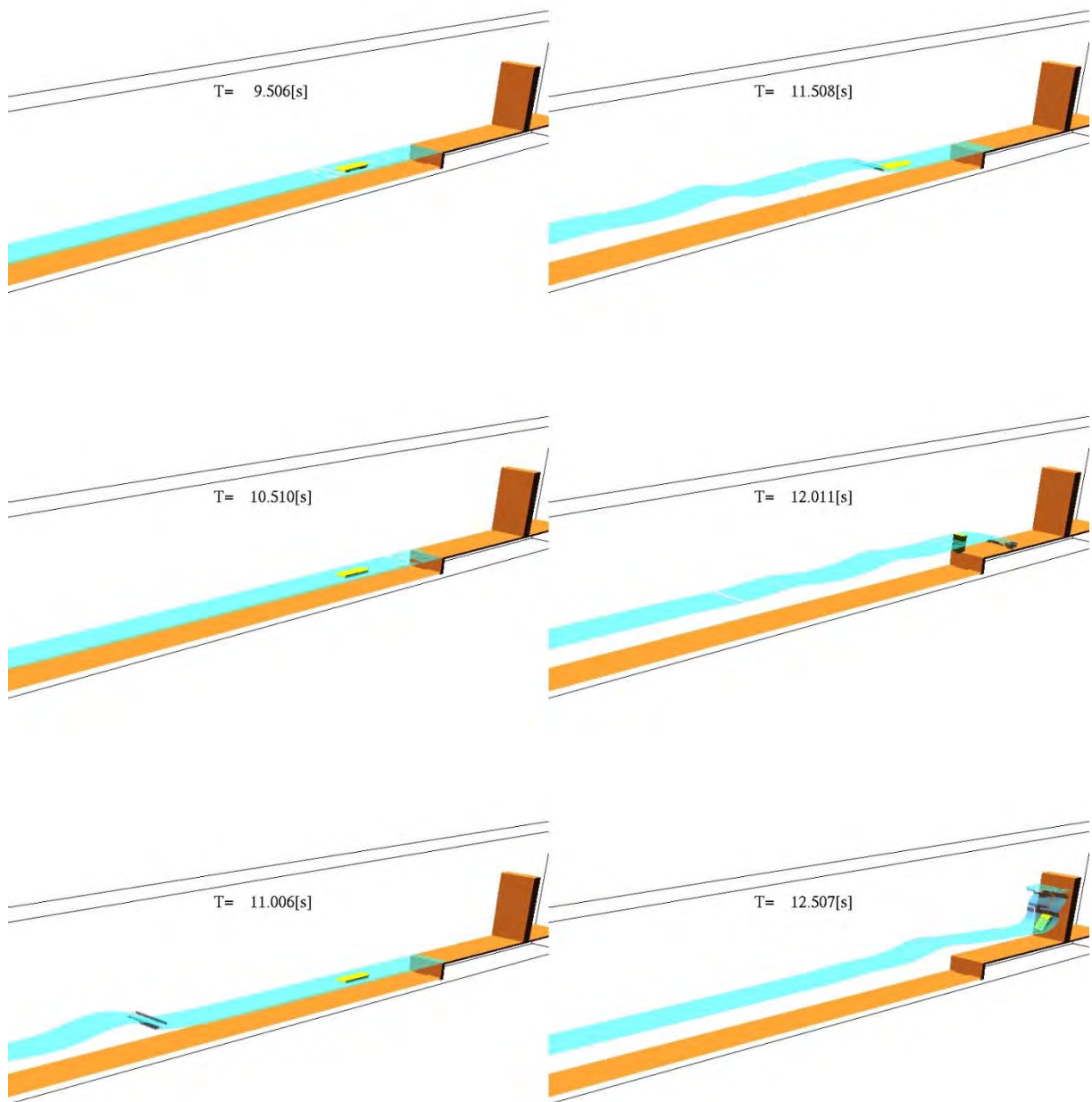
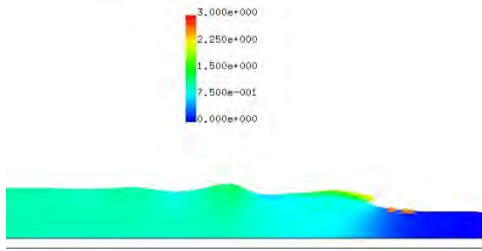
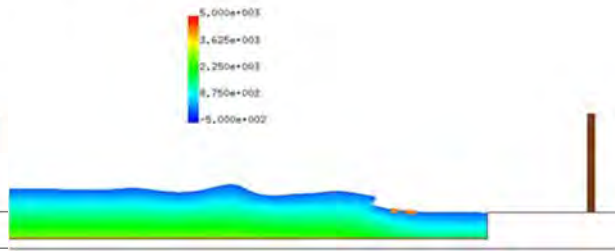


図- 9.3.29 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wd40-1-A-05)

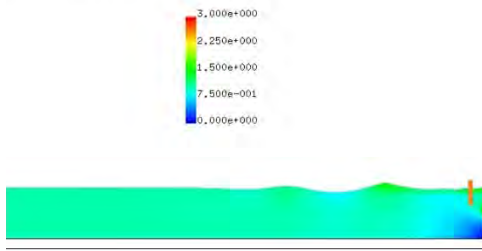
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



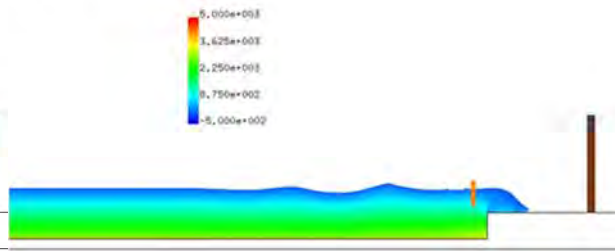
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



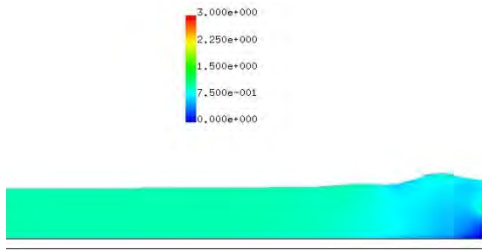
T= 12.0106 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



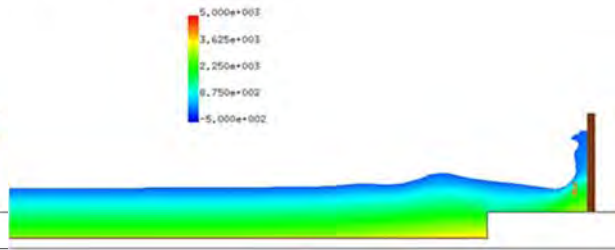
T= 12.0106 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.29 流速及び圧力の鉛直断面分 (F-Wd40-1-A-05)

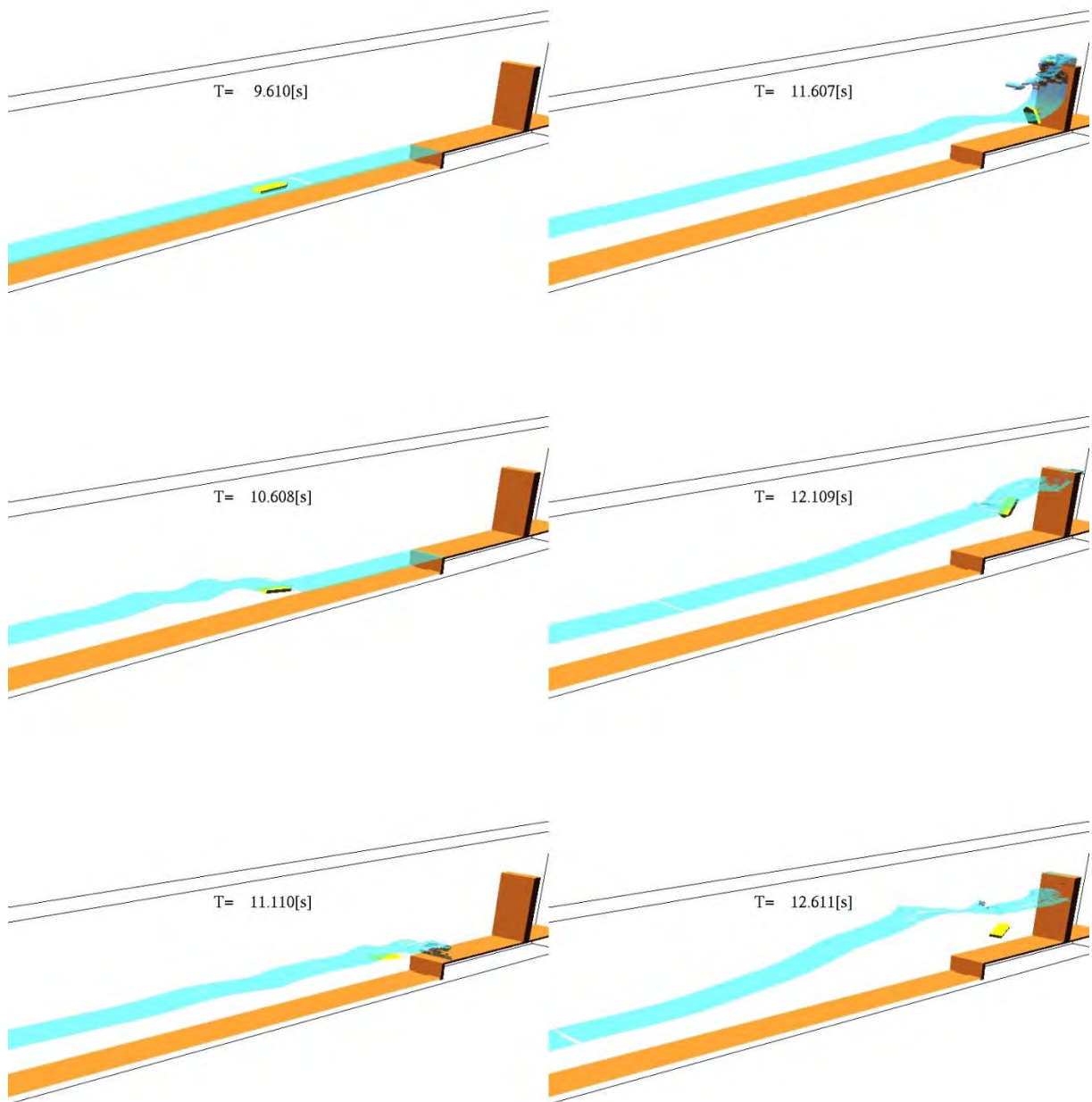
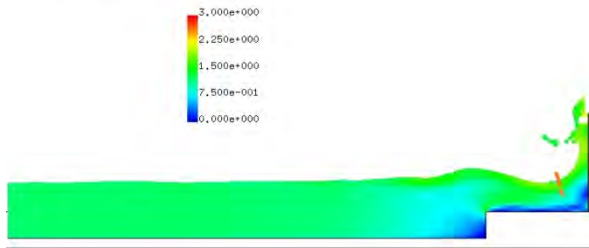
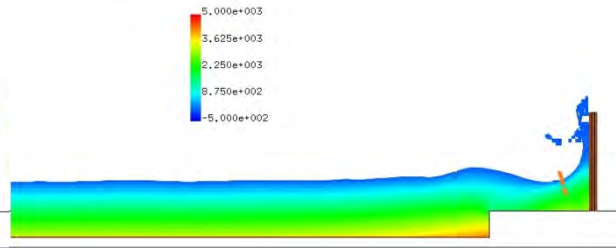


図- 9.3.30 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wd20-1-A-10)

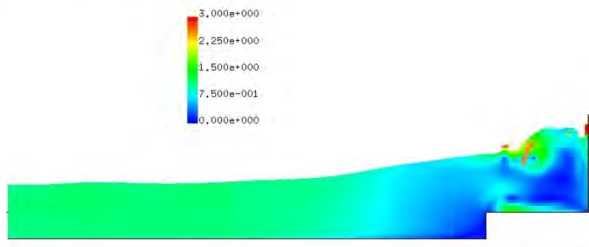
T= 11.6066 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



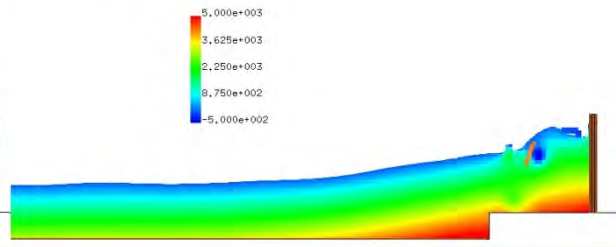
T= 11.6066 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



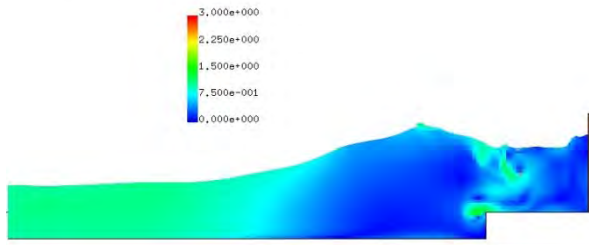
T= 12.1087 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



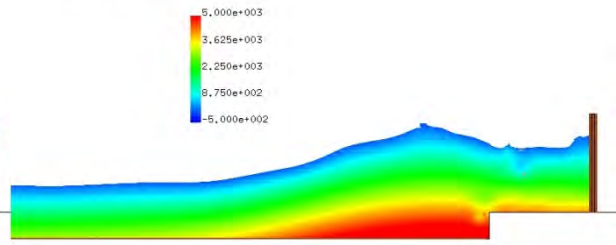
T= 12.1087 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



T= 12.6108 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.6108 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.30 流速及び圧力の鉛直断面分 (F-Wd20-1-A-10)

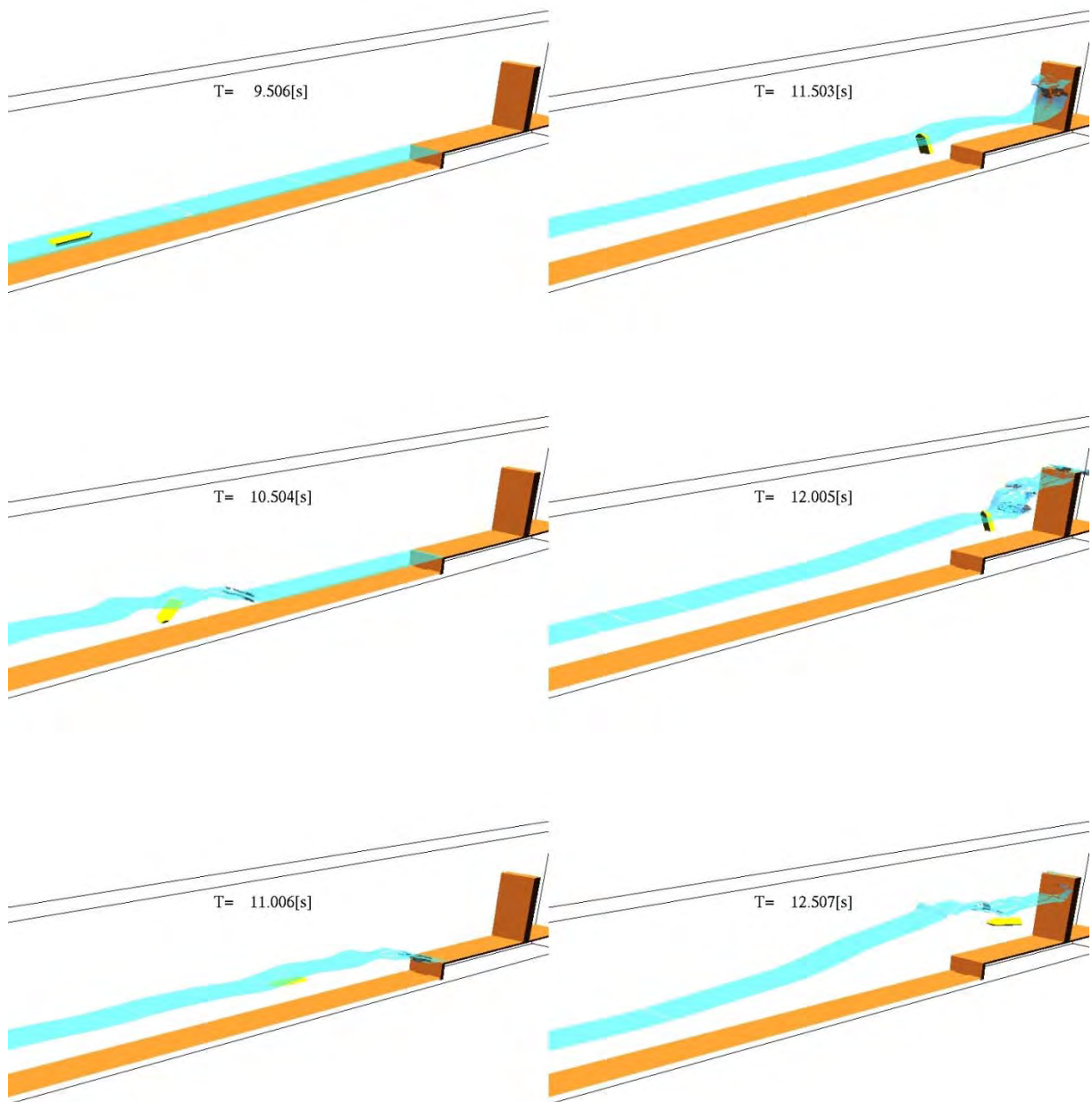
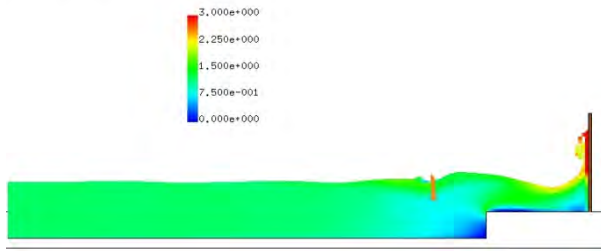
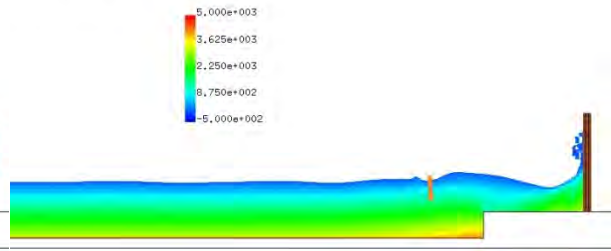


図- 9.3.31 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wd20-1-A-20)

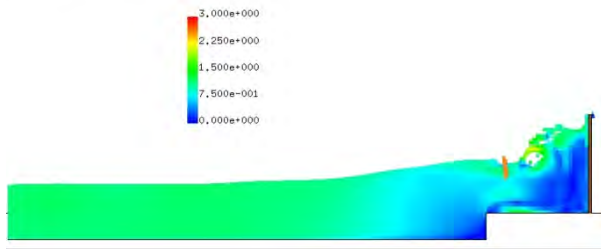
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



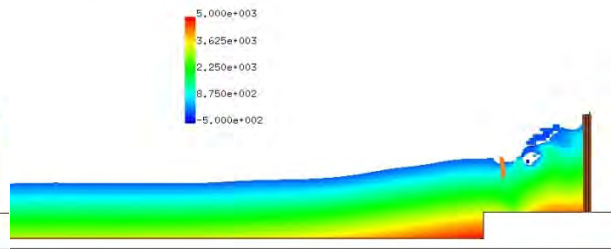
Γ = 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
resurre max=5000.000000



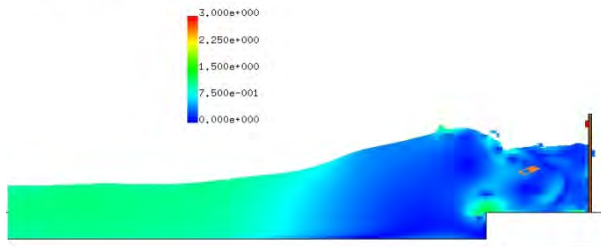
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



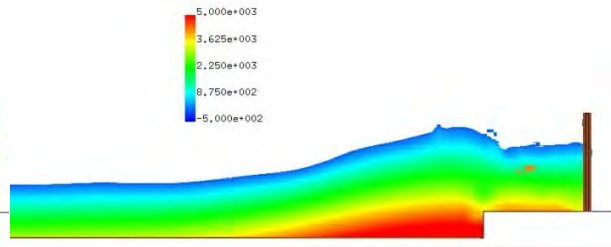
Γ = 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
resurre max=5000.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



Γ = 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
resurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.31 流速及び圧力の鉛直断面分 (F-Wd20-1-A-20)

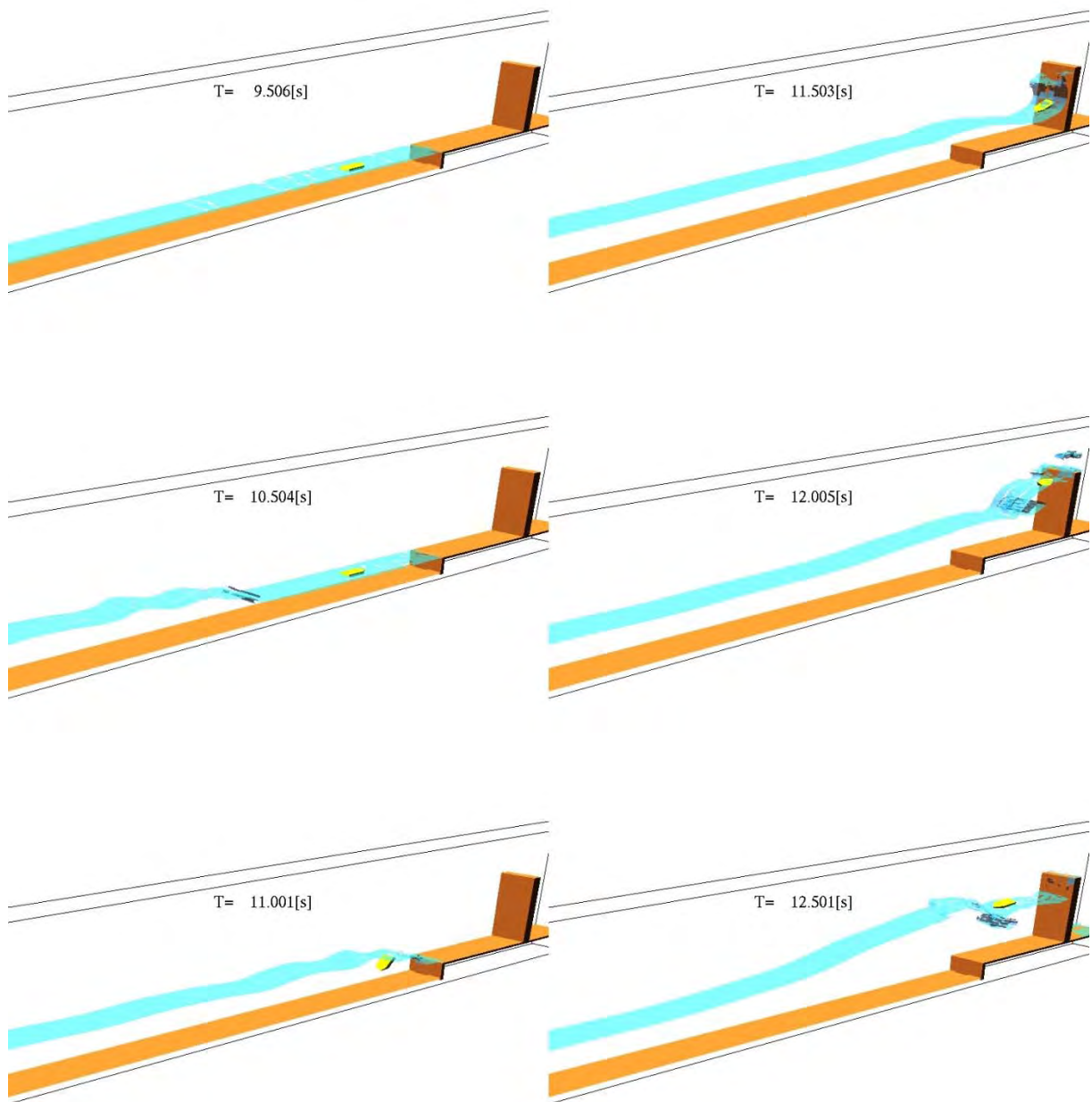
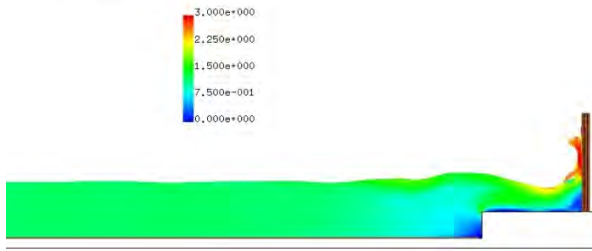
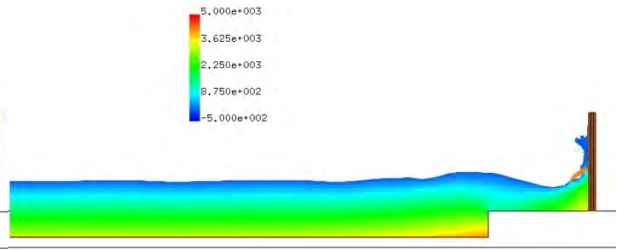


図- 9.3.32 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wd20-1-B-05)

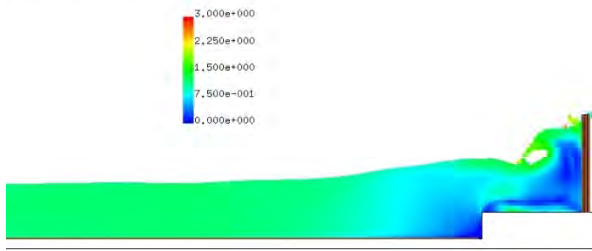
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



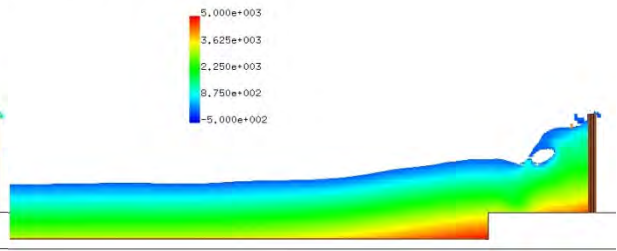
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



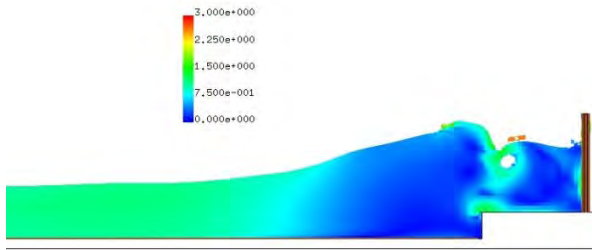
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



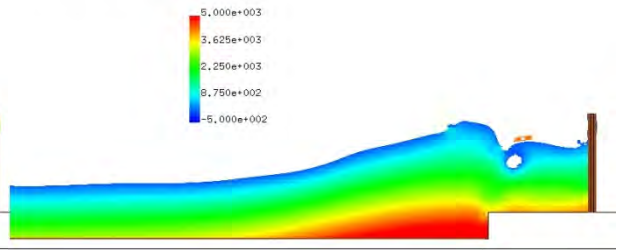
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



T= 12.5012 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5012 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.32 流速及び圧力の鉛直断面分 (F-Wd20-1-B-05)

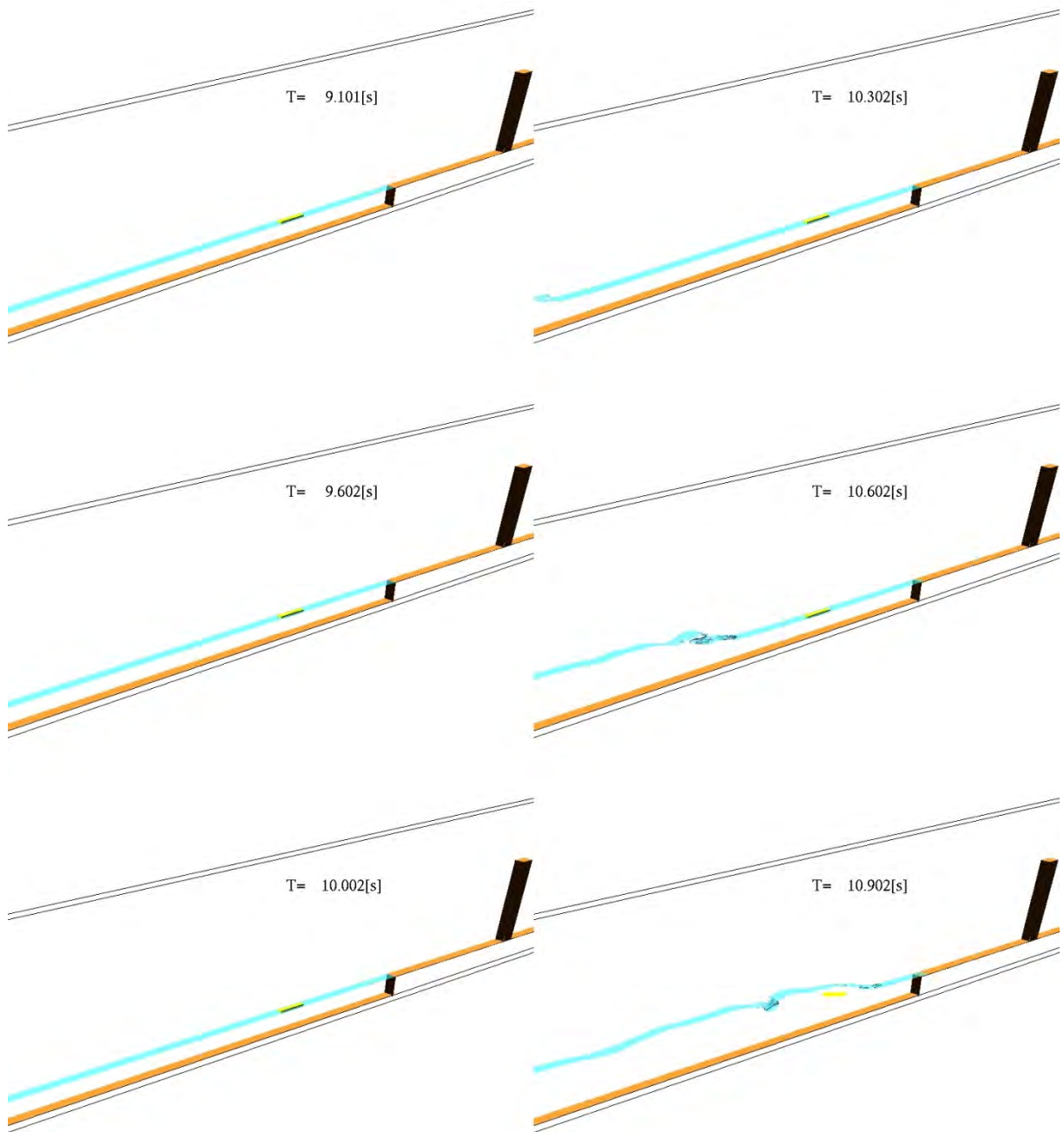
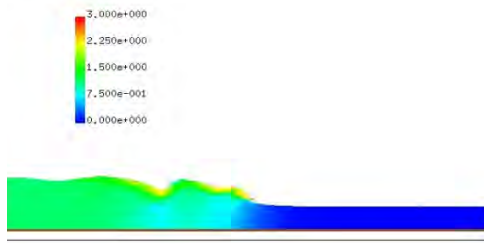
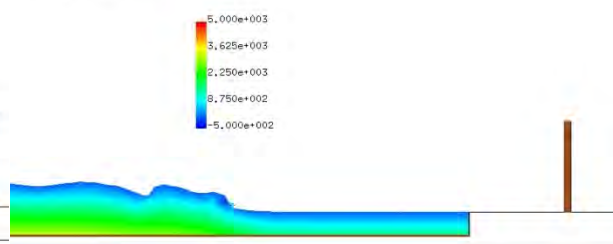


図- 9.3.33 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wd20-1-C-05)

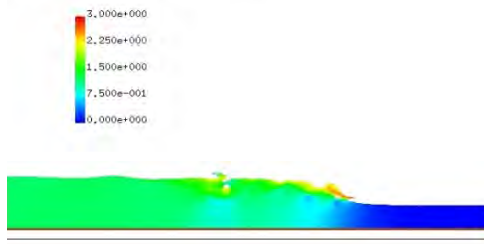
T= 10.3022 XZ plain y= 0.50(j=5)
vector max=3.000000



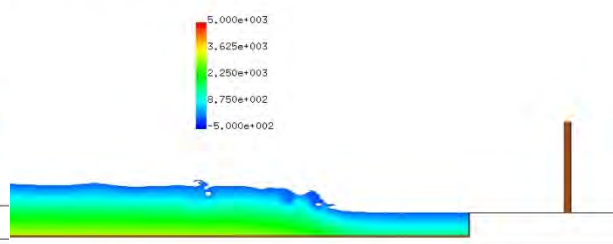
T= 10.3022 XZ plain y= 0.50(j=5)
presurre max=5000.000000



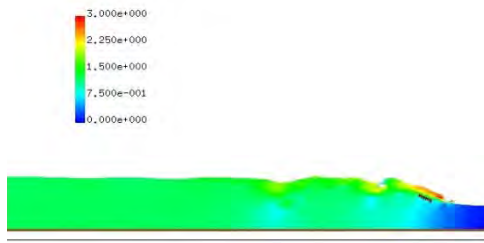
T= 10.6015 XZ plain y= 0.50(j=5)
vector max=3.000000



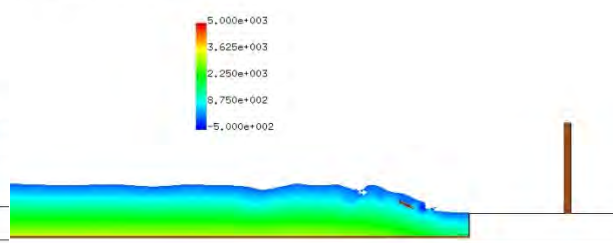
T= 10.6015 XZ plain y= 0.50(j=5)
presurre max=5000.000000



T= 10.9020 XZ plain y= 0.50(j=5)
vector max=3.000000



T= 10.9020 XZ plain y= 0.50(j=5)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.33 流速及び圧力の鉛直断面分 (F-Wd20-1-C-05)

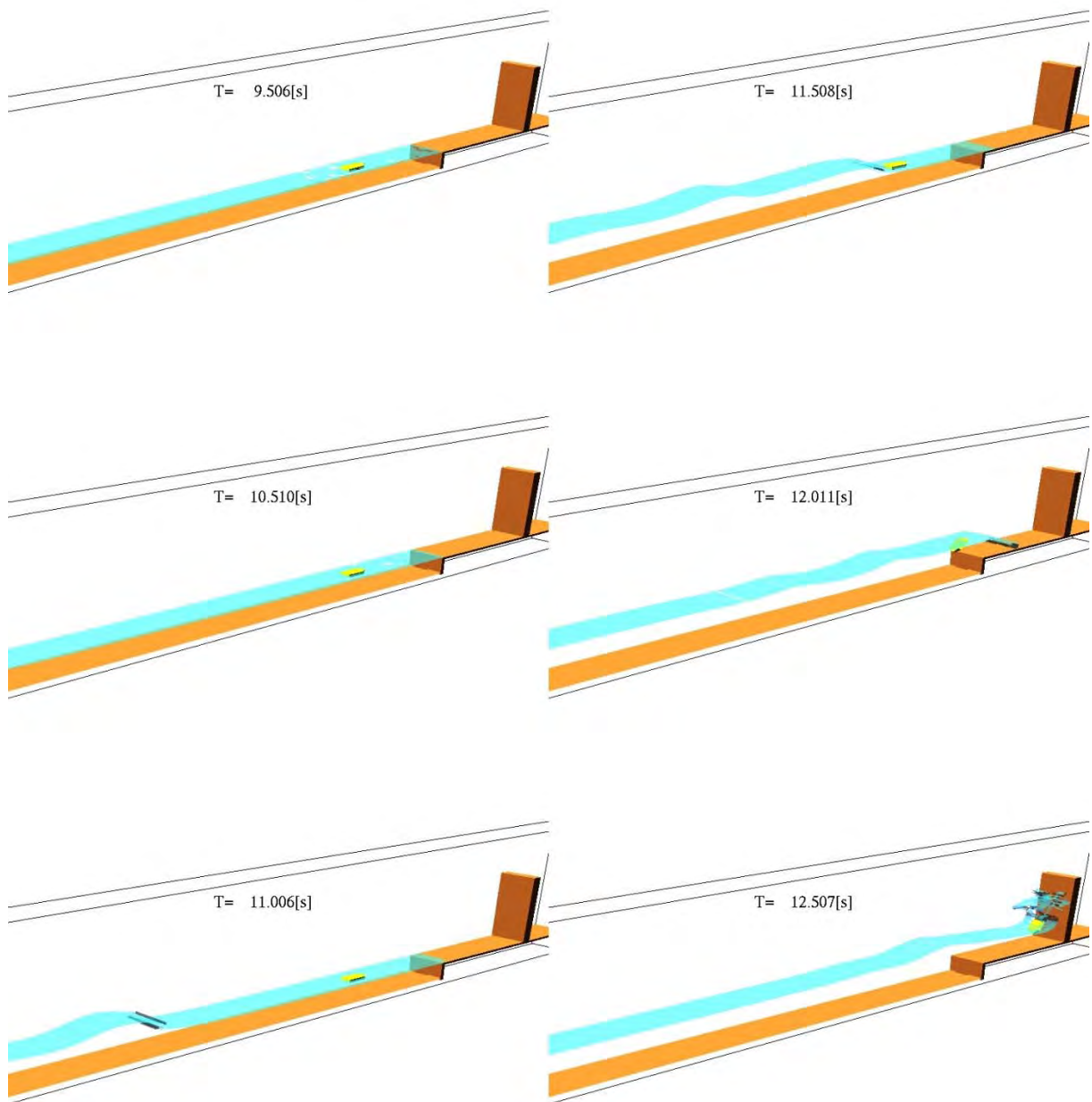
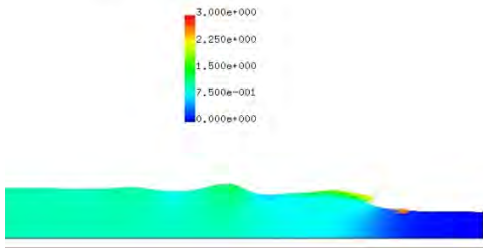
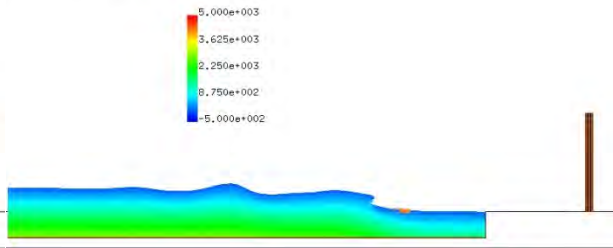


図- 9.3.34 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wd40-1-B-05)

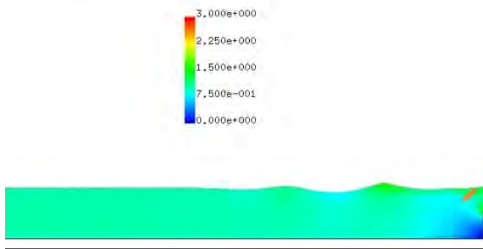
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



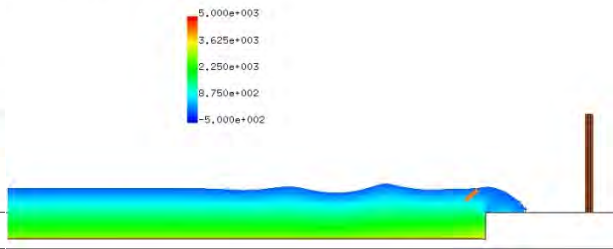
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



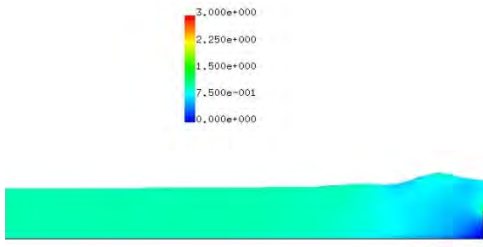
T= 12.0106 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



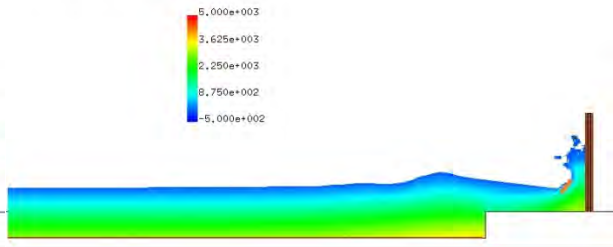
T= 12.0106 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.34 流速及び圧力の鉛直断面分 (F-Wd40-1-B-05)

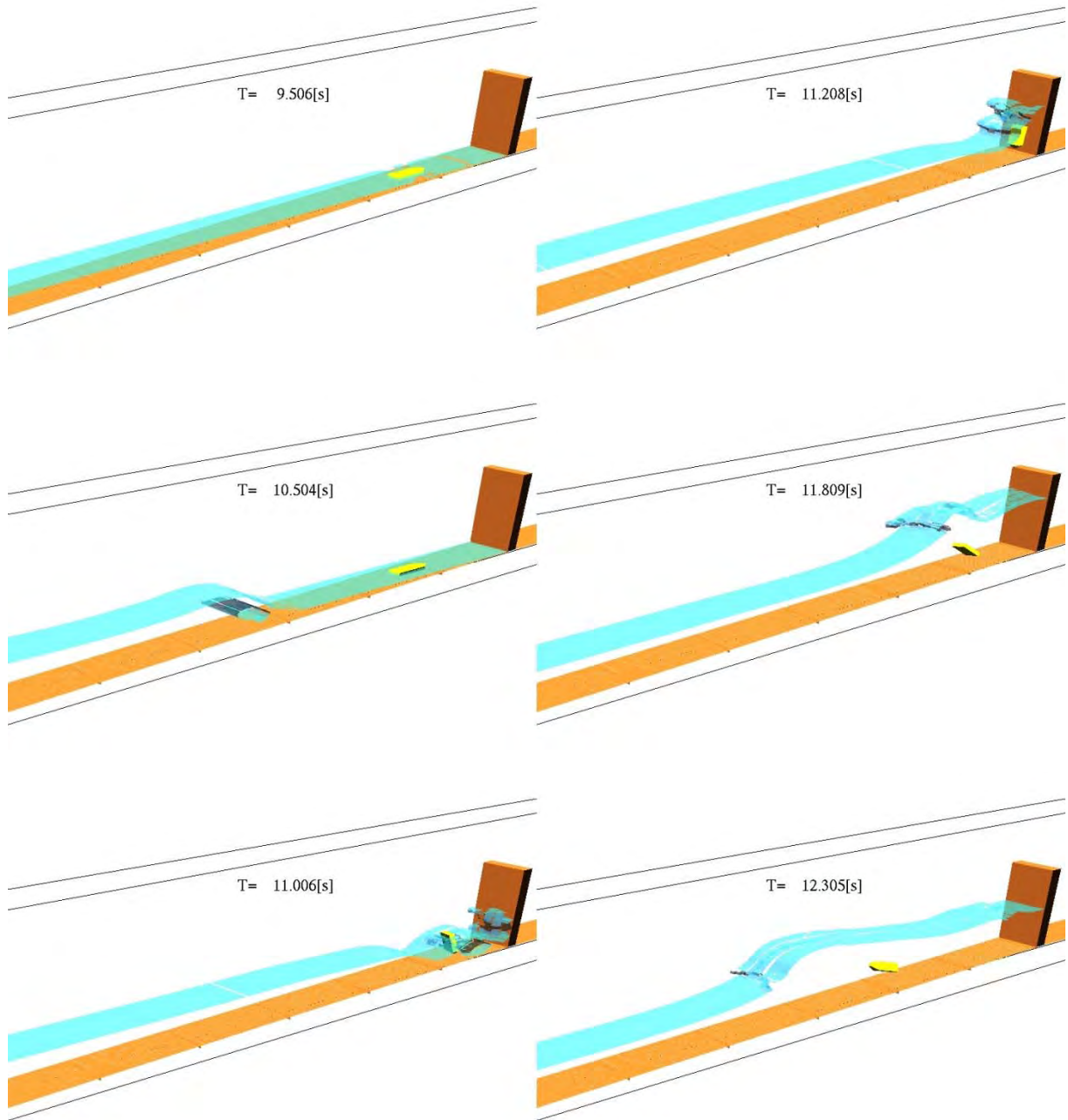
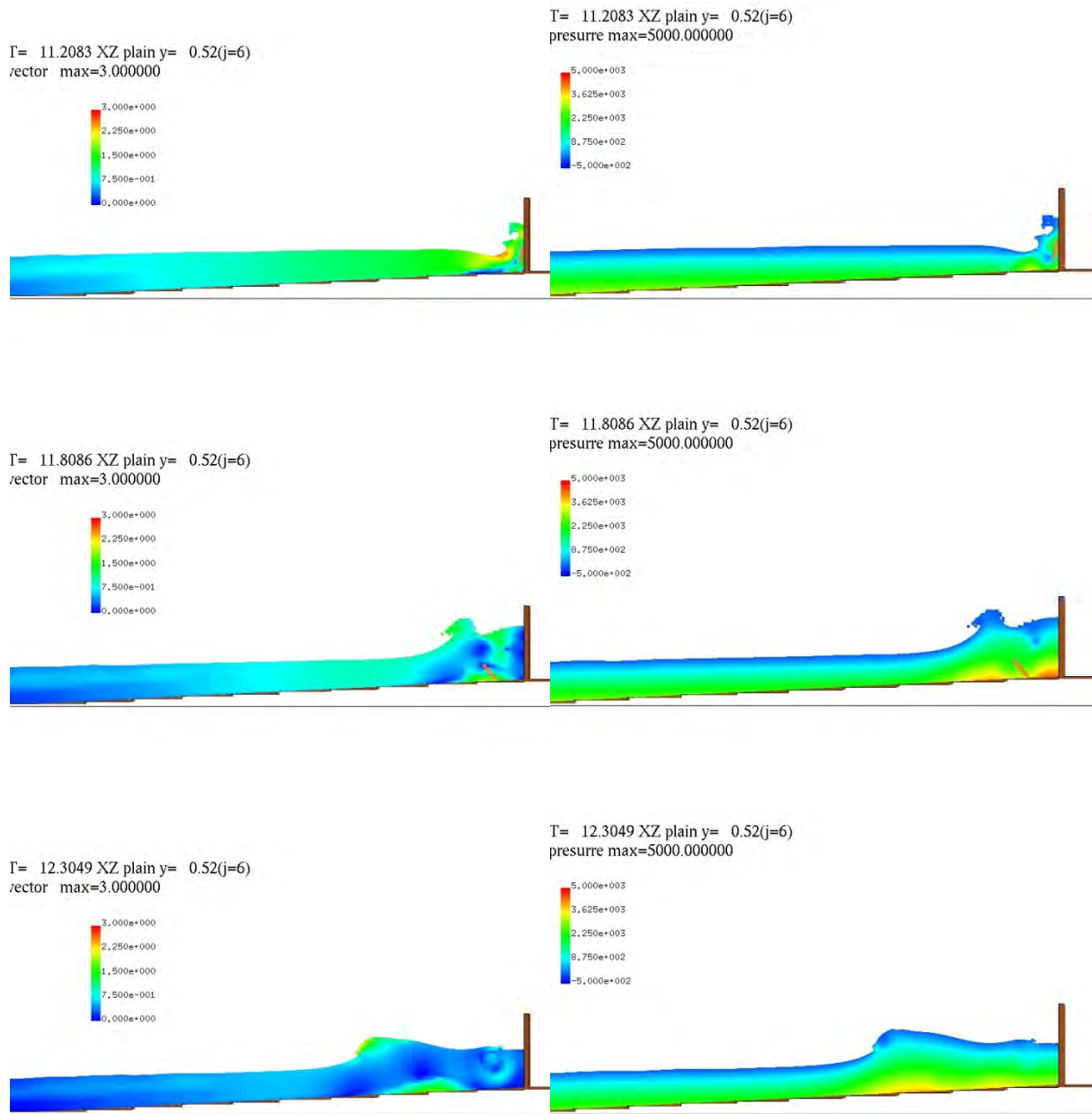


図- 9.3.35 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (S-Wd10-0-A-05)



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.35 流速及び圧力の鉛直断面分 (S-Wd10-0-A-05)

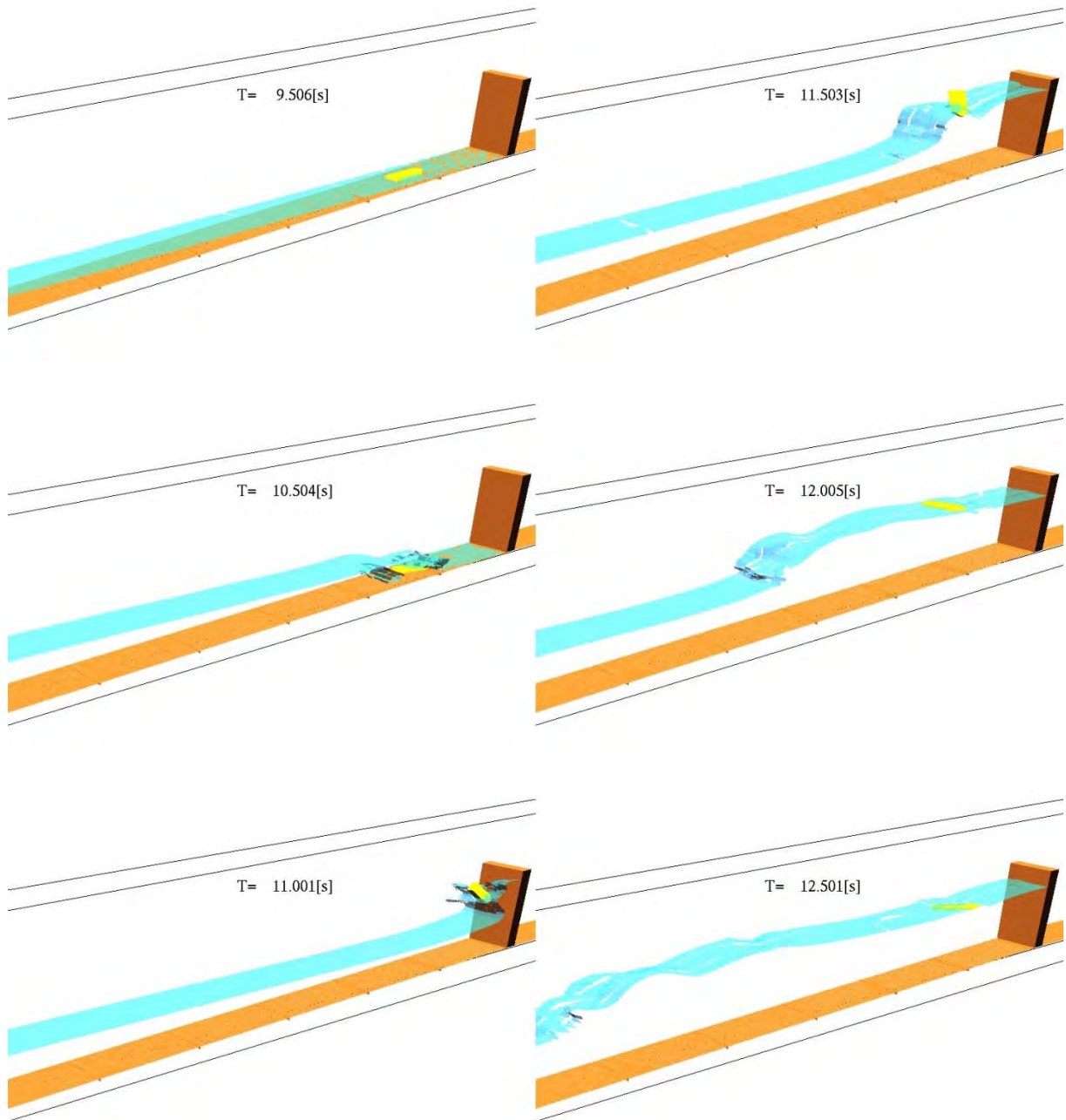
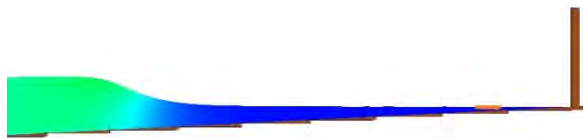
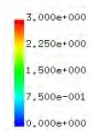
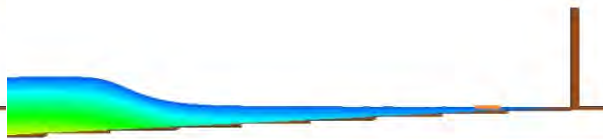
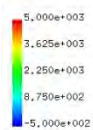


図- 9.3.36 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (S-Wd20-0-A-05)

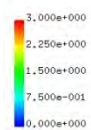
T= 9.5057 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



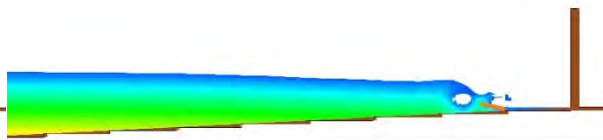
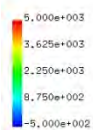
T= 9.5057 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



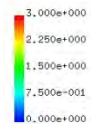
T= 10.5042 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



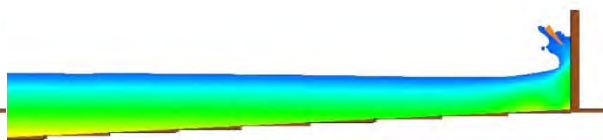
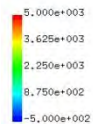
T= 10.5042 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



T= 11.0006 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 11.0006 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.36 流速及び圧力の鉛直断面分 (S-Wd20-0-A-05)

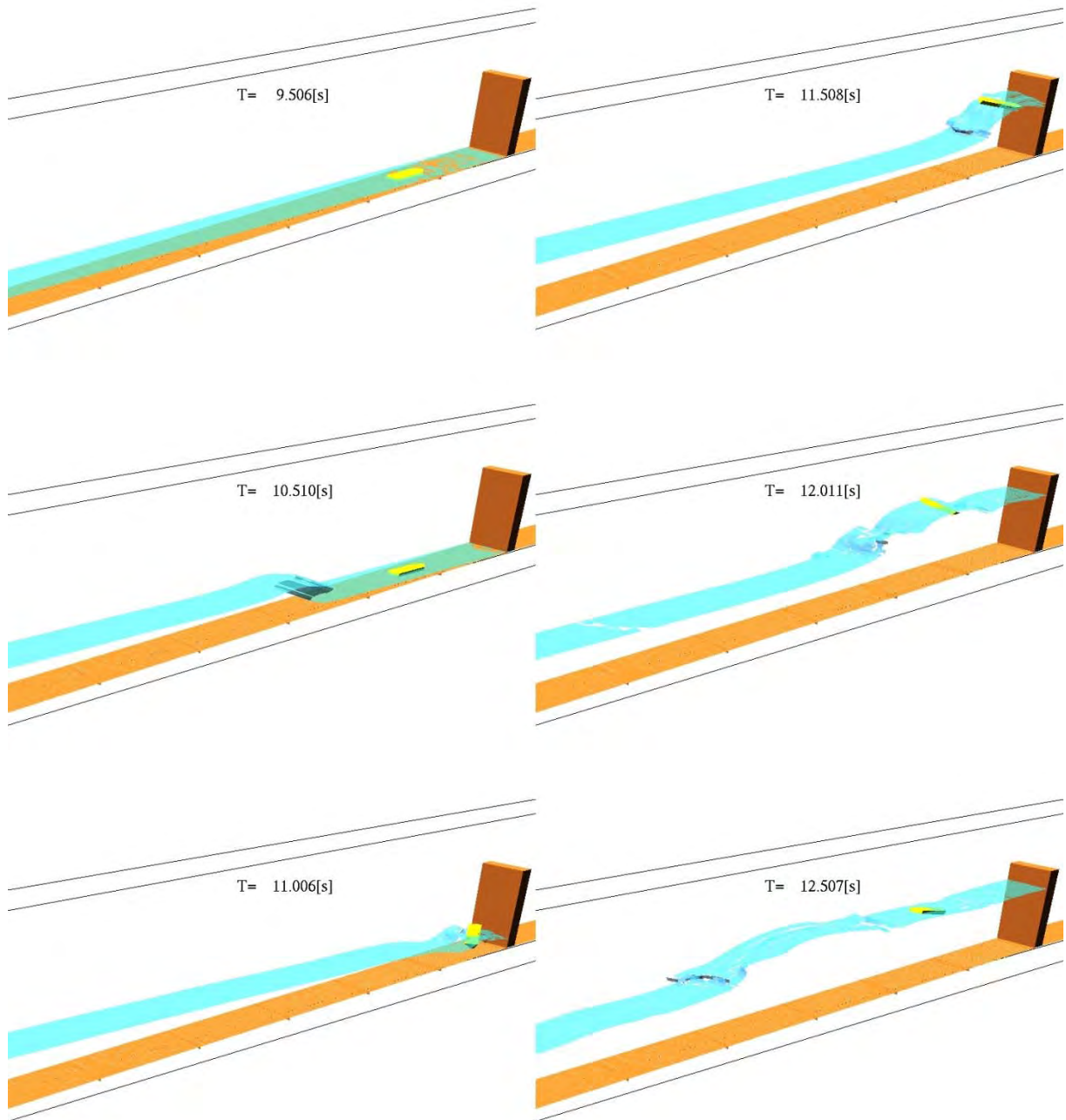
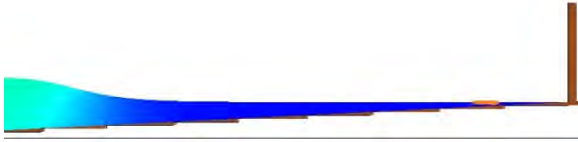
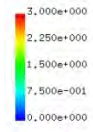
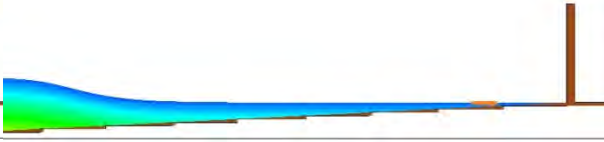
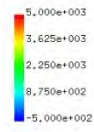


図- 9.3.37 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (S-Wd30-0-A-05)

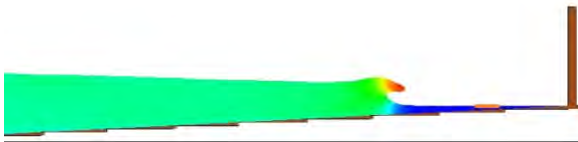
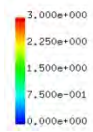
T= 9.5057 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



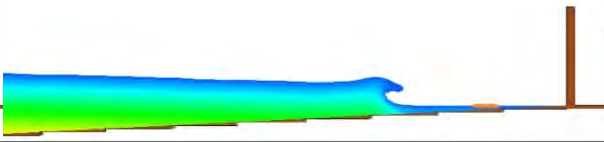
T= 9.5057 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



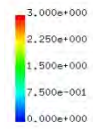
T= 10.5100 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



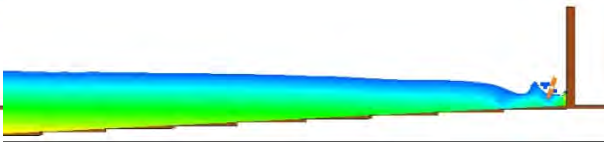
T= 10.5100 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



T= 11.0063 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 11.0063 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.37 流速及び圧力の鉛直断面分 (S-Wd30-0-A-05)

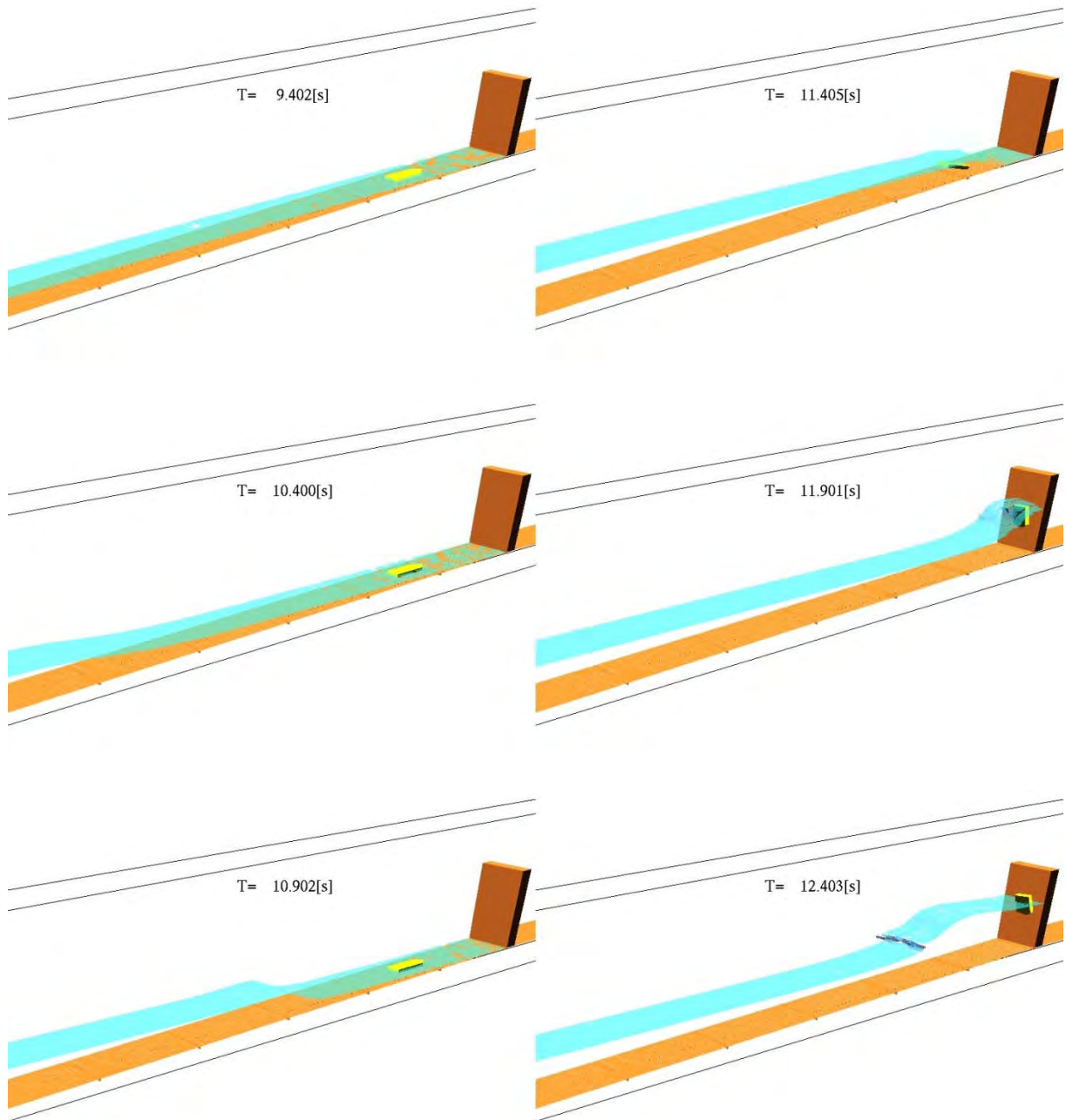
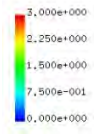
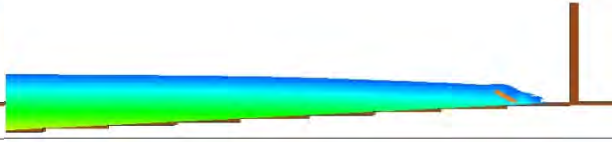
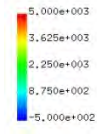


図- 9.3.38 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (S-Wd40-0-A-05)

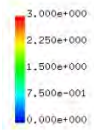
T= 11.4046 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



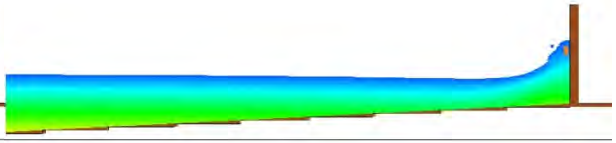
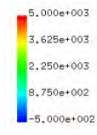
T= 11.4046 XZ plain y= 0.52(j=6)
presure max=5000.000000



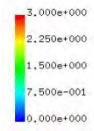
T= 11.9009 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



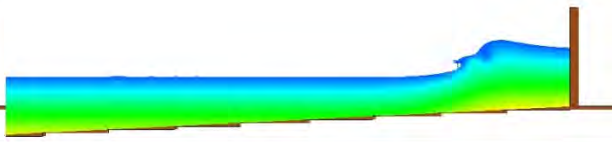
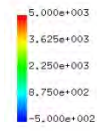
T= 11.9009 XZ plain y= 0.52(j=6)
presure max=5000.000000



T= 12.4030 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.4030 XZ plain y= 0.52(j=6)
presure max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.38 流速及び圧力の鉛直断面分 (S-Wd40-0-A-05)

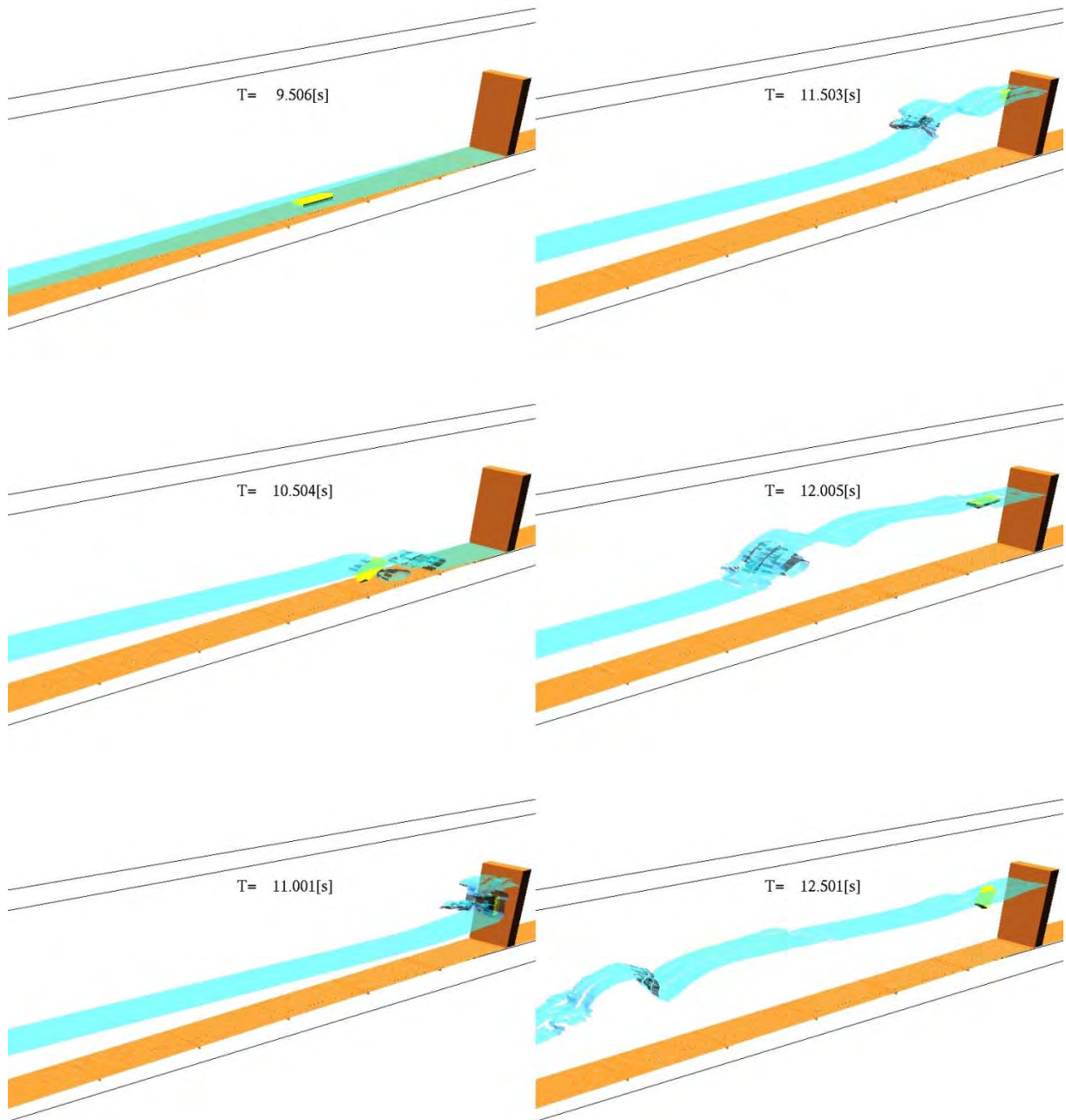
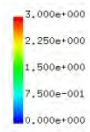
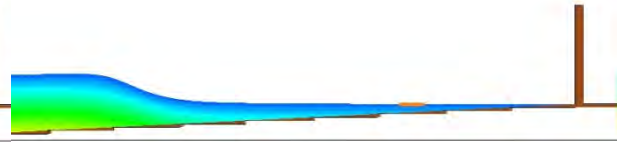
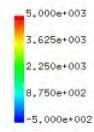


図- 9.3.39 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (S-Wd20-0-A-10)

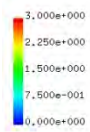
T= 9.5057 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



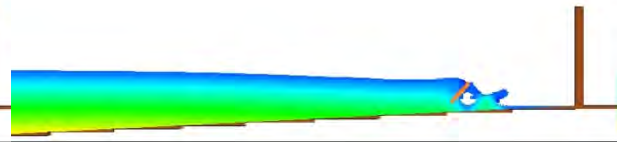
T= 9.5057 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



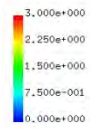
T= 10.5042 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



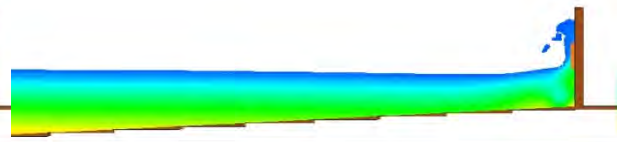
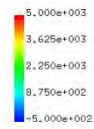
T= 10.5042 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



T= 11.0006 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 11.0006 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.39 流速及び圧力の鉛直断面分 (S-Wd20-0-A-10)

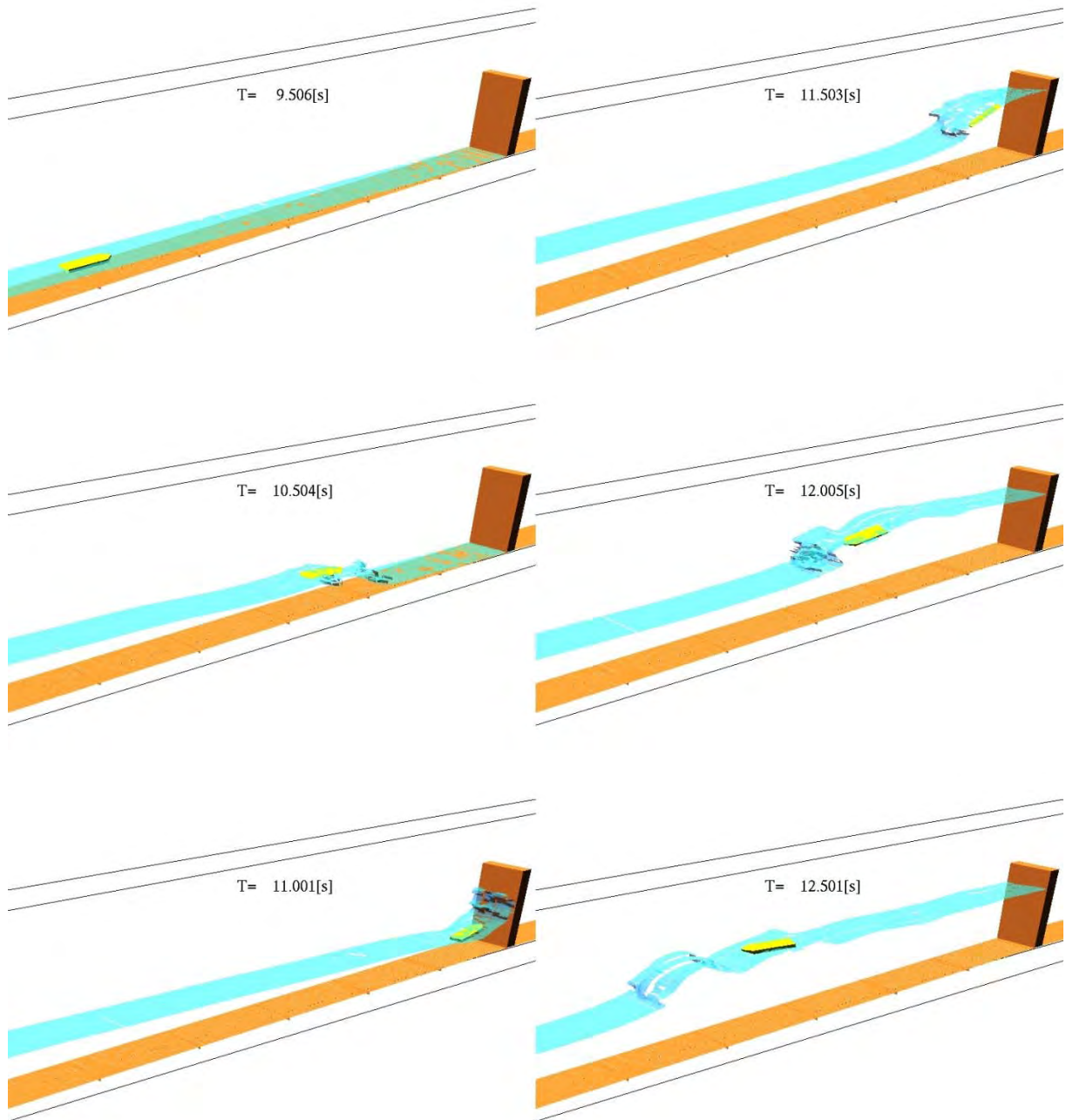
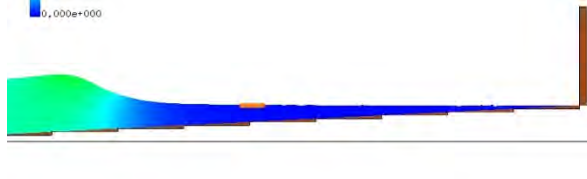
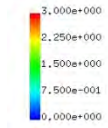
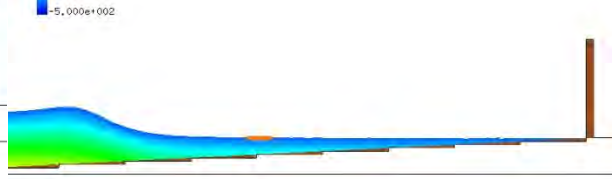
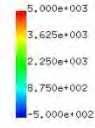


図- 9.3.40 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (S-Wd20-0-A-20)

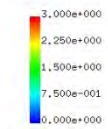
T= 9.5057 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



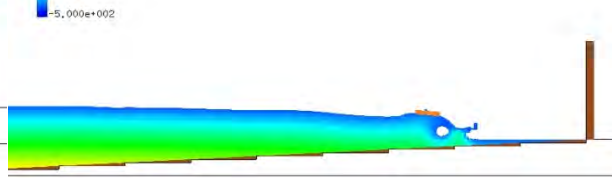
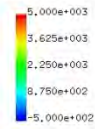
T= 9.5057 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



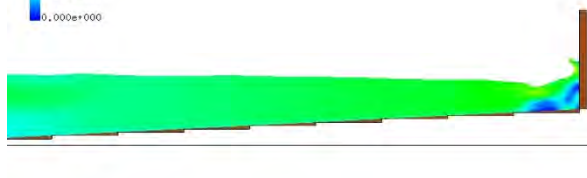
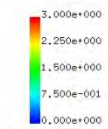
T= 10.5042 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



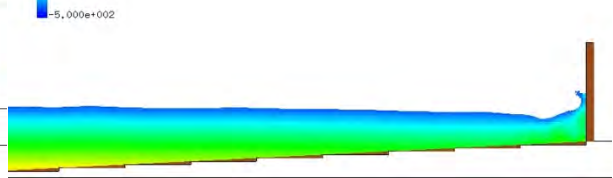
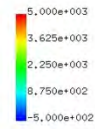
T= 10.5042 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



T= 11.0006 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 11.0006 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.40 流速及び圧力の鉛直断面分 (S-Wd20-0-A-20)

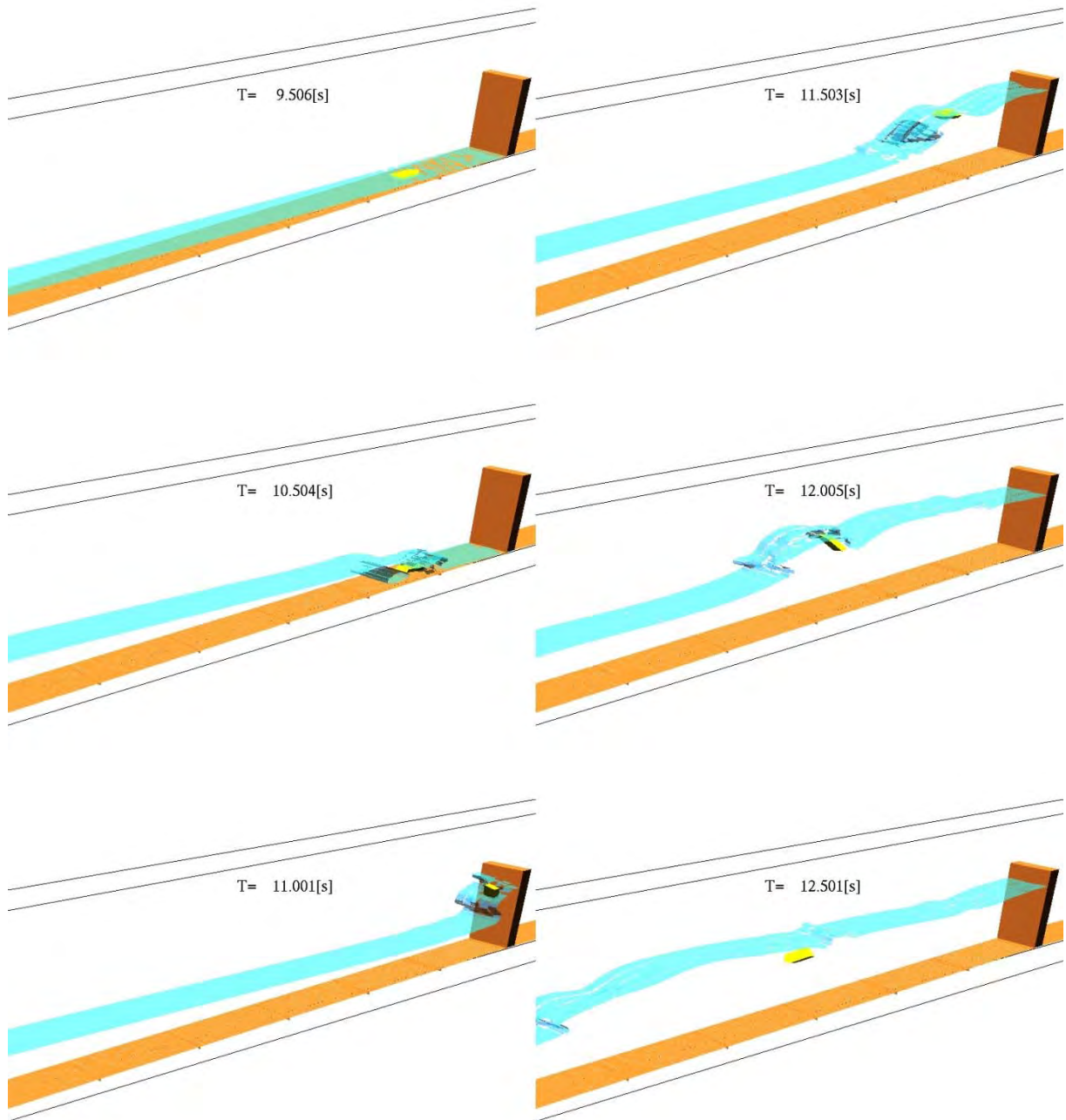
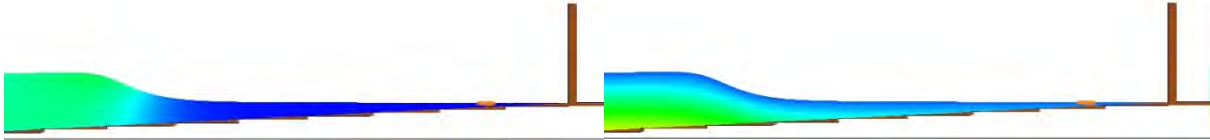
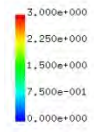
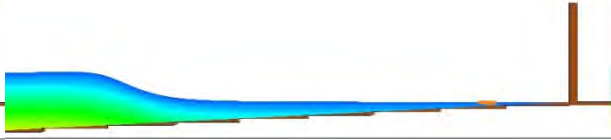
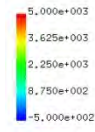


図- 9.3.41 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (S-Wd20-0-B-05)

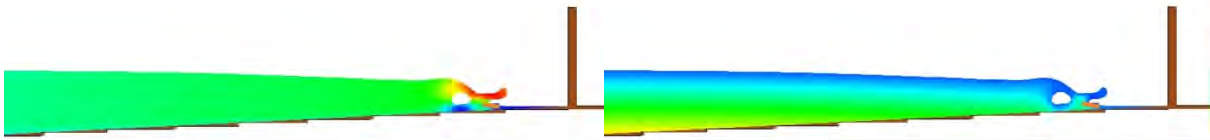
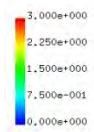
T= 9.5057 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



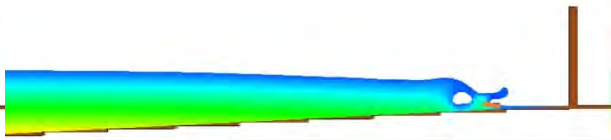
T= 9.5057 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



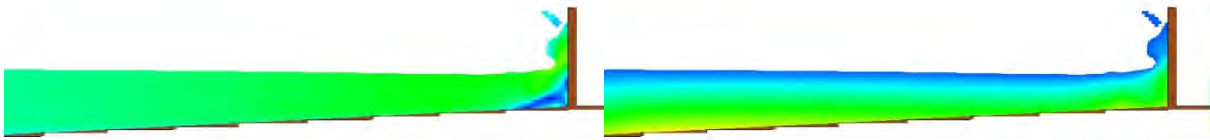
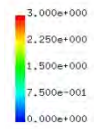
T= 10.5042 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



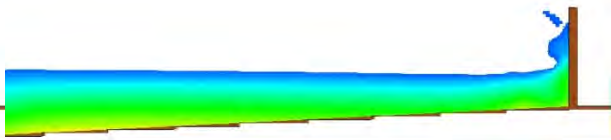
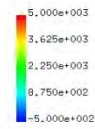
T= 10.5042 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



T= 11.0006 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 11.0006 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.41 流速及び圧力の鉛直断面分 (S-Wd20-0-B-05)

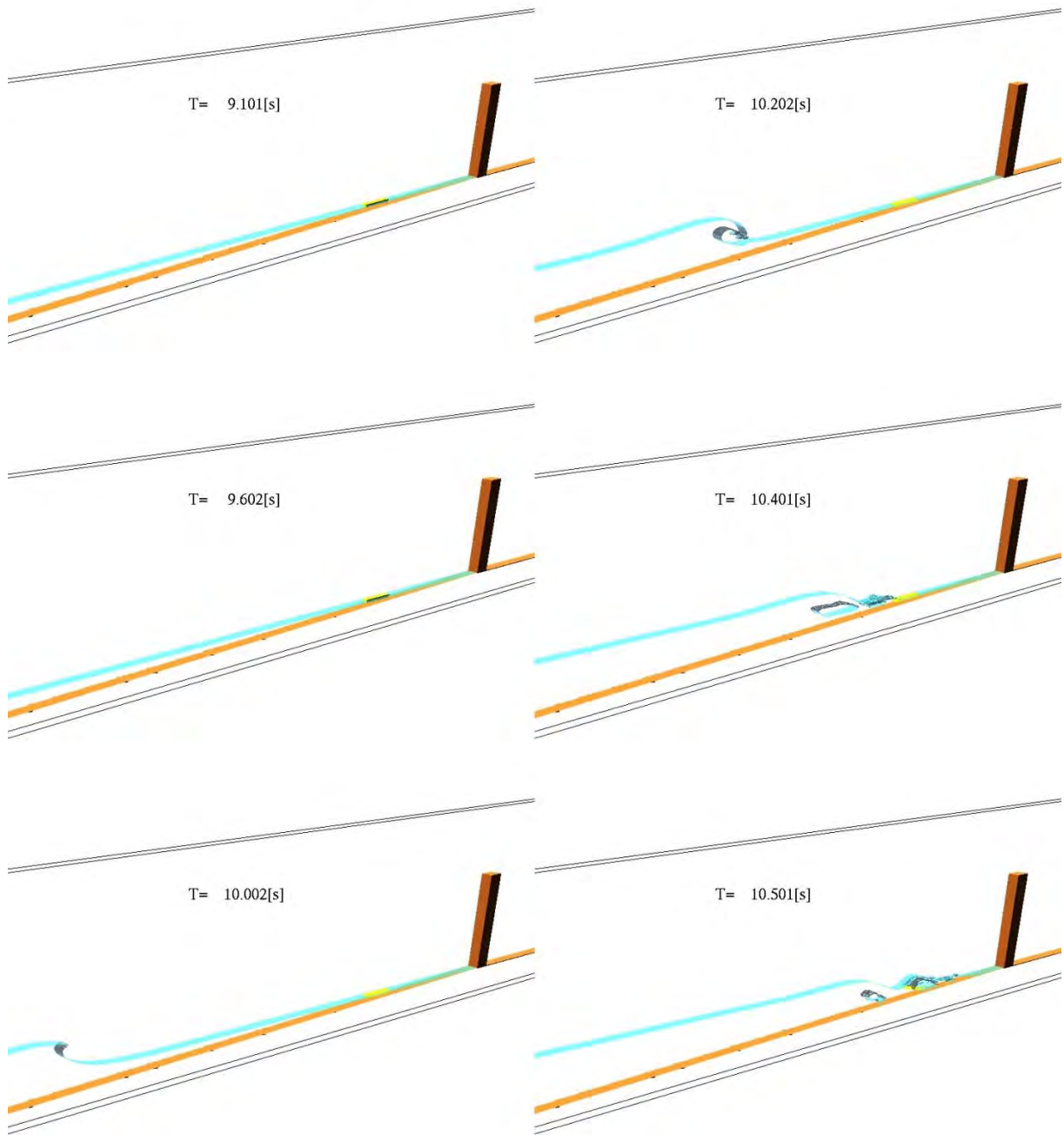
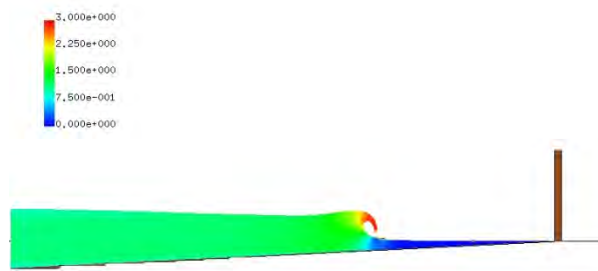
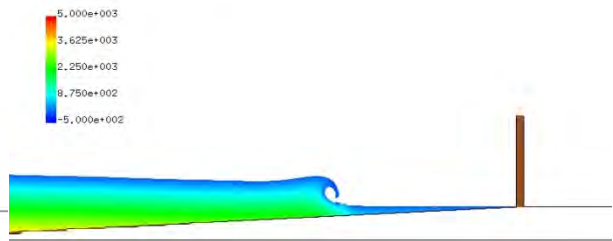


図- 9.3.42 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (S-Wd20-0-C-05)

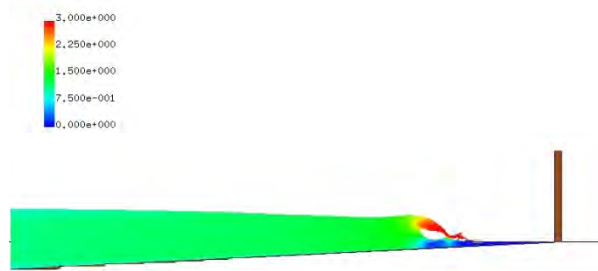
T= 10.2020 XZ plain y= 0.50(j=5)
vector max=3.000000



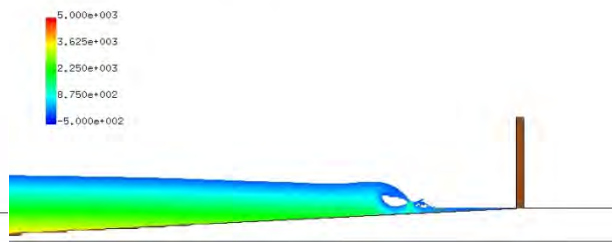
T= 10.2020 XZ plain y= 0.50(j=5)
pressure max=5000.000000



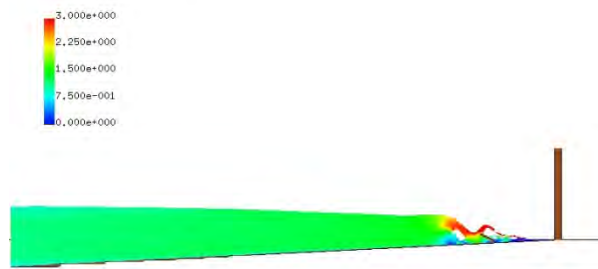
T= 10.4011 XZ plain y= 0.50(j=5)
vector max=3.000000



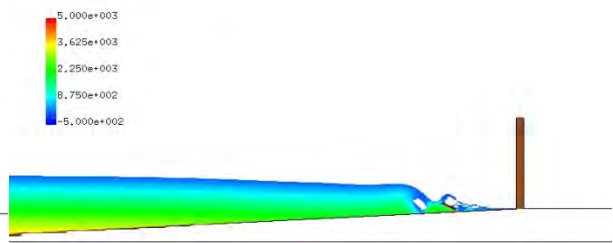
T= 10.4011 XZ plain y= 0.50(j=5)
pressure max=5000.000000



T= 10.5013 XZ plain y= 0.50(j=5)
vector max=3.000000



T= 10.5013 XZ plain y= 0.50(j=5)
pressure max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.42 流速及び圧力の鉛直断面分 (S-Wd20-0-C-05)

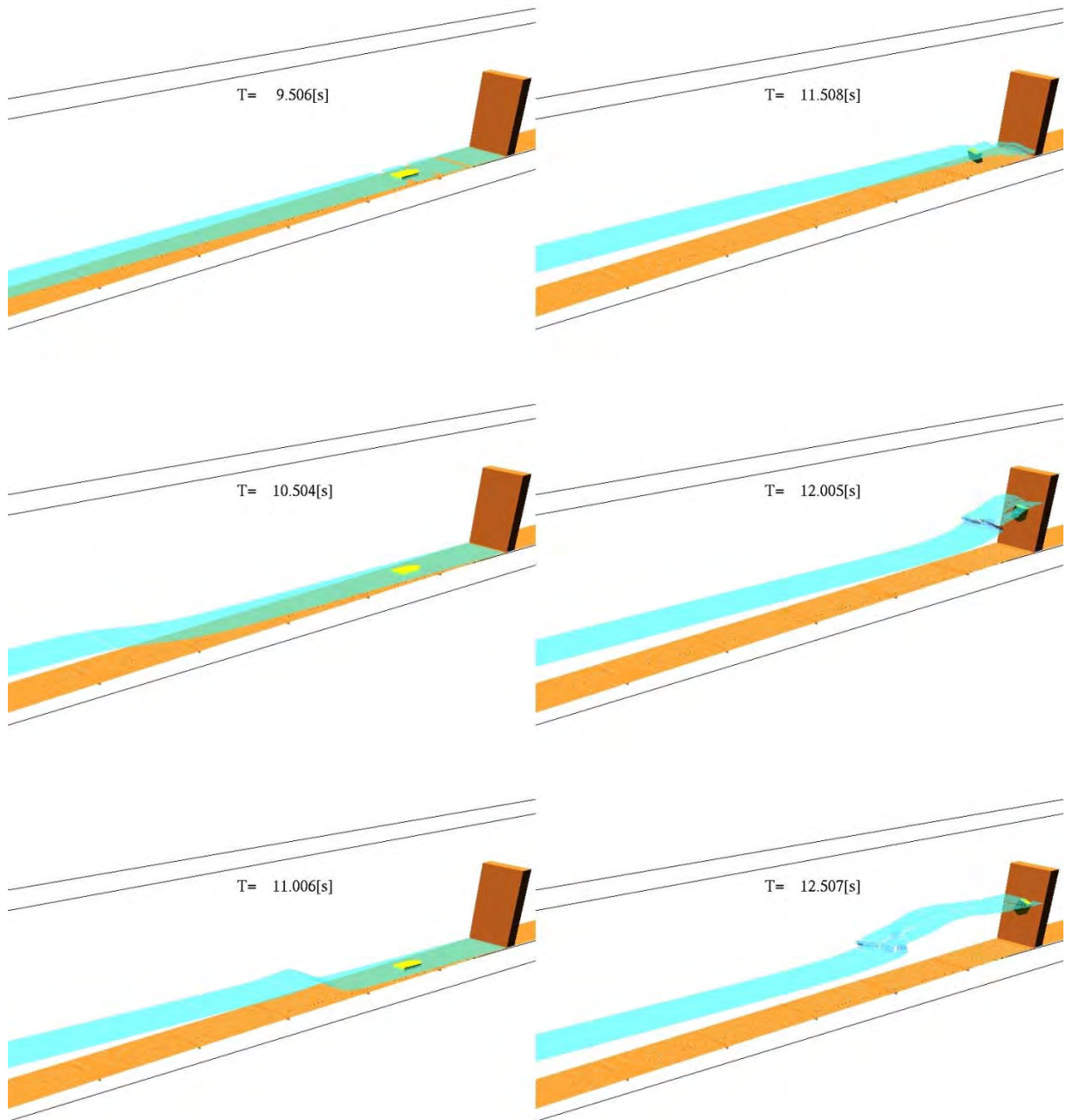
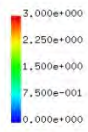
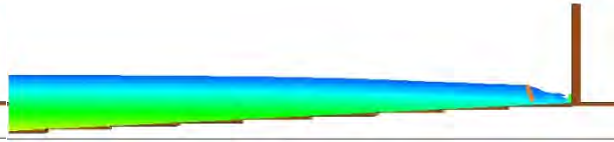
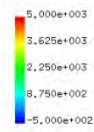


図- 9.3.43 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (S-Wd40-0-B-05)

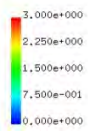
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



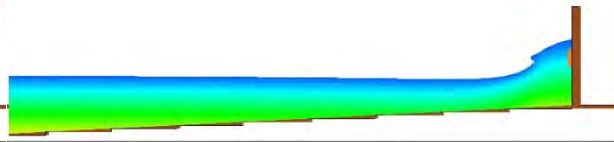
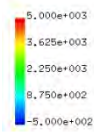
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



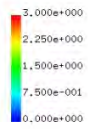
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



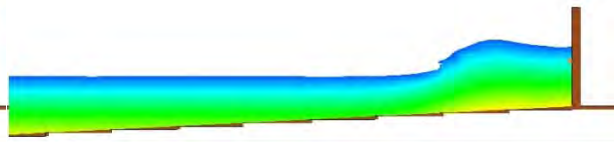
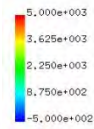
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.43 流速及び圧力の鉛直断面分 (S-Wd40-0-B-05)

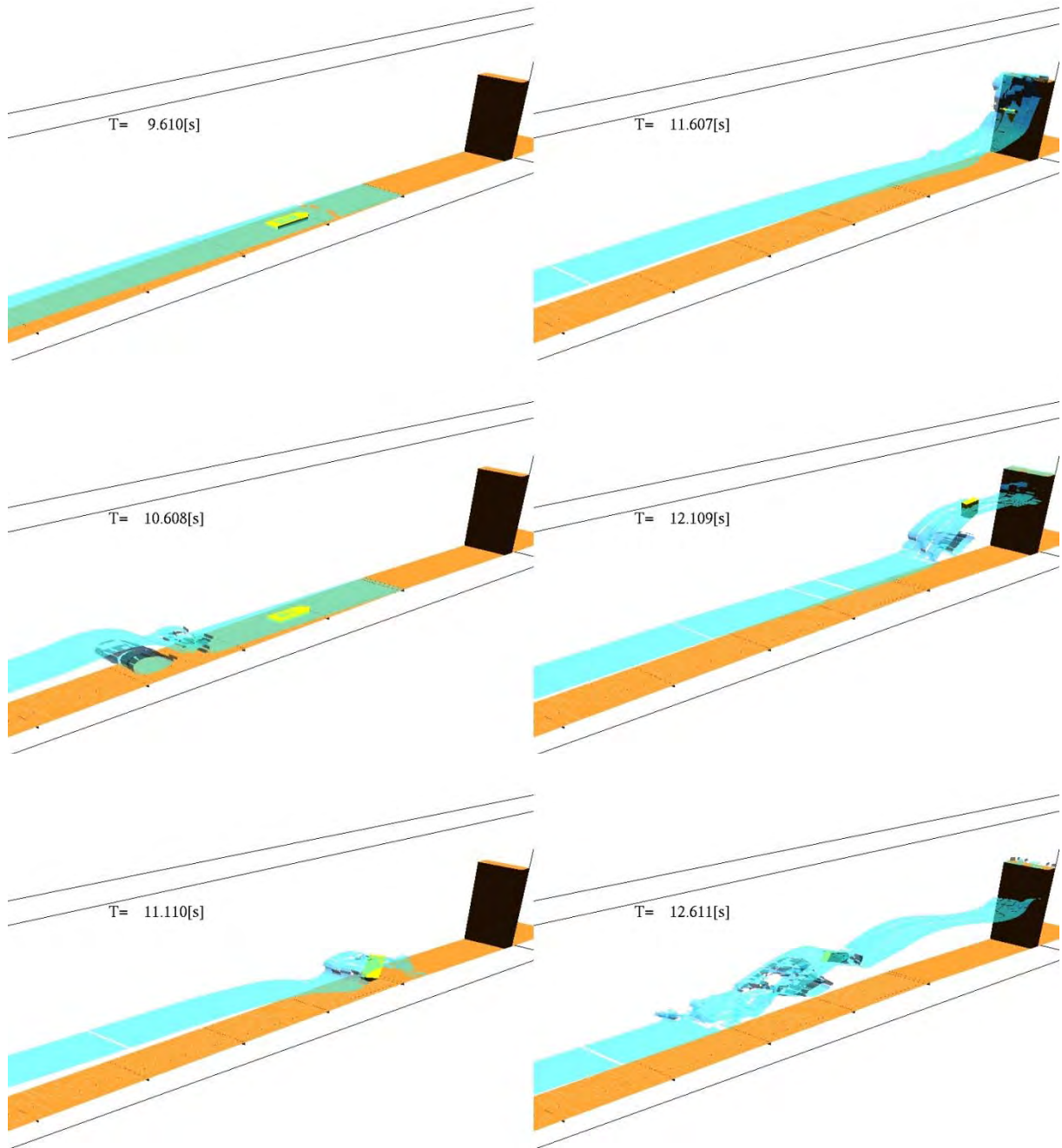
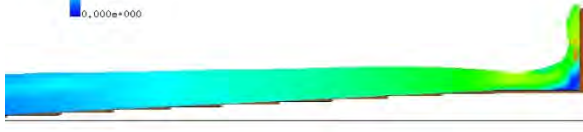
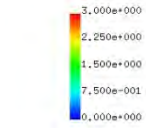
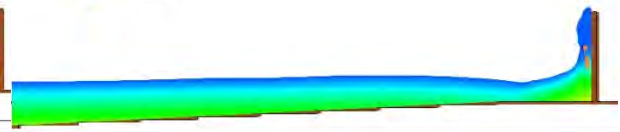
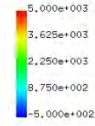


図- 9.3.44 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (S-Wd10-1-A-05)

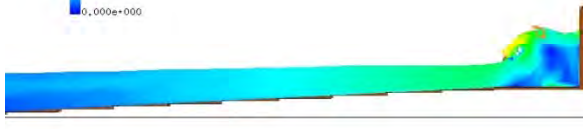
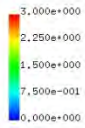
T= 11.6066 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



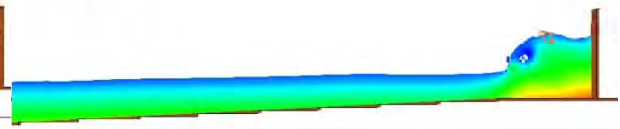
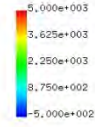
T= 11.6066 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



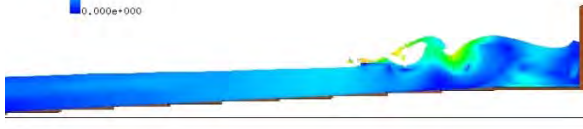
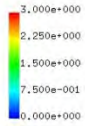
T= 12.1087 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



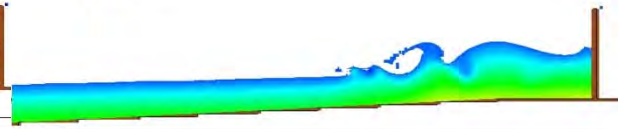
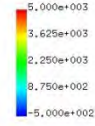
T= 12.1087 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



T= 12.6108 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.6108 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.44 流速及び圧力の鉛直断面分 (S-Wd10-1-A-05)

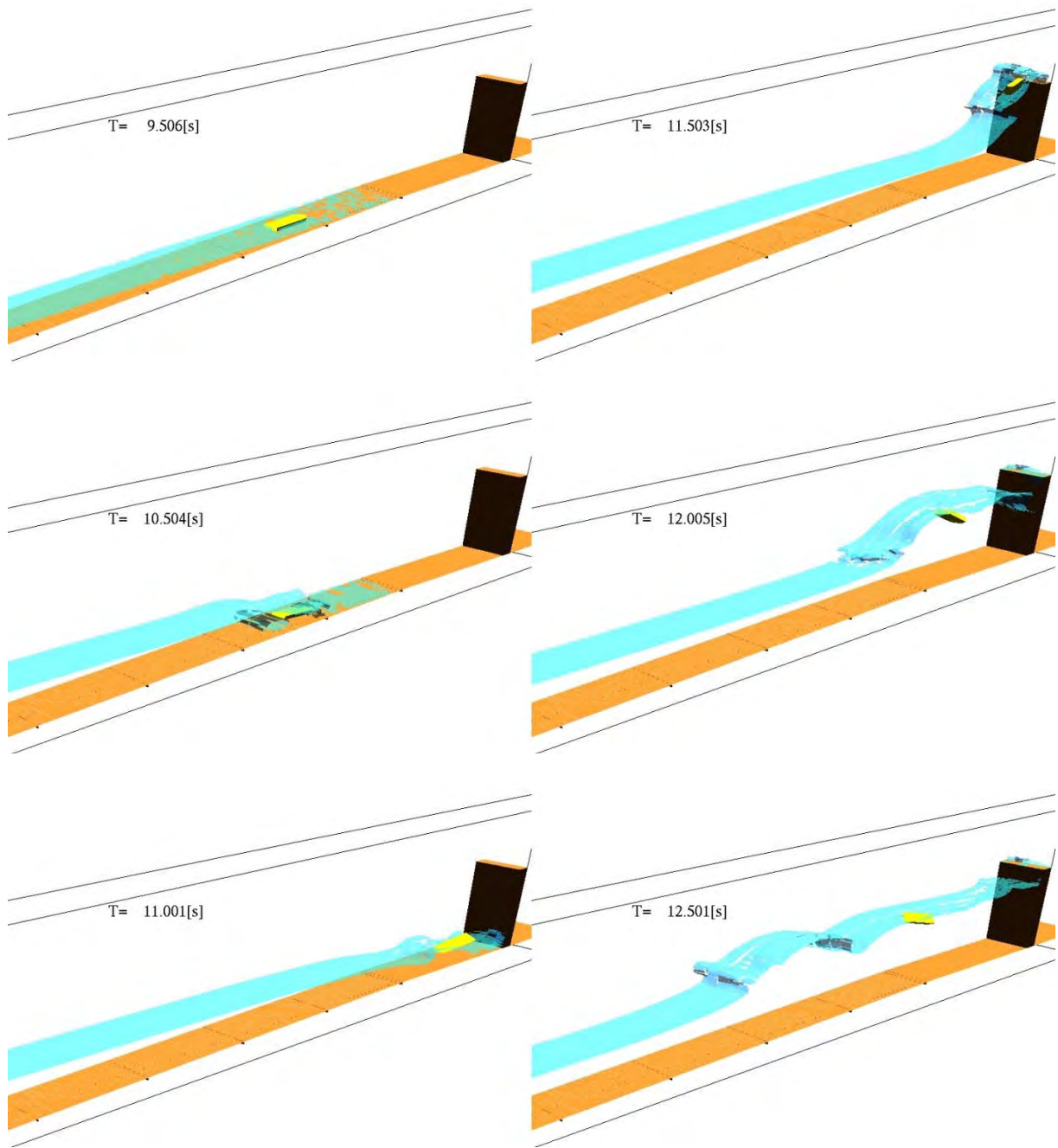
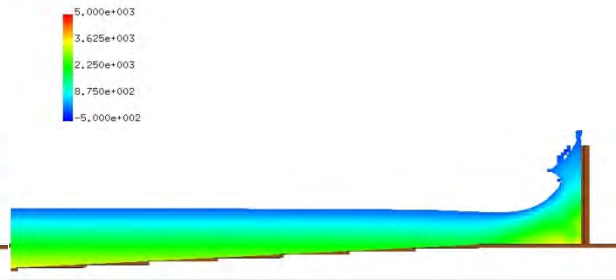


図- 9.3.45 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (S-Wd20-1-A-05)

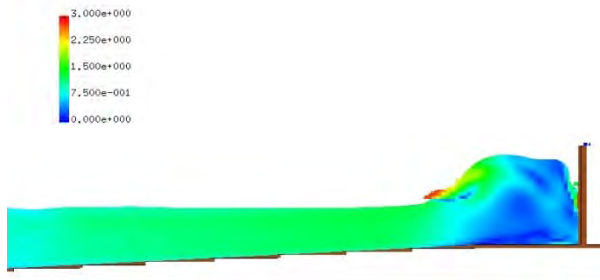
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



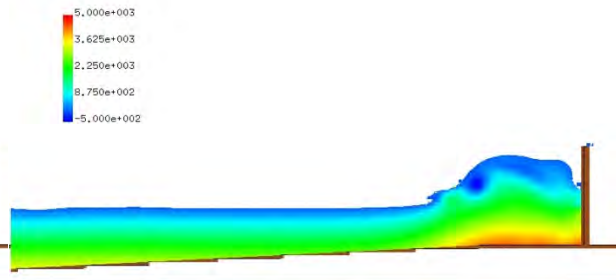
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
presure max=5000.000000



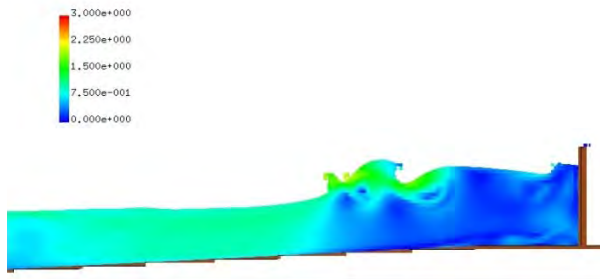
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



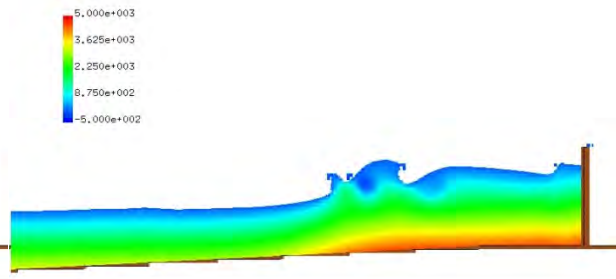
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
presure max=5000.000000



T= 12.5012 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5012 XZ plain y= 0.52(j=6)
presure max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.45 流速及び圧力の鉛直断面分 (S-Wd20-1-A-05)

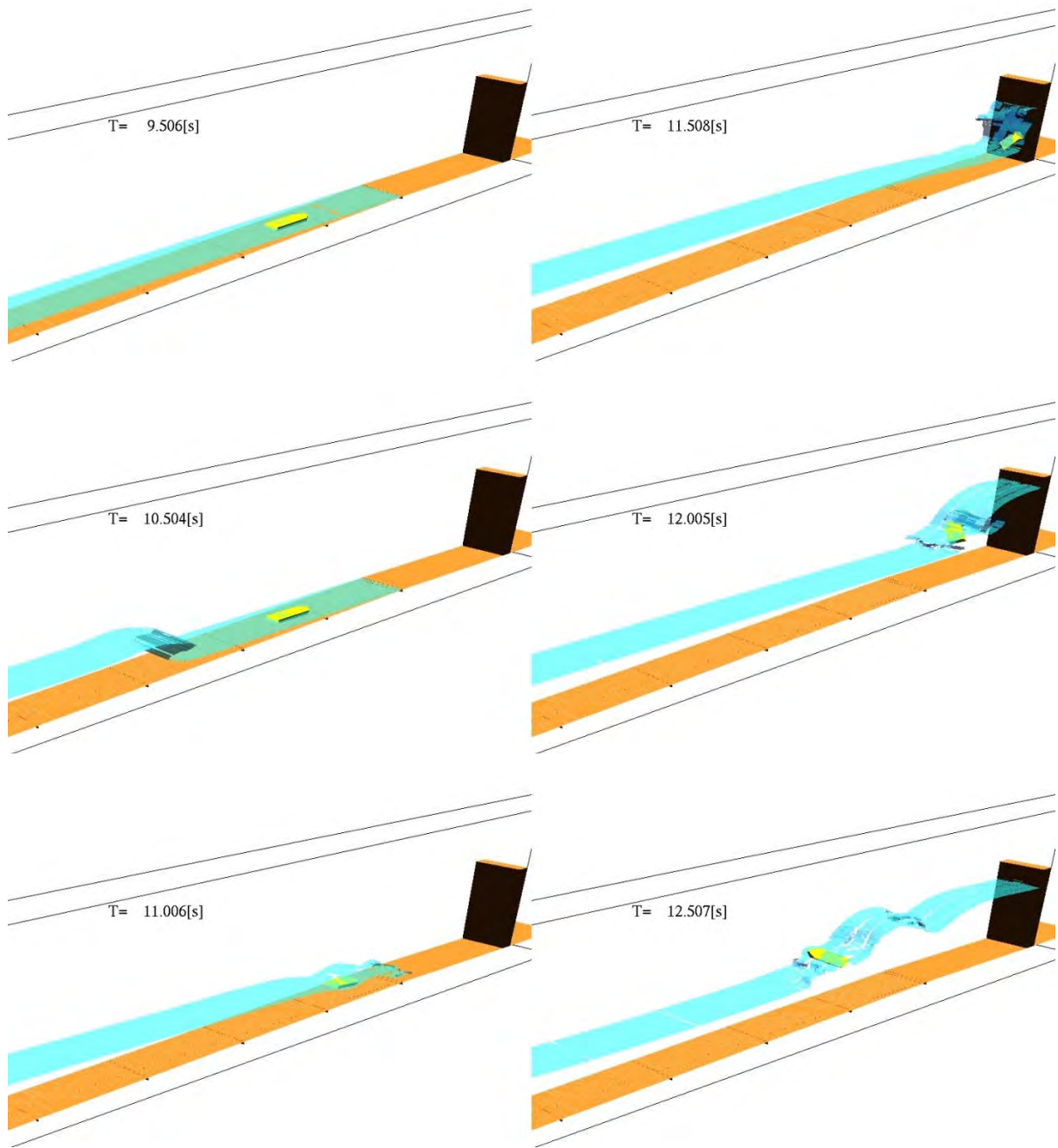
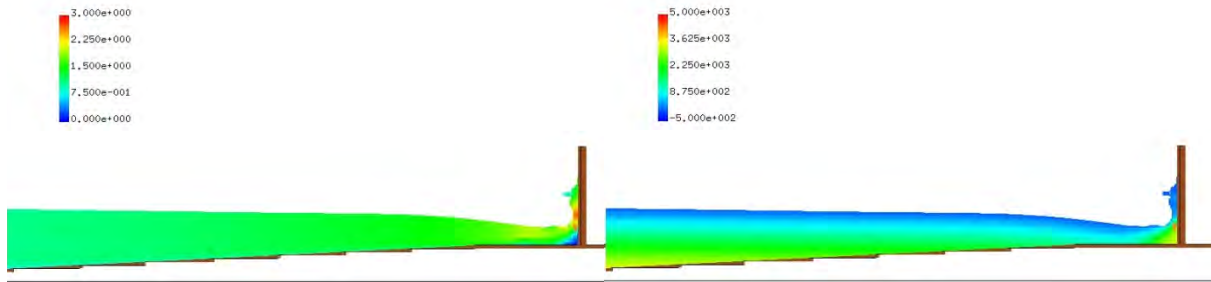


図- 9.3.46 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (S-Wd30-1-A-05)

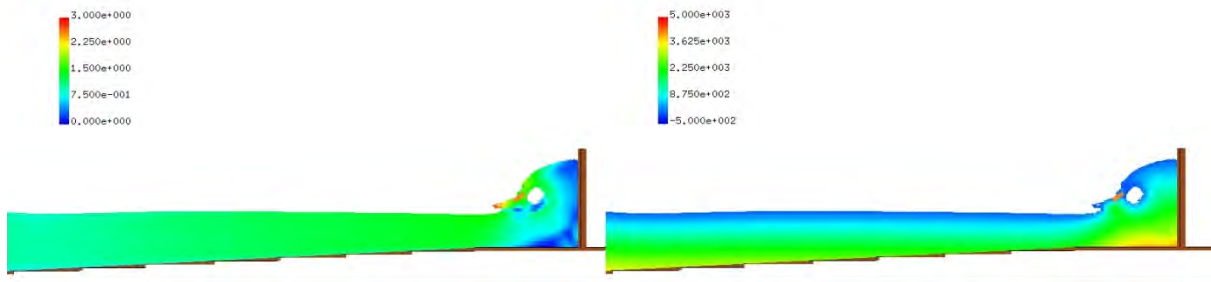
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000

T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



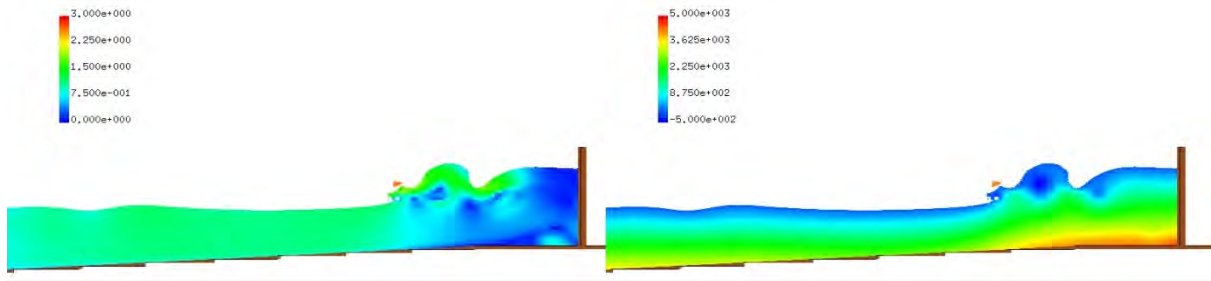
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000

T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000

T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.46 流速及び圧力の鉛直断面分 (S-Wd30-1-A-05)

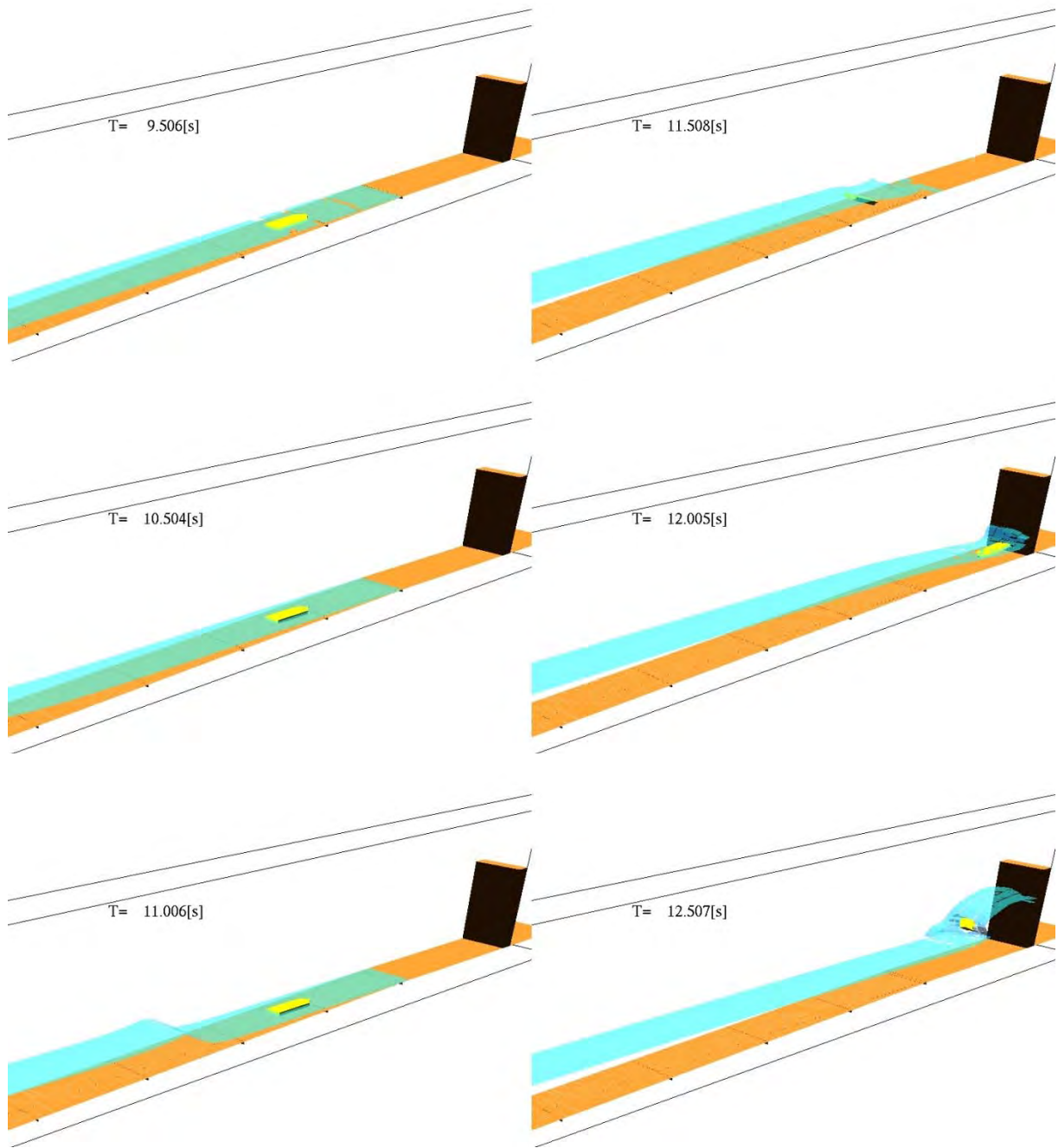
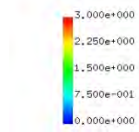
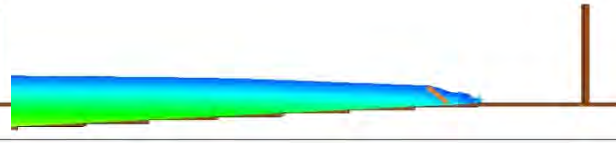
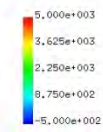


図- 9.3.47 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (S-Wd40-1-A-05)

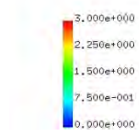
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



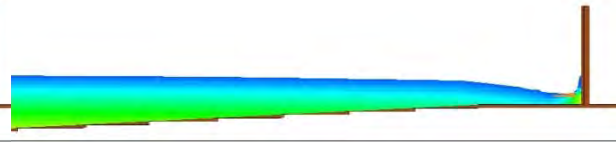
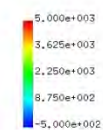
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



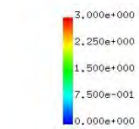
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



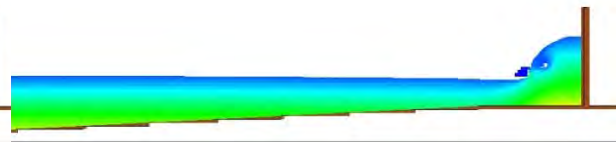
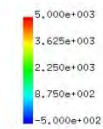
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
pressure max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.47 流速及び圧力の鉛直断面分 (S-Wd40-1-A-05)

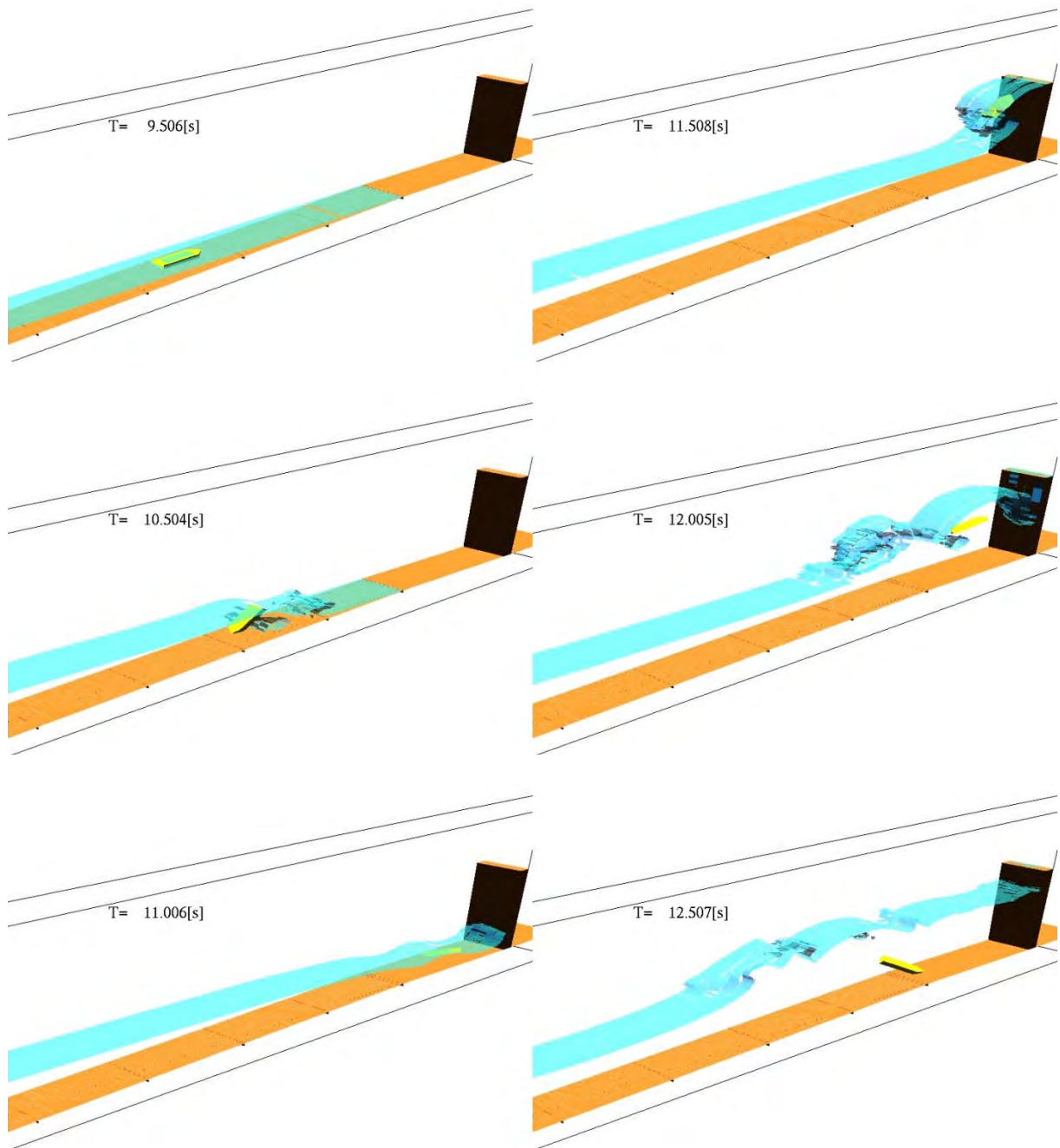
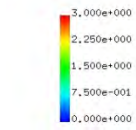
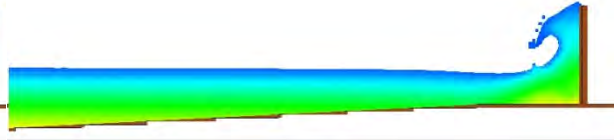
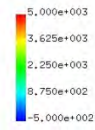


図- 9.3.48 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (S-Wd20-1-A-10)

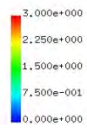
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



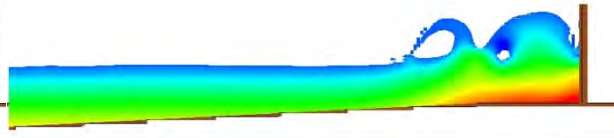
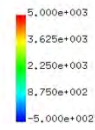
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



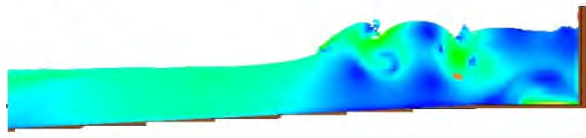
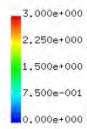
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



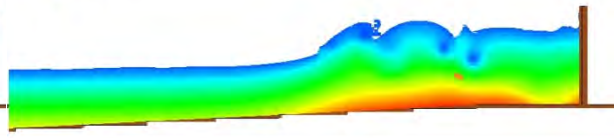
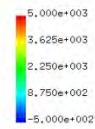
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.48 流速及び圧力の鉛直断面分 (S-Wd20-1-A-10)

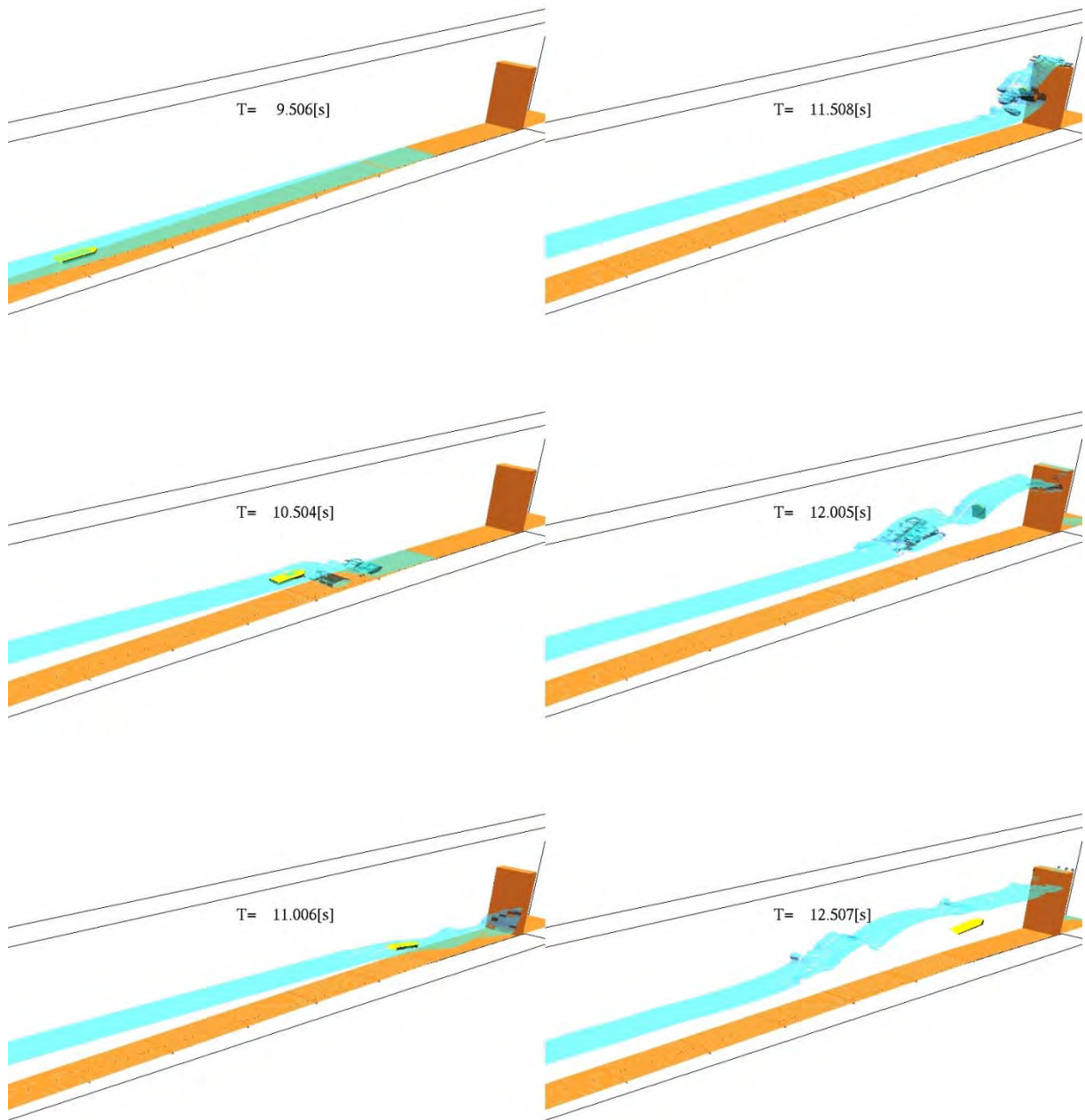
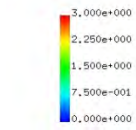
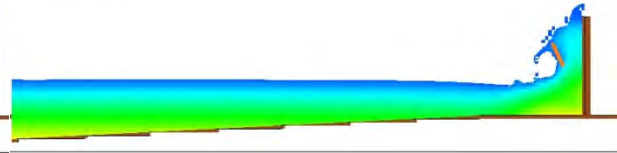
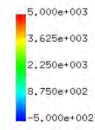


図- 9.3.49 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (S-Wd20-1-A-20)

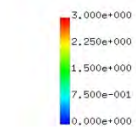
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



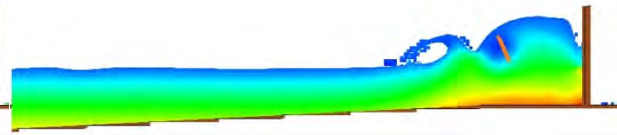
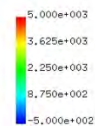
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



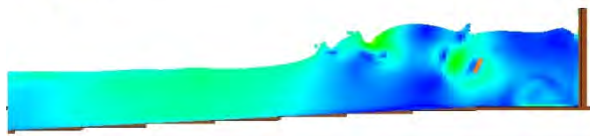
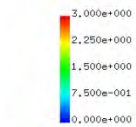
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



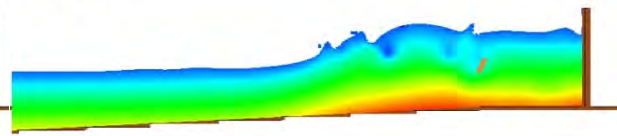
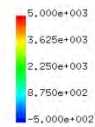
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.49 流速及び圧力の鉛直断面分 (S-Wd20-1-A-20)

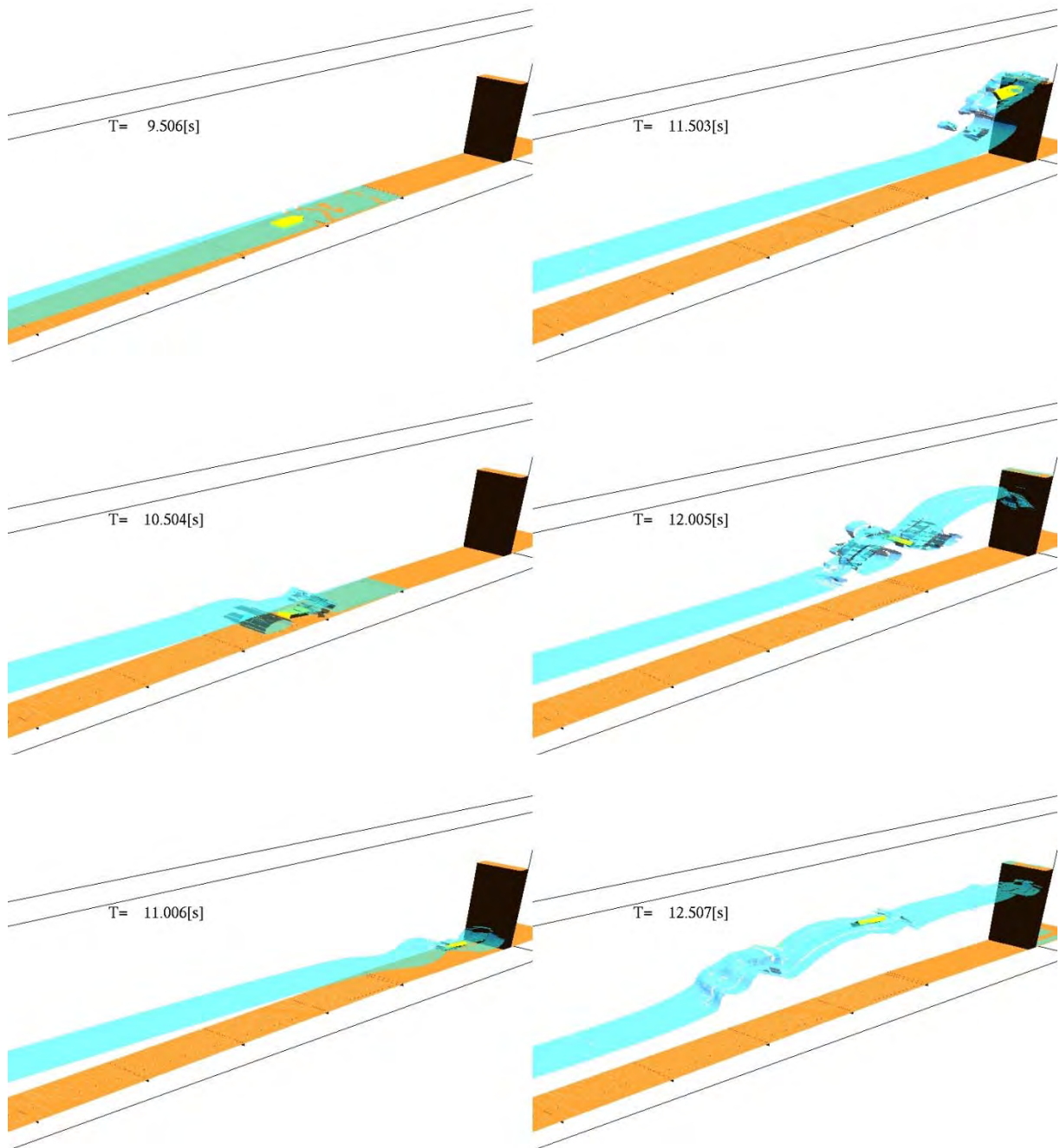
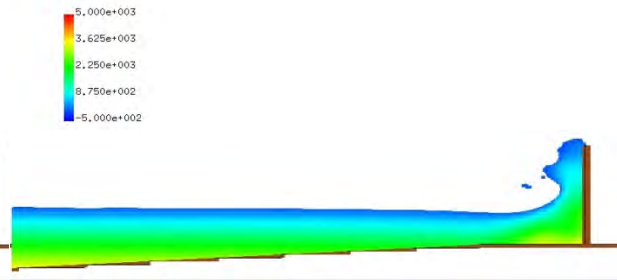


図- 9.3.50 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (S-Wd20-1-B-05)

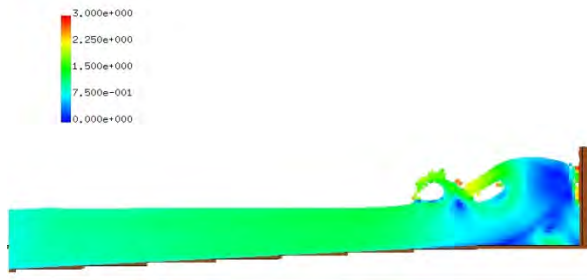
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



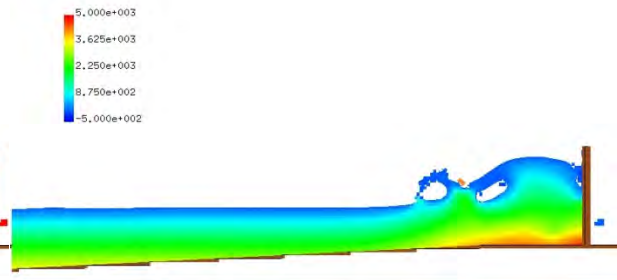
T= 11.5027 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



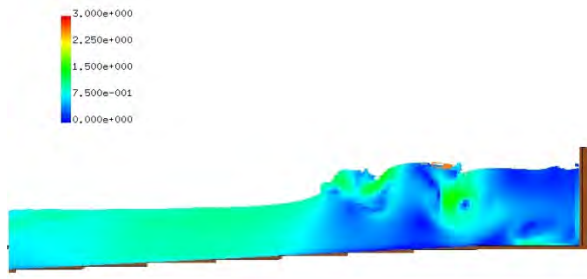
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



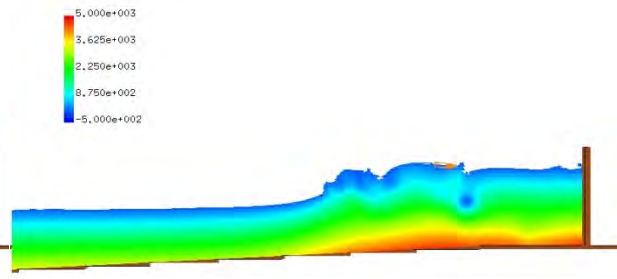
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.50 流速及び圧力の鉛直断面分 (S-Wd20-1-B-05)

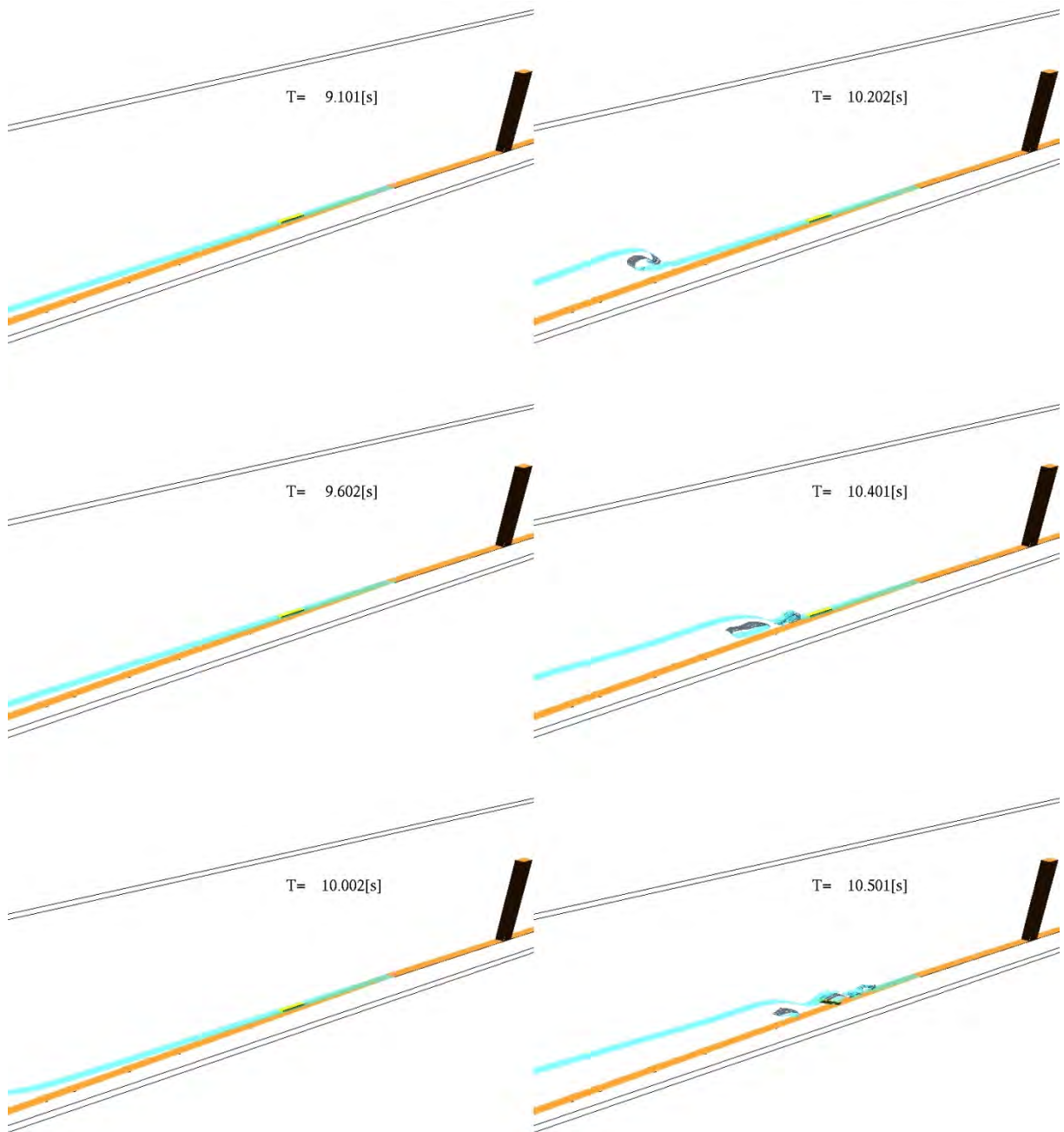
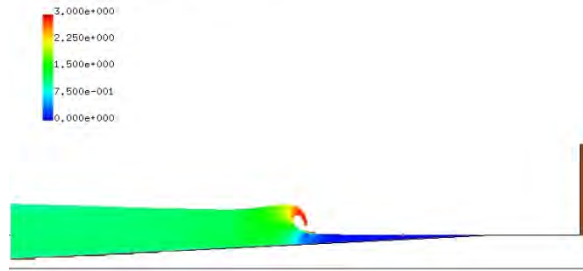
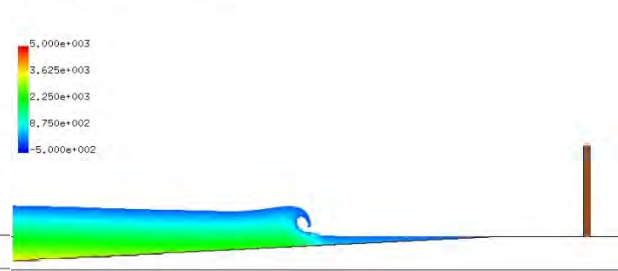


図- 9.3.51 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (S-Wd20-1-C-05)

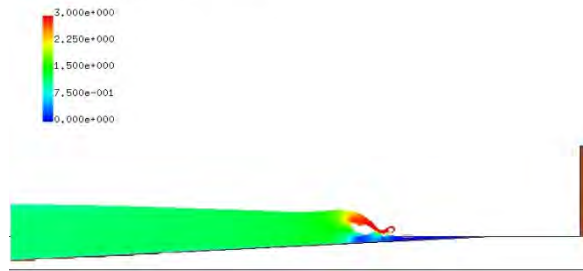
T= 10.2020 XZ plain y= 0.50(j=5)
vector max=3.000000



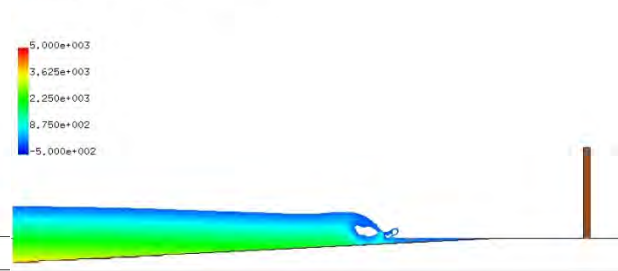
T= 10.2020 XZ plain y= 0.50(j=5)
presure max=5000.000000



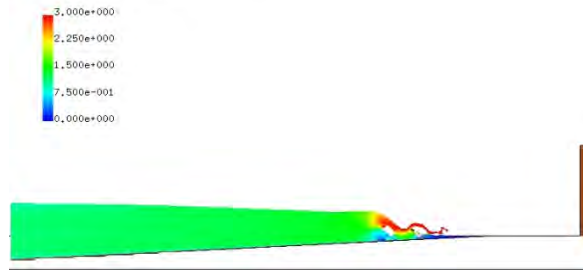
T= 10.4011 XZ plain y= 0.50(j=5)
vector max=3.000000



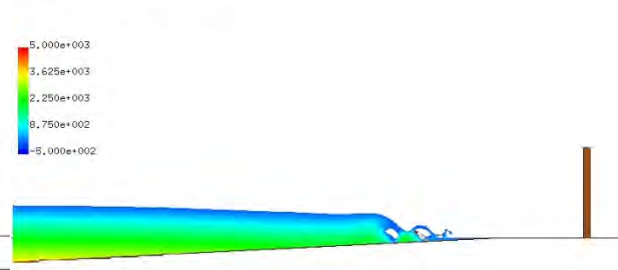
T= 10.4011 XZ plain y= 0.50(j=5)
presure max=5000.000000



T= 10.5013 XZ plain y= 0.50(j=5)
vector max=3.000000



T= 10.5013 XZ plain y= 0.50(j=5)
presure max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.51 流速及び圧力の鉛直断面分 (S-Wd20-1-C-05)

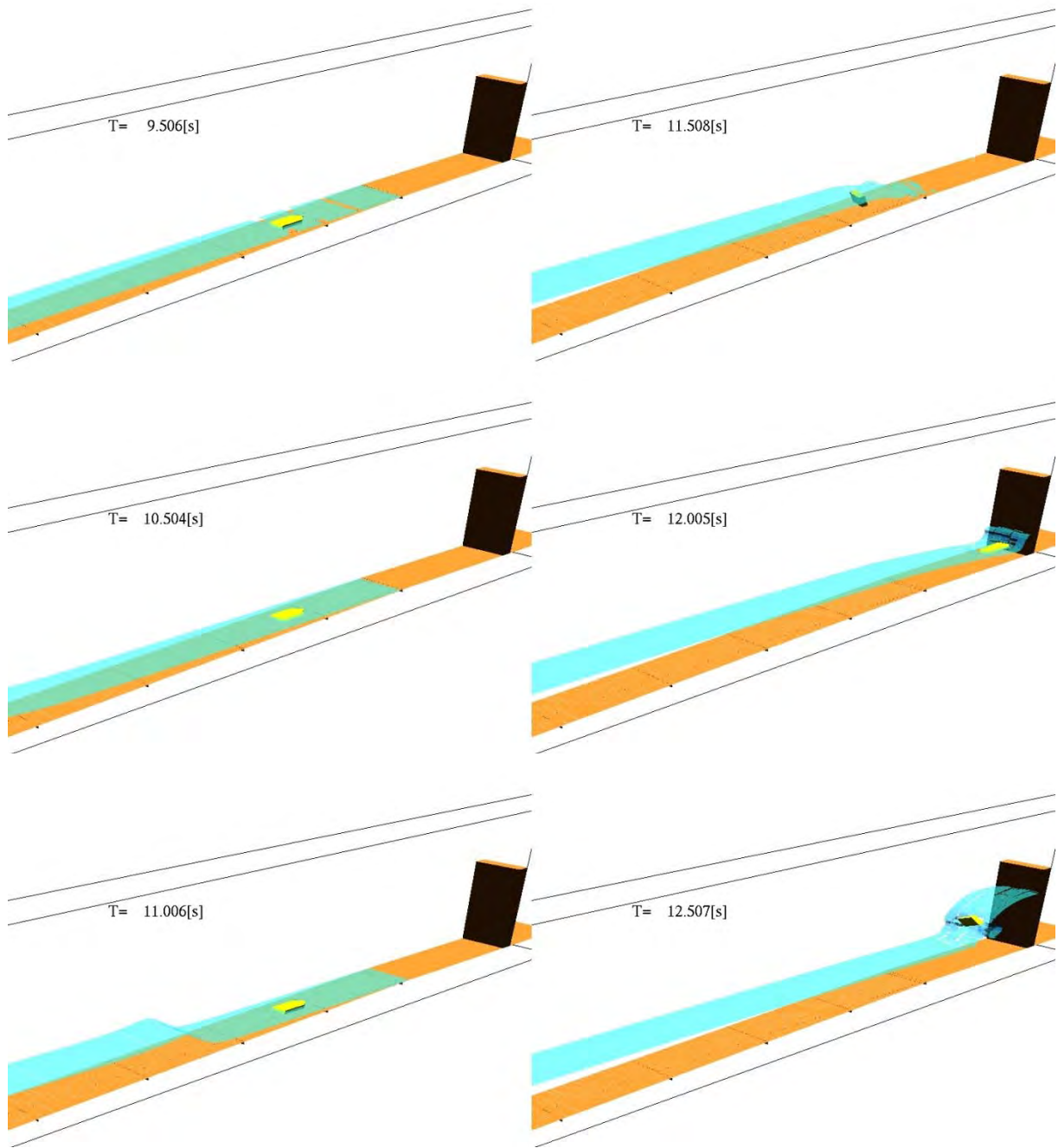
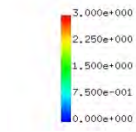
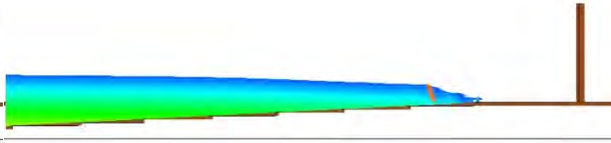
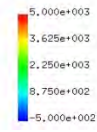


図- 9.3.52 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (S-Wd40-1-B-05)

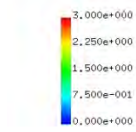
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



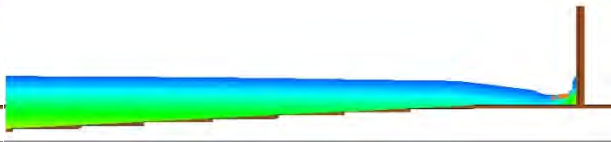
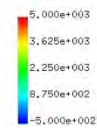
T= 11.5085 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



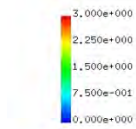
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



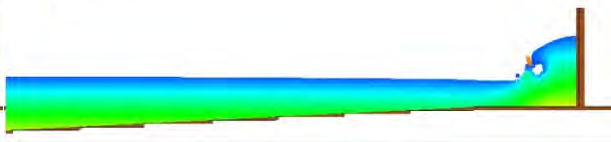
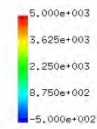
T= 12.0048 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=3.000000



T= 12.5069 XZ plain y= 0.52(j=6)
presurre max=5000.000000



(a)流速

(b)圧力

図- 9.3.52 流速及び圧力の鉛直断面分 (S-Wd40-1-B-05)

10. 漂流物衝突力評価手法の検討

10.1. 衝突頻度の比較（予備試験結果）

予備試験における衝突回数の結果を、試験条件ごとに比較したものを図-10.1に示す。なお、すべての試験ケースでの衝突の発生率は47% (=102/216)であった。

波形の違いによる衝突率の違いは、Wd10, Wd20, Wd30は同程度であり、Wd40のみ小さい。図-10.2はWd30とWd40の漂流開始時の状況を比較したものである。Wd30は段波状の波形になっているが、Wd40は津波高が低いために碎波の規模が小さく分裂波が生じている。このためWd40では、漂流物が分裂波の1波目を後方に乗り越える形で津波先端部に連行されず、堤体前面では先行する波の反射成分に押されるために、衝突が生じていないと考えられる。このことから、顕著な衝突が生じるのは、入射波が段波状となって漂流物の初期位置を通過する場合に限られることが分かる。

漂流物の違いによる比較では、漂流物A, B, Cの順に衝突率、衝突力ともに低下している。特に漂流物Cでは、衝突している場合でもその発生ひずみは非常に小さかった。前述した漂流物の衝突速度は、漂流物A, B, Cで顕著な違いはないことから、これは、質量が小さくなると衝突の発生率が小さくなっていると考えられる。漂流物衝突時には、先行して堤体に到達している津波の先端部により、漂流物と堤体の間には水平流速の小さな水塊が存在することになる。漂流物の質量が小さい場合、この水塊の水圧により堤体の直前面で接近速度が低下し、衝突し難くなると考えられる。ここで、水理試験の想定縮尺は1/80であるため、津波高20cmは実機換算する16mと非常に大きな津波を対象としたものとなる。一方、8m程度の津波を想定する場合は、本試験は縮尺1/40と想定することができる。漂流物Cの質量は23.0gであるから、縮尺1/80と考えると、実機換算した質量は18tとなり、一般的な漁船クラスの船舶は、ほとんど衝突しないことになる。一方、想定縮尺を1/40とした場合には、漂流物Bの質量106.0gは実機換算で6.8t程度となり、比較的小さな漁船クラスの船舶でも衝突することになる。

堤体位置による違いを比較すると、堤体位置0.625mの方が衝突率は小さい。ただし、試験ごとのばらつきを考慮すると、3回の繰り返しの結果から定性的な傾向として特徴づけるには、その違いは小さい。堤体位置の違いによる衝突のしやすさは、本試験結果からは確認できないと判断するのが妥当である。

漂流物の初期位置による衝突率の違いを比較すると、初期位置が堤体から遠くなるほど衝突率が低下している。特にWd40では、初期位置2.0mは衝突するケースがなかった（漂流物試験結果参照）。ただし、後述する衝突力の大きさは漂流物初期位置との相関が認められないため、衝突するかどうかの衝突率については、堤体から初期位置が遠いほど低下するが、衝突した場合の衝突力は、初期位置の違いの影響はないことが分かる。

漂流物の衝突は、伝播する波の先端部分に漂流物が連行される（波に乗る）形で衝突する場合と、流れにより衝突する場合が考えられる。本事業では前者を対象としているため、後者については平面実験等により別途検討する必要がある。また本事業では、波に連行される波種類を選んで実験を実施している。これらの試験ケースよりも小さな津波高や長い周期特性の波では、波に連行されず、その場に留まることも考えられる。また、漂流物の初期位置が、本試験ケースより

もさらに遠方の場合や水深が深くなるケースでも、波形前面の勾配が小さくなるため、漂流せずにその場に留まるケースが増え、衝突率はより低減すると考えられる。

	回数	衝突率		回数	衝突率		回数	衝突率		回数	衝突率
Wd10	30	56%	堤体位置0m	56	52%	漂流物A	49	68%	初期位置0.5m	47	65%
Wd20	28	52%	堤体位置0.625m	46	43%	漂流物B	40	56%	初期位置1.0m	34	47%
Wd30	31	57%			漂流物C	13	18%	初期位置2.0m	21	29%	
Wd40	13	24%									

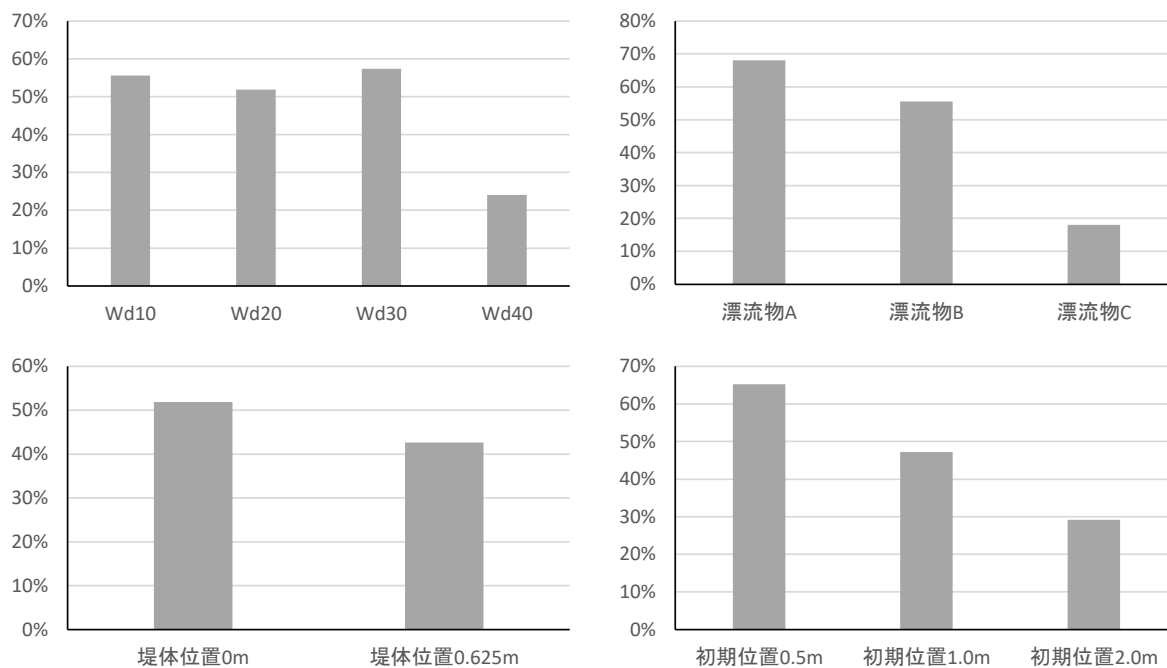
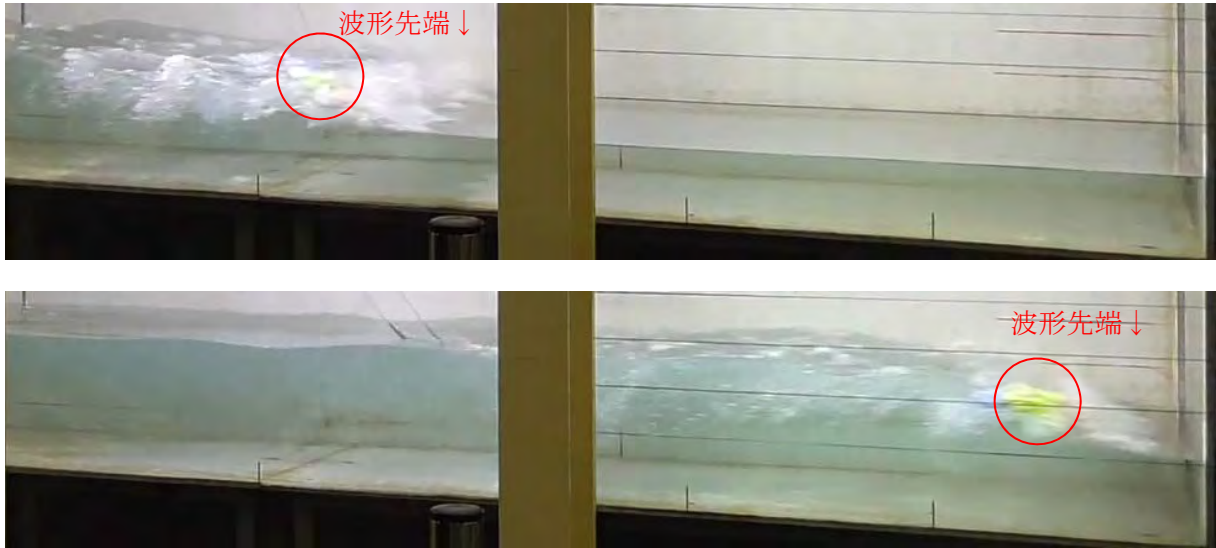


図- 10.1 予備試験における衝突頻度の比較



(a)Wd30



図- 10.2 Wd30 と Wd40 の漂流開始時状況の比較 (初期位置 2.0m, 堤体位置 0m)

10.2. 曲げひずみエネルギーによる衝突力の評価

ここでは、堤体模型に生じたひずみエネルギーによって、衝突力を評価する。ただし、ひずみエネルギーと衝突力は比例関係にはないと考えられ、衝突力の定量的評価については後述する。

梁の曲げひずみエネルギーは以下の式によって求められる。

$$W = \int \frac{M^2}{2EI} dz = \int \frac{2\varepsilon^2 EI}{d^2} dz$$

ここで、 d : 堤体厚である。上式を用いて、衝突のみによるひずみの鉛直分布の試験結果から、ひずみエネルギーを求めた結果を図-10.3、図-10.4 および表-10.1、表-10.2 に示す。なお、ここで示した平均は、衝突が確認できないものについてはひずみエネルギー0として求めている。これらの図表から、漂流物の衝突は偶発的に発生しており、衝突した場合の衝突力も大きなばらつきを持っていることが分かる。

15回の繰り返し試験によって得られた衝突ひずみエネルギーの最大値、平均値および、ひずみエネルギーの発生確率がガンマ分布に従うと仮定し、99%信頼区間の値を求めたものを、図-10.5、図-10.6 および表-10.3、表-10.4 に示す。ただし、顕著な衝突の確認出来るケースが限られていることから、統計的な値の算出には信頼性の面での課題は残る。なお、非衝突については衝突エネルギー0として解析している。漂流物 C については、衝突なしあるいは小さな衝突力となっているが、動画を確認すると、先行する波によって生じる上向きの流れによって打ち上げられ、堤体にほとんど衝突していないことが分かる。また、Wd30の初期位置 2.0m (F-Wd30-0-1-20) のケースで衝突力が小さくなっているが、このケースでは漂流物の移動が波形先端の水面勾配の大きな部分から遅れており、波形の水面勾配が緩やかになった部分に連行される形で衝突しているためと考えられる。

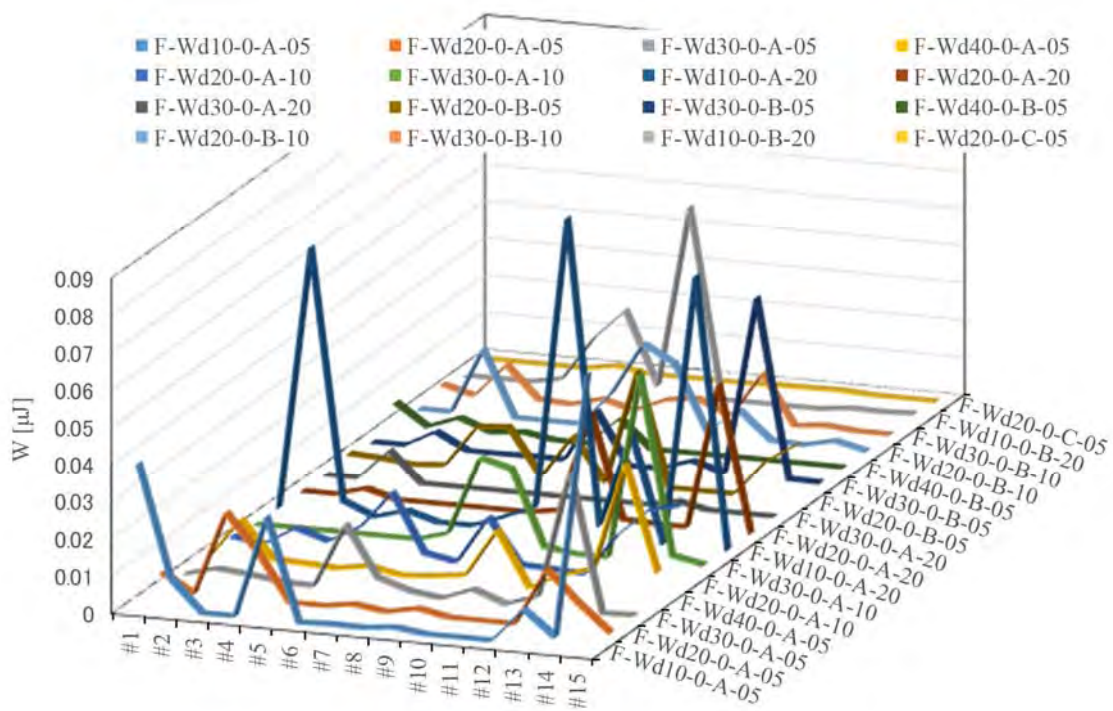


図-10.3 衝突時のひずみエネルギー（堤体位置 0m）

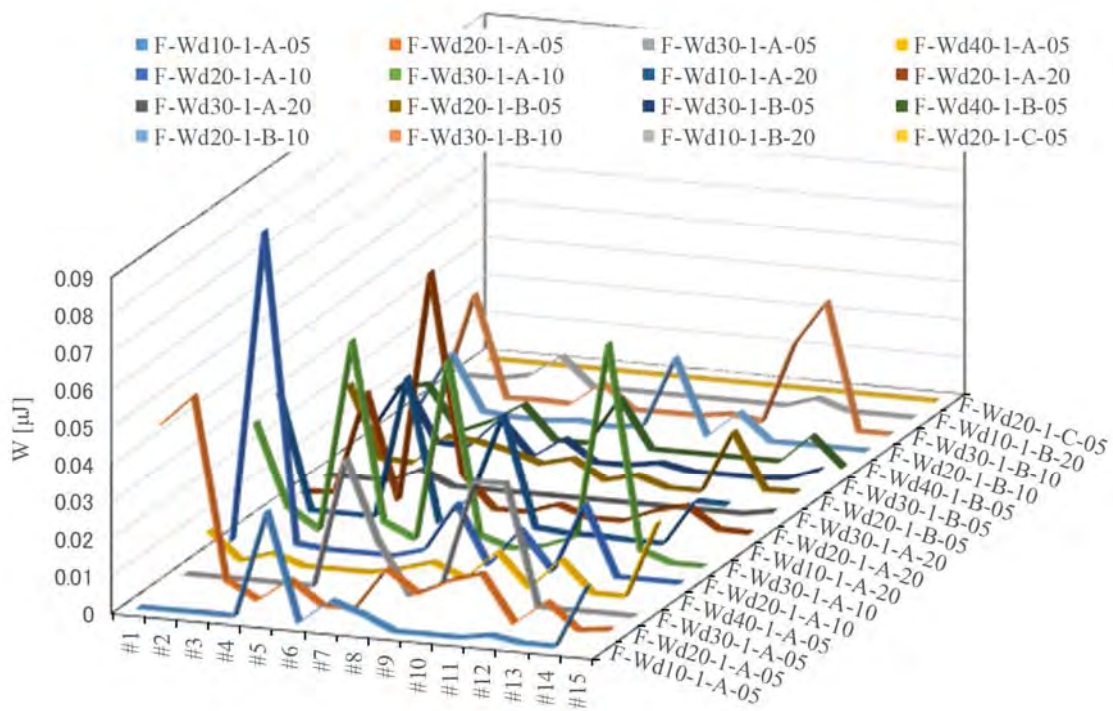


図-10.4 衝突時のひずみエネルギー（堤体位置 0.625m）

表-10.1 衝突時のひずみエネルギー (堤体位置 0m)

unit: μJ

ケース名	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15
F-Wd10-0-A-05	0.03877	0.00857	0.00000	0.00000	0.02754	0.00000	0.00039	0.00025	0.00115	0.00000	0.00002	0.00000	0.00930	0.00258	0.07410
F-Wd20-0-A-05	0.00502	0.00000	0.02259	0.01268	0.00000	0.00000	0.00122	0.00000	0.00172	0.00000	0.00000	0.00000	0.01552	0.00727	0.00000
F-Wd30-0-A-05	0.00010	0.00227	0.00147	0.00036	0.00002	0.01738	0.00393	0.00115	0.00000	0.00320	0.00006	0.00298	0.03709	0.00000	0.00035
F-Wd40-0-A-05	0.00018	0.01103	0.00119	0.00079	0.00037	0.00172	0.00000	0.00075	0.00173	0.01473	0.00000	0.00420	0.00680	0.03583	0.00729
F-Wd20-0-A-10	0.00123	0.00000	0.00503	0.00241	0.00696	0.01708	0.00164	0.00000	0.01284	0.00089	0.00055	0.00000	0.01117	0.01879	0.02081
F-Wd30-0-A-10	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00242	0.02367	0.02143	0.00135	0.00000	0.00009	0.05020	0.00218	0.00048
F-Wd10-0-A-20	0.00000	0.07089	0.00354	0.00000	0.00248	0.00000	0.00002	0.00313	0.00664	0.08530	0.00330	0.02898	0.00000	0.07284	0.00000
F-Wd20-0-A-20	0.00000	0.00000	0.00235	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00136	0.02848	0.00056	0.00000	0.00000	0.03933	0.00000
F-Wd30-0-A-20	0.00000	0.00000	0.00832	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00171	0.00000	0.00000	0.00000
F-Wd20-0-B-05	0.00141	0.00093	0.00000	0.00071	0.01184	0.01255	0.00000	0.01188	0.00000	0.03073	0.00000	0.00000	0.00000	0.00972	0.01515
F-Wd30-0-B-05	0.00000	0.00000	0.00443	0.00000	0.00000	0.00024	0.00019	0.01415	0.00000	0.00026	0.00306	0.00052	0.04849	0.00051	0.00034
F-Wd40-0-B-05	0.00630	0.00058	0.00372	0.00065	0.00148	0.00006	0.00000	0.00762	0.00000	0.00000	0.00000	0.00008	0.00000	0.00003	0.00000
F-Wd20-0-B-10	0.00000	0.00000	0.01777	0.00000	0.00000	0.00000	0.00899	0.02317	0.01862	0.00121	0.00788	0.00044	0.00000	0.00195	0.00000
F-Wd30-0-B-10	0.00223	0.00000	0.00915	0.00061	0.00000	0.00226	0.00000	0.00370	0.00480	0.00090	0.01328	0.00000	0.00083	0.00000	0.00000
F-Wd10-0-B-20	0.00000	0.00000	0.00000	0.00160	0.01344	0.02166	0.00221	0.05117	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00100	0.00085	0.00120
F-Wd20-0-C-05	0.00005	0.00000	0.00000	0.00000	0.00146	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00035	0.00042	0.00060	0.00005	0.00000	0.00000

表-10.2 衝突時のひずみエネルギー (堤体位置 0.625m)

unit: μJ

ケース名	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15
F-Wd10-1-A-05	0.00000	0.00000	0.00020	0.00000	0.02905	0.00000	0.00673	0.00384	0.00000	0.00000	0.00000	0.00143	0.00000	0.00000	0.01720
F-Wd20-1-A-05	0.04495	0.05317	0.00458	0.00000	0.00622	0.00017	0.00000	0.01153	0.00570	0.01005	0.01269	0.00025	0.00686	0.00000	0.00103
F-Wd30-1-A-05	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.03524	0.01381	0.00000	0.00357	0.03201	0.03236	0.00013	0.00000	0.00009	0.00000
F-Wd40-1-A-05	0.00731	0.00000	0.00276	0.00000	0.00000	0.00000	0.00181	0.00438	0.00089	0.00896	0.00000	0.00833	0.00000	0.00000	0.02069
F-Wd20-1-A-10	0.00000	0.08381	0.00094	0.00000	0.00000	0.00000	0.00243	0.01572	0.00000	0.01035	0.00000	0.01877	0.00000	0.00000	0.00000
F-Wd30-1-A-10	0.02766	0.00557	0.00000	0.05187	0.00394	0.00000	0.04921	0.00269	0.00000	0.00145	0.00472	0.05754	0.00289	0.00000	0.00000
F-Wd10-1-A-20	0.03133	0.00008	0.00000	0.00000	0.03853	0.00000	0.00798	0.03087	0.00118	0.00037	0.00049	0.00000	0.00000	0.01237	0.01221
F-Wd20-1-A-20	0.00000	0.00060	0.02830	0.00000	0.06205	0.00901	0.00000	0.00000	0.00290	0.00000	0.00000	0.00364	0.00581	0.00029	0.00000
F-Wd30-1-A-20	0.00000	0.00000	0.00000	0.00395	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00150
F-Wd20-1-B-05	0.02001	0.00086	0.00039	0.00841	0.00788	0.00612	0.00345	0.00562	0.00055	0.00274	0.00000	0.00000	0.01700	0.00203	0.00232
F-Wd30-1-B-05	0.00333	0.01701	0.00156	0.00113	0.00953	0.00000	0.00579	0.00000	0.00023	0.00160	0.00000	0.00000	0.00000	0.00075	0.00389
F-Wd40-1-B-05	0.00995	0.01183	0.00000	0.00356	0.00891	0.00000	0.00000	0.01298	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00779	0.00000
F-Wd20-1-B-10	0.00100	0.01576	0.00090	0.00000	0.00000	0.00086	0.00000	0.00105	0.02010	0.00000	0.00711	0.00000	0.00019	0.00000	0.00000
F-Wd30-1-B-10	0.00000	0.02691	0.00000	0.00034	0.00000	0.00640	0.00000	0.00015	0.00015	0.00139	0.00022	0.02189	0.03380	0.00000	0.00000
F-Wd10-1-B-20	0.00000	0.00000	0.00162	0.00758	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00279	0.00000	0.00000	0.00000
F-Wd20-1-C-05	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

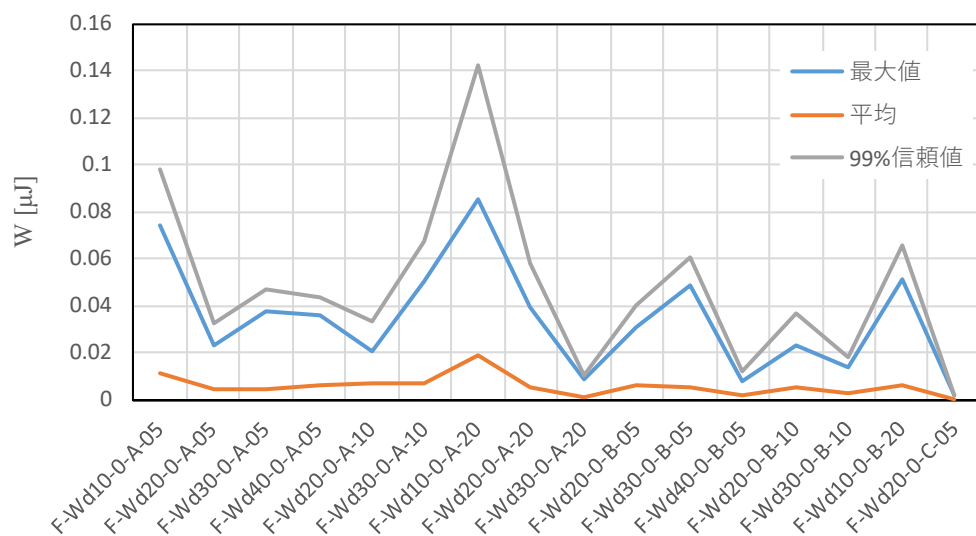


図- 10.5 衝突時のひずみエネルギー（堤体位置 0m）

表- 10.3 衝突時のひずみエネルギー統計値（堤体位置 0m）

ケース名	最大値	平均	分散	k	θ	99%信頼値
F-Wd10-0-A-05	0.07410	0.01085	0.000410	0.286544	0.037848	0.09788
F-Wd20-0-A-05	0.02259	0.00440	0.000047	0.412912	0.010659	0.03244
F-Wd30-0-A-05	0.03709	0.00469	0.000093	0.237193	0.019775	0.04702
F-Wd40-0-A-05	0.03583	0.00577	0.000083	0.400646	0.014412	0.04327
F-Wd20-0-A-10	0.02081	0.00663	0.000053	0.829905	0.007986	0.03357
F-Wd30-0-A-10	0.05020	0.00679	0.000191	0.241614	0.028096	0.06736
F-Wd10-0-A-20	0.08530	0.01847	0.000894	0.381774	0.048391	0.14219
F-Wd20-0-A-20	0.03933	0.00481	0.000135	0.17157	0.028012	0.05754
F-Wd30-0-A-20	0.00832	0.00067	0.000004	0.102558	0.006523	0.01050
F-Wd20-0-B-05	0.03073	0.00633	0.000074	0.541342	0.011691	0.04022
F-Wd30-0-B-05	0.04849	0.00481	0.000149	0.155534	0.030943	0.06076
F-Wd40-0-B-05	0.00762	0.00137	0.000006	0.324745	0.004214	0.01152
F-Wd20-0-B-10	0.02317	0.00534	0.000061	0.463769	0.011504	0.03689
F-Wd30-0-B-10	0.01328	0.00252	0.000014	0.444613	0.00566	0.01781
F-Wd10-0-B-20	0.05117	0.00621	0.000180	0.214103	0.028995	0.06585
F-Wd20-0-C-05	0.001462	0.000195	1.49E-07	0.256145	0.000762	0.00188

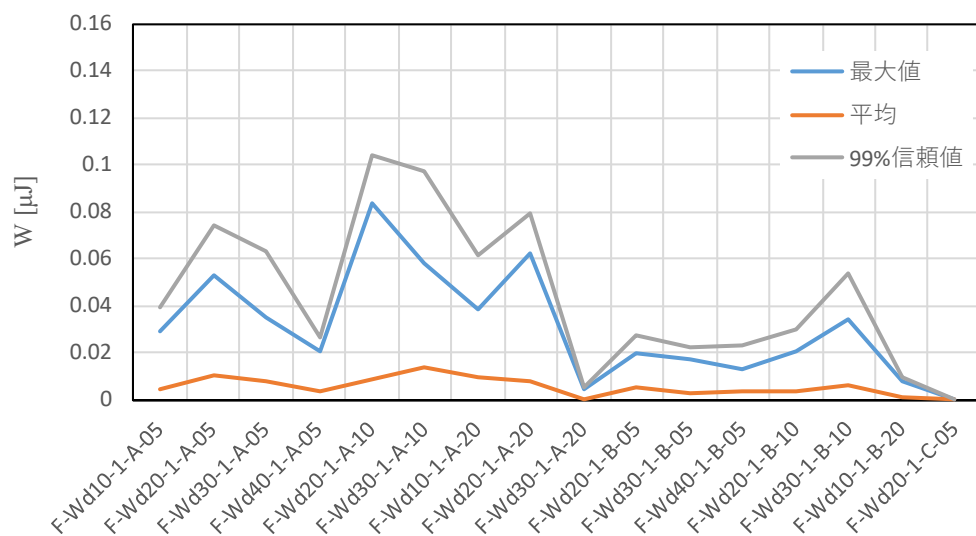


図- 10.6 衝突時のひずみエネルギー（堤体位置 0.625m）

表- 10.4 衝突時のひずみエネルギー統計値（堤体位置 0.625m）

ケース名	最大値	平均	分散	k	θ	99%信頼値
F-Wd10-1-A-05	0.02905	0.00390	0.000065	0.233809	0.016666	0.03909
F-Wd20-1-A-05	0.05317	0.01048	0.000249	0.441001	0.023764	0.07432
F-Wd30-1-A-05	0.03524	0.00781	0.000173	0.352111	0.022193	0.06290
F-Wd40-1-A-05	0.02069	0.00368	0.000031	0.441136	0.008332	0.02613
F-Wd20-1-A-10	0.08381	0.00880	0.000438	0.1767	0.049808	0.10366
F-Wd30-1-A-10	0.05754	0.01384	0.000427	0.448369	0.030857	0.09745
F-Wd10-1-A-20	0.03853	0.00903	0.000171	0.476774	0.018934	0.06148
F-Wd20-1-A-20	0.06205	0.00751	0.000263	0.214372	0.035016	0.07957
F-Wd30-1-A-20	0.00395	0.00036	0.000001	0.124736	0.002911	0.00516
F-Wd20-1-B-05	0.02001	0.00516	0.000035	0.764309	0.00675	0.02728
F-Wd30-1-B-05	0.01701	0.00299	0.000021	0.427977	0.006981	0.02195
F-Wd40-1-B-05	0.01298	0.00367	0.000024	0.563027	0.006515	0.02268
F-Wd20-1-B-10	0.02010	0.00313	0.000037	0.263012	0.011908	0.02965
F-Wd30-1-B-10	0.03380	0.00608	0.000122	0.302696	0.020098	0.05326
F-Wd10-1-B-20	0.00758	0.00080	0.000004	0.164531	0.004859	0.00980
F-Wd20-1-C-05	0	0	0	-	-	-

(1) 漂流物形状の違いによる比較

図- 10.5, 図- 10.6 のうち, 同じ条件における漂流物の違いによる影響を比較したものを, 図- 10.7 に示す. 堤体位置 0.625m では総じて漂流物 A の方が漂流物 B よりも衝突力が大きくなる傾向が表れている. 一方, 堤体位置 0m では, 平均としては A の方が衝突力は大きい, B の方が大きくなるケースもある. 堤体位置 0m の場合, 堤体前面で重複波の性状により鉛直流速が大きく, 衝突時の漂流物水平速度あるいは漂流物の向きが試験ごとにばらつくためと考えられる.

漂流物 A の質量は漂流物 B の概略 1.4 倍である. 衝突によるひずみエネルギーが漂流物の運動エネルギーに比例すると考えると, 運動エネルギーは質量に比例する. 図- 10.7 において, 堤体位置 0m の時のばらつきも考慮すると, 衝突力はこれよりも大きな比率 (堤体位置 0 では 2.5 倍程度) で A の方が大きくなっていると考えられる. これは, A の衝突速度の方が B よりも大きいことを意味する. 接近速度はほぼ波速に近いと考えられるため, 衝突直前に漂流物と堤体の間にある水塊の水圧により, 漂流物移動速度が低減され, その低減の程度が, 質量の小さい B の方が大きくなったと推察される.

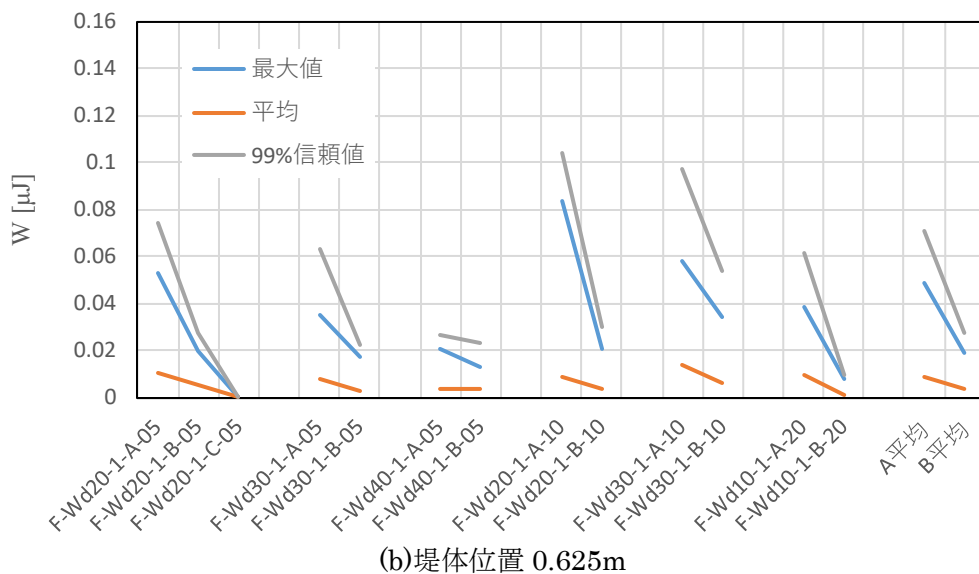
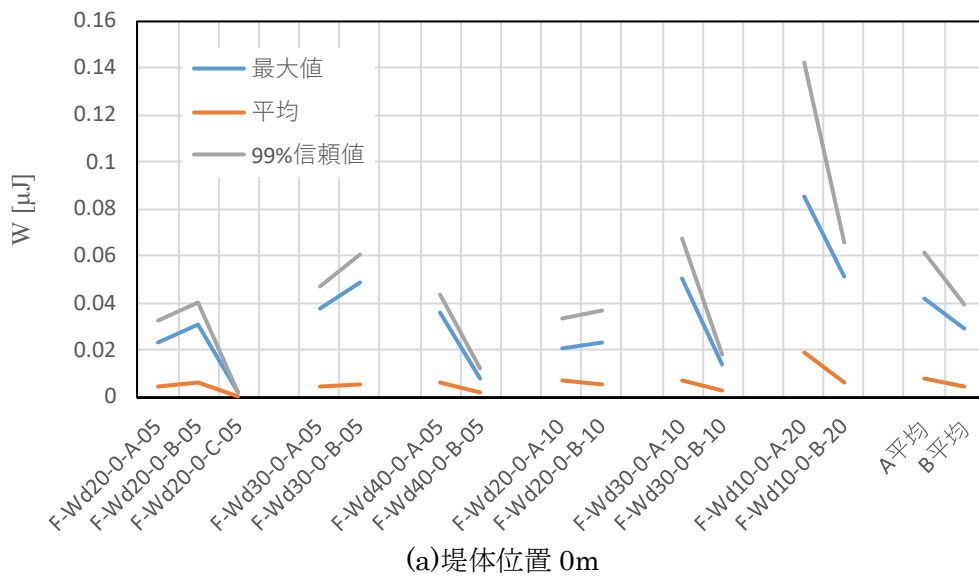
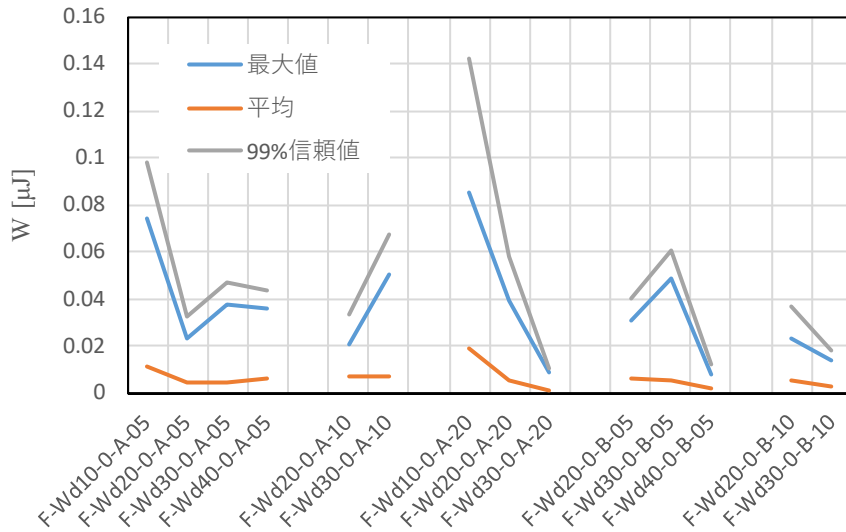


図- 10.7 漂流物形状の違いによるひずみエネルギーの比較

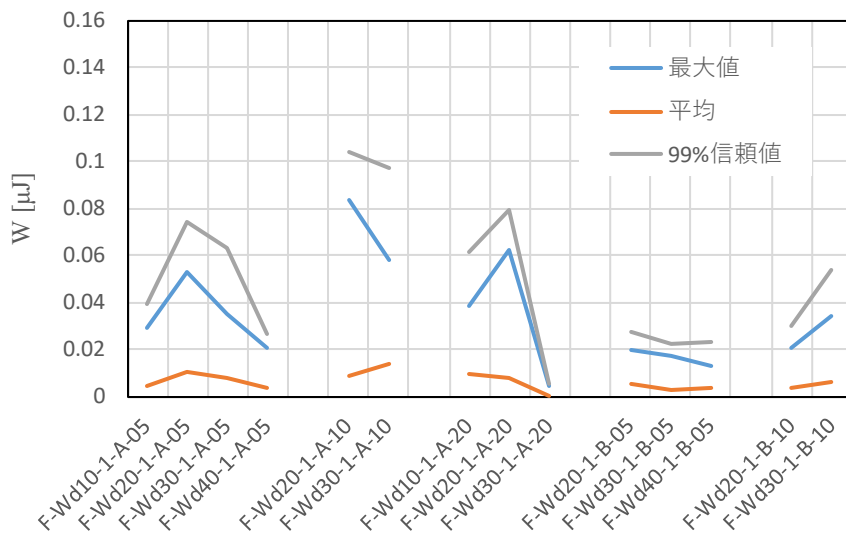
(b) 波形の違いによる比較

Wd20 と Wd30 について同じ試験条件の結果を比較したものを、図- 10.8 に示す。これらの図から、Wd20 と Wd30 のケースの大小関係についての一定の傾向を読み取ることは出来ない。またここには示していないが、Wd10 についても、Wd20, Wd30 に対する大小はケースにより異なる。Wd10, Wd20, Wd30 は津波高が同じため、津波先端部に連行される状態で漂流した場合、これらのケースでは波速が同程度であるため衝突速度も同程度になっていると考えられる。一方 Wd40 については、全ケースの中で衝突力がもっとも小さくなっている。これは前述した、衝突率が Wd40 のみ低いことの要因と同じ理由と考えられる。

Wd10 のケースの特徴として、堤体位置 0m ではひずみエネルギーが他のケースより大きいに対し、0.625m では小さくなる。Wd10 は堤体の沖で巻波型砕波が生じるため、これに連行されて漂流物が移動すると、堤体位置 0m では大きな衝突力が働くが、0.625m の場合は遡上をとともうため、陸上に遡上する際に巻波部分に巻き込まれる水中に潜った状態になることが要因と考えられる。



(a)堤体位置 0m



(b)堤体位置 0.625m

図- 10.8 波形の違いによるひずみエネルギーの比較

(c) 漂流物初期位置の違いによる比較

図-10.9に、同じ試験条件における漂流物初期位置の違いによる比較を示す。これらの図から、初期位置の影響による大小関係についての一定の傾向を読み取ることは出来ない。一方、前述したように衝突率については、明らかに初期位置が汀線に近い方が高くなっていることから、衝突するかどうか（すなわち、波形の先端部分に連行されて漂流するかどうか）については、初期位置が汀線に近いほど衝突が発生しやすくなるが、衝突した場合の衝突力については、初期位置の影響が小さいことが分かる。

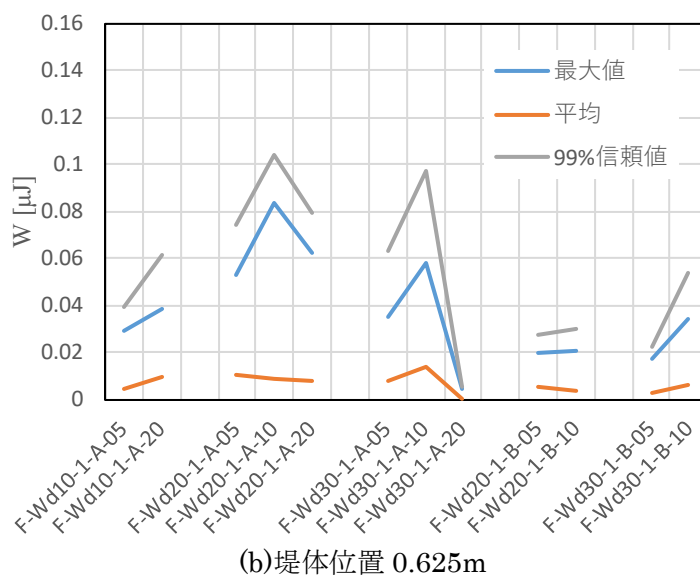
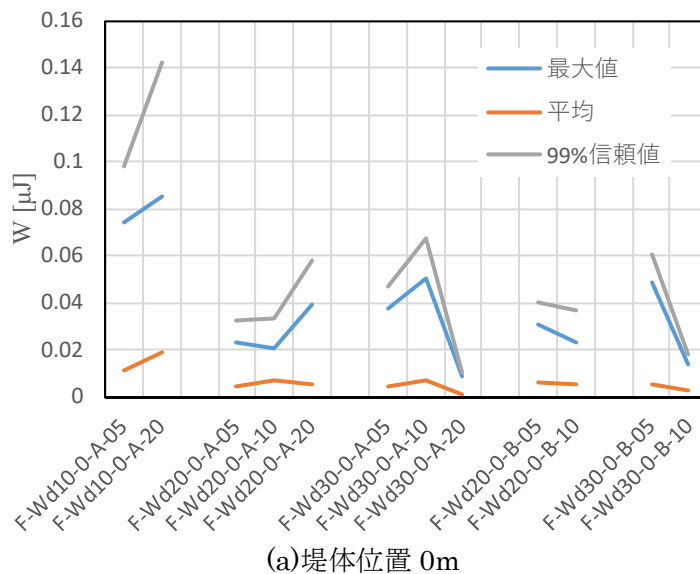


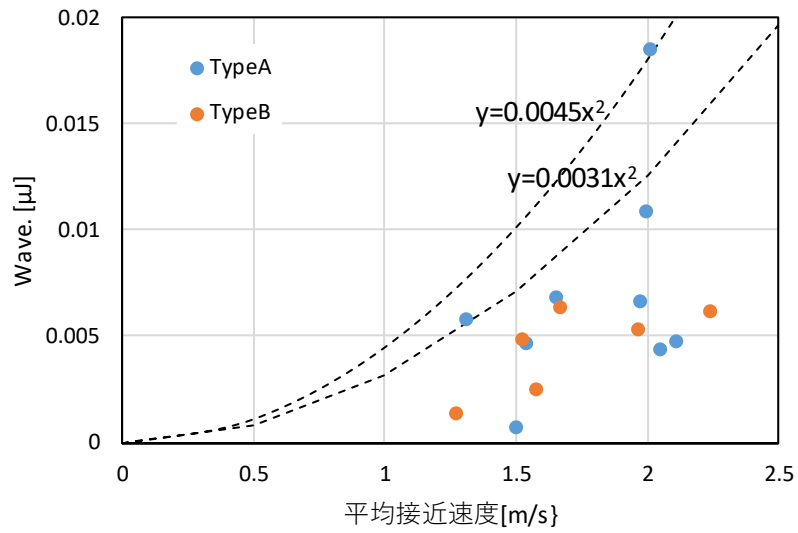
図-10.9 漂流物初期位置の違いによるひずみエネルギーの比較

10.3. 漂流物の接近速度と曲げひずみエネルギーの関係

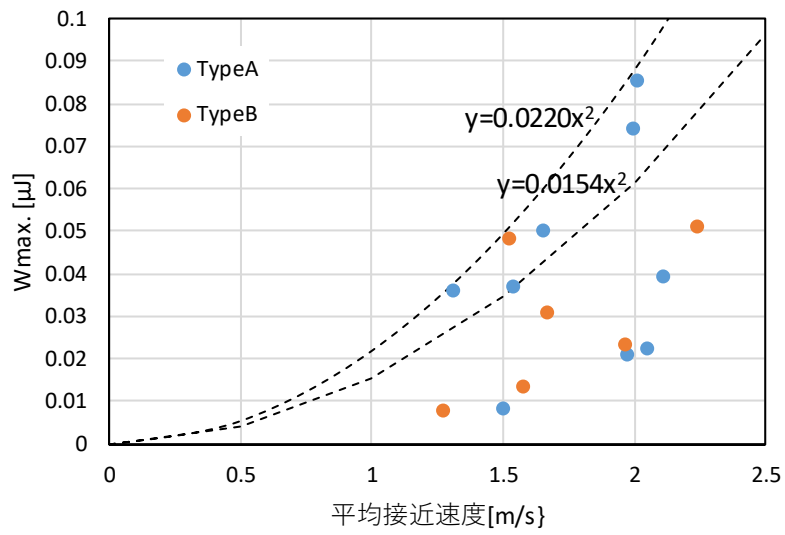
図-10.10, 図-10.11 に, 漂流物の接近速度と曲げひずみエネルギーの関係を示す。前項に示した平均ひずみエネルギーと最大ひずみエネルギーについて, 船舶の種類別に示した。一般に, 漂流物と同じであれば, 接近速度が大きいほど衝突力は大きく, したがってひずみエネルギーは大きくなる。ひずみエネルギーが漂流物の運動エネルギーによって決まるとすれば, ひずみエネルギーは接近速度の 2 乗に比例することとなることになる。図によれば, 同じ接近流速に対し, ひずみエネルギーはばらついているものの, この傾向が確認できる。なお, 図中の曲線は, 試験結果の上限を概略表す関数を示したものであり, 理論的な根拠があるものではない。ばらつきの要因については, 以下のものが考えられる。接近速度は, 堤体から 10cm 程度以上離れた位置での速度であり衝突直前の速度ではない。上述したように, 漂流物と堤体の間に挟まれた水塊から受ける圧力により, 堤体のごく近傍で漂流物は減速していると考えられる。この減速の程度は, 衝突する際の漂流物の向きにより大きく異なると考えられるため, これが影響していると推察される。また, 横軸を平均速度としているため, 同じ条件であっても試験回毎に接近速度が異なることも 1 つの要因として考えられる。

漂流物の形状については, 結果のばらつきが大きいため明確ではないものの, TypeA の方が TypeB よりも大きくなる傾向が見て取れる。TypeA の質量は 151.8g, TypeB は 106.0g であり, TypeA は TypeB のおよそ 1.43 倍である。図中の 2 本の曲線は, 係数の比が 1.43 となるようにしたものである。

堤体位置 0m と 0.625m を比較すると, 堤体位置 0m の方が大きい。堤体前面の局所的な波のせり上がり高は, 堤体位置 0m の場合よりも 0.625m の場合の方が大きくなるため, 上述の堤体直前での減速の影響と考えた場合, 0.625m の方が漂流物と堤体の間に挟まれた水塊から受ける圧力 (圧力勾配) が大きくなるために, 0.625m の方がより減速して衝突エネルギーが小さくなっていると推察される。

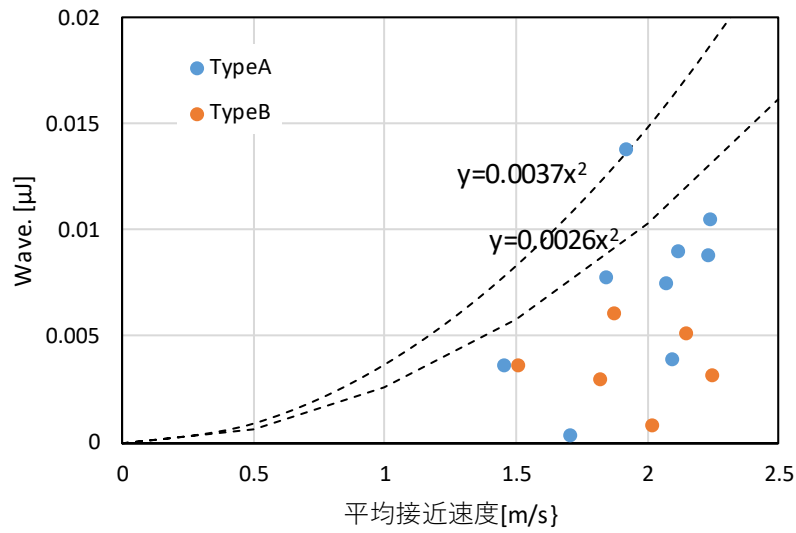


(a)平均ひずみエネルギー

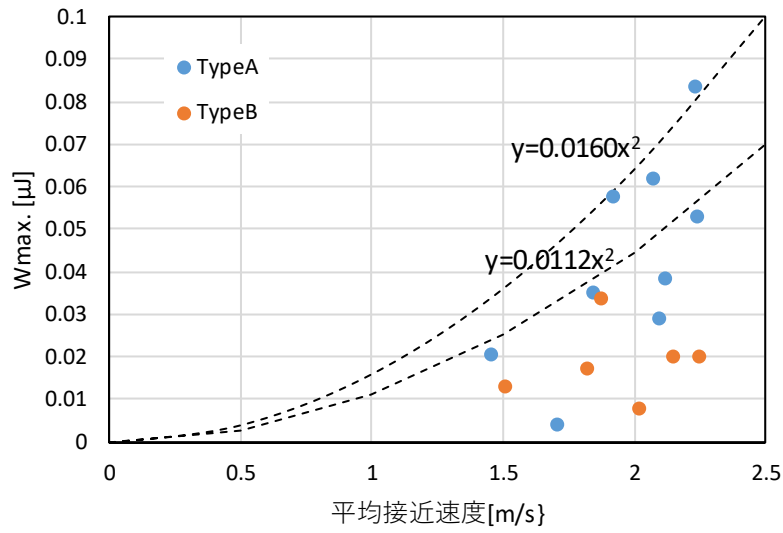


(b)最大ひずみエネルギー

図- 10.10 漂流物の接近速度とひずみエネルギーの関係 (堤体位置 0m)



(a)平均ひずみエネルギー



(b)最大ひずみエネルギー

図- 10.11 漂流物の接近速度とひずみエネルギーの関係 (堤体位置 0.625m)

10.4. 衝突高さ

図-10.12は、全ケースの試験結果について、ひずみエネルギーと衝突高さの関係を示したものである。これによると、顕著な衝突が確認できる場合、その衝突高さは主に、堤体位置 0m では 0.05~0.2m, 堤体位置 0.625m では 0.05m~0.15m に衝突していることが分かる。入射津波の高さは 0.15m~0.2m であり、通過波試験の結果から堤体位置 0.625m での通過波最大浸水深は概略 0.13~0.18m である。このことから、水位が津波波形の反射を考慮しない最大水位に達する前、すなわち十分な重複波水位になる前の津波先端部に漂流物が連行されている場合に、衝突力が大きくなると言える。また同図から、最大のひずみエネルギーが発生する場合の衝突高さは、堤体位置 0m では 0.125~0.175m, 堤体位置 0.625m では 0.075~0.125m であり、それぞれ入射津波高さ、通過波最大浸水深の概略 90%高さと評価できそうである。

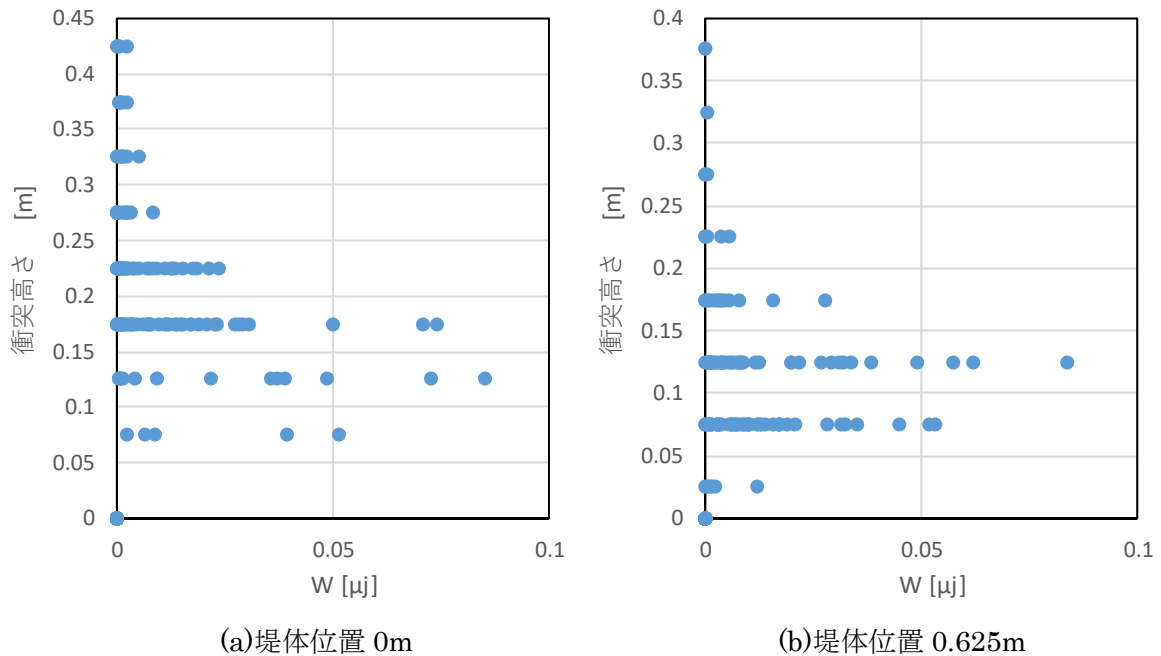


図-10.12 ひずみエネルギー-衝突高さの関係

10.5. 漂流物衝突力の評価

10.5.1. 等価なひずみの生じる静的衝突力による評価

前述のひずみエネルギーは、動的な衝突現象として計測されたものであるが、実際の安全性評価の中では、静的な衝突力を評価し、これを堤体に作用させるのが一般的である。この場合、衝突力の評価値 F を、衝突高さ h に作用させてひずみ分布を算定し、安全性を評価する。堤体が、厚さ一定の均一材料の場合、最大ひずみは最下端で発生し、その値は

$$\varepsilon_{max} = \frac{Fhd}{2EI}$$

となる。ここでは上式を用いて、水理試験において発生した最大ひずみに相当するひずみが生じる衝突力を算定する（図-10.13 参照）。ここで衝突高さが必要となるが、ここでは、水理試験において個々のケースで観測された衝突高さではなく、前項の結果を受けてそれぞれ入射津波高さ、通過波最大浸水深の 90% 高さ（表-10.5 参照）とした。

試験結果から得られたの衝突最大ひずみの 15 回の繰り返し計測の最大値（漂流物試験結果参照）を ε_{max} とし、これが堤体の最下端に生じる場合の静的な衝突力 F は、次式によって表される。

$$F = \frac{2\varepsilon_{max}EI}{hd}$$

本式を用いて、ひずみ相当衝突力を求めた結果を、図-10.14 に示す。

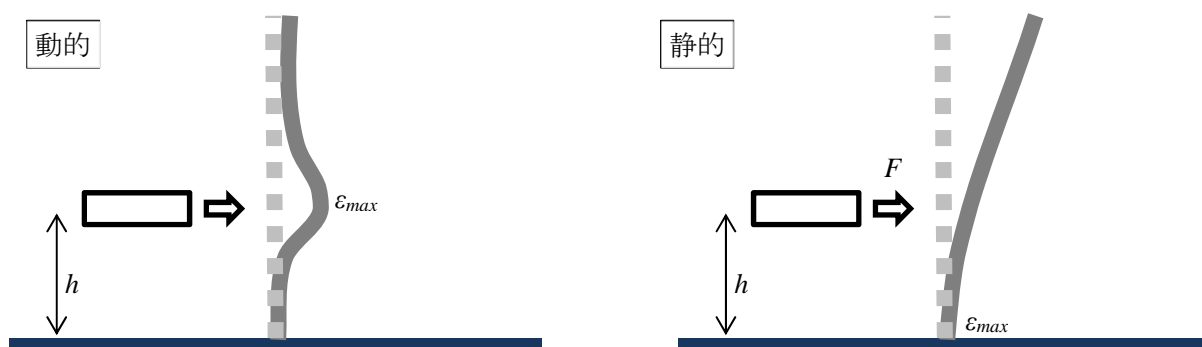
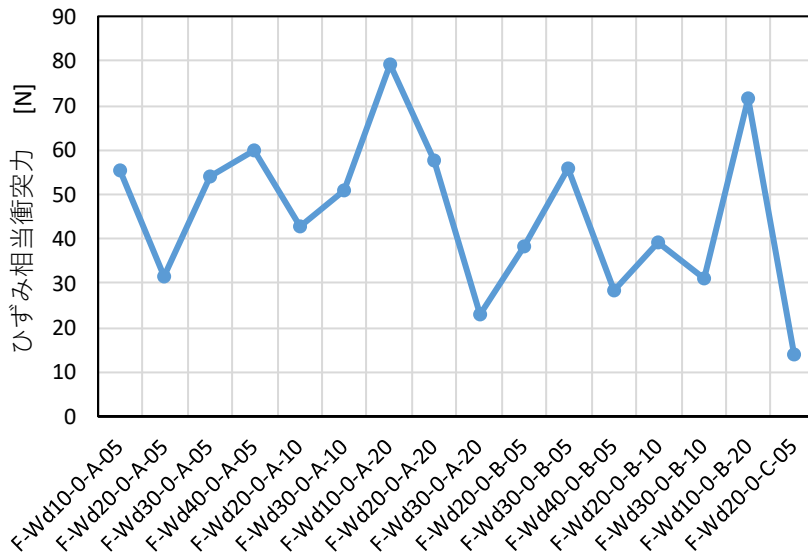


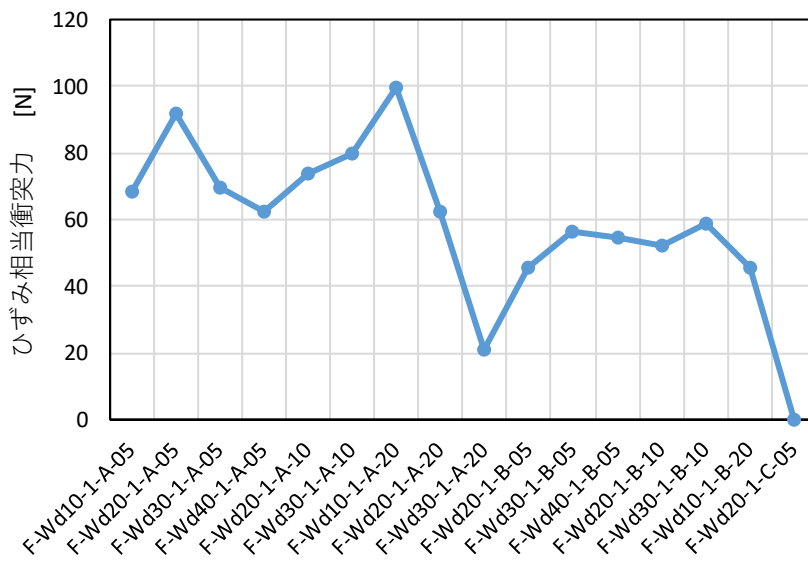
図-10.13 動的な衝突力と静的な衝突力

表-10.5 漂流物の衝突高さ

入射波ケース	堤体位置0m				堤体位置0.625m			
	Wd10	Wd20	Wd30	Wd40	Wd10	Wd20	Wd30	Wd40
津波高/通過波最大浸水深	0.2	0.2	0.2	0.15	0.127	0.175	0.174	0.132
衝突高さ h	0.18	0.18	0.18	0.135	0.114	0.158	0.157	0.119



(a)堤体位置 0m



(b)堤体位置 0.625m

図-10.14 水理試験結果と等価なひずみの生ずる静的衝突力

10.5.2. 等価なひずみエネルギーの生じる静的衝突力による評価

前節では、局所的に生じた曲げひずみの計測結果のみを用いて、等価な静的衝突力を算出した。ここでは、曲げひずみエネルギーの計測結果と等価な静的曲げひずみエネルギーを与える静的衝突力を算定する。前節と同様、堤体を厚さ一定の均一材料とすると、静的な力 F により堤体に生ずる曲げひずみエネルギー W は次式により求められる。

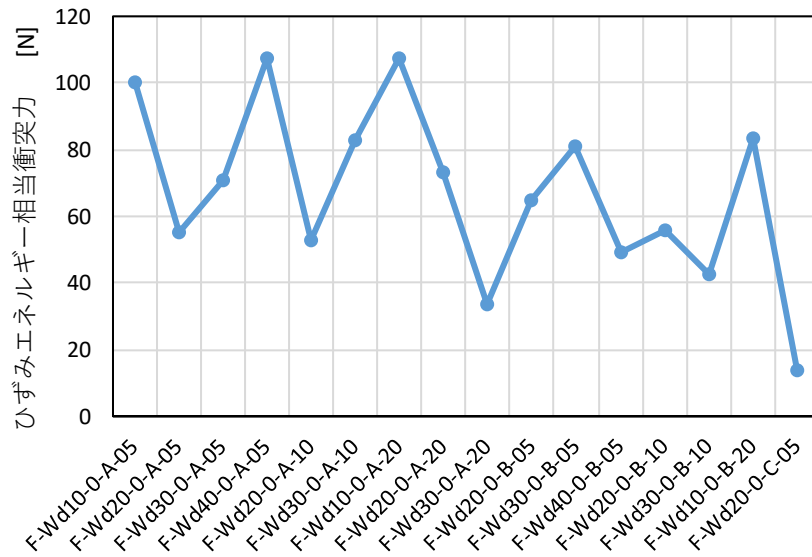
$$W = \int_0^h \frac{\{F(h-z)\}^2}{2EI} dz = \frac{F^2}{2EI} \left[-\frac{1}{3}(h-z)^3 \right]_0^h = \frac{F^2 h^3}{6EI}$$

したがって、水理試験で得られたひずみエネルギー W から、次式により静的な衝突力 F が求められる。

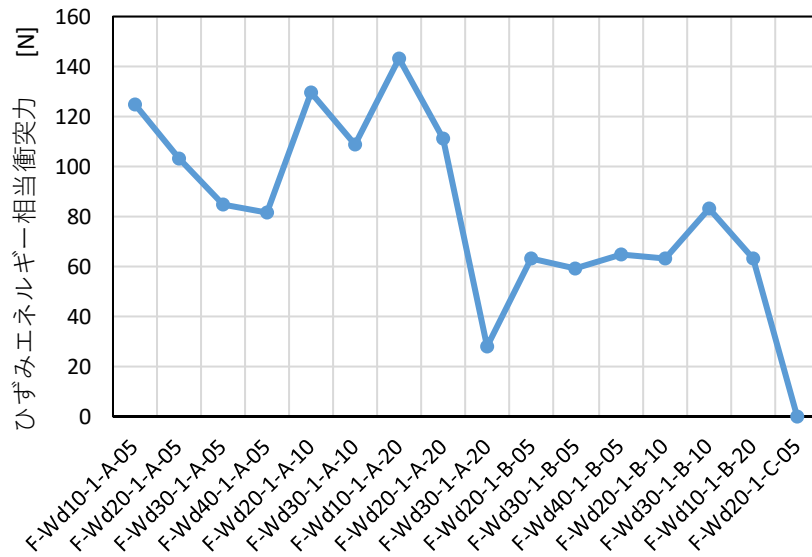
$$F = \sqrt{\frac{6WEI}{h^3}}$$

ここで、 h は前節と同じ値を用いる。図-10.5、図-10.6 に示したひずみエネルギーの最大値を用いてひずみエネルギー相当衝突力を求めた結果を、図-10.15 に示す。

図-10.14 と図-10.15 を比較すると、ケースごと相対的な衝突力の傾向は類似であるが、図-10.15 の方が大きな衝突力となっている。図-10.14 では、最大ひずみの生ずる 1 点のみのひずみ計測結果を用いているが、ひずみゲージの設置高は 0.5cm ピッチのため、真の最大ひずみを計測できているとは限らない。一方、図-10.15 は、ひずみの鉛直分布を用いたひずみエネルギーに基づいているため、ひずみゲージの設置間隔の不足による影響を受けにくく、そのため相対的に衝突力が大きく評価されたと考えられる。



(a)堤体位置 0m



(b)堤体位置 0.625m

図- 10.15 水理試験結果と等価なひずみエネルギーの生ずる静的衝突力

10.5.3. 既往の評価式との比較

ここでは、既往の漂流物の衝突力評価式による算定値と、前述の水理試験による衝突力の評価値を比較する。比較の対象は、以下の評価式とする。なお、各評価式の詳細は参考文献を参照されたい。評価式による算定に用いた各パラメータを以下に示す。

(共通項)

漂流物の長さ L 、幅 B 、質量 M は、実験で使用した模型 A～C の各寸法、質量を用い、漂流物の衝突速度 V は、今回の模型実験で得られた漂流物の接近速度の平均値[m/s]を用いた。

(1) 松富(1999)¹⁾

$$F = \left[1.6 C_{MA} \left\{ \frac{V}{(gD)^{0.5}} \right\}^{1.2} \left(\frac{\sigma_f}{\gamma L} \right)^{0.4} \right] \gamma D^2 L$$

漂流物の単位体積重量 γ および流木径 D は、漂流物の模型を円柱とみなして質量、体積、模型の長さから仮定した。なお、見かけの質量係数 $C_{MA}=1.7$ 、木材の降伏応力(湿潤時の木材の平均的な圧縮強度)は $\sigma_f=200$ [kgf/cm²]とした。

(2) 池野ら(2004)²⁾

$$F_H = \left[S \cdot C_{MA} \left\{ \frac{V}{(g^{0.5} D^{0.25} L^{0.25})} \right\}^{2.5} \right] gM, \quad S = 5$$

漂流物の直径 D は、漂流物模型を円柱とみなして体積と模型の長さから仮定した。なお、付加質量係数は円柱縦向きに $C_{MA}=2.0$ とした。

(3) 水谷ら(2005)³⁾

$$F_m = 2\rho_w \eta_m B V^2 + \left(\frac{M V}{g dt} \right)$$

評価式の第1項の $2\eta_m$ は漂流物前面の水位を表しているため、ここでは漂流物を越波する場合を想定し、 $2\eta_m$ を模型の高さとした。また、衝突時間 dt は材質や剛性等によって大きく変わるが、ここでは今回の模型実験より $dt=0.001$ [s]とした。

(4) 有川ら(2010)⁴⁾

$$F = \gamma_p \chi^{\frac{2}{5}} \left(\frac{5}{4} \tilde{M} \right)^{\frac{3}{5}} V^{\frac{6}{5}}, \quad \chi = \frac{4\sqrt{a}}{3\pi} \frac{1}{k_1 + k_2}$$

$$k_n = \frac{(1 - v_n^2)}{\pi E_n}, \quad \tilde{M} = M_1$$

添え字 1, 2 は、それぞれ、衝突体、被衝突体を示す。防潮堤の模型の材質はアルミ、漂流物の模型の材質はアクリルのため、それぞれのヤング率 E は 68.3×10^9 、 3.14×10^9 [N/m²]とし、ポアソン比 ν は 0.34、0.39 とした。また、塑性によるエネルギー減衰効果 $\gamma_p=0.25$ とし、衝突面は模型の長さ・高さ方向の面と想定して a (衝突面半径の 1/2) は模型の長さとは高さの 1/4 とした。

(5) FEMA(2012)⁵⁾

$$F = 1.3V \sqrt{kM(1+c)}$$

軸剛性の設定により値が大きく異なる。本来は、試験模型と堤体の軸剛性を考慮して設定する必要があるが、ここでは暫定的に丸太(軸方向)の設定値を参考に、付加質量係数 $c=0.0$ 、有効軸剛性 $k=2.4 \times 10^6$ [N/m]とした。

(6) 道路橋示方書(2012)⁶⁾ (以降、道示書)

$$F = 0.1WV$$

ここで W は、漂流物の重量 (kN) である。

参考文献：

- 1) 松富英夫：流木衝突力の実用的な算定式と変化特性，土木学会論文集，No.621，pp.111-127，1999.
- 2) 池野正明・田中寛好：段波津波による漂流物の衝突力に関する実験的研究，電力中央研究所報告，U03052，2004.
- 3) 水谷法美・高木祐介・白石和睦・宮島正悟・富田孝史：エプロン上のコンテナに作用する津波力と漂流衝突力に関する研究，海岸工学論文集，第 52 巻，pp.741-745，2005.
- 4) 有川太郎・鷺崎誠：津波による漂流木のコンクリート壁面破壊に関する大規模実験，土木学会論文集 B2，Vol.66，No.1，pp.781-785，2010.
- 5) FEMA：Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis，Second Edition，FEMA P-646，2012.
- 6) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説，I 共通編，pp.71-72，2012.

試験結果と既往の各評価式の比較を表-10.6，表-10.7，図-10.16，図-10.17 に示す。図の下段は，上段のグラフの一部の y 軸を拡大したものである。なお，衝突力は模型スケールで算出しており，また試験結果として示したものは，10.5.2 で示した“等価なひずみエネルギーの生ずる静的衝突力”として求めたものである。また，接近速度は，試験結果として前述した値のうち，各ケースでの平均値を採用した。道示書の評価式はスケール効果を考慮できないが，式の特徴として評価値は衝突時間に反比例すると考え，想定縮尺 1/80 を適用し， $\sqrt{80}$ 倍した値を示した。

各評価式による衝突力の評価値は，接近速度に大きく依存するため，ケース毎の相対的な特徴は衝突速度の特徴に類似し，評価式同士で同じ特徴（大小関係）となっている。一方，試験結果の衝突力は，ひずみ計測の結果から算出しており，必ずしも接近速度に対応したものではないため，ケース毎の特徴は評価式による算出結果とは異なっている。

各評価式による評価値は，堤体位置が 0m，0.625m とともに，FEMA，松富，有川，水谷，池野，道示書の順に小さくなっている。このうち，池野らの評価式が，本試験結果ともっとも一致する結果となり，次に水谷らの評価式が安全側で近い値を示している。これらの評価式の特徴の違いの 1 つは，接近速度（衝突速度）の取り扱いであり，各評価式において，接近速度はそれぞれ FEMA：1 乗，松富：1.2 乗，有川：1.2 乗，水谷：2 乗と 1 乗の和，池野：2.5 乗，道示書：1 乗に比例する形で考慮されている。本試験の縮尺は，既往の評価式の算出根拠となった水理実験に比較すると小さめである。またこれらの実験では，陸上部でのダムブレイクによる漂流物の移動等を対象とし，段波状に押し寄せる水塊とともに漂流物が衝突しており，一方本試験では，水上に浮遊した状態から波による漂流を対象としているため，本試験の方が相対的に接近速度は小さくなっている。このため，速度の寄与が高次である評価式ほど，評価値が小さくなっていると考えられる。

松富の式は流木を対象としたものであるが，その評価値は，試験結果よりも概略 1 オーダー大きな値となっている。式中の係数 1.6 は，気中の衝突実験より安全側に求めたものであるが，衝突速度を \sqrt{gD} (D :流木直径) で無次元化した無次元速度が大きくなると，過大評価の程度が大きくなる。すなわち，漂流物の大きさに対する衝突速度の大きさが，本式の導出根拠となった実験範囲よりも大きいと過大評価となる。また，漂流物の剛性に係るパラメタを，降伏応力により評価しているが，この降伏応力と剛性（弾性係数）の関係は，材料によって異なる。松富の式は木材を対象としているため，別の材質の漂流物に適用する場合には，適切な降伏応力パラメタの入

力値についても検討する必要がある。

池野らの式が本試験の再現性がもっとも高かったが、根拠となった水理実験において、漂流物の浮遊状態からの漂流を対象としており、また、模型スケールも本試験と近かったことが要因の1つとして考えられる。池野らの式では、漂流物あるいは被衝突構造物（ここでは堤体）の剛性に係るパラメタが考慮されていないため、実機への適用を考慮した場合、水理試験に対する剛性の違いの影響を検討する必要がある。

水谷らの式では、衝突力は付加質量項（速度の2乗に比例）と運動量項（速度の1乗に比例）の和で評価されている。両項の値を比較すると、本試験の評価値では運動量項が支配的となっている。この運動量項では、衝突時間 dt がパラメタとなっており、ここでは、試験結果からこれを $0.001s$ としているため、比較的試験結果を良好に再現していると考えられる。

有川らの式は、基本的に松富の式と同形式のものであるが、漂流物や被衝突構造物の剛性を取り込むことが可能な形式になっている。導出に際しては、流木に対して松富の式と同等の衝突力を与えることを確認しており、本試験への適用においても、同程度の値となっている。

FEMAの式は、漂流物の運動方程式に基づいたものであるが、被衝突構造物の変位を無視した場合に漂流物の軸剛性のみにより衝突力を評価できる。したがって、本試験のように堤体がひずむ（曲がる）場合には、これにより衝突力は小さくなるため、評価式による算定値は大きくなる。本式では、被衝突構造物の剛性を考慮することも可能であるが、堤体の曲がり考えた場合、その衝突時間により変形モードが異なり、軸剛性は一定とならない。導出過程としては単純な運動方程式に基づいているため、他の評価式と比較して経験的パラメタ（経験式）の寄与が小さく理論式に近いが、軸剛性の取り扱いが課題となる。

道示書の式は、一般に過小評価を与える傾向にあるが、ここでの評価式は最大で $3N$ と非常に小さくなっている。これは、道示書の式は衝突時間が評価式に明示的に内包されておらず、衝突時間を $1s$ の固定値として導出されたものであるためと考えられる。

池野らの式を除くと、これらの評価式は陸上面を移動する漂流物を対象としており、衝突速度は衝突直前まで低減せずに衝突していると考えられる。一方本試験では、先行する波が堤体前面と漂流物の間に水が留まった状態で漂流物が衝突する。このため、衝突直前で漂流速度は急激に低下していると考えられる。この直前の衝突速度を計測することは困難なため、試験では堤体から約 $10cm$ 手前までの接近速度を計測しているが、評価式に適用すべき衝突速度は、これよりも小さいと考えられる。これが、評価式が全体に大きな衝突力を算出している主な要因と考えられる。池野らの式は、浮遊状態の漂流物を対象とした実験を実施しており、実験式として他の式とは異なる接近速度の 2.5 乗の形式となっている。より詳細な検討が必要であるが、この 2.5 乗に衝突直前の衝突速度低減の影響が反映されている可能性が考えられる。

表- 10.6 水理試験結果(堤体位置 0m)と既往評価式による衝突力の比較

No.	CASE	試験結果 [N]	各評価式による衝突力 [N]											
			松富(1999)		池野ら(2003)		水谷ら(2005)		有川ら(2010)		FEMA(2012)		道示(2012)	
1	F-Wd10-0-A-05	100	1015	10.11	104	1.04	308	3.07	864	8.61	1564	15.58	2.65	0.026
2	F-Wd20-0-A-05	55	1048	18.91	112	2.01	317	5.72	893	16.11	1606	28.99	2.72	0.049
3	F-Wd30-0-A-05	71	743	10.46	54	0.77	237	3.33	633	8.91	1206	16.98	2.04	0.029
4	F-Wd40-0-A-05	107	615	5.72	37	0.34	202	1.88	524	4.87	1030	9.59	1.75	0.016
5	F-Wd20-0-A-10	53	1001	18.81	101	1.91	305	5.73	852	16.03	1546	29.06	2.62	0.049
6	F-Wd30-0-A-10	83	812	9.83	66	0.79	255	3.09	692	8.38	1299	15.72	2.20	0.027
7	F-Wd10-0-A-20	108	1024	9.51	106	0.99	311	2.89	873	8.10	1576	14.64	2.67	0.025
8	F-Wd20-0-A-20	73	1085	14.83	120	1.64	326	4.46	924	12.64	1653	22.61	2.80	0.038
9	F-Wd30-0-A-20	34	721	21.44	51	1.52	231	6.87	614	18.26	1176	34.97	1.99	0.059
10	F-Wd20-0-B-05	65	658	10.18	58	0.90	181	2.80	563	8.71	1093	16.92	1.55	0.024
11	F-Wd30-0-B-05	81	589	7.25	46	0.57	165	2.03	504	6.20	997	12.28	1.41	0.017
12	F-Wd40-0-B-05	50	475	9.59	30	0.60	137	2.77	407	8.20	834	16.83	1.18	0.024
13	F-Wd20-0-B-10	56	800	14.25	88	1.56	214	3.81	684	12.19	1287	22.92	1.82	0.032
14	F-Wd30-0-B-10	42	617	14.51	51	1.20	171	4.03	528	12.41	1036	24.39	1.47	0.035
15	F-Wd10-0-B-20	83	938	11.25	122	1.47	245	2.94	802	9.62	1470	17.62	2.08	0.025
16	F-Wd20-0-C-05	14	196	13.90	18	1.27	35	2.49	197	14.00	457	32.40	0.30	0.021

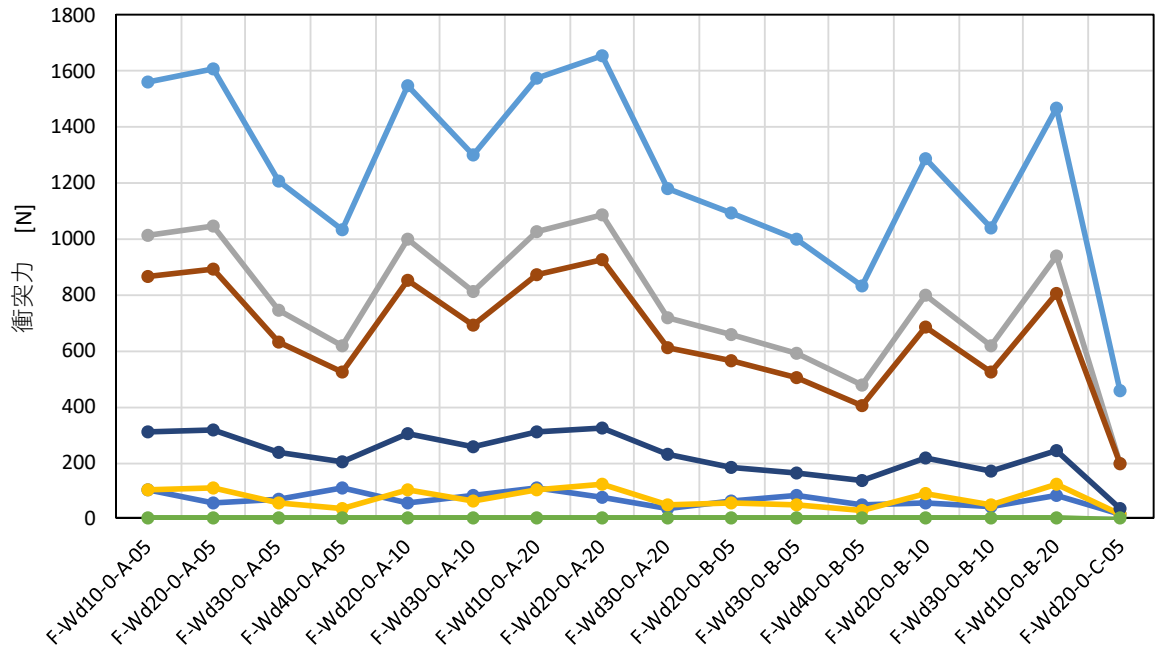
左列：衝突力，右列：対試験結果比

表- 10.7 水理試験結果(堤体位置 0.625m)と既往評価式による衝突力の比較

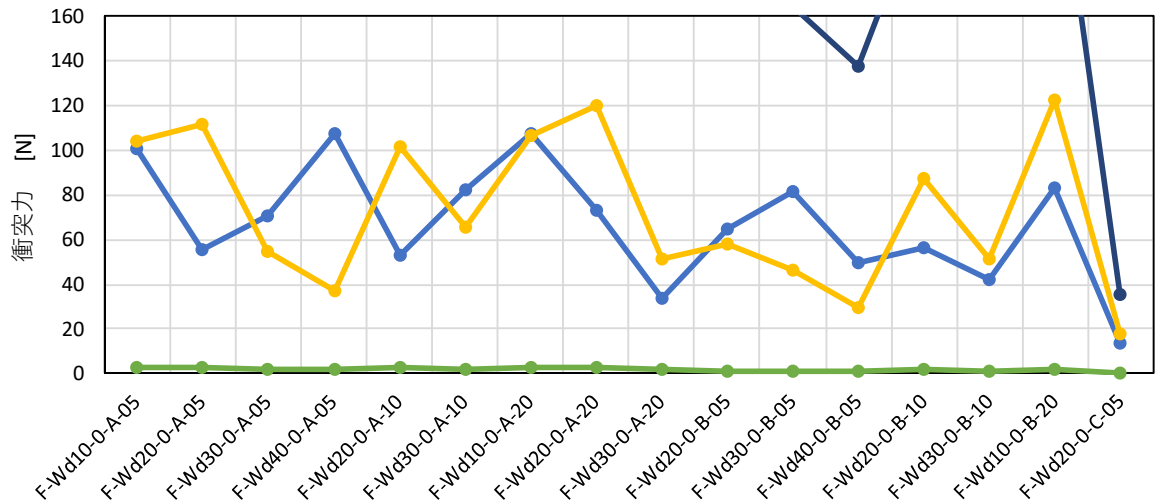
No.	CASE	試験結果 [N]	各評価式による衝突力 [N]											
			松富(1999)		池野ら(2003)		水谷ら(2005)		有川ら(2010)		FEMA(2012)		道示(2012)	
1	F-Wd10-1-A-05	125	1077	8.64	118	0.95	325	2.60	918	7.36	1644	13.18	2.79	0.022
2	F-Wd20-1-A-05	103	1169	11.30	140	1.35	348	3.36	995	9.63	1759	17.01	2.98	0.029
3	F-Wd30-1-A-05	85	925	10.88	86	1.01	285	3.35	788	9.27	1447	17.03	2.45	0.029
4	F-Wd40-1-A-05	82	696	8.52	48	0.58	224	2.75	593	7.26	1142	13.99	1.94	0.024
5	F-Wd20-1-A-10	130	1164	8.97	139	1.07	347	2.67	992	7.64	1754	13.51	2.97	0.023
6	F-Wd30-1-A-10	109	971	8.94	95	0.88	297	2.74	827	7.62	1507	13.88	2.56	0.024
7	F-Wd10-1-A-20	144	1093	7.61	122	0.85	329	2.29	931	6.49	1664	11.59	2.82	0.020
8	F-Wd20-1-A-20	112	1063	9.52	115	1.03	321	2.87	906	8.11	1626	14.56	2.76	0.025
9	F-Wd30-1-A-20	28	841	29.56	71	2.48	263	9.25	716	25.18	1337	47.01	2.27	0.080
10	F-Wd20-1-B-05	63	890	14.04	110	1.73	234	3.70	762	12.01	1407	22.19	1.99	0.031
11	F-Wd30-1-B-05	59	731	12.39	73	1.23	198	3.35	626	10.60	1194	20.23	1.69	0.029
12	F-Wd40-1-B-05	65	582	9.00	45	0.70	163	2.52	498	7.70	988	15.27	1.40	0.022
13	F-Wd20-1-B-10	64	942	14.82	123	1.94	246	3.87	806	12.68	1475	23.21	2.09	0.033
14	F-Wd30-1-B-10	83	756	9.08	78	0.94	204	2.45	647	7.77	1228	14.76	1.74	0.021
15	F-Wd10-1-B-20	64	827	12.98	94	1.48	220	3.45	707	11.10	1323	20.77	1.87	0.029
16	F-Wd20-1-C-05	0	272	-	35	-	46	-	273	-	599	-	0.40	-

左列：衝突力，右列：対試験結果比

exp.(0m) 松富(1999) 池野(2003) 水谷(2005) 有川(2010) FEMA(2012) 道示(2012)

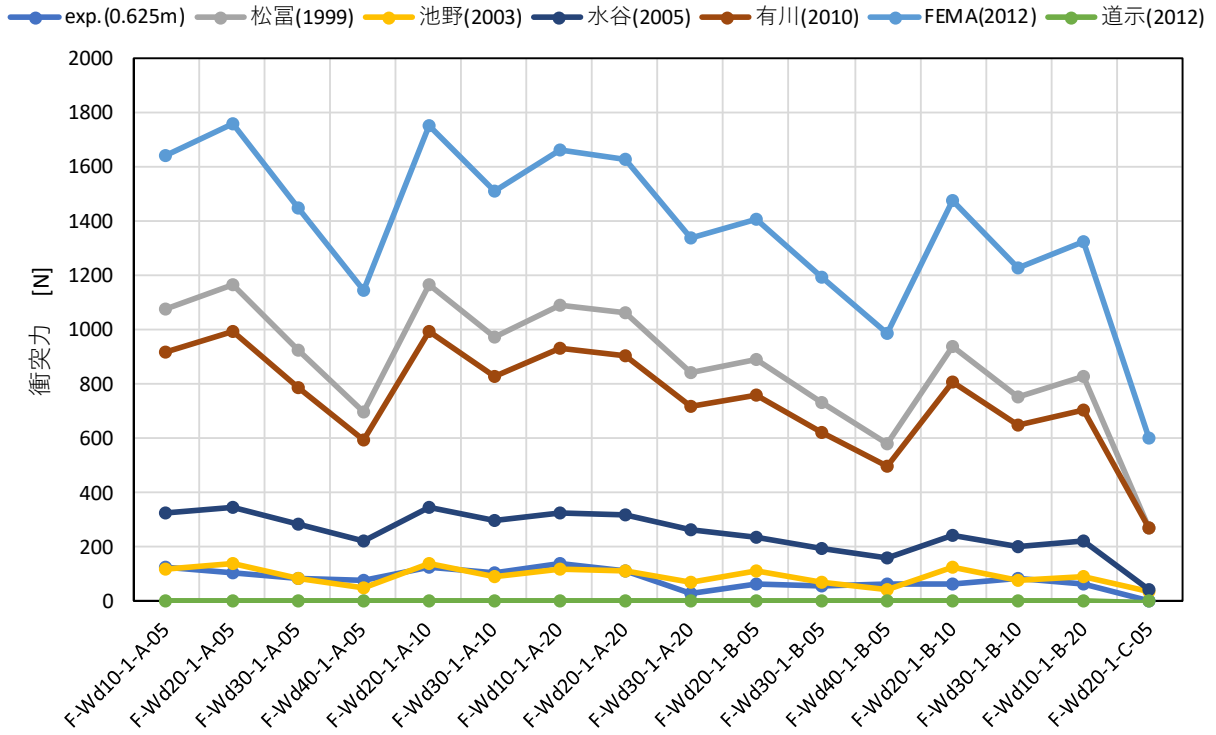


(a)全体

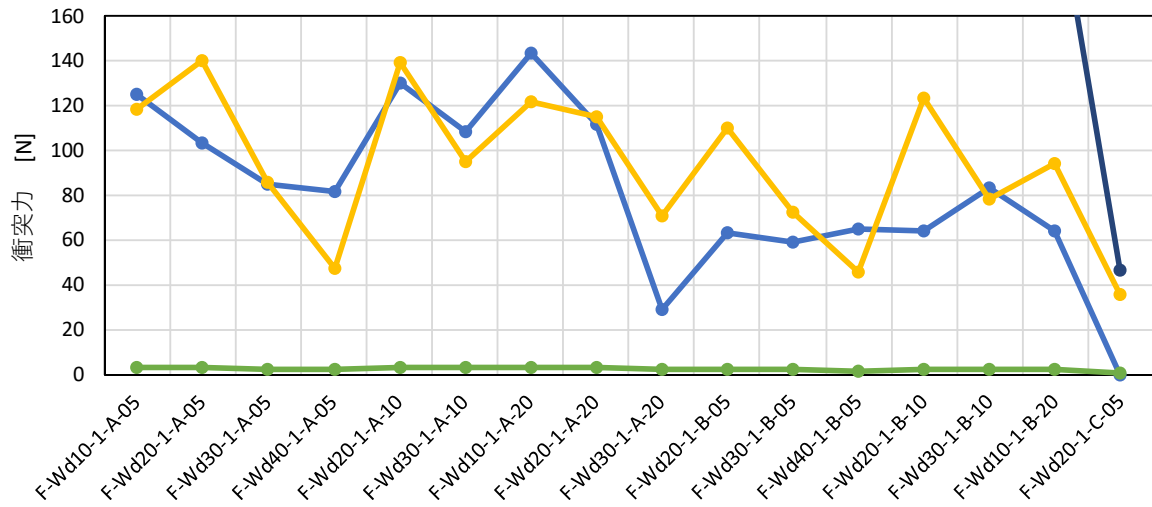


(b)詳細

図- 10.16 水理試験結果(堤体位置 0m)と既往評価式による衝突力の比較



(a)全体



(b)詳細

図- 10.17 水理試験結果(堤体位置 0.625m)と既往評価式による衝突力の比較

11. まとめ

本事業により得られた結果を、以下にまとめる。

(1)越流時における陸側浸水深の特性

- ・越流時における陸側浸水深は、周期特性が長く（本試験ケースでは Wd20 よりも長く）になると、周期特性の影響がなくなり、入射津波の津波高によってその越流最大浸水深が決まる。
- ・越流最大浸水深とその時の流速から求めたフルード数は、越流度合い η^*/h_d が大きくなるにしたがい、小さくなる傾向にある。この評価式を構築し、試験結果との比較から妥当性を検証した。
- ・堤体設置条件における越流最大浸水深 η' と通過波条件の通過波最大浸水深 η の比 η'/η は、 η^*/h_d が大きくなるにしたがい大きくなり、3~4 程度で 1 に近づく。この評価式を構築し、水深係数を 3 とした場合に試験結果の上限値と良い一致を示すことを確認した。
- ・本評価式によると、 η^*/h_d が 3 を超えると、 η'/η は 0.9 を超え防潮堤の有無の影響が小さくなる。
- ・OpenFOAM による 3 次元流体解析と、T-STOC による非線形長波方程式による解析の 2 種類の解析により、本試験の再現シミュレーションを実施した。OpenFOAM による解析結果は、通過波浸水深、越流浸水深ともに精度良く試験結果を再現している。通過波については、位相や波形を含めて試験結果とシミュレーション結果は良く一致している。越流後の浸水については、短周期の擾乱成分や越流する際の飛沫成分の再現が困難であるため、波形には差異が生じているが、平均的な時間変化と最大値については良い一致を示している。T-STOC による解析結果は、通過波については良い一致を示すが、越流については差異が大きい結果となった。特に、越流時の水塊の動きが考慮されていないため、越流開始時の再現精度が悪く、また越流最大浸水深を小さく評価する傾向にある。

(2)越流時における津波波圧評価手法

- ・類似事業の試験結果に基づき、越流時における津波波圧評価手法について検討した。
- ・段波領域と持続波領域での非越流時と越流時の比較に、段波領域では越流の影響が表れず、持続波領域で越流の影響による津波波力の低減が生じることを確認した。
- ・これは、段波領域では波圧の作用範囲が底面に集中するため、堤体高に対して越流条件の津波を作用させた場合も、段波領域では波圧の作用範囲が堤体の高さを超えないためである。段波領域と持続波領域での波圧の作用範囲を比較したところ、段波領域での波圧作用高さは持続波領域

での波圧作用高さの 0.7 倍以下であることを確認した。

- ・持続波領域での波圧について、越流時における波圧評価式を構築し、試験結果との良い一致を示した。本評価式は、十分な高さの防潮堤に対する堤体前面せり上がり高と、高さの不足により越流する場合の堤体高の比に対して、越流時作用波力を求めるものであり、この関係は通過波のフルード数に依存していないことを示している。すなわち、非越流時の波力はフルード数の影響を受けるが、越流による波力の低減効果はフルード数の影響を受けていないことを意味する。

(3)漂流物衝突力評価手法

- ・3 種類の漂流物を対象に水理試験を実施し、津波波形や漂流物の初期位置と衝突波力の関係を明らかとした。

- ・漂流物の衝突により堤体に生じるひずみエネルギーは、接近速度の 2 乗に比例しており、漂流物の運動エネルギーに比例していると考えられる。

- ・漂流物の初期位置が堤体に近いほど、衝突確率は高くなるが、衝突した場合の衝突力については、本事業の模型縮尺で初期位置 2.0m までの範囲では、初期位置の影響は小さい。

- ・漂流物の衝突力は、来襲する津波高さもしくは浸水深の、およそ 0.9 倍の高さに衝突した場合に大きくなる。

- ・津波の高さが小さく、分裂した状態の津波の場合、先端部分の見掛けの波長が短くなるために最初の波峰を越え易く、この場合、衝突確率や衝突力が小さくなる。

- ・本試験結果と既往の衝突力評価式を比較した。多くの式が過大評価となったが、流木を対象としたものが主であるため、船舶漂流物に対しては剛性の評価が課題になる。道路橋示方書の式は、衝突時間を 1s の固定値としているために、非常に小さな評価値になったと考えられる。以下に、各評価式の結果の概要と課題を示す。

- 1) 松富：評価値は試験結果よりも概略 8 倍の値となった。速度を漂流物の代表長さを用いた無次元速度で評価しているため、漂流物が小さいと無次元速度が大きくなり過大評価となる。流木を対象としたものであり、流木以外の場合に代表長さをどうするかが課題となる。また、木材を対象としているため、別の材質の漂流物に適用する場合には、適切な降伏応力パラメタの入力値についても検討する必要がある。
- 2) 池野ら：本試験の再現性をもっとも高かった。根拠となった水理実験において、漂流物の浮遊状態からの漂流を対象としており、また、模型スケールも本試験と近かったことが要因の 1 つとして考えられる。漂流物あるいは被衝突構造物（ここでは堤体）の剛性に係るパラメタが考慮されていないため、剛性の違いの影響を検討する必要がある。

- 3) 水谷ら：評価値は試験結果の約 3 倍となった。浮遊漂流物では運動量項が支配的となる。運動量項では、衝突時間 dt がパラメタとなっており、試験結果から 0.001s としたために比較的試験結果に近い値になったと考えられ、この dt の評価方法が課題となる。
- 4) 有川ら：漂流物や被衝突構造物の剛性を取り込むことが可能な形式になっているが、基本的に松富の式と同形式のものであり、松富の式と同等の衝突力になるパラメタの設定であるため、松富の式と同程度の値となった。剛性に関するパラメタの設定方法が課題である。
- 5) FEMA：評価値はもっとも大きく、試験結果の概略 16 倍の値となった。漂流物の運動方程式に基づいたものであり、漂流物、被衝突構造物（ここでは堤体）の両者の軸剛性を考慮することが可能である。ここでは堤体を剛体として評価値を算出したが、堤体の軸剛性を考慮すると、再現性は向上する可能性はある。ただし堤体の曲がり考えた場合、変形モードが様々であるため軸剛性は一定とならない。軸剛性の取り扱いが課題となる。
- 6) 道路橋示方書：評価値は 3N 以下と非常に小さくなっている。これは、道示書の式が、衝突時間を 1s の固定値として導出されたものであることが要因と考えられる。

・漂流物の形状を考慮した漂流解析が可能な 3 次元流体解析により、本試験の再現シミュレーションを実施した。シミュレーション結果は、周期特性が短いほど、漂流物の初期位置が堤体に近いほど衝突する確率が高く、また、より質量の大きい漂流物 A の方が B よりも衝突しやすいという水理試験の定性的な傾向を再現している。しかし、衝突力については試験結果よりも小さな値となっており、衝突力を定量的に精度良く再現するには、構造物の動的応答を考慮したシミュレーションが必要と考えられる。また、Wd10 のような巻波型の碎波をとまなう場合には、その現象の複雑さや不規則さから再現するのが困難であることが確認された。

・本事業では、漂流物が堤体に衝突しやすいように試験条件を保守的に設定した。したがって、これらの試験ケースよりも小さな津波高や長い周期特性の波など、また、漂流物の初期位置が本試験ケースよりもさらに遠方の場合などでは、漂流物の初期位置と衝突率及び衝突力の関係は異なることも考えられる。より一般的な特性を解明するとともに、各評価式の適用範囲を検討するためには、広範囲の条件での試験が必要であり、今後の課題とする。

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。