

9. 漂流物衝突シミュレーション（VOF法）

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に示すように、(a)入力波 Wf20, Wf30 (図-9.1.3 参照) を対象とした地形 (以下「Wf20・Wf30 地形」と称す)、及び、(b)入力波 Wf10 (図-9.1.3 参照) を対象とした地形 (以下「Wf10 地形」と称す) の2種類の海底地形とし、陸上部には堤体を設置した。堤体高は0.6mとし、設置位置は護岸汀線から0.625m及び1.250m陸側の2種類とした。

造波境界、直線部、直立護岸、遡上区間の一連の水路をモデル化し、水路縦断方向 (x 方向) については図-9.1.2に示すA地点から護岸汀線より陸側に1.0m (堤体位置0.625mの場合) 及び1.5m (堤体位置1.250mの場合) までとし、水路鉛直方向 (z 方向) については地上1.0mまでとした。水路横断方向 (y 方向) については計算時間節約のために、漂流物 A, G においては幅20cmとし、漂流物 E, F においては幅15cmとした (詳細は(7)にて後述する)。

また、二次元モデルと三次元モデルとの境界においては、いずれの海底地形においても、汀線より7.0m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 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 (表-9.1.1 参照)。具体的に、三次元モデルに関しては、水路縦断方向 (x 方向) および鉛直方向 (z 方向) の分割について計算メッシュサイズを2.0cmに設定した。一方、横断方向 (y 方向) の分割については、漂流物 A, G においては4.0cmとし、漂流物 E, F においては3.0cmとした (詳細は(7)にて後述する)。

(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 (図-9.1.1 参照)。

(5)入力津波条件

津波の入力は、図-9.1.2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。入力波は、図-9.1.3に示す-Wf10～Wf30の3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4ケースを設定した (3.試験方法を参照)。船舶型漂流物 A, E, F, G の体積はそれぞれ $2.3775 \times 10^{-4} \text{m}^3$, $2.3664 \times 10^{-4} \text{m}^3$, $1.0556 \times 10^{-4} \text{m}^3$, $8.0241 \times 10^{-4} \text{m}^3$ であるため、密度は 630.915kg/m^3 , 633.881kg/m^3 , 421.581kg/m^3 , 630.603kg/m^3 としている。

(7)漂流物の大きさに対応した横断方向のメッシュサイズ及び幅

上述したように、解析領域の横断方向のメッシュサイズ及び幅は、漂流物 E, F は漂流物 A, G より小さな値を用いた。これは、本解析モデルの制約上、メッシュサイズは漂流物の大きさより小さくする必要があるためである。すなわち、初期位置における漂流物 A, G の横断方向 (y 方向) の大きさは 6.0cm, 9.0cm であるのに対し、漂流物 E, F においては 4.0cm と小さく、前者は 4.0cm のメッシュサイズで計算上問題ないが、後者は 4.0cm 未満とする必要がある。そこで、y 方向のメッシュサイズは漂流物 A, G では 4.0cm、漂流物 E, F では 3.0cm を採用した(表- 9.1.1 参照)。これに伴い、解析領域の横断方向の幅も、漂流物 A, G においては 20.0cm (=4.0cm×5 メッシュ分)、漂流物 E, F においては 15.0cm (=3.0cm×5 メッシュ分) として用いた。

(8)解析出力間隔

解析の出力間隔は 0.1s とした。また、漂流物が堤体に衝突するケース (後述の表- 9.5.1 参照) においては、出力間隔を 0.01s として再度解析を実施し、可視化を行った。

上記の解析条件をもとに、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。

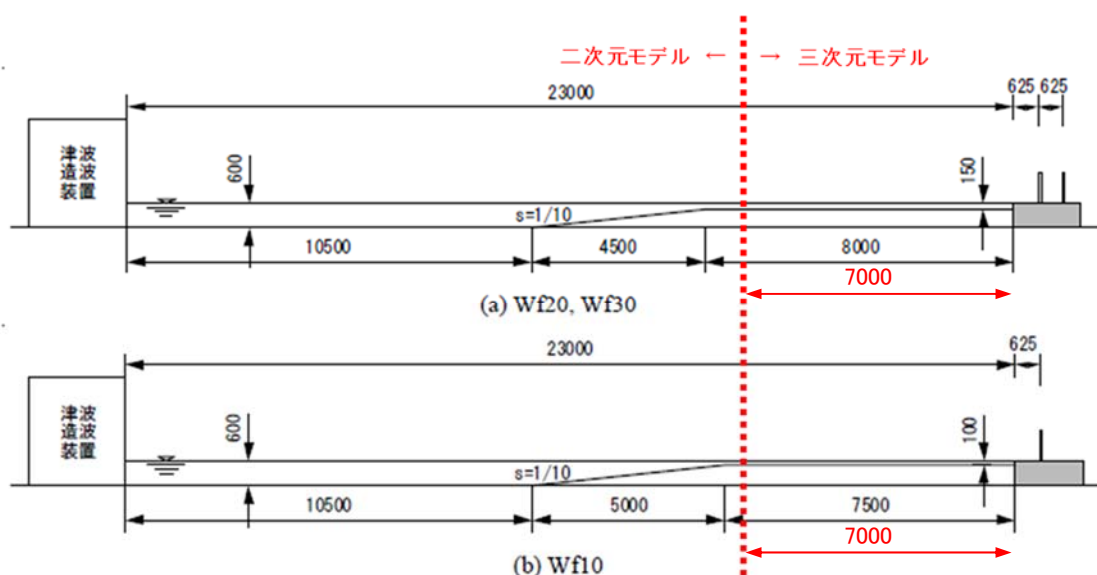


図- 9.1.1 地形および堤体条件 (断面図, 単位 : mm) 入力津波条件

表- 9.1.1 解析条件

漂流物	3次元領域メッシュサイズ
A, G	x, z 方向 : 2.0cm y 方向 : 4.0cm
E, F	x, z 方向 : 2.0cm y 方向 : 3.0cm

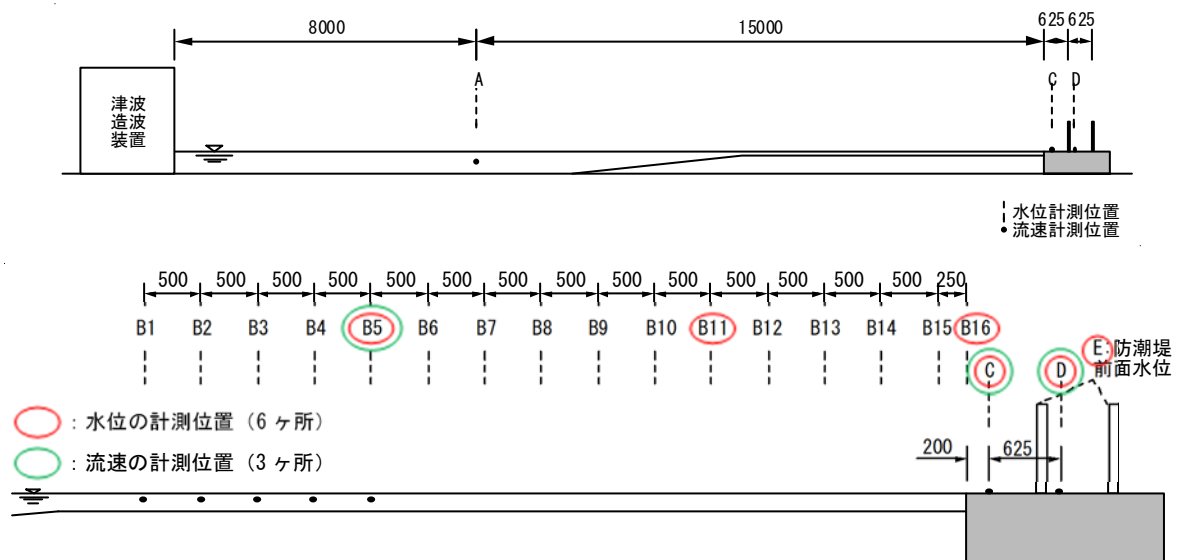


図- 9.1.2 入力津波条件 (計測位置)

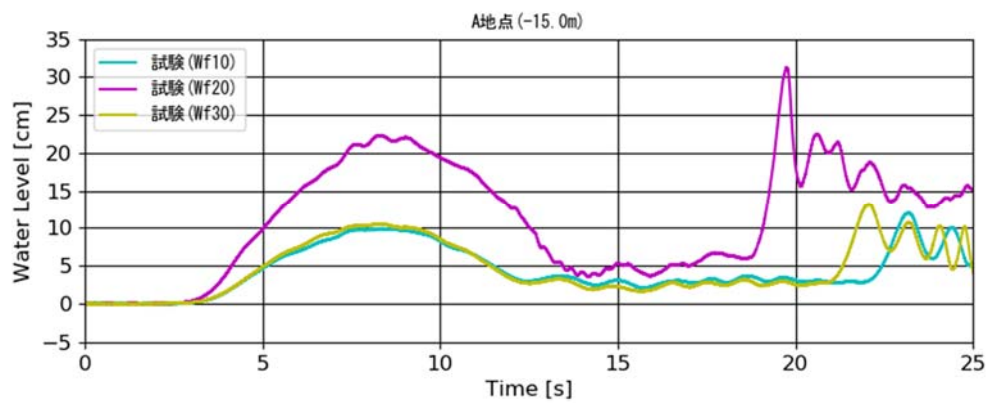


図- 9.1.3 入力津波条件 (入力波形)

9.2. 解析ケース

表-9.2.1は解析条件のケース一覧を示し、Wf20・Wf30 地形、Wf10 地形を対象に、計 42 ケースの解析を実施した。なお、ケース名を灰色で示すケースは、試験は実施されず、解析のみ実施したケースである。

表-9.2.1 シミュレーション解析ケース一覧

No.	ケース名	波形	堤体位置	漂流物	漂流物位置
1	F-Wf10-A-10	Wf10	0.625m	A	1.0m
2	F-Wf10-A-15				1.5m
3	F-Wf10-A-20				2.0m
4	F-Wf20-A-20	Wf20			2.0m
5	F-Wf20-A-30				3.0m
6	F-Wf20-A-40				4.0m
7	F-Wf20-A-50	Wf30			5.0m
8	F-Wf30-A-07				0.75m
9	F-Wf30-A-10				1.0m
10	F-Wf30-A-12				1.25m
11	O-Wf20-A-20	Wf20	1.25m		2.0m
12	O-Wf20-A-40				4.0m
13	F-Wf10-E-10	Wf10	0.625m	E	1.0m
14	F-Wf10-E-15				1.5m
15	F-Wf10-E-20				2.0m
16	F-Wf20-E-20	Wf20			2.0m
17	F-Wf20-E-30				3.0m
18	F-Wf20-E-40				4.0m
19	F-Wf20-E-50	Wf30			5.0m
20	F-Wf30-E-07				0.75m
21	F-Wf30-E-10				1.0m
22	F-Wf30-E-12				1.25m
23	O-Wf20-E-20	Wf20	1.25m		2.0m
24	O-Wf20-E-40				4.0m
25	F-Wf10-F-20	Wf10	0.625m	F	2.0m
26	F-Wf10-F-40				4.0m
27	F-Wf20-F-20				Wf20
28	F-Wf20-F-30	3.0m			
29	F-Wf20-F-40	4.0m			
30	F-Wf20-F-50	Wf30			5.0m
31	F-Wf20-F-55				5.5m
32	F-Wf30-F-07				0.75m
33	F-Wf30-F-10	Wf30			1.0m
34	F-Wf30-F-12				1.25m
35	O-Wf20-F-20		Wf20	1.25m	
36	O-Wf20-F-40	4.0m			
37	F-Wf20-G-20	Wf20	0.625m	G	2.0m
38	F-Wf20-G-30				3.0m
39	F-Wf20-G-40				4.0m
40	F-Wf20-G-50	5.0m			
41	O-Wf20-G-20	Wf20	1.25m		2.0m
42	O-Wf20-G-40				4.0m

9.3. 水位時系列

図- 9.3.1～図- 9.3.4 に、図- 9.1.2 に示す B5, B11, B16, C, E 地点及び D 地点（堤体位置が 1.250m の図- 9.3.4 のみ）における漂流物なしの水位時系列波形図をそれぞれ示す。解析結果を緑線とし、試験結果を青線で示した。

シミュレーション解析結果は、試験結果と比較して若干の差異があるものの、その波形は水理試験の結果を精度良く再現しているといえる。

図- 9.3.5 には、水面勾配の算出結果と砕波点の位置を示した。図中には、前述の水理試験の結果を同時に示している。なお、水理試験では、水位の時系列計測結果から水位変動の時間勾配を算定し、これを、波速を用いて空間勾配である水面勾配に変換したが、数値シミュレーションでは直接水面勾配が算出出来るため、隣り合った解析格子から直接水面勾配を算定した結果を示した。Wf10, WF30 の結果は、砕波点の位置が試験結果よりも若干岸側となっている。これは、Wf10, WF30 の津波高が小さく、数値粘性や波速の誤差が影響したためと考えられるが、砕波点の位置は 50cm 程度の差異であり、本解析は試験結果を概ね再現しているといえる。また、砕波点より岸側では段波状で空気を伴っており、試験結果と解析結果ともに水面勾配を厳密には評価できないため、参考値となる。

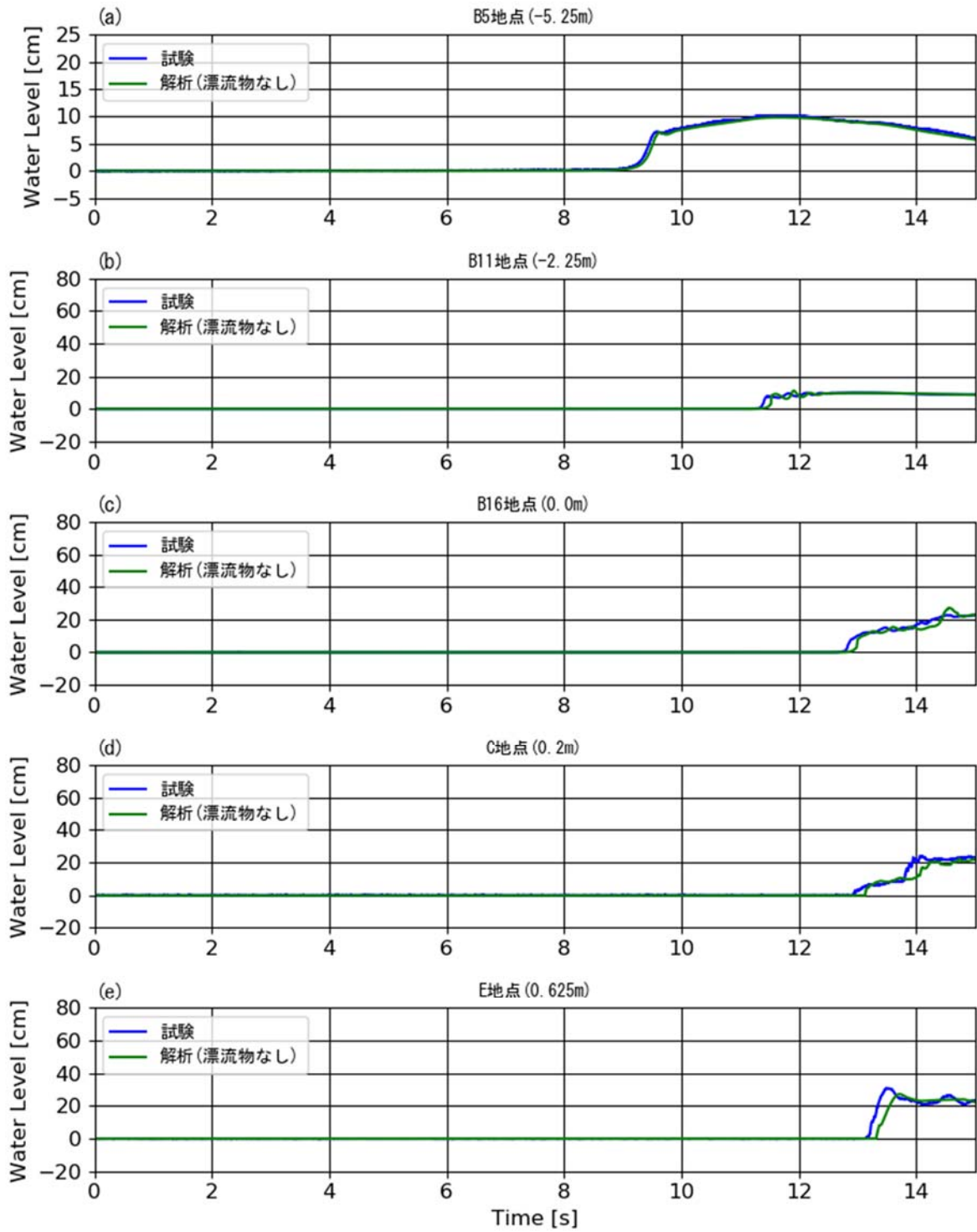


図- 9.3.1 水位時系列波形 (Wf10 地形, 堤体位置 0.625m-Wf10)

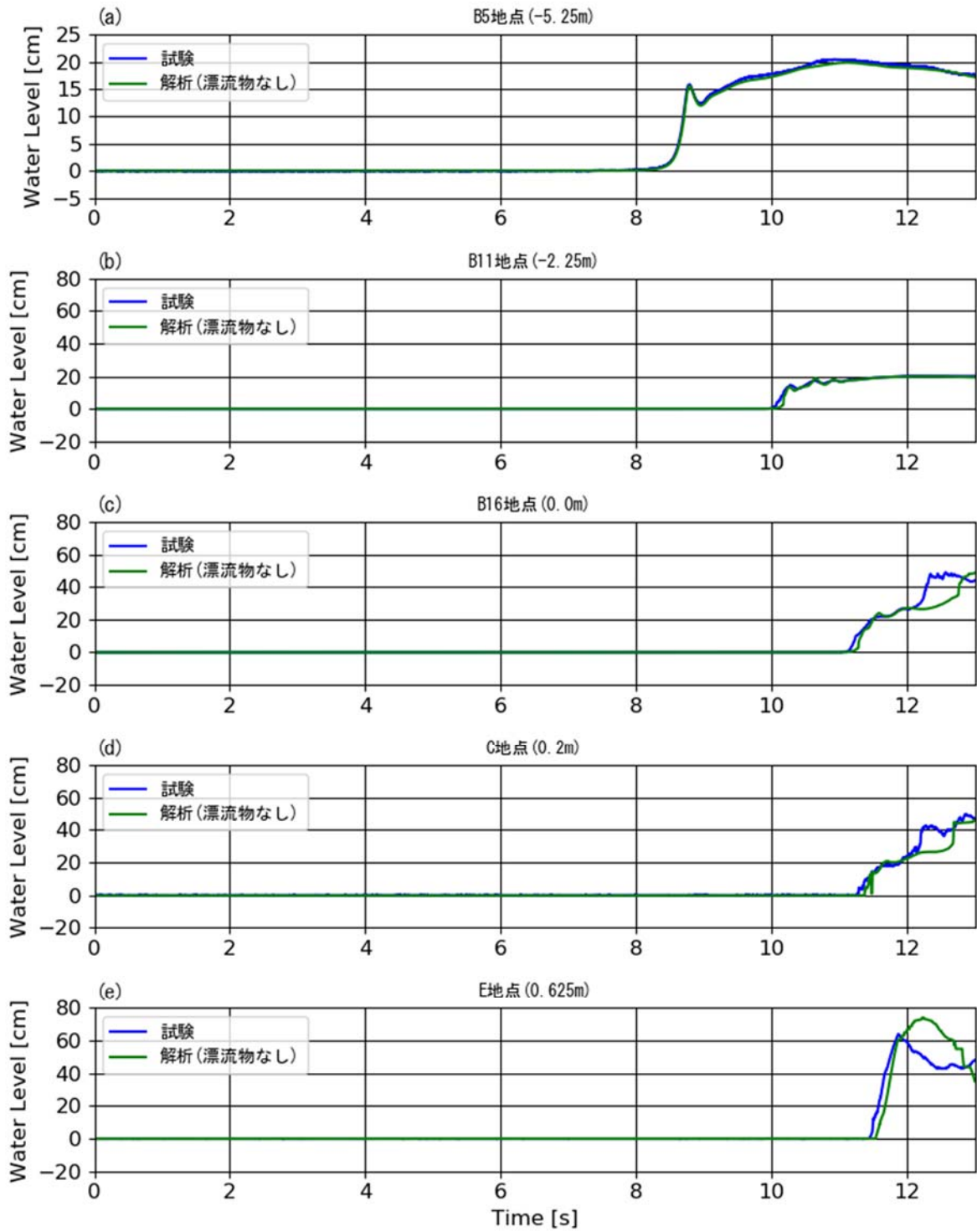


図- 9.3.2 水位時系列波形 (Wf20・Wf30 地形, 堤体位置 0.625m-Wf20)

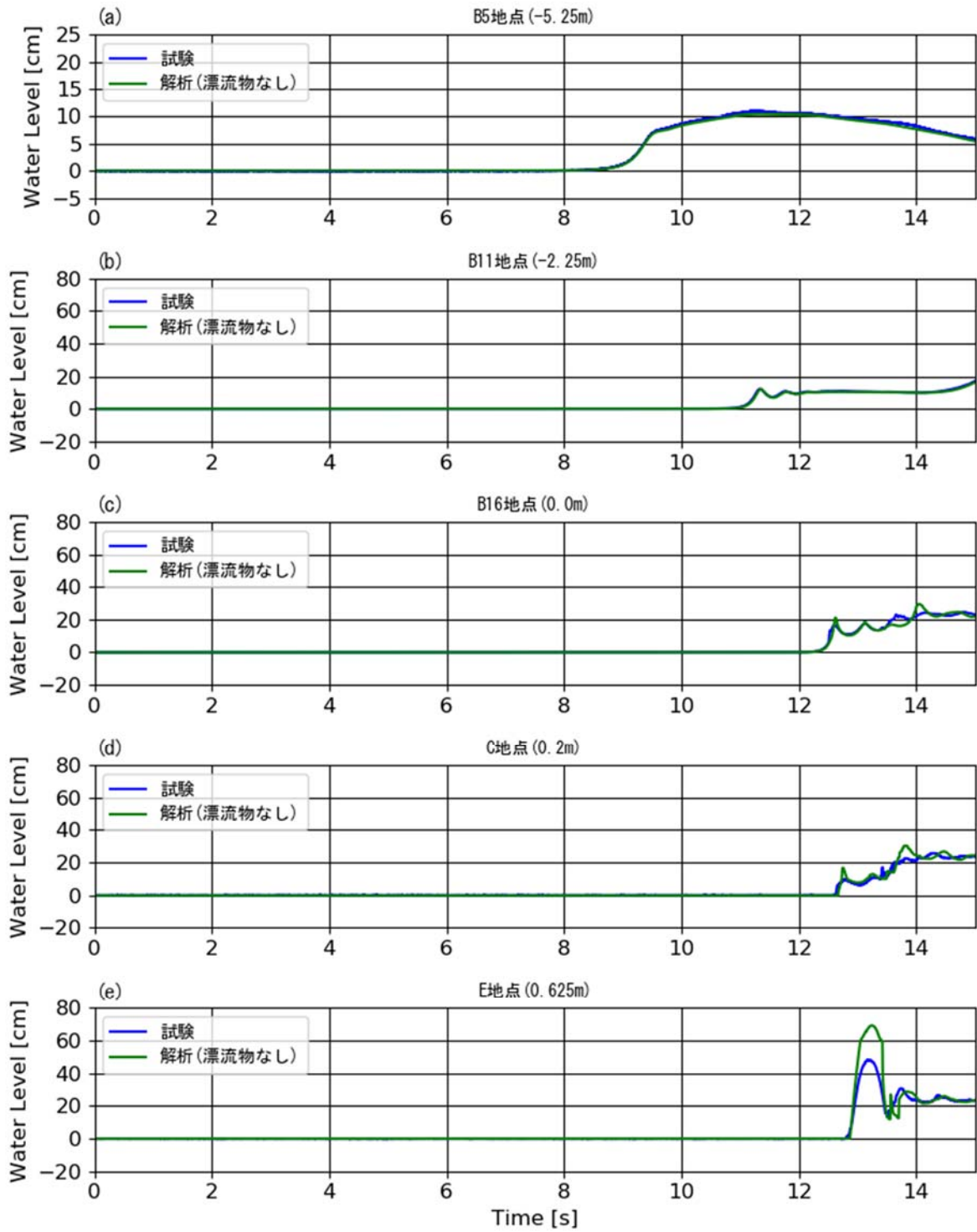


図- 9.3.3 水位時系列波形 (Wf20・Wf30 地形, 堤体位置 0.625m-Wf30)

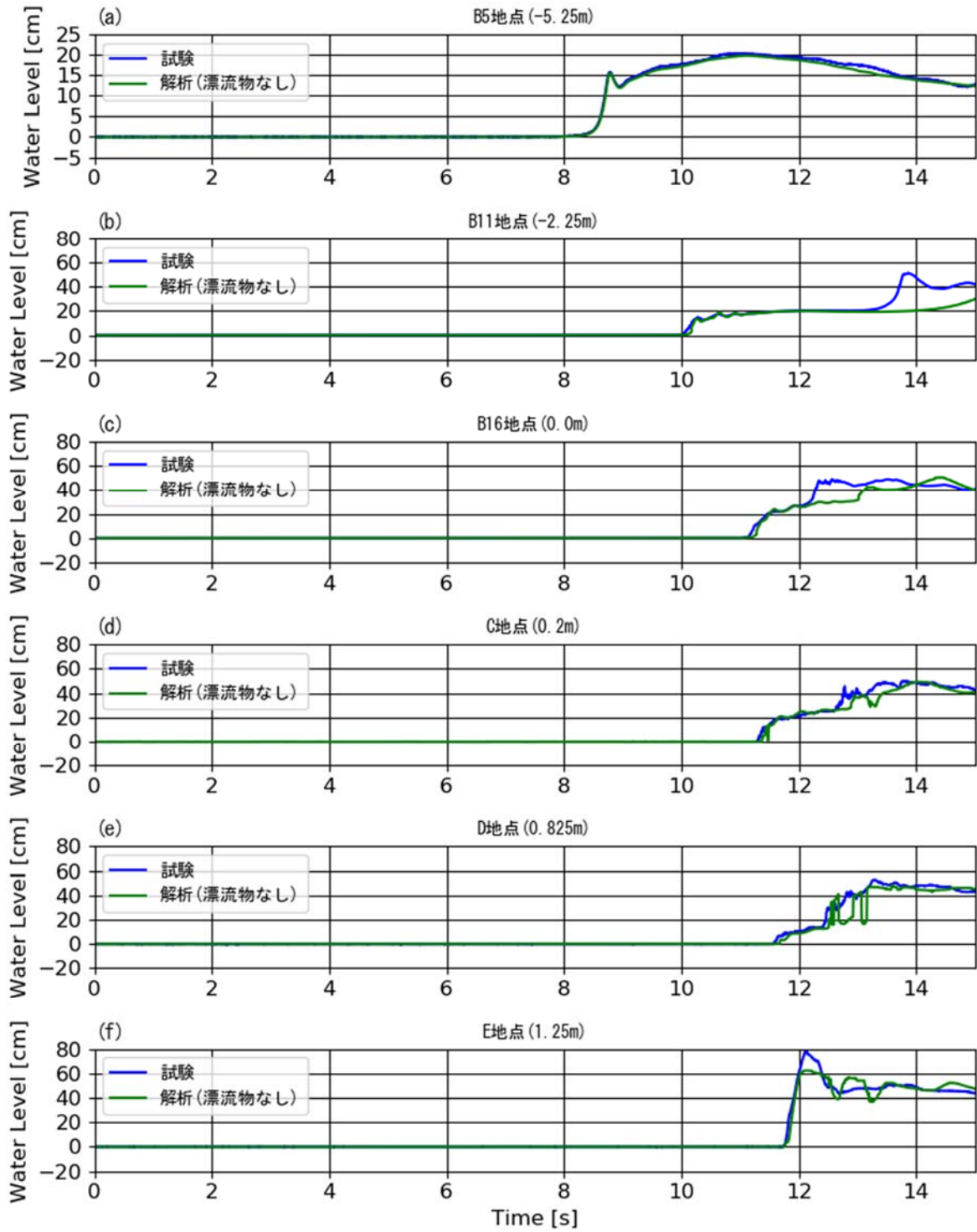
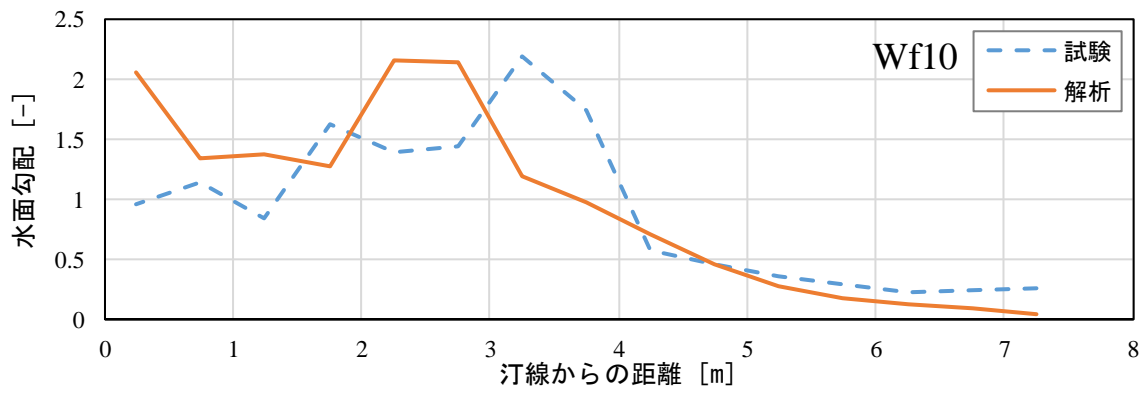
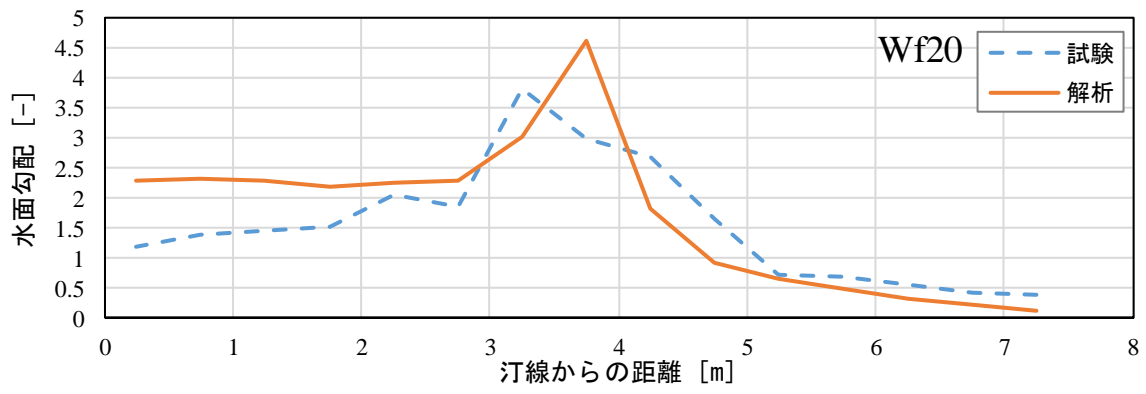


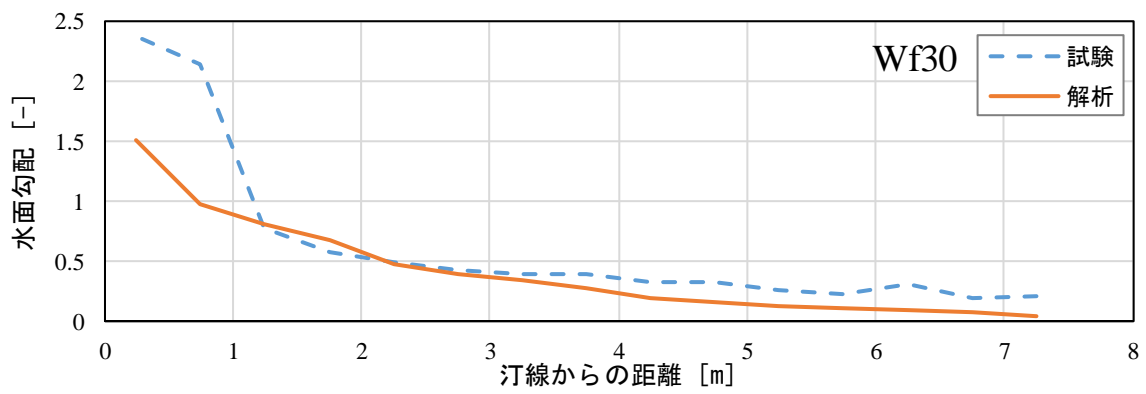
図- 9.3.4 水位時系列波形 (Wf20・Wf30 地形, 堤体位置 1.250m-Wf20)



(a) Wf10



(b) Wf20



(c) Wf30

図- 9.3.5 水面勾配の算出結果

9.4. 流速時系列

図-9.4.1～図-9.4.4に、図-9.1.2に示すB5, C地点及びD地点(堤体位置が1.250mの図-9.4.4のみ)における漂流物なしの流速時系列図をそれぞれ示す。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。解析結果を緑線とし、試験結果を青線で示した。

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いえる。

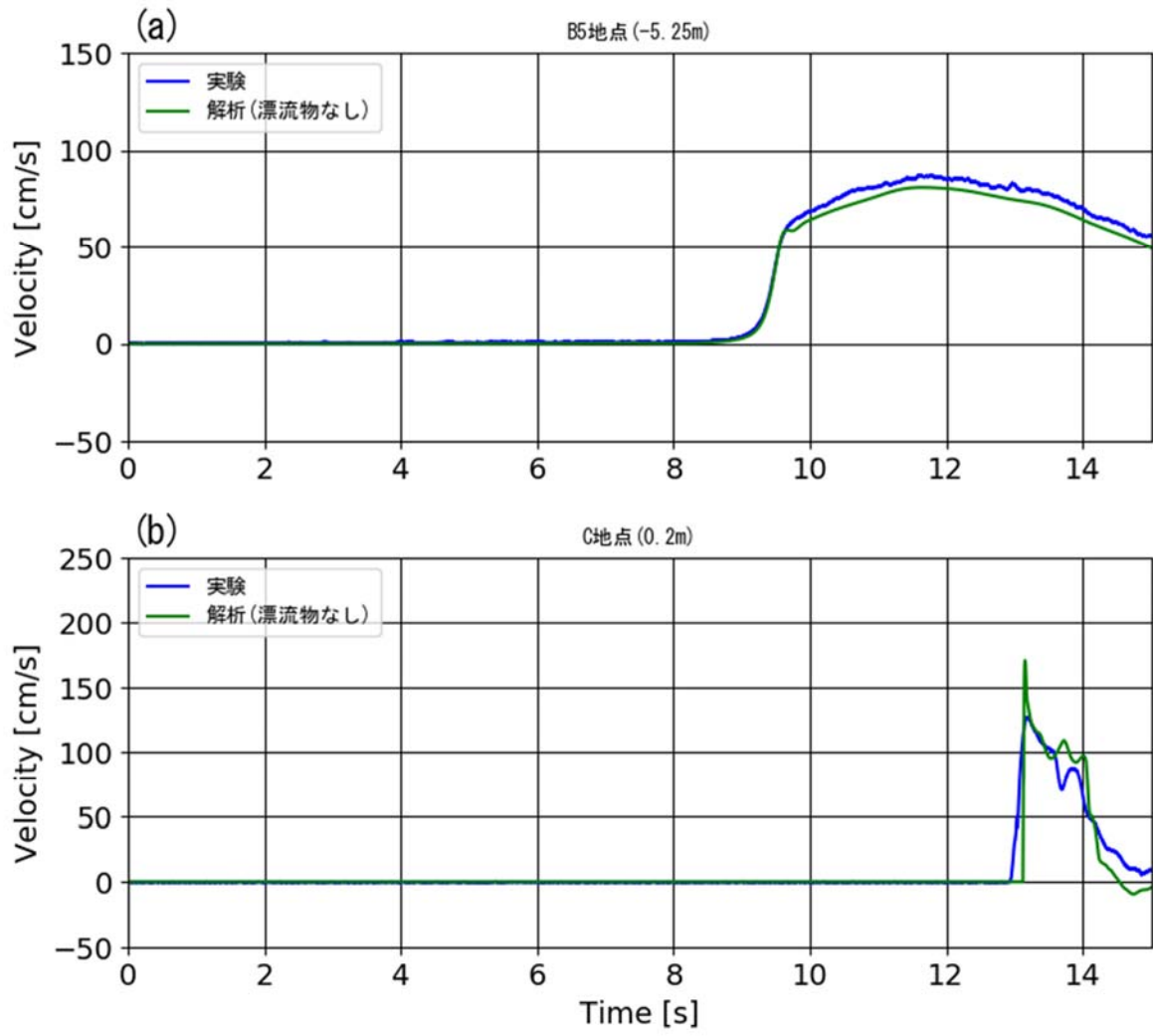


図- 9.4.1 流速時系列波形 (Wf10 地形, 堤体位置 0.625m-Wf10)

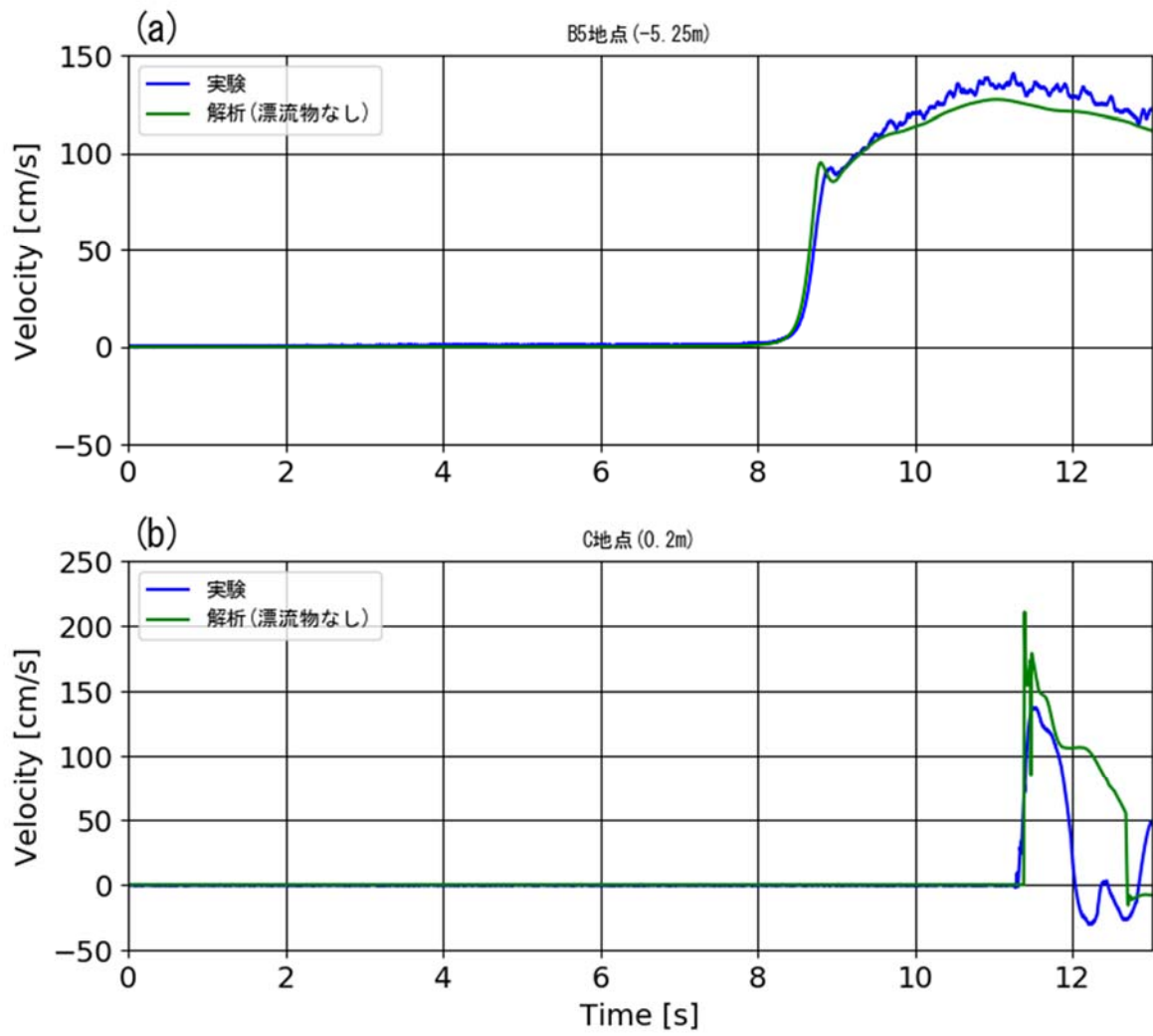


図- 9.4.2 流速時系列波形 (Wf20・Wf30 地形, 堤体位置 0.625m-Wf20)

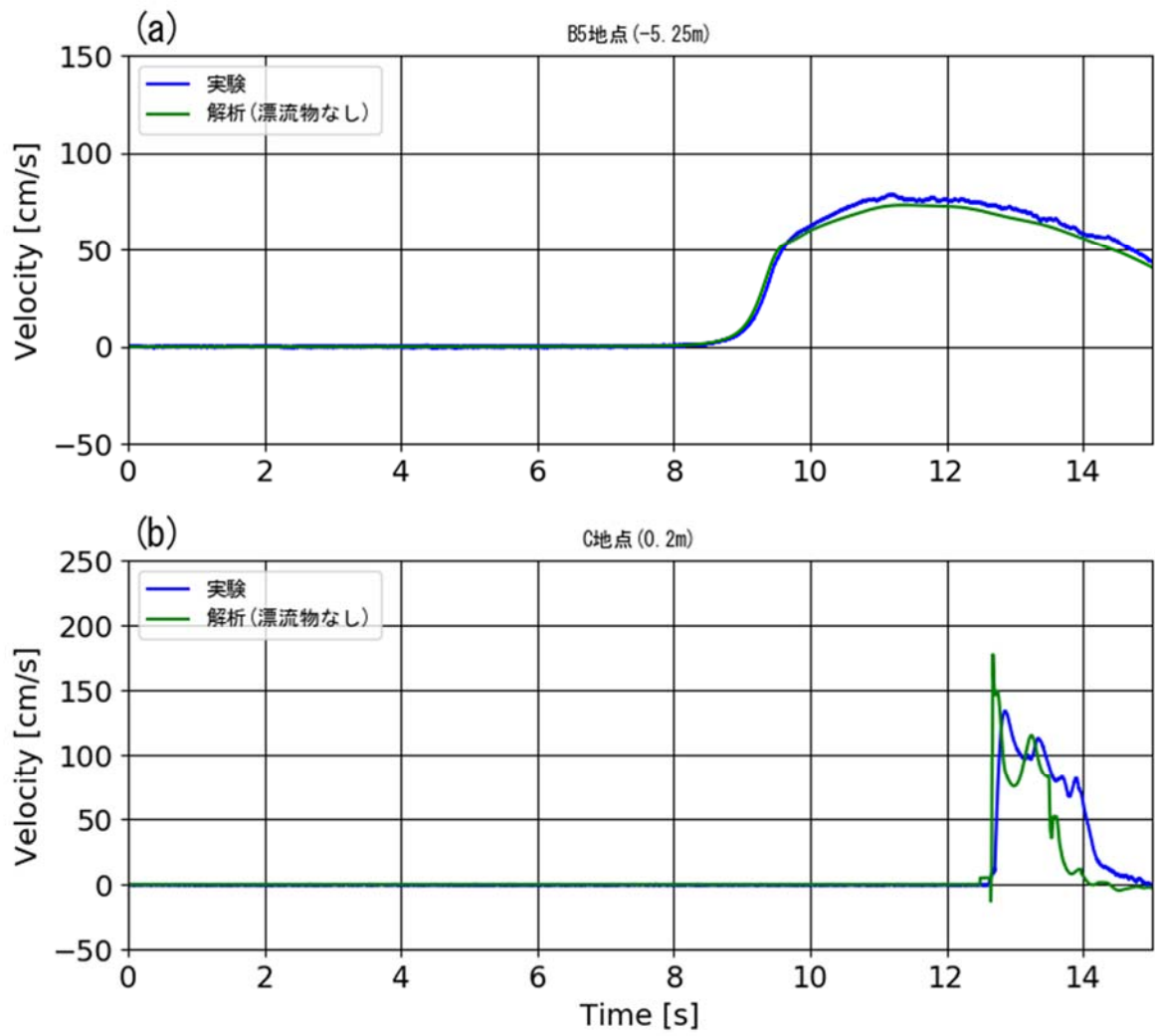


図- 9.4.3 流速時系列波形 (Wf20・Wf30 地形, 堤体位置 0.625m-Wf30)

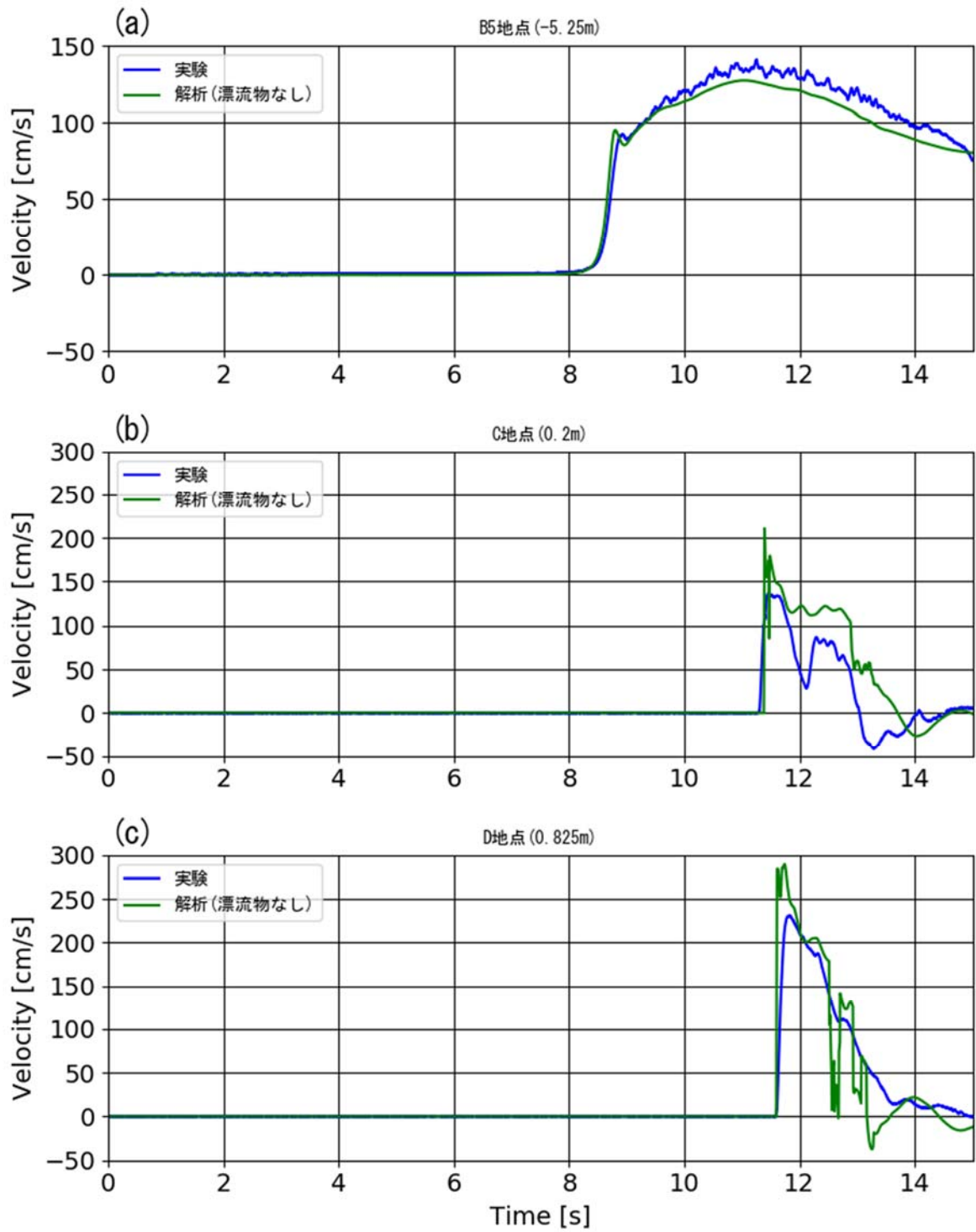


図- 9.4.4 流速時系列波形 (Wf20・Wf30 地形, 堤体位置 1.250m-Wf20)

9.5. 衝突の有無

表-9.5.1 に、堤体へ津波が到達した時刻（以下「津波到達時刻」と称す）、漂流物の重心位置が最も堤体に近づいた時刻（以下「漂流物最接近時刻」と称す）、解析における漂流物の衝突判定（以下「解析衝突判定」と称す）、及び、試験における漂流物の衝突頻度（以下「試験衝突頻度」と称す）を示す。なお、試験が実施されていないケースは、試験衝突頻度の項目は「-」と示す。ここで、解析衝突判定の項目は、本解析モデルに漂流物の衝突判定機能が備わっているため、その結果に基づき、衝突したケースを「○」、衝突しなかったケースを「×」で示す。

漂流物最接近時刻の項目においては、衝突したケースは、原則、衝突した時刻が漂流物最接近時刻となり、「※」印で示す。例外として、津波で漂流物が押し出され、津波が堤体に到達するのに先行して漂流物が堤体に衝突するケースがある。当該ケースを「*」印で示し、衝突した時刻を括弧内に示す。ここで、水が存在しない状況下では圧力値は計算されないため、津波到達時刻より前に衝突した時刻を漂流物最接近時刻とすることはできない。そこで、「*」印で示すケースは、衝突時刻に最も近い津波到達時刻を漂流物最接近時刻とした。

解析衝突判定と試験衝突頻度との関係については、ケース「F-Wf30-F-07」及び「F-Wf30-F-10」を除き、試験衝突が高頻度のケースにおいては解析でも衝突しており、概ね再現しているといえる。

表- 9.5.1 津波到達時刻，漂流物最接近時刻，解析衝突判定，及び，試験衝突頻度

ケース名	津波到達時刻	漂流物最接近時刻	解析衝突判定	試験衝突頻度
F-Wf10-A-10	13.38s	* 13.38s(13.37s)	○	47%
F-Wf10-A-15	13.36s	13.90s	×	7%
F-Wf10-A-20	13.36s	14.30s	×	7%
F-Wf20-A-20	11.58s	12.20s	×	27%
F-Wf20-A-30	11.61s	12.20s	×	—
F-Wf20-A-40	11.56s	12.40s	×	0%
F-Wf20-A-50	11.58s	12.80s	×	0%
F-Wf30-A-07	12.88s	※13.36s	○	13%
F-Wf30-A-10	12.87s	17.50s	×	0%
F-Wf30-A-12	12.88s	14.30s	×	—
O-Wf20-A-20	11.77s	13.80s	×	33%
O-Wf20-A-40	11.77s	12.90s	×	0%
F-Wf10-E-10	13.40s	* 13.40s(13.23s)	○	93%
F-Wf10-E-15	13.39s	※13.44s	○	33%
F-Wf10-E-20	13.37s	※13.79s	○	20%
F-Wf20-E-20	11.65s	※11.69s	○	40%
F-Wf20-E-30	11.60s	※12.06s	○	—
F-Wf20-E-40	11.61s	12.60s	×	27%
F-Wf20-E-50	11.59s	12.70s	×	0%
F-Wf30-E-07	12.89s	※12.93s	○	0%
F-Wf30-E-10	12.89s	13.40s	×	0%
F-Wf30-E-12	12.88s	※15.19s	○	—
O-Wf20-E-20	11.80s	※12.00s	○	—
O-Wf20-E-40	11.83s	13.30s	×	—
F-Wf10-F-20	13.37s	※13.40s	○	—
F-Wf10-F-40	13.33s	14.70s	×	—
F-Wf20-F-20	11.67s	※11.71s	○	73%
F-Wf20-F-30	11.66s	* 11.66s(11.64s)	○	—
F-Wf20-F-40	11.60s	12.60s	×	0%
F-Wf20-F-50	11.56s	12.80s	×	27%
F-Wf20-F-55	11.58s	13.00s	×	0%
F-Wf30-F-07	12.88s	19.30s	×	93%
F-Wf30-F-10	12.89s	13.70s	×	60%
F-Wf30-F-12	12.88s	13.80s	×	0%
O-Wf20-F-20	11.78s	12.40s	×	—
O-Wf20-F-40	11.85s	13.50s	×	—
F-Wf20-G-20	11.58s	※11.80s	○	20%
F-Wf20-G-30	11.65s	※11.73s	○	—
F-Wf20-G-40	11.57s	12.60s	×	20%
F-Wf20-G-50	11.63s	12.80s	×	0%
O-Wf20-G-20	11.82s	12.30s	×	—
O-Wf20-G-40	11.79s	12.80s	×	—

9.6. 漂流物の移動軌跡

図- 9.6.1～図- 9.6.14 に，漂流物の移動軌跡（重心点）および比較結果を示す．

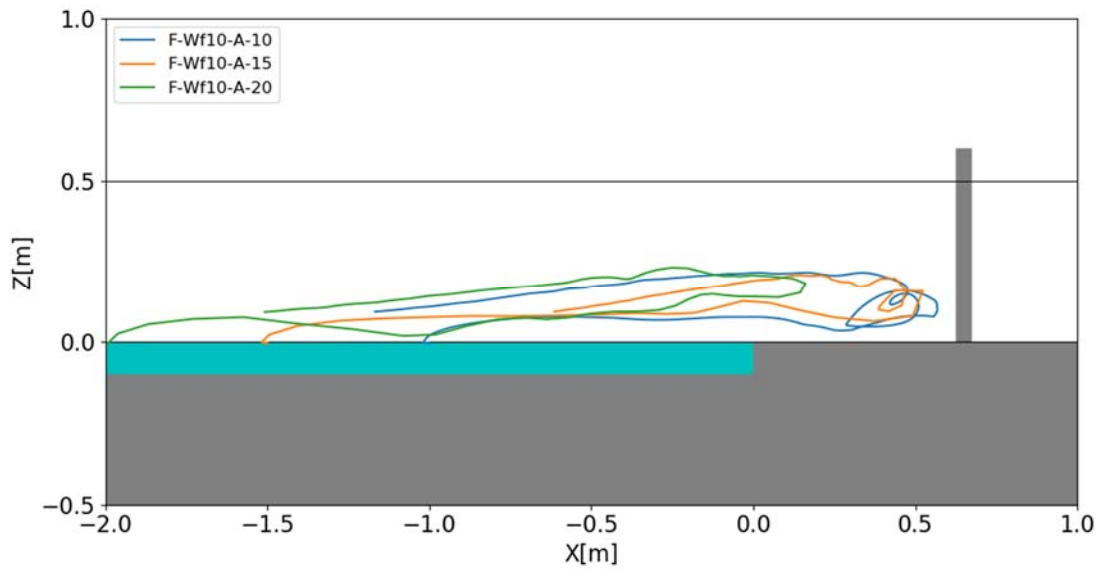


図- 9.6.1 漂流物の移動軌跡 (Wf10, TypeA, 堤体位置 0.625m)

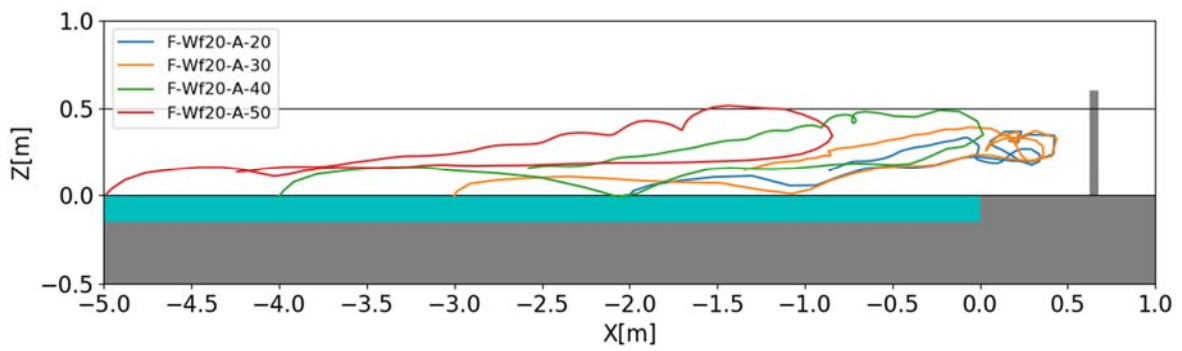


図- 9.6.2 漂流物の移動軌跡 (Wf20, TypeA, 堤体位置 0.625m)

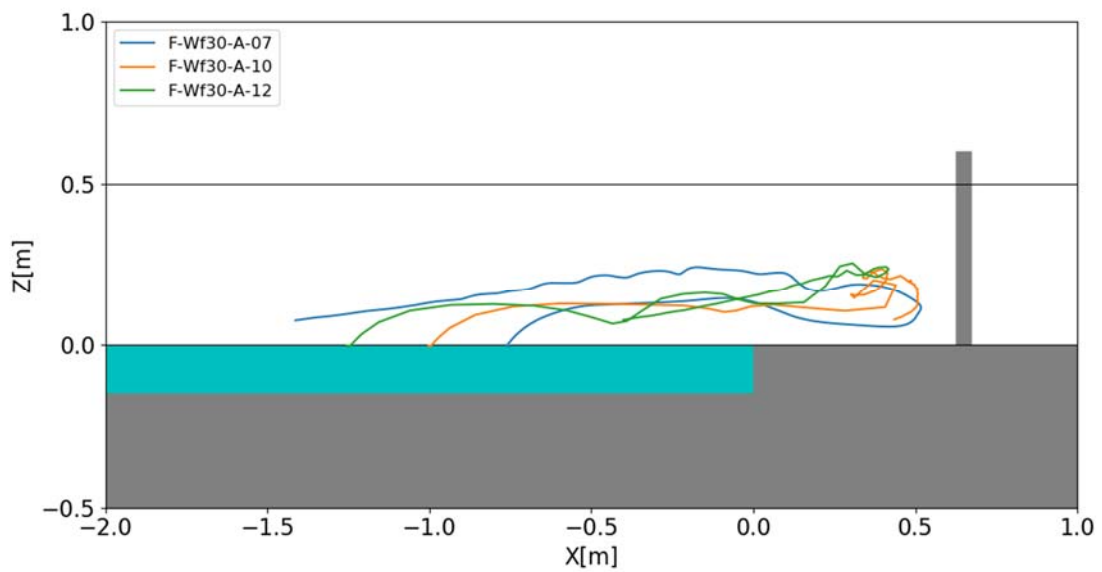


図- 9.6.3 漂流物の移動軌跡 (Wf30, TypeA, 堤体位置 0.625m)

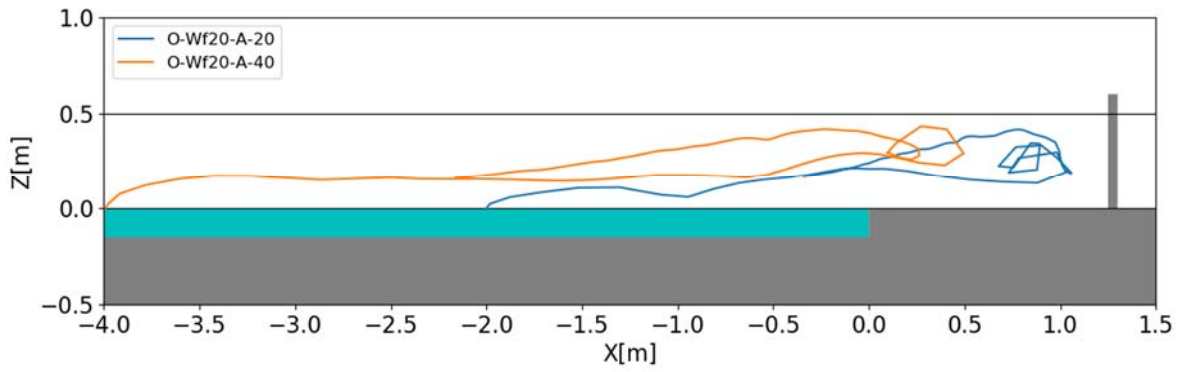


図- 9.6.4 漂流物の移動軌跡 (Wf20, TypeA, 堤体位置 1.250m)

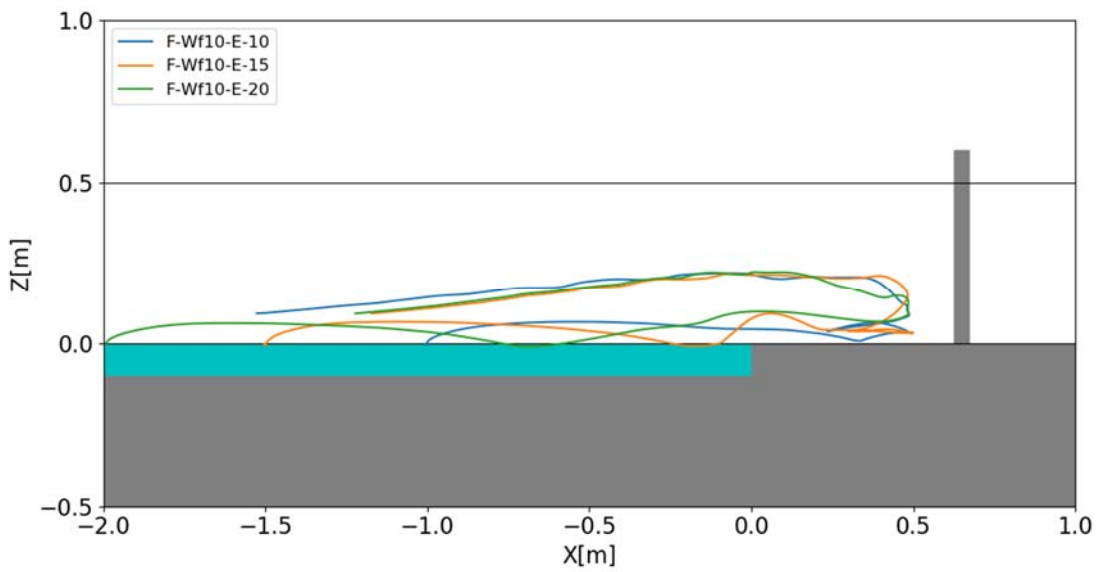


図- 9.6.5 漂流物の移動軌跡 (Wf10, TypeE, 堤体位置 0.625m)

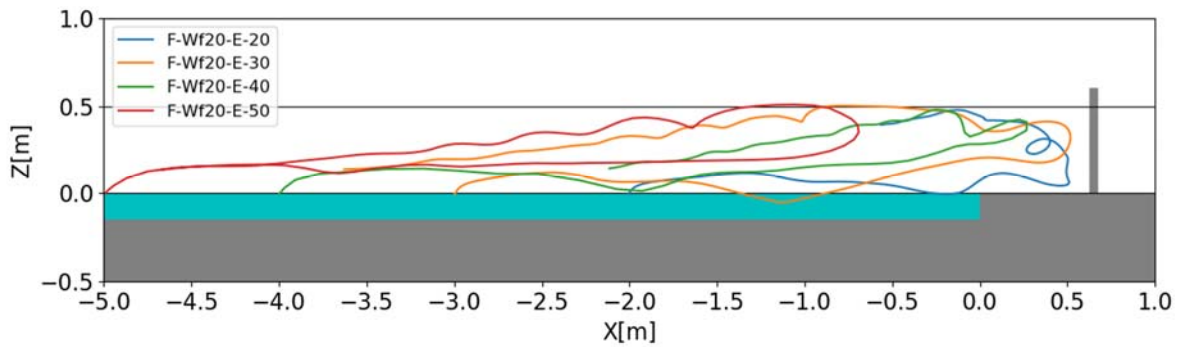


図- 9.6.6 漂流物の移動軌跡 (Wf20, TypeE, 堤体位置 0.625m)

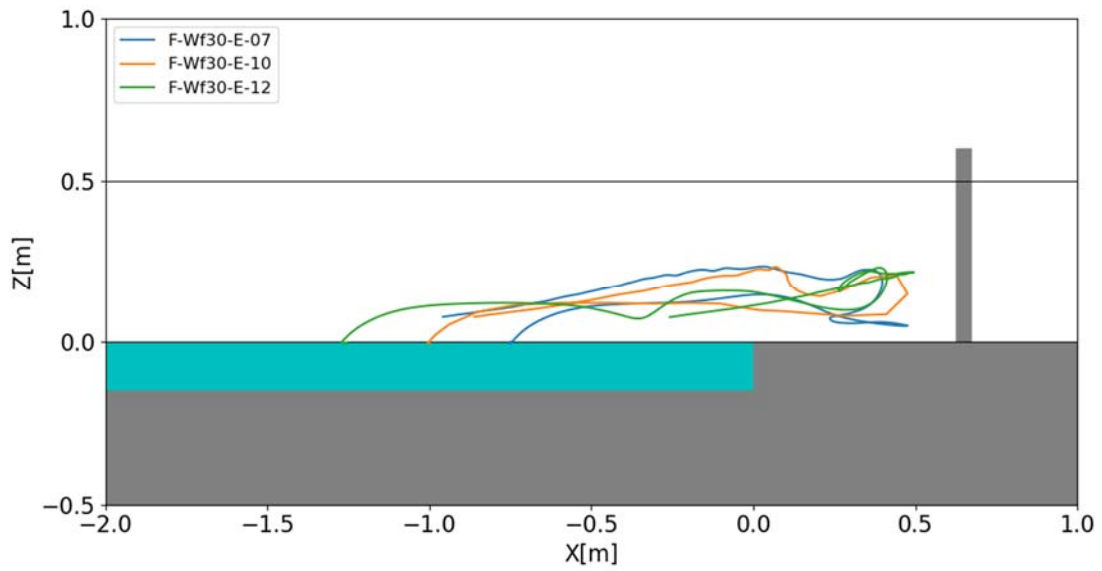


図- 9.6.7 漂流物の移動軌跡 (Wf30, TypeE, 堤体位置 0.625m)

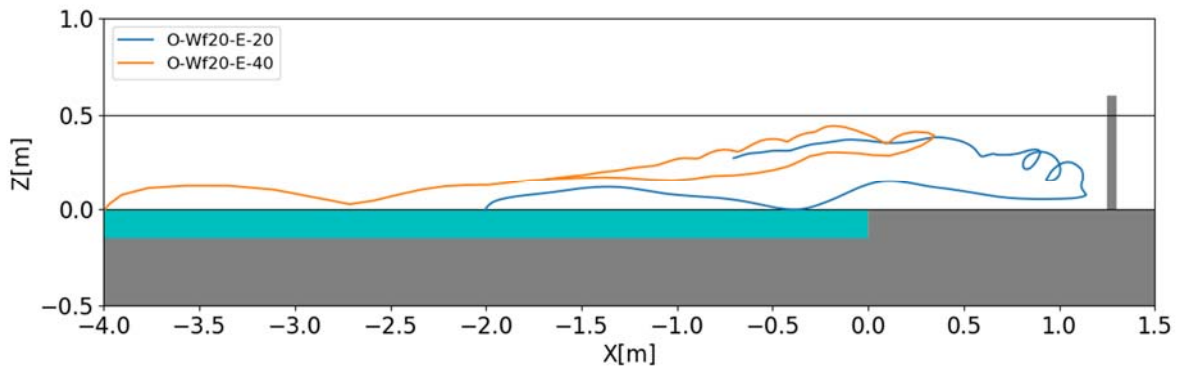


図- 9.6.8 漂流物の移動軌跡 (Wf20, TypeE, 堤体位置 1.250m)

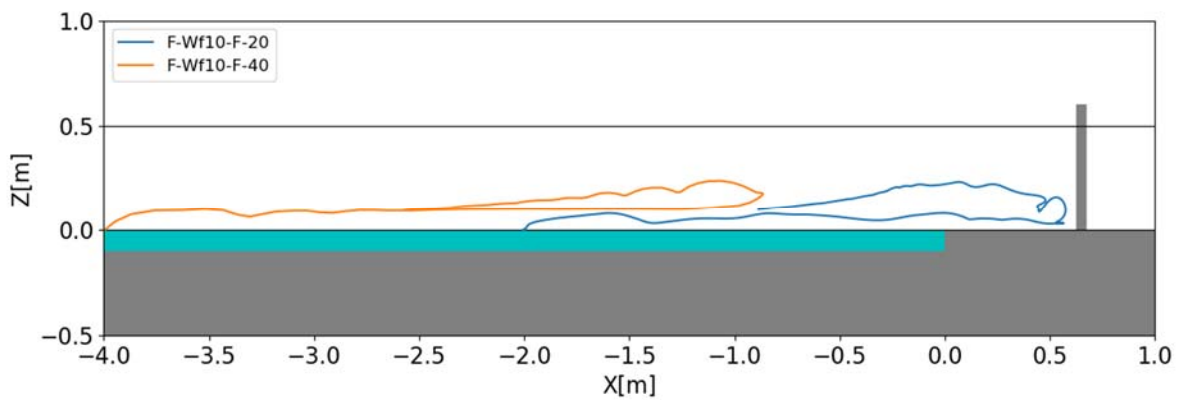


図- 9.6.9 漂流物の移動軌跡 (Wf10, TypeF, 堤体位置 0.625m)

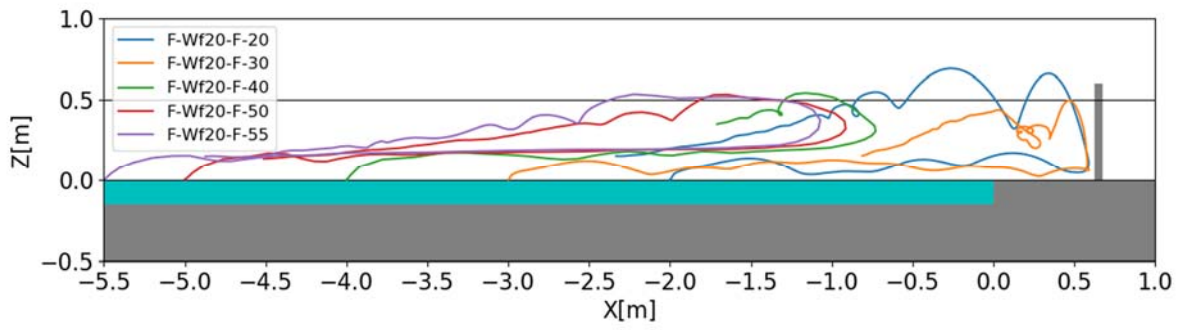


図- 9.6.10 漂流物の移動軌跡 (Wf20, TypeF, 堤体位置 0.625m)

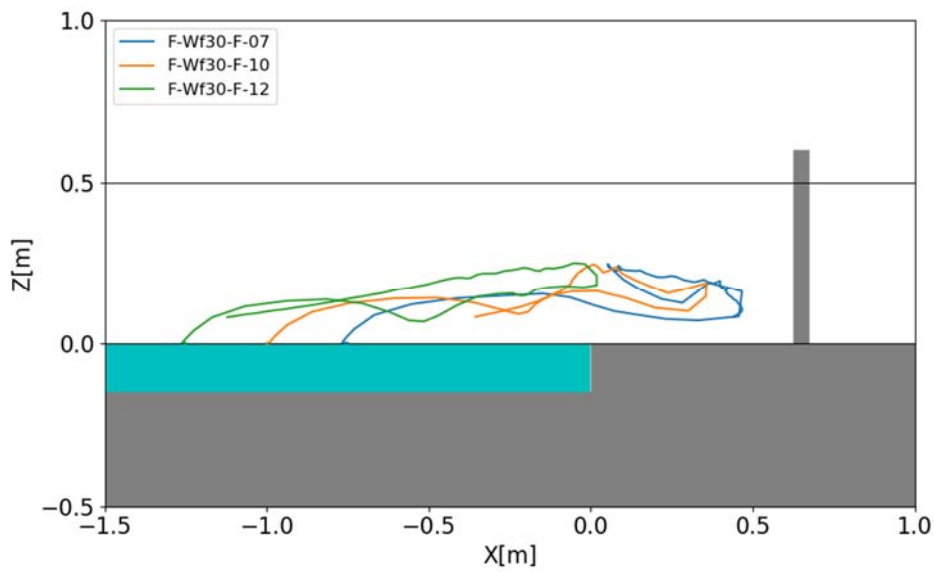


図- 9.6.11 漂流物の移動軌跡 (Wf30, TypeF, 堤体位置 0.625m)

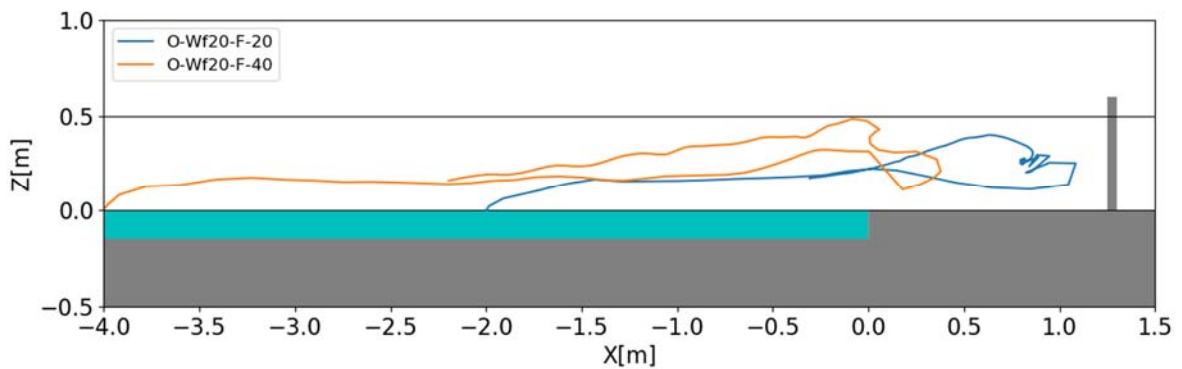


図- 9.6.12 漂流物の移動軌跡 (Wf20, TypeF, 堤体位置 1.250m)

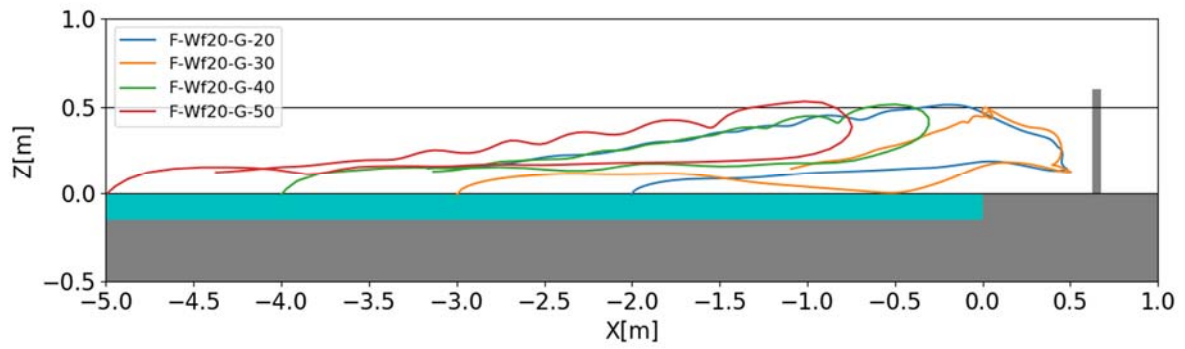


図- 9.6.13 漂流物の移動軌跡 (Wf20, TypeG, 堤体位置 0.625m)

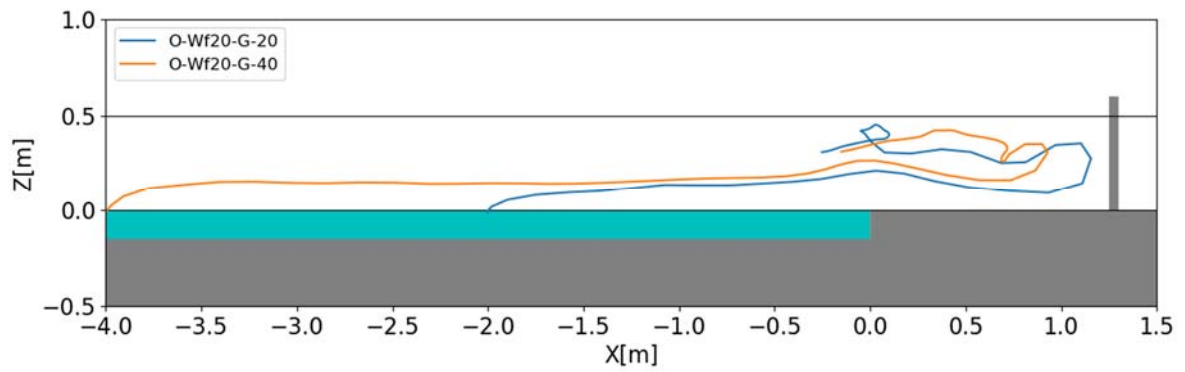
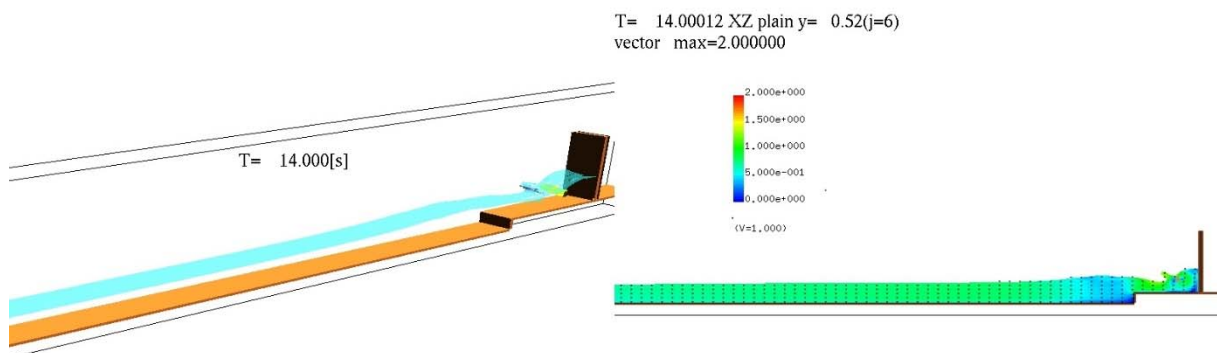
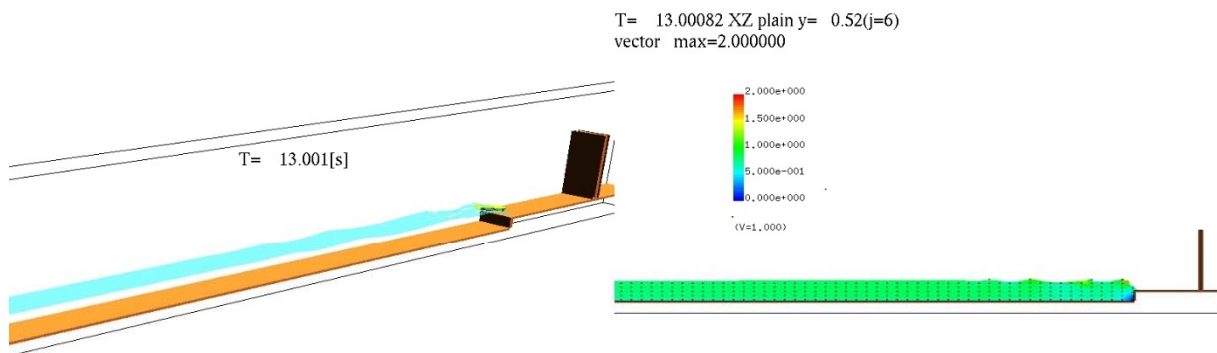
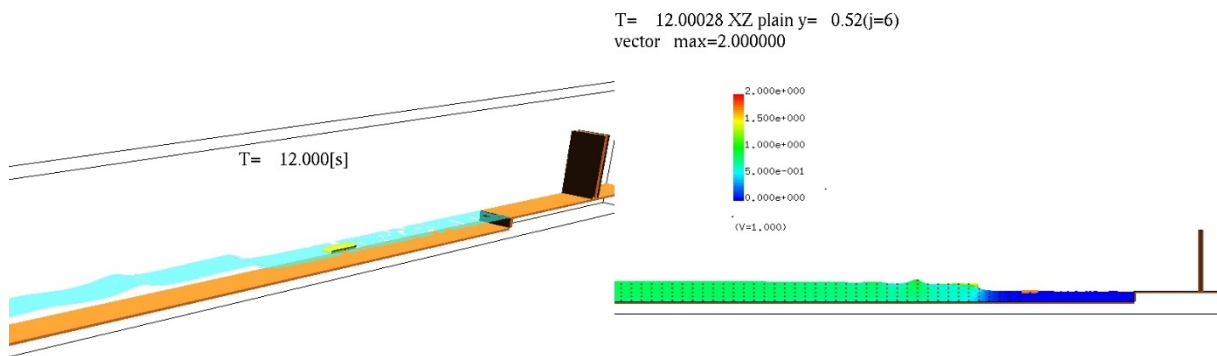
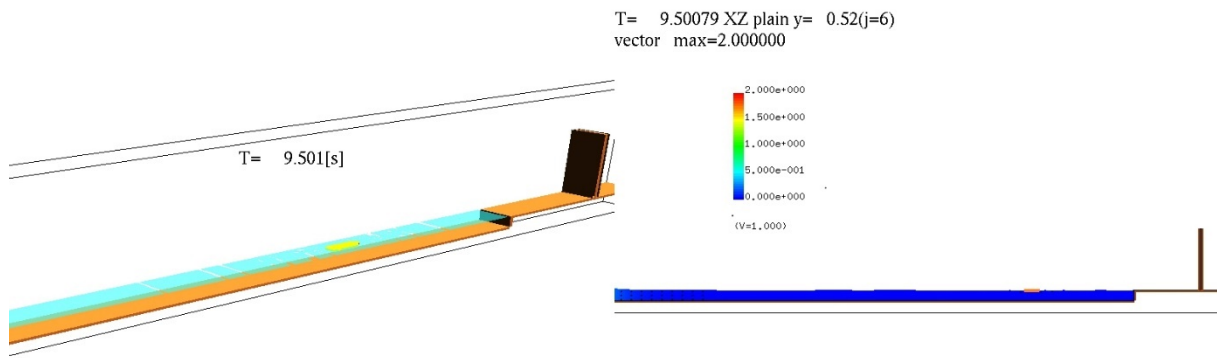


図- 9.6.14 漂流物の移動軌跡 (Wf20, TypeG, 堤体位置 1.250m)

9.7. 漂流物の挙動状況

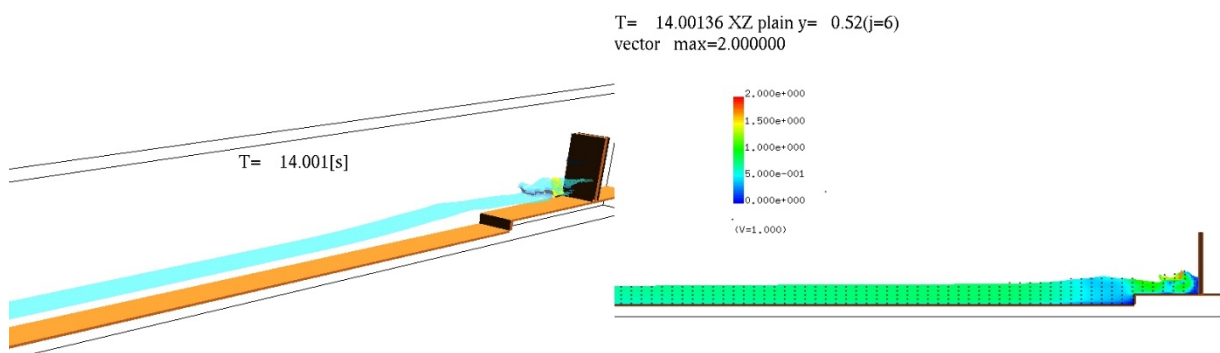
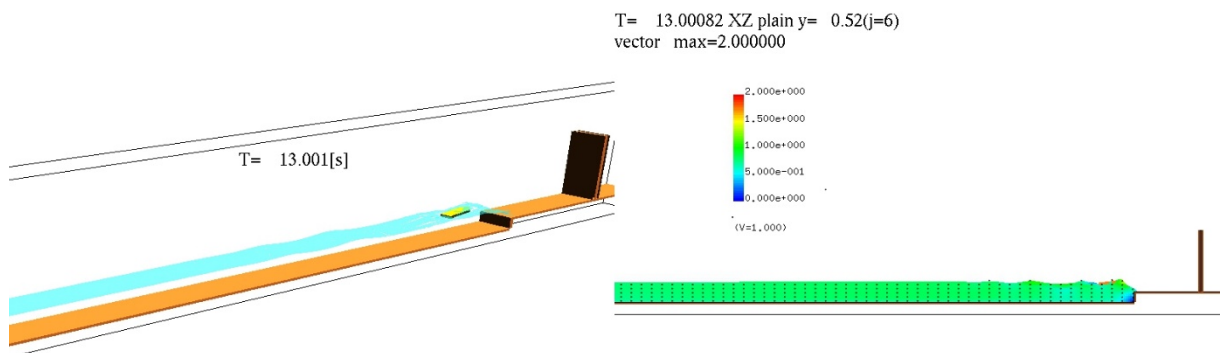
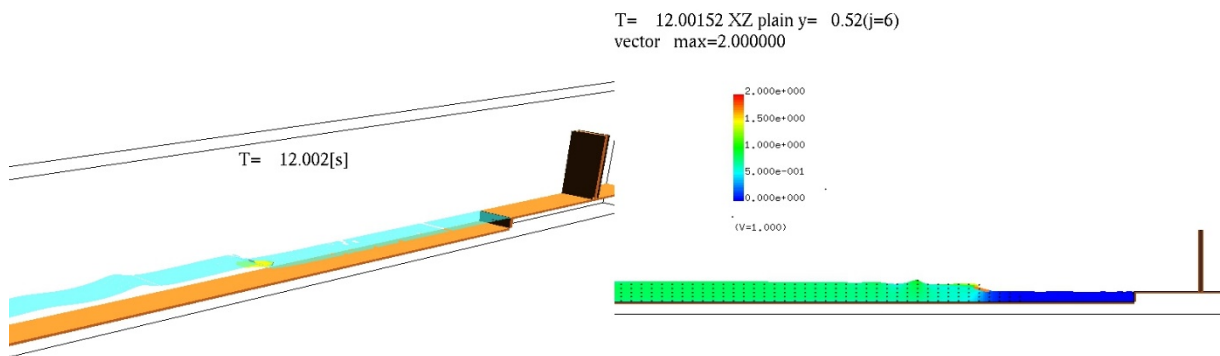
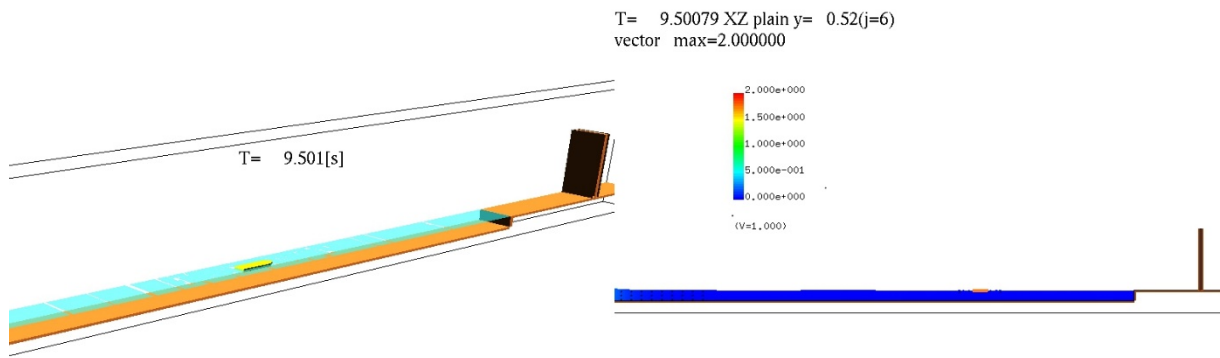
解析結果については可視化のため動画を作成した。図-9.7.1～図-9.7.42に、これらのスナップショットを示す。漂流物および水面を示した3次元鳥瞰図，鉛直断面流速分布をケースごとに順に示す。



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

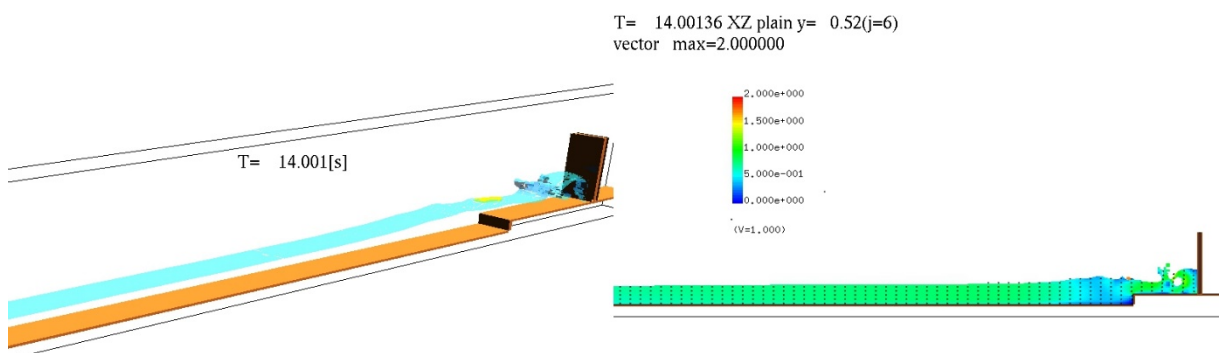
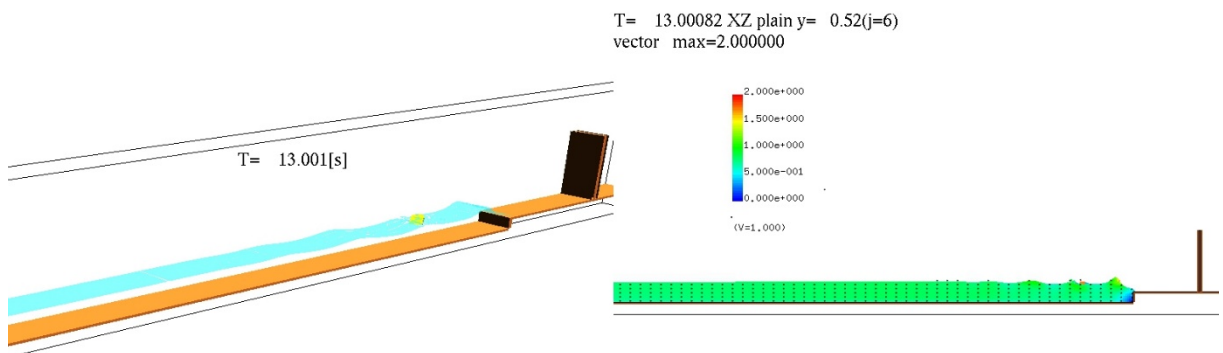
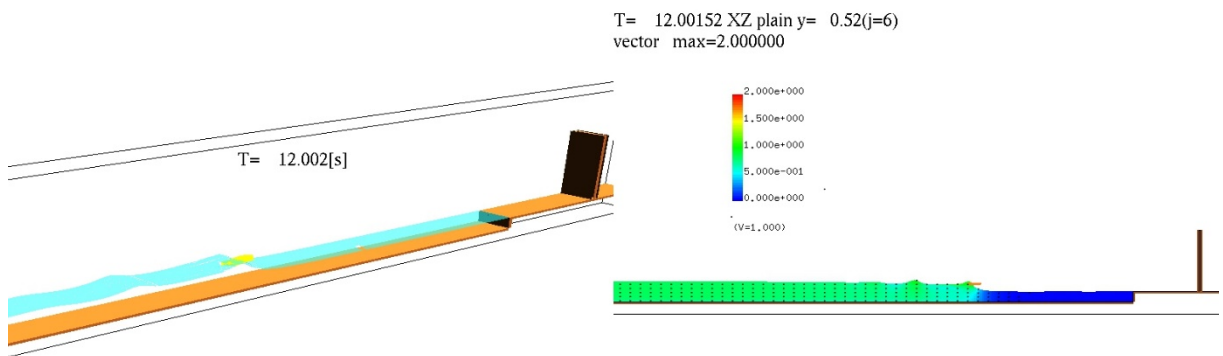
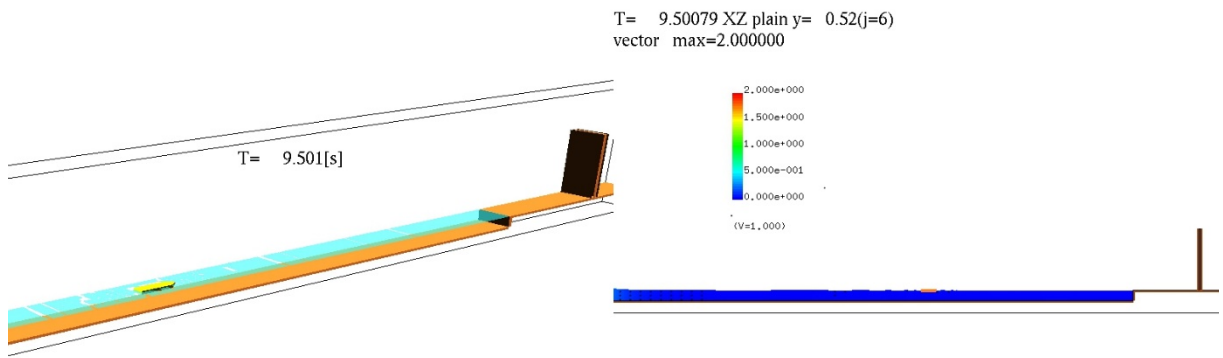
図-9.7.1 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf10-A-10)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

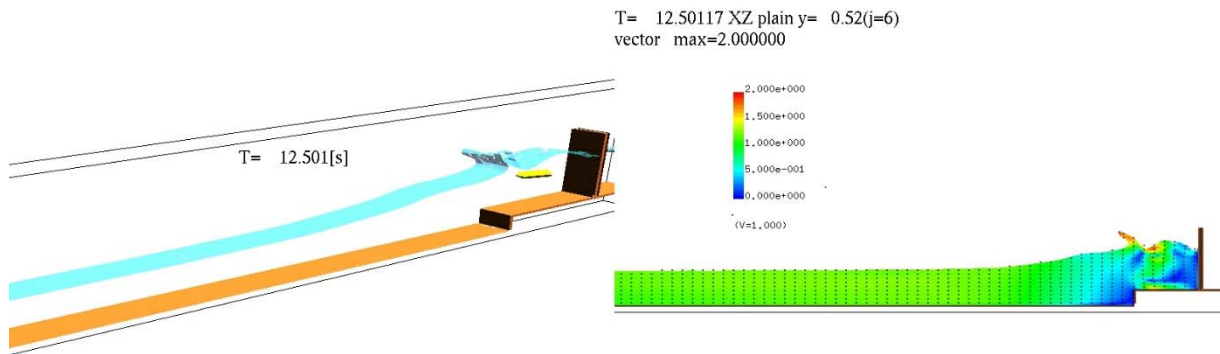
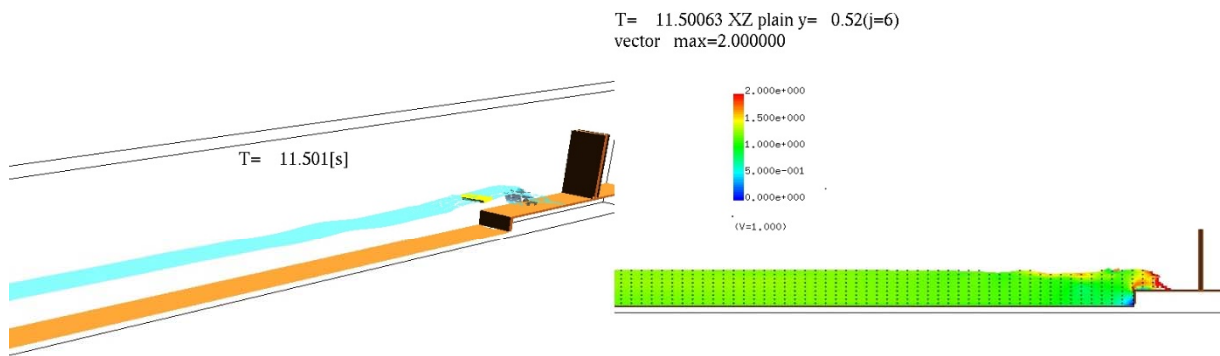
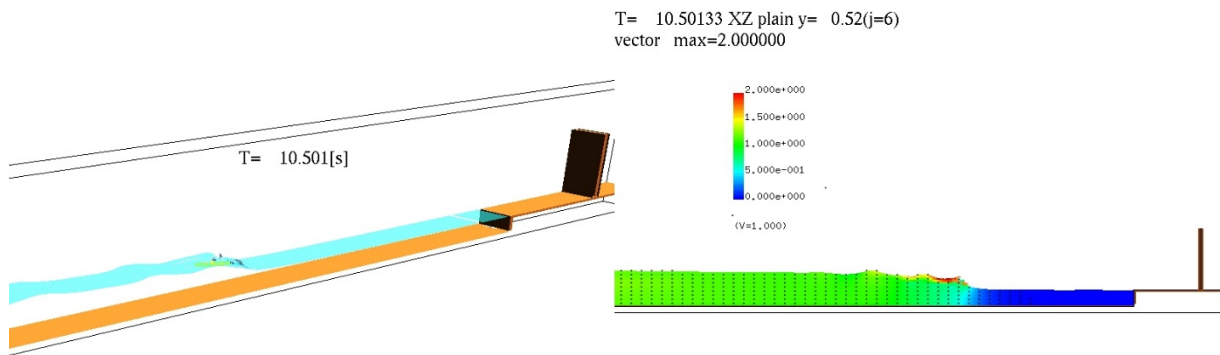
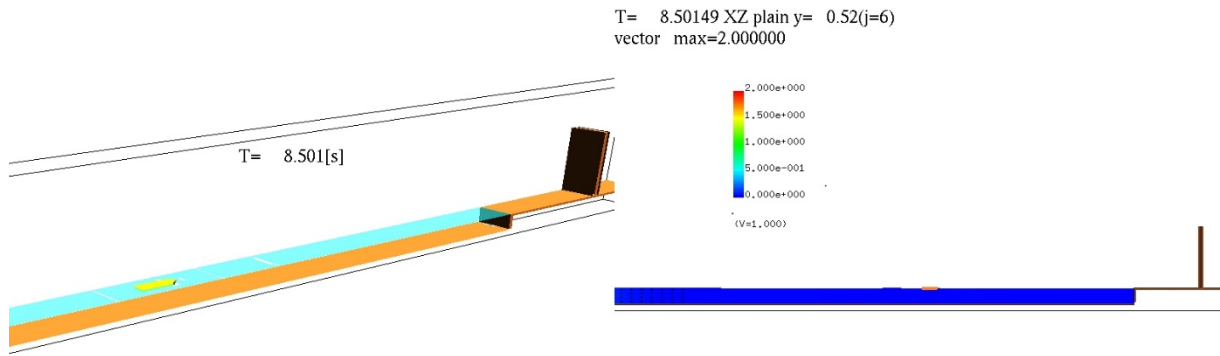
図-9.7.2 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf10-A-15)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

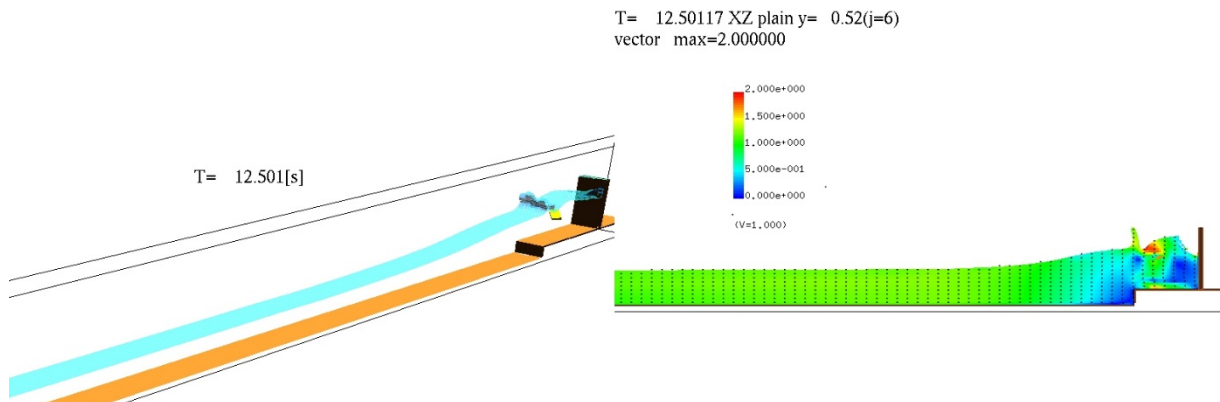
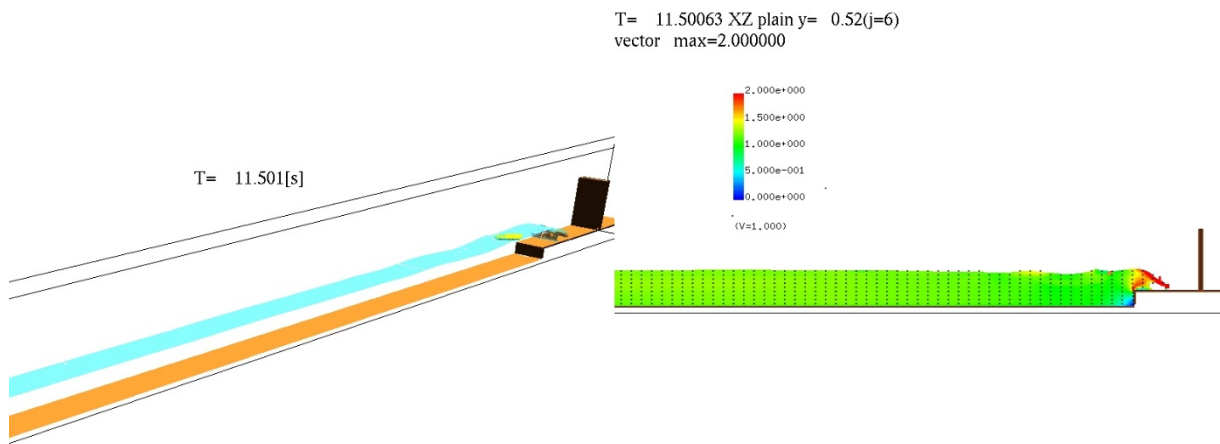
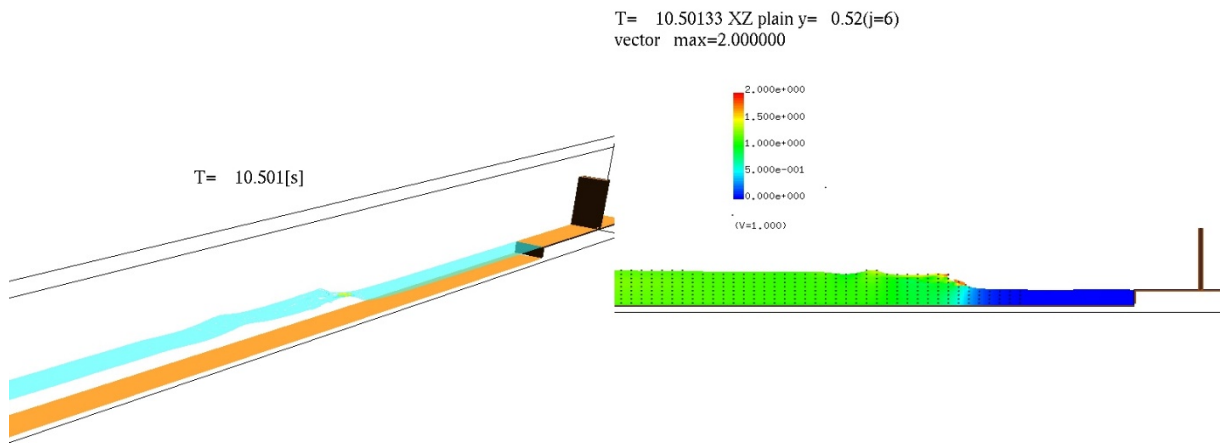
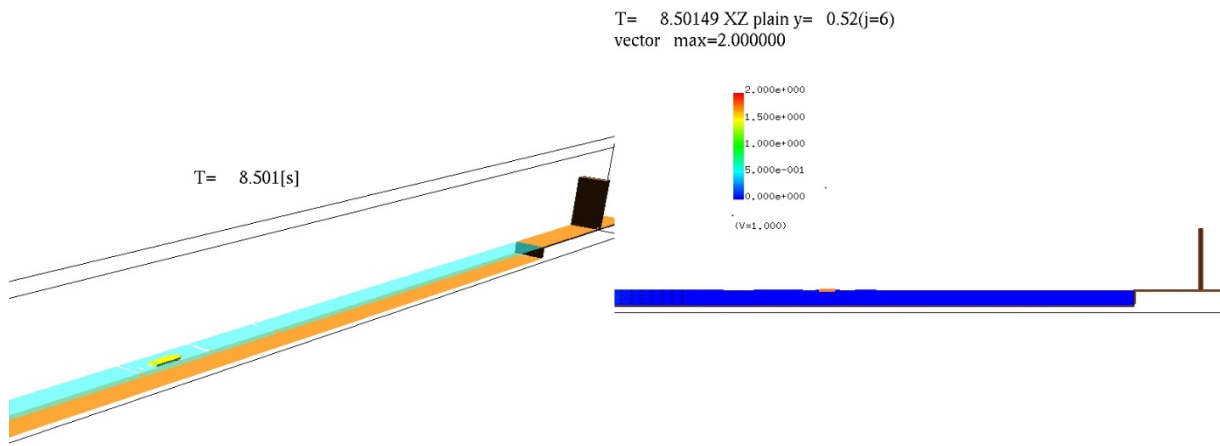
図- 9.7.3 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf10-A-20)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

図-9.7.4 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-A-20)

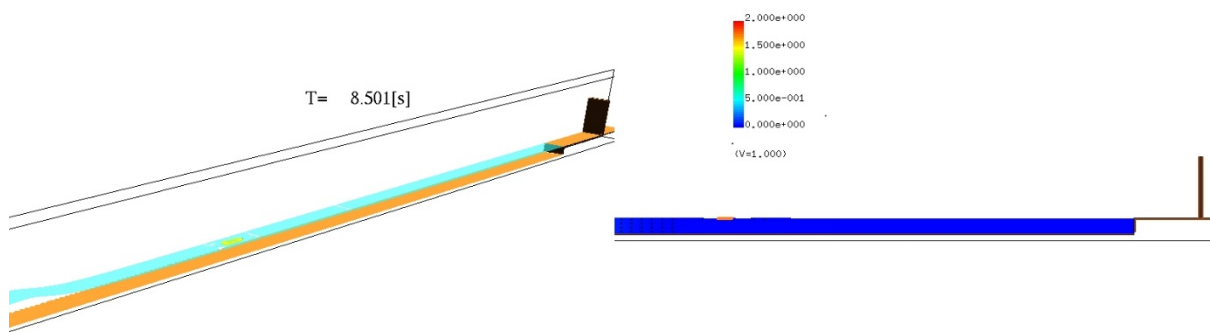


(a) 3次元鳥瞰図

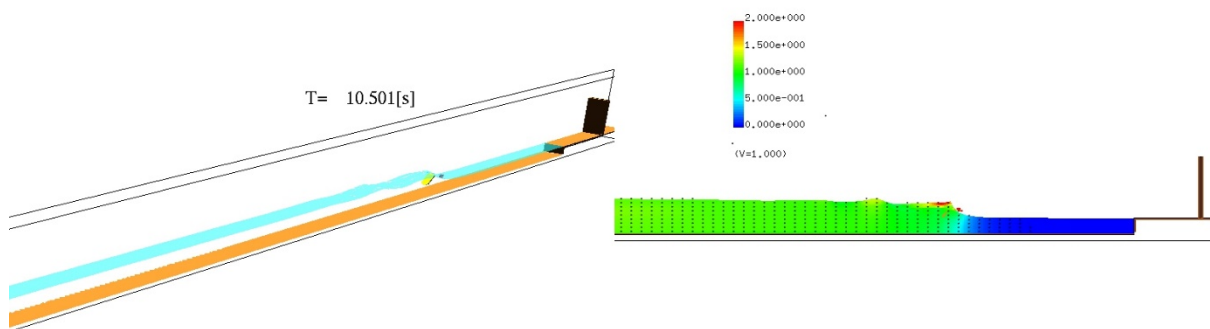
(b) 鉛直断面流速分布

図-9.7.5 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-A-30)

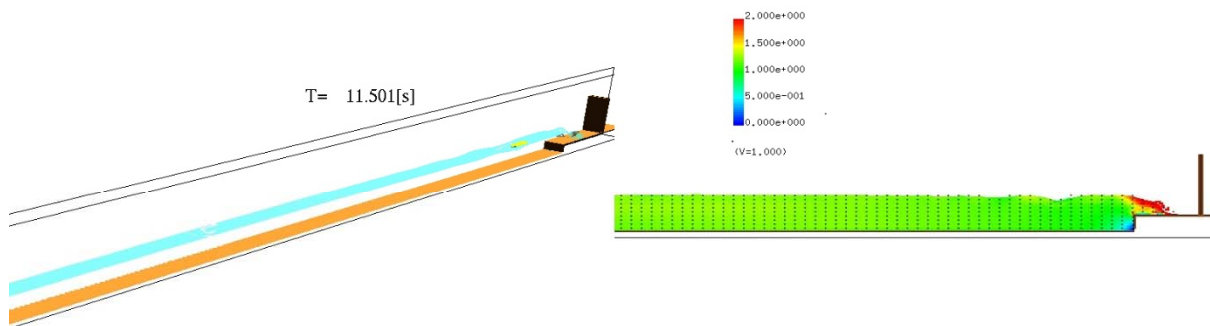
T= 8.50149 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



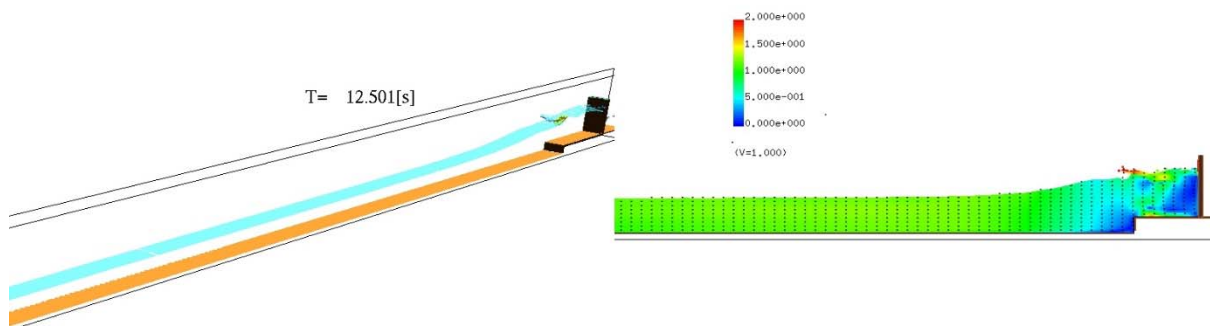
T= 10.50133 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



T= 11.50063 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



T= 12.50117 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000

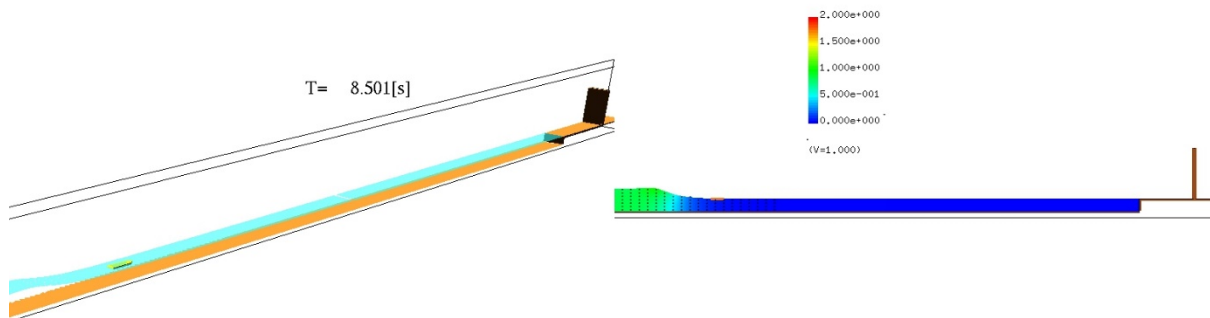


(a) 3次元鳥瞰図

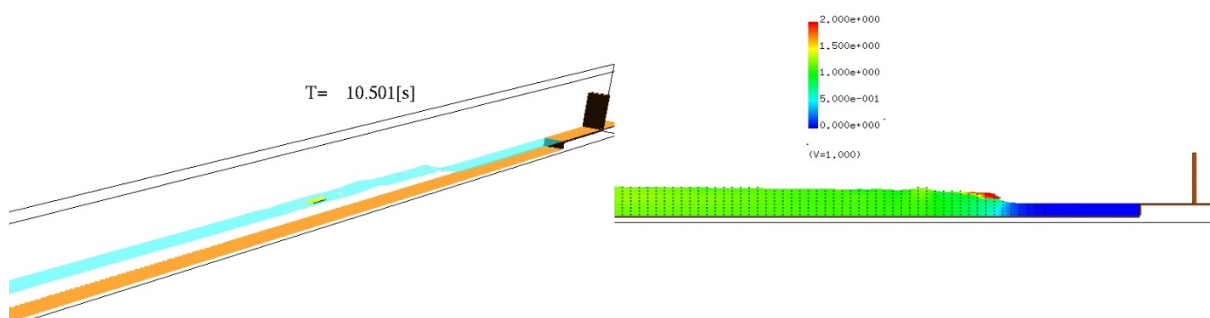
(b) 鉛直断面流速分布

図-9.7.6 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-A-40)

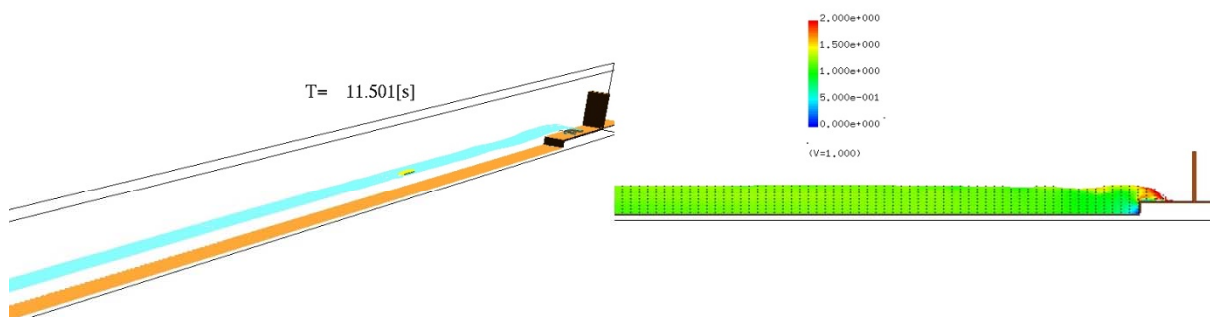
T= 8.50149 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



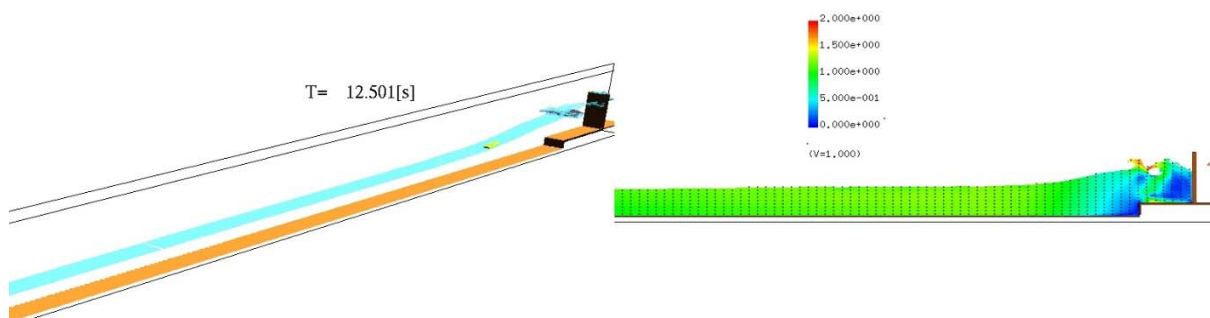
T= 10.50133 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



T= 11.50063 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



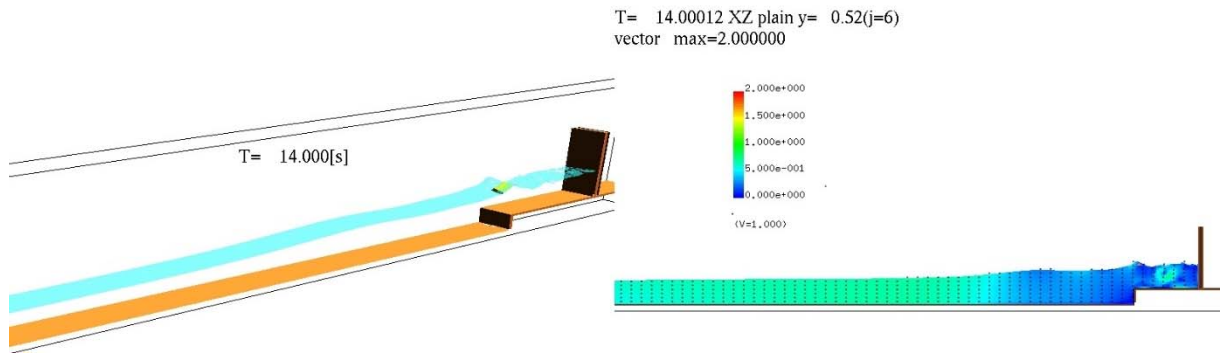
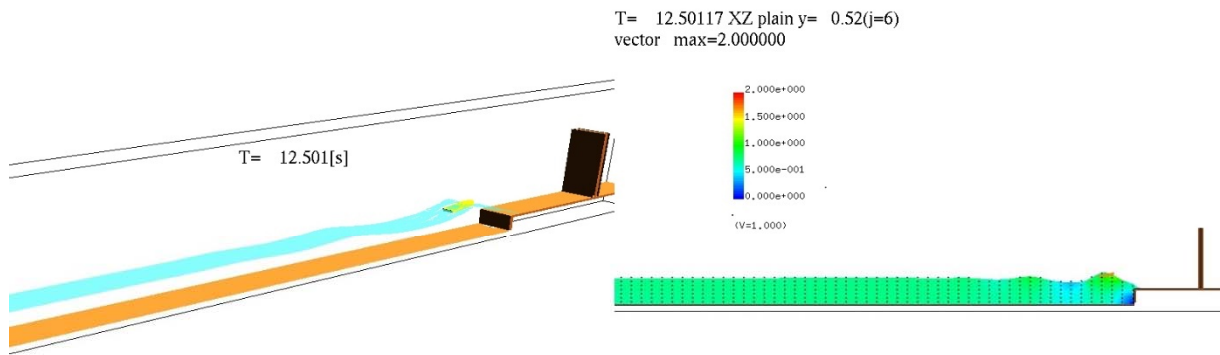
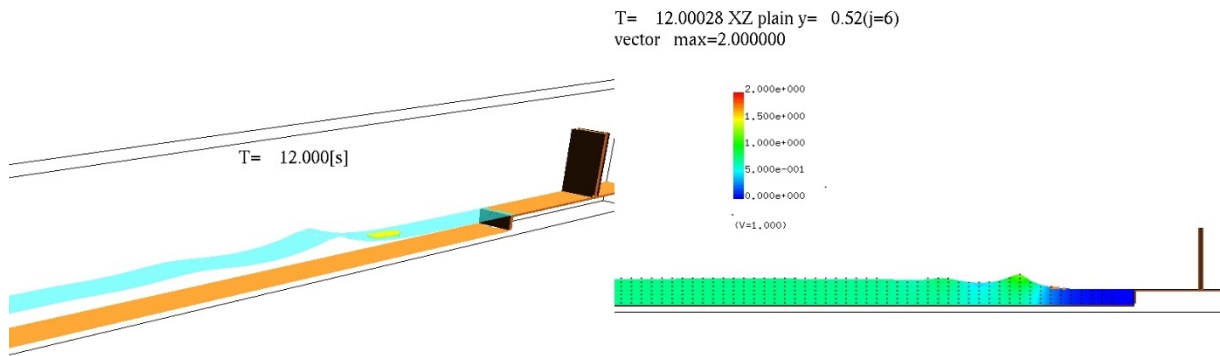
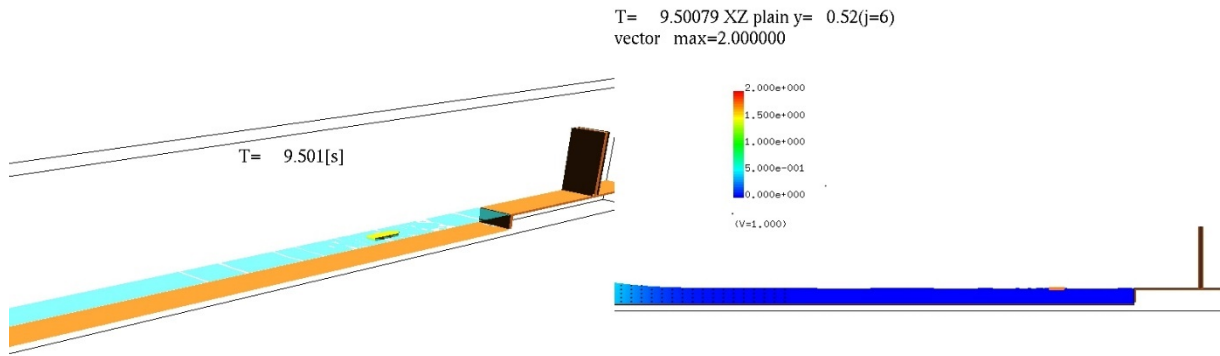
T= 12.50117 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

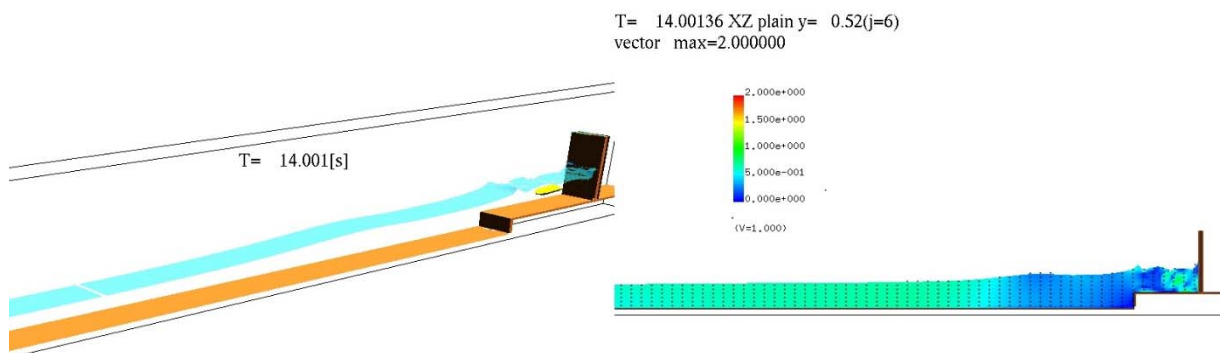
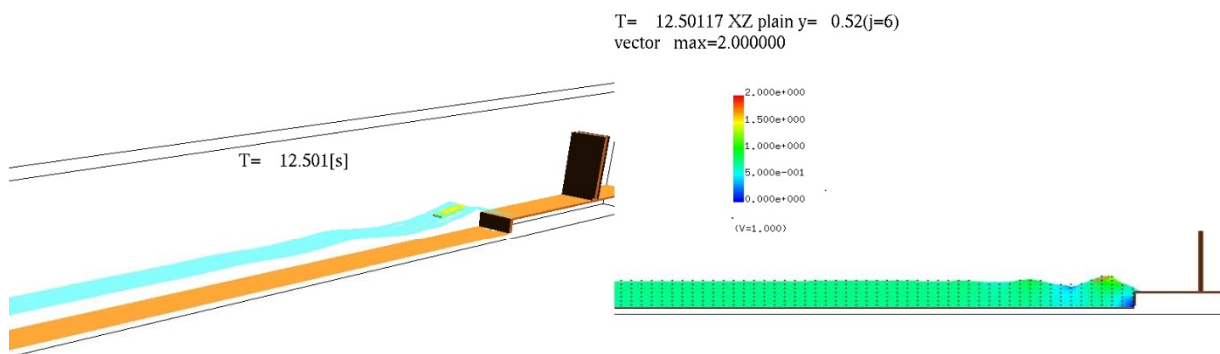
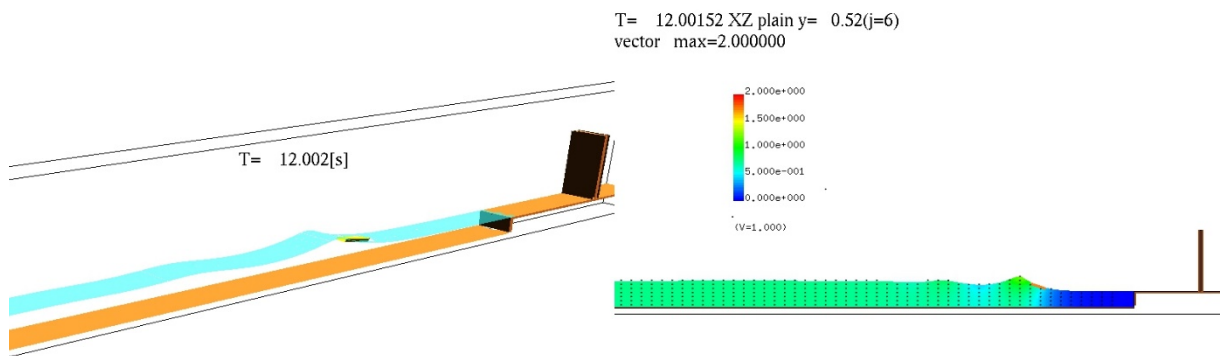
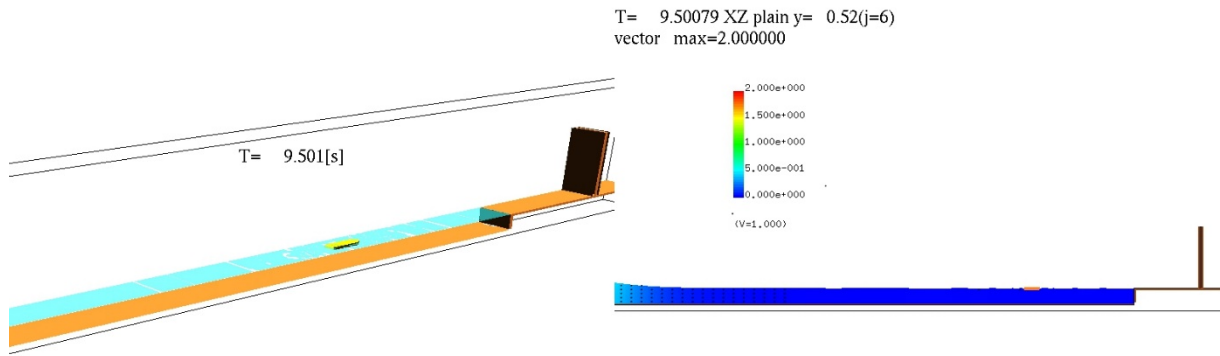
図-9.7.7 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-A-50)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

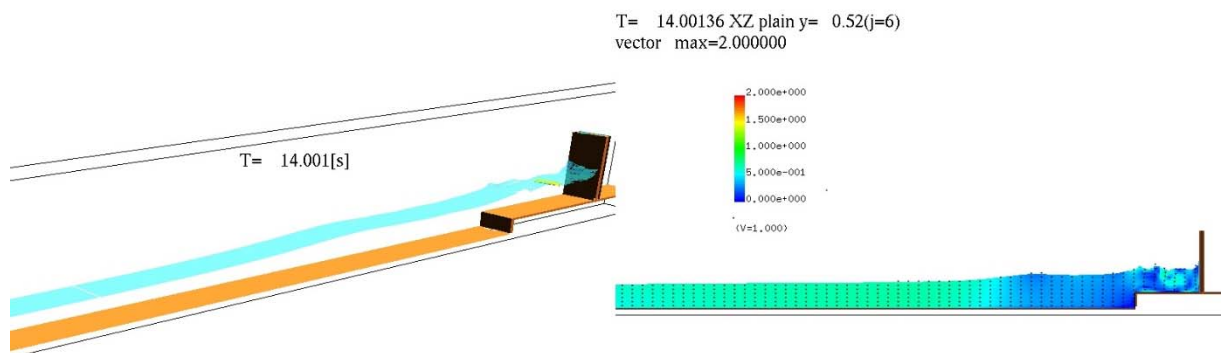
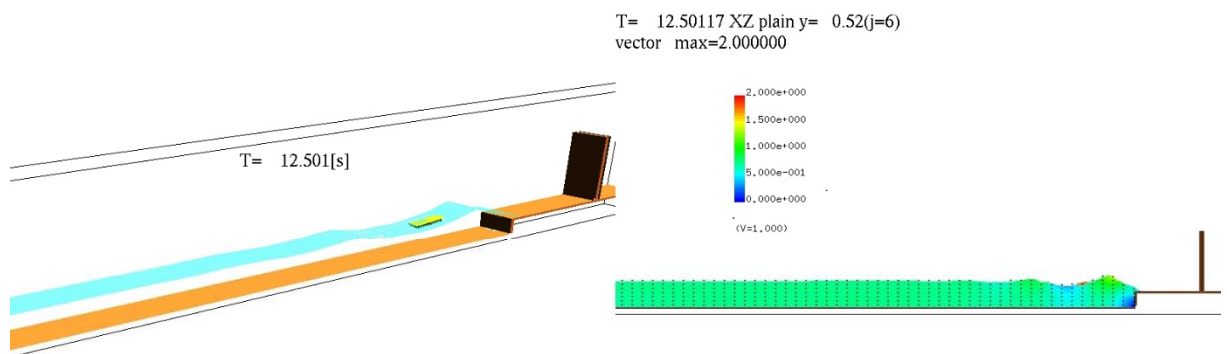
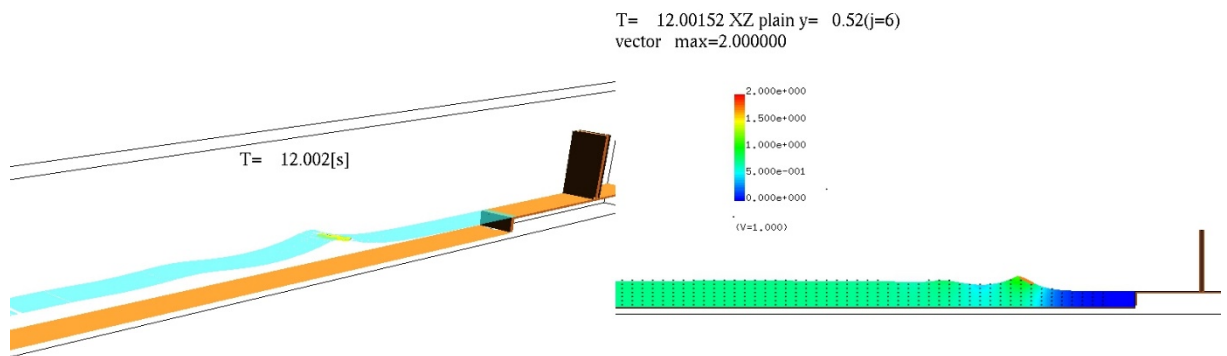
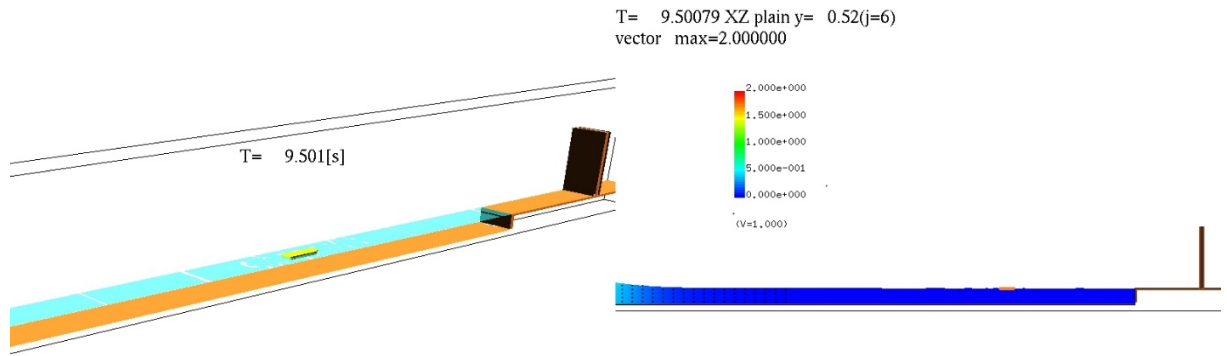
図-9.7.8 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf30-A-07)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

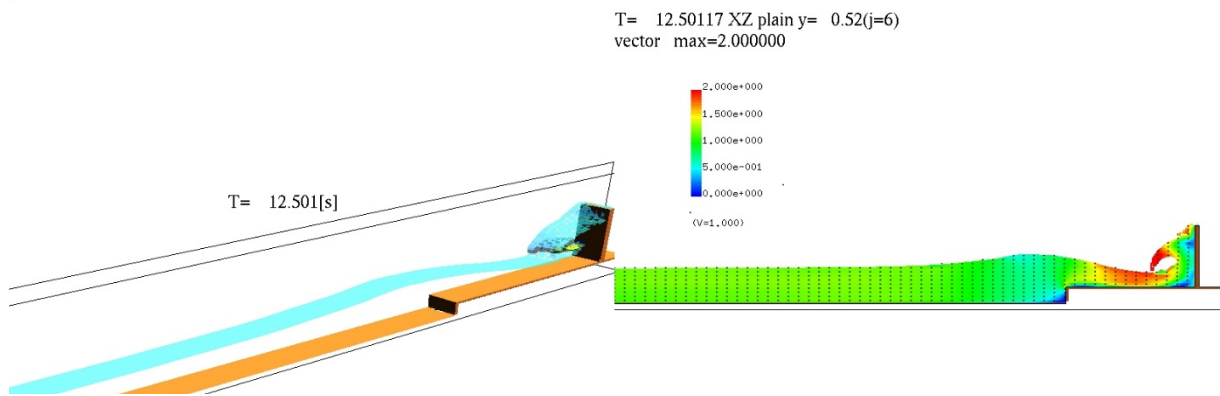
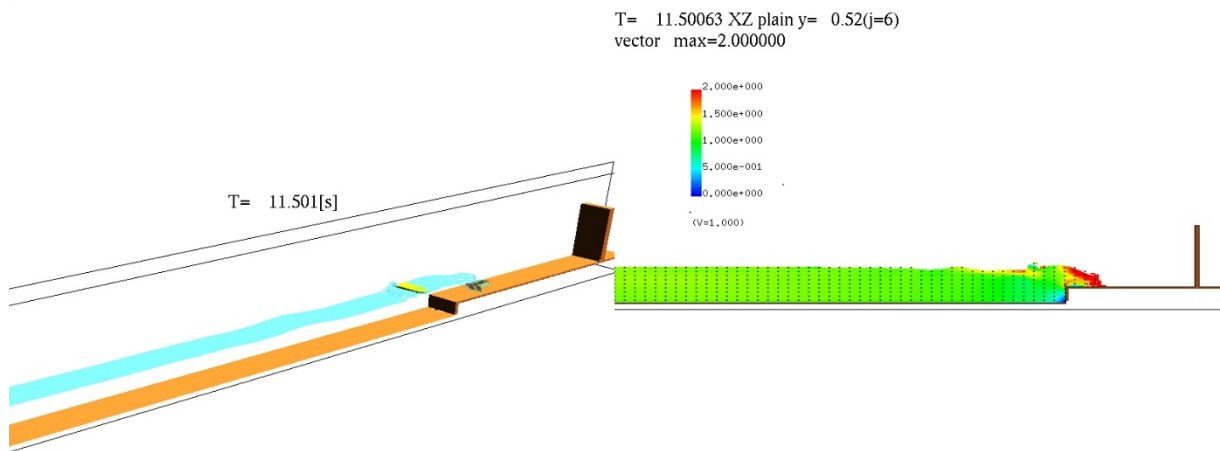
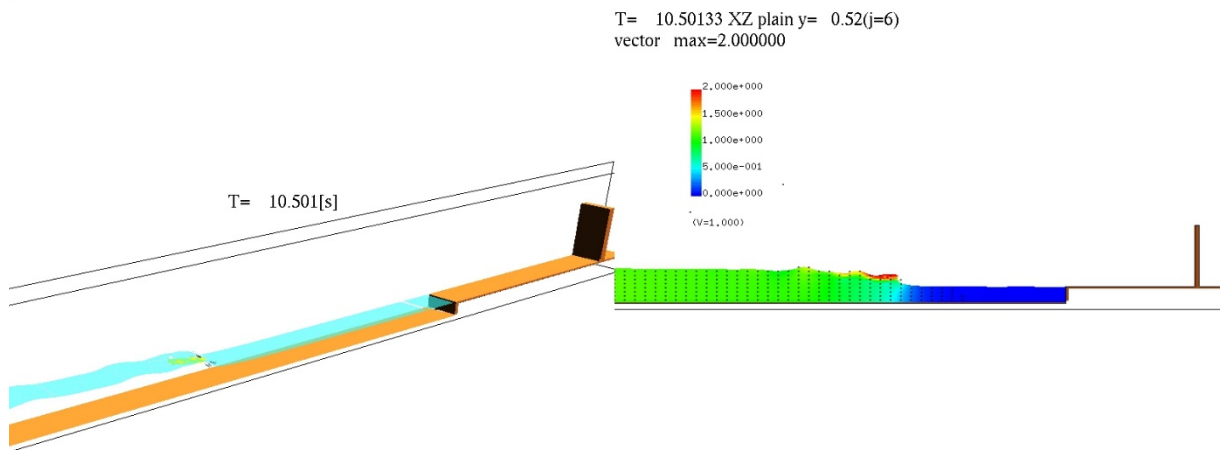
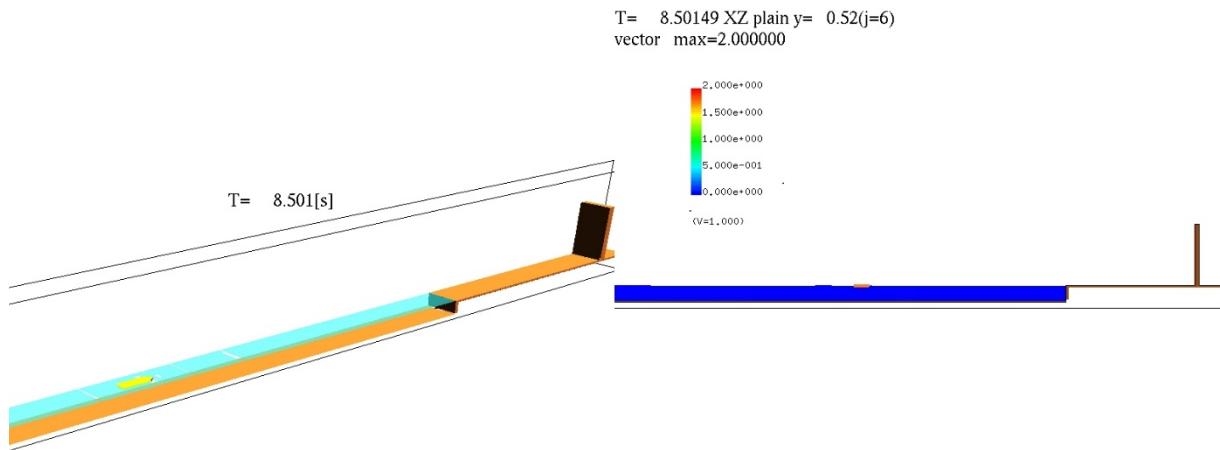
図-9.7.9 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf30-A-10)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

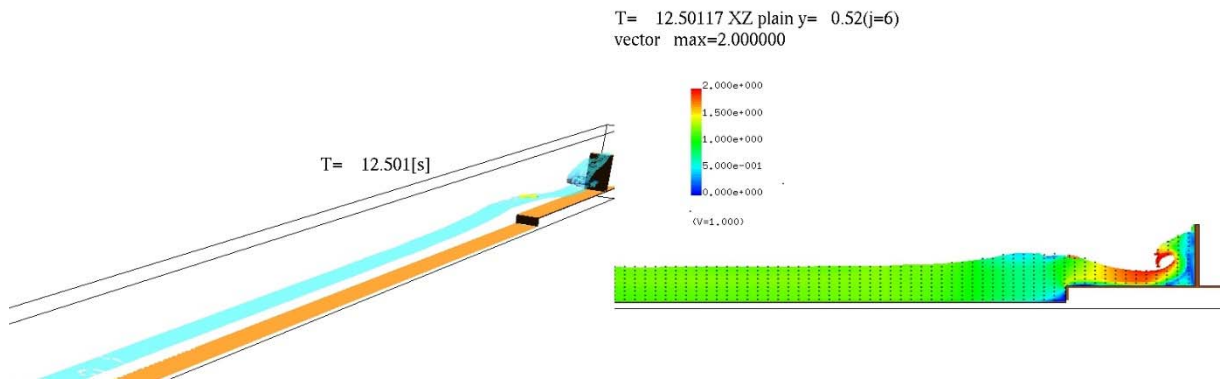
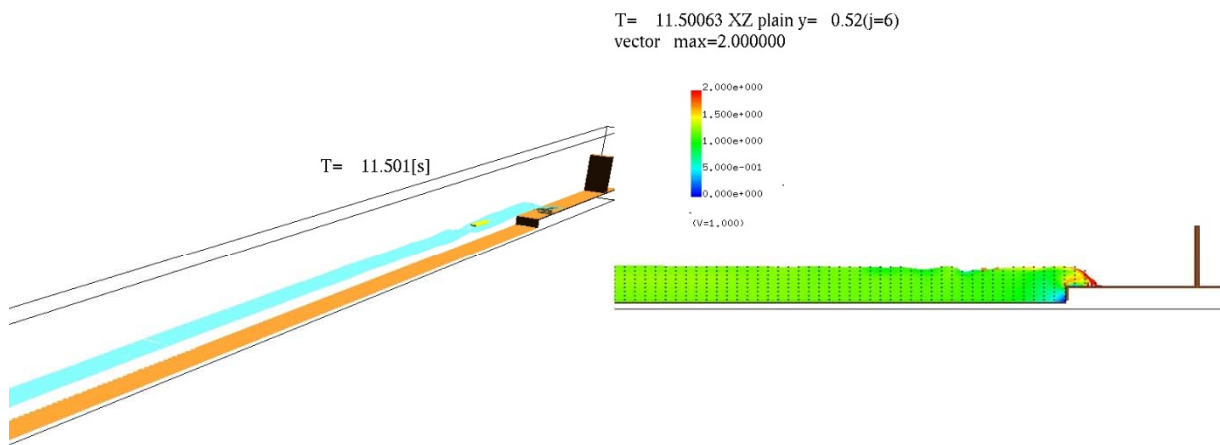
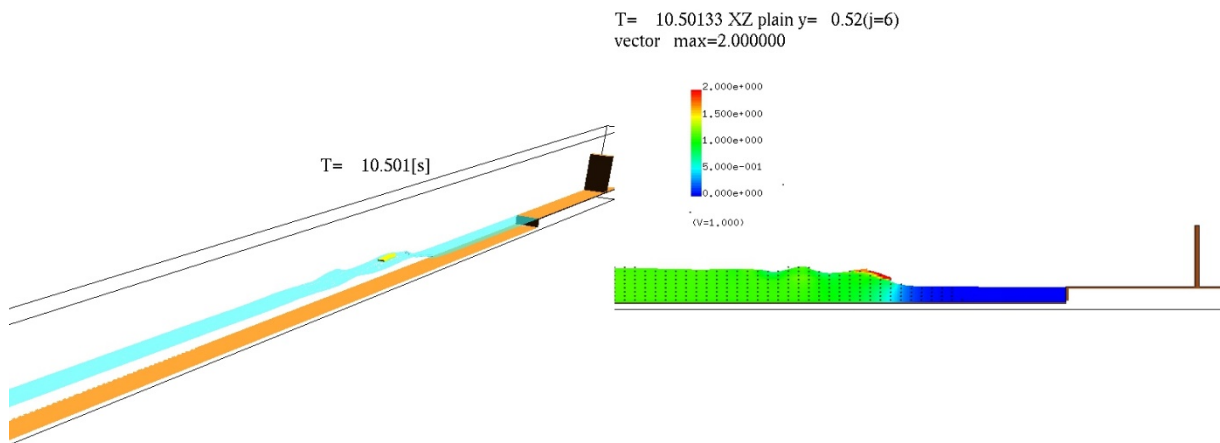
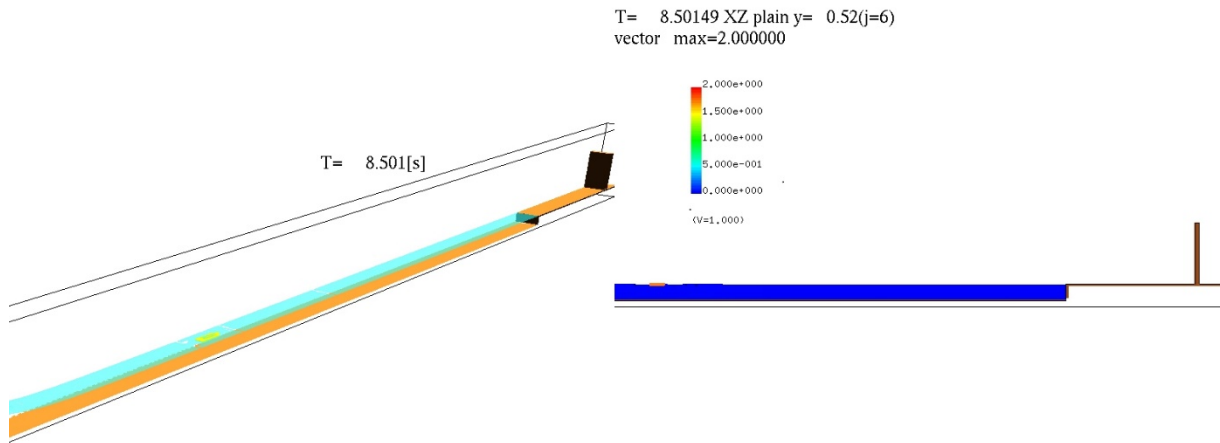
図-9.7.10 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf30-A-12)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

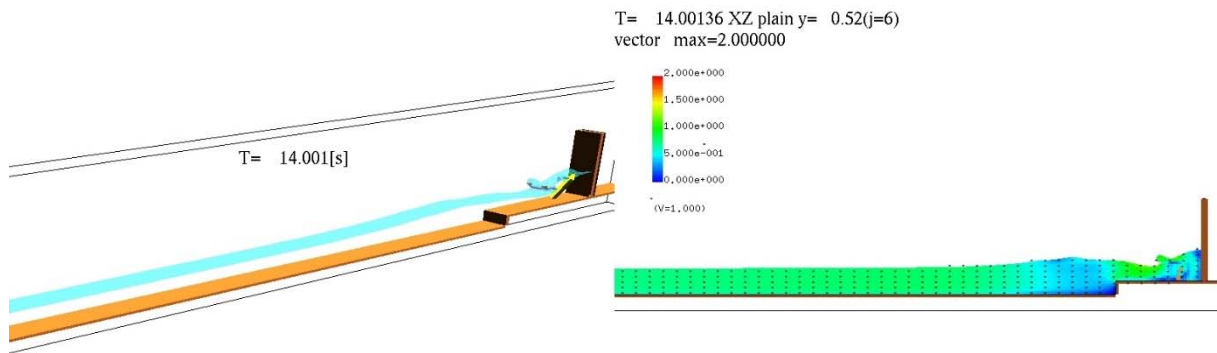
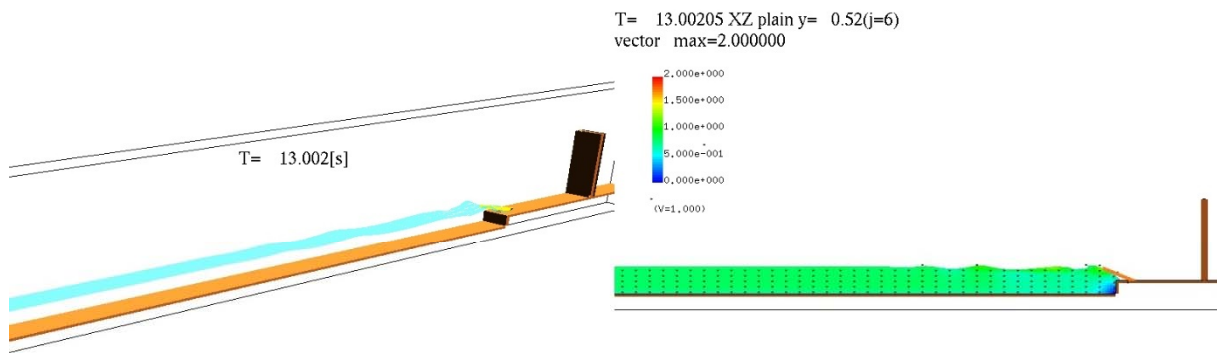
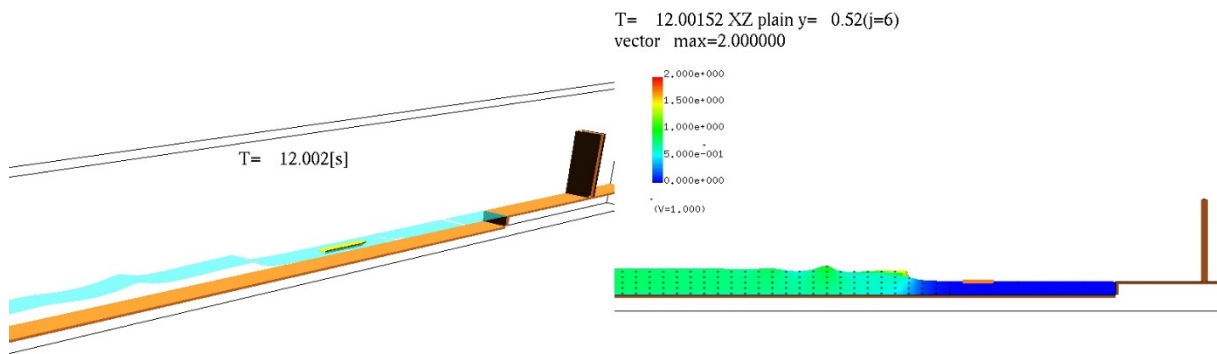
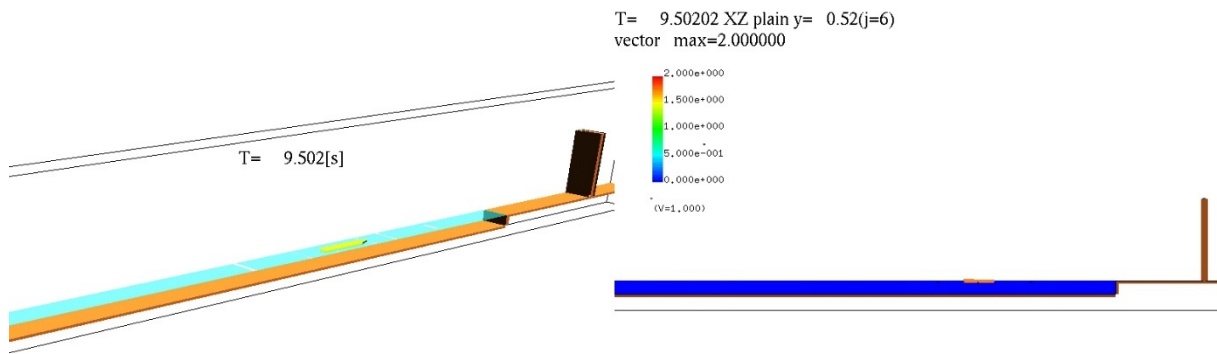
図-9.7.11 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (O-Wf20-A-20)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

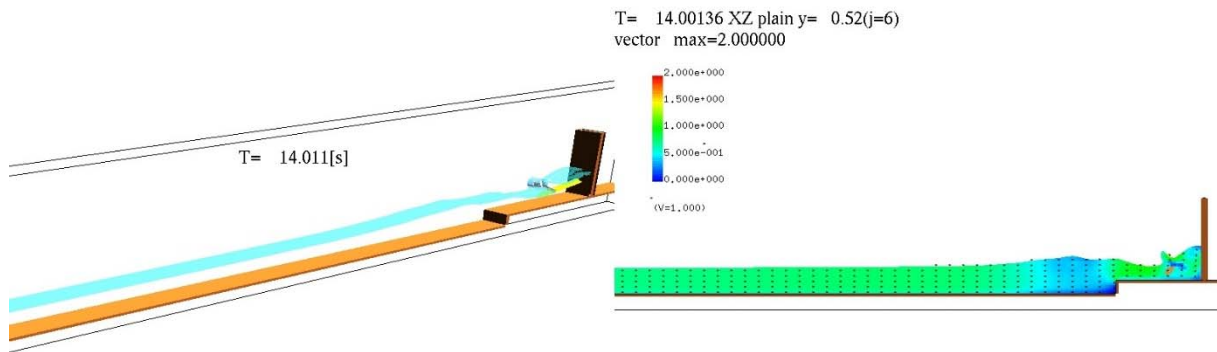
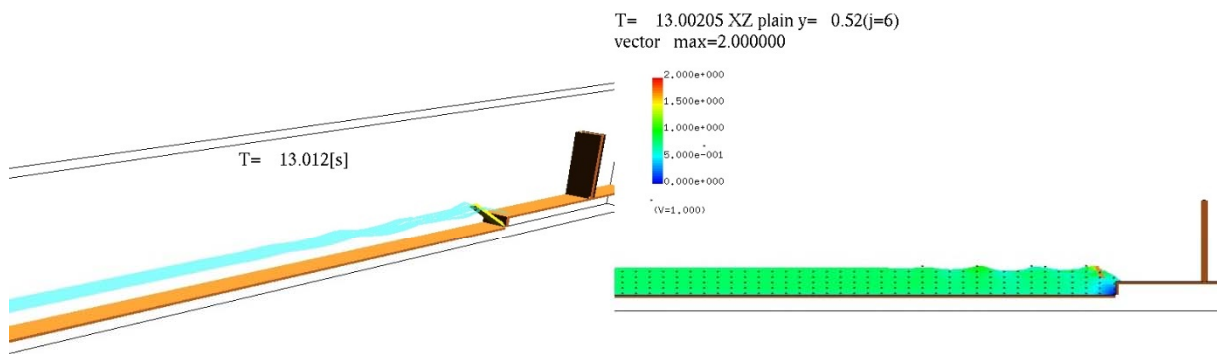
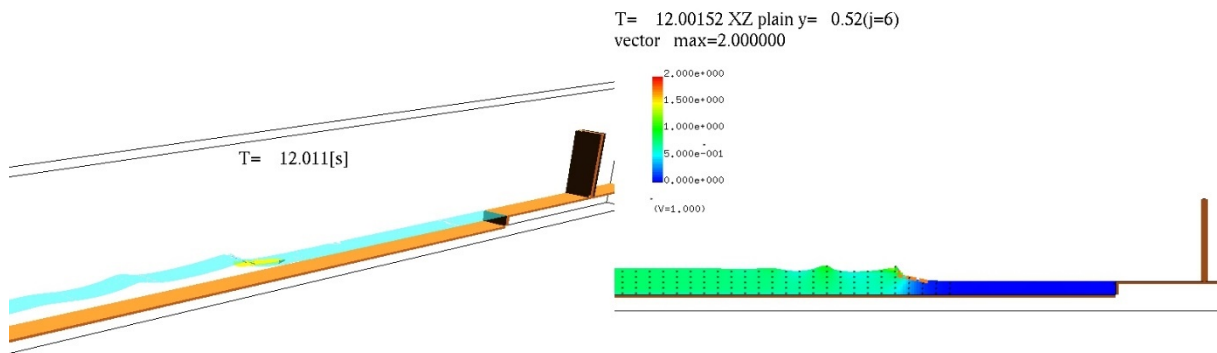
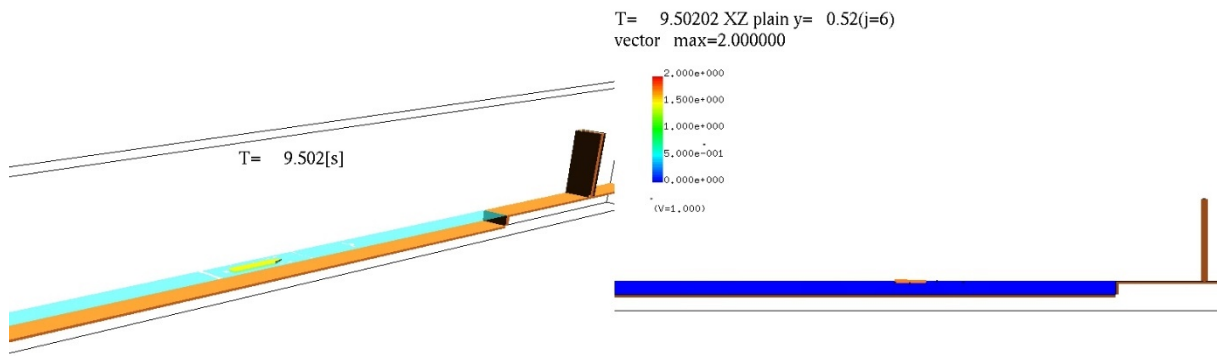
図-9.7.12 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (O-Wf20-A-40)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

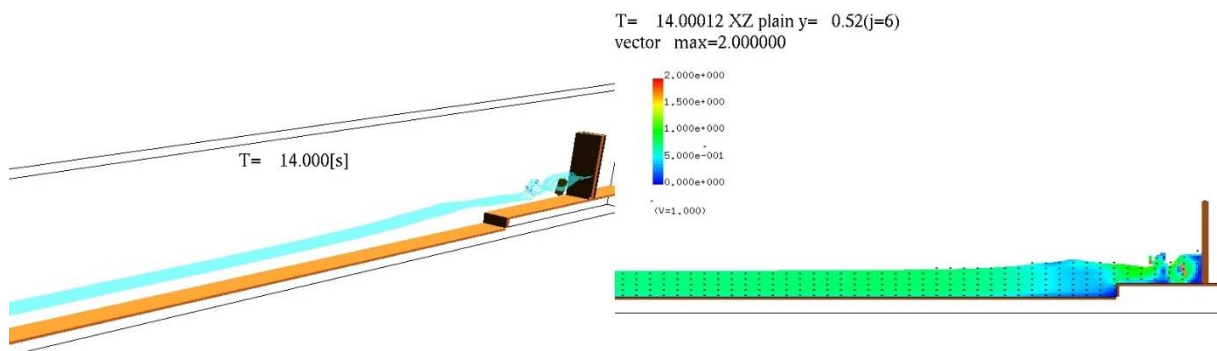
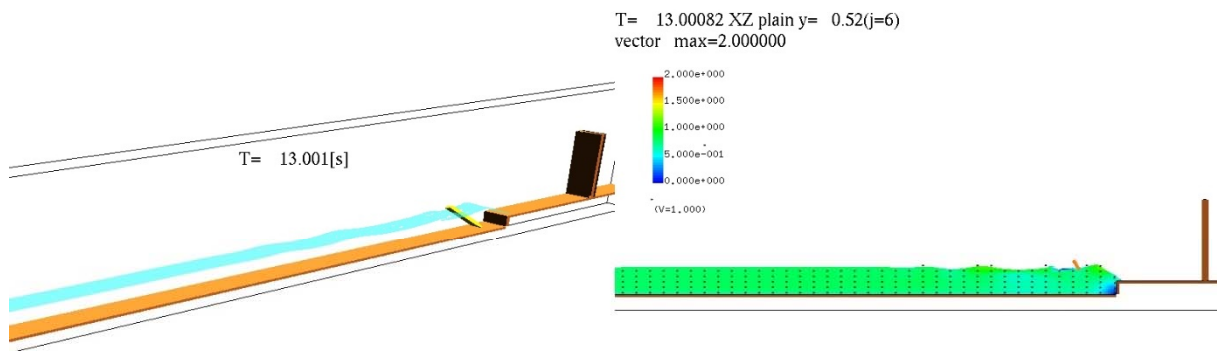
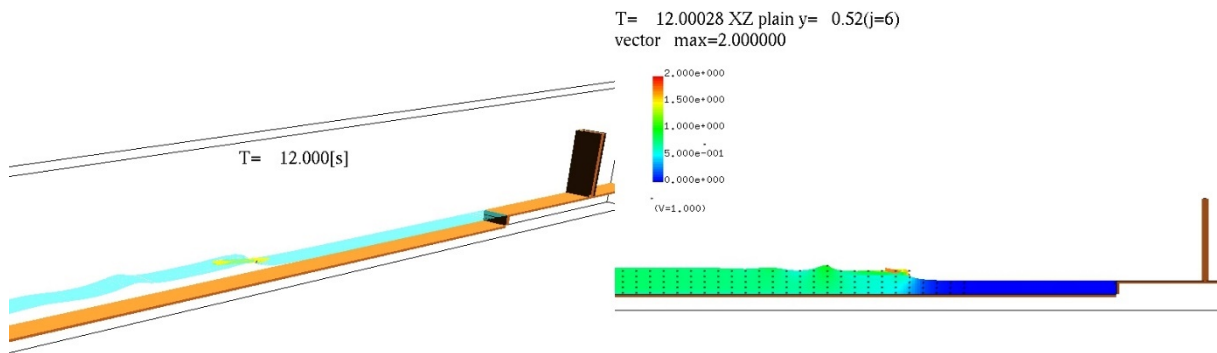
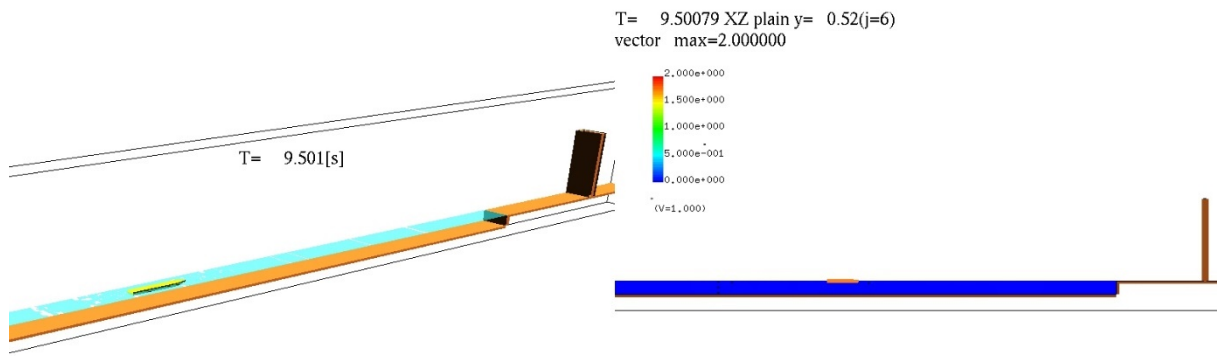
図-9.7.13 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf10-E-10)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

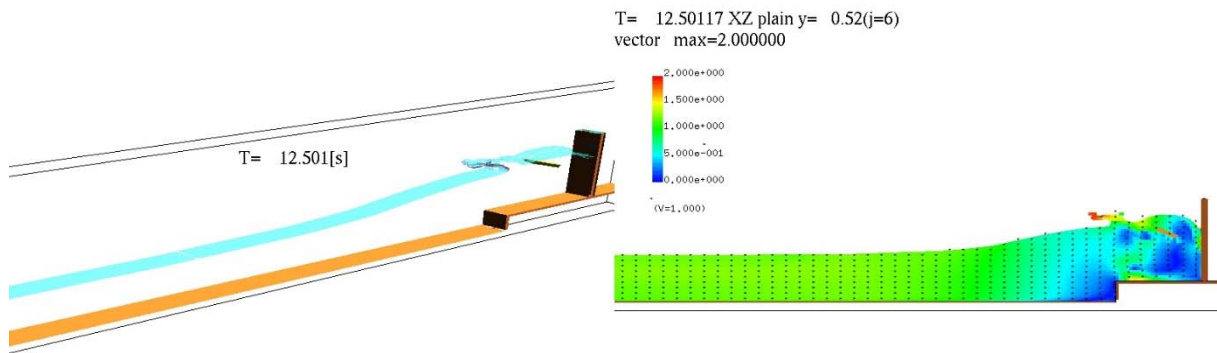
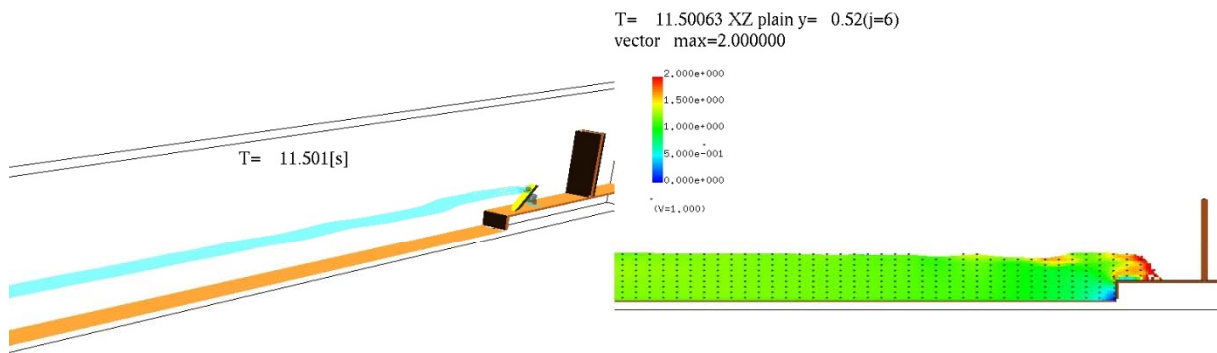
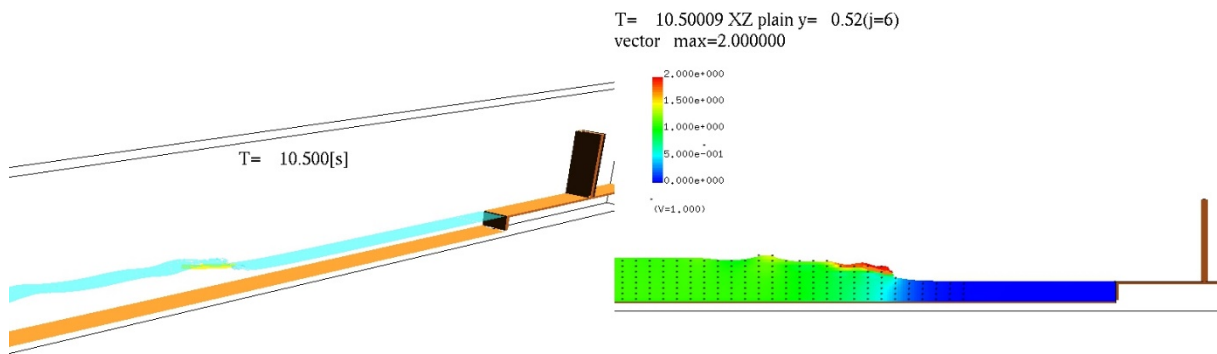
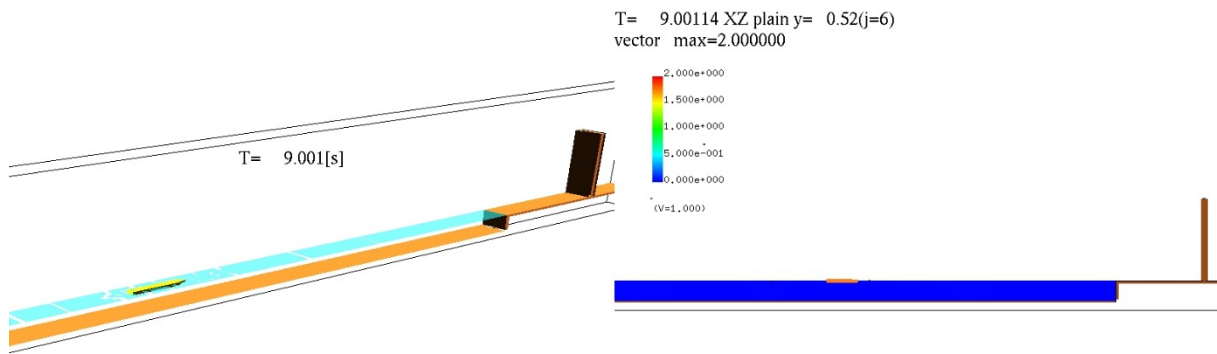
図-9.7.14 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf10-E-15)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

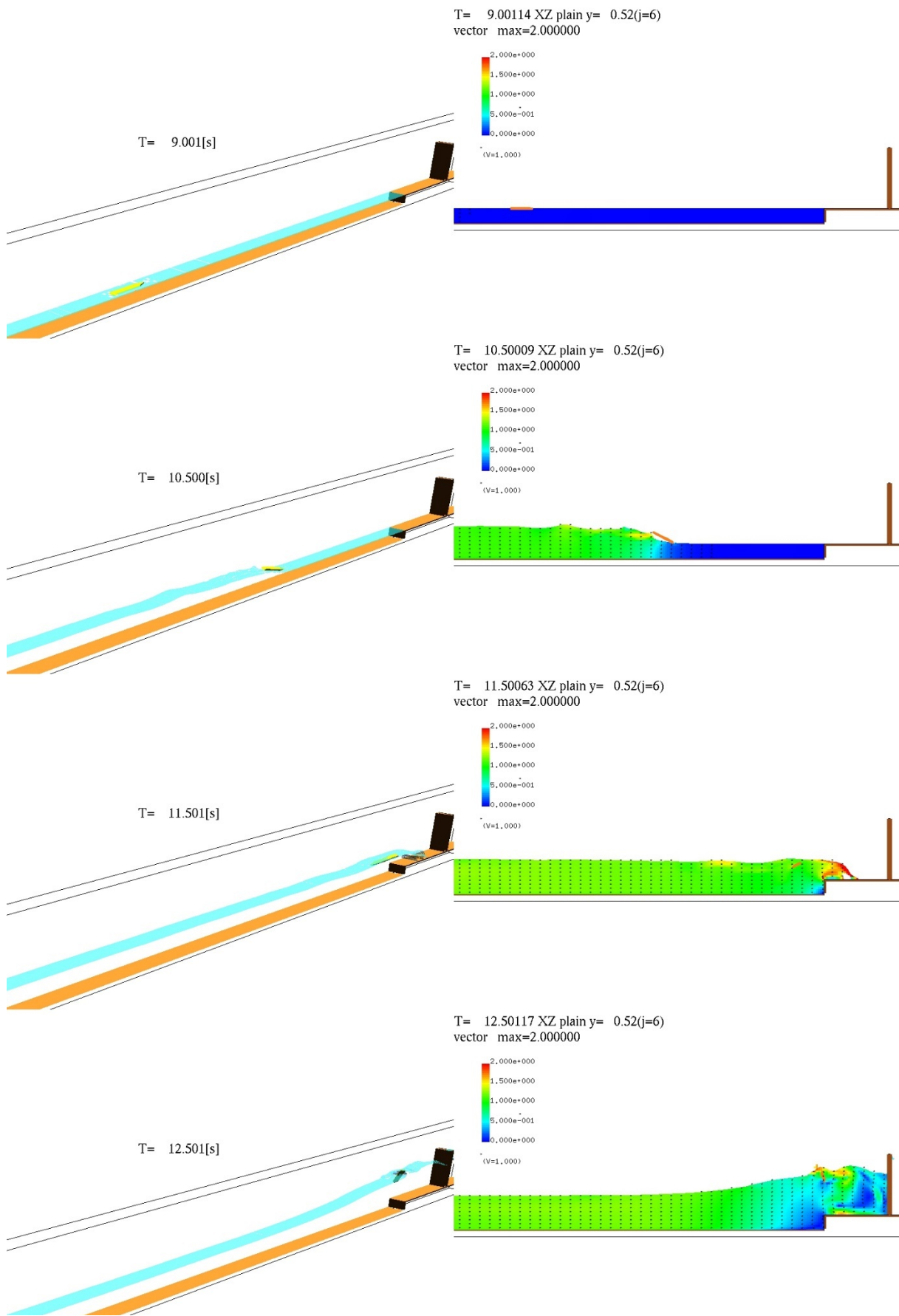
図-9.7.15 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf10-E-20)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

図-9.7.16 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-E-20)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

図-9.7.17 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-E-30)

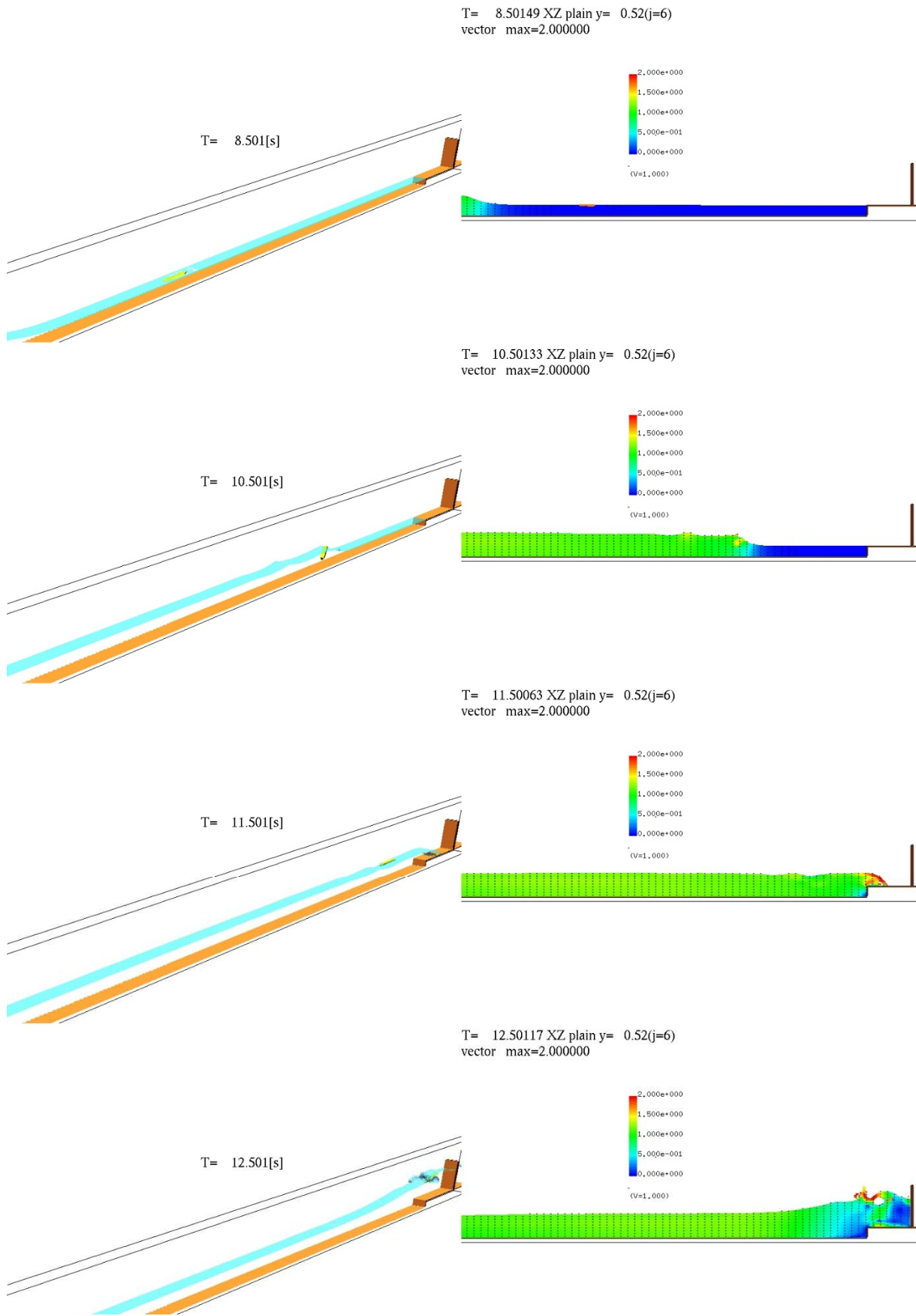
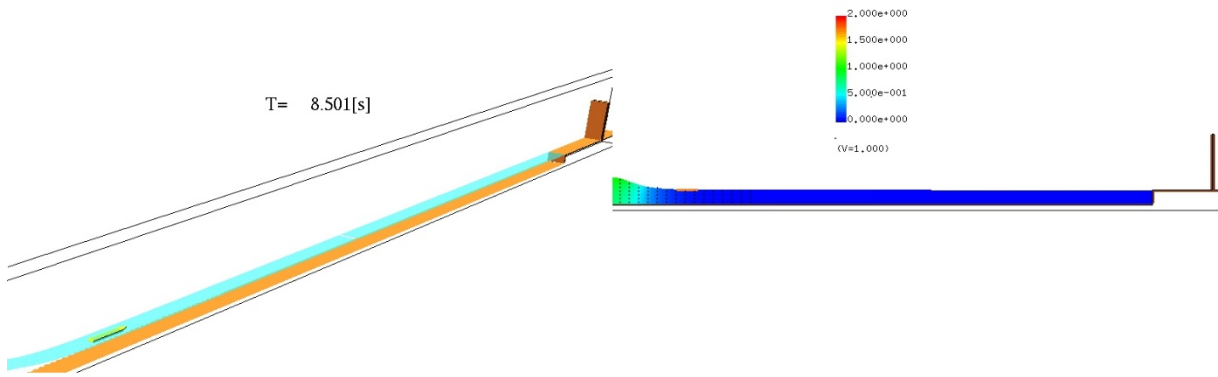
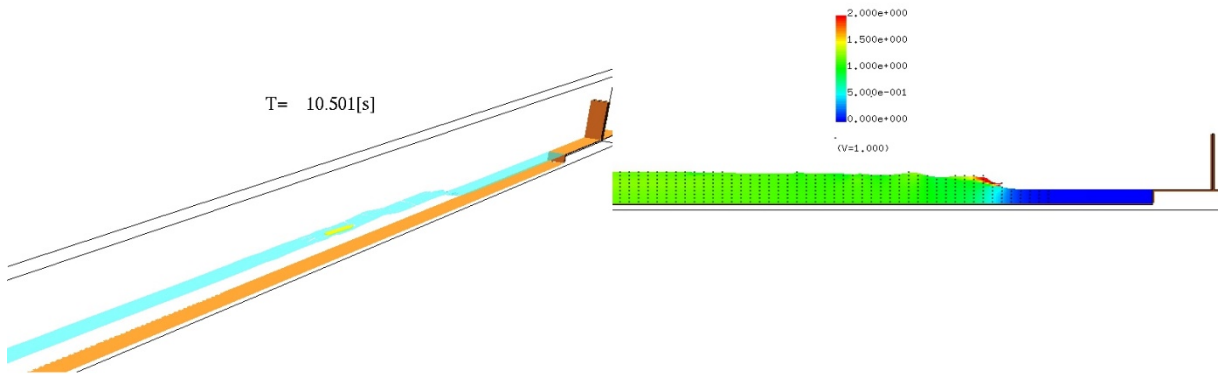


図-9.7.18 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-E-40)

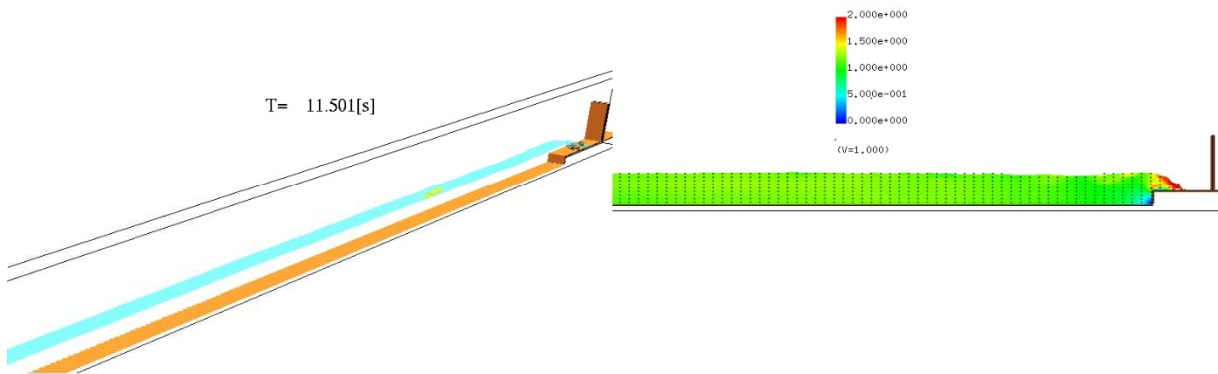
T= 8.50149 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



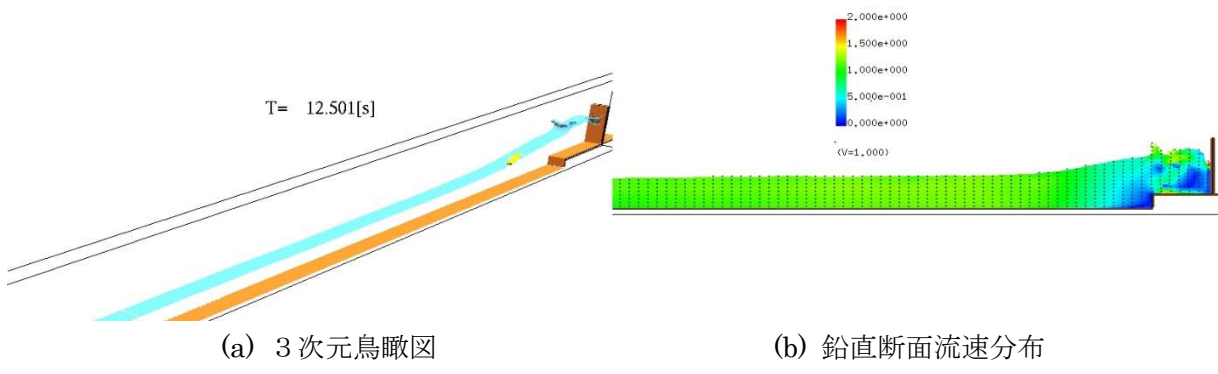
T= 10.50133 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



T= 11.50063 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



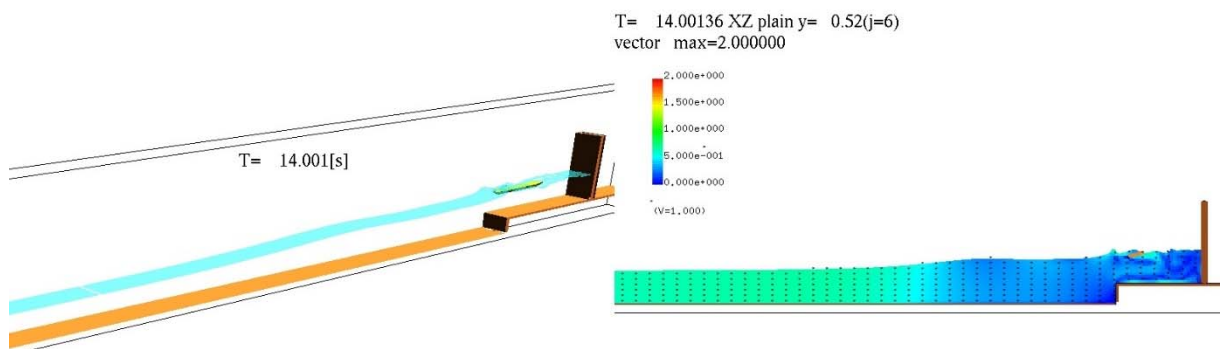
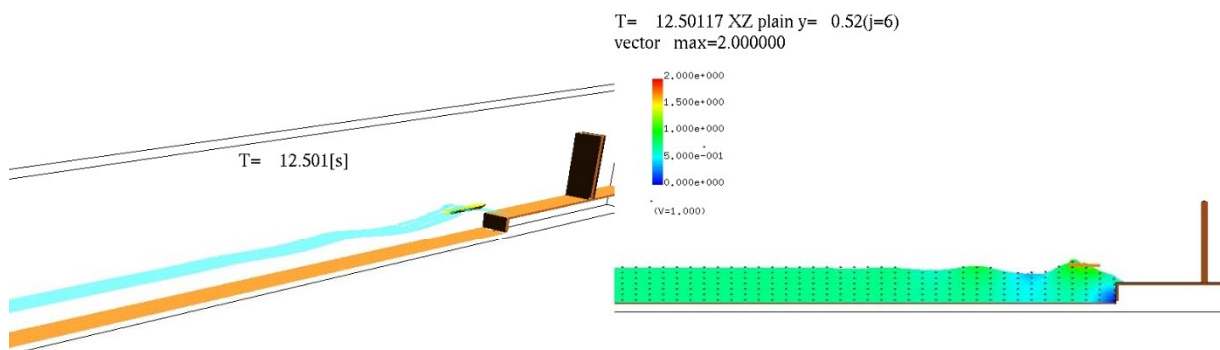
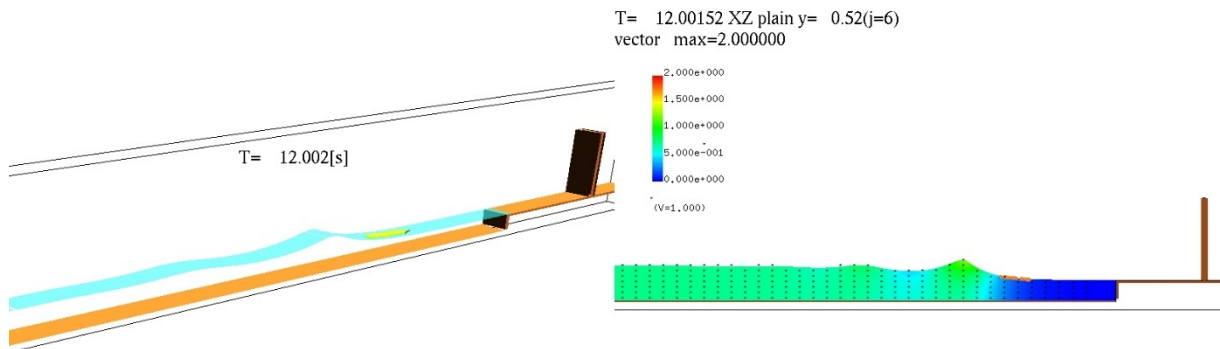
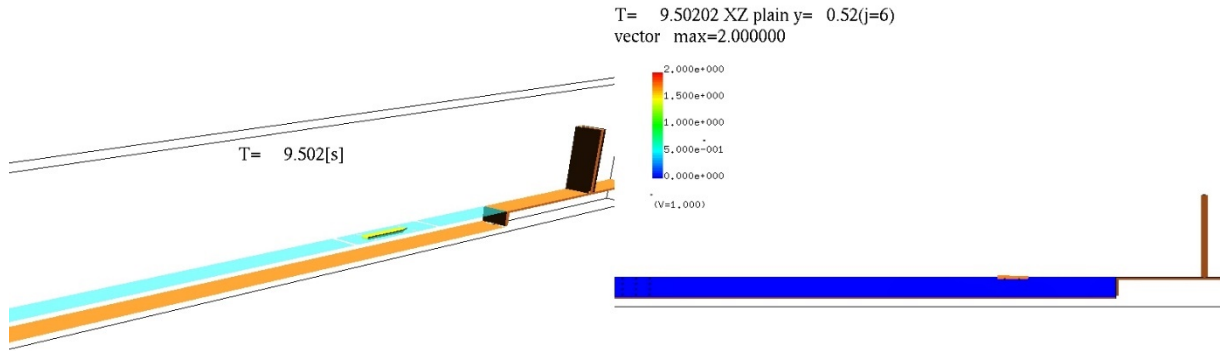
T= 12.50117 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

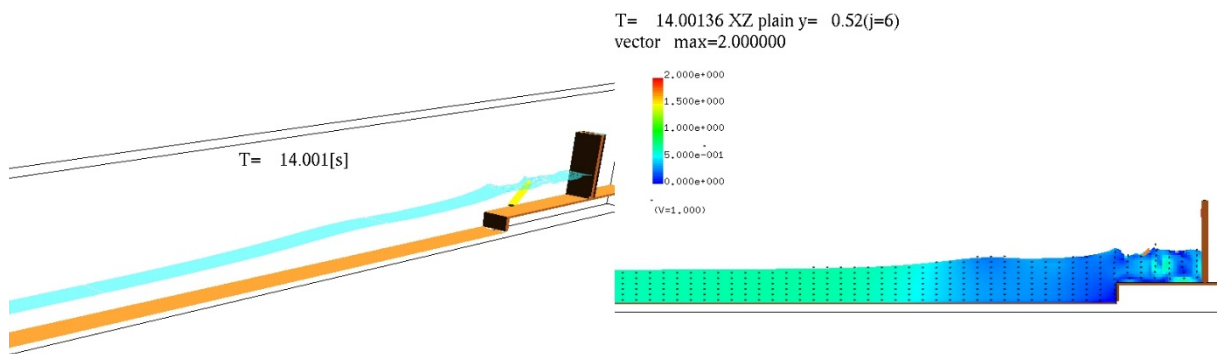
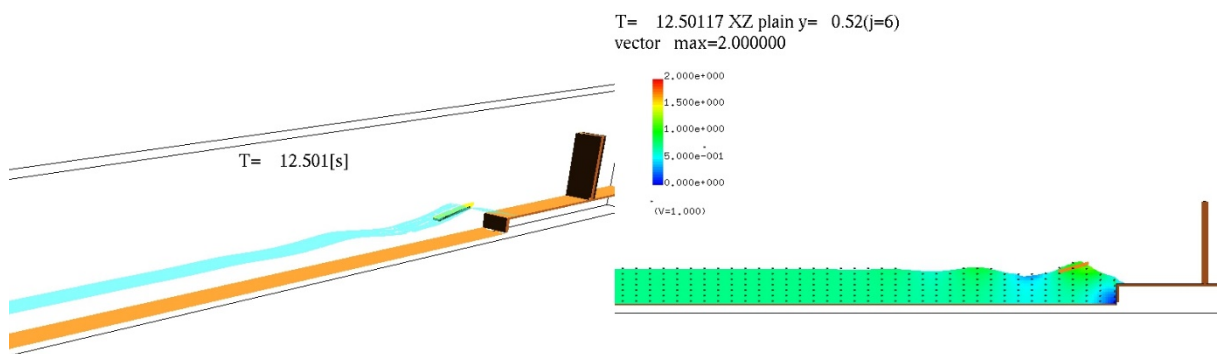
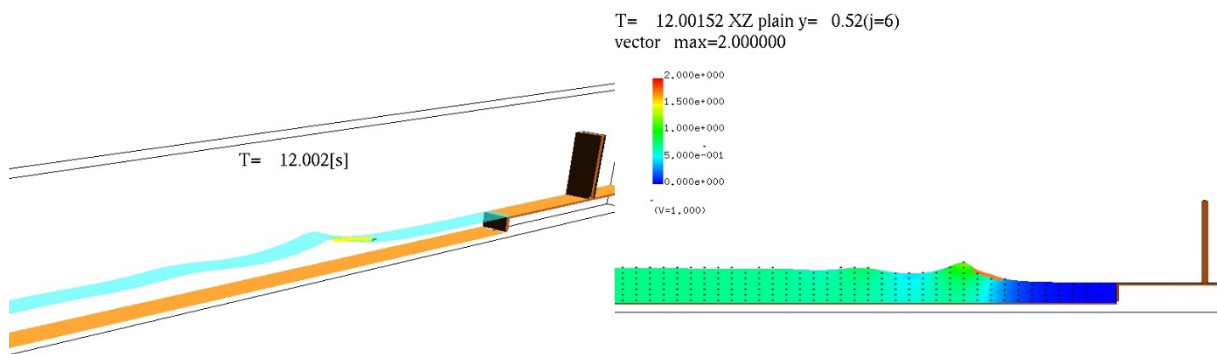
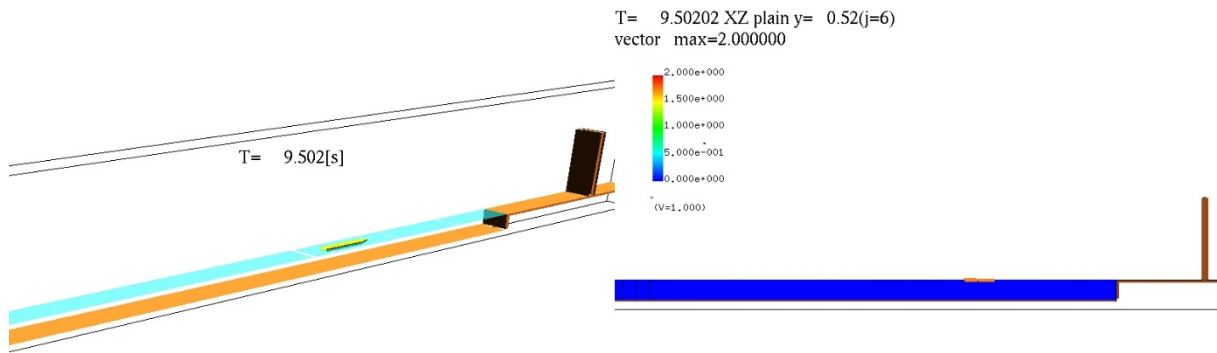
図-9.7.19 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-E-50)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

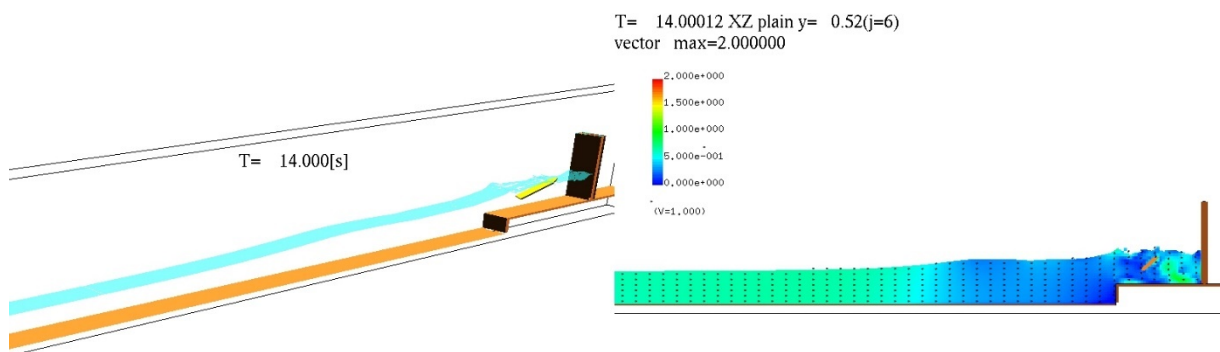
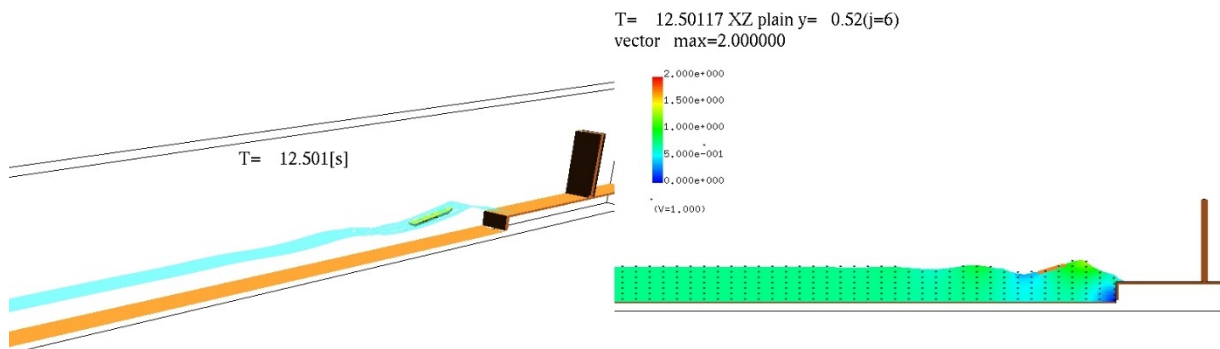
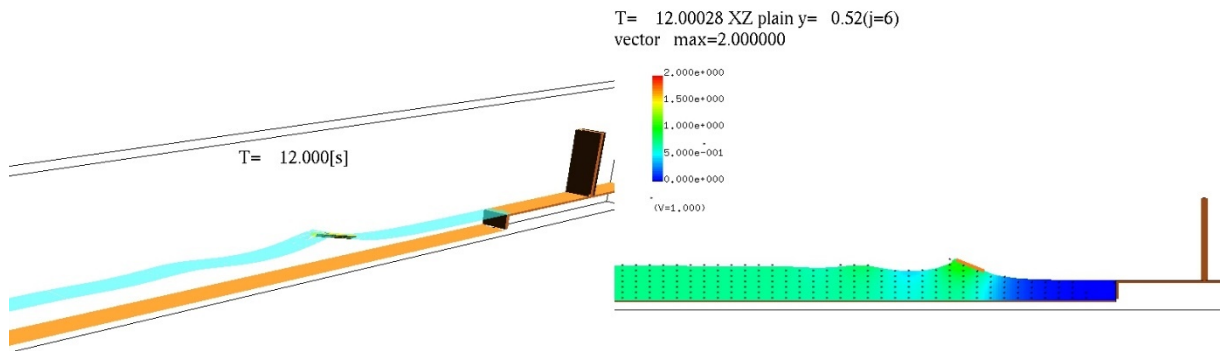
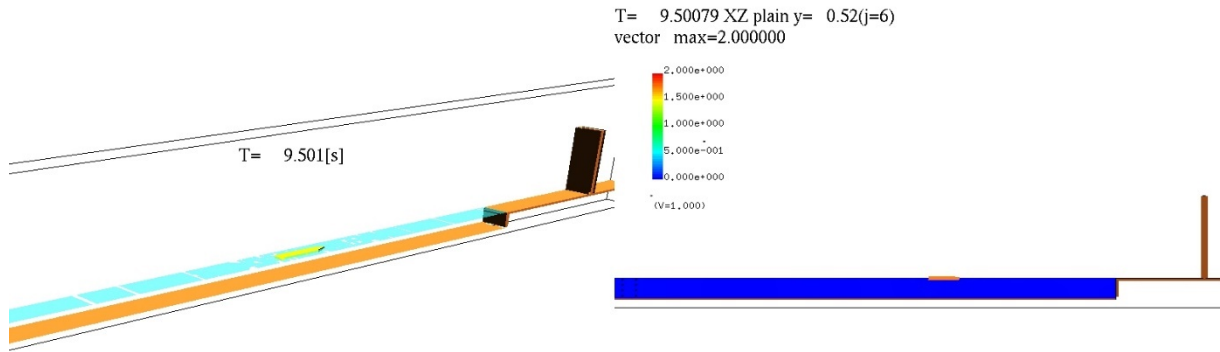
図-9.7.20 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf30-E-07)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

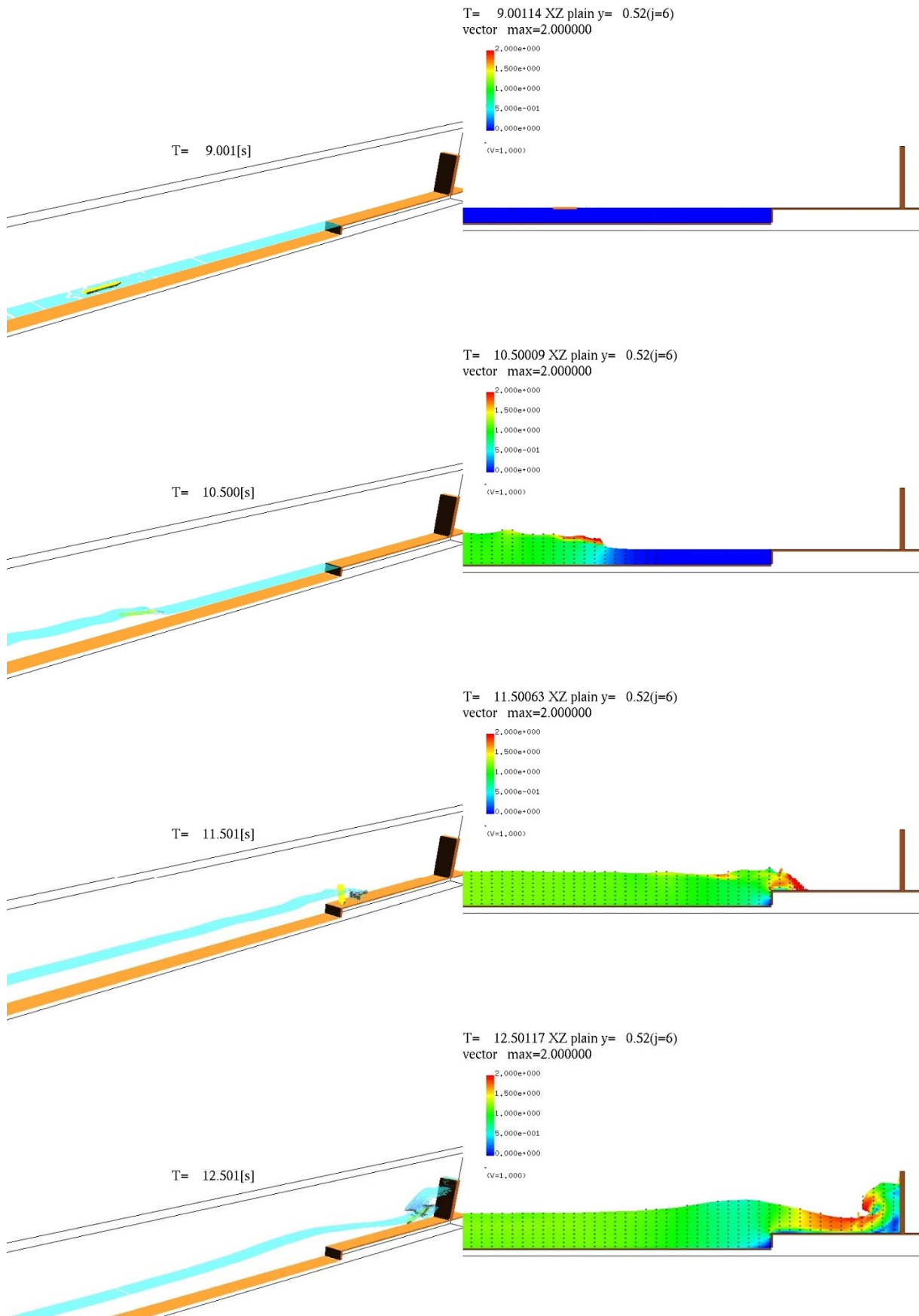
図-9.7.21 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf30-E-10)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

図-9.7.22 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf30-E-12)

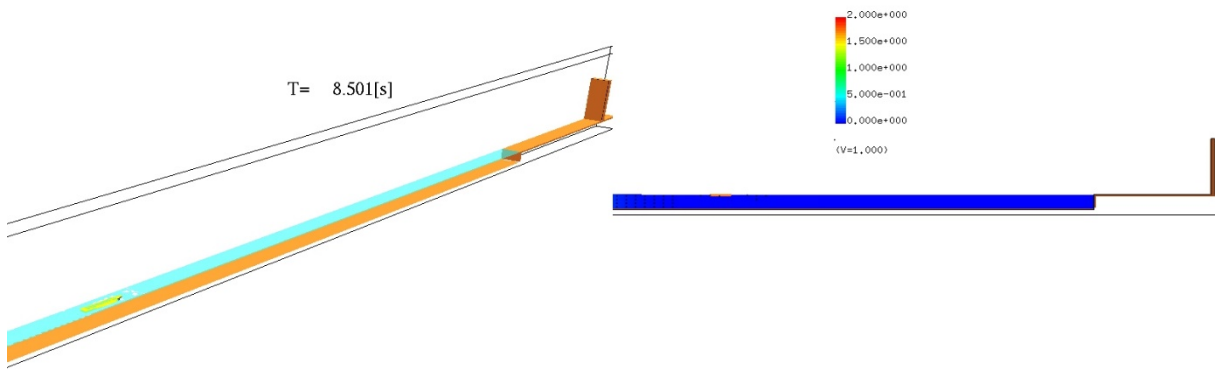


(a) 3次元鳥瞰図

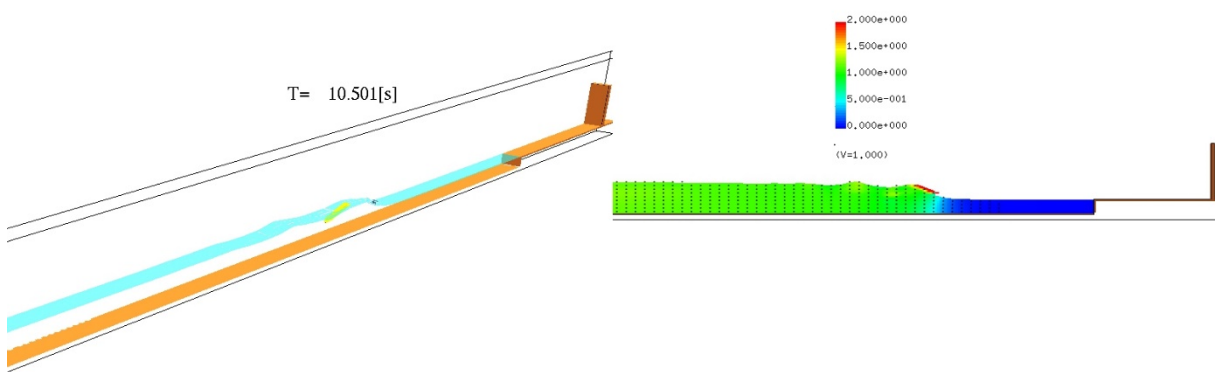
(b) 鉛直断面流速分布

図-9.7.23 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (O-Wf20-E-20)

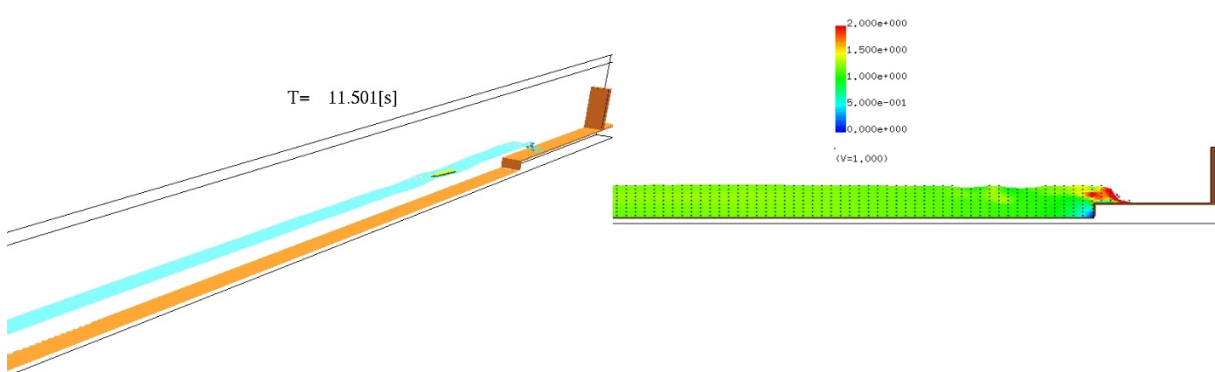
T= 8.50149 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



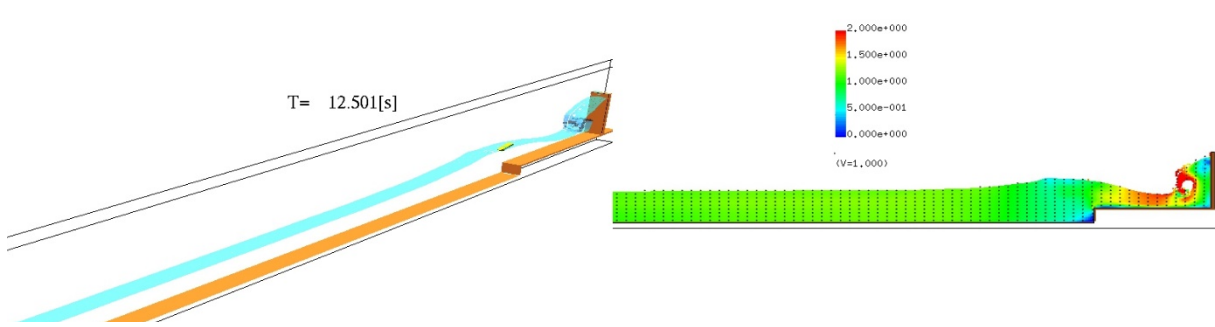
T= 10.50133 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



T= 11.50063 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



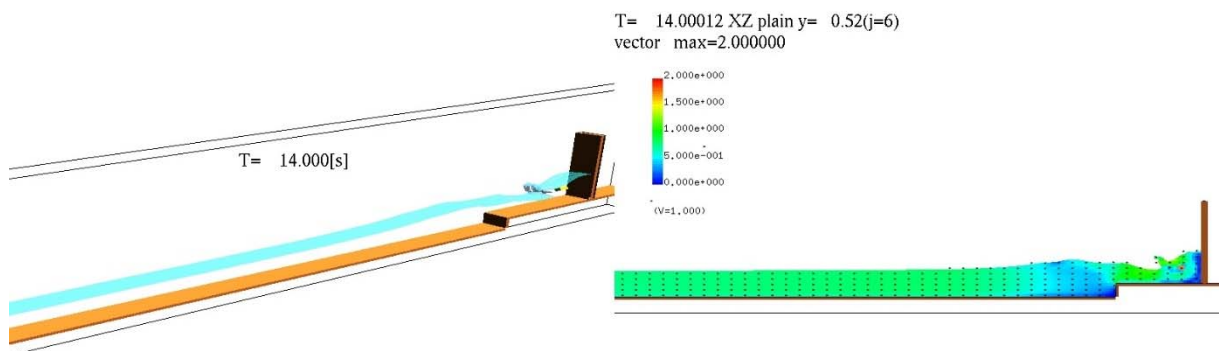
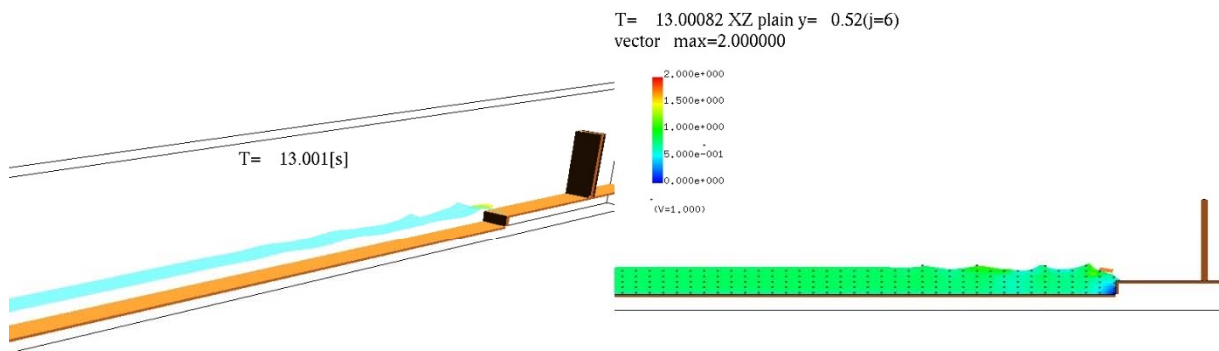
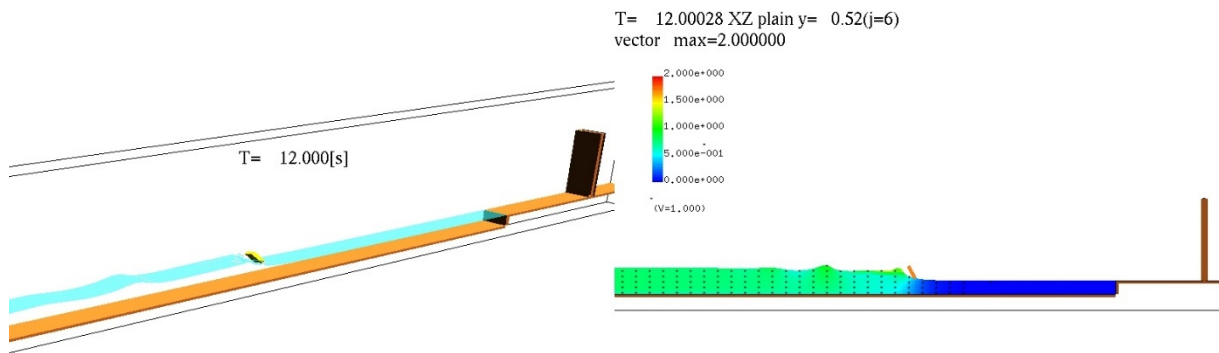
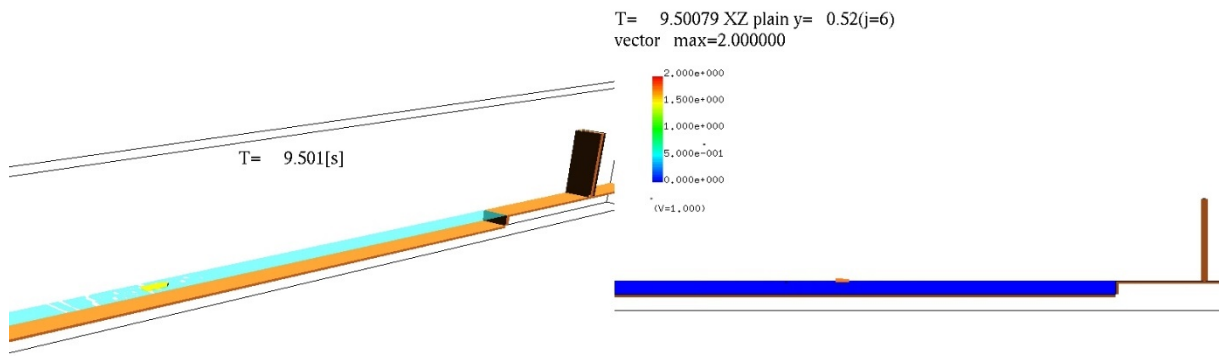
T= 12.50117 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

図-9.7.24 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (O-Wf20-E-40)

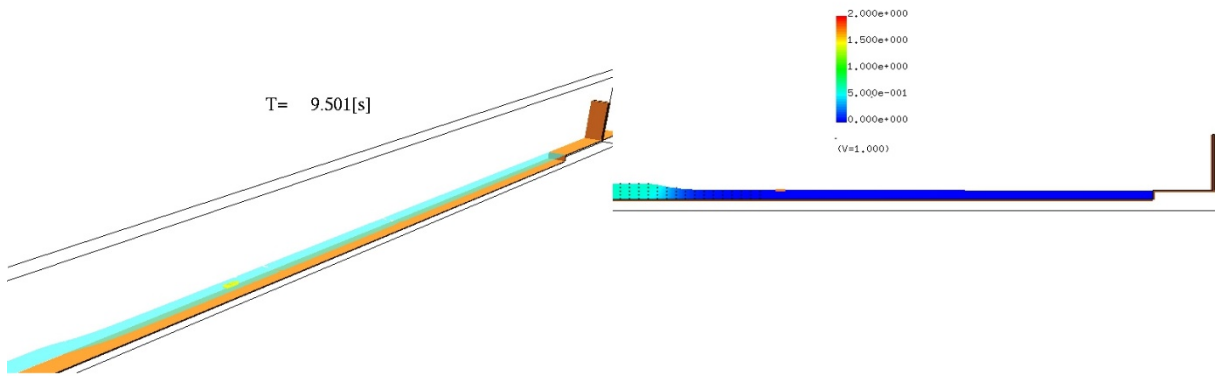


(a) 3次元鳥瞰図

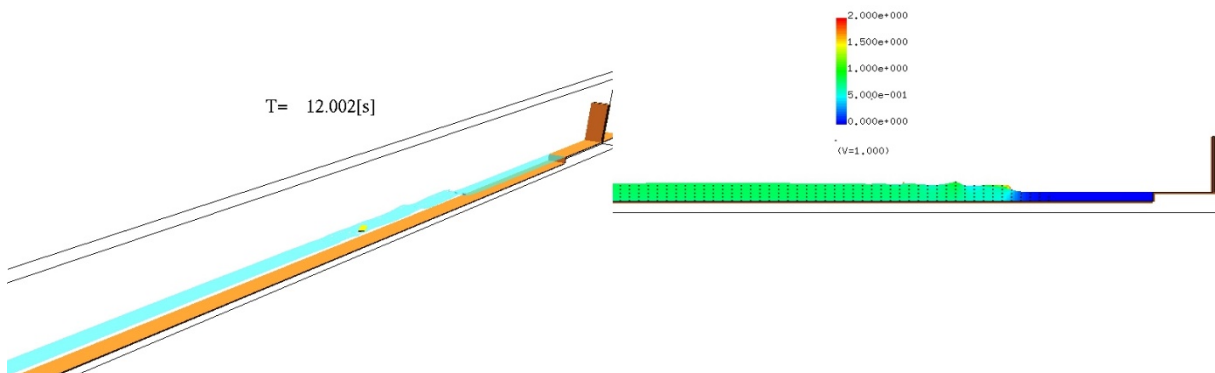
(b) 鉛直断面流速分布

図-9.7.25 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf10-F-20)

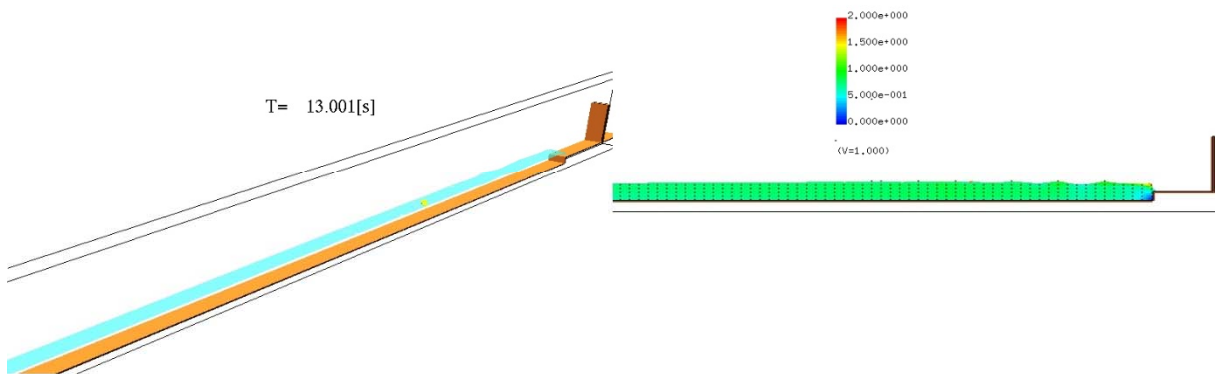
T= 9.50079 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



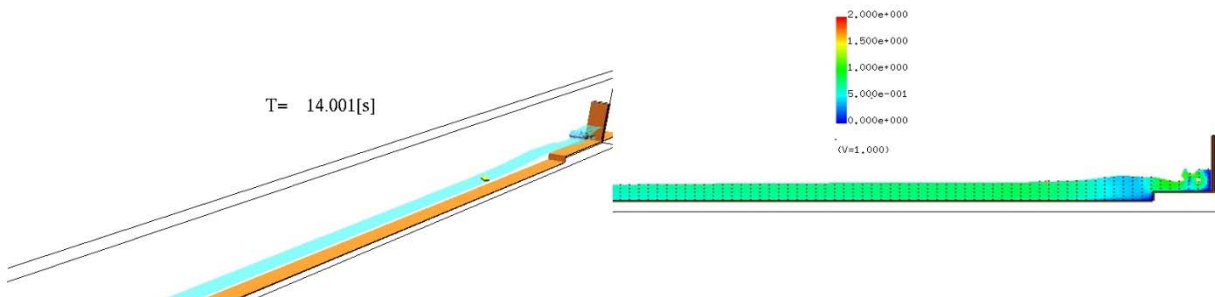
T= 12.00152 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



T= 13.00082 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



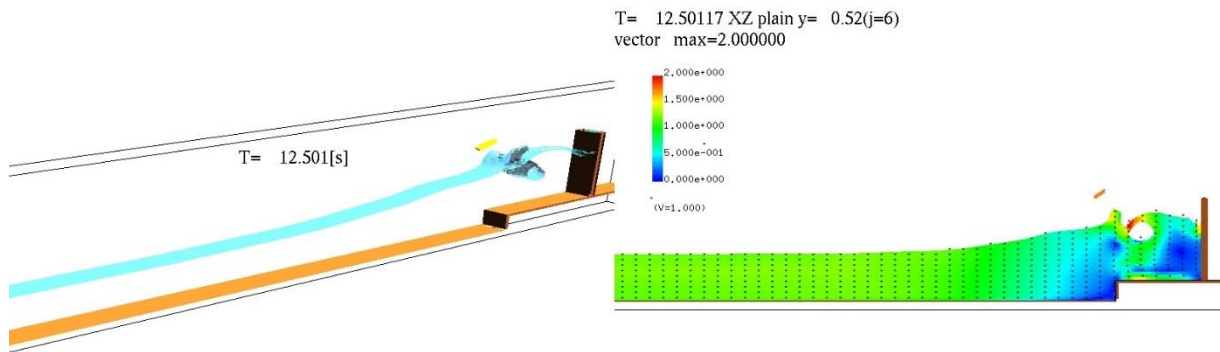
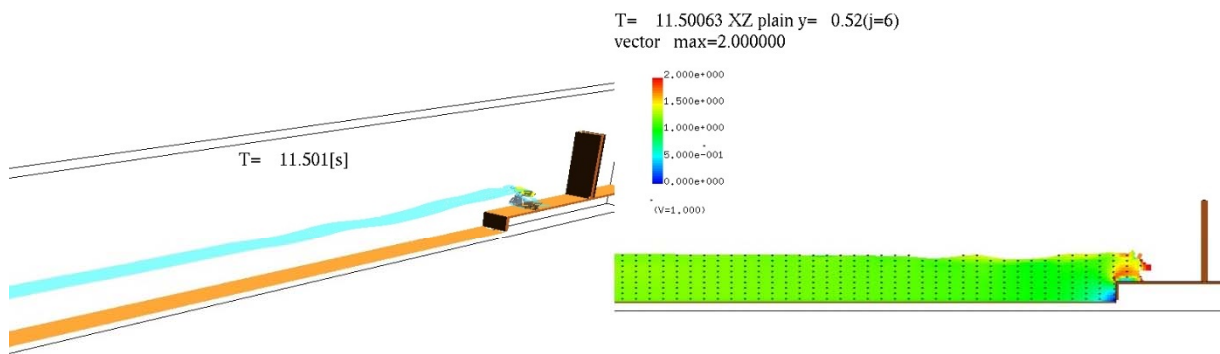
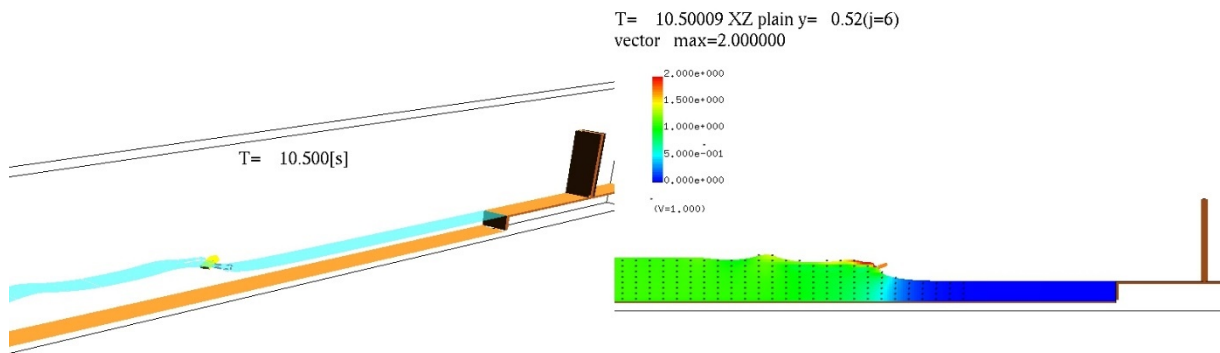
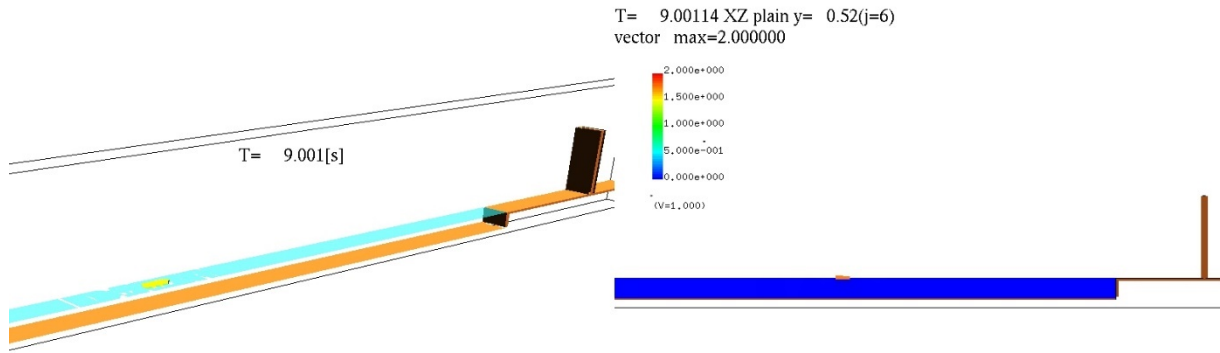
T= 14.00136 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

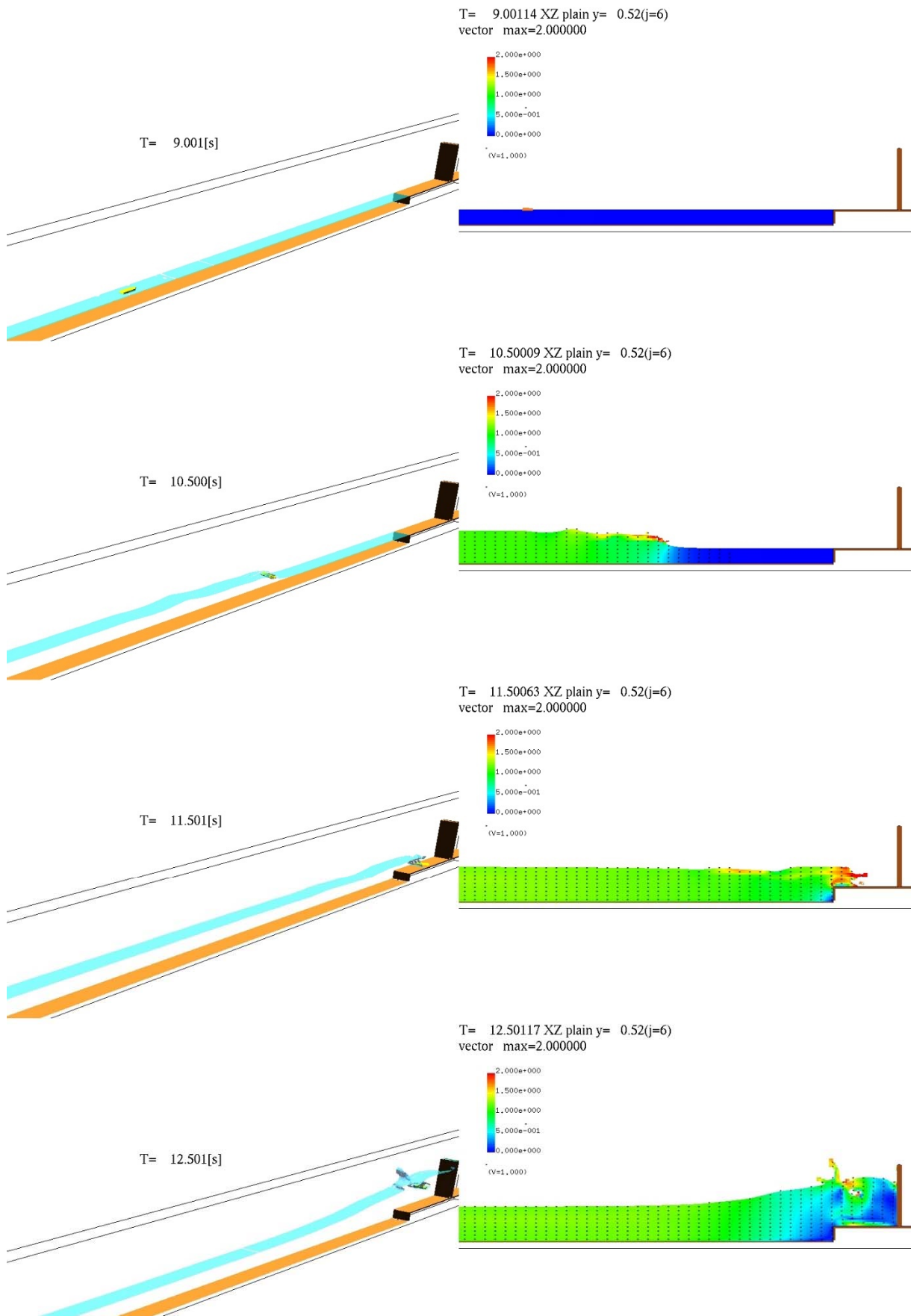
図-9.7.26 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf10-F-40)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

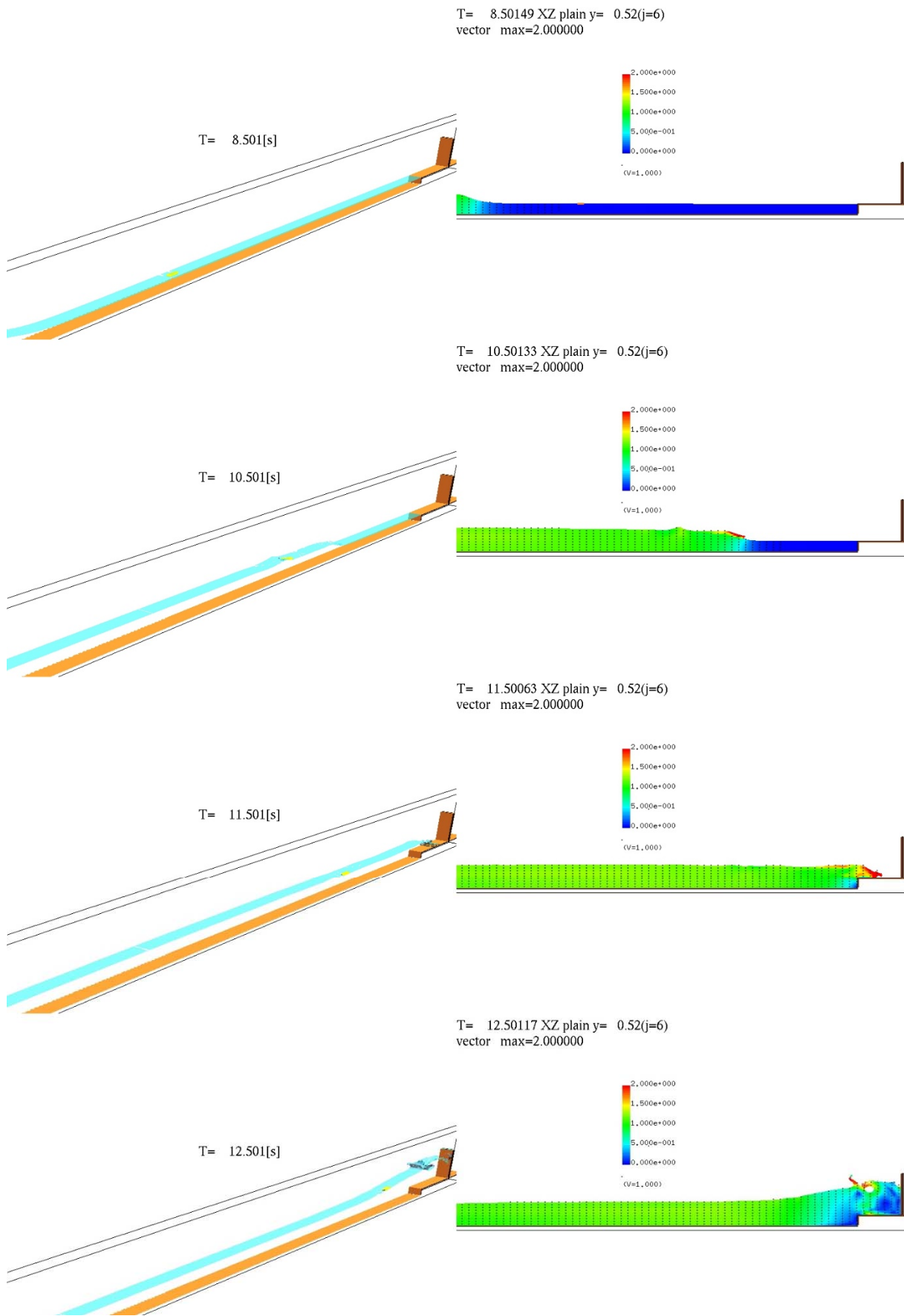
図-9.7.27 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-F-20)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

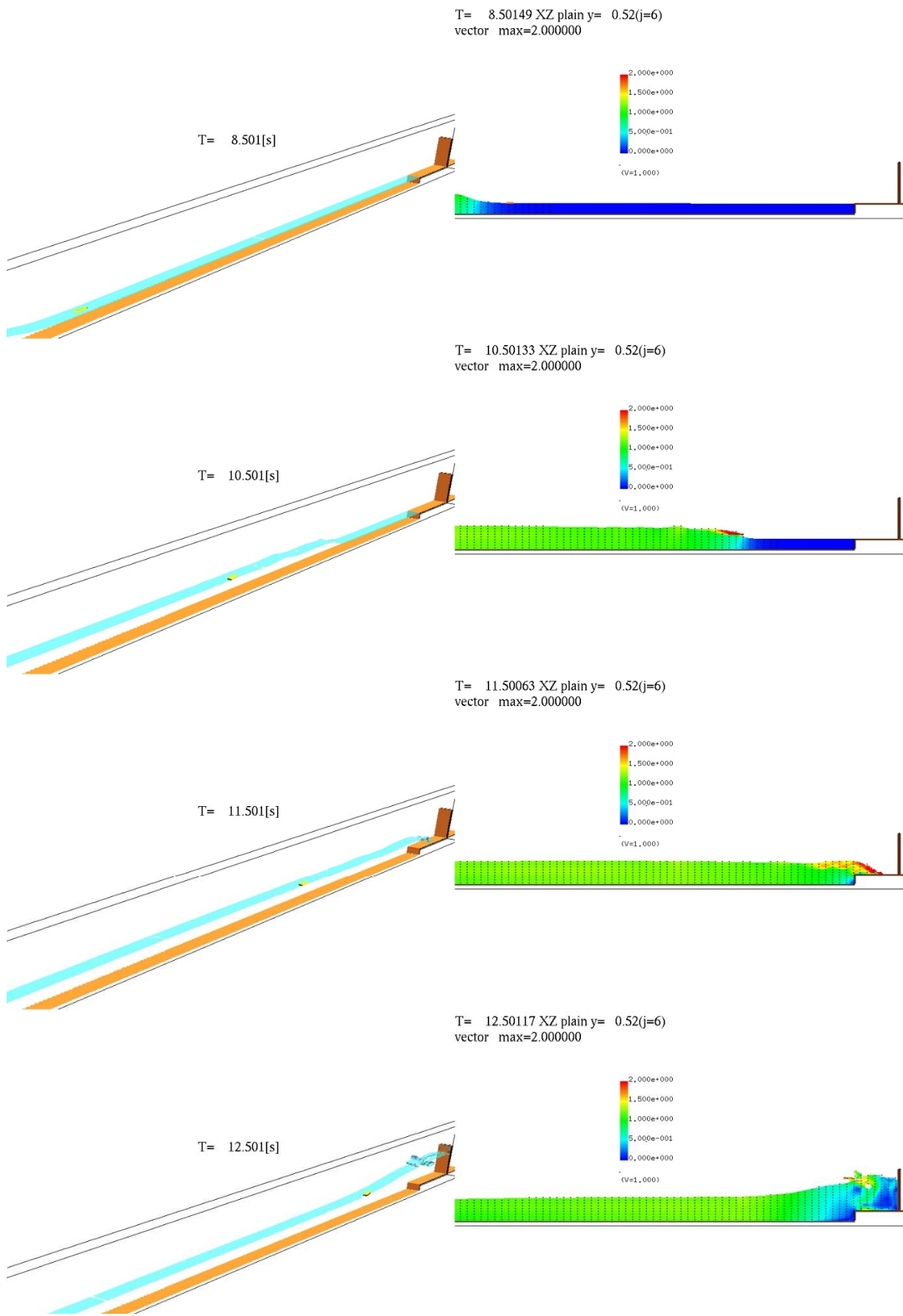
図-9.7.28 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-F-30)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

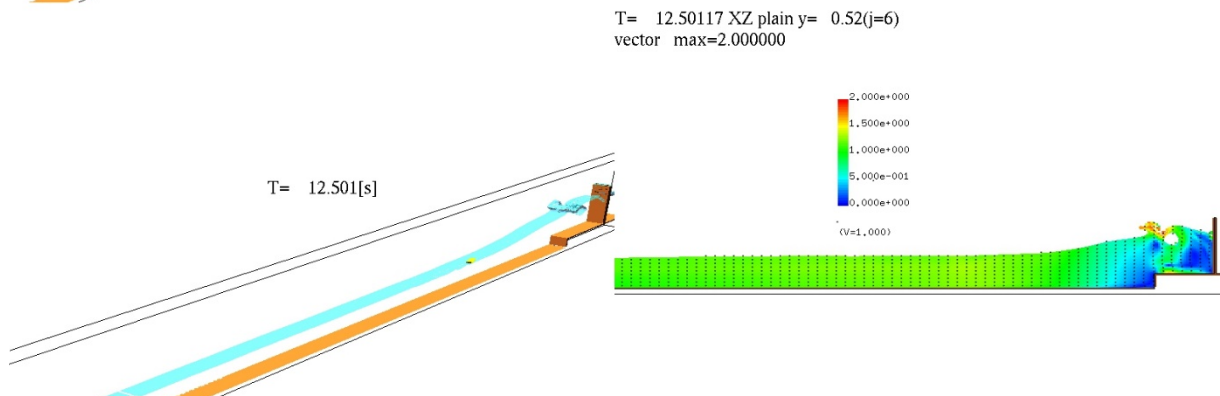
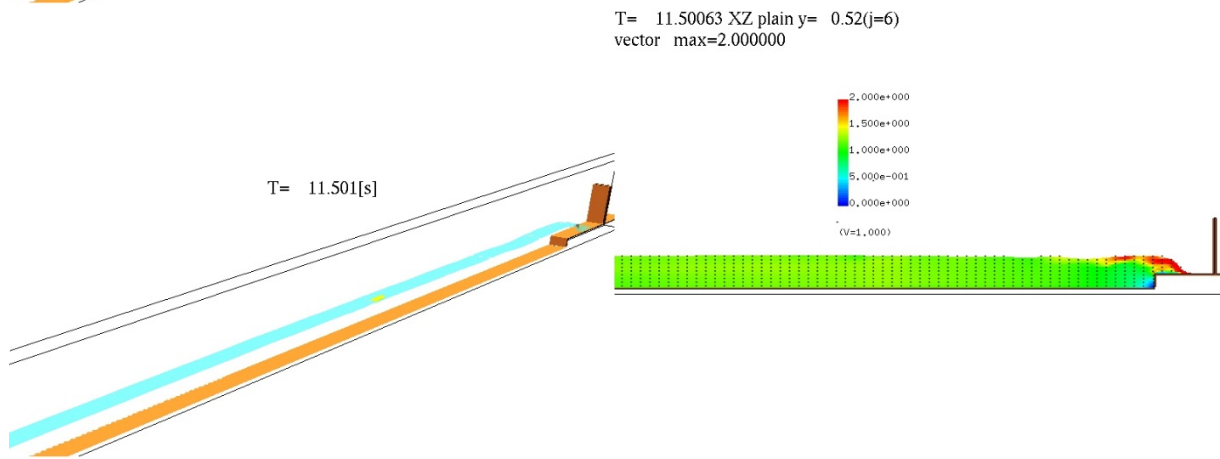
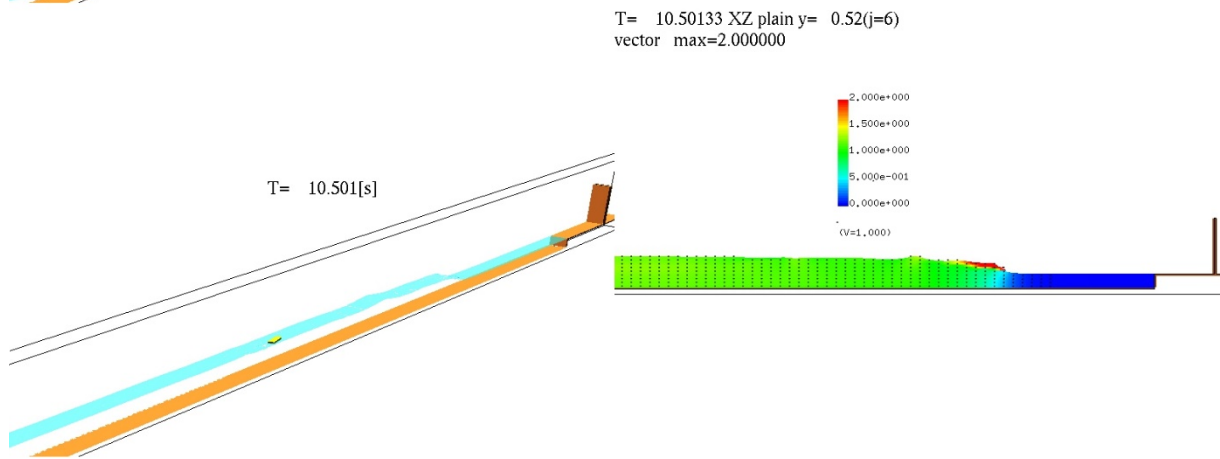
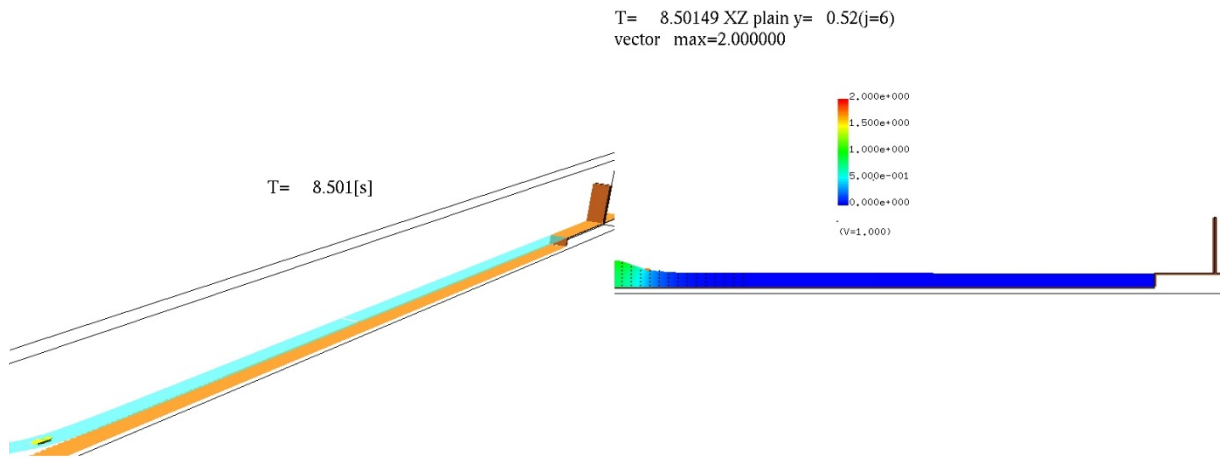
図-9.7.29 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-F-40)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

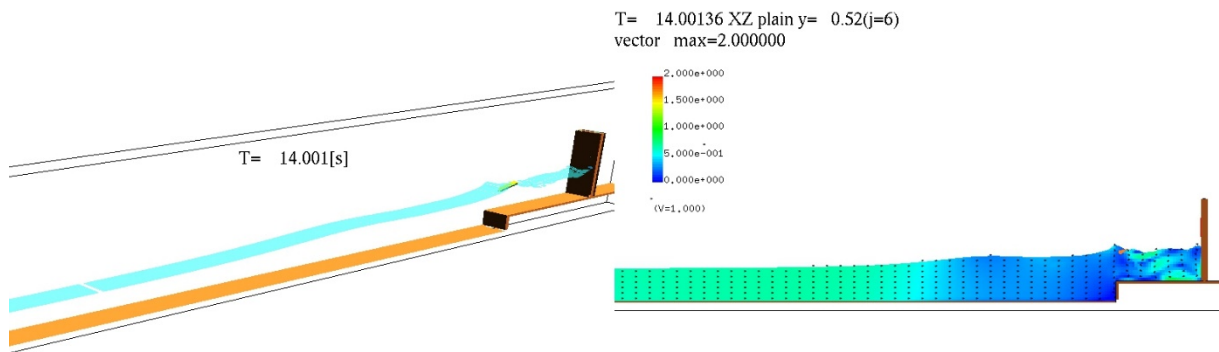
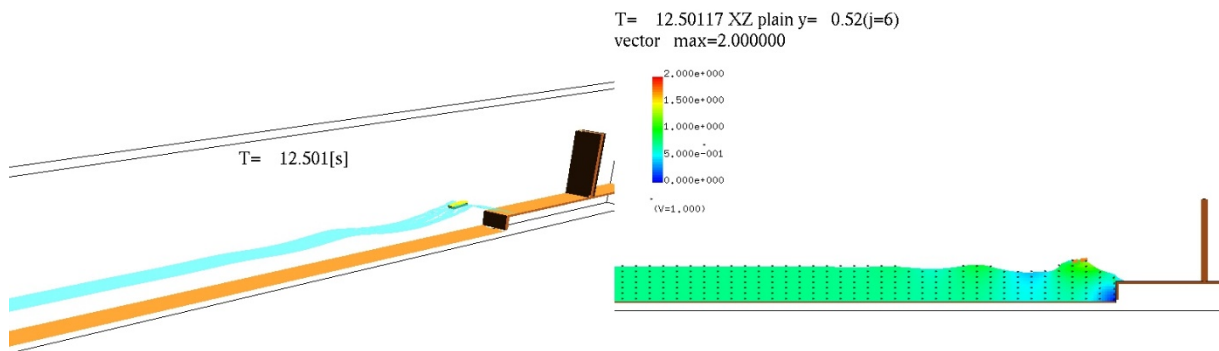
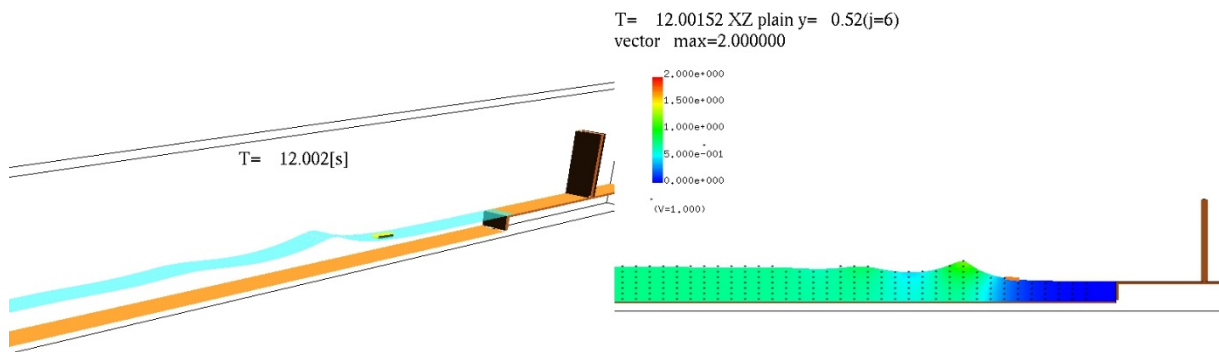
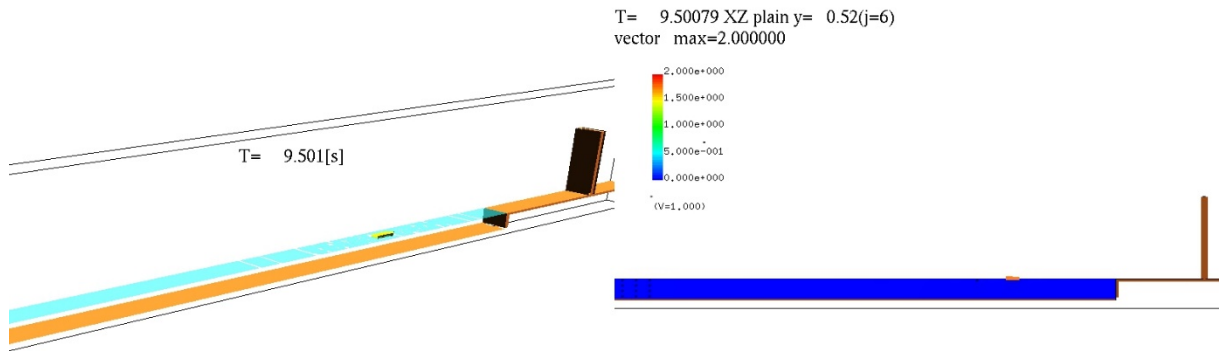
図-9.7.30 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-F-50)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

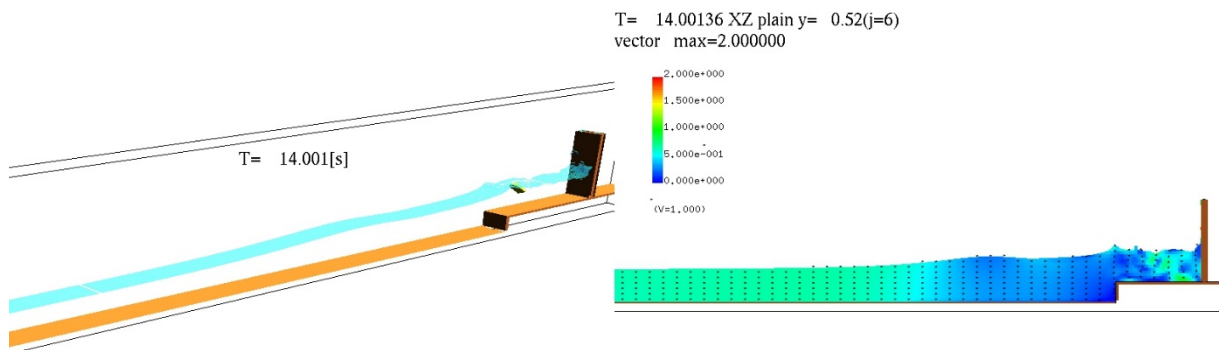
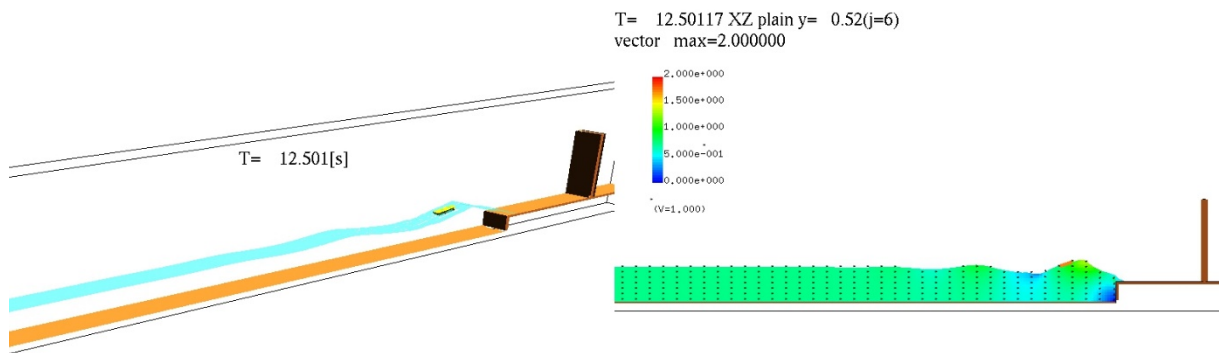
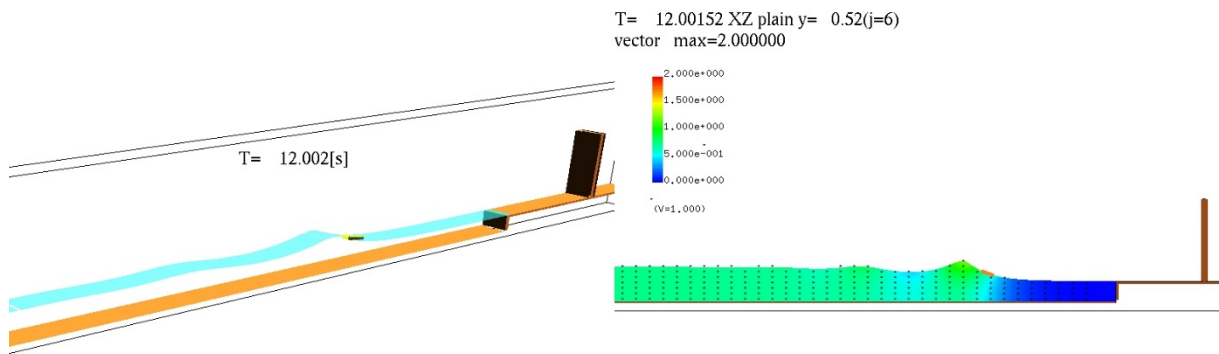
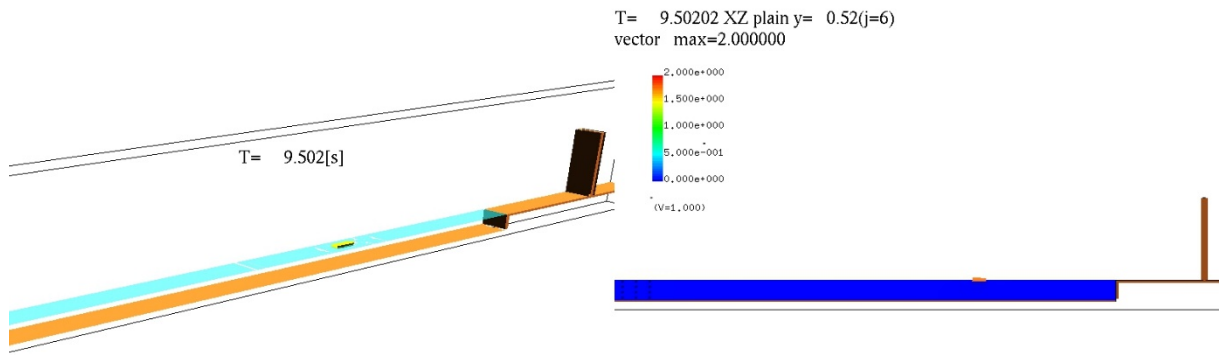
図-9.7.31 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-F-55)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

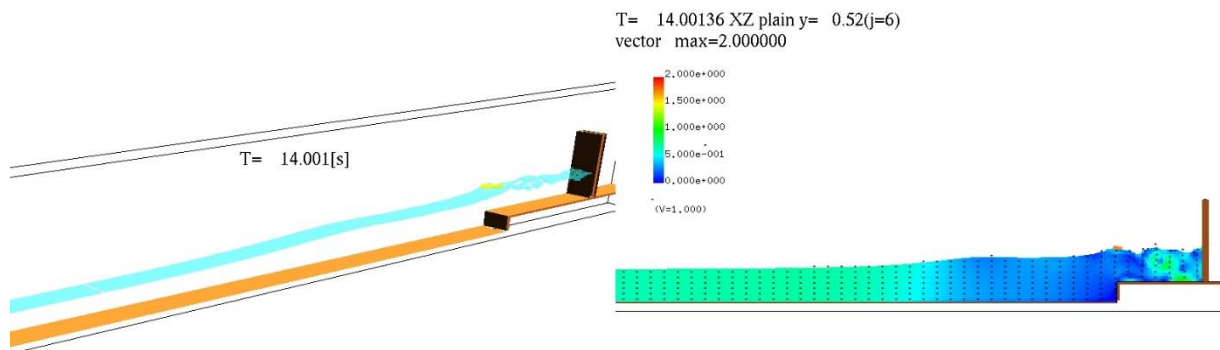
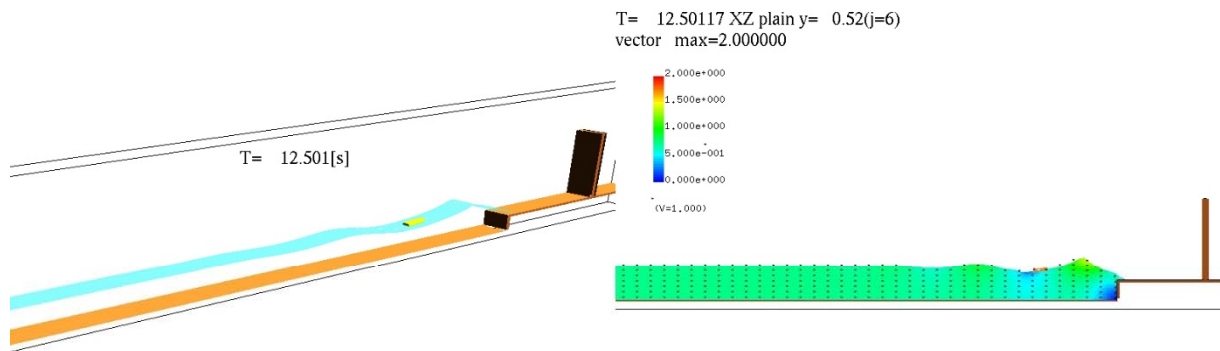
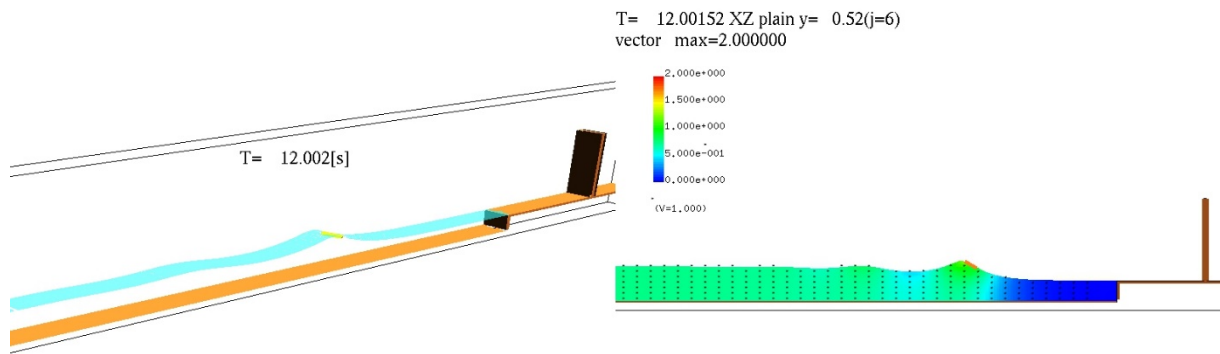
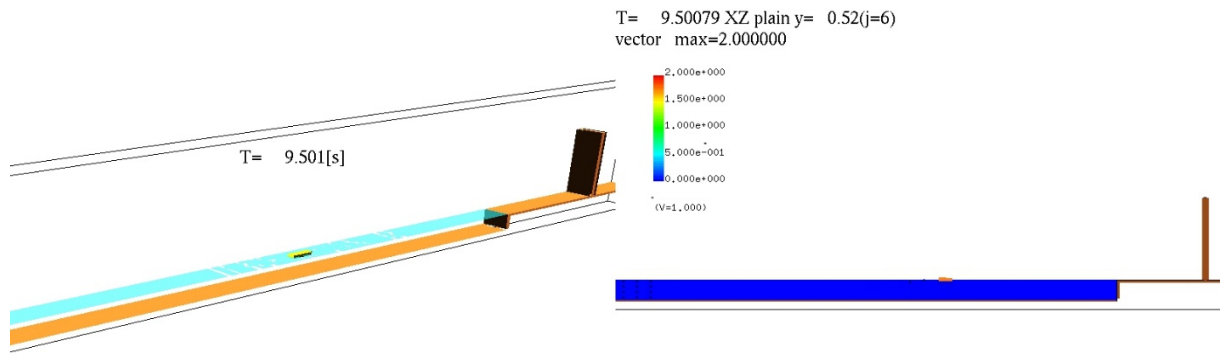
図-9.7.32 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf30-F-07)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

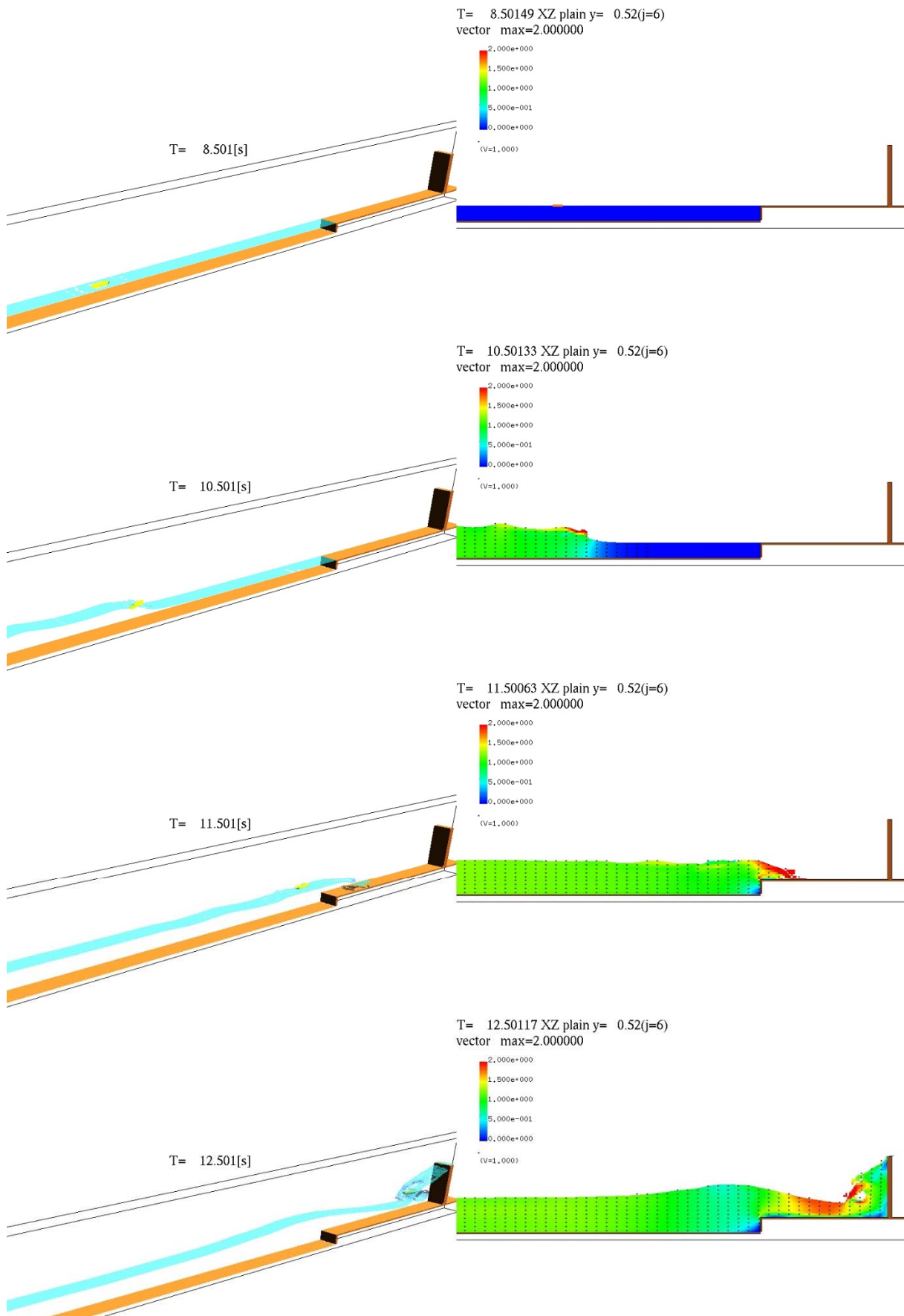
図-9.7.33 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf30-F-10)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

図-9.7.34 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf30-F-12)

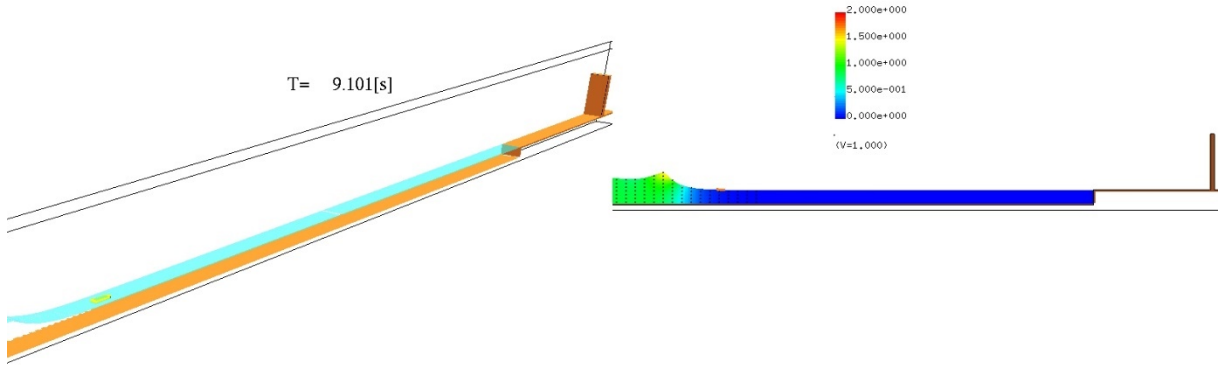


(a) 3次元鳥瞰図

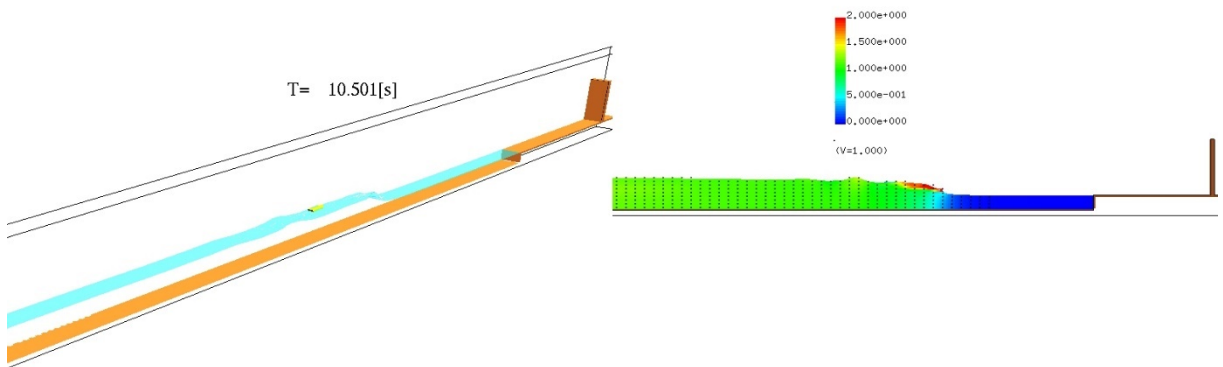
(b) 鉛直断面流速分布

図-9.7.35 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (O-Wf20-F-20)

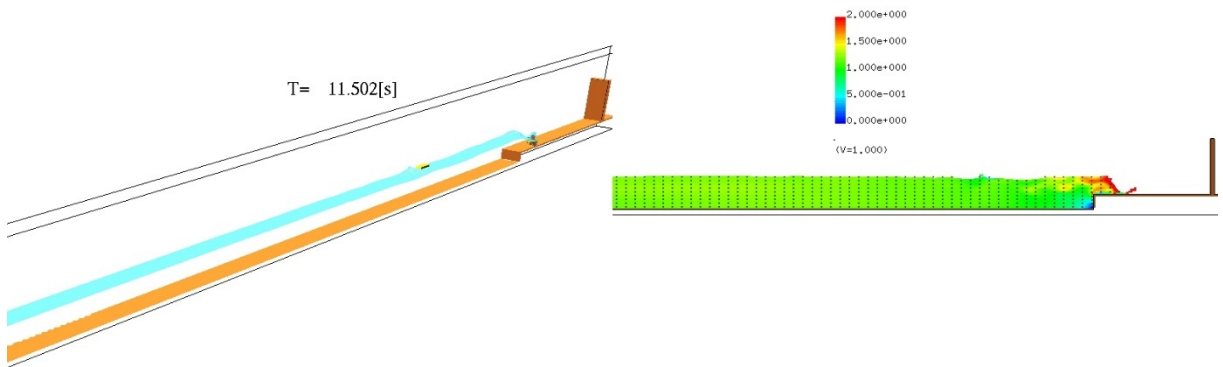
T= 9.10131 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



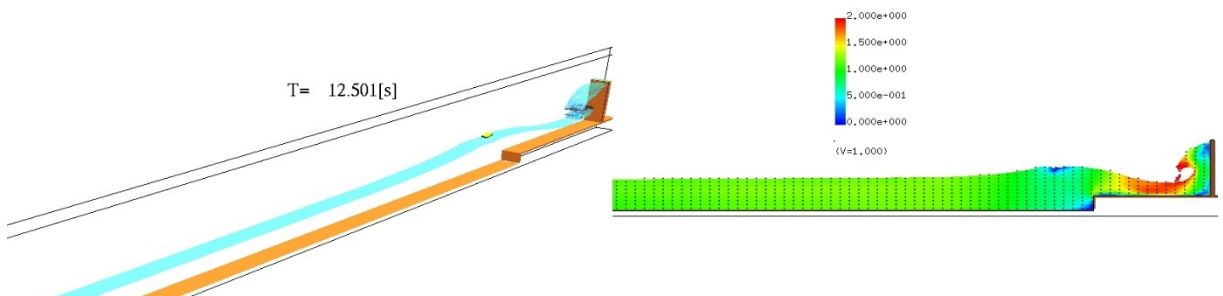
T= 10.50133 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



T= 11.50186 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



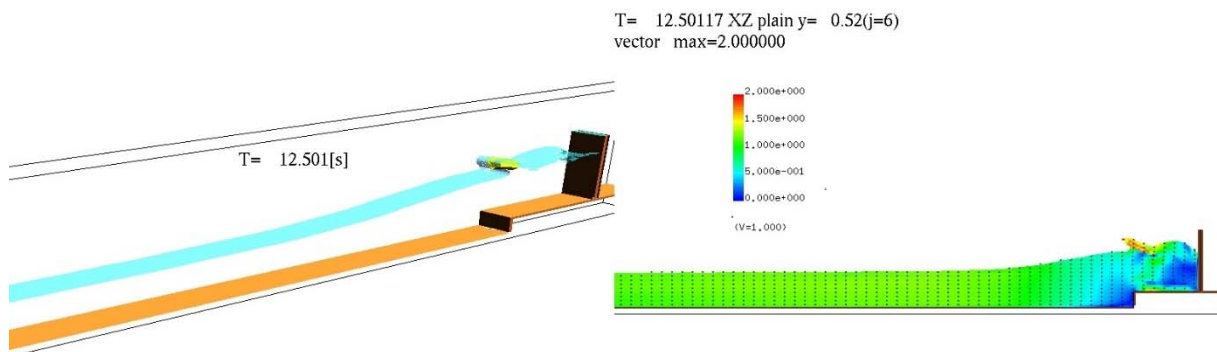
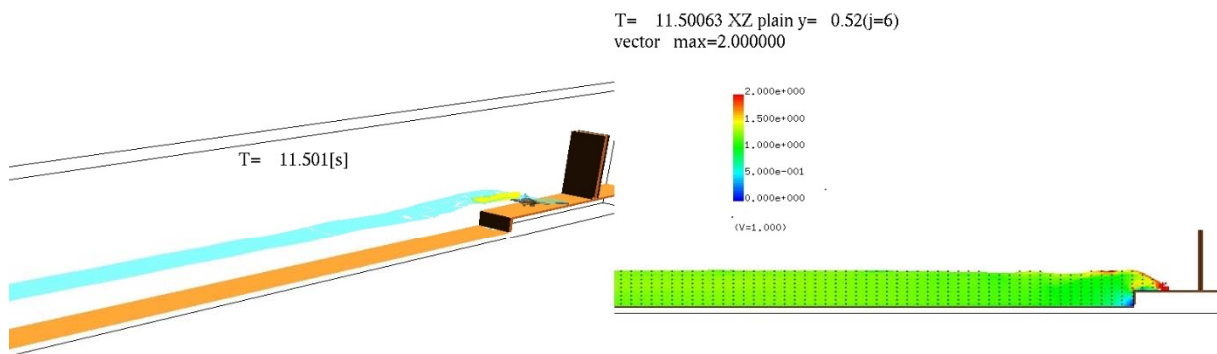
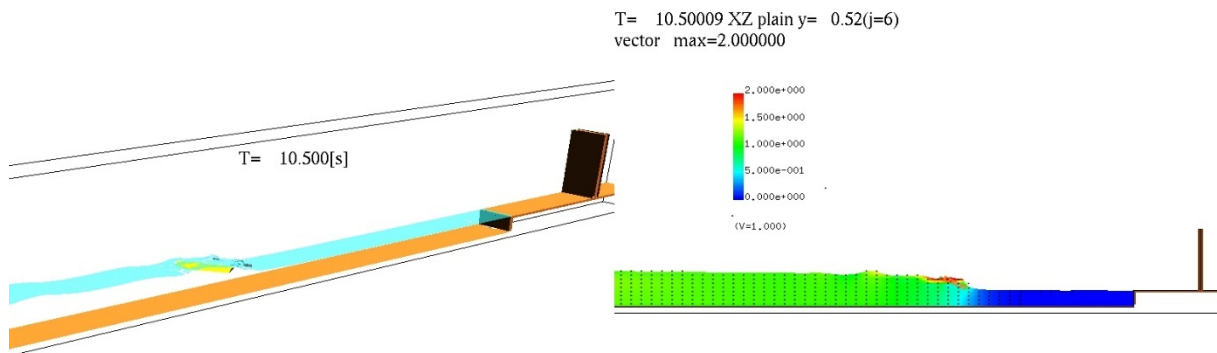
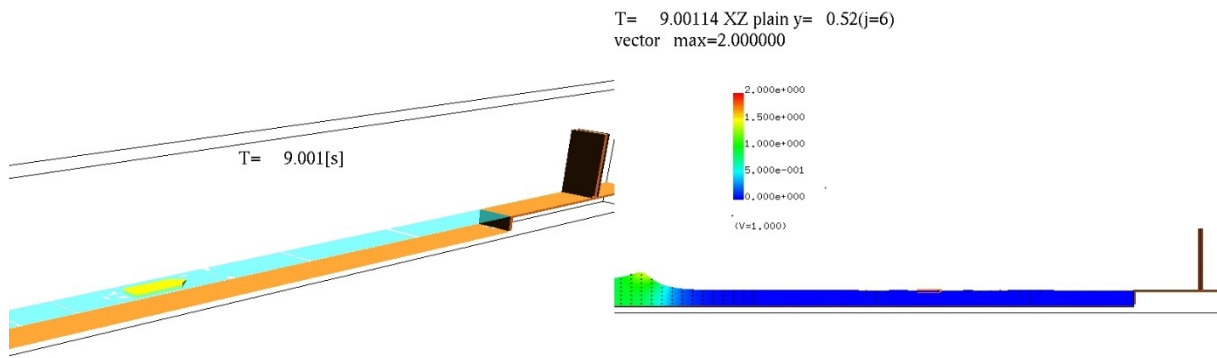
T= 12.50117 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

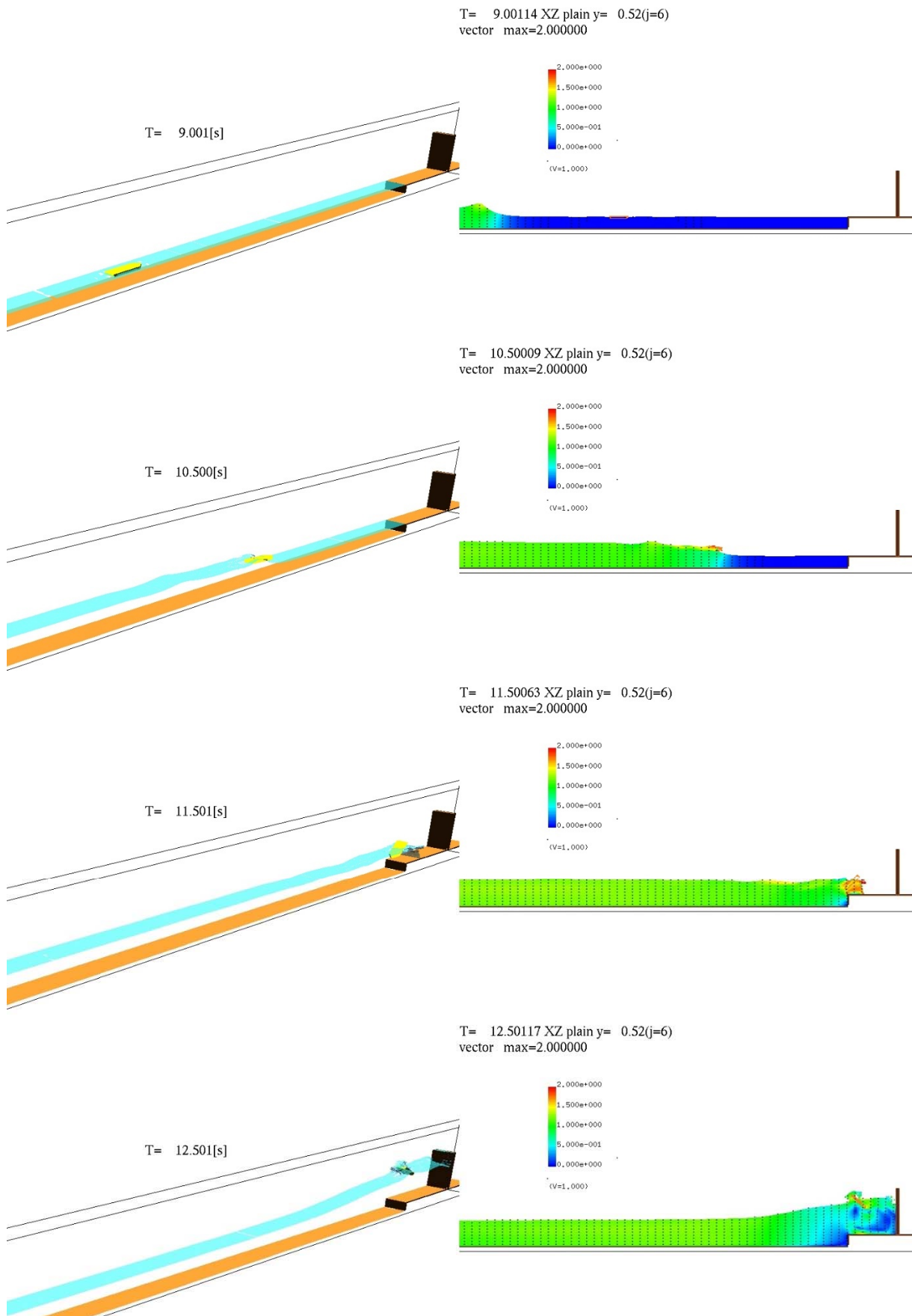
図-9.7.36 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (O-Wf20-F-40)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

図-9.7.37 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-G-20)

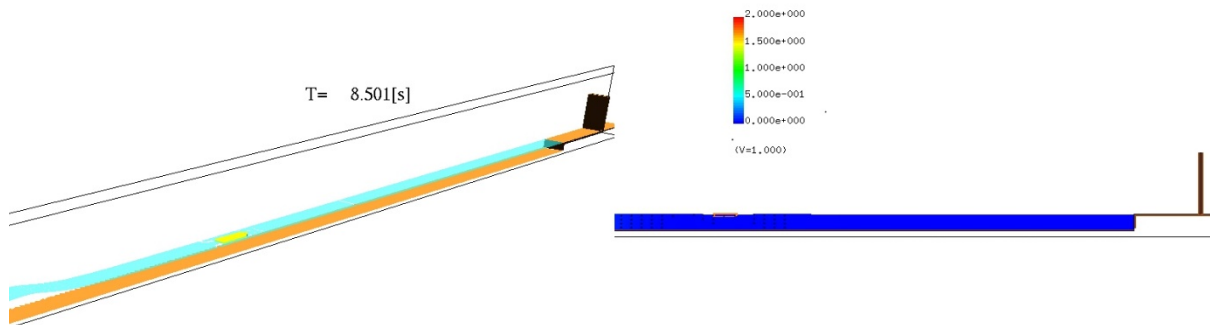


(a) 3次元鳥瞰図

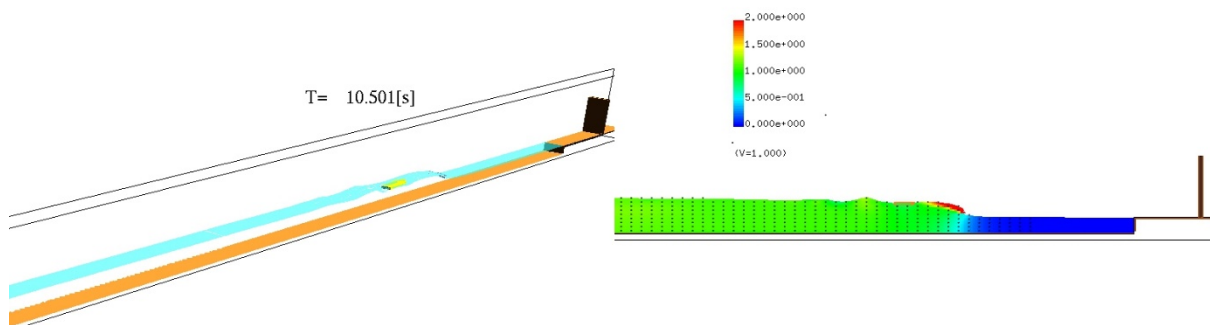
(b) 鉛直断面流速分布

図-9.7.38 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-G-30)

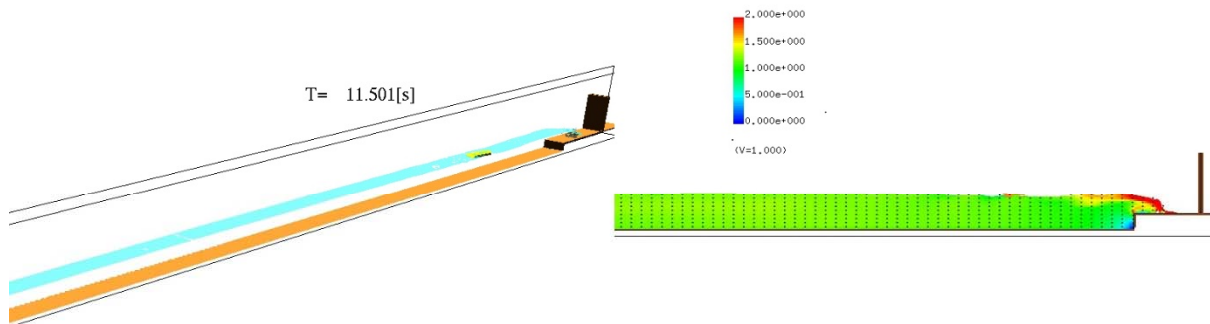
T= 8.50149 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



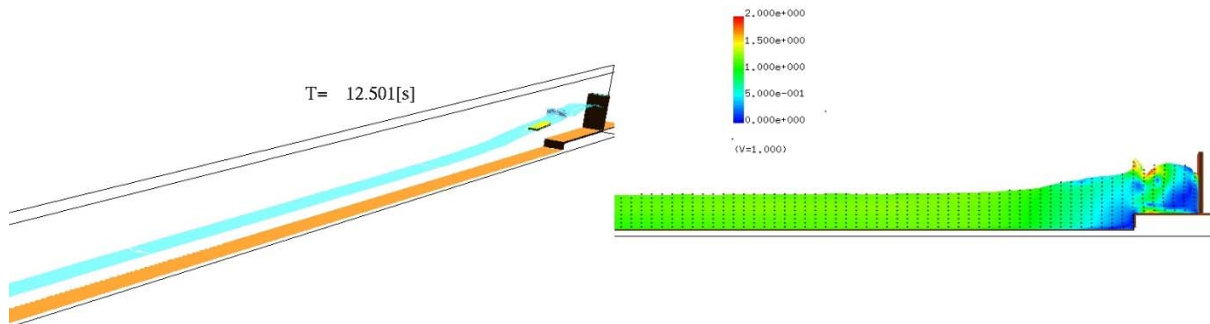
T= 10.50133 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



T= 11.50063 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



T= 12.50117 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000

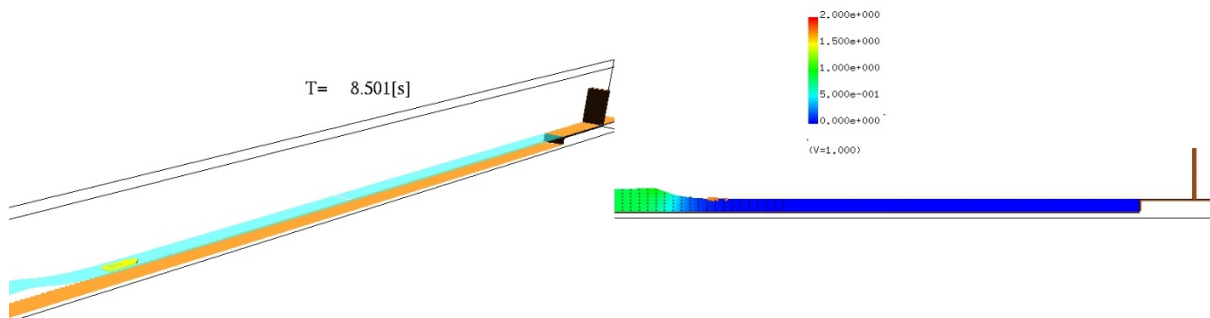


(a) 3次元鳥瞰図

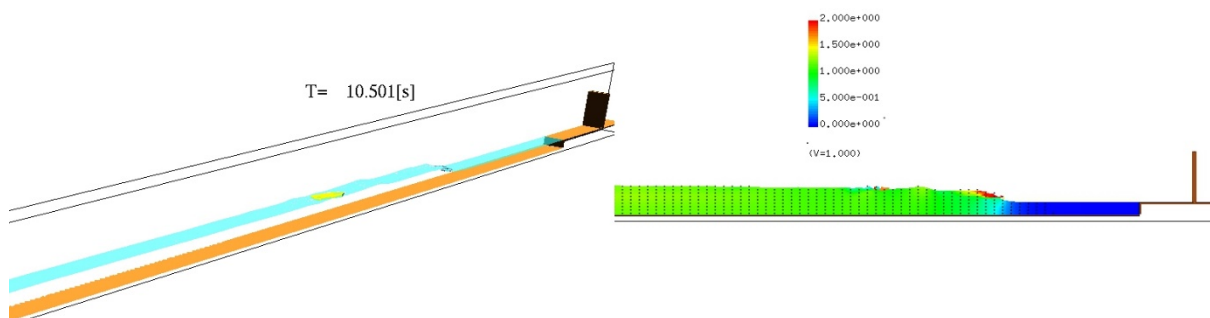
(b) 鉛直断面流速分布

図-9.7.39 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-G-40)

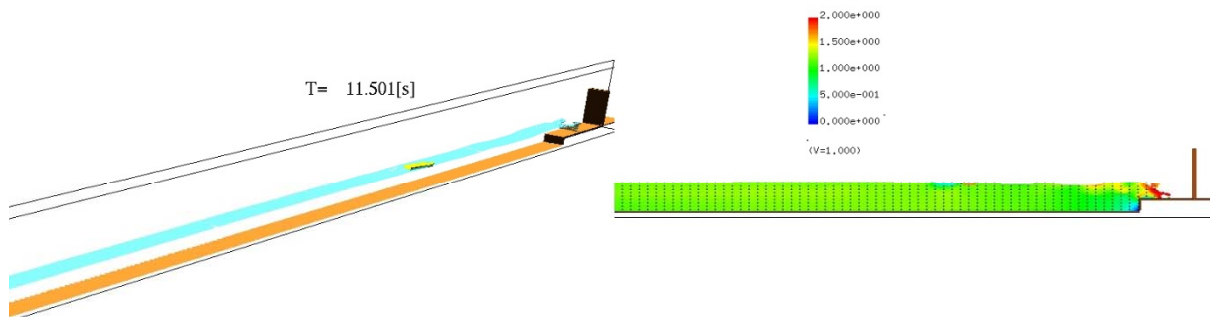
T= 8.50149 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



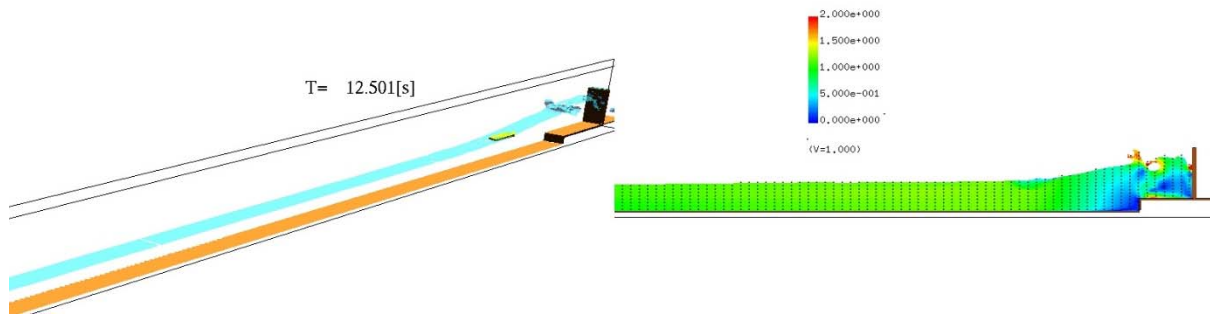
T= 10.50133 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



T= 11.50063 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



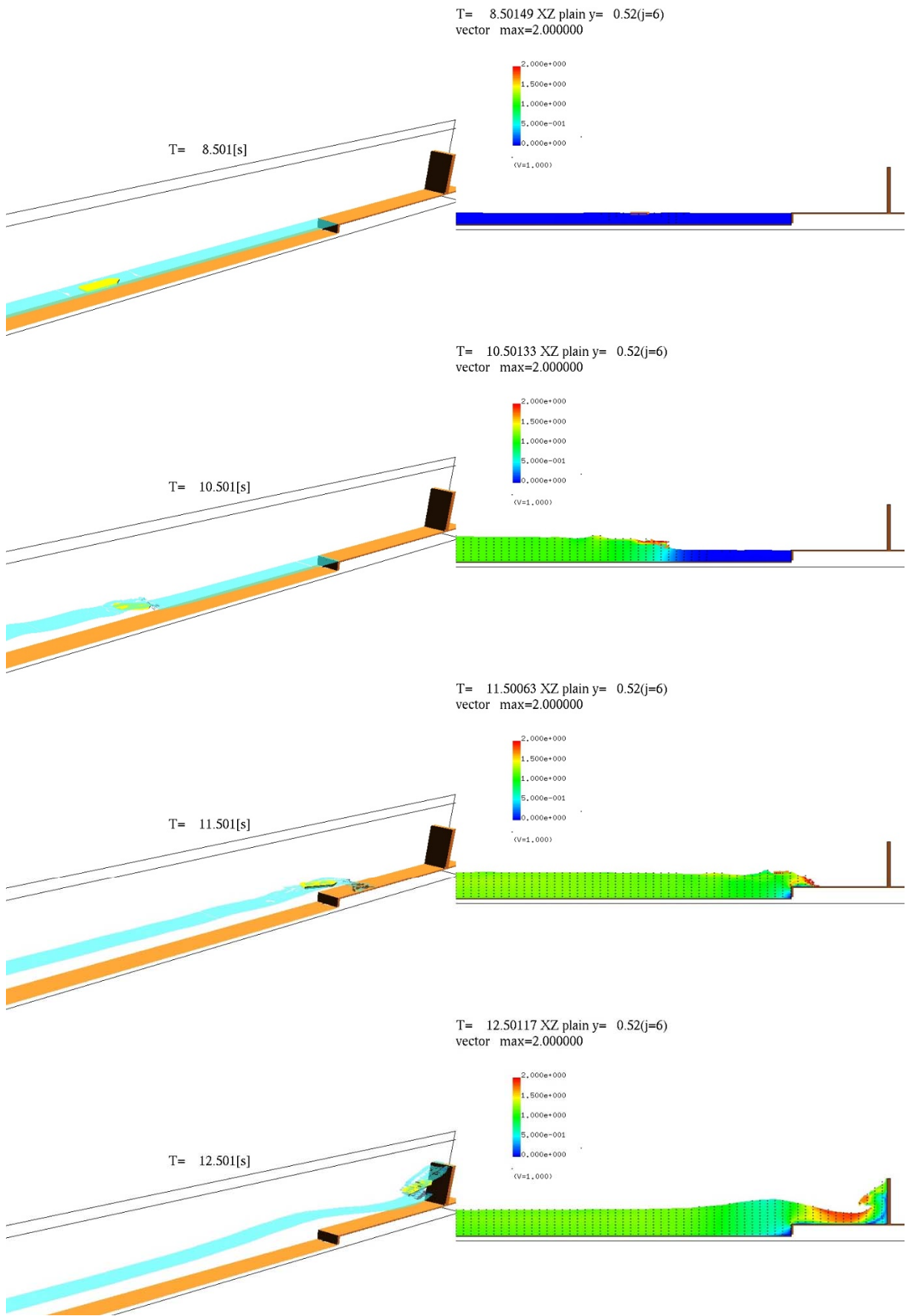
T= 12.50117 XZ plain y= 0.52(j=6)
vector max=2.000000



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

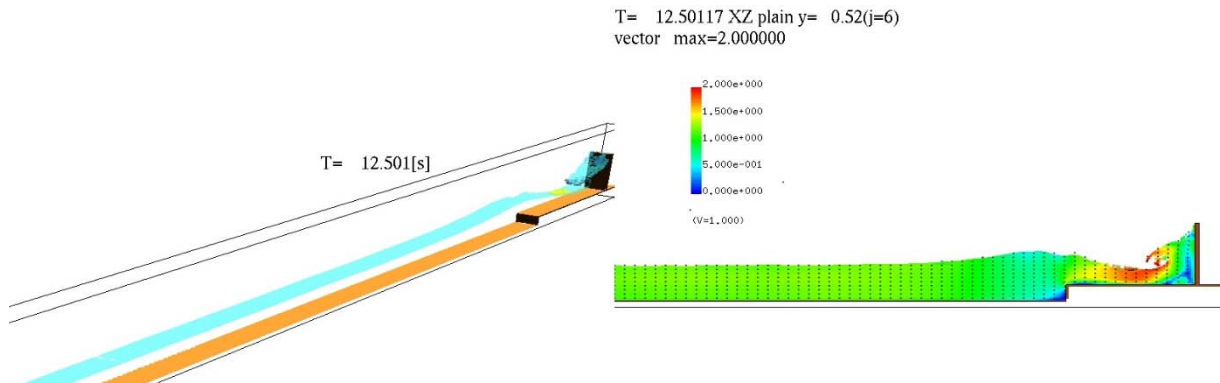
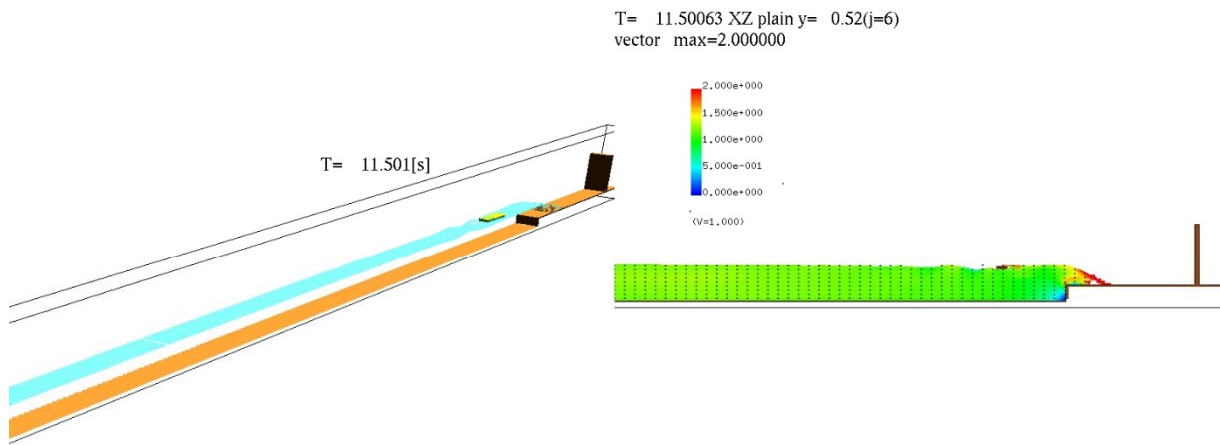
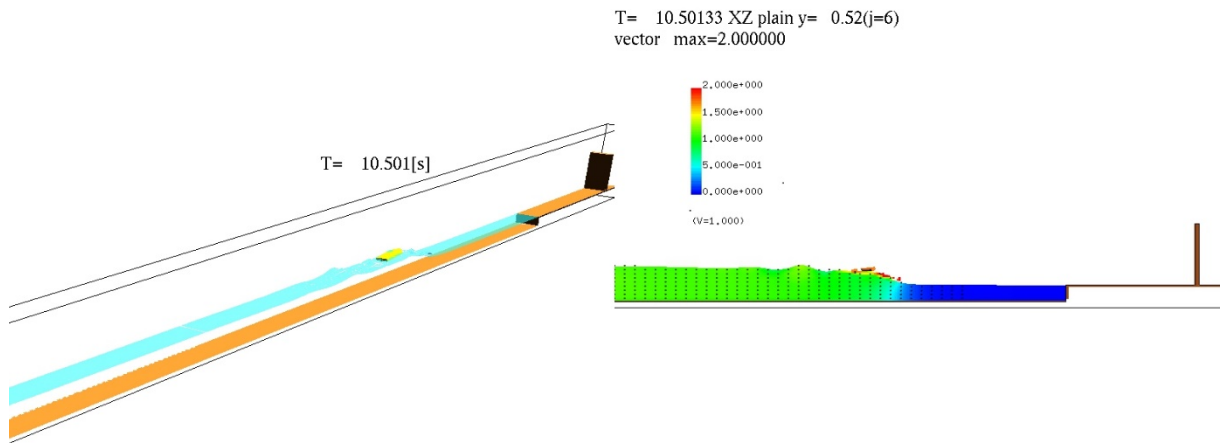
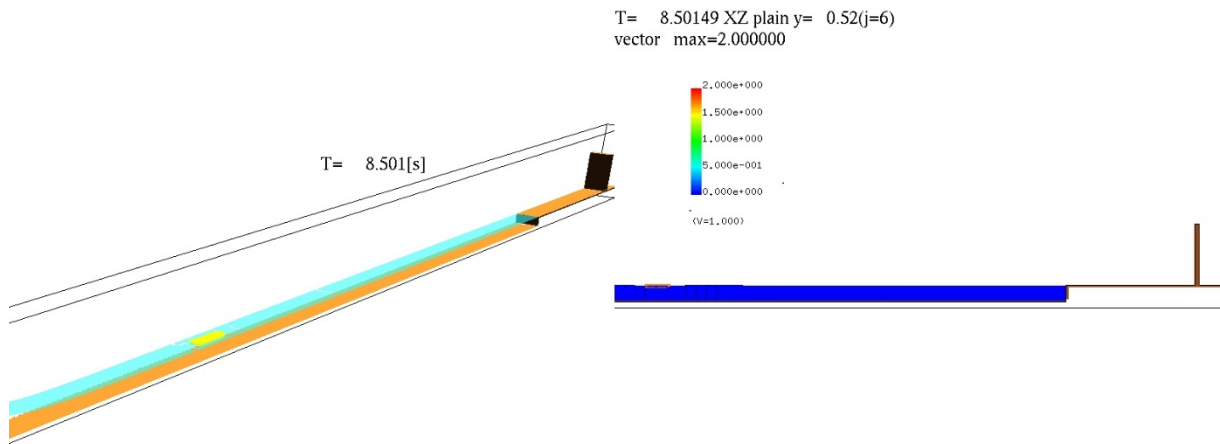
図-9.7.40 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-G-50)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

図-9.7.41 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (O-Wf20-G-20)



(a) 3次元鳥瞰図

(b) 鉛直断面流速分布

図-9.7.42 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (O-Wf20-G-40)

10. 漂流物衝突シミュレーション（SPH法）

ここでは、非構造格子の解析として普及し始めている、粒子法による漂流物の解析を試行する。粒子法は、流体を粒子の集まりとして表す方法で、解析格子が不要なため水面の複雑な挙動を解析するのに有利である。その一方で、広域を対象とした場合、粒子の数が増えるため解析負荷が非常に大きくなる。また、漂流物のような移動する構造体やそれらの衝突については、既往の適用例が限られる。そこで、水中衝突試験の再現解析を実施し、解析手法の適用性や解析における課題について検討した。

10.1. シミュレーション手法と解析条件

(1)解析モデル

本解析では、粒子法として SPH 法を用いたオープンソースの解析コード DualSPHysic を使用した。本コードは、GPU に対応した高速計算を実現し、構造との連成解析や個別要素法の解析が可能なモデルである。また、2019 年 4 月リリースより、入流境界に対応も可能となる。

(2)解析領域

水理試験の対象地形は図- 10.1.1 に示す直立護岸の海底地形とし、陸上部には堤体を設置した。堤体高は 600mm、設置位置は護岸から 625mm 陸側とし、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た。

また、シミュレーションとの境界においては、汀線より 6750mm 沖側の B2 地点を境界として計算した（図- 10.1.1、表- 10.1.1 参照）。横断方向については計算時間節約のために幅 200mm とした。

(3)計算の粒子サイズ

試験水路の形状と漂流物として船舶型を適切に表現できるように、粒子サイズを 5mm として作成した。

(4)初期条件

シミュレーションの初期条件は、水理試験の静水状態（沖合直線部水深 600mm、B2 地点直線部水深 150mm）とした。

(5)入力津波条件

シミュレーションの入力波は、水理試験に用いた入力波 Wf10（図- 10.1.2）、Wf20（図- 10.1.3）、Wf30（図- 10.1.4）の 3 種類の波形であり、具体的には、波検定により得られた水位時系列と流速時系列であり、B2 点における計測された時系列データである。

(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 TypeA、TypeE、TypeF、TypeG の 4 ケース（3. 試験方法を参照）とした。漂流物の重さは水理試験に合わせて、TypeA、TypeE の重さは約 150g、TypeF は約 44g、TypeG は約 500g とした。

(7)時間条件

再現計算時間は、水理試験において堤体に衝突する 5～7 秒間（入力波 Wf20 は 7 秒後から 12 秒までの 5 秒間、Wf10、Wf30 は 7 秒から 14 秒の 7 秒間）とした。また、計算間隔については安定計算にするためクーラン数 0.2 とした。

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。

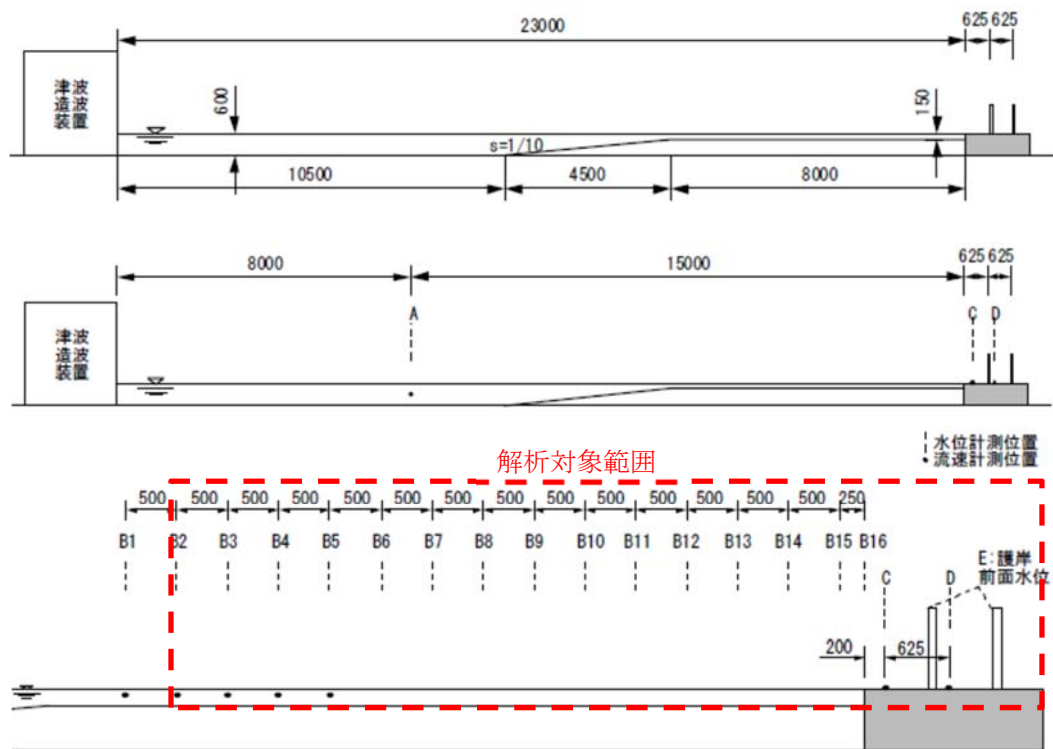


図- 10.1.1 水理試験の地形および堤体条件（断面図，単位：mm）

表- 10.1.1 シミュレーション条件

境界位置	堤体	粒子サイズ	船舶模型
汀線より 6750mm 沖側	堤体高さ 600mm	粒径 5mm	A
水位，流速	汀線より 625mm 陸側		E
			F
			G

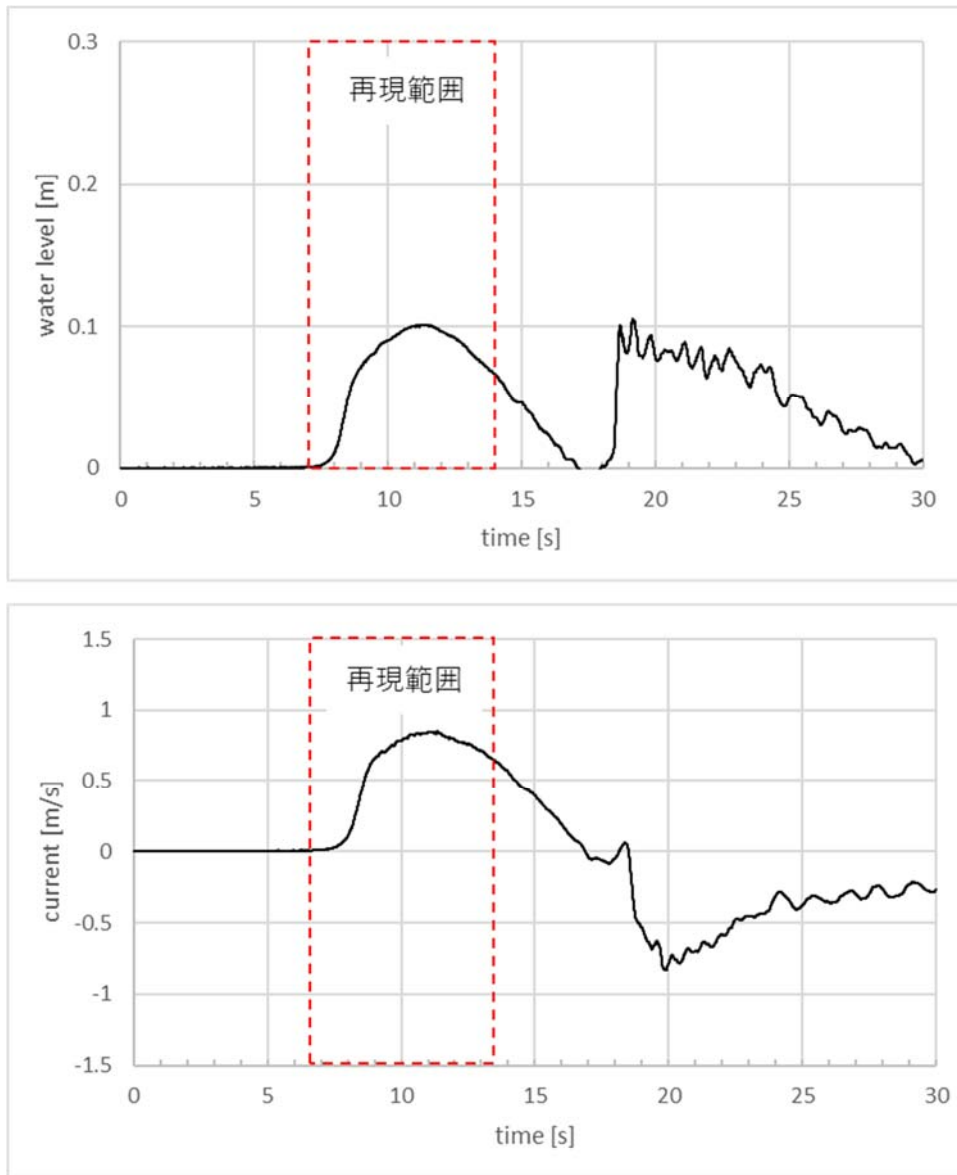


図- 10.1.2 境界条件：波 Wf10（計測位置点 B2 の水位と流速）

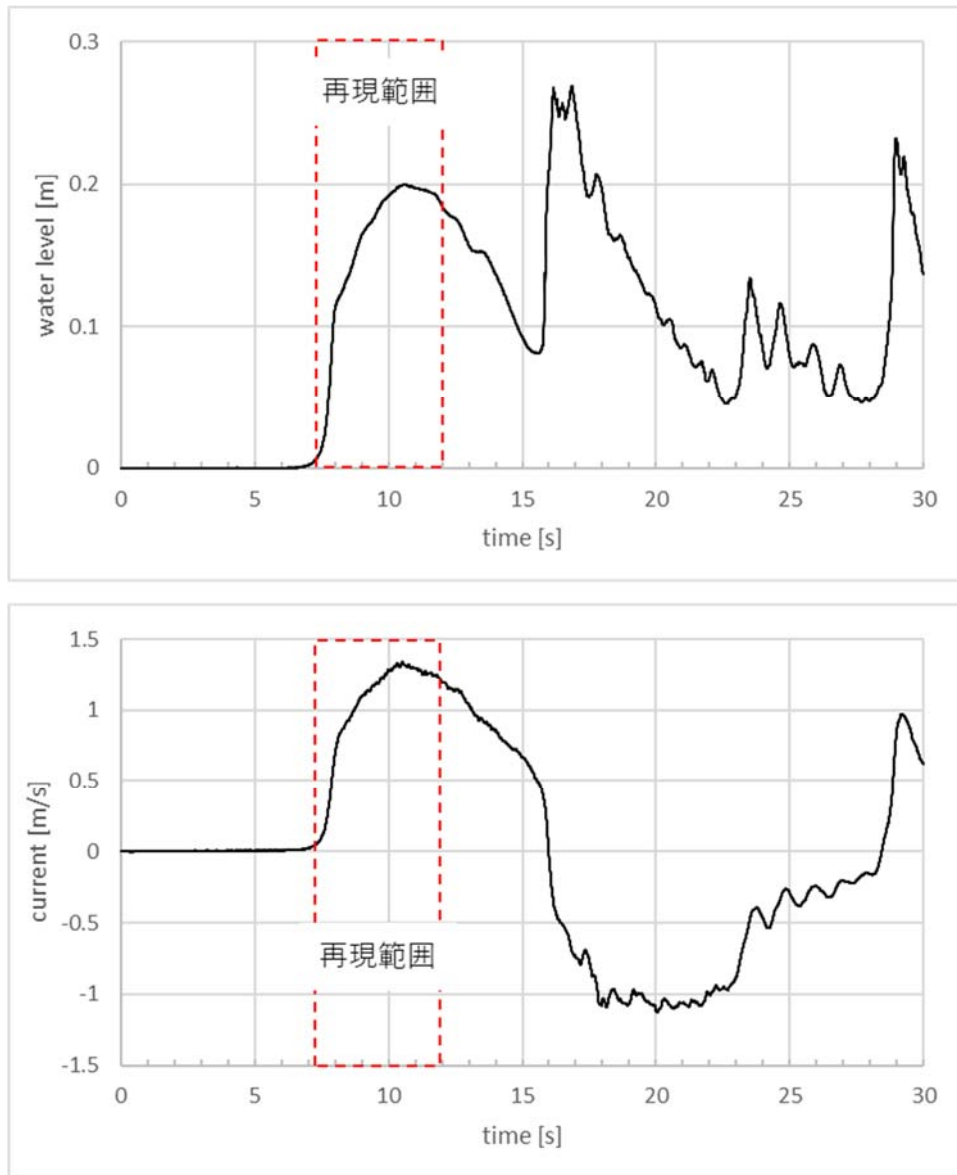


図- 10.1.3 境界条件：波 Wf20（計測位置点 B2 の水位と流速）

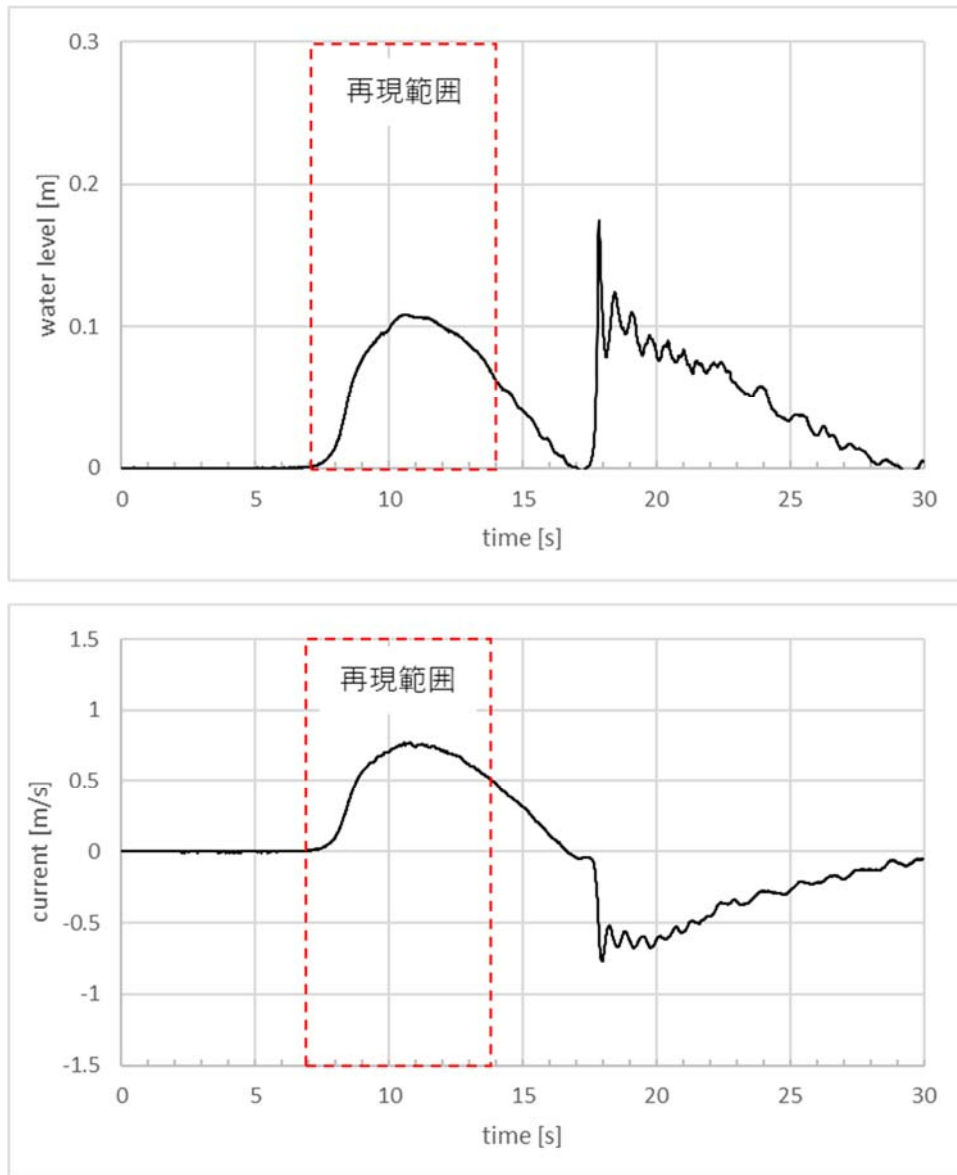


図- 10.1.4 境界条件：波 Wf30（計測位置点 B2 の水位と流速）

10.2. 解析ケース

直立護岸地形を対象に、21 ケースの解析を実施した。解析条件のケース一覧を表- 10.2.1 に示す。

表- 10.2.1 シミュレーション解析ケース一覧

No.	ケース名	波形	堤体位置	漂流物	漂流物位置
	直立護岸				
1	F-Wf10-A-10	Wf10	625 mm	TypeA	1000 mm
2	F-Wf20-A-20	Wf20			2000 mm
3	F-Wf20-A-30				3000 mm
4	F-Wf20-A-40				4000 mm
5	F-Wf20-A-50				5000 mm
6	F-Wf30-A-10	Wf30		1000 mm	
7	F-Wf10-E-10	Wf10		TypeE	1000 mm
8	F-Wf20-E-20	Wf20			2000 mm
9	F-Wf20-E-30				3000 mm
10	F-Wf20-E-40				4000 mm
11	F-Wf20-E-50				5000 mm
12	F-Wf30-E-10	Wf30		1000 mm	
13	F-Wf20-F-20	Wf20		TypeF	2000 mm
14	F-Wf20-F-30				3000 mm
15	F-Wf20-F-40				4000 mm
16	F-Wf20-F-50				5000 mm
17	F-Wf30-F-10	Wf30		1000 mm	
18	F-Wf20-G-20	Wf20		TypeG	2000 mm
19	F-Wf20-G-30				3000 mm
20	F-Wf20-G-40				4000 mm
21	F-Wf20-G-50				5000 mm

10.3. 解析結果

10.3.1. 水位の時系列波形

図- 10.3.1～図- 10.3.3 に、B2～B16, C, E (E は高さ 600mm の堤体付近である) 地点での水位時系列波形図を示す。ここでは、漂流物 TypeA における波種類 Wf10 の漂流物初期位置 1000mm (図- 10.3.1 F-Wf10-A-10), 波種類 Wf20 の漂流物初期位置 2000mm (図- 10.3.2 F-Wf20-A-10) 図- 10.3.2, 波種類 Wf30 の漂流物初期位置 1000mm (図- 10.3.3 F-Wf30-A-10) のケースを示した。解析結果を赤線, 試験結果を黒線で示した。

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、堤体前面での水位に若干の違いがあるものの、水位変動の違いはわずかであることが分かる。

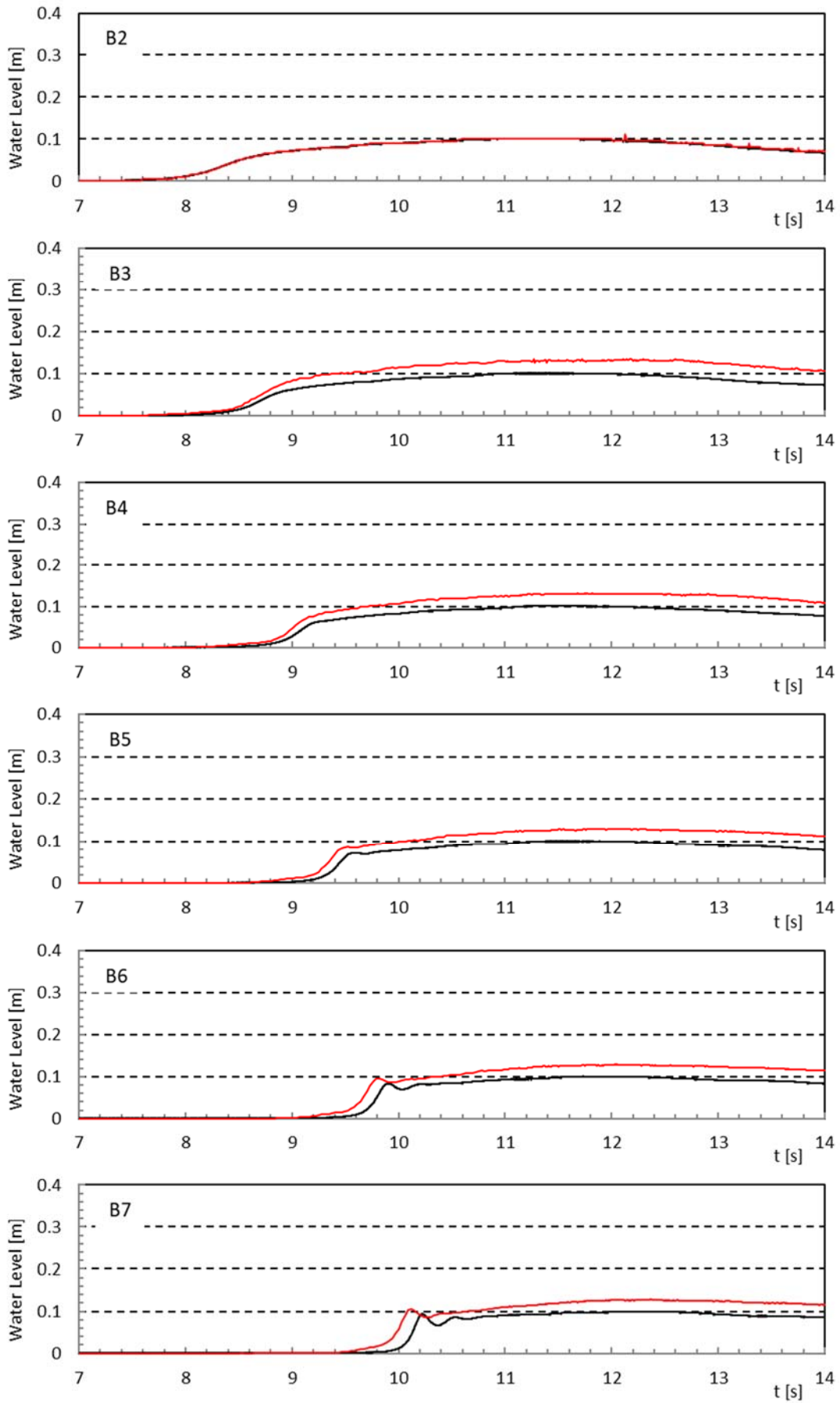


图- 10.3.1 水位時系列 (F-Wf10-A-10) (1/3)

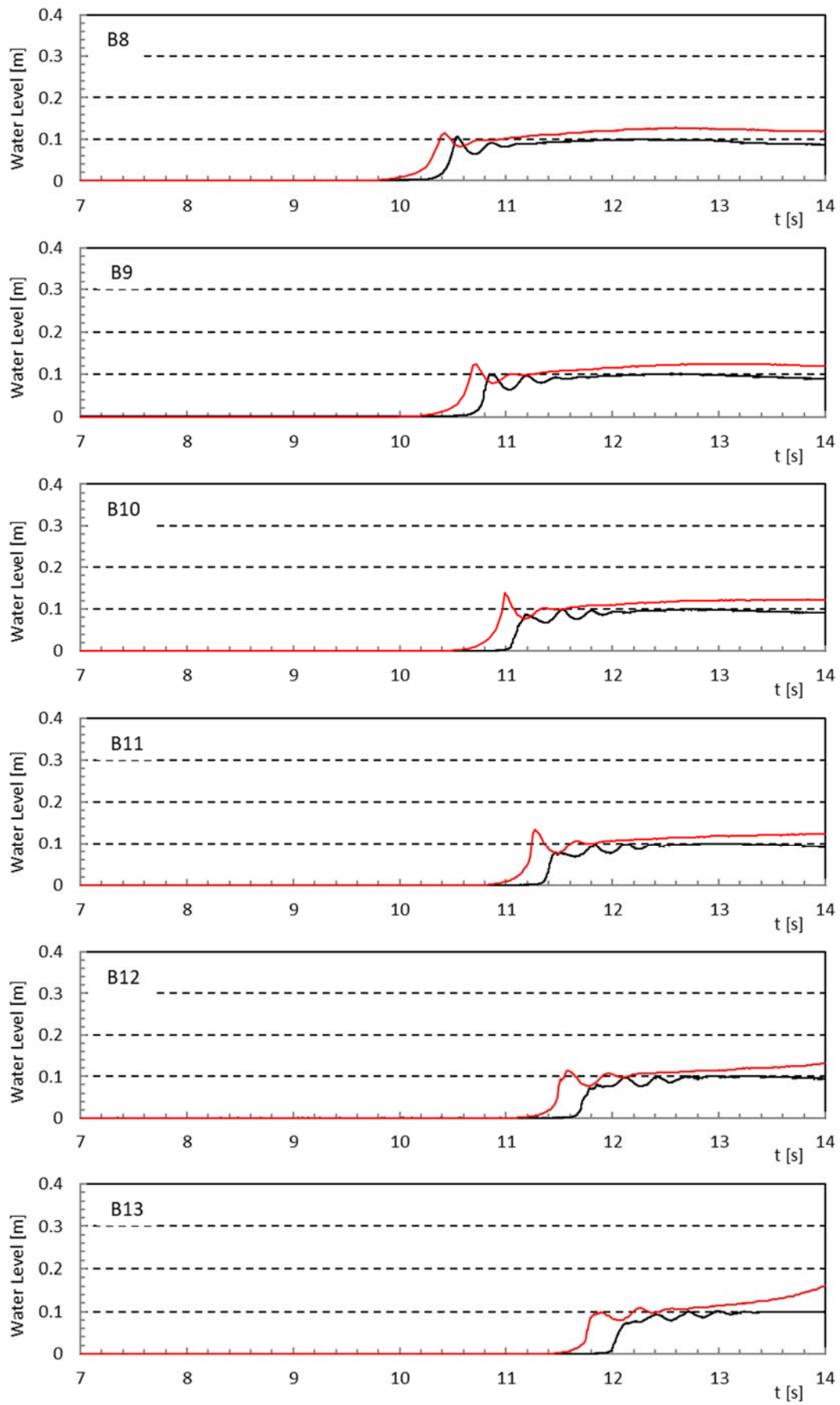


图- 10.3.1 水位時系列 (F-Wf10-A-10) (2/3)

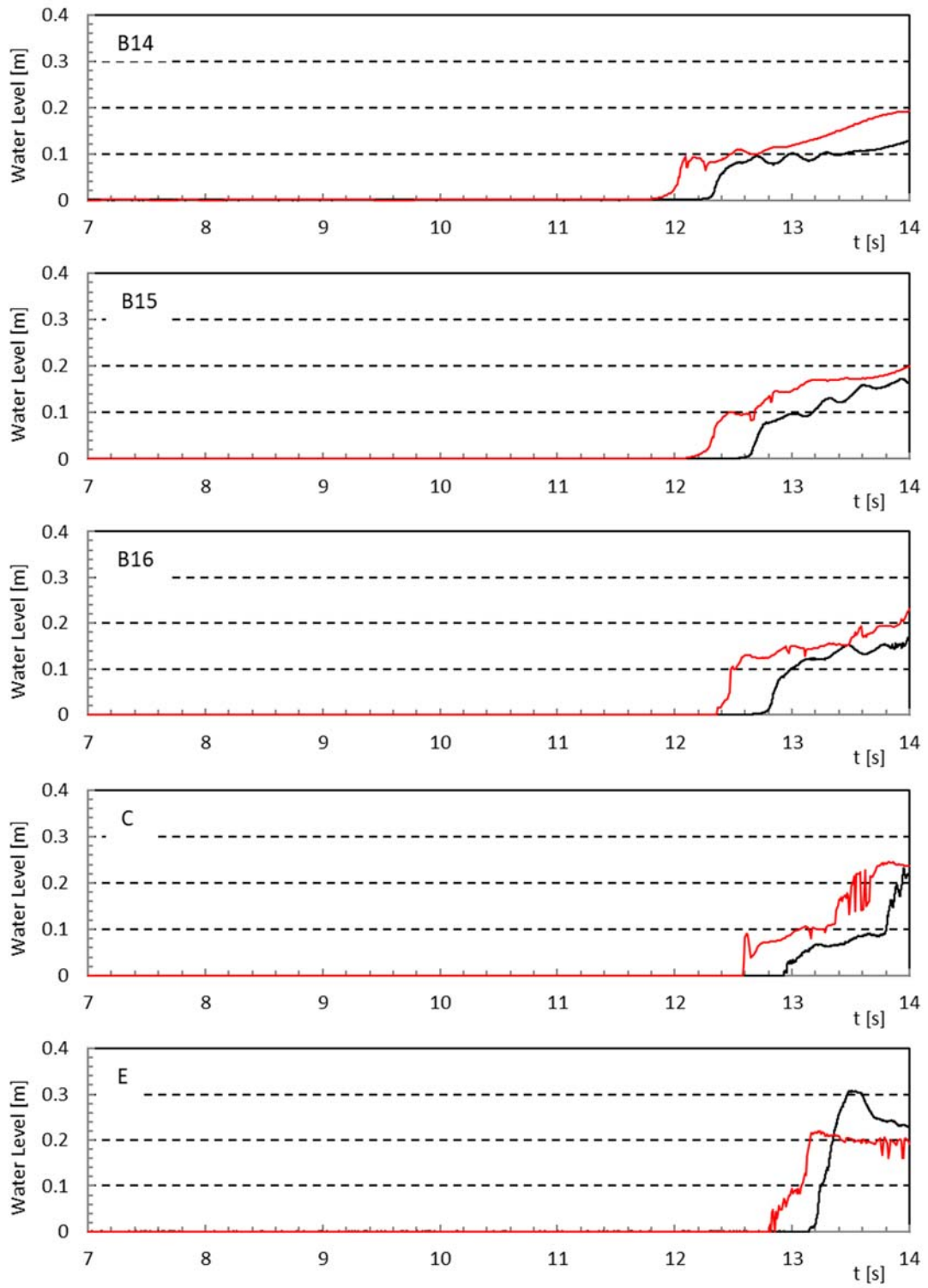


图- 10.3.1 水位時系列 (F-Wf10-A-10) (3/3)

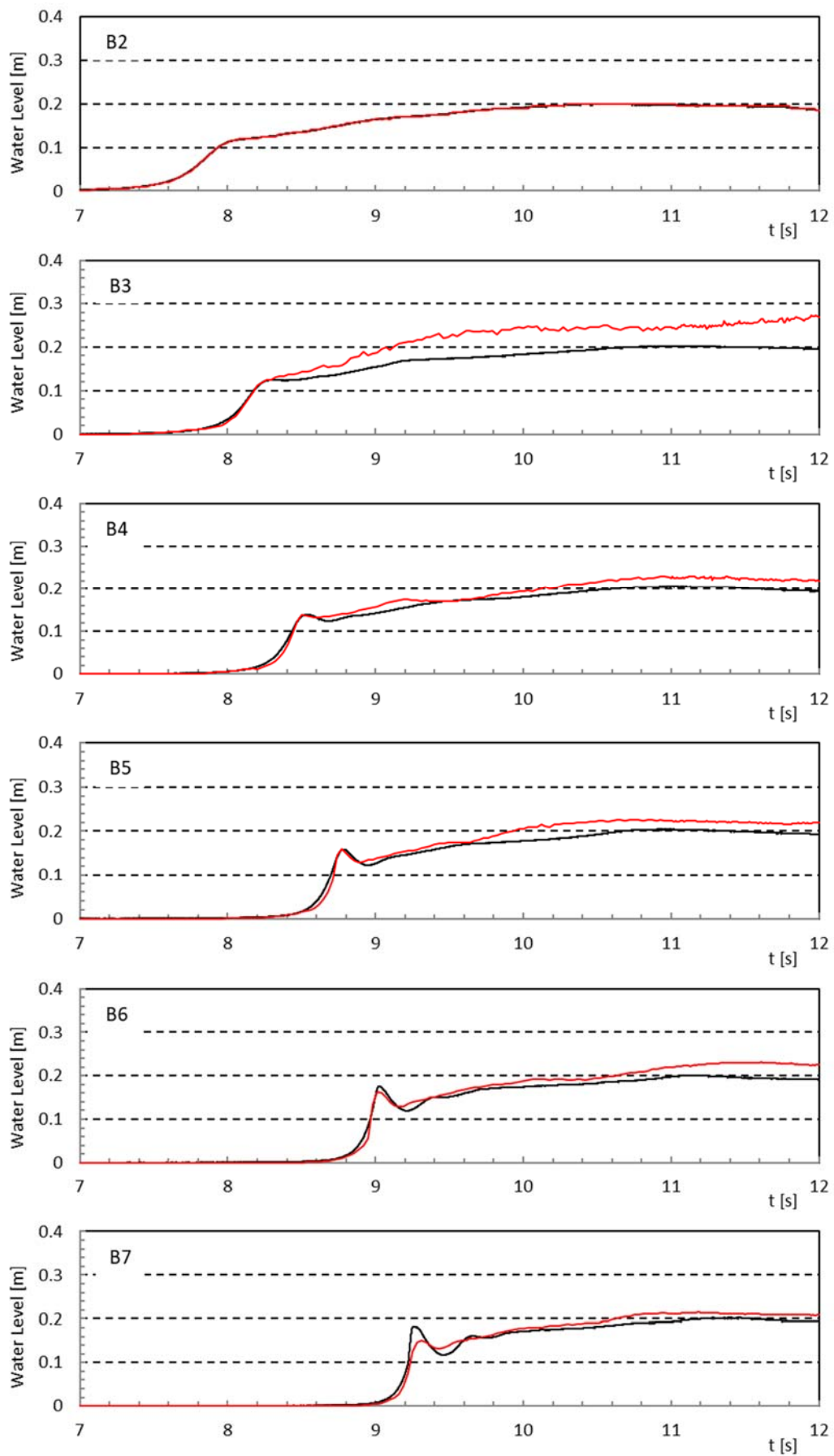


图- 10.3.2 水位時系列 (F-Wf20-A-20) (1/3)

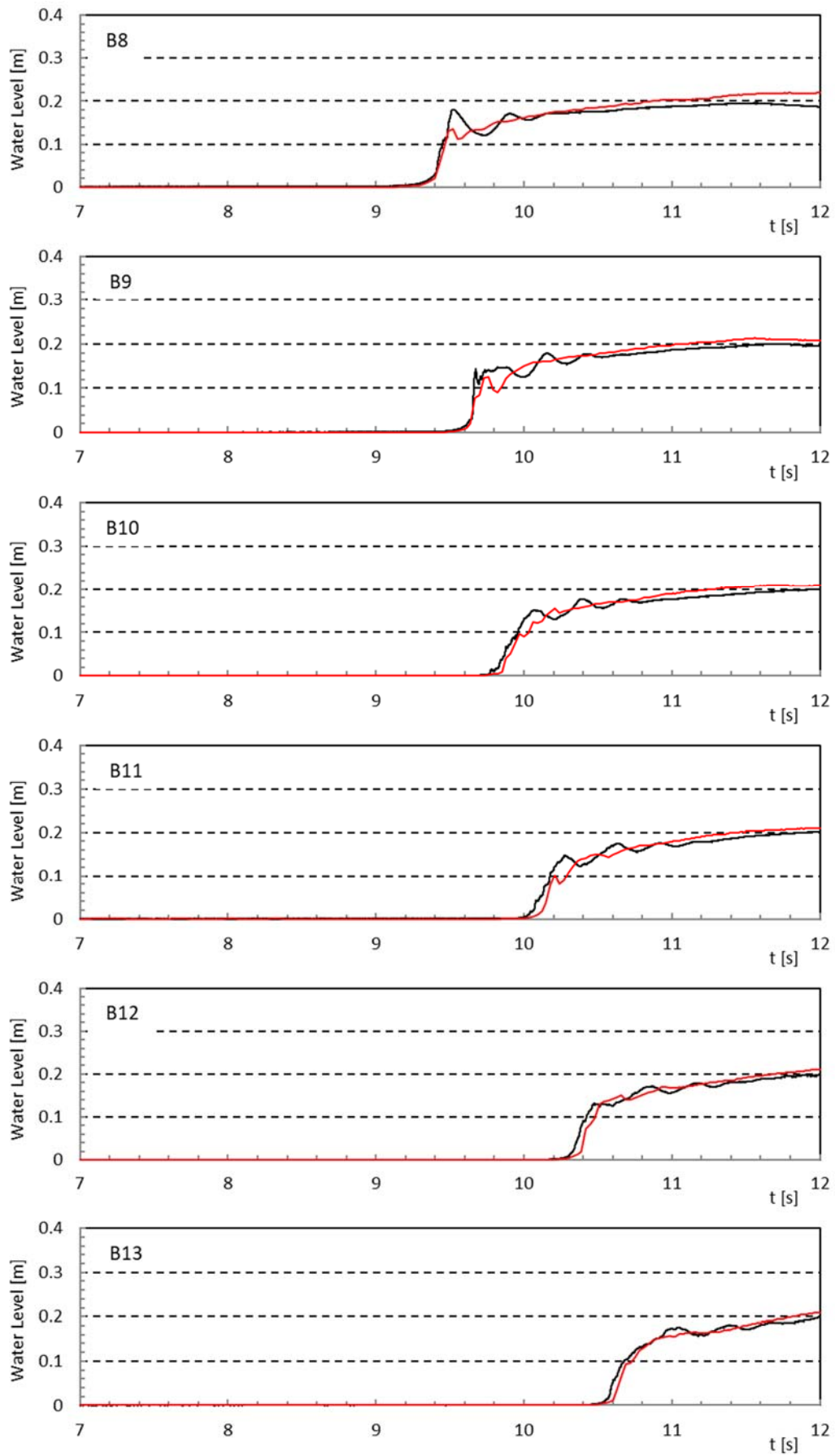


图- 10.3.2 水位時系列 (F-Wf20-A-20) (2/3)

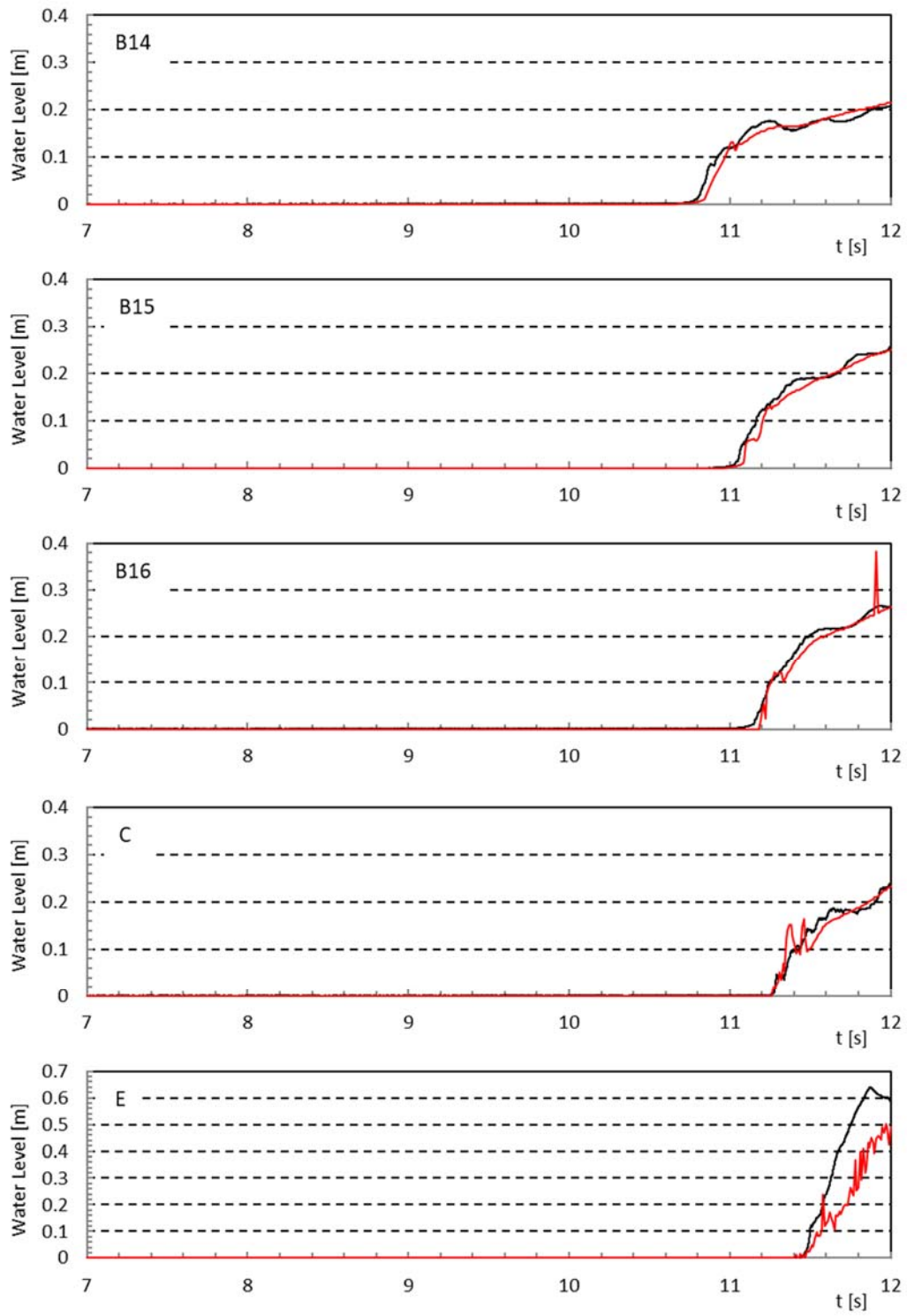


图- 10.3.2 水位時系列 (F-Wf20-A-20) (3/3)

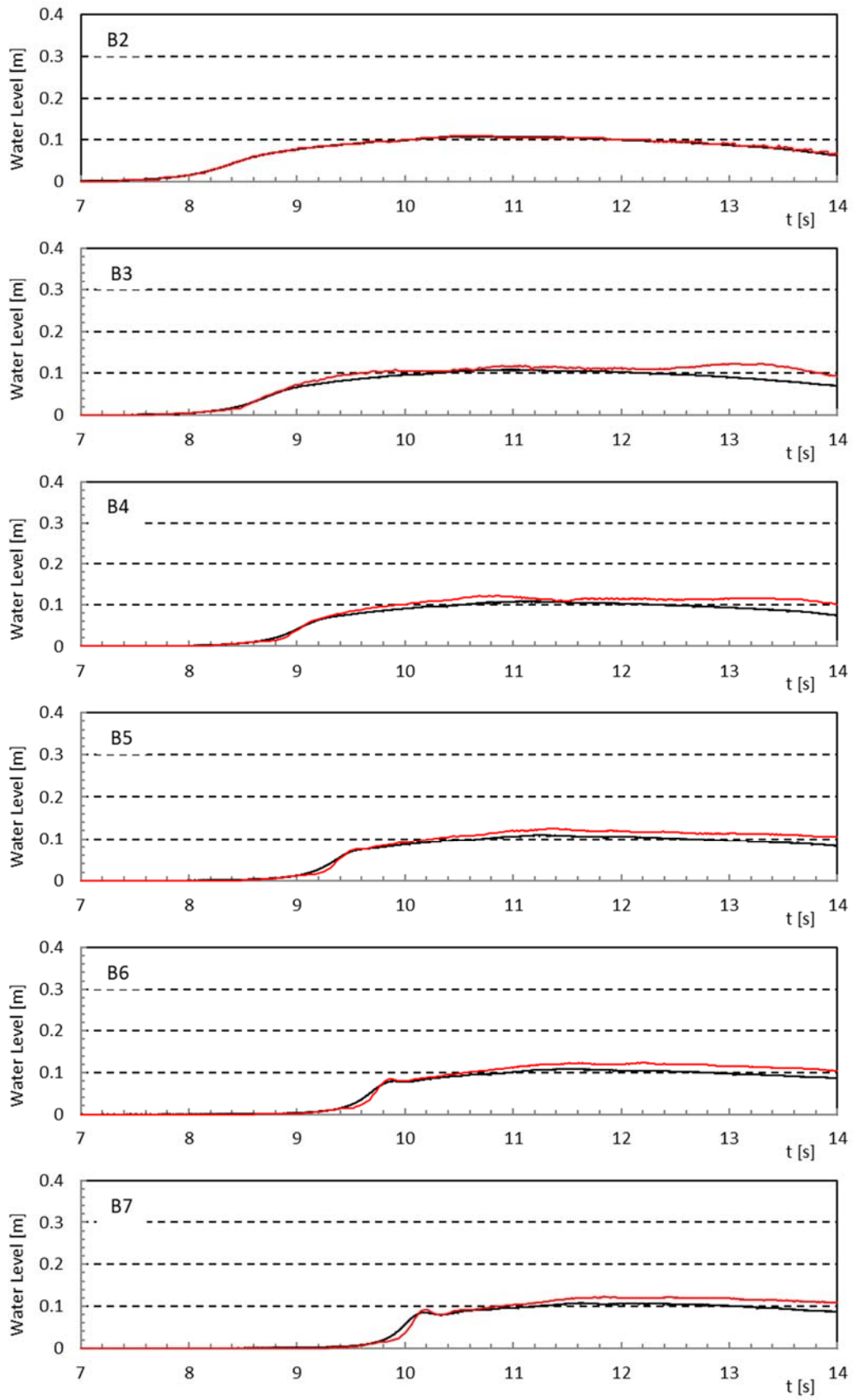


图- 10.3.3 水位時系列 (F-Wf30-A-10) (1/3)

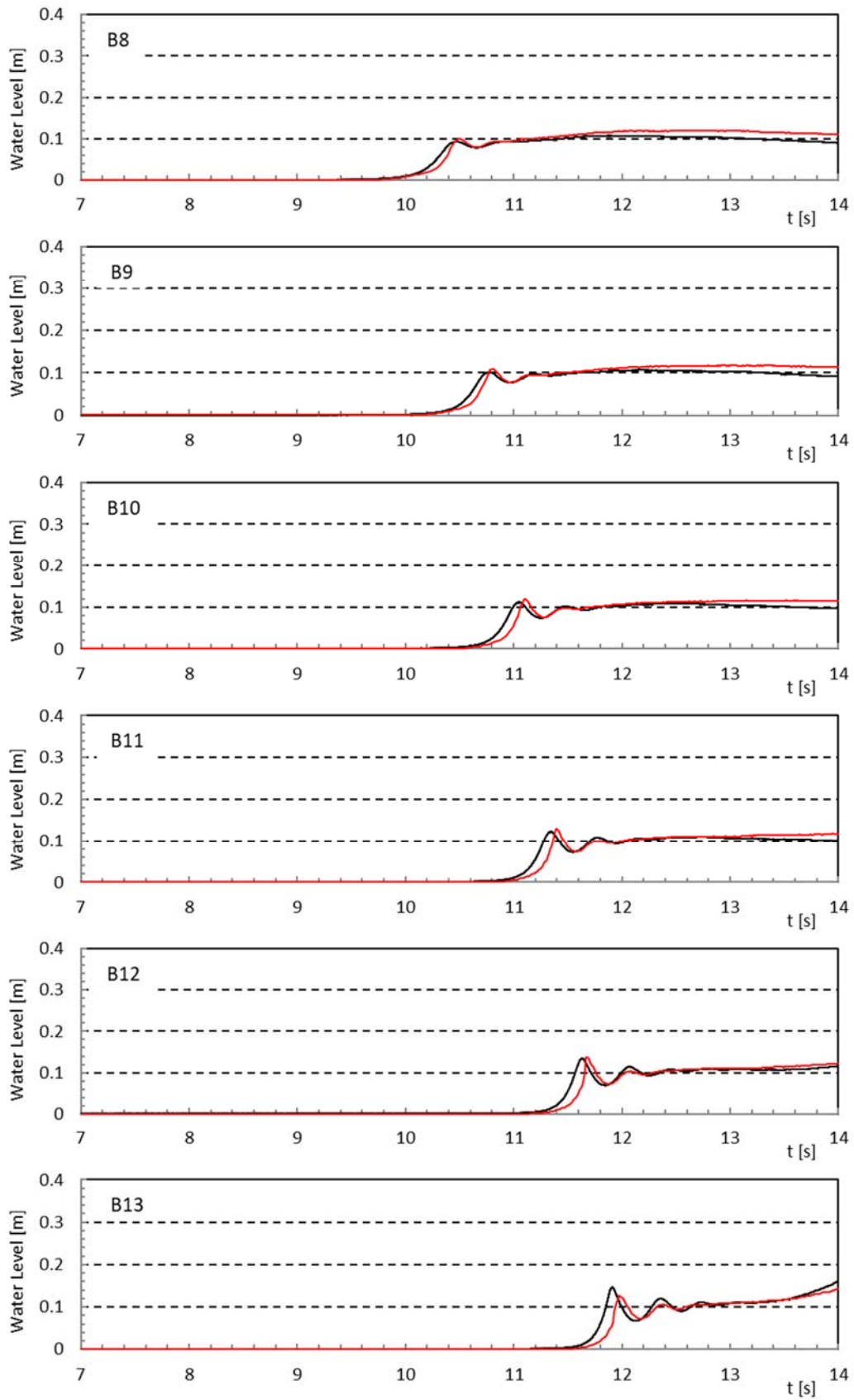


图- 10.3.3 水位時系列 (F-Wf30-A-10) (2/3)

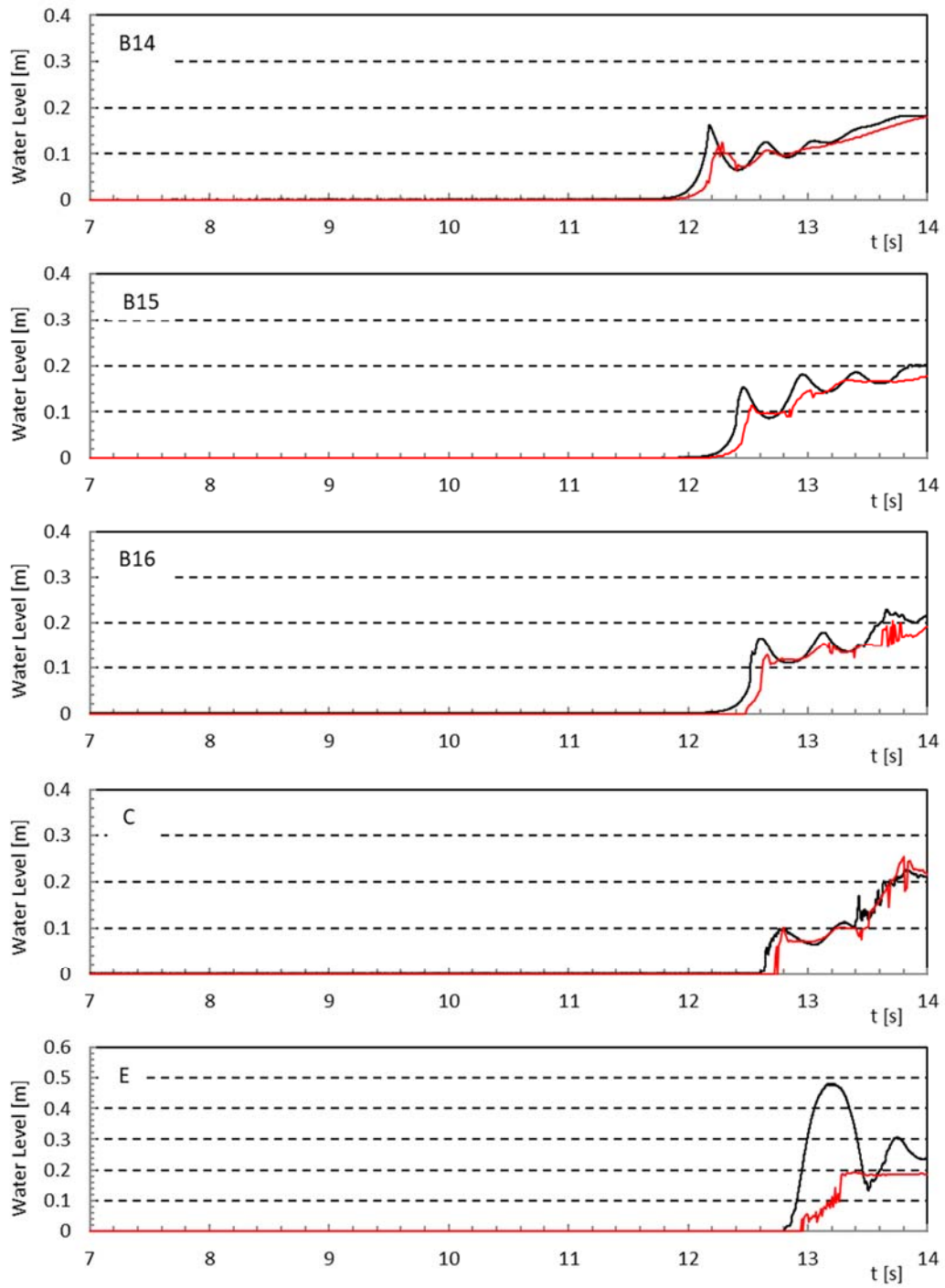


图- 10.3.3 水位時系列 (F-Wf30-A-10) (3/3)

10.3.2. 流速の時系列波形

図- 10.3.4～図- 10.3.6 に、B2, B3, B4, B5, C 地点での流速時系列図をそれぞれ示す。ここでは、漂流物 A, 堤体位置 625mm, 波種類 Wf10 の漂流物初期位置 1000mm (図- 10.3.4 F-Wf10-A-10), 波種類 Wf20 の漂流物初期位置 2000mm (図- 10.3.5 F-Wf20-A-20), 波種類 Wf30 の漂流物初期位置 1000mm (図- 10.3.6 F-Wf30-A-10) のケースを示した。なお、解析結果を赤線、試験結果を黒線で示した。

シミュレーション解析結果は、境界付近 B3 の流速において境界の影響により差異が見られるが、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。

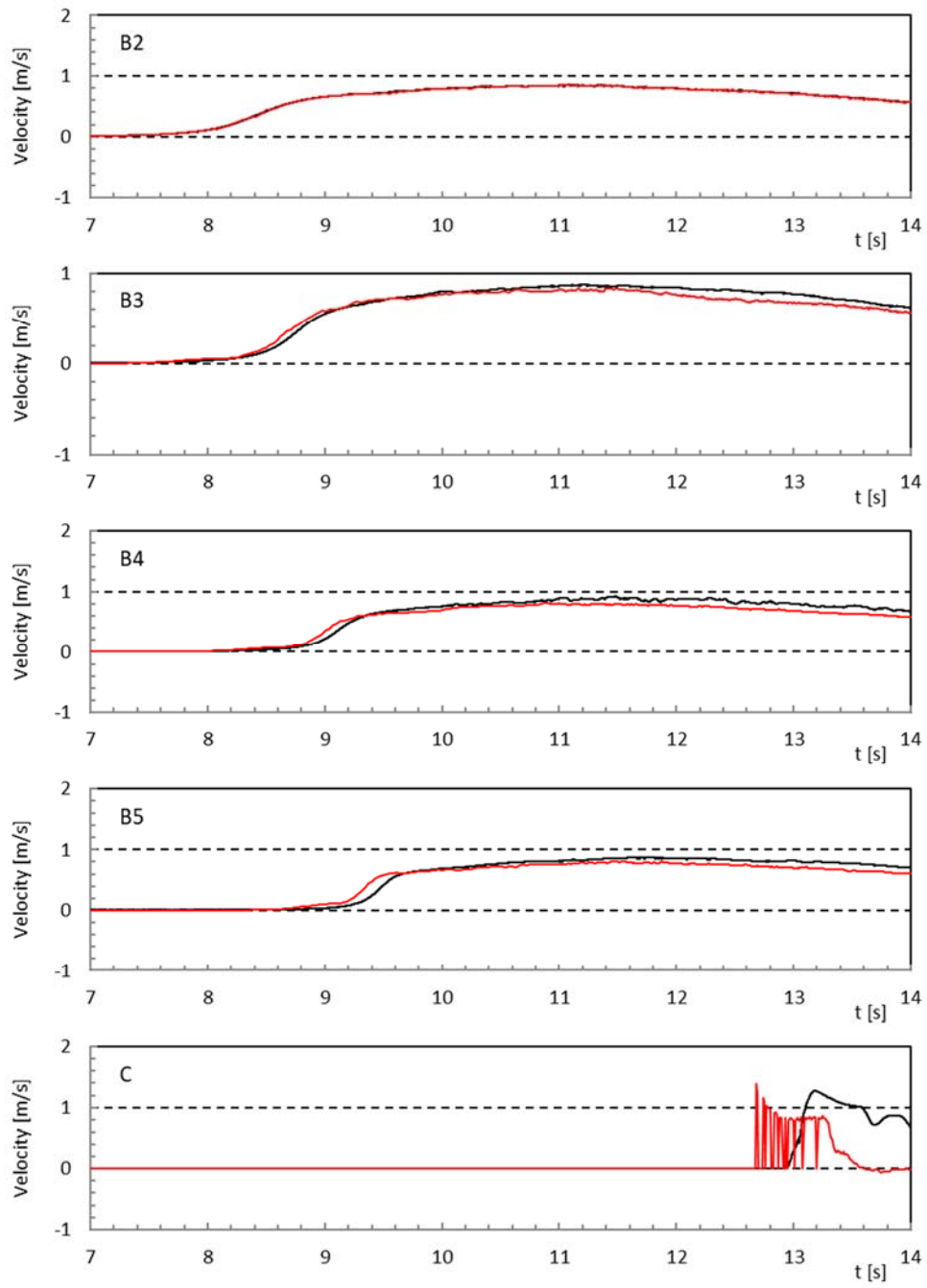


图- 10.3.4 流速時系列 (F-Wf10-A-10)

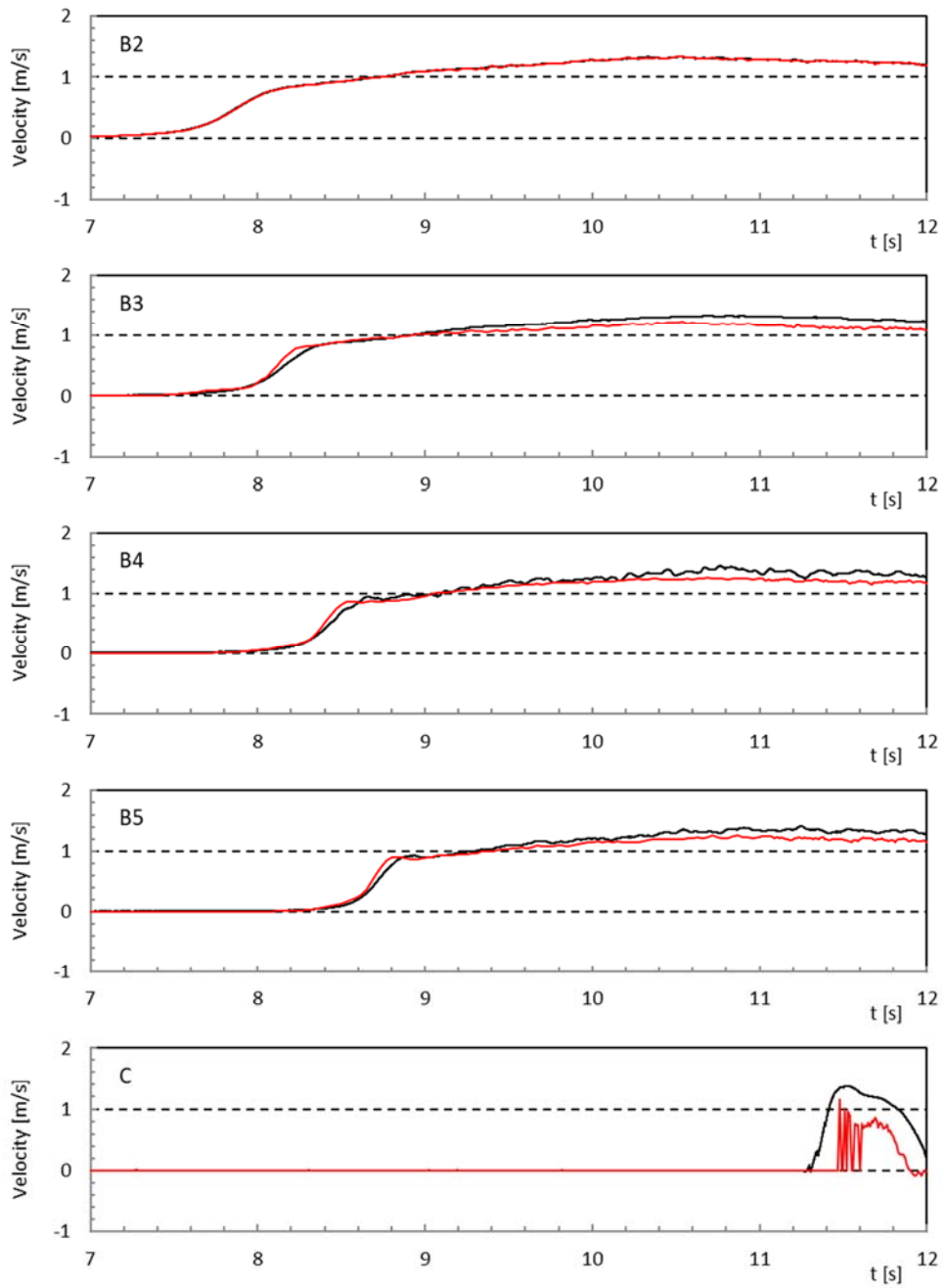


图- 10.3.5 流速時系列 (F-Wf20-A-20)

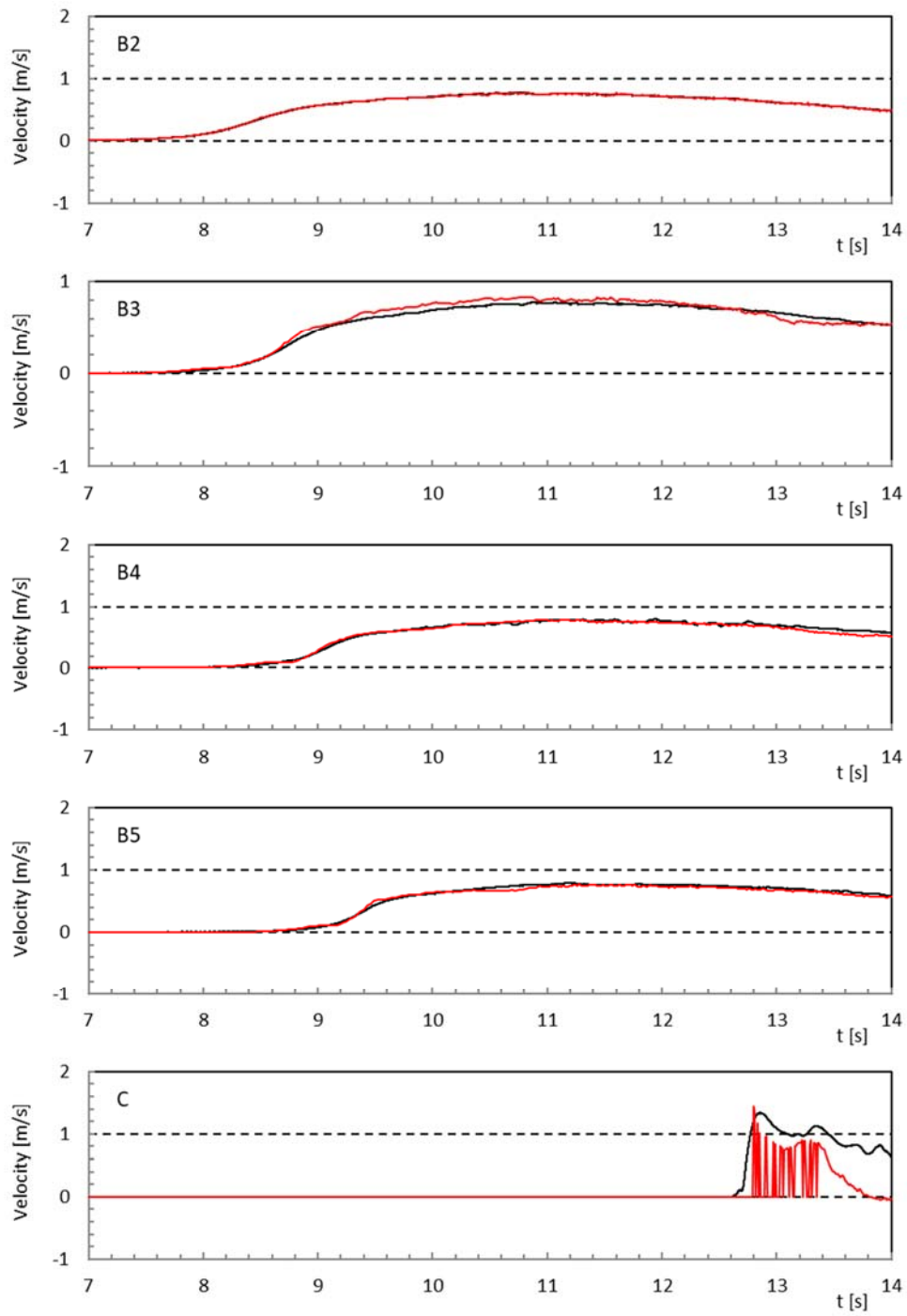


图- 10.3.6 流速時系列 (F-Wf30-A-10)

10.3.3. 衝突の有無

表-10.3.1に、堤体へ津波が到達した時刻と、漂流物の先端位置がもっとも堤体に近づいた時刻を示す。解析結果は、津波到達の前後に衝突あるいは最接近しているが、津波の到達前に漂流物が衝突する現象が生じており、今後検討する必要がある。

漂流物の最接近位置と離れた位置の圧力の差異から、衝突の可能性について検討した結果を表-10.3.2に示す。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を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「×」とした。例として、F-Wf20-A-20（波種類 Wf20，漂流物 TypeA，初期位置 2000mm）における、漂流物が最接近した時刻における圧力の鉛直圧力分布を図-10.3.7に示す。ここで鉛直分布は、漂流物が最接近した堤体面における幅0.005m（粒径サイズ）断面と、堤体中心から0.05m離れた断面（漂流物最接近した位置からも0.05m以上離れる）での圧力分布である。

表- 10.3.1 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
F-Wf10-A-10	12.81s	13.56s
F-Wf20-A-20	11.44s	11.55s
F-Wf20-A-30	11.46s	11.57s
F-Wf20-A-40	11.46s	11.70s
F-Wf20-A-50	11.48s	12.00s
F-Wf30-A-10	12.95s	14.00s
F-Wf10-E-10	12.81s	13.73s
F-Wf20-E-20	11.45s	11.69s
F-Wf20-E-30	11.43s	11.73s
F-Wf20-E-40	11.43s	12.00s
F-Wf20-E-50	11.52s	12.00s
F-Wf30-E-10	12.93s	13.94s
F-Wf20-F-20	11.48s	11.44s
F-Wf20-F-30	11.44s	11.52s
F-Wf20-F-40	11.44s	11.67s
F-Wf20-F-50	11.48s	11.39s
F-Wf30-F-10	12.93s	13.51s
F-Wf20-G-20	11.45s	11.90s
F-Wf20-G-30	11.47s	12.00s
F-Wf20-G-40	11.47s	12.00s
F-Wf20-G-50	11.50s	12.00s

表- 10.3.2 衝突判断結果

ケース名	漂流物最接近時の 圧力差	衝突判定
F-Wf10-A-10	---	×
F-Wf20-A-20	237kPa	○
F-Wf20-A-30	118kPa	○
F-Wf20-A-40	154kPa	○
F-Wf20-A-50	---	×
F-Wf30-A-10	---	×
F-Wf10-E-10	---	×
F-Wf20-E-20	970kPa	○
F-Wf20-E-30	239kPa	○
F-Wf20-E-40	---	×
F-Wf20-E-50	---	×
F-Wf30-E-10	---	×
F-Wf20-F-20	216kPa	○
F-Wf20-F-30	29kPa	○
F-Wf20-F-40	---	×
F-Wf20-F-50	624Pa	○
F-Wf30-F-10	---	×
F-Wf20-G-20	1136kPa	○
F-Wf20-G-30	---	×
F-Wf20-G-40	---	×
F-Wf20-G-50	---	×

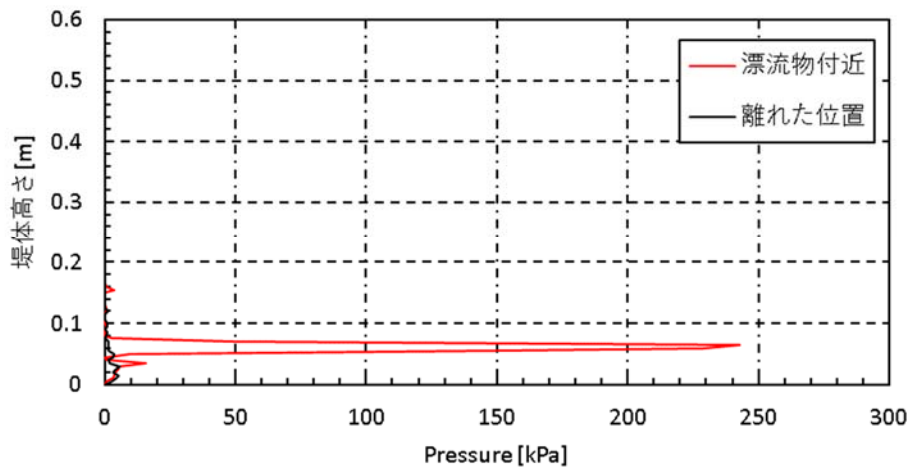
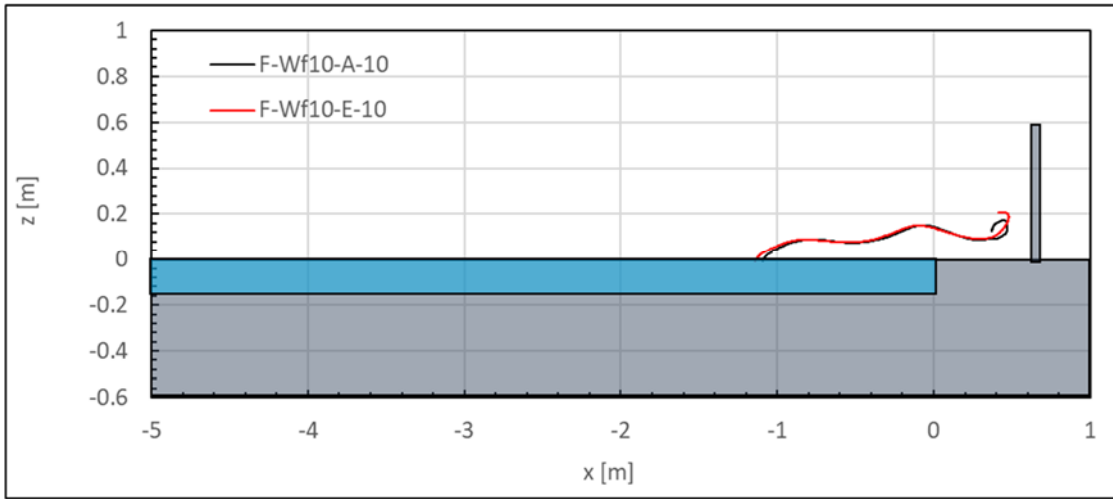


図- 10.3.7 鉛直波圧分布の一例

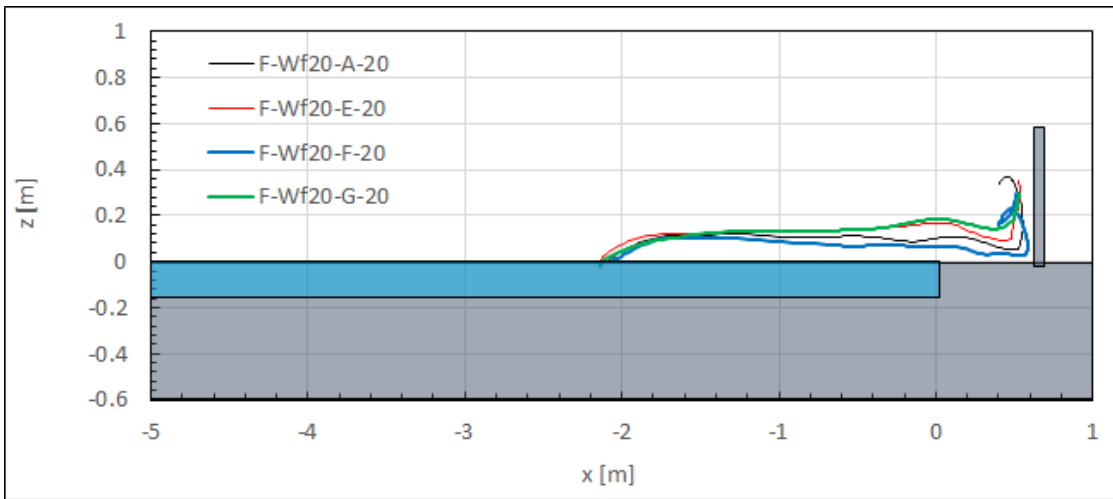
(F-Wf20-A-20 : 波種類 Wf20, 漂流物 TypeA, 初期位置 2000mm)

10.3.4. 漂流物の移動軌跡

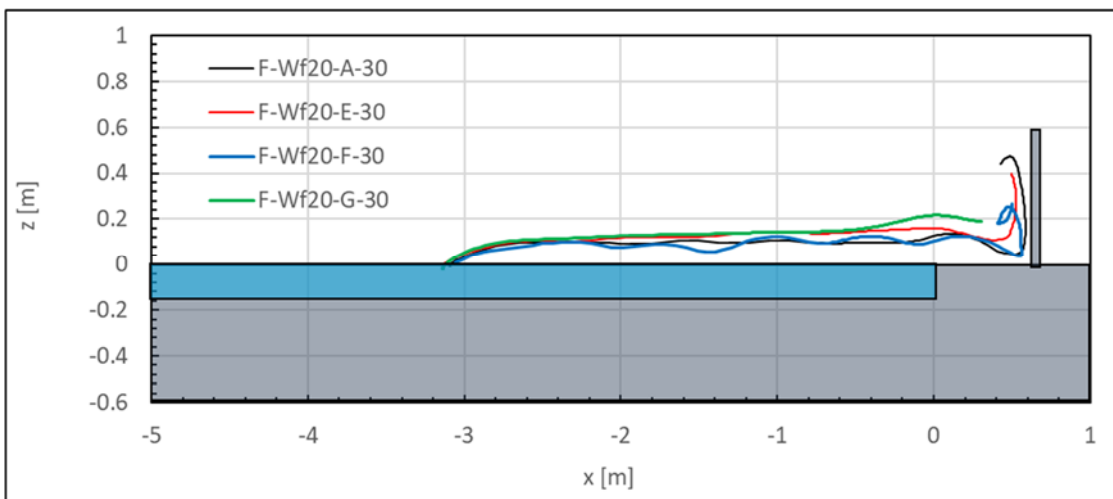
漂流物が堤体に衝突した可能性を更に検討するため、図-10.3.8に、漂流物の移動軌跡(重心点)および比較結果を示す。前述の圧力の計測結果からの判断では、衝突が確認されるケースが少なかったが、移動軌跡を確認すると多くのケースで漂流物は堤体近傍まで近づいていることが分かる。



波種類 Wf10, 初期位置 1000mm

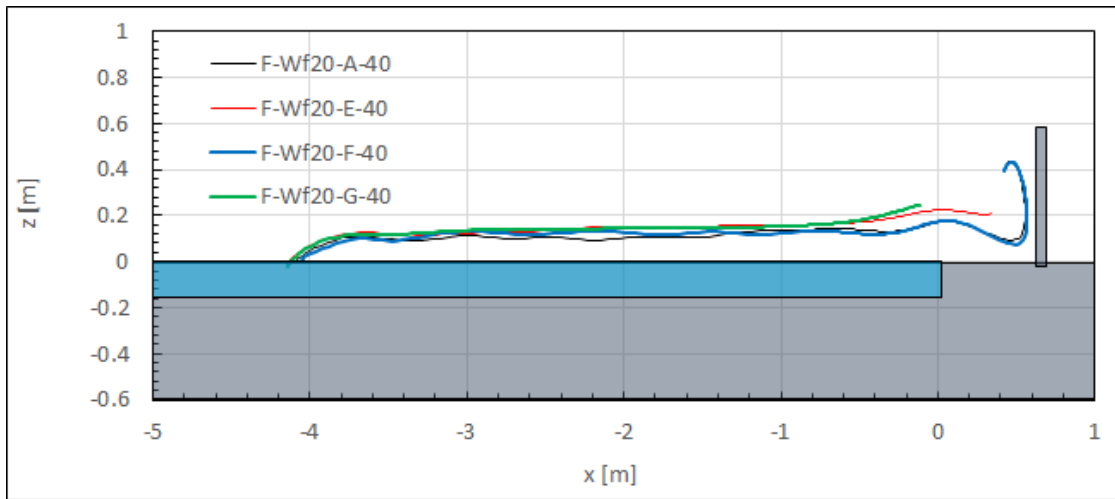


波種類 Wf20, 初期位置 2000mm

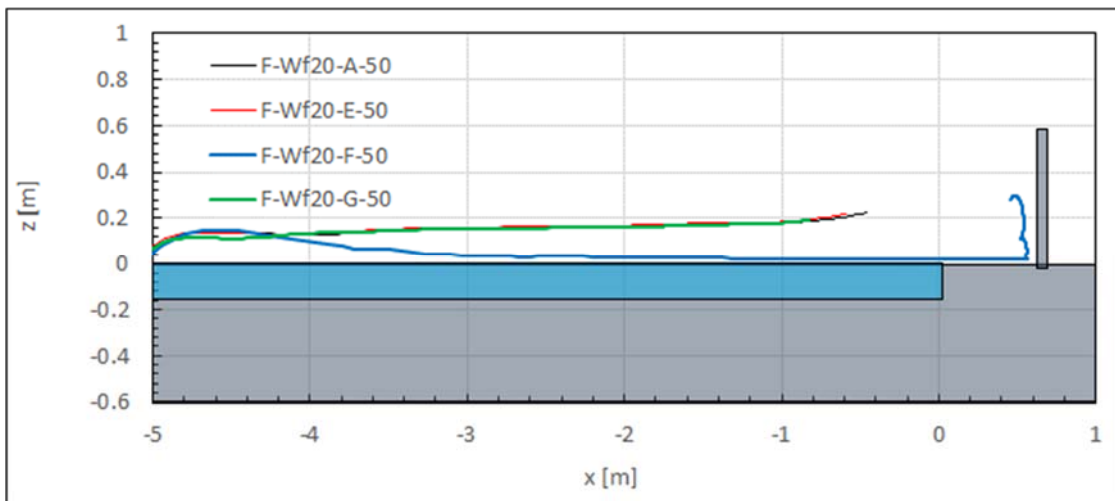


波種類 Wf20, 初期位置 3000mm

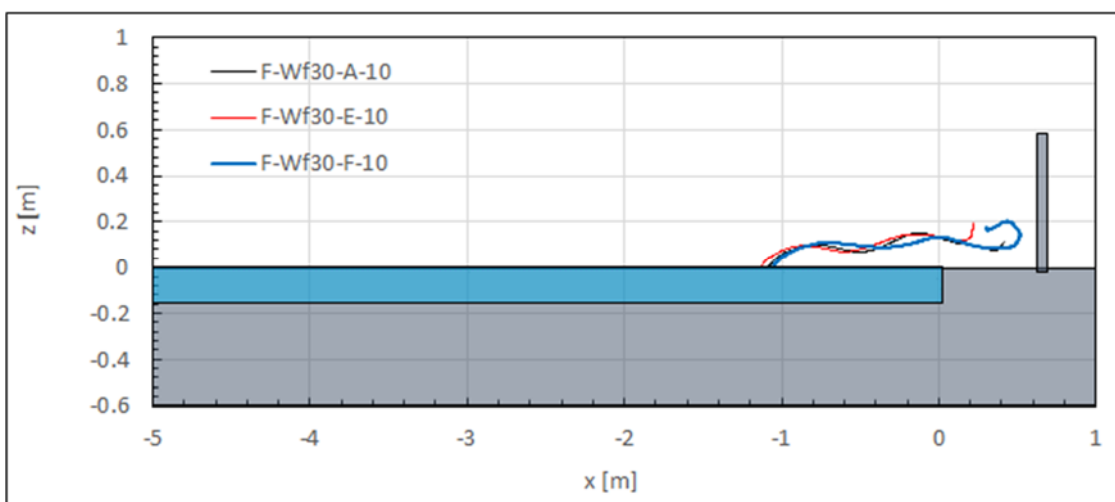
図- 10.3.8 漂流物の移動軌跡 (1/2)



波種類 Wf20, 初期位置 4000mm



波種類 Wf20, 初期位置 5000mm



波種類 Wf30, 初期位置 1000mm

図- 10.3.8 漂流物の移動軌跡 (2/2)

10.3.5. 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- 10.3.9～図- 10.3.29 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 次元鳥瞰図をケース毎に順に示す。

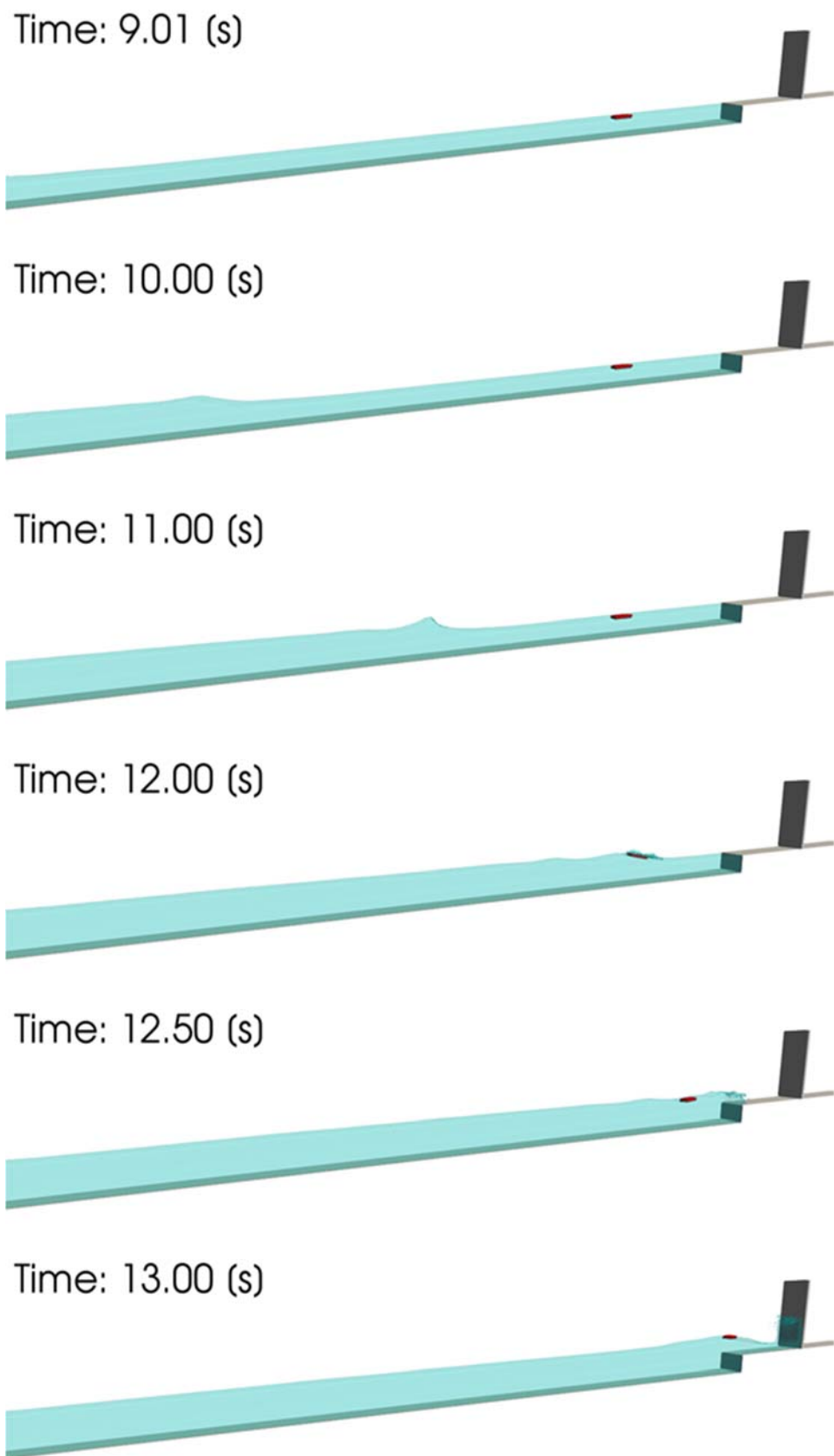


図- 10.3.9 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf10-A-10) (1/2)

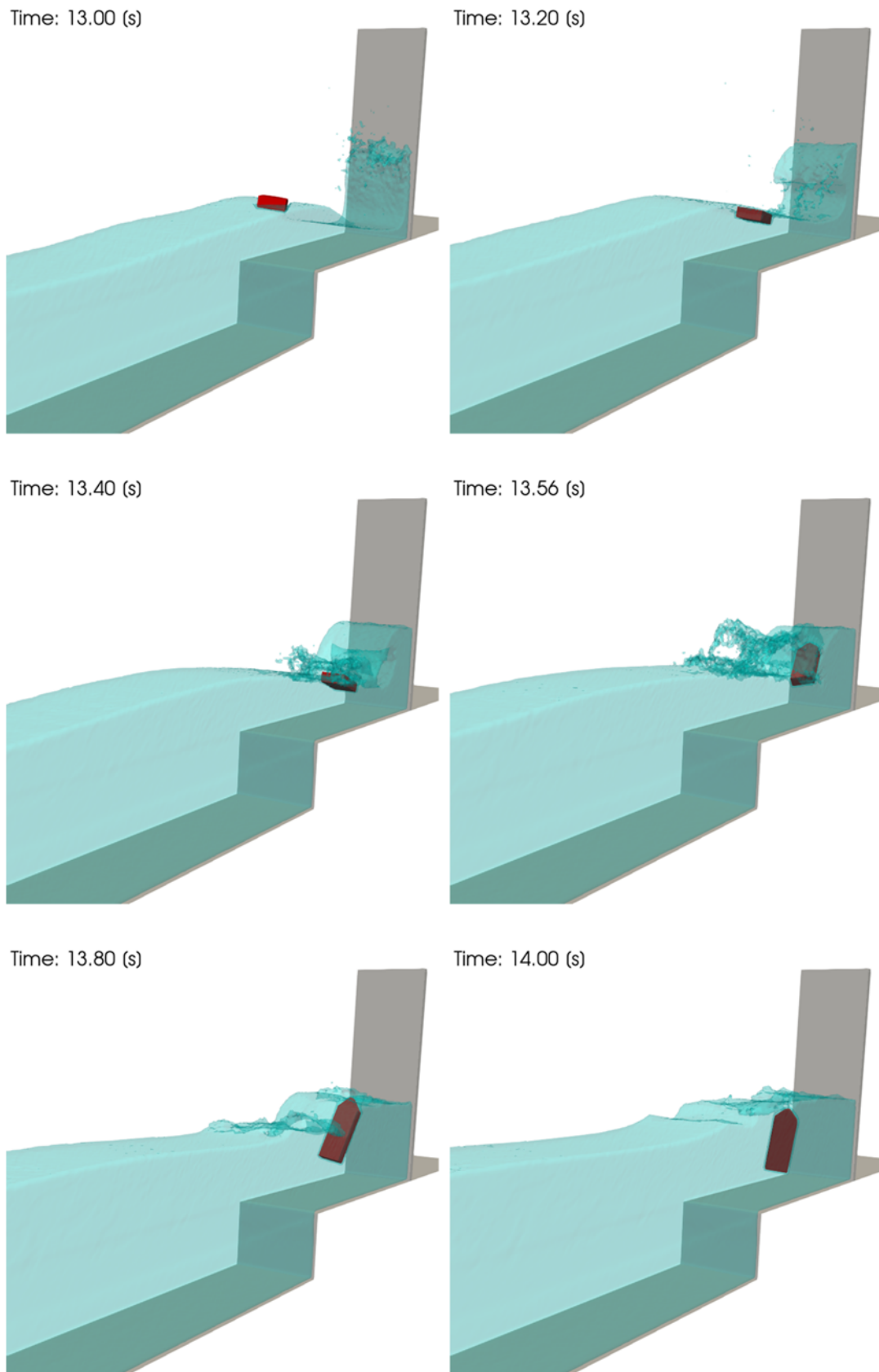


図- 10.3.9 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf10-A-10) (2/2)

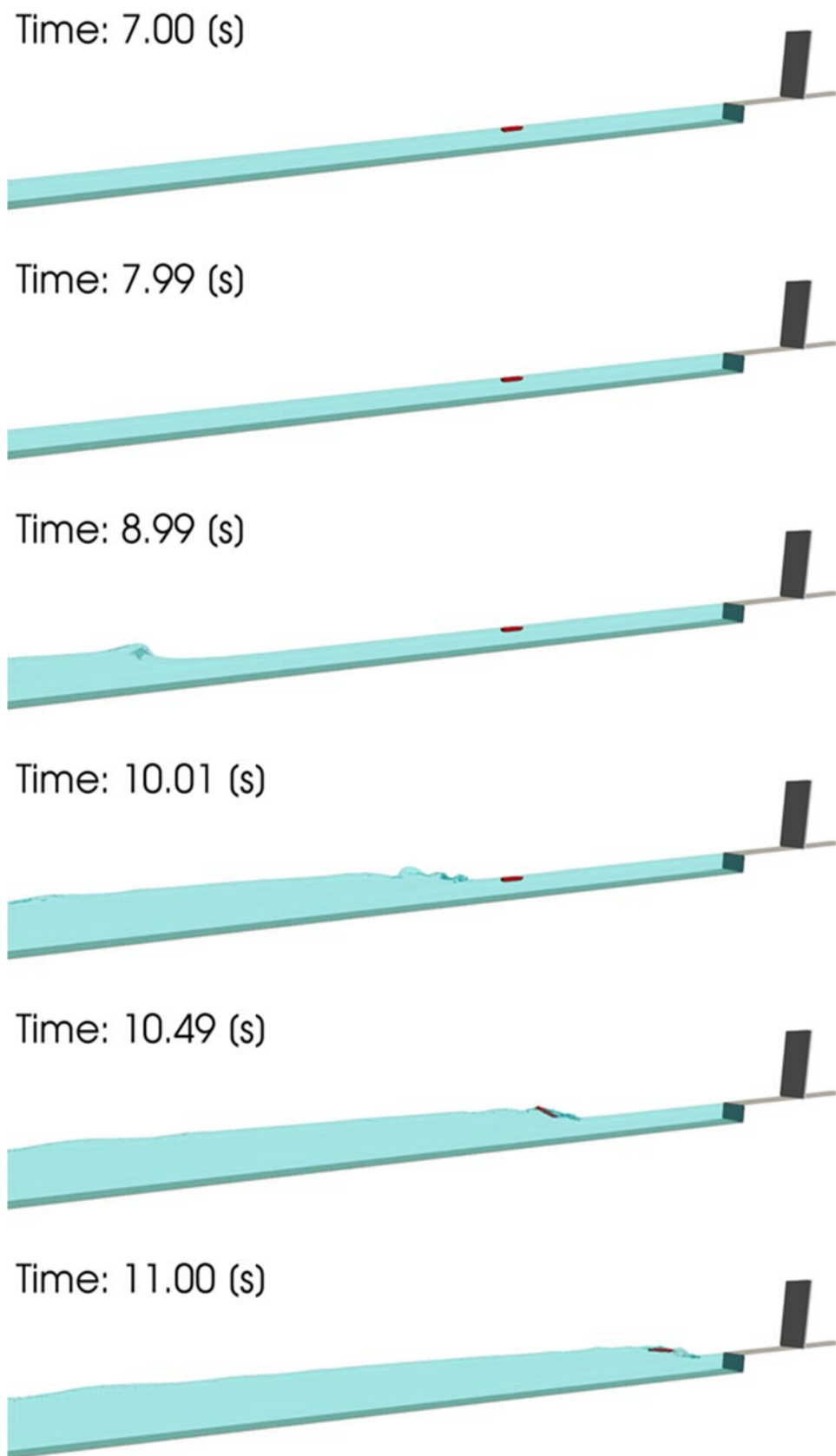


図- 10.3.10 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-A-20) (1/2)

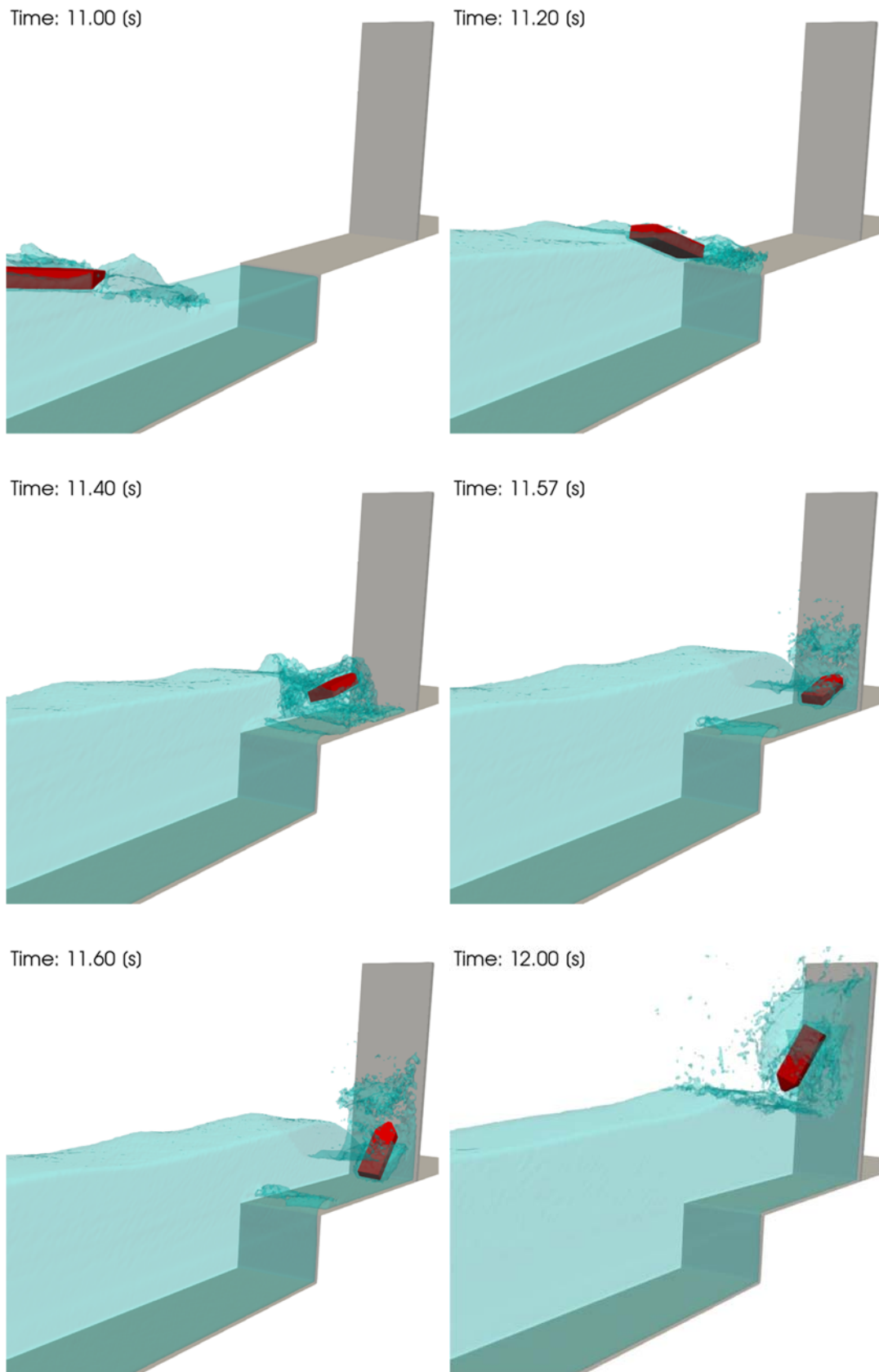


図- 10.3.10 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-A-20) (2/2)

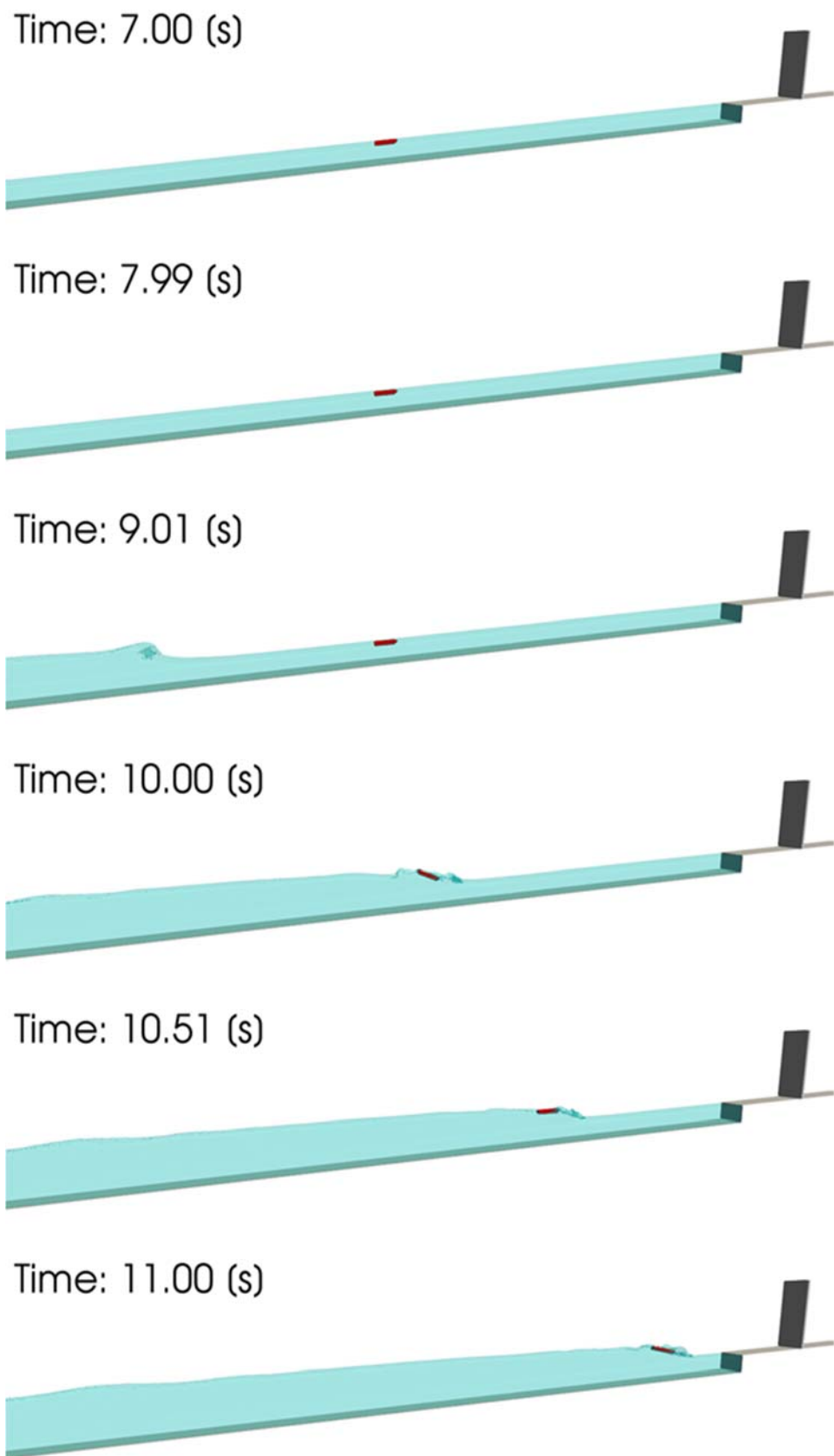


図- 10.3.11 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-A-30) (1/2)

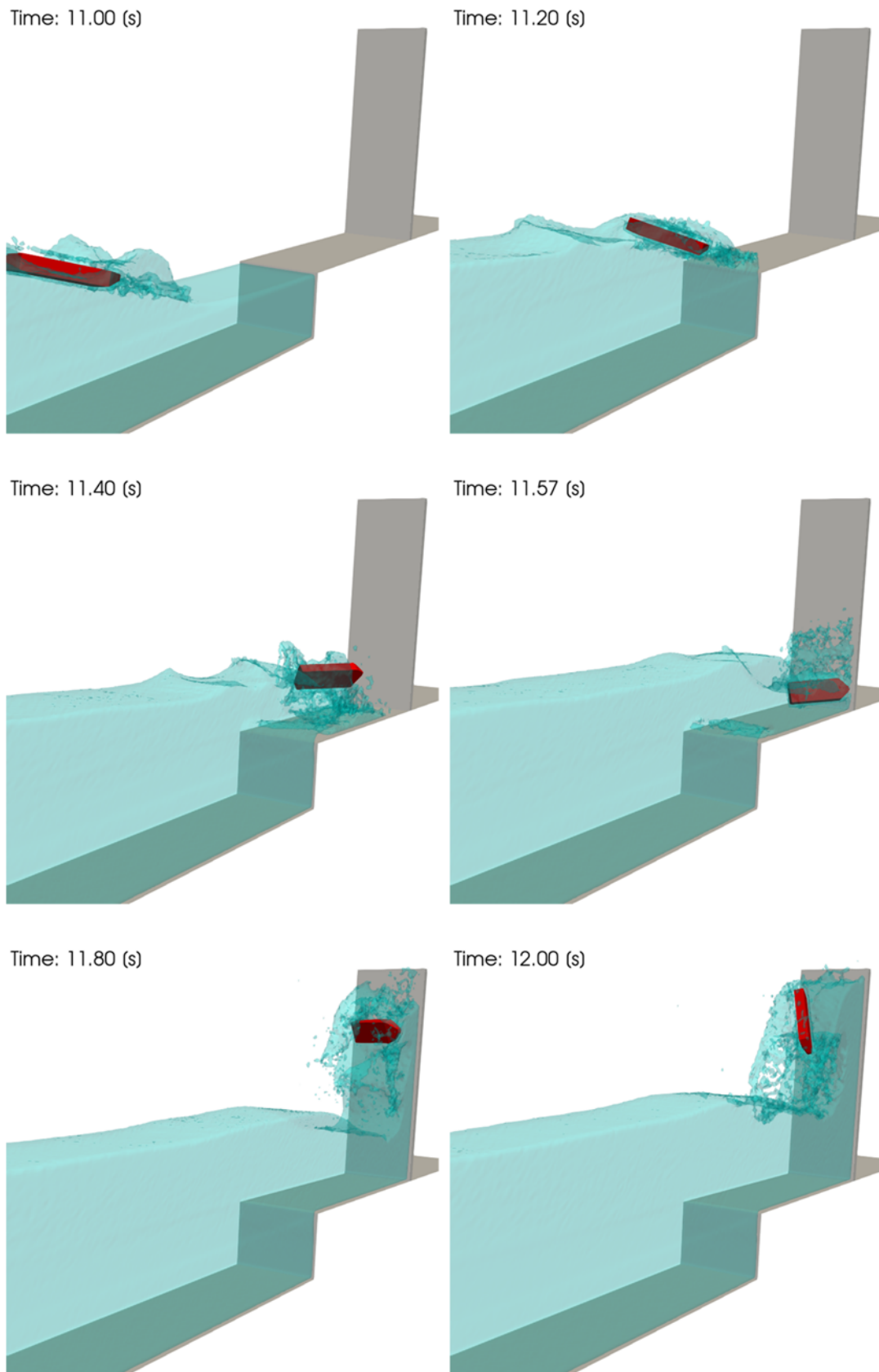


図- 10.3.11 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-A-30) (2/2)

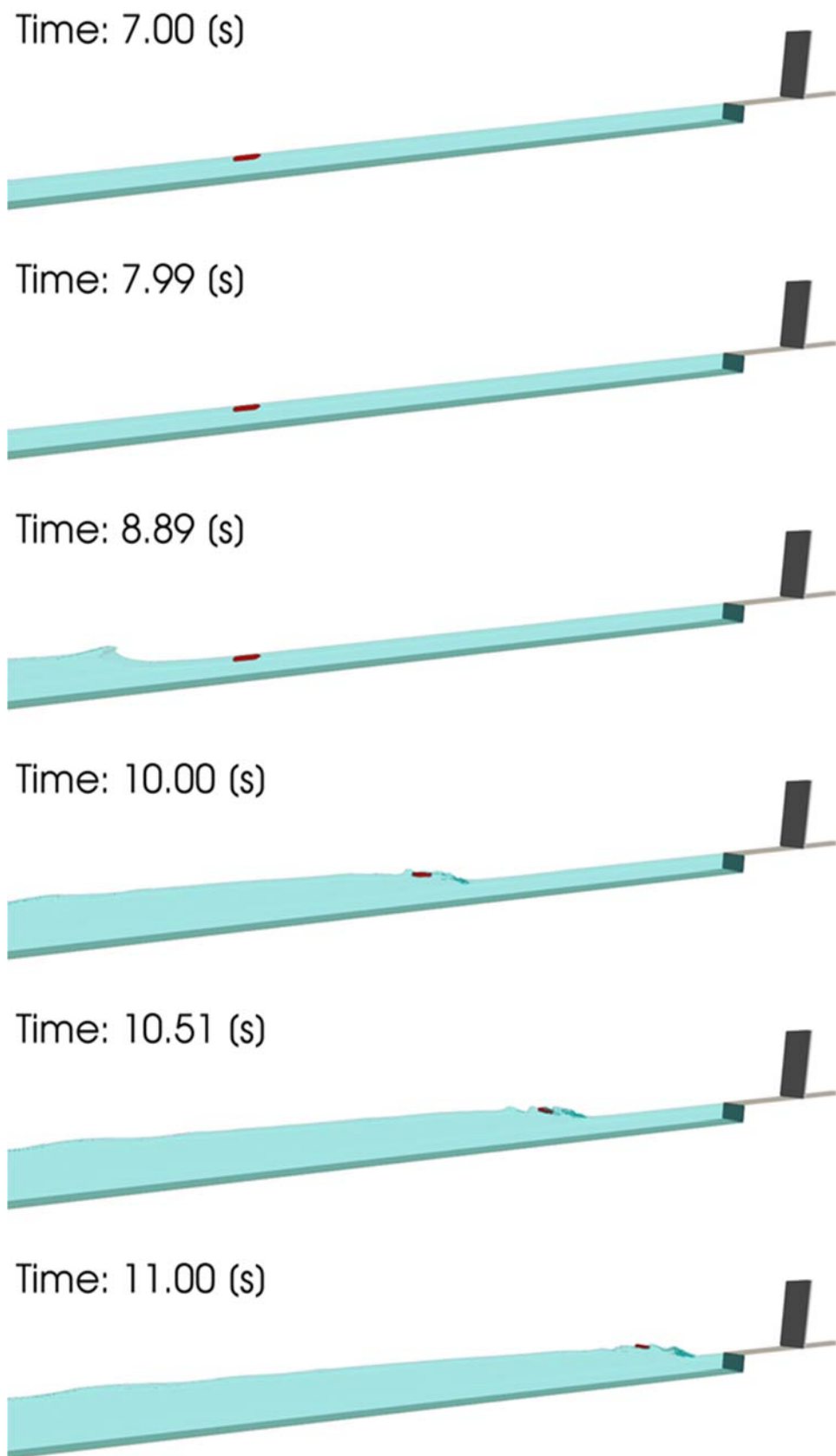


図- 10.3.12 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-A-40) (1/2)

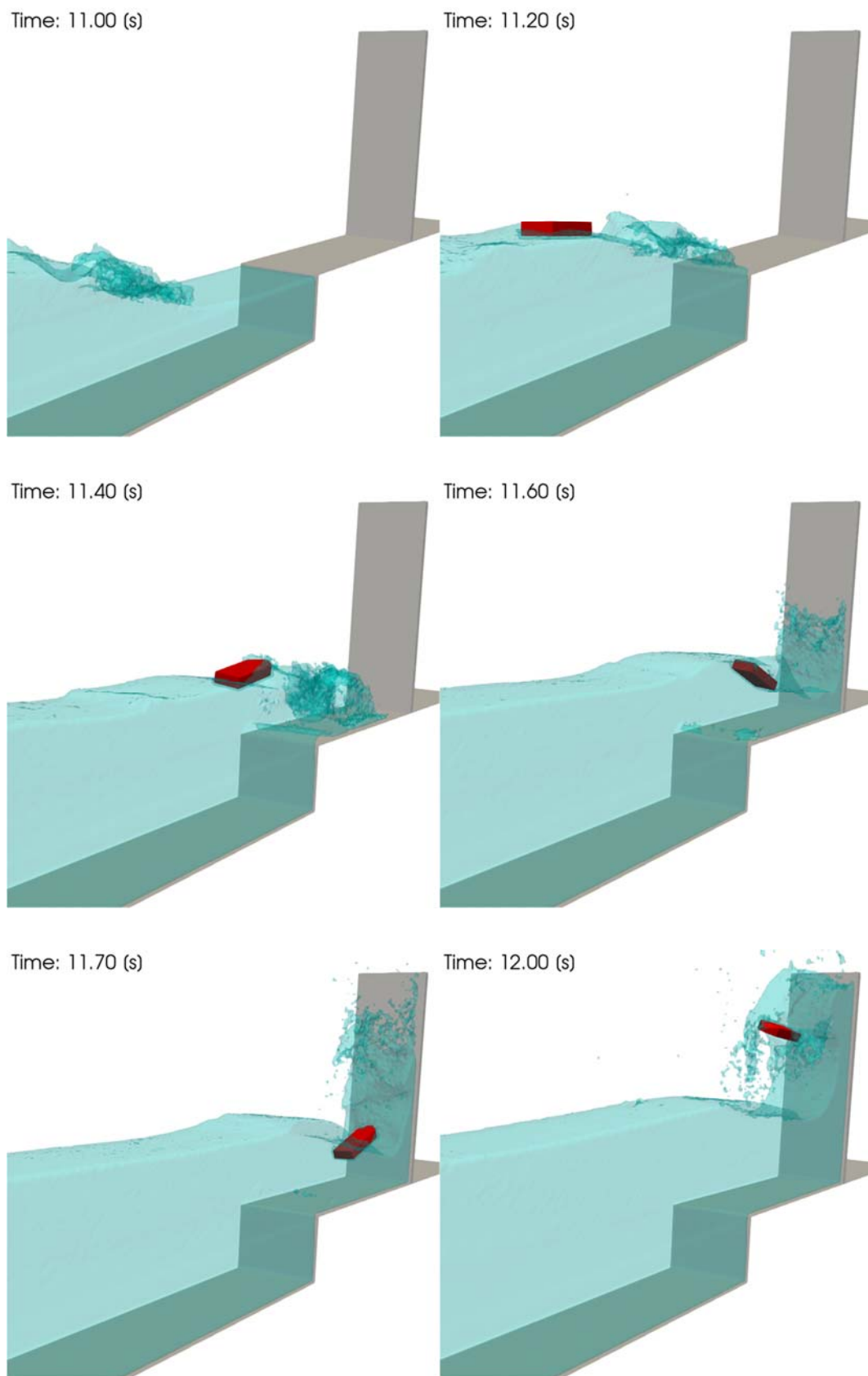


図- 10.3.12 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-A-40) (2/2)

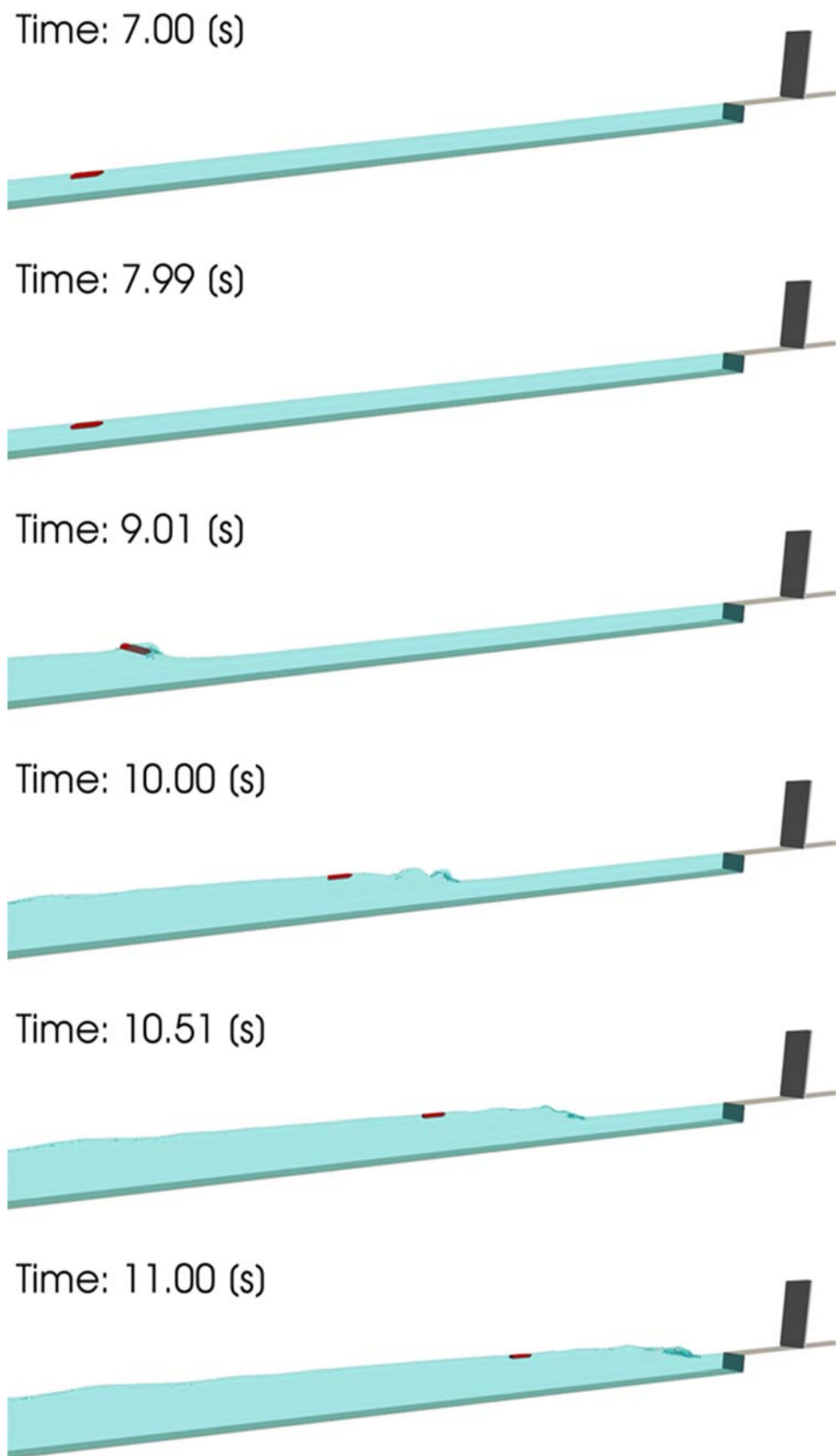


図- 10.3.13 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-A-50) (1/2)

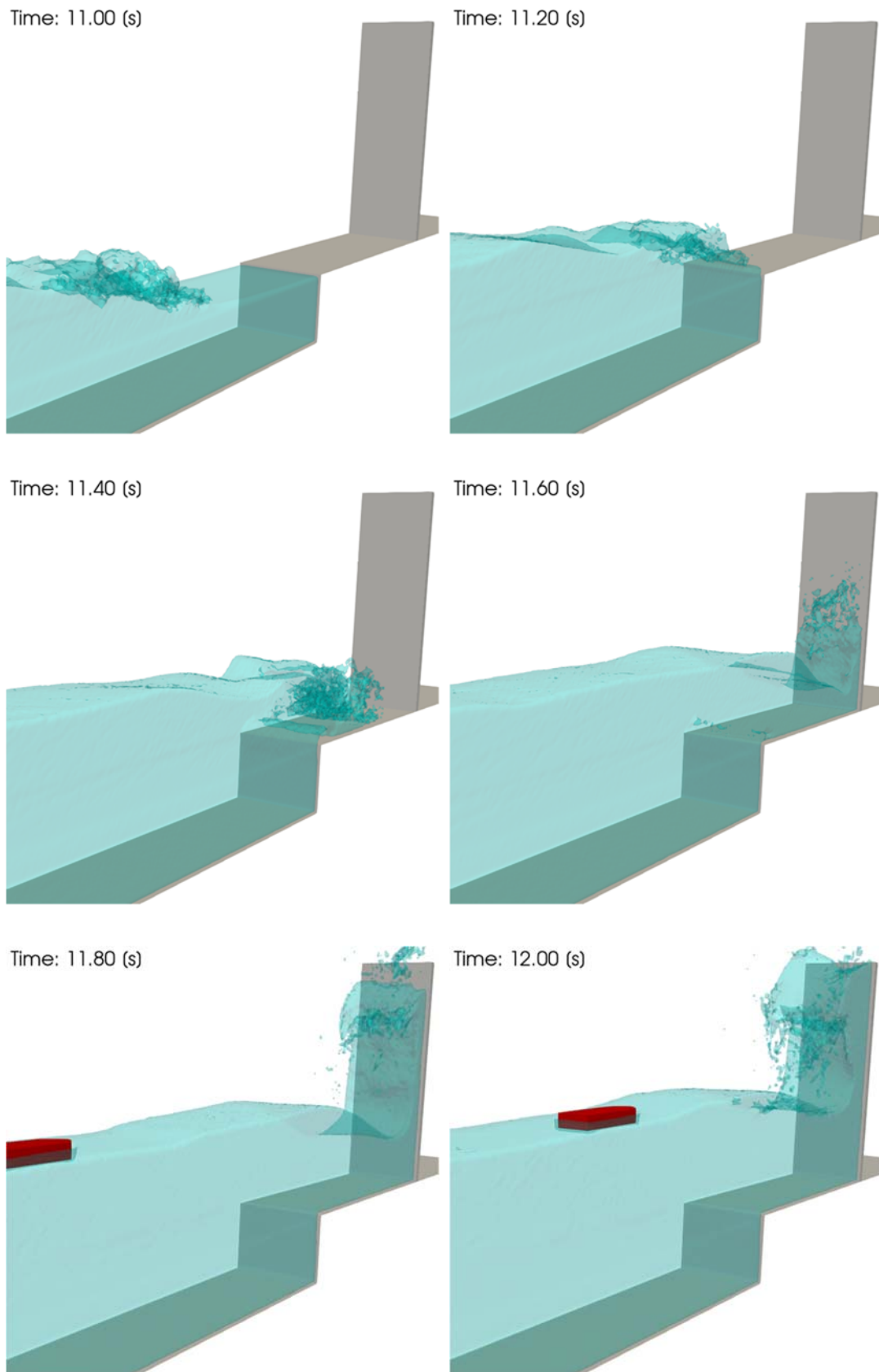


図- 10.3.13 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-A-50) (2/2)

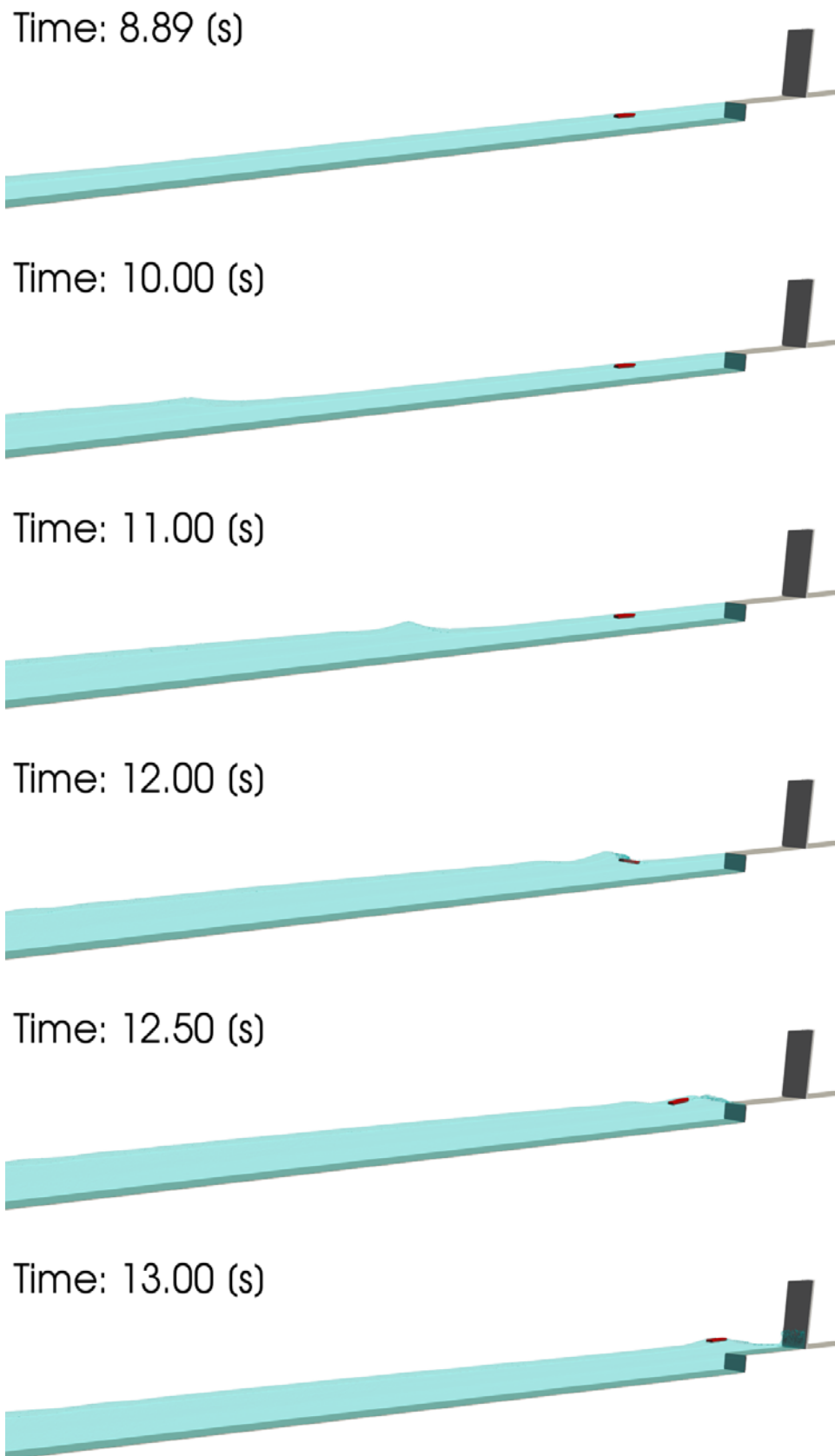


図- 10.3.14 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf30-A-10) (1/2)

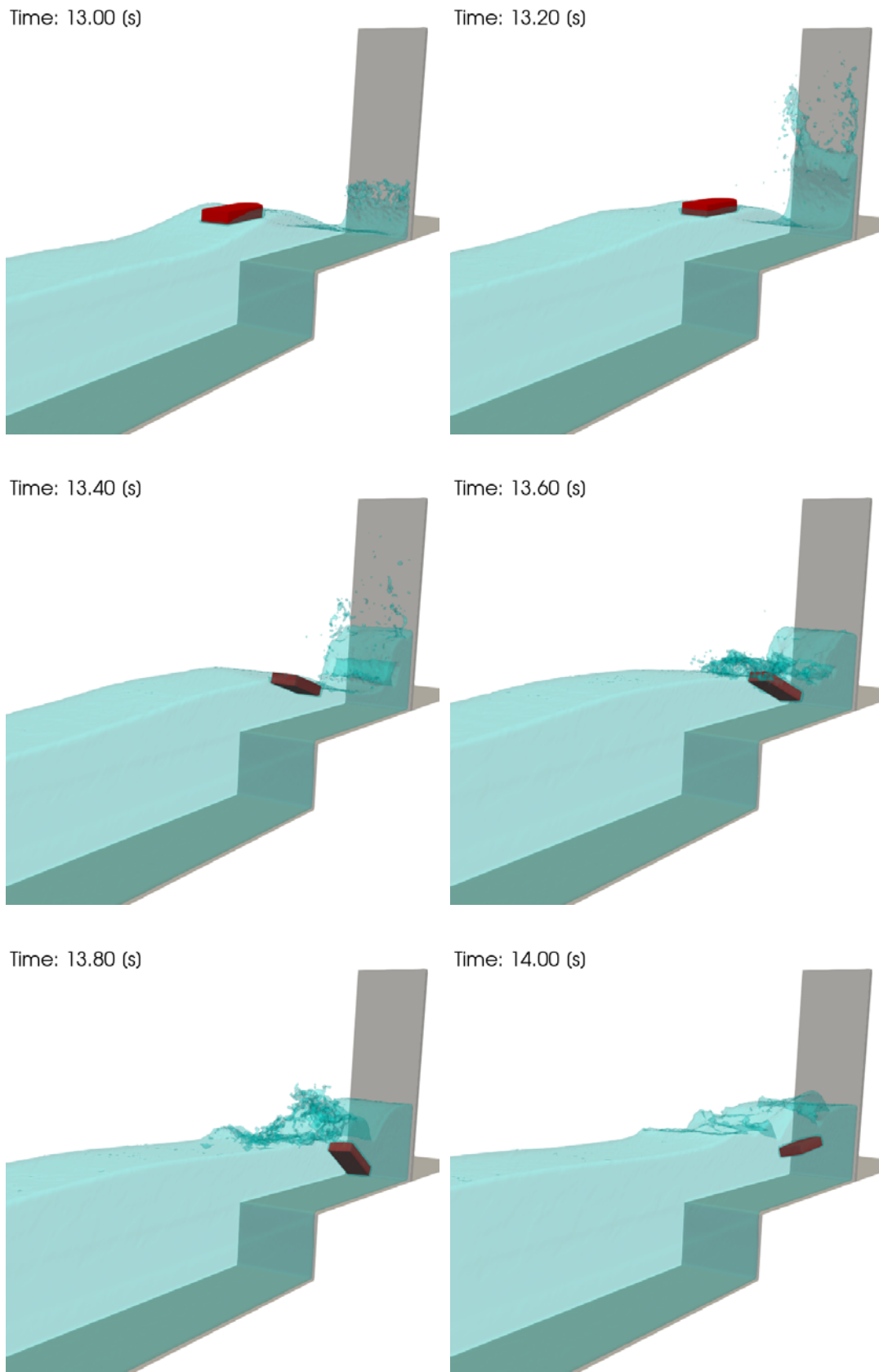


図- 10.3.14 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf30-A-10) (2/2)

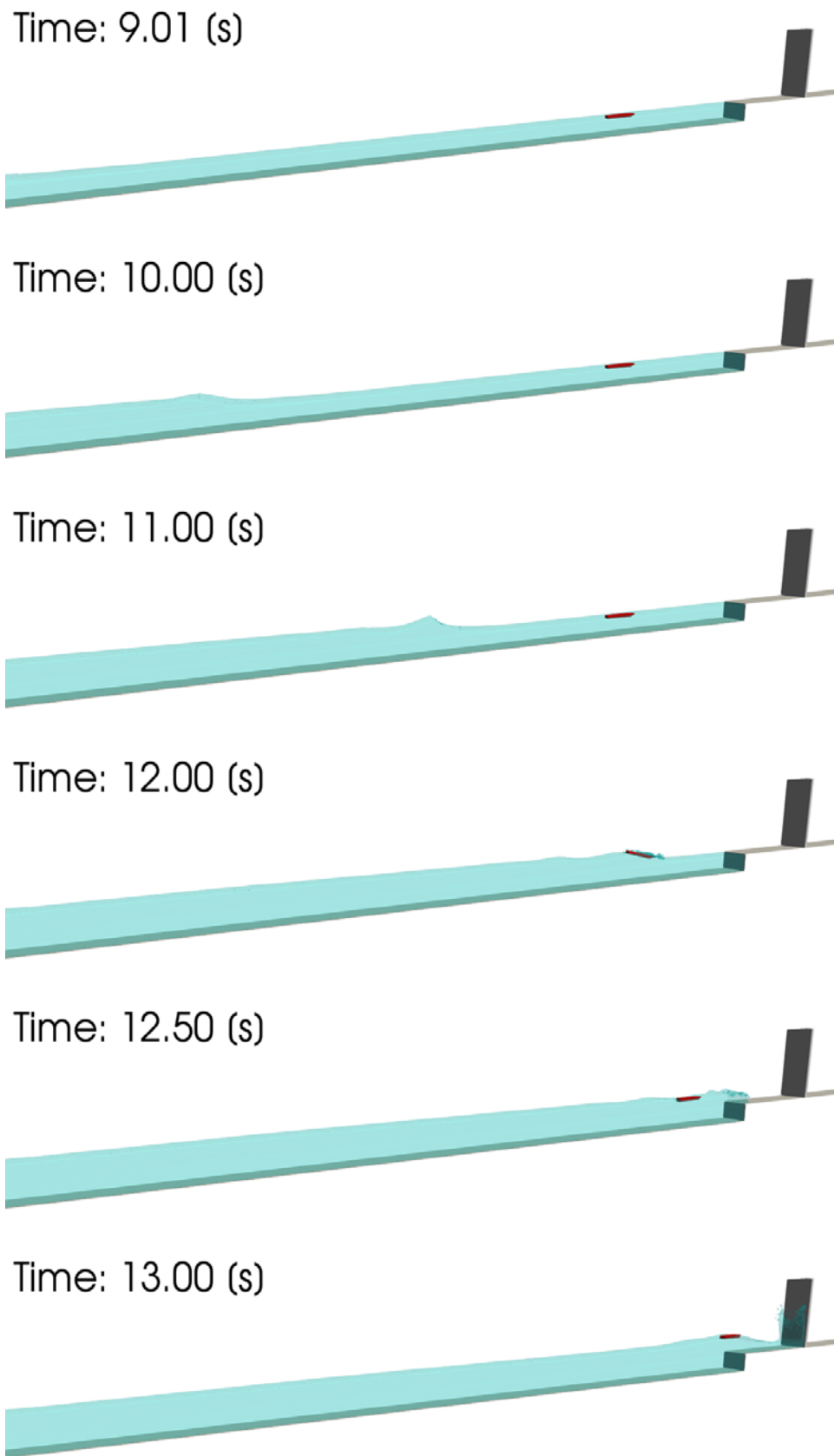


図- 10.3.15 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf10-E-10) (1/2)

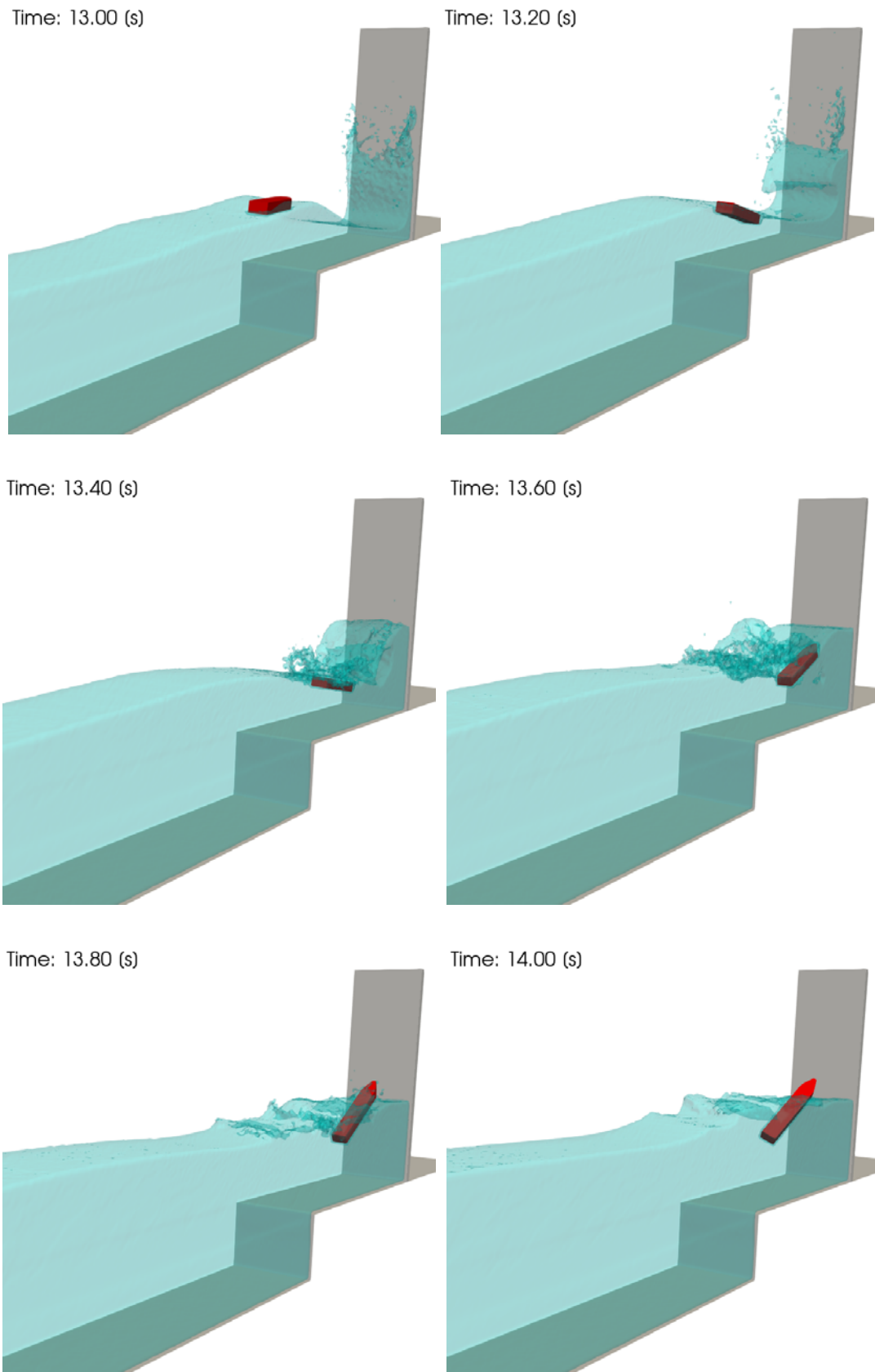


図- 10.3.15 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf10-E-10) (2/2)

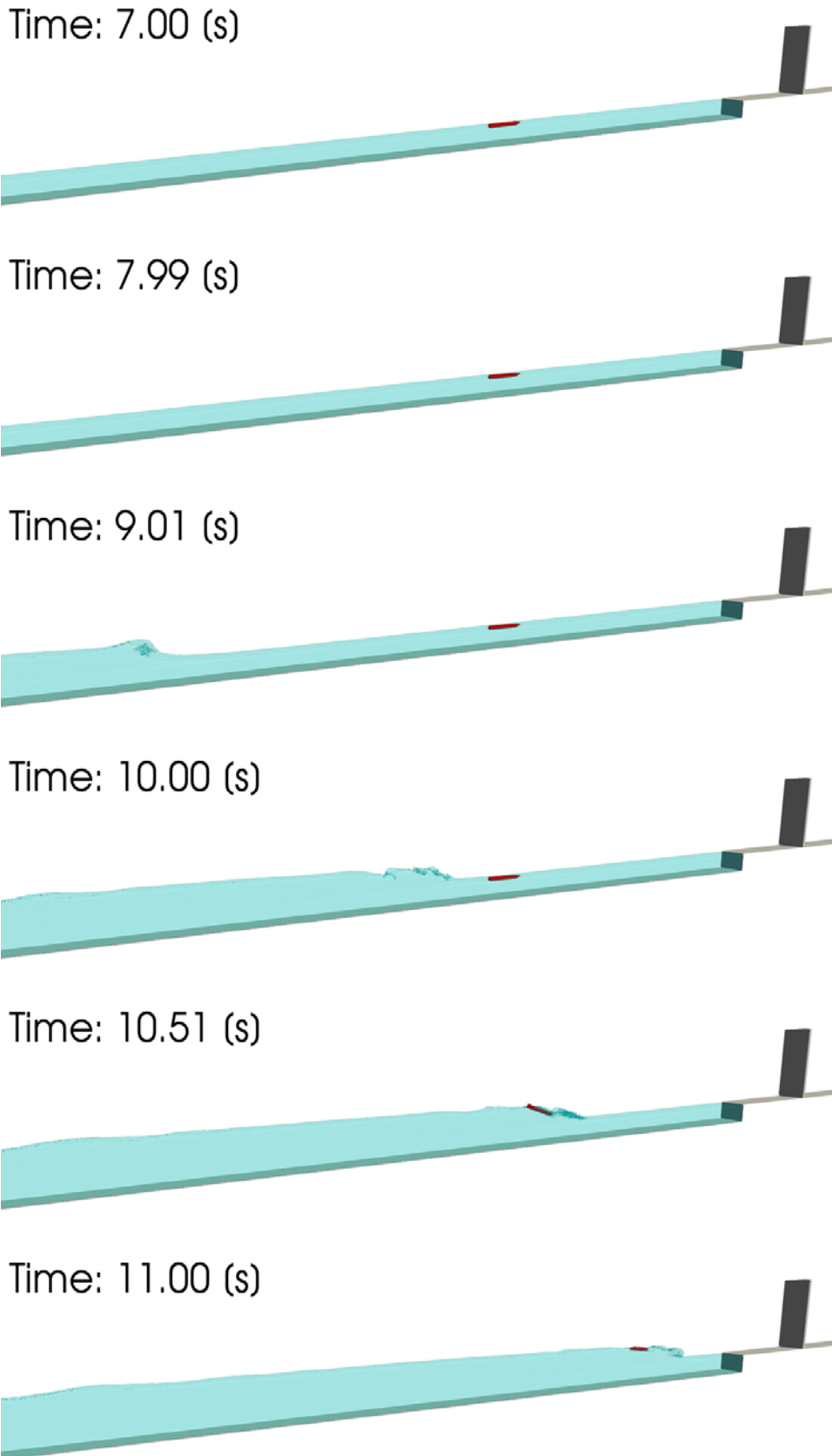


図- 10.3.16 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-E-20) (1/2)

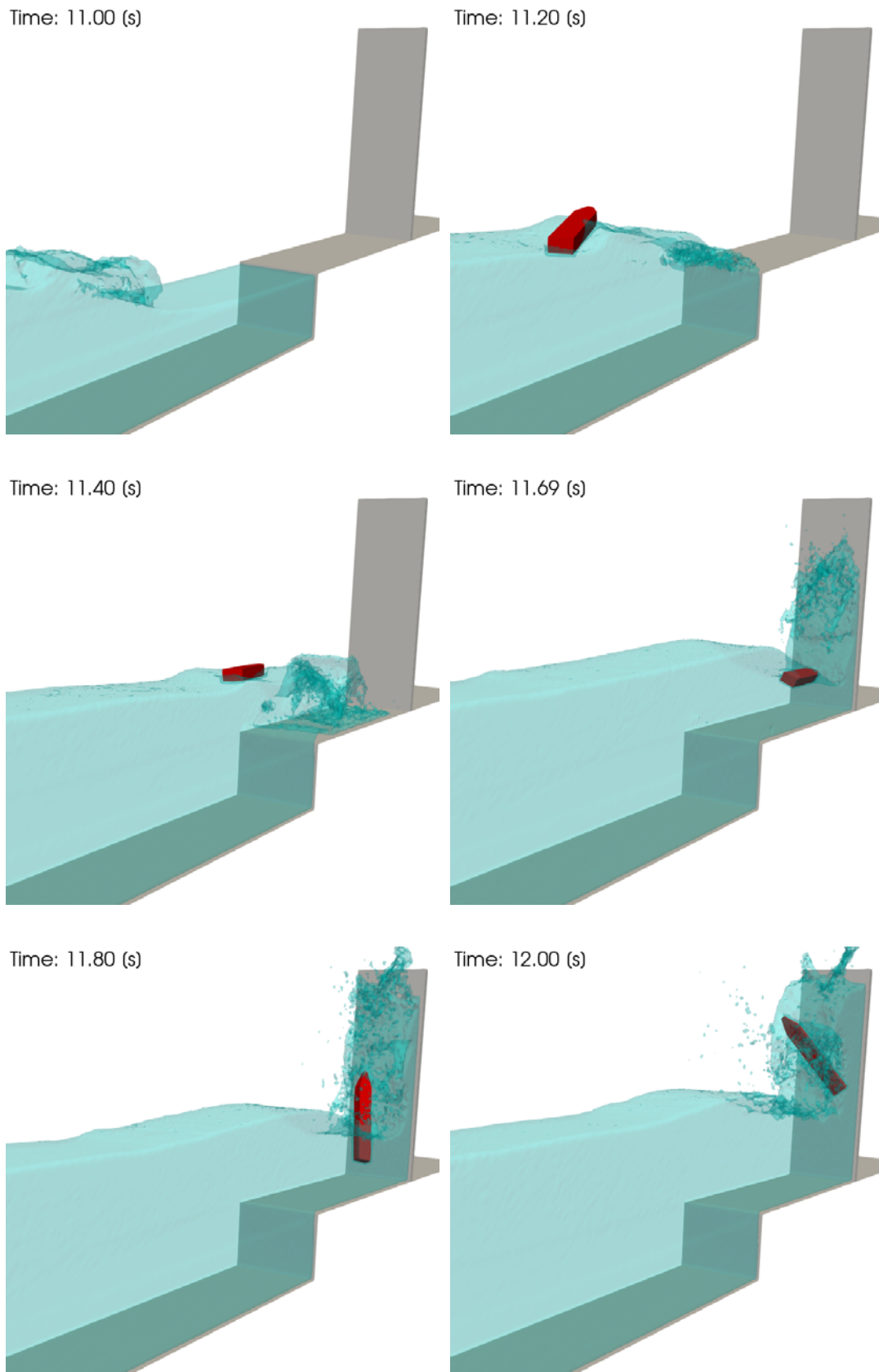


図- 10.3.16 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-E-20) (2/2)

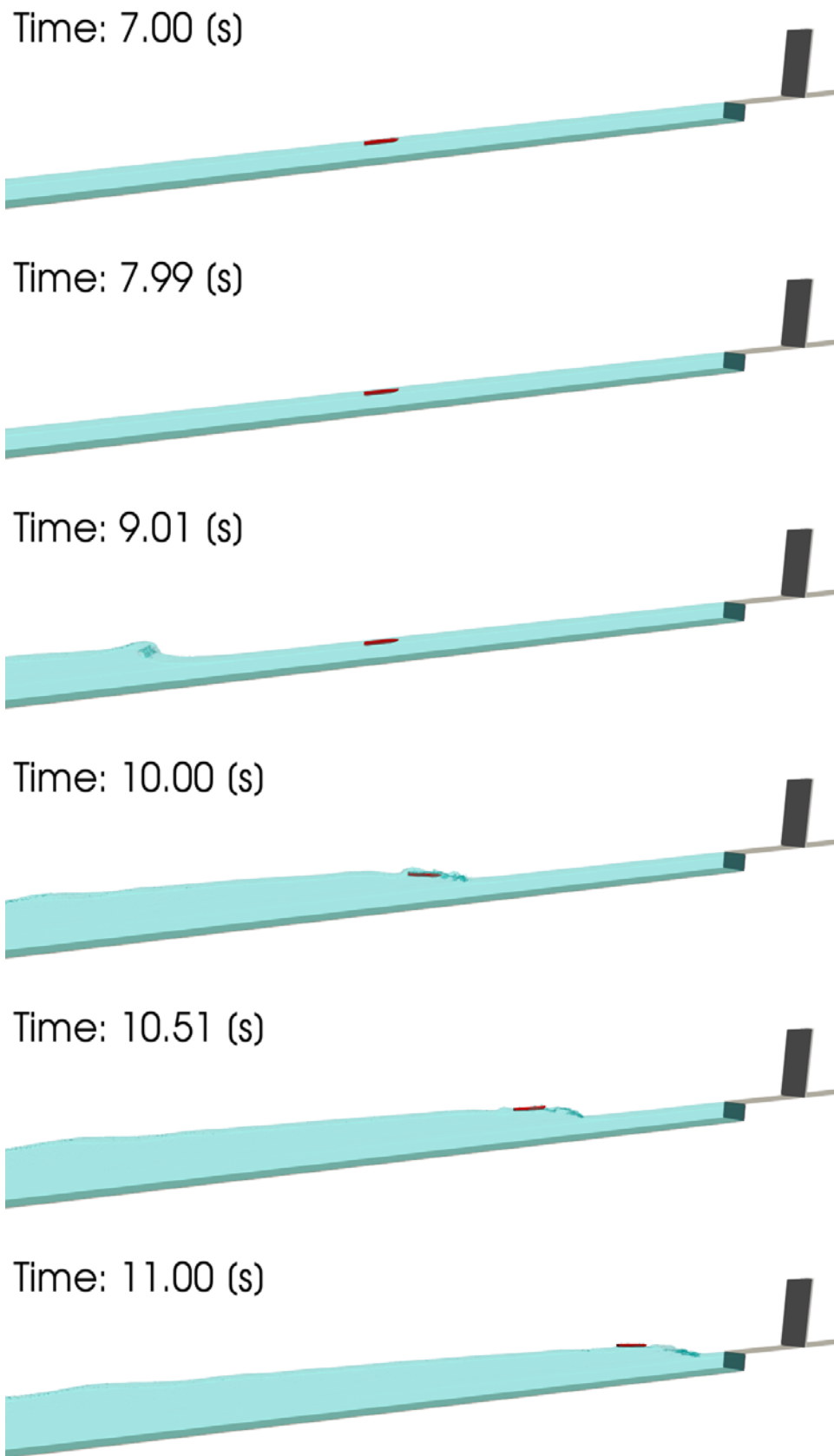


図- 10.3.17 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-E-30) (1/2)

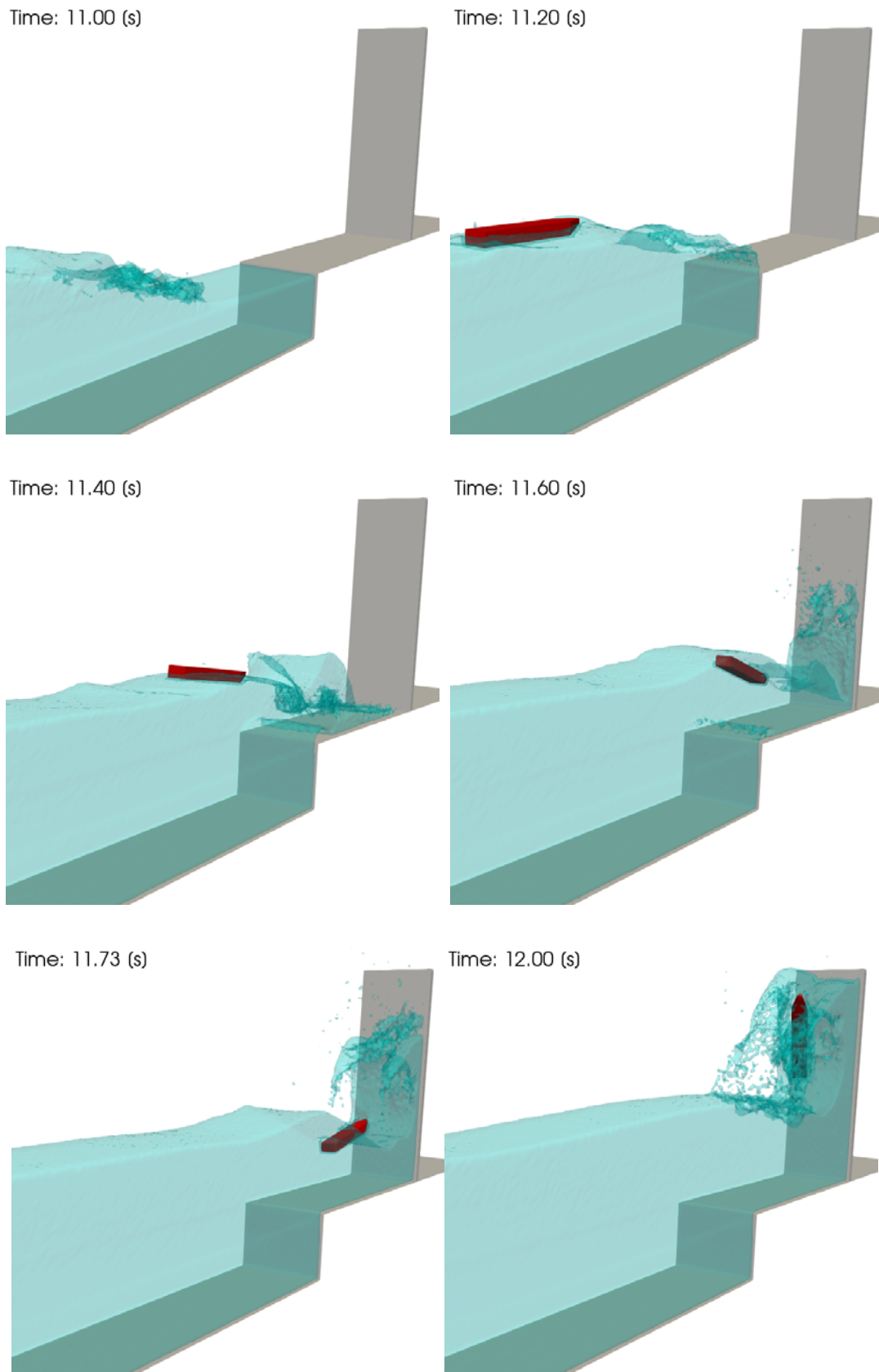


図- 10.3.17 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-E-30) (2/2)

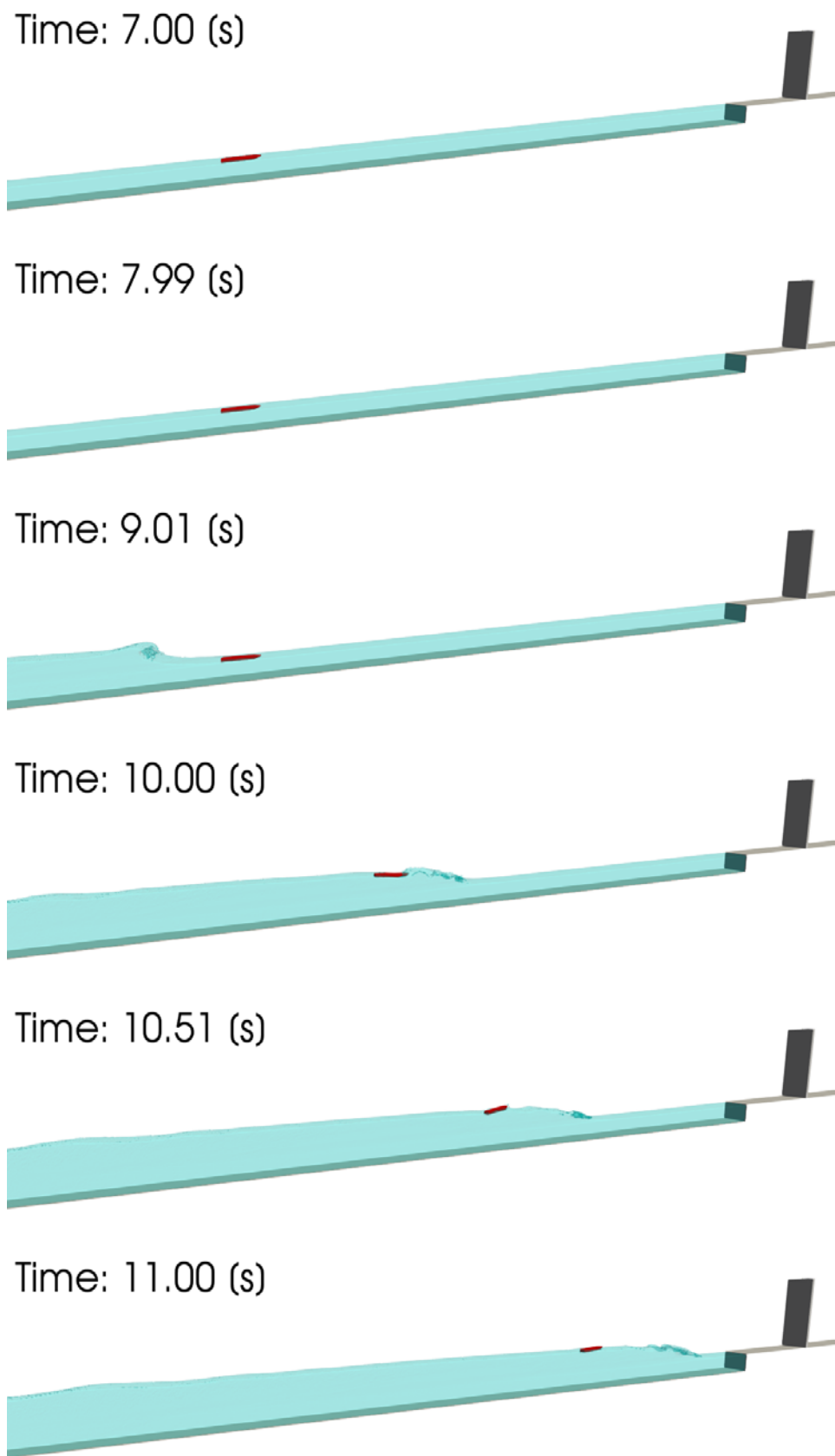
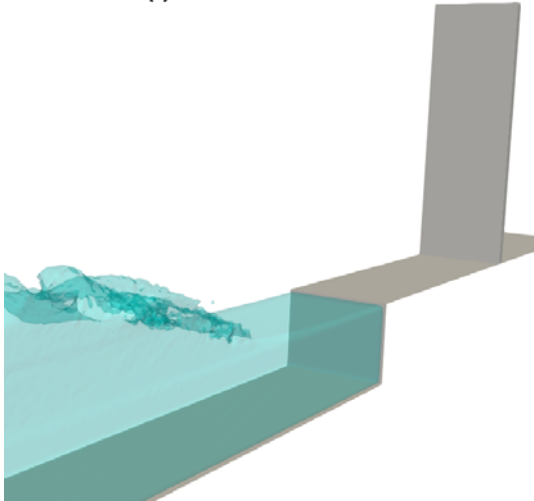
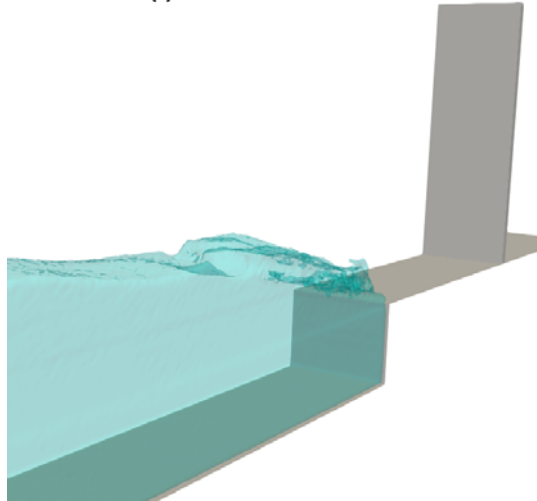


図- 10.3.18 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-E-40) (1/2)

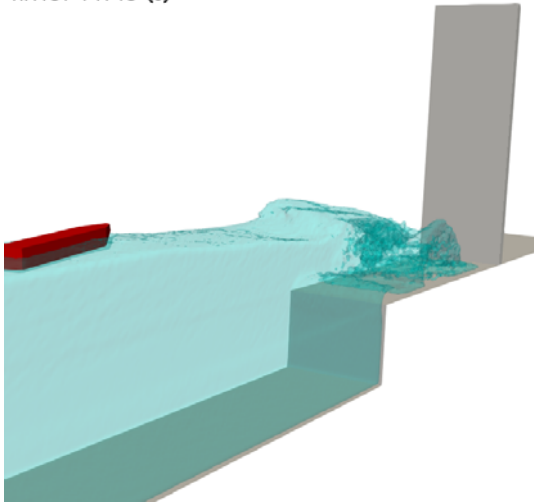
Time: 11.00 (s)



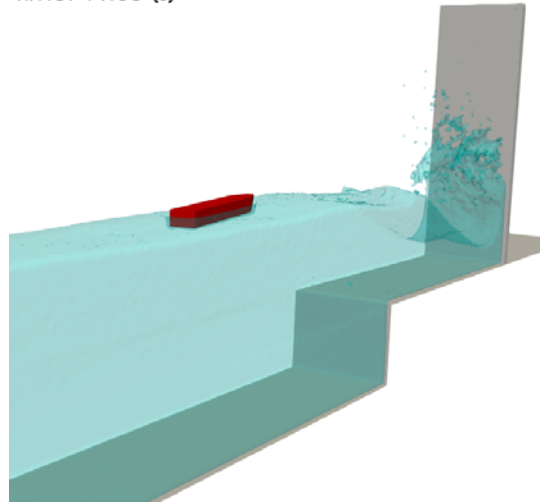
Time: 11.20 (s)



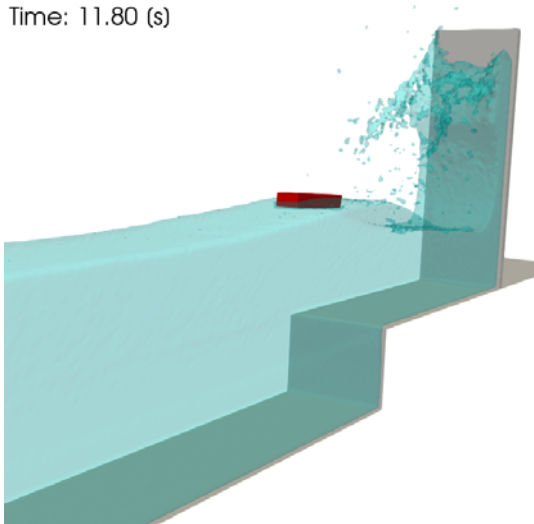
Time: 11.40 (s)



Time: 11.60 (s)



Time: 11.80 (s)



Time: 12.00 (s)

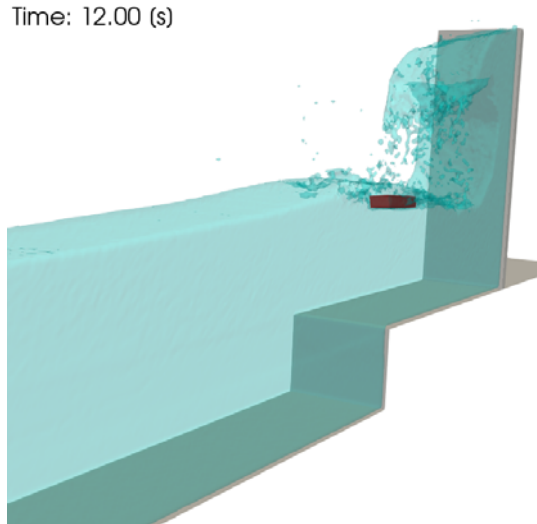


図- 10.3.18 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-E-40) (2/2)

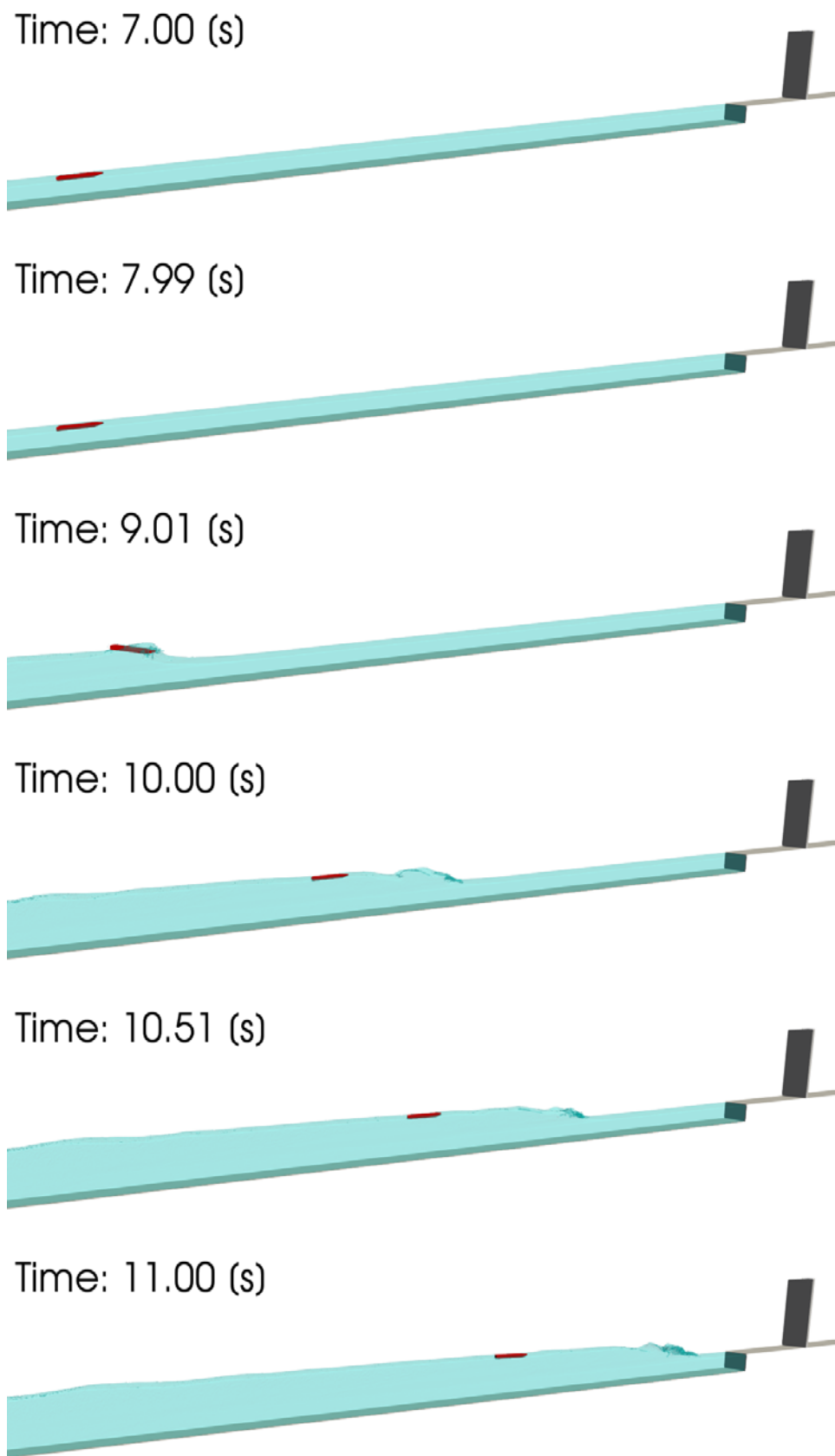


図- 10.3.19 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-E-50) (1/2)

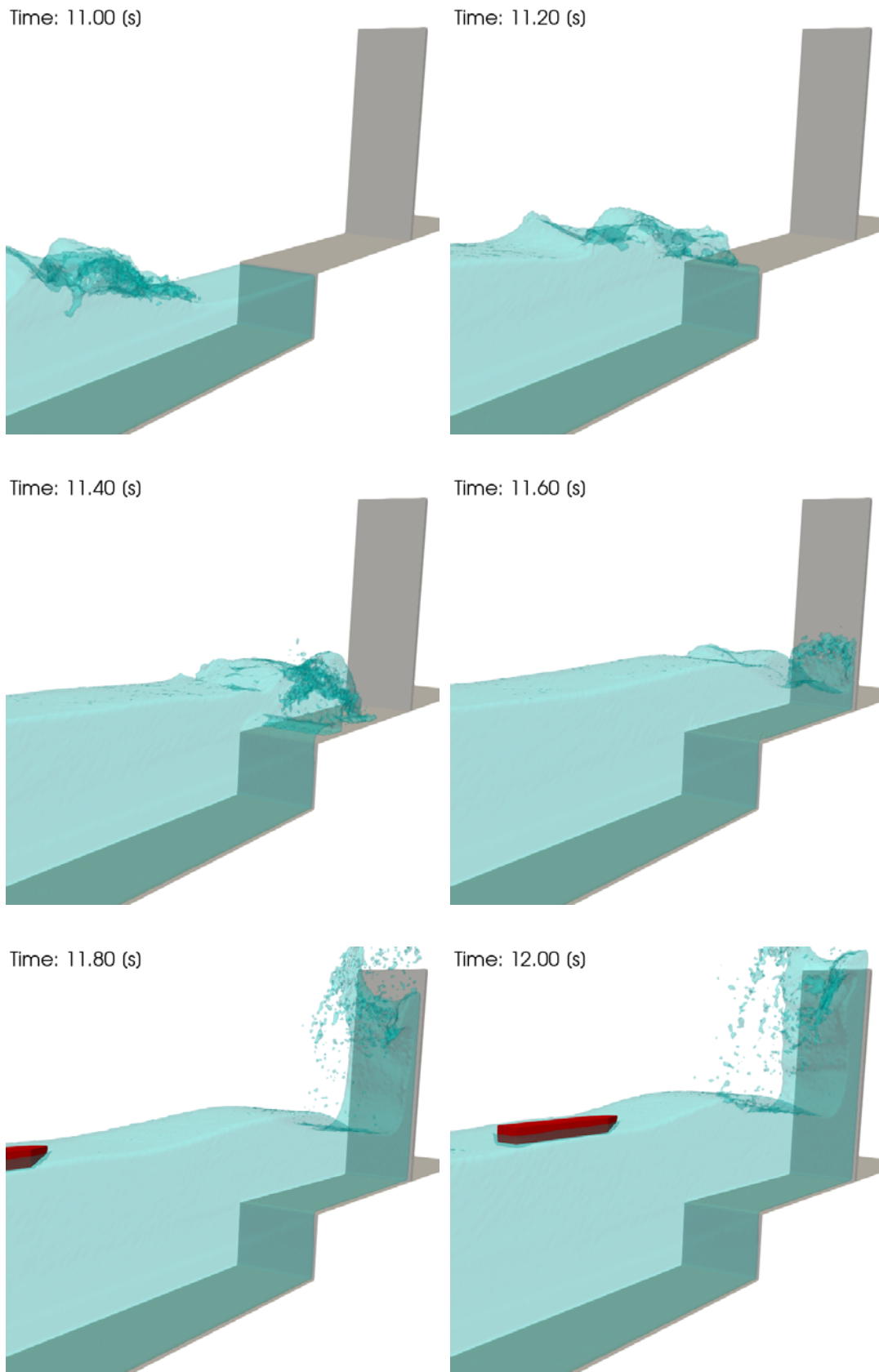


図- 10.3.19 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-E-50) (2/2)

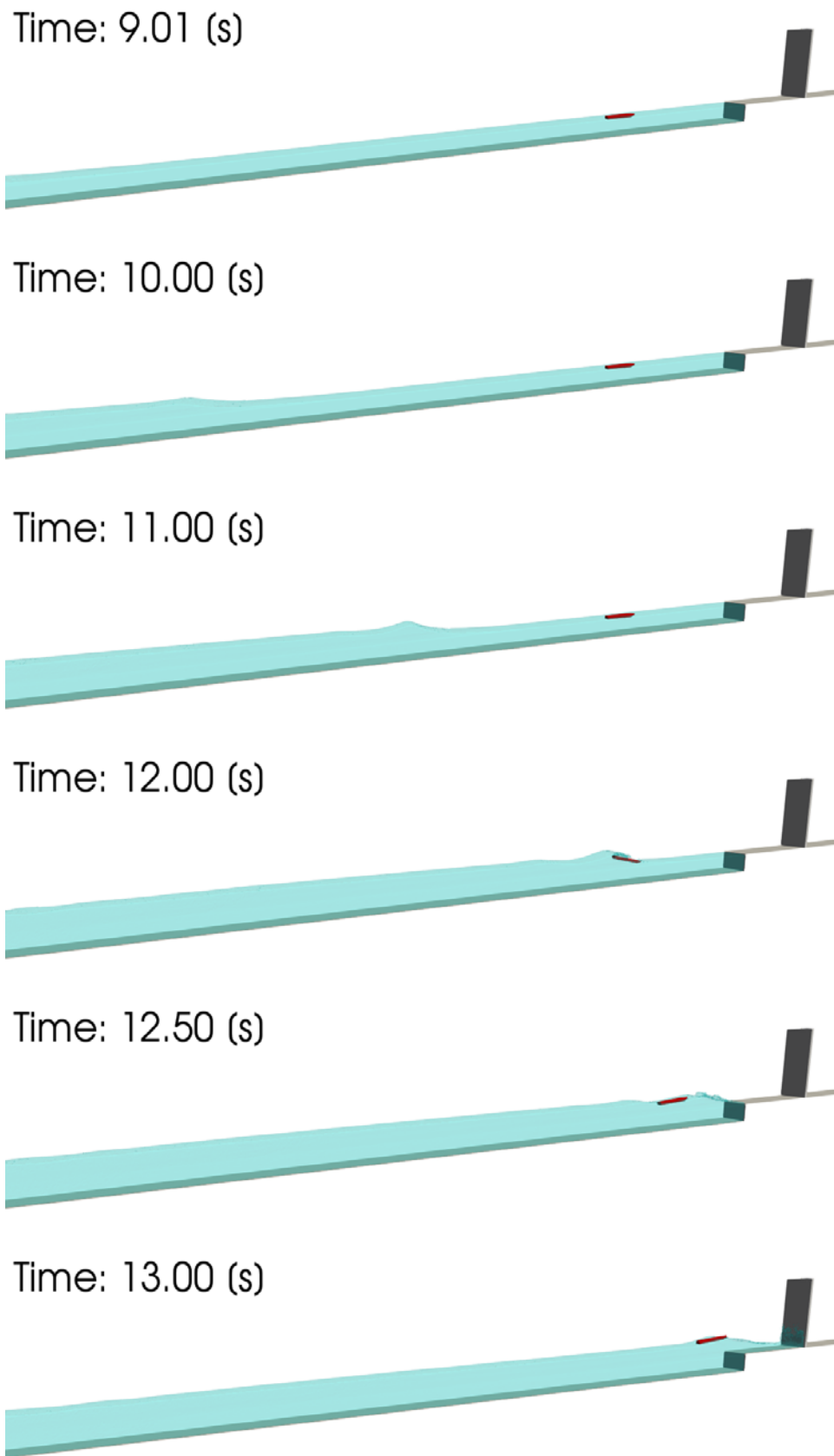


図- 10.3.20 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf30-E-10) (1/2)

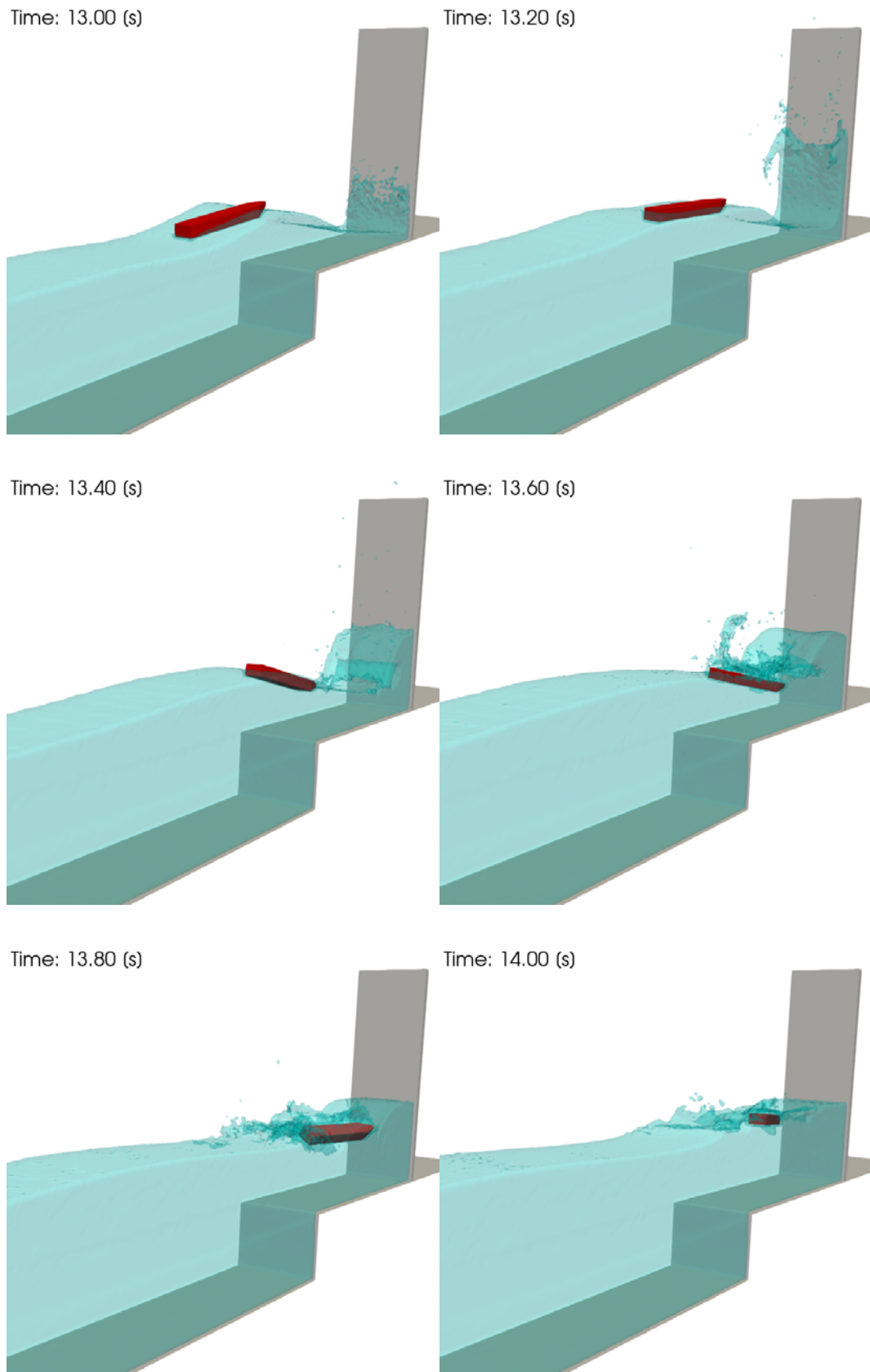


図- 10.3.20 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf30-E-10) (2/2)

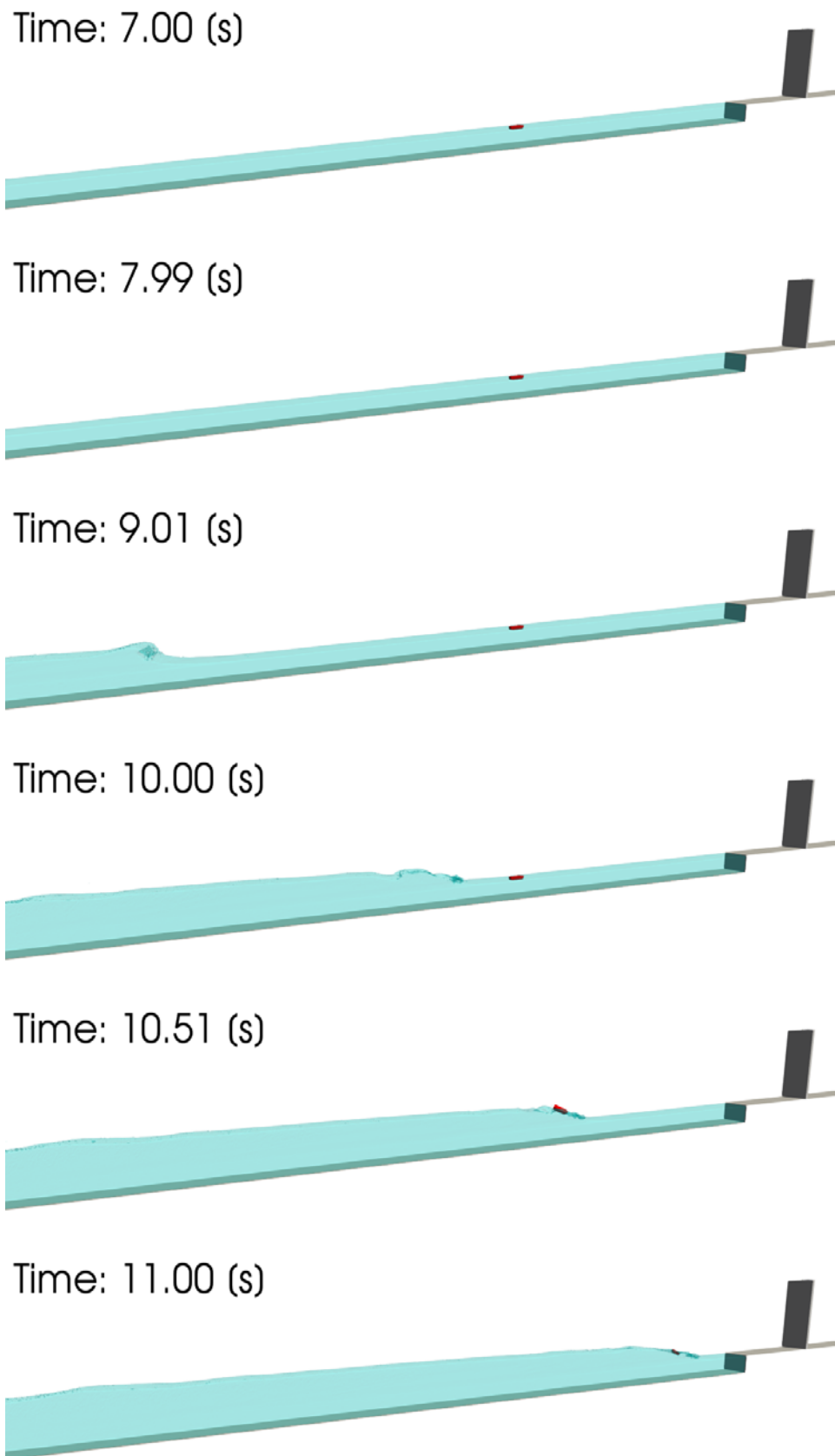


図- 10.3.21 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-F-20) (1/2)

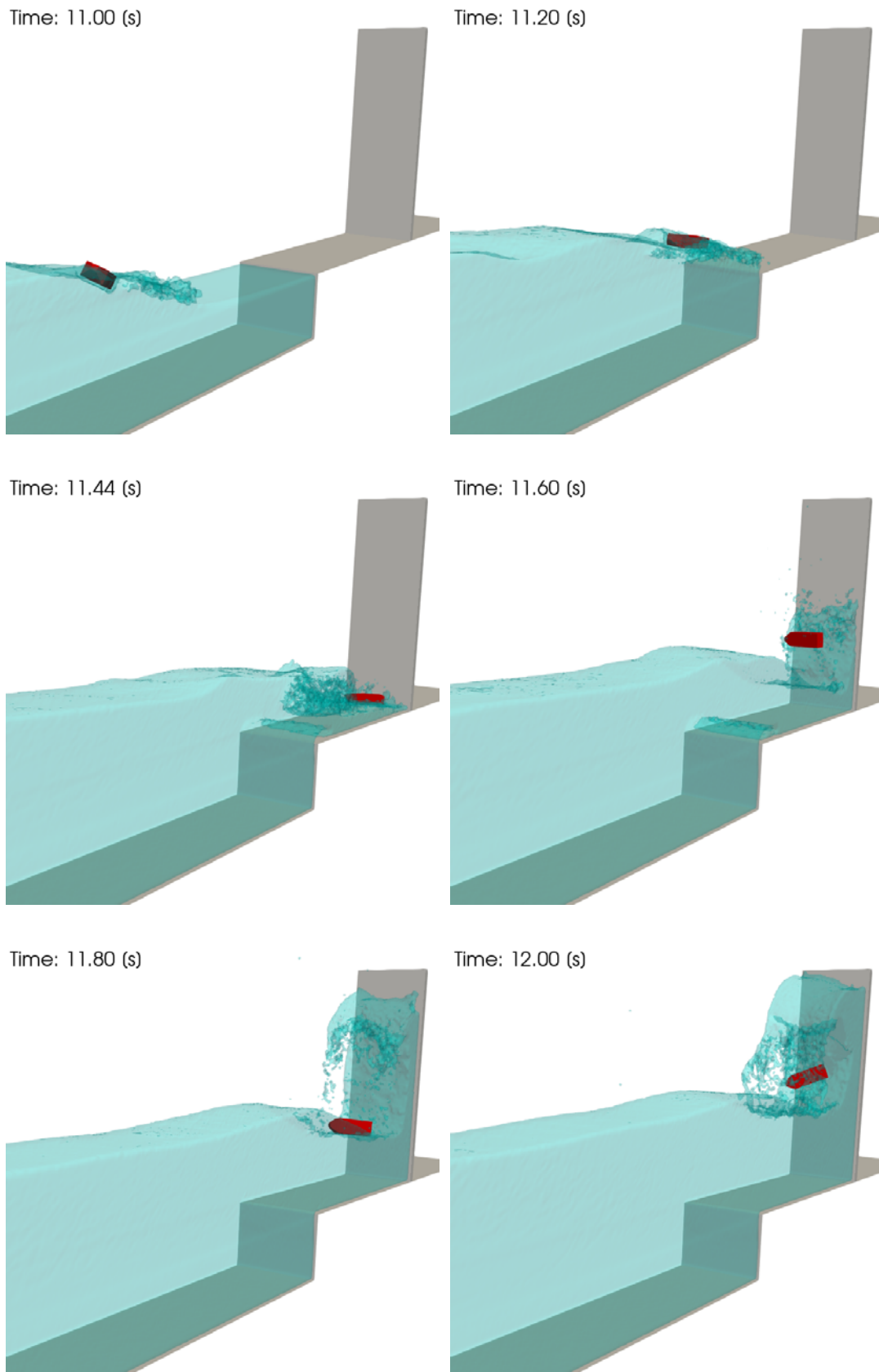


図- 10.3.21 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-F-20) (2/2)

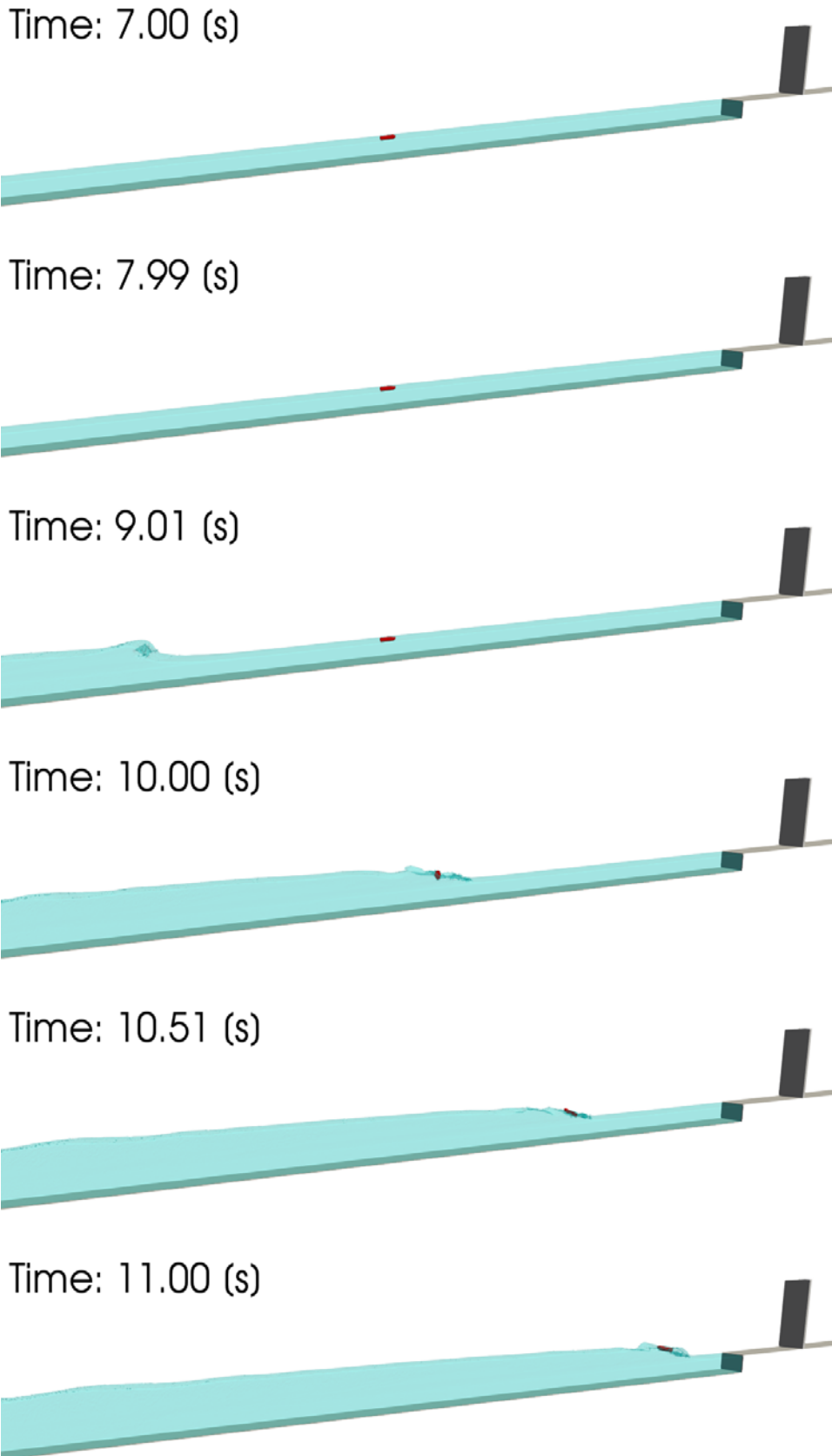


図- 10.3.22 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-F-30) (1/2)

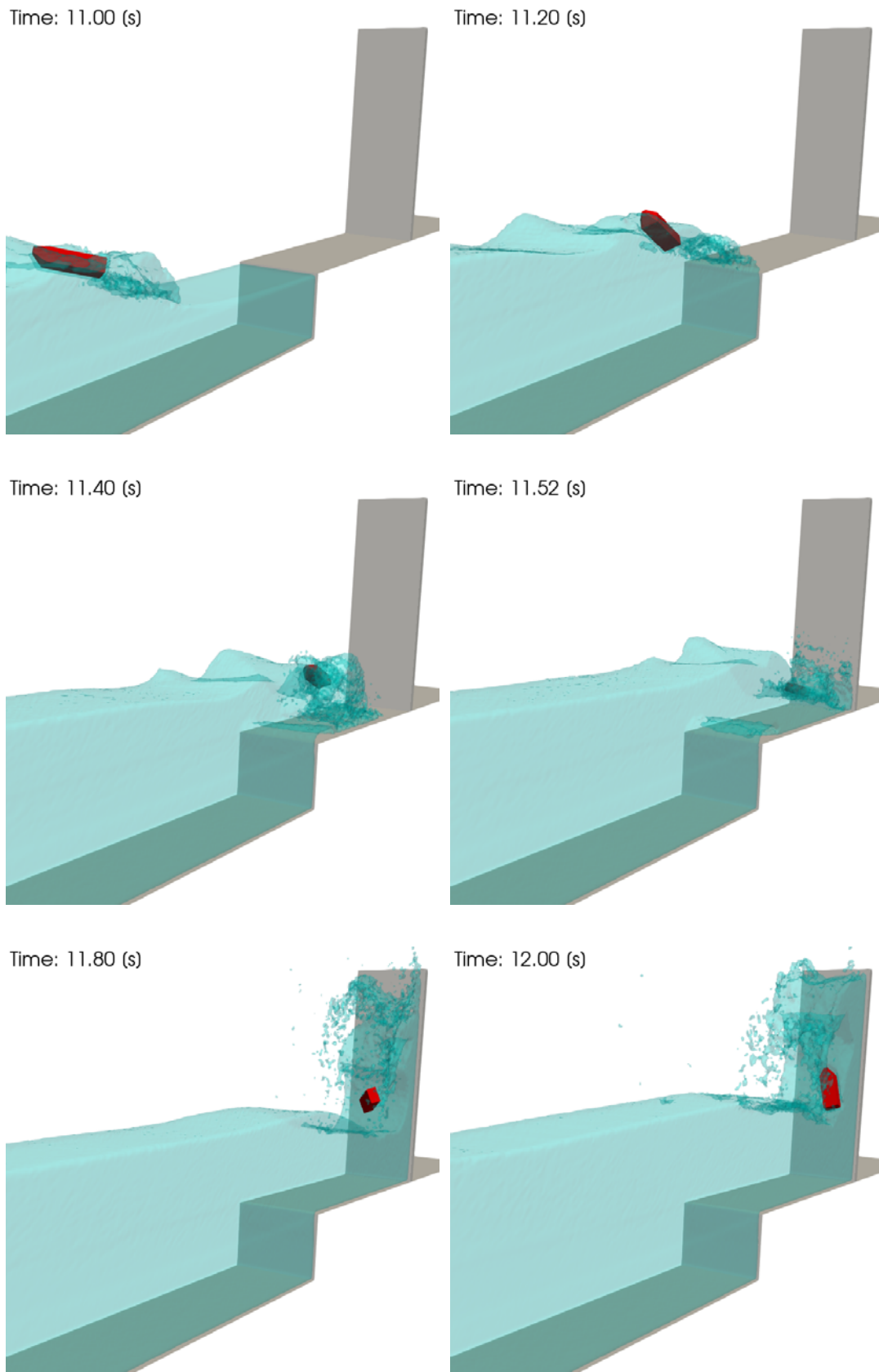


図- 10.3.22 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-F-30) (2/2)

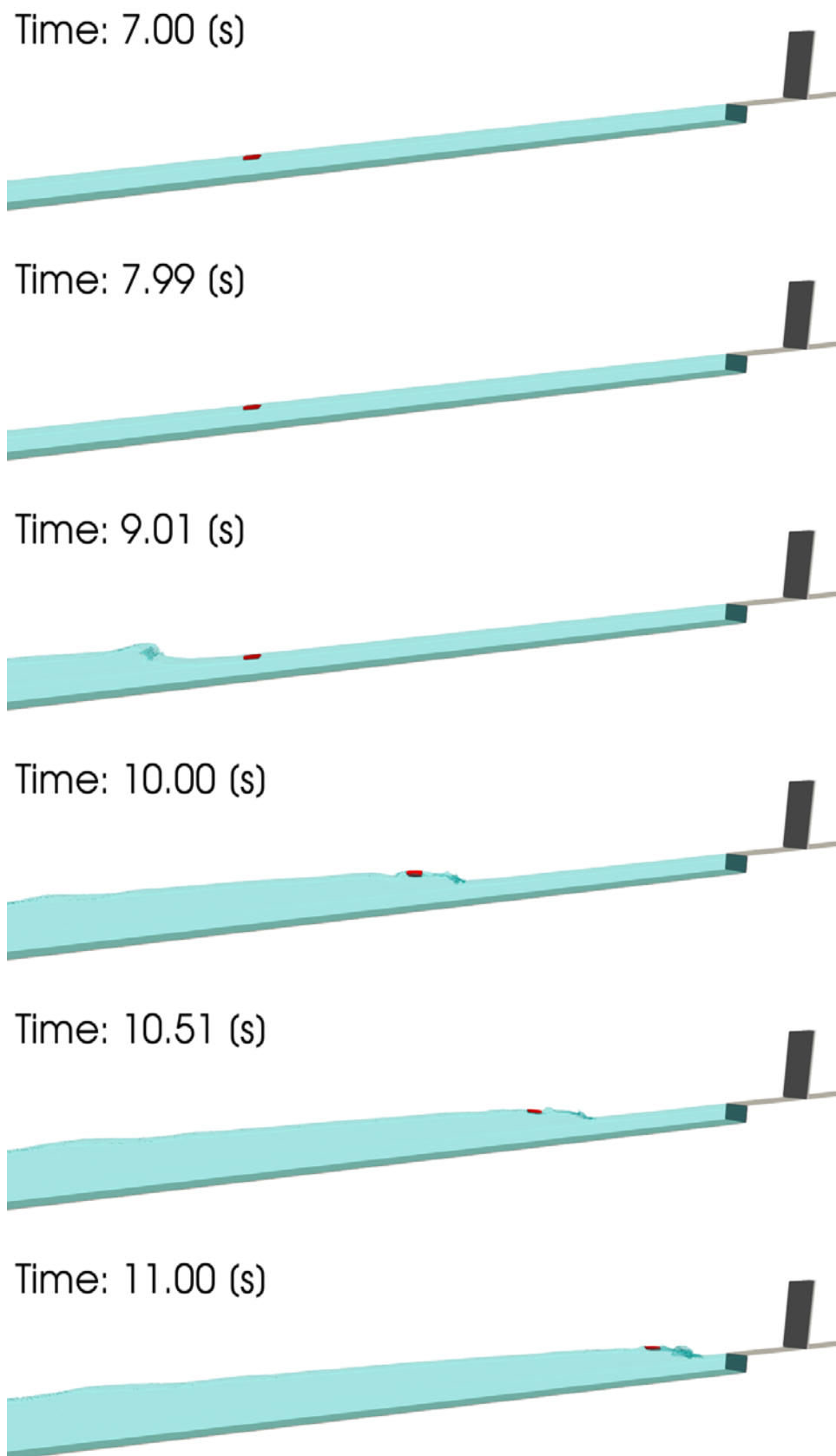


図- 10.3.23 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-F-40) (1/2)

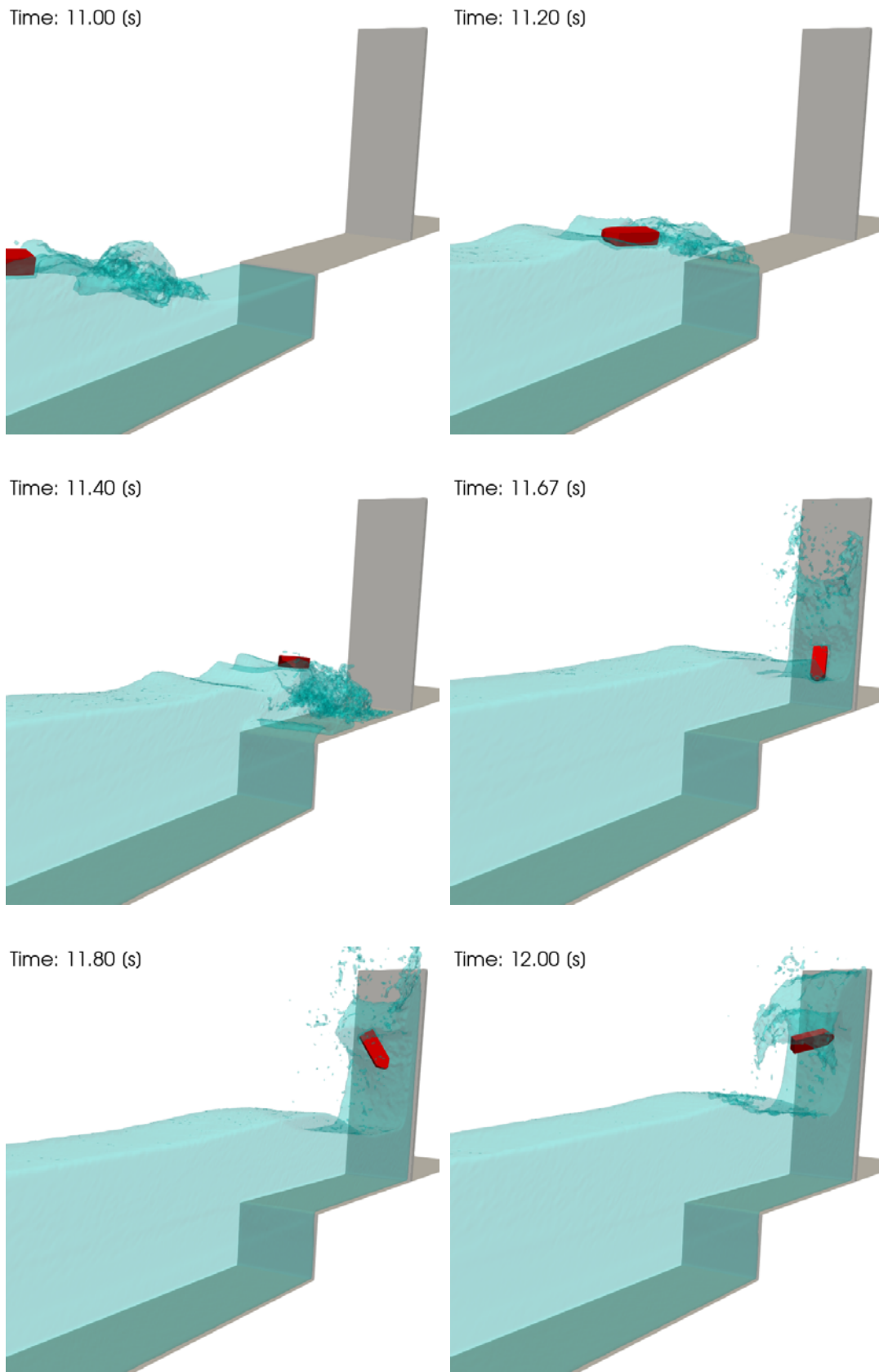


図- 10.3.23 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-F-40) (2/2)

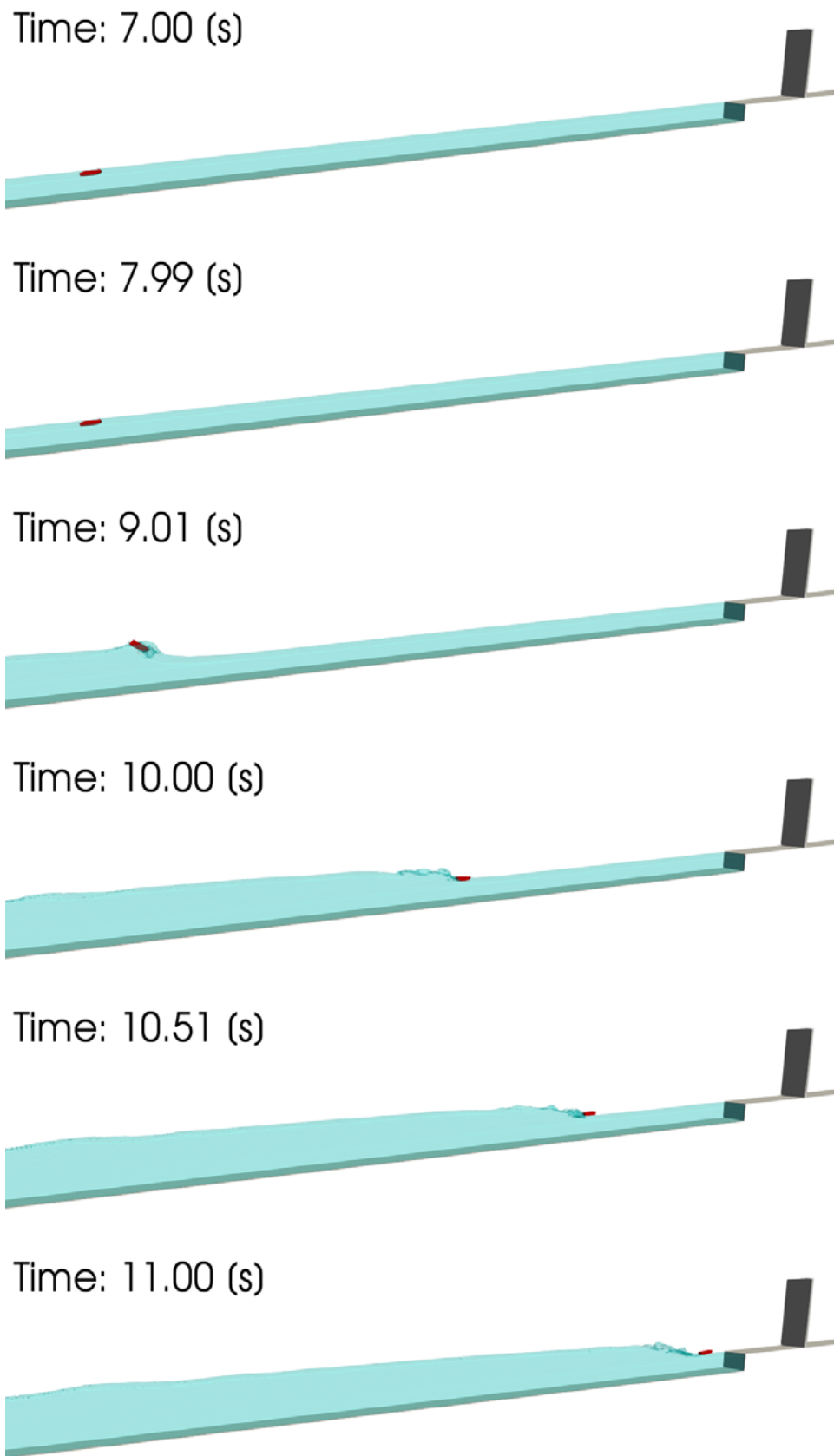


図- 10.3.24 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-F-50) (1/2)

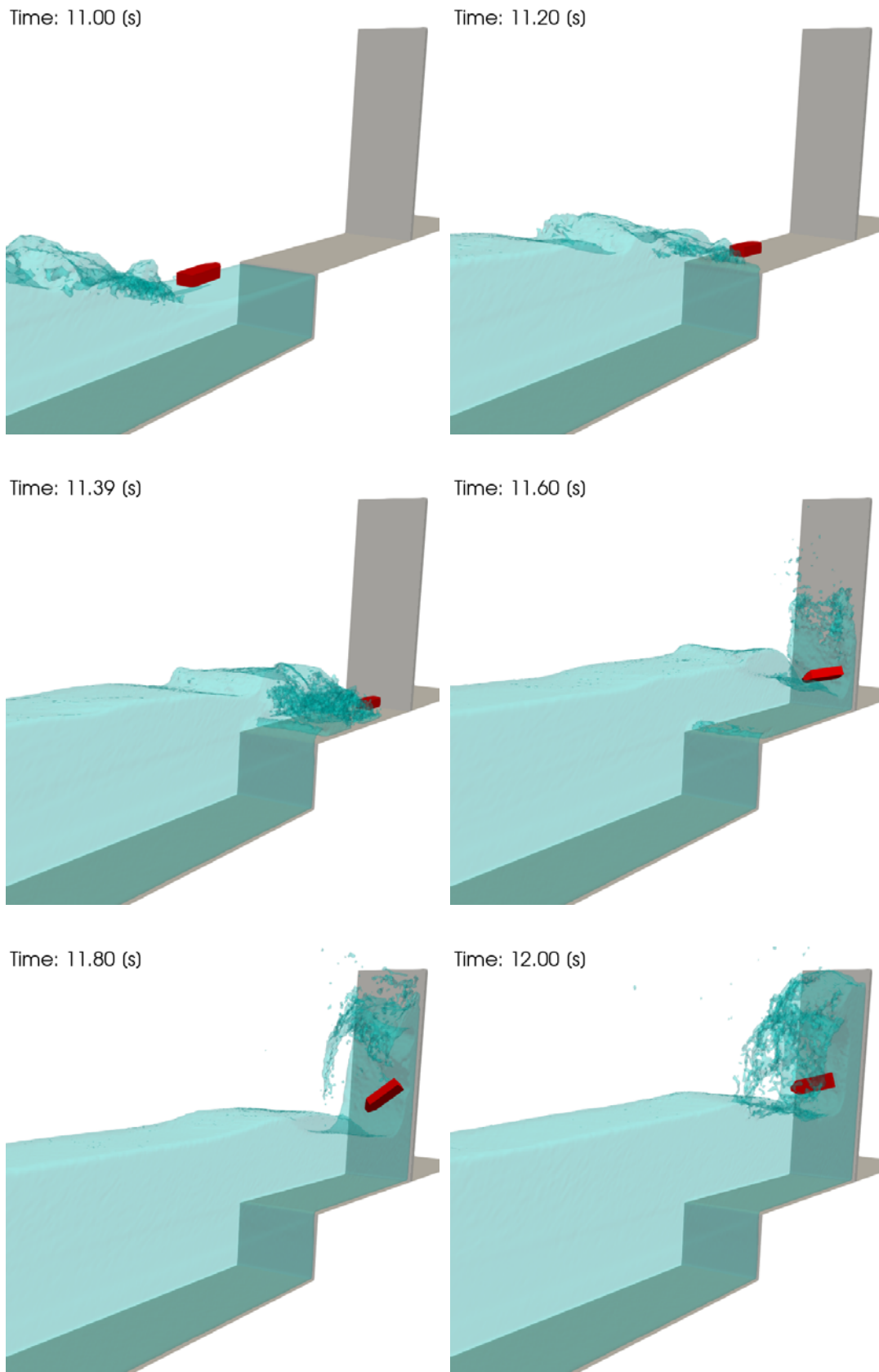


図- 10.3.24 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-F-50) (2/2)

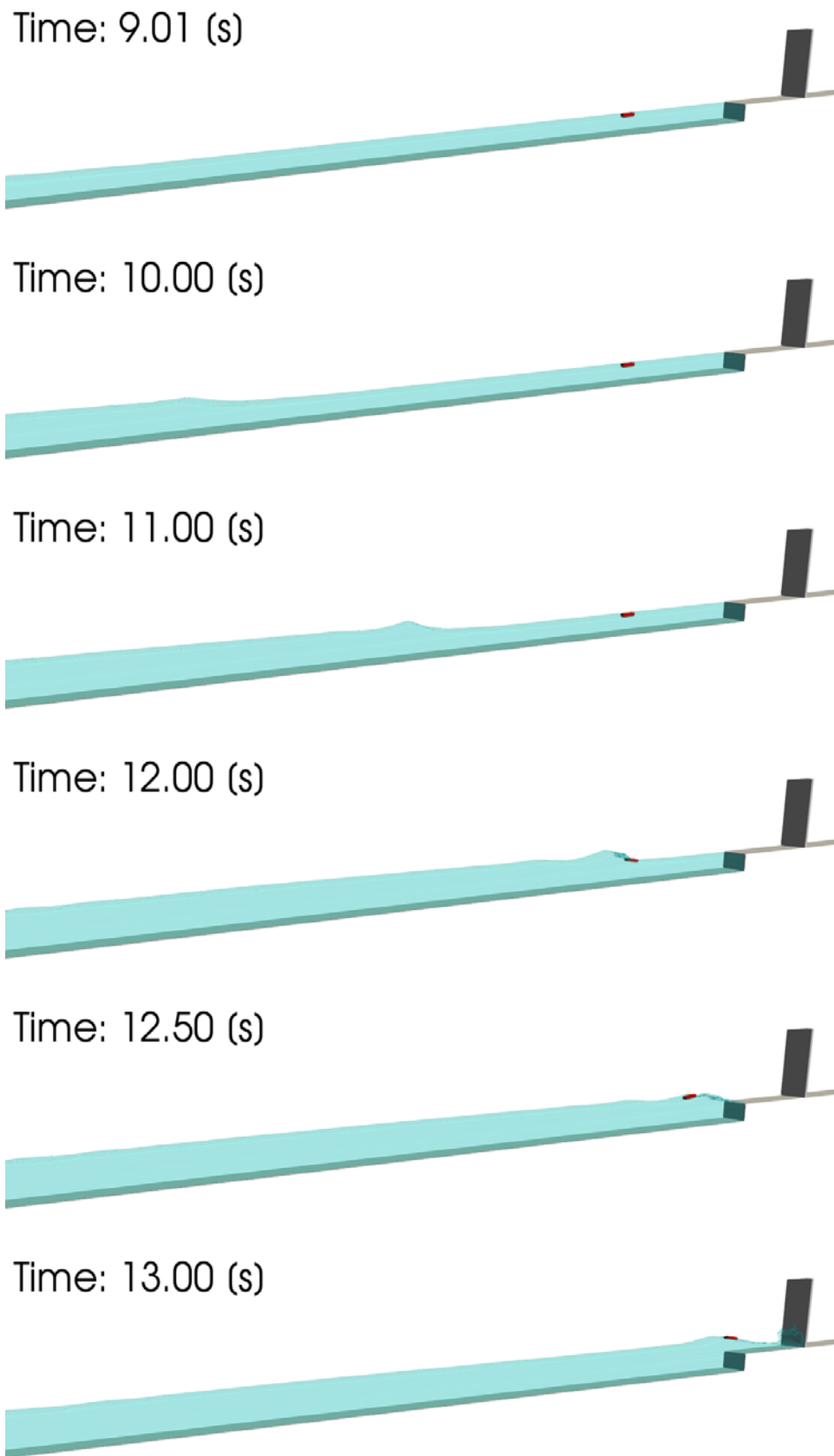


図- 10.3.25 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf30-F-10) (1/2)

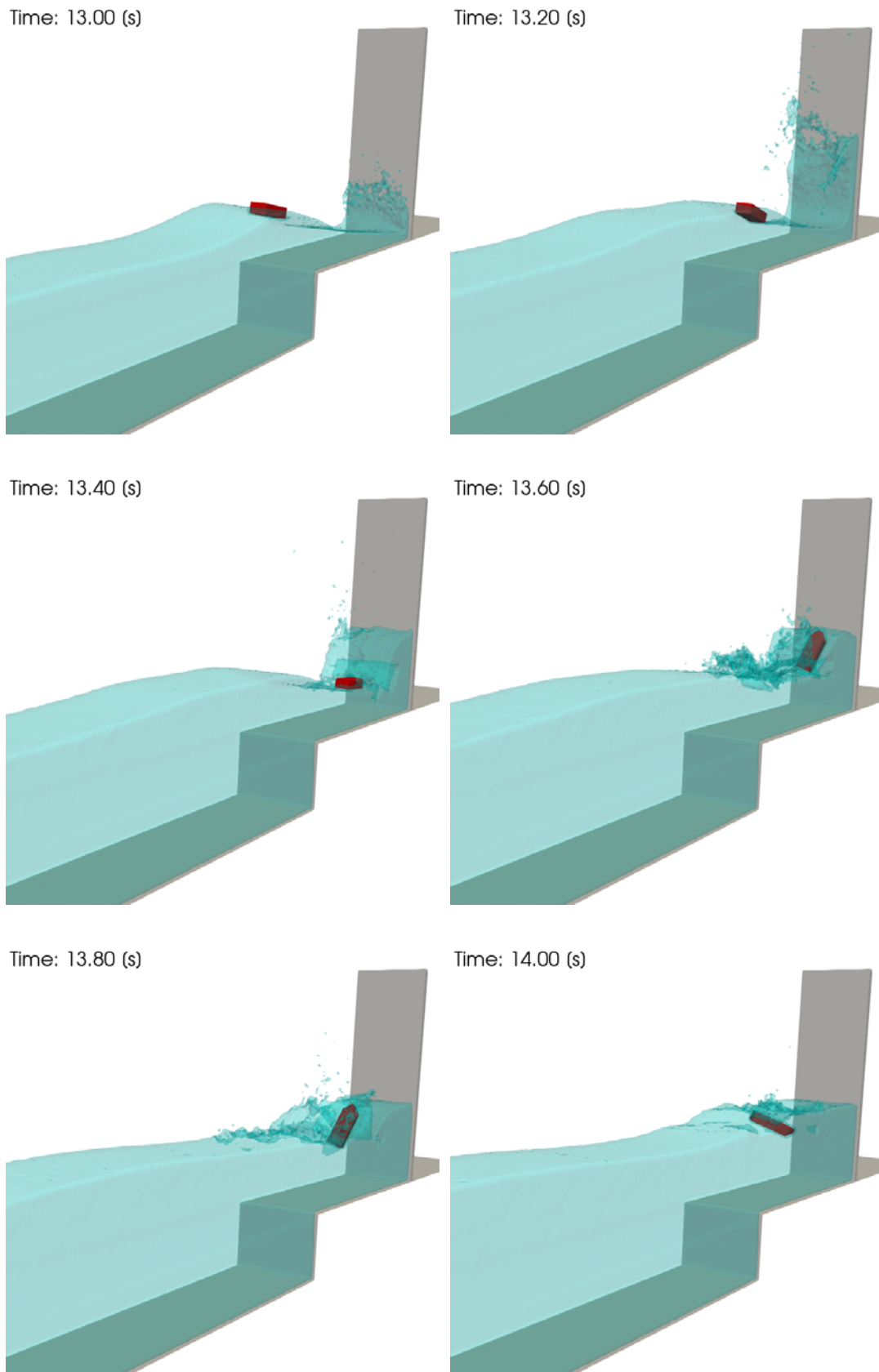


図- 10.3.25 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf30-F-10) (2/2)

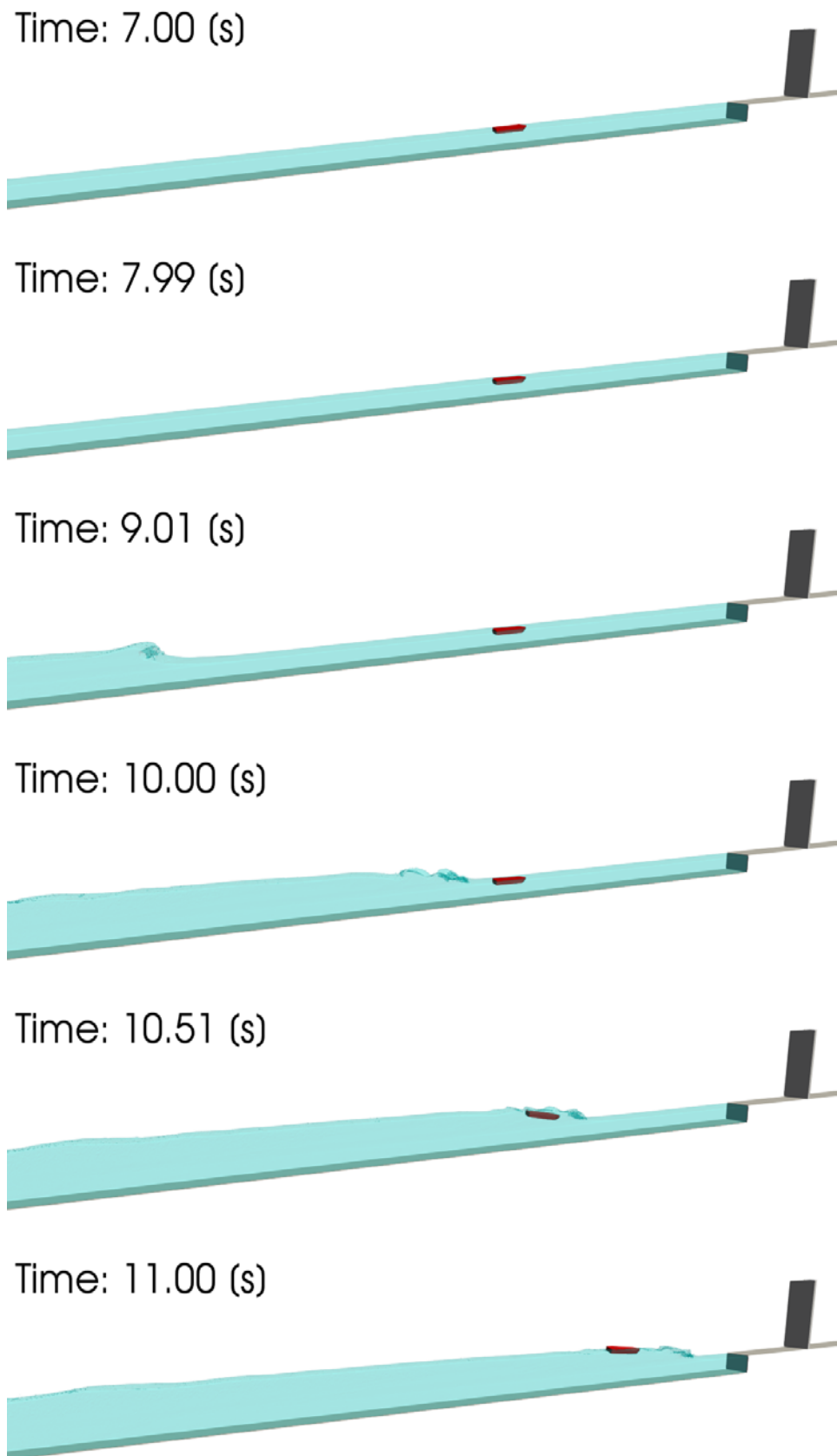


図- 10.3.26 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-G-20) (1/2)

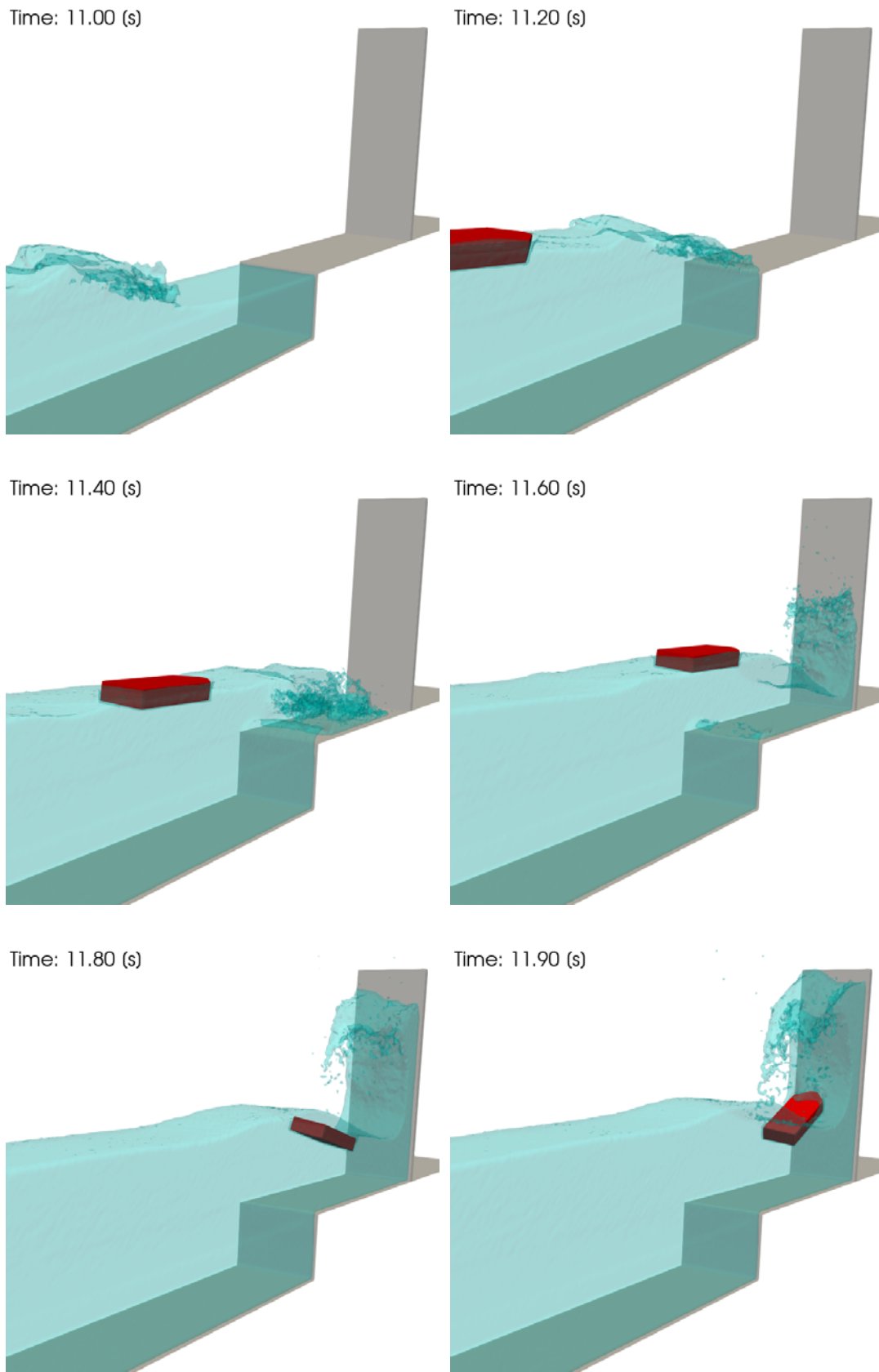


図- 10.3.26 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-G-20) (2/2)

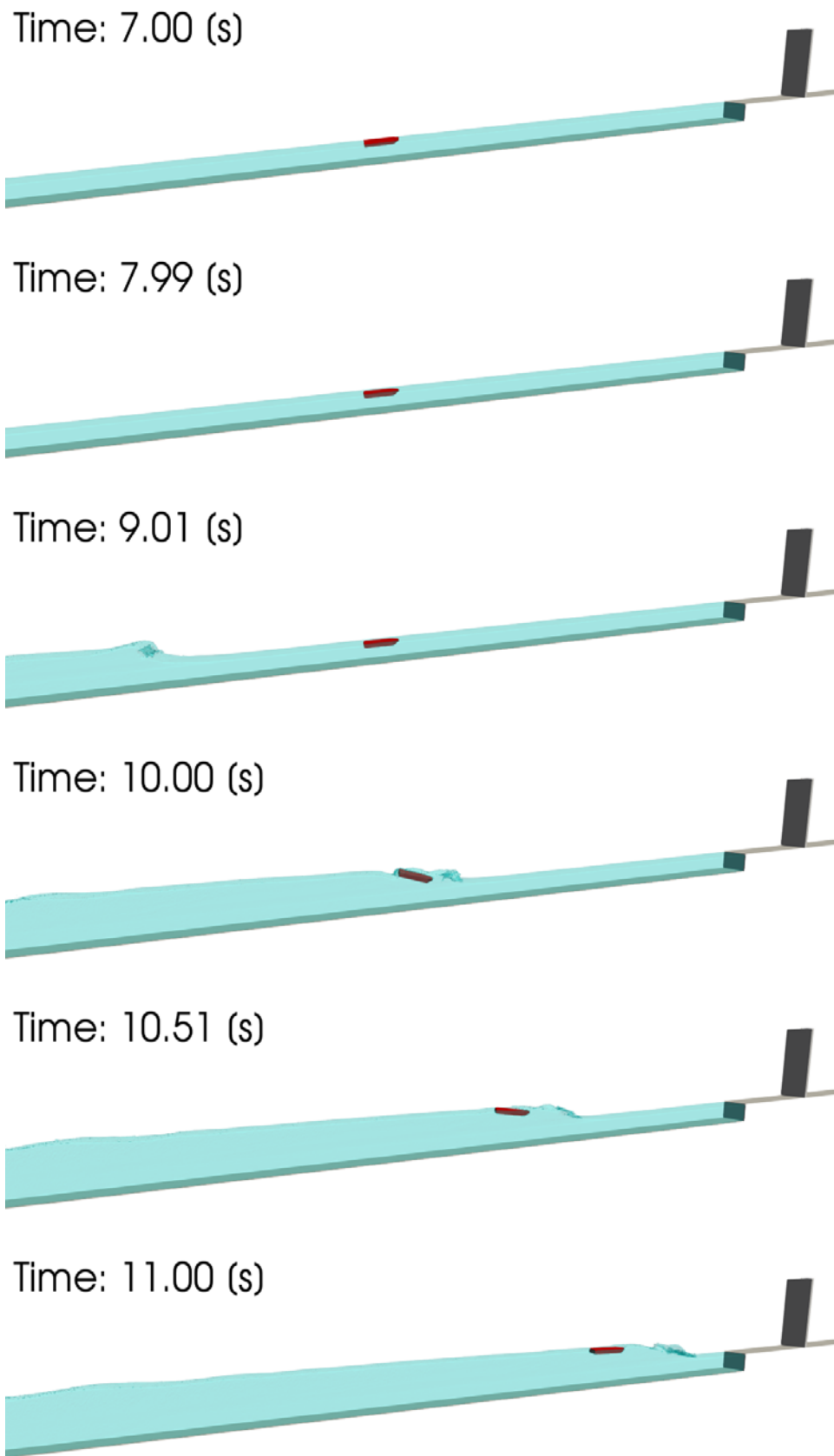


図- 10.3.27 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-G-30) (1/2)

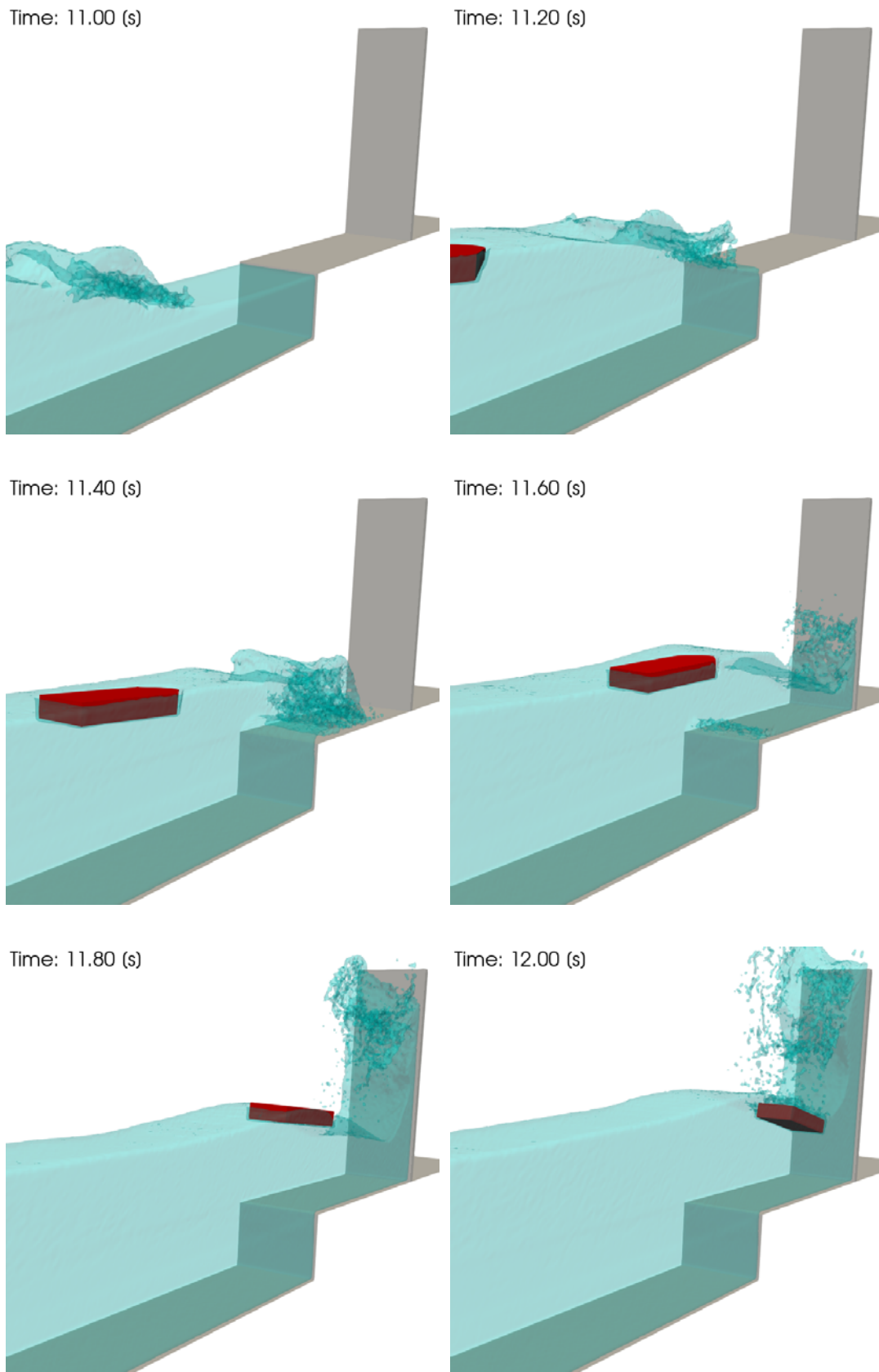


図- 10.3.27 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-G-30) (2/2)

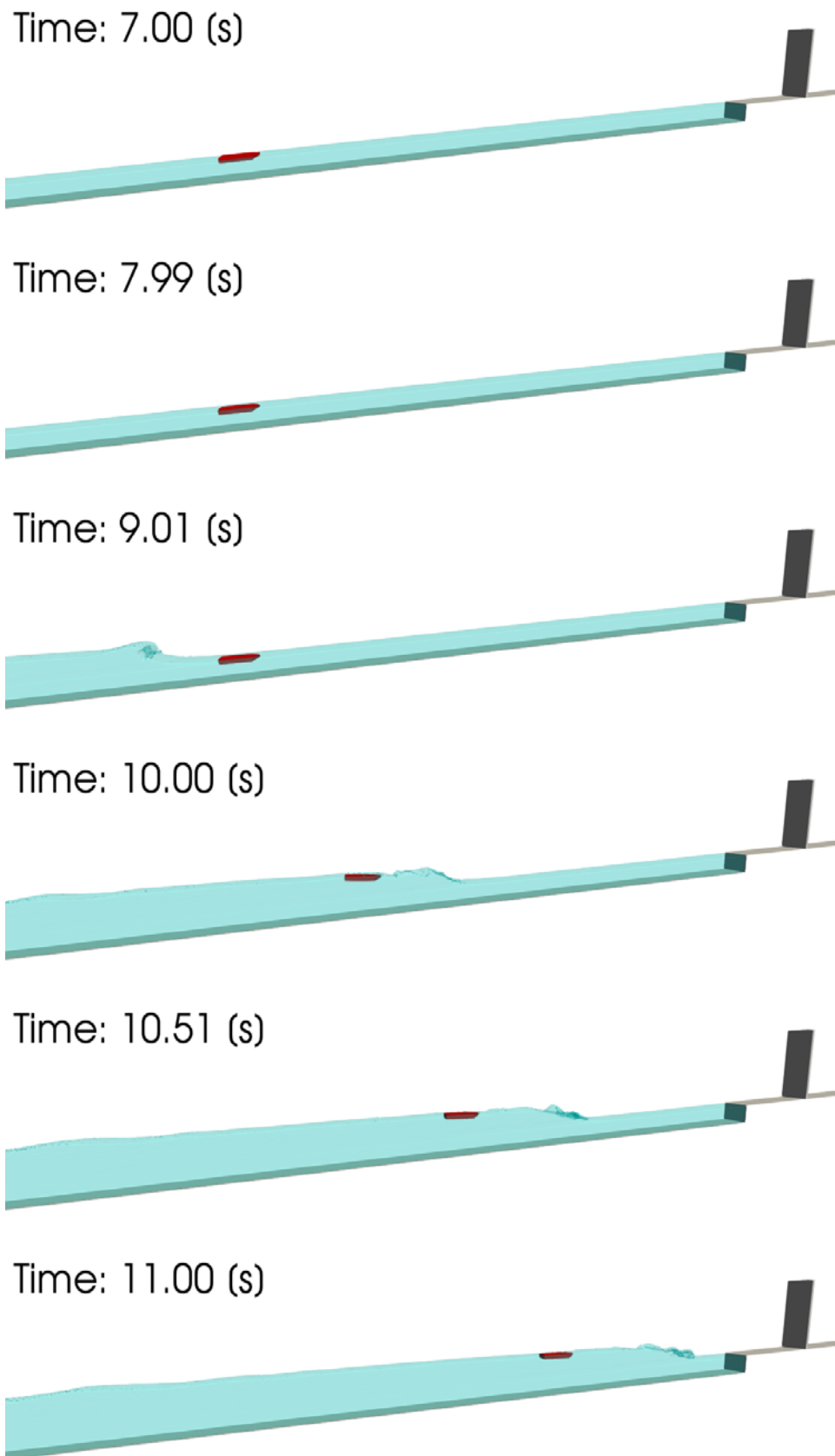


図- 10.3.28 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-G-40) (1/2)

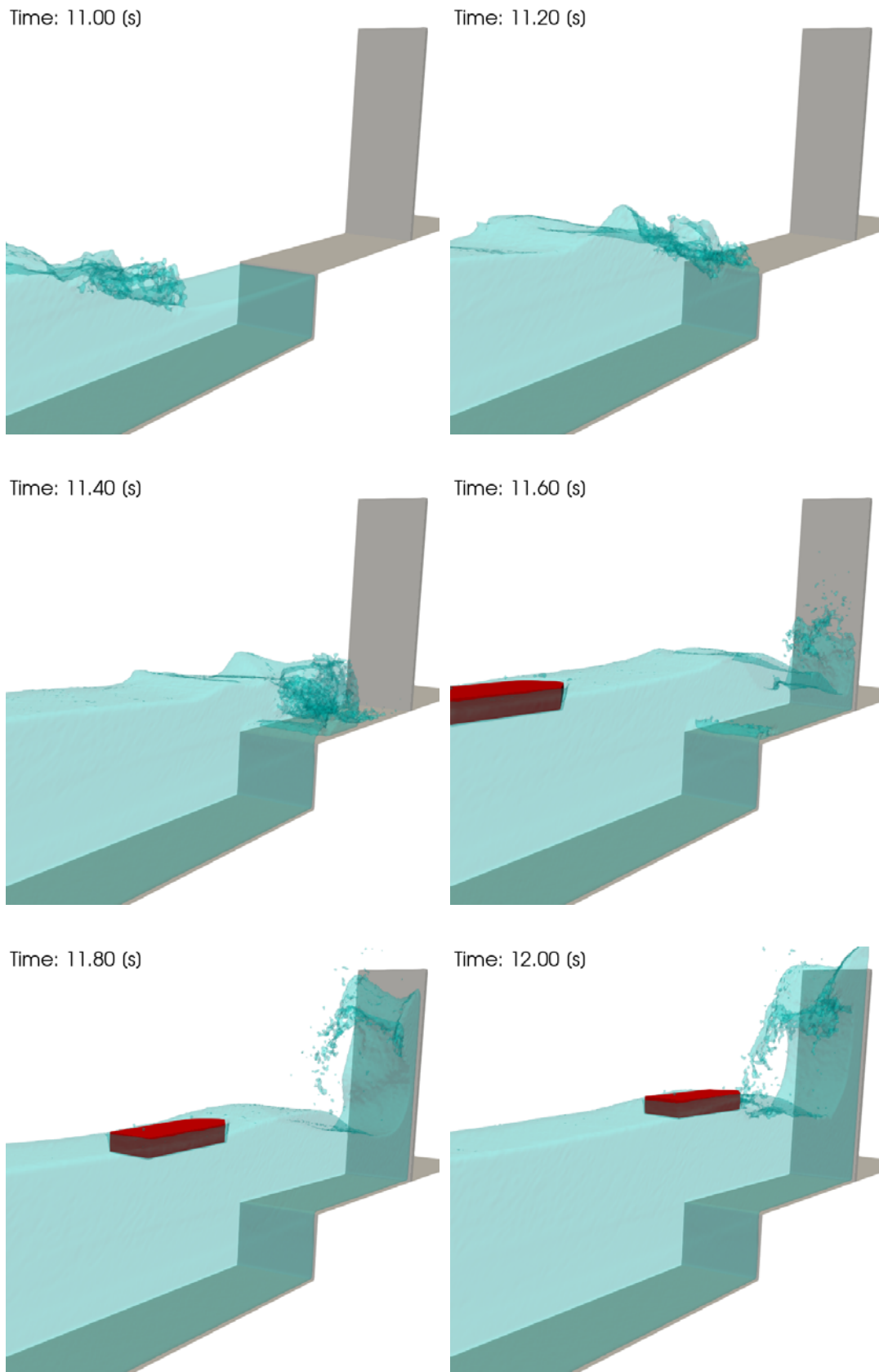


図- 10.3.28 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-G-40) (2/2)

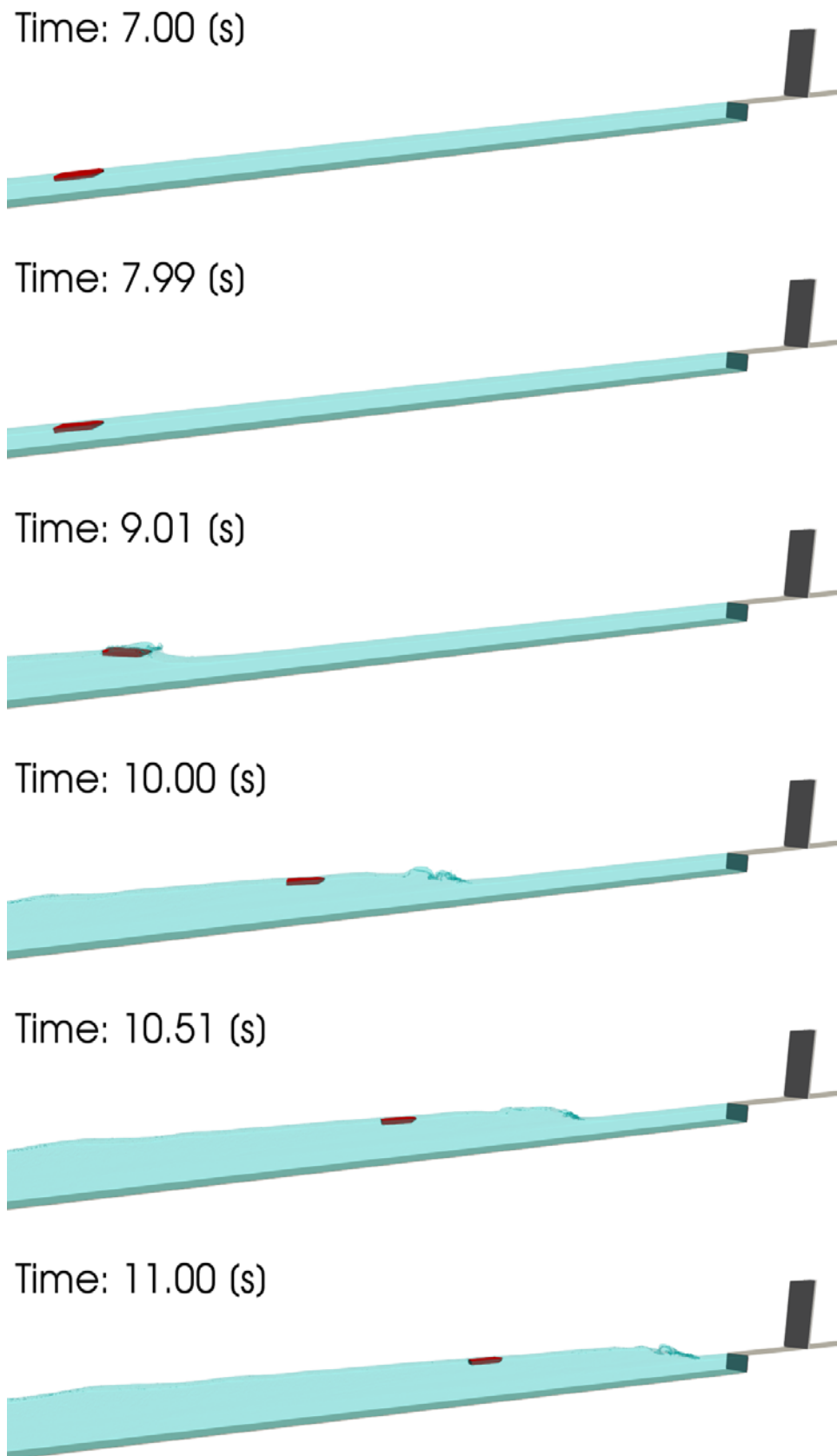


図- 10.3.29 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-G-50) (1/2)

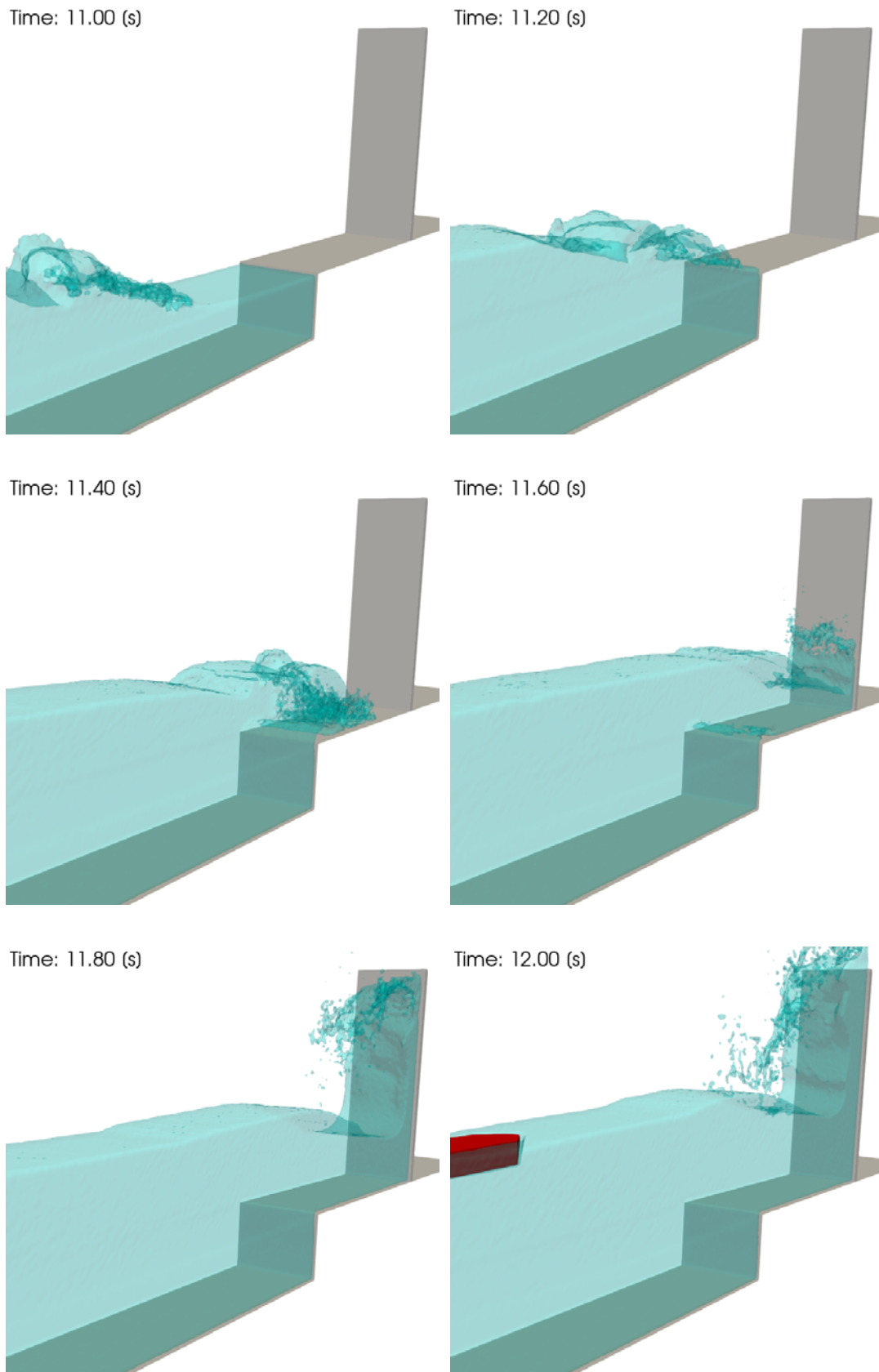


図- 10.3.29 漂流物及び水面のシミュレーション結果 (F-Wf20-G-50) (2/2)

11. まとめ

本事業では、浮遊状態にある船舶が津波により漂流物として防潮堤に衝突する事象を取り上げ、水理試験によりその衝突特性について検討し、衝突力を評価するモデルを構築した。本事業で得られた結果を以下にまとめる。

衝突頻度

- ✓ 浅水域を伝播する津波の波速は、津波高を考慮した見掛けの水深に対する浅水理論の波速にはほぼ一致する。
- ✓ 砕波後の段波状になった津波の波速は、段波理論の波速により保守的に評価可能である。
- ✓ 水面勾配は、砕波点に向けて徐々に増加するが、砕波点の少し沖側で急激に増加し 1 を超える。
- ✓ 漂流物の衝突頻度は、汀線から遠くなるにしたがって、離岸距離に対し線形的に低下する。
- ✓ 漂流物が衝突する初期位置の範囲は、主に砕波点よりも岸側であるが、砕波点よりも初期位置が沖側であっても衝突する場合がある。
- ✓ 初期位置が砕波点よりも沖側の場合、水面勾配が概略 1 を超えると、漂流物が波に連行される。ただし、砕波点を超える際に津波に遅れる場合が多いため、衝突頻度は低い。
- ✓ 漂流物の断面積（船尾側面積）が大きい程、波により押し出される力が大きくなるため衝突頻度が高くなる。また、漂流物長が長いほど、波に連行される頻度は高くなる。一方、漂流物が相似形であれば、漂流物質量の違いによる衝突頻度の違いは見られない。

衝突力

- ✓ 波に連行された漂流物の移動速度はほぼ波速に等しく、汀線付近に設置された防潮堤に衝突する衝突速度は、越流後の流速により加速し、これよりも大きくなる場合がある。
- ✓ 漂流した際の漂流速度は、漂流物の初期位置によらないと考えられるが、漂流物が津波の先端に遅れる場合、反射波の影響により、衝突速度はこれよりも小さくなる。
- ✓ ひずみ計測による気中衝突試験によれば、ある高さより高い位置に衝突した場合、堤体に生じる曲げひずみエネルギーは、衝突高さによらず一定となり、衝突位置が底面に近付くと曲げひずみエネルギーは減少する。
- ✓ 衝突高さは、津波の先端部分に連行される場合は低い位置になるが、遅れて連行される場合は反射波により打ち上げられる形で、高い位置になる。ただし、その際の衝突速度は小さくなり、衝突力も小さくなる。
- ✓ 衝突時の運動エネルギーは、漂流物と堤体の両者に分配されるため、堤体に生じるエネルギーは衝突時の運動エネルギーよりも小さい。この堤体に分配される比率 α は、両者の剛性比により、漂流物の剛性が高いほど大きくなり、堤体の剛性が高いほど小さくなる。
- ✓ 上記分配エネルギーの一部が曲げひずみエネルギーとして堤体に生じ、その割合 β は漂流物質量が小さいと小さくなる傾向にあるが、漂流物と堤体の諸元によっても異なると考えられる。
- ✓ 衝突力の評価式を提案し、本試験の再現性を確認した。衝突力を評価するパラメタとして

は、漂流物と堤体の剛性が重要であり、これは衝突時間との関連性が高い。

- ✓ 線形剛性が成り立つ場合、衝突力は衝突速度に比例し、質量の 1/2 乗に比例する。堤体のような壁構造物であっても見掛けの剛性による線形剛性が成立するが、見掛けの剛性は漂流物の質量により変化する。
- ✓ 衝突力は、漂流物と被衝突構造物（ここでは堤体）の複合剛性により算定できる。複合剛性は、両者のより低い剛性の影響を大きく受けるため、剛な構造物への衝突の場合は漂流物の剛性が支配的であるが、比較的大きなひずみの生じる低剛性の構造物の場合、被衝突構造物の見掛けの剛性の影響が大きくなる。
- ✓ 試験結果と既往の評価式と比較することにより、各評価式の妥当性を検証した。これらのうち、FEMA の式が、漂流物および堤体の剛性を適切に設定することにより、適切な評価結果を与える。

数値シミュレーション

- ✓ VOF 法と SPH 法による数値解析により、漂流物の衝突シミュレーションを実施した。
- ✓ 水位や流速については、若干の位相遅れが生じる場合があるものの、VOF 法と SPH 法ともに精度良く再現できる。
- ✓ VOF 法では、水理試験において高頻度で衝突しているケースについては、数値シミュレーションにおいても概略衝突することが再現出来ているが、数値シミュレーションで衝突していないケースでも水理試験では衝突している場合があり、衝突の有無を判定するにはさらなる検討が必要である。また、衝突開始時の加速が小さい傾向にあり、波の先端部に対し漂流物が遅れる傾向にある。
- ✓ SPH 法の場合は、漂流物の動き出しは VOF 法よりも早く、衝突する確率も高くなっている。ただし、衝突の有無の再現性にはまだ課題があり、粒子による漂流物形状の考慮方法について検討が必要である。
- ✓ いずれのケースも、漂流物や堤体の剛性まで再現することは困難であり、衝突直前の衝突速度をシミュレーションにより求め、衝突力の評価式や構造解析シミュレーションにより衝突力を別途算出する方法が現実的と考えられる。

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。