

参考資料 1 弥陀次郎川破堤箇所の浸透流解析

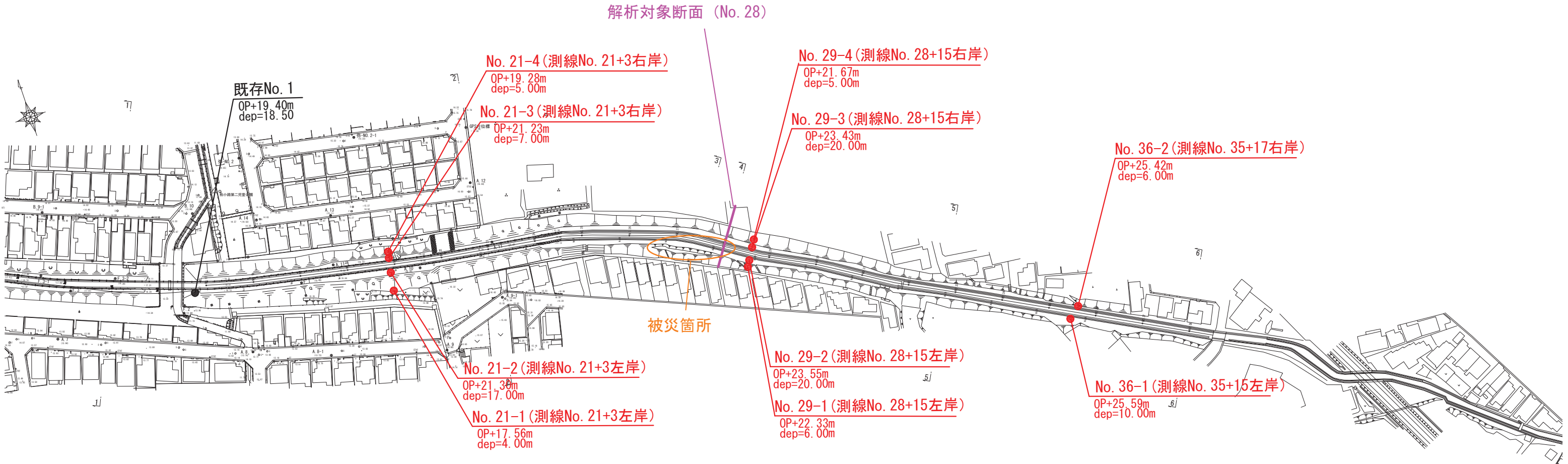
1. 対象断面

被災箇所である No.28 (0.56k) 断面を対象とする。

2. 地盤条件

No.29 (0.58k) 断面における地質調査結果を適用する。

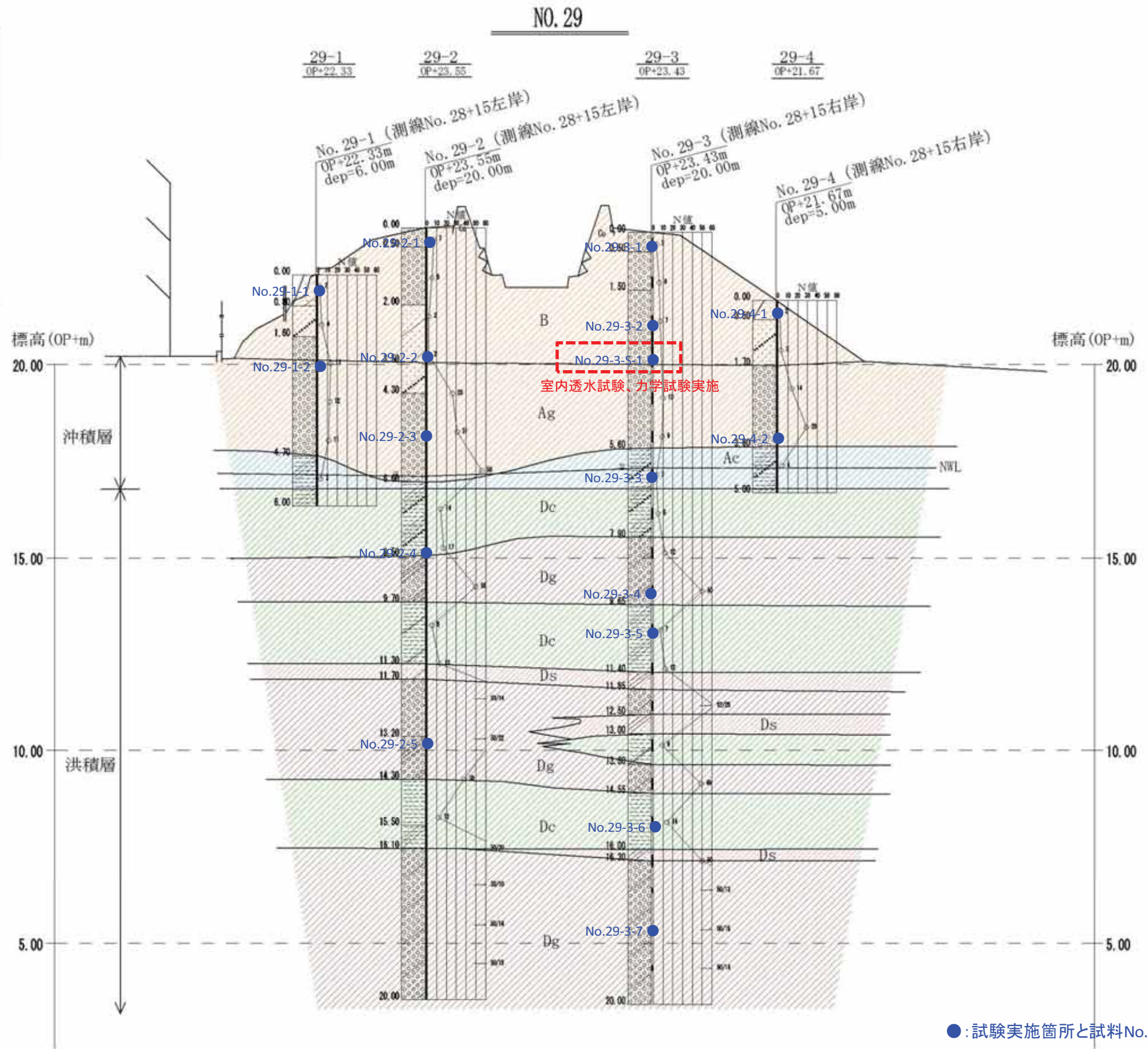
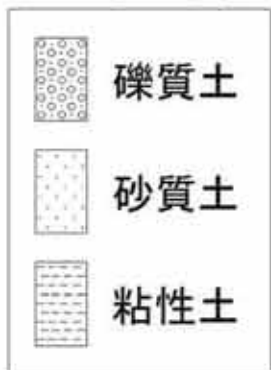
地質調査実施断面および解析対象断面について、次ページに位置図を示す。



地層の凡例



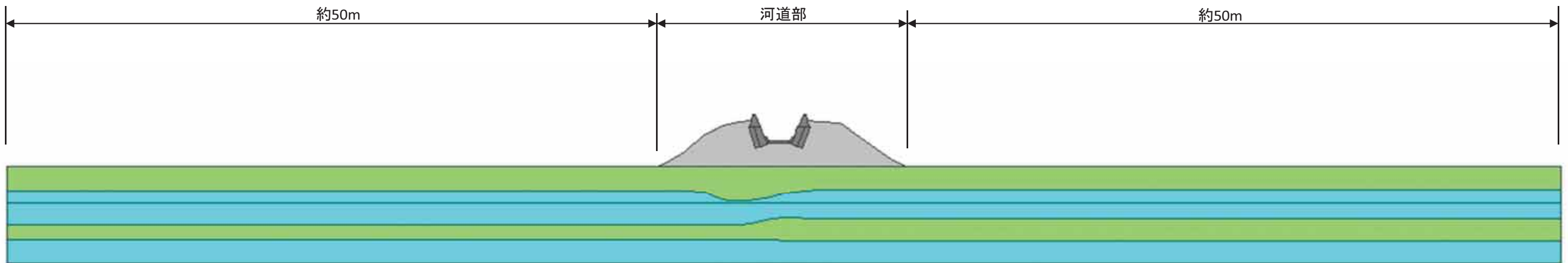
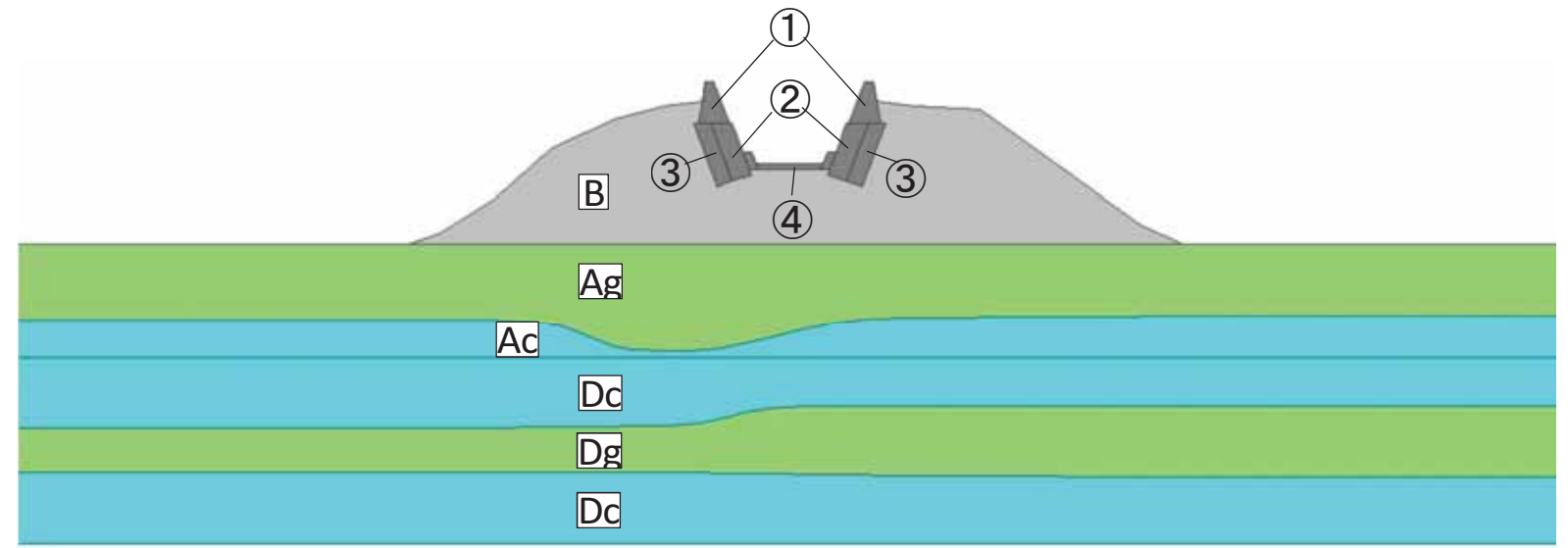
ボーリング柱状図の凡例



解析モデル

地盤定数一覧表

	単位体積重量		せん断強度			透水係数		不飽和浸透特性
	γ_t (kN/m ³)	設定根拠	C (kN/m ²)	ϕ (°)	設定根拠	k (cm/sec)	設定根拠	
①パレット	25		100	0		1.00E-06	不透水	礫-砂
②石積み護岸	19		100	0		1.00E-02 または1.00E-06	検討ケースにより 透水係数を選定	礫-砂 または粘性土
③裏込め碎石	19		0	40		1.00E-01	標準的な礫層	礫-砂
④河床コンクリート	25		100	0		1.00E-02 または1.00E-06	検討ケースにより 透水係数を選定	礫-砂 または粘性土
⑤B	18	試験結果平均値	1	39	CD試験	6.77E-04	B層試料の平均値	細粒分の多い砂
⑥Ag	18	B層試験結果	1	39	CD試験	2.69E-02	B層試験結果	礫-砂
⑦Ac	15	一般値	20	0	N値換算	1.00E-06	一般値	粘土
⑧Dc	15	一般値	72	0	N値換算	1.00E-06	一般値	粘土
⑨Dg	19	一般値	0	38	N値換算	4.20E-04	現場透水	細粒分の多い砂



解析モデル全体図

3. 外力条件

(1) 降雨波形

XバンドMPレーダー観測記録に基づいて作成した降雨波形を用いる。

(2) 外水位波形

流出解析によって得られた上出橋地点における流量ハイドログラフを基に、以下の要領で解析対象地点の外水位波形を作成した。

- ・上出橋地点の流量を、破堤地点までそのまま流下させる。
- ・破堤地点の満杯流量(堤防高)で、ハイドロをカットする。

※解析対象地点のH-Q式は、Case2(河道内植生を考慮)の粗度係数を用いた不等流計算結果から作成した。

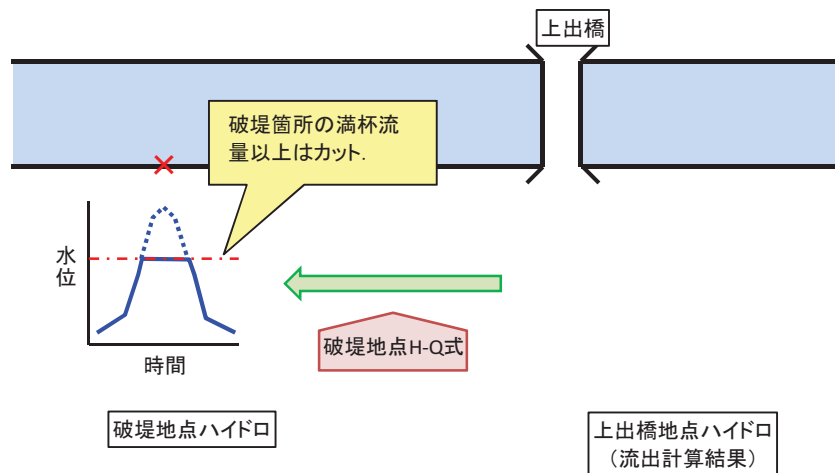


図. 外水位波形設定の概念図

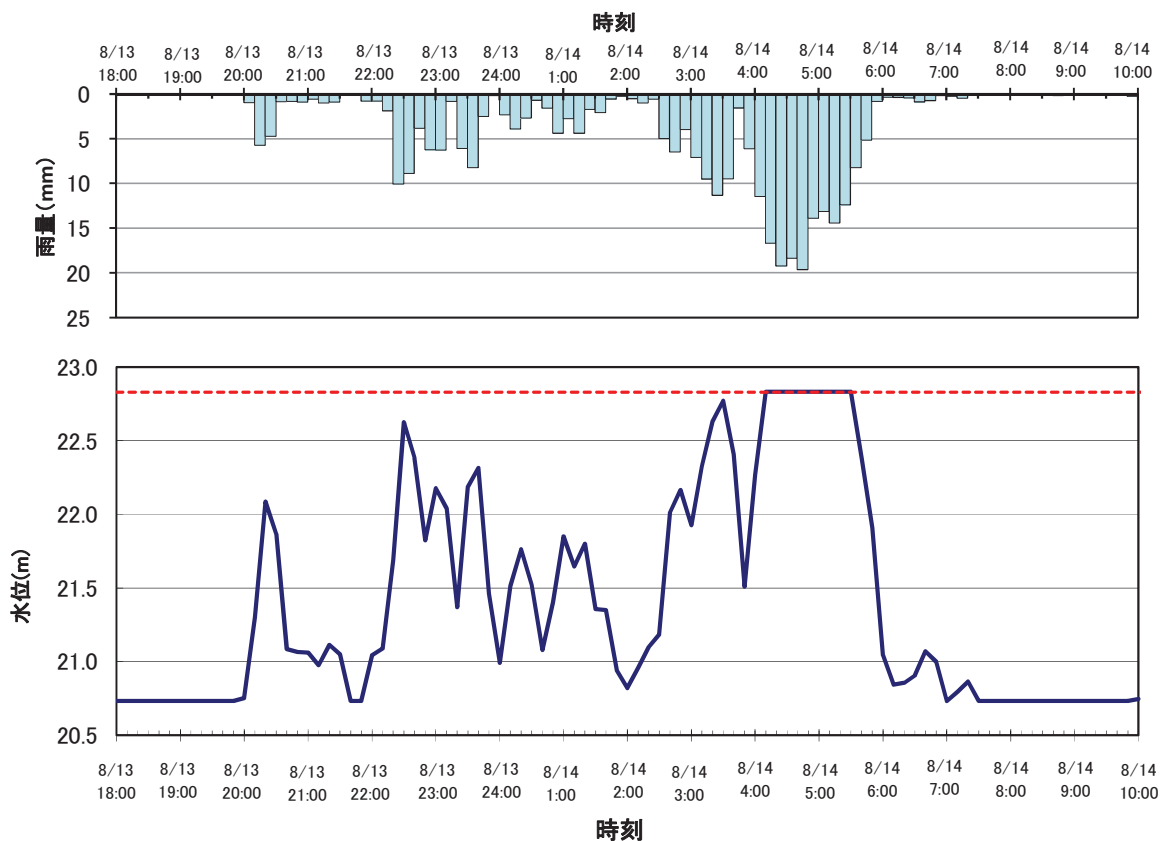


図. 降雨波形および外水位波形

4. 護岸等構造物の取り扱い

石積み護岸および河床コンクリートの透水性の扱いとして以下の2ケースを想定する。

- A. 石積み護岸・河床コンクリートを不透水とする ($k=1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$)
- B. 河床コンクリートのみ不透水とする
- C. 石積み護岸・河床コンクリートの透水性を考慮しない ($k=1.0 \times 10^{-2} \text{cm/s}$)

5. 初期水位

以下の2ケースを想定する。

- ① 地質調査で確認された地下水位（標高 16.3m, Ac 層付近）を初期水位とする場合
- ② 堤内地盤高付近（G.L.-0.5m）に初期水位を設定する場合

6. 検討ケース

表. 検討ケース

		構造物の透水性					
		A		B		C	
		護岸	河床	護岸	河床	護岸	河床
		×	×	○	×	○	○
初期 地下水位	①Ac層付近	CaseA-①		CaseB-①		CaseC-①	
	②G.L.-0.5m	CaseA-②		CaseB-②		CaseC-②	

×…透水性を考慮しない, ○…透水性を考慮する

7. 安全性の照査手法

(1) パイピング破壊に対する照査

パイピング破壊に対する照査手法について『河川堤防構造検討の手引き』では、鉛直方向・水平方向の局所動水勾配について照査する方法と、川裏のり尻近傍の堤内地地盤の表層が粘性土で被覆されている場合の照査として、盤ぶくれに対する照査手法が示されている。

検討対象断面は、堤内地地盤の表層は砂礫層となっていることから、本検討では、鉛直方向・水平方向の局所動水勾配によってパイピング破壊の照査を行った。

5) 局所動水勾配の算出法

パイピングに対する安全性照査に必要な局所動水勾配は、浸透流計算の結果から得られた全水頭 ϕ あるいは圧力水頭 ψ をもとに、裏のり尻近傍の基礎地盤について次式によって算出し、鉛直方向ならびに水平方向の最大値を求める（図 4.3.19 参照）。

$$i_v = \frac{\Delta\phi}{d_v} = \frac{\Delta\phi - d_v \cdot \rho_w}{d_v} \quad (\text{鉛直方向})$$

$$i_h = \frac{\Delta\phi}{d_h} = \frac{\Delta\phi}{d_h} \quad (\text{水平方向})$$

ここに、
 i_v : 鉛直方向の局所動水勾配
 i_h : 水平方向の局所動水勾配
 $\Delta\phi$: 節点間の全水頭差(m)
 $\Delta\psi$: 節点間の圧力水頭差(m)
 d_v : 節点間の鉛直距離(m)
 d_h : 節点間の水平距離(m)
 ρ_w : 水の密度 ($\rho_w = 1.0 \text{ t/m}^3$)

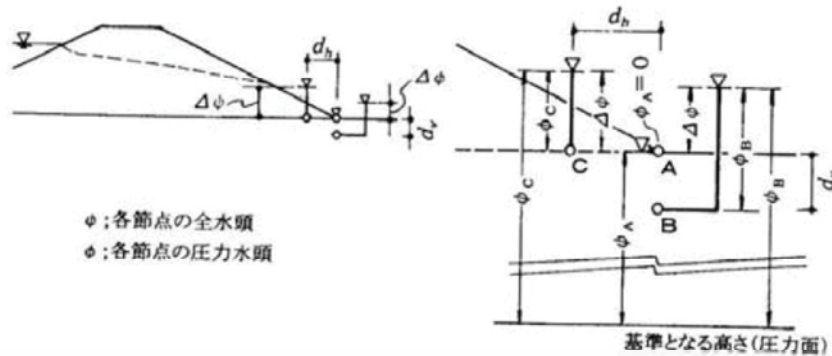


図 4.3.19 局所動水勾配の算出の考え方

一方、裏のり尻近傍の堤内地地盤の表層が粘性土で被覆されている場合には、次式により安全性を照査する。

$$G/W = (\rho_t \cdot H) / (\rho_w \cdot P) > 1.0$$

ここに、
 G : 被覆土層の重量 (t/m^2)
 W : 被覆土層底面に作用する揚圧力 (t/m^2)
 ρ_t : 被覆土層の密度 (t/m^3)
 H : 被覆土層の厚さ (m)
 ρ_w : 水の密度 (t/m^3)
 P : 被覆土層底面の圧力水頭 (全水頭と位置水頭の差) (m)

(2) すべり破壊に対する照査

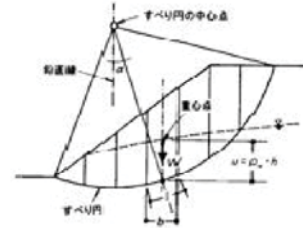
すべり破壊に対する安全性の照査は、『河川堤防構造検討の手引き』に従い、全応力法による円弧すべり法によって実施した。

2) 円弧すべり法による安定計算法

浸透流計算によって得られた浸潤面の中から最も危険なものを抽出し、一般全応力法にもとづいて、次式によってすべり破壊に対する最小安全率を算出する。

$$F_s = \frac{\Sigma\{c l + (W - ub) \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi\}}{W \cdot \sin \alpha}$$

- ここに、
 F_s : 安全率
 u : すべり面の間隙水圧 (kPa)
 W : 分割片の重量 (kN/m)
 c : すべり面に沿う土の粘着力 (kPa)
 l : 円弧の長さ (m)
 ϕ : すべり面に沿う土の内部摩擦角 (°)
 b : 分割片の幅 (m)



一般全応力法は、実際と同じ応力条件と排水条件を与えたせん断試験を行って、いわゆる見かけの強度定数 c 、 ϕ を求め、すべり面の間隙水圧を用いて安定計算を行う方法である^{3),4)}。一般全応力法で用いる強度定数および間隙水圧を表 4.3.1 に示す。間隙水圧には、降雨・河川水等の浸透・排水による間隙水圧と、せん断に伴う土の体積膨張または体積収縮による間隙水圧等がある。上記計算式のすべり面の間隙水圧とは、浸透・排水による間隙水圧のことを意味し、テルツァーギはこの間隙水圧のことを‘中立間隙水圧’と形容している³⁾。一般全応力法では、強度定数を求める土質試験の中で、せん断に伴う間隙水圧が反映されていることから、上記計算式ではせん断に伴う間隙水圧を考慮しない。

円弧すべり法による安定計算には数多くの方法が提案されているが、ここで提示した計算式は修正フェレニウス式と呼ばれる。

安定計算においては、複数の円弧中心に対して最小安全率を求め、そのなかの最小値が計算断面に対する最小安全率となる。

表 4.3.1 一般全応力法に用いる強度定数と間隙水圧

分割片底面の条件	強度定数	間隙水圧
非排水条件 (透水性が低い場合)	粘着力 c_U (内部摩擦角 $\phi_U \doteq 0$) または、粘着力 c_{CU} , 内部摩擦角 ϕ_{CU}	浸透・排水による 間隙水圧 u
排水条件 (透水性が高い場合)	粘着力 $c_d \doteq c'$, 内部摩擦角 $\phi_d \doteq \phi'$	浸透・排水による 間隙水圧 u

8. 解析結果

解析結果の一覧表を以下に示す。下表では、各ケースについて、パイピング破壊・円弧すべり破壊のそれぞれが、最も危険になる時点の数値を示した。すなわち、局所動水勾配は一連の解析時間中の最大値、円弧すべり安全率は一連の解析時間中の最小値を示した。

また、局所動水勾配または円弧すべりの数値から、安定性を確保できていないと判断される箇所を網掛けで表示した。

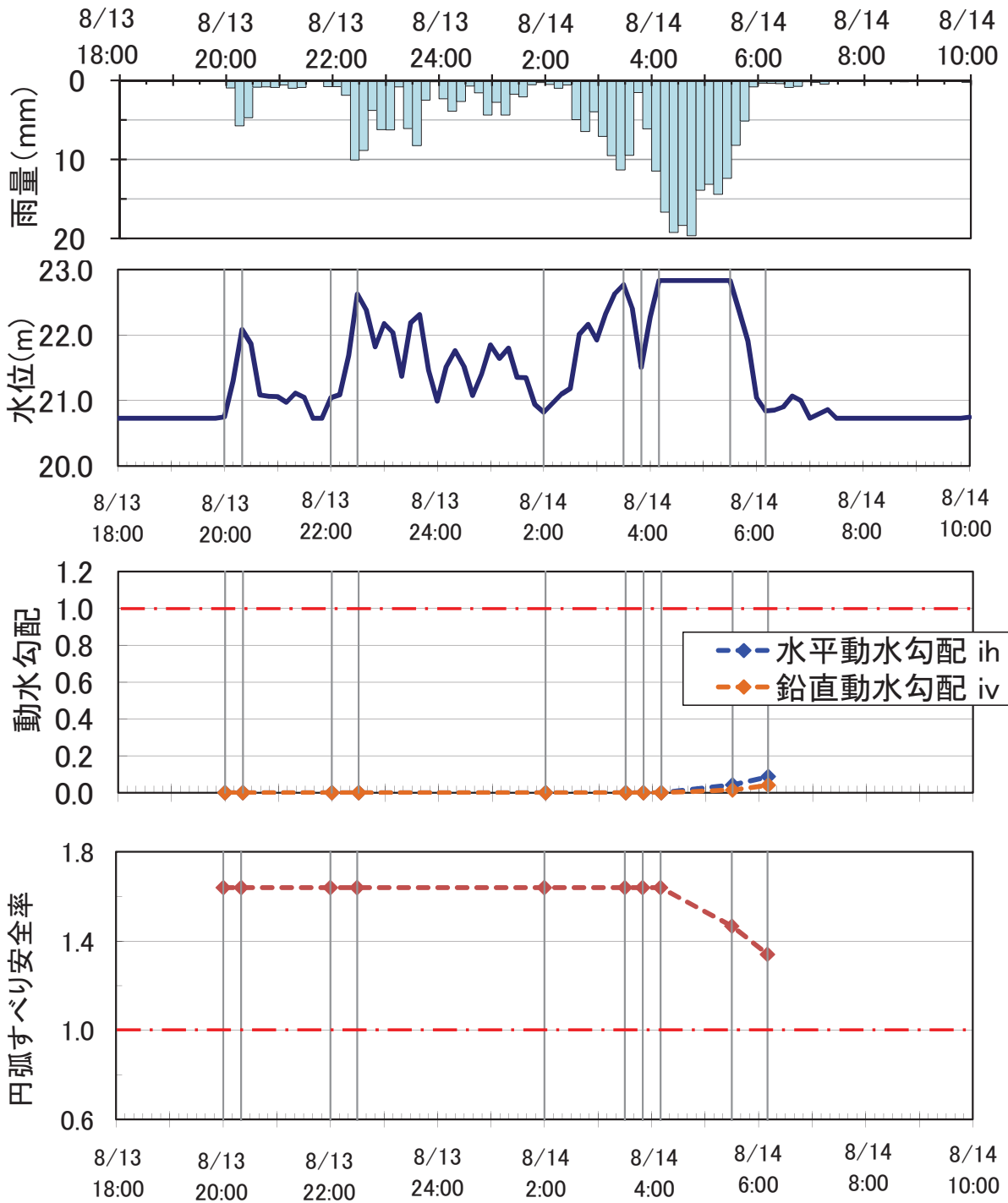
表. 解析結果一覧表

検討ケース	局所動水勾配		円弧すべり安全率
	水平 ih	鉛直 iv	
A-①	0.087	0.041	1.341
A-②	0.149	0.079	1.015
B-①	0.258	0.145	0.871
B-②	0.258	0.145	0.871
C-①	0.266	0.150	0.871
C-②	0.266	0.150	0.871

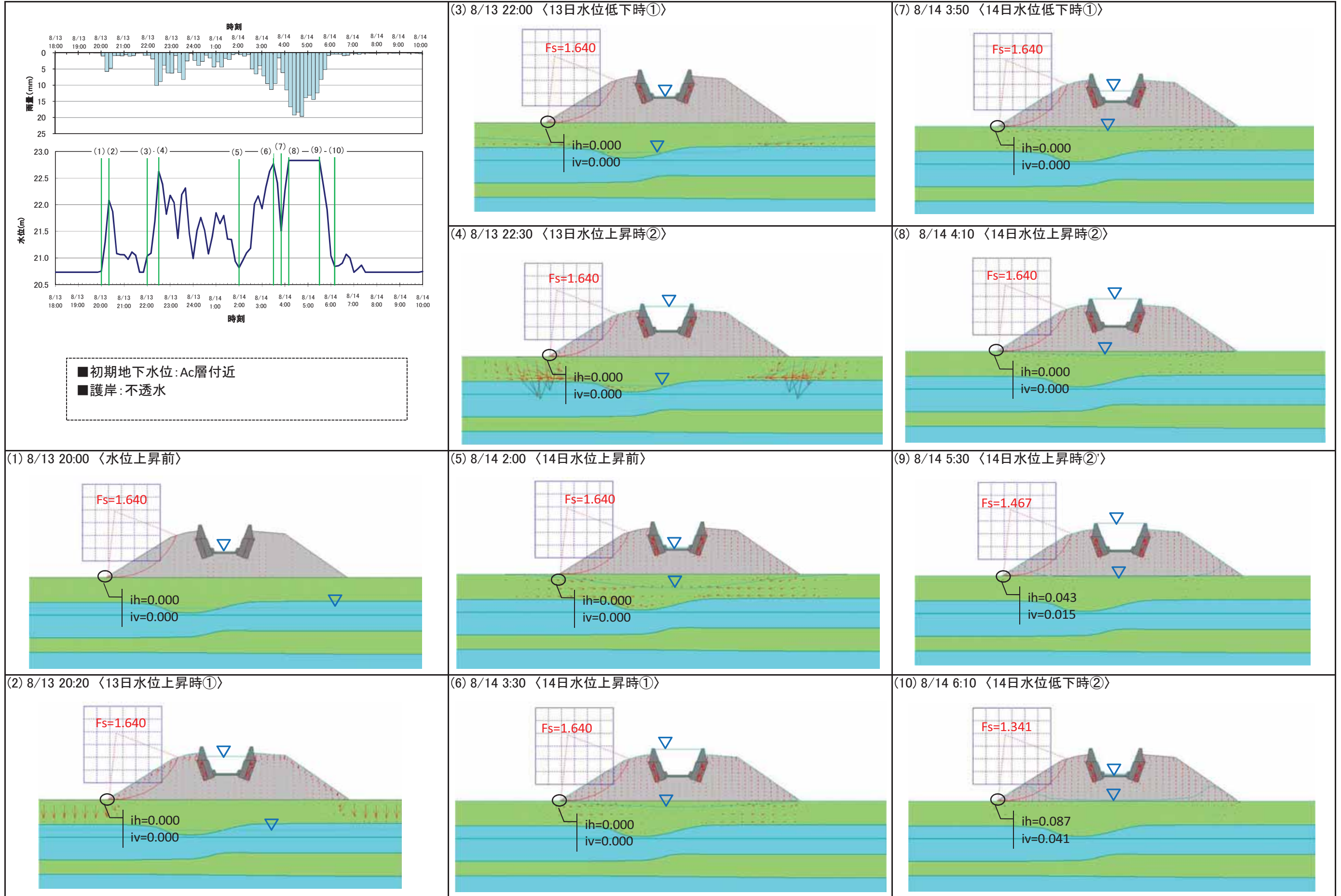
一連の浸透流解析結果について、以下の点が観察される。

- ◆局所動水勾配については、いずれのケースも1未満である。したがって、パイピング破壊は生じないと判断できる。
- ◆護岸および河床コンクリートを不透水としたケース（すなわち、降雨のみが堤体に浸透するケース）では（A-①②）、円弧すべり安全率は1を上回っている。したがって、これらのケースでは、すべり破壊は生じないと判断される。
- ◆ケースB-①②は河床コンクリートのみ不透水としたケースである。別途実施した護岸の抜石調査によれば、対象断面近傍の護岸構造は、概ね空石積みのような構造であり、遮水性は期待出来ない構造となっている。すなわち、本ケースは被災前の河道に比較的近い条件を再現したものである。
本ケースにおいて円弧すべり安全率は1を下回っており、河床の損傷がない場合であっても、護岸からの浸透により、すべり破壊が生じていた可能性が示唆される。
- ◆ケースC-①②は護岸・河床コンクリートともに遮水性を考慮していないケースであり、河床コンクリートが何らかの損傷を受けた場合を想定したものである。
本ケースにおいて円弧すべり安全率は1を下回っていることから、河床コンクリートが損傷を受け河道からの浸透があった場合、すべり破壊が生じていた可能性が考えられる。

【CaseA-1 / 初期地下水位: Ac層, 護岸・河床: 不透水】

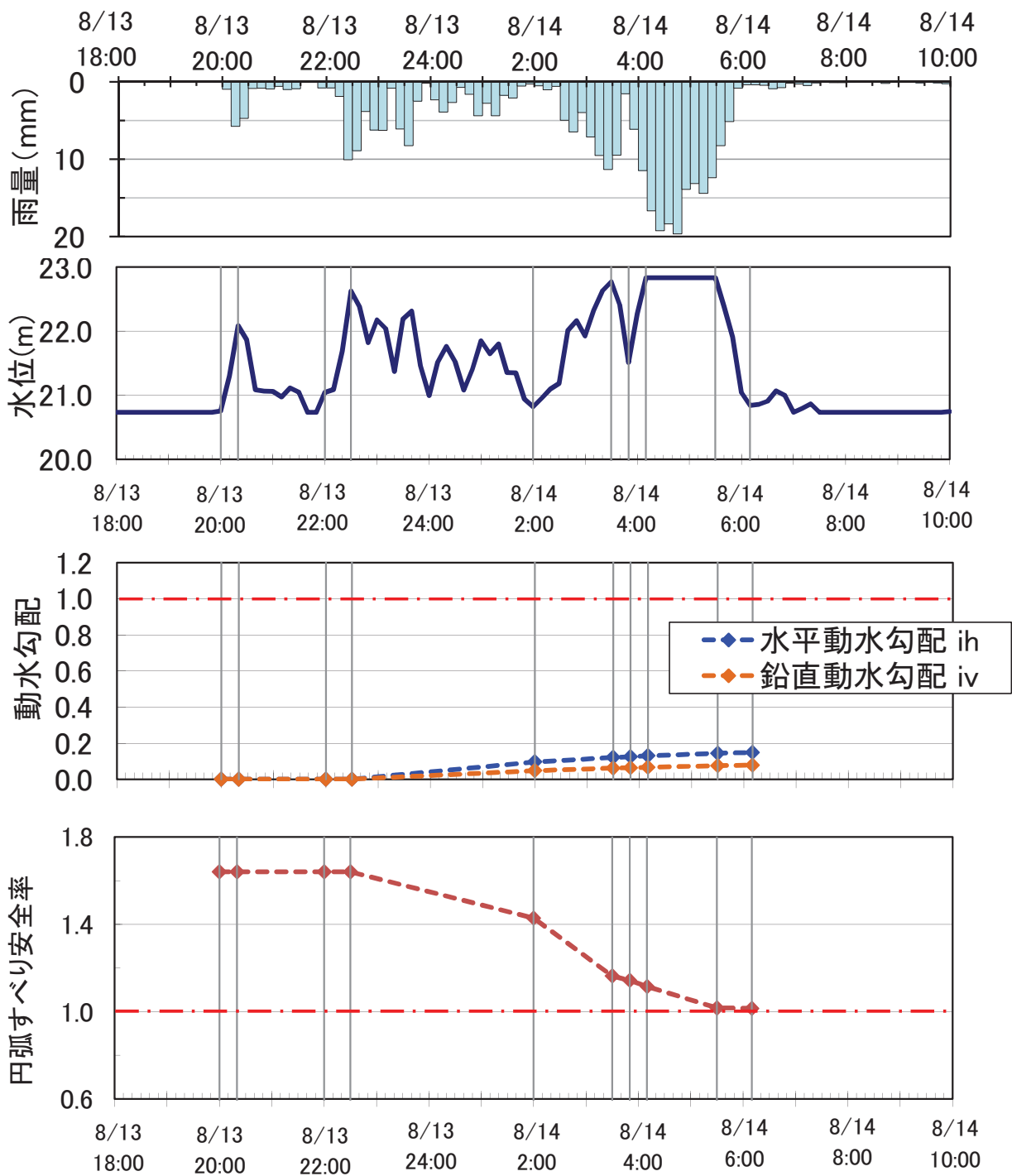


CaseA-1

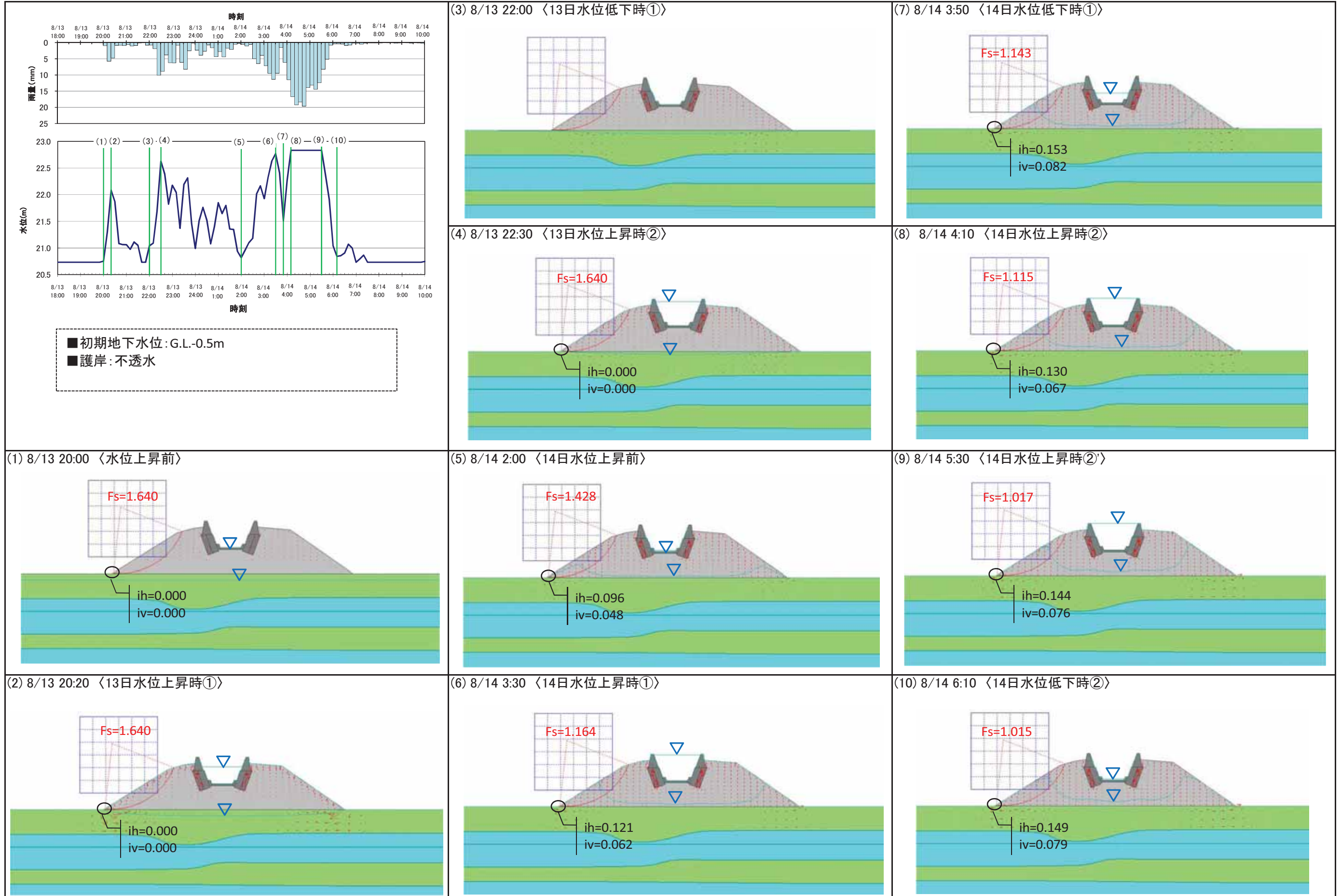


流速: 2.053E-003(min/m)

【CaseA-2／初期地下水位：堤内地盤高-0.5m，護岸・河床：不透水】

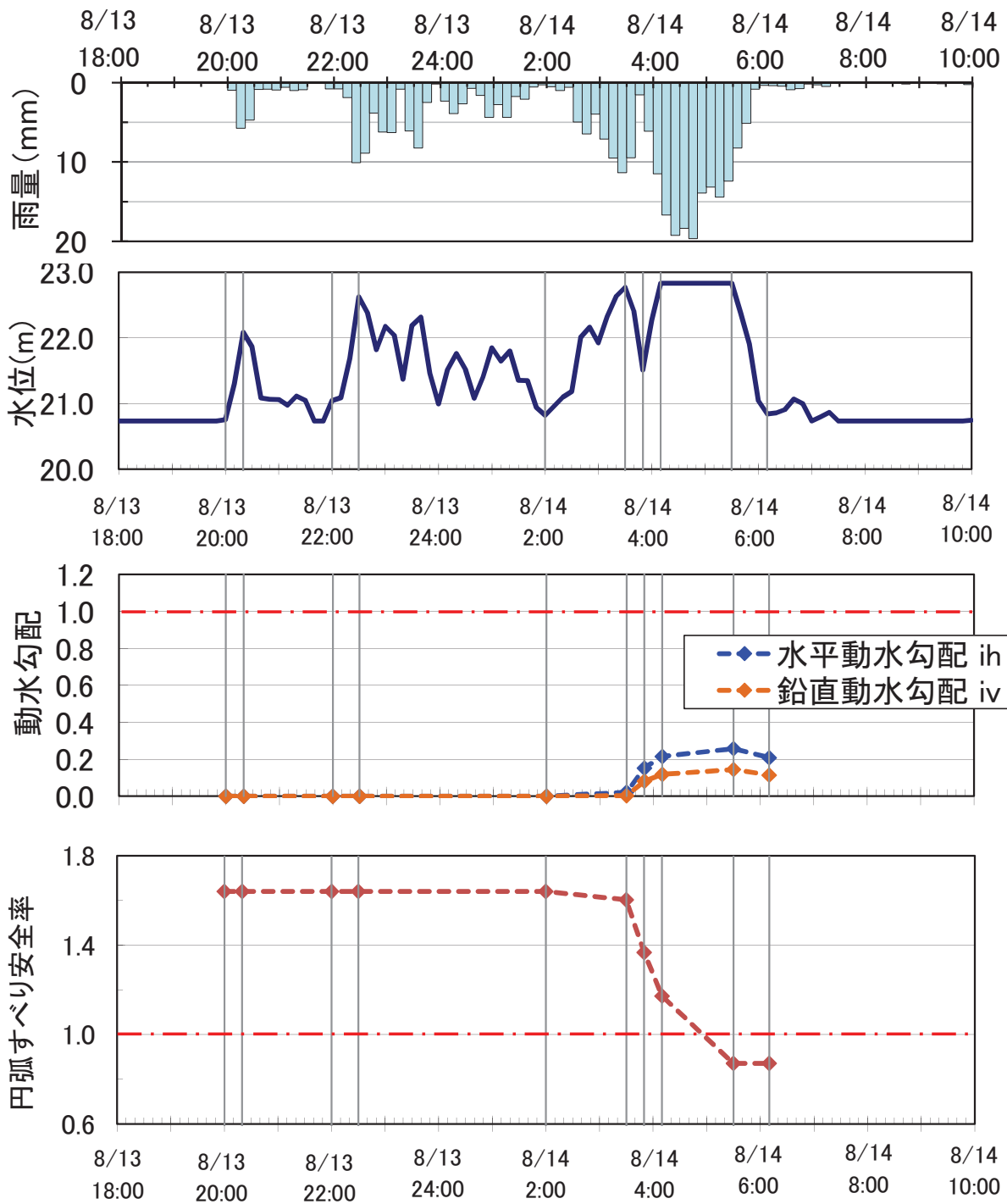


CaseA-2

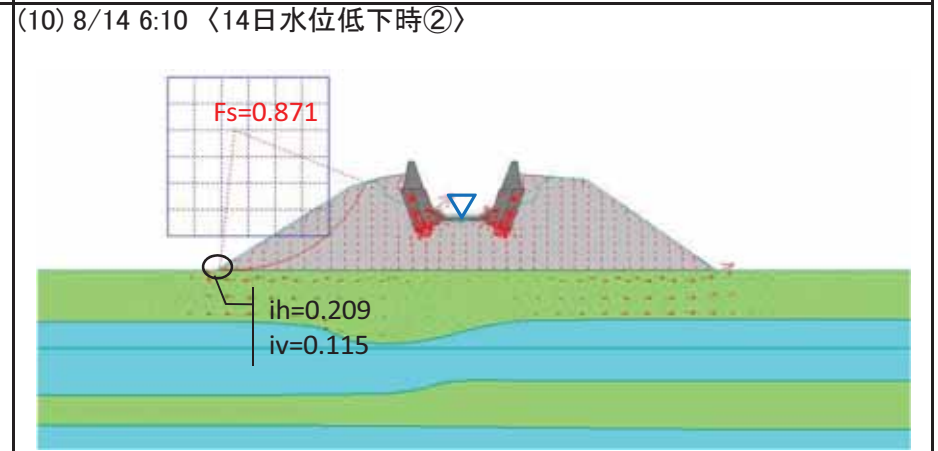
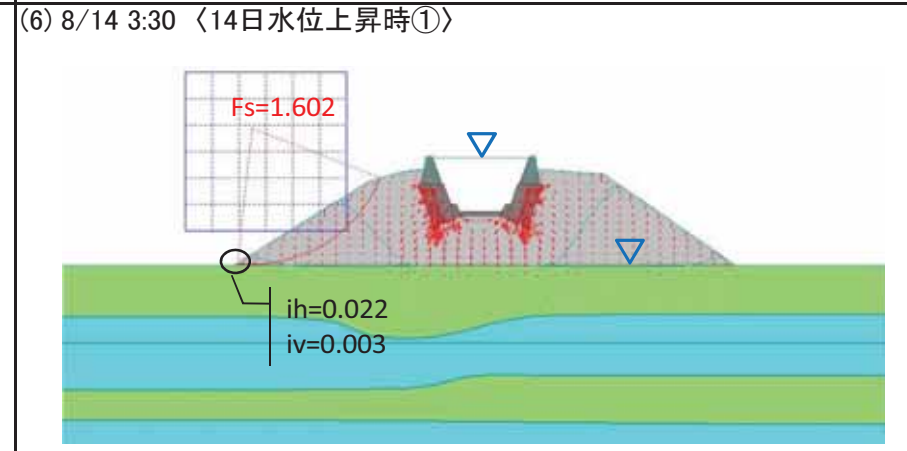
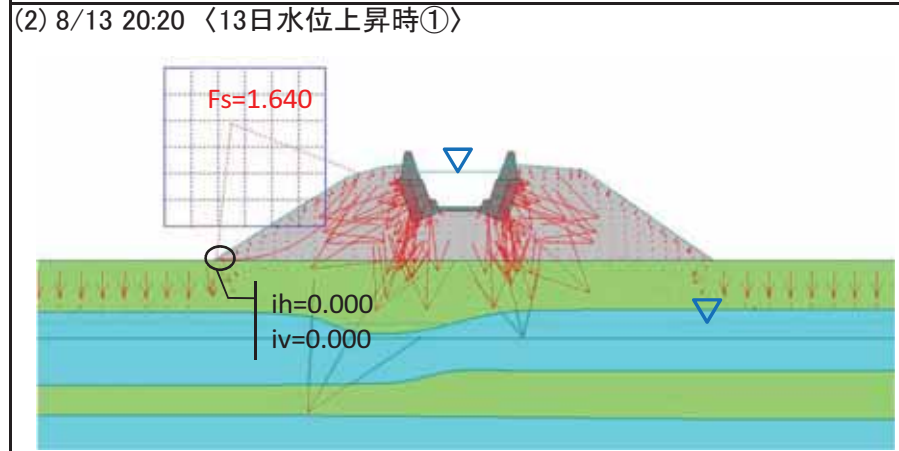
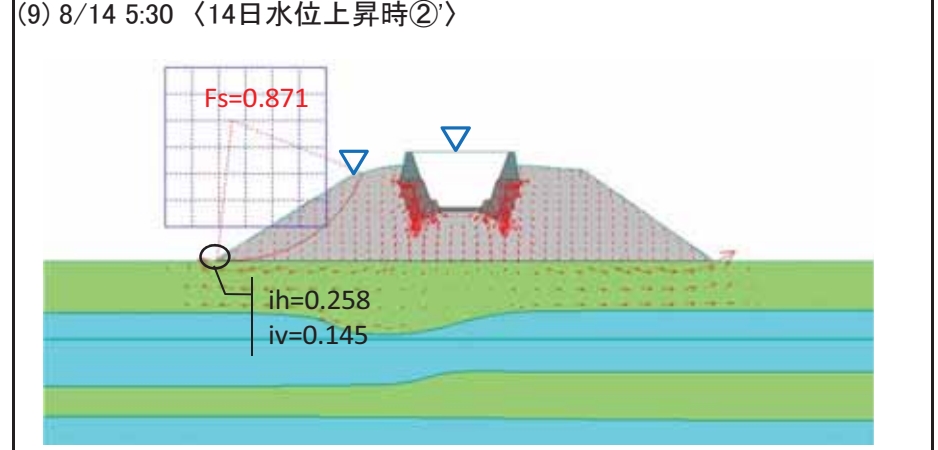
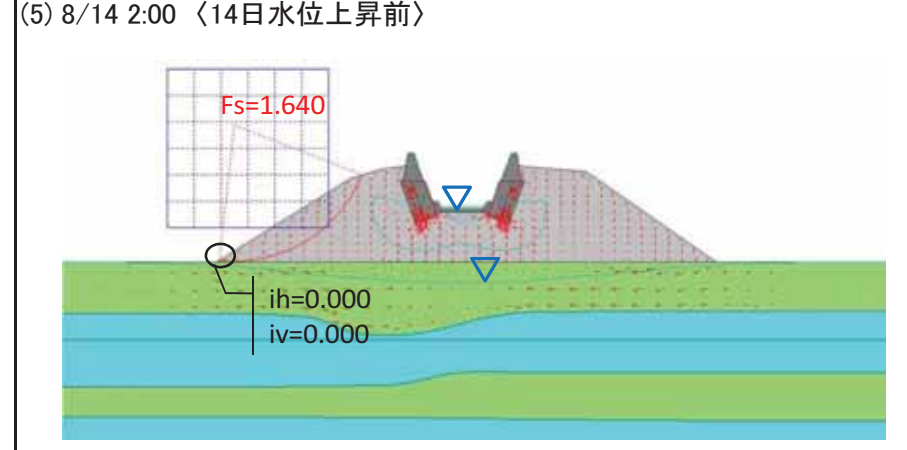
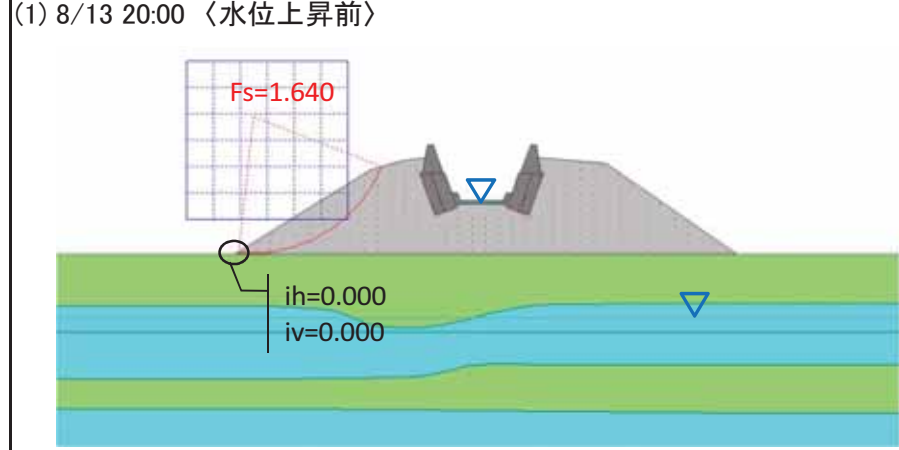
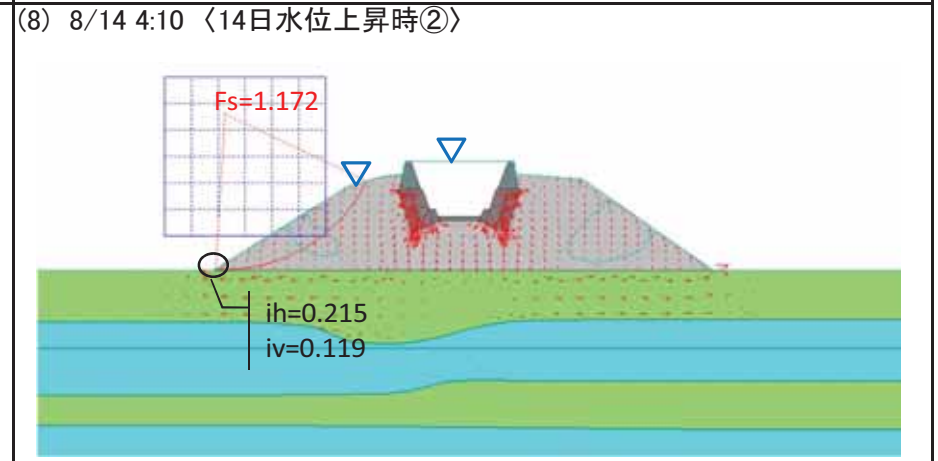
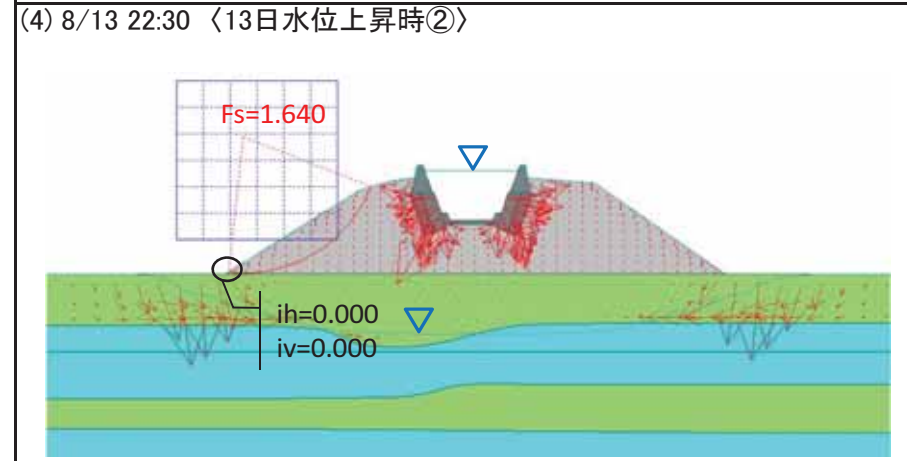
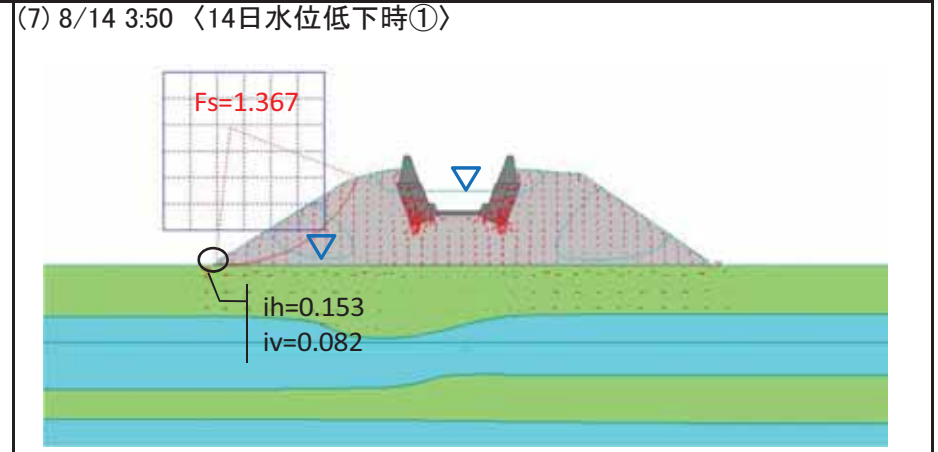
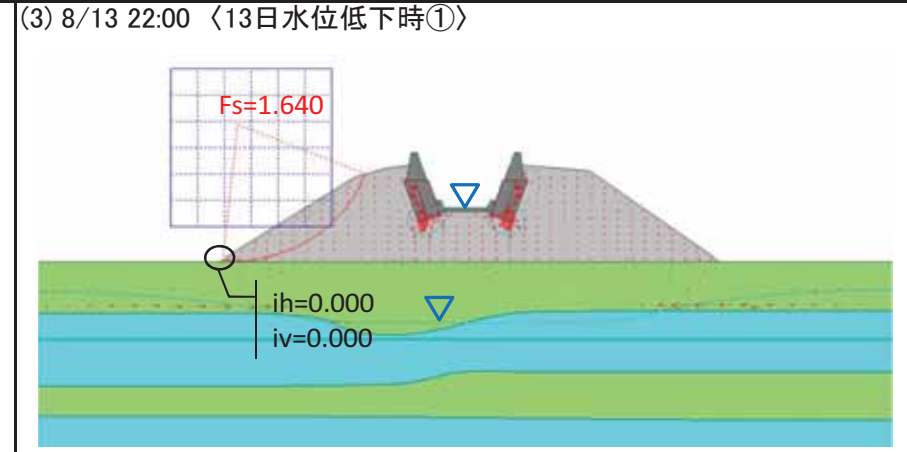
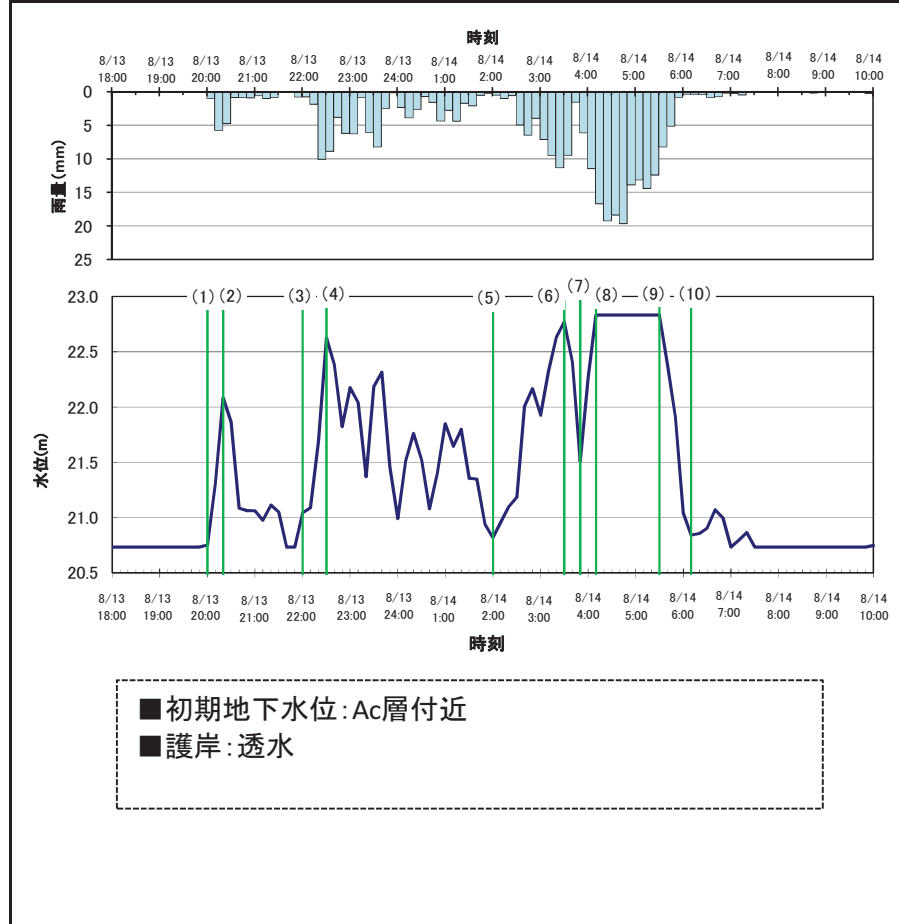


流速: 2.053E-003(min/m) →

【CaseB-1／初期地下水位：Ac層，護岸：透水，河床：不透水】

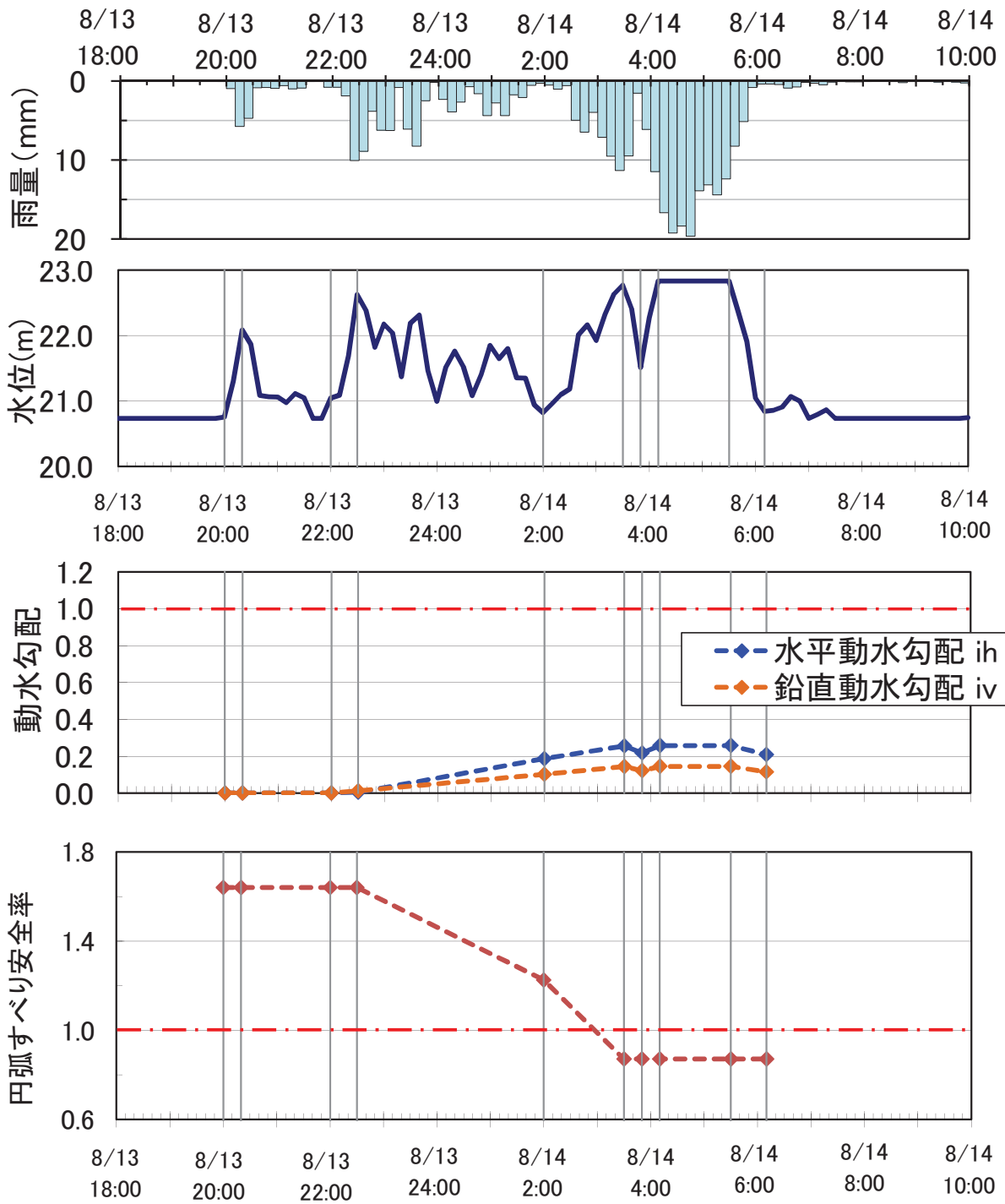


CaseB-1

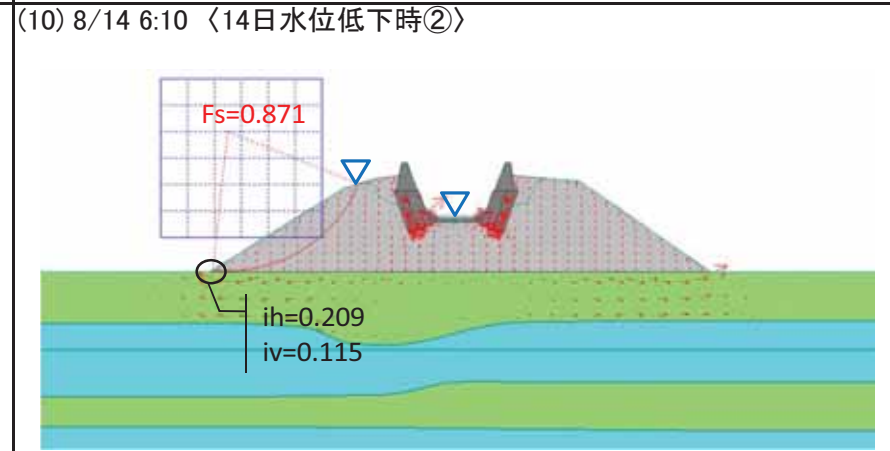
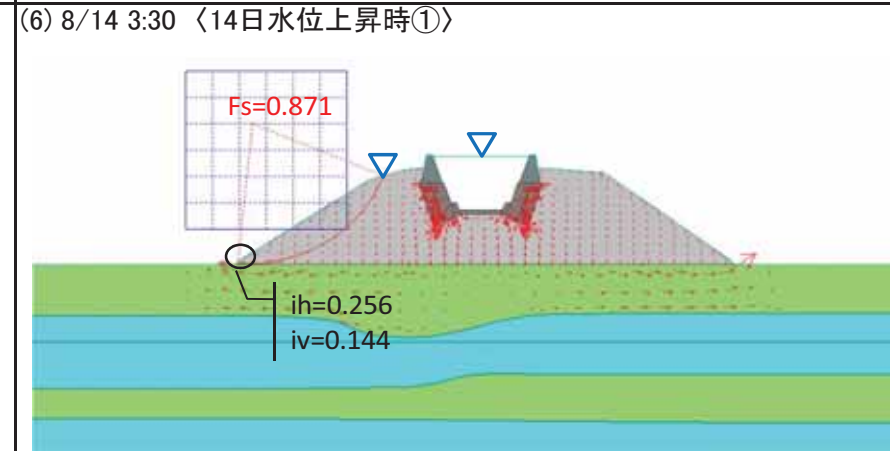
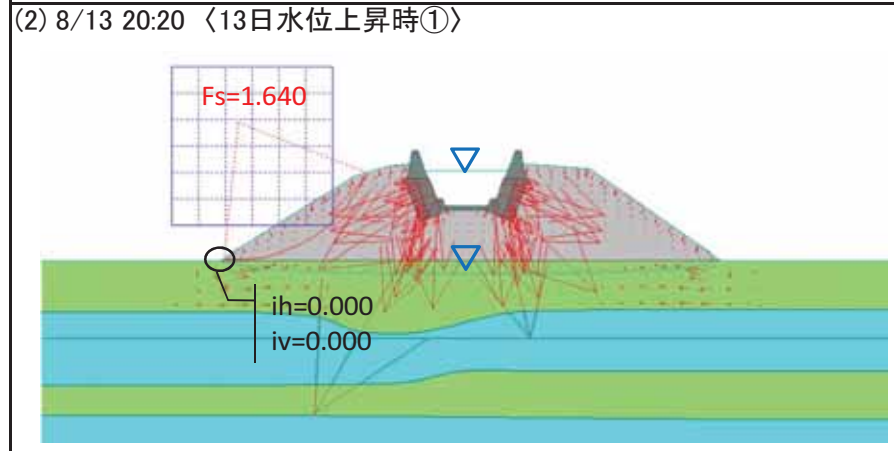
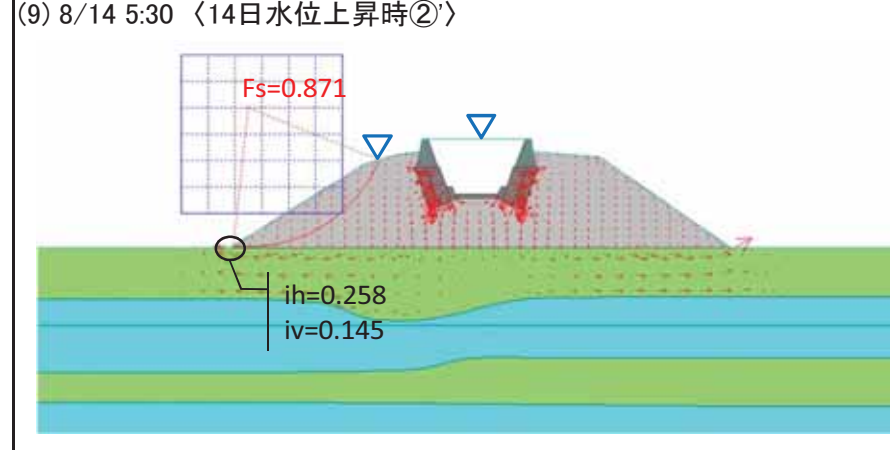
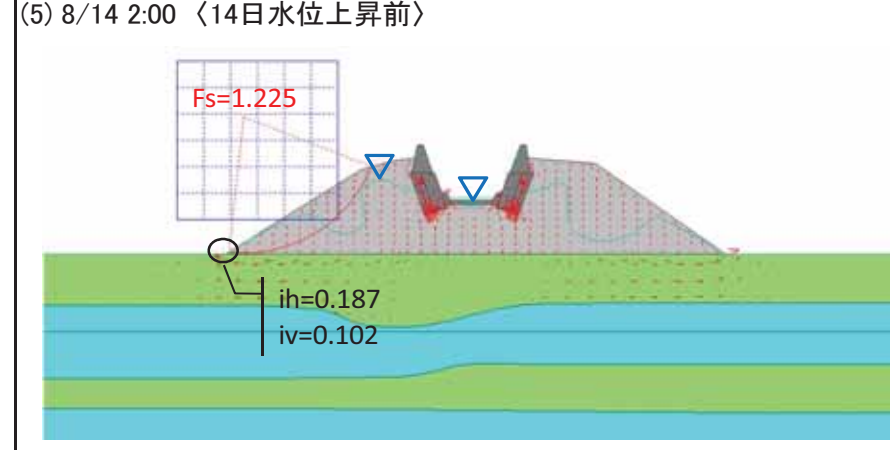
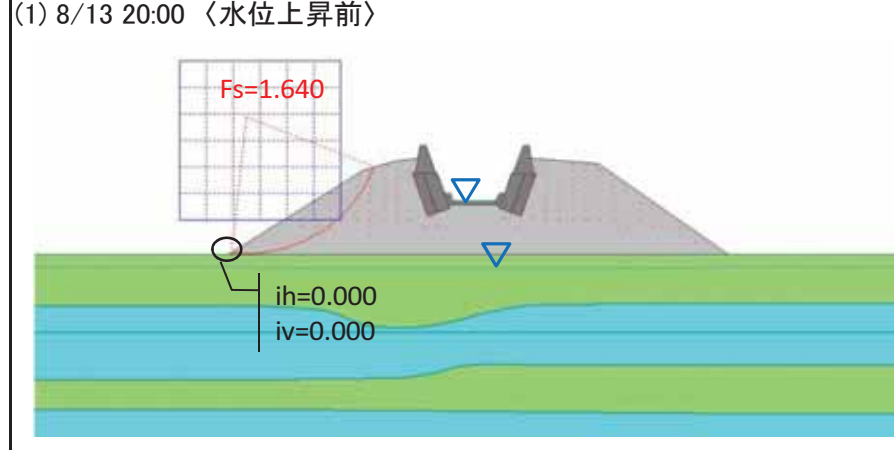
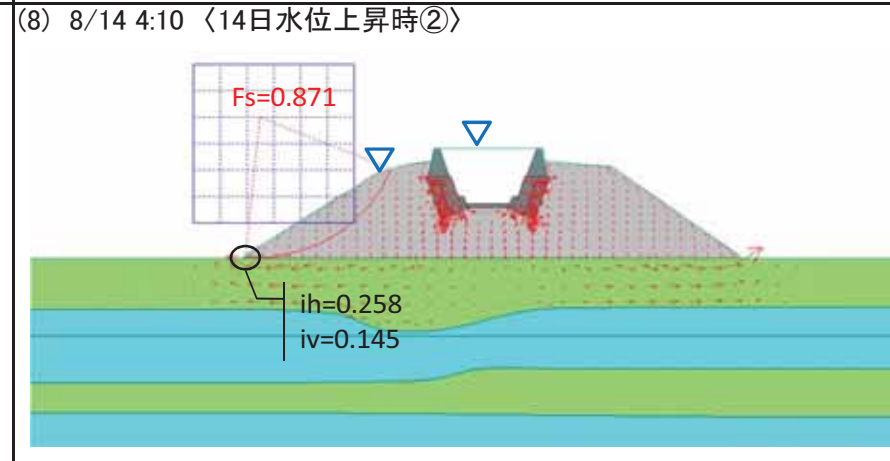
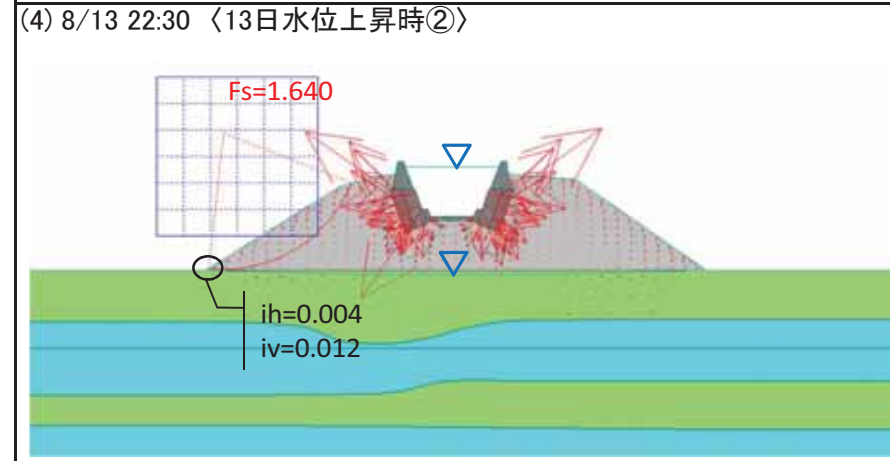
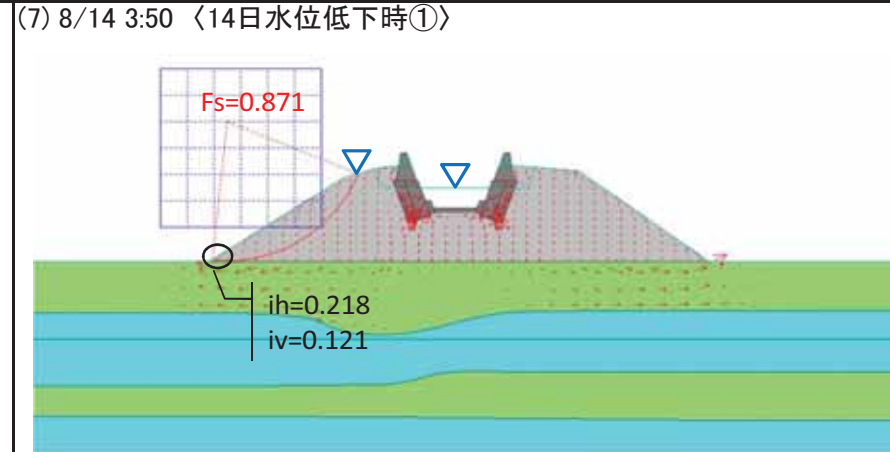
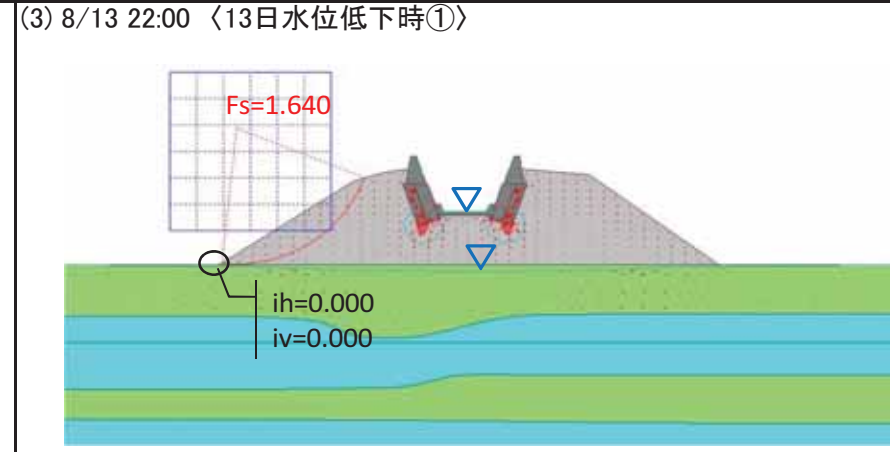
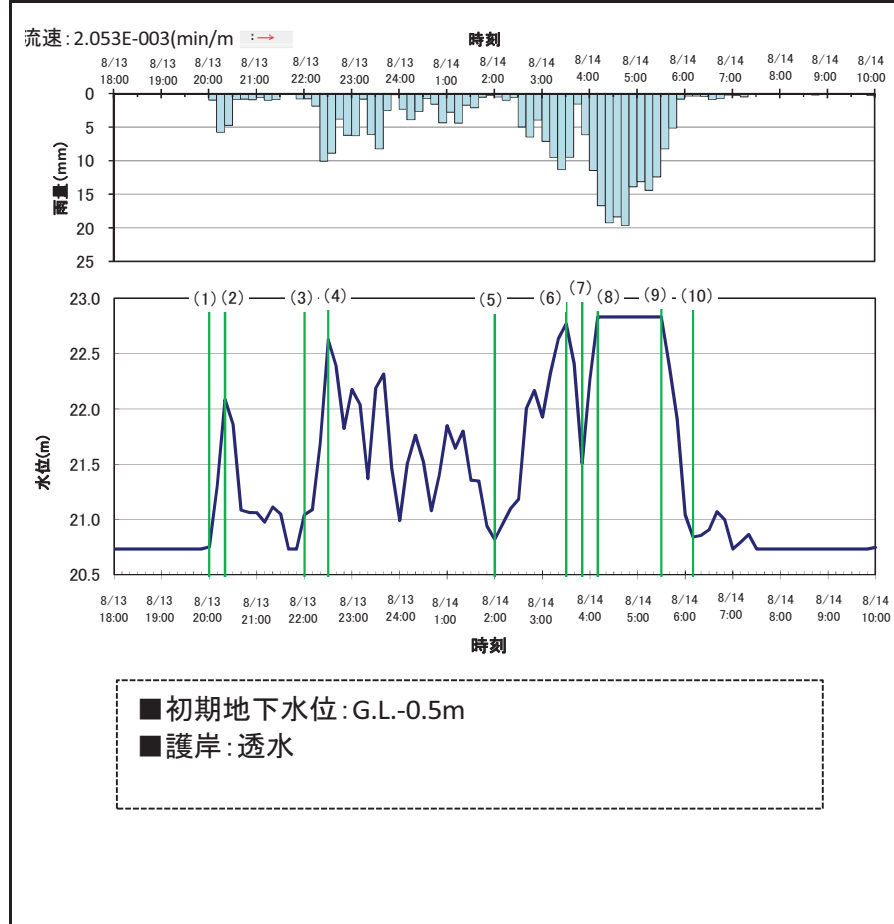


流速: 2.053E-003(min/m)

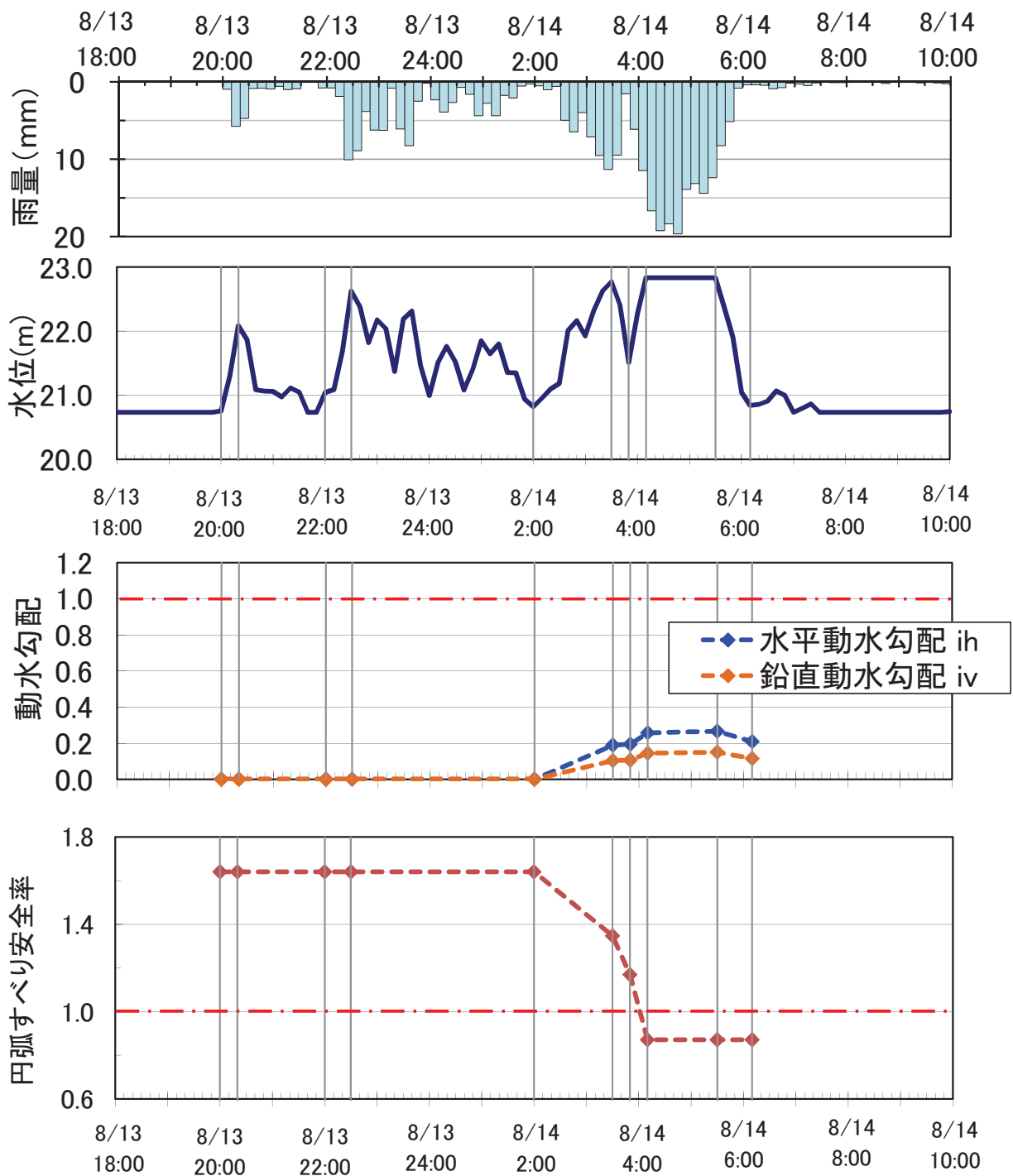
Case【B-2／初期地下水位：堤内地盤高-0.5m，護岸：透水，河床：不透水】



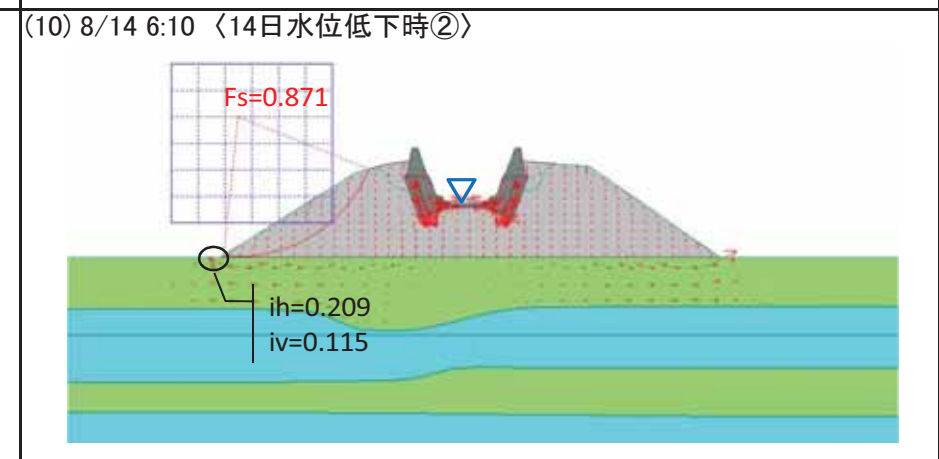
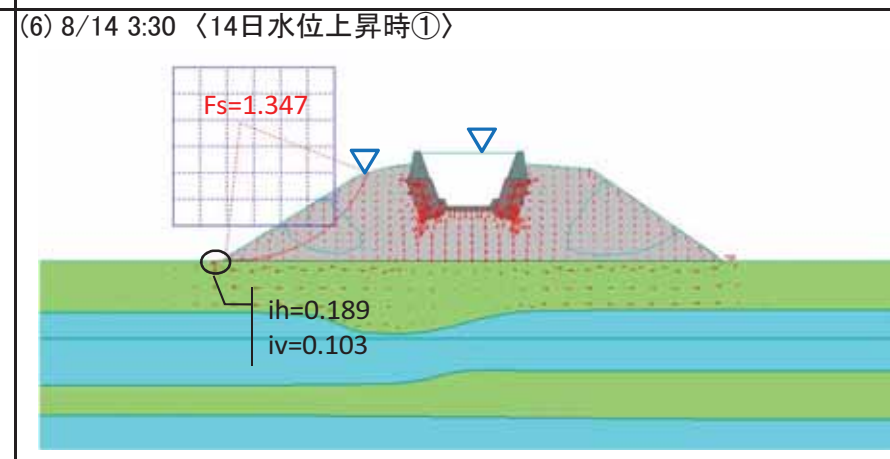
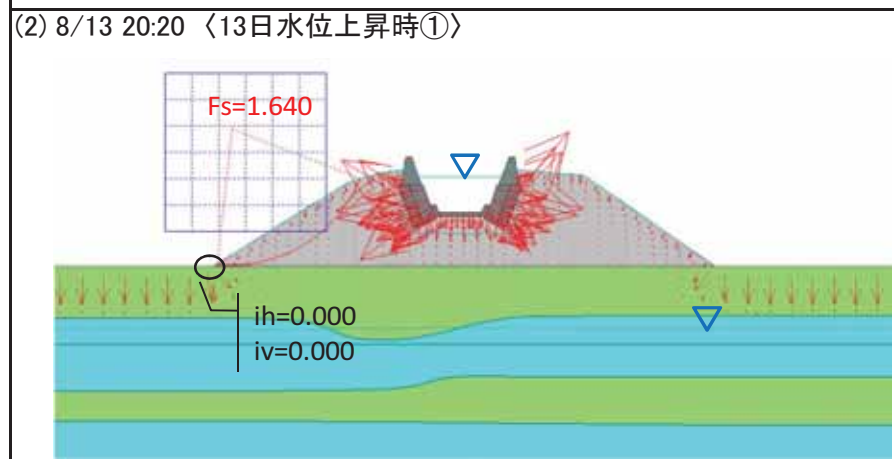
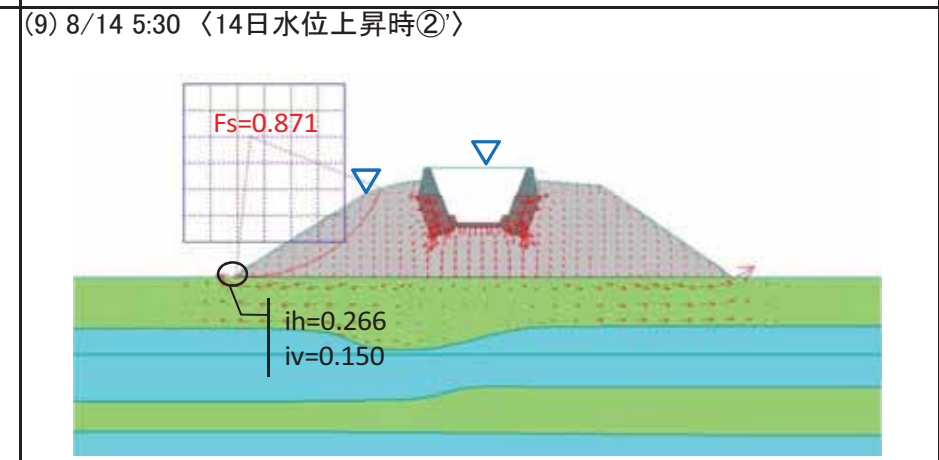
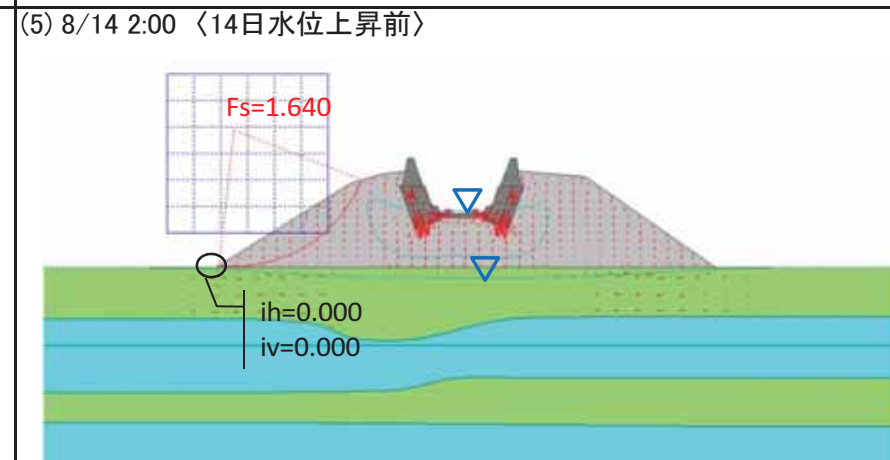
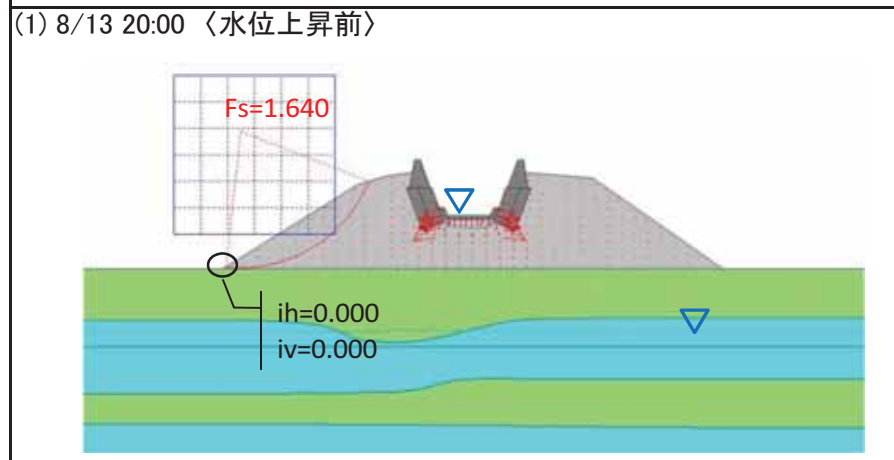
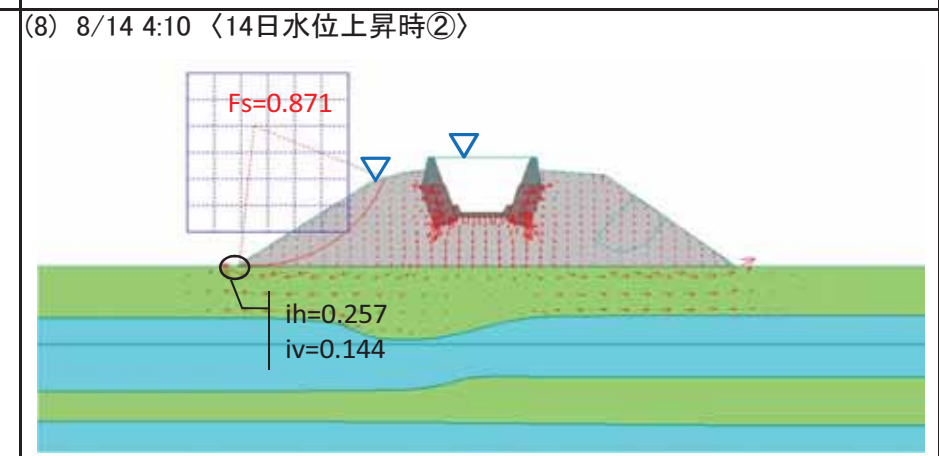
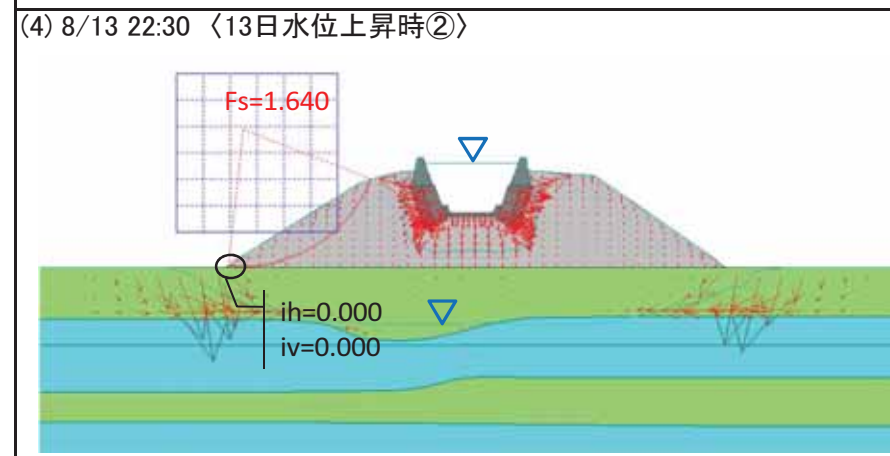
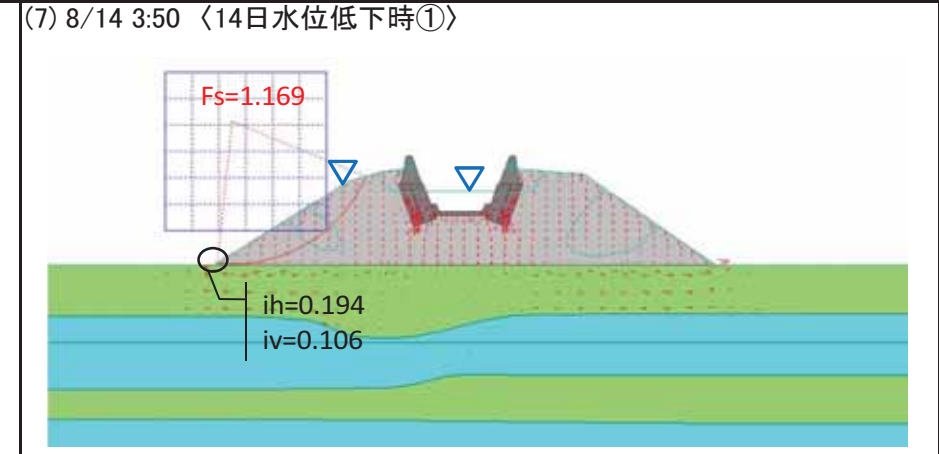
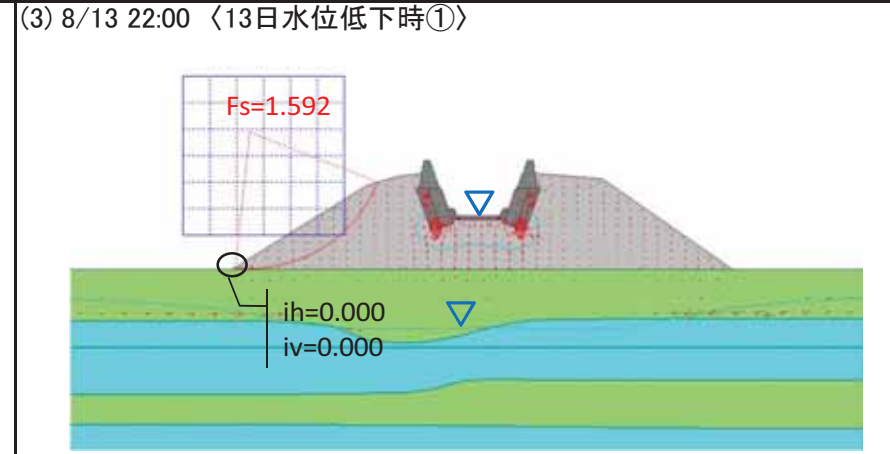
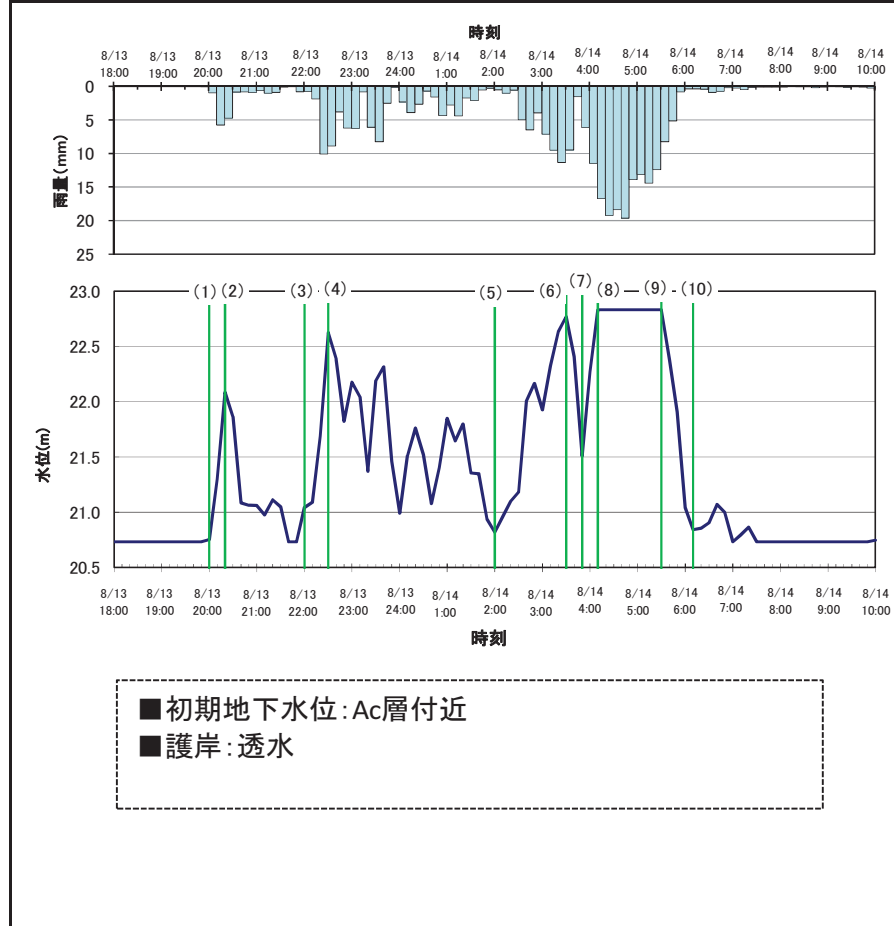
CaseB-2



【CaseC-1／初期地下水位:Ac層, 護岸:透水, 河床:透水】

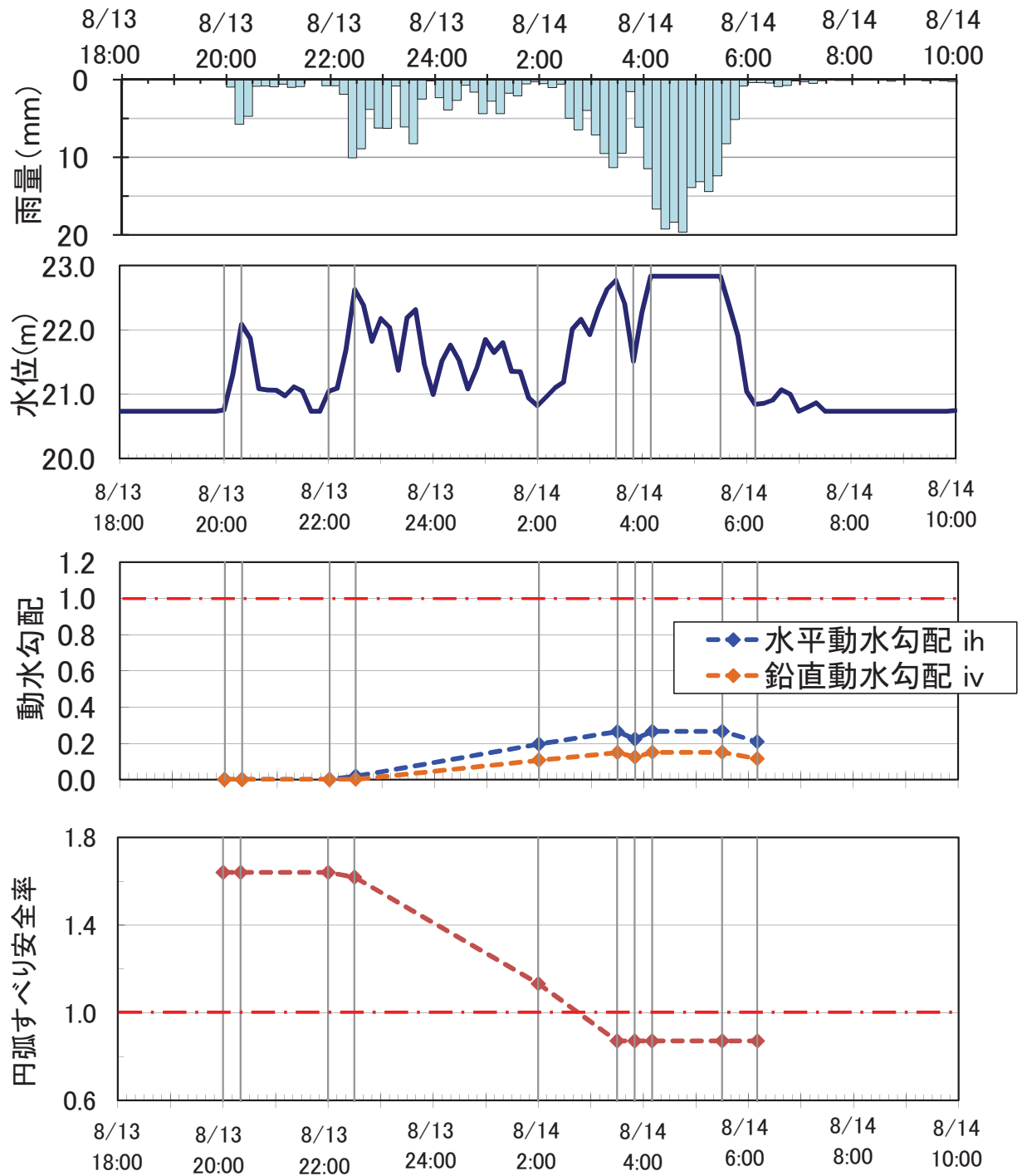


CaseC-1

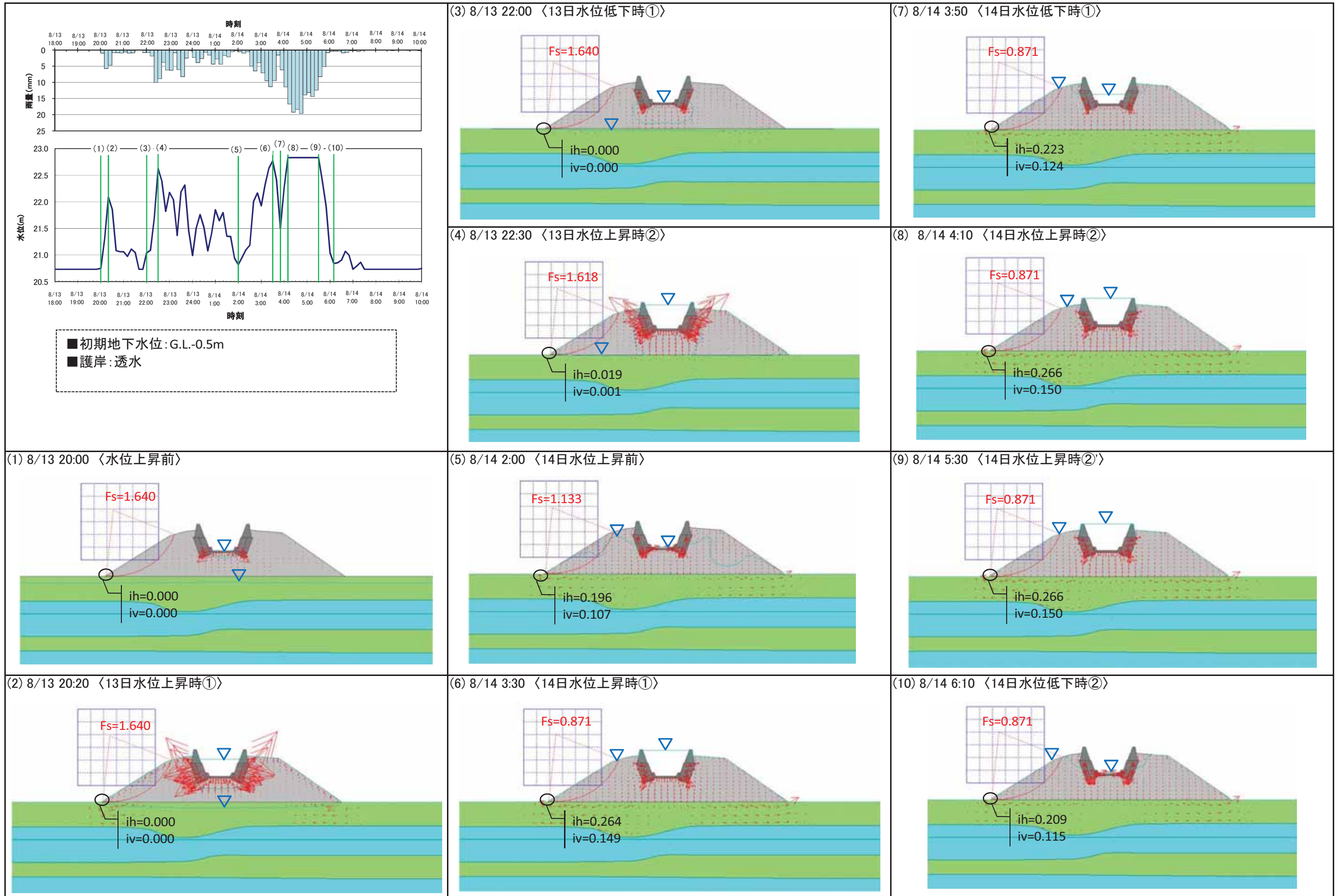


流速: 2.053E-003(min/m)

【CaseC-2／初期地下水位：堤内地盤高-0.5m，護岸：透水，河床：透水】



CaseC-2



流速: 2.053E-003(min/m) →