

参考資料2 浸透流解析結果

1. 解析条件

1.1 外力条件

第3回検討会までの浸透流解析と同様、外力条件として以下の降雨波形・外水位波形を用いる。

- ・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。

- ・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。

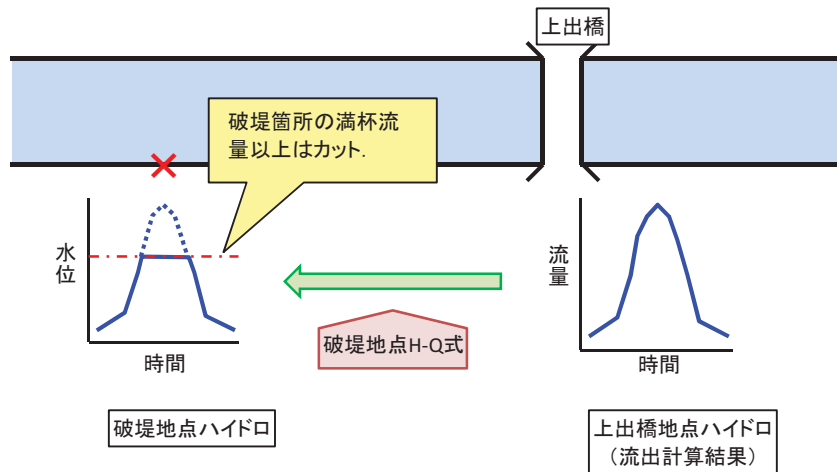


図. 外水位波形設定の概念図

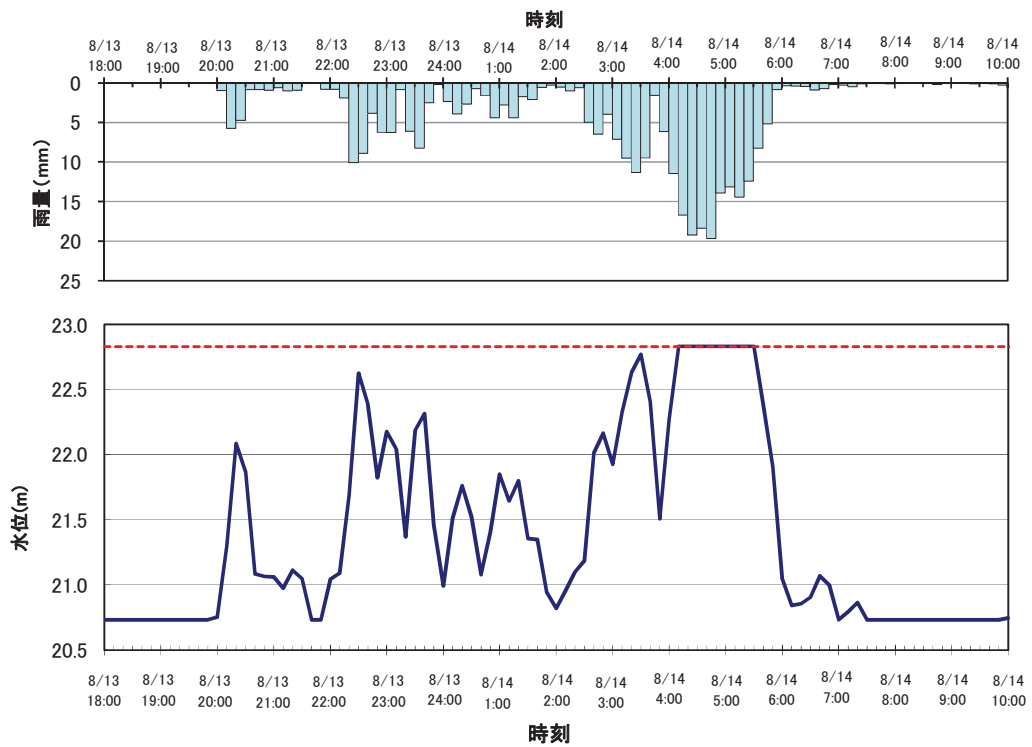


図. 降雨波形および外水位波形

1.2 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
- ② 堤内地盤高付近（G.L.-0.5m）に初期水位を設定する

1.3 地盤定数

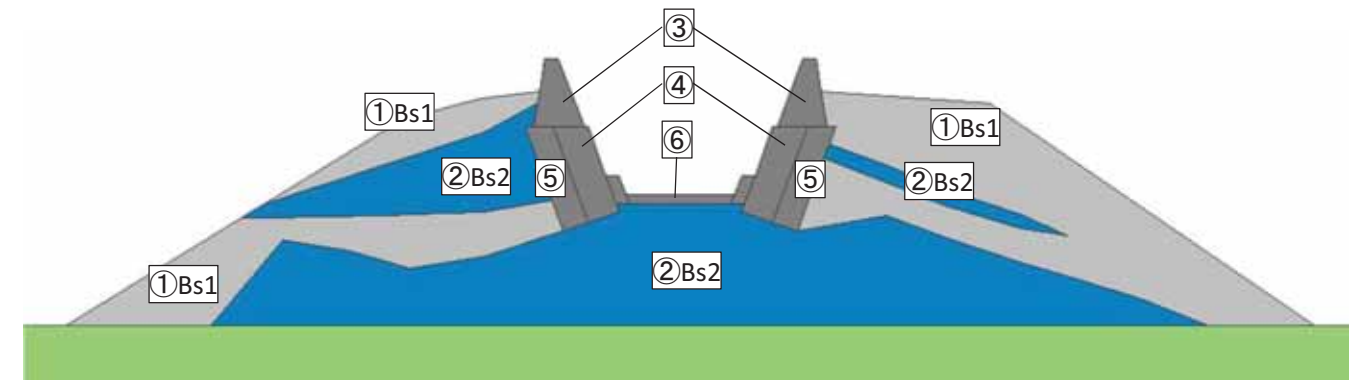
先に実施した地質調査、および第3回検討会以降に実施した追加現地調査結果(参考資料1 参照)を踏まえ、次ページの通り地盤定数を設定した。

解析モデル

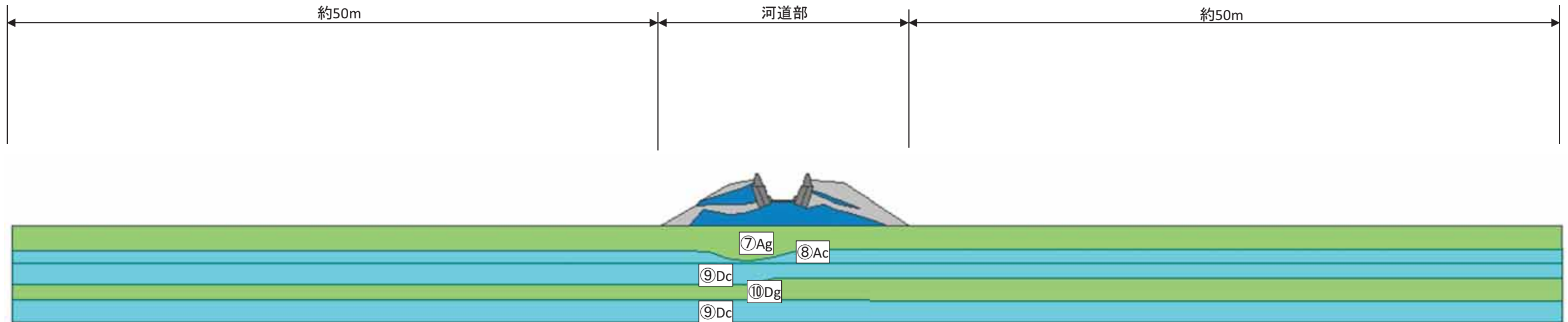
地盤定数一覧表

土層名	単位体積重量		強度定数			飽和透水係数		不飽和浸透特性	
	γ_t (kN/m ³)	設定根拠	C(kN/m ²)	ϕ (deg)	根拠	k(cm/s)	根拠		
堤体部	①Bs1	18	試験結果平均値	1	39	CD試験 (Bs2層)	4.76E-06	堤体細粒土層 のD20 (Creager)	細粒分の 多い砂
	②Bs2	18	試験結果平均値	1	39	CD試験 (Bs2層)	2.69E-02	室内透水試験	礫-砂
	③パラペット	25	一般値	100	0	—	1.00E-06	不透水	粘土
	④石積み護岸	19	一般値	100	0	—	1.65E-03	抜石調査結果に 基づき設定	礫-砂
	⑤裏込め土	19	一般値	0	40	一般値	1.36E-02	護岸背面土の 粒度分布 (D20)	礫-砂
	⑥河床コンクリート	25	一般値	100	0	—	1.00E-02 または1.00E-06	河床コン有りの場合と無し の場合の2通りを想定	粘土
基礎地盤	⑦Ag	18	試験結果	1	39	CD試験	2.69E-02	B層試験結果	礫-砂
	⑧Ac	15	一般値	20	0	N値換算	1.00E-06	一般値	粘土
	⑨Dc	15	一般値	72	0	N値換算	1.00E-06	一般値	粘土
	⑩Dg	19	一般値	0	38	N値換算	4.20E-04	現場透水	細粒分の 多い砂

※パラペット、石積み護岸、河床コンクリートの強度定数は、計算上すべり面が発生しない十分な強度を与えた。



堤体部分拡大



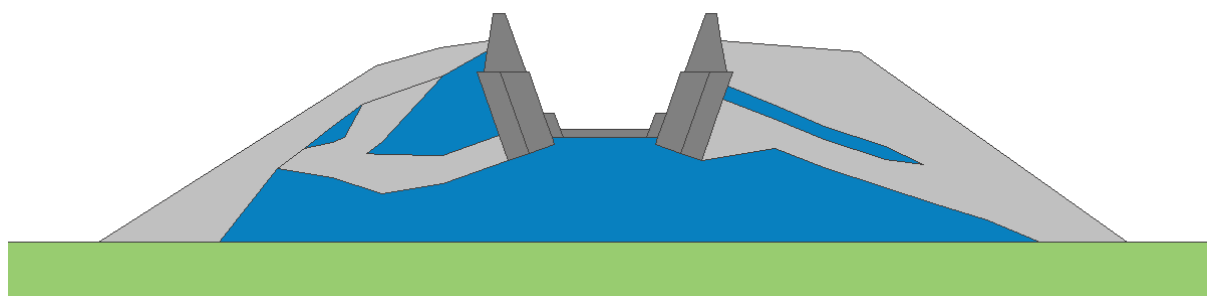
解析モデル全体図

1.4 解析ケース

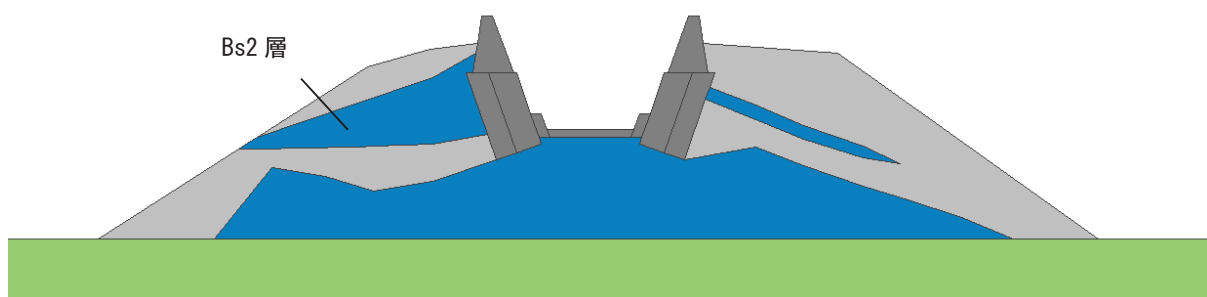
堤体の土層構成、河床コンクリートの有無、初期水位条件の組合せにより、以下の8通りの解析ケースを設定した。

表. 解析ケース一覧表

ケース番号	計算条件		
	堤体土層	河床コンクリート	初期水位
I-A-①	タイプ I	あり	Ac 層
I-A-②	タイプ I	あり	G.L.-0.5m
I-B-①	タイプ I	なし	Ac 層
I-B-②	タイプ I	なし	G.L.-0.5m
II-A-①	タイプ II	あり	Ac 層
II-A-②	タイプ II	あり	G.L.-0.5m
II-B-①	タイプ II	なし	Ac 層
II-B-②	タイプ II	なし	G.L.-0.5m



堤体土層タイプ I (SWS 試験の結果を忠実に土層構成に反映)



堤体土層タイプ II (左岸側の Bs2 層を堤防法面まで貫通させる)

2. 安定性の照査手法

2.1 パイピングに対する照査

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 ($\rho_w = 1.0 \text{ t/m}^3$)

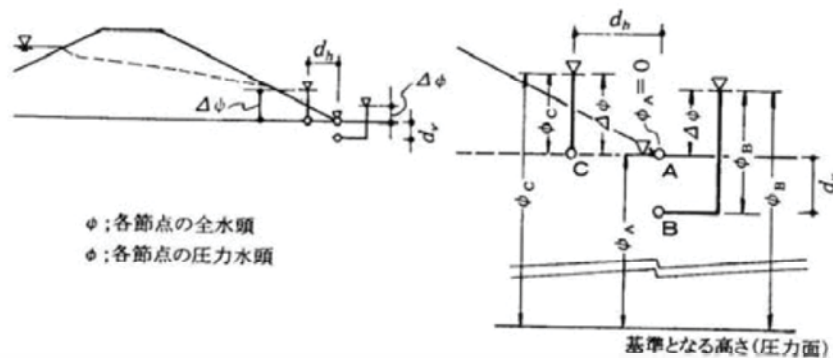


図 4.3.19 局所動水勾配の算出の考え方

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 (tf/m^2)
 W : 被覆土層底面に作用する揚圧力 (tf/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)

2.2 すべり破壊に対する照査

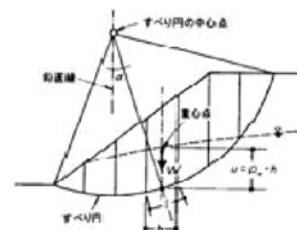
すべり破壊に対する安全性の照査は、『河川堤防構造検討の手引き』に従い、全応力法による円弧すべり法によって実施した。

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_v (内部摩擦角 $\phi_v \doteq 0$) または、粘着力 c_{cv} , 内部摩擦角 ϕ_{cv}	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

3. 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。

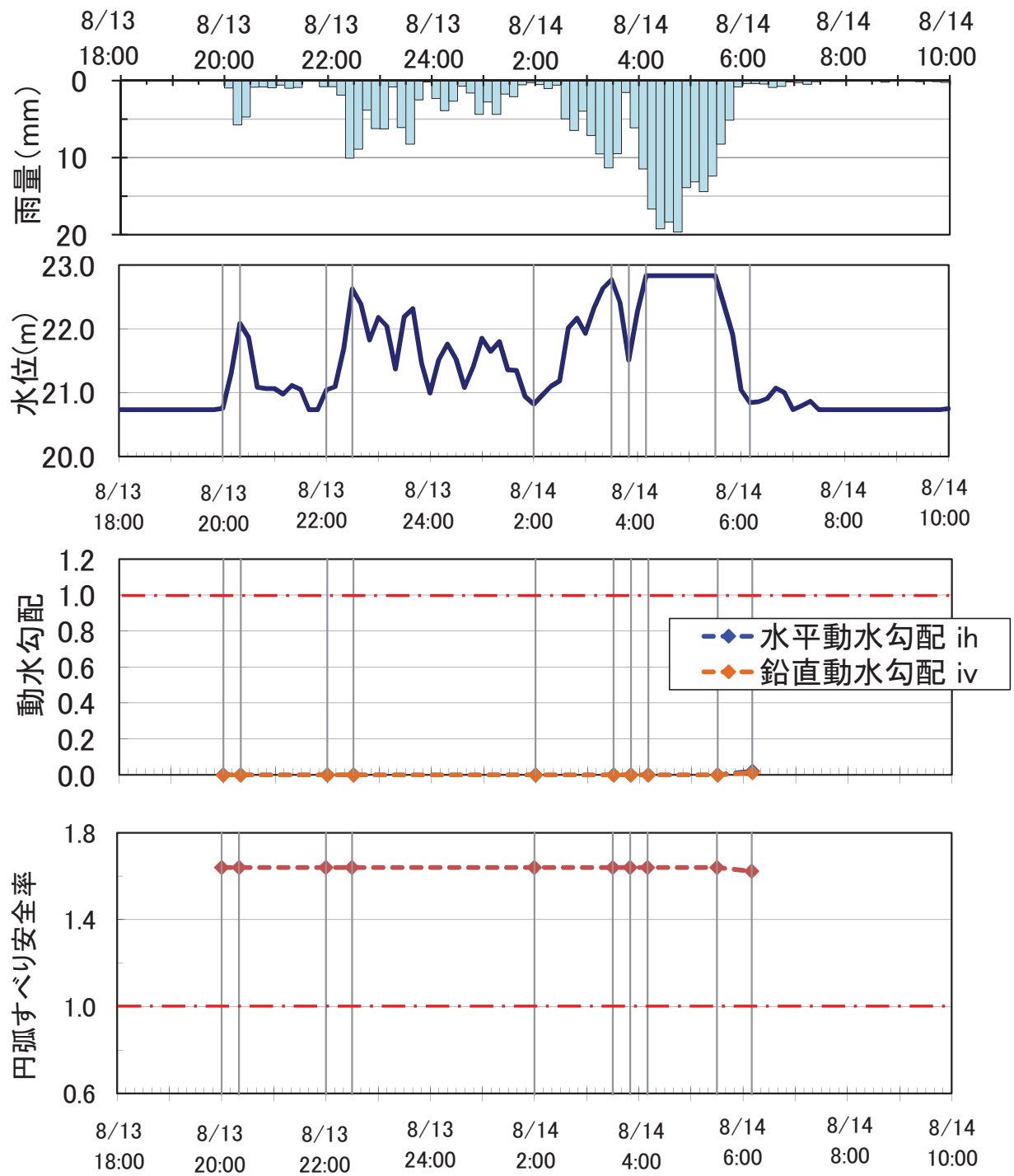
表. 安定性照査結果一覧表

ケース番号	計算条件			計算結果		
	堤体土層	河床Co	初期水位	ih	iv	Fs
I-A-①	タイプI	あり	Ac層	0.021	0.013	1.623
I-A-②	タイプI	あり	G.L.-0.5m	0.148	0.087	1.621
I-B-①	タイプI	なし	Ac層	0.864	0.507	1.493
I-B-②	タイプI	なし	G.L.-0.5m	0.864	0.507	1.478
II-A-①	タイプII	あり	Ac層	0.032	0.019	1.640
II-A-②	タイプII	あり	G.L.-0.5m	0.152	0.090	1.631
II-B-①	タイプII	なし	Ac層	0.911	0.535	1.402
II-B-②	タイプII	なし	G.L.-0.5m	0.911	0.535	1.386

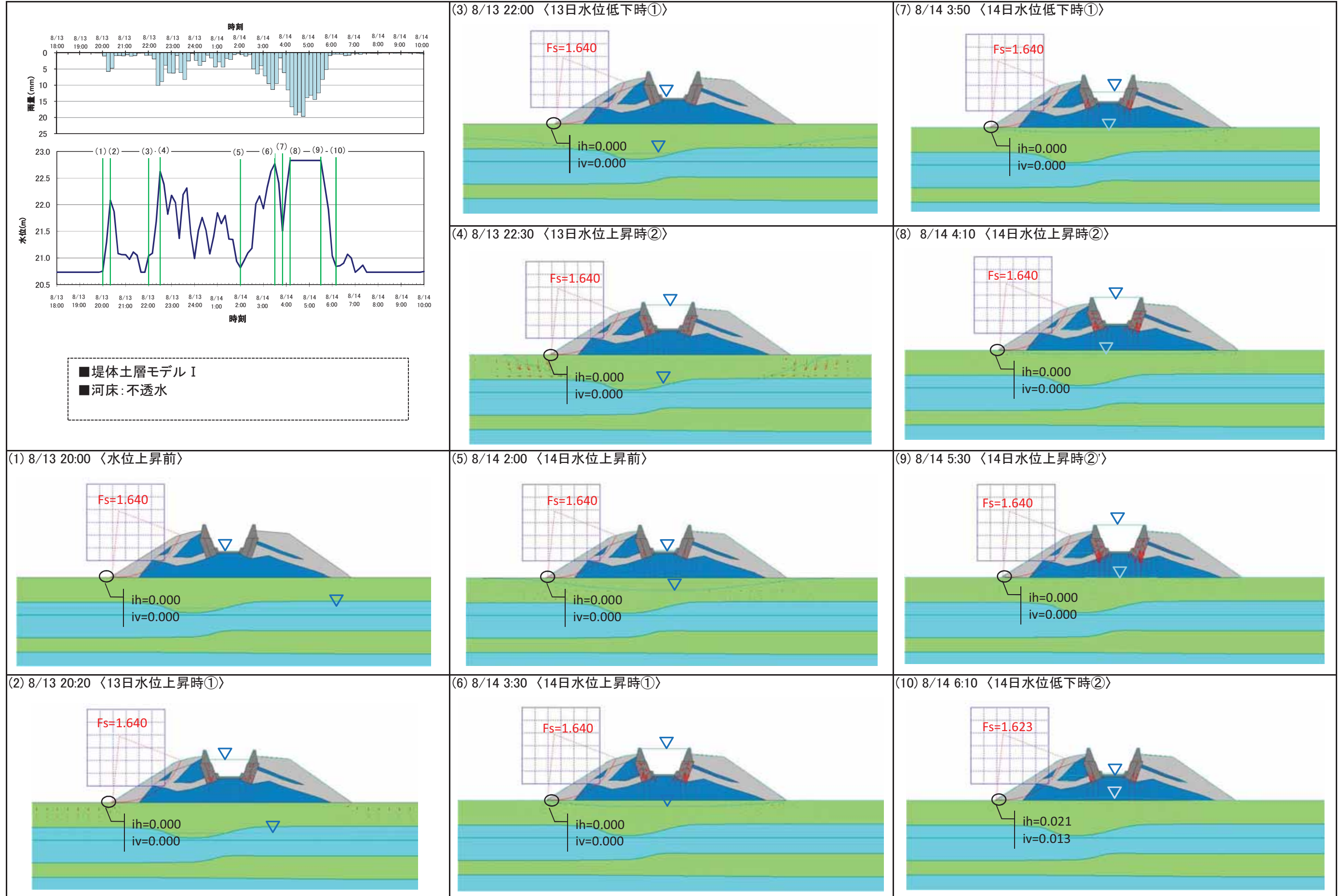
一連の安定性照査結果によれば、円弧すべりの安全率はいずれのケースでも 1.0 を上回っていることから、堤体の土層構成、河床コンクリートの有無、初期地下水位といった条件に関わらず、円弧すべりは発生しないと考えられる。

また、法尻部では局所動水勾配はパイピング破壊が想定され得る値(限界動水勾配)未満である。ただし、河床コンクリートが失われた条件では、法尻部で 0.9 付近まで上昇している。

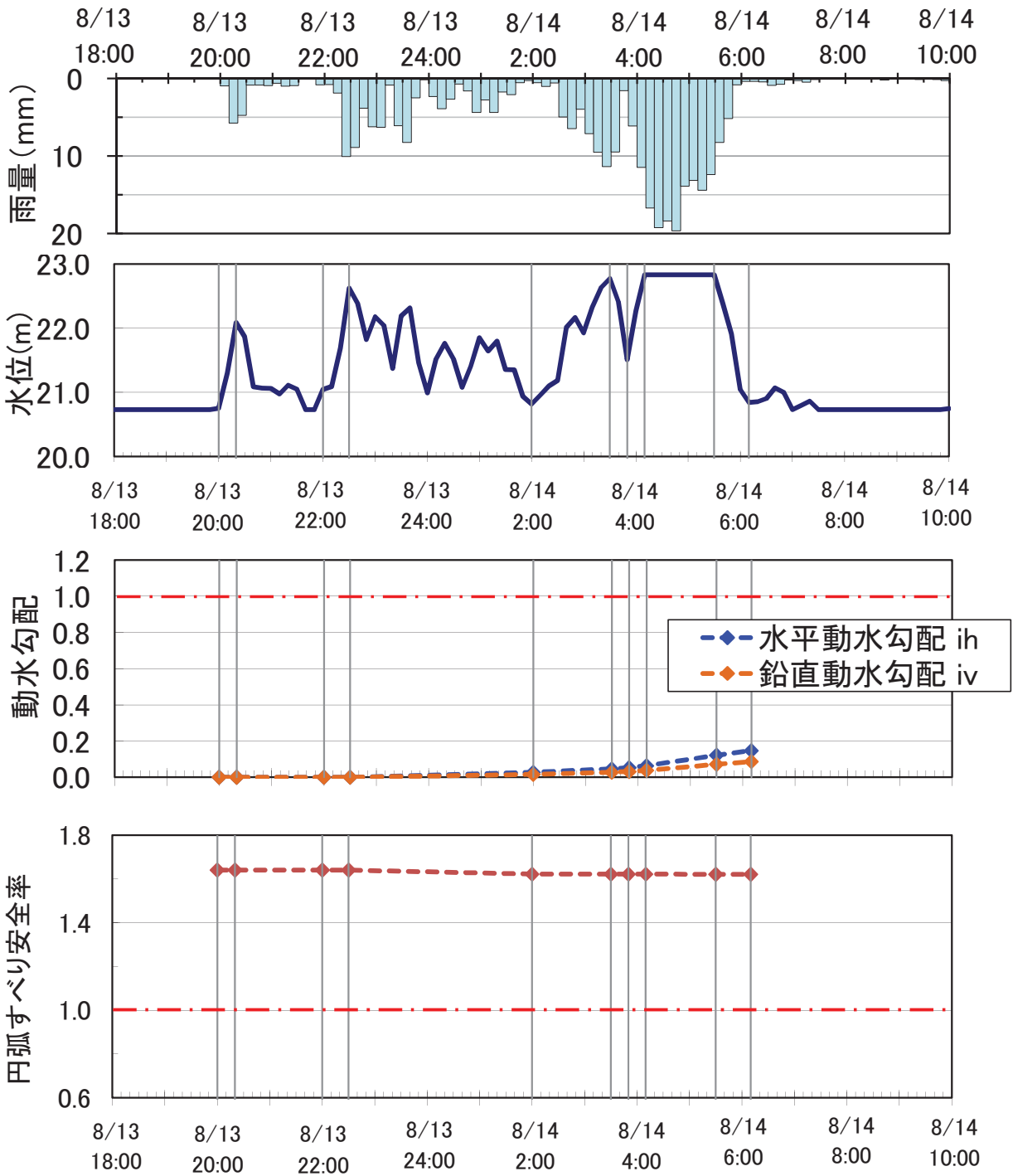
I-A-①:地盤 I, 河床あり, 初期Ac



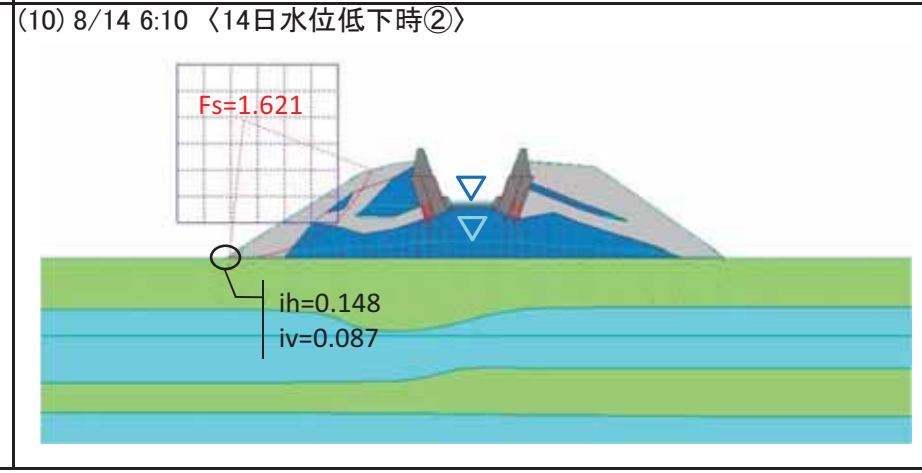
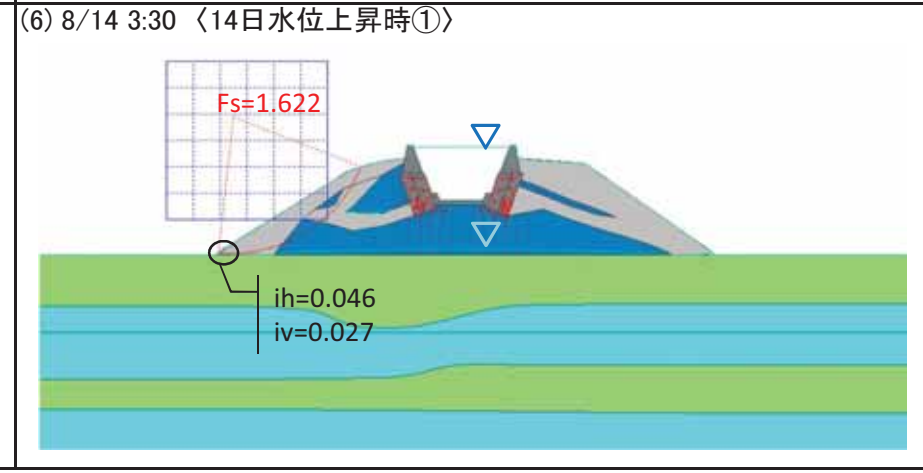
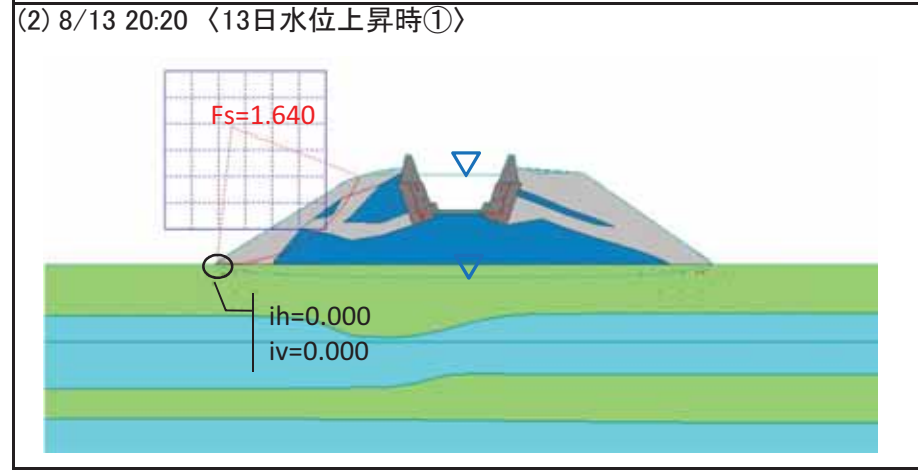
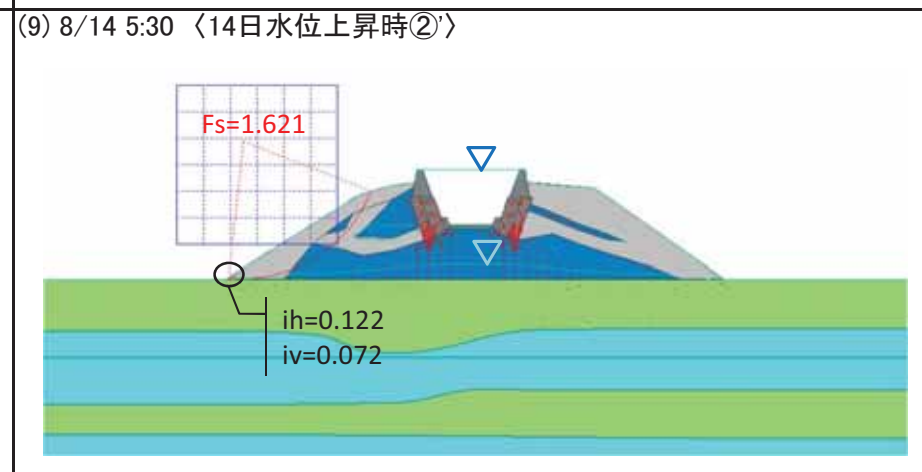
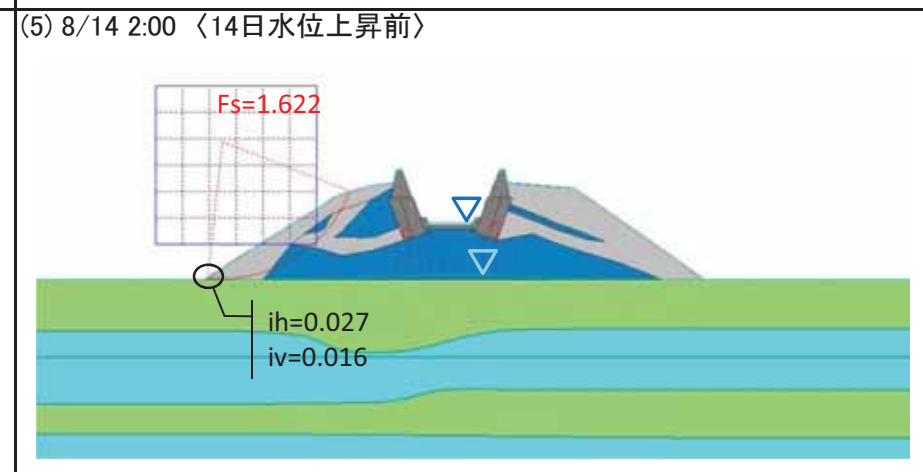
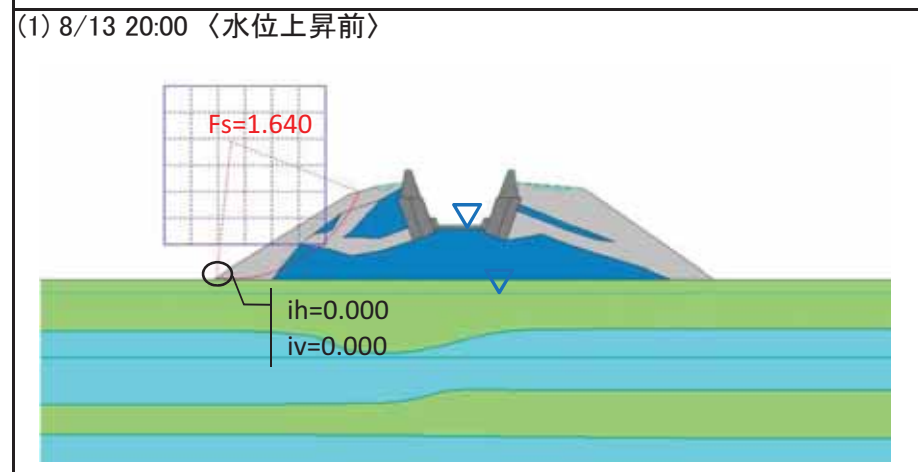
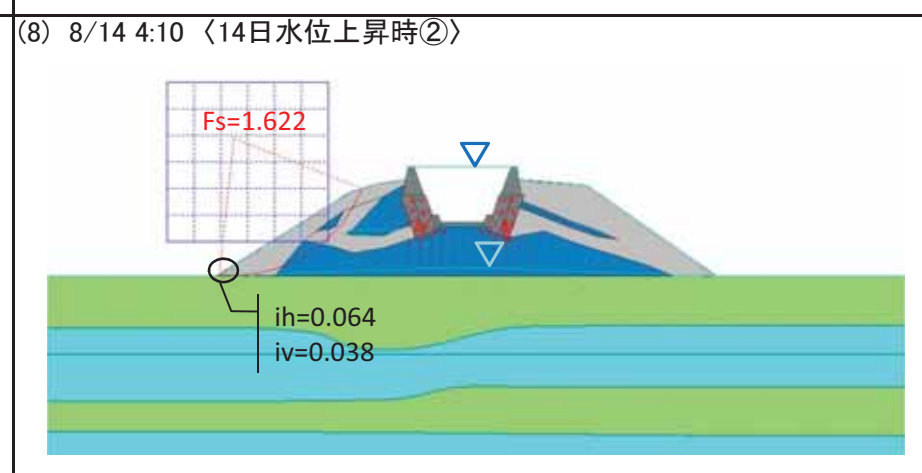
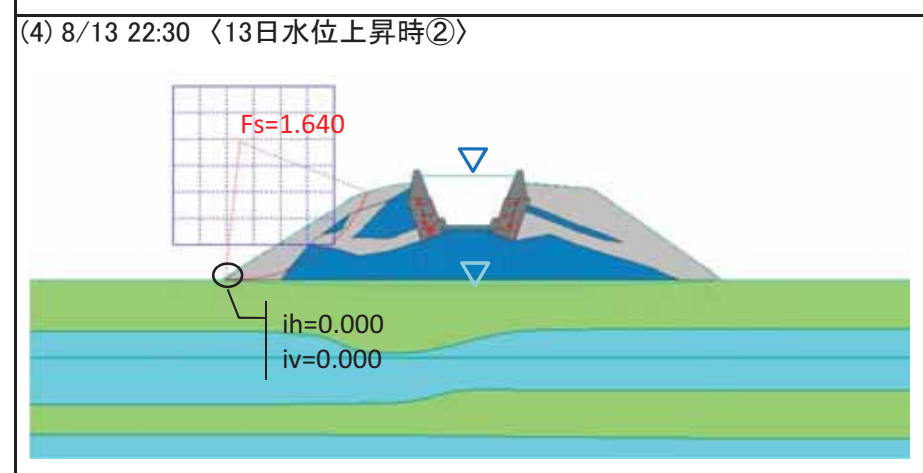
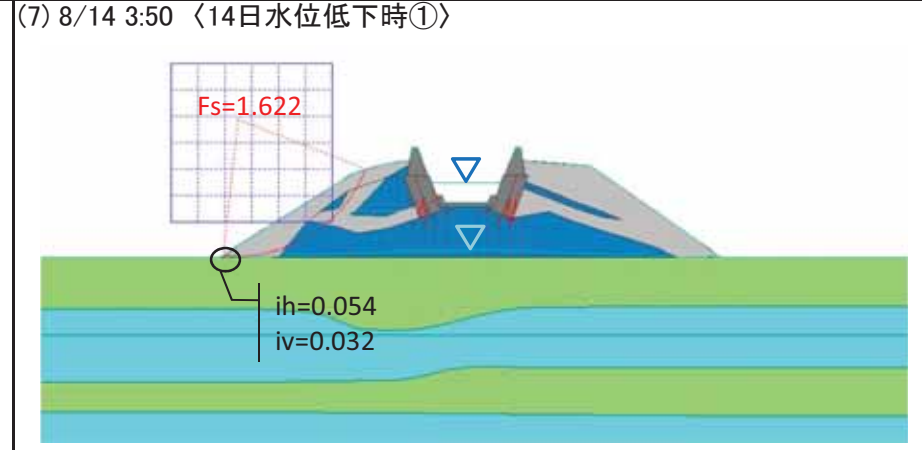
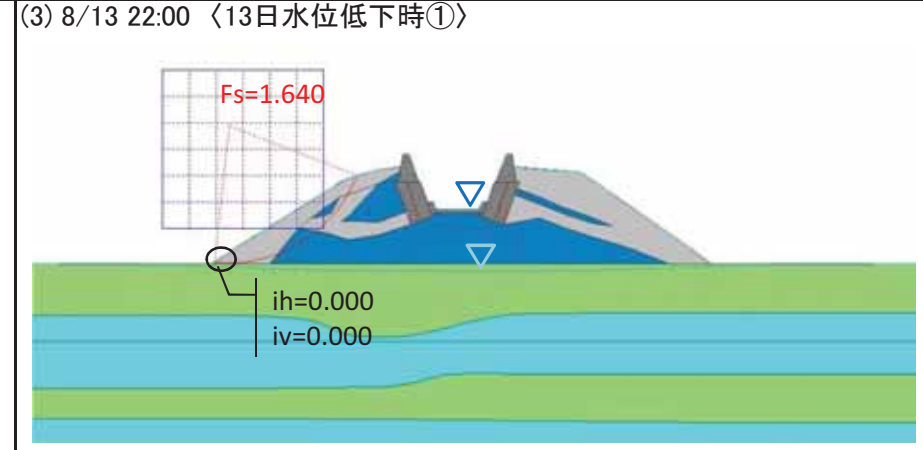
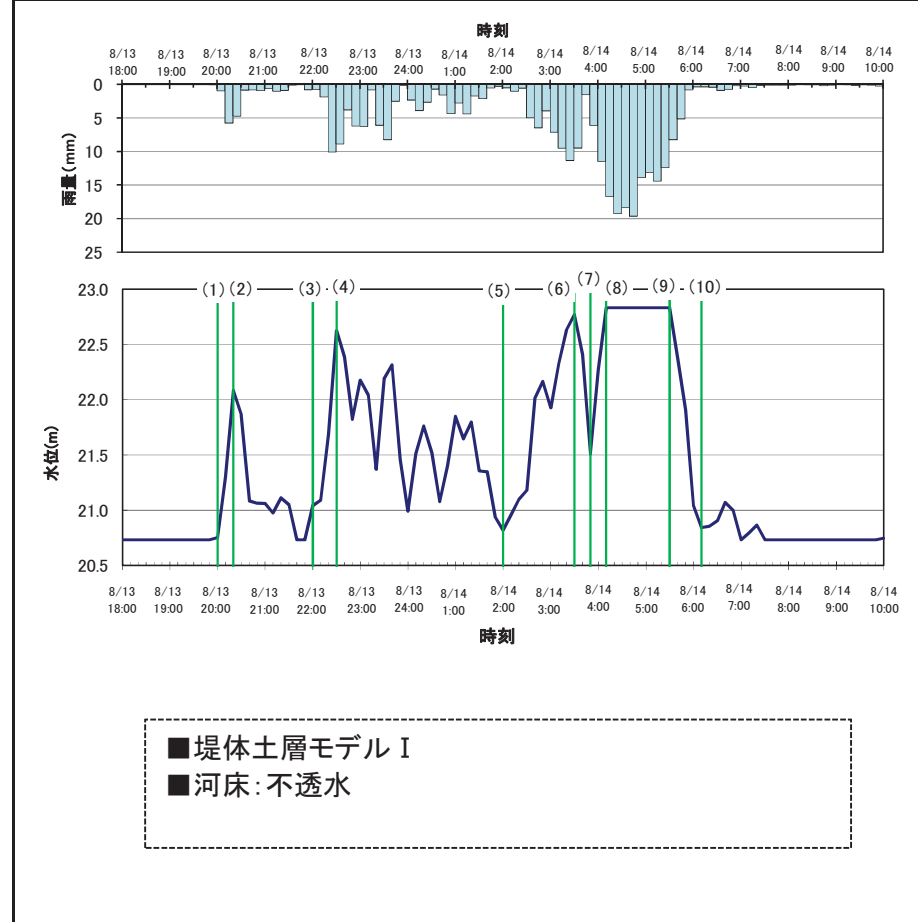
Case I - A - ①



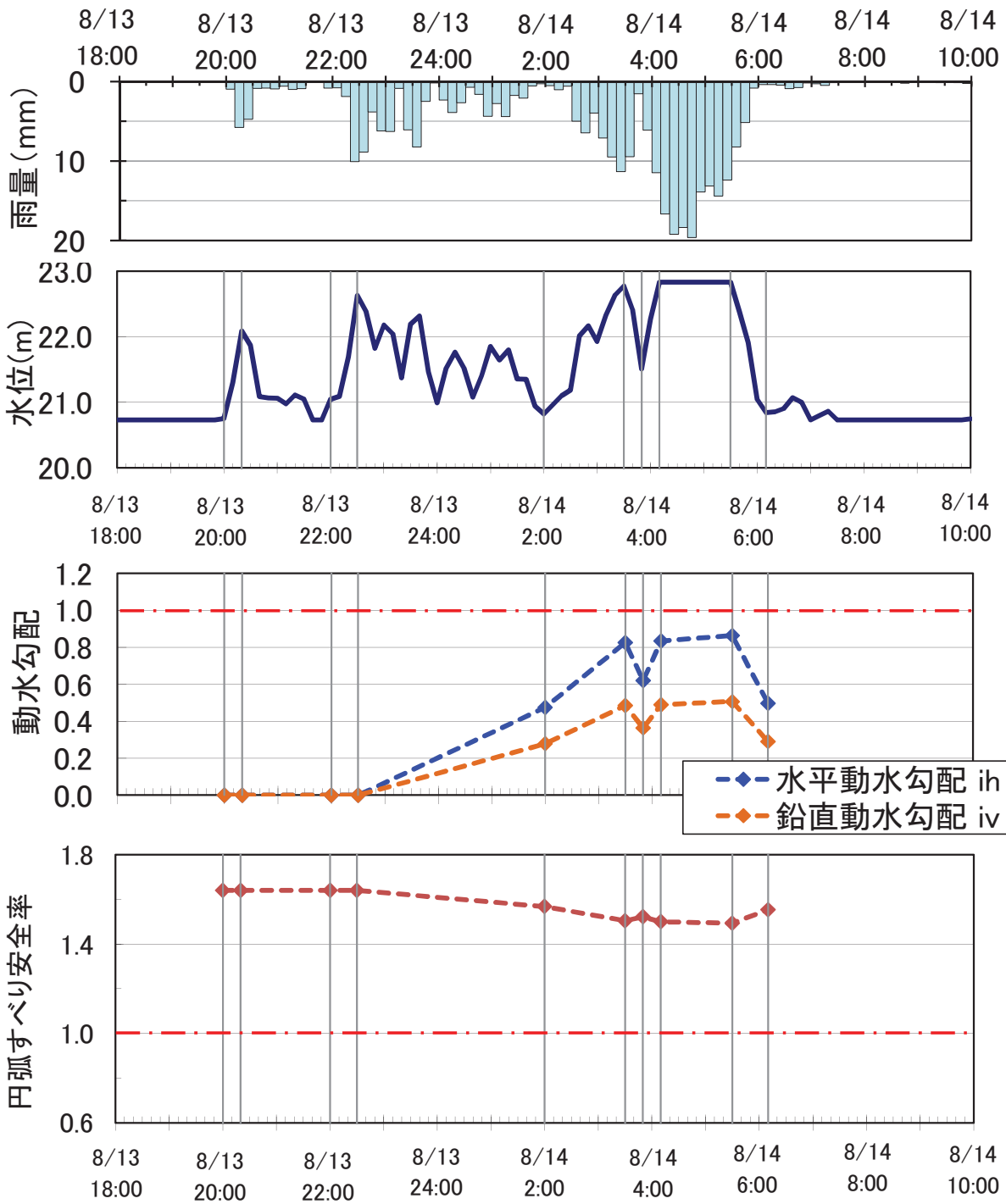
I-A-②:地盤 I, 河床あり, 初期GL



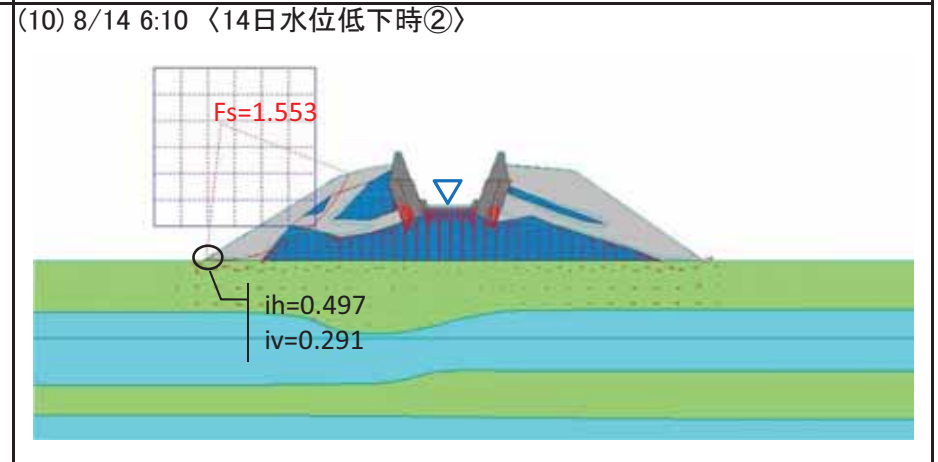
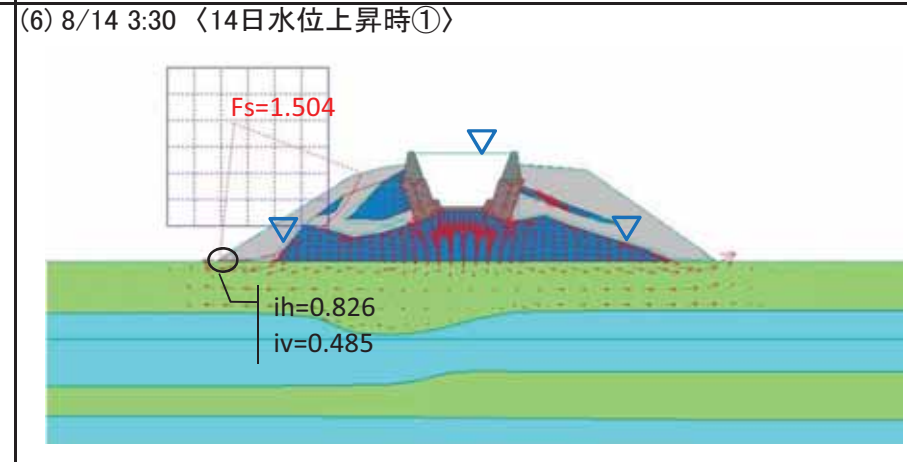
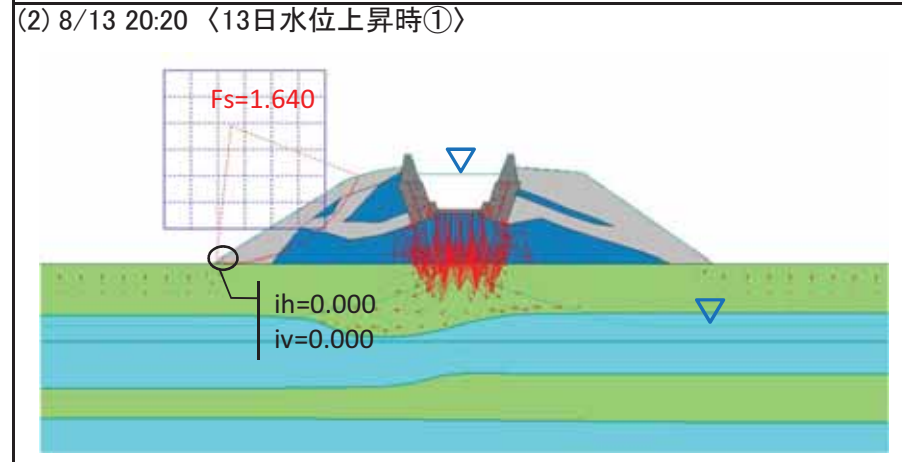
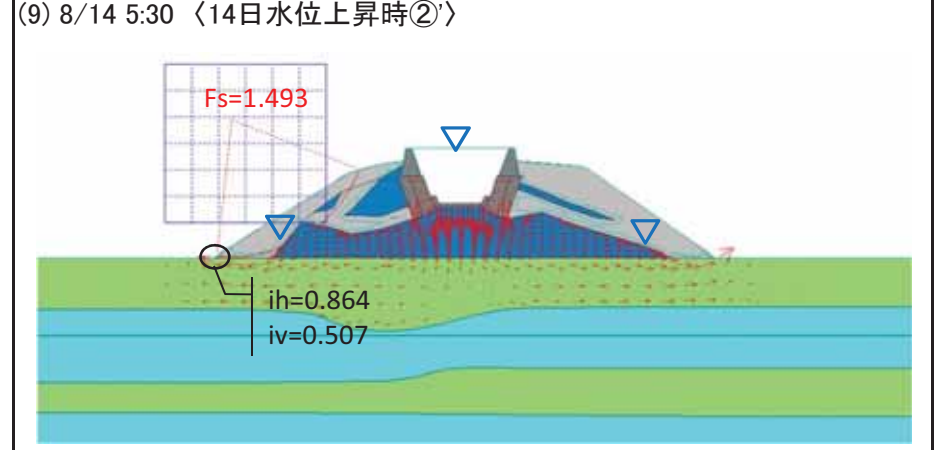
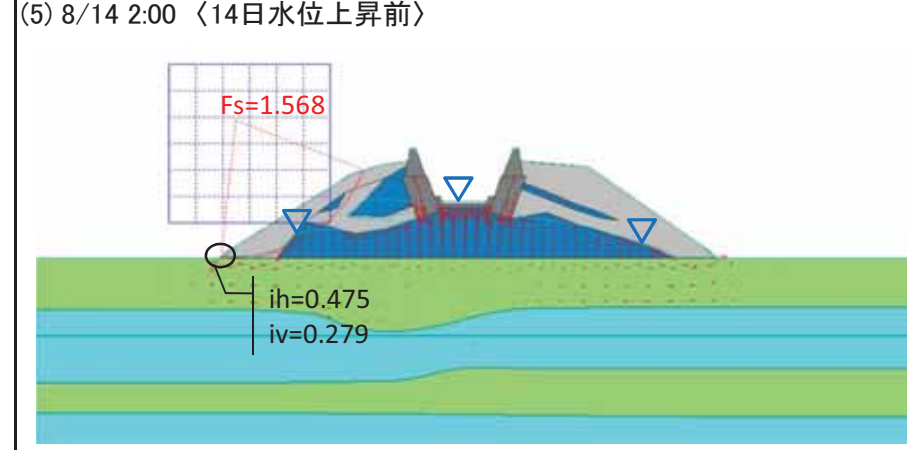
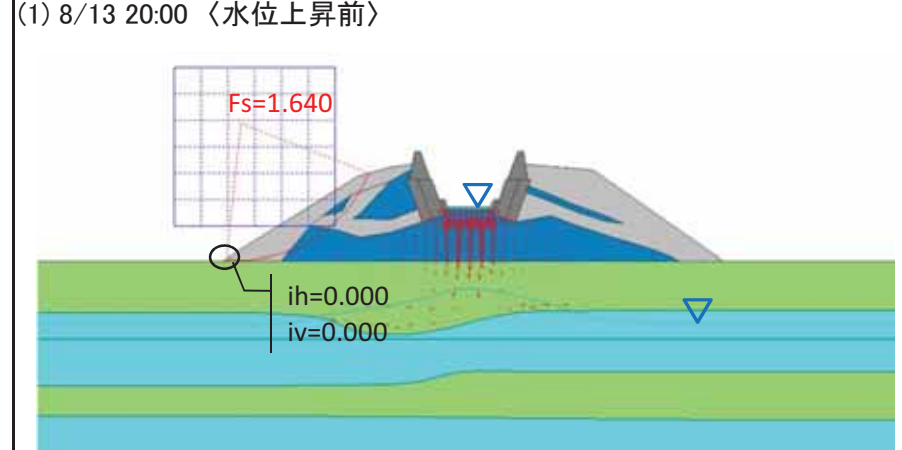
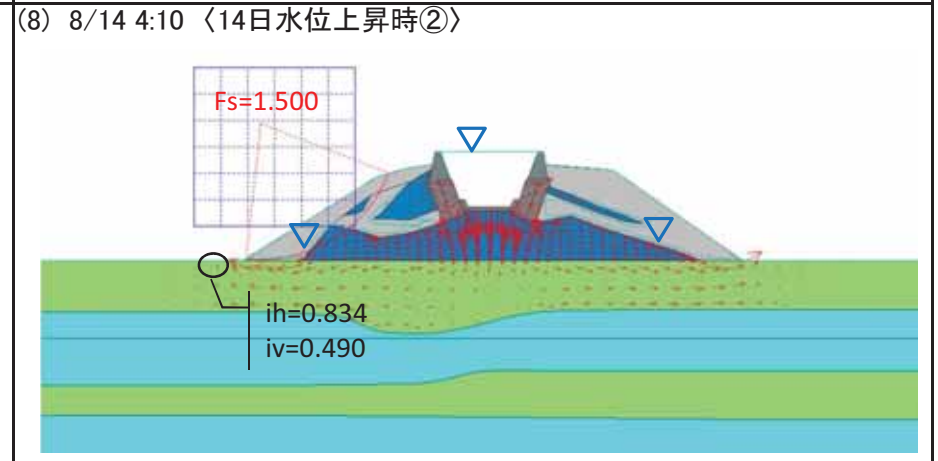
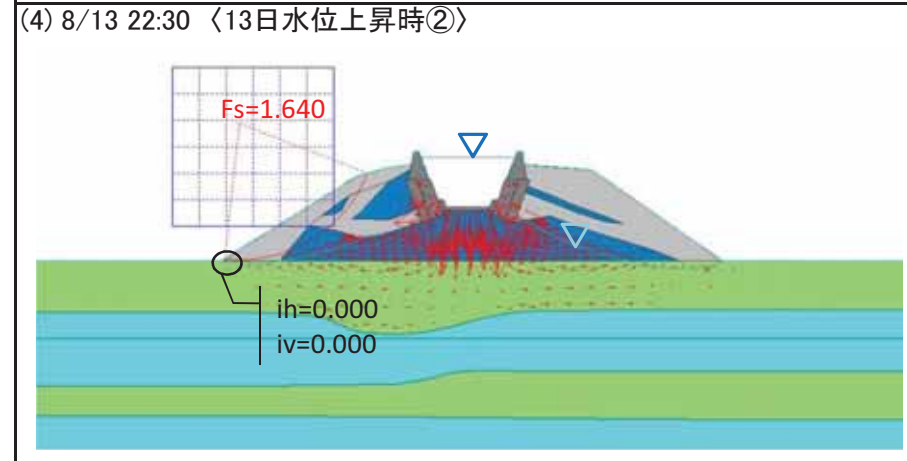
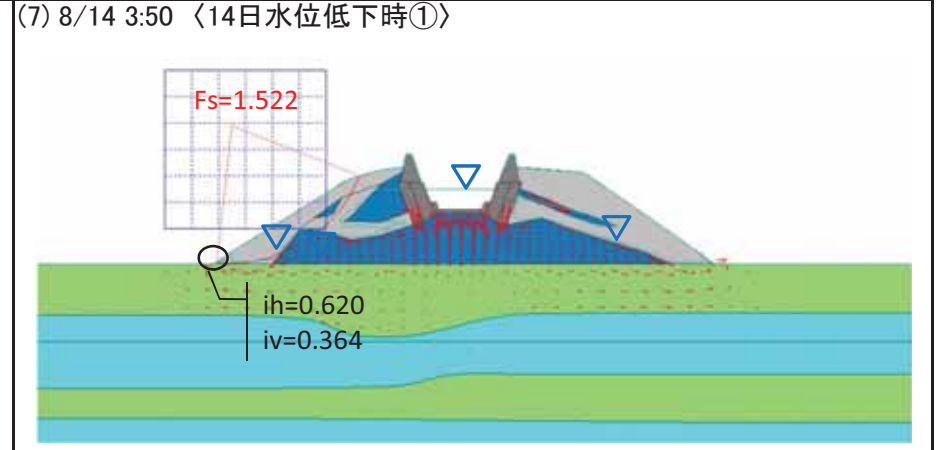
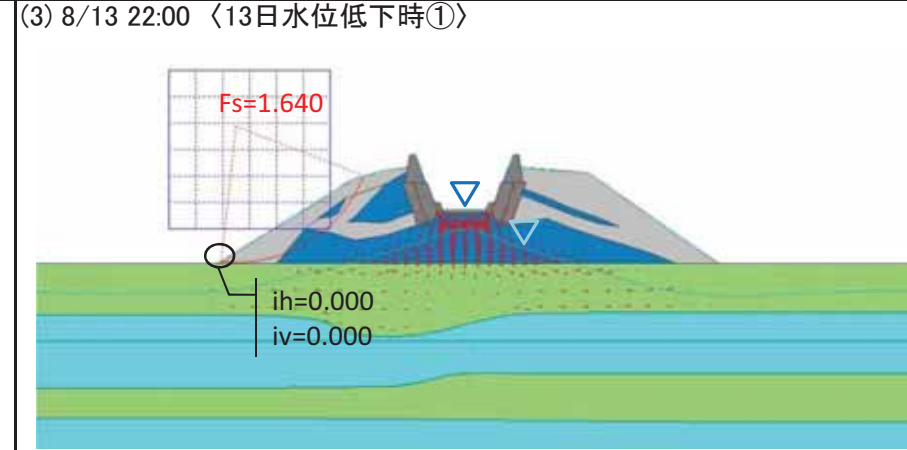
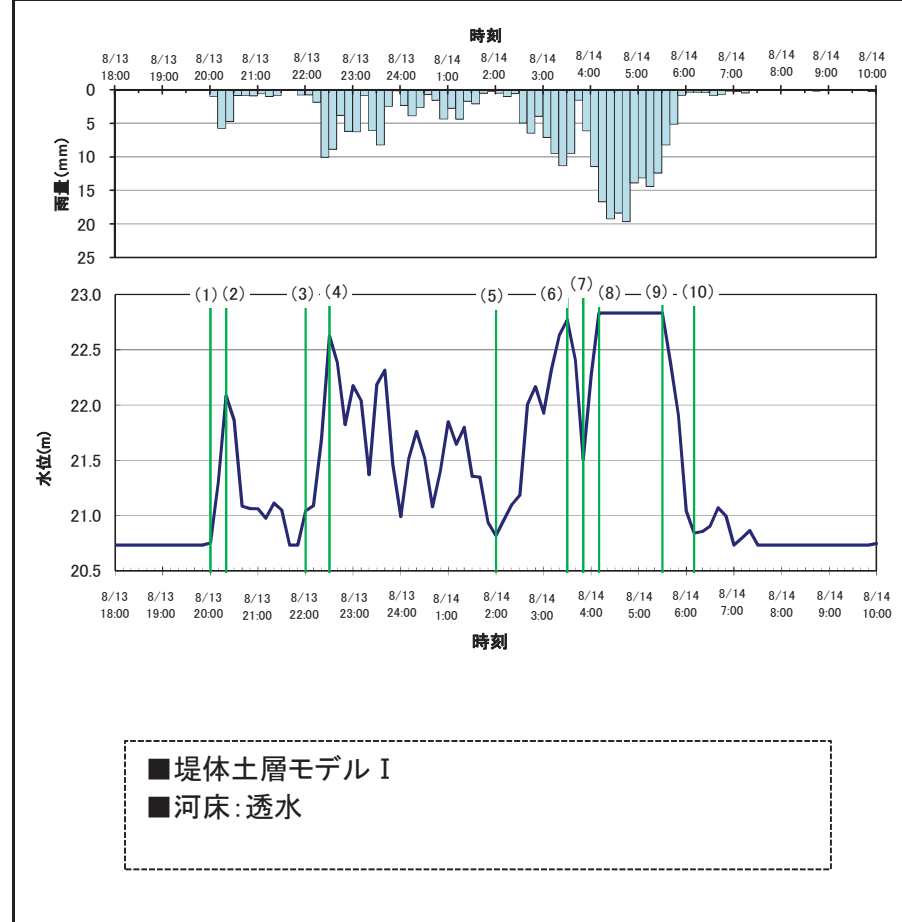
Case I - A - ②



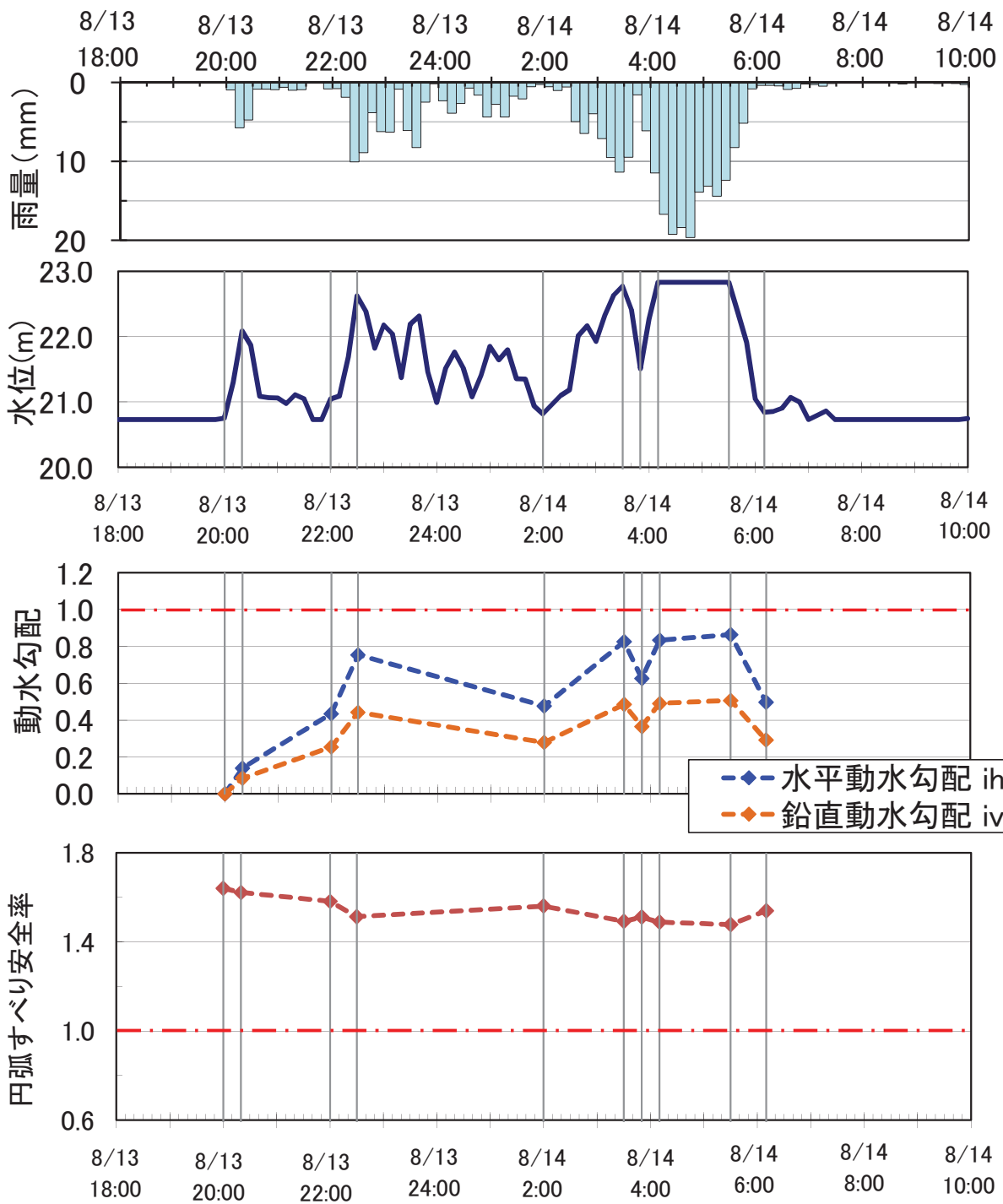
I-B-①:地盤 I, 河床なし, 初期Ac



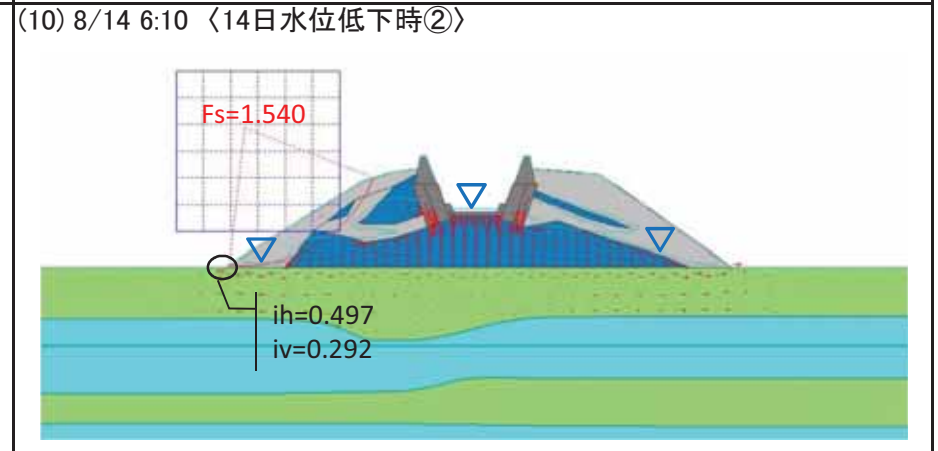
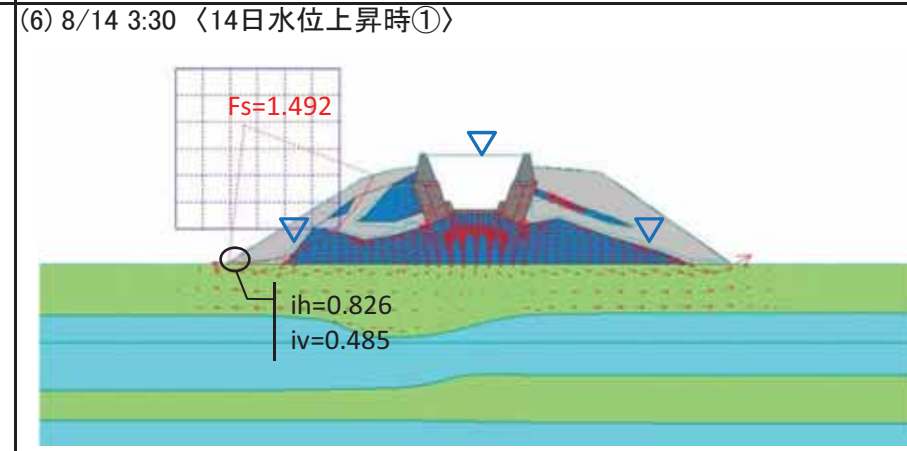
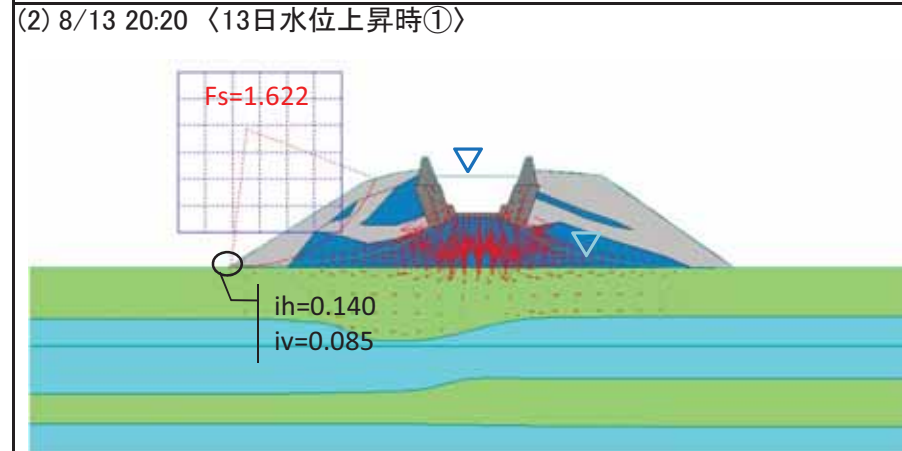
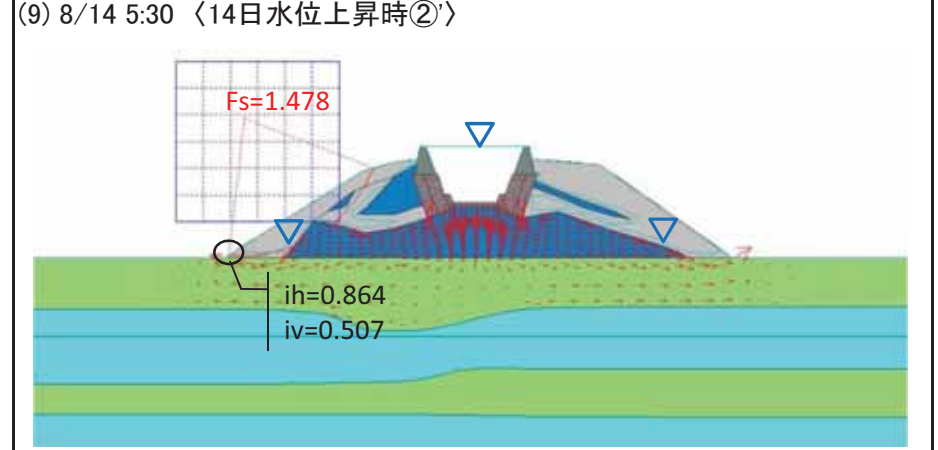
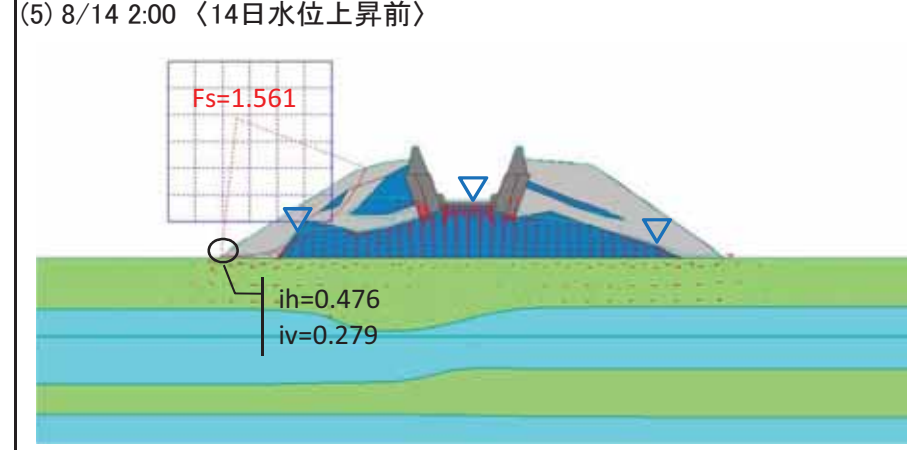
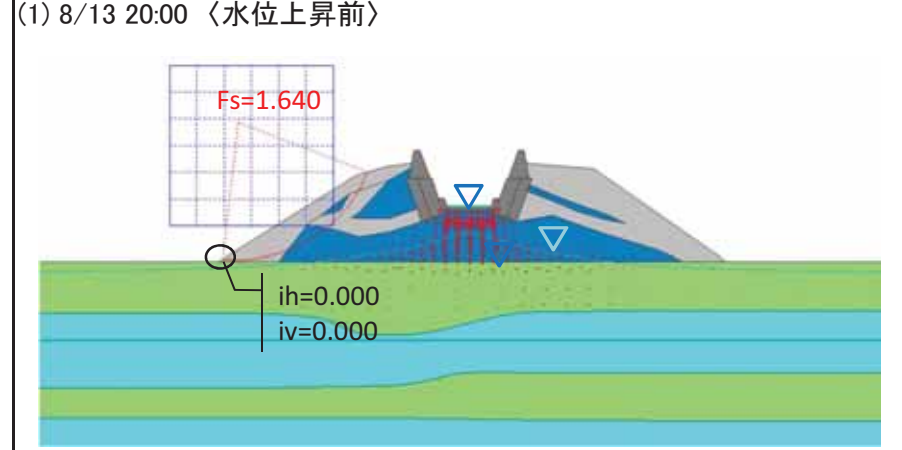
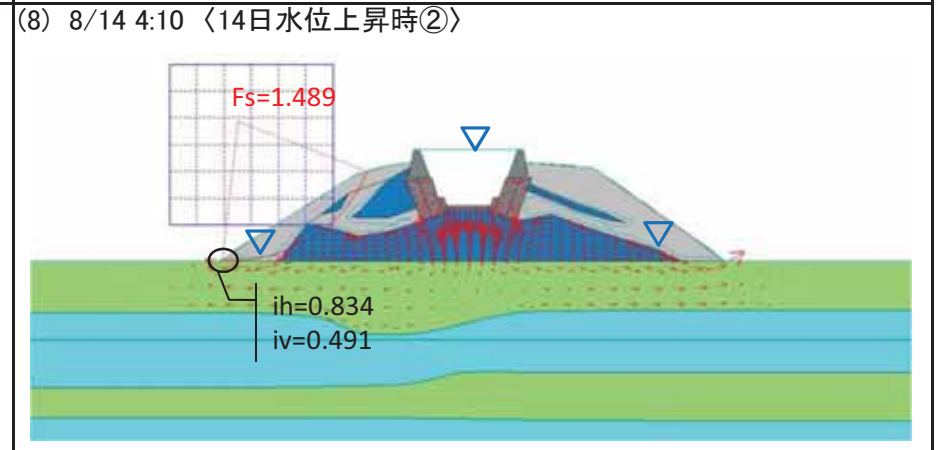
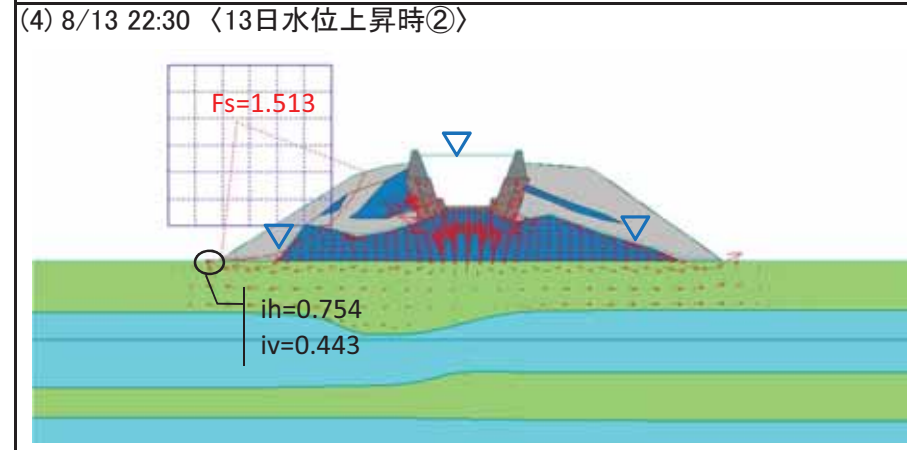
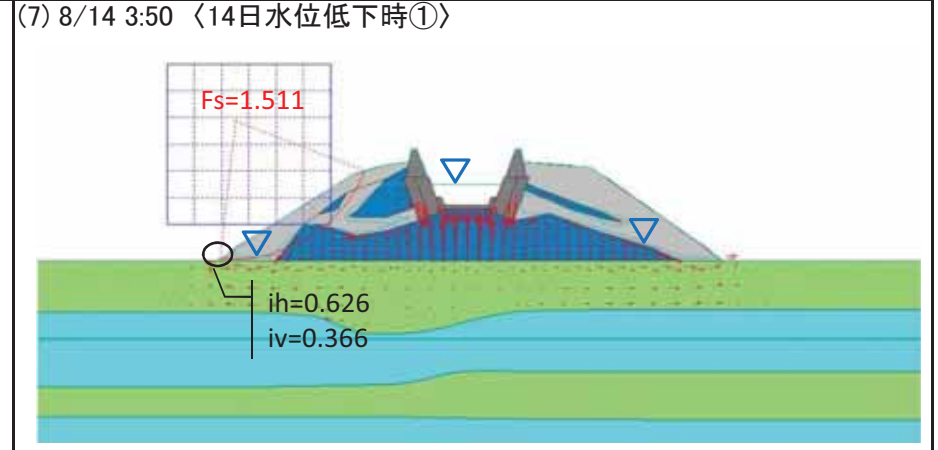
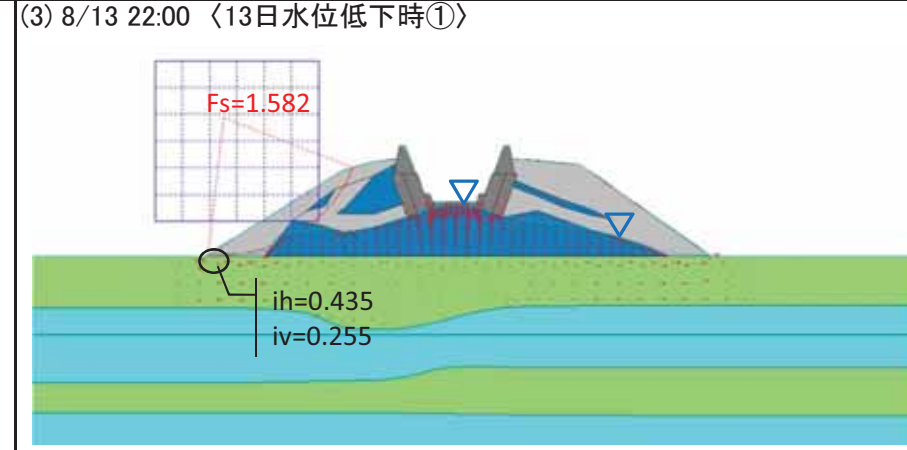
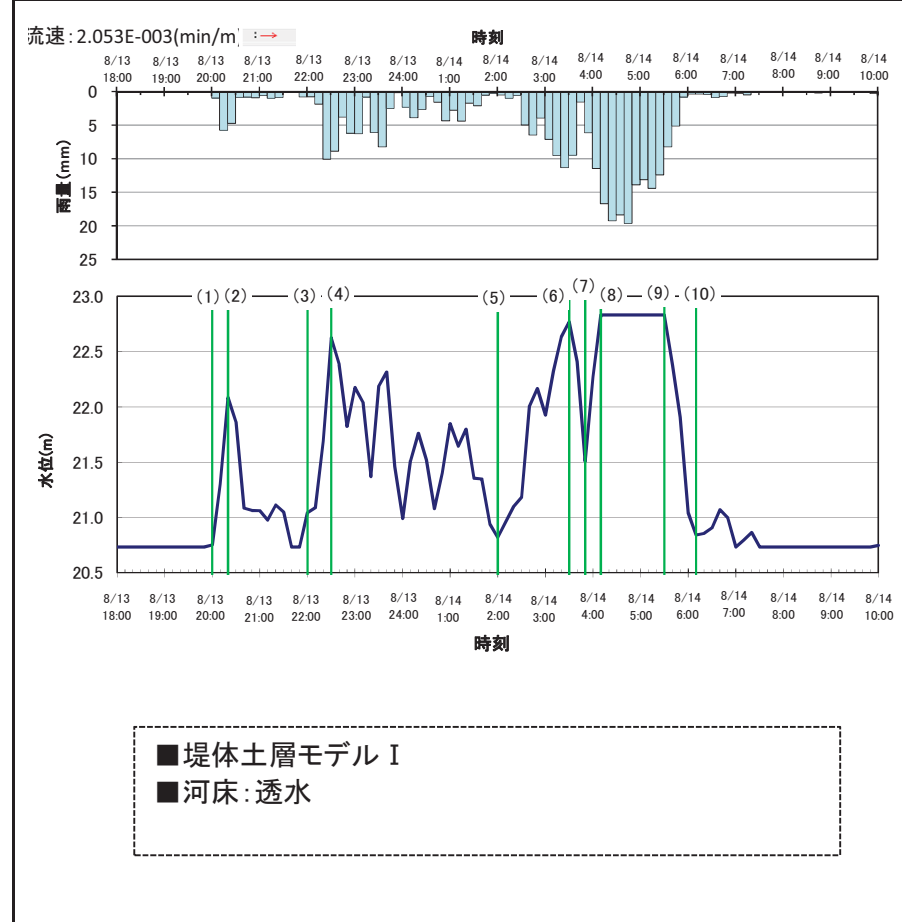
Case I - B - ①



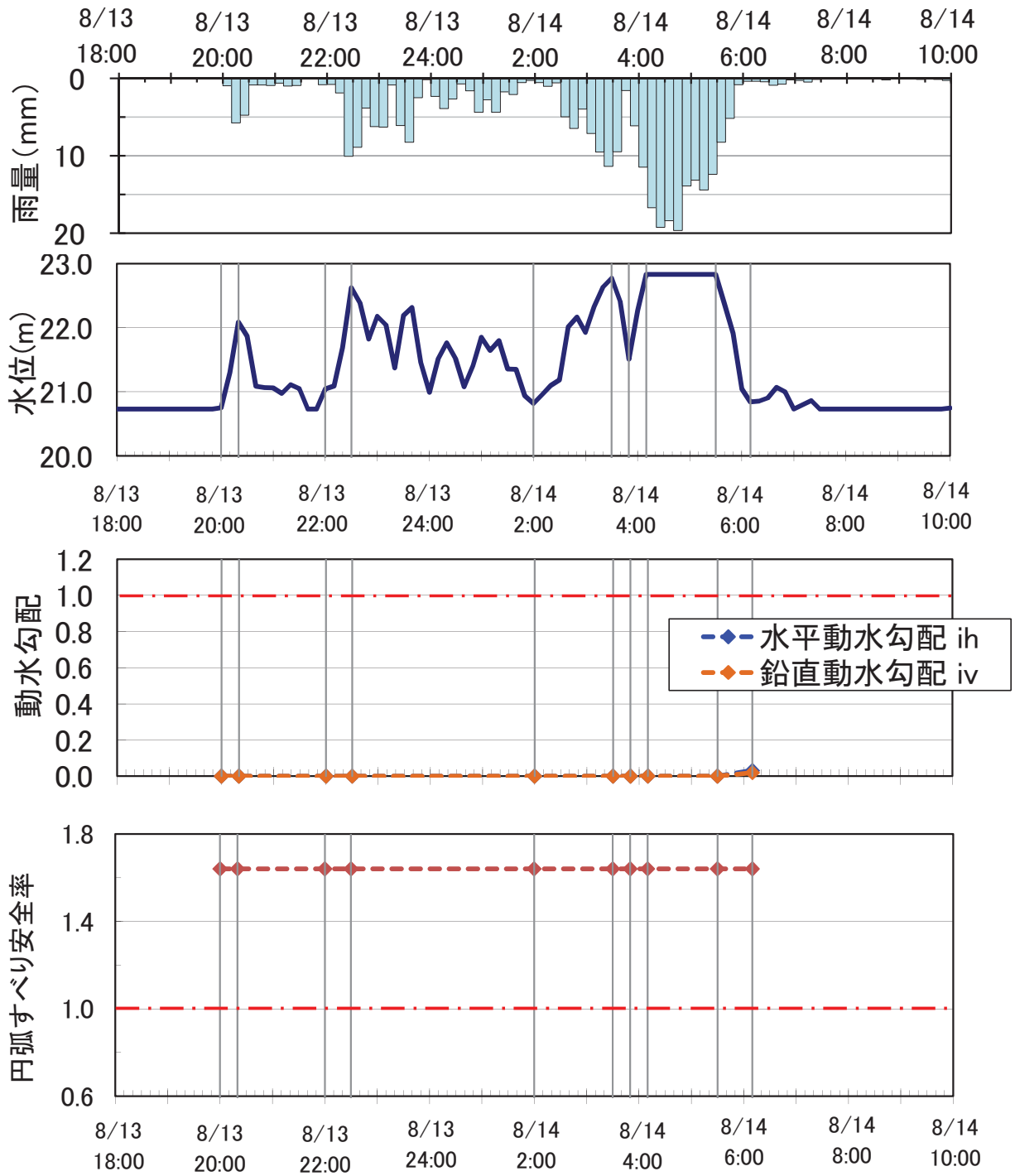
I-B-②:地盤 I, 河床なし, 初期GL



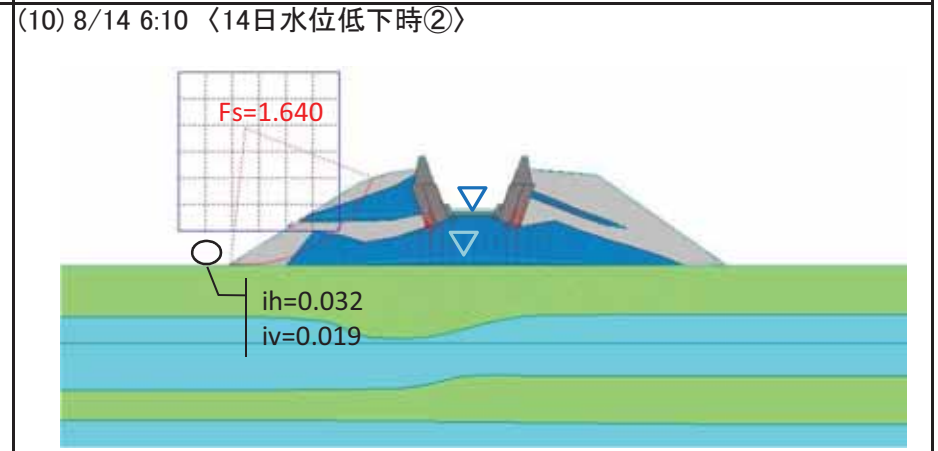
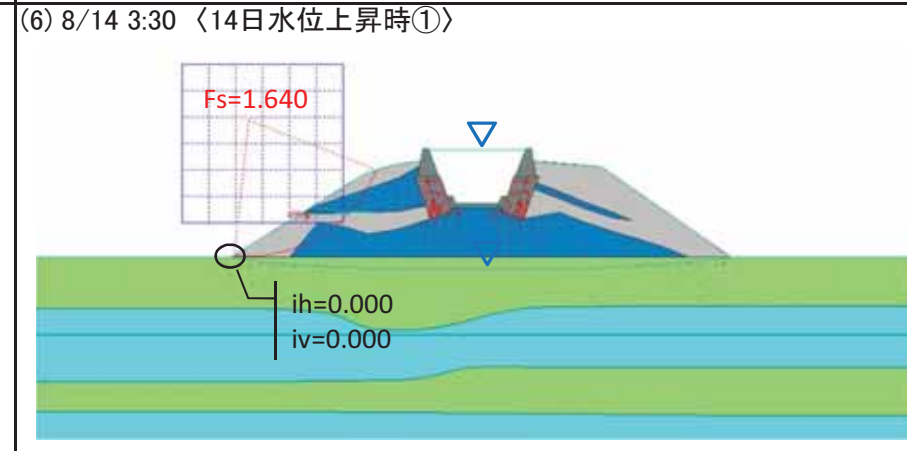
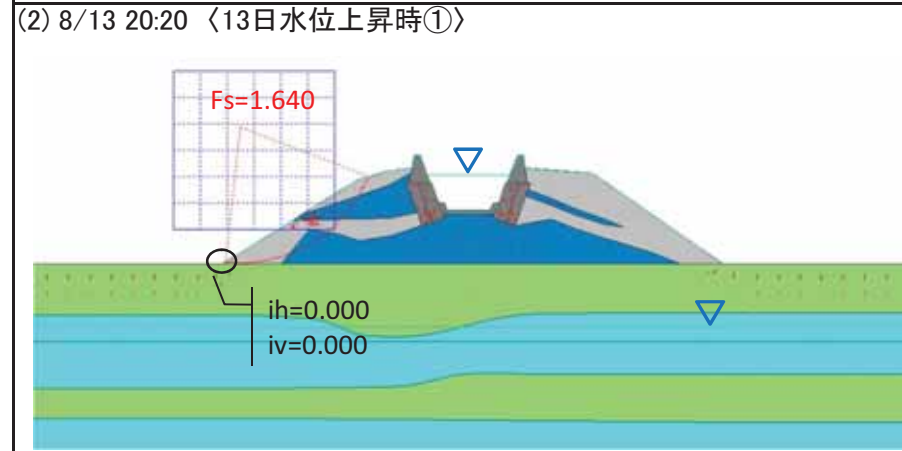
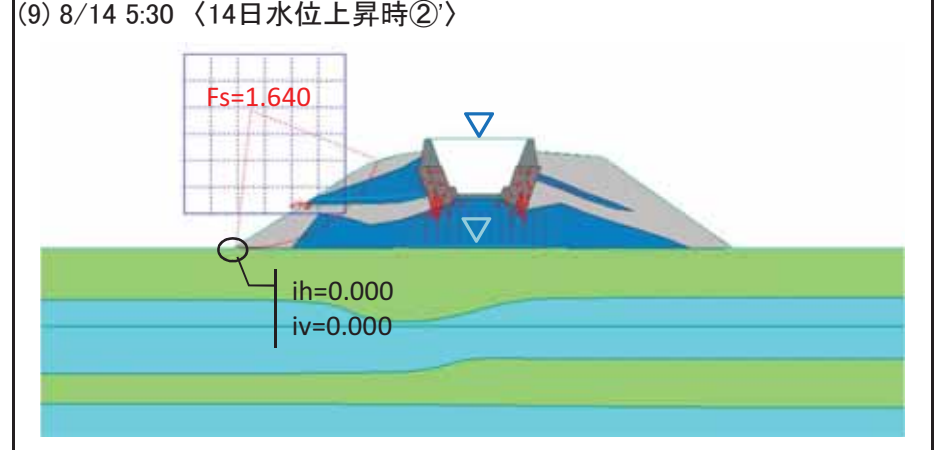
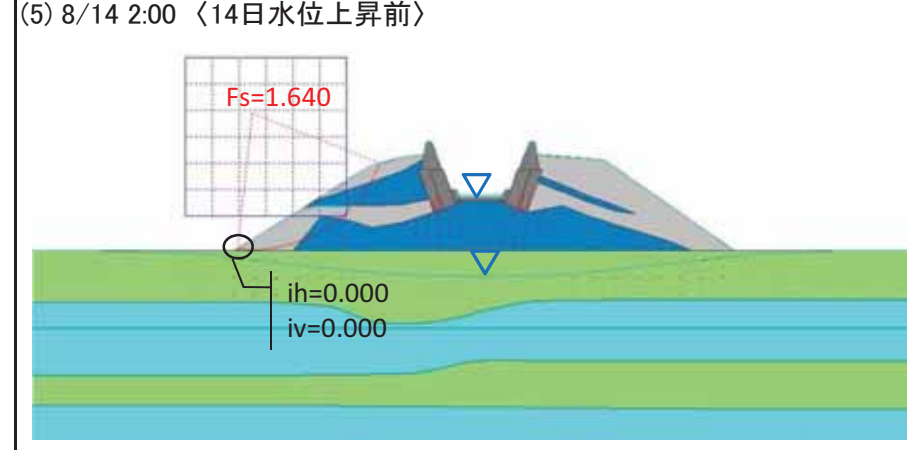
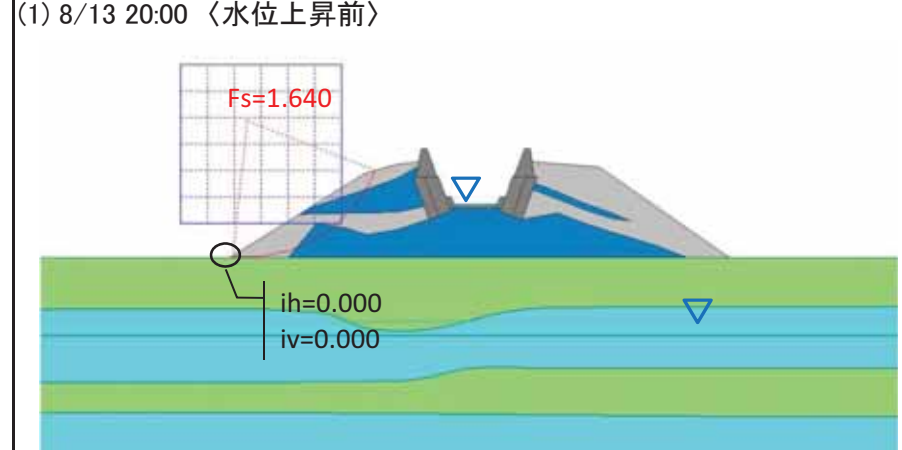
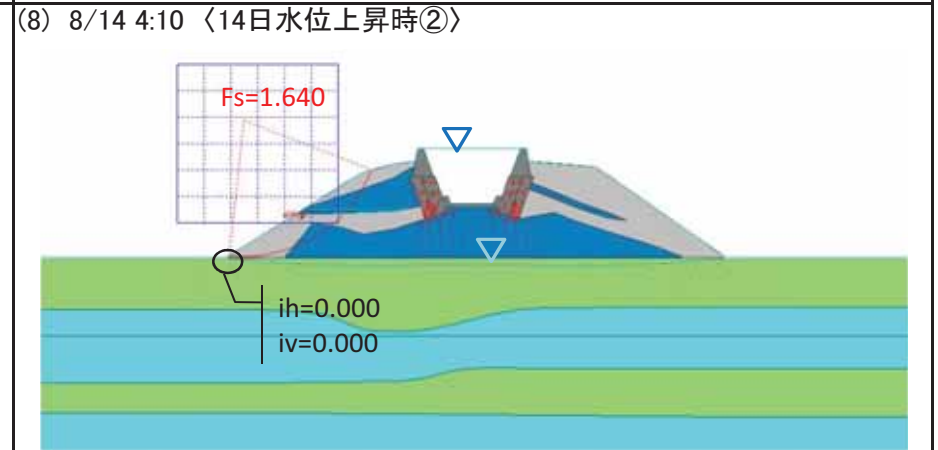
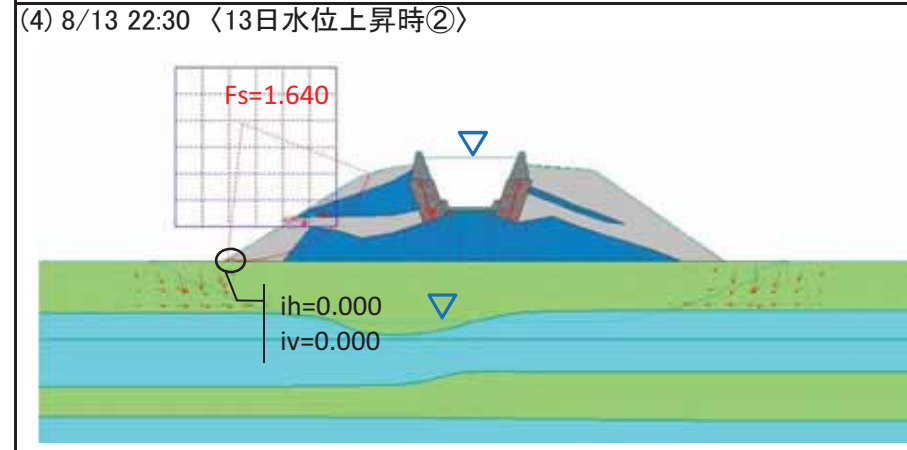
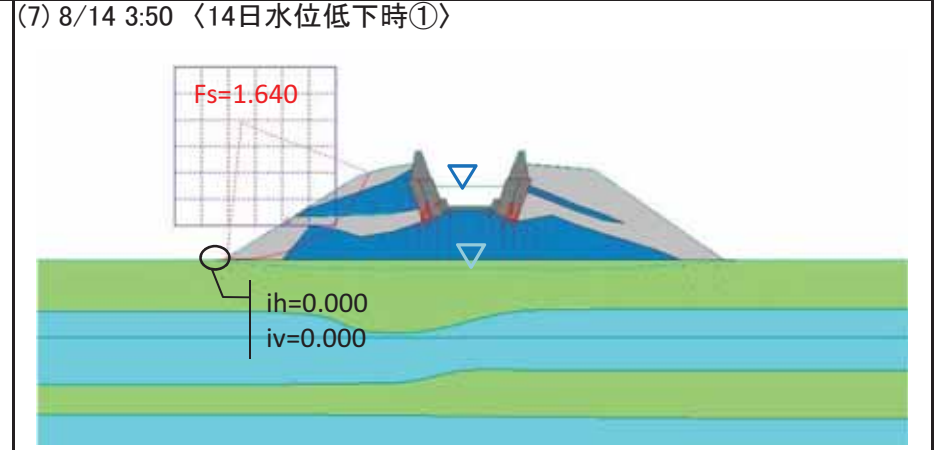
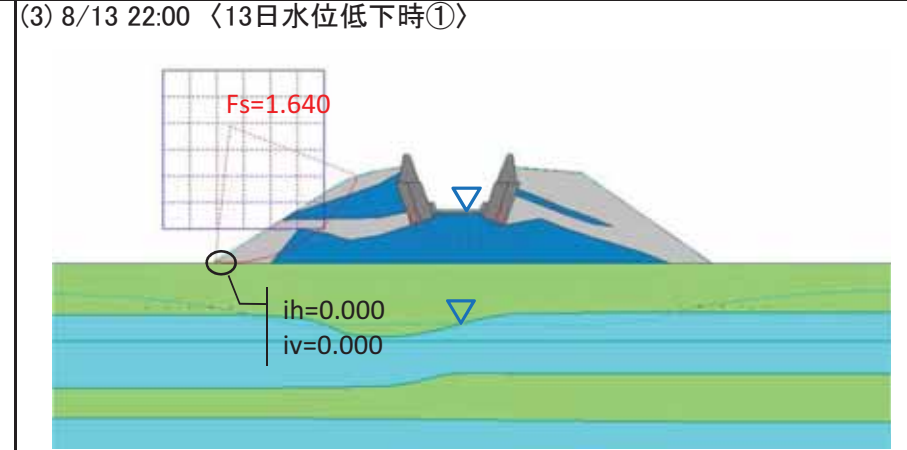
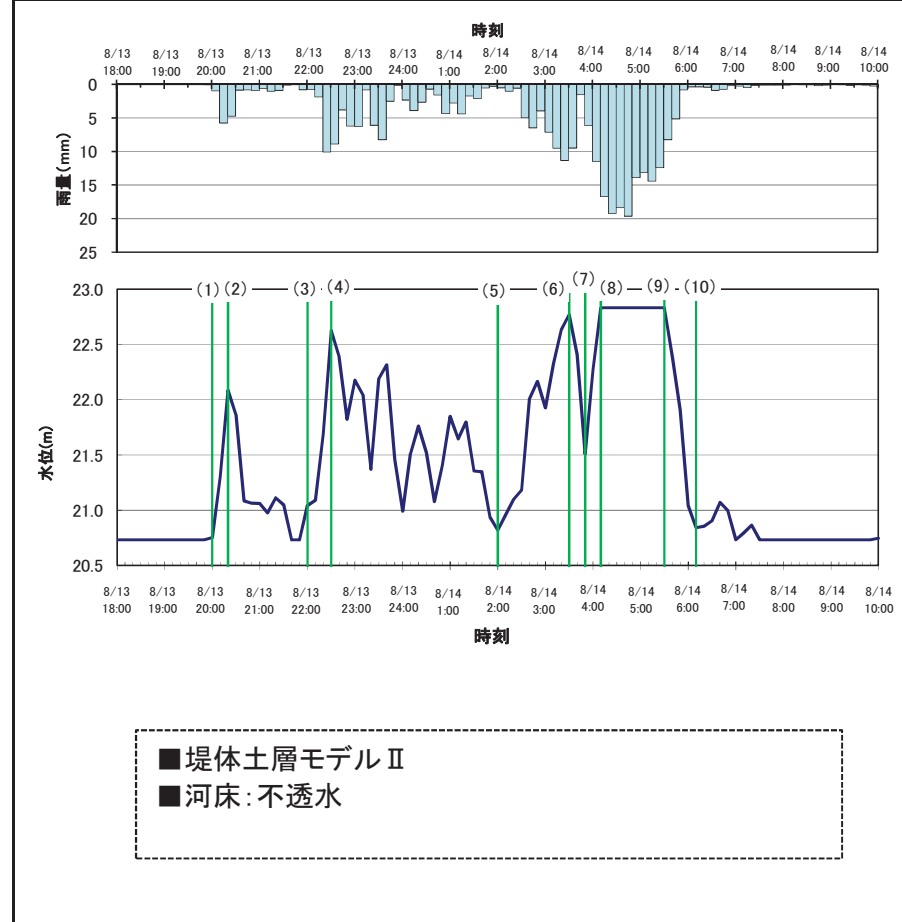
Case I - B - ②



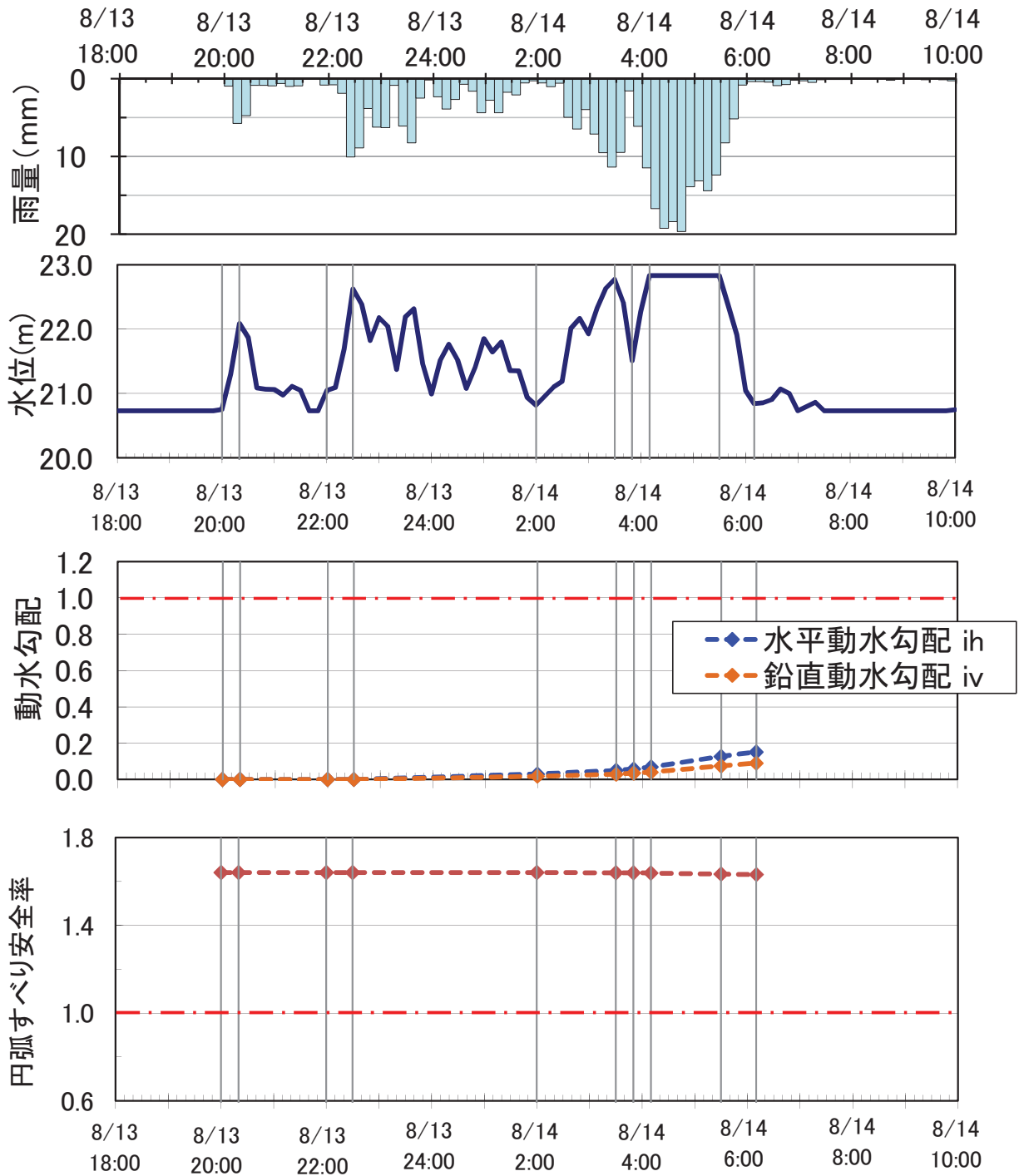
II-A-①:地盤II, 河床あり, 初期Ac



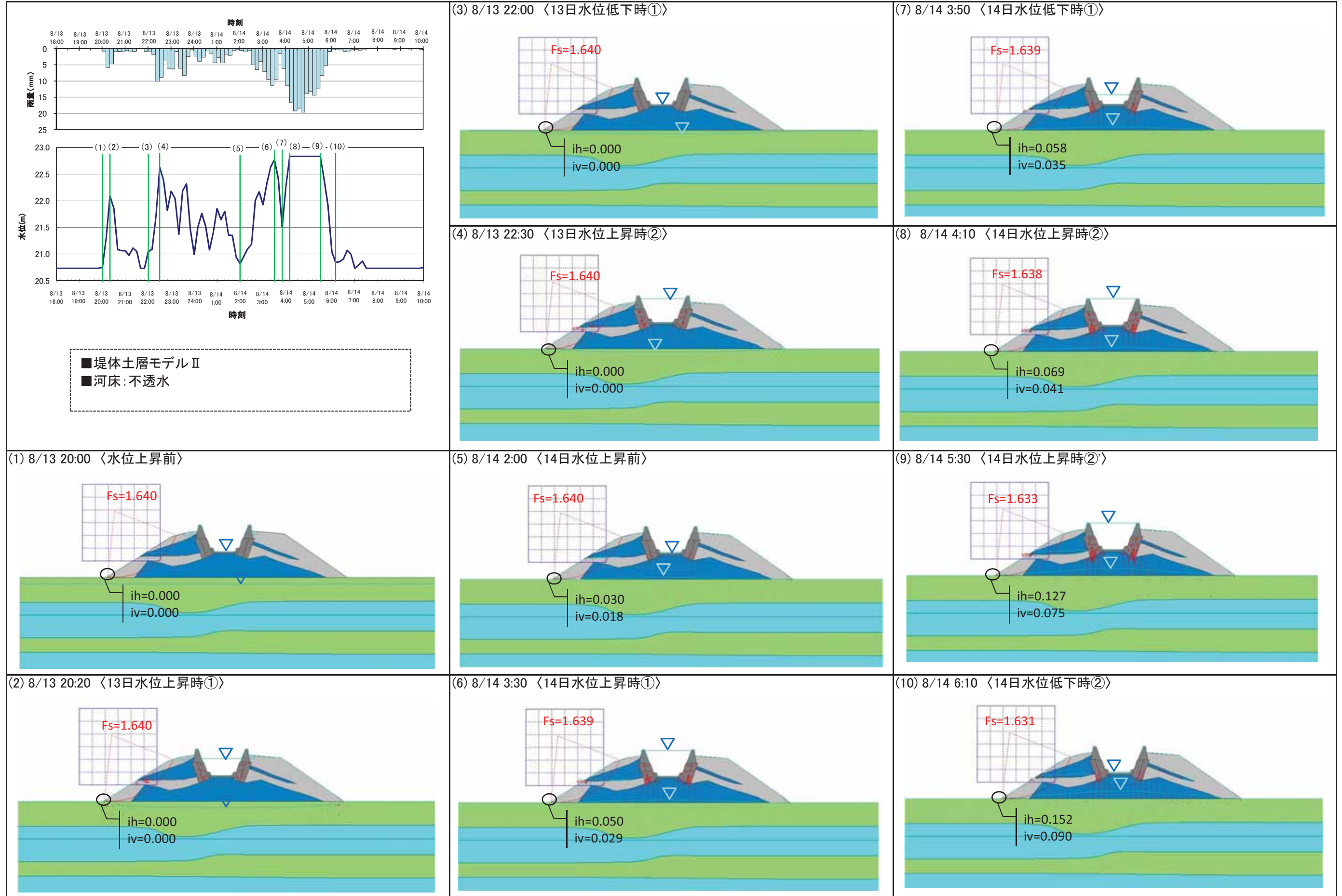
Case II - A - ①



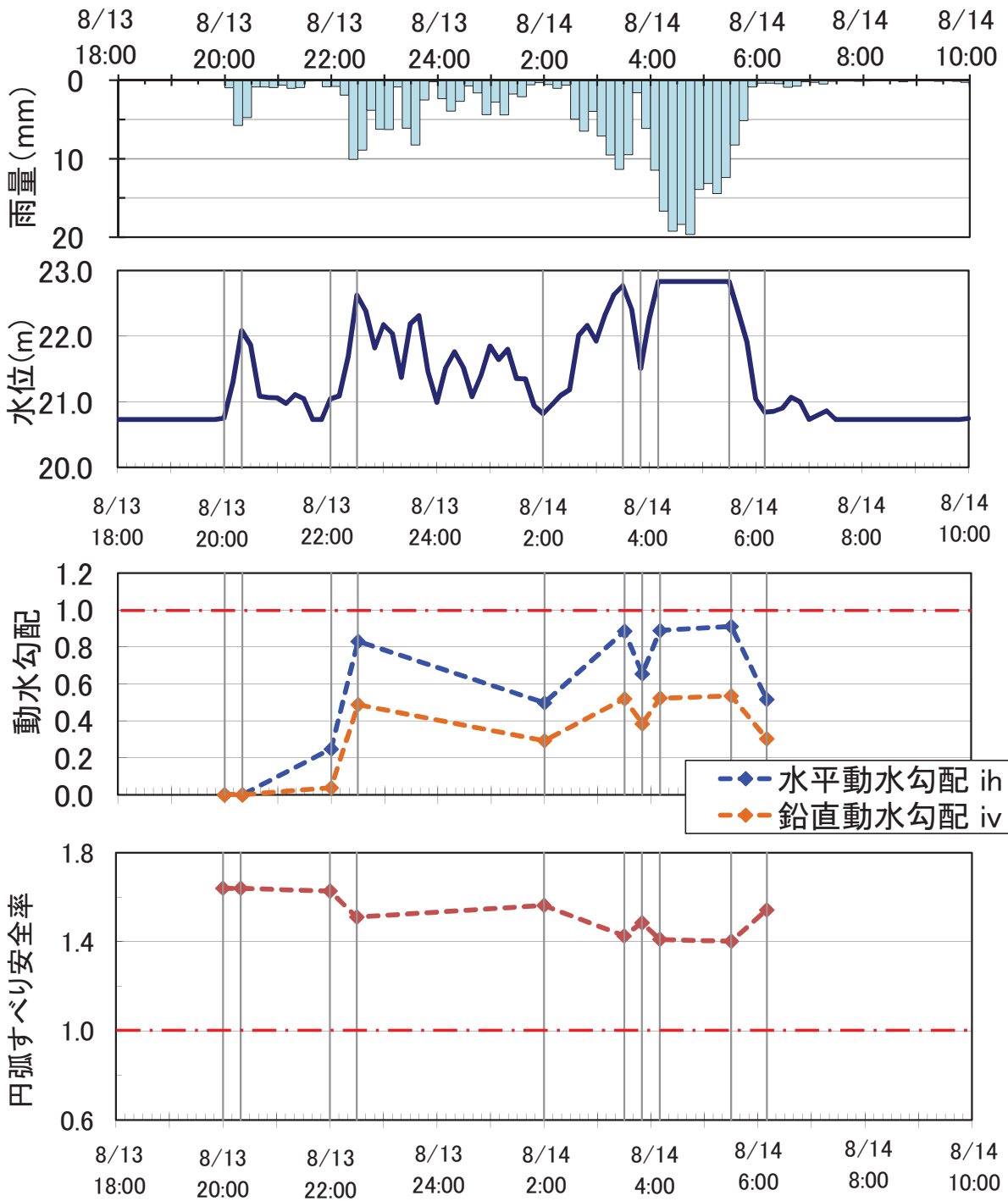
II-A-②:地盤II, 河床あり, 初期GL



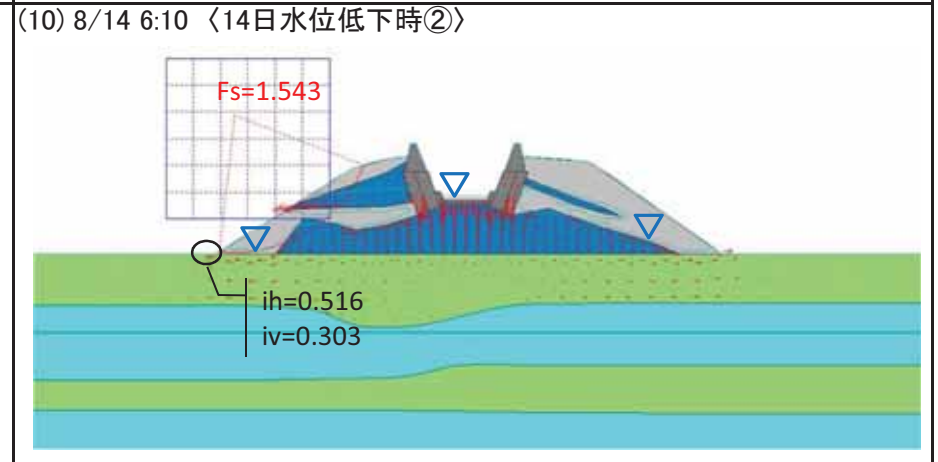
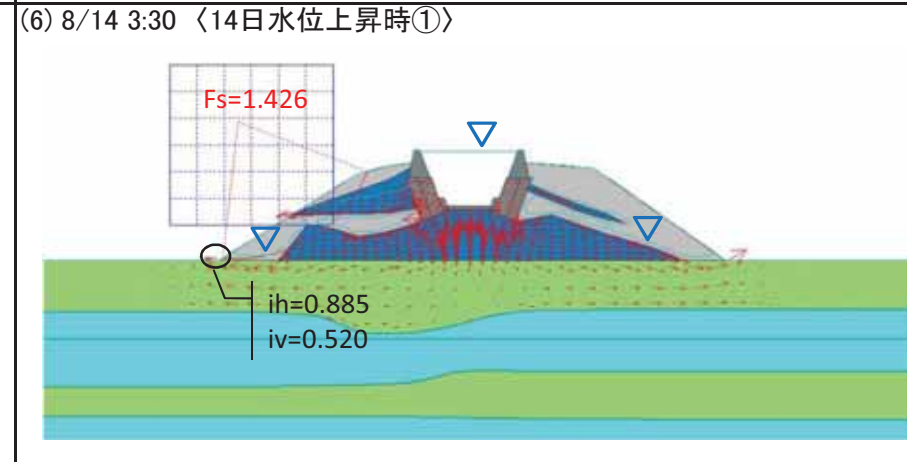
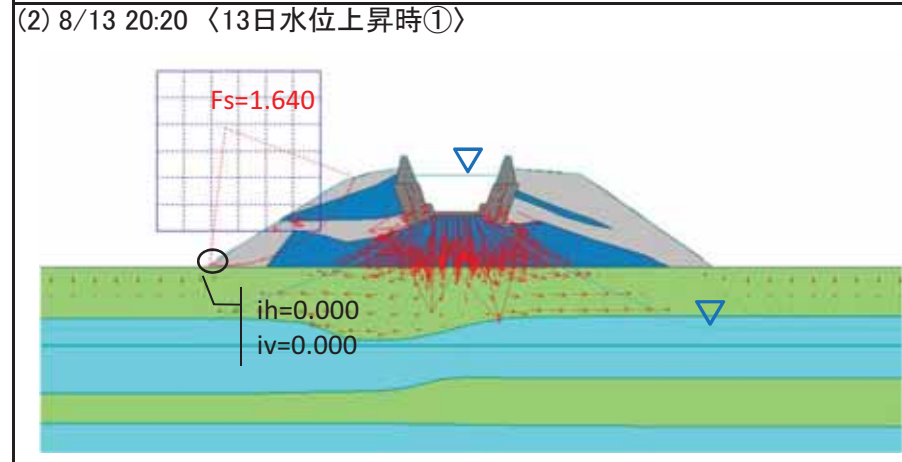
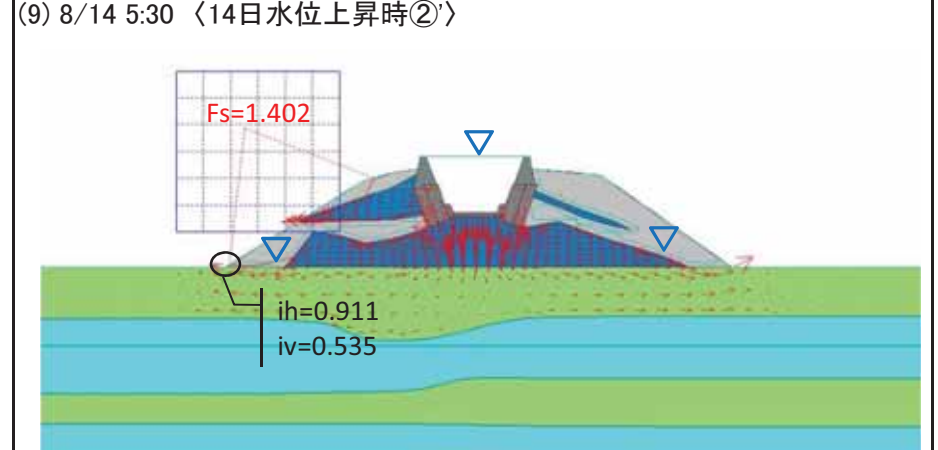
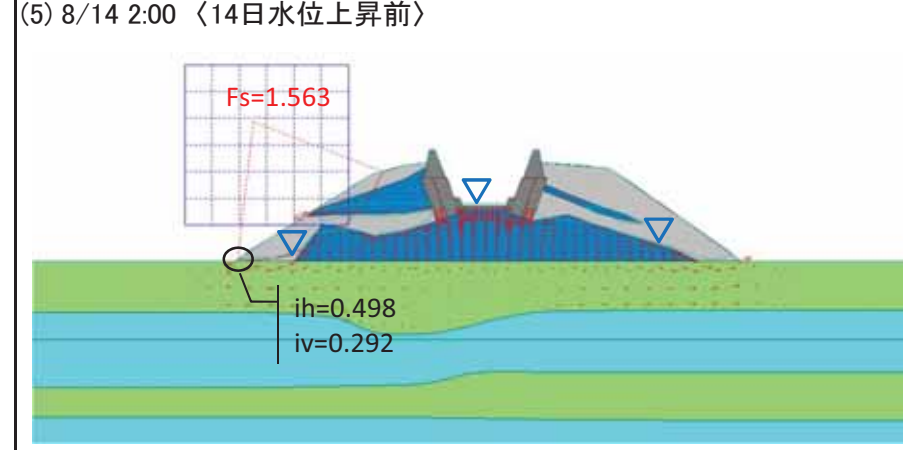
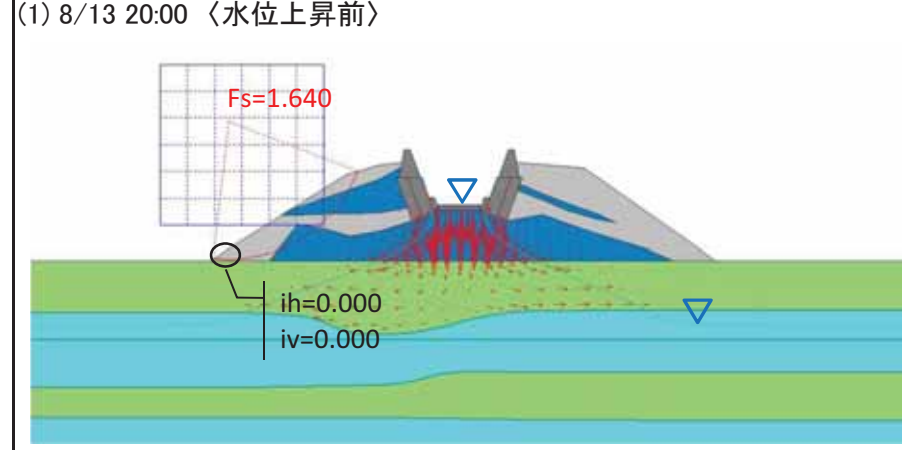
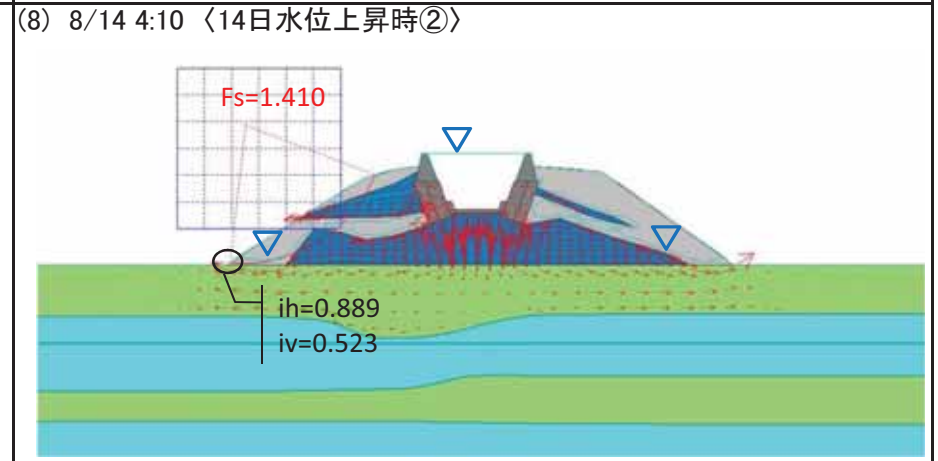
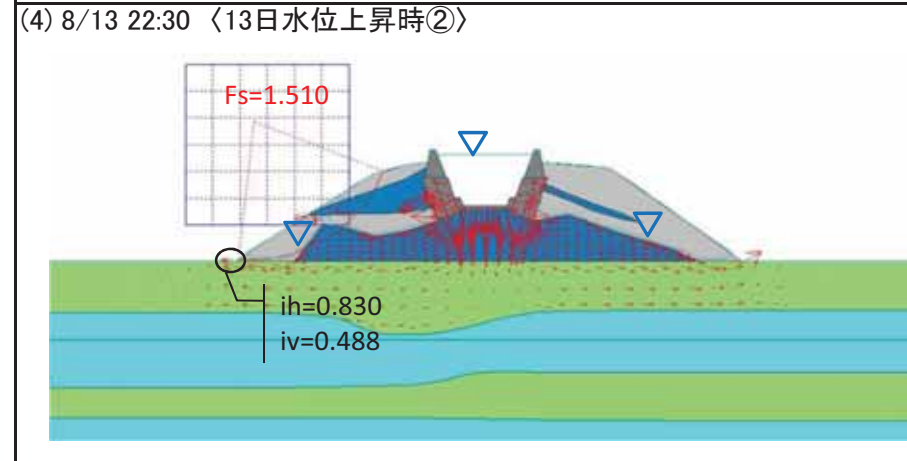
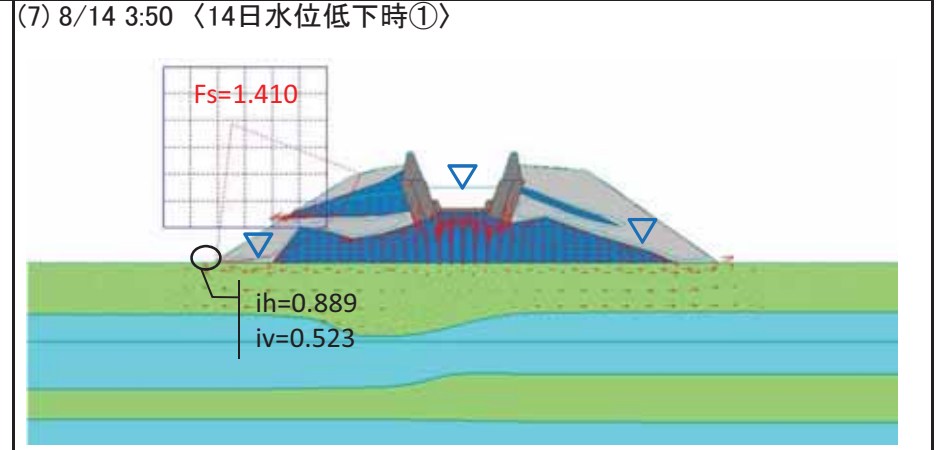
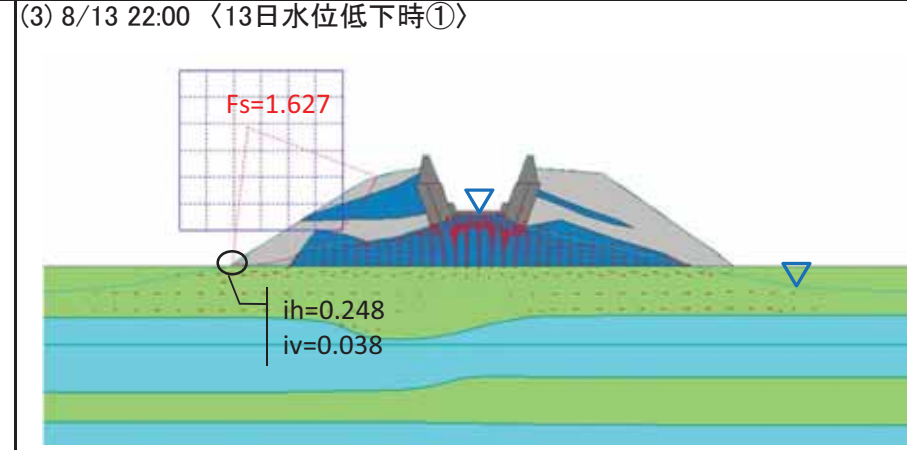
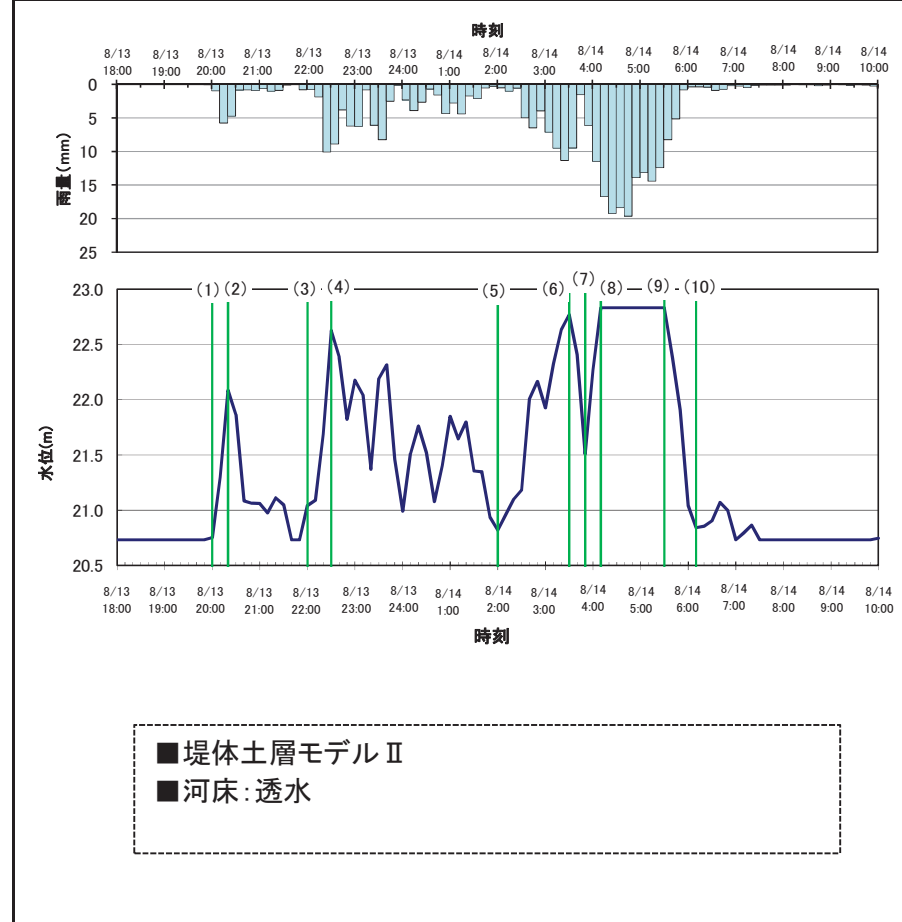
Case II - A - ②



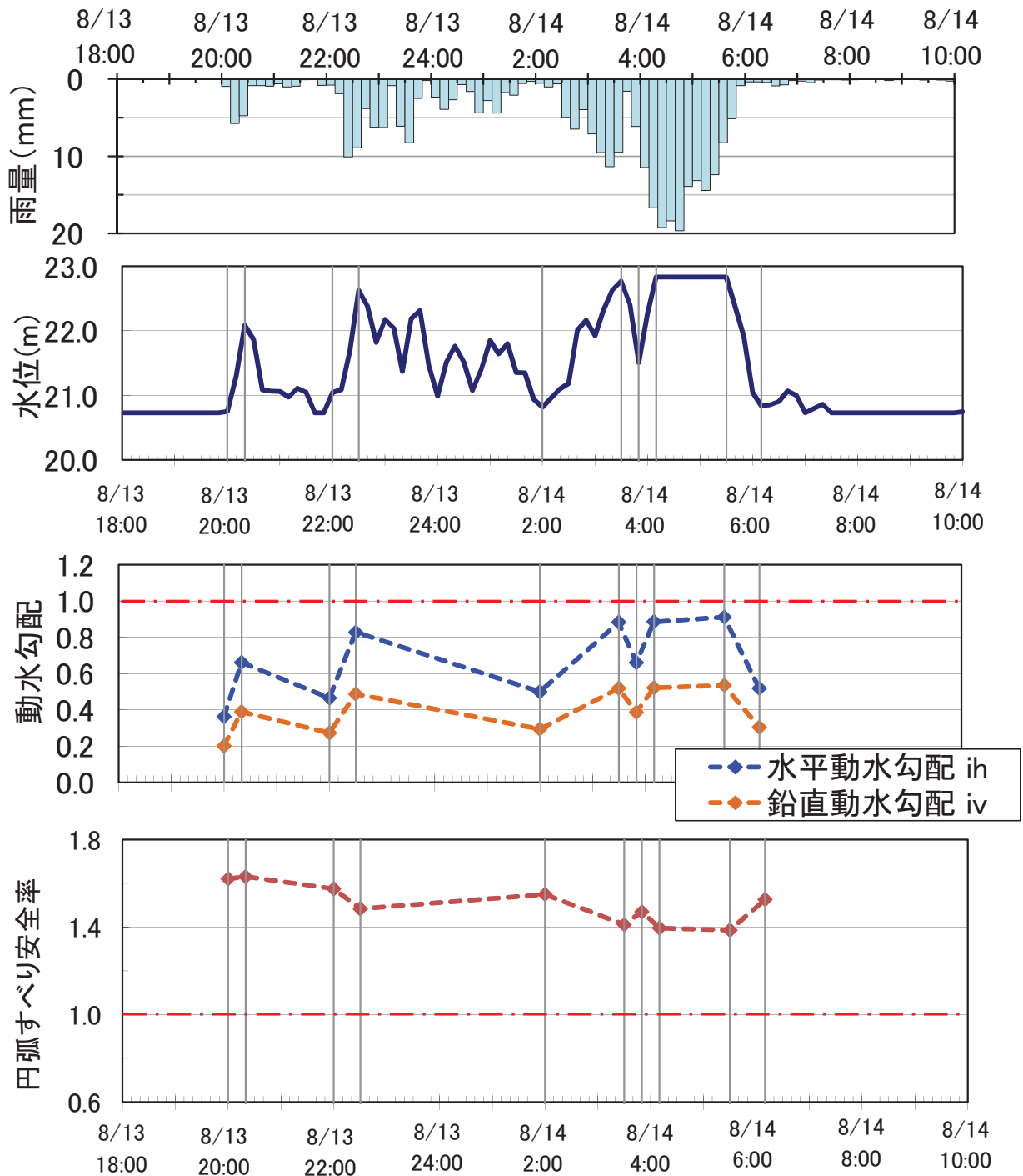
II-B-①:地盤II, 河床なし, 初期Ac



Case II - B - ①



II-B-②:地盤II, 河床なし, 初期GL



Case II - B - ②

