

資料 5 - 2

第 5 回

淀川左岸線（2期）事業
に関する技術検討委員会

耐浸透機能について

— 洪水後水位 O. P. +0. 6m（朔望平均干潮位）時の評価 —

平成 26 年 1 月 10 日

目 次

1. 照査方針と検討内容	1
2. 検討条件	2
3. 構造物周りの動水勾配について	3
4. すべり破壊に対する安全性について	6
5. 全線評価のまとめ（完成時）	8

耐浸透機能について

1. 照査方針と検討内容

(1) 確保機能

【河川】

LC-1：地下水流動阻害（堤体内浸潤面上昇）により水みち発生を起さないこと

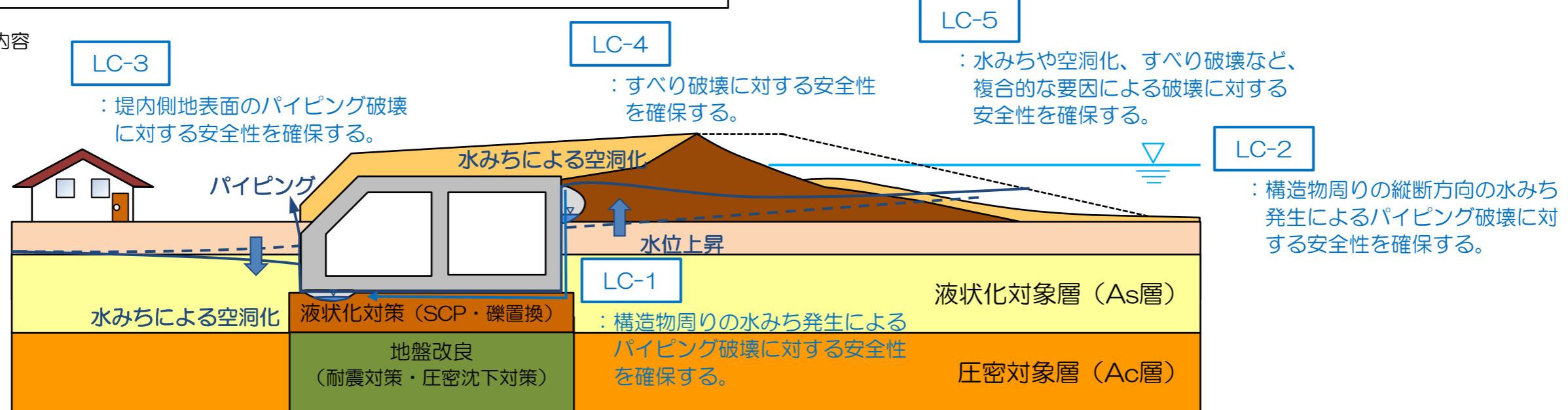
LC-2：地下水流動阻害により、構造物に沿った縦断方向の水みち発生を起さないこと

LC-3：基礎地盤のパイピング破壊に対する安全性を確保すること

LC-4：すべり破壊に対する安全性を確保すること

LC-5：土と構造物間が洪水・降雨の浸透や変形により、堤体の弱体化や水みち発生を起さないこと

(2) 照査方針と検討内容



LC-1	LC-2	LC-3	LC-4	LC-5	(前回委員会までの検討結果)
					<ul style="list-style-type: none"> 浸潤面の照査時刻をH.W.Lとしていた。 外力条件を洪水後の水位をO.P.+2.2m (期望平均満潮位)としていた。 上記条件のもと解析を行い、ボックスと堤体間の降雨が浸潤面の変動へ大きく影響していることから、降雨浸透対策を実施することとし、すべり破壊、パイピング破壊の可能性が低いことを解析上確認した。

第4回委員会での外力条件及び照査方法より危険な条件での検証を行った。

- 照査時刻を浸潤面、すべり破壊、パイピング破壊の最も危険となる時刻とした。
- 外力条件で、洪水後の水位をO.P.+0.6m (期望平均干潮位相当)とした。

LC-1 LC-2

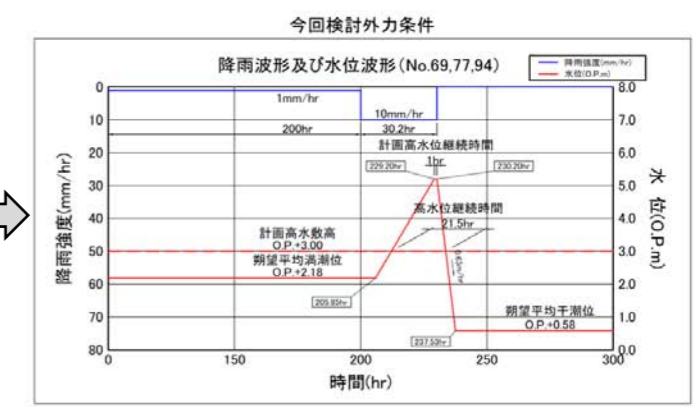
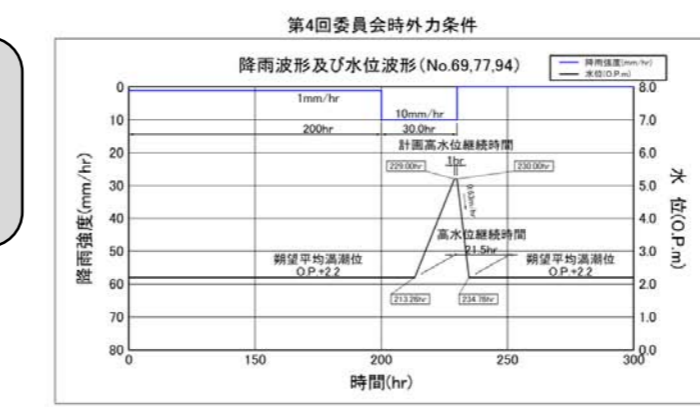
第4回委員会において実施することになった耐浸透対策 (難透水性材料)・耐震対策 (固結工法) 液状化対策 (礫置換・SCP)・圧密沈下対策 (SD・SCP・固結工法) を実施した断面において浸潤面の変動について検討を行った。

LC-3

局所動水勾配について、構造の手引きの照査基準値 (i=0.5) との照査を行った。

LC-4

すべり安全率について、川表側及び川裏側において、ピーク時の評価を行い、基準値 (川表側及び川裏側で1.44) 及び現況の安全率との比較を行った。



●ボックス周辺部での浸潤面の変動を推測
●各種対策による浸透阻害がないかを推測

●鉛直方向及び水平方向の局所動水勾配の推測
●縦断方向の動水勾配の推測

●川表側及び川裏側のすべり安全率の推測
●緩傾斜堤防等による影響を検討

LC-5

構造物周りの水みちや空洞化、すべり破壊などの複合的な要因による破壊に対する安全性について検討を行った。

●地下水位を把握するモニタリングの検討 (資料5-4参照)

2. 検討条件

2.1 降雨・高水による一体構造物に対する浸透挙動予測に用いる解析手法

一体構造物における浸透に対する影響検討は、「河川堤防の構造検討の手引き（改定版）（平成24年2月 財団法人国土技術センター）」（以下、「構造検討の手引き」という）を基本とし、浸透によるすべり破壊に対する安定性とパイピング破壊に対する安定性検討を行う。

■飽和透水係数： K^S

現場透水試験、室内透水試験を適用する。
試験結果のない場合は、粒度試験結果を用い、間接的に算出するか、一般値とする。
なお、次に示す部材は構造検討の手引きや現地状況を考慮して設定する。

・特殊堤コンクリート護岸	$1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$
・コンクリートブロック	モデル化しない
・アスファルト舗装	$1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$
・土留鋼矢板	モデル厚さ1cmに対し $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$

■比貯留係数： S_s

比貯留係数は、既往文献より体積圧縮係数とみなせることから、次式を用いて設定する。

$$S = w \times m_v = \frac{3(1-2\nu)}{E}$$

ここに、

w : 水の単位体積重量 (1.0tf/m^3)

m_v : 単位圧縮係数 (m^2/tf)

ν : ポアソン比 (0.3)

E : 弾性係数 (N 値を適用する場合、 $E=280N \text{tf/m}^2$)

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_r(\theta) \left(K_{ij}^S \frac{\partial \Psi}{\partial x_j} + K_{i3}^S \right) \right) - q = (\alpha S_s + \beta c(\Psi)) \frac{\partial \Psi}{\partial t}$$

ここに、

K_r : 相対透水係数比

θ : 体積含水率

K^S : 飽和透水係数

Ψ : 圧力水頭

q : 単位時間当たりの流入流出量（排水時、 $q > 0$ ）

α : 飽和領域=1、不飽和領域=0

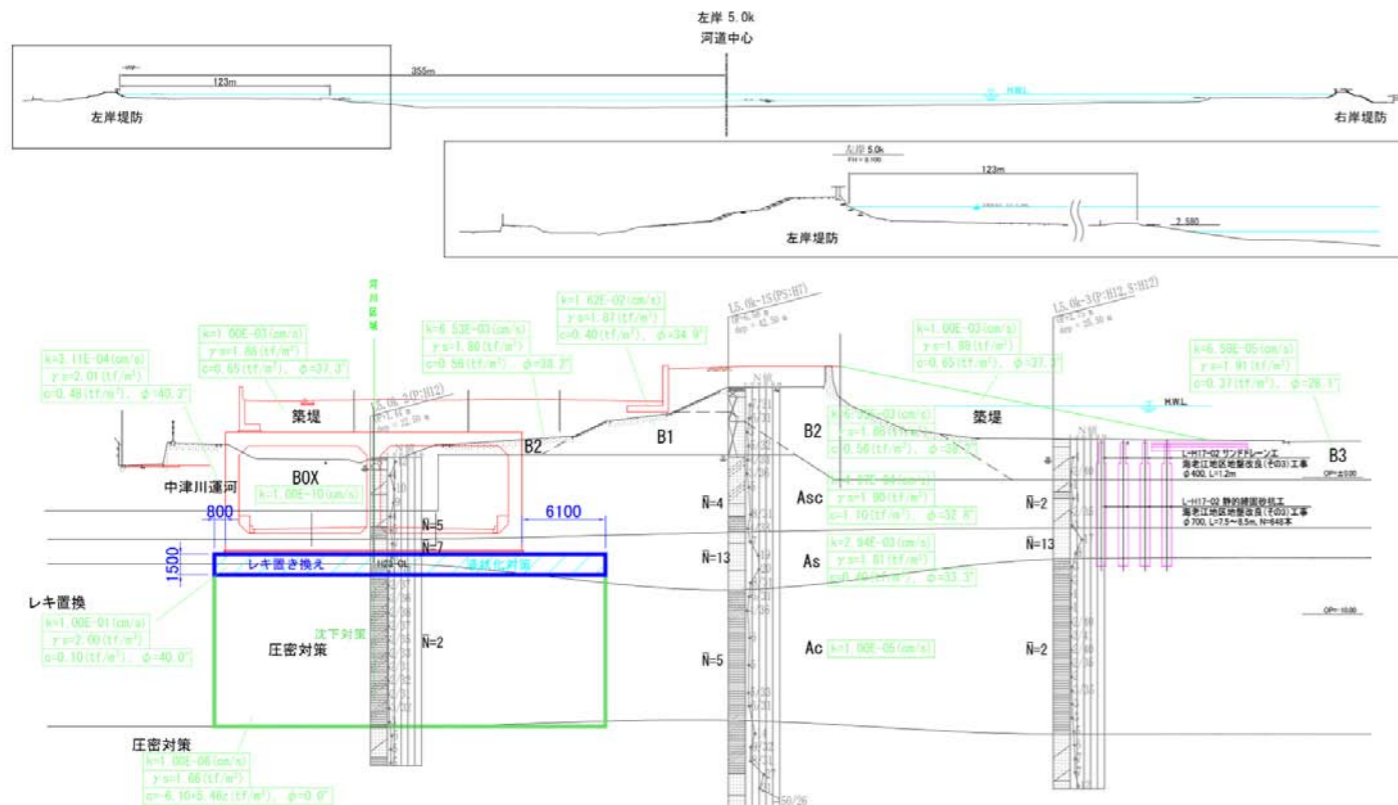
S_s : 比貯留係数

β : 飽和領域=0、不飽和領域=1

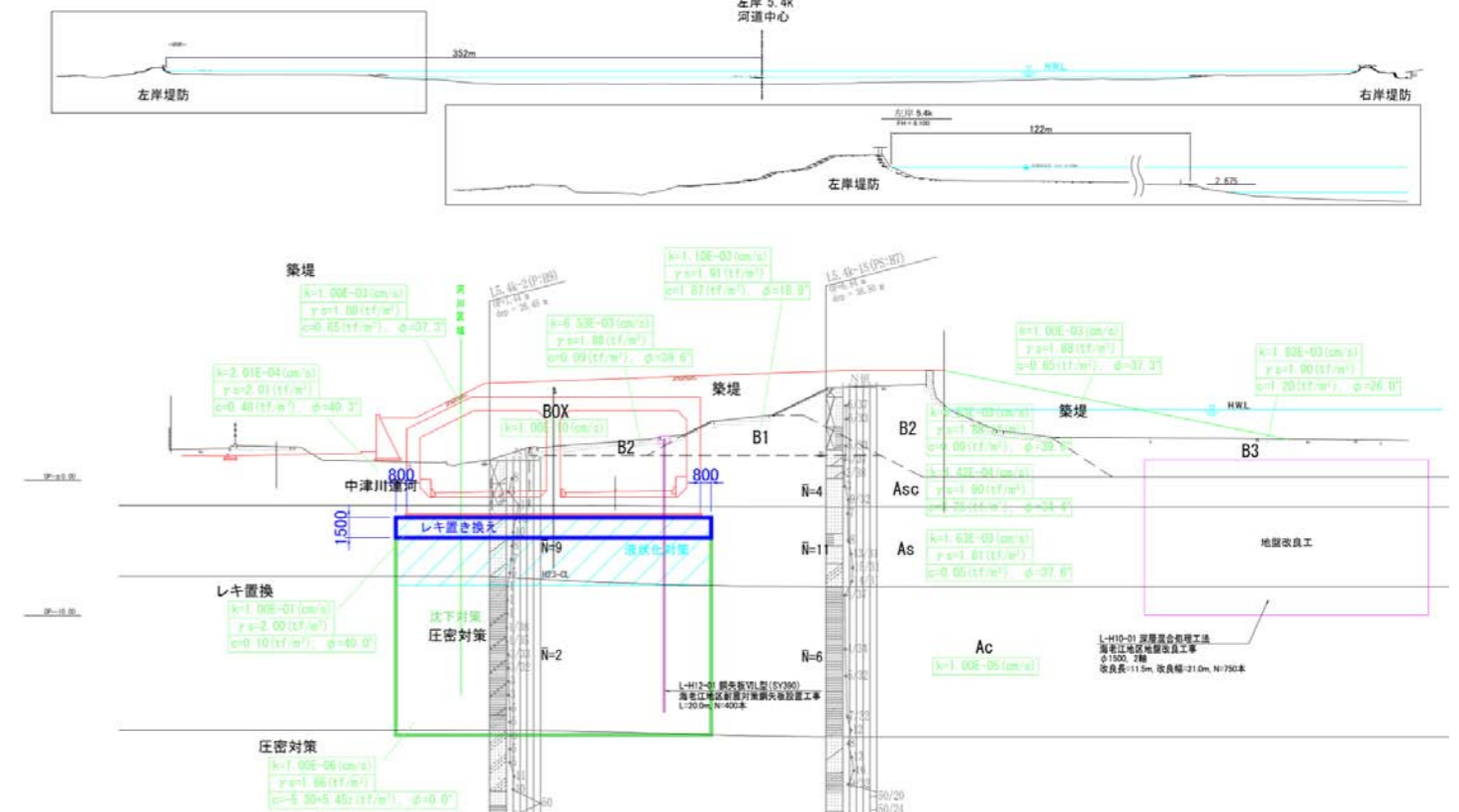
$c(\Psi)$: 比水分容量

2.2 解析モデル図

【No.69断面】



【No.94断面】



2.2 検討対象とする外力条件と解析ステップ

これまでの検討から、現況に比べ、完成時の堤体内水位のピーク時間の遅れが顕著であったため、水位低下時の浸潤面を適切に反映することとした。

検討対象とする外力条件は、降雨と河川水とし、その設定にあたっては構造検討の手引きに準拠する。

【降雨量の設定】

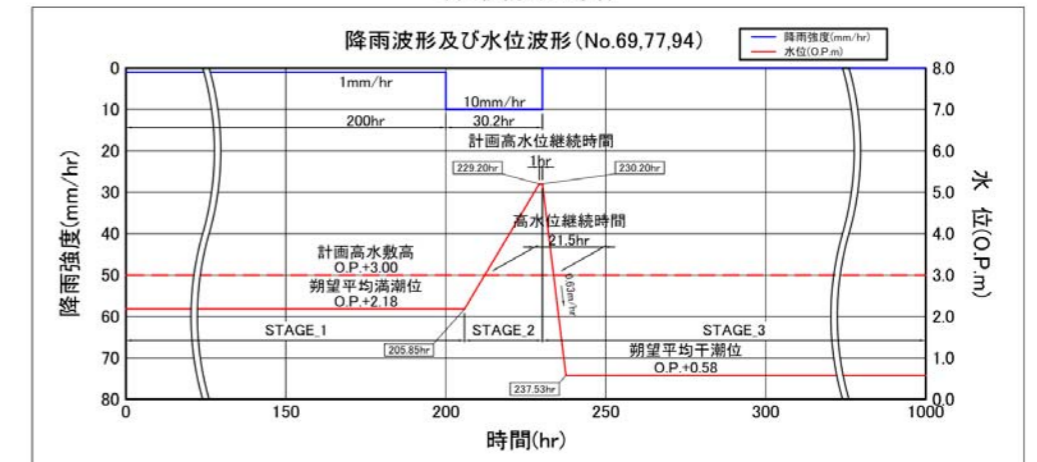
- ① 原則として当該河川の計画降雨量（淀川：302mm）を用いる。
- ② 降雨強度は10mm/hrを目安とする。
- ③ ①で設定した総降雨量と②で設定した降雨強度をもとに長方形の降雨波形を設定する。

【河川水位の設定】

- ① 複数の波形（著名8洪水）のそれぞれについて基準とする水位（原則として平水位）毎の継続時間を求め、水位波形を作成する。
- ② 継続時間を包括するような直線を描き、この包括線で囲まれる部分の面積を求める。ここで、包括線が計画高水位に達しない場合には、同水位の継続時間が1時間になるよう包括線を設定する。
- ③ 複数の水位波形の中で、洪水末期の水位低下勾配（水位低下速度）の最大のものを抽出し、その勾配を求める。
- ④ ②及び③をもとに、計画高水位の継続時間を決定した上で、波形面積が同等となるよう洪水立ち上がり時間を定め台形ないし台形に近い波形を作成し、これを基本波形とする。

以上により設定した水位波形（例：5.4kより下流）を示す。

今回検討外力条件



3. 構造物周りの動水勾配について

⇒：確保機能低下の要因

LC-1：地下水流動阻害（堤体内浸潤面上昇）により水みち発生を起さないこと

⇒構造物周辺の土粒子が横断方向に流動し、水みちが形成されパイピング破壊に至る。

LC-3：基礎地盤のパイピング破壊に対する安全性を確保すること

⇒堤内側地表面から土粒子を伴った浸透水が流出し、水みちが形成されパイピング破壊に至る。

LC-2：地下水流動阻害により、構造物に沿った縦断方向の水みち発生を起さないこと

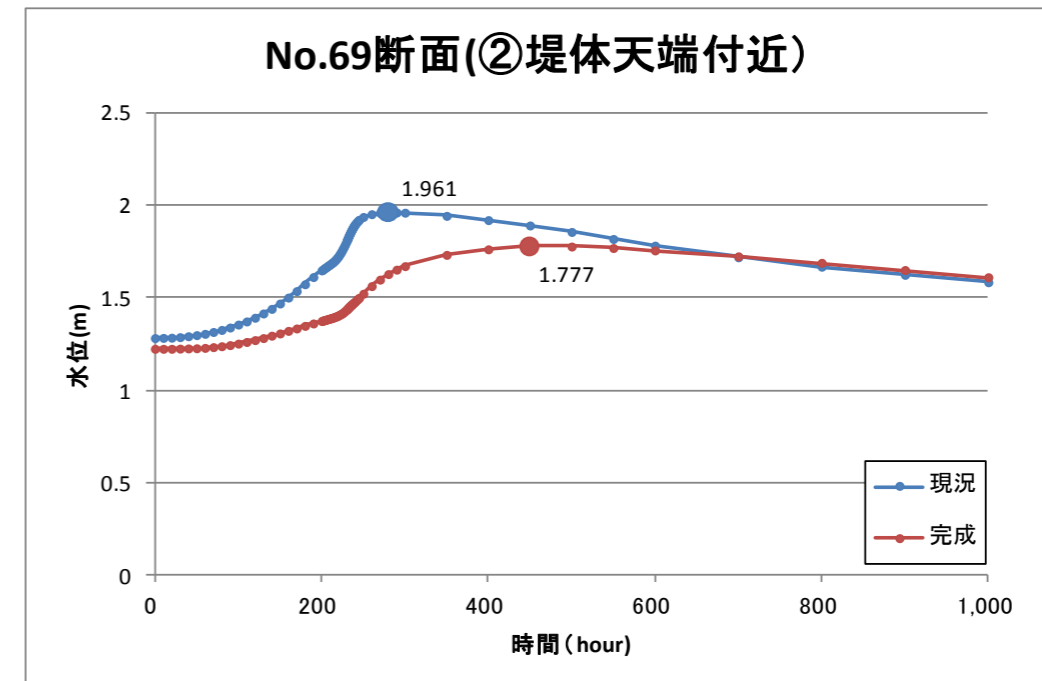
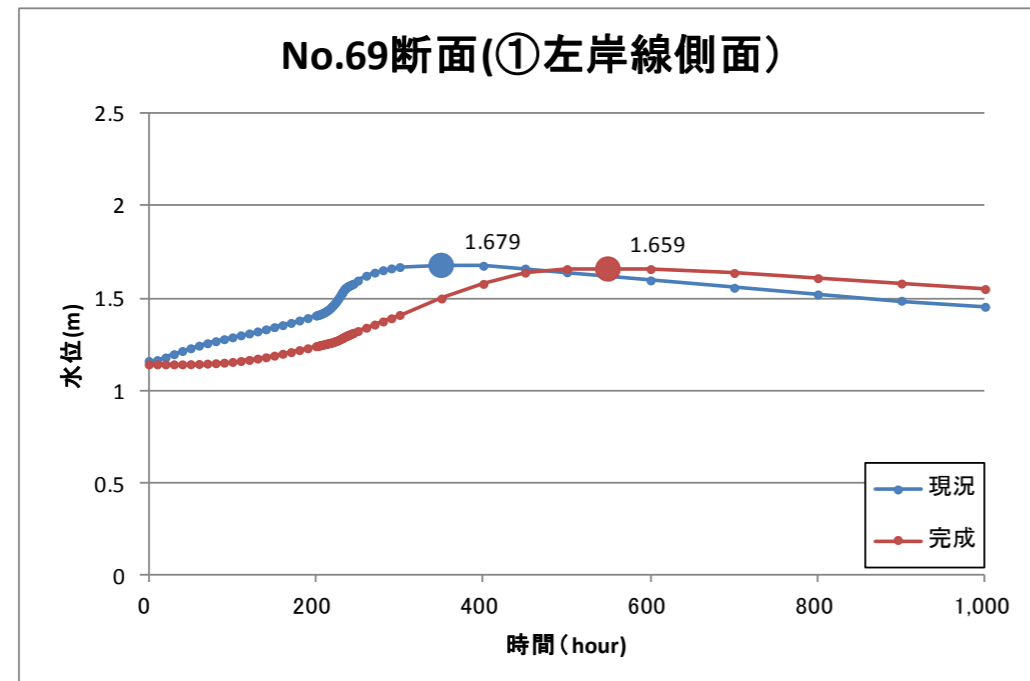
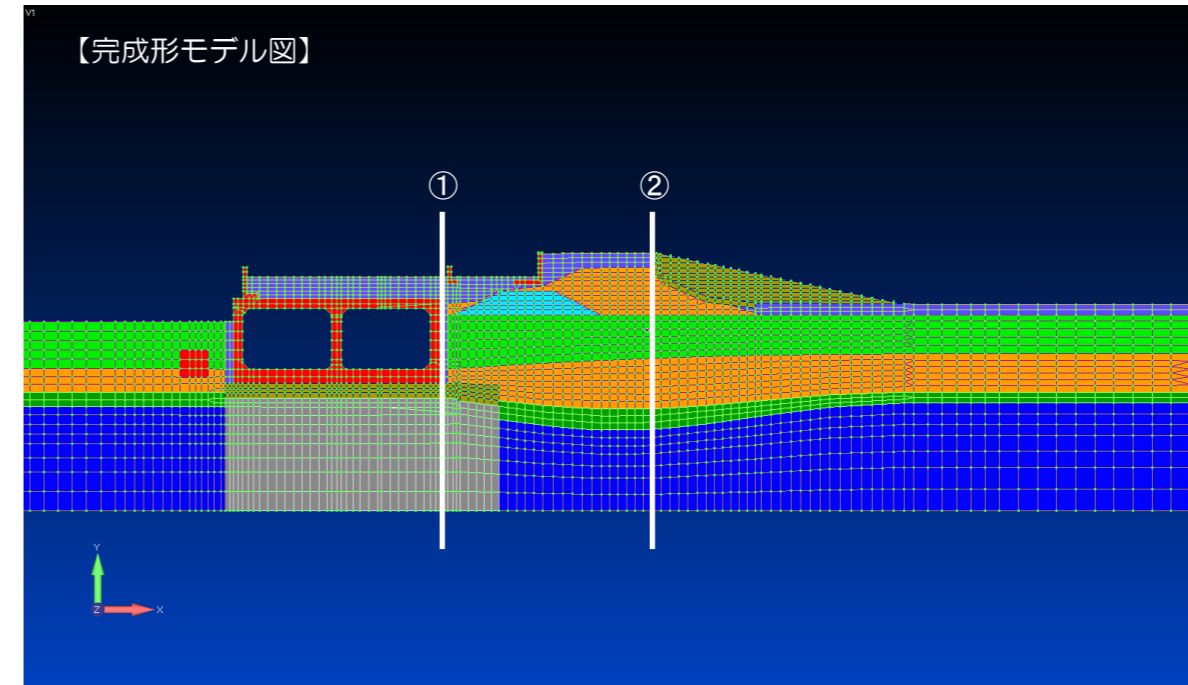
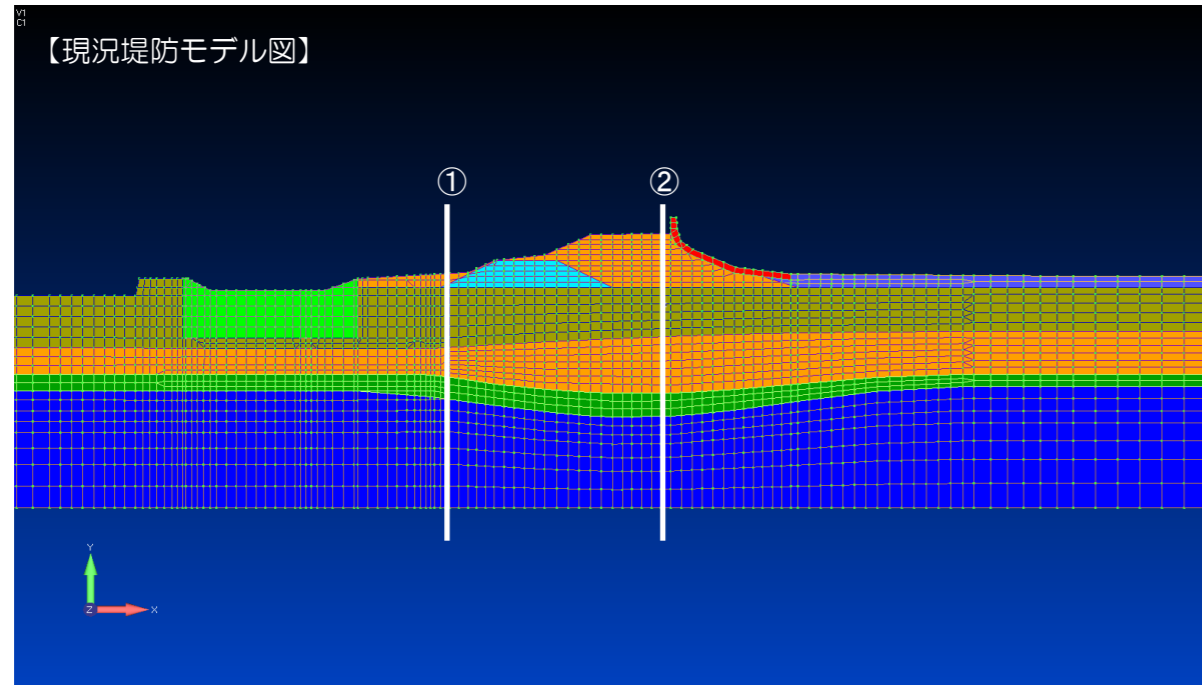
⇒構造物周辺の土粒子が縦断方向に流動し、水みちが形成されパイピング破壊に至る。

3.1 浸潤面の経時変化（照査時刻の設定）

第4回委員会において、堤体内浸潤面上昇要因がデルタ部（構造物と堤体間）の降雨流入であることが解析上確認されており、本検討では、降雨浸透対策を実施したモデルで検討を行う。

下図にNo. 69断面における現況と完成時の浸潤面の変動（経時変化）を示す。

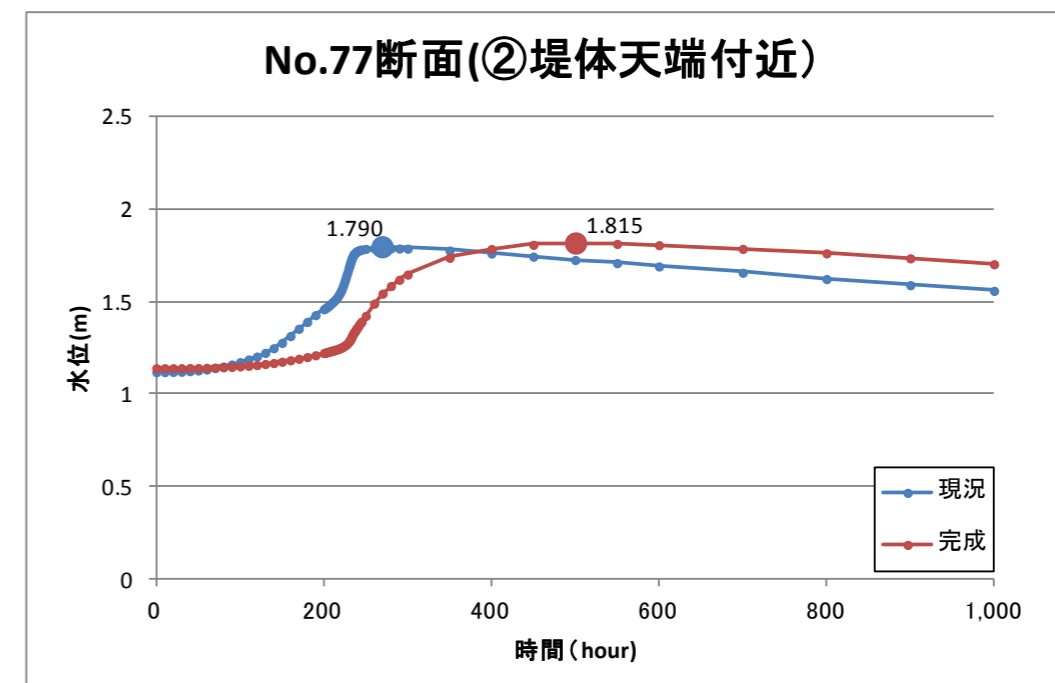
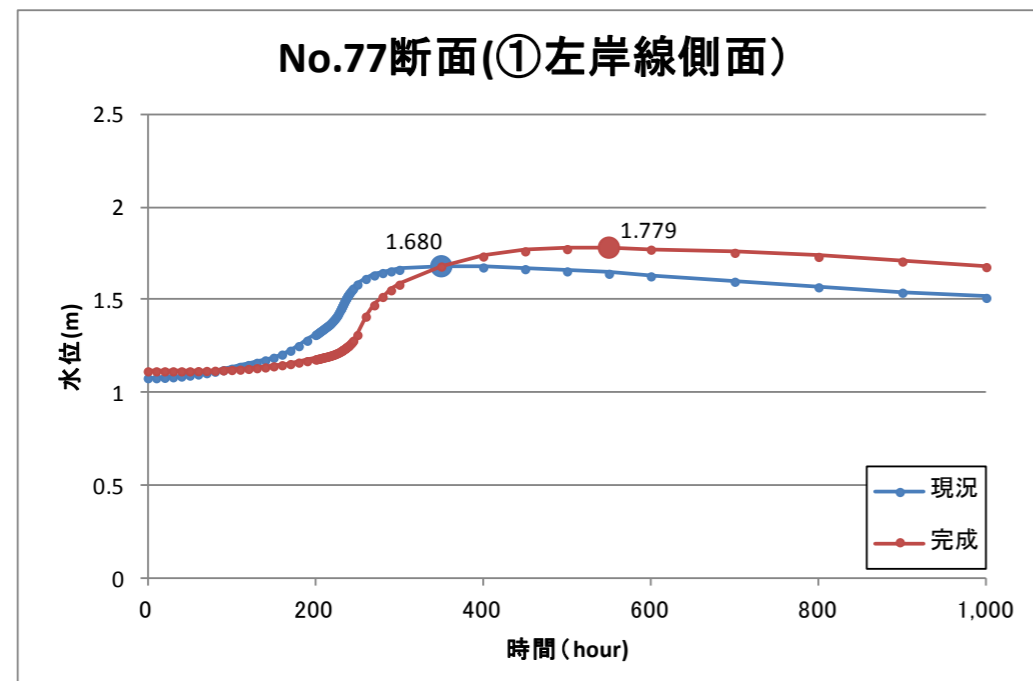
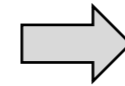
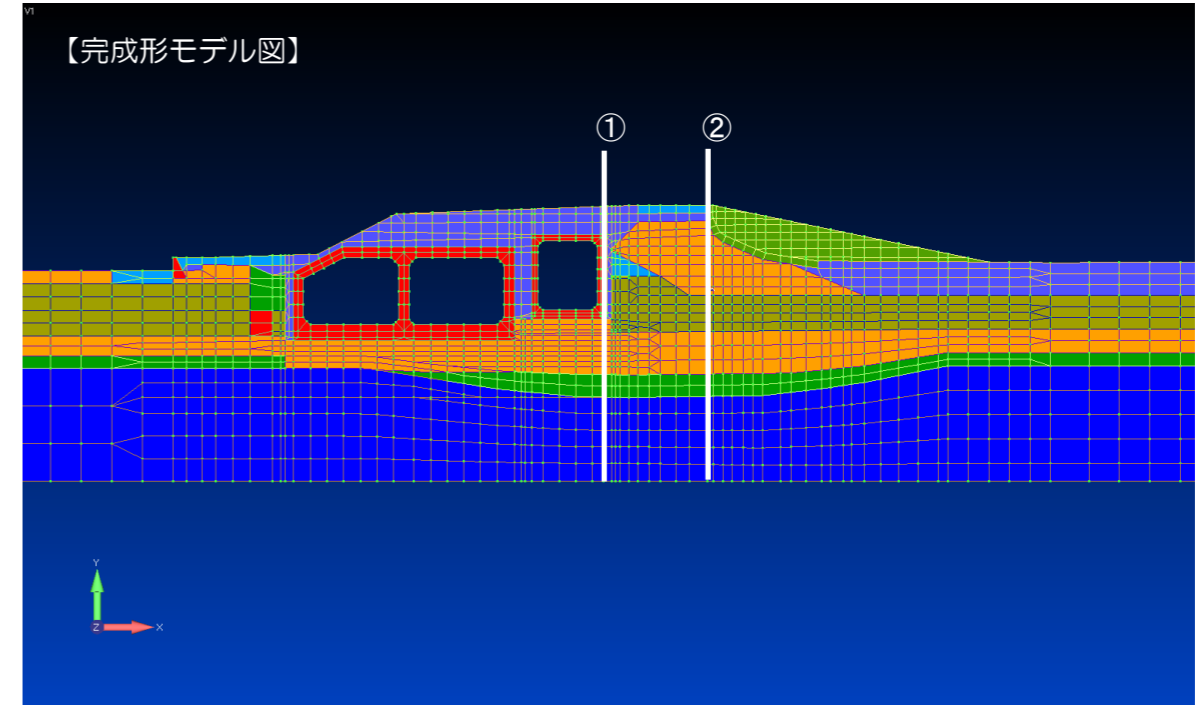
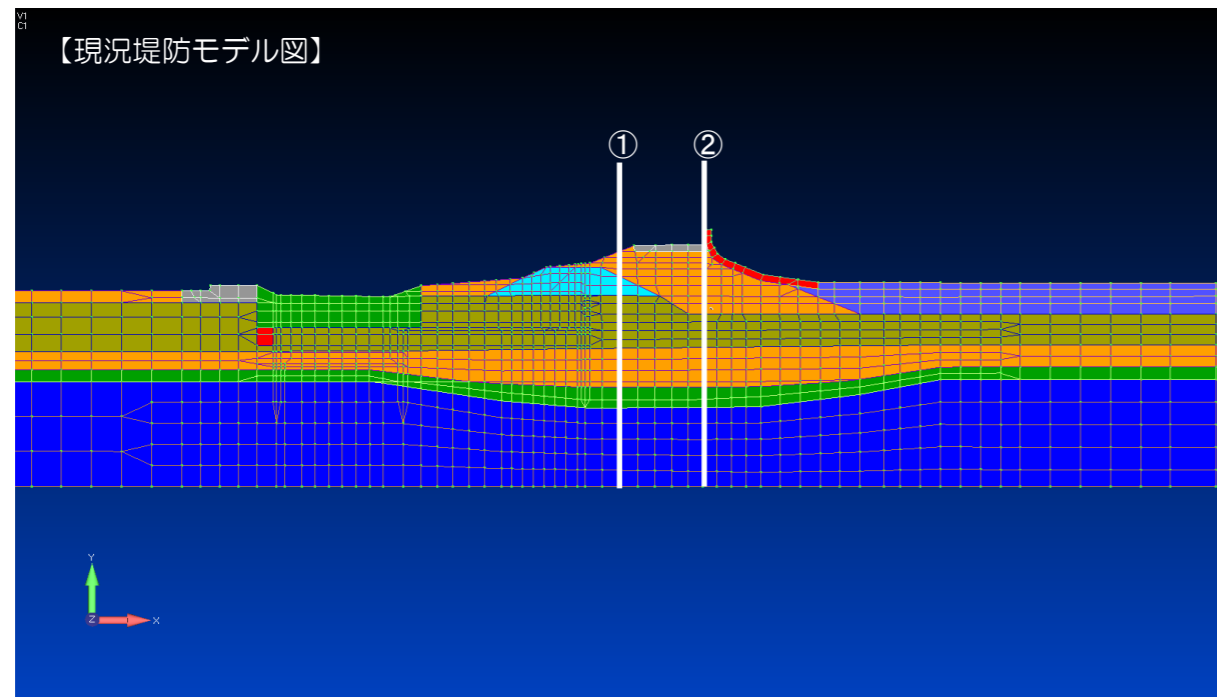
構造物周辺（①）において、ピーク時刻が完成時の方が遅れていることが分かる。これは、緩傾斜堤として整備することで浸透路長が長くなることなどがその要因であると考えられる。その傾向はデルタ部（②）も同様であり、ピーク時刻は遅れるものの、堤体内水位は完成形の方が低くなる結果となる。パイピング破壊の照査については①のピーク時刻付近で照査することとする。



なお、No. 69断面と同様な傾向（完成後の方がピーク時刻は遅くなるが、水位が低くなる）がNo. 94、No. 132、No. 204、No. 219断面で現れている。

その他断面（No. 77、No. 184）については完成時の方が堤体内水位が高くなる結果となっている。それら断面を代表してNo. 77断面の結果を以下に示す。

No. 77断面はランプ部であり、堤体への抵触幅が大きな断面となっている。他の一般部断面に比べ、堤防天端付近の完成形の浸潤面が現況よりも高くなっており、道路ボックスが透水層を遮断する影響が大きく出ているものと考えられる。



3.2 構造物回り及び堤内側基礎地盤のパイピング破壊について

選定断面の構造物周辺における浸潤面のピーク時刻付近の動水勾配について検討を行う。

構造物周辺に着目すると、構造検討の照査基準値 ($i=0.5$) に比べ小さな値となっていることから、構造物周辺の横断方向のパイピング破壊について、可能性は低いと思われる。

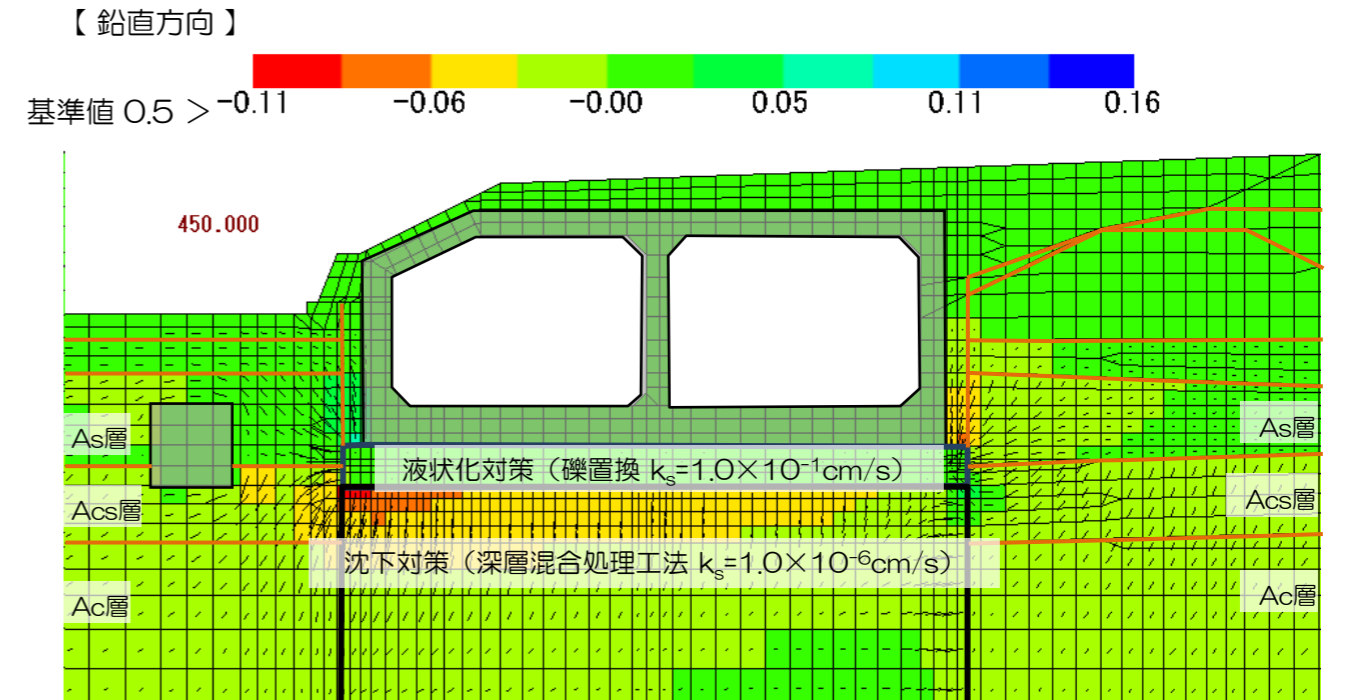
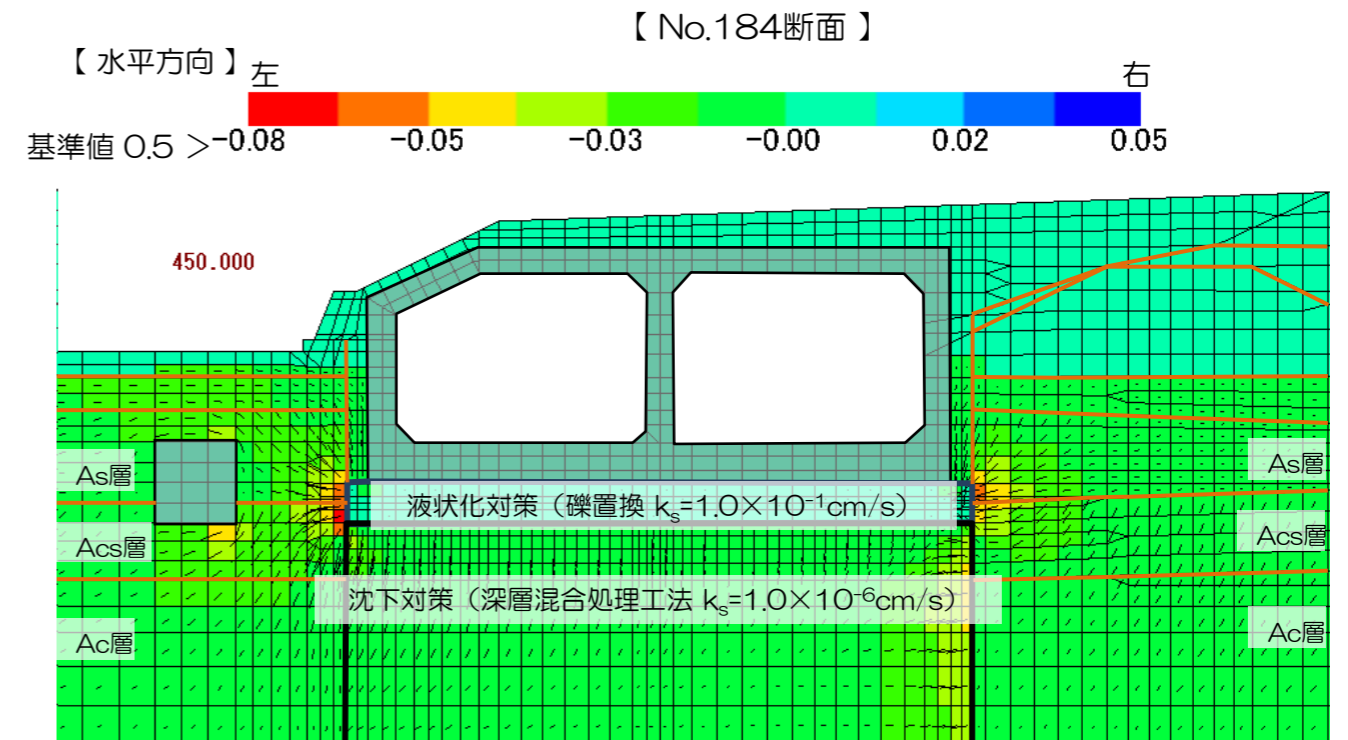
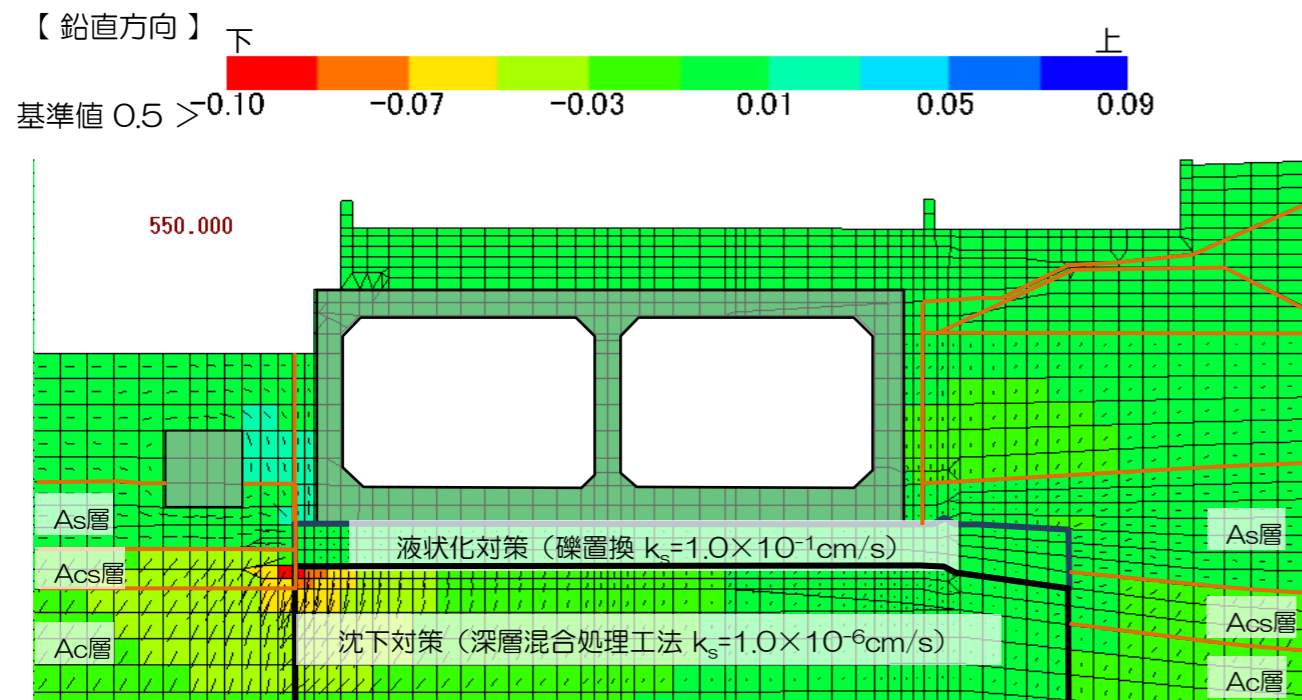
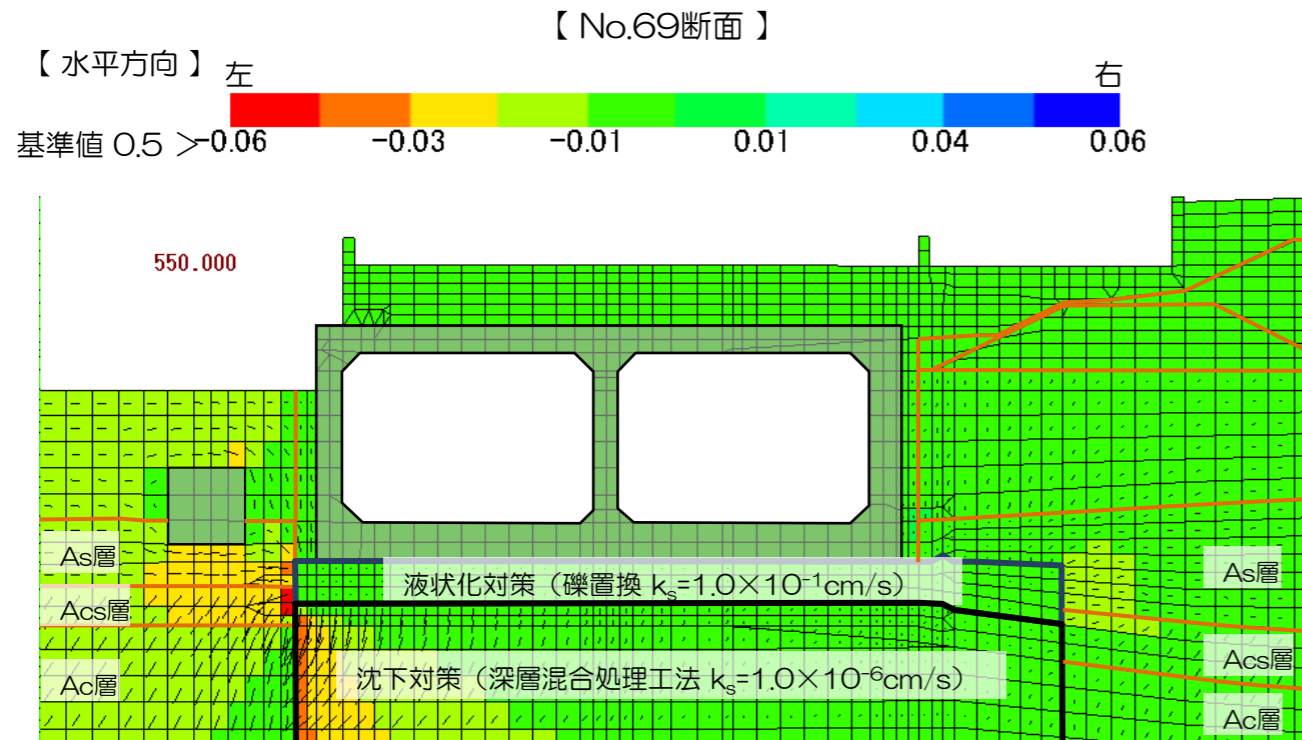
外力条件となる河川水の水位勾配は、緩やかであることから、堤体内水位の縦断方向の水位勾配は横断方向と比較して緩やかになると考えられ、縦断方向の動水勾配の値も小さく、水みちの発生は生じないと考えられる。

ただし、既設構造物周辺や非常出口等断面変化箇所などの局所的な縦断方向の動水勾配については、今後平面二次元浸透流解析等を実施し、構造物に沿った縦断方向の水みち発生による影響を検討することとする。

また、堤内側基礎地盤については、鉛直方向の動水勾配は基準値に対して非常に小さく、パイピング破壊の可能性は低いと考えられる。

ただし、No69断面においては、堤内地盤高が低いため、解析上、初期状態で 1.8kN/m^2 程度、ピーク時で 6.4kN/m^2 程度被圧されている。

※コンターの凡例値は、それぞれの解析結果の最大値、最小値を示す。



4. すべり破壊に対する安全性について

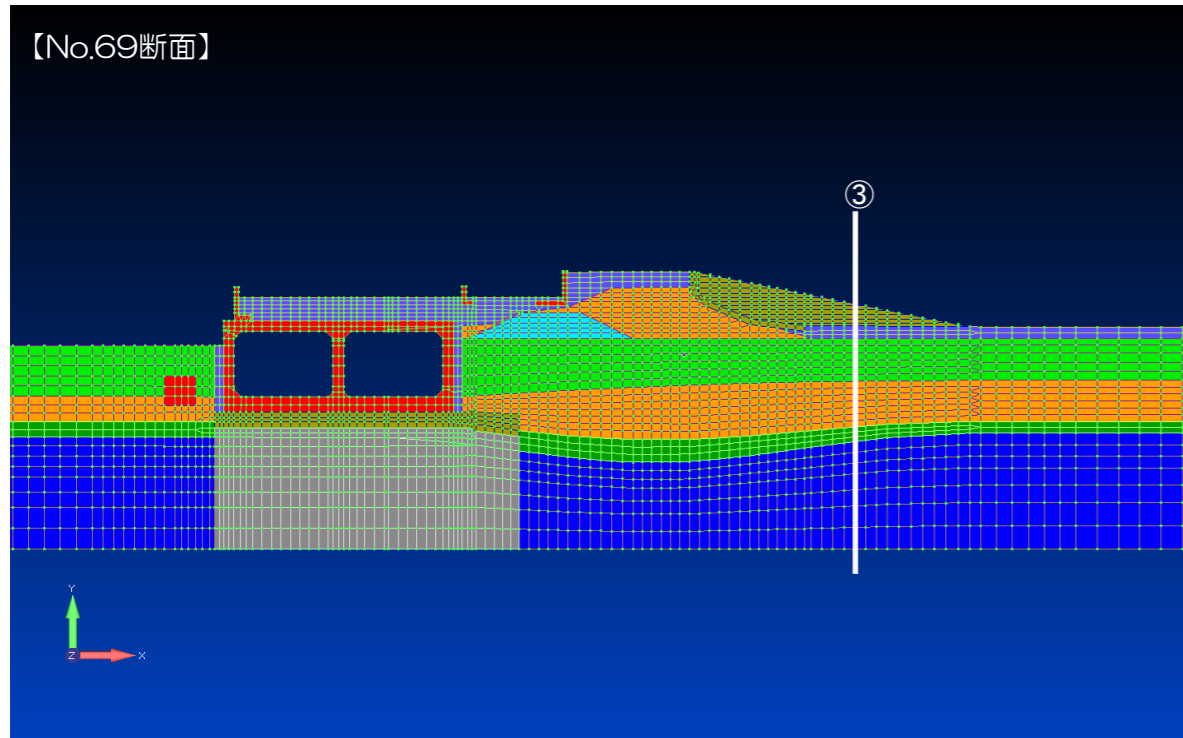
⇒：確保機能低下の要因

LC-1：すべり破壊に対する安全性を確保すること

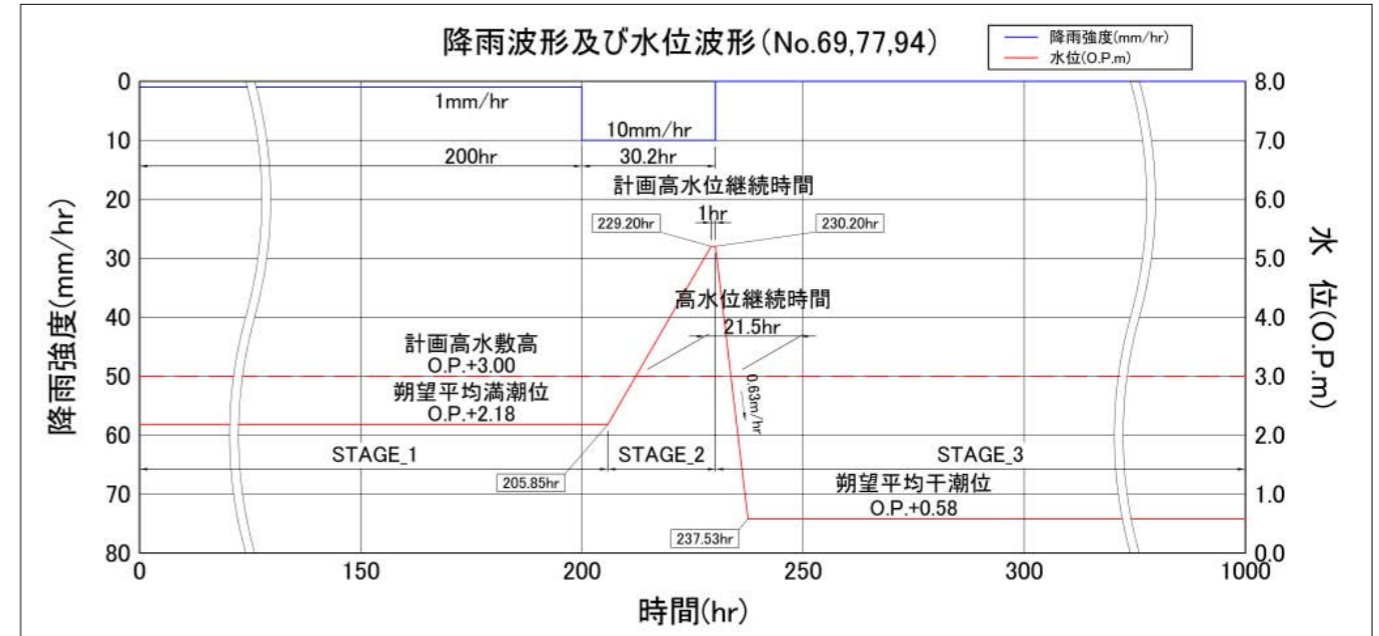
⇒堤体内浸潤面上昇によりせん断強度が低下し、堤体のすべり破壊が発生する。

4.1 川表側のすべり破壊に対する安全性

すべり破壊に対する安全性については、川表側のり尻付近の堤体内水位のピーク時刻付近で照査することとする。



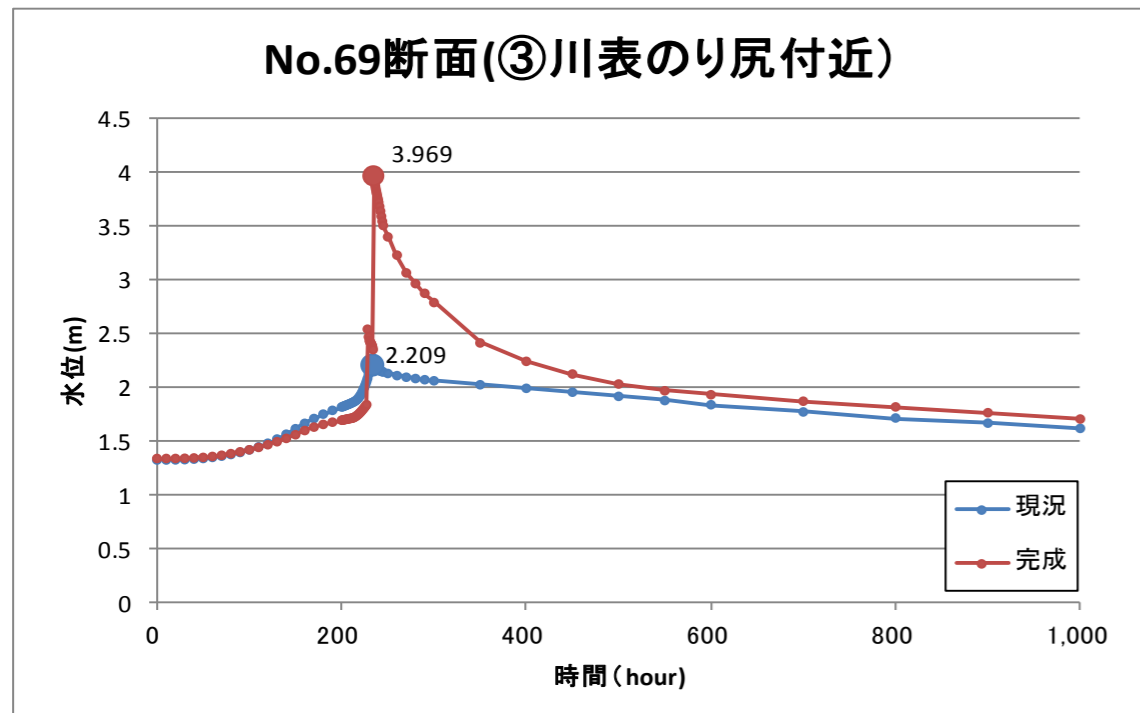
- STAGE_0 堤内側境界条件は、O.P. -1.4mの水位固定とし、堤外側境界を朔望平均満潮位O.P.+2.2mで定常解析を行い初期状態とする。
- STAGE_1 事前降雨 (1mm/hr、200hr)
- STAGE_2 計画降雨+水位上昇 (200hr~230.2hr)
- STAGE_3 水位低下 0.63mm/hr (230.2hr~1000hr)



すべり破壊に対する安全率を以下に示す。

川表側のすべり破壊については、基準値 (1.44) を満足し、かつ、現況安全率以上の結果となったため、すべり破壊の可能性は低いと考えられる。

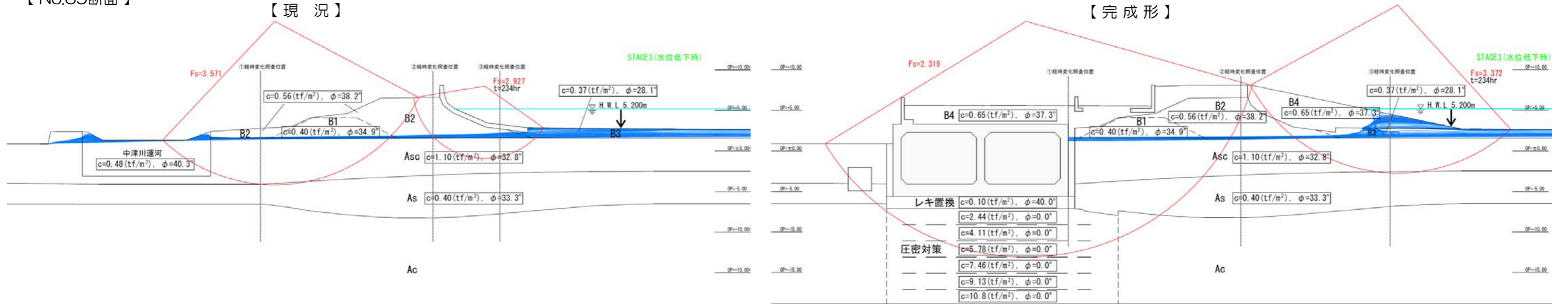
ただし、川裏側の下流部 (No. 69断面、No. 77断面、No. 94断面) においては、現況が高潮特殊堤であることから、完成時においては、すべり側に作用する増加荷重が大きくなるため現況安全率より低くなるものの、基準値を大きく上回っており、すべり破壊の可能性は低いと考えられる。



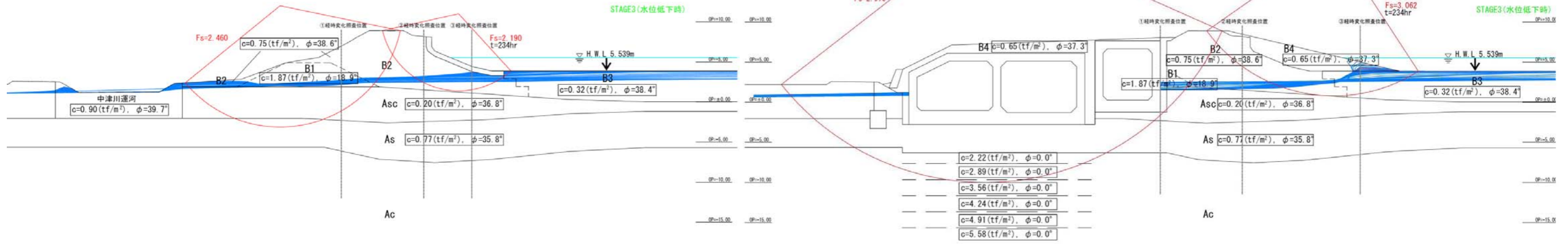
※ 現況が高潮特殊堤であるため、完成時との差が生じている

断面No.	距離票	すべり安全率			
		川表側		川裏側	
		現況堤防	完成時	現況堤防	完成時
No.69	L4.8k+102	2.93	3.37	3.57	2.32
No.77	L5.0k+055	2.47	3.23	3.32	2.89
No.94	L5.2k+188	2.52	3.34	3.13	2.74
No.132	L6.0k+140	2.19	3.06	2.46	2.98
No.184	L7.0k+166	1.73	2.51	2.56	3.19
No.204	L7.4k+185	1.66	2.47	2.31	3.71
No.219	L7.8k+105	1.66	2.48	2.29	3.20

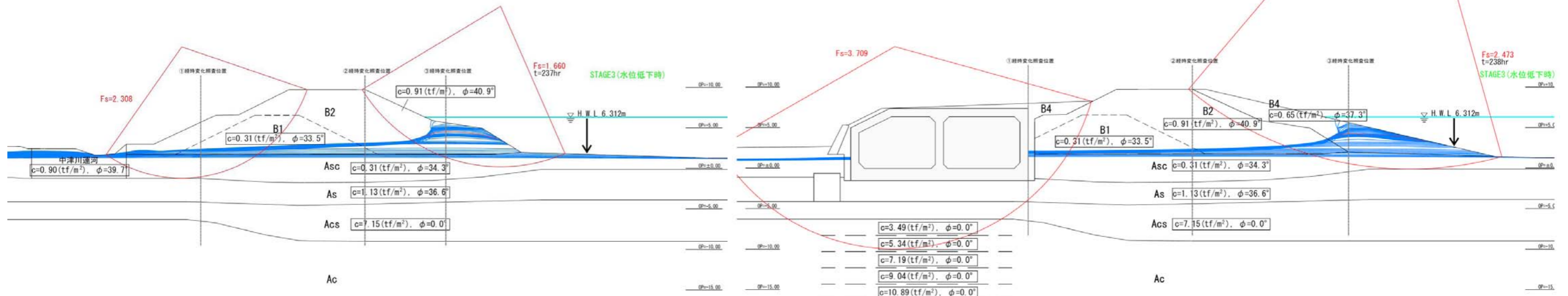
【No.69断面】



【No.132断面】



【No.204断面】



5. 全線評価のまとめ（完成時）

一体構造物とした場合に必要とされる耐浸透機能について、代表7断面による定量的評価結果より以下のとおり整理した。

		確保機能に対する評価	今後の課題
堤防(土堤) の機能を満 たすこと	耐浸透	<p>●耐震機能検討によりボックスと地盤との間の剥離は局所的なものに留まり、連続的ではないことから、耐浸透機能に及ぼす影響は少ないと考えられる。なお、道路機能維持を目的として、道路下面の液状化対策を施すこととし、この液状化対策工はボックス下面の通水性の確保を伴ったものとしていることから、耐浸透機能に及ぼす影響は少ないと考えられる。</p> <p>●経年変化（圧密沈下）検討において、道路機能維持を目的としてボックス下面に地盤対策工を設置することとする。この地盤対策工の設置にあたっては、道路ボックス下面の通水性の確保を目的とした通水層を確保するため、耐浸透機能に及ぼす影響は少ないと考えられる。地盤対策工を設置しない箇所においては、圧密沈下が生じるものの、顕著な透水層の変化が生じないことから耐浸透機能に及ぼす影響は少ないと考えられる。</p> <p>○第4回委員会における耐浸透機能検討において、降雨浸透は堤体内浸潤面上昇に顕著に影響を及ぼすことから、降雨浸透対策を実施することとする。</p> <p>※第5回委員会では、上記対策工を考慮したモデルにより耐浸透機能に対する検討を実施することとする。</p> <p>① LC-1: ●地下水流動阻害(堤体内浸潤面上昇)により水みち発生を起こさないこと</p> <ul style="list-style-type: none"> 道路ボックス周辺の横断方向の動水勾配は、浸潤面上昇した場合でも構造の手引きの照査基準値 (i=0.5) に対して小さな値を示す。 道路ボックスの設置により、堤体内の浸潤面は若干の変動が見られる。特に道路ボックス川表側においては、浸潤面上昇が生じている。 本委員会の検討において、道路ボックス川表側での水位上昇の抑制を目的とした降雨浸透対策とボックス下面の通水層の設置を行うこととする。 <p>② LC-2: ●地下水流動阻害により、構造物に沿った縦断方向の水みち発生を起こさないこと</p> <ul style="list-style-type: none"> 外力条件となる河川水の水位勾配は、緩やかであることから、堤体内水位の縦断方向の水位勾配は横断方向と比較して緩やかになると考えられ、LC-1の検討結果から横断方向における動水勾配の値が小さいことから、縦断方向の動水勾配の値も小さく、水みちの発生は生じないと考えられる。 堤体内浸潤面に影響を及ぼす降雨浸透は、降雨浸透防止対策を実施することから縦断方向の動水勾配に与える影響は少ないと考えられる。 <p>③ LC-3: ●基礎地盤のパイピング破壊に対する安全性を確保すること</p> <ul style="list-style-type: none"> 堤内地の基礎地盤については、鉛直方向の動水勾配は非常に小さい値となっており、パイピング破壊の可能性は低いと考えられる。ただし、No.69断面（4.8k付近）においては、堤内地盤高が低い事もあり、初期状態で既に被圧状態にある。 <p>④ LC-4: ●すべり破壊に対する安全性を確保すること</p> <ul style="list-style-type: none"> 川表、川裏の円弧すべりによる最小すべり安全率は、現行指針（1.44）を満足する。 <p>⑤ LC-5: ●土と構造物間が洪水・降雨時の浸透や変形により、堤体の弱体化や水みち発生を起こさないこと</p> <ul style="list-style-type: none"> LC-1~LC-4について確保機能を満足していることから、複合的な要因による堤防の弱体化等の発生の可能性は低いと考えられる。ただし、堤体内浸潤面の変動による堤体への影響をモニタリングにより確認していくこととする。 <p><まとめ></p> <ul style="list-style-type: none"> 横断方向の地下水流動阻害に対しては、河川水の影響よりも降雨浸透による影響が顕著であった。 道路ボックスの設置により、多くの区間で浸潤面は上昇するが、構造物周りの動水勾配は構造の手引きの照査基準値を満足し、すべり安全率についても設定した基準値を満足する結果となる。 	<p>① LC-1 —</p> <p>② LC-2 既設構造物周りや道路構造物断面変化位置周辺の局所的な縦断方向の動水勾配について、平面二次元浸透流解析等を用いて検証する必要がある。</p> <p>③ LC-3 —</p> <p>④ LC-4 —</p> <p>⑤ LC-5 各種対策の機能を確認できるモニタリングを実施するための詳細な観測・計測計画の策定が必要である。</p>