

技術資料 Vol.17

河川堤防の安全性の照査
2次元浸透流解析及び斜面安定解析



株式会社クリアテック

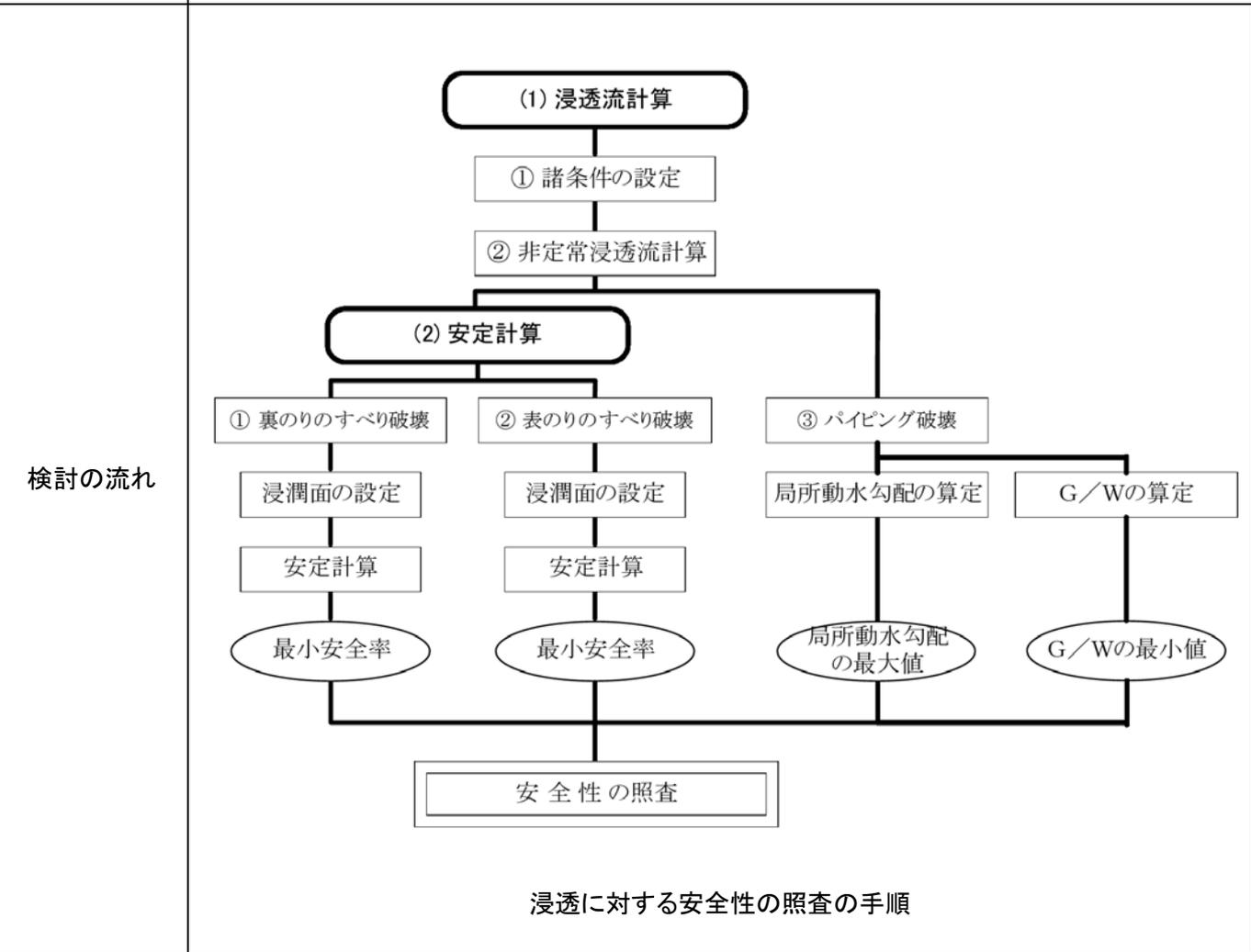
東京都千代田区西神田 2 丁目 5-8 共和 15 番館 6 階

TEL:03-6268-9108 / FAX:03-6268-9109

<http://www.createc-jp.com/>

河川堤防の安全性の照査 2次元浸透流解析及び斜面安定解析

解析種別	2次元浸透流解析、斜面安定解析
キーワード	河川堤防、浸透流解析、斜面安定解析、局所動水勾配
解析の目的	降雨時・河川高水位時における河川堤防の安全性についての確認
解析の概要	<ul style="list-style-type: none"> 河川堤防をモデル化して浸透流解析を行い、設計外力（降雨・河川水位）における河川堤防内の水位変動状況を確認する。 水位変動を考慮した斜面安定解析を実施して堤防の安全性を確認する。 浸透流解析の結果からパイピング破壊についての検討を行う。



関連資料	<ul style="list-style-type: none"> 中小河川における堤防点検・対策の手引き（案）平成16年11月 財団法人 国土技術研究センター
------	--

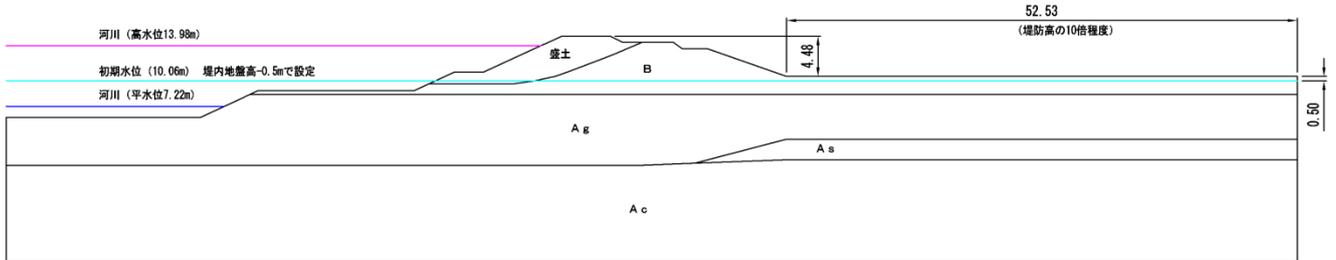
担当者の所見	<ul style="list-style-type: none"> メッシュ分割は外力条件や地盤の透水係数等を考慮して設定する必要がある。また、対策工はメッシュ幅に応じた透水係数を設定して表現するため、事前のメッシュ作成時に配慮しておくことが望ましい。 浸透流解析において初期水位の設定は、解析条件によって計算時間がかかったり収束性が悪かったりすることがある。そのため、解析条件に応じた初期水位の設定を適宜行う必要がある。 浸透流解析では、水位が変動する時間や降雨量が変化する時間で収束しないことが多い。そのため、解析ステップは外力条件の変化がある前後を細かく設定する必要がある。
--------	--

河川堤防の安全性の照査 2次元浸透流解析及び斜面安定解析

検討断面

- ・検討断面を以下の図に示す。

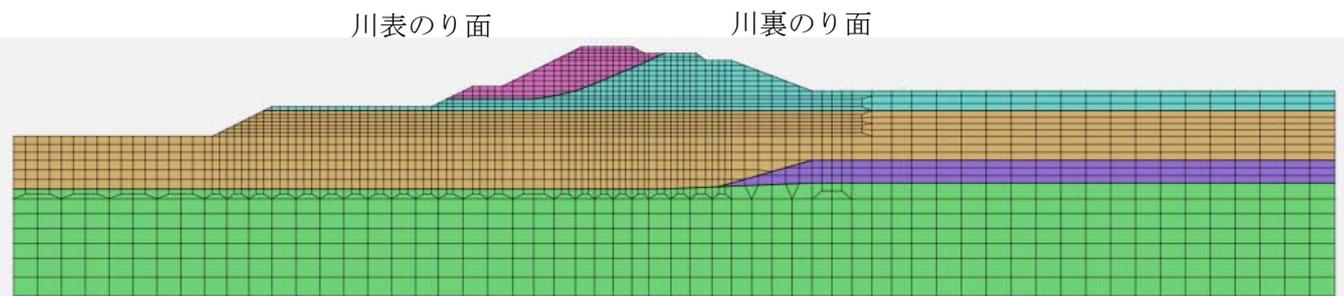
解析領域・初期水位については「中小河川における堤防点検・対策の手引き（案）」（以下「中小河川の手引き」）により設定した。



検討断面

側方境界は堤防高さの10倍程度とする。

地盤の初期水位は堤内地盤面の-0.5mの高さとする。



メッシュ図

解析物性値

- ・浸透流解析に用いた物性値を以下に示す。

地盤物性値(浸透流解析)

土層		透水係数		比貯留係数 (1/m)
		(cm/sec)	(m/hour)	
盛土	粘性土	1.0×10^{-5}	0.00036	0.001
B	粘性土	1.0×10^{-4}	0.0036	0.001
Ag	砂礫	1.0×10^{-2}	0.36	0.0001
As	砂質土	1.0×10^{-3}	0.036	0.0001
Ac	粘性土	1.0×10^{-6}	0.000036	0.001

比貯留係数は「中小河川の手引き」より設定した。

河川堤防の安全性の照査 2次元浸透流解析及び斜面安定解析

不飽和浸透特性は土質区分に合わせて以下の値を設定する。

(「中小河川の手引き」より)

a) みかけ体積含水率 θ と比透水係数 K_r の関係

礫質土 : [G], [G-F], [GF] 砂質土 : [S], [S-F], [SF]		粘性土 : [M], [C]	
体積含水率 θ	比透水係数 K_r	体積含水率 θ	比透水係数 K_r
0.000	0.000	0.000	0.000
0.010	0.010	0.005	0.003
0.020	0.020	0.010	0.006
0.030	0.030	0.015	0.010
0.040	0.040	0.020	0.015
0.050	0.050	0.025	0.020
0.060	0.060	0.030	0.030
0.070	0.080	0.035	0.040
0.080	0.090	0.040	0.050
0.090	0.110	0.045	0.070
0.100	0.130	0.050	0.090
0.110	0.160	0.055	0.100
0.120	0.190	0.060	0.140
0.130	0.230	0.065	0.180
0.140	0.290	0.070	0.230
0.150	0.360	0.075	0.290
0.160	0.450	0.080	0.360
0.170	0.550	0.085	0.460
0.180	0.650	0.090	0.590
0.190	0.800	0.095	0.750
0.200	1.000	0.100	1.000

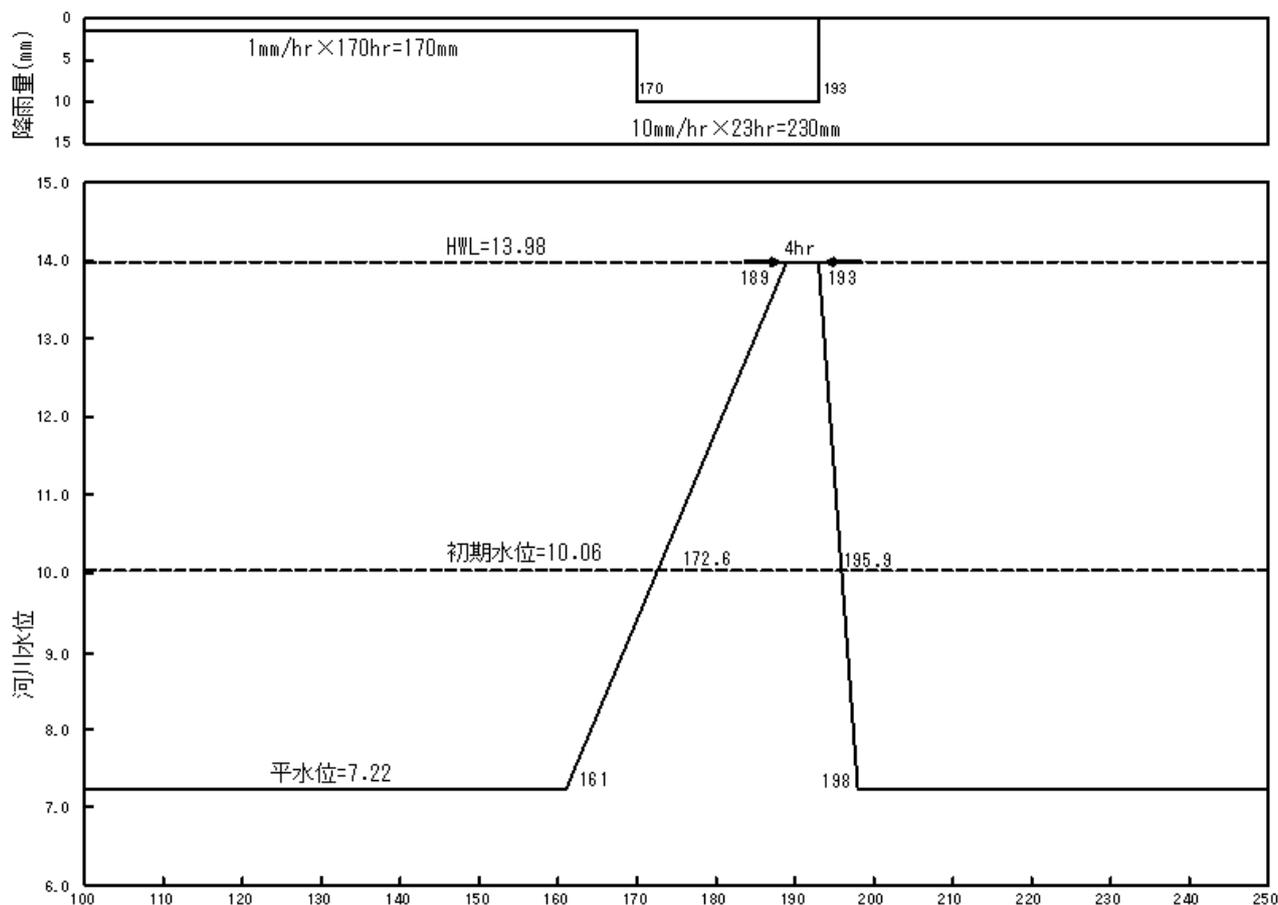
b) みかけ体積含水率 θ と負の圧力水頭 ψ の関係

礫質土 : [G], [G-F], [GF] 砂質土 : [S], [S-F], [SF]		砂質土 : [SF]		粘性土 : [M], [C]	
体積含水率 θ	圧力水頭 ψ	体積含水率 θ	圧力水頭 ψ	体積含水率 θ	圧力水頭 ψ
0.049	12.00	0.119	12.00	0.059	12.00
0.050	1.90	0.120	1.90	0.060	1.90
0.056	1.50	0.123	1.50	0.062	1.50
0.068	1.00	0.129	1.00	0.066	1.00
0.078	0.80	0.135	0.80	0.068	0.80
0.084	0.70	0.138	0.70	0.070	0.70
0.090	0.60	0.141	0.60	0.072	0.60
0.100	0.50	0.146	0.50	0.074	0.50
0.112	0.40	0.153	0.40	0.076	0.40
0.126	0.30	0.160	0.30	0.081	0.30
0.136	0.25	0.166	0.25	0.084	0.25
0.150	0.20	0.173	0.20	0.088	0.20
0.164	0.15	0.181	0.15	0.092	0.15
0.178	0.10	0.188	0.10	0.095	0.10
0.190	0.05	0.195	0.05	0.098	0.05
0.200	0.00	0.200	0.20	0.100	0.00

河川堤防の安全性の照査 2次元浸透流解析及び斜面安定解析

外力条件

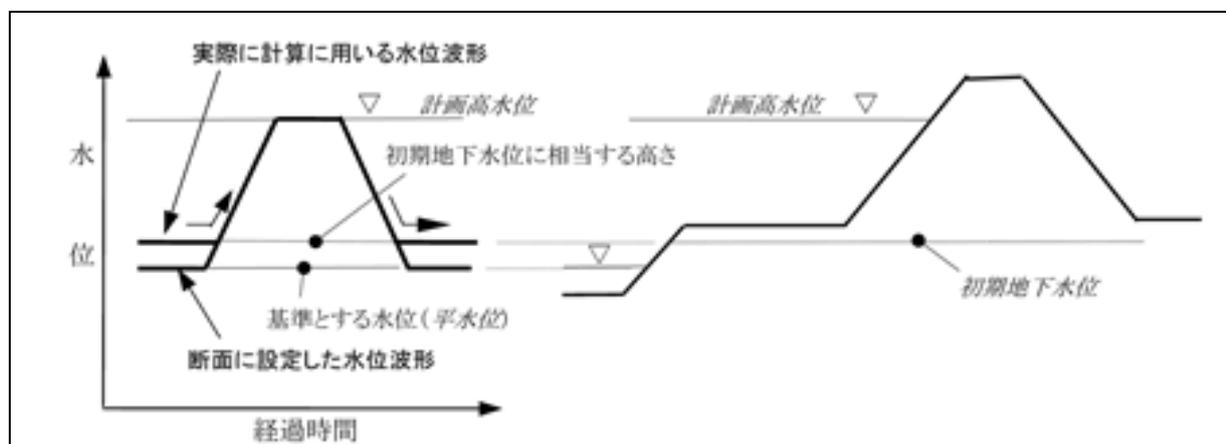
浸透流解析で用いる外力条件について以下に示す。



外力条件

「中小河川の手引き」より、平水位が設定した初期地下水位より低い場合には、以下の図に示すように、設定した水位波形の初期地下水位に相当する高さ以上の部分を用いれば計算が効率的であるとされている。

本検討では初期地下水位以上の水位波形を外力として用いた。

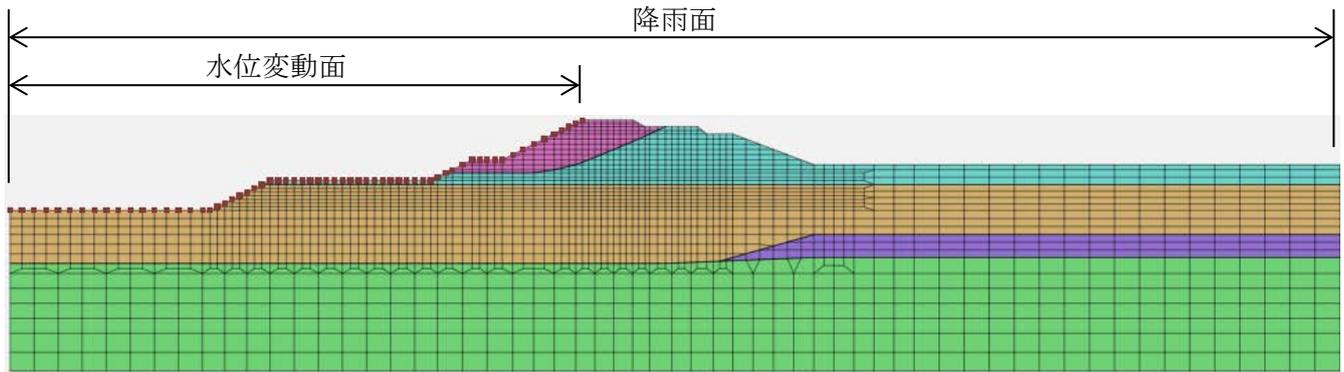


初期地下水位が平水位より高い場合に用いる水位波形

河川堤防の安全性の照査 2次元浸透流解析及び斜面安定解析

降雨面と水位変動面

降雨面は地表面の全節点に設定、水位変動面は地表面の河川側節点に設定する。

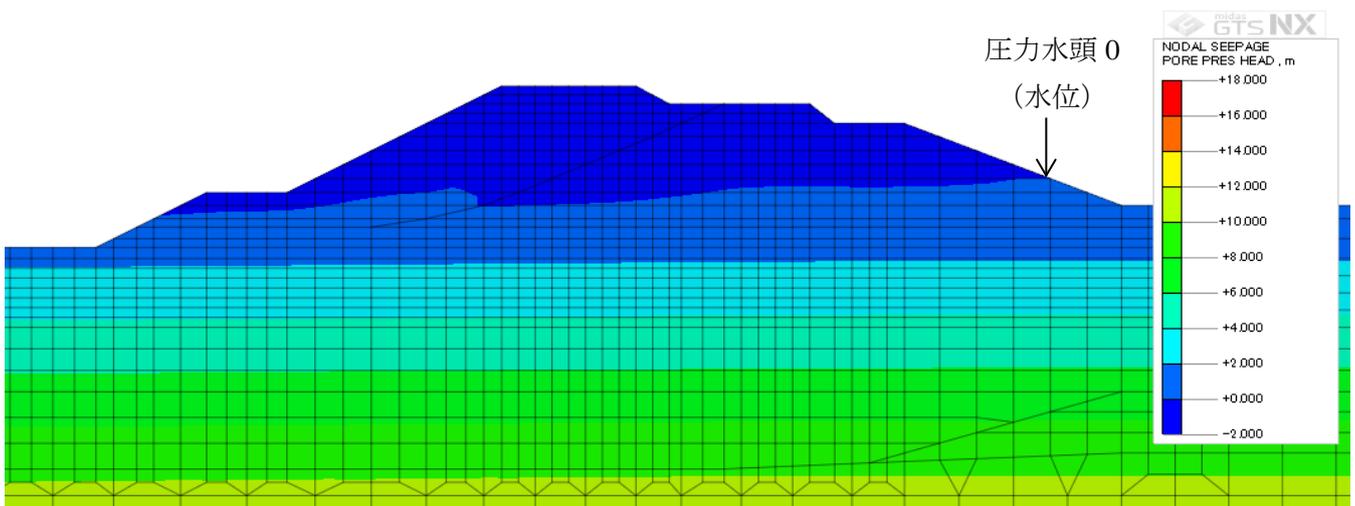


降雨面と水位変動面

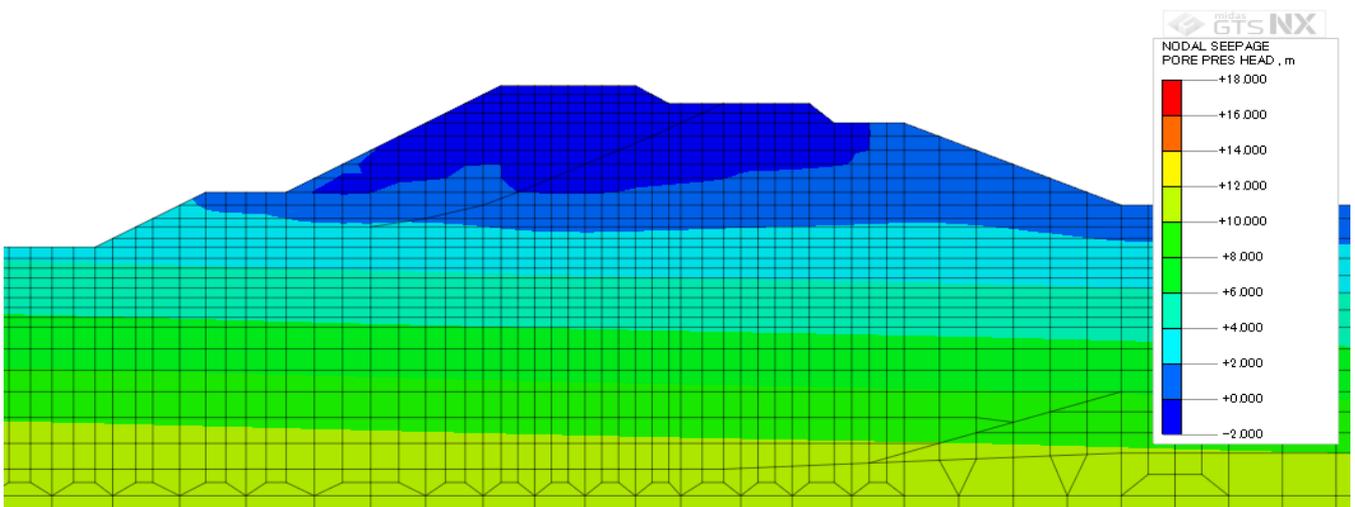
浸透流解析結果

圧力水頭コンター図を以下に示す。

出力した時間は水位上昇前 (172.6hr)、計画高水位時 (189hr, 193hr)、水位低下時 (195.9hr) とした。圧力水頭値が0となっている箇所まで水位が上昇していると考えられる。

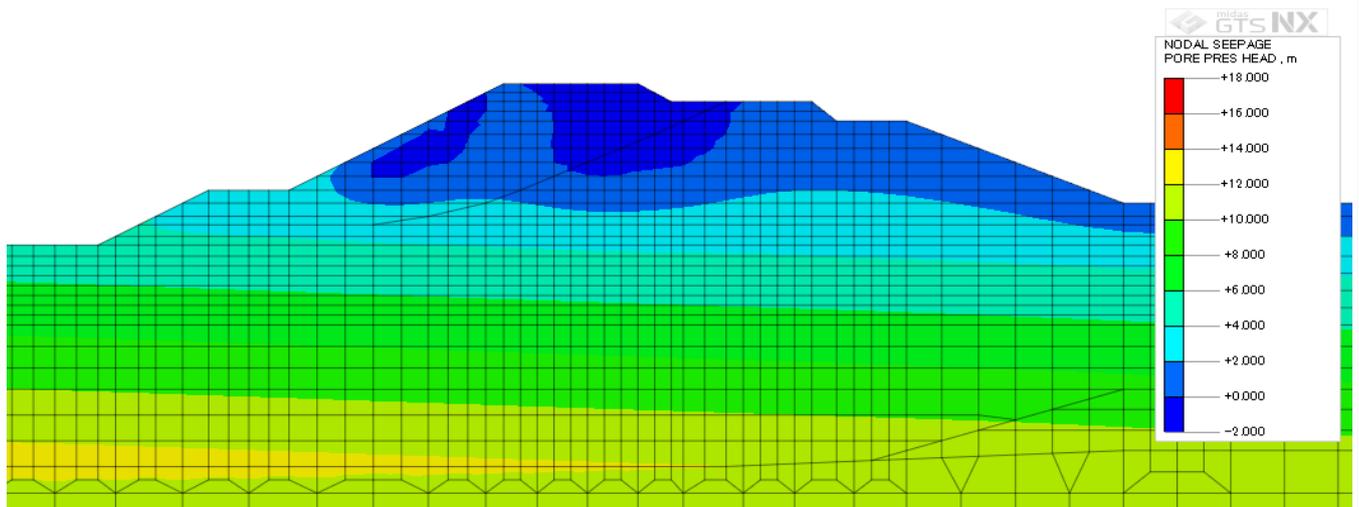


水位上昇前(172.6hr)

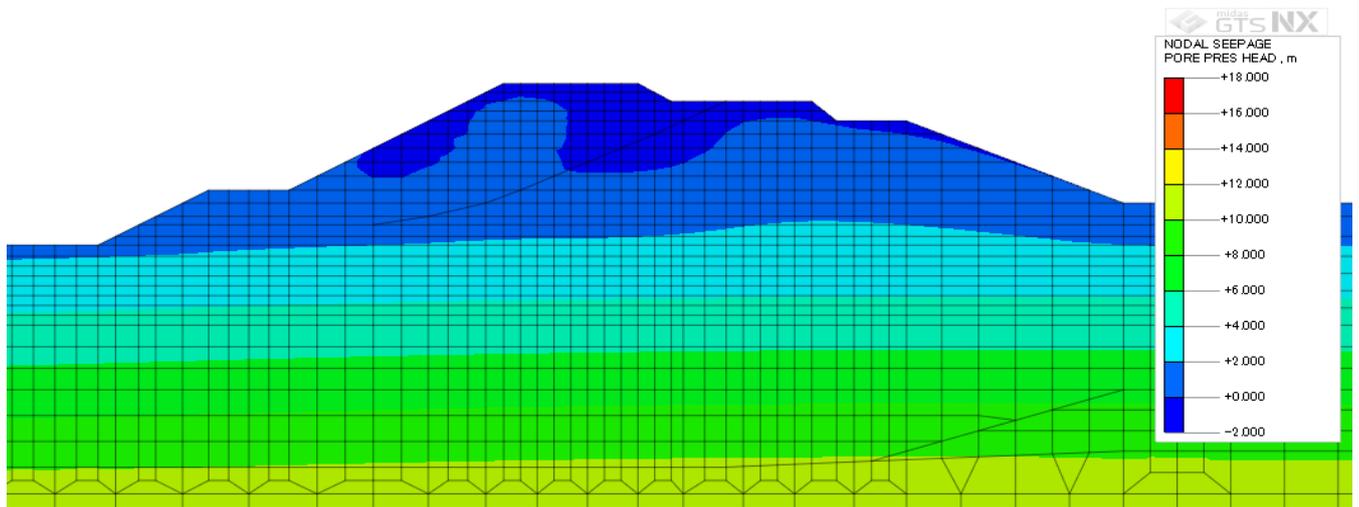


計画高水位時(189hr)

河川堤防の安全性の照査 2次元浸透流解析及び斜面安定解析

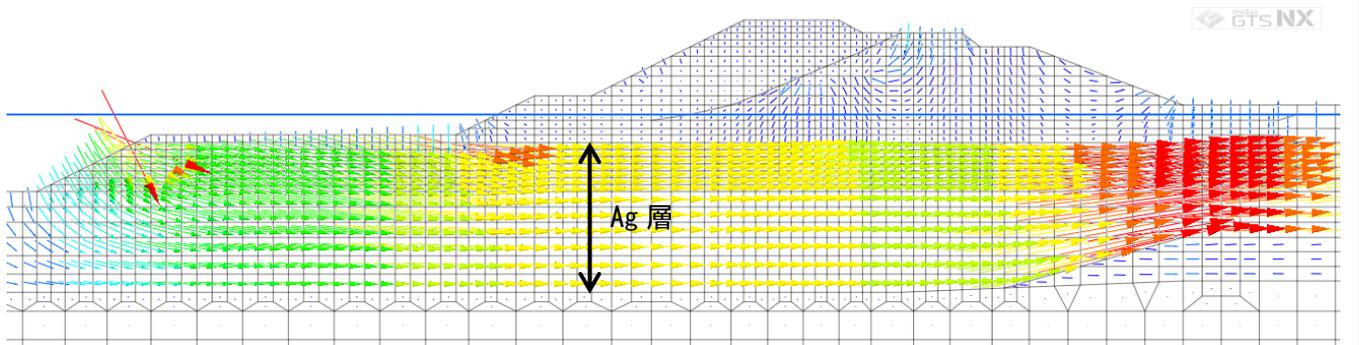


計画高水位時 (193hr)



水位低下時 (195.9hr)

水位が最も上昇していると考えられる計画高水位時 (193hr) の流速ベクトル図を以下に示す。
Ag 層からの流入が顕著であることがわかる。



流速ベクトル図 (193h.r)

河川堤防の安全性の照査 2次元浸透流解析及び斜面安定解析

パイピング破壊

・局所動水勾配

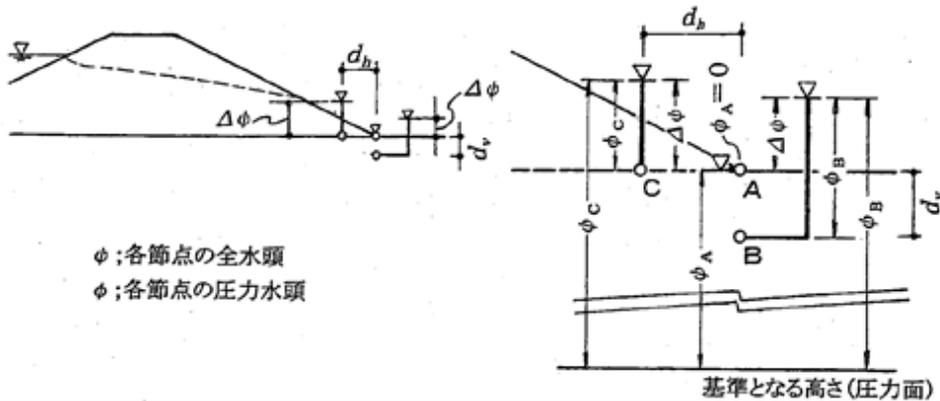
局所動水勾配は、浸透流解析の結果から得られた全水頭 ϕ あるいは圧力水頭 ϕ をもとに、裏のり尻近傍の基礎地盤について算出し、鉛直方向ならびに水平方向の最大値を求める。

許容値は 0.5 ($i < 0.5$) とする。

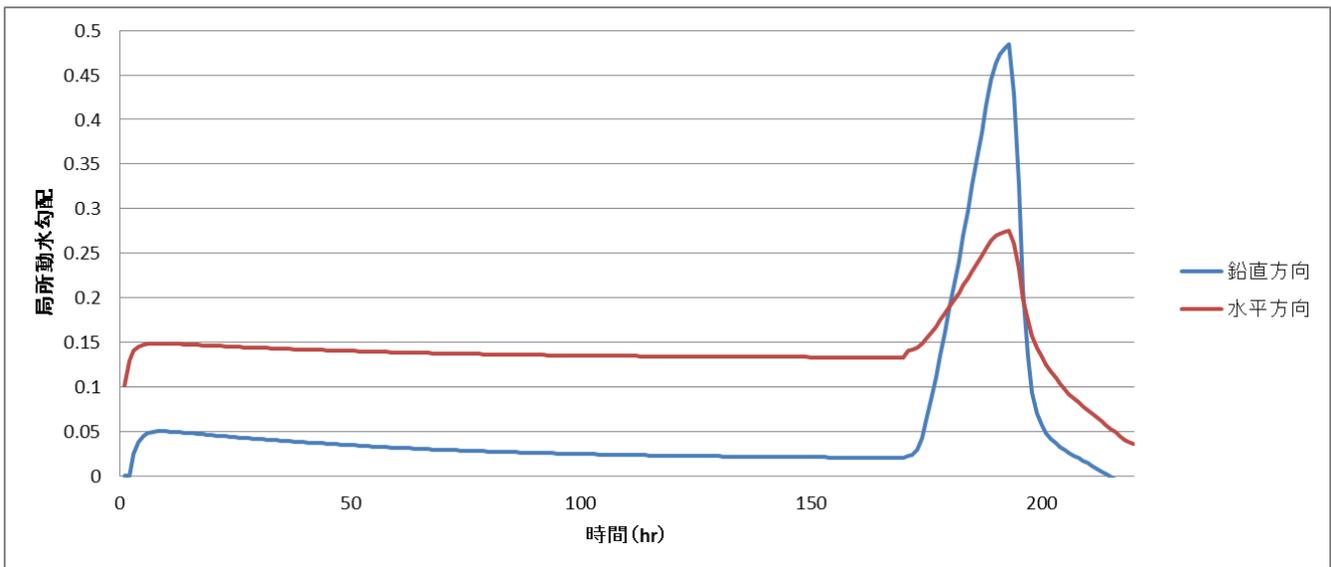
$$i_v = \frac{\Delta\phi}{d_v} = \frac{\Delta\phi - d_v \cdot \rho_w}{d_v} \quad (\text{鉛直方向})$$

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

- 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)
 - $\Delta\phi$: 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 ($\rho_w = 1.0 \text{ t/m}^3$)



局所動水勾配の算出方法



局所動水勾配計算結果

鉛直方向最大値 : 0.485 (193hr)、水平方向最大値 : 0.276 (193hr) となり許容値を満たしている。

河川堤防の安全性の照査 2次元浸透流解析及び斜面安定解析

・被覆土層の破壊判定

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/m²)

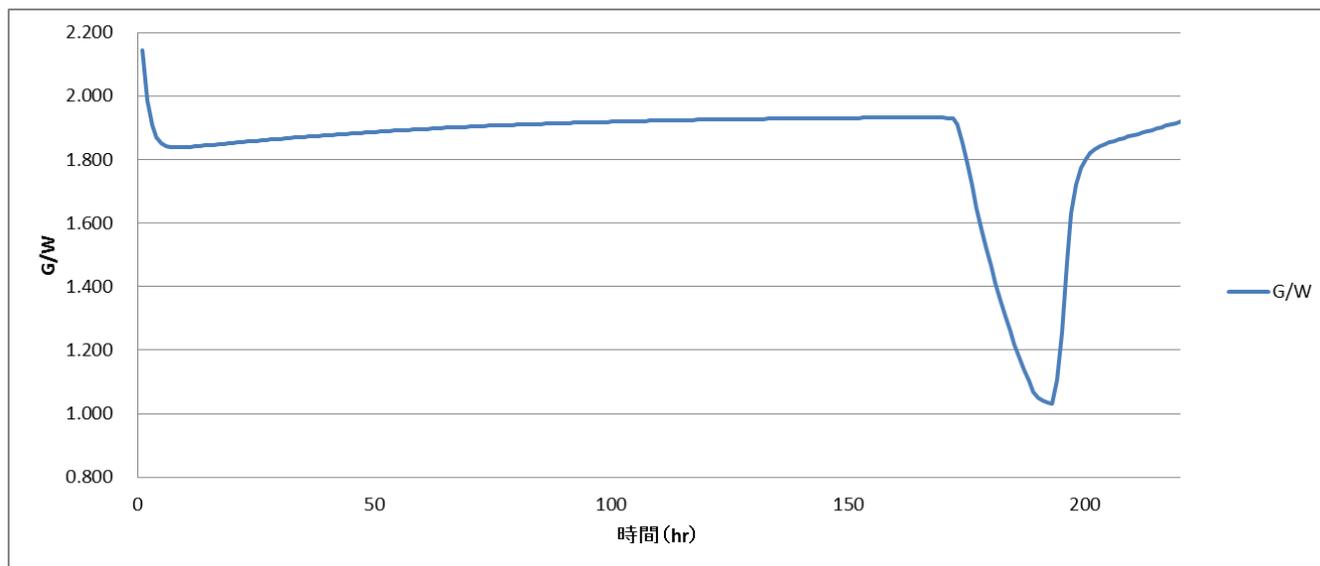
W ：被覆土層底面に作用する揚圧力 (tf/m²)

ρ_t ：被覆土層の密度 (t/m³)

H ：被覆土層の厚さ (m)

ρ_w ：水の密度 (t/m³)

P ：被覆土層底面の圧力水頭 (全水頭と位置水頭の差) (m)



G/W 計算結果

G/W の最小値：1.031 (193hr) > 1.0 となり許容値を満たしている。

斜面安定解析

浸透流解析の結果から高水位時の水位で斜面安定解析を実施して、堤防の安全性について照査する。

斜面安定解析の物性値

土層		単位体積重量 (kN/m ³)	内部摩擦角 (度)	粘着力 (kN/m ²)
1	盛土	16.0	20	10
2	B	16.0	20	10
3	Ag	19.0	35	0

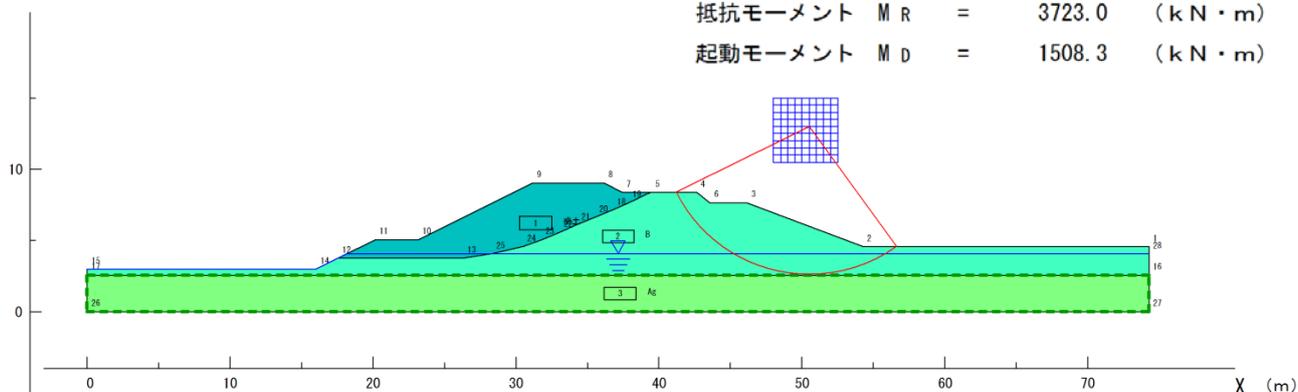
解析ケース

解析ケース	対象	水位
CASE1	裏のり面	初期水位
CASE2	表のり面	初期水位
CASE3	裏のり面	計画高水位
CASE4	表のり面	計画高水位

河川堤防の安全性の照査 2次元浸透流解析及び斜面安定解析

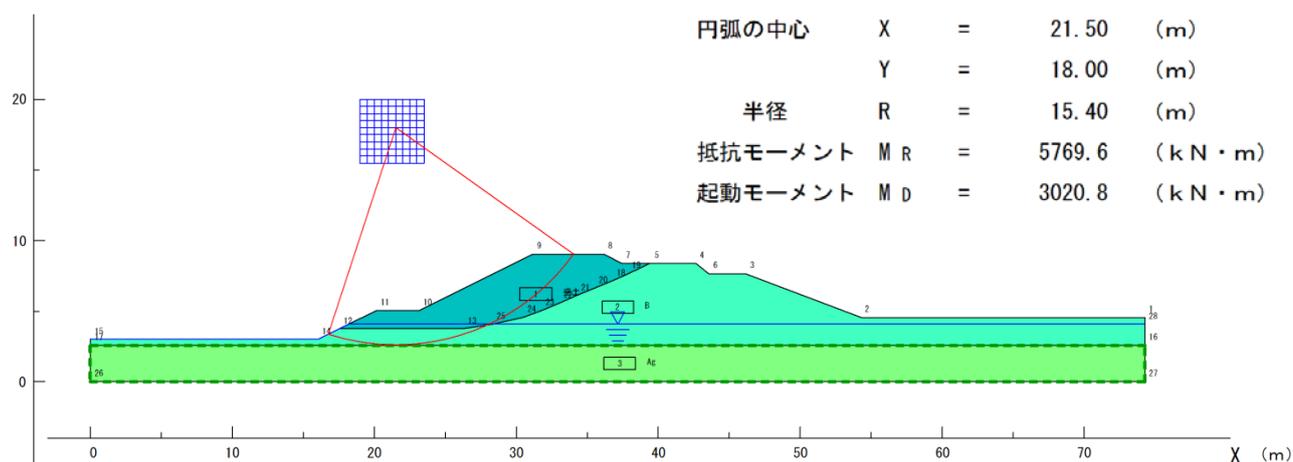
・ CASE1 裏のり面(初期水位)

最小安全率	$F_{S\ MIN}$	=	2.468
円弧の中心	X	=	50.50 (m)
	Y	=	13.00 (m)
	半径	R	= 10.40 (m)
抵抗モーメント	M_R	=	3723.0 (kN・m)
起動モーメント	M_D	=	1508.3 (kN・m)



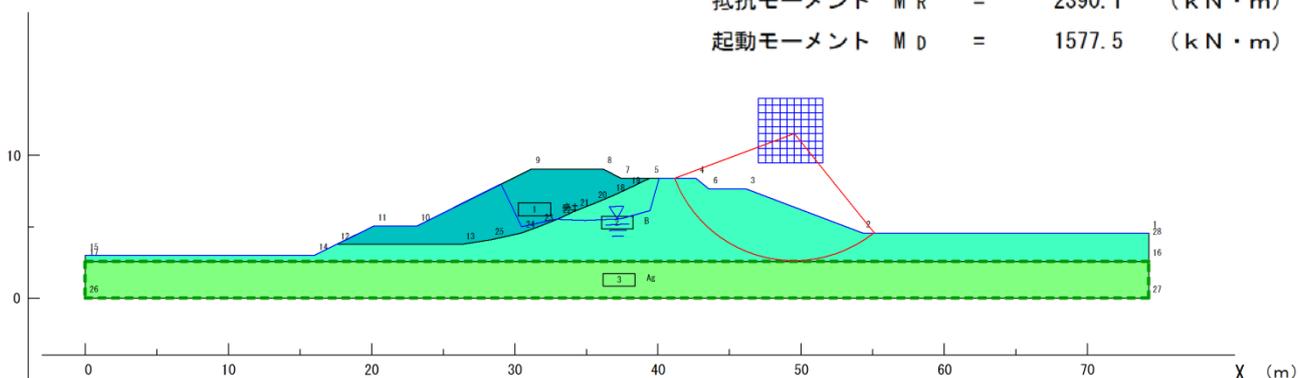
・ CASE2 表のり面(初期水位)

最小安全率	$F_{S\ MIN}$	=	1.910
円弧の中心	X	=	21.50 (m)
	Y	=	18.00 (m)
	半径	R	= 15.40 (m)
抵抗モーメント	M_R	=	5769.6 (kN・m)
起動モーメント	M_D	=	3020.8 (kN・m)



・ CASE3 裏のり面(計画高水位)

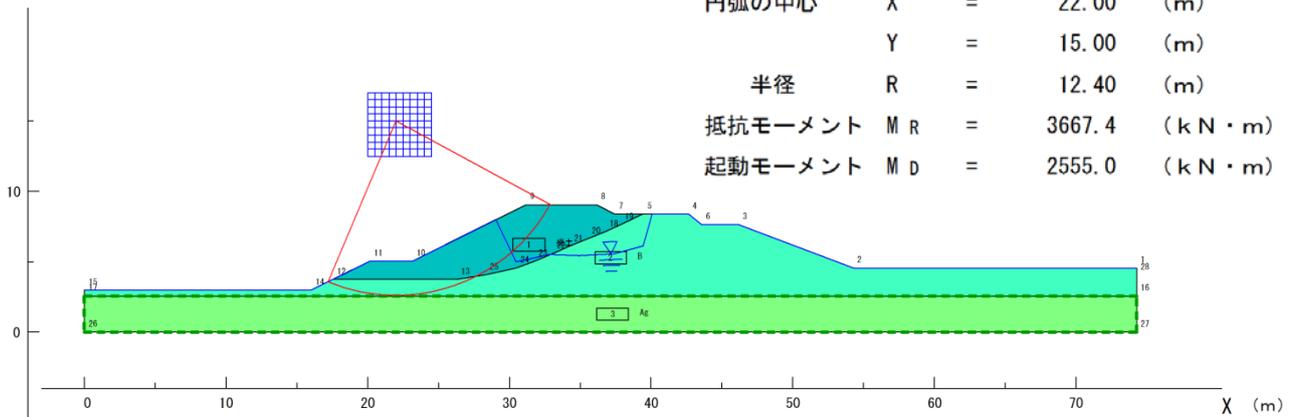
最小安全率	$F_{S\ MIN}$	=	1.515
円弧の中心	X	=	49.50 (m)
	Y	=	11.50 (m)
	半径	R	= 8.90 (m)
抵抗モーメント	M_R	=	2390.1 (kN・m)
起動モーメント	M_D	=	1577.5 (kN・m)



河川堤防の安全性の照査 2次元浸透流解析及び斜面安定解析

・CASE4 表のり面(計画高水位)

最小安全率 $F_{s\text{MIN}} = 1.435$
 円弧の中心 $X = 22.00$ (m)
 $Y = 15.00$ (m)
 半径 $R = 12.40$ (m)
 抵抗モーメント $M_R = 3667.4$ (kN・m)
 起動モーメント $M_D = 2555.0$ (kN・m)



表のり、裏のり共に水位の上昇によって安全率が低下するが 1.0 を上回っている。

照査結果まとめ

(許容値)

安定計算	①裏のりすべり破壊	初期水位	安全率	2.468	> 1.0
		計画高水位		1.515	
	②表のりすべり破壊	初期水位		1.910	
		計画高水位		1.435	
③パイピング破壊	局所動水勾配	水位	算定値	0.276	< 0.5
		鉛直		0.485	
	被覆土層の破壊	G/W		1.031	> 1.0

以上の結果より、河川水位の上昇による堤防の安全性が確認できた。