

第3回 円山川堤防調査委員会資料

平成16年12月24日

国土交通省 豊岡河川国道事務所

目次

1. 破堤原因の特定

1) 円山川右岸13.2k地点	3
(1) 破堤箇所 ^{おっぼり} の測量結果 (落堀)	4
(2) 破堤箇所の土質調査結果	8
(3) 破堤箇所の解析	10
(4) 堤体断面変化と局所安全率の関係	19
(5) 破堤のイメージ	20
(6) まとめ (円山川右岸13.2k)	21
2) 出石川左岸 5.4k地点	22
(1) 破堤箇所の土質調査結果	23
(2) 破堤箇所の解析	24
(3) 堤体断面変化と局所安全率の関係	28
(4) 出石川の洪水流の解析 (平面二次元不定流解析)	29
(5) 破堤のイメージ	35
(6) まとめ (出石川左岸5.4k)	36

目次

2. 円山川の地盤特性

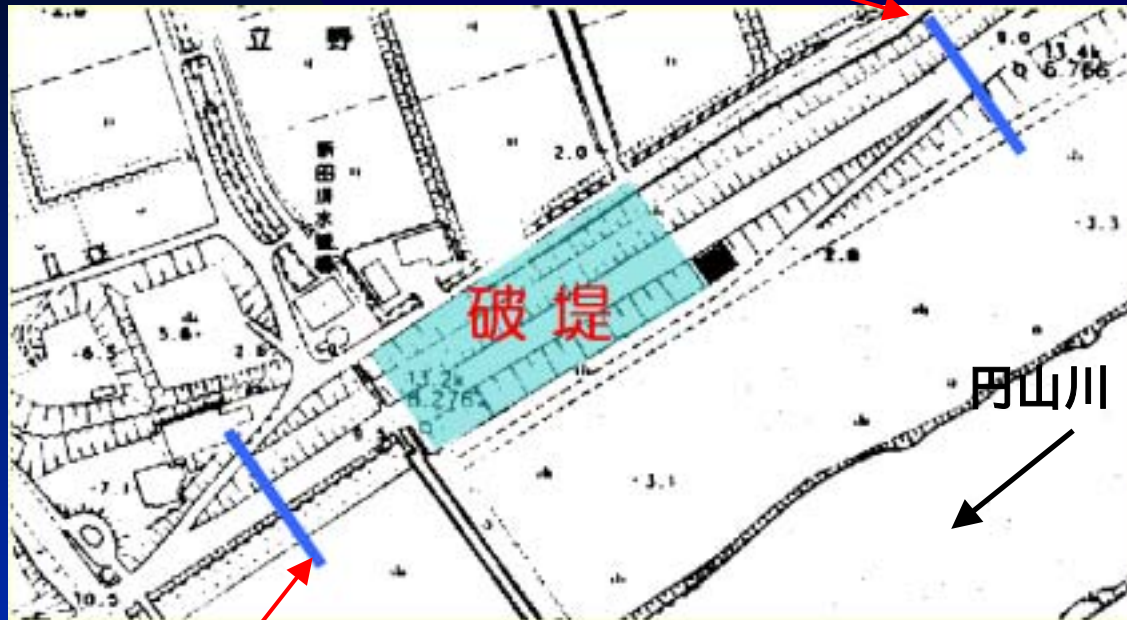
- 1) 基礎地盤の土質調査結果 3 7
- 2) 土質の物性値 3 8
- 3) 現在までの築堤履歴に伴う沈下予測結果 . . . 4 8
- 4) 将来の完成堤の築堤に伴う沈下予測結果 . . . 5 1
- 5) 沈下解析結果 5 4

3. 対策の方針 5 5

1. 破堤原因の特定

1) 円山川右岸13.2k地点

調査断面(上流)



ボーリング調査位置

調査断面(下流)



ボーリング調査は、破堤箇所を挟むように上流と下流に分けて実施した。

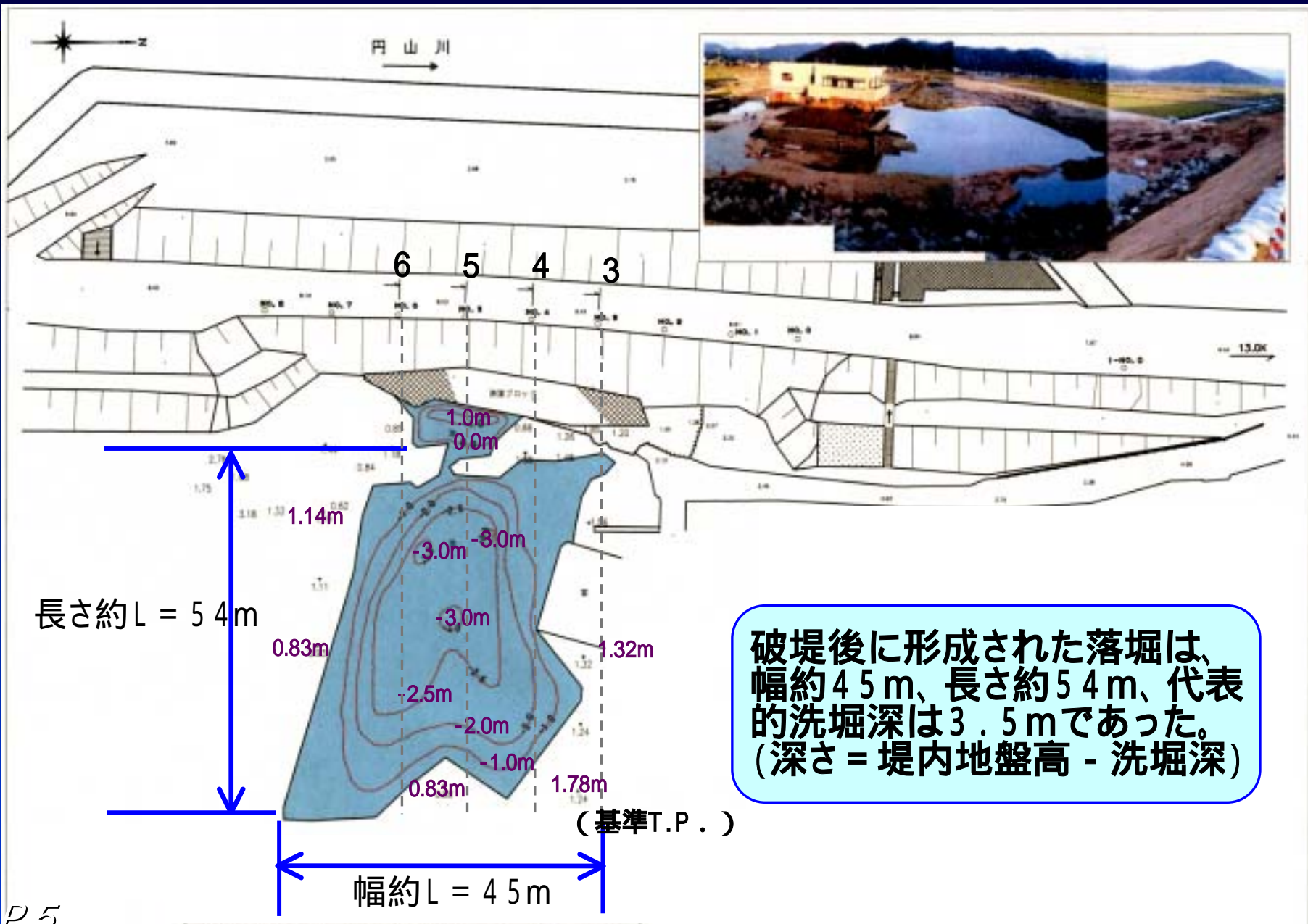
(1) 破堤箇所の測量結果 (おっぼり落掘)

越水区間で破堤した後に形成された落堀について、その大きさ・深さを測量した。

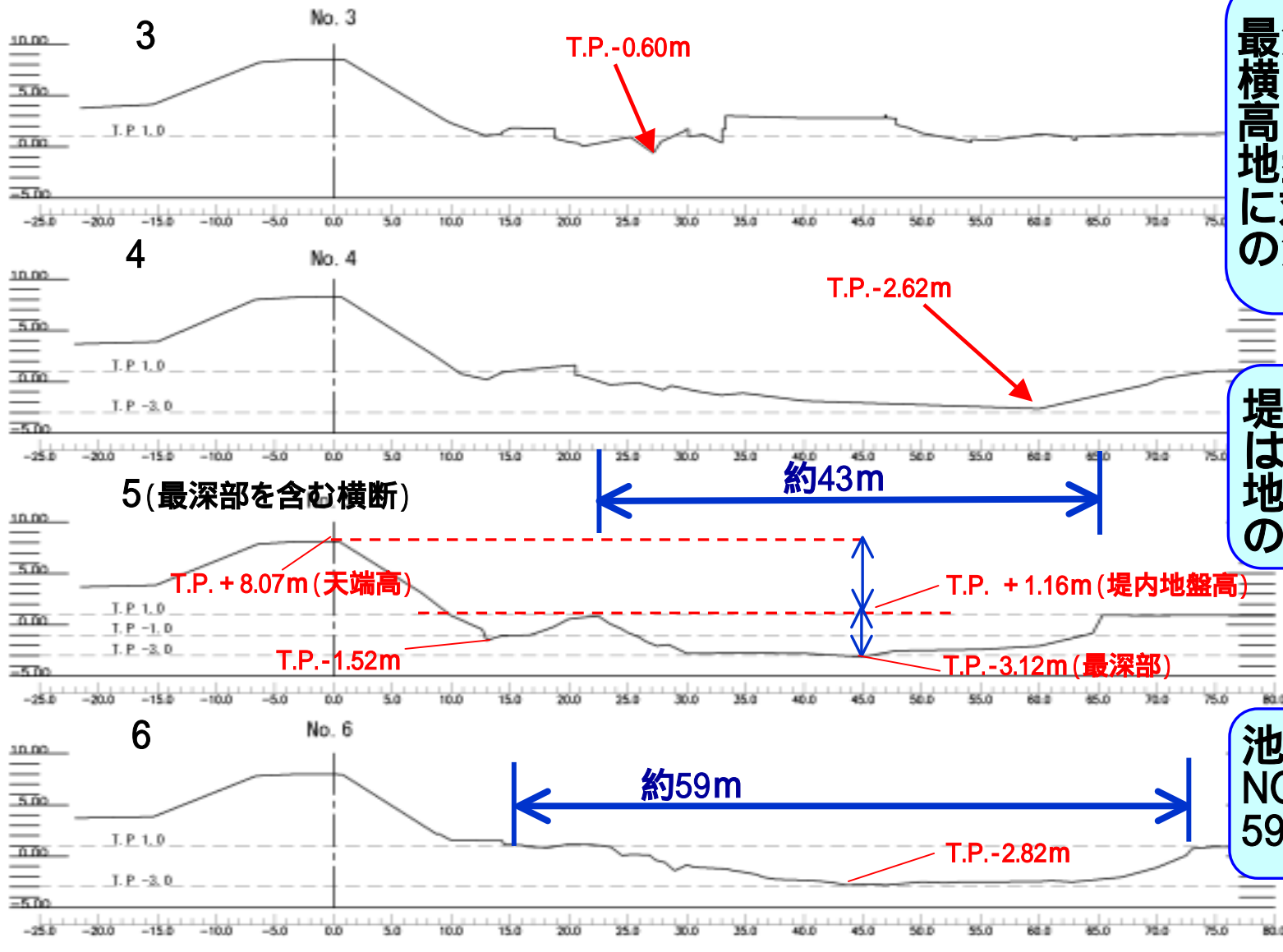


落堀とは、堤防が越流破堤して洪水が氾濫する際に、流水によって洗掘されて生じる池状の凹地。堤防際に残されている場合が多く、この「おっぼり」の存在によって過去の破堤箇所がわかる。～土木用語辞典より(技報堂出版)～

落堀の平面図



落堀の横断図



最深部を含む横断では、比高(天端高 - 地盤高)6.9m に対して、落堀の深さは4.3m

堤内地盤高は、落堀周辺地盤高13点の平均値

池の長さは、NO.6断面の約59mが最長

破堤後に形成された落堀は、幅約45 m、長さ約54 m、
代表的洗堀深は3 . 5 m



越水破堤による大きなエネルギーにより形成された

(2) 破堤箇所での土質調査結果

円山川右岸13.2k(上流)

破堤断面

川裏

川表



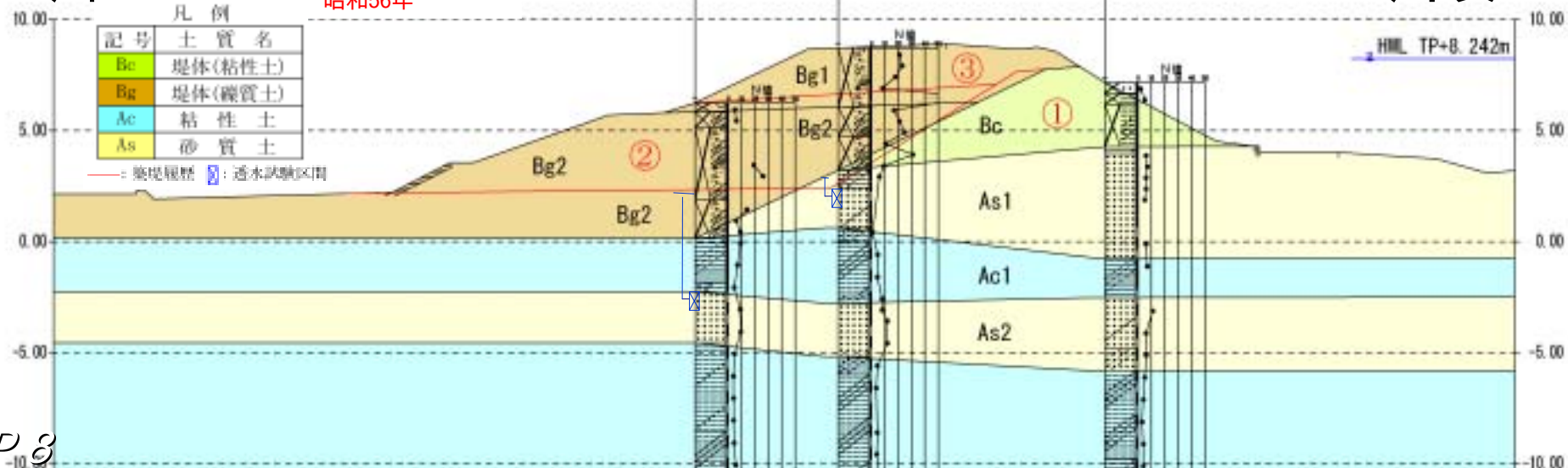
調査断面

築堤履歴

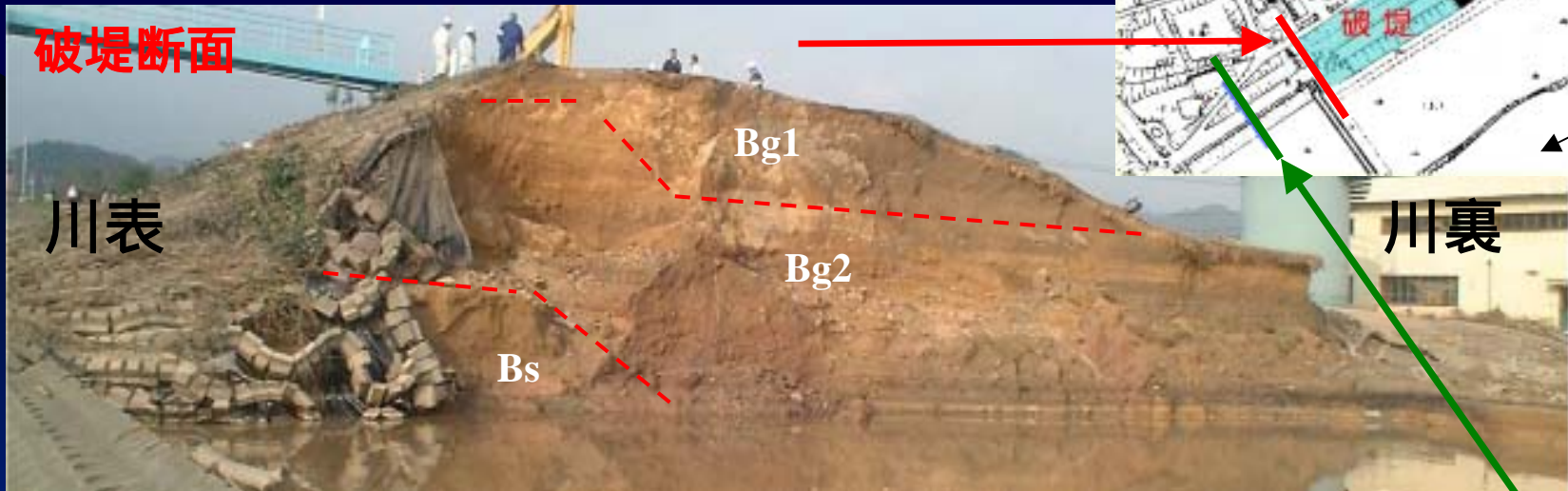
- 昭和30年以前
- 昭和52年
- 昭和56年

川裏

川表

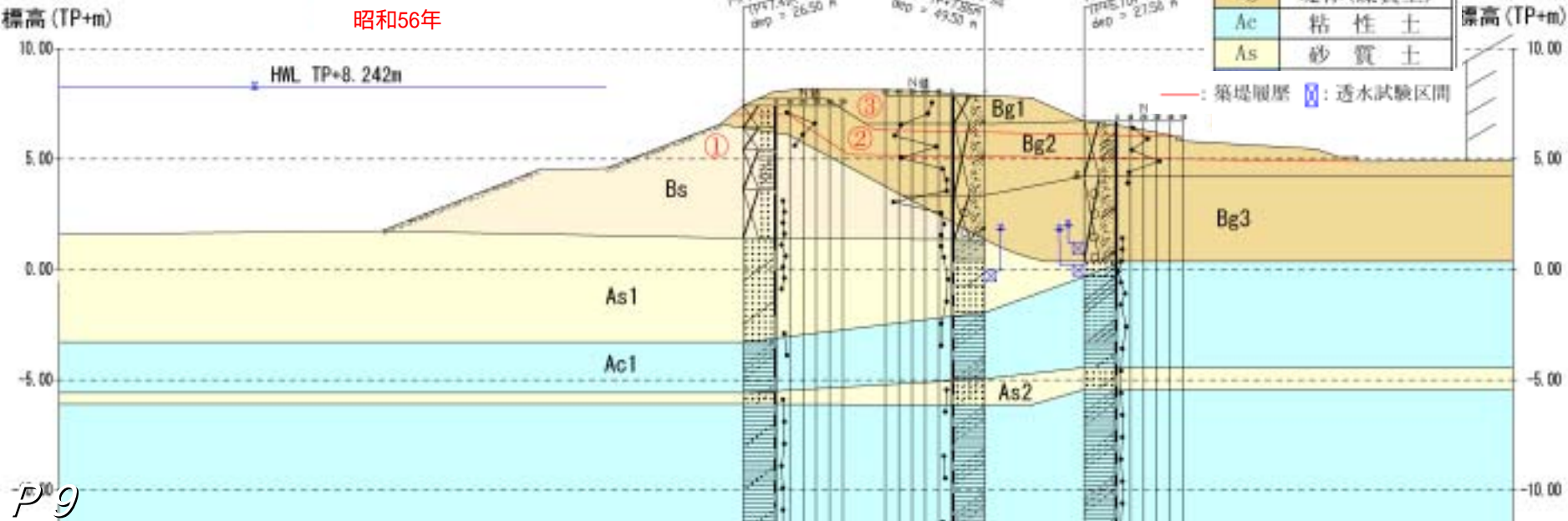


円山川右岸13.2k(下流)



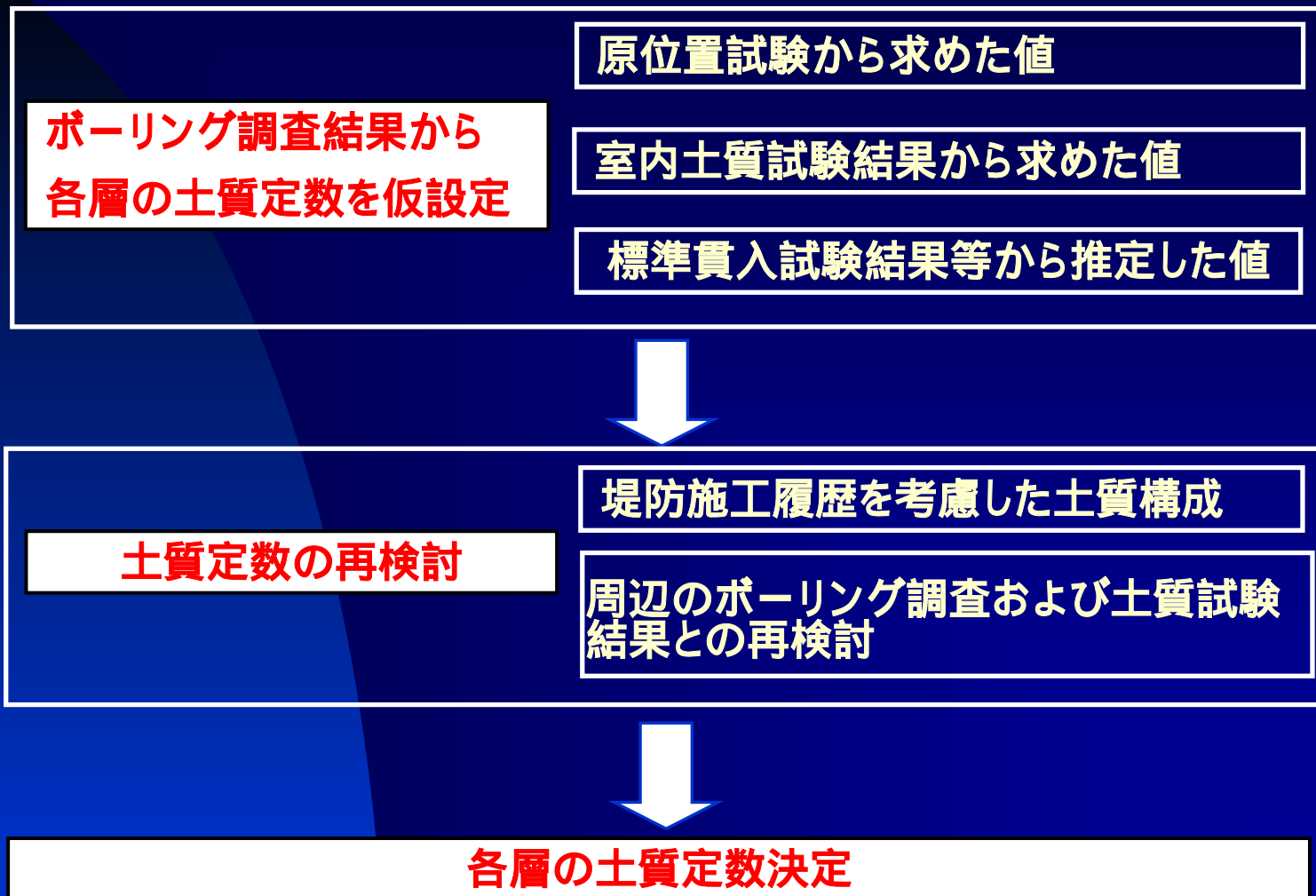
調査断面 川表

築堤履歴
 昭和30年以前
 昭和52年
 昭和56年



(3) 破堤箇所解析

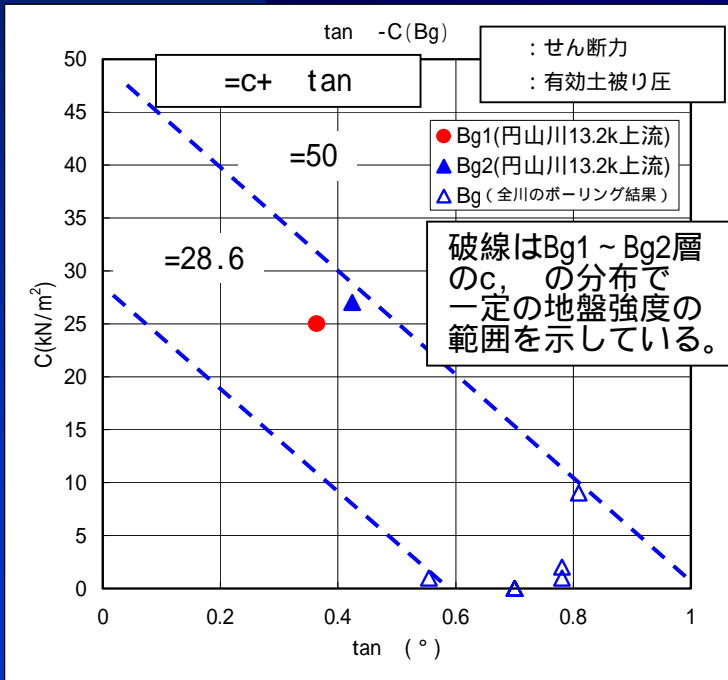
土質定数の決定



円山川右岸13.2k上流(土質の物性値)

下表に決定した各層の土質定数一覧表を示す。

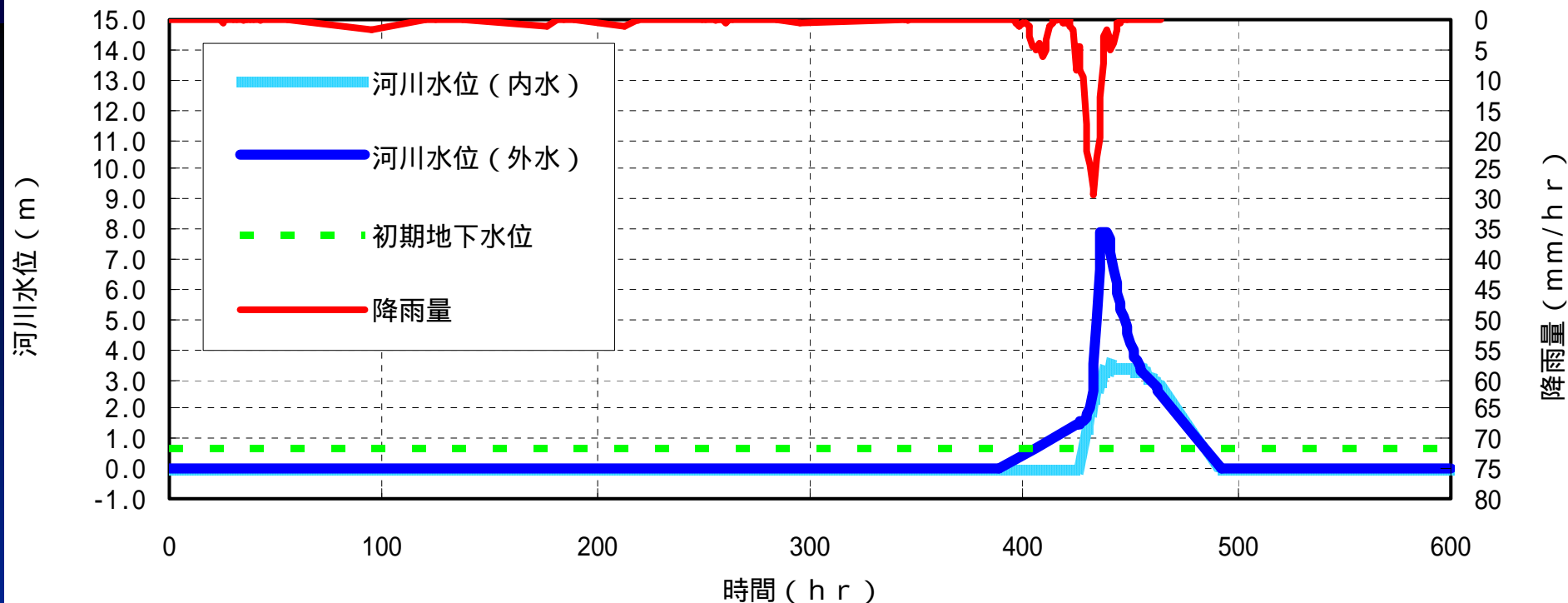
地質分類		土質	記号	単体重量 t (kN/m ³)	粘着力 c (kN/m ²)	内部 摩擦角 (°)	飽和 透水係数 (cm/sec)	
堤体		粘性土	Bc	17	22	0	3.0E-04	
		第一礫質土	Bg1	18	25	20	2.5E-03	
		第二礫質土	Bg2	19	27	23	2.6E-06	
基礎地盤		沖積層	第一砂質土	As1	18	0	1.6E-04	
			第二砂質土	As2	17	0	3.1E-03	
			第三砂質土	As3	18	0	3.1E-03	
			第一粘性土	Ac1	18	34	0	1.0E-06
		洪積層	第二粘性土	Ac2	17	26	0	1.0E-06
			砂質土	Ds	19	0	31	2.5E-04
			礫質土	Dg	20	0	36	4.6E-02



円山川右岸13.2k上流の土質性状

円山川右岸13.2k上流の堤体材料Bg1およびBg2は、他地点と比べて細粒分を多く含有するため、c、φの強度定数を持つ中間土的な性質を有している。

円山川右岸13.2k 上流（解析条件）



基本外力条件

項目	採用値	単位	備考
計画高水位	8.242	m	
平水位	0.000	m	H14年度定期横断測量より
水位差	8.242	m	
高水位継続時間	解析値を採用	hr	
波形面積	"	m・hr	
最大水位低下勾配	"	m	
洪水継続時間	"	hr	
水位低下時間	"	hr	
水位上昇時間	"	hr	

事前降雨	総降雨量	解析値を採用	mm
	降雨強度	"	mm/hr
洪水時降雨	総降雨量	"	mm
	降雨強度	"	mm/hr

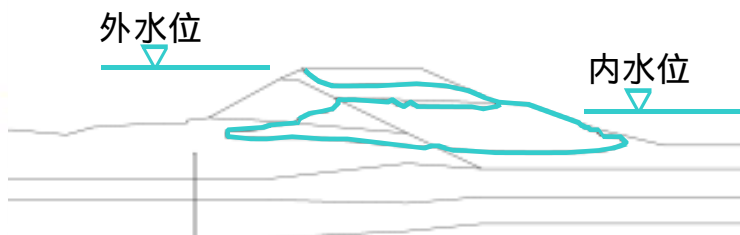
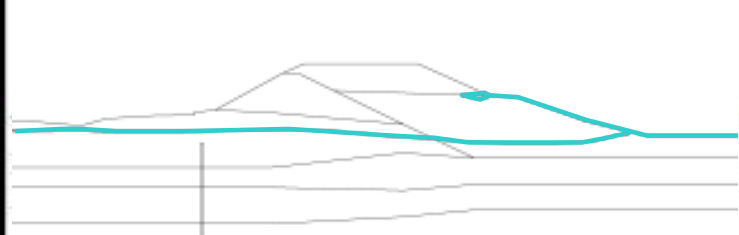
- 注) ・ 内水位：現況ポンプ運転を行った場合の水位（外水氾濫なし）
 ・ 外水位：現況河道に、氾濫もどし流量を流した場合の水位
 ・ 降雨量：立野上流域平均降水量

円山川右岸13.2k 上流（浸透流解析結果）

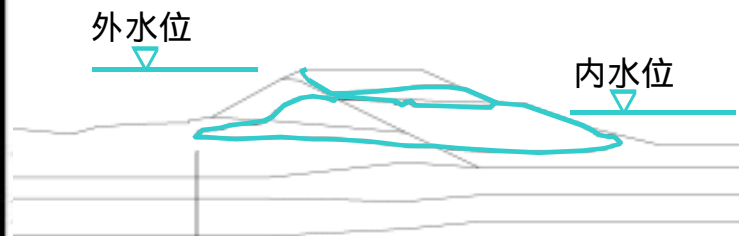
浸潤面図

局所動水勾配 鉛直： $-0.10 < 0.50$ OK 水平： $-0.04 < 0.50$ OK (439.0時間)
 G/W： $1.75 > 1.00$ OK (439.0時間)

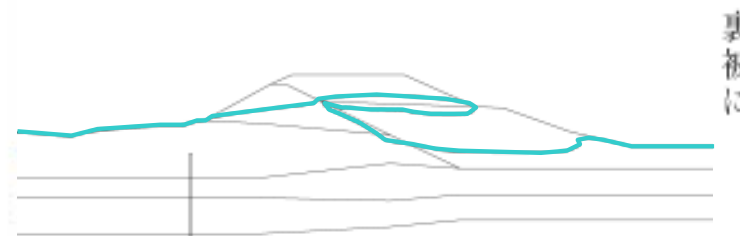
- ① 407.17 時間 (河川水位が初期地下水位まで上昇した時点) ③ 439.00 時間 (河川水位が堤防天端高より低下し始める時点)



- ② 436.00 時間 (河川水位が堤防天端高まで上昇した時点)



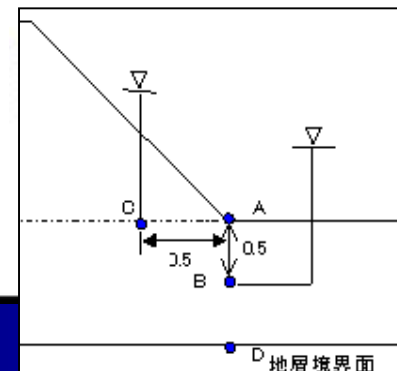
- ④ 483.78 時間 (河川水位が初期地下水位まで低下した時点)



局所動水勾配は、鉛直方向、水平方向ともに、安全率は確保されている。

右岸13.2k		
A点		
x座標	y座標	全水頭
128.39	2.17	4.19
B点		
x座標	y座標	全水頭
128.39	1.67	4.14
C点		
x座標	y座標	全水頭
127.89	2.17	4.17
鉛直動水勾配 (iv)		
-0.10		
水平動水勾配 (ih)		
-0.04		
G/W		
D点		
x座標	y座標	全水頭
128.39	-2.26	4.90
G:被覆土の重量		
層厚	単体	G
4.43	19	84.17
G/W= 1.75		

裏法尻近傍の地盤が粘性土で被覆されている場合、上式により安全性を照査する。

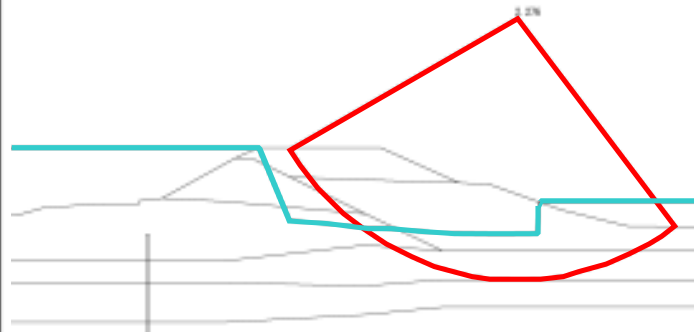


円山川右岸13.2k 上流（のり面安定解析結果）

安定計算結果図

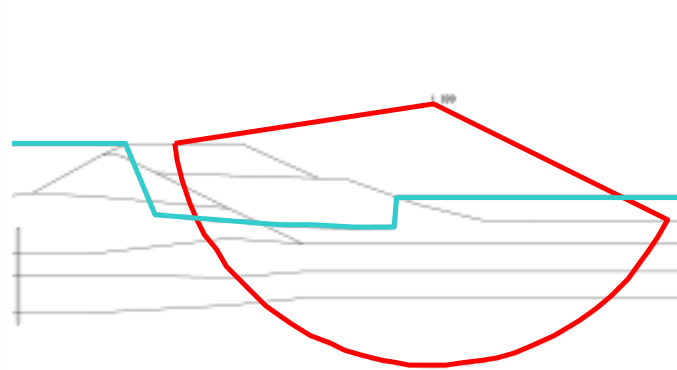
裏のり 最小安全率 2.28

t= 439.00 時間
2.28 > 1.50 OK



裏のり 最小安全率 1.90

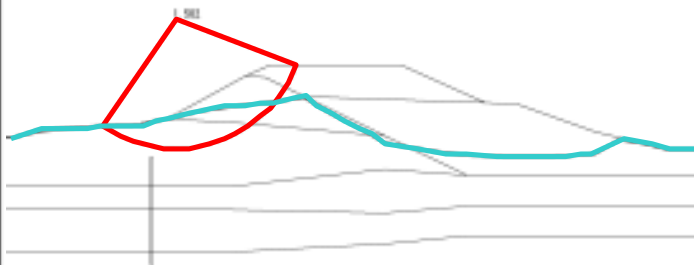
t= 439.00 時間
1.90 > 1.50 OK



赤：すべり面
青：水位
黒：地層

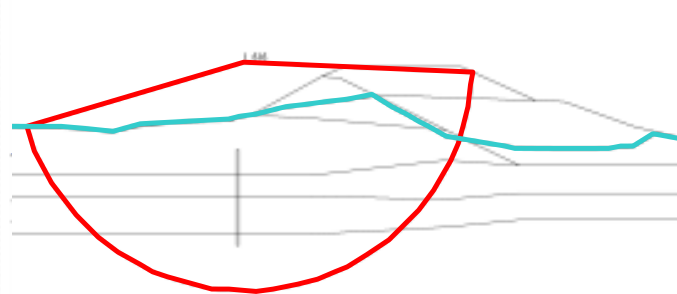
表のり 最小安全率 1.50

t= 483.78 時間
1.50 > 1.00 OK



表のり 最小安全率 1.62

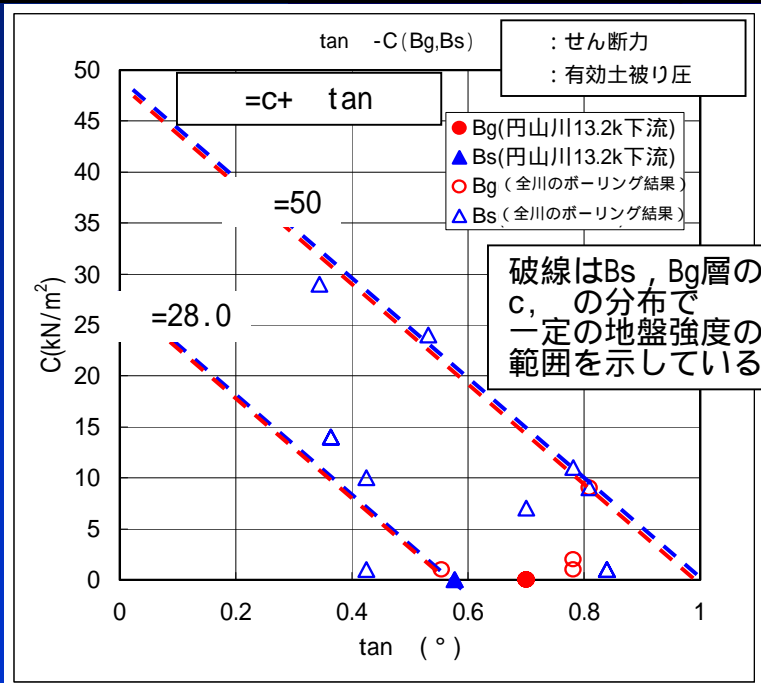
t= 483.78 時間
1.62 > 1.00 OK



表のり、裏のりともに、安全率は確保されている。

円山川右岸13.2k 下流（土質の物性値）

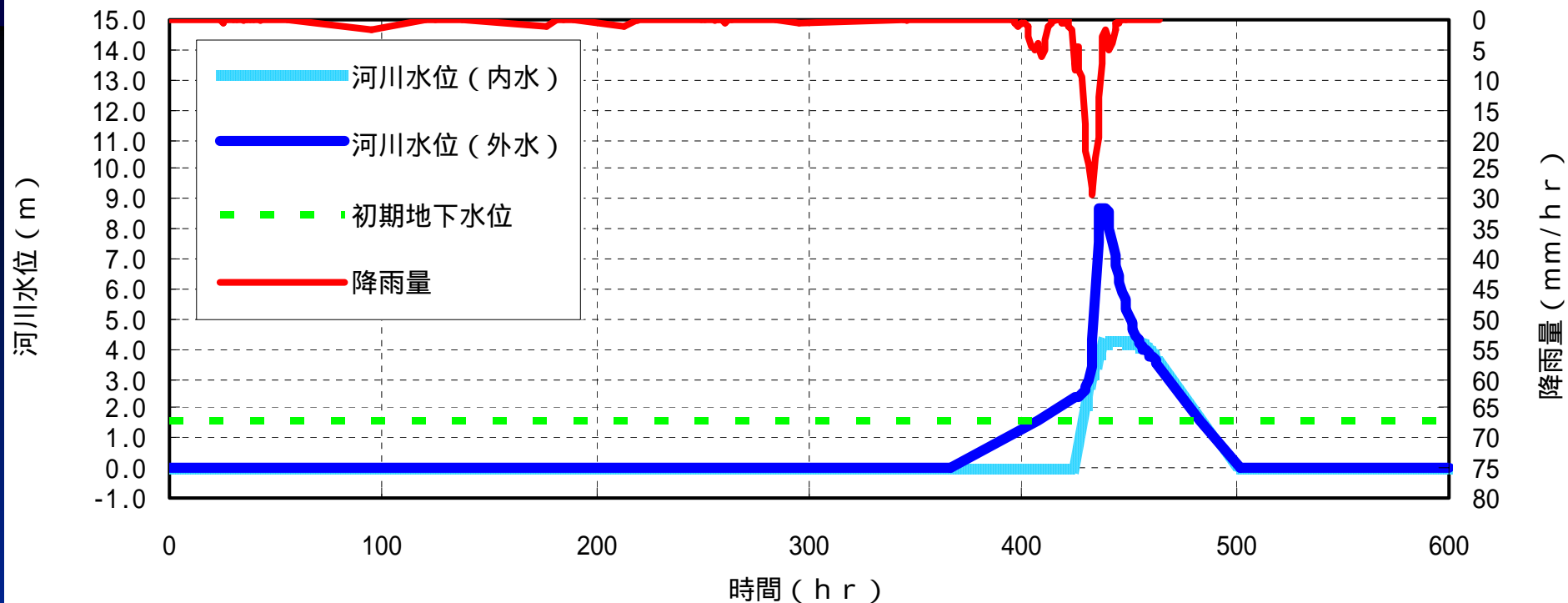
地質分類	土質	記号	単体重量 t (kN/m ³)	粘着力 c (kN/m ²)	内部 摩擦角 (°)	飽和 透水係数 (cm/sec)	
堤体	礫質土	Bg1	21	0	35	1.7E-03	
	礫質土	Bg2	18	0	35	8.5E-04	
	礫質土	Bg3	20	0	35	3.7E-03	
	砂質土	Bs	19	0	30	3.2E-03	
基礎地盤	沖積層	第一砂質土	As1	20	0	30	1.3E-03
		第二砂質土	As2	17	0	30	1.3E-03
		第三砂質土	As3	17	0	30	1.3E-03
		第四砂質土	As4	19	0	30	1.3E-03
		第一粘性土	Ac1	17	37	0	1.0E-06
		第二粘性土	Ac2	17	28	0	1.0E-06
	洪積層	礫質土	Dg	20	0	34	7.2E-02



円山川右岸13.2k下流の土質性状

円山川右岸13.2k下流の堤体材料BgおよびBsは、cが殆ど無く、φのみを強度定数とする性質を有している。

円山川右岸13.2k下流（解析条件）



基本外力条件

項目	採用値	単位	備考
計画高水位	8.242	m	
平水位	0.000	m	H14年度定期横断測量より
水位差	8.242	m	
高水位継続時間	解析値を採用	hr	
波形面積	"	m・hr	
最大水位低下勾配	"	m	
洪水継続時間	"	hr	
水位低下時間	"	hr	
水位上昇時間	"	hr	

事前降雨	総降雨量	解析値を採用	mm
	降雨強度	"	mm/hr
洪水時降雨	総降雨量	"	mm
	降雨強度	"	mm/hr

- 注) ・ 内水位：現況ポンプ運転を行った場合の水位（外水氾濫なし）
 ・ 外水位：現況河道に、氾濫もどし流量を流した場合の水位
 ・ 降雨量：立野上流域平均降水量

円山川右岸13.2k下流（浸透流解析結果）

浸潤面図

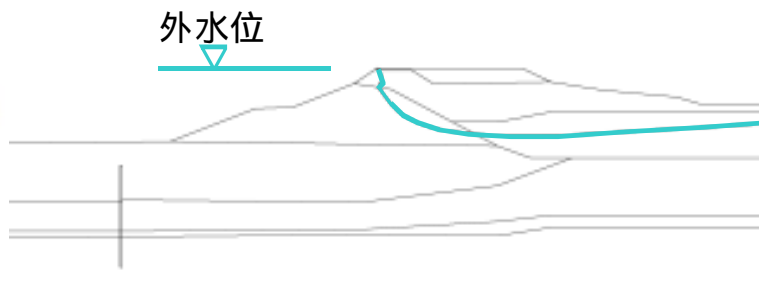
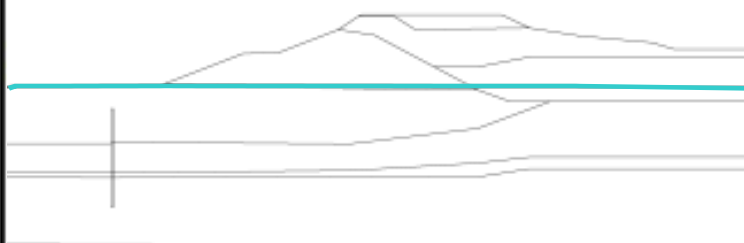
局所動水勾配 鉛直： $-1.12 < 0.50$ OK 水平： $0.06 < 0.50$ OK (439.0時間)

① 405.38 時間 (河川水位が初期地下水位
まで上昇した時点)

③ 439.00 時間 (河川水位が堤防天端高
より低下し始める時点)

右岸13.2k		
A点		
x座標	y座標	全水頭
144.07	4.90	4.54
B点		
x座標	y座標	全水頭
144.07	4.40	3.98
C点		
x座標	y座標	全水頭
143.57	4.90	4.57
鉛直動水勾配 (iv)		
-1.12		
水平動水勾配 (ih)		
0.06		

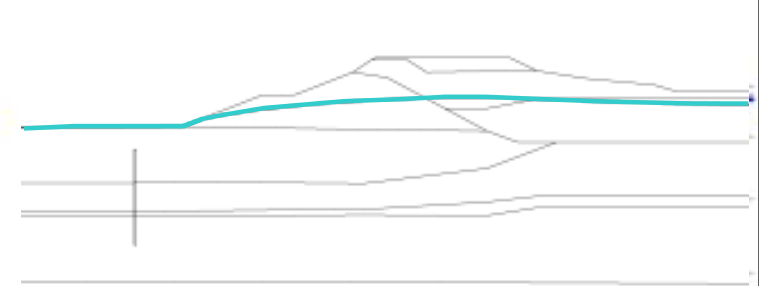
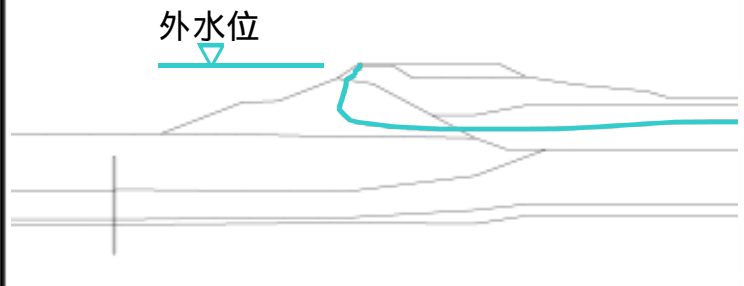
外水位



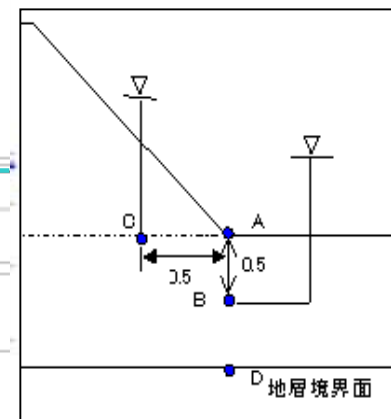
② 436.00 時間 (河川水位が堤防天端高
まで上昇した時点)

④ 484.34 時間 (河川水位が初期地下水位
まで低下した時点)

外水位



局所動水勾配は、鉛直方向、水平方向ともに、安全率は確保されている。

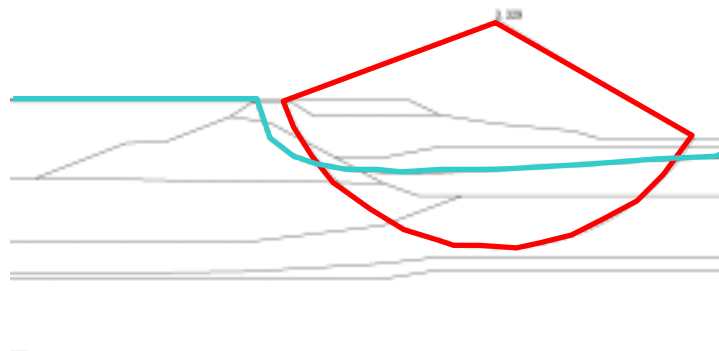


円山川右岸13.2k下流（のり面安定解析結果）

安定計算結果図

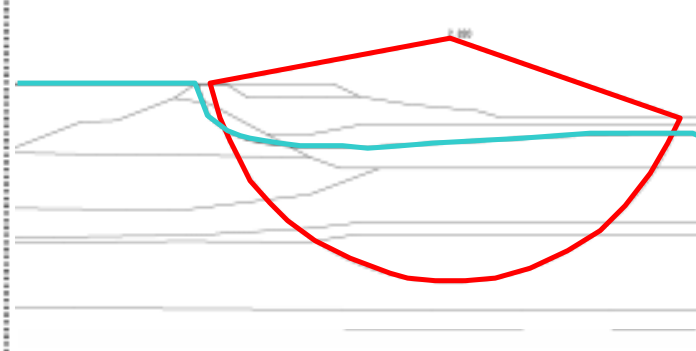
裏のり 最小安全率 3.33

t= 439.00 時間
3.33 > 1.50 OK



裏のり 最小安全率 2.82

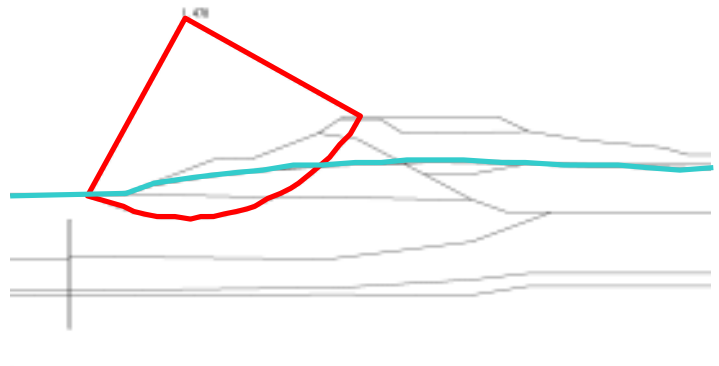
t= 439.00 時間
2.82 > 1.50 OK



赤: すべり面
青: 水位
黒: 地層

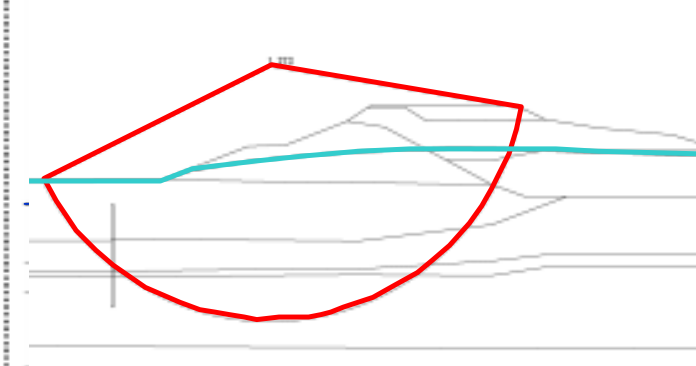
表のり 最小安全率 1.48

t= 484.34 時間
1.48 > 1.00 OK



表のり 最小安全率 1.27

t= 484.34 時間
1.27 > 1.00 OK



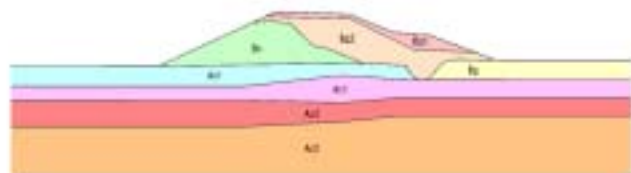
表のり、裏のりともに、安全率は確保されている。

(4) 堤体断面変化と局所安全率の関係

円山川右岸13. 2k+30m付近における裏のり崩壊モデルのシミュレート結果

■概要
越水により堤体裏のり部が流損崩壊した場合、斜面安定解析の安全率がどう変化するかを検討した。

■解析モデルおよび土質定数
◎地質推定断面図



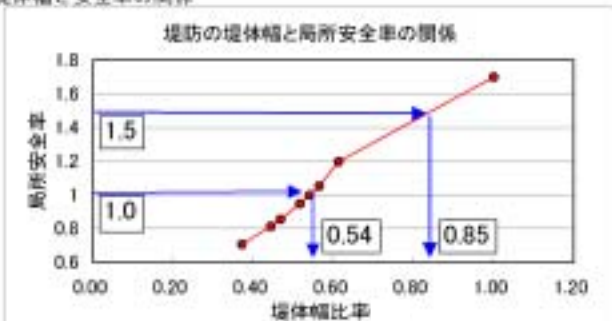
◎初期水位
斜面安定解析時の水位は、浸透流解析により求めた最大水位とした。

◎土質定数一覧表

地質分類	土質	記号	単体重量 γ (kN/m ³)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	飽和透水係数 (cm/sec)
堤体	第一層質土	Ba1	18	25	20	2.5E-02
	第二層質土	Ba2, Bg	19	27	23	2.0E-06
	粘性土	Bb	17	22	0	3.0E-04
基礎地盤	第一砂質土	Aa1	18	0	30	1.0E-04
	第一粘性土	Ac1	18	34	0	1.0E-06
	第二砂質土	Aa2	17	0	31	3.1E-03
	第二粘性土	Ac2	17	26	0	1.0E-06

■検討結果

◎堤体幅と安全率の関係



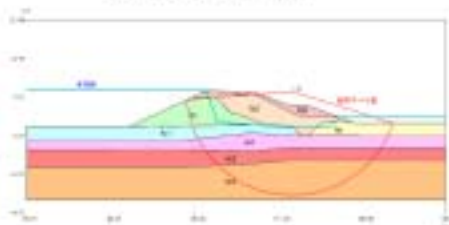
堤体の形状は、表のり側の天端 (1m) を固定し、その位置から裏のり側の法尻の位置を変化させて繰り返し計算した。

安全率と堤体幅 (表のりと裏のりの法尻の距離) の関係 (上図に示す) から堤体幅の減少に伴って安全率が徐々に低下し、堤体幅比率 0.85 の状態で $F_s < 1.5$ の状態に達す。

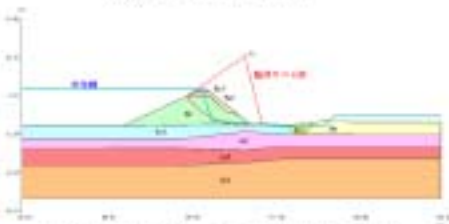
注) 堤体幅比率 = 残存堤体幅 / 崩壊前の堤体幅

■斜面安定計算結果

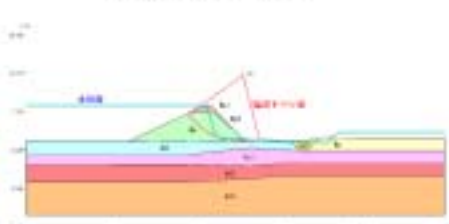
①堤体幅41.35m (堤体崩壊前)
局所安全率 $F_s = 1.700$



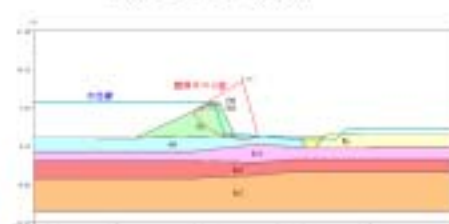
③堤体幅23.35m (裏のり天端直下+8m)
局所安全率 $F_s = 1.053$



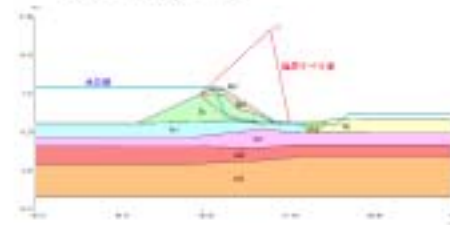
⑤堤体幅21.35m (裏のり天端直下+6m)
局所安全率 $F_s = 0.948$



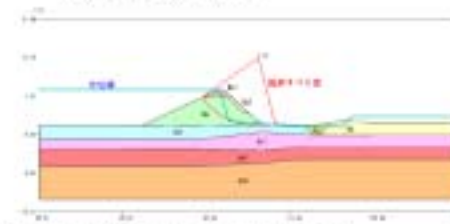
⑦堤体幅18.35m (裏のり天端直下+3m)
局所安全率 $F_s = 0.813$



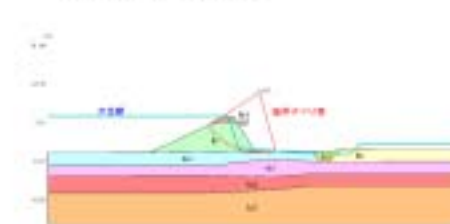
②堤体幅25.35m (裏のり天端直下+10m)
局所安全率 $F_s = 1.197$



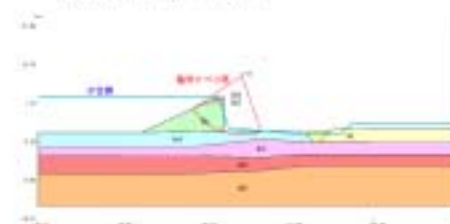
④堤体幅22.35m (裏のり天端直下+7m)
局所安全率 $F_s = 0.999$



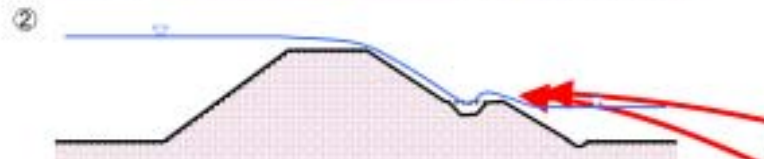
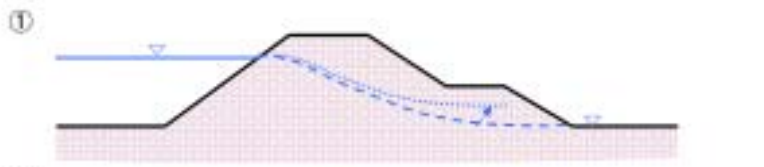
⑥堤体幅19.35m (裏のり天端直下+4m)
局所安全率 $F_s = 0.855$



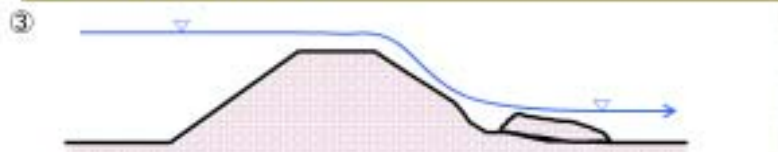
⑧堤体幅15.35m (裏のり天端より直下にカットした場合)
局所安全率 $F_s = 0.706$



(5) 破堤のイメージ



21:00頃：ポンプ手前の5mほどの部分と破堤現場付近は幅30m、高さ40cmに達する流水を確認。土囊を積んでも流されるほどの状態。



越水に伴い、小段部分の洗掘、水流の飛散が想像される。裏のりの植生、土質により、洗掘の状況が異なると推定される。(上流裏のり部の洗掘跡)



22:00頃：道路が3分の2崩れていることを確認。



青：ヒアリング結果
黒：推測事項

23:15：破堤した。30mぐらいの幅で堤内側から堤防幅の2/3ぐらいが崩れた。



裏のり 洗掘削痕



破堤断面(下流側断面)

(6) まとめ (円山川右岸13.2k)

- 破堤後に形成された落堀は、越水破堤による大きなエネルギーにより形成された。
- 現況の断面（破堤前）では、浸透による安全性は、確保されている。（局所動水勾配、すべり安定性）
- ただし、越水により裏のりが侵食され、堤体幅が減少すると浸透による安全性は確保されなくなる。
- 破堤の原因は、主に越流に伴う裏のり侵食と、堤体幅減少後の浸透破壊が複合したものと考えられる。

2) 出石川左岸5.4k地点



ボーリング調査位置



出石川

(1) 破堤箇所での土質調査結果

破堤断面

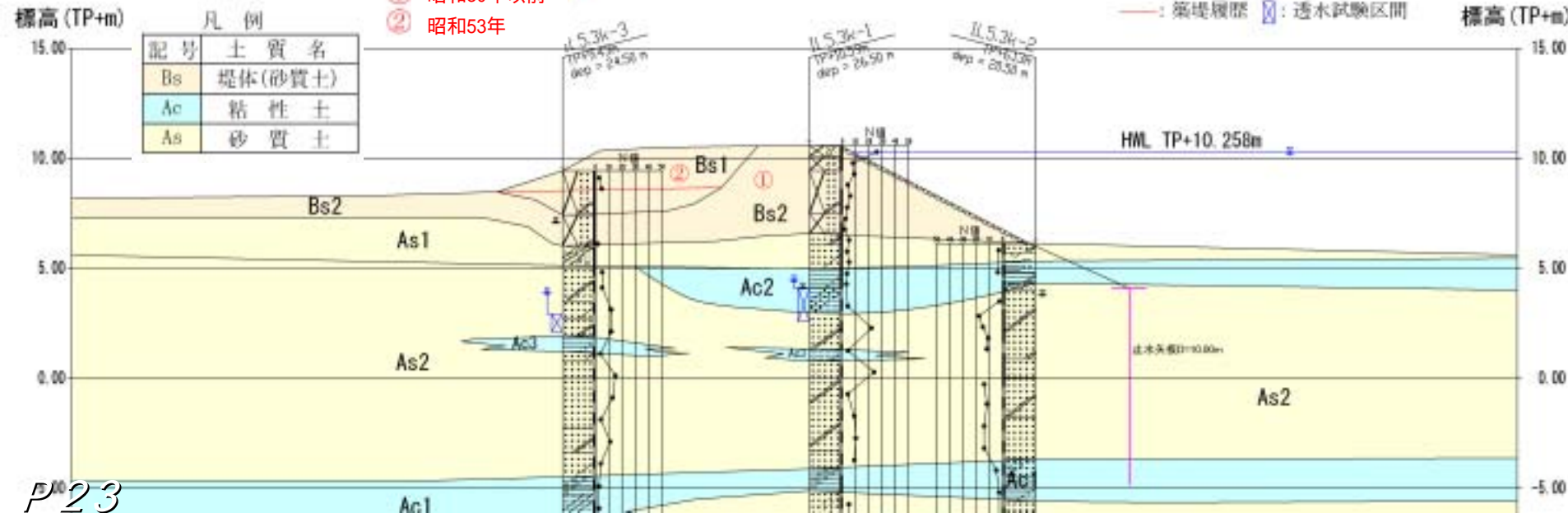


出石川

調査断面

築堤履歴

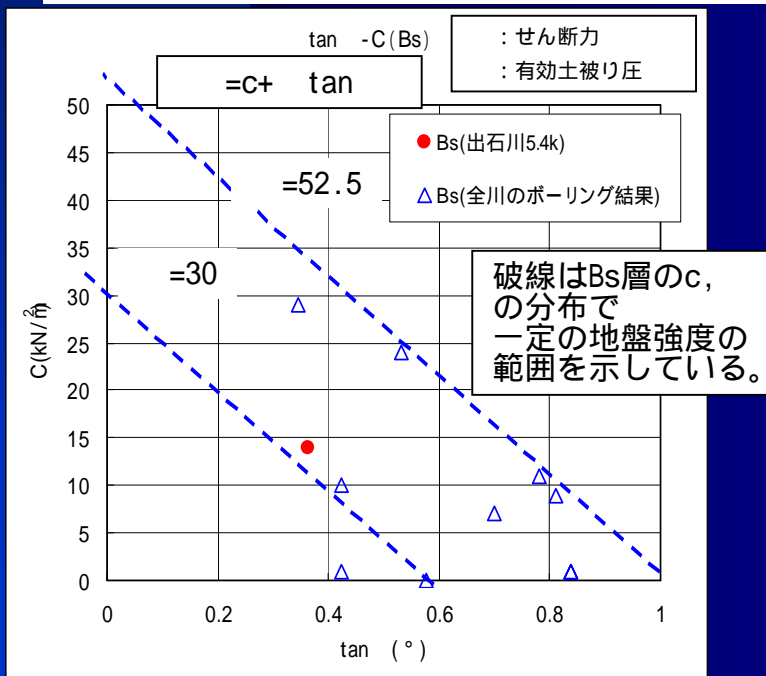
- ① 昭和30年以前
- ② 昭和53年



(2) 破堤箇所解析

出石川左岸5.4k (土質の物性値)

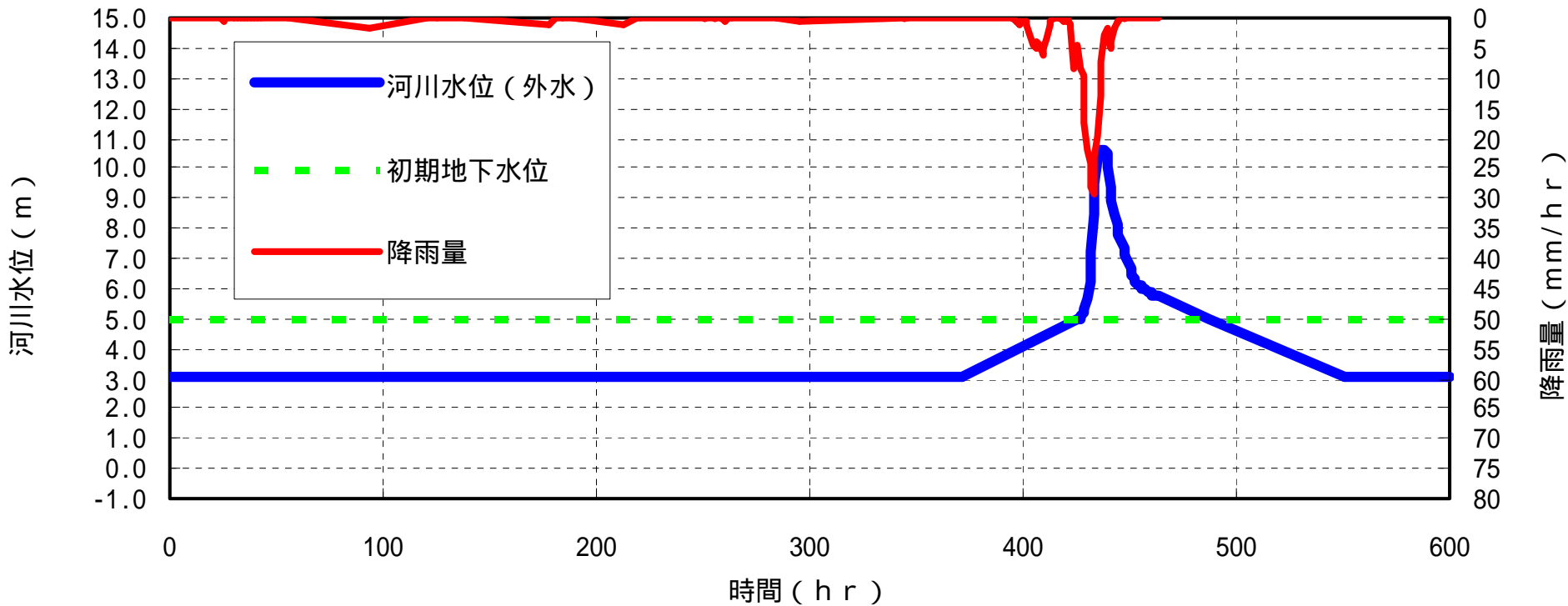
地質分類		土質	記号	単体重量 γ_t (kN/m^3)	粘着力 c (kN/m^2)	内部 摩擦角 ($^\circ$)	飽和 透水係数 (cm/sec)
堤体		砂質土	Bs1	19	14	20	1.1E-03
		砂質土	Bs2	19	14	20	1.1E-03
基礎地盤	沖積層	第一砂質土	As1	19	0	32	6.3E-05
		第二砂質土	As2	19	0	32	6.3E-05
		第三砂質土	As3	19	0	32	6.3E-05
		第一粘性土	Ac1	17	25	0	1.0E-06
		第二粘性土	Ac2	17	25	0	1.0E-06
		第三粘性土	Ac3	17	25	0	1.0E-06
		第四粘性土	Ac4	17	25	0	1.0E-06
	洪積層	礫質土	Dg	20	0	35	1.2E-01



出石川左岸5.4kの土質性状

出石川左岸5.4kの堤体材料Bsは、
c、 の強度定数を有している。

出石川左岸5.4 k (解析条件)



基本外力条件

項目	採用値	単位	備考
計画高水位	10.258	m	
平水位	3.040	m	H14年度定期横断測量より
水位差	7.218	m	
高水位継続時間	解析値を採用	hr	
波形面積	"	m・r	
最大水位低下勾配	"	m	
洪水継続時間	"	hr	
水位低下時間	"	hr	
水位上昇時間	"	hr	

事前降雨	総降雨量	解析値を採用	mm
	降雨強度	"	mm/h r
洪水時降雨	総降雨量	"	mm
	降雨強度	"	mm/h r

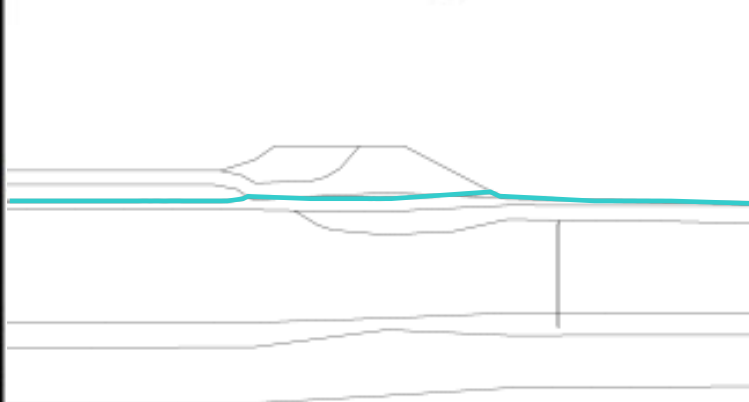
- 注) ・内水位：なし
 ・外水位：平面二次元不定流解析による推定水位
 ・降雨量：立野上流域平均降水量

出石川左岸5.4 k (浸透流解析結果)

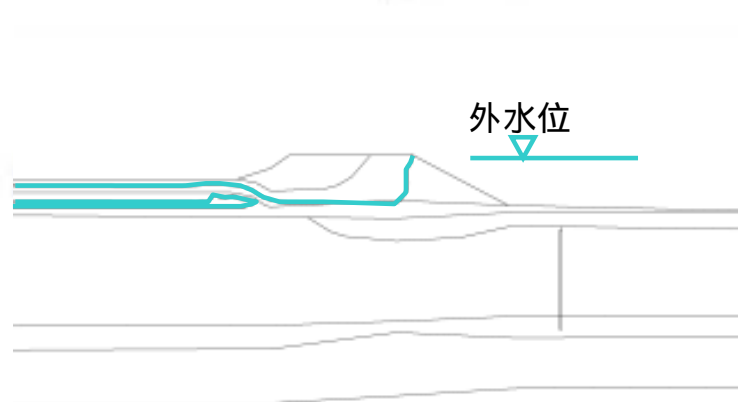
浸潤面図

局所動水勾配 鉛直: $-0.28 < 0.50$ OK 水平: $0.10 < 0.50$ OK (438.84時間)

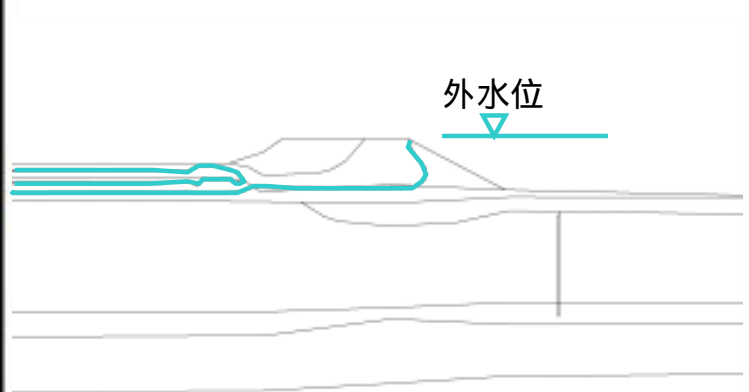
① 426.27 時間 (河川水位が初期地下水位まで上昇した時点)



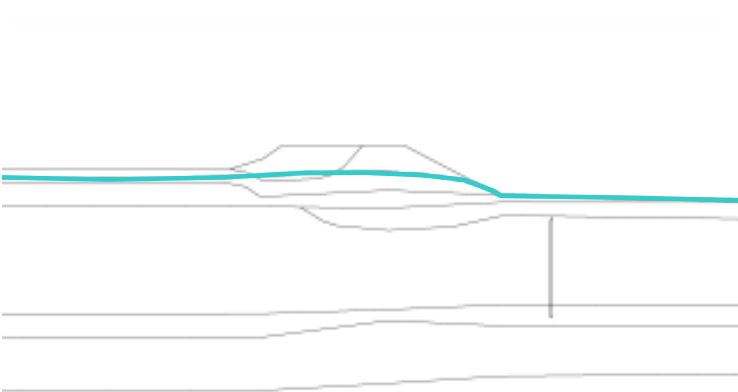
③ 438.84 時間 (河川水位が堤防天端高より降下し始める時点)



② 435.68 時間 (河川水位が堤防天端高まで上昇した時点)



④ 486.96 時間 (河川水位が初期地下水位まで低下した時点)

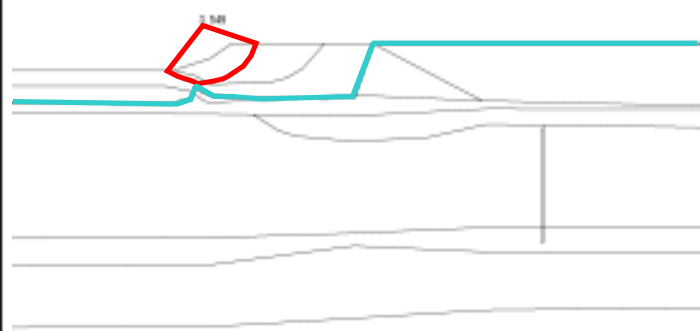


左岸0.2km		
A点		
x座標	y座標	全水頭
70.00	8.48	8.05
B点		
x座標	y座標	全水頭
70.00	7.98	7.91
C点		
x座標	y座標	全水頭
70.50	8.48	8.10
鉛直動水勾配 (iv)		
-0.28		
水平動水勾配 (ih)		
0.10		

出石川左岸5.4k (のり面安定解析結果)

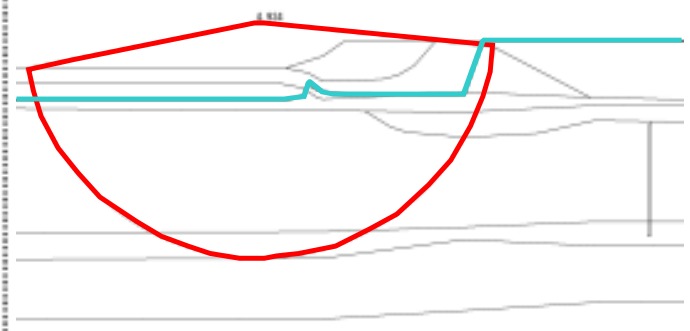
裏のり | 最小安全率 | 3.55

t= 438.84 時間
3.55 > 1.50 OK



裏のり | 最小安全率 | 4.93

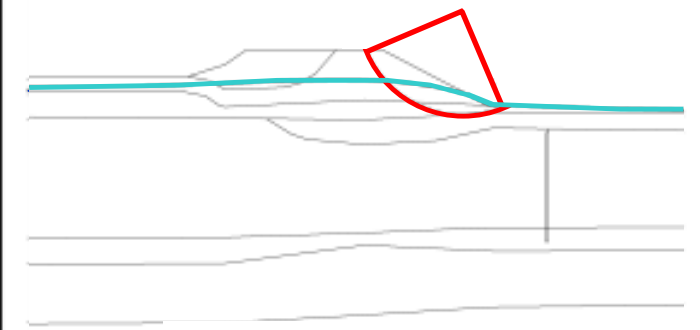
t= 438.84 時間
4.93 > 1.50 OK



赤: すべり面
青: 水位
黒: 地層

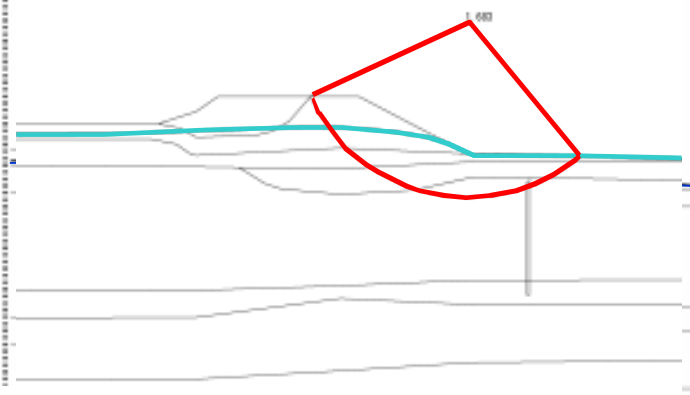
表のり | 最小安全率 | 1.49

t= 486.96 時間
1.49 > 1.00 OK



表のり | 最小安全率 | 1.68

t= 486.96 時間
1.68 > 1.00 OK



安定計算結果図

表のり、裏のりともに、安全率は確保されている。

(3) 堤体断面変化と局所安全率の関係

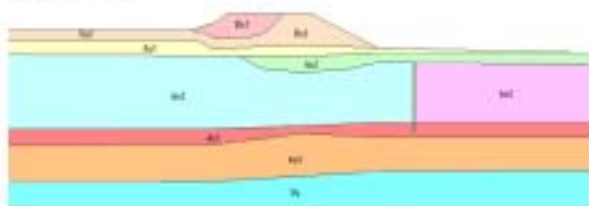
出石川左岸5.4k付近における裏のり崩壊モデルのシミュレート結果

概要

越水により堤体裏のり部が洗掘崩壊した場合、斜面安定解析の安全率がどう変化するかを検討した。

解析モデルおよび土質定数

①地質推定断面図



②初期水位

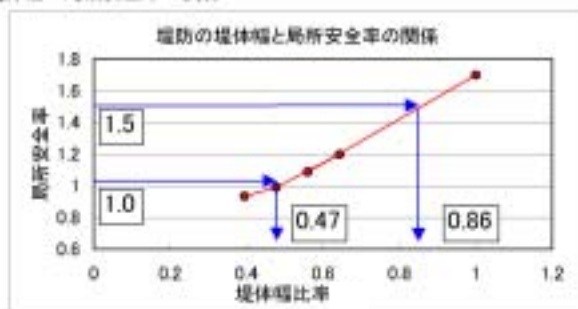
斜面安定解析時の水位は、浸透流解析により求めた最大水位とした。

③土質定数一覧表

地質分類	土質	記号	単位重さ T _u (kN/m ³)	粘聚力 c (kN/m ²)	内部 摩擦角 φ (°)	前期 透水係数
堤体	堤頂土	Sp1	22	14	20	1.0E-02
	堤身土	Sp2	19	14	20	1.1E-03
	第一砂質土	Aa1	20	0	32	6.3E-05
	第二砂質土	Aa2	19	0	32	6.3E-05
基礎地盤	沖積層	Aa3	19	0	32	6.3E-05
	第一粘質土	Aa1	17	25	0	1.0E-06
	第二粘質土	Aa2	17	25	0	1.0E-06
	第三粘質土	Aa3	17	25	0	1.0E-06
基盤層	硬質土	Dg	20	0	30	1.0E-01

検討結果

④堤体幅と局所安全率の関係



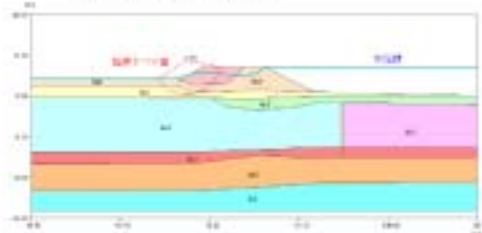
堤体の形状は、表のり側の天端(1m)を固定し、その位置から裏のり側の法尻の位置を変化させて繰り返し計算した。

安全率と堤体幅(表のりと裏のりの法尻の距離)の関係(上図に示す)から堤体幅の減少に伴って安全率が徐々に低下し、堤体幅比率0.86の状態ではFs<1.5の状態に達す。

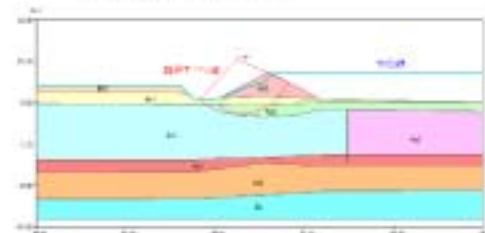
注) 堤体幅比率=残存堤体幅/崩壊前の堤体幅

⑤斜面安定計算結果

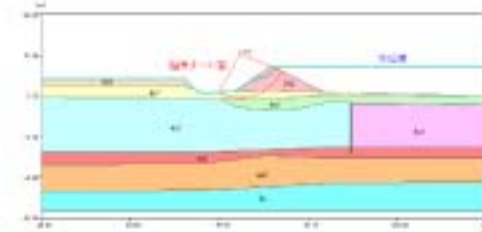
①堤体幅24.12m(堤体崩壊前)
局所安全率Fs=1.700



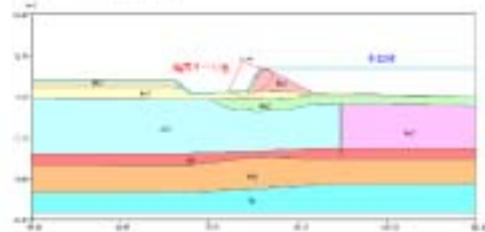
②堤体幅15.51m(表のり天端直下+8m)
局所安全率Fs=1.199



③堤体幅13.51m(表のり天端直下+6m)
局所安全率Fs=1.089



④堤体幅11.51m(表のり天端直下+4m)
局所安全率Fs=0.991



⑤堤体幅9.51m(表のり天端直下+2m)
局所安全率Fs=0.935

