

ISSN 1346 - 7328
国総研資料第 4 4 1 号
平成 20 年 1 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management
No. 441 January 2008

堤防の浸透破壊に対する安全性評価の精度向上に関する調査

菊森 佳幹

Study on Accuracy Improvement of Safety Evaluation of Seepage Failure of River Levees

Yoshito KIKUMORI

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

堤防の浸透破壊に対する安全性評価の精度向上に関する調査

菊森 佳幹*

Study on Accuracy Improvement of Safety Evaluation for Seepage Failure of River Levees

Yoshito KIKUMORI*

概要

河川堤防の浸透破壊に関する安全性は、ある区間の代表断面において河川水位や降雨等の外力及び堤防と基礎地盤の土質条件を与えて浸透流解析を行った後求められる円弧すべりに対する安全率及び局所動水勾配の指標により評価されている。しかしながら、実際の被災形態が解析結果より想定される破壊形態と異なっていることや、安全率や局所動水勾配の値が安全な値を示していても被災している場合があり、両指標と浸透破壊に対する安全性の対応関係は必ずしも良好ではない。そこで、本調査では実際に浸透により被災した堤防を 23 事例抽出し、実際に作用した外力条件のもと浸透流解析を行い、被災形態と解析結果を比較するとともに、安全率及び局所動水勾配の値と浸透破壊に対する安全性の関係を解析した。また、浸透破壊に対する安全性評価の精度向上のための検討を行った。

キーワード：堤防、浸透破壊、円弧すべり、安全率、局所動水勾配

Synopsis

Safety of river levees for seepage failure is evaluated by safety factor for circular slip of levee slope and local hydraulic gradient given by the seepage flow analysis in condition of river water level, rainfall intensity and soil modulus. However, the relationship between both indicators, safety factor and local hydraulic gradient, and safety against seepage failure does not necessarily show a strong correlation.

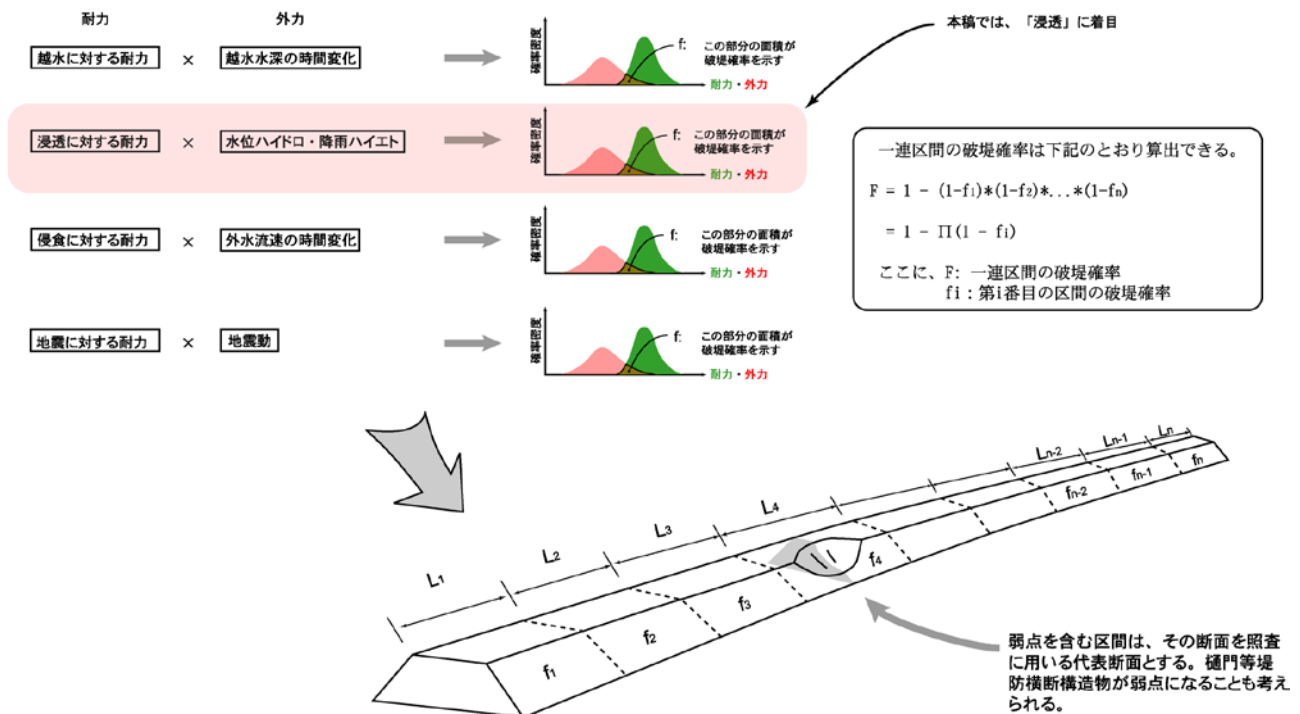
In this report, we conducted seepage flow analysis of 23 cases of failure river levees in actual condition of river water level and rainfall intensity, and compared the analysis results with actual failures and analyzed them in order to clarify the relationship between both indicators and safety against seepage failure. We also made an attempt to improve the accuracy of safety evaluation for seepage failure of river levees.

Key Words: river levee, seepage failure, circular slip, safety factor, local hydraulic gradient

まえがき

河川堤防は、沿川住民の生命と資産を洪水から守る極めて重要な防災施設であり、計画高水位以下の水位の流水に対して必要な安全性を確保しなければならない。しかしながら、河川堤防は、強度や構造が不均一であり、様々な不確実性を内在しているため、その安全性の評価は簡単ではない。堤防からの外水氾濫に関する外力の形態としては、越流、侵食、浸透及び地震力の四つが考えられる。このうち、前3者は降雨に起因するものであり、より発生頻度が高く検討の優先度が高い。浸透破壊に対する安全性に及ぼす影響は、外力条件よりも堤体の質的条件が支配的であり、水位や降雨等の浸透破壊に対する外力が一定と見なせる区間は水理計算等により比較的正確に求めることができるが、堤防の質的条件を判断することが難しく、安全性評価の精度を上げることが難しくなっている。本稿では4つの外力形態のうち浸透に着目し、安全性評価の精度向上のための検討を行うこととする。

外力は不定期に発生する確率事象であり、堤防の耐力も堤体材料にバラツキがあることを考慮すると、両者ともある確率分布をもつと考えられ、堤防の耐力に対して外力が上回ったときに破壊現象が起こると考えられる。下図に示す耐力と外力の確率密度関数の分布の重なった部分の面積が外力が耐力を上回った事象の確率であり、破壊現象の発生確率となると考えることができる。よって、外力と耐力の確率密度関数（確率分布）が明らかになると、細分区間（外力と耐力がそれぞれ一定と見なせる区間）の安全性が求まり、下記の計算式により一連区間の安全性を評価することができる。この手法により、沿川の治水安全度（外水氾濫に対する安全性）をより適正に評価することができるようにと考えられる。



目次

1. はじめに	1
2. 調査概要	3
2. 1 調査概要	3
2. 2 対象事例の選定	3
2. 3 解析に用いた条件	4
2. 4 解析手法	5
2. 4. 1 浸透流解析	5
2. 4. 2 円弧すべり安定解析	6
2. 4. 3 局所動水勾配	6
2. 4. 4 盤ぶくれに対する安全率	7
3. 解析結果	8
3. 1 浸透破壊に対する安全性の解析結果（一覧表）	8
3. 2 浸透破壊に対する安全性の解析結果（個票）	9
3. 3 解析結果の評価	10
3. 3. 1 安全性指標の妥当性	10
3. 3. 2 パイピング被災事例の解析結果	10
3. 3. 3 すべり破壊事例の解析結果	11
3. 3. 4 複合破壊事例の解析結果	13
3. 4 浸透破壊に対する安全性指標と破堤に対する安全性の関係	13
被災事例個票	15
4. 評価精度向上のための検討	38
4. 1 土質定数のばらつきを考慮した安全率の算出	38
4. 1. 1 土質定数（ C , ϕ ）のばらつき設定	38
4. 1. 2 土質定数のばらつきを考慮した確率論的安全率の算出	39
4. 1. 3 すべり破壊の信頼性に関する評価	40
4. 1. 4 モンテカルロ法の試行結果（個票）	41
4. 2 鉛直及び水平方向の強度分布を考慮した安全率の試算	47
4. 2. 1 強度分布の設定	47
4. 2. 2 安全率の算出結果	48
4. 2. 3 安全率試算例	48
5. 評価精度向上のための提案	51
5. 1 精度向上のためのアプローチ	51
5. 2 解析手法の高度化・最適化	51
5. 3 材料定数等設定の最適化	52
5. 4 確率論的アプローチ	54
6. おわりに	55
7. 参考文献	57

1. はじめに

現在、直轄河川では全国一斉に堤防の浸透破壊に対する詳細点検が行われている。詳細点検の手法は、特定の外力（外水位のヒドログラフ及び降雨強度のハイトグラフ）を与えて浸透流解析を行い、円弧すべりに対する安全率及びパイピングに対する局所動水勾配の値によって、堤防の浸透破壊に対する安全性を評価するものである¹⁾。しかしながら、実際の堤防の被災事例では、破壊形態が詳細点検の結果と合致していない場合や、解析では安全と評価された堤防が被災する場合がある。もともと円弧すべり安定解析は、粘性土の大規模斜面のために開発された解析手法であり、河川堤防のような小規模な土構造物の解析には適していないとの説がある²⁾。また、局所動水勾配は一般に砂質土のパイピングによる破壊現象を評価するものである。そこで、本調査ではある程度大型の粘性土堤防であれば、詳細点検で用いられている円弧すべり安定解析により、また砂質土により構成される堤防であればパイピングにより適正に安全性が評価できると想定し、実際の被災事例の浸透破壊の有無と実外力を与えた上で浸透流解析を行い算出された円弧すべりに対する安全率及びパイピングに対する局所動水勾配を比較することにより、詳細点検で用いられている手法の適用範囲を見極め、適用性が確保される範囲で円弧すべりに対する安全率及び局所動水勾配と浸透破壊に対する安全性との関係を求めることを目的とする。

浸透破壊に対する安全性を浸透破壊しない確率と定義した場合（例えば同じ安全率の100個の事例のうち、50事例が浸透破壊を起こしたとすると、浸透破壊に対する安全性を0.5（50%）とする。）、円弧すべりに対する安全率及びパイピングに対する局所動水勾配と浸透破壊に対する安全性の関係は、それぞれの解析モデルとしての理想としては、下図のようになると考えられる。

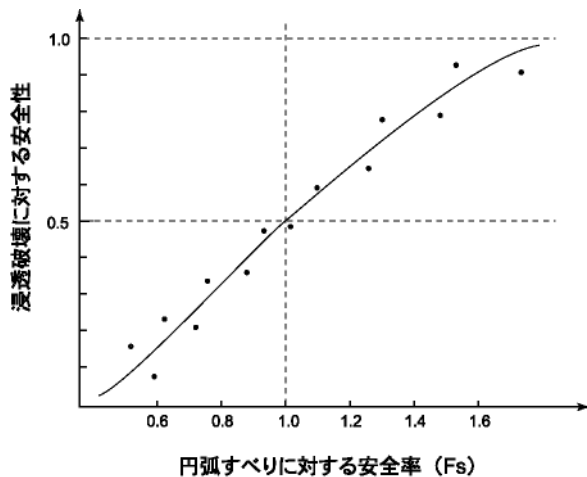


図-1.1 安全率と堤防の安全性の関係

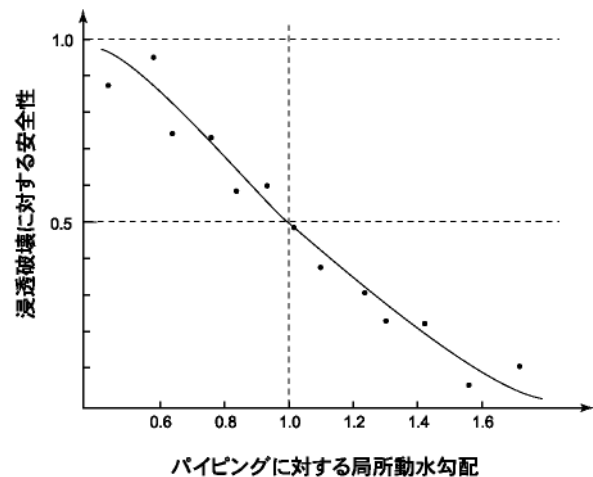


図-1.2 局所動水勾配と堤防の安全性の関係

すなわち、円弧すべりに対する安全率と浸透破壊に対する安全性の関係は、左側極限は安全性=0.0（横軸）に漸近し、右側極限は安全性=1.0の直線に漸近する右上がりの曲線となる。円弧すべりに対する安全率が1.0ということは、円弧すべりの回転モーメントと抵抗モーメントが等しいということであるから、円弧すべりを起こす確率も起こさない確率も等しく、理想的には安全率1.0のときに、安全性は0.5になる。パイピングに対する局所動水勾配と浸透破壊に対する安全性の関係は、局所動水勾配が増加すれば安全性が低下し、局所動水勾配の値が小さくなると安全性の値は1.0に近づく右肩下がりの曲線となる。局所動水勾配が1.0付近のときにパイピングを起こそうとする外力とパイピングに対す

る抵抗力が釣り合っている状態であると考えられ³⁾、このときに理想的には浸透破壊を起こす確率が0.5（50%）であると考えられる。ただし、実際の河川堤防においては土質材料の不均一性に由来する弱点が存在し、理想的な外力と抵抗力のバランス・ポイントよりも低い点（安全側の点）で破壊現象が起こることがあり、このため詳細点検の基準値では円弧すべりに対する安全率は1.2、局所動水勾配は0.5という安全側の基準値を設けている⁴⁾。本調査では解析結果と被災事例を比較することにより、これらの基準値の妥当性についても検証することとする。

本調査では、まず実際の水位ハイドログラフや降雨ハイトグラフの外力の記録がある被災事例を23事例選定し、記録された実外力を与えた上浸透流解析を行い、円弧すべりに対する安全率と浸透破壊に対する安全性の関係及びパイピングに対する局所動水勾配と浸透破壊に対する安全性の関係をプロットし、それらの関係を分析した。さらに、解析精度向上の試みとして、土質定数のばらつきを考慮した円弧すべりに対する安全率の試算を行ったほか、土質材料の鉛直及び水平方向の強度分布を考慮した円弧すべりに対する安全率の試算を行い、最後に浸透破壊に対する安全性の評価精度向上のための提案を行った。

2. 調査概要

2. 1 調査概要

河川堤防の浸透破壊に対する安全性を示す指標である円弧すべりに対する安全率及びパイピングに対する局所動水勾配の両指標と堤防の浸透破壊に対する安全性の関係を把握するために、実際に浸透破壊により被災した堤防に対して、実際にかかった外力（ハイエトとハイドロ）を与えて浸透流解析を行った結果得られた円弧すべりに対する安全率及びパイピングに対する局所動水勾配と被災事例により得られた堤防の浸透破壊による破堤に対する安全性を比較する。被災事例より得られた堤防の浸透破壊による破堤に対する安全性は下記に挙げる式により算定する。これらの結果を用いて両指標の階級と安全性の相関のある範囲（土質条件や堤防高さ）を定めた上で、相関のある範囲内で両指標と安全性の関係を整理することとする。

$$\text{安全性（破堤しない確率）} = \frac{\text{同一階級の安全率の被災事例数} - \text{同一階級の安全率の破堤事例数}}{\text{同一階級の安全率の被災事例数}^{\ast}} \quad (\text{式}-2.1)$$

※被災事例数：浸透が原因で発生した破堤、のり崩れ、漏水事例数

2. 2 対象事例の選定

被災事例の選定に当たっては、主に表-2.1 に挙げる6種類の資料を用いた。これらの資料に記載された被災事例のうち浸透流解析を行うことができる条件として、①堤防詳細点検資料があり、土質定数や土質構成がわかること、②被災時の外力特性として降雨ハイドロ及び河川水位ハイドロがわかること、及び③被災時の堤防断面形状がわかることを条件として抽出した。また、対象となる被災事例は浸透に起因する破堤、のり崩れ及び漏水とした。対象被災事例は表-2.2のとおり23事例となり、そのうち破堤に至ったものは、2事例であった。

表-2.1 主な出典資料

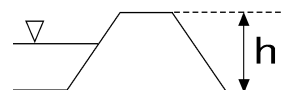
No	資料名	作成主体
①	被災事例調査資料	建設省土木研究所
②	被害実態調査業務委託	建設省土木研究所
③	堤防漏水実態調査	建設省河川局、土木研究所、各地方建設局
④	堤防被害実態調査票	建設省土木研究所
⑤	河川災害データ管理システム	(財)国土技術研究センター
⑥	河川堤防の浸透に対する安全性の詳細点検	各地方整備局

表-2.2 検討対象事例

No.	河川名	被災箇所		被災履歴※		土質特性		堤防高 (m)	出典
		岸	距離標	種類	時期	基礎	堤体		
1	最上川	右	CsNo92~No94	法崩	S33.7.28	砂質	粘性	5.0	被災事例調査資料
2	阿武隈川	左	4km	法崩	S33.9.27	砂質	粘性	7.0	被災事例調査資料
3	米代川	左	0/5	破堤	S47.7.9	砂質	砂質	5.0	被災事例調査資料
4	宇治川	左	42.8km	破堤	S28.9.25	粘性	砂質	5.0	被災事例調査資料
5	斐伊川	右	11.4~11.6km	法崩	S40.7.23	砂質	砂質	5.0	被災事例調査資料
6	江戸川	左	24.5k~24.5k+200	法崩	S57.9.12	砂質	砂質	8.2	堤防漏水実態調査票
7	荒川	左	11.3km	法崩	S56.10.22	砂質	砂質	9.2	堤防漏水実態調査票
8	荒川	左	13.7km	法崩	S56.10.22	砂質	粘性	5.9	堤防漏水実態調査票
9	荒川	右	23.0km	法崩	S57.9.12	砂質	粘性	5.2	堤防漏水実態調査票
10	荒川	左	28.2km	法崩	S57.9.12	砂質	粘性	5.4	堤防漏水実態調査票
11	荒川	左	64.0km	法崩	S57.9.12	砂質	砂質	3.8	堤防漏水実態調査票
12	荒川	左	67.6km	法崩	S57.9.12	粘性	粘性	7.6	堤防詳細点検
13	荒川	左	69.6km	法崩	S57.9.12	粘性	砂質	7.3	堤防詳細点検
14	荒川	左	70.0km	法崩	S57.9.12	粘性	砂質	7.1	堤防詳細点検
15	荒川	左	70.4km	法崩	S57.9.12	粘性	粘性	8.1	堤防詳細点検
16	荒川	左	71.2km	法崩	S57.9.12	砂質	粘性	6.4	堤防詳細点検
17	荒川	左	72.0km	法崩	S57.9.12	粘性	砂質	8.8	堤防詳細点検
18	荒川	右	72.0km	法崩	S57.9.12	砂質	砂質	8.1	堤防詳細点検
19	庄内川	左	25.0k+155m	法崩	H12.9.11	礫質	砂質	6.7	堤防詳細点検
20	庄内川	右	23.8km	法崩	H12.9.11	砂質	砂質	6.1	堤防詳細点検
21	庄内川	右	24.4km	法崩	H12.9.11	砂質	砂質	5.4	堤防詳細点検
22	阿賀野川	左	19.2km	法崩	H16.7.1	砂質	粘性	5.1	堤防詳細点検
23	米代川	左	7.8km	法崩	H19.9.17	砂質	砂質	5.3	地方整備局調査

※1 法崩は浸透による法面崩壊を指す。

※2 堤防高 (h) は天端と堤内側基礎地盤との高度差を指す。



2. 3 解析に用いた条件

安全率及び局所動水勾配を算出するために用いた外力及び土質定数等の計算条件は下記のとおりである。外力については、実際に起こった外力として記録に残っているものとして、表-2.1①から④の資料に記載されているハイドログラフ及びハイトグラフを用いた。堤体及び基礎地盤の土質条件については、当時の記録資料には記載されていなかったため、各地方整備局で行われている「河川堤防の浸透に関する詳細点検」で用いている値を使用した。ただし、被災事例 No. 23 については被災直後に地方整備局が行った調査による。

表-2.3 計算条件

計算条件	指標	根拠
外力条件	水位ハイドロ	出典資料に記録されたハイドログラフより
	降雨ハイエト	出典資料に記録されたハイエトグラフより
土質条件	土質定数	堤防の詳細点検「安全性の詳細評価条件図」
	土質構成	堤防の詳細点検「堤防横断方向土質調査結果図」
	堤防断面形状	出典資料に記載された堤防断面形状図より

2. 4 解析手法

上記資料①～⑥より得られた外力条件及び堤体・基礎地盤土質条件により浸透流解析を行い、円弧すべりに対する安全率及びパイピングに対する局所動水勾配及び盤ぶくれに対する安全率を算出した。

2. 4. 1 浸透流解析⁵⁾

浸透流解析では、「河川堤防の構造検討の手引き（国土技術研究センター、平成 14 年）」に従い、河道の水位及び降雨強度の経時変化に対応した 2 次元非定常の浸透流解析により堤内浸潤線及び飽和度を求めた。非定常の飽和・不飽和浸透流解析の基本方程式は次のとおりである。

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} \left(k \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial \psi}{\partial z} + k \right) = (C + \alpha \cdot S_s) \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (\text{式-2.2})$$

- ここに、
- x : 堤防横断面の水平方向の軸
 - z : 堤防横断面の鉛直方向の軸
 - k : 透水係数 (m/hr)
 - ψ : 圧力水頭 (m)
 - C : 比水分容量 (1/m)
 - α : 1 の場合飽和領域、0 の場合不飽和領域
 - S_s : 比貯留係数 (1/m)
 - t : 時間 (hr)

ここで、比水分容量 C は水分特性曲線の接線勾配として与えられ、また比貯留係数 S_s は、砂質土については、 1.0×10^{-4} (1/m)、粘性土については、 1.0×10^{-3} (1/m) 程度に設定した。

浸潤線の経時変化の着目点は、図-2.1 に示す 2 時点とする。

・最高水位終了時 (A 時点)

浸潤線が最も上昇している時点であり、裏法のすべり破壊に対して最も危険な状態として円弧すべりに対する安全率を算出するとともに、局所動水勾配を算出した。

・河川水位低下時 (B 時点)

河川水位が表のり尻まで急低下した時点であり、表のりのすべり破壊に対して最も危険な状態として表のりの円弧すべりに対する安全率を算出した。

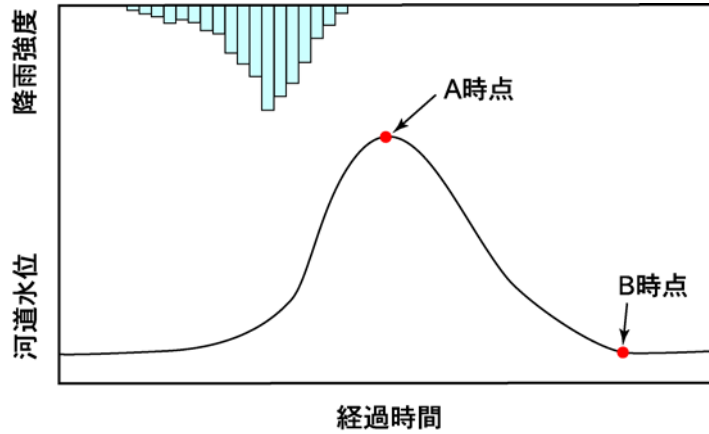


図-2.1 ハイドロの着目点

2. 4. 2 円弧すべり安定解析⁶⁾

浸透流解析の結果をもとに、最も危険と想定される浸潤面において、全応力法に基づく円弧すべり面を仮定して、簡便分割法により複数の円弧中心に対して最小安全率を求め、そのなかの最小値を検討断面に対する円弧すべりの安全率とした。

簡便分割法による安定計算

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

ここに、

- F_s : 安全率
- u : すべり面の間隙水圧 (kN/m²)
- W : 分割片の重量 (kN)
- c : すべり面に沿う土の粘着力 (kN/m²)
- 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)

図-2.2 円弧すべり安定解析

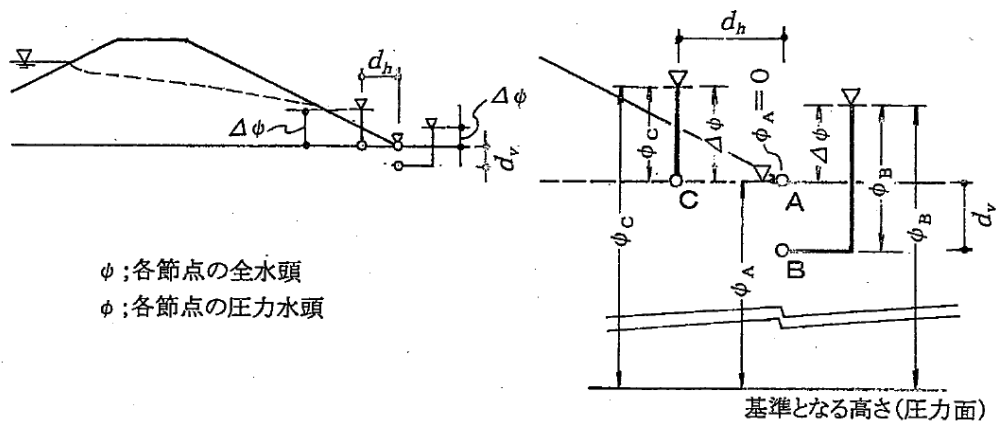
2. 4. 3 局所動水勾配⁷⁾

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、浸透流解析により得られた裏のり尻近傍の水頭差を用い、図-2.3 に示した計算式により鉛直方向及び水平方向の最大値を求めた。ただし、鉛直方向の動水勾配については上向きを、水平方向については堤外地から堤内地に向かう方向を正とする。

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

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

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
 $\Delta \phi$; 節点間の圧力水頭差
 d_v ; 節点間の鉛直距離
 d_h ; 節点間の水平距離
 γ_w ; 水の密度 ($\gamma_w = 1.0 \text{ t/m}^3$)



(引用：河川堤防の構造検討の手引き)

図-2.3 パイピングに対する局所動水勾配の算出

2. 4. 4 盤ぶくれに対する安全率⁸⁾

裏のり尻近傍の堤内地盤高の表層が粘性土で被覆されている場合を想定し、盤ぶくれに対する安全性照査を行うため、次式により盤ぶくれに対する安全率を求めた。

$$G / W = (\rho t \cdot H) / (\rho w \cdot P)$$

G : 被覆土層の重量 (kN/m²)

W : 被覆土層底面に作用する揚圧力 (kN/m²)

ρt : 被覆土の密度 (kN/m³)

H : 被覆土層の厚さ (m)

ρw : 水の密度 (kN/m³)

P : 被覆土底面の圧力水頭 (m)

被災事例個票 - 1 (最上川右岸CsNo92 ~ No94)

					水系名	最上川	河川名	最上川	被災年月日	S33.7.28	被災地点	CsNo92 ~ No94			
土質条件					2.詳細点検 (右岸 9.6k)			1.被災時の再現計算							
土層構成	t (kN/m ³)	(°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)									被災形状		
	Bc1	16.5	0	42.5									1.0E-05	被災した詳細部位、形状は不明	
	Ac1	17.5	0	37.0									1.0E-05		
	As1	18.5	35.5	0.0									5.0E-03		
	Ag2	22.0	37.5	0.0									5.0E-03		
	As3	19.0	34.5	0.0									3.0E-02		
	As4	19.5	30.5	0.0									6.0E-03		
外力条件													被災要因		
													被災状況		
								<p>・法尻付近より漏水が発生し、法尻が崩壊した。</p>							
基礎地盤の パイピング に対する安全性	浸潤線発達状況														
	局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)				$(i < 0.5)$ $ix =$ $iy =$ $(G/W > 1.0)$ $G/W = 1.010$ (OK)			A ピーク水位時 $ix = 0.351$ $iy = 0.686$ $G/W = 0.986$							
堤体の すべり破壊 に対する安全性	裏のり円弧すべり												被災時の再現計算結果		
	安全率 F _s				F _s 1.5 F _s = 2.575 (OK)			F _s = 2.901							
	表のり円弧すべり														
	安全率 F _s				F _s 1.0 F _s = 3.694 (OK)			F _s = 4.842							
判定 (詳細点検のみ)															

被災時の再現計算結果

1.再現計算結果
 浸透流解析によると、被災時の堤体内は全体的に不飽和の状態を呈していた。
 河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は $ix=0.351$ を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としての $i=1.0$ を下回る結果を得た。
 盤ぶくれに対する安全性は、 $G/W=0.986$ を示し、限界値の1.0をわずかに下回る結果を得た。

2.被災時の再現性評価
 再現計算では、堤体の飽和度は上昇しておらず、パイピングやすべり破壊に対する安全性も確保されているという結果を得た。盤ぶくれに対する安全率が限界値を超える値が出ているが被災形態に関する記録が残っていないので、計算結果が被災事例と合致していたかは不明である。

被災事例個票 - 2 (阿武隈川左岸4.0k)

					水系名	阿武隈川	河川名	阿武隈川下流	被災年月日	S33.9.27	被災地点	4.0k	
土質条件					2.詳細点検 (左岸 4.0k)			1.被災時の再現計算					
土層構成	t (kN/m ³)	(°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)									
	Bc	16.5	0	35.0									1.0E-05
	Ac1	16.5	0	40.0									1.0E-05
	As1	19.0	35	1.0									1.0E-02
	As2	-	-	-									2.0E-03
外力条件													
基礎地盤の パイピング に対する安全性	浸潤線発達状況												
	局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)	(i < 0.5)	ix=	iy=	ix= 0.175 iy= 0.651 G/W = 1.021								
	裏のり円弧すべり												
堤体の すべり破壊 に対する安全性	安全率 F _s	F _s 1.5	F _s =	2.816 (OK)	F _s = 0.588								
	表のり円弧すべり												
	安全率 F _s	F _s 1.0	F _s =	3.617 (OK)	F _s = 0.602								
判定 (詳細点検のみ)					×								
								被災時の再現計算結果 1.再現計算結果 浸透解析によると、被災時の堤体内は浸潤線はほぼ定常状態の位置まで上昇していた。 河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は浸透破壊の生じる限界値の目安としてのi=1.0を下回る値を示した。 盤ぶくれに対する安全性は、G/W=1.021を示し、限界値の1.0を上回る結果を得た。 裏のりすべりに対する安全率はF _s =0.588、表のりすべりに対する安全率はF _s =0.602を示し、表・裏のり面ともに限界値のF _s =1.0を下回る結果を得た。 2.被災時の再現性評価 再現計算では、すべり破壊に対する安全率が低い値を示し、すべり破壊に対して危険な状態であったという結果となった。ただし、実際の被災形状と計算結果のすべりに対する被災形態は大きく異なっていることがわかる。実際の被災では小段下の法面の表層がすべっているが、計算結果ではもっと大きな円弧すべりが発生することとなっている。小段下の表層がすべった理由としては、小段により雨水が浸透が集中したことと、降雨強度の強い降雨により表層が弱体化したことが考えられる。					

被災事例個票 - 3 (米代川左岸5.0k)

		水系名	米代川	河川名	米代川	被災年月日	S47.7.9	被災地点	5.0k
土質条件		2.詳細点検 (左岸 5.0k)			1.被災時の再現計算				
土層構成	t (kN/m ³)	(°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)					
Bn	2.0	30	1.0	3.0E-03					
As1	21.0	30	0.0	2.0E-02					
Acs1	16.0	0	50.0	1.0E-05	<p>被災要因</p> <ul style="list-style-type: none"> ・長時間降雨のため、堤防がウマなかつたら破堤を免れたものと思われる。 ・長時間浸透によるパイピング現象のため破堤した。 				
As2	20.0	30	0.0	4.0E-03	<p>被災状況</p> <ul style="list-style-type: none"> ・破堤により同地区に洪水が流出した。 ・これによる家屋の流失、浸水で住民はすべて緊急避難している。 				
Acs2	16.0	0	50.0	1.0E-05	<p>外力条件</p>				
As3	18.0	30	0.0	1.0E-04					
基礎地盤の パイピング に対する安全性	浸潤線発達状況								
	局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)	($i < 0.5$)	$ix = 0.39$ (OK)	$iy = 0.23$ (OK)	$ix = 0.704$ $iy = 0.495$				
堤体の すべり破壊 に対する安全性	裏のり円弧すべり								
	安全率 F _s	F _s 1.5	F _s = 1.639 (OK)		F _s = 1.202				
	表のり円弧すべり								
	安全率 F _s	F _s 1.0	F _s = 1.252 (OK)		F _s = 1.467				
判定 (詳細点検のみ)					<p>被災時の再現計算結果</p> <p>1.再現計算結果 浸透流解析の結果、被災時には河川水位とのり尻を結び概ね直線的な浸潤線を呈していたことを確認した。 河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は$ix=0.704$を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としての$i=1.0$を下回る結果を得た。 裏のりすべりに対する安全率は$F_s=1.202$、表のりすべりに対する安全率は$F_s=1.467$を示し、表・裏のり面ともに限界値の$F_s=1.0$を上回る結果を得た。</p> <p>2.被災時の再現性評価 本被災事例については、パイピングにより破壊したとされているが、局所動水勾配$i=0.704$であり、パイピング発生目安となる$i=1.0$を下回っていた。局所的な弱点があったことが考えられる。</p>				

被災事例個票-4 (宇治川左岸42.8k)

					水系名	淀川	河川名	宇治川	被災年月日	S28.9.25	被災地点	42.8k						
土質条件					2.詳細点検 (左岸 42.6k)			1.被災時の再現計算										
土層構成	γ_t (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)									<p>被災形状</p>					
	Bs2	20.0	30	22.0														1.0E-03
	Asg1	21.0	37	0.0														2.0E-01
	Ac1	18.0	0	30.0														1.0E-05
	Asf1	20.0	15	94.0														3.0E-03
	Ac2	18.0	0	50.0														2.0E-05
	Asf2	20.0	30	0.0														1.0E-02
	Asg2	21.0	35	0.0														5.0E-03
Tg	21.0	40	0.0	1.0E-01														
外力条件										被災要因								
										被災状況								
①基礎地盤の パイピング に対する安全性	浸潤線発達状況									飽和度								
	局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)				<p>($i < 0.5$) $i_x = 0.08$ (OK) $i_y = 0$ (OK)</p> <p>($G/W > 1.0$) $G/W = -$</p>					<p>$i_x = 0.170$ $i_y = -0.087$</p> <p>$G/W = -$</p>								
②堤体の すべり破壊 に対する安全性	裏のり円弧すべり									被災時の再現計算結果								
	安全率 F_s				<p>$F_s \geq 1.5$ $F_s = 2.030$ (OK)</p>					<p>1.再現計算結果 浸透流解析の結果によれば、ピーク水位時においても浸潤線は低い位置にあり、堤体の飽和度も低い状態であるという結果となった。</p> <p>河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は$i_x=0.170$を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としての$i=1.0$を下回る結果を得た。</p> <p>裏のりすべりに対する安全率は$F_s=2.704$、表のりすべりに対する安全率は$F_s=2.331$を示し、表・裏のり面ともに限界値の$F_s=1.0$を大きく上回る結果を得た。</p>								
	表のり円弧すべり									<p>2.被災時の再現性評価 被災したにもかかわらず再現計算では、堤体の飽和度は低い状態という結果となった。安全性を示す指標もすべて安全な値を示しており、堤体材料の土質定数等の計算条件が適切な値となっていない可能性がある。また、実現象では50mm/hを超える強い降雨が降っており、計算ではこれが反映されていない可能性もある。</p>								
	安全率 F_s				<p>$F_s \geq 1.0$ $F_s = 1.740$ (OK)</p>					<p>$F_s = 2.331$</p>								
判定 (詳細点検のみ)					○					-								

被災事例個票-5 (斐伊川右岸11.4~11.6k)

水系名					斐伊川	河川名	斐伊川	被災年月日	S40.7.23	被災地点	11.4k~11.6k						
土質条件					2.詳細点検 (右岸 11.5k)			1.被災時の再現計算									
土層構成	γ_t (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)									被災形状				
B	15.2	34	1.0	3.0E-02													
Ama	17.9	31.1	0.0	5.0E-04									被災要因				
Asa	18.2	34.2	0.0	1.0E-03													
Amb	17.3	0	35.3	1.0E-05													
Asb	18.2	35.7	0.0	2.0E-03													
Amc	16.9	0	30.0	1.0E-05													
Asc	18.2	36.5	0.0	2.0E-02	被災状況												
外力条件																	
①基礎地盤の パイピング に対する安全性	浸潤線発達状況							飽和度									
	局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)				$(i < 0.5)$ $i_x = 0.2$ (OK) $i_y = 0.48$ (OK) $(G/W > 1.0)$ $G/W = -$												
②堤体の すべり破壊 に対する安全性	裏のり円弧すべり							被災時の再現計算結果									
	安全率 F _s				$F_s \geq 1.5$ $F_s = 1.200$ (OUT)			1.再現計算結果 浸透流解析によると、被災時には河川水位とのり尻を結ぶ概ね直線的な浸潤線を呈しているという結果となった。 河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は $i_x=0.447$ を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としての $i=1.0$ を下回る結果を得た。 裏のりすべりに対する安全率は $F_s=1.229$ 、表のりすべりに対する安全率は $F_s=1.299$ を示し、表・裏のり面ともに限界値の $F_s=1.0$ を上回る結果を得た。									
	表のり円弧すべり							2.被災時の再現性評価 土質構成からパイピングによる浸透破壊であることが考えられるが、局所動水勾配は低い値を示している。土質定数等の設定が適切でなかったか、堤体や基礎に弱点があったことが考えられる。									
	安全率 F _s				$F_s \geq 1.0$ $F_s = 1.460$ (OK)			$F_s = 1.299$									
判定 (詳細点検のみ)					X			-									

被災事例個票-6 (江戸川左岸24.5k~24.5k+200)

		水系名	利根川	河川名	江戸川	被災年月日	S57.9.12	被災地点	24.5k~24.5k+200		
土質条件		2.詳細点検 (左岸 24.9k)			1.被災時の再現計算						
土層構成	γ_t (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)	被災形状						
Bs3	17.0	30	1.0	5.0E-05							
Bc3	16.0	0	25.0	5.0E-05							
Bc2	18.0	0	30.0	5.0E-05	被災要因						
Bc1	20.0	0	135.0	5.0E-05	被災状況						
Ac	17.0	0	15.0	5.0E-05	<ul style="list-style-type: none"> ・のり崩れ、漏水 						
As	19.0	30	0.0	5.0E-03	被災状況						
Dc	-	-	-	1.0E-06	被災状況						
Ds	-	-	-	2.0E-03	被災状況						
外力条件								被災要因		被災状況	
①基礎地盤の パイピング に対する安全性	浸潤線発達状況	計画高水位		A ピーク水位時			飽和度				
	局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)	$(i < 0.5)$ (G/W > 1.0)	$i_x =$ G/W =	$i_y =$ G/W =	$i_x = 0.138$ G/W = 1.550	$i_y = 0.135$ G/W = 1.550					
②堤体の すべり破壊 に対する安全性	裏のり円弧すべり	計画高水位		A ピーク水位時			被災時の再現計算結果				
	安全率 F_s	$F_s \geq 1.5$	$F_s =$	$F_s = 2.128$			<p>1.再現計算結果 浸透流解析によると、被災時の堤体内は全体的に不飽和の状態を呈しているという結果となった。</p> <p>河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は$i_x=0.138$を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としての$i=1.0$を下回る結果を得た。</p> <p>盤ぶくれに対する安全性は、$G/W=1.550$を示し、限界値の1.0を上回る結果を得た。</p>				
	表のり円弧すべり	水位低下時		B 水位低下時			<p>裏のりすべりに対する安全率は$F_s=2.128$、表のりすべりに対する安全率は$F_s=2.120$を示し、表・裏のり面ともに限界値の$F_s=1.0$を上回る結果を得た。</p>				
	安全率 F_s	$F_s \geq 1.0$	$F_s =$	$F_s = 2.120$			<p>2.被災時の再現性評価 再現計算では、いずれの照査項目においても限界値以上の安全性を確保している結果を得た。被災形態に関しては、円弧すべり安定解析と実現象とも裏のり面の浅いすべりとなっており、被災形態は似ていると言える。</p>				
判定 (詳細点検のみ)		-			-						

被災事例個票-7 (荒川左岸11.3k)

水系名					荒川	河川名	荒川	被災年月日	S56.10.22	被災地点	11.3k	
土質条件					2.詳細点検 (左岸 11.73k)			1.被災時の再現計算				
土層構成	γ_t (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)								
外力条件											被災形状	
①基礎地盤の パイピング に対する安全性					浸潤線発達状況			A ピーク水位時			被災要因	
局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)					$(i < 0.5)$ $i_x = 0.173$ (OK) $i_y = 1.537$ (OUT) $(G/W > 1.0)$ $G/W = -$			$i_x = -0.753$ $i_y = -1.208$ $G/W = 1.939$			被災状況	
②堤体の すべり破壊 に対する安全性					裏のり円弧すべり			飽和度			被災時の再現計算結果	
安全率 F_s					$F_s \geq 1.5$ $F_s = 1.158$ (OUT)			$F_s = 1.077$			1.再現計算結果 浸透流解析によると、被災時の堤体内は全体的に不飽和の状態を呈しているという結果となった。 河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は $i_x = -0.753$ を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としての $i = 1.0$ を下回る結果を得た。 盤ぶくれに対する安全性は、 $G/W = 1.939$ を示し、限界値の1.0を上回る結果を得た。	
表のり円弧すべり					水位低下時			B 水位低下時			2.被災時の再現性評価 再現計算では、いずれの照査項目においても限界値以上の安全性を確保している結果を得た。河道水位が上がっていないことから、降雨による堤体の飽和度の上昇が原因と考えられる。被災形態は小段下ののり戻付近の浅いすべり破壊となっており、小段により雨水が集められのり戻付近の飽和度が高くなり、のり戻付近の堤体が弱体化したことが考えられる。	
安全率 F_s					$F_s \geq 1.0$ $F_s = 1.542$ (OK)			$F_s = 1.397$			被災要因	
判定 (詳細点検のみ)					X			-			被災状況	

被災事例個票-8 (荒川左岸13.7k)

					水系名	荒川	河川名	荒川	被災年月日	S56.10.22	被災地点	13.7k	
土質条件					2.詳細点検 (左岸 13.53k)				1.被災時の再現計算				
土層構成	γ_t (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)									
	Bc1	15.4	0	10.0									1.0E-05
	Bs	17.6	20	1.0									2.0E-05
	Bc2	17.5	0	35.0									1.0E-05
	Yus	18.3	20	0.0									2.7E-04
Yuc	16.9	0	45.0	1.0E-05									
外力条件													
被災形状													
被災要因													
被災状況					<p>・のり崩れ</p>								
①基礎地盤の パイピング に対する安全性	浸潤線発達状況												
	局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)	($i < 0.5$) (G/W > 1.0)	$i_x = 0.809$ (OUT)	$i_y = 0.429$ (OK)	$G/W = -$	$i_x = -0.205$	$i_y = -1.004$	$G/W = 2.101$					
②堤体の すべり破壊 に対する安全性	裏のり円弧すべり									<p>1.再現計算結果 浸透流解析によると、被災時の堤体内は全体的に不飽和の状態を呈していたという結果となった。 河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は$i_x = -0.205$を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としての$i = 1.0$を下回る結果を得た。 盤ぶくれに対する安全性は、$G/W = 2.101$を示し、限界値の1.0を上回る結果を得た。</p>			
	安全率 F_s	$F_s \geq 1.5$	$F_s = 1.209$ (OUT)					$F_s = 1.172$					
	表のり円弧すべり									<p>裏のりすべりに対する安全率は$F_s = 1.172$、表のりすべりに対する安全率は$F_s = 1.335$を示し、表・裏のり面ともに限界値の$F_s = 1.0$を上回る結果を得た。</p>			
	安全率 F_s	$F_s \geq 1.0$	$F_s = 1.086$ (OK)					$F_s = 1.335$					
判定 (詳細点検のみ)					X				-				

被災事例個票-9 (荒川右岸23.0k)

					水系名	荒川	河川名	荒川	被災年月日	S57.9.12	被災地点	23.0k			
土質条件					2.詳細点検 (右岸 23.003k)				1.被災時の再現計算						
土層構成	γt (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)									被災形状		
	Bc1	15.8	0	10.0									1.0E-05	被災した詳細部位、形状は不明	
	Bs	18.8	20	1.0									3.9E-05		
	Bc2	18.0	0	35.0									1.0E-05		
	Yus	18.9	25	0.0									1.2E-03		
	Ylc	16.7	0	35.0									1.0E-05		
外力条件													被災要因		
									被災状況						
									のり崩れ						
①基礎地盤の パイピング に対する安全性	浸潤線発達状況										飽和度				
	局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)		$(i < 0.5)$ $ix = 2.188$ (OUT) $iy = 1.384$ (OUT) $(G/W > 1.0)$ G/W = -				$ix = 0.704$ $iy = 0.495$ G/W = -								
②堤体の すべり破壊 に対する安全性	裏のり円弧すべり										被災時の再現計算結果				
	安全率 Fs		Fs ≥ 1.5 Fs = 1.217 (OUT)				Fs = 1.202								
	表のり円弧すべり														
	安全率 Fs		Fs ≥ 1.0 Fs = 2.286 (OK)				Fs = -								
判定 (詳細点検のみ)					X				-						

1.再現計算結果
 浸透流解析によると、被災時の堤体内は全体的に不飽和の状態を呈していたという結果となった。
 河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は $ix=0.704$ を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としての $i=1.0$ を下回る結果を得た。
 裏のりすべりに対する安全率は $Fs=1.202$ を示し、限界値の $Fs=1.0$ を上回る結果を得た。

2.被災時の再現性評価
 再現計算では、いずれの照査項目においても限界値以上の安全性を確保している結果を得た。粘性土の堤体と基盤の間に薄い砂層が形成されており、河道からの浸透水が通りやすい構造となっている。そのため、鉛直方向の局所動水勾配が $i=0.704$ と高めめの値を示しており、パイピングを起こしたことも想定される。

被災事例個票-10 (荒川左岸28.2k)

					水系名	荒川	河川名	荒川	被災年月日	S57.9.12	被災地点	28.2k	
土質条件					2.詳細点検 (左岸 26.8k)			1.被災時の再現計算					
土層構成	γ_t (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)									
	Bc1	15.8	0	10.0									1.0E-05
	Bc2	18.0	0	60.0									1.0E-05
	Yuc	17.0	0	25.0									1.0E-05
	Yus	18.9	25	0.0									1.0E-05
外力条件													被災形状
													被災要因
													被災状況
													のり崩れ
①基礎地盤の パイピング に対する安全性	浸潤線発達状況							飽和度					
	局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)	($i < 0.5$) (G/W > 1.0)	$i_x = 0.166$ (OK)	$i_y = 0.376$ (OK)	$i_x = 0.152$	$i_y = -0.795$							
②堤体の すべり破壊 に対する安全性	裏のり円弧すべり							被災時の再現計算結果					
	安全率 F_s	$F_s \geq 1.5$	$F_s = 0.584$ (OUT)	$F_s = 2.059$			1.再現計算結果 浸透流解析の結果、被災時の堤体内は全体的に不飽和の状態を呈していたことを確認した。 河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は $i_x=0.152$ を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としての $i=1.0$ を下回る結果を得た。 盤ぶくれに対する安全性は、 $G/W=8.877$ を示し、限界値の1.0を上回る結果を得た。						
	表のり円弧すべり							裏のりすべりに対する安全率は $F_s=2.059$ を示し、限界値の $F_s=1.0$ を上回る結果を得た。 2.被災時の再現性評価 再現計算では、いずれの照査項目においても限界値以上の安全性を確保している結果を得た。従って本断面において被災時の状況を再現するためには、より詳細な計算条件を設定する必要がある。					
	安全率 F_s	$F_s \geq 1.0$	$F_s = 1.941$ (OK)	$F_s =$									
判定 (詳細点検のみ)					✗			—					

被災事例個票-1.1 (荒川左岸64.0k)

水系名					荒川	河川名	荒川	被災年月日	S57.9.12	被災地点	64.0k			
土質条件					2.詳細点検			1.被災時の再現計算						
土層構成	γ_t (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)				<p>被災形状</p> <p>被災した詳細部位、形状は不明</p>						
Bc1	18.7	0	19.0	1.0E-05										
Bc2	18.7	0	19.0	1.0E-05										
Bc3	18.7	0	19.0	1.0E-05										
Ac1	18.5	0	24.0	1.0E-06										
As1	19.5	30	0.0	7.0E-03										
Ap	16.5	0	48.0	1.0E-06										
Dc	18.0	0	100.0	1.0E-06	<p>被災要因</p> <p>被災状況</p> <p>・のり崩れ</p>									
Dg	21.0	40	0.0	7.0E-02										
外力条件											<p>飽和度</p>			
①基礎地盤の パイピング に対する安全性	浸潤線発達状況							<p>計画高水位</p>			<p>A ピーク水位時</p>			
	局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)							$(i < 0.5)$ (G/W > 1.0)	$i_x = 0.091$ (OK) G/W = —	$i_y = 0.000$ (OK)	$i_x = 0.213$ G/W = 4.541	$i_y = -2.053$		
②堤体の すべり破壊 に対する安全性	裏のり円弧すべり							<p>計画高水位</p>			<p>A ピーク水位時</p>			
	安全率 F _s							$F_s \geq 1.5$	$F_s = 1.280$ (OUT)	$F_s = 1.273$				
	表のり円弧すべり				<p>水位低下時</p>			<p>B 水位低下時</p>						
安全率 F _s				$F_s \geq 1.0$	$F_s = 2.440$ (OK)	$F_s = 1.333$								
判定 (詳細点検のみ)					×			—						

1.再現計算結果
 浸透流解析によると、被災時の堤体内は全体的に不飽和の状態を呈しているという結果となった。
 河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は $i_x=0.213$ を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としての $i=1.0$ を下回る結果を得た。
 盤ぶくれに対する安全性は、 $G/W=4.541$ を示し、限界値の1.0を大きく上回る結果を得た。

裏のりすべりに対する安全率は $F_s=1.273$ 、表のりすべりに対する安全率は $F_s=1.333$ を示し、表・裏のり面ともに限界値の $F_s=1.0$ を上回る結果を得た。

2.被災時の再現性評価
 再現計算では、いずれの照査項目においても限界値以上の安全性を確保している結果を得た。被災形態が不明なので断定的な評価はできないが、法面すべりを起こしていたとしたら、その割には堤体の飽和度は低いと言える。

被災事例個票-12 (荒川左岸67.6k)

水系名					荒川	河川名	荒川	被災年月日	S57.9.12	被災地点	67.6k	
土質条件					2.詳細点検			1.被災時の再現計算				
土層構成	γ_t (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)								
	Bs	20.0	30	1.0								1.2E-04
	Bc1	18.8	0	16.0								1.0E-05
	Bc2	18.8	0	16.0								1.0E-05
	As1	20.0	25	0.0								1.0E-04
	Ac1	17.5	0	33.0								1.0E-06
	As2	18.5	25	0.0								1.0E-05
	Ac1	17.5	0	33.0								1.0E-06
HBG	19.5	40	0.0	2.0E-02								
外力条件												
①基礎地盤の パイピング に対する安全性	浸潤線発達状況											
	局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)				$(i < 0.5)$ $i_x = 0.162$ (OK) $i_y = 0.017$ (OK) $(G/W > 1.0)$ $G/W = -$ (OK)			$i_x = 0.580$ $i_y = -1.000$ $G/W = 1.893$				
②堤体の すべり破壊 に対する安全性	裏のり円弧すべり											
	安全率 F_s				$F_s \geq 1.5$ $F_s = 1.280$ (OUT)			$F_s = 0.831$				
	表のり円弧すべり											
安全率 F_s				$F_s \geq 1.0$ $F_s = 1.770$ (OK)			$F_s = 0.810$					
判定 (詳細点検のみ)					X			-				
								被災形状 (左岸 67.6~68.0k)				
								被災状況				
								・のり崩れ				
								飽和度				
								被災時の再現計算結果				
								1.再現計算結果 浸透流解析によると、Bs層及び基礎地盤は飽和し、Bc1,Bc2層は不飽和の状態を呈しているという結果となった。裏法側のBs層の飽和度が高いのは降雨によるものであると想定される。 河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は $i_x=0.580$ を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としての $i=1.0$ を下回る結果を得た。 盤ぶくれに対する安全性は、 $G/W=1.893$ を示し、限界値の1.0を上回る結果を得た。				
								2.被災時の再現性評価 再現計算では、表・裏のりすべりに対し限界値を下回る結果を得た。 被災時の詳細情報は無いものの、被災状況を概ね再現していると想定できる。				

被災事例個票-13 (荒川左岸69.6k)

水系名					荒川	河川名	荒川	被災年月日	S57.9.12	被災地点	69.6k
土質条件					2.詳細点検			1.被災時の再現計算			
土層構成	γ_t (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)				<p>被災形状 (左岸 69.6~70.0k)</p>			
B2(Bc)	18.8	0	16.0	1.0E-05							
Ac1	18.0	0	46.0	1.0E-06							
As1	(18.0)	30.0	0.0	6.2E-05							
Ac2	(17.0)	0.0	42.0	1.0E-06							
BG	(18.0)	35.0	0.0	2.1E-02							
外力条件											
①基礎地盤の パイピング に対する安全性	浸潤線発達状況							飽和度			
	局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)	($i < 0.5$) (G/W > 1.0)	$i_x = 0.830$ (OUT) G/W = -	$i_y = 0.380$ (OK) (OK)	$i_x = 0.597$ G/W = 1.557						
②堤体の すべり破壊 に対する安全性	裏のり円弧すべり							<p>被災時の再現計算結果</p> <p>1.再現計算結果 浸透流解析によると、被災時の堤体内は全体的に不飽和の状態を呈しているという結果となった。 河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は$i_x=0.597$を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としての$i=1.0$を下回る結果を得た。 盤ぶくれに対する安全性は、G/W=1.557を示し、限界値の1.0を上回る結果を得た。 裏のりすべりに対する安全率は$F_s=0.934$、表のりすべりに対する安全率は$F_s=0.828$を示し、表・裏のり面ともに限界値の$F_s=1.0$を下回る結果を得た。</p> <p>2.被災時の再現性評価 再現計算では、表・裏のりすべりに対し安全性を満たしていないという値を示しており、破壊が生じたという点では実現象と合致していると言える。しかしながら、被災状況の写真と比較すると、再現計算の方が規模が大きな破壊を想定しており、再現計算では破壊の規模までは正確には表現していないと言える。</p>			
	安全率 F_s	$F_s \geq 1.5$ $F_s = 0.964$ (OUT)			$F_s = 0.934$						
	表のり円弧すべり										
安全率 F_s	$F_s \geq 1.0$ $F_s = 1.379$ (OK)			$F_s = 0.828$							
判定 (詳細点検のみ)					X						

水系名					荒川	河川名	荒川	被災年月日	S57.9.12	被災地点	70.0k				
土質条件					2.詳細点検			1.被災時の再現計算							
土層構成	γ_t (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)				<p>被災形状 (左岸 70.0~70.4k)</p>							
B1(BC)	18.8	0	16.0	1.0E-05											
B2(Bc)	18.8	0	16.0	1.0E-05											
Ac1(上)	18.0	0	19.0	1.0E-06											
As1	19.2	40	0.0	7.0E-03											
Ac1(下)	16.9	0	24.0	1.0E-06	<p>旧河道</p>			<p>被災状況</p> <p>・のり崩れ</p>							
外力条件												<p>雨量(mm) 熊谷 9月10日~9月14日雨量実績 S57</p>			
												<p>水位(TP.m) 荒川 左岸70.0k地点における実績想定水位ハイドログラフ S57</p>			
					<p>計画高水位</p>							<p>飽和度</p>			
①基礎地盤の パイピング に対する安全性					<p>浸潤線発達状況</p>							<p>被災時の再現計算結果</p> <p>1.再現計算結果 浸透流解析によると、被災時の堤体内は全体的に不飽和の状態を呈していたという結果となった。 河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は$i_x=0.020$を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としての$i=1.0$を大きく下回る結果を得た。 盤ぶくれに対する安全性は、$G/W=0.809$を示し、限界値の1.0を下回る結果を得た。 裏のりすべりに対する安全率は$F_s=1.138$、表のりすべりに対する安全率は$F_s=0.925$を示し、表のり面で限界値の$F_s=1.0$を下回る結果を得た。 2.被災時の再現性評価 再現計算では、盤ぶくれに対する安全性及び表のりすべりに対する安全性で限界値を下回る結果を得た。被災事例の写真から判断すると、再現計算と比べて、実際の破壊は小規模であったことがわかる。</p>			
					<p>局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)</p>			<p>A ピーク水位時</p> <p>$i_x=0.020$ $i_y=-0.950$ $G/W = 0.809$</p>							
					<p>裏のり円弧すべり</p>			<p>水位低下時</p>							
					<p>安全率 F_s</p> <p>$F_s \geq 1.5$ $F_s = 1.081$ (OUT)</p>			<p>B 水位低下時</p>							
					<p>表のり円弧すべり</p>			<p>安全率 F_s</p> <p>$F_s \geq 1.0$ $F_s = 1.829$ (OK)</p>							
判定 (詳細点検のみ)					<p>×</p>			<p>—</p>							

水系名					荒川	河川名	荒川	被災年月日	S57.9.12	被災地点	70.4k
土質条件					2.詳細点検			1.被災時の再現計算			
土層構成	γ_t (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)							
B2(Bc)	18.8	0	16.0	1.0E-05							
Ac1	18.0	0	27.0	1.0E-06							
Ac2	(17.0)	0	30.0	1.0E-06							
Bg	(20.0)	42	0.0	2.6E-02							
外力条件											
<p>①基礎地盤の パイピング に対する安全性</p>					<p>計画高水位</p>			<p>A ピーク水位時</p>			
<p>浸潤線発達状況</p>					<p>局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)</p> <p>($i < 0.5$) $i_x = 0.630$ (OUT) $i_y = 0.177$ (OK) ($G/W > 1.0$) G/W = 1.883 (OK)</p>			<p>飽和度</p>			
<p>②堤体の すべり破壊 に対する安全性</p>					<p>裏のり円弧すべり</p>			<p>被災時の再現計算結果</p> <p>1.再現計算結果 浸透流解析によると、被災時の堤体内は全体的に不飽和の状態を呈しているという結果となった。 河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は$i_x = -0.640$を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としての$i = 1.0$を大きく下回る結果を得た。 盤ぶくれに対する安全性は、$G/W = 1.301$を示し、限界値の1.0を上回る結果を得た。</p>			
<p>安全率 F_s</p> <p>$F_s \geq 1.5$ $F_s = 1.152$ (OUT)</p>					<p>水位低下時</p>			<p>B 水位低下時</p>			
<p>表のり円弧すべり</p>					<p>安全率 F_s</p> <p>$F_s \geq 1.0$ $F_s = 2.753$ (OK)</p>			<p>裏のりすべりに対する安全率は$F_s = 1.146$、表のりすべりに対する安全率は$F_s = 1.060$を示し、表・裏のり面ともに限界値の$F_s = 1.0$を上回る結果を得た。</p> <p>2.被災時の再現性評価 再現計算では、いずれの照査項目においても限界値以上の安全性を確保している結果を得た。被災事例の写真より被災形態は法肩付近の比較的小規模な法滑りであると考えられ、降雨強度の強い降雨により局部的に堤体の飽和度が上昇したため起こったものと考えられる。</p>			
<p>判定 (詳細点検のみ)</p>					<p>×</p>			<p>—</p>			



被災状況

・不明

被災事例個票-16 (荒川左岸71.2k)

水系名					荒川		河川名		荒川		被災年月日		S57.9.12		被災地点		71.2k								
土質条件					2.詳細点検					1.被災時の再現計算															
土層構成	γ_t (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)											被災形状										
	B1(Bc)	18.4	0	22.0											1.0E-05	被災した詳細部位、形状は不明									
	B2(Bc)	19.1	0	34.0											1.0E-05										
	Ac1	18.0	0	27.0											1.0E-05										
	As1	18.0	0	34.0											8.6E-04										
	Bg	20.0	40	0.0											2.2E-01										
外力条件															被災要因										
																				被災状況					
①基礎地盤の パイピング に対する安全性															飽和度										
					浸潤線発達状況 局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)					(i < 0.5) ix = 0.307 (OK) iy = 0.116 (OK) (G/W > 1.0) G/W = 2.047 (OK)					ix = 0.153 iy = 0.473 G/W = 1.363										
②堤体の すべり破壊 に対する安全性															被災時の再現計算結果										
					裏のり円弧すべり					安全率 $F_s \geq 1.5$ $F_s = 3.194$ (OK)															安全率 $F_s = 2.627$
					安全率 F_s										安全率 $F_s = 2.862$										
					表のり円弧すべり					水位低下時 安全率 $F_s \geq 1.0$ $F_s = 2.597$ (OK)					B 水位低下時 安全率 $F_s = 2.862$										
判定 (詳細点検のみ)					○					—					1.再現計算結果 浸透流解析によると、被災時の堤体内は全体的に不飽和の状態を呈しているという結果を得た。 河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値はiy=0.470を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としてのi=1.0を下回る結果を得た。 盤ぶくれに対する安全性は、G/W=1.363を示し、限界値の1.0を上回る結果を得た。 裏のりすべりに対する安全率はFs=2.627、表のりすべりに対する安全率はFs=2.862を示し、表・裏のり面ともに限界値のFs=1.0を上回る結果を得た。 2.被災時の再現性評価 再現計算では、いずれの照査項目においても限界値以上の安全性を確保している結果を得た。被災形態は明らかではないが、強い降雨強度の降雨による局所的な浸透破壊であった可能性がある。										

被災事例個票-17 (荒川左岸72.0k)

					水系名	荒川	河川名	荒川	被災年月日	S57.9.12	被災地点	72.0k					
土質条件					2.詳細点検			1.被災時の再現計算									
土層構成	γ_t (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)									被災形状				
	Bc1	19.1	0	34.0									1.0E-05	被災した詳細部位、形状は不明			
	Bc2	19.1	0	34.0									1.0E-05				
	Ac1	19.1	0	47.0									1.0E-05				
	Ac2	17.2	0	51.0									1.0E-05				
	Ac3	18.8	0	65.0									1.0E-06				
外力条件													被災要因				
													被災状況				
①基礎地盤の パイピング に対する安全性													飽和度				
					局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)			$(i < 0.5)$ $i_x = 0.000$ (OK) $i_y = 0.000$ (OK) $(G/W > 1.0)$ $G/W = -$			$i_x = 0.283$ $i_y = 0.103$ $G/W = 0.809$						
②堤体の すべり破壊 に対する安全性					裏のり円弧すべり 			A ピーク水位時 					被災時の再現計算結果 1.再現計算結果 浸透流解析によると、被災時の堤体内は全体的に不飽和の状態を呈していたという結果を得た。 河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は $i_x=0.283$ を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としての $i=1.0$ を下回る結果を得た。 盤ぶくれに対する安全性は、 $G/W=0.809$ を示し、限界値の1.0を下回る結果を得た。 裏のりすべりに対する安全率は $F_s=2.751$ 、表のりすべりに対する安全率は $F_s=2.711$ を示し、表・裏のり面ともに限界値の $F_s=1.0$ を上回る結果を得た。 2.被災時の再現性評価 再現計算では、盤ぶくれに対する安全性で限界値を満足できない結果を得たものの、すべりに対する安全性では表裏のり面ともに限界値を大きく上回る安全率を確保していたことを確認した。被災形態が不明であるので、盤ぶくれを起こしていたかは不明である。				
					安全率 F_s			$F_s \geq 1.5$ $F_s = 2.394$ (OK)			$F_s = 2.751$						
					表のり円弧すべり 			水位低下時 			B 水位低下時 						
					安全率 F_s			$F_s \geq 1.0$ $F_s = 3.332$ (OK)			$F_s = 2.711$						
判定 (詳細点検のみ)					X			-									

被災事例個票-1.8 (荒川右岸72.0k)

					水系名	荒川	河川名	荒川	被災年月日	S57.9.12	被災地点	72.0k	
土質条件					2.詳細点検			1.被災時の再現計算					
土層構成	γ_t (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)									被災形状
B1(Bc)	19.1	0	16.0	1.0E-05				被災した詳細部位、形状は不明					
B2(Bs)	18.4	30	1.0	2.3E-03									
B3(Bg)	21.0	31	0.0	8.7E-03									
Ac1	18.5	0	34.2	3.1E-06									
As1	17.1	27	0.0	5.0E-03									
Ag	20.4	42	0.0	3.0E-01									
外力条件													被災要因
													被災状況
													のり崩れ
①基礎地盤の パイピング に対する安全性	浸潤線発達状況												飽和度
	局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)				($i < 0.5$)	$i_x = 0.710$ (OUT)	$i_y = 0.547$ (OUT)	$i_x = 0.763$ $i_y = 0.707$ $G/W = 0.926$					
②堤体の すべり破壊 に対する安全性	裏のり円弧すべり												被災時の再現計算結果
	安全率 F_s				$F_s \geq 1.5$	$F_s = 1.714$ (OK)		$F_s = 0.820$					1.再現計算結果 浸透流解析によると、Bs層及び基礎地盤は飽和しBc層は不飽和の状態を呈しているという結果を得た。 河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は $i_x=0.763$ を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としての $i=1.0$ を下回る結果を得た。 盤ぶくれに対する安全性は、 $G/W=0.926$ を示し、限界値の1.0を下回る結果を得た。
	表のり円弧すべり												2.被災時の再現性評価 粘性土の旧堤に砂質土で表腹付けしたものであり、旧堤部分が堤体内の浸透水の排水を妨げる形となり、飽和度が上昇したことが考えられる。被災形態が不明なので、再現計算の正確な評価はできないが、安全度が低い計算結果が出たという意味においては、妥当な値を示すことができたと言える。
安全率 F_s				$F_s \geq 1.0$	$F_s = 1.092$ (OK)		$F_s = 1.010$						
判定 (詳細点検のみ)					X			-					

被災事例個票-19 (庄内川左岸25.0k+155m)

水系名					庄内川	河川名	庄内川	被災年月日	H12.9.11	被災地点	25.0k+155m			
土質条件					2.詳細点検			1.被災時の再現計算						
土層構成	γ_t (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)								<p>被災形状</p>		
	Bs2, Bg2	19.0	22	1.0										4.6E-02
	Bs1	19.0	25	1.0										1.9E-02
	Ac	14.0	-	24.0										1.0E-05
	Ag	20.0	37	-										5.0E-02
	Dg	20.0	42	-										3.2E-01
	Ts	20.0	42	-										9.0E-04
	Tc	18.0	-	352.0										1.0E-05
Tg	20.0	42	-	5.0E-02										
外力条件									被災要因					
①基礎地盤の パイピング に対する安全性	<p>計画高水位</p>				<p>A ピーク水位時</p>				飽和度					
	<p>局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)</p> <p>($i < 0.5$) $i_x = 0.850$ (OUT) $i_y = 0.707$ (OUT) ($G/W > 1.0$) G/W = -</p>				<p>$i_x = 0.663$ $i_y = 0.550$ G/W = -</p>									
②堤体の すべり破壊 に対する安全性	<p>裏のり円弧すべり</p>				<p>A ピーク水位時</p>				被災時の再現計算結果					
	<p>安全率 F_s</p> <p>F_s ≥ 1.5 F_s = 0.818 (OUT)</p>				<p>F_s = 0.849</p>									
	<p>水位低下時</p>				<p>B 水位低下時</p>									
<p>表のり円弧すべり</p>				<p>B 水位低下時</p>				<p>1.再現計算結果</p> <p>浸透流解析によると、被災時には河川水位とのり尻を結ぶ概ね直線的な浸潤線を呈しており、浸潤線より上部の堤体の飽和度も上昇しているという結果を得た。</p> <p>河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は$i_x=0.663$を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としての$i=1.0$を下回る結果を得た。</p> <p>裏のりすべりに対する安全率は$F_s=0.849$、表のりすべりに対する安全率は$F_s=1.244$を示し、裏のり面限界値$F_s=1.0$を下回る結果を得た。</p> <p>2.被災時の再現性評価</p> <p>再現計算では、裏のりすべりに対し限界値を下回る結果を得た。被災時の写真から判断すると、再現計算の方が深いすべりとなっているものの、被災状況を概ね再現していると言える。</p>						
<p>安全率 F_s</p> <p>F_s ≥ 1.0 F_s = 1.245 (OK)</p>				<p>F_s = 1.244</p>										
判定 (詳細点検のみ)					X			-						

被災事例個票-20 (庄内川右岸23.8k)

					水系名	庄内川	河川名	庄内川	被災年月日	H12.9.11	被災地点	23.8k					
土質条件					2.詳細点検				1.被災時の再現計算								
土層構成	γ_t (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)									被災形状 被災した詳細部位、形状は不明				
	Bs	17.1	23	1.0													4.5E-01
	As	17.0	25	-													1.0E-02
	Dg	19.5	34	-													4.4E-03
	Tc	18.0	-	112.0													1.0E-05
外力条件									被災要因								
									被災状況 ・のり崩れ								
①基礎地盤の パイピング に対する安全性	計画高水位				A ピーク水位時				飽和度								
	浸潤線発達状況																
		局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)		$(i < 0.5)$ $i_x = 0.840$ (OUT) $i_y = 0.293$ (OK) $(G/W > 1.0)$ $G/W = -$		$i_x = 0.620$ $i_y = 0.223$ $G/W = -$											
②堤体の すべり破壊 に対する安全性	計画高水位				A ピーク水位時				被災時の再現計算結果								
	裏のり円弧すべり								1.再現計算結果 浸透流解析によると、被災時には河川水位とりのり尻を結ぶ概ね直線的な浸潤線を呈しているという結果を得た。 河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は $i_x=0.620$ を示し、浸透破壊の生じる限界値の目安としての $i=1.0$ を下回る結果を得た。 裏のりすべりに対する安全率は $F_s=0.987$ 、表のりすべりに対する安全率は $F_s=0.939$ を示し、表・裏のり面ともに限界値 $F_s=1.0$ を下回る結果を得た。								
	安全率 F_s		$F_s \geq 1.5$ $F_s = 0.901$ (OUT)		$F_s = 0.987$				2.被災時の再現性評価 再現計算では、表・裏のりすべりともに限界値を下回る結果を得た。被災形態が不明であるので正確な評価はできないが、被災した堤防に対して安全性を満たしていないという評価を出したという点においては、再現計算は妥当な値を示していると言える。								
表のり円弧すべり																	
		安全率 F_s		$F_s \geq 1.0$ $F_s = 0.939$ (OUT)		$F_s = 0.939$											
判定 (詳細点検のみ)					×				-								

被災事例個票-21 (庄内川右岸24.4k)

					水系名	庄内川	河川名	庄内川	被災年月日	H12.9.11	被災地点	24.4k								
土質条件					2.詳細点検				1.被災時の再現計算											
土層構成	γ_t (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)									被災形状							
	Bc	17.5	-	37.0									1.0E-05	被災した詳細部位、形状は不明						
	Bs	18.3	35	1.0									2.4E-02							
	Bg	19.2	26	1.0									1.0E-01							
	As	17.0	25	-									1.0E-02							
	Dg	19.5	33	-									1.0E-02							
Tc	18.0	-	256.0	1.0E-05																
外力条件													被災要因							
													被災状況							
①基礎地盤の パイピング に対する安全性					<p>計画高水位</p>				<p>A ピーク水位時</p>				飽和度							
					<p>局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)</p> <p>($i < 0.5$) $i_x = 0.397$ (OK) $i_y = 0.390$ (OK) ($G/W > 1.0$) G/W = -</p>				<p>$i_x = 0.387$ $i_y = 0.370$ G/W = -</p>											
②堤体の すべり破壊 に対する安全性					<p>計画高水位</p>				<p>A ピーク水位時</p>				被災時の再現計算結果							
					裏のり円弧すべり				<p>安全率 F_s</p> <p>$F_s \geq 1.5$ $F_s = 1.439$ (OUT)</p>								<p>1.再現計算結果</p> <p>浸透流解析によると、被災時には河川水位とのり尻を結ぶ概ね直線的な浸潤線 を呈し、浸潤線より上の堤体の飽和度も上昇しているという結果を得た。</p> <p>河川水位のピーク時における局所動水勾配の最大値は$i_x=0.387$を示し、浸透破 壊の生じる限界値の目安としての$i=1.0$を下回る結果を得た。</p> <p>裏のりすべりに対する安全率は$F_s=1.597$、表のりすべりに対する安全率は $F_s=1.342$を示し、表・裏のり面ともに限界値$F_s=1.0$を上回る結果を得た。</p>			
					表のり円弧すべり				<p>水位低下時</p>								<p>B 水位低下時</p>			
					安全率 F_s				<p>$F_s \geq 1.0$ $F_s = 1.342$ (OK)</p>								<p>$F_s = 1.597$</p> <p>$F_s = 1.342$</p>			
判定 (詳細点検のみ)					X				-											

被災事例個票-22 (阿賀野川左岸19.2k)

水系名					阿賀野川	河川名	阿賀野川	被災年月日	H16.7.1	被災地点	19.2k	
土質条件					2.詳細点検			1.被災時の再現計算				
土層構成	rt (kN/m ³)	φ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)				<p>被災形状</p>				
	Bs	19	30	1								5.0×10 ⁻³
	Ac1	17.9	0	42								1.0×10 ⁻⁵
	Ag	18	43	0								6.0×10 ⁻²
	As2	17	33	0								2.0×10 ⁻²
	Ac2	17	0	30								1.0×10 ⁻⁵
	土羽土	14	20	1								5.0×10 ⁻⁵
舗装	-	-	-	1.0×10 ⁻⁶								
外力条件									被災要因			
									被災状況			
①基礎地盤の パイピング に対する安全性	浸潤線発達状況							飽和度				
	局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)	(i < 0.5)	ix = 0.943 (OUT)	iy = 0.101 (OK)	ix = 0.474			iy = 0.007				
②堤体の すべり破壊 に対する安全性	裏のり円弧すべり							<p>被災時の再現計算結果</p> <p>1.再現計算結果 浸透流解析の結果、降雨浸透による影響で堤体内浸潤線が上に凸の状態まで上昇した。 継続的な降雨の終了する7月18日午前4:00の段階における局所動水勾配の最大値はix=0.474を示し、所要の安全性を確保していることを確認した。 裏のりすべりに対する安全率はFs=1.128、表のりすべりに対する安全率はFs=0.977を示し、表のり面で限界値Fs=1.0を下回る結果を得た。</p> <p>2.被災時の再現性評価 再現計算では、表のり面の表層すべりにおいて限界値を下回り、被災発生の可能性については再現している。被災事例では法肩から滑っているのに対し、再現計算ではのり尻から滑るという結果となっており、被災形状に差が見られる。</p>				
	安全率 Fs	Fs ≥ 1.5	Fs = 0.860 (OUT)	Fs = 1.128								
	表のり円弧すべり											
安全率 Fs	Fs ≥ 1.0	Fs = 0.853 (OUT)	Fs = 0.977									
判定 (詳細点検のみ)	×			-								

被災事例個票-23 (米代川左岸7.8k)

水系名					米代川	河川名	米代川	被災年月日	H19.9.17	被災地点	7.8k				
土質条件					2.詳細点検 (左岸 7.0k)			1.被災時の再現計算							
詳細点検断面	土層構成	γ_t (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kN/m ²)	Ks (cm/sec)							被災形状			
	L7.0k	Bn	17.0	22	1.0									4.4E-05	
	Acs	18.0	35	1.0	3.6E-03										
	Ag	20.0	38	0.0	6.0E-03										
	Ac2	16.0	0	56.0	1.0E-05										
As	20.0	43	0.0	5.4E-03											
L7.8k	Bn	18.0	30	1.0			2.0E-04								
As	17.0	25	1.0	1.0E-04											
Ag	20.0	35	0.0	1.0E-02											
Ac	-	-	-	1.0E-05											
被災断面※					※被災断面の土質条件は、現地ボーリング調査による。										
外力条件											被災要因				
①基礎地盤の パイピング に対する安全性					浸潤線発達状況						飽和度				
					局所動水勾配 i の最大値 盤ぶくれ (G/W)			$(i < 0.5)$ $i_x = 0.36$ (OK) $i_y = 0.31$ (OK) $(G/W > 1.0)$ $G/W = -$ (OK)							
②堤体の すべり破壊 に対する安全性					裏のり円弧すべり						被災時の再現計算結果				
					安全率 F _s			$F_s \geq 1.32$ $F_s = 1.238$ (OUT)					$F_s = 1.000$		
					表のり円弧すべり										
					安全率 F _s			$F_s \geq 1.0$ $F_s = 0.912$ (OUT)					$F_s = 1.840$		
判定 (詳細点検のみ)					×			-							

被災要因

- ・HWLを超える河川外力によって、土粒子移動を伴うパイピング現象が発生した。
- ・堤体は、浸透に対して弱い砂質土主体で、緩い締め固め状態であったため、河川水位ピーク直後にパイピング現象と複合して裏のりすべりが生じた。
- ・被災箇所は、堤内地盤が局部的に低くなった所に位置し、弱部となっていたことが、被災の主要因と考えられる。
- ・堤内地表層部には、砂～シルトの被覆土が分布し、行き止まり型の地質構成を呈していたことも、被災が生じた要因と考えられる。

被災状況

- ・漏水により堤内地が冠水。
- ・堤防はのり崩れにより断面が欠損した。
- ・遮水シート及び押さえ盛土による応急復旧を実施。

被災時の再現計算結果

1.再現計算結果

- ・浸透流解析の結果、堤体内の大部分は不飽和な状態であるが、のり先部では浸潤線の上昇が認められる。
- ・河川水位ピーク時の局所動水勾配の最大値は $i_y=1.02$ を示し、浸透破壊の生じる限界値 $i=1.0$ を越える結果を得た。
- ・裏法すべりに対する安全率は $F_s=1.00$ (0.999) を示し、極限状態となる結果が得られた。
- ・表法すべりに対する安全率は $F_s=1.84$ を示し、限界値の $F_s=1.0$ を上回る結果が得られた。

2.被災時の再現性評価

再現計算結果では、河川水位ピーク時にパイピング、法面すべりとも安全率が限界値付近に達する結果となった。被災形状も計算と実現象とよく一致していた。

3. 解析結果

3. 1 浸透破壊に対する安全性の解析結果（一覧表）

表-2.2 の検討対象となった堤防被災事例について、浸透流解析を行い、浸透破壊に対する安全性指標（円弧すべりに対する安全率、パイピングに対する局所動水勾配、及び盤ぶくれに対する G/W^{*3} ）を算出した結果を表-3.1 に示す。浸透破壊に対する安全性指標の値のうち、浸透破壊を起こす限界値とされる値（円弧すべりに対する安全率が 1.0、局所動水勾配が 1.0^{*3} ）、 G/W が 1.0）より安全側の値のものについては、水色の網掛けをかけた。危険側の値のものについては、ピンク色の網掛けをかけた。また、「No.」欄に朱色の網掛けをかけた事例は、1つ以上の安全性指標が危険側の値を示しているものである。

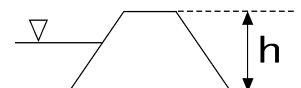
表-3.1 解析結果（一覧表）

No.	被災事例	被災形態 ^{※1}	土質特性		堤高 (m) ^{※2}	円弧すべり安全率		局所動水勾配		盤ぶくれ G/W^{*3}
			基礎	堤体		表法	裏法	水平	鉛直	
1	最上川（左岸 CsNo92~No94）	すべり	砂質	粘性	5.0	4.842	2.901	0.351	0.686	0.986
2	阿武隈川（左岸 4km）	すべり	砂質	粘性	7.0	0.602	0.588	0.175	0.651	1.021
3	米代川（左岸 0/5）	パイピング	砂質	砂質	5.0	1.467	1.202	0.704	0.495	—
4	宇治川（左岸 42.8km）	すべり	粘性	砂質	5.0	2.331	2.704	0.170	-0.087	—
5	斐伊川（右岸 11.4~11.6km）	パイピング	砂質	砂質	5.0	1.299	1.229	0.447	0.180	—
6	江戸川（左岸 24.5k~24.5k+200）	?	砂質	砂質	8.2	2.120	2.128	0.138	0.135	1.550
7	荒川（左岸 11.3km）	すべり	砂質	砂質	9.2	1.397	1.077	-0.753	-1.208	1.939
8	荒川（左岸 13.7km）	すべり	砂質	粘性	5.9	1.335	1.172	-0.205	-1.004	2.101
9	荒川（右岸 23.0km）	すべり	砂質	粘性	5.2	—	1.202	0.704	0.495	—
10	荒川（左岸 28.2km）	?	砂質	粘性	5.4	—	2.059	0.152	-0.795	8.877
11	荒川（左岸 64.0km）	?	砂質	砂質	3.8	1.333	1.273	0.213	-2.053	4.541
12	荒川（左岸 67.6km）	すべり	粘性	粘性	7.6	0.810	0.831	0.580	-1.000	1.893
13	荒川（左岸 69.6km）	すべり	粘性	砂質	7.3	0.828	0.934	0.597	-1.273	1.557
14	荒川（左岸 70.0km）	すべり	粘性	砂質	7.1	0.925	1.138	0.020	-0.950	0.809
15	荒川（左岸 70.4km）	すべり	粘性	粘性	8.1	1.060	1.146	-0.640	-1.363	1.301
16	荒川（左岸 71.2km）	?	砂質	粘性	6.4	2.862	2.627	0.153	0.473	1.363
17	荒川（左岸 72.0km）	?	粘性	砂質	8.8	2.711	2.751	0.283	0.103	0.809
18	荒川（右岸 72.0km）	?	砂質	砂質	8.1	1.010	0.820	0.763	0.707	0.926
19	庄内川（左岸 25.0k+155m）	すべり	礫質	砂質	6.7	1.244	0.849	0.663	0.550	—
20	庄内川（右岸 23.8km）	?	砂質	砂質	6.1	0.939	0.987	0.620	0.223	—
21	庄内川（右岸 24.4km）	?	砂質	砂質	5.4	1.342	1.597	0.387	0.370	—
22	阿賀野川（左岸 19.2km）	すべり	砂質	粘性	5.1	0.977	1.128	0.474	0.007	—
23	米代川（左岸 7.8km）	すべり、パイピング	砂質	砂質	5.3	1.000	1.840	1.020	0.650	—

※1 被災形態については、浸透破壊のうち「すべり」と「パイピング」の別を記述した。不明のものは「?」とした

※2 堤防高（h）は天端と堤内地基礎地盤との高度差を指す。

※3 G/W については、裏法尻付近の基礎地盤が粘性土で被われている事例のみ計算した。



3. 2 浸透破壊に対する安全性の解析結果（個票）

p. 15～p. 36 に対象被災事例の解析結果を示す。各個票について右側 2 列に実外力を与えた再現計算結果を示し、参考までに対象被災事例の直近の「堤防の浸透破壊に対する詳細点検」（詳細点検）の解析結果を「被災時の再現計算」の欄の左側に記載した。ただし、詳細点検の解析結果は、詳細点検を行った時点の堤防断面形状を用いていること、及び外力についても「河川堤防の構造検討の手引き」で定められている計画規模のものを用いていることが「被災時の再現計算」と異なるので単純な比較はできない。

「詳細点検」の欄には、計算に用いた堤防形状、計算に用いた外力（河道水位、降雨強度）のグラフ、解析結果（浸潤線、浸透流速ベクトル）、算出された安全性指標（円弧すべりに対する安全率：Fs、パイピングに対する局所動水勾配：ix（水平方向）、iy（垂直方向）、盤ぶくれに対する安全率：G/W）を示した。「1. 被災時の再現計算」については、それらに加えて、ピーク水位時における「飽和度分布」、「被災形状」、「被災要因」、「被災状況」及び「被災時の再現計算結果に対するコメント」を記載した。また、個票に記載されている主な土質記号の意味は、下記のとおりである。

・ 一般的な土質記号

先頭の大文字の A は沖積層（沖積世に堆積した新しい地層）、D は洪積層（洪積世に堆積した比較的古い地層）を示す。大文字につづく小文字 c は粘性土層（clay）、s は砂質土層（sand）、g は礫質土層（gravel）、p は有機質土層（peat）を示す。

表-3.2 主な土質区分

地層区分	土質区分	記号
沖積世 (A)	粘土層 (c)	Ac
	砂層 (s)	As
	礫層 (g)	Ag
	有機質土層 (p)	Ap
洪積世 (D)	粘土層 (c)	Dc
	砂層 (s)	Ds
	礫層 (g)	Dg
	有機質土層 (p)	Dp

砂 (s) 混じりの粘土 (c) 層を示すときに、Acs や Dcs のように 2 種類の小文字を組み合わせる表現することもある。沖積世及び洪積世が属する第四紀よりも古い第三紀 (Tertiary) の地層を Tc、Ts、Tg と表現することがある。

・ 固有の地層を示す土質記号

固有の地層を示す代表的なものとして、有楽町層を示す土質記号がある。有楽町層は沖積世に堆積した地層であり、関東地方に分布している。先頭の Yu、Yl はそれぞれ有楽町層上部 (Yurakucho Upper)、有楽町層下部 (Yurakucho Lower) を示す。

表-3.3 固有の地層を示す土質記号（例：有楽町層）

地層区分	部位	土質区分	記号
有楽町層 (Y)	上部 (u)	粘土層 (c)	Yuc
		砂層 (s)	Yus
		礫層 (g)	Yug
	下部 (l)	粘土層 (c)	Ylc
		砂層 (s)	Yls
		礫層 (g)	Ylg

・その他

同じ土質の地層を区別するために、添え字を付けて、Aca、Acb、あるいは添え数字を付けて、Ac1、Ac2 のように示すことがある。ロームを示す Lm がある。

3. 3 解析結果の評価

被災事例のうち堤体または基盤が砂質土により構成されているものが多いと言える。23 被災事例のうち、堤体にも基盤にも砂質土を含んでいないのは 2 事例のみである。透水性の大きい砂質土は浸透に対して危険度が高いとされているが⁹⁾、砂質土を含む堤防の被災事例の割合が多いことは、このことを示していると言える。

3. 3. 1 安全性指標の妥当性

対象事例の一覧表（表-3.1）のうち浸透破壊に対する安全性指標の値が 1 つでも危険側の値をとったものの番号に朱色の網掛けをしている。23 被災事例のうち、約 45%の 11 事例が何らかの形で被災の危険性があると判断されたこととなる。逆に、約 52%の事例が被災したにもかかわらず、浸透破壊に対して安全と評価されたと言いうことができる。また、現在の基準⁴⁾ に従い、安全率 $F_s=1.2 \times \alpha_1 \times \alpha_2$ 、局所動水勾配 $i=0.5$ の限界値にすると、対象被災事例のうち約 74%が危険側の安全性指標値をとると判断され、約 26%が安全と判断されたこととなる（表-3.4）。

表-3.4 安全性指数の妥当性^{*}

安全性指標	被災との一致・不一致の別	
	一致	不一致
理論上の限界値	47.8%	52.2%
基準値 ⁴⁾	73.9%	26.1%

^{*}安全性指標を一つでも満たさないものは危険とした。

3. 3. 2 パイピング被災事例の解析結果

まず、パイピングにより被災した 2 事例（No. 3 米代川左岸 5.0k、No. 5 斐伊川右岸 11.4~11.6k）についての解析結果について、ピーク水位時の浸透流速のベクトル図を見てみると裏法尻付近で動水勾配が大きくなる様子が現れており、概ね浸透流の挙動を適正に表現していると判断することができる（図-3.1、3.2）。ただし、局所動水勾配の最大値が破壊現象の目安となる $i=1.0$ を下回っており、

計算上はパイピングは起きないという結果が出ている。ただし、現在の指標では局所動水勾配の限界値を 0.5 と定めており、この基準に従うと危険と判断される。

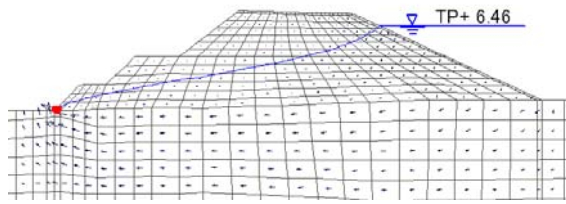


図-3.1 浸透流解析結果（米代川 No. 3）

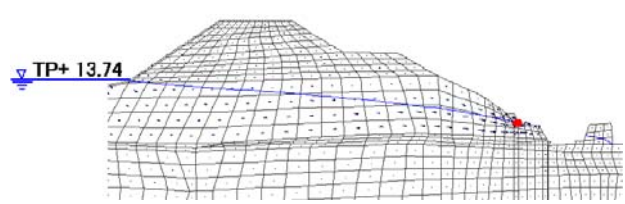


図-3.2 浸透流解析結果（斐伊川 No. 5）

3. 3. 3 すべり破壊事例の解析結果

図-3.3 の米代川の被災事例は、すべり破壊により破堤に至ったと考えられる。浸透流解析結果によると浸潤線は上がっておらず、堤体の飽和度も高くない。裏法の円弧すべりに対する安全率も $F_s = 2.704$ となっており安全側の値を示している。図-3.4 のハイトグラフより 50mm/h 以上の降雨を記録しており、被災時には堤防天端及び法面からの降雨が堤体内に浸透し、飽和度の上昇に寄与したと考えられるが、それが反映されていない。

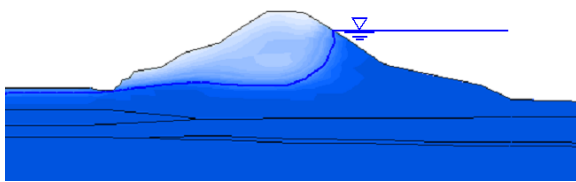


図-3.3 浸透流解析結果（米代川 No. 4）

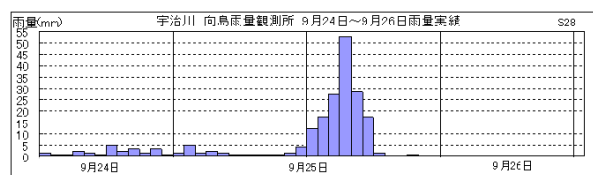


図-3.4 破堤事例（米代川）のハイトグラフ

図-3.5、3.6 は、すべり破壊により被災した事例である。両者とも浸潤線の位置は低いが、堤体内の飽和度が高くなっており、これが滑り破壊を起こした原因と考えられる。このことは、浸透流解析では浸潤線の位置だけでなく、堤体の飽和度もチェックする必要があることを示している。

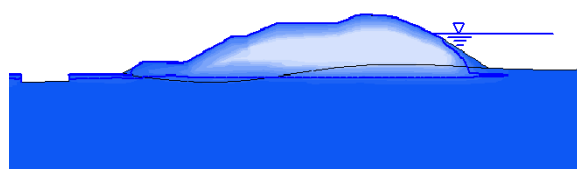


図-3.5 浸透流解析結果（荒川 No. 13）

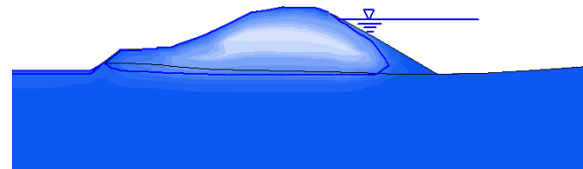


図-3.6 浸透流解析結果（荒川 No. 15）

図-3.7、3.8 は、河道水位があまり上がらず、降雨により堤体の飽和度が上がり法すべりが生じたと考えられる事例である。河道水位が上がらないと浸潤線も上がらないので、堤体の飽和度をチェックする必要がある。

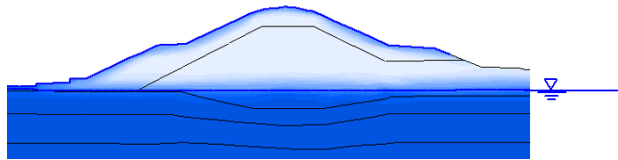


図-3.7 浸透流解析結果（荒川 No. 7）

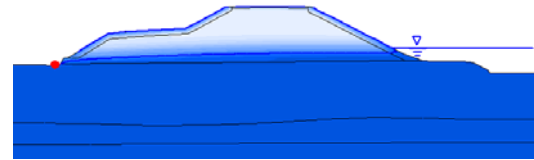


図-3.8 浸透流解析結果（阿賀野川 No. 22）

図-3.9、3.10 は粘性土の旧堤を砂質土でかさ上げした堤防の被災事例である。粘性土の旧堤部分で雨水の浸透が遮られ、堤防天端から裏法上部にかけての部分の飽和度が高くなっているのがわかる。図-3.11、3.12 は粘性土の旧堤に砂質土で表腹付けした堤防の被災事例である。粘性土が浸透水の裏法からの排出を妨げるかたちになるため、浸潤線が上がっている。浸透水の排出を妨げる、あるいは浸透水の滞留を助長するかたちで粘性土が配置されている堤防は、浸透破壊に対して危険な状態になることがわかる。

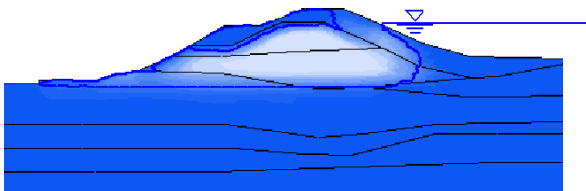


図-3.9 浸透流解析結果（荒川 No. 12）

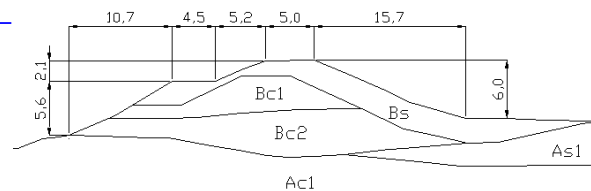


図-3.10 土質構成図（荒川 No. 12）

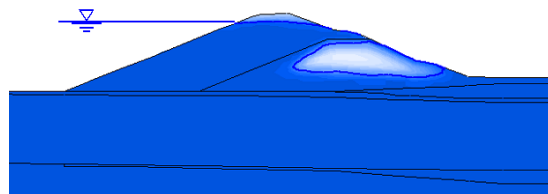


図-3.11 浸透流解析結果（荒川 No. 18）

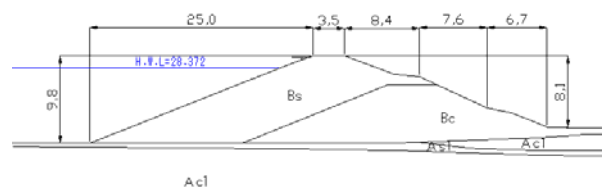


図-3.12 土質構成図（荒川 No. 18）

図-3.13、3.14 は解析結果と被災事例の被災形態が合致していたと考えられる事例である。破堤には至らない小規模な法面すべりであるが、被災した部位や規模をよく表している。粘性土の上に砂質土が配置された層構造をもつ堤防で、被災しやすい部位が想定しやすい構造ともいえる。

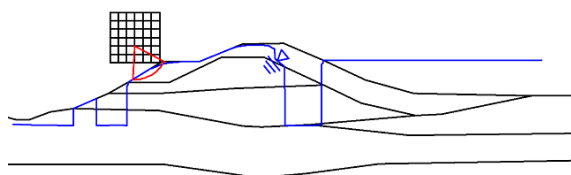


図-3.13 円弧すべり安定解析（荒川 No. 12）



図-3.14 被災状況（荒川 No. 12）

図-3.15、3.16は解析結果と被災事例の被災形態が合致していなかった事例である。解析結果では、大規模な円弧すべりを想定しているが、被災事例では裏小段下の法面の表層すべりである。強い降雨強度により表層の弱体化が進んだ結果、局所的な破壊が発生した可能性がある。

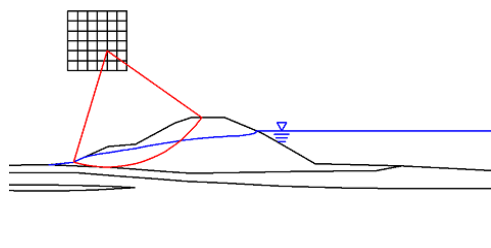


図-3.15 円弧すべり安定解析（阿武隈川 No. 2）

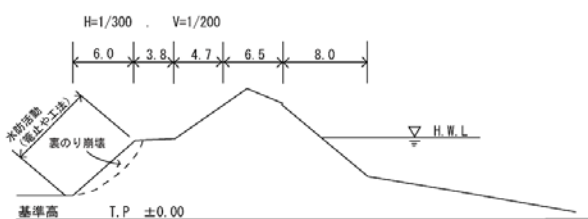


図-3.16 被災状況（阿武隈川 No. 2）

3. 3. 4 複合破壊事例の解析結果

図-3.17、3.18の事例は、目撃証言等から法尻部のパイピングによる破壊から法面すべりに進展したとされている。実外力を与えた再現計算からも鉛直方向局所動水勾配 $i_y=1.020$ 、裏法の円弧すべりに対する安全率 $F_s=1.000$ と危険側あるいは危険と判断される値に近い値を示しており、被災形状も含めて解析結果と実際の被災形態がよく合致していると言える。ただし、この解析に用いた土質定数は被災後現地ボーリングを行って得たものであり、700m程度離れている同一細分区間の詳細点検の照査断面の値と比較すると、透水係数が大きな値を示していることがわかる（p. 37 参照）。

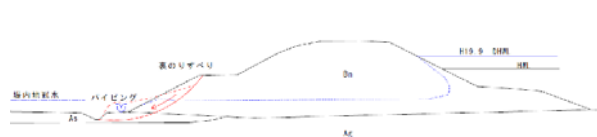


図-3.17 被災形態（米代川 No. 23）

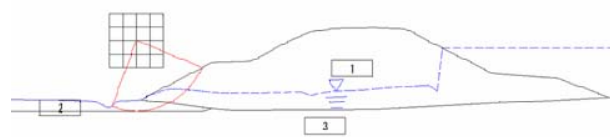


図-3.18 解析結果（米代川 No. 23）

3. 4 浸透破壊に関する安全性指標と破堤に対する安全性の関係

図-3.19、3.20にそれぞれ円弧すべりに対する安全率と破堤しない確率の関係を示したグラフを示す。円弧すべりに対する安全率については、23 被災事例のうち値の出ているもの（表法：21 事例、裏法 23 事例、合計 44 事例）について裏法、表法の区別することなくプロットした。安全率を 0.2 刻みの区分に分割した上、区分ごとに度数分布を求め、それぞれの区分について式-2.1（pp. 3）により破堤に対する破堤しない確率の値を水色のバーによりプロットした。同様に、パイピングについては、局所動水勾配（水平方向 i_x 、鉛直方向 i_y ）を水平方向、鉛直方向区別することなく、円弧すべりに対する安全率と同様の方法でプロットした。盤ぶくれに関する安全率（ G/W ）については、値が算出できた破堤事例がなかったため、グラフは作成しなかった。

図-3.19、3.20に示すとおり円弧すべり及びパイピングに対する安全性指標と破堤しない確率の間には明確な傾向は見られなかった。その主な原因としては下記が考えられる。

- ① 事例数が少なく、統計的に意味のある解析ができなかった可能性がある。
- ② 実際の被災事例の被災形態とその被災事例の安全性指標が示す被災形態との一致・不一致を区別することなく解析したため、その安全性指標の妥当性の適正な評価になっていない可能性がある。

(例えば、パイピングで被災した堤防の事例を円弧すべりの安全率で評価することは適切でない可能性がある。)

- ③ 浸透破壊に対する指標により、破堤に対する安全性を評価するのは適切でない可能性がある。浸透破壊を起こしても、必ずしも破堤に至るとは限らない。浸透破壊に対する安全性指標を評価するのであれば、被災事例だけではなく、浸透破壊を起こす外力を受けたが被災しなかった事例も含めて解析し、解析事例全体に対する被災事例数の割合で評価すべきである。(今回の調査では、浸透破壊で被災した事例のみを対象としたので、そのような解析はできなかった。)

堤防の浸透破壊に対する安全性を適正に評価するためには、上記に挙げた項目を守った上、被災した事例、外力を受けたが被災しなかった事例に関するデータを蓄積し、解析を行っていく必要がある。

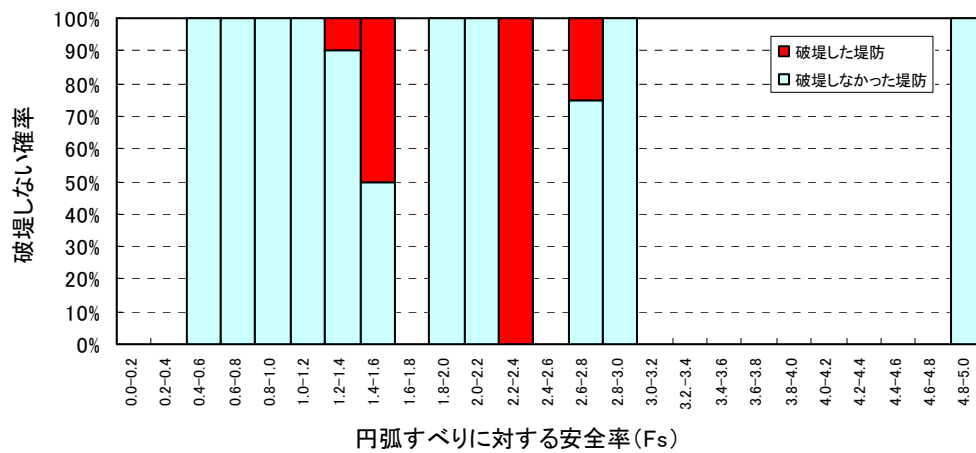


図-3.19 円弧すべりに対する安全率と破堤に対する安全性の関係

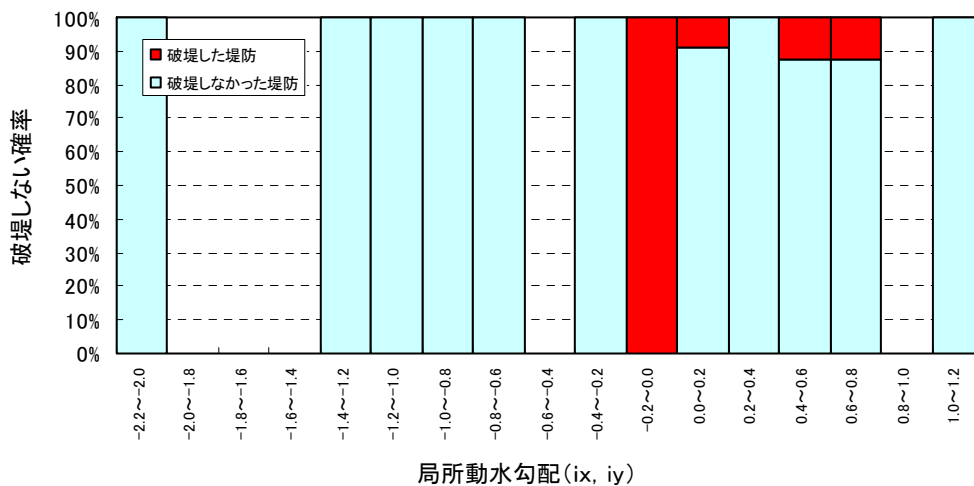


図-3.20 局所動水勾配と破堤に対する安全性の関係

4. 評価精度向上のための検討

堤体材料及び基礎地盤の土質定数には、自然材料である土質の不均一性に由来するばらつきが存在する。また、基礎地盤の土の強度定数には堤体及び土層の自重の締め固め作用による水平・鉛直方向の変化が存在する。しかしながら、実際の円弧すべり安定解析ではこれらのばらつきや強度分布の変化は考慮されていない。そこで、これらのばらつきを考慮した円弧すべり安定解析による安全率の信頼性を検討した。

4. 1 土質定数のばらつきを考慮した安全率の算出

強度に関する土質定数（ C ：粘着力、 ϕ ：内部摩擦角）の不均一性が円弧すべり安定解析の安全率に与える影響をモンテカルロ法により検討した。モンテカルロ法とは、複数の説明変数に確率分布を有する乱数を与えて、繰り返し計算することにより計算結果の確率分布を得る手法であるが、ここでは C 及び ϕ の生起確率の分布を仮定し、その確率分布に従って C 及び ϕ の値を乱数として与え繰り返し安全率を算出し、安全率の頻度分布（確率分布）を得ることとする（図-4.1）。

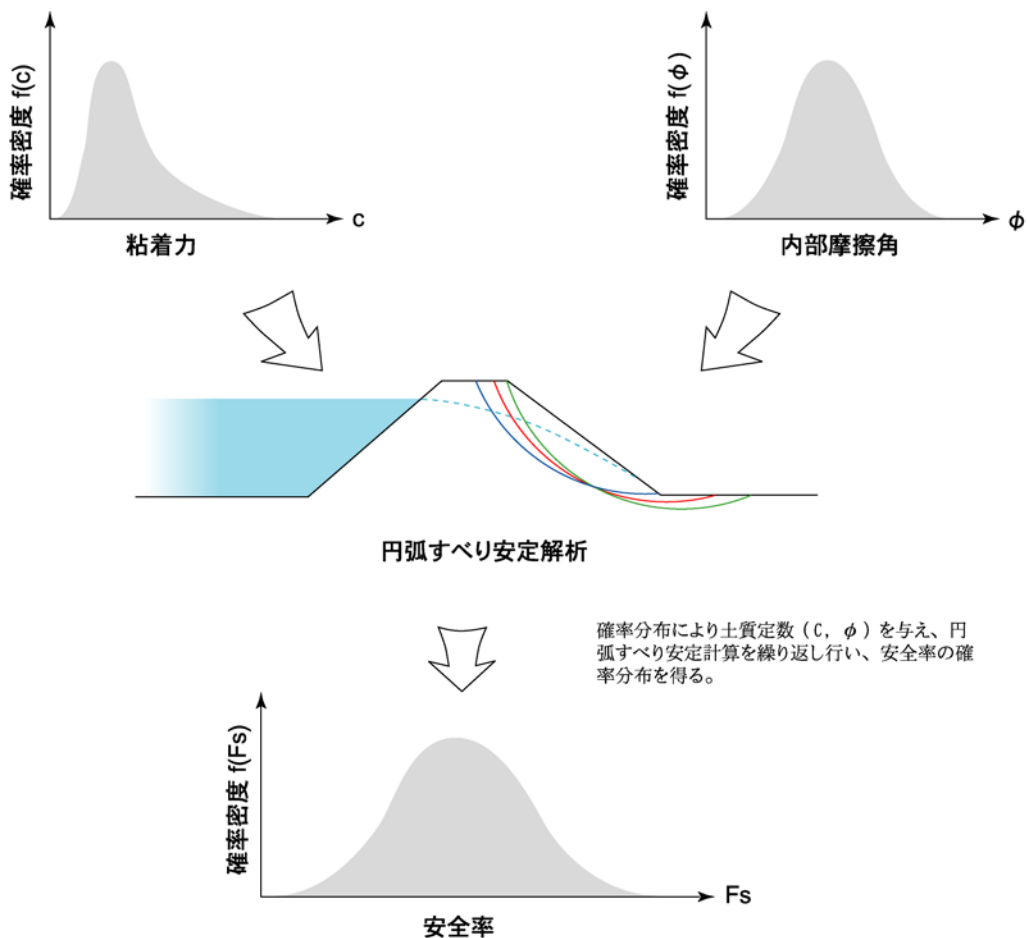


図-4.1 モンテカルロ法の概要

4. 1. 1 土質定数 (C , ϕ) のばらつき設定

C 及び ϕ を乱数として与えるための確率分布の分布型は表-4.1 に示したように設定した。既往の研究によると、粘着力については、対数正規分布または正規分布、内部摩擦角は正規分布が多く用い

られているが(表-4.4)、ここでは粘着力については対数正規分布、内部摩擦角については正規分布を用いることとした。

Phoon and Kulhawy(1999)の研究はこの方法論に基づいており、使用した試験値の数は類似の既往の研究の中では群を抜いて多いため、現時点ではもっとも一般性をもった値を示していると考えられる。内部摩擦角については、土質材料の性質及び密度が均一に近づくと、変動係数は小さい値をとり、また土質材料の性質や密度に不確実性があると考えられる場合には、変動係数は高い値をとる。これらの点を考慮して、ばらつきの程度を示す変動係数については、Phoon and Kulhawy(1999)の示した値を参考に、表-4.2のように設定した。

表-4.1 土質定数 (C, φ) の頻度分布の分布型の設定

	平均値	分布型
C (粘着力)	土質試験値	対数正規分布
φ (内部摩擦角)	土質試験値	正規分布

表-4.2 土質定数 (C, φ) の変動係数の設定

部位	土質	C (粘着力)	φ (内部摩擦角)
堤体	砂質土	30%	10%
	粘性土	30%	10%
基礎地盤	砂質土	10%	5%
	粘性土	10%	5%

4. 1. 2 土質定数のばらつきを考慮した確率論的安全率の算出

土質定数のばらつきを考慮した考慮した確率論的安全率の算出は、表-4.3に挙げる5箇所とした。図-4.2に庄内川(左岸25.0k+155m)についてモンテカルロ法における計算試行を行った結果を示す。試行回数が増えると安全率が1.0を超える確率は0.875に収束し、試行回数が5,000回を超えたところで収束する値との差が5%以内に収まるので、ここでの検討では、モンテカルロ法の試行回数を5,000回とした。なお、安全率はすべてピーク水位時の裏法面のすべりに対する安全率としている。

表-4.3 対象事例

箇所	土質		確定論的安全率
	基盤	堤体	
庄内川 (左岸 25.0k+155m)	礫質土	砂質土	0.881
荒川 (左岸 11.3k)	砂質土	砂質土	1.081
斐伊川 (右岸 11.4~11.6k)	砂質土	砂質土	1.175
米代川 (左岸 5.0k)	砂質土	砂質土	1.216
荒川 (左岸 13.7k)	砂質土	粘性土	1.652

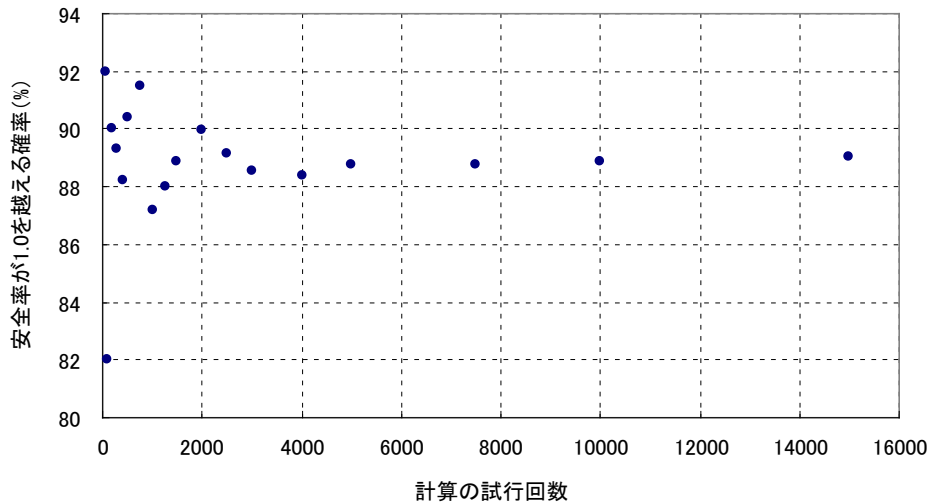


図-4.2 試行回数と確率論的安全率の収束状況

4. 1. 3 すべり破壊の信頼性に関する評価

表-4.3 に挙げた5事例について、モンテカルロ法により安全率の確率分布を求め、安全率が1.0を超える確率（信頼性：すべり破壊が起こらない確率）を算出した結果を図-4.3 に示す。確定論的安全率（試験値の土質定数を用いて計算した安全率）が0.8から1.2の間においてすべり破壊に対する信頼性は急激に上昇し1.2を上回ると90%以上になることがわかる。この結果、土質定数（ C 、 ϕ ）のばらつきを考慮しても計算上は安全率が1.2以上であればほぼすべり破壊に対する信頼性を確保していると言することができる。

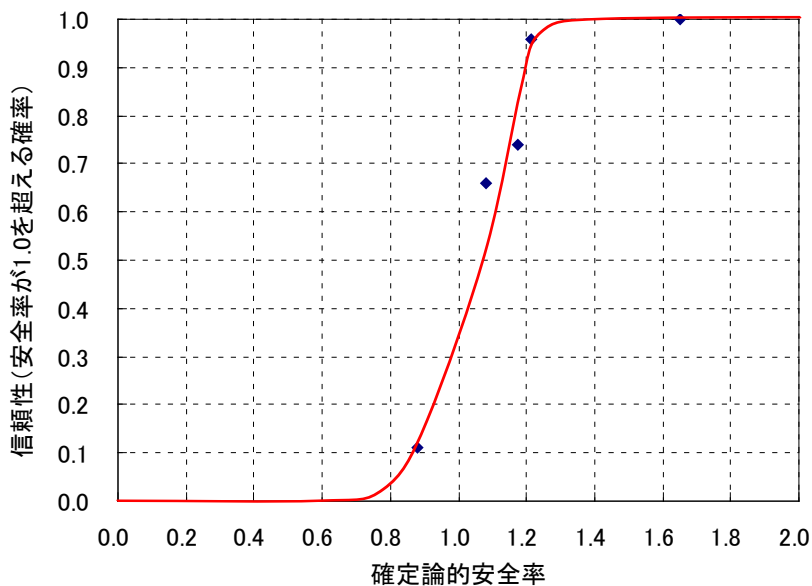


図-4.3 確定論的安全率とすべり破壊に対する信頼性の関係

表-4.4 土質定数 (C, φ) の頻度分布に関する既往研究

研究機関または研究者	粘着力C(Nk/m ²)			内部摩擦角φ(°)			土質	試験法	国名	備考
	平均値	変動係数	分布型	平均値	変動係数	分布型				
Baars(2006)	26(20)		正規				固い粘土	U	オランダ	例題用モデル
Gelder and Vrijling(2004)	10	20	正規				粘土		オランダ	例題用モデル
Phoon and Khlhawy(1999)	100	6-56		20	20	正規	細粒土	UC		試験値の整理
Phoon and Khlhawy(1999)	276	11-49					粘土・シルト	UU		試験値の整理
Phoon and Khlhawy(1999)	405	18-42					粘土	CICU		試験値の整理
Phoon and Khlhawy(1999)	112	6-80					粘土	記録なし		試験値の整理
Phoon and Khlhawy(1999)				15.3	10-50		粘土・シルト			試験値の整理
Phoon and Khlhawy(1999)				33.3	4-12		粘土・シルト			試験値の整理
USACE(1999)	800lb/ft ²	40					基礎地盤・粘土	U	米国	例題用モデル
USACE(1999)	800lb/ft ²	30					基礎地盤・粘土	U	米国	例題用モデル
USACE(1999)	500lb/ft ²	10					基礎地盤上部・粘土	U	米国	例題用モデル
Wolff(1997)	800lb/ft ²	40					基礎地盤上部・粘土	U	米国	例題用モデル
Lacasse and Nadim(1996), cited by USACE(2006)			対数正規				粘土	U		既往研究まとめ
Lacasse and Nadim(1996), cited by USACE(2006)			正規				粘土質シルト	U		既往研究まとめ
Shannon and Wilson, Inc., and Wolff(1994), cited by USACE(1999)		30-40					粘土	U	米国	既往研究まとめ
Wolff(1985), cited by USACE(1999)					7.5-10.1		粘土	D	米国	既往研究まとめ
Wolff(1985), cited by USACE(1999)		11-45					粘土	U	米国	既往研究まとめ
Fredlund and Dahlman(1972), cited by Harr(1987), cited by USACE(1999)		40					粘土	U		既往研究まとめ
Gekder and Vrijling(2004)				35	10	正規	砂		オランダ	例題用モデル
Phoon and Khlhawy(1999)				37.6	5-11		砂			試験値の整理
USACE(1999)				30	6.7		堤体・砂	U	米国	試験値の整理整理
USACE(1999)				30	5.9		基礎地盤・砂	U	米国	例題用モデル
USACE(1999)				34	5.9		基礎地盤・砂	U	米国	例題用モデル
Wolff(1997)				30	6.7		堤体・砂		米国	例題用モデル
Wolff(1997)				34	5.9		基礎地盤・砂		米国	例題用モデル
Lacasse and nadim(1996), cited by USACE(2006)						正規	砂			既往研究まとめ
Wolff(1994), cited by USACE					3.7-9.3		砂	D	米国	既往研究まとめ
Schultze(1972), cited by Harr(1987), cited by USACE(1999)					12		砂	D		既往研究まとめ
Fenton and Griffiths(2004)			対数正規				一般			分布型に関する検討
Babu and Murthy(2003)		10-40	正規		7-26	正規	一般		インド	既往研究まとめ

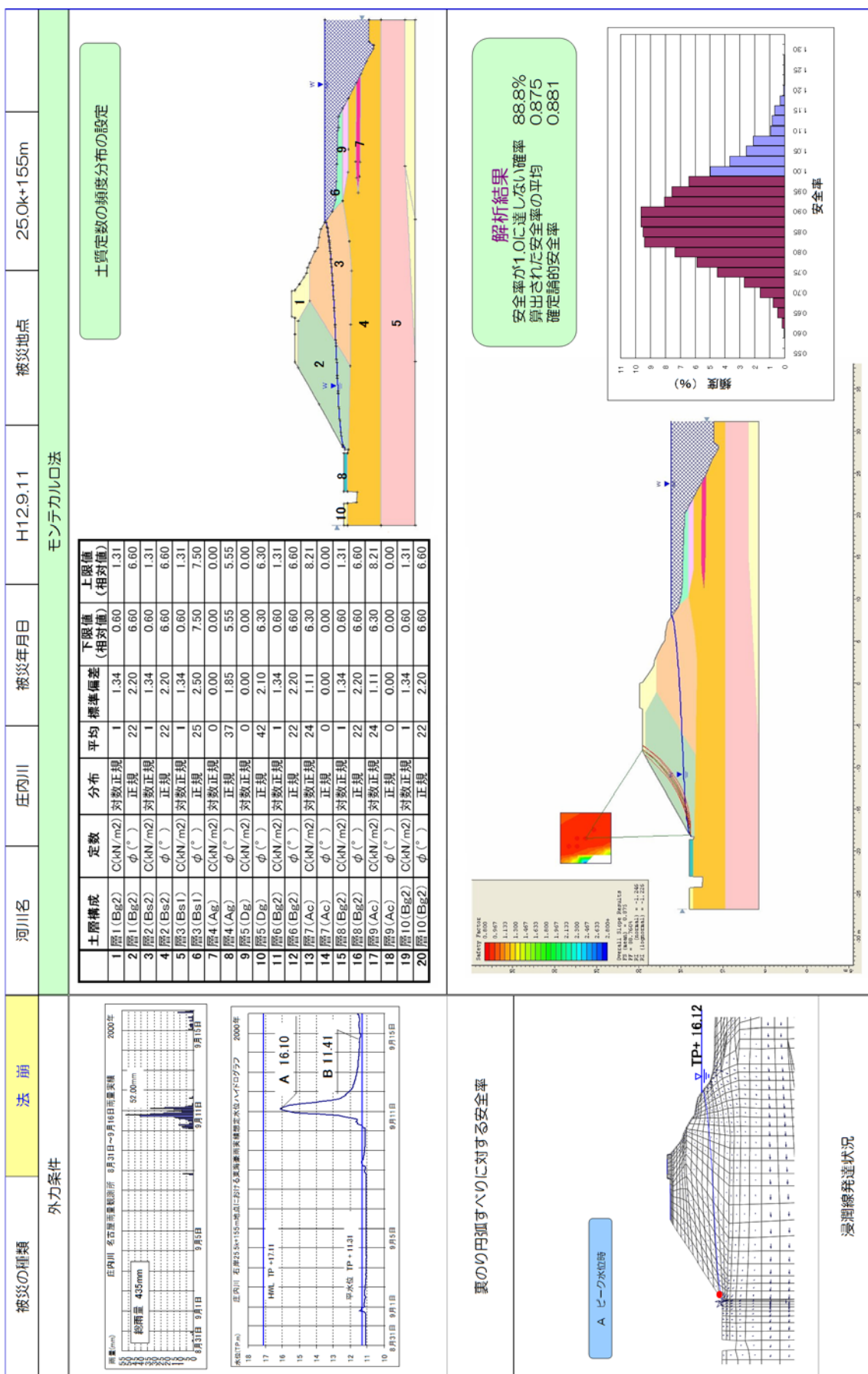
網掛けされたものは本検討で用いたもの

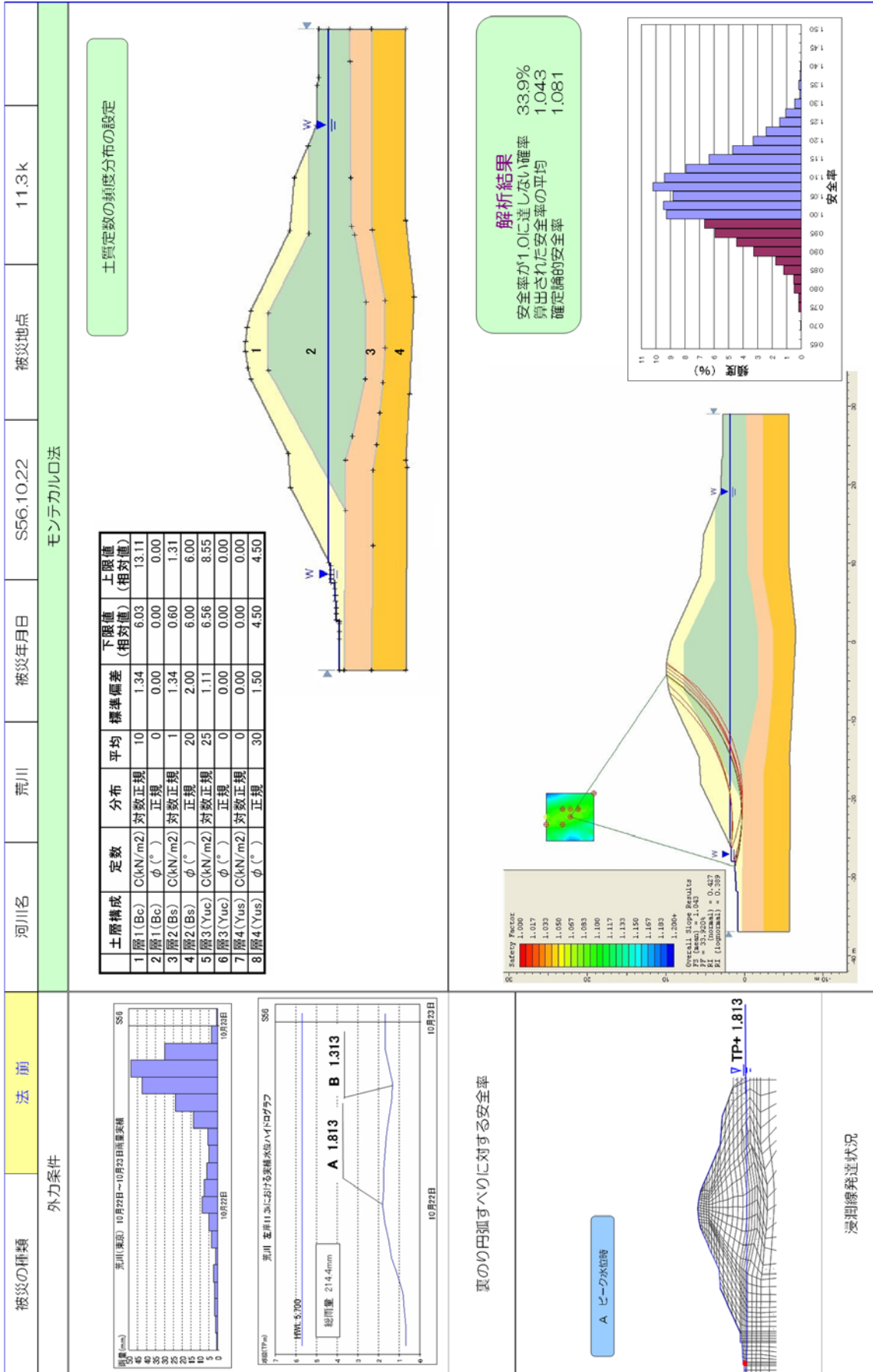
※U:排水試験 UC:圧縮試験 UU:非圧密非排水三軸試験 CICU:非圧密等方非排水三軸試験

4. 1. 4 モンテカルロ法の試行結果 (個票)

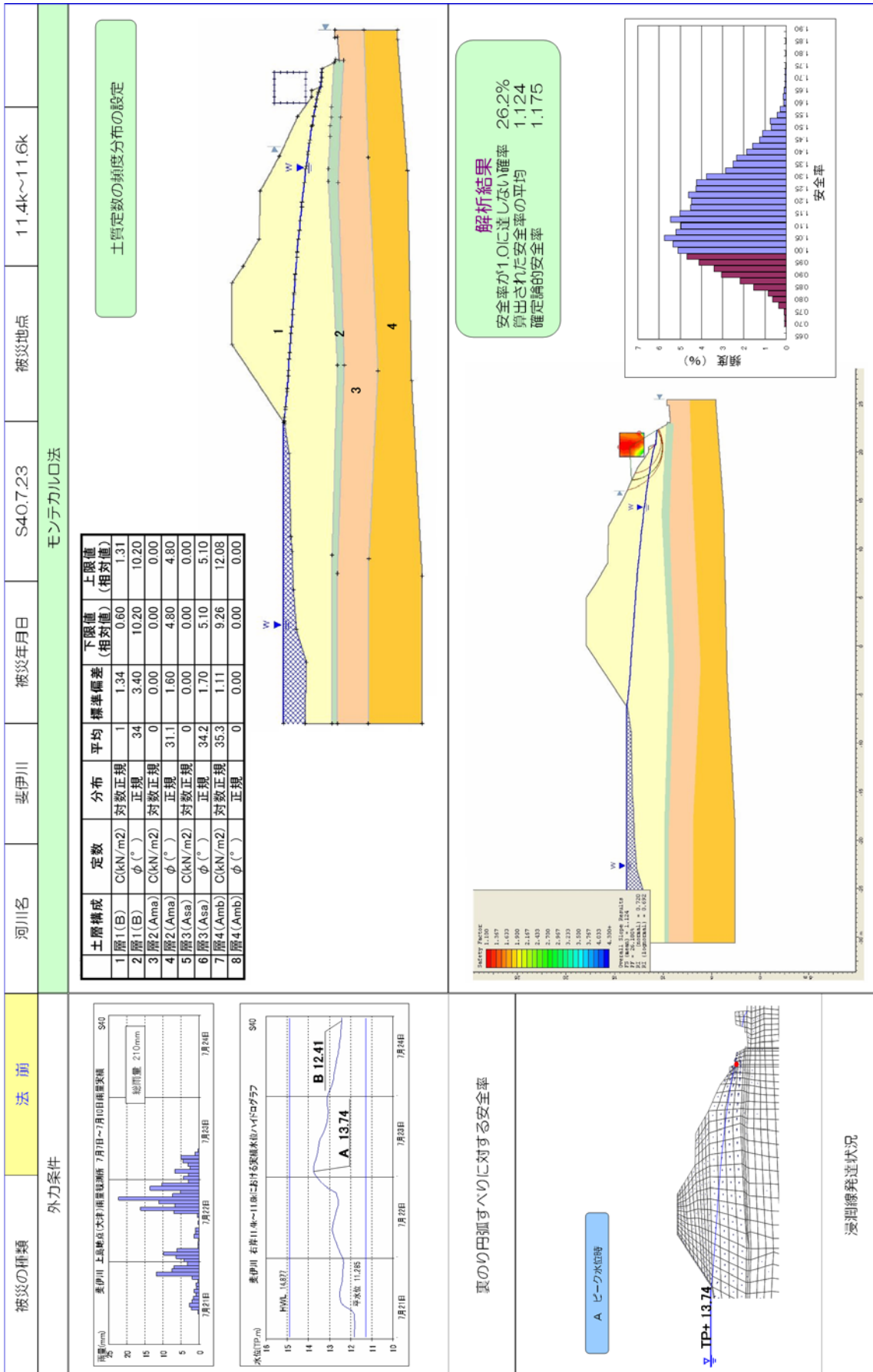
次ページ以降にモンテカルロ法により試行計算を行った事例の個票を示す。被災時に実際に作用した外力を与え浸透流計算を行った後、モンテカルロ法により土質定数 (C, φ) を確率分布で与えて繰り返し計算された結果得られた安全率の確率分布 (頻度分布) のヒストグラムと円弧すべりのすべり面を「解析結果」の覧に示している。

試行結果個票－1（庄内川左岸 25.0k+155m）

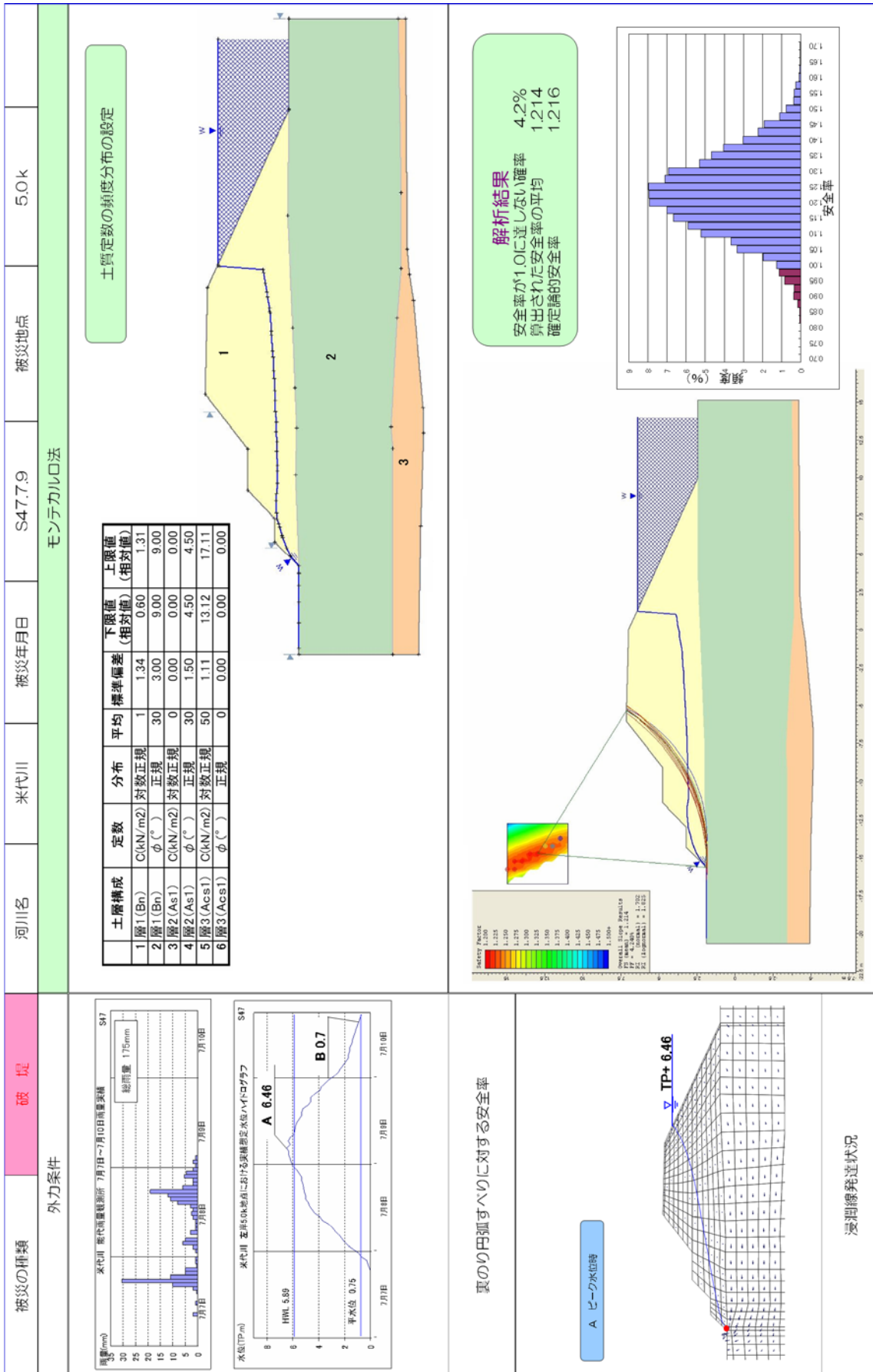


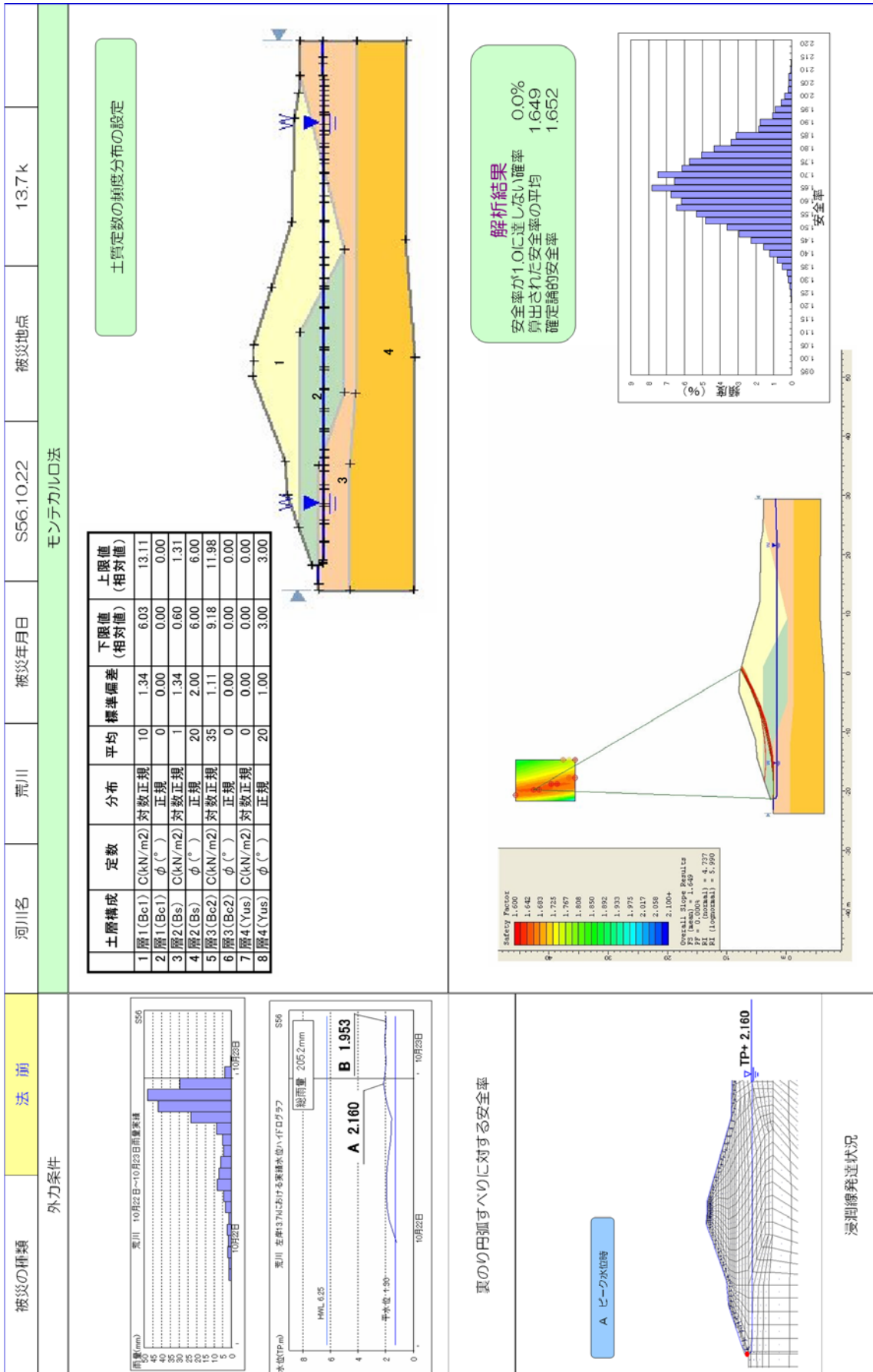


試行結果個票 - 3 (斐伊川右岸 11.4~11.6k)



試行結果個票－4（米代川左岸 5.0k）





4. 2 鉛直及び水平方向の強度分布を考慮した安全率の試算

堤体及び基礎地盤には土層の自重の締固め作用等による強度分布の変化が存在するが、実際の解析においては強度分布の変化は考慮していない。そこで、ここでは土質材料の鉛直及び水平方向の強度分布の円弧すべり安定解析の安全率に及ぼす影響を把握するため、締固め作用による土質材料の強度分布を仮定して安全率を算出した。

4. 2. 1 強度分布の設定

土層の自重の締固め作用による強度定数の設定手法の一つに IPET Strength モデル⁷⁾がある。ここでは、IPET Strength モデルに基づき基礎地盤について当該地点の有効土被り圧の 0.24 倍に相当する土被り深さ 1ft 当たり 11psf (1m 当たり 1.37kN/m²) 増加するという設定にしている。また、水平方向についても実際の試験値に基づき、天端直下と法尻直下において、強度定数を設定している。本検討では、対象被災事例として堤体及び基礎地盤とも粘性土で構成される荒川左岸 70.4k とした。本検討では、鉛直方向については IPET Strength モデルに基づき表-4.5 のように設定した。鉛直方向については、おおよそ有効土被り圧の 0.2 倍であり、水平方向の分布については、試験値がないので、天端直下及び法尻直下の粘着力 C の値を 1~17kN/m² の 3 ケース及び一様分布と仮定したケース 0 とし、強度分布の違いの影響を確認することとした。なお、天端直下から法尻直下にかけての強度の水平方向の分布は直線的に変化することとした。内部摩擦角度については、0 のまま変化しないものとした。

表-4.5 基礎地盤の強度 (C:粘着力) 分布の設定

ケース	鉛直方向分布	水平方向の設定		備考
		天端直下	法尻直下	
0	一様分布 (27.0kN/m ²)	27.0kN/m ²	27.0kN/m ²	一様分布
1	土被り 1m 当たり 1.37kN/m ² 増加	17.0kN/m ²	17.0kN/m ²	鉛直分布のみ
2	土被り 1m 当たり 1.37kN/m ² 増加	17.0kN/m ²	10.0kN/m ²	
3	土被り 1m 当たり 1.37kN/m ² 増加	17.0kN/m ²	1.0kN/m ²	

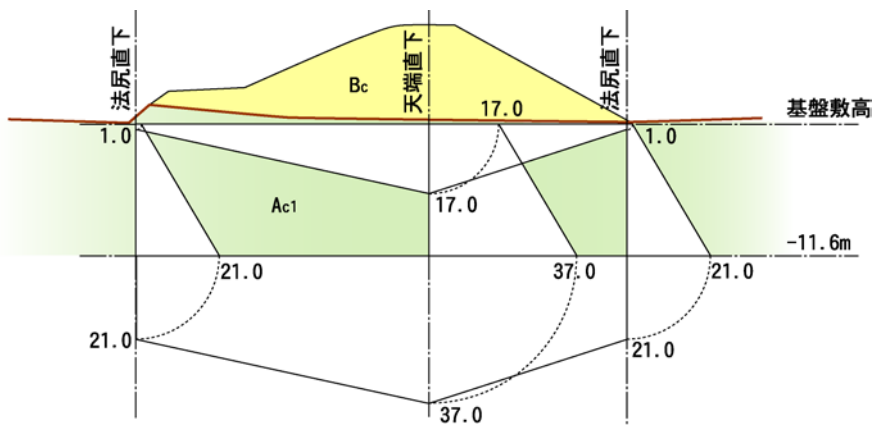


図-4.4 強度分布の設定 (ケース 3)

4. 2. 2 安全率の算出結果

図-4.5 に安全率の試算結果を示す。ケース0は強度分布を仮定しない事例であり、ケース1は鉛直方向のみ強度分布を考慮したもので、ケース2、3は水平方向の強度分布も考慮したものである。強度分布を考慮すると一様分布に比べて強度の強い部分もあるが低い部分も出てくるので、そこが弱点となる。その結果、強度分布を考慮したケース1～3は強度分布を考慮しなかったケース0よりも安全率が低くなったものと思われる。強度分布の設定が土被りが浅くなり法尻に向かうほど強度が弱くなる設定であるため、ちょうどすべり面に近い部分に弱点ができることになり、安全率を低下させる影響が現れやすくなっているものと考えられる。

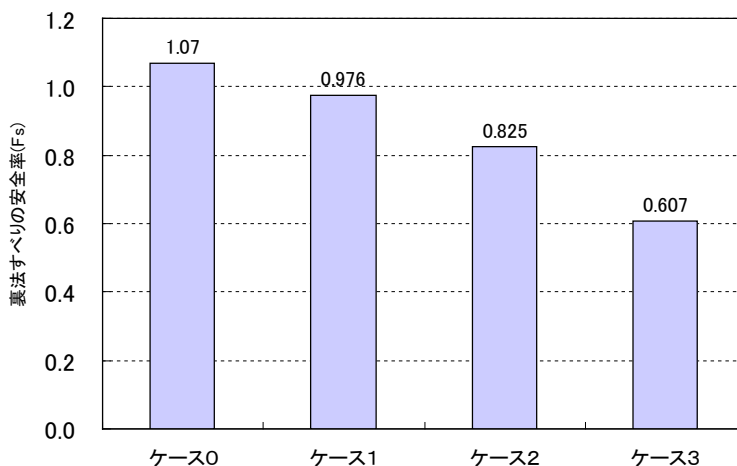


図-4.5 強度分布を考慮した安全率試算結果

破壊形態については、一様分布のものに比べて、強度分布を考慮したもののほうがすべり面が浅くなっている（図-4.6、4.7）。これは、上述のとおり土被りが浅い部分の土層の強度が弱くなったためすべり面が浅くなったものと考えられる。

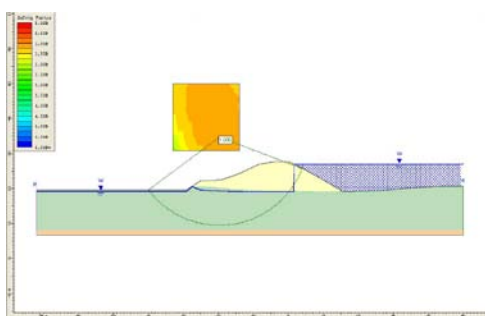


図-4.6 一様分布の場合

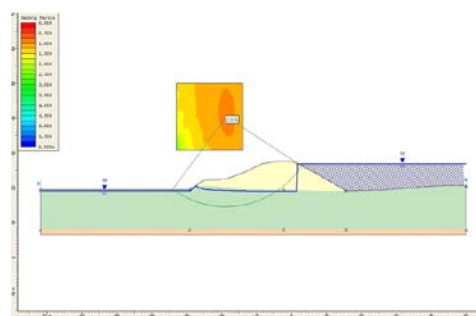


図-4.7 強度鉛直分布を考慮した場合

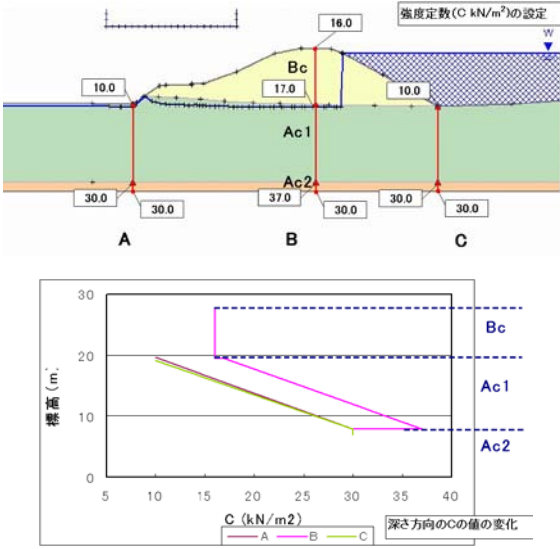
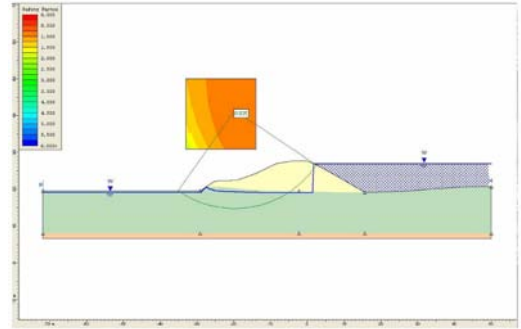
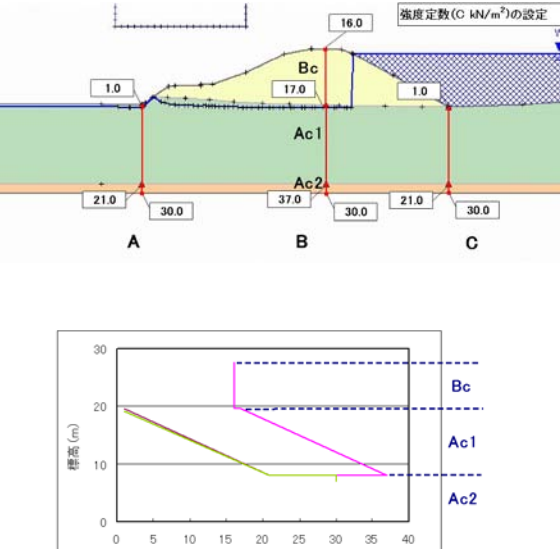
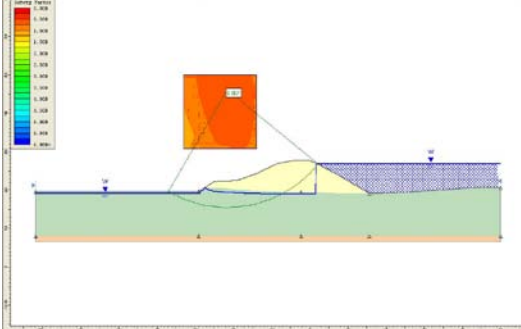
4. 2. 3 安全率試算例

表-4.7 にケース0から3までの円弧すべり安定計算結果を示す。表の左側の列に土層の強度分布の設定や土質強度定数の設定について記載している。強度分布を考慮したケース1～3について、強度分布設定図の土層の境界面に記載されている数字は、その場所における土質材料の強度（粘着力）であり、数字の各記載箇所の強度分布は直線分布としている。

表-4.7 強度分布を考慮した堤防の円弧すべり安定計算の結果

外力条件等	外力 (ハイドロ・ハイト)	堤防形状・土質構成等																			
	<p>雨量(mm) 熊谷 9月10日~9月14日雨量実績 S57</p> <p>水位(TP.m) 荒川 左岸70.4k地点における実績想定水位ハイドログラフ S57</p>	<p style="text-align: center;">飽和度・浸潤線</p>																			
ケース0	土質条件	解析結果																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>土層構成</th> <th>γ_t (kN/m^3)</th> <th>ϕ ($^\circ$)</th> <th>C (kN/m^2)</th> <th>Ks (cm/sec)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bc</td> <td>18.8</td> <td>0</td> <td>16.0</td> <td>1.0E-05</td> </tr> <tr> <td>Ac1</td> <td>18.0</td> <td>0</td> <td>27.0</td> <td>1.0E-05</td> </tr> <tr> <td>Ac2</td> <td>17.0</td> <td>0</td> <td>30.0</td> <td>1.0E-05</td> </tr> </tbody> </table>	土層構成	γ_t (kN/m^3)	ϕ ($^\circ$)	C (kN/m^2)	Ks (cm/sec)	Bc	18.8	0	16.0	1.0E-05	Ac1	18.0	0	27.0	1.0E-05	Ac2	17.0	0	30.0	1.0E-05
土層構成	γ_t (kN/m^3)	ϕ ($^\circ$)	C (kN/m^2)	Ks (cm/sec)																	
Bc	18.8	0	16.0	1.0E-05																	
Ac1	18.0	0	27.0	1.0E-05																	
Ac2	17.0	0	30.0	1.0E-05																	
ケース1	土質条件	解析結果																			
	<p style="text-align: center;">A B C</p> <p style="text-align: center;">— A — B — C 深さ方向のCの値の変化</p>	<p style="text-align: right; color: red;">安全率 : $F_s = 0.976$</p>																			

表-4.7 強度分布を考慮した堤防の円弧すべり安定計算の結果 (続き)

	土質条件	解析結果
ケース2	 <p>強度定数(C kN/m²)の設定</p> <p>標高 (m)</p> <p>C (kN/m²)</p> <p>深さ方向のCの値の変化</p>	 <p>安全率 : $F_s = 0.825$</p>
ケース3	 <p>強度定数(C kN/m²)の設定</p> <p>標高 (m)</p> <p>C (kN/m²)</p> <p>深さ方向のCの値の変化</p>	 <p>安全率 : $F_s = 0.607$</p>

5. 評価精度向上のための提案

5. 1 精度向上のためのアプローチ

堤防の浸透破壊に対する信頼性評価の精度向上のためのアプローチには様々な観点があると考えられるが、大きく分けると①解析手法の高度化・最適化による精度向上と②解析を行うために用いる土質定数の適切な設定による精度向上があると考えられる。前者については、浸透流解析を行った後、円弧すべり安定解析及び局所動水勾配の算出という2つのステップからなっているので、その両方から検討する必要がある。後者については水位や降雨の与え方から、土質定数、土質区分図の設定手法等がある。さらに、前述の①、②によらず土質材料の不均一性や破壊現象の不確実性に対して確定論的に解析するのではなく、確率論的にアプローチする手法が存在する。以下では、3つの観点からのアプローチについて論じる。

5. 2 解析手法の高度化・最適化

現在、浸透破壊に関する解析においては、浸透流解析を行った後、円弧すべり安定解析を行って、円弧すべりに対する安全率を算出するとともに局所動水勾配を算出し、安全率と局所動水勾配の両指標により安全性を評価している。安全率と局所動水勾配の両指標で適正に評価できるようにするためには、浸透流解析が適正に行われているという前提が必要である。

浸透流解析の適正性について、本検討で気づいた点としては、堤防法面の雨水の浸透能を適切に評価しているかという点であった。雨水の浸透能は堤防法面の被覆状況によって大きく異なるが、法面の勾配によっても大きくことなることが想定される。特に法面の小段部分は雨水がたまりやすく、堤体内へ雨水が浸透しやすくなるものと考えられる。図-5.1、5.2に江戸川左岸24.5k~24.5k+200の被災事例を示す。ピーク時の河道水位が低いことから被災の原因は河川水ではなく降雨であり、小段下ののり尻が滑っていることから、小段部分から雨水が浸透して小段部分下の飽和度が高くなり破壊に至ったものと考えられる。

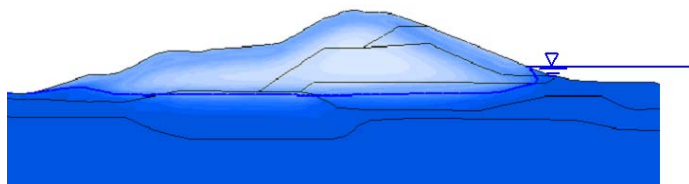


図-5.1 浸透流解析結果（江戸川 No. 6）



図-5.2 被災状況（江戸川 No. 6）

円弧すべり安定解析の高度化については、進行性破壊解析の導入が考えられる。通常の円弧すべり安定解析においては、小規模な円弧すべりは破堤に至ることはないとして無視し、ある程度大きな（例えば法面の長さの2分の1の長さを越えるもの）ものみを対象にすることがある（図-5.3）。しかしながら、小規模な滑りが拡大して大規模な破壊に至ることも考えられ、小規模すべりが発生した後、その後規模が拡大するか破壊現象が止まるかを検討する必要がある（図-5.4）。

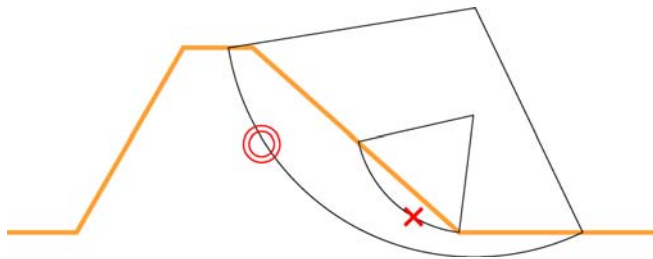


図-5.3 円弧すべりの規模に関する検討対象

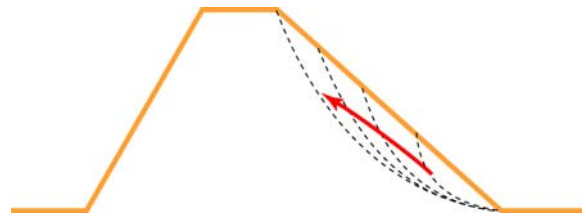


図-5.4 円弧すべりの拡大

パイピング破壊については現在の基準では一律局所動水勾配 $i=0.5$ の基準値を用いている。パイピング破壊については、浸透流による掃流力と土粒子の抵抗力の釣り合いで安全性が判断できると考えるならば、局所動水勾配の値を土質粒子の粒径等に応じて変更することや、土粒子の粒径や浸透流速からパイピングに対する安全性を判断する手法の導入も考えられる。また、パイピング破壊についても、土層の流動性や進行性破壊を考慮することにより精度の向上を図れる可能性がある。

パイピングと円弧すべりの複合現象（パイピングが発生してから法面すべりが発生する、あるいはその逆）も実現象として発生している。例えば、パイピングにより法尻部分の堤防断面が欠損し、安定を失い、法滑りを起こすこと（図-5.5）や、法滑りにより堤防断面が欠損し堤防断面が薄くなった結果、浸透経路長が短くなり動水勾配が高くなり、大規模な破壊（破堤等）に至る現象（図-5.6）が考えられる。浸透破壊により破堤に至るか至らないかを評価するためにはこのような解析が必要になってくると思われる。



図-5.5 パイピング破壊が法面すべりに発展する事例



図-5.6 法面すべりがパイピング破壊に発展する事例

5. 3 材料定数等設定の最適化

解析手法を改善しても、与える材料定数等を適正にしなければ安全性評価のための指標の信頼性は向上しないものと考えられる。堤体材料及び基礎地盤の土層の材料は堤防の縦断方向にも横断方向に

も不均一性を有する。図-5.7、5.8は千曲川右岸 57.2k の堤防開削断面であるが、開削箇所の上流断面で土層構造がまったく異なっていることがわかる。

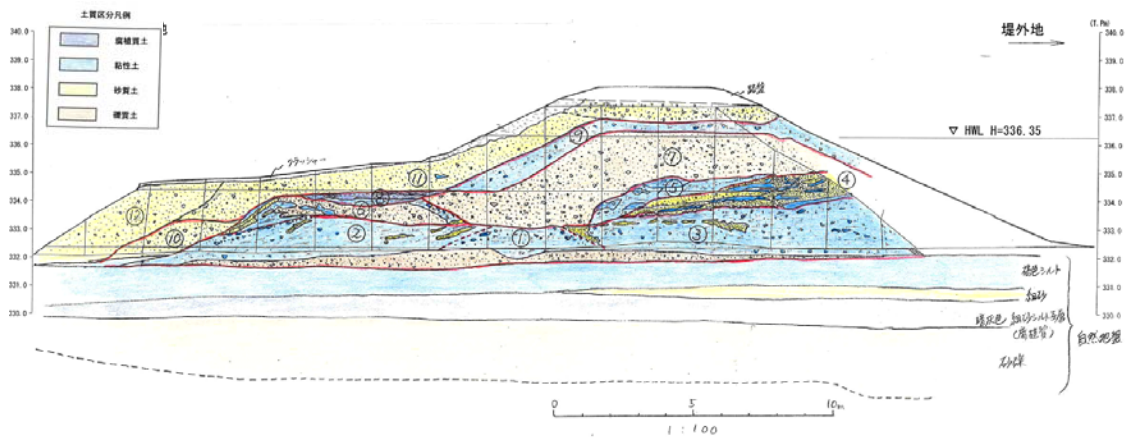


図-5.7 堤防開削断面スケッチ（千曲川左岸 57.2k 上流側）

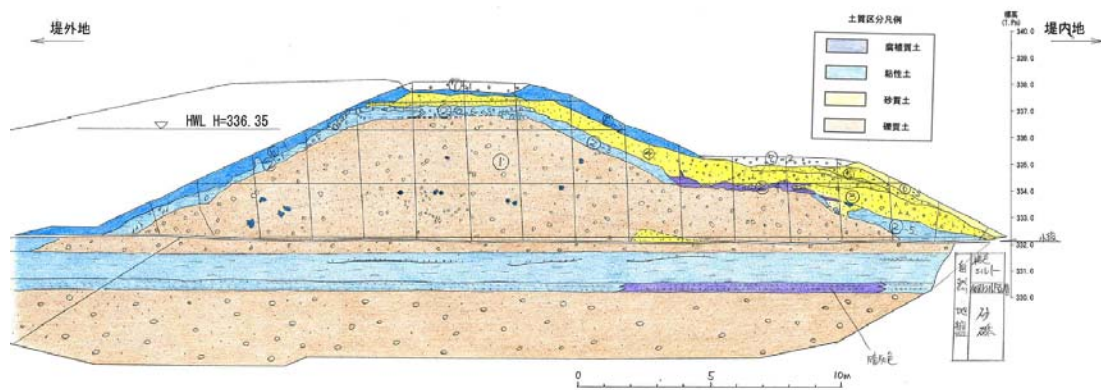


図-5.8 堤防開削断面スケッチ（千曲川左岸 57.2k 下流側）

また、米代川左岸 7.8k (No. 23) の被災事例では被災断面においてサンプリングした材料試験値と同一細分区間の詳細点検照査断面（左岸 7.0k）とでは基礎地盤の土質が異なっているほか（図-5.9、5.10）、堤体材料の透水係数が 1 オーダー異なっている（被災断面は $2.0 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ に対して、詳細点検断面は $4.4 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ ）。堤防の浸透破壊に対する安全性の精度向上には、適切な土質定数等の設定手法の開発が必要である。

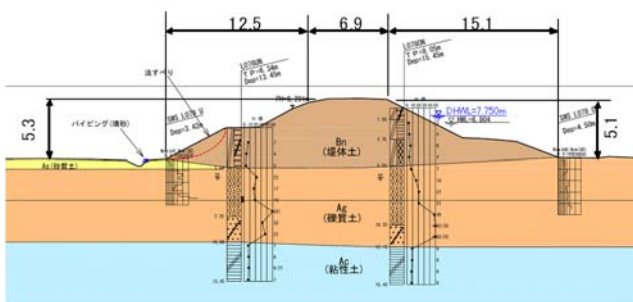


図-5.9 被災断面（米代川左岸 7.8k）

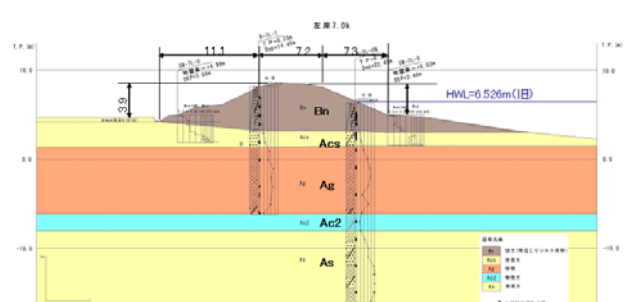


図-5.10 詳細点検断面（米代川左岸 7.0k）

実際の堤防では土層の自重による締め固め作用により土層のせん断強度が土被り深さに応じて増していると考えられる。垂直方向のみならず水平方向に関しても、堤防断面の天端中央から法尻に向かって土層の強度が低下していると考えられる。実際の法面すべり現象においては法尻付近や基礎地盤の浅層部分が滑ることが多いことから、強度が弱くなると考えられるこの部分の強度を適切に評価する必要がある。図-5.11 の様に基礎地盤の水平方向及び鉛直方向の強度分布を仮定して円弧すべりに対する安全率を計算したケースは強度分布を考慮しなかったケースより安全率が大幅に低くなることわかる（図-5.12）。このことは、土質調査においてのり尻部分や基礎地盤の浅層部分の適正に評価することが重要であることを示している。

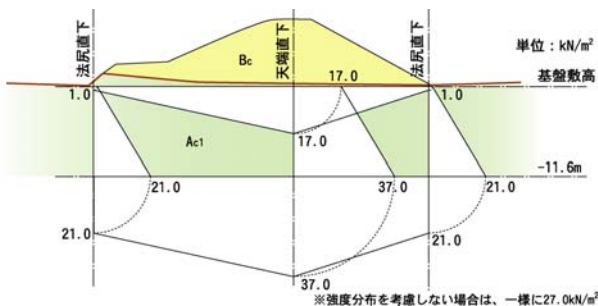


図-5.11 強度分布の設定

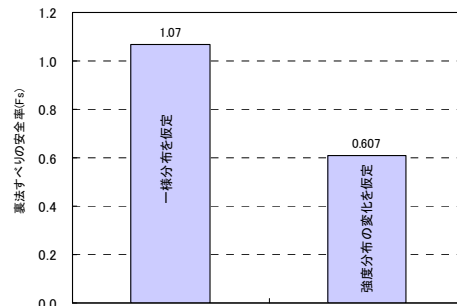


図-5.12 強度分布の変化の影響

5. 4 確率論的アプローチ

ばらつきをもつ材料から構成される構造物の破壊現象は再現性に乏しい（同じように外力を与えても、同じように破壊するとは限らない）確率事象であるため、確率論的あるいは統計的にアプローチする方法が考えられる。また、確率論的にアプローチする方法にも破壊現象を力学的に再現する物理モデルを用いる方法と破壊メカニズムは考慮せず土質条件や河道水位・降雨等の入力と出力（破壊が起こるか起こらないか）を統計的に結びつける非物理モデルがある。物理モデルとしては、土層の強度等のばらつきや弱点を乱数で与えるモンテカルロ法があり、非物理モデルとしては入力パラメータと出力を関連づける多変量解析等が考えられる。物理モデルでは材料等の不均一性をどのように表現し設定するか、非物理モデルではどのような説明変数を選定し、どのような関数を設定するかを検討する必要がある、これらの項目の設定により得られる解が異なってくるので、実現象と合致するように試行錯誤して設定する必要がある。

6. おわりに

本研究の最終目的は、堤防の一連区間の破堤氾濫リスクに対する安全性を適正に評価することである。破堤氾濫の要因としては、主に越水、侵食、浸透等が考えられる。越水については、越水しても破堤に至るとはかぎらないが、大まかに評価して越水したら必ず破堤すると仮定して水位のみから評価することができると考えられる。侵食による破堤については、河道の流水による侵食力を把握する必要があり、そのためには河道線型等から流水の挙動と堤防に作用する侵食力を評価しなければならず、なかなか手が付けづらい問題である。浸透については、外力として河道水位と降雨さえ評価すればよく、流水の2次元あるいは3次元的挙動を把握する必要はないので、侵食破壊に比べて外力に関する取り扱いが簡易である。また、安全性の解析方法についても浸透流解析+円弧すべり安定解析及び局所動水勾配の算出という確立された手法があることと、全国で一斉にこの手法を用いて堤防点検が行われているところなので、データを入手しやすく、検討しやすいという点がある。そこで、本検討においては、最初に取り扱う破壊形態として浸透破壊を選択し、浸透破壊に関する安全性指標である円弧すべりに対する安全率やパイピング破壊に対する局所動水勾配がどの程度の精度をもっているかを確認し、これら両指標と信頼性の関係を把握しようと試みた。

検討を始めた当初の目論見として、堤防は不均一な材料からなる構造物であるから、円弧すべりの安全率及び局所動水勾配の両安全性指標と堤防の浸透破壊に対する安全性の関係はきれいには出てこないとしても、安全率が上がれば被災・破堤確率が下がる、あるいは局所動水勾配が上がれば被災・破堤確率が上昇するという傾向ぐらいは出てくるであろうと考えていた。ところが、そのような傾向はほとんど確認できなかった。原因としては、検討対象事例が23事例と傾向を見いだすには少なすぎることも考えられるが、もっと重要な理由として浸透破壊に対する安全性指標はあくまで浸透破壊に対して用いるべきものであって破堤に対してではないという点であった。本検討では、被災した堤防の事例数を母数として、その中で破堤したものの割合を計算し、破堤に対する安全性を算出しようと試みた。本来ならば、円弧すべりに対する安全率や局所動水勾配は浸透破壊に対する安全性指標であり、浸透破壊を起こす可能性がある外力を受けた事例を母数として、その中から被災したものの割合を算出し、安全性指標との傾向を分析すべきであった。次回の検討では相当な外力を受けたが被災しなかった事例を含めて解析を試みようと考えている。

今回の検討を通じて、浸透流解析そのものについても知見を得ることができた。例えば、浸透流解析の結果の表示で、単に浸潤線の位置を示すだけではなく、飽和度を表示した方が堤防の中で起きている現象を把握しやすいということがわかった。特に降雨の影響が顕著な事例については、浸潤線が上がる前に浸潤線より上の土層の飽和度が上昇する。降雨が堤体内の飽和度の上昇に寄与する度合いが強く、浸透流解析の評価では浸潤線の位置だけでなく飽和度分布のチェックもすべきであると思われる。

今回の検討では昭和30年代の古い被災事例から平成19年に起こった最新の事例まで解析を行った。古いデータから最新の事例まで同じ様式の個票に整理できたのは一つの成果であったと考えられる。残念ながら浸透破壊に対する安全性指標と浸透破壊に対する安全性の関係を見いだすことはできなかったが、今後これらの被災事例の個票を安全性指標の評価のために用いることができる。ただ残念であったことは、過去の被災データでは解析に必要な外力等に関するデータがなかったり、解析できても被災形状に関するデータが残っておらず十分な評価ができなかった事例が数多くあった（今回の検討においては実外力を与えて安全性指標を算出した事例は23事例であるが、検討対象候補を選定

するためにその何倍もの被災事例を収集している。)。改めて現場等において堤防被災が発生した場合はそのときの外力や被災形状等を整理・記録しておくことが重要であるということを確認させられた。

本検討を行うための被災事例等のデータは当研究室の書庫から探してきたり、地方整備局事務所等からいただいた。また、浸透流解析や円弧すべり安定解析等は河川コンサルタントの方々にお世話になった。土質力学等については土木研究所等の方々にご指導いただいた。数多くの人たちに協力していただき本報告書をまとめることができた。ここに協力いただいた方々に深く感謝の意を表し、本報告が堤防の浸透破壊・破堤に対する安全性評価の精度向上に寄与することを期待して本報告書を結びたい。

7. 参考文献

1. (財) 国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き、pp. 49、2002 年
2. 中島秀男：図説河川堤防、p. 168、技法堂出版、2003 年
3. (財) 国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き、pp. 162～163、2002 年
4. (財) 国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き、p. 47、2002 年
5. (財) 国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き、p. 47、2002 年
6. (財) 国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き、p. 48、2002 年
7. (財) 国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き、p. 68、2002 年
8. (財) 国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き、p. 68、2002 年
9. (財) 国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き、p. 24、2002 年
10. US Army Corps of Engineers: Performance Evaluation of the New Orleans and Southeast Louisiana Hurricane Protection System Final Draft Report of the Interagency Performance Evaluation Taskforce Volume IV - The performance - Levees and Floodwalls, 2006
11. Baars, S. van(2006) Implementation and validation of a simple probabilistic tool for finite element codes, Sixth European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering, Graz 2006
12. Babu, S. and Murthy, S. D. (2003) Reliability Based Seismic Stability of Soil Slopes, Indian Geotechnical Journal 33(3):233-247
13. Chalermyanont, T. and Rattanamane, P. (2004) Probabilistic study of bearing capacity of strip footing on cohesionless soil, <http://www.eit.or.th/artical/show.asp?id=01030009>
14. Fenton, G. A. and Griffiths, D. V. (2004) Reply to discussion by R. Popescu on “Bearing-capacity prediction of spatially random $c-\phi$ soils”, Canadian Geotechnical Journal, 41: 368-369
15. Fenton, G. A. and Griffiths, D. V. (2003) Bearing-capacity prediction of spatially random $c-\phi$ soils, Canadian Geotechnical Journal, 40: 54-65
16. Gelder, P. van and Vrijling, J. K. (2004) Reliability based design of flood defenses and river dikes, Life Time management of Structures, pp206-225, European Safety, Reliability & Data association
17. Phoon, K. and Kulhawy, F. H. (1999) Characterization of geotechnical variability, Canadian Geotechnical Journal, 36: 612-624
18. USACE(2006) Monte Carlo Simulation, ETL 1110-2-561, Appendix K
19. USACE(1999) Evaluating the Reliability of Existing Levees, ETL 1110-556, Appendix B
20. USACE(1999) Introduction to Probability and Reliability in Geotechnical Engineering, ETL 1110-2-547, Appendix B
21. Wolff, T. F. (1997) Geotechnical Reliability of Levees, <http://www.hec.usace.army.mil/publications/SeminarProceedings/SP-28/paper6.pdf>

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of N I L I M
No.441 January 2008

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは
〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地
企画部研究評価・推進課 TEL029-864-2675