

河川堤防の点検評価法に関する一考察

応用地質株式会社 塚田 秀太郎
(財)日本地下水理化学研究所 宇野 尚雄

1. はじめに

河川堤防は長大構造物であり、一部でも破堤してしまうと広範囲に被害をもたらす、多くの人・資産に危険が及ぶ。そのため、堤防強化工法の効果の確認、堤防の要注意箇所の把握などのモニタリング技術が必要不可欠となっている。しかし、台風や梅雨等で繰り返し被害をうけ、そのたびに修築をしている場合もあり、内部構造が十分に把握されていない場合もあるように見受けられる。

現在行われている「河川堤防の構造検討の手引き」等による堤防の安全性評価は、「概略点検」で弱部を見極め、「詳細点検」により対策工を検討している。しかし、現状の概略点検では、透水係数 k や強度定数 c, ϕ, γ の影響を考慮しておらず、適中率がよくないといわれている。

そこで本研究では、110ケースの仮想堤防条件に対する浸透(流線網法)と円弧すべりによる安全率計算を行い、安全性の評価について若干の考察を行った。本報では、この考察によって得ら

れた知見について報告する。

2. 研究方法

堤防断面をモデル化するため透水係数 k 、強度定数 c, ϕ, γ 、堤防規模、計画高水位(H.W.L)、警戒水位、高水位継続時間 t 、平均動水勾配 i を設定した。モデル化した断面について、従来の概略点検手法の評価ランクと、詳細点検によるすべり面安定計算(円弧すべり解析システム ARC/PV)による安全率評価を較べた。

現状の概略点検における堤体土質の区分は、粘土・砂・礫の3種類としているが、透水係数の数値の変化が大きいのを考慮して、砂の区分に幅をもたせ細砂・中砂・粗砂とし、堤体土質の区分を計5種類とした。基礎地盤では、不透水層か透水層の違いによって浸潤線に影響が現れるため、粘土と中砂の2種類に区分した。各区分の透水係数等は、「河川堤防の構造点検の手引」を参照し設定した。それぞれの値を表-1に示した。

また、堤体規模の違いが概略点検評価に影響するのではないかと考え、天端幅・堤体高・法面勾配を変化させ、外力条件による評価がa, b, c, dとすべて現れるように断面を定めた。このようにして規模(小)4種類、規模(中)4種類、規模(大)3種類の断面を設定し、それぞれNo.1~No.11とした。なお、規模(中)を、ある実堤防断面の平均とし、それより小さいものを小、大きいものを大とした。それぞれの値を表-2に示した。

計画高水位については「河川管理施設等構造令」に基づく天端幅に対する余裕高から、警戒水位については平均水位から計画高水位までの6割高さを指標として設定した。高水位継続時間はハイドログラフに影響されるが、「河川堤防設計



指針」, 長良川堤防・淀川堤防のデータを参照し, 規模(小)は20時間, 規模(中)は30時間, 規模(大)は60時間に設定した。平均動水勾配は堤防規模, 計画高水位から計算しそれぞれ求めた。その上で, キャサグランデの方法を用いて浸潤線を描き, それから流線網を描いた。間隙水圧分布は, 等ポテンシャル線上では水頭が等しいという関係から求めた。

以上のデータを用い, $11 \times 5 \times 2 = 110$ 種類(堤体断面数 \times 堤体土質の種類 \times 基礎地盤の種類)について安定解析を行った。

表-1 透水係数k, 強度定数c, ϕ , γ

	粘土	細砂	中砂	粗砂	礫
透水係数 k (cm/s)	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1
粘着力 c (kN/m ²)	50	10	3	1	0
内部摩擦角 ϕ (°)	0	25	30	35	37.5
単位体積重量 γ (kN/m ³)	16.7	18.6	19.6	19.6	20.6

表-2 堤体断面

堤防規模(小)	No.1	No.2	No.3	No.4
天端幅(m)	4	3	4	3
堤体高(m)	4	4	5	5
法面勾配	3割	2割	2割	2割
堤防規模(中)	No.5	No.6	No.7	No.8
天端幅(m)	5.5	5.5	5.5	5.5
堤体高(m)	7	8	8	8
法面勾配	5割	3割	2.5割	2割
堤防規模(大)	No.9	No.10	No.11	
天端幅(m)	7	7	7	
堤体高(m)	9	10	12	
法面勾配	6割	3割	3割	

3. モデル堤防の検討結果

3.1 概略点検評価に相当する安全率

モデル堤防に対する安定解析の結果, 概略点検の安全率評価は表-3となった。評価Aに対する安全率の範囲は4.63~1.60, 評価Bでは3.55~1.17, 評価Cでは3.62~0.92, 評価Dでは1.71~1.01となり, 安全率の範囲は大きく重なる結果となった。しかし, それぞれの評価に対する安全率の平均値は, 評価Aでは2.76, 評価Bでは1.92, 評価Cでは1.41, 評価Dでは1.21となり, 要因に基づく評価と安全率Fsの平均値とは, 全体としては整合する結果となった。

表-3 概略点検評価ランクに対する安全率評価

概略点検ランクによる評価			詳細点検による安全率評価	
土質条件による評価	外力条件による評価	要因に基づく評価	安全率Fsの範囲	安全率Fsの平均値
a	a	A	4.63 ~ 1.60	2.76
a	b			
b	a			
a	c	B	3.55 ~ 1.17	1.92
b	b			
c	a			
c	b	C	3.62 ~ 0.92	1.41
a	d			
b	c			
b	d			
c	c	D	1.71 ~ 1.01	1.21
d	a			
d	b			
c	d	D	1.71 ~ 1.01	1.21
d	c			
d	d			

3.2 安全性評価A, B, C, Dの重回帰分析結果

概略点検の安全性評価A, B, C, Dについて, 重回帰分析手法により, ①天端幅B, ②法面勾配 θ , ③安定数($c/\gamma H$), ④基礎地盤の土質(粘土の場合1, 中砂の場合0), ⑤ $\tan \phi$, ⑥透水係数k, ⑦平均動水勾配i, ⑧高水位継続時間tの8つの要因のうち大きく結果に影響を与える項目を抽出した。目的変数には表-3に示した安全率の平均値を使用した。分析結果を(1)式及び図-2に示した。

$$Fs = 3.44 - 0.0952 \times B + 0.856 \times (c/\gamma H) + 0.0735 \times \text{基礎地盤の土質} + 0.239 \times k \dots \dots (1) - 6.22 \times i - 0.00533 \times t$$

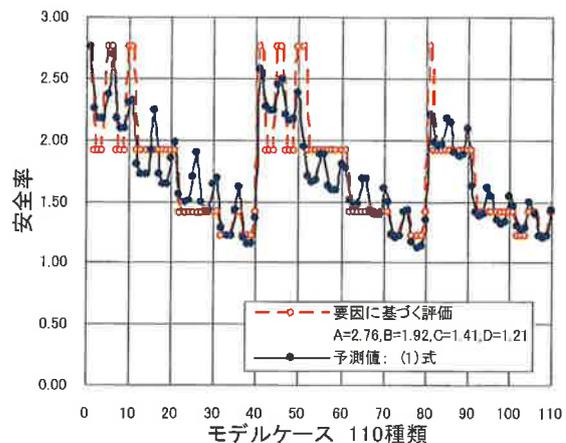


図-2 要因に基づく評価と予測値の比較

この分析の結果, 安全率Fsに関係の深い要因として, ①天端幅B, ③安定数($c/\gamma H$), ④基礎地盤の土質, ⑥透水係数k, ⑦平均動水勾配i, ⑧高水位継続時間tの6つが抽出できた。重相関係数R

は0.899, t値も1.7以上と、極端に低い要因もなく、また図-2からもわかるように、要因に基づく評価と予測値がよく一致していることから精度の高い分析と考える。また、求められた(1)式に注目すると、③安定数($c/\gamma H$)の係数が正で、かつ一番大きな値となっていることから、これが安全率を上げる一番大きな要因(被災に対する抵抗の要因)と判断できる。そして、⑦平均動水勾配*i*の係数が負で、かつ一番大きな値となっていることから、これが安全率を下げる一番大きな要因(被災の要因)と判断できる。

3.3 安全性評価と安全率の関係

現状の概略点検評価は、相対的な判断となっている。前項の関係式に基づき、また、評価AとB、BとC、CとDの境界をそれぞれの安全率の平均値として、安全性評価A、B、C、Dの範囲を安全率で表現してみると、安全性評価Aは安全率2.34以上、評価Bは2.34~1.66、評価Cは1.66~1.31、評価Dは1.31以下となる。

3.4 「概略点検」の適中率

試みに、モデル化した堤体断面110種類の安全率と、前項で定めた新たな概略点検評価の安全率を比較した結果を図-3に示した。この結果、全体の適中率は43%となった。同様に、評価Aでは64%、評価Bでは47%、評価Cでは17%、評価Dでは78%となり、評価A、B、Dの適中率に比べ、評価Cでは低いという結果となった。

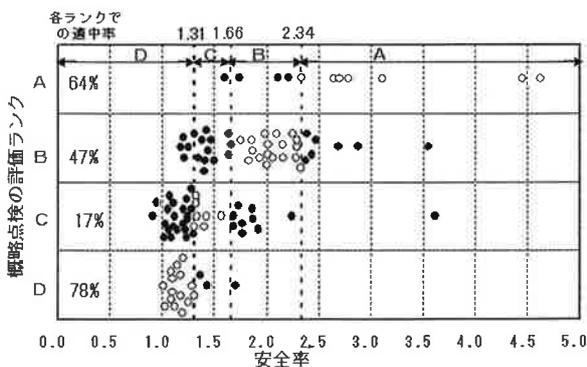


図-3 概略点検モデル(110種類)に対する詳細点検での安全率

なお、適中しなかった場合には、次のような傾向があるため、要因条件となる堤体土質区分の

細分化を検討することによって、評価手法の精度向上が図れると考える。

1) 概略点検の評価が高く評価されているケース

(計43ケース:A→Bは3, A→Cは1, B→Cは11, B→Dは5, C→Dは23)

- ・堤体土質が中砂・粗砂・礫のとき、基礎地盤にかかわらず、詳細点検の方が概略点検評価より安全率が低い。
- ・堤体土質が細砂、基礎地盤の土質が中砂の場合も、詳細点検の方が概略点検評価より安全率が低い。

2) 概略点検の評価が低く評価されているケース

(計20ケース:B→Aは7, C→Aは1, C→Bは9, D→Bは1, D→Cは2)

- ・堤体土質が粘土の場合、基礎地盤にかかわらず、詳細点検の方が概略点検評価より安全率が高い。
- ・堤体土質が細砂で、基礎地盤の土質が粘土である場合も、詳細点検の方が概略点検評価より安全率が高い。

参考文献

- 1) 塚田・宇野:河川堤防の点検評価法に関する考察, 第42回地盤工学研究発表会講演集, 560番