

河川堤防点検における新たな評価指標

大内 香織

関東地方整備局 河川部 河川計画課 (〒330-9724 埼玉県さいたま市中央区新都心2-1)

関東地方整備局管内の直轄8水系においては、「河川堤防の構造検討の手引き (財) 国土技術研究センター 2002年7月 (以下、「手引き」という。)」に基づき、「河川堤防の浸透に対する調査 (河川堤防詳細点検)」が完了しているが、所要の安全度を満たさない堤防 (堤防強化要対策区間) が、点検対象区間の約5割と多く見られる。本検討は、富士川水系を対象として、今後実施する堤防強化を進めるにあたり、堤防強化要対策区間の精度向上を目的とした「新たな評価指標」の導入と、その指標の妥当性について検討したものである。

キーワード 堤防詳細点検, 中間土, 新たな評価指標

1. はじめに

関東地方整備局管内の直轄河川8水系における堤防強化要対策区間は、「河川堤防の構造検討の手引き (財) 国土技術研究センター, 2002年7月 (以下、「手引き」という。)」に基づいた堤防詳細点検結果により全延長の約51% (約849km) となっている。

本検討は、今後実施する堤防強化を進めるにあたり、堤防強化要対策区間の精度向上を目的とした「新たな評価指標」の導入及びその指標の妥当性について検討したものである。なお、検討にあたっては、要対策区間が全延長の約80%を占める富士川水系を対象とした。

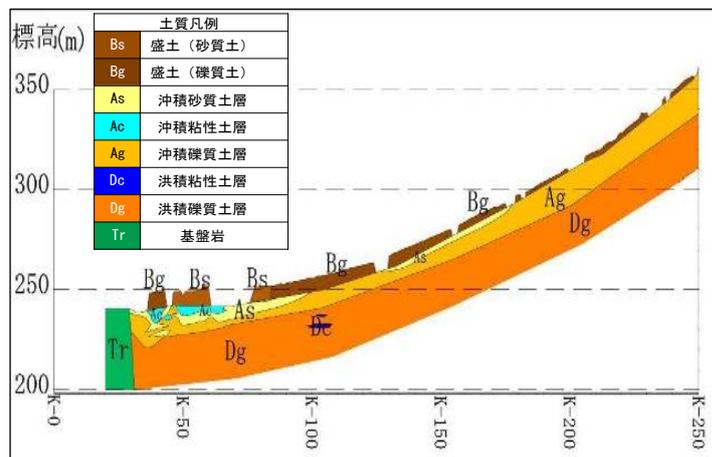


図1. 釜無川地質縦断面図

2. 富士川水系の特徴と既往堤防詳細点検の課題

富士川水系は急流河川であり、基礎地盤、築堤材料とも礫質土が主体で構成されている (図1)。「手引き」において土質定数は、原則として土質試験結果に基づき設定することとなっているが、サンプリングや土質試験が困難なことから、N値から推定している区間が多い。

一方、富士川の堤防の特徴は図2に示すとおり、川表側は河岸侵食防止のための練張り護岸が主体であり、堤防天端は兼用道路として舗装されている区間がある。また、川裏側は堤防のり尻に用排水路が設置されている区間やブロック積みの区間がある。しかし、「手引き」ではこれらの構造の取扱いについて明確な評価手法が示されていないことから、富士川水系ではこれらの構造に遮水効果等を考慮していない。



図2. 現地状況

3. 新しい評価指標の提案と評価

(1)土の強度定数の設定

a) 中間土の強度定数の設定の提案

「手引き」では、設計上の安全側を考慮して、砂質土では、CU試験の内部摩擦角のみ評価し、粘着力はゼロとしている。このため、細粒分を多く含む粒度配合が良い土は、強度が小さく評価される結果となってしまう。そこで、図3及び表1に示すように、細粒分含有量及び透水係数を目安として砂と粘土の中間の性質を示す中間土を定義し、強度定数を再設定することで、堤体や基礎地盤が持つ本来の強度を再現した。ここで、既往の文献等では中間土の区分は砂分含有量で定義されるが、ここでは日本統一分類の指標である細粒分含有量で区分する（細粒分含有量=100%-砂分（粗粒分）含有量）。なお、細粒分含有量及び透水係数は目安であり、境界領域では地層の均一性等を勘案した上で決定するものとする。また、透水係数は土の破壊瞬間の排水、非排水条件を左右するため重要な指標であることから、中間土の分類については細粒分含有量より優先する指標とする。

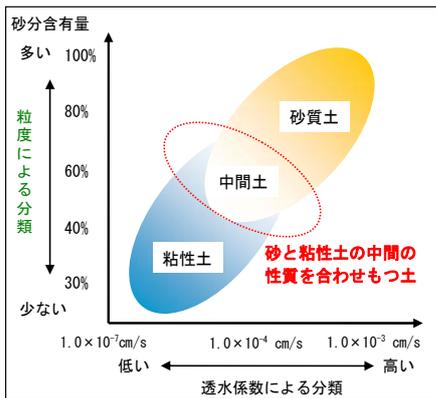


図3. 中間土の定義¹⁾

表1. 中間土の区分

	礫・砂	中間土	粘土
細粒分含有量(%)	20未満	20以上50未満	50以上
透水係数 k(cm/s)	10 ⁻⁴ 以上	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ 以下

注1) 細粒分とは、75μm以下の粒径の土である

中間土の築堤材料で構成された釜無川左岸 5.2k 地点を例として、図4のとおり従来ゼロとしていた粘着力を見込んだ強度定数を設定して照査した結果を、図5に示す。「手引き」に基づき粘着力を見込まない場合、川裏すべ

りの安全率が 1.053 だったものが、粘着力を見込んだ場合では、1.707 となり、所定の安全率 1.32 を満足した。

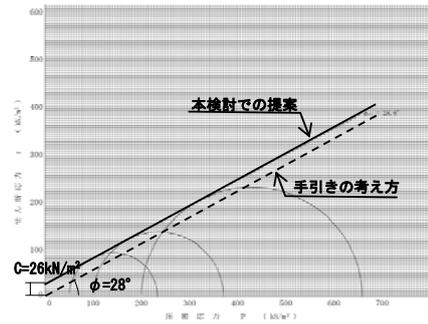


図4. 中間土の強度定数設定(細粒分含有量 42%の土)

b) 最新の知見を踏まえたN値による砂や砂礫の内部摩擦角の推定方法の提案

砂礫層の場合、試料採取が難しいことから、既往堤防詳細点検では、内部摩擦角の推定は「旧道路橋示方書」の式で推定している。一方、「道路橋示方書IV下部構造編 2002年3月（以下、「H14 道示」という）」では、有効上載圧を考慮した内部摩擦角の推定式が提案されている。両者の式を比較すると、図6に示すように、N値が小さい場合、「旧道路橋示方書」の推定式にて求めた内部摩擦角は、実験値よりも小さい値であることが分かる。「H14 道示」の推定式は、実験値の下限を包絡するように設定しており、実現をよく再現している。よって、礫質土、砂質土のN値からの内部摩擦角の推定は「H14 道示」の推定式を使用することとした。

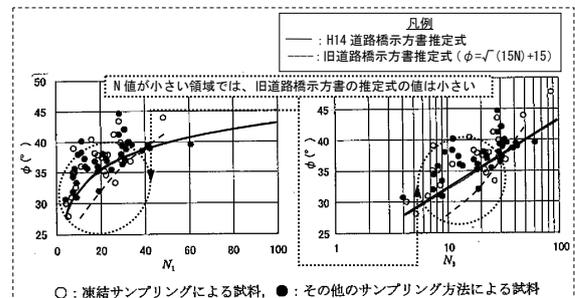


図6. 三軸圧縮試験結果とN値の関係²⁾

(2)堤防構造のモデル化の提案

a) 堤脚構造が堤防の破壊に与える影響の検証と照査での取り扱い

「手引き」には堤脚構造の取扱いについての記載がなく、堤防構造のモデル化には考慮していないのが現状である。今回、笛吹川右岸 1.1k 地点を例として、堤脚構

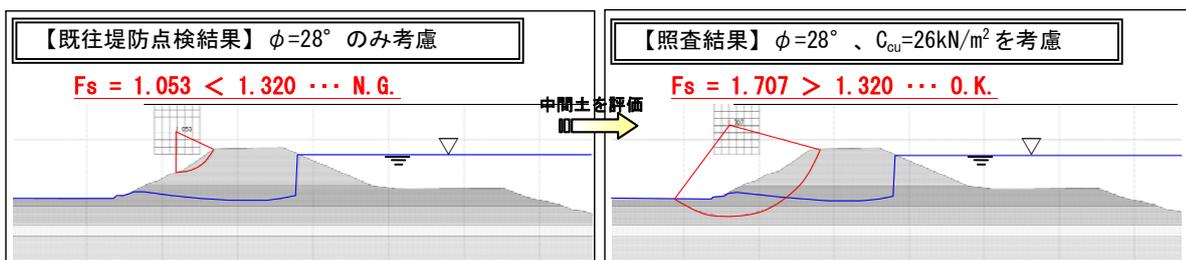


図5. 川裏すべりの照査結果比較

造が堤防の破壊に与える影響を検証した。その結果を表2に示す。

表2. 点検結果への影響

評価項目		許容値	遮水を考慮しない	遮水を考慮する
パイピング	動水勾配 i_v	0.5 以下	1.044	0.204
	動水勾配 i_h	0.5 以下	1.494	0.352
円弧すべり	川裏すべり	1.32 以上	0.615	0.550

※網かけは許容値を満足しない場合を示す

堤脚構造の遮水を考慮した場合、パイピングに対しては、動水勾配が小さくなった。一方、円弧すべりに対しては、浸潤線が上昇し円弧の安全率が低下する結果となった。以上のことから、堤脚構造が堤防の破壊に影響を与えることを考慮し、堤脚構造を遮水構造としてモデル化することとした。モデル化の概念図を図7に示す。

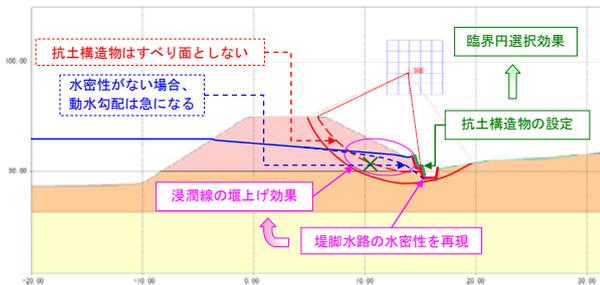


図7. 堤脚構造を考慮した解析例

b) 練張り護岸の浸透抑制効果の検証と照査での取扱い

練張り護岸の浸透抑制効果を検証したが、護岸の浸透抑制効果が確認されなかった。これは、基礎地盤と堤体材料が透水性の高い砂礫で構成されているため、降雨によっても容易に浸潤線が上昇するためである。また、富士川水系の護岸は、洪水時の高流速に対する侵食から堤体を保護する目的で設置されており、耐浸透性を考慮していないことから、今回の照査においては、練張り護岸遮水性を考慮しないものとした。

c) 天端舗装の浸透抑制効果の検証と照査での取扱い

舗装の浸透抑制効果を検証したが、浸透抑制効果は認められなかった。これは、河川水による浸透の影響が降雨による浸透の影響より大きく、天端で遮水効果を見込んでも川表から堤体内に容易に浸透してしまうためである。よって、今回の照査においては、舗装の浸透抑制効果を考慮しないものとした。

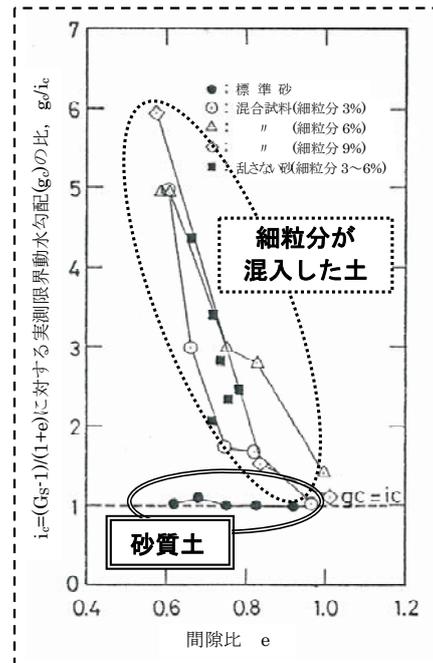
(3) パイピング評価手法の設定の提案

「手引き」では、粘性土の場合、土塊として水頭差に抵抗するため、局所動水勾配によるパイピング判定はできないことからG/Wで評価している。しかし、基礎地盤が表1で定義した中間土の場合、その破壊メカニズムを判断する「定量的な指標」が示されていない。そのため、

実務にあたっては安全側を考慮して、土質や被覆状態に係わらず砂質土として局所動水勾配により評価する機会が多い。富士川水系の既往堤防詳細点検においても同様の評価をしている。

図8に示す g_c / i_c と間隙比の関係より、細粒分の含有率によって限界動水勾配は大きく異なる。つまり、細粒分を多く含む土の局所動水勾配に対する安全性は高くなっていることを示しており、局所動水勾配で評価することは大きく安全側に評価される結果となっている。このことから細粒分を多く含む透水性の低い土 ($k=1.0 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ より小さいもの) のパイピング評価は、G/Wで評価することとした。

しかし、この判断は、法尻基礎地盤の表層土質が、「粒度分布」、「透水係数」から、砂質土系の性状をもつ材料か粘性土系の性状をもつ材料かを十分に判断することが前提条件となる。その上で、表層に分布する中間土が粘性土系と判断され、被覆状況が連続して確認される場合等、G/Wの適用条件には十分注意する必要がある。



$i_c = (G_s - 1) / (1 + e)$: 限界動水勾配の理論値
 g_c : 実測限界動水勾配

図8. g_c / i_c と間隙比の関係³⁾

4. 堤防詳細点検の照査

これまで提案した「新しい評価指標」の有効性を検証するため、既往の堤防概略点検結果のうち、Bランク(相対的に安全性がやや高いと評価される)に分類された断面から代表的な断面を抽出し「新しい評価手法」を導入して既往堤防詳細点検の照査を行った。

(1)堤防詳細点検結果の照査

「新しい評価指標」を導入して既往詳細点検結果を照査した結果を図9に示す。既往詳細点検結果では、全延長のうち68.8% (12.2km/19.5km) が要対策区間であった。しかし、今回の照査結果において、「新しい評価指標」を導入して照査すると、全延長のうち要対策区間は31.3% (4.9km/19.5km) となり、結果的に要対策区間延長は短くなった。

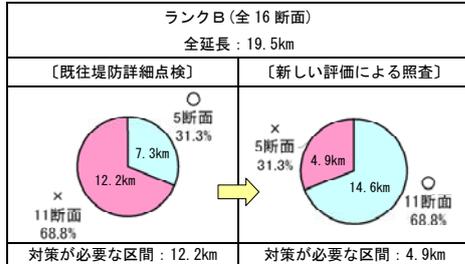


図9. 詳細点検の照査結果

(2)「新しい評価指標」の導入

「新しい評価指標」として提案した各指標を単独で適用した場合、各項目が与える影響を整理したものを表3に示す。中間土の適用による安全率の上昇効果が高いことが確認できる。また、パイピング評価手法でも、透水性の低い ($k=1.0 \times 10^{-4}$ cm/sec より小さいもの) 中間土に対しG/Wで照査することで対策が不要となる割合が多い。このことから、中間土を適切に評価、設定することにより、中間土が主体と想定される沖積河川では、要対策区間延長に大きく影響する可能性があるといえる。但し、表1に示した中間土の区分はあくまでも目安であり、粒度分布曲線などから砂質土系か粘性土系か中間的性質を持つ材料か良く判断した上で用いる必要がある。

一方で、堤脚水路の水密性をモデル化することによって、安全率が低下している場合があることも確認した。

なお、堤防構造のモデル化にあつては、現場における実際の構造と管理状況を加味して設定することが重要である。

5. まとめ

今回、富士川を例として「新しい評価指標」に基づき既往堤防詳細点検を照査した結果、要対策区間が短くなるという結果が得られた。このため、現場条件を踏まえて提案した「新しい評価指標」を他河川においても適用し、堤防強化要対策区間の精度向上を図る必要がある。なお、今回の富士川では、基礎地盤や築堤材料が透水性の大きい礫質土で構成されており、河川水の影響が支配的であったことから、天端舗装や堤防護岸の浸透抑制効果は考慮しなかったが、他河川では浸透抑制対策の手法としての実績もあることから必要に応じて適宜評価すべきと考える。

今後の課題として、本検討で対象した富士川水系は扇状地河川であり、中間土のサンプルが少ないため、中間土が多く堆積していると考えられる沖積河川を例にした「新しい評価指標」の効果についての検証結果を蓄積する必要があると考える。

参考文献

- 1)土と基礎 Vol.37 : 「砂と粘土の混合の圧縮及び強度特性」 落合他, 1993
- 2)道路橋示方書IV下部構造編, 2002年3月, P.565
- 3)土木学会第 38 回年次学術講演会論文集 : 「砂の限界動水勾配が及ぼす細粒分の効果について」

表3. 「新しい評価指標」の導入結果分析表

項目	新しい評価指標	該当断面数	①安全率の変化率		②上段:判定が変化した断面数 下段:判定が変化した断面の割合						①の凡例
			川裏すべり	川表すべり	パイピング		川裏すべり		川表すべり		
					×⇒○	○⇒×	×⇒○	○⇒×	×⇒○	○⇒×	
土の分類と適切な強度定数の設定	築堤材料 (中間土)	4	1.269	1.435	-	-	1	0	1	0	結果に大きく影響 (+0.20以上または-0.20以下)
	築堤材料 (砂礫)	32	1.054	1.101	-	-	4	0	1	0	結果に影響 (+0.20未満または-0.20より大きい)
パイピング評価手法 (中間土はG/W)の選択	パイピング評価手法 (中間土はG/W)	5	-	-	2	0	-	-	-	-	結果への影響が無い (1.00)
					40.0%	0.0%	-	-	-	-	評価の対象外または不使用
堤防構造の適切なモデル化	堤脚構造 (遮水)	16	0.925	0.996	4	2	0	1	0	0	②の凡例
	堤脚構造 (土留)	20	1.162	1.000	-	-	2	0	0	0	結果に大きく影響 (10%以上)
					25.0%	12.5%	0.0%	6.3%	0.0%	0.0%	結果に影響 (0%より大きく、10%未満)
					-	-	10.0%	0.0%	0.0%	0.0%	結果への影響が無い (0%)
					-	-	-	-	-	-	評価の対象外または不使用

①安全率変化率 = [「新しい評価による再計算」の平均安全率] ÷ [「詳細点検」の平均安全率]
 ②判定が変化した断面の割合 = [該当断面数] ÷ [判定が変化した(○⇒× or ×⇒○) 断面数]