

基礎地盤のパイピング破壊に関する考察

PROSPECT OF PIPING FAILURE ON FOUNDATION GROUND

中山修¹・佐古俊介²・堀越信雄³

Osamu NAKAYAMA, Shunsuke SAKO and Nobuo HORIKOSHI

¹正会員 財団法人国土技術研究センター 調査第一部 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門2丁目8-10 第15森ビル)

²正会員 工修 財団法人国土技術研究センター 調査第一部 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門2丁目8-10 第15森ビル)

³応用地質株式会社 技術本部技術センター河川・砂防グループ (〒330-8632 埼玉県土呂町2丁目61-5)

Design for seepage of river levee is discussed by focusing on dike breaking mechanism, which is supposed to be carried out for sliding breaking on slope and piping breaking on ground.

This study employed multiple assumptions based on actualities of ground model; then, analyzed changes of pressure head and the safety of piping by differences in formation and thickness of impermeable layer, with the use of saturated flow calculation.

Consequently, we recognized that pressure head would exceed under the condition of less than 1.5~2.0m thickness of impermeable layer, where that piping would be easier to occur in that condition.

Key Words : River levee, seepage, piping, impermeable layer

1. はじめに

河川堤防は、その多くが長い治水の歴史を経て形成されてきたために、古くは自然状態の河道に合わせて築堤したことに始まり、以後は長期間にわたり主として災害を契機として嵩上げや拡幅等による補強がなされてきたという築堤履歴を有している。このことが堤体と基礎地盤の土質の複雑さの主要因となっている。

このような河川堤防において、浸透に対する設計を行うに当たっては、浸透による堤防破壊のメカニズムを踏まえた技術的知見に基づく水理学的、力学的設計手法を導入し、設計外力を明確にし、安全性の照査項目を定め、それぞれの項目毎に照査の基準を規定する必要がある。

ここで、浸透による堤防破壊のメカニズムについて述べると、堤体漏水破壊としては、降雨や河川水が堤体に浸透した結果、堤体内浸潤面を形成、発達し、裏のりすべりを生じる堤体漏水破壊と、透水性

の異なる土質が複雑に分布する地盤において、裏のり尻下に粘性土等の難透水層が分布していたり、裏のり尻近傍の難透水層が薄い場合に基礎地盤からの漏水やパイピングを発生し、堤体が破壊される基礎地盤漏水破壊の2種に大別することができる¹⁾。

基礎地盤については、河川堤防の多くが、特別な場合を除き地盤改良等は実施せず、自然の河道状況にあわせて築造しているために、一般的に透水性の異なる土質が複雑に分布しており、治水地形分類上の旧河道や落堀、難透水性の土質を不規則に挟在するような地盤は、浸透に対しては条件の厳しい箇所と判断して差し支えない。

このような特徴を有する河川堤防の基礎地盤において、理論的にはパイピングが生じるか生じないかの境界となる局所導水勾配は、1.0となるが、安全率を勘案し、一般的には0.5を超えるとパイピングの危険性があるものと判断している²⁾。しかし、堤防のり尻部に粘性土の非透水層がある場合には、局所導水勾配よりむしろ、水圧による下部からの揚圧力と上部に被覆する非透水層の自重とのバランスによ

りパイピングに対する危険度を判定する事が通常行われている。

このため、本研究では、堤防の地盤モデルを、現実を踏まえて複数仮定し、非透水層の構造及び厚さの差異による圧力水頭の変化とパイピングに対する安全性について、飽和・不飽和浸透流計算を実施し分析したものである。

2. 被覆土層が安全性に及ぼす影響

透水性地盤上の堤防で、堤内地の基礎地盤の表層が粘性土（難透水性の土で被覆土という）によって被覆されていると、洪水時に裏のり尻付近の基礎地盤の水圧が高まりやすく、いわゆるガマ等を生じることはよく知られている。

ここでは、図-1に示す基礎地盤モデルを対象に、被覆土層の有無あるいは層厚がパイピング破壊に対する影響を検討した。なお、ここでは基礎地盤の水圧の高まりやすいよう、堤体は粘性土（難透水層）で構成されているものとした。

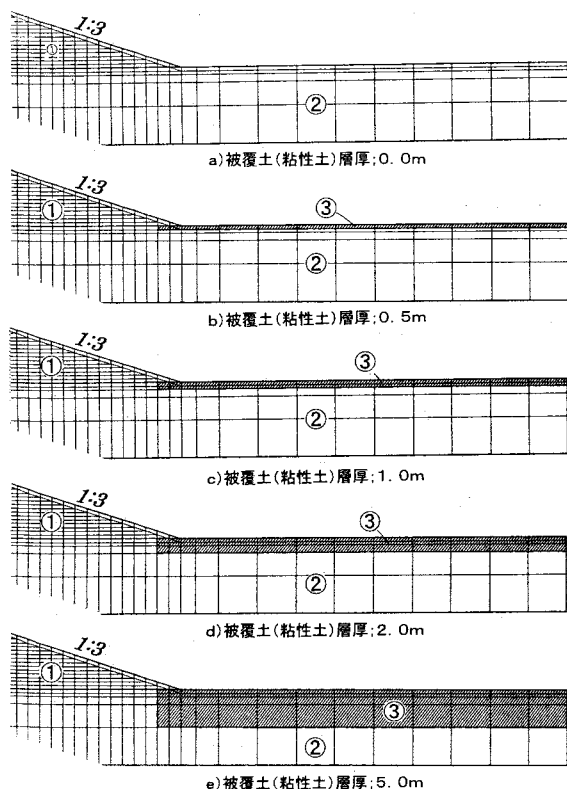
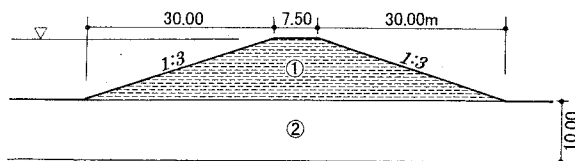


図-1 被覆土の影響の検討に用いた基礎地盤モデル

計算に用いた堤防形状は高さ 10m、不飽和透水係数 $k=1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ の粘性土を想定し基礎地盤は $k=1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ の砂質土である。設定外力は河川水位として天端水位までの非定常波形を与え、天端水位継続時間は 8 時間、降雨は事前降雨 200mm、降雨量 300mm である。



	土質	NO.	透水係数 (cm/sec)	備考
堤体	粘性土	①	1×10^{-5}	
基礎地盤	砂質土	②	1×10^{-3}	
	粘性土	③	1×10^{-2}	被覆土

図-2 堤体の断面形状と土質構成

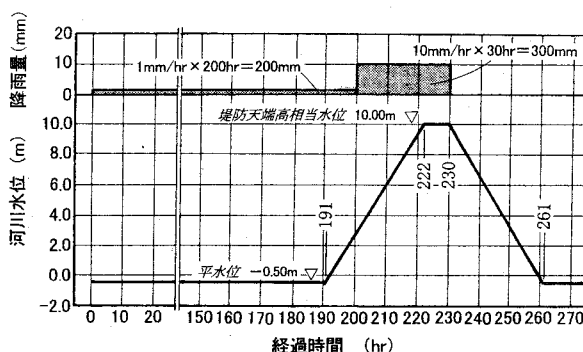


図-3 設定した外力

図-4 は異なる被覆土層厚における、のり尻直下 0.5m における局所動水勾配を算定し、これを被覆土の層厚との関係として表したものである。

これによると、被覆土層がない場合の局所動水勾配が最も小さく、また、被覆土層がある場合には、その厚さが薄いほど局所動水勾配が大きくなっている。

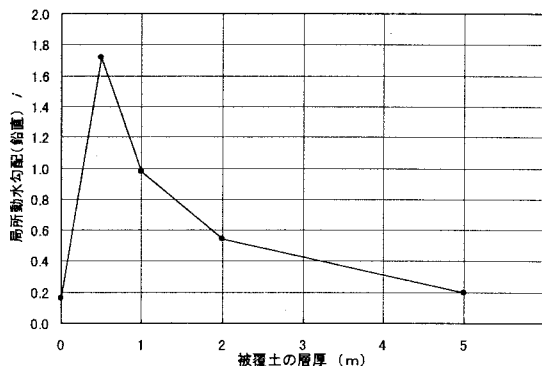


図-4 被覆土層厚と局所動水勾配の関係

これは、同一高さ（堤内地盤-0.5m）の水頭の分布が図-5 のようになっているためである。

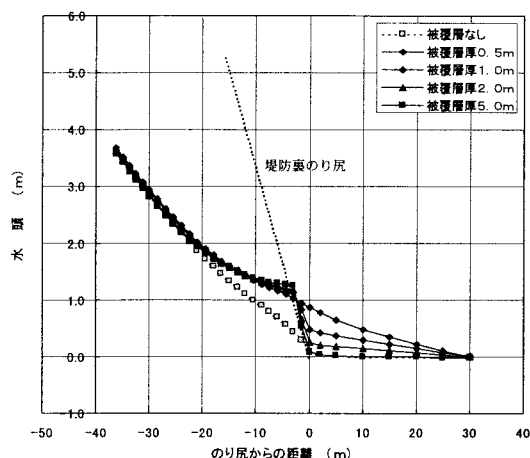


図-5 堤内地盤面-0.5mの水頭分布

前節でも述べたとおり、一般的には局所動水勾配が0.5を超えるとパイピング破壊を生ずる恐れがあるとされているが、これは浸透圧に対して個々の土粒子が抵抗する砂質土や礫質土の場合であって、粘性土のように土塊として抵抗する場合には、パイピング破壊に対しては別の検討が必要である。すなわち粘性土層の内部での局所動水勾配が0.5を超えたとしても、これがパイピング破壊に対して危険であるとの評価には直ちにはつながらないことに留意する必要がある。

被覆土層がある場合のパイピング破壊に対する安全性は、被覆土層基底の作用する揚圧力 W （上向きの水圧）と被覆土の重量 G を比較することによって評価することができる。すなわち、 $G>W$ あるいは $G/W>1$ であればパイピング破壊は生じないとする

もので、ここで G は ρ （密度） $\times D$ （厚さ）である。

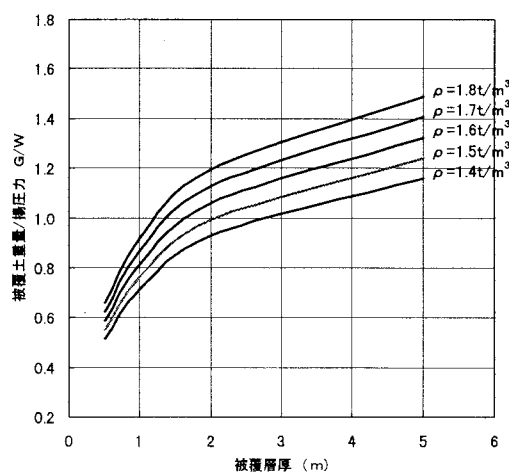


図-6 試算による G/W と被覆土層厚の関係

図-6 はここでの試算条件のもとでの被覆土層厚と G/W の関係である。これによると、概ね被覆土層厚

が1.5～2.0m以上であればパイピング破壊は生じないことが分かる。

被覆土層の影響を検討する場合、被覆土の有無が局所動水勾配に大きく影響するために、被覆土層の厚さや連続性、広がり等を十分に把握して、モデルへの組み込みを行う必要がある。

3. 被覆土層の状態が安定性に及ぼす影響

次に被覆土層の連続性や広がりがパイピングに対してどのように影響を与えるか検討することを目的して、被覆土層に部分的欠損（欠損幅1m）を与えた場合と被覆土層の連続性（幅）を変えた場合の水頭分布の変化について検討を行う。

まず、被覆土に部分的欠損を与え、前項と同様の外力を与えて飽和・不飽和浸透流計算を行った。その結果、欠損があることにより水頭は低下し、その低下傾向は欠損部が堤防のり尻に近いほど著しいことが分かった（図-8）。

また、欠損部の最大流速は、欠損部がのり尻部に近いほど大きく、今回の計算条件の下では、のり尻の直近では概ね0.0004cm/sであることが明らかとなった。

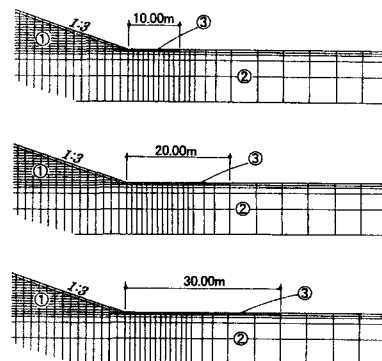


図-7 被覆土の部分的欠損を考慮したモデル

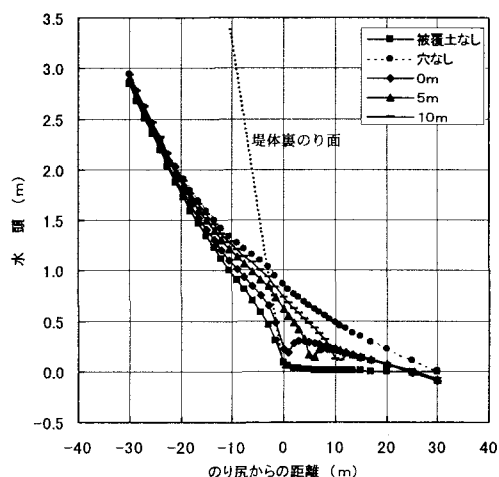


図-8 被覆土の部分的欠損と水頭分布

表-1 被覆土が部分的に欠損している場合の流速分布

被覆土の欠落部分	Vmax (cm/s)
のり尻から0m	4.005×10^{-4}
のり尻から5m	3.067×10^{-4}
のり尻から10m	2.297×10^{-4}

次に、被覆土の連続性（幅）がパイピングに与える影響を見るために、被覆土の幅を10mから30mまで変化させて飽和・不飽和浸透流計算を行った。

その結果を図-10に示すが、被覆土層の幅が狭いほど水頭は低下するが、30mになると、この境界条件のもとでは全面に被覆土がある場合とほとんど変わらない。

また、被覆土前縁の最大流速は、当然のことながら幅が狭いほど大きいですが、部分的欠損の場合よりも小さいことが明らかになった。

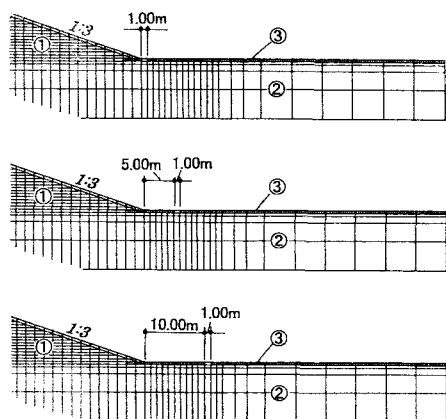


図-9 被覆土の連続性を考慮したモデル

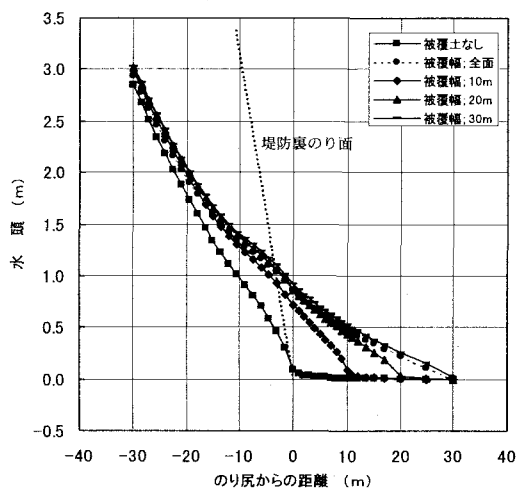


図-10 被覆土の連続性（幅）と水頭分布

表-2 被覆土が部分的に欠損している場合の流速分布

被覆土の連続性（幅）	Vmax (cm/s)
のり尻から10m	1.256×10^{-4}
のり尻から20m	5.292×10^{-5}
のり尻から30m	2.729×10^{-5}

4. 結論

河川堤防はその多くが長い治水の歴史を経て形成されており、基礎地盤は複雑であるが、河川堤防の多くが、特別な場合を除き地盤改良等は実施せず、自然の河道状況にあわせて築造しているために、一般的に透水性の異なる土質が複雑に分布している。本研究では、堤防の地盤モデルを、現実を踏まえて複数仮定し、非透水層の構造及び厚さの差異による圧力水頭の変化とパイピングに対する安全性について、飽和・不飽和浸透流計算を実施し分析を行い、以下の結論を得た。

- ①堤防のり尻部に粘性土の非透水層（被覆土層）がない場合の局所動水勾配が最も小さく、また、被覆土層がある場合には、その厚さが薄いほど局所動水勾配が大きくなっている。
- ②堤防のり尻部に粘性土の非透水層（被覆土層）がある場合には、概ね被覆土層厚が1.5～2.0m以上であればパイピング破壊は生じない。
- ③被覆土層に部分的欠損を与えた場合、欠損があることにより水頭は低下し、その低下傾向は欠損部が堤防のり尻に近いほど著しい。また、欠損部の最大流速は、欠損部がのり尻部に近いほど大きい。
- ④被覆土の連続性（幅）を変化した場合、被覆土層の幅が狭いほど水頭は低下するが、30mになると、この境界条件のもとでは全面に被覆土がある場合とほとんど変わらない。また、被覆土前縁の最大流速は、部分的欠損の場合よりも小さい。

参考文献

- 1) 玉光、中島、定道、藤井：堤防の設計と施工、土木学会編新体系土木工学74 技報堂出版、1991
- 2) 142 Guide for the design of river dikes volume1, CUR TAW、1991

(2001. 4. 16 受付)