

堤体の局所浸透流を考慮したパイピング発生条件に関する研究

(株)葵エンジニアリング 正会員 ○寺西剣悟
 中部大学工学部 正会員 杉井俊夫 余川弘至
 中部大学大学院 学生会員 森 聖智

1. はじめに

パイピングの評価基準¹⁾は、鉛直、水平方向の局所動水勾配がいずれも 0.5 未満であることが求められ、アウトとなるところがある。著者らは、これまでに多粒子限界流速²⁾を提案するとともに、他の研究者らの実験、および本研究室の実験結果に基づき、局所鉛直流速を数値解析により求め、水平流れが卓越する場合にも多粒子限界流速で破壊することを確認してきた。また、堤体基礎が単層の透水性地盤、堤体が不透水層の場合の簡易な堤体基礎地盤のパイピング評価方法を提案してきた。本報は、現場での簡易な堤体基礎地盤のパイピング評価方法として、堤体基礎が複層の透水性地盤、堤体が不透水層の場合について提案するものである。

2. 解析結果のメッシュによる依存性

河川堤防の構造検討の手引き³⁾によると、鉛直方向のメッシュ幅が堤防高の 1/10 程度以下になると、解析結果は、ほぼ一定の値になるとされている。しかし、局所鉛直流速を数値解析より求める際、メッシュの依存性が考えられる。そこで同一の境界条件で、複数のメッシュで解析を行った。解析結果から、局所鉛直流速を求め、解析で得られた局所の最大鉛直流速とメッシュ幅/堤防高の関係を図 1 に示す。この関係の対数近似を行い、近似曲線の勾配が急に変わる点での鉛直方向の最大流速を使用すると決めた。より安全側の流速を使用することにより、メッシュによる依存性は考慮せずに、解析を行うことができると考えられる。以下、この流速を鉛直方向の流速成分とする。

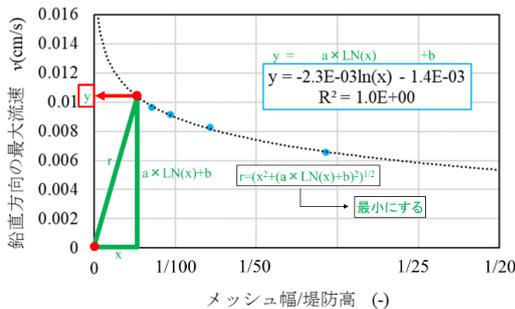


図 1 メッシュ幅毎の最大流速

3. パイピング破壊時の水位条件

著者らは、これまでに水平方向が卓越する場合においても多粒子限界流速が適用可能であることを明らかにしてきたが、数値解析を行う必要がある。そこで解析を行わず、簡易的にパイピング評価をする方法として、堤体敷幅や透水係数などのパラメータを用いて無次元化した指標の作成を行った。

本検証は、堤体基礎地盤が複層の透水、堤体が不透水の場合で行った。解析パラメータを表 1 に、解析モデルを図 2 に示す。なお、堤体敷幅は 20cm の場合で、上層透水層の透水係数は k_u 、下層透水層の透水係数を k_l とする。上層透水層が下層透水層に対して透水性が低いものとする。得られた解析結果より、噴砂発生箇所の最大流速の鉛直成分を最大流速とし、複数のメッシュサイズで解析を行うことにより、鉛直方向の流速成分を算出する。

表 1 解析パラメータ

k_u : 透水係数(cm/s)	1.005×10^{-2}	1種
k_l : 透水係数(cm/s)	$2.01 \times 10^{-2} / 4.02 \times 10^{-2} / 8.04 \times 10^{-2}$	3種
S_u : 上層透水層厚(cm)	1/2/3/4/5	5種
S_l : 下層透水層厚(cm)	9/8/7/6/5	5種
L : 堤体敷幅(cm)	20	1種
ΔH : 水位差(cm)	5/10/15	3種

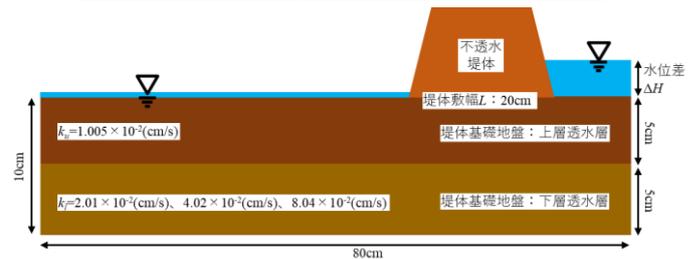


図 2 解析モデル(上層透水層 5cm の場合)

解析結果を基に、縦軸に v_v/k 、横軸に $\Delta H/L$ の関係をとった。 k には上層透水層の k_u を使用した。例として、上層透水層の透水係数が $1.005 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 、下層透水層の透水係数が $8.04 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ の v_v/k と $\Delta H/L$ の関係を図 3 に示す。なお、図中左上には透水係数比として $k_u : k_l$ を示している。上層透水層と下層透水層の透水係数比ごとに図が存在することになるため現場には不向きである。

キーワード 浸透破壊, 堤体基礎地盤, パイピング評価, 複層

連絡先 〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200 中部大学工学部都市建設工学科 TEL 0568-51-9562

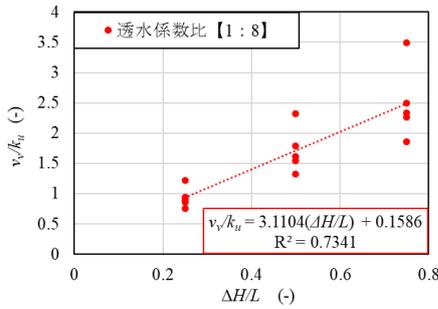


図3 v_v/k_u と $\Delta H/L$ (透水係数比【1:8】)

そこで、図3の関係の横軸である $\Delta H/L$ に k_v (鉛直方向の等価透水係数)/ k_h (水平方向の等価透水係数) を乗ずることとした。図4に、例として図3と同様に上層透水層の透水係数が $1.005 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 、下層透水層の透水係数が $8.04 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ の v_v/k_u と $\Delta H/L \times k_v/k_h$ の関係を示す。これにより、横軸に、層厚によって変化する流れ方向の鉛直、水平方向の流れやすさの影響度を考慮したこととなる。また、縦軸は v_v/k_u となり、単層の場合と同様に局所動水勾配となった。さらに、図4の近似式の m (勾配) と、 k_l (下層透水層の透水係数)/ k_u (上層透水層の透水係数) の関係を図5に示す。また図中の赤点は k_l/k_u が1の時であり、これは堤体基礎地盤が単層の場合である。これらを基にパイピングを評価する方法として、まず図5の近似式を使用することで、図4の関係の勾配を求める。さらに求められた勾配に $\Delta H/L \times k_v/k_h$ を乗ずることにより、縦軸である局所動水勾配 v_v/k_u を算出することが可能である。

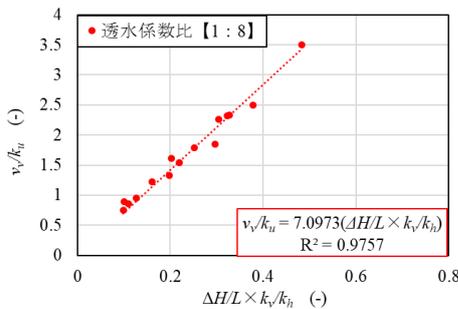


図4 v_v/k_u と $\Delta H/L \times k_v/k_h$

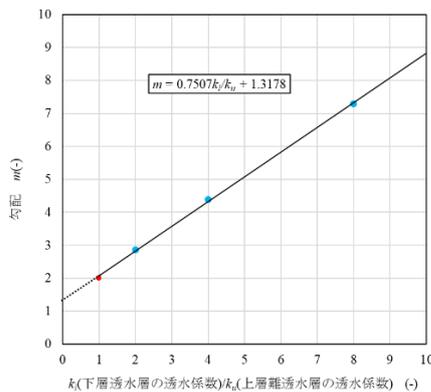


図5 m と k_l/k_u の関係

さらに、図4と図5の関係を利用して、小高らが行った実験結果³⁾を基に適用性の照査を行った。小高らは、さまざまな試料を用いて、図6に示す小型堤防を築堤し、外水位を上昇させてパイピングが発生するか実験を行った。なお、実験結果では破壊水位差が不明なため、本検証では水位差として天端までの高さを用いた。領域Iと領域IIの透水係数、局所動水勾配である $i_v = v_v/k_u$ 、局所動水勾配の評価、さらに実験での破壊形態を表4に示す。なお、評価には局所動水勾配である $i_v = v_v/k_u$ がパイピングの安定性照査基準¹⁾と同様に0.5以上であればパイピング破壊に対する安全性があるものとし、0.5以下であればパイピング破壊に対する安全性がないものとし評価を行う。これより、case16のみ、水位が天端の場合でも局所動水勾配が0.5未満であり、パイピング破壊に対する安全性があることがわかる。実験の破壊形態でも、case16はパイピング破壊ではなく越流によって破壊したとされている。また、他3つのcaseにおいては、局所動水勾配が0.5以上であり、パイピング破壊に対する安全性がないことがわかる。実験でもパイピングによって破壊している。

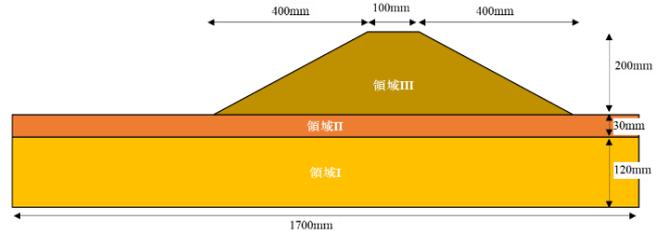


図6 小型堤防モデル

表4 検証結果

	透水係数 (cm/s)		$i_v = v_v/k_u$	評価	実験破壊形態
	領域 I	領域 II			
case5	0.270	0.049	0.741	×	パイピング
case10	0.270	0.004	0.973	×	パイピング
case11	0.270	0.004	0.973	×	パイピング
case16	0.270	0.270	0.451	○	越流

4. おわりに

本研究で得られた知見を以下に述べる。

- (1) 2つの関係を使用して、パイピング破壊を概ね評価することができた。
- (2) 勾配と k_l/k_u の関係は $k_l : k_u$ が 1 : 1 の場合 (単層の場合) でも使用可能であることが確認された。

【参考文献】

- 財団法人国土技術研究センター:河川堤防の構造検討の手引き(改訂版),pp.46-47,pp.65-67,平成24年2月。
- 杉井ら:浸透破壊の発生プロセスと土の非均質性,土と基礎,第37巻,第6号,pp.17-22,1988。
- 小高猛司ら:高透水性基礎地盤を有する河川堤防の崩壊メカニズムと評価手法に関する研究,河川技術論文集,第24巻,2018。