

堤内地における行き止まり地盤の位置及び透水係数が河川堤防のパイピングに及ぼす影響

名古屋工業大学 学 〇西村 柁哉 正 前田 健一
学 高辻 理人

1. はじめに

堤体の強度が高く、基礎地盤が透水層の上に難透水層が被覆した複層構造の場合、パイピング破壊の危険度が高いことが定性的に明らかになってきた。さらに、上記の透水層が堤内で途切れたいわゆる「行き止まり地盤」が存在する場合、パイピングを助長すると指摘されている。しかし、行き止まり地盤の明確な条件や影響の大きさについては、これまで十分な検討がなされていない。そこで、本稿では行き止まり地盤の位置及び透水係数に着目し、これらの要素がパイピングに及ぼす影響を現地再現モデルを用いて飽和・不飽和浸透 FEM 解析により検討した。

なお、使用する解析モデルは北海道常呂川左岸の KP26.8 地点を参考に作成した²⁾。同地は 2016 年 8 月に発生した台風 11 号の出水により被災し、既往の調査からパイピング破壊を助長する特徴的な透水性複層基礎地盤及び行き止まり地盤の存在が確認されている。

2. 解析概要

図-1 に解析モデルの概要図を示す。設定した各材料の透水係数は表-1 に示す。透水係数は常呂川堤防調査委員会報告書及び各土質分類から推定した代表値³⁾を設定した。検討ケースの一覧は表-2 に示す。解析モデルの堤内側の端部に行き止まり地盤を設置し、裏法尻から行き止まり地盤までの距離（以下、行き止まり距離 d ）と、行き

止まり地盤の透水係数をそれぞれ変化させた。

境界条件は堤外側に HWL 時の外水位 2.75m を一様に作用させ、堤内側の地表面と裏側法面は浸出面に設定し、定常解析を行った。また、モデル化した現地は両側を山に囲まれた谷部に位置し、大雨の際には地下水位が急激に上昇し、短時間で飽和・被圧状態になる可能性がある。よって、飽和・浸透にかかる時間を無視し、最も危険な条件を想定した定常状態で検討を行った。

表-1 各材料の透水係数

区分	記号	土質	透水係数, k (m/s)
堤体	Bs	シルト砂質土	1.0×10^{-8}
基礎地盤 (難透水性上層)	As	砂質土	1.0×10^{-6}
基礎地盤 (透水性下層)	Asg	砂礫質土	1.0×10^{-4}
基礎地盤 (透水性下層)	Ag	礫質土	1.0×10^{-3}
基礎地盤 (透水性下層)	Dg	礫質土	2.0×10^{-4}

表-2 検討ケース一覧

行き止まり距離, d (m)	行き止まり距離/堤体幅, d/B (無次元)	行き止まり地盤の透水係数, k (m/s)	ケース数
10	0.37	不透水	
20	0.74	1.0×10^{-6}	
30	1.11	1.0×10^{-5}	
40	1.48	1.0×10^{-4}	
50	1.85		
5通り		4通り	5×4=20

3. 解析結果と考察

3.1 圧力伝播による検討

図-2 に各ケースの行き止まり距離と堤内に伝播した過剰間隙水圧の圧力水頭の関係を示す。横軸は行き止まり距離 d を堤体幅 $B=27$ m で除し、無次元化した値である。

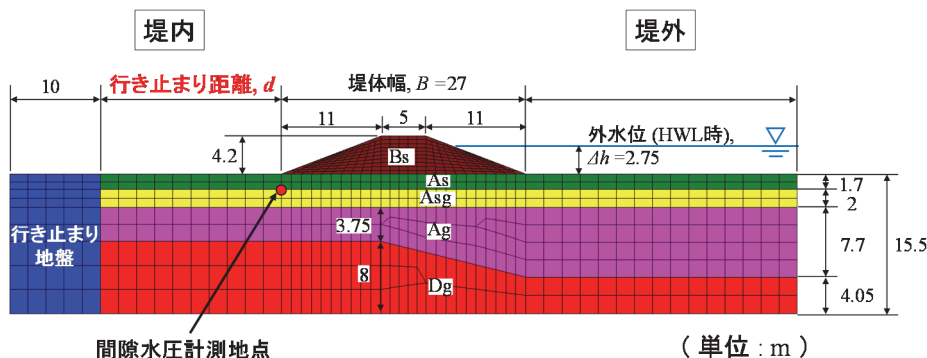


図-1 解析モデル概要図（常呂川左岸 KP26.8 地点）

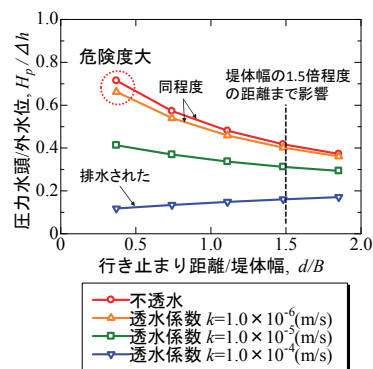


図-2 行き止まり距離と圧力の関係

キーワード 河川堤防, 噴砂, パイピング

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 16 号館 227 号室 TEL052-735-5497

縦軸は裏法尻直下の As 層底面 (図-1 参照) の過剰間隙水圧の圧力水頭を設定外力の 2.75m で除し、無次元化した値である。

図-2 より、行き止まり地盤の透水性が低く、 d/B が小さいケースほど圧力水頭が大きくなり、行き止まり地盤の条件によっては最大で外水位の約 7 割程度の揚圧力が法尻に作用することが分かった。透水性の低い行き止まり地盤が法尻付近にあることで、浸透流の逃げ場がなくなり基礎地盤内に圧力が蓄積され、パイピングの危険度が高まると考えられる。逆に、透水性の高い $k=1.0 \times 10^{-4}(\text{m/s})$ のケースでは圧力水頭が小さくなっているが、これは行き止まり地盤によって浸透流が排水され、過剰間隙水圧が消散したためだと考えられる。

また、 $k=1.0 \times 10^{-6}(\text{m/s})$ と不透水のケースを比較すると、圧力水頭がほぼ同程度であることが分かる。よって、透水性下層と行き止まり地盤に 100 倍程度の透水係数の差があることで、不透水層とほぼ同等の行き止まり地盤とみなすことができるといえる。

さらに、いずれのケースも d/B が大きくなるほど圧力水頭の変化は小さくなっており、行き止まり地盤には効果を発揮する影響範囲が存在すると推定できる。模型実験の再現解析から行き止まりの影響範囲は $d/B = 1.5$ 程度であるという結果が得られていたが、現地での再現モデルでも概ね同様の結果が得られた。

3.2 G/W による検討

図-3 に行き止まり距離と G/W の関係を示す。As 層を被覆土層とみなし、被覆土層重量 G は、式(1)で求めた。

$$G = \gamma' L_u = \frac{G_s - 1}{1 + e} \gamma_w L_u \quad (1)$$

(γ' :水中単位体積重量, 被覆土層厚 $L_u=170\text{cm}$, 土粒子密度 $G_s=2.65\text{g/cm}^3$, 間隙比 $e=0.90$, 水の重量 $\gamma_w=1.0\text{g/cm}^3$)

揚圧力 W は 3.1 節で求めた圧力水頭に水の重量 $\gamma_w=1.0\text{g/cm}^3$ を掛けた値として算出した。

図-3 より、行き止まり地盤の条件によって G/W が最大 6 倍変化し、行き止まり地盤の影響が非常に大きいことが分かる。また、実際の被災箇所条件を本解析で検討した結果、 $G/W \approx 1$ となり噴砂条件を満たしていた。

3.3 流速長コンター及び堤体浸潤線による検討

図-4 に $d=20\text{m}$ の 3 ケースの流速長のコンターを示す。図より、行き止まり地盤の透水性が高いと、浸透流が行

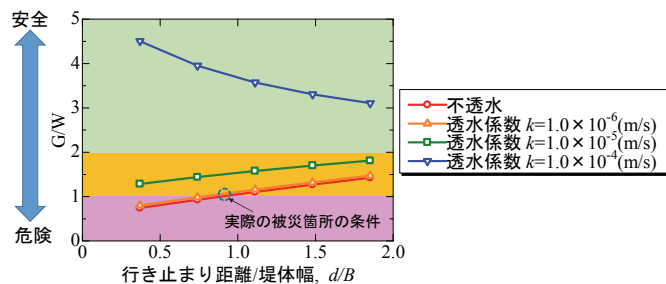


図-3 行き止まり距離と G/W の関係

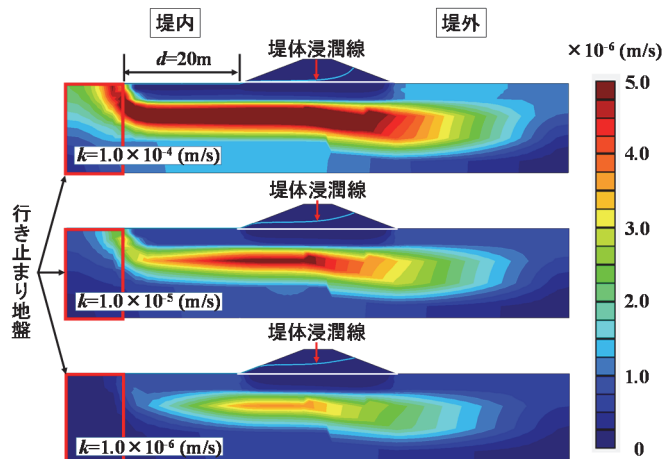


図-4 流速長のコンター ($d=20\text{m}$)

き止まり地盤に引き込まれ流速は速くなり、堤体浸潤線が低下していることが分かる。一方、行き止まり地盤の透水性が低いと堤内で浸透流が排水されず流速が遅くなり、堤体浸潤線は上昇している。以上から、行き止まり地盤は基礎地盤内の圧力伝播、流速のみならず、堤体への浸潤にも影響することが分かった。

4. まとめ

本解析から以下のような知見が得られた。

- 1) 行き止まり地盤は、基礎地盤の圧力伝播、浸透流速及び堤体への浸潤に影響を及ぼす重要な要素である。
- 2) 透水性下層と行き止まり地盤の間に 100 倍程度の透水係数の差があることが効果発揮の閾値になる。
- 3) 裏法尻から堤体幅の 1.5 倍程度の範囲が、行き止まり地盤の効果を発揮する範囲である。

参考文献

- 1) 西村 征哉, 前田 健一, 櫛山 総平, 泉 典洋, 齊藤 啓: 異なる基礎地盤特性の堤防の噴砂動態・パイピング挙動と漏水対策型水防工法の効果, 河川技術論文集, 第 23 巻, pp.381-386, 2017.
- 2) 常呂川堤防調査委員会, 常呂川堤防調査委員会報告書, 2017.
- 3) 地盤工学会, 土質試験—基本と手引き—, pp91, 2014.