

平成 27 年 9 月 鬼怒川洪水時の堤体下の基盤漏水に関する研究

中央大学 学生会員 ○栗原 克幸
 中央大学研究開発機構 フェロー 福岡 捷二
 中央大学研究開発機構 正会員 田端 幸輔

1. 序論

堤体や基盤からの漏水は河川堤防の安定性を低下させる要因の 1 つとなるため、洪水時にどの場所が危険になるかを推定する必要がある。福岡、田端らは、Richards 式の無次元化により、一般的な浸透流を支配する無次元量である浸透流ナンバー-SFn を導出した。SFn を構成する物理量を、堤体内浸透流を規定する物理量に置き換えることで、堤体浸透破壊の危険性を表す堤防脆弱性指標 t^* を定義し、実河川堤防と模型実験データを用いて堤体浸透破壊危険性評価に対する t^* の有効性を示している。しかし、基盤漏水に伴う堤防破壊危険性を予測する手法は未だないようである。本論文では、浸透流ナンバー-SFn と堤体裏法尻での被覆土のクイックサンド発生条件を用いて、鬼怒川平成 27 年 9 月洪水において基盤漏水や噴砂が生じた箇所を対象に、基盤漏水の発生危険性を検討し、被災規模との関係を分析することを目的とする。

2. 検討方法

図-1 (a) に堤体と基盤層の模式図を示す。ここでは、堤体は不透水性材料からなり、堤体盛土直下に厚さ d の不透水被覆土層があり、その下部に厚さ d_s の基盤透水層がある場を考える。このとき、浸透流ナンバー-SFn を式(1)のように表わす。

$$SF_n = \frac{H_0 k_0 t_0}{\lambda_0 L_0^2} = \frac{Hkt'}{\lambda L^2} \quad (1)$$

ここに、 H : 洪水水位、 L : 浸透路長、 t' : 洪水継続時間、 k : 透水係数、 λ : 空隙率、添え字の 0 は各代表量である。基盤漏水が生じるためには、漏水地点 ($x=B_f+B_\ell+B_w$) の圧力水頭が少なくとも $d+d_s$ まで上昇する必要がある。よって、基盤透水層内の動水勾配線を直線で仮定し、浸透路長 L_1 を式(2)で表現する。

$$L_1 = \frac{H(B_f + B_\ell + B_w)}{H - (d + d_s)} \quad (2)$$

ここに、 B_f : 高水敷幅、 B_ℓ : 堤体幅、 B_w : 裏法尻から漏水地点までの水平距離、 d_s : 基盤透水層である。この式を式(1)に代入して求めた浸透流ナンバーは SFn_b と表現した。

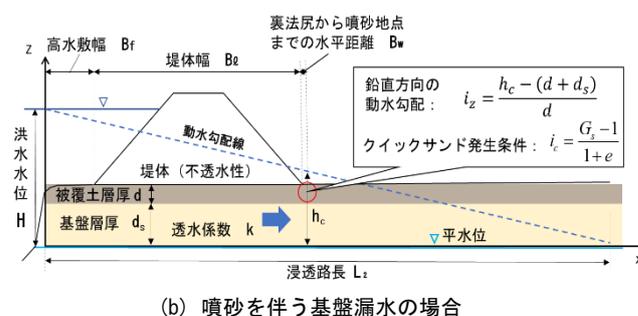
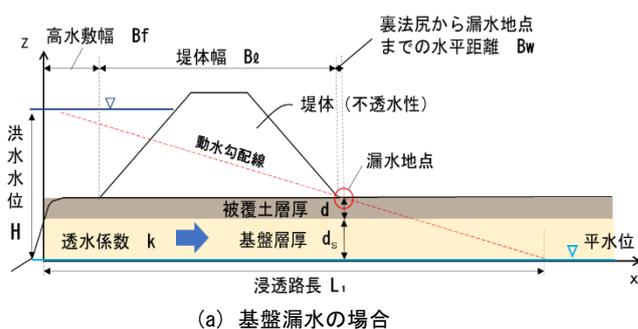


図-1 基盤漏水及び噴砂発生に対する浸透流ナンバー各物理量の定義

表-1 漏水箇所と検討条件

	縦断距離 [km]	d [m]	d_s [m]	h_0 [m]	H [m]	k [m/s]	t [hr]	B_f [m]	B_l [m]	B_w [m]	L_1 [m]	L_2 [m]	SFn, b	SFn, qs
噴砂なし	右岸 36.75	0.71	1.4		6.2	4.74E-06	10	17.9	23.6	12.6	82.3	99.5	3.92E-04	
	左岸 40.00	3.24	3.4		10.7	7.75E-04	23	501.4	29.1	0	1397.4	6749.9	8.75E-04	
噴砂あり	左岸 8.00	0.15	6.5	6.8	7.8	1.77E-05	13	111.9	33.5	0	972.1	1113.4	1.71E-05	1.30E-05
	右岸 38.25	0.31	5.2	5.9	11.7	1.98E-04	20	175.4	44.9	0	419.0	441.0	2.37E-03	2.14E-03
	左岸 39.00	1.75	0.3	3.7	7.9	1.93E-07	11	204.5	27.2	0	310.4	439.8	1.56E-06	7.79E-07
	右岸 41.75	1	4.0	6.0	9.5	4.08E-06	22	178.7	52.1	10	505.5	646.2	3.02E-05	1.85E-05

キーワード 基盤漏水, 噴砂, SFn_b , SFn_{qs} , 平成 27 年 9 月 鬼怒川洪水

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27-31214 中央大学研究開発機構 TEL 03-3817-1615

一方、噴砂を伴う箇所では、基盤層内の圧力が図-1(b)に示す h_c の高さまで増加する時に、被覆土が液状化され、危険になると考える。漏水地点での鉛直方向の動水勾配 i_z (図-1(b))が、クイックサンドに対する限界動水勾配 i_c (図-1(b))と一致する条件を用いれば、 h_c は以下のように表現できる。

$$h_c = d + d_s + \frac{G_s - 1}{1 + e}d \quad (3)$$

ここに、 d : 被覆土層の厚さ、 G_s : 土粒子の比重(2.65)、 e : 間隙比($\lambda/(1-\lambda)$)である。 $x=0$ で $z=H$ 、 $x=B_f+B_t+B_w$ で $z=h_c$ 、 $x=L_2$ で $z=0$ となる直線の動水勾配線を考えることで、クイックサンドの発生時点における浸透路長を基盤透水層内の圧力分布が直線であると仮定し、河川水位 H と h_c を直線で繋ぐ動水勾配線を考えることで、クイックサンド発生時点における浸透路長 L_2 を式(4)で表わす。この場合の浸透流ナンバーは SFn,qs と表現した。

$$L_2 = \frac{H(B_f + B_t + B_w)}{H - h_c} \quad (4)$$

3. 基盤漏水及び噴砂を伴う漏水に対する浸透流ナンバーの鬼怒川堤防への適用

表-1 に対象とする被災箇所と検討条件を示す。 H と t には、観測水面形の時間変化に基づく洪水流・河床変動解析³⁾により得られた水位ハイドログラフを用いた。基盤の k 、 d 、 d_s 、 B_f 、 B_t 、 B_w を地質横断図、開削調査、公開されているボーリング調査データから設定した。なお、 d_s は平水位の高さから被覆土層までの垂直高さとし、 k は Creager, Hazen の推定式より算出し、同じ基盤透水層にボーリングデータが複数ある場合は k を平均して与えた。噴砂の有無については、被災箇所の調査報告書⁴⁾に基づいて設定した。

図-2 に算定した浸透流ナンバー SFn,b と漏水箇所数の関係を示す。噴砂を伴わない漏水での SFn,b は 10^{-4} ~ 10^{-3} の範囲にプロットされている。また、最も漏水箇所数の多かった右岸 38.25k、左岸 40k において、 SFn,b が大きく算出されている。しかし、本手法では、基盤層厚の変化に伴う動水勾配変化等、複雑な基盤構造が圧力分布に及ぼす影響を考慮できていない。そのため、左岸 39k、左岸 8k、右岸 36.75k の SFn,b を比較すると、漏水箇所数が同じであるにもかかわらず、噴砂を伴う SFn,b が小さく算定されたと考える。

図-3 にクイックサンドの発生条件を考慮した浸透流ナンバーと漏水箇所数の関係を示す。噴砂箇所数の少ない左岸 39k で SFn,qs の値が小さく、噴砂箇所数が最大となった右岸 38.25k で SFn,qs の値が大きく算定されていることから、 SFn,qs と噴砂を伴う基盤漏水の被災規模がよく対応している。

4. 結論と今後の課題

動水勾配線が直線であると仮定することにより、基盤漏水の発生危険性を表す SFn,b 及び SFn,qs を提示し、平成 27 年鬼怒川洪水の漏水事象に適用した。漏水箇所数が最大の地点で SFn,b が最も大きい値を算出すること、噴砂を伴う基盤漏水に対しては被覆土のクイックサンド発生条件を仮定することによって、噴砂を伴う基盤漏水の規模が大きな所で SFn,qs の値が大きくなることを示した。今後は、他の河川についても同様の検討を行い、考え方の妥当性を検討する必要がある。

本研究を進めるにあたって、国土交通省関東地方整備局下館河川国道事務所にデータ提供を頂いた、記して謝意を表します。

参考文献 1). 福岡捷二, 田端幸輔: 浸透流を支配する力学指標と堤防浸透破壊の力学的相似条件-浸透流ナンバー SFn と堤防脆弱性指標 t^* -, 土木学会論文集 B1(水工学), 2018. 2) 鬼怒川堤防調査委員会: 堤防における漏水発生箇所の詳細調査報告, 2016. 3) 福岡捷二, 田端幸輔, 出口桂輔; 平成 27 年 9 月洪水における鬼怒川下流区間の流下能力, 河道貯留及び河道安定性の検討, 河川技術論文集, 第 22 巻, 2016. 6. 4) 応用地質株式会社: H27 東山排水樋管外 5 箇所地質調査業務, 平成 29 年 3 月。(国土交通省関東地方整備局下館河川国道事務所提供資料)

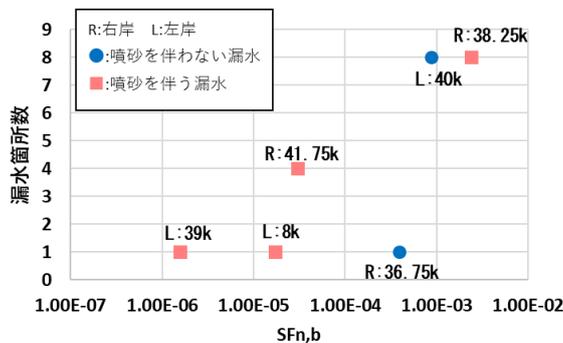


図-3 浸透流ナンバー SFn, b と漏水箇所数の関係

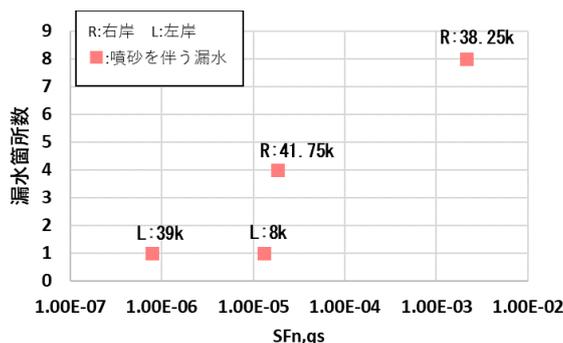


図-4 クイックサンドの発生条件を考慮した浸透流ナンバー SFn, qs と漏水箇所数の関係