

小型堤防による越水から決壊現象における堤体粒度の影響

中部大学工学部 正会員 杉井俊夫

中部大学大学院 学生会員○朱 発瑜 寺西剣悟

名城大学 正会員 小高猛司 名古屋工業大学 前田健一 横浜国立大学 崔 瑛

応用地質株式会社 正会員 斉藤秀樹 小林 剛 山口明代

1. はじめに

3つの台風が勢力を保ったまま1週間のうちに北海道への上陸、スーパー台風や線状降水帯など、これまでにない外力の発生により堤防の越水が各地で発生している。国の直轄河川でも完成堤防に至っていない箇所は多くあり、整備を待つことしかない。本研究は、約5分の1のスケールの小型堤防による越水現象を観察した結果から、越水しても破堤に拡大していかない結果を偶然にも得ることになり、耐越水の堤防としての靱性について地盤工学的に検討するものである。

2. 小型堤防の概要

(1) 堤防形状と規模

天端高 1m、天端幅 0.5m、敷幅 3.5m、のり勾配 1 割 5 分、長さ 9m の堤防を庄内川河川敷に設置し、外水位を負荷するために堤防表側に貯水池を設けている(図1)。堤体基礎には、河川敷地盤を深さ 30 cm、細粒分を含んだ浚渫土で地盤改良を行い、不透水境界とした。また、堤防横断両端面の漏水を防ぐためベントナイトシートを挟み込み両側に土堤を築いた。貯水池にはトンパックを並べて貯水池底面からトンパックの表面に厚さ 5mm の防水シートを敷いた。築堤後には、堤防を跨ぐように鋼管を組み、ノズルを付けた降雨発生装置を設けた。雨水、貯水池の水には、河川水をノッチタンクに汲み上げ、ポンプで供給した。

(2) 築堤試料土と築堤

堤体基礎は、同河川からの浚渫土を使用し、堤体には購入土を使用した。図2に粒度分布を示す。築堤には4層に分け巻出し厚 25 cm、RI 密度計により密度管理を行いながらハンドガイドローラーで締固めた。

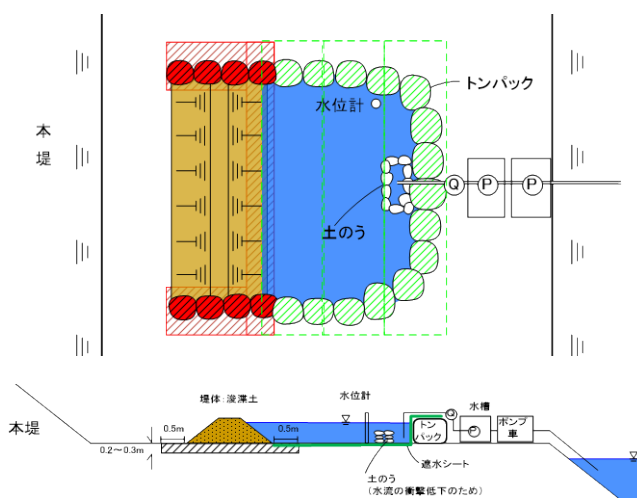


図1 小型堤防の設置

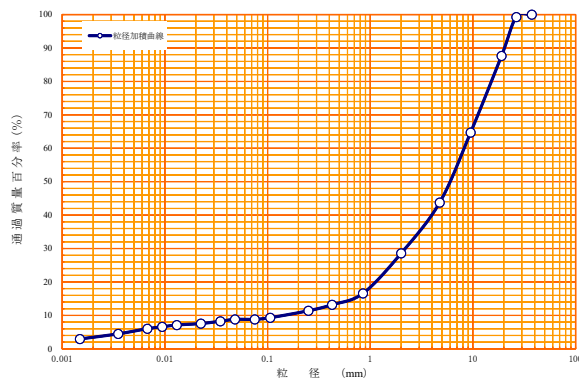


図2 堤体の粒度分布

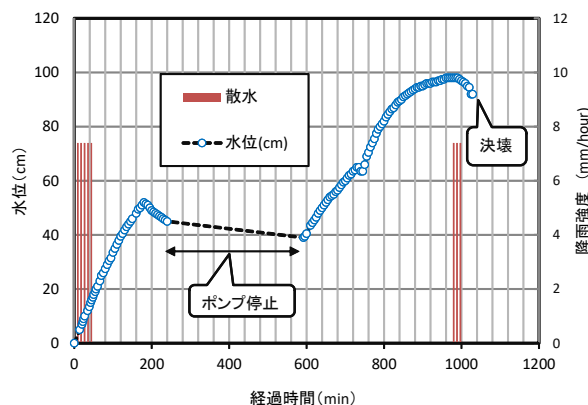


図3 水位上昇と降雨

キーワード 越流, 粒度分布, 天端材料, 限界流速, 耐越水性能

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

3. 水位と降雨条件

なお、180 分で 51 cm に達したところでポンプを停止、590 分後に再度ポンプを稼働し水位を挙げた。740 分後に不連続点があるが、のり面からの漏水にポンプ能力が不足したため、ポンプを追加してさらに水位を挙げた。

4. 観測状況（漏水と越水）

水位が天端高に達し部分的に越流したが侵食にいたらず、堤体は安定しているため、天端の一部をスコップシャベルで削り越流を促進させた。天端切削すぐには細粒分を巻き込み流出し、のり面表面をガリ侵食のように侵食するものの、すぐに清水となり越流していても安定となる。その後、4 回とも同じように同じ場所の天端表面を切削する（切削深不明で 5～10 cm 程度か）が、同様に僅かな侵食が起こるがすぐに清水となり安定してしまった。そこで、6 回目に切削面の下をスコップシャベルで掘り、オーバーハング状態にして自重で破壊させ、大きく高さを低くした。その後、堤防 70 cm ほどの幅で決壊した。今回の堤防は非常に礫が多く、礫の骨格構造が堤防の越流に対する抵抗が強かったものと考えられた。

5. 耐越流性能と侵食

越流水は堤高の低いところから少しずつ流れ出し、天端やのり面侵食とともに越流水深が大きくなり、破堤につながる。今回、天端切削を行っていたが、侵食されないために越流水深が大きくなり、決壊に耐えていたものと考えられる。そこで、本間の越流公式とエネルギー勾配 i_e から摩擦速度 u^* を求めて考察を行った。

$$V = q/h = \mu\sqrt{2gh} \quad (1) \quad i_e = \left(\frac{nV}{h^{2/3}}\right)^2 \quad (2) \quad u^* = \sqrt{ghi_e} \quad (3)$$

ここに、 V ：平均流速 μ ：流量係数(0.35) h ：越流水深 g ：重力加速度 n ：粗度係数(0.025)である。得られた越流水深と摩擦速度の関係を図 4 に示す。今回、天端切削により越流水深を仮に 10 cm とすると摩擦速度 5.7 cm/s となる。図 5 は岩垣の式¹⁾と多粒子限界流速²⁾を示しているが、ここから限界摩擦速度に達する粒径 3.7 mm と計算でき、本粒度分布から通過質量百分率 38% に相当する。残り 62% の大きな礫については流されず、6 回目の大きく天端大幅に削られることになり、越流水深が大きくなり限界摩擦速度に達した粒子が増加し決壊の切っ掛けになったものと推察する。実際に破堤時の越流水深は 20-30 cm の報告があり、これらに耐え得る天端構造が重要と考えられる。

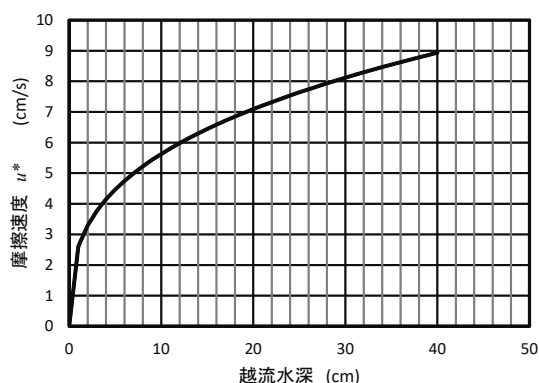


図 4 越流水深と摩擦速度

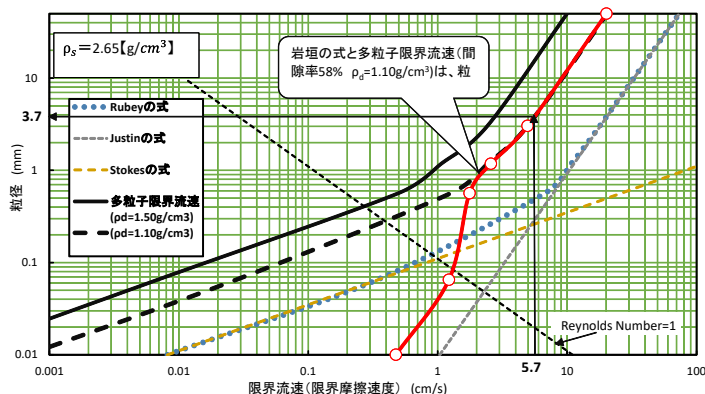


図 5 限界摩擦速度と粒径

6. おわりに

本報では、越水からの決壊現象について越流深と天端上での摩擦速度から現象の考察を行った。今回はのり面の侵食について検討は行っていないが、まず天端が侵食されなければ越流水深は大きくならず侵食に耐えることができることが考えられ、堤防の靱性を考える一つの要素とみることができる。今後、さらなるデータの収集および実験により検討を行っていく。本研究は、庄内川河川事務所の協力を得たここに謝意を表します。

【参考文献】1) 岩垣雄一：限界掃流力に関する基礎的研究 (I) 限界掃流力の流体力学的研究，土木学会論文集、第 41 号、pp. 1-21, 1956. 2) 杉井俊夫：河川堤防の浸透破壊と液状化、第 49 回水工学に関する夏期研修会講義資料、13-A-6, 2013.