

寸法の異なる堤防模型実験による力学的相似条件の考察

名城大学大学院 学生会員 ○中村宏樹
 名城大学 正会員 小高猛司・李 圭太（日本工営）
 中央大学研究開発機構 正会員 福岡捷二・田端幸輔
 元名城大学学生 山田紘太郎・福永葵衣・大橋健司

1. はじめに

名城大学の研究グループでは、透水性が異なる 2 層の基礎地盤上の堤防の模型実験を実施し、基盤からの浸透が堤体の変状に結びつくメカニズムの検討を行ってきた¹⁾。すなわち、動水勾配の集中が引き起こす堤体法先での小規模なすべり破壊がトリガーとなり、破堤に結びつく大規模な裏法すべりに進展する現象を確認してきた。ただし、模型実験は実際の河川堤防と比較して極めて小さいため、たとえ実際の被災事例とおぼしき現象が模型実験で再現できたとしても、実現象との相似性を明確にする必要があった。

田端ら²⁾は、河川堤防の形状、構造、透水性そして洪水継続時間などから総合的に被災危険度を評価できる堤防脆弱性指標を提案し、実河川の被災事例との高い適合性を示した。さらに、福岡ら³⁾は名城大学で実施してきた模型実験結果についても堤防脆弱性指標を用いて評価し、裏法すべりや決壊など破壊の程度に応じた堤防脆弱性指標の値は、模型実験と現地堤防ではほぼ一致することを示し、堤防脆弱性指標が力学的相似条件を示すことを明らかにした。

本報では、従来実施してきた模型実験の寸法の 0.75 および 1.5 倍の模型実験を実施し、それぞれの浸透破壊の結果を比較検討するとともに、寸法の違いが堤防脆弱性指標に及ぼす影響について検討する。

2. 模型実験の概要と結果

図 1～3 にそれぞれ小～大型の 3 種類の模型実験の諸元を示す。図 2 の中型が、既存の研究^{例え³⁾}で採用してきた寸法の模型である。本実験では、表 1 に示すように、3 種の寸法で、堤体（領域 III）と上層基礎地盤（領域 II）の地盤材料の組み合わせによって合計 9 ケースの実験を行った。地盤材料には三河珪砂 3 号砂（間隙比 0.95）、6 号砂（間隙比 1.06）、8 号砂（間隙比 1.06）、6、7、8 号砂を 5:2:5 の質量比で混合した 678 号混合砂（間隙比 1.06）を用いた。いずれも含水比 4% に調整した上で、所定の間隙比となるように丁寧に締め固めて模型地盤を作製した。すべての実験を通じて、川表側の水位を一気に上昇させた後、堤防の 9 割の高さで水位を保持して、堤体の変状を観察した。

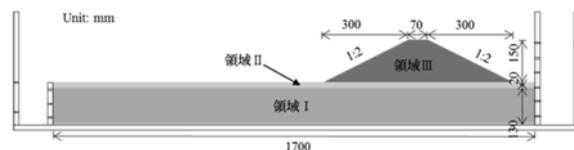


図 1 Case 1, Case 2, Case 3

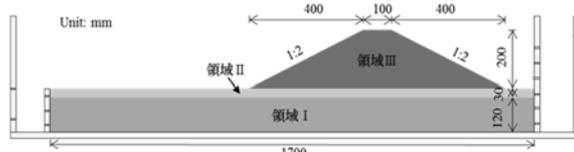


図 2 Case 4, Case 5, Case 6

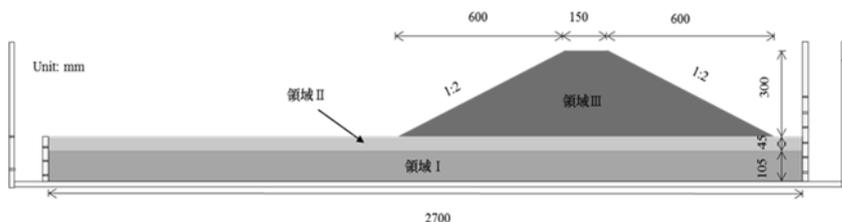


図 3 Case 7, Case 8, Case 9

表 1 模型実験のケース

| Case | 寸法 | 地盤材料 | | |
|--------|----|------|------|---------|
| | | 領域I | 領域II | 領域III |
| Case 1 | 小型 | 3号砂 | 6号砂 | 678号混合砂 |
| Case 2 | | | 8号砂 | 678号混合砂 |
| Case 3 | | | 6号砂 | 8号砂 |
| Case 4 | 中型 | 3号砂 | 6号砂 | 678号混合砂 |
| Case 5 | | | 8号砂 | 678号混合砂 |
| Case 6 | | | 6号砂 | 8号砂 |
| Case 7 | 大型 | 3号砂 | 6号砂 | 678号混合砂 |
| Case 8 | | | 8号砂 | 678号混合砂 |
| Case 9 | | | 6号砂 | 8号砂 |

キーワード 河川堤防, 浸透破壊, 堤防模型実験, 堤防脆弱性指標

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部 TEL052-838-2347

写真1に小型のCase2と大型のCase9の実験結果を示す。Case2では、実験開始から209秒後に、下層基礎地盤（領域I）から上層基礎地盤（領域II）を突き破る水みちが発生して堤体法尻部が損傷したことをトリガーとして、法すべりが天端まで進行し最終的に堤防決壊に至った。Case9では、堤防法尻部で発生した小規模な崩壊が、徐々に大規模な法すべりに進展し、最終的に天端の手前で崩壊が止まり5400sで実験を終了した。

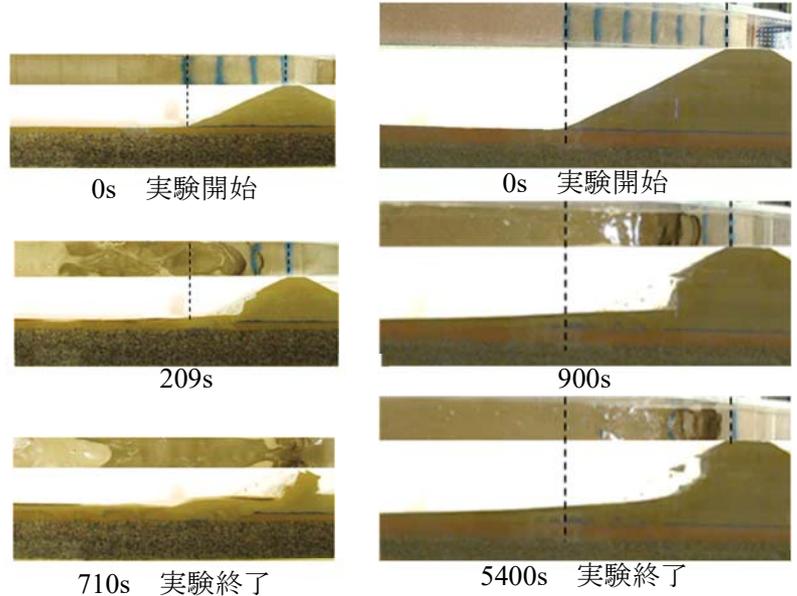


写真1 実験結果（左 Case 2, 右 Case 9）

3. 堤防脆弱性指標 t^* の比較

堤防脆弱性指標 t^* は次式で表される²⁾。

$$t^* = \frac{8 Hkt'}{3 \lambda b^2} \quad (1)$$

ここで、水位 H (m)、堤体の透水係数 k (m/s)、洪水継続時間 t' (s)、堤体の空隙率 λ 、堤防幅 b (m)である。透水性基礎地盤を加味する t_m^* も提案されている³⁾が、本報では t^* による検討を行う。

図4に堤防脆弱性指標 t^* の算出結果を示す。Case1～9が本報の実験結果であり、Case10～22は、既報³⁾の模型実験結果であり、本報での中型に相当する寸法で実施されている。既報の t^* よりも若干小さい傾向があるが、現地堤防と同様に³⁾ t^* が0.01～0.1の範囲で裏法すべりが生じ、0.1～1の範囲で決壊することが示された。さらに、本報では小、中、大の3寸法で実験を行ったことにより、堤体の大きさに拘わらず裏法すべりが発生する t^* は0.01～0.05の狭い範囲に集まることが確かめられた。小規模であるが、再現性の高い精緻な模型実験において、 t^* が寸法の異なる堤体模型間での力学的相似条件を示すことを確認できた意義は大きい。

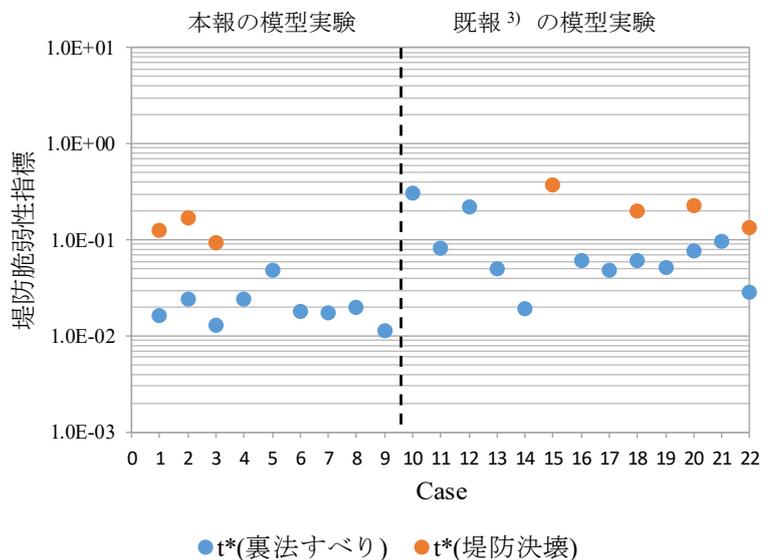


図4 堤防脆弱性指標 t^* の比較

4. おわりに

模型実験から現地堤防までのマルチスケールで、堤体脆弱性指標 t^* によって浸透がもたらす破壊形態を分類できることが示された。これは、小規模な精緻な模型実験だからこそ解明できる被災現象やその対策法が、現地堤防に適用可能であることを示唆している。ただし、堤体浸透に伴う裏法すべりの崩壊は低い有効応力レベルで発生する現象ではあるが、それでも実堤防と1G場の小規模な模型実験との有効応力レベルの差は大きい。その差を埋めるためには堤体材料の力学特性の把握が重要であり、現在データの蓄積を進めている。

参考文献 1) 例えば、小高・李・石原・久保・森・中山：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，Vol.24，2018。 2) 田端・福岡・内堀・上村：堤防脆弱性指標に基づいた堤防破壊危険性評価に関する研究—鬼怒川中下流部平成27年9月大洪水を例として—，河川技術論文集，Vol.23，2017。 3) 福岡・小高・田端：現地堤防と模型堤防の浸透破壊を規定する力学的相似条件—堤防脆弱性指標，第5回河川堤防技術シンポジウム論文集，2017。