

模型実験による河川堤防の基盤排水工の設置位置と規模についての検討

名城大学	学生会員	○山下隼史, 舟橋真彦, 嶋菜乃子
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
日本工営	正会員	李 圭太

1. はじめに

本研究グループでは、透水性が大きく異なる2層の基礎地盤を有する堤防の模型実験を行い、基礎地盤の漏水が堤体変状に対して与える影響およびメカニズムに関する検討を行ってきた。その結果、非常に透水性の高い基礎地盤上に、それより透水性が低い基礎地盤が存在する複層構造の基礎地盤上の堤防では、法尻付近に高い動水勾配が集中することによって、法尻部でのパイピングやそれに起因する大規模なすべり破壊が確認された¹⁾。本報では、そのような変状を抑制するために基礎地盤からの排水を促す基盤排水工について模型実験で検討を行う。特に基盤排水工の設置位置の違いによる変状抑制効果について詳細に検討する。

2. 実験の概要

本研究の浸透模型実験の概要を図1に示す。実験装置は通水孔の空いたアクリル板によって給水槽、土層、排水槽に分けられている。領域Ⅰは三河珪砂3号砂（間隙比 $e=0.95$, 透水係数 $k=2.67 \times 10^{-3} \text{m/s}$ ）、領域Ⅱは三河珪砂6号砂（間隙比 $e=1.06$, 透水係数 $k=4.88 \times 10^{-4} \text{m/s}$ ）、領域Ⅲは三河珪砂6, 7および8号砂を5:2:5の質量比で配合した678混合砂（間隙比 $e=1.06$, 透水係数 $k=9.96 \times 10^{-5} \text{m/s}$ ）を用いた。いずれの地盤材料も含水比4%に調節した後、所定の間隙比となるように丁寧に締め固めを行い、模型地盤を作製した。

模型地盤の作製後、実堤防において地下水位が透水性基礎地盤中にある場合を再現するために、給水槽の水位を100mmに保ち、90分間地盤材料を飽和させた。その後、給水槽の水位を一気に上昇させ、堤体高さ9割でオーバーフローさせ水位を保ちながら、浸透に伴う堤体の挙動を観察した。その際、左側の排水槽の水位は150mmに保つように排水を行いつつ60分間実験を行った。また、すべての実験過程において、模型実験の正面および側面からビデオ撮影を行った。図1に示すように基盤排水工を全く設けない模型地盤では、法尻での小規模な法すべりをトリガーとして、最終的には天端に到達するまでの大きな法すべりが進展することが確かめられている¹⁾。図2に本研究で用いた各基盤排水工の位置と規模を示す。

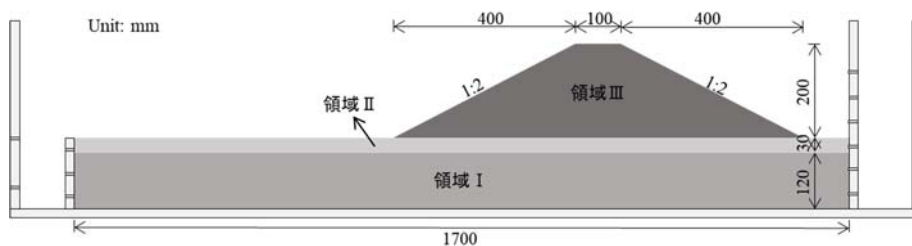
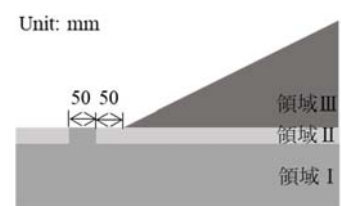
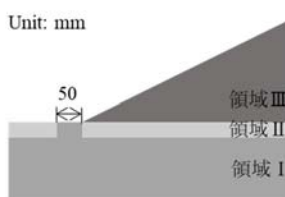


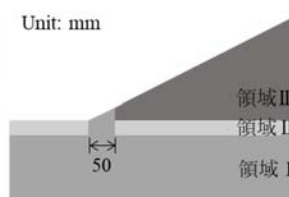
図1 模型実験の概要



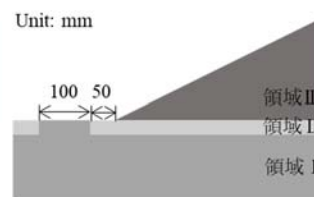
(a) Case1



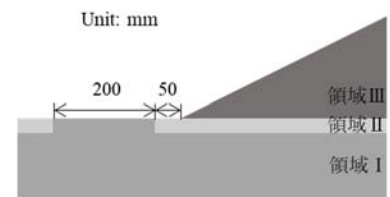
(b) Case2



(c) Case3



(d) Case4



(e) Case5

図2 基盤排水工の設置位置と規模

3. 実験結果

堤内基盤排水工マニュアル（試行版）²⁾においては、透水層から噴き出す水の堤体への影響と、将来の維持管理を考慮してドレーンは堤体外に設置することを原則としている。そのため、本研究でも Case1 および 2 のように、まずは堤体外に長さ 50mm の基盤排水工を設置した。写真 1 に Case1 の実験結果を示す。実験 60 分経過後における堤体の破壊状況を上面と正面から撮影したものである。Case1 は実験開始後約 30 秒で排水工において顕著な排水、実験開始後約 1 分に堤体法尻部で噴砂が発生した。その後、約 1 分 30 秒後に発生した小規模な法尻すべり破壊をきっかけとしてすべり破壊が進展し、天端近くまで変状した。これは、基盤排水工を設置しない場合とほぼ同等の変状であった。Case2 の写真は割愛するが、Case1 とほぼ同じ状況であり、堤体外に基盤排水工を設置した場合、長さ 50mm の規模では効果が得られないことが示された。



写真 1 Case1

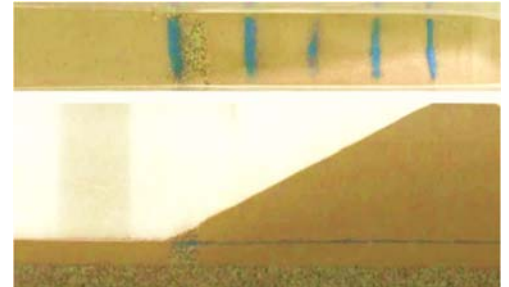


写真 2 Case3

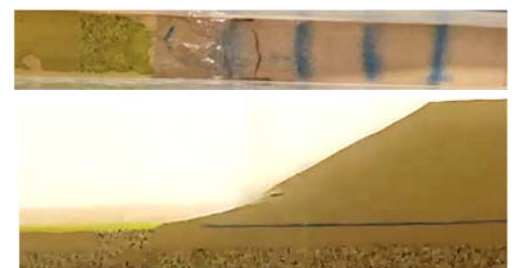


写真 3 Case4

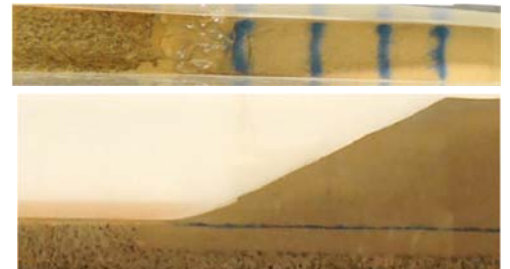


写真 4 Case5

次に、基盤排水工マニュアルでは推奨されない堤体内の法尻に基盤排水工を設置した Case3 の結果を示す。長さは Case1 と 2 と同様の 50mm である。写真 2 に示すように、実験開始から 60 分が経過しても、全く変状が発生しなかった。懸念された堤体内への設置は逆に法すべりを抑制する効果が高いことが示された。

堤体外に基盤排水工を設置した Case1 では、十分な排水量が確保できなかったために法すべりが発生したと考え、より排水量を確保するために Case4 および 5 のように規模を拡大した。写真 3 と 4 にそれぞれ Case4 と 5 の結果を示す。Case4 では、実験開始後約 30 秒で Case1 と同様に排水工で顕著な排水を確認したが、その後噴砂は確認されなかった。その後約 2 分後に堤防法尻部の泥濘化が発生した。その後約 8 分後に堤体高さ約 3 割の位置に亀裂が入り、法尻部が泥濘化したものの堤体に大きなすべり破壊は発生しなかった。さらに Case5 では、実験開始後約 30 秒で Case1、Case2 と同様に排水工で顕著な排水を確認したが、その後噴砂は確認されなかった。実験開始後約 3 分 50 秒後に法尻部の泥濘化が発生し若干の変状が見られたものの、Case3 と同様にその後大きなすべり破壊は発生しなかった。なお、Case4 での法尻での泥濘化は、基礎地盤と堤体と同じ材料の場合に、堤体内浸透による浸潤面が法尻に到達する際に発生するものと同程度であることから、高透水性基礎地盤の影響は基盤排水工で低減できていると考えられる。さらに、Case5 では泥濘化が抑制されていることから、基盤内の水圧が低下することにより堤体内浸透を抑制している可能性がある。基礎地盤が高透水性である場合、洪水によって被圧されなければ安定側に働く場合もある³⁾ことを裏付けている。

4. まとめ

堤体外に基盤排水工を設ける場合、十分な排水量を確保できる規模のドレーンが必要であることが示された。一方、堤体内にドレーンを設置することにより、小規模でありながら極めて高い効果が得られることも示された。実問題においては、堤内地に用地を確保できずに堤体内に基盤排水工を設ける場合も多いのが実情であるが、今後は積極的に堤体内の設置を推奨すべきである。

参考文献：1)小高ら：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，24，559-564，2018。2)土木研究所：堤内基盤排水工マニュアル（試行版），2017。3)福岡ら：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，79-82，2017。