

越水破堤に及ぼす堤体支持地盤の影響に関する縮尺模型実験

北見工業大学 大学院 学生会員 ○劉 爽, 御厩敷 公平
北見工業大学 工学部 正会員 川口 貴之, 川尻 峻三
北見工業大学 工学部 正会員 早川 博

1. はじめに

近年の気候変動によって、これまでは降雨量が少なかった北海道でも記録的降雨が観測されている。2016年には8月17日～23日の一週間において、北海道では観測史上初となる3つの台風が上陸した¹⁾。この影響によって北海道各地では記録的降雨を観測し、河川水位の上昇によって河川水が堤体を越流し、破堤や侵食などの被害が発生した。このような越流による破堤や侵食に影響を及ぼす要因として、堤体内の飽和度や締固め度の違い²⁾、支持地盤の透水性などが挙げられるが、支持地盤の透水性に着目した実験や解析的な検討事例は見当たらず、その詳細なメカニズムについては不明な点が多い。

そこで本研究では、堤体支持地盤の透水性が越流時の堤体侵食過程に及ぼす影響について検証するため、透水性が異なる地盤材料によって作製された支持地盤を有する堤体の縮尺模型に対する越水実験を行った。本文では、支持地盤の透水性の違いによって発生する越水前の堤体変状形態の違いが、越水中の堤体の侵食過程に及ぼす影響について報告する。

2. 実験概要

図1は本実験で使用した縮尺模型の概略図である。堤体は、高さ200mm、天端幅120mm、のり面勾配は表・裏のり面ともに1:2であり、支持地盤の全長は1400mm、厚さ200mmである。使用した土槽は全長1500mm、奥行き幅200mm、高さ500mmである。また、支持地盤の下を水が通ることを防止するため、土槽の底面にはゴムシートを設置した。さらに、支持地盤と堤体内の水位を測定するために、図1に示すような6地点にピエゾメータを設置している。

本実験は、表1に示すような3ケースを行った。実験ケースは支持地盤の透水性の違いに着目しており、透水性が中程度の珪砂4号を用いたCase1を基本ケースとし、物性が異なる地盤材料を支持地盤として用いることで、透水性が低いケースをCase2、透水性が高いケースをCase3とした。支持地盤に用いた地盤材料のD₅₀は、珪砂4号で0.7mm、珪砂7号で0.3mm、玉砂利で9.0mmである。堤体材料は、珪砂4号とファインサンド（非塑性）を8:2の割合で混ぜた混合土を使用しており、締固め度D_c（平均乾燥密度／最大乾燥密度×100）は80～85%を目標とした。堤体は含水比w = 8%に調整した試料を目標のD_cに必要な分だけ用意し、均一に巻き出した後に各層20mmとして所定の高さに到達するまで締固めて作製した。

実験手順としては、①模型内の網状排水材から支持地盤にのみ通水して飽和度を高めた後、②一定の上昇速度となるように調整しながら外水位を上昇させて、③越水直前に3Dレーザースキャナで堤体天端付近の三次元形状を測定した後に、④越水させた。なお、堤体側面および裏のり面方向にデジタルカメラを設置して実験

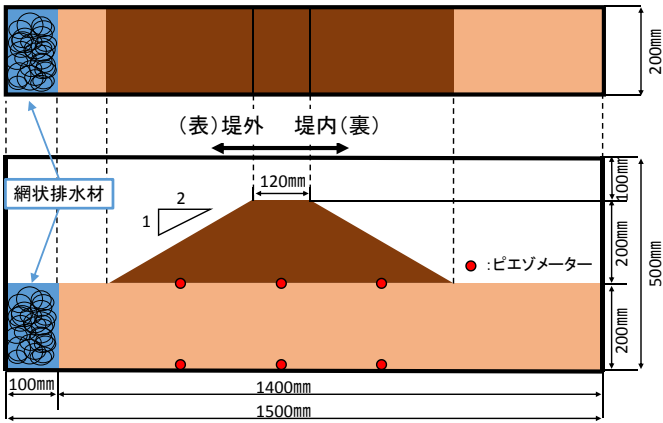


図1 縮尺模型堤体の概略図

表1 各実験ケースの一覧

実験ケース	堤体の D _c (%)	支持地盤の透水性(地盤材料)
Case1	80 ~ 85	中 (珪砂 4 号)
Case2		低 (珪砂 7 号)
Case3		高 (玉砂利)

中の堤体の状況を動画撮影した。

3. 実験結果および考察

図2は越水開始 20 秒後における堤体の越水侵食の形状を示している。堤体の侵食形状は、実験中に撮影しているビデオから読定した。Case1 では、天端中央部から裏のり面の表層 5cm 程度の深さまで越流による侵食が進行しているものの、破堤には至っていない。一方、支持地盤の透水性が低い Case2 および透水性が高い Case3 では、Case1 よりも侵食が進行し、完全に破堤している。図3は越流直前におけるピエゾメータの高さから推定した堤体内水位を示している。Case1 ではピエゾメータの飽和化が不完全であったためか、外水位上昇中にピエゾメータの上昇が確認できなかった。

Case2 および Case3 の結果を見ると、両ケースの堤体内水位は同程度であることがわかる。ここで Case1 では、越流水による侵食崩壊は発生したものの、外水位が高い越流前において裏のり面の変状が顕著でなかったため、堤体水位は Case2 と Case3 よりも低かったと予想される。しかし、Case2 および Case3 では、越流前に変状が発生し、その形態は大きく異なった。図4は Case2 において外水位が表のり肩部に到達した直後から破堤までの過程を堤体裏のり面側から撮影した状況である。

Case2 では越流前に堤体天端にクラックが発生しており、外水位が表のり肩に到達して 60 秒後には、越流水がクラックに流入し、越流水が裏のり肩に到達する前にクラック部付近から裏のり面が円弧状に崩壊した。この崩壊直後、残った表のり側の天端が沈下し、大量の越流水が裏のり面の崩壊面を流下して破堤に至った。次に、図5は Case3 における裏のり尻付近の状況を示している。透水性基盤である Case3 では、裏のり尻付近において堤体材料の吸出しが発生した。この吸出しによって、堤体下面と支持地盤上面の境界部には空洞発生し、この空洞は堤体外側へと発達してパイピング状態となり、最終的には完全な水みちとなった。水みちの形成過程で、裏のり尻近傍の堤体内にも空洞が発達し、この空洞の発達と崩壊を繰り返す進行性崩壊が発生した。越流水が裏のり面に到達した時には進行性崩壊が続いていた裏のり尻部を一気に侵食して、破堤に至った。

4. まとめ

支持地盤の透水性の違いによる越流前の変状形態が、外水位上昇に伴う越流時の堤体侵食の促進や遅延に影響していることがわかった。今後は堤体と支持地盤の透水係数比に着目し、より体系的な実験を行う予定である。なお、本研究は、公益財団法人 河川財団の河川基金助成事業によって実施したものである。

参考文献

- 1) 地盤工学会平成 28 年 8 月北海道豪雨による地盤災害調査団:平成 28 年 8 月北海道豪雨による地盤災害被調査報告書, 2017.
- 2) 奥田敏昭, 中川一, 関口秀雄, 岡二三生, 後藤仁志, 小俣篤:越流侵食・浸透のメカニズムを把握するための小型堤防による越流侵食実験, 河川技術論文集, Vol.16, pp.347-352, 2010.

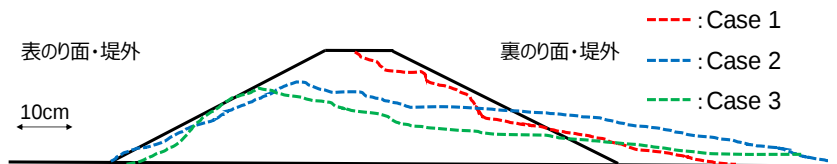


図2 越水 20 秒後の堤体の侵食状況

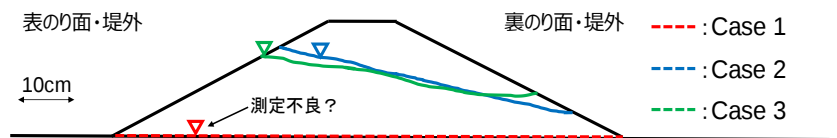


図3 越水直前における堤体の推定水位

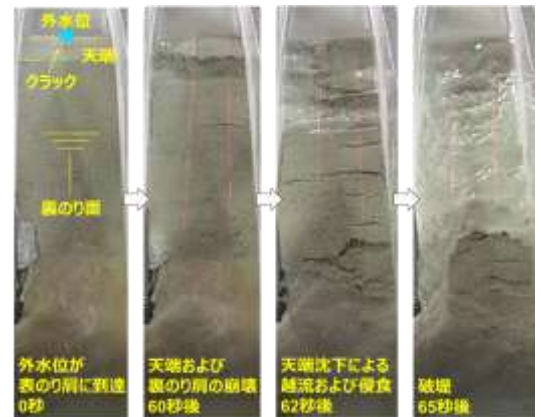


図4 Case2 における破堤状況



図5 Case3 における裏のり尻近傍の状況