

鋼矢板二重壁構造で補強された河川堤防の越水による形状変化

土木研究所 正会員 ○柿原 結香 正会員 西村 圭右
土木研究所 正会員 石原 雅規 正会員 佐々木 哲也

1. はじめに

令和元年東日本台風以降、越水に対して粘り強い性能を持った河川堤防の構造が検討されている¹⁾。粘り強い河川堤防の構造の一つとして、鋼矢板二重壁を堤防内に設置することで、堤防内に自立部を設けた構造（以下、自立型（鋼矢板二重壁））が想定されている。この構造の設計にあたっては、基礎地盤の洗掘の影響等、未解明な点が多い。そこで、本研究では、自立型（鋼矢板二重壁）について、越水による壊れ方を確認するため、小型水理模型実験を実施した。本稿では、堤体模型の越水による形状変化について示す。

2. 実験概要

実験水路内に、堤体模型および基礎地盤を作製し、堤体模型上流の水位を制御した状態で、堤体模型を越水させたときの模型の形状変化の観察と洗掘深の計測を行った。

実験水路寸法は、長さ 2m、奥行 0.3m、高さ 0.5m である。水路下流に水槽があり、ポンプで水槽の水を循環させる構造である。越流水深の制御は、模型上流側に水圧計を設置し、上流側の水位が所定の水位となるようにコンピュータでインバータを制御することで行った。

堤体模型寸法は、堤体高 100mm、天端幅 100mm、法勾配 1:2 である（図-1）。使用試料は、山砂($\rho_s=2.678(\text{Mg/m}^3)$, $D_{\text{max}}=4.75\text{mm}$, $D_{50}=0.229\text{mm}$, $U_c=8.76$, $(\rho_d)_{\text{max}}=1.665\text{Mg/m}^3(1.0E_c)$)である。基礎地盤および堤体は(D_c)_{1.0Ec}=90%で作製した。実験ケースは 2 ケースで、ケース 1 は無対策、ケース 2 は自立型（鋼矢板二重壁）構造である。ケース 2 は、図-1 のように、矢板下端は水路底面から 30mm 上にあり、川裏盛土下に水叩きを設けた。矢板（SUS 製、99.5±0.5×380×0.8mm×3 枚）は水路奥行方向に 3 分割し、上下流の矢板 1 組あたり 2 本のタイロッドで固定した。矢板間および矢板・水路壁面間は、薄いフィルムをグリスで貼り付けて止水した。天端保護工（SUS 製、98×99.5±0.5×6mm×3 枚）は矢板上端と天端保護工上面が一致するように、水叩き（SUS 製、100×99.5±0.5×6mm×3 枚）は、水叩き上面と基礎地盤表面が一致するように設置した。

実験は次の手順で行った。模型作製後、越水実験開始前に基礎地盤表面に水位を維持し、基礎地盤の飽和を行った。その後、表-1 に示すステップ 1~9 の条件で通水を行った。なお、ケース 1 はステップ 1 で表法肩まで侵食されたため、以降は行っていない。ケース 2 は、ステップ 2、3 後は堤防模型天端まで水位を下げた後、次のステップに進んだが、それ以外のステップでは、一度ポンプを停止し水位を基礎地盤表面まで下げた後、再度通水した。ステップ 4 以降は、上流側の水位を基礎地盤表面まで下げた後、洗掘深を、ナス型の錘（質量 37.5g）を取り付けた糸を垂らして、観察ガラス面から奥行方向に、10, 50, 100, 150, 200, 250, 290mm の位置で計測した。また、ステップ 5~9 において、観察ガラス面での洗掘深を画像より求めた。

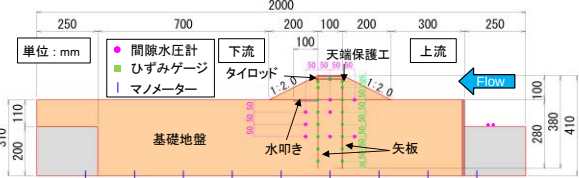


図-1 ケース 2 模型模式図

表-1 越水条件

ステップ	越流水深 (mm)	ケース1 (土堤)	ケース2 (自立型)	
		総越水時間(s)	各ステップ越水時間(s)	総越水時間(s)
1	10	25	340	340
裏法面撤去，基礎地盤修復				
2	10	-	1670	2010
3	15	-	470	2480
4	20	-	80	2560
水叩き撤去，基礎地盤修復				
5	7 ※	-	40	2600
6	10	-	170	2770
7	10	-	110	2880
8	10	-	1610	4490
9	20	-	400	4890

※目標洗掘深に達したため、水位上昇中に停止した。

キーワード 河川堤防，越水，模型実験

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6

(国研) 土木研究所 地質・地盤研究グループ 土質・振動チーム TEL029-879-6771

3. 実験結果

ケース 1 の土堤では、越水開始直後より裏法面中央付近から侵食が生じ、越水開始 25 秒後に写真-1 のように表法肩が侵食された。

ケース 2 の自立型のケースについて、越水開始後すぐに裏法先から侵食され、法肩方向に進み、裏法面は全て侵食された。侵食された土砂は、写真-2 のように法尻部に堆積し、水叩き上部が水溜りとなって定常となった。ステップ 1 終了後、裏法面の堆積土砂を撤去し、基礎地盤を実験開始時形状に揃え、再度通水した。ステップ 2 では、堤防模型、基礎地盤形状の変化は見られなかった。ステップ 3, 4 では、写真-3 のように、水叩き下流側の洗掘が生じた。洗掘深は、ステップ 4 終了時で 15~20mm であった。その他の形状変化は見られなかった。

ステップ 4 終了後、水叩きを撤去し、水叩き撤去後の基礎地盤面高になるように下流側の地盤表面を均し、再度通水した。ステップ 5~9 の洗掘深と総越水時間の関係を図-2 に示す。ステップ 5~8 の越流水深 10mm では、洗掘深が平均 97 mm で定常となった。ステップ 8 終了直前の状況を写真-4 に示す。ステップ 8 では、1610s 通水を継続したが、洗掘深が定常となった後も、自立部は、徐々に下流側に傾く様子が確認された。ステップ 9 終了直前の状況を写真-5 に示す。ステップ 9 (越流水深 20mm) では、洗掘深が大きくなり、上流側盛土および基礎地盤にすべりが生じ、自立部が更に下流側に傾いた。それに伴い越流水の落下位置が下流側に移った。この時、これまで洗掘されていなかった下流側の基礎地盤が洗掘され、洗掘された土砂が矢板付近に堆積したため、図-2 のように一時的に洗掘深が小さくなった。以上の結果より、洗掘深が定常になっても自立部の変形が続く現象は、脆性的ではないが、正のフィードバックがかかり決壊に至りかねない危険な壊れ方である。

4. まとめ

自立型 (鋼矢板二重壁) の越水による壊れ方を確認するために、小型水理模型実験を実施した。その結果、基礎地盤の洗掘深が定常になった後も、自立部の変形が続く現象が確認された。これは、脆性的ではないが、正のフィードバックがかかり、決壊に至りかねない危険な壊れ方である。

【参考文献】1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：粘り強い河川堤防の構造検討に係る技術資料 (案), 2023.

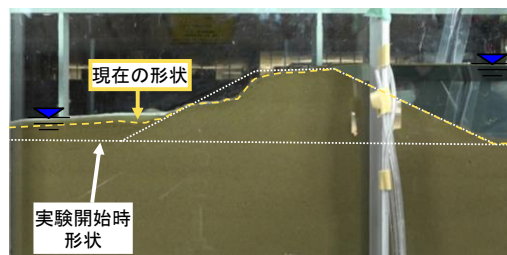


写真-1 ケース 1 越水開始 25 秒後の状況

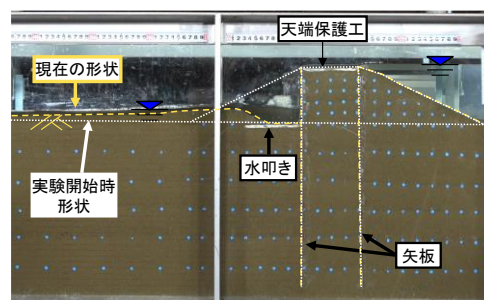


写真-2 ケース 2 ステップ 1 終了直前の状況

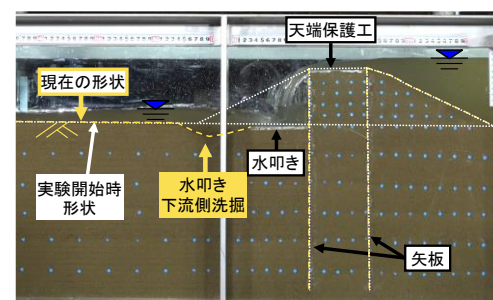


写真-3 ケース 2 ステップ 4 終了直前の状況

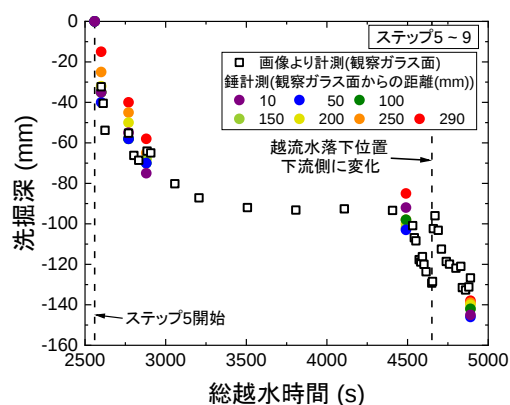


図-2 洗掘深と総越水時間の関係
(ステップ 5~9)

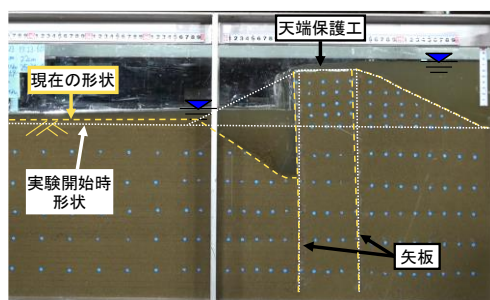


写真-4 ステップ 8 終了直前の状況

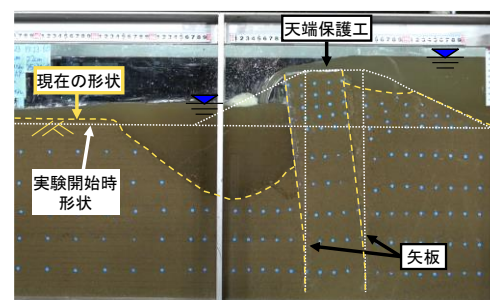


写真-5 ステップ 9 終了直前の状況