

堤防模型実験による被覆工の効果と越流水の PIV 計測に関する研究
 Study on effect of protection work using embankment model experiment and PIV measurement of
 overflow

○岡本隆明・山上路生・小高猛司・夏目将嗣

○Takaaki OKAMOTO, Michio SANJOU, Takeshi KODAKA, Shoshi NATSUME

In the present study, we conducted the laboratory experiments and investigated the effect of protection work for slope and toe of slope on embankment erosion. By changing the lengths of protection work, we measured the depth of scour hole and the embankment collapse time. Next, we performed PIV measurements to measure the flow velocity in scour hole.

1. はじめに

近年激化する豪雨時に越流による河川堤防の決壊が頻発化している。越流時に決壊するまでの時間を少しでも長くする粘り強い河川堤防の設計が急務となっている。本研究では、表面被覆型の対策工を施した越流侵食実験と越流水の PIV 計測を行った。越流侵食実験では、天端・法面被覆工と法尻保護工を設置し、法尻保護工の長さを変化させ堤体の崩壊メカニズムの検証を行った。PIV 計測では、被覆工によって堤体近傍で生じる流れ構造を明らかにした¹⁾。

2. 実験方法

本研究では、幅 170cm、高さ 60cm、奥行き 12cm のアクリル製土槽を用いた(図 1)。堤体の高さは $H=20\text{cm}$ 、基礎地盤の厚さ $B=15\text{cm}$ 、堤体は 2 割勾配である。堤体材料には、三河珪砂 8 号砂(間隙比 $e=1.06$ 、透水係数 $k=3.98 \times 10^{-5}\text{m/s}$)を用いた。また、被覆材には、やすりで表面加工したアクリル板を用いた。浸透後、給水槽の水位を一気に上昇させ、越流水深 $h=1\text{cm}$ で一定の流量になるように実験を行った。堤体が決壊に至るまで実験を行ったが、決壊しない場合は 90 分間で実験を終了した。 $t=0\text{s}$ は越流水が法尻の基礎地盤に到達したときの時刻とした。越流侵食実験では、堤体全体、法尻拡大部および法面の 3 か所をビデオカメラで撮影した。本研究では、無対策と天端、法面の被覆工の有無、法尻保護工の長さ L_1 を $L_1=0, 15\text{cm}$ に変化させた 3 ケース越流侵食実験を行った。

ビデオカメラで撮影した基礎地盤の形状を 3D プリンターで再現し、固定床の模型を作製した。図 2 のように土槽底面からレーザー光が照射でき

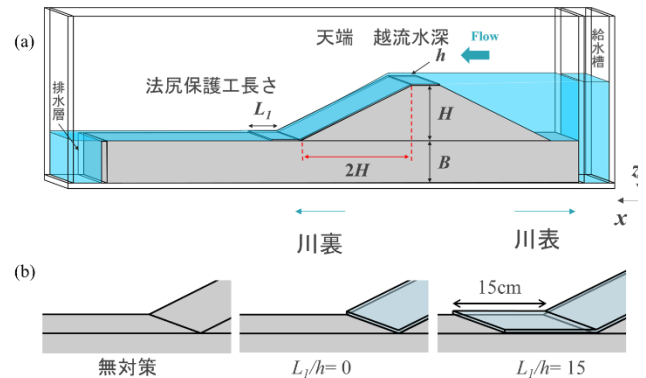


図 1 堤防の越流侵食実験と法尻保護工の長さ

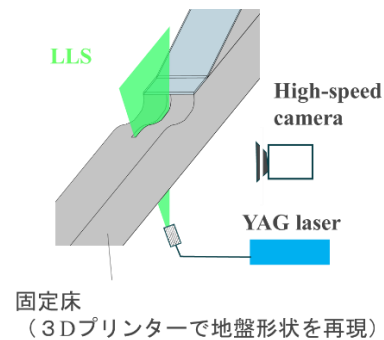


図 2 堤防の越流水の PIV 計測

るように幅約 1cm の溝を設けている。5.0W の YAG レーザーを光源として土槽下方から LLS を照射し、高速カメラでデジタル撮影した。500Hz のフレームレートで 2 枚の連続画像のペアを 60 秒間計測した。

3. 実験結果

天端・法面の被覆工の有無による越流侵食過程の変化について考察する。ケース 1 の無対策では、越流直後、越流水が法尻部を侵食し、時間経過と

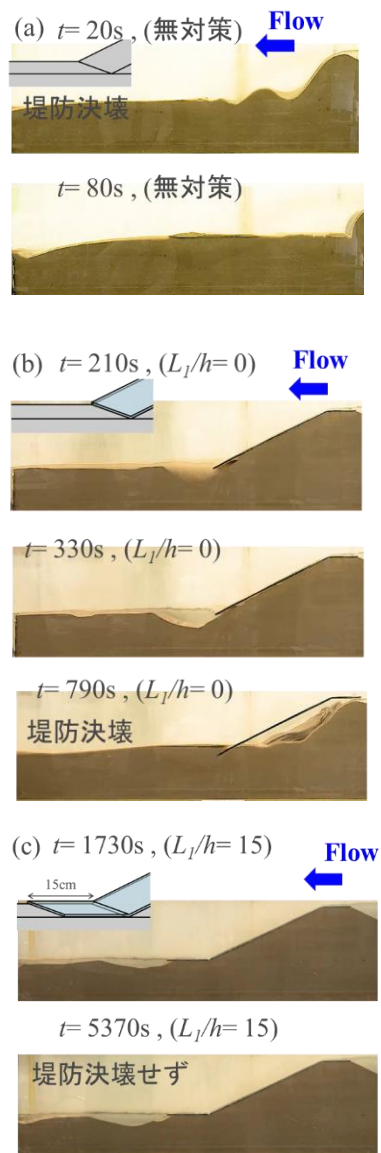


図3 堤防の越流による破壊過程

ともに法尻から天端にかけて侵食が進行する。その後も越流させ続け、 $t=20s$ で天端が侵食され決壊へと至った(図 3(a))。

天端・裏法面に被覆工を設けたケース 2($L_1/h=0$)では、越流水が法尻部に到達すると、川裏側の基礎地盤が侵食される。堤体法尻への吸い出しによって堤体土砂が川裏側へと流出することをきっかけとして、裏法面に設置した被覆材に沿って川表側への内部侵食(backward erosion)が進行し始める。透水性のギャップが大きい堤体と被覆材との境界に沿って内部侵食が進行していき、 $t=790s$ で被覆材に沿って生じた水みちが連通することで一気に崩壊が進み決壊へと至った。

法尻保護工を長くしたケース 3($L_1/h=15$)では、越流開始から基礎地盤が侵食され、洗堀孔が川裏

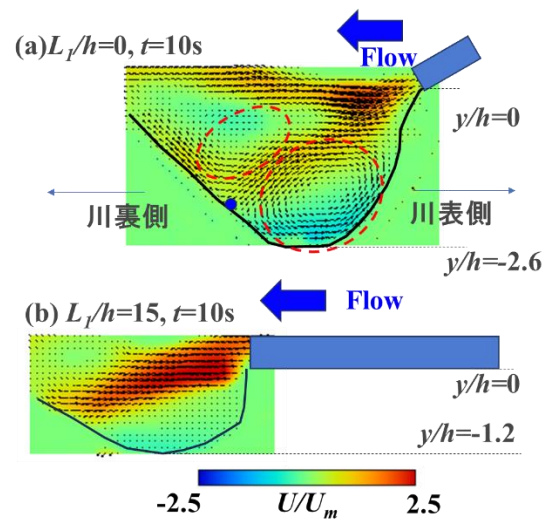


図4 堤防法尻部の洗堀孔内の流れの変化
 $L_1/h=0, 15$

側へと拡大していく。保護工を設置することで洗堀孔が流下方向に長くなり、洗堀深さが浅くなっている。これは越流水が基礎地盤へ吐出される際の流れが保護工によって減速されたためと考えられる。その後も 90 分間(5400s)越流させ続けたが、堤体材料の吸い出しは見られず、堤体の変状も見られなかった。

図 4(a)に被覆工を設置したケース 2($L_1/h=0$)の $t=10s$ 時点の地盤形状で計測した時間平均主流速 U のコンターと流速ベクトル(U, V)を示す。裏法面被覆工から吐出された越流水が洗堀孔内に流れ込み基礎地盤に衝突するのが観察される。基礎地盤に衝突した流れはそれぞれ反時計回りと時計回りの渦を形成している。これらの渦によって川表側と川裏側への侵食が発生していると考えられる。

法尻保護工を長くした $L_1/h=15$ では川表側の渦領域のベクトルは非常に小さい。洗堀孔が小さい状態でも底面での川表側向きのベクトルが小さいので、洗堀が進むとさらに流速は小さくなる。このため洗堀はあまり進展せず、土の吸い出しも起きにくいと考えられる。このため $L_1/h=15$ では本研究の条件で堤防が決壊しなかった。

1)岡本隆明, 夏目将嗣, 小高猛司, 李圭太, 松本知将・山上路生: 堤防法尻侵食に伴う越流水の流れ構造の変化と法尻保護工の効果に関する実験的研究, 土木学会論文集 特集号(水工学), Vol.81, No.16, 掲載決定, 2025.