礫を含有する模擬堤防の越流決壊プロセス

早稲田大学理工学術院 正会員 関根 正人
早稲田大学大学院 学生員 ○ 菅 俊貴
早稲田大学大学院 学生員 佐藤 耕介

1. はじめに

近年,気象の極端化に伴い各地で豪雨の影響による河川堤防の決壊が見受けられる．この中には甚大な人的・物的被害が生じている場合もあり，河川堤防の決壊メカニズムを解明することは重要な課題であると考えられる．しかし,堤防の決壊プロセスは複雑であることから未解明な部分が多いことが現状である．本論分では,実際の堤防には砂と粘土のみならず礫も含まれていることから，粘土及び礫を一定量含有させた一様な礫混じり粘着性土のみからなる模擬堤防による実験を行い，礫の効果を明確にすることを目的として検討を行った．

2. 実験の概要

本実験では礫の効果を検討する目的で 2 つの実験を行い，それぞれ Case 1，Case 2 とした．使用した材料は硅砂 1 号（粒径 4.3mm，比重 2.65），硅砂 7 号（粒径 0.15mm，比重 2.65），TA カオリン（粒径 7.0×10^{-3}mm，比重 2.65）である．ここで硅砂 1 号は礫，硅砂 7 号は砂，TA カオリンは粘土として扱っている．また，Case 1 では堤体に砂:礫:粘土を重量比において 9:1:1 として混ぜ合わせた材料を用いた．一方, Case 2 の堤体には砂:粘土を重量比において 10:1 の割合で混ぜ合わせた材料を使用し，これを両ケースの基礎地盤にも用いた．使用した実験水路及び堤体の寸法については**図-1** に示す．次に実験手順について示す．まず，基礎地盤の作成として，粘着性土を水路全面に敷き詰め，厚さ 5cm になるように締め固める．**図-1** の堤体部を挟む形で木枠を設置し，そこに作成した堤体材料を敷き詰めていく．一層の厚さが 5cm となるように締め固め，三層まで行う．締め固め度に関しては 90% 以上であることを確認している．このとき，層の表面をけがくことで層間が不連続にならないように留意した．その後木枠を外し，天端を中心として法面傾斜角が 30° になるように積み上げた土塊を切り出す．ここで越流が水路端で生じることを防ぐために，天端の中心軸を 6mm 程低くし，そこから左右それぞれ 30cm にかけて 2% の勾配がつくようにしている．河川区間に注水を開始し，水位が堤体の 8 割程度の高さになった時点で一度注水を止める．このとき河川区間に水位計を 2 つ設置し，実験中の河川区間における水位を観測している．堤体が十分に湿潤したことを確認してから注水を再開し越流を引き起こす．河川区間の水位が基礎地盤付近まで低下した時点で実験終了とした．また，実験時の動画の撮影には 3 台のカメラを用いている．設置位置はそれぞれ天端を中心とした鉛直上方,堤体の裏法面をとらえた位置,堤内地側から堤体を水平方向にとらえた位置の三箇所である．

3. 実験結果ならびに考察

写真-1 は各ケースの決壊時の様子であり，堤内地側から堤体を水平方向に撮影したものである．**図-2（a）**は時間ごとの裏法面における破堤幅を表している．**図-2（b）**はフロント位置ならびに堤内地側への流出水量の時間変化を表している．ここでフロントとは，天端上を河川側に向かって遡上するように浸食が進行する際の先端部のことを意味している．**図-2（b）**より，礫を含有する Case 1 の方が 80 秒程早く表法肩へフロントが到達していることが分かる．これは裏法面における両ケースの浸食過程の違いによるものであると考えられる．**写真-1** より礫を含有しない Case 2 では越流が開始すると裏法面で階段状に緩やかな浸食を進めていく．一方，礫を含有する Case 1 では越流が開始するとまず裏法面の表層にある粘土と砂が流出することにより礫が露出する．その後，露出した礫が越流水によって流され，礫が抜けた箇所には窪みが形成される．こ

キーワード：堤防決壊，越流，粘着性材料，礫
連絡先：〒 169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1，TEL 03-5286-3401，FAX 03-5272-2915

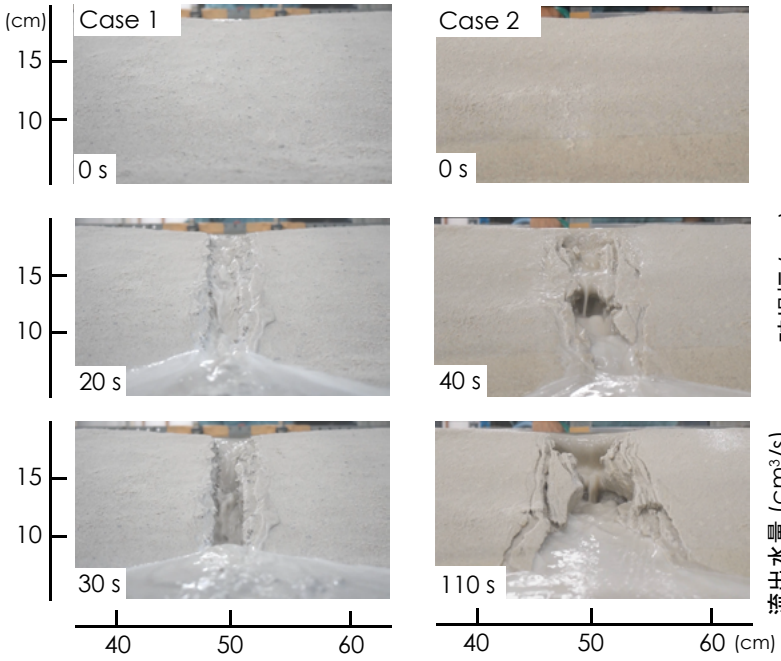

写真 -1 模擬堤防の決壊プロセス：堤内地側から水平方向に撮影した実験結果を表す． Case 1 は，礫と粘土を含有した材料のみで一様に構成された模擬堤防であり，Case 2 は，粘土含有率が 9% の材料のみで一様に構成された模擬堤防である．

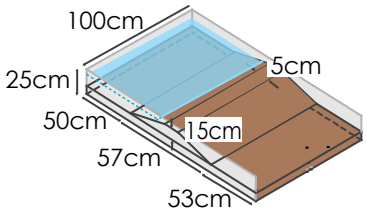

図 -1 実験装置概要

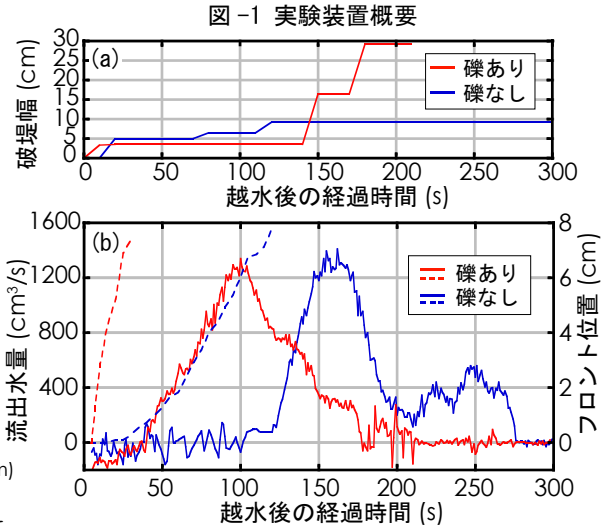

図 -2（a）破堤幅の時間変化（上）
（b）フロント位置（破線）ならびに
流出水量（実線）の時間変化（下）

の窪みが弱部となり浸食が促進される．このような現象が繰り返されることにより浸食が促進され，フロントが表法肩に到達するまでの時間が短くなると考えられる．また，礫を含有しない Case 2 と同様な階段状の浸食が初めに観察されるが，その後礫の流出に伴ってステップ部は消失する．

図 -2（a）より裏法面の破堤幅を比較すると，礫を含有しない Case 2 では破堤幅が徐々に拡幅していくのに対して，礫を含有する Case 1 では破堤幅が開いてから，堤体下部では浸食が進行するが上部の土塊が粘り強く存在するため，河川区間の水位が基礎地盤付近に到達するまで変化しない結果となった．このことから礫を含有させたことにより堤体自体の強度は大きくなるのではないかと推察される．

図 -2（b）より流出水量が最大値に達してから減少する際の傾きに着目すると，礫を含有する Case 1 の方が傾きが小さい．これはフロントが表法肩に到達するまでの浸食過程の違いによるものであると考えられる．**写真 -1** より，礫を含有しない Case 2 では階段状に緩やかに浸食することによって，フロントが表法肩に到達するまでに裏法面から表法面にかけて堤体を多く浸食している．一方，礫を含有すると浸食が促進されるため，フロントが表法肩に到達するまでの浸食量が礫を含有しない Case 2 と比べて少ない．これにより，フロント到達時の Case 1 では堤体の残存部が多いため，表法面の浸食に時間を要し，流出水量も緩やかに減少していくと推察される．

4. おわりに

本研究では模擬堤防における堤体材料の違いが決壊プロセスに及ぼす影響について検討した．礫が含有すると裏法面の浸食は促進されるが，表法面の浸食はフロントが表法肩に到達するまでの浸食過程より緩やかになることがわかった．

謝辞：本研究は文部省科学研究費基盤研究 (c)（研究代表者 : 関根正人．課題番号 :No.16K06519）を受けて行われたものである．
参考文献：1) 関根正人，堀江翼，佐藤耕介：越流による模擬河川堤防の決壊プロセスに関する検討，土木学会論文集 B1（水工学） Vol.74, No.4, I_1057-I_1062, 2018. 2) Jose A. Feliciano Cestero, Jasim Imran, and M. Hanif Chaudhry. : Experimental Investigation of the Effects of Soil Properties on Levee Breach by Overtopping, J. Hydraul. Eng., 2015, 141(4): 04014085