

越水時の河川堤防裏法面の侵食変形に関する実験的検討

茨城大学大学院 学生会員 ○後藤 聖也

茨城大学大学院 正 会 員 小林 薫

茨城大学大学院 学生会員 大埜 明日香

1. はじめに

令和元年の台風第19号による洪水¹⁾では、全国で決壊した142箇所²⁾の河川堤防(以下、堤防と記す)のうち122箇所(全体の約86%)の決壊の主要因が越水と推定されており、越水に対して堤防を強化する方策の検討が必要であると報告されている¹⁾。越水に伴う堤防の決壊要因²⁾には、(1)降雨浸透による堤体の飽和度上昇による強度低下と(2)裏法面や法尻の越流水による侵食作用が複合的に関与していることが多い。大埜ら¹⁾は堤体裏法面に破碎貝殻(以下、貝殻と記す)を敷設すると、自然材料である礫を敷設した場合よりも、越水による堤体内土粒子の流出抑制効果を発揮することを明らかにした。しかしながら、堤防裏法面に敷設した貝殻が越水によって侵食される場合があり、堤体内土粒子の流出による破壊と貝殻層が侵食されることによる破壊が生じる可能性がある。本研究は、越水時の堤防裏法面において堤体内土粒子の流出と貝殻層の侵食の二つの現象の内、先に生じる現象を明らかにすることを目的とする。室内土槽実験では、小型土槽を作製した後に、法面に貝殻層を設けて越水実験を行い、土槽側面からビデオ撮影し、実験前後で堤防裏法面の変状を比較した。

2. 小型土槽を用いた越水実験

2.1 実験概要

本実験は、越水時の堤体内土粒子の流出による堤体の変状と貝殻層の侵食挙動を確認することが目的である。そのため、目的ごとに堤体材料及層厚等の実験結果に影響を及ぼさないパラメータを観察しやすい条件に設定して実験を行った。アクリル製容器幅50cm高さ30cm奥行10cmの中に図-1に示す堤体(法面勾配1:2.0)を作製した。アクリル板の厚さが0.5cmであり、堤体作製時の側壁に係る土圧によるたわみを防止するために、万力を用いてアクリル板の変形を防止するようにした。実験に使用した試料の物理的性質を表-1に粒径加積曲線を図-2に、実験ケースを表-2に示す。表-2に示す実験ケースのA-1, A-2で用いた粒径を貝殻ケースAと、B-1, B-2で用いた粒径を貝殻ケースBと記した。本実験では、堤体法面を対象にしていることから基礎地盤の変形・沈下が堤防法面の変状に影響を及ぼさないようにするために、スタイロフォーム(単位体積重量 $3.58 \times 10^{-2} \text{ g/cm}^3$)、ゴムシート(厚さ0.2cm)、笠岡粘土を選定し用いた。また、天端部の変形が法面変状に影響を及ぼさないように、アクリル板(厚さ0.2cm)を用いて法肩の一部まで止水した。堤体は、表-2に示すように、硅砂6号とスタイロフォームを使用した。硅砂6号を最適含水比12.2%に調整した後に $\rho_d = 1.477 \text{ g/cm}^3$ で2cmごとに、層境界面はフォ

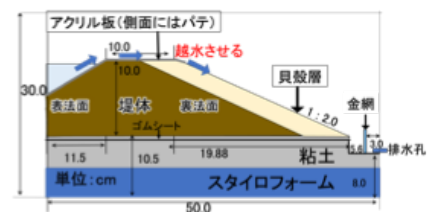


図-1 小型土槽の概要図

表-1 試料の物理的性質

試料の種類	硅砂6号	貝殻
土粒子密度 (g/cm^3)	2.707	2.671
自然含水比 (%)	0.34	0.3
最大粒径 (mm)	0.85	9.5
最適含水比 (%)	12.2	—
最大乾燥密度 (g/cm^3)	1.641	—

注) 貝殻は粒子破碎と含水比調整が困難であり実施していない。

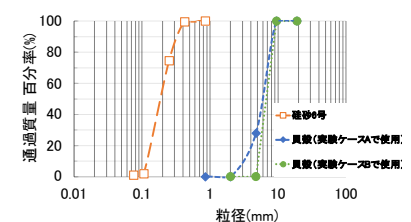


図-2 粒径加積曲線

表-2 実験ケース

ケース名	堤体材料	越流量 (ml/s)	越流水深 (cm)	平均流速 (cm/s)	粒子配向	貝殻層厚 (cm)	貝殻層の乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)
A-1	硅砂6号	46.5	0.5	9.30	水平	3.0	1.067
A-2		46.1	0.5	9.22	法面に平行		1.093
B-1	スタイロフォーム	49.5	0.5	9.90	水平	5.0	1.083
B-2		46.4	0.5	9.28	法面に平行		1.063

注) 平均流速 = 越流量 Q / (越流水深 $h \times$ 奥行)

キーワード 河川堤防 越水 法面侵食 破碎貝殻

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1 茨城大学日立キャンパス TEL:0294-38-5163 E-mail:22nm815h@vc.ibaraki.ac.jp.

ークで目荒らしをして一体化に注意しながら作製した。堤体を珪砂 6 号から越流水によって侵食しない材料のスタイロフォームとすることで貝殻層の侵食挙動の観察をおこなった。貝殻層には破碎した青森県産のホタテ貝殻を用いた。水みちになりやすい側壁部は、止水用不乾性充填剤を使用した。越流水は、図-1 に示すように定量の水を表法面側に供給し水位を上昇させて天端上を通過させ裏法側へ越水させることで再現した。越水前後での堤防裏法面の変状を比較するために土槽側面からビデオ撮影し、堤防裏法面の様子が定常状態になった時点で実験を終了した。

2.2 実験結果と考察

堤防側面の越水前後の様子を図-3 に示す。(a)A-1, (b)A-2 に関しては、越流水が貝殻層内を通り、堤体へと浸透していくことで堤体内の土粒子が貝殻層の間隙を通り、堤防外部へと流出した。また、堤体内土粒子が流出していくと、法尻側の貝殻層に土粒子が入り込んでいる様子が確認できた。越水開始から 30 分後には定常状態に入ったと判断したため、実験を終了した。ケース(c)B-1, (d)B-2 に関しては、貝殻粒子の配向によらずどちらの場合でも今回の越流量では侵食に至ることは無かった。なお、図-4 には参考として越流量を約 2 倍(越流水深 0.9 cm)にした場合の貝殻層の侵食・変状状況を示す。越流量を約 2 倍にしても貝殻層が侵食されることは無かった。図-3 から配向が水平な場合 (a)A-1 では、堤体法面中央部の侵食が顕著であった。配向が法面に平行な場合 (b)A-2 では、堤体法面中央部の侵食が水平な場合よりも小さかったことから(b)A-2 の方が、堤体内土粒子の流出範囲が少ないことが分かる。今回の越流量において、貝殻層が侵食しなかった要因としては貝殻粒子に作用する越流水の流体力よりも貝殻粒子同士の静止摩擦力の方が大きいと考えられるため貝殻層の侵食が生じなかったと考察できる。また、(a)A-1, (b)A-2 の二つのケースにおいて堤体内の土粒子流出量に影響が生じた要因としては、貝殻層内の間隙や粒度分布の偏り等考えられるが、貝殻粒子の配向もそのうちの一つであると考えている。貝殻粒子の配向が水平である場合、越流水の浸透挙動は、貝殻粒子の表面を通り、堤体側と堤防外部方向のように水平方向に広がりながら流下していくと考えられるが、法面に平行な場合は、下流部に向かって流下していくと考えられる。そのため、貝殻粒子の配向が水平な場合の方が、法面に平行な場合に比べ、越流水が堤体内部へ浸透しやすいと考え、貝殻粒子を水平に配向した方が堤体内土粒子の流出量が多くなったと考察できる。

3. まとめ

小型土槽を用いた越水実験を行った結果、以下の知見を得た。

- 1) 堤体内土粒子の流出に関して、今回の実験条件では貝殻粒子の配向により流出量に差が生じたが、いずれの場合においても堤体に変状した。
- 2) 貝殻層の侵食に関して、越流水深を約 0.9 cm まで増やした場合においても貝殻粒子の配向によらず貝殻層が侵食されることは無かった。

上記の結論から貝殻層が侵食されるよりも堤体内土粒子が流出する方が先に生じることが明らかになったため、堤体に貝殻を敷設することで、堤防裏法面の侵食変形抑制効果を発揮する可能性がある。

謝辞：本研究は、JSPS 科学研究費 (19K04593) の援助を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1)大埜 明日香, 小林 薫, 大和田繁, 釜土則幸, 安原一哉：堤防の越水に対する破碎貝殻を用いた侵食・吸出し抑制に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B3(海洋開発)Vol.77, No.2, pp.1_373-1_378, 2021.
- 2)中島秀雄：図説 河川堤防, pp.77-89, 174-176, 技法堂出版, 2003.

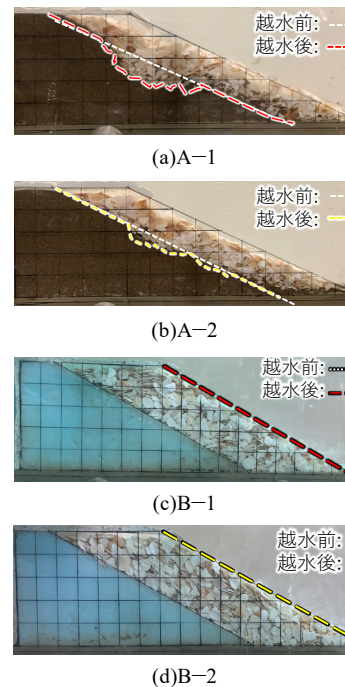
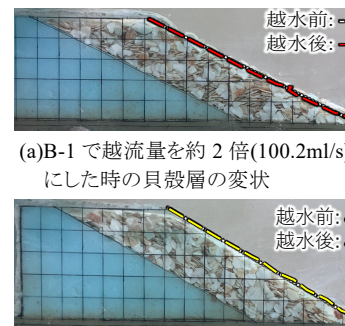


図-3 実験後の堤防側面から見た堤防の変状・侵食の様子



(a)B-1 で越流量を約 2 倍(100.2ml/s)にした時の貝殻層の変状

(b)B-2 で越流量を約 2 倍(97.1ml/s)にした時の貝殻層の変状の様子