

土の侵食速度測定と室内越流破堤実験

Experimental investigation of erosion rates and embankment erosion due to overflow

○藤澤和謙*, 西村伸一*, 村上 章**, 辻林厚一*
K. Fujisawa, S. Nishimura, A. Murakami, K. Tsujibayashi

1. はじめに

近年頻発する豪雨災害により堤防などの土構造物が越流被害を受ける危険性が高まっている。現在、堤体越流破壊に関する研究はリスク解析と結びつきながら推進機運にある。堤体の越流崩壊では侵食が主な破壊原因であるため、堤体材料の侵食特性を把握することが越流破堤機構の理解とそれに対する対策を考える上で必要不可欠である。本研究では侵食特性を把握した材料を用いて室内越流実験を行い、堤体の侵食過程を観察した。本論ではその実験結果を報告し、侵食の観点から堤体の崩壊過程を議論する。

2. 材料の侵食特性

図1に実験装置の概要を示す。長さ3500mm、幅130mmの循環式開水路を厚さ10mmの亚克力を用いて作製した。水路下流端から500mm上流側には直径50mmの穴をあけ、そこに侵食を受ける土供試体を設置して侵食試験を行う。この試験の目的は土の侵食速度と流体が土表面に加えるせん断応力（摩擦応力）の関係をj知ることにある¹⁾。土供試体は下から押し上げることができる。侵食を受けた分だけ供試体を押し上げ、その変位を測定することで侵食速度を求める。水路底面に作用するせん断応力はピトー管を用いて供試体直上にて測定された流速分布から決定した。

実験に用いた材料は豊浦砂と粘土（塑性指数=8.1%）を重量比にして7:3の割合で混合した材料である。同材料を乾燥密度 1.68g/cm^3 と 1.58g/cm^3 に調整した供試体を用いて侵食試験を行った。侵食試験から得られた侵食速度とせん断応力の関係を図2に示す。なお図中の×印で示す点は砂を混合せず粘土のみ用いて、乾燥密度を 1.68g/cm^3 、作用するせん断応力を 9.58Pa として実施した試験結果である。

図2からは混合材料の場合は乾燥密度の大きな供試体の方が乾燥密度の小さな供試体に比べて侵食速度が遅く侵食に対して耐久性を有すること、粘土供試体の侵食速度はかなり遅いことが見てとれる。また、混合材料の限界せん断応力の値は乾燥密度の関係なくおよそ 0.8Pa であった。

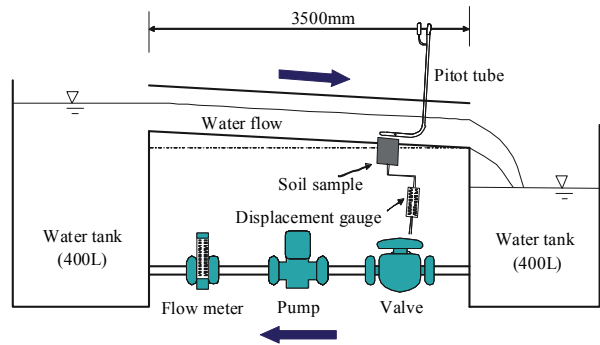


図1 侵食速度測定試験機の概要

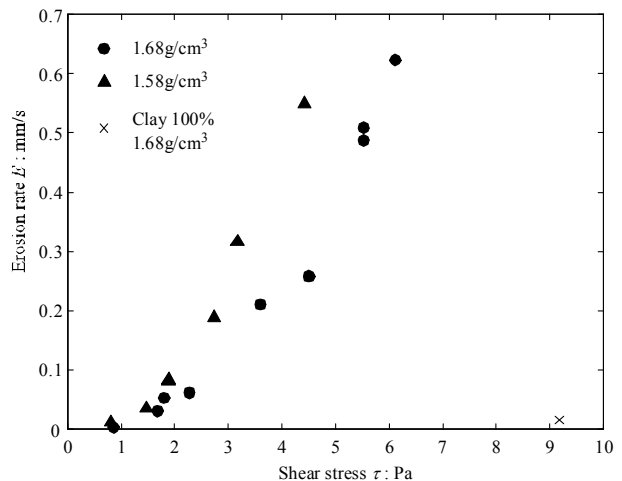


図2 侵食速度とせん断応力の関係

*岡山大学大学院 Okayama University, **京都大学大学院 Kyoto University

Key Words: 侵食, 堤体, 越流, 室内実験

3. 越流堤侵食実験

前節の侵食試験と同様の試料を用いて模型堤体（高さ 30cm，幅 130cm，斜面勾配 1:2，厚さ 10cm）を作成し、越流侵食試験を行った。堤体模型は越流堤侵食実験用のアクリル水槽内で締固めを行って作成した。本実験では図 2 の侵食試験結果を活用するため、乾燥密度が $1.58\sim 1.68\text{ g/cm}^3$ になる締固め回数を事前に把握し、堤体の乾燥密度 1.66g/cm^3 （間隙率=0.373）を実現した。図 3 に模型堤体の侵食の経時変化を示す。侵食開始から 1 分後（図 3(a)）では少し天端が侵食されると同時に、下流側斜面が侵食を受けてその斜面勾配が急になる。これは下流側斜面の先端部ほど流速が大きく、相対的に多くの土砂が侵食されるためである。4 分後（図 3(b)）になると下流側の斜面はほぼ鉛直な斜面となるが、その鉛直斜面は水流が剥離するため侵食を受けにくくなる。一方、堤体の頂上付近は継続的な侵食によって堤高が徐々に低くなっていき（図 3(c)）、最後にはほぼ堤高が無くなることで完全に決壊に至る（図 3(d)）。

堤体の頂上では越流水は限界流となって流れる。本実験では越流量は約 128l/min であり、限界流での平均流速は 0.58m/s と算定できる。堤体の等価粗度高さを 3mm と推定すると限界流によって堤体表面に作用するせん断応力は 2.3Pa と算定される²⁾。この値は図 2 に示される堤体材料の限界せん断応力 0.8Pa を超えており、天端及び侵食過程の堤体頂上部で侵食が継続して生じたものと考えられる。なお、図 2 から侵食速度を約 0.13mm/s と推定し、高さ 30cm 、間隙率 0.373 の堤体が下方に侵食を受け、堤高がなくなる時間を計算すると約 24 分となるが、本実験の破堤時刻である 12 分とは 2 倍程度の差がある。これは粘性土を含むため土粒子が団粒化した状態で侵食を受けたためと考えている。破堤時刻の推定にはさらなる実験と団粒化の考慮が必要と考える。

参考文献 1) Briaud et al. (2001): Erosion function apparatus for scour rate predictions, *J. Geotech. and Geoenv. Eng.*, **127**(2), 105-113. 2) Cheng N.(2008): Formulas for friction factor in transitional regimes, *Journal of Hydraulic Engineering*, **134**(9), 1357-1362.

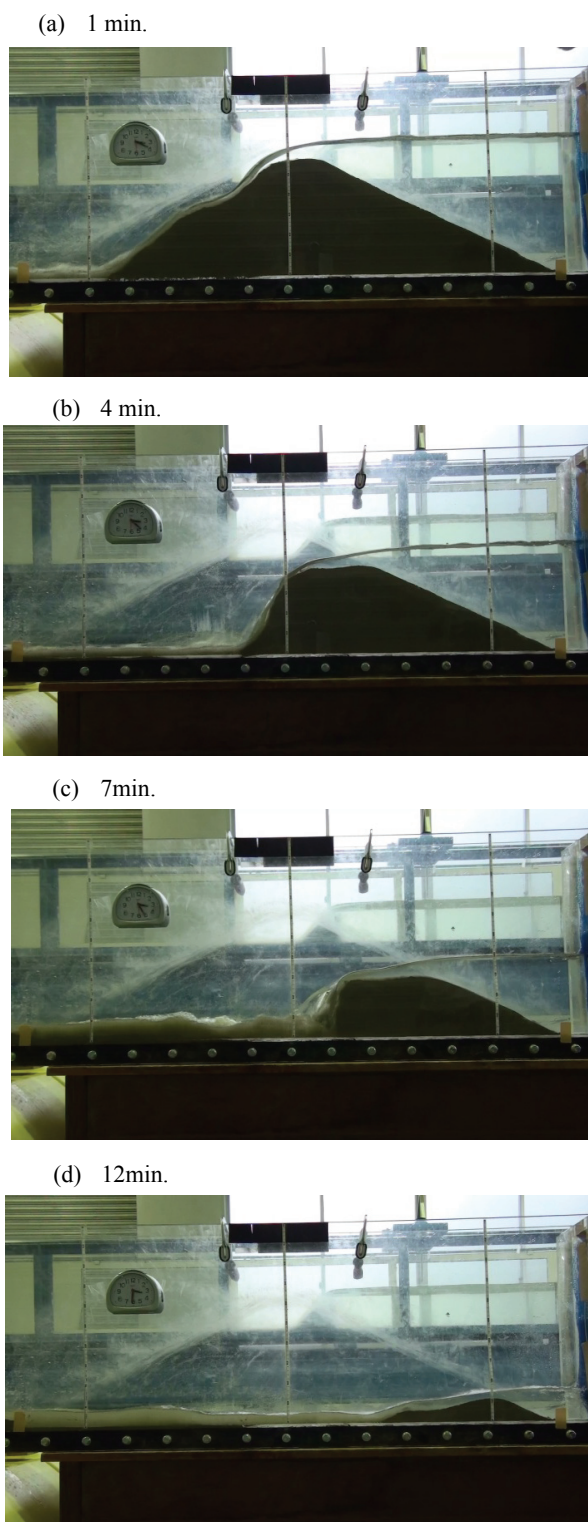


図 3 越流侵食を受ける堤体断面の変化