

# 土の侵食速度測定装置とその計測

## Test apparatus and measurement of erosion rates of soils

○ 藤沢 和謙\*・村上 章\*・西村 伸一\*  
Kazunori FUJISAWA, Akira MURAKAMI, and Shin-ichi NISHIMURA.

### 1. はじめに

近年頻発する豪雨災害により、フィルダム、ため池、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。実際にフィルダム、堤防においては越流が最も多い決壊原因であり<sup>1),2)</sup>、ため池についても越流被害を受けることが懸念される。これらの堤体の決壊は人的、環境的だけでなく農業収益にも甚大な被害を与える。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が、堤体侵食が根本的な破壊過程にも関わらず、堤体材料に用いられる幅を持った粒径分布を有する土の侵食特性についてはほとんど知られていないのが現状である。そこで、本研究は砂と粘土を混合した材料の侵食特性を把握を目的として実験装置を作成し計測を行った。本論ではその結果を報告する。

### 2. 実験内容

土の侵食に関する既往の研究では、土の侵食速度  $E$  は流体によって土に作用するせん断応力  $\tau$  の関数として与えられる。土の侵食速度とは単位時間、単位面積あたりの侵食された土の体積を意味し、速度の次元を持つ。本実験でも流体によって土に作用するせん断応力  $\tau$  と締固め土の侵食速度  $E$  の関係を明らかにすることが目的となる。Fig.1 に実験装置の概要を示す。長さ 3500mm、幅 130mm の開水路を厚さ 10mm のアクリルを用いて作製した。水路の上下流端にはタンクを設置し、その間にポンプを設けて流水を循環できる仕組みである。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。Fig.2 に示すように土供試体は下から押し上げることができ、試験では侵食を受けた分だけ供試体を押し上げて供試体上面を水路底面と同じ高さに保持しながら、押し上げた速度を変位計によって測定する。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水路底面近傍の流速分布を測定し、以下に示す滑面の対数則から最小二乗法によってせん断応力  $\tau$  を決定した。

$$\frac{U}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \ln\left(\frac{yU_*}{\nu}\right) + A, \quad U_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \quad (1)$$

ここに、 $U$ 、 $U_*$ 、 $y$ 、 $\rho$ 、 $g$ 、 $\kappa$ 、 $A$  は流速、摩擦速度、水路底面からの距離、水の密度、重力加速度、カルマン係数 (=0.41)、実験定数 (=5.29) である。土の侵食速度  $E$  は時間間隔  $\Delta t$  の間に押し出された土供試体の長さ  $\Delta z$  を測定し、間隙率  $n$  を考慮して

$$E = \frac{\Delta z}{\Delta t}(1 - n) \quad (2)$$

で与えられる。

実験では水路の傾斜、流量を変化させることで異なる底面せん断応力  $\tau$  を実現し、様々な底面せん断応力下で締固められた土供試体の侵食速度を計測した。本実験装置は摩擦速度にしてお

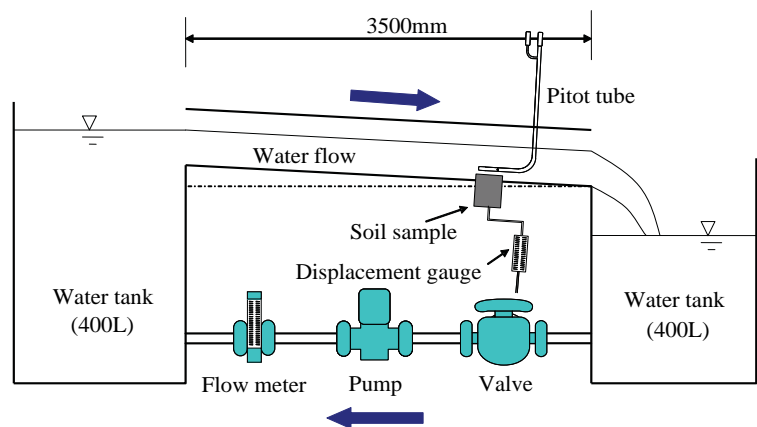


Fig.1 実験装置  
Test apparatus

\*岡山大学大学院環境学研究科；Graduate School of Environmental Science, Okayama University. キーワード；混合土，侵食，侵食速度。

よそ 2~10cm/s の範囲の測定が可能である。

実験に用いた材料は豊浦砂と粘土（塑性指数=8.1%）をそれぞれを重量比にして 7:3 と 6:4 の割合で混合した 2 種類の材料を用意した。Fig.3 にはそれぞれの材料の粒径加積曲線を示す。侵食試験には豊浦砂 70%と粘土 30%の混合材料を乾燥密度 1.68g/cm<sup>3</sup>（Series 1）及び 1.58g/cm<sup>3</sup>（Series 2）に調整した供試体と、豊浦砂 60%と粘土 40%の混合材料を乾燥密度 1.68g/cm<sup>3</sup>（Series 3）に調整した供試体を用い、合わせて 3 シリーズの試験を実施した。Series1 と Series2 では同じ材料の乾燥密度の違いが土の侵食速度に及ぼす影響を調べ、Series1 と Series3 では粘土の含有量が侵食速度に及ぼす影響を調べることを意図した。

### 3. 実験結果

上で説明した実験装置を用いて行った侵食試験結果を Fig.4 に示す。なお同図の ×印で示す点は砂を混合せず粘土のみ用いて乾燥密度 1.68g/cm<sup>3</sup> に調整し、作用するせん断応力を 9.58Pa として試験を実施した結果である。Series1 ~ 3 のすべてにおいて供試体の侵食面に作用するせん断応力が増加するにつれて侵食速度も増加している。Series1 と 2 を比較すると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、侵食に対して強いことが分かる。また Series1 と 3 を比較すると粘土の含有量が多い材料の方が侵食に対する抵抗性を有している。これは Fig.4 の ×印の点が示すように粘土は砂に比べて非常に侵食速度が遅く、砂粒子の間隙を埋める粘土が砂粒子を結合し、密な材料ほどまた粘土の含有率が多いほど粘土分が砂の侵食を抑制するためと考えられる。

侵食速度  $E$  は上記の結果から底面せん断応力  $\tau$  によって

$$E = \alpha(\tau - \tau_c)^\gamma \quad (3)$$

の形で表すことが可能である。ここに  $\tau_c$  は侵食が開始する底面せん断応力（限界せん断応力）を表し、 $\alpha, \gamma$  は材料定数である。最小二乗法によって  $\gamma$  を決定するとおおよそ 1.4~1.8 の値をとる結果となった。

#### 参考文献

1) ダム工学会フィルダム研究部会: フィルダムの安全管理, ダム工学, 16(4), pp.294-322, 2006. 2) 末次忠司: 堤防からの越流水及び氾濫流の特性, 地下水地盤環境に関するシンポジウム 2006 発表論文集, pp.152-155, 2006.

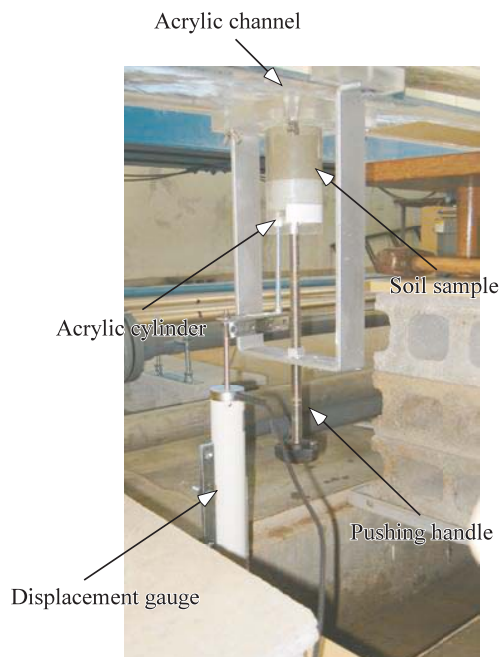


Fig.2 供試体の設置

Setting of soil sample

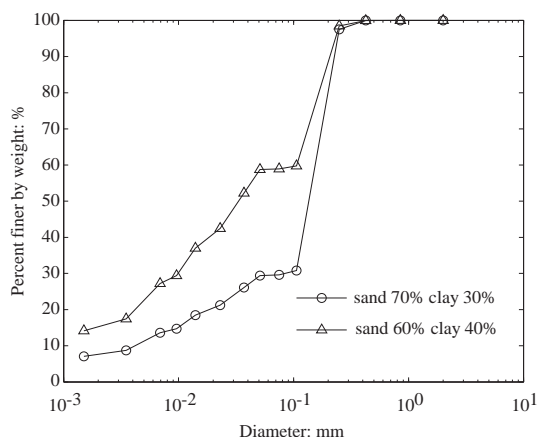


Fig.3 用いた材料の粒径加積曲線  
Particle distribution of test materials

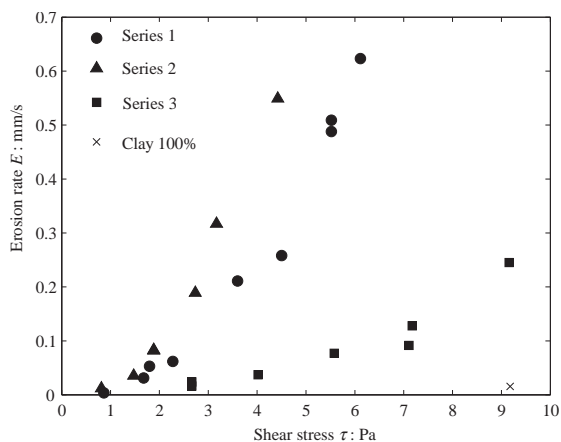


Fig.4 侵食速度とせん断応力の関係  
Shear stress vs. erosion rate