

越流による河川堤防の洗掘特性

日本上下水道設計(株) 正員 ○澤田 俊和
鳥取大学工学部 正員 鈴木 幸一
鳥取大学工学部 正員 檜谷 治
出雲市役所 正員 岡 芳幸

1. はじめに 洪水によって水が堤防を越流した場合、堤体材料(通常、土砂)の特性によってその洗掘特性も大きく異なると考えられる。本研究は、掃流力を変化させて砂および粘土を混合した数種類の粘性土の流水による侵食速度を実験によって求めるとともに、澤井が提案した粘土分を含有する砂れき床の侵食速度を計算する式の適合性を検討した。さらに、この式を用いて堤防斜面の通水初期の洗掘速度を計算し、小型堤体模型の初期洗掘速度と比較した。

2. 実験の概要 粘性土

の侵食速度の測定は、図-1に示すような幅10cm、高さ5cmの断面をもつ矩形管路を用いて行なった。この装置は、水路中央の底部から資料をセットでき、油圧ジャッキによって上昇できるようにになっている。管路内に通水した後、試料を侵食量に応じて目視によって試料の侵食面

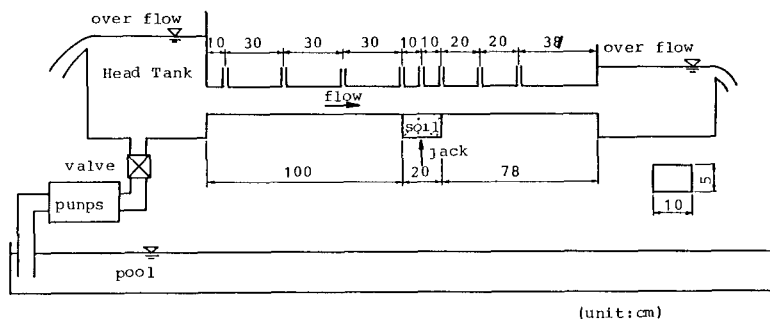


図-1 侵食実験装置概略図

表-1 粘性土の性質

管路床と同じ高さとなるように上昇させ、同時に、侵食量および管路内の水頭差を記録する。摩擦速度 u_{*} は管内と試料侵食面の粗度を一定とみなし、管路上・下流部の水頭差から求めた。一方、侵食速度 u_s は記録した時間と侵食量を用いて最小二乗法で求めた。

試料の作成は、最適含水比となるように材

種類	Clay (%)	最適含水比 (%)	最大乾燥密度 (g/cm ³)	粘着力 (N/cm ²)
(b)	100	24.8	1.530	10.19
(c)	75	19.8	1.679	8.82
(d)	50	14.6	1.835	5.10
(e)	25	11.5	1.938	2.55
(g)	50($d_{50}=0.12$)	13.0	1.902	11.68

料の含水比を調整し角材で突固める。粘性土には、中央粒径0.6mmの砂と藤の森の粘土とを乾燥重量比で粘土含有率100%,75%,50%,25%となるように混合したものと、粘土含有率が50%で中央粒径が1.2mmの砂を混合した計5種類を用いた。各粘性土の性質は表-1に示している。

3. 粘性土の侵食速度 図-2は実験によって得られた粘性土の侵食速度と摩擦速度との関係を表わし、図中の破線は粘性土に混入した砂の限界摩擦速度 u_{*c} である。また、点線は侵食速度と摩擦速度の傾向を見る目安として描いたものである。5種類の粘性土についてのこの曲線を示したものが図-3である。固められた粘性土は粘土含有率が大きいほどその侵食速度は小さい値を示し、また、粘土含有率に関わらず摩擦速度が大きくなるにつれて侵食速度も増加し、砂を含んだ試料は摩擦速度が砂の限界摩擦速度よりも小さいと侵食速度が急激に減少している。また、各試料とも摩擦速度が5(cm/s)以上の領域では u_s/u_{*} は一定の傾向がある。

このように粘性土の侵食速度が実験的に得られたので、つぎに、図-4に基づいて提案されている侵食速度を計算する式(1)の適合性について検討する。

$$u_s = \frac{\alpha' d}{T' + T} = \frac{\alpha' d}{k_1 d / E + (1 - \lambda) \bar{l} d / \bar{q}_b} \quad (1)$$

式中、 E ：粘土のみの試料の侵食速度、 $\bar{q}$ ：砂れきの平均移動距離、 λ ：砂れき床の空隙率、 $\bar{q}_b$ ：平衡流砂量、 k_1 ：砂れきの存在が粘土の侵食に及ぼす効果を表わす係数である。係数 α' は砂が立方体の各頂点に存在すると考え最大乾燥密度から計算し、 k_1 は試料の粘着力に関係づけて求めた。 E には粘土含有率100%の侵食実験の結果を用いた。図-5は侵食実験の結果と式(1)による計算結果とを比較した一例であり、実験値と計算値は良い一致を見せている。他の試料についても同様の結果が得られており、式(1)を用いれば本試料については、ある程度は侵食実験結果を説明できる。

4. 堤防斜面の初期洗掘速度 図-6は堤防斜面の実験の侵食速度と式(1)を用いた理論値とを比較したもので、横軸には斜面に沿った法肩からの無次元流下距離

x/h_c 、縦軸には斜面と鉛直方向の侵食速度を示している。実験条件は同一越流量で堤体材料を変化させた。実験値は x/h_c ごとに横軸に時間 T をとり、縦軸に法面と垂直方向の洗掘量 z をとってその初期の傾きから最小二乗法で求めた侵食速度である。理論値は越流開始直後には堤体表面は変形しておらず、平坦斜面上の流れによる掃流力が堤体表面に一樣に作用していると考え、斜面上の摩擦速度を水面方程式より求め、そして式(1)を用いて算出した。理論値は実験値と同様に粘土分が多いほど侵食抵抗が大きくなる傾向を示しておりオーダー的には実験値の侵食速度を推測できることがわかった。

5. おわりに 小型堤体模型に関しては越流水による侵食速度を計算によって推測できたが、この方法を実物大モデルに適用した場合にはかなりの違いを生じた。

式(1)の E は粘土の種類ごとに実験によって求めなければならない値であり、今後は係数 α' や k の決定法についても検討の必要があると思われる。さらに、実際の堤防に生じる浸透水や突固めの不均一性等の問題点も残っている。

<参考文献> 1) 澤井健二：粘性土の侵食速度を計算によって推測できたが、この方法を実物大モデルに適用した場合にはかなりの違いを生じた。

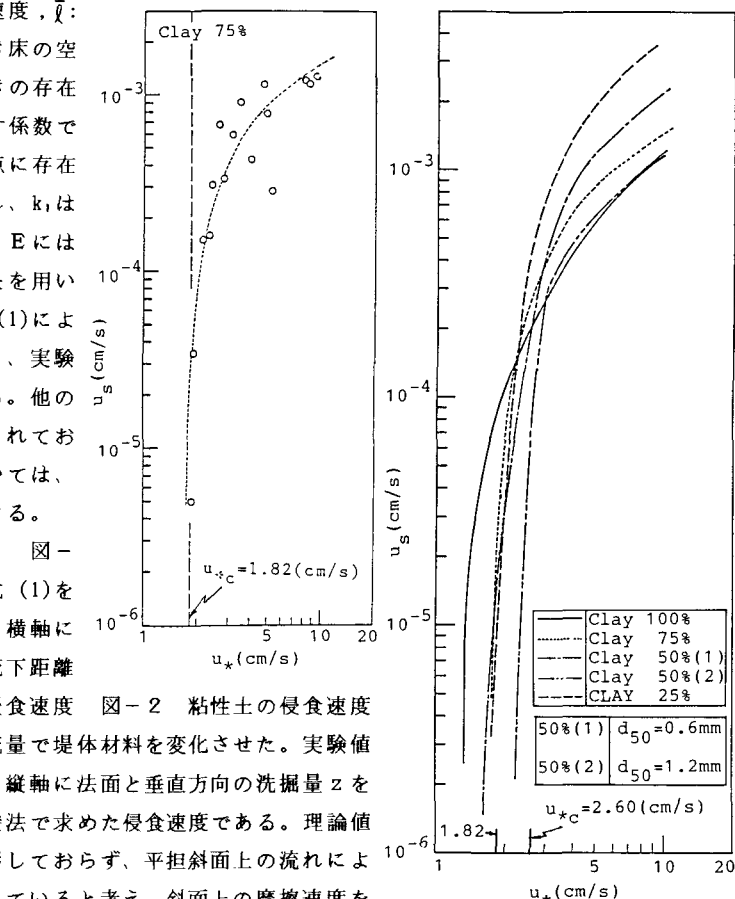


図-3 粘性土の侵食速度

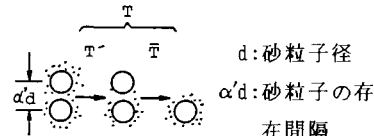


図-4 粘土分と砂粒子の交互はく離

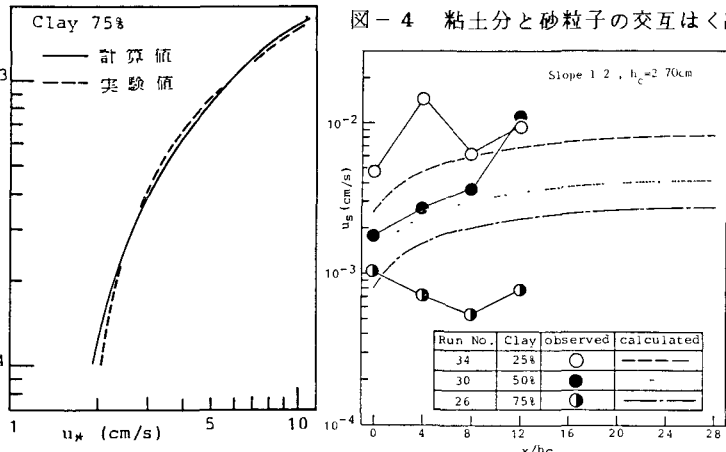


図-5 実験値と計算値

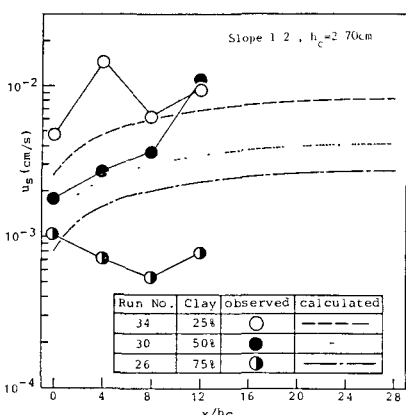


図-6 堤防斜面の初期洗掘速度