

1. はじめに

ダム貯水池における土砂輸送及び河床変動に関するシミュレーションにおいて、粘土やシルトといった粘着性を有する微細粒子土砂の再浮上（または侵食）の取扱いが重要である。微細粒子土砂は貯水池によってばらつきがあるものの平均して堆砂の半分程度を占めており、堆砂形状にも重要であり、また濁水の原因となることから挙動の予測が重要である。

粘着性を有する土砂の侵食特性については、既往の研究¹⁾により、含水比、粘土の種類、砂の混合率、水温、圧密の履歴（空気中への露出履歴）等の様々な要因と関係があることが指摘されている。これらのパラメータの影響を全て解明することは困難であり、各貯水池の実際の問題に対応するためには、対象となる土砂を採取し、水理実験による試験を実施することで侵食特性を把握することが現実的と考えられる。

本稿では、4種類の土砂について流量条件を変化させて侵食実験を行い、摩擦速度と侵食限界の条件及び侵食速度との関係や、そのばらつきの特性を検討した。

2. 実験方法

実験は、長さ 14 m × 幅 0.1 m × 高さ 0.2 m の透明アクリル樹脂製の矩形管路を、整流水槽に接続した模型を用いて実施した（図-1）。管路の上流端から 4 ～ 10 m の長さ 6m の区間は、底面を 0.1 m 切り下げ、高さ 0.3 m としており、この落差 0.1 m 部分に土砂を敷き詰めて通水した。実験では、含水比を調節して土砂を設置し、通水を行った。

侵食限界を把握する目的の実験では、流量を徐々に増加させて、侵食状況を観察した。

侵食速度を把握する目的の実験では、一定の流量をある程度土砂が侵食されるまで通水し、流量と土砂設置区間のピエゾ水頭を計測することでエネルギー勾配を把握して摩擦速度を算定した。また、実験終了後にレーザー計測器で侵食形状を縦断方向に 1cm 刻みで 11 測線計測して侵食された体積を算定した。

検討に用いた土砂は、市販されている T.A カオリン、美和ダム貯水池（長野県）の堆積土砂、鯖石川ダム貯水池（新潟県）の堆積土砂、真名川ダム（福井県）貯水池の堆積土砂の 4 種類である。T.A カオリンについては、これまでの既往の研究¹⁾の蓄積が多く、既往の知見と比較して実験手法の検証を行うことを目的として選定した。

含水比の設定については、美和ダムと鯖石川ダムについては、現地のボーリング調査による含水比程度（それぞれ 50%程度と 75%程度）とし、T.A カオリンについては、これまでにデータの蓄積の多い鯖石川ダム

と同程度の 75%とし、真名川ダムについては、沈降堆積実験の結果から、100%程度と 80%強を選定した。

3. 実験結果

3.1 侵食状況と侵食限界

実験に用いた 4 種の土砂の粒度分布の分析結果を図-3 に示す。これより、T.A カオリン、美和ダム、鯖石川ダム、真名川ダムの堆積土砂の順に粒度が粗く、50%粒径でみると、それぞれ 4.4、9.2、19.8、48.3 μ m である。砂成分（0.075mm 以上）は上述の順で、0.0、3.3、12.7、30.8%存在し、粘土成分（0.005mm 以下）は、53.5、31.0、26.4、6.8%となっている。

土砂毎に侵食限界を把握するために実験を実施した結果、T.A カオリンと美和ダムおよび真名川ダムの堆積土砂は、比較的小さい流量から濁りが生じ始めるが、鯖石川ダムの土砂は濁りが発生し始める流量が大きくなった。また、侵食の進展については、美和ダムと鯖石川ダムの堆積土砂では、侵食が一気に進む現象が明確に認められたが、T.A カオリンと真名川ダムの土砂では、徐々に侵食量が増加していく侵食形態であった。特に鯖石川ダムの土砂は、濁りの発生と侵食の急激な進展がほぼ同時に発生した。

実験結果から、煙状の侵食が始まる状態（侵食状態Ⅰ）と局所的な激しい侵食が始まる状態（侵食状態Ⅱ）の侵食限界摩擦速度を求めた結果を表-1 に示す。

3.2 侵食速度

土砂に作用する摩擦速度の算定には底面とそれ以外の壁面の掃流力を簡易に分離する手法を用いた。

実験結果の摩擦速度と侵食速度の関係を図-3 に示す。

関根ら¹⁾によって提案された式(1)の形式の侵食速度式を当てはめた場合の定数 α (s^2/m^2)の値について以下にまとめる。

- ・ T.A カオリン : $\alpha = 0.05$ (含水比 75%程度)
- ・ 美和ダム : $\alpha = 0.02 \sim 0.10$ (含水比 50%程度)
- ・ 鯖石川ダム : $\alpha = 0.03 \sim 0.28$ (含水比 75%程度)
- ・ 真名川ダム : $\alpha = 0.30$ (含水比 80%強)
- : $\alpha = 1.30$ (含水比 100%程度)

$$E = \alpha u_*^3 \quad (1)$$

ここで、 α : 定数(s^2/m^2)、 E : 侵食速度(m/s)、 u_* : 摩擦速度(m/s) (図中では上述の底面の摩擦速度を用いている)を表す。

定数 α の値は、式形との相関が高かった T.A カオリンと真名川ダム堆積土砂については、実験値を近似する値を、結果のばらつきが大きい美和ダムと鯖石川ダムの堆積土砂については、おおよその上限と下限を示

す値を示した。

T.A カオリンの値については、関根ら¹⁾により、下記の式が提案されている。

$$E = \alpha_0 R_{wc}^{2.5} u_*^3 \tag{2}$$

ここで、 α_0 ：定数(s²/cm²)、 R_{wc} ：粘土中の水含有率を表す。この式から、今回の実験の比例定数は $\alpha = \alpha_0 R_{wc}^{2.5} \times 10000 = 0.056 \text{ s}^2/\text{m}^2$ となり、今回の結果とほぼ一致する。なお、 α_0 については、夏季と冬季でそれぞれ値が求められているが、今回の T.A カオリンの実験時水温から、夏季の値である $1.15 \times 10^{-5} \text{ s}^2/\text{cm}^2$ を用いた。また、 R_{wc} については、粘土含有率が 100% の場合には含水比と同じとなるため、0.75 を用いた。

T.A カオリンについては、結果のばらつきが小さく、摩擦速度が大きい領域では式(1)でよく近似される。一方、美和ダムと鯖石川ダムの堆積土砂については、ばらつきが大きい。

鯖石川ダムの土砂については、試験水路の幅が 60cm と 10cm の両者の結果を比較すると、60cm 幅の方が侵食速度の小さい方向へのばらつきが大きい、大きい方の値はほぼ同様であり、上限値の検討においては両者の結果に大きな差はないと考えられる。

真名川ダムの堆積土砂については、含水比 100% 程度については、式(1)でよい近似が得られている。含水比が小さい 80% 強については、ややばらつきが大きい。

実験終了後の侵食形状をみると、侵食速度にばらつきの大きい美和ダムや鯖石川ダムの堆積土砂の侵食形状は、局所的な深掘れが生じており、結果のばらつきが小さい T.A カオリンと真名川ダム堆積土砂の含水比 100% 程度については全面的に一樣に侵食される傾向がみられた。ややばらつきの多い真名川ダム堆積土砂の含水比 80% 強の土砂については、侵食面の変動が大きいものの全面で侵食が生じていた。

4. おわりに

今回の結果より、堆砂の予測及び堆砂対策の効果の検討や侵食による濁水発生の検討において、侵食速度を推定する場合には、はじめに掃流力を増加させつつ、侵食限界と侵食の進行状態を確認し、一樣な侵食を示す場合は、侵食速度の実験により侵食速度式のパラメータを同定できる。局所的な侵食を示す場合には、侵食速度のばらつきをある程度把握する実験を行い、下限から上限までパラメータの幅を把握して、その幅の範囲で複数の条件で検討を行う必要があると考える。

参考文献

- 1) 関根正人：実河川に自然堆積した粘着性土の侵食機構の解明と現地侵食試験法に関する研究、科学研究費補助金研究成果報告書、2004. 3



図-1 侵食実験水路の概要（下流から撮影）

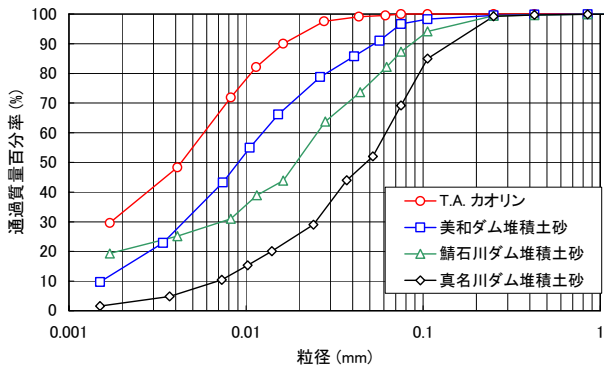


図-2 実験に用いた土砂の粒度分布

表-1 侵食限界実験の結果

試料名	水温 (°C)	含水比 (%)	侵食限界摩擦速度 (侵食限界 I) (m/s)	侵食限界摩擦速度 (侵食限界 II) (m/s)
T.A カオリン	18.0	73.6	0.010	—
美和ダム堆積土砂	15.1	52.2	0.015	0.044
鯖石川ダム堆積土砂	10.6	77.3	0.042	0.044
真名川ダム堆積土砂	5.3	99.3	0.012	0.027
真名川ダム堆積土砂	4.5	80.5	0.016	0.028

注：侵食限界 I は煙状の侵食が始まる限界。
注：侵食限界 II は局所的な激しい侵食（または顕著な侵食）が始まる限界。
注：カオリンは侵食限界 II は明瞭でなかった。

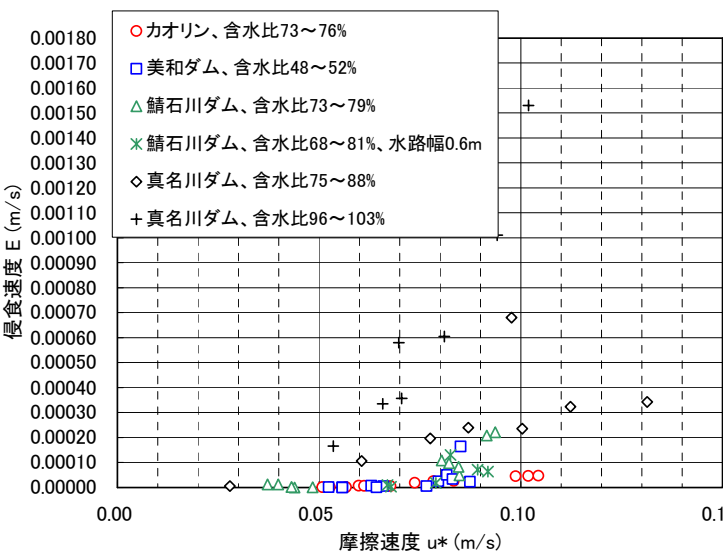


図-3 摩擦速度と侵食速度の関係