

ダム貯水池に堆積した微細粒子土砂の再侵食の評価手法

箱石憲昭* 櫻井寿之**

1. はじめに

ダム貯水池に堆積する粘土やシルトといった粘着性を有する微細粒子土砂が再侵食され再浮上する現象については、その複雑さから、貯水池堆砂形状の予測や貯水位低下時の濁水発生の可能性検討といった、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、どのように取り扱うかが課題となっている。



図-1 水位低下した農地防災ダムにおける細粒土砂の侵食状況

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（空气中への露出履歴）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、実際に個々の貯水池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。

そこで、4種類の土砂試料を用いて、水理実験を行い、この結果から、微細粒子土砂の侵食特性を把握するとともに、侵食速度の推定式とそのパラメータを求めるための試験方法を提案した。

2. 検討方法

2.1 実験装置

実験は、長さ14m×幅0.1m×高さ0.2m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。管路の上流端から4～10mの長さ6mの区間は、底面を0.1m切り下げている。この0.1m部分に土砂を敷き詰めて通水した。

2.2 侵食限界の把握

粘着性を有する土砂は、小粒径であっても小さな掃流力では侵食が生じないため、侵食が生じる限界の条件を把握する必要がある。そこで、流量を徐々に増加させて、侵食状況を観察し、侵食限界を把握した。

2.3 侵食速度の把握

侵食限界となる流量以上の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、通水時間で除すことにより、侵食速度を把握した。

2.4 検討に用いた土砂

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、真名川ダム貯水池（福井県）の堆積土砂の4種類を用いた。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。

2.5 含水比の設定

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、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. 検討結果

3.1 粒度分布

実験に用いた4種の土砂の粒度分布の分析結果を図-2に示す。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なっていき、全ての試料で2mm以上の成分はなく、粘土およびシルト成分が大半を占めている。

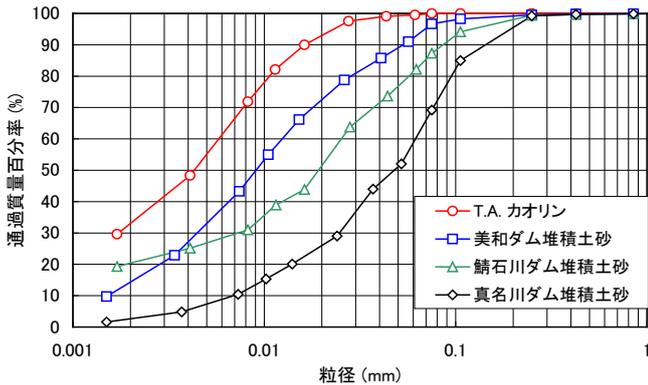


図-2 実験に用いた土砂の粒度分布

3.2 侵食状況と侵食限界

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かった。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、ある流量になると侵食が一気に進む現象が明確に認められ、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。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。侵食状況の一例を図-3に示す。

実験結果から、侵食限界の状況を、煙状の侵食が始まる状態（侵食限界Ⅰ）と局所的な激しい侵食が始まる状態（侵食限界Ⅱ）の二つに分類し、それぞれの侵食限界摩擦速度を求めた結果を表-1に示す。なお、限界の判定は目視観察により行った。

3.3 侵食速度

実験結果の摩擦速度と侵食速度の関係を図-4に示す。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。

図中には関根¹⁾によって提案された以下の形式

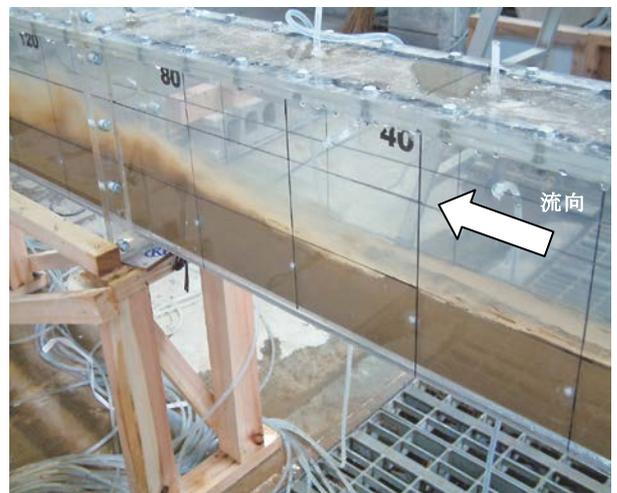
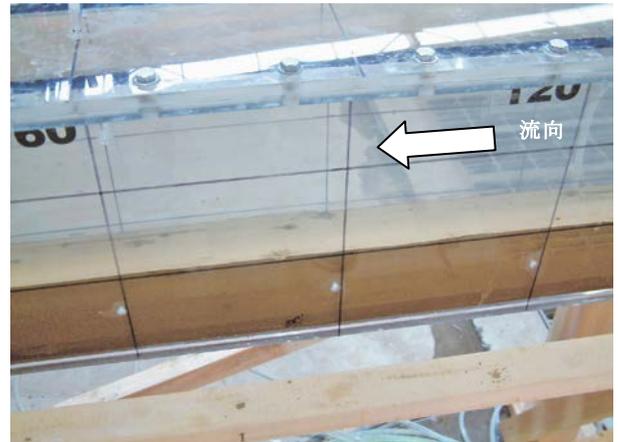


図-3 微細土砂の侵食状況(鯖石川ダム)

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。

の侵食速度式を示している。

$$E = \alpha u_*^3 \quad \text{式(1)}$$

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。

図中に示した定数 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

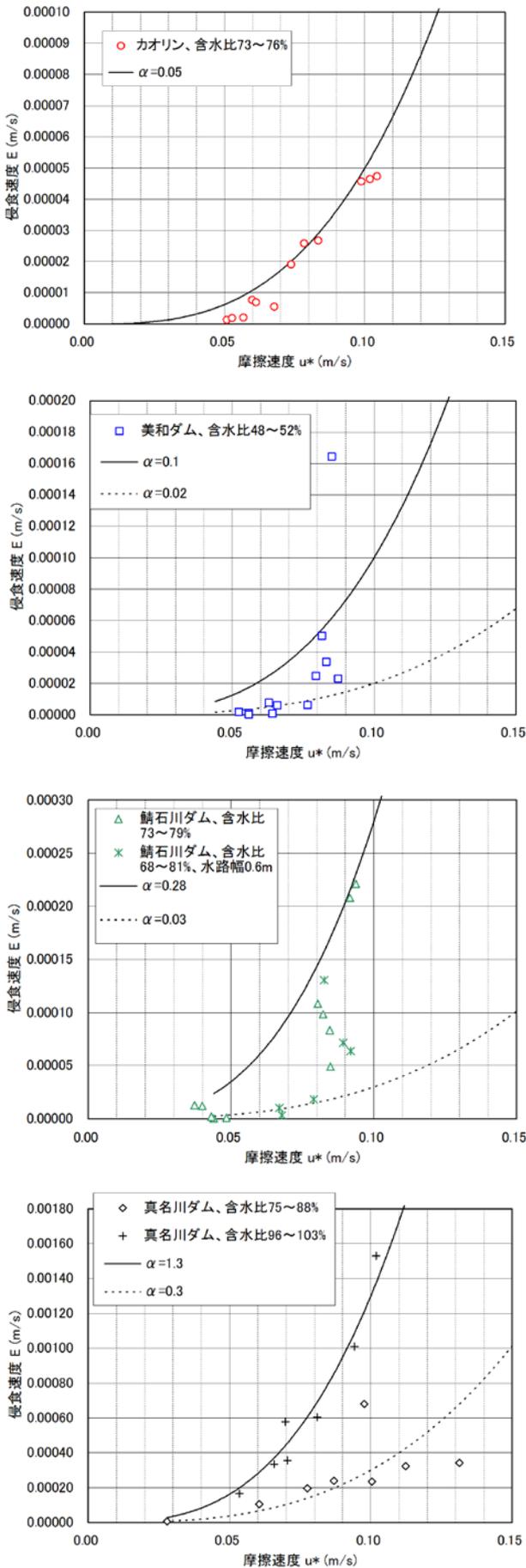


図-4 摩擦速度と侵食速度の関係

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となる値を示した。線の始端はそれぞれ侵食限界Ⅱの摩擦速度とした（T.A カオリンについては侵食限界Ⅰ）。

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。

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。

図-5 に比較的流量が大きい条件での実験における実験終了後の侵食形状の例を示す。実験終了後の侵食形状は、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では、局所的な深掘れが生じる傾向があり、深掘れが生じる位置は実験によって異なっていた。一方、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%程度については全体の領域が一様に侵食されていた。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。以上のように、土砂の種類（粒度分布）や含水比によって、侵食の形態に特色があり、今回の結果からは、砂成分がほとんどなく粒度の最も小さい T.A カオリンと砂成分が30%程度有り粒度の最も大きい真名川ダムの堆積土砂が一様に

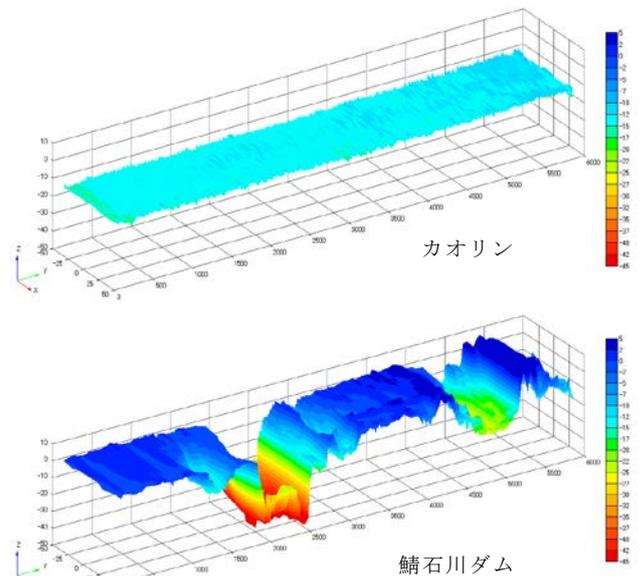


図-5 実験終了後の侵食形状の例

侵食され侵食速度式でよく近似できる結果を示し、その中間的な粒度分布の美和ダムと鯖石川ダムは局所的に激しい侵食がみられ侵食速度の結果のばらつきが大きかった。

4. 微細粒子土砂の侵食速度の評価手法

微細粒子土砂の侵食速度を推定する場合に留意すべき事項を以降に示す。はじめに実験で作用させる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する。一様な侵食を示す場合は、侵食速度を把握する実験により侵食速度式のパラメータを同定して検討に用いることができる。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ため同程度の流量で数回の実験を行い、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。

これらを踏まえ、図-6 に示す微細粒子土砂再侵食の評価手法を提案する。

5. まとめ

4種類の土砂について、侵食が進展する状況を把握し、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。土砂によっては、侵食状態Ⅱが明瞭でない場合もあり、侵食状況は土砂の種類や含水比の条件によって特色が認められる。

摩擦速度と侵食速度の関係については、粒径の小さいT.Aカオリンと粒径の大きい真名川ダムの土砂ではばらつきが小さい結果が得られ、中間的な粒度の美和ダムと鯖石川ダムの土砂ではばらつきが大きい結果が得られた。T.Aカオリンについては、既往の研究と同様な結果が得られた。結果のばらつきが大きい土砂は、局所的な深掘れ等の不均一な侵食状況を示す。

これらの実験結果を踏まえて、微細粒子土砂の侵食速度を評価する手法を提案した

ダム貯水池における微細粒子土砂の再侵食・再浮上現象については、現地調査事例が少なく、予測計算の検証が十分にできない状況にある。今後の現地調査データの充実が望まれる。

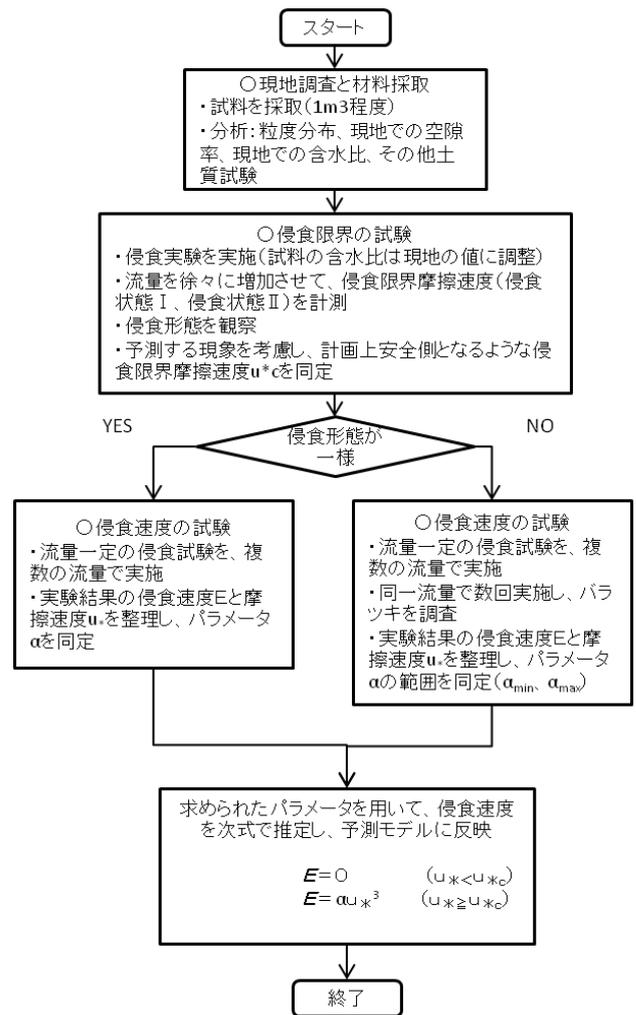


図-6 微細粒子土砂の再侵食の評価フロー

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。

箱石憲昭*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水工研究グループ水理チーム
上席研究員
Noriaki HAKOISHI

櫻井寿之**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水工研究グループ水理チーム
主任研究員
Toshiyuki SAKURAI