

粘性分が含まれる河川還元土砂の 侵食特性実験について

岩田大和¹

¹浜松河川国道事務所 調査課（〒430-0811 浜松市中区名塚町266）

天竜川ダム再編事業では洪水調節容量を確保するための堆砂対策工法の検討がされており、掘削した土砂の一部をダム直下に集積し、洪水時に河川へ還元することとしている。

佐久間ダムに堆積する土砂は粘性土が多いのが特徴である。粘性土が多くなると河川還元土砂の侵食速度が大幅に低下する可能性があり、その影響の大きさを把握するため水理模型実験を行った。また、河川分野では粘性土の侵食特性を評価する際に室内引張試験を用いた前例があり、ダム湖内の土砂においても同様の評価が可能であれば大きなコスト縮減に繋がると考え比較試験を行った。

キーワード：天竜川ダム再編事業，河川還元土砂，侵食特性実験

1. はじめに

浜松河川国道事務所では、現在天竜川ダム再編事業を実施している。天竜川中下流部沿川の洪水被害軽減を目的とし、利水専用の佐久間ダムへ新たに洪水調節容量を確保するとともに、貯水池の堆砂による洪水調節機能の低下を防ぐために堆砂対策を実施し、掘削した土砂の一部を河川還元するものである。この河川還元により土砂移動の連続性が確保され、海岸侵食の抑制効果も期待されている。（図-1）

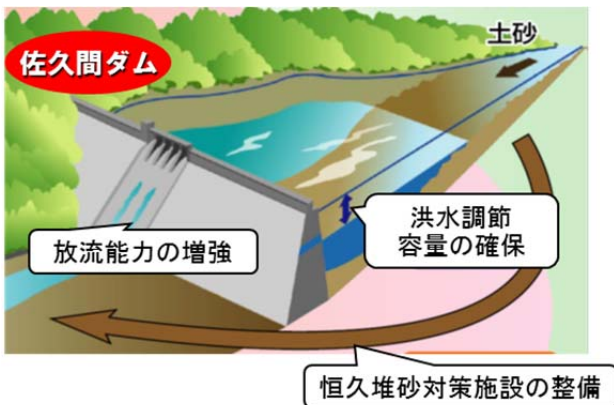


図-1 事業イメージ図

2. 堆砂対策工法と堆積土砂

現在検討中の堆砂対策工法では、平常時に掘削・浚渫しダム下流のストックヤードへ運搬・集積します。その土砂を洪水時のダムからの放流水で河川還元することとしており、毎年44万 m^3 の掘削した土砂のうち26万 m^3 を使用する予定となっている。（図-2）

浚渫予定地点のボーリング調査による、堆積土砂の粒度分布状況を図-3に示す。採取地点により異なるが、0.01mm以下の粘性土が最大30%程度含まれている。既往の文献^{1)・2)}では、粘性土を10%以上含むと土砂の侵食速度が大幅に低下するとの報告があり、今後の解析や施設設計において、この粘性土の多さが還元土砂等に与える影響が大きくなる可能性がある。そこで、水理模型実験を行いその傾向を把握した。

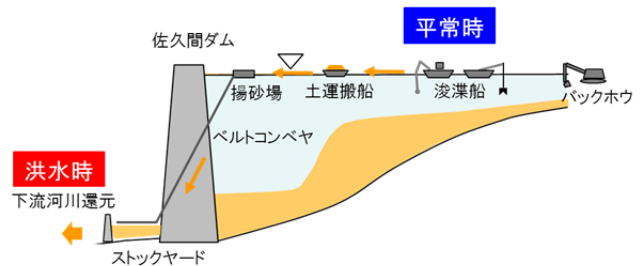


図-2 堆砂対策のイメージ図

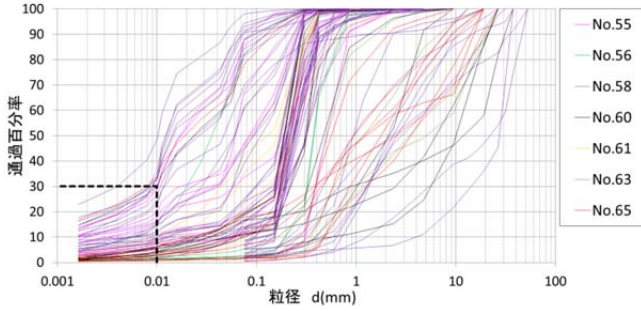


図-3 堆積土砂の粒度分布

3. 実験概要

実験には、国土技術政策総合研究所（国総研）河川研究室が所有する高流速回流水路を用い、実験に用いる土砂は、実際に佐久間ダム湖内で堆積していた土砂を採取し使用した。

実験は図-4に示すように水路内に堆積土砂を設置し、表-1に示すとおり、土砂の含水比・粒径及び空隙を変化させて行った。また、既往の文献³⁾では、水温による侵食特性の影響が指摘されているため、夏場と冬場に実験を行い水温による影響についても併せて確認した。

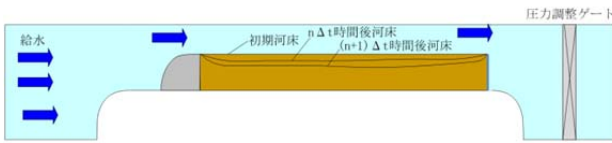


図-4 実験イメージ

表-1 実験ケース（水路実験）

ケース名	含水比	粒径	空隙	水温
1-1	大	小	小	夏
1-2				冬
2-1	中			夏
2-2				冬
3-1	小			夏
3-2				冬
4	中	大	夏	
5	中	中	夏	
6	小	小	大	冬

含水比：小(26%)、中(35%)、大(40%)
 (塑性限界) (液性限界)
 粒径：小(Fc20%)、中(Fc15%)、大(Fc7%)
 水温：夏(17.8~24.0℃)、冬(9.5~12.1℃)

4. 実験結果

(1) 水温変化による影響

水温の変化による結果を、図-5に示す。冬期と夏期でほとんど結果が変わらないことから、佐久間ダムの土砂では、水温による影響がほとんどないという事が分かる。含水比を変化させた場合でも同様の傾向が見られる。

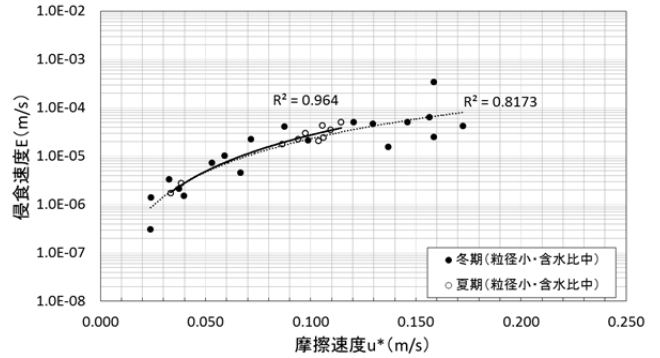


図-5 水温の影響検討

(2) 粒径の違いによる影響

粒径を変化させたときの結果を図-6に示す。粒径が大きくなるにつれて（粘性分が少なくなる）につれて侵食速度が大きくなる（侵食されやすくなる）傾向が見られる。

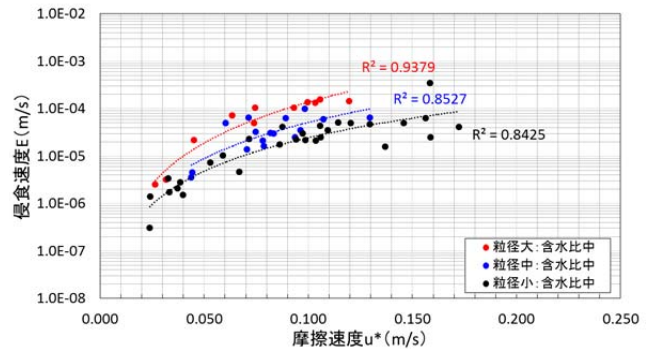


図-6 土砂粒径の影響検討

(3) 含水比の違いによる影響

含水比を変化させたときの結果を図-7に示す。含水比が大きくなるにつれて侵食速度が大きくなる傾向が見られる。

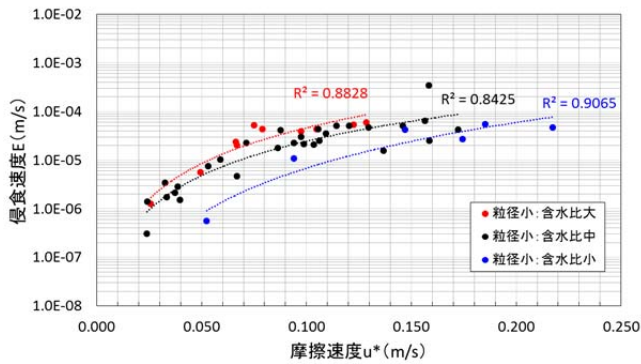


図-7 含水比の影響検討

(4) 空隙の違いによる影響

空隙（締固め状況）を変化させたときの結果を図-8に示す。空隙が大きいケース（締固め無）の方が、侵食速度が大きい傾向となった。

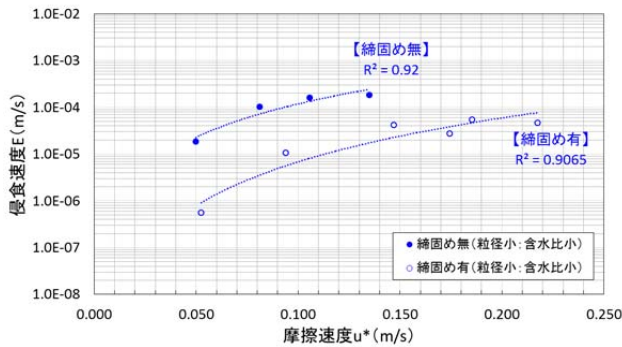


図-8 空隙の影響検討

(5) まとめ

ここまでは、各項目毎の傾向について把握した。また、全てのデータをプロットしたものを図-9に示す。今回使用した堆積土砂では、一定の範囲内にデータが集まっているため、侵食速度と摩擦速度の関係を次のとおり上限値 (1a) 及び下限値 (1b) の設定をすることができる。

$$Eu = 0.285 \times u^{*3} \quad (1a)$$

$$Eb = 0.004 \times u^{*3} \quad (1b)$$

これらの値は、例えば、土砂還元の際に発生する濁度の影響等を検討する際には上限値の値を、ストックヤード内からの土砂について検討する際には下限値の値を用いることで予測することができると考えている。

また、過去に佐久間ダム上流の美和ダムで実施されたデータ¹⁾も併せて示したところ、おおむね今回示した範囲に含まれることが分かる。同じ天竜川水系の土砂でも佐久間ダム堆積土砂は、摩擦速度による変化量が小さい傾向にある。

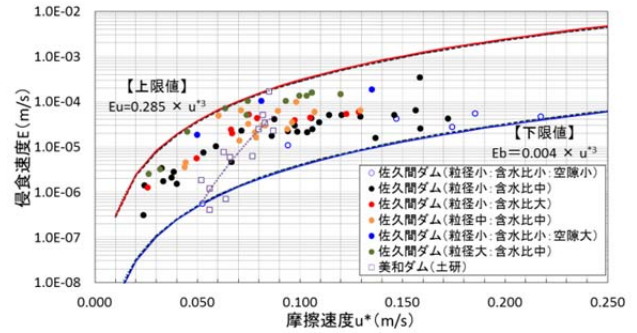


図-9 本実験により得られたデータと既往の粘着性土砂に関する実験データの比較

5. 室内引張試験

水路実験では、1ケースあたりの実験に約1週間を要するとともに、土砂は実験毎に新しくしているため合計約100m³を使用している。この土砂を佐久間ダム湖から浚渫し運搬を行っており、費用と時間がかかりかかっている。一方、河川分野においては河岸、高水敷及び堤防を構成する粘性土の侵食速度を評価するために室内引張試験を行っている事例³⁾がある。ダム湖内の堆積土砂においても同様の評価ができれば、今後簡易的に評価することが可能となるため、室内引張試験を実施し、水路実験との比較を行った。

実験は表-2に示すとおり、含水比と粒径を変えて行っている。なお、供試体の大きさはφ75mm × 150mmのものを使用している。実験装置は、国総研の施設を使用した。

表-2 実験ケース（室内実験）

ケース名	含水比	粒径	試験回数
1	中	小	5回
2	大		
3	小	中	14回
4	中		
5	中	大	5回

含水比：小(26%)、中(35%)、大(40%)

粒径：小(Fc20%)、中(Fc14%)、大(Fc7%)

試験結果から、侵食速度 (E) 及び摩擦速度 (u_*) は以下の式 (2a,2b,3a) を用いて求めた。³⁾

$$E = C \left(\frac{\rho V^2}{\sigma_{tb}} \right)^2 \times \sqrt{\sigma_{tb} / \rho} \quad (2a)$$

$$C = 3.6 \times 10^{-6} V_c^{-2.9} \quad (2b)$$

ρ : 水の密度 V : 断面平均流速

σ_{tb} : 引張り破壊応力 (実験値)

V_c : 侵食限界流速

$$u_* = V/\phi \quad (3a)$$

ϕ : 流速係数

6. 水路実験と室内実験との比較

粒径小で含水比（小及び大）を変えたケースについて、水路実験と室内実験とを比較したものを図-10及び図-11に示す。

含水比大のケース（図-10）では、両試験の結果は、摩擦速度が小さいうちは近似しているが大きくなると乖離する傾向が見られた。そのため、摩擦速度を評価する範囲によっては注意が必要である。

含水比小のケース（図-11）では、水路実験の結果と比べバラツキが大きい傾向が見られる。これは、塑性限界付近の含水比で供試体を作成しているため、供試体が壊れやすくなった事が原因としてあげられる。そのため、引張試験を行う際は、供試体作成時の含水比にも注意する必要がある。

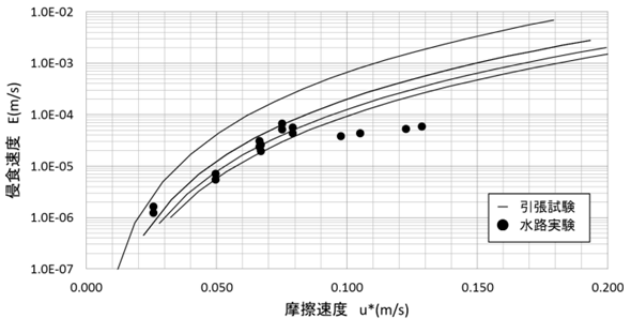


図-10 摩擦速度と浸食速度の関係（粒径小・含水比大）

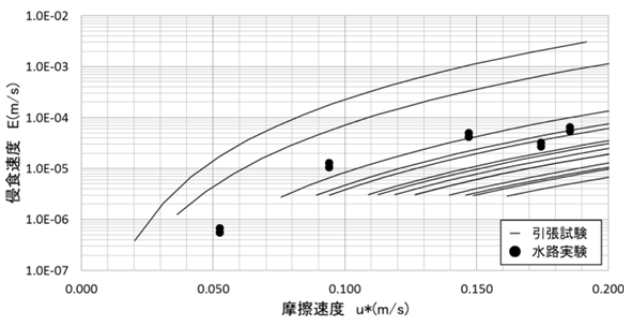


図-11 摩擦速度と浸食速度の関係（粒径小・含水比小）

また、使用土量と試験期間について比較したものを表-3に示す。水路実験に比べ引張試験で行った方が、圧倒的に少ない土量で早く結果を出すことが可能であることがわかる。引張試験の活用は大きなコスト縮減に繋がるが、活用する際には前述した点の注意が必要であると考えている。

表-3 使用土量と試験期間（1ケースあたり）

	土量	試験期間
水路実験	約10m ³	1週間
引張試験	約0.001m ³	0.2日

7. まとめ

今回の水路実験により、佐久間ダムに堆砂する土砂を河川還元した際の特徴について把握することが出来た。

また、河川で利用している室内引張試験を行った結果、引張試験の方が効率的にデータを取得できるが、摩擦速度が大きい場合及び含水比が小さい場合には注意が必要であることが分かった。

今後はこの結果を用いて、平面二次元解析等を行い堆砂対策工法の検討を進めていく。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人 土木研究所 水工研究グループ：研究成果報告書 貯水池及び貯水池下流の流れと土砂移動モデルに関する研究,2007
- 2) 関根正人：移動床流れの水理学,共立出版,2005
- 3) 建設省土木研究所河川部河川研究室：土木研究所資料第3489号 洪水を受けた時の多自然型河岸防御工・粘性土・植生の挙動,1997