

II - 200

侵食に伴い離脱する粘性土塊に関する実験的研究

建設省土木研究所河川研究室 正員 ○平館 治・服部 敦・藤田光一・宇多高明

1. 研究の背景と目的

粘性土の侵食過程のモデル化を行い、それを踏まえて力学的手法を用いて解析することは、粘性土の侵食の理論的推定を可能にするために非常に重要である。その解析のアプローチのひとつとして、離脱する粘性土塊の粒径とそのPick-up Rateに着目して解析する方法が考えられる。その際、考慮すべき特徴として、非粘性土では粒子の平均粒径および形状があらかじめ決まっているのに対して、粘性土では侵食面から離脱する際に粒径および形状が決まることが挙げられる。本研究では粘性土塊の形状、粒径そしてPick-up Rateに関する実験的検討より、上記のアプローチによる解析のための基礎情報の収集を目的とした。

2. 実験方法

幅1.2mの開水路に侵食面の幅1.2m、長さ1.4mの供試体をその侵食面が水路床面と滑らかに接続するように設置した。供試体の下流端から約10m下流に位置する水路下流端に網目が4.5mmの金網を設置して流送されてきた粘性土塊を採取した。採取した粘性土塊は、目視によって小（15mm未満）中（15～30mm）、大（30mm以上）の3段階の粒径範囲に分けた（但し、括弧内の数値は目安）。各粒径範囲の乾燥重量、粘性土塊1個あたりの平均乾燥重量を測定した。さらに各粒径範囲から10個の粘性土塊を無作為に取り出し、乾燥重量およびノギスによる長、中、短軸の測定を行った。網目より細粒径（4.5mm以下）の粘性土塊は、今回採取できなかったため、上記の測定ができなかった。唯一、各流量における粒径4.5mm以下の粒径範囲の粘性土塊の体積を侵食面の低下量から計算した侵食体積と金網で採取した粘性土塊の体積の差として計算した。なお、小貝川の34.2km地点における右岸側の高水敷の粘性土を不攪乱採取した供試体を実験に用いた。

供試体から下流端の網まで流下距離が長いため、粘性土塊が流下する間に砕けることが懸念される。この影響の程度を確認するために、供試体設置範囲のやや下流の位置から大きさが既知の粘性土塊を流水中に投入して下流端の網で採取し、投入前後の粒径を目視で比較した。その結果、粒径はほとんど変化していなかった。以下では、粘性土塊が砕けることに関する補正を行わずに解析を行った結果に基づいて考察する。

3. 実験結果

3.1 侵食速度と流速

侵食速度と流速の関係を図-1に示す。流速6m/s以上における侵食速度がその流速以下での侵食速度に比較して急激に増加することから、侵食限界流速を6m/sとする。佐々木ほか(1994)は、独自に開発した試験器によって測定した粘性土の引っ張り破壊応力 σ_{tb} と侵食限界流速 V_c に、 $\sigma_{tb} \propto V_c^2$ の関係（図-2参照）があることを実験より示した。今回の供試体も図-2に示したように上記の関係を満たすものであった。以上の結果を含めて、今回の侵食実験では佐々木ほか(1994)の実験と比較して特に異なる現象は見られなかった。

3.2 粘性土塊の形状特性

各粒径範囲ごとに長、中、短軸の平均値 D_L 、 D_M 、 D_S および代表粒径 $D = (D_L \cdot D_M \cdot D_S)^{1/3}$ を計算した。この結果を用いて、各流速における粒径比 D_L/D 、 D_M/D 、 D_S/D を計算した結果を図-3に示す。各粒径比は、流速および粒径範囲に関わらず $D_L/D=1.4$ 、 $D_M/D=1.0$ 、 $D_S/D=0.7$ のほぼ一定値となる。

3.3 粘性土塊の粒径に関する特性

実験作業の簡素化のため、粘性土塊の粒径 D_w を $D_w = \left(\frac{6w}{\pi \gamma} \right)^{1/3}$ として計

算した。ここで、 w は各粒径範囲の粘性土塊の1個あたりの平均重量、 γ は単位体積重量である。上記の式は粘性土塊を球形と仮定した場合に代表

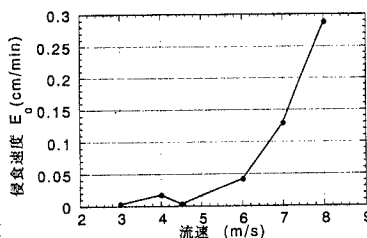


図-1 侵食速度と流速の関係

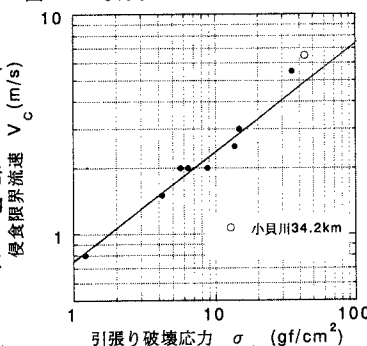


図-2 侵食限界流速と引っ張り破壊応力の関係

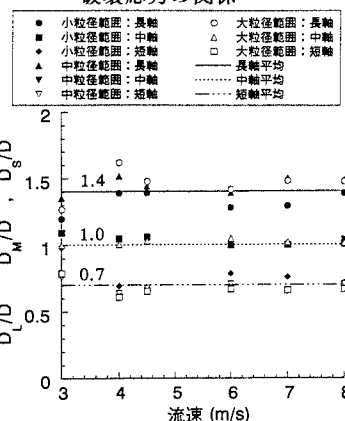
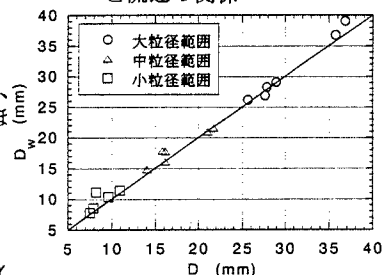
図-3 D_L/D 、 D_M/D 、 D_S/D と流速の関係

図-4 DとDwの比較

粒径を計算する式であるが、今回の実験の範囲では D と D_w を比較した図-4より D_w が D の良い近似値であると判断される。したがって、以下では D_w を代表粒径として用いることにする。

各粒径範囲の代表粒径と重量から計算した粒度分布を図-5に示す。小粒径範囲では、流速に関わらず約8mmの一定値を有する。これに対して中および大粒径範囲では、侵食限界流速以下において流速に関わらず約17mmおよび27mmのほぼ一定値を有するが、侵食限界流速以上では両粒径範囲とも同じ割合で粒径が増加する傾向が見られる。具体的には、流速8m/sにおける代表粒径は侵食限界流速以下の代表粒径の約1.3倍である。金網で採取した粘性土の平均粒径(すなわち、小～大粒径範囲に含まれる粘性土の平均粒径)と流速の関係を図-6に示す。流速3～7m/sまで徐々に細粒化するが、侵食限界流速を2m/s上回る流速8m/sにおいて急激に粗粒化する。

各流速ごとに粘性土塊の粒度組成分布を計算した結果を図-7に示す。粒径4.5mm以下の粒径範囲が少ない場合でも約70%であることから、この粒径範囲の侵食に対する寄与が大きいと言える。また、流速3m/sを除いて考えると、小粒径範囲の代表粒径以上の粒径を有する粘性土塊は、侵食限界流速(6m/s)以下では10%以下であったのに対し、それ以上では約20%まで増加する。この結果は、侵食限界流速以上では流送される粘性土塊が多くなるという佐々木ほか(1994)の観察結果を定量的な裏付けになる。

3.4 各粒径範囲のPick-up Rate

図-6に示した代表粒径を用いて各粒径範囲のPick-up Rateを計算した結果を図-8に示す。侵食限界流速以下に比べてそれ以上におけるPick-up Rateが急激に増加する傾向が各粒径範囲に共通して見られる。また、流速4.5m/sまでは各粒径範囲のPick-up Rateはほぼ同一である。侵食限界流速以上では中および大粒径範囲はほぼ同一のPick-up Rateである。また、小粒径範囲では中および大粒径範囲に比較して非常に急激にPick-up Rateが増加する。

4. 考察

今回の実験の範囲において侵食に大きく寄与するのは粒径4.5mm以下の粒径範囲であるが、この範囲に含まれる粘性土塊が採取できなかったため粒径やPick-up Rateについて検討できなかった。これについては、今後の課題としたい。ところで、特に侵食限界流速以上において粒径4.5mm以上の粘性土塊の粒度組成の約20%を占めることから、侵食速度の精度の高い予測をめざした力学的解析では、大中小の粒径範囲の寄与は無視できないこの観点から侵食速度を力学的手法により解析する際の基礎情報として以下にまとめる。

- ①各粒径範囲に共通した性質は、粘性土塊の長、中、短軸の代表粒径に対する比が流速に関わらず一定とみなせることである。これより、粘性土塊の体積および投影面積を D の関数として表すときに必要な補正係数は、非粘性土と同じく一定値として扱えることが分かった。
- ②侵食限界流速未満(流速3～4.5m/s)では、各粒径範囲の代表粒径は流速に、また各流速におけるPick-up Rateは粒径範囲に依存しない。したがって、図-6に示した平均粒径を流速に依存しない一定値として扱い、次にその粒径に対するPick-up Rateを解析すればよいと考えられる。
- ③侵食限界流速以上において、小粒径範囲と中および大粒径範囲では異なる特性を有する。すなわち、小粒径範囲では、流速に関わらず代表粒径が一定であるが、Pick-up Rateが流速の増加に伴い急激に増加する。これに対して、中および大粒径範囲では、両粒径範囲がほぼ同じ傾向で代表粒径とPick-up Rateが流速の増加に伴い大きくなる。したがって、小粒径範囲に対して②にまとめたものと同様な解析ができると考えられる。これに対し、中および大粒径範囲に対しては、両粒径範囲をひとつの粒径範囲にまとめられるところまでは②と同じだが、その粒径範囲の代表粒径およびPick-up Rateの流速に伴う増加傾向を解析する必要がある。

参考文献

佐々木克也・藤田光一・宇多高明・服部 敦・平館 治(1994):大型不攪乱供試体を用いた堤防・自然河岸の耐侵食強度評価実験, 水工学論文集, 第38巻, pp. 677-682.

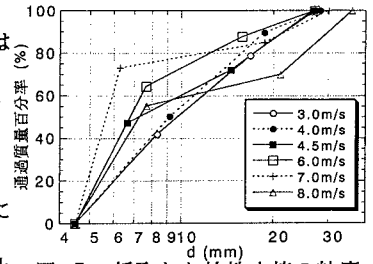


図-5 採取した粘性土塊の粒度分布

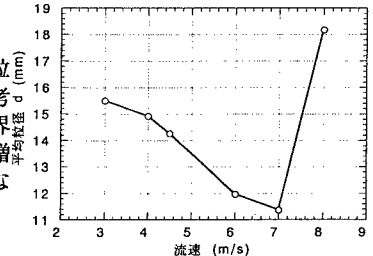


図-6 各粒径範囲の D_w と流速の関係

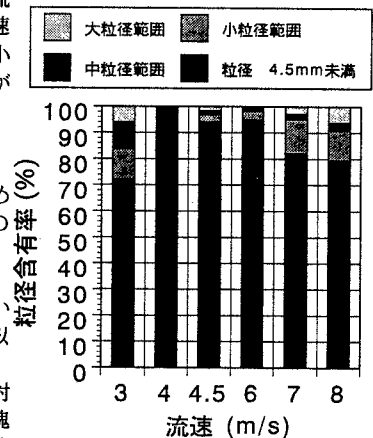


図-7 各流速における粘性土塊の粒度組成分布

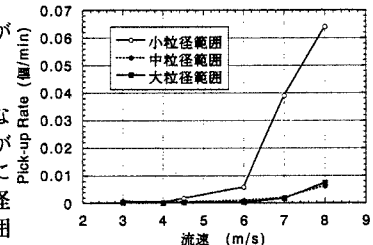


図-8 Pick-up Rateと流速の関係