

II-225

粘性土の侵食速度の予測法と土塊の離脱機構

建設省土木研究所 正員 平館 治 建設省土木研究所 正員 服部 敦
建設省土木研究所 正員 藤田 光一 建設省土木研究所 正員 望月 達也

1. はじめに

粘性土の耐侵食力について、これまで多くの研究がなされてきているものの、不攪乱資料での実験がないなど実河道に適用できる予測法は未だに確立されていない。河川の自然堆積土においては、人工的に盛土締固めを行った粘性土と比較して、侵食機構に影響を及ぼすと考えられる土質パラメータ（つまり土粒子の配列、密度等）が大きく異なる。このため限られた土の種類で攪乱-締固めを行った粘性土でしか実験を行っていない従来の研究では、実河川で広く適用可能な土質パラメータが得られていない²⁾。そこで、本研究では堤防を含む締固め土等の乱した土のみならず、高水敷上の不攪乱土までの幅広い土質について多数の実験を行い、その結果を整理して実河道に適用可能な侵食速度式を提案するものである。また、実験過程で、侵食現象を力学的に取り扱うにあたって、今後検討が必要と思われる事項を指摘する。

2. 流速と侵食速度の関係、および侵食限界流速の定義

既に明らかにしているとおり（文献³⁾）、流速と侵食速度の関係は図-1に示すとおり、ある流速を境に侵食速度が急激に増加する。その際、流出する土塊の径も増加するなど、侵食現象の変化も観察されるが、この流速を侵食現象の特徴を表す指標と考え、侵食限界流速 V_c と定義した。平館ほか²⁾、 $V \geq V_c$ では流水により侵食面に作用する揚力が、侵食面内部に働く粘着抵抗を上回ったときに土塊の離脱が生じると考え、10cm四方の立方体に成形した供試体を独自の試験法により鉛直方向に引っ張り、破壊される瞬間の応力を求めた。その結果、図-2に示すように、 $\sigma_{tb} \propto V_c^2$ の関係を得た。以上から、 V_c は σ_{tb} によって示されることが明らかとなった。

3. 侵食速度の評価式

上記の知見を基に侵食速度について簡易予測法を検討する。従来の研究で用いられてきた手法と同様に侵食速度 E を σ_{tb} および摩擦速度 u_* の関係として整理する。すると、侵食速度 E の変数は次式で示される。

$$E = f(\rho, u_*, \sigma_{tb}) \quad (1)$$

ρ ：水の密度、 u_* ：摩擦速度、 σ_{tb} ：引張り破壊応力である。

これらの変数を用いて無次元化し、整理した結果が式(2)である。

$$E / (\sigma_{tb} / \rho)^{0.5} = C (\rho u_*^2 / \sigma_{tb})^2 \quad (2)$$

式(2)に示した無次元パラメータを用いて図化した結果が図-3である。本来ならば次元解析による結果であるため、一本の曲線となるべきである。しかし、図-3に見られるとおり、 V_c あるいは σ_{tb} が小さいほど侵食速度は増大し、 V_c あるいは σ_{tb} が大きくなると逆の傾向を示した。この傾向は σ_{tb} を範囲別に整理することで関係づけられる。これより式(2)の C は、 $C = 1.34 \times 10^{-10} ((\sigma_{tb} / \rho)^{0.5})^{-2.9}$ となる。以上の式(2)および図-3を用いることによって、侵食速度の予測が可能となる。

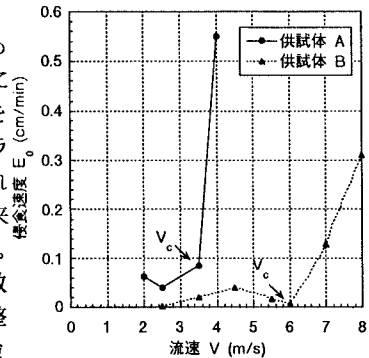


図-1 流速と侵食速度の関係

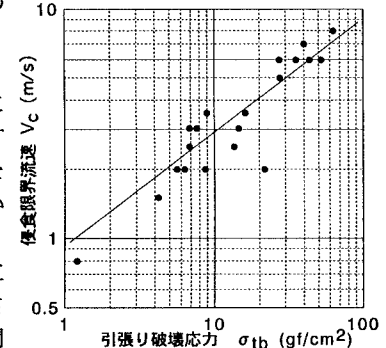


図-2 引張り破壊応力と侵食限界流速の関係

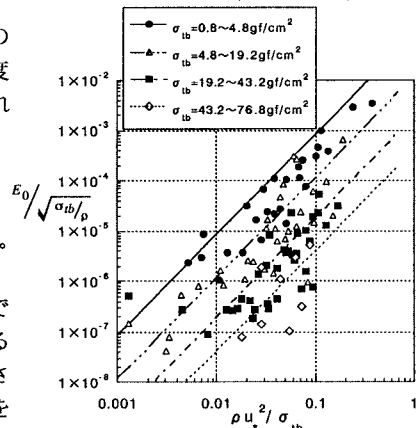


図-3 侵食速度と摩擦速度の関係

粘性土、侵食速度、引張り破壊応力、離脱機構

〒305 つくば市旭1番地 TEL 0298-64-2211 FAX 0298-64-1168

4. 土塊の離脱機構

図-3の傾向が見られた原因としては、(1)式で考慮しなかった土塊の径の変化が侵食速度に影響を及ぼしたものと考えられる。一般に非粘性土の場合、限界掃流力は粒径によって評価できるが、粘性土においてもその侵食過程で土塊の離脱現象が見られることを考察すると、 σ_{tb} のみならず土塊の大きさが影響していることが考えられる。また、離脱単位について、非粘性土では粒径で示されるのに対して、粘性土では決定づける土質パラメータが得られていない。したがって、侵食現象を考える上で土塊の径を知ることは重要であると考え、土塊の離脱特性について、本実験で得られた特徴を報告する。

4.1. 侵食面の凹凸による比較

離脱する土塊の径と侵食面の凹凸の間には相関が得られるものと考えられる。そこで、図-3において σ_{tb} が小さいほど侵食速度が大きな傾向を示したのは、凹凸が激しくなるからであると考え、 $\sigma_{tb} = 4.8 \sim 19.2 \text{ gf/cm}^2$ の範囲である供試体A ($V_c = 6.0 \text{ m/s}$) と $\sigma_{tb} \geq 43.2 \text{ gf/cm}^2$ の供試体B ($V_c = 3.5 \text{ m/s}$)の侵食面を比較した（写真-1参照）。両供試体とも、侵食限界流速で通水した後の河床面を撮影したものである。すると、供試体Bは侵食面に10cm程度の大きさの塊状の凹凸が見られた。これに対して、供試体Aでは侵食面の凹凸のスケールが数cmであり、その形状はまとまった塊状とは異なり、スプーンで削り取ったような凹凸になっている。以上から、供試体Bは供試体Aに比較して凹凸の度合いが大きいことが分かる。また、供試体Bの凹凸は、観察によると、耐侵食力の低い粘性土が先に侵食され凹部を形成し、耐侵食性の高い部分が塊状に残ることによって生じたものと推察される。これに対して、供試体Aの凹凸では、ほぼ等しい粒径の土塊が侵食面から一様に離脱されたことが推察される。

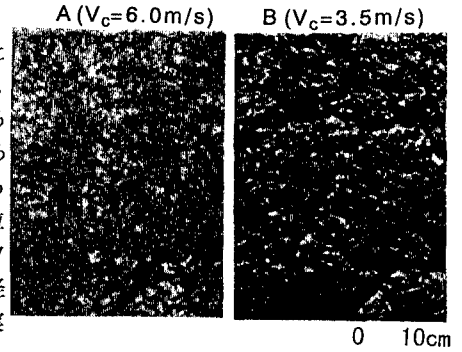


写真-1 通水後の侵食面

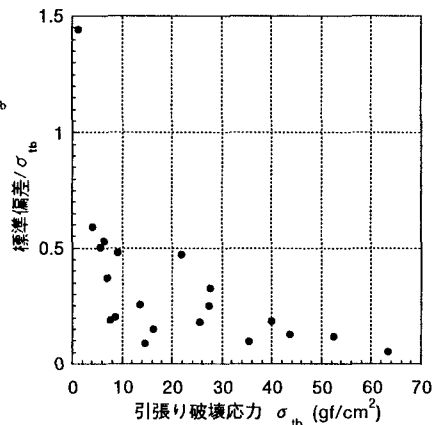


図-4 引張り破壊応力の標準偏差と平均値の関係

4.2. 引張り破壊応力のばらつきによる比較

4.1の推察から、供試体Bは供試体Aに対して、侵食面上の耐侵食力のばらつきが大きいと考えられる。この仮定が正しいならば、土塊の凹凸のスケールが増加するほど（ σ_{tb} が小さくなるほど）、侵食面の異なる箇所複数回測定した σ_{tb} のばらつきが大きくなると考えられる。図-4に σ_{tb} の標準偏差を σ_{tb} の平均値で除した値と σ_{tb} の平均値の関係を示す。すると仮定の通り、 σ_{tb} の小さな供試体ほど、平均値と比較して大きな標準偏差を示す傾向があった。このことは、 σ_{tb} の小さな粘性土ほど、空間的な耐侵食力のばらつきが大きいことを示しており、局所的に耐侵食が高い部分が存在することが凹凸を生じる原因であると考えられる。以上から、 σ_{tb} のばらつきのスケールが土塊の径の決定機構に大きな影響を及ぼすものと考えられる。また、これらの結果から、式(1)に示される変数に加え、土塊の離脱機構も侵食速度に影響を与えることが明らかとなった。

5. まとめ

土塊の離脱機構の力学的モデルに基づく侵食速度の評価方法を提案するという課題は残っているものの、図-3もしくは式(2)によって粘性土の侵食速度の定量的評価が可能となった。今後は実際に粘性河岸等に適用し、実河道の粘性土の侵食機構を明らかにしていく予定である。

参考文献

- 1) 例えば、芦田・田中：粘土分を含有する砂礫床の侵食と流砂機構に関する研究，京大防災研年報，第17号B，pp.571-584，1963。
- 2) 平舘，服部，藤田，宇多：粘性土の耐侵食性評価法の比較，第51回年講概要集，pp.400-401，1997。
- 3) 佐々木ほか：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，水講演文集，第38巻，pp.677-682，1994。