

II-229

粘着性を有する河岸材料の流送および河岸変形過程

京都大学工学研究科 正会員 長田信寿

京都大学工学研究科 フェロー 村本嘉雄

京都大学工学研究科 学生員 道端浩司

1. はじめに

実河川における河岸侵食過程を考える上で、粘着性材料の挙動が重要であることが指摘されており、近年現地の不攪乱試料を用いた侵食実験により、有用な知見が蓄積されつつある^{1), 2)}。しかし、現地試料では材料が不均一となっており、この不均一性が侵食速度に重要な影響を与えているとも考えられるが、侵食現象を複雑なものとし、現象の解明を困難にする要因となっている。そこで、本研究では、まず、実験室において圧密した供試体を用いて河岸侵食実験を行い、その基本的な現象を把握するとともに、粘性を有する河岸侵食過程の解析モデルの構築を試みる。

2. 河岸侵食の実験方法および結果

実験水路は、幅 15cm、長さ 4m であり、粘性河岸とする供試体は、柏木ら³⁾と同様に水路の側岸に設置した。供試体は長さ 1m、幅 5cm であり、水路中央部に設置し、その上下流は同じ幅の固定壁とした。供試体の作成方法は、まず、シルト系が主成分の深草粘土と砂を混合し、攪拌装置を用いてスラリー状にした後、段階的に载荷を行い圧密した。圧密を行った理由は、粘性土を扱う場合、乱した状態と乱さない状態では、その侵食速度が大きく異なると考えられるからである。実験は、土質条件として圧密荷重、水理条件として水路床勾配等を変えて行った。表-1 に、実験条件、および実験結果として河岸の平均侵食速度を示す。

平均侵食速度は圧密荷重が小さくなるに従い、また、平均摩擦速度が大きいくほど、増加している。図-1 に無次元表示された河岸横断形状を、ES3-2～ES3-4 について示す。同図において、縦軸は高さ z を初期水深 h で、横軸は侵食幅 B を最大侵食幅 $B_{\max}$ で無次元化している。形状はいずれもほぼ相似であり、最大侵食は水深比で 0.5～0.6 の高さとなっている。

3. 粘着性材料を有する河岸の侵食計算

図-1 で見たような河岸の変形過程は、河岸における掃流力分布との関連性が高いと考えられる。そこで、ここで

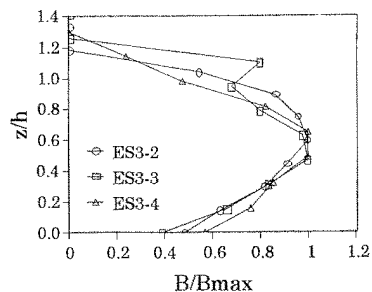


図-1 河岸横断形状の無次元表示

表-1 実験条件および結果

Case No.	土質条件		水理条件					結果
	圧密荷重 (kgf/cm ²)	含水比 (%)	流量 (cm ³ /s)	平均流速 (cm/s)	水路床勾配	平均水深 (cm)	平均摩擦速度 (cm/s)	平均侵食速度 (10 ⁻⁶ cm/s)
ES1-1	0.13	24.8	3731	103.6	1/71	3.60	5.37	5.17
ES2-1	0.16	23.4	3731	94.7	1/71	3.84	5.52	4.99
ES3-1	0.20	23.4	3731	97.9	1/66	3.81	5.67	3.16
ES4-1	0.24	24.3	3731	95.9	1/71	3.89	5.50	3.04
ES3-2	0.20	25.8	3731	110.7	1/40	3.37	7.02	6.71
ES3-3	0.20	23.1	3731	117.3	1/32	3.18	7.72	7.22
ES3-4	0.20	24.7	3731	121.5	1/26	3.07	8.31	10.88

粘着性材料、河岸侵食

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL 075-753-5076 FAX 075-761-0646

は、河岸の掃流力分布、及びその分布に対応した河岸変形を解析できるモデルを構築する。まず、河岸での壁面応力の鉛直分布が計算できるように、流れの基礎式として、3次元の連続式及び運動方程式を用いた。なお、河岸が侵食により変形した後も解析が可能のように一般座標系を用いている。また、河岸侵食速度に影響を与える壁面せん断応力分布は、2次流により分布形状が変化することから、それが再現できるように、乱流モデルとして代数応力モデルを用いた。

次に、粘着性材料を有する河岸の変形過程のモデル化については、粘着性材料が、河岸から土粒子凝集体として剥離するとして、その過程を確率モデルを用いて表わすこととした。まず、中川・辻本³⁾と同様に、摩擦速度の変動が正規分布に従うとして、河岸材料の移動確率 p_0 を次式のように表わす。

$$p_0 = \frac{\int_{r_c}^{\infty} \phi(r) dr}{\int_{-1/\eta_0}^{\infty} \phi(r) dr}, \quad \phi(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{r^2}{2}\right), \quad r = \frac{\tilde{u}_* - 1}{\eta_0}, \quad r_c = \frac{u_{*c} - 1}{\eta_0}$$

ここに、 $\tilde{u}_*$: 変動を含む摩擦速度、 u_* : 摩擦速度の時間平均値、 η_0 : 摩擦速度の変動係数、 u_{*c} : 基準となる摩擦速度である。また、Exchange time t_{EX} を剥離土塊の平均厚 d_s 、実験定数 a_t を用いて、簡単な式形 $t_{EX} = a_t d_s / u_*$ で表わすことにより、pick-up rate 及び河岸侵食率は次式で計算できる。

$$p_s = \frac{p_0}{t_{EX}}, \quad \frac{\partial n_w}{\partial t} = -p_s d_s$$

ここに、 n_w : 河岸に垂直方向の座標系における河岸位置である。本手法において、計算を進める際に必要となる a_t 、 u_{*c} 等は、ここでは実験結果との適合性を考慮して決定した。決定過程の例として、 u_{*c} をパラメータとした p_s - u_* 曲線を図-2に示す。また、図-3には、本手法を用いて粘着性材料の河岸侵食過程の計算を行った結果を、実験結果と比較して示す。計算の対象としたケースは、ES3-2であり、実験結果は計測した3断面すべてについて示している。計算結果より、河岸形状の再現性については、改良すべき点が残されていると考えられるが、粘性材料が流送され河岸がオーバーハングに至る過程は再現できた。

4. おわりに

本検討では前述したように、 u_{*c} を実験結果との適合性を考慮して決定したが、これは本来土質特性から決定すべきものと考えられる。粘土の剥離現象については、引っ張り強度との関連が高いとの指摘があり²⁾、今後このような観点も取り入れてモデルの汎用性を向上させたい。

参考文献 1) 柏木幸則・福岡捷二・渡邊明英・陶山幸夫・島本重寿: 流路の側岸侵食に関する研究, 土木学会第52回年次学術講演会, pp.482-483, 1997. 2) 建設省土木研究所河川部河川研究室: 粘性土が有する耐侵食性の評価方法に関する研究, 土木研究所資料第3489号, 1997, pp.7-96. 3) 中川博次・辻本哲郎: 水流による砂れきの移動機構に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.244, pp.71-80, 1975.

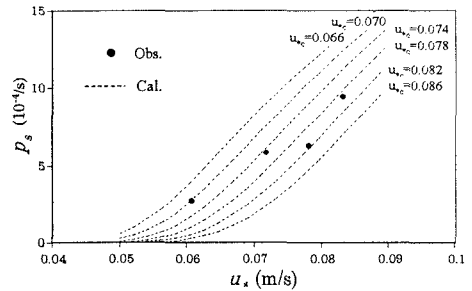


図-2 摩擦速度と pick-up rate の関係

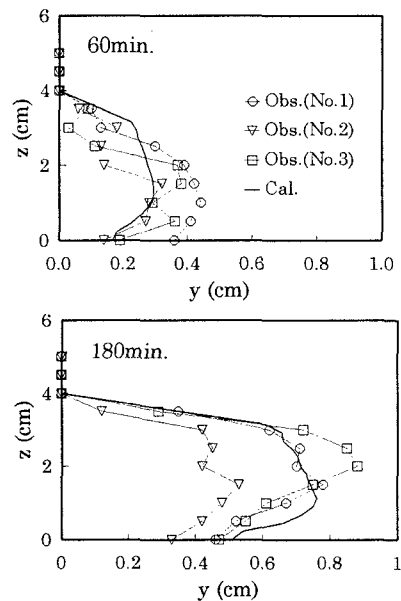


図-3 河岸侵食過程の計算結果と実験結果の比較 (ES3-2 上: 60min., 下: 180min.)