

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 学生員 ○道端浩司
 京都大学工学研究科 フェロー会員 村本嘉雄

1. はじめに

河岸侵食の機構ならびにその過程は、河岸材料が粘性土であるか非粘性土であるかで大きく異なる。ここでは、近年その侵食機構の把握の重要性が指摘されているにもかかわらず、未解明の部分が多い、粘着性材料を有する河岸の侵食現象を対象として検討を行った。

2. 河岸の侵食実験

本実験の特徴としては、まず、澤井・芦田¹⁾、芦田・江頭・加本²⁾が、砂と粘土の混合物を用い、砂粒子の周辺に粘土が付着したような状態を対象としたのに対し、ここではシルト系が主成分の粘土と砂を混合し、攪拌装置を用いて、スラリー状にした後、圧密を行った点が挙げられる。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。また、河岸形状の変形過程を把握するために、柏木ら³⁾と同様に、粘性土を水路の側岸に設置した。用いた実験水路は、図-1に示すように、幅 15cm、長さ 4m であり、粘性河岸とする供試体は中央側壁に 1m の区間設置し、その上下流は固定壁とした。実験は、表-1に示すように、圧密荷重、水路勾配等を変えて行った。

図-2に ES2-1 の河岸形状の時間変化を示す。他の実験ケースについては、土質条件、水理条件に応じて侵食速度が異なるものの、侵食形状については類似しており、水深のほぼ中央付近で最大侵食となる。土質条件の相違による侵食速度の変化については、図-3に圧密過重と平均侵食速度の関係を示す。また、後出図-4からは、水理条件（平均摩擦速度）と侵食率との関係が把握できる。

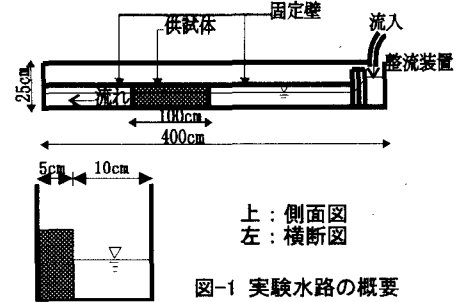


図-1 実験水路の概要

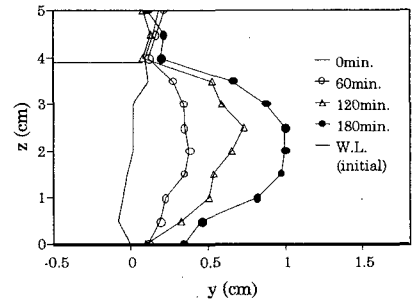


図-2 河岸形状の時間変化 (ES2-1)

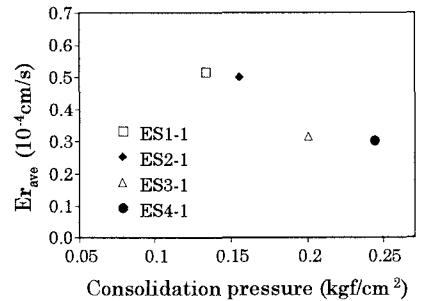


図-3 圧密荷重と平均侵食速度の関係

表-1 実験条件

Case No.	土質条件		水理条件					
	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)	水温 (°C)	平均摩擦速度 (cm/s)
ES1-1	0.13	24.8	3731	103.6	1/71	3.60	15.3	5.37
ES2-1	0.16	23.4	3731	94.7	1/71	3.84	11.0	5.52
ES3-1	0.20	23.4	3731	97.9	1/66	3.81	15.3	5.67
ES4-1	0.24	24.3	3731	95.9	1/71	3.89	11.0	5.50
ES3-2	0.20	25.8	3731	110.7	1/40	3.37	11.0	7.02
ES3-3	0.20	23.1	3731	117.3	1/32	3.18	11.0	7.72
ES3-4	0.20	24.7	3731	121.5	1/26	3.07	11.0	8.31

Nobuhisa NAGATA, Kouji MICHIBATA, Yoshio MURAMOTO

3. 粘着性材料を有する河岸の侵食計算

まず、前述したような河岸の変形過程を計算するための数値解析モデルについて説明する。図-2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ことから、その鉛直分布が計算できるように、ここでは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。また、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た。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、ここでは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⁴⁾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} : 侵食限界摩擦速度である。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-4 に示す。また、図-5 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、表-1 に示した 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

本研究では、まず、粘着性材料を有する河岸の侵食過程について基礎的な実験を行い、次に、河岸粘性材料の流送、それに伴い河岸が変形しオーバーハングに至る過程の再現を試みた。今後は、モデルの現象再現性、汎用性等について改良を行いたい。

参考文献 1) 澤井健二・芦田和男：粘着性流路の侵食と横断形状に関する研究，土木学会論文集，第266号，pp.73-86，1977. 2) 芦田和男・江頭進治・加本実：山地流域における侵食と流路変動に関する研究(1)，京大防災研究所年報，第25号B-2，pp.349-360，1982. 3) 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. 4) 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.

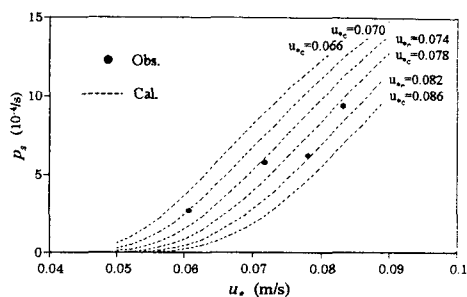


図-4 摩擦速度-pick up rate の関係

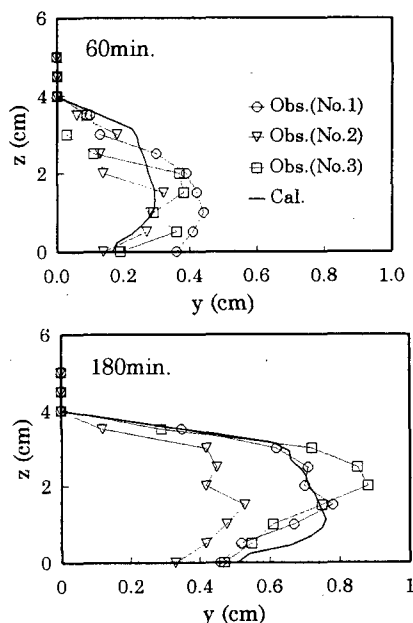


図-5 河岸侵食過程の計算結果と実験結果の比較 (ES3-2 上: 60min., 下: 180min.)