

流水の直接作用による粘性土の浸食量式の一提案

北見工業大学 正会員 ○吉川 泰弘

北海道開発局 正会員 黒田 保孝

水工リサーチ 非会員 佐々木 寿史

寒地土木研究所 正会員 阿部 孝章

1. はじめに

河岸浸食は、堤防決壊や護岸流出を引き起こす。河岸浸食を再現する計算式として、河床洗掘に伴う斜面崩落をモデル化した清水ら¹⁾の既往研究がある。一方で、破堤後の堤防横断面に流水が衝突する現象や、砂州形成により流れが流下方向から横断方向に変化する現象では、流水が河岸に直接作用する。長谷川²⁾は、断面平均流速からの偏倚流速が河道外岸部に加わることにより、蛇行形状の発達を論じている。一方、流水が河岸に対して直角に衝突する場合の浸食機構については、十分には研究が実施されていない。本研究は、流水の直接作用による河岸浸食機構を解明するために、実河川近傍において粘性土を採取し、流水を直接的に衝突させて、粘性土の浸食量を測定した。さらに、次元解析により浸食量式を導出し、実験値との比較から本研究の浸食量式の妥当性を検討した。

表-1 土質および流水の諸量

	粘性土 A	粘性土 B
土粒子密度 ρ_s [kg/m ³]	2674	2621
粘着力 c [N/m ²]	5550	1550
含水比 w [%]	70.0	73.9
粘土の質量百分率 I_s [%]	78.2	63.1
水含有率 R_{wc}	0.90	1.17
水の密度 ρ_w [kg/m ³]	999.34	999.82
平均水温 T_w [°C]	13	8

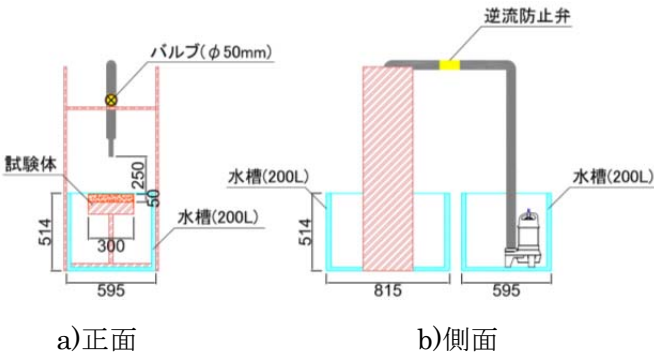


図-1 浸食実験の概要図(単位:mm)

2. 粘性土の浸食実験

浸食実験に使用した粘性土は、石狩川水系千歳川流域から採取して、粘性土 A と粘性土 B と呼称し、表-1 に土質の諸量および浸食実験に用いた流水の諸量を示す。土粒子密度 ρ_s は、各 3 試料の平均値とした。粘着力 c は、一軸圧縮試験により一軸圧縮強さ q_u を求め、粘性土のため粘着力 $c = q_u/2$ として、各 2 試料の平均値とした。含水比 w は、各 3 試料の平均値とした。粘土の質量百分率 I_s は、粒度試験結果を基に粘土(0.005mm 未満)のみの質量百分率とした。水含有率 R_{wc} は、「粘土の重量に対する含有水の重量の比率」と西森・関根³⁾の既往研究で定義されており、本研究では $R_{wc} = w/I_s$ として与えた。水の密度 ρ_s は、水温に応じて値を決めた。

浸食実験の概要図を図-1 に示す。縦 30cm×横 30cm×高さ 5cm の木枠を用いて、採取した粘性土を 1 層 1cm として 1 層 225 回の突き固めを行い試験体を製作した。突き固め方法は、浸食実験と一軸圧縮試験で同じ方法とした。この試験体の 25cm 上空の位置に、直径 2cm の給水管を下方向に向けて設置した。給水管から流速 3m/s の流水を下方向に放出させて、試験体の上面に対して直角に流水を衝突させた。1 時間毎に給水管からの放出を木板で遮蔽し試験体の水分を排除して、試験体の質量を測定した。流水が底部に達した場合も測定した。

給水管から試験体上面まで 25cm の距離がある。試験体上面での流水の断面積 A [m²]は、事前の測定から 0.000314 の値を得た。試験体上面での流水の流速 u [m/s]は、流れが速く流速計で測定できなかった。このため、給水管と試験体上面においてベルヌーイの式を立てて、 $u^2/2g = 3^2/2g + 0.25$ から、 $u = 3.73$ の値を得た。

キーワード 河岸浸食, 粘性土, 粘土, 浸食実験, 次元解析, 浸食量式

連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地 TEL 0157-26-9538

3. 粘性土の浸食量式の導出

粘性土の浸食量 $Q_s[m^3/s]$ を求める式を導出する．従属変数である浸食量 Q_s に対して，本研究では，独立変数として，流水による力 $F[N]$ ，粘着力 $c[N/m^2]$ ，土粒子密度 $\rho_s[kg/m^3]$ の3つの変数を選定し，次元解析により浸食量式の導出を試みた．

浸食量 Q_s は，基本物理量を質量 M ，長さ L ，時間 T とし，係数を K とすると次式となる．

$$Q_s = K \times M^0 \times L^3 \times T^{-1} \quad (1)$$

独立変数は，それぞれ次式となる．

$$F = M^1 \times L^1 \times T^{-2} \quad (2)$$

$$c = M^1 \times L^{-1} \times T^{-2} \quad (3)$$

$$\rho_s = M^1 \times L^{-3} \times T^0 \quad (4)$$

Q_s は F ， c ， ρ_s のべき乗の積で表されると仮定し，各物理量のべき指数を x ， y ， z すると， Q_s は次式で表される．

$$Q_s = K \times F^x \times c^y \times \rho_s^z \quad (5)$$

式(5)に式(2)，(3)，(4)を代入し式(1)を用いると， $x = 1$ ， $y = -0.5$ ， $z = -0.5$ となり， Q_s は次式となる．

$$Q_s = \frac{K \times F}{\sqrt{\rho_s \times c}} \quad (6)$$

西森・関根³⁾の既往研究では，粘着性の土の浸食速度は水含有率 R_{wc} の2.5乗に比例するという有益な知見が得られている．本研究では，この知見を援用し， $K = \alpha \times R_{wc}^{2.5}$ とした． α は係数であり，試行錯誤により $\alpha = 8 \times 10^{-6}$ を与えた．流水による力 $F[N]$ は，運動量保存則を適用すると次式となる．

$$F = \rho_w \times A \times u^2 \quad (7)$$

図-2に浸食の総量の実験値と式(6)による計算値を示す．平均絶対誤差(MAE)は，粘性土A(データ数3)で69g，粘性土B(データ数3)で69gであり，式(6)の計算値は実験値を良く再現した．式(6)より，浸食量 Q_s が大きくなる条件として，水含有率 R_{wc} と流速 u が大きく，土粒子密度 ρ_w と粘着力 c が小さい条件であることが分かる．

4. まとめ

本研究は，流水の直接作用による粘性土の浸食量を測定するために，試験体上面に直角に流水を衝突させる実験を実施した．次元解析により，粘性土の浸食量式を導出した．本浸食量式による計算値は，本実験の実験値を再現した．本検討により，粘性土の浸食量が大きくなる条件として，「水含有率」，「試験体上面に直角に衝突する流水の流速」，「含水比」が大きく，「土粒子密度」，「粘着力」，「粘土のみの質量百分率」が小さい条件であることが推察された．一方で，本式の係数 α の物理的意味は不明瞭であり，今後，検討が必要である．

謝辞

本研究は，公益財団法人河川財団の運用する河川基金の助成を受けて実施しました．記して謝意を表します．

参考文献

- 1) 清水康行，平野道夫，渡邊康玄：河岸侵食と自由蛇行の数値計算，水工学論文集，Vol.40，pp.921-926，1996．
- 2) Hasegawa, K. : Universal Bank Erosion Coefficient for Meandering Rivers, *J. Hydraul. Eng.*, ASCE, 115(6), pp.744-765, 1989.
- 3) 西森研一郎，関根正人：粘着性土の浸食過程と浸食速度式に関する研究，土木学会論文集 B, Vol.65, No.2, pp.127-140, 2009.

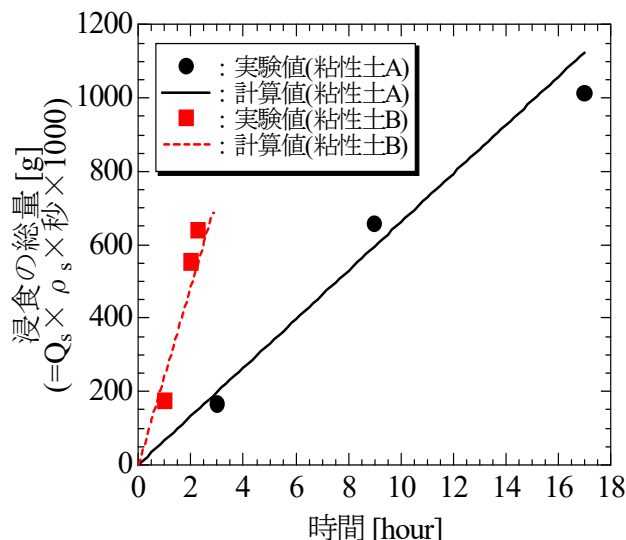


図-2 浸食の総量の実験値と計算値