

II-228

粘性土河岸の侵食量の現地観測とその予測技術に関する研究

建設省土木研究所 正員 服部 敦* 建設省能代工務事務所 湯川茂夫**
 建設省能代工務事務所 正員 布施泰治** 建設省土木研究所 正員 藤田光一*
 建設省東北地方建設局 長内伸夫*** 建設省土木研究所 正員 平館 治*

1. 背景および目的

自然河岸を存置することによってハビタットを保全するとともに治水安全度も確保した川づくりを推進するためには、洪水による河岸侵食量の予測技術が不可欠である。本研究は、実用的な侵食予測技術が確立されていない粘性土河岸を対象として、米代川57.5km地点右岸における河岸侵食の現地観測とその再現計算を行った結果についてまとめるとともに、予測技術確立に向けての課題を提示するものである。

2. 現地観測の概要とその結果

調査地点は河床勾配 1/1,000、河床材料の平均粒径 2.5cm のほぼ直線河道区間に位置する。河道縦断方向に 1m 間隔で全 15 本の基準杭(下流から順に 0~14m 地点と呼ぶ)を高水敷上に設置し、これらを基点とした洪水前後の横断測量より河岸侵食量を測定した。出水中には水位および浮子による河岸近傍流速の測定を行った。また、0m, 14m 地点において河岸材料の粒度分布測定を計 7 点行った。0m 地点の河岸下部に位置する測定点では他の 6 点と異なる粒度分布となった。0m 地点河岸下部の粒度分布と他の 6 点の平均粒度分布を図-1 に示す。河岸面は 0.075mm 以下の粒径成分(以下、細粒分と呼ぶ)を約 50% 含有する粘性土で主に構成されている。0m 地点河岸下部は粒径約 2.5cm の礫を約 20% 含有する粘性土層である。顕著な侵食が生じた H8, 9 年出水のハイドログラフと横断測量結果の一例を図-2 に示す。換算水位とは、鷹巣水位観測所(約 45km 地点)での測定水位を調査地点での同時刻の測定水位と一致するように換算した観測地点水位である。H8, 9 年出水によって平均して約 21cm および約 13cm の河岸侵食が生じた。H8 年出水による各地点の河岸侵食量と河岸法線形状の測定結果を図-3 に示す。河岸侵食量として河岸全高さ(のり尻~天端)での平均値 B_m と河岸下部(のり尻~T.P33.6m)での平均値 B_b を示した。水衝部となる河岸法線凸部で侵食量が大きくなる傾向が若干認められるが、最大侵食が生じた 0m 地点のように凹部でもかなりの侵食が生じている。0m 地点で大きな侵食が生じた原因として河岸下部に礫を多く含有する耐侵食性の低い粘性土層が存在することが挙げられる。この例のように侵食量の場所的差異が生じた主原因は、粘性土の耐侵食性が各地点で異なっていたためと思われる。また、調査地点の河岸侵食は、1) 流れによって河岸下部が上部に比較して大きく侵食され、2) オーバーハングした河岸上部が崩落するという過程で進行する¹⁾。この侵食形態と図-3 において各地点の B_b と B_m がほぼ同値となることから、河岸下部が流水によって侵食されるとそれと等しい侵食量で河岸上部が崩落すると考えて良い。この場合、 B_m の平均値 B_{mA} が B_b の平均値 B_{bA} と同値になると近似できる²⁾。

3. 河岸侵食量の再現計算と測定値との比較

B_{mA} を以下に示す簡略な方法によって計算する。すなわち、1) ハイドログラフの各水位時において河岸面に作用する掃流力 τ_{y0} を定常等流条件で計算し、2) τ_{y0} から粘性土の侵食速度 E を計算し、3) 各水位の継続時間とその水位での侵食速度の積を計算する。次に 4) 「着目した標高以上の水位である」という条件を満たす総ての水位での 3) の計算値を足し合わせることで河岸面の各標高の侵食深を計算し、5) 河岸下部(T.P33.1~33.6m)の平均侵食深 $B_{bA}=B_{mA}$ として河岸侵食量を計算する。以下に掃流力と侵食速度の計算方法の概略を示した後、 B_{mA} の計算値と測定値の比較結果を示す。

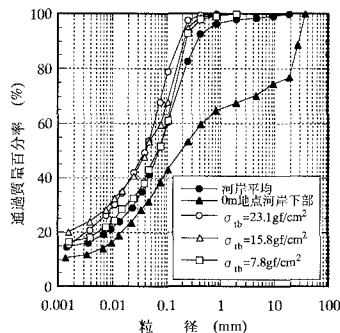


図-1 河岸の粒度分布

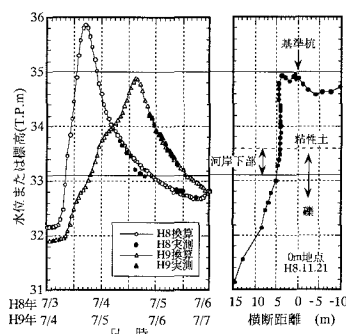


図-2 ハイドログラフと河岸形状

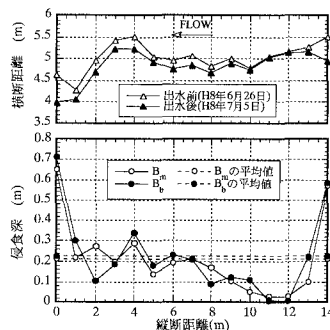


図-3 各地点の侵食量と河岸法線形状

キーワード：粘性土・河岸侵食・現地観測・予測技術

* 〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1番地 TEL 0298-64-2211 FAX 0298-64-1168

** 〒016-0802 秋田県能代市川反町9-3 TEL 0185-52-6211 FAX 0185-52-9247

*** 〒980-0802 宮城県仙台市青葉区二日町9-15 TEL 022-225-2171 FAX 022-225-6094

3.1 掃流力の計算方法

横断測量結果（例えば図-2）に基づいて図-4に示すように計算に用いる河道横断形状を定めた。また流れの基礎式として式（1）に示す浅水流方程式を用いた。

$$g(H - z_b)i + \frac{d}{dy} \left[\alpha(H - z_b)^2 \frac{u}{\phi_b} \frac{du}{dy} \right] - \frac{u^2}{\phi_b^2 \cos \theta_b} = 0 \quad (1)$$

ここで、 u は流速、 H は水位、 z_b は河床高、 θ_b は河床の横断方向の傾き、 i は水面勾配、 ϕ_b は河床面の流速係数、 $\alpha = 0.067$ である。 i は現地観測結果を参考にして H の関数として与えた。式（1）を以下の境界条件で数値計算した。すなわち $y \rightarrow \infty$ で $u \rightarrow \phi_b \{g(H - z_{b\infty})i\}^{0.5}$ 、 $y=0$ では河岸面で粗面上対数則に基づく抵抗則を用い、高水敷が冠水する場合には高水敷上 ($y < 0$) の流速分布を泉ほか³⁾に倣って式（1）より求めた摂動解で与え、 $y=0$ において u が式（1）の数値解と一致する条件とした。 $y=3 \sim 5$ m での流速の測定値と計算値を比較した結果を図-5に示す。計算値はバラついた実測値の平均的な値となっていることから、ほぼ妥当な計算結果と思われる。

3.2 粘性土の侵食速度の評価方法

E と τ_{y0} の関係を引っ張り破壊応力 σ_{tb} を用いて整理した平舘ほか⁴⁾の評価式 ($E \propto \sigma_{tb}^{-2.95} \tau_{y0}^2$) を用いる。調査範囲近傍の3地点において σ_{tb} と粒度分布の測定を行い、その結果を図-1に併記した。細粒分が多いほど σ_{tb} が大きくなる結果が得られた。この結果からも場所によって耐侵食性が異なることがわかる。河岸侵食量の計算では、河岸面の粒度分布とほぼ一致する $\sigma_{tb} = 7.8 \text{ gf/cm}^2$ として導いた式（2）により侵食速度を求めた。

$$E = C \cdot \left(\frac{\tau_{y0}}{\rho} \right)^2 \quad C = 3180 \quad \text{単位: } \begin{matrix} E \text{ (cm/hr)} \\ \tau_{y0}/\rho \text{ (m}^2/\text{s}^2) \end{matrix} \quad (2)$$

なお、河岸面の相当粗度高さ k_s は平舘ほか⁴⁾が実験結果を整理する際に用いた流速係数とその実験条件（水深）から逆算した平均的な k_s 値として定めた。

3.3 計算結果と測定値の比較

H8,9年出水による河岸面の各標高での侵食深の計算結果を図-6に示す。河岸下部で最も大きく侵食されており、河岸上部がオーバーハングする結果が得られた。上記5)の計算方法に従い、T.P33.1～33.6mの平均侵食深を B_{mA} とし、測定値と比較した結果を図-7に示す。なお、現地測定結果から B_{mA} を求める際には、明らかに土層が異なった0m地点を除いている。計算値は実測値の約8割となったが、ハイドログラフが異なることによる侵食量の差異を良好に再現できたと思われる。

4. 予測技術確立のための課題

観測結果に基づき粘性土の耐侵食性が場所によって大きく異なっており、そのため侵食量が場所的に変化することを指摘した。このことは、河岸が耐侵食性の異なる不均一な粘性土で構成されることを前提として河岸侵食を予測する必要性を示唆するものである。不均一性を考慮しない計算例として、3地点の平均値 $\sigma_{tb} = 15.6 \text{ gf/cm}^2$ ($C=410$) として B_{mA} を計算した結果を図-7に併記した。この場合の計算値は測定値の約1割となり、不均一性を考慮して $\sigma_{tb} = 7.8 \text{ gf/cm}^2$ とした場合に比較して計算精度が著しく劣ることがわかる。以上より粘性土河岸の土質の不均一さに関して現地調査を行って侵食のメカニズムや侵食量などとの関係を明らかにし、その結果に基づいて土質の不均一さを考慮できる河岸侵食量の予測技術（侵食量の計算方法と土質調査方法）について検討することが今後の課題と考えている。

参考文献

- 1) 布施・篠内：天然河岸における侵食崩壊機構調査，第3回河道の水利と河川環境に関するシンポジウム論文集，pp.91～98,1997。
- 2) 大東・福岡・佐藤：自然堆積河岸の侵食速度について，第48回年次学術講演会概要集，第2部，pp.568～569,1993。
- 3) 泉・池田：側岸に樹木を有する直線礫床河川の安定横断河床形状，土木学会論文集，第411号，II-12, pp.151～160,1989。
- 4) 平舘・服部・藤田・望月：粘性土の侵食速度の予測方法と土塊の離脱機構，第52回年次学術講演会概要集，第2部，pp.450～451,1997。

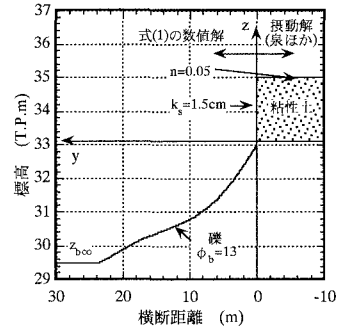


図-4 計算に用いた河道横断形状

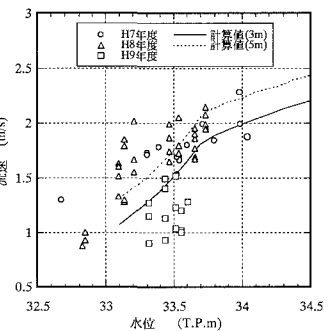


図-5 流速の計算と測定値の比較

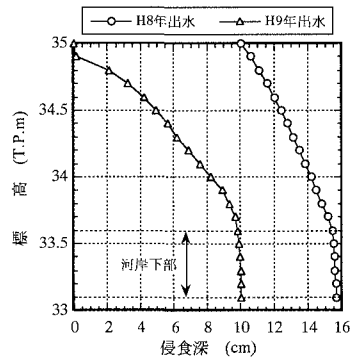


図-6 河岸面の侵食深の計算結果

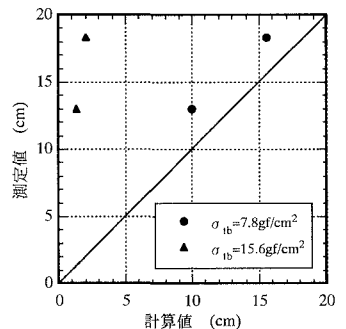


図-7 B_{mA} の計算と測定値の比較