

河岸に作用する変動外力の直接測定と数値解析

広島大学大学院 学生会員 ○山本健介
 広島大学大学院 正会員 渡邊明英

広島大学大学院 正会員 内田龍彦
 中央大学研究開発機構 フェロー会員 福岡捷二

1. 序論

河岸侵食進行時において、福岡らの研究¹⁾により粘着性土質で構成される河岸はヒサシ形状を成すことが明らかとされている。しかしながら、侵食拡大の直接的原因となる河岸に作用する変動外力についてはこれまで十分に検討されておらず、縦横断的な侵食拡大の定量的評価には至っていない。本研究の目的はヒサシ状河岸模型における流れ場と河岸に作用する外力の関係を明らかにし、河岸侵食量を定量的に評価するための基礎的知見を得ることである。また、FAVOR法を用いた数値解析により河岸侵食部の流れ場を再現し、侵食機構について検討を加える。

2. 実験方法および解析方法

図-1は実験水路を示す。本実験ではヒサシ状河岸が対象とされているため、水面付近において平面形状が図のように変化する。侵食面角度は、福岡らの研究より侵食が安定すると報告されている 8° に設定されている¹⁾。表-1は水理条件およびせん断力測定位置を示す。侵食面に作用する外力は図-2で示されるように、側壁のplateを分力計に直接取り付けることによって計測されている。本実験の側壁のplateは高さ0.03m、長さ0.2m、厚さ0.005mであり、侵食面に作用する外力は河床から0.06m～0.15mの高さの範囲で3箇所計測される。

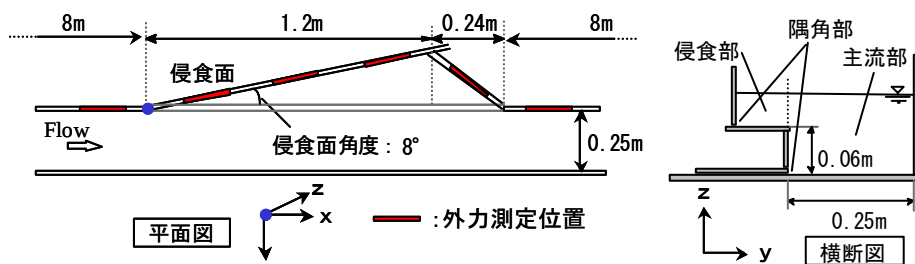


図-1 河岸侵食水路の平面図および横断面図

表-1 河岸侵食水路における実験条件および水理条件

$Q(l/s)$	河床勾配	$h(cm)$	B/h	Re	Fr	外力測定位置(m)
30	1/500	14.14	1.8	56000	0.72	-0.14, 0.28, 0.68, 1.05, 1.32, 1.64

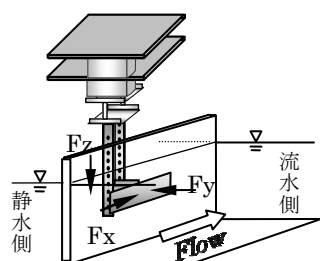


図-2 側壁面に作用する力の測定方法

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \tilde{u}_j \frac{\partial u_i}{\partial \tilde{x}_j} = +\Omega_i - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial \tilde{x}_i} - \tan \phi \frac{\partial p}{\partial \tilde{z}} \right) + \frac{\partial}{\partial \tilde{x}_j} \left\{ \left(\frac{A}{dx} \right)_j \tilde{\tau}_{ij} \right\} \quad (1)$$

$$\frac{1}{V_r} \left(\frac{\partial}{\partial \tilde{x}_i} (A \tilde{u}_i) \right) = 0 \quad (2)$$

$$\text{ここで, } \tan \phi_i = \left(\frac{\partial \tilde{z}}{\partial \tilde{x}}, \frac{\partial \tilde{z}}{\partial \tilde{y}}, 0 \right), \quad \Omega_i = (g_x, g_y, g_z)$$

解析については境界形状の時間的な変化を簡易に表現し得る、FAVOR法²⁾が適用される。FAVOR法とは直交座標系に面積率、体積率を導入して近似的に境界形状を表現する方法である。本解析では、 z 方向に σ 座標が用いられ、以上を考慮した基礎方程式は(1)式、連続式は(2)式ようになる。移流項の計算には一次精度の風上差分が適用され、圧力解法にはHSMAC法、乱流モデルにはSmagorinskyモデルが用いられる。計算領域はスタガード格子に分割され、壁面せん断力は近傍流速を用いて壁法則により与えられる。上流端で流量が、下流端で水位が与えられる。格子数は $133 \times 31 \times 9$ であり、時間ステップは $\Delta t = 0.0001(\text{sec})$ である。

3. 横断面内の流れ場の縦断変化

図-3は、縦断位置 $x=0.68\text{m}$ および $x=1.05\text{m}$ における横断面内の主流速 U のコンターおよび断面内流速 V 、 W のベクトルを示す。ここで、主流速は最大主流速 $U_{\max}$ 、 y 方向は水路幅 $B (=0.25\text{m})$ 、 z 方向は各断面の $y/B=0.5$ における水深 h によってそれぞれ無次元化されている。これによると実験値では、侵食部内で剥離が発生しておらず、主流速コンターの高速の領域が侵食部に大きく張り出している。これは、平面形状の縦断的な変化に伴う

キーワード：ヒサシ状河岸、変動外力、外力の直接測定、FAVOR法

連絡先：広島大学大学院工学研究科社会環境システム専攻 〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1 Tel./Fax.:082-424-7847

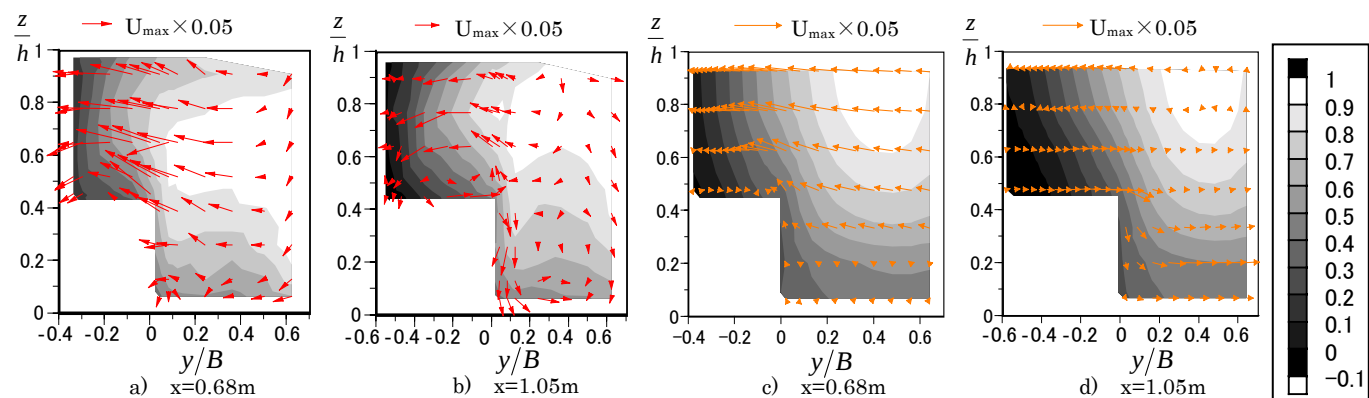


図-3 横断面内の主流速分布および断面内流れ(a, b: 実験値, c, d: 解析値)

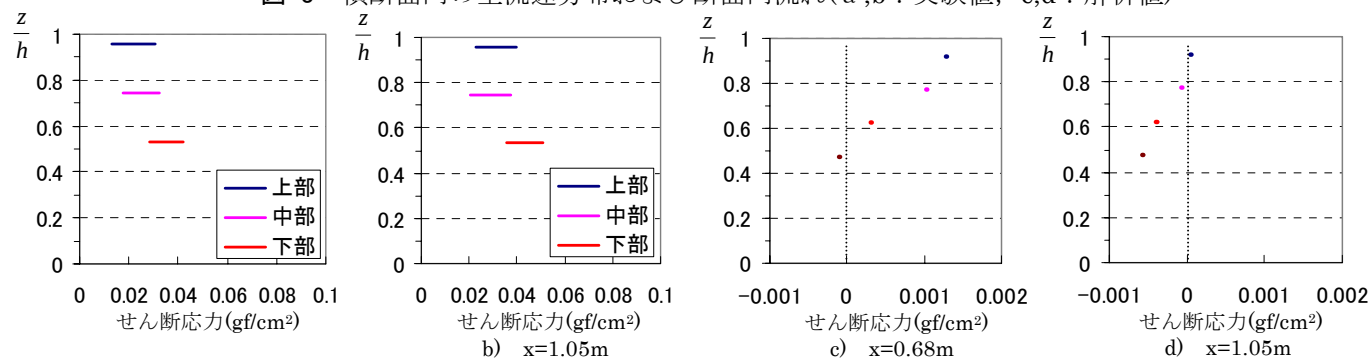


図-4 侵食部の側壁に作用する変動せん断応力(a, b: 実験値, c, d: 解析値)

圧力差による流れが主流速分布を歪ませていると考えられる。特に着目すべき点は、侵食部において隅角部への流れが発生し、二次流が形成されていることである。解析においても実験と同様な断面内の二次流が形成されている。しかしながら、二次流の強さは実験値の半分程度となっている。本解析において断面内流れが小さくなる原因は、侵食部において流れ場が大きく減速され、実験では確認されなかった逆流領域が発生すること、移流解法に伴う数値粘性により乱れ場が平滑化されたことが挙げられる。

4. 侵食面に作用する変動せん断応力

図-4 は縦断位置 $x=0.68\text{m}$ および $x=1.05\text{m}$ における側面に作用する空間平均せん断応力に、せん断応力の時間変動の偏差を幅として表したものの鉛直変化を示している。ここで、横軸はせん断応力を、縦軸は主流部の河床からの無次元化された高さを示している。実験値の図中の上部、中部、下部とはそれぞれ底面から $0.12\text{m}\sim 0.15\text{m}$ (or 水面), $0.09\text{m}\sim 0.12\text{m}$, $0.06\text{m}\sim 0.09\text{m}$ の高さを表している。これらによると、実験値のせん断応力の最大値は下部に発生している。また、流下に伴い、作用するせん断応力が増加している。これらは、流下に伴い大きくなる侵食部底面付近の二次流により、発達した乱れが底面付近に輸送されるためと考えられる。一方、解析におけるせん断応力は著しく低下している。これは図-3 より、流下に伴い侵食部の流れが大きく減衰されるためで、逆流領域においては作用するせん断応力が逆方向となっている。また、せん断応力の変動はほとんど見られない。せん断応力の鉛直分布は二次流強度の低下により、壁面近傍の鉛直流速分布と同様な傾向を示している。以上のように本解析の場合では侵食部の抵抗が大きく、剥離領域が発達することから、河岸侵食が安定している現象を表していると指摘できる。

5. 結論

本実験では侵食面角度 8° の場合でも最大侵食部付近で大きな剥離が発生しておらず、最大侵食部付近において侵食が継続される可能性があることが明らかとなった。また、河岸に作用するせん断応力は、壁面近傍の主流速に加え、侵食部内の二次流の発生位置やその規模に大きく依存することが明確となった。

参考文献

- 1) 福岡捷二, 渡邊明英, 山縣聡, 柏木幸則: 河岸近傍の流速とヒサシ状河岸形成の関係, 水工学論文集, 第 44 巻, pp.759-764, 2000.
- 2) Hirt, C. W.: Volume-fraction techniques: powerful tools for wind engineering, Journal of Wind engineering, Vol.52, pp.333-344