

II - 336

河岸侵食の原因となるノッチ内流れの評価

建設省土木研究所 正員 平林 桂
 同 上 正員 望月 達也
 同 上 正員 藤田 光一

1. はじめに

河岸侵食の機構には、河岸の土質的特性・水量等に応じ様々なものがある。図-1は互層構造の河岸土を持つ河川での河岸侵食機構の一つを概念的に示したもので、まず弱層が侵食されてノッチが形成され、引き続いてオーバーハング部が崩落するプロセスをたどるものである。このような場での侵食対策としては、弱層のみ補強・保護する方法が考えられる。しかし、河岸は水生生物の生育に重要な場であるから、対象とするノッチが今後も拡大

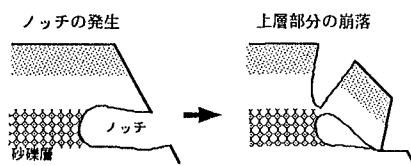


図-1 ノッチを伴う河岸侵食形態

してオーバーハング部の崩落を招くのか、途中で停止するのかを予測したうえで適切な対策を講じるべきである。そのためには、ノッチ内の流れ、特に侵食の発達面である最奥部でのせん断力を評価する必要がある。本研究は水路実験によりノッチ内流れの構造を調べるとともに、ノッチ内流れおよびせん断力を推定する簡易なモデルを作成することによって、実河道におけるノッチの補強・保護の必要性の判断材料に供しようとするものである。

2. 実験の概要

実験は、図-2に示すように幅50cmの直線可変勾配水路の半分にノッチを作成し、その内部の流速分布を直径3mmのプロープを有する電磁流速計で測定するものである。実験ではノッチの開口幅Hを15cmおよび25cm、横断幅Lを25cmとし、それぞれについて河床勾配を1/2000、1/1000、1/750と変化させた。流速測定結果の一例を図-2に示す。ノッチ開口部付近で流速が大きく、奥に行くに従い小さくなる流速分布を呈しており、ノッチ内流れが主流からの運動量輸送に大きく依存していることがわかる。また、ノッチ内中央付近に流速のピークが見られ、管路的な流れとしての性質をも有している。このような基本的な流れの構造に加え、ノッチ開口部付近では顕著な斜昇流が見られ、開口部の隅角部近傍の流速を遅くしている。なお、ノッチ内上面近傍で流速が遅くなっているのは、流速測定のために上面に空けた穴を介して低流速流体がノッチ内に供給されたからであるので、ノッチ内の流れの特徴を読みとるには下半分に注目する必要がある。

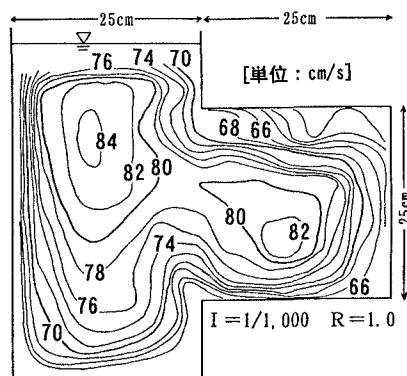


図-2 等流速線図(実験)

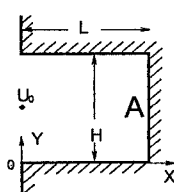


図-3 座標系

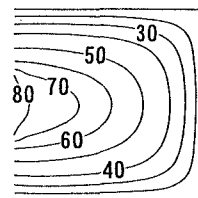


図-4 等流速線図(計算)

3. ノッチ内流れの解析

ここではノッチ内流れを簡単なモデルで表現し、ノッチ内流れとノッチ形状および流れの条件との関係について調べ

KEYWORDS: 河岸侵食、層流、流速分布、二次流

連絡先（茨城県つくば市大字旭1番地 TEL0298(64)2211 FAX0298(64)1168)

る。図-3に示す系において、ノッチ内の流れは主流方向に変化しないこと、渦動粘性係数は一定と見なせ、かつ式(1)のようにおけること、 $x=0$ での流速分布がsine曲線の半波長で近似できることを仮定すると、ノッチ内流れは次のように表すことができる。

[運動方程式]

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} = -\rho g I \quad \tau_{xz} = \rho \varepsilon \frac{\partial u}{\partial x} \quad \tau_{yz} = \rho \varepsilon \frac{\partial u}{\partial y} \quad \varepsilon = \alpha \cdot H \cdot u_0 \quad (1)$$

[境界条件]

$$u(x, 0) = u(x, H) = u(L, y) = 0 \quad u(0, y) = u_0 \sin(y\pi / H) \quad (2)$$

[解]

$$\frac{u}{u_0} = \frac{\sinh\{R\pi(1-\xi)\}}{\sinh R\pi} \sin \pi \eta - \frac{4}{\pi^3 \alpha \psi} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \left(\exp(-Rn\pi) - 1 \right) \frac{\sinh\{Rn\pi(1-\xi)\}}{\sinh Rn\pi} - \exp\{-Rn\pi(1-\xi)\} + 1 \right\} \frac{\{(-1)^n - 1\}}{n^3} \sin n\pi \eta \quad (3)$$

$$\tau_{xz} = \rho \varepsilon \frac{\partial u}{\partial x} \quad \tau_{xz}^* = \frac{\tau_{xz}}{\rho g H I} \quad R = \frac{L}{H} \quad \xi = \frac{x}{L} \quad \eta = \frac{y}{H} \quad \psi = \frac{u_0}{\sqrt{g H I}}$$

ここに、 τ ：せん断力、 ρ ：水の密度、 u ：流速、 g ：重力加速度、 I ：河床勾配、 ε ：渦動粘性係数、である。図-4は図-2と同じ条件下での計算結果を示したものである。計算結果はノッチ出口で流速が大きく、奥に行くに従って小さくなるというノッチ内流れの大まかな特徴を再現している。しかし、定量的には一致せず、実際の流れでは流速の大きな領域がノッチ内全体に広がっていることがわかる。この主原因はモデルにおいて ε を平面的に一定に置いていることによる。

次に、ノッチの発達にとって最も重要な意味を持つ最奥部でのせん断力に注目する。図-5はノッチ内最奥部で最大せん断力が発生する図-3のA点でのせん断力とノッチのアスペクト比 R との関係、 ψ を内部パラメータとして表したものである。ここで、式(1)の α は実験により求められた流速分布に合うよう調節し0.008としている。この値はノッチを管路と考えHagen-Poiseuille flowを仮定した場合の平均流速とノッチ表面の粗度係数を与えたマニング式による平均流速とが一致するための条件をほぼ満たすことから概ね妥当なものであると考えられる。図には、上記2の実験により得られたノッチ内の等流速分布図をもとに面積法によって求めたせん断力も合わせて記入してある。実験データが乏しいという問題はあるものの、本モデルは R の増大によりせん断力が減少するというノッチ内流れの本質的な特徴を定性的には再現できるとみなすことができる。ただし、定量的に見ると実験結果のほうが大きめの傾向を示しており、 $R=1.67$ で最大1.5倍程度、 $R=1.0$ で最大2倍程度の誤差を有している。 $R=1.0$ のほうが誤差が大きいのは、ノッチ出口の斜昇流の発達に伴い生じるノッチの高さ中央付近での x 方向の二次流による運動量輸送を無視した影響がより顕著にあらわれたためと考えられる。

<参考文献>宮沢直季・荻原能男(1992)：長方形断面開水路における流速・せん断応力分布、第47回年講概要集、pp. 206-207。

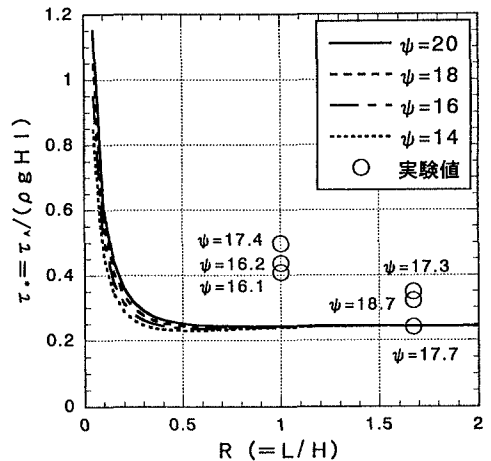


図-5 A点での τ_{xz} と R との関係