

法面粗度の制御による曲線部外縁部の洗掘防止について

立命館大学 大学院 学生員 小澤 和弘
 神戸市 池田 剛巳
 立命館大学 理工学部 正 員 大同 淳之

1. はじめに 弯曲部の外岸側局所洗掘を防止する方法として、さまざまな工法が存在するが、どれも施工の難しさ、流水断面面積の縮小という問題点を持っている。本研究では弯曲部外壁に棧粗度を施すことによって二次流の流向を変え、外岸側の洗掘を防止することを試みた。昨年までの研究において、長方形横断面水路の場合では良好な結果を得ている。今回は、水路の横断面形状をさらに自然河川のそれに近い台形横断面として実験をおこなった。

2. 実験概要 実験水路は幅40cm、高さ20cm、外壁を45°外側へ傾けた台形横断面をもつ中心半径240cm、角度120°の弯曲水路である。また河床勾配は1/500で上流側に3m、下流側に2mの直線部を接続している。流速の計測には3mmプロベラ流速計と三次元電磁流速計を使用し、プロベラ流速計での流速の測定はサンプリング間隔0.1sで5s間の平均値を用いた。棧には約1cm角の角棒を用い、上部を下流側に1:2の傾きをつけて10cm間隔で外壁斜面に張り付けた。測定は弯曲開始から60°、90°、120°の3断面でおこなった。実験は棧粗度の有無、滑面・粗面・移動床、水深10・12cmのそれぞれの組み合わせでおこなった。移動床の砂の平均粒径は0.6mmである。

3. 考察

3-1 実験による観察 長方形断面の滑面の場合の二次流流速分布図を図-1に、台形断面の移動床の場合の同図を図-2に示した。棧粗度なしの場合、台形・長方形断面ともに水面付近では外側に、底部では内側に流れる二次流が観察された。棧粗度ありの場合、長方形断面では棧粗度の効果が全断面において現れている。この効果は台形断面で滑面の場合にも同様である。台形断面では外縁部の二次流の流向が逆転し、洗掘されるはずの外縁部河床には逆に砂が堆積していることがわかる。また全ての移動床の実験において局所洗掘軽減効果が確認された。

3-2 数値計算による二次流流速の算出 数値計算は差分法でおこなった。二次流の流速 V 、 W を流関数を含む式(1)¹⁾で表し、かつ ψ は式(2)のように ψ_1 と ψ_2 の和で表す。 ψ_1 は外壁斜面上に一定の上昇流の流関数 C が与えられ、残りの境界面で $\psi_1=0$ を満たす $\nabla^4 \psi_1=0$ の解とし、 ψ_2 は式(4)¹⁾で全ての境界面で $\psi_2=0$ の条件を満たすものとする。その解は ψ_1 については式(3)、 ψ_2 については式(4)になる。なお、使用した座標・流

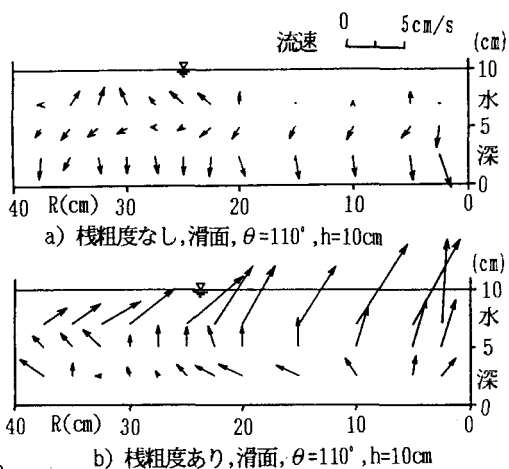


図-1 長方形横断面水路二次流流速分布

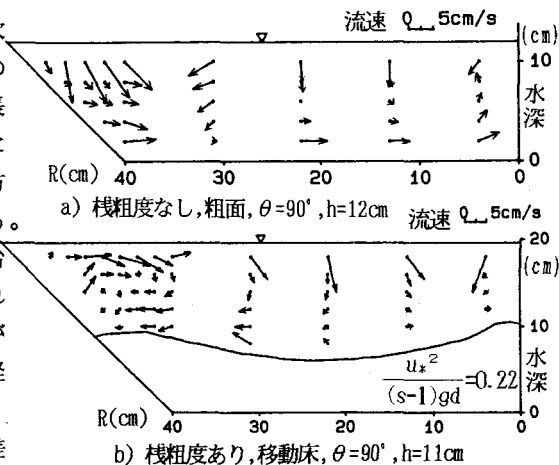


図-2 台形横断面水路二次流流速分布

速記号を図-3に示す。

$$V = \frac{1}{R} \frac{\partial \psi}{\partial Z}, \quad W = -\frac{1}{R} \frac{\partial \psi}{\partial R}$$

$$\psi = \psi_1 + \psi_2$$

$$\psi_1 = \sum_{n=1}^{\infty} C \left(1 - \frac{R_x}{B}\right) \exp\left(-\frac{\beta \pi R_x}{H}\right) \sin \frac{\beta \pi Z}{H}$$

$$\frac{\partial^4 \psi_2}{\partial Z^4} + 2 \frac{\partial^4 \psi_2}{\partial Z^2 \partial R^2} + \frac{\partial^4 \psi_2}{\partial R^4} = -\frac{1}{\varepsilon} U \frac{\partial U}{\partial Z}$$

長方形断面および台形断面での二次流の数値計算の一例としてCに30000を与えたときの計算結果を図-4に示す。Cが同値であっても、外縁底部の二次流の逆転範囲が長方形断面では8cm、台形断面では6cmと、台形断面では長方形断面に比べ棧粗度の影響範囲が若干小さくなっている。

3-3 棧粗度の適用範囲について 実験による観察の結果、棧粗度が局所洗掘防止に影響を与える範囲は外縁部から水深と同程度までであることがわかった。我々の実験では $B/h = 3.6$ 程度で良好な結果を得ている。 B/h が大きな水路の場合、二次流の流向の逆転範囲が流路幅に比べ小さくなるが、護岸に必要な洗掘防止範囲は外縁部から水深と同程度までであれば十分であるので問題はない。

3-4 棧粗度による主流流速分布の変化 棧粗度あり、なしの場合の主流の流速等値線を図-5に、同条件の二次流分布を図-6に示す。棧粗度によりその付近の主流流速は減速されるため、最大流速点の位置が外岸寄りから内岸へ移動している。また減速された主流成分の一部は上昇流として二次流成分に変換されていると考えられる。

4. おわりに 長方形断面水路でおこなってきた棧粗度による局所洗掘軽減の試みは台形断面水路でも同様の成果をあげた。また、護岸に必要な、外岸から水深程度までの範囲の洗掘防止が可能ながわかった。今後、境界条件Cと棧粗度の規模の関係をづけ、数値計算結果と実験結果との対応をつける。また、模型と実物との関係を求めて実際河川への傾斜棧型粗度の適用も考慮していく予定である。

参考文献

- 1) Hideo KIKKAWA, Shunsuke IKEDA, Hideo OHKAWA and Yukio KAWAMURA: SECONDARY FLOW IN A BEND OF TURBULENT STREAM, PROC. OF JSCE, NO.219, NOV.1973
- 2) 大同 淳之: 護岸粗度の制御による局所洗掘の防止、水工学論文集第35巻、1991年2月

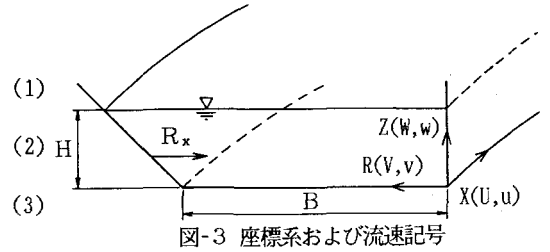


図-3 座標系および流速記号

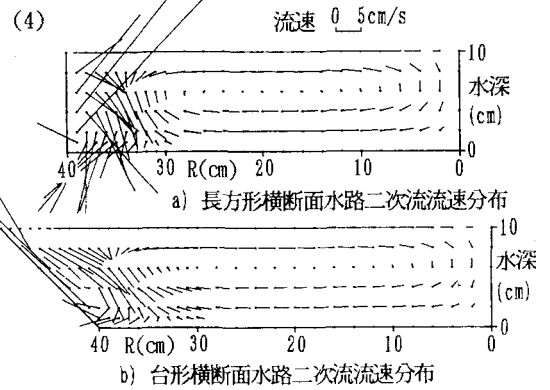


図-4 数値計算結果(C=30000)

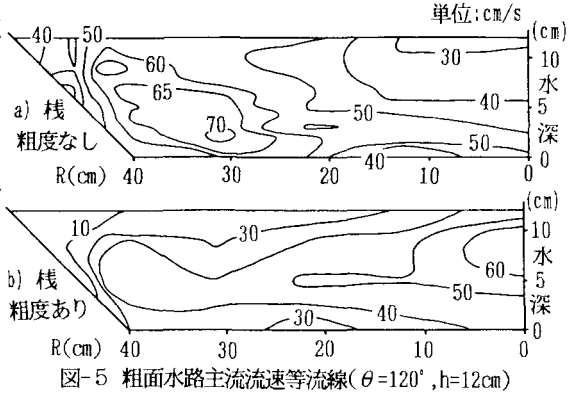


図-5 粗面水路主流流速等流線($\theta=120^\circ$, $h=12\text{cm}$)

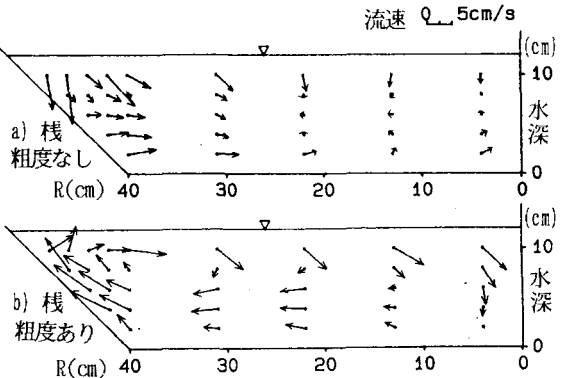


図-6 粗面水路二次流流速分布($\theta=120^\circ$, $h=12\text{cm}$)