

II-98

弯曲河道における流れの集中に関する研究

(株)ニュージェック
立命館大学理工学部
立命館大学院
(株)ニュージェック

正会員 守田 克成*
正会員 江頭 進治**
学生会員 三浦 孝夫**
正会員 大槻 英樹*

1. はじめに

自然石や人工材料などを活用した多自然型護岸には治水目的を損なわない機能が求められる。しかし、どのような河道条件の下で、どの程度の流体力が生じ、護岸がそれに耐えうるのかは必ずしも明らかではない。特に、河道弯曲部においては河道形状および内岸砂州の影響に伴う流れの集中や二次流に伴う局所的な洗掘など現象が複雑なため、流体力の一般的評価は難しい。本稿では、主として数値解析手法を用いて、移動床河道弯曲部で生ずる流れの集中や局所洗掘に対する弯曲中心角 θ 、河道中心までの曲率半径 r と川幅 B との比 r/B 、無次元掃流力 τ_b などの影響について検討する。

2. 数値解析の概要およびモデルの妥当性

数値解析においては、境界適合型直交曲線座標系による二次元平面流モデルおよび水深方向に静水圧近似した準三次元モデル⁽¹⁾を用いる。鉛直方向の座標系には、自由水面と起伏ある河床の時間的变化を表現できるシグマ座標系 $(\theta=(z-Z_b)/h)$ を採用する。流砂量式には芦田・道上式⁽²⁾を用いる。

実験は、弯曲中心角 90° の台形断面移動床水路を用いて行い、河岸部には法覆および根固工が敷設されている。図1は護岸の敷設状態を表したものである。低水路中心線上での曲率半径は2.05m、上下流にそれぞれ5.0、4.0mの直線区間がある。表1は実験条件を示す。河床が概ね平衡状態に達した状態、本条件では通水開始から9時間後において、プロペラ流速計で流速を測定している。

図2(a)~(c)は水位・河床位の横断形状に関する弯曲出口における実験値、二次元平面流れ及び三次元流れによる計算結果である。いずれの場合においても、通水後3時間を経過すると顕著な河床変動は見られず、概ね平衡状態にあると判断される。内岸部の堆積厚および外岸部の侵食深は、いずれもほぼ同様である。しかし、外岸部根固工付近の横断形状に若干の相違が見られる。実験においては、根固工の近傍の河床材料が活発に移動することから、砂粒子の摩擦角より横断勾配が大きくなり、根固工の粒子が崩落することが認められた。二次元計算においては、実験と同様に根固工の一部が崩れている。三次元計算では、法尻近傍の横断形状が滑らかに算定され、上述のようなことは起こらなかった。

図3は、流れの集中度 $(u_{bank}/u_m)^2$ の縦断分布である。図には実験値、二次元および三次元の計算結果が示されている。ここで、流れの集中度は上流直線部分の断面平均流速と局所的な水深平均流速の比を二乗したものである。実験値と二次元計算の結果

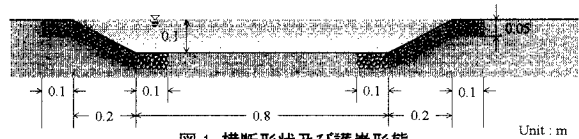


図1 横断形状及び護岸形態

表1 実験及び計算条件

弯曲中心角	r/B	河床勾配	法面勾配	流量 [l/sec]	河床材料 [mm]	法覆工 [mm]	根固工 [mm]
90	2.05	1/500	1:2	40.4	1.13	5.34	9.75

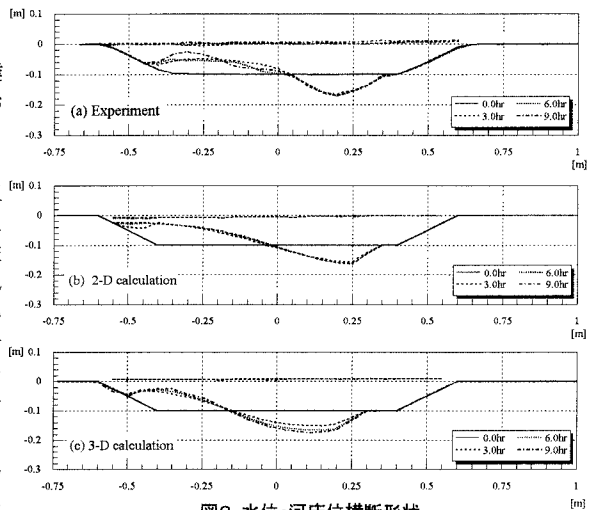


図2 水位・河床位横断形状

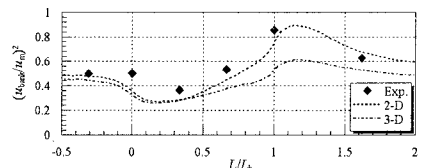


図3 河岸部における流れの集中度

Keywords: Curved channel, Flow intensity, Bed shear stress

* 〒542-0082 大阪市中央区島之内 1-20-19
** 〒525-8577 草津市野路東 1-1-1

TEL 06-6245-4901
TEL 077-561-2732

FAX 06-6251-4633
FAX 077-561-2667

はほぼ一致している。三次元モデルによる計算結果は弯曲出口付近で小さい値になっている。これは、図2における横断形状や図4に示す平衡河床上的水深平均流速分布からもわかるように、外岸部に敷設された護岸および根固工の粗度効果が過大に評価されたためであると考えられる。

3. 流れの集中度と最大洗掘深

上述の河床変動モデルを用いて流れの集中に及ぼす τ_* 、 r/B 、 θ の影響を調べる。計算に用いた河道条件は図5に示すとおり、川幅を100m程度とし、河岸侵食は考慮せず、河岸は固定する。根入れは法面をそのまま延長する形で設けている。河岸粗度は、河床材料と等しくする。計算条件は、表2に示すように、河道平面形状および水理条件の相違を考慮して弯曲中心角 θ 、 r/B および無次元掃流力 τ_* に着目して定められている。

図6は外岸部法尻付近における流れの集中度の最大値を示し、図7は最大洗掘深を示したものであって、いずれも横軸に r/B を取り、 θ および τ_* をパラメータとして示されている。図中の描点は

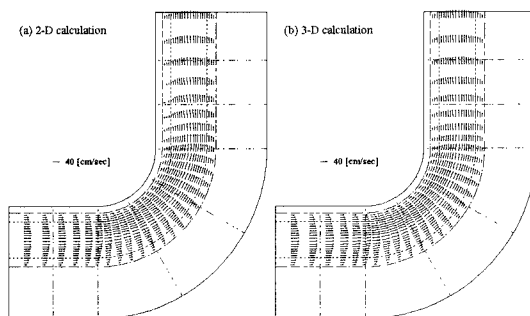


図4 水深平均流速分布

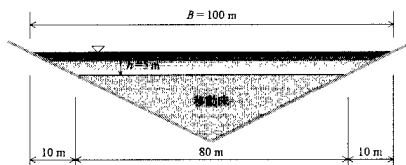


図5 横断形状

表2 二次元および三次元流れの計算条件

	θ [deg]	h [m]	B [m]	i_b	r [m]	r/B	τ_*	d_m [m]	Q [m ³ /sec]	v [m/sec]	F_r	h/B			
RunVL21	60	5.0	90	1/1000	200	2.22	0.1	0.030	1644	3.65	0.52	0.056			
RunVL22							0.2	0.015	1816	4.04	0.58				
RunVM21					500	5.56	0.1	0.030	1644	3.65	0.52				
RunVM22							0.2	0.015	1816	4.04	0.58				
RunWL21	90				200	2.22	0.1	0.030	1644	3.65	0.52				
RunWL22 ¹⁾							0.2	0.015	1816	4.04	0.58				
RunWM21					500	5.56	0.1	0.030	1644	3.65	0.52				
RunWM22 ¹⁾							0.2	0.015	1816	4.04	0.58				
RunXL22 ¹⁾	120				200	2.22									
RunXM22 ¹⁾					500	5.56									

1)二次元および三次元計算

二次流れの計算値で、破線は三次元流れの計算値である。

平面二次元流れを用いた計算結果に着目すると、流れの集中度、最大洗掘深ともに、曲率半径が小さくなると増大していることがわかる。 $\tau_*=0.2$ の結果に着目すると、 $r/B=2.2$ のときの最大洗掘深は、 $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$ においては弯曲中心角 θ の影響をほとんど受けないが、 $\theta=60^\circ$ の場合の流れの集中度は、 $\theta=90^\circ$ および 120° のときの値よりかなり小さくなっている。曲率半径が大きい $r/B=5.6$ の結果においては、流れの集中度および最大洗掘深に対する θ の影響は小さくなる。次に、流れの集中度および最大洗掘深に対する τ_* の影響について、 $\theta=90^\circ$ で $\tau_*=0.1$ (白丸)と $\tau_*=0.2$ (黒丸)の結果についてみると、流れの集中度および最大洗掘深ともに θ 、 r/B の大小に関わらず τ_* の影響を顕著に受けていることがわかる。

三次元流れを用いた解析結果では、 $\tau_*=0.2$ 、 $r/B=2.2$ の条件の下においても流れの集中度におよぼす弯曲中心角 θ の相違の影響が顕著に見られない。最大洗掘深においては、平面流れによる解析結果と概ね一致した結果となった。検証計算においても流れの集中度が三次元流れによる解析結果の方がやや小さく算定されおり、モデルの妥当性について更なる検討が必要である。

4. おわりに

河道弯曲部における、流れの集中と局所洗掘は r/B および τ_* に大きく依存する。今後、モデルの妥当性に関して更なる検討を重ね、有益な情報を提供して行きたい。

参考文献

- 1) Jin, H.S., Egashira, S. and Liu, B.Y.: 3-D numerical solution of flow in sine-generated meandering compound channel, Proceedings of the 27th IAHR Congress, San Francisco, USA, 1997.

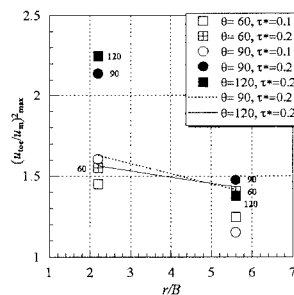


図6 流れの集中度の最大値

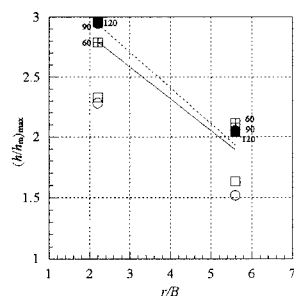


図7 最大洗掘深