分流・合流部における河床変動の数値シュミレーション

九州工業大学大学院	学 生 会 員	丸野 泰宏	九州工業大学工学部	正 会 員	重枝	未玲
九州工業大学工学部	フェロー会員	秋山壽一郎	九州工業大学大学院	学生会員	才木	康裕

1.はじめに

近年,治水と環境とが調和した川づくりが求められている.河道内の中島は,河川生物の良好な生息環境の提供などの環境 機能を有していることから保全される方向にある.中島周辺での分合流部は,治水上重要な箇所であることから,合流あるい は分流部での砂州の動きや土砂堆積が,水位や分流量に対して土砂動態を把握することが極めて重要であることがわかる.

本研究では、以上のような背景を踏まえ、分流および合流部を有する河道での河床変動が予測可能な数値モデルの構築を目 的としている.ここでは,まず,分流部および分合流部を有する河道での河床変動に関する実験を行い,流路幅の変化が流れ と河床変動に及ぼす影響を実験的に検討した.次に,著者らが構築した河床変動モデルを同実験結果に適用し,その適用性に ついて検討した.

## 実験の概要

実験装置は,図-1に示すようなものを用い,分流部を設けた Case1,分合流部を 設けた Case2 の二通りを行った.隔壁の設置位置により,流路幅比(左岸側の流路幅 a/右岸側の流路幅 b)を a/b=1,2,3の三通りに変化させた.実験条件は,表-1 に示 す通りである.水路に水中比重 s=1.65 粒径 d=0.00075m の砂を一様な高さ 0.056m, 河床勾配 1/400 で敷き詰め , 一定流量 Q=0.006m<sup>3</sup>/s を通水し , 動的平衡状態となっ た後,測定を行った.

測定項目は,水位と河床高である.なお,Case1 では配分流量と流砂量を測定し た.水位と河床高の測定点は,上流から2m地点からCase1は5.5m地点まで、Case2 は 6.5m 地点まで, 縦断・横断方向にいずれも 0.05m とした. ただし, Case1-C およ び 2-C においては測定点が十分にとれないため , 横断方向に 0.025m 間隔の測定点 を加えた.測定には砂面測定器を用いた.また,Casel の分流後の左右岸水路の流 量,流砂量は,それぞれ下流端から排出される流量および流砂量をバケツで回収し, |流量は一定量のバケツが満杯になるまでの時間を測定することで , 流砂量は回収し た砂を体積に換算することで算出した.



図-1 実験装置

1	実験条	4

	Case		水路内状況	左岸流路幅(m)	右岸流路幅(m)		
	1	Α		0.170	0.170		
		В	分流部のみ設置	0.227	0.113		
	С		0.255	0.085			
	2	Α	八达如 人达如	0.170	0.170		
		В	方流部・言流部を設置	0.227	0.113		
	С	ご以直	0.255	0.085			

3.数値解析の概要

(1) モデルの概要

本研究で用いたモデルは,著者らがフラッシング排砂の数値解析に用いたモデル<sup>1)</sup>と概ね一緒であるが,摩擦勾配について は小規模河床形態による抵抗則の違いが考慮できる Krishnappan<sup>2</sup>のものを導入した.流れの基礎方程式は2次元浅水流方程式, 河床変動の基礎方程式は流砂の連続の式であり、式(1)で表される · 摩擦勾配は、Krishnappan<sup>2)</sup>に従い、摩擦勾配と地盤高勾配 は式(2)および式(3)で表される.

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{1}{1 - \lambda_b} \left( \frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} \right) = 0 \quad (1) \quad S_{ox} = -\frac{\partial Z_b}{\partial x} \quad , \quad S_{oy} = -\frac{\partial Z_b}{\partial y} \quad (2) \quad ; \quad S_{fx} = a_1 \left( \frac{R}{d_*} \right)^{a_2} \left( \frac{u|u|}{gR} \right)^{a_3} \quad (3)$$

ここに , λ<sub>b</sub>=河床材料の空隙率 , q<sub>Bx</sub> , q<sub>By</sub>= x , y 方向の流砂量 , d<sub>\*</sub>= 平均粒径, R=径深, また a1, a2, a3 は河床形態に応じた係数で あり,岸・黒木の抵抗則<sup>3)</sup>を用いると,表-2のようになる.ここ に,表-2中のY,ZはそれぞれY=hS<sub>f</sub>/sd,Z=h/d,s=砂の水中比重, d=平均粒径である.

|流砂量式には , 河床勾配が流砂量に及ぼす影響を考慮したも のを用いた.なお,流砂量式 qBには芦田・道上の式を適用し, 掃流力,限界掃流力については斜面の影響を考慮した掃流力と限界掃流力を用いた.

$$q_{Bs} = q_B \left( \frac{\tau_{*s}}{\tau_*} - \frac{1}{\sqrt{\mu_s \mu_d}} \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}} \frac{\partial z_b}{\partial s} \right) (4) ; \ q_{Bn} = q_B \left( \frac{\tau_{*n}}{\tau_*} - \frac{1}{\sqrt{\mu_s \mu_d}} \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}} \frac{\partial z_b}{\partial n} \right)$$
(5)

ここに, q<sub>Bs</sub>, q<sub>Bn</sub>=主流方向, 主流直角方向の流砂量, τ<sub>\*</sub>=無次元掃流力, τ<sub>\*c</sub>=無次元限界掃流力, τ<sub>\*s</sub>, τ<sub>\*n</sub>=斜面の影響を考慮し たs, n方向の掃流力,  $\tau_{*=}(\tau_{*s}^{2}+\tau_{*n}^{2})^{1/2}$ ,  $\mu_{=}$ 静止摩擦係数,  $\mu_{\vdash}$ 動摩擦係数である.

表-2 抵抗測

抵抗	則		適用範囲			<i>a</i> <sub>1</sub>		$a_2$	<i>a</i> <sub>3</sub>
Kishi and Kuroki	Dune		Y < 0.02Z	1/2		0.0052	2	1.0	3.0
	Dune		Y = 0.02Z	1/2		0.013		0	1.0
	Transiti	on	$0.02Z^{1/2} <$	Y	$0.07Z^{2/5}$	0.018( ,/	)6/7	-3/7	1/7
	Flat bed		$0.02Z^{5/9} <$	Y	$0.07Z^{2/5}$	0.021		-1/3	1.0
	Antidun	es	Y > 0.07Z	2/5		0.021( <sub>s'</sub>	/ ) <sup>2</sup>	1/5	3.0
		$0.375 < d_{50}(\text{mm}) = 0.93$							

表-

II-029

基礎方程式の離散化は有限体積法に基づき行った.時間積分には Euler の 陽解法を,空間積分には常・射混在流が安定して計算できる流束差分離法を 用いた.計算格子には,任意の河道形状が再現可能な非構造格子を用いた. (2)解析条件の概要

解析の初期条件は,実験の初期条件と同様な河床高,水深と流速は一定値を与えた.上・下流端の境界条件は,流れについては実験条件と同様な流量・水位を,河床については河床高を与えた.水路壁面は閉境界条件を与えた.なお,今回の解析では,砂州の再現計算に必要な河床の微小擾乱や周期境界条件あるいは上流端で流入流量に周期的な擾乱を与える境界条件などは用いていない.摩擦勾配の係数は*a*<sub>1</sub>=0.0052,*a*<sub>2</sub>=1.0,*a*<sub>3</sub>=3.0 とした.

## 4.結果と考察

図-2は、Case1-Aおよび Case2-A についての河床高コンター図の実験値の 一例と解析結果を示したものである.これより、実験値(Exp.)については、両方の Case においても、分岐部上流側で明確ではないものの砂州の発生していること、分流部付 近の側壁で周辺よりも河床高が低く洗掘が生じ、その下流では側壁付近で周辺よりも 河床高が高く土砂が堆積すること、Case2-A では合流部下端で土砂が堆積しているこ となどが確認できる.一方、解析結果(Num.)については、分流部先端付近で若干では あるが河床が低いことを表す緑が濃くなっており洗掘が生じること、その下流では河 床が上昇することを表す黄色が濃くなっていることから側壁付近に土砂が堆積する こと、などについては再現できるものの洗掘については過小に評価していることが確 認できる、分流部周辺の洗掘と砂州の発生を再現できていない理由としては、分岐部 周辺では3次元性の強い流れが生じるため、そこでの局所洗掘については平面2次元 モデルでは取り扱えないこと、砂州の発生を再現するためには、初期条件や境界条件 に微小擾乱を生じさせる必要があるが、これらを考慮していないことが考えられる.

図-3は、Case1-A及びCase2-Aについての分流中心軸と分流後の両水路の中心軸に おける水位および河床高の縦断変化を示したものである.これらより、解析結果と実 験値を比較すると、いずれの断面についても局所洗掘等は再現できていないものの、 平均的な河床高は概ね再現できていることがわかる.また、水位を比較すると、実験 値の水位は、解析結果の水位に比べて平均的に2割程度上回っていることが確認でき る.「河道計画検討の手引き」<sup>4)</sup>によると、今回の水面幅と水深の比は 10 程度でデー タが存在しないものの、その周辺では平均で10%程度、最大で20%程度の水位上昇率 を示していることから、このような誤差は砂州による水位上昇によって生じたと考え られる.

図-4は,分流後の流量,流砂量と流路幅水路幅比との関係を示したものである.こ れより,実験値,解析結果のいずれも流量および流砂量ともに,流路幅水路幅比が大 きくなると増加すること,その関係はおおよそ線形であることも確認できる.また, 解析結果は実験値を概ね再現していることも確認できる.このように,本モデルは分 流流量や流砂量を予測することができることがわかる.

以上から,本モデルは,砂州の発生やそれに伴う水位上昇については再現できない ものの,分・合流部での平均河床を十分な精度再現できることが確認された. 5.おわりに

本研究では,同モデルが分流および合流部を有する河道での砂州の発生やそれに伴う水位の上昇等を再現できないものの,平均的な河床については予測可能であることが確認された.今後は,境界条件等について検討し,砂州が発生する条件での解析を行い,砂州が分流量等に及ぼす影響について検討したいと考えている. 参考文献



図-2 河床コンターの実験結果と解析結果

との比較 (Case1-A,Case2-A)



図-3 水位および河床高の縦断変化 の比較(Case1-A,Case2-A)



- 1) 重枝未玲,秋山壽一郎,小牧貴大,才木康裕:平面2次元河床変動モデルによるフラッシング排砂時の水みち形成プロセスの数値解析, 水工学論文集,第51巻,pp.949-954,2007.
- 2) Krishnappan, B. : Modeling of unsteady flows in alluvial streams, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.111, No. 2, pp. 257-266, 1985.
- 3) 岸力,黒木幹男:移動床における河床形状と流体抵抗(I),北海道大学工学部研究報告, No. 67, pp. 1-23, 1973.
- 4) 財団法人 国土技術研究センター (編):河道計画検討の手引き,山海堂,2002.