

相似模型による河床変動の検討

京大防災研 正員 芦田 和男, 京大防災研 正員 村本 嘉雄
運輸省 正員 小笠 博昭, 京大 学生員 瓶子 進
京大 学生員 奥 孝彦

(1)はしがき 移動床模型実験は数値計算によって明らかにしにくい局所改掘, 水工工作物の影響, 砂州の挙動などの河床変動現象の解明のためにしばしば行なわれる。実験にあたっては粗度係数の相似が得られることが前提とされるが, 河村¹⁾などによって示された移動床の相似条件式の適用性²⁾に対する検討はまだまだ不十分である。Znamenskaya³⁾はFroude数と $\frac{v}{w}$ (v : 流速, w : 河床砂の沈降速度) による河床形態領域区分図において, 波形こう配が同一になることをもって相似の条件としているが, その適用性も十分明らかになっていない。本研究は瀬田川支川大戸川の下流部4km区間について $\frac{1}{100}$ 縮尺(A水路), $\frac{1}{500}$ 縮尺(B水路)の二種類の歪のない模型を製作し, 主にA, B水路間の流れおよび河床変動の相似性について検討した。また, 原型, 模型間の砂州の幾何学的相似性に注目して検討した。

(2)模型実験の概要 模型範囲は図4に示すように約3波長の蛇曲河道を呈しており, 7個の落差工, 多量の土砂を供給する支川が含まれていることが特長である。既往最大流量の $1000\text{ m}^3/\text{s}$, 計画高水流量の $500\text{ m}^3/\text{s}$, 2~3年確率洪水流量の $200\text{ m}^3/\text{s}$ を対象流量とし, Froude相似にしたがって各水路の流量を表1に示すような条件で実験を行なった。原型および模型水路における河床材料の粒度分布と材料特性の諸元を図1に示す。

(3)流れの相似性

図2は流れの相似性に大きな影響を及ぼす摩擦係数 f について掃流力 τ_b および Re 数との関係を調べたものである。

Exp. No.	水路名称	流量	断面形状	縮尺	備考
1	A	$5\frac{1}{2}\text{ sec}$	$16'19"$	$\frac{1}{100}$	
2	-	2	$32'11"$	$\frac{1}{200}$	
3	-	10	$8'00"$	$\frac{1}{200}$	
4	-	$12\frac{1}{2}\text{ sec}$	$49'00"$	$\frac{1}{200}$	10 sec 主水路, 2 sec 支川, 主水路
5	-	5	$8'00"$	$\frac{1}{200}$	Sec 9-5 において砂
6	-	5	$16'00"$	$\frac{1}{200}$	落差工設置
7	-	5	$17'00"$	$\frac{1}{200}$	下流端セメント
8	B	$180'14"$	$8'07"$	$\frac{1}{500}$	
9	-	90	$4'00"$	$\frac{1}{500}$	

表1 実験条件

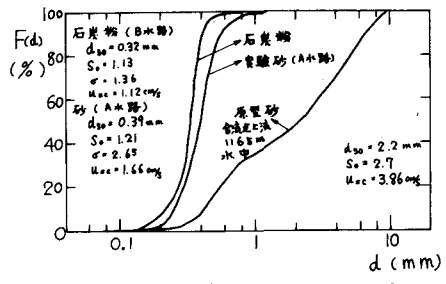
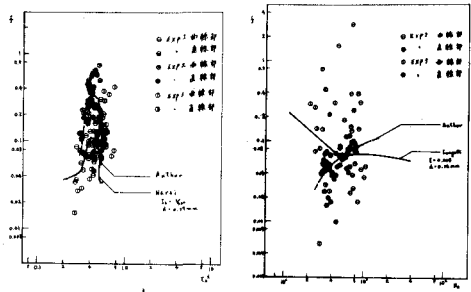


図1 河床材料



$f \sim \tau_b^{1/2}$ 図2 $f \sim Re$

Exp.	1	2	3	4	4	5	6	7	8	8	9
Q (sec)				$Q=10\%$	$Q=2\%$				$T=2\text{ hr}$	$T=8\text{ hr}$	
H (cm)	2.5	1.95	3.65	4.2	2.5	2.7	3.5	5.0	3.6	4.9	1.7
h の変動	1.5-6.9	1.0-4.0	2.4-13.6	2.5-12.8	1.6-7.6	1.9-7.3	2.4-11.7	2.3-1.6	1.3-12.0	2.1-11.1	1.0-40.9
U (cm/s)	28	16.5	40	36	13.5	26	19	21	40.8	29.1	46.6
U の変動	19-41	10-30	23-54	17-52	8.5-17	15-36	6.2-29	6-32	14.6-79.7	17.5-67.0	12.5-30.4
F_r	0.54	0.35	0.68	0.60	0.25	0.46	0.34	0.34	0.68	0.41	0.82
F_r の変動	0.28-0.91	0.2-0.7	0.2-0.9	0.20-0.88	0.08-0.4	0.20-0.81	0.04-0.4	0.07-0.4	0.14-1.53	0.14-1.38	0.14-1.68
m_s	0.020	0.035	0.020	0.023	0.045	0.029	0.035	0.033	0.022	0.039	0.016
τ_b の変動	0.01-0.04	0.01-0.05	0.01-0.05	0.01-0.05	0.01-0.05	0.01-0.05	0.01-0.05	0.01-0.05	0.01-0.05	0.01-0.05	0.01-0.05
U_{bc} (%)	3.25	3.0	4.0	4.25	3.25	3.8	3.8	3.5	3.4	4.0	2.5
U_{bc} の変動	1.55-4.77	2.25-3.8	2.0-3.9	1.5-3.7	2.6-4.9	2.6-7.5	2.6-7.5	2.6-7.5	2.2-8.2	2.2-6.6	1.1-4.1

表2 平均水理量

Exp. 1 は Dunes の領域, Exp. 2 は Ripples の領域, Exp. 3 は Dunes の崩壊領域, Exp. 8, 9 は層流から乱流への遷移領域にあると考えられる。また Exp. 1 ~ 3 の f に対して河道蛇曲

の影響がみられ、直線河道の場合より γ が大きくなっている。つぎに幾何学的相似および Froude 相似にもとづいて、A 水路の値に換算した水理量を比較すると表 2 のようになる。Exp. 3 と Exp. 8 $T=2\text{hr}$ とではほぼ Froude 相似がみたされる実験と考えるとよいが、Exp. 8 の $T=8\text{hr}$ では石炭粉の特性に影響された洗掘の進行のために Froude 相似がみたされなくなっている。 $\bar{m}_0$ は Exp. 3 と Exp. 8 $T=2\text{hr}$ とではほぼ相似されるが、 $\bar{m}_0$ の変動は Exp. 8 の方が大きくなっている。 $\bar{h}$, h の変動は Exp. 3 と Exp. 8 $T=2\text{hr}$ ではほぼ相似されるが、Exp. 3 と Exp. 8 $T=8\text{hr}$ では $\bar{h}$ が相似されていない。 $\bar{u}_{*0}$ はよく相似されている。なお流砂の連続式と流砂量の実験式から導かれる河床変動のタイムスケール t_{sn} は 3.7 であり、Froude 相似から求めた水流のタイムスケールは 2.2 となっている。

(4) 河床変動の相似性 図 3 は Znamenskaya の領域区分図で Exp. 1 ~ 3 については砂州形成直後、Exp. 8 については砂州形成直後 ($T=2\text{hr}$) と最終状態 ($T=8\text{hr}$) の条件を比較したものである。dunes twisted in plane の領域は Alternating Bars が Dunes と混在する領域と考えられるが、Exp. 3 と Exp. 8 $T=2\text{hr}$ とは波形こう配がほぼ一致し、A, B 水路間の河床形態の相似がほぼみたまてい

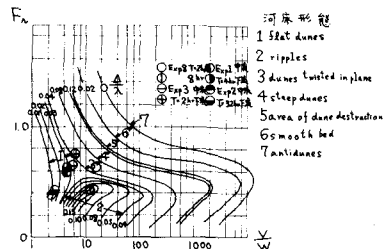
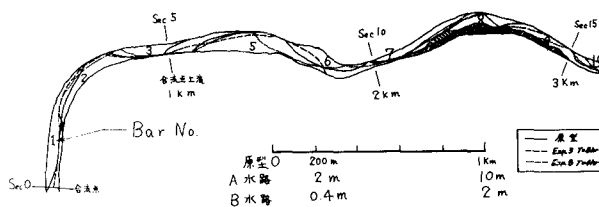


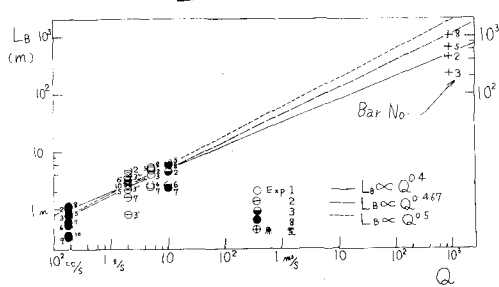
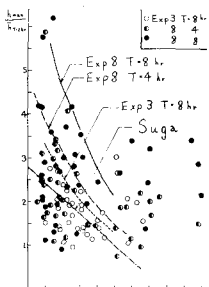
図 3 Znamenskaya の領域区分
Exp. 1 と Exp. 3 とでは砂州の配置にあまり差がみられないが、Exp. 1 よりも Exp. 3 の方が Exp. 8 の $T=2\text{hr}$ と相似度が高い。図 4 は原型、Exp. 3 $T=8\text{hr}$, Exp. 8 $T=4\text{hr}$ の砂州の平面的配置を示して

いるが、よく相似
されている。図 5
は洗掘率 $h_{max}/h_{T=2hr}$
 $\sim \gamma/B$ (γ : 横断面最
深部を結ぶ線の曲



率半径, B: 水路巾) 図 4 砂州の平面的配置の比較

を示す。図中の曲線は包絡
線である。 $\gamma/B < 10$ の範囲で
Exp. 3 より Exp. 8 の方が洗
掘率がかなり大きくなっ
ている。図 6 は $L_B \sim Q$ (L_B :
砂州の波長) を示す。流量
が Froude 相似によって決定



される場合に砂州の配置が図 5 $h_{max}/h_{T=2hr} \sim \gamma/B$

図 6 $L_B \sim Q$

縦断的にほぼ一致することから $L_B \propto Q^{0.4}$ (λ は縮尺) が導かれる。Inglis は $L_B \propto Q^{0.5}$, Ackers は $L_B \propto Q^{0.467}$ としているが、 $L_B \propto Q^{0.4}$ の方が原型の砂州の配置に対する支配流量が $500\text{ m}^3/\text{s} \sim 1000\text{ m}^3/\text{s}$ であることをよく説明している。

1) Sakuro Komura 土木学会論文集 1962, 4, 2) N.S. Znamenskaya proc. of XIII I.A.H.R. 1969