

II-23

単列交互砂州形状の 相似性に関する研究

北見工業大学工学部 正会員 内島 邦秀

1. はじめに

沖積河川を有するわが国において、その大部分の河川に中規模河床形態である単列交互砂州、複列砂州、網状砂州のいずれかが形成されている。これらの砂州が発生する水理条件を、次元解析あるいは理論解析によって求め、平面的にグラフ化した領域区分図が数多く提案されている¹⁾。領域区分図を用いた砂州河床の相似則の検討は黒木ら²⁾、木下³⁾によって行われている。木下は池田宏の領域区分図¹⁾を用いた歪模型実験によって相似な河道平面形状を得ることを検証しているが、砂州形状については検証していない。この研究が発端となって池田宏の領域区分図が砂州河床の相似則として有効であることが玉井⁴⁾、三輪⁵⁾によって証明されている。

本研究では、三輪が池田宏の領域区分図に基づいて導いた相似則を用い、実際河川9例の歪模型実験を行い、単列交互砂州形状を砂州長及び砂州波高で代表させ、これらの検証を行った。模型水路は直線水路を用いており、したがって、河道平面形状の相似を考慮しない模型実験で、どの程度砂州形状を検証できるかが本研究の主要な目的である。

2. 砂州河床の相似則

2.1 三輪の相似則⁵⁾ 水平方向縮尺比を L_r 、鉛直方向縮尺比を y_r とし、歪比を $n=L_r/y_r$ と定義して(1)、(2)式から、 $s_r=1$ 、 $g_r=1$ として導かれる(3)～(7)式が歪模型の相似則である。

$$\begin{aligned} \tau_{xr} &= h_r \cdot I_r / (s_r \cdot d_r) = 1 \cdots (1) & u_r^2 / (g_r \cdot h_r) \times B_r / h_r &= 1 \cdots (2) \\ h_r &= n^{-2/3} \cdot L_r \cdots (3) & d_r &= n^{-5/3} \cdot L_r \cdots (4) \\ I_r &= n^{-1} \cdots (5) & u_r &= n^{-2/3} \cdot L_r^{1/2} \cdots (6) \\ t_r &= n^{2/3} \cdot L_r \cdots (7) \end{aligned}$$

ここで、 $\tau_{xr}=\tau_{xp}/\tau_{xm}$ ：無次元掃流力、 $h_r=h_p/h_m$ ：水深、 $I_r=I_p/I_m$ ：河床勾配、 $s_r=s_p/s_m$ ：砂粒子の水中比重、 $d_r=d_p/d_m$ ：砂粒径、 $u_r=u_p/u_m$ ：流速、 $B_r=B_p/B_m$ ：水路幅、 $g_r=g_p/g_m$ ：重力加速度、 $t_r=t_p/t_m$ ：時間の縮尺比である。添字のp、mはそれぞれ原型、模型の値を示す。三輪の論文では、 $n=y_r/L_r$ 、縮尺比は(模型値/原型値)としており、(3)～(7)式のnの指数は逆符号となっている。また、 u_r としてManning-Strickler式を用いている。

2.2 砂州波高の相似則の推察 砂州波高Hは洗掘深zと密接な関係があり、 q_s を単位幅、単位時間の流砂量とすれば、1次元の連続式は(8)式であり、交互砂州上の流砂量 q_s は(9)式で与えられる⁶⁾。

$$\frac{\partial z}{\partial t s} + \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial q_s}{\partial x} = 0 \cdots (8) \quad q_s / (u_* \cdot d) = k \tau_*^2 \cdots (9)$$

ここで、 λ ：砂の空隙率、 u_* ：摩擦速度、 k ：定数である。(8)式の相似条件は、 $\lambda_r=1$ 、 $x_r=L_r$ として(10)式となる。(9)式から、 $k_r=1$ とし、(3)、(4)、(5)式を考慮して(11)式を得る。

$$z_r = q_{sr} \cdot t_{sr} \cdot L_r^{-1} \cdots (10) \quad q_{sr} = n^{-5/2} \cdot L_r^{3/2} \cdots (11)$$

Study on the Similarity about Shape of Single-Row Alternate Bars

by Kunihide UCHIJIMA

(10) 式における t_{sr} は河床変形の時間縮尺比であり、(7) 式の水 flow の t_r とは異なる。 t_{sr} の適切な表示式は不明なので、(7) に習って (12) 式とする。(11) と (12) を (10) 式に代入して (13) 式を得る。

$$t_{sr} = n^a \cdot L_r^{1/2} \quad \dots \dots \dots (12) \qquad z_r = n^{a-5/2} \cdot L_r \quad \dots \dots \dots (13)$$

したがって、波高比 H_r も n と L_r に関係した式形となることが推察される。

3. 模型実験と砂州形状の検証

3. 1 模型実験 実験は、長さ12mの直線水路で水路幅 $B_m=30\text{cm}$ 、 20cm の2種類、河床材料は粒径 $d_m=1.34\text{mm}$ のほぼ均一な砂1種類を用いて行われた。原型の実際河川資料としては、水理量として平均年最大流量時の値をとり、建設省が調査した55河川の資料⁷⁾から従来のどの領域区分図でも単列交互砂州域に入る8河川(表-1)に著者ら⁸⁾が調査した十勝川水系土幌川を加えた9河川の資料を採用した。8河川の砂州波高 H は測定されてなく、洗掘深 Z が測定されているので、関係式 $H=(4/3)Z$ から波高を求めた。資料⁷⁾によれば、尻別川の河道平面形状は不明であるが、表-1のNO. 2、7河川の河道平面形状は直線的で、他河川は蛇曲あるいは不規則蛇行を呈している。土幌川は不規則蛇行形状で低水護岸が敷設されていて、砂州長は幅の7倍程度である。

実験条件は相似則(3)～(5)式から決定される。即ち、 $L_r=B_r$ として、 dr 値、 Br 値を(4)式に代入して n が求まり、(3)、(5)式から hm 、 lm が決まる。 hm となる流量を通水して形成された十分発達した砂州10～20個の砂州長、波高を測定し、その平均値を模型砂州長 lm 、模型波高 Hm とした。これらの値と歪比、水理量縮尺比及び砂州形状縮尺比を表-1に示す。

3. 2 砂州形状の検証 図-1は、前述の推察式(13)に基づいて H_r/Br と n の関係を示したものである。バラツキは大きい、(14)式で近似できる。したがって、(13)式で $\alpha=11/6$ とした場合に相当する。

$$H_r/Br = n^{-2/3} \quad \dots \dots \dots (14) \quad \text{即ち、} H_p = n^{-2/3} \cdot H_m \cdot Br \quad \dots \dots \dots (14)'$$

表-1 歪比、水理量縮尺比及び砂州形状比

NO.	河 川 名	幅 比	粒 径 比	歪 比	水 深 比	Fr 数比	砂州長比	波 高 比	模 型 実 験	
		Br	dr	n	hr	Frr	lr	Hr	$lm(\text{cm})$	$Hm(\text{cm})$
1	尻 別 川 (20.7～22.5km)	519	28.5	5.7	163	0.37	276	128	109	1.68
		779	〃	7.3	207	0.34	367	193	82	1.12
2	最 上 川 下 流 (14～19km)	1261	21.3	11.6	246	0.29	589	214	131	2.21
		1892	〃	14.8	314	0.27	1033	438	75	1.08
3	千 曲 川 (65～82km)	582	15.7	8.7	138	0.32	561	111	99	1.51
		872	〃	11.1	175	0.29	727	156	76	1.07
4	天 竜 川 上 流 (166～172km)	491	59.5	3.5	213	0.43	404	117	127	2.73
		736	〃	4.5	270	0.40				
5	加 古 川 (14～27km)	629	33.0	5.9	193	0.37	494	145	123	1.78
		944	〃	7.5	246	0.34	1258	287	48	0.90
6	江の川上流馬洗川 (1～6km)	663	24.6	7.2	178	0.34	868	127	143	2.21
		995	〃	9.2	227	0.31	1397	235	89	1.20
7	那 賀 川 (4～10km)	1216	20.0	11.8	235	0.29	1121	226	95	1.46
		1824	〃	15.0	300	0.27	1649	285	65	1.16
8	仁 淀 川 (0～3km)	1505	18.9	13.8	262	0.28	2320	165	70	1.15
		2077	〃	16.8	317	0.26	3405	198	48	0.96
9	土 幌 川 (0～2km)	157	16.4	3.9	63	0.37	371	122	77	1.02
		236	〃	5.0	81	0.34	545	119	53	1.04

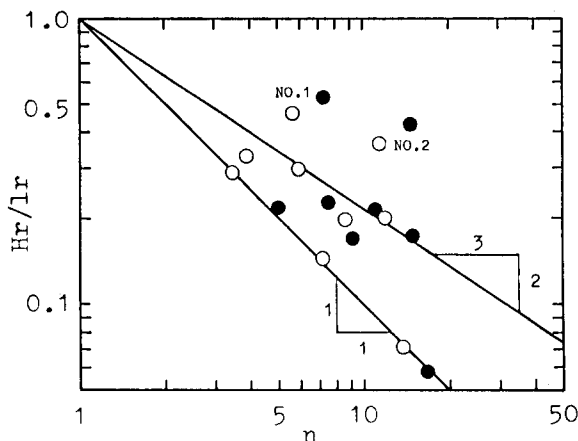
【備考】上段は模型水路幅 $B_m=30\text{cm}$ 、下段は $B_m=20\text{cm}$ に対する値である。

(14) 式によって波高を検証した結果が図-2である。河道平面形状の相似を考慮していないにも係わらず、比較的よく一致する。計算値は過大評価する傾向を示しているが、NO. 4 (天竜川上流) が約2倍となるのは不規則蛇行の影響が強く反映していると思われる。

砂州長比 l_r は Br と同様に水平方向縮尺比に相当し、 Hr/l_r と n の関係を見たのが図-3である。NO. 1 (尻別川) と NO. 2 (最上川上流) の砂州長は $l_p/B_p = 2$ 程度で、3以上の他河川に比べて特異性があると思われる。NO. 1, 2を除いてもバラツキは大きく、その範囲は図-3にも表示したように (15) 式で表される。

$$Hr/l_r = (n^{-1} \sim n^{-2/3}) \quad \dots (15)$$

図-1のプロット値の範囲も $Hr/Br = (n^{-1} \sim n^{-2/3})$ とすれば、これと (15) 式から l_r/Br と n の関係は、 $l_r/Br = (n^{-1/3} \sim n^{1/3})$ となり、図-4に示した。水平方向縮尺比どうしの比 l_r/Br は1となるとも考えられるが、砂州長は河道平面形状にも強く影響され、また、波高に比べて変動が大きいと考えられることから、歪模型実験における砂州長の相似則は今後の課題としたい。



← 図-3 Hr/l_r vs. n

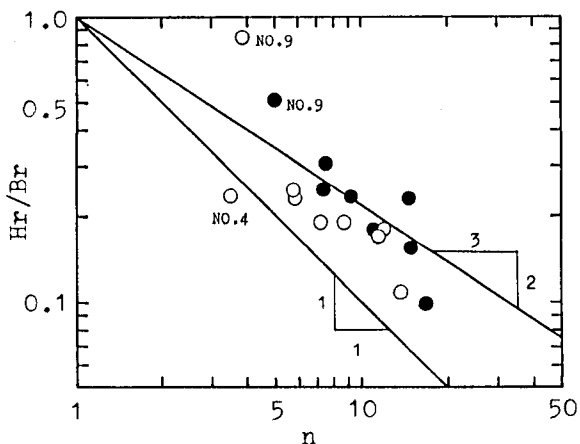


図-1 Hr/Br vs. n

(○: $B_m=30\text{cm}$, ●: $B_m=20\text{cm}$ に対する値, 以下同様)

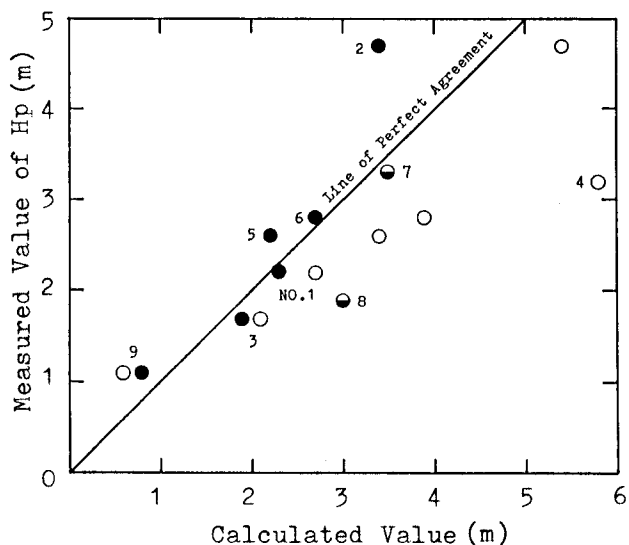


図-2 波高の検証

4. おわりに

本研究の歪模型実験によって砂州波高は歪んでいることが明らかになった。

模型実験を行うにあたって当事者に第一に要求されることは、原型の実際河川を踏査し、模型対象区間はもとよりその河川全体の総合的な特性を把握することである。それ故、資料のみによる8河川についての本研究の考察不足は免れ得ない。土幌川は8河川に比べて、表-1から明らかなように、河幅の割には砂州長が極端に大きい。今後変動があるのか引き続き調査して行きたいと考えている。

おわりにあたり、文献7)を提供していただいた北海道大学 黒木幹男助教授 に深謝いたします。また、実験とデータ整理に協力された平成2年度卒業研究生 帰山智明、坂本寿信、千葉 亨 の三君に感謝します。

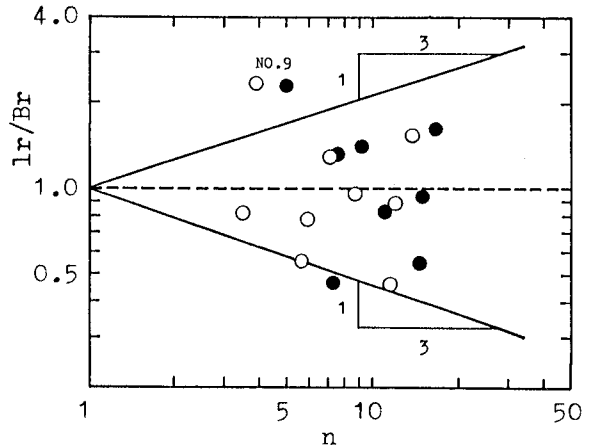


図-4 l_r/Br vs. n

参考文献

- 1) 土木学会水理委員会研究小委員会：洪水流の三次元流況と流路形態に関する研究，1982.
- 2) 黒木幹男・岸 力・荒井信行：移動床河川水理模型の相似則について，第14回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集，pp.97-100，1977.
- 3) 木下良作：大井川牛尾狭窄部開削の影響に関する「砂レキ堆相似」による模型実験，建設省中部地方建設局静岡河川工事事務所，1980.
- 4) 玉井信行：砂礫堆上の流れの相似則に関する研究，第26回水理講演会論文集，pp.39-44，1982.
- 5) 三輪 弼：模型砂レキ堆を河川砂レキ堆に相似させるための実験則，第27回水理講演会論文集，pp.733-740，1983.
- 6) 福岡捷二・内島邦秀・山坂昌成・早川博：交互砂州上の流砂量分布，第27回水理講演会論文集，pp.697-702，1983.
- 7) 建設省河川局治水課・建設省土木研究所：河川の蛇行に関する研究，第30回建設省技術研究会論文集，pp.101-143，1976.
- 8) 内島邦秀・早川博：土幌川における河床形態について，土木学会北海道支部論文報告集，第42号，pp.235-240，1986.