

建土研 正 員 須賀亮三

〃 〃 〇馬場洋二

1. はじめに

河川の水利模型実験は各所で数多く実施され、河川の現場の^{水工上の}さまざまな技術的問題を解決して、河川の計画というシステムの中で、その有用性を不動のものとして現在にいたっている。従来種々の理由により、水平縮尺にくらべて鉛直縮尺を小さくするような歪模型実験が行なわれることが多々ある。しかし水利実験の目的が二次元的三次元的な水利現象を模型で予測し、それに対する適確な解答を見いだすことにある以上、こうした歪模型における現象の相似性について詳細な研究が必要である。ここでは三次元的な高い水利現象として、複々曲部の流れを対象にして、模型の歪の影響について実験的な検討を行なったものである。なお実験水路は中1.5m、中心曲率半径 $R_c=3.75m$ の複々曲部を2倍有する複々曲水路で、水平縮尺を一定にして鉛直縮尺のみ変えることによって歪模型を達成し、歪1.3および5の3ケースについて考察した。

2. 横断水面形の相似

曲部横断水面形は既知水深が1あるならば Ippen と Drinker の比エネルギーに因する仮定を用いて計算され、自由渦や強制渦による計算水面形と実験結果とは、実用的にはよく一致する。このような水面形計算式は模型へ歪の影響を受けはらないことも容易に証明できる。表-1の実験ケースにおける横断水面形の比較例を図-1に示したが、粗度検証実験によって横断水位のあき一良を調節することによって、このようにほぼ完全な相似形にできる。

3. 歪んだ模型の渦度について

粘性およびレイノルズ数を無視した定常流の Helmholtz の eq. は円柱座標 (r, φ, z) で示せば

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{V^2}{r} \right) + v_r \Omega_r - v_\varphi \Omega_\varphi = F_r - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r}, \quad \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{V^2}{r} \right) + v_r \Omega_z - v_z \Omega_r = F_\varphi - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \varphi}, \quad \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{V^2}{r} \right) + v_r \Omega_\varphi - v_\varphi \Omega_r = F_z - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial z} \quad (1)$$

ここに v_r, v_φ, v_z および F_r, F_φ, F_z はそれぞれ (r, φ, z) 軸方向の流速成分および重力成分、 p は圧力、 ρ は水の密度、 $V^2 = v_r^2 + v_\varphi^2 + v_z^2$ である。また

$$\Omega_r = \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \varphi} - \frac{\partial v_\varphi}{\partial z}, \quad \Omega_\varphi = \frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial r}, \quad \Omega_z = \frac{1}{r} \left(\frac{\partial r v_\varphi}{\partial r} - \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} \right) \quad (2)$$

表-1

単断面固定
床水路実験
の縮率と
実験ケース

	ケース	歪	x_h	r_h	l_h	n_r	v_r	Q_r	流量 c/s	水深 cm	床勾配	粗度 n	$\bar{v}$ cm/s
単断面固定 床水路実験 の縮率と 実験ケース	1-A	1	1	1	1	1	1	1	40.43	8.0	1/2500	0.0103	33.69
	3-A	3	1	1/3	1/3	0.5407	0.5774	1/5.1962	210.07	24.0	3/2500	0.0190	58.35
	5-A	5	1	1/5	1/5	0.4250	0.4472	1/11.1803	451.99	40.0	5/2500	0.0240	75.33
	1-B	1	1	1	1	1	1	1	18.93	5.0	1/2500	0.0103	25.24
	3-B	3	1	1/3	1/3	0.5200	0.5774	1/5.1962	98.37	15.0	3/2500	0.0198	43.72
	5-B	5	1	1/5	1/5	0.3769	0.4472	1/11.1803	211.67	25.0	5/2500	0.0260	56.44

はそれぞれ (r, φ, z) 軸方向の温度成分である。 Ω_r および Ω_φ はともに水平軸をもった温度であり、 Ω_z のみは鉛直軸を中心とする温度である。

ここで 圧かに静水圧分布で、また模型の平面的形状を現地と同一に作ることにすれば、常套的にたとえば V (現地量) / V (模型量) などと書き表わすことにすれば、(1) 式の相似性が成立する条件は

$$\Omega_{1R} = \frac{1}{\alpha U_{2R}} = \frac{1}{U_{1R}}, \quad \Omega_{\varphi R} = \frac{1}{\alpha U_{2R}} = \frac{1}{U_{1R}}, \quad \Omega_{zR} = \frac{1}{\alpha U_{2R}} = \frac{1}{U_{1R}} \quad (3)$$

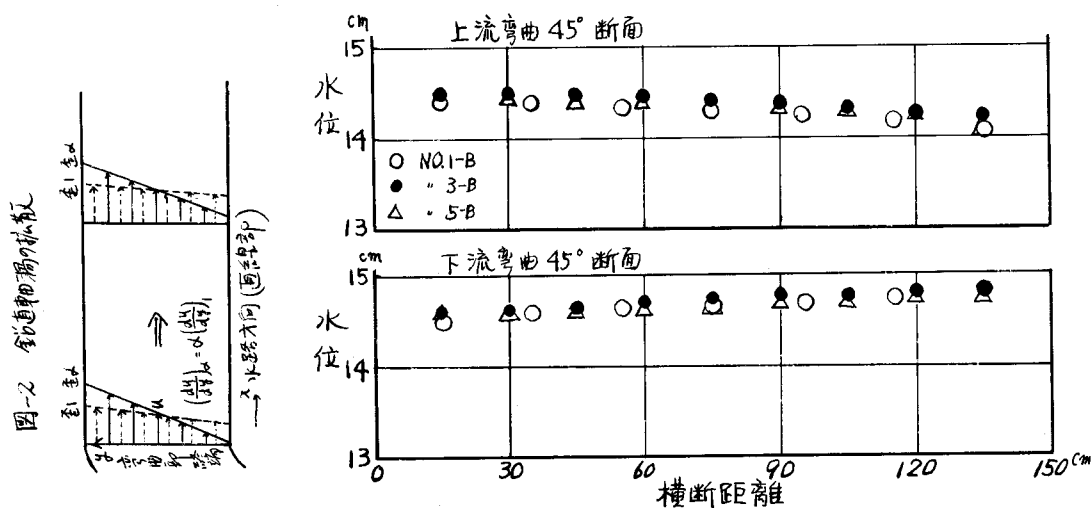
である。ただし α は粘度を表わし $\alpha = \nu_R$ (水平軸) / ν_R (鉛直軸) である。 $\alpha = 1$ のときには模型と現地との各温度の比は等しくなって、フルード法則から得られる流速縮尺と逆数関係にある。しかし粘度が 1 である全模型実験の場合には、鉛直軸渦の比 Ω_{zR} の縮率のみが他と異なり、全模型の鉛直軸渦は現地のそれ、および他の水平軸渦の縮率になる異がとくに注目される。なお (1) 式の鉛直方向流速成分 U_z を無視しても (3) 式と同じ関係がでてくる。また運動の式や連続の式がうは

$$U_{\varphi R} = U_{1R} = \alpha U_{2R} \quad (4) \quad \text{という関係が得られる。}$$

こうした研究は筆者にとって流にわたる計りなりで、さらに深奥の解析ができていない状態である。しかし上述のような温度成分の差は、わん曲部終端部で比較的単純な場合を考えれば、図-2 のように、横断方向の流速のこう配が歪むの場合同様に歪むの α 倍になることを意味している訳であるから、こうした温度の水路方向での拡散状況が異なってくることに差がでると思われ、こうした全模型の現象を示したのが図-3 横断流速分布および図-4 (11) の移動床実験の河床形状の違っている。

図-3 は上述の渡りわん曲水路において、表-1 の 1-B, 3-B, 5-B の実験ケースにおける横断流速分布を比較したもので、歪み 1 以外のものについては表-1 の縮率を乗じて換算してある。測定断面は 2 つのわん曲部中間で、上流わん曲部二次流の完全発達域の流束と下流わん曲部の発生域の流束とが混合した断面であり、この図より $r=4.35$ の尺は上流わん曲の外岸であり、歪み 3 および 5 のものは外岸の大きい流速がさらに加速されて下流わん曲部の内岸に流入しており、 $r=3.15$ の尺ではその逆のような流速になっていること、などが知られるが、これは図-2 の鉛直軸拡散模式図より説明できようである。

図-1 全模型の横断水位比較

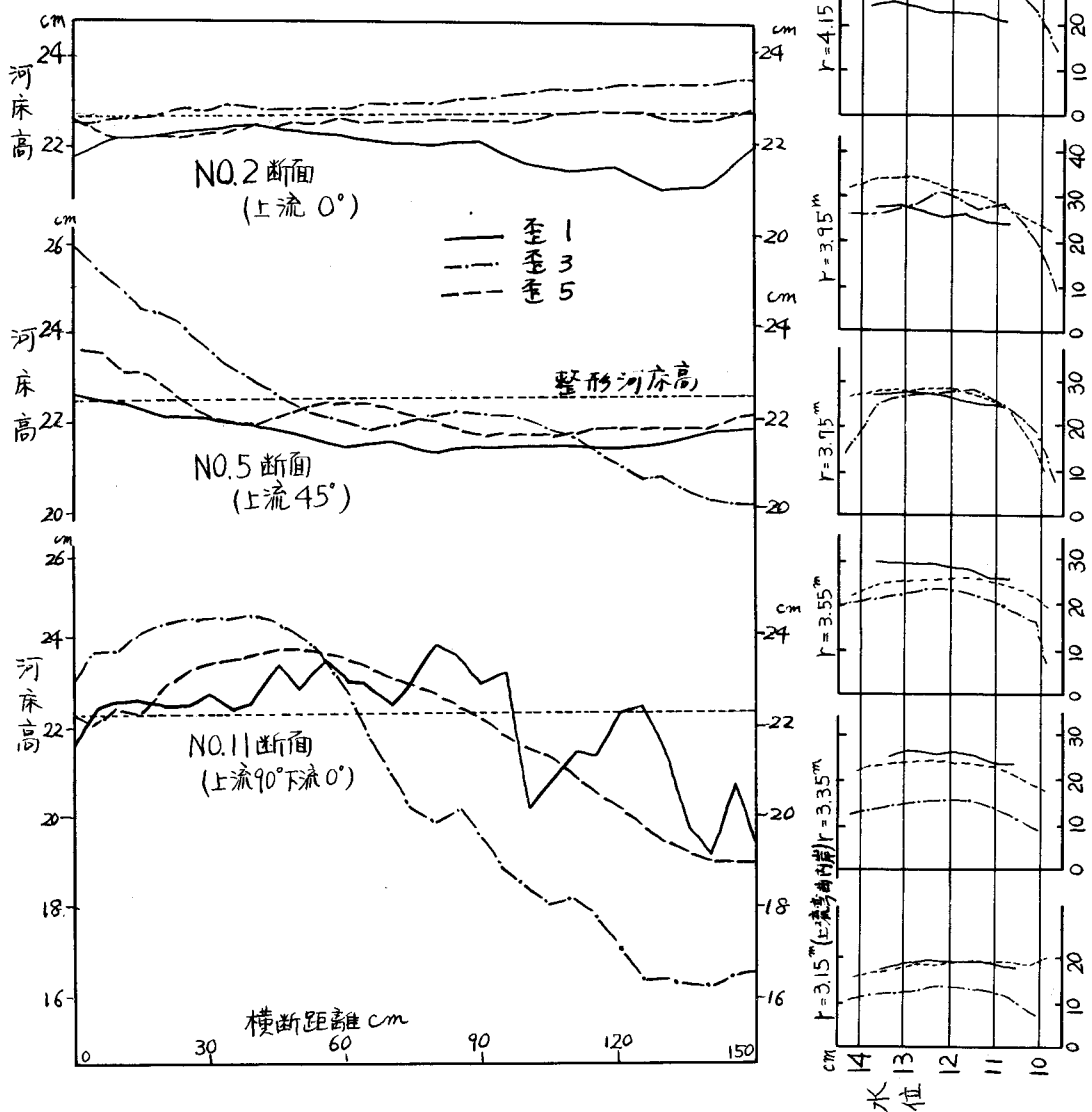


このような問題について以前、佐藤博士は、至模型での流れのもつエネルギーが相対的に増加するので、とくに河川の至模型実験については注意すべきことを指摘されているが、類似の問題点であると考えられる。

図-4-1, 4-2 は同じ複心曲水路において実施した移動床実験の結果と比較したものである。各至のものとも $T_0/T_c = 2$ となるよう河床材料の粒径を変化させてあり、フルード数は $F = \frac{V}{\sqrt{gR}} = 0.3$ である。

図-3 横断方向流速分布の比較
(至は枚算済)
—— 至1 (1-B)
- - - 至3 (3-B)
- · - 至5 (5-B)
(断面は上流から順に下流端下流の断面)

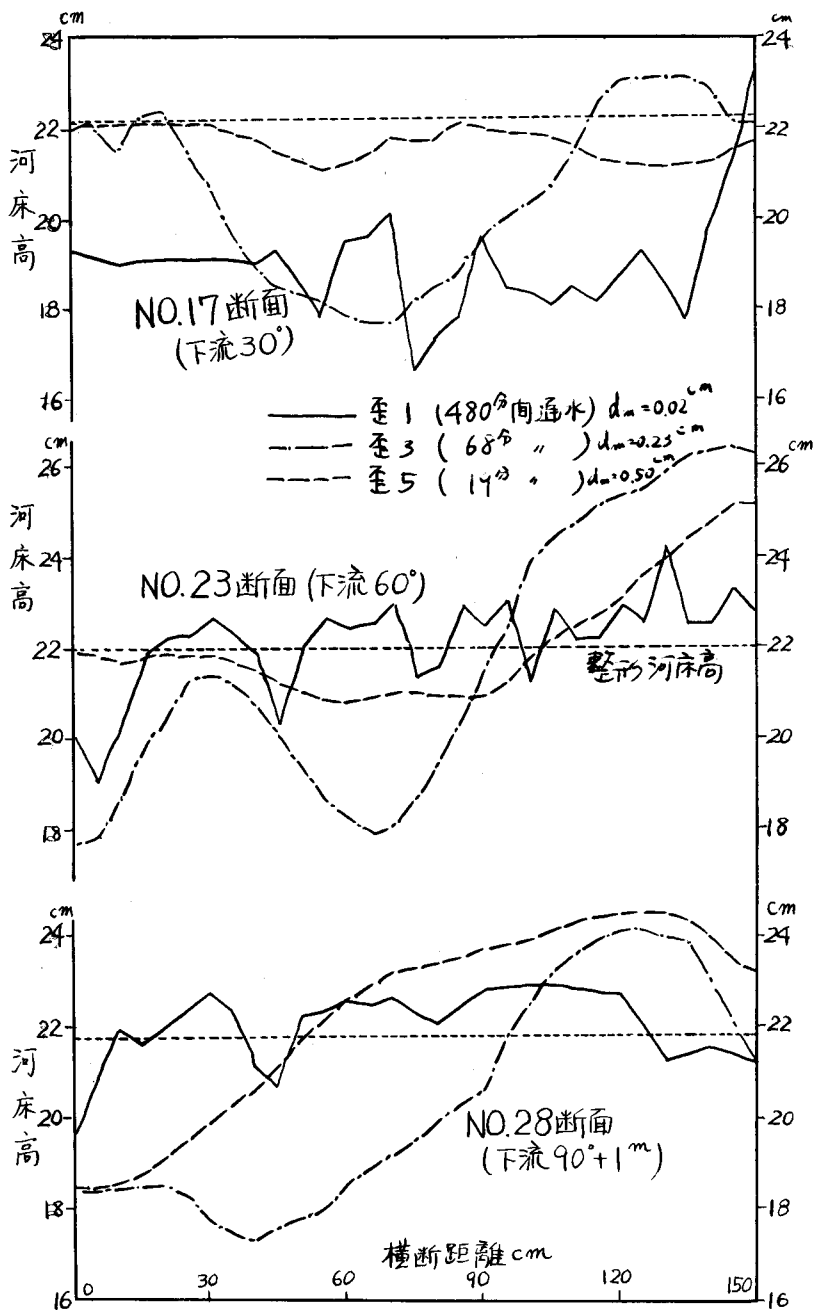
図-4-1 河床変動横断の比較



また、流砂の移動形式はほとんど掃流形であるので、流砂量公式として土研公式を用いて時間縮尺を定めた。

弯曲部の中 NO.5 や NO.23 の河床横断は比較的傾向が似ているが、上流わん曲下流でしかも下流わん曲の始端である NO.11 断面、上流わん曲流の影響を受ける下流わん曲始端近くの断面 NO.17 および下流わん曲の終端より 1 m 下流の NO.28 では、図の 2 に示す鉛直軸渦の消長に因連した沈掘がかなり明瞭である。なお NO.17 および NO.23 の両断面の至 3 の河床形状には、大きな砂堆り断面が現れているので水路中央部の河床高が極端に下がって見えている。同様に $\tau_c = 4$ の場合についても実験を行なっているが、砂が沈掘されて固定床が露出したため、図-4

図-4-2 河床変動横断の比較



では少し異なりました。今後こうした問題については、渦の発生、保存および拡散について研究を進めたいと考えている。

参考文献, 佐藤清一, 氷理模型実験現象の相似とその相似律と相似限界について, 土木研究所報告. 60号. 昭63