

II-282

歪模型実験による交互砂州形状の検証

北見工業大学工学部 正会員 内島 邦秀

北見工業大学工学部 正会員 早川 博

1. はじめに 中規模河床形態の形成領域区分図は数多く提案されている¹⁾。木下²⁾は池田の領域区分図に基づいて歪模型実験を行い、相似な河床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、砂州河床模型実験の相似則について玉井³⁾、三輪⁴⁾が理論的に考察している。本研究も領域区分図における両軸の2つの無次元パラメータの値が原型と模型で一致する歪模型実験を行い、単列交互砂州形状を砂州長及び砂州波高で代表させてこれらの検証を行ったので報告する。

2. 砂州河床の相似則 三輪⁴⁾は池田の領域区分図の横軸の無次元パラメータを修正し、歪比を $n = L_Y / y_Y$ (L_Y, y_Y : 水平、鉛直方向縮尺比)と定義して表-1の相似則を誘導した。歪模型が可能な他の区分図に基づく相似則を同様に導き、表-1に示す。林らの区分図からはフルード相似となるが実際には相当大規模の模型水路でなければ砂州実験は不可能である。他は歪模型であるかぎりフルード相似は成り立たない。さて次に、砂州波高の相似則について考察する。砂州波高 H は洗掘深 z と密接な関係がある。 q_s を単位幅、単位時間の流砂量とすれば、1次元の流砂の連続式は(1)式であり、交互砂州上の流砂量 q_s は(2)式で表される。ここで、 λ : 河床砂の空隙率、 u_x : 摩擦速度、 k : 定数

表-1 砂州形成領域区分図に基づく歪模型の相似則一覧表

提 唱 者		註川(1972), 池田(1973) 黒木・岸・今泉(1973)	玉井・長尾・三國 (1978)
相 似 条 件 式		$(u_x/u_{xc})_Y=1$ $(\tau_{xy}=h_Y \cdot I_Y \cdot s_Y^{-1} \cdot d_Y^{-1})_Y=1$ $(B \cdot I/h)_Y=1$ $(B_Y \cdot I_Y \cdot h_Y^{-1})_Y=1$	$(u/u_{xc})_Y=1$ $(u_Y \cdot s_Y^{-1/2} \cdot d_Y^{-1/2})_Y=1$ $(B \cdot I/h)_Y=1$ $(B_Y \cdot I_Y \cdot h_Y^{-1})_Y=1$
相 似 則	①歪 比 n	$n=L_Y/y_Y=B_Y/h_Y$	$n=L_Y/y_Y=B_Y/h_Y$
	②水深縮尺比 h _Y	$h_Y=n^{-1} \cdot L_Y$	$h_Y=n^{-1} \cdot L_Y$
	③粒径縮尺比 d _Y	$d_Y=s_Y^{-1} \cdot n^{-2} \cdot L_Y$	$d_Y=s_Y^{-3/4} \cdot n^{-7/4} \cdot L_Y$
	④勾配縮尺比 I _Y	$I_Y=n^{-1}$	$I_Y=n^{-1}$
	⑤流速縮尺比 u _Y	$u_Y=s_Y^{1/6} \cdot n^{-5/6} \cdot L_Y^{1/2}$	$u_Y=s_Y^{1/8} \cdot n^{-7/8} \cdot L_Y^{1/2}$
	⑥時間縮尺比 t _Y	$t_Y=s_Y^{-1/6} \cdot n^{5/6} \cdot L_Y^{1/2}$	$t_Y=s_Y^{-1/8} \cdot n^{7/8} \cdot L_Y^{1/2}$
	⑦Fr數縮尺比 Fr _Y	$Fr_Y=s_Y^{1/6} \cdot n^{-1/3}$	$Fr_Y=s_Y^{1/8} \cdot n^{-3/8}$

である。(1)式の相似条件は $(1-\lambda)_Y = 1$ 、 $x_Y = L_Y$ として(3)式となり、(2)式から、 s_Y (河床砂の水中比重比) $= 1$ 、 $k_Y = 1$ として(4)式を得る。(4)式に表-1の②~④式を代入して q_{sY} は(5)式で表される。(5)式の b の値は、例えば三輪で $5/2$ となる。(3)式の t_{sY} は河床変形の時間縮尺比で、適切な表示式は不明なので水流の時間縮尺比⑥に習って(6)式と仮定すれば、(5)、(6)式を(3)式に代入して(7)が得られる。したがって、波高比 H_Y も表-1の各縮尺比と同様に n と L_Y に関係した式形となることが推察される。

$$\frac{\partial z}{\partial t_s} + \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial q_s}{\partial x} = 0 \dots (1)$$

$$\frac{q_s}{u_x d} = k \tau_x^2 \dots (2)$$

$$z_Y = q_{sY} \cdot t_{sY} \cdot L_Y^{-1} \dots (3)$$

$$q_{sY} = d_Y^{-1} \cdot h_Y^{5/2} \cdot I_Y^{5/2} \dots (4)$$

$$q_{sY} = n^{-b} \cdot L_Y^{3/2} \dots (5)$$

$$t_{sY} = n^a \cdot L_Y^{1/2} \dots (6)$$

$$z_Y = n^{a-b} \cdot L_Y \dots (7)$$

林・尾崎 (1978)	三 輪 (1983)	黒木・岸 (1984)
$Fr_Y = 1$ $(u_Y \cdot h_Y^{-1/2})_Y = 1$ $(B \cdot I/h)_Y = 1$ $(B_Y \cdot I_Y \cdot h_Y^{-1})_Y = 1$	$\tau_{xy} = 1$ $(h_Y \cdot I_Y \cdot s_Y^{-1} \cdot d_Y^{-1})_Y = 1$ $(Fr^2 \cdot B/h)_Y = 1$ $(u_Y^2 \cdot h_Y^{-2} \cdot B_Y)_Y = 1$	$\tau_{xy} = 1$ $(h_Y \cdot I_Y \cdot s_Y^{-1} \cdot d_Y^{-1})_Y = 1$ $(B \cdot I^{0.2}/h)_Y = 1$ $(B_Y \cdot I_Y^{1/5} \cdot h_Y^{-1})_Y = 1$
$n = L_Y / y_Y = B_Y / h_Y$	$n = L_Y / y_Y = B_Y / y_Y$	$n = L_Y / y_Y = B_Y / y_Y$
$h_Y = n^{-1} \cdot L_Y$	$h_Y = s_Y^{1/3} \cdot n^{-2/3} \cdot L_Y$	$h_Y = n^{-1/5} \cdot L_Y$
$d_Y = n^{-4} \cdot L_Y$	$d_Y = s_Y^{-2/3} \cdot n^{-5/3} \cdot L_Y$	$d_Y = s_Y^{-1} \cdot n^{-6/5} \cdot L_Y$
$I_Y = n^{-1}$	$I_Y = n^{-1}$	$I_Y = n^{-1}$
$u_Y = n^{-1/2} \cdot L_Y^{1/2}$	$u_Y = s_Y^{1/3} \cdot n^{-2/3} \cdot L_Y^{1/2}$	$u_Y = s_Y^{1/6} \cdot n^{-13/30} \cdot L_Y^{1/2}$
$t_Y = n^{1/2} \cdot L_Y^{1/2}$	$t_Y = s_Y^{-1/3} \cdot n^{2/3} \cdot L_Y^{1/2}$	$t_Y = s_Y^{-1/6} \cdot n^{13/30} \cdot L_Y^{1/2}$
$Fr_Y = 1$	$Fr_Y = s_Y^{1/6} \cdot n^{-1/3}$	$Fr_Y = s_Y^{1/6} \cdot n^{-1/3}$

【備考】 u_Y として Manning-S trickler 式を用いている。

3. 模型実験と砂州形状の検証

実験は、長さ12mの直線水路で水路幅 $B_m=30$ 、20cmの2種類、河床材料はほぼ均一な砂で、幅30cmに対して粒径 $d_m=1.34$ mmの1種類、幅20cmに対して1.34mmと0.87mmの2種類を用いて行われた。相似則としては表-1の三輪と黒木・岸のものを用いた。原型としては、建設省が調査した55河川の資料⁵⁾から単列交互砂州河床の8河川を選定し、更に筆者らが調査している十勝川水系土幌川を加えた9河川とした⁶⁾。河川の砂州波高 H は測定されていなく洗掘深 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。河道平面形状は2河川が直線的で、他は蛇曲あるいは不規則蛇行を呈している。実験条件は表-1の②～④式から決定できる。即ち、 $L_r=B_r (=B_p/B_m)$ の流路幅比で添字 p 、 m は原型値、模型値を示す)として、 d_r 値、 B_r 値を③式に代入して n が求まり、②、④式から模型水深 h_m 、模型勾配 I_m が決まる。 h_m となる流量を通水して形成される十分発達した砂州10～20個の砂州長、波高を測定し、その平均値を模型砂州長 l_m 、模型波高 H_m とした。模型実験データを補う意味で、これまでに蓄積された文献¹⁾等に掲載されている基礎実験データから上記実河川の模型実験に相当する水深縮尺比 h_r の相対誤差が5%以内になるデータも用いた。以下の図におけるプロットは、本実験の水路幅30cm、20cm及び抽出した基礎実験データに関係するものに対して、それぞれ○、●、●で表示した。図-1は前述の推察式(7)に基づいて H_r/B_r と n の関係を示したものである。模型波高は(a)では水深程度かそれ以上に歪む傾向があり、(b)では水深より大きく歪んでいることが分かる。(a)ではバラツキが大きい、上記の関係は両方とも次式で近似できる。 $H_r/B_r=n^{-2/3}$ (即ち、 $H_p=n^{-2/3} \cdot H_m \cdot B_r$)この式による(a)図のデータに対する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。砂州長比 l_r は B_r と同様に水平方向縮尺比に相当し、 H_r/l_r と n の関係を見たのが図-3(三輪の相似則に基づいたデータ)である。従来の基礎実験(実河川を想定すれば全て歪模型実験に相当する)の H/l 値が実河川に比べ1オーダー大きいことには歪比が係わっていると理解できる。図-3において、 $l_p/B_p=2$ 程度のデータを除きバラツキの範囲を実線で示した。図-3と図-1(a)のバラツキの範囲を考慮すれば、 l_r/B_r と n の関係は $l_r/B_r=(n^{-1/3} \sim n^{1/3})$ となり、図-4に示した。

4. おわりに 歪模型実験による砂州波高は水深程度あるいはそれ以上に歪むことが明らかになった。歪比の限界、砂州長の相似則は今後の課題としたい。

【参考文献】1)土木学会水理小委員会：洪水流の三次元流況と流路形態に関する研究、1982。2)木下：静岡河川工事事務所報告書、1980。3)玉井：26回水講、1982。4)三輪：27回水講、1983。5)建設省河川局治水課・土木研究所：30回建設省技術研究会論文集、1976。6)内島：土木学会道支部論文報告集、1991。

