

II-25

砂州河床河川の移動床歪模型実験

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
北見工業大学工学部 学生員 篠原伸和
北見工業大学工学部 学 生 松崎利宣

1. はじめに

砂州河床河川である石狩川水系豊平川を原型河川として移動床歪模型実験を実施した。実験の目的は歪模型実験によって得られた河床形状から原型河床形状を検証することである。豊平川は比較的急勾配で砂礫も粗いため、結果的に歪比3程度の模型実験となった。

2. 砂州河床河川歪模型の相似則

従来の砂州形成領域区分図の両軸の無次元パラメーターを模型と原型で一致させることによって相似則が導かれる¹⁾。本歪模型実験は池田と三輪の領域区分図から得られた2種類の相似則を用いて行われた(以下、それぞれ池田の相似則をⅠの相似則、三輪の相似則をⅡの相似則と呼称する)。それらの相似則を表-1に示す。水理量の縮尺比は(原型/模型)であり(例: $I_r = I_p / I_m$)、添え字のr, p, mはそれぞれ縮尺比、原型、模型の値を示す。水平方向縮尺比を $L_r = B_r$ 、鉛直方向縮尺比を y_r とし、両縮尺比の関係において歪比 $n = n = L_r / y_r$ と定義する。また、重力加速度縮尺比 $g_r = 1$ で、模型実験の河床材料として砂を用いると水中比重縮尺比 $s_r = 1$ である。また、流速縮尺比 u_r はManning-Strickler式を用いている。2種類の相似則は、 $s_r = 1, n = 1$ (無歪)でフルード相似則となる。

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		池 田 (1973)	三 輪 (1983)
相似条件式		$(u_r / u_{*c})_r = 1$ $(\tau_{*r} = h_r \cdot I_r \cdot s_r^{-1} \cdot d_r^{-1} = 1)$ $(B \cdot I / h)_r = 1$ $(B_r \cdot I_r \cdot h_r^{-1} = 1)$	$\tau_{*r} = 1$ $(h_r \cdot I_r \cdot s_r^{-1} \cdot d_r^{-1} = 1)$ $(Fr^2 \cdot B / h)_r = 1$ $(u_r^2 \cdot h_r^{-2} \cdot B_r = 1)$
相 似 則	歪 比 n	① $n = L_r / y_r = B_r / h_r$	⑨ $n = L_r / y_r = B_r / y_r$
	水深縮尺比 h_r	② $h_r = n^{-1} \cdot L_r$	⑩ $h_r = s_r^{1/2} \cdot n^{-2/3} \cdot L_r$
	粒径縮尺比 d_r	③ $d_r = s_r^{-1} \cdot n^{-2} \cdot L_r$	⑪ $d_r = s_r^{-2/3} \cdot n^{-5/3} \cdot L_r$
	勾配縮尺比 I_r	④ $I_r = n^{-1}$	⑫ $I_r = n^{-1}$
	流速縮尺比 u_r	⑤ $u_r = s_r^{1/6} \cdot n^{-5/6} \cdot L_r^{1/2}$	⑬ $u_r = s_r^{1/3} \cdot n^{-2/3} \cdot L_r^{1/2}$
	流量縮尺比 Q_r	⑥ $Q_r = s_r^{1/6} \cdot n^{-11/6} \cdot L_r^{5/2}$	⑭ $Q_r = s_r^{2/3} \cdot n^{-4/3} \cdot L_r^{5/2}$
	時間縮尺比 t_r	⑦ $t_r = s_r^{-1/6} \cdot n^{5/6} \cdot L_r^{1/2}$	⑮ $t_r = s_r^{-1/3} \cdot n^{2/3} \cdot L_r^{1/2}$
	Fr数縮尺比 Fr_r	⑧ $Fr_r = s_r^{1/6} \cdot n^{-1/2}$	⑯ $Fr_r = s_r^{1/6} \cdot n^{-1/3}$

Distorted Model Experiment on the River with Bar Beds

by Kunihide UCHIJIMA, Hiroshi HAYAKAWA, Nobukazu SHINOHARA and Toshinobu MATSUZAKI

3. 歪模型実験

3-1 実験条件

模型水路は、豊平川 (K.P.12.6~18.0) の水平縮尺1/600の低水路で、その平均幅は $B_m=13.7\text{cm}$ である。合板にペンキを塗って仕上げてあり、側壁は直立でその高さは 10.0cm とした。上流端から下流端まで砂を厚さ 5cm で敷き均して初期河床面とした。また、下流端には水位調整を兼ねた可動式の砂止めを設置し、1号から8号まである床止めは、厚さ 1.5cm の板を水路全幅にわたって取り付け、その下流の洗掘を防ぐために、金網に $5.0\text{mm}\sim 10.0\text{mm}$ の砂利を詰めた護床工を設置した。床止め、護床工の上面は初期河床面に一致させた。橋脚は小縮尺のため無視した。流量の調節は、高架水槽と減勢槽を結ぶパイプに設けられている流量調節バルブによって行い、減勢槽から流出した水は所定の流量で実験水路に流入していく。実験水路から流出した水は地下帰還水路を経て地下水槽に入り、揚水ポンプで再び高架水槽に揚水されて再循環する。

豊平川K.P.12.6~18.0区間の平均粒径は $d_p=80.0\text{mm}$ であり、勾配は $I_p=1/180$ である (図-3)。模型の河床材料として、ほぼ均一な平均粒径 $d_m=1.34\text{mm}$ と $d_m=0.80\text{mm}$ の2種類の砂を用いた。なお、比重はほぼ 2.65 である。Iの相似則には $d_m=1.34\text{mm}$ の砂を用い、表-1の式③の d_r, s_r, L_r にそれぞれ $d_r=80/1.34=59.7, s_r=1, L_r=600$ を代入して n を求めると、 $n=3.17$ で、およそ3として式④にこの値を代入すると $I_m=1/60$ となる。また、IIの相似則では $d_m=0.80\text{mm}$ の砂を用いて、同様に表-1の式⑩に $d_r=80/0.80=100, s_r=1, L_r=600$ を代入して $n=2.93$ となり、およそ3として、式⑩に代入すると $I_m=1/60$ を得る。よって、歪模型の水路勾配は、共に $1/60$ である。模型水路は勾配 $1/60$ のステージ上に平面形状を相似にして作製した。次に流量の決定であるが、一般に支配流量は低水路満杯流量が用いられ、これは平均年最大流量に等しいと言われている。豊平川雁来観測所 (K.P.11.1) における昭和48年から平成2年までの18個の年最大流量を対数正規確率紙にプロット (ヘーゼンプロット) したのが図-1である。この図より、平均年最大流量は $440\text{m}^3/\text{s}$ となる。また、図-2に同じデータについての水位-流量曲線を示す。ただし、昭和56年の $1417\text{m}^3/\text{s}$ は高水敷をはるかに越えた水位であったので、これを除いて関係曲線を示した。図-2によれば、低水路満杯流量は約 $1200\text{m}^3/\text{s}$ であり平均年最大流量とは一致しない。この理由は、上流に豊平峡ダム、定山溪ダム等があり洪水時の調節によるものと考えられる。豊平川雁来観測所での低水路満杯流量 $1200\text{m}^3/\text{s}$ を支配流量とすれ

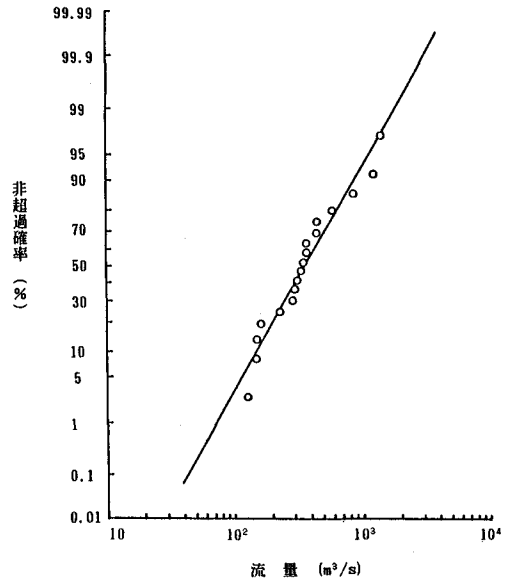


図-1 豊平川 (雁来) の年最大流量

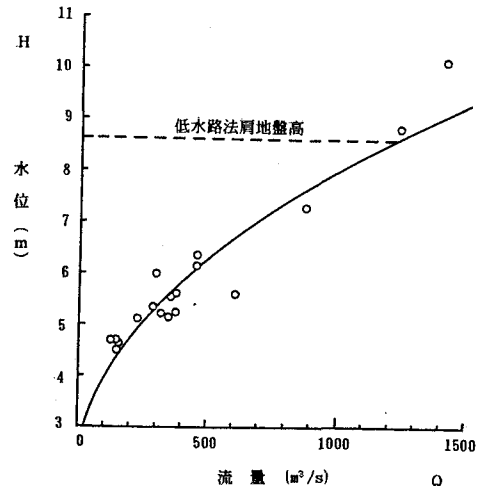


図-2 豊平川 (雁来) の水位-流量関係

ば式⑥、④によってそれぞれ、 $Q_m=1020\text{cm}^3/\text{s}$ 、 $Q_m=590\text{cm}^3/\text{s}$ と定まる。この模型流量の通水では、通水と同時に平坦初期河床が急激に変化して、5分以内に河床平面形状はほぼ相似(写真-1)になるものの、現象の観察も給砂も正確を欠く。このため支配流量以下の2、3種の予備通水実験の結果、支配流量の約6割である $Q_p=670\text{cm}^3/\text{s}$ を採用した。この模型流量はそれぞれ、 $Q_m=630\text{cm}^3/\text{s}$ 、 $Q_m=314\text{cm}^3/\text{s}$ である。K.P.12.6~18.0区間の左右岸沿い縦断面図を図-3に示した。これは、昭和56年洪水後に測量した200m間隔の横断面図から読み取り作製した。図-3は豊平川の河床形状が単列交互砂州であることを明瞭に示している。ただし、図-3の作図において左右岸沿いのどちらかの河床高が最低位の場合、その対岸沿いの河床高は最高位の河床値とした。左右岸縦断面河床線の交点間距離が砂州長であり、砂州波高は、一つの砂州内の最大高低差とした。これらを求めた結果を表-2に示す。

3-2 実験結果と砂州形状の検証

図-4は、模型実験によって形成された、砂州河床の左右岸沿い縦断面図である。勾配による高さを考慮しないで図示した。(a)、(b)はⅠの相似則、(c)はⅡの相似則を用いた結果を示す。(a)は床止めを設置しなかった場合である。(b)との比較では、洗掘箇所はほぼ同じ位置で発生し、その深さも同じ程度であるが、(a)では堆積高が(b)より大きく、そのため砂州波高は(a)の方が(b)より大きい。このことは、床止めの効果と考えられるが、模型床止めは厳密性を欠き、特に上面は滑面であるために掃流砂がフラッシュされたためとも考えられる。(b)と(c)を比較すると、洗掘箇所はほぼ同じ位置で発生し、堆積高も同程度であるが、

表-2 豊平川の砂州長と波高

砂 州 長 (ℓ)	波 高 (H)
K.P. 17.65-16.86=390m	2.50m
16.86-16.50=360m	1.70m
16.50-16.30=200m	3.50m
16.30-15.90=400m	2.45m
15.90-15.35=550m	3.05m
15.35-14.90=450m	2.45m
14.90-14.55=350m	2.45m
14.55-14.06=490m	2.40m
14.06-13.54=520m	2.50m
13.54-13.08=460m	2.00m
平 均 417m	2.50m

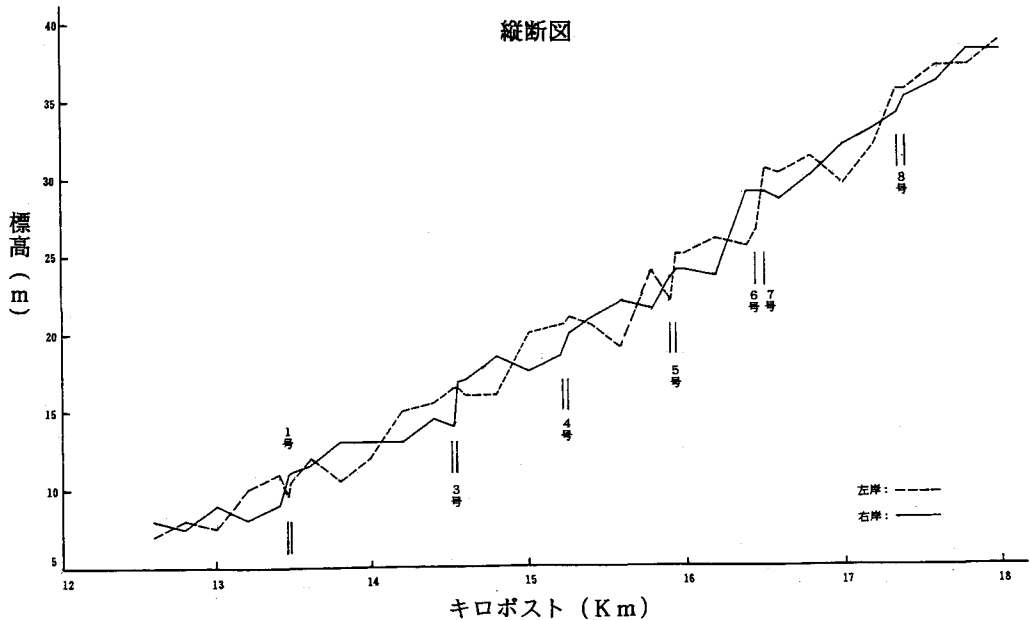


図-3 豊平川河床縦断面図

異なる相似則のため(b)よりも(c)の方が洗掘深が小さくなっている。

写真-1は、対象区間の平成元年度撮影の航空写真に基づいてスケッチした河道・河床平面形状(上)とⅠの相似則の模型流量 $630\text{cm}^3/\text{s}$ を7分通水した後、砂州の堆積部を明瞭にするため白い水溶性ペンキを小流量で流したときの垂直写真(下)である。これらの堆積部はそれぞれ(上)は斜線であり、(下)は黒色の部分である。この写真では詳細な部分が示めされないが、原型のスケッチ図と比べると、砂州平面形状は床止め下流部を除いて極めてよく相似になっていることがわかる。Ⅱの相似則による実験でも同様な砂州平面形状が得られた。

交互砂州形状の波高(Ⅱ)、砂州長(Ⅰ)の相似則¹⁾は、波高が水深程度に歪むことから表-1の②、⑩式より、また、砂州長は水平方向量であるから $L_r=L_r$ として③、⑪式より

Ⅰの相似則の場合： $L_r/d_r=n^2, H_r/B_r=n^{-1} \dots \dots \dots \textcircled{17}$

Ⅱの相似則の場合： $L_r/d_r=n^{5/3}, H_r/B_r=n^{-2/3} \dots \dots \dots \textcircled{18}$

となる。これらの相似則を表-2の原型値と模型の砂州形状値を用いて検討した結果が図-5、図-6である。原型と模型で対応する各々の砂州についての L_r, H_r を求めて算出した結果と平均値についての結果を、前者はその範囲を棒線で、後者は丸印(Ⅱに対して●、Ⅲに対して○)で図-5、6に示した。平均値は砂州長、波高ともに⑪、⑫式によく適合する。

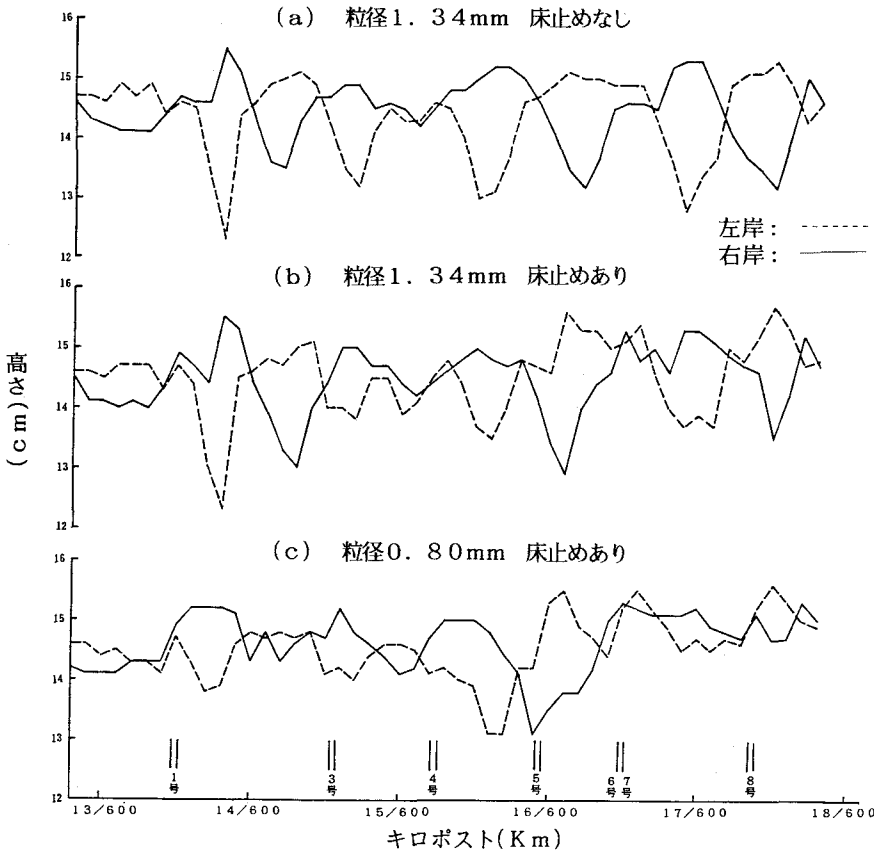


図-4 豊平川模型河床縦断面図

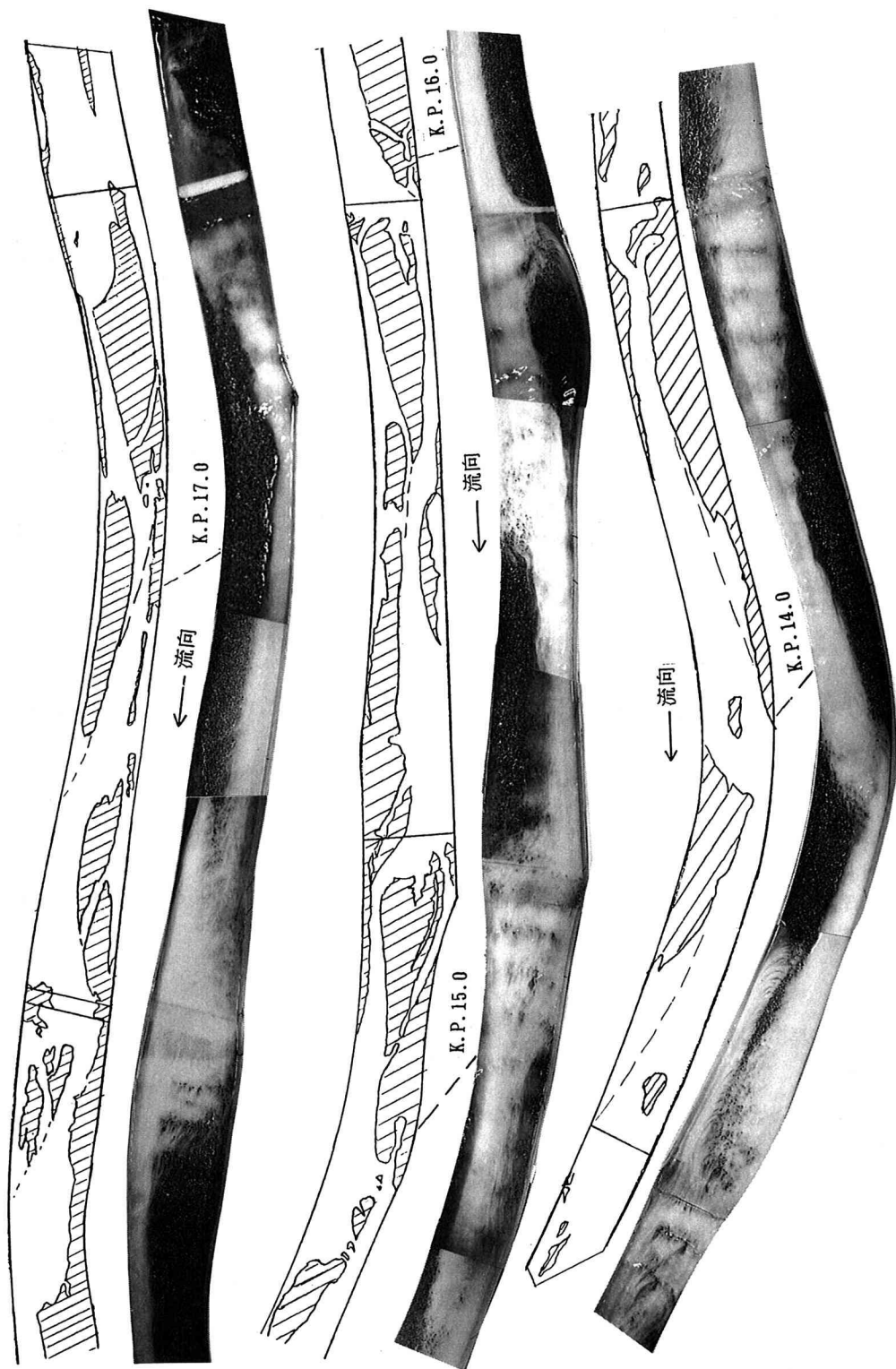


写真-1 豊平川の河道・河床平面形状 (上: 航空写真のスケッチ, 下: 模型垂直写真)

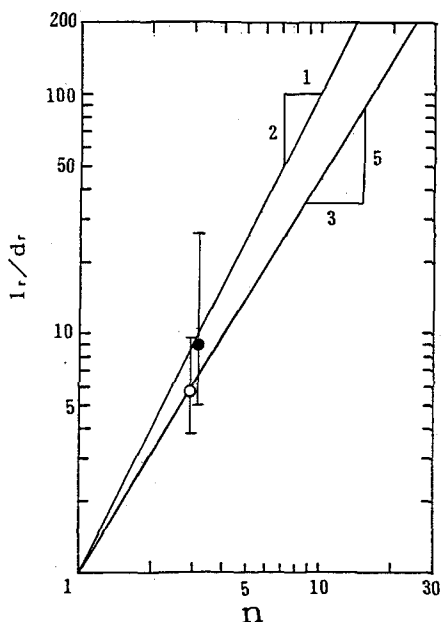


図-5 砂州長の相似則

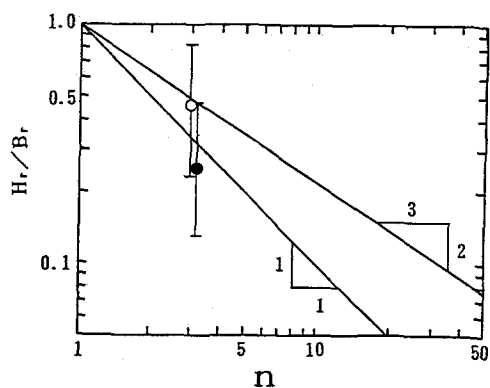


図-6 波高の相似則

例えば、⑩式によれば、模型で測定された平均値 $l_m=78\text{cm}$ 、 $H_m=1.6\text{cm}$ を用いて、 $l_p=n^2 \cdot d_p \cdot l_m/d_m=468\text{m}$ 、 $H_p=n^{-1} \cdot B_p \cdot H_m/B_m=3.03\text{m}$ と求まり、原型値（表-2）を検証・予測できる。

4. おわりに

豊平川（K.P.12.6～18.0）を対象として模型実験を行った。この実験での主眼は砂州形状をいかに正確に検証できるかにあった。平面河床形状はよい相似で発生させることができた。区間平均の砂州長及び砂州波高は比較的良好な精度で検証・予測できた。

最後に、貴重な資料を提供して頂いた北海道開発局開発土木研究所河川研究室ならびに札幌河川事務所の関係各位に深謝いたします。

【参考文献】

- 1) 内島邦秀・早川 博：歪模型実験による交互砂州形状の検証。

土木学会第46回年次学術講演会講演概要集，第2部，1991。