

II-48

比重の異なる河床材料を用いた移動床歪模型実験の有効性

北見工業大学工学部 学生員 魏 炳乾  
 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

著者らはこれまで歪模型の河床材料として砂を用いた河床形状の再現実験を行い、移動床歪模型の相似則の有用性について良好な検証結果を得てきた<sup>1)2)</sup>。本研究では比重の小さい河床材料を用いて、砂の場合と同様に河床形状を再現できるかどうかについて検討し、さらに移動床歪模型相似則の有用性及び歪模型実験の有効性を検証する。

2. 移動床歪模型の相似則

砂州形成領域区分図の両軸の無次元パラメータを模型と原型で一致させることによって相似則を導くことができる。本研究では数多く提案されている中から、歪模型に適した鮭川らの砂州領域区分図の二つの無次元パラメータを用いた相似条件式(1)、(2)及び砂州上の流れの抵抗則として Manning-Strickler 型公式を用いた相似条件式(3)を採用した。

$$\tau_{*r} = \frac{h_r \cdot I_r}{s_r \cdot d_r} = 1 \quad (1)$$

$$\frac{B_r \cdot I_r}{h_r} = 1 \quad (2)$$

$$\frac{u_r}{u_{*r}} = k_r \cdot \left[ \frac{h_r}{d_r} \right]^{1/6} \quad (3)$$

ここで、 $\tau_*$ ：無次元掃流力、 $h$ ：平均水深、 $I$ ：勾配、 $s$ ：河床材料の水中比重、 $d$ ：河床材料の平均粒径、 $B$ ：川幅、 $u$ ：平均流速、 $u_*$ ：摩擦速度(= $\sqrt{ghI}$ 、ここで、 $g$ ：重力加速度)、 $k$ ：定数であり、添字  $r$  は縮尺比(=原型値/模型値)を示し、以後、原型値、模型値に対してそれぞれ添字  $p$ ,  $m$  を付した。

$g_r = 1$ ,  $k_r = 1$  であるから、相似条件式(1)～(3)の中には6個の未知数が存在する。よって、そのうちの3個の物理量を定めれば他の水理量の縮尺比を導ける。ここでは、模型を実験室に収めるための水平縮尺比  $B_r$  と  $I_r (=1/n)$ 、即ち、歪比  $n$  及び  $s_r$  をあらかじめ決めると、他の縮尺比は式(1)～(3)を連立させて解くことにより、次のように表される。

$$h_r = n^{-1} \cdot B_r \quad (4)$$

$$d_r = s_r^{-1} \cdot n^{-2} \cdot B_r \quad (5)$$

$$u_r = s_r^{1/6} \cdot n^{-5/6} \cdot B_r^{1/2} \quad (6)$$

したがって、上の式(4)～(6)より流量  $Q$ 、時間  $t$  及びフルード数  $Fr$  の縮尺比は次のようになる。

$$Q_r = s_r^{1/6} \cdot n^{-11/6} \cdot B_r^{5/2} \quad (7)$$

$$t_r = s_r^{-1/6} \cdot n^{5/6} \cdot B_r^{1/2} \quad (8)$$

$$Fr_r = s_r^{1/6} \cdot n^{-1/3} \quad (9)$$

また、砂州波高  $H$  と河床変形時間（通水時間） $t_s$  の相似則はそれぞれ式 (10), (11) となる<sup>3)</sup>。

$$H_r = n^{-1} \cdot B_r \quad (10)$$

$$t_{s,r} = s_r \cdot n^2 \cdot B_r^{1/2} \quad (11)$$

### 3. 模型実験条件と実験方法

模型水路は、堤防法線間のほぼ中央位置に幅 100m の低水路を試みに設けた水平縮尺  $1/B_r = 1/600$  の忠別川の複断面水路（図-1）で、対象区間は KP6.2~KP12.4 である。上流側の 800m (KP12.4~KP11.6) を助走区間とした。下流端には水位調整も兼ねた可動式の砂止めを、KP9.4 のところには木製の取水堰模型を設置した。模型水路全体は木製で堤外側を塗装仕上げにした。

模型の河床材料として比重 1.34 の火山礫を使用した、その粒径加積曲線は図-2 のとおりで、平均粒径は  $d_m = 1.66\text{mm}$  である。

実験条件は図-3 の手順で次のように決定した。原型の河床材料の平均粒径は  $d_p = 71\text{mm}$ 、平均河床勾配は  $I_p = 1/138$  であり、式(5)より歪比  $n = 1.7$ 、歪比  $n (=B_r/y_r)$ 、ここで、 $y_r$  : 鉛直縮尺比) から模型水路勾配  $I_m = 1/81$ 、鉛直縮尺  $1/y_r = 1/353$  に決定した。したがって、模型水路は勾配 1/81 の可傾斜ステージ上に取り付けた。低水路内移動床の初期河床面位置は対象区間の「計画高水敷高-計画河床高」の平均値が 2.5m であることから、鉛直縮尺より高水敷から 7mm 低い位置とした。実験を行う当たって、前もって火山礫を均一に湿らせ丹念にかき混ぜた後、コテを用いて平坦に敷き均して初期河床面とした。また、実験では定常状態を保持するために水路上流端で初期河床面を維持するように手を使って火山礫を補給した。

実験流量は北海道開発局が行った無歪模型実験<sup>4)</sup> (縮尺 1/50, KP6.0~KP16.6) で採用した中規模洪水の  $Q_p = 900 (\text{m}^3/\text{s})$  とし、式 (7) より模型流量  $Q_m = 0.210 (1/\text{s})$  を決定した。また、歪模型流量の通水時間は、無歪模型実験で採用した洪水継続時間が  $t_{s,p} = 45$  時間であることから、式 (11) を変形した次式より、 $t_{s,m} = 7$  分 51 秒とした。以上の実験条件を表-1 にまとめて示す。

$$t_{s,m} = n^{-2} \cdot s_r^{-1} \cdot B_r^{-1/2} \cdot t_{s,p} \quad (12)$$

横断河床形状の測定には自製の河床形状測定器を用い、止水後に 200m 間隔の各 KP 断面で初期河床面からの高低差を測定した。横断方向測定間隔は 1cm である。

模型河床の洗掘深及び堆積高の原型値換算式は、平均河床面からの高低差  $\eta$  と砂州波高  $H$  が線形の関係 ( $\eta = 0.75H$ ) にあるので、 $\eta_r = H_r$  であり、式 (10) より、

$$\eta_p = n^{-1} \cdot B_r \cdot \eta_m = 0.353 \cdot \eta_m (\text{m}) \quad \text{但し、} \eta_m : \text{mm 単位} \quad (13)$$

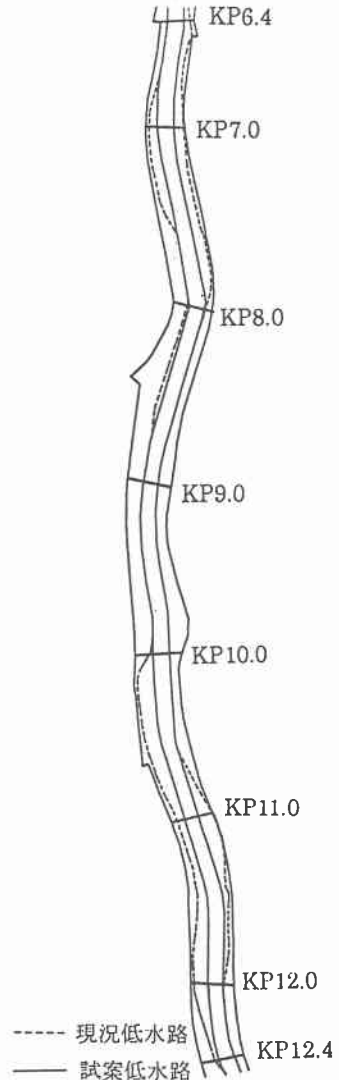


図-1 対象河道平面図

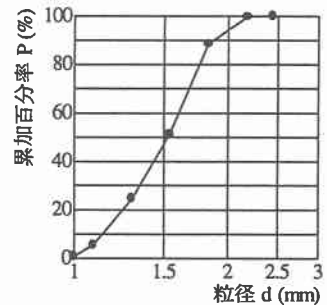


図-2 火山礫の粒径加積曲線

表-1 実験条件

物理量	原型	歪模型
水平縮尺	————	1/600
鉛直縮尺	————	1/353
歪比	————	1.7
勾配	1/138	1/81
河床材料	砂	火山礫
河床材料の水中比重	1.65	0.34
河床粒径	71mm	1.66mm
流量	900m <sup>3</sup> /s	0.210 (l/s)
通水時間	45 時間	7 分 51 秒

となる。また、模型水路の横断方向位置の原型値は  $B_r = 600$  を掛けて求められる。

#### 4. 河床形の再現による歪模型相似則の有用性についての検証

北海道開発局が行った縮尺 1/50 の無歪模型実験（河床材料：砂）における原型値 45 時間通水の定常流実験結果と比較して移動床歪模型実験の有効性を検討するために、歪模型も同じ通水時間で実験を行った。

歪模型で発生・再現された河床形態は無歪模型と同様の移動性交互砂州であった。

図-4 は洪水流下後に止水し、自然排水した後に各断面について測定した横断河床形状の比較図であり、歪模型の河床形については平均河床高を計画河床高に一致させて示している。図-4 において、KP6.4~KP8.6 の河床形状は無歪模型とよく一致しているが、KP8.8 より上流側の横断形状は無歪模型と一致していない。

一般に、移動性交互砂州は流下移動するに従って発達・安定し、移動速度は緩慢になる。無歪模型実験が KP6.0~KP16.6 区間を対象に行われているのに対して、本歪模型実験は KP6.4~KP12.4 区間で行われている。したがって、歪模型の KP8.8 より上流側は砂州の発達域に相当し、このために無歪模型の河床形状に一致しないと考えられる。KP8.8 より上流側では、洗掘位置が無歪模型のそれと左右逆になっている横断河床形状が多いが、砂州波高はほぼ同程度である。

図-5 は両実験の左右岸沿いの河床縦断形状であり、両実験ともに交互砂州が発生していることを明瞭に示している。両実験の砂州の対応関係を点線で表しているが、砂州先端の位置に違いはあるものの砂州の数はほぼ一致している。

以上のことより、河床材料の水中比重縮尺比と歪比を考慮した式(12)による通水時間を設定して歪模型実験を行うことにより、移動性交互砂州発生時においても無歪模型の河床を比較的良好に再現可能であることが分かる。

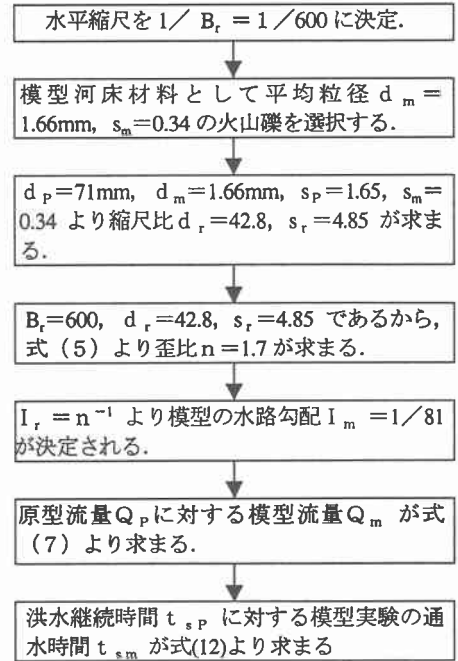


図-3 実験条件の決定

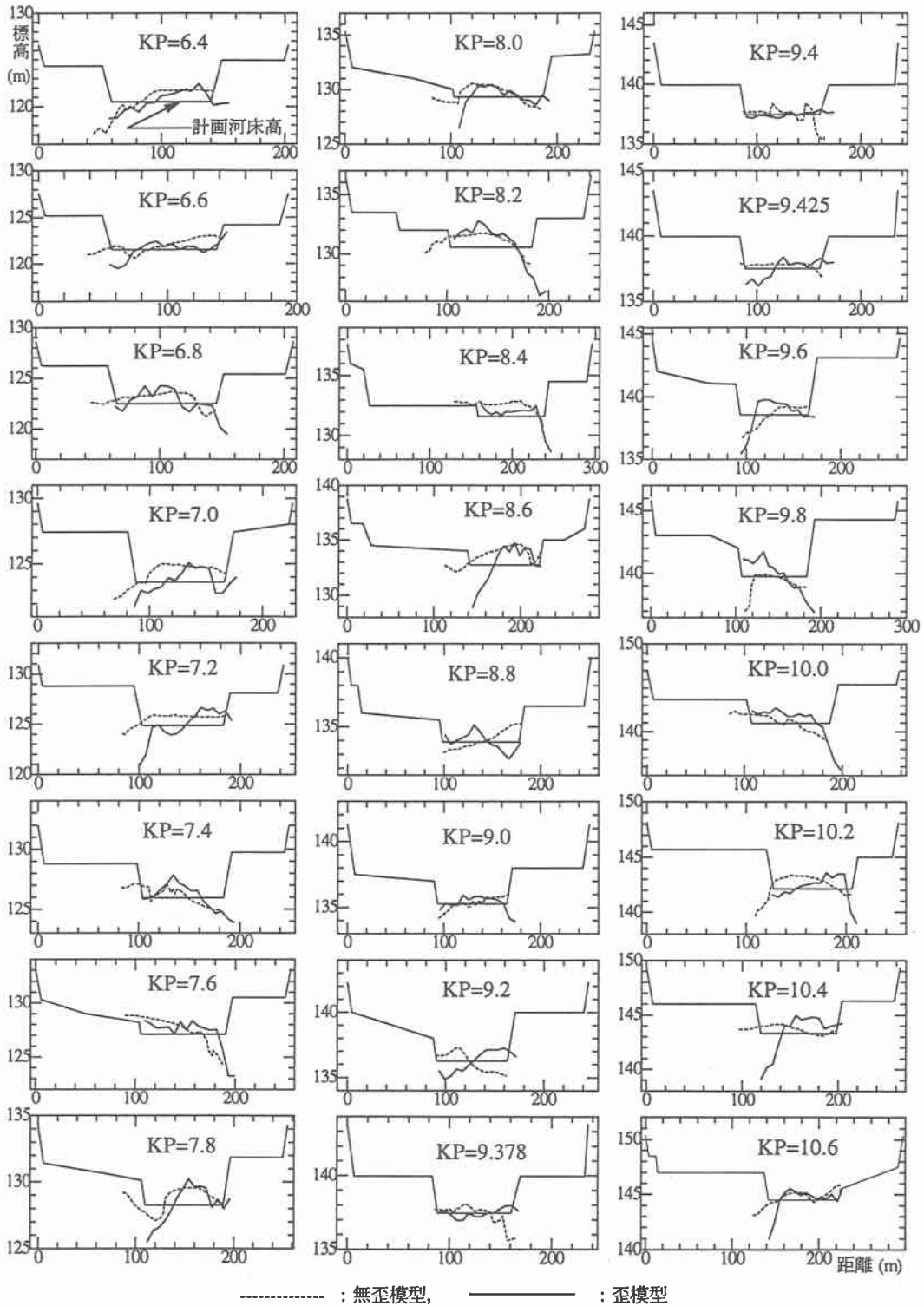


図-4 横断河床形状の比較図

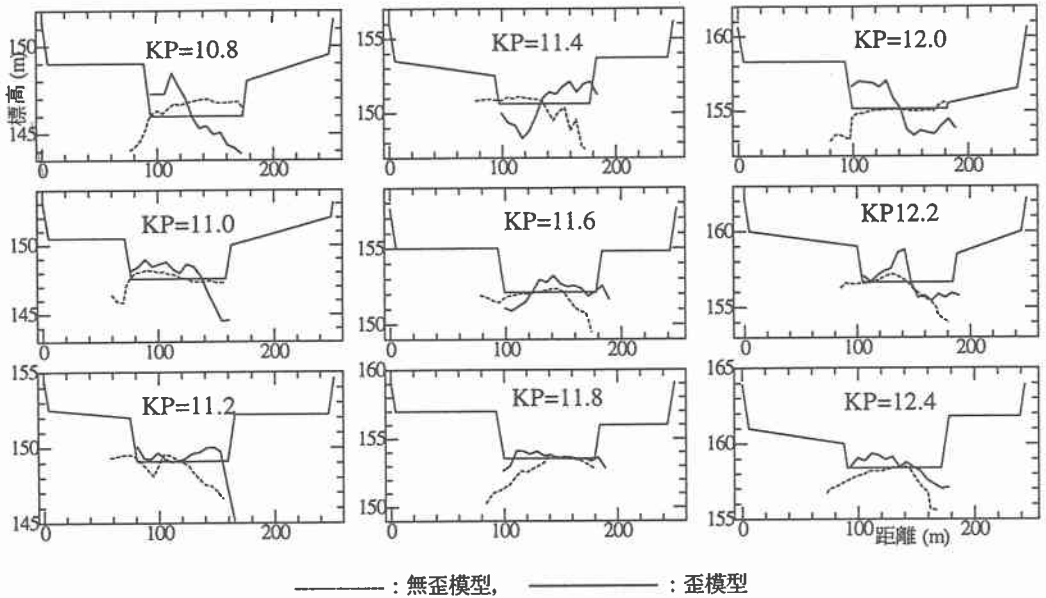


図-4 横断河床形状の比較図(続き)(KP11.6~KP12.4は助走区間)

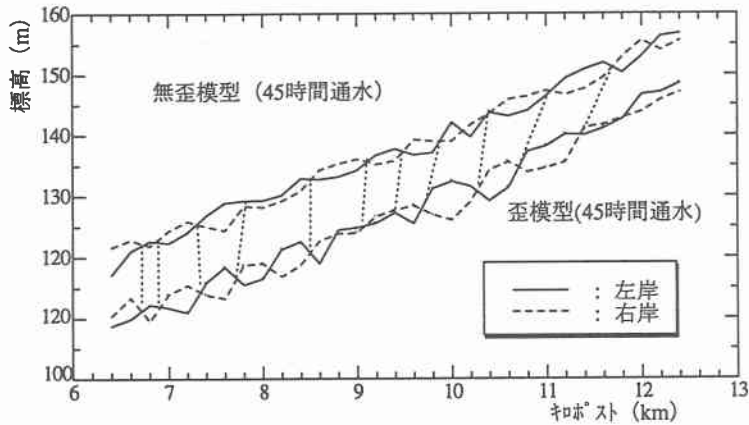


図-5 左右岸沿い縦断河床形状

## 5. おわりに

以上、本研究では、石狩川水系忠別川を対象とし、北海道開発局が低水路河道改修試案(幅100m)に基づいて行った縮尺1/50の無歪模型実験に対し、比重の小さい河床材料(火山礫)を用いた歪模型実験を行って歪模型相似則の有用性を検討した。その結果、歪模型においても無歪模型で形成された河床形状を再現できることが明らかになり、移動床歪模型実験の有効性を確認できた。

謝辞：北海道開発局開発土木研究所の河川研究室より貴重な資料を提供して頂いた。

ここに記して、関係各位に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 内島邦秀・井出康郎・加治昌秀・宇山幹紀・早川博：忠別川の移動床歪模型実験，土木学会北海道支部論文報告集，第51号(B)，pp. 178-183，1995。

- 2) 内島邦秀・高木厚・井出康郎・加治昌秀・早川博：移動床歪模型実験による洪水時河床変動の検討，水工学論文集，第41巻，pp. 1003-1010, 1997.
- 3) 内島邦秀：中規模河床形態の相似則，1995年度（第31回）水工学に関する夏期研修会講義集，A4，pp. 1-16, 1995.
- 4) 北海道開発局開発土木研究所・（財）河川環境管理財団：平成7年度大型水路水理実験検討業務の内急流河川水理模型実験報告書，1995.