

II-38 移動床歪模型実験による洪水時河床変動についての検討

北見工業大学工学部 正会員 内島 邦秀
 北海道開発局開発土木研究所 正会員 井出 康郎
 北海道開発局開発土木研究所 正会員 加治 昌秀
 北見工業大学大学院 学生員 高木 厚
 北見工業大学工学部 正会員 早川 博

1. はじめに

洪水時における河道災害を防ぐには、水衝部の位置や最大洗掘深などを予測し、その河川の河床形状の特性を把握する事が重要であり、その方法として水理模型実験は有効である。著者らはこれまでに、費用の節約、遂行時間の短縮が計られる小型化が可能な歪模型を使用して、洪水時の河床形状を検証してきた^{1)・2)}。

本研究では、石狩川水系忠別川を対象として、まず、縮尺1/600の移動床歪模型と北海道開発局の縮尺1/50の無歪模型³⁾の実験結果を比較し、歪模型相似の有用性を示す。次に計画規模の洪水による災害危険箇所となる水衝部を予測すると共に実際の河川において観測が困難な洪水時の河床変動について考察する。

2. 移動床歪模型の相似則

歪模型の相似則としては、鮭川らの砂州形成領域区分図の無次元パラメータから導出される式(1)~(8)を用いた⁴⁾。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。式(1)~(8)において、n:歪比、h:平均水深、B:河幅、d:平均粒径、u:平均流速、Q:流量、t:時間、Fr:フルード数、H:砂州波高、t_r:通水時間である。

3. 模型水路と実験条件・方法

模型水路は、平面形状を相似にした忠別川の水平縮尺1/600、鉛直縮尺1/250の複断面水路で、対象区間はKP15.8~6.2であり、KP15.2までを助走区間としている。模型の高水敷の粗度は、微少であり流れに及ぼす影響は少ないと思われ、特に考慮していない。また対象区間にある2ヶ所の頭首工(KP15.2, KP12.6)として簡単な蛇籠を設置し、霞堤は実験の便宜上閉じてある。

実験条件は、図-1の手順で決定した。なお実河川の平均粒径はd_p=71(mm)、河床勾配はI_p=1/138である。流量は、忠別川の計画洪水流量ハイドログラフ(最大流量885(m³/s))を段階的増・減水流量で模擬した図-2より決定した。

なお、通水時間は計画洪水流量ハイドログラフにおいて100(m³/s)以上の流量がt_r=40時間継続しているので、式(8)より、t_{r,m}=n⁻²B_r^{-1/2}・t_{r,p}=15分40秒となる。表-1に実験条件をまとめて示す。

横断河床形状の測定には自製の河床形状測定器を用い、初期河床面からの高低差を測定した。測定間隔は横断方向に1(cm)である。

低水路内移動床の初期河床面位置は次のようにして決定した。対象区間の(計画高水敷高-計画河床高)の平均値(h_p=2.5m)を、式(1)によって模型値に換算すると1(cm)となる。したがって、模型高水敷から1(cm)

歪模型の相似則	
$h_r = n^{-1} \cdot B_r$(1)
$d_r = n^{-2} \cdot B_r$(2)
$u_r = n^{-5/6} \cdot B_r^{1/2}$(3)
$Q_r = n^{-11/6} \cdot B_r^{5/2}$(4)
$t_r = n^{5/8} \cdot B_r^{1/2}$(5)
$Fr_r = n^{-1/8}$(6)
$H_r / B_r = n^{-1}$(7)
$t_{r,m} = n^2 \cdot B_r^{1/2}$(8)

A Study on Bed Variation during a Flood by Distorted Model Experiments with Movable Bed
 by Kunihide UCHIJIMA, Yasuro IDE, Masahide KAJI, Ko TAKAGI, Hiroshi HAYAKAWA

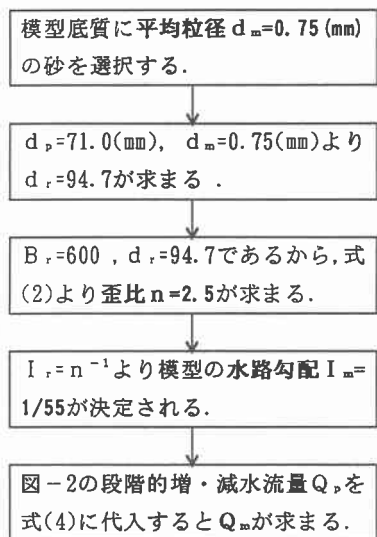


図-1 実験条件の決定

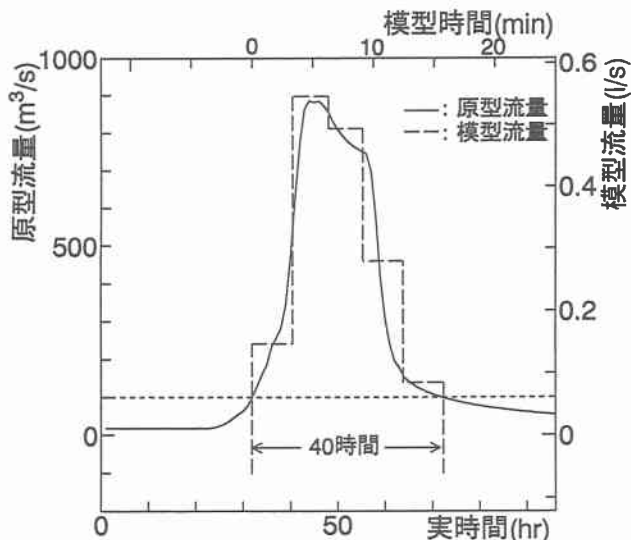


図-2 計画高水流量ハイドログラフ

低い位置まで砂を平坦に敷きならして初期河床面とした。

模型河床の洗掘深及び堆積高を原型値に換算する方法は以下のとおりである。平均河床面からの高低差 η と砂州波高 H が線形の関係にあることから $\eta_r=H_r$ であり, 式(7)より, $\eta_p=n^{-1} \cdot B_r \cdot \eta_m=0.24 \cdot \eta_m$ (ただし, η_m : mm単位) となる。また, 横断方向の原型値換算は水平方向縮尺比 $B_r=600$ をかけて得られる。

4. 歪, 無歪模型による河床形状の比較と水衝部の予測

図-3は, 図-2の流量流下後の河床横断面図であり, 歪模型(実線)と無歪模型(点線)とは平均河床高を一致させて比較した。太実線は無歪模型の高水敷および計画河床高である。図-3を全体的に見ると, KP15.0~KP14.4とKP8.8~KP8.2で, 歪模型と無歪模型の河床形状に差があるものの, ほとんどのKP断面において洗掘や堆積の発生箇所が一致する。特にKP10.2~KP9.6, KP11.8, KP11.6の横断面はほぼ同じ形状を呈していることが分かる。したがって, 無歪模型実験と同程度に歪模型実験によって河床形状の検証が可能であると言える。

歪模型実験において発生した水衝部を図-3に○印で示す。×印は昭和56年8月洪水の最大流量 400 (m³/s) の定常流実験²⁾における水衝部で, 発生箇所はほぼ一致するが, 流量 400 (m³/s) ではKP11.2, KP11.0に水衝部は発生していない。これは流量が大きいと, 上流左岸寄りの主流の直進性が増し, 下流対岸の蛇行部凹岸側に達することが原因である。また, 流量 400 (m³/s) 通水時の河床より州の発達が目立つ。特にKP13.2~KP12.6は, KP12.6に設置されている頭首工の影響で堆積が著しく, KP12.0~KP11.6の中州は減水期の二分された流れにより出現している。

5. 忠別川における洪水時の河床変動

横断河床形状の測定は, 通水中に4時間間隔(原型値に換算)で計10回行った。測定時間は図-2のハイドログラフの各流量通水中の中間および最終時間に対応している。図-4に通水16時間~40時間後の最大洗掘深の変化を縦断的に示す。この図より忠別川において洪水時に激しい深掘れを起こすと予想される箇所(洗掘深4m以上)について, その洗掘の要因を次の3項目に分けて以下で考察する。図-5は各流量ごとの河床横

表-1 実験条件

物理量	原型	歪模型
水平縮尺	————	1/600
鉛直縮尺	————	1/240
歪比	————	2.5
勾配	1/138	1/55
底質粒径	71.0 (mm)	0.75 (mm)
流量	240 (m ³ /s)	0.146 (l/s)
	900	0.548
	810	0.493
	460	0.28
	140	0.085

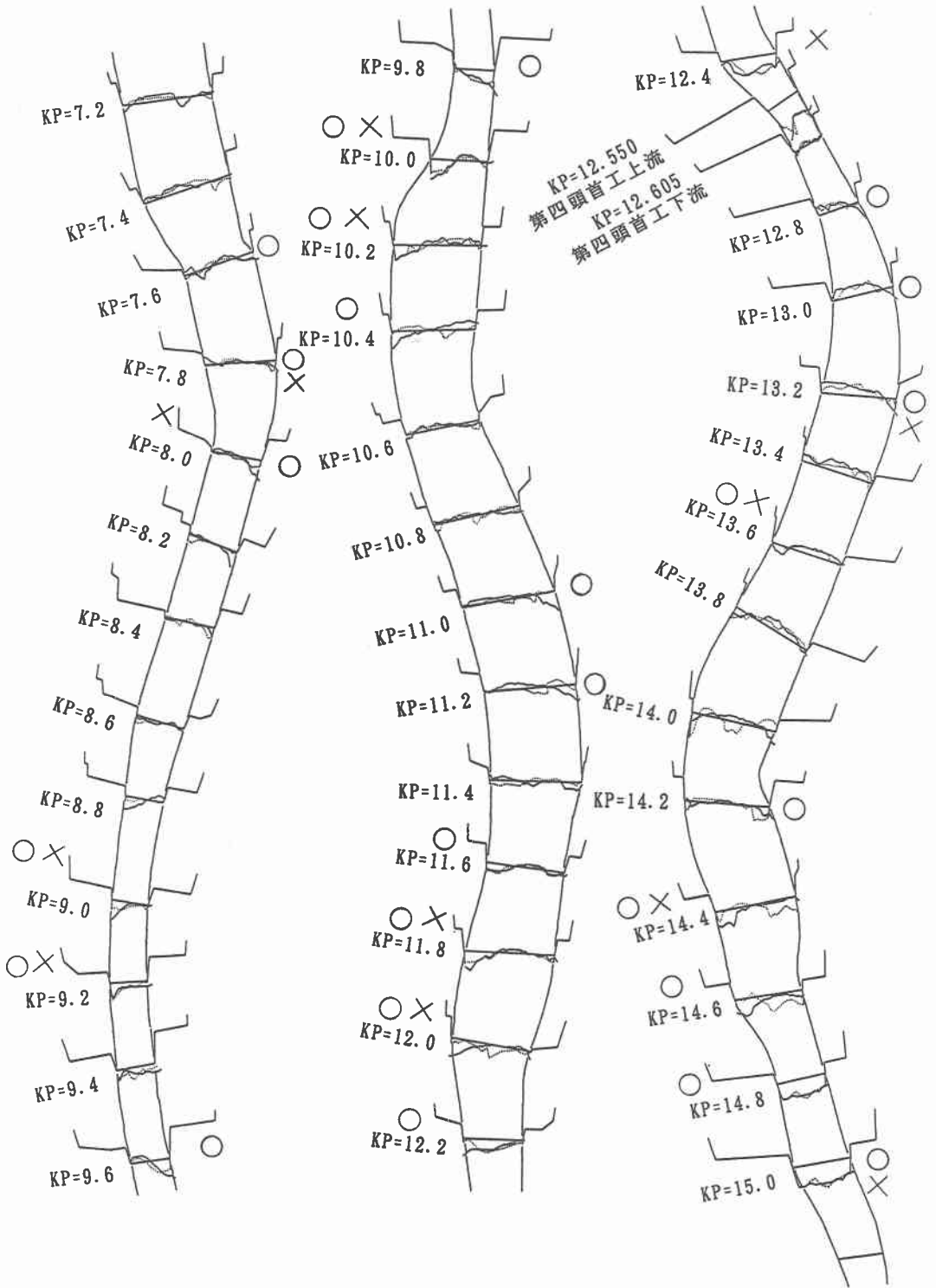


図-3 歪模型実験と無歪模型実験の横断河床形状の比較

断面で、図-6は最大洗掘深及び平均河床高の経時変化図である。

(1) 偏流型 (KP11.8, KP11.2) : この型は、比較的初期に州が発達し、減水期に流れが洗掘部に集中すること(偏流)によって徐々に洗掘が進行する。KP11.8, KP11.2の図-5より両断面とも流量900~810(m^3/s)の間に波高約2(m)以上の州が成長し、その後洗掘が進んでいくのが分かる。また、流量460~140(m^3/s)の間に堆積部の横断形状にほとんど変化が見られないことから、減水期において、洗掘部に流れが片寄っていたと予測できる。KP11.8の図-6からも平均河床高の増加後に最大洗掘深が進行しているのがわかる。

(2) 湾曲流型 (KP13.6, KP13.2) : 湾曲部における遠心力により水面近くの流れが凹岸に集中することによって洗掘が起こる。KP13.6, KP13.2の両断面とも蛇行部の頂点付近に位置する。また図-5, 図-6よりピ

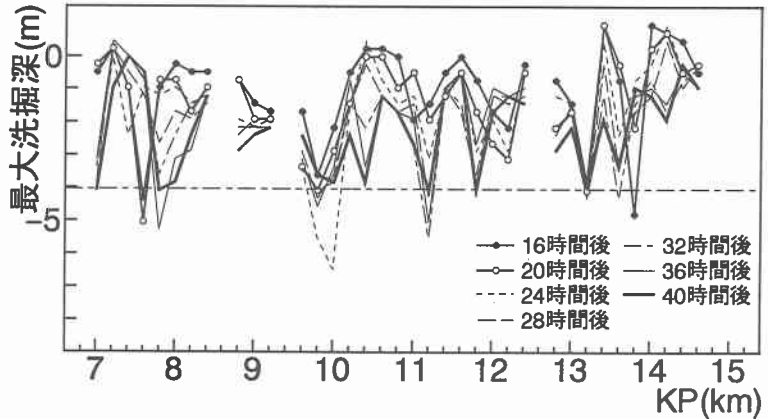


図-4 KP断面の最大洗掘深の経時変化(KP8.6, 9.4, 12.6, 14.8は欠測)

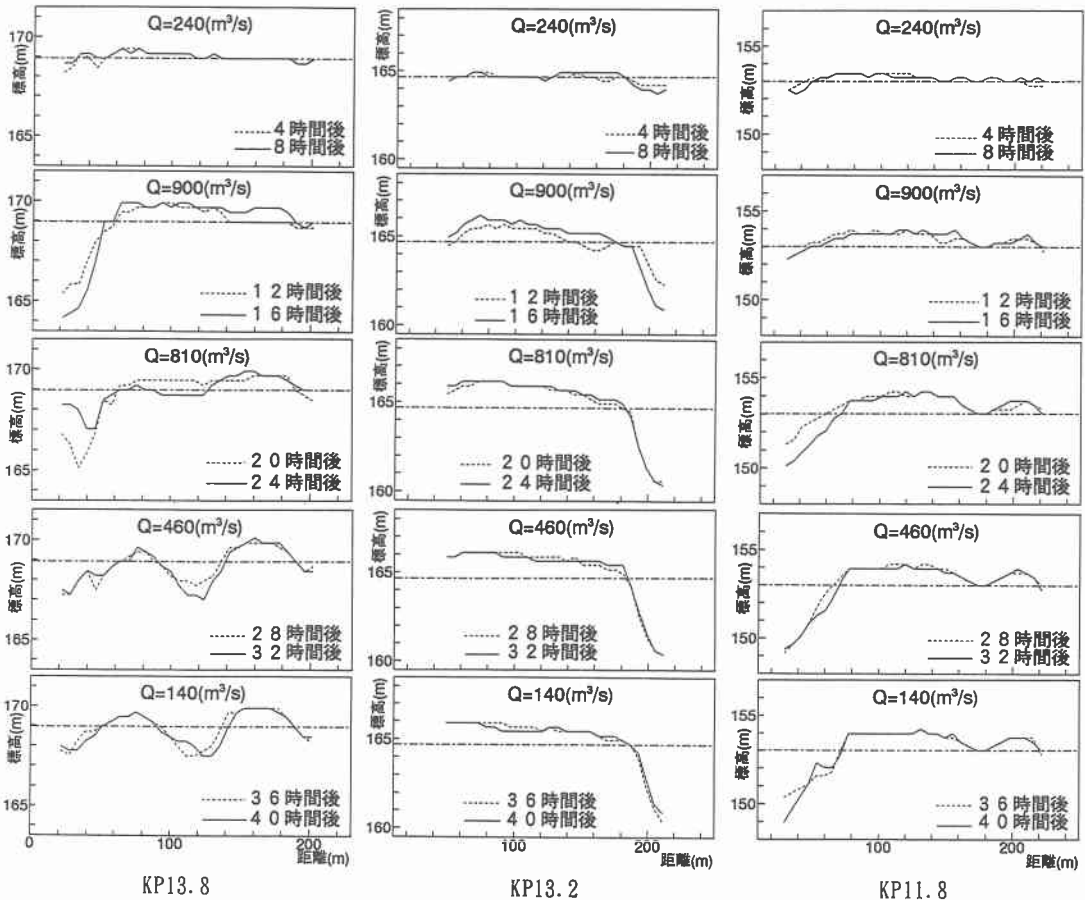


図-5 横断河床形状の時間的変化 (----- : 初期河床面)

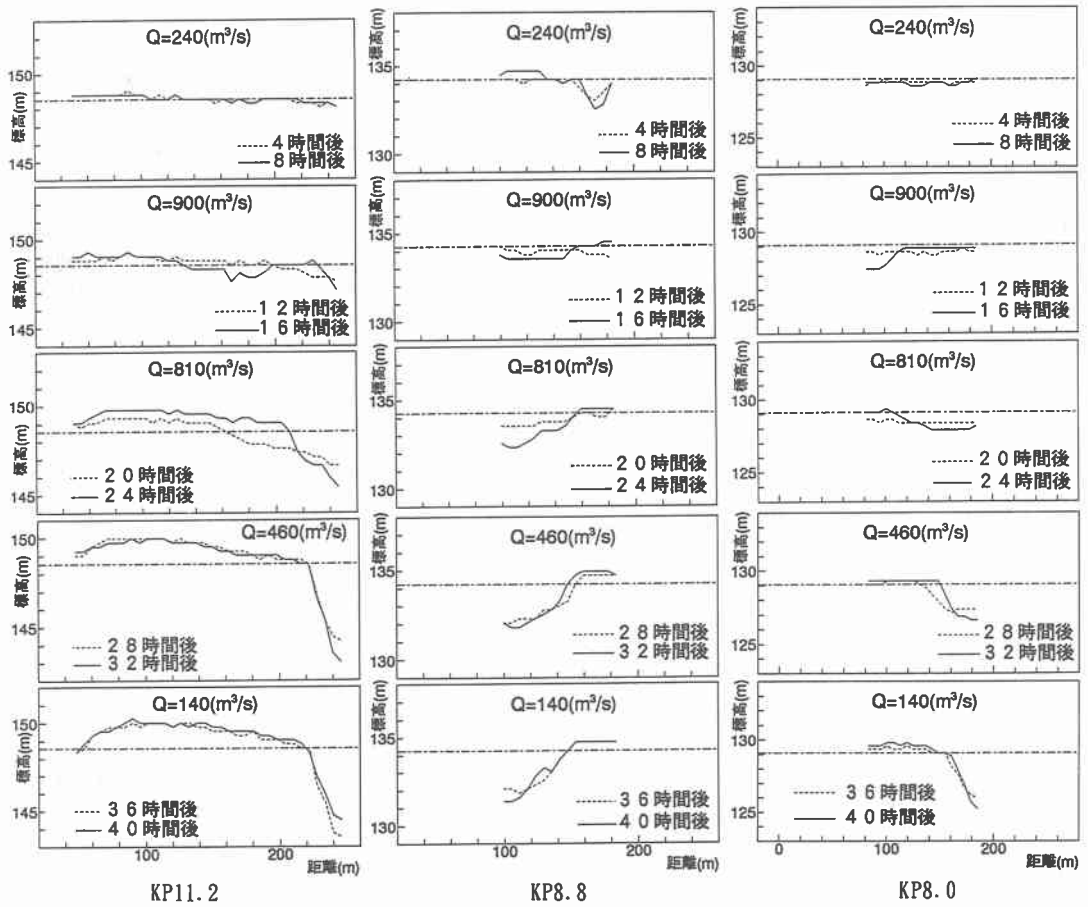


図-5 (つづき) 横断河床形状の時間的変化 (----- : 初期河床面)

ーク流量時に洗掘が進んでいるのがわかり、これはピーク流量時に遠心力が大きくなるためである。

(3) 砂州による洗掘(KP9.8, KP8.0) : KP9.8~KP8.0では、移動性交互砂州が発生する区間で、KP8.8, KP8.0の図-5より、流量240~900(m³/s)通水時に発生した側岸洗掘が、一旦平坦化した後に対岸へ移行していく様子が分かる。

以上の様な要因による洗掘の進行は実際の河川においても観測されており⁵⁾、図-2の段階的のハイドログラフを使用した非定常流実験を行うことによって、洪水時の河床変動を再現することが可能である。なお、代表断面によって洗掘の要因を3項目に分けたが、他のKP断面の河床変動については、これらの複合型の要因が洗掘に影響を及ぼしていることになる。

また、洪水後よりも洪水中に大きい洗掘が発生すると予想される箇所の存在することが図-4より明らかである。いずれも比較的大きな洗掘が発生し、KP10.0に至っては最大洗掘深が5(m)を超えている。また、図-6より、KP10.0では通水終了後までに最深部が2(m)以上、KP13.8では4(m)近く埋戻されている。特にKP13.8, KP7.6では、最大洗掘部を縦断方向に砂州前縁が流下移動して、埋戻しが進行するという現象が観察された。

図-6を全体的に見ると、増水期には河床に大きな変動はなく、ピーク流量~減水期にかけて洗掘が進行する傾向がある。なお、ほとんどの断面において減水期に最大洗掘深が発生するという実験結果を得た。このことは、減水期においては、掃流力の低下に伴って流れは河床低位部に集中し、更に低位部の洗掘が進むものと考えられる。

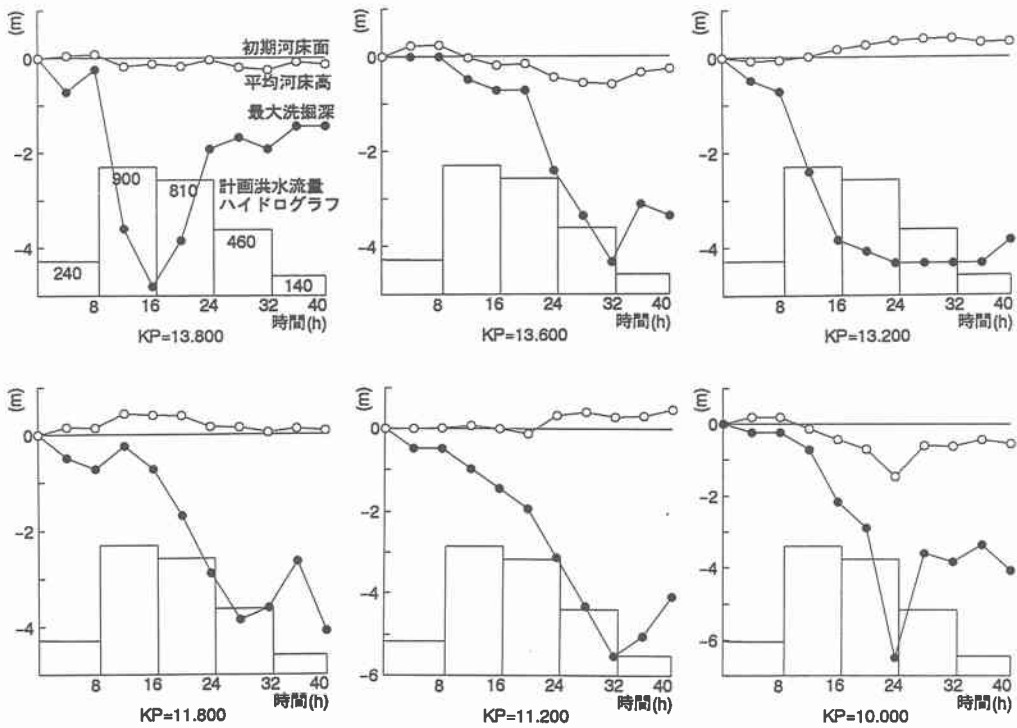


図-6 最大洗掘深及び平均河床高の時間的变化

6. おわりに

以上、本研究では、歪模型の段階的増・減水の非定常流実験によって無歪模型と同程度に洪水時の河床形状を検証することができること、また、減水期に洗掘深が最大となることを明らかにした。

なお、本研究の一部は、(財)河川環境管理財団の平成7年度河川整備基金助成(内島邦秀)を受けて行われたことを付記する。

参考文献

- 1)内島邦秀・早川博・宇山幹紀：湧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50号，pp.516-519，1994.
- 2)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.
- 3)北海道開発局開発土木研究所・(財)河川環境管理財団：平成6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編報告書，1995.
- 4)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.
- 5)小沢功一：蛇行部の流れ，254p，近代文藝社，1995.