

河川狭さく部における洪水時の河床変動特性
Characteristics of Bed Variation at River Contraction during Flood

鳥取大学工学部 道上正規 Masanori MICHIE
鳥取大学工学部 檜谷治 Osamu HINOKIDANI
鳥取大学工学部 南河亮 Ryo MINAMIKAWA

The characteristics of river bed variation at the contraction during the flood are investigated experimentally. Moreover its characteristics for natural river which have several types of contraction are investigated by the numerical simulation on the basis of one dimensional bed variation method. From the experimental results, it is found the tendency that the bed level approaches to the bed level on equilibrium condition of sediment discharge for flood discharge. As the results, the bed level lowers during rising stage and then phenomenon of bed aggradation during the falling stage occurs at the upstream end of the contraction. It is found from the numerical simulations that the bed variation of the contraction is influenced by the approach length, length of contraction and duration of the flood.

Keywords : contraction, river bed variation, flood, bed aggradation

1. 緒 言

河川では流砂量の非平衡状態によって河床変動が生じるが、上流域での流砂量の変化の少ない河川では、河口部の影響を受けている部分を除いて、ほぼ流砂の動的平衡状態が満たされており、大きな河床変動が生じる可能性は少ない。しかしながら、このような流砂の動的な平衡状態が満たされている河川であっても狭さく部など局所的に水理条件が変化する区間では、特に洪水時に大きな河床変動が生じる可能性がある。河道に狭さく部がある場合は、洪水時には一般的に狭さく部の河床は低下し、最大流量時に最大低下量が生じることが予想される。したがって、最大低下量を実験的に検討する場合、最大流量条件を想定した実験が行なわれる場合が多い。しかし、実際の洪水は流量が非定常に変化するために、流量一定条件での実験では再現不可能な現象が生じる可能性がある。特に洪水の減衰期に低下した河床が埋め戻される現象が生じる恐れがある。このような場合、実河川での洪水時の河床変動調査が通常洪水後に行なわれるため、埋め戻し現象のために最大河床低下量を過小評価する危険性もある。

そこで、本研究では洪水時の狭さく部内の河床変動特性について、流量を時間的に変化させた実験を行うことによって検討するとともに、実河川規模での河床変動に及ぼす狭さく部形状などの影響について、一次元の河床変動計算法による数値シミュレーションにより検討する。

2. 実験的考察

2.1 実験の概要

実験に用いた水路は長さ15m、幅40cm、高さ40cmの水路で、水路中央部に図-1に示す狭さく部が設けられている。狭さく部は長さ約1.5mで、水路幅を1/2に縮小したものである。

実験は河床に平均粒径0.65mmの均一砂を敷き、上流端に設置されている流量調節装置で所定の洪水流量を発生させるというもので、図-1中に示す①～⑦地点の水位及び河床高の時間的変化を測定した。

実験に用いた洪水流量条件は、最小流量5l/s から最大流量15l/sまで10分間で増加し、その後20分間で最小流量まで低下するという三角形型の洪水を与えたもの（RunA）と、RunAの洪水継続期間を1/10に短縮し

たもの (RunB) の2種類である。なお、河床勾配は1/250である。

2.2 実験結果

図-2および図-3はそれぞれRunAおよびRunBに対応する結果であり、元河床からの河床変動量および水位の時間的变化を表している。なお、実験は洪水を発生させる以前に最小流量で10分間通水しており、図は実験開始より5分後からの結果を示している。

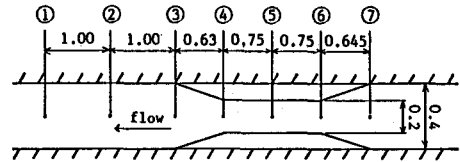


図-1 実験水路

まず、図-2 (c) はRunAにおける狭さく部上流端での結果を示している。流量が増加するにつれて河床が低下しているが、最大流量を過ぎた時点から河床低下が止まり、その後流量が減少するにつれて大きな河床上昇すなわち埋め戻しが生じていることがわかる。また、その埋め戻し量は最大低下量の1/2にも達している。しかしながら、図-2 (b) に示す狭さく部下流端では流量の増加に伴って河床低下が生じているが、流量減少期の埋め戻し現象は見られない。また、図-2 (a) は狭さく部より下流での結果を示したものであるが、この領域ではほとんど河床変動が生じておらず、この状況は狭さく部より上流域でも同様であった。図-4 (a) はRunAに対する実験終了時の河床縦断形状を示したものであるが、流量減少期の埋め戻しが上流端から下流に伝播し、下流端に達する過程で止まっている様子が認められる。

図-3はRunBの結果を示したものであるが、図-2と比較すると狭さく部上流端での流量増加期における河床低下量が少なく、流量減少期における埋め戻しがほとんど生じていない。図-4 (b) はRunBの実験終了時の河床縦断形状を示しているが、図-4 (a)に見られた埋め戻し現象の結果は認められない。

RunAとRunBは洪水の継続期間が異なるだけであるが、特に狭さく部上流端での河床変動に大きな違いが認められた。

2.3 一定流量条件での狭さく部の河床変動特性と動的平衡状態

実験結果より、狭さく部内では洪水の期間中に河床低下および埋め戻し現象が生じることがわかったが、この現象が何に起因するものであるかは不明である。そこでまず、一定流量条件での狭さく部内での河床変動特性について数値シミュレーションによって検討する。計算方法は一次元の河床変動計算法[1,2]を用いた。

まず、計算方法の有用性を検討するために実験結果のシミュレーションを試みた。なお、計算に用いるマニングの粗度係数 n は実験結果より一定値0.015を用い、また、水面形は計算時間間隔内で流量が一定と仮定し不等流計算により求めた。図-2および図-3中の太線が実験値に対する計算値を示しているが、水位および河床高とも計算値は実験値をよく再現しており、特にRunAの狭さく部上流端での流量減少期の埋め戻し現象を良く表現できていると思われる。したがって、この一次元計算法を用いて十分洪水時における狭さく部の河床変動計算が可能であることがわかった。

つぎに、この計算法を用いて一定流量条件での狭さく部の河床変動を計算した結果を図-5に示す。この結果は実験における最大流量15l/sを流したときの狭さく部内での河床高の時間的变化を示したものであり、

図 (a) は狭さく部内の初期河床高を $z=0$ として計算したもので、図 (b) は $z=-10\text{cm}$ すなわち、狭さく部内のみ10cmの河床低下が生じているものとして計算したものである。まず、図 (a) について見ると、通水初期に大きな河床低下がみられるが20分程度で一定な値になっていることがわかる。また、河床低下は狭さく部の上流側の方がやや早く、河床低下が上流から下流へ伝播していく様子がわかる。しかしながら、河床変動が生じなくなった状態での河床低下量は狭さく部内ではほぼ一致しており、この状態が狭さく部内での流砂の動的平衡状態を示しているものと思われる。つぎに、図 (b) について見ると、図 (a) とは逆に狭さく部内で大きな河床上昇すなわち埋め戻し現象がみられ、その埋め戻しの過程は伝播速度に違いはあるものの、図 (a) での河床低下と同様に上流から下流へ伝播していることがよくわかる。また、どの箇所でも同一の河床高になると河床変動が止まっている様子が認められるが、この河床変動量は図 (a) で見られた

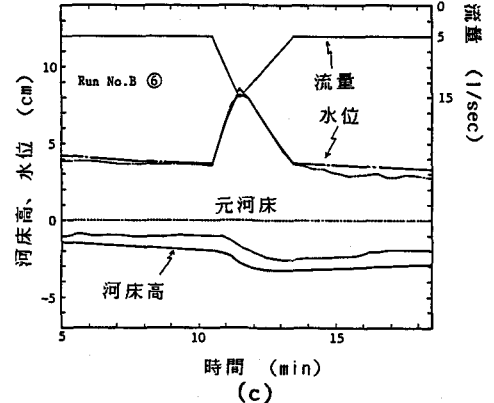
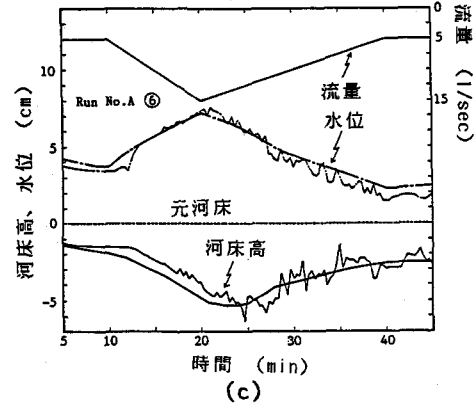
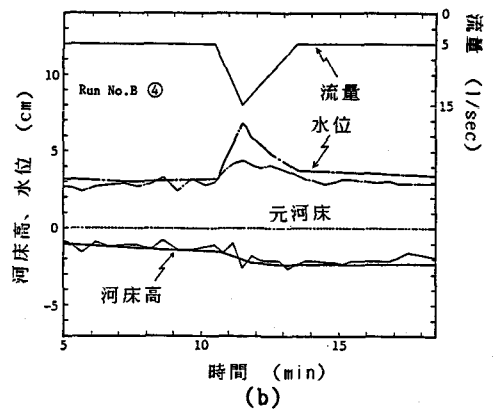
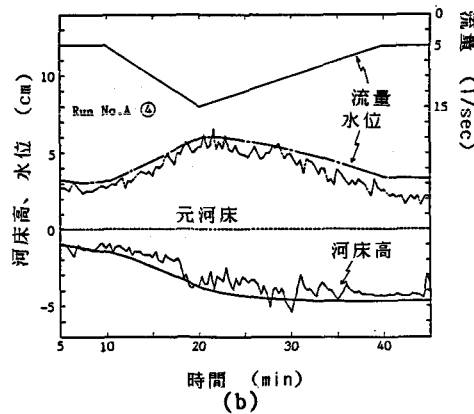
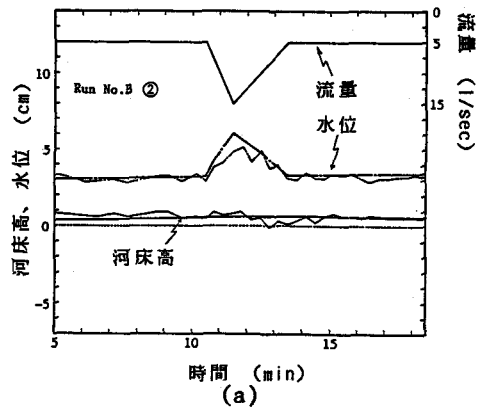
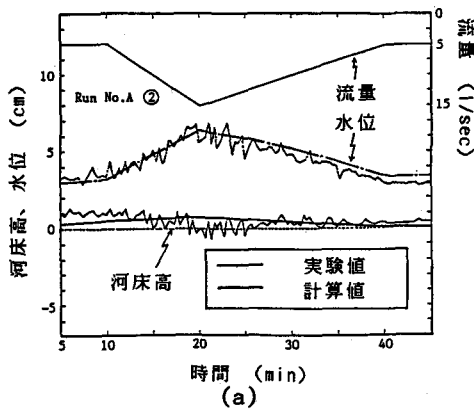


図-2 河床高と水位の時間的変化 (RunA)

図-3 河床高と水位の時間的変化 (RunB)

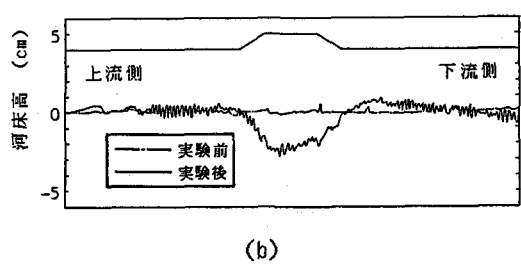
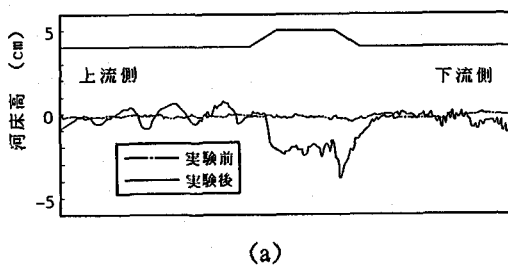
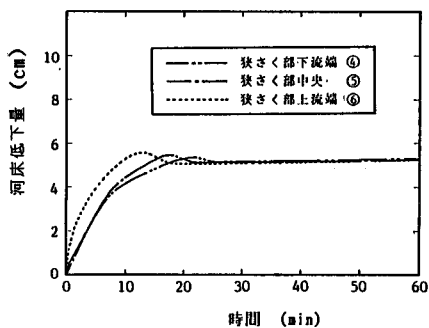
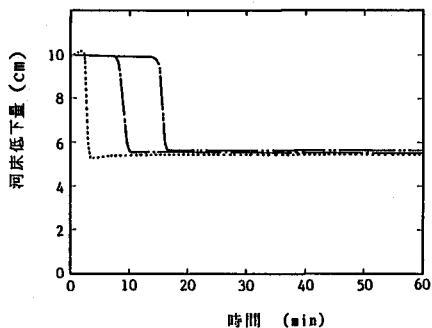


図-4 洪水終了後の河床縦断形状



(a)



(b)

図-5 一定流量条件での河床変動特性

状態と一致しており、初期状態がどうであれその流量に対する動的平衡状態へ移行する傾向にあることがわかる。

一定流量状態での計算結果より、狭さく部内の河床は動的平衡状態に近づこうとする方向に河床変動が生じることが明らかになった。したがって、洪水時のように流量が時々刻々変化するような条件下ではある時刻の河床高とその時刻の流量に対する動的平衡状態の河床高との関係が河床変動に大きく影響することが予想される。そこで、実験における各流量に対する動的平衡状態の河床低下量と実験結果とを比較したものが図-6および図-7であり、RunAおよびRunBにおける狭さく部最上流端での結果について比較したものである。ここで、動的平衡状態での河床低下量に関しては従来の研究 [3]より次式より計算されたものである (図-8参照)。

$$\Delta z_0/h_0 = ((B_1/B_0)^{-4/7} - 1) + Fr_0^2((B_1/B_0)^{-6/7} - 1)/2$$

まず、RunAに対する結果についてみると、流量増加期においては河床は平衡状態より高いので、流量が増加するにつれて河床低下が進み最大流量付近でほぼ平衡状態になっていることがわかる。また、流量減少期では平衡状態よりも河床低下が生じていることになり、河床上昇すなわち埋め戻し現象が起きている様子がわかる。しかし、RunBに対する結果を見ると、流量増加期において河床低下が生じているが、最大流量時に至っても河床低下量が小さく、河床が平衡状態の河床より低くなるのは流量がある程度小さくなった時点であることがわかる。したがって、それ以降は埋め戻しが起こる条件であるがすでに流量が小さくなっており、流砂量がほとんどないために、顕著な埋め戻しが起こらなかったものと思われる。

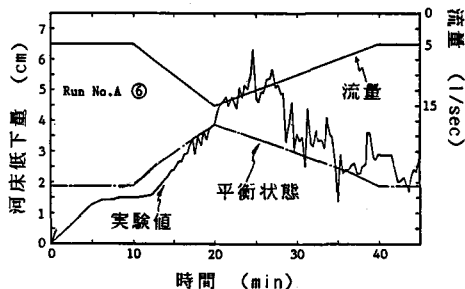


図-6 河床低下量と平衡河床低下量 (RunA)

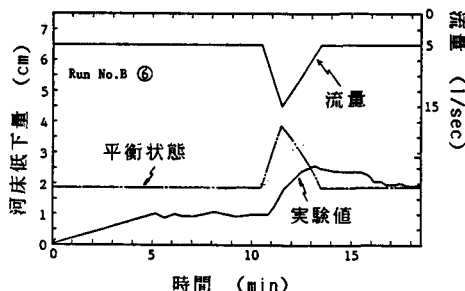


図-7 河床低下量と平衡河床低下量 (RunB)

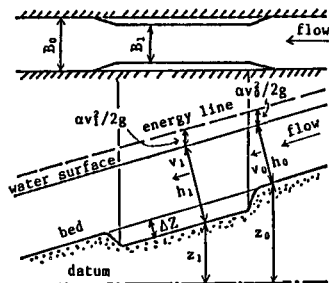


図-8 狭さく部の平衡状態

3. 数値シミュレーションによる検討

実験結果より狭さく部内の河床変動は動的平衡状態の河床と関係があり、洪水継続時間によって大きく特性が変わることがわかった。そこで、本章では、実河川規模での河床変動について数値シミュレーションによって検討する。また、その際の計算条件としては洪水継続時間 T および狭さく部形状の影響について見るために、表-1および図-9に示しているように洪水継続時間に関しては2通り、狭さく部の形状に関しては3通りを考え、それらの組合せにより合計4ケースの計算を行なった。なお、計算に用いた最大流量、最小流量、マンニングの粗度係数、狭さく部の河幅、狭さく部外の河幅、河床材料の平均粒径及び河床勾配を表-2に示している。

表-1 計算条件(1)と計算結果

Run No.	L_1 (m)	L_2 (m)	$\Delta Z_{\max}$ (m)	$\Delta Z_{\min}$ (m)	ΔZ_r (m)	T (hr)
1	25	25	2.068	1.561	0.507	24
2	100	25	1.595	1.566	0.029	24
3	25	100	2.054	1.751	0.303	24
4	25	25	2.068	1.300	0.768	48

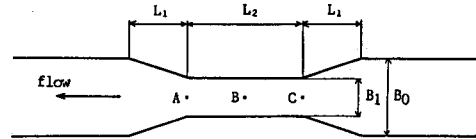


図-9 狭さく部形状

図-10は各Runにおける狭さく部上流端、狭さく部中央部および狭さく部下流端の河床低下量の時間的变化と各時刻の流量に対応する動的平衡状態の河床低下量を示したものである。まず、Run1について見ると、流量増加期における河床低下量は平衡状態の河床低下量の変化に伴って増加し、どの地点でもほぼ最大流量時に平衡状態の河床低下量に達していることがわかる。しかしながら、流量減少期ではどの地点でも埋め戻しが生じる条件であるが、埋め戻し過程が狭さく部上流端から伝播していく現象であるため、狭さく部中央部までは埋め戻し現象が現われているが、下流端では生じていない。つぎに、Run1とRun2は狭さく部のアプローチ部の長さの違いについて検討しているが、両図を比較すると全体的

表-2 計算条件(2)

$Q_{\max}$	3000.0 m^3/s
$Q_{\min}$	100.0 m^3/s
n	0.035
B_1	200.0 m
B_0	400.0 m
d	2.0 mm
i	1/1000

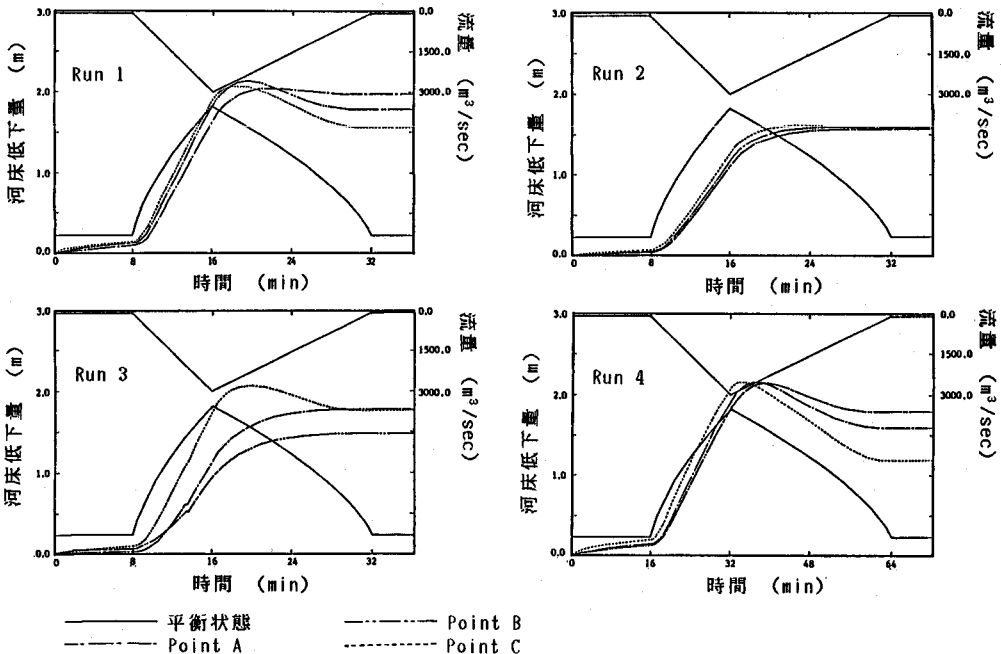


図-10 各Runにおける狭さく部上流端、中央部および下流端での河床変動量

にアプローチ部の長いRun2の河床低下が少なくなっていることがわかる。狭さく部の河床低下は上流端から下流へ伝播して行くことから、狭さく部の上流端での河床低下量に違いがあることがわかる。この理由は狭さく部の上流側のアプローチ部が長くなると狭さく部上流端での流砂の非平衡性の程度が減少するためであると思われる。また、流量減少期の埋め戻し現象についてみると、Run2では狭さく部最上流端でもそれが生じていない。これは流量増加期の河床低下が小さく、埋め戻し現象が生じる条件になるのが遅かったために、流量減少期に埋め戻しが発生しようとしたときはすでに流砂量が少なくなっており顕著な埋め戻しが起こらなかったと考えられる。

Run1とRun3は狭さく部の長さの違いを検討している。両図を比較すると、狭さく部最上流端の河床変動はほぼ同一であるが、下流端の河床変動に大きな違いがみられる。これは流量増加期の河床低下が上流から下流へ伝播する現象であるために生じている結果であると考えられる。また、狭さく部上流端での河床変動はほぼ一致していることから、狭さく部上流端の状況は狭さく部の長さにあまり影響されないことがわかる。

Run4はRun1の洪水継続時間を2倍にしたものである。洪水増加期の河床変動はRun1の状況とほぼ同一であるが、流量減衰期の埋め戻しはRun1に比べて大きくなっている。これは、埋め戻し現象の上流から下流へ伝播していく速度が河床低下のそれに比べて緩やかであるため、洪水の継続時間が長くなれば、埋め戻し量は増加するものと考えられる。

4. 結 論

本研究では、洪水時における河川狭さく部の河床変動特性について実験および一次元の河床変動計算法による数値シミュレーションによって検討した。得られた主要な結果をあげると以下のようである。

1) 一次元の河床変動計算法を用いて実験結果をシミュレーションした結果、狭さく部上流端での埋め戻し現象を良く再現でき、洪水時での狭さく部の河床変動計算に適用できることがわかった。

2) 一定流量条件下での河床変動を数値シミュレーションした結果、狭さく部内の河床はその流量に対する流砂の動的平衡状態に移行しようとし、河床が平衡状態よりも高い場合は河床低下、低い場合は河床上昇すなわち埋め戻し現象が生じる。また、それらの現象は上流端から下流へと伝播するが、その伝播速度は埋め戻し現象の場合の方が緩やかである。

3) 実験結果より、河床は洪水時の流量増加に伴う平衡状態の河床低下量の増加に伴って、その河床高に移行するように河床低下が生じる。しかしながら、流量減少期での埋め戻し現象は流量増加期の河床低下の程度に大きく左右され、流量増加期にある程度平衡状態に近づいていなければ埋め戻しが顕著に生じない。

4) 実河川での数値シミュレーションより、狭さく部内の河床変動は狭さく部の長さ、狭さく部へのアプローチ部の長さ及び洪水の継続時間に大きく影響され、特に、アプローチ部の長さが長くなると流量増加期での狭さく部最上流端での河床低下が遅くなり、その結果流量減少期の埋め戻し現象が生じにくくなる。

参考文献

- [1] Michiue, M., K. Suzuki : Effect of a Large Dam on Sediment Discharge and Morphology of the River Hii, Proc. 21th IAHR, Vol II, pp.331-338, 1983.
- [2] Michiue, M., Hinokidani, O. and K. Suzuki : Effect of a Series of Consolidation Works on the Lowering of River Bed, Proc. 6th APD-IAHR, pp.153-159, 1988.
- [3] Michiue, M., Suzuki, K. and O. Hinokidani : Formation of Low-Water Bed by Spur-Dikes in Alluvial Channel, Proc. 4th APD-IAHR, pp.685-693, 1984.