

急流河川における河川横断構造物近傍の河床変動について

A Study of Bed Variation at Traverse Structure in Rapid Flow River

山下彰司¹ 渡邊康玄² 北條紘次³

By Shoji YAMASHITA, Yasuharu WATANABE and Kouji Houjho

It is well known that the local scour takes place around hydraulic structures such as bridge pier, weir or bed protection works especially in rapid flow rivers. This phenomena is usually observed after the flood and there exists very few data with respect to the local scour during the flood, which is very important in hydraulic designing works.

Bed evaluation during a flood was investigated in order to study the time dependent behavior of the local scour using an automatic riverbed elevation system which as set up along the thalweg downstream of the No.6 and No.7 bed protection works in Toyohira river.

Rapid erosion was observed during the raising stage of the hydrograph, and deposition was observed during the falling stage.

Keywords: local scour, rapid flow rivers, hydraulic structures

1 まえがき

河川の河床変動は昔から水理学上の重要な問題であり、理論的には様々な検討がなされており、室内実験などの検討も行われている。しかし、実現象で出水時の河床変動を経時的に観測した事例は少ない。

当研究室では河川での構造物近傍の河床変動の実態を把握するべく、平均河床勾配が1/200の豊平川の床止めの上下流に河床面を自動計測できる砂面計を4基設置して経年的に河床変動を観測した。観測は平成元年より始まり現在まで続いている。本報文では比較的良好なデータが採取できた平成元年と平成2年のデータをもとに実河川での河床変動の特性について報告するものである。

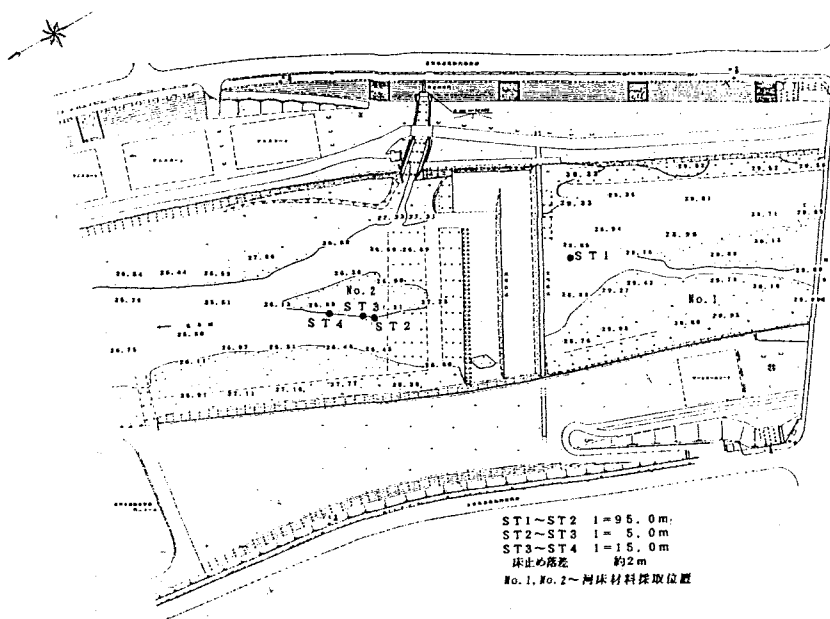


図-1 豊平川砂面計配置図

¹正会員 開発土木研究所河川研究室主任研究員

²正会員 開発土木研究所河川研究室副室長

³正会員 石狩川開発建設部長

2 観測

2.1 砂面計の概要

砂面計は4基あり、床止め上流に1基、下流に3基を縦断的に配置した。縦断的にほぼ1直線上にあり、上流から $ST1, ST2, ST3, ST4$ としている。 $ST1 \sim ST2$ の距離は95m、 $ST2 \sim ST3$ の距離は5m、 $ST3 \sim ST4$ の距離は15mである。なお、砂面計はH鋼に据え付けられており、その全長は6mで、現況では約3mが河床に埋まっている状態である。また、 $ST2$ の上流5mまでは護床工が入っている。

砂面計の構造は図-2の通りであり、 $ST1$ は砂面計のほかに水位計と流速計が設置してある。砂面計は上部よりデータを収録する収録部、記録の採取をコントロールするコントロール部、そして河床変動を感知するセンサー部より構成されている。センサーは発光器と受光器よりなり一定のインターバル（データ採取間隔）をおいて発光器より発光した光を受光器が受光したかしないかでデータ化する。発光器と受光器の間隔は23mmであり、この地点での平均河床粒径50mmより小さい。センサーペアの個数は61個である。センサーペアどうしの間隔は $ST1$ と $ST2$ では5cm、 $ST3$ と $ST4$ では下からのセンサーペアの番号がNo.1~16まで20cm、No.16~26まで10cm、No.26~56まで5cm、No.56~61まで10cm間隔である。データ記録時間は

- A データ採取間隔 10min 記録日数 7日
- B データ採取間隔 1hr 記録日数 40日
- C データ採取間隔 2hr 記録日数 80日

の3パターンがあるが、今回はパターンBとした。

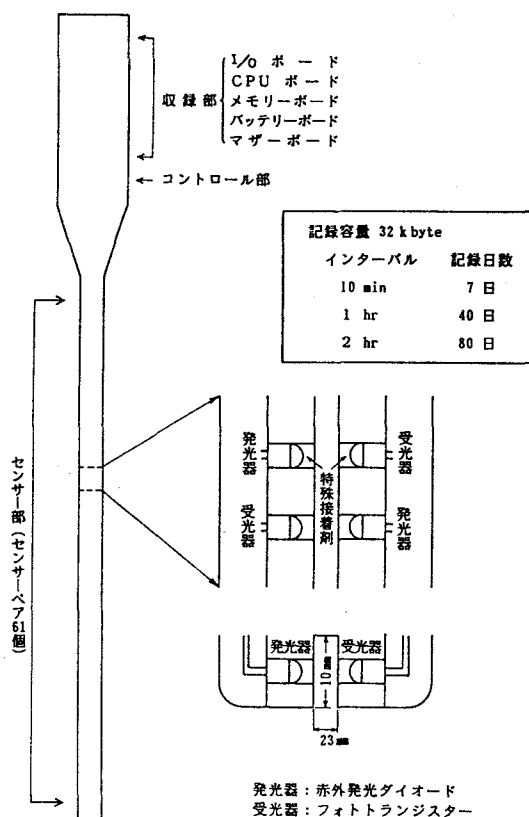


図-2 砂面計構造図

2.2 床止め近傍の河床材料

平成3年9月に砂面計を設置した6・7号床止めの上流1箇所、下流1箇所河床材料調査をおこなった。試験は縦1m、横1m、深さ50cmの穴を掘って試料を採取し、そのうち1/4を用いて行った。結果を図-3に示す。最大粒径、平均粒径とも床止め下流の方が若干大きかった。これは、出水時などで総じて床止め下流の方が流速が早いからだと思われるが、cmオーダーで考えるとほとんど差はない。

豊平川の河床材料は10KP~24KPの間で平均粒径は3.0cm~20.0cmの間で変化する。特に最上流の床止めである8号床止め上流からは平均粒径はかなり大きくなる。

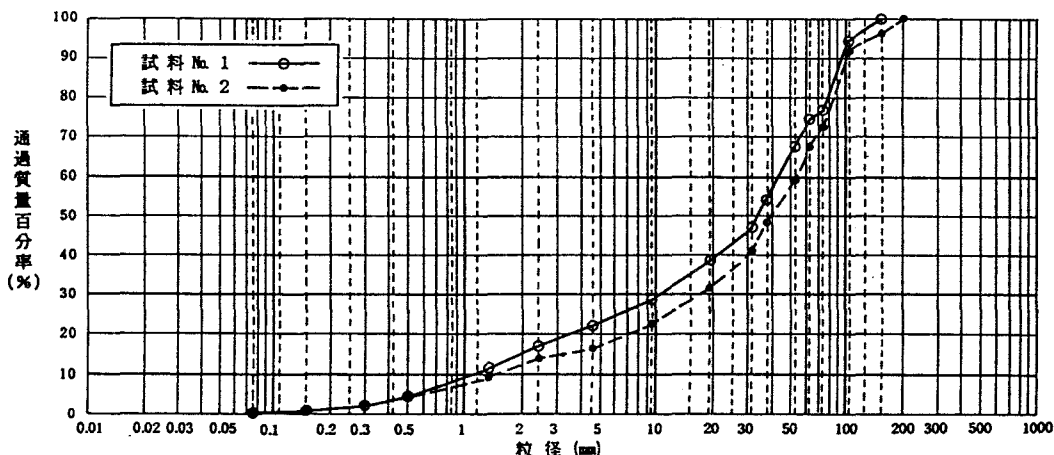


図-3 河床材料粒度分布

2.3 流量資料

ST1には砂面計のほかに水位計と流速計が設置されている。しかし、豊平川は出水時などに流下するゴミが多く、このゴミが流速計にからみついたりし、流速が正確に計れていない場合が多かった。このため、今回の検討にはST1から上流約100mにある幌平橋水位観測所の流量資料を用いることとした。この観測所から6・7号床止めまでの間には支川は流入していない。平成元年～平成4年の4カ年において豊平川での最大流量は平成元年9月の上旬の出水（最大流量 $353.61\text{m}^3/\text{s}$ ）であった。

2.4 観測結果

北海道は積雪地域であり、通常の出水のほかに融雪出水が毎年起きる。図-4、図-5はそれぞれ平成2年4月の融雪出水時の河床変化と平成元年9月の出水時（平成元年～平成4年までの最大出水時）の河床変化を示したものである。なお、図-6は平成元年9月の出水による河床変化が明確にわかるように時間軸を拡大したものである。時間の起算日は平成元年4月1日からである。

図-4をみると流量が急激に変化した $t = 366, 373, 387$ 日において河床も大きく変化している。また、図-5でも流量が大きく変化している $t = 156$ 日で河床が変化している。図-6でみると河床変動は流量が約 $100\text{m}^3/\text{s}$ を越えたときに生じているが、図-4では流量が平均して $100\text{m}^3/\text{s}$ を越える $t = 378 \sim 386$ 日の間大きな河床変動がほとんど生じていない。このことは河床変動が単に流量の大きさではなく流量条件の変化、即ち河床の平衡状態が崩れたときに河床変動が起きることを示している。即ち、河床変動は増水期に洗掘され、減水期に埋め戻しが生じている。図-6より変動量は床止め最下流のST4が最も洗掘されているが、これは跳水位置が影響している為であると思われる。

次に、長期的な河床変動を見てみる。図-7は平成元年4月1日から平成2年12月までの長期的な河床変動と流量変動を示した図である。図より流量が大きく変動した時に河床も大きく変動していることが読み取れる。しかし、この時河床が洗掘を受けるとは限らず、洪水後河床が上昇するケースも見取れる。また、大きな流量が流下した時に河床が洗掘され、その後の小さい流量の流下時に河床が上昇していく現象も現れている。以上のように構造物近辺の河床変動を把握するために河床高の測量などを行う際には洪水中の埋め戻しを考慮する必要があると共に、測量時の河床高が河床の長期的な変化のどの時期にあたるのか把握しておく必要がある。

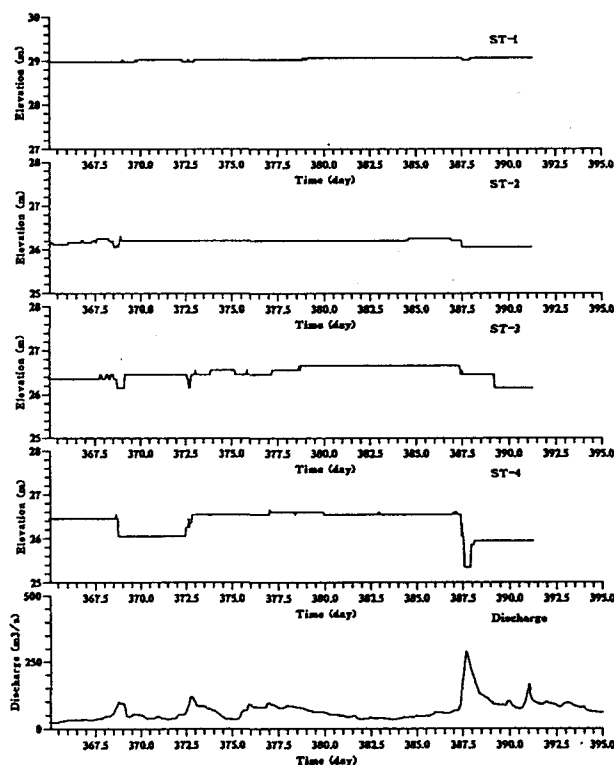


図-4 平成2年融雪出水観測結果

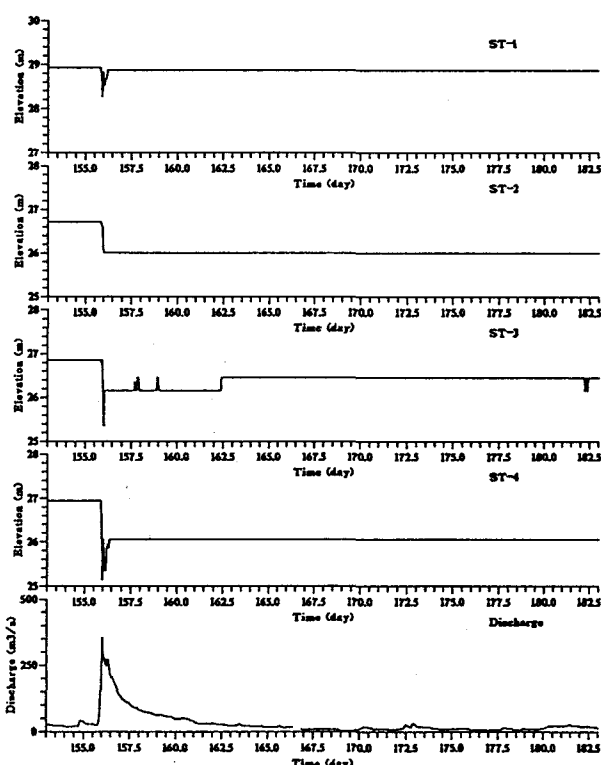


図-5 平成元年9月出水観測結果

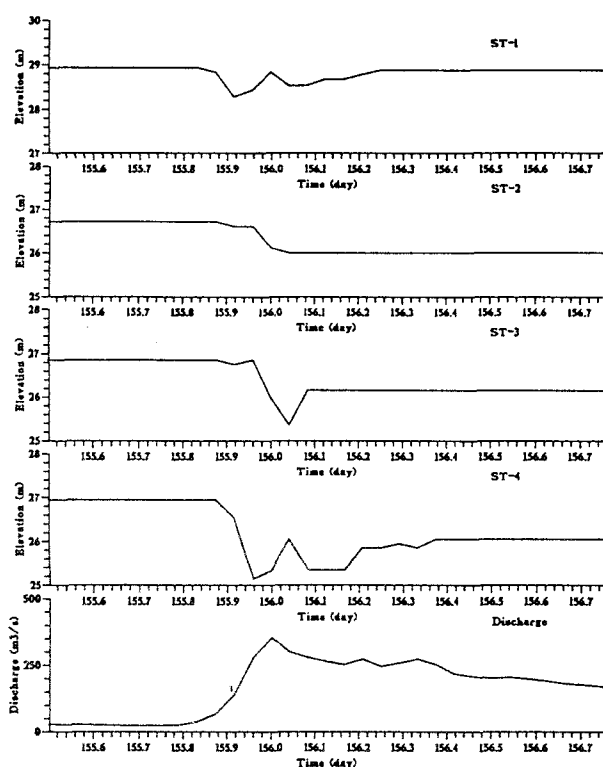


図-6 平成元年9月出水観測結果（拡大）

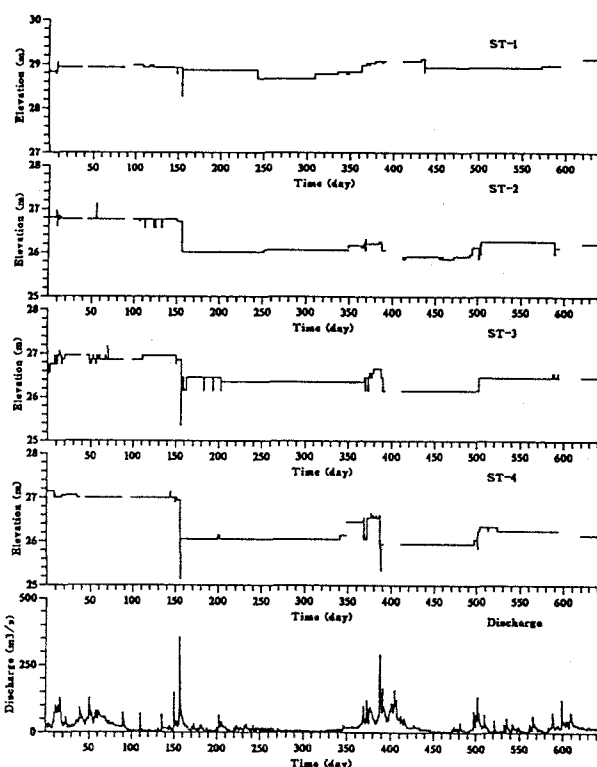


図-7 長期の河床変化

3 観測結果の解析

観測結果を Carstens¹⁾の sediment 数を用いて解析する。sediment 数 N_s は以下の式で示される。

$$N_s = U_0 / \sqrt{sgd} \quad (1)$$

ここで、 U_0 ：床止めの影響を受けない断面での平均流速、 s ：水中比重、 g ：重力加速度、 d ：平均粒径である。

図-8、9 は平成元年9月と平成2年4月の夏季出水と融雪出水時のデータを用いて、縦軸に洗堀深を床止め高（2 m）で無次元化した無次元洗堀深、横軸に出水中の sediment 数をとった図である。無次元限界掃流力を 0.05 とすると静的平衡状態が崩れる限界 sediment 数 N_{sc} は約 2.0 である。平成元年9月の出水時には河床が変動する前の sediment 数は約 0.8 程度であったが、平成2年4月の融雪出水時には河床が変動する前の sediment 数は 2.0 以上であった。即ち、図-8 は静的平衡状態が崩れて河床変動した例であり、図-9 は動的平衡状態が崩れて河床変動した例であると考えられる。具体的には図-8 では sediment 数が限界 sediment 数 N_{sc} を越えてから河床が移動し始めている。これに対して図-9 では sediment 数が 2.6 以上で移動し始めている。

設置した砂面計のうち ST1 は床止めの影響を受けていない。しかし、ST2, ST3, ST4 は床止めの落差による噴流の影響を受けており、ST2, ST3, ST4 の河床変動は河床形態の影響をあまり受けていないと思われる。図-10 は平成元年と平成2年の出水時のデータを芦田・道上²⁾の領域区分図にプロットしたものである。これより出水時の観測地点の河床形態は Transition から Upper Regime に移行している。したがって、出水時に明確な Dune が発達していたとはいえず、ST1 の河床変動は河床波の影響をあまり受けていないと思われ、むしろ水面勾配の変動による供給土砂量と流出土砂量の非平衡の影響を受けていると思われる。

これに対して、ST2, ST3, ST4 の河床変動は流量の増加と共に噴流のため床止め下流の流速が急激に増加し、上流からの供給土砂量の増加率より流出土砂量の増加率の方が大きくなるため洗堀が起り、流量の減少時には床止め上流の供給土砂量の減少率より床止め下流の流出土砂量の減少率が大きいため堆積が起きるとと思われる。

図-8 において ST3 と ST4 の最大洗堀深はほぼ同じであるが、ST3 は最大 sediment 数（即ち最大流速）直後に ST4 は最大 sediment 数直前に洗堀深が最大値となっている。この違いは床止めによって発生する跳水位置が影響していると思われる。

図-9 は図-8 と異なり ST_4 を除いてほとんど河床が変化していない。 ST_1, ST_2, ST_3, ST_4 とも最大 sediment 数前後ではまったく変動していない。これは図-8 と比較して sediment 数（即ち流速）の増加率が小さいからであると思われる。即ち供給土砂量と流出土砂量のバランスが図-8 の時ほど急激に崩れなかったからだと思う。

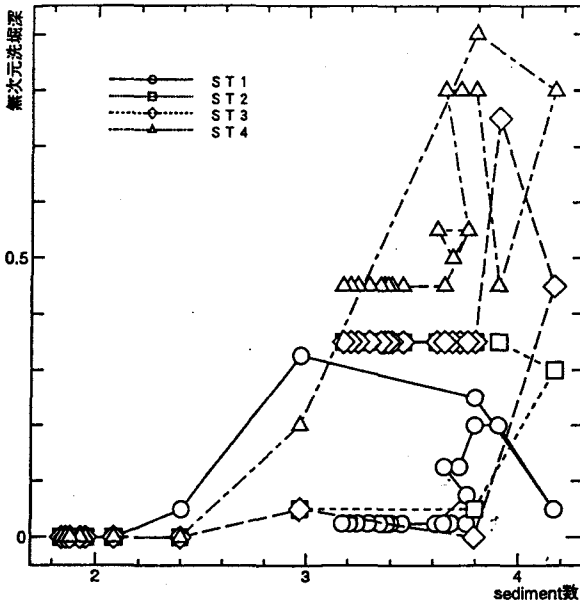


図-8 河床高変化図
(平成元年9月)

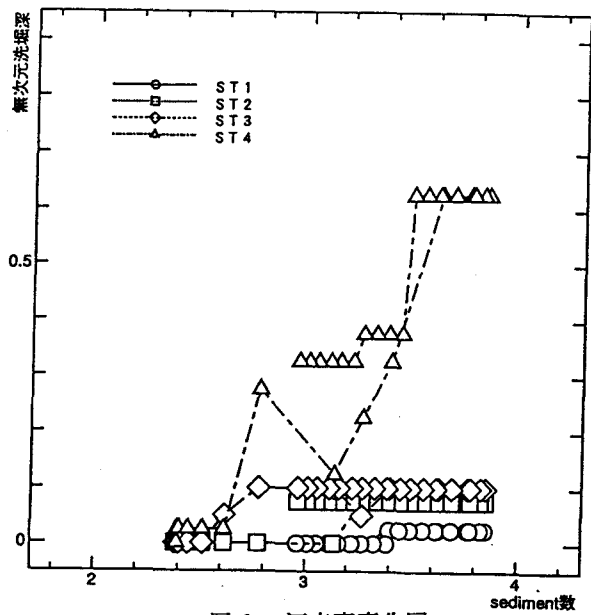


図-9 河床高変化図
(平成2年4月)

4 おわりに

本報文では砂面計を用いた実測データより、定常流でない実際の河川での河床洗堀の実態について明らかにしようとした。

検討では平成元年～平成4年までのデータを用いた。しかし、平成3年度データは融雪期に装置が故障し、また修理後は融雪期より大きな出水は無かった。平成4年度データは平成元年度ほどの出水は無かった。したがって、流量が $1,000 \text{ m}^3/\text{s}$ (計画流量 $2,000 \text{ m}^3/\text{s}$) 規模の出水を経験してなく、大規模出水において河床がどのように変化するか、そのデータは採取されていない。今後、観測を継続して行きたい。

また、当研究室では床止め近傍のみならず、平成4年度に他の河川において設置されたばかりの橋脚の近傍に同様の砂面計を3本配置して、平坦な初期河床から橋脚近傍の河床が洗堀されていく過程を観測している。観測は平成5年3月より始めており、データがある程度蓄積された段階で報告したい。

さらにこれらの現地観測成果を用いて、今後は非定常流における河床変動予測に結び付けて行きたい。

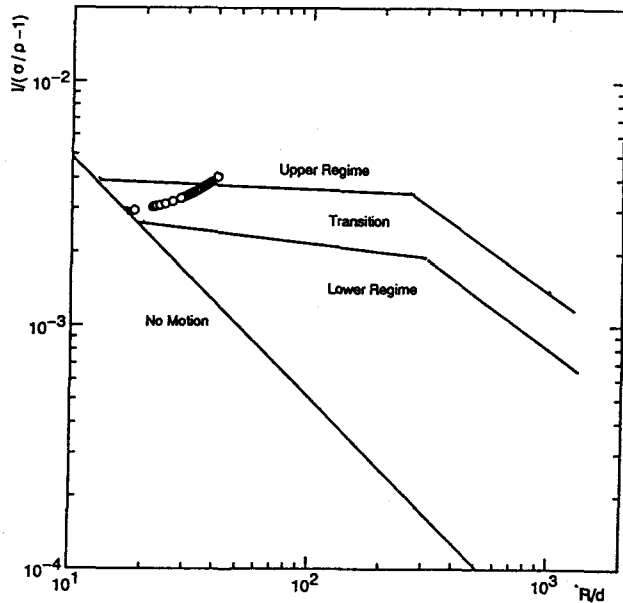


図-10 河床形態の領域区分図

参考文献

- [1] Carstens, M. R.: Similarity laws for localized scour, Proc. ASCE, J. of the Hyd. Div. 92 HY 3, P13-30, 1966
- [2] 芦田和男, 道上正規: 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎研究, 土木学会論文報告集 第 206 号, 1972