

はじめに

水制は、水流の局所的な水理挙動を積極的に制御するための河川構造物である。水制の水理機能は大きく分けて、流速の抑制（減速効果）、水流の抑制（水はね効果）の2つの効果をもつ。北海道の三大急流河川の一つである札内川ではこの2つの効果を利用して水衝部の洗堀・浸食防止さらに複列状の河道を解消し安定した流路を形成すべく水制工による河道改修が進められている。

しかしながら、洪水時の水制周辺の洗堀は現在まで不明確な部分が多い。特に、水制先端部の洗堀は流水が水制に直接当たるため鉛直方向の流れが生じ大きな洗堀が発生する。この現象は、水制基礎部の土砂の流失を伴い水制の前倒れ、欠損が懸念され水制の安定上問題が多い。

本報告では大型水理模型を用いた実験から洪水時の水制周辺の水深の変化による洗堀深の変化、水制間隔と洗堀深および川幅と洗堀深の各関係より水制周辺の河床変動について考察を行ったものである。

水制諸元と水制近傍の河床変動

現在、札内川に設けられている水制は、おもに低水時に水はね効果をもって流路の固定、水衝部における洗堀・浸食防止などを目的として設置されている。また、この札内川では複列状の河道を解消し安定した流路を形成すべく大型水理模型を用いた実験も行われている。平成3年までの大型水理模型による水制を用いた河道安定化実験¹⁾²⁾によると川幅(B)に対する水制長(L)の比(L/B)が0.2以上、水制長(L)に対する水制間隔(D)の比(D/L)が4以下の場合に河岸洗堀の軽減および下流に対しては波及効果が好ましい形で現れるという実験結果が得られている。このことから昨年度の実験³⁾では $L/B = 0.2$ 以上、 $D/L = 4.0$ 以下を水制諸元とし改修計画に添った形での水制配置が考えられ実験が行われている。実験はこの諸元に基づき水制が配置された河道において図-1に示すような計画高水流量($2,647m^3/s$)および $1,496m^3/s$ の中規模洪水流量程度の流下実験が行われた。

図-2にその時の水制配置と水制諸元の一部を示した。

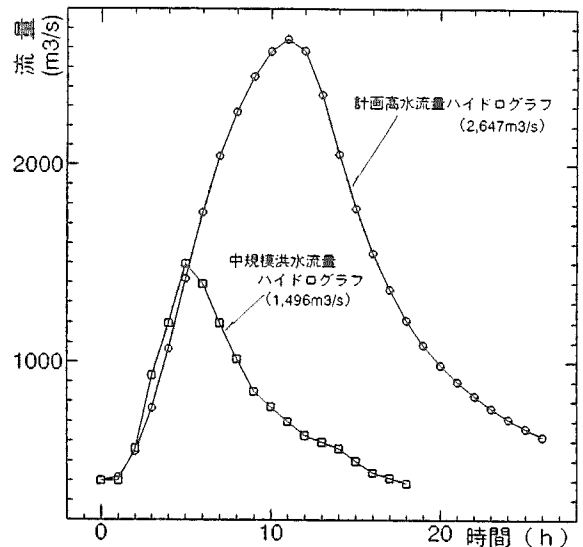


図-1 計画高水流量および中規模洪水ハイドログラフ

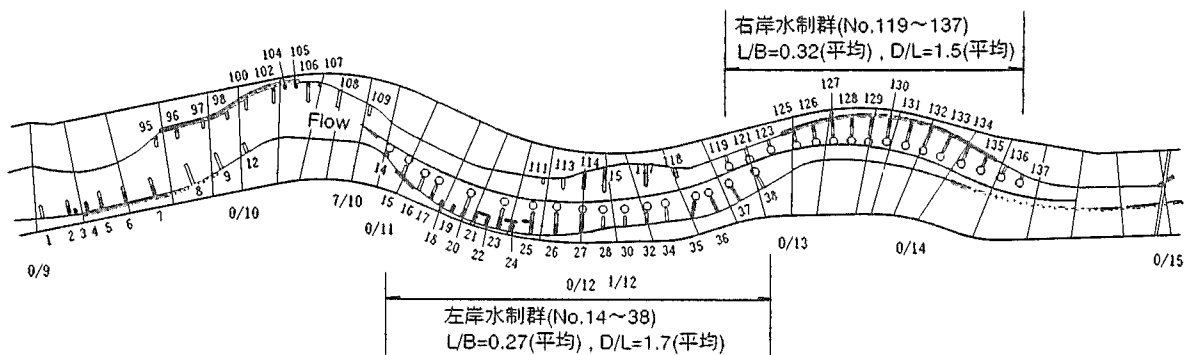


図-2 水制諸元と水制配置

この実験では河岸洗堀の軽減および下流への波及効果においてはある程度良好な実験結果が得られ水制諸元としてはほぼ妥当な値ではないかと考えられる。

しかしながら、このような洪水流量が流下した場合、水制近傍では水制基礎部の洗堀により土砂が流失し水制の前倒れ、欠損等が懸念される。また、水制周辺の局所洗堀は、単独水制と連続的に設置された水制とでは、水制周辺の洗堀度合はかなりの相違があるものと思われる。特に、洪水時の洗堀は今のところ不明確である。

そこで、上述した実験では図-3に示した箇所にてリングを用いた各洪水流量ピーク時の水制先端部の最大洗堀深の測定も同時に行われている。

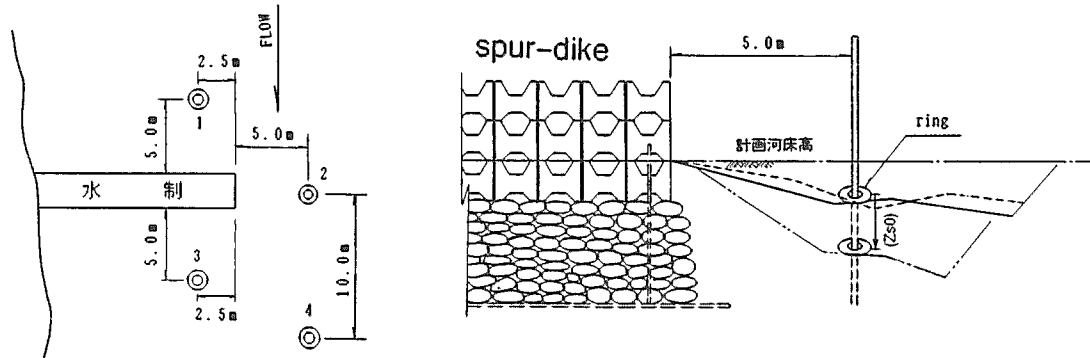


図-3 水制近傍の洗堀測定箇所

今回はこの実験データを使用し図中の1~4の箇所の水深(h)が大きくなることによる洗堀深(Z_s)の変化と水制間隔に対する水制長の比(D/L)および水制長に対する川幅の比(L/B)の各水制諸元と洗堀深(Z_s)の関係について下記にとりまとめた。

まず、水深(h)が大きくなることによる洗堀深(Z_s)の変化について述べる。

図-4は図-2に示した箇所での融雪時と計画高水流量ピーク時および中規模洪水流量ピーク時の水位変化を表したものである。水位は融雪時に比べ中規模洪水流量流下時で約1.3m、計画高水流量流下時では約2.0mほどの水位差があり流量が増すにつれ流速も速くなっているものと思われる。このような場合、水制周辺、特に水制先端部の洗堀はかなり大きくなるものと考えられる。そこで水深が大きくなる場合の洗堀深の変化について検討を行った。

検討は融雪時と各洪水流量流下時では水制周辺の最大洗堀深が水深とどのような関係にあるかを洗堀深と水深の比をもって行った。ここで使用した水深と洗堀深の算出方法は図-5に示すように水制設置箇所での各洪水流量流下時の平均水位から計画河床高までの差および計画河床高から各最大洗堀高までの差を流量別に算出した。これらを用い水深(h)に対する洗堀深(Z_s)の比(Z_s/h)を求めた。検討に用いた箇所は図-2に示した左岸水制群(No.14~38)および右岸水制群(No.119~137)の2箇所である。ただし両水制群とも同じような傾向を示していることからここでは左岸水制群を例に取り上げ述べるものとする。

図-6,7は各洪水流量(計画流量、中規模洪水流量)を通航する前に融雪流量($400\text{m}^3/\text{s}$)を通航し初期河床を設定した際の水深(h_0)に対する洗堀深(Z_{s0})の比(Z_{s0}/h_0)を表したものである。

両図をみると水制先端部の洗堀の位置はさほど変化しておらずほぼ同じ箇所の水制が洗堀されていることがわかる。大きく洗堀されている箇所は図-6で水制No.30、図-7では水制No.30,32付近が水深(h_0)の8~10倍もの洗堀をうけている。他に6倍程度の洗堀箇所もありそれ以外の箇所とでは洗堀深の比(Z_{s0}/h_0)に大きな差が生じている。また、図からは水制先端部の1と2の箇所が同じような洗堀深の比で洗堀されている傾向がみうけられる。このような河床

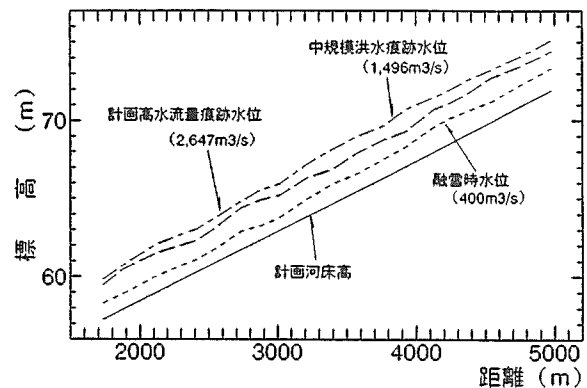


図-4 各実験の水位変動

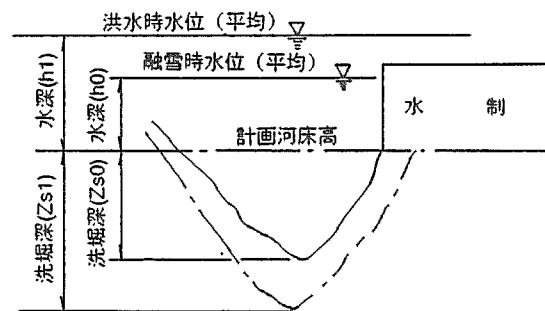


図-5 水深と洗堀深の算定

状態において洪水流量が流下した場合はかなり大きな洗堀が生じるものと思われる。

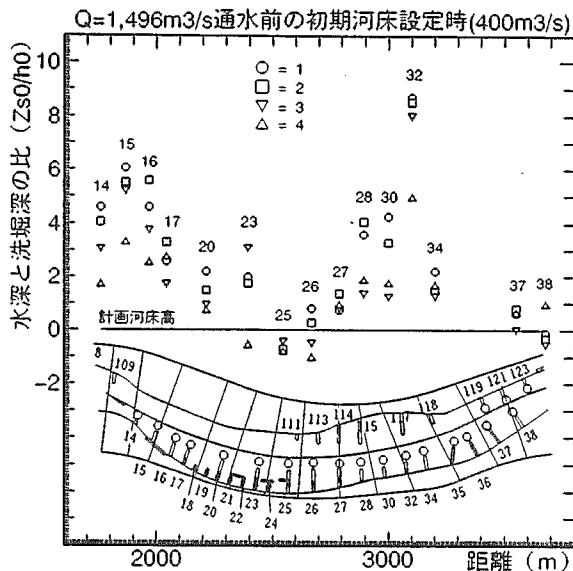


図-6 水深 (h_0) と洗堀深 (Z_{s0}) の関係

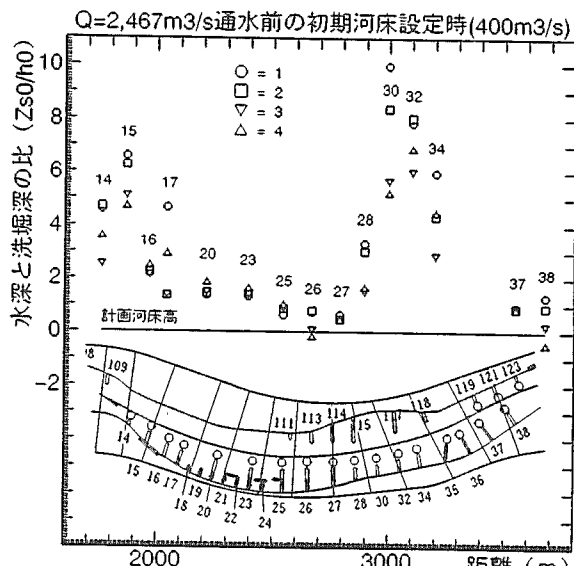


図-7 水深 (h_0) と洗堀深 (Z_{s0}) の関係

そこで、次に洪水流量流下時は水深が大きくなることから水深 (h_1) と洗堀深 (Z_{s1}) の関係について検討を行った。

図-8, 9 は計画高水流量 ($2,647\text{m}^3/\text{s}$) および中規模洪水流量 ($1,496\text{m}^3/\text{s}$) 流下時の水深 (h_1) と洗堀深 (Z_{s1}) の比 (Z_{s1}/h_1) を表したものである。

両図をみると水制先端部の最大洗堀箇所は融雪時に大きく洗堀された箇所とほぼ一致している。このことは、融雪流量流下時に大きく洗堀された箇所 (水制 No.30,32 および水制 No.15 付近) が各洪水流量流下時においても水衝部となりそこを流水が流下した可能性が大きい。また、水深が大きくなることにより洗堀深が増大する傾向は他の水制の洗堀箇所の水深と洗堀深の比 (Z_{s1}/h_1) を見ても明かである。しかしながら、両図からは融雪時に見られたような洗堀深が水深の数倍にもなるような箇所は見あたらない。さらに、興味深いことは中規模洪水流量 ($1,496\text{m}^3$)、計画高水流量 ($2,647\text{m}^3$) と流量および水深が変化しているにもかかわらず水制先端部の最大洗堀深は両図とも水深 (h_1) の 3 ~ 3.5 倍程度と同じような値を示していることである。今回の実験では洪水流量流下時の水制先端部の最大洗堀深 (Z_{s1}) は流量にはあまり関係せず水深 (h_1) の 3 ~ 3.5 程度になるものと思われる。

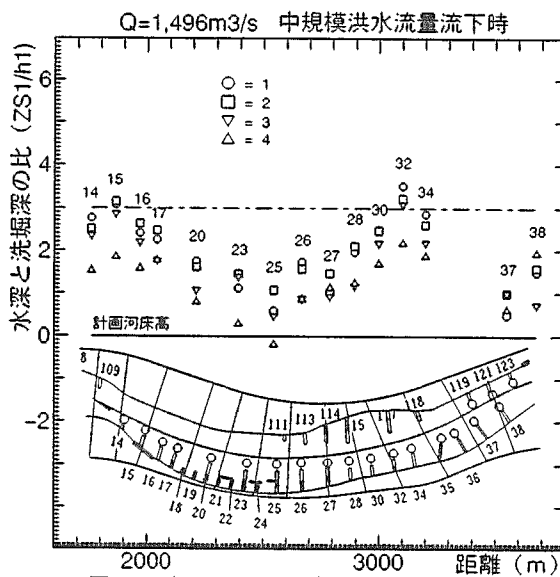


図-8 水深 (h_1) と洗堀深 (Z_{s1}) の関係

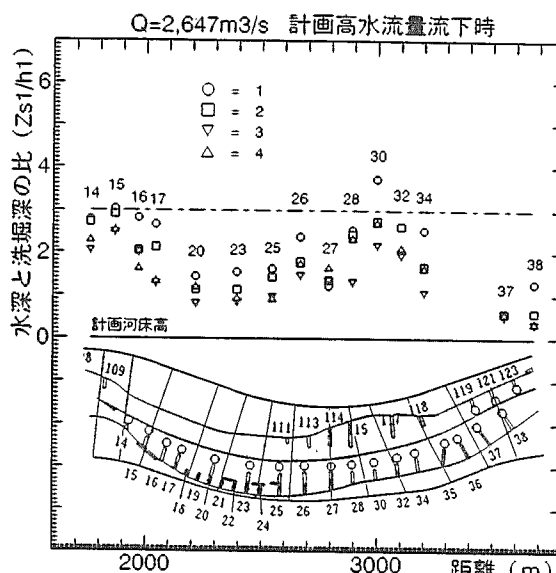


図-9 水深 (h_1) と洗堀深 (Z_{s0}) の関係

そこで、融雪時の洗堀深 (Z_{s0}) と洪水流量流下時の洗堀深 (Z_{s1}) の関係について図-10, 11 にまとめた。

図-10, 11 は融雪時の洗堀深 (Z_{s0}) と洪水流量流下時の洗堀深 (Z_{s1}) の差から融雪時の洗堀深と洪水流量流下時の洗堀深の比 ($(Z_{s1} - Z_{s0})/Z_{s0}$) を求めプロットしたものである。図をみると水制各点 1 ~ 4 (図-3 参照) では融雪時にあ

かり洗堀されなかった水制箇所と大きく洗堀された水制箇所では Z_{s0} に対する Z_{s1} の比が大きく違っており融雪時にあまり洗堀されなかった水制箇所の方が融雪時の洗堀深に対し比率的には大きく洗堀される傾向がある。また、大きく洗堀された箇所(水制 No.30,32 および水制 No.15 付近)は融雪時の洗堀深の 0.5 倍程度以下となっており洪水流量流下時には融雪時のよな極端な洗堀は起こっていないことが伺われる。このことから最大洗堀深は水深の 3~3.5 倍程度の範囲で治まったものと思われる。

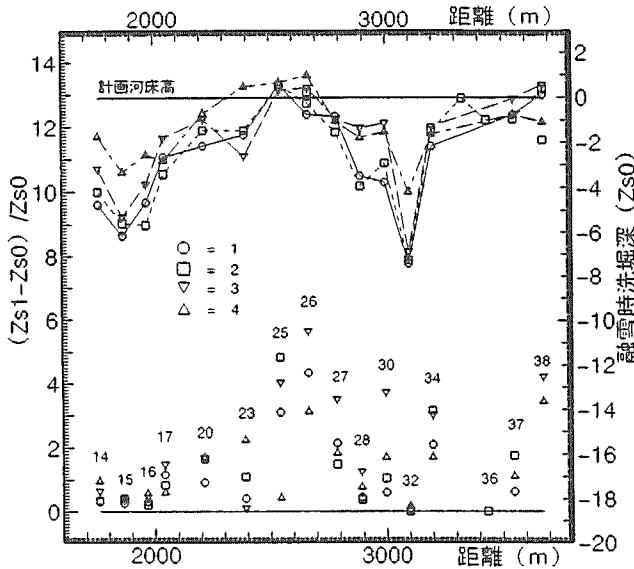


図-10 融雪時洗堀深(Z_{s0})と中規模洪水時(Z_{s1})の関係 ($Q=1,496\text{m}^3/\text{s}$)

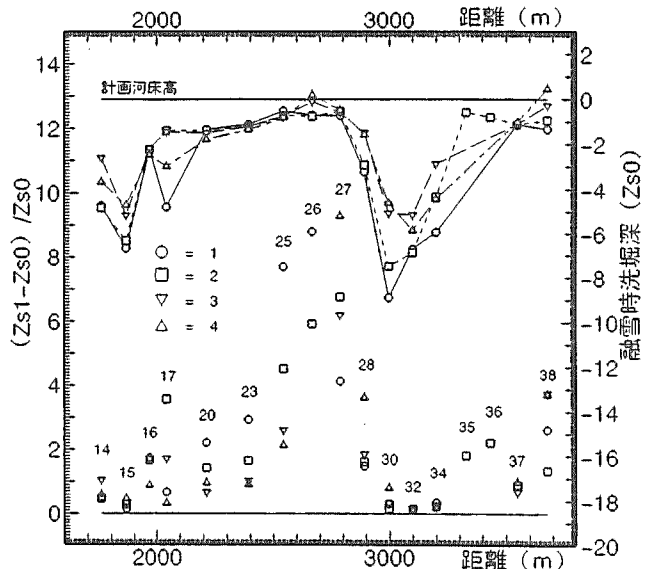


図-11 融雪時洗堀深(Z_{s0})と計画高水流量時(Z_{s1})の関係 ($Q=2,647\text{m}^3/\text{s}$)

次に水制諸元と洗堀深の関係について述べる。

鈴木⁴⁾は、図-12のような連続不透水制周辺の局所洗堀実験の一例⁵⁾を示し上流側の第1水制周辺は単独水制と同様な洗堀特性を示しているが下流側の水制周辺の洗堀深は小さい。しかし、水制長 (L) と水制間隔 (D) の比 (D/L) が大きくなることにより下流側の洗堀深も単独水制のものに近づくと考えられるとしている。

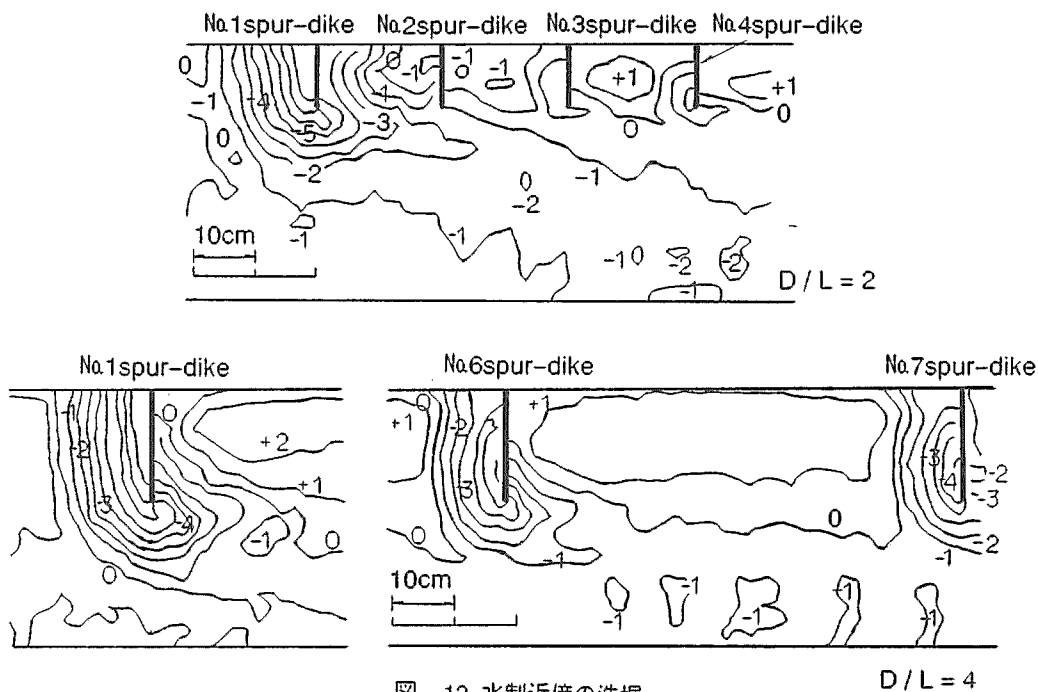


図-12 水制近傍の洗堀

そこで、水制諸元の一つである水制長 (L) と水制間隔 (D) の比 (D/L) について実河川の湾曲した部分に設置された水制群でもこのような結果が得られるかどうか今回実験した左岸(水制 No.14~38)と右岸(水制 No.119~137)の水制群 2 例について融雪時 ($400\text{m}^3/\text{s}$) と計画流量流下時 ($2,647\text{m}^3/\text{s}$) の D/L と洗堀深の関係について図-13, 14 に取り

まとめた。

両図より判断すると左岸水制群と右岸水制群とでは確かに水制間隔が広い左岸水制群よりは水制が密に配置された右岸水制群の $D/L = 1$ 前後では融雪時および計画高水流量流下時においても洗堀深は小さい傾向を示しており上流側の水制の影響を受け洗堀は軽減されている現象が現れている。しかしながら、 $D/L = 2 \sim 3$ の箇所(蛇行変化点付近)の水制にも局所洗堀が生じており一概に D/L の関係からほどの水制が単独水制となり局所洗堀が生じやすくなるかを判断することは難しい。ただし、水制間隔を密にすることにより洗堀深を軽減させることは可能なようである。

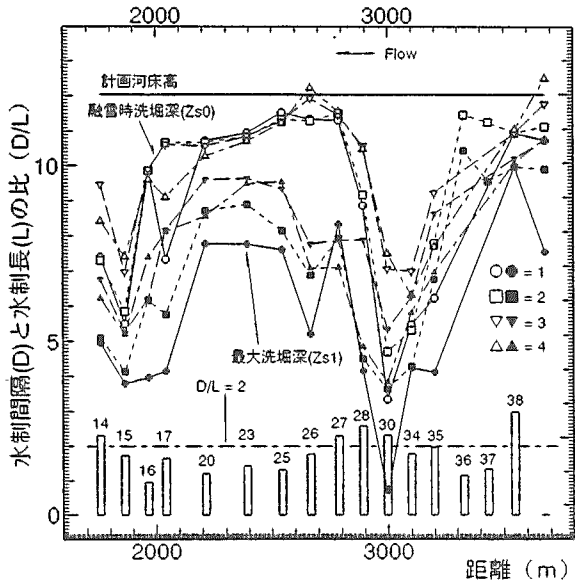


図-13 水制間隔(D)と水制長(L)の比(D/L)と洗堀深(Zs0,Zs1)の関係(左岸水制群)

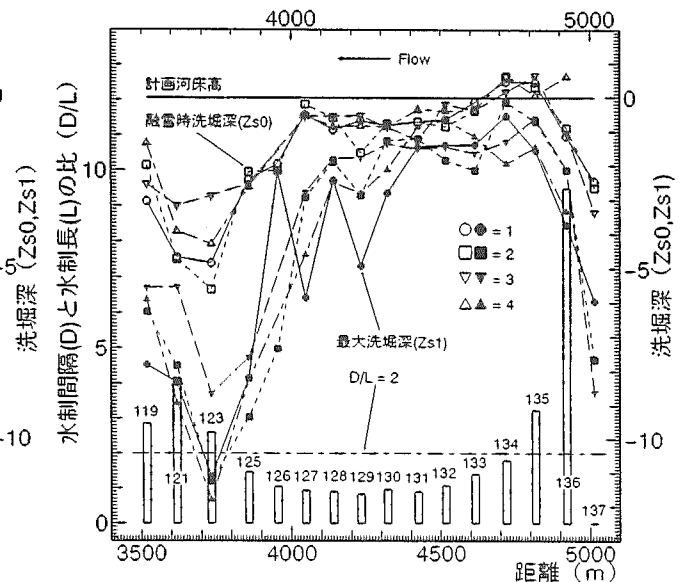


図-14 水制間隔(D)と水制長(L)の比(D/L)と洗堀深(Zs0,Zs1)の関係(右岸水制群)

2番目の水制諸元である川幅(B)に対する水制長(L)の比(L/B)の関係について図-15,16にまとめた。図をみると L/B が0.2以上を示す箇所ではそれほど大きな洗堀は見あたらない。しかしながら、両水制群とも L/B が0.2に近づくにつれ局所洗堀深は増加傾向を示し、さらに左岸水制群の水制 No.28 ~ 34 付近で L/B が0.2以下となる箇所では局所洗堀深はほぼ最大値を示している。この現象は、図-2中の計画流量流下時の流線が示すように流水の蛇行変化点の手前の水制に多い。しかしながら、 L/B が小さな箇所では L/B を大きくすることで流水の曲率半径を大きくし流線を滑らかにすることにより洗堀深をある程度制御できるものと考えられる。

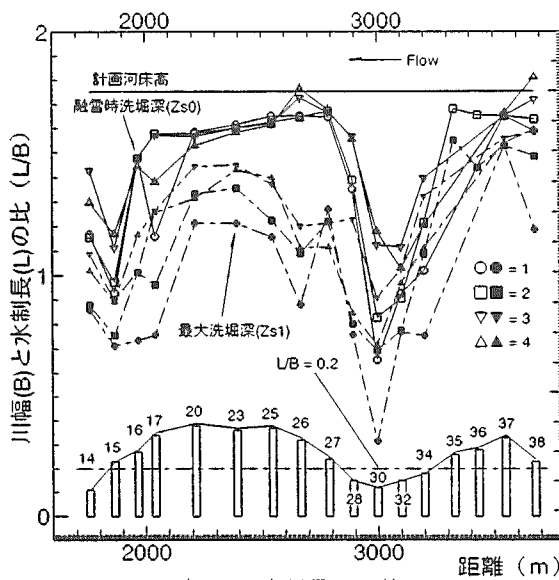


図-15 川幅(B)と水制長(L)の比(L/B)と洗堀深(Zs0,Zs1)の関係(左岸水制群)

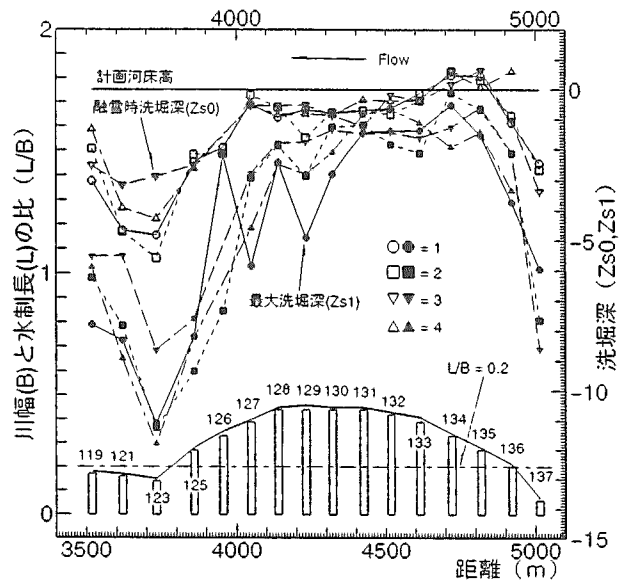


図-16 川幅(B)と水制長(L)の比(L/B)と洗堀深(Zs0,Zs1)の関係(右岸水制群)

まとめ

今回は大型水理模型実験のデータを用い洪水時の水制先端部の洗堀を水深と洗堀深の比に着目し表した。水深と洗堀深の比からは水制先端部の最大洗堀深が水深の約3～3.5倍という結果が得られている。

また、水制諸元と洗堀深について述べたが D/L と L/B は密接な関係を持つものと考えられ両諸元を巧く活用することにより水制近傍の局所洗堀は軽減できるものとする。

参考文献

- 1) 中津川誠, 小林伸行:水制工の水理機能に関する実験, 第32回北海道開発局技術研究発表会
- 2) 加治昌秀, 竹本成行, 福田義昭:効果的な水制工の配置に関する研究, 第35回北海道開発局技術研究発表会
- 3) 加治昌秀, 三浦敦禎, 高橋一浩:洪水時における水制工の水理機能, 第36回北海道開発局技術研究発表会
- 4) 鈴木幸一:河川構造物の水理機能と問題点
- 5) Suzuki, K., Michiue, M. and Hinokidani, O.: Local bed form around a series of spur-dikes in alluvial channels, Proc. 22nd Congress IAHR, 1987