

複断面直線水路に設置された 不透過型水制群の機能と抵抗

THE FUNCTION AND RESISTANCE OF THE IMPERMEABLE GROINS
INSTALLED IN A STRAIGHT COMPOUND CHANNEL

福岡捷二¹・川口広司²・安竹悠³・春名聡志⁴

Shoji FUKUOKA, Hiroshi KAWAGUCHI, Yu YASUTAKE, Satoshi HARUNA

¹フェロー会員 Ph.D 工博 広島大学大学院教授 社会環境システム専攻 (〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1)

²学正会員 広島大学大学院 環境工学専攻 博士課程後期

³正会員 (株)ドーコン (〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5-4-1)

⁴学正会員 広島大学大学院 社会環境システム専攻 博士課程前期

In a straight compound channel, the velocity differences between the flood plain and main channel flows generates horizontal vortex along main channel banks. Because of this mixing, the main channel bed scoured in the vicinity of both banks. Since such bed scour progresses into the flood plain, it is important to consider arrangement of groins along the bank to protect it against erosion. In the past, many studies of groins in laboratory flumes and rivers have been carried out. But, there are very few studies considering such structure in straight compound channels. Also, there had been hardly any attempt to study in detail about straight compound channel with movable bed. Therefore, it is very important to investigate the function of groins and their resistance against flow in a straight compound channel.

In this paper, we analyzed the results of laboratory experiments in a straight compound channel with groins having different ratio of groin interval to groin length. From this analysis, we have understood their function and resistance against flow.

*Key Words : straight compound channel flow, impermeable groins, bed scour,
horizontal two dimensional large eddy, arrangement of groins*

1. 序論

多自然型川づくりに代表されるように、近年の河川計画では、川が本来有する機能を極力生かすことが課題とされており、環境面と治水面の両方を兼ね備えた水制工が河川環境を改善する技術の一つとして多用されるようになった。水制は数多く現地で施工されており、また、模型実験¹⁾²⁾やシミュレーションモデルの開発³⁾⁴⁾が行われている。

我が国の河川形状は、洪水時の安全性・平常時の利用性などの理由から低水路と高水敷からなる複断面形状が広く採用されている。この複断面直線河道では低水路と高水敷の境界付近に流速差に起因する大きな水平混合が

発生し、大規模平面渦や斜昇流をつくり出す⁵⁾。この流れの大規模構造が低水路河岸沿いの河床洗掘を引き起こし、それに伴い高水敷河岸が侵食されることが考えられる⁶⁾。このような河岸侵食を制御するために、複断面直線河道にも前述の水制群を設置し、大規模平面渦の発達を抑制することが考えられる。しかし、水制群の配置法については十分な検討がされておらず、多くを経験に頼っているのが現状である。

そこで本研究では、複断面直線水路の移動床低水路部に異なる配置で不透過型水制群を設置した場合と水制を設置していない場合の実験を行い、比較することによって、複断面直線河道の水制群の機能と抵抗を明らかにし、大規模平面渦による河床洗掘から守ることのできる水制群の配置法を検討する。この際、配置法とは水制間隔と水制長の比を意味している。

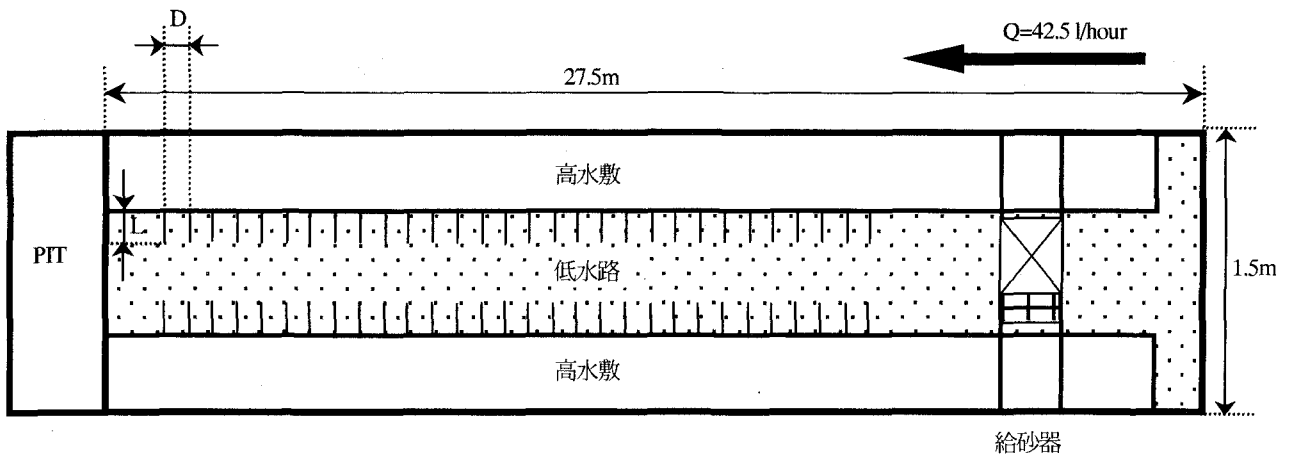


図-1 水路平面形状

表-1 実験条件

ケース番号	1	2	3	4	5
流量(l/s)	42.5				
水路長(m)	27.5				
水路全幅(m)	1.5				
低水路幅(cm)	90				
高水敷幅(cm)	30				
高水敷高さ(cm)	6				
低水路水深(cm)	10.51	10.37	9.89	9.70	10.52
初期河床勾配	1/350				
平衡河床勾配	1/420	1/300	1/690	1/620	1/495
平行水面勾配	1/490	1/350	1/460	1/540	1/490
水制高(cm)	-	3			
水制長:L(cm)	-	15			
水制間隔:D(cm)	-	40	160	320	640
D/L	-	2.6	10.4	20.8	41.6
給砂量(l/h)	20	30	20	20	20
流砂量(l/h)	23.0	30.8	20.0	18.0	21.0

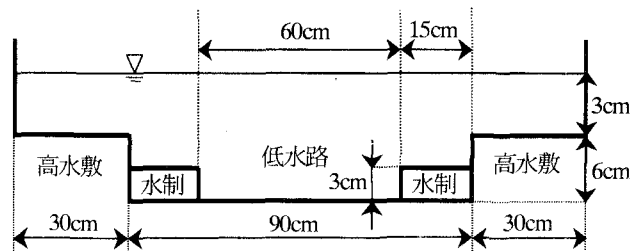


図-2 水路横断面形状

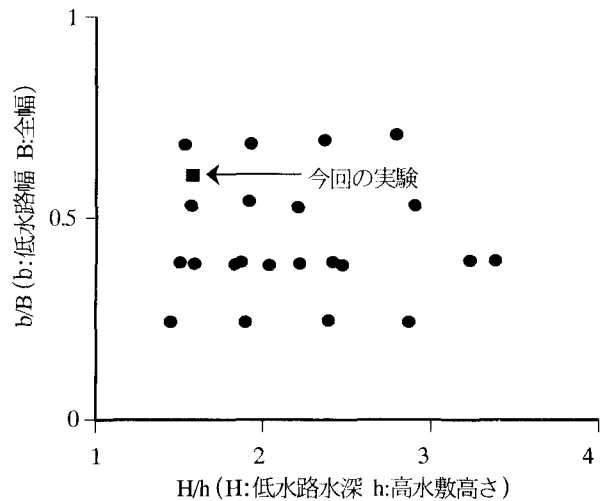


図-3 大規模平面渦の発生条件⁵⁾

2. 実験条件及び実験方法

用いた水路の平面形状を図-1に、横断面形状を図-2に示す。水路は全長27.5m、幅1.5mのコンクリート製直線水路の兩岸を30cm幅で複断面化している。高水敷上には人工芝を敷き、低水路には平均粒径0.8mmの山形珪砂を敷き詰めている。下流端より上流24m地点に設置した自走式給砂器によって給砂を行い、水路最下流部に設けてあるピットで流砂量の測定を行った。

実験条件は表-1に示す。図-3は福岡ら⁵⁾の実験で平面渦の発生が確認された条件を示している。本実験ではこの条件に合うように水路条件を決定し、給砂量は予備実験から平衡河床となるように量を決定している。D/L(水制間隔と水制長の比)は単断面水路では、2.0程度が望ましい¹⁴⁾とされているが、複断面水路では高水敷上の

遅い流れによって水制背後の流れが加速されにくいと考えD/L=2.6をケース2とし、徐々に間隔を広げて実験を行った。低水路水深・勾配及び流砂量は給砂量と流砂量がほぼ等しくなり、平衡状態となった通水20時間後の値である。また、それらの水理条件は下流端からの距離4~16mの区間を等流区間とみなしこの12m間の結果を用いている。

3. 実験結果及び考察

(1) 河床変動コンター

平衡状態となった低水路の河床変動コンターを図4(a)

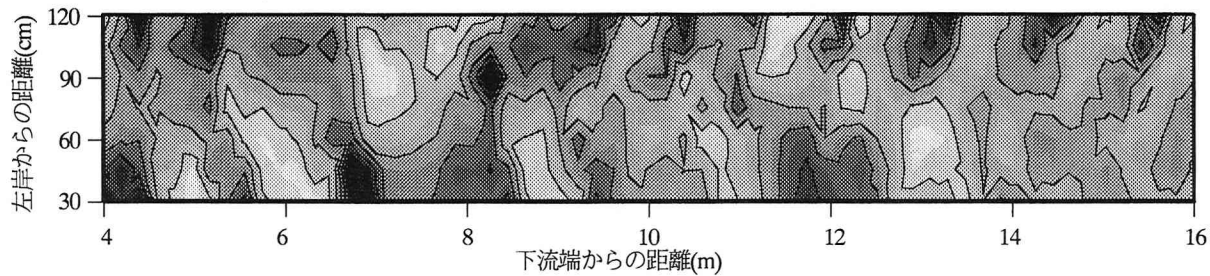


図-4(a) ケース 1 水制なし

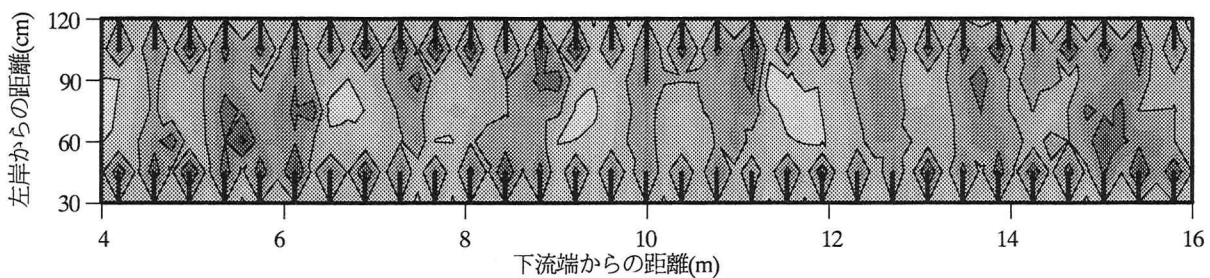


図-4(b) ケース 2 $D/L=2.6$

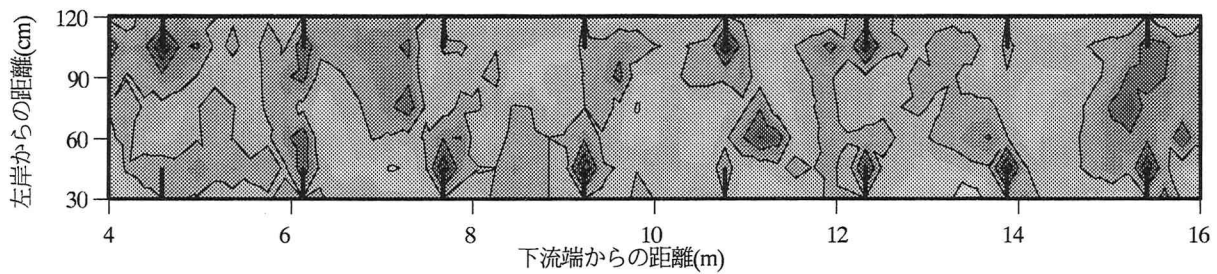


図-4(c) ケース 3 $D/L=10.4$

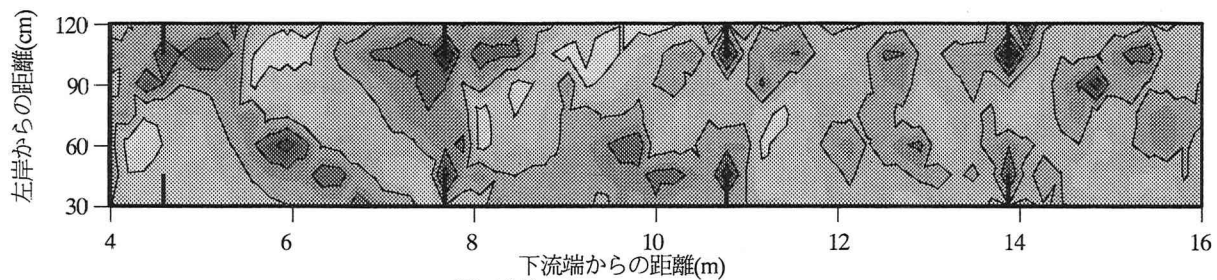


図-4(d) ケース 4 $D/L=20.8$

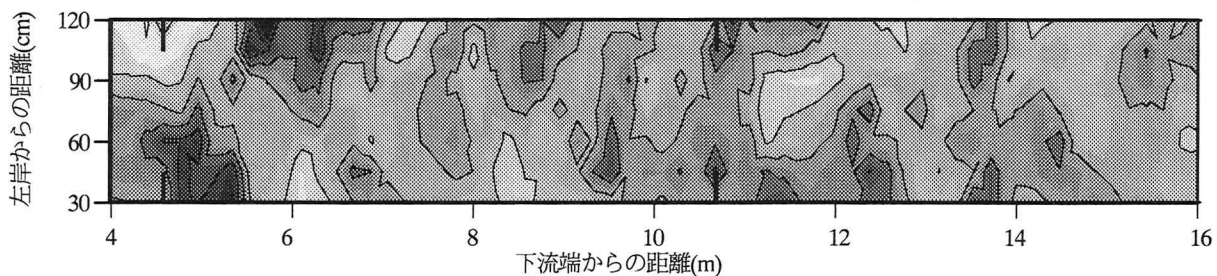
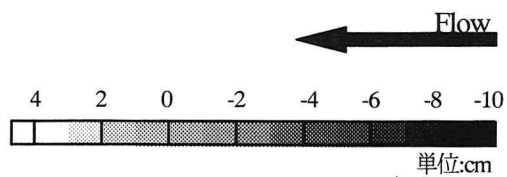


図-4(e) ケース 5 $D/L=41.6$



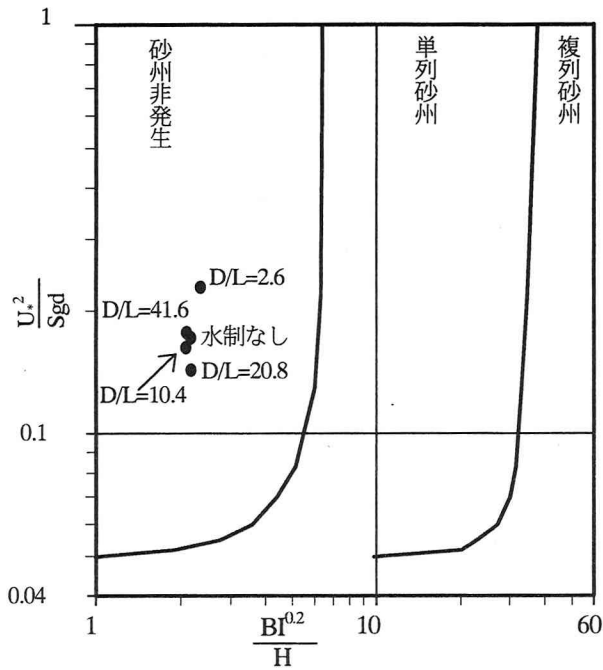


図-5 河床形態の領域区分図⁷⁾

～(e)に示す。図には兩岸の高水敷は表示されていない。図-5に河床形態の領域区分⁷⁾を示す。これは単断面水路に対する区分図のため、低水路幅をBとし、Hには低水路水深を用いている。本実験では全ケースが砂州非発生の領域にプロットされており、河床波が卓越する条件で行われた。図-4(a)は水制がない水路のコンターを示している。3次元的な河床波が発生しており、低水路の兩岸には周期的な洗掘と堆積が交互に見られる。これは低水路と高水敷との流速差から発生する大規模平面渦によって形成されたものである⁶⁾。図-4(b)はD/L=2.6のコンターを示している。このケースでは大規模平面渦による河床洗掘の発生は見られない。低水路兩岸では水制群によって流速が遅くなり、水制域に砂が堆積している。水制が密に設置されていることで低水路幅の狭くなった流れのようになり、主流域には2次元的な河床波が発生している。河床高を縦断方向に平均すると、主流域では河床が低下し、水制域には砂が堆積しており、水制設置による固有の河床変動特性を示している。図-4(c)はD/L=10.4のコンターを示している。低水路兩岸には大きな洗掘は見られず大規模平面渦は抑えられているが、水制域にも河床波が進入している。これは、水制間隔が広がり、水制域の流速が増加したためである。また、主流域に流れがあまり集中しなくなったために、ケース2で見られた二次元的な河床波構造が消え、水制が有効に働いている時の河床形状は見られなくなっている。図-4(d)はD/L=20.8のコンターを示している。間隔が広いために水制群としての機能は弱い、水制が大規模平面渦を抑え、低水路兩岸の洗掘を抑えている。しかし、水路条件が砂州非発生の領域ではあるが、水路下流部に写

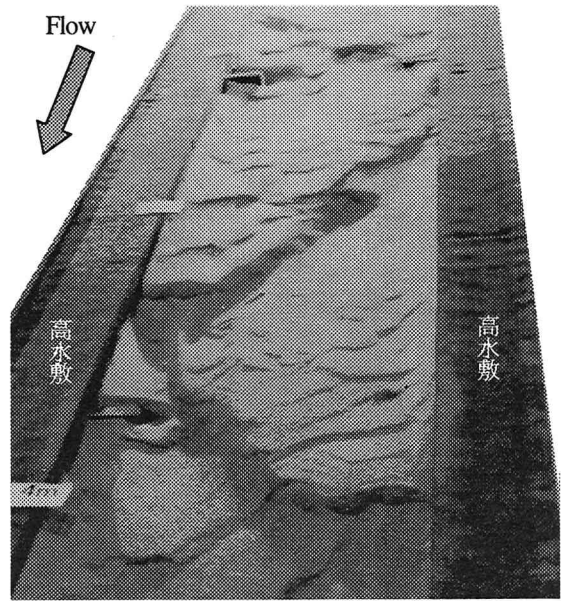


写真-1 砂州(D/L=20.8)

真-1に示す砂州が発生した。この理由は、明確ではない。図-4(e)はD/L=41.6のコンターを示している。低水路兩岸にケース1で見られたような大規模平面渦による洗掘と堆積が再び現れている。しかし、洗掘は水制背後にはなく、水制の上流側に発生している。このことから、河床に洗掘を生じさせる大規模平面渦は水制により弱められているが、水制のない長い区間で再び発達したと考えられる。

水制間隔が狭いと水制工が持つ流速低減効果・水はね効果が発揮され、水制域は主流域に比して掃流力が低下し、流れは主流域に集まる。間隔が広がってくると、それらの効果は弱くなる。単断面水路においてこのような効果を期待するのであれば、D/Lは2前後が適している。しかし、複断面水路においては適切なD/Lは明らかにされていない。本研究の目的は複断面特有の水平渦の発達を抑制し、渦による低水路兩岸際の洗掘を防ぐことにある。複断面水路では、水制群としての機能を果たさなくなる間隔においても、水平渦による洗掘に対して水制は有効に働くことになる。本実験の場合、D/L=20.8まで大規模平面渦の発達を抑え、兩岸際の周期的な洗掘は発生しなかった。しかし、D/L=20.8の水制間隔では水制によって下流部に交互砂州が発生し、砂州によって流れは弱い蛇行を呈した。

(2) 流速分布

流速は電磁流速計を用いてサンプリング周波数 20Hzで30秒間測定し、アンサンブル平均している。測定点は高水敷上2点、低水路9点で低水路と高水敷の境界付近の間隔を若干密にしており、水深方向は1cm間隔で測定している。水制と次の水制の間を四等分し、各断面で測定した流速分布を四断面で平均する。このようにして

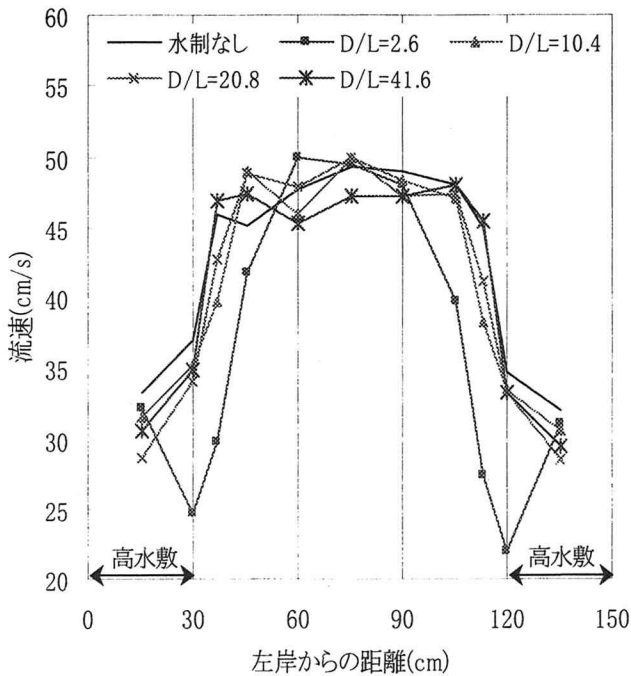


図-6 流速分布

求めた水深平均流速分布を図-6 に示す。水制がない水路では、高水敷との境界付近でも流速が速く、主流域の幅が最も広がっている。D/L=2.6 では、水制が密に設置されているため、低水路と高水敷の境界付近での流速が遅くなり、流れが集中することで流速の速い範囲が水路中央に寄っている。しかし、D/L=10.4 では、D/L=2.6 で見られたような水制域での流速の低下は見られず、主流域の幅は広がっている。D/L=20.8, 41.6 も水制域での流速が低下しておらず、水制のない場合の流速分布とほとんど差が見られない。

D/L=2.6 を除く全てのケースで平均的な横断流速分布はほぼ同じであったが、大規模平面渦による洗掘が見られた実験と見られなかった実験があった。大規模平面渦による低水路兩岸の河床洗掘の発生には、流速差に加えて縦断距離が関係している。大規模平面渦は低水路と高水敷の境界での大きな流速差がある程度の距離保たれることで発生する。D/L=2.6 では流速差が小さいために大規模平面渦が発生しなかった。他の D/L の実験では、高水敷と低水路の境界付近に流速差が生じ、水平渦が発生している。この渦は最初、河床に洗掘を生じさせるほどの規模ではないが、写真-2 のように渦の流下に伴い、次第に規模が大きくなる。しかし、D/L が 10.4 と 20.8 の実験では写真-3 に示すような水制の水はね効果による後流によって渦構造が壊され大規模平面渦に発達できなかったと考えられる。D/L=41.6 では低水路兩岸に大規模平面渦による洗掘が見られた。これより、本実験の水理条件では大規模平面渦が発生するためには 4~6m 程度の縦断距離が必要であると考えられる。

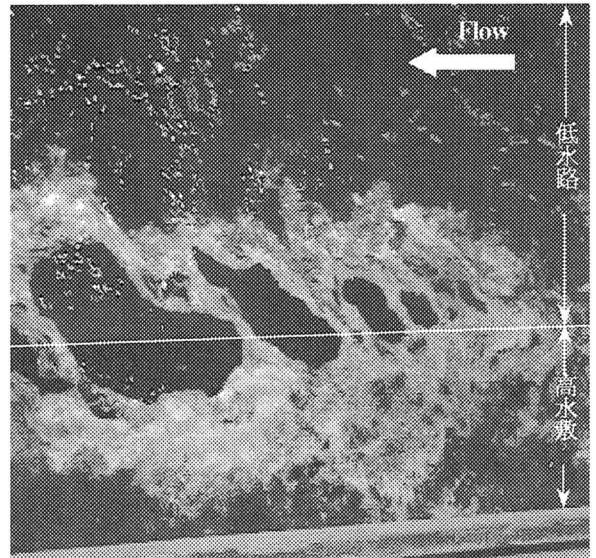


写真-2 渦の発達

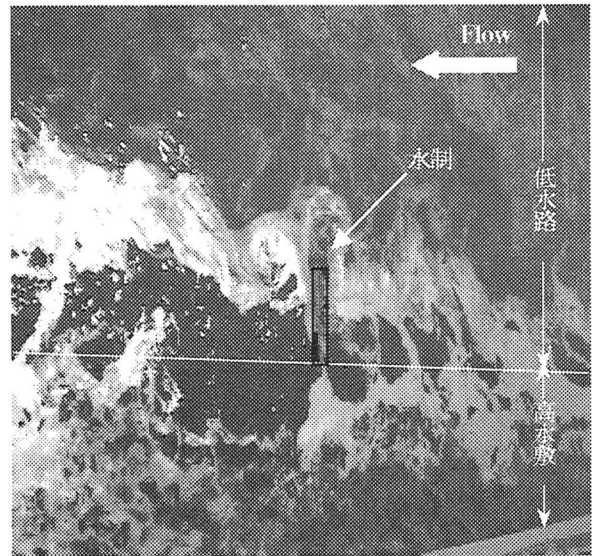


写真-3 水制の後流

(3) 水路の抵抗と最大洗掘深

図-7 は各ケースの流れの抵抗と低水路兩岸での最大洗掘深を示している。低水路の水制を含めた流れの抵抗を評価するために相対粗度 K_s/H を用い、相当粗度 K_s は低水路での対数流速分布から次式より求めている。

$$\frac{\bar{U}}{U_*} = 5.75 \log \frac{H}{K_s} + 6.0 \quad (1)$$

平均流速・摩擦速度・水深は低水路の値を用いている。また、最大洗掘深は河床変動動コンターの低水路兩岸における洗掘の最大値であり、水制先端の洗掘は含まれない。水制のない水路は D/L を大きくした場合に相当する。この水路の抵抗は大規模平面渦とそれによって低水路兩岸

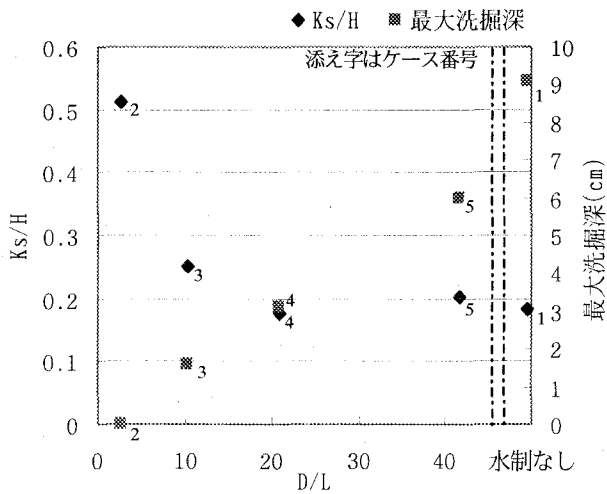


図-7 水路の抵抗と最大洗掘深

で発生した河床洗掘、及び河床波によるものである。最大洗掘深は全ケース中で、最大の9.1cmである。D/L=2.6では密に設置されている水制群と河床波によって最も抵抗が大きくなっている。水制域では掃流力の低下によって砂が堆積しているため洗掘深は0である。D/L=10.4ではD/L=2.6よりも水制の設置数が減少したために抵抗も小さくなっている。低水路際の河床は水制間隔が広がり、水制域にも掃流力の増加によって河床波が発生したことによって若干洗掘を受けている。D/Lが20.8~41.6に増加するにつれ、水制群による抵抗は減少していくが、複断面の渦と河床波による抵抗は増加していると考えられる。全体の抵抗値はさほど変化していないが抵抗の原因は水制から渦と河床波へと変化している。最大洗掘深は水制間隔の増加にともない増加している。D/L=41.6のケースは大規模平面渦による洗掘が発生したため、水制のないケースに近い洗掘深となっている。

この実験では、水制のないケースと比較して水路の抵抗が同程度で、最大洗掘深が半分以下に抑えられているD/L=10.4が最適な水制間隔とみることができる。D/L=10.4と同程度の抵抗を与えるD/L=20.8は下流部に交互砂州が発生しており、砂州による弱い流れの蛇行によって高水敷河岸が侵食される危険性が考えられ、D/L=10.4に比してやや劣っている。

4. 結論

本研究では複断面直線水路で高水敷上と低水路上の流速差に起因する大規模平面渦による低水路両岸の河床洗掘を抑えるために、大規模平面渦の発生を抑制する水制工について検討した。特に複断面直線水路における水制工の間隔と長さの比D/Lに着目し、河床洗掘を抑制しながら水制群による抵抗を小さくする水制群配置について検討し、次のような結果を得た。

水制間隔が狭いと流れは主流域に集中し水制域は流れが遅いため砂が堆積した。水制間隔が広がってくると、水制域の流速が主流域と同程度になり水制域にも河床波が進入した。しかし、D/Lを20.8まで増加させても、大規模平面渦による高水敷際の河床洗掘の発生を抑えることができた。

水制が群として機能しないような間隔で水制を設置しても、水平渦が発達するまでに水制によって渦構造を破壊してしまえば低水路両岸の洗掘を抑えられることが明らかとなった。

全ケースとも水理条件が砂州非発生の領域で実験を行ったがD/L=20.8では下流部で交互砂州が発生した。砂州非発生領域での砂州の発生について本実験では明らかにするに至っていないが、平面渦の発生を抑えることのできる限界付近の大きな水制間隔の流れについては明らかにすることはできなかった。

水制が流れに与える抵抗は、D/L=20.8より大きくなると設置間隔を広げても水制のない水路の抵抗と同程度となった。

低水路両岸の最大洗掘深は大規模平面渦が発生しなかったD/L=2.6~20.8では、水制のないケースの半分以下の洗掘量に抑えることができた。

これらの結果より本実験では同一水理条件のもと、D/L=2.6~20.8の条件で設置された連続水制は、低水路流れと高水敷流れの流速差による平面渦の発生を抑えることを示した。さらに、D/L=10程度の水制配置では、流れの抵抗を小さく保ち、かつ高水敷際の河床洗掘から河岸を守る役割を果たすことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 秋草勲, 吉川秀夫, 坂上義二郎, 芦田和男, 土屋昭彦: 水制に関する研究, 土木研究所報告, pp.61-153, 1960.
- 2) 福岡捷二, 高橋晃, 渡邊明英: 水制工の配置と洗掘防止効果に関する研究, 土木研究所資料, 第2640号, 1988.
- 3) 河原能久, 彭静, 藤井和久: 越流型水制工を有する河道内の流れの3次元数値解析, 第3回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム, pp.17-22, 1997.
- 4) 福岡捷二, 西村達也, 高橋晃, 川口昭人, 岡信昌利: 越流型水制工の設計法の研究, 土木学会論文集, No.593/II-43, 51-68, 1998.
- 5) 福岡捷二, 藤田光一: 複断面河道の抵抗予測と河道計画への応用, 土木学会論文集, 第411号/II, 1989.
- 6) 松井俊樹, 福岡捷二, 岡田将治: 複断面直線水路の河床変動・流砂量・抵抗特性, 第55回年次学術講演会概要集, 第2部, pp.520-521, 2000.
- 7) 岸力, 黒木幹男: 中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究, 土木学会論文概要集, 第342号, pp.87-96, 1984.

(2001. 10. 1受付)