

透過型水制工が設置された 直線流路における流れと河床変動

A STUDY OF PERMEABLE GROINS IN SERIES
INSTALLED IN A STRAIGHT CHANNEL

福岡捷二¹・渡邊明英²・川口広司³・安竹 悠⁴

Shoji FUKUOKA, Akihide WATANABE,
Hiroshi KAWAGUCHI and Yu YASUTAKE

¹正会員 Ph.D 工博 広島大学教授 工学部第四類(建設系) (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)

²正会員 工博 広島大学助教授 工学部第四類(建設系)

³学生会員 広島大学大学院 環境工学専攻 博士課程後期

⁴学生会員 広島大学大学院 環境工学専攻 博士課程前期

Natural vegetation plays important roles on river environment. It is needed to find the way of managing vegetation aiming at the harmony between flood control and environment. Considering the vegetation as groins, we studied the flow and bed topography around permeable groins to determine the structure and arrangement of vegetation groins from the standpoint of both flood control and environment.

The experiment showed that the groin interval to length ratio, $L/D=2.0$ and groin height to water depth ratio, $hg/h=0.90$ gave good representation for flood control and environment. The three dimensional numerical model provided good explanation for experimental results of the flow and bed topography in the channel with permeable groins in series.

Key Words : *vegetation groin, permeable groin, flow and bed topography, structure and arrangement of groins, flood control, environment*

1. 序論

河道内に群生する樹木群は、洪水流下能力の阻害要因となる恐れがある。しかしながら、出来るだけ植生群を存置することへの配慮がなされることが多く、治水と環境の調和を目指した樹木群の望ましい管理方式が求められている。最近では樹木群に環境機能だけでなく治水機能も持たせる試みが行われている¹⁾。すなわち、樹木群を水制として用いる目的で行われた基礎実験より、弯曲部外岸に配置された樹木群突起部と河岸際の一様な樹木群によって構成される水制は間隔(L)と長さ(D)の比(L/D)が5~7の範囲で有効な機能を発揮する結果が得られている。これは直線部で多く見られる水制の $L/D \approx 2.0$ ²⁾よりも十分大きい値である³⁾。

この基礎実験に基づいて、柳水制の現地試験が最上川、米代川で実施され、これより緩流河川では長期間の洪水

に対し有効に働くことが報告されている⁴⁾。しかしながら、樹木群水制の調査研究は諸についたばかりで、樹木群水制の設計の考え方は確立されているわけではない。特に、樹木群水制は洪水流によって根本が洗われ流出する危険性があり、この点からの検討が重要である。

近年、直線河道でも変化に富んだ流れや河床を持ち、水辺を住処とする生物を意識した河川の創出に水制工が利用されるようになってきた。例えば、直線水路において、河岸に対して種々の角度で設置された越流型不透水制が創り出す流れと河床変動の立場から検討が行われている⁵⁾。

本研究では、樹木群水制を模擬した越流型透過水制群を直線水路内に配置し、透過水制周辺の流れと河床変動機構を実験的に把握する。次に、著者らが開発した3次元数値モデル⁶⁾を、透過型水制工が設置された直線流路に適用し、流れ場と河床変動の面から望ましい水制工の

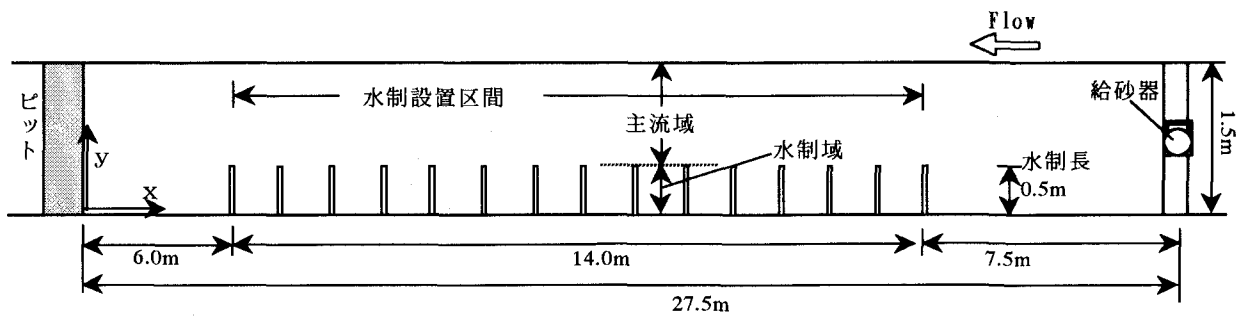


図-1 移動床直線水路

表-1 実験条件

	実験1	実験2	実験3	実験4 ⁹⁾
流量(l/s)	36.4			
水路長(m)	27.5			
水路幅(m)	1.5			
基準河床勾配	1/600			
給砂量(l/hr)	14.4			
水制長D(m)	0.5			
水制幅b(m)	0.05			
水制間隔L(m)	1.0			
水制設置基数	15			
水制構造	透過	透過	不透過	不透過
水制高 h_g (cm)	4.0	6.5	3.1	4.7
平均水深 h (cm)	6.4	7.2	6.3	7.3
相対水制高 h_g/h	0.63	0.90	0.49	0.64
平均流速(cm/s)	37.8	34.0	38.8	33.2
水面勾配	1/541	1/617	1/547	1/541
河床勾配	1/451	1/323	1/546	1/314

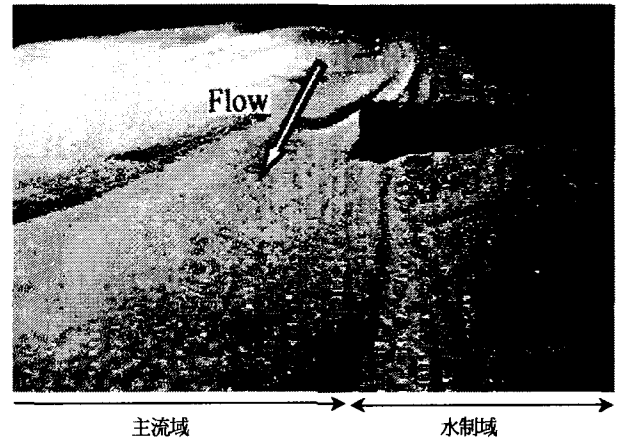


写真-1 水制設置状況

あり、水制は1m間隔で15基設置されている。

配置について検討を加える。

2. 実験条件および実験方法

表-1に実験条件を示す。実験には図-1に示す全長27.5m、幅1.5mの直線水路を用いた。河床材料は平均粒径0.8mmの山形珪砂である。給砂は、芦田・道上の式から算出された14.4l/hrの流砂量を、水路上流端に設置されている自走式給砂機によって行われた。写真-1に示す透過水制模型には、プラスチック製の超多孔質体(空隙率91%、透過係数0.47m/s)が用いられている。

表-1中の水制高、平均水深、平均流速、そして水面勾配、河床勾配は流れと河床変動が動的平衡に達した状態の値である。また水制高、平均水深、平均流速は後述する河床変動の平衡区間において、平均河床から計算したものである。本文では水制の相対高さ(0.63, 0.90)となる越流型透過水制の2ケースと、相対水制高(0.49)の越流型不透過水制の1ケースを行った。また福岡ら⁹⁾が行った相対水制高のみが異なる不透過水制のケース(0.64)を実験4として示す。水制設置区間は6.5mから20.5mまでの範囲で

3. 水制工周辺の流れと河床変動の計算

流れと河床変動に関する解析モデルについては既報⁹⁾で述べられているので、ここでは要点のみを説明する。解析は、後述する河床変動の平衡区間に対して行う。これは、解析モデルが3次元圧力場の解析¹⁰⁾を伴っているため、全区域の河床変動解析を行うには非常に多くの時間を要するためである。なお、水制の周囲において圧力変動が見られたので静水圧近似はされていない。この平衡区間の水制と水制の間の1区間を対象とし、ここに縦断方向に周期境界条件を適用することにより、縦断方向に流れ場と河床高、水制及び境界形状をスペクトル展開することが可能となる。フーリエ級数展開は0~15次まで展開し、8次より高周波のモードにフィルターをかけてFFTによるエイリアシングを取り除いている。解析に用いたスペクトル選点の平面格子網は図-2に示す通りであり、縦断方向に32分割、横断方向に41分割、鉛直方向に8分割されている。鉛直方向には変則 σ 座標系¹¹⁾を用いており、水制高さの面を境に上層と下層に分けられている。流れ場の解析には運動方程式及び連続式が用いられ、SMACスキームにより圧力場が求められ、2次精度の時間積分法であるHuen法で流速と水位変動のスペク

トルが時間積分されていく。渦動粘性係数には摩擦速度と水深の積に係数を掛けたものが与えられているが、大規模な水平混合は渦を直接的に求められるようになっていく。このようにして求められた流れ場から底面せん断力と底面付近の流向が与えられ、流砂量ベクトルが計算される。流砂量の算定には芦田・道上式が用いられ、流砂の向きは斜面の縦横断勾配の影響を考慮した流砂量ベクトル⁷⁾が用いられている。流砂量ベクトルと流砂の連続式から河床変動量が求められる。ただし、解析で求められる流れ場は乱れているために、各瞬間の流れ場に対して平衡流砂量ベクトルを求めることはできない。ここでは、0.01秒刻みで流れ場を計算し、2秒間の時間平均せん断力ベクトル及び時間平均流速ベクトルを用いて、2秒に1回河床変動計算を行い、鉛直座標系の修正を行いながら河床形状の時間変化を求めている。流れの時間変動に対する河床の時間変動速度の歪みは5とされている。また、後述するように、水制設置区間では水制の存在による流れの抵抗のために流砂量が縦断的に変化し主流域で河床が低下する。これについて計算では、河床高の縦断平均の横断形状としてあらかじめ与えられている。

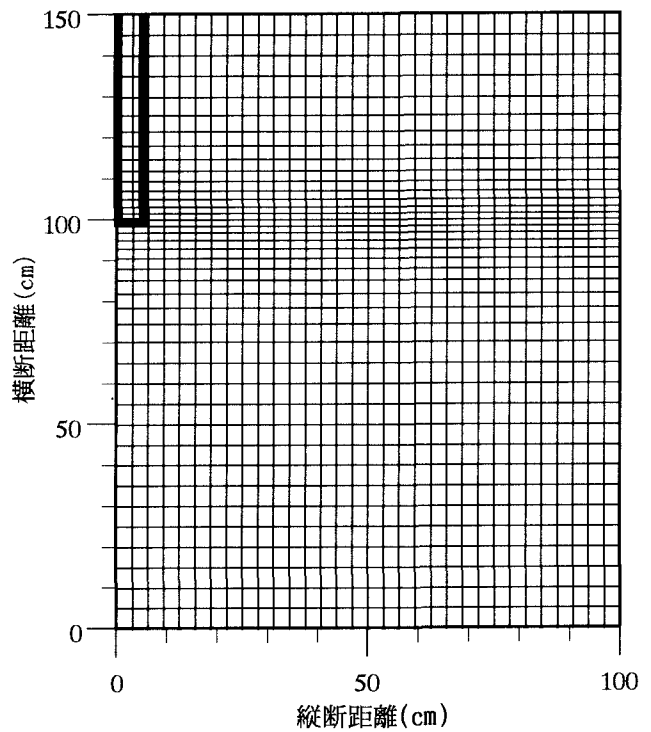


図-2 平面格子網

4. 実験結果と解析結果の比較

(1) 縦断水位・河床高

図-3に実験1、実験2における横断平均をとられた河床高の縦断分布形状の時間変化を示す。平衡状態における河床高は各ケースとも水制設置区間において通水初期に比べて低下している。これは、水制設置区間では水制のない範囲(主流域)に流れが集中して、縦断的な流砂量の違いが水制設置区間とそれ以外の区間で生じたためである。水制域では河床の低下はほとんど見られない。相対水制高0.90の実験2は相対水制高0.63の実験1に比べ、水制が流れに与える抵抗が大きいため、水制設置区間における河床低下量が大きくなっている。

図-4は実験1～実験3における動的平衡状態の横断平均水位および河床高の縦断分布を示したものである。実験3の不透過水制のケースでは上流部の一部を除き、水制設置箇所ごとに局所的な河床洗掘が現れている。一方、実験1と実験2の透過水制の場合には、このような局所的な河床洗掘は生じていない。透過水制を設置した場合の河床高の縦断形は、透過水制が構造上、流水を透過させるため流れに与える抵抗が小さく、水制周辺の洗掘を小さく保つことから、比較的緩やかな洗掘形状を形成している。

(2) 水制設置区間の河床変動

図-5に実験1～実験3の水制設置区間における河床高コーナーを示す。実験1～3とも水制周りの流れと河床形状が縦断的に大きく変化する上流の遷移区間と、その下流

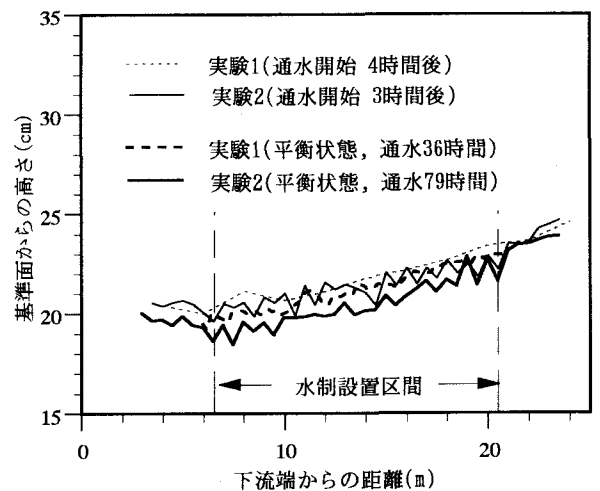


図-3 縦断河床高の時間変化

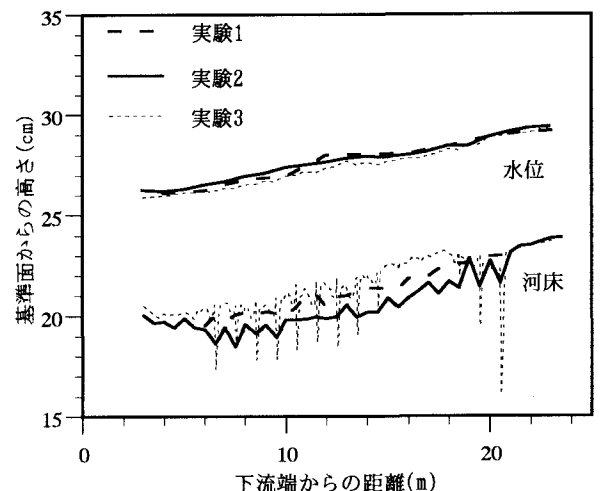


図-4 平衡状態における縦断水位と河床高

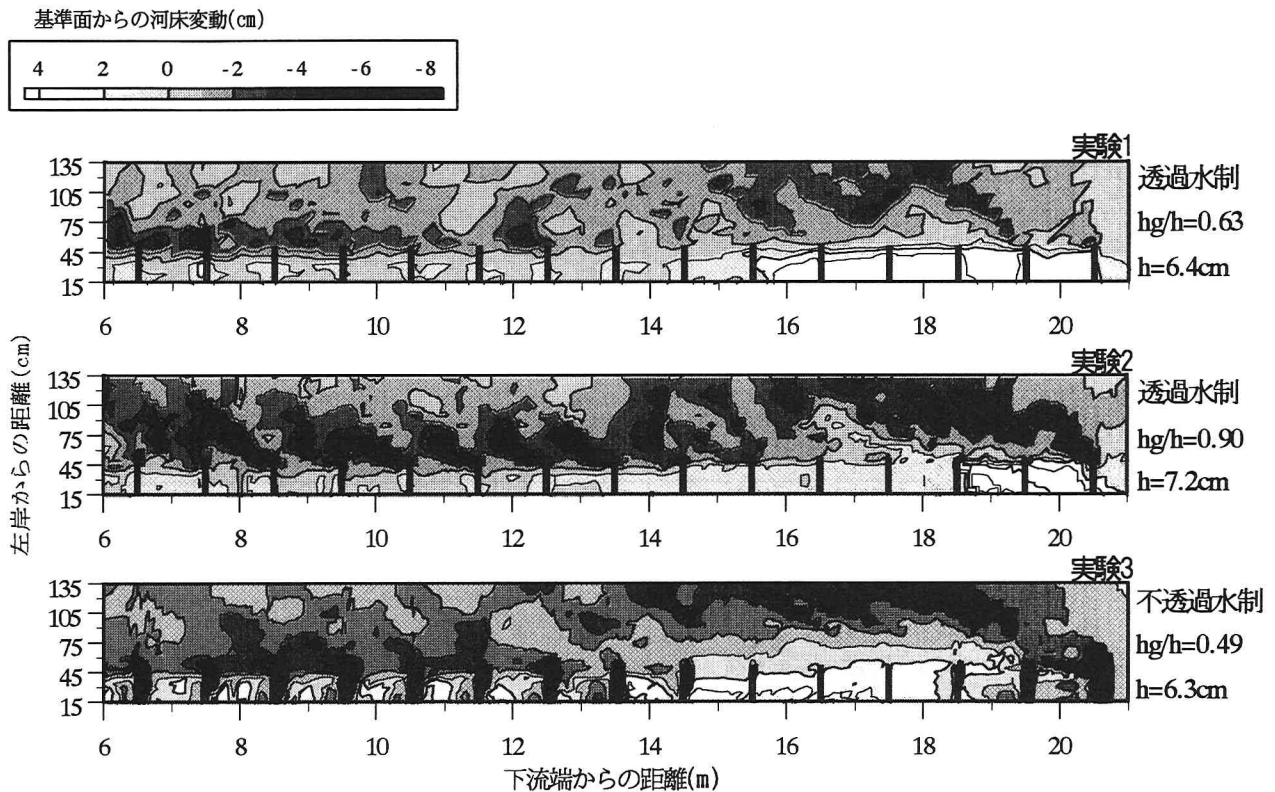


図-5 水制設置区間の河床高コンター

で河床形状が縦断的にほぼ一定のパターンをとる平衡区間からなっている。水制は流れに対して抵抗となり、流れを主流域に集中させるため、主流域の河床高は水制域内の河床高に比べて低下している。平均水深は実験番号順にそれぞれ6.4cm, 7.2cm, 6.3cmである。実験2は透過水制ではあるが相対水制高 hg/h が大きく、流れの障害が大きいため、主流部の河床低下が他の2ケース(実験1, 実験3)に比べて大きい。

水制設置区間の先頭部では水制によって流速が急激に減じられるため、図-5に見られるように下流端からの距離が、それぞれ実験1の15m-21m, 実験2の18m-21m, 実験3の14m-21mの区間において、水制域内および水制上を流れる上流からの土砂が水制域に堆積する。このような遷移区間では水制はほぼ埋没し流水に及ぼす水制の抵抗は小さい。しかしながら、土砂を河岸近傍に堆積させ、河岸近傍の流速を低下させている。相対水制高が小さく、水制の抵抗が小さい実験1と実験3では水はね効果弱いため、実験2と比べて遷移区間が長くなっている。一方、相対水制高が大きい実験2(透過水制)では水制先端から下流斜めに向かう洗掘が現れているように、水はねは大きく、水制を乗り越える土砂も少ないため、水制域での堆積区間は短く、下流の平衡区間が長くなっている。ただし、実験2での水制設置区間の先頭部における水制域の堆積量は多くなっている。

(3) 透過水制周辺の流速分布

図-6, 図-7は実験1における平衡区間での流速ベクト

ルの実験結果と計算結果を示している。図-6は水面から2cm下の高さのものである。実験では流れは基本的には下流へ向かって真っ直ぐ流れ、水制先端で水がはねられていることが分かる。この高さは水制先端よりも高い位置にあるため、水制域の流速低下の割合は比較的小さい。図-7は河床付近(河床より約1cm上)の流速ベクトルを示している。左岸から65cm~150cmでの流速ベクトルの変化は主に河床波によるものである。水制の流水抵抗により水制域の流速は小さくなり、ここでも水制先端において、水制をまわり込むように流れる水はねが見られる。しかし実験1では、不透水水制のように水制前面における流下方向とは逆向きの流れはなく⁹⁾、水制先端をまわり込む流れは小さくなっている。水制域内における流れは比較的直進しており、流速の縦断変化も小さい。

計算は水制先端部の水はねをほぼ表現できている。流速が水制域で小さく、主流域で大きくなる横断分布傾向も現れている。しかし、図7では河床付近における水制域の流速は実験値に比べて小さい値を示し、図6では水制先端付近の流速が水制前面での低速流体の湧き上がりにより実験値に比べて若干小さくなっている。計算において用いた樹木水制の透過係数は、河床に様に敷き詰めた場合の透過係数である。しかし、薄い樹木群を通過する場合には河床に敷き詰めた場合と比べて通過する運動量が大きくなり、透過係数はみかけ上、変化することになる⁹⁾。このような知見から判断すると、本検討では樹木群水制の透過性を低く見積ったために計算値と実験値にやや差が現れたと推測される。これは薄い樹木群を

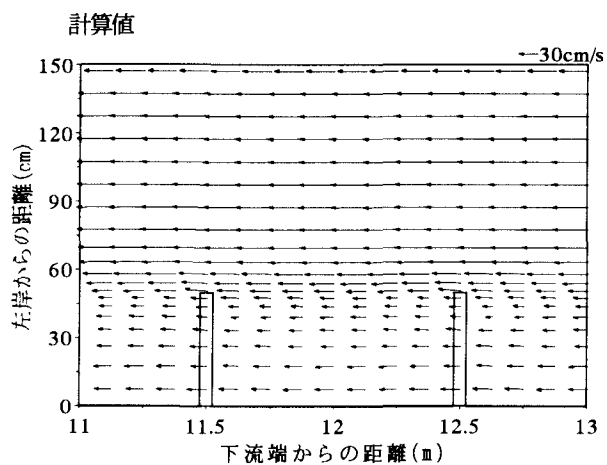
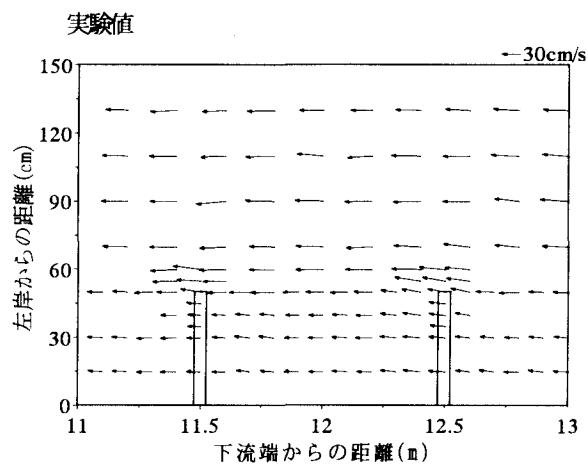


図-6 XY平面流速ベクトル(実験1, 水面より2cm下)

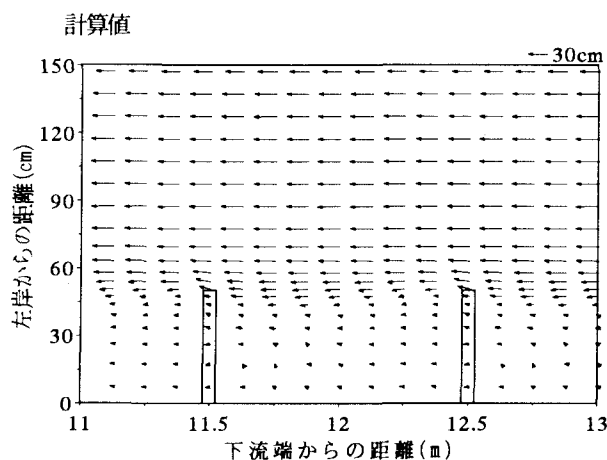
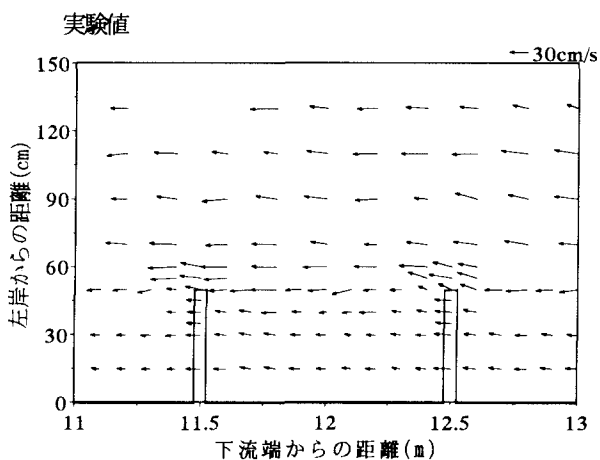


図-7 XY平面流速ベクトル(実験1, 河床付近)

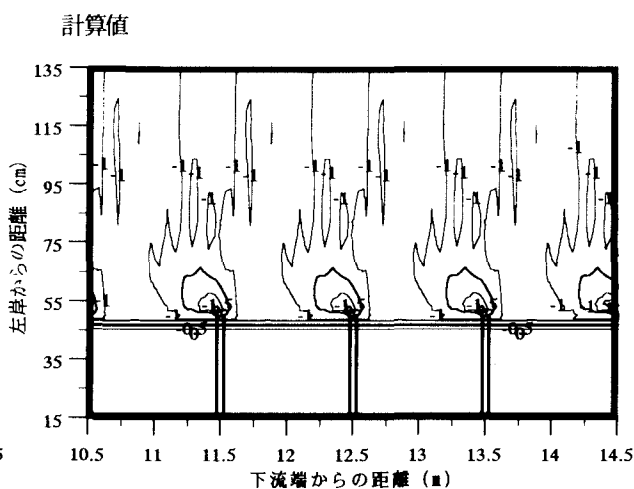
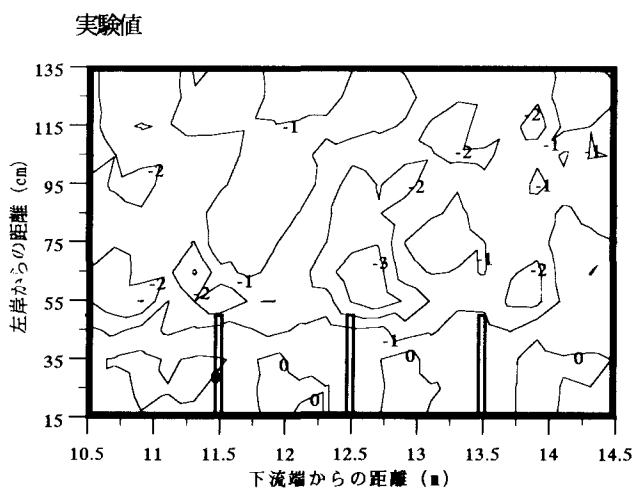


図-8 平衡区間の河床高コンター(実験1)

設置して解析した場合に共通して見られる現象である⁹⁾。薄い樹木群の透過度や抵抗の評価方法については検討する必要がある。

(4) 平衡区間の河床変動

図-8は実験1の平衡区間における河床高コンターの実験結果と計算結果を示している。主な洗掘は水制先端か

ら主流方向に20cmほどの領域に生じており、計算は水制先端周辺の洗掘領域を概ね表現できている。しかし水制先端周辺の洗掘深は小さく計算されており、これは先に示した水制域の流速が小さく計算されていることや、構造物周りの局所的な河床変動に平衡流砂量式を用いているためであると考えられる。水制域内で計算された掃流力は流速が遅く底面せん断力が小さくなるため限界掃流

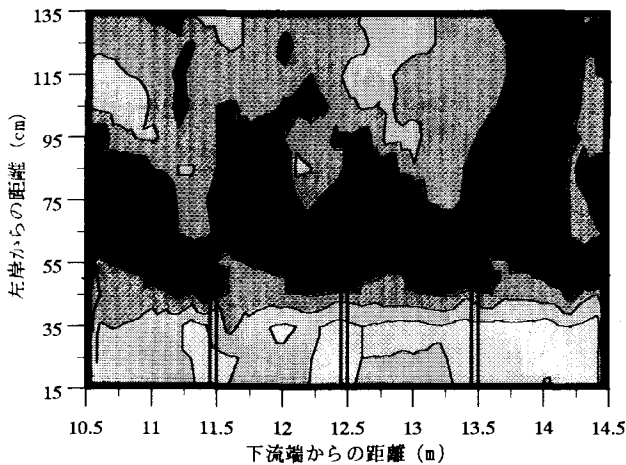
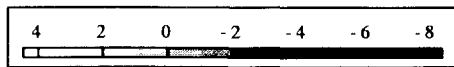


図-9 平衡区間の河床高コンター(実験2)

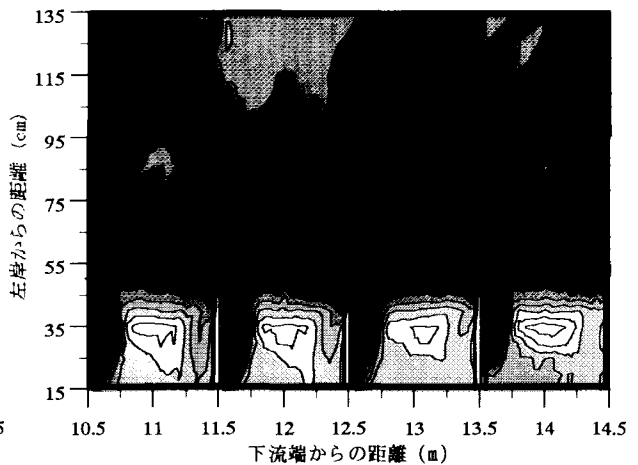


図-10 平衡区間の河床高コンター(実験4)

力よりも小さくなり、水制域内では河床変動は生じない結果となっている。

図-9、図-10に実験2と実験4の平衡区間の河床高コンターを示す。図-9の実験2(透過水制, $hg/h=0.90$)では河床洗掘が斜め下流に向かって生じており、これは水制による水はねの結果である。図-10の実験4(不透過水制, $hg/h=0.64$)でも同様に大きな流水抵抗が働き、大きな水はねが示されている。水制高の違いを除くと、両実験の平均水深などの水量はほぼ同じである。水はね効果の大きい両者の水制周辺の河床形状を比較し考察を加えることにより透過水制の優れた機能を明らかにする。

実験4では相対水制高が0.64と比較的小さいが、不透過水制であるために水制の流水抵抗は大きく、水制前面および先端に著しい洗掘孔を生じている。一方、実験2では相対水制高が0.90と大きいにもかかわらず、水制先端及び前面の洗掘はほとんど生じていない。しかし、水はね効果は十分認められる。これは透過水制の場合には流れが水制を透過し、その周辺の洗掘孔をつくる水制前面の下降流および水制先端をまわり込む流れが小さくなるためである。

5. 結論

直線流路内に設置された透過水制は水制周辺の洗掘を小さく保ち、緩やかな洗掘形状を形成する。相対水制高の大きい実験2は相対水制高の小さい実験1に比して主流域における河床を低下させ、河岸近傍の河床を維持し、変化に富んだ流れ場を作り出すことが可能である。実験4の不透過水制($hg/h=0.64$)の場合と比較すると、実験2($hg/h=0.90$)は水制周辺の洗掘孔を小さく保ち、かつ、水はね効果も不透過水制と同様に生じており、水制として有効であると判断される。

透過水制のある流れ場の3次元モデルは水制周辺の流れと河床変動の特徴を概ね表現できている。しかし、樹木群水制の透過係数の評価が不十分なため、水制域の流速が小さく見積もられており、この点について改善が必要である。

参考文献

- 1) 福岡捷二：水際植生群の治水的利用とその回復・保全技術—治水と環境の調和を目指して—，世界河川会議論文集，pp.II-18~II-25，1997。
- 2) 福岡捷二，渡邊明英，大橋正嗣，姫野至彦：樹木群の水制的利用可能性の研究，水工学論文集第41巻，pp.1129-1132，1997。
- 3) 秋草 勲，吉川秀夫，坂上義次郎，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。
- 4) 福岡捷二，樺澤孝人，齋藤潤一，布施泰治，渡邊明英，大橋正嗣：柳水制の試験施工とその機能の現地調査，水工学論文集，第42巻，pp.445-450，1998。
- 5) 福岡捷二，西村達也，岡信昌利，川口広司：越流型水制周辺の流れと河床変動，水工学論文集，第42巻，pp.997-1002，1998。
- 6) 福岡捷二，渡邊明英：複断面蛇行水路における流れ場の3次元解析，土木学会論文集No.586/II-42，pp.39-50，1998。
- 7) 渡邊明英，福岡捷二：複断面蛇行流路における流れと河床変動の3次元解析，水工学論文集第43巻，pp.665-670，1999。
- 8) 福岡捷二，藤田光一：洪水流に及ぼす河道内樹木群の水理的影響，土木研究所報告，第180号，pp.129-192，1990。
- 9) 高畑 洋，福岡捷二，渡邊明英，平林由希子：水害防備林をともなう複断面蛇行河道の数値計算法に関する研究，水工学論文集，第43巻，pp.323-328，1999

(1999.9.30受付)