

水害防備林と低水路線形が洪水流に与える影響

EFFECTS OF FLOOD CONTROL VEGETATION AND MAIN CHANNEL ALIGNMENT ON FLOOD CONTROL

福岡捷二¹・川岡秀和²・平林由希子³

Shoji FUKUOKA, Hidekazu KAWAOKA and Yukiko HIRABAYASHI

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

² 正会員 広島県庄原土木建築事務所(〒727 広島県庄原市東本町 1-4-1)

³ 学生員 広島大学 工学部第四類建設系

Riparian vegetation sometimes causes serious rise of flood water level. Therefore, a part or all of vegetation have been cut and replaced by revetment works to protect the river bank. But vegetation plays an important role on river environment such as providing the natural state, habitat for aquatic life and riverscape.

At present, we have no standards for judgment about safety and conservation roles of vegetation.

In this paper, we had experiment using meandering compound channel with various phases and sinuosities, where at first, we investigated in detail about the effect for flood flow by the existence of vegetation along the main channel. Next, we observed the variation of structure of flood flow when a part of vegetation was cut and protected.

Key Words : flood control vegetation , compound meandering channel , riparian vegetation ,

1. 序論

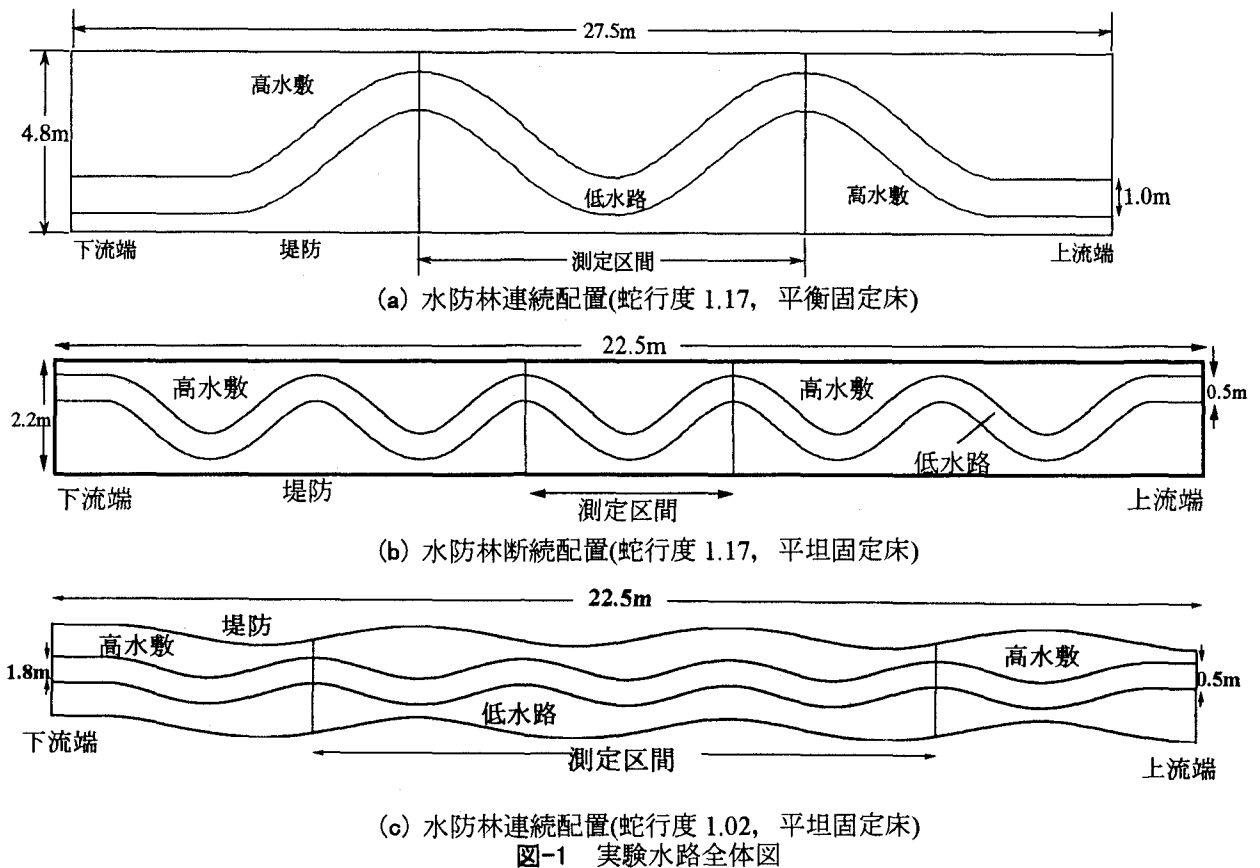
我が国の河川の多くは堤防がつくられる以前には河道沿いに樹木を植え、水害防備林(水防林)として洪水被害軽減に用いてきた。このような河川の改修を行う際には、通常、新堤防は河道(低水路)から堤内地側へ引いて造られることになる。その結果、河道は元来の流路(低水路)と水防林を残した高水敷と新しい堤防からなる複断面形状をなす。水防林は洪水時に高水敷上の流速を減じ田畑の被害を軽減すると共に肥沃な土壌をもたらす役割を持つ反面、流下面積の減少と大きな抵抗をもたらすことから流下能力を減らし水位上昇を引き起こす。そのため築堤が完了すると、水防林の一部又は全部が伐採され、伐採部分の低水路は護岸化されることが多い。しかし、水防林はその規模や連続性から、河川の景観や生態系にとって重要な役割を持っており、治水機能を生かしながらいかにして保全していくかが重要な課題となっている。現在のところ水防林が存在していることによる安全性との関わりや、水防林の保全のあり方を判断する技術が不十分であるため、治水と環境の両機能を考慮した水防林の保全策を立てる適切な手段を見いだせていない。水防林の治水効果に関する研究はその重要性にもかかわらず少ないのが現状である。浜口ら¹⁾は我が国の水害防備林の実態調査を行い、現状と問題点の整理を行っている。福岡ら²⁾は、水防林が治水上重要な役割を果たしている江の川を対象に洪水時における水防林の効果の評価、流れや河床変動の及ぼす影響、洪水対策による水防林の伐採、護岸化の影響について現地データ

にもとづいて詳細に検討し、今後の水防林のあり方について提言している。福岡³⁾は、さらに洪水防御計画における低水路の法線形状に対する水害防備林の配置と保全のあり方について現地資料と実験にもとづいて多面的に検討し幾つかの提案を行っている。

本研究ではこれらの背景をもとに、古くから河道沿いにある水防林の機能を定量的に評価することを目的としている。水防林は河道の平面形に対し種々の繁茂形態、空間的分布と拡がりで存在するが、ここでは最も一般的な形態である複断面蛇行水路の低水路河岸に沿って連続的に存在する場合を考えている。このような状態において、水防林と低水路蛇行が流れの構造に与える影響を把握する。次に、水防林を一部伐採し護岸化したときの流れの変化とそれによって生ずる問題点の検討を行う。

表-1 実験水路の諸元および実験条件

	実験 1	実験 2	実験 3
水路長	27.5m	22.5m	
全水路幅	4.8m	2.2m	1.8m
低水路幅	1.0m	0.5m	
水面勾配	1/500	1/600	
蛇行度	1.17		1.02
最大偏角	45°		17°
流量	68.8l/s	15.0l/s	23.6l/s
平均水深	13.2cm	8.2cm	9.8cm
相对水深	0.45		0.54
低水路状態	平衡固定床	平坦固定床	
水防林配置	連続	断続	連続
水防林幅	5cm	3cm	
堤防	直線		断続変化



2. 実験概要

(1) 実験水路

各実験で用いた水路の全体図を図-1 に、各水路の諸元および実験条件を表-1 に示す。実験 1 は大きな蛇行度を有する低水路の河岸沿いにある水防林が流れに与える基本的構造を把握することを、実験 2 は実際の水防林に見られる縦断的な不連続性や護岸化が流れに及ぼす影響を、実験 3 は低水路と堤防が緩い蛇行度で縦断変化している水路の流れであり、より実河川の平面形に近い水路での水防林の流れを検討する。

a) 実験 1 (水防林連続配置)

実験水路は水路長 27.5m、全水路幅 4.8m のコンクリート製の水路の中に、幅 1.0m の低水路を Sine-Generated Curve(最大偏角 45°) で蛇行させている(蛇行度 1.17)複断面蛇行水路である。水路勾配は 1/500 である。低水路河岸沿いに幅 5cm の水防林模型を連続配置している。河床材料には粒径 0.8mm の一様な砂を用い、高水敷高さが 6cm となるように敷いた。相対水深 0.45 で 9 時間通水後、形成された河床を接着剤とトルエンで固定し、測定を行った。高水敷上には粗度づけのため人工芝を張っている。

b) 実験 2 (水防林断続配置)

水路長 22.5m、全水路幅 2.2m の鋼製の可変勾配水路で勾配 1/600 に設定した。その中に幅 0.5m の低水路を、Sine Curve(最大偏角 45°) で蛇行させた平坦固定床の複断面蛇行水路である(蛇行度 1.17)。低水路河岸沿いに幅 3cm の水防林模型と水防林が存

在しない低水路河岸に護岸を配置している。護岸は低水路流れと高水敷流れの交換が顕著な変曲断面付近に配置され、その長さは約 70cm である。高水敷上には実験 1 と同様に人工芝を張り付けている。

c) 実験 3 (水防林連続配置)

本実験には、実河川で一般に見られる緩やかに蛇行する低水路(蛇行度 1.02)と蛇行度 1.01 の堤防から成る複断面蛇行水路を用いた。この水路は、堤防 2 波長に対し低水路 3 波長の割合でつくられており、堤防と低水路の間の位相差が縦断的に変化した実河川に近い形となっている。低水路河岸沿いには幅 3cm の水防林模型を連続配置している。

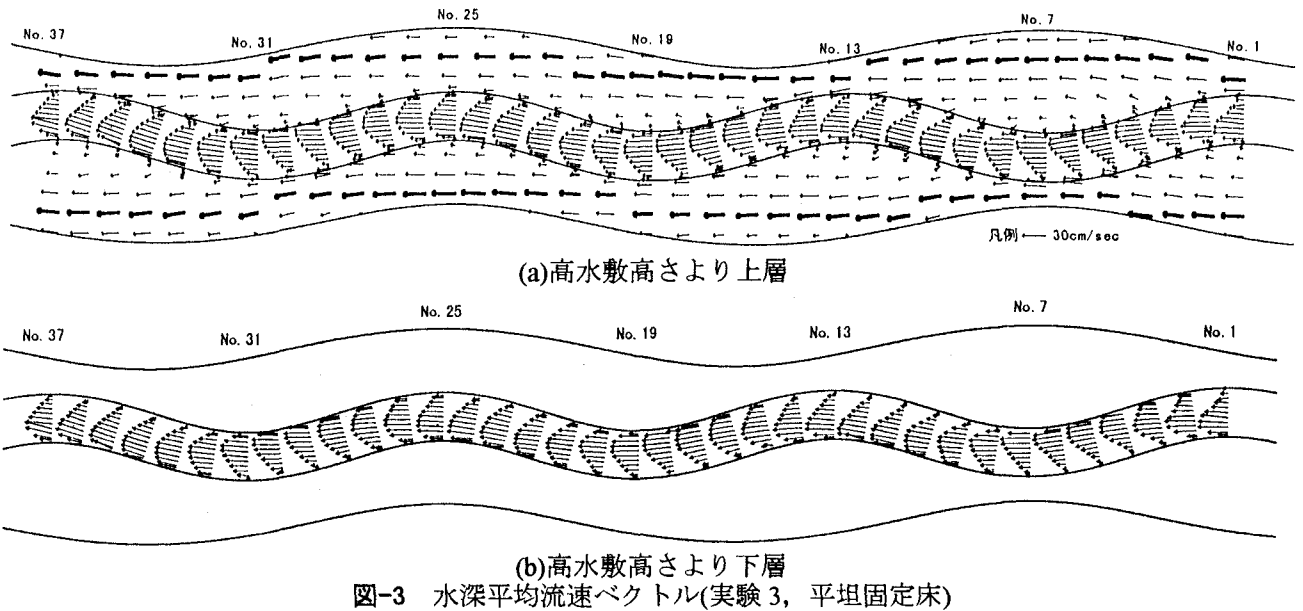
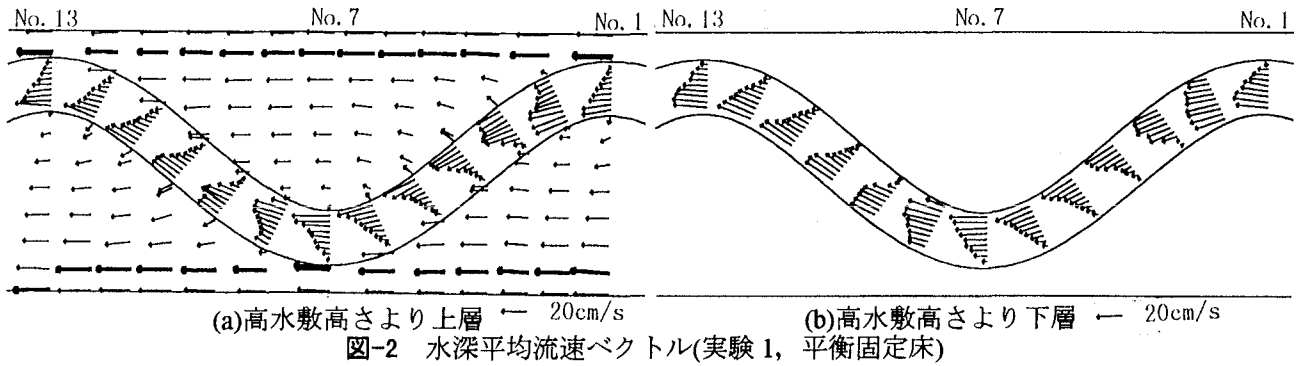
(2) 実験方法及び実験条件

水防林模型は、実河川における樹木群の透過係数の値に近いプラスチック製の超多孔質体(空隙率 91%, $K_m=0.47(m/s)$)を使用する。水防林の配置は、実験 1, 3 は低水路河岸に沿って連続に配置し、実験 2 では断続的な配置である。測定区間は実験 1, 2 では水路中央部の 1 波長、実験 3 では低水路 3 波長とする。測定は水位をポイントゲージ、流速を 2 成分電磁流速計、河床高を超音波式河床形状測定器で行い、測点を詳細に設定し計測を行っている。

3. 低水路河岸沿いに連続して水防林のある複断面蛇行流路における流れ

(1) 平均流の構造と低水路流量

実験 1, 実験 3 の高水敷高さより上層、下層のそ

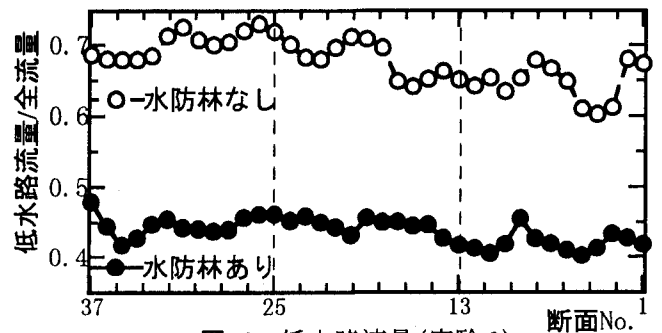


れぞれの水深平均流速ベクトルを図-2,3 の (a),(b)に示す. 図中の高水敷上の太ベクトルは, 高水敷流れの各断面における最大の流速を示すベクトルである.

最大流速は, 最大曲率断面の内岸側に発生しており, 水防林のない複断面蛇行流れと同様, 内岸から内岸へ沿う流れとなっている. ただし, 実験3では蛇行度が 1.02 と小さいため最大流速は中央寄りにほぼ直線的に流下する.

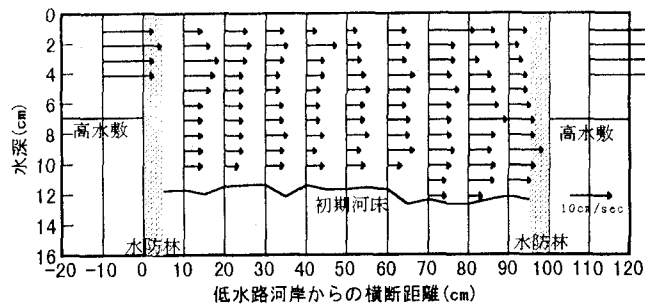
水防林のない場合は⁹⁾, 流れが低水路に集中するため高水敷の速い流れは, 低水路近くに発生する. そのため, 堤防近傍での高水敷流れは遅くなる. これに対し, 低水路河道に沿って水防林がある場合, その抵抗により低水路と高水敷の流れの交換が制限されるため, 流れが分断された形になる. 水防林は低水路流れの減速量を大きくし, 同時に, 河積の減少を引き起こす. このため, 水防林のない場合より低水路を流下する流量が少なくなり, 高水敷の流量が増す. 水防林近傍では流れが遅減されるため図-2 (a), 図 3-(a)の高水敷上の各断面の最大流速の太ベクトルが示すように, 低水路が堤防に寄ったところで堤防近くの高水敷流れが速くなる特徴が見られる.

水防林のない場合, 高水敷からの流入の影響により高水敷の上層と下層で流況が異なり, 下層が上層よりも流速が速くなることが知られている⁹⁾. 水防林のある流れの高水敷より上層と下層の平均流速ベクトルを比較すると, 水防林のない場合と同様に,

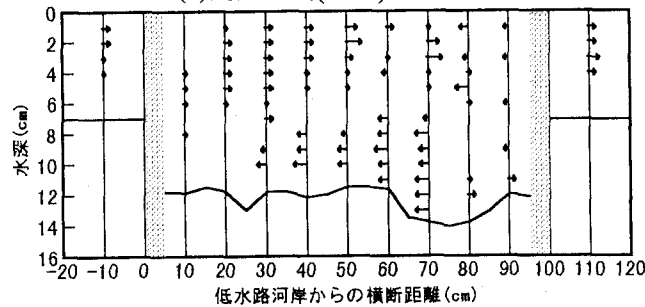


上層は高水敷からの流入の影響が大きいため下層の流速の方が速い. しかし, その差は小さく, 上下層の流況に, ほとんど差が見られない. これは, 水防林により, 高水敷からの流れは一旦さえぎられ, 水防林全体からゆるやかに流出することから, 高水敷より下層でも外岸側で大きく流速が減少する. そのため, 高水敷より上層, 下層で大きな流況の違いが現れない.

蛇行度 1.17 と蛇行度 1.02 の高水敷より上層と下層の平均流速ベクトルを比較すると, 蛇行度 1.17の方がその差が大きく現れる. 蛇行度 1.17では, 高水敷幅が広く, 水防林の粗度の効く範囲が狭いため低水路から流出した遅い流れも高水敷で流速を回復して再び低水路に流入する. 蛇行度 1.02では, 蛇行が緩いため低水路蛇行振幅より外側の高水敷流

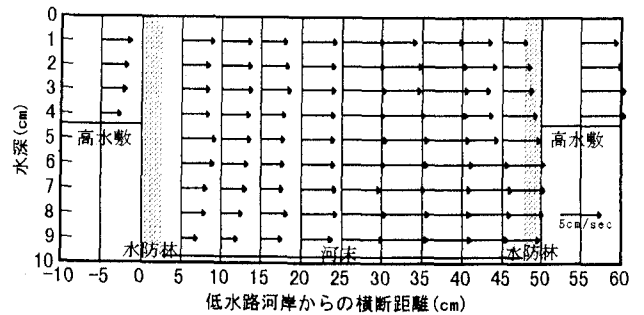


(a)変曲断面(No.4)

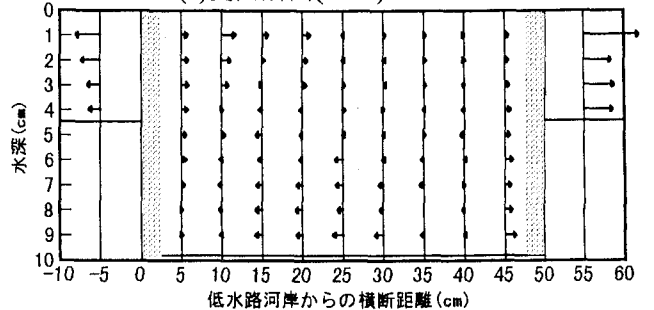


(b)最大曲率断面(No.7)

図-5 二次流分布(実験1, 平衡固定床)



(a)変曲断面(No.4)



(b)最大曲率断面(No.7)

図-6 二次流分布(実験3, 平坦固定床)

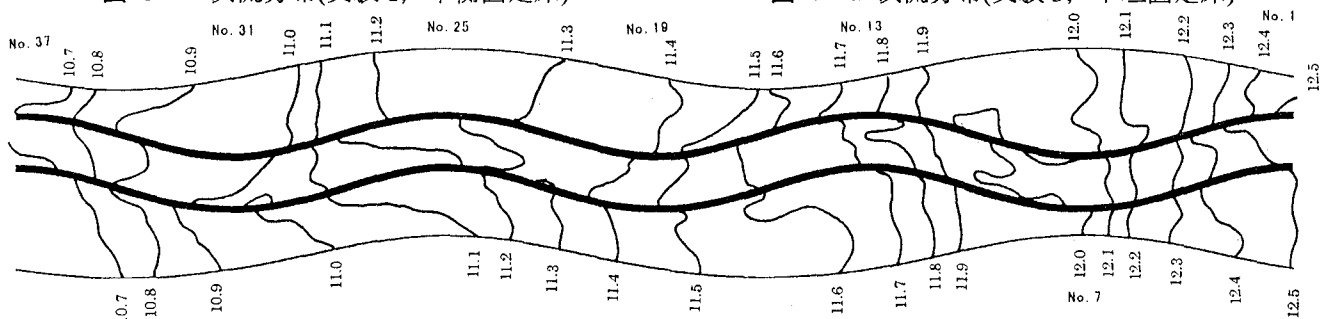


図-8 水位コンター(実験3, 平坦固定床)

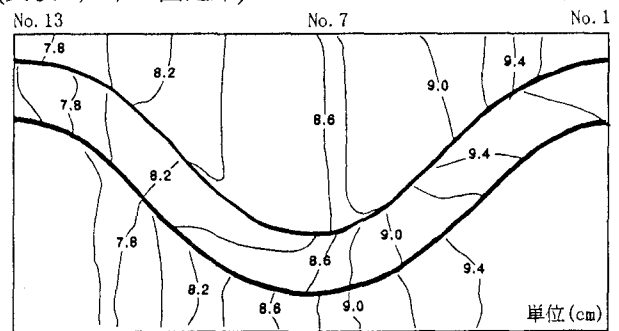


図-7 水位コンター(実験1, 平衡固定床)

これは、水防林の影響を受けず流下方向に直線的に速い流速で流れる。一方、低水路蛇行振幅より内側の高水敷流れは流速が極めて遅くなる。そのため、高水敷流れと低水路流れの混合が少なく、高水敷高さより上層、下層で流速差が付きにくくなる。

実河川の蛇行度に近い線形で変化する堤防の影響(実験3)は、低水路から高水敷へ流出する流れの流出角に現れている。すなわち、低水路が高水敷に対して拡大する領域(断面 No.1~No.7 右岸側)では流出角が大きく、堤防が低水路にたいして迫り出す領域(断面 No.13~No.19 右岸側)では比較的小さい角度で流出する。しかし、全体的に見ると、堤防線形の流れに与える影響は大きくない。

図-4は、実験3と同様の水路を用い、同流量を流した水防林のない場合と実験3の低水路流量を比較したものである。

水防林のない場合、低水路内に全流量の7割程度が流れるのに対し、水防林のある場合4割強しか流れていない。また、低水路流量の変動幅は水防林のない場合より小さく、水防林が流れの交換を鈍くしていることがよくわかる。

敷流れが流入し低水路から流出する一方向に、ほぼ一様に二次流が生じている(図-5,6(a))。最大曲率断面では、蛇行度の大きい実験1でわずかに二次流セルが認められる程度で、実験3では二次流が見られない(図-5,6(b))。

高水敷流れが水防林全体から緩やかに流入するために変曲断面の二次流分布(図-5,6(a))では、上層と下層の流速差がほとんど見られない。このため、高水敷の上下層の境界面に働くせん断力が小さくなり、複断面蛇行流れ特有の二次流⁵⁾が発達しにくい。

(2)二次流分布

実験1, 実験3ともに、変曲断面(No.4)では、高水

(3)水位分布

実験1, 3の水位コンターを図-7,8に示す。

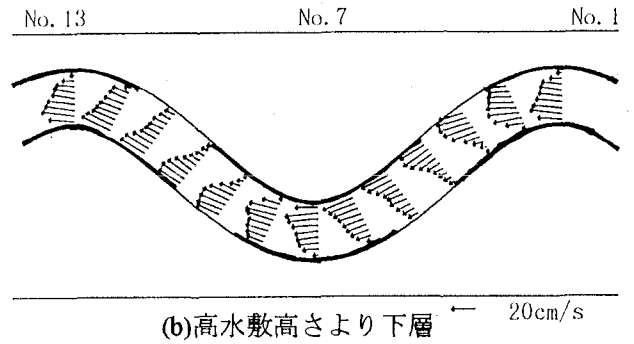
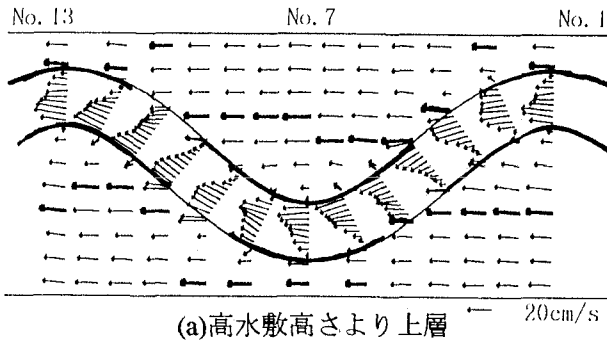


図-9 水深平均流速ベクトル(実験2, 平坦固定床)

水防林のある場合、流れ全体を通して水防林を挟んだコンター線が不連続的になっている。これは、水防林の存在が流れに対し堰上げの働きをしているためである。このため、水表面にあたる領域では水裏面よりも水位が高くなり、コンター線は不連続的になる。

蛇行度 1.17 と蛇行度 1.02 の低水路と高水敷の水位差を比較すると、蛇行度 1.17 の方が水位差が大きい。低水路内をみると、水防林がない場合と同様に、実験 1、実験 3 の蛇行部では内岸が低く外岸が高くなっている。これは流れの遠心力の作用のためである。しかし、その大きさは、水防林を配置しない場合⁹⁾と比較すると水防林により蛇行部の外岸側の流速が極端に低くなることにより、遠心力が小さくなるため非常に小さくなっている。

低水路から高水敷へと流出する高水敷上においては、水防林がない場合、低水路流れが高水敷流れに大きな運動量を供給しているため、水面コンターが密になる。しかし、水防林のある場合では、低水路からの流れが遅いため高水敷上のコンター線は、水防林がない場合よりも間隔が広くなり、水面勾配が緩くなる。

4. 水防林の一部伐採(流失)による護岸化が洪水流に与える影響

治水問題のある区間では洪水時の水位を低下させるため、水防林を一部または全部伐採し、そこに人工的な護岸を建設してきた経緯がある。しかし、複断面蛇行河道では洪水時の最大流速位置が河道の線形と相対水深により規定され、護岸化する位置によっては、流速の増大を招き護岸と水防林の境界にある水防林を被災させる恐れがある。従って、護岸箇所および工法の選定には注意を要する。

本章では、水防林が一部伐採または流失し低水路河岸が護岸化された実験を行い、洪水流に与える影響を検討している。

護岸化を想定した場所は、その影響が最も大きい蛇行低水路の水あたり部(低水路流れが集中して高水敷へ出ていく区間)と高水敷からの水流が集中して低水路へ流入する区間に選んでいる。護岸の構造は、布袋に砂利を詰めた円筒状のものを高水敷の高

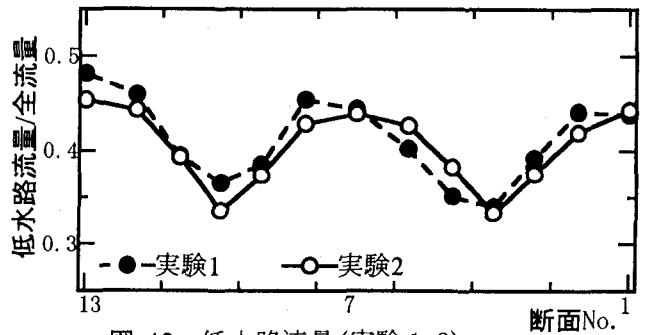


図-10 低水路流量(実験1, 2)

さと一致させて設置している。

(1) 平均流の構造と低水路流量

断続的に水防林を配置した実験2の高水敷高さより上層、下層の平均流速を図-9(a), (b)に示す。高水敷上の太ベクトルは、高水敷の各断面の最大流速のベクトルである。

断面No.3から断面No.7では左岸側に水防林が存在し右岸側は護岸を設置している。水防林のある低水路左岸近傍は、水防林連続配置と同様、極めて流速が遅い状態となる。一方、断面No.3から断面No.7の領域では、低水路右岸側に護岸を設置したことにより、低水路流れが高水敷上へ滑らかに流出し、主流部が右岸側に寄る。そのため、護岸直下の水防林は、非常に速い流速にさらされることになる。これは、護岸直下流の水防林を倒伏させ、流失させる危険性を示唆するものである。倒伏、流失した水防林箇所は護岸化され、最終的には、多くの水防林が護岸化されることにつながる可能性がある。

左岸側は護岸、右岸側には水防林が存在する断面No.7から断面No.11では、低水路左岸に護岸が設置されていることにより高水敷流れがここから減速せず低水路内に流入し、低水路流れは流下方向に加速され右岸側に寄る。しかし、右岸には水防林があるため、右岸に寄った低水路流れは高水敷への流出を阻害され、右岸付近では低水路沿いに流れる。この領域では、低水路流れが高水敷流れにより加速されるため低水路内の流速差は小さくなる。

低水路内の最大流速発生位置をみると、本実験の水防林断続配置では、変曲点付近での高水敷流れの流入及び低水路流れの流出の影響により、最大曲率内岸に寄った流れは速い段階で次の最大曲率内岸へ

すりつく。このため、水防林連続配置と比べ水衝部が上流側へ移動する。

高水敷流れの最大流速の発生位置は、低水路流れが集中して高水敷へ出ていく区間(断面No.3~No.10)で護岸を設置したことにより、その領域では低水路振幅内に最大流速が現れ、堤防付近の流速は連続配置に比べ抑えられる。また、遅い高水敷流れは最大曲率内岸付近に限られる。最大曲率断面あたりの外岸では、水防林連続配置と同様に堤防近くで最大流速を示す。

上下層の平均流速ベクトルを比較すると、護岸を設置したことにより速い高水敷流れが流入する場所では、高水敷高さより上層の平均流速が大きく、水防林を挟んで高水敷流れが低水路内に流入する場所では下層の平均流速が大きくなる。

実験1, 実験2の低水路流量の縦断分布を図-10に示す。実験1,2は同じ相対水深(0.45)に設定している。

実験1,2ともに低水路蛇行が最大曲率の断面で低水路流量は極大値を示し、変曲断面では極小値を示す。実験2は、実験1と比べ、護岸部から低水路流れの流出する区間(断面No.3~4, 10~11)で急激に低水路内流量が減り、高水敷流れの流入する区間(断面No.4~5, 10~11)で急激に低水路流量が増加している。

(2) 水位分布

水防林断続配置の水位コンターを図-11に示す。

水防林のある箇所では、低水路と高水敷の流れの交換が鈍いため低水路と高水敷の間で水位差がつき、コンター線が不連続的になっている。護岸を設置した箇所では、低水路と高水敷で流れの交換がスムーズに行われることにより低水路と高水敷の間で水位差がつかず、コンター線が連続している。また、断面No.7の低水路右岸と断面No.19の低水路左岸ではコンターの間隔が極端に狭まっている。断面No.7の低水路右岸と断面No.19の低水路左岸は、水防林と護岸の境目にあたり、護岸により主流が内岸側に寄る位置でもある。そのため、速い流れが護岸直下の水防林にあたり水位が急に上昇する。

5. 結論

築堤以前の水防林は堤防の代替施設として洪水被害軽減に有効に働いてきた。しかし、堤防が造られると低水路際に残された水防林はその機能の大部分を失い、洪水流下能力を阻害するものと考えられるようになってきた。しかし、水防林の持つ環境機能、変化に富む自然性に果たす機能を思うとき、低水路の線形との関係で水防林の治水機能の保全及び水防林の残し方が重要となる。本研究は、今日残っている水防林の基本的な配置である蛇行した低水路の河岸沿いに水防林が連続して存在しているとき、一部が護岸化された場合の基礎的な流れの構造について

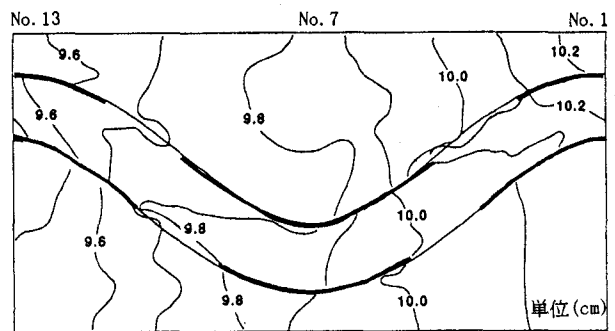


図-11 水位コンター(実験2, 平坦固定床)

実験的検討を行ったものである。ここで得られた結果は、河岸沿いの樹木群一般についても適用できるものであると考える。主要な結論は次の通りである。

- (1) 蛇行低水路沿いの水防林は、水防林がない場合と比較して低水路と高水敷の流れの交換を鈍くするため低水路と高水敷では大きな水位差を引き起こす。また、低水路流れは極端に遅くなるため低水路の内岸と外岸での水位差が小さくなり、全流量に占める低水路内流量が著しく小さくなる。
- (2) 水防林のある河道では高水敷の流量分担量が多くなる。このため高水敷が狭いと、その最大流速は堤防近傍に現れるので注意が必要である。
- (3) 水防林のある流れでは、高水敷の上層と下層でほぼ同じ流況を呈するように高水敷と低水路の流れの交換が行われている。
- (4) 低水路流れが高水敷へと流出する付近の水防林を護岸化すると、低水路流れが護岸へ集中し、護岸直下流の水防林に強い水当たりを及ぼす。その結果、水防林の倒伏、流出の危険性が高くなる。このことは、水防林のある複断面蛇行河道において、ひとたび水あたり部を護岸化すると、河岸沿いの水防林は大部分護岸化されてしまう可能性を示す。

参考文献

- 1) 浜口達男, 本間久枝, 井出康郎ほか: 水害防備林調査, 建設省土木研究所資料, 第2479号, pp.1-205, 1987.
- 2) 福岡捷二, 五十嵐崇博, 高橋宏尚: 江の川水防林の特性と治水効果, 水工学論文集, 第39巻, pp.501-506, 1995.
- 3) Fukuoka.S. Flood control vegetation and main channel alignment in flood control plan, Int. Seminar on Recent Trends of Floods and Their Preventive Measures, pp.145-173, 1996.
- 4) 福岡捷二, 大串弘哉, 川岡秀和: 水防林のある河道の流れ特性, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 第2部, pp.228-229, 1996.
- 5) 福岡捷二, 大串弘哉, 加村大輔, 平生昭二: 複断面蛇行流路における洪水流の水力, 土木学会論文集, No.579, II-41, pp.83-92, 1997.
- 6) 福岡捷二, 藤田光一: 洪水流における河道内樹木群の水利的影響, 土木研究所報告, 第180号-3, 1990.

(1997. 9. 30受付)