

柳水制の試験施工とその機能の現地調査

FIELD TESTS ON GROINS UTILIZING NATURAL WILLOWS

福岡捷二¹・樺澤孝人²・齋藤潤一³・布施泰治⁴・渡辺明英⁵・大橋正嗣⁶

Shoji FUKUOKA, Takahito KABASAWA, Junichi SAITO, Yasuharu FUSE, Akihide WATANABE
and Masatsugu OHASHI

¹正会員 Ph. D. 工博 広島大学工学部教授 地域環境工学講座 (〒739 東広島市鏡山1-4-1)

²正会員 工修 建設省東北地方建設局 河川部河川計画課長 (〒980 仙台市青葉区二日町9-15)

³正会員 建設省東北地方建設局山形工事事務所 調査課長 (〒990-23 山形市蔵王西成沢47)

⁴正会員 建設省東北地方建設局能代工事事務所 調査第一課長 (〒016 秋田県能代市川反町9-3)

⁵正会員 工博. 広島大学工学部助教授 地域環境工学講座 (〒739 東広島市鏡山1-4-1)

⁶学生会員 広島大学大学院博士課程前期 環境工学専攻 (〒739 東広島市鏡山1-4-1)

Riparian vegetation plays an important role on river environment, but sometimes causes serious rise of flood water level. So, it is needed to find the way of managing vegetation aiming at the harmony between flood control and environment. Through our laboratory experiment, we found one of the way by using vegetation as a groin, which showed good result to weaken the main flow and the organization of secondary flow, as a result, bank erosion was reduced.

In this paper, natural willows are used as a groin for the field tests. Groins utilizing natural willows are reducing bank erosion during the flood and performing the environmental role at period other than flood by the flexible and porous characteristics. The result of field tests is reported. And it is estimated that the groin of willows can stand up to the flood water and display properly their function.

Key Words : flood control and environment, riparian vegetation, field test, natural willow groin

1. はじめに

河道内に繁茂した樹木群は、洪水時に水位上昇を引き起こす等の治水上の問題がある場合には伐採されることが多かった。しかし、現在多自然型川づくりなど治水と環境の調和のとれた川づくりが河道計画の方法として定着しつつある。このため、河道内の樹木群を出来るだけ残すことで環境面に配慮し、かつ治水的にも整合する樹木群の管理のあり方が時代の要請となっている¹⁾。

著者らは、この要請に答えるひとつの方法は河岸沿いに繁茂する樹木群を水制工として利用することであるとの考えのもと、弯曲水路を用いた樹木群水制の室内実験を行い検討を行ってきた^{2),3)}。樹木群水制の基本的な考え方は次のとおりである。“広範囲に群生している樹木群は、流水に対して柔構造でありかつ大きな透過性を示す。この特性を利用し、治水上問題がない場所では樹木群をそのまま残し、

治水上問題がある場所では流下能力を確保しながら治水上も環境上も整合するように樹木群を管理し、これを水制として利用する。樹木群水制は、河岸沿いにほぼ一様に残す部分と水際の樹木群をある間隔で突起状に残す部分から構成され、洪水時には一体的に有効に河岸侵食を減じ、平常時には環境的機能を発揮するものである。”これまでの実験では、水制間隔(L)と水制長(D)の比(L/D)が従来の不透水制が有効に機能するといわれているL/D=2.0に近い突起部を持つL/D=2.4の場合と、樹木群水制がもつ透過性と流れ場に対して柔らかく働く特性を考慮して水制間隔を広くとったL/D=7.2の場合について検討を行っている。結果として、水制間隔の小さいL/D=2.4の場合には水制突起部の付け根に一様に残した樹木部分が十分に活用されていないこと、またL/D=7.2の場合には水制間への流入が顕著にみられ突起部と一様部が一体的に有効に働いていることがわかった。また、水制周辺の流れの詳細な測定によ

り、樹木群水制近傍で主流・二次流が弱められ、河床洗掘が小さくなること及びその機構を明らかにした。

本文は、以上のように実験で得られた知見をもとに、河岸沿いに繁茂する柳を水制工として利用し、実際の洪水に対する柳水制の応答の現地試験結果を報告する。現地試験の目的は、実験室で明らかにできない事柄、つまり“樹木群水制が実際の洪水流に対して流失せずに水制機能を発揮するのか”、“河岸被災等悪影響を及ぼさないのか”等について洪水ハイドログラフ、洪水前後の柳水制の状態調査や河岸・河床変動の測量結果、洪水時の航空写真を分析した平面流速分布等を用いて検討を行うことにある。

2. 柳水制現地試験の概要

樹木群水制の試験施工場所は、建設省東北地方建設局管内の米代川、最上川の2河川3箇所である。試験工区は高水敷上に広範囲に大きな柳が平均的に生えていること、水衝部にあること、流量・水位観測所が近くにあること等に留意し選定している。各試験区間では、それぞれ水際に水制突起部を4箇所ずつ残し背後の一様部とともに水制を形成している（いずれも上流から第1、第2、第3、第4水制と呼ぶ）。突起部と突起部の間の水際は柳は地盤から0.5mの高さで切断して残している。L/Dの決定は、実験結果から不透水水制が有効に働くとされている2.0より大きく、柳を用いた透過水制の効果が発揮される諸元としている。

本文では米代川39km地点の蟹沢地区、最上川182km地点の長井地区の調査結果及び検討を報告する。

(1) 米代川（蟹沢地区）

水制の試験工区は、39km付近左岸に位置し、川幅650m、河床勾配1/1600、河床材料は60%粒径26.5mmの複断面蛇行河道である。水制付近の彎曲部内岸の高水敷上には柳を中心とした樹木群が分布している。図-1(a)に示すように柳水制設置区間は彎曲部下流の左岸に位置している。この区間は、直上流の彎曲部外岸に集中した流れが内岸（左岸）に向かう位置にあり、また、外岸付近にある砂州が流れを内岸側に偏向させているため、弱い水衝部となっている。

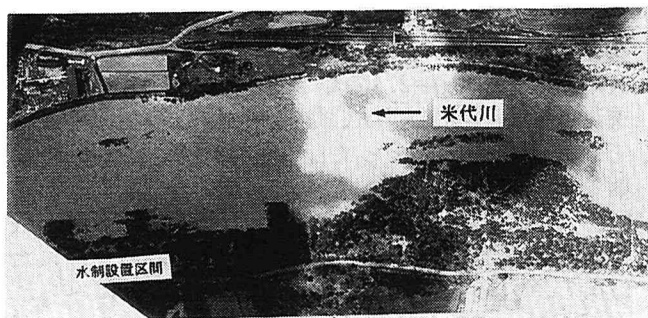


写真-1 柳水制設置区間の航空写真
(米代川, 5/9 13:00)

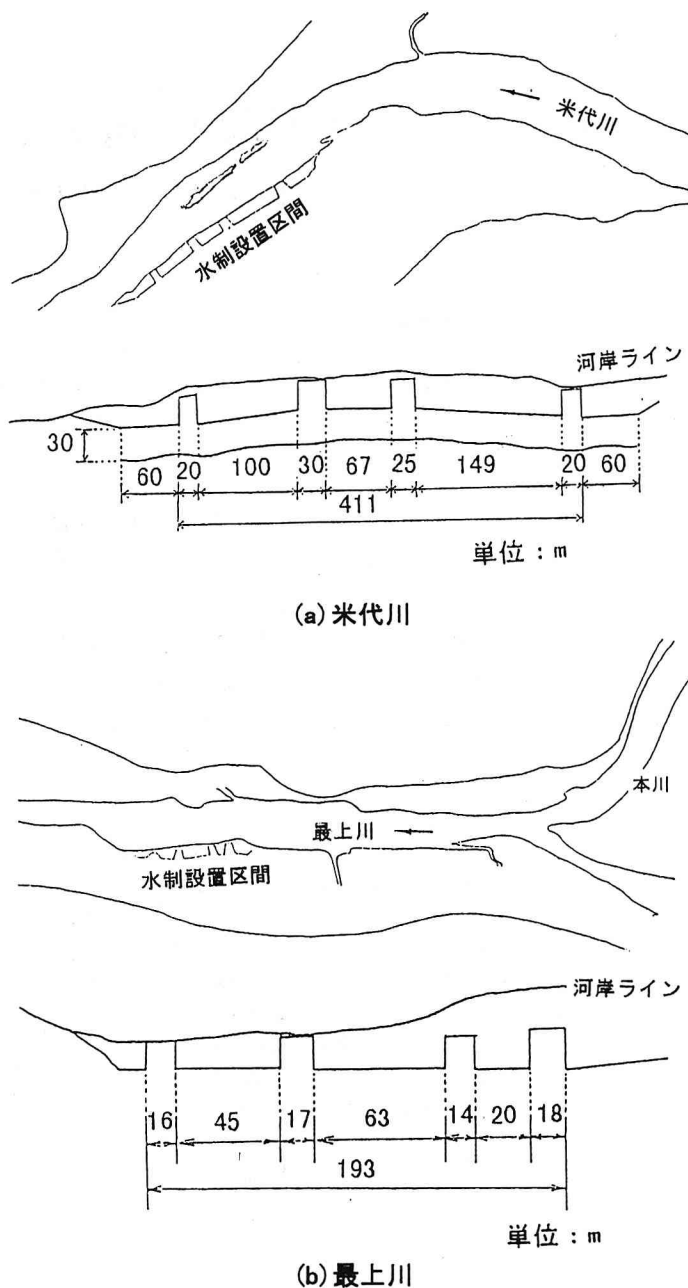


図-1 水制設置区間および水制配置

表-1 各試験区間での柳の樹高、密度

	米代川 蟹沢地区	最上川 長井地区
0~1.0m	214	3
1.1~2.0m	15	57
2.1~3.0m	302	186
3.1~4.0m	1036	96
4.1~5.0m	263	73
5.1~6.0m	285	168
6.1~7.0m	63	107
7.1~8.0m	10	3
8.1~9.0m		6
総数	2188	699
柳の密度 (本/100m ²)	14.2	11.97



写真-2 柳水制設置区間の航空写真（最上川）

水制突起部の長さは30m, 間隔は67~149mとし, L/Dは上流から5.6, 3.2, 4.2である. 河岸沿いの一様部分の幅は約30mである.

水制区間の柳の密度は, 全体では14.2本/100m²である. 各水制突起部では上流から18.5, 7.2, 9.9, 16.1本/100m²であり, 第2, 3水制周辺で分布がややまばらになっている.

柳の樹高は3~4m, 幹径は6~15cmである.

(2)最上川 (長井地区)

水制設置区間は最上川182km付近で, 川幅は350m, 河床勾配が1/540, 河床材料は60%粒径25mmでありかなりの急流部である. 図-1(b)からこの区間は彎曲部下流の水衝部に位置する. 水制長は15m, 水制間隔は20~63mでL/Dは上流から2.4, 5.2, 4.0である. また, 一様部分は幅15mで残している.

表-1に柳の樹高と密度分布を示す. 各水制の柳の密度は, 上流から11.67, 5.1, 5.8, 4.0本/100m²である.

3. 洪水観測結果

(1)米代川柳水制

平成9年5月8日~9日に大きな出水があった. ピーク流量は, およそ2300m³/sであった. 図-2に示す水位ハイドログラフからピーク水位は5月8日19時のT.P. 21.59mである. 高水敷水深は最大5.3mに達し, このとき表-1から柳水制を構成する柳の84%が水没したことになる. 高水敷に水が乗っていた時間は30時間以上であった.

図-3に代表的な断面として第1水制付近のNo. 94での横断河床形状を示す. 柳水制域及びその周辺では最大20cmの堆積が生じている. これは, 洪水位が高く, 柳水制の流速減衰効果により水制内の流速がかなり小さくなったことを示している.

5月9日13時に撮られた航空写真から測定された流速ベクトルを図-4に示す. この時点ではすでにピーク水位から3.5m程度水位が下がっており, 高水敷水深はおよそ1mであった. このベクトルはピーク時に撮影されたものではないが彎曲部外岸に集中した主

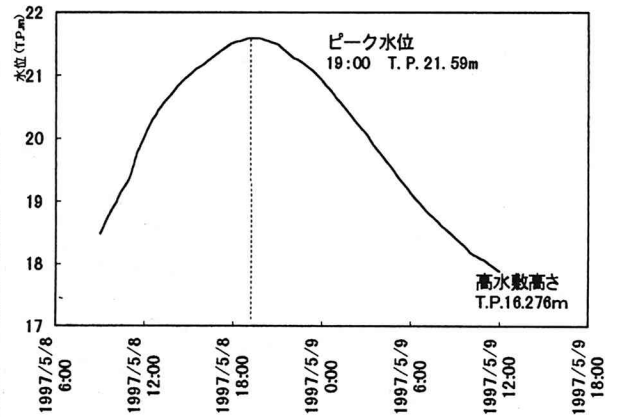


図-2 水位ハイドログラフ (米代川, 水制設置部上流端)

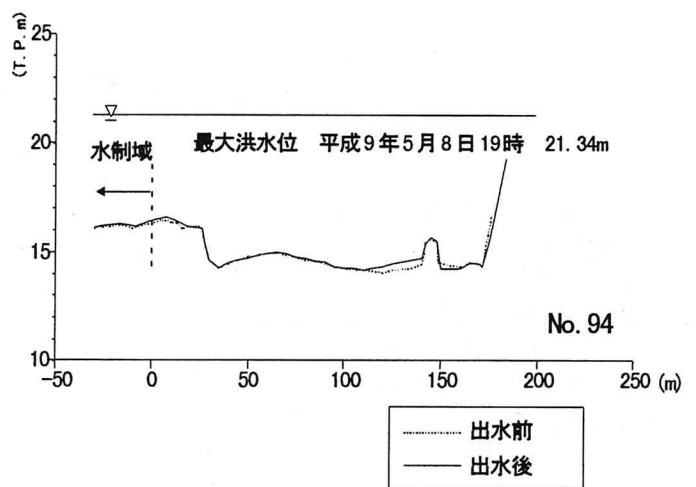


図-3 横断河床形状 (米代川, 第1水制付近)

流れが, 偏向を受け水制域に向かい流入しており, 第1水制では先端部の水はねにより流心方向への流れがみられる. 流速は主流部で3m/s, 水制近傍では1m/s以下になっており, 水制近傍で流速が著しく抑えられていることがわかる.

図-5に米代川水制の洪水後の状況を示す. 図中に柳水制を構成する各柳の位置を示している. 図の矢印は柳の倒伏方向を示している. 第2, 4水制では柳の倒伏がみられる. 第2水制では水制の根元付近で柳の倒れた方向にばらつきが目立つ. 第4水制には水制先端に孤立した柳の群があり, この付近に集中した流れが高流速を生じ, より大きな力が作用し, 倒伏したと考えられる. 第3水制では水制先端が低水路河岸ラインとほぼ一致しているため洪水流が河岸の柳の根元を直接洗うことになり, 結果的に柳が3本流失している. 第1水制では柳がほぼ一様に分布し, さらに上流にある砂州上の柳群によって流入が弱められ, 柳の倒伏はみられなかった. このように柳の倒伏・流失は一部でみられるが, 高水敷水深が高く, 8割以上の柳が水没するという条件下にあって, 柳水制は有効に働き, 大きな洪水流に耐え得たと評価できる.

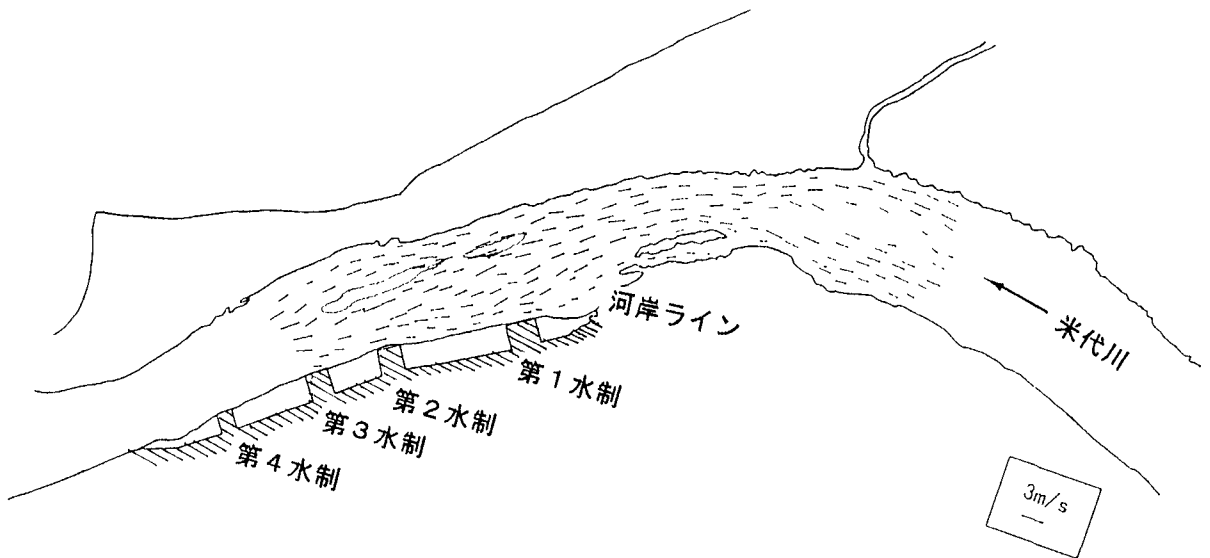


図-4 柳水制近傍での流速ベクトル
(米代川 5/9 13:00)

(2) 最上川柳水制

対象洪水は、平成9年6月28日～29日の台風8号洪水である。図-6に水位ハイドログラフを示す。ピーク水位は29日11時のT.P. 200.448mである。水制区間中央の高水敷高さがT.P. 199.27mであり、ピーク時の高水敷水位は1.1mである。表-1からわかるようにこの水位では水没した柳はほとんどなく、大部分は幹の一部が水につかっている状態であった。0.5mの高さで伐採された突起間の柳は、洪水発生の時点で1.0m程度の長さで成長しており、この部分が水没する程度の水深であった。この洪水はほぼ低水路満杯状態で長時間流れており、低水路外岸すなわち柳水制前面に高速流が生じ、河岸が洗掘の危険に晒されている。

図-7は、29日10時30分の航空写真から解析した流速ベクトル図である。この時間はほぼ洪水のピーク状態に相当し、主流部での流速は4.0m/sである。しかし、高水敷水深が1m程度であったため水制域、高水敷上での流速ベクトルは計測不能であった。

柳水制の洪水後の状況を図-8に示す。今回の出水では高水敷の最大水深が1.1mと低かったため、水制域への流入量および流入継続時間は米代川に比して著しく小さく、柳水制内での土砂の堆積も少なかった。しかし、ほぼ低水路満杯状態での流れが約40時間にも及んだ。福岡らの複断面蛇行河道の流れと河床変動の研究^{4),5)}によれば、低水路満杯状態の水位の時に外岸付近の流速がもっとも大きくなり、また、外岸側河床の洗掘が最大となること、流砂量が最大になることが明らかにされている。このことは今回の洪水で水際の水制が著しく大きな侵食力に晒されたことを意味している。事実、水衝部にあたる水制設置区間、特に第3水制先端付近では5mの河岸侵食があり、水制先端の柳は根が洗われ、数本の柳流失している。流失せずにその位置で川側に倒れている

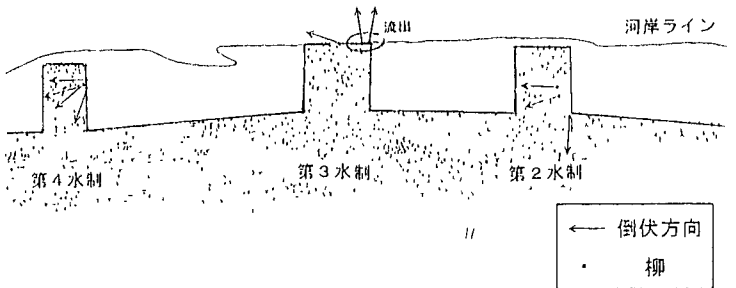


図-5 洪水後の柳水制の状況 (米代川)

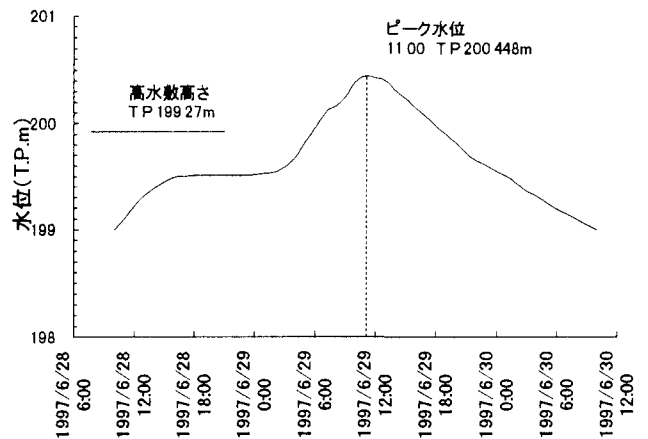


図-6 水位ハイドログラフ
(最上川、水制設置部中央)

る柳は、低水路河岸を覆うように残っており、これらが木流し工的役割を果たし、それ以上の侵食を抑える役割を果たしたものと推定される。最上流の第1水制では倒伏がみられ、強い流れが作用したもの

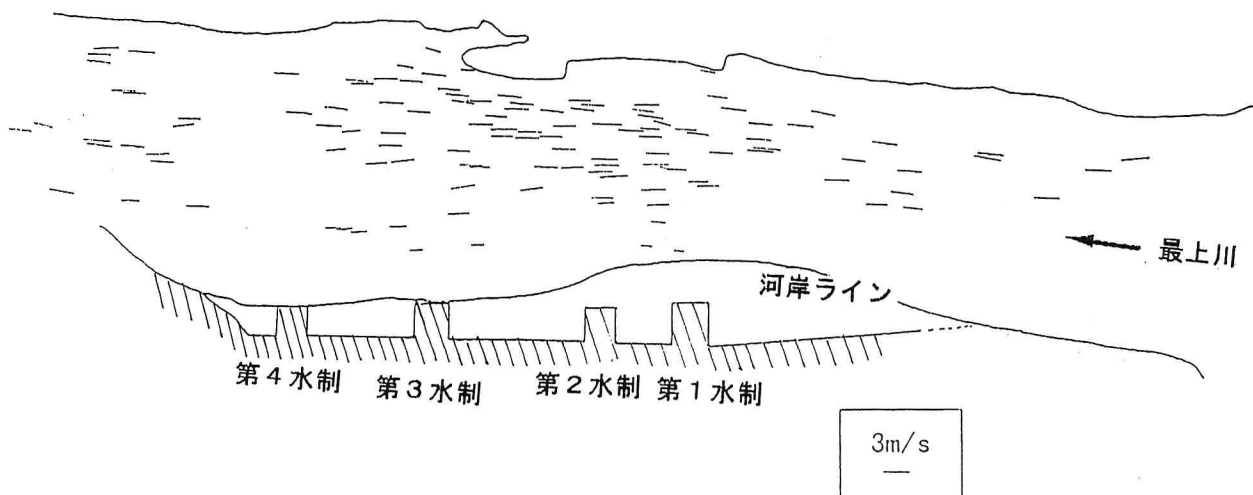


図-7 柳水制近傍での流速ベクトル（最上川 6/29 10:30）

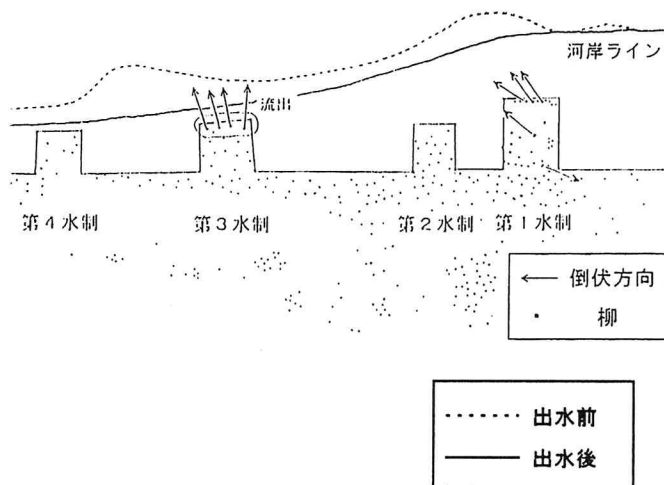


図-8 洪水後の柳水制の状況（最上川）



写真-3 倒木状況（米代川第4水制先端部）

と考えられる。しかし、倒伏方向がまちまちであったことから、水制内での流れが一定でなく渦を巻いていたものと考えられる。第2水制は、第1水制により流れが弱められたために倒伏がなかった。

以上のように、最上川の今回の出水では大部分の時間が低水路満杯状態で流れたため、柳水制にとっては最も厳しい条件であった。しかし、柳水制の流失は少なく洪水流に対して十分に耐え得たものと考えてよい。

4. 考察

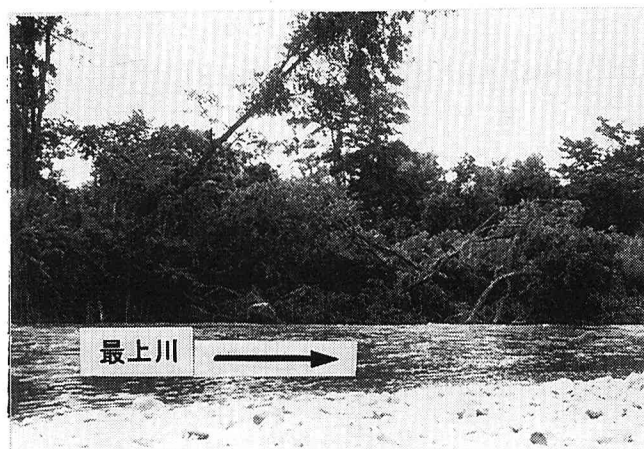
米代川では高水敷水深が高かったため、柳水制に向かう流れが活発であったと考えられる。にもかかわらず、水制の損傷が極めて少なかった理由は次のように考えられる。この洪水時の水制付近の流れ

は、先述した $L/D=7.2$ で行った室内実験^{2),3)}での流れと同様であり、水制突起部付近での水制間へ流入する流れと突起部を通過する流れによって水制域での流れが弱められ、水制付近の主流・二次流が抑えられていたと考えられる。しかし、柳の生育状態、密度分布によって一部では写真-3に示すような倒伏が生じていた。写真-3は第4水制先端の孤立した柳帯付近での倒伏である。柳の分布が偏っていたため、粗な所からの速い流れの流入によって生じていたものと考えられる。

これに対して、最上川の場合は高水敷水深が低かったため、水制内の流れは第1水制を除いては弱かったと考えられる。しかし、低水路満杯に近い状態で流れている時間が長かったため河岸の洗掘が激しく、第3水制先端付近で河岸が洗掘し（写真-4(a)）、柳が流失した。先述したとおり流失せずに



(a) 河岸の洗掘状況



(b) 水制先端での倒伏

写真-4 柳水制先端での倒伏・洗掘（最上川，第3水制）

川側に倒れた柳は、河岸を覆うように残り、さらなる侵食を抑える働きをみせたと考えられる。(写真-4(b))。また、第1水制内部では、強い流れが直接作用したため柳の倒伏が一部生じている(写真-5)。

5. まとめ

実験室で得られた知見をもとに、現地の柳を水制工として利用した現地試験を行い、貴重な観測結果を得ることができた。

今回の現地試験では、米代川で8割以上の柳が水没し、最上川では低水路満杯状態で約40時間流れ続けるなど厳しい条件であった。一部の倒伏、流失はみられたが、柳水制は洪水流に対し有効に働き、十分に耐えうることが明らかになった。

今後、さらに異なる規模・特性を持つ洪水流について同様の観測データを蓄積し、柳水制の実用化に向けた情報の収集とその解析を行い、柳水制の設計指針をつくることを目標に検討を進める。このために、現地試験の他に数値シミュレーション⁶⁾による検討、室内実験による検討も併せて行い、より広い条件に対し適用できる柳水制の指針づくりを目指している。また、切り取った柳(突起と突起の間の部分)は生長するので、柳水制の機能を維持できるような管理をどのようにすればよいのか、柳水制のみに頼るのではなく、河道や洪水の特性に応じた水制の構造や他の河岸保護の方法との併用の可能性などについても検討する必要がある。

謝辞：柳水制の現地試験に際して、建設省河川局治水課に大変お世話になりました。深く感謝致します。



写真-5 水制部での倒伏（最上川，第1水制）

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・渡辺明英・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，1129-1132，1997
- 3) 福岡捷二・渡辺明英・姫野至彦・大橋正嗣：河岸に群生する樹木群の水制機能の評価，土木学会第52回年次学術講演会概要集，pp.710-711，1997
- 4) 福岡捷二・渡辺明英・加村大輔・岡田将治：複断面蛇行流路における流砂量，河床変動の実験的研究，水工学論文集，第41巻，pp.883-888，1997
- 5) 福岡捷二・高橋宏尚・加村大輔：複断面蛇行河道の洪水流に現れる複断面蛇行流れと単断面蛇行流れ－洪水流航空写真を用いた分析－，水工学論文集，第41巻，971-976，1997
- 6) 福岡捷二・渡辺明英：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.568/II-42，1998（掲載決定）

(1997. 9. 30受付)