

# 水防林が氾濫流の流況 に及ぼす影響と減勢効果

EFFECTS OF GROVES AGAINST FLOOD HAZARDS  
ON DYKE BREACH FLOW AND HYDRODYNAMIC FORCE

秋山 壽一郎<sup>1</sup>・重枝 未玲<sup>2</sup>・有働 貴行<sup>3</sup>・山尾 匡人<sup>3</sup>  
Juichiro AKIYAMA, Mirei SHIGE-EDA, Takayuki UDOU and Masato YAMAO

<sup>1</sup>フェロー会員 Ph.D. 九州工業大学大学院教授 工学研究院建設社会工学研究系  
(〒804-8550北九州市戸畑区仙水町1-1)

<sup>2</sup>正会員 博士(工学) 九州工業大学大学院准教授 工学研究院建設社会工学研究系(同上)

<sup>3</sup>学生会員 九州工業大学大学院 工学府建設社会工学専攻(同上)

Effects of the groves against flood hazards on dyke breach flows and the hydrodynamic forces acting on a structure are investigated experimentally. It is found that depending on Froude number at the broken point of the embankment, characteristics (size of tree, density and length of forest zone) of the groves and the distance of groves from the broken point, different type of the flows, namely, submerged outflow, forced hydraulic jump and jump-spray are observed. The regime of the flows is distinguished by the ratio of specific force of the flows to retarding force due to the groves. It is also found that the primary mechanism for reduction of the hydrodynamic forces acting on a structure is due to increase of flow depth downstream of the groves.

**Key Words :** *groves against flood hazards, dyke breach, hydraulic jump, hydrodynamic force*

## 1. はじめに

堤防に沿って帯状に設けられた樹木群を樹林帯といい、氾濫原に存在する防御対象地域の上流側に設けられた樹木群を防災樹林帯という。樹林帯と防災樹林帯は、それぞれ氾濫原管理における堤防強化策と氾濫流制御策の一種である<sup>1)</sup>。すなわち、樹林帯には、越流時における堤防の安全性の向上、破堤部の拡大抑制、氾濫流量の低減、流木・土砂堆積の防止、表土流失の低減<sup>2)</sup>、防災樹林帯には、氾濫流の減勢、流向制御、水流の分散、流木・土砂の捕捉などの治水機能と効用があるといわれている<sup>3)</sup>。防災樹林帯が有するこれらの治水機能は、伝統的治水技術としての水防林のそれに他ならない。また、樹林帯も流木・土砂の捕捉、氾濫流の減勢効果等の防災樹林帯に期待される治水機能を有しているため、以下ではこれらの樹林帯の機能も含めて水防林と呼ぶこととする。

水防林は、築堤等の治水施設の整備に伴い、整理・縮小されてきた歴史的経緯があるが、今日でも笛吹川(山梨県)、吉野川(徳島県)、大野川(大分県)、川上川(佐賀県)など全国各地で見ることができる。

水防林は、環境にやさしい治水技術であることから、氾濫原管理に資する技術として、水防林の機能と効用を工学的に評価しようとする試みが若干なされている。

例えば、末次ら<sup>4)</sup>は、氾濫原の勾配が大きい直進型や直下型の氾濫流を対象として、模型実験と数値解析に基づき、水防林の特性や配置等が流体力の低減効果に及ぼす影響について基礎的知見を得ている。秋山らは、高精度・高解像な平面2次元不定流モデルを用いた河道・氾濫域包括数値解析<sup>5)</sup>により、破堤氾濫流が構造物に作用する流体力と水防林による低減効果を評価できることを明らかにしている<sup>6)</sup>。また、同モデルを1983年山陰豪雨災害の直下型の破堤氾濫に適用し、三隅川に沿った堤内地に仮想的な水防林を設けた場合と設けない場合の数値シミュレーションを行い、水防林が、(1) 氾濫流の抑制・制御機能、(2) 浸水深の上昇を遅延する機能、(3) 破堤区間近傍や氾濫流が集中する箇所での最大流体力を低減させる働き、などの機能や効用を有することを明らかにしている<sup>7)</sup>。

水防林と同様な機能と効用を有するものとして沿岸林があるが、その津波の減勢効果については比較的多くの研究がなされている。例えば、今井・松富<sup>8)</sup>は、樹冠部

の変形を考慮した樹木の見かけの抵抗係数を求め、これを考慮した数値モデルにより1983年日本海中部地震津波を対象としたシミュレーションを行っている。

本研究は、以上のような背景を踏まえ、帯状に設けられた水防林を対象として、模型実験と簡単な解析に基づき、(1) 水防林と氾濫流との関係、(2) 水防林の減勢効果について、水防林の施設計画に必要な基礎的知見を得たものである。

## 2. 実験と実験方法

実験は、堤防から一定距離離れて帯状に設けられた水防林を想定したものである。水防林としては、その透過係数を理論的に評価できる樹幹部とした。

実験装置は、図-1に示すように、両面ガラス張りの水路(長さ6.0m、幅0.50m、高さ0.50m)内に水路床(長さ5.50m、粗度係数 $n=0.01$ )と水門(開き $a=0.01m$ )を設け、河床に円柱(直径 $d=0.018m$ 、本数 $N=320本/m^2$ )を幅 $L=0.25, 0.50, 0.75$ および $1.00m$ にわたって千鳥状に配置したものである。また、水路勾配 $I$ は、限界勾配 $I_c$ に近い急勾配( $I=1/200$ )あるいは緩勾配( $1/300$ )に設定した。なお、本実験条件下では $I_c=1/212\sim 1/275$ である。

水門から射流状態で流出した水は、水路を流下した後下流端で段落し、量水柵で流量計測できるようになっている。水門から射流状態で流出させた理由は、破堤氾濫流を想定していることと、その場合の流出水のFroude数 $F_1(=q/(gh_1^3)^{1/2})$ を簡便に系統的かつ幅広く設定するためである。ここで、 $q$ =単位幅流量、 $h_1$ =縮流部の水深( $=C_c a$ )、 $C_c$ =縮流係数( $=0.61$ )である。

まず、水防林の全抗力 $D_T$ を定義しておく。任意の流水(流速 $V$ 、水深 $h$ )中に置かれた一本の樹木(直径 $d$ )に作用する抗力 $D$ は、 $D=(1/2)C_D \rho d h V^2$ なので、これを幅 $L$ にわたって $N$ (本/ $m^2$ )設けたときの水防林全体についてコントロールボリュームを取ると、水防林全体の全抗力 $D_T$ は $D_T=\Psi C_D \rho h V^2/2$ となる。ここで、 $\Psi(=LNd)$ は水防林の全抗力に関係した無次元パラメータ(以下、「水防林特性」という)であり、 $h_1$ =水防林区間での樹木の代表水没水深、 $C_D$ =水防林の抵抗係数、 $\rho$ =水の密度である。また、円柱群の $C_d$ 値は、 $C_d \doteq 1.20$ の一定値を取ることが知られている<sup>9)</sup>。

樹木群によるblockage effect(流積の減少効果)を考慮すると、水防林区間での水深平均流速 $V_1$ は、樹木密度 $\lambda$ (=単位面積に占める樹木の断面積比)を導入して、 $V_1=q/[(1-\lambda)h_1]$ となる。

実験は、水防林と流出状態(もぐり、自由)との関係に関するCASE A、流れのパターンに関するCASE B、および水防林の流体力低減効果に関するCASE Cを実施した。流れの定義図とCASE Bの実験条件をそれぞれ図-2と表-1に示す。なお、CASE AとCの実験条件表は省略

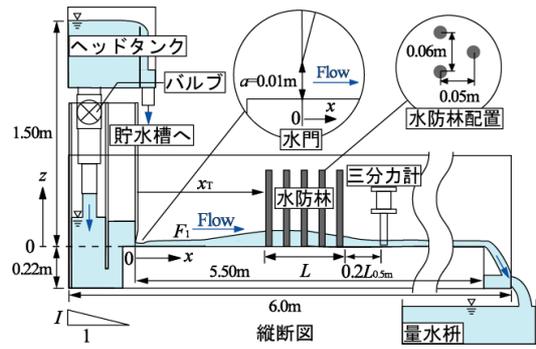


図-1 実験装置の概要

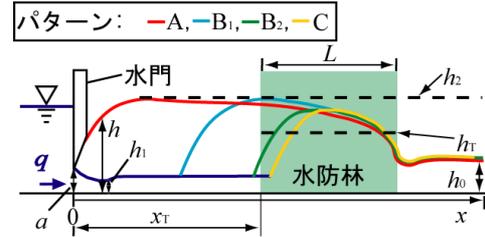


図-2 流れの定義図と重要な諸量

表-1 実験条件(CASE B)

CASE B	L	$x_T/L$	$F_1$		CASE B	L	$x_T/L$	$F_1$	
			F1	F5				F1	F5
S	0.25	0.4	F1	2.3	M	0.25	0.4	F1	2.9
			F5	4.8				F5	5.4
		0.8	F1	2.6			F1	2.9	
	0.50	0.8	F5	5.4		F5	5.4		
			1.2	F1		3.1	F1	3.3	
		0.25	0.4	F5		5.4	F5	6.0	
0.8	F1			3.1	F1	4.2			
0.50	0.8		F5	8.0	F5	7.7			
		1.2	F1	3.1	F1	4.2			
	0.25	0.4	F5	10.0	F5	10.6			
0.8			F1	3.5	F1	4.1			
0.50		0.8	F5	10.6	F5	11.3			
	1.2		F1	3.5	F1	4.1			
	0.25	0.4	F5	10.6	F5	11.3			
0.8			F1	3.5	F1	4.1			
0.50		0.8	F5	10.6	F5	11.3			
	1.2		F1	3.5	F1	4.1			

する。また、図-2中の赤等で示した色付きの実線は、後述する流れのパターンの水面形を表している。

CASE Aでは、 $\Psi=1.44, 2.88, 4.32$ および $5.76$ とし、 $F_1$ と水防林の設置位置 $x_T/L$ を様々に変化させ、本実験装置において水門地点で自由流出する限界条件を求めた。

CASE Bでは、表-1に示したように、 $\Psi, x_T/L$ および $F_1$ をもぐり流出から自由流出となるように変化させ、流れのパターンを把握した。

CASE Cでは、水防林設置( $\Psi=1.44, 2.88$ )あるいは無設置の状態、 $F_1=F1\sim F5$ の範囲で変化させ、水防林下流端から測って $0.2L_{0.5m}$ 下流に設けた正角柱( $0.03m \times 0.03m$ )に作用する流体力 $P$ を三分力計(三計エンジニアリング製、定格容量:  $2kgf$ )で測定した。サンプリング時間とサンプリング間隔は、それぞれ30秒と0.1秒である。なお、blockage-ratio(水路幅/角柱幅比)は16.7であり、この影響

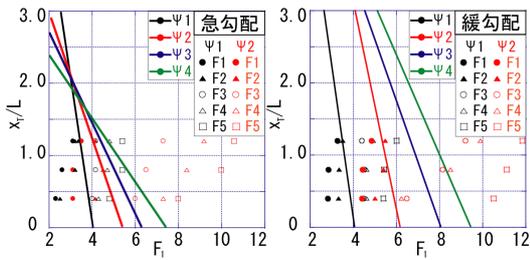


図-3 水防林特性と水門位置での流れの状態

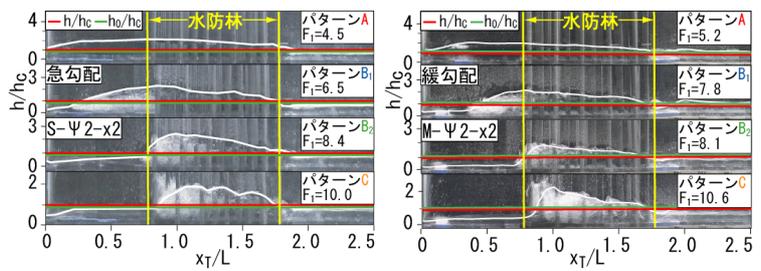


図-4 流出水の流況の一例(左:急勾配, 右:緩勾配)

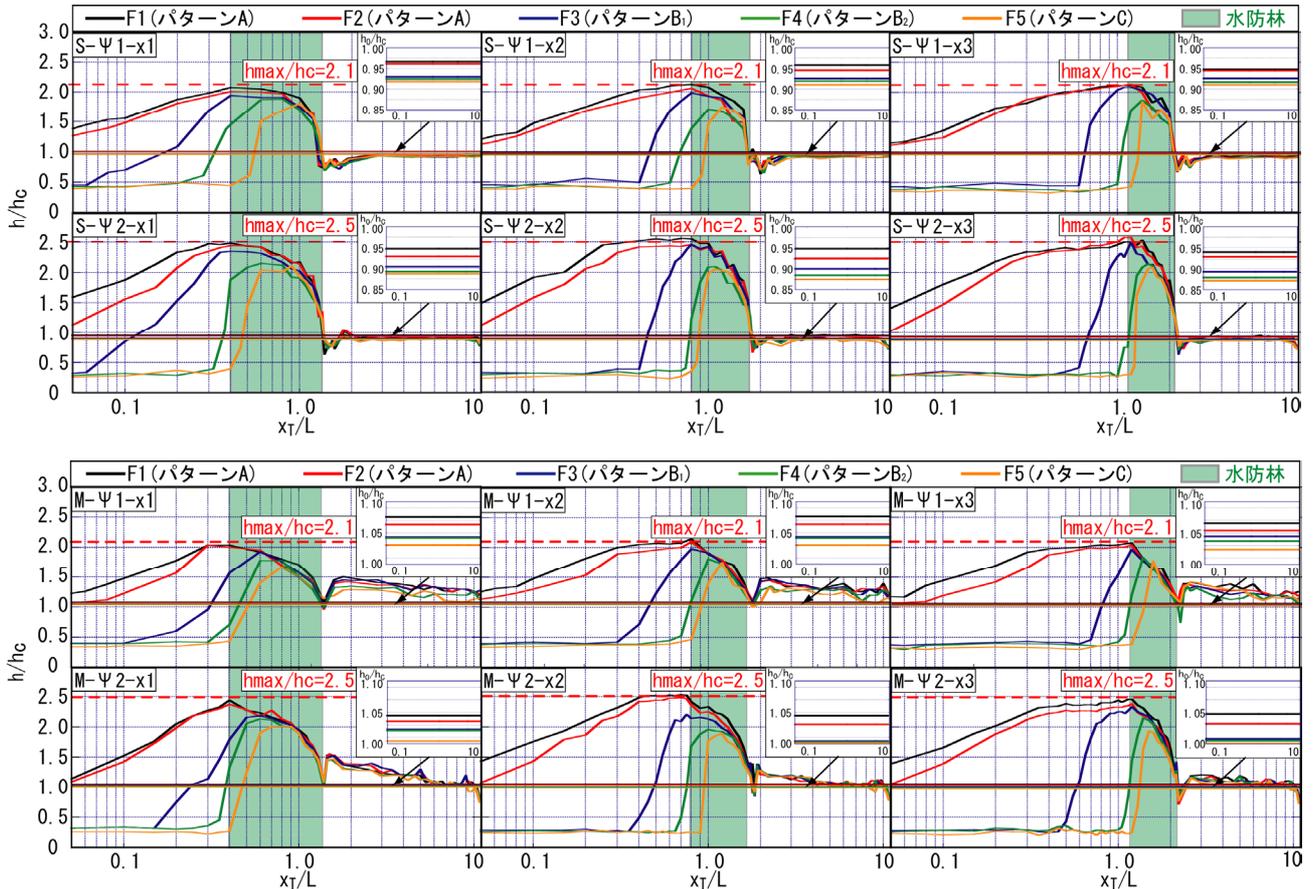


図-5 水面形と流れのパターン(上:急勾配, 下:緩勾配)

を受けない14.0以上の条件<sup>10)</sup>を満たしている。

いずれのCASEについても水路縦断方向の水深をポイントゲージで詳細に計測するとともに、流況を水路側面より撮影した。

$F_1$ の設定範囲については、著者の知る限り、破堤氾濫流は破堤点近傍では限界流となるが、破堤点下流では流出水のFroude数がどの程度の値となるのかはよくわかっていない。そこで、ダム破壊流れの理論解と数値計算結果に基づき流出水のFroude数を推定し、これを $F_1$ の目安とした。

すなわち、1次元ダム破壊流れでは、Ritter解<sup>11)</sup>に基づけば、Froude数は流出後で1.0程度、フロント部で無限大となる。粘性が効くフロント部周辺を除けば、流出水 downstream側のFroude数は10程度の値となるので、1~10程度の値を取ると推定される。一方、2次元ダム破壊流れでは、

著者らの数値計算<sup>12)</sup>に基づけば、Froude数は流出後で1.0程度、フロント部周辺では下流端水深および粗度係数の影響により、50程度となる。フロント部周辺を除けば、流出水 downstream側のFroude数は8程度の値となるので、1~8程度の値を取ると推定される。

### 3. 実験結果

#### (1) 水防林特性と水門位置での流出状態

図-3は、CASE Aから得られた水門位置での流出状態を $F_1$ と $x_T/L$ との関係として $\Psi$ 別に示したものである。実線がもぐり流出と自由流出の限界であり、その右側の領域が自由流出となる。図中のプロットは、参考のためにCASE Bの実験条件を示したものである。

これからわかるように、(1)  $\Psi$ ,  $F_1$ ,  $x_T/L$ および $I$ の組合せによって、流出状態は変化する。(2) 急勾配の方が、自由流出になりやすい。(3)  $I$ の緩急にかかわらず、 $\Psi$ が小さい方が自由流出となりやすい。また、ある $\Psi$ に対して、 $x_T/L$ が小さい方が自由流出となる $F_1$ は大きくなる。

## (2) 流れのパターン

図-4は、CASE Bから得られた流れのパターンの一例(S- $\Psi_2$ -x2, M- $\Psi_2$ -x2)を水路の緩急別に示したものである。図中の赤線は限界水深 $h_c(=q^2/g)^{1/3}$ 、緑線は等流水深 $h_0(=(n^2q^2/l)^{3/10})$ を示している。

図-5は、流出状態(図-3)を踏まえて、CASE Bから得られた $\Psi_1(=1.44)$ と $\Psi_2(=2.88)$ の水面形 $h/h_c$ と $x_T/L$ との関係を、 $F_1$ 別に示したものである。図中には、水防林下流側における $F_1$ 別の $h_0/h_c$ の拡大図も示してある。これより急勾配では $h_0/h_c < 1.0$ 、緩勾配では $h_0/h_c > 1.0$ となっていることが確認できる。

図-4と図-5より次のことがわかる。

(1) 水路勾配にかかわらず、いずれの流れのパターンにおいても水防林下流端の上流側では水位上昇が起り、水防林区間内では水位は流下方向に低下する。また、水防林下流端の直下では局所的な水位低下が発生する。

(2) 水防林下流においては、急勾配では、水位低下後 $h_c$ に漸近(S3曲線)する。緩勾配では、水位低下後、水位は一旦上昇した後に $h_0$ に漸近(M2曲線)する。水防林下流端の直下で局所的な水位低下が発生するのは縮流のためであり、縮流部におけるFroude数が1.0~1.7程度であることから、縮流部下流では波状跳水<sup>13)</sup>が生じ、水位が再度上昇していると考えられる。

(3) 水路の緩急と $\Psi$ 値にかかわらず、 $F_1$ と $x_T/L$ の大小によって異なった流況を呈する。すなわち、①パターンAでは、水門位置でもぐり流出となり、跳水後は水防林による堰上げのため全域にわたって水位上昇が起る。②パターンBでは、水門位置で自由流出となり、水防林上流端より上流側(パターンB<sub>1</sub>)あるいはほぼ水防林区間内(パターンB<sub>2</sub>)で強制跳水が起る。③パターンCでは、水防林最前列付近で飛散が生じ、水防林区間内で強制跳水が起る。また、水位上昇は水防林下流端から上流側でしか起らないので、水位上昇区間は水防林区間よりも短くなる。

(4)  $x_T/L$ は水位上昇の程度にほとんど影響を及ぼさない。これは、粗度係数 $n$ が小さいためである。

(5) パターンAとB<sub>1</sub>では、最大水位 $h_{max}$ と限界水深 $h_c$ との比 $h_{max}/h_c$ は、水路の緩急、 $x_T/L$ および $F_1$ とほぼ無関係に概ね $\Psi$ で規定され、 $\Psi_1$ で $h_{max}/h_c \doteq 2.1$ 、 $\Psi_2$ で $h_{max}/h_c \doteq 2.5$ となる。なお、 $h_{max}/h_T$ も $I$ 、 $x_T/L$ および $F_1$ とほぼ無関係に、 $\Psi_1$ で $h_{max}/h_T \doteq 1.25$ 、 $\Psi_2$ で $h_{max}/h_T \doteq 1.15$ であった。

## (3) 流れのパターンの領域区分

図-6は、CASE Bから得られた水深や流量等を用いて、

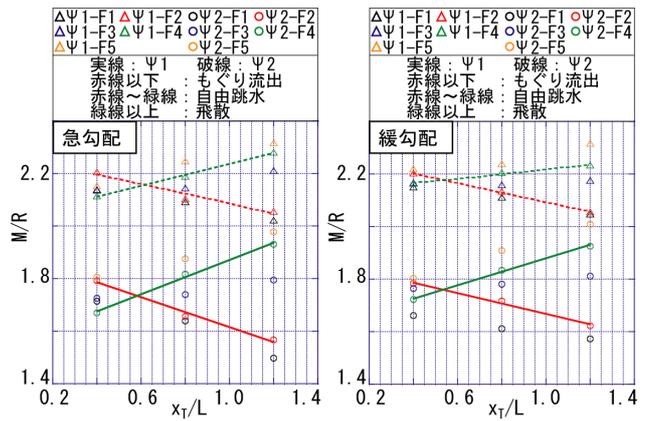


図-6 流れのパターンの領域区分(左:急勾配, 右:緩勾配)

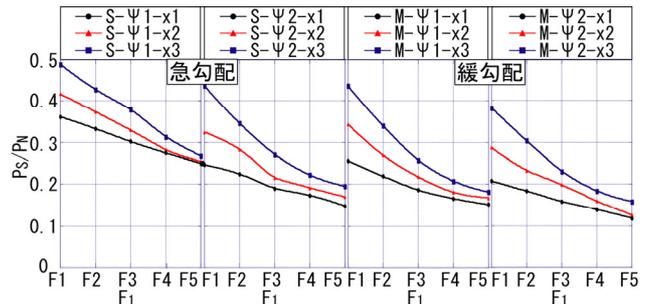


図-7 流体力低減効果(左:急勾配, 右:緩勾配)

無次元パラメータ $M/R$ と $x_T/L$ との関係を示したものである。ここで、 $M$ は縮流部で定義された比力 $(=h^2/2+q^2/gh)$ 、 $R$ は水防林の全抗力 $D_T$ を単位体積重量 $\rho g$ で除したもの $(=L(q/h_T)^2 \cdot [K_T(1-\lambda)]^2)$ であり、 $K_T$ は水防林の透過係数 $(=(Nd h_T C_d/2g)^{-1/2})$ である。なお、図中の実線と破線はそれぞれ $\Psi_1$ と $\Psi_2$ に対する領域区分を示している。

これより次のことがわかる。

(1) 流れの領域は、水路の緩急にかかわらず、ほぼ同様な傾向を示す。

(2)  $M/R$ と $x_T/L$ によって、もぐり流出、強制跳水および水防林区間での飛散の3領域に区分できる。したがって、 $M$ 中の $h$ と $R$ 中の $h_T$ がわかれば、 $\Psi$ と $x_T/L$ で流れのパターンが特定できる。

(3)  $\Psi$ に対して、もぐり流出領域では $x_T/L$ が大きくなるにつれて $M/R$ は減少するが、強制跳水領域では逆の傾向となる。つまり、もぐり流出領域では $x_T/L$ が大きくなるほど、強制跳水領域では $x_T/L$ が小さくなるほど、流水抵抗として水防林が効果的に機能する。

## (4) 水防林による流体力の低減効果

図-7は、水防林による単位面積当たりの流体力の低減率 $P_s/P_N$ と $F_1$ および $x_T/L$ との関係を調べたものである。ここで、添え字SとNはそれぞれ水防林設置と無設置を示す。また、 $F_1$ と流れのパターンは、パターンA( $F_1=F_1$ と $F_2$ )、B<sub>1</sub>( $F_3$ )、B<sub>2</sub>( $F_4$ )およびC( $F_5$ )のように対応している。

本結果は、 $\Psi=1.44\sim 2.88$ での水防林下流端から測って $0.2L_{0.5m}$ 下流のものである。いま、 $L=(1.44\sim 2.88)/Nd$ であ

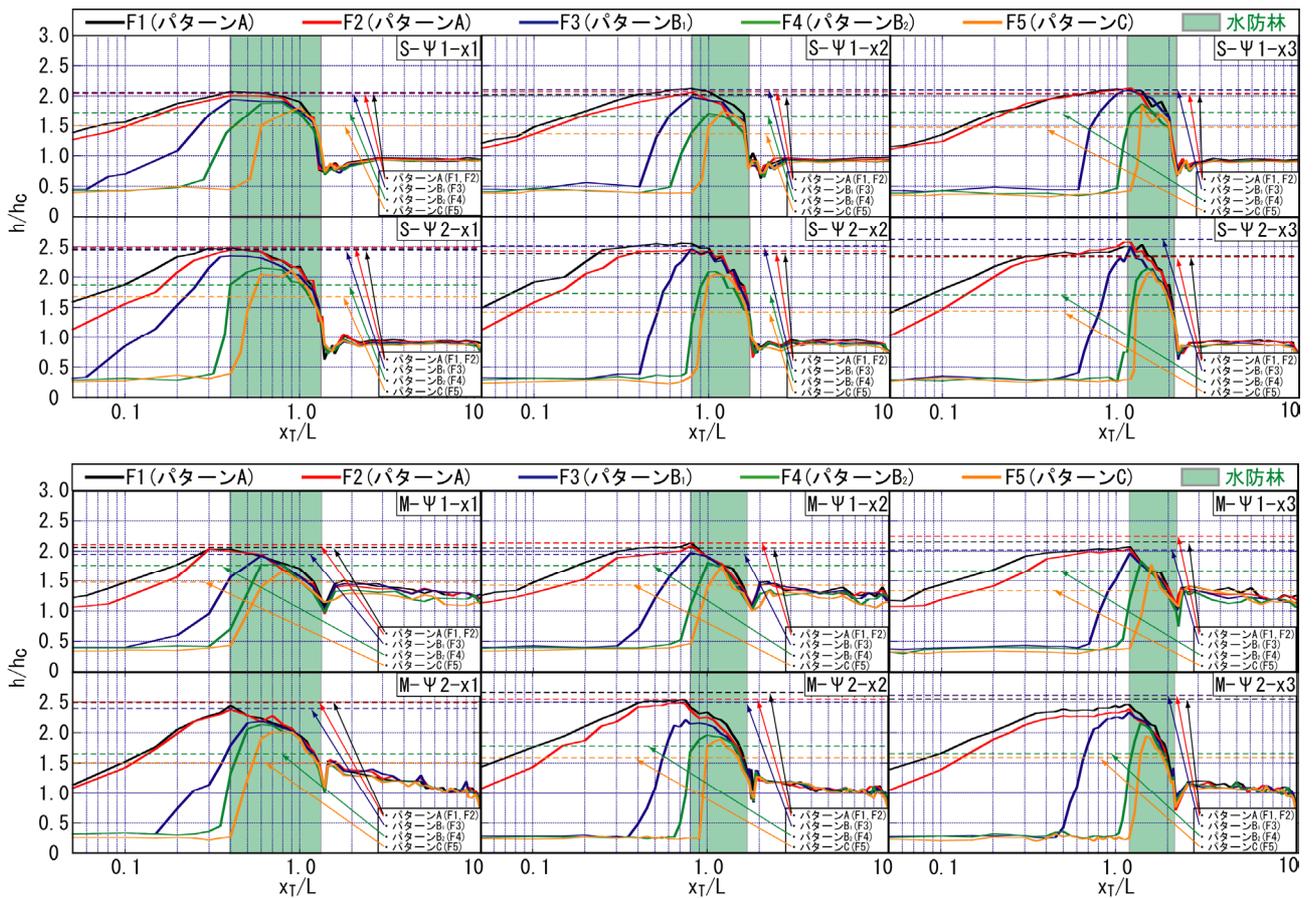


図-8 実験値と予測値の比較(上：急勾配，下：緩勾配)

るので、乙津川の竹林( $d=0.016\text{m}$ ,  $N=14\text{本}/\text{m}^2$ )を例にとると、竹林幅は $L=6.43\sim 12.86\text{m}$ となり、本実験の $0.2L_{0.5\text{m}}$ 下流はこの竹林では $1.29\sim 2.57\text{m}$ 下流を意味している。

これより次のことがわかる。

(1)  $F_1$ の増加とともに、流体力の低減が顕著となり、 $\Psi$ が大、 $x_T/L$ が小、および緩勾配で低減率が大きくなる。

(2)  $F_1$ が小さい方が $x_T/L$ に対する低減率の依存性が強くなる。

(3)  $F_1=F1\sim F5$ ,  $\Psi=1.44\sim 2.88$ および $x_T/L=0.4\sim 1.2$ の範囲では、50~90%程度まで流体力が低減される。

このような高い流体力の低減結果となったのは次のような理由だと考えられる。単位幅当たりの流体力 $P$ は $\rho q^2/h$ で与えられるので、(1) 水防林がない場合は、流出点と物体との距離が短ければ、強い射流( $Fr$ 数大)状態をほぼ保ったまま水路を下流し、その状態で物体に流体力が働く。(2) 水防林がある場合は、その働きによって、強い射流状態の流出水が、水防林下流側において急勾配では弱い射流( $Fr$ 数小)へ、緩勾配では常流へと強制的に遷移し、その流れの状態の流体力が働くことになる。

流体力の低減率は $P_S/P_N=h_N/h_S$ であるので、例えば、図-5のパターンBにおいて、水防林の上流側水深を $h_N$ 、下流側を $h_S$ と見なせば、先述した(1)と(2)の流体力低減の理由が説明できる。なお、図-7のように、 $P_S/P_N$ が $F_1$ や水防林特性・設置位置で大きく変化するのは、 $h_N$ がこ

れらの影響を受けているからである。当然のことながら、水防林の十分下流側では、水防林特性や設置位置は流体力の低減率に関係しない。したがって、与えられた流出水の状態( $F_1$ )に対して、物体に働く流体力を最小化する水防林特性・設置位置が必ず存在する。この点については、今後の課題としたい。

#### 4. 最大水深の予測

各流れのパターンとその取り得る最大水深 $h_{\text{max}}$ について、簡単な解析に基づき検討する。

自由流出では、水路勾配を無視し水路底面での摩擦せん断応力を $\tau_0$ とすると、水防林を挟んで距離 $\Delta x$ 隔てられた任意の断面①と②の関係は式(1)で与えられる。

$$\tau_0 \Delta x + D_T = \rho q^2 (1/h_1 - 1/h_2) + \rho g (h_1^2 - h_2^2) / 2 \quad (1)$$

ここで、 $D_T = \rho g (\Psi / Nd) (q/h_T)^2 / \{ (1-\lambda)^2 K_T^2 \}$ であり、粗度係数 $n$ を用いると、 $\tau_0 = \rho (n^2 g h_T^{-1/3}) [q^2 / \{ (1-\lambda)^2 h_T^2 \}]$ であるので、式(1)は式(2)のようになる。

$$\left\{ (h_T/h_1)^2 (1-\lambda)^2 \right\} \left\{ 1 - (h_2/h_1) \right\} \left[ (h_2/h_1) \{ 1 + (h_2/h_1) \} - 2F_1^2 \right]$$

$$-2(h_2/h_1)(L/h_1)\{(\Delta x/L)n^2gh_T^{-1/3} + g/K_T^2\}F_1^2 = 0 \quad (2)$$

式(2)には2つの未知量( $h_T/h_1$ ,  $h_2/h_1$ )が含まれている。また、 $K_T$ 中にも不明な水深の $h_T$ が入っている。さらに、跳水の発生位置は簡単には予測できないので、 $\Delta x$ も不明な距離である。以上のことを勘案して、 $\Delta x/L \approx 1.0$ と近似し、 $h_2=h_0$ とすれば、式(3)が得られる。これを $h_T$ を未知量とするパターンB<sub>2</sub>の関係式とする。

$$\left\{ \left( \frac{h_T}{h_1} \right)^2 (1-\lambda)^2 \right\} \left\{ 1 - \left( \frac{h_0}{h_1} \right) \right\} \left\{ \left( \frac{h_0}{h_1} \right) \left[ 1 + \left( \frac{h_0}{h_1} \right) \right] - 2F_1^2 \right\} - 2 \left( \frac{h_0}{h_1} \right) (L/h_1) \left\{ n^2 g h_T^{-1/3} + \left( g/K_T^2 \right) \right\} F_1^2 = 0 \quad (3)$$

式(2)において $\tau_0$ と $D_T$ を無視すると、式(4)のよく知られた共役水深の関係式となり、これがパターンB<sub>1</sub>の強制跳水の関係式である。もぐり流出では、縮流部と水防林上流側の任意の断面との間の関係式は式(5)のようになる<sup>13)</sup>。これがパターンAの関係式である。

なお、式(3)~式(5)において $h_T=C_0 a$ ,  $h$ =縮流部での全水深であり、式(3)の $h_T/h_1$ , 式(5)の $h_2/h_1$ はNewton・Raphson法などで求められる。

$$h_2/h_1 = \left( \sqrt{1+8F_1^2} - 1 \right) / 2 \quad (4)$$

$$\left( \frac{h_2}{h} \right)^3 - \left\{ 1 + 2F_1^2 \left( \frac{h_1}{h} \right)^2 \right\} \left( \frac{h_2}{h} \right) + 2 \left( \frac{h_1}{h} \right) F_1^2 \left( \frac{h_1}{h} \right)^2 = 0 \quad (5)$$

図-8は、実験値(図-5)と式(3)~式(5)を用いた予測値とを比較したものである。これより次のことが確認あるいは考察される。

(1) パターンAとB<sub>1</sub>では、強制跳水後の水深 $h_2$ と $h_{max}$ はほぼ一致している。また、パターンB<sub>2</sub>とCでは、水防林区間の平均的な水深 $h_T$ の実験値と予測値がほぼ一致しており、誤差は±4%程度であった。

(2) パターンB<sub>2</sub>とCで誤差を生じた理由としては、式(3)には水防林による流積減少、動圧による抵抗力は考慮されているが、局所的で評価が困難な樹木前背面での水位差による抵抗<sup>10)</sup>や造波抵抗は考慮されていないことや、飛散を伴うパターンCに対して適用限界があること、などが考えられる。

(3) 先述したように、水路勾配、 $x_T/L$ および $F_1$ とほぼ無関係に $\Psi_1$ で $h_{max}/h_c \approx 2.1$ などになる理由は、式(4)あるいは式(5)から明らかのように、 $h_2$ が $x_T/L$ , つまり $\tau_0$ の影響をほとんど受けておらず、 $F_1=(h_0/h_1)^{3/2}$ だからだと考えられる。

## 5. まとめ

水防林の施設計画のために必要な基礎的知見を得ることを目的として、(1) 水防林と氾濫流との関係、(2) 水

防林の減勢効果について検討を加え、流出水の状態、水防林の特性とその設置位置の関係として、(1) 流れのパターンとその領域、および最大水位とその予測、(2) 水防林による流体力の低減率とそのメカニズム、などに関する有益な知見が得られた。

今後は、効果的に流体力を低減できる水防林特性と設置位置の関係などについて明らかにしたいと考えている。

**謝辞**：本研究は、科学研究費補助金 基盤研究B(課題名：豪雨災害時の浸水減災シミュレータの開発と樹林帯の減災効果に関する研究、課題番号：21360237、研究代表者：秋山壽一郎)の助成を受け実施したものである。また、本研究を実施するに当たり、元本学大学院生(現(株)清水建設)和田 智之君、本学学部4年生山下 茂樹君の協力を得た。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 例えば、末次忠司：河川の減災マニュアル、山海堂、2004。
- 2) 国土交通省河川局治水課監修：堤防に沿った樹林帯の手引き、山海堂、2001。
- 3) 建設省土木研究所河川部：水害防備林調査、土研資料第2479号、1987。
- 4) 末次忠司、館 健一郎、小林裕明：防災樹林帯による氾濫流制御に関する研究、水工学論文集、第42巻、pp.805-810、1998。
- 5) 例えば、秋山壽一郎、重枝未玲：河道・氾濫域包括氾濫解析による氾濫流量の評価と市街地破堤氾濫解析、土木学会論文集B、Vol.63, No.3, pp.224-237, 2007。
- 6) 例えば、重枝未玲、秋山壽一郎：数値シミュレーションに基づく堤防に沿った樹林帯の治水機能の検討、土木学会論文集、No.740/II-64, pp.19-30, 2003。
- 7) 例えば、秋山壽一郎：樹林帯の氾濫流抑制機能、自然災害科学、25-3, pp.268-276, 2006。
- 8) 例えば、今井健太郎、松富英夫：樹冠部の変形を考慮した樹木の抵抗則とそれを用いた沿岸林域の氾濫計算、土木学会論文集B、Vol.64, No.3, pp.214-225, 2008。
- 9) 福岡捷二、藤田光一：洪水流に及ぼす河道内樹木群の水利的影響、土木研究所報告、180-3, 1990。
- 10) 秋山壽一郎、重枝未玲、浦 勝、小林俊彦、大田和正：定常自由表面流の正角柱に働く流体力、水工学論文集、第46巻、pp.827-831, 2002。
- 11) Ritter, A.: Die Fortpflanzung der Wasserwellen, *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, Vol.36, no.33, pp.947-954, 1892。
- 12) 秋山壽一郎、重枝未玲、浦 勝：非構造格子を用いた有限体積法に基づく1次および2次精度平面2次元洪水流数値モデル、土木学会論文集、No.705/II-59, pp.31-43, 2002。
- 13) 椿 東一郎：水理学1、森北出版、1973。

(2010.9.30受付)