

江の川下流部における水害防備林の 課題及び改善策

A PROBLEM AND IMPROVEMENT METHOD OF THE FLOOD DEFENSE
FORESTS IN THE LOWER REACH OF GOUNOKAWA RIVER

青木健太郎¹・藤田正治²・稲若孝治³・松尾至哲⁴
Kentaro AOKI, Masaharu FUJITA, Takaharu INAWAKA and Shitetsu MATSUO

¹正会員 工修 いであ株式会社 大阪支社水圏部 (〒559-8519 大阪市住之江区南港北1-24-22)

²正会員 工博 京都大学教授 防災研究所流域災害研究センター
(〒612-8235 京都市伏見区横大路下三栖東ノ口)

³非会員 国土交通省中国地方整備局浜田河川国道事務所 (〒697-0034 島根県浜田市相生町3973)

⁴正会員 国土交通省中国地方整備局浜田河川国道事務所 (〒697-0034 島根県浜田市相生町3973)

The lower reach of Gounokawa River has a lower river improvement security level than the upper reaches. It will take long time for dike construction to be completed and therefore the rapid improvement of the river improvement security level cannot be expected. On the other hand, bamboos planted as flood reduction measures have been still left as flood defense forests. However, the expansion of the growth range and having withered on the stalk of the bamboos become the problem for the river improvement. Therefore it is important to maintain flood defense forests in consideration of the river improvement effect. In this study, I evaluated positive and negative aspects of the flood defense forests and examined an improvement method using a 2-D shallow-water flow model.

Key Words : flood defense forests, effectiveness to the flood control, deposition of the floodplain

1. 序論

江の川は、人口・資産が多い広島県側の上流部において堤防整備が進んでいるのに対して、山間狭窄部で狭い氾濫原が点在する島根県側の下流部において堤防整備が遅れている。江の川下流部は、堤防整備が必要な箇所が多いことに加え、洪水時の水位が高く、高い堤防が必要となるため、堤防整備には長い期間を要する。そのため、治水安全度を早期に向上させることは困難である。

一方で、河岸には弘法大師の教えにより水害軽減対策として植えたとされる竹林が水害防備林として今も残されており、氾濫による被害の抑制に役立ってきた。しかし、近年、水害防備林の繁茂範囲の拡大による河積阻害や立ち枯れした竹が倒伏することによる粗度の増大によって、流下能力が低下するなど、治水上の課題となっている。そのため、江の川下流部では、水害防備林が持つ治水効果を考慮して、適切に維持管理し、活用していくことが重要である。

水害防備林は江の川の他にも嘉瀬川（佐賀県）、吉野

川（徳島県）、安曇川（滋賀県）、笛吹川（山梨県）、由良川（京都府）、久慈川（茨城県）等の日本各地に存在¹⁾²⁾しており、昔から水害防備林の治水効果を期待して維持管理されてきた。そのため、水害防備林の実例や治水効果に関する研究³⁾⁴⁾が多くなされている。例えば、吉野²⁾は、大出水時に効果を発揮した水害防備林の特徴のとして、幅が30m以上の竹林であり、縦断的に長く続いており、100m²あたりの立竹本数が600~900本であること、竹林の切れ目からの破堤が多いことを挙げている。

江の川下流部において、福岡ら⁵⁾は、水害防備林が流れや河床変動に及ぼす影響や水害防備林伐採の影響についてS58.7洪水を対象として評価している。筆者ら⁶⁾は、水害防備林の幅による堤内地流速の変化に着目して、水害防備林の治水効果を評価したが、水害防備林の縦断的な形状や切れ目の影響については評価していない。

本研究は、以上のような背景を踏まえ、江の川下流部の堤防未整備地区を対象として、現在の水害防備林の課題を整理し、水害防備林の縦断的な形状に着目した改善策を検討した。また、水害防備林の存置方法の違いや育林による堤内地の土砂堆積への影響を考察した。

2. 水理解析モデルの構築

(1) 水理解析モデル

水害防備林の治水効果や上下流・対岸への水理的影響を評価するとともに、水害防備林の改善策（存置方法や育林）を検討するため、平面二次元流況解析モデルを構築した。以下に流れの基礎式を示す。

【運動方程式】

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial s} + v \frac{\partial u}{\partial n} + \frac{uv}{r} = -g \frac{\partial H}{\partial s} - \frac{\tau_s}{\rho h} + 2 \frac{\partial}{\partial s} \left[\varepsilon \frac{\partial u}{\partial s} \right] + \frac{\partial}{\partial n} \left[\varepsilon \frac{\partial u}{\partial n} \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial s} + v \frac{\partial v}{\partial n} - \frac{u^2}{r} = -g \frac{\partial H}{\partial n} - \frac{\tau_n}{\rho h} + \frac{\partial}{\partial s} \left[\varepsilon \frac{\partial v}{\partial s} \right] + 2 \frac{\partial}{\partial n} \left[\varepsilon \frac{\partial v}{\partial n} \right] \quad (2)$$

【連続式】

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial s} + \frac{\partial(vh)}{\partial n} + \frac{vh}{r} = 0 \quad (3)$$

ここに、 u は s 方向の水深平均流速、 v は n 方向の水深平均流速、 r は流路の曲率半径、 g は重力加速度、 H は水位、 h は水深、 ρ は流体の密度、 t は時間である。

τ_s 、 τ_n は s 、 n 方向の河床せん断応力で、式(4)(5)のように与える。 n は粗度係数であり、低水路、氾濫原、樹木群（式(8)参照）の各粗度係数で与える。

$$\frac{\tau_s}{\rho h} = \frac{gn^2}{h^{4/3}} u \sqrt{u^2 + v^2} \quad (4)$$

$$\frac{\tau_n}{\rho h} = \frac{gn^2}{h^{4/3}} v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (5)$$

渦動粘性係数 ε は、水深方向に対数則を仮定して、式(6)のように与える。

$$\varepsilon = \frac{\kappa}{6} u_* h \quad (6)$$

ここに、 κ はカルマン定数、 u_* は摩擦速度である。

(2) 樹木群モデル

樹木群モデルは、樹木の繁茂特性（直径、密生度等）により算出される等価粗度係数とし、式(4)(5)で取り扱う。樹木繁茂特性を表す樹木群透過係数 K は式(7)のよう

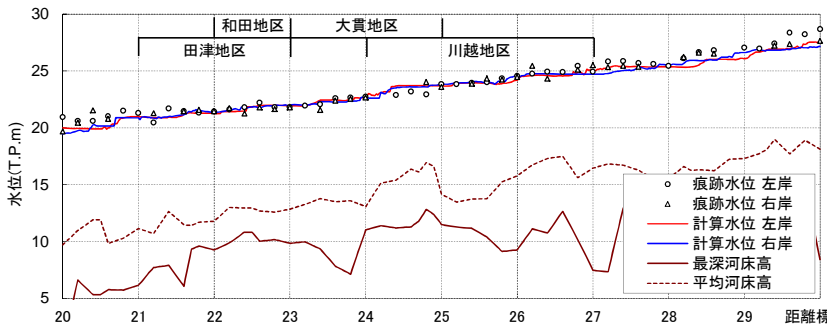


図-1 痕跡水位再現結果縦断面図

表-1 解析条件（再現計算）

対象流量	平成22年7月洪水(川平地点:5,817m ³ /s)
出発水位	河口(0.0k)に実績潮位(浜田検潮所)を設定
粗度係数	整備計画で設定されている逆算粗度係数と同値 低水路: $n=0.028$ (H22.7洪水逆算粗度) 氾濫原: 土地利用を考慮して設定
樹木群	樹木群は等価粗度係数で評価 諸元: 平成23年度調査結果 平面分布: 航空写真・植生図より設定
解析対象区間	下流端: 河口(0.0k) 上流端: 浜原ダム直下流(55.6k) 解析区間延長: 55.6km
解析地形	河道: 平成22年度定期横断測量成果 堤内地: 平成21年度LPデータ
解析メッシュ分割	縦断方向メッシュ: 20m 縦断方向メッシュ: 60分割 (低水路: 20分割、氾濫原: 各20分割)

に表される。

$$K = (2 \cdot g / a_w / C_d)^{0.5} \quad (7)$$

ここに、 $a_w = N \cdot D_m$ 、抗力係数 $C_d = 1.2$ 、重力加速度 g である。 N は単位面積あたりに繁茂する樹木本数、 D_m は幹の胸高直径である。

繁茂特性を考慮した粗度係数は、水深に応じて式(8)のように表される。

$$\left. \begin{aligned} &h_m = 0 \text{ の場合} \\ &n = \infty \\ &h_m > 0 \text{ かつ } h \leq h_m \text{ の場合} \\ &n = (n_b^2 + h^{4/3} / K^2)^{0.5} \\ &h_m > 0 \text{ かつ } h_m < h \leq h_v \text{ の場合} \\ &n = (h/h_m)^{5/3} \cdot (n_b^2 + h_m^{4/3} / K^2)^{0.5} \\ &h_m > 0 \text{ かつ } h_v < h \text{ の場合} \\ &n = (h/h_m)^{5/3} \cdot (n_b^2 + h_m^{4/3} / K^2)^{0.5} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

ここに、 h_m は枝下長さ、 h_v は樹高、 n_b は樹木群が繁茂する範囲内での高水敷地表面の粗度係数である。

筆者ら⁹⁾は、江の川で観測された水害防備林内の流速から得られる粗度係数と樹木の繁茂特性（直径、密生度等）より算出される等価粗度係数について比較検証を行った。平成24年7月7日洪水で観測された流速より算出された粗度係数を比較した結果、等価粗度係数の誤差率は10%程度であり樹木群モデルの妥当性を確認している。

(3) モデルの再現性の確認

近年最大の洪水である平成22年7月洪水（川平観測所：5,817m³/s）を対象として水理解析モデルの妥当性を確認した。痕跡逆算粗度を用いて再現性を確認すること

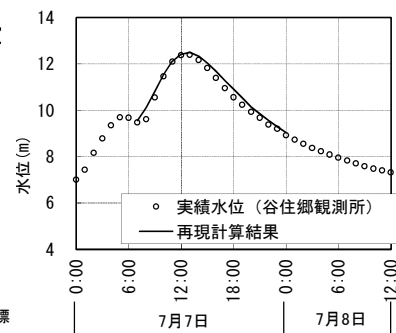


図-2 水位ハイドログラフ

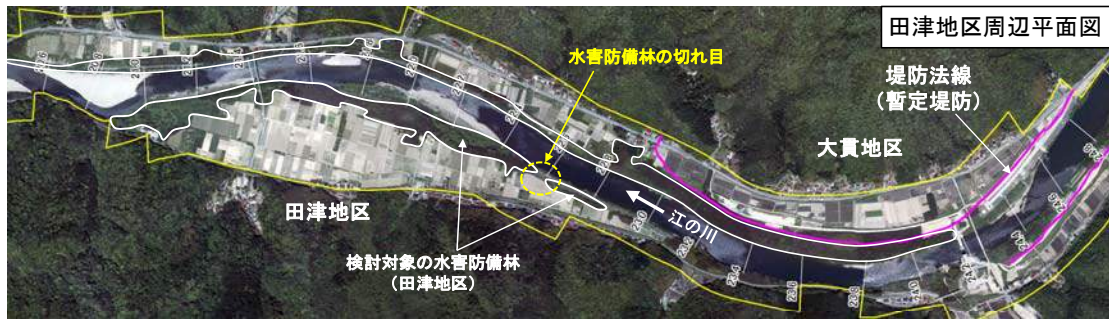


図-3 田津地区周辺の概要

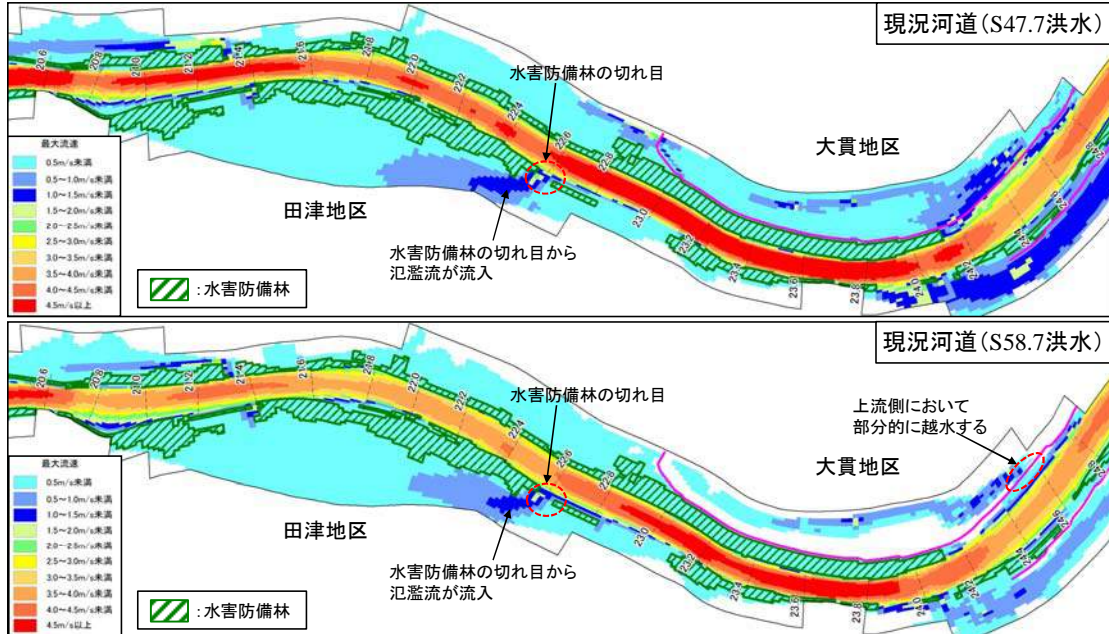


図-4 現況河道における最大流速平面図（上：S47.7洪水、下：S58.7洪水）

で、後述するS47.7洪水、S58.7洪水の解析に使用する計画粗度適用の妥当性を確認した。解析条件を表-1に示す。

図-1及び図-2に本研究の対象区間である21k～25k付近の痕跡水位及び対象区間の近傍にある谷住郷水位観測所（右岸14.8k）での観測水位を用いて確認した結果、痕跡水位との平均水位差は0.28m、観測所のピーク水位との差は0.11mであり、水面形及びハイドロともに再現できることを確認した。

3. 水害防備林の課題

本研究では、堤防未整備地区である田津地区を対象として考察する。なお、田津地区の水害防備林は河積を阻害しており、上流の水位上昇の要因となっている。そのため、治水計画の観点からは水害防備林を伐採する必要があるが、堤防が未整備であることから水害防備林を活用することが重要である。そのため、現況河道における水害防備林の水理的な課題を以下に整理する。

(1) 検討地区の概要

田津地区は河口から約21～23km付近の左岸に位置す

表-2 解析条件（境界条件及び粗度係数）

対象流量	昭和47年7月洪水（江津地点：10,400m ³ /s） 昭和58年7月洪水（江津地点：7,800m ³ /s）
出発水位	河口（0.0k）に計画出発水位（T.P.2.50m）を設定
粗度係数	整備計画で設定されている計画粗度係数 低水路：逆算粗度＋推定粗度 氾濫原：土地利用を考慮して設定

る堤防未整備地区である。河岸には幅が最大90m、樹高約15m、胸高直径70mm、密生度3～8本/m²のモウソウチクで構成された水害防備林が存在する。田津地区の上流右岸には、現在、暫定堤防（H.W.L.堤防）を整備している大貫地区が存在する。図-3に検討地区周辺の概要平面図、表-2に解析条件を示す。

(2) 現況河道における課題の整理

現況河道における最大流速平面図を図-4に示す。

a) 田津地区（左岸21k～23k）

堤内地流速は、S47.7洪水、S58.7洪水ともに概ね0.5m/s未満であり、水害防備林の流速低減効果が確認できる（水害防備林の流速低減効果が無い場合、堤内地流速の平均が0.2m/sから1.2m/sに増大する）。しかし、田津地区の上流側にある水害防備林の切れ目から氾濫流が流入し、局所的に堤内地流速が2.0m/sを超えている。このように、水害防備林が縦断的に連続して存在していないことで、局所的に流速が増大する課題がある。

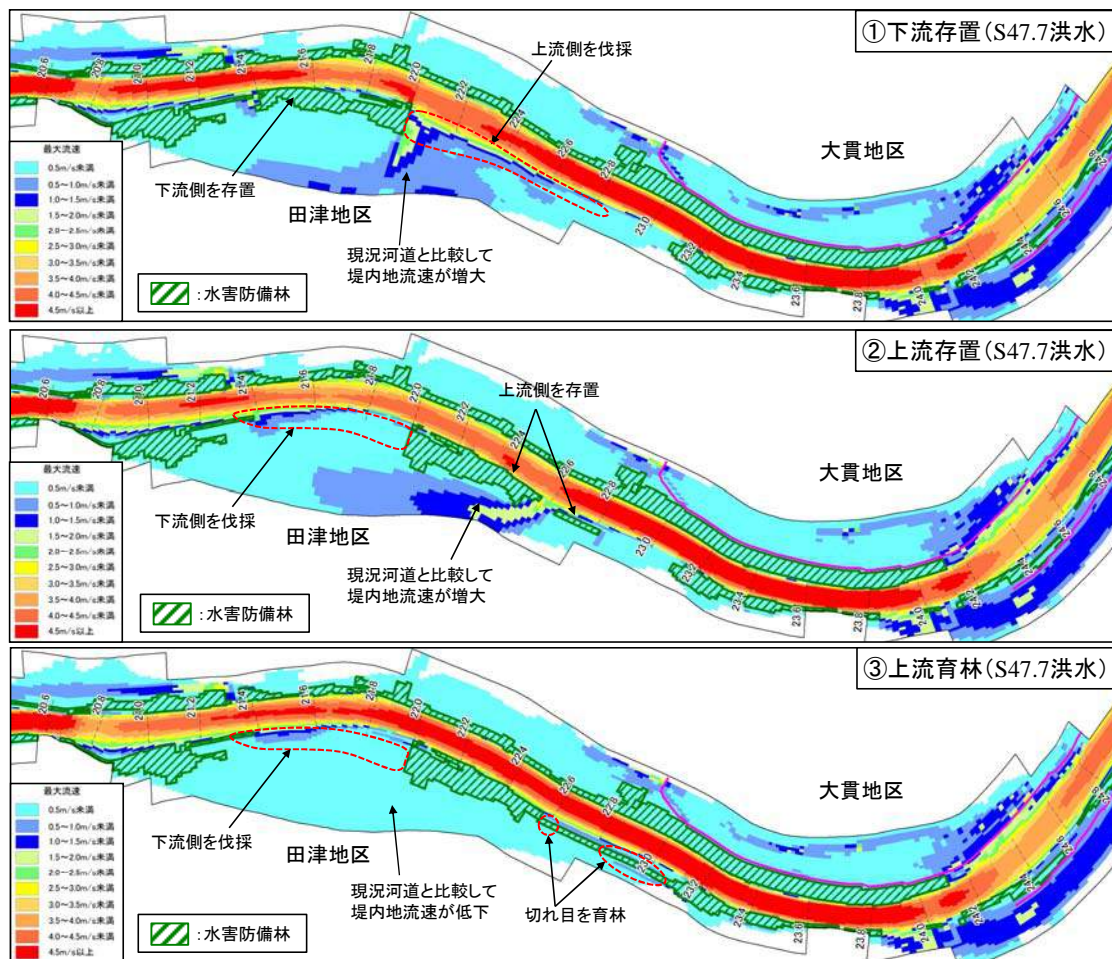


図-5 S47.7洪水流下時の最大流速平面図

b) 大貫地区 (右岸23k~25k)

S47.7洪水は流量規模が大きいいため、暫定堤防を整備しても全面的に越水し、大貫地区全体に浸水被害が発生する。S58.7洪水はS47.7洪水と比較して流量規模が小さいため、大貫地区の上流側において部分的に越水する。このように、田津地区の水害防備林が河積を阻害(最大0.49m堰上げ)していることで、S58.7洪水では、大貫地区の上流側において部分的に越水し浸水する課題がある。

4. 水害防備林の改善策

本章では、現況河道での課題を改善するための水害防備林の存置方法を検討した。図-5に示すように①江の川左岸の田津地区水害防備林の下流側を存置した場合(ケース①)、②江の川左岸の田津地区水害防備林の上流側を存置した場合(ケース②)について、堤内地流速への影響を確認した。また、縦断的な連続性を確保するため、③水害防備林の上流側の切れ目を育林(植樹)した場合(ケース③)の堤内地流速への影響を確認した。

(1) 解析結果

S47.7洪水流下時の最大流速平面図を図-5、S58.7洪水

流下時の最大流速平面図を図-6に示す。

a) 田津地区 (左岸21k~23k)

田津地区は堤防が未整備であるため、S47.7洪水、S58.7洪水ともに流下能力不足となり、全てのケースにおいて溢水氾濫が発生する。

ケース①では、水害防備林を伐採した上流側から氾濫流が堤内地に流入するため、現況河道と比較して堤内地流速が増大する。また、存置した水害防備林の直上流において、局所的に流速が増大している。これは、存置した水害防備林の上流側の幅が広いいため、水害防備林の抵抗を受けて流向が堤内地側に变化したと考えられる。

ケース②では、水害防備林を伐採した下流側の堤内地流速は現況河道と比較して大きな変化は見られない。しかし、上流側にある水害防備林の切れ目周辺の流速は、現況河道と比較して増大している。これは、下流側の水害防備林伐採により、堤内地側の氾濫流が下流へ抜けやすくなり、上流側で流速が増大したと考えられる。

ケース③では、堤内地流速が概ね0.5m/s未満となり、現況河道及び上記の2ケースと比較して堤内地流速を低減することができる。

b) 大貫地区 (右岸23k~25k)

S47.7洪水は流量規模が大きいいため、暫定堤防を整備

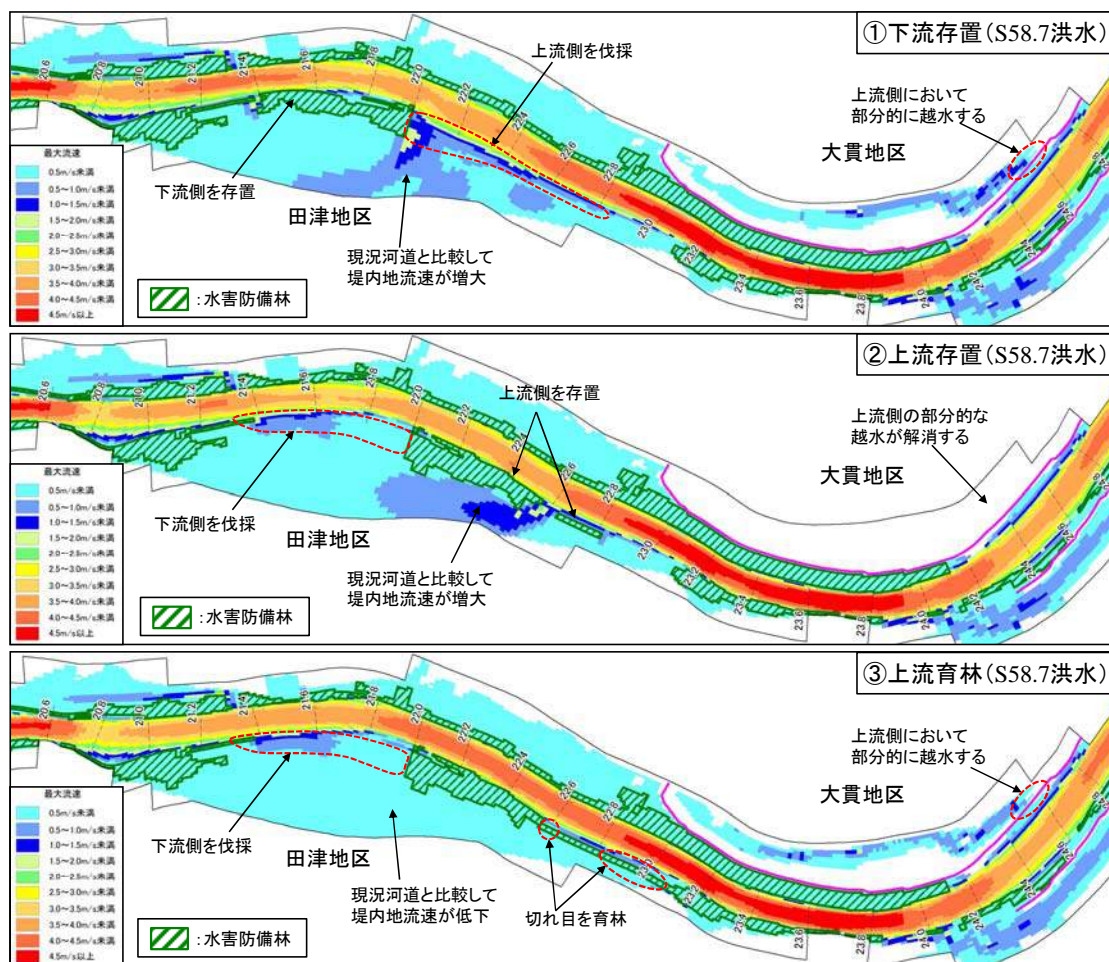


図-6 S58.7洪水流下時の最大流速平面図

表-3 水害防備林の改善策の評価

検討ケース	田津地区		大貫地区		総合評価
	S47.7	S58.8	S47.7	S58.8	
①下流存置	×	×	△	△	×
②上流存置	×	×	△	○	×
③上流育林	○	○	△	△	○

しても河積不足により全てのケースで越水氾濫が発生する。S58.7洪水は暫定堤防満杯で概ね流下可能な流量規模であり、上流側を存置したケース（下流側を伐採）では越水氾濫が解消される。

ケース①では、S58.7洪水において、水害防備林伐採による水位低減効果が小さいため、現況河道と同様に大貫地区の上流側において部分的に越水する。

ケース②では、S58.7洪水において、大貫地区の上流側における部分的な越水が解消しており、水害防備林伐採による水位低減効果が確認できる。

ケース③では、58.7洪水において、育林により河積が阻害されるため、現況河道と同様に大貫地区の上流側において部分的に越水する。ただし、現況河道と比較して浸水範囲及び堤内地流速は同程度である。

(2) 水害防備林の改善策

平面二次元流況解析結果からわかった水害防備林を存置・伐採、育林することによるメリット・デメリットを総合的に評価することで、田津地区における水害防備林の改善策を選定した。

解析結果をもとに、田津地区では流速、大貫地区では浸水の変化について評価した。現況河道より改善されるものを○、現況河道と変化しないものを△、現況河道より悪化するものを×で評価した（表-3）。評価の結果、総合的に評価してケース③（水害防備林の上流側の切れ目を育林）が3ケースの中でより良いケースであるといえる。

り悪化するものを×で評価した（表-3）。評価の結果、総合的に評価してケース③（水害防備林の上流側の切れ目を育林）が3ケースの中でより良いケースであるといえる。

5. 堤内地の土砂堆積への影響

山間狭窄部で氾濫原が狭い江の川下流部にあつて、田津地区は比較的広い堤内地を有している。堤内地の大部分は農地として利用されており、水害防備林の存置・伐採、育林による堤内地の土砂堆積への影響が懸念される。そのため、堤内地の摩擦速度と沈降速度を比較することで堤内地の土砂堆積への影響を考察した。

(1) 摩擦速度の平面分布

S58.7洪水が流下した場合の摩擦速度 (u_*) を算出し、沈降速度 (w_0) と比較した。摩擦速度は式(9)で算出した。

$$u_* = \sqrt{ghI} \quad (9)$$

ここに、 g は重力加速度、 h は水深、 I はエネルギー勾配でありマンニング式で与えた。摩擦速度算定時の粗度係数は表-2で示す粗度係数で与えた。

沈降速度は鶴見式⁷⁾を用いて、地盤材料の粒径区分を目安として設定した。

$$\left. \begin{aligned} d < 0.015 \text{ cm} & \quad w_0 = 11940d^2 \text{ (cm/s)} \\ 0.015 < d < 0.11 \text{ cm} & \quad w_0 = 171.5d \\ 0.11 \text{ cm} < d < 0.58 \text{ cm} & \quad w_0 = 81.5d^{0.667} \\ 0.58 \text{ cm} < d & \quad w_0 = 73.2d^{0.5} \end{aligned} \right\} (10)$$

ここに、 d は粒径を示し、式(10)に示した鶴見式は $\sigma=2.65$ 、水温 25°C に対して求めたものである。

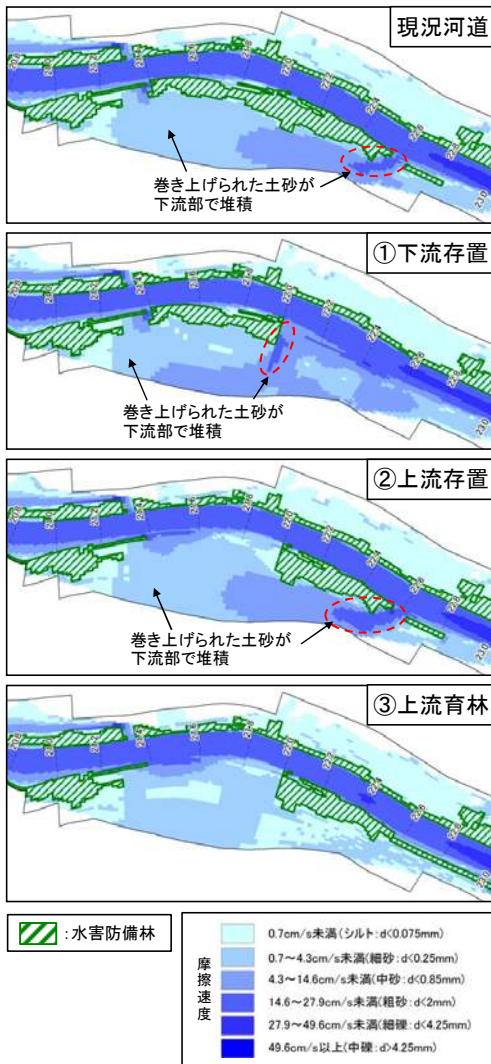


図-7 摩擦速度の平面分布図 (S58.7洪水)

(2) 堤内地の土砂堆積への影響

摩擦速度の平面分布を図-7に示す。現況河道及びケース①、ケース②では、水害防備林の上流側の切れ目や存置した水害防備林の直上流付近で巻き上げられた土砂が下流部において堆積する可能性がある。ケース③では堤内地の摩擦速度は小さく、その他のケースで見られるような土砂の巻き上げが見られないため、堤内地の土砂堆

積への影響も小さいと考えられる。

6. 結論と今後の課題

本文では、堤防未整備地区である田津地区において、平面二次元流況解析を行い、現況河道における水害防備林の水理的な課題を整理するとともに、水害防備林の課題の改善策について、複数洪水 (S47.7洪水, S58.7洪水) を対象として検討した。また、堤内地の摩擦速度と沈降速度を比較することで堤内地の土砂堆積への影響を考察した。以下に得られた主な結論及び課題を示す。

- 1) 流下能力を確保するため水害防備林を伐採する場合、下流側の水害防備林を存置するケース (ケース①) より、上流側の水害防備林を存置するケース (ケース②) の方が水害防備林の治水効果を期待することができることが分かった。
- 2) 水害防備林の上流部に切れ目が存在する場合、切れ目より氾濫流が流入し、周辺と比較して流速が大きくなるとともに、土砂が巻き上げられ下流部で堆積する可能性があることが分かった。そのため、水害防備林の切れ目部分を育林 (植樹) することで堤内地への影響を改善することができる。
- 3) 現況河道における水害防備林の課題を定量的に評価し改善策を示すことができた。しかし、本文では堤内地流速に着目しているため、河床変動による影響を考慮していない。そのため、堤内地の土砂堆積への影響を詳細に検討するためには、河床変動計算を実施する必要がある。

参考文献

- 1) 松浦茂樹, 山本晃一, 浜口達男, 本間久枝: 水害防備林の変遷についての一研究, 第8回日本土木史研究発表会論文集, pp193-204, 1988.
- 2) 吉野文雄: 水害防備林の治水機能の評価, 土木技術資料20-2, pp15-19, 1978.
- 3) 末次忠司, 舘健一郎, 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, pp805-810, 1998.
- 4) 秋山壽一郎, 重枝未玲, 有働貴行, 山尾匡人: 水防林が氾濫流の流況に及ぼす影響と減勢効果, 水工学論文集, 第55巻, pp907-912, 2011.
- 5) 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, pp501-506, 1995.
- 6) 青木健太郎, 中井喜美男, 松尾至哲: 江の川下流部における水害防備林が持つ治水効果を活用した維持管理方策, 河川技術論文集, 第21巻, pp313-318, 2015.
- 7) 国土交通省水管理・国土保全局: 国土交通省 河川砂防技術基準 調査編, 第6章 第3節-17, 2014.4.

(2015. 9. 30受付)