

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

THE MAINTENANCE POLICY THAT UTILIZED THE EFFECTIVENESS TO
THE FLOOD CONTROL OF FLOOD DEFENCE FOREST
IN THE LOWER REACH OF GOUNOKAWA RIVER

青木 健太郎¹・中井 喜美男²・松尾 至哲³
Kentaro AOKI, Kimio NAKAI 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非会員 国土交通省中国地方整備局広島国道事務所 (〒734-0022 広島市南区東雲2丁目13-28)
(前) 国土交通省中国地方整備局浜田河川国道事務所

³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)

In the lower reach of Gounokawa River, a lot of dike-undeveloped districts exist, and a river improvement security level is low. In addition, it is expected that the population decreases by more than 30% in the next 30 years in the local area. Therefore it is difficult to carry out river improvement and maintenance at the past degree of progress.

On the other hand, bamboos planted as flood reduction measures still play an important role as flood defense forest. Therefore, in the lower reach of Gounokawa River, it becomes important to utilize the river improvement effect that flood defense forest has. We evaluated a river improvement effect in this study quantitatively for flood defense forest of the lower reach of Gounokawa River and examined the maintenance policy could that utilize such river improvement effect.

Key Words : flood defense forest, effectiveness to the flood control, flooding water

1. 序論

江の川下流部は、山間狭窄部に狭い氾濫原を持つ地区が多数点在し、無堤地区が多く治水安全度が低い状況である。洪水時の水位は高く、高さ5mを超える堤防が必要となり、堤防整備には長い時間が必要となる。また、沿川の将来人口は今後30年間で3割以上減少すると予想され、河川整備事業をこれまでの進捗で実施していくことは困難である。

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言われる竹林が水害防備林として今も残されている。しかし、近年、水害防備林の繁茂範囲が拡大することや立ち枯れによる倒伏など、河積阻害や粗度の増大など流下能力の低下をもたらし、治水上の課題となっている。

このように、江の川下流部の低い治水安全度及び堤防整備に要する時間を考慮すると、水害防備林が持つ治水効果（堤内地の流速低減効果、土砂礫の流出防止効果）

を活用していくことが重要であると考えられる。しかし、これまでの治水計画は、河道の水位を計画高水位以下に抑えることを主眼としているため、江の川においても水害防備林が持つ治水効果を見逃し、河積確保のため水害防備林を伐採することがあった。

このような背景から、本研究では江の川下流の水害防備林を対象として、治水効果を定量的に評価し、治水効果を活用した維持管理方策を検討した。

2. 水害防備林に関する既往研究

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⁾³⁾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。これまで水害防備林の機能や治水効果を工学的に評価する取り組みはなされてきたが、実河川において水害防備林の治水効果を定量的に評価し、

維持管理方策（存置方法）に適用した事例は少ない。

例えば、福岡ら²⁾は、無堤区間において水害防備林が治水上重要な役割を果たしている江の川下流部を対象として、水害防備林の洪水時における挙動、特に流れや河床変動に及ぼす影響や水害防備林伐採の影響を評価し、今後の水害防備林のあり方について検討している。吉野³⁾は、水害防備林の実例と治水効果について、実際の洪水時における状況を整理して水害防備林の治水効果を評価するとともに、水害防備林の活用について検討している。末次ら⁴⁾は、模型実験と数値解析に基づき、水害防備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。富永ら⁵⁾は、高水敷上の樹木群設置幅や配列を変化させた模型実験を行い、流れの抵抗や局所流動に及ぼす影響を検討するとともに、数値解析から樹木群の配列の影響を評価している。

3. 樹木群モデルの妥当性検証

(1) 水害防備林の調査結果

福岡ら²⁾は、江の川の水害防備林は主に竹林により構成され、直径10cm程度の太い竹林が水害防備林としての効果が大きいとしている。また、吉野³⁾は、洪水時に効果を発揮した水害防備林の特徴を幅が30m以上、密生度を600～900本/100m²としている。江の川では河道内に存在する樹木群の中から植生図を用いて竹林を抽出し、樹高、胸高直径、密生度等を調査し、調査結果をもとに治水効果が期待できる水害防備林を設定した。その結果、水害防備林の面積は約83haであり、江の川下流部の全ての樹木群面積（約313ha）の26%を占める。

(2) 水害防備林内の流速観測

a) 流速観測方法

流速観測は、川平地区（9.6k付近）、田津地区（21.6k付近）、鹿賀地区（29.0k付近）、木路原地区（36.8k付近）にある水害防備林内で実施した。

出水時における水害防備林内の流速を測定するため電磁流速計を地区ごとに5基（上流側、下流側に2または3基）、合計で20基設置した。電磁流速計は概ね平均年最大流量（川平観測所：3,500m³/s）流下時に観測可能な位置に設置することを基本とし、測定位置（高さ）は、可能な限り長時間流速観測を実施することができるよう地面から0.3m（電磁流速計設置の最低高さ）とした。また、水害防備林内の水頭差を測定するため、圧力水位計を地区ごとに2基設置した。

b) 流速観測結果

平成24年7月～9月にかけて流速計を設置し流速観測を実施し、観測期間中の7月8日～9日にかけて梅雨前線に伴う降雨による洪水（川平観測所：3,559m³/s）が発生し、流量規模は平均年最大流量（3,500m³/s）相当であった。

田津地区、木路原地区は、流速計の設置位置が川平地区、鹿賀地区と比較して高いため水深が2m以下となり、安定した流速を観測することができなかった。そのため、樹木群モデルの妥当性検証はピーク水深が2mを超えた川平地区と鹿賀地区について実施した。

(3) 樹木群モデルの妥当性

観測された水害防備林内の流速から得られる粗度係数（以降、流速からの粗度係数）と樹木の繁茂特性（直径、密生度等）より算出される透過粗度係数（以降、繁茂特性からの透過粗度係数）について比較検証を行った。

a) 流速からの粗度係数

樹木繁茂状況を表す樹木群透過係数 K は、樹木群内部の平均流速 U_w 、エネルギー勾配 I_e を用いて式(1)のように表され、マニング則より合成粗度係数を n とすると式(2)が成立する。観測された毎正時の流速、エネルギー勾配及び水深を式(1)(2)に代入して粗度係数を算出する。

$$K = \frac{U_w}{I_e^{1/2}} \quad (1) \quad n = \frac{h^{2/3}}{K} \quad (2)$$

b) 繁茂特性からの透過粗度係数

樹木繁茂特性を表す樹木群透過係数 K は式(3)のように表される。なお、下記に示される透過係数は、樹木群の密生度から算出されるものであり、水害防備林内流速から算出される透過係数とは若干意味合いが異なる。

$$K = (2 \cdot g / a_w / C_d)^{0.5} \quad (3)$$

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(4)のように表される。

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

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。

c) 検証結果

平成24年7月7日洪水で観測された結果より算出された粗度係数を比較した結果を表-1に示す。観測地点ごとの透過粗度係数の平均誤差率は10%程度であり樹木群モデルの妥当性を確認することができた。また、各地点における水深と粗度係数の関係を図-1に示す。流速からの粗度係数には若干のばらつきはあるものの、繁茂特性からの透過粗度係数と同じ傾向を示す。

表-1 粗度係数の比較結果

観測地点	平均流速 (m/s)	平均水深 (m)	流速からの 粗度係数	繁茂特性 からの透過 粗度係数	平均 誤差率 (%)
川平(下流)	0.206	2.604	0.218	0.243	10
川平(上流)	0.167	3.110	0.298	0.295	13
鹿賀(下流)	0.160	2.289	0.385	0.358	7
鹿賀(上流)	0.196	2.637	0.349	0.347	12

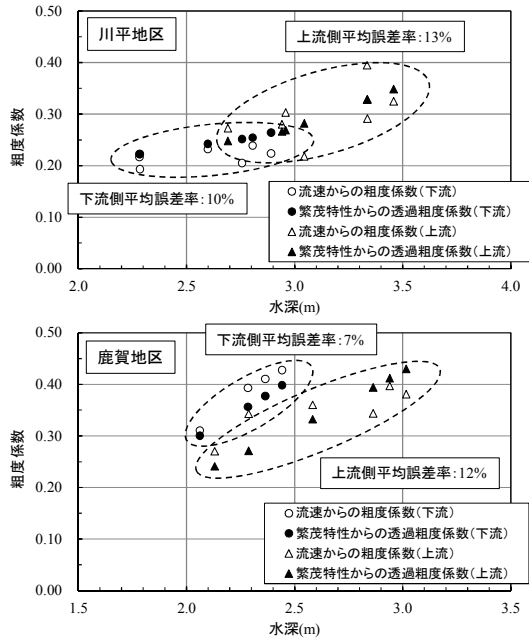


図-1 水深と粗度係数の関係図

4. 水害防備林の治水効果の評価

(1) 水理解析モデルの構築

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、今後の維持管理方策（存置方法）を検討するため、平面二次元流況解析モデルを構築した。解析条件は、表-2に示す。以下に流れの基礎式を示す。

【運動方程式】

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial s} + v \frac{\partial u}{\partial n} + \frac{uv}{r} = -g \frac{\partial H}{\partial s} - \frac{\tau_s}{\rho h} + 2 \frac{\partial}{\partial s} \left[\varepsilon \frac{\partial u}{\partial s} \right] + \frac{\partial}{\partial n} \left[\varepsilon \frac{\partial u}{\partial n} \right] \quad (5)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial s} + v \frac{\partial v}{\partial n} - \frac{u^2}{r} = -g \frac{\partial H}{\partial n} - \frac{\tau_n}{\rho h} + \frac{\partial}{\partial s} \left[\varepsilon \frac{\partial v}{\partial s} \right] + 2 \frac{\partial}{\partial n} \left[\varepsilon \frac{\partial v}{\partial n} \right] \quad (6)$$

【連続式】

$$\frac{\partial H}{\partial t} + u \frac{\partial (uh)}{\partial s} + \frac{\partial (vh)}{\partial n} + \frac{vh}{r} = 0 \quad (7)$$

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(8)(9)のように与える。

表-2 解析条件

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)
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
境界条件	河口(0.0k)に計画出発水位(T.P.2.50m)を設定
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)
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
樹木群	樹木群は透過係数で評価 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

$$\frac{\tau_s}{\rho h} = \frac{gn^2}{h^{4/3}} u \sqrt{u^2 + v^2} \quad (8)$$

$$\frac{\tau_n}{\rho h} = \frac{gn^2}{h^{4/3}} v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (9)$$

渦動粘性係数 ε は、水深方向に対数則を仮定して、式(10)のように与える。

$$\varepsilon = \frac{\kappa}{6} u_* h \quad (10)$$

ここに、 κ はカルマン定数、 u_* は摩擦速度である。

(2) 水害防備林の治水効果の評価

堤防未整備地区（8地区）においてS47.7洪水を対象として、水害防備林の幅による治水効果の変化を検証した。治水効果の評価については、二次元流況解析により計算された堤内地流速に着目して評価した。

表-3は、水害防備林の幅による堤内地最大流速の変化を示す。水害防備林幅が20m程度の場合、八神（下流）を除く7地区で現況の水害防備林幅と同程度の流速となる。それに対して、水害防備林幅が10m程度の場合、4地区で流速が増大する。

図-2は、川平地区における最大流速の平面分布を示す。水害防備林幅を20m程度とした場合、現況の水害防備林幅と同等の治水効果を期待することができるが、水害防備林幅を10m程度とした場合、現況の水害防備林幅と同じ治水効果を期待することができない。

表-3 堤内地の最大流速

地区名	堤内地の最大流速(m/s)			
	① 現況の 水防林幅	② 水防林幅 20m 程度	③ 水防林幅 10m 程度	④ 水防林 なし
川平	0.60	0.60	1.58	2.40
瀬尻(上流)	0.20	0.20	1.80	2.80
花河原	1.80	1.83	1.90	3.10
田津	2.20	2.32	2.48	3.20
八神(下流)	0.90	1.42	1.68	2.40
八神(上流)	0.60	0.60	0.60	2.40
大口(上流)	3.20	3.22	3.22	3.70
和田	2.80	2.80	2.80	4.00

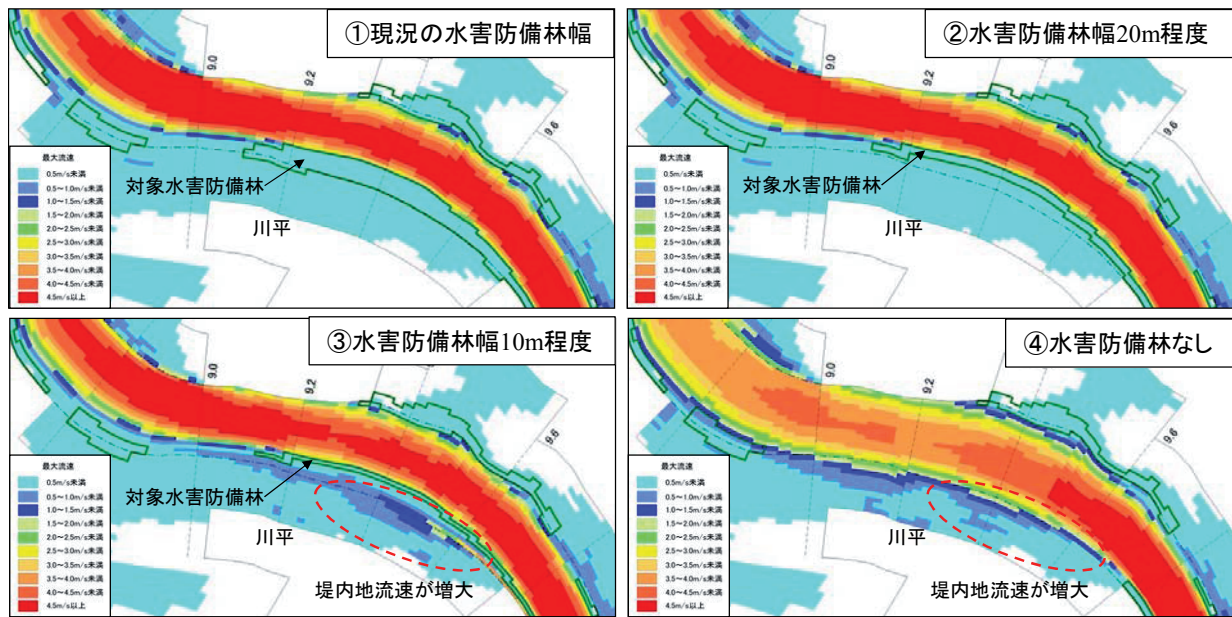


図-2 最大流速平面図 (川平地区, S47.7洪水)



図-3 川平地区の概要

が最大80m, 樹高約10m, 胸高直径60mm, 密生度8本/m²のマダケで構成された水害防備林が存在する。

b) 大貫地区

大貫地区は河口から約23～24km付近の右岸に位置し, 現在, 暫定堤防 (H.W.L.堤) を整備している. 図-4に示すように, 整備中の堤防前面には幅が最大90m, 樹高約12m, 胸高直径120mm, 密生度4本/m²のマダケで構成された水害防備林が存在する。

5. 水害防備林の維持管理方策の検討

(1) 検討地区の概要

本研究では, 堤防未整備地区である八神地区及び堤防整備中である大貫地区を対象として考察する. なお, 両地区とも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, 無堤及び暫定堤防であることから水害防備林を活用することが重要となる。

a) 八神地区

八神地区は河口から約6～7km付近の右岸に位置する堤防未整備地区である. 図-4に示すように, 河岸には幅

(2) 解析結果

a) 八神地区

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. 最大流速平面図を図-5に示す。

①水害防備林を全て存置した場合の最大流速について, S47.7洪水, S58.7洪水ともに堤内地の流速は概ね0.5m/s未満であり, 水害防備林の治水効果が確認できる。

②水害防備林を20m幅で存置した場合の最大流速について, S47.7洪水, S58.7洪水とも, 上記の水害防備林を存置した場合と同様に, 堤内地の流速は概ね0.5m/s未満であり, 水害防備林の治水効果が確認できる。

③水害防備林を全て伐採した場合の最大流速について, S47.7洪水, S58.7洪水とも, 上記の2ケースとは対照的に,

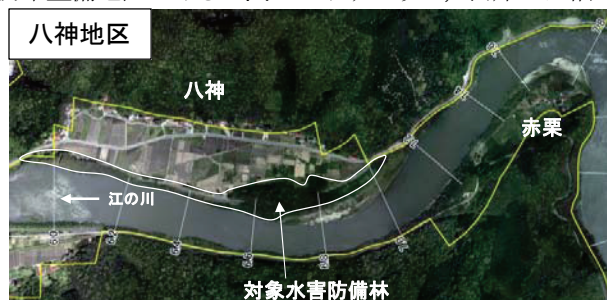


図-4 維持管理方策検討地区の概要 (左: 八神地区, 右: 大貫地区)

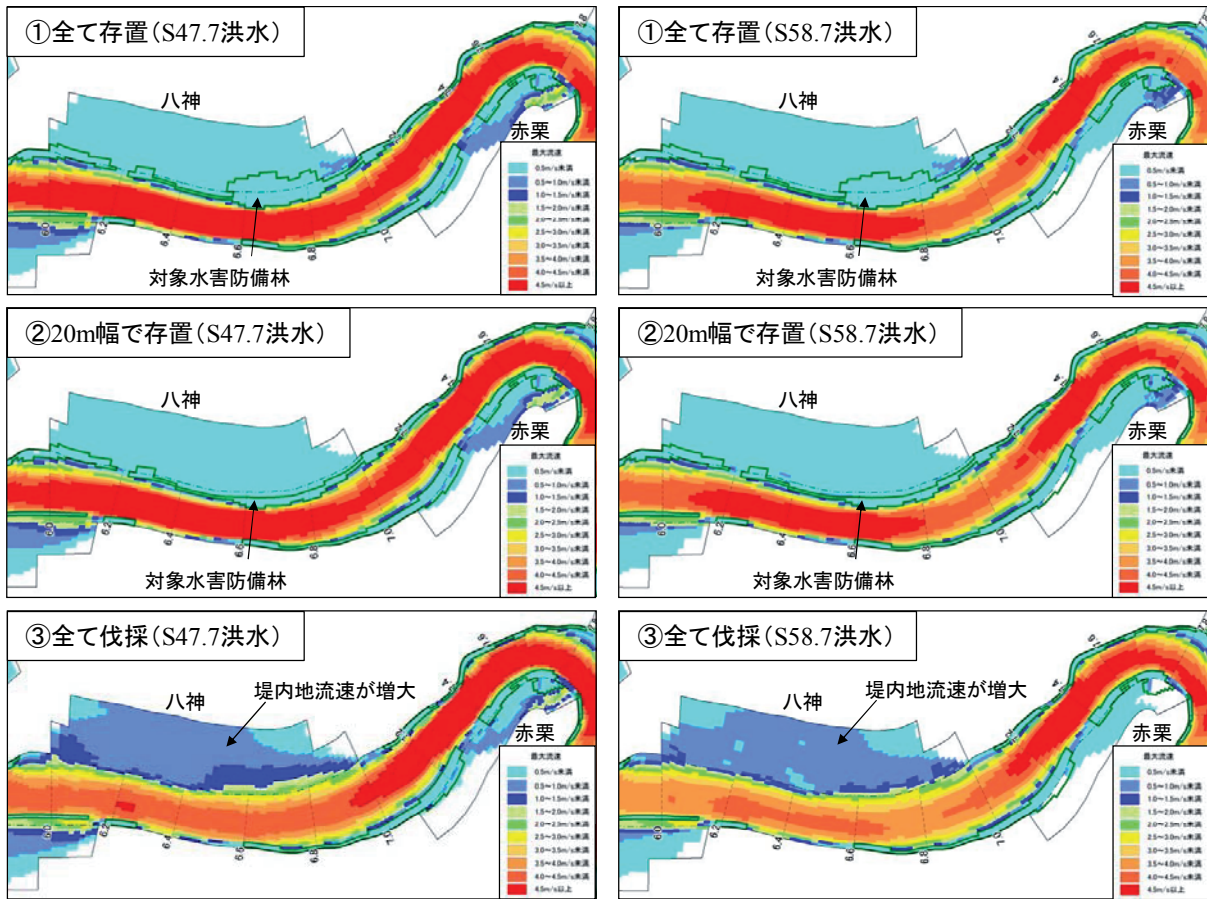


図-5 八神地区 最大流速平面図 (左：S47.7洪水，右：S58.7洪水)

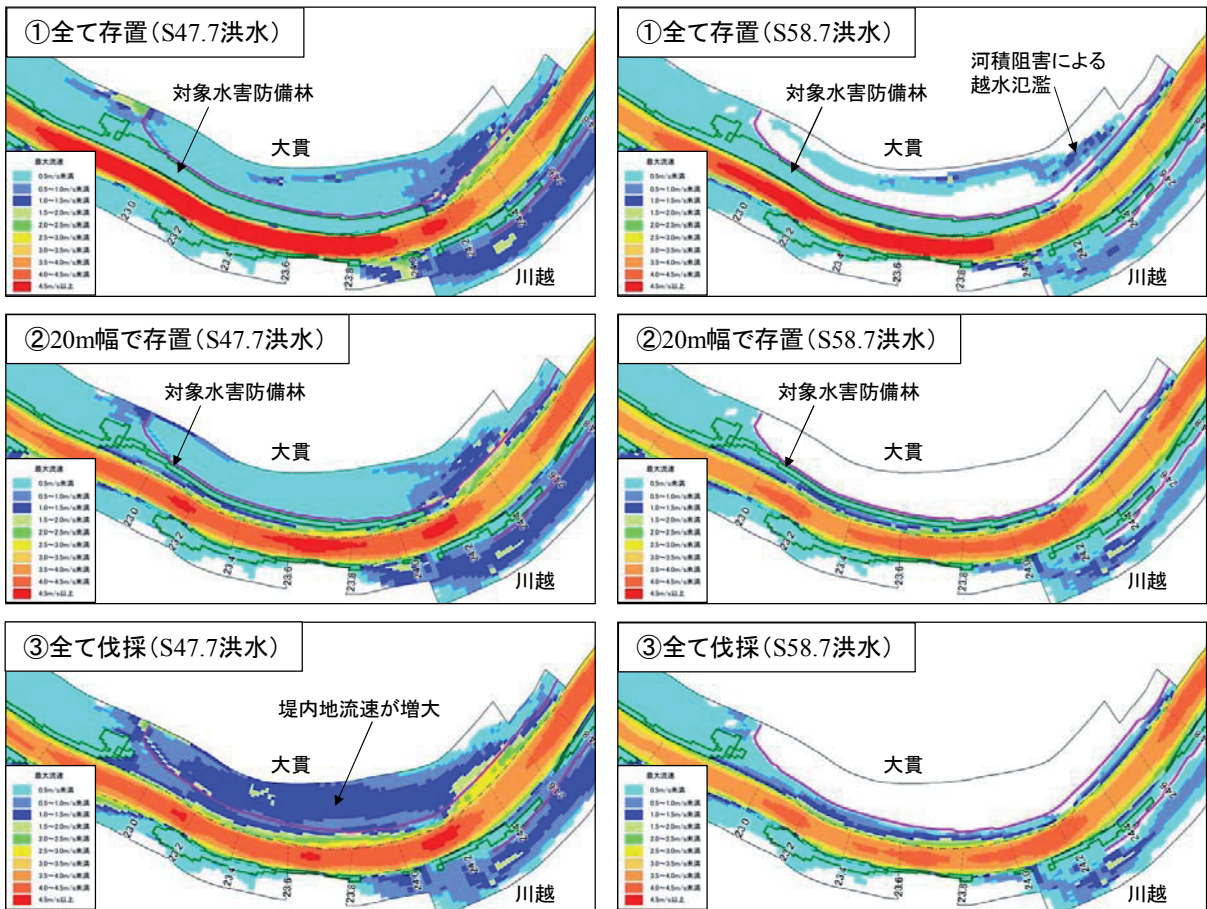


図-6 大貫地区 最大流速平面図 (左：S47.7洪水，右：S58.7洪水)

堤内地の流速は概ね1.0m/sを超えており、水害防備林が存在しないことによる堤内地流速増大の悪影響が見られる。S58.7洪水では、水害防備林による河積阻害の影響がなくなることによって赤栗地区の溢水氾濫範囲が減少しており、水害防備林を伐採したことが好影響を及ぼしている。

b) 大貫地区

S47.7洪水は流量規模が大きいので、暫定堤防を整備しても流下能力不足（河道掘削、樹木伐採が必要）であるため全てのケースにおいて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、水害防備林を全て存置した場合のみ、越水氾濫が発生する。最大流速平面図を図-6に示す。

①水害防備林を全て存置した場合の最大流速について、S47.7洪水では、越水氾濫が発生するものの、堤内地の流速は概ね0.5m/s未満であり、水害防備林の治水効果が確認できる。S58.7洪水では、水害防備林による河積阻害の影響により上流部から越水氾濫が発生しており、水害防備林が悪影響を及ぼしている。

②水害防備林を20m幅で存置した場合の最大流速について、S47.7洪水では、上記の水害防備林を存置した場合と同様に、堤内地の流速は概ね0.5m/s未満であり、水害防備林の治水効果が確認できる。S58.7洪水では、水害防備林による河積阻害の影響が小さくなるため、越水氾濫が解消されており、水害防備林の一部を伐採したことが好影響を及ぼしている。

③水害防備林を全て伐採した場合の最大流速について、S47.7洪水では、上記の2ケースとは対照的に、堤内地の流速は概ね1.0m/sを超えており、水害防備林が存在しないことによる堤内地流速増大の影響が見られる。S58.7洪水では、水害防備林を20m幅で存置した場合と同様に、水害防備林による河積阻害の影響がなくなることによって越水氾濫が解消しており、水害防備林を伐採したことが好影響を及ぼしている。

(3) 維持管理方策

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各地区の維持管理方策を設定する。

a) 八神地区

①全て存置した場合、両洪水ともに八神地区に好影響を及ぼす。②20m幅で存置した場合、両洪水ともに八神地区に好影響を及ぼすが、赤栗地区に好影響は見られない。③全て伐採した場合、両洪水ともに八神地区で悪影響を及ぼす。S58.7洪水において赤栗地区に好影響を及ぼす。その結果、八神地区においてはより水害防備林の治水効果を活用することを考慮して「①水害防備林を全て存置する」ケースが最適であるといえる。

b) 大貫地区

①全て存置した場合、S47.7洪水において好影響を及ぼすものの、S58.7洪水において悪影響を及ぼす。②20m

幅で存置した場合、両洪水ともに好影響を及ぼす。③全て伐採した場合、S58.7洪水において好影響を及ぼすものの、S47.7洪水において悪影響を及ぼす。その結果、大貫地区においては「②20m幅で存置する」ケースが最適であるといえる。

6. 結論と今後の課題

本文では、平面二次元流況解析を行い、水害防備林の幅に着目して治水効果を評価した。また、堤防未整備地区の八神地区、暫定堤防整備中の大貫地区において、複数洪水（S47.7洪水、S58.7洪水）を対象として水害防備林の維持管理方策を検討した。以下に得られた主な結論を示す。

- 1) 既往最大洪水であるS47.7洪水を対象とした二次元流況解析結果より、水害防備林の幅を20m程度存置することで水害防備林が持つ治水効果を維持できることが確認できた。その結果、治水効果を確保するためには水害防備林の繁茂範囲や幅が重要な要素であることが分かった。
- 2) 水害防備林の維持管理方法（存置方法）を複数設定し、複数の流量規模を設定することで、水害防備林を存置・伐採することによるメリット・デメリットを評価できた。水害防備林を存置・伐採することのメリット・デメリットを評価することで、江の川下流部における今後の維持管理方策を示すことができた。
- 3) 水害防備林の治水効果を定量的に評価することで水害防備林を存置していくことが有効であることがわかった。しかし、今後、水害防備林が放置され、繁茂範囲の拡大や荒廃などが懸念されるため、水害防備林の治水機能を維持するためには、水害防備林の幅を確保するとともに、適切な管理による密生度等の管理も重要となる。

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) 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。
- 3) 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。
- 4) 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。
- 5) 富永晃宏，長尾正志，劉建，鈴木徹也：洪水流の抵抗と流れ構造に及ぼす高水敷樹木群配置の影響，水工学論文集，第39巻，1995。

(2015. 4. 3受付)