

台風 9810 号による百間川の植生倒伏状況と 洪水解析による河道粗度の推定

FALLING DOWN OF VEGETATION IN THE HYAKKEN RIVER BY TYPHOON 9810
AND ESTIMATION OF BED ROUGHNESS BY FLOOD FLOW ANALYSIS

前野詩朗¹・石井宏幸²・大賀祥一³
Shiro MAENO, Hiroyuki ISHII and Yoshikazu OHGA

¹ 正会員 工博 岡山大学助教授 環境理工学部環境デザイン工学科 (〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1)

² 正会員 工修 建設省中国地方建設局 岡山河川工事事務所調査設計課長 (〒700-0914 岡山市鹿田町 2-4-36)

³ 正会員 工修 建設省中国地方建設局 岡山河川工事事務所設計係長 (〒700-0914 岡山市鹿田町 2-4-36)

A lot of vegetation grow in the main channel of the Hyakken river because its discharge is very small during no-flood season. It is very important to know the behavior of vegetation during a flood flow because vegetation may increase the bed roughness and remarkably decrease the capacity of the channel. About 75% of the vegetation in the main channel of the Hyakken river fell down due to the flood flow caused by the typhoon 9810. In this study, characteristics of vegetation that fell down during this flood was investigated by the field observation. Further investigation has been made to determine the effect of vegetation of the main channel on the bed roughness by the flood flow analysis.

Key Words : *Falling down of vegetation, flood flow analysis, bed roughness*

1. はじめに

平成 10 年 10 月 17 日から 18 日にかけて岡山県を縦断した台風 9810 号は、県下に多大な被害をもたらした。岡山河川工事事務所が管理する吉井川・旭川・高梁川でも大規模な出水となり、旭川水系の基準点である岡山市下牧においてピーク流量約 4,300m³/s を記録した。これは、直轄改修が始まった大正 15 年以降の記録では昭和 9 年 9 月の室戸台風、昭和 20 年 9 月の枕崎台風による出水に次ぐ既往第 3 位の流量であった。この出水により百間川の低水路内の植生が倒伏している状況が確認された¹⁾。そこで、本研究では、植生の倒伏状況を調査し、植生種ごとの倒伏状況を明らかにする。さらに、洪水解析(百間川 10.8km 地点から 12.6km の約 2km 区間)により、植生の倒伏の有無が洪水の流れに及ぼす影響を明らかにしようとするものである。

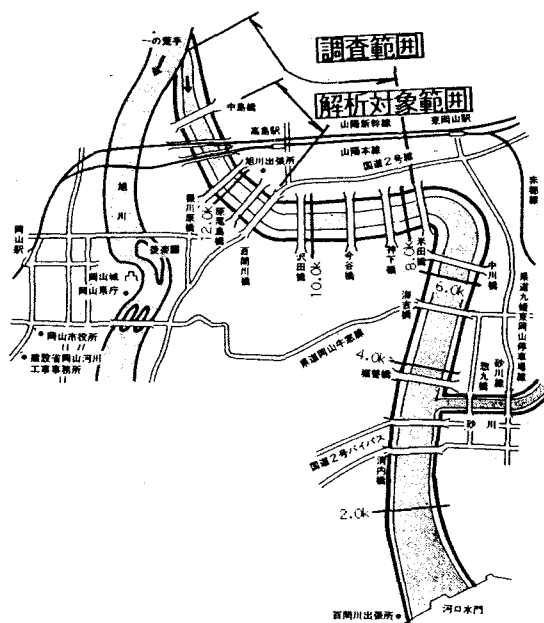


図-1 百間川の概要

2. 百間川について

百間川は、江戸時代初期に開削された延長約 13km の人工河川である(図-1 参照)。建設省によ

る百間川の本格的な改修は昭和 49 年に着手され、平成 8 年度に築堤が完了している。台風 9810 号の出水の際には、旭川本川からピーク時で約 900 m³/s の洪



写真-1 洪水前の植生の状況



写真-2 洪水後の植生の状況

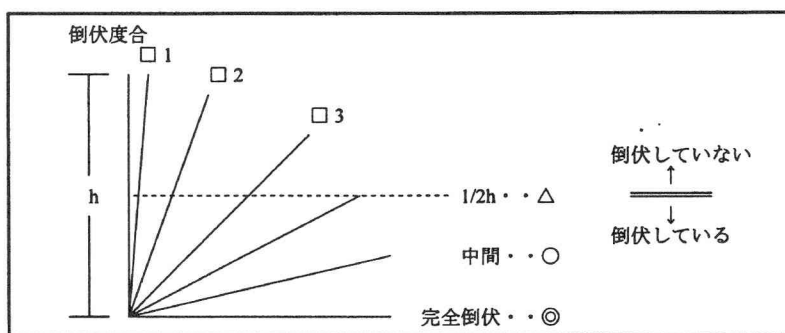


図-2 倒伏基準

水が分流した。これは、建設省による百間川の本格改修以後初めての大規模な分流であった。百間川は、平常時は浄化用水としての $1\text{m}^3/\text{s}$ の本川からの導水と沿川からの雑排水等が流れているのみであるため、写真-1のように低水路内に植生が繁茂している状況である。ところが、前述の台風 9810 号による出水後の低水路内の植生は、写真-2 に示すとおり倒伏しているものが多く確認された。

3. 倒伏状況の調査

調査方法の概略と結果は以下のとおりである。

(1) 調査範囲

旭川本川との分流点付近（河口から約 13.7 km）から米田橋（河口から約 7.6 km）までの約 6.1 km の区間の低水路部分とした（図-1 参照）。この区間には低水路の未掘削の部分もあり、多くの植生が繁茂している。

(2) 調査方法および結果

航空写真等から低水路内の植生分布状況を把握し、

また、現地調査により植生群落ごとの倒伏状況を確認し、倒伏状況図を作成した。なお、各植生群落の状況および倒伏しているか、していないかの判定は図-2 のような基準で行った。すなわち、倒伏度合を 6 段階で表し、傾いた植生の背丈が元の背丈の半分 ($1/2h$) より小さくなった場合を倒伏しているものと判定した。表-1 は植生種ごとの倒伏の状況を図-2 の倒伏度合で示すとともに、現地で観察された状況を合わせて記述したものである。また、表-2 は植生群落ごとの倒伏、非倒伏面積を示している。これらの表より、以下のことが分かる。

調査範囲内の植生面積の約 75% が倒伏しており、ツルヨシ、マコモ、ヒメガマ・ガマは 100% 倒伏、ヨシやセイタカアワダチソウもほとんどが倒伏していた。倒伏状況をもう少し詳しく見ると、マコモやヒメガマ・ガマは完全に倒伏していたが、ツルヨシの倒伏度合は草丈の半分程度であった。また、ヨシやセイタカアワダチソウは、倒伏率にそれほどの差異はないものの倒伏度合はセイタカアワダチソウの方が高い傾向にある。一方、オギの倒伏率は約 27% と低いものであった。以上のことより、倒伏し易い植生種とそうでない植生種があることがわかる。

表-1 植生の倒伏状況

種 名	倒 伏 度 合	倒 伏 状 況
オギ	□1 一部 ◎	調査区域全般に群落が見られたが、ほとんど倒伏が見られなかった。但し、刈性植物のツルマメが絡んでいる場所及びゴミが溜まっている場所では大きく倒伏が見られた。
ジュズダマ	□2 一部 ○	12.4km～12.2km間に群落が見られたが、右岸側で川幅が極端に狭くなっている場所を除いてはほとんど倒伏が見られなかった。
ツルヨシ	△	13.6km付近砂礫地で一部見られただけで、砂礫が流入し一様に倒伏が見られた。
ヨシ	△ ○ 一部 □3	12.2kmから下流、特に8.6kmから下流に群落が見られたが、12.2km～12.0km付近のオギ混じりの群落以外は、一様に倒伏が見られた。
セイカアワダチソウ	◎ ○ 一部 □2	13.0km～10.0km間に群落が見られたが、単独で群落を形成している場所は少なく、ほとんどオギ・ヨシ・マコモなどが混生しており、一部を除いて一様に倒伏が見られた。
マコモ	◎	12.0kmから下流に群落が見られたが、一様に倒伏が見られた。また、護岸斜面上及び河道内護岸石組み上ではマコモが緑がされているのが多く確認された。
ヒメガマ・ガマ	◎	13.6kmから下流に群落が見られたが、一様に倒伏が見られた。

表-2 植生の倒伏面積

植 生 群 落	倒伏していない面積		倒伏している面積		植生群落全体
	(m ²)	(%)	(m ²)	(%)	面積 (m ²)
ヨシ群落	6,049	14.3	36,230	85.7	42,279
ツルヨシ群落	0	0.0	858	100.0	858
マコモ群落	0	0.0	34,517	100.0	34,517
ヒメガマ・ガマ群落	0	0.0	10,335	100.0	10,335
セイカアワダチソウ群落	1,424	7.1	18,700	92.9	20,124
オギ群落	30,100	73.3	10,972	26.7	41,072
計	37,573	25.2	111,612	74.8	149,185

4. 解析法の概要

(1) 基礎式

解析には保存形の2次元浅水流方程式²⁾を用いるが、解析対象地点がやや湾曲している点を考慮して、本研究では直交直線座標系における基礎式を一般曲線座標系に座標変換した基礎式^{3),4),5)}を採用した。

$$A_t + B_\xi + C_\eta = D^{\xi} + D^{\eta} + R_\xi + T_\eta \quad (1)$$

$$A = \begin{bmatrix} \frac{h}{J} \\ \frac{uh}{J} \\ \frac{vh}{J} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} \frac{u'h}{J} \\ \frac{1}{J} \left[(u'uh) + \frac{\xi_x}{2} gh^2 \right] \\ \frac{1}{J} \left[(u'vh) + \frac{\xi_y}{2} gh^2 \right] \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} \frac{v'h}{J} \\ \frac{1}{J} \left[(v'uh) + \frac{\eta_x}{2} gh^2 \right] \\ \frac{1}{J} \left[(v'vh) + \frac{\eta_y}{2} gh^2 \right] \end{bmatrix}$$

表-3 解析に用いたマンニングの粗度係数

(単位: $\text{m}^{-1/3}\text{s}$)

Run	低水路部	高水数部	植生域(倒伏無)	植生域(倒伏有)
1	0.025	0.025	—	—
2	0.030	0.030	—	—
3	0.035	0.035	—	—
4	0.025	0.030	—	—
5	0.025	0.035	—	—
6	0.030	0.035	—	—
7	0.025	0.035	0.035	0.025
8	0.025	0.035	0.035	0.030

表-4 計算条件

初期水位	領域全体水位 6.0m
初期流速	領域全体 0.0 m/s
上流端流入流量	$Q = 874.2 \times n / 1000 \text{ (m}^3/\text{s)} : n < 1000\text{step}$ $Q = 874.2 \text{ (m}^3/\text{s)} : n \geq 1000\text{step}$
下流端水位	$h = 6.0 - 0.43 \times n / 1000 \text{ (m)} : n < 1000\text{step}$ $h = 5.57 \text{ (m)} : n \geq 1000\text{step}$
クーラン数	$C_r = 0.9$
渦動粘性係数	$\varepsilon = \alpha u_* h \text{ (}\alpha = \kappa / 6.0, \kappa = 0.4\text{)}$
人工粘性係数	$k = 0.20$

$$\mathbf{D}^\xi = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{J} gh(-\xi_x \frac{\partial z}{\partial \xi} - \frac{\eta_y}{J} u' n^2 \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}) \\ \frac{1}{J} gh(-\xi_y \frac{\partial z}{\partial \xi} - \frac{\eta_x}{J} v' n^2 \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{D}^\eta = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{J} gh(-\eta_x \frac{\partial z}{\partial \eta} - \frac{\xi_y}{J} v' n^2 \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}) \\ \frac{1}{J} gh(-\eta_y \frac{\partial z}{\partial \eta} - \frac{\xi_x}{J} u' n^2 \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0 \\ \varepsilon \left\{ (\xi_x^2 + \xi_y^2) \frac{\partial(uh)}{\partial \xi} + (\xi_x \eta_x + \xi_y \eta_y) \frac{\partial(uh)}{\partial \eta} \right\} \\ \varepsilon \left\{ (\xi_x^2 + \xi_y^2) \frac{\partial(vh)}{\partial \xi} + (\xi_x \eta_x + \xi_y \eta_y) \frac{\partial(vh)}{\partial \eta} \right\} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 0 \\ \varepsilon \left\{ (\eta_x^2 + \eta_y^2) \frac{\partial(uh)}{\partial \eta} + (\xi_x \eta_x + \xi_y \eta_y) \frac{\partial(uh)}{\partial \xi} \right\} \\ \varepsilon \left\{ (\eta_x^2 + \eta_y^2) \frac{\partial(vh)}{\partial \eta} + (\xi_x \eta_x + \xi_y \eta_y) \frac{\partial(vh)}{\partial \xi} \right\} \end{bmatrix}$$

ここに, x, y : 物理平面の座標, ξ, η : 写像平面の座標, J : 座標変換のヤコビアン($J = \xi_x \eta_y - \xi_y \eta_x$), h : 水深, z : 河床高, u, v : x, y 方向の流速成分, u', v' : 一般曲線座標(ξ, η)の流速の反変成分, g : 重力加速度, ε : 渦動粘性係数, n : マニングの粗度係数である。

(2) MacCormack 差分スキーム

本研究で対象とした解析領域の上流側には二ノ荒手(石積みの堰状の構造物)が河川を横断する形で存在し, 今後, 計算対象領域を拡げる際には常流と射流が混在した流れを解析する必要があるため, 数値解析モデルとしては, 常流と射流が混在した流れが解析可能とされている MacCormack 法^{4), 5)}を適用した。また, 基礎式の具体的な差分化に際しては, プログラミングの容易さ等から

時間分割法⁶⁾を採用した。この方法は基礎式(1)を ξ 方向と η 方向に分割し, 予測子段階の値を計算した後に, さらに修正子段階で値を補正するものである。人工粘性については前野⁵⁾が用いたのと同様な手法を用いた。具体的な計算手法については参考文献^{2)~7)}に詳細が述べられているのでここでは省略する。

(3) 河道粗度の設定方法および計算条件

解析対象領域は百間川 10.8km~12.6km の約2km 区間とした。河道のマンニングの粗度係数は 0.025, 0.030, 0.035の組み合わせで表-3 に示すように設定した。なお, 低水路内の倒伏していない植生域の粗度係数については高水数粗度係数と水深・草の高さの関係⁸⁾を参考にして 0.030と 0.035 とした。

(a) 植生の有無とは無関係に低水路部と高水数部の粗度係数をすべて一定にする場合(Run1~Run3)。

(b) 植生の有無とは無関係であるが, 低水路部よりも高水数部の粗度係数を大きくする場合(Run4~Run6)。図-3 に Run5 の場合の粗度分布を示している。

(c) 低水路部よりも高水数部の粗度係数を大きくし, かつ低水路部における植生域の粗度係数のうち倒伏した箇所(灰色の部分)と非倒伏部分(低水路内の黒色部分)の分布がわかる。

その他の計算条件は表-4 に示すとおりである。初期水位は解析領域全体に 6.0mを与え, 下流端では徐々に水位を下げ, 1000 ステップで同地点における左右岸の痕跡平均水位 5.57 m になるように設定した。また, 上流端においても同様に 1000 ステップでピーク流量 874.2 m^3/s になるように徐々に流入量を増やすようにした。計算に用いたメッシュ図は図-5 に示している。河川横断方向格子点数 31×縦断方向格子点数 241 に分割している。

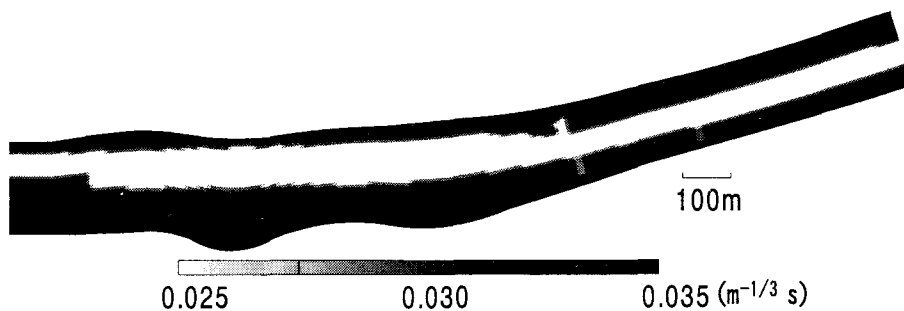


図-3 粗度分布(Run5)

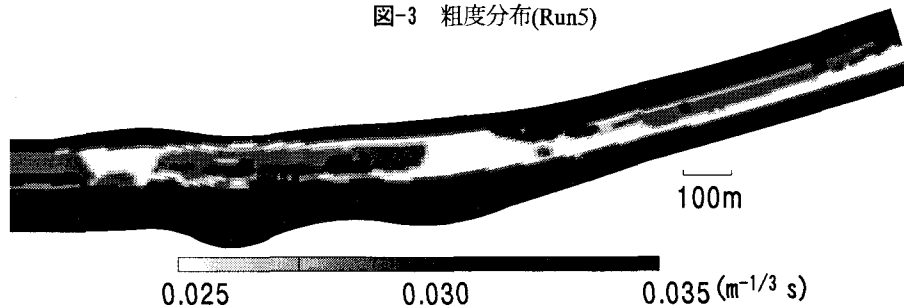


図-4 粗度分布(Run8)

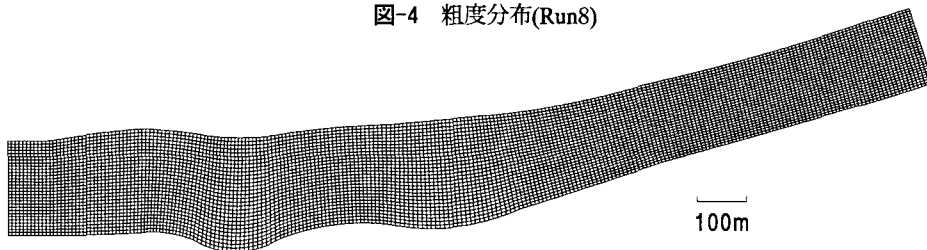


図-5 メッシュ図

5. 結果および考察

図-6 は解析結果より得られた左右岸平均水位を示したものである。この図より、粗度係数の設定により水位がかなり変動することがわかる。痕跡水位との誤差が最も小さかったのは Run8 で、次いで Run7, Run2 の順であった。このことより、植生の倒伏の有無を考慮して低水路内植生域の粗度係数を設定する方が痕跡水位を良く再現できることがわかる。また、今回の洪水では、倒伏していない箇所の粗度係数を 0.035 とし、倒伏した箇所の粗度係数を 0.030 とした場合が最も精度良く痕跡水位を再現していることもわかった。図-7 は Run8 の場合の流速分布を示している。この図より、高水敷の流速が小さくなっていること、また、低水路内の流速はかなり大きくなっており、植生が倒れ易くなっていることがわかる。植生の倒伏に影響する主な水理量としては流速や水深が考えられる。以下では、植生の倒伏の有無と水深、流速の関係を検討する。

表-5 は河道の粗度係数を全て一定に仮定した Run2 および植生の倒伏の有無により粗度係数を変えた Run8 の計算結果より得られた、低水路植生域の計算格子点における水深と流速の平均値、標準偏差を倒伏の有無により分類したものである（解析対象領域内の標本数は 1496

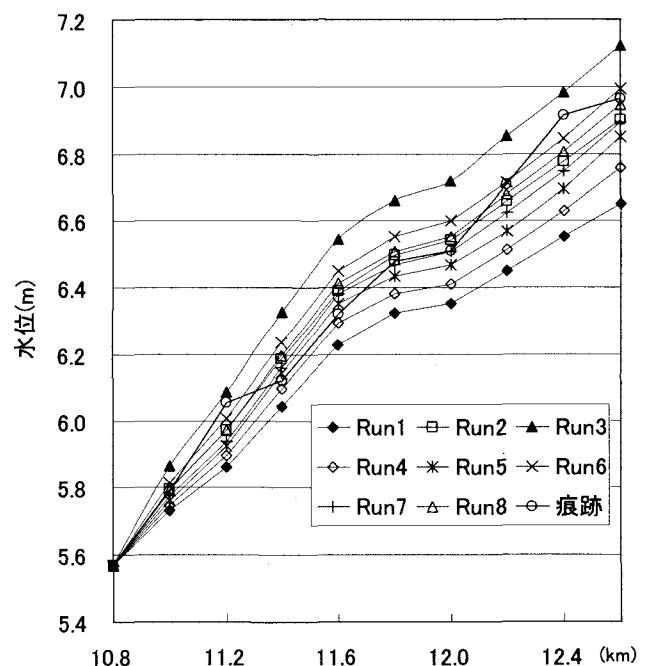


図-6 水面形 (痕跡と解析結果の比較)

個で、そのうち倒伏数は 1114 個、非倒伏数は 382 個である）。また、等分散を仮定した場合の倒伏の有無による母平均の差の t 検定値を示している。これは、水理量と倒伏の有無との間に有意な差が無いという仮説を立てて、

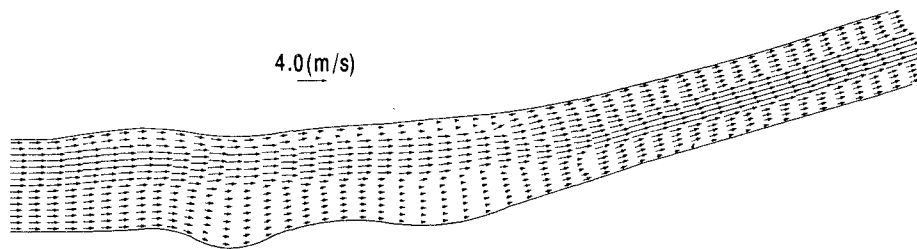


図-7 流速分布

表-5 倒伏の有無による検定

(m-s 単位)					
Run	水理量	倒伏	平均値	標準偏差	t 検定値
2	水深	無	3.828	0.769	-0.060
		有	3.826	0.677	
	流速	無	2.030	0.340	-10.141
		有	2.210	0.283	
8	水深	無	3.843	0.767	-0.010
		有	3.844	0.667	
	流速	無	2.024	0.352	-12.132
		有	2.257	0.312	

その仮説が棄却されるかどうかを検定するものである。この表より、平均水深は Run2, Run8 とともに倒伏の有無によらずほぼ同じであることがわかる。一方、平均流速は Run2 の場合に 0.18(m/s), Run8 の場合に 0.233(m/s), 倒伏した場合の方が大きくなっており、倒伏の有無と平均流速とは密接な関係があることがわかる。t 検定による結果 (t が 0 に近づくほど立てた仮説が正しいことを意味する) を 5% の有意水準でみると、Run2, Run8 とともに水深に関しては倒伏の有無と無関係であるが、流速については立てた仮説が棄却され、倒伏の有無と流速との間には明らかに有意な差があるという結果が得られた。

5. 結 論

平成 10 年 10 月 17 日から 18 日にかけて岡山県下を縦断した台風 9810 号の出水により百間川の低水路内の植生が倒伏している状況が確認された。そこで、本研究では、植生の倒伏状況を調査し、植生種ごとの倒伏状況を明らかにするとともに、洪水解析(百間川 10.8km 地点から 12.6km の約 2km 区間)により、植生の倒伏の有無が洪水の流れに及ぼす影響を検討した。得られた主要な結論は以下のである。

(1) 植生の倒伏状況調査の結果より、ツルヨシ群落、マコモ群落、ヒメガマ・ガマ群落はすべて倒伏しており、比較的倒伏しやすいことが明らかにされた。また、ヨシ

群落、オギ群落、セイタカアワダチソウ群は倒伏している箇所と倒伏していない箇所が存在していることが明らかにされた。

(2) 解析結果より、植生域の倒伏の有無を考慮して粗度係数を変えた場合(倒伏していない植生域の粗度係数を 0.035 とし、倒伏した植生域の粗度係数を 0.030 とする場合)が、洪水痕跡により得られた水位を最も精度良く再現することが明らかにされた。

(3) 植生域の平均水深、平均流速と倒伏の有無との関係を検討した結果、平均水深と倒伏の有無の間には有意な関係は認められなかったが、平均流速と倒伏の有無の間には密接な関係があることが明らかにされた。

今後は、植生種ごとに倒伏の有無と水理量の関係を検討し、植生が河道の疎通能力に及ぼす影響を検討する必要がある。

謝辞：本研究の一部は中国電力研究財団の援助を受けて行われた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 石井宏幸・前野詩朗：台風 10 号による出水後の百間川の植生倒伏状況等，土木学会第 54 回年次学術講演会，pp. 248-249, 1999.
- 2) R. Garcis and R. A. Kahawita : Numerical solution of the St. Venant equations with the MacCormack finite difference scheme, Internatioanl Jour. For Numerical Methods in Fluids, Vol.6, pp.259-274, 1986.
- 3) 清水康行・山下恭正・山下彰司・崇田徳彦：一般曲線座標系を用いた常・射流混在流れの計算，開発土木研究所月報，No.455, pp.18-33, 1991.
- 4) 秋山壽一郎・浦 勝・山口 学・重枝未鈴：MacCormack 法を用いた平面 2 次元数値モデルの浅水流への適用性について，水工学論文集，第 42 巻，pp.679-684, 1998
- 5) 前野詩朗：百間川の洪水流解析による二ノ荒手の保存の検討，水工論文集，第 44 巻，pp.353-358, 2000.
- 6) 大宮司久明他：流れの数値シミュレーション，日本機械学会編，コロナ社，1998.
- 7) R. J. Fennema and M.H. Chaudhry : Expricit methods for 2-D transient free-surface flows, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.116, No.8, pp.1013-1034, 1990.
- 8) 河川における樹木管理の手引き，リバーフロント整備センター，pp.100, 1999.

(2000. 4. 17 受付)