

急勾配中小河川における 流木に起因する洪水氾濫軽減対策

A DRIFT WOOD HAZARD AND ITS COUNTERMEASURES IN STEEP SMALL-SCALE RIVERS

藤森祥文¹・越智有生²・速山祥子²・白石 央³・渡辺政広⁴

Yoshifumi FUJIMORI, Yuki OCHI, Shoko HAYAMA, Hiroshi SHIRAISHI and Masahiro WATANABE

¹ 正会員 工修 愛媛大学大学院助教 理工学研究科 (〒790-8577 松山市文京町 3)

² 学生会員 愛媛大学大学院理工学研究科 博士前期課程 (〒790-8577 松山市文京町 3)

³ 正会員 工博 (株) 荒谷建設コンサルタント 地盤調査部 (〒730-0831 広島市中区江波西 1-25-5)

⁴ 正会員 工博 愛媛大学大学院教授 理工学研究科 (〒790-8577 松山市文京町 3)

In 2004, a sever drift wood hazard caused by fallen trees drifting in muddy flows and overflowing at river bridges happened in many steep small-scale rivers of Ehime Prefecture. In this paper, a countermeasure in which the rail on the bridge girder is removed and some of flowing flood water overflows on the bridge girder like a sinking bridge is proposed and the effect of the countermeasure is examined through runoff experiments in hydraulic steep channels. As a result, it was made clear that the countermeasure removing the rails is a very effective one which reduces a destructive power of overflowing water to one third.

Key Words : removing rail, overflowing on bridge girder, countermeasures, drift wood hazard, steep small-scale rivers

1. はじめに

平成 16 年 9 月 29 日、愛媛県東予地域では、台風 21 号による 250~350 mm を上回る豪雨により、西条市、新居浜市を中心に、各所で土石流、河川の氾濫が発生した。愛媛県災害対策本部が 10 月 8 日までにまとめた県内被害状況によれば、土石流・洪水氾濫などによる死者 14 名、住宅の全壊 29 棟、半壊 231 棟、床上浸水は 1 816 棟、床下浸水 4 142 棟に上った。

本台風災害では、平成 16 年 8 月の集中豪雨災害と同様に、土砂崩れ(斜面崩壊)による大規模な被害が発生するとともに、東予地域の多くの中小河川で、上流域での斜面崩壊(土砂崩れ)によって生産された流木が橋梁地点で河道の流れを阻害した洪水氾濫が各所で発生し、西条市(旧周桑郡)小松町ではこの河川氾濫により死者 1 名、多数の家屋が全壊・半壊した。また、西条市、新居浜市では 1 017 棟が床上、1 785 棟が床下浸水被害を被った。

本研究では、愛媛県東予地域の各所の中小河川で発生



図-1 雨量観測所(気象庁)位置図

した流木・洪水氾濫のうち、山地中小河川である妙之谷川(西条市小松町)で発生した事例を取り上げ、流木による洪水氾濫の発生機構とその軽減対策について、現地



写真-1 流木に起因する洪水氾濫災害
(愛媛県西条市・妙之谷川橋地点)

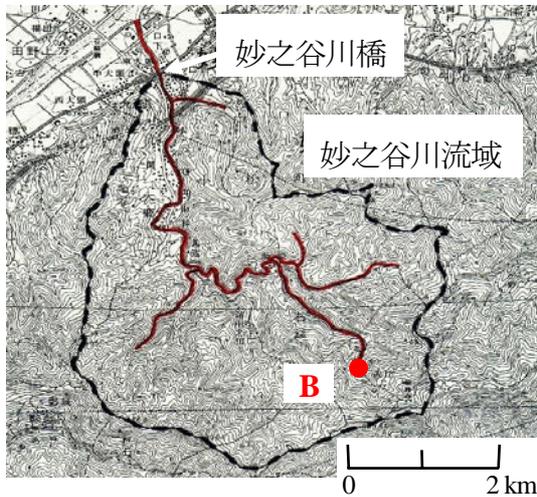


図-2 妙之谷川流域
(妙之谷川橋地点, $L=7.32$ km, $A=17.9$ km²)

調査と流出解析ならびに洪水氾濫流の実験を行って検討、考察を加えた。

具体的には、急勾配中小河川の橋梁部における流木による洪水氾濫災害を軽減する対策として、氾濫の規模を増大させている欄干への流木のひっかかりを、(流木の発生が予測される時) 欄干を取り払うことにより抑制する軽減対策について検討した。

2. 山地の中小河川(妙之谷川)に置ける流木・洪水氾濫の発生機構について

国道 11 号線が妙之谷川を横切る妙之谷川橋地点では、上流の各所で発生した斜面崩壊によって生産された流木が橋脚にひっかかり、河道の流れを阻害したため、洪水流は兩岸に溢水氾濫した。これにより右岸側では家屋内の女性が侵入した氾濫水に押し流され、死亡し、また、

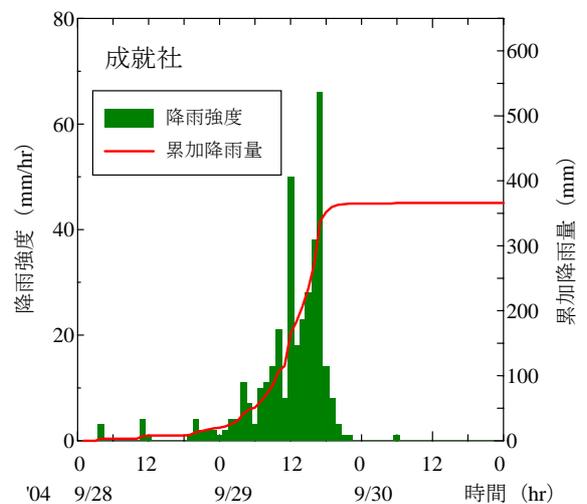
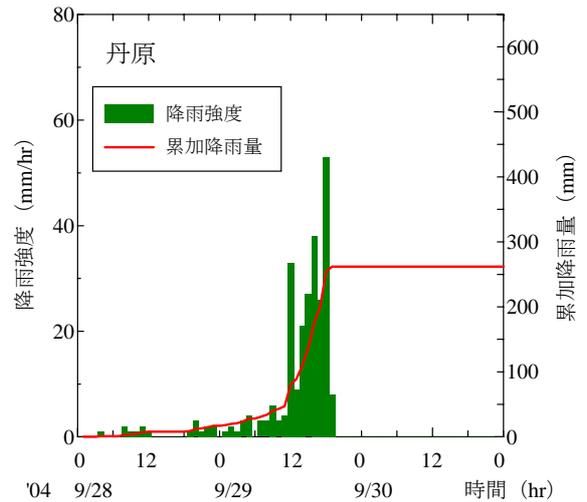


図-3 丹原・成就社地点のハイエトグラフ

兩岸沿いの家屋の多くが氾濫水により崩壊した(写真-1)。こうした山地中小河川での流木・洪水氾濫の発生過程(機構)は、次のようであると考えられる。

当時、妙之谷川橋地点(図-2)で氾濫が発生し始めた時刻は、29 日午後 4 時 30 分頃と見られる。ここで、妙之谷川流域(妙之谷川橋地点)の洪水伝播時間 T^1 は、式(1)に、 $L=7.32$ km, $S=0.030$ m/m を代入して、 $T=3.0$ hr となる。

$$T = 1.67 \times 10^{-3} \times \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.7} \quad (1)$$

ここに、 L : 主河道長 (m) , S : 平均河床勾配 (m/m) である。

29 日午後 1 時 30 分~4 時 30 分(洪水氾濫発生時間帯)の 3 時間の流域平均降雨強度 r は、図-3 に示す丹原および成就社のハイエトグラフより、ティーセン法による推算結果も参考にすると、 $r=32\sim34$ mm/hr 程度となる。

また、流出係数 f を $f=0.85$ とすると、ピーク流

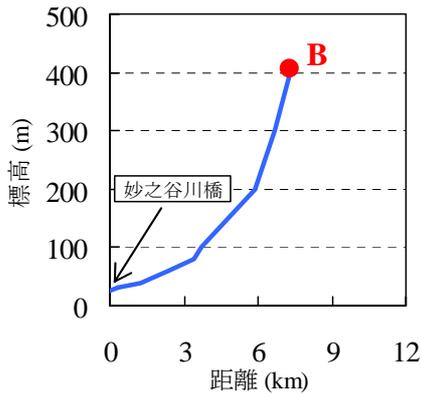


図-4 妙之谷川の河床縦断

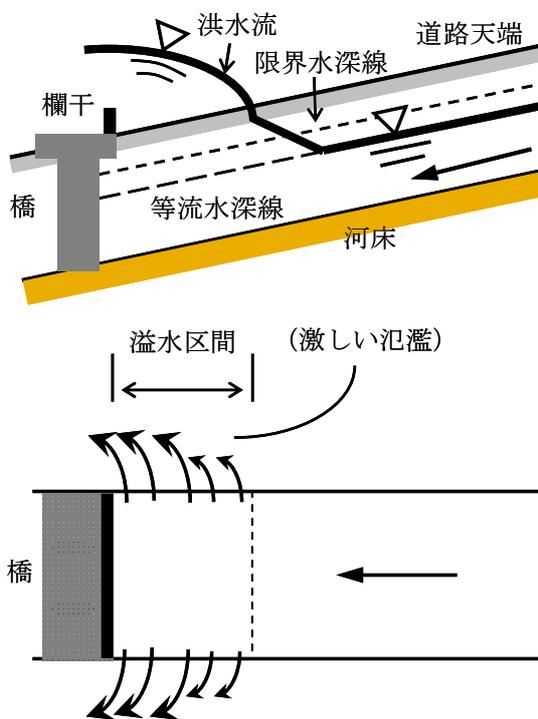


図-5 洪水氾濫の発生機構
(山地域の中小河川, 妙之谷川)

量(洪水流量) Q は, 合理式 (2) より, $Q = 130 \text{ m}^3/\text{sec}$ 程度と推算される.

$$Q = \frac{1}{3.6} f r A \quad (2)$$

ここに, f : 流出係数, r : 伝播時間内の平均降雨強度 (mm/hr), A : 流域面積 (km^2), Q : ピーク流量 (m^3/sec) である.

妙之谷川橋付近の河道勾配は 1.5/100 (図-4) と急であるため, この流量での洪水の流れは, 流木のない状態では, 図-5 に示すような, 溢水氾濫の生じない流れ (図中の等流水深線で表される流れ) であったと考えられる. しかし, 実際には上流域の各所で斜面崩壊が発生しており, 洪水流は多量の流木と土砂を運んで流下していたた

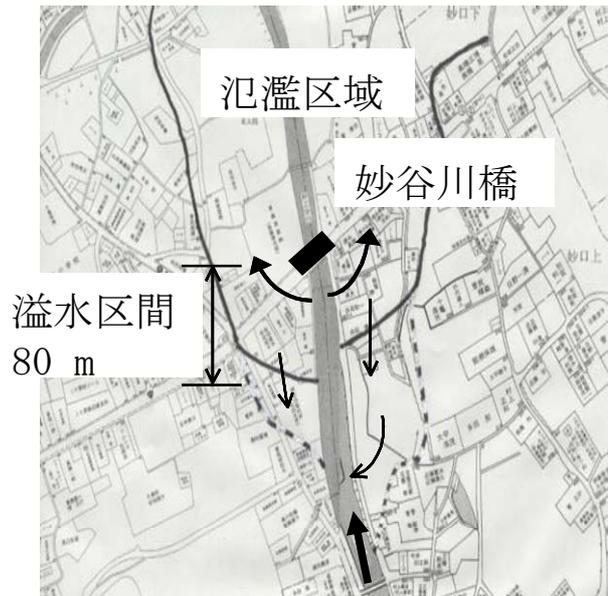


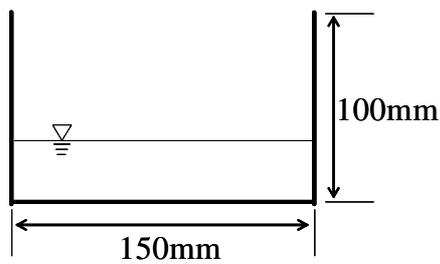
図-6 洪水溢水区間 (妙之谷川橋地点)

め, 橋脚にひっかかった流木とその上流に堆積した土砂で流れが阻害された. その結果, 橋の上流, 数 10 m でジャンプ (跳水) を起して兩岸天端を越える流れへと遷移し, その流れは, 激しい氾濫水となって兩岸の家屋を襲ったと考えられる (図-6). すなわち, 本洪水流が流木や土砂を多く含まないものであったならば, こうした洪水氾濫は発生せず, 洪水は等流水深が 1.4m 程度, 桁下に 2.5m 程度の余裕をもって妙之谷川橋地点を速やかに流下していたと考えられる. しかし, 多量の流木と土砂が河道を塞いだため, 大規模な流れのジャンプが発生し, ジャンプした後の流れが洪水氾濫を引き起こした. また, 洪水溢水区間が数 10 m と短いため, 氾濫水は急激な流れとなって兩岸の民家を襲ったと考えられる.

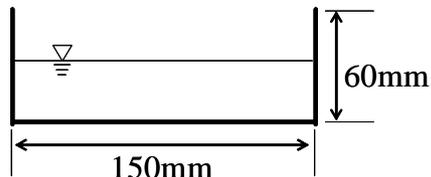
本災害は, 流木の流出が引き起こした山地域の中小河川における洪水氾濫災害と考えられる.

3. 流木・洪水氾濫の軽減対策について

流木が橋脚にひっかかることにより引き起こされる洪水氾濫を軽減する対策として, 橋梁の欄干 (Rail) を取り払うことにより, 氾濫水流体力を減少させ, 氾濫災害を軽減させることを考えた. ここでは, 水路模型 (図-7, 8) を用いた洪水氾濫流の実験を行って, 欄干を取り払うことによる, 氾濫災害の軽減効果を検討した. 水路模型は, 矩形断面深型 (幅 15 cm, 深 10 cm) と矩形断面浅型 (幅 15 cm, 深 6 cm) で, 透明アクリル製である. 水路勾配は 1/100, 2.5/100, 4/100, Manning の粗度係数は $0.0095 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ である. また, 表-1 に実験条件を示す.



(a) 深型



(b) 浅型

図-7 水路模型 (横断面)

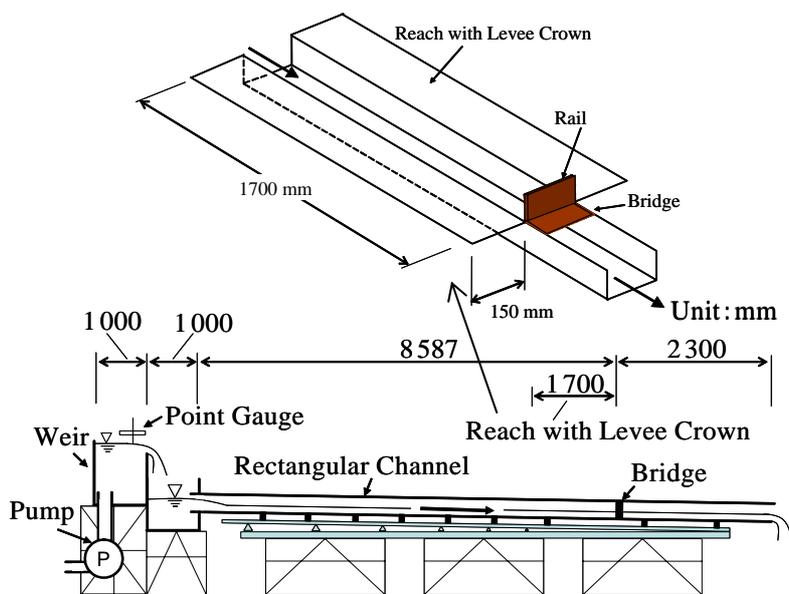


図-8 水路模型 (縦断面)

表-1 実験条件

So 勾配	h(cm) 水深	Q(m ³ /s) 流量	Froude数	欄干	浅・深型
1/100	2.0	0.0022	1.62	有り	浅型
	2.0	0.0022	1.69	有り	深型
	2.0	0.0022	1.62	無し	浅型
	2.0	0.0022	1.69	無し	深型
	3.9	0.0058	1.59	有り	浅型
	3.9	0.0059	1.58	有り	深型
	3.9	0.0058	1.59	無し	浅型
	3.9	0.0057	1.58	無し	深型
	4.9	0.0079	1.56	有り	深型
	4.9	0.0079	1.56	無し	深型
	5.9	0.0101	1.50	有り	深型
5.9	0.0101	1.50	無し	深型	
2.5/100	2.0	0.0035	2.66	有り	浅型
	1.9	0.0035	2.75	有り	深型
	2.0	0.0035	2.66	無し	浅型
	1.9	0.0035	2.75	無し	深型
	3.9	0.0089	2.44	有り	浅型
	3.9	0.0090	2.53	有り	深型
	3.9	0.0089	2.44	無し	浅型
	3.9	0.0090	2.53	無し	深型
4/100	3.0	0.0078	3.15	有り	浅型
	3.0	0.0079	3.26	有り	深型
	3.0	0.0078	3.15	無し	浅型
	3.0	0.0079	3.26	無し	深型
	4.0	0.0115	3.03	有り	浅型
	4.0	0.0116	3.09	有り	深型
	4.0	0.0115	3.03	無し	浅型
	4.0	0.0116	3.09	無し	深型

(1) 欄干ありの場合

はじめに、水路勾配が 4/100、矩形断面深型で、流木が橋脚および欄干にひっかかって水路が完全に閉塞されている場合を想定して洪水氾濫流の実験を行った。図-9(a)に、水面形と氾濫状況を示す。図から明らかなように、橋梁地点において、本来ならば、氾濫を起こさず流下していく洪水が、橋への流木のひっかかりによって、激しい氾濫を発生させていることが分かる。

(2) 欄干なしの場合

次に、水路勾配が 4/100、矩形断面深型で、欄干が取り払われている場合を想定して洪水氾濫流の実験を行った。図-9(b)に、水面形と氾濫状況を示す。これらより、欄干を取り払うと、越橋する流量が新たに生じて溢水(氾濫)流量が減少し、氾濫水流体力が減少してくるであろうことが予想される。

(3) 氾濫水流体力について

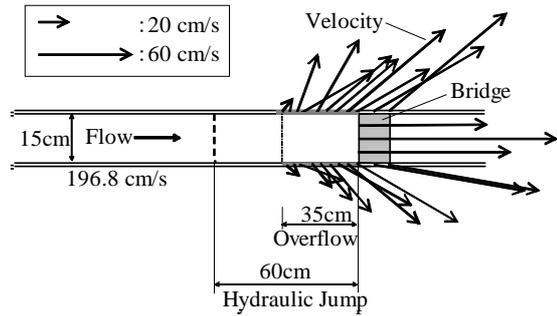
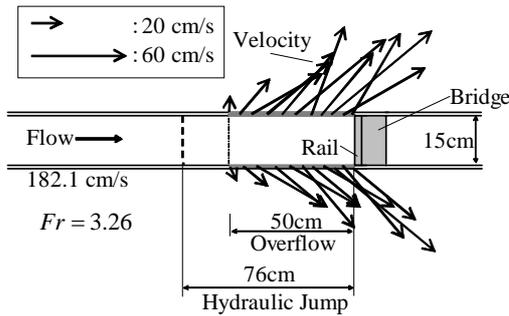
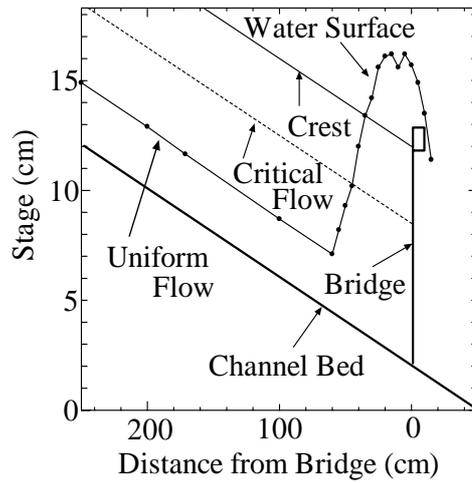
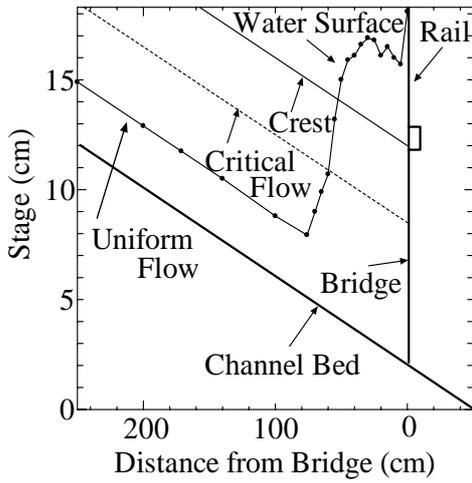
氾濫水流体力 F_1 および越橋する流れの流体力 F_2 を以下のような式で定義する(図-10, 11)。

$$F_1 = \sum F_i = \sum \rho a_i v_i^2 \sin \theta_i \quad (3)$$

$$F_2 = \sum \rho b_i w_i^2 \quad (4)$$

ここに、 ρ : 水の密度、 $a_i \sin \theta_i$: 流水断面積、 v_i : 氾濫水の流速、 b_i : 越橋する流れの流水断面積、 w_i : 越橋する流速である。次に、水路上流での流れの流体力 F_3 を次式で定義する(図-10)。

$$F_3 = \rho AV^2 \quad (5)$$



(a) 欄干がある場合

(b) 欄干がない場合

図-9 実験結果 (水面形, 氾濫状況, 勾配 4/100, 流量 $Q = 7.9 \text{ l/s}$)

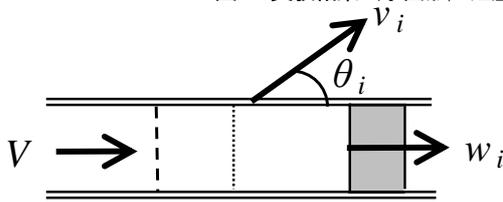


図-10 氾濫水の流速と角度

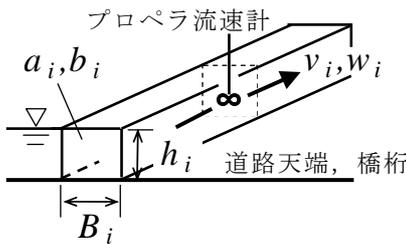


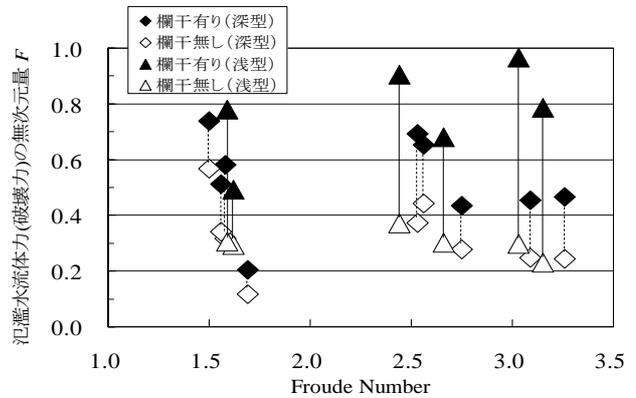
図-11 氾濫流・越橋流の流速測定

ここに, A : 流水断面積, V : 流速である.

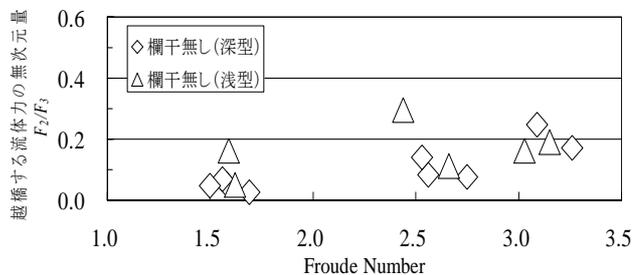
式(3), (5)より, 氾濫水流体力の無次元量 F を次式で表す.

$$F = F_1/F_3 \quad (6)$$

なお, 図-11 に示すように, 流速 v_i , w_i は, 小型プロペラ流速計 (プロペラ直径 3mm) を用いて, 流水断面 $h_i \times B_i$ (たとえば $10\text{mm} \times 50\text{mm}$) の図心位置で測定した.



(a) Froude 数と氾濫水流体力の無次元量



(b) Froude 数と越橋する流体力の無次元量

図-12 Froude 数と流体力の無次元量との関係

上述より, Froude 数と氾濫水流体力の無次元量および Froude 数と氾濫水流体力との関係を図-12, 13 に示す. 図より, 欄干を取り払うことで, 氾濫水流体力がお

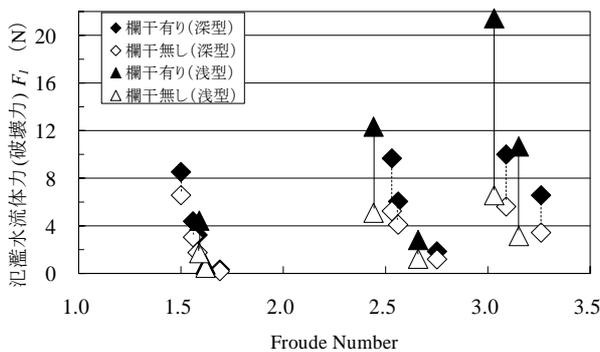


図-13 Froude 数と氾濫水流体力との関係

表-2 氾濫水流体力の減少量

Froude Number	矩形断面深型	矩形断面浅型
1.5	25~45%	50%
2.5	40%	60%
3.0	50%	70%

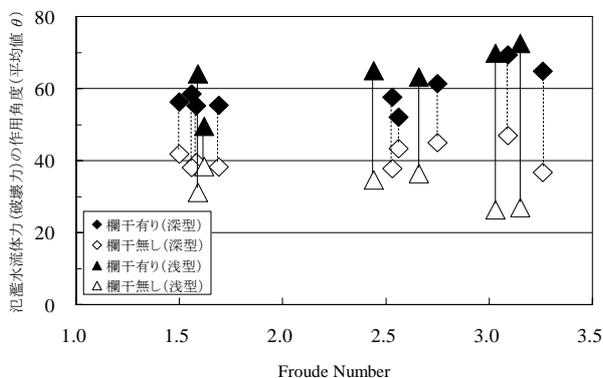


図-14 Froude 数と氾濫水流体力の作用角度との関係

よそ 1/2 に減少していることが分かる。また、欄干を取り払うことによって減少する氾濫水流体力の減少量（概略値）を表-2 に示す。表より、矩形断面深型より矩形断面浅型の方が、洪水（流下）流量に占める越橋流量の割合が大きくなるため、氾濫水流体力の減少が大きくなること、すなわち、高さが幅に比べて小さい矩形断面水路ほど、氾濫水流体力の減少効果が大きくなることが分かる。

(4) 氾濫水流体力の作用角度について

Froude 数と氾濫水流体力の作用角度（平均値 θ ）との関係を図-14 に示す。

ここに、氾濫水流体力の作用角度（平均値 θ ）は、氾濫水流体力 F_i を重みとして、次式により求められる。

$$\theta = \frac{\sum \{ (\rho a_i v_i^2 \sin \theta_i) \theta_i \}}{\sum \rho a_i v_i^2 \sin \theta_i} \quad (7)$$

図-14 より欄干を取り払うことで、氾濫水流体力の水路方向に対する作用角度が、およそ 60° から 35° に減少していることが分かる。よって、欄干を取り払うことで、氾濫水流体力の作用角度を減少させ、水路に直角な



(a) 欄干がある場合



(b) 欄干がない場合

写真-2 洪水氾濫流の実験（勾配 4/100, 流量 $Q=7.9$ l/s）

向きの氾濫水流体力を小さくする効果があることが分かる。

4. おわりに

本研究では、流木による洪水氾濫の発生機構とその軽減対策について、現地調査と流出解析ならびに洪水氾濫流の実験（写真-2）を行って検討した。

その結果、流木に起因する洪水氾濫において、橋梁の欄干を取り払うことにより、①氾濫水流体力はおよそ 1/2 に減少すること、②氾濫水流体力の作用角度もおよそ 1/2 に減少すること、③水路に直角な向きの氾濫水流体力はおよそ 1/3 にまで減少すること、④したがって、氾濫被害を相当程度まで軽減させ得るであろうこと、などが明らかになった。

謝辞：本研究は、国土交通省・建設技術研究開発助成（平成 17・18 年度）を得て遂行された。

参考文献

- 1) 建設省河川局監修・(社)日本河川協会編：建設省河川砂防技術基準（案）調査編，山海堂，pp.152~153，1976。

(2007. 9. 30 受付)