

平成24年7月九州北部豪雨災害にみる洪水時の 河川横断構造物と流木の危険性 —玉来川下流域を対象として—

THE RISK OF STRUCTURES BUILT OVER A RIVER AND DRIFTWOODS
ON FLOODS IN NORTHERN PART OF KYUSHU ISLAND ON JULY 2012

橋本彰博¹・田井明²・小松利光³・池畑義人⁴
Akihiro HASHIMOTO, Akira TAI, Toshimitsu KOMATSU and Yoshisto IKEHATA

¹正会員 博士（工） 九州大学大学院特任助教 工学研究院環境社会部門（〒819-0395 福岡市西区元岡744）

²正会員 博士（工） 九州大学助教 高等研究院（〒819-0395 福岡市西区元岡744）

³フェロー 工博 九州大学大学院特命教授 工学研究院環境社会部門（〒819-0395 福岡市西区元岡744）

⁴正会員 博士（工） 日本文理大学教授 工学部建築学科（〒870-0397大分県大分市一本1727）

Heavy rainfall which we had never experienced occurred in the northern part of Kyushu Island on July 2012. A record-breaking rainfall was observed at several stations. This heavy rainfall caused sediment disaster, river flooding and inundation that claimed many casualties and missing in Ooita, Kumamoto and Fukuoka Prefecture. In Taketa City, Ooita prefecture, two people died and more than 250 houses were inundated due to the flooding of the Tamarai River which flows through the Taketa City. Especially, the water level rose rapidly and reached about 2.5m from a top of a levee in the Haitabaru area, downstream part of the Tamarai River. A field observation and a numerical simulation were carried out in the Tamarai River Basin in order to find out the reason why the water level had risen like that. Results from calculations showed that the increase in the water level due to a decrease of just 10 percent in the cross-sectional area of the river was estimated to be 3m. Because of heavy rainfall, a large amount of driftwoods were produced in the upstream area and accumulated at the river bridge, New Azou Bridge. As a result the cross-sectional area of the river decreased and the rapid increase in the water level occurred.

Key Words : heavy rainfall, a structure built over a river, driftwoods, flooding, Tamarai River

1. はじめに

平成24年7月11日から14日にかけて、九州北部を中心に「これまでに経験したことのないような大雨」が襲い、最大1時間降水量で計7地点、最大24時間降水量で計8地点が観測史上1位の値を更新した¹⁾。熊本県、大分県、福岡県では河川の氾濫や土石流が発生し、死者30名、行方不明者2名のほか、住宅損壊、土砂災害、浸水災害等が発生した²⁾。

大分県竹田市では、7月12日未明より未曾有の豪雨に見舞われて市内を流れる玉来川が氾濫し、床上浸水182棟、床下浸水79棟、死者2名を出す大きな水害となった。玉来川では昭和57年、平成2年の2度の大水害を受けて

ネックとなった竹田市街地の蛇行部をショートカットする河川改修工事が完了していた。それにもかかわらず、竹田市拝田原地区では平成2年と同様に再び大きな浸水被害を受けた。特に、同地区では水位が堤防天端から約2.5mも上昇していたことが現地調査により確認された。このような水位の上昇は異常であり、超過洪水であったというだけでは説明が出来ない。本報告では玉来川流域で起きた水害の被害状況について、これまでに実施された現地調査の結果を報告するとともに、下流部の拝田原地区周辺における水位上昇の原因について、河川の流下能力に影響を及ぼす堰や橋梁などの河川横断構造物に着目して検討を行った。



図-1 玉来川流域図

2. 玉来川流域の概要

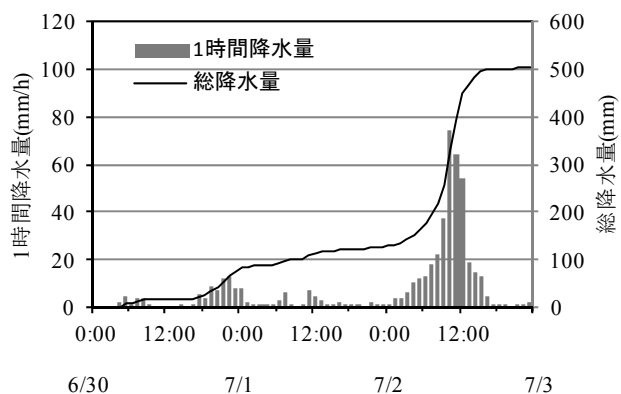
玉来川は一級河川大野川水系の支川の一つで、熊本県阿蘇郡南小国町瀬の本高原を水源として阿蘇外輪山の東側山腹を流れて大分県竹田市に入り、途中吐合川、滝水川、矢倉川などを合わせて鬼ヶ城地先で大野川に合流する流域面積175.5km²、流路延長34kmの一級河川である（図-1）。大野川合流後、約0.5km下流地点には発電用取水堰である九州電力の魚住ダム（竹田調整池堰）が建設されている。

竹田市は近年では、昭和57年7月および平成2年7月と立て続けに2回もの大きな水害に見舞われ、特に平成2年7月の豪雨では戦後最大と言われる出水被害を受けた。この2つの水害を契機に竹田市街地を流れる稲葉川と玉来川の上流に稲葉ダムと玉来ダムを建設する「竹田水害緊急治水ダム建設事業」が採択され、平成2年7月の既往最大流量と同程度の出水に対し、玉来川では河川改修とダム建設を組み合わせる基本高水流量1,650m³/sに対して玉来ダムにより流量300m³/sをカットし、計画流量1,370m³/sとする治水対策を行うこととなった。このうち河川改修事業は平成9年に完了しているが、玉来ダムについては未だ着工にすら到っていない。一方、大野川水系のもう一つの支川である稲葉川では上流に建設された稲葉ダムが平成22年6月に完成し運用を開始している。

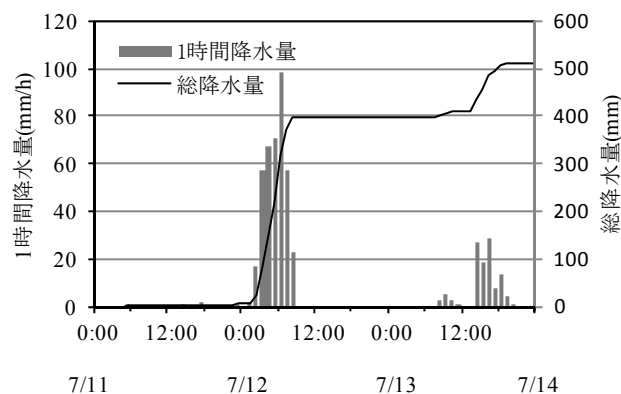
3. 平成24年九州北部豪雨による玉来川流域の被災状況

(1) 降雨状況

大分県では平成24年7月12日未明から県西部を中心に激しい雨となり、13日は昼前から昼過ぎにかけて西部、北部、中部を中心に激しい雨となった。竹田市では竹田観測所（稲葉川流域）において7月12日5:20からの3時間降水量が135.0mmを記録し、観測史上1位を更新（平成2



(a) 平成2年



(b) 平成24年

図-2 時間降水量と総降水量（波野）

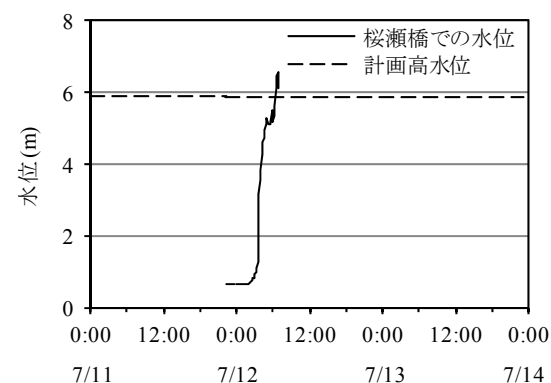


図-3 桜瀬橋観測所における水位

年7月2日に129mmを記録）した。玉来川流域では、波野観測所において7月12日6:00に98mm/h、6:00までの3時間降水量は236mmを観測、降り始めから2日間の総降水量は397mmに達した（図-2(b)）。平成2年7月の豪雨（図-2(a)）と比較すると、2日間降水量は平成2年（417.9mm）を若干下回っていたものの、3時間降水量は236mmと平成2年の192.5mmを上回っており、今回の豪雨は激しい雨が短時間に集中していたことがわかる（表-1）。特に今回の雨は早朝に集中しており、12日2:00ごろから時間降水量50mm以上の雨が5時間継続し、12日8:00までの8時間で392mmを記録した。図-3に桜瀬橋水位観測所における水位を示す（観測所浸水のため7月12日7:00以降のデータは欠測）。50mmを越える降雨

表-1 玉来川流域における平成2年と平成24年の各雨量

各雨量		時間最大雨量		3時間最大雨量		2日雨量	
観測所		日時	雨量 (mm)	日時	雨量 (mm)	日時	雨量 (mm)
田尻	H2	2日9:00～10:00	58	2日9:00～12:00	157	1日～2日	505
	H24	12日1:00～2:00	93	12日1:00～4:00	176	12日～13日	375
波野	H2	2日9:00～10:00	73	2日9:00～12:00	193	1日～2日	416
	H24	12日5:00～6:00	98	12日3:00～6:00	236	12日～13日	397

表-2 豪雨災害による竹田市の被害状況

水害の発生年		平成2年	平成24年
人的被害	死者数	4名	2名
	負傷者数	36名	3名
住宅被害	全壊	39件	11件
	半壊・一部損壊	82件	257件
	床上浸水	265件	182件
	床下浸水	162件	79件
被害総額		258億円	57億円

*被害状況について、平成2年のデータは田代ら³⁾の調査、平成24年のデータは大分合同新聞8月1日の記事を参考にした。

後、水位は急激に上昇し3:40までの10分間で約2mの水位上昇が確認され、6:30頃には計画高水水位を上回った。

(2) 被災概要

今回の豪雨による大分県竹田市の人的被害および住宅の被害状況をまとめて表-2に示す。玉来川が市街地を流れる竹田市では氾濫により死者2名、住宅の全壊11棟、半壊・一部損壊257棟の被害がもたらされた。次に玉来川流域における被災状況を図-4に示す（大分県提供）。玉来川流域では護岸の崩壊、橋梁の流出（稲荷橋）、蛇行部および支川である矢倉川、滝水川の合流部において越水による氾濫が発生した。また、支川である滝水川流域において多数の斜面崩壊が起こり多量の流木が発生した。この流木は下流域で橋梁に集積し被害を拡大した。

(3) 拝田原地区の被害状況

玉来川の河川改修事業として蛇行部分をショートカットする工事が完了した竹田市街地においても平成2年と同様に大きな浸水被害が起こった（図-4）。特に旧河道部付近の拝田原地区、阿蔵地区においては急激な水位の上昇が発生し、水位は堤防高より約2.5mも上昇して越水した（写真-1）。現地において調査した地盤高および痕跡水位を図-5に示す。堤防を越水した氾濫水による浸水深は最大で約3mにも達しており、旧河道、県道（高森竹田線）およびJR豊肥線の軌道に流れ込み、周辺の家屋を襲った。今回の水害による死者（表-2）のうち1名は



図-4 玉来川流域における浸水状況（色付き部分は浸水域を示す）

図-4の③付近において避難中に流されて亡くなっている。水位の上昇は急であり、あっという間に2m以上まで上昇した（被災者談より）。

4. 旧河道部付近における水位上昇の原因

(1) 水位上昇を引き起こした要因

魚住ダム流域における流出解析結果、大野川本川の痕跡水位を基に次元不等流計算を行った結果ならびに魚住ダムからの推定最大放流量から、玉来川から大野川への最大流入量は約2,120m³/sと推定された。これは玉来川の計画高水流量1,350m³/s（常盤橋：0.8km地点）を大きく上回っており、今回の洪水は超過洪水であったと推察される。しかしながら、たとえ超過洪水であったとしても、堤防天端から2.5mもの水位上昇が起こるとは考えにくい。ここでは、現地調査の結果から①玉来川と大野川の合流地点より0.6km下流に設置されている魚住ダム（竹田調整池堰、写真-2）によるせき上げ、②玉来川下流のショートカット部に架かる橋梁とそこに集積した流木による水位のせき上げ上昇の2点に着目して異常な水位上昇の要因を検討した。



a) 旧河道ショートカット部の堤防地点における水位痕跡



b) 拝田原地区(図8.3③付近)の浸水状況(時計は浸水した時刻の6:55AMで止まっている)

写真-1 拝田原地区の浸水状況

(2) 魚住ダム(竹田調整池堰)の影響

a) 解析方法

上述した水位上昇の原因について、魚住ダムの影響を一次元不等流解析により検討した。解析にはMIKE11を用いた。計算領域は魚住ダム地点から玉来川約1.0km地点までの1.6kmの区間とした。河川断面データは約100m毎の測量結果(九州電力より提供)を使用した。境界条件は上流端から河川流量 $2,120\text{m}^3/\text{s}$ を流入させ、下流端ではダムの有無による水位上昇の違いを検討するために、魚住ダムがある場合はダム地点の平均痕跡水位(T.P.253.48m)、ダムがないと仮定した計算ではダム直下の滝の地点で限界水深を与えた場合のダム地点水位を与えた。粗度係数は全ての断面で0.030とした。なお、実際には玉来川が大野川に合流して魚住ダムに至るが、本計算では合流地点で大野川の推定流量($880\text{m}^3/\text{s}$)を流入させた。

b) 解析結果

計算結果を痕跡水位と合わせて図-6に示す。大野川との合流点より上流側ではダムの有無による水位の差はほとんど無く、玉来川ショートカット部分における水位上昇はダムがないと仮定した時の水位から約20cm程度であった。ここで、ダムが有る場合のフルード数 Fr の値は、大野川との合流点の下流側でわずかに1.0を越えていた。水理的にはこの断面より上流側には下流の影響が及ばないことを意味するが、MIKE11では射流は常流として取り扱われるため、計算結果には下流の影響が反映してダムの有無により水位に若干の差が生じている。しかしながら今回の計算は空間分解能が荒く、また Fr の値も完全な射流というよりもむしろ限界状態の流れであることを考慮すると、この結果はほぼ妥当と考えられる。ところで、痕跡水位の分布を見ると、ちょうど玉来新橋付近を境に勾配が変化している。これは橋梁が架かる地点の流水断面の影響を示唆するものと考えられる。しかしながら、計算においては、この傾向も水位高も再現出来ていない。以上の結果から、ダムによるショートカット部

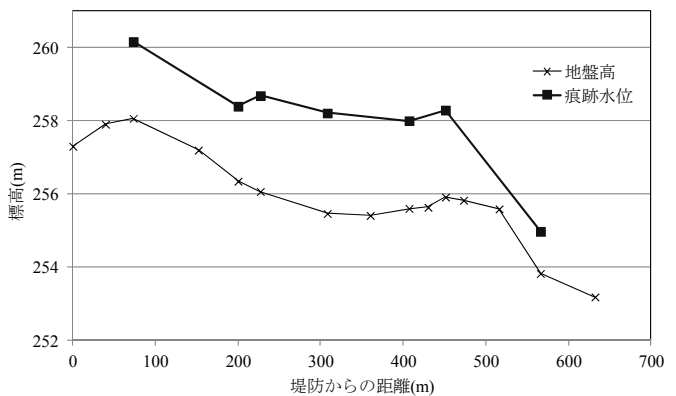
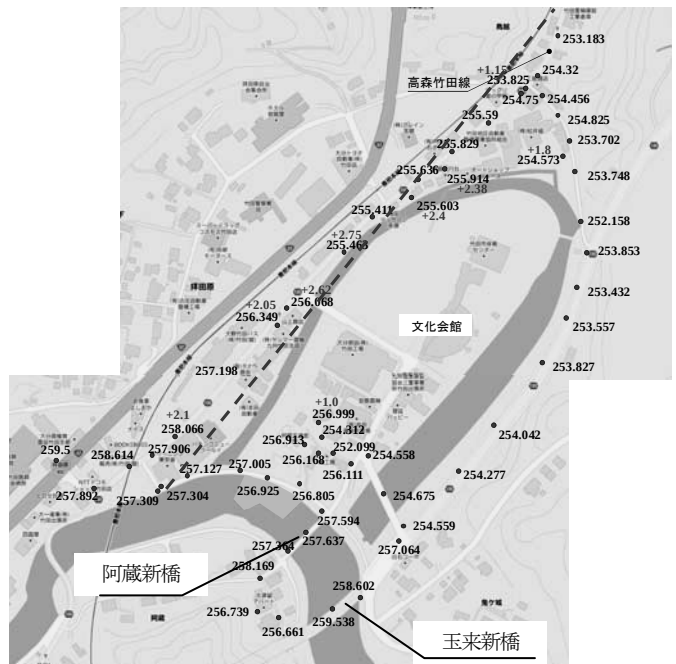


図-5 拝田原地区における地盤高および痕跡水位の調査結果(上、図中の数字は標高を意味する)および高森竹田線(上図点線)における痕跡水位(下)

の水位上昇は0~20cm程度であり、魚住ダムは玉来川ショートカット部での水位上昇にはほとんど影響してい

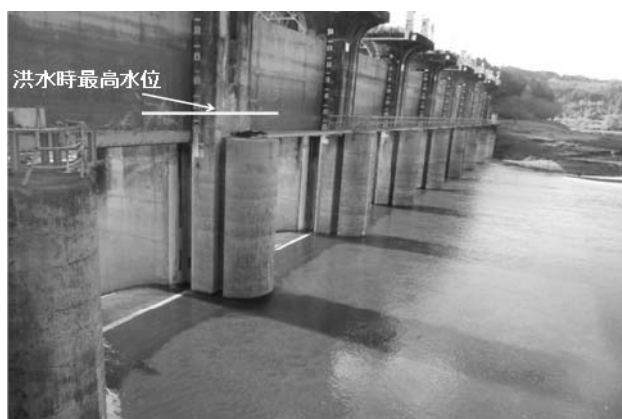


写真-2 魚住ダム



写真-3 阿蔵新橋に集積した流木



写真-4 玉来新橋の橋脚に集積した流木

ないと考えられる。

(3) 橋梁部の河積減少によるせき上げ水位の推定

次に、橋梁部における流木の集積による河積の減少がせき上げ水位に及ぼす影響について検討した。ここでは特に、多量の流木が集積していた阿蔵新橋に着目した。図-7に示すように阿蔵新橋が架かる地点の断面とそれより上流側の断面においてベルヌーイの式を立て、断面開口度を r として流木により減少した流水断面 rA_1 に河川流量 Q を流すために、断面2において生じる水位上昇を Δh （＝せき上げによる水位差）とすると、 Δh は以下の式

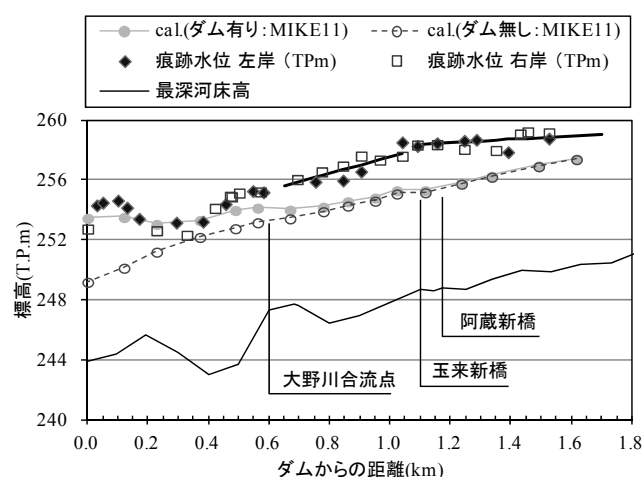


図-6 一次元不等流計算結果（水面形）

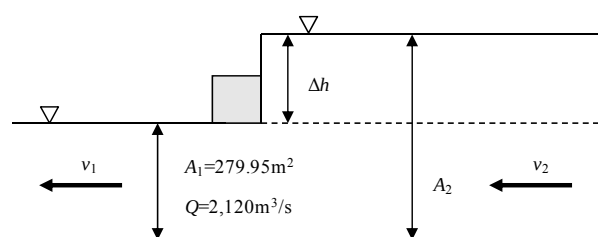


図-7 解析断面の概略図

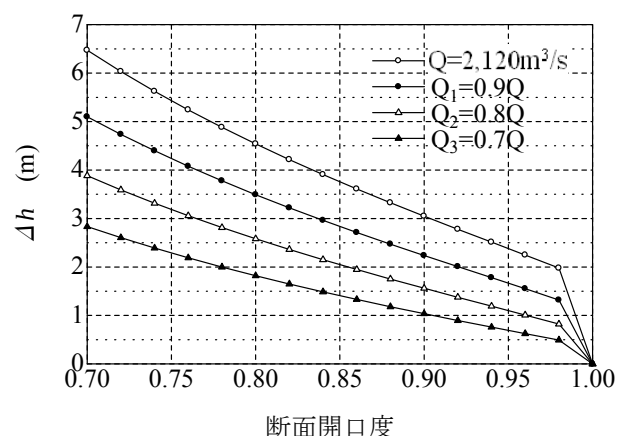


図-8 断面開口度と水位上昇量 Δh の関係

(1)により求められる。

$$\Delta h = \frac{1}{2g} \left\{ \left(\frac{Q}{rA_1} \right)^2 - \left(\frac{Q}{A_1 + a + B\Delta h} \right)^2 \right\} \quad (1)$$

ここで、 A_1 ：阿蔵新橋が架かる断面の河道断面積、 a ：橋脚の断面積、 B ：水面幅、 g ：重力加速度である。同様の検討が坂野⁴⁾によってもなされている。式(1)において Q に玉来川の推定最大流量 $2,120\text{m}^3/\text{s}$ 、 A_1 に現地調査により測定された河道断面積 279.95m^2 を代入し、収束計算により断面開口度 r に対する水位上昇 Δh を求めた。計算結果を図-8に示す。流水断面積が一割減少するだけで約

3mの水位上昇が生じることが分かる。豪雨当日、上流域で発生した多量の流木は阿蔵新橋および玉来新橋に集積していたことが分かっている（写真-3, 4）。写真から判断すると、流木の集積により減少した断面は一割以上であったと推察される。痕跡水位の分布（図-6）は同時刻の水面形を示すわけではないため、実際のせき上げ水位量はわからないが、ちょうど玉来新橋付近を境に勾配が変化している。以上より、下流部の拝田原地区周辺において発生した2.5m以上の水位上昇は、阿蔵新橋および玉来新橋に集積した流木による流水断面積の減少が引き起こしたせき上げに起因したものであったと考えられる。

5. 超過洪水下における河川横断構造物と流木の危険性

今回の豪雨により玉来川下流部において発生した洪水氾濫の拡大要因は、湾曲部に架けられた橋梁とそこに集積した流木により流水断面積が減少したことであると考えられる。流木が集積した阿蔵新橋と玉来新橋は①湾曲部に架かっており（図-5）、水衝部に橋台がせり出していた、また②スパン長が短いのに橋脚を有していたことから、流木が集積しやすく、そのため流れが相当阻害されたことが容易に推察される。このことから、洪水への影響に対する配慮が不十分であったといえる。気候異変により災害外力が今後も上昇することが予想される中、治水安全度を高めていくためには、超過洪水まで考慮してある程度お金を掛けてでも橋脚を設置しない、流木の集積にも配慮した桁下高を設定する、など橋梁の設計指針を再検討する必要があると考えられる。一方、魚住ダムの上流側近傍では、最大痕跡水位がT.P. 253.56mとダムがないと想定した時の水位よりも4～5m上昇していた。今回、魚住ダムは水害の直接要因とはならなかったものの、ゲート下のマウンドが本来の地盤より4.15m高く、その上流側にはマウンドの高さまで土砂が堆積していた。これはダムの存在がダム上流側の水位のせき上げと河床の上昇を引き起こしていることを示しており、今後検討が必要と思われる。

河川横断構造物と流木による水害は過去にも発生している⁹⁾が、今回の豪雨災害だけをみても玉来川に加えて山国川、星野川（矢部川支川）、花月川、矢部川など各所において橋梁（石橋）もしくは橋梁への流木の集積が水位を上昇させて越水氾濫を引き起こしており、洪水、とりわけ超過洪水に対する河川横断構造物の危険性が増している。超過洪水に対する橋梁・取水ダム・頭首工などの河川横断構造物のチェック・改善・撤去などの対策が急務である。また、気候変動下にある今日、超過洪水となるような豪雨の下ではどこであっても斜面崩壊が発生し

て土砂だけではなく多量の流木も生み出される。土砂だけでなく流木の影響も併せて考慮した河川計画・管理が今後不可欠である。

6. おわりに

玉来川下流部において発生した洪水氾濫の原因と特徴として、「これまでに経験のないような大雨」が短期間に降ったこと、それにより多数発生した斜面崩壊が大量の流木を生み出したこと、その流木が橋梁に集積して流水断面積を減少させたことが挙げられる。近年、地球温暖化によると思われる災害外力の増大下では、現存する取水ダム、橋梁、頭首工などの河川横断構造物が、洪水に対して水位を上昇させるだけでなく流木の集積と相俟って、極めて危険な状況を引き起こすことが、近年の洪水災害から明らかになってきた。超過洪水に対する河川横断構造物のチェック・改善・撤去などの対策が急務であると共に新設の橋梁や堰等については計画高水を通せるというだけでは不十分で、超過洪水に対してもこれらの横断構造物がネックとならないような配慮が必要である。また、気候変動下にある今日、超過洪水となるような豪雨の下では、どこであっても斜面崩壊が発生して土砂だけではなく多量の流木も生み出される。土砂だけでなく流木の影響も併せて考慮した河川計画・管理が不可欠である。

謝辞：大分県庁土木建築部河川課ならびに九州電力株式会社には貴重なデータを提供して頂いた。九州大学大学院工学府環境流体力学研究室の学生諸君には現地調査を手伝って頂いた。最後に本研究は、平成24年度環境研究総合推進費「S-8-2(2) 亜熱帯化先進地九州における水・土砂災害適応策の研究」ならびに（財）河川環境管理財団、（社）九州地方計画協会の支援により実施された。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁：平成24年九州北部豪雨，http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/new/jyun_sokuji20120711-0714.pdf
- 2) 土木学会平成24年九州北部豪雨災害調査団：平成24年九州北部豪雨災害調査団報告書，104p.，2013.
- 3) 田代敬大，平野宗夫（編）：1990年7月九州北部豪雨による災害の調査研究 研究成果報告書，pp212-234，1991.
- 4) 坂野章：橋梁への流木集積と水位せき上げに関する水理的考察，国土技術政策総合研究所資料，第78号，2003.
- 5) 藤森祥文，越智有生，速山祥子，白石央，渡辺政広：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，水工学論文集，第52巻，pp.679-684，2008.

（2013. 4. 4受付）