

第 8 章 大野川水系玉来川の洪水災害

8.1 はじめに

平成 24 年 7 月 12 日未明より未曾有雨の豪雨に見舞われた大分県竹田市では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に見舞われた。玉来川では昭和 57 年、平成 2 年の大水害を受けてネックとなった竹田市内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および被災住民へのアンケート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。

8.2 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 8.1）。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



図 8.1 玉来川流域図

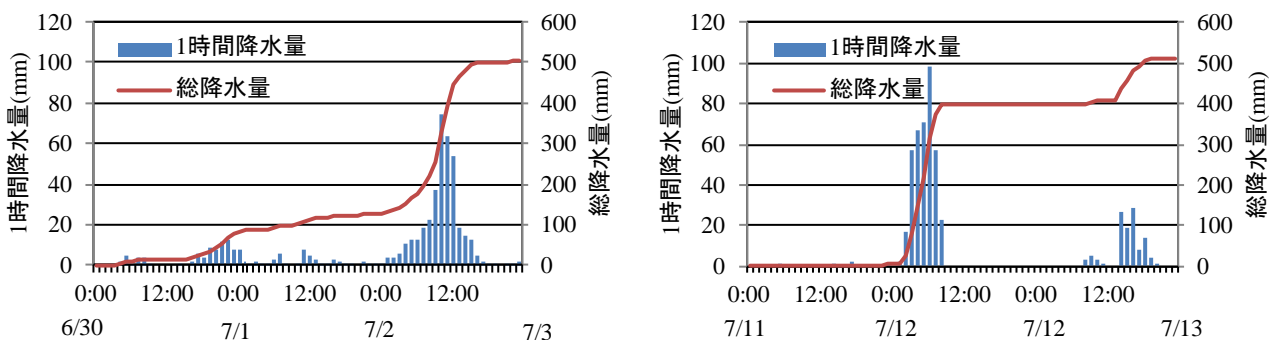


図 8.2 波野観測所における時間雨量と積算雨量（左：平成 2 年，右：平成 24 年）

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。

8.3 平成24年九州北部豪雨による玉来川流域の被災状況

8.3.1 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8.2）。平成2年7月の豪雨（図8.2左）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8.1）。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。

8.3.2 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8.2に示す。玉来川が市内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8.3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

表 8.1 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 8.2 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(1991)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。

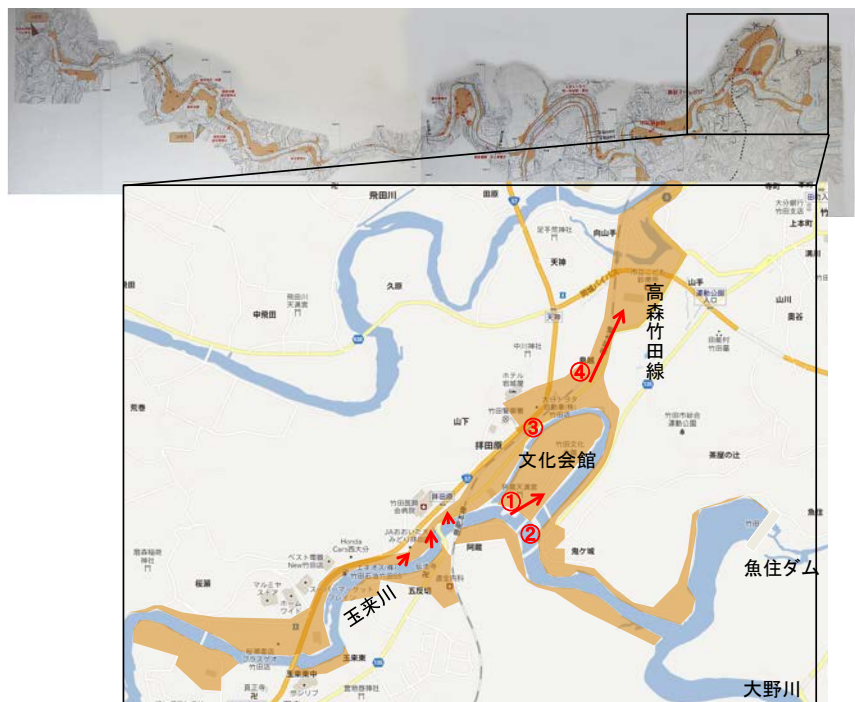


図 8.3 玉来川流域における浸水状況（色付き部分は浸水域を示す）



a) 旧河道ショートカット部の堤防における水位痕跡



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 8.1 拝田原地区の浸水状況

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.

8.3.3 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 8.3). 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 8.1). 現地において調査した地盤高および痕跡水位を図 8.4 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 8.2)のうち 1 名は図 8.3 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(被災者より).

8.4 旧河道部付近における水位上昇の原因について

8.4.1 水位上昇を引き起こした要因

魚住ダムの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 $2,120\text{m}^3/\text{s}$ と推定された. これは玉来川の基本高水流量 $1,650\text{m}^3/\text{s}$ (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

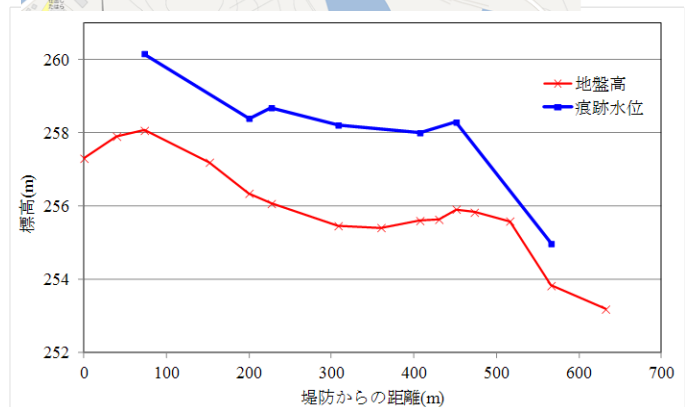
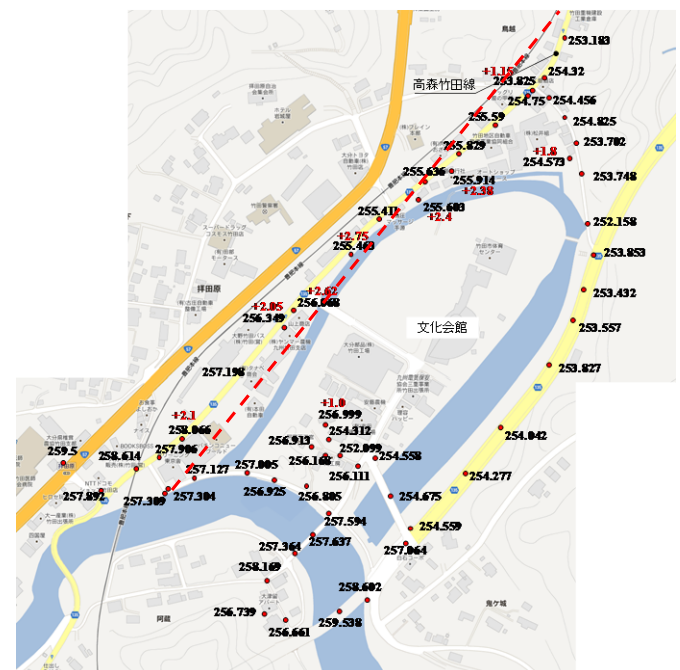


図 8.4 地盤高および痕跡水位の調査結果(上, 図中の数字は標高を意味する)および高森竹田線(上図赤点線)における痕跡水位(下)



a) 豪雨当日の様子



b) 上流側の痕跡水位

写真 8.2 魚住ダム



写真 8.3 阿蔵新橋に集積した流木



写真 8.4 玉来新橋の橋脚に集積した流木

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以下の 2 点に着目して異常な水位上昇の要因を検討する。

a) 魚住ダム（竹田調整池堰）の影響

魚住ダムによるせき上げの影響が上流まで及び水位を上昇させたのではないかと？

魚住ダム(写真 8.2(a))は洪水吐ゲート 8 門を有した発電用取水堰であり、高さ 4.15m の堰の上部に洪水吐ゲートが設置されている。豪雨当日 5:30 頃にはゲートは全て全開の状態であらされていた(九州電力資料(2013))。堰に設置されている水位計が同 6:30 頃に流木等により被災してデータが欠測しているため、その後の正確な水位は不明であるが、堰に残っている水位痕跡から最大放流時には水面がゲート下端よりも上に達しており(写真 8.2(b))、魚住ダムが流れを阻害してせき上げが生じ、その影響が上流まで及んで水位の上昇を引き起こした可能性が考えられる。

b) 橋梁ならびに流木の影響

ショートカット区間下流部に掛かっている阿蔵新橋（市道）および玉来新橋（県道）とそこに集積した流木が流れを阻害して水位を上昇させたのではないか？

いずれの橋梁も河道内に1本の橋脚を有しており、流木が集積しやすくなっている。加えて玉来新橋はちょうど湾曲した河道の水衝部に位置しており、橋台が河道内にせり出していて洪水をさらに流れにくくさせている。また、阿蔵新橋ならびに玉来新橋の橋脚・橋桁には大量の流木が集積しており（写真8.3, 8.4）、橋脚・橋桁に捕捉された流木により相当程度流れが阻害されていたと推察される。この結果、上流へのせき上げが生じて水位を上昇させた可能性が考えられる。

8.4.2 一次元不等流解析による検討

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8.5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を越えている。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。図8.5には参考として計算ソフト「新河道」を使用した結果（九州電力より提供）も載せているが、 Fr が1.0となる断面より上流側ではダムの影響は出てこない。ところで、痕跡水位の分布を見ると、

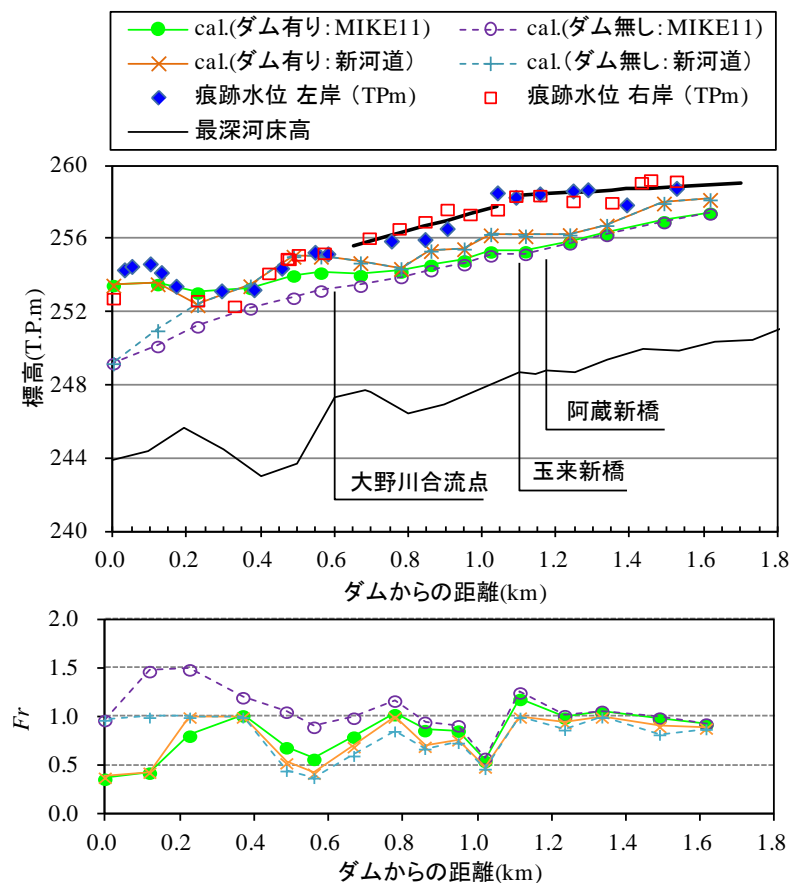


図8.5 一次元不等流計算による水面形（上）と Fr （下）

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ないと考えられる。

8.4.3 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8.6に示すように阿蔵新橋が架かる地点の断面1とそれより上流側の断面2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(8.1)式により求められる。

$$\Delta h = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{rA_1} \right)^2 - \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{(A_1 + a + \Delta h \cdot B)} \right)^2 \quad (8.1)$$

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。(8.1)式において 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、断面開口度 r に対する水位上昇 Δh を収束計算により求めた。その結果、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った(図8.7)。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8.3, 8.4)。図8.8中のハッチ部分が阿蔵新橋における流水面積一割の減少分になるが、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。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以上もの水位上昇は、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。

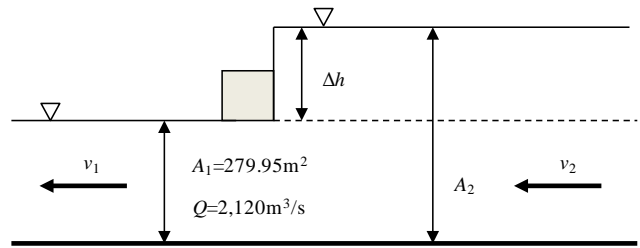


図 8.6 解析断面の概略図

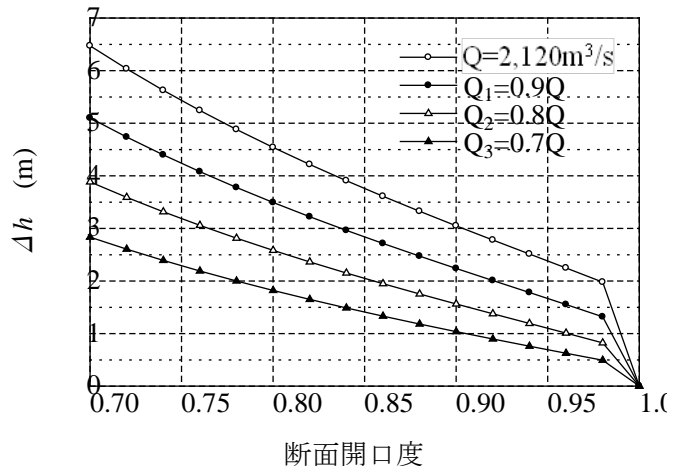


図 8.7 断面開口度と水位上昇量 Δh の関係

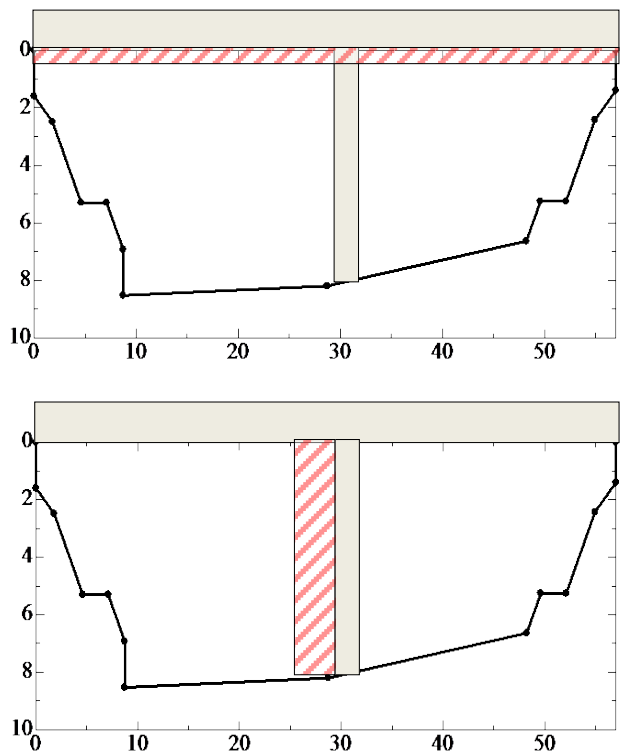


図 8.8 阿蔵新橋の断面が一割減少した時のイメージ (上図：桁下、下図：橋脚)

8.5 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 8.9)、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。



図 8.9 湾曲部に架かる玉来新橋と阿蔵新橋

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が(例えば藤森ら(2008)), 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。

(橋本彰博・田井明・小松利光)

8.6 竹田市玉来地区における被災住民の意識調査

8.6.1 竹田市玉来地区の特徴と水害の歴史

竹田市玉来地区と拝田原地区の東部には, 阿蘇外輪山東側の産山村および阿蘇市波野村を流域とする玉来川が注いでいる。蛇行した玉来川は, 玉来地区と拝田原地区の東部において, 隣接する流域を有する稲葉川とともに谷底平野を形成しているため, 古くから多くの水害が発生してきた。過去 50 年間では, 昭和 57 年 7 月に死者 7 名, 浸水家屋 356 棟の被害を出す水害が発生している。平成 2 年 7 月には, 水害によって表 8.2 に示すように死者 4 名, 浸水家屋 548 棟の被害が生じた。平成 2 年の水害を教訓に玉来川および稲葉川のショートカット工事を実施し, 稲葉川上流部には稲葉ダムが竣工した。このような対策を実施したものの, 平成 24 年には過去と同様の地域で死者 2 名, 浸水家屋 529 棟の被害が生じる水害が発生した。現在, 玉来川の治水能力を向上させるために上流部に流水型ダムである玉来ダムの建設が計画されている。

8.6.2 被災時の状況

7月11日深夜から降り続いた大雨によって、気象庁では7月12日6時41分に『これまで経験したことのないような大雨になっている』と発表した。7時頃には拝田原地区の男性が流された。男性は300～400メートル下流において遺体で見つかった。付近の住民の証言によると、玉来川があふれたのは6時30分から7時20分の間であった。竹田市萩町でも男性が田んぼを見に行き行方不明となった。被災地の住民は浸水を免れた運動公園などに避難した。11時20分に竹田市は中心部の6598世帯1万4599人に避難指示を発令した。竹田市では7月19日まで断続的に退避勧告が発令されることになった。

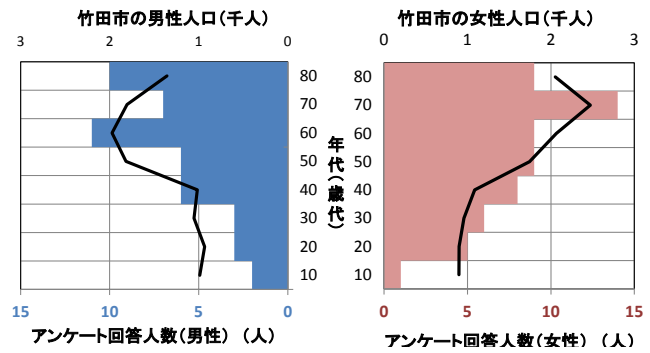


図 8.10 アンケート回答者の男女別年齢の分布 (実線は竹田市全体の人口分布)

8.6.3 アンケート調査

a) 調査の目的 気象庁では重大な災害が差し迫っている場合に一層の警戒を呼びかけるため、平成24年6月21日付記者発表資料『平成24年度出水期における気象情報改善について』において気象情報を短文中で伝えることを発表した。今回の水害では、短文情報として初めて『これまで経験したことのないような大雨』という短文情報が気象庁と福岡管区气象台から発表された。竹田市において繰り返し発生する水害に対して、住民の意識と行政の対応を検証し、今後も発生が予測される水害への対応のための基礎的な資料とするために、被災地区においてアンケート調査を実施した。アンケートの質問項目は田代ら(1991)の過去の調査を参考に24個の質問を設定した。

b) 調査方法 調査は竹田市拝田原自治会、阿蔵自治会、山手自治会において被災した住民を対象とした。アンケート用紙は個別訪問によって配布した後再度戸別訪問して109名分(男性48名、女性61名)を回収した。アンケートの回答者の男女および年齢構成を図8.10に示す。図8.10の実線は竹田市全体

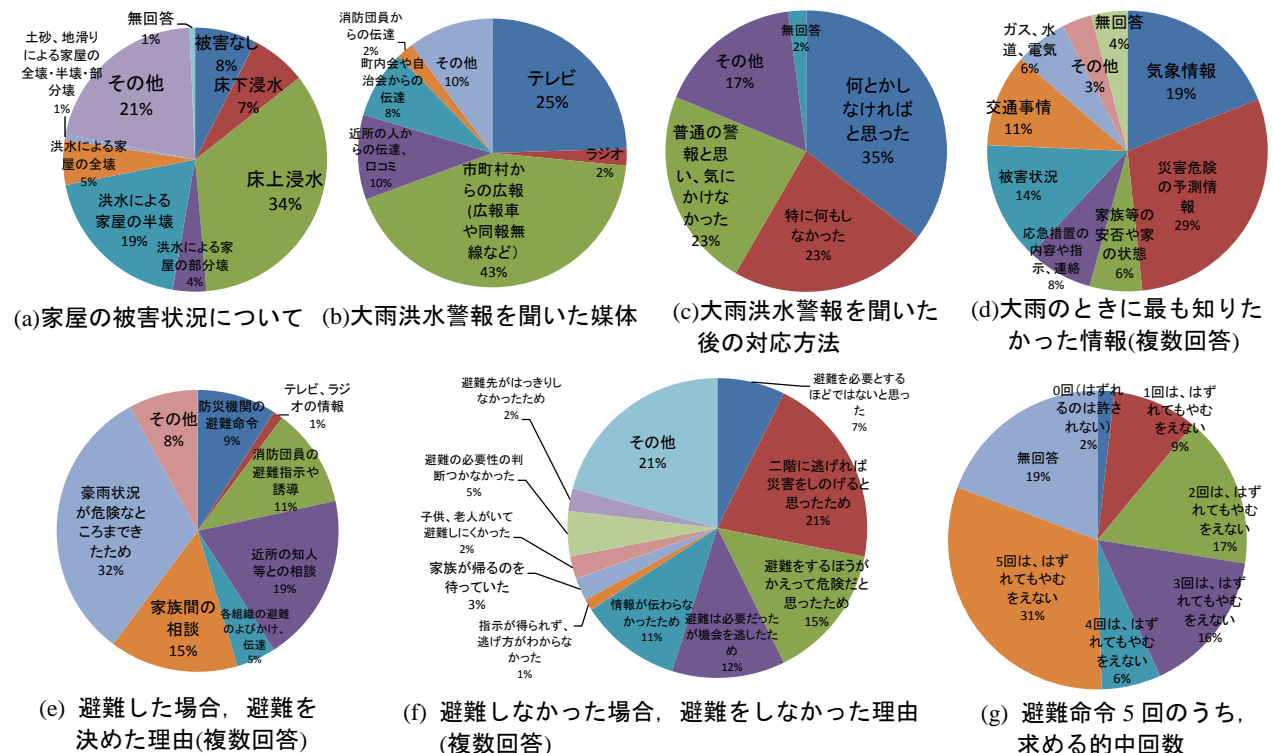


図 8.11 アンケート調査結果

の人口分布である。男性および女性の回答者の年齢分布は、概ね竹田市全体の年齢別人口の構成とほぼ一致している。

c) 調査結果 アンケート調査の主な項目における回答結果を図 8.11 に示す。図 8.11 (a) から調査対象地域の家屋のほとんどが被害を受けていることがわかる。図 8.11 (b), (c) は大雨洪水警報に関する調査の結果である。大雨洪水警報は住民の 42% が聞いている。図 8.11 (b) から多くの住民は竹田市からの広報により大雨洪水警報の発表を聞いている。一方で、外の雨音が大きく広報車からの警報はほとんど聞き取れなかったという意見も聞かれた。図 8.11 (c) には大雨洪水警報を聞いた住民の対応が示されているが、何とかしなければと思った住民は 35% であり、警報にそれほど注意を払っていなかったことがわかる。図 8.11 (d) には大雨のときに住民が知りたかった情報を示している。この図から住民の多くは気象情報と災害危険予測を知りたがっており、今後の動向に注意を払っていたことがわかる。図 8.11 (e), (f) には住民が避難をした理由およびしなかった理由を示している。避難した住民は 53%、避難しなかった住民は 41% で、無回答が 6% であった。図 8.11 (e) から避難を決めた住民の多くは『豪雨状況が危険なところまで来た』という理由で避難をしていることから、自主的な判断で避難を決断しており、その判断の元になっているのは周囲の人々との相談であることもわかる。水位が最大となった時間帯にも携帯電話は通じていたため、遠く離れた家族や知人からの電話で浸水に気づいて避難を始めたという意見もあった。図 8.11 (d) から 2 階建て住宅に住む住民の多くは自宅の 2 階に逃れたことがわかる。図 8.11 (g) では被災住民が許容できる避難命令の回数を示している。31% の住民は『5 回中 5 回は、はずれてもやむをえない』と回答しており、被災後は少しの可能性でも避難命令を出してほしいと希望していることがわかる。

d) アンケート調査の結果 アンケート調査で水害に被災した住民の意識を明らかにした。竹田市の高齢化率は 38.0% で全国の市町村の中でも 3 位(内閣編(2008))となっており、このように高齢者が増加した地方都市に適合した避難方法を検討する必要があるといえる。

(池畑義人)

8.7 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、極めて危険な状態にあることが、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っただけでは不十分で、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。拝田原自治会長の阿南裕康氏、阿蔵自治会長の相馬正士氏、山手自治会長の吉弘央氏には地元との調整、アンケート手法への助言など多大なご協力をいただいた。竹田市役所総務課の古田卓氏には自治会長の皆様との調整をしていただいた。日本文理大学工学部建築学科の菅一希君にはアンケート調査とデータの

集計を手伝っていただいた。九州大学大学院工学府の川井一樹君，富永侑歩君，原川将人君，工学部地球環境工学科の吉田奈津妃さんには現地調査を手伝って頂いた。ここ記して感謝の意を表します。

参考文献：

- 1) 九州電力資料，2013
- 2) 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.
- 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) 内閣府編，平成 20 年版高齢社会白書，p8，2008