

2013年7月山口・島根豪雨による 須佐川における被災状況調査と解析

FIELD SURVEY AND ANALYSIS OF FLOOD DISASTER
IN THE SUSA RIVER ON JULY, 2013

大槻順朗¹・二瓶泰雄²・赤松良久³

Kazuaki OHTSUKI, Yasuo NIHEI and Yoshihisa AKAMATSU

¹正会員 博(工) 東京理科大学助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

²正会員 博(工) 東京理科大学准教授 理工学部土木工学科 (同上)

³正会員 博(工) 山口大学大学院准教授 理工学研究科社会建設工学専攻
(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

The northern part of the Yamaguchi Pref. was attacked by record severe rain storm called Yamaguchi-Shimane heavy rain, in which the maximum 1 hour rainfall was over 130mm and total over 350mm at the Susa weather station on July 28th, 2013. This paper describes the characteristics of the flood disaster in Susa River basin. The highest water depth reached to 2m and was beyond that expected in flood hazard map there. 4 dike breaks occurred by the flood. According to our flood simulation, inland flooding contributes to the flood more than river water flooding.

Key Words : flood disaster, Yamaguchi-Shimane heavy rain, field survey, flood simulation

1. 序論

2013年, 我が国では局所的な集中豪雨や台風の影響により, 各地で洪水, 氾濫, 土石流被害が発生した^{1), 2)}. 2013年7月28日には山口・島根豪雨の発生により山口県萩市から島根県津和野町にかけての県境付近において時間雨量100mmを超える降雨が生じ(山口県須佐観測所, 137.5mm/hour), 死者・行方不明者4名, 床上浸水683戸を伴う氾濫被害が生じた. 特に氾濫被害の大きかった地区としては, 山口県萩市須佐地区(須佐川), 山口県山口市阿東地区(阿武川), 島根県津和野町(津和野川)などが挙げられる^{3), 4)}.

本研究では, 上記被災地のうち山口県萩市須佐地区の被災状況についての調査・検討について報告する. 当該地区は過疎地域であり⁵⁾, 山地部の谷あい形成された狭い平地に比較的高密度に住宅が分布する, という地形特性を持っている. 同じく過疎地の狭隘低平地において発生した2010年奄美豪雨水害等の事例と併せ⁶⁾, 今後, 高頻度化が懸念される異常豪雨に対し, 災害弱者が多く居住する過疎地における今後の対応を検討する際に, 本豪雨災害は重要な検討事例になると考えられる.

そこで本研究では, 現地調査ならびに数値解析結果に

基づいて, 氾濫被害の発生メカニズムの検討を行った. まず, 氾濫をもたらした降雨の状況と被災地の地形, 地域特性について概略を述べる. 次に, 現地調査結果より, 浸水深分布, 護岸の決壊・損傷, 越流状況, ヒアリング調査結果について述べる. さらに, 本水害の特性を考慮した, 降雨流出・一次元河道・二次元氾濫シミュレーションをカップリングした洪水氾濫シミュレーション結果について検討し, 洪水氾濫に関して総合的な考察を行う.

2. 研究サイトおよび水害の概要

(1) 調査地の概要

研究対象地は山口県の北部に位置する萩市の北東部, 島根県との県境付近に位置する須佐地区および本地区を貫流する須佐川である(図-1). 須佐川は流域面積約13.5km², 延長約8.2kmの二級河川である. 流域の大部分は山地である. 須佐地区は幅約500m, 長さ約1500mの平地上に形成されている. 周囲を標高100m程度の山地に囲まれ, 須佐地区を東西に横断するように国道191号線およびJR山陰本線が通っている. 過疎地としては比較的高密度に住宅が分布しており, 国道191号線以北の古くからの漁村集落では特に高密度となっている.

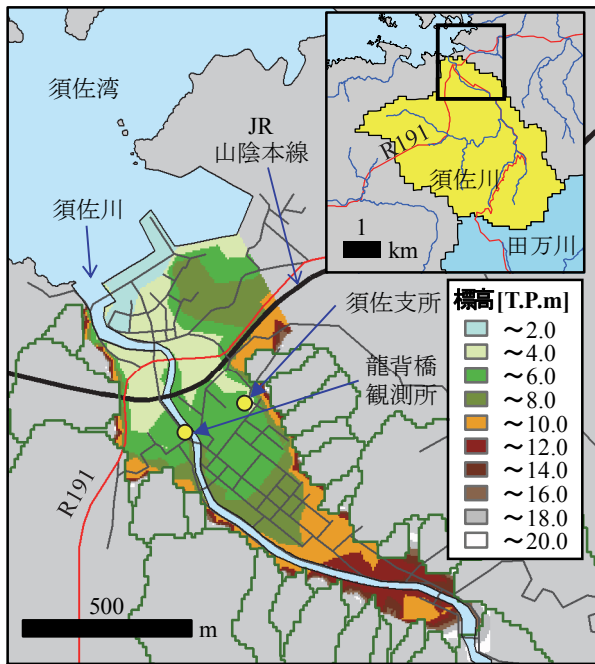


図-1 研究サイト

(2) 気象・水位・避難状況

被災当日の気象状況ならびに警報、避難勧告に関する状況を整理する。図-2は2013年7月28日気象庁須佐観測所における時間・累積雨量と須佐川龍背橋観測所での10分間隔の観測水位を示す。気象庁須佐観測所の観測結果では、降雨は10:00から強まるとともに急激に強度を増し、11:00までの1時間に107mm、12:00までの1時間ではピークとなる137.5mmを観測した。その後、降雨強度は急激に低下し、14:10には降り止んでいる。河川水位については、雨が降りだした10:00直後から急激に上昇し、11:00には氾濫危険水位を突破、12:20にピークとなった。

気象警報および避難情報の発令等については、同日4:48に気象庁より大雨洪水警報が当該地域に発令され、11:00に避難勧告が発令された。

なお、本水害をもたらした降雨の発生要因としては、梅雨前線南縁上空に存在する非常に湿った空気（湿舌）が当地に集中的に侵入することにより連続的に発生した積乱雲群（バックビルディング形成と呼ばれる）により生じたとされる⁷⁾。これは、昭和58年7月23日に発生し当地にも被害を及ぼした山陰豪雨と発生要因が類似する⁸⁾。

3. 現地調査内容

本研究の遂行にあたり、2回の現地調査を実施した。調査範囲は氾濫被害が甚大であった河口から約1.5kmまでの平地部であり、調査は1回目を2013年8月5、6日、2回目を同年8月27～29日に行い、1回目に概況調査、浸水高・地盤高調査、2回目に浸水高調査、堤防被災・越流調査、ヒアリング調査を実施した。

浸水高・地盤高調査では、氾濫域の合計55点において、

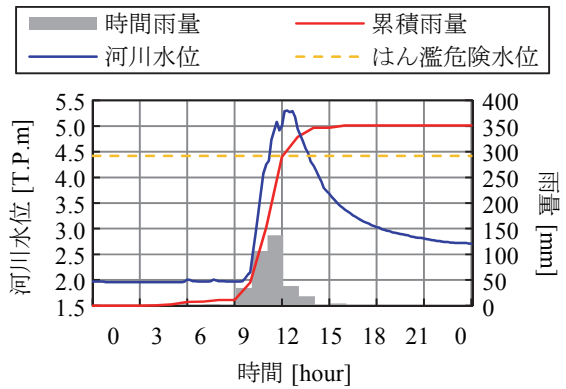


図-2 観測雨量（須佐）及び観測河川水位（龍背橋）の時間変化

家屋や河岸等に残る痕跡水位を計測した。絶対標高の計測にはVRS方式RTK-GPS（Trimble R4及びR6、米Trimble社製、標高推定精度：4cm程度、以下、RTK-GPS）を用いた。堤防被災・越流調査では、河川の両岸においてRTK-GPSを用いて天端高や痕跡水位を計測した。合わせて、護岸の種類を目視で確認し、破堤や堤体損傷がある場合には、破堤幅や溢水部の標高など、氾濫量推算に必要な諸元の計測を行った。ヒアリング調査については、氾濫域の住民11名を戸別訪問し、被災時の氾濫状況、避難状況、復興に関して聞き取りを実施した。

4. 現地調査結果

(1) 浸水状況

図-3は現地観測により計測した実績浸水深を既存のハザードマップ⁸⁾上にプロットしたものを示す。ここでは、浸水の痕跡やヒアリングから想定された流向も合わせて示している。これより、本洪水による浸水被害は流域の低平地のほぼ全域に及んでいることが分かる。特に大規模な破堤が生じたJR山陰本線橋梁の下流左岸側で浸水深が大きく、2mを超えている（図-3中右上写真）。そのほか、龍背橋下流右岸側の須佐支所付近および港橋右岸側の漁村集落で浸水深が1mを超えている。

図-4は実績浸水深とハザードマップ上の想定浸水深とを比較したものを示す。図中の青色ハッチ部分は、ハザードマップにおける想定水深の範囲を示し、区分けは図-3と合わせている。これを見ると、本洪水においては、浸水深が想定されたものよりも全般的に大きい結果となっており、想定浸水深の小さな領域でより顕著である。ハザードマップ作成にあたり検討された条件について詳細は不明であるが、想定を上回る浸水深を上回ったのは、流域全体の降雨強度が極めて大きく、かつ、想定された破堤箇所（図-3中☆印）が実際の破堤箇所と異なっていることも要因の一つであると考えられる。

現地の様子をより詳細に見ると、左岸側の氾濫域においては、洪水痕跡が残るフェンスが山側から川側に向

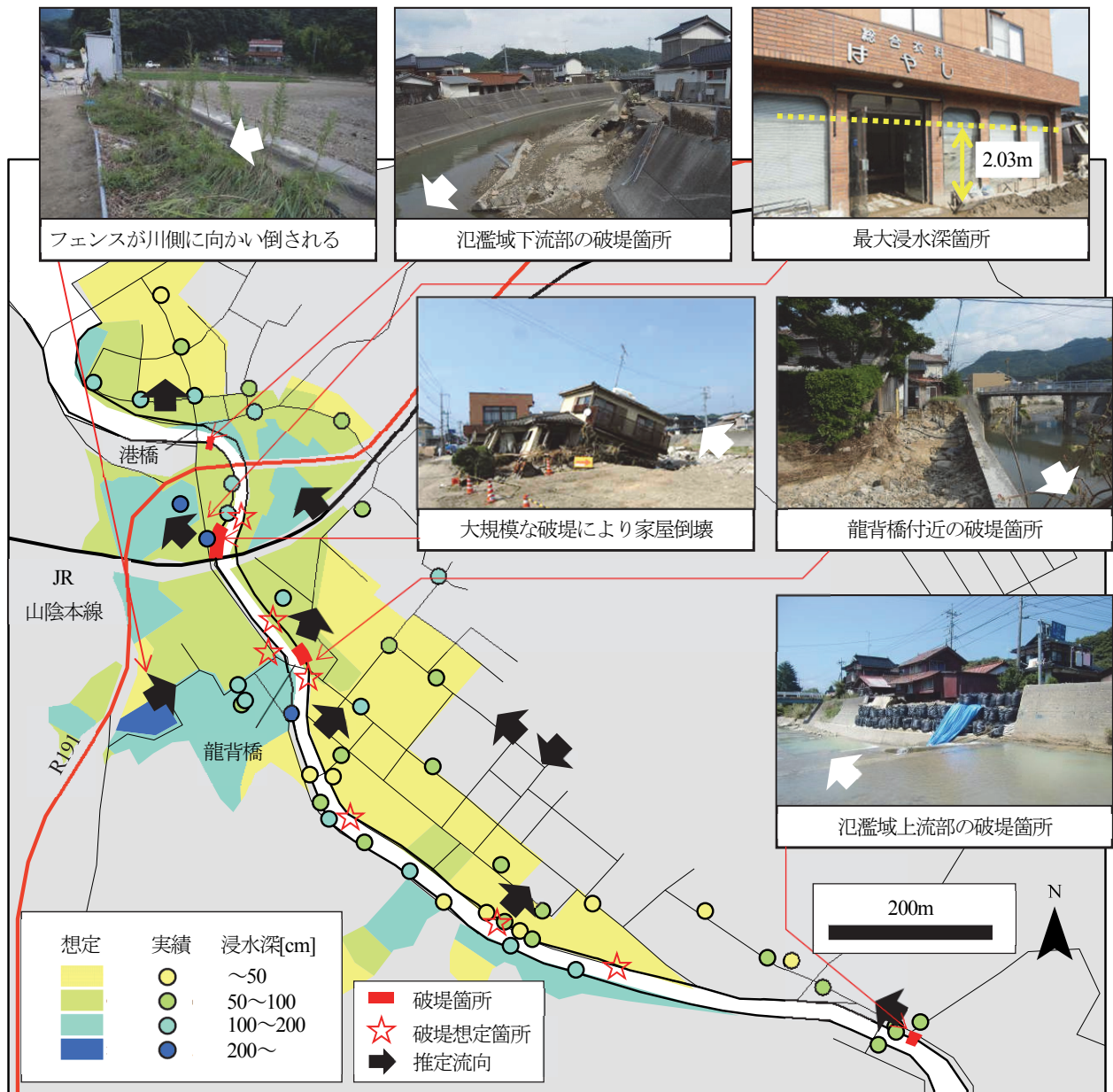


図-3 須佐川の氾濫状況とハザードマップの比較

かって倒されている様子が確認された(図-3, 左上写真)。これは、小流域からの氾濫水によって倒されたと考えられ、破堤や越流による外水氾濫のみならず内水氾濫水による影響も大きかったものと推察される。

(2) 護岸損傷状況

図-5は左右岸の堤防天端高と左右岸の痕跡水位の縦断分布を、護岸破堤位置および護岸の種類とともに示す。ここでは、護岸のタイプをコンクリートで表面が仕上げられた「コンクリート護岸」、いわゆる間知ブロック等のコンクリートブロックが積まれた「ブロック積み」、石を混ぜたコンクリートパネルを表面に貼り付けた「練張り」、さらに「石積み」(空石積み, 練石積みを分けない)の4つのタイプと、護岸の全面に「土砂堆積」している場合、「自然岩」が露出している場合に大別して示している。また、後述する数値計算結果による最高水

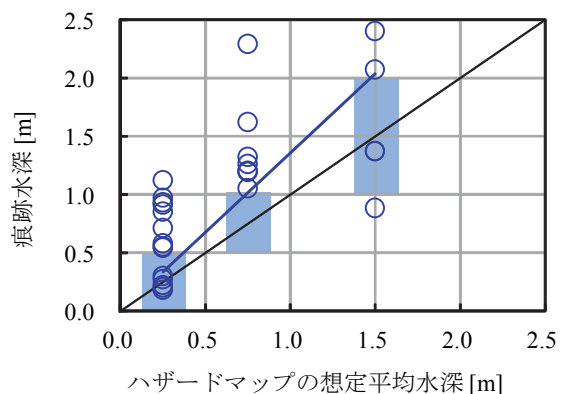


図-4 ハザードマップによる想定浸水深と観測浸水深の比較

位も図示する。これより、本洪水においては、多くの区間で水位が天端高付近まで上昇し、外水氾濫が生じていることが分かる。特に橋の近傍では天端高と痕跡水位の

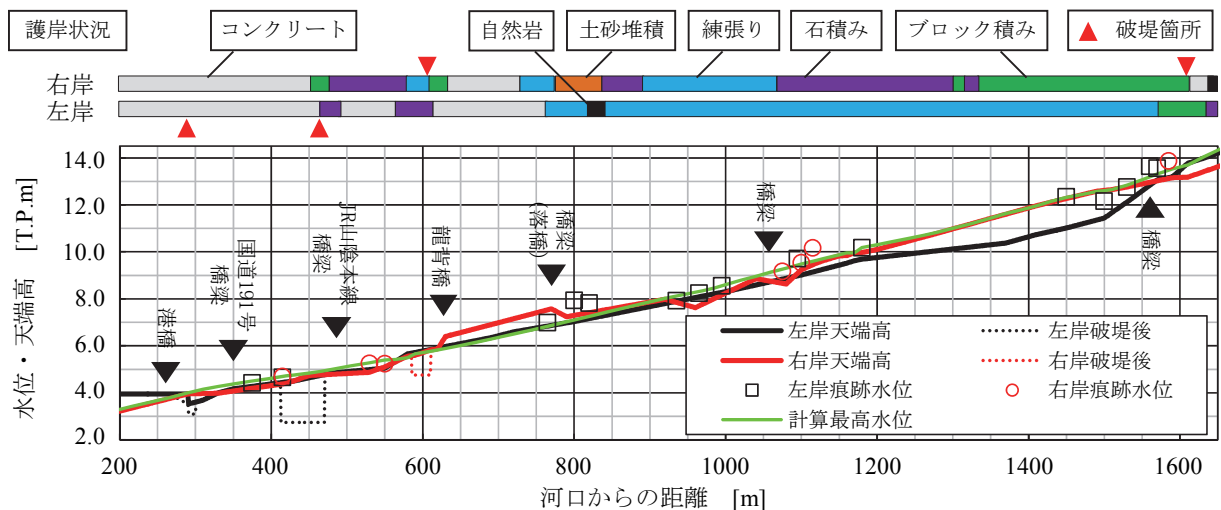


図-5 左右岸天端高と痕跡水位，計算最高水位の縦断分布

差（すなわち越流水深）が1mに達する。橋梁には大量の流木が捕捉されており，うちひとつは落橋していた。これらの状況から，橋梁と捕捉物により水位の上昇が起こっていたと推察される。橋梁の影響のない地点では，天端高と痕跡水位の差は概ね10～70cm程度であった。

本水害では図-3および図-5に示すように，主に4箇所破堤に至っている。これらの図を合わせてみると，今回決壊した箇所は強度が相対的に低いと思われる石積み護岸箇所などでは必ずしもなく，河川の外岸側等の局所的に強い流体力が作用する箇所に見られる。特に破堤の規模が大きかったJR山陰本線橋梁下流付近（図-3，中段左の写真）では，幅約50mにわたってコンクリート護岸を含む堤防が決壊した。決壊地点背後には大量の流木が流入し，背後の浸水深は2mに達した。この地点は，強い流体力が作用する外岸側で，橋脚の背後でもあり，護岸基礎を洗掘する二次流が発生しやすく，破堤を引き起こす要因となりうる条件が重なっている。ヒアリング結果によれば，過去にも破堤が起きた箇所であり，護岸の補強が行われていたようであるが，再び破堤に至る結果となっている。また，破堤地点には直線区間や内岸側で起きたものもあった（図-3，上部中央の写真）。これらの地点では，痕跡水位や後述のシミュレーションの結果，堤内から堤外へ氾濫水が流れた可能性が高く，それによる裏込め土の洗掘が破堤の要因である可能性が示唆される。

(3) ヒアリング調査結果

ヒアリング調査では合計11名の住民から回答を得た。避難について，須佐地区に居住していない1名を除き，全員が指定の避難所に避難することなく自宅にとどまり鉛直避難していたということが分かった。その理由としては，「雨の降り出しから浸水までが早すぎて，すでに避難所に避難できる状態ではなかった」という声が多かった。また，避難や隣人の救助に際しても，「建物の間の流れが大きかったため，助けようにも助けられない

状況になった」ということが発生していたようである。これは，本洪水の極めて強い降雨と比較的大きな地形勾配，さらに住宅が比較的高密度にあるという特徴を強く反映していると考えられる。住民の防災意識としては，毎年防災訓練が行われているとのことであった。同じく甚大な出水被害が生じた隣接する旧田万川町では昨年より始まったとのことであり，日常的な備えは比較的なされている地域であったと推察される。また，多くの住民は避難していない一方で，地域の民生委員の誘導により災害弱者の積極的避難がなされていたことも日頃の防災意識によるものと考えられる。しかしながら，水防活動については，「川への通用口に誰が止水板をはめるのか河川改修を境に曖昧になって開いたままになっていた」など，治水事業後の情報の共有不足が水防活動に影響したこともあったようである。

5. 洪水氾濫シミュレーション

(1) 解析方法および解析条件

氾濫時の状況を時空間的に把握するため，流出解析，一次元洪水流解析ならびに二次元氾濫解析を実施した。解析には，MIKE by DHI（デンマーク水理・環境研究所製）を用いた。本ソフトウェアに含まれるMIKE FLOODモジュールを用いて，流出・一次元洪水流解析を行うMIKE11モジュールと二次元氾濫解析を行うMIKE21モジュールをカップリングして同時解析を行った。計算対象期間は2013年7月28日 0:00～24:00である。

現地調査により，本研究対象地においては，内水氾濫による氾濫の程度が大きいと推察されたことから，小流域から氾濫域への直接流出過程を解くことを重視し，流域全体を流出解析の対象となる流域部，河道解析を行う河道部，氾濫計算を行う氾濫部に分割した。流出解析においては，MIKE11・RRモジュールに含まれるURBANモデルを用い，須佐観測所の10分間雨量に対する流出流

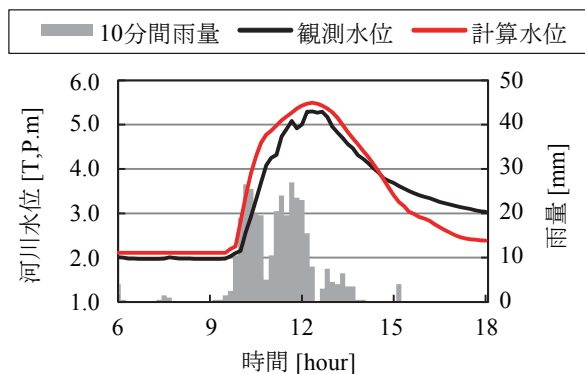


図-6 龍背橋水位観測所における観測水位と計算水位の比較

量の時間変化を得た。本モデルは流域面積，流出時間遅れ等をパラメータとしたモデルである。一次元洪水流解析においては，断面形にはRTK-GPSを用いた現地測量結果を用い，粗度係数については $0.065 \sim 0.042 \text{ [m}^{-1/3}\text{s]}$ を上流から区間毎に分布を持たせて設定し，下流端水位については痕跡水位を参照し，常時 $+1.5 \text{ [T.P.m]}$ を与えた。二次元洪水流解析においては， $5\text{m} \times 10\text{m}$ の長方形計算格子を設定し，実測地盤高および基盤地図情報 10m メッシュ標高を用いて内挿補間し各計算格子に標高値を与えた。堤内地の粗度係数については一律に $0.142 \text{ [m}^{-1/3}\text{s]}$ を与えた。河道部と氾濫部の結合部の設定条件としては，双方のモデルの水位，河道兩岸の天端高，本間の越流公式に従い，流入計算が行われるよう設定した。計算時間間隔は 1s とした。各パラメータについては，観測データがある龍背橋の水位時間変化や，堤防上の越流水深，堤内地の痕跡水位を再現できるように調整した。4箇所の破堤の影響については，破堤時刻を $12:00 \sim 12:30$ と仮定し，河道部と氾濫部の結合部の標高が時間的に変化するようにして考慮した。

(2) 計算精度の検証

図-6は龍背橋水位観測所における観測水位と計算水位の時系列変化を示す。この結果より，増水期とピーク水位付近では計算精度は概ね良好であるものと考えられる。ただし，減水期については，計算値が観測値を大きく下回っている。これは，龍背橋水位観測所下流に位置するJR山陰本線橋梁付近において，家屋等のがれきが河道内に流入し河道を一部せき止めた影響であると推定され，それは，出水前後における平水時の実測水位差（約 0.6m 上昇）にも現れている。図-7は堤防天端上における越流水深に関する実測値と計算値を比較している。これより，両者の関係にはばらつきは見られるものの，両者の差のRMS値は 0.14m である。これより，一部のデータを除いて，概ね良好に越流水深を再現できているものと考えられる。また，堤内地における浸水深の実測値と計算値の相関図を図-8に示す。これより，本計算の推定精度は概ね $\pm 0.5\text{m}$ の範囲に収まっており，計算値と実測値の差のRMS値は 0.38m となった。ただし，左岸側に関しては，

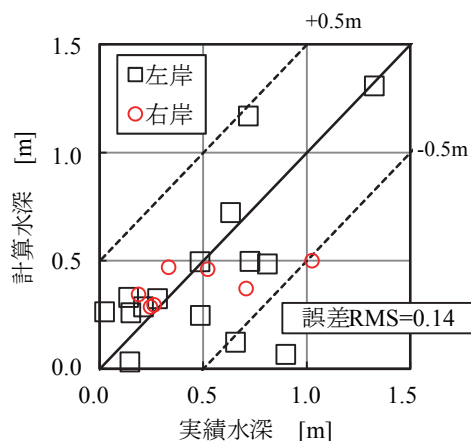


図-7 堤防天端上の越流水深に関する実測値と計算値の比較

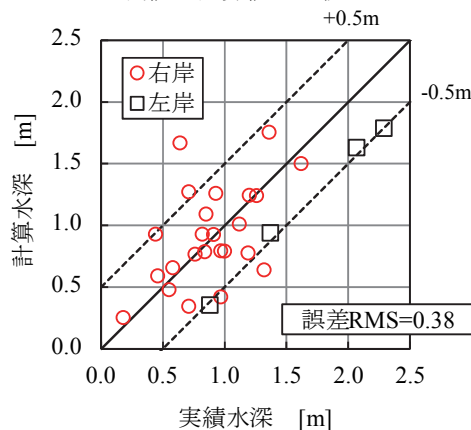


図-8 堤内地の浸水深の実測値と計算値の比較

太字 ボリューム [10^4m^3] () 流域面積 [km^2]

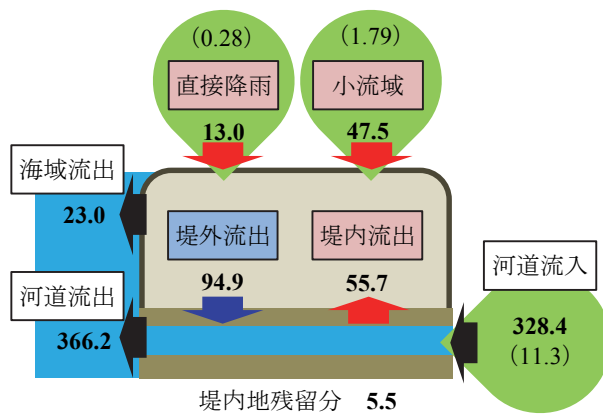


図-9 計算結果による氾濫域の水収支

計算値は過小評価していることが分かる。この左岸側では，上流域の外水氾濫水が国道191号線のトンネルを通じて堤内地に流入しているが⁴⁾，その影響により左岸側のみ浸水深を過少評価した可能性があり，今後より詳細な検討が必要である。

(3) 氾濫水の水収支

解析期間における氾濫域の水収支を図-9に示す。ここでは，氾濫域（堤内地）でやりとりされるボリュームとしては，直接降雨や堤内地に隣接した小流域からの流入

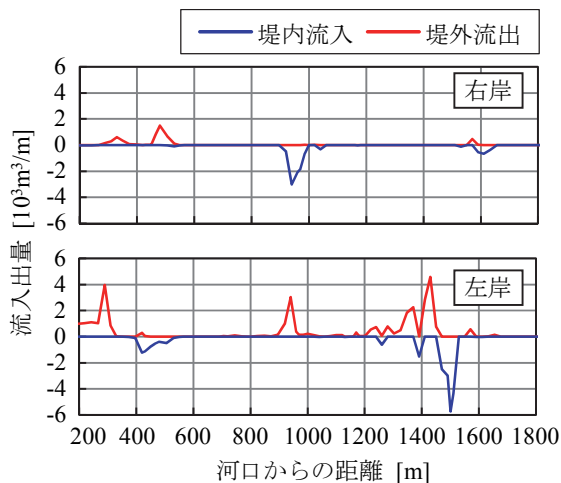


図-10 堤内流入・堤外流出量の縦断分布 (洪水全体の総量)

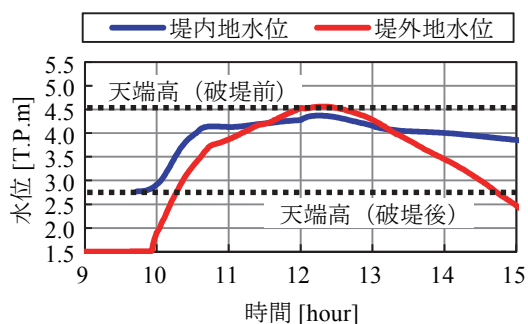


図-11 破堤地点の堤内外における計算水位

(内水)、河道からの堤内流入(外水)、氾濫域から河道に戻る成分(堤外流出)や海域への直接流出などを考慮している。これより、大規模破堤や広範囲にわたる堤防越水に伴う外水氾濫(=55.7×10⁴m³)とともに、内水氾濫量(=60.5×10⁴m³)が大きいことが分かる。それに対応して、堤外流出のボリュームも相対的に大きい。より詳細に見るために、左岸・右岸ごとの単位幅あたりの外水流入・内水流出量の縦断分布を図-10に示す。ここでは、堤内への流入を正、堤外への流出を負として示している。これを見ると、破堤発生地点においても堤内への流入量は堤外への流出量に比べて大きくないことが分かる。特に河口から300m付近においては、堤外への流出量が大きくなっている。このことは、この地点での護岸の決壊に影響を与えた可能性が示唆される。次に、破堤が発生したにも関わらず外水氾濫量が小さくなった要因を検討するため、最も大規模な破堤が発生したJR山陰本線下流の破堤地点の堤内外の水位の時系変化を検討すると(図-11)、破堤に至ると想定される12時から13時ごろにはすでに堤内地の水位は内水氾濫によって高くなっており、堤外地との水位差が小さい。そのため、河道から堤内地への流入量は小さく抑制されたものと考えられる。また、前述するように、実際には堤内地側の浸水深はさらに50cm程度高かったことから、破堤による外水氾濫量はさらに小さく抑制されたか、逆に堤外に流出した可能性が考えられる。

6. 結論

本研究では、2013年7月28日山口・島根豪雨により、氾濫し甚大な浸水被害をもたらした、山口県萩市・須佐川及び須佐地区において氾濫メカニズムの解明を目的とした現地調査、数値解析を実施した。本洪水による浸水深は事前の想定を大きく上回り、最大浸水深は2mに達した。合計4箇所破堤が生じ、最も被害が大きかった地点では破堤幅が50mに達した。現地観測に基づく洪水氾濫シミュレーション結果より、本洪水では破堤が生じたにも関わらず、外水氾濫量は内水氾濫量に比べ相対的には小さい結果となり、本洪水災害においては、極めて強い降雨に起因した内水氾濫が外水氾濫ともに強い影響をもたらしたと考えられる。

謝辞：本研究は科学研究費補助金(基盤研究B、課題番号：25289156、代表者：二瓶泰雄)の補助により行われた。本調査は、水工学委員会・平成25年7月山口・島根豪雨災害調査団の一部として行われた。ここに深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) 土木学会水工学委員会山形水害調査団：平成25年度7月山形豪雨災害調査報告(速報)，<http://committees.jsce.or.jp/report/system/files/201307yamagata.pdf>.
- 2) 土木学会水工学委員会秋田・岩手水害調査団：平成25年8月秋田・岩手豪雨災害調査報告(速報)，<http://committees.jsce.or.jp/report/system/files/20130809akita.pdf>.
- 3) 土木学会水工学委員会山口・島根水害調査団：平成25年度7月28日山口・島根豪雨災害調査報告(速報)，<http://committees.jsce.or.jp/report/system/files/201307yamaguchi-shimane.pdf>.
- 4) 土木学会中国支部：平成25年7月山口・島根豪雨災害調査報告書，土木学会中国支部，2013.
- 5) 萩市，萩市過疎地域自立促進計画(平成22年度～平成27年度)，http://www.city.hagi.lg.jp/uploaded/life/30988_39991_misc.pdf，2010.
- 6) 田井明・橋本彰博・押川英夫・小松利光：2010年10月奄美大島豪雨時の住用川流域の洪水と住民行動に関する調査，河川技術論文集，第17巻，pp.473-478，2011.
- 7) 気象庁：報道発表資料(平成25年8月6日)平成25年7月28日の山口・島根の大豪雨発生要因について～巨大な積乱雲と強い上昇気流～，2013.
- 8) 角屋睦：昭和58年7月山陰豪雨災害，京大防災研究所年報，vol.27A，pp.45-50，1984.
- 9) 萩市，須佐川洪水ハザードマップ(須佐地区)H19.10，http://www.city.hagi.lg.jp/soshiki/detail.html?lif_id=24752，2007.