

# 平成21年台風9号による洪水氾濫特性 —兵庫県佐用町久崎地区を例として—

PRELIMINARY REPORT OF HEAVY RAINFALL DISASTER  
CAUSED BY TYPHOON No.0909  
-A CASE STUDY OF KUZAKI DISTRICT IN SAYO TOWN, HYOGO PREF.-

宇野 宏司<sup>1</sup>・中野 晋<sup>2</sup>・梅岡 秀博<sup>3</sup>・渡辺 一也<sup>4</sup>  
Kohji UNO, Susumu NAKANO, Hidehiro UMEOKA and Kazuya WATANABE

<sup>1</sup>正会員 博 (工) 神戸市立工業高専准教授 都市工学科 (〒651-2194 神戸市西区学園東町8-3)

<sup>2</sup>正会員 博 (工) 徳島大学環境防災研究センター教授 (〒770-8506 徳島市南常三島2-1)

<sup>3</sup>正会員 徳島大学環境防災研究センター技術職員 (〒770-8506 徳島市南常三島2-1)

<sup>4</sup>正会員 博 (工) 香川高等専門学校助教 建設環境工学科 (〒761-8058 高松市勅使町355)

A heavy rain fall attacked the Chikusa and the Sayo river basin, which is located at north western part of Hyogo prefecture, JAPAN, in August 2009. It gave a serious damage to the Sayo town, mountain midstream of this river basin. Especially, at Kuzaki district in Sayo town, which is the junction of the Chikusa River and the Sayo River, the embankment at the left bank of the Sayo River was broken and many houses were flooded. In this paper, first, the outline of this disaster is reported. Second, the results of field observations on the trace of flooding are addressed. Finally, the feature of the river flow at the flood discharge and the process of inundating the protected lowland are examined by numerical simulations.

**Key Words :** Sayo River, Chikusa River, heavy rainfall disaster, flood water depth, typhoon 0909

## 1. はじめに

近年、日本各地で局所的豪雨による洪水災害が相次いでいる。兵庫県においても、例外ではなく、平成16年10月の台風23号による円山川の氾濫(死者25名,床上浸水9829戸)<sup>1)</sup>や、平成20年7月の都賀川水難事故(六甲地方を襲った時間雨量31.5mmという局地的豪雨により、水位が10分間で1.3m上昇,遊歩道等にいた5人が流され死亡)<sup>2)</sup>は記憶に新しいところである。

平成21年には、活発な梅雨前線の影響により中四国地方で大雨となり、7月21日に山口県下で土砂災害が同時多発的に発生、防府市を中心に家屋浸水や斜面崩壊等の被害(死者17名,床上浸水647戸)が出たほか、8月9日には、台風9号の接近にともなう豪雨が、大分県、岡山県、徳島県、兵庫県に大きな被害をもたらした。

地球温暖化等による気候変化の影響で、今後もこうした局所的な豪雨による災害の発生が予想されるが、現地の早期復旧・復興と今後の整備計画の策定のためにも、災害要因の分析と課題の抽出が急がれるところである。

このようなことから、本論文では、平成21年8月9日夜



図-1 佐用川・千種川流域図

から10日未明にかけて、兵庫県北西部の佐用川・千種川流域(流域面積:754km<sup>2</sup>) (図-1)を襲った平成21年台風

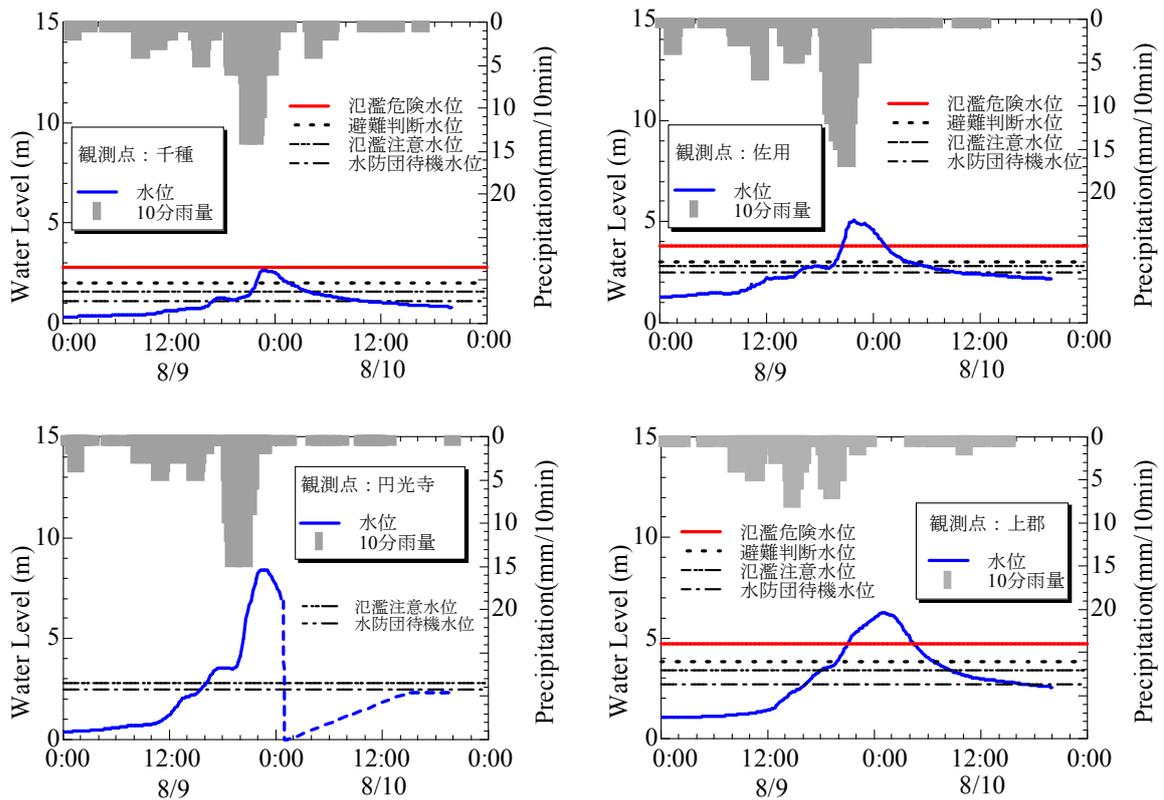


図-2 雨量・水位の時間変化 (円光寺水位の破線は欠測を表す)

表-1 平成21年台風9号の被害状況 (9月25日現在)

	人的被害			
	死者	行方不明者	重傷	軽傷
佐用町	18	2	0	1
兵庫県全域	20	2	3	7
佐用町の被害率(%)	90	100	0	14

	住家被害					
	全壊	大規模半壊	半壊	床上浸水	床下浸水	一部破損
佐用町	134	253	489	162	742	0
兵庫県全域	160	284	652	339	1489	2
佐用町の被害率(%)	84	89	75	48	50	0

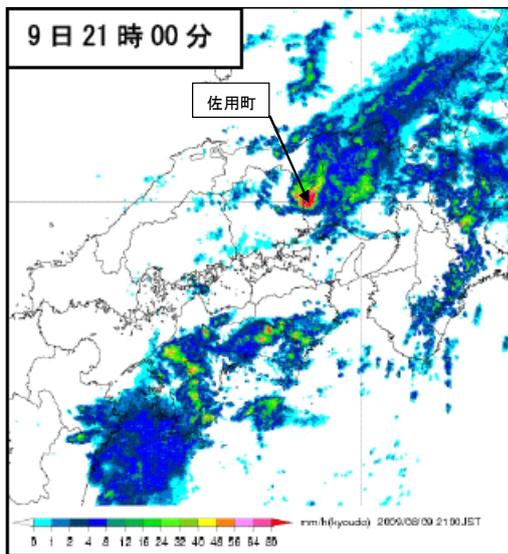


図-3 レーダー雨量図

9号について、とりわけ被害の大きかった佐用町において、著者らがこれまでに実施してきた災害調査の速報を報告する。

## 2. 平成21年台風9号と兵庫県内被害の概要

平成21年台風9号は、8月8日に熱帯低気圧として南方

より北上し、9日21時に台風となり近畿地方に接近、紀伊半島の南へ進んだ。これにより、非常に湿った空気が日本列島上空に運ばれ、四国から東北地方に大雨をもたらした。図-2に、平成21年8月9日から10日にかけての佐用川、千種川流域の主な観測点(県管轄)での水位(各観測点に設けられた水準拠標からの高さ)、雨量(10分雨量)の時間変化を示す。観測点「佐用」では、9日の1日雨量が326.5mmにも達し、観測史上最大の値を記録した。1時間降雨量59.5mm(19～20時)、81.5mm(20～21時)についても既往の観測値を更新した。一方、下流域の観測点「上郡」では上流域ほどの強い降雨は見られなかった。なお、円光寺については、ピークを示した後の10日未明より、機器が破損し欠測となっている。

図-3は佐用町での降雨が最も激しかったと思われる9日21時のレーダー雨量図を示したものである。佐用町



写真-1 久崎地区の堤防損壊点



図-4 RTK-GPS測量地点

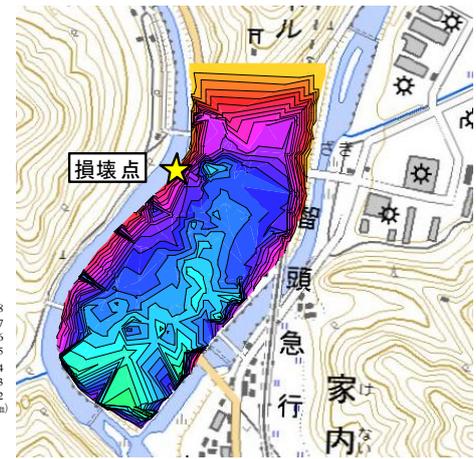


図-5 久崎地区地盤高

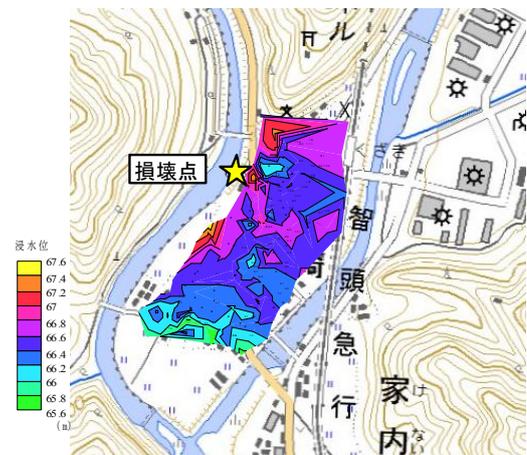


図-6 久崎地区浸水位

付近で集中的な豪雨が生じている様子がわかる。こうした観測史上最大の豪雨が、河川の急激な増水と氾濫の誘因となったものと推察される。

水位については、観測点「佐用」では9日21時前に氾濫危険水位（3.8m）を超え、同日21時50分にピーク水位5.08mを記録した。特徴的なのは、上流域の観測点（千種、佐用）では、降雨と水位上昇とのタイムラグがいずれも1～2時間であったことである。すなわち、今回、上流域の山間部に降り注いだ局所的な雨は、先行降雨の影響を受けて、斜面浸透や河道内に貯留することなく比較的速やかに流出していたものと推察され、下流域での急激な水位上昇を招いたと考えられる。また、岩が露出しているような地質も流出を促進させた可能性が高い。

表-1に、兵庫県内における平成21年台風9号の人的・物的被害状況（平成21年9月25日現在）<sup>3)</sup>を示す。人的・物的ともに佐用町での被害が占める割合が多くなっており、同町での被害が深刻なものであったことがうかがえる。本台風は、このほか河川、道路などの社会資本、農業や畜産業等にも甚大な被害をもたらした。

佐用町におけるこうした被災状況を詳細に把握するため、著者らは被災直後から佐用町平福、佐用、久崎、本郷の各地区（図-1参照）において、継続的にヒアリングや洪水痕跡調査等を実施しているが、紙面の都合上、本

論文では、特に浸水被害の激しかった久崎地区に限定し、これまでの得られた知見について報告する。

### 3. 洪水痕跡調査

久崎地区は、佐用町南部に位置し、佐用川と千種川が合流する地先に形成された集落であり、その地勢上、これまでもたびたび浸水被害に見舞われてきた。特に昭和51年の台風17号、平成16年の21号台風では、深刻な洪水被害を受けている<sup>4)</sup>。今回の災害でも、全壊・半壊家屋を多数出すなど物的被害が甚大であったにもかかわらず、死者がゼロであった。住民の多くは自らの経験に基づく判断によって、自宅の2階へ避難するなどし、難を逃れている。一方、比較的居住年数の浅い住民の多かった本郷地区の町営幕山住宅では、避難所への避難中に多数の遭難者を出すこととなった。両地区の避難行動の検証は、今後の重要な検討課題である。

久崎地区での今回の浸水は、集落の西岸を流れる佐用川の堤防が損壊し（写真-1）、ここを越流した佐用川の水が堤内に浸入してきたことによる。この集落内での浸水被害の状況を把握するため、まず、RTK-GPS測量



写真-2 洪水痕跡高

表-2 計算ケース

計算ケース	佐用川水系		千種川水系
	幕山川	佐用川	千種川
CASE-01	0.5Q	0.5Q	Q
CASE-02	Q	Q	Q
CASE-03	Q	Q	2Q

※Qは図-7に示すハイドログラフ

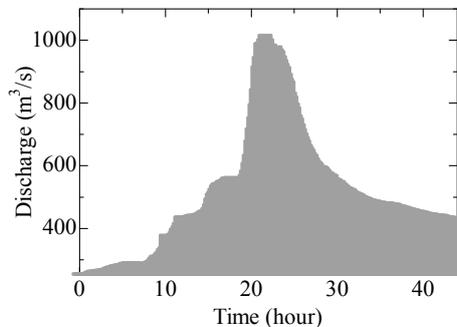


図-7 計算に用いたハイドログラフ

(TOP-CON社製：GR-2100)により集落内に複数のB.M. (図-4参照)を設けた。次に、これらのB.M.を基準に、トータルステーション、電子レベル、コンベックスを用いて、各戸の地盤高と洪水痕跡高について計測した。

図-5に久崎地区の地盤高、図-6に地盤高と洪水痕跡高より算出された浸水位の平面分布図を示す。地盤高についてみると、堤防付近を除いては、南側(佐用川・千種川合流点)に向かうほど地盤が低くなっていることがわかる。一方、浸水高の分布についてみると、堤防損壊点付近を除いて、66.2～66.6mの範囲内にほぼ収まっている。また、写真-2は、堤防損壊点付近の家屋に見られた洪水痕跡である。この家屋の正面での洪水痕跡高は2.1m、裏口の痕跡高は1.6mとなっていた。これらの痕跡高の差から、堤防損壊点を越流した水は、約3m/sの流速をもって集落内に浸入していたものと推定できる。

#### 4. 洪水・氾濫特性に関する数値解析的検討

ここでは、平成21年台風9号相当の流出による佐用川、千種川の洪水・氾濫特性について検討するため、非定常

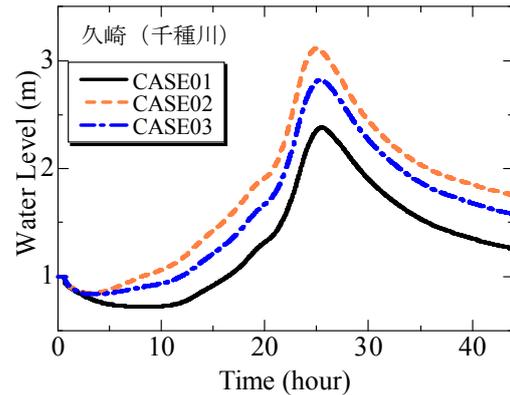
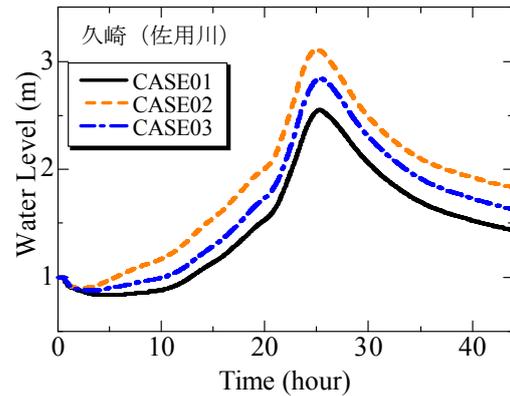


図-8 水位の時間変化

流計算と氾濫解析の両方を実施した。

##### (1) 2次元FEM非定常流計算モデルによる洪水特性の検討

千種川水系には多くの支川が流入しているが、本研究では、千種川(～上郡、流域面積約230km<sup>2</sup>)、佐用川(～久崎合流点、流域面積約130km<sup>2</sup>)、幕山川(～佐用川合流点、流域面積約50km<sup>2</sup>)の3川のみを解析対象とした。現時点で河道の詳細な断面図が無いことと、洪水流の大まかな挙動を捉えることを目的としたため、国土地理院2万5千分の1の地形図より、洪水氾濫域を読み取り、これを氾濫河道とみなして地形データを作成した。また、地形図上で示される水域を「みお筋」として扱い、現地踏査により、橋脚から河床までの距離をレーザー距離計にて測定した結果を用いて、「みお筋」上はその分だけ掘り下げることとした。計算格子は、デローニの3角形要素分割法により作成され、9,368節点、16,842要素の三角形要素とした。

流量については、本来なら流出解析を行って求めるべきところであるが、降雨後比較的速やかに流出していることが確認できたので、ここではピーク流量が河川整備計画目標流量(佐用川：890m<sup>3</sup>/s、千種川：1,000m<sup>3</sup>/s)以上であったと仮定し、図-7に示す基本ハイドログラフを作成し、千種川、佐用川、幕山川の上流端に、表-2のとおり与えることとした。特に佐用川と千種川が合流する久崎地区付近の出水特性を把握するため、また、特に近年多発している局所的な豪雨を想定して、幕山川・佐

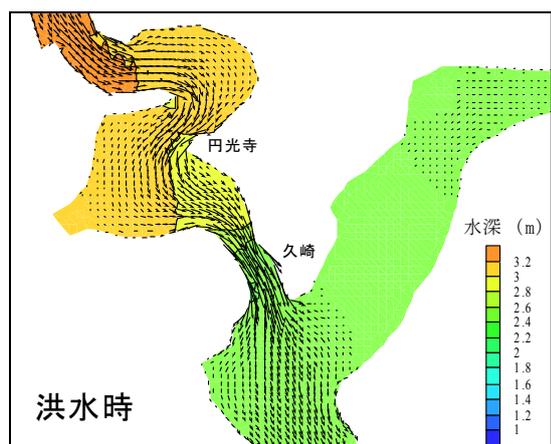
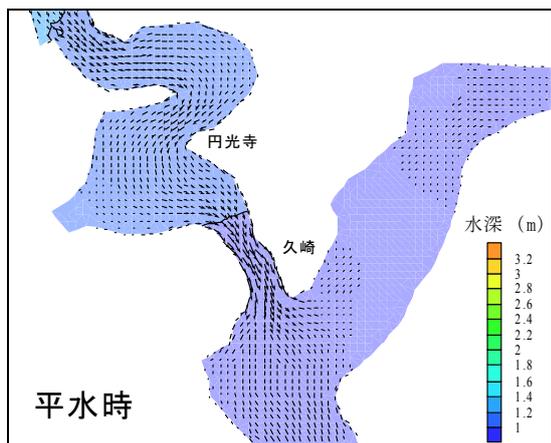


図-9 水深・流速分布 (Case-01)

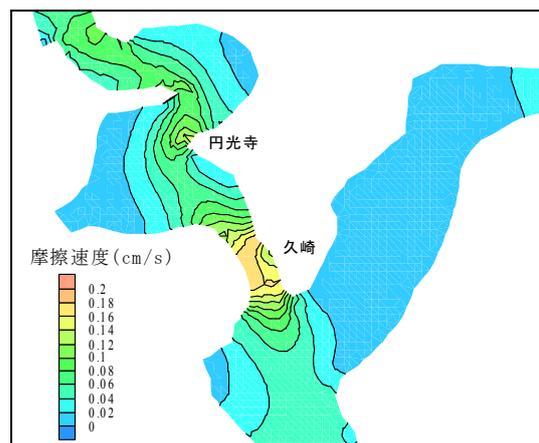


図-10 最大摩擦速度の平面分布 (Case-01)



図-11 防災マップ

用川と千種川との流量比をいくつか想定して計算ケースを設定した。CASE-01は、久崎地区の西岸（佐用川側）と東岸（千種川側）の境界流入量が同程度である場合、CASE-02は、久崎地区の西岸（佐用川側）と東岸（千種川側）の境界流入量比が2：1、CASE-03は、同流入量比が1：2となっている。

図-8に、各計算ケースでの水位の時間変化を示す。総流入量の一番少ないCASE-01の水位上昇量が最も小さくなることは自明だが、総流入量が等しいCASE-02とCASE-03では、CASE-02の方が、佐用川・千種川両河川とも水位が上昇する結果となっていることは興味深い。佐用川、幕山川では流下能力の低い狭路区間が存在することによる水位上昇、千種川では佐用川からの流入増大に伴うせき上げ効果による水位上昇が生じているものと推察される。図-9に、CASE-01での平水時、洪水時の水深・流速分布を示す。平水時、洪水時ともに、上流端での流入量が多い久崎地区西岸（佐用川側）で、流速・水深ともに大きくなっている。洪水時には、久崎西岸からの千種川への流入量が增大するため、千種川本川の流下能も低下していることがわかる。

図-10に、計算期間中の最大摩擦速度の平面分布を示す。千種川と合流する直前の佐用川で高掃流力状態が発生している様子がわかる。この地点付近は、今回の豪雨で堤防が損壊した地点であり、損壊から破堤に至った場

合には被害がさらに拡大した恐れがある。

## (2) 久崎地区を対象とした洪水氾濫計算

平面2次元氾濫シミュレーション<sup>5)</sup>より久崎地区に浸入した氾濫水の挙動を調べた。解析領域は久崎地区を包括する南北860m、東西620mで、それぞれ10mの差分格子に分割した。氾濫域内の粗度係数 $n$ については、既往の文献を参考に、水田・畑： $n=0.025$ 、宅地： $n=0.060$ 、道路： $0.047$ とした。堤防損壊点は、平成21年台風9号災害で実際に堤防が損壊した久崎西岸（佐用川左岸）とした。破堤点から氾濫域に浸入する氾濫流量については、(1)の非定常流計算で得られる水位の時間変化量から与えた（越流継続時間5時間、 $Q_{max}=140m^3/s$ ）。なお、久崎地区内には、図-11に示すとおり、久崎小学校と久崎保育園の2ヶ所が避難所に指定されている。ここでは、これら避難所までの氾濫水の到達時間についても調べた。

図-12に、久崎地区を対象とした氾濫解析の結果を示す。久崎地区西岸から侵入した氾濫水は、国道373号線を伝って南下し地盤高の低い南側から湛水する傾向がうかがえる。時間の経過とともに区域内北部へと伝播していき、両避難所付近も時間の経過とともに浸水していく様子が見える。前節写真-2で示した被災家屋は、久崎保育園の近隣に立地する。氾濫解析の結果では久崎保育園付近の最大浸水深は約2mとなっており、大まかな

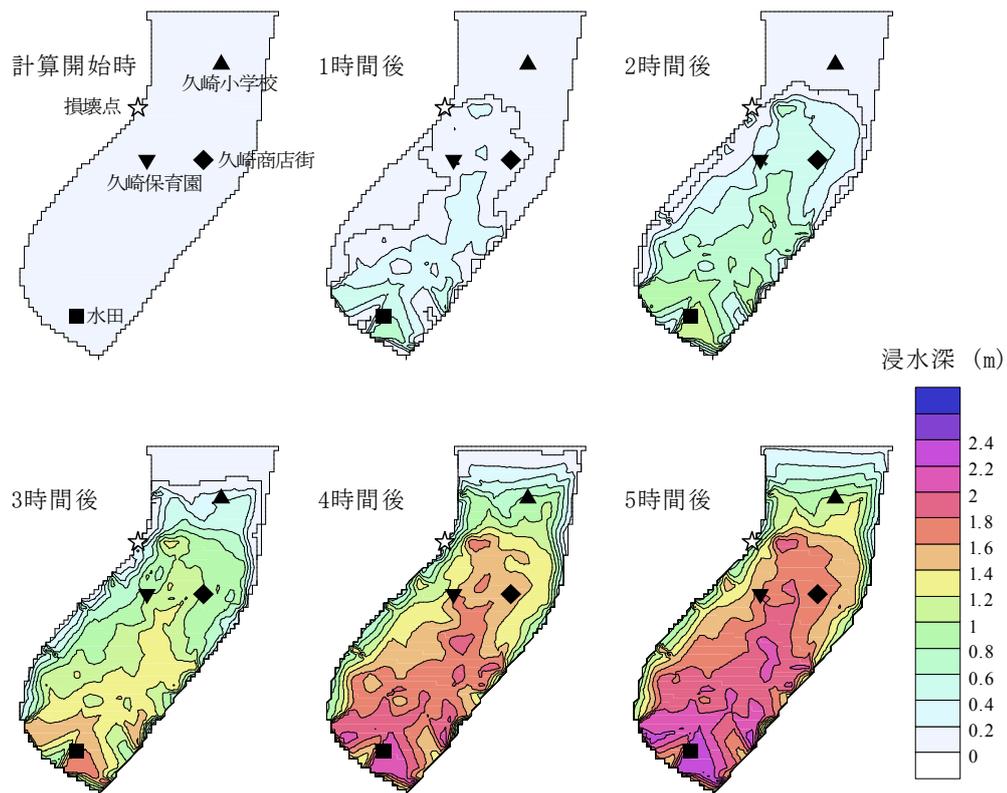


図-12 氾濫解析結果

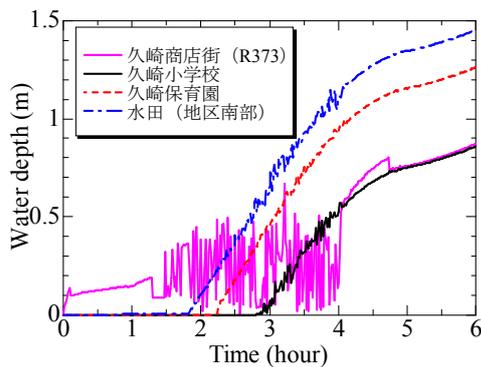


図-13 浸水深の時間変化

解析ながら、現地調査の結果と比較しても、ある程度の妥当性が得られた。

図-13に、区域内各地点の浸水深の時間変化を示す。国道373号に面する久崎商店街では、浸水開始直後から水位の上昇がみられ、浸水路となっていることがわかる。水面変動が不安定になっているのは、低地へ向かう氾濫水と遡上する湛水との混合や、側方路地からの流入等に起因した現象ではないかと考えられる。この地点が完全に冠水する4時間後以降は安定した値をとる。2つの避難所については、低地にある久崎保育園により早く氾濫水が到達する。今回の計算では2時間程度で浸水深が1m以上となり、2階部を持たない避難所の場合には2次遭難に見舞われる可能性がある。これらの避難所は、地震災害をはじめとして「防災」という大きな枠組みのなかで設置されたものであり、洪水時の避難所として適切な立地

条件を満たしているのかどうか、再度検討する必要がある。

## 5. 結語

本研究では、平成21年8月9日未明に兵庫県北西部を襲った2009年台風9号による豪雨災害の特徴と洪水・氾濫特性について、その概要と著者らがこれまでに現地調査及び数値シミュレーションで検討した結果を取りまとめ、特に浸水被害の大きかった佐用町久崎地区における洪水・氾濫特性について検討した。今後は詳細な地形データに基づき、本論文で得られた結論を精査する予定である。

## 参考文献

- 1) 国土交通省近畿地方整備局: 平成16年台風23号による災害について (速報), 66p., 2004.
- 2) 国土交通省河川局: 中小河川における局地的豪雨対策WG報告書, 15p., 2009.
- 3) 兵庫県: 平成21年台風9号災害に対する対応について, [http://web.pref.hyogo.jp/ac02/index\\_ty.html](http://web.pref.hyogo.jp/ac02/index_ty.html), 2009.
- 4) 兵庫県: 千種川水系河川整備計画 (案), 58p., 2005.
- 5) 土木学会編: 水理公式集例題プログラム集平成13年版, 2-3 洪水氾濫流の計算, CD-ROM, 2002.

(2009.9.30受付)