

局所的な浸水深と流速に着目した 都市域の水害危険区域に関する検討

STUDY ON FLOOD HAZARDOUS ZONES IN URBAN AREA FROM THE VIEW OF LOCAL INUNDATION DEPTH AND FLOW VELOCITY

川池健司¹・江藤慎也²・丸山寛起²・野口正人³

Kenji KAWAIKE, Shinya ETOU, Hirotatsu MARUYAMA and Masato NOGUCHI

¹ 正会員 博(工) 長崎大学助手 工学部 (〒852-8521 長崎市文教町1-14)

² 学生会員 長崎大学大学院 生産科学研究科 (〒852-8521 長崎市文教町1-14)

³ フェロー会員 工博 長崎大学教授 工学部 (〒852-8521 長崎市文教町1-14)

In this study, we focused on the dangerous zones from the view of local inundation depth, flow velocity and their increasing ratio. A simulation model of two-dimensional inundation flow analysis is applied to the highly urbanized area around the Nakashima River, Nagasaki City. As the results, the whole computational area can be classified into three categories of dangerousness depending on inundation depth and flow velocity. And from the temporal change of inundation depth and flow velocity at several spots, it is found out that there are locally dangerous zones where flow velocity quickly increase while inundation depth is not so large.

Key Words : *inundation flow analysis, inundation depth, flow velocity, dangerous zone*

1. はじめに

2005年の夏も、短時間集中豪雨が首都圏を襲い、神田川流域を中心として各地に浸水被害をもたらした。このような都市水害は、わが国では毎年のように発生しているが、悲惨な人的被害にまで至るケースはまれである。しかし、都市の構造は複雑であり、宅地の嵩上げや地下室の有無によって被害の規模が大きく左右されるなど、周囲の微小な地形起伏が直接浸水被害に影響する。近年の都市水害では、道路側溝や川の様子を見に行ったら人が誤って流されたり、地下室の中や道路のガード下で車ごと溺死したり、都市の局所的な浸水深、流速の急激な変化による人的被害が相対的に目立ってきている。また、相次ぐ都市水害を受けて、全国的に洪水ハザードマップの整備が急がれている¹⁾が、避難する際に安全な避難経路はどこなのか、あるいは危険な避難経路はどこなのかを明示することへの要求が高まりつつある。このような背景から、浸水時における都市域の浸水深および流速の挙動は場所によって、また時間によってさまざまに変化し、局所的にその場所の水害危険性を検討しておくことが重要であるといえる。

著者らは、これまで平面二次元の氾濫解析モデルの構築に取り組んできており²⁾、さまざまな河川流域を

対象として、浸水解析によって浸水深および流速の時間的な変化を計算できることを示してきた。したがって、対象領域の地形を詳細にモデル化することができれば、同様の手法を用いることによって上述の要求は満たすことができると期待される。平面二次元氾濫解析でいえば、例えば福岡ら³⁾や重枝ら⁴⁾は、個々の家屋を認識できるような解析格子を用いて家屋周辺の流れを詳細に解析しているが、浸水深や流速の空間分布、あるいは家屋に働く流体力に着目した解析を行っており、本研究のようにそれらの時間的な変化を追跡しているわけではない。また、戸田ら^{5),6)}は、流出解析や一次元不定流解析を用いて河川溪流あるいは都市河川内の危険箇所を独自の指標を用いて評価している。

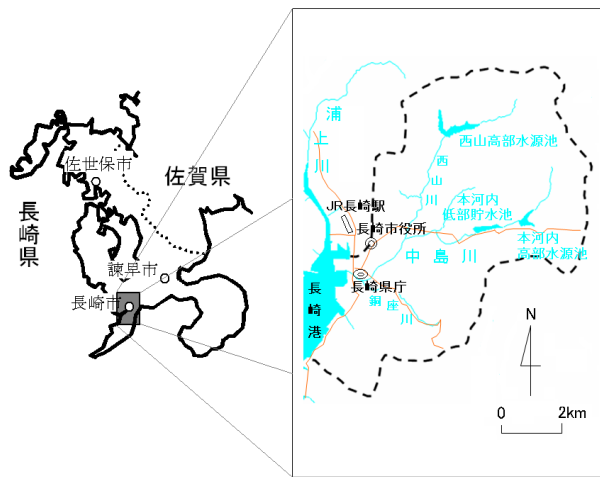
本研究では、著者らの平面二次元氾濫解析の手法を長崎市中島川流域に適用して、都市域の局所的な浸水深および流速の変化に着目した水害危険区域について検討を行う。その際、従来の解析に用いていたものよりも微小な解析格子を採用することによって、局所的な地形起伏を表現することを試みる。

2. 解析の対象領域

(1) 長崎県中島川流域

図-1に、本研究で対象とする長崎市と中島川流域の

位置を示す。本研究で中島川を対象とする理由は、中島川が長崎市の中心部を流れる典型的な都市河川であることと、長崎市は中島川下流域であっても市街地の勾配が比較的急であり、氾濫が発生した際に大きな流速を伴うおそれがあるためである。中島川は、その源



中島川流域

図-1 中島川流域



(a) 上流域



(b) 中流域



(c) 下流域

写真-1 中島川の状態

を長崎市本河内・奥山に発し、出来大工町付近で西山川と、出島町付近で銅座川と合流して長崎市中心部を流れ、長崎湾へと注いでいる。流域面積は17.5km²、流路延長は6.2kmで、県管理の二級河川である。上流域(写真-1(a))は、川幅が狭く勾配が急である。中下流域(写真-1(b), (c))は、長崎市の中心部であり、両岸にまで住宅や商店やオフィスビルが立ち並んでいる。とくに中流域は、眼鏡橋をはじめとした歴史的価値のある石橋を多く有していることもあり、多くの市民や観光客に親しまれる親水空間となっている。写真-1(a), (b), (c)からわかるように、中島川は無堤の河川であり、河川勾配が急であること、また平常時は流量が少ないといった特徴をもつ河川である。

(2) 1982.7.23長崎大水害

1982年(昭和57年)7月23日、午後5時過ぎから長崎県全域に降り続いた記録的な集中豪雨により、長崎大水害が発生した。中でも西彼杵郡長与町では、1時間に187mmというわが国の観測史上最大の時間雨量を記録した。長崎市内でも、3時間で300mmを優に超えるすさまじい降雨強度であったため、多くの住宅斜面で土石流、がけ崩れなどの土砂災害が同時多発的に発生し、多くの人命が失われた。図-2に、水害当時の1982年7月23日から24日にかけて長崎海洋気象台で観測された10分間雨量を示す。また、中島川、浦上川、八郎川など、多くの中小都市河川で洪水氾濫が発生した。中島川では、石橋群が流失または損壊しただけでなく、随所に護岸の決壊、道路の陥没などが見られ、とりわけ下流市街地での被害が大きかった。浸水深は各地で0.5m以上、大きいところでは2.0mにも達し、放置された車が流される被害も相次いだ。この水害による死者・行方不明者の数は299人に上るといふ、大惨事であった。図-3に、水害当時の中島川周辺の浸水実績⁷⁾と水害による人的被害の発生箇所を示す。

3. 中島川流域の氾濫解析

(1) 中島川流域のモデル化

中島川流域のうち、本研究での対象領域は、図-4に示すように、中島川・西山川の合流点(河口から1.5km)

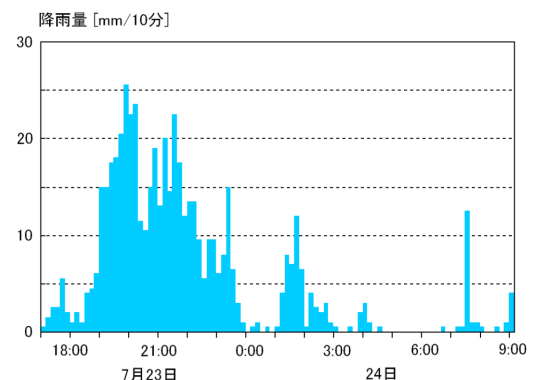


図-2 長崎海洋気象台の10分間雨量

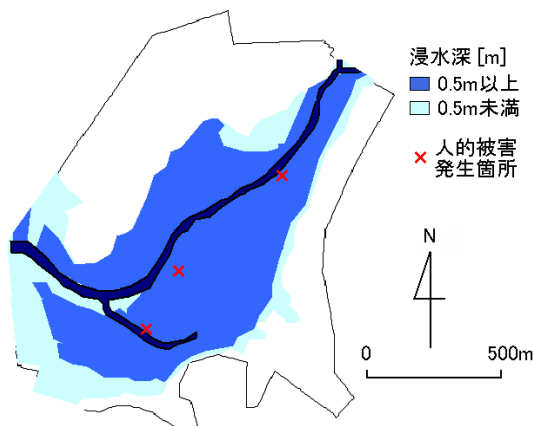


図-3 中島川周辺の浸水実績⁷⁾

より下流の中島川およびその周辺市街地とする。中島川・西山川の合流点より上流を対象としなかった理由は、この合流点における流出解析結果を境界条件として用いるためである。

a) 市街地の二次元汜濫解析

中島川の河道部分を含めた市街地では、著者ら²⁾の平面二次元汜濫解析モデルを用いる。基礎方程式には、以下の浅水方程式を用いる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = r \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 M \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 N \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (3)$$

ここに、 h ：水深、 u, v ：それぞれ x, y 方向の流速、 M, N ：それぞれ x, y 方向の流量フラックス ($M = uh, N = vh$)、 H ：水位 ($H = h + z, z$ ：地盤高)、 g ：重力加速度、 n ：Manningの粗度係数、 r ：降雨強度である。解析の詳細は、文献2)を参照されたい。

解析に用いる格子は、河川網や道路網などの複雑な境界を適切に表現するため非構造格子とする。また、浸水深や流速の局所的な変化に注目するため、著者らが行ってきた従来の解析^{8),9)}よりも小さい、約10mサイズ(細かい箇所では約5mサイズ)の解析格子(10,038個)に分割する。さらにこれらの解析格子を、道路、河川、市街地、公園・空き地の4つの属性に分類し、それぞれの属性には、0.043, 0.020, 0.067, 0.025を粗度係数の値に用いる。このように従来どおり粗度係数を用いたのは、解析格子を細分化したといっても各々の建造物を識別できるほど細かくはないためである。図-5、図-6に、それぞれ解析格子の標高と、4つに分けた解析格子の属性を示す。標高データの作成には、2,500分の1スケールの長崎市の都市計画図を用いている。

b) 斜面部分の流出解析

対象としている市街地の東側境界は山地に面してお



図-4 対象領域

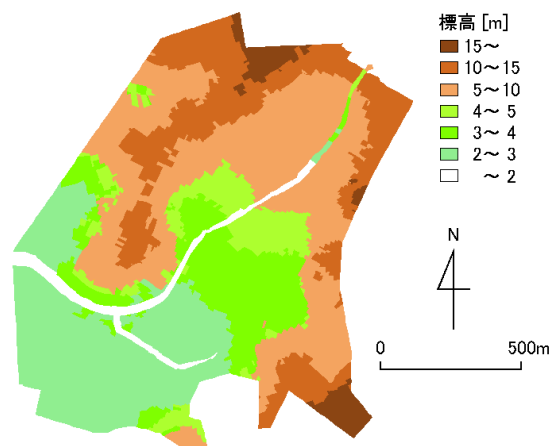


図-5 解析格子の標高

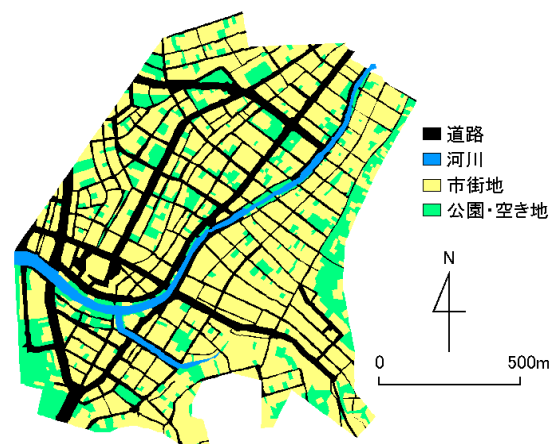


図-6 解析格子の属性

り、長崎大水害当時もこの斜面から大量の雨水が市街地に流出してきている。そこで、この斜面部分においてはkinematic waveモデルを用いて流出解析¹⁰⁾を行い、得られた下流端での流出流量を市街地の東側境界から与えることとする。流出解析を行う斜面は、汜濫解析の対象領域に隣接する斜面とし、図-4に示すとお

りとする．用いる基礎方程式は以下のとおりである．

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r \quad (4)$$

$$q = \alpha h^m \quad (5)$$

ここに， h ：水深， q ：単位幅流量， r ：降雨強度， α ， m ：定数であり，Manning則を用いれば， θ ：斜面勾配， N ：等価粗度として， $\alpha = \sqrt{\sin \theta} / N$ ， $m = 5/3$ である．解析は，等価粗度 N を0.1として，特性曲線法により計算する．

(2) 解析条件

氾濫外力として，1982年に発生した長崎大水害当時の推定河川流量を与える．水害当時の中島川の流量については，高橋ら¹¹⁾が中島川・西山川合流点および銅座川における流出解析を行っており，本研究ではこの結果を採用して，中島川・西山川および中島川・銅座川の合流点で図-7に示す流量を与える（それぞれ図-4中のA，B地点）．さらに，市街地の全域に，長崎海洋気象台で観測された長崎大水害当時の10分間降雨量（図-2）を一様に与える．中島川下流端では，図-8に示す長崎大水害当時の実測河口潮位¹¹⁾を中島川の最下流端の解析格子に与えるとともに，長崎港に面した境界では，以下の段落ち式

$$M_0 = \mu h \sqrt{gh} \quad (6)$$

を用いて対象領域外への雨水の排水量を算出する．ここに， M_0 ：単位幅あたりの排水流量， h ：境界格子における浸水深， μ ：係数で0.544である．時間差分間隔 Δt は0.01sとする．

また，斜面の流出解析では，市街地と同様に長崎海洋気象台での観測雨量（図-2）を一様に与える．水害当時は先行降雨が十分に観測されていたことから，流

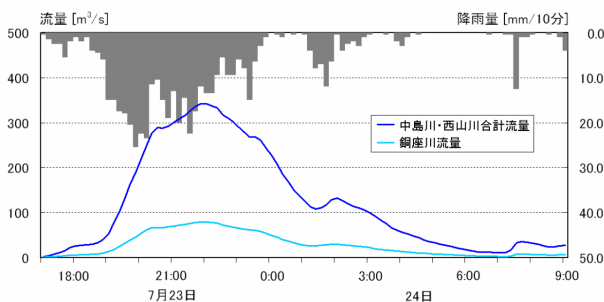


図-7 中島川・西山川合流点および銅座川の推算流量¹¹⁾

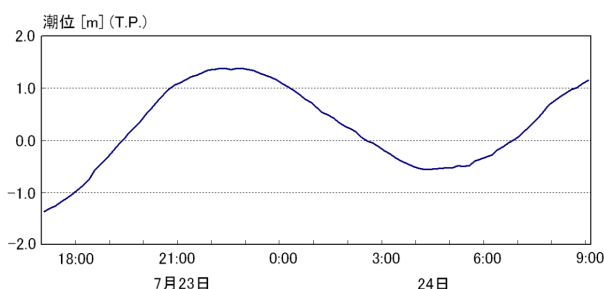


図-8 実測河口潮位¹¹⁾

出率は1.0とする．

4. 危険区域の検討

(1) 浸水深と流速についての検討

図-9に，氾濫解析の結果のうちの最大浸水深を示す．浸水域は，主に地盤の低い左岸側に集中しており，浸水深の大きな区域が長崎港にまで達している．また，中島川の中流域から両岸に浸水深の大きな区域が伸びており，ここから中島川の洪水が氾濫していることが予想される．この図を，図-3の1982年長崎大水害当時の浸水実績と比較すると，浸水域が中島川の左岸側に集中していることや，全体的な浸水域としては比較的良好な一致がみられた．しかし，浸水実績に比べ解析結果は浸水深の大きな地区が中島川の下流に集中してしまっている．その原因としては，水害当時ではなく現在の平面形状で長方形断面によって，中島川の疎通能力を過大に評価してしまっていること等が考えられる．また，レーザープロファイラ等のより詳細な地形データを取得することによって，より現実に近い結果が得られると期待される．

図-10には，解析結果のうち河川格子を除いた全解

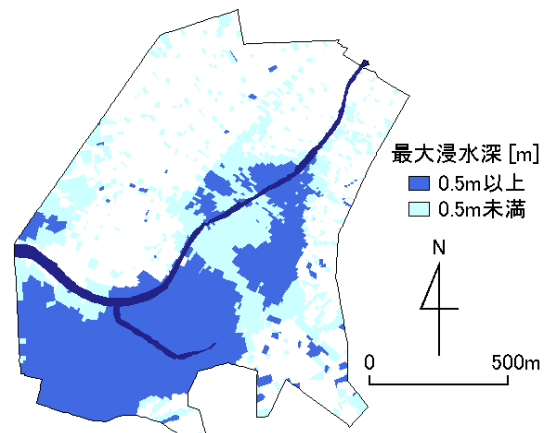


図-9 最大浸水深

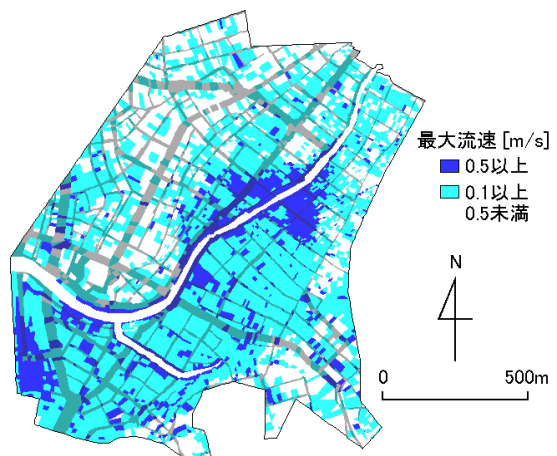


図-10 最大流速

析格子の最大流速を示す。流速の大きな区域は、中島川の中流域および中島川左右岸沿いの道路に集中している。中島川の洪水がこの周辺から左右岸にあふれ出し、大きな流速を伴った氾濫水が市街地に拡大していった様子がわかる。長崎港に面した海岸線付近にも大きな流速が見られるが、中島川や銅座川からあふれた氾濫水が長崎港に流下する際にも大きな流速が発生していることがわかる。また、中島川や銅座川の周辺のみならず、河川から離れた地点でも局所的に流速が大きくなる箇所が多数存在している。

(2) 危険区域の分類

危険区域の検討については、浸水時の避難のことを考えれば、浸水深のみならずその地点の流速も重要な指標となる。本研究では、徳永ら⁶⁾にならい、最大浸水深、最大流速、10分間での浸水深あるいは流速の変化量を指標として、図-11のように危険区域のランク分けを行う。徳永らは全流域から雨水が集まってくる洪水時の河道を対象としていたが、本研究では都市域が対象であるため、それより一回り小さな値を指標とする。すなわち、最大浸水深が0.1m以上または最大流速が0.1m/s以上であれば危険度C、そのうち最大浸水深が0.5m以上または最大流速が0.5m/s以上であれば危険度B、さらにそのうち10分間の浸水深の変化量が0.5m以上または流速の変化量が0.5m/s以上であれば

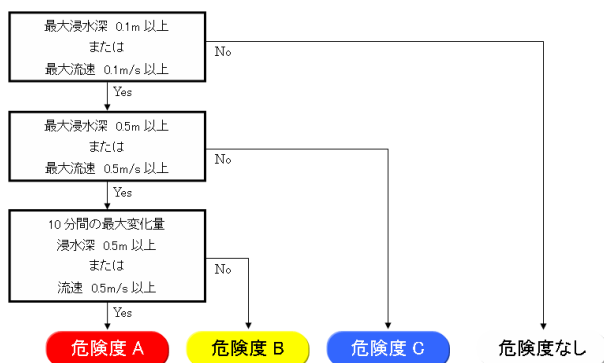


図-11 危険度の指標⁶⁾

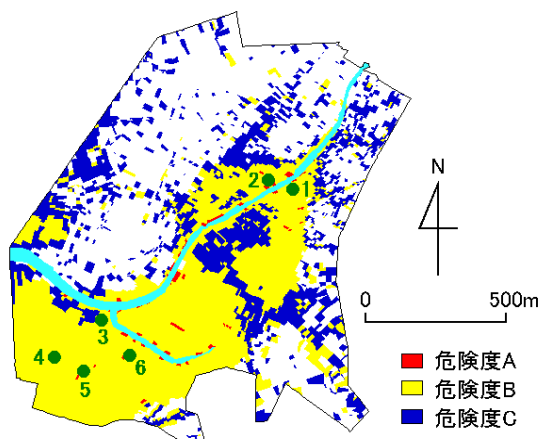


図-12 危険区域

危険度Aとする。この指標にしたがって、全解析格子について危険度を調べたところ、図-12のような結果が得られた。最も危険性の高い危険度Aは中島川、銅座川の付近に点在しており、危険度Bは中島川の中流左右岸、および銅座川沿いを含む中島川下流左岸域一帯に集中して存在している。この結果より、中島川や銅座川から離れた地点であっても、大量の氾濫水が押し寄せたことにより危険地帯と呼べる区域が広がっていることが確認できた。図-3と比較すると、地点1付近および地点6付近で水害による人的被害が発生しており、本研究の検討結果からもこの付近に危険度Aの区域が存在していることがわかる。

(3) 浸水深・流速の局所的な時間変化

図-12に示した危険区域のうち特に危険性が高いと思われる地点（図-12の1～6）について、浸水深と流速の局所的な時間変化に着目し、危険性の検討を行う。

地点1、地点2（図-13(a), (b)）については、中島川の近傍に位置していることから浸水深、流速がそれぞれ1.0m、1.0m/s近くにまで達しており、ともに大きな値を示している。この付近からは中島川から大量の洪水が溢れており、領域内で最も危険な区域の一つであることを裏付けている。地点3、地点4（図-13(c), (d)）については、地点1、2に比べると浸水深が若干小さいものの、流速はともに1.0m/sに達しており、その増加率も大きい。地点5、地点6（図-13(e), (f)）は、逆に流速は小さいものの、浸水深はともに急激に上昇しており1.0mを大きく超えている。両地点は中島川、銅座川から少し離れているが、中島川の水位上昇とともに氾濫水が流入し、水位低下とともに氾濫水が引いていった様子がわかる。

以上のように、各地点で浸水の状況が様々に異なることがわかった。また、浸水深だけでなく流速にも着目することで、浸水深は小さくなくても流速が大きくなる地点の存在が確認でき、このような地点にも危険が潜んでいることが確認できた。

5. おわりに

本研究では、長崎市中島川流域を対象とした二次元氾濫解析を行い、局所的な浸水深と流速に着目することによって、都市域の浸水時の危険区域について検討した。今後は、危険区域の検討を行う際に、浸水深と流速をひとつの危険パラメータとして表現するなど、検討方法を改良する余地がある。また、本研究では従来の適用事例よりも小さな解析格子を用いたが、解析格子を細かくしたからといって必ずしも詳細な解析ができたとはいえない。レーザープロファイラやそれに代わる詳細な地形情報の取得が今後の課題である。

謝辞：本研究を進めるにあたり、科学研究費補助金、基盤研究(C)(2)（代表：戸田圭一、課題番号16510113）の

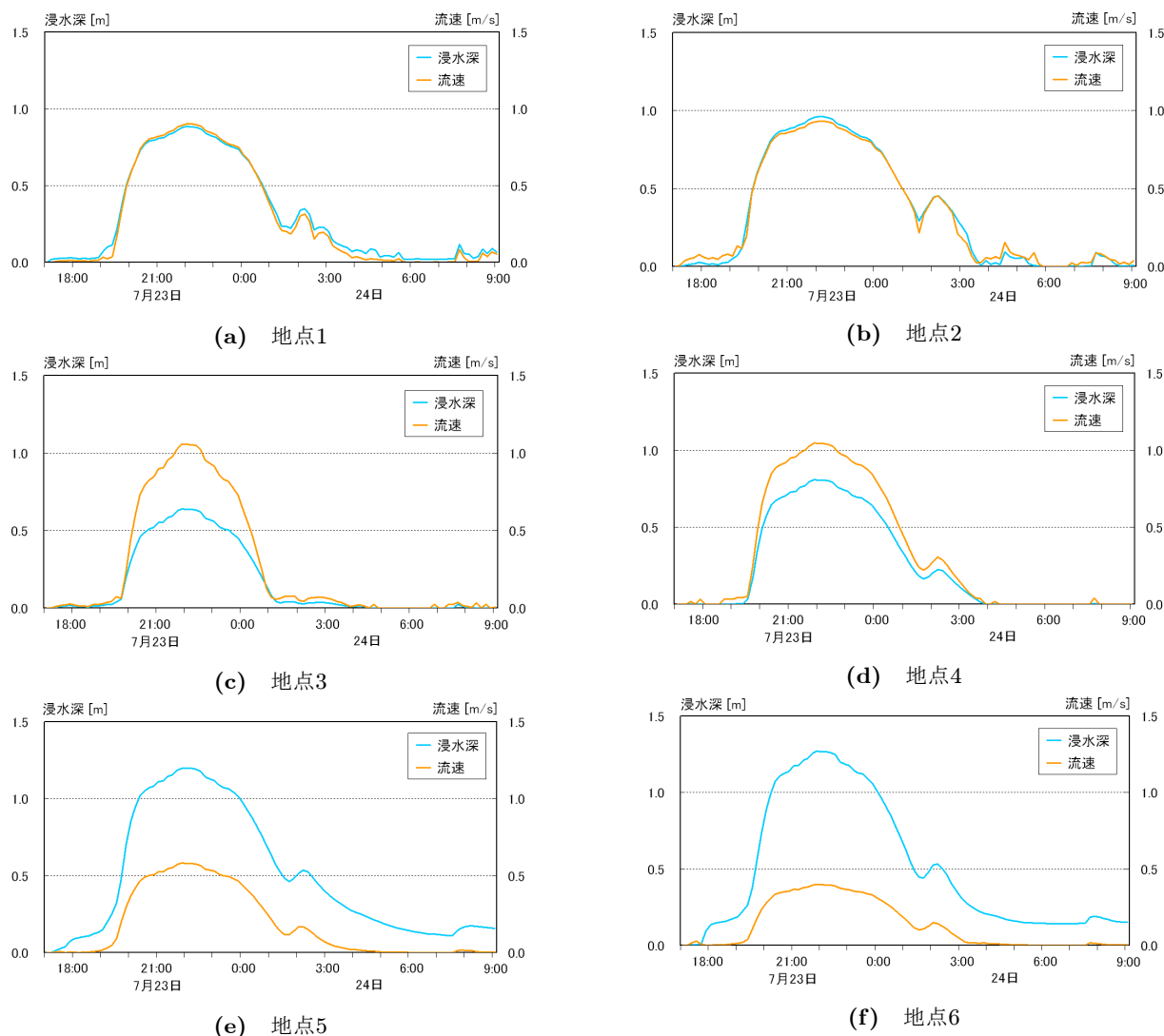


図-13 領域内各地点の浸水深・流速の時間的変化

援助を受けた。また、長崎県長崎土木事務所より長崎水害当時の浸水実績データを快くご提供いただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省 社会資本整備審議会河川分科会 豪雨災害対策総合政策委員会，総合的な豪雨災害対策の推進について（提言），2005。
- 2) 川池健司，井上和也，戸田圭一：非構造格子の都市氾濫解析への適用，水工学論文集，第44巻，pp.461-466，2000。
- 3) 福岡捷二，川島幹雄，横山 洋，水口雅教：密集市街地の氾濫シミュレーションモデルの開発と洪水被害軽減対策の研究，土木学会論文集，No.600/II-44，pp.23-36，1998。
- 4) 重枝未玲，秋山壽一郎：市街地構造を考慮した氾濫解析モデルの総合的な検証，水工学論文集，第48巻，pp.577-582，2004。
- 5) 戸田圭一，徳永智宏，井上和也：親水河川の出水時の危険度解析，自然災害科学，Vol.22，No.3，pp.285-297，

2003。

- 6) 徳永智宏，戸田圭一，川池健司，間島真嗣：短時間豪雨による都市域河川の危険度解析，河川技術論文集，第11巻，pp.25-30，2005。
- 7) 長崎県土木部：昭和57年7月出水 中島川，浦上川浸水実績図。
- 8) 川池健司，井上和也，戸田圭一，野口正人：低平地河川流域での豪雨による都市氾濫解析，土木学会論文集，No.761/II-67，pp.57-68，2004。
- 9) 川池健司，丸山寛起，吉本静磨，野口正人：諫早低平地における氾濫解析とその浸水被害軽減策への応用に関する研究，水工学論文集，第49巻，pp.565-570，2005。
- 10) 高橋 保，井上素行，中川 一，里深好文：山岳地域における土砂流出の予測，水工学論文集，第44巻，pp.717-722，2000。
- 11) 高橋 保，大久保賢治，中川 一：昭和57年長崎豪雨における中島川の洪水氾濫解析，京都大学防災研究所年報，第26号 B-2，pp.109-126，1983。

(2005.9.30受付)