

# 2009 年度 修 士 論 文

洪水ハザードマップの改良と水害避難体制の提案

—小貝川下流域を対象として—

Improvement of Flood Hazard Map and Proposal for Better Flood Evacuation System

—A Case Study on the Lower Kokai River—

砂 原 啓 人

Sunahara, Hiroto

東京大学大学院新領域創成科学研究科

社会文化環境学専攻

1. 序論.....	1
1.1. 研究の背景と目的.....	1
1.2. 研究の流れ.....	2
1.3. 2009年兵庫県佐用町の水害.....	3
2. 対象地域の概要.....	6
2.1. 小貝川流域の概要.....	6
2.2. 小貝川における過去の水害.....	9
2.2.1. 概要.....	9
2.2.2. 昭和25年(1950年)右岸側破堤による水害.....	10
2.2.3. 昭和56年(1981年)左岸側破堤の水害.....	12
3. 氾濫解析による水害危険性分析.....	14
3.1. 計算条件.....	15
3.2. 破堤点別シナリオでの危険性分析.....	19
3.2.1. 岡地区で破堤した場合.....	20
3.2.2. 配松地区で破堤した場合.....	29
3.2.3. 藤代地区で破堤した場合.....	38
3.2.4. 押切地区で破堤した場合.....	47
3.2.5. 大留地区で破堤した場合.....	56
3.3. 20ヶ所の全破堤点を考慮した危険性分析.....	65
3.3.1. 最大浸水深.....	66
3.3.2. 最大流速.....	67
3.3.3. 最大流体力.....	68
3.3.4. 氾濫流到達時間.....	70
3.3.5. 水位上昇速度.....	71
3.3.6. 浸水深と流体力.....	73
3.4. 3章まとめ.....	77
4. 水害危険性分析に基づく考察.....	78
4.1. 在宅避難が不可能な地域の設定.....	78
4.2. 水害避難施設の危険度判定および考察.....	80
4.2.1. 山王小学校.....	83
4.2.2. 藤代中学校.....	84
4.2.3. 藤代小学校.....	86
4.2.4. 宮和田小学校.....	88
4.2.5. 藤代南小学校.....	89
4.2.6. 桜が丘小学校.....	90
4.2.7. こども発達センター.....	91

4.3. 地区別の避難行動に関する提案 .....	92
4.4. 水害危険度の情報表示に関する提案 .....	96
4.4.1. 浸水深と流体力と氾濫流到達時間を組み合わせた場合 .....	97
4.4.2. 浸水深と流体力と水位上昇速度を組み合わせた場合 .....	98
4.4.3. 浸水深と流体力と氾濫流到達時間と水位上昇速度を組み合わせた場合 .....	99
4.4.4. 洪水ハザードマップの情報表現に関して .....	100
4.5. 4章のまとめ .....	101
5. 結論 .....	102
参考文献 .....	103
謝辞 .....	104

# 1. 序論

## 1.1. 研究の背景と目的

わが国ではこれまで、ダムの建設や河川堤防の整備を中心とする河川改修などのハード整備により、洪水による河川の氾濫に起因する水害の人的被害を、1年あたり、数千人から数十人のオーダーに減少させてきた。そして近年、多発する集中豪雨や大型台風などによる超過洪水発生時の対策も考慮するため、1987年に高規格堤防（スーパー堤防）整備をはじめとするハード整備に関する「超過洪水対策」が建設省河川審議会により答申された。さらに、2001年と2005年に水防法が改正され、わが国の、超過洪水対策を含めた水害対策は、ハード整備中心からソフト対策を含めたものに大きく変わりつつある。

ソフト対策の中には、住民の自主的な対応を求めるものもあり、各自治体ではそれを支援するために、洪水ハザードマップの作成・配布を行ってきた。洪水ハザードマップとは、洪水発生時の破堤や氾濫による浸水情報と避難に関する情報を住民にわかりやすく提供することによって、人的被害を防ぐことを目的とするものである。市区町村長が作成主体となり、公表・配布されるものであり、洪水ハザードマップの組織的な整備は平成6年(1994年)に河川局治水課長通達により開始された。

さらに、2004年の新潟豪雨をはじめとする豪雨災害を教訓に、2005年からは避難時期を示す避難勧告、避難指示に避難準備情報が加えられて、3段階の避難誘導手順が確立されている。しかし、以前として、水害時の人的被害の発生は続いており、2004年の新潟水害や2009年に兵庫県佐用町で発生した水害では、避難途中で氾濫流に巻き込まれ命を落とすといったことも報告されている。

現在、各自治体で配布されている洪水ハザードマップは、氾濫時の最大浸水深と避難施設の場所を示したものが多く、避難の為の情報提供の形にはまだ、改善の余地があると考えられる。

洪水ハザードマップについて学術的な研究も行われており、片田研究室(1999)は、福島県郡山市における洪水ハザードマップが、実際の災害時に有効利用されたかどうかについて調べている。その結果、洪水ハザードマップを見たことがある人は、見たことが無い人に比べて避難行動の開始時期が約1時間早く、ハザードマップの有効性が確認されている。

また、片田ら(2000)は、河川洪水による水害が身近な災害であるにもかかわらず、それに対するリスク・イメージは楽観的なものであることが報告されており、特に、流体力に対する理解の欠如が住民に認められることを結果として得られている。加えて、それが避難行動に遅れをもたらす危険性があることを指摘している。

これらの研究により、洪水ハザードマップの有効性や重要性は認識されつつあるが、住民側が水害を楽観視する傾向があるように、行政側との間に存在する水害に対するギャップを改善することが課題となっていると考えられる。

そして、谷岡(2008)は洪水ハザードマップの作成に関して、その基となる浸水想定区域図の作成において膨大な氾濫解析計算が行われているが、その計算結果は十分活用されていないことを指摘している。従来、洪水ハザードマップで表示される、浸水深だけでなく、流体力や浸水継続時間、さらに破堤点別の計算結果なども避難時の情報として活用できることを示唆している。

以上のことをふまえ、本研究では、過去に水害が多い小貝川下流域の取手市を対象に、数値計算による氾濫解析を行い、浸水深だけでなく、避難時に重要な要素になると考えられる、流速、流体力、氾濫水到達時間、水位上昇速度に着目し水害の危険性を分析する。そして、その危険性分析に則った避難体制の提案と、浸水深以外の要素を盛り込んだ、洪水ハザードマップの情報表現について提案を行うことを目的とする。

## 1.2. 研究の流れ

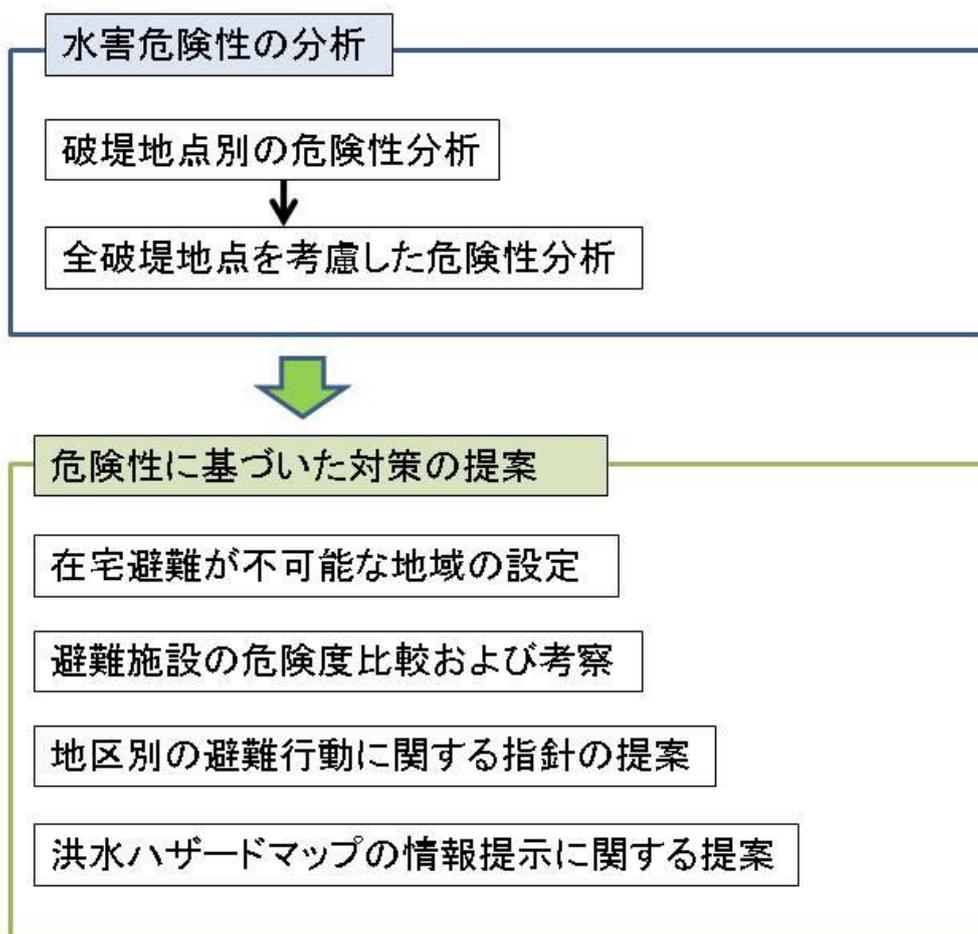


図 1.2-1 研究のフロー図

### 1.3. 2009 年兵庫県佐用町の水害

2009 年 8 月 9 日、台風 9 号による局所的な豪雨によって兵庫県佐用町で佐用川、幕山川が氾濫し、人的被害、物的被害が発生した。以下に佐用町での被害の内訳を示す。

人的被害：死者 18 名、行方不明者 2 名、負傷者 1 名（避難中に足を負傷）

住居被害：全壊 138 棟、大規模半壊 267 棟、半壊 480 棟、床上浸水 480 棟

道路通行障害：46 箇所

（佐用町発表資料より、平成 21 年 10 月 22 日）

被害の特徴としては、本郷地区において、避難中に氾濫流に巻き込まれて 8 名が死亡、1 名が行方不明となったことである。当該地区において亡くなった方が住んでいた家屋には損害がおよんでおらず、在宅避難の可能性が考えられた事例である。

氾濫流に巻き込まれた住民は、近隣の避難施設である保育所に向かうところであったとされる。

著者は 2009 年 9 月 8 日、9 日に佐用町周辺、本郷地区、久崎地区の現地調査を行った。本郷地区での調査の際に、近隣住民に聞き取りを行うことができたので以下にその内容を以下に示す。

- ・事故現場周辺はあたり一面浸水しており、まるで海のようなだった。
- ・若い人は脚力に自信があり、危険とわかっているにもかかわらず避難したのではないか。
- ・地区の防災リーダーには、避難指示が入っているようになっている。
- ・被害者は防災リーダーの立場であり、近所の人々と一緒に避難したらしい。

なお、著者が確かめた現地の浸水痕跡からは、約 70 cm の浸水深であったと推測される。被害者達は住宅を出発し、避難施設へ向かって幕山川を横切ることができたが、その先の水路で流されてしまったものと思われる。浸水深自体はさほど大きくないが、流速が大きいと危険度が大きくなる事例の一つであると考えることができる。また、被害発生時が夜間であり、周辺に街灯が少なく、昼間であれば認識できる水深、流速に気がつかなかったことも示唆される。

本郷地区周辺の状況を図 1.3-1 と図 1.3-2 示す。

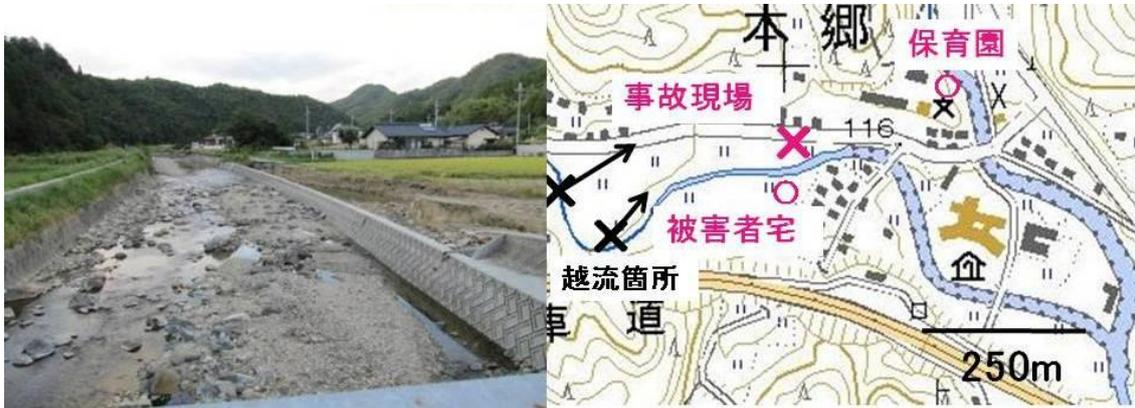


図 1.3-1 本郷地区の氾濫地点 (著者撮影、電子国土2万5千分の1地形図に加筆)

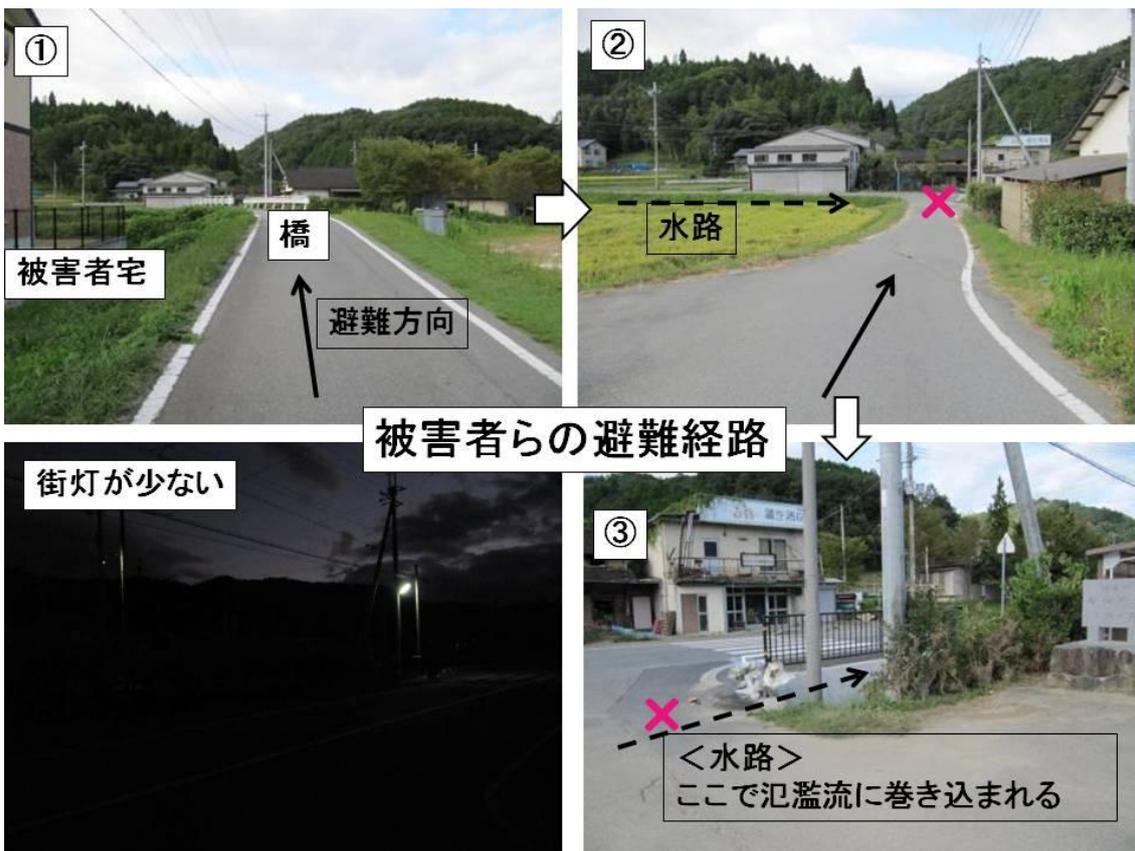


図 1.3-2 本郷地区の様子 (著者撮影)

また、久崎地区では堤防が約 70m に渡って決壊し、堤防付近の家屋が氾濫流の流体力により、大きく損傷した。その様子を図 1.3-3 に示す。



図 1.3-3 久崎地区の破堤地点（著者撮影）

## 2. 対象地域の概要

### 2.1. 小貝川流域の概要

小貝川は、栃木県那須烏山市曲畑の小貝ヶ池に源を発しており、関東平野を北から南へ貫流し、栃木県と茨城県を流れ、茨城県利根町で利根川に合流する利根川水系の一大支川である。西の鬼怒川と並行して南流し、益子町の西部より真岡市を経て茨城県に流れる。下館市では右支川五行川を合わせて筑西市（旧関城町）に至り、下妻市の市街地の東側を南流して、つくばみらい市谷和原地区（旧谷和原村）に至る。谷和原地区からは流れを南東に変え、この付近では鬼怒川に最も接近し、その距離は 1km 程度である。その後は鬼怒川と離れながらほぼ南東流して、龍ヶ崎市の西方で牛久沼の水を合流させ、これより流れを南に転じて、取手市・利根町の境界で利根川に合流する。

「小貝」の命名のルーツは、流域の貝塚から小貝がたくさん採れたことから呼ばれるようになったともいわれている。古くは子飼川、蚕養川とも書かれていたといわれており、前井川、幸田川などの別名をもつ（利根川百年史）。また、小貝川の「コカイ」は「コカ・イ」が語源で、コカは「壊・倒」の意味を持ち、イは「井」から河川の意味であるから、小貝川は決壊しやすい河川に由来する、という解釈もある（塙静雄、1996）。

小貝川は概ね平野部を流れる緩流河川であり、その流域は 85% が平地で、特に下流域一体は水田地帯となっている。その下流域には関東三大堰とも呼ばれる福岡堰・岡堰・豊田堰が連なり、流域の灌漑用水として利用されており、古くからの広大な穀倉地帯である。さらに近年は工業団地を造成するなど、製造業、鉱工業も増加している。最近では、流域にはつくばエクスプレスが開通して陸上交通ネットワークが形成されており、下流域では首都圏のベッドタウンとしての役割を果たしている。自然環境が豊かであるとともに、生活・文化・産業基盤となっている。

小貝川の流路延長は 111.8km、流域面積は 1,043.1km<sup>2</sup> である。（建設省関東地方整備局、1987）

本研究で対象とするのは小貝川の下流域であり、岡堰が位置する小貝川 10km 付近から利根川との合流部付近までの下流右岸側を対象とする。この領域を含む下流域は河床勾配が緩やかで洪水が流れにくく、かつ、利根川の水位上昇時に背水の影響を受ける。このことが下流域での水害が多発している原因の一つである。小貝川の水害、特に下流域の事例については次節で詳しく説明する。





## 2.2. 小貝川における過去の水害

### 2.2.1. 概要

小貝川は従来、越流や破堤による氾濫が多く、その度に氾濫域では甚大な人的・物的被害を被ってきた。文献によると昭和以前にも多数の水害実績があり、昭和期以降のみでも表に示す水害に見舞われている。本研究で対象とする利根川との合流点から岡堰の位置するおよそ 10km までの下流域でも、昭和 10 年、昭和 25 年、昭和 56 年の 3 回、破堤による被害が発生している。

小貝川は屈曲の多いゆるやかな流れの河川であり、布佐、布川地区の利根川の川幅が狭くなっている地点の上流で合流している。この布佐・布川の狭窄部があるため、洪水時に利根川の水位はせき上げられ、小貝川が合流しているあたりで高くなる。したがって、利根川の洪水の影響が小貝川の上流にまでおよび、これが小貝川決壊の一因になっている。以上が利根川の背水を受けるということである。

表 2.2.1-1 小貝川における昭和以降の主な水害

西暦	年号	月	被災市町村	破堤地点
1928 年	昭和 2 年	9 月	茨城県水海道市	
1935 年	昭和 10 年	9 月	茨城県北相馬郡高須村	高須地先 (左岸)
1938 年	昭和 13 年	7 月	茨城県県内多数	
1938 年	昭和 13 年	9 月	茨城県関城町、明野市	
1941 年	昭和 16 年	7 月	茨城県竜ヶ崎市	小通幸谷地先 (左岸)
1950 年	昭和 25 年	8 月	茨城県取手市、藤代町	大留地先 (右岸)
1981 年	昭和 56 年	8 月	茨城県竜ヶ崎市、利根町など	高須地先 (左岸)
1986 年	昭和 61 年	8 月	茨城県下館市、	豊田地先 (右岸)
1986 年	昭和 61 年	8 月	茨城県明野町	赤浜地先 (左岸)

#### < 治水上の現状と課題 >

河川堤防の整備状況であるが、特に中流下流部で計画断面を満足していない区間が多く、暫定堤防や暫々定堤防として整備が不十分な堤防がまだ残っている。

また、過去から堤防は築造・補修を繰り返してきたことにより、堤防内部の構造が不明確になっている区間がある。その区間の中には堤防の浸透に対する安全性が低い区間が存在し、堤防の強化が必要である。

さらに、老朽化した設備の問題がある。設置から 50 年以上経過した樋管が全体数の約 3 割を占め、老朽化による機能低下および周辺堤防を含む安定性の低下が大きな課題として挙げられる。(国土交通省、2007)

### 2.2.2. 昭和 25 年(1950 年)右岸側破堤による水害

相次ぐ弱い熱帯低気圧の北上と、高気圧による冷気流の南下との衝突により、8月2日から4日にかけて大雨となり、総雨量は栃木県の北部から西部の山岳部で最も多く 500mm 以上となった（建設省関東地方整備局、1987）。

小貝川下流部では、利根川本線の逆流を受け、茨城県北相馬郡大留地先（現茨城県取手市）において減水中であったが、8月7日午前1時15分に破堤した。氾濫流は利根川と小貝川に囲まれた高須地区など、当時の2町4村にまで広がり、浸水は4,000haに及んだ。この小貝川右岸の破堤による氾濫は、死者3名、負傷者659名、り災者12,334人、浸水家屋3,517戸、一般被害総額およそ10億円および常磐線や国道6号線を交通遮断させる被害をもたらした。表 2.2.2-1 に昭和25年水害の被害を示す。

当該地域は利根川との合流点付近にあり、特に右岸側が破堤、氾濫すると利根川と小貝川で囲まれた部分に氾濫水が滞留し、被害が長期化するという特徴がある。

表 2.2.2-1 昭和 25 年(1950)年水害における被害

区別	名称	員数	備考
人的	死者・行方不明者	3人	損害見積額 1,034,0181千円 (茨城県調査による)
	負傷者	659人	
	り災者	12,334人	
住家	流失	3棟	
	全壊	122棟	
	半壊	283棟	
	床上浸水	1,548棟	
非住家	全壊	479棟	
	半壊	998棟	
	床上浸水	1,969棟	
耕地	田畑冠水	2,393町歩	

(出典：利根川百年史)

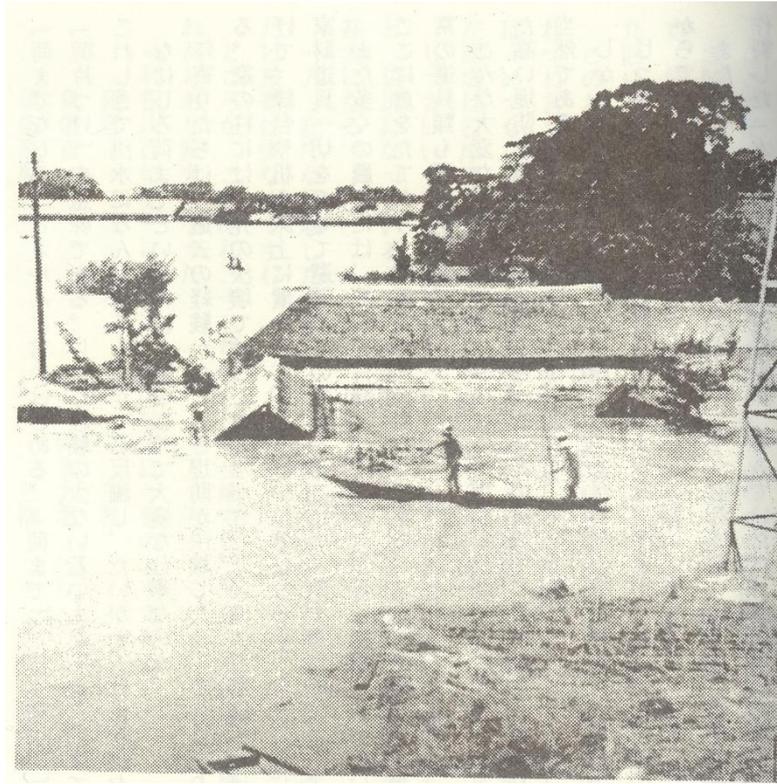


図 2.2.2-1 昭和 25 年夏小貝川右岸を襲った洪水(出典:ドキュメント小貝川河口の闘い)

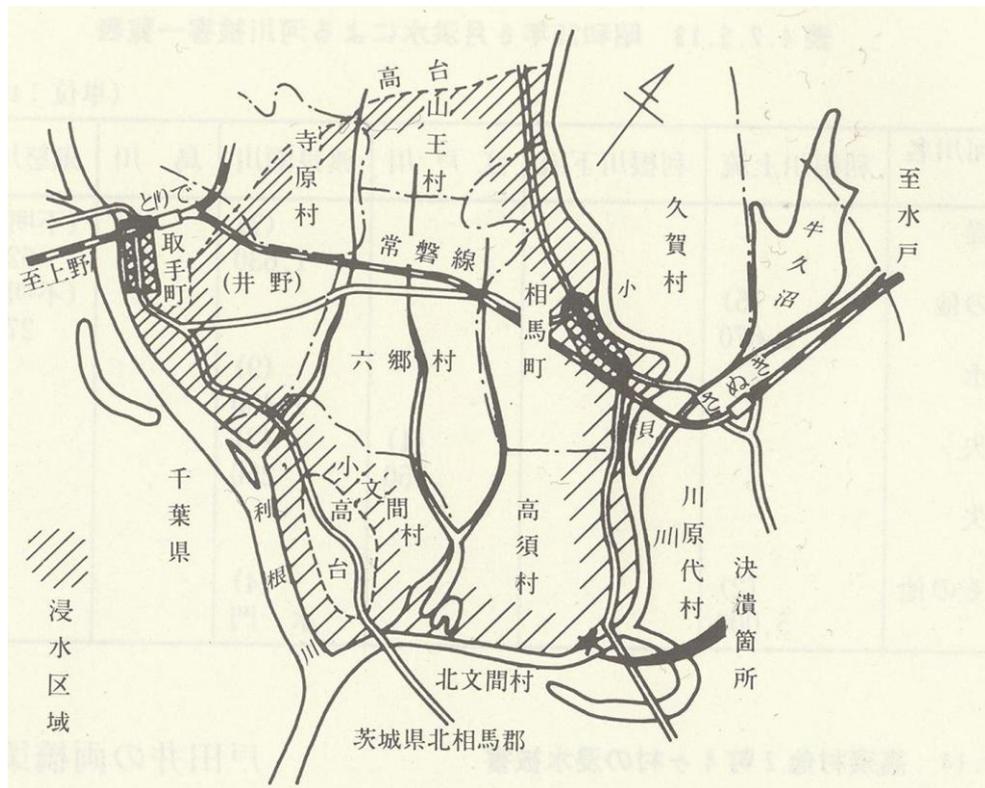


図 2.2.2-2 小貝川昭和 25 年 8 月洪水浸水区域(出典:利根川百年史)

### 2.2.3. 昭和 56 年(1981 年)左岸側破堤の水害

1981 年 8 月 23 日に台風 15 号は千葉県館山に上陸し、ほぼ真北にすすんで千葉・茨城から東北地方を縦断し、北海道へ抜けた。この台風は関東地方西部に 500mm を越える大雨を降らせた。翌 8 月 24 日未明、利根川の水位上昇にともなって、小貝川の左岸合流点よりおよそ 5km 地点において破堤し、茨城県南部の龍ヶ崎市・利根町・河内村において浸水の被害が発生した。被害は軽傷 3 名、半壊 46 棟、浸水家屋数は 1,314 棟、田畑の流失・埋没・冠水は 2,709ha に上った（科学技術庁、1983）。

本研究での数値計算を用いた氾濫解析を行うために、小貝川が破堤した場合の氾濫流量および総氾濫流量を文献に記載されている調査結果より算出した。文献（科学技術庁、1983）のデータより作成した破堤流量を図 2.2.3-1 に示す。

表 2.2.3-1 昭和 56 年(1981 年)水害における被害

区別	名称	員数	備考
人的	死者・行方不明者	0 人	その他の被害 3,634,360 千円 (茨城県調査による)
	負傷者	3 人	
住家	半壊	46 棟	
	床上浸水	450 棟	
	床下浸水	864 棟	
非住家	全壊	479 棟	
	半壊	998 棟	
	床上浸水	1,969 棟	
耕地 (田畑)	流出・埋没	11ha	
	冠水	2,698ha	

(出典 旧科学技術庁 国立防災科学技術センター 小貝川破堤水害調査報告)

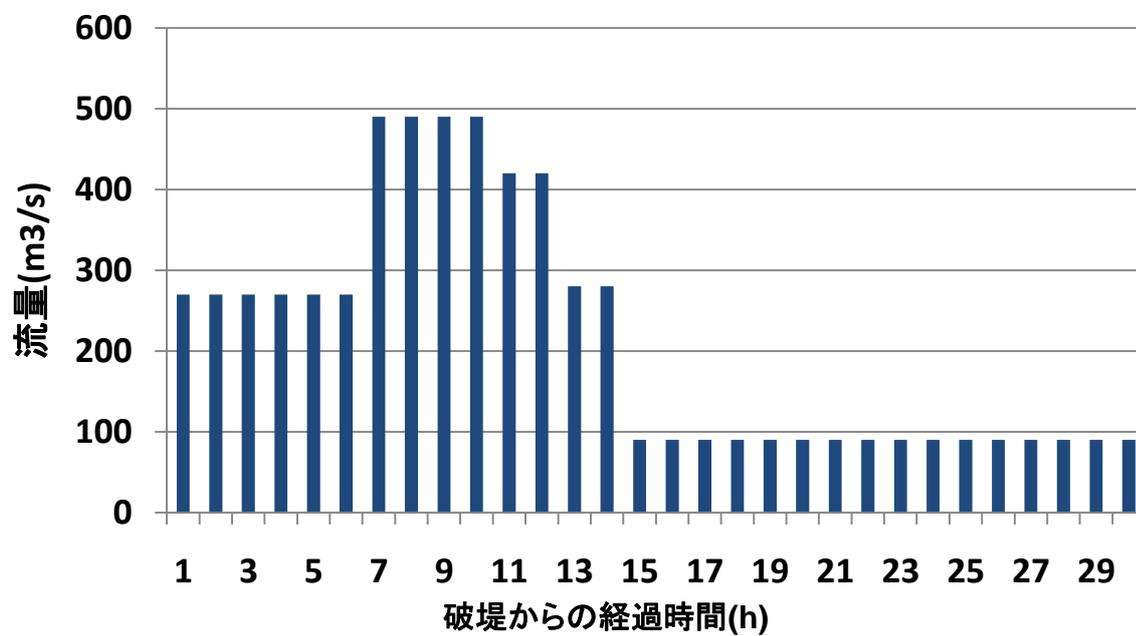


図 2.2.3-1 昭和 56 年の破堤流量  
 (旧科学技術庁 国立防災科学技術センター小貝川破堤水害調査報告より作成)

### 3. 氾濫解析による水害危険性分析

対象領域である、小貝川下流域の取手市において、水害危険性の分析を行う。その手法は数値計算によるシミュレーション的アプローチを用いる。

既往の破堤実績から求めた想定氾濫流量を、計算領域内に設定した各破堤地点から破堤流量として与えて、時空間的に氾濫水の挙動を考察する。

3.1 では本研究で行った数値計算の条件を説明する。

3.2 では今回設定した 20 地点の想定破堤地点から、計算領域の地形と氾濫水の挙動として代表制を持つとされる 5 か所の破堤地点を選択し、そのひとつひとつのケースについて氾濫水の挙動を考察する。

3.3 では計算領域内に網羅的に設定された 20 地点の破堤地点すべてを考慮して、考察を行う。これは現在、作成されている洪水ハザードマップの作成手順に則る形式であり、氾濫域内のそれぞれ地点で、堤防決壊により想定される最大の浸水深、あるいは流速・流体力などを求めるものである。

対象領域を図 3-1 に示す。



図 3-1 対象領域概略図(数値地図 25000(地図画像)に加筆)

### 3.1. 計算条件

本研究では水害の危険性を分析するために、河川の堤防決壊による氾濫流の挙動に焦点を当てて、従来、氾濫解析に用いられている、二次元不定流モデルを用いて氾濫解析を行った。基礎式を以下に示す。

<連続式>

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

<x 方向運動方程式>

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uM) + \frac{\partial}{\partial y}(vM) = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho}$$

<y 方向運動方程式>

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uN) + \frac{\partial}{\partial y}(vN) = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho}$$

ここで、 $H$ 、 $h$  : 水位および水深

$u$ 、 $v$  : X 方向および Y 方向の流速

$g$ 、 $\rho$  : 重力加速度および水の密度

$M$ 、 $N$  : X 方向、および Y 方向の流量フラックス ( $M=uh$ 、 $N=vh$ )

$\tau_{bx}$  : X 方向の底面せん断応力

$\tau_{by}$  : Y 方向の底面せん断応力

計算の時間間隔は 1～2s、空間間隔は 50m として計算を行った。

氾濫域の情報としては、標高と土地利用の 2つのデータを用いた。標高については国土地理院発行の数値地図 50mメッシュ (標高) のデータを用いた。数値地図 50mメッシュ (標高) のデータは整数で記録されており、計算結果の浸水深に人工的な不連続点が生じる。それはメッシュ間の最小標高差が 1m と大きいことに起因するものであり、その計算の不安定性に関しては文献にも記載されている。(建設省土木研究所、1996) そのため、元の標高データを以下の方法で補間する計算を行った。

1. 5×5 の 25 メッシュの移動窓を設定し、中心のメッシュを補間することとする。
2. 中心のメッシュからの距離に応じて、図 3.1-1 に示す 6 種類の重みを計算上の不都合が解消されるように試行錯誤的に求めた。
3. その重みを用いて 25 メッシュで重み付き平均を求め、中心のメッシュの値とする。補間する前と後の標高データを図 3.1-2 と図 3.1-3 に示す。

0.08	0.1	0.13	0.1	0.08
0.1	0.14	0.2	0.14	0.1
0.13	0.2	0.35	0.2	0.13
0.1	0.14	0.2	0.14	0.1
0.08	0.1	0.13	0.1	0.08

図 3.1-1 補間に用いた各メッシュの重み

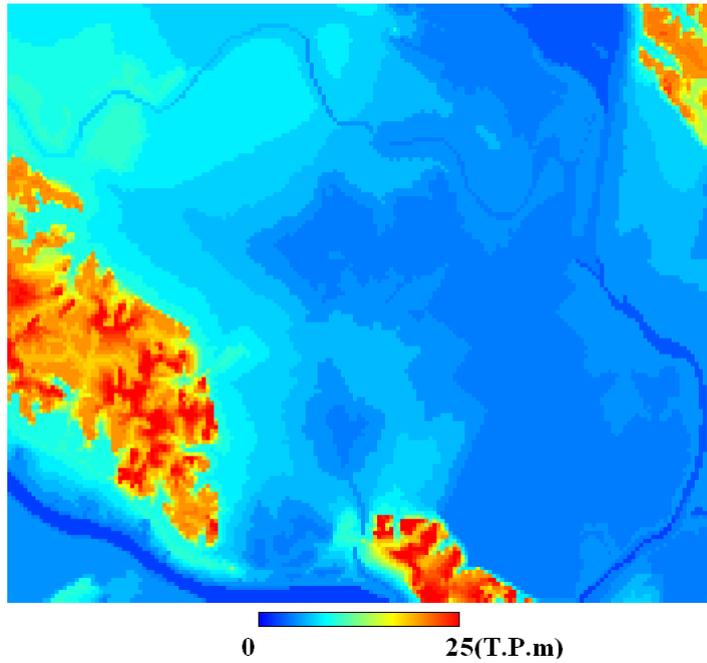


図 3.1-2 対象領域における補間前の標高

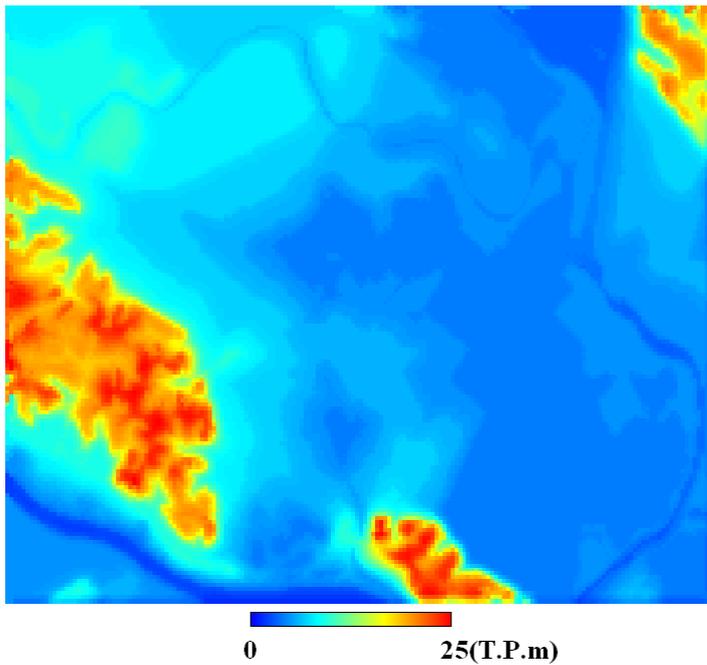


図 3.1-3 対象領域における補間後の標高

土地利用については、国土数値情報土地利用メッシュから得た、100m メッシュの土地利用情報を 50mメッシュに分割し、対応する粗度係数を与えて整理した。表 3.1-1 に土地利用と粗度の対応関係を示す。

表 3.1-1 粗度係数の設定

番号	名称	粗度係数
1	水田	0.025
2	畑・その他	
3	水面	
4	市街地	0.067
5	森林	0.060
6	荒地	0.030

対象領域は 50m×50mのメッシュで分割し、178×152 メッシュからなる計算領域を氾濫域に作成した。

また、1981 年の水害実績をもとに作成した、破堤流量のハイドログラフを図 3.1-4 に示す。氾濫ピーク流量は約 710(m<sup>3</sup>/s)であり、その時刻は破堤から 4.5 時間後とする。氾濫継続時間は 18 時間であり、破堤氾濫による総氾濫流量は 2.3×10<sup>7</sup>m<sup>3</sup>、総計算時間は 24 時間である。

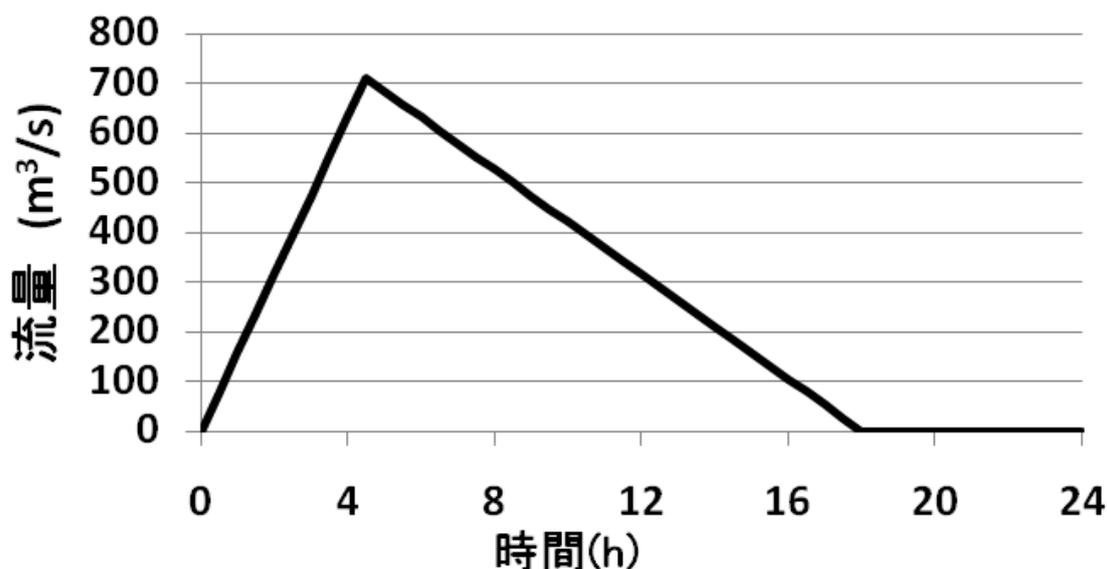


図 3.1-4 破堤流量ハイドログラフ

理想的には、堤防のすべての位置で破堤の確率が算出できることが望ましい。しかし、幾度にも重なる築造、補修や、近年問題視されている河川水の堤防内部への浸透に対する安定性などの問題を含むため、各地点の堤防の破堤確率についての正確な議論は難しいと考えられる。そこで、本研究においては、各地点の堤防の破堤確率には言及せず、計算領域を網羅的にカバーする破堤地点を想定した。氾濫解析を行うに際して、設定した破堤点の数は20ヶ所である。想定破堤地点を図3.1-5に示す。



図 3.1-5 20 か所の想定破堤地点

### 3.2. 破堤点別シナリオでの危険性分析

対象領域で小貝川が破堤氾濫した場合の水害の危険性を分析するために、合流点付近から 20 か所の想定破堤地点を設定する。そして前述した計算条件で氾濫解析を行い、破堤点別で氾濫による水害のリスクがどのように変化しうるのか、計算結果にもとづき検討を行う。

20 地点の想定破堤箇所の中から、地形などの要因により氾濫流の挙動に差があると考えられる代表点 5 地点を選択し、それぞれの破堤ケースにおいて、氾濫域内の浸水深  $h$  (m)、流速  $v$  m/s、流体力  $hv^2$  ( $m^3/s^2$ )、氾濫流到達時間  $T$  (h)に着目し、考察を行った。これらの指標を用いるのは、近年発生した水害事において、避難途中に氾濫流に巻き込まれ、被災するという事例があることから、浸水深のみではなく、流速を含めた考察を行うことで、より詳細に水害の危険性を分析することを目的とするからである。破堤点別に考察を行う 5 か所の破堤地点を図 3.2-1 に示す。

<破堤点を示す図>



図 3.2-1 破堤点別考察を行う 5 か所の想定破堤地点

### 3.2.1. 岡地区で破堤した場合

#### <浸水深>

図 3.2.1-1 に示すのが岡地区で破堤した場合の各時間での浸水深をコンター図にしたものである。一部の氾濫水は川沿いの配松、山王地区へ流れるが、氾濫水の大半は岡、寺田、毛有地区など、勾配が大きい地形地域を通過する。約 3 時間後に小浮気地区に到達し、特にこの地区周辺では局所的に水深が大きくなることが確認され、5 時間後に浸水深約 1.6m に達していることがわかる。これは、比較的大きい勾配の地域を速く氾濫流が通過し、地形的に狭窄している地域に氾濫水が一気に押し寄せるためだと考えられる。その後、破堤流量がピークに達する 4.5 時間後には氾濫水は平野部の宮和田地区に到達し、約 7.5 時間後に氾濫域下流端に到達する。以降は山王地区など、標高が比較的高い地域を除いて、氾濫域全域において水深が増加する。先の小浮気地区では急激に水深が増大した後、一度浸水深が低下するが、氾濫流が南東部の氾濫域南端付近まで達すると再び浸水深が増大していく。これは、氾濫流量ピーク時を過ぎると、小浮気に滞留していた氾濫水が氾濫域南東部の平野部に流れて小浮気地区の浸水深は低下するが、やがて平野部の浸水深が増大すると、それが小浮気地区にも波及するからである。

このケースであると、氾濫標高が高い台地部が形成されている、JR 取手駅方面には氾濫水が達することはないという計算結果が得られた。

#### <流速・流体力>

図 3.2.1-2 と図 3.2.1-3 に岡地区で破堤した場合の、各時間での流速と流体力のコンター図を示す。計算領域上流部の破堤点近傍では流速・流体力ともに大きく、想定破堤地点から約 800m 離れた岡地区交差点付近でも流体力が  $2(\text{m}^3/\text{s}^2)$  以上になることが確認される。また、地形勾配が比較的大きい毛有地区周辺でも流体力が大きくなっており、 $2.5(\text{m}^3/\text{s}^2)$  以上となる地点も確かめられる。平野部においては、局所的に流体力が大きくなっている地点はないが、藤代地区周辺では流速・流体力ともに周辺と比較して大きい。氾濫流が氾濫域下流端に達した約 7.5 時間後以降は平野部において流速・流体力が小さくなっていく。一方で、地形勾配が大きい岡、寺田、毛有地区周辺ではその減衰の度合いが小さく、流速・流体力が大きい時間は、地形勾配が小さい山王地区によりも比較的長く続く。

#### <氾濫流到達時間>

岡地区で破堤した場合での、各地点の氾濫流到達時間をコンター図 3.2.1-4 に示す。このケースでは上述のように、地形勾配が比較的大きい寺田、毛有、小浮気地区を通る線近傍で氾濫流が早く到達する。1 時間ごとに氾濫流がどれだけ進行したかを調べると、1 時間後に破堤地点から約 1.3km まで、2 時間後には約 3.2km まで、3 時間後には 5.0km 離れた地点まで、4 時間後には約 6.2km 離れた藤代地区にまで到達している。これは 3.2 で扱う 5 つの想定破堤地点の中で、単位時間で氾濫流が進行する距離がもっとも大きいケー

スである。

以上、岡地区からの破堤氾濫を考えた場合には、

- i .岡・寺田・毛有地区では、その他の地区よりも流体力が大きくなる可能性がある。
- ii .岡・寺田・小浮気地区を結ぶ線上では地形勾配が大きいため、氾濫流が早く到達する。
- iii .毛有・小浮気地区で、急激に浸水深が増大する可能性がある。

これらが、岡地区で破堤した場合の氾濫流挙動の特徴として挙げられる。

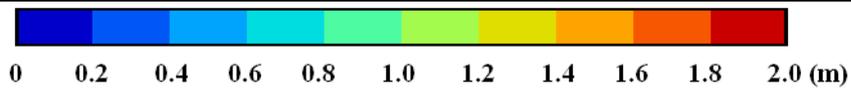
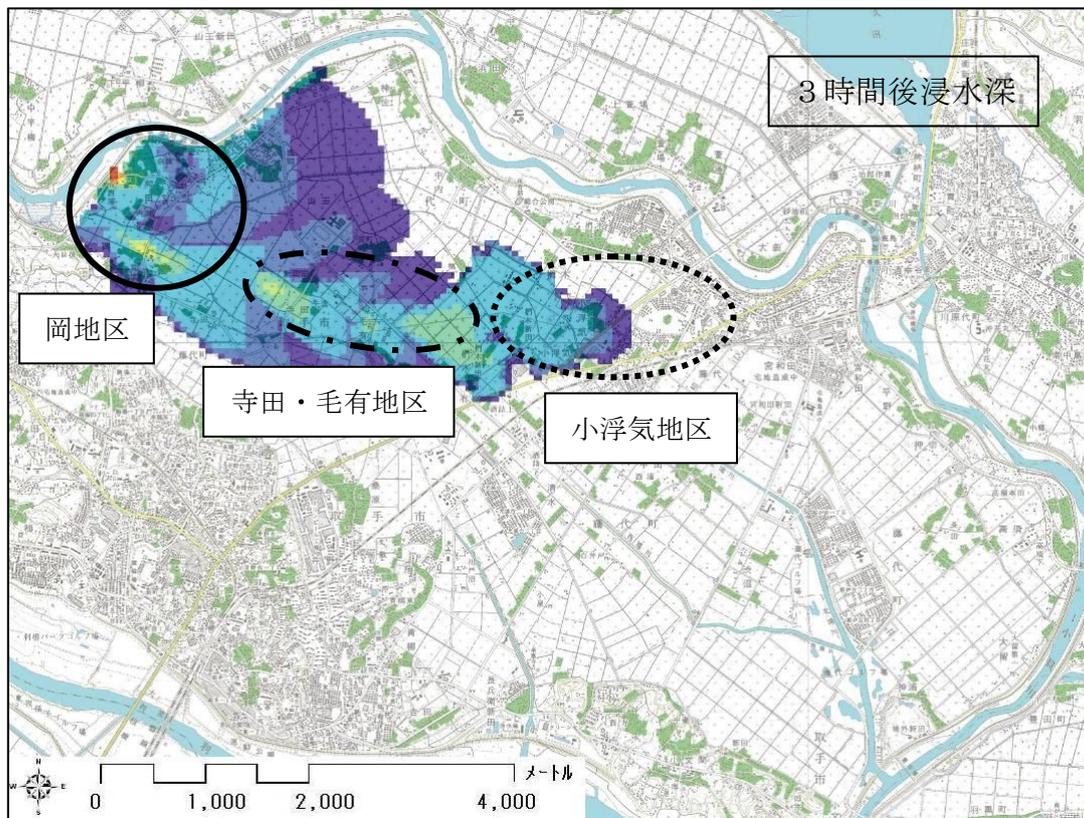
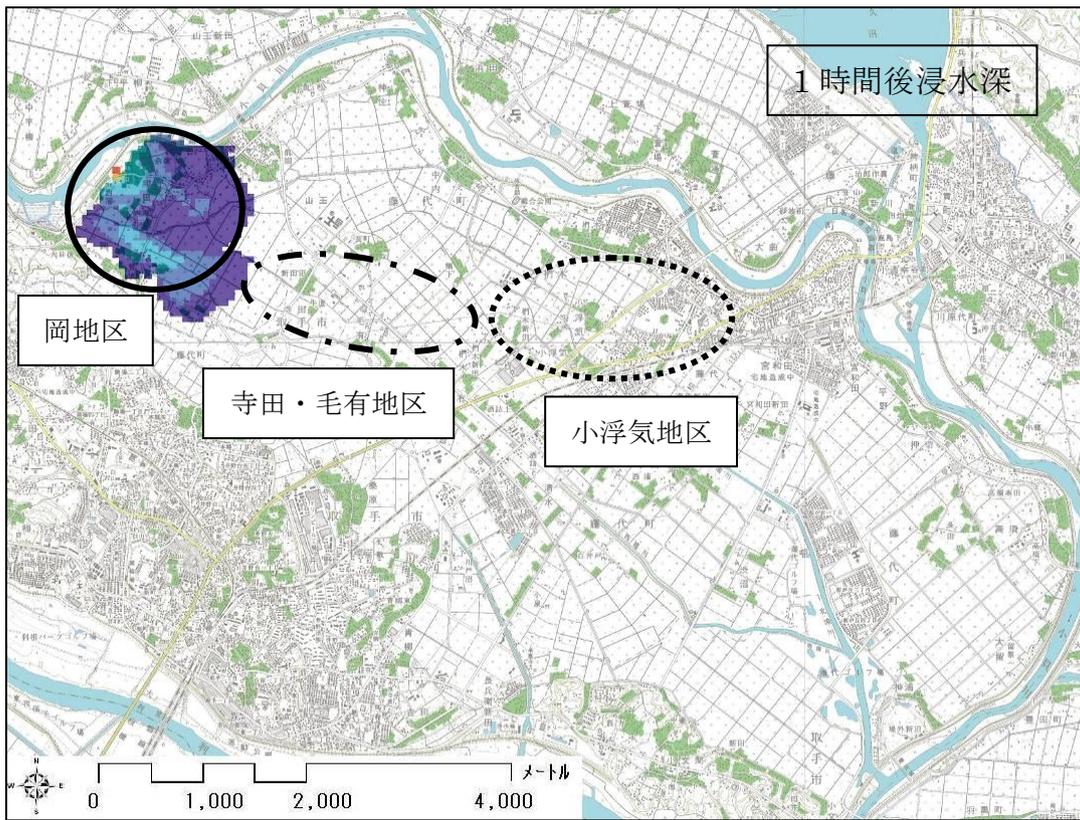


図 3.2.1-1 浸水深(上から1時間後、3時間後)

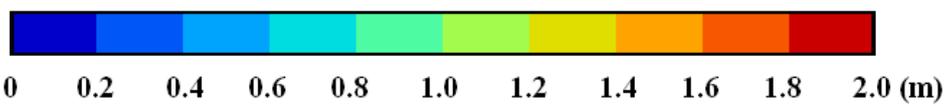
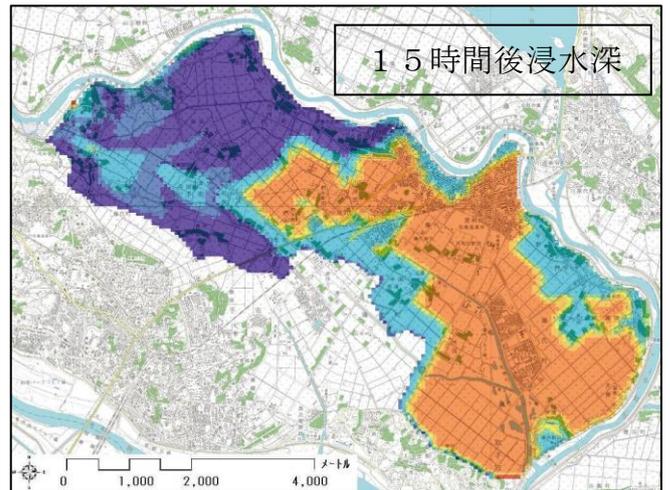
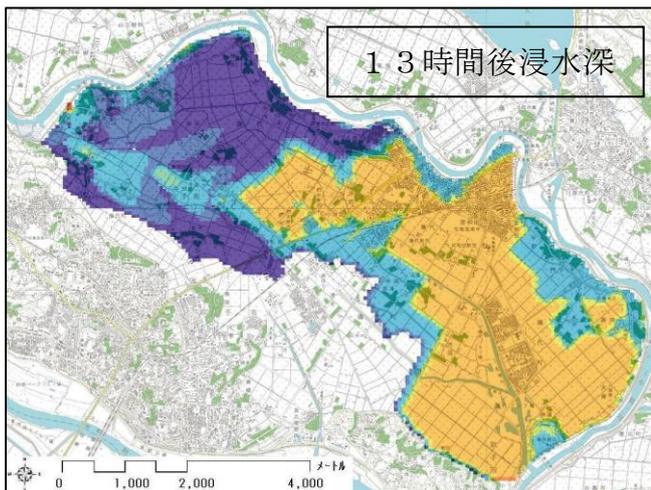
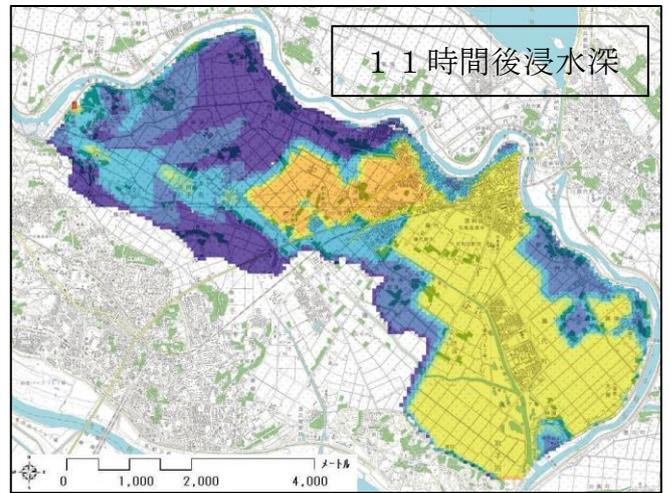
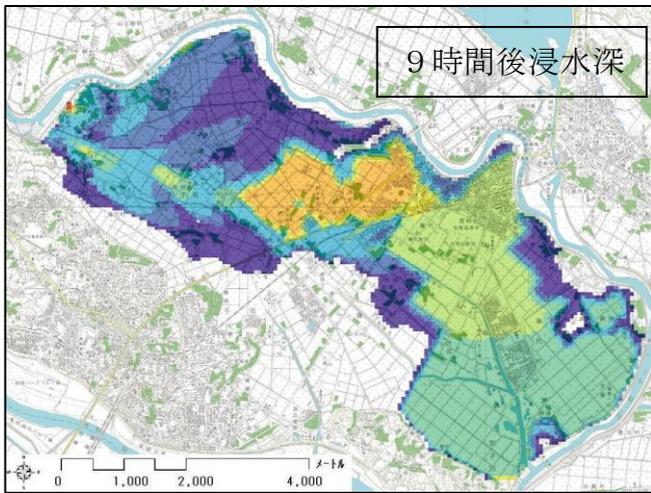
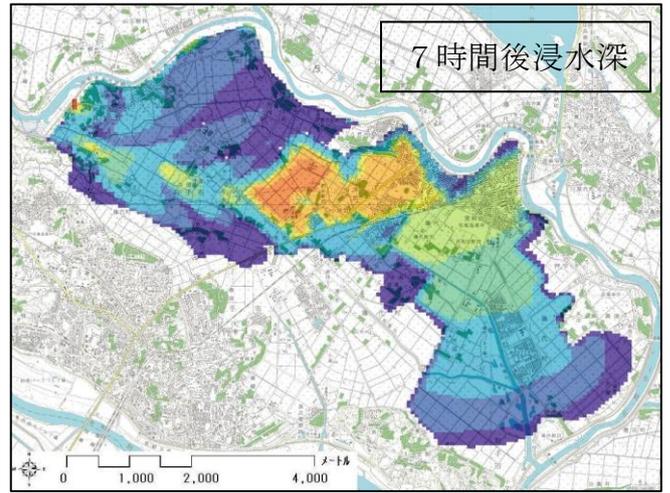
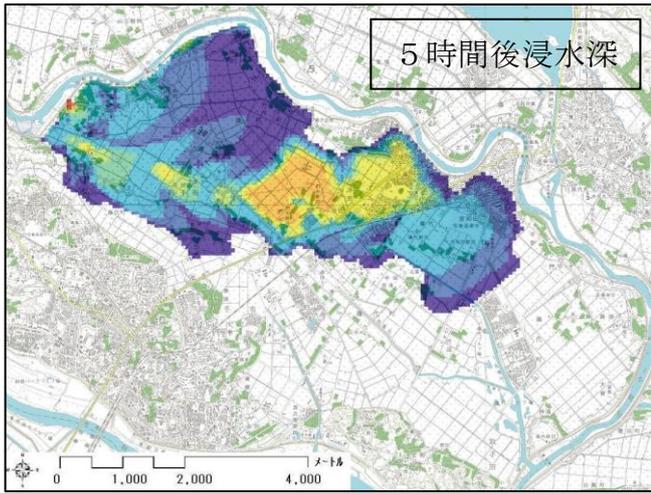


図 3.2.1-1 浸水深(上から 5 時間後、7 時間後、9 時間後、11 時間後、13 時間後、15 時間後)

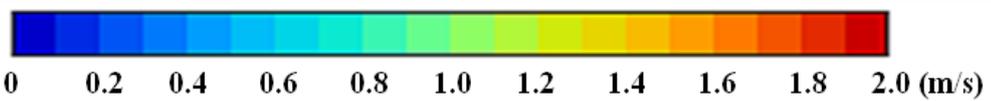
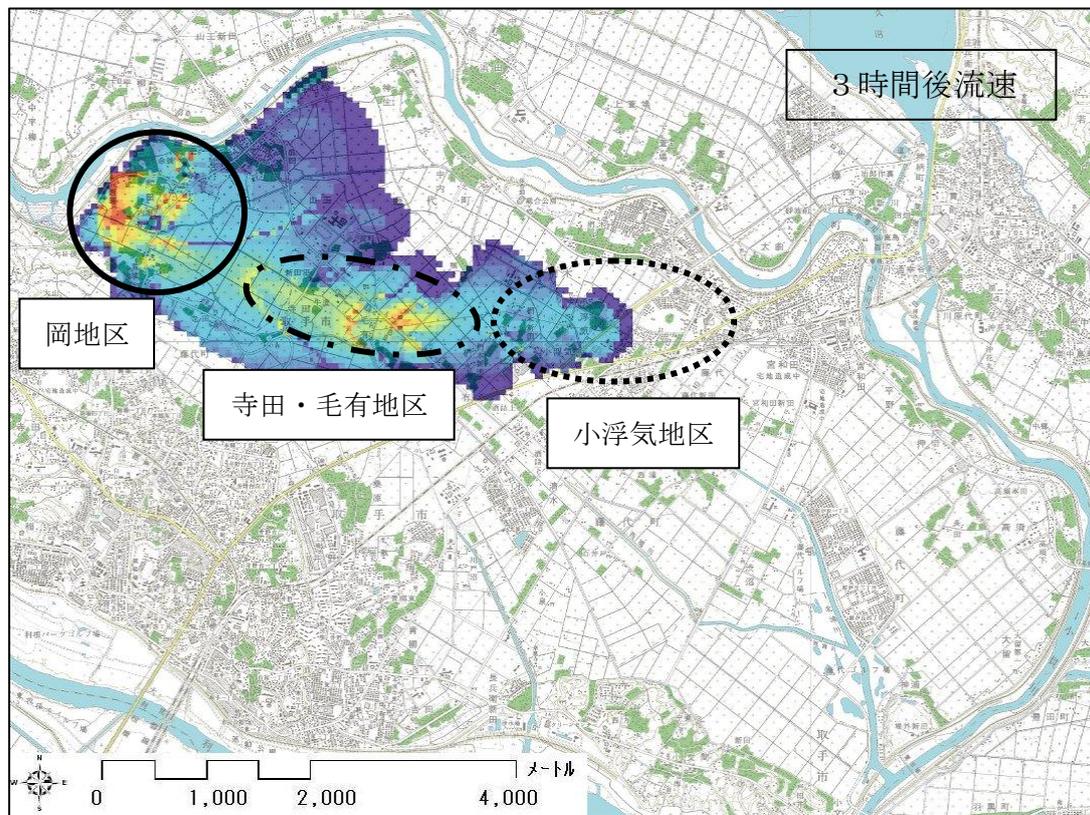
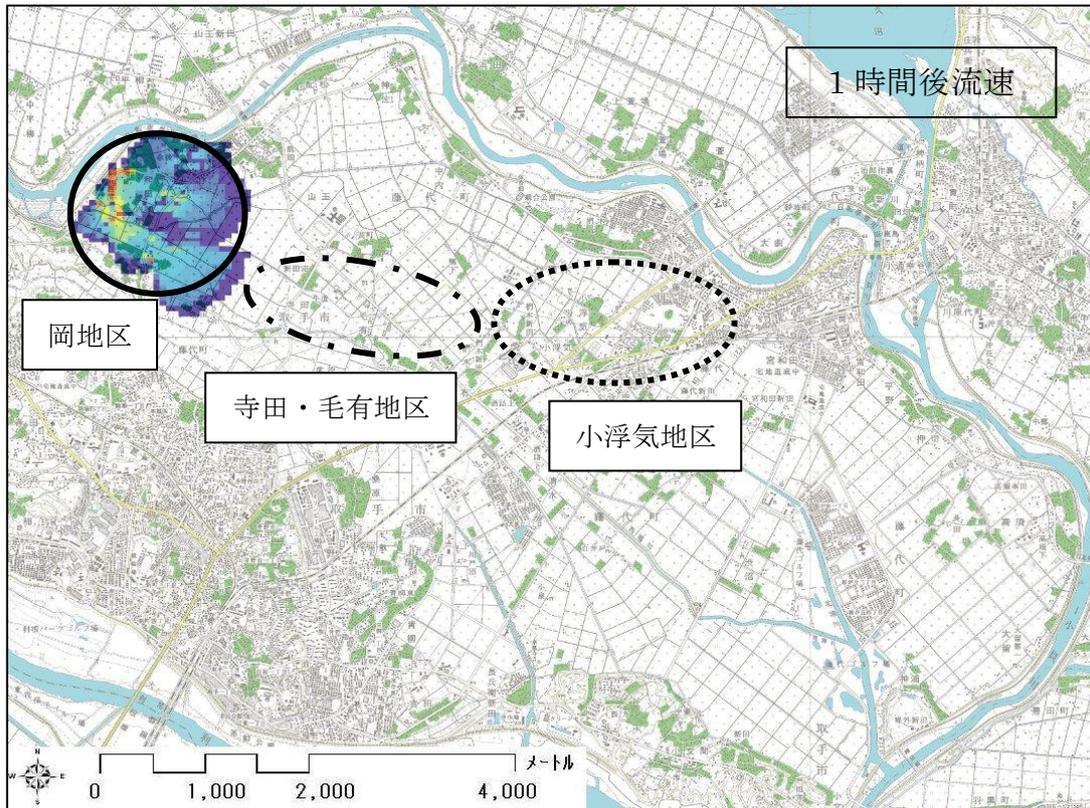
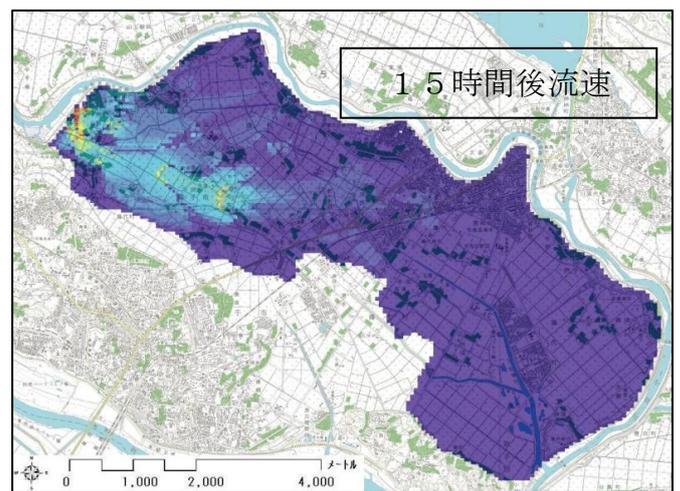
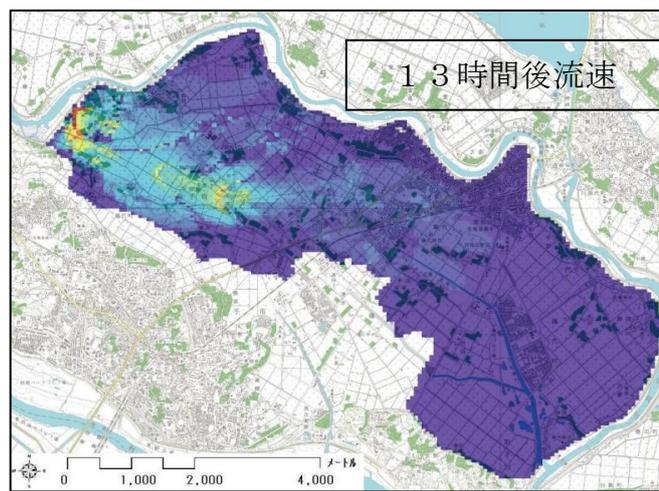
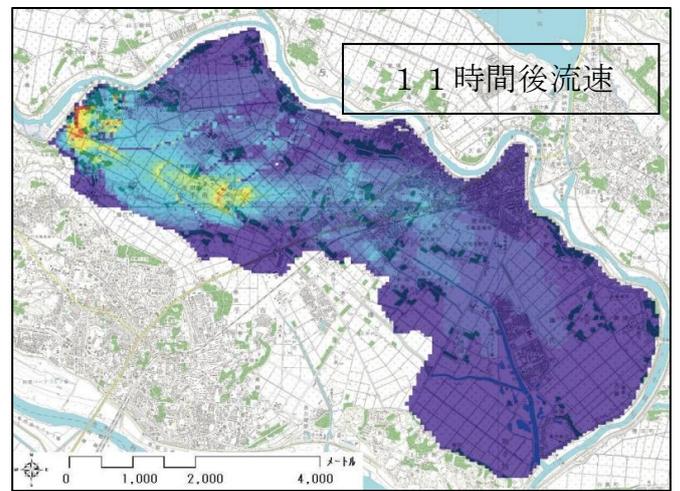
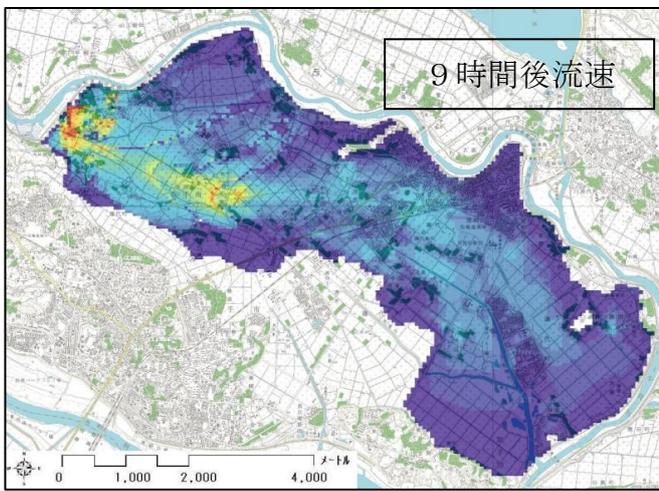
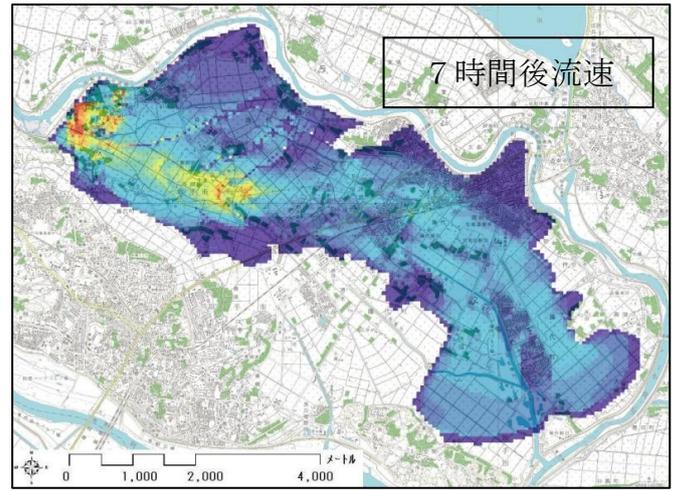
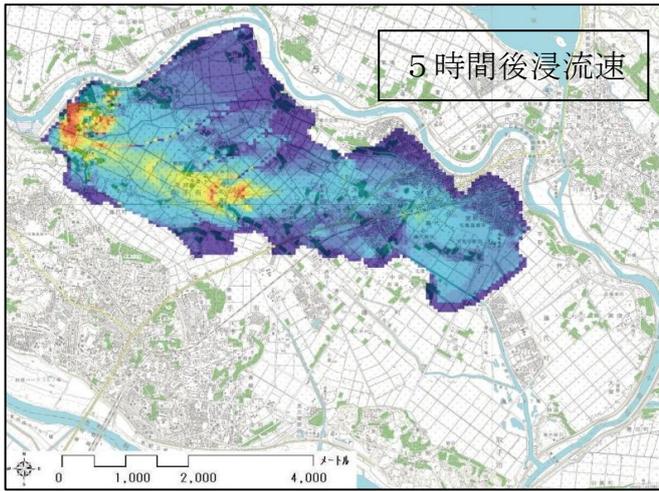


図 3.2.1-2 流速(上から1時間後、3時間後)



0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 (m/s)

図 3.2.1-2 流速(上から5時間後、7時間後、9時間後、11時間後、13時間後、15時間後)

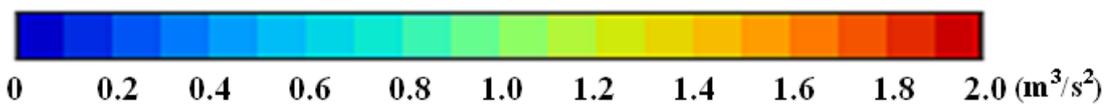
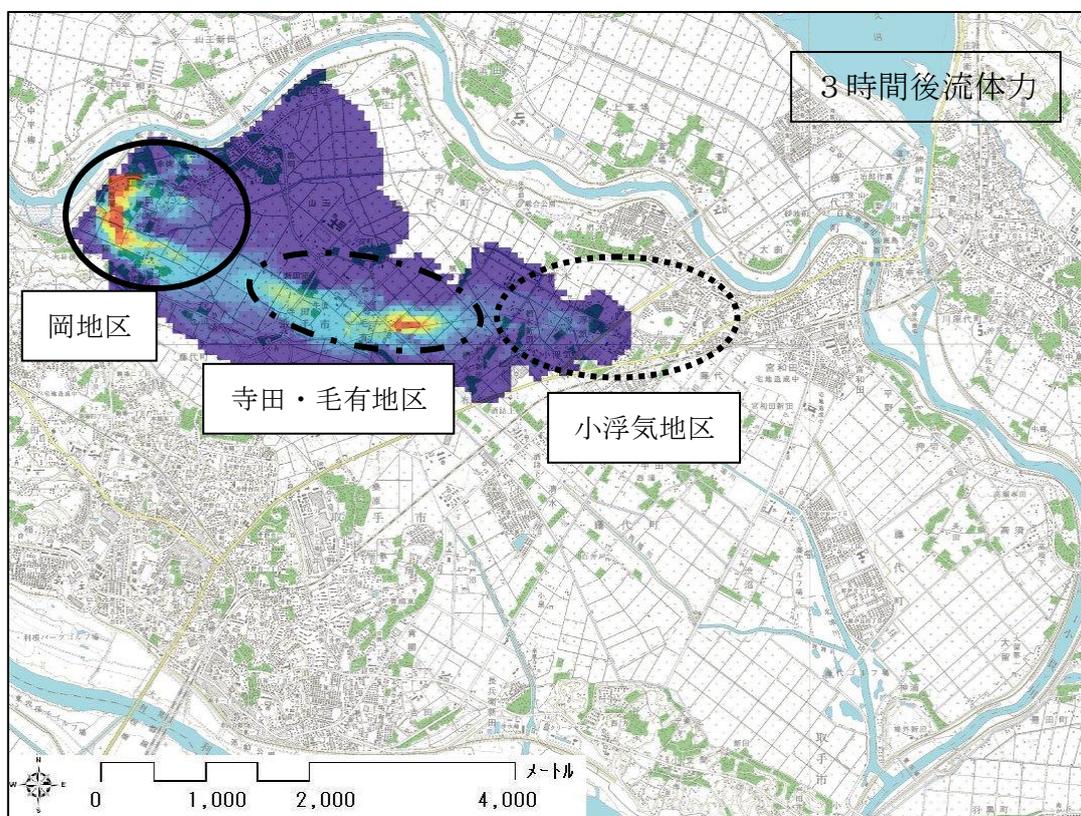
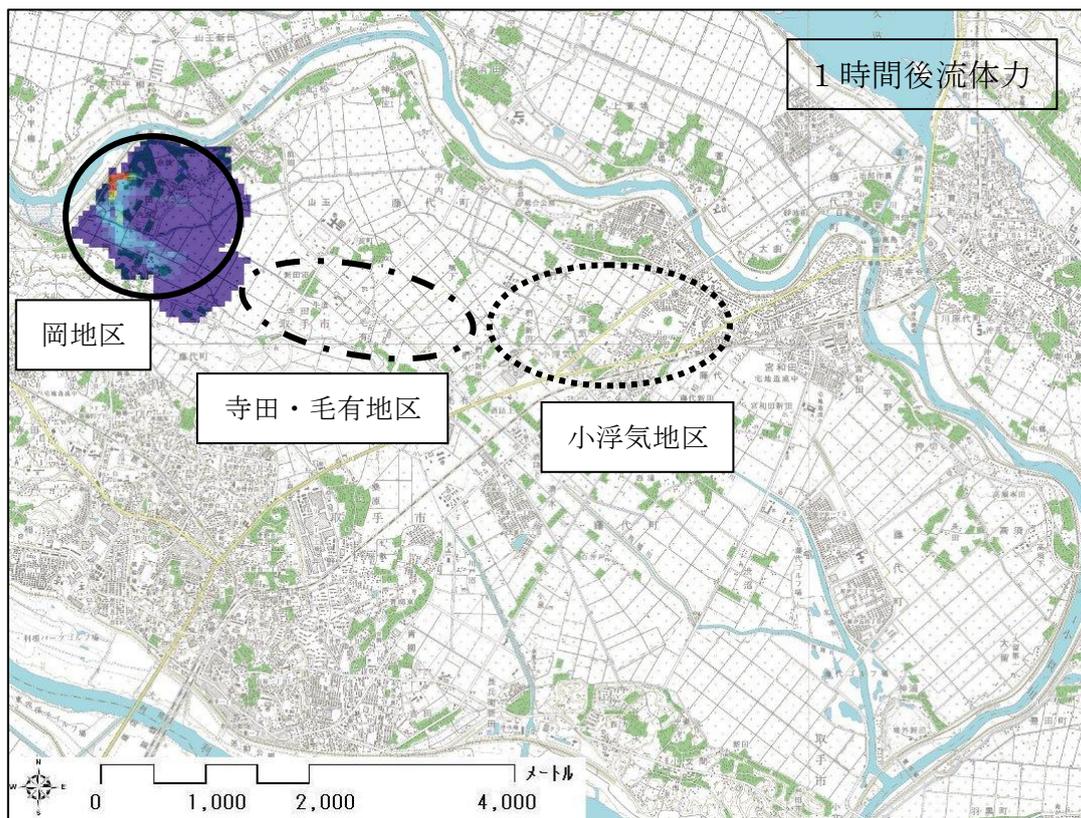
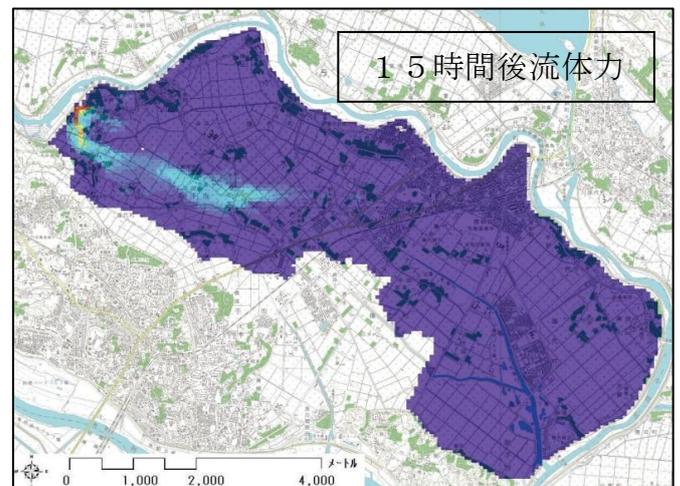
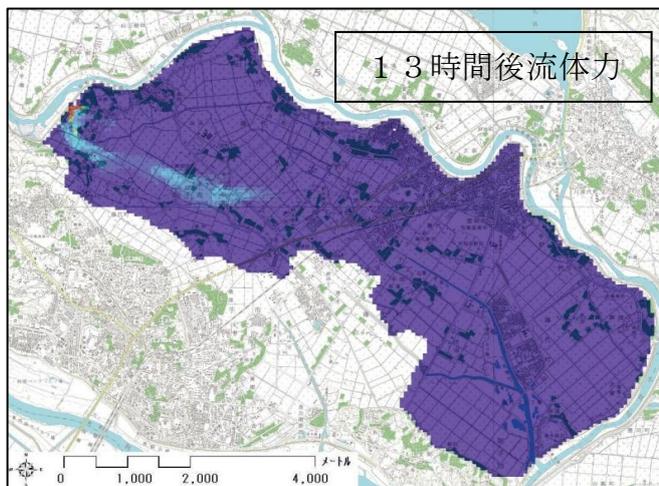
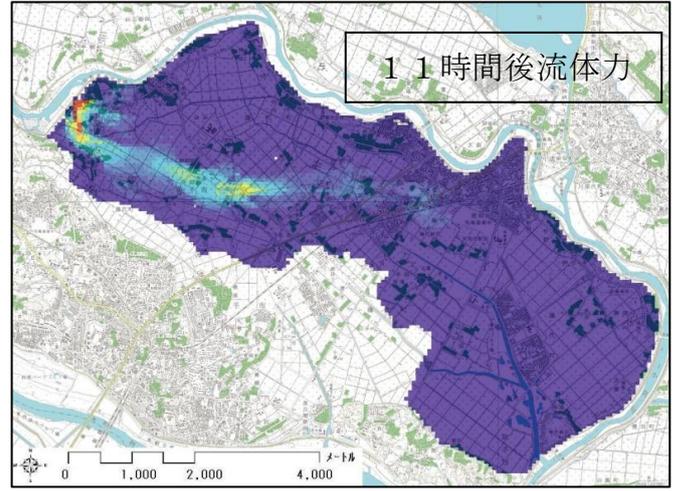
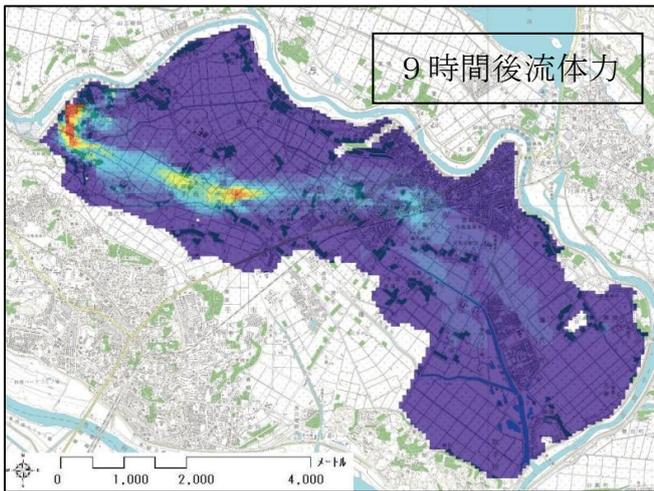
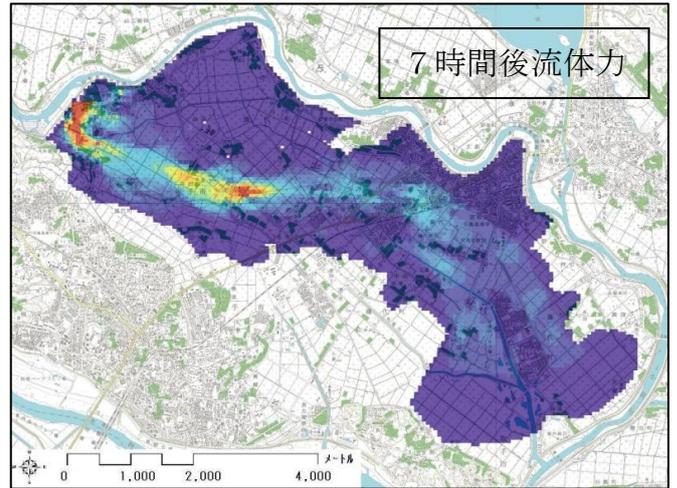
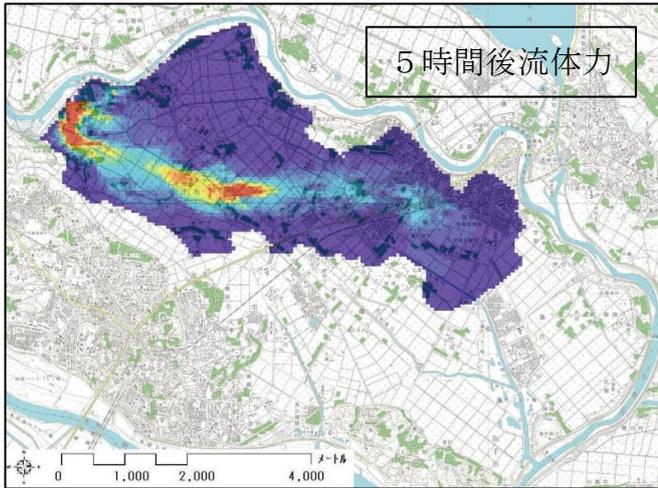


図 3.2.1-3 流体力(上から 1 時間後、3 時間後)



0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 ( $\text{m}^3/\text{s}^2$ )

図 3.2.1-3 流体力(上から 5 時間後、7 時間後、9 時間後、11 時間後、13 時間後、15 時間後)

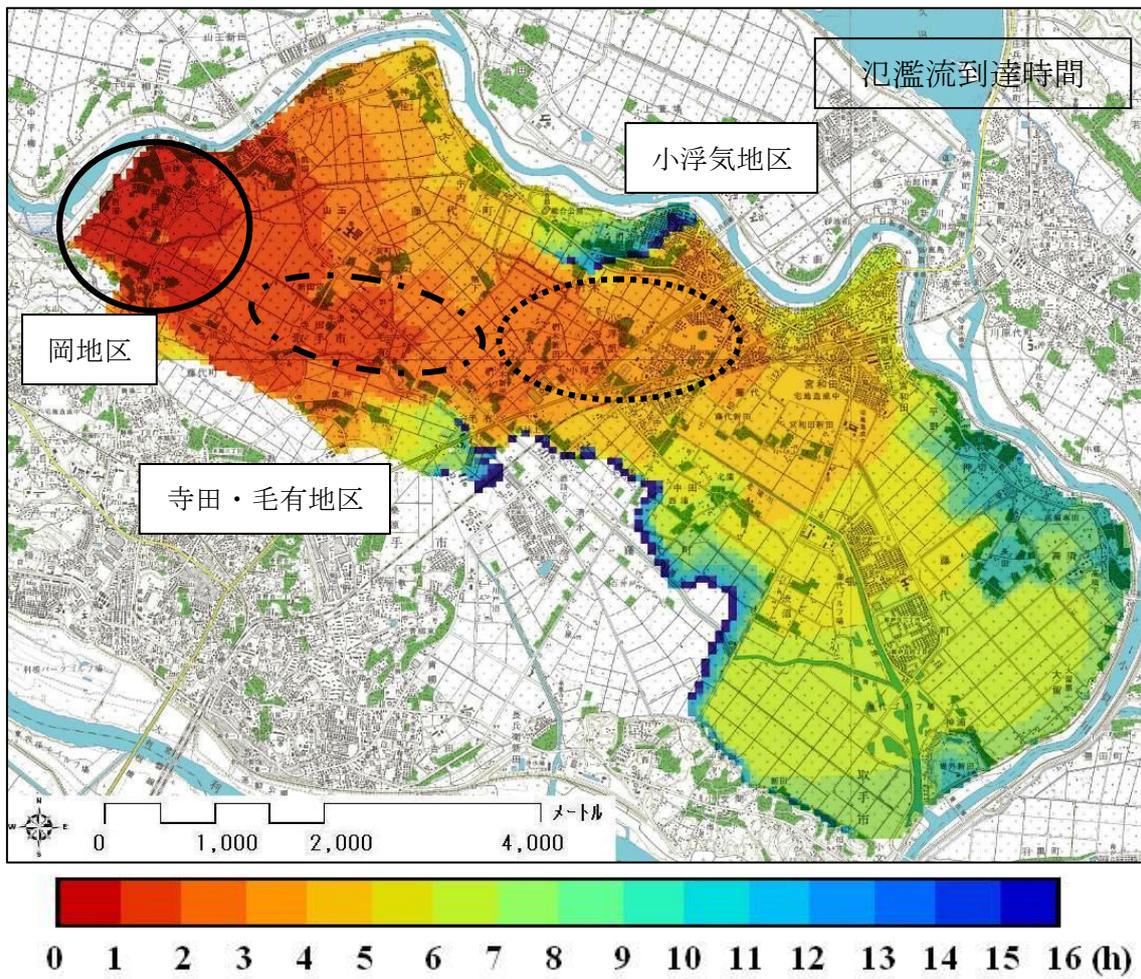


図 3.2.1-4 氾濫流の到達時間

### 3.2.2. 配松地区で破堤した場合

#### <浸水深>

図 3.2.2-1 に示すのが、配松地区で破堤した場合の各時間での浸水深のコンター図である。配松地区周辺で破堤した場合は、上述した岡地区のように、氾濫初期において狭い地域を氾濫水が集中して通過するのではなく、広い範囲に広がって氾濫水が広がっていく。破堤から約 1.5 時間後には山王地区の聖徳大学付属聖徳中学校・高等学校付近に達し、約 3 時間後に小浮気地区に到達する。山王地区の最大水深は約 50cm～80cm である。この配松地区で破堤した場合も、先のケースと同じく小浮気周辺で局所的に水深が大きくなることが確認される。その後、4.5 時間後に氾濫水は宮和田に達し、破堤から約 7.5 時間後に氾濫域下流端に到達、その後浸水深が増加していく。

#### <流速・流体力>

図 3.2.2-2 と図 3.2.2-3 に示すのが、配松地区で破堤した場合の各時間での流速と流体力の図である。破堤点近傍では流速・流体力ともに大きくなるが、岡地区から破堤したケースと比較すると、数値が大きくなっている範囲は狭い。山王地区周辺では破堤流量ピーク時の 4.5 時間後で流速が約 0.7m/s、小浮気地区周辺では約 0.5m/s であるが、山王地区周辺では浸水深が小浮気地区より比較的小さいため、流体力を比較すると、山王、小浮気ともに同程度になる。

#### <氾濫流到達時間>

配松地区で破堤した場合の、各地点の氾濫流到達時間を図 3.2.2-4 に示す。

先に確認した岡地区で破堤した場合の氾濫流到達時間と、配松地区で破堤した場合の氾濫流到達時間を比較する。破堤地点近傍での到達時間は、2つのケースを比べると大きく異なっているが、小浮気地区周辺に達したことを示す 3 時間後のコンターラインは2つのケースを比べても大差ないことがわかる。これは破堤地点が異なっても同程度の時刻で小浮気地区に氾濫流が達することを示唆しており、破堤地点が遠くても地形勾配によって氾濫流の伝播速度が大きいとこのようなことが起きる。氾濫域下流部で氾濫流の到達時間を比較すると、岡地区で破堤した場合の方が大きい地形勾配で加速された分、若干早く到達していることがわかる。

1 時間ごとに氾濫流が進行した距離を調べる。1 時間後には破堤地点より約 1km 離れたところまで到達し、2 時間後には 2.0km 地点、3 時間後には約 3.7km 離れた位置まで、4 時間後には破堤地点から約 5.2km の地点まで到達している。先に検討した岡地区で破堤した場合よりも単位時間当たりの到達距離は短くなっているが、今回取り扱う 5 つのケースの中では岡地区に次ぐ到達距離を示している。

配松地区からの破堤氾濫を考えた場合には、

- i .山王地区の広い範囲を氾濫流は拡散し、その後、毛有・小浮気に狭い範囲に集中する。
- ii .岡地区・配松地区いずれの破堤ケースでも同じく、約 3 時間で小浮気まで到達する。
- iii .岡地区の破堤と同様に、毛有・小浮気地区で、急激に浸水深が増大する可能性がある。

以上が、配松地区で破堤した場合の氾濫流挙動の特徴として挙げられる。

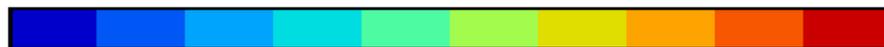
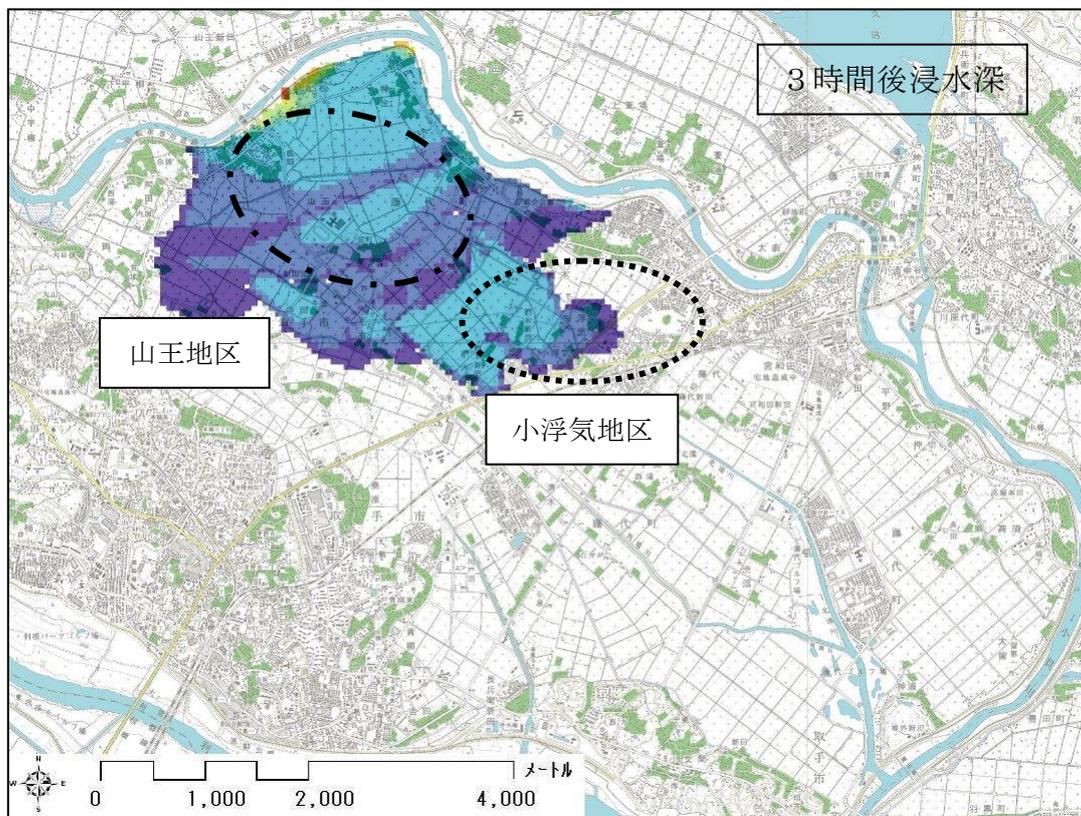
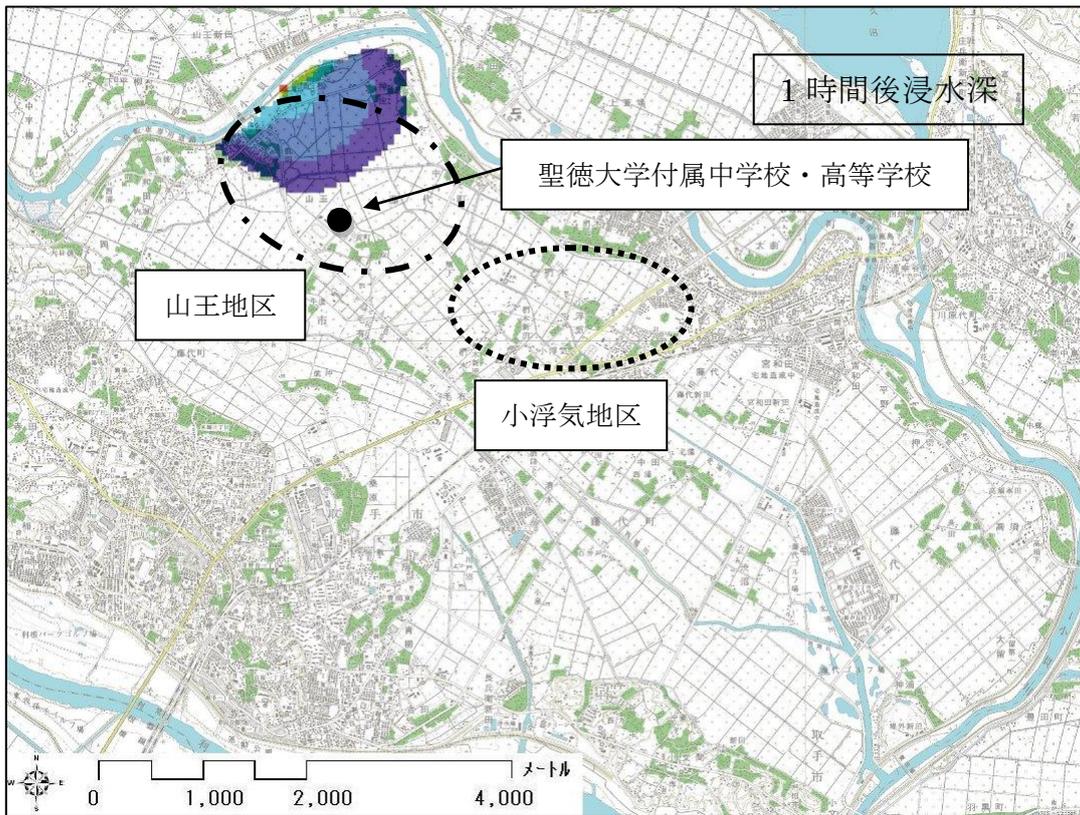


図 3.2.2-1 浸水深(上から1 時間後、3 時間後)

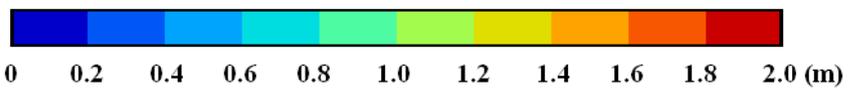
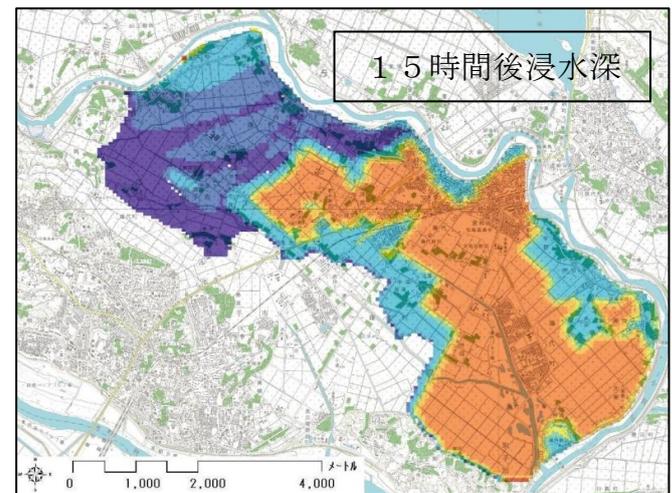
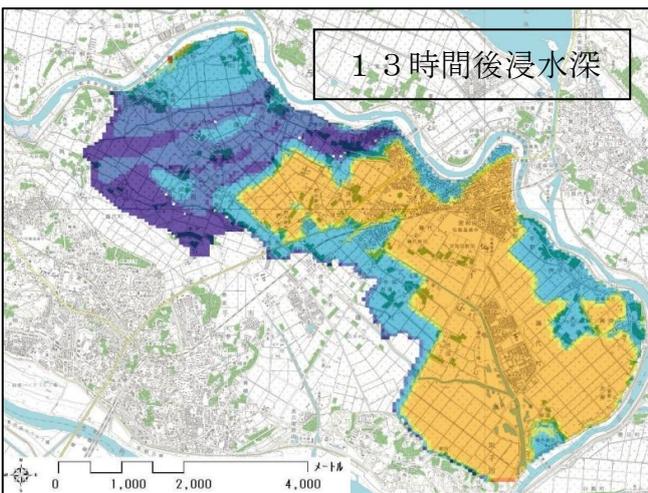
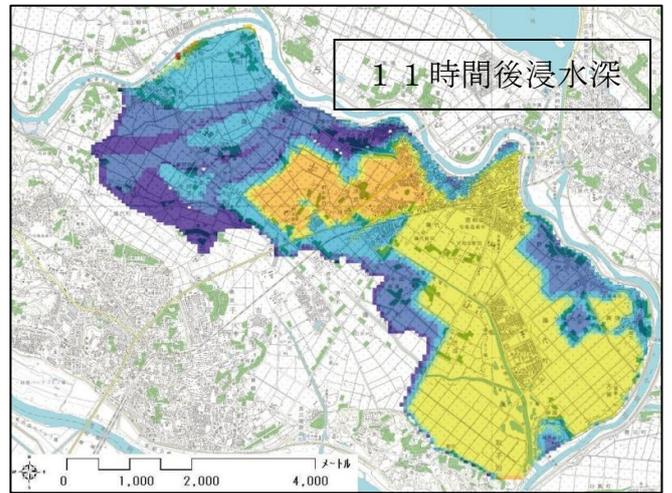
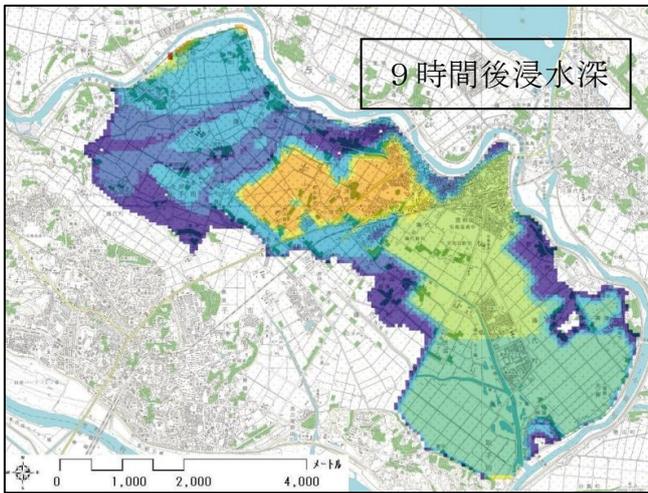
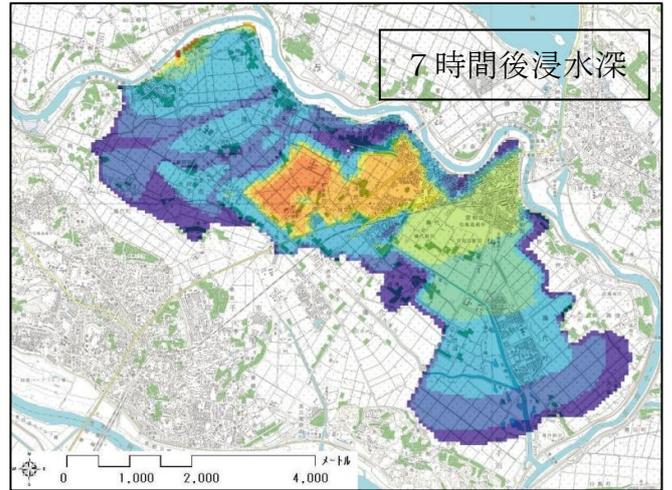
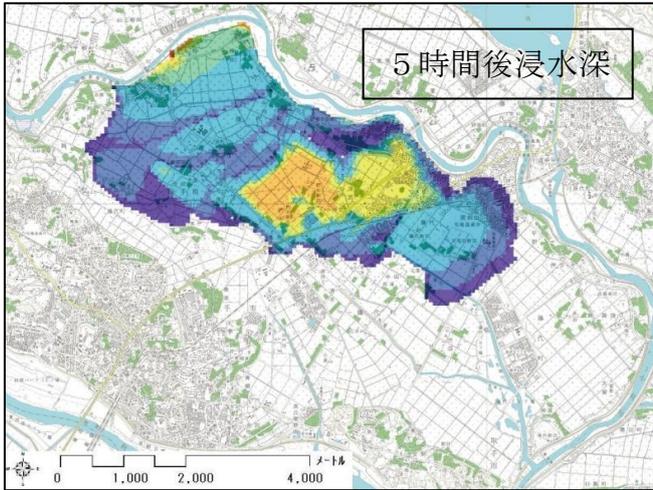


図 3.2.2-1 浸水深(上から 5 時間後、7 時間後、9 時間後、11 時間後、13 時間後、15 時間後)

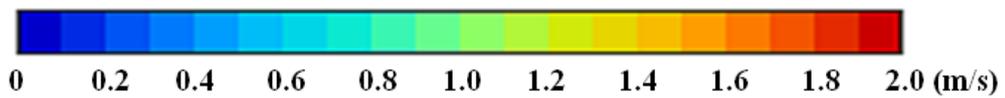
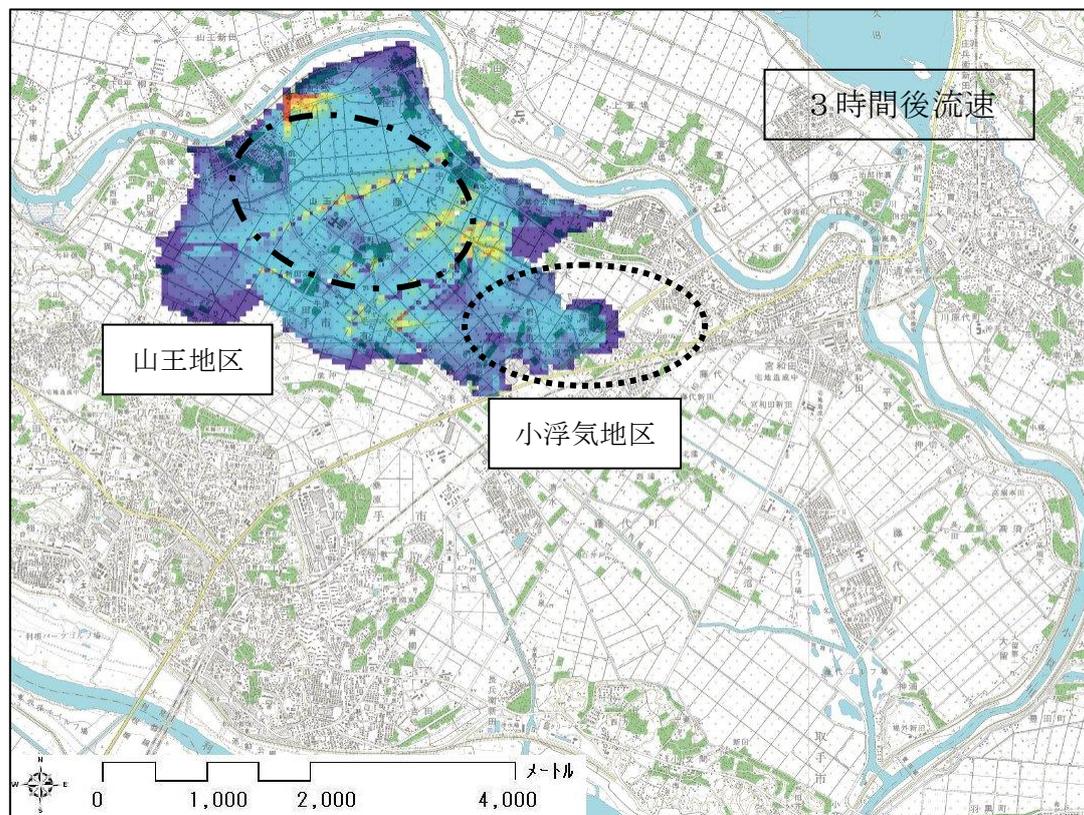
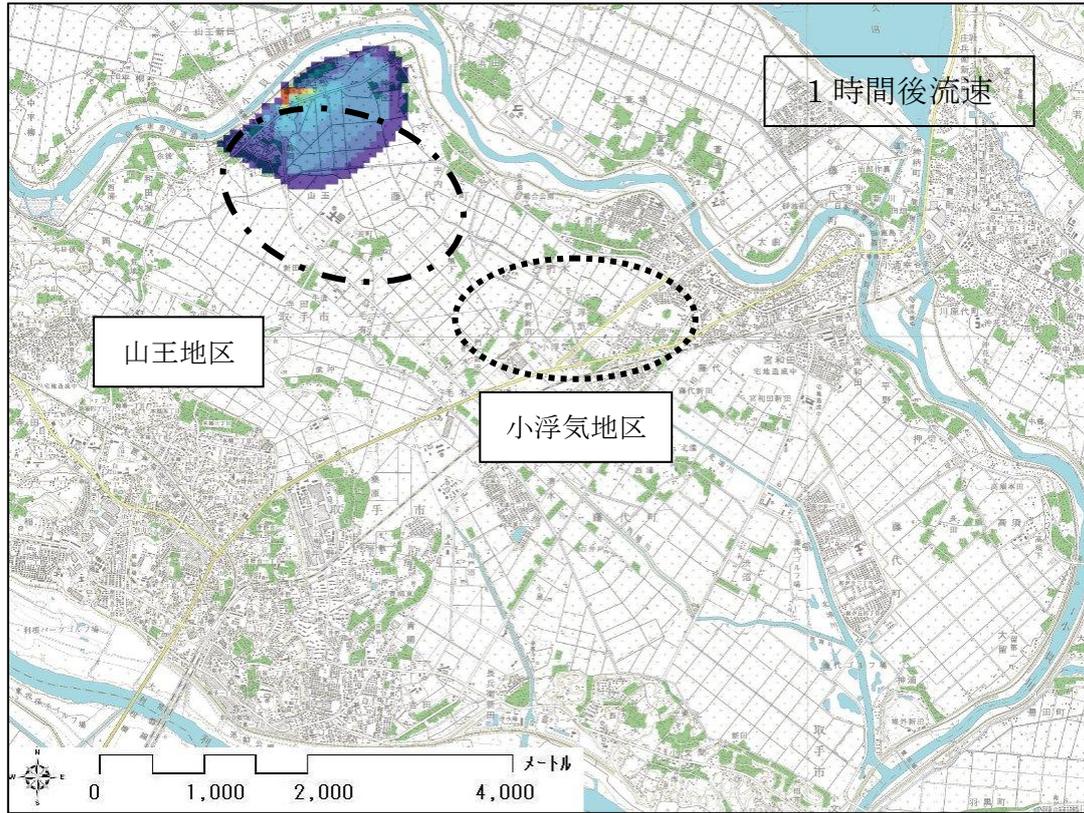


図 3.2.2-2 流速(上から1時間後、3時間後)

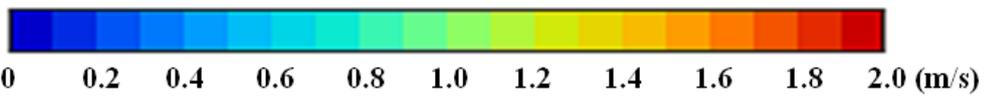
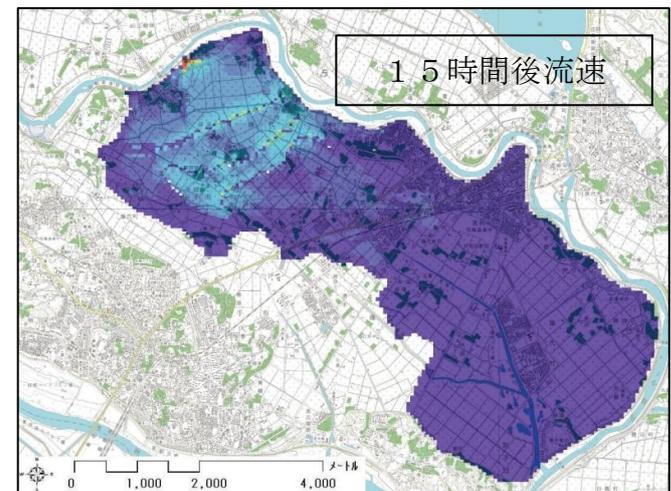
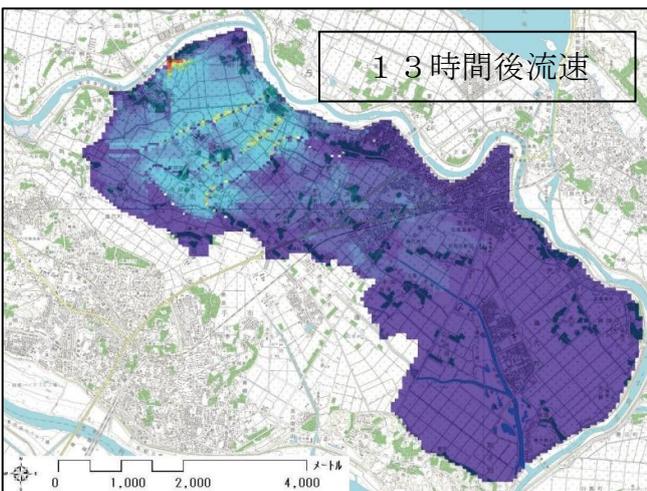
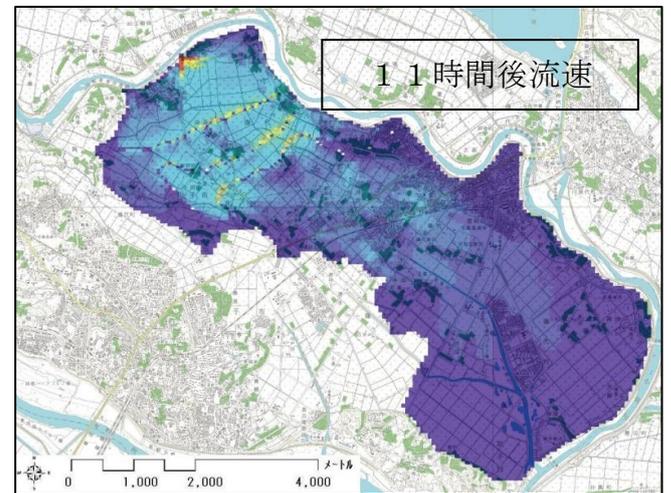
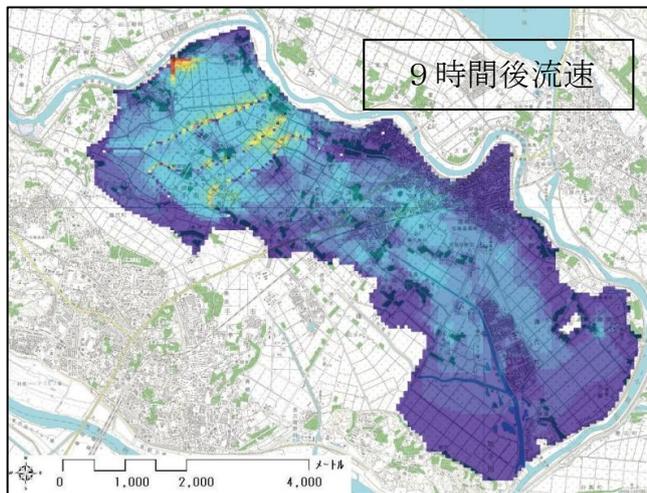
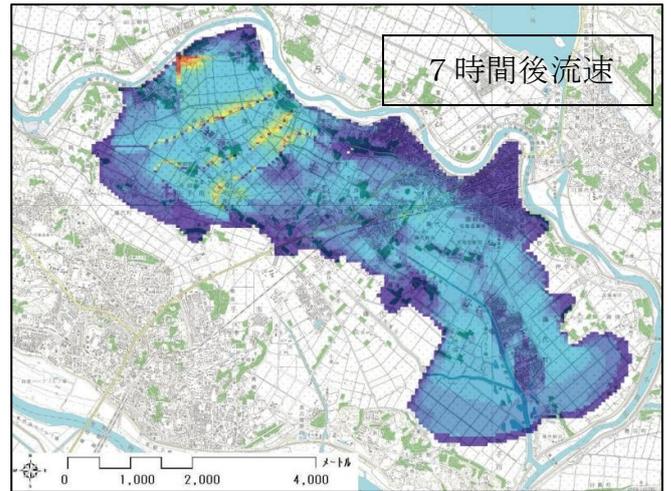
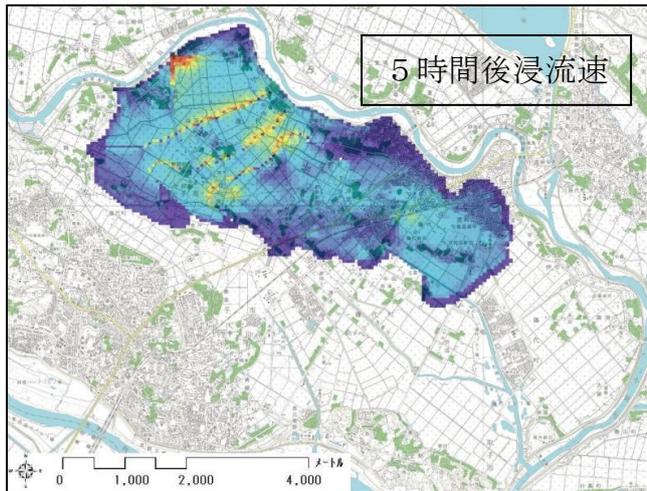


図 3.2.2-2 流速(上から5時間後、7時間後、9時間後、11時間後、13時間後、15時間後)

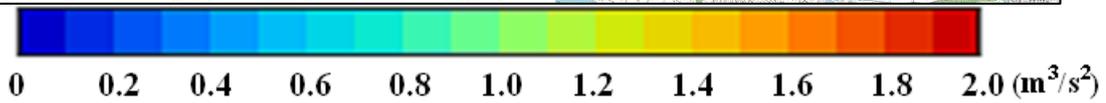
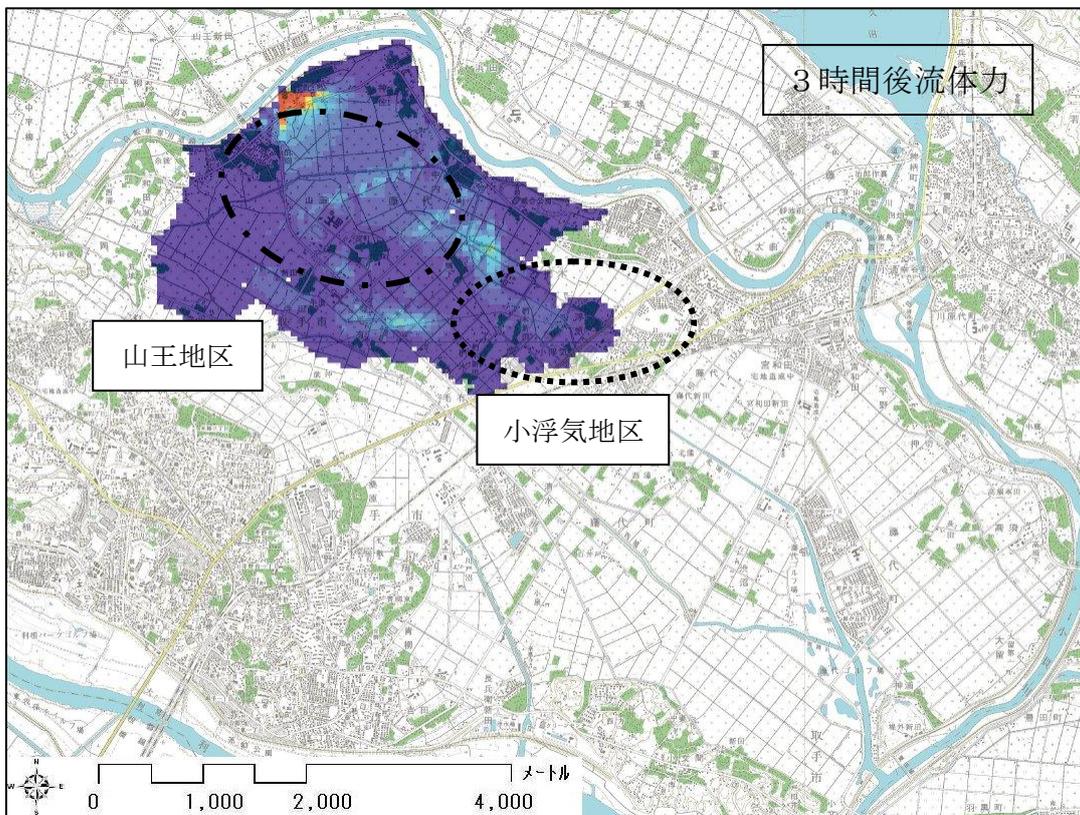
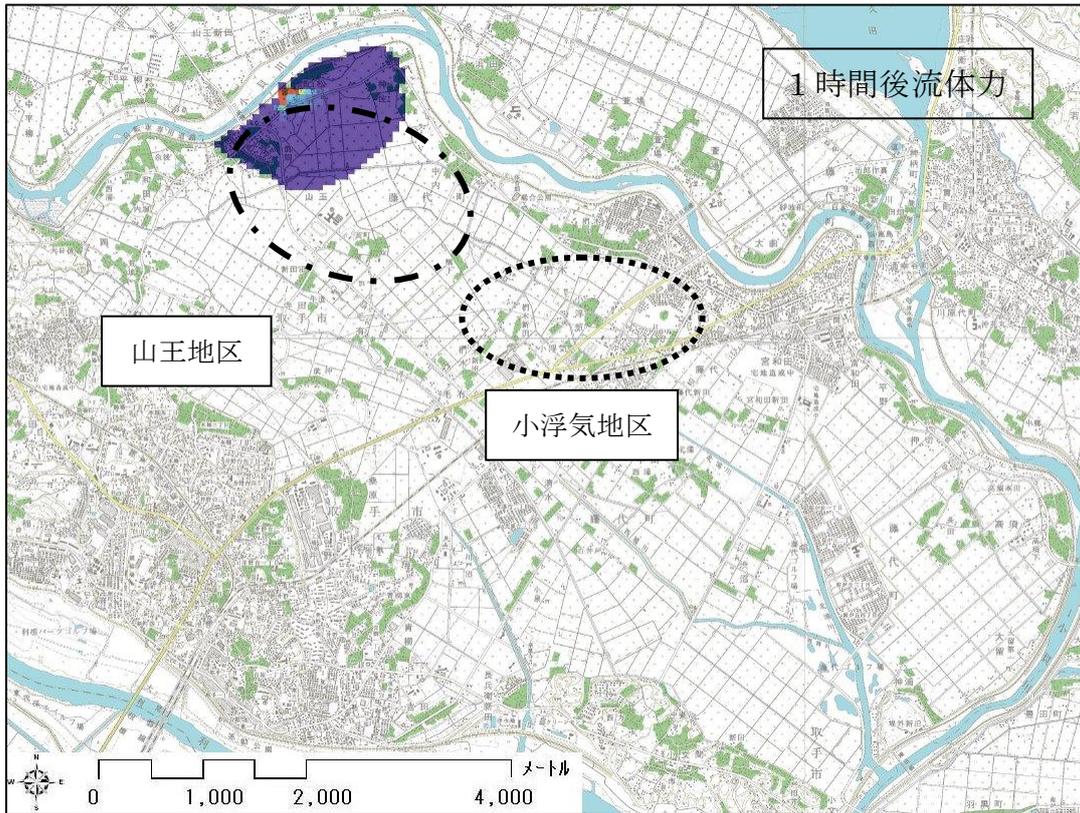
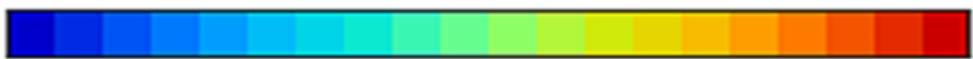
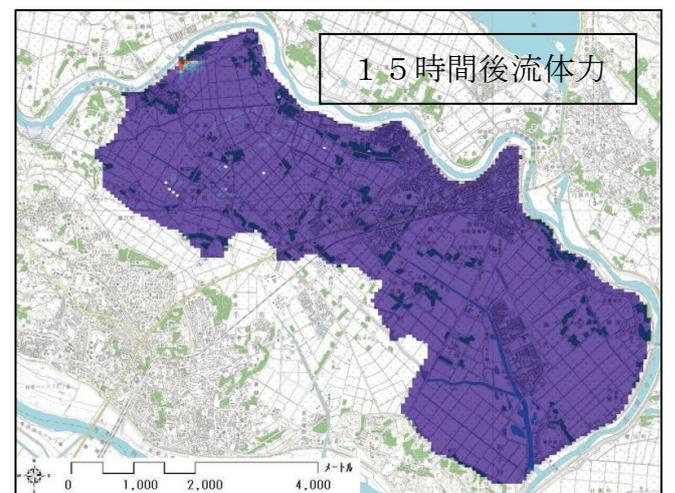
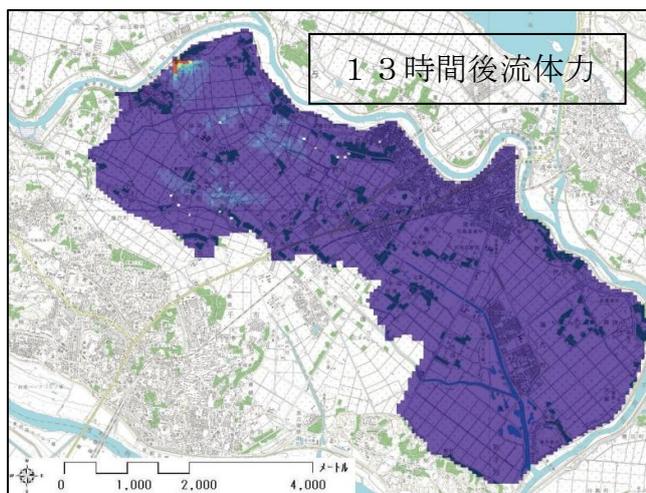
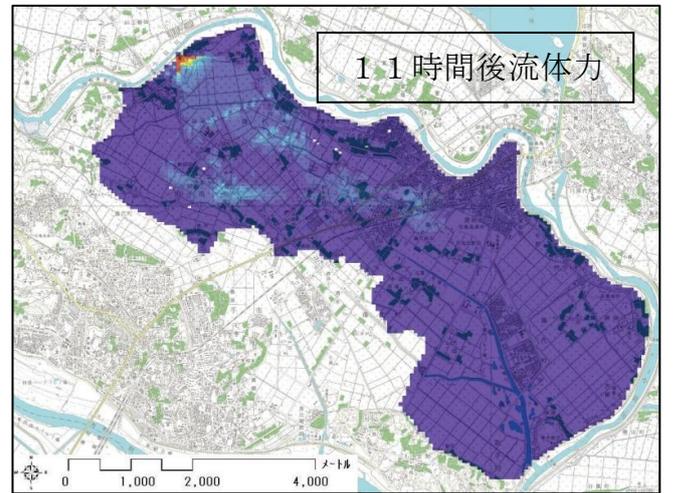
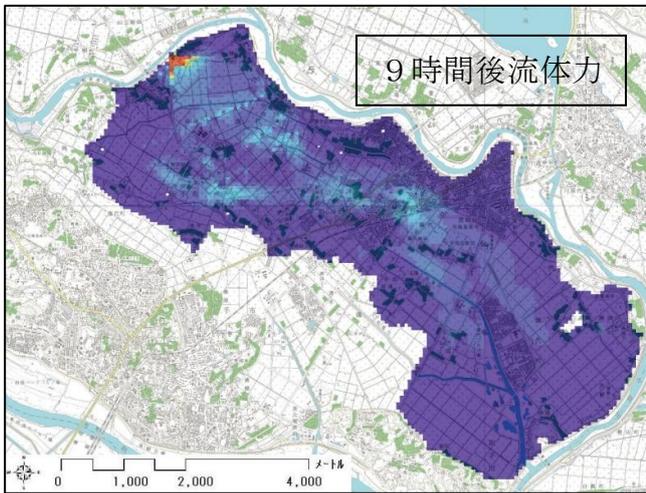
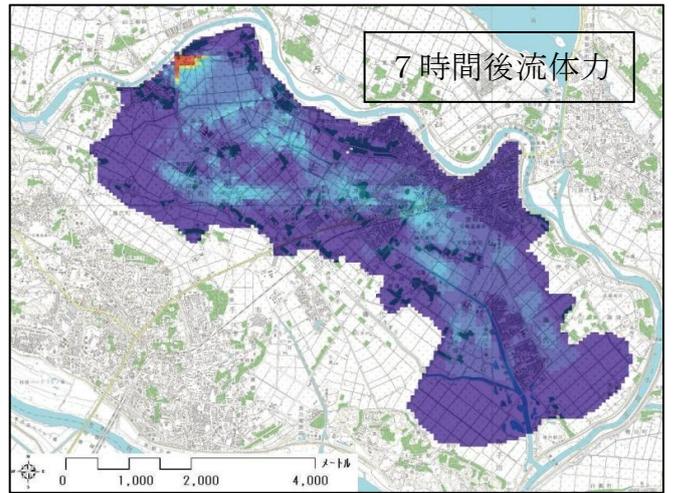
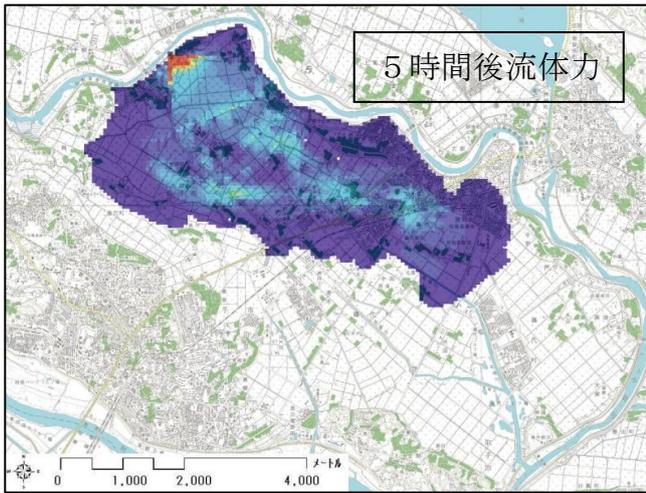


図 3.2.2-3 流体力(上から1時間後、3時間後)



0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 (m<sup>3</sup>/s<sup>2</sup>)

図 3.2.2-3 流体力(上から5時間後、7時間後、9時間後、11時間後、13時間後、15時間後)

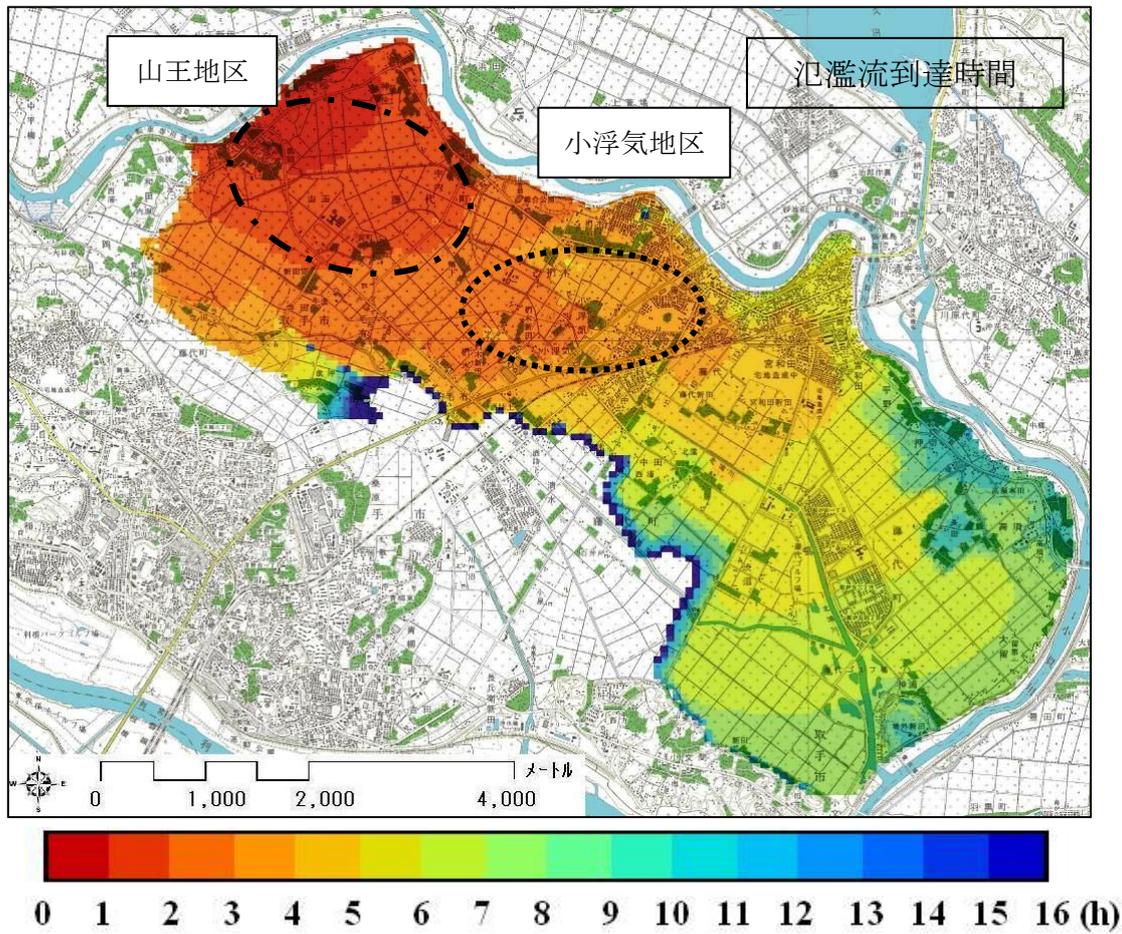


図 3.2.2-4 氾濫流の到達時間

### 3.2.3. 藤代地区で破堤した場合

#### <浸水深>

図 3.2.3-1 に示すのが藤代地区で破堤した場合の各時間での浸水深の図である。先に確かめた岡地区、配松地区での2つのケースとは異なり、氾濫流は一方方向に広がるのではなく、このケースでは破堤地点から西の小浮気方向と氾濫域南東部の平野部方向への二手に分かれて伝播する。小浮気方向に進んだ氾濫水は破堤から2.5時間後に毛有地区付近まで進行する。そして、そこから先へは拡散せずに、その地区周辺では平野部よりも比較的早く水深が上昇する。もう一方の氾濫域南東部の平野部方向へ進んだ氾濫流は約2時間後に宮和田地区に達し、南東方向の氾濫域南端付近には約6時間後に到達、以後水深が上昇していく。

#### <流速・流体力>

図 3.2.3-2 と図 3.2.3-3 に示すのが、藤代地区で破堤した場合の各時間での流速と流体力の図である。小浮気地区周辺では、毛有まで氾濫流が到達するまでは0.6m/s程度の流速が確認され、毛有まで氾濫流が達した後は、流速はほとんど発生せずに水深のみ増加している。平野部方向では局所的に流速0.8m/sに達している場所はあるが、勾配の大きいところが無いため流速1.0m/s以上になっている地域は確認されない。流体力に関しても先の2ケースのように特に大きくなっている箇所はない。氾濫流が氾濫域下流端に到達して浸水深が平野部で一様に増加していく約7時間後以降では流速・流体力の値はともに小さくなっていく。

#### <氾濫流到達時間>

藤代地区で破堤した場合での、各地点の氾濫流到達時間を図 3.2.3-4 に示す。小浮気地区周辺に着目すると、氾濫流は2時間以内で小浮気地区、約3時間で毛有地区に到達している。今回、小浮気地区は想定破堤地点から比較的近く、当然、氾濫流到達時間は短くなる。しかし、先に比較した岡地区、配松地区から破堤した場合も、小浮気地区への到達時間は約3時間となっているため、小浮気地区は、岡地区から藤代地区のいずれの場所で破堤した場合も比較的短い時間で氾濫流が到達する地域であるということがわかる。

1時間ごとの氾濫流の到達距離を調べる。1時間後には破堤地点から約1km離れた地点まで到達し、2時間後には約1.5km地点、3時間後には約2.3km地点まで達し、そして4時間後には3km離れた位置まで氾濫流が到達している。藤代地区は住宅が多く粗度が大きい地域になっているため、氾濫流の進行速度が他のケースと比較して小さくなっている。

藤代地区周辺からの破堤氾濫を考えた場合には、

- i .氾濫流は、破堤地点から西側小浮気方向と南側平野部方向の二手に分かれて進む。
- ii . i で挙げた両方向での、浸水深の上昇速度は小浮気方向の方が大きい。
- iii .毛有地区には約 3 時間、氾濫城南端には約 6 時間で到達する。

以上が、藤代地区で破堤した場合の氾濫流挙動の特徴として挙げられる。

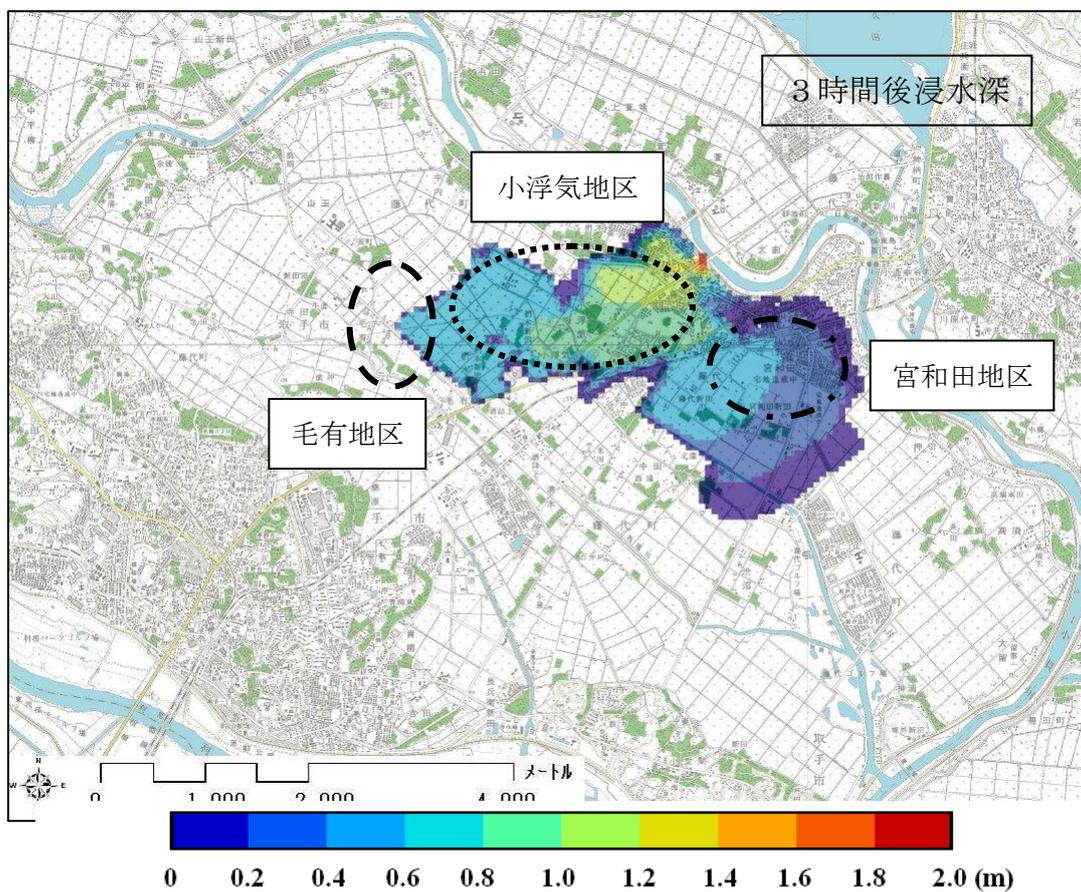
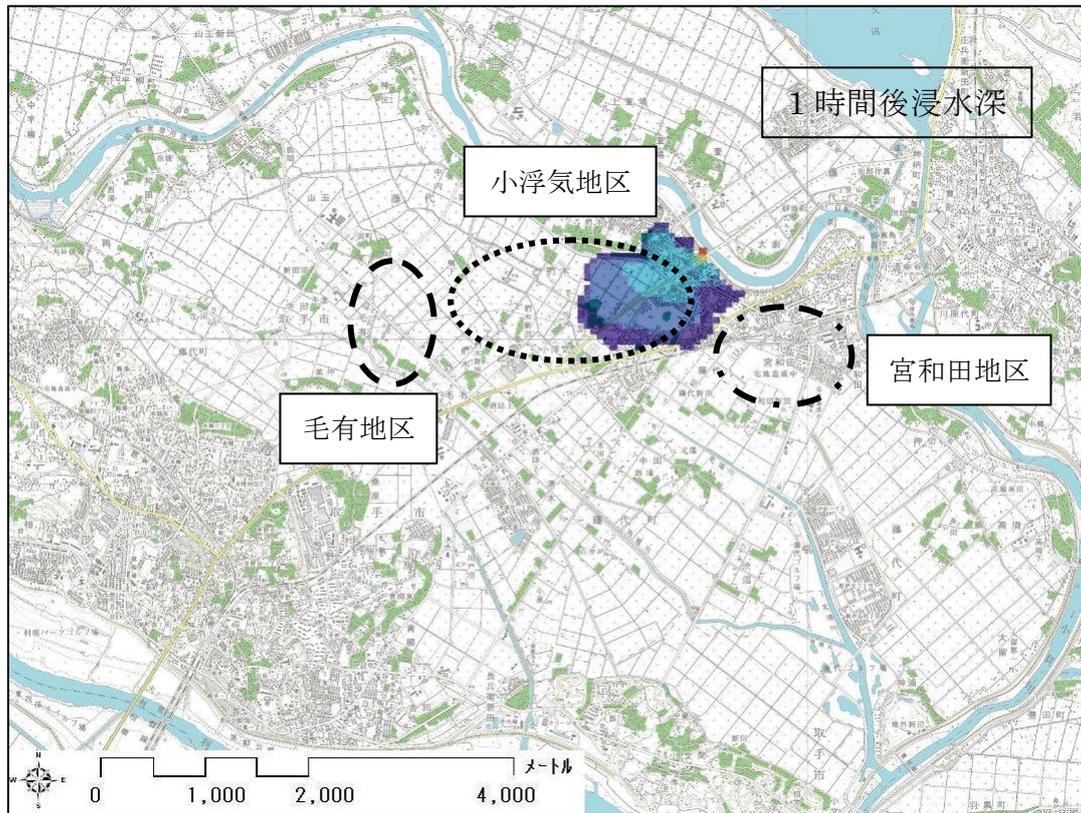


図 3.2.3-1 浸水深(上から 1 時間後、3 時間後)

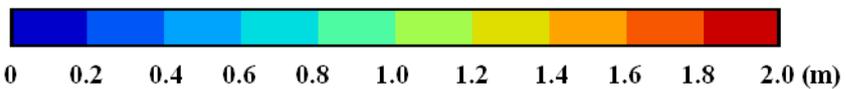
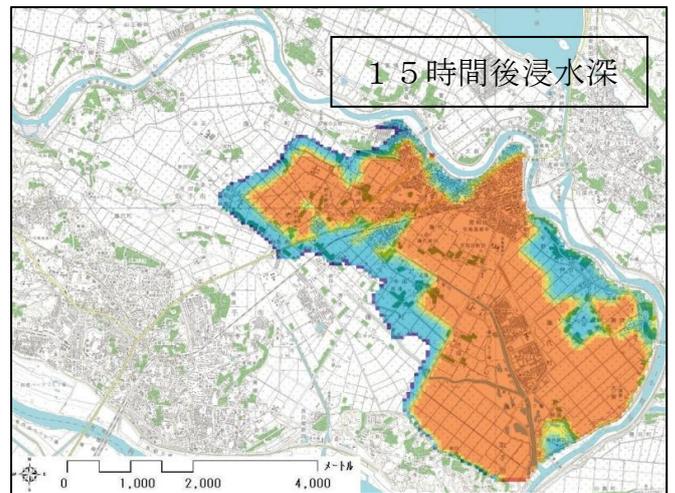
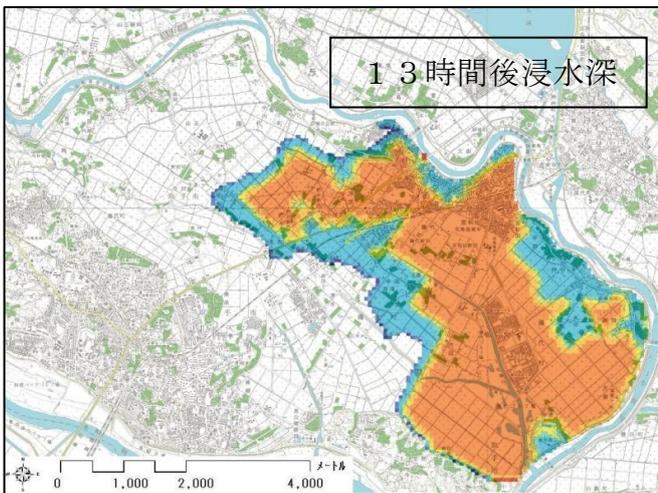
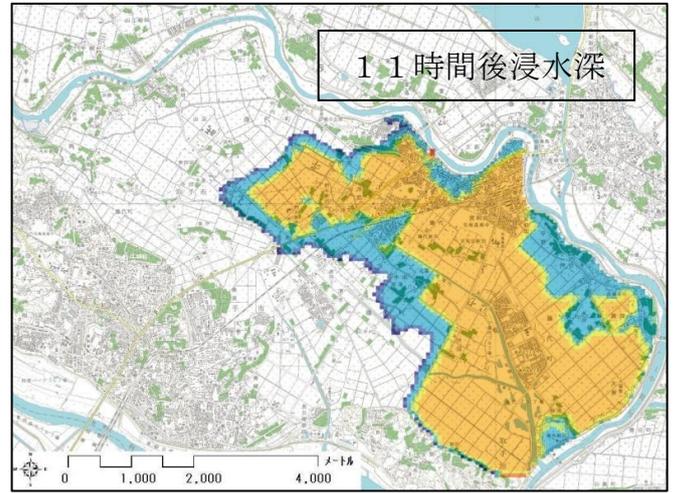
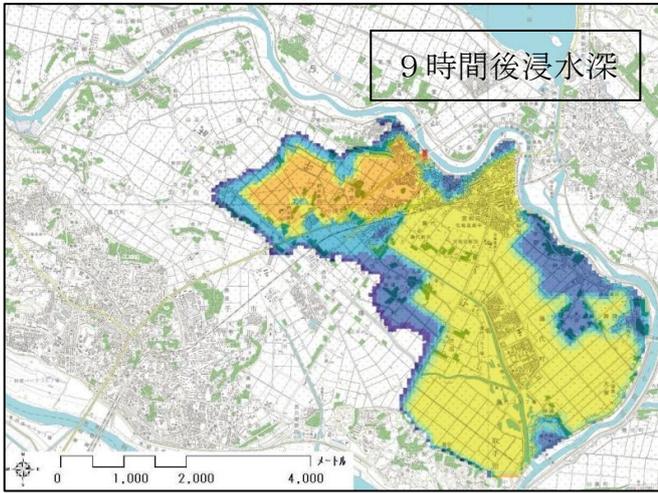
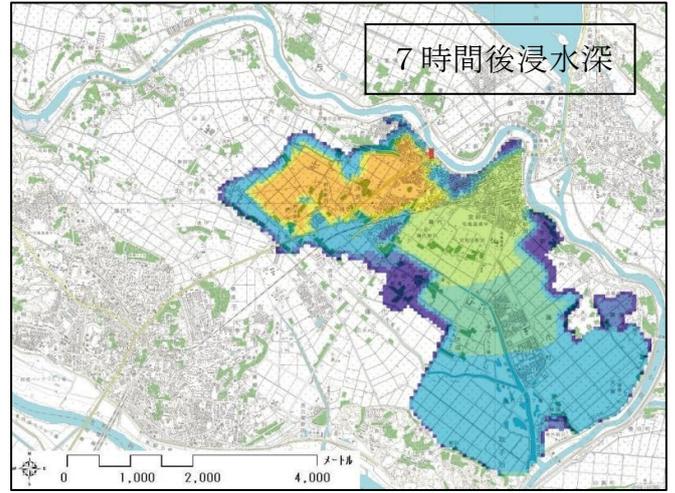
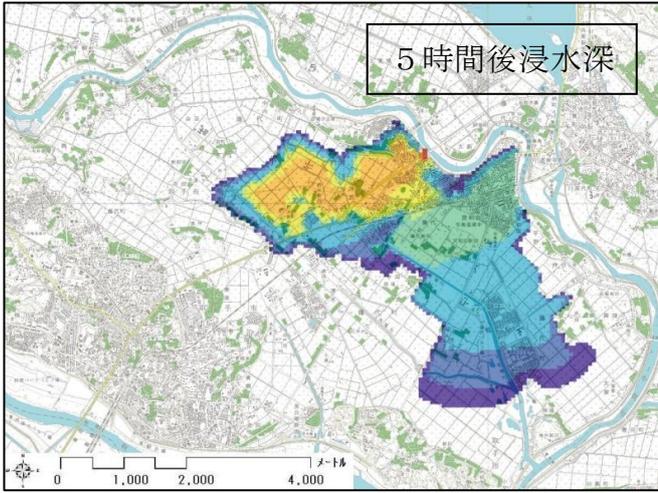


図 3.2.3-1 浸水深(上から5時間後、7時間後、9時間後、11時間後、13時間後、15時間後)

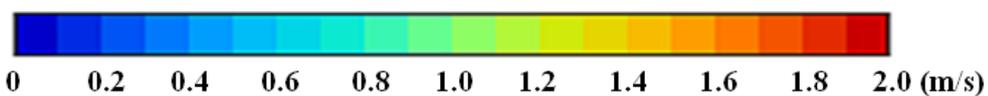
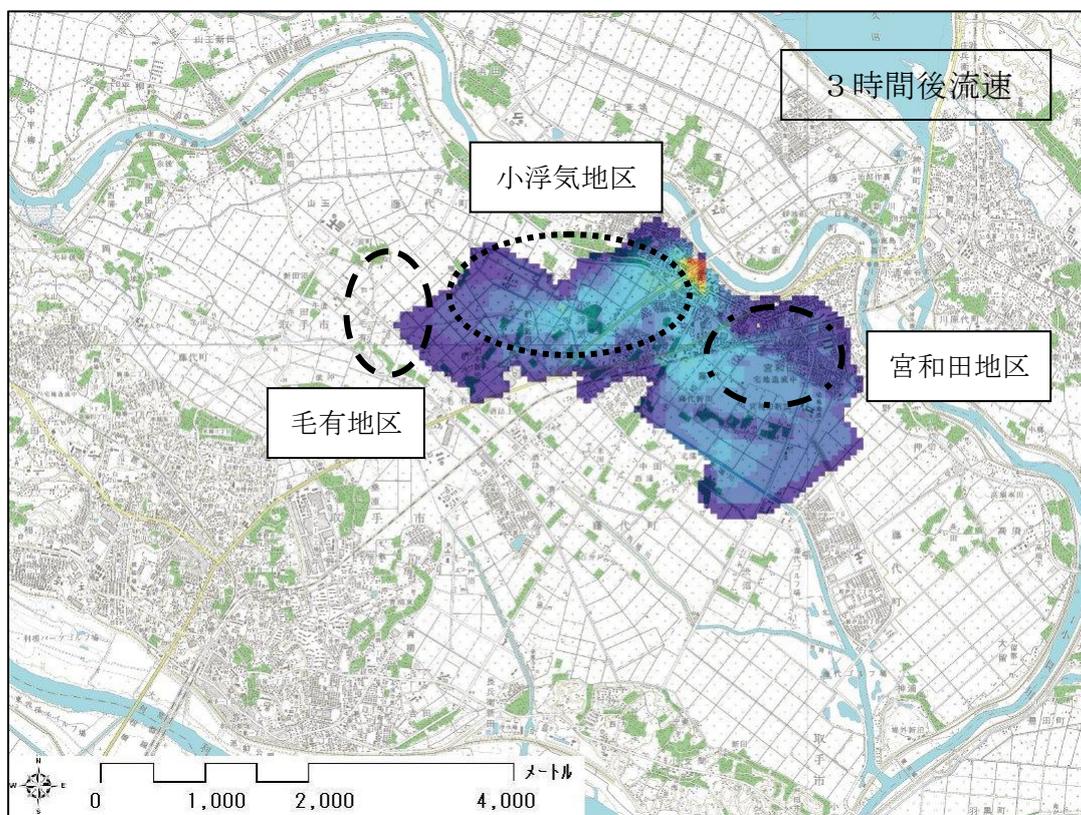
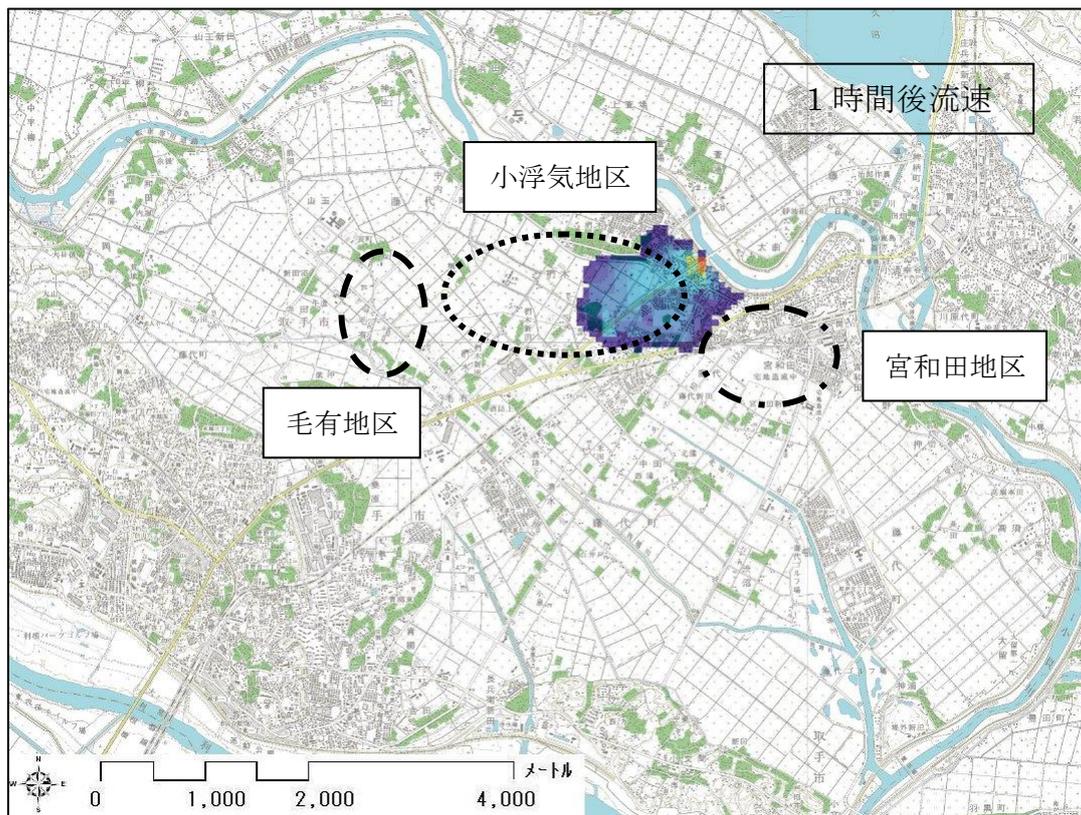
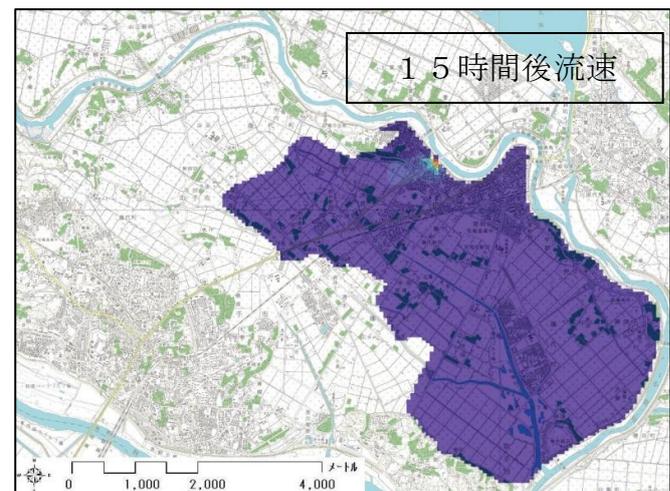
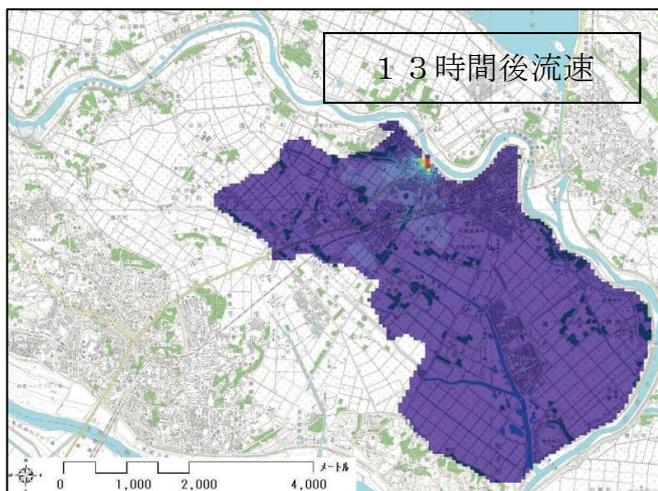
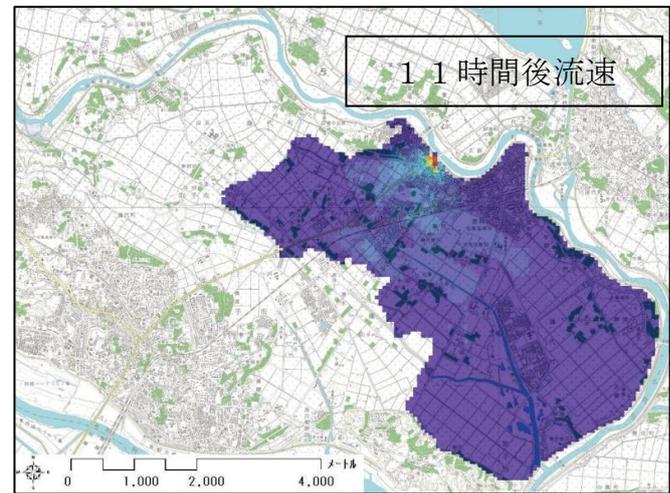
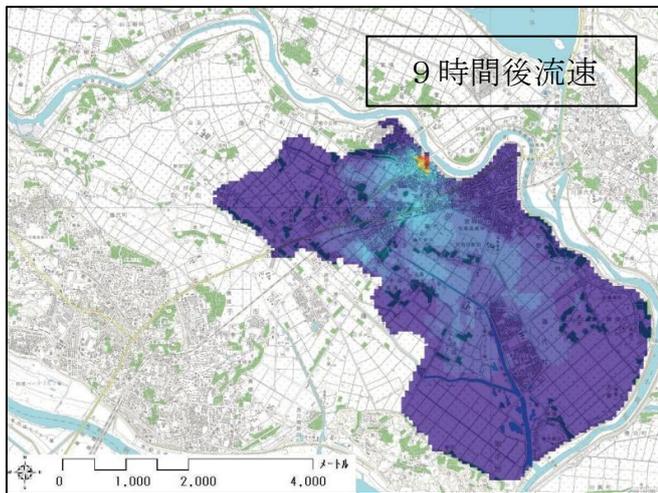
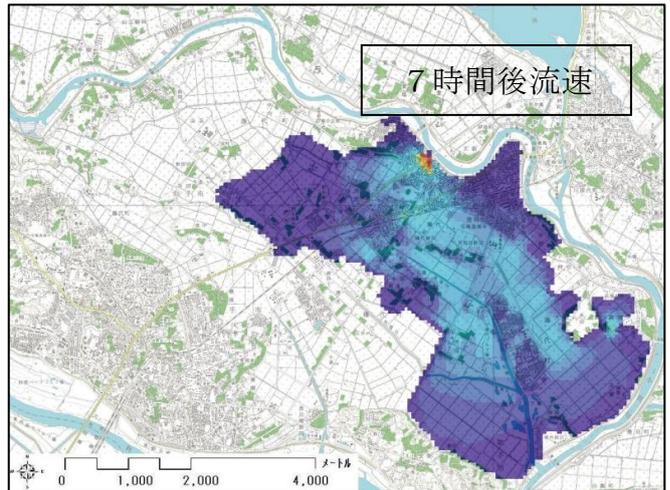
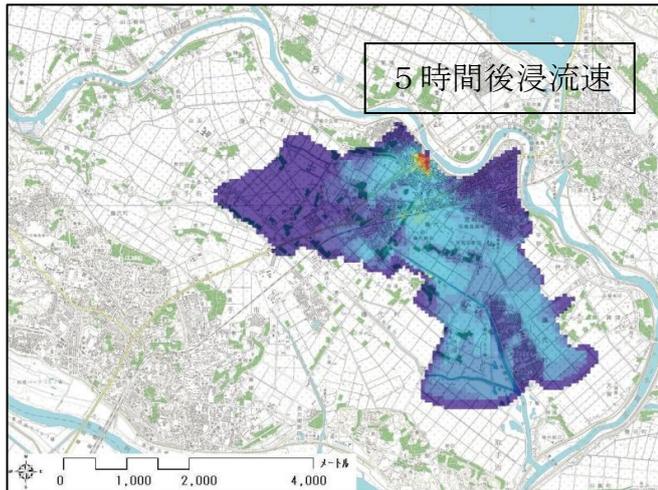


図 3.2.3-2 流速(上から 1 時間後、3 時間後)



0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 (m/s)

図 3.2.3-2 流速(上から5時間後、7時間後、9時間後、11時間後、13時間後、15時間後)

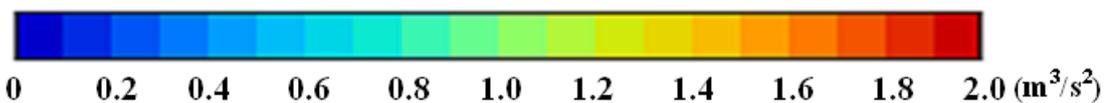
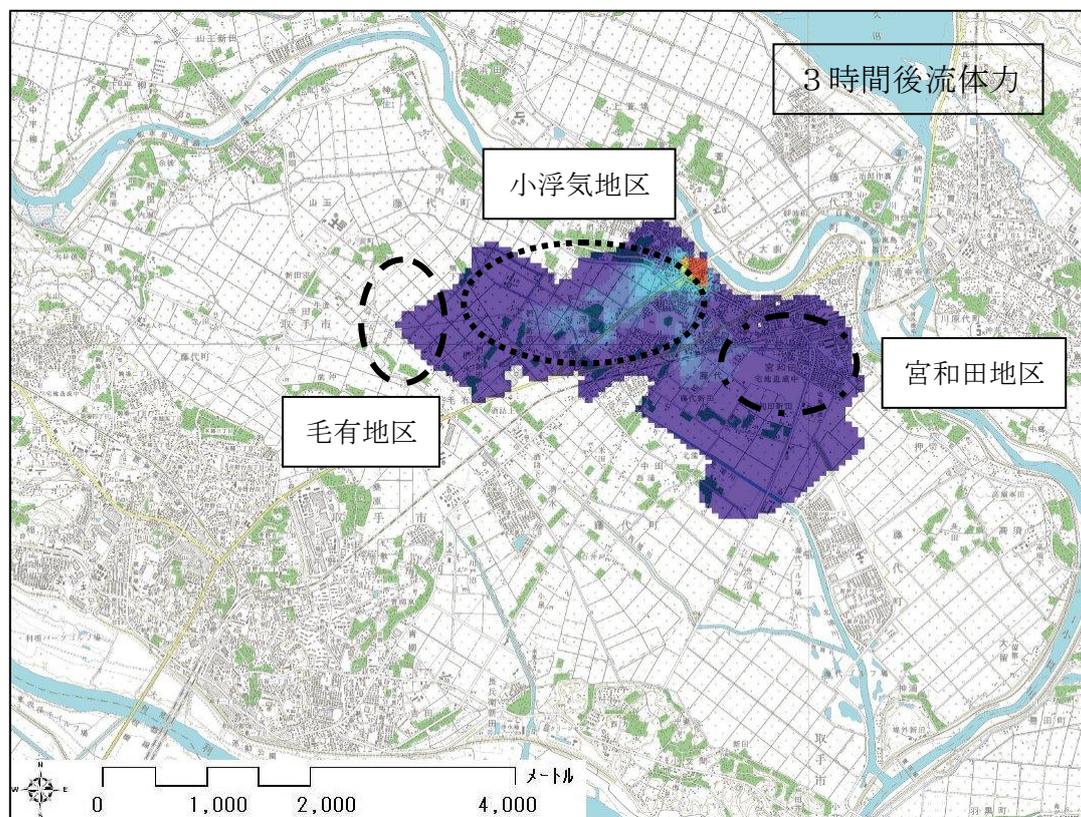
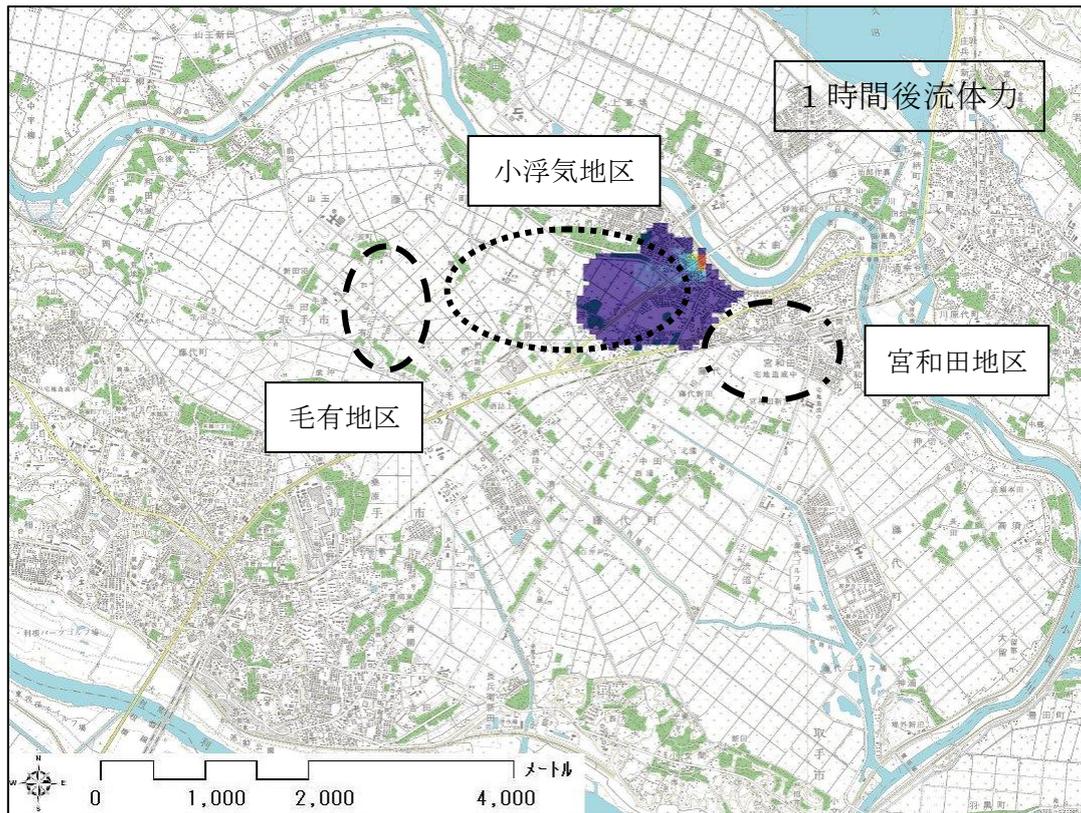


図 3.2.3-3 流体力(上から 1 時間後、3 時間後)

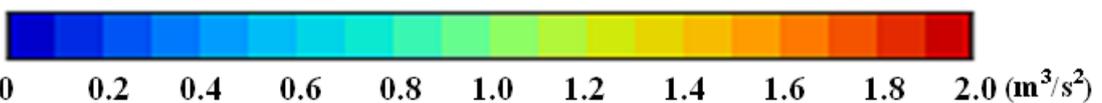
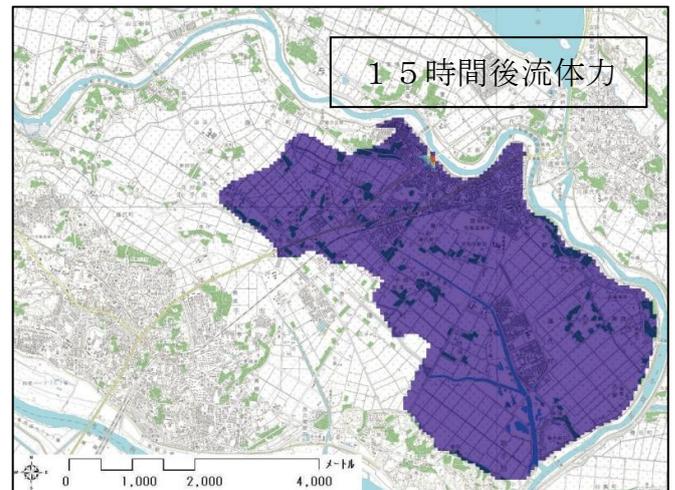
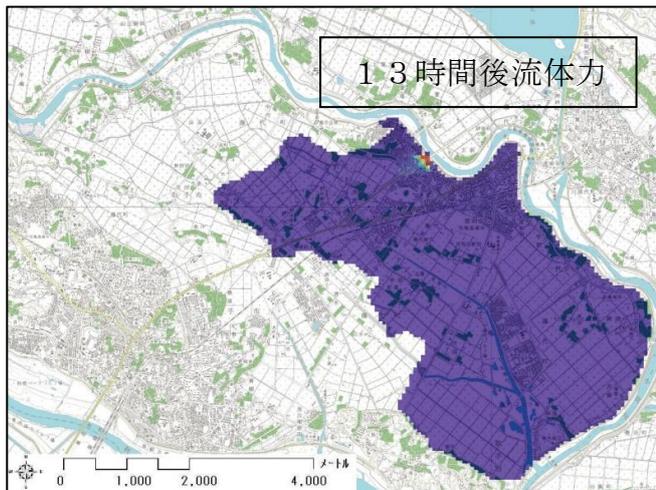
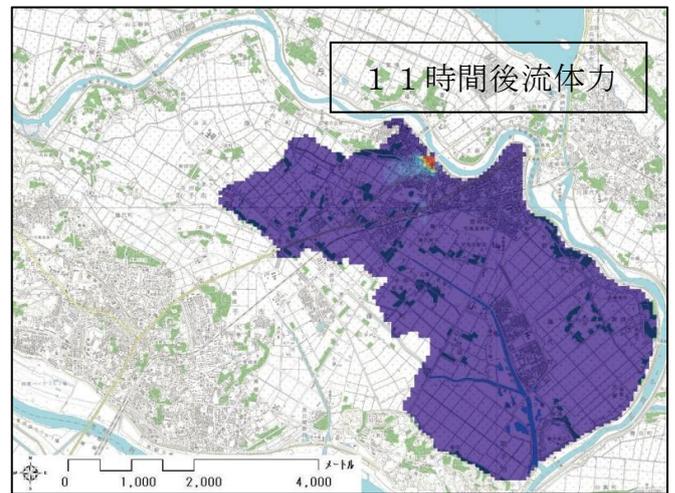
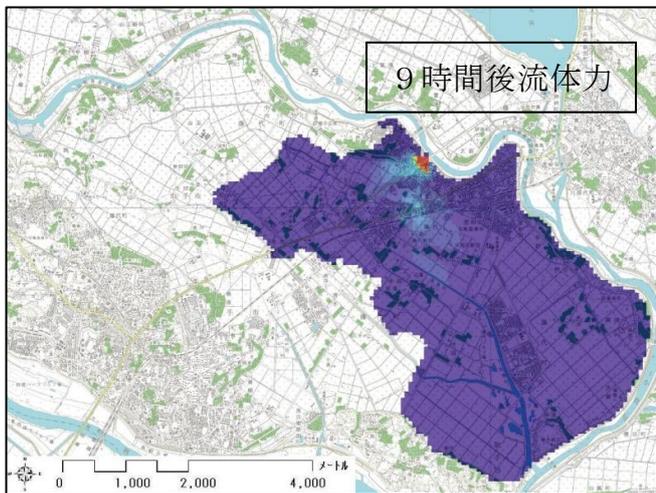
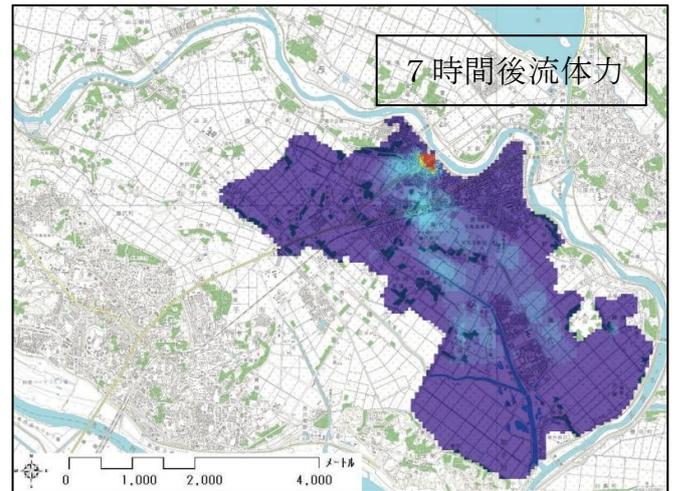
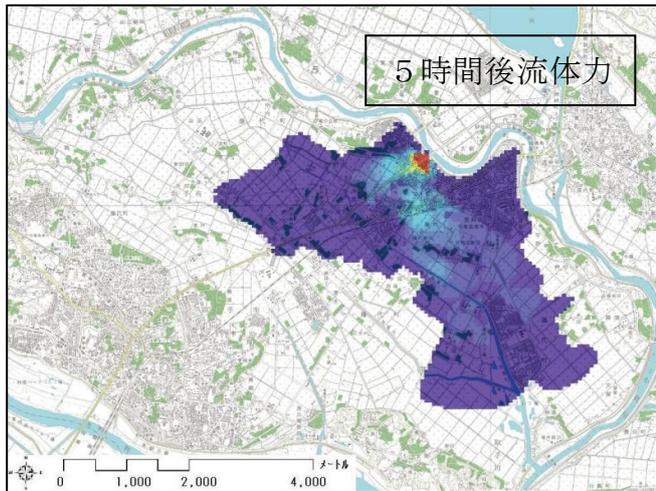


図 3.2.3-3 流体力(上から 5 時間後、7 時間後、9 時間後、11 時間後、13 時間後、15 時間後)

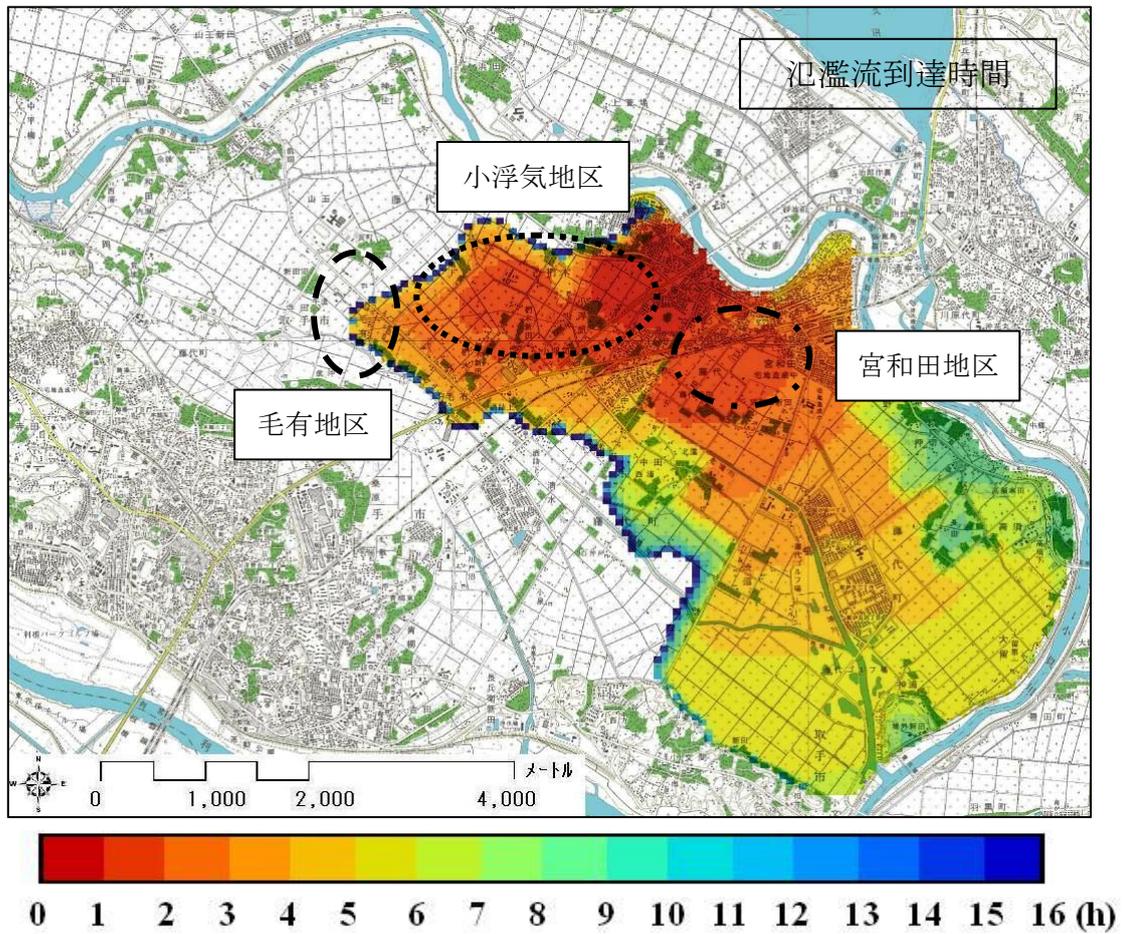


図 3.2.3-4 氾濫流到達時間

### 3.2.4. 押切地区で破堤した場合

#### <水深>

図 3.2.4-1 に示すのが押切地区で破堤した場合の各時間での浸水深の図である。平野部での想定破堤ケースであるため、氾濫流は上述したケースとは異なり、比較的遅く同心円状に伝播していく。氾濫流は約 4 時間後に破堤地点から西の小浮気方向の宮和田地区に、約 6.5 時間後に小浮気方向の毛有地区に到達する。破堤地点から南方向へ進む氾濫流は約 4 時間後に氾濫域南端にそれぞれが到達する。破堤地点からおよそ 1km 南東に位置する高須地区は周辺に比べて標高が低くなっている。そのため、破堤から 3 時間後のコンター図を確かめると、高須地区の一部の地域のみ浸水深が大きくなっていることがわかる。高須地区の西には標高が高い地域がある。この長田地区は周囲に比べておよそ 1m 標高が高く、最終的な浸水深も周辺と比較して小さくなっている。

#### <流速・流体力>

図 3.2.4-2 と図 3.2.4-3 に示すのが、押切地区で破堤した場合の各時間での流速と流体力の図である。破堤地点近傍以外で流速が特別に大きくなっている地域は確認されないが、これは流体力についても同様のことがいえる。小浮気方向に氾濫流が進行する際に、小浮気周辺でおよそ 0.3m/s から 0.4m/s の流速が確認される。氾濫域下流端に進む場合も同じ程度の流速が発生している。また、狭い領域であるが押切地区で流速が 1.0m/s 以上になっている領域がある。

#### <氾濫流到達時間>

押切地区で破堤した場合での、各地点の氾濫流到達時間を図 3.2.4-4 に示す。

先に述べた、破堤地点からおよそ 1.5km 南に位置する局所的に標高が高くなっている長田地区に着目すると、氾濫流の到達時間が破堤後約 6 時間と周辺と比較して大幅に遅くなっている。

1 時間ごとの氾濫流の到達距離を調べると、1 時間後には破堤地点から約 1.2km 離れた場所まで到達し、2 時間後には約 2.5km、3 時間後には 3km 離れた地域まで達し、4 時間後には破堤地点から 3.5km の位置まで氾濫流が到達している。藤代地区と地形勾配の条件にはさほど差が無いが、押切地区周辺の方が藤代地区と比較して、住宅地が少なく、粗度の影響が小さいので到達距離は大きくなる。

押切地区からの破堤氾濫を考えた場合には、

- i .平野部での破堤であるため、岡地区で破堤した場合と比較して、局所的に流体力が大きくなる地域は破堤地点近傍以外で確認されない。
- ii .高須地区で局所的に標高差がある地域があり、そこでは最大浸水深に差が生じる。
- iii . 氾濫流が毛有地区に到達するのは、約 6.5 時間後であり、ゆっくりと水位が上昇するが、最終的に約 1.8m まで浸水深が増大した。

以上が、押切地区で破堤した場合の氾濫流挙動の特徴として挙げられる。

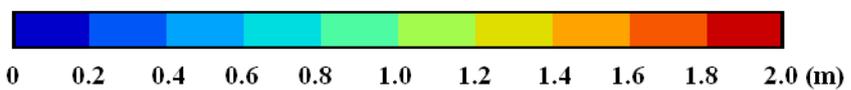
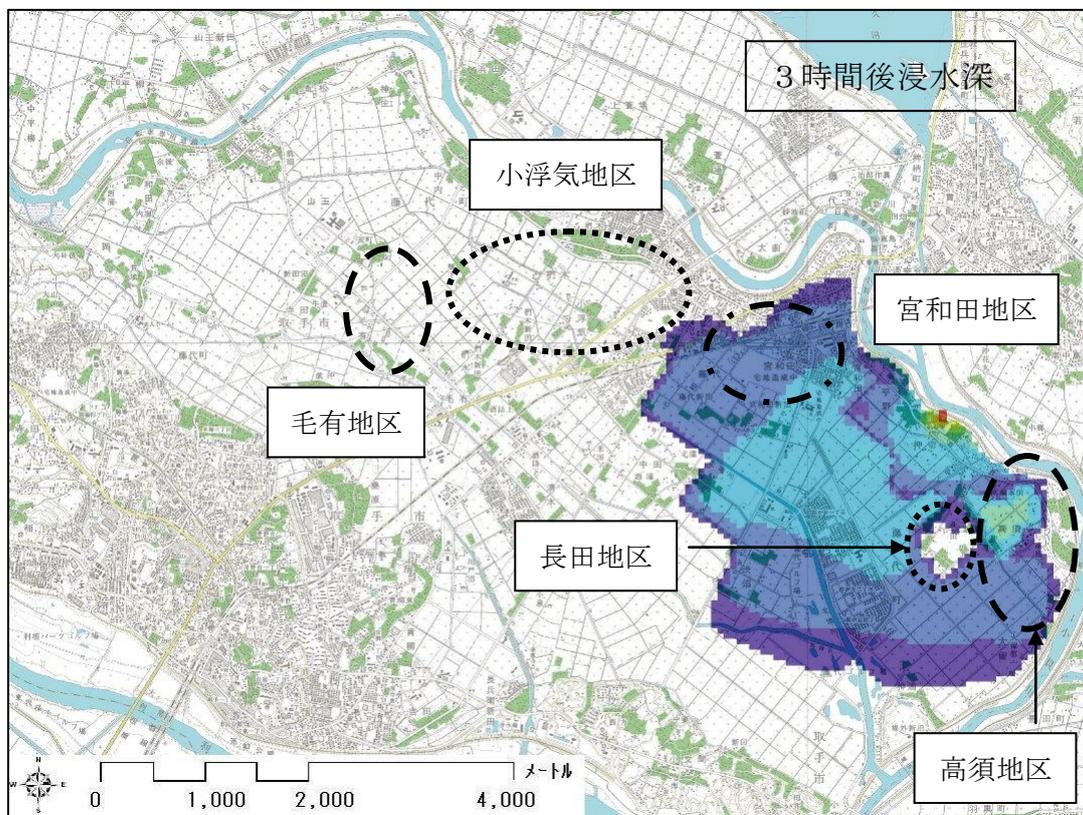
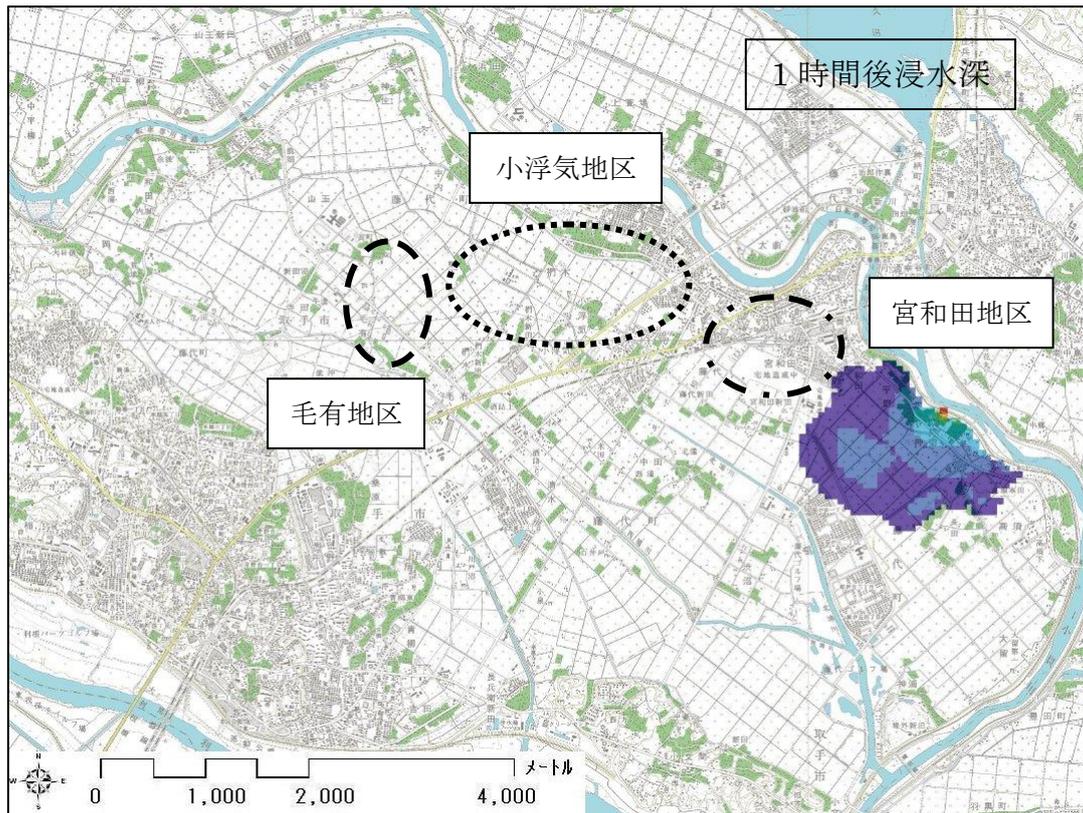


図 3.2.4-1 浸水深(上から 1 時間後、3 時間後)

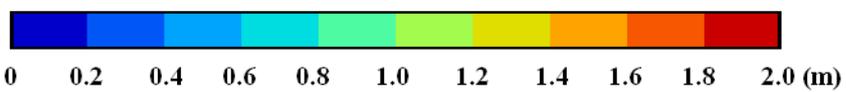
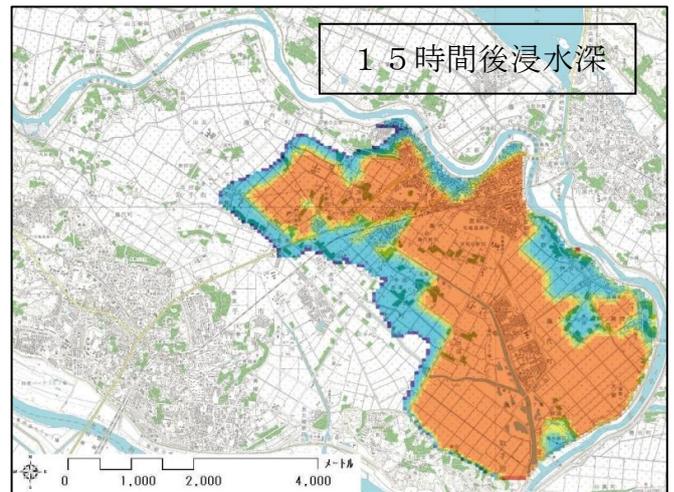
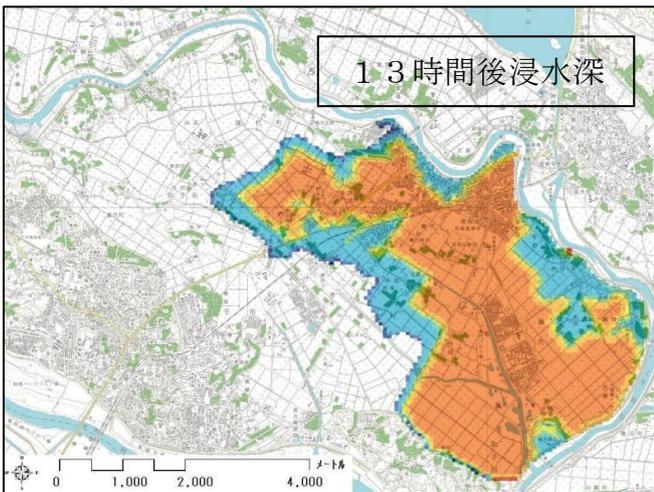
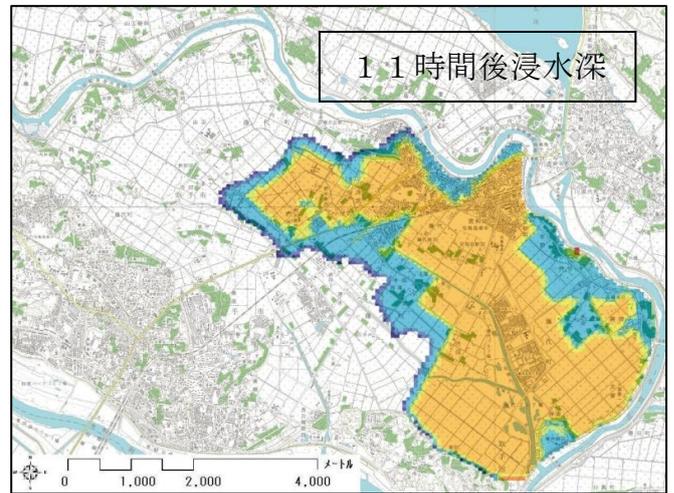
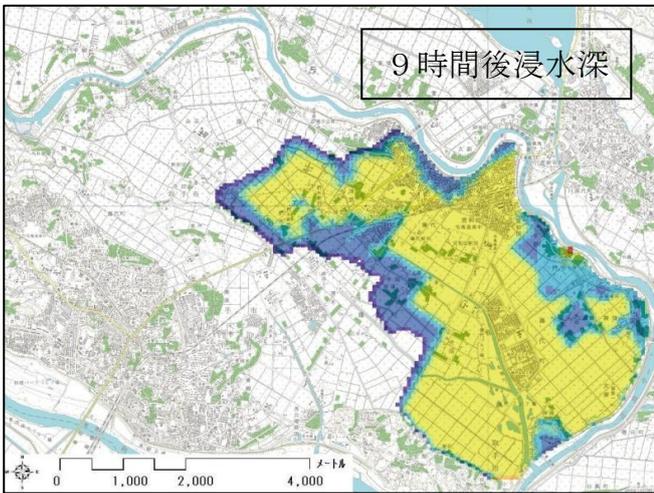
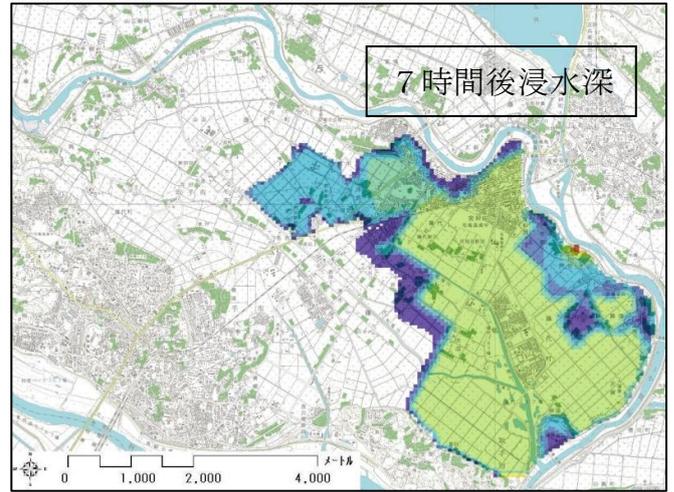
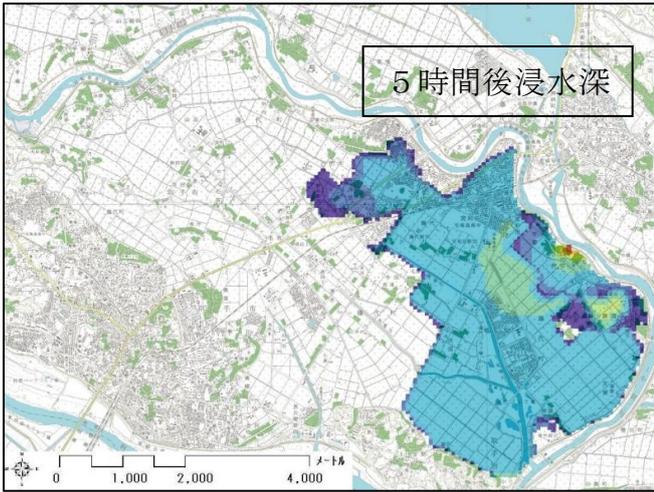


図 3.2.4-1 浸水深(上から 5 時間後、7 時間後、9 時間後、11 時間後、13 時間後、15 時間後)

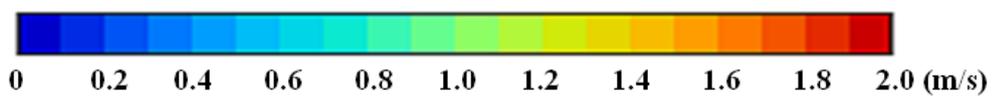
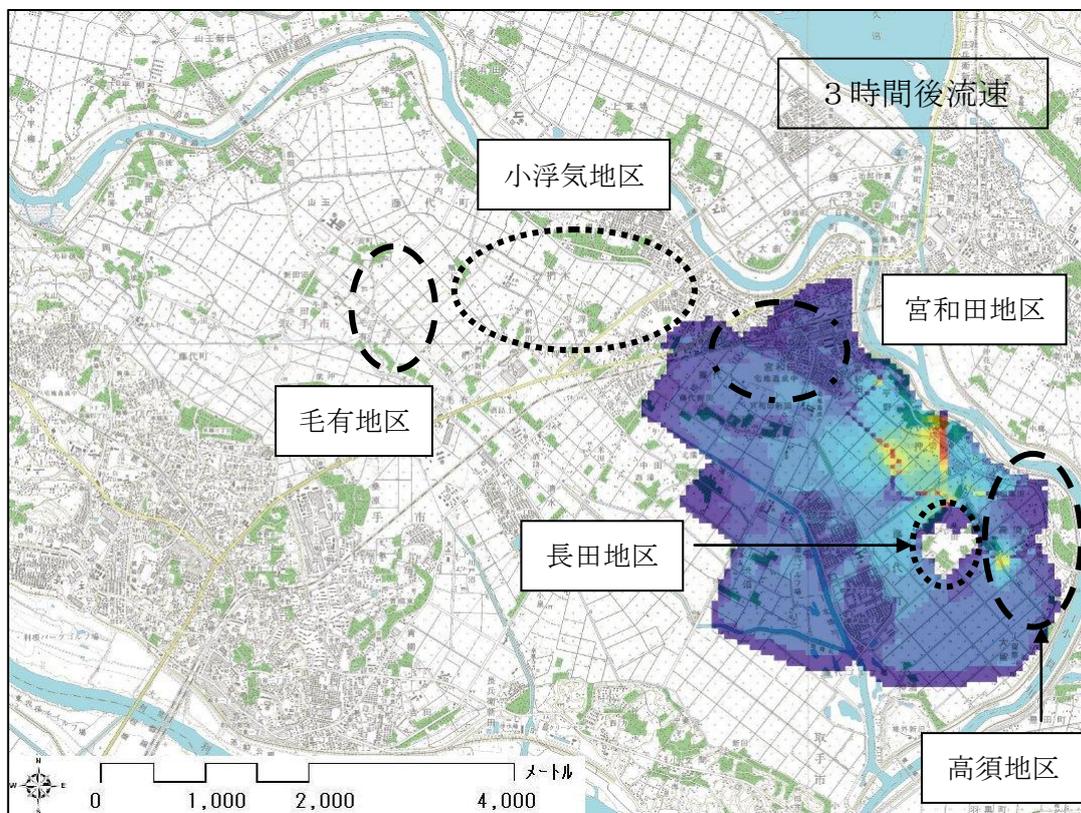
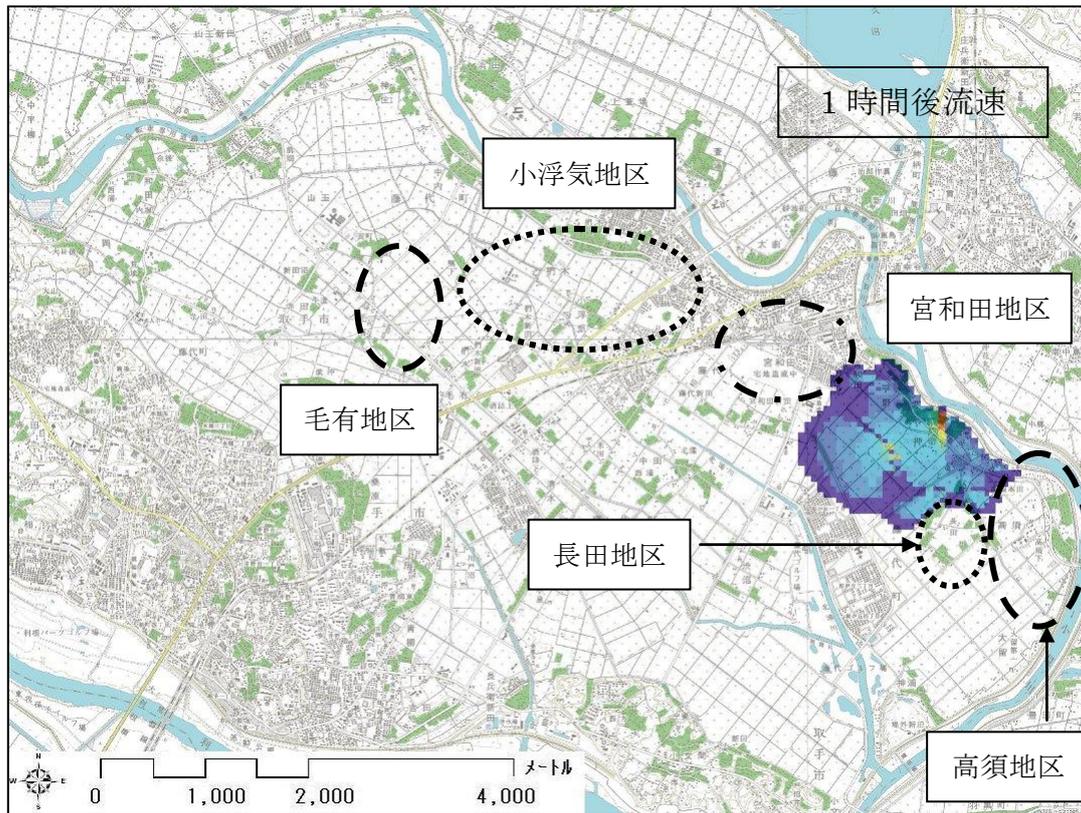


図 3.2.4-2 流速(上から1時間後、3時間後)

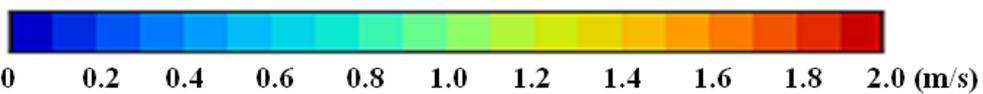
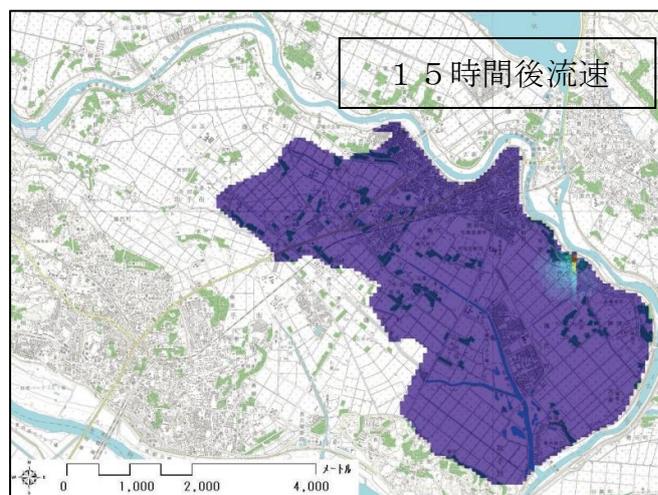
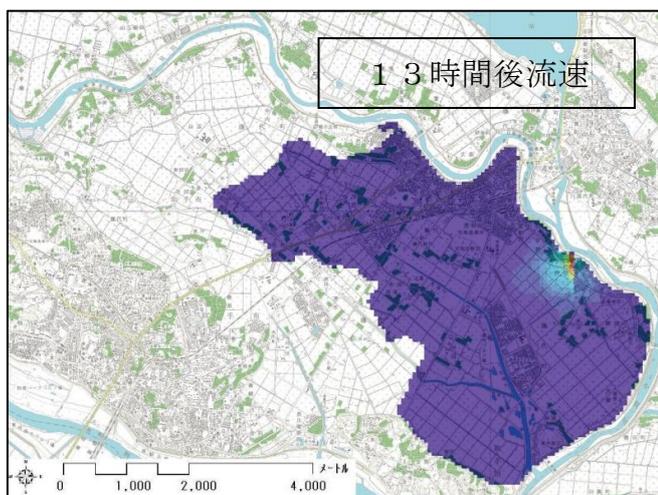
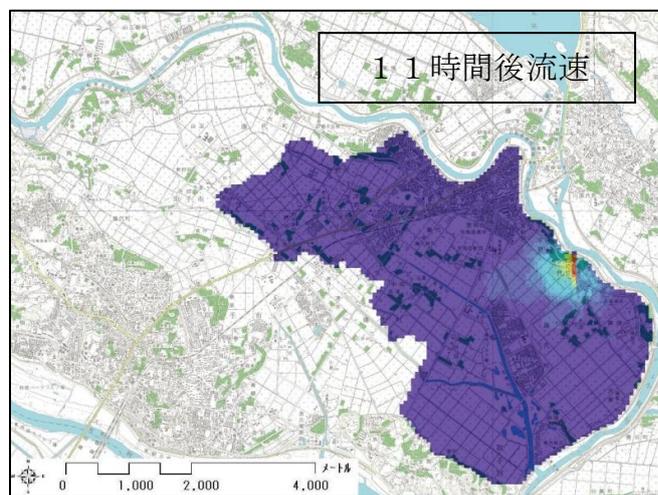
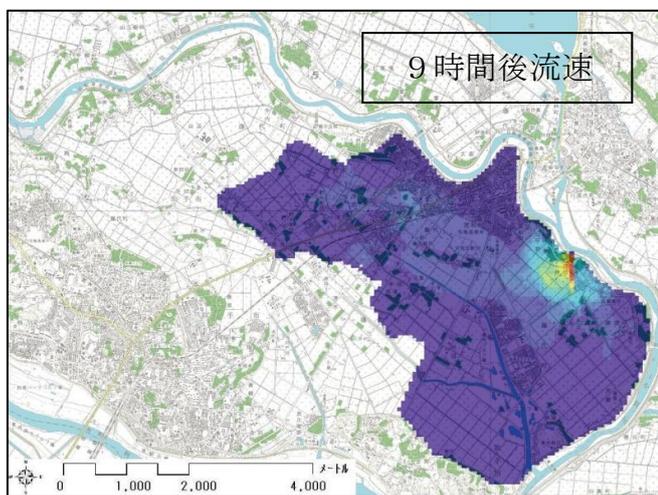
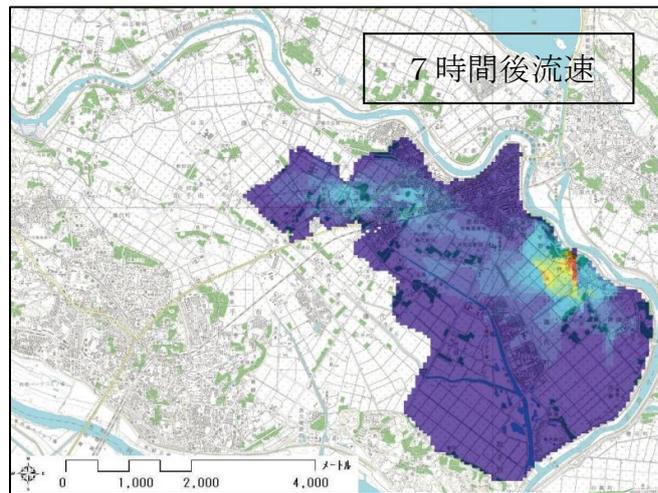
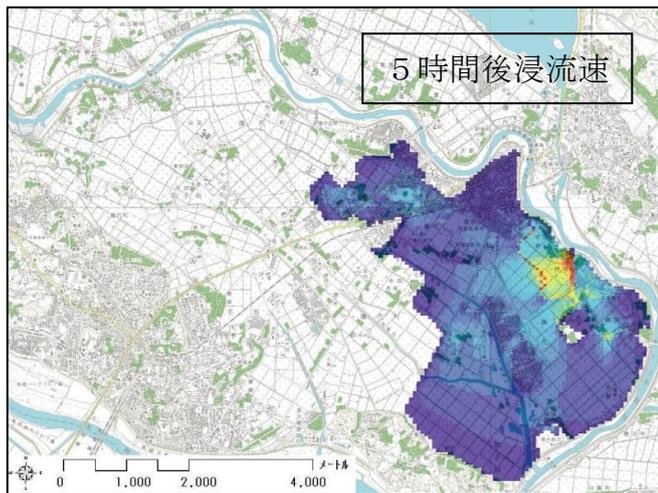


図 3.2.4-2 流速(上から5時間後、7時間後、9時間後、11時間後、13時間後、15時間後)

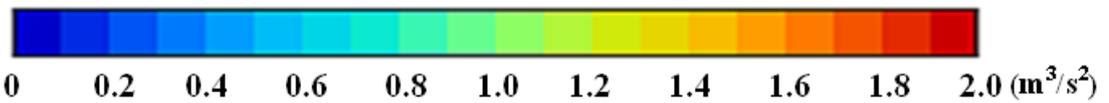
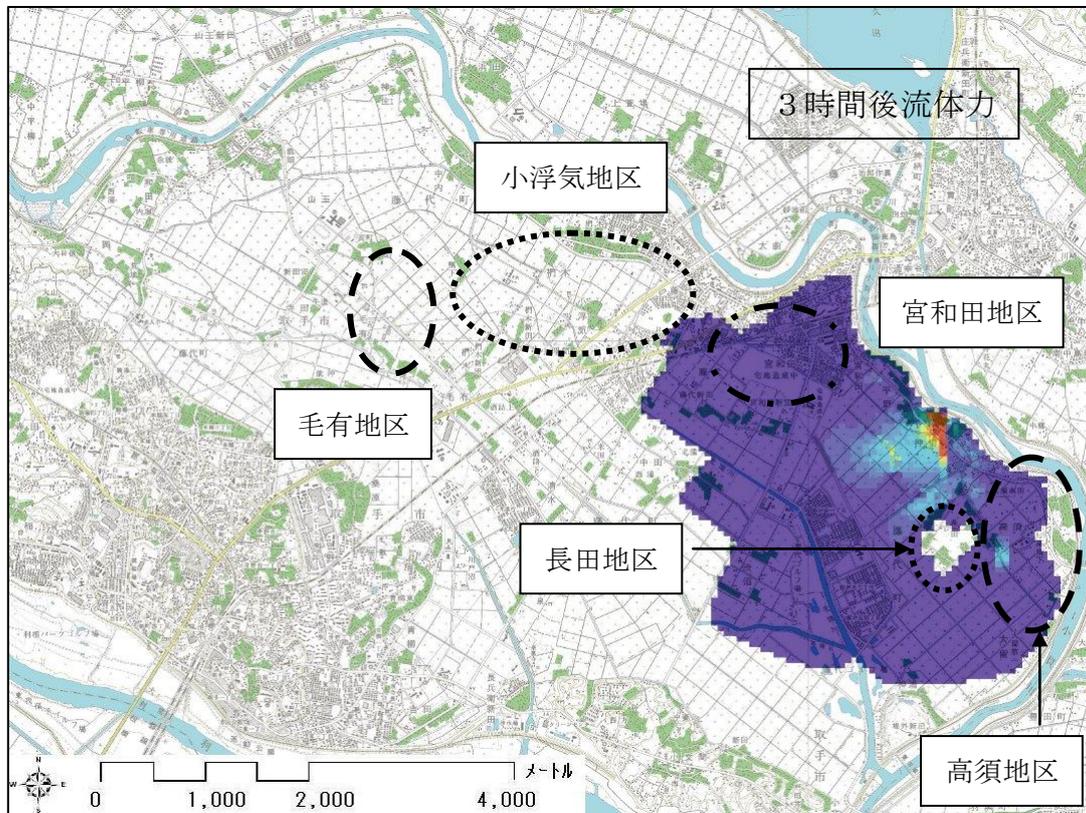
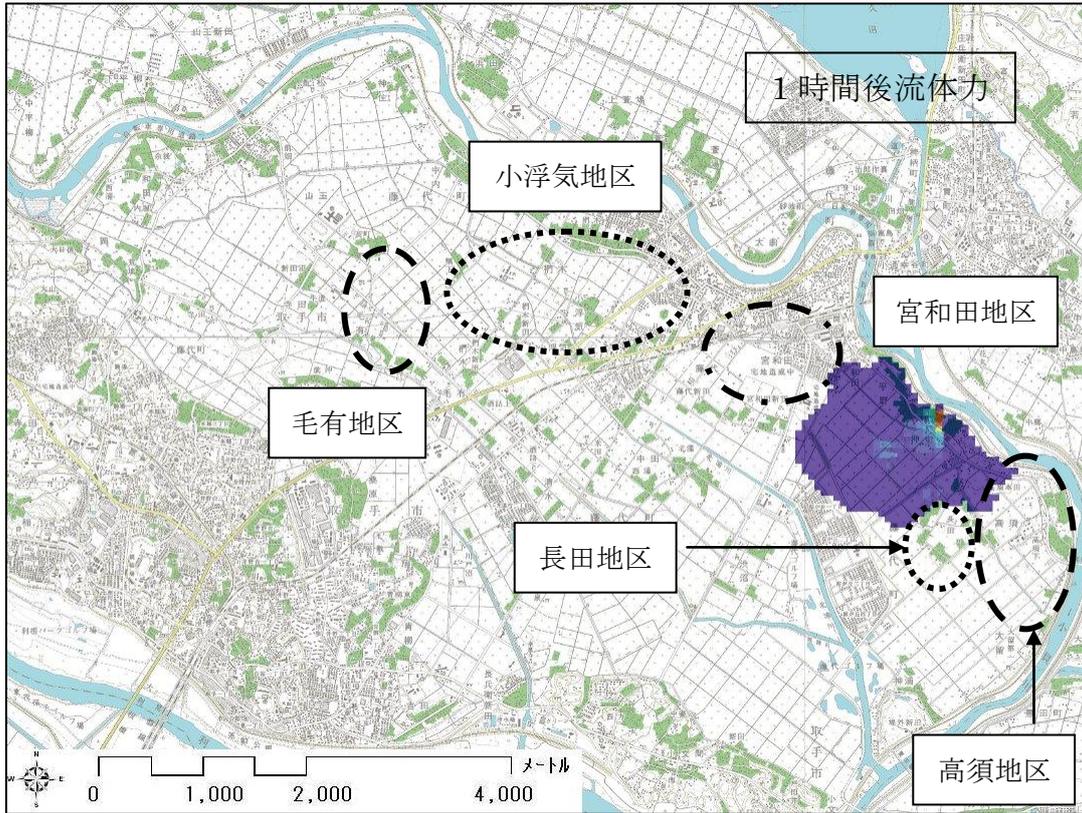


図 3.2.4-3 流体力(上から1時間後、3時間後)

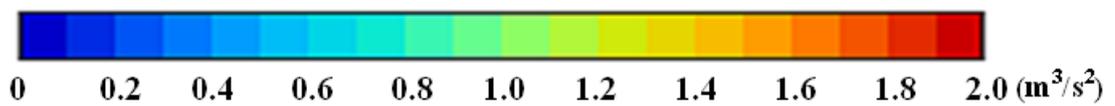
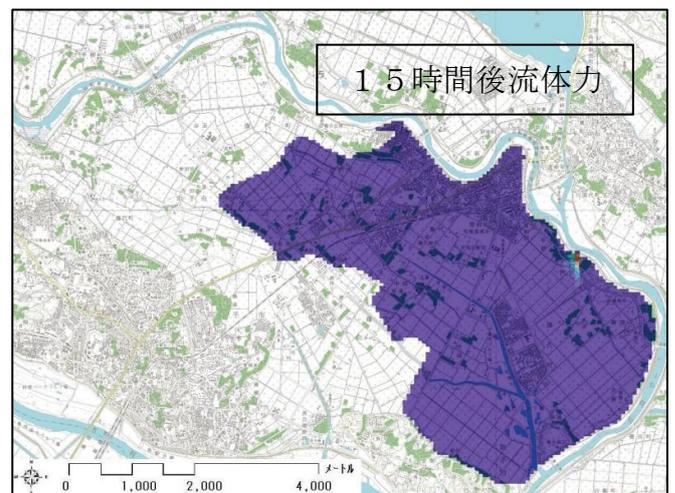
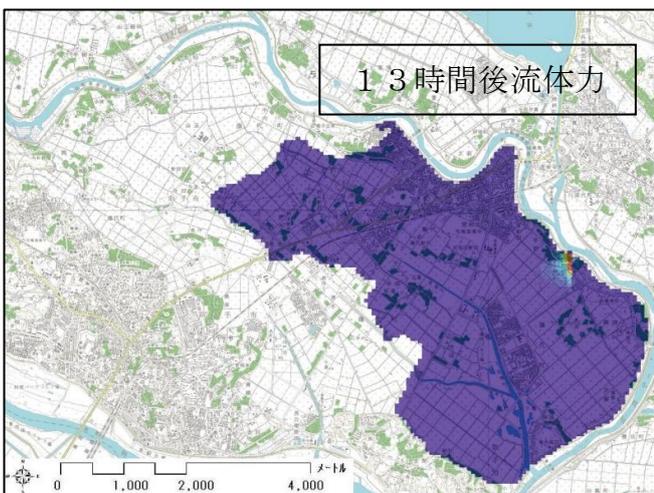
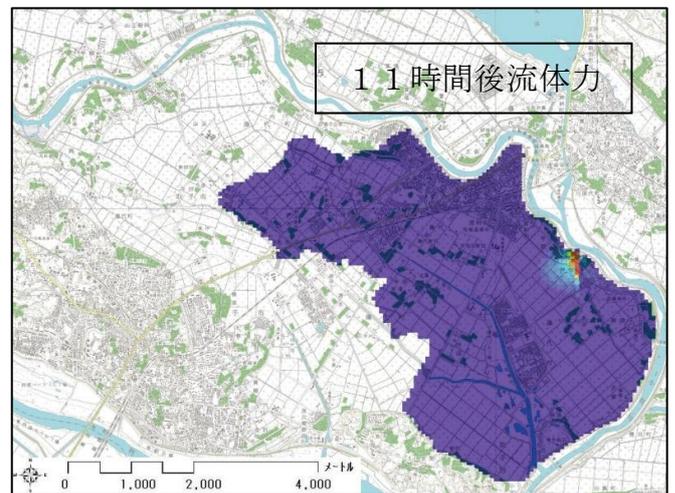
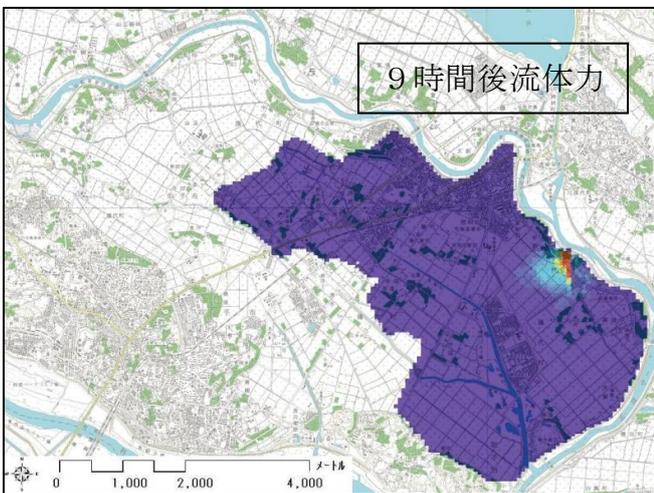
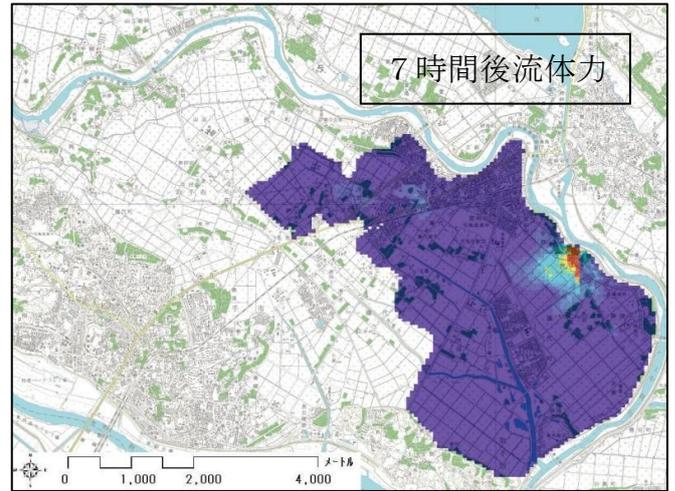
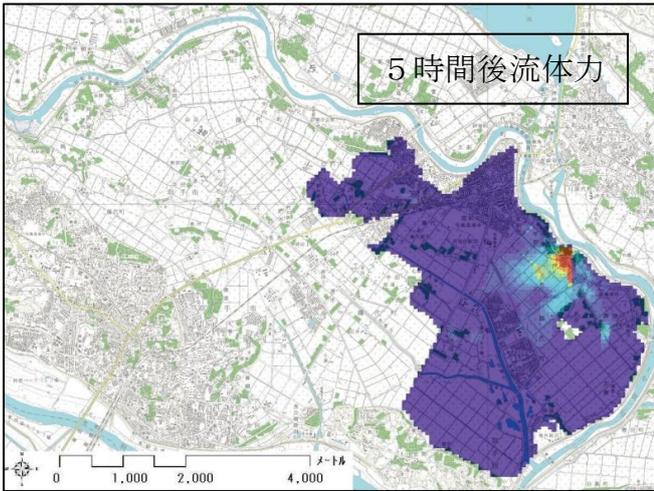


図 3.2.4-3 流体力(上から 5 時間後、7 時間後、9 時間後、11 時間後、13 時間後、15 時間後)

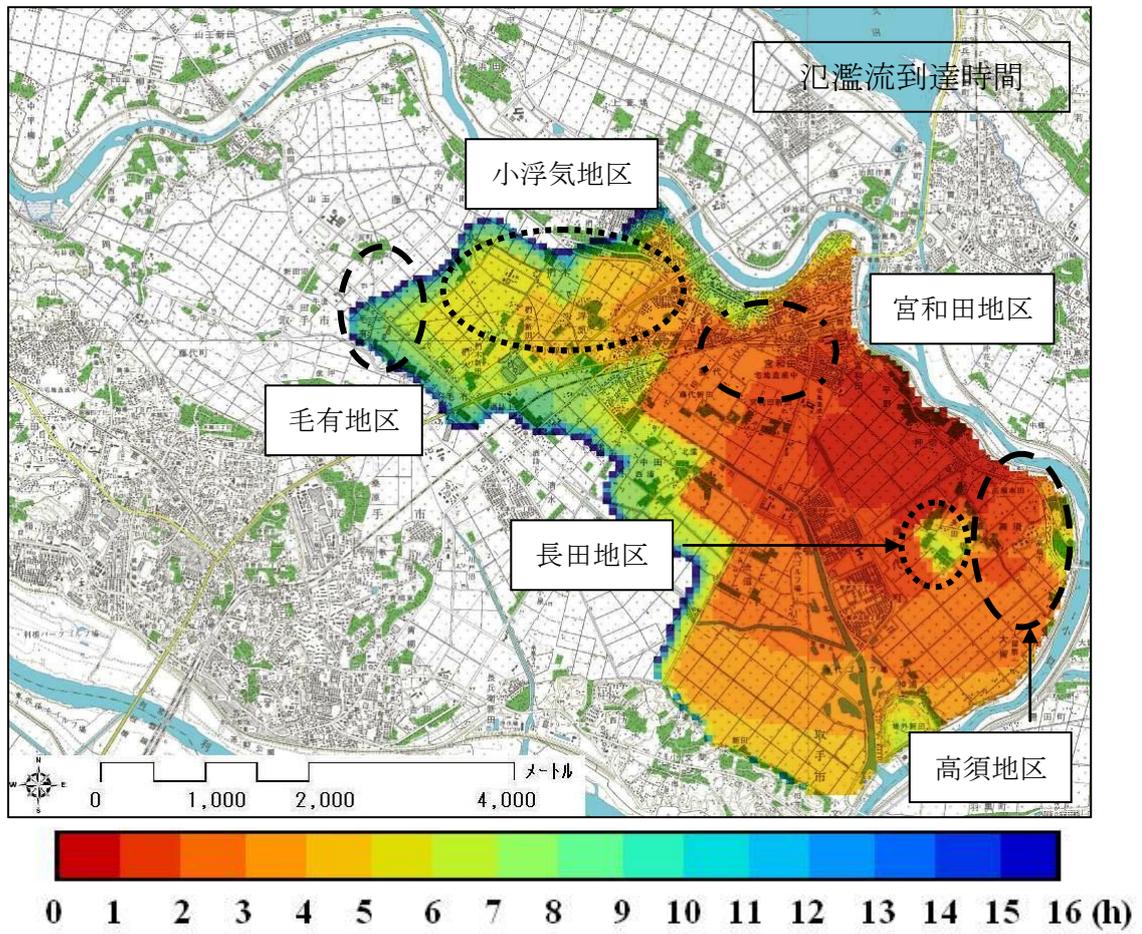


図 3.2.4-4 氾濫流到達時間

### 3.2.5. 大留地区で破堤した場合

#### <水深>

図 3.2.5-1 に示すのが大留地区で破堤した場合の各時間での浸水深の図である。上述した押切地区での破堤ケースと同様に平野部での破堤であるため、平地を氾濫流が他の想定破堤ケースと比較して遅く伝播していく。約 7.5 時間後に小浮気方向毛有地区に、約 4.5 時間後に北方向宮和田地区に、そして約 3 時間後に氾濫域南端にそれぞれ氾濫流が到達し、水深が上昇していく。平地での破堤氾濫であるため、急激に浸水深が上昇する地点はなく、一様に浸水深が上昇していく。最終的に平野部では浸水深はおよそ 1.8m に達する。

#### <流速・流体力>

図 3.2.5-2 と図 3.2.5-3 に示すのが大留地区で破堤した場合の各時間での流速と流体力の図である。押切地区での結果と同様に、破堤地点近傍以外で流速が特別に大きくなっている地域は確認されない。氾濫水が広がっていく過程で、小浮気地区などで流速が 0.5m/s に達する領域がある。流体力に関しても、破堤点以外で数値が大きくなる場所が見つからない。流速よりもより顕著にそれが表れている。桜が丘の住宅地は粗度が大きくなっているため、水田に比べて氾濫流が流れにくく、住宅地西側で住宅地よりも流速が大きくなっていることが確認される。

また、先に検討してきた他の想定破堤地点に比べ、流速・流体力のコンターが破堤点から一直線に伸びていることが確認される。これは平地のため地形勾配が無いフラットな地形であることと、住宅地が少なく水田が多いため、粗度が小さくなり、流速が大きくなっていることに起因する。破堤する方向に遮るものが無いとこのように遠くまで流速の影響が到達することが確認される。

#### <氾濫流到達時間>

大留地区で破堤した場合での、各地点の氾濫流到達時間を図 3.2.5-4 に示す。

1 時間ごとの氾濫流の到達距離を調べると、1 時間後には破堤地点から約 1.2km まで到達し、2 時間後には約 2.5km、3 時間後には約 3km の地点まで、そして 4 時間後には破堤地点から約 3.5km 離れた位置まで氾濫流が到達している。この結果は、押切地区からの破堤ケースと概ね等しく、その理由は地形条件、土地利用条件がほぼ同一であるからだと考えられる。

大留地区からの破堤氾濫を考えた場合には、

- i .押切地区での場合と同様に、平野部での破堤であるため、岡地区で破堤した場合と比較して、局所的に流体力が大きくなる地域は破堤地点近傍以外で確認されない。
- ii .高須地区で局所的に標高差がある地域があり、そこでは最大浸水深に差が生じる。
- iii .氾濫流が毛有地区に到達するのは、約 7.5 時間後であり、水位の上昇も遅いが、最終的に約 1.8m まで浸水深が増大した。

以上が、大留地区で破堤した場合の氾濫流挙動の特徴として挙げられる。

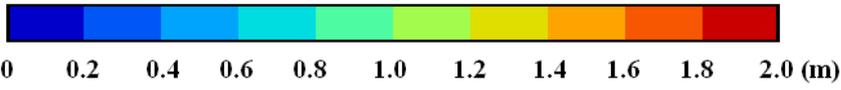
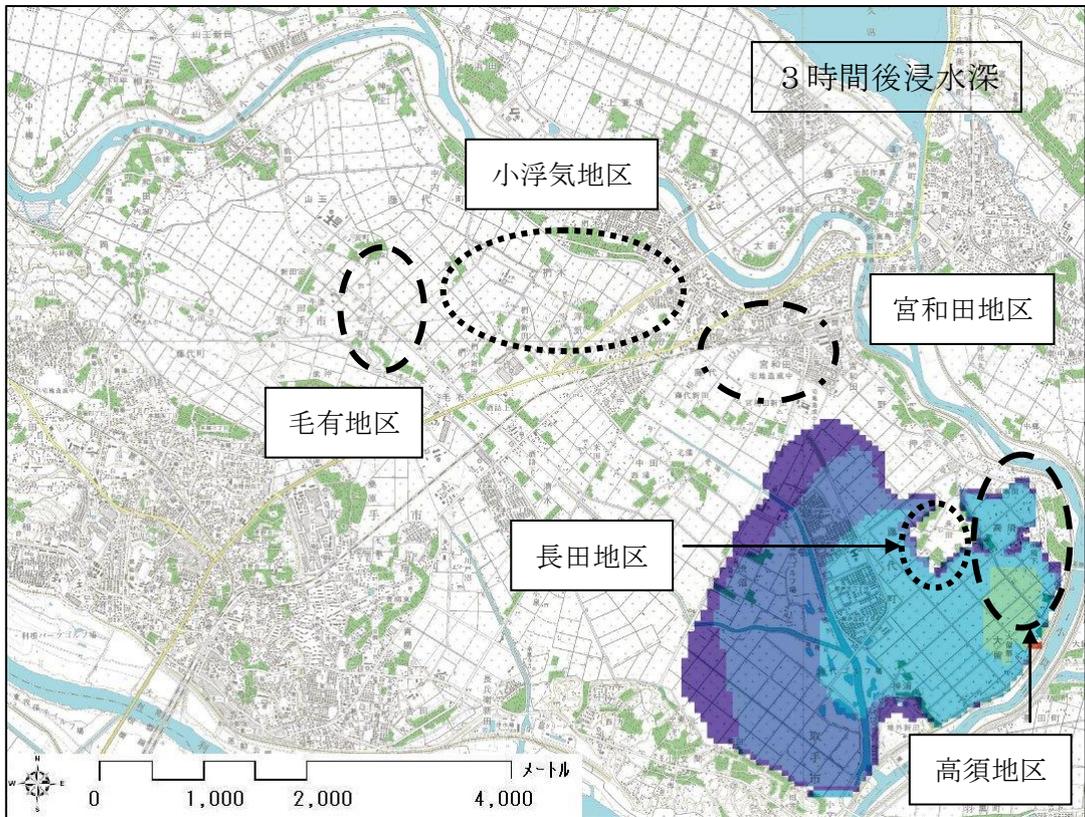
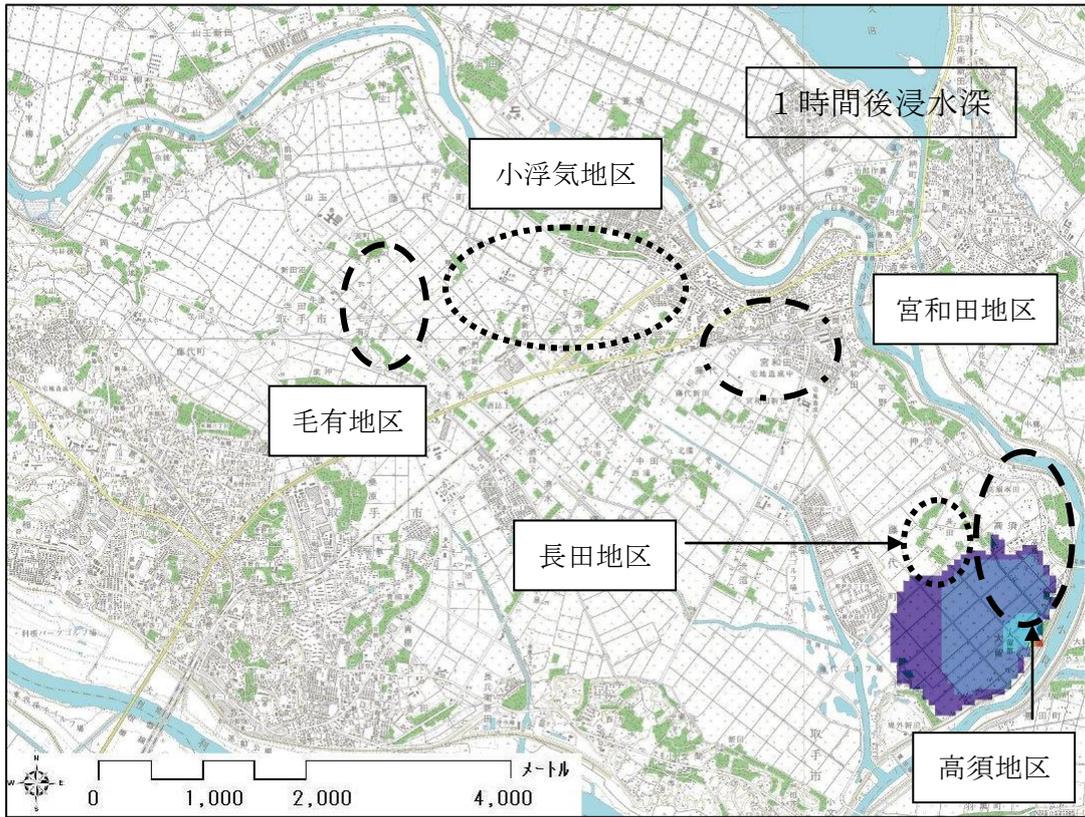


図 3.2.5-1 浸水深(上から 1 時間後、3 時間後)

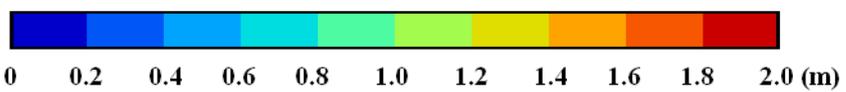
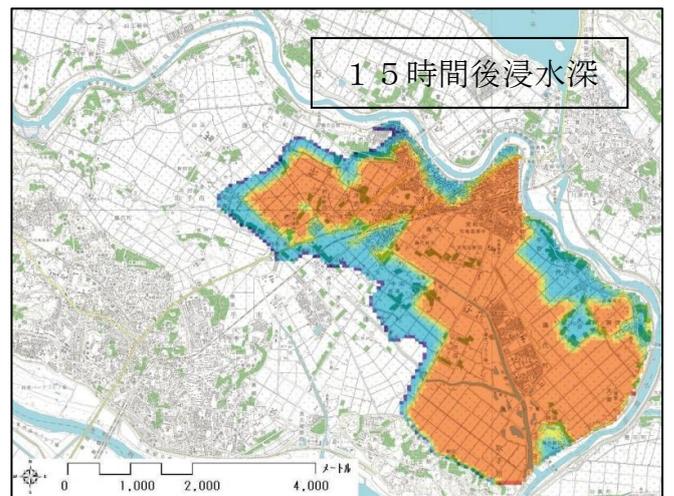
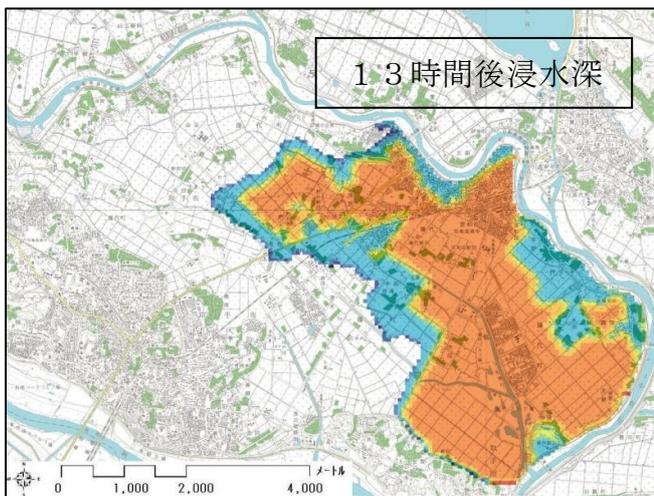
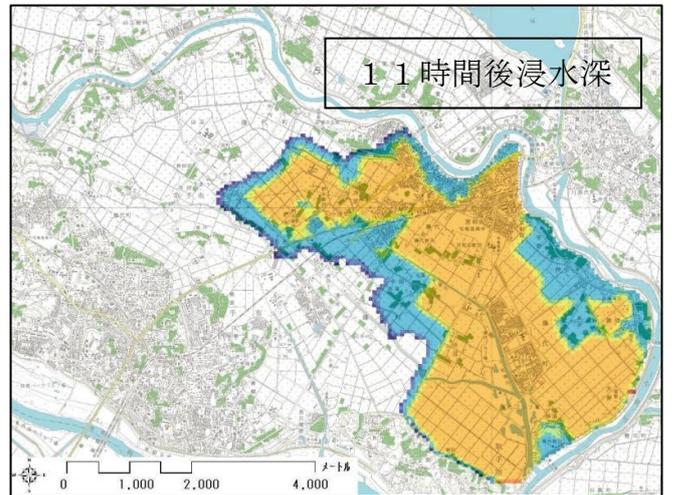
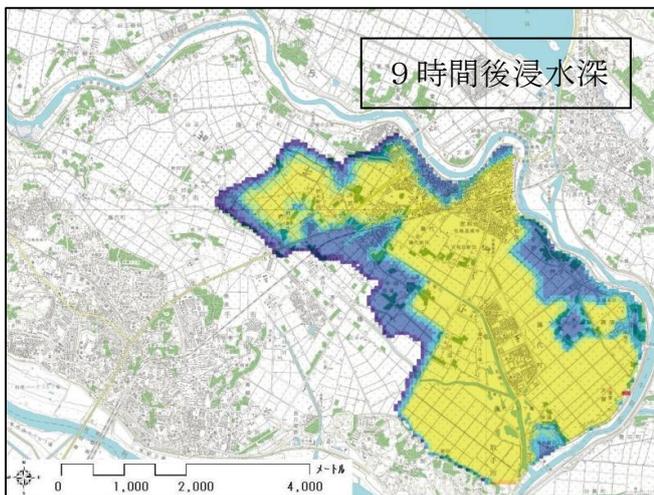
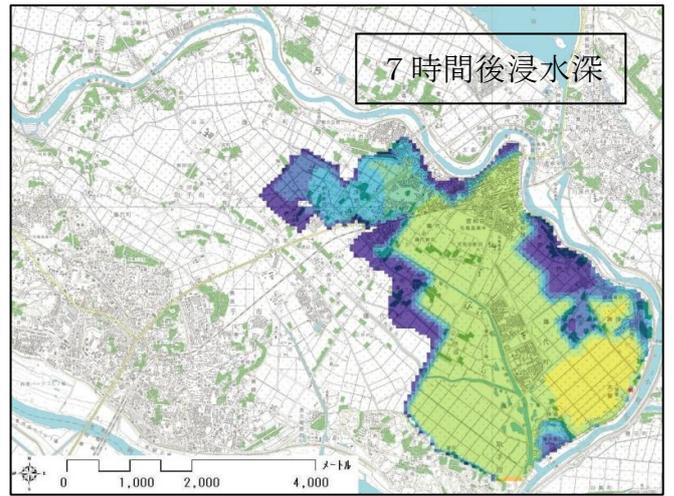
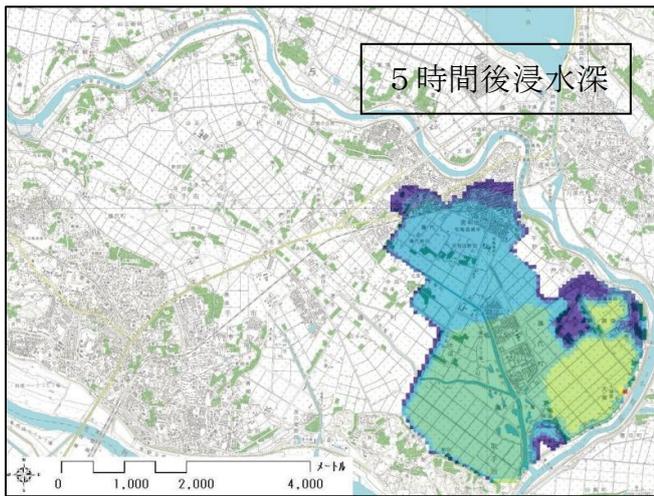


図 3.2.5-1 浸水深(上から5時間後、7時間後、9時間後、11時間後、13時間後、15時間後)

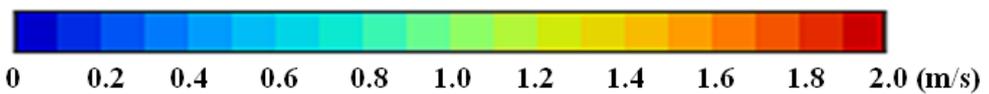
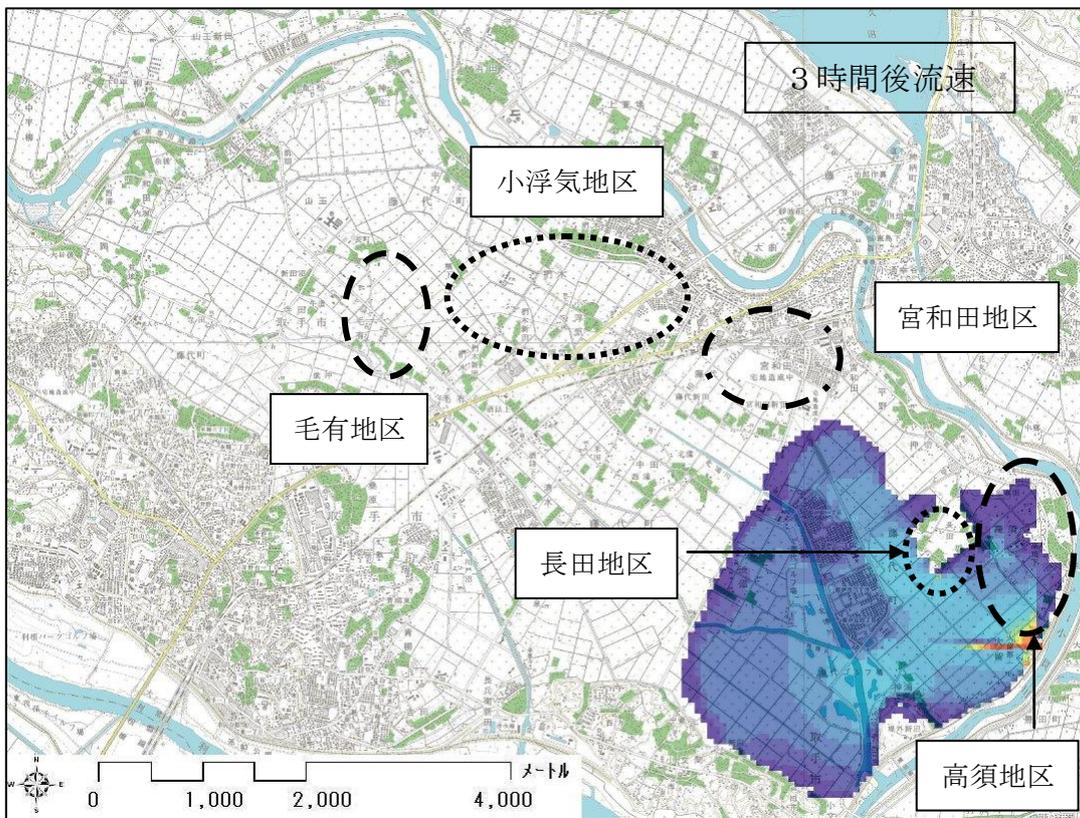
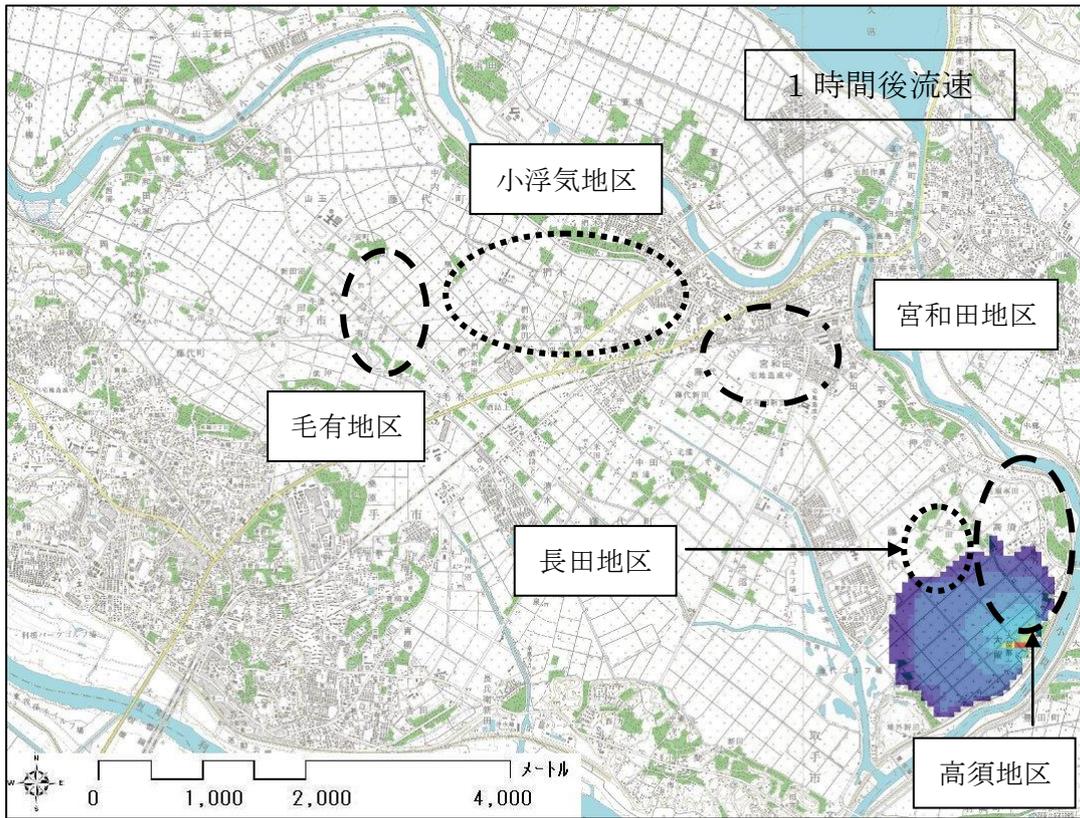


図 3.2.5-2 流速(上から 1 時間後、3 時間後)

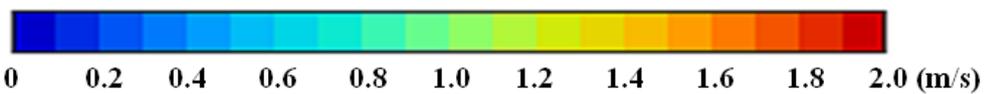
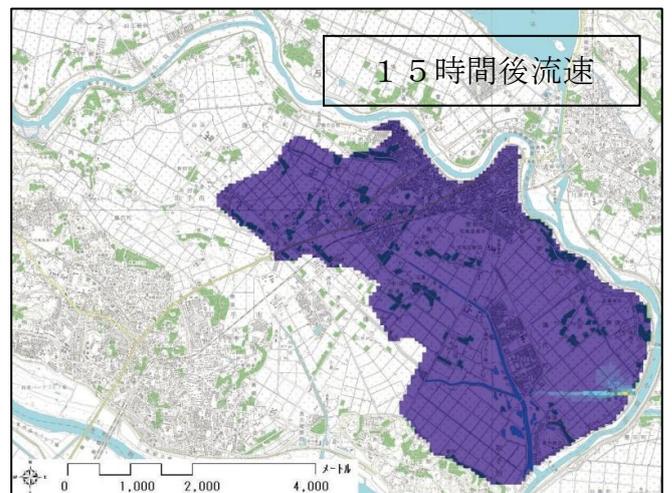
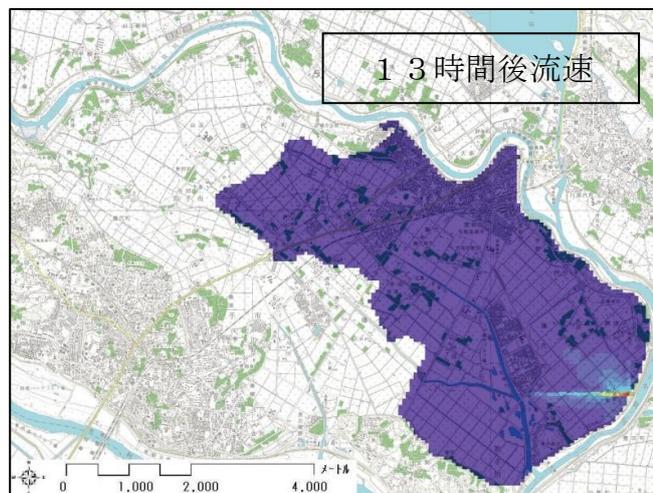
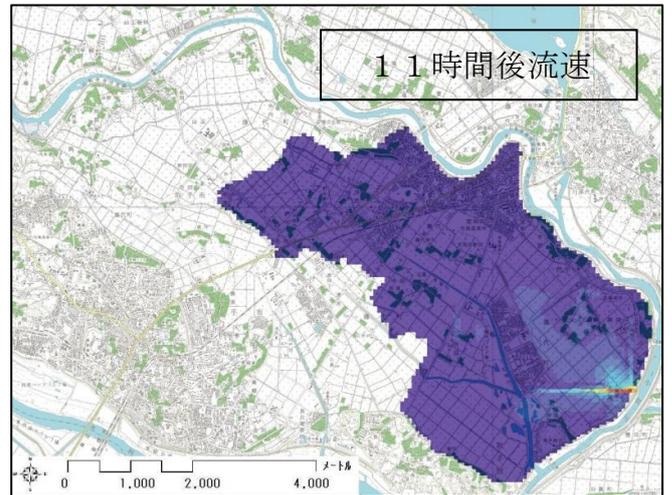
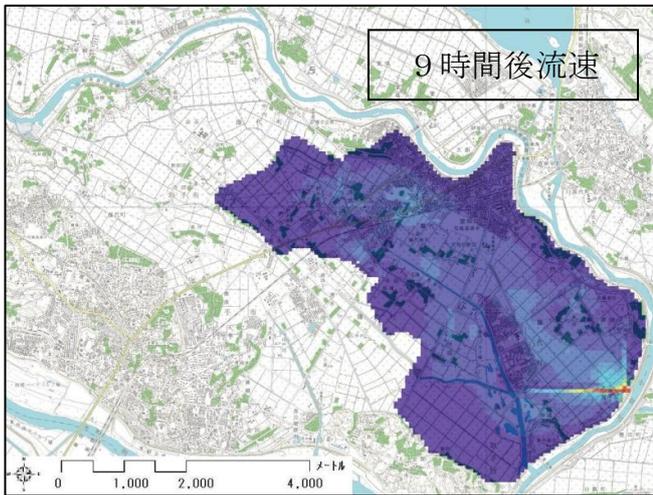
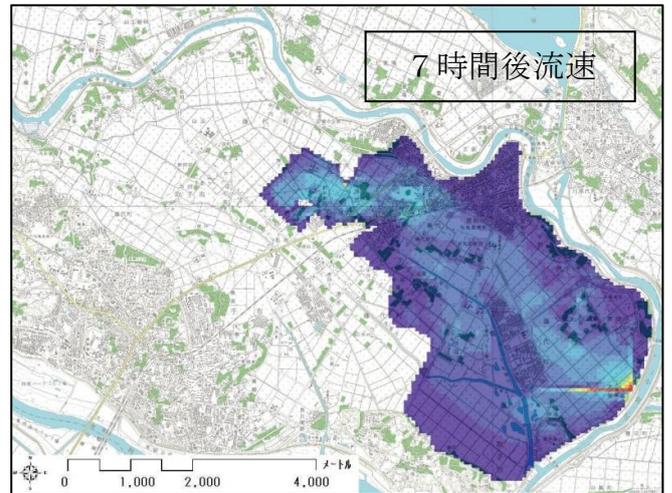
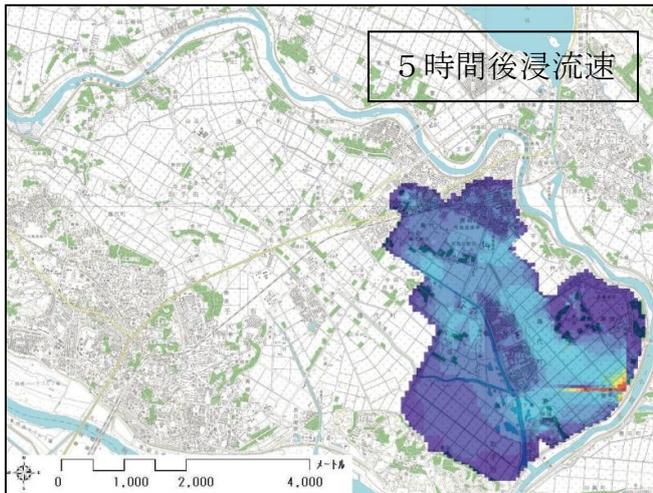


図 3.2.5-2 流速(上から5時間後、7時間後、9時間後、11時間後、13時間後、15時間後)

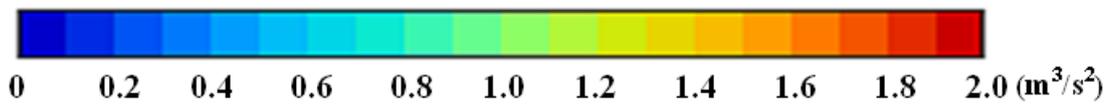
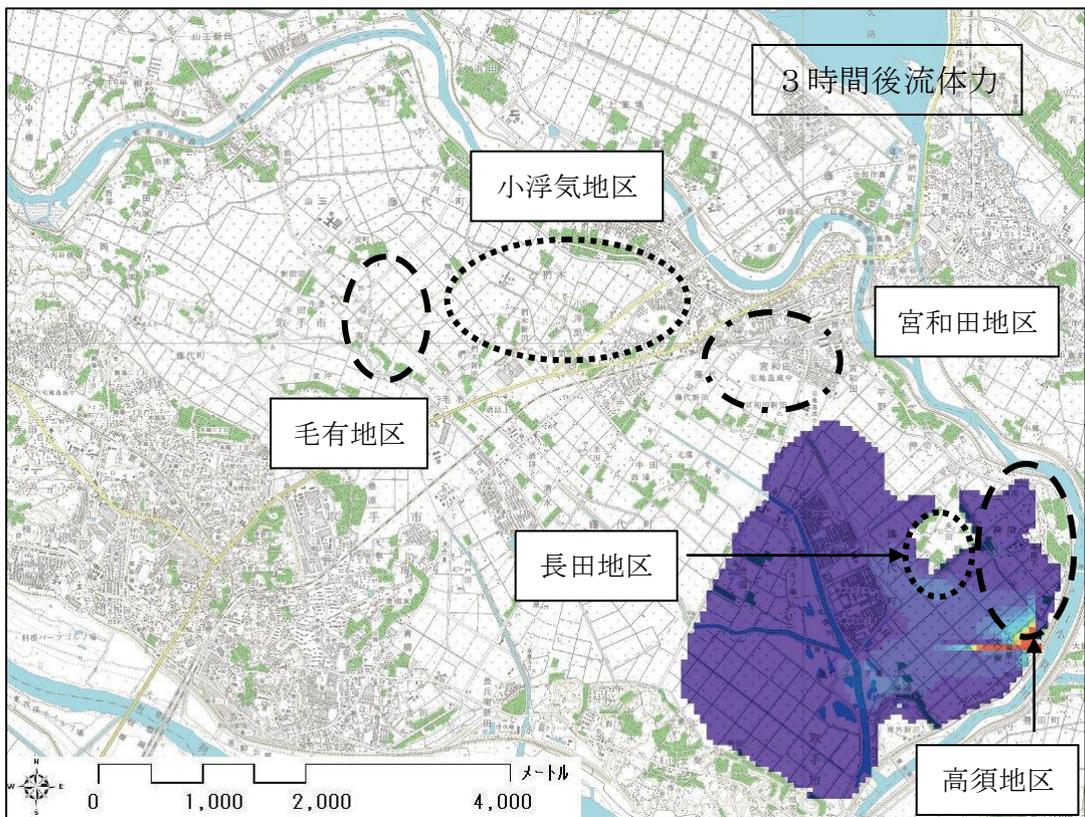
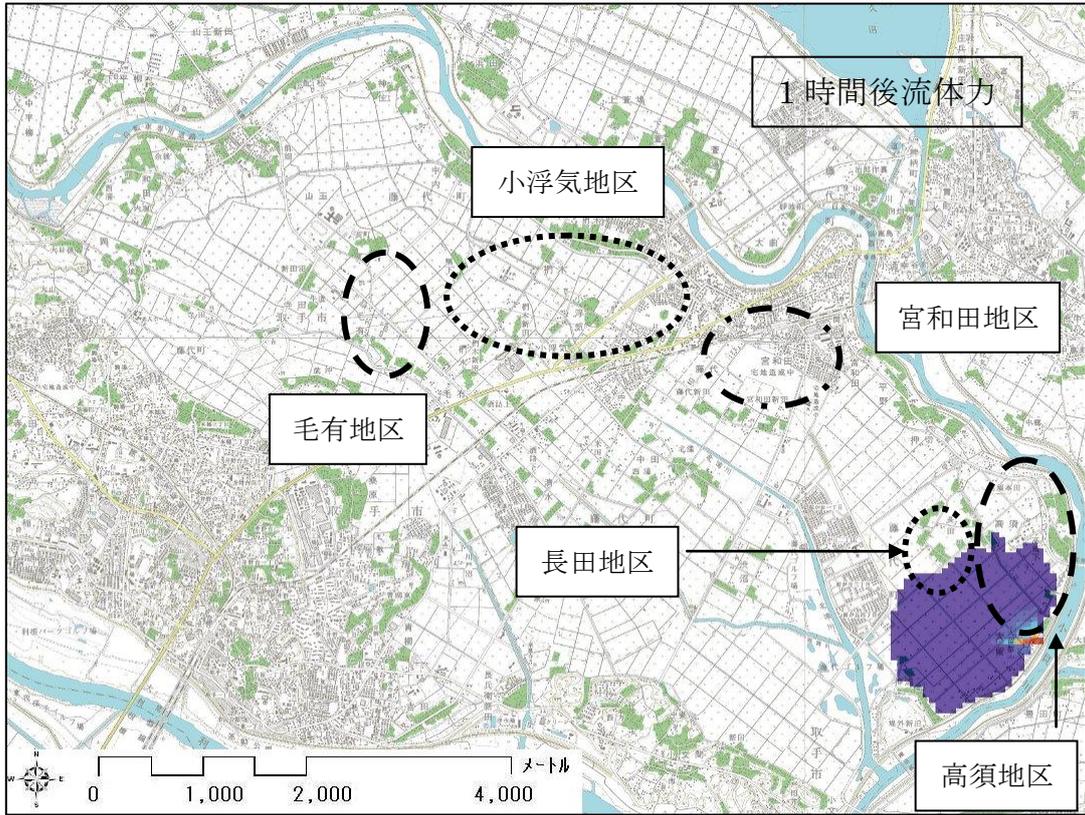
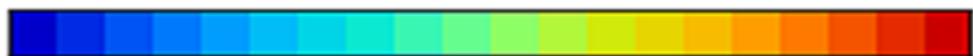
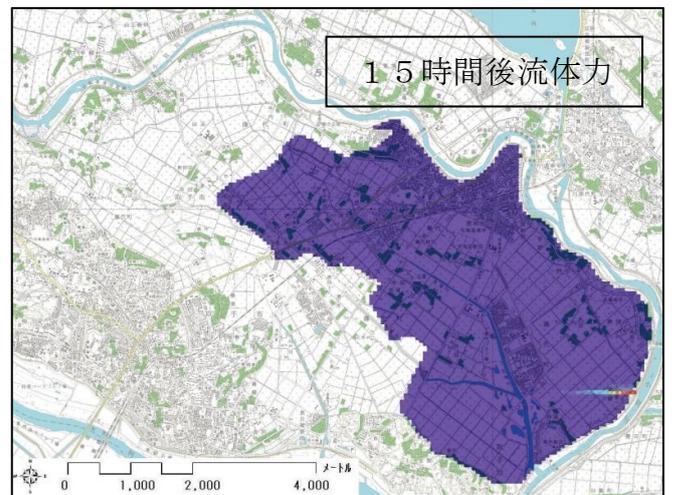
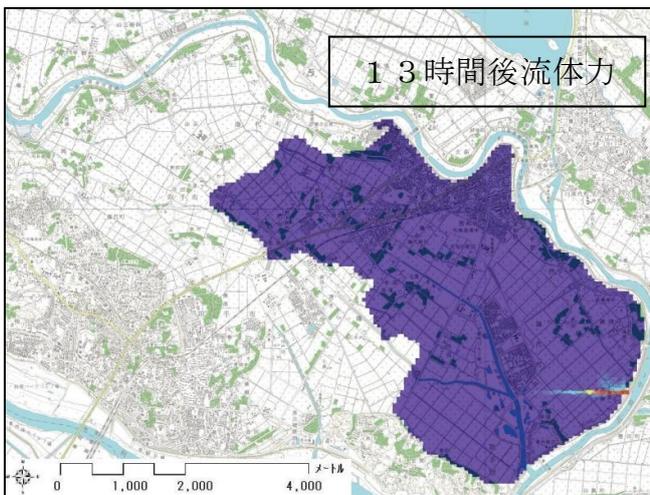
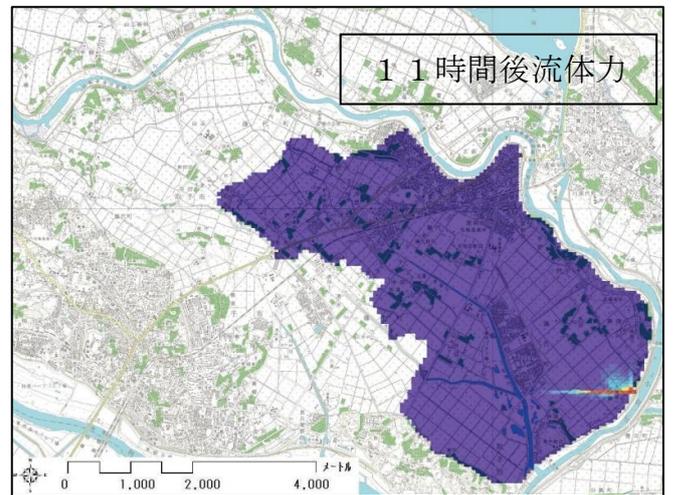
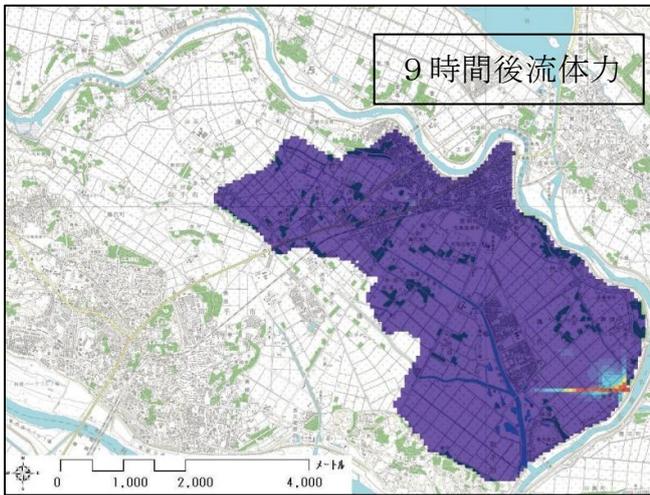
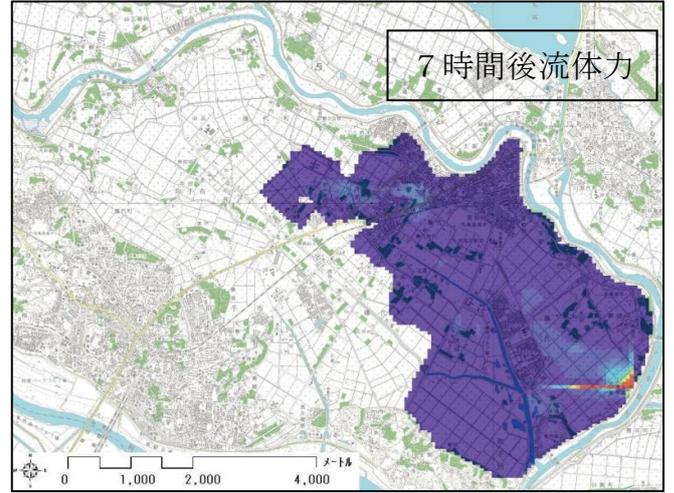
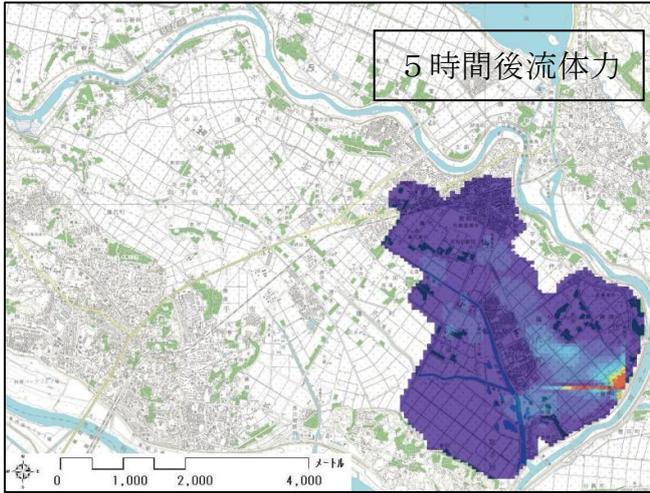


図 3.2.5-3 流体力(上から 1 時間後、3 時間後)



0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 ( $\text{m}^3/\text{s}^2$ )

図 3.2.5-3 流体力(上から 5 時間後、7 時間後、9 時間後、11 時間後、13 時間後、15 時間後)

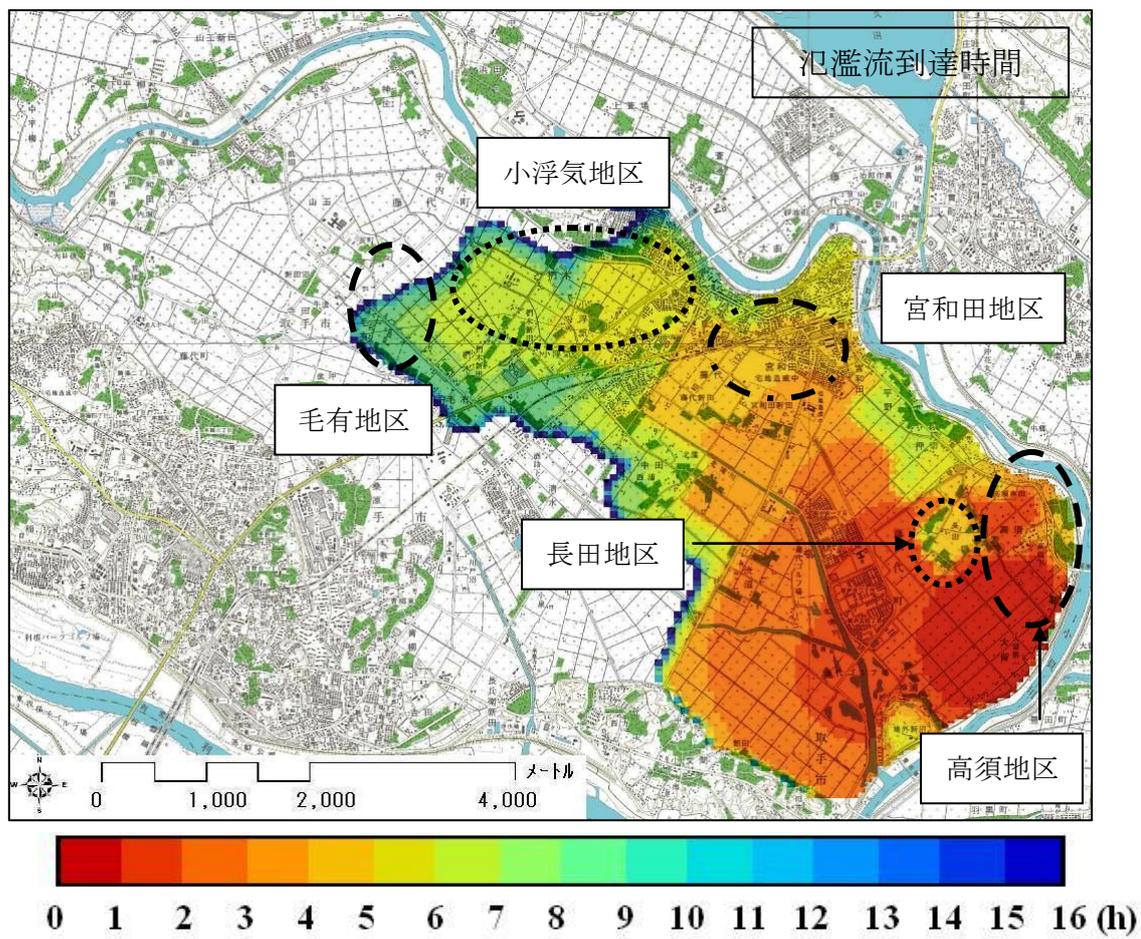


図 3.2.5-4 氾濫流到達時間

### 3.3. 20ヶ所の全破堤点を考慮した危険性分析

本節では全破堤地点を考慮し、各値の最大値を求めて危険性分析を行う。その手順は以下のようなものである。

- ・ 氾濫域に網羅的に設定した20ヶ所の想定氾濫地点から個別に氾濫解析を行う。
- ・ それぞれの破堤ケースにおける、各計算格子での浸水深、流速、流体力と水位上昇速度の最大値と氾濫流到達時間の最小値を求める。
- ・ 先で求めた値の中から、20 ケースで各指標最大値(氾濫流到達時間は最小値)を指標ごと選択して、その値を各計算格子の最大値（氾濫流到達時間は最小値）とする。

以上より求められた各指標の値は、20ヶ所の想定破堤ケースでの最大値（氾濫流到達時間は最小値）となっており、各計算格子で最も危険側の値を抽出したことになる。

これは現在作成されているハザードマップで表示される、想定浸水深の最大値の包落線を作成する方法に則る形式である。（国土交通省河川局治水課、2005）

### 3.3.1. 最大浸水深

図 3.3.1-1 に示すのが、3.3 の手順で求めた、全想定破堤地点を考慮した最大浸水深を図化したものである。前節でも考察したように、この計算領域であると、氾濫流が流れる経路は破堤地点で異なるが、どの地点で破堤しても最終的には氾濫域南東に広がる平野部に氾濫水が滞留し、その平地の浸水深が大きくなる。加えて、氾濫初期の段階で一時的に水深が大きくなるため、各破堤地点の近傍でコンターが黄色を示している。また、岡地区と寺田地区の一部も氾濫水が集中して流れるため、周囲と比較して浸水深が大きくなる。氾濫域東部の平地の中でも標高差があり、平野地区、押切地区、長田地区は周辺より標高がおおよそ 1m 高く、いずれの破堤ケースにおいても最大浸水深は約 80cm となっている。また、平地の西部に位置する中田地区、谷中地区の一部においても最大浸水深が約 80cm となっている。JR 藤代駅が位置する宮和田地区は浸水深が約 1.8m と示されており、コンター図が赤で表示されている範囲は標高が T.P+4m と氾濫域の中では低い。つまり、どこで破堤しても早い段階で浸水することが予想される。この範囲には、住宅が密集している宮和田地区や、比較的新しく造成された桜が丘の住宅地も入っている。計算領域北西の山王地区は標高がおおよそ T.P+8m と東の平地よりも高くなっており、この地域には氾濫水は滞留せず、低きに向かって通過していくので、どの破堤地点から破堤した場合でも最大浸水深はおおよそ 70cm となっている。

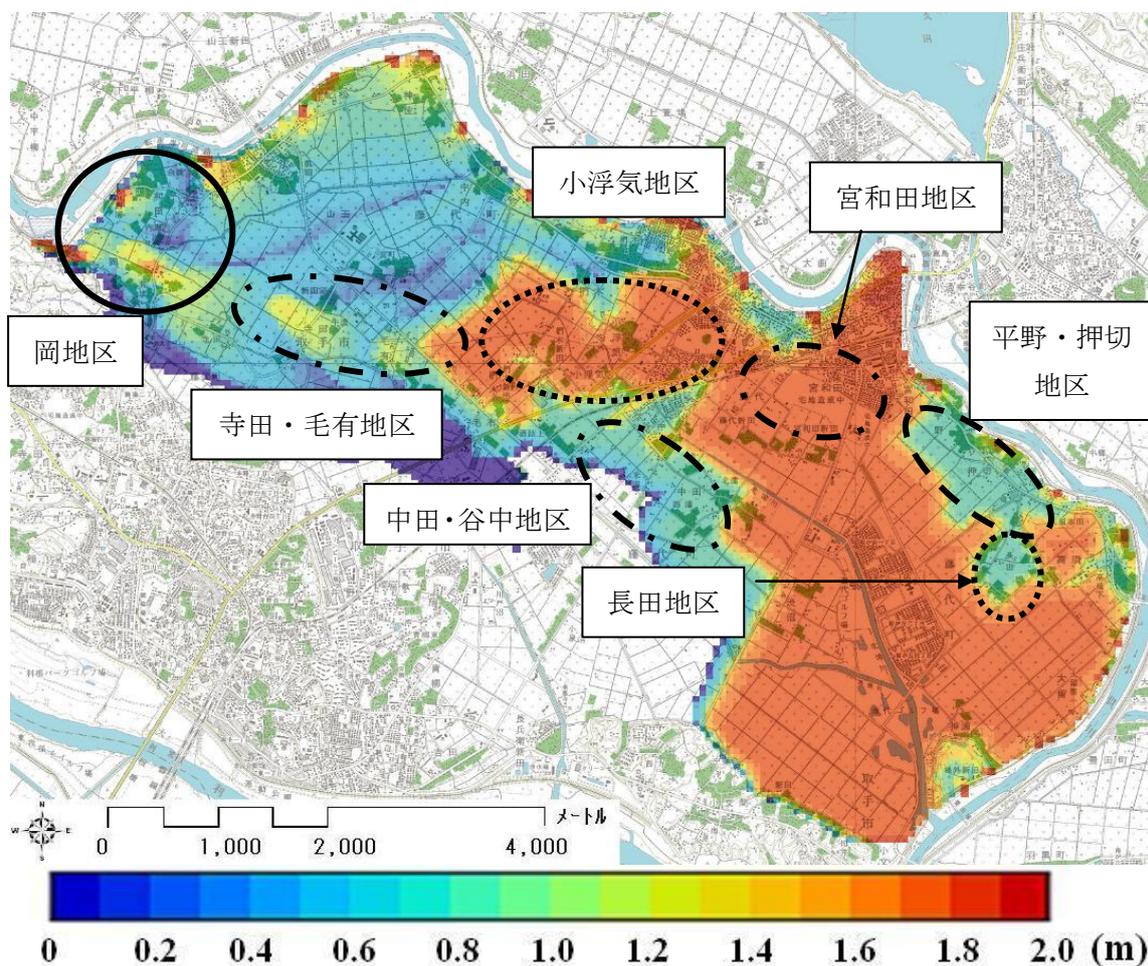


図 3.3.1-1 全破堤点を考慮した最大浸水深

### 3.3.2. 最大流速

3.3 の手順で求めた、全想定破堤地点を考慮した最大流速を図 3.3.2-1 に示す。破堤点で流速が大きくなる範囲にばらつきがあり、宮和田地区などに見られる住宅密集地では粗度の値が大きいため、流速は小さくなる。そのため、流速が大きくなる範囲も狭くなっている。一方、氾濫域北西の山王地区や南東の高須・大留地区では住宅は少なく、土地利用の大部分が水田となっており、住宅地に比べて粗度の値は小さい。そのため、氾濫流の流速は大きくなり、流速が大きくなる範囲も宮和田地区などに比べて小さくなる。破堤点から離れた場所に位置する住宅地である桜が丘においても、周囲の水田と比べて粗度が大きくなっているため、流速が周囲と比べて小さい。

3.2.1 でも述べたように、岡地区の周辺で破堤した場合には、その地区の地形勾配が大きいため、他の破堤点に比べて流速が大きくなる範囲が広い。その流れは寺田・毛有地区まで続き、最大流速の値は 1.2m/s 以上で、局所的にはそれ以上の値を示している。

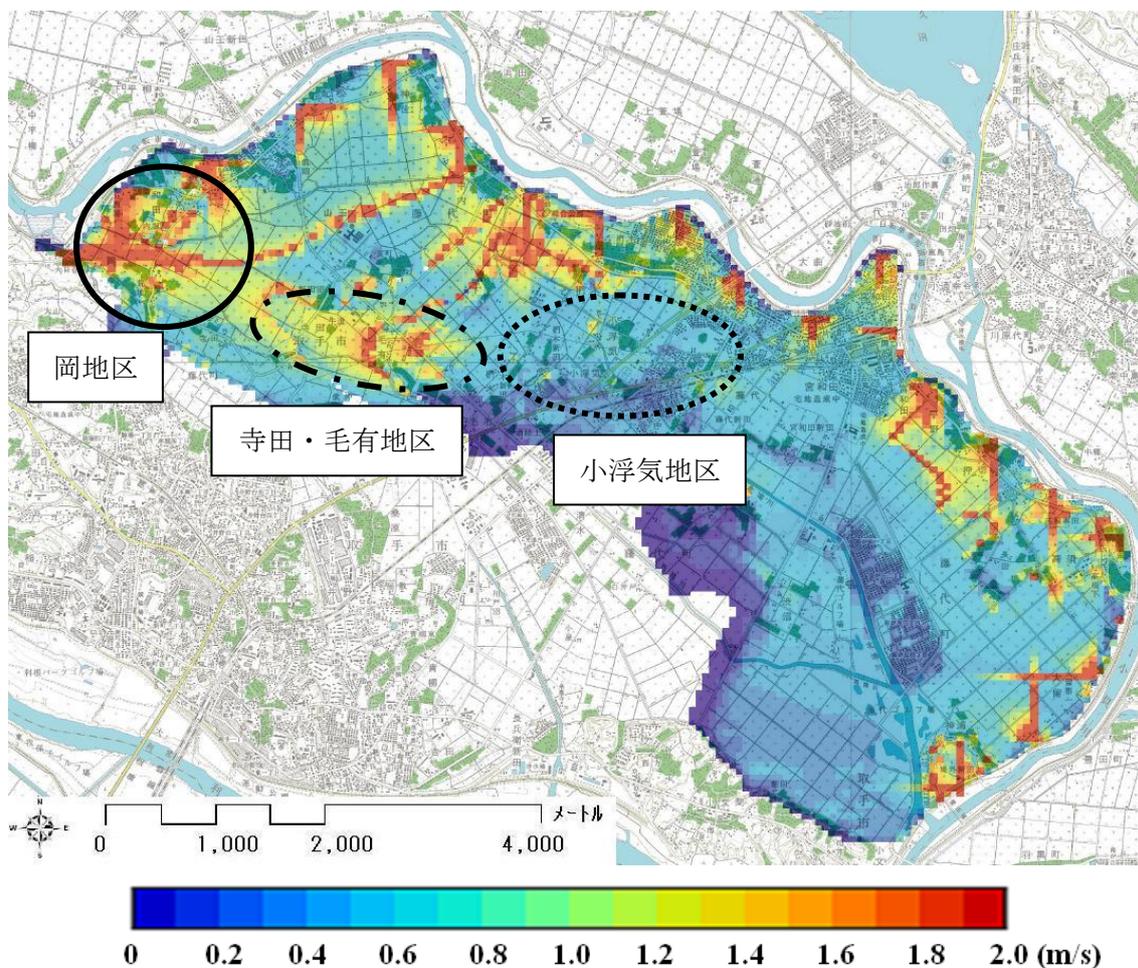


図 3.3.2-1 全破堤点を考慮した最大流速

### 3.3.3. 最大流体力

3.3 の手順で求めた、全想定破堤地点を考慮した最大流速を図 3.3.3-1 に示す。流体力は水深(m)に流速(m/s)の 2 乗を乗じた値である。まず、全体を見ると破堤点から一定の距離までコンターの色が赤に近く、流体力が局所的に大きくなっているのがわかる。また、寺田・毛有地区では、河川から離れた場所であるにもかかわらず、流体力が大きくなっていることがわかる。

これより、利根川との合流点から約 10km 地点である岡地区から下流に向かって考察していく。

岡地区付近、ここで流体力が大きくなっているのは、3.2.1 でも述べたが、この周辺で勾配が大きいことと、粗度の値が小さく流速が大きくなるからである。岡地区からおおよそ 3km 南東に離れた寺田・毛有地区でも流体力が大きくなっている。この地区の流体力が大きくなるのは岡地区で破堤した場合である。山王地区においては、全破堤点を考慮しても流体力が局所的に大きくなる場所は確認されず、破堤点から離れた地域では概ね 0.3 から 0.5m<sup>3</sup>/s<sup>2</sup> の範囲内である。特に聖徳大学附属聖徳中学校・高等学校付近から南東におおよそ 1km の範囲ではコンターの色が青に近く、流体力は 0.1m<sup>3</sup>/s<sup>2</sup> と小さくなっている。中内地区で破堤した場合には、流体力が 1.7m<sup>3</sup>/s<sup>2</sup> 以上と大きくなる範囲がおおよそ 1km と他の破堤点近傍の値より比較的大きくなる。これは、破堤点の西側は標高が高くなっており、氾濫流の拡散が限定され、集中することと、破堤点からの距離 1km で氾濫流の進行方向に標高が 2m 下がっているからである。この付近も、流体力が大きい値を示している寺田・毛有地区と同様な地形状態になっている。さらに、それに類似する地点は宮和田地区の小貝川が蛇行している場所で破堤した場合であり、氾濫流の挙動が南側への一方方向のみであるため、蛇行部一帯で流体力が大きくなっている。また、氾濫域南東部に位置する長田地区では周辺と比較してコンター図の色が異なり、流体力が 0.1m<sup>3</sup>/s<sup>2</sup> 以下と小さくなっていることがわかる。これはこの長田地区の標高が周辺よりもおおよそ 1m 高いためで、全破堤点を考慮した場合でもこの領域では浸水深、流速、流体力ともに小さくなることが確認された。

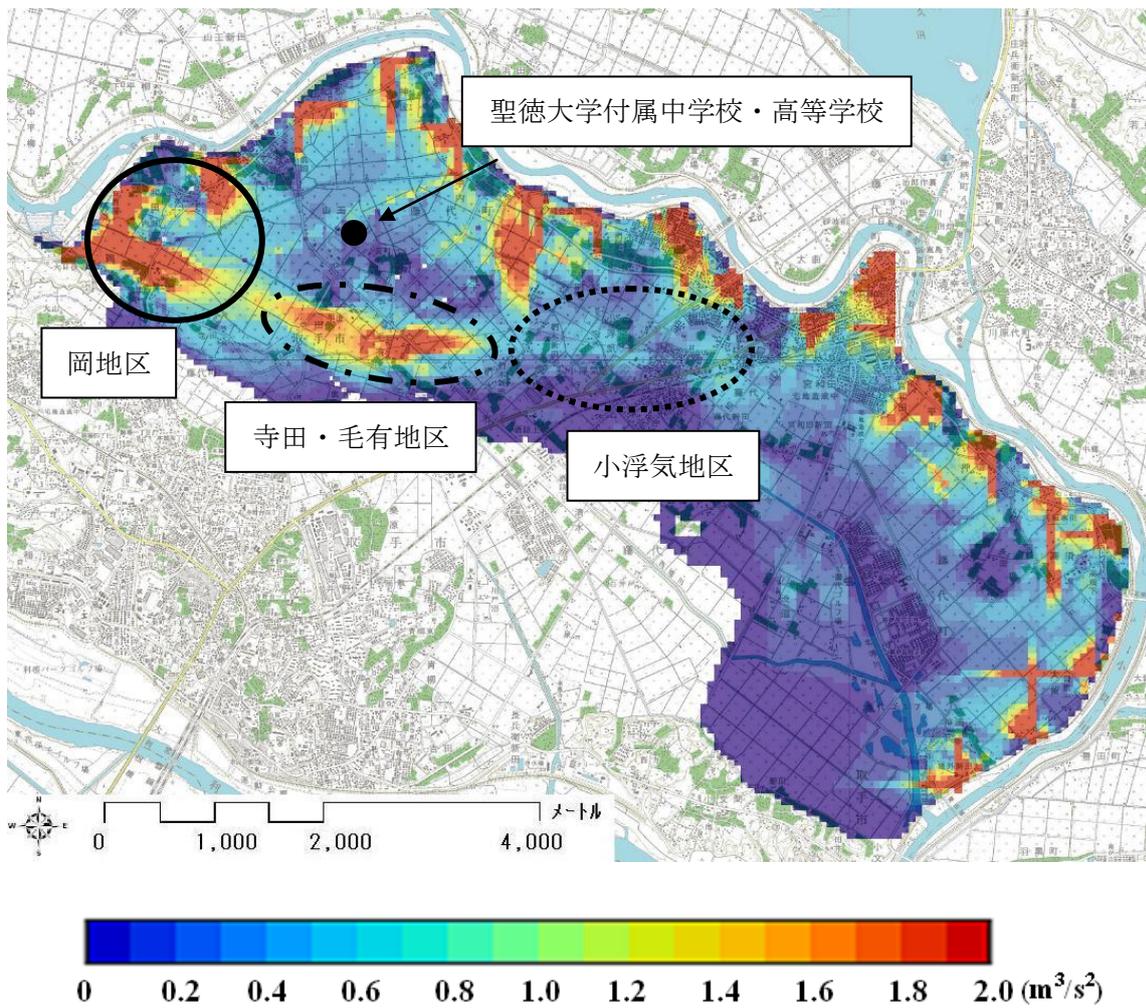


図 3.3.3-1 全破堤地点を考慮した最大流体力

### 3.3.4. 氾濫流到達時間

全破堤地点を計算に含め、その中での氾濫流の到達時間が最も短いものを30分おきに示したものを図3.3.4-1に示す。破堤地点から一定の範囲までは30分以内に到達しているが、岡地区と谷中地区は氾濫流の挙動が地形で制限され、流れの方向が一方向に集中するため、他の地点と比較して氾濫水の流下距離が長くなっている。また、氾濫域南東部の大留地区などは水田が多いため粗度が小さいことから、氾濫水の流下距離が長くなっている。逆に藤代地区や宮和田地区で破堤した場合は、氾濫水の流下距離が短く、それは住宅地が多く、粗度が大きいことに起因する。

3.2.1と3.2.2の破堤点別の氾濫流挙動の考察でも述べたが、岡地区、配松地区で破堤した場合には、短時間で遠くまで氾濫流が到達する。特に寺田地区・毛有地区ではその影響を受け、破堤点から距離があるが到達時間は短くなっている。

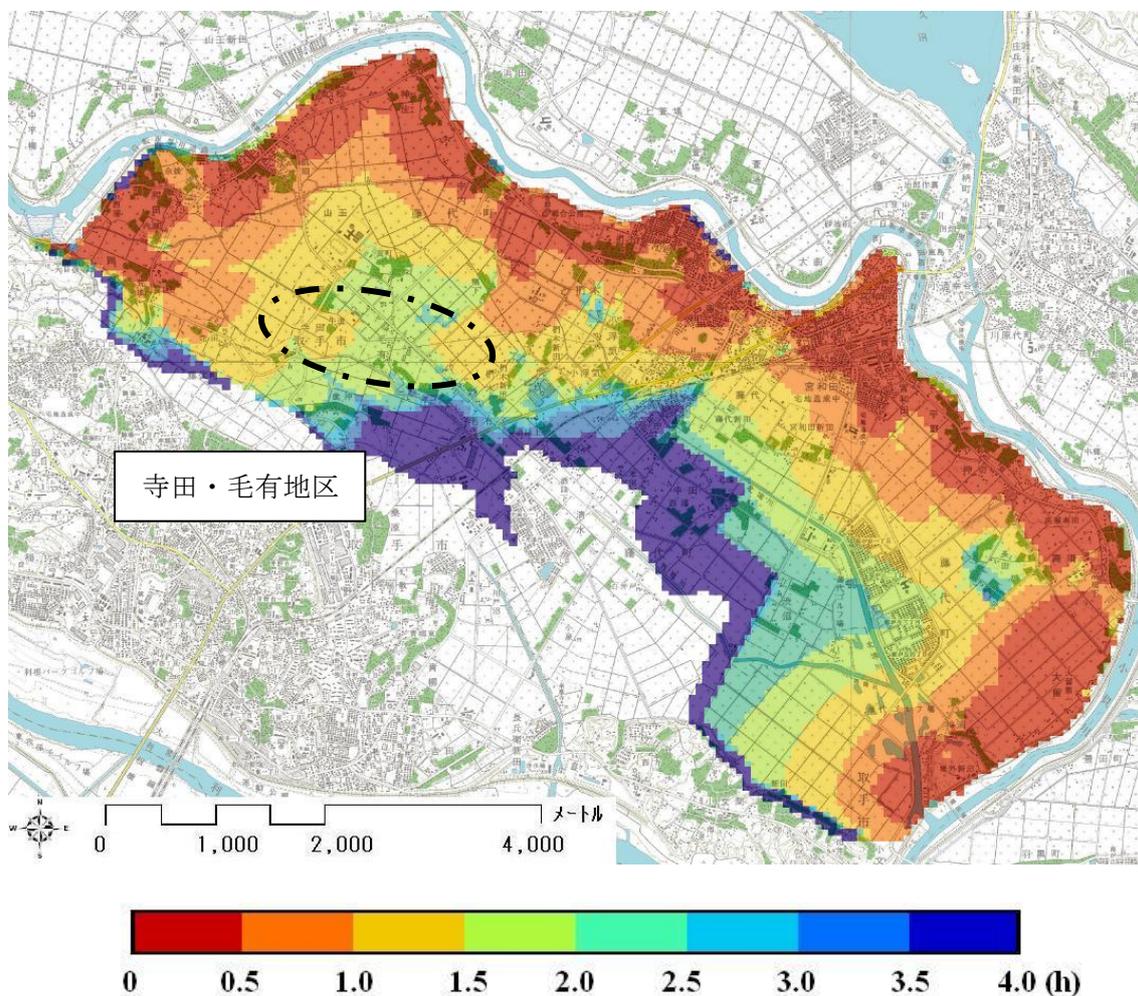


図 3.3.4-1 全破堤点を考慮した最短氾濫流到達時間

### 3.3.5. 水位上昇速度

全破堤点を考慮した場合の水位上昇速度を算出し、その結果を図 3.3.5-1 に示す。1 m を基準の浸水深として、氾濫水の到達から浸水深 1 m に達するまでの所要時間から上昇速度を算出した。ここでの水位上昇速度の算出方法は以下のようである。

各計算格子において

- ・ 氾濫流が到達した時刻を  $T_A$  とする。(10 分間隔で算出)
- ・ 浸水深が 1.0m に達した時刻を  $T_B$  とする。(10 分間隔で算出)
- ・  $T = T_B - T_A$  で上昇時間を求める。
- ・  $1,000(\text{mm}) / T(\text{min})$  の値を水位上昇速度とする。

例えば、破堤から 60 分で氾濫流が到達し、120 分で浸水深が 1m に到達したとする。その場合に算出される水位上昇速度は、

$$T = 120 - 60 = 60(\text{min})$$

$$1,000(\text{mm}) / 60(\text{min}) = 16.7(\text{mm}/\text{min})$$

と算出される。これは 1 時間で浸水深が 1m に到達する平均上昇速度である。

コンター図で赤く示されているメッシュが水位上昇速度 15(mm/min)以上の地域であり、1 時間に 1m 近く浸水深が上昇することが予想される地域である。

毛有地区、小浮気地区、藤代地区で特に大きい値が算出されており、毛有地区と藤代地区で 15(mm/min)以上を意味する赤色を示している。毛有地区の上昇速度が大きくなる破堤地点は岡地区から配松地区で破堤したときで、特に 3.2.2 で取り上げた、配松地区で破堤した場合に最大値を記録している。氾濫水が標高の高い地域から標高の低くかつ、地形的に狭窄した地域に一気に氾濫流が流れ込むことが、この地域の急激な浸水深の上昇の一因である。藤代地区でも上昇速度が大きくなっており、この地域も岡地区・配松地区で破堤した場合に特に大きい値を示し、毛有地区と同様の理由であると考えられる。

また、宮和田地区、JR 藤代駅の北側にも上昇速度が大きくなる地域がある。ここは小貝川が蛇行した部分で破堤した場合には、氾濫流が南側の一方方向のみに動きが遮られるため、急激に浸水深が上昇する。このような袋小路になっている場所は、破堤点によらず、上昇速度が大きくなる場合がある。

氾濫域南東の高須地区も、標高が周囲と比べて低く、一気に低地部分に氾濫水が流れ込み、そのため上昇速度が大きくなっている。

平地の中心に位置する桜が丘地区などでは、氾濫流が分散するため小浮気地区などに比べてゆっくりと浸水深が上昇する。

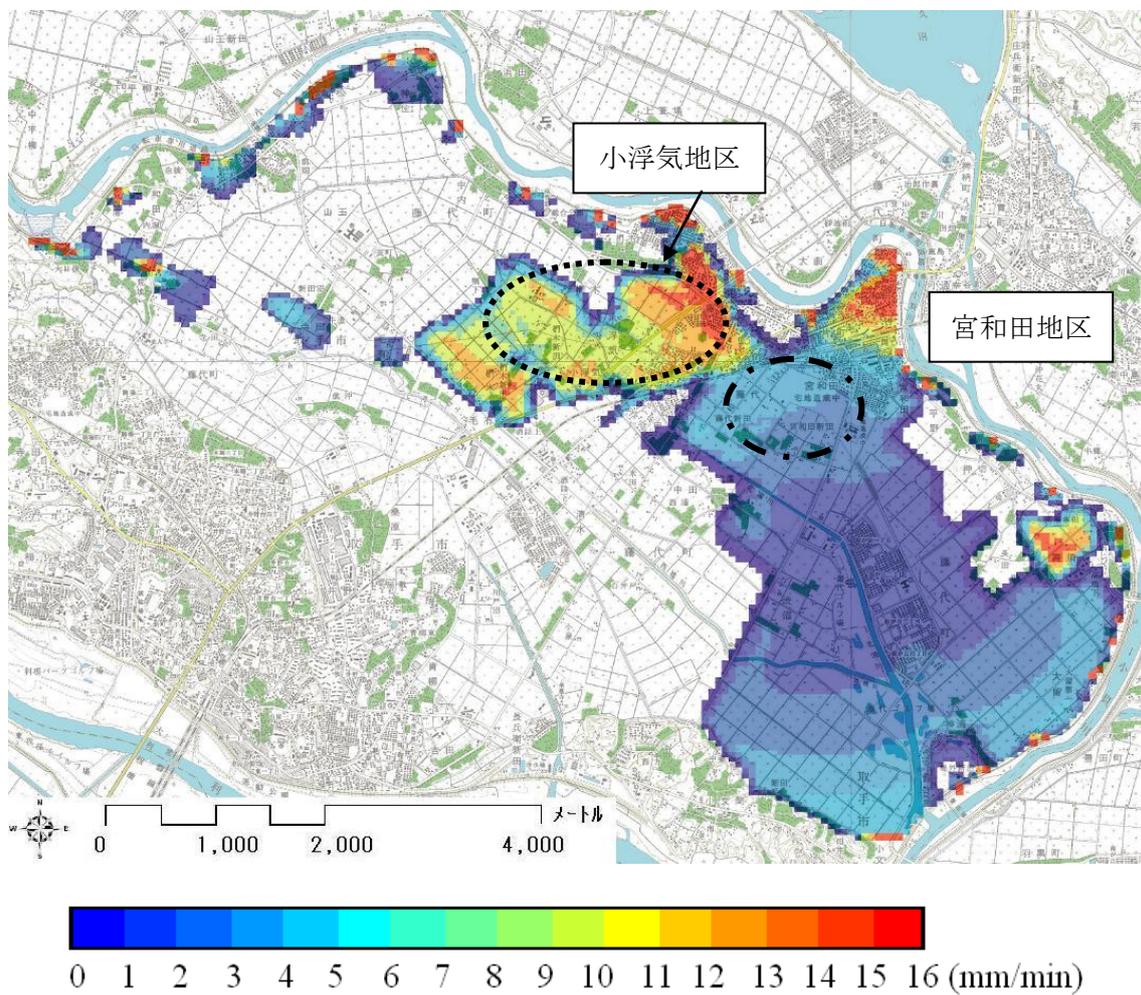


図 3.3.5-1 全破堤点を考慮した最大水位上昇速度

### 3.3.6. 浸水深と流体力

洪水によって堤防が破堤した場合には、氾濫水により浸水し、その深さで人命や財産が損害を被る危険性が考えられる。また、氾濫流が持つ流体力によって、人が流されたり、家屋が倒壊したりする危険性が考えられる。現在のハザードマップでは、上で述べた浸水深のみがその危険性を表す指標として取り扱われることが多く、氾濫流の流速や流体力が考慮される例は少ない。

そこで、浸水深による危険性と流体力による危険性を両方考慮し、浸水深と流体力を組み合わせてその危険性を統合した指標図で表現することを試みる。

<浸水深・流体力を無次元化した Ph 値、PF 値による表現>

3.3.1 で得られた各計算格子の浸水深の最大値を  $h_{\max}(i)$  とする。

3.3.3 で得られた各計算格子の流体力の最大値を  $F_{\max}(i)$  とする。

これらの値を浸水深の基準値、流体力の基準値で除して正規化する。

避難のための水中歩行に関する研究には（須賀ら、1994）などがあり、今回用いる基準値は各文献を参考にして、定められた値である。この値は避難行動を考えた際の避難可能・不可能を分ける閾値であるとして考え、浸水深に関しては身長 170cm の成人男性を対象としており、図 3.3.6-1 から求めた。流体力に関しては既往研究（石垣ら、2006）を参考にした。

浸水深に関する基準値は 1.445(m)

流体力に関する基準値は  $1.2(\text{m}^3/\text{s}^2)$  とする。

正規化された浸水深を  $Ph(i)$ 、正規化された流体力を  $PF(i)$  とすると。

$$Ph(i) = h_{\max}(i) / 1.445$$

$$PF(i) = F_{\max}(i) / 1.2$$

として表現される。

そして、各計算格子において無次元化された  $Ph(i)$  の値と  $PF(i)$  の値で大きい方を選択し、選択された値を各計算格子の値、 $P(i)$  とする。 $P(i)$  の値をプロットしたものを図 3.3.6-2 に示す。

この図で赤く表示されている地域が、 $Ph(i)$  または  $PF(i)$  の値のどちらかが 1 を超えている地域である。つまり、先に示した浸水深と流体力の基準値を超えている地域であり、避難の際に危険な状態になる可能性があることを示唆している。

この図は先の 3.3.1 の最大浸水深と 3.3.3 の最大流体力の図を重ねて表現しており、浸水

深だけでなく流体力による危険性を表現した図になっている。今回作成した図では、想定破堤点を 20 ヶ所しか設定しておらず、破堤点と破堤点の間はあたかも流体力が発生しないように描かれている。しかし、破堤点をさらに密に設定することで、破堤点間の間隔を狭くできるし、流体力の等しい線を結んだ、等流体力線を描くことによって、破堤時に流体力が大きくなるエリアを表現することができる。

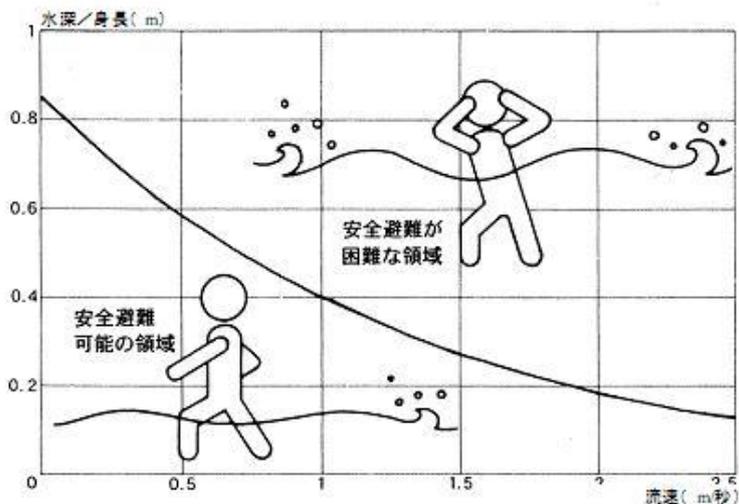


図 3.3.6-1 安全避難可能な領域(出典:国土交通省<技術資料>より)

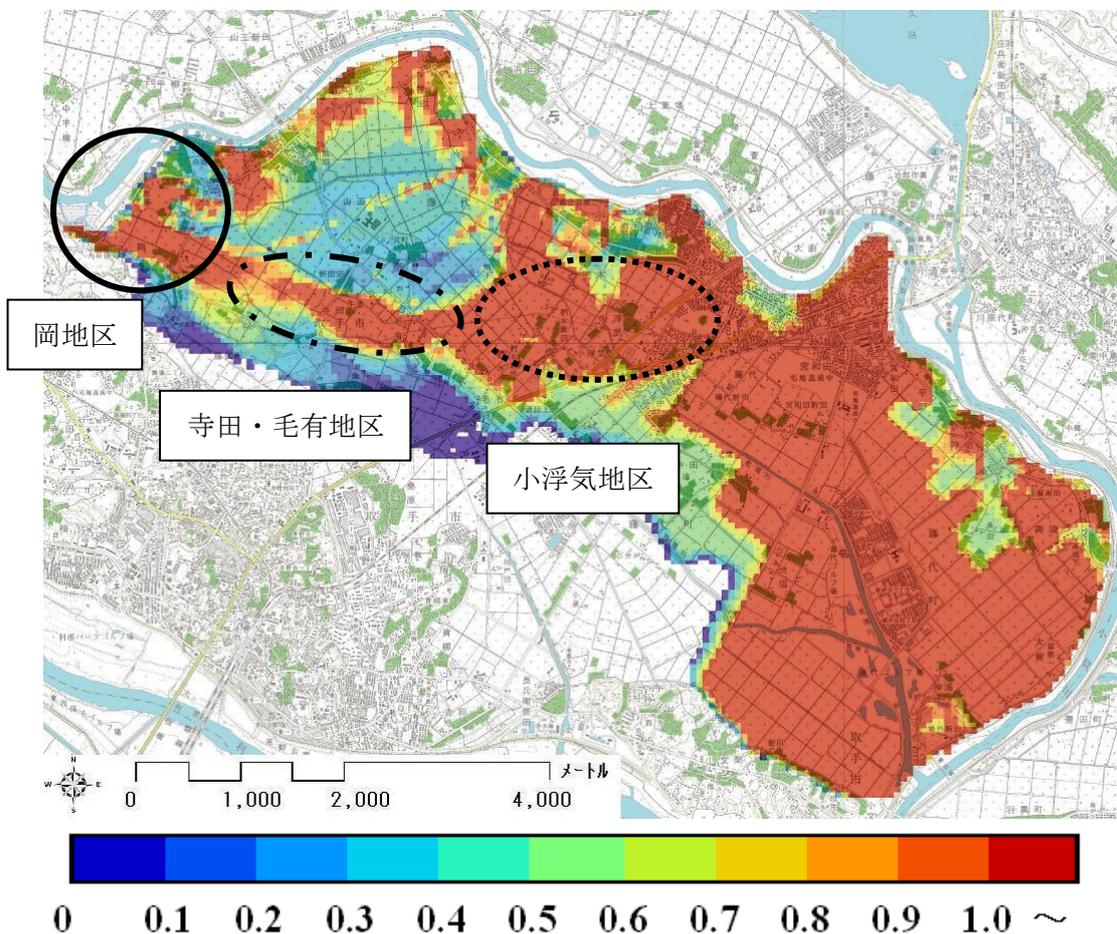


図 3.3.6-2 無次元化された Ph と PF による危険度の表現

<浸水深と流体力の両方の危険性が存在する地域>

先の検討では、浸水深と流体力をそれぞれの基準値で無次元化し、それらの大きい方を選択して、各計算格子の代表値とした。これにより、浸水深だけでなく、流体力による危険性が潜む地域を表現した。しかし、これでは、浸水深と流体力の両方の危険性が潜む地域の水害危険度を表現することができない。ここでは先に検討したように、浸水深と流体力を無次元化する際に、1以上を1とする操作を行う。この操作の意味は、指標に基準値を設けて、その値を最大値とする「点数化」をしたことと考えられ、異なる指標間の危険度を比較できるようにするために行う。

$$Ph(i) = h_{max}(i) / 1.445 \quad (0 \leq Ph(i) \leq 1)$$

$$PF(i) = F_{max}(i) / 1.2 \quad (0 \leq PF(i) \leq 1)$$

そして、 $Ph(i)$ と $PF(i)$ の二つの値の和をとったものを $P2(i)$ とする。

$$P2(i) = Ph(i) + PF(i) \quad (0 \leq P2(i) \leq 2)$$

この値は0から2までの範囲をとる値であり、2に近いほど浸水深と流体力、両方の危険性があることを示している。この値を図化したものを図 3.3.6-3 示す。

先の図 3.3.6-3 では、避難不可能になる可能性がある領域を示した領域を示したが、ここで作成した図 3.3.6-3 は、浸水深と流体力の両方の危険性がある地域を示すものである。

$Ph$ と $PF$ の値の最大値を1に設定したため、2に近い値をとる地域は、浸水深、流体力どちらの危険性も高いことを示している。

破堤点近傍では破堤流量ピーク時に、最大浸水深と最大流体力ともに大きくなるため、図 3.3.6-3 においても2に近い数値が示されている。

3.2.1の破堤点別の考察でも示したが、岡地区付近で破堤した場合は、氾濫流が拡散せず、岡・寺田・毛有地区に集中するため、浸水深・流体力ともに大きくなることが想定される。図 3.3.6-3 においては、それが示されている。

また、小浮気地区は標高が低いいため、浸水深が大きくなることと、近傍で破堤した場合には流体力が大きくなるので $Ph+PF$ の値が1.2を超える値となっており、今回の計算領域内では、 $Ph+PF$ の値は比較的大きい値を示している。

それに比べて山王地区では $Ph+PF$ の値は0.8以下であり、相対的に浸水深と流体力を合わせた危険性が低いことが示されている。

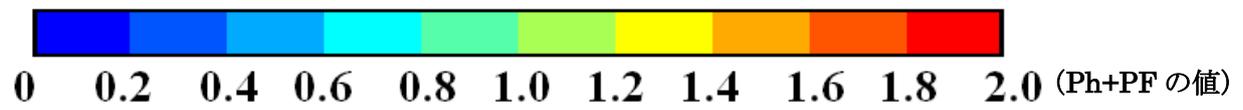
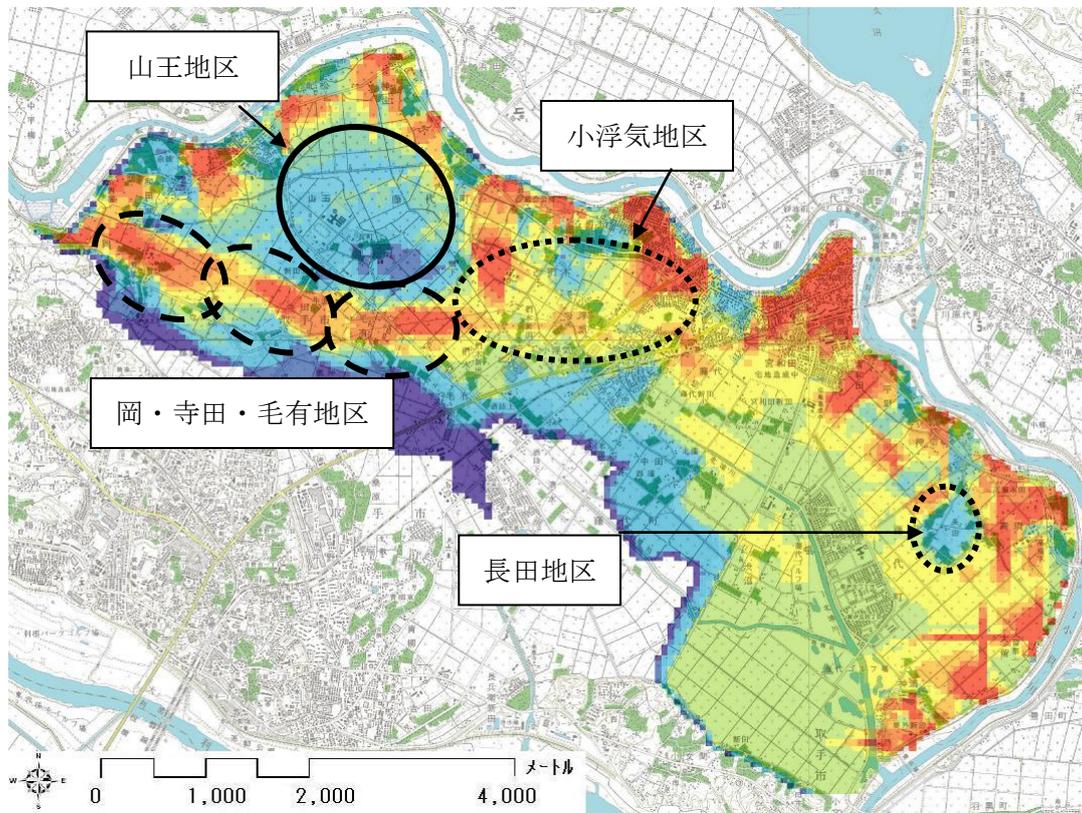


図 3.3.6-3 Ph+PF の値による危険度の表現

### 3.4. 3章まとめ

この章では、既往の破堤実績をもとに計算条件を設定し、想定破堤地点から破堤氾濫した場合の氾濫流の挙動について考察した。

3.2 では 20 ヶ所の想定破堤地点の中から、5 か所の破堤地点を選択し、そのひとつひとつのケースについて氾濫流の挙動を考察した。その結果、特に岡地区や配松地区の上流で破堤した場合には、地形勾配により単位時間あたりの到達距離が長くなることや、岡地区・寺田地区・毛有地区で氾濫流が集中し、浸水深・流体力ともに大きくなることが示唆された。また、押切地区や大留地区などの氾濫域下流部で破堤した場合は、堤防付近以外で局所的に氾濫流が集中する領域は確認されなかった。そして、どの破堤地点で破堤しても、最終的には氾濫域南東部の低平地に氾濫水が滞留し、低平地においては最大浸水深が大きくなることが示された。

3.3 では計算領域内に網羅的に設定された 20 地点の破堤地点すべてを考慮して、考察を行った。その結果、氾濫域北東部の山王地区では最大浸水深、最大流体力ともに比較的小さいことが示された。氾濫流到達時間については、土地利用の状況や地形勾配によって、差があることが示された。水位上昇速度については、特に小浮気地区で値が大きくなり、急激に水位が上昇する危険性があることが示された。

さらに、3.3.6 では Ph と PF の指標を導入して、浸水深と流体力の両方の危険性を組み合わせることを試みた。この指標により各計算格子で、浸水深と流体力の危険性の大きい方を選択してその地域を示した。また、浸水深と流体力の 2 つの危険性がある地域を Ph+PF の値で示した。

## 4. 水害危険性分析に基づく考察

この章では、これまで行ってきた、破堤氾濫による水害の危険性分析をもとに、特に水害危険性の高い地域に着目しさらに考察を行い、それを踏まえた提案を行う。

4.1 では 3.3.3 で検討した、20 ヶ所すべての破堤を考慮した最大流体力をもとに、既往研究の結果を用いて「在宅避難が不可能な地域」を設定した。

4.2 ではこれまで行ってきた危険性分析の結果をもとに、各避難施設の個別の危険度について比較・考察を行う。

4.3 では 3 章の結果と 4.1・4.2 で得られた考察をもとに、地区別に危険性を分類し、それぞれの地域における避難行動に関する留意点をまとめた。

4.4 では 3.3.6 と 4.2 で用いた各指標を用いて、水害の危険性を統合して図で表現することを試みた。

### 4.1. 在宅避難が不可能な地域の設定

2004 年の新潟水害の事例や、2009 年に兵庫県佐用町で発生した水害事例からは、自宅から避難施設に避難しようとして命を落とすケースが報告されている。その中には、避難施設に移動せずに、自宅 2 階に待機し、破堤による氾濫が鎮静化するのを待っていれば、死亡するには至らなかったのではないかとという事例も見受けられる。それは「在宅避難」の有効性が示唆された事例であり、その可能性を検討することで、より安全な避難体制を整備できるのではないかと考える。

そこで、本節では計算対象領域内で在宅避難の可能性のある地域を検討する。氾濫時に流体力が大きくなり、建物・住居に倒壊の恐れがある地域において在宅避難措置を取るのには望ましくない。そこで、流体力  $hv^2$  が  $1.5m^3/s^2$  を超えると一般家屋に被害が生じ始め、 $2.5m^3/s^2$  を超えると居住不可能になるという既往研究（佐藤ら、1989）を参考に、計算結果から在宅避難の可能性について議論する。

そこで、3.3.3 で作成した、20 か所の想定破堤地点を考えた場合の最大流体力を図 3.3.6-1 で示し、既往研究の値を参考に  $2.5m^3/s^2$  以上を記録するメッシュを赤色、 $1.5(m^3/s^2)$  以上になるメッシュを黄色で表示した。そして、 $1.5m^3/s^2$  以上になる場所を包落線で囲み、斜線でゾーニングする。この斜線部分を「在宅避難が不可能な地域」として設定する。この結果より、河川堤防から一定の範囲と、寺田地区・毛有地区の一部において在宅避難が不可能な地域として指定される。寺田・毛有地域の流体力が  $1.5m^3/s^2$  と大きくなるのは、氾濫解析によると岡地区付近の 3 か所から破堤した場合であり、この場合は建物が破損・倒壊する可能性があると考えられる。

岡地区付近で破堤した場合は直線距離でおよそ 1.5km 離れた範囲まで流体力が  $1.5m^3/s^2$  を超えており、今回検討した範囲の中では比較的範囲が広い。これは地形的に勾配が大きくなっていることと、この地区は水田の割合が多く、住宅地よりも粗度が小さく

なっているため流速が小さいからだと考えられる。

対照的に宮和田地区周辺、JR 藤代駅から北側で破堤した場合には流体力が大きくなる範囲が、岡地区のそれよりも比較的狭い。これは 3.3.3 でも述べた通り、地形が平坦、かつ、住宅地として土地利用がなされており、粗度が大きいからである。藤代地区から小貝川沿いに宮和田地区に至る当該地域では、住宅が密集して立地している。この住宅密集地で破堤した場合には図からもわかるように住宅地のほとんどの範囲で流体力が大きくなることが予想され、早期に避難施設まで避難することが必要になると考えられる。

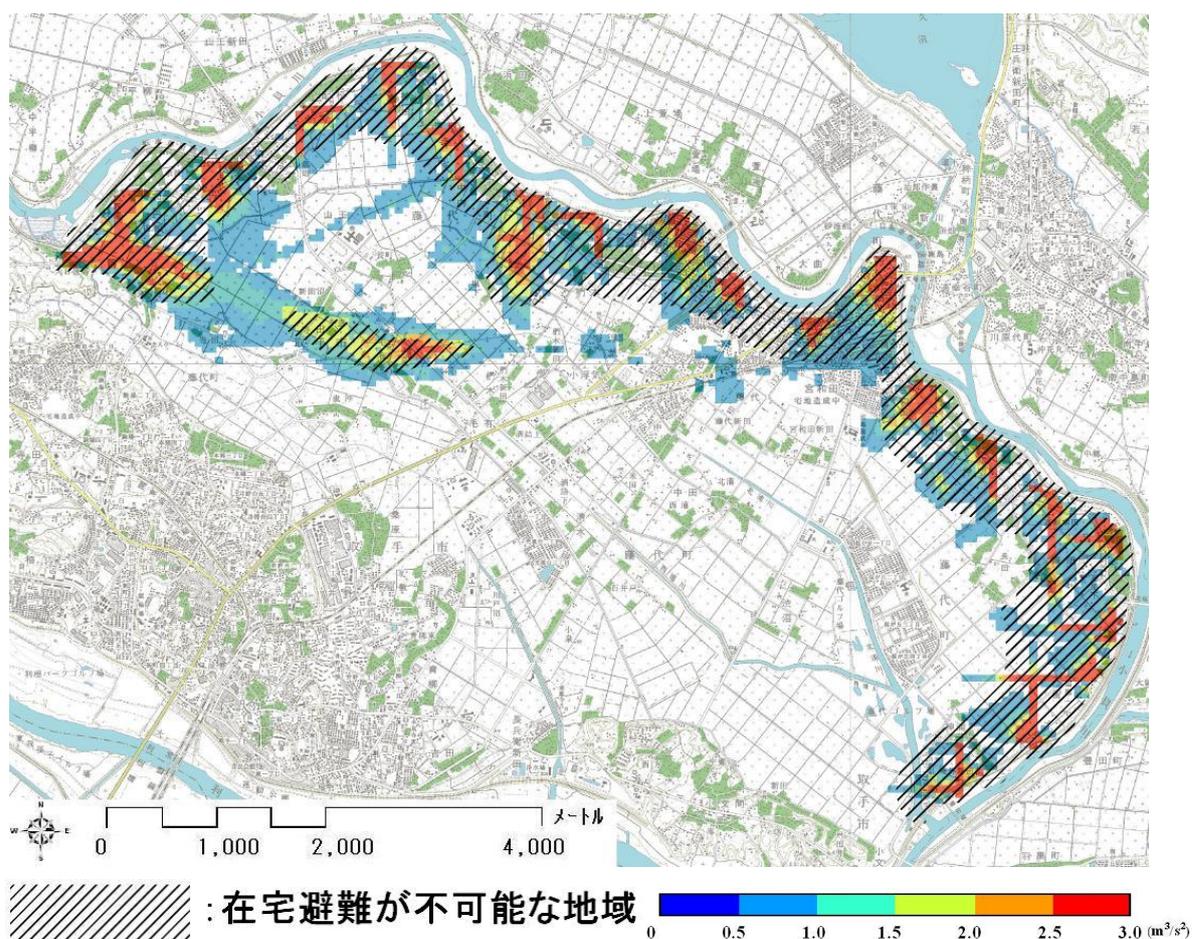


図 4.1-1 在宅避難が不可能と考えられる地域

## 4.2. 水害避難施設の危険度判定および考察

本節では、これまで行ってきた危険性分析の結果を受けて、水害避難施設に関する危険度の分析・考察を行う。序論に示したように、自宅から避難施設に避難する途中に被災して命を落とす水害の事例もある。そこで、本研究の対象領域内で取手市により指定されているそれぞれの避難施設の位置に潜在する水害の危険性を属性別に明らかにし、考察を行う。

対象とする避難施設は取手市が平成 21 年に発行した取手市洪水避難地図「小貝川洪水ハザードマップ」により定められた施設であり、以下これらの施設の危険度について考察を行う。取手市洪水避難地図（小貝川ハザードマップ）を図 4.2-2 に示す。

- ・ 山王小学校
- ・ 藤代中学校
- ・ 藤代小学校
- ・ 宮和田小学校
- ・ 藤代南小学校
- ・ 桜が丘小学校
- ・ こども発達センター（旧高須小学校）

これらの施設の水害危険度を属性別に比較するために、3.3.6 と同様に正規化された各指標を用いて危険度の点数化をおこなう。ここでは 20 地点全ての破堤を考慮した、各計算格子最大の浸水深と流体力に加えて、3.3.4 と 3.3.5 で取り扱った最短氾濫流到達時間  $T_{min}(i)$  と最大水位上昇速度  $V_{hmax}(i)$  も加え、正規化により無次元化された氾濫流到達時間  $PT(i)$  と水位上昇速度  $PVh(i)$  を導入し検討を行う。

各計算格子の氾濫流到達時間と水位上昇速度は以下の式により無次元化を行う。氾濫流到達時間に関しては、到達時間が短いほど高い点数になるように逆数をとる。 $T_{min}(i)$  と  $V_{hmax}(i)$  を無次元化する際の基準値は、それぞれ 3.3.4 で到達時間を表す最小単位に用いた 0.5(h) と、1 時間で 1m 浸水深が上昇する平均速度である 16.7(mm/min) を採用する。そして、3.3.6 と同じく、 $PVh(i)$  と  $PT(i)$  を算出して、その値が 1 以上の場合はその値を 1 とする。

<氾濫流到達時間を点数化>

$$T_{inv}(i) = 1 / T_{min}(i)$$

$$PT(i) = T_{inv} / 2 \quad (0 \leq PT(i) \leq 1)$$

<水位上昇速度を点数化>

$$PVh(i) = V_{hmax}(i) / 16.7 \quad (0 \leq PVh(i) \leq 1)$$

また、3.3.6 で用いたものを再掲する。

<浸水深を点数化>

$$Ph(i) = h_{max}(i) / 1.445 \quad (0 \leq Ph(i) \leq 1)$$

<流体力を点数化>

$$PF(i) = F_{max}(i) / 1.2 \quad (0 \leq PF(i) \leq 1)$$

これらの値を用いて、考察を行う。

以下では、各避難施設において検討を行う。



図 4.2-1 危険度の評価を行う避難施設



### 4.2.1. 山王小学校

まず、山王小学校の地点における点数化された浸水深 Ph、流体力 PF、氾濫流到達時間 PT、水位上昇速度 PVh を図 4.2.1-1 に示す。これより PT の値が 1 に達しており、氾濫水が 30 分以内に到達することを示しているが、PVh の値は 0 である。今回想定したケースでは当該地域で浸水深が 1m に達することはない、3.3.5 に示す方法で算出を行ったところ、PVh の値は算出されなかった。破堤地点が山王小学校の直近でなければ、急激な水位上昇に伴う危険性は小さいと考えられる。また、流体力による危険性を示す PF の値は 0.4 で、氾濫流の流体力が  $0.48\text{m}^3/\text{s}^2$  に達することを、示唆している。しかし、当該地域の直近で破堤した場合は、さらに流体力が大きくなることが予想される。したがって、山王小学校が破堤時の流体力に耐えられると仮定した場合、この近辺に住む住民は、洪水による氾濫予測などの情報手段を活用しながら、氾濫が起きる以前に山王小学校に避難し、流体力による被害を回避するといった避難施設の活用方法が考えられる。なお、これらの指標の合計値は 2.07 であり、今回検討した避難施設の中での、総合的な水害危険度としては、中程度であると考えられる。表 4.2.1-1 に 3.2 で検討を行った岡地区、配松地区、藤代地区、押切地区、大留地区から破堤した場合の各表地を示す。これによると、当該地区は岡地区、配松地区など、上流側で破堤しないと浸水しない。それを考慮すると、後述のようにその他の避難施設に比べて安全だと考えることもできる。

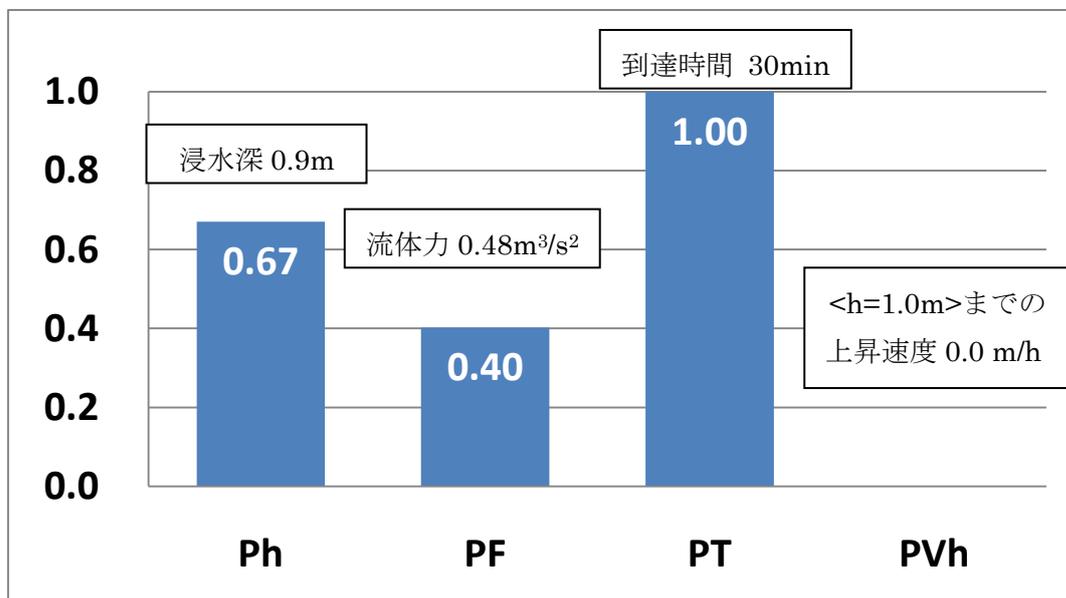


図 4.2.1-1 山王小学校における各指標の値

表 4.2.1-1 破堤地点別の山王小学校における各指標の値

破堤地点	Ph	PF	PT	PVh	合計
岡地区	0.35	0.03	0.38	0.00	0.75
配松地区	0.38	0.04	0.43	0.00	0.84
藤代地区	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
押切地区	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
大留地区	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

## 4.2.2. 藤代中学校

図 4.2.2-1 より、当該地域は Ph、PF、が最大値の 1 に達しており、浸水深による危険性、流体力による危険性を含んだ避難施設であると考えられる。さらに、PVh は 0.67 の値を示しており、7つの施設の中では藤代小学校に次いで大きい値で、水位上昇速度が大きくなることを示唆している。また、これらの指標の合計は 3.42 と今回検討した避難施設の中では 2 番目に大きい数値を示しており、標高も T.P+4.1m と低く、河川からの距離も短く、藤代中学校近傍で破堤する場合には非常に危険度が高い。指標の合計値が大きいことからわかるように、4つの指標が示す危険性を全て含んでおり、危険な地域に立地していることが示唆される。そのため、藤代中学校への避難中に、氾濫流が来襲し、流体力で押し流されてしまうことや急な水位上昇によって、避難途中に被災する危険性が懸念される。

また、地形的に狭窄した地域に位置しているので、表 4.2.2-1 に示すように、当該地区から離れた岡地区などで破堤する場合にも浸水深、水位上昇速度がともに大きくなる危険性がある。特に岡地区で破堤した場合には PVh の値が大きく、急激な浸水深の上昇が予想される。表に示す 5 地点からの破堤では、指標の合計値が一番大きいのは配松地区で破堤した場合であった。3.2 で示した氾濫水の挙動を見ればわかりやすいが、配松地区で破堤した場合に、藤代中学校付近は氾濫水の通るルートになっており、流体力の値も大きくなる。破堤地点がさらに当該地域に近くなるとその影響は大きくなり、さらに危険度が大きくなる。また、当該地域より東側、つまり利根川との合流点に近い、氾濫域の下流で破堤した場合には流体力による危険性は小さくなる。藤代地区以東で破堤した場合は、氾濫水の主流が氾濫域の南東部に向かうため、PF の値は小さく、流体力の影響は小さいと考えられる。しかし、氾濫域の南端に近い大留地区で破堤した場合は、氾濫流の主流方向が北になるので、押切地区から破堤した場合に比べて、水位上昇速度は大きくなる。これは表にも PVh の値として示されている。

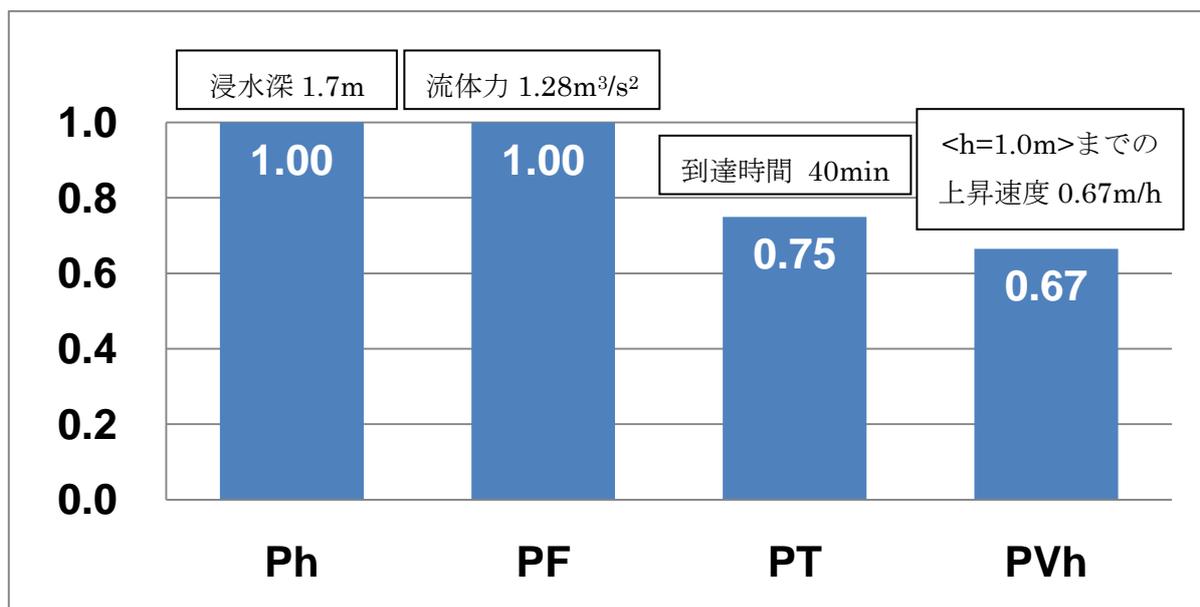


図 4.2.2-1 藤代中学校における各指標の値

表 4.2.2-1 破堤地点別の藤代中学校における各指標の値

破堤地点	Ph	PF	PT	PVh	合計
岡地区	1.00	0.05	0.20	0.67	1.91
配松地区	1.00	0.33	0.23	0.54	2.10
藤代地区	1.00	0.01	0.23	0.54	1.79
押切地区	1.00	0.00	0.09	0.35	1.44
大留地区	1.00	0.01	0.07	0.50	1.58

### 4.2.3. 藤代小学校

藤代小学校における各指標の値は図 4.2.3-1 に示す。当該地点は Ph と PT の値がともに最大値の 1 を示しており、大きい浸水深と短い氾濫流到達時間による危険性が示唆される地点である。PF の値も今回検討した中では 2 番目に大きく、流体力による危険性も潜在していると考えられる。また、各指標の合計値も 3.59 と今回検討した 7 つの施設で最大の値を示しており、総合的に危険性が高い避難施設と考えられる。さらに、3.3.5 で示した水位上昇速度の図によると、藤代小学校の周囲で水位上昇速度が大きくなる地域があるので、浸水が始まってからは、急激な浸水深の上昇に見舞われる危険性があり、氾濫水が到達してからこの場所に避難すると、かえって危険な状態になる可能性も考えられる。破堤までに十分時間がある場合には、小浮気地区より標高が高いので、この場所への避難は有効であることが示唆される。

3.2 で取り扱った破堤点別に、当該地区の各指標をまとめたものを表 4.2.3-1 に示す。この 5 地点からの破堤による各指標の合計値が一番大きいのは、当該地区に近い藤代地区から破堤した場合であり、その値は 2.34 であった。その内訳は PT の値が 1 を示しており、30 分以内に氾濫流が到達することを意味している。しかし、この地点は標高が周辺よりも標高が大きいため、氾濫流が到達した後、浸水深 1m に達するまで時間がかかるので、PVh の値は大きくならない。つまり、上でも述べたように、破堤までに時間が十分ある場合は当該地域に避難を完了してしまえば安全が確保されることが考えられる。

藤代地区で破堤した場合は PVh の値は 0.3 とさほど大きくならないが、岡地区、配松地区で破堤した場合は、地形勾配によって流速が大きくなった氾濫流が、地形的に狭窄した小浮気地区に流れ込み、当該地域においても急に浸水深が増加する。PVh が 0.75 と値は 1 時間で 75cm 浸水深が上昇する速さである。この地点より、西側、すなわち、上流側で破堤する場合には、氾濫流が通る小浮気地区や藤代地区を横切るルートで藤代小学校に避難しようとする避難中に危険が及ぶ可能性がある。

また、藤代小学校より東側、つまり、下流側で破堤した場合には、表に示す押切・大留地区からの破堤による PVh の値が小さく、水位上昇による危険も上流からの破堤に比べて小さい。そのため、留意しなければならないのは浸水深による危険性である。押切や大留地区で破堤した場合には、浸水が始まってからも、水路などに注意しながら標高が周囲と比べて高い、藤代小学校に避難するのがより安全であると考えられる。

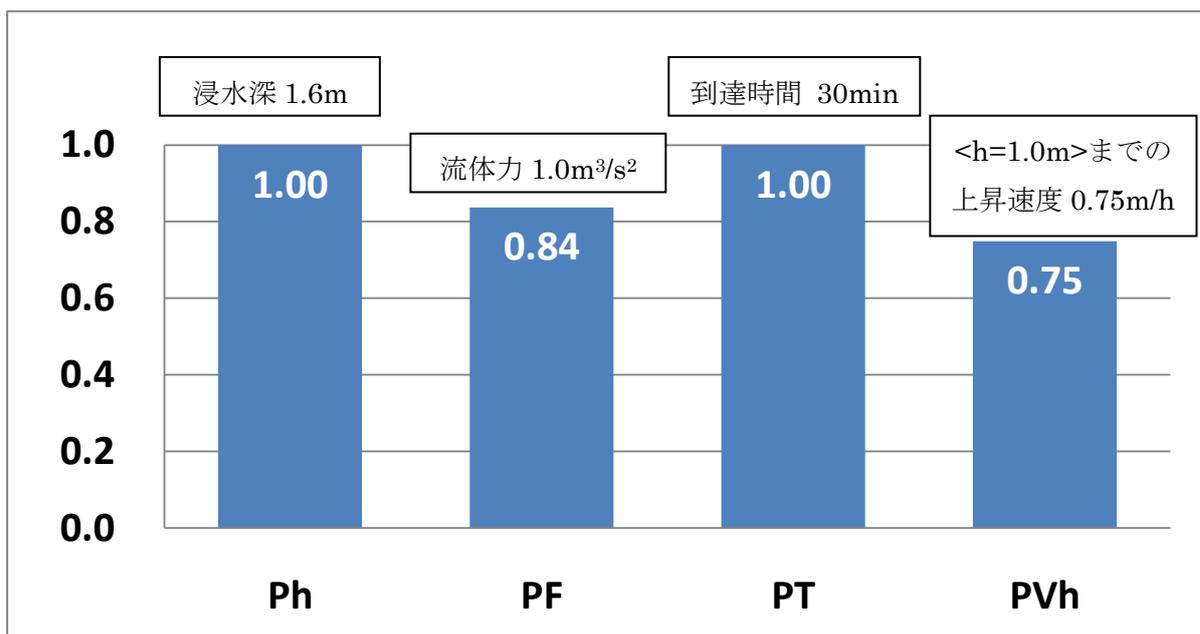


図 4.2.3-1 藤代小学校における各指標の値

表 4.2.3-1 破堤点別の藤代小学校における各指標の値

破堤地点	Ph	PF	PT	PVh	合計
岡地区	1.00	0.00	0.13	0.67	1.80
配松地区	1.00	0.00	0.13	0.75	1.88
藤代地区	1.00	0.04	1.00	0.30	2.34
押切地区	1.00	0.00	0.10	0.21	1.31
大留地区	1.00	0.00	0.08	0.27	1.35

#### 4.2.4. 宮和田小学校

宮和田小学校における各指標の値を図 4.2.4-1 に示す。当該地域は Ph の値は 1 と最大を示しており、標高が低い平野部に立地しているため、浸水深による危険性は高い。PF の値は 0.36 であり、流体力による値は  $0.43\text{m}^3/\text{s}^2$  で、今回の検討では小さく、流体力によるリスクは小さいと考えられる。また、PT の値は 0.75 で短い時間で氾濫流が到達する可能性はあるが、PVh の値が 0.37 と小さいので、急激な浸水深の上昇による危険性は小さい。4つの指標の合計値は 2.49 であり、先に検討した藤代中学校や藤代小学校と比較すると、安全な避難施設であることが示唆される。したがって、藤代中学校あるいは藤代小学校に避難する距離と、この宮和田小学校へ避難する距離が同程度の地点に住んでいる場合は、宮和田小学校に避難する方がより安全な避難行動であると考えられる。また、破堤までに十分時間がある場合には、河川の近くに住む住民は、破堤による流体力を回避するために、宮和田小学校に避難することが有効であると考えられる。

破堤点別にこれらの指標の比較を表 4.2.4-1 により行う。PF と PVh の値は、岡地区や配松地区の上流で破堤した場合の方が、押切地区や大留地区で破堤した場合に比べて大きい。しかし、先に検討した藤代小学校の場合のように、破堤点別の危険性は大きく異なることはない。ただし、これは堤防に近い地域全般に言えることであるが、当該地区の直近で破堤した場合には、短い時間で氾濫水が到達するし、流体力の値も大きくなり得るので注意が必要である。

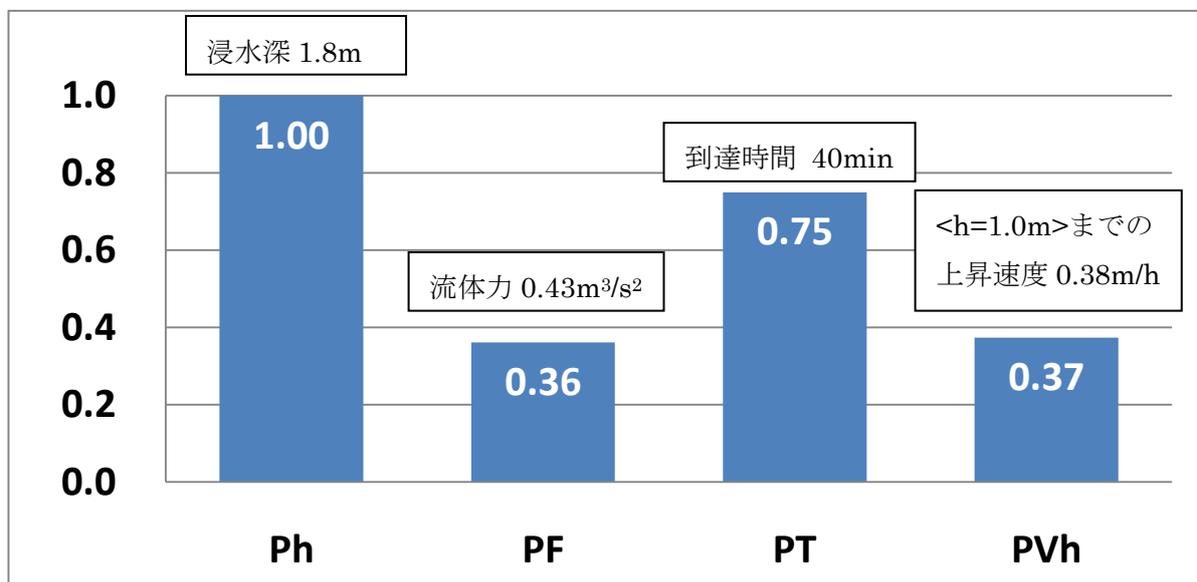


図 4.2.4-1 宮和田小学校における各指標の値

表 4.2.4-1 破堤地点別の宮和田小学校における各指標の値

破堤地点	Ph	PF	PT	PVh	合計
岡地区	1.00	0.19	0.11	0.33	1.63
配松地区	1.00	0.20	0.10	0.35	1.65
藤代地区	1.00	0.05	0.43	0.18	1.66
押切地区	1.00	0.05	0.43	0.18	1.66
大留地区	1.00	0.13	0.16	0.30	1.58

#### 4.2.5. 藤代南小学校

藤代南小学校における各指標の値を図 4.2.5-1 に示す。当該地域では Ph のみ最大値の 1 を示しており、浸水深による危険性が存在する地点である。PF の値を確かめると 0.18 と、先に検討した宮和田小学校よりも小さく、河川から約 2km 離れたところに位置するので、流体力による危険性は小さいと考えるもよいと考えられる。PT の値も 0.3 で、他の避難施設に比べて氾濫流の到達時間は遅い。4 つの指標を合計した値も 1.8 で今回検討した避難施設の中では最小に位置づけられるので、相対的に水害危険度が小さい避難施設であることが示唆される。

破堤地点別の藤代南小学校における各指標の値を表 4.2.5-1 に示す。破堤点別に指標を比較しても、各指標の値に大きな差はないので、当該地区では破堤地点によらず浸水深による危険性に留意しなければならないと考えられる。各破堤地点による PF の値も小さく、流体力による危険性は小さい。

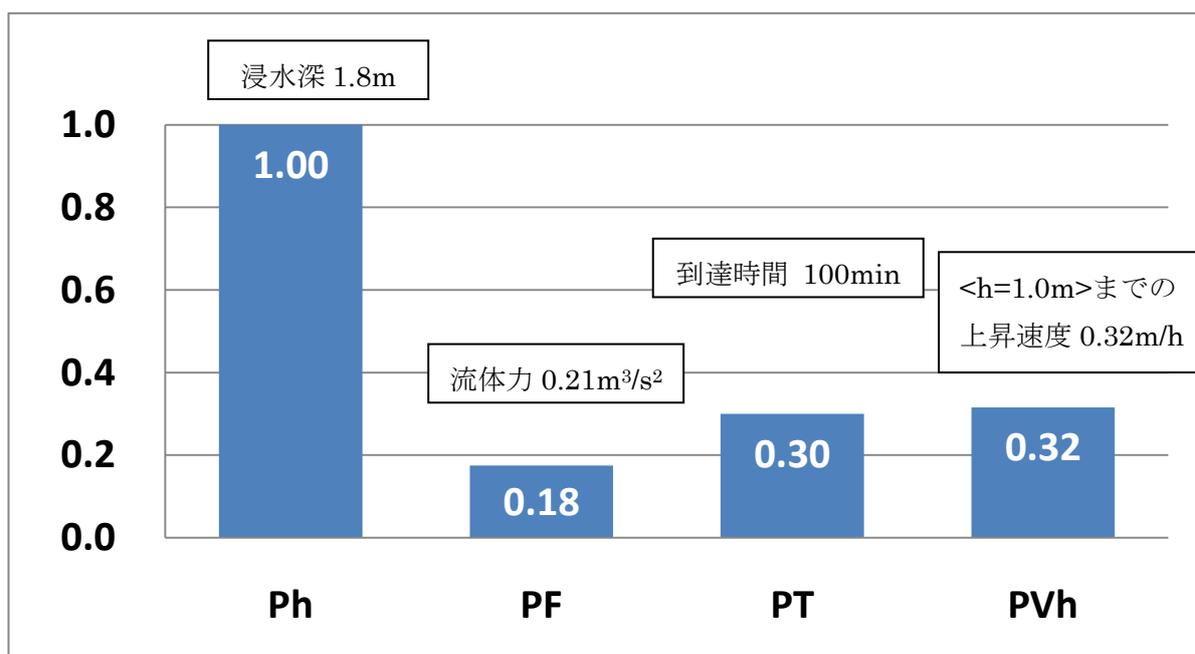


図 4.2.5-1 藤代南小学校における各指標の値

表 4.2.5-1 破堤地点別の藤代南小学校における各指標の値

破堤地点	Ph	PF	PT	PVh	合計
岡地区	1.00	0.17	0.10	0.27	1.54
配松地区	1.00	0.17	0.10	0.27	1.54
藤代地区	1.00	0.17	0.16	0.22	1.55
押切地区	1.00	0.05	0.30	0.20	1.55
大留地区	1.00	0.12	0.17	0.30	1.59

#### 4.2.6. 桜が丘小学校

桜が丘小学校における各指標の値を図 4.2.6-1 に示す。当該地域では Ph のみ最大値の 1 を示しており、浸水深による危険性は存在する地点である。一方 PF、PT は小さく、平地に立地しているため PVh も小さく、流体力や急激な浸水深上昇による危険性は小さいと考えられる。4 つの指標を合計すると 1.73 で、この合計値と各指標の大小関係から、先に検討した藤代南小学校と同程度の水害危険度を持つと考えることができ、今回検討した 7 つの避難施設の中では相対的に安全な避難施設であることが示唆される。

破堤地点別の桜が丘小学校の各指標の値を表 4.2.6-1 に示す。先に検討した藤代南小学校の位置と同様に、破堤点別に指標を比較しても、各指標の値に大きな差はないので、当該地区では破堤地点によらず浸水深による危険性に留意しなければならないと考えられる。各破堤地点による PF の値も小さく、流体力による危険性はやはり小さい。

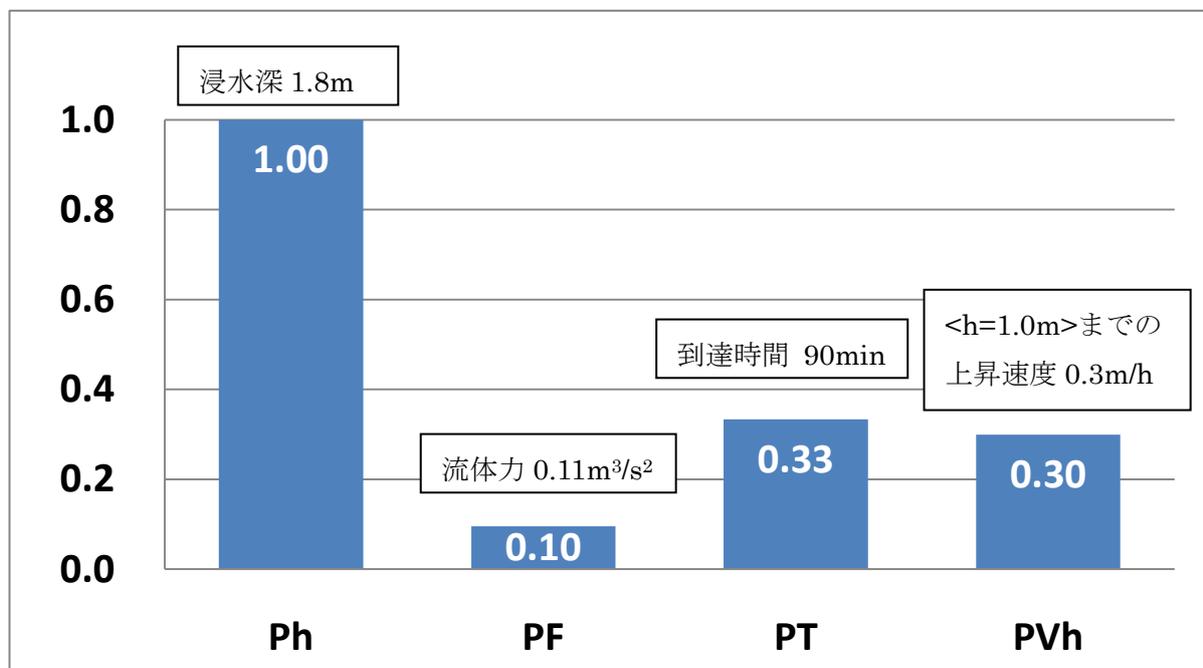


図 4.2.6-1 桜が丘小学校における各指標の値

表 4.2.6-1 破堤地点別の桜が丘小学校における各指標の値

破堤地点	Ph	PF	PT	PVh	合計
岡地区	1.00	0.09	0.09	0.29	1.46
配松地区	1.00	0.09	0.09	0.30	1.48
藤代地区	1.00	0.09	0.12	0.26	1.47
押切地区	1.00	0.09	0.33	0.20	1.62
大留地区	1.00	0.03	0.30	0.23	1.56

#### 4.2.7. こども発達センター

こども発達センターにおける各指標の値を図 4.2.7-1 に示す。当該地域の周囲の標高 T.P+4.0m であるが、こども発達センターは、T.P+4.7m と局所的に標高が高い位置に立地している。その標高差の分、浸水深が小さくなり、Ph の値は 0.77 となっている。PF の値は 0.43 となっているが、こども発達センターは河川堤防からわずか 400m の場所に位置しているので、こども発達センター直近で破堤した場合には流体力が大きくなる危険性も存在する。PVh の値は 0.14 と小さく、他の避難施設に比べると急激な浸水深の上昇による危険性は小さいと考えられる。

破堤地点別のこども発達センターにおける各指標の値を表 4.2.7-1 に示す。先に検討した、藤代南小学校と桜が丘小学校と同様に、破堤点別に指標を比較しても、各指標の値に大きな差はない。当該地区では破堤地点によらず浸水深による危険性に留意しなければならないと考えられる。各破堤地点による PF の値も小さく、流体力による危険性は小さい。

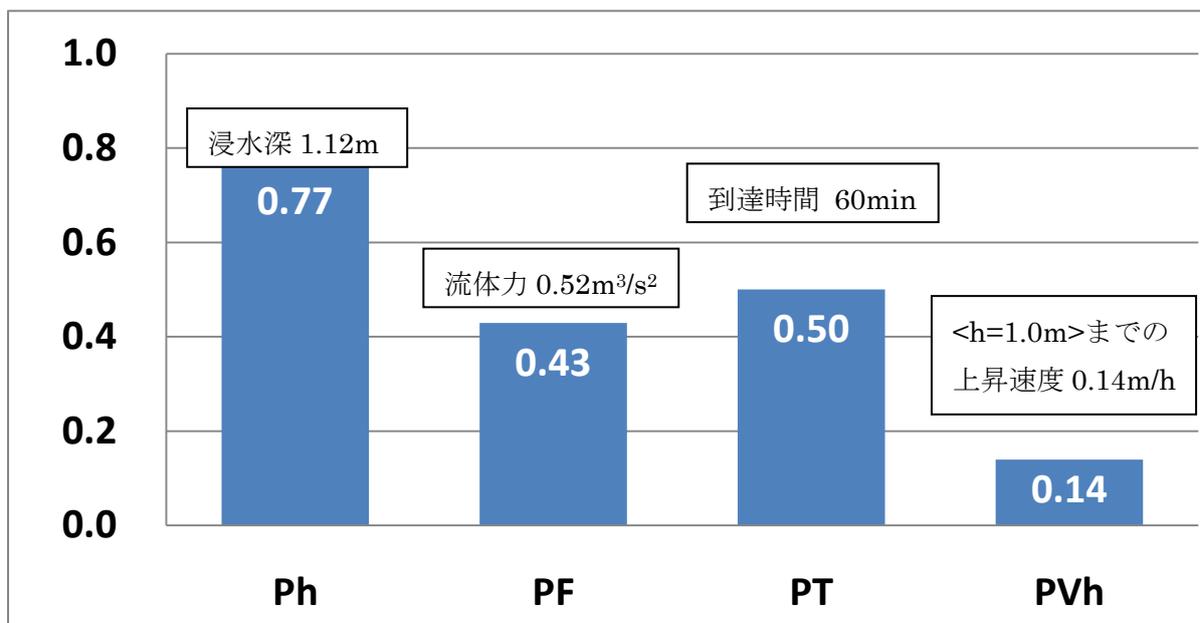


図 4.2.7-1 こども発達センターにおける各指標の値

表 4.2.7-1 こども発達センターにおける破堤地点別の各指標の値

破堤地点	Ph	PF	PT	PVh	合計
岡地区	0.75	0.01	0.06	0.12	0.95
配松地区	0.76	0.02	0.06	0.13	0.96
藤代地区	0.76	0.02	0.07	0.14	0.98
押切地区	0.76	0.08	0.21	0.08	1.38
大留地区	0.76	0.02	0.20	0.09	1.30

### 4.3. 地区別の避難行動に関する提案

これまで、3.2 で取り扱った破堤点別の氾濫流の挙動を考察し、3.3 では、設定した 20 か所の破堤地点すべてを考慮し、最大値を抽出して考察した。さらに、4.2 では避難施設を対象として、その位置の危険性の属性について比較と検討を行った。これらにより、どのような水害の危険性が潜在しているかを地区単位である程度まとめることができる。地区単位に予想される危険性の属性と、それを回避する対応策をあらかじめ考えておくことは、水害時の安全な避難行動につながると考えられる。

以下では、水害危険性の属性が類似すると考えられる地区に着目して、氾濫発生時の具体的な避難行動について提案を行う。

#### <山王地区>

この地域は、今回の氾濫域の中では比較的標高が大きい地域であり、岡地区や配松地区で破堤した場合には氾濫流が到達するが、藤代地区などで破堤した場合は、氾濫水は氾濫域南東の平野部に貯留するにとどまる。したがって、当該地区で留意しなければならないのは、中内地区より上流で破堤した場合である。この中内地区から上流の岡地区までの範囲で破堤したいずれの場合でも、3.3 における検討で、当該地区の最大浸水深が約 0.7m で、最大流体力は約  $0.5\text{m}^3/\text{s}^2$  であることが示された。したがって、最大浸水深、最大流体力ともに調べても、家屋倒壊の恐れが小さい地域として考えられる。つまり、この地域は在宅避難の可能性が十分考えられる地域である。氾濫発生時にむやみに避難施設に避難しようとして、水路などに転落する危険性を考えると、自宅 2 階への避難が有効であることが示唆される。在宅避難が可能であるかどうかの詳細な検討は、家屋の形状を考慮した計算モデルを導入し、流体力と家屋の強度に関してさらに検証する必要があるが、本研究による検討では、この山王地区が比較的、在宅避難にふさわしい地域であることを示すことができたと考えられる。さらに、山王地区で留意しなければならないこととして、当該地区北部にの堤防近傍では、万一破堤したときに、流体力が大きくなり、家屋に損害を与え、安全に在宅避難することができなくなる。また、山王地区の南西から南に位置する寺田・毛有地区は、岡地区で破堤する場合に氾濫流が流下するルートとなる。この危険性も潜んでいることを住民に周知させることが必要である。そのためにも、浸水深のみを示す従来の表現方法ではなく、破堤した際に流れの状況がわかる要素をハザードマップに盛り込むことが求められる。その内容については後節にて詳述する。

また、この山王地区には聖徳大学附属聖徳中学校・高等学校が位置しているが、取手市洪水避難地図（小貝川洪水ハザードマップ）によると、この施設は現在避難施設に設定されていない。仮にこの施設を避難施設として採用することができれば、在宅避難が不可能とされる、堤防付近の住民を受け入れることができると考えられる。

### <小浮気地区>

小浮気地区に潜在する水害の危険性は、小浮気に直近する堤防で破堤した場合と、岡地区などの上流側で破堤した場合と、押切・大留地区などの下流側で破堤した場合との3つに場合分けして考える必要がある。

まず、小浮気に直近する堤防で破堤する場合は、先の4.2で述べたように、大きな流体力が発生する可能性があるため、河川の水位が上昇し、危険な水位に達する前に、流体力に耐えられる強度を持つ避難施設などに避難しなければならない。

次に、岡地区などの上流で破堤する場合は、急激な浸水深の上昇による危険性に留意しなければならない。また、小浮気地区は氾濫流が流下するルートになるため、流体力による危険性も示唆される。したがって、氾濫が起きる前には、避難施設などに避難し、安全を確保するのが望ましいとされるが、当該地区で浸水が始まってからは、水位上昇や流体力による危険が考え得るため、自宅に避難した方が安全な場合もあると考えられる。しかし、小浮気地区は標高が比較的低く、氾濫の総流量によっては、最終的に建物2階にまで浸水する可能性も棄却することはできない。つまり、積極的に在宅避難を推奨すべき地区ではないと考えられる。

最後に、下流域で破堤する場合に考えられる危険性は、3.2.4と3.2.5で検証したように流体力は大きくならないと考えられるため、最大浸水深のみと示唆される。その場合には、浸水深が上昇するまで比較的時間的余裕があるため、標高が高い場所か、避難施設に避難する必要がある。この場合での安全な避難行動に関する留意点は、水位上昇速度が小さいため、浸水が始まって慌てずに、水路などの危険な個所を避けながら避難を実行することである。

また、上流から氾濫が始まって、流体力を持った氾濫流が小浮気・毛有地区に到達した時点においても避難が完了できていない場合を想定すると、流体力に耐えられる建造物へただちに避難することが求められる。そのような場合には、事前に該当する建造物を選択しておくことが重要である。そのような建造物が多くあれば望ましい。

その一例として、毛有地区に位置するJA茨城みなみ藤代支店における「グリーンパレスふじしろ」の建造物が、緊急的な避難施設として活用できるのではないかと考える。この施設は会議室や発表会場として使用されており、2階と3階の収容人数は約160名である。文献)この周辺一帯において2階以上で収容人数が大きい建造物はこれ以外に見つけることが出来なかった。先の山王地区の例でも述べたように、現在は公立の学校が中心に避難施設に設定されているが、それ以外の施設で避難に適していると判断できたものは積極的に避難施設として採用することも必要なのではないかと考えられる。



図 4.3-1 グリーンプレスふじしろ



図 4.3-2 聖徳大学附属・中学校高等学校

<低平地部>

氾濫城南東部に位置する低平地部では、氾濫水が滞留するため、3.2.1の岡地区などの上流で破堤した場合と、3.2.5で検討した下流側の大留地区で破堤したどちらの場合においても最大浸水深は大きくなる。

上流で破堤した場合は、氾濫流が到達する時点のみで、当該地区で流体力が発生する。しかし、氾濫城南端まで氾濫流が到達し、氾濫水の滞留が始まってからは、流体力は小さくなる。仮に、対象者が低平地に位置している状態で、上流側で破堤したことが情報伝達によって知った場合は、破堤地点との距離にもよるが、氾濫流の到達には比較的時間があがる。平地であるため、急激な水位上昇による危険性も小さい。そのため、浸水による被災を避けるために、平屋ではない避難施設か標高の高い場所へ避難するのが安全であると考えられる。

下流側で破堤した場合には、破堤点近傍において、流体力による被害が懸念される。したがって、河川の水位が上昇して危険な水位に達する前までに、流体力に耐えられる強度を持つ避難施設に避難するか、流体力が大きくなることが予想される範囲から離れる必要がある。堤防から離れた距離に住居が位置する場合は、最大浸水深のみに留意する必要がある。前述したように、急激な水位上昇による危険性も小さいため、浸水による被災を避けるために、避難施設か標高の高い場所へ避難するのが安全であると考えられる。



図 4.3-3 新しい避難施設の提案

#### 4.4. 水害危険度の情報表示に関する提案

現在、各自治体で発行している水害に関するハザードマップは浸水深のみで、水害の危険度を表したものが多く。しかし、先にも述べたように、近年の水害事例では流速・流体力に起因する人的被害や物的被害も報告されている。流速や流体力の情報をハザードマップに組み込み、それらの指標によって、浸水深だけでは評価することができない危険性を表現することができれば、水害の発生時により安全な避難行動を住民が選択できるようになるものと考えられる。行政側の視点から考えても、流速・流体力の値が大きくなる場所をあらかじめ知っておくことは、避難指示や水防活動を行う際に有益な情報となるものと思われる。

3.3.6 と 4.2 で導入した、全破堤地点を考慮した最大浸水深による危険度を示す指標 Ph、最大流体力による危険度を示す指標 PF、氾濫流の到達時間の指標である PT、最大水位上昇による危険度を示す PVh、これら 4 つの各指標を軸に、浸水深に新たな情報を加えた、情報表現を試みる。各指標について以下に再掲する。

<最大浸水深 hmax を点数化>

$$Ph(i) = hmax(i) / 1.445 \quad (0 \leq Ph(i) \leq 1)$$

<最大流体力を点数化>

$$PF(i) = Fmax(i) / 1.2 \quad (0 \leq PF(i) \leq 1)$$

<最短氾濫流到達時間 Tmin を点数化>

$$Tinv(i) \text{ (i/h)} = 1 / Tmin(i)$$

$$PT(i) = Tinv / 2 \quad (0 \leq PT(i) \leq 1)$$

<最大水位上昇速度 Vhmax を点数化>

$$PVh(i) = Vhmax(i) / 16.7 \quad (0 \leq PVh(i) \leq 1)$$

以下では、Ph、PF、PT、PVh の値を組み合わせて危険度を表現する。

#### 4.4.1. 浸水深と流体力と氾濫流到達時間を組み合わせた場合

図 4.4.1-1 に示すのが Ph、PF、PT を組み合わせて総合的に水害の危険度を表したものである。ここに、 $Ph+PF+PT=P3_T$  とする。3.3.6 で示した Ph+PF の値で表現した図と比較して、氾濫流の到達時間が要素として加えられているため、主に堤防からの距離が近い位置で数値が大きくなる。この 3 指標を用いた場合も小浮気地区は 1.8 以上と比較的大きい値を示しており、氾濫域南東部の低平地と値に差がつけられている。また、山王地区においては値が 0.8 以下であり、氾濫流の到達時間を考慮しても、相対的に危険度が小さい地域であることが示されている。氾濫域南東部の低平地においては危険度が堤防から遠ざかるごとに値が小さくなっており、桜が丘の住宅地を含む地域では 1.4 以下である。確かに、堤防の近傍の方がしかしながら、本研究で行ったシミュレーションでは、低平地は最大浸水深が計算領域内で最大になる地域であり、そのことを留意しなければならないと考えられる。

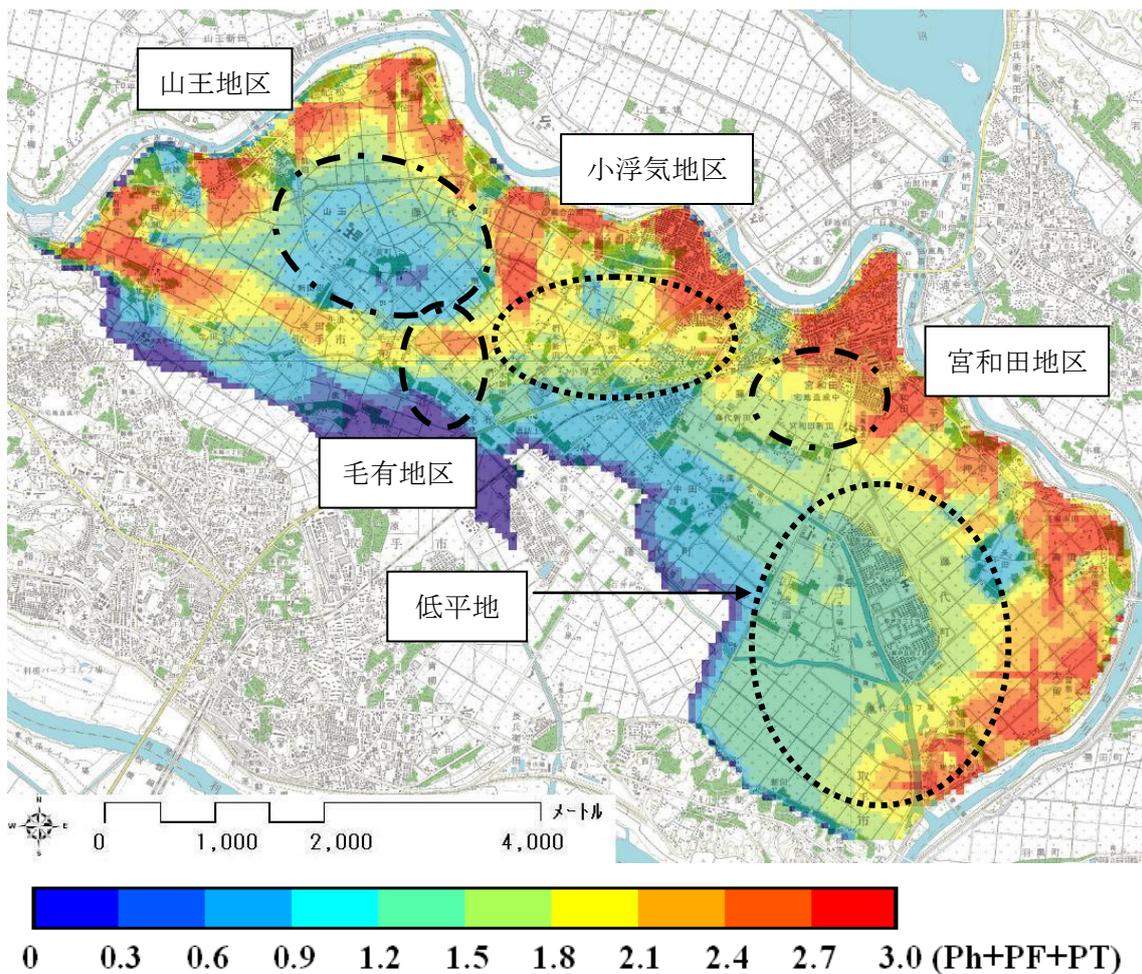


図 4.4.1-1 Ph+PF+PT の値で表現した危険度

#### 4.4.2. 浸水深と流体力と水位上昇速度を組み合わせた場合

Ph、PF、PVh を組み合わせて、総合的に水害の危険度を表したものを図 4.4.2-1 に示す。ここに、 $Ph+PF+PVh=P3v$  とする。4.4.2 の PT と PVh を入れかえて数値化したものであり、氾濫流の到達時間は要素として入っておらず、かわりに水位上昇速度が要素として加わっている。そのため、先ほど図で大きい値を示していた堤防付近はこの図では小さい値を示している箇所が多いが、小浮気地区の一部では、先と同じく値が大きくなっている。この箇所は氾濫水の到達時間も短く、かつ水位上昇速度も大きくなる危険性を有した地域であることがわかる。山王地区では、先に示した図よりもさらに値が小さくなっており、氾濫流到達時間より水位上昇速度の方が、総合的な危険度値  $P3v$  への寄与度が低いと考えることができる。

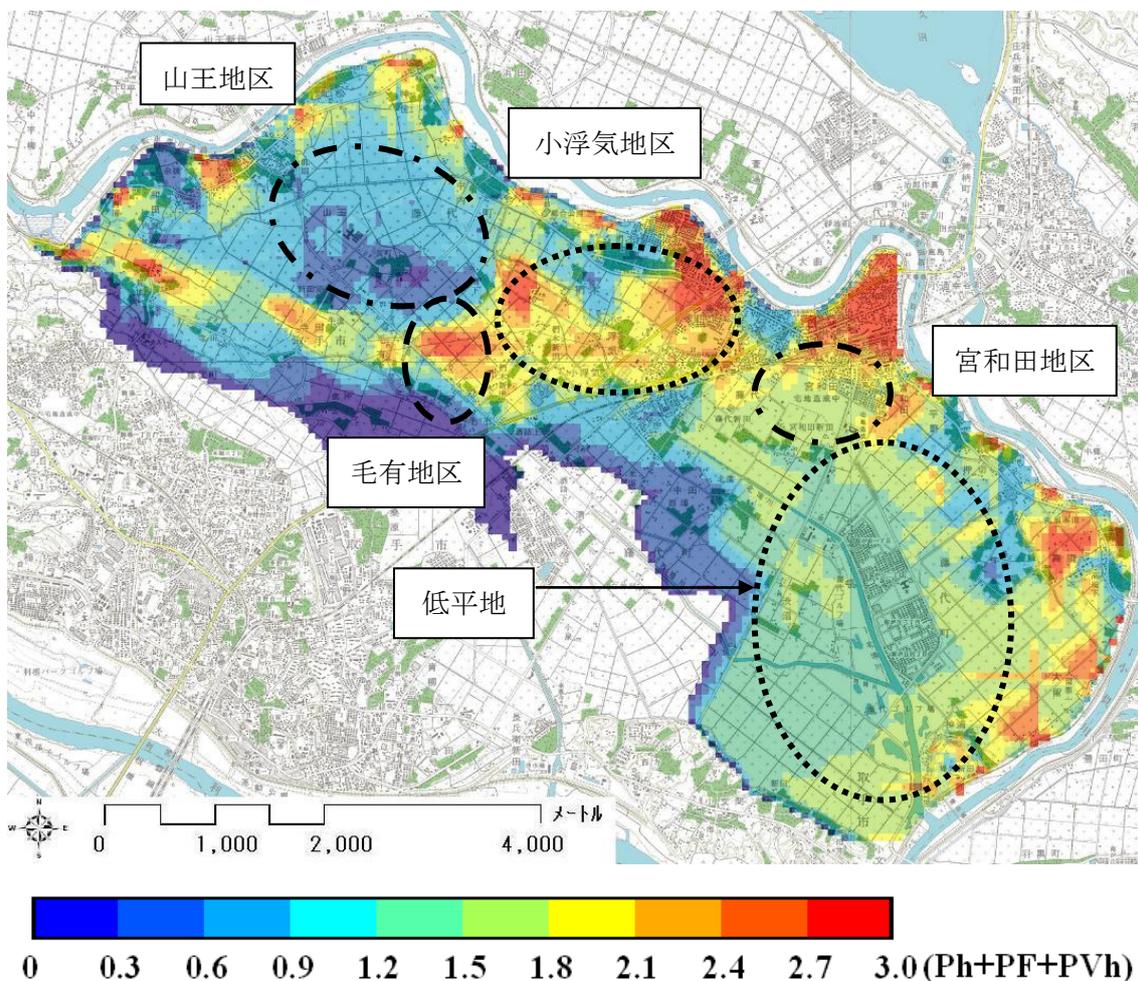


図 4.4.2-1 Ph+PF+PVh の値で表現した危険度

### 4.4.3. 浸水深と流体力と氾濫流到達時間と水位上昇速度を組み合わせた場合

今回用いた4つの指標である Ph、PF、PT、PVh の値を全て足し合わせた値で危険度の評価をおこなったものを図 4.4.3-1 に示す。ここに、 $Ph+PF+PT=P4$  小浮気地区の一部と宮和田地区の北側で特に値が大きくなっており最大値の4に近い。この地域では浸水深、流体力、氾濫流到達時間、水位上昇速度の全てにおいて大きくなる可能性がある地域であり、さまざまな危険性を含む総合的な水害の危険性が高い値域であると考えられる。また、点線で示す小浮気地区の値も 2.4 以上であり、相対的に危険度が大きい地域といえる。山王地区はこれまでと同様に値が周囲に比べて小さく、全ての要素を考慮した指標でも相対的に危険度が低い地域と考えられる。3.3.6 の  $Ph+PF$  の値で評価を行った図 4.4.3-3 と比較すると、岡・寺田・毛有地区の値が、図では周囲と比較して相当大きくなっているが、図ではその差が小さくなっている。これは総合的な危険度 P4 への、岡・寺田・毛有地区の PT 値と PVh 値の寄与が小さいことを示しており、P4 への Ph 値と PF 値の寄与度が大きいことを示している。

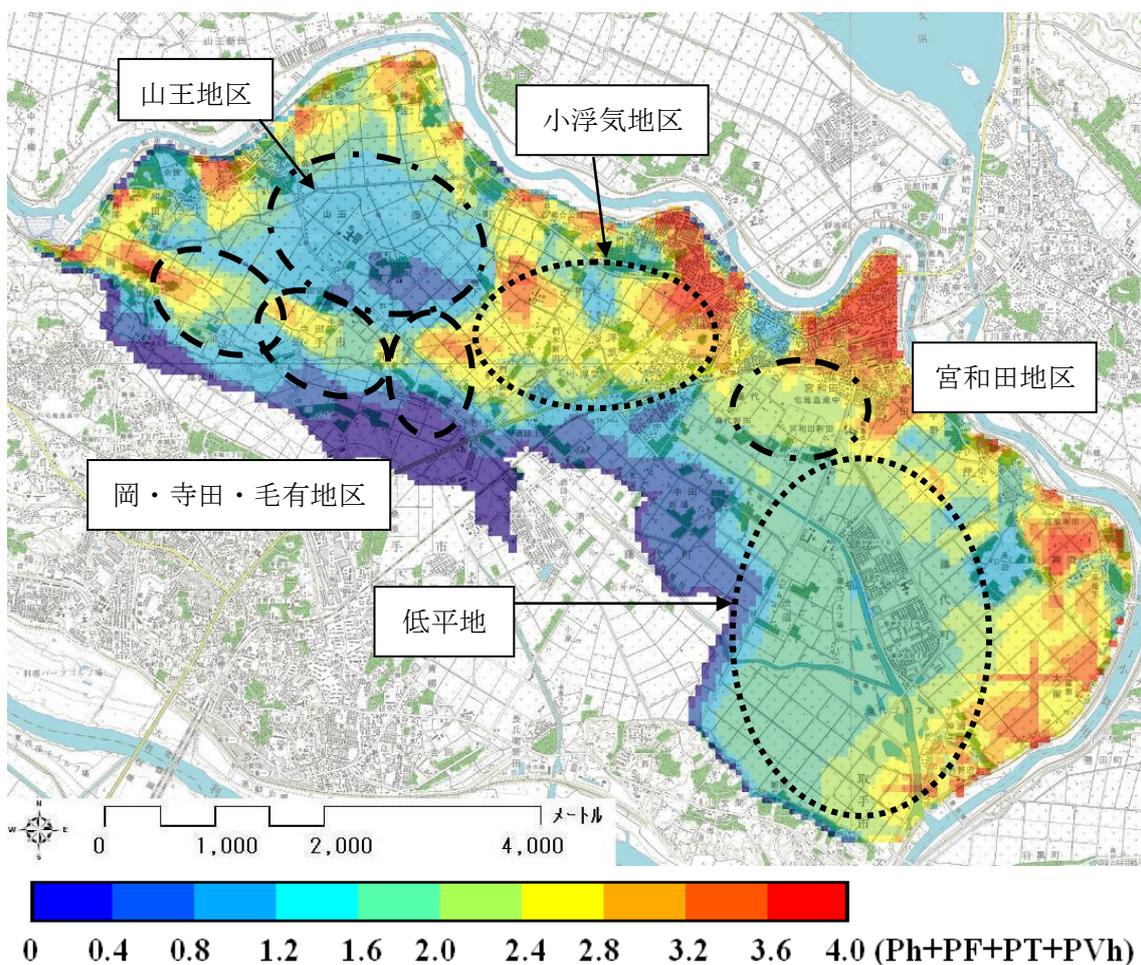


図 4.4.3-1 Ph+PF+PT+PVh の値で表現した危険度

#### 4.4.4. 洪水ハザードマップの情報表現に関して

3.3.6、4.4.1、4.4.2、4.4.3 では浸水深、流体力、氾濫流到達時間、水位上昇速度を図に示し、水害によるさまざまな危険性の表現方法について取り組んだ。

4.4.1、4.4.2、4.4.3 で示した図は、総合的な水害危険度を表すものであって、浸水深や流体力の図とは異なる無次元量の値である。したがって、水深(m)や流体力( $m^3/s^2$ )そのものを表しているものではなく、住民に示す図としては直感的に理解するのが難しいかもしれない。このような総合的な指標は、行政側が避難施設を選定する際や、水害危険度を考慮した都市計画を行うことなどに、利用できるのではないかと考えられる。

浸水深以外の情報を住民に伝える方法であるが、浸水深のみを表示した図に、流体力が大きくなる地域を印で示すなど、加筆を行うことでも情報がある程度伝えることができるであろうし、1枚だけで情報を載せきれない場合は、複数枚に渡ってブック形式で危険度をするという可能性も考えられる。流体力の大きさを図で表現することによって、住民は氾濫流の流れを想像することができるし、ある破堤地点を選定して、破堤点別の氾濫流の挙動を例にとり説明することでも、より現実に即した形で氾濫が伝わるのではないかと考えられる。

また、4.3 で示したように、地区別に水害の危険性が異なる場合は避難行動で留意するポイントをハザードマップ上に表現できれば、住民に水害の危険性を周知させ、より適切な避難行動を選択できるのではないかと考えられる。

## 4.5. 4章のまとめ

この章ではこれまで行った、数値シミュレーションによる水害の危険度分析をもとに、特に水害危険性の高い地域に着目し考察を行い、それを踏まえた提案を行った。

4.1 では 3.3.3 で検討した、20 ヶ所すべての破堤を考慮した最大流体力をもとに、既往研究の結果を用いて「在宅避難が不可能な地域」を設定した。その結果、堤防から一定距離の区間は家屋に損害を与える危険性がある地域とされた。また、氾濫流が集中し、流体力の値が大きくなる毛有地区でも、堤防からは離れた位置であるが、危険性が高くなる地域として設定された。破堤点をさらに多く設定して考察を行うことと、家屋の形状をモデルに組み込んで計算を行うことにより、より詳細な結果が得られると考えられる。

4.2 ではこれまで行ってきた危険度分析の結果をもとに、各避難施設の個別の危険度について比較を行った。その結果、藤代小学校と藤代中学校の危険度を表す指標の値が大きく、本研究での検討では、相対的に他の避難施設に比べて総合的な危険度が高いことが示唆された。

4.3 では 3 章の結果と 4.1・4.2 で得られた考察をもとに、地区別に危険性を分類し、それぞれの地域における避難行動に関する留意点をまとめた。その結果、山王地区、小浮気地区、そして氾濫域南東部の低平地を 3 つの地域に危険度の属性が異なり、地区ごとに避難行動に関する留意点が異なることが示唆された。

4.4 では 3.3.6 と 4.2 で用いた各指標を用いて、水害の危険性を図で表現することを試みた。その結果、地域によって水害の危険性が異なることを確認し、水害の危険性を統合的に表す手段として提案することができた。

## 5. 結論

本研究での主要な成果を以下に挙げる。

1. 過去に水害実績の多い、小貝川右岸下流域の取手市において、堤防決壊による氾濫を数値計算によってシミュレーションし、破堤点別または想定した 20 ヶ所全ての破堤地点を考慮した水害危険性を分析した。
2. 浸水深に加えて流体力、氾濫流到達時間、水位上昇速度の値を用いて、水害の危険性を点数化する指標を作成した。そして現在、取手市洪水避難地図「小貝川ハザードマップ」により避難施設に設定されている施設の水害危険度を数値化し、考察を行った。
3. 1と2の結果に基づいて、水害の危険性を地区別にまとめることによって、それぞれの地区での避難行動で留意すべき内容を示した。
4. 浸水深のみを扱うが多かった従来の洪水ハザードマップに、流速や流体力、氾濫流到達時間、水位上昇速度などを盛り込み、情報の高度化がなされたハザードマップの方向性を示した。

## 参考文献

### 第1章

- ・群馬大学工学部建設工学科片田研究室(1999):平成10年8月末集中豪雨災害における郡山市民の対応行動に関する調査報告書
- ・片田敏孝・児玉真・荻原一徳(2000):河川洪水に対するリスク・イメージの構造とその避難行動への影響. 河川技術に関する論文集, 6, 261-266
- ・谷岡誠一(2008):洪水ハザードマップの展開とFナビ情報の発想. 平成20年度河川情報シンポジウム講演集 4.1-4.16
- ・辻本哲郎編著(2006):豪雨・洪水災害の減災にむけて—ソフト対策とハード整備の一体化—. 技報堂出版

### 第2章

- ・埴静雄(1996):とちぎの地名を探る. 随想舎
- ・建設省関東地方整備局(1987):利根川百年史
- ・国土交通省関東地方整備局(2008):小貝川改修事業
- ・国土交通省関東地方整備局下館河川事務所 website :  
<http://www.ktr.mlit.go.jp/shimodate/index.htm>
- ・国土交通省関東地方整備局(2007):小貝川の現状と課題
- ・芦原修二編著(1995):ドキュメント小貝川河口の闘い. 崙書房出版
- ・科学技術庁 国立科学技術センター(1983):1981年8月24日台風15号による小貝川破堤水害調査報告

### 第3章

- ・建設省土木研究所河川部都市河川研究室(1996):氾濫シミュレーションマニュアル(案)
- ・国土交通省河川局治水課(2005):浸水想定区域図作成マニュアル
- ・国土交通省河川局治水課(2005):洪水ハザードマップ作成の手引き
- ・石垣泰輔・戸田圭一・馬場泰之・井上和也・中川一(2006):実物大模型を用いた地下空間からの避難に関する実験的検討. 水工学論文集, 第50巻, pp583-588, 2006
- ・須賀堯三・上阪恒雄・白井勝二・高木茂知・浜口憲一郎・陳志軒(1994):避難時の水中歩行に関する実験. 水工学論文集, 38 pp 829-832. 1994
- ・国土交通省:地下空間における浸水対策ガイドライン<技術資料>

### 第4章

- ・佐藤智・今村文彦・首藤伸夫:洪水氾濫の数値計算および家屋被害について-8610. 号台風による吉田川の場合-, 第33回水理講演会論文集, pp.331-336,.1989

## 謝辞

本研究を行うに当たって、多くの方々にご指導・ご協力を頂きました。本当にありがとうございます。

指導教官である黄光偉先生には、いつも親身にご指導していただきました。迷っていてなかなか物事を決められない時はアドバイスをしていただき、また研究が上手く進まない時は、優しく、そして時には厳しく指導していただきました。

副指導教官である柴崎亮介先生にも、数多くの貴重なアドバイスを頂きました。Skypeの画面共有機能を用いてミーティングを行う機会もありましたが、私個人では気づかないポイントをお教え頂きました。

WESTechの先生方にも大変お世話になりました。磯部雅彦先生にはいつもゼミでアドバイスをしていただき、個別にミーティングの時間を取って頂いたときのメモには貴重なご意見が書き込まれています。鯉淵幸生先生にはゼミでご指摘をたくさん頂きました。

佐藤さんには、河川のこと、プログラミングのことなど、いろいろなことを教えていただきました。論文提出前に落ち込んでいた私に、励ましの言葉を投げかけて頂いた時は本当にありがたく思いました。また、河川のことを全く知らなかった私に、河川の魅力を教えて頂きました。篠原さんには同じ北陸出身ということもあり、たくさんお話をさせていただきました。私が研究室に来た時はいつでもデスクにいて、休日などにはいろいろなお話を聞かせていただきました。神野さんには、私の疑問に対していつもわかりやすく教えていただきました。また、提出前日にぎりぎりまでアドバイスをくださったのも神野さんでした。平塚さんもデスクが隣ということで執筆中にもお声をかけて頂きました。森田さんにもゼミでご意見を頂きました。Zhuさんも短い期間でしたが、私の不慣れな中国語でコミュニケーションしてくださいました。M2の垣内さん、多田氏、寺門氏、中村氏、一緒に過ごせて楽しかったです。これからもお互いの人生をがんばっていきましょう。M2になった石橋さん、また色々お話を聞かせてください。M1の岡本くん、遠藤くん、上代くん、熊井くん、これから研究頑張ってください。

最後に、これまでの長い学生生活を支えてくれた両親に感謝したいと思います。