

千曲川破堤氾濫を対象とした浸水解析と その家屋被害評価への活用

中部大学工学研究科建設工学専攻 佐藤 大介
指導教授 武田 誠

1. はじめに

2019年10月12日、大型で強い勢力の台風第19号が伊豆半島に上陸し、各地で記録的な大雨、防風などを引き起こし、13日12時頃に日本の東で温帯低気圧に変化し、消滅した。これにより、長野県長野市を流れる信濃川水系千曲川の58k地点左岸堤防が約70mにわたり決壊し、氾濫水が穂保地区に流入した。この影響で、住宅地やりんご畑などが大きな被害を受けた。JR東日本の長野新幹線車両センターも浸水し当時留置していた12両編成の車両10編成、合わせて120両が浸水した。最終的に9.5km²の浸水域、4.3mの浸水深を記録し、人的被害、家屋被害が生じたほか、農業や交通にも甚大な被害をもたらした¹⁾。

千曲川は、立ヶ花水位観測所付近で1000m程度の川幅を有しているのに対し、同水位観測所下流の狭窄部では、120~150m程度まで狭まる²⁾。過去にも狭窄部が原因で、上流において河川の水位が計画水位を超越し、越水等により洪水災害が発生している。過去の災害として、1742年に発生した近世以降最悪の「戊の満水」³⁾といわれる洪水災害や立ヶ花水位観測所において観測史上最大の11.13mを記録した1983年の台風10号による洪水災害³⁾等が挙げられる。本災害における決壊箇所も立ヶ花上流であり、狭窄部を要因とした過去の水害と類似した災害であるとされる。

本研究では、台風第19号により発生した千曲川破堤氾濫を対象に浸水解析モデルを用いた再現計算を行う。氾濫水全体の挙動を考察する広域における再現計算では、現地調査における痕跡水深⁴⁾との比較による解析モデルの妥当性評価を行うこと、排水過程を考慮した浸水の様子を考察することを目的とする。また、建物の有無が浸水解

析に与える影響を考察するため、浅川-千曲川合流部および堤防決壊地点近傍において建物を考慮した浸水解析を行う。浅川-千曲川合流部付近(以下、領域 α)の解析では、豊能地区の浸水のメカニズムおよび排水操作が氾濫水に与える影響を考察する。決壊地点近傍(以下、領域 β)の解析では、「住居不可能な家屋が出現する値」⁵⁾や旧耐震・新耐震基準における倒壊限界値⁶⁾を用いて家屋被害を考察する。さらに、実際の建物被害への活用として、家屋周辺の計算メッシュにおける計算値と旧耐震基準における閾値の関係から家屋被害の評価を行い、倒壊すると評価された家屋を除いて再度浸水解析をすることで決壊に伴う実際の流況や建物被害の変化を考察する。最後に、避難困難度指標を用いた避難状況の考慮を行い、当時の避難に関する危険度を明らかにする。

2. 数値解析法および諸条件

本研究は、河川流の解析を行わず、堤防の決壊が生じた地点に水深を境界条件として与え、氾濫流の解析を行った。氾濫流の解析にはデカルト座標系の平面二次元不定流モデルを用いた。図.1に領域データを示す。広域の計算において、国土地理院の数値標高モデル(5mメッシュ)を用いて10mメッシュの地盤高データを作成し、10mメッシュにおける浸水解析を実施した。地盤高データには、浅川内の地盤の欠損や用水路、アンダーパス、浅川のパラペット等の詳細な地形が表現されていないため、ArcGISを用いて修正した。浸水は標高が低い地域で生じるので、計算量負荷の低下を狙い標高が高い地域は非計算領域とし、一次元配列を用いて計算格子数を減少させた。排水条件は、浅川第三排水機場のポンプ排水(14m³/s)お

よび浅川樋門開放による排水を考慮した。操作実績を参考にポンプは9時に稼働させ、9時45分に停止、浅川樋門の開放は10時30分とした。浅川樋門は一つ当たりの大きさが幅5.8m、高さ6.1mであり、左岸側に3台、右岸側に2台の計5台ある。排水流量は、浅川樋門か所の浸水深が樋門の高さを超える場合にはオリフィス式を用い、超えない場合は、越流公式を用いた。なお、排水流量の算定に千曲川下流部の水位は考慮せず、樋門の昇降速度は考慮せずに開放は瞬時に行われるとした。領域 α 、 β における詳細な解析においても同様のモデルを用いた。この領域では、建物が氾濫水に与える影響を詳細に考察するため10mメッシュの地盤高データを2mに分割し、2mメッシュにおける浸水解析を実施した。また、呉らの研究⁹⁾から流失および損壊が大きかった家屋を特定し、すべての家屋を考慮するCASE1、流失した家屋を非考慮とするCASE2、流失および損壊が大きかった建物を非考慮とするCASE3を検討した。

家屋被害に関して、「住居不可能な家屋が出現する値」として流体力 $U^2h=2.5$ (U :流速, h :水深)を用いた評価、式(1)および式(2)に示す旧耐震および新耐震基準の倒壊限界値、式(3)に示す滑動限界値を用いた評価を行った。なお、本研究では、倒壊または滑動の閾値どちらか一方を計算値が上回った場合に家屋被害があるとした。

倒壊 (新耐震基準):

$$U = \sqrt{\frac{5.83}{(h-1.650)}} \quad 1.65m < h \quad (1)$$

倒壊 (旧耐震基準):

$$U = \sqrt{\frac{1.56}{(h-1.650)}} \quad 1.65m < h \quad (2)$$

滑動:

$$U = \sqrt{\frac{35.76}{h}} \quad 0m \leq h < 2.6m$$

$$U = \sqrt{\frac{122.95-33.53h}{h}} \quad 2.6m \leq h < 3.2m \quad (3)$$

$$U = \sqrt{\frac{15.65}{h}} \quad 3.2m \leq h$$

避難困難度の評価として単位幅比力 η を用いた。単位幅比力は、式(4)で求められ、圧力項と流速項の和で表現される。閾値は高齢女性安全避難可能:0.08, 高齢男性・成人女性安全避難可能:0.1, 成人男性安全避難可能:0.125であり、高齢女性避難困難:0.16, 高齢男性・成人女性避難困難:0.2, 成人男性避難困難:0.25と設定されている。

$$\text{単位幅比力}(m) = \frac{U^2h}{g} + \frac{h^2}{2} \quad (4)$$

3. 境界条件の取り扱い

本研究は、千曲川58k地点の越水および堤防決壊後の氾濫水の流入のみを対象とし氾濫解析を行う。決壊幅は70mとし、氾濫水の流入条件を推定するため図.2に示す千曲川左岸堤防57.5k地点に設置された危機管理型水位計の情報、ヒアリング調査の情報を用いた。越水の発生は図.2から13日0時30分とし、水深0.8mで決壊まで継続するとした。ヒアリング調査における「13日4時過ぎに何か壊れるような大きな音がした」という情報から、13日4時を決壊発生時間とした。また、各報道機関の情報から12時まで流入が確認されたが詳細は不明である。ここでは、図.3に示す立ヶ花水位観測所の水位データを活用し、立ヶ花水位観測所の水位がピーク水位(4時ごろに

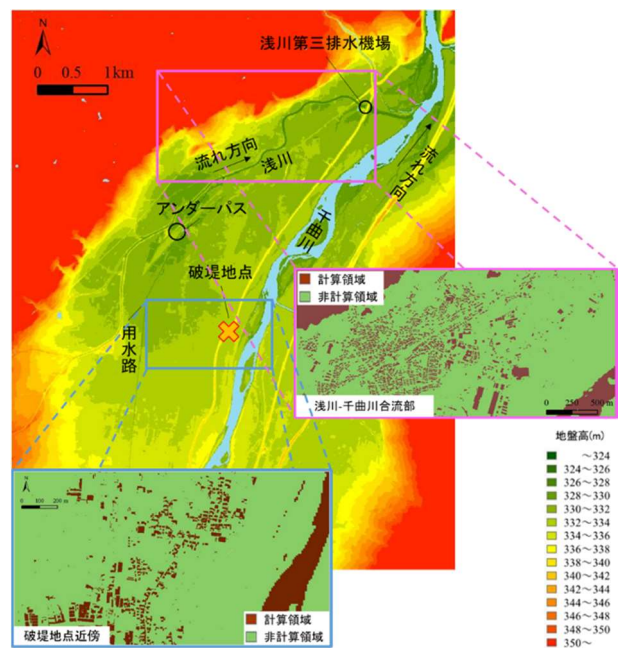


図.1 領域データ

12.44m) から堤防高である 5m 低下した同日 16 時まで決壊地点に水深があるとした。したがって、流入水深は、4 時で 5.8m とし、16 時まで直線的に減少するとした。本研究で用いる決壊地点における水深の境界条件を図. 4 に示す。また、越流と決壊による氾濫水の流入を考慮するため、越水時は堤防天端に、決壊後は、堤防天端から 40m 西に移動させた堤防法尻に水深を与えた。さらに、流入延長および流入方向を検討するため、堤防の決壊幅である 70m を考慮し、決壊地点付近に流入メッシュを作成した。図. 5 に各 CASE における流入メッシュを示す。流入メッシュを 7 つとし流入延長 70m, x 方向のみの流入を考慮した場合を CASE A, 流入メッシュを 4 つとし x および y 方向の流入を考慮し、流入延長を 70m にした場合を CASE B, 80m にした場合を CASE C とした。実際の状況を考慮して、堤防に沿って 70m の長さを確保するために流入メッシュを 5 つとし流入延長を 90m にした場合を CASE D, 100m にした場合を CASE E とした。以下、各 CASE を A, B, C, D, E とする。

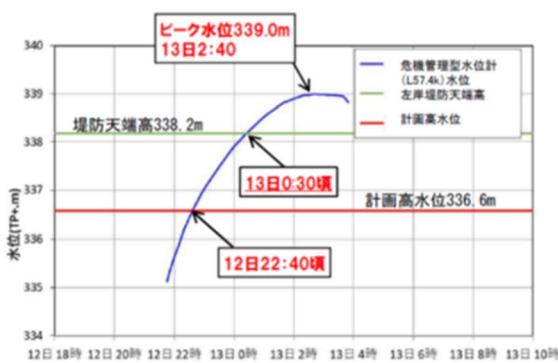


図. 2 千曲川 57.5k 危機管理型水位計

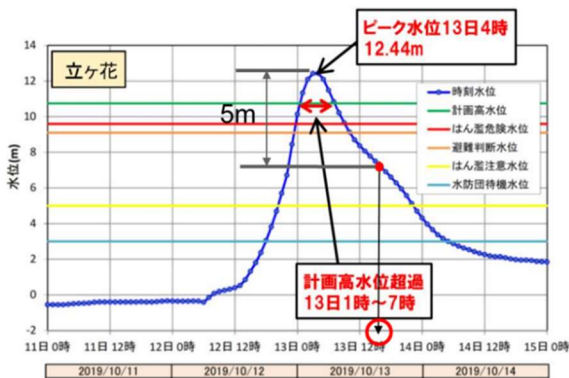


図. 3 立ヶ花水位観測所の水位データ

4. 広域における解析結果

図. 6 に各 CASE における痕跡水深と最大浸水深の関係を、図. 7 に最大浸水深と国土地理院の浸水推定範囲を重ねた図を示す。A から E において、痕跡水深と最大浸水深の差の RMS 値は A : 0.479 m, B : 0.793 m, C : 0.594 m, D : 0.544 m, E : 0.484 m であった。また、浸水面積 (0m 以上の浸水を示す面積) は A : 9.87km², B : 8.39km², C : 9.05km², D : 9.33km², E : 9.73km² であった。B, C, D は、過小評価であることが分かる。流入延長が A と同等または大きいにもかかわらず流入量が過小となったのは、y 方向の流入を考慮したことで流入メッシュの隣のメッシュに 2 方向から氾濫水が流入し、水深が増加したことで境界水深との差が減少し流入量が減少したと考えられる。

E における浸水深の変化を図. 8 に示す。計算開始から 4 時間後の 13 日 4 時までは越水期間であり、あまり大きな浸水深、浸水域を示さなかった。しかし 4 時 30 分の結果では急激に浸水深が大きくなり、決壊地点付近において危険であることが示された。6 時ごろには千曲川の氾濫水が浅川を介して北上し浅川下流部で浸水が生じている。9 時において、浅川第三排水機場のポンプ稼働し

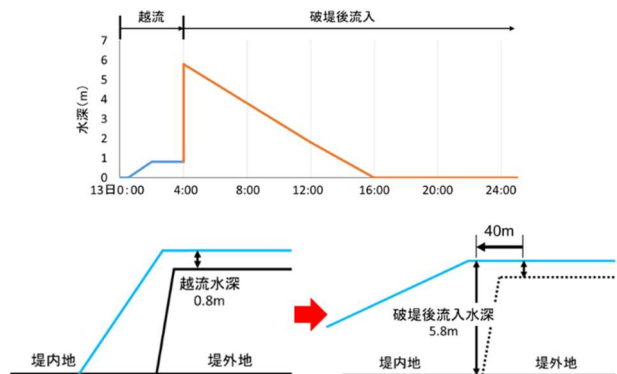


図. 4 境界条件の取り扱い

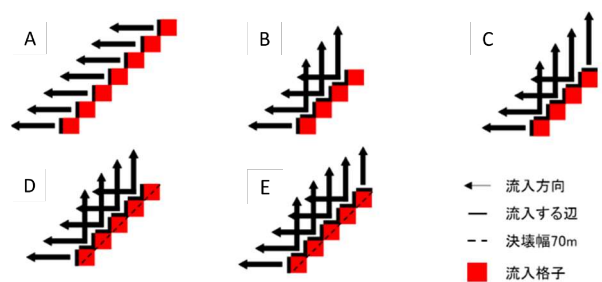


図. 5 各 CASE における流入メッシュ

ているが浸水の低下はみられなかった。10時では、浸水実績とほぼ同程度まで氾濫水が拡がり、10時30分の浅川樋門解放後は水位が低下している様子が確認でき、19時ごろには3m以上の浸水を示す地域がないことが分かる。このことから、氾濫域全体の排水効果には樋門の操作が重要となることが示唆された。

Eにおける10時間後、35時間後、60時間後、84時間後(10月13日10時、14日11時、15日12時、16日12時)の浸水深の変化と国土交通省の浸水実績図⁸⁾を図.9に示す。計算値と実績図において、計算開始から10時間後(13日10時)の浸水の様子は概ね一致していることが分かる。計算開始から35時間後(14日11時)では、赤枠で囲まれた範囲で過大評価を示した。計算開始60時間後(15日12時)および81時間後(16日12時)では、実績の浸水はごくわずかな範囲であったことに対して、計算値では全体的に浸水している様子を示しており、過大評価であった。特に解析結果では浅川の上流部において氾濫水の残留が確

認できたが、実際は、小河川・排水路等により浅川に流入していたことから浸水実績には見られなかったと考えられる。ポンプ車による排水を考慮していないことも要因と考えられる。また、緑で囲まれた範囲において、計算値は過小評価を示した。過小評価を示した範囲は、浅川と千曲川に挟まれた堤内地であった。これは、千曲川下流部の水位を考慮していないことから、排水量が実際の排水量より多く算出されたと考えられる。決壊地点において過小評価を示した原因は、地盤が侵食されたことで、氾濫水が貯留し実績として浸水が記録されたと考えられる。以上のことから、排水過程を考慮した浸水解析を行う上で水路となりうる詳細な地形や正確な排水条件、地盤の侵食等を考慮する必要がある。

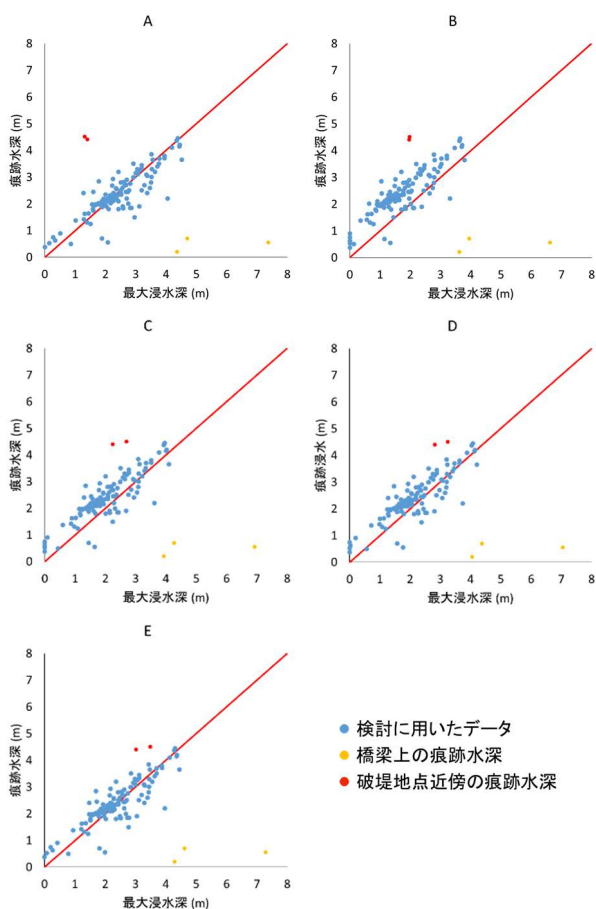


図.6 痕跡水深と最大浸水深の関係

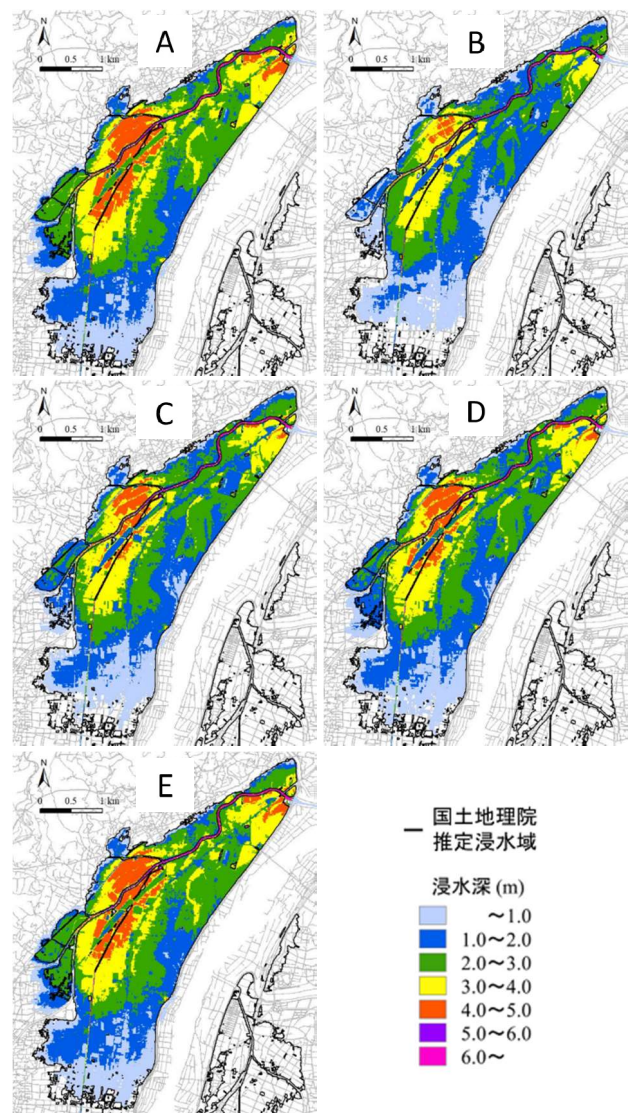


図.7 最大浸水深と推定浸水域

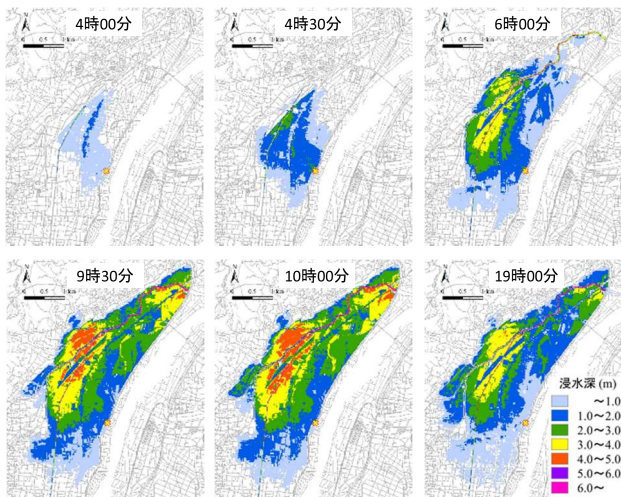


図. 8 浸水深の時間変化

5. 小領域における解析結果

小領域における浸水解析を実施するうえで開境界条件が必要となるため、広域における浸水深をそれとして用いた。

5.1 領域 α

開境界条件を選定するうえで、領域 α における痕跡水深と広域の最大浸水深における差の RMS 値を用いた。RMS 値はそれぞれ、A : 0.526 m, B : 0.756 m, C : 0.562 m, D : 0.518 m, E : 0.506 m であり、この領域において最も値が小さく再現性が高いと判断される E を開境界条件として用いた。痕跡水深と建物を考慮した場合の最大浸水深における差の RMS 値は 0.443 m であり、建物を考慮したことで浸水深が大きくなり広域における結果より実績に近い浸水深を示した。

豊野町において当時の浸水の様子と比較したところ、少し浸水が早く生じることがわかった。これは広域の計算において、浅川左岸側における浸水の状況が実際に比べて過大評価であり、その結果を開境界条件として用いたためと考えられる。ここで、図. 10 に豊野町における 10 月 13 日 9 時当時の映像と解析における浸水深および流向を示す。映像から浸水深は 4m 程度とみられ、解析結果においても赤丸で囲まれた該当地点付近では、3.0~4.0m を示していることから痕跡水深との妥当性は確認された。流向においては、氾濫水が北側 (カメラ側) に流れる様子は十分に表現

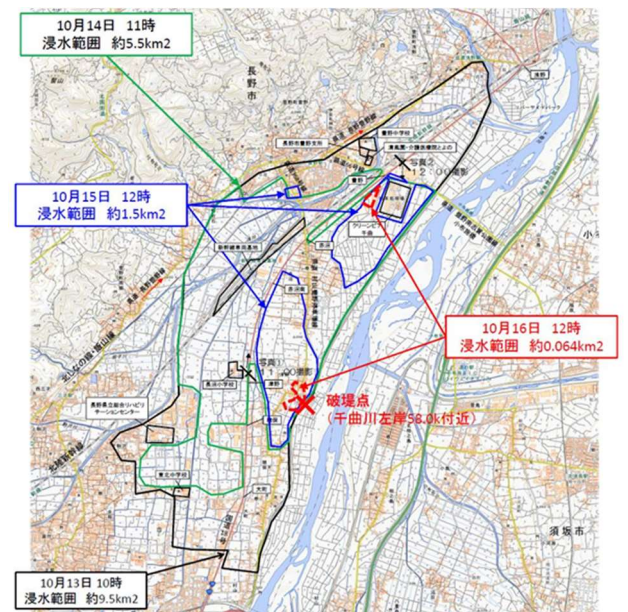
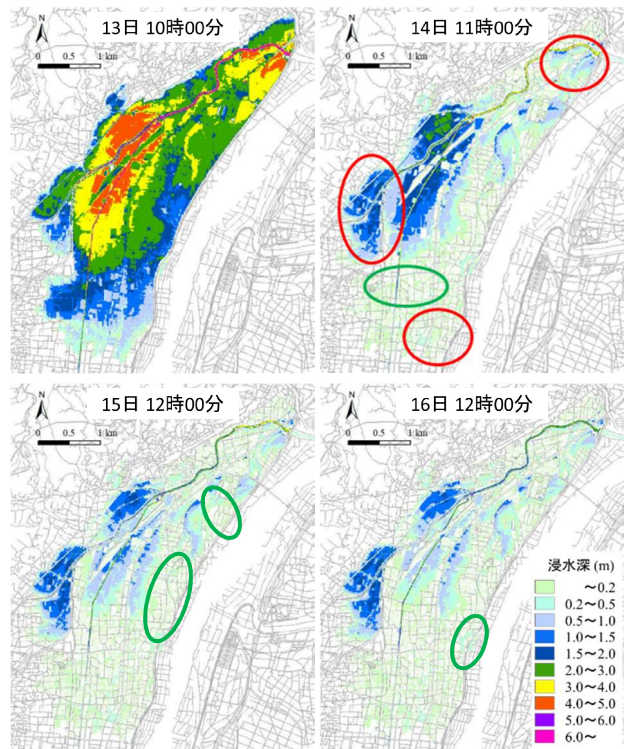


図. 9 排水過程の比較⁸⁾

できていることがわかる。しかし、下流から上流方向に流れる流向が十分に表現できていない。本研究では、千曲川の堤防決壊における氾濫水の流入のみを考慮しており、その他の越水、氾濫を考慮していない。千曲川からの氾濫水が到達する以前、この地域付近では浅川の内水氾濫によって浸水が生じており、内水氾濫が流向に影響を与えていたこと、浸水解析において、粗度係数を一定にしていること、微地形が表現できていないこと等が考えられるが、明確な原因は不明である。

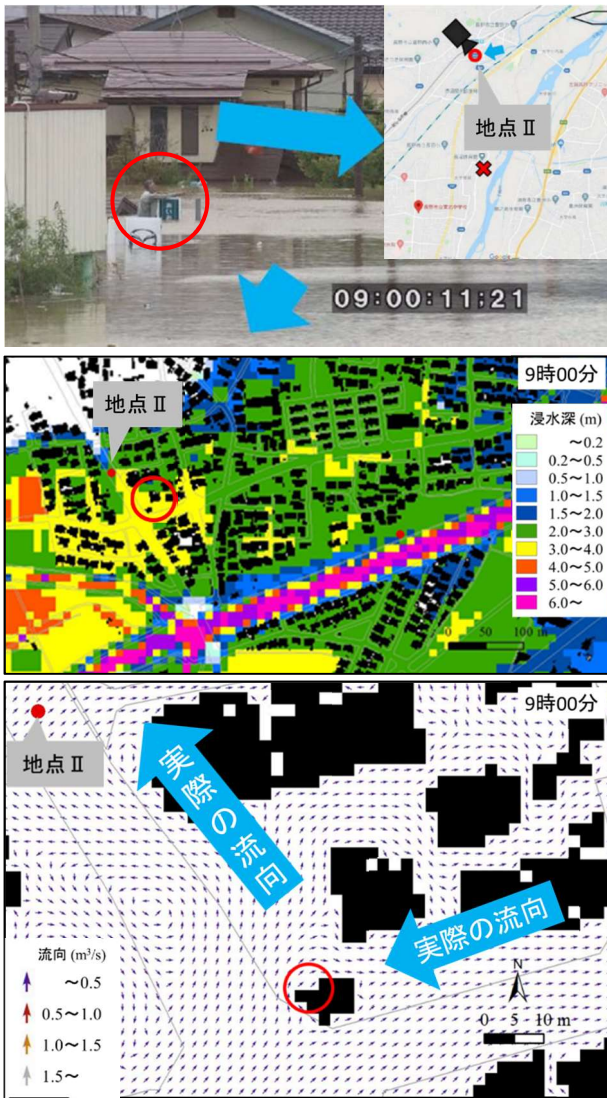


図. 10 豊野町の浸水の様子

13日10時30分および11時における浅川第三排水機場および浅川樋門付近における流向を図. 11 に示す。地点III付近から避難を試みた住民のヒアリング調査の際に、「下流から上流に流れていた氾濫水が10時30分過ぎに上流から下流へと流れ方向が変化し、ボートによる避難に影響があった」と情報を得た。この付近の住民が北側への避難を試みると仮定すると、解析結果においても氾濫水の流向が変化していることから避難に影響があると考えられる。この変化は、10時30分に行われた浅川樋門の開放によって、氾濫水が浅川から千曲川に排水されたことで生じたと考えられる。これらのことから、樋門の開放等による大規模な排水においては、堤内地の避難状況や氾濫水の挙動を考慮して行う必要があると示唆された。

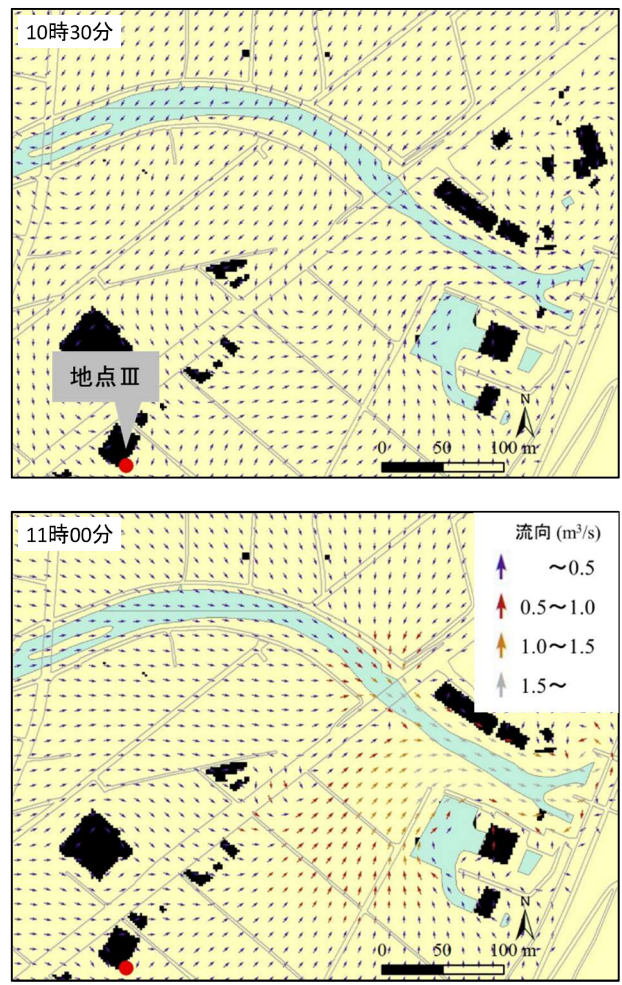


図. 11 浅川樋門付近における流向

5.2 領域β

領域αと同様に開境界条件を選定した。各条件における領域β内の痕跡水深と広域における最大浸水深の差のRMS値は、A: 0.515 m, B: 0.918 m, C: 0.686 m, D: 0.628 m, E: 0.477 mであった。このことから以降の考察では、Eを用いた。

建物を考慮しない場合と建物を考慮したCASE 1の場合の最大浸水深を図. 12 に示す。建物の有無によって決壊地点付近の浸水深が大きく異なることがわかった。建物が氾濫水の流れを阻害し滞留することで大きな浸水深を示したと考えられる。広域における痕跡水深と最大浸水深では、決壊地点近傍において大きく誤差がある地点が2地点あったが、CASE 1では誤差が低下し、RMS値も0.362 mと広域における結果より再現性が高いことがわかる。領域αと比較すると、RMS値の低下が領域βの方が大きいことから、建物が氾濫水に与える影響は、流速に依存すると考えられる。

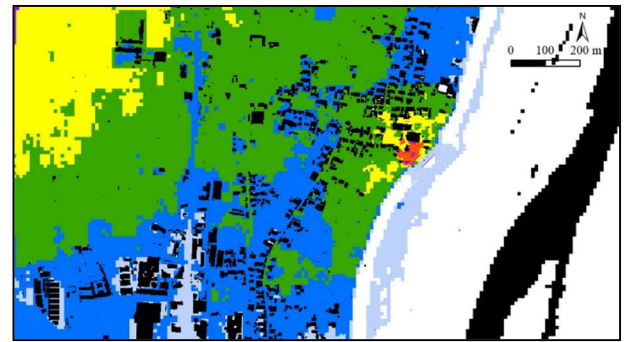
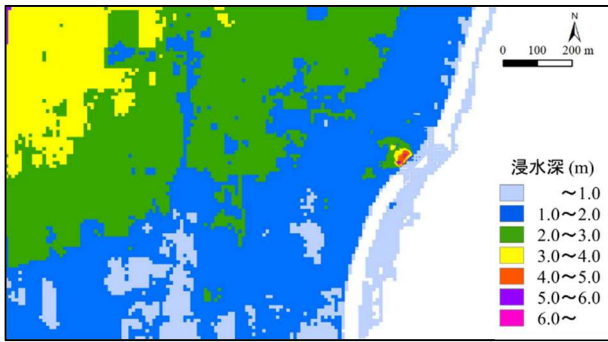


図.12 最大浸水深 (上：建物非考慮 下：建物考慮)

なお、両者の相関図は図.18 に示す。このことから、浸水解析を行う際に建物等の地物を考慮する重要性が示唆された。

ここでは、建物の流失、損壊を考慮した CASE1 から CASE 3 を対象とする。図.13 に CASE ごとの U^2h の最大値を示す。流失および損壊が大きかった建物の周囲において住居不可能な家屋が出現する値を超えていることから、流体力と家屋被害には密接な関係があることが示された。CASE 1 において地域IVで、家屋被害を示す範囲が実際の被害報告より小さいことが確認できる。CASE 3 においては、地域IVの該当家屋付近でも閾値以上の値を示したことから、決壊地点近くに場所を位置する家屋の有無が流況に大きく影響することがわかった。しかし、流体力が閾値を超えている場合も多くみられることから、本指標は建物被害の特定には、十分な精度を有していないと考える。

旧耐震基準における倒壊限界として式 (2)、式 (3) から算出される閾値を用いた判定状況を図.14 に示す。CASE 1 では、決壊地点付近の流失した家屋が流況に影響し、地域IVおよび決壊地点西側で実際に倒壊した家屋付近の値が閾値を下回った。CASE 2 では、流失した家屋を除いたことで流況が変化し、地域IVおよび決壊地点西側で倒壊した家屋付近において大まかに閾値を超えている様子が表現できている。CASE 3 では、家屋がさらに減少したことで氾濫水の流れの制限が緩和され比較的広範囲に拡散することから、地域IVおよび決壊地点西側において閾値を超える範囲が CASE 2 より減少している。

新耐震基準における倒壊限界として式 (1)、式

(3) から算出される閾値を用いた家屋被害を図.15 に示す。どの CASE においても値と建物被害の関係が十分に表現されなかった。決壊地点付近の地域における家屋は築年数が古いものが多く、旧耐震基準を用いて建築された建物が本災害によって被害を受けたと推定される。また、本研究で用いた倒壊基準は、地上 2 階建て木造のモデル家屋における閾値であることから、決壊地点に近い体育館等の大型の建物は倒壊しなかったと考えられる。

これらのことから、災害における家屋被害を正しく表現するためには、家屋の有無や配置、時間的な変化、構造、築年数等が非常に重要であることがわかった。

5.3 家屋被害評価への活用

本研究では、実際の流失した家屋、損壊した家屋の情報を用いて、流体力や家屋被害の検討を行った。ここでは CASE 1 の結果から家屋被害評価を試みる。対象地域は、築年数が古い家屋が多くあると推定されたことから、旧耐震基準における倒壊限界値を用いた。評価方法として、家屋周辺の計算メッシュにおいて式 (2)、式 (3) から倒壊の判別値を求め、倒壊となる計算格子数の時間による最大値と周囲の計算格子数の比率を求めた。その比率について、25%以上、15%以上、10%以上、5%以上、2%以上の 5 つのパターンを考慮し、得られた情報を図.16 に示す。本図において赤色、黄色で示された家屋は実際に流失または損壊が大きかったと報告された家屋であり、緑色で示された家屋は報告がなく本計算において条件に当

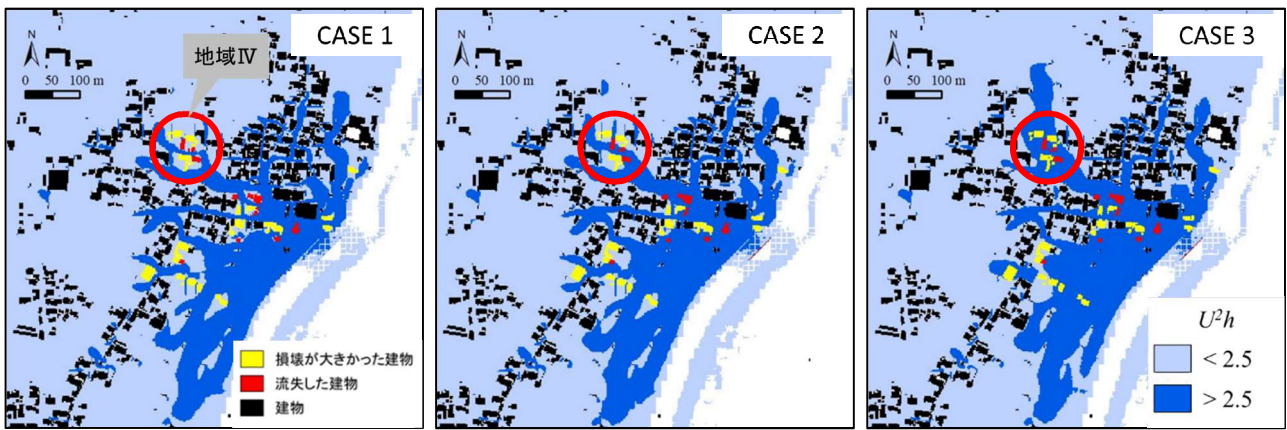


図. 13 U^2h の最大値

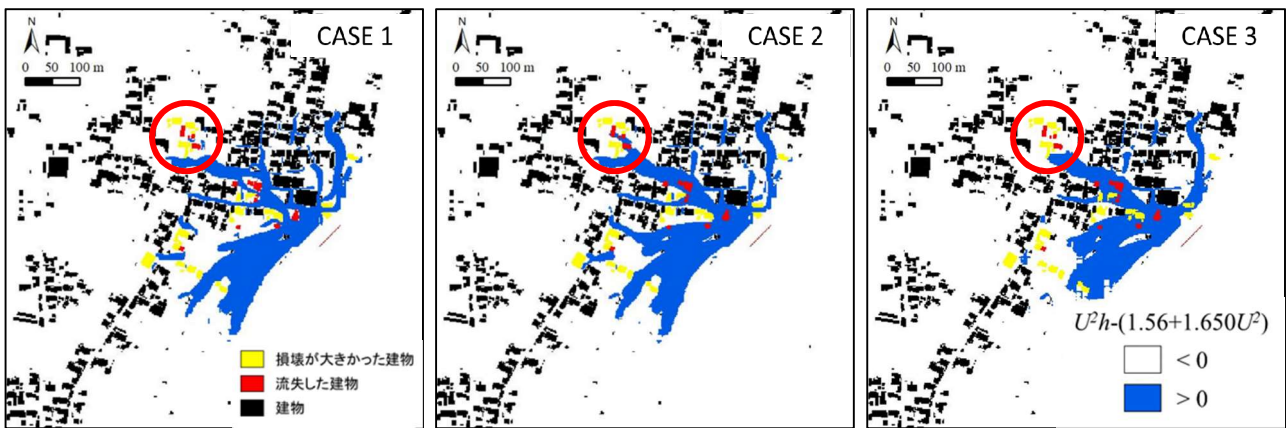


図. 14 旧耐震基準を用いた倒壊評価

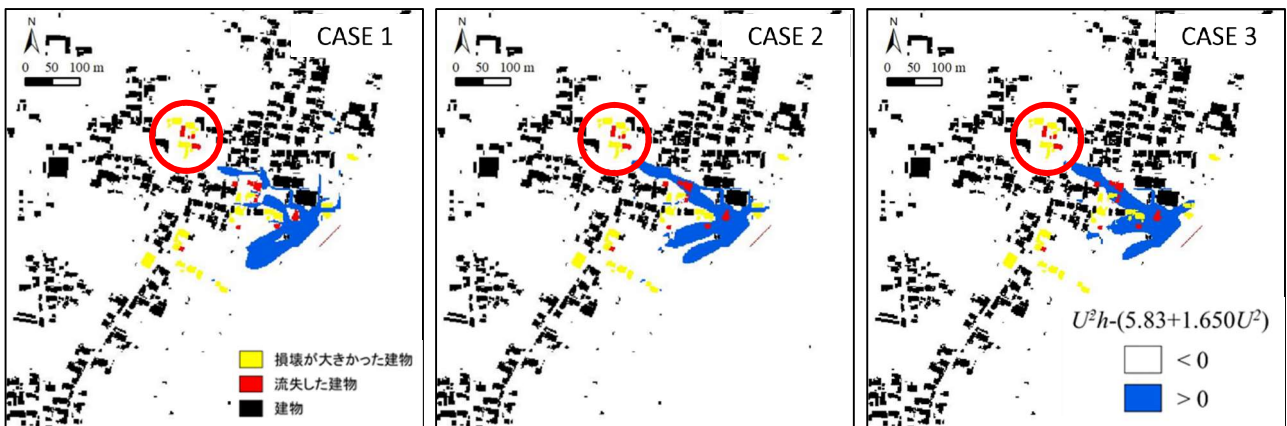
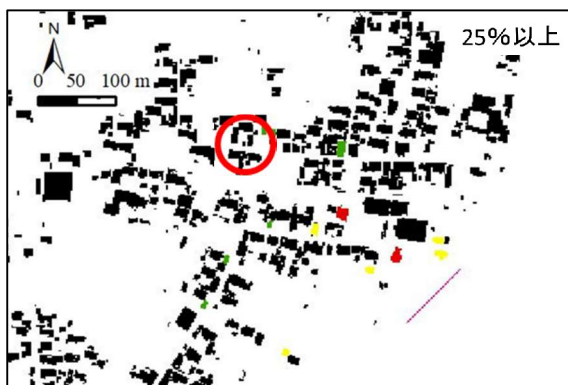
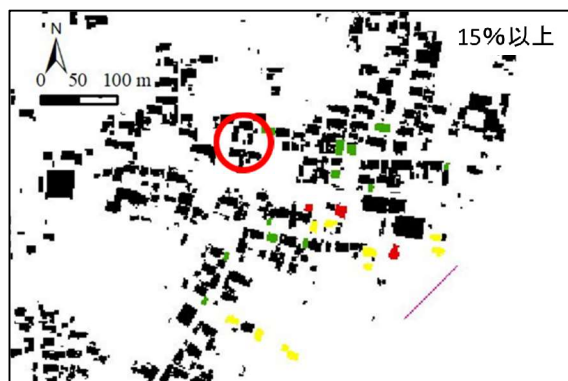
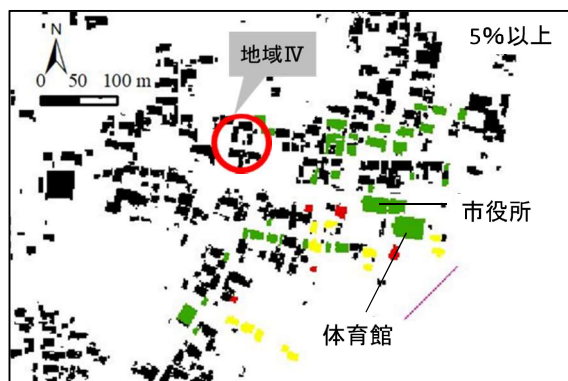


図. 15 新耐震基準を用いた倒壊評価

ではまった家屋を示す。地域IVにおいて赤色および黄色の評価が得られなかった。これは先に述べたように、決壊地点近くの家屋の存在が影響していると考えられる。緑色と評価された家屋の中に体育館および市役所支所等が含まれている。実際に被害が生じなかったのは、旧耐震基準を用いた建築物でない可能性や構造の違いによるものと考えられる。このような大きな構造物が倒壊等をした場合、破壊した構造物が他の家屋に影響

して、さらに多くの家屋被害が発生することが考えられる。家屋被害評価が最も実際の報告に類似していた比率は15%だった。地域IVにおいては表現できておらず、その他の家屋においても表現できていない家屋はあるが、緑色の家屋が大きく減少しており、実績と大まかに一致している。比率25%以上においては、緑色の家屋はほとんど見られないが、それに伴って赤色および黄色の家屋も表現できていない。このことから、本研究におい



- 実際に損壊が大きかった建物で、評価値で倒壊と評価された家屋
- 実際に流失した家屋で、評価値で倒壊と評価された建物
- 実際に被害報告がないが、倒壊と評価された建物

図. 16 家屋被害評価

て、家屋被害評価を行う際、家屋周囲の計算メッシュにおいて 15%以上が閾値を超える場合に家屋被害が生じると結論付けた。しかし、これは本研究における限定的な結果であり、実用化にあたっては情報が不足しているため今後検討が必要である。

家屋評価において、被害が生じると評価された家屋を除いて浸水解析を行った。図. 17 に各比率における最大浸水深の様子、図. 18 に痕跡水深と最大浸水深の関係を示す。各比率における痕跡水

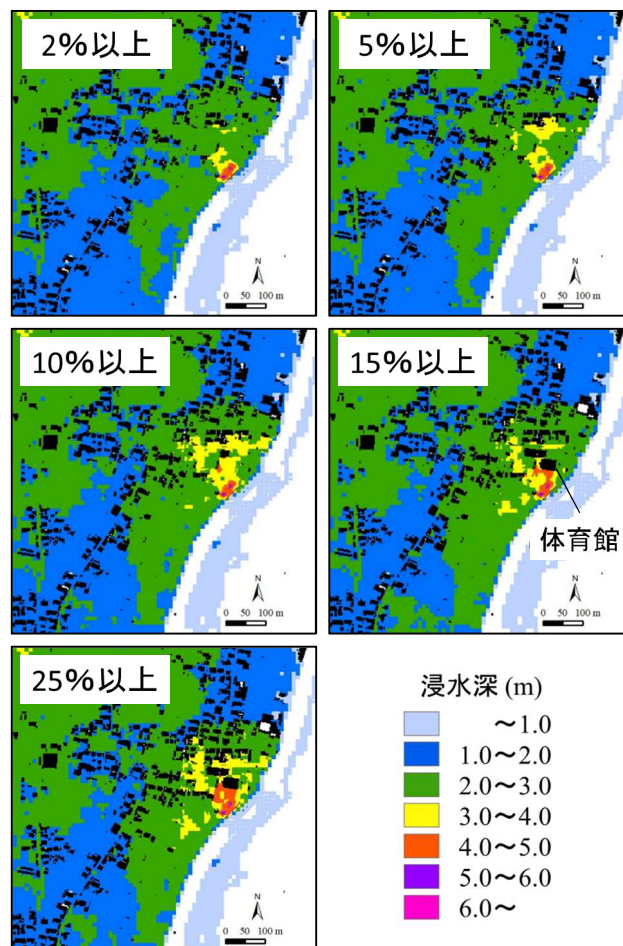


図. 17 最大浸水深

深と最大浸水深の差の RMS 値はそれぞれ、2%以上 : 0.621 m, 5%以上 : 0.539 m, 10%以上 : 0.448 m, 15%以上 : 0.279 m, 25%以上 : 0.301 m であった。体育館を非考慮とした 2%以上, 5%以上, 10%以上の場合では、赤丸で示された体育館近くの浸水深が過小評価となっているが、体育館を考慮した 15%以上および 25%以上では、体育館付近の浸水深が実績の浸水深に近い結果となった。このことから、災害時、体育館に本研究で用いた家屋被害評価に該当するほどの損壊はなかったと考えられる。また、15%以上と 25%以上では、体育館付近の浸水深は、15%以上の結果より 25%以上の結果の方が痕跡水深に近いが、体育館北側の家屋付近の浸水深において 15%以上の場合の方が痕跡水深に近い値を示したため総合的に 15%以上の場合における再現性が高い。これらは、建物被害を用いて設定した比率 15%以上の妥当性を示している。以下、15%以上の場合の考察を示す。すべての家屋を考慮した CASE 1 と家屋被害評価を

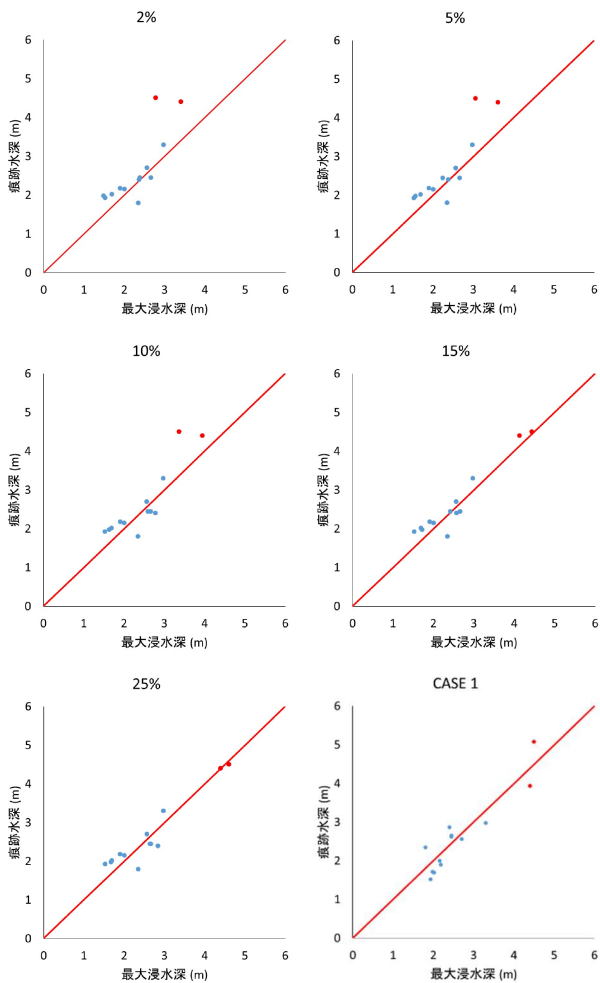


図. 18 痕跡水深と最大浸水深の関係

適用し該当した家屋を除いた場合の痕跡水深との差を図. 19 に示す。決壊地点に近い4地点で家屋被害評価を適用した場合の結果の方が精度よく再現できていることがわかる。家屋被害評価を適用した場合は決壊地点に最も近い家屋を考慮していないことから、災害当時、決壊地点に近い建物は決壊が生じた後、すぐに流失や大きな損壊が生じたと考えられる。

また、図. 20 に CASE 1 と家屋被害評価を適用した場合の旧耐震基準の倒壊限界値を用いた判別値を示す。決壊地点南方および地域IV付近において判別値を超える範囲が拡大している様子がわかる。図. 21 に 15%以上に該当する家屋を除いた場合における 15%以上の家屋被害評価を示す。赤色、緑色の家屋が増加し、黄色の家屋が減少した。赤色の家屋が増加した点は精度向上につながったが、全体的に実績と類似した結果は得られなかったため今後検討が必要である。

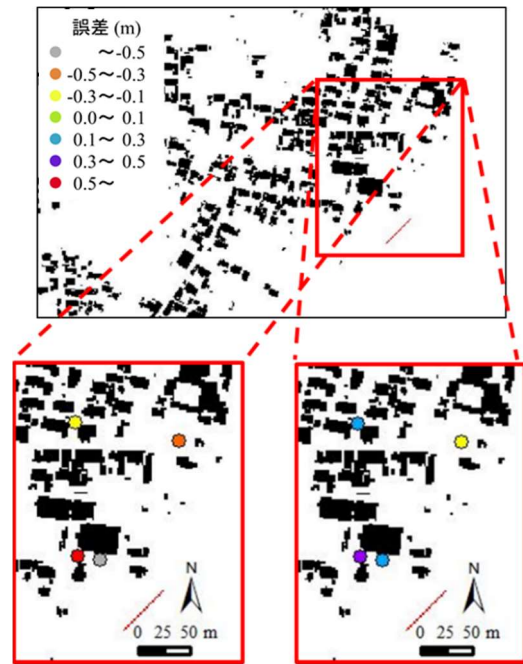


図. 19 痕跡水深との誤差 (左：CASE 1 右：15%)

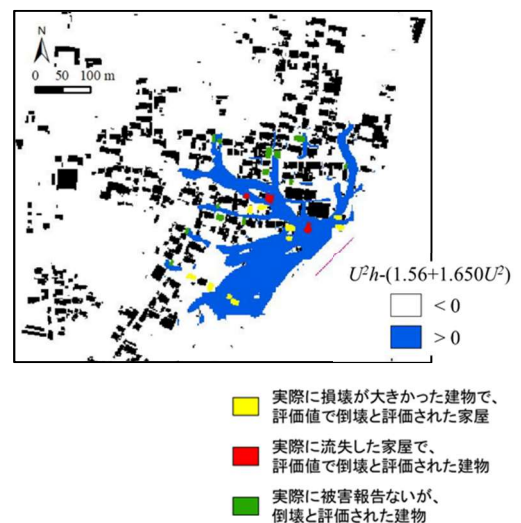
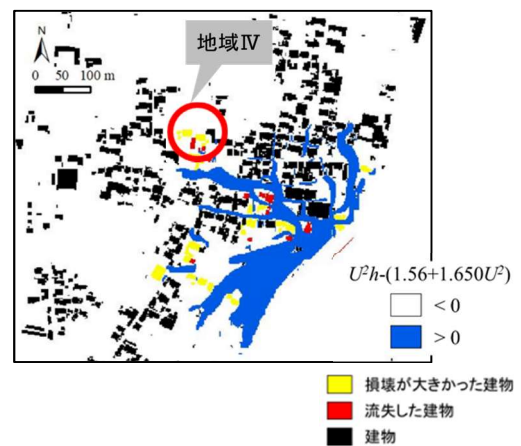


図. 20 旧耐震基準を用いた倒壊評価
(上：CASE 1 下：15%)

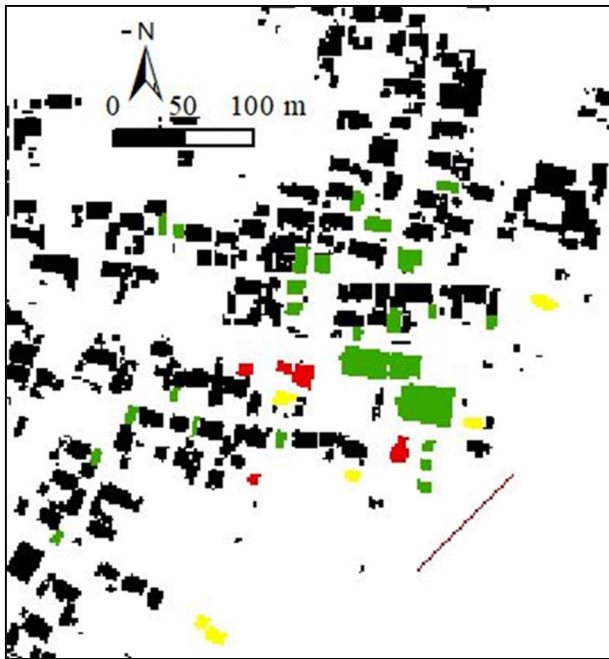


図. 21 家屋被害評価を適用した家屋を除いた場合
の家屋被害評価(15%以上)

5.4 避難困難度

CASE 1 の条件下において避難を検討するため単位幅比力を用いた避難困難度指標を用いた。図. 22に4時および4時5分における様子を示す。越水期間である4時において、流失や損壊が大きかった家屋付近では、すでに成人男性が避難困難となる0.25以上を示している地域があるが、性別、世代によっては避難ができる地域が確認できる。しかし、破堤から5分経過した4時5分では、決壊地点付近で急激に0.25以上を示す範囲が増加し、男女全世代において避難が困難であることがわかった。家屋の流失および損壊が大きかったとされる家屋の付近で、全世代において安全避難が可能だと判断できるのは決壊から16時間経過した13日20時であった。家屋被害に関する検討と併せて考察すると、安全避難が可能となるまで屋内で待機することは非常に困難であり、男女全世代で安全に避難するためには越水が生じる前に避難を行うことが重要であると考えられる。このことから、豪雨や台風時など河川水位の急激な上昇が起こりうる気象条件下では、近くの河川の水位情報や避難情報等を早期収集することが非常に重用となることが示唆された。

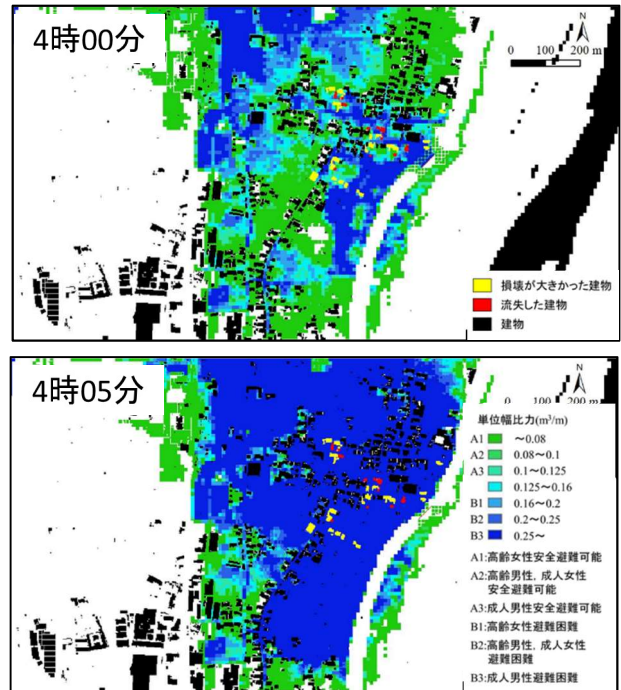


図. 22 避難困難度

6. まとめ

本研究は、令和元年台風第19号で生じた千曲川の左岸堤防の決壊による浸水災害を対象に再現計算を行った。以下に得られた結果を示す。

- 1) 本災害において考えうる境界条件を5つ考慮し、痕跡水深と最大浸水深の差のRMS値を用いて境界条件の選定を行い、 x および y 方向の流入を考慮した流入延長100mの境界条件(本研究のE)が最も精度が良いことが示された。また、排水過程を考慮した氾濫水の挙動を考察し、樋門における排水効果が支配的であることから災害時における樋門操作の重要性が示された。国土交通省の実績浸水域と比較することで、小河川・排水路などのより詳細な地形やポンプ車による排水条件を考慮することの必要性等、モデルの改善点を確認した。
- 2) 領域 α および β において、広域における水深の計算結果を開境界条件として用い、建物を考慮した2mメッシュにおける詳細な浸水解析を行うことで、建物が浸水解析に及ぼす影響を考察した。
- 3) 領域 α の豊野町における実際の映像と解析結果をもとに浸水経過を考察した。解析結果において全体の水量は一致していたが、流向や浸水の時間経過に違いが生じた。また、排水施設付近では

排水前後で流向が変化し、堤内地の住民の避難に影響を与える可能性から、排水を行う際には、堤内地の避難状況や氾濫水への影響を考慮する必要があることが示唆された。

4) 領域 β において、建物を考慮した場合の最大浸水深が痕跡水深に類似し、建物の有無によって氾濫水の挙動が大きく異なることを示した。このことから浸水解析において、建物等の地物を考慮する重要性が示唆された。

5) 家屋被害について、種々の式を用いて検討を行った。 U^2h の評価および旧耐震基準における倒壊限界値を用いた評価では、おおむね被害報告と同様な結果が得られた。地域IVにおける家屋被害には、決壊地点に近い家屋の有無が流れの様子に大きく影響していることから、家屋被害の検討において、家屋の有無や配置が重要であることが示された。さらに、建物被害の評価には築年数、構造等が重要であることが示された。

6) 家屋被害評価への活用において、家屋周囲のメッシュにおける計算値による旧耐震基準の倒壊限界の判別値を用いて検討を行った。本研究においては、実際の家屋被害報告との比較から計算値が倒壊限界値を超えるメッシュが家屋周囲において 15%以上存在する場合に家屋が倒壊すると結論付けた。しかし、この比率は本研究における限定的なものであり、実用化には情報が不足しているため今後検討が必要である。また、各比率において該当した家屋を除いて浸水解析を行った。痕跡水深と最大浸水深の関係の差の RMS 値から、15%以上の場合が最も再現性が高いことが確認された。RMS 値が体育館の有無によって大きく異なることから、体育館に本研究で用いた家屋被害評価に該当するほどの被害はなかったと結論付けた。また、CASE 1 と 15%以上における最大浸水深の比較から、災害当時、決壊地点に最も近い家屋は、決壊後、速やかに流失および大きな損壊が生じた可能性があると示された。15%以上の家屋被害評価に該当した家屋を除いた場合の家屋被害評価において、全体的に被害報告と異なる様子を示したことから、今後検討が必要である。

参考文献

- 1) 気象庁, 令和元年東日本台風(台風第 19 号)による大雨, 暴風等 (2020 年 12 月 24 日参照)
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/20191012.html>
- 2) 富永晃宏, 田端幸輔, 戸田祐嗣: 洪水流下特性と堤防破壊危険性に関する検討, 令和元年台風 19 号豪雨災害調査団(中部・北陸地区)報告書 (2020 年 4 月 17 日)資料, 2020.
- 3) 国土交通省, 日本の川, 千曲川(2020 年 12 月 24 日参照)
https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/jiten/nihon_kawa/0406_chikuma/0406_chikuma_00.html
- 4) 二瓶泰雄, 小野村史穂, 片岡智哉: 氾濫状況, 令和元年台風 19 号豪雨災害調査団(中部・北陸地区)報告書(2020 年 4 月 17 日)資料, 2020.
- 5) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 水防企画室, 国土技術政策総合研究所 河川研究部 水害研究室: 流体力による建物の倒壊等条件の計算例, 洪水浸水想定区域図作成マニュアル (第 4 版), 参考資料 1, pp.viii-xiii, 2015 年 7 月 15 日.
- 6) Bambang PRIYAMBODOHO, 八木隆聖, 木藤あや音, 石川彰真, 呉修一: 2019年長野県千曲川洪水災害における家屋被害状況と氾濫流況の関係, 土木学会論文集B1 (水工学) vol.76, No.2, I_619-I_624, 2020.
- 7) 浅井良純, 石垣泰輔, 馬場康之, 戸田圭一: 高齢者を 含めた地下空間浸水時における避難経路の安全性に関する検討, 水工学論文集, 第53巻, pp859-864, 2009.
- 8) 国土交通省北陸地方整備局, 千曲川堤防調査委員会資料
<http://www.hrr.mlit.go.jp/river/chikumagawatei/bouchousa/chikumaga-03.pdf>