

# 富山における詳細な浸水被害の事前把握に向けた 津波の伝播・浸水計算

鈴木 颯<sup>\*1</sup>, 呉 修一<sup>\*1</sup>, 原 信彦<sup>\*2</sup>

(\*1 工学部 環境・社会基盤工学科 \*2 株式会社エコー 防災解析部)

**要約：**本論文は、富山湾を対象とした津波の伝播・遡上計算を行い、富山県射水市、黒部市、入善町での浸水状況を明らかにすることを目的としている。津波の数値計算は非線形長波理論式を用い、多階層のネスティングにより高解像度の計算を行っている。断層データは、国によって公表された富山湾西側の断層パラメータを使用している。計算結果より、地震発生後の早い時間で沿岸部への津波の到達と浸水が確認された。しかしながら、本計算では海岸堤防を考慮していないなど、多くの課題が存在するため、今後更に詳細な条件での計算を実施し、富山沿岸部における詳細な津波浸水状況の解明が必要となる。

**キーワード：**富山、津波、伝播・遡上計算、断層パラメータ

## 1. はじめに

日本では、地震に伴う津波が甚大な被害を及ぼしている。大きな被害が生じた事例として、東北地方太平洋沖地震や北海道南西沖地震が挙げられる。東北地方太平洋沖地震では、地震の規模がM9.0であり、福島県相馬市には9.3m以上の津波が襲うなど、甚大な被害が生じた。警察庁[1]は、死者と行方不明者の合計は1万9009人、死者の90%以上が津波による溺死であり、津波により冠水した面積は宮城県、福島県など6県で561km<sup>2</sup>に及んだと報告している。

国土交通省[2]は東北地方太平洋沖地震以降、人命を守るため、津波による災害を防止、軽減し、将来にわたって安心して暮らすことのできる安全な地域の整備、利用及び保全を総合的に推進することを目的として、一般的な制度として、「津波防災地域づくりに関する法律」を定めた。これにより、各市町村で、津波浸水想定を踏まえ、津波防災地域づくりを総合的に推進するための計画を作成するようになっている。

富山湾に焦点を当てると、湾の特徴として平均水深が約350m、最大水深が1900m以上もあり全体的に深いため、津波が到達するまでの時間が短く、津波発生時には迅速な避難行動等が求められる。

従来から津波の数値計算に関する研究や断層の調査等が多くなされている。例えば長谷部ら[3]は、岡山県倉敷市と愛媛県今治市波方町に位置する二つの石油ガス国家備蓄基地における津波対策立案の一環として、南海トラフでの最大クラスの地震を想定した津波シミュレーションを行っている。加島ら[4]は、東北地方太平洋沖地震における津波の

ソリトン分裂波を再現した。ソリトン分裂現象を対象として実験およびその再現計算を行い、ソリトン分裂津波の特性について検討を行った。この結果、東北地方太平洋沖地震における津波のソリトン分裂波は、海底地形の影響による浅水効果により津波の水位が大きくなったと推測している。田邊ら[5]は、3次元粒子法を用いた津波の解析法を検証している。数値解析結果が実験結果を定性的には再現できており、従来法による流体力の解析結果と今回の手法を用いた解析結果との比較から有用性を確認し、実用的なレベルで流体力評価が可能であることを示している。

津波避難に関するシミュレーションでは、小柳・有川[6]が、津波避難シミュレーションを用いて津波避難タワーの効果の検証、また新たな避難タワーの設置場所の選定およびそれに伴う避難行動への影響を検証している。津波避難タワーの有効性を定量的に確認しているが、沿岸部の津波避難タワーと内陸部の避難所までの避難距離に300m程度しか差がない場合は、避難開始時間によっては沿岸部の津波避難タワーに避難することで被害が大きくなる場合もあるとしている。

富山湾の断層の調査としては、竹内ら[7]が音波による調査で呉羽山断層帯の総延長が約35kmであると報告している。これは、呉羽山断層帯の海域部分における活断層の正確な位置や形状の把握、活動性に関する情報の取得を目的とし行われ、呉羽山断層海域部の先端は、褶曲構造が放射状に広がり、断層運動による変形が次第に弱まる形という結果も出ている。この結果を基に、計算される地震規模M7.4が想定され、従前の推定値(M7.2程度)より大きくなっている。

表-1 富山湾西側の断層(右上), 糸魚川断層(左上), 呉羽山断層(左下)の最大水位平面分布

	富山湾西側の断層(1)	富山湾西側の断層(2)	糸魚川断層(1)	糸魚川断層(2)	呉羽山断層
緯度	37.2339	37.1319	36.9922	37.3618	36.583
経度	137.3179	137.1774	137.5859	137.9308	137.27
深さ(km)	2	2	1.9	1.9	1.5
走行(度)	228	191	37	55	35
傾斜(度)	45	45	45	45	45
すべり角(度)	103	62	76	102	*1 86
断層長さ(km)	16.2	26.4	51.5	34.1	35
断層幅(km)	18.3	18.3	22.7	22.7	22
すべり量(m)	2.77	2.77	4.66	4.66	2.9

\*1 呉羽山断層のすべり角の資料が存在しなかったため, 別の断層の数値を参考にした。

国土交通省[8]は, 富山湾の西側の断層でM7.18, 糸魚川沖の断層でM7.60という地震が生じることを想定している。富山県庁の総合政策局防災危機管理課[9]は, その国土交通省の報告に基づき, 既存のデータから富山湾における3つの活断層によって想定される地震及びその地震に伴い起こる津波の規模, 被害を推定した。ここでは, 富山湾の西側の断層でM7.2, 糸魚川沖の断層でM7.6, 呉羽山断層でM7.4の地震が生じるとしている。また, これらの断層の地震による最大津波高について, 糸魚川沖の断層により朝日町で5.7 m, 富山湾西側の断層により入善町で10.2m, 呉羽山断層により滑川市で6.8mの最大津波高が生じるという予想を発表している。また, 各市町の津波ハザードマップも公表されている[10]。

特筆すべきは, 入善町には約7分で10.2 mの最大津波が, 黒部市には約6分で5.0mの最大津波が, 射水市には約7分で4.2mの最大津波が到達すると予想されており, 沿岸部での避難等を考えた場合に, 地震発生後, 極めて迅速な行動が求められる。よって, 本研究では, 富山湾を対象とした津波伝搬計算および沿岸部での遡上計算を実施することで, 沿岸部での津波浸水特性や時間変化を詳細に把握することを目的としている。これにより, 今後の避難対応等の検討において有益な情報を提供することを目的としている。

## 2. 津波数値計算の概要

### 2.1 基本式

本研究で実施した津波数値計算は, Navier-Stokesの運動方程式を鉛直方向に積分し長波として近似した平面2次元の非線形長波理論式に基づいている。計算システムの特徴として, 多階層のネスティングにより高解像度の計算が可能である。

計算に用いる連続式(1)と運動方程式(2), (3)を以下に記す。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{D} \right) = \quad (2)$$

$$+ fM - gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{D}{\rho} \frac{\partial p_0}{\partial x} + \frac{1}{\rho} (\tau_{sx} - \tau_{bx}) + Ah \left( \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{D} \right) = \quad (3)$$

$$- fN - gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{D}{\rho} \frac{\partial p_0}{\partial y} + \frac{1}{\rho} (\tau_{sy} - \tau_{by}) + Ah \left( \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right)$$

ここに,  $\eta$ : 水位変動,  $M$ :  $x$ 方向の流量フラックス,  $N$ :  $y$ 方向の流量フラックス,  $D$ : 全水深 ( $D=h+n$ ),  $f$ : コリオリ係数,  $g$ : 重力加速度,  $\rho$ : 水の密度,  $\rho_0$ : 空気の密度,  $\tau_s$ : 海面せん断応力,  $\tau_b$ : 海底せん断応力,  $A$ : 渦動粘性係数,  $h$ : 静水深である。

### 2.2 初期・境界条件と数値解法

断層は地下の地層や岩盤に力加わり, 歪みが海底深くに蓄積されることにより生じ, これに沿って両側の地殻が急激にずれる。この運動で, 海底に鉛直方向の隆起・沈降が生じ, 鉛直変位量に応じて生じる水面変動を, 津波数値計算の初期条件としている。境界条件は陸域の遡上境界では越流計算を行い, 沖合境界では透過流出としている。

基本式の数値解法は, 空間方向の差分にスタッガード格子, 時間方向の差分にリープ・フロッグ法を使用している。

## 3. 断層パラメータ

津波が発生するメカニズムは, 一般的に地震発生時の海底の盛り上がりや沈み込みが広範囲に生じ, その力を受け

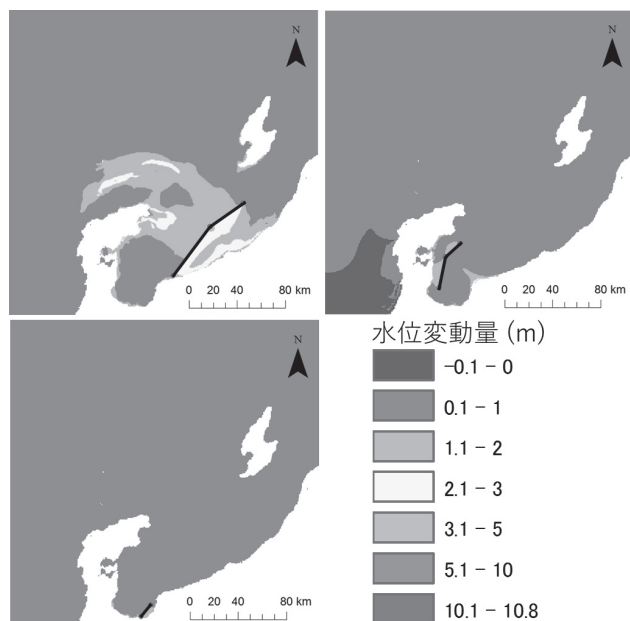


図-1 富山湾西側の断層（右上）、糸魚川断層（左上）、呉羽山断層（左下）の最大津波高平面分布

て海水が上下に変動する。その変動が波となり周囲に伝わり、津波が生じる。そのため、津波の計算を行うためには波源を表現する断層のデータが必要となる。富山県では富山湾に存在する富山湾西側の断層、糸魚川断層、呉羽山断層の3つの活断層の地震による津波を想定し断層パラメータが公表されているため、これらの値を使用する。本研究で使用した断層パラメータ（国土交通省[8]）を表-1に示す。

これらの断層パラメータを使用して津波の伝播計算を行った計算結果を図-1に示す。本計算では、水深データとして500m解像度のJ-EGG500を使用している。図-1では、地震発生から1時間までの最大水位平面分布を示している。図-1より、糸魚川断層では3つの断層の中でも最も広範囲に大きな変動が見られ、富山湾西側の断層では糸魚川断層よりも大きな変動が見られる範囲は狭いが、富山県の海岸沿いに限定した場合、糸魚川断層での結果より富山湾西側の断層での結果のほうが、変動が大きい範囲が広い。呉羽山断層は他の2つより変動の範囲が狭く、変動量も大きくないことがわかる。

よって、本研究では富山県への影響が大きいと考えられる富山湾西側の断層を対象とし、以下では高解像度地形データを用いた詳細な陸上浸水計算を行う。

#### 4. 津波の陸上浸水計算

上記の計算は、解像度500mの粗い地形データを用いた簡易計算であるが、以下では詳細な地形データを使用した計算を行う。しかしながら、高解像度のデータの使用は計

表-2 津波数値計算の諸条件

計算時間	地震発生から1時間
計算時間間隔	0.02秒
粗度係数	海域 0.025 陸域 土地利用より決定
設定潮位	H.W.L = T.P. + 0.496m

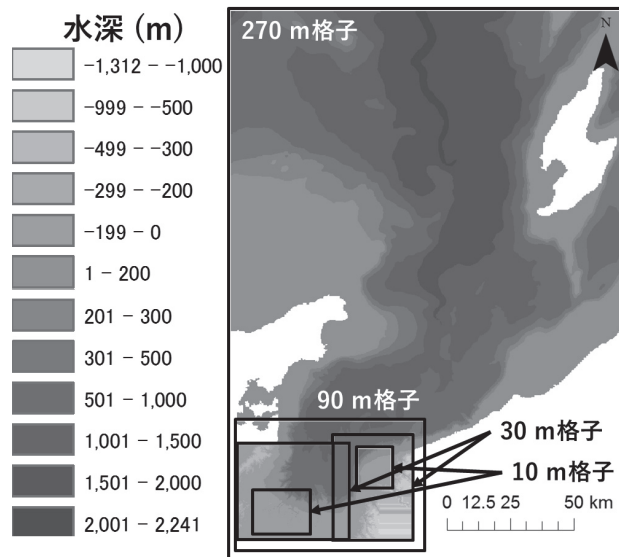


図-2 計算領域とネスティングの概要

算時間を増大させるため、解像度270m, 90m, 30m, 10mの複数データセットを用いてネスティングを行っている。ネスティングの概要を図-2に示す。

津波数値計算の計算諸条件を表-2に記し、出力地点と断層位置を図-3に示す。設定潮位は、気象庁より富山の2013年から2017年の5年間の朔望平均満潮位を使用している。断層は、富山湾西側の断層を対象とし、パラメータは表-1で示した値を使用している。

図-4,5,6に射水市、黒部市、入善町での地震発生後の水位の時系列を示す。これにより入善町では、地震発生から446秒で7.46mの最大津波が到達していることがわかる。

図-7,8に射水市および黒部市・入善町周辺での最大浸水深の平面分布を示す。射水市、黒部市、入善町の沿岸部周辺で浸水が生じているのを確認できる。また、黒部市側より入善町側のほうが浸水深は深くなっている。場所によっては短い時間で最大となる津波が到達し、広い範囲で1～2m程度の浸水が生じている。

しかしながら、これらの計算結果は海岸堤防が考慮されていない点に注意されたい。また断層パラメータの設定でも大すべり域等の分布を考慮していないなど、県の想定よりも小さい外力で計算を行っている。今後は、堤防等の構築物を考慮するとともに大すべり域等の分布を設定想定し

うる浸水範囲を求め、地域の津波避難促進し、有益な情報の提供を行う予定である。

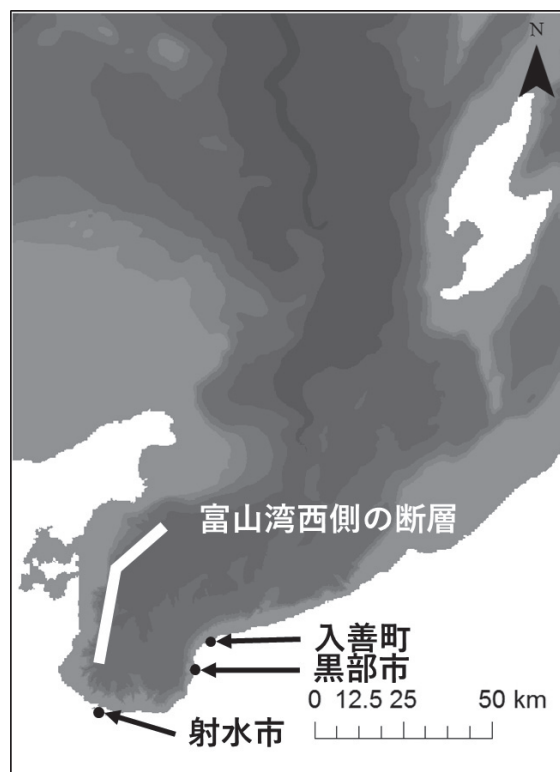


図-3 計算出力地点と対象断層の位置

## 5. まとめ

本研究では、富山湾を対象とした津波の伝播・遡上計算を行い、射水市、黒部市、入善町での浸水状況を明らかにした。津波の計算は、非線形長波理論式を用いて、多階層のネスティングによる高解像度の計算を行っている。今後は浸水状況の時間変化を明らかにするなど、更に詳細な津波被害の想定に取り組んでいく予定である。これにより、富山湾特有の短時間での津波の襲来にどのように対応するか、その対応策への一助となる有益な情報を発信できるように尽力していく次第である。

なお本研究の津波計算結果は、海岸堤防を考慮していない等、不確実な点が多く、速報的な結果である点に注意されたい。また陸上の遡上計算でも土地利用に応じ粗度係数の値を設定しているが、これらの値の検証等も今後必要不可欠である。各自治体の浸水想定の確認には、富山県が公表している津波ハザードマップを参照のうえ、更に安全側に配慮して検討する必要がある。

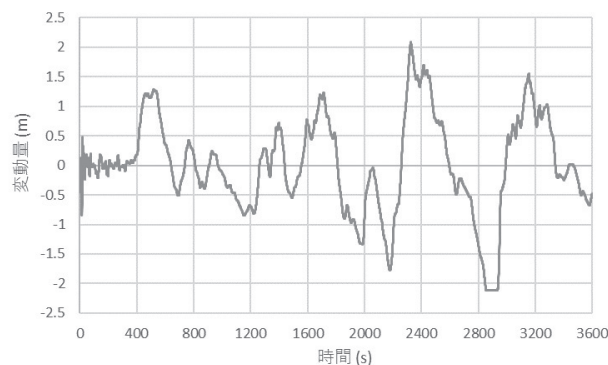


図-4 射水市における地震発生後の水位の時系列

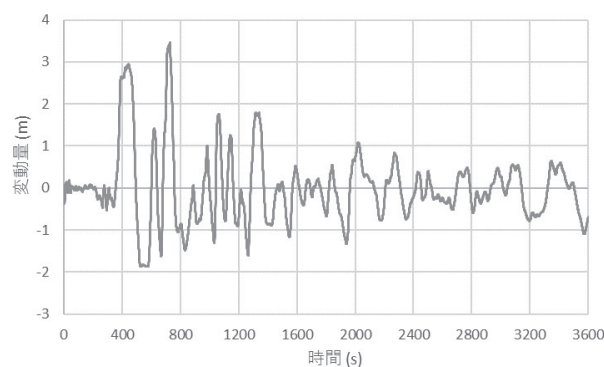


図-5 黒部市における地震発生後の水位の時系列

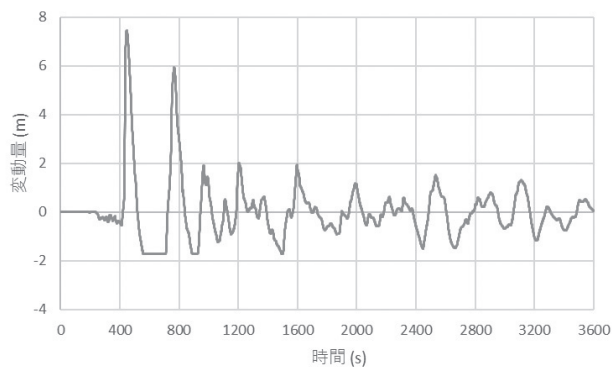


図-6 入善町における地震発生後の水位の時系列



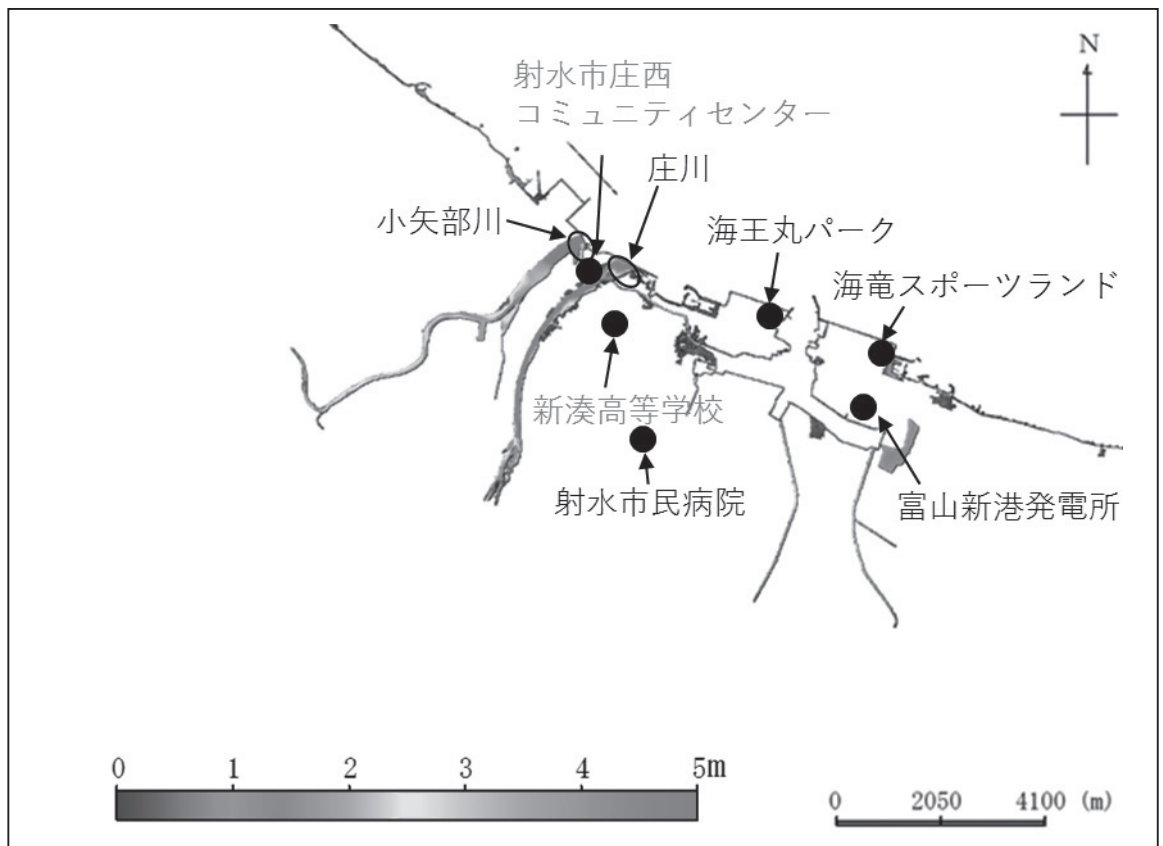


図-7 射水市周辺における最大浸水深の空間分布（赤字の施設名は避難所）

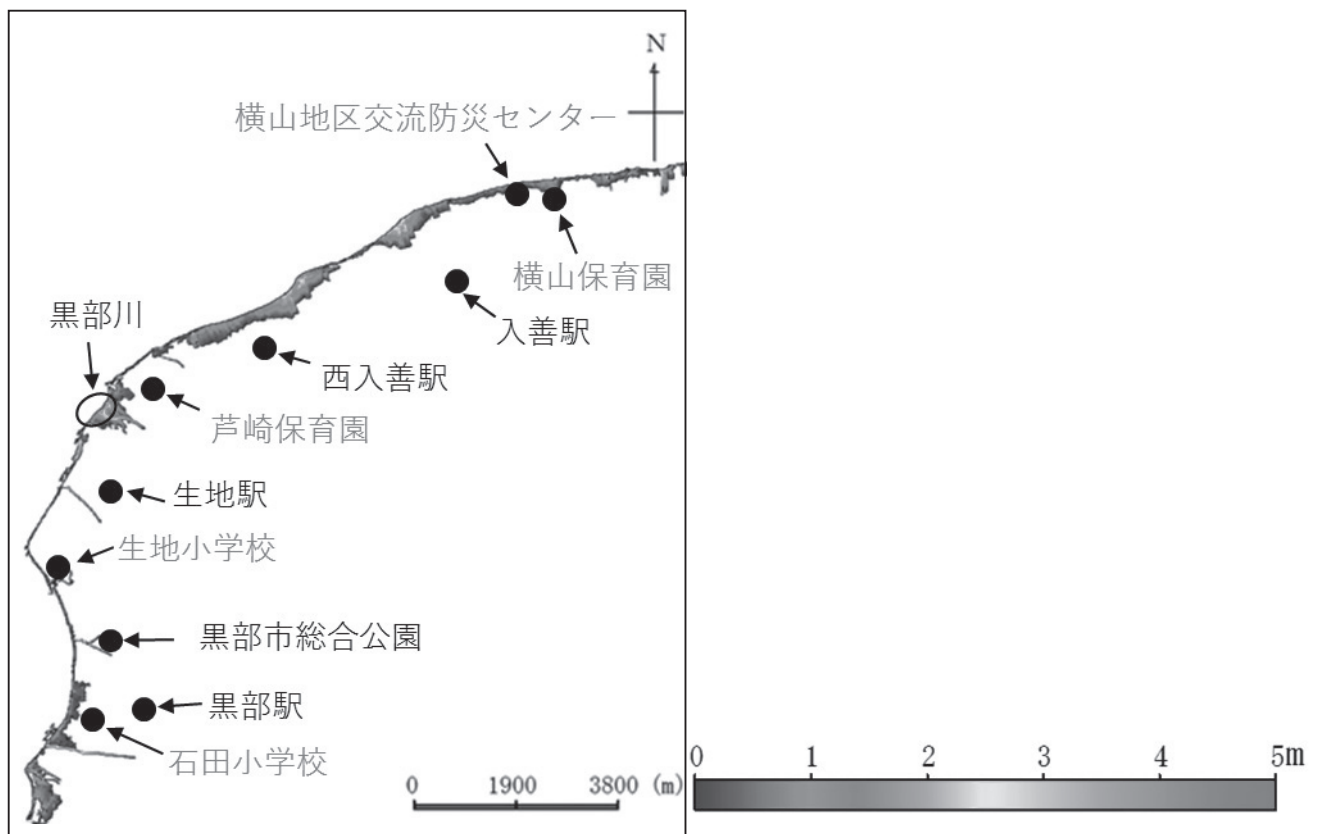


図-8 黒部市および入善町周辺における最大浸水深の空間分布（赤字の施設名は避難所）

### 謝辞

本研究は、富山第一銀行奨学財団の平成30年度研究助成と富山県立大学平成28年度重点研究助成を受け実施したものです。ここに末尾ながら記して、謝意を表します。

### 参考文献

- [1] 警察庁：東日本大震災と警察，焦点，第281号，2012.
  - [2] 国土交通省：津波浸水想定の設定の手引き，Ver.2.00, 2012.
  - [3] 長谷部雅伸，大竹健司，古村孝志，木全宏之，征矢雅宏，石井やよい，佐藤俊明：南海トラフでの最大クラスの地震を想定した瀬戸内海における津波伝播シミュレーション，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.68, No.2, I\_166-I\_170, 2012.
  - [4] 加島寛章，平山克也：現地津波のソリトン分裂特性に関する実験的検討とその再現計算，土木学会論文集（海洋開発），Vol.69, No.2, I\_694-I\_699, 2013.
  - [5] 田邊将一，浅井光輝，中尾尚史，伊津野和行：3次元粒子法による橋脚に作用する津波外力評価とその精度検証，構造工学論文集，Vol.60A, 293-302, 2014.
  - [6] 小柳雄揮，有川太郎：津波避難シミュレーションを用いた津波避難タワーの効果の検討，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.72, No.2, I\_1567-I\_1572, 2016.
  - [7] 竹内章，野徹雄，楠本成寿，渡辺了：呉羽山断層帯海域部の音波探査と陸域との接続関係，日本地質学会学術大会講演要旨，497-497, 2011.
  - [8] 国土交通省：日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書，参考資料2，1-27, 2014.
  - [9] 富山県庁：津波シミュレーション調査の結果の概要について，資料1-①，1-9, 2017.
  - [10] 富山県庁：津波浸水想定公表について，[http://www.pref.toyama.jp/cms\\_sec/1004/kj00017580.html](http://www.pref.toyama.jp/cms_sec/1004/kj00017580.html) I\_166-I\_170, 2012.
- [検討会報告書，参考資料2，1-27, 2014.]

# Assessment of Tsunami Hazard for Coastal Areas in Toyama by Numerical Simulation

Hayate Suzuki\*1, Shuichi Kure\*1 and Nobuhiko Hara\*2

\*1 Department of Environmental and Civil Engineering  
Faculty of Engineering

\*2 Disaster Prevention Division  
ECOH CORPORATION

*Key Words:* Toyama, Tsunami, Tsunami simulation, Fault parameters