

千葉県旭市における東北地方太平洋沖地震津波による建物被害の分析

千葉大学大学院 工学研究科 学生会員 ○北村健
千葉大学大学院 工学研究科 正会員 丸山喜久

1. はじめに

2011年3月11日に三陸沖を震源として発生した東北地方太平洋沖地震では、東日本を中心として大きな揺れが観測された。同時に、太平洋沿岸の広い地域で津波が発生し、各地に甚大な被害をもたらした。本研究で対象とする千葉県旭市は、今回の地震で震度5強を観測し、2度の大津波が襲来した。人的被害については、死者が13名、行方不明者が2名(うち、法務局において死亡認定された者が1名)と発表されており、千葉県で最も津波による被害の大きかった地域である。建物被害は、全壊が336世帯、大規模半壊が432世帯にのぼり、その多くは津波による被害とされている。

本研究では、津波による建物被害関数の構築に向けた検討として、千葉県旭市における東北地方太平洋沖地震の津波による建物被害率(全壊率)を算出し、既往の被害関数と比較を行った。まず、国土地理院が構築した東北地方太平洋沖地震の震源断層モデルを使用した津波数値シミュレーションを実施し、旭市の各地点における最大浸水深、最大津波高さ、最大流速を求めた。次に、全壊した建物の住所データを座標変換し、地理情報システム(GIS)上でシミュレーション結果と統合することで、津波の高さや流速、流体抗力と、建物の全壊率の関係を分析し、津波外力ごとの建物被害率を算出した。

2. 震源断層モデル

東北地方太平洋沖地震を発生させた震源断層モデルとして、図1に示すような国土地理院が構築した西側に傾く2枚の逆断層モデルを使用した。津波数値シミュレーションに必要な断層パラメータは、表1に整理したものを使用する。ただし本モデルは、GPS連続観測点で観測された地殻変動データから推定されたモデルであり、津波の再現シミュレーションによって広域における妥当性を検証したものとはいえない。

3. 津波数値シミュレーション

数値計算では、非線形長波理論の連続の式(1)と運動方程式(2)、(3)を差分法によって解く¹⁾。計算プログラムは、東北大学で開発されたプログラム(TUNAMI-CODE)を用いる。

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

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (3)$$

式中の η は水位、 D は海底から水面までの全水深、 g は重力加速度である。また、 n はマニングの粗度係数で運動方程式中の摩擦項に含まれ、津波の遡上に対する抵

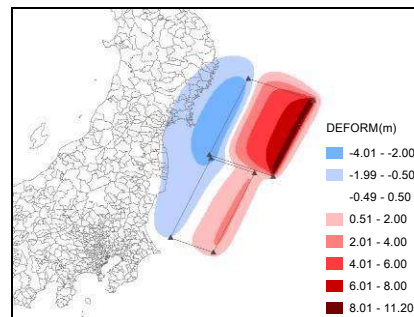


図1 解析に使用した震源断層モデル

表1 断層パラメータ

	上端深さ (km)	長さ (km)	幅 (km)	走向 (deg)	傾斜角 (deg)	すべり角 (deg)	すべり量 (m)
断層1	5.1	186	129	203	16	101	24.7
断層2	17.0	194	88	203	15	83	6.1

表2 マニング粗度係数の設定値

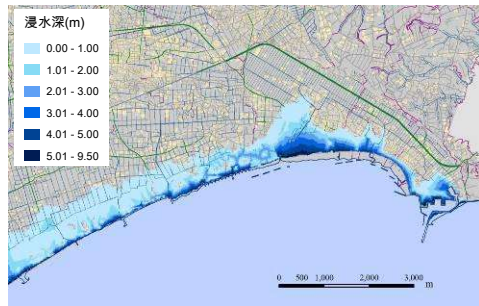
土地利用(国土数値情報)	粗度係数 ($m^{-1/3}s$)
住宅地	0.040
農地	0.020
林地	0.030
水域	0.025
その他(空地・緑地)	0.025

抗力を表す。 M 、 N は x 、 y 方向の線流量を示す。初期条件として、震源断層モデルから弾性体理論²⁾に基づいて算出した海底地殻変動量を、海面の初期水位として与える。計算時間は、地震が発生してから3時間とする。

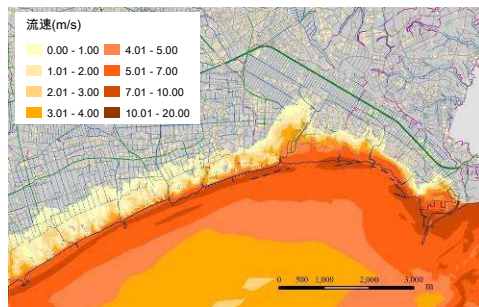
数値解析は、サイズの異なるメッシュを入れ子状に組み合わせて行う。1350m、450m、150m、50m、16.7(50/3)mの5段階で、外洋部が最も粗く、陸域に近づくにしたがって細かいメッシュを用意する。

数値シミュレーションの実施にあたって、旭市周辺の地形データと粗度データを準備した。地形データは、サイズごとのメッシュ中心に対して標高および水深を与えたものである。陸域については、国土地理院による数値地図(50mおよび10mメッシュ)の標高データを、海域については海上保安庁による電子海図をもとにして、各データからTIN(Triangulated Irregular Network; 三角形不規則網)を作成し、これを線形補完することで地形データとした。粗度データは、各メッシュ中心に対して、マニングの粗度係数を与えたものである。粗度係数が大きいほど津波の遡上に対する抵抗力が大きくなることを意味している。計算領域の土地利用条件に応じて、0.020~0.040の値を適用する³⁾。土地利用条件は国土交通省による国土数値情報に基づいたもので、建物用地、農地、森林、水域、その他空地などの土地利用に分類して

Key Words: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Numerical simulation of tsunami propagation, GIS, Asahi City, Chiba Prefecture
連絡先: 〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33 千葉大学大学院工学研究科建築・都市科学専攻



(a) 最大浸水深



(b) 最大流速

図2 千葉県旭市の津波数値解析結果

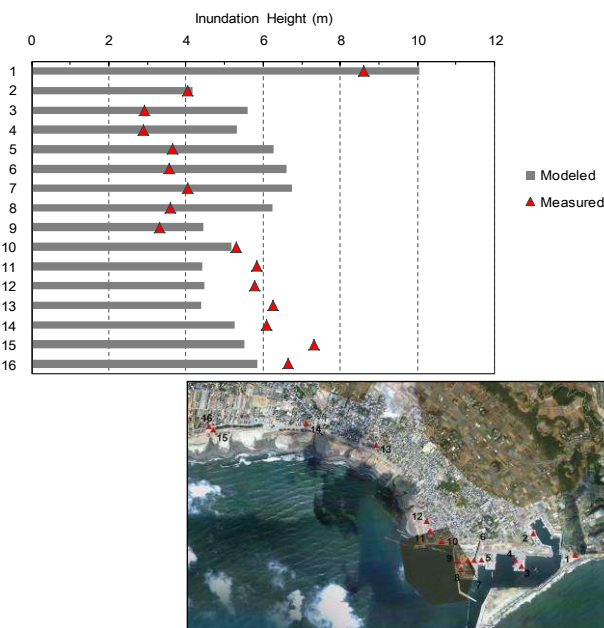


図3 津波数値解析と現地観測結果の比較

いる。本研究で用いた粗度係数の設定値は表2のとおりである。津波による建物被害率は、建物の存在する位置における津波浸水深と最大流速ごとに算出する。数値シミュレーション結果を図2に示す。

浸水深に関しては、本結果の妥当性を調べるため、2011年に津波調査グループが現地観測により調査した千葉県旭市の数値点における津波浸水深⁴⁾と比較を行った。その結果、建物被害がとくに顕著であった旭市東部の飯岡地区については、図3に示すようにある程度の精度で再現できていることが分かった。

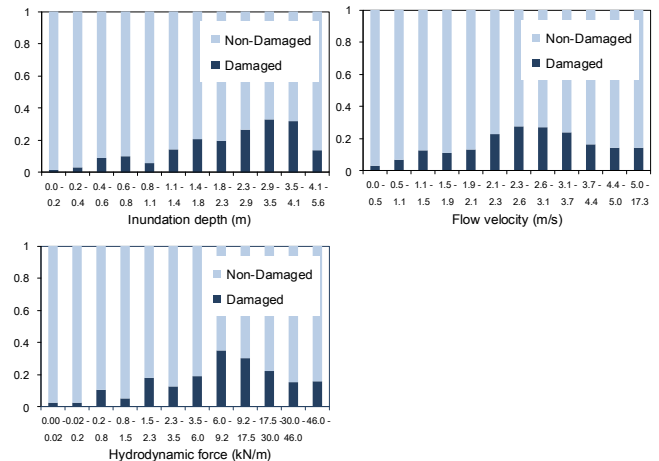


図4 津波外力ごとにまとめた建物全壊率のヒストグラム

4. 津波による建物被害率の算出

津波数値シミュレーションで得られた浸水深および最大流速結果と、旭市がまとめた被害建物の位置や被害程度を含む実データを地理情報システム(GIS)上で位置照合し、津波外力ごとの被害率(全壊率)を算出した。津波外力の指標値としては、最大浸水深、最大流速、最大流体抗力を用いる。

図4に示すのは、津波外力ごとの被害率のヒストグラムである。津波外力が大きいほど被害率が高くなる傾向にあるが、越村ら(2010)⁵⁾が算出した奥尻島青苗における1993年北海道南西沖地震津波による建物被害率と比較すると、やや小さい結果となった。なお、今回算出した被害率の母数(建物総数)は、旭市の浸水域内におけるゼンリン建物面データ⁶⁾から把握している。

5. まとめ

本論では、津波による建物の被害関数を構築するため、千葉県旭市の建物被害データを利用して、津波数値シミュレーション結果に基づいた建物被害率を算出した。今後は、東北地方太平洋沖地震の千葉県旭市における建物被害関数を構築し、津波による建物被害の推定精度の向上に貢献することを目指す。

謝辞：本研究で使用した津波数値シミュレーションプログラムであるTUNAMI-CODEは、東北大学の越村俊一教授に提供いただいた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) Koshimura, S., Imamura, F., and Shuto, N.: Characteristics of on-slope tsunami propagation and the accuracy of the numerical model, Tsunami Research at the End of a Critical Decade, pp.163-177, 2001.
- 2) Okada, Y.: Surface Deformation Due to Shear and Tensile Faults in a Half-Space, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 75, No.4, pp.1135-1154, 1985.
- 3) 小谷美佐, 今村文彦, 首藤伸夫: GISを利用した津波遡上計算と被害推定法, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.356-360, 1998.
- 4) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ: 痕跡調査結果
- 5) 越村俊一, 萱場真太郎: 1993年北海道南西沖地震津波の家屋被害の再考—津波被害関数の構築に向けて—, 日本地震工学会論文集, 第10巻, 第3号, pp.87-101, 2010.
- 6) ゼンリン: Zmap-TOWN2, <http://www.zenrin.co.jp/product/gis/zmap/zmaptown.html>