

津波遡上・避難シミュレーションを用いた 避難場所配置と避難場所到達に関する研究

堀合紳弥¹・尾崎壮一²・高瀬慎介³・加藤雅也⁴・武山泰⁵・野島和也⁶

¹学生会員 八戸工業大学大学院工学研究科 (〒 031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1)

E-mail: d21301@hi-tech.ac.jp(Corresponding Author)

²非会員 八戸工業大学工学部土木建築工学科 (〒 031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1)

E-mail: g199018@hi-tech.ac.jp

³正会員 八戸工業大学大学院工学研究科 (〒 031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1)

E-mail: takase@hi-tech.ac.jp

⁴正会員 八戸工業大学大学院工学研究科 (〒 031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1)

E-mail: m-kato@hi-tech.ac.jp

⁵正会員 八戸工業大学大学院工学研究科 (〒 031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1)

E-mail: takeyama@hi-tech.ac.jp

⁶正会員 日本工営株式会社中央研究所 (〒 300-1259 茨城県つくば市稲荷原 2304)

E-mail: a7385@n-koei.co.jp

内閣府から公表された千島・日本海溝地震による被害想定では、発生する津波の規模や被害は東日本大震災津波を超えると言われていた。被災が想定される地域では、浸水区域拡大によって安全に利用可能な指定避難場所が減少するため、新たな防災計画や避難計画の策定が急務となっている。とくに北東北では、冬季において降雪等の気象条件による交通障害など、地域住民の避難行動に影響する要因が生じ、夏季の発災時より避難施設への到達が遅延してしまう可能性がある。

本研究では、青森県八戸市を対象とした津波遡上・避難シミュレーションを行い、冬季積雪状態での夜間帯とする避難行動の最悪条件下において、大津波警報時に使用可能となる避難場所の配置と、地域住民の避難場所への到達状況について検証する。

Key Words: tsunami numerical simulation, evacuation simulation, winter season evacuation, snow cover condition

1. はじめに

令和 2 年に内閣府が公表した千島・日本海溝沿いを震源とする地震¹⁾では、2011 年東日本大震災を超える規模の津波が発生すると予想されており、当時は被災しなかった地域にも甚大な被害が及ぶ可能性がある。とくに、青森県太平洋沿岸部においては、最大 26.1m の津波が到達することから、迅速な地域住民の避難が必要となる。その一方、青森県が位置する北東北は、冬季間に降雪による道路上の積雪や路面凍結が発生しやすい気象条件であり、地域防災計画や津波避難計画を検討する際には、冬季間の気象条件による避難阻害要因を十分に考慮する必要がある。また、地方圏域においては、少子高齢化問題が顕著であり、将来的な津波への防災対策を進める上では、地域人口の年齢分布の変動を十分考慮していく必要がある。しかし、津波災害は発災すると甚大な被害が発生するものの、その発災頻度は極めて低く、実世界での実験や検証を進めるに

は困難な点が多い。これらの課題を検証するため、先行研究などでは、数値解析による津波遡上シミュレーションや、マルチエージェントシステムによる仮想空間での避難行動シミュレーションが用いられ、再現解析や将来的な災害を想定した検証が進められている。例えば、今井ら²⁾は数値解析を用いて市街地への津波遡上や氾濫に関する実用的な解析手法の提案を行なっている。また、小園ら³⁾は、津波の波力に基づいて建物が倒壊した場合を考慮した津波解析の検討を行なっている。野島ら⁴⁾は、同じく建物や捕捉工などの構造物の影響を考慮した津波漂流物解析モデルの提案を行うなど、津波災害をコンピュータ上で再現し、被害を提言させるための研究が進められている。また、住民の避難行動の検証として、小坂ら⁵⁾はマルチエージェントシステムを用いた避難行動解析を行い、石川県輪島市を対象とした検証シミュレーションを実施している。また、Mas .et.al⁶⁾は、Netlogo を持ちいたマルチエージェ

ントシミュレーションと津波数値解析結果を組み合わせ、東日本大震災における宮城県石巻市荒浜地区に適用した解析を行なっている。このように、津波災害に対して、流体現象や人間行動について検証するツールとしてシミュレーション技術を活用した研究は進められている。しかし、地方圏域における人口変動や気象条件を考慮した研究事例は多くはなく、今後被害が想定される地域における防災対策に向けた検証解析を進めていく必要がある。そこで本研究では、青森県八戸市を対象とした津波遡上・避難シミュレーションを行い、冬季積雪状態での夜間帯とする避難行動の最遅条件下において、大津波警報時に使用可能となる避難場所の配置と、地域住民の避難場所への到達状況について検証する。

2. 津波数値シミュレーション

(1) 津波数値計算の概要

本研究では、想定されている千島・日本海溝沿いを震源とした地震によって津波が発生した場合の、住民の避難行動について検証する。そのため、公表されている日本海溝モデルの断層パラメータを用いて津波遡上解析を実施した。解析には日本工営株式会社の津波解析コードを使用した。解析条件を表-2に示す。初期水位変動を求めるため、Okada(1992)による断層パラメータから地殻変動量と水位変動量を算出したのち、津波遡上計算を行った。計算領域は大領域から順に、450m・150m・50m・10mメッシュの格子サイズとした。また、境界条件として、450mから50mメッシュまでを反射境界、10mメッシュを遡上境界とし、市街地への遡上と避難場所周辺の水深変化を観測した。非線形長波方程式を基礎方程式としている。断層パラメータは、公表されている日本海溝モデルの断層パラメータのうち、青森沖を破壊開始地点とする断層2を使用した。

(2) 計算の結果

計算の結果として、領域における最大津波高を図-1、図-2に、水位観測地点として2箇所設定した避難場所における水位変化のグラフを図-3、図-4に示す。八戸港近辺では凡例のうち16m以上とする赤色を示している地点が多く発生していた。また、観測された水深では、八戸市津波防災センターでは8.52m、小中野公民館では9.91mを観測していた。

3. 津波避難シミュレーション

(1) 避難行動解析の概要

津波遡上解析の結果を参考に、時系列による避難者数の変化や、津波到達時刻までに避難者が避難施設に

表-1 津波遡上解析条件

項目	内容
計算格子間隔	領域 1：450m 領域 2：150m 領域 3：50m 領域 4：10m
境界条件	領域 1,2,3：反射境界 領域 4：遡上境界
基礎方程式	非線形長波方程式
断層モデル	Fujii-Satake モデル Ver8.0
断層パラメータ	日本海溝モデル 2 (青森県沖破壊開始)
初期波源	Okada(1992) より 断層モデルから地殻変動量と 水位変動量を計算
計算時間	地震発生 6 時間

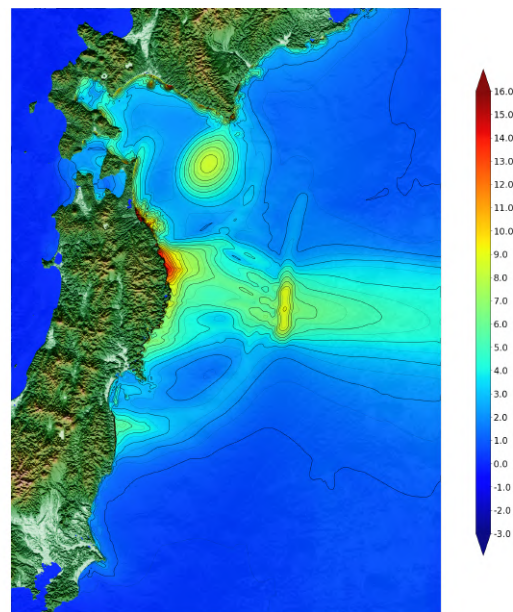
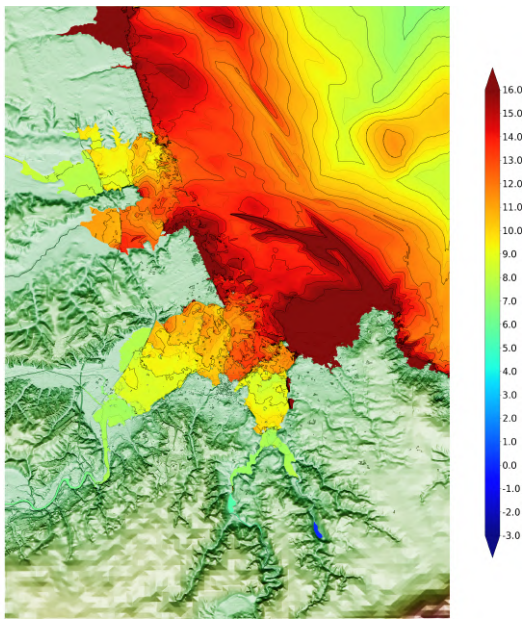


図-1 領域 1(450m メッシュ)での最大津波高

どの程度到達できるかの検証を実施した。避難行動解析の条件を表-2に示す。解析には、NetLogo6.2.2(図-5)を用いた。避難施設への津波到達が確認された地震発生から40分後までを解析時間とし、男女3年齢層による解析を行なった。夜間や積雪環境を想定するため、各係数¹⁾を速度パラメータに考慮して避難速度を決定している。



Cal_Time = 360.0 (min)

図-2 領域 4(10m メッシュ)での最大津波高

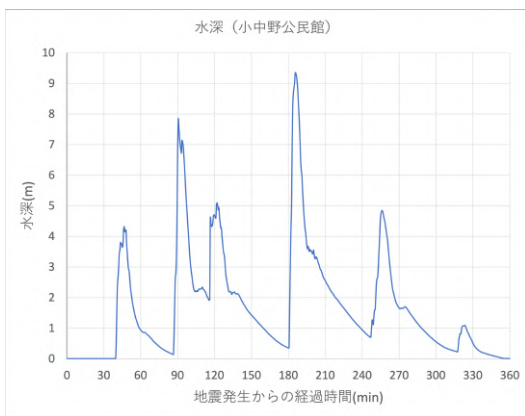


図-3 小中野公民館での時系列水深

(2) 解析の結果

避難行動解析の結果を表-3に示す。概ね、避難場所へ到達できた住民が多かったが、避難場所へ到達できなかった、または避難行動に移っていなかったエージェントも見られた。また、避難場所には収容制限は設けていない条件ではあるが、車両の入場規制や津波浸水深と避難可能階数の条件によっては、さらに安全な避難場所到達が困難となる可能性がある。

4. おわりに

本研究では、日本海溝沿いを震源とする地震による津波を想定した津波遡上解析と避難行動解析を実施した。その結果、避難場所で観測された津波到達による浸水開始時刻までに避難場所に到達できたエージェン

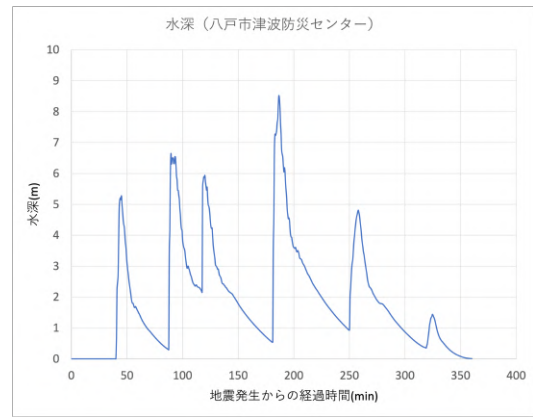


図-4 八戸市津波防災センターでの時系列水深

表-2 避難行動解析条件

項目	内容
解析環境	NetLogo6.2.2
経路探索法	A*アルゴリズム法
解析ステップ	1ticks(step)=1sec
想定気象環境	冬季積雪・未除雪状態
想定時間帯	夜間避難
基準歩行速度	小坂ら ⁵⁾
避難方法割合	歩行6割：車両4割
避難開始	地震発生10分後から順次開始
歩行速度	男性
20歳未満	0.56m/s
20～59歳	0.5m/s
60歳以上	0.44m/s
歩行速度	女性
20歳未満	0.51m/s
20～59歳	0.48m/s
60歳以上	0.44m/s

トが多かったが、時刻までに建物へ到達できなかった、もしくは避難を開始していなかったエージェントも確認された。避難速度や避難開始時刻の設定には、ある程度のばらつきを与えて解析を実施しているが、今後はより詳細、または様々な条件による時間を考慮した解析を進めていく必要がある。また、避難途中のエージェントが津波に曝露し犠牲になってしまう可能性も十分考えられるため、遡上を組み合わせた解析を行なっ

表-3 解析結果

性別	年齢区分	母数(人)	避難完了者(人)	未到達歩行者(人)	未到達車両(人/台)	未避難行動者(人)
男性	20歳未満	1420	1370	8	105	41
	20-59歳	4494	4700	25	2	179
	60歳以上	2920	2960	14	0	26
女性	20歳未満	1290	1283	5	0	2
	20-59歳	4209	4370	18	1	142
	60歳	3899	4060	17	2	142

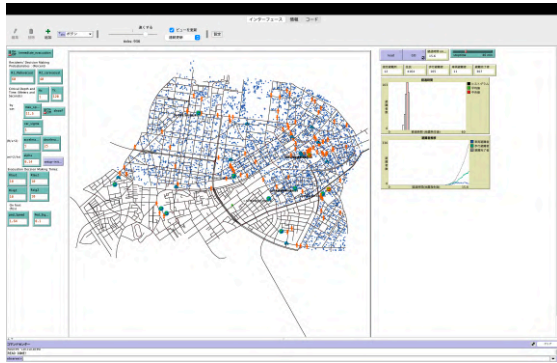


図-5 Netlogo コントロール・出力画面

ていく予定である。

謝辞: 本研究における津波遡上計算にあたって、日本工営株式会社中央研究所より津波数値計算コードを提供いただいた。ここに記して感謝を示す。

参考文献

- 1) 内閣府(防災担当):被害想定手法について(第1回ワ-キンググループでのご意見を踏まえた手法の検討),日本海溝・千島海溝沿の巨大地震対策検討会ワーキンググループ(第2回), 2020.
- 2) 今井健太郎, 今村文彦, 岩間俊二:市街地における実用的な津波氾濫解析手法の提案,土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.69, No.2, pp.L311-L315, 2013.
- 3) 小園裕司, 高橋智幸, 桜庭雅明, 野島和也:津波は力に基づくたても東海を考慮した津波解析の検討,土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.71, No.2, pp.L163-L168, 2015.
- 4) 野島和也, 桜庭雅明, 小園裕司:建物や捕捉工などの影響を考慮した津波漂流物解析モデルの開発,土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.73, No.2, pp.L343-L348, 2017.
- 5) 小坂陽介, 野村尚樹, 大藤愛子, 宮島昌克:マルチエージェントシステムを用いた津波避難に関する解析-輪島市臨海地域を対象とした事例研究-,土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.73, No.4(地震工学論文集第36巻), pp.L1010-L1017, 2017.
- 6) Erick Mas, Fumihiko Imamura, and Shunichi Koshimura: AN AGENT BASED MODEL FOR THE TSUNAMI EVACUATION SIMULATION. A CASE STUDY OF THE 2011 GRATE EAST JAPAN TSUNAMI IN ARAHAMA TOWN, 9th International Conference on Urban Earthquake Engineering/4th Asia Conference on Earthquake Engineering, 2012.

RESEARCH ON SITE PLACEMENT AND EVACUATION SITE ARRIVAL USING TSUNAMI RUN-UP AND EVACUATION SIMULATION

Shin-ya HORIAI, Soichi OZAKI, Shinsuke TAKASE, Masaya KATO,
Yasushi TAKEYAMA and Kazuya NOJIMA

According to the damage estimation of the Chishima-Japan Trench earthquake announced by the Cabinet Office, the scale and damage of the generated tsunami will exceed the Great East Japan Earthquake Tsunami. In areas where disasters are expected, the number of designated evacuation sites that can be used safely will decrease due to the expansion of inundation areas. Especially in the northern Tohoku region, some factors affect the evacuation behavior of residents, such as traffic disturbances due to weather conditions such as snowfall in winter, and there is a possibility that arrival at evacuation facilities will be delayed compared to when a disaster occurs in summer.

In this study, the authors conducted a tsunami run-up evacuation simulation for Hachinohe City, Aomori Prefecture, under the condition of the slowest evacuation behavior, i.e. night time in the snowy winter season, the location of evacuation sites that can be used in the event of a large tsunami warning and the arrival status of residents to the evacuation sites are verified.