

津波データベースを活用した避難支援システムの構築

Construction of Decision Support System for Tsunami Evacuation Based on Tsunami Database

18N3100014J 坂田 祐介 (海岸港湾研究室)
Yusuke SAKATA/ Coastal Engineering Lab.

Key Words : database, tsunami scenario, tsunami arrival time, evacuation

1. はじめに

(1) 背景及び目的

2011年3月11日の東日本大震災以降、想定される最大クラスの津波の高さが増大し、従来のハード面の対策だけでなく、ソフト面の対策がより重要となった。2011年12月には「津波防災地域づくりに関する法律」¹⁾が成立し、最大クラスの津波を対象に「避難する」ことを前提として、ハード・ソフトの施策を組み合わせた津波防災地域づくりが全国において推進されることになった。

津波による人的被害を軽減するためには、住民等一人ひとりの迅速かつ主体的な避難行動が基本となる。有川ら²⁾は復興支援調査アーカイブの個人向けの避難行動調査³⁾から、避難開始が遅れるごとに死亡率が上がることを明らかにした。また、東日本大震災時の地震・津波避難に関する住民アンケート調査⁴⁾から、地震の揺れからすぐに避難を開始した人は多くないと考えられる。しかし、避難開始のタイミングが遅れた避難者に対しての対策は講じられておらず、津波からの避難成功率を上げるためには、避難開始のタイミングが遅れた避難者に対しての避難支援が必要である。

津波避難対策検討ワーキンググループ報告⁵⁾によると、津波到達時間を踏まえ避難支援者の安全を優先した上で避難支援や行動の内容を検討する必要があるとされる。また、東日本大震災時の被災者のほとんどが津波による溺死⁶⁾であったことから、避難支援を行う上で津波到達時間を考慮した津波に遭遇しにくい避難経路の提示が必要であると考えられる。

そこで、本研究では津波データベースより抽出した津波到達時間をもとに、津波遭遇を回避した避難経路提示による避難支援システムの構築を目的とする。

(2) 避難支援システムの概要

本研究では防災科学技術研究所によって構築された津波シナリオバンク⁷⁾を用いて、津波到達時間算出を行う。千葉県九十九里・外房沿岸に津波をもたらす地震を網羅的に想定し、多数の津波シミュレーションを実施して、津波シナリオバンクを構築している。

地震発生後に得られる情報(地震規模・震源位置)を基に該当するシナリオを抽出し、そのうち対象地域への津波到達時間が最も早いシナリオから、予測津波到達時間を算出する。その後、予測津波到達時間と避難者情報から津波に遭遇しない避難経路を推定する。地震発生から避難経路算出までの流れを図-1に示す。

2. 数値シミュレーション

本研究では有川・大家⁸⁾が開発した避難シミュレータに津波データベースを用いた避難経路探索手法を組み込み、避難シミュレーションを行うことで避難経路提示による避難支援の有効性を確認した。

(1) 津波シミュレータ

富田・柿沼⁹⁾により開発された高潮・津波シミュレータSTOC-MLを用いて津波浸水計算を行った。STOC-MLは、津波による流体運動を計算するための、静水圧近似を使用した準三次元モデルである。

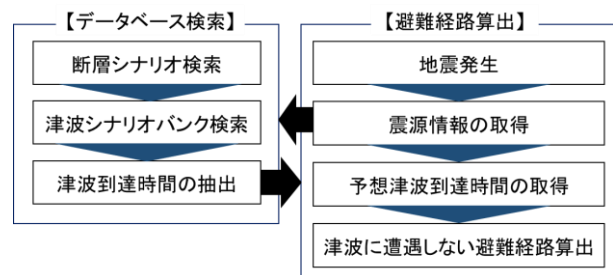


図-1 地震発生から避難経路算出までの流れ

(2) 避難シミュレータ

有川・大家⁸⁾の避難シミュレータは、ポテンシャルモデルを使用し、避難者は地形や障害物を考慮した避難所までの最短距離経路を選択する。また避難速度は、ハイキング関数により経路の勾配を考慮し、また浸水深による避難速度の補正を行っている。浸水深は、STOC-MLにより計算される値を読み込むことにより設定する。STOC-MLと避難モデルを連成し、津波の挙動と避難行動を同時に計算することで、津波規模と避難条件に応じた避難率の定量的な評価を可能としている。

3. 津波データベース検索

非線形現象である津波遡上のシミュレーションを実施するには膨大な計算コストがかかるため、即時予測として計算が間に合わないことが想定される。そのため、本研究ではデータベース検索型の手法を用いた津波到達時間の予測を行った。

(1) 津波データベース

津波シナリオバンクのうち、日本海溝、千島海溝、伊豆・小笠原海溝、南海トラフ（駿河トラフを含む）、相模トラフを震源域とする地震を対象とした様々な種類、様々な規模の地震の波源断層モデルのデータと陸域の津波到達時間の津波計算結果のデータを本研究で使用する津波データベースとした。

(2) データベース検索手法

津波データベースから予測津波到達時間を抽出するアルゴリズムは、地震発生後に気象庁から得られるマグニ

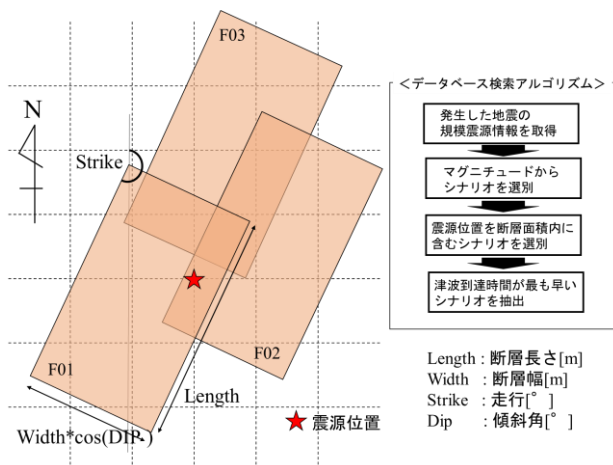


図-2 データベース検索アルゴリズム

チュードと震源位置と津波データベース内の断層モデルの断層面積を比較し、該当するシナリオのうち最も津波到達時間が早いケース算出するものである。各シナリオの断層面積 S は M_0 - S 関係式に基づいて設定した。断層すべり量は地震モーメントと断層面積より算出した。データベースの検索範囲図を図-2に示す。

(1) M_0 - S 関係式

波源断層モデルの設定では、地震規模を特定した上で、その地震規模に基づく断層面積を設定した。地震モーメント M_0 (Nm) と断層面積 S (m^2) の関係式 (M_0 - S 関係式) としては、式(1)に示す。

$$M_0 = \beta \times 10^6 \cdot S^{3/2} \quad (1)$$

式(1)の関係式では、同じ規模の地震に対して、 β が大きくなると断層面積は小さくなり、断層すべり量は式(2)より大きくなる。 μ は剛性率、 $D(m)$ は断層すべり量である。

$$M_0 = \mu DS \quad (2)$$

(2) 断層長さ、幅

断層長さおよび断層幅は、式(1)から求まる断層面積に対して、断層のアスペクト比断層長さ $L(m)$ と断層幅 $W(m)$ の比を20として算出した。また、Strasser et al.¹⁰⁾により提案された断層長さおよび断層幅と M_w との関係式を式(3)、式(4)に示す。

$$\log(L) = -2.477 + 0.585 \times M_w \quad (3)$$

$$\log(W) = -0.882 + 0.351 \times M_w \quad (4)$$

4. 津波遭遇回避経路探索手法

津波データベースより抽出された予測津波到達時間を用いて津波に遭遇しない避難経路の探索手法を構築した。

(1) 既往研究

これまで津波到達時間を考慮した避難経路探索の手法では、平野ら¹¹⁾は各避難所入り口付近での浸水開始時間を算出し、最短経路に基づく避難所への浸水開始前の避難が困難な場合は次の避難所を探索していく手法を提案している。また、北村ら¹²⁾はあらかじめ想定する津波に遭遇する箇所を迂回する経路探索手法を提案している。いずれの手法でも、想定する津波到達時間の算出を既往の複数の波源の重ね合わせから算出しており、発生する津波によっては経路の選択肢を狭める恐れがある。また、

坂田ら¹³⁾はデータベース検索型の津波経路探索手法を提案しているが、各避難所毎の最短経路を算出しており、迂回経路を考慮していない。

(2) 経路探索手法

本手法では、有川・大家⁹⁾のポテンシャル理論に基づいた最短経路探索に予想津波到達時間を反映させ、避難経路中に津波遭遇の可能性のある箇所を回避した経路を探索し、津波に遭遇しない避難経路の中で最も早く避難所に到達する経路を算出する。津波遭遇を回避する避難経路探索手法の流れを図-3に示す。

各避難者は最短経路で避難することを基本とし、経路中の各セルで津波遭遇判定を行う。累積避難時間が予想津波到達時間より長くなる場合は、その避難者の進入不可セルとし、そのセルを回避した経路を探索する。津波遭遇判定を繰り返し行うことで、津波に遭遇しない避難経路を算出することを可能としている。一方で迂回を

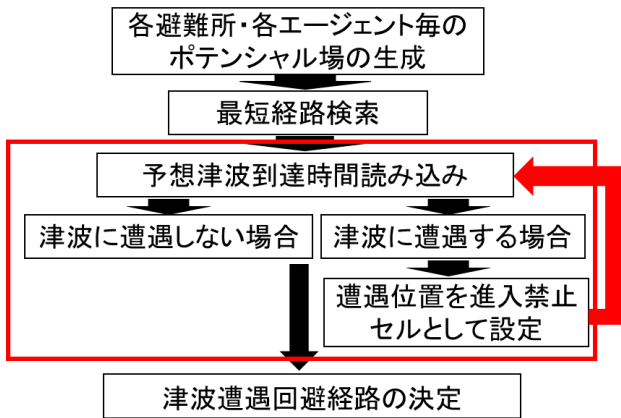


図-3 津波遭遇回避経路探索概要

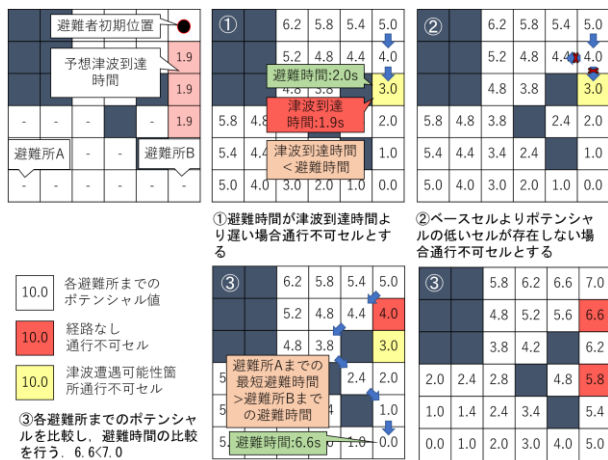


図-4 津波遭遇回避経路探索例

めた避難時間が、ほかの避難場所までの避難時間より長くなる場合、最も早く到達する避難場所までの経路を最短避難経路とする。図-4に経路探索例を示す。

5. 現地適用例

本研究では津波シナリオバンクにおける対象地域としている千葉県九十九里・外房地域のうち、勝浦市を対象とした。

(1) 津波浸水シミュレーション計算条件

実際に発生させた津波波源として、1677年延宝房総沖地震の竹内ら¹⁴⁾のモデルを用いて津波データベース検索及び、死亡判定に用いる浸水計算を行った。初期水位は千葉県の朔望平均満潮位TP+0.70 mとし、格子間隔は2430mから10mまでの5段階のネスティングを行った。

(2) 避難シミュレーション計算条件

本計算における計算条件を表-1に示し、図-5に示す経路上に勝浦市の人口分布をもとに4293人配置した。避難者の初期歩行速度は、1.0m/sに設定した。

今回の検討では、最寄りの避難所に最短経路で避難した場合と4章で記述した坂田ら¹³⁾のモデルで避難した場

表-1 避難シミュレーション計算条件

項目	詳細
避難経路	図-5 赤線参照
避難所	19か所
格子間隔	5.0m
格子数	360×480
タイムステップ間隔	0.1s
計算時間	3600s
避難開始時間	0s~2000s間の200s毎に一斉避難

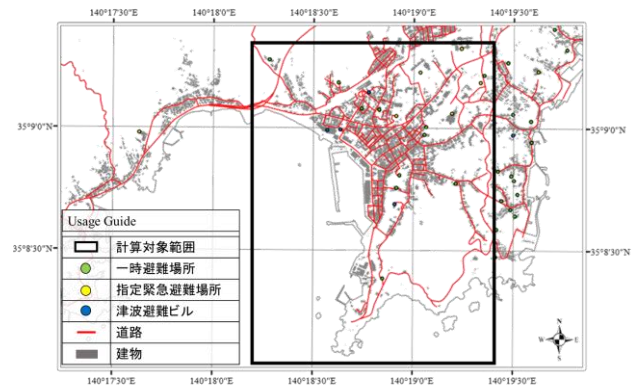


図-5 避難経路及び避難場所

合と本手法で避難した場合を、避難開始時間毎の死亡率の比較で、本手法の有効性の検討を行った。

(3) 計算結果

避難開始時間と死亡率の関係のグラフと、最寄りの避難所に避難した場合と津波に遭遇しない経路で避難した場合の各避難開始時間における死亡率の差を図-6および図-7にそれぞれ示す。本研究で対象とした波源の対象地域の沿岸部への津波到達時間は、地震発生後991秒であった。津波到達時間と比べ避難開始時間が早い場合は、浸水回避経路と最寄り避難所への最短避難経路が一致するため、死亡率の差は小さく、全体の死亡率は低いことがわかる。避難開始時間が遅くなり、津波到達時間前後に避難を開始した場合は、浸水回避経路を選択することで死亡率が下がっており、最大10.9%の死亡率の低減し、津波に遭遇しない経路提示の有効性が示された。

6. まとめ

本研究で得られた結論を以下に列挙する。

- (1) 多数の津波シミュレーションを実施して構築された津波シナリオバンクを活用し、データベースを構築した。予想津波到達時間に基づき、避難行動中の津波の遭遇を回避する経路選択手法を構築した。
- (2) どの避難開始時間においても死亡率の低減が見られ、津波到達時間の前後に避難を開始する避難者に対しては、死亡率が最大7.3%低減し、安全な経路提示による避難誘導の有効性が示された。

参考文献

- 1) 国土交通省都市局: 津波防災まちづくりの計画策定に係る指針, <http://www.mlit.go.jp/common/001000488.pdf>, 参照 2019-04-01.
- 2) 有川太郎, 野地徹, 平野弘晃, 遠藤雅人: 防護施設の津波避難に及ぼす影響に関する考察, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.72, No.2, I_1561-I_1566, 2016.
- 3) 復興支援調査アーカイブ, <http://fukukou.csis.u-tokyo.ac.jp/>, 参照 2018-05-18.
- 4) 内閣府: 東日本大震災時の地震・津波避難に関する住民アンケート調査, pp.20-29, 2012
- 5) 中央防災会議防災対策推進検討会議: 津波避難対策検討ワーキンググループ報告, 平成 24 年 7 月, <http://www.bousai.go.jp/jishin/tsunami/hinan/pdf/report.pdf>, 参照 2019-04-01.
- 6) 警察庁: 警察白書_平成 24 年, 東日本大震災による死者の死因等について, <https://www.npa.go.jp/hakusyo/h24/index.html>, 参照 2019-04-01.

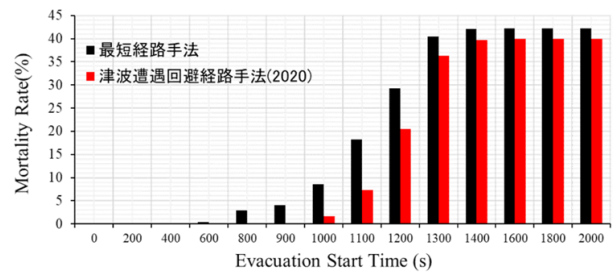


図-6 避難経路別の各避難開始時間の死亡率

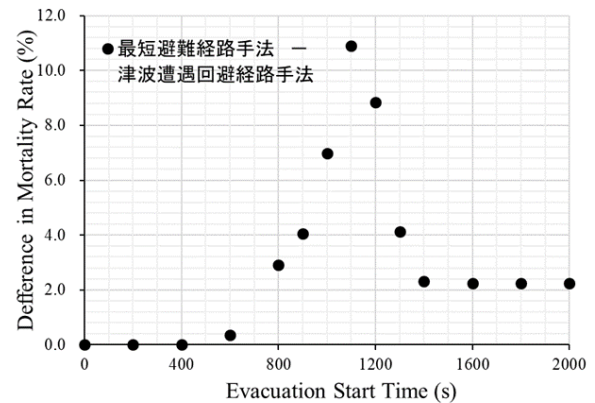


図-7 避難経路手法による死亡率の差

- 7) 近貞直孝, 鈴木亘, 三好崇之, 青井真, 根本信, 大嶋健嗣, 松山尚典, 高山淳平, 井上拓也, 村田泰洋, 佐竹次郎, 阿部雄太, 是永眞理子, 橋本紀彦, 赤木翔: 津波浸水の即時予測を目的とした津波シナリオバンクの構築, 防災科学技術研究所研究資料 第 430 号, 2019 年 3 月
- 8) 有川太郎, 大家隆行: 数値波動水槽と連成した避難シミュレーションによる避難行動特性についての検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.71, No.2, pp. I_319-I_324, 2015.
- 9) 富田孝史, 柿沼太郎: 海水流動の 3 次元性を考慮した高潮・津波数値シミュレータ STOC の開発と津波解析への適用, 港湾空港技術研究所報告, Vol.44, No.2, pp.83-98, 2005.
- 10) Strasser, F. O., M. C. Arango, and J. J. Bommer: Scaling of the Source Dimensions of Interface and Intraslab Subduction-zone Earthquakes with Moment Magnitude, Seis. Res. Lett., Vol.81, No.6, pp.941-950, 2010.
- 11) 平野弘晃, 小柳雄揮, 有川太郎: 異なる規模の津波を用いた避難経路の危険度に応じた経路選択方法の確立, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 73, No.2, I_1501-I_1506, 2017.
- 12) 北村福太郎, 稲津大祐, 池谷毅, 岡安章夫: 津波浸水を考慮した避難経路及び避難所選定ツールの開発, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.74, No.2, pp. I_1501-I_1506, 2018.
- 13) 坂田祐介, 平野弘晃, 有川太郎: 津波レベルに基づいた避難経路選択手法の構築, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 74, No.2, I_397-I_402, 2018.
- 14) 竹内仁, 藤良太郎, 三村信男, 今村文彦, 佐竹健治, 都司嘉宣, 宝地兼次, 松浦健郎: 延宝房総沖地震津波の千葉県沿岸～福島県沿岸での痕跡高調査, 歴史地震, 第 22 号, p.53-59, 2007.