

# 津波レベルに基づいた避難経路選択手法の構築

## Development of evacuation route selection method depending on the level of tsunami

16N3100031B 平野 弘晃 (海岸・港湾研究室)  
Hiroaki HIRANO/ Coastal Engineering Lab.

**Key Words** : evacuation route, tsunami, database, fragility curve

### 1. はじめに

#### (1) 研究背景

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。そのため、国土交通省は津波に強いまちづくりのための方策<sup>1)</sup>を示し、津波による浸水被害が生じる恐れがある地域を中心に、人命を守るための円滑な避難行動を支える基盤を再検証している。津波からの避難を成功するためには、避難時間において津波に遭遇しない避難経路を選択することが重要である。

避難者が避難経路を選択する手段として、避難誘導から得られる情報がある。災害時に避難行動を促す避難誘導の開発では、総務省消防庁が「全国版避難支援アプリ」<sup>2)</sup>の整備の検討を行っており、災害種別に応じて現在地の危険性の判定や避難方向の表示の機能を有している。実用化されている避難誘導アプリケーションでは、NTT レゾナント株式会社の「goo 防災アプリ」が災害時の避難場所の選別機能を有している。

津波避難誘導において津波に遭遇しない誘導方法が重要であるが、現状の多くの避難誘導アプリケーションの機能では、ハザードマップ上の津波浸水域情報や避難所位置情報の提示、避難経路は避難所までの最短経路での提示にとどまり、避難所までの安全な経路の提示はされていない。そういった状況を打破するためには、できる限り精度の高い津波予測、それに基づく避難誘導手法の確立が望ましいと考えられる。

#### (2) 研究目的

本研究では、あらかじめ複数の規模の波源を用いて波源毎に津波浸水計算を行い、計算結果をデータベース化し、津波レベルに応じた津波到達時間の予測を行う。避難開始までの時間と移動時間の和からなる避難時間(以降、避難時間とする)に予測された津波到達時間を反映し、津波遭遇を回避する避難経路の算定することで、事前の浸水範囲予測情報が及ぼす避難行動への効果について検証した。津波到達時間の予測から避難経路選択までの流れを図-1に示す。

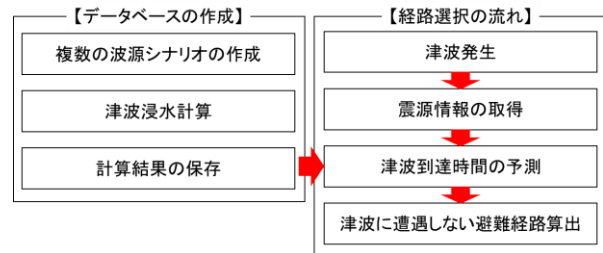


図-1 津波レベルに基づく経路選択手法の概要

### 2. 津波到達時間予測について

日本近海で地震が発生した場合、沿岸部に津波が到達するまでの時間内に高精度の津波浸水計算を行うことは難しい。一方、気象庁の量的津波予測<sup>3)</sup>はあらかじめ日本周辺に断層を設定して数万通りの津波浸水計算を行い、データベース化しておくことで、地震が発生した際にデータベースを検索し、短時間で津波を予測することが可能である。そこで、波源の規模と位置とすべり方向が異なる断層パラメータを用いて津波浸水計算を行い、データベースを構築した。

#### (1) 断層パラメータについて

岩手県大槌町での津波浸水を対象に予想津波到達時間のデータベースを構築するため、津波レベルの異なる矩形断層パラメータを用いた。断層の長さ、幅、すべり量はマグニチュード毎に宇津<sup>4)</sup>の経験式を用いて設定した。式(1)~(3)にマグニチュード関数による経験式を示す。 $L$ は断層の長さ(km)、 $W$ は断層の幅(km)、 $M$ はマグニチュードである。断層の傾斜角とすべり角の設定は最も津波を発生させる、傾斜角45度、すべり角90度とした。走向は、海溝軸の方向を考慮するため、180度~195度の間で設定した。

$$\log L = 0.5M - 1.9 \quad (1)$$

$$L/W = 2 \quad (2)$$

$$\log D = 0.5M - 3.2 \quad (3)$$

#### (2) 津波浸水計算について

本研究では、富田ら<sup>5)</sup>が開発した高潮津波シミュレー

ジョンSTOCのうち、静水圧近似のシミュレータであるSTOC-MLを用いて津波浸水計算を行った。また、津波浸水状況を正確に予測するためには、津波来襲時の防護施設の被災状態を考慮する必要がある。有川ら<sup>9)</sup>は、津波規模と防護施設の被災度の関係を示すフラジリティカーブを用いたモデルを開発し、二次元計算での防護施設の被災の影響を可能とした。本研究の津波浸水計算では、このモデルを用いて防護施設の被災を考慮した津波到達時間の予測を行った。有川ら<sup>9)</sup>はPIANCに示されている東日本大震災に伴う巨大津波来襲により倒壊した第一線防波堤の被害調査結果に基づいてフラジリティカーブを作成していたが、大槌町の防護施設の構造形式は胸壁である。そのため、胸壁の被災率を基に式(4)に示すフラジリティカーブを使用し、上記の断層パラメータを用いて津波浸水計算を行い、計算結果をデータベース化した。ここで、 $F$ は被災率、 $\alpha$ は胸壁高さに対する胸壁前面水位である。

$$F = \begin{cases} 0 & 0.0 < \alpha < 0.8 \\ \frac{1}{2} [1 - \cos\{\pi(2.5\alpha - 2)\}] & 0.8 \leq \alpha < 1.2 \\ 1 & \alpha \geq 1.2 \end{cases} \quad (4)$$

### (3) 不確実性を考慮したデータベース検索について

地震発生から津波到達までに得られる情報として、地震の震源の位置、深さ、マグニチュードがある。本研究では、地震発生後に得られる震源位置とマグニチュードからデータベースの選択し、津波到達時間の予測を行う。しかし、東日本大震災ではマグニチュードの速報値が過小評価になっていたため、速報値の精度を考慮する必要がある。阿部ら<sup>7)</sup>は、量的予測における初期条件が津波高に及ぼす影響について検討を行い、走向のばらつきによる津波高の違いを明らかとした。そこで、走向とマグニチュードのばらつきによる計算値と東日本大震災の実測値との浸水深比較を行った。図-2に東日本大震災の浸水深の計測地点を示す。実測値は復興支援調査アーカイブの中から痕跡根拠が土木学会調査結果と岩手県調査結果のものを引用した。



図-2 大槌町における計測地点

### a) マグニチュードの影響

今回の検討では、震源位置は東日本大震災の震源位置と近く、走向180度、傾斜角45度、すべり角90度とし、マグニチュード8.8から9.2まで0.1ごとに変化させ、断層の大きさとすべり量をマグニチュードに応じて算出し、前述の10地点で実測値との比較を行った。図-3にマグニチュードを変化させた場合の各地点の浸水深と実測値と全地点の平均浸水深を示す。

東日本大震災時(マグニチュード9.0)の実測と比較すると、全地点において本検討のマグニチュード9.0が過大評価となった。そのため、本検討では、得られたマグニチュードの情報と同等のものを検索し、津波到達時間の予測を行うこととする。しかし、東日本大震災時のようにマグニチュードの速報値が過小評価となっていたため、速報値の精度を考慮する必要がある。マグニチュードにある程度ばらつきを持たせるか、阿部ら<sup>7)</sup>が提案している沖合での津波観測情報を利用して予想津波到達時間を修正するなどの対処法を検討する必要がある。

### b) 走向の影響

震源位置は東日本大震災の震源位置と近く、マグニチュード9.0、傾斜角45度、すべり角90度とし、走向を180度から195度まで3度ごとに変化させ、前述の10地点で実測値との比較を行った。図-4に走向を変化させた場合の各地点の浸水深と実測値と全地点の平均浸水深を示す。

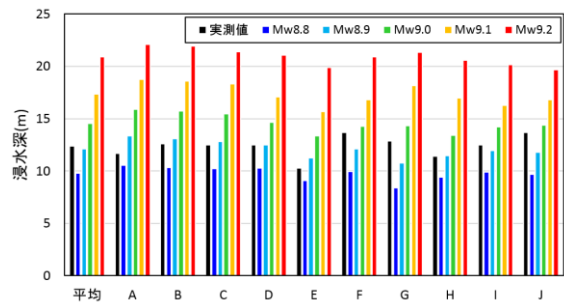


図-3 マグニチュードによる浸水深の違い

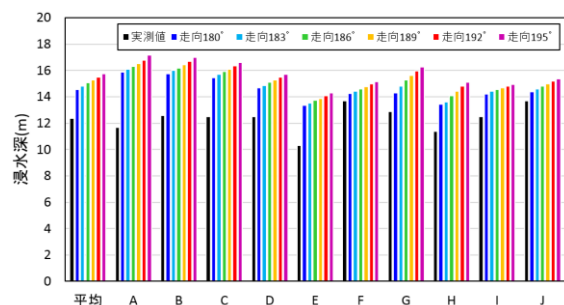


図-4 走向による浸水深の違い

走向を日本列島方向への傾きが大きいほど、浸水深が大きくなり、この結果は阿部ら<sup>7)</sup>が示した結果と同様の傾向となった。津波発生直後で得られる震源情報では走向情報は得ることができないので、津波到達時間の予測では、走向をばらつかせた際に最も被害が大きくなるケースを選択し、予想津波到達時間として算出する。

### 3. 津波レベルに基づいた経路選択手法について

データベースから得られた予想津波到達時間を用いて、避難経路上で津波遭遇判定を行い、津波に遭遇しない避難経路のうち最短となる避難経路を選択する手法を構築した。

図-5に経路選択手法のフロー図を示す。各避難者は避難所に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。避難時間が予想津波到達時間より長くなる場合は、次に避難時間が短い経路を検索し、同様の津波遭遇判定を繰り返し行うことで、避難所毎に津波に遭遇しない最短の避難経路を算出する。これにより、避難者が避難所を指定する場合を除き、その中で最も避難時間が短く津波に遭遇しない避難経路を選択する。

避難時間は、各セルにおいて勾配などの地形や建物などの障害物を考慮した避難所までの最短距離を算出し、初期速度に勾配の影響を考慮することで算出した。

### 4. 現地適用例

東日本大震災を例に岩手県大槌町を対象として本手法の有効性についての検討を行った。

#### (1) データベース検索

気象庁の東日本大震災の震源情報を基に、データベースの検索を行った。波源の不確実性を考慮して表-1に示すデータベースの結果から、解析領域の各セルでの最短津波到達時間を算出し、予想津波到達時間とした。

#### (2) 津波避難シミュレーション

津波レベルに基づいた経路選択手法の有効性を検討

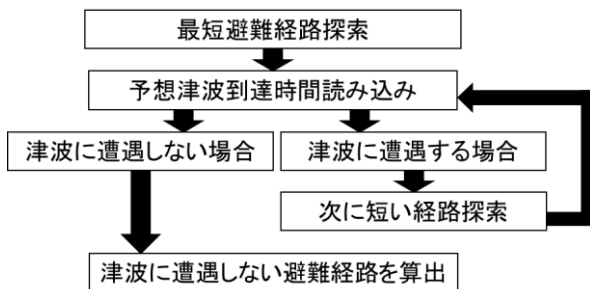


図-5 経路探索計算フロー

表-1 抽出された断層パラメータの詳細

項目	詳細
マグニチュード	Mw9.0
断層大きさ	398.1km×199.1km
断層深さ	20km
走向	195°
傾斜角	45°
すべり量	25.1m

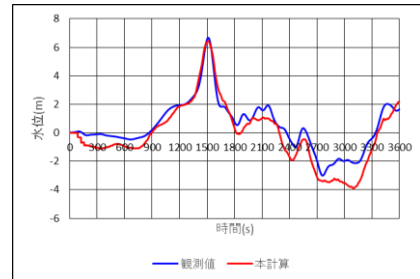


図-6 水位比較

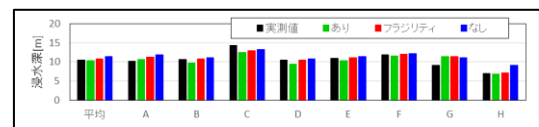


図-7 浸水痕跡深と計算値

するため、有川ら<sup>9)</sup>が開発した津波避難シミュレータに本手法を組み込むことで、津波浸水計算と連成させ、死亡判定を行った。

#### a) 津波浸水計算条件

本計算では、実際に発生させた津波波源として、高川らのモデルを使用し、STOC-MLを用いて津波浸水計算を行った。大槌町での実測値に近づけるため、波源を1.4倍し、フラジリティモデルを適用した。計算領域は、最小の格子サイズを5.0mとした。表-1に各領域の格子サイズと格子数を示す。計算結果として、図-6に示す潮位観測値での最大波高と最大波高の到達時間はおおよそ一致し、図-7に示す浸水域における各地点での最大浸水深も平均値はおおよそ一致したため、東日本大震災時の津波到達時間も一致していると仮定し、避難シミュレーションでの死亡判定に使用した。

#### b) 避難シミュレーションの計算条件

本計算では図-8に示す経路上にランダムに1000人配置した。避難者の初期歩行速度は、1.0 m/sに設定し、避難開始時間は、0s~2000 sの間200 s毎で設定を行った。上記の避難シミュレーションとSTOC-MLでの津波シミュレーションを連成させることで、各条件での死亡率の算出を行った。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津波に遭遇しない経路で避難した場合を、避難開始時間毎の死亡率の変化の検討を行った。



図-8 避難経路及び避難所

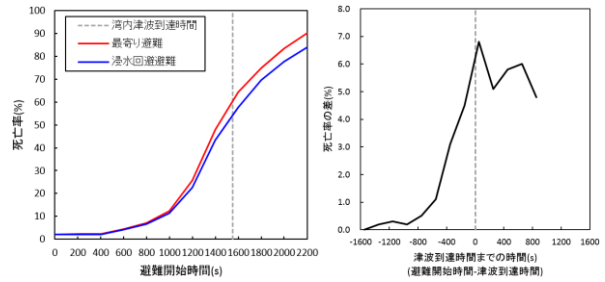


図-9 避難開始時間と死亡率の関係

### c) 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-9にそれぞれ示す。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、図-10に示す避難開始時間1400s時の避難経路選択を見ると、青線の経路が最短経路ではなく、浸水回避経路を選択することで津波遭遇を回避できたことがわかる。どの避難開始時間においても死亡率の低減が見られ、最大6.8%の死亡率の低減し、安全な経路提示による避難誘導の有効性が示された。

一方で、図-10のように津波到達直前に避難を開始した場合は、全ての経路で津波に遭遇する判定が下され、多くの地点で安全な避難経路の提示が不可能であった。その際の避難誘導の方法については今後検討する必要がある。

## 5. まとめ

本研究で得られた結論を以下に列挙する。

- (1) あらかじめ複数の規模の波源を用いて津波浸水計算を行い、計算結果をデータベース化し、津波レベルに応じた津波到達時間の予測を行った。予想到達時間に基づき、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、津波来襲時間の直前に避難を開始する避難者に対しては、最大6.8%の死亡率の低減し、安全な経路提示による避難誘導の有効性が示された。
- (3) 本検討では、人の混雑や地震による道路閉塞等の津波以外の外的要因を考慮していないため、安全な経路を提示する上でより多くの要因を検討する必要がある。



図-10 避難開始時間1400s時の避難経路選択

## 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，URL: <http://www.mlit.go.jp/common/001000488.pdf>
- 2) 総務省消防庁：総務省消防庁：試験版全国版避難支援アプリの機能試験結果報告書の公表，URL: [http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/h28/03/280324\\_houdou\\_1.pdf](http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/h28/03/280324_houdou_1.pdf)
- 3) 気象庁：気象庁の津波の予測手法に関する技術情報
- 4) 宇津徳治：震度-震央距離-マグニチュードの関係その1，1984
- 5) 富田孝史，本田和彦，千田優：高潮津波シミュレータ(STOC)による津波被害解析手法，港湾空港技術研究所報告，vol.055, No.02，pp.3-33，2016。
- 6) 有川太郎，関克己，下迫健一郎，高川智博，千田優：フラジリティカーブによる防護施設の被災状況を考慮した津波浸水計算手法の開発，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.73，No.2，pp.1\_337-I\_342，2017。
- 7) 阿部郁男，今村文彦：地域ごとのリアルタイム津波予測における初期条件の影響評価と設定，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.65，No.1，pp.336-340，2009。
- 8) 阿部郁男，今村文彦：津波浸水予測データベースによるリアルタイム津波浸水予測の精度と評価：土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.66，No.1，pp.261-265，2010
- 9) 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.1\_319-I\_324，2015。