

津波波高の簡易評価式を用いた津波被害人口の評価

Evaluation of Tsunami Disaster Population Using Simplified Equation of Tsunami Height

○藤田 謙一¹, 矢代 晴実²
 Ken-ichi FUJITA¹ and Harumi YASHIRO²

¹ 千代田化工建設(株)

Chiyoda Corporation

² 防衛大学校システム工学群建設環境工学科

Department of Civil and Environmental Engineering, National Defense Academy.

Variance of tsunami disaster population in tsunami evaluation is presented. In evaluating the disaster population, probability function proposed by the author's method is used. Variances of flood flow velocity of tsunami and walking velocity in evacuation are considered in the probability function. In evaluation of the tsunami disaster population, simplified tsunami hazard curve evaluated by using simplified equation of tsunami height proposed in previous study. For several tsunami reaching time, variations in the tsunami disaster population are shown each mesh. In the evaluation of the tsunami disaster population, area-mesh size, population and elevation data of area are used GIS.

Keywords: *Tsunami evacuation, Tsunami damaged population, Tsunami evacuation influence function, Simplified tsunami hazard curve, Area-wide mesh, GIS*

1. はじめに

東日本大震災（2011年3月11日）での津波による甚大な人的被害を受けて、今後の発生が想定されている南海トラフ巨大地震などに対する被害想定¹⁾が公表されている。被害想定においては、数値解析手法により津波解析および被害人口評価を行うことが多い。近年では、地域の津波による危険度の定量的評価に、確率論的津波ハザード解析²⁾を用いる評価が行われている。地域の地震および津波による建築物や人的被害リスク評価において、ハザード解析は欠くことはできない。津波ハザードは評価地点の津波高さ³⁾と超過確率の関係で表される。確率論的津波ハザード解析は、地域の津波ハザードを定量的に評価できる利点がある一方、解析手法は煩雑である。

本研究では、実在の地域をモデルに津波避難における被害人口を評価する。被害人口の評価においては、著者ら³⁾の津波遡上流速と避難歩行速度のばらつきを考慮する。簡易的津波ハザード曲線は、阿部⁴⁾の津波高さ評価式を用いて作成する方法を示す。本手法を用いて、津波到達時間をパラメータとして被害人口を検討する。

2. 津波被害人口の考え方

本研究における津波被害人口は、避難行動において津波に巻き込まれた人口とする。被害人口の評価フローを図-1に示す。被害人口は地域メッシュを用いて評価する。メッシュごとに人口構成、標高、避難に対する意識の人口率、標高、浸水深を設定する。簡易的津波ハザード曲線は、太平洋沖で発生した過去の地震データ⁵⁾および津波高さ評価式⁴⁾を用いて作成する。人口構成および標高はGISデータを用いる。避難メッシュから避難先までの距離は隣り合うメッシュを辿る経路とし、避難距離はこの経路に標高差を含めた距離の1.5倍とする。被害人口は、避難行動時間と津波到達時間の関係から求めた被災確率

に浸水深ごとの被災率⁶⁾を乗じて算出し、さらにメッシュの人口を乗じて求める。地域全体の被害人口は各メッシュの和で求める。

3. 簡易的津波ハザード曲線

簡易的津波ハザード曲線は、地震ハザード曲線の考え方⁷⁾を用いて作成する。ハザードは津波高さ³⁾と超過確率の関係で表す。地震ハザード曲線はハザード評価地点の地表面加速度と超過確率の関係で表され、津波ハザード

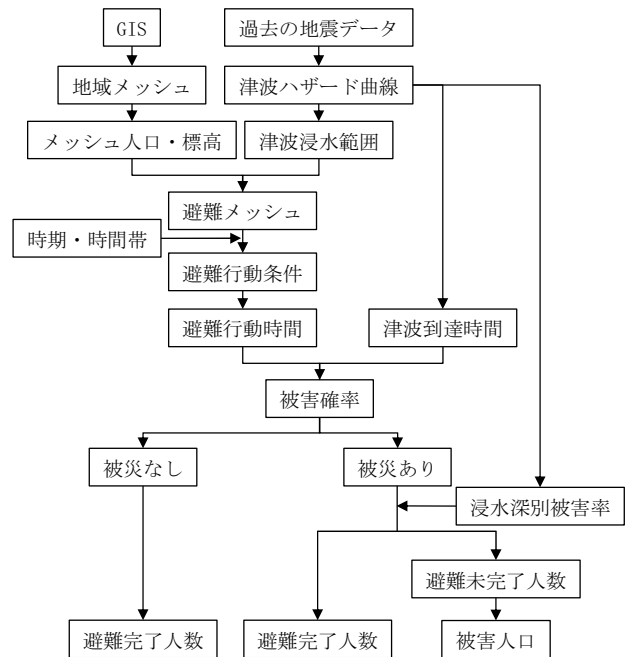


図-1 被害人口の評価フロー

曲線は評価地点の津波高さと超過確率の関係で表される。地震ハザード曲線の作成において、評価地点の地表面加速度は、地震マグニチュードと震源から観測地点までの距離の関数で表される距離減衰式を用いて求められる。津波高さについては、地震加速度と同じく距離減衰による評価式が阿部³⁾により示されている。津波高さの評価式は、地震マグニチュードと震央から観測点までの海洋上の津波伝播最短距離の関数で表される。津波ハザード曲線の作成手順を以下に示す。

- (1) 過去の地震データから、震央、規模、発生時期を収集する。本研究では、気象庁⁵⁾公開の1922年から2016年までに図-2に示す太平洋上の範囲（経度：135°～141°，緯度：32°～35°）で発生した $M_J \geq 6$ のデータを収集した。
- (2) 地震規模の頻度分布を求める。
- (3) 頻度分布より年平均発生個数を求める。
- (4) 各規模を有する地震の単位面積あたりの年平均発生回数を求める。地震統計の領域において、地震の発生は領域内で一様であると仮定する。
- (5) 地震マグニチュードを固定し、評価地点の津波高さ H_t が津波高さ h を超えるための震央と評価点との津波伝播最短距離を次式の津波高さの評価式⁴⁾を用いて求める。

$$\log H_t = M_w - \log \Delta - 5.55 \quad (1)$$
ここに、 H_t は津波高さ(m)、 Δ は津波伝播最短距離(km)、 M_w はモーメントマグニチュードである。また、 M_t と M_w の関係として次式が与えられている。

$$M_w = (M_t - 1.44) / 0.79 \quad (2)$$
- (6) 地震規模ごとに、評価地点の指定した H_t を超えるときの Δ を求める。地震は半径 Δ の円内に発生すると仮定し、この円の領域面積に対する比率（面積比率）を求める。なお円が領域面積を超えるときは面積比率を1とする。
- (7) 地震規模ごとに、評価点で指定した津波高さ h を超える津波高さを与える津波の年平均個数を求める。年平均個数は、(3)で求めた年平均発生個数に(6)で求めた面積比率を乗じて求める。
- (8) 津波ハザード曲線を求める。指定した h を超える津波高さごとに、(7)で求めた地震規模ごとの津波の年平均発生回数の和 $\nu(h)$ をとる。 $\nu(h)$ は年超過確率となり、 h と $\nu(h)$ の関係は津波ハザード曲線となる。

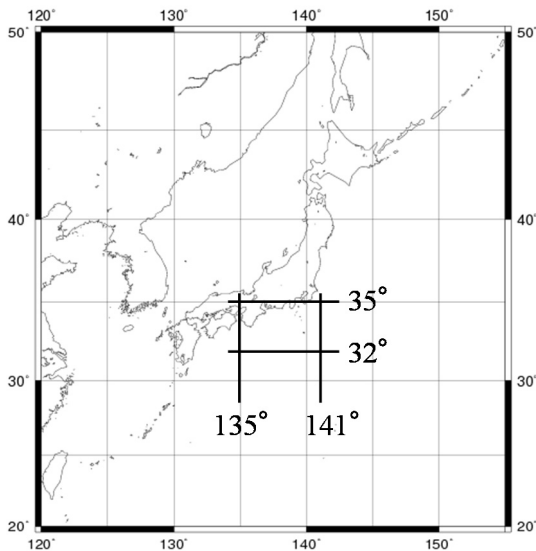


図-2 地震データの収集範囲

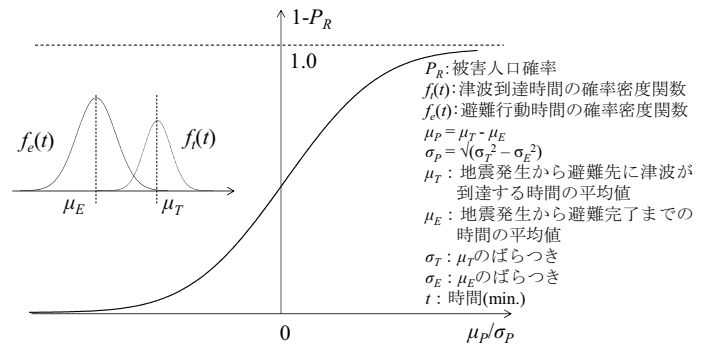


図-3 津波被害人口確率

なお、以上の方法によって求めた地震ハザード曲線は、ポアソン過程に基づき、津波高さ h と津波高さの超過確率 $p(H_t > h)$ の関係として次式で表すことができる。

$$p(H_t > h) = 1 - \exp\{-\nu(h)\} \quad (3)$$

4. 被害人口の評価

津波避難における被害人口は、構造物の信頼性設計⁷⁾における破壊確率の考え方を適用して求める。被害人口確率は図-3に示す確率分布として与えられる。図の横軸は津波到達時間と避難行動時間の時間差の無次元量、縦軸は被害人口確率である。津波到達時間と避難行動時間の両時間のばらつきを考慮した時間差の関数を定義する。なお、両時間は津波遡上流速と歩行速度の関数として表される。津波遡上流速は松富らの評価式⁹⁾を用い、避難時の歩行速度は平時の市街地の実測データ¹⁰⁾を用いる。

5. 被害人口の評価

5.1 評価条件

実在の地域をモデルとして、避難意識の違いおよび津波到達時間をパラメータとして津波避難における被害人口を評価する。地域は逗子市のデータを参考に設定した。本検討では、逗子市の津波被害想定¹¹⁾における想定地震（相模トラフ沿いの海溝型地震（西側モデル）、地震再現期間 2,000 年から 3,000 年もしくはそれ以上、津波高さ 10.4m、津波到達時間 11 分）を基準とし、津波到達時間を 11 分、22 分の 2 ケースとした。図-4 に簡易的津波ハザード曲線を示す。被害想定における津波の年超過確率は 0.0017（582 年に 1 回）であった。地域メッシュは GIS に基づく分割とし、メッシュの大きさは 250m×250m である。人口および標高は GIS データを用い、標高はメッシュの最低標高を用いた。地域メッシュの総人口は 23,361 人である。図-5 に人口分布を示す。図中、●は避難場所、▲は想定津波高さよりも標高が高い高台である。図-6 に津波浸水深を示す。浸水深は、津波高さとの差とした。また、破線は非常時に線路による避難路の分断線を示し、メッシュ間の移動はできないものとした。

人口構成は各メッシュとも中年層とし、歩行速度は実測データ¹⁰⁾の平均値 1.34m/s、標準偏差 0.167m/s とした。津波遡上流速に関しては、津波浸水深を中央値とし、津波痕跡高と津波計算値の適合度を表す相田¹²⁾の幾何標準偏差を用いて標準偏差を設定した。津波到達の時間帯は昼間とし、避難は海岸から遠ざかる方向とした。

避難意識の分類を表-1 に示す。避難意識は意識高い、意識中間および意識低いに分類し、それぞれについて直接避難、用事後避難、切迫避難、避難しないに細分類した。

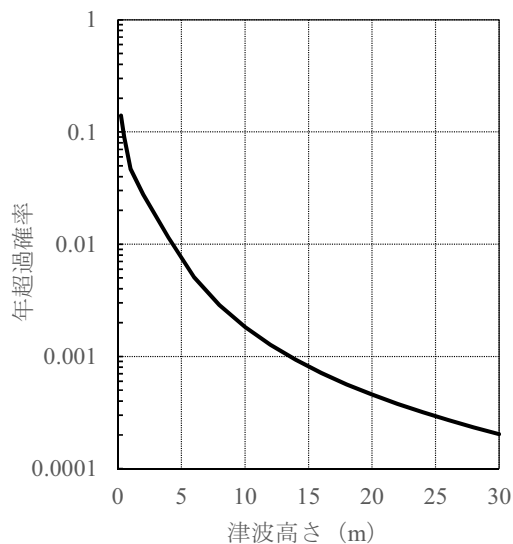


図-4 津波ハザード曲線

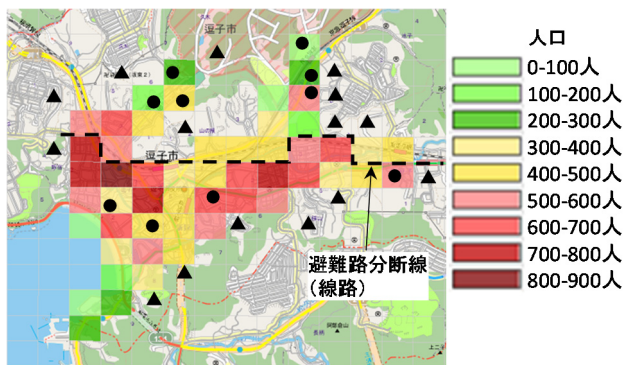


図-5 人口分布

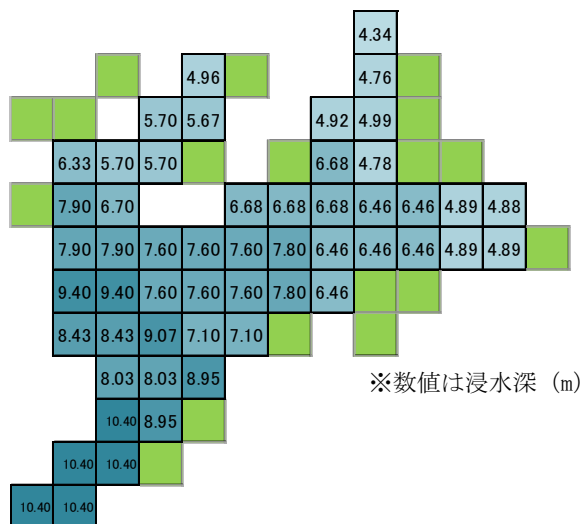


図-6 津波浸水深分布

地震発生から避難開始までの時間は、直接避難で 5 分、用事後避難で 15 分とし、切迫避難ではメッシュに津波が到達した時間とした。

5.2 評価結果

津波到達時間 11 分および 22 分の 2 ケースについて避難意識の違いによる被害人口を評価する。メッシュの被

表-1 津波避難意識の人口割合

避難意識	直接避難 (意識高)	用事後避難 (意識低)	切迫避難 (意識低)	避難しない (意識低)
高	80%	10%	5%	5%
中間	50%	25%	15%	10%
低	15%	35%	30%	20%

表-2 津波避難における被害人口

避難意識	被害人口	
	到達時間11分	到達時間22分
高	4,548人	2,693人
中間	11,239人	6,699人
低	19,062人	12,732人

害人口の分布を図-7、地域の被害人口を表-2 に示す。メッシュにおける被害人口の違いは色分けで表し、被害人口が高いメッシュを赤色、中間を黄色、低いメッシュを白色で表し、同系色で数値が高いほど濃い色とした。

被害人口は、避難意識および津波到達時間に関わらず、海岸に近いと高く、内陸側になると低くなる傾向にある。海岸近くでも避難場所近いメッシュの被害人口は周辺よりも少ない。内陸側において被害人口が高いメッシュがある。避難場所が近くても、避難路が踏切により遮断され、別の場所へ避難しなければならないためである。

避難意識の違いによる被害人口は、意識の違いに関わらず、津波到達時間が短い (11 分) と地域全体で高く、津波到達時間が長い (22 分) 場合の 1.68 倍となった。

津波到達時間の違いによる被害人口は、到達時間に関わらず、避難意識が高いと地域全体で低くなり、意識が低いときの 21~24%に低減する。

6. まとめ

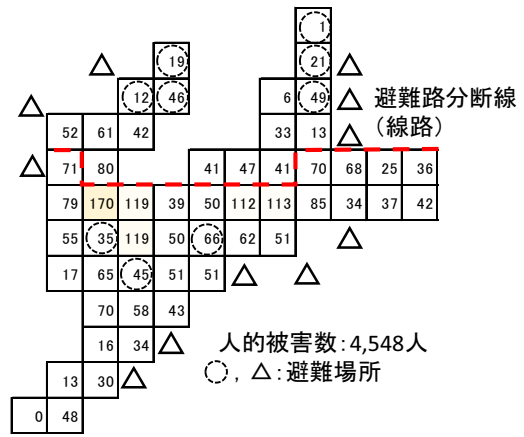
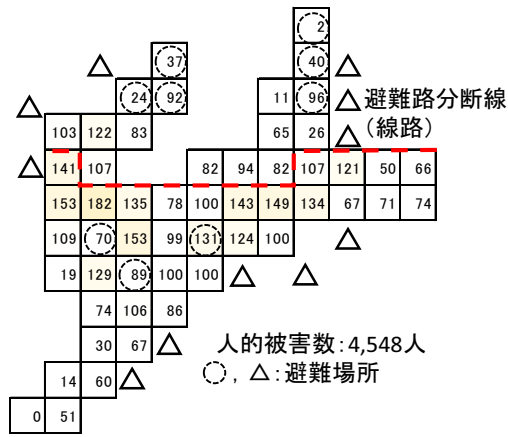
津波避難における被害人口の変化を津波到達時間の違いと避難意識の違いにより評価した。また、簡易的津波ハザード曲線を地震ハザード曲線の作成の考え方をうけて作成した。本研究のまとめを以下に示す。

- 1)津波避難における地域全体の被害人口は、津波の到達時間が短いほど高くなる。
- 2)津波避難に対する意識の向上で、被害人口は意識が低いときの約 21%まで低下する。
- 3)被害人口は避難意識が高いと少ない。避難意識向上といったソフト対策は、被害人口の低下に効果的である。今後は、津波ハザード曲線、津波人的被害脆弱性曲線を用いて、地域の津波による人的被害リスクを構築する予定である。

本研究では簡易的津波ハザード曲線を作成した。しかし、津波高さの評価式には水深が含まれていないことなど、ハザードの精度に関しては問題があり、改善の余地が残った。津波ハザード曲線を精度良く評価するには、確率的津波ハザード解析による評価が懸命であり、今後の地震津波の影響が顕著な地域の津波ハザード曲線の整備が望まれる。

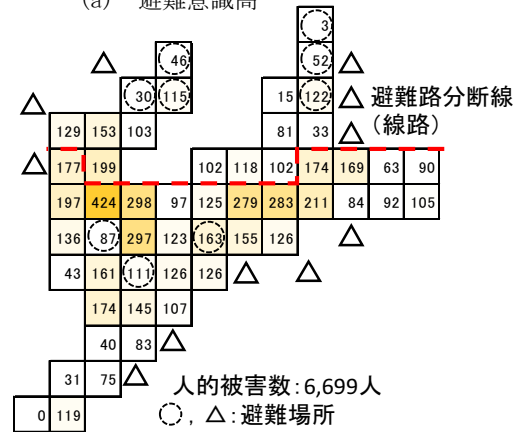
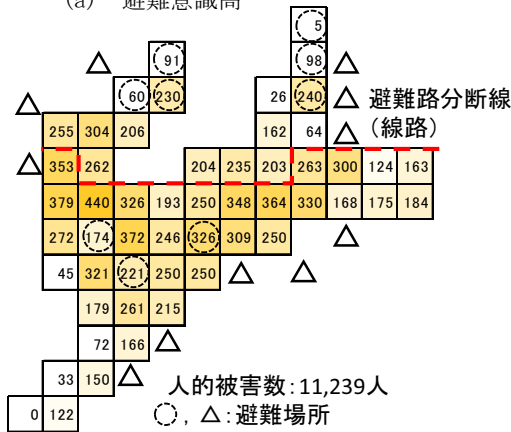
参考文献

- 1)中央防災会議：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告）、2013.3.



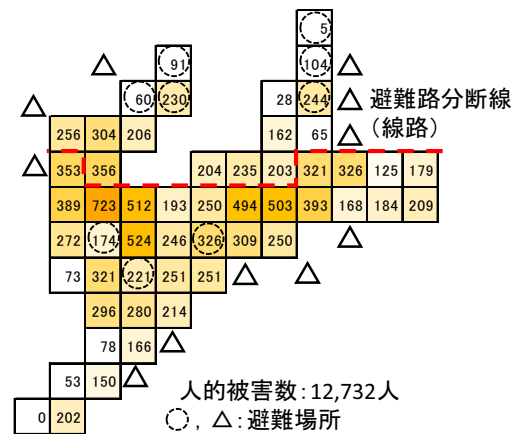
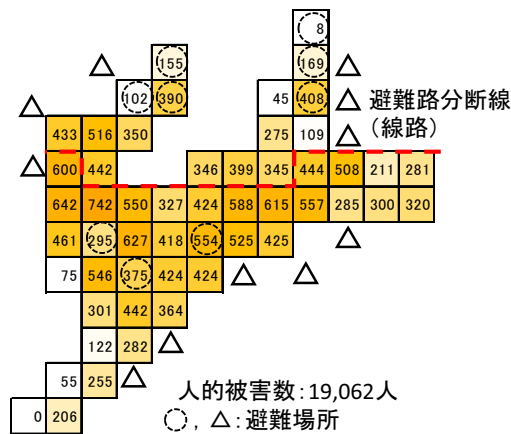
(a) 避難意識高

(a) 避難意識高



(b) 避難意識中間

(b) 避難意識中間



(c) 避難意識低

(c) 避難意識低

(1) 津波到達時間 11 分

(2) 津波到達時間 22 分

図-7 津波被害人口分布

- 2) 土木学会原子力委員会 津波評価委員会：原子力発電所の津波評価技術 2016 原子力土木シリーズ 1, 土木学会, 2016.9.
- 3) 藤田謙一, 矢代晴実：地域メッシュを用いた津波避難施設の設置数と設置場所の検討, 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol.72 No.2, pp.1_151-I_156, 2016.
- 4) 阿部勝征：地震と津波のマグニチュードに基づく津波高の予測, 地震研究所彙報, Vol.64, pp.51-69, 1989
- 5) 気象庁ホームページ：http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php
- 6) 越村俊一, 行谷佑一, 柳沢英明：津波被害関数の構築, 土木学会論文集 B, Vol.65, No.4, pp.320-331, 2009.12

- 7) 日本建築学会編：Excel で学ぶ地震リスク評価, 技報堂出版, 2011.8
- 8) 星谷勝, 石井清：構造物の信頼性設計法, 鹿島出版会, 1986
- 9) 松富英夫, 飯塚秀則：津波の陸上流速とその簡易推定法, 土木学会論文集, 第 45 巻, pp.361-365, 1998.
- 10) 松本直司 他：街路空間特性と歩行速度の関係, 日本建築学会計画系論文集, 第 74 巻, 第 640 号, pp.1371-1377, 2009.
- 11) 逗子市津波ハザードマップ：http://www.city.zushi.kanagawa.jp/syokan/bousai/tsunami.html, 2016.3.
- 12) 相田勇：三陸沖の古い津波のシミュレーション, 東京大学地震研究所彙報, 第 52 冊第 1 号, pp.71-101, 1977