

津波避難リスク評価における津波避難人的影響関数の構築

A Proposal for Tsunami Evacuation Influence Function on Evaluation of Tsunami Evacuation Risk

○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.

Evaluating method of tsunami damaged population using tsunami evaluation influence function proposed in this study is presented. Variability of flood flow velocity and walking velocity is considered in the damaged population. The tsunami influence function is defined as function of tsunami reaching duration to refuge area and evacuation behavior duration. Tsunami influence ratio in evacuation behavior is calculated by tsunami evacuation influence probability. Damaged populations of each area-wide mesh in tsunami evacuation behavior are estimated by using the presentation method in this study.

Keywords :Tsunami evacuation risk, Tsunami evacuation influence function, Tsunami evacuation influence probability, Area-wide mesh, Tsunami damaged population

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、約2万人に上る人的被害を及ぼした。人的被害の90%以上は、地震動ではなくその後の津波によるものであった。

中央防災会議では、東日本大震災の被害を受けて、南海トラフの巨大地震により発生しうる最大クラスの地震・津波を推計し、被害想定^{1),2)}を公表している。

被害想定においては、対象地域での想定地震や想定津波に対して、建物被害および人的被害について定量的評価が行われている¹⁾⁻³⁾。津波被害想定の評価では、地震動強さや津波高さのばらつき、避難者の行動などのばらつきなど、さまざま不確実性があることからフラジリティが用いられている。津波による人的被害のフラジリティは、浸水深との関係で表される⁴⁾⁻⁷⁾。津波による被害人口をフラジリティにより評価する場合、津波避難行動ファクタ（移動開始時間、移動速度および移動距離）の考え方、および地域性（地形、人口構成、避難場所の指定）により想定される被害の規模が異なるため、これらどのように考えるかが重要となる。著者ら⁸⁾は自治体の津波による人的被害手法を整理し、被害評価に用いられている設定条件は多様であることを示した。

津波避難の全体像を定量的に把握するには、局所的な地域を対象とする数値解析的シミュレーションと同時に、地域の特性を考慮することにより広範囲の避難人口を概算できる津波避難リスク評価が今後有用と考えられる。津波避難計画の策定において、地域をメッシュ分割して避難を評価する津波避難リスクを用いることにより、津波避難場所の新規指定による被害低減を図ることが可能となる。また、避難訓練や教育による住民の避難意識向上などの効果を定量的に評価できるといった利点がある。本研究では、津波避難における被害人口の推定におい

て、津波の陸上流速および避難速度のばらつきを基にした評価方法を提案する。津波の陸上流速および避難速度は、それぞれ正規分布に従うと仮定する。津波到達時間および避難行動時間の関数を津波避難人的影響関数と定義する。また、津波避難人的影響関数を用いて算出される津波に巻き込まれる人口割合を津波避難人的影響確率と定義する。地域メッシュを設定し、本手法の考え方を適用して、津波避難における被害人口を推定する。

2. 津波避難における人的影響の考え方

津波避難における人的影響の評価において、避難行動中に津波に巻き込まれる人の割合をどのように考えるかが重要である。

津波に巻き込まれるかは、避難時間と津波到達時間の関係を用いて評価することができる。評価における避難時間の算定には避難者の歩行速度の平均値、津波到達時間は津波シミュレーションの解析値が用いられることが多い。歩行速度は、年齢構成や男女別などの人口構成によりばらつく。歩行速度のばらつきを考慮することにより、津波避難における人的影響の違いが現れると考えられる。さらに、避難意識の違いを歩行速度のばらつきとして表現することができれば、避難行動における人的影響に反映できると考えられる。

このため、本研究では歩行速度のばらつきを考慮し、確率論的手法を用いて、津波避難における被害人口を評価する方法を提案する。

3. 津波避難人的影響関数

津波からの避難行動において、津波に巻き込まれるかは、地震発生から避難開始までの時間の差異（意識の違い）、避難場所までの距離、歩行速度、および津波到達

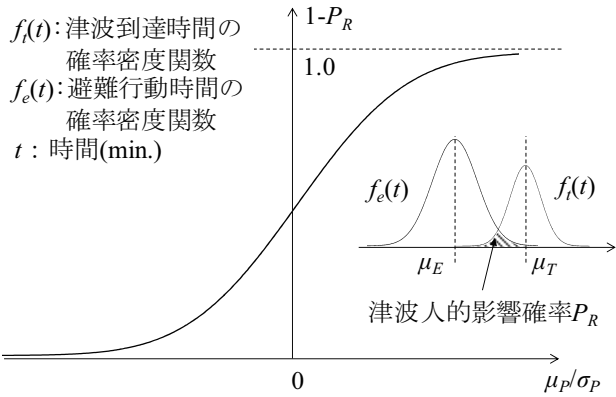


図-1 津波避難人的影響確率

時間などが関係する。

本研究では、津波に巻き込まれる可能性のある人口の割合を津波の陸上流速および避難速度のばらつきを考慮して評価する。津波到達時間と津波避難時間で表される関数を津波避難人的影響関数と定義する。津波到達時間および津波避難時間は、正規分布に従うと仮定する。津波到達時間の評価においては、津波流速のばらつきを考慮し、避難行動時間の評価においては、歩行速度のばらつきを考慮する。

津波に巻き込まれる可能性のある人口の割合は、津波避難人的影響確率を用いて算定する。津波避難人的影響確率は、津波避難人的影響関数を用いて算定される被害人口の発生確率である。津波避難人的影響確率の概念を図-1 に示す。横軸は津波到達時間と津波行動時間の時間差の無次元量、縦軸は津波避難における被害人口の発生確率である。津波避難人的影響確率は、津波到達時間の確率密度関数 $f_t(t)$ 、避難行動時間の確率密度関数 $f_e(t)$ の交わる部分の面積で表される。

津波避難人的影響関数 F_I は、津波到達時間 F_T と避難行動時間 F_E の差の関数と定義し次式で表す。

$$F_I = F_T - F_E \quad (1)$$

F_E は平均値 μ_E 、標準偏差 σ_E の正規確率変数である。 μ_E は地震発生から避難を開始するまでの時間 t_I と避難



図-2 地域メッシュ

先に向かうまで時間 t_W のとの和で表す。

$$\mu_E = t_I + t_W \quad (2)$$

本研究では、(2)式の t_W を正規分布とする。

F_T は平均値 μ_T 、標準偏差 σ_T の正規確率変数として表す。 μ_T は地震発生から海岸線に津波が到達するまでの時間 t_S 、および陸上に遡上した津波が避難先に到達するまでの時間 t_L との和で表す。

$$\mu_T = t_S + t_L \quad (3)$$

t_L は平均値 μ_L 、標準偏差 σ_L の正規確率変数である。また、 t_L の平均値と分散は、津波の陸上流速の平均値 μ_{TV} 、標準偏差 σ_L を用いて算定する。なお、 μ_{TV} の算定には津波陸上流速の算定式⁹⁾を用いる。 σ_L については、津波流速は浸水深と比例関係にあるため、年間潮位の標準偏差を用いて算定する。

津波避難において津波に巻き込まれる可能性のある人口の割合は、次式で定義する津波避難人的影響確率を用いて算定することができる。

$$P_R = 1 - \Phi\left(\frac{\mu_P}{\sigma_P}\right) \quad (4)$$

ここに、 Φ は平均値 0、標準偏差 1 の標準正規分布関数である。また μ_P および σ_P はそれぞれ次式で表される。

$$\mu_P = \mu_T - \mu_E \quad (5)$$

$$\sigma_P = \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_E^2} \quad (6)$$

4. 津波避難における被害人口評価

地域の津波による被害人口は、地域をメッシュ分割し、メッシュごとに津波避難評価で考慮するパラメータを用いて評価する。地域メッシュの概要を図-2 に示す。地域を正方形のメッシュで分割し、メッシュごとに人口構成、人口、津波到達時間、津波浸水深、標高などを設定する。

避難場所までの距離は、避難メッシュ（避難元メッシュ）中心から避難先までの平面距離と標高差を考慮する。

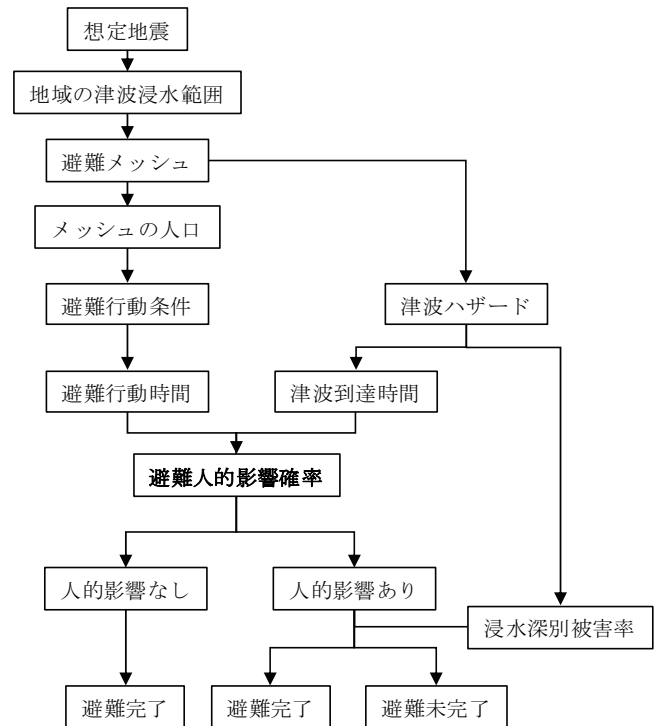


図-3 津波避難における被害人口評価フロー

表-1 メッシュの設定条件

評価条件	メッシュA	メッシュB	メッシュC	メッシュD	避難先
避難先との直線距離(m)	400	632.5	721.1	800	0
避難先との標高差(m)	3	3	3	3	0
評価用避難距離(m)	600.0	948.8	1081.7	1200.0	0
海岸線からの距離(m)	447.2	200	0	200	721.1
津波浸水深(m)	3	3	3	3	0
人口(人)	600	600	600	600	600

表-2 津波避難意識の人口割合

避難意識	避難に対する意識率(%)			
	直接避難 (避難意識高)	用事後避難 (避難意識低)	切迫避難 (避難意識低)	避難しない (避難意識低)
高い	80	10	5	5
普通	50	25	15	10
低い	15	35	30	20

避難距離に関しては、中央防災会議の津波避難に関する考え方と同様に、メッシュ中心間の距離に係数を乗じた距離とする。なお、標高差は避難メッシュ中心の標高と避難先の標高の差とした。

津波避難における被害人口は、メッシュごとに作成する。避難行動の違いを考慮し、(4)式を用いて津波避難人的影響関数を作成する。つぎに、津波避難人的影響確率を算出し浸水深ごとの人的被害関数⁵⁾を乗じて避難行動ごとの被害人口率を算出する。

津波避難に関する被害人口の評価は、図-3 に示すフローとしてまとめることができる。

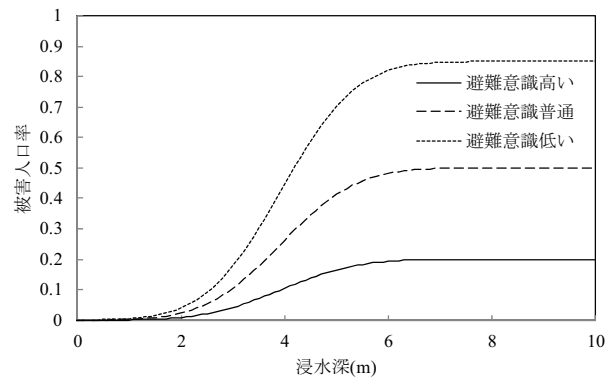
5. 被害人口の算出

本研究で提案した津波人的影響確率を用いて、津波避難における被害人口を評価する。被害人口は、避難意識の違いを設定して評価する。評価においては架空の地域を設定し、4つの避難メッシュから、1つの避難先に避難することを想定した。なお、被害人口の算定においては、避難先の住人は避難しないものと設定した。

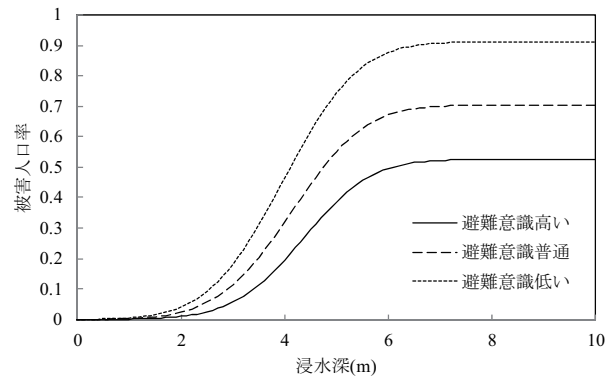
避難メッシュおよび避難先の設定条件を表-1 に示す。メッシュ形状は1辺200mの正方形とし、避難メッシュに関しては、避難先までの距離が異なるように設定した。各メッシュともに、人口は600人、年齢層は中年層(31~60才)が多いとした。浸水深は各メッシュとも3mとし、避難先は浸水しない標高とした。避難先までに要する時間 t_W ((2)式)の算定に用いる避難速度の平均値 μ_W および標準偏差 σ_W は、市街地における歩行実測データ¹⁰⁾を用い、 $\mu_W=1.34\text{m/s}$ 、 $\sigma_W=0.167\text{m/s}$ とした。避難距離は、メッシュ中心間の距離を1.5倍¹⁾した距離とした。

避難意識の違いは、つぎのように区分する。①直接避難(避難意識高)、②用事後避難(避難意識低)、③切迫避難(避難意識低)、④避難しない(避難意識低)。これら①~④の避難意識の比率を設定し、避難意識が高い、普通、低いの3つに分類した。メッシュ人口に対する避難意識の比率を表-2 に示す。

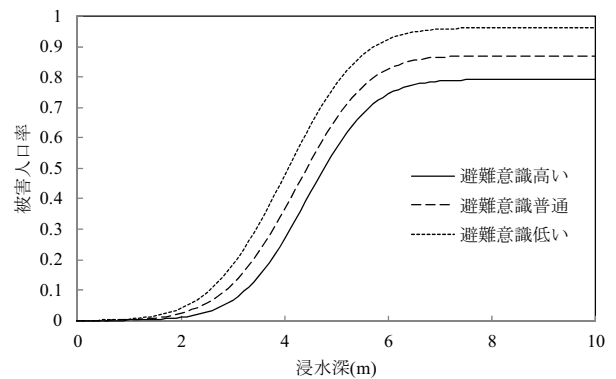
被害人口の算出において、地震は昼間に発生するとした。地震発生直後から避難開始までの時間は、直接避難者は5分、用事後避難者は15分、切迫避難者は避難メッシュに津波が到達した時点とした。津波が海岸線に到達するまでの時間は15分とした。



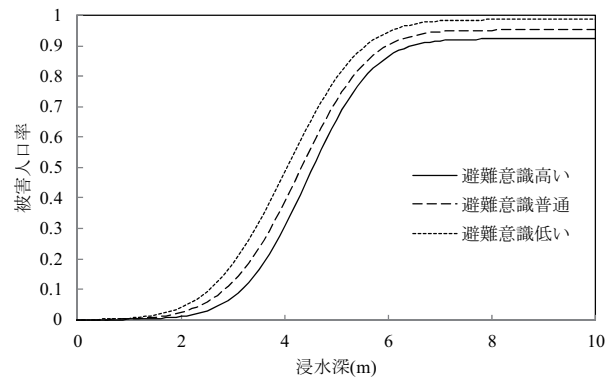
(a) メッシュ A



(b) メッシュ B



(c) メッシュ C



(d) メッシュ D

図-4 避難意識の違いによる被害人口率

本手法を用いて評価した各メッシュの被害人口率を図-4 に示す。避難に対する意識が高いほど、メッシュの被

害人口の割合は低減する傾向を示している。また、避難場所への距離が近いほど被害人口率は全体的に低くなる傾向を示している。このことから、津波避難における被害人口は、本研究で提案する津波避難人的影響関数および津波避難人的影響確率の考え方をを用いて評価できると考えられる。

メッシュの被害人口の割合の低減の程度は、避難場所に近いほど顕著であり、避難意識が低いと距離によらず高い割合を示している。このことから、津波による被害人口の低減に関して、避難意識の向上は有効な手段の一つであると考えられる。しかしながら、避難場所から距離が遠いと、津波の影響を受ける人口割合は総じて高い傾向にあるため、避難場所あるいは避難指定ビルなどを新規指定し、被害低減策を図る必要があると考えられる。

5. 結び

本研究では、津波避難における被害人口の評価として、津波到達時間および避難速度のばらつきを考慮する方法を提案した。津波到達時間と津波避難時間を用いて表す関数を津波避難影響関数と定義した。津波避難人的影響関数を用いて算定される人的影響の発生確率を津波避難人的影響確率を津波からの避難において津波に巻き込まれる人口の割合とし、津波避難影響関数を用いて評価する考え方を示した。また、津波避難における被害人口の評価として、地域メッシュを用いてメッシュごとに被害人口を算定する考え方を示した。

評価例として、津波避難人的影響関数および津波避難人的影響確率の考え方をを用いて、避難意識の違いによる津波被害人口の変化を示した。本手法の結果は、意識が高いほど、避難場所までの距離が近いほど、被害人口率

は低減する傾向を示した。

以上により、本研究の提案する方法を用いて津波避難における被害人口を評価することは、可能であると考えられる。

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（第一次報告），2012.8.
- 2)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.
- 3)中央防災会議：南海トラフ巨大地震対策について（中間報告），2012.7.
- 4)河田恵昭：大規模地震災害による人的被害の予測，自然災害科学，16-1，pp.3-13，1997
- 5)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
- 6)竹内雅彦，越村俊一，目黒公郎：多目的プイを用いたネットワーク型津波警報システムの人的被害軽減効果に関する研究，海岸工学論文集，第 55 巻，pp.1416-1420，2008
- 7)穴戸直哉，宇川弘朗，今村文彦：津波来襲時における住民の避難過程を考慮した人的被害評価手法の検討，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.66，No.1，pp.1311-1315，2010
- 8)藤田謙一，矢代晴実：津波避難リスクの定量的評価における避難行動ファクタの整理，地域安全学会東日本大震災特別論文集，No.2，pp.23-28，2013.9
- 9)松富英夫，飯塚秀則：津波の陸上流速とその簡易推定法，海岸工学論文集，第 45 巻，pp.361-365，1998.
- 10)松本直司，清田真也，伊藤美穂：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.