研究報告 令和3年度 土木分野 No.7

新しい地震津波ハザードマップの開発

Development of a New Earthquake-Tsunami Hazard Map

近畿大学理工学部社会環境工学科 准教授 高畠知行

(研究計画ないし研究手法の概略)

1. 研究背景•目的

津波ハザードマップは、津波による浸水範囲や浸水深を知るのに有用である.一方で、浸水深の大きさは津波のリスクを示す一つの目安とはなるものの、浸水深の大小と被災リスクの大小は密接に結びついてはいない.例えば、津波が来襲する前には多くの場合、地震による被害(建物倒壊とそれによる道路閉塞)が発生するが、現状の津波ハザードマップにはこれらの影響は考慮されていない.そのため、浸水深が小さくとも、道路閉塞が発生し避難経路が使用できなくなる、避難場所が遠くに位置している、といった地域では、被災するリスクは逆に高くなる可能性がある.そこで本研究では、研究代表者がこれまでに開発した「津波避難シミュレーションモデル」を拡張し、地震による建物倒壊およびそれらに伴う道路閉塞の影響を考慮した「地震津波避難シミュレーションモデル」を新たに開発する.これを神奈川県沿岸域に適用し、地震発生から津波来襲までに起こりうる物理事象および避難者の行動を可能な限り考慮した、住民避難シミュレーションを実施する.本研究の目的は、これらの計算結果を用いて、住民が地震津波による被災リスクをより直感的に判断できるような新しいハザードマップを作成し、提案することである.

2. 研究対象地域・想定地震津波

神奈川県の沿岸3都市(鎌倉市,逗子市,藤沢市)を研究対象地域とした.これらの地域はいずれも津波による被害の危険性がある(神奈川県,2015a)とともに,国内でも有数の観光地である.神奈川県(2015b)は、相模トラフ沿いの巨大地震の発生を想定し、地震・津波被害想定を実施している.本研究では、神奈川県が対象としている巨大地震津波シナリオの内、元禄関東地震津波を対象とした.

各地域の元禄関東地震津波による浸水プロセスは、研究代表者がこれまでに開発した非線 形長波方程式に基づく津波浸水解析モデルを用いて算出した(例えば、Takabatake et al. 2019). 地形データ、粗度係数データ、堤防データには、内閣府中央防災会議が提供しているデータ を用いた、解析の結果、元禄関東地震津波が発生した場合には、対象地域に 10 分程度で最 大波が来襲し、迅速な避難を実施する必要性が確かめられた。

3. 地震津波避難シミュレーション

研究代表者はこれまで、マルチエージェントシステムに基づく津波避難シミュレーションモデルを開発してきている(例えば、Takabatake et al. 2017, 2018, 2020). 本研究では、これまでに開発した津波避難シミュレーションモデルを改良し、建物倒壊に伴う道路閉塞の影響を考慮できるようにした.

まず,国勢調査の結果と各市が公表している地元住民の年齢分布,観光客数に関する統計情報を活用し,各対象地域での避難者数を設定した.避難者の内,地域住民は対象地域内に

ある建物から避難を開始すると仮定した.この時,1-3 階建ての建物からは1エージェント (本研究では,地域住民は1世帯ごとにまとまって避難すると仮定した.そのため,1エージェントは1世帯を示す)が,4 階建ての建物からは16エージェント(16世帯)が,5 階建ての建物からは20エージェント(20世帯)が避難を開始すると設定した.観光客は,建物内からではなく,道路上から避難を開始すると仮定した.このように設定した避難者の初期配置と,各対象地域内の避難場所を図1に示す.同図には,津波浸水解析から算出した最大浸水深の空間分布も併せて示している.

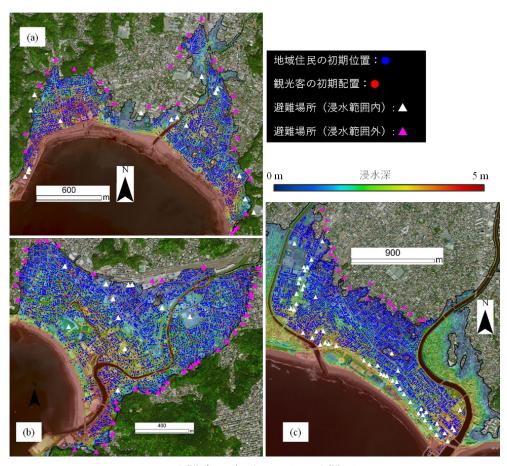


図1 避難者の初期配置と避難場所

元禄関東地震による建物倒壊に伴う道路閉塞を再現する上では、神奈川県が公開している被害想定の結果を用いた。神奈川県(2015b)は、同地震により倒壊すると予想される建物数を、250m メッシュ間隔のデータとして公開している。本研究では、このメッシュデータをArcGIS に読み込み、メッシュ内にある堅牢建物を除いた全ての建物から、予想倒壊数分の建物を無作為に抽出し、倒壊建物と仮定した。その後、建物高さに 0.6 を乗じた距離だけ瓦礫が飛散すると仮定し、瓦礫飛散範囲を算出した(図 2a)。なお、建物高さに乗じた 0.6 は、阪神淡路大震災時の道路閉塞率に関する情報を参考に設定した数値である。算出した瓦礫飛散範囲と、対象地域内の道路 1 本 1 本を目視で比較し、瓦礫が道路を完全に覆っている場合にはその道路は完全閉塞道路、一部を閉塞させている場合には部分閉塞道路と定義した。完全閉塞道路の場合は通行不可とし、部分閉塞道路の場合には移動速度を半減させた上で通行できると仮定した。

分析を容易にするため、地域住民および観光客の避難開始時刻・避難経路の選択はできる

だけ理想に近いものを採用した.避難開始時間は,地域住民の場合,地震による揺れが収まってから(地震発生2分後)から地震発生5分後までに全員が避難すると仮定した.ただし,倒壊建物を避難開始位置とした地域住民は,即死,避難不可(閉じ込め),負傷して避難開始,負傷なしで避難開始,の4ついずれかの状態に分類されるよう設定した.分類する上では,内閣府中央防災会議が地震津波の被害想定に用いているそれぞれの被害発生率を参考にした.観光客は,地震発生2分後に全員が即座に避難を開始すると仮定した.

避難を開始した後は、避難者全員が初期位置から最も近接した避難所に最短経路で移動すると仮定した。最短経路の計算には、Astar アルゴリズムを用いた。ただし、避難中に閉塞している道路(もしくは浸水している道路)に遭遇した場合には、その道路を除いて経路探索を再実施し、改めて最近接の避難場所に最短経路で向かうようモデル化した。また、避難者同士で道路の閉塞状況に関する情報を交換できるようにも設定した。具体的には、閉塞道路に遭遇し、道を引き返してきた避難者が、まだその存在を知らずに閉塞道路の方に向かっている避難者に対して情報を提供できるようモデル化した。

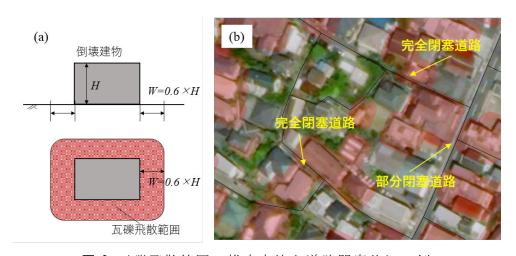


図 2 瓦礫飛散範囲の推定方法と道路閉塞状況の例

避難速度は,道路上の群衆密度を考慮して設定した(図3). 具体的には,自分以外の避難者が前方にほとんど存在しない場合(群衆密度が0.5人/m²以下)には,単独歩行速度を与えた. 単独歩行速度は1.00 m/s を基本としたが,連れ立って避難する避難者の中に,4歳以下の乳幼児,75歳以上の高齢者,

もしくは負傷者がいる場合には,0.50~m/s に設定した(すなわち,その世帯全員が 0.50~m/s で避難すると仮定した). また,群衆密度が $0.5~\text{人/m}^2$ を超えた場合には,避難速度を線形的に減少させるが, $3~\text{人/m}^2$ を超えた場合には 0.20~m/s の一定値になると仮定した.加えて,部分閉塞道路を通行している場合には,避難速度をさらに半減させた.

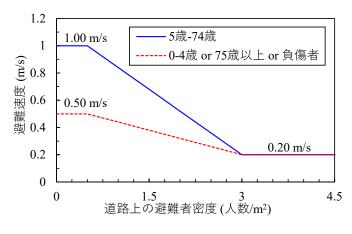


図3 避難速度の定義

道路閉塞状況や避難者の初期配置などの設定に乱数を用いているため、避難シミュレーションは実行ごとに解析結果がわずかに変化する. そこで、各対象地域で同一条件の解析を 30 回実施し、その平均値を解析結果として採用した. なお、解析を 30 回実施すれば、解析結果が概ね収束することは確認済みである.

(実験調査によって得られた新しい知見)

地震津波避難シミュレーションによって算出した各対象地域での被災率の算定結果を**図4**に示す.解析においては、建物倒壊(およびそれに伴う道路閉塞)を考慮しない場合と考慮した場合の両方の条件で実施したため、それぞれの条件での被災率を示している.

鎌倉市では全体の被災率は、24.5%(建物倒壊なし)、49.8%(建物倒壊あり)であり、建物倒壊を考慮することで 103%被災率が増加することがわかった. 逗子市、藤沢市においては、建物倒壊を考慮すると、被災率はそれぞれ 130%、32%増加した. すなわち、被災率の増加は、逗子市、鎌倉市、藤沢市の順に大きいことがわかった. 建物倒壊率、道路閉塞率、そして狭隘道路(幅2m以下とした)の占有率を各対象地域で計算すると、これらも逗子市、鎌倉市、藤沢市の順に大きく、建物倒壊が発生しやすく、かつ狭隘な道路が多い地域では、大規模な地震動の影響で津波被害が拡大する可能性が高いことが確認された. 被災者の属性ごとに被災率を比較すると、藤沢市では大きな違いは見られないが、鎌倉市・逗子市では5

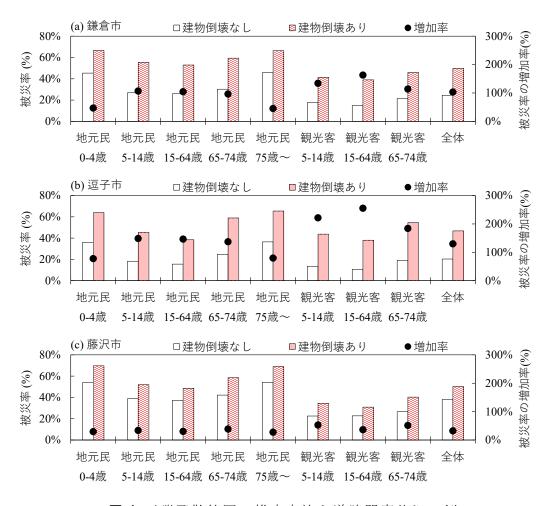


図 4 瓦礫飛散範囲の推定方法と道路閉塞状況の例

歳-74歳の地元民や観光客の被災率の増加がやや大きいことがわかった.5歳-74歳の避難者は、避難速度が速いため、建物倒壊を考慮しなければ津波に巻き込まれることはないが、建物倒壊を考慮した場合には、道路閉塞の影響で津波来襲までに避難が完了できなくなるためである.このことは、建物倒壊が発生した場合には、いわゆる災害弱者だけでなく、迅速な避難が可能な避難者であっても、津波の被害を受ける可能性があることを示唆している.

図5に解析により算出した最大浸水深の空間分布と、被災率の空間分布を示す。被災率は、各メッシュ (50 m×50 m) から避難を開始した避難者の総数を分母に、この避難者の内、津波に被災した避難者数を分子に取ることで算出した。建物倒壊を考慮した場合、考慮しない場合と比較して被災率がゼロ以上となる地域が広がり、かつ被災率が高い地域も広がることがわかった。また、最大浸水深の空間分布と被災率が高くなる地点は、密接には結びついて

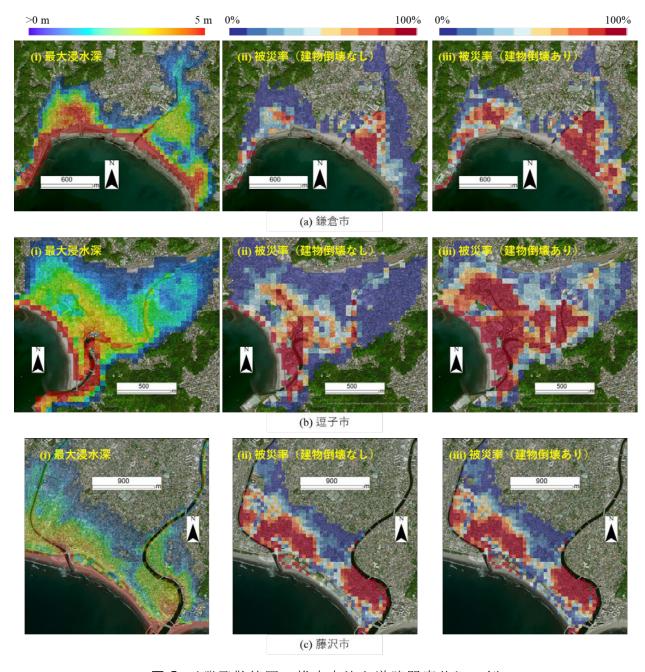


図 5 瓦礫飛散範囲の推定方法と道路閉塞状況の例

いないことが確認できる.特に,建物倒壊を考慮した場合,浸水深が小さい地点でも被災率が比較的高い地域も見られる.すなわち,津波による最大浸水深の空間分布を示す通常の津波ハザードマップは,津波の被災リスクを十分には示せていないことが確認できた.これと比較し,本研究で作成した被災率を可視化したマップ(図5の右の列)は,地震津波によるリスクを小領域ごとにより明確に示せていると考える.このようなマップを新しい地震津波ハザードマップとして地域に提案することで,住民の防災意識の向上や,災害に強いまちをつくるための将来的な土地利用の改善に繋げられると期待できる.

(参考論文)

Takabatake, T., St-Germain, P., Nistor, I., Stolle, J., & Shibayama, T. (2019): Numerical Modelling of Coastal Inundation from Cascadia Subduction Zone Tsunamis and Implications for Coastal Communities on Western Vancouver Island, Canada., *Natural Hazards*, 98(1), 267–291.

Takabatake, T., Shibayama, T., Esteban, M., Ishii, H., & Hamano, G. (2017): Simulated Tsunami Evacuation Behavior of Local Residents and Visitors in Kamakura, Japan., *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 23, 1–14.

Takabatake, T., Shibayama, T., Esteban, M., & Ishii, H. (2018): Advanced Casualty Estimation Based on Tsunami Evacuation Intended Behavior: Case Study at Yuigahama Beach, Kamakura, Japan., *Natural Hazards*, 92(3), 1763–1788.

Takabatake, T., Esteban, M., Nistor, I., Shibayama, T., & Nishizaki, S. (2020): Effectiveness of Hard and Soft Tsunami Countermeasures on Loss of Life under Different Population Scenarios., *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 45, 101491.

神奈川県 (2015a): 津波浸水想定について(平成 27 年 3 月), https://www.pref.kanagawa.jp/docs/f4i/cnt/f532320/index.html, 2022年4月22日閲覧.

神奈川県 (2015b): 地震被害想定調査, https://www.pref.kanagawa.jp/docs/j8g/cnt/f5151/p15579.html, 2022 年 4 月 22 日閲覧.

(発表論文)

Takabatake, T. Han, D. C., Esteban, M., and Shibayama, T. (2021) "Influence of Road Blockage on Tsunami Evacuation: A Comparative Study of Three Different Coastal Cities in Japan.", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 68: 102684.

Han, D. C., Takabatake, T., Esteban, M., and Shibayama, T. (2021) "An Integrated Simulation for Estimation of Casualties from Earthquake and Associated Tsunami.", 30th International Tsunami Symposium, Sendai, Japan.

高畠知行・Han Dawn Han・Esteban Miguel・柴山知也(2022)"道路閉塞が津波避難に及ぼす影響の分析 -鎌倉市・逗子市・藤沢市を対象として-"第69回海岸工学講演会(採択決定).