

津波に対する災害リスク分析と地域の実情を踏まえた防災目標の設定に関する研究

山崎 明日香¹・佐藤 慎司²・山中 悠資³

¹学生非会員 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 (〒113-8654 東京都文京区本郷7-3-1)

E-mail:yamazaki@coastal.t.u-tokyo.ac.jp

²正会員 東京大学教授 大学院工学系研究科社会基盤学専攻 (〒113-8654 東京都文京区本郷7-3-1)

E-mail: sato@coastal.t.u-tokyo.ac.jp

³学生会員 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 (〒113-8654 東京都文京区本郷7-3-1)

日本学術振興会特別研究員(DC)

E-mail:yamanaka@coastal.t.u-tokyo.ac.jp

東日本大震災以降、津波防災対策が見直され、L1・L2津波設定による防災計画が進められているものの、現時点での防災施設の整備状況や、防災目標の達成に対する実現性は地域によって大きく差がある。実現可能な防災目標の策定のためには、防災施設の整備状況など地域の実情を踏まえた上で、地域が抱える災害リスクを評価するとともに、堤防などのハード整備によって低減可能なリスクと、それだけでは排除できないリスクを評価することが重要であると考えられる。

本研究では、東海・南海地震において大きな津波被害を受けることが想定されている静岡県伊豆市土肥地区と和歌山県日高郡印南町を対象とし、規模の異なる津波による被害分析を堤防などの条件を変化させながら実施することで、二地区における津波災害リスクの分析を行った。

Key Words : tsunami, risk analysis, disaster mitigation

1. はじめに

(1) 背景

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震津波は、沿岸域の海岸堤防を含む多くの構造物を破壊し、内陸に甚大な被害を及ぼし、海岸堤防などによるハード対策のみで津波被害を防ぐことには限界があることが明らかになった。それを踏まえて津波防災対策が見直され、中央防災会議においては、百年程度の周期で発生する津波(L1津波)に対してはハード対策を実施することによってそれによる被害を防ぎ、L1津波の規模を超える津波に対しては、ハード対策だけではなく堤防背後域の都市計画や住民の避難行動を組み合わせた総合的な津波防災計画によってその被害を低減させる考え方が提案された¹⁾。その考え方にに基づき、各自治体では被害想定の見直しや、必要堤防高の再検討などが進められている。一方で、十分な津波防災効果を持つ堤防を整備するためには、来襲する津波の高さに応じて堤防高を設定する必要があるが、その整備の際には地域住民との合意形成が不可欠である。しかしながら、一般的に必要な堤防高の増大は周辺地域の

環境や景観の保護とトレードオフの関係にあり、例えば南海トラフ巨大地震による津波被害が想定されている地域では、堤防高のかさ上げが急務とされている地域が多数存在するが、地域住民との合意形成が難航している地域も存在する。

このような背景を踏まえ、各地域のハード整備をスムーズに実施するためには、ハード整備の津波防災効果とその限界を明示する必要がある。その手法の一つとして、堤防背後域の津波被害のリスクを定量的に評価することが考えられる。ハード整備によって低減可能なリスクと、それだけでは排除できないリスクを評価することにより、その効果と限界を明示することができる。さらに、このような災害リスクの評価は、地域ごとの防災目標の設定や、現実的な防災対策に関する合意形成のための判断材料としても有用であり、津波災害のリスク評価に関する知見を蓄積することが重要であると考えられる。

(2) 研究の目的

水害のリスク分析としては、河川氾濫を対象として多くの研究がなされている一方で²⁾、低頻度災害である津

波災害のリスク評価については実施例が少ない。

津波災害のリスク評価に関する研究としては、藤間・樋渡(2013)が提唱した、地震の発生確率を考慮した津波防災施設の効果と残余のリスクを明示する手法がある³⁾。藤間・樋渡(2013)は異なる堤防高を整備した場合にその背後域で生じる津波被害額を津波規模及びその発生確率を考慮して算出し、堤防高の違いによる被害低減効果を定量的に示した。この手法による被害評価の分析を各地域に適用することにより、個別の地域が抱える津波災害のリスクを定量化し、堤防などのハード整備によるリスク低減の効果を算出することができる。また藤間・樋渡(2013)は静岡県伊豆市土肥地区を対象としたが、本研究では土肥地区に加えて、来襲津波の規模や避難猶予時間などが異なり、さらに堤防などの海岸防護施設の整備水準に違いが見られる和歌山県日高郡印南町の二つの地区を取り上げ、それぞれの地域における被害分析を実施し、二地区の比較を行いながら、津波被害リスクが様々な影響因子に対応してどのように変化するかを分析することを研究の目的とする。

2. 対象地域の概要

(1) 静岡県伊豆市土肥地区

土肥地区の津波災害の歴史としては、1854年の安政東海地震において、死者13名、潰家38軒の被害が出たことが記録されている⁴⁾。安政東海地震以降は、津波による大きな被害は確認されていない。また地区南部の屋形海岸(図-2)では、1970年にTP.6.0mの防潮堤が計画されたが、景観保全や海岸の海水浴場としての利用から建設が見送られ、TP.3.5mの暫定天端高で1972年までに整備された。現在、南部の屋形地区でTP.3.5m、北部の大藪地区でTP.5.5mの堤防が設置されている。

一方、2013年に静岡県が公表した被害想定では、土肥地区でのL1津波高さは6.9m、L2津波高さは10mとされており⁵⁾、同地区ではL1津波の規模に対してでさえも、必要堤防高を満足していない状況である。また震源域の一部である駿河湾に面しているため、第一波目の津波は数分で来襲すると予測されている。

(2) 和歌山県日高郡印南町

印南町では過去に幾度も津波の被害を受けており、1707年の宝永津波では175名が亡くなった。1854年の安政南海地震では津波が来襲したものの人的被害は生じなかったが、1946年に発生した昭和南海地震津波では、死者17名、家屋半壊・全壊52戸の被害が生じた⁶⁾。この津波被害を受け、翌年1947年から、海岸沿いを走る国道42号線が防潮堤の役割も兼ねて整備された⁷⁾。現在、国道

42号線上の標高はT.P.6m程度である(図-4)。

一方、2013年に和歌山県が公表した被害想定によれば、印南町におけるL2津波高さは15mである。L1津波の高さは明示されていないが、約100年周期で発生する頻度の高い津波として東海・東南海・南海3連動地震を想定しており、この地震による最大津波高は7mとされている⁸⁾。したがって、土肥地区と同様にL1津波の規模に対してでさえも、堤防高が不足しているが、同地域では地震発生から津波来襲まで十数分の猶予時間があると予測されている。



図-1 土肥地区の位置 (google mapを基に作成)



図-2 土肥地区屋形海岸 (2014.11筆者撮影)



図-3 印南地区の位置 (google mapを基に作成)



図-4 印南地区国道42号線 (2014.11筆者撮影)

3. 津波シミュレーションによる建物被害戸数の算定

(1) 津波シミュレーションの概要

基礎方程式には非線形長波方程式を適用し、異なる地形解像度の計算領域を同時に解く双方向ネスティング手法を用いて、津波の氾濫を含む沿岸域の津波の挙動を詳細に分析した。計算条件について表-1に示す。計算地形は5種類の解像度で作成し、4段階のネスティングを行った。また各解析ケースにおける時間間隔は一定である。本研究では仮想的に堤防設置やその高さの増減を行うが、地盤標高を堤防高さと同水準に設定することによりそれを表現し、堤防は非破壊条件を適用した。

(2) 津波初期波源の設定

基本ケースとして、土肥地区に対しては安政東海津波断層モデル（石橋モデル, 1981, Mw8.4）⁹⁾と南海トラフ巨大地震津波断層モデル（内閣府モデル, 2012）を、印南地区に対しては宝永東海南海津波断層モデル（相田モデル, 1981, Mw8.7）¹⁰⁾と南海トラフ巨大地震津波断層モデルを適用した。南海トラフ巨大地震モデルについては、大すべり量の設定位置の違いにより12ケースのシナリオが提案されているが、最も被害が大きくなるケース6とケース3をそれぞれの地区で選定した。

次に、安政東海モデルと宝永東海南海モデルにスケールリング則¹¹⁾を適用して、地震の規模や断層の形状を変化させた断層モデルを作成した。そのうち、断層の幅、長さ、滑り量を変化させたものをケース1、断層の幅と滑り量を変化させたものをケース2として、基本ケースと合わせてMw7.4, 7.7, 8.0, 8.4, 8.7, 9.0の6つの断層モデルを作成し、津波シミュレーションを実施した。

(3) 建物被害戸数の算出

本研究では津波被害を表す指標として建物被害戸数を適用する。まずGISを用いて津波氾濫域の地形をゼンリンのZmap-town II と重ね合わせ、建物毎の浸水深を決定した。次に中央防災会議（2006）の建物被害基準を基に、浸水深1.0m以上で半壊、浸水深2.0m以上で全壊とし、半壊の場合は0.5戸、全壊の場合は1戸として建物被害戸数を算出した。

4. シミュレーション結果の分析

(1) 現況における津波災害のリスク評価

現況の2地区を対象に、津波シミュレーションを行った結果を示す。津波による建物被害戸数は図-5,6のようになった。計算領域に含まれる全建物戸数は、土肥地区

表-1 計算条件

| | 土肥地区 | 印南地区 |
|---------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| 計算領域 | 1134×1377kmから 5.4×6.3km | 1215×1458kmから 9.8×11.4km |
| 計算時間 | 地震発生から90分間 | |
| 計算格子 | 陸から沖に向かい10m, 30m, 90m, 270m, 810m | |
| 陸域地形データ | 国土地理院基盤地図情報数値標高モデル | |
| 海域地形データ | 海底地形デジタルM7000シリーズ GEBCO | |
| 粗度係数 | 水域：n=0.025, 陸域：n=0.030 (m ^{-1/3} ・s) | |

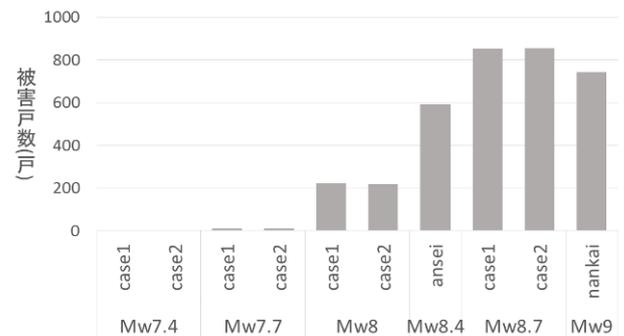


図-5 土肥地区での建物被害戸数 (現況)

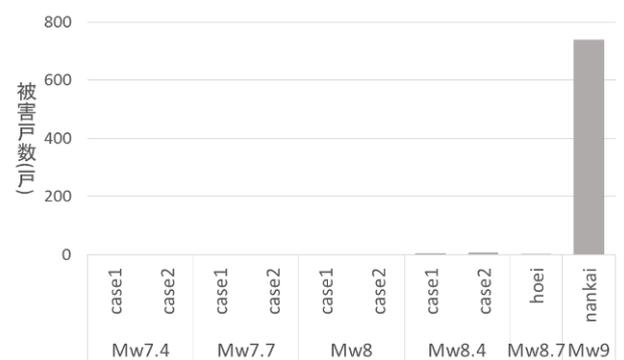


図-6 印南地区での建物被害戸数 (現況)

で1139戸、印南地区で1130戸である。また、建物毎の浸水深を全ケース合わせて表-2,3に示す。

土肥地区では、Mw8.0の津波から段階的に被害戸数が増えているのに対し、印南地区においては、Mw9.0の津波において急激に被害が増加している。これは堤防高と同程度までの高さの津波であれば堤防により被害を抑えることができるが、それを越えた津波高の場合、被害が急激に大きくなることを示している。その結果、図-6に示したように、被害額の変化が不連続的になる。

また図-5を見ると、スケールリング則を用いて震源モデルを作成したMw8.7のケースでの被害が、Mw9.0の内閣府モデルによる被害よりも大きくなっている。Mwが大きい場合、単純にスケールリング則を適用すると被害を過大評価してしまう可能性があり、断層パラメーターの設定についてはより詳細な検討が必要と言える。

また、スケールリング則を用いた断層パラメーターの設定に関して、ケース1とケース2では浸水深、建物被害

戸数ともに大きな差は見られなかった。以後、わずかではあるが被害戸数が大きいケース1の震源モデルを使用して津波シミュレーションを行うこととした。

(2) 堤防の有無による建物被害戸数の変化

次に、堤防の整備による被害軽減の効果を分析する。土肥地区については、2013年時点で必要堤防高とされているTP.7.0mの堤防¹³⁾を配置した地形データを作成し(図-7)、印南地区については、国道のかさ上げがなされなかったと仮定した場合の地形データを作成し、前節と同様の津波シミュレーションを実施した。印南地区においては国道整備以前の標高データが得られなかったため、連続的な地形になるよう留意し、現状の堤防高さを一定水準の高さに減少させた(図-8)。

それぞれの地区での建物被害戸数の変化を図-9, 10に、建物毎の浸水深を表-2, 3に示す。土肥地区ではMw8.4規模の津波まで、印南地区ではMw8.7規模の津波までは、堤防の整備によって建物被害戸数を大きく減少させる効果があることが分かる。一方で、それを超える規模の津波に対しては、堤防による被害の軽減効果は小さい。これらの結果から、堤防による防災の効果とその限界、さらに、地域ごとに堤防の防災効果が限界となる津波規模が示された。

(3) 既存建物の活用による建物被害戸数の変化

前節において、堤防整備の効果と限界を明示することを試みたが、土肥地区においては、現在堤防の建設についての合意形成がなされていないことや、堤防を整備したとしても津波の到達時間が早く、避難のための時間を確保できないことなどから、堤防の整備だけでなく、既存建物の活用や津波避難ビルの設置など、他の対策と合わせて取り組むことが現実的であると考えられる。その際には、本研究で用いたようなスキームによって、堤防の整備と同様に、他の対策についてもその効果を評価できると考えられる。

本研究では、既存の建物を補強した場合に、津波被害戸数の軽減効果が見られるかどうかを分析した。海岸線沿いの建物を浸水しても壊れないように補強したと仮定して地形データに反映させ、同様に津波シミュレーションを実施した。結果を図-11、表-2に示す。

補強した建物の背後では、現況での浸水深と比べて1m程の低減が見られる地点もあり、ある程度の被害戸数を減少させる効果が見られたものの、堤防に比べるとその低減効果は小さく、また津波の規模が大きくなる程その効果は小さくなっている。また津波が到達するまでの時間には現状と差が見られなかった。



図-7 土肥地区に堤防を配置した位置 (google map(に加筆))

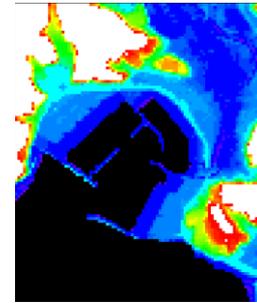


図-8 印南地区の現況地形データ

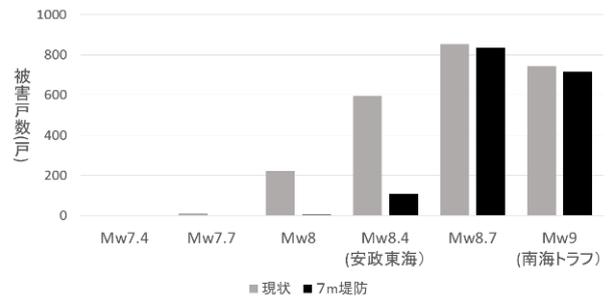


図-9 土肥地区での堤防の有無による建物被害戸数の変化

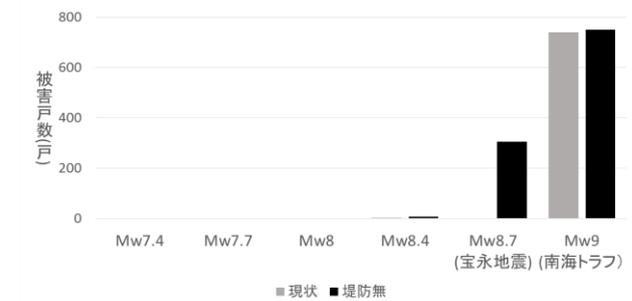


図-10 印南地区での堤防の有無による建物被害戸数の変化

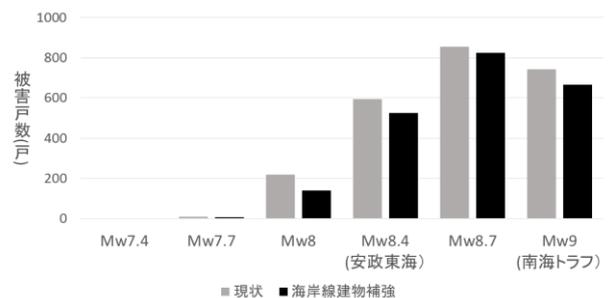


図-11 土肥地区で海岸沿いの建物を補強した場合の建物被害戸数の変化

表-2 土肥地区における建物毎の浸水深図

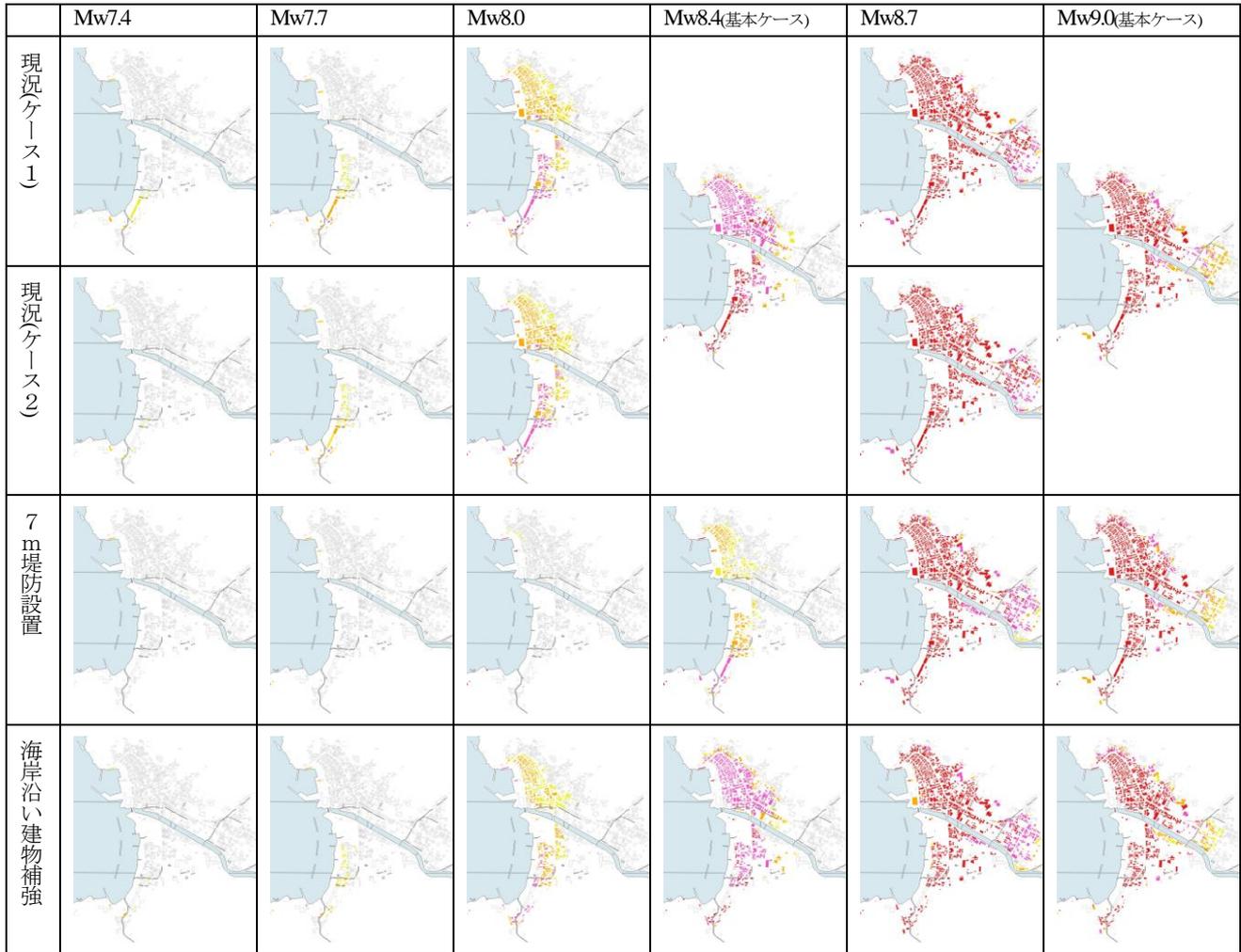
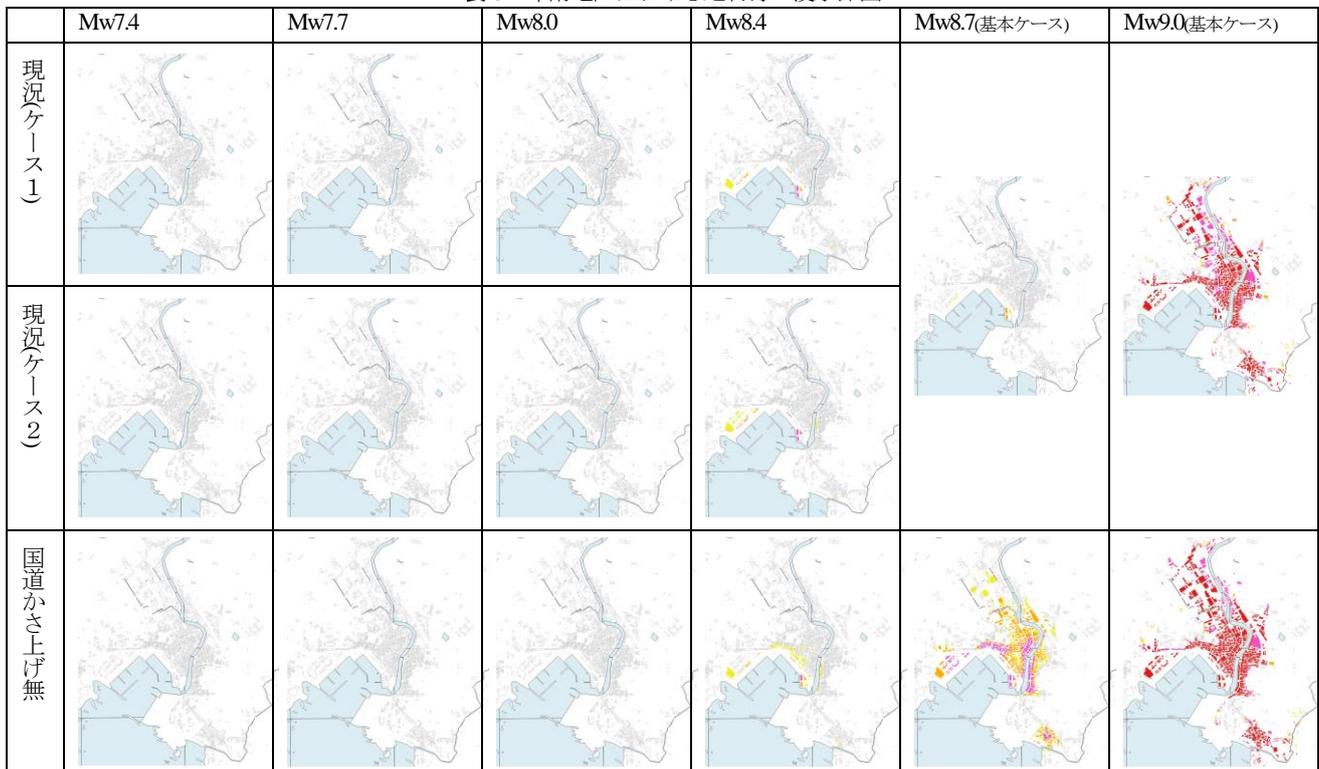


表-3 印南地区における建物毎の浸水深図



浸水深による分類： □ - 0.5m ■ 0.5 - 1.0m ■ 1.0 - 2.0m ■ 2.0 - 4.0m ■ 4.0m -

5. まとめと今後の課題

本研究では、静岡県伊豆市土肥地区と、和歌山県日高郡印南町を対象に、異なる規模の震源モデルによる津波シミュレーションを実施し、それぞれの津波に対する建物被害戸数を算出することで、二地区が抱える津波災害のリスクについて分析を行った。

また、堤防の有無による建物被害戸数の変化についても分析し、堤防の整備によるリスク低減の効果と、その限界について分析した。さらに、既存の建物を活用することで津波リスクを低減させることができるかについても検証を行った。その結果、浸水深を減少させる効果は確認できたが、堤防と比べて被害戸数を減少させる効果は小さいことが確認された。

本研究の成果は、津波の発生頻度のみで決定されているL1・L2津波の意味を、地域が抱える津波災害のリスクと、防災対策によるリスクの軽減効果を明示することによって多角的に捉えたことであり、このような分析の蓄積によって、地域の実情を踏まえた防災目標の設定に資することができると考えられる。

今後の課題として、本研究では、津波災害のリスクを表す指標として建物被害戸数に着目したが、人的被害や産業への影響など、その他の被害の指標についても考慮する必要がある。さらに、地震の生起確率と被害額を考慮することで、津波災害のリスクを金額に換算することができ、堤防建設などのコストとの比較が可能になる。

また、本研究では、津波災害への対策方法として、堤防の建設と既存建物の補強を扱ったが、津波避難ビルの建設といったソフト対策の効果も同様に評価することができれば、ソフトとハードを合わせた総合的な防災目標の設定が可能になると考えられる。

参考文献

- 1) 中央防災会議：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告，<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/pdf/houkoku.pdf>, 2011.
- 2) 藤見俊夫, 柿本竜治, 山田文彦, 廣瀬健康：治水整備による水害リスクカーブの変遷に関する研究，土木計画学研究・論文集, Vol.27, no1, 2010 など.
- 3) 藤間功司, 樋渡康子：津波防災施設の最適規模と残余リスクを明示する手法の提案，土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol69, No4, I_345-I_357, 2013.
- 4) 土肥町誌編纂委員会：土肥の災害誌, pp21, 土肥町教育委員会, 2000.
- 5) 静岡県交通基盤部：津波対策施設の必要堤防高について，<http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-320/documents/131129teiboudaka.pdf>, 2013
- 6) 印南町史編集室：印南町史通史編上巻, pp265-266, 第一法規出版株式会社, 1990
- 7) 印南町史編集室：印南町史通史編上巻, pp1403-1405, 第一法規出版株式会社, 1990
- 8) 和歌山県：「南海トラフの巨大地震」及び「東海・東南海・南海3連動地震」による津波浸水想定について，<http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/011400/bousai/130328/sinnsuiso/sims25.pdf>, 2013
- 9) 佐藤良輔：日本の地震断層パラメーター・ハンドブック, pp130-131, 鹿島出版会, 1989
- 10) 佐藤良輔：日本の地震断層パラメーター・ハンドブック, pp126-127, 鹿島出版会, 1989
- 11) 地震調査研究推進本部：震源断層を特定した地震の強震動予測手法，http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchizu/g_furuoku3.pdf, 2009 改定
- 12) 静岡県交通基盤部：津波対策施設の必要堤防高について，<http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-320/documents/131129teiboudaka.pdf>, 2013

(2015.4.24 受付)

A study for tsunami risk analysis and disaster mitigation strategy based on individual regional circumstances

Asuka YAMAZAKI, Shinji SATO and Yusuke YAMANAKA