

津波避難シミュレーション及びハザードマップ を軸としたソフト防災対策に関する研究

青柳 一輝¹・太田 夏美²

¹正会員 株式会社パスコ 東日本事業部 技術センター 社会情報部 防災情報課

(〒153-0066 東京都目黒区下目黒 1-7-1 パスコ目黒さくらビル 3F)

E-mail:kiagza1201@pasco.co.jp

²非会員 株式会社パスコ 東日本事業部 技術センター 社会情報部 防災情報課

(〒153-0066 東京都目黒区下目黒 1-7-1 パスコ目黒さくらビル 3F)

E-mail:naatto7349@pasco.co.jp

ソフト防災対策は、エンドユーザーである住民等がシステムの完成を認識し、情報の利活用方法を理解し、適切な避難を行うことによって、はじめて効果を発揮することができる。また、対策は一過性であってはならず、継続して実施する必要がある。本研究では、最大クラスの津波に対して複合的なソフト防災対策の提案を行う。

この実践として、著者らは静岡県松崎町において、2015 年度に津波避難シミュレーションの結果を踏まえた津波避難計画の策定を行った。合わせて、ワークショップを実施し、住民と共に津波避難計画地図を作成した。さらに、2021 年度様々なケースでの津波避難シミュレーションを実施し、今後の津波対策の方向性を検討した。加えて、静岡県より公表された基準水位を用いて津波ハザードマップを作成した。

Key Words: *tsunami disaster, non-structural disaster management, tsunami evacuation planning, evacuation simulation, public meeting, hazard map*

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に東北地方太平洋沖地震が発生するまで、地震・津波防災対策では、過去に繰り返し発生し、近い将来同様の地震が発生する可能性が高く切迫性の高い地震・津波を対象としてきた。しかしながら、東北地方太平洋沖地震はこの想定を大きく上回り、2022 年 2 月末日時点で死者 15,900 人、行方不明者 2,523 人と甚大な被害を発生させた¹⁾。これにより、これまで主流であったハード防災対策では、発生頻度が低く規模の大きい津波に対して背後を構造物のみで守りきることは困難であり、東北地方太平洋沖地震による津波によって水位低減、津波到達時間の遅延、海岸線の維持等で一定の効果が見られたものの、構造物の防災機能にのみ依存することの限界及び避難の重要性が改めて認識された。

これを受け、今後、地震・津波の想定を行うにあたっては、これまでの考え方を改め、津波堆積物調査などの科学的知見をベースに、あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波を検討していくべきであるとされた。また、防波堤・防潮堤といったハード防災対策

による一線防御からハード・ソフト防災施策の総動員による多重防御への転換が促され、津波対策の推進に関する法律（平成 23 年法律第 77 号）や津波防災地域づくりに関する法律（平成 23 年法律第 123 号）が公布・施行された。

津波に対するハード防災対策とソフト防災対策を比較した場合、防波堤、防潮堤、津波水門といったハード防災対策は一般的に対策に多額の費用及び時間がかかる、想定以上の現象が発生すれば被害が生じるといった短所はあるものの、施工されれば即座に防災、減災効果を発揮できる。一方、ハザードマップの作成、防災訓練といったソフト防災対策はハード防災対策と比べて安価に実施できるものの、作成、実施しても住民等に利用され、避難に結びつけることができなければ、防災、減災につなげることはできない。このため、ソフト防災対策は、住民等への適切な周知及び的確な利活用が非常に大切になるのだが、その手法は必ずしも確立されてはいない。

以上のことを背景に、著者らは最大クラスの巨大な津波から人命を守るためのソフト防災対策に着目し、実施手法の提案及び実践を行う。

2. 津波防災を実施する上での課題

津波ソフト防災対策を実施する上での課題を、以下の通り整理した。

(1) 津波避難計画及び避難困難地域

津波対策の推進に関する法律や防災基本計画²⁾では、津波による危険が予想される市区町村に対して津波避難計画の策定が求められている。津波避難計画の策定については様々な指針、マニュアル等^{3) 4) 5)}があるが、いずれの場合も予想される津波の到達までに避難することが困難な地域である避難困難地域の検討が求められている。

避難困難地域の検討手法の1つに、避難目標地点から移動可能な直線距離を半径とした円を作成し、その範囲外となる地域を避難困難地域を決定する手法がある^{6) 7)}。しかしながら、この手法は、避難者の初期位置を考慮することはできない。また、津波の到達し浸水が広がる過程と、避難者の移動過程について、経過時間ごとに評価をすることはできない。

(2) 住民への危険性の周知とハザードマップの利活用

津波の浸水が想定されている地域の住民に対し、その危険性の周知及び避難方法を示す手段にハザードマップの作成がある。

国土交通省⁸⁾によれば、2021年9月末時点で、津波ハザードマップ作成の対象となる687市町村のうち652市町村で公表済みである。しかしながら、2021年8月のWebアンケート結果⁹⁾より、ハザードマップを見たことがない人は3割程度おり、その理由は、これまで水害の危険が迫ってない、水害の危険が無いと思っている、となっており、防災意識の低い住民への周知・啓発に課題が見取れる。また、アンケート回答者の2割程度の人は、ハザードマップについて、まったく役に立っていない、あまり役に立っていない、と回答しており、この回答者のうち、4割程度の人は、自宅にとどまってよいか避難所に行く必要があるか分からない、どのような危険があるか分からない、いつ、どこに、どこを通過して避難したらよいか分からない、情報に不足がある、等をハザードマップが役に立たない理由として回答している。

これらのことから、ハザードマップを作成しても、きちんと利活用できていないケースが一定数あることが確認でき、平時の普及啓発の取組が住民の身の回りの水害リスクの正しい認識に繋がっていないことが分かる。

ハード防災対策の限界を伝え、自助を強調し、責任を市区町村から住民へと転嫁する以上、ハザードマップの作成及びその利活用方法は適切に周知される必要がある。また、可能な限り利用者である住民等の意見を取り入れ、使いやすい形とする必要がある。

3. 津波ソフト防災対策の手法

本研究では、効果的な津波ソフト防災対策として、津波避難シミュレーションを踏まえた津波避難計画の策定及びハザードマップの作成を提案する。

(1) 津波避難シミュレーション

津波避難計画の策定及び避難困難地域の検討を行う上で津波避難シミュレーションを実施することは、避難者の初期位置から避難先までにおける避難過程の評価を時間的に行う上で非常に効果的である。

避難シミュレーションモデルには様々なものがあるが、本研究では青柳らの開発した避難シミュレーションシステム⁹⁾を用いることを提案する。これは、避難路網の交差点と避難路をノードとリンクで表現し、避難者の初期位置から避難先を目指すネットワーク型のモデルであり、シミュレーションを実施するためのデータセットを構築するのに必要な資料の収集が容易で汎用性が高い特徴がある。また、避難者それぞれに対し様々な避難先へのトライアル計算を行うことができる特徴がある。加えて、避難過程を可視化しアニメーションを作成することが可能であり、これを用いて住民の避難シミュレーションへの理解を助けることが期待できる。

本システムは能代市や東伊豆町等の津波避難計画の策定に用いられた実績^{9) 10) 11)}がある。

(2) ハザードマップ

ハザードマップとは、一般的に自然災害による被害の軽減や防災対策に使用する目的で、被災想定区域や避難場所・避難経路などの防災関係施設の位置などを表示した地図であり、これを作成する事が公助として最低限必要なソフト防災対策であると著者らは考えている。

ハザードマップは各種手引き等^{12) 13)}に従い作成されるが、最も大切なことはそれを住民が利活用し、災害時に被害を最小限にとどめる事ができるかどうかである。このため、ハザードマップの作成主体である市区町村が一方的に作るのではなく、利用者である住民意見を反映しながら作成する事が大切である。

(3) 住民参加

ソフト防災対策の実施にあたり、住民説明会やワークショップ、まち歩き、パブリックコメント及びアンケートなどをなどを通じて、住民に対してソフト防災対策の周知や利活用方法の説明を行うとともに、対策に対しての意見収集を行うことは非常に重要である。これによりソフト防災対策に住民の意見を取り入れるのみならず、市区町村と住民が関係を構築し、災害時に円滑なコミュニケーションをとれることが期待できる。

4. 適応事例

本研究で示す手法を適応した事例として、2015 年度及び 2021 年度における静岡県松崎町での実施事例を示す。

(1) 2015 年度における松崎町での取り組み

静岡県では、2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震を教訓とし、また、国が 2012 年に実施した南海トラフ巨大地震の被害想定¹⁴⁾を踏まえ、静岡県第 4 次地震被害想定¹⁵⁾を実施し、2013 年に公表した。

これを受け、松崎町では最大クラスの津波に対して、津波避難計画の策定をはじめとする各種ソフト防災対策を実施することとなった。

a) 津波避難計画

松崎町で津波避難計画を策定するに当たり、防災基本計画²⁾、津波避難対策推進マニュアル検討会報告書³⁾、静岡県の大規模地震対策「避難計画策定指針」⁴⁾、静岡県地域防災計画、松崎町地域防災計画等の資料から、津波避難対策に関する取組事項を整理した。また、対象とする津波は、静岡県第 4 次地震被害想定¹⁵⁾のなかで松崎町に最も大きな被害を与えると考えられる、南海トラフの重ね合わせのケースとした。

また、津波避難シミュレーションの結果及び住民説明会での意見等を踏まえ、定量的かつ実効性のある計画となることを目指し策定を行った。

b) 津波避難シミュレーション

松崎町でソフト防災対策を行うにあたり、避難困難地域の抽出及び人的被害の定量的評価を目的として、津波避難シミュレーションを実施した。

使用する避難シミュレーションモデルは、対象とする領域や収集資料の観点から青柳ら⁹⁾の開発した避難シミュレーションシステムとした。

避難路ネットワークは地形図や航空写真を基に作成し、住民等の意見により修正を行った。

避難者は浸水範囲に含まれる住民等と定義し、その人数は 2015 年 6 月時点の住民基本台帳に示される人数及び観光客とした。観光客数は宿泊施設の部屋数等から算出した。

避難者の種別は健常者と避難行動要支援者を設定した。ここで、避難行動要支援者は、人口統計における高齢者の人口（65 歳以上の人口）、障がい者の人口及び 0～4 歳の人口に 2 を乗じたもの（乳幼児とその保護者のイメージ）とした。避難者数は、健常者 2,367 人、避難行動要支援者 1,753 人となった。なお、観光客は健常者としている。

避難者の初期配置は行政区ごとに、施設ごとの家屋台帳に記載された居住部分床面積により案分して与えた。

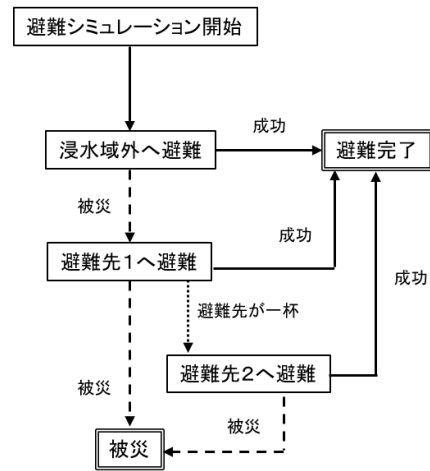


図-1 避難者の行動についての模式図、ここで避難先1が最寄りの避難先、避難先2は大きな避難先を示している。

避難目標地点は、浸水範囲の外側へ逃げられる地点、もしくは、津波避難先とした。本シミュレーションでは、津波避難先は津波避難場所 42 カ所、津波避難ビル 9 カ所、津波避難タワー1ヶ所を設定した。

被災の判定は、浸水深 1cm の津波における浸水開始時間を採用し、避難者がこれに巻き込まれた時点で被災とカウントした。

避難者の行動について、避難者は初めに、浸水域外に避難を行う。そこで被災した場合、最寄りの避難先へ避難をする。それでも被災した場合は、被災と判定する。ただし、避難先が一杯だった場合は、別の一杯にならない大きな避難先を目指し避難を行い、判定を行っている。避難者の行動についての模式図を図-1 に示す。

避難者の移動速度については、津波避難対策推進マニュアル検討会報告書³⁾等では健常者の移動速度を 1.0m/s、避難行動要支援者 0.5m/s としている。また、港湾における避難計画などを策定する場合には、駆け足を原則としたうえで、港湾関係者に対し 2.4m/s の値が用いられている場合がある¹⁶⁾。本研究ではこれらの値を参考に避難速度を設定した。また、津波避難施設への避難については、静岡県避難計画策定指針⁴⁾による健常者の垂直避難速度 0.2m/s では、1 分間で松崎町の津波避難ビルの平均的な高さである 12m の高さまで移動が可能であることから、施設入口から避難階までの移動時間として 1 分間の垂直避難を考慮し、避難完了としている。なお、本研究では車やリヤカー、自転車による避難は対象外とした。

避難開始時間については、津波避難対策推進マニュアル検討会報告書³⁾等に示される地震発生から 2 分から 5 分で避難という指標を参考に設定を行った。

さらに、避難シミュレーションの理解を助けることを目的として、シミュレーションにおける避難過程を可視化し、避難地区ごとに 7 地区で津波避難アニメーションを作成した。

表-1 2015年度津波避難シミュレーション計算条件

計算ケース	避難速度 (m/s)		避難開始時間 (min)
	健常者	避難行動要支援者	
現状	1.0	0.50	5
対策後1	1.0	0.50	3
対策後2	1.2	0.60	3
対策後3	1.5	0.75	3

表-2 2015年度津波避難シミュレーション計算結果

計算ケース	避難結果	健常者 (人)	避難行動要支援者 (人)	合計 (人)
現状	避難者数	2,367	1,753	4,120
	避難完了者数	1,407	539	1,946
	被災者数	959	1,214	2,173
対策後1	避難者数	2,367	1,753	4,120
	避難完了者数	2,184	896	3,080
	被災者数	182	858	1,039
対策後2	避難者数	2,367	1,753	4,120
	避難完了者数	2,309	1,087	3,396
	被災者数	57	666	724
対策後3	避難者数	2,367	1,753	4,120
	避難完了者数	2,344	1,339	3,681
	被災者数	23	415	438

津波避難シミュレーションの計算条件を表-1に示す。津波避難シミュレーションは現状と対策後3ケースの計4ケース行った。ここで、対策後2及び対策後3で避難速度が現状よりも上昇しているのは、防災訓練、防災教育等の効果、避難路の整備及び避難看板の設置により避難開始時間及び移動速度が速くなったという過程である。また、避難開始時間については、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震における東北地方の沿岸地域の震度観測状況では地震発生から約3分後に震度4となっている事を参考に、揺れていても動けるようになったら避難することを行動の基本として、避難開始時間を地震発生3分後と仮定した。

津波避難シミュレーション結果を表-2に示す。なお、案分等により小数点以下の値も用いているため、合計が合わないことがある。この結果より、現状では、健常者のうち、約59%が避難に成功しているのに対し、避難行動要支援者は約31%が避難に成功するという結果となった。また、対策後1,2,3の結果より、避難速度を速くすることや避難開始時間を早くすることは避難に非常に効果的であることが確認できる。対策後3の場合、健常者のうち約99%が、避難行動要支援者は約76%がそれぞれ避難に成功するという結果となった。

松崎町では避難困難地域を検討するにあたり、現状の避難シミュレーションで浸水域外、津波避難先のいずれにも避難することができず、被災と判定された避難者の初期位置を避難困難地区と定義した。避難困難地区の例を図-2に示す。

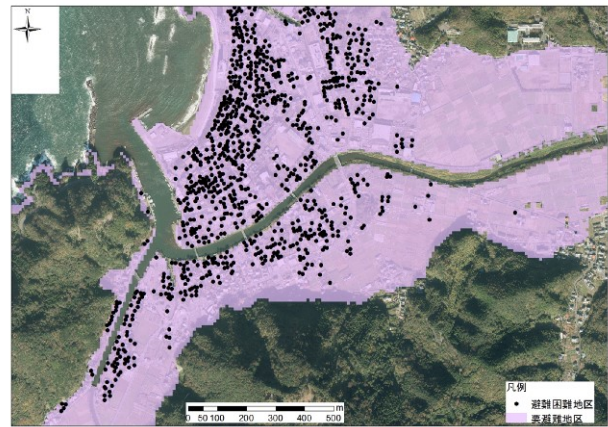


図-2 避難困難地区 (松崎・宮内地区) 17)

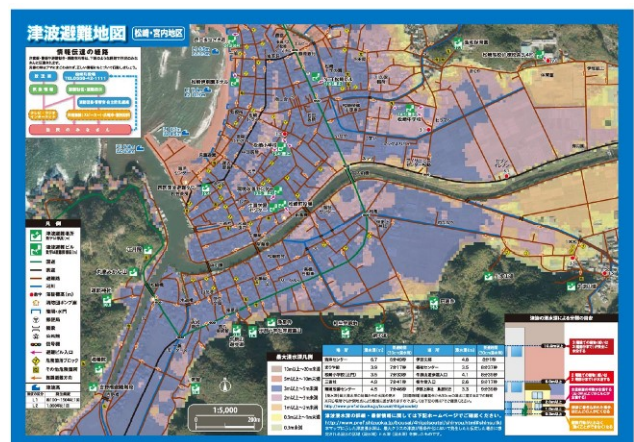


図-3 津波避難計画地図 (松崎・宮内地区) 18)

c) 津波避難計画地図

松崎町では、住民の避難をたすけることを目的として、住民意見を取り入れながら、避難地区ごとに7種の津波避難計画地図を作成した。津波避難計画地図の規格はA3、片面であり、浸水範囲、最大浸水深、避難施設等を示すと共に、ランドマークとしての信号機や避難路、避難推奨方向、避難時危険箇所を示すなど、ハザードマップよりも地域性に富む内容となっている。また、背景図に航空写真を用いている。津波避難計画地図は作成後に印刷し、住民へ配布を行っている。津波避難計画地図を図-3に示す。

d) 住民説明会

松崎町では、津波避難計画及び津波避難計画作成の周知及び住民意見を取り入れることを目的として、2015年10月から12月にかけて住民説明会を実施した。住民説明会は全体説明会1回、地区別説明会14回で行われ、地区別説明会の中では、津波避難計画や津波避難計画地図について作成経緯や作成方法及び活用方法についての説明を行った。説明会の中では津波避難シミュレーション結果を可視化した津波避難アニメーションを上映することで、住民が危険性を具体的に我が事として捉え、

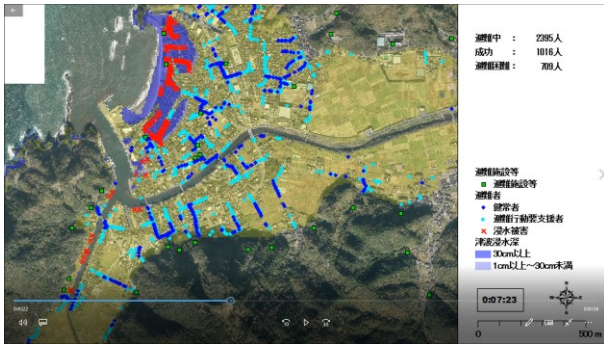


図4 津波避難アニメーション (松崎・宮内地区) 19)



図5 ワークショップの様子 (松崎・宮内地区) 18)

活発な議論を行うことができた。

さらに、まち歩きを行い現地確認を行うとともに、ワークショップ等を通じて津波対策についての意見交換を行う事で、津波避難計画や津波避難計画地図の避難経路や避難先について住民意見を取り入れ、現地の住民の意見を踏まえた実効性のある津波ソフト防災対策を実施することができた。津波避難アニメーションを図-4 に、ワークショップの様子を図-5 にそれぞれ示す。なお、2021 年度は新型コロナウイルス感染症(COVID-19)等の社会情勢を踏まえ、住民説明会は実施しなかった。

(2) 2021 年度における松崎町での取り組み

松崎町では静岡県アクションプログラム 2013²⁰⁾をうけ、2015 年度に実施した津波避難シミュレーションの結果から 8 割の減災を目指し、避難シミュレーションを実施した。さらに静岡県より公表された基準水位を用いてハザードマップの作成を行った。

a) 津波避難シミュレーション

使用する避難シミュレーションモデル、対象津波、避難者の種別、人数、被災の判定は、2015 年度と同様とした。避難路ネットワークについては、2015 年度に作成したものに松崎町が新たに整備したものを加えた。

津波避難先については、2015 年度に作成したものに松崎町が新たに指定した津波避難ビルを 1 カ所追加した。

表-3 2021 年度津波避難シミュレーション計算条件

計算ケース	避難速度 (m/s)		避難開始時間 (min)
	健康者	避難行動要支援者	
Case1	1	0.50	3
Case2	1.2	0.60	3
Case3	1.5	0.75	3
Case4	1.0	0.50	5
Case5	1.2	0.60	5
Case6	1.5	0.75	5

表-4 2021 年度津波避難シミュレーション計算結果

計算ケース	避難結果	健康者 (人)	避難行動要支援者 (人)	合計 (人)
Case1	避難者数	2,367	1,753	4,120
	避難完了者数	2,238	895	3,134
	被災者数	128	858	986
Case2	避難者数	2,367	1,753	4,120
	避難完了者数	2,312	1,096	3,408
	被災者数	55	657	712
Case3	避難者数	2,367	1,753	4,120
	避難完了者数	2,344	1,345	3,687
	被災者数	23	409	432
Case4	避難者数	2,367	1,753	4,120
	避難完了者数	1,404	539	1,944
	被災者数	961	1,214	2,175
Case5	避難者数	2,367	1,753	4,120
	避難完了者数	1,607	644	2,251
	被災者数	760	1,109	1,869
Case6	避難者数	2,367	1,753	4,120
	避難完了者数	1,958	799	2,760
	被災者数	408	953	1,361

津波避難シミュレーションの計算条件を表-3 に、津波避難シミュレーション結果を表-4 にそれぞれ示す。

なお、案分等により小数点以下の値も用いているため、合計が合わないことがある。

この結果より、2015 年度の現状の被災者数 2,173 人に対して、2021 年度の Case3 では被災者数 432 人となり、被災者数について 80.12%の減少が確認できた。これにより、松崎町の目標とする 8 割の減災を達成することができた。

b) 津波ハザードマップ

津波ハザードマップは、A1両面の規格とし、表面に学習面、裏面に地図面の構成で地区別に2種類作成した。特徴としては、多くの津波ハザードマップは最大浸水深を掲載しているのに対し、本マップでは基準水位を掲載している。作成した松崎町津波ハザードマップの学習面を図-6に、地図面を図-7にそれぞれ示す。

学習面にはハザードマップの使い方、基準水位について、津波について、タイムライン、非常時持ち出し品リスト、情報収集について、津波警報・注意報と取るべき行動、津波避難時の心得などを掲載した。

地図面には基準水位、避難情報、防災情報を掲載した。松崎町津波ハザードマップは作成後、松崎町のホームページで公開²¹⁾するとともに、印刷、配布を行った。

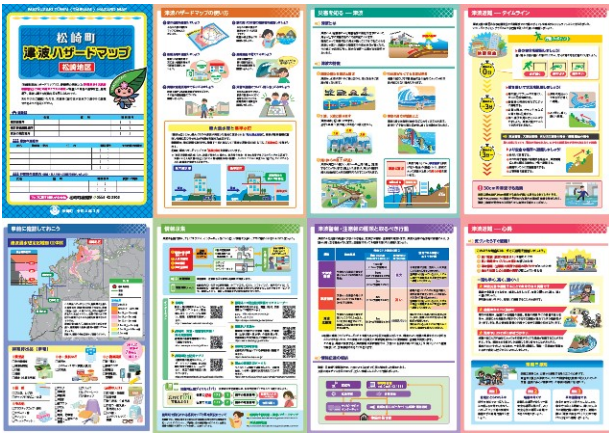


図-6 ハザードマップ学習面 (松崎地区) 21)

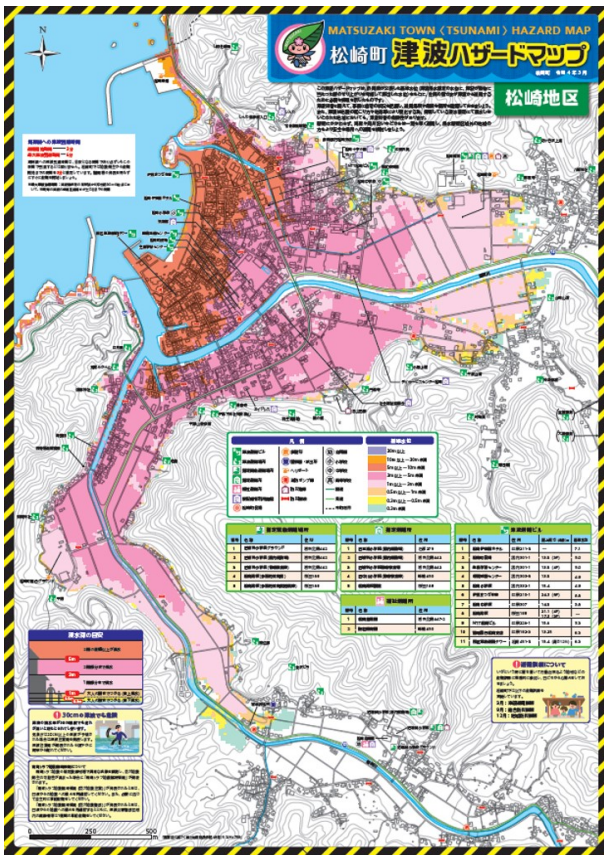


図-7 ハザードマップ地図面 (松崎地区) 21)

5. おわりに

本研究では、最大クラスの津波に対するソフト防災対策として、津波避難シミュレーション、ハザードマップの作成及び住民説明会といったソフト防災対策手法を提案した。さらに、本研究で提案した手法を用いて、静岡県松崎町を対象に 2015 年度及び 2021 年度に実施したソフト防災対策事例を紹介した。

今後は、地域防災計画などの各種計画への反映や、継続的な住民説明会等により、地域防災力の向上を図る必要がある。

謝辞：本研究を遂行するに当たり、株式会社パスコ野田 陸人氏ならびに防災情報一課諸氏には多大なるご支援を受けた。さらに、本論文を執筆するにあたり、静岡県松崎町より 2015 年度に実施した「津波避難計画策定支援業務」、2021 年度に実施した「津波避難計画基礎調査業務」及び「津波ハザードマップ作成業務」において得られた業務成果の使用許可を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 警察庁：平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震の警察措置と被害状況，2022。
- 2) 内閣府：防災基本計画，2022。
- 3) 消防庁国民保護・防災部防災課：津波避難推進マニュアル検討会報告書，2013。
- 4) 静岡県：大規模地震対策「避難計画策定指針」，2013。
- 5) 秋田県：津波避難計画策定指針～沿岸市町村における津波避難計画の策定に向けて～，2014。
- 6) 防府市：防府市津波避難計画，2015。
- 7) おいらせ町：おいらせ町津波避難計画，2022。
- 8) 国土交通省：ハザードマップに関する現状と課題，ハザードマップのユニバーサルデザインに関する検討会（第 1 回）資料，2021。
- 9) 青柳一輝，木下牧：津波避難計画の策定に適した避難シミュレーションシステムの開発，第 36 回日本自然災害学会学術講演会講演概要集，pp.9-10，2017。
- 10) Aoyanagi, K., Kinoshita, M.: Tsunami Evacuation Planning by using Evacuation Simulation in Japan, Geophysical Research Abstracts, Vol.20, EGU2018-1407, 2018。
- 11) 青柳一輝，土屋雅雄：東伊豆町における津波避難計画の策定，第 58 回土木計画学研究発表会・講演集，No.198，2018 年。
- 12) 水害水害ハザードマップ作成の手引き，国土交通省水管理・国土保全局河川環境課水防企画室，2021。
- 13) 土砂災害ハザードマップ作成ガイドライン，国土交通省水管理・国土保全局砂防部砂防計画課，2020。
- 14) 内閣府南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ：南海トラフ巨大地震の被害想定，https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html（最終閲覧日：2022 年 9 月 23 日）
- 15) 静岡県：静岡県第 4 次地震被害想定，<http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/4higaisoutei/index.html>（最終閲覧日：2022 年 9 月 23 日）
- 16) 田子の浦港防災対策連絡協議会：田子の浦港みなと機能継続計画-避難誘導編-，2019。
- 17) 松崎町：松崎町津波避難計画（本編），2016。
- 18) 松崎町：松崎町津波避難計画（資料編），2016。
- 19) 松崎町：津波避難シミュレーション(平成 28 年 3 月)，<https://www.town.matsuzaki.shizuoka.jp/docs/2016032400013/>（最終閲覧日：2022 年 9 月 24 日）
- 20) 静岡県：静岡県地震・津波対策アクションプログラム 2013，2021。
- 21) 松崎町：松崎町津波ハザードマップ，<https://www.town.matsuzaki.shizuoka.jp/docs/2022050200016/>

(2022. 10. 1 受付)

STUDY ON NON-STRUCTURAL DISASTER MANAGEMENT BASED ON TSUNAMI Evacuation SIMULATION AND Hazard MAP

Kazuki AOYANAGI and Natsumi OTA

After the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, disaster management measures of large scale Tsunami in Japan was changed from structural measures to non-structural measures. Non-structural disaster management measures cannot be effective unless they are recognized and used.

This study focuses on tsunami evacuation simulation, tsunami evacuation planning, creating hazard maps and public meeting. This study introduces to the project of Tsunami disaster management measures in Matsuzaki town.