

南海トラフ巨大地震を対象とした和歌山県広川町における津波避難施設の新設場所の選定に関する試み

湊 文博¹・秦 吉弥¹

¹ 大阪大学 大学院工学研究科 地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

近未来に発生が懸念されている南海トラフ巨大地震の震源域では、強震動の作用のみならず、本震発生後に巨大津波の来襲が予想されていることから、地域特性を考慮した津波避難施設の新設に関する提案がこれまで行われている。一方で、近未来の地震である南海トラフ巨大地震と近年の歴史地震である1993年北海道南西沖地震は、共通点が非常に多い。そこで本稿では、まずはじめに、1993年北海道南西沖地震によって甚大な被害を受けた奥尻島青苗地区を対象に、津波避難困難区域の抽出手法の適用性について検討を行った。そして次に、適用性が確認された手法を用いて、和歌山県広川町(津波防災教育センター設置)を対象にした津波避難困難区域の評価を行うとともに、津波避難施設が今後新設された場合の減災効果についても言及した。

キーワード：南海トラフ巨大地震，1993年北海道南西沖地震，津波避難，歩行実験

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震($M_w9.0$)の発生を受け、南海トラフにおいても、 $M_w9.0$ 程度の巨大地震(以後、南海トラフ巨大地震と呼ぶ)を想定した強震動の予測が内閣府¹⁾により行われている。その予測結果によれば、南海トラフ巨大地震の震源域では、震度6強～震度7の非常に大きな強震動の作用が予想されている。一方で、内閣府²⁾によれば、震源域近くの沿岸部では、南海トラフ巨大地震の発生後数分で巨大津波の来襲が予想されており、上述した強震動の作用が住民等の津波避難に大きな影響を及ぼすことが予想される。すなわち、本稿における対象フィールドである和歌山県広川町(図-1参照)では、南海トラフ巨大地震の発生によって、強震動の作用のみならず、巨大津波の早期来襲が予想されている。

これまで著者ほか³⁾は、南海トラフ巨大地震の発生によって津波の早期来襲が同じく予想されている和歌山県串本町(図-1参照)を対象に、強震動作用中の避難困難時間を算定し、強震動の作用が津波避難に及ぼす影響について検討を行っている。さらに著者ほか⁴⁾は、串本町の津波来襲予想地域において避難歩行時間に関する計測実験を行うことで、津波避難困難区域の抽出を試みている。しかしながら、当該抽出手法に関する適用性が過去の地震被災実績などに基づいて検討されているとは言い難い。

津波避難困難区域(津波到達時間までに津波浸水区域から高台等の安全な場所に避難することが困難な区域)の設定⁵⁾の観点によれば、南海トラフ巨大地震では地震

発生後数分で巨大津波の来襲が予想されている(津波到達時間が非常に短い)のに対して、2011年東北地方太平洋沖地震では地震発生後に沿岸域に津波が到達するまで数十分程度を要している(津波到達時間が比較的長い)ため、南海トラフ巨大地震を対象とした防災・減災対策において、2011年東北地方太平洋沖地震の実績を安易に転用することはできない。一方で、我が国で近年発生した大規模地震の中で地震発生後に津波の早期来襲が確認されている歴史地震の一つとして、1993年北海道南西沖地震が挙げられる。1993年北海道南西沖地震では、震源域に近い奥尻島を中心に津波などによる甚大な被害が発生し、その中でも奥尻島南端部に位置する奥尻町青苗(以後、青苗地区と呼ぶ：図-2参照)では、本震発生後約5分で巨大津波(波高10m程度)が来襲し、奥尻島の中でも特に甚大な被害が報告⁶⁾されている。

上述した背景を踏まえ本稿では、①青苗地区内における津波来襲地域を対象に、避難歩行時間に関する計測実験を行い、避難所要時間を算定することで、津波避難困難区域を評価した。②評価した避難困難区域に対して、1993年北海道南西沖地震による青苗地区での人的被害の実績を比較することで、評価手法の適用性について確認を行った。③上記①と同様の要領で、和歌山県広川町の津波来襲予想地域を対象に、避難歩行時間に関する計測実験を行い、避難所要時間を算定した。④上記②において適用性が確認された評価手法を用いて、広川町内における津波避難困難区域の抽出を行うとともに、避難施設が新設された場合の減災効果についても検討を行った。

2. 青苗地区における津波避難困難区域の評価

著者ほか⁷⁾は、1993年北海道南西沖地震における青苗地区での強震動を推定し、強震動作用中の避難困難時間を推定している。具体的には、推定地震動による瞬間計測震度⁹⁾の時刻歴を計算することで、K-NET青苗での強震動作用中の避難困難時間が約2分程度(118.9秒)であったと評価している。青苗地区における常時微動による地盤震動特性は概ね類似していることから⁹⁾、K-NET青苗で得られた強震動作用中の避難困難時間(118.9秒)を青苗地区における津波来襲地域全体(後述する歩行計測実験の開始地点:112地点)にそれぞれ援用した(図-3参照)。

青苗地区の津波来襲地域(本震時より既に存在していた主要道路上:112地点)から周辺の高台などの避難場所(本震後に新たに設置されたものを除く)までの歩行時間(避難所要時間)に関する計測実験を行った(図-4の枠内写真参照)。その際、本震時に来襲した津波高に対して十分な余裕高を有している5か所(図-4参照)を避難場所として選定した(以後、既存避難場所と呼ぶ)。歩行計測実験を行う際の仮定として、歩行開始地点から最も近い(選定した5か所の避難場所までの歩行時間が最短となる)既存避難場所までの所要時間をそれぞれ計測した。

図-4に避難所要時間の分布を示す。図-4に示すとおり、青苗地区の津波来襲地域において避難所要時間の分布に有意な差異が確認できる。ここに、歩行計測実験では、避難パターン(単独・群衆・要支援者)を考慮する方法¹⁰⁾と考慮しない方法¹¹⁾に大別されるが、本稿では、奥尻島現地で全ての条件に見合った被験者を参集することができなかったため、後者の方法を採用した。よって、歩行計測実験は本稿の第一著者(23歳男性)の単独歩行とした。

上述した避難困難時間(図-3参照)⁷⁾と避難所要時間(図-4参照)を合成することによって、津波来襲地域内において津波避難が相対的に困難であった区域を抽出・評価した。両時間の合成(Synthesis)には、避難困難度を表す困難区域評価係数 K_{SYN} に基づく次式を採用¹⁰⁾した。

$$K_{SYN} = C_{SM} \cdot \frac{t_{SM}}{T_{SM}} + C_{WE} \cdot \frac{t_{WE}}{T_{WE}} \quad (1)$$

ここに、 t_{SM} 、 T_{SM} 、 C_{SM} は、強震動(Strong Motion)作用中の避難困難時間(図-3参照)とその最大値、及びそれらに対応した影響係数である。 t_{WE} 、 T_{WE} 、 C_{WE} は、歩行計測実験(Walking Experiment)に基づく避難所要時間(図-4参照)とその最大値、及びそれらに対応した影響係数である。影響係数 C_{SM} および C_{WE} は、津波来襲地域における避難困難時間と避難所要時間(ともに112地点の平均値)の困難時間+所要時間に対する割合であり、両者の和が1.0になるように比率調整したものである。

図-5は、青苗地区の津波来襲地域における困難区域評価係数 K_{SYN} (その値が大きいほど避難が困難、すなわち避難困難度が高いことを意味しており、最大値は1.0と

なる)の分布である。図-5に示すように、青苗地区における津波来襲地域での困難区域評価係数 K_{SYN} の分布は一樣ではなく、津波避難パフォーマンス(当該地域内の各地点が潜在的に有している津波避難に関する困難度)に有意な差異が見受けられる。特に、津波来襲地域の南端部(奥尻島津波館や徳洋記念碑緑地公園が現在位置する

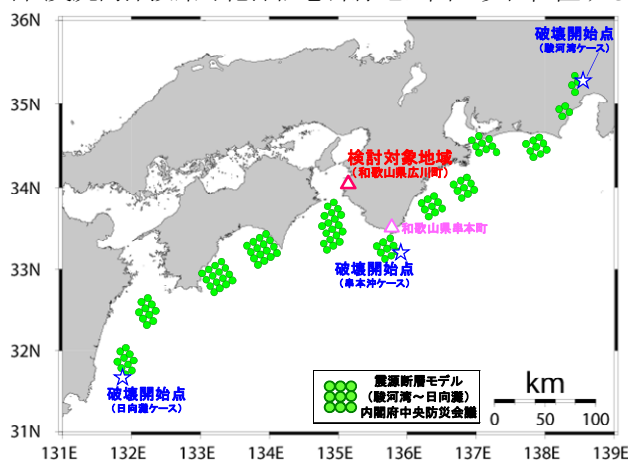


図-1 南海トラフ巨大地震における震源断層モデル¹⁾と広川町

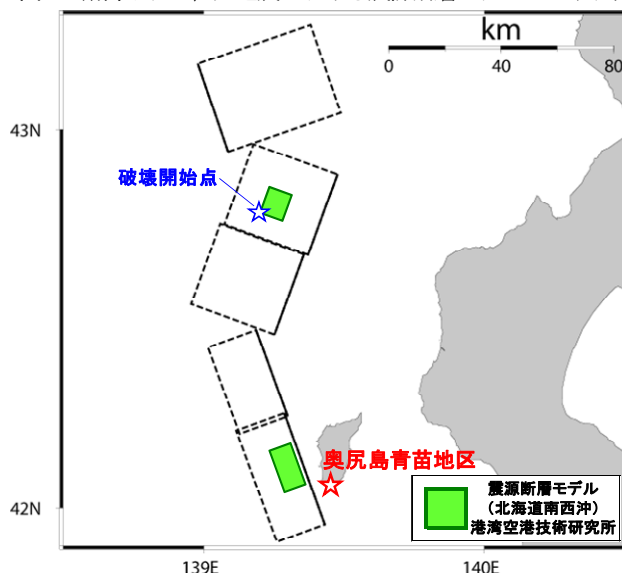


図-2 1993年北海道南西沖地震における断層モデルと青苗地区

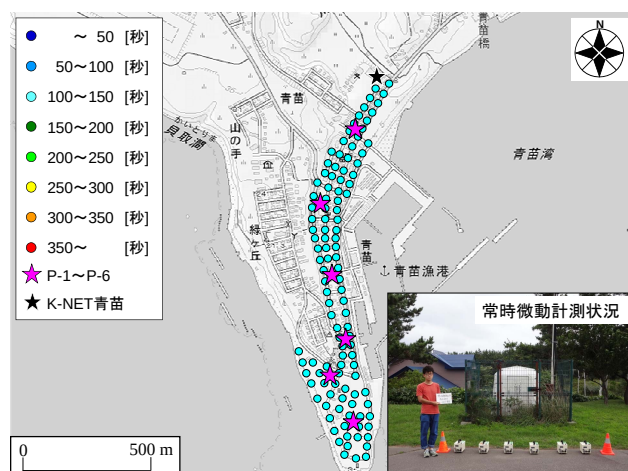


図-3 青苗地区における津波来襲地域での常時微動計測地点の分布、ならびに本震時の避難困難時間の分布

青苗岬付近の区域：杵内写真参照)において困難区域評価係数 K_{SN} が比較的大きな値を示している。

図-6は、青苗地区の津波来襲地域における人的被害の実績に関する分布である。図-6の作成にあたり、既往の調査資料¹²⁾¹³⁾などを参考に、歩行計測実験の開始地点(図-4および図-5参照)の近傍における人的被害の有無を判定した。図-6に示すように、人的被害が集中的に発生している区域は津波来襲地域の南端部となっており、この区域は、上述した困難区域評価係数 K_{SN} が比較的大きな値を示している区域(図-5参照)と概ね類似していることが読み取れる。この類似性は、著者らが提案している評

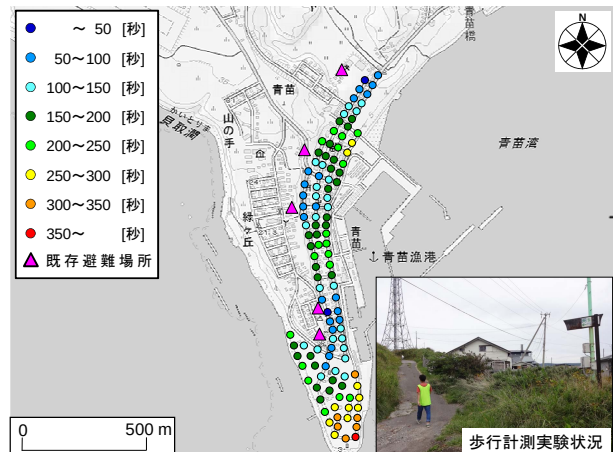


図-4 青苗地区における既存避難場所と避難所要時間の分布

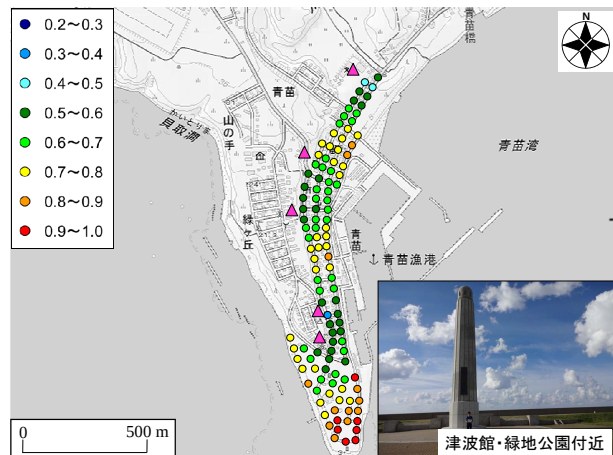


図-5 青苗地区における避難困難区域の評価

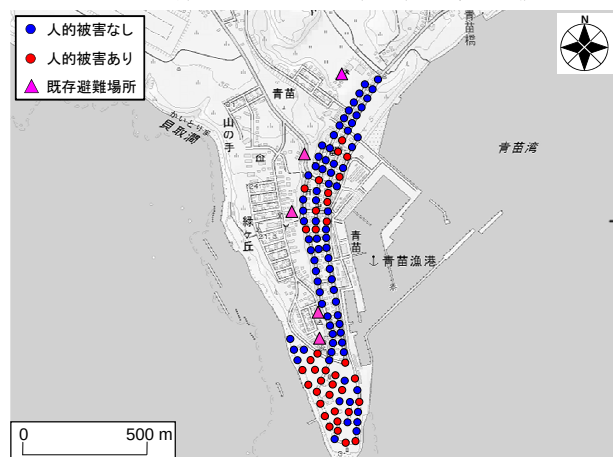


図-6 青苗地区における津波来襲地域での人的被害の実績分布

価係数 K_{SN} に基づく津波避難困難区域の抽出手法¹⁰⁾が一定の適用性を有していることを示唆するものである。

3. 広川町における津波避難困難区域の評価

著者ら¹⁴⁾は、広川町における津波来襲予想地域を対象

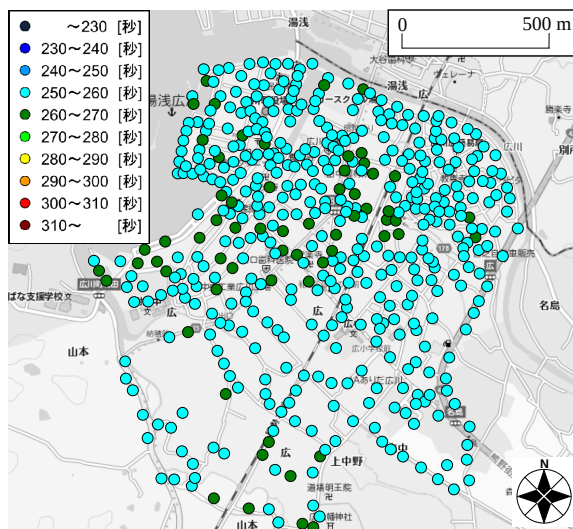


図-7 広川町での避難困難時間の分布(駿河湾ケース)¹⁴⁾

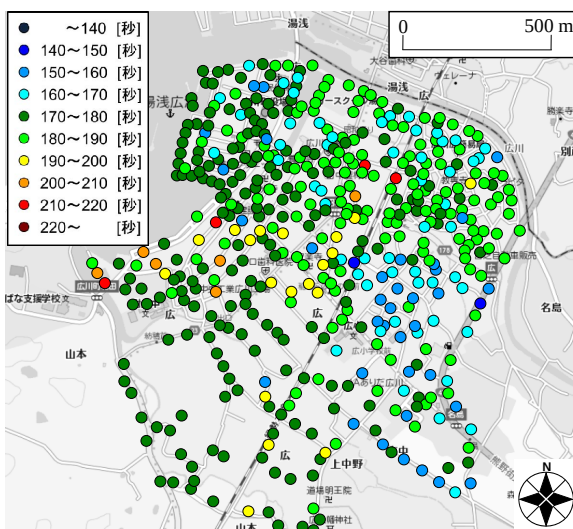


図-8 広川町での避難困難時間の分布(串本沖ケース)¹⁴⁾

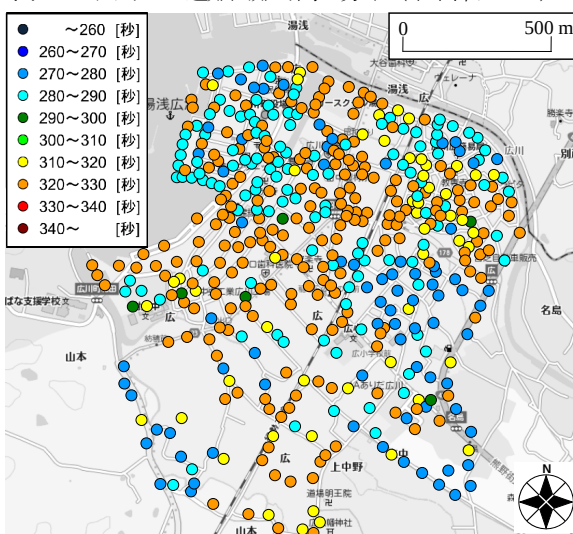


図-9 広川町での避難困難時間の分布(日向灘ケース)¹⁴⁾

に強震動予測を行い、得られた予測結果に基づいて、強震動作用中の避難困難時間を推定している。図-7、図-8、図-9は避難困難時間の津波来襲予想地域での分布¹⁴⁾を南海トラフ巨大地震のシナリオ(破壊開始点の位置を変化させた3ケース：図-1参照)ごとに比較したものである。図-7、図-8、図-9に示すとおり、破壊開始点(震源)の位置などの差異によって、同じ津波来襲予想地域内においても避難困難時間に有意な差異が確認できる。

広川町の津波来襲予想地域における強震動予測地点から周辺の指定避難場所(高台など)までの歩行時間(避難所要時間)に関する計測実験を行った。その際、最新の

表-1 困難区域評価係数 K_{SN} 算定のための設定定数の一覧

シナリオ	避難困難時間		避難所要時間	
	最大値(s)	影響係数	最大値(s)	影響係数
	T_{SM}	C_{SM}	T_{SM}	C_{SM}
駿河湾ケース	319	0.42		0.58
串本沖ケース	220	0.34	690	0.66
日向灘ケース	325	0.46		0.54

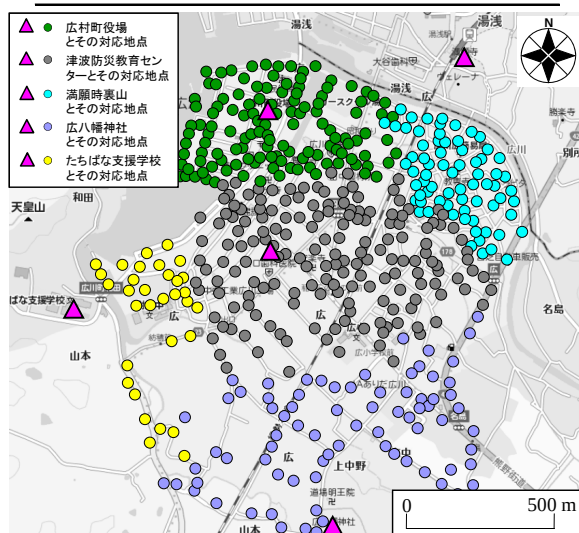


図-10 広川町での選定避難場所に関するゾーニング

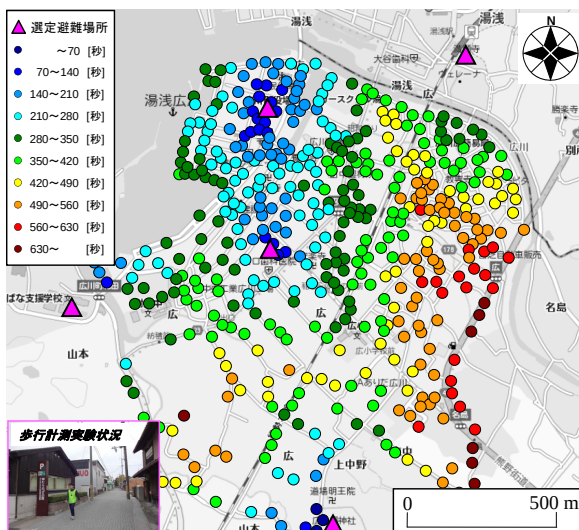


図-11 広川町での歩行計測実験に基づく避難所要時間の分布

広川町および近隣の湯浅町が作成した津波ハザードマップ¹⁵⁾¹⁶⁾などを参考に、以下に示すように、来襲津波の予想高に対して十分な余裕高を有する5か所を避難場所として選定した(以後、選定避難場所と呼ぶ)。

- ・ 広川町役場3階
- ・ 津波防災教育センター3階

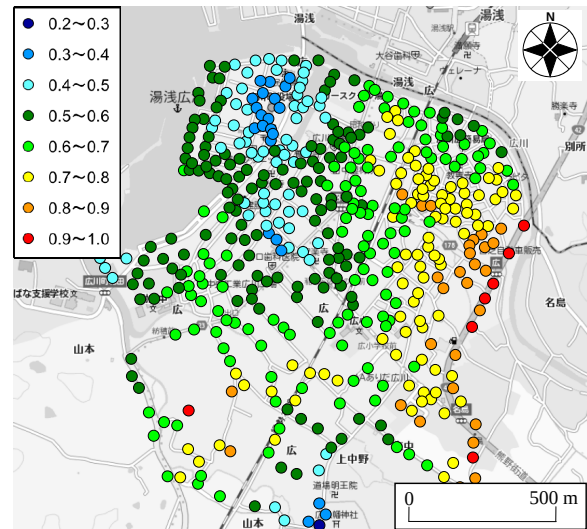


図-12 広川町での避難困難区域の評価(駿河湾ケース)

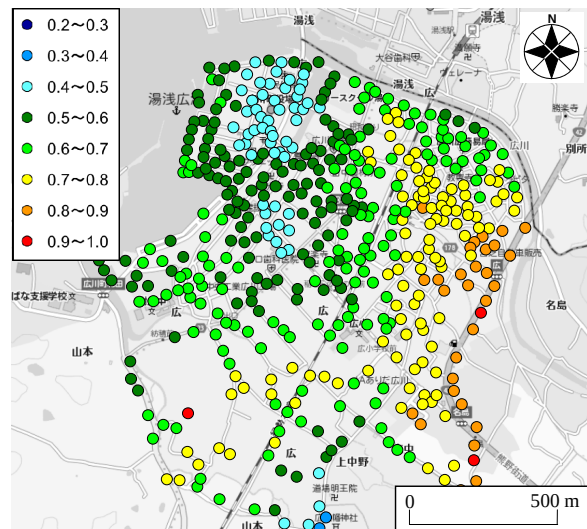


図-13 広川町での避難困難区域の評価(串本沖ケース)

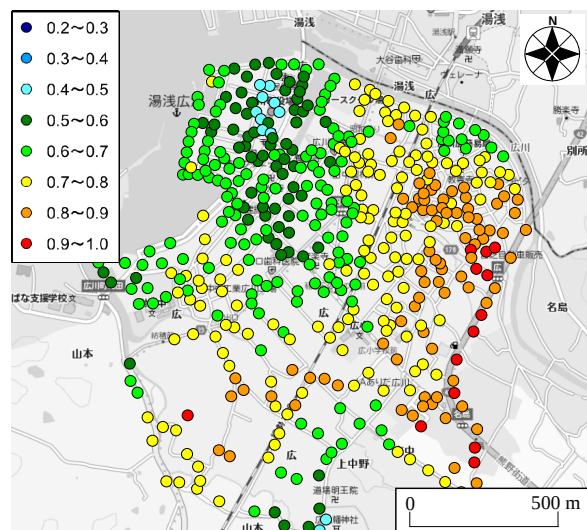


図-14 広川町での避難困難区域の評価(日向灘ケース)

- ・満願寺裏山
- ・広八幡神社(避難施設)
- ・たちばな支援学校

図-10は、選定避難場所に関するゾーニング結果である。ゾーニングは、歩行計測実験の結果に基づいて、各々の歩行開始地点(各強震動予測地点：図-7、図-8、図-9参照)から選定避難場所(候補地)までの歩行時間が最短になるようにゾーニングを施した。各強震動予測地点に対応する選定避難場所(図-10参照)までの避難所要時間の分布を図-11に示す。図-11に示すとおり、津波来襲予想地域における避難所要時間の分布に有意な差異が確認できる。ここに、被験者として本稿の第一著者(23歳男性：2と同一人物)を選定し、単独歩行を実施した。

図-12、図-13、図-14は、津波来襲予想地域での困難区域評価係数 K_{SYN} の分布を南海トラフ巨大地震のシナリオごとに比較したものである。ここに、困難区域評価係数 K_{SYN} の算定は、2と同様に(1)式に基づいており、各々の設定値は表-1に示すとおりである。図-12、図-13、図-14に示すように、対象地域において評価係数の分布は一樣ではなく、津波避難パフォーマンスに有意な差異があることが確認できる。また、既往の研究^{17),18)}では南海トラ

フ巨大地震のシナリオをこれまで限られたケースしか想定できていなかったものの、本検討の実施によって南海トラフ巨大地震のシナリオの違いが津波避難パフォーマンスに比較的大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

図-15は、南海トラフ巨大地震のシナリオごとの困難区域評価係数 K_{SYN} の分布(図-12、図-13、図-14参照)を足し合わせたもの(すなわち、最大値は3.0となる)である。図-15に示すように、対象地域東側および南西側において困難区域評価係数が比較的大きな値を示している。すなわち、対象地域東側および南西側において今後何らかの津波避難施設(例えば、津波避難タワー¹⁹⁾などの新設の必要性が示唆される。当該地域(例えば、対象地域南西側の(株)日東紡績和歌山工場の跡地：図-16枠内写真参照)の利活用については、広川町議会においても現在議論²⁰⁾がなされていることなどから、本稿では、対象地域東側(建設会社横の敷地)および対象地域南西側((株)日東紡績和歌山工場の跡地)において、津波避難施設を新設した場合の減災効果について基礎的な検討を行った。

図-16は、対象地域東側および南西側の両候補地に津波避難施設が新設された場合の津波来襲予想地域における困難区域評価係数の分布である。ここに、両候補地に津波避難施設が新設されたものと仮定して、上記と同様の要領で歩行計測実験を再度実施した。図-16に示すように、津波避難施設を仮新設した対象地域東側および南西側において困難区域評価係数が比較的小さくなっていることから、津波避難施設が新設された場合の効果が顕著に表れている。さらに、図-16と図-15を比較すると、新設効果によって対象地域全体における困難区域評価係数が概ね同等程度の値の分布を示していること、そしてその最大値も2.5程度に留まっていることから、津波避難パフォーマンスの明らかな向上が読み取れるだけでなく、言い換えれば、両候補地における津波避難施設の新設の必要性を確認することができる。

4. まとめ

本研究では、和歌山県広川町の津波来襲予想地域を対象フィールドとして、津波避難困難区域の抽出のための強震動予測と歩行実験の結果に関するハイブリッド評価(複合評価)を行った。以下に得られた知見を示す。

- (1) 青苗地区の津波来襲地域全体における本震時の強震動作用中の避難困難時間は、約2分間程度である。
- (2) 青苗地区の津波来襲地域における避難所要時間は、約1～6分間程度であり、避難場所(1993年当時)との位置関係などによって同地域が有する津波避難パフォーマンスに有意な差異が存在する。
- (3) 上記(1)の避難困難時間と上記(2)の避難所要時間の組合せを行い、避難困難区域を抽出した結果、津波来襲地域の南端部において困難区域評価係数 K_{SYN} が比較的大きな値を示す。
- (4) 上記(3)の傾向は、青苗地区における実際の人的被害

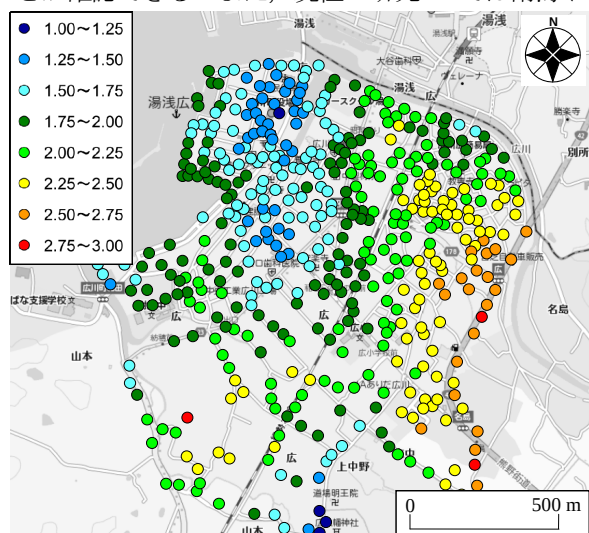


図-15 広川町での避難困難区域の評価(想定3ケースの合成)

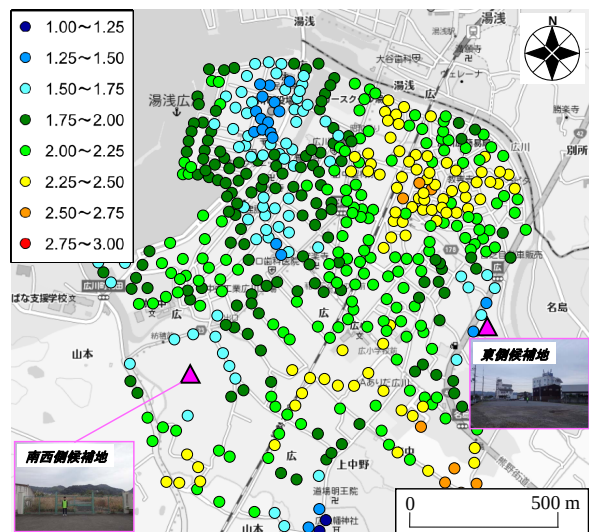


図-16 広川町での津波避難施設の新設効果(想定3ケースの合成)

の発生傾向と比較的類似していることから、困難区域評価係数 K_{SN} に基づく津波避難困難区域の抽出手法に関する適用性が示唆される。

- (5) 広川町の津波来襲予想地域では、同地域における地盤震動特性の差異などによって、同地域が有する津波避難パフォーマンス(強震動作用中の避難困難時間)に有意な差異が存在する。
- (6) 広川町の津波来襲予想地域では、既存の避難場所との位置関係などによって、同地域が有する津波避難パフォーマンス(避難場所までの歩行計測時間(避難所要時間))に有意な差異が存在する。
- (7) 上記(5)の避難困難時間と上記(6)の避難所要時間の組合せを行い、困難区域評価係数 K_{SN} を算定することで避難困難区域を相対的に評価した結果、対象地域東側(建設会社横の敷地)および対象地域南西側((株)日東紡績和歌山工場の跡地)においてそれぞれ津波避難施設の新設の必要性が示唆される。

今後は、広川町以外の地域に対して、本稿で提案したハイブリッド評価手法を適用していきたいと考えている。

謝辞：津波避難に関する歩行実験の実施にあたっては、奥尻島青苗地区ならびに和歌山県広川町の住民の皆様に変えお世話になりました。本研究の遂行にあたり、常田賢一教授(大阪大学)、鍛田泰子准教授(神戸大学)、小山真紀准教授(岐阜大学)にそれぞれご支援いただきました。(公社)地盤工学会関西支部南海トラフ巨大地震に関する被害予測と防災対策研究委員会の委員の皆様には、有意義なご意見をいただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 南海トラフの巨大地震モデル検討会：南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告)、強震断層モデル編—強震断層モデルと震度分布について—、内閣府防災情報ホームページ, 2012. [最終閲覧日：2016年6月1日]
- 2) 和歌山県地震・津波被害想定検討委員会：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、和歌山県総務部危機管理局総合防災課ホームページ, 2013. [最終閲覧日：2016年6月1日]
- 3) 湊文博, 秦吉弥, 山田雅行, 常田賢一, 鍛田泰子, 魚谷真基：高密度常時微動計測に基づく和歌山県串本町における南海トラフ巨大地震の強震動評価と津波避難に及ぼす影響, 土木学会論文集 A1, Vol.71, No.4, pp.123-135, 2015.
- 4) 秦吉弥, 湊文博, 常田賢一, 小山真紀, 鍛田泰子, 山田雅行：強震動予測および歩行実験に基づく津波避難困難地域の評価—和歌山県串本町を例として—, 土木学会論文集 B3, Vol.71, No.2, pp.1671-1676, 2015.
- 5) 例えば, 稲田健二：和歌山県の津波避難困難地域と津波対策について, 平成27年度近畿地方整備局研究発表会論文集, 防災・保全部門 No.11, 2015.
- 6) 例えば, 土木学会耐震工学委員会：1993年北海道南西沖地震震害調査報告, 499p., 1997.
- 7) 秦吉弥, 湊文博, 山田雅行, 鍛田泰子, 小山真紀, 中嶋唯貴, 常田賢一：強震動の作用が津波避難に及ぼす影響について—1993年北海道南西沖地震による奥尻島青苗地区でのケーススタディから学ぶべきこと—, Kansai Geo-Symposium 2015 論文集, 地盤工学会, pp.235-240, 2015.
- 8) 鍛田泰子, 齊藤栄：瞬間計測震度を用いた揺れ最中の避難行動可能時間の定量化, 日本地震工学会論文集, Vol.10, No.5, pp.52-65, 2010.
- 9) 湊文博, 秦吉弥, 山田雅行, 鍛田泰子, 小山真紀, 中嶋唯貴, 常田賢一：経験的サイト増幅・位相特性を考慮した1993年北海道南西沖地震における奥尻島青苗地区での強震動の評価, 第35回地震工学研究発表会講演論文集, 土木学会, Paper No.739, 2015.
- 10) 湊文博, 秦吉弥, 常田賢一, 鍛田泰子, 山田雅行, 魚谷真基：ウォーキング実験に基づく津波避難困難地域の評価—和歌山県串本町を例として—, 地域安全学会梗概集, No.35, pp.17-20, 2014.
- 11) 秦吉弥, 湊文博, 小山真紀, 鍛田泰子, 中嶋唯貴, 常田賢一：南海トラフ巨大地震を対象とした津波避難施設の新設場所の選定に関する試み, 第6回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演論文集, 土木学会, pp.1-6, 2016.
- 12) 東京大学社会情報研究所「災害と情報」研究会：1993年北海道南西沖地震における住民の対応と災害情報の伝達—巨津波と避難行動—, 372p., 1994.
- 13) 越村俊一, 萱場真太郎：1993年北海道南西沖地震津波の家屋被害の再考—津波被害関数の構築に向けて—, 日本地震工学会論文集, Vol.10, No.3, pp.87-101, 2010.
- 14) 湊文博, 秦吉弥, 常田賢一, 鍛田泰子, 小山真紀, 植田裕也：常時微動計測および臨時地震観測の高密度化に基づく南海トラフ巨大地震における和歌山県広川町津波来襲予想地域での強震動の評価, 第35回地震工学研究発表会講演論文集, 土木学会, Paper No.740, 2015.
- 15) 広川町総務政策課：広川町津波ハザードマップ(南海トラフの巨大地震), 広川町ホームページ, 2014. [最終閲覧日：2016年6月1日]
- 16) 湯浅町：湯浅町津波避難マップ(平成26年発行), 湯浅町ホームページ, 2014. [最終閲覧日：2016年6月1日]
- 17) 秦吉弥, 湊文博, 山田雅行, 鍛田泰子, 小山真紀, 中嶋唯貴, 常田賢一：強震動作用中の津波避難困難時間に関する評価精度とその向上策—南海トラフ巨大地震における駿河湾沿岸域を対象として—, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.62A, pp.259-272, 2016.
- 18) 湊文博, 秦吉弥, 山田雅行, 常田賢一, 鍛田泰子, 魚谷真基：サイト特性を考慮した南海トラフ巨大地震による和歌山県串本町における津波来襲地域での強震動の超高密度予測, 第59回地盤工学シンポジウム平成26年度論文集, 地盤工学会, pp.395-402, 2014.
- 19) 北出悟士, 馬場研介：広村堤防からみる津波避難タワーの有効性について—和歌山県広川町広川地区を参考にして—, 災害復興研究, 関西学院大学災害復興制度研究所, 第3号, pp.189-193, 2011.
- 20) 広川町議会：広川町議会たより(10号), 議会広報編集常任委員会, 平成27年5月発行, 18p., 2015.