

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 —

Evaluation of Tsunami Evacuation Times to Designated Places
in Kushimoto Town, Wakayama Prefecture, Japan, Based on Walking Experiment

○湊文博¹, 秦吉弥², 常田賢一², 鋤田泰子³, 山田雅行⁴, 魚谷真基²
Fumihito MINATO¹, Yoshiya HATA², Ken-ichi TOKIDA²
Yasuko KUWATA³, Masayuki YAMADA⁴ and Masaki UOTANI²

¹大阪大学 工学部

School of Engineering, Osaka University

²大阪大学 大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Osaka University

³神戸大学 大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Kobe University

⁴(株)ニュージェック 技術開発グループ

Technology Development Group, Newjec Inc.

During a scenario earthquake with $M_w 9.0$ along the Nankai Trough, not only strong motion but also huge tsunami is predicted in Kushimoto Town, Wakayama Prefecture, Japan. Seismic waveforms in the Tsunami attack area were already predicted with very high density based on the SMGA models considering local site effects. In this paper, walking times from evaluation sites of local site effect to designated refuge places were measured. Using non-evacuation time based on the time history of instrumental seismic intensity and measured time based on results of the walking experiment, we evaluated the difficult area for tsunami evacuation in Kushimoto Town relatively.

Keywords : Strong motion, instrumental seismic intensity, Tsunami, evacuation time, walking experiment

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震($M_w 9.0$)の発生を受け、南海トラフにおいても、 $M_w 9.0$ 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概ね1kmメッシュ毎に行われている¹⁾。和歌山県串本町は、以下に示す2つの理由により、南海トラフ巨大地震時に非常に大きな強震動の作用が予想される。第一に、図-1に示すように、想定震源域の近傍に位置¹⁾していること(震源特性の影響)、第二に、街地・平地(津波来襲地域: 図-2参照)の大部分が砂洲地盤で構成²⁾されていること(サイト特性の影響)、第三に、歴史地震(1946年南海地震)において強震動による被害が串本では比較的大きかったことが報告³⁾されていること、第四に、想定南海地震($M_j 8.4$)の推定地震動による建物の深刻な被害が予想⁴⁾されていること、などがその理由である。

この点に関して著者ら⁵⁾は、串本町の津波来襲地域において高密度の常時微動計測を実施し、得られた常時微動H/Vスペクトルに基づいてサイト増幅特性を評価⁶⁾している。そして、評価したサイト増幅特性と南海トラフ巨大地震によるSMGAモデル¹⁾を用いて、強震波形計算を行い、串本町の津波来襲地域に作用する強震動を微動計測点ごとに予測⁷⁾している。さらに、予測地震動の瞬間計測震度⁸⁾の時刻歴に基づき避難不可能時間を計算し、津波避難⁹⁾に及ぼす影響について検討を行っている。

一方で、和歌山県串本町の街地・平地では、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¹⁰⁾されている。しかしながら、串本町における地域防災計画¹¹⁾や津波防災対策基本計画¹²⁾では、指定場所までの避難に

要する時間について十分な検討がなされていないケースも見受けられる。したがって、巨大津波来襲前における以下に示す時間のハイブリッド評価は非常に重要である。

- ・強震動作用中の避難不可能時間
- ・強震動作用後の指定避難場所までの所要時間

上述した背景を踏まえ、本稿では、串本町の津波来襲地域における微動計測地点(サイト増幅特性評価地点)から避難場所までの歩行時間(強震動作用後の指定避難場所までの所要時間)に関する計測実験を行った結果について報告する。さらに、計測された避難場所までの所要時間と、既往の研究による強震動作用中の避難不可能時間を組合せることによって、串本町の津波来襲地域内における避難困難区域の抽出・評価を行った。

2. 強震動作用中の避難不可能時間

著者ら⁵⁾は、和歌山県串本町における津波来襲地域において、常時微動計測(単点計測)を行っている。計測点数は525地点、津波来襲地域の面積は約1.06km²であり、概ね45m四方に1つの計測点を設けた計算になる。

図-3は、津波来襲地域内における常時微動H/Vスペクトルのピーク周波数を地形図上にプロットしたものである。図-3に示すとおり、同じ津波来襲地域内においてもピーク周波数に有意なバラツキが確認できることから、津波来襲地域内における地盤震動特性が同様であるとは言い難い。また著者ら⁶⁾は、津波来襲地域内における既存強震観測点(K-NET串本)と常時微動計測地点(計524地点)での常時微動H/Vスペクトルの比較に基づき、常時微動計測地点(計524地点)におけるサイト増幅特性を

評価している。K-NET 串本を含む全 525 地点における常時微動 H/V スペクトルおよびサイト増幅特性の一覧については文献 5) を参照されたい。

さらに著者ら⁷⁾は、内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会¹⁾による SMGA (基本ケース) モデル (静岡県駿河湾から宮崎県日向灘までの計 12 個のサブイベントで構成) と経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震波形計算手法の組合せに基づいて、津波来襲地域のサイト増幅特性 (常時微動 H/V スペクトル) の評価地点ごとに予測される地震動を算定している。その際、図-1 に示すとおり、この SMGA モデルにおける破壊開始点の位置を、①駿河湾 (以後、駿河湾ケースと呼ぶ)、②串本沖 (以後、串本沖ケースと呼ぶ)、③日向灘 (以後、日向灘ケースと呼ぶ) に配置した計 3 ケースを設定している。

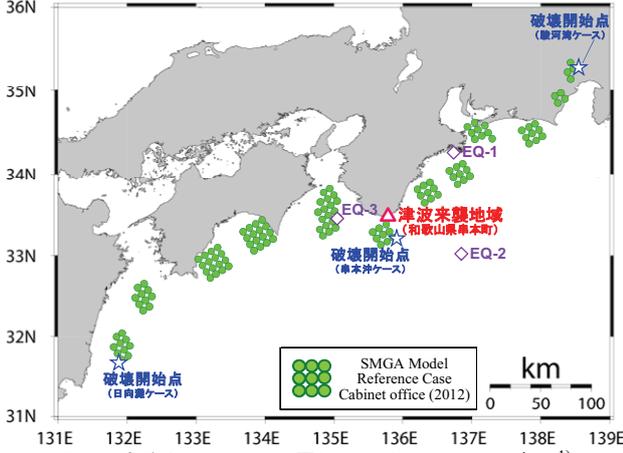


図-1 南海トラフ巨大地震における SMGA モデル¹⁾

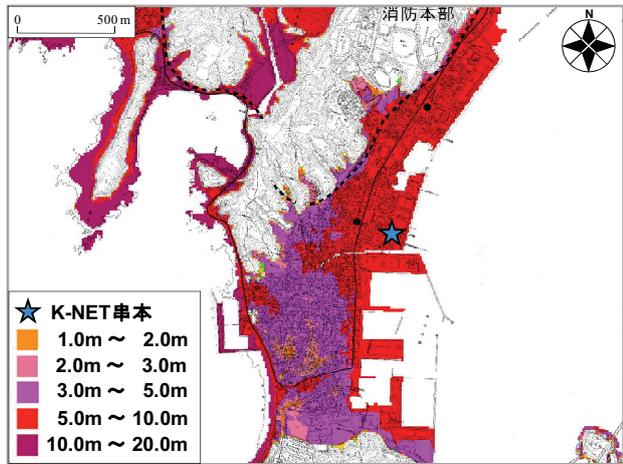


図-2 串本町内における津波来襲予想地域¹⁰⁾



図-3 津波来襲地域におけるピーク周波数の分布⁵⁾

図-4、図-5、図-6 は、①駿河湾ケース、②串本沖ケース、③日向灘ケースにおける強震動作用中の避難不可能時間 (瞬間計測震度の時刻歴に基づいて算定: 図-7 の一例参照) の津波来襲地域での分布である。図-4、図-5、図-6 に示すとおり、震源 (破壊開始点) が津波来襲地域の近傍にある串本沖ケースでは、避難不可能時間が極端に短くなっている。一方で、駿河湾ケースおよび日向灘ケースでは、避難不可能時間が比較的長くなる傾向にあり、日向灘ケースにおいてその傾向が顕著に表れている。すなわち、津波来襲地域内でのサイト増幅特性の差異や南海トラフ巨大地震の発生シナリオの差異によって、串本町の津波来襲地域が有する津波避難パフォーマンスには、有意な差異があることが確認できる。



図-4 強震動作用中の避難不可能時間 (駿河湾ケース)⁷⁾



図-5 強震動作用中の避難不可能時間 (串本沖ケース)⁷⁾

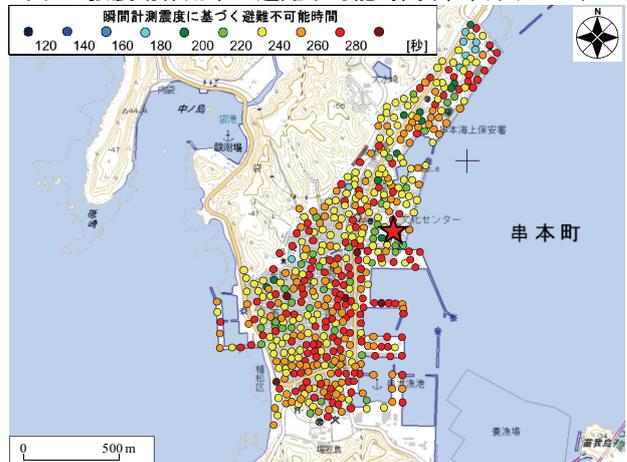


図-6 強震動作用中の避難不可能時間 (日向灘ケース)⁷⁾

3. 強震動作用後の指定避難場所までの所要時間

串本町の津波来襲地域における強震動予測地点(常時微動計測・サイト増幅特性評価地点)から避難場所¹³⁾までの歩行時間(すなわち1. で述べた強震動作用後の指定避難場所までの所要時間)に関する計測実験を行った。その際、以下に示すように、地震・津波被害想定検討委員会¹⁰⁾による津波予想高に対して十分な余裕高を有する場所を避難場所として選定した(以後、選定避難場所と呼ぶ)。

- ・消防防災センター
- ・雨天練習場付近
- ・矢ノ熊踏切急傾
- ・幼稚園横高台
- ・成和ビル
- ・図書館裏山
- ・本町通り裏山
- ・ギオン山
- ・津波避難タワー
- ・雇用促進住宅
- ・串本古座高校体育館
- ・Aコープ付近登り口

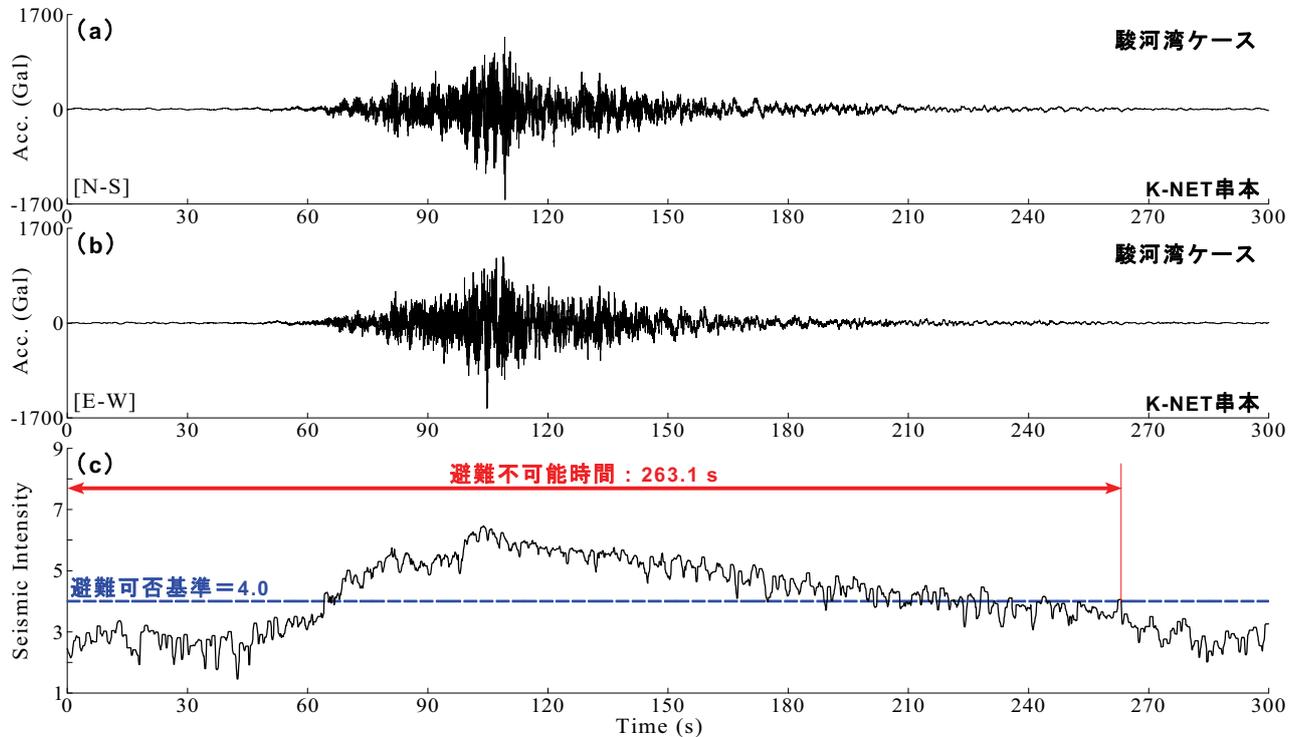


図-7 瞬間計測震度の時刻歴に基づく避難不可能時間の算定例

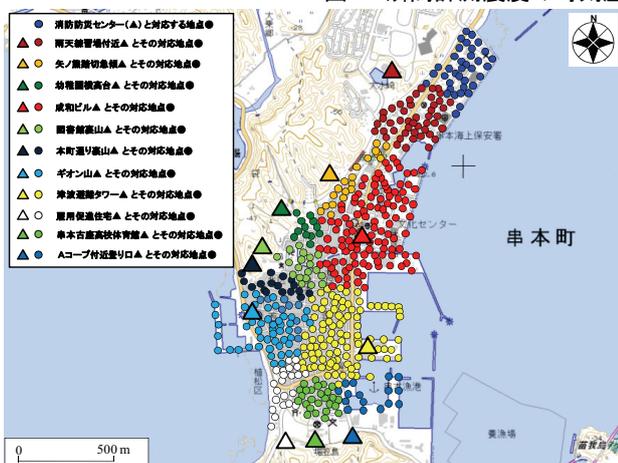


図-8 選定避難場所に関するゾーニング

図-8 は、選定避難場所に関するゾーニング結果である。ゾーニングに際しては、歩行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)から選定避難場所までの歩行時間が最小になるようにゾーニングを施した。各強震動予測地点から対応する選定避難場所(図-8 参照)までの歩行計測時間の最小値の分布を図-9 に示す。なお、計測時間は、全て同一人物(本稿の第一著者: 22 歳男性)の歩行実験の結果に基づいている。図-9 に示すとおり、避難計測時間の分布のバラツキが確認できる。

4. 津波避難困難区域の抽出・評価

本章では、2. で算定した強震動作用中の避難不可能時間と、3. で計測した強震動作用後の指定避難場所までの所要時間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な区域(避難困難区域)を抽出・評価する。両時間の合成には、次式を採用した。

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

ここに、 K_{SYN} は困難区域評価係数であり、その値が大き

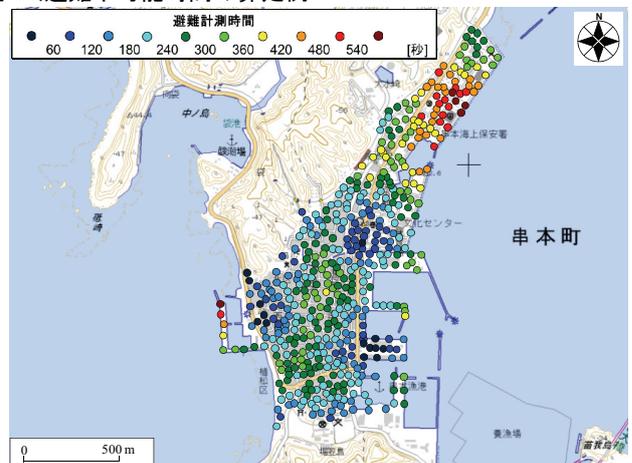


図-9 歩行実験に基づく避難計測時間の分布



図-10 津波避難困難区域の相対的評価(駿河湾ケース)



図-11 津波避難困難区域の相対的評価(串本沖ケース)

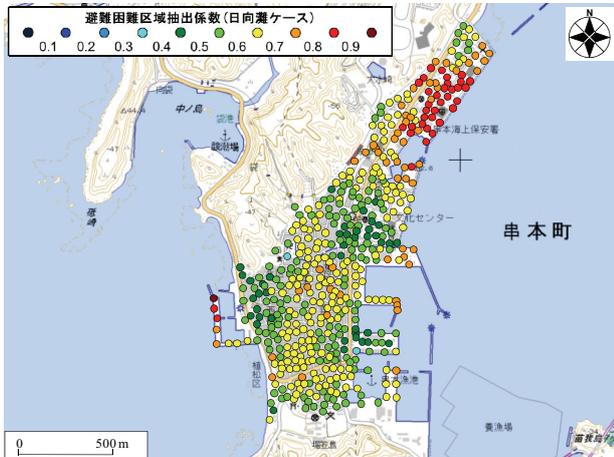


図-12 津波避難困難区域の相対的評価(日向灘ケース)

いほど避難が困難であることを意味している。 t_{SM} , T_{SM} , C_{SM} は、強震動 (*Strong Motion*) 作用中の避難不可能時間 (図-4, 図-5, 図-6 参照), とその最大値 (263s, 260s, 297s (左から, 駿河湾・串本沖・日向灘ケース)), 及びその影響係数 (0.48, 0.38, 0.50 (左から, 駿河湾・串本沖・日向灘ケース)) である。 t_{WE} , T_{WE} , C_{WE} は、歩行実験 (*Walking Experiment*) に基づく強震動作用後の指定避難場所までの所要時間 (図-9 参照), とその最大値 (577s (ケースに依存せず固定値)), 及びその影響係数 (0.52, 0.62, 0.50 (左から, 駿河湾・串本沖・日向灘ケース)) である。

図-10, 図-11, 図-12 は、津波来襲地域内における困難区域評価係数 K_{SYN} の分布である。図-10, 図-11, 図-12 に示すように、串本町の津波来襲地域内において、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は、有意な差異があることが確認できる。また、北部の埋立地域の一部および西部の突堤付近において困難区域評価係数が局所的に大きい値を示しており、この傾向は強震動予測での破壊開始点の位置には依存していない。

5. まとめ

本稿では、和歌山県串本町の津波来襲地域を対象に、津波避難困難区域の抽出のための強震動予測と避難歩行実験に関するハイブリッド評価を行った。その結果、同じ津波来襲地域内でも北部の埋立地域の一部および西部の突堤付近において津波避難パフォーマンスが相対的に低い区域が抽出された。今後は、本稿で実施した相対的な評価だけでなく、津波来襲予想時間を考慮した絶対的な評価についても実施していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 南海トラフの巨大地震モデル検討会 (2012) : 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 HP. (last accessed: 2014/10/03)
- 2) 串本町史編さん委員会 (1995) : 串本町史 (通史編), 第一法規出版, 1071p.
- 3) 建設院第一技術研究所 (1948) : 昭和二十一年十二月二十一日東南海地震調査報告, 建設院第一技術研究所概報, 第十六号, 昭和二十三年六月.
- 4) 包那仁満都拉・川瀬博 (2007) : 強震ネットワークデータから構築した広周波数帯域統計的グリーン関数とその南海地震への応用, 日本地震工学会論文集, Vol.7, No.2, pp.80-95.
- 5) 湊文博・秦吉弥・山田雅行・常田賢一・魚谷真基 (2014) : 超高密度常時微動計測に基づく和歌山県串本町における津波来襲地域での地盤震動特性の評価, 第 34 回地震工学研究発表会講演論文集, 土木学会, Paper No.580.
- 6) 湊文博・秦吉弥・山田雅行・常田賢一・魚谷真基 (2014) : 超高密度常時微動計測に基づく和歌山県串本町における津波来襲地域でのサイト増幅特性の評価, 第 14 回日本地震工学シンポジウム論文集, 日本地震工学会, Paper No.1016.
- 7) 湊文博・秦吉弥・山田雅行・常田賢一・鎌田泰子・魚谷真基 (2014) : 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論文集, 地盤工学会, Paper No.010.
- 8) 鎌田泰子・齊藤栄 (2010) : 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.
- 9) 小笠原敏記・中畑摩耶・松林由里子・堺茂樹 (2013) : 2011 年東北地方太平洋沖地震における住民避難行動に関する現地調査—和歌山県串本町を対象として—, 土木学会論文集 B3, Vol.69, No.2, pp.I_37-42.
- 10) 和歌山県地震・津波被害想定検討委員会 (2013) : 「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. (last accessed: 2014/10/03)
- 11) 串本町防災会議 (2011) : 串本町地域防災計画, 395p.
- 12) 太田和良・西田治彦・玉川純次 (2006) : 串本町総合的津波対策の取り組みについて, 地域安全学会論文集, No.8, pp.307-314.
- 13) 串本町役場総務課 (2014) : 津波ハザードマップ, 袋・串本・大水崎・圃野川 (東側) 地区, pp.19-20.