

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

湊 文博¹・秦 吉弥²・山田 雅行³・楢田 泰子⁴・
小山 真紀⁵・中嶋 唯貴⁶・常田 賢一⁷

¹ 学生会員 大阪大学 大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail: fminato@civil.eng.osaka-u.ac.jp

² 正会員 大阪大学 大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail: hata@civil.eng.osaka-u.ac.jp

³ 正会員 (株)ニュージェック 技術開発グループ (〒531-0074 大阪府大阪市北区本庄東2-3-20)
E-mail: yamadams@newjec.co.jp

⁴ 正会員 神戸大学 大学院工学研究科 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1)
E-mail: kuwata@kobe-u.ac.jp

⁵ 正会員 岐阜大学 岐阜大学流域圏科学研究センター (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)
E-mail: maki_k@gifu-u.ac.jp

⁶ 北海道大学 大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)
E-mail: nakashima@eng.hokudai.ac.jp

⁷ フェロー会員 大阪大学 大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail: tokida@civil.eng.osaka-u.ac.jp

本稿では、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不可能時間を評価した結果について報告する。具体的には、青苗地区の既存強震観測点であるK-NET青苗とJMA松江を対象地点としてサイト増幅・位相特性を評価した。次に、経験的サイト増幅・位相特性を用いた強震動評価手法と特性化震源モデルの組合せを用いて、本震時にK-NET青苗(沿岸域の低地)およびJMA松江(山域の高地)に作用した地震動を推定した。最後に、推定地震動による瞬間計測震度の時刻歴を計算することで、K-NET青苗およびJMA松江での強震動作用中の避難困難時間を比較評価した。

Key Words : ground motion, tsunami evacuation, instantaneous instrumental seismic intensity

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影響を及ぼすことが予想される。

この点に関して秦ほか^{3,4)}は、2011年東北地方太平洋沖地震の強震動の作用によって、南三陸町志津川や宮古

市田老の街地(津波来襲域)に存在していた構造物が、巨大津波来襲前の強震動の作用によって何らかの損傷を被っていた可能性を示唆している。さらに、湊ほか⁵⁻¹⁸⁾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予想される和歌山県串本町^{19,20)}を対象フィールドとして、津波来襲予想地域において強震動の高密度予測を行い、得られた予測地震動に基づいて瞬間計測震度^{23,24)}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。

津波避難困難地域(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地域)の設定^{25,26)}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。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-1参照)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²⁸⁾³⁹⁾されている。

上述した背景を踏まえ本稿では、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不可能時間¹⁸⁾を評価した結果について報告する。具体的には、まず、図-2に示す青苗地区の既存強震観測点であるK-NET青苗(1996年6月観測開始)³⁹⁾とJMA松江(2000年11月観測開始)³⁹⁾を対象地点としてサイト増幅・位相特性を評価した。次に、経験的サイト増幅・位相特性を用いた強震動評価手法³⁷⁾³⁹⁾と1993年北海道南西沖地震の特性化震源モデル³⁹⁾の組合せを用いて、本震時にK-NET青苗(沿岸域の低地)およびJMA松江(山域の高地)に作用した地震動を推定した。最後に、推定地震動による瞬間計測震度の時刻歴を計算することで、K-NET青苗およびJMA松江での強震動作用中の避難困難時間を比較評価した。

2. 検討対象地点における地盤震動特性

図-2および図-3に青苗地区における上空写真および地

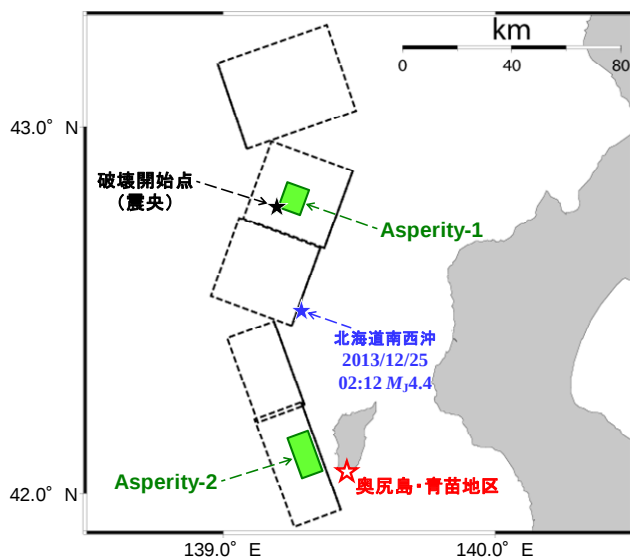


図-1 1993年北海道南西沖地震の断層モデルと青苗地区

質図⁴⁰⁾⁴¹⁾を既存強震観測点(K-NET青苗・JMA松江)の位置情報とともに示す。図-2に示すように、K-NET青苗は

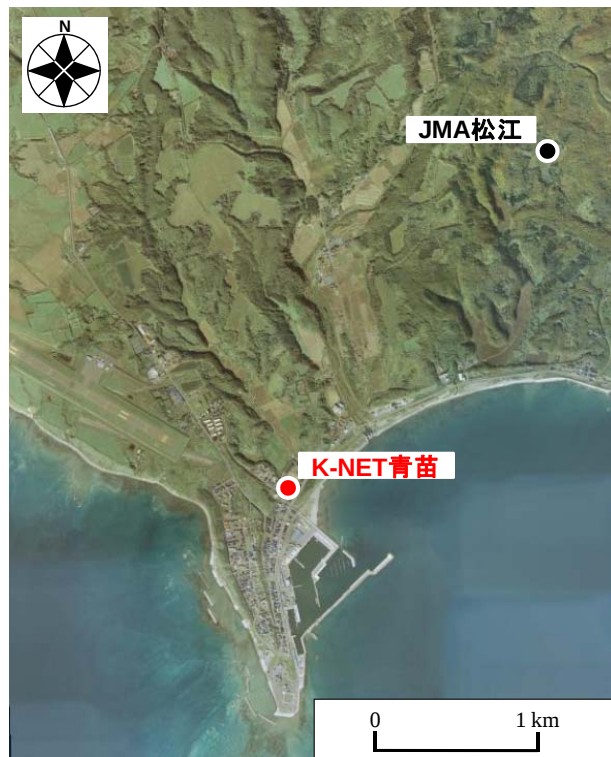


図-2 奥尻島青苗地区の既存強震観測点

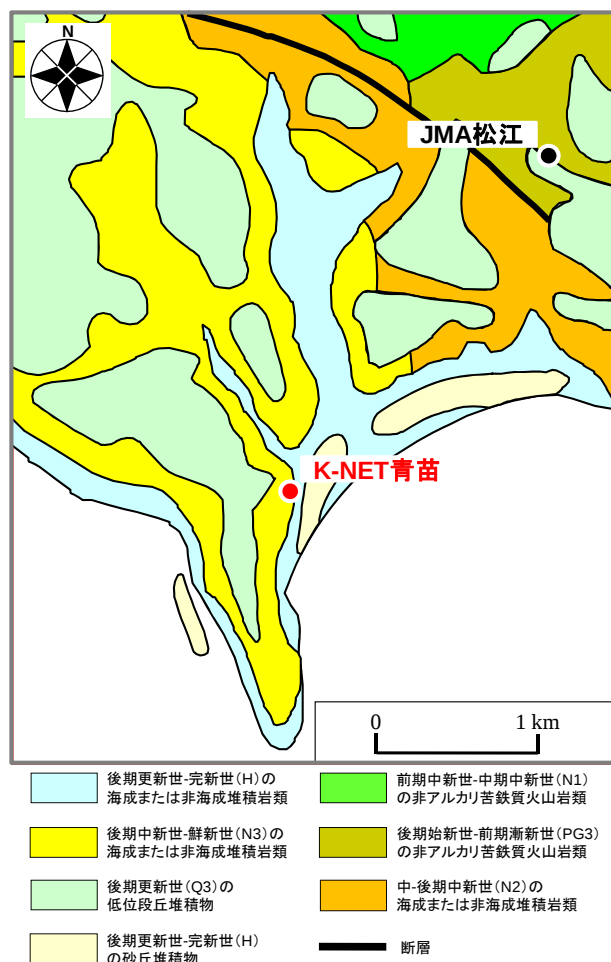


図-3 奥尻島青苗地区の既存強震観測点における地質状況

沿岸域に設置されているのに対し、JMA松江は山域に設置されている。強震観測点の設置地域に起因して、図-3に示すように地質状況も異なっていることから、両観測点間での地盤震動特性の差異が示唆される。

図-4は、K-NET青苗におけるサイト増幅特性⁴²⁾とJMA松江におけるサイト増幅特性(ともに地震基盤～地表)を比較したものである。JMA松江におけるサイト増幅特性は、JMA松江とK-NET青苗で同時に得られた中小地震観測記録を対象に、両地点の距離の違いによる補正⁴³⁾⁴⁴⁾を考慮した水平2成分合成のフーリエスペクトルの比率(JMA松江/K-NET青苗)を計算し、この比率をK-NET青苗における既存のサイト増幅特性⁴²⁾に掛け合わせることで評価⁴⁵⁾⁴⁶⁾した。図-4に示すとおり、評価対象とする周波数帯域(0.2～10Hz)においてK-NET青苗におけるサイト増幅特性がJMA松江におけるサイト増幅特性を大幅かつ連続的に上回っており、1993年北海道南西沖地震時に沿岸域(K-NET青苗)に作用した地震動は、山域(JMA松江)に作用した地震動よりも非常に大きかったことが示唆される。

図-5は、北海道南西沖を震源とする中小地震(2013/12/25 02:12 M_J4.4: 図-1参照)におけるK-NET青苗とJMA松江での観測地震動の加速度時刻歴を比較したものである。図-5に示すとおり、K-NET青苗よりもJMA松江のほうが震源から近いにも関わらず(図-1および図-2参照)、サイト増幅特性の差異(図-4参照)などに起因して、JMA松江よりもK-NET青苗のほうが加速度振幅が大きく、地震動の継続時間も長くなっている。さらに、サイト増幅特性とサイト位相特性の相関性⁴⁷⁾により、上述した両観測点間におけるサイト増幅特性の違い(図-4参照)に関連して、サイト位相特性(波形形状: 図-5参照)にも有意な差異が確認できる。

3. 青苗地区での強震動の評価

1993年北海道南西沖地震の当時、奥尻島には強震観測点が設置されていなかったため、本震観測記録に対して補正を施す方法⁴⁸⁾⁴⁹⁾によって、青苗地区における本震時の地震動を推定することはできない。そこで本稿では、既往の研究成果⁵⁰⁾⁵³⁾をもとに構築された野津⁵⁴⁾による1993年北海道南西沖地震の特性化震源モデル(アスペリティモデル)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³⁹⁾の組合せを用いて、青苗地区における本震時の地震動を推定した。図-1に特性化震源モデル(アスペリティモデル)と青苗地区の位置関係、表-1に震源モデルパラメータの一覧を示す。このモデルは、港湾地域の強震観測点⁵⁵⁾である小樽-G、室蘭-G、函館-Fでの

表-1 特性化震源モデルの断層モデルパラメータの一覧

Parameters	Asperity-1	Asperity-2
Strike (deg.)	200	160
Dip (deg.)	30	60
Seismic moment (Nm)	1.0×10^{19}	6.0×10^{19}
Length (km)	8.0	16.0
Width (km)	8.0	16.0
Rise time (sec)	0.6	1.3
Partition number	$4 \times 4 \times 4$	$4 \times 4 \times 4$
Source location/depth	N42.782, E139.180 / 35km	
Q value	$Q = 114 f^{0.92}$	
Density (kg/m ³)	3.1×10^3	
Shear wave velocity (km/s)	3.9	
Rupture velocity (km/s)	3.2	

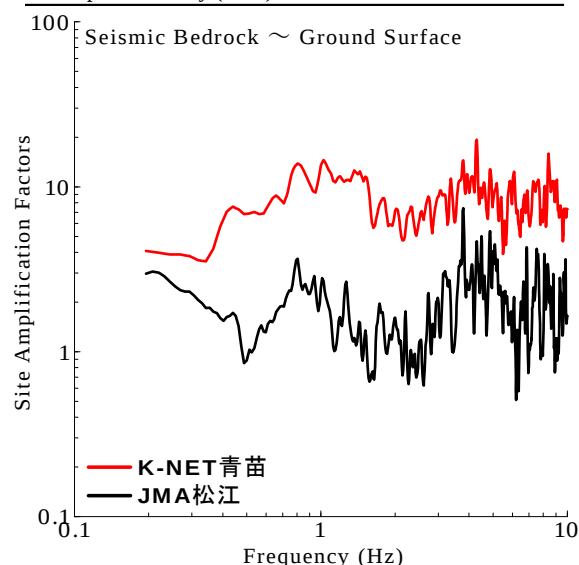


図-4 サイト増幅特性(地震基盤～地表)の比較

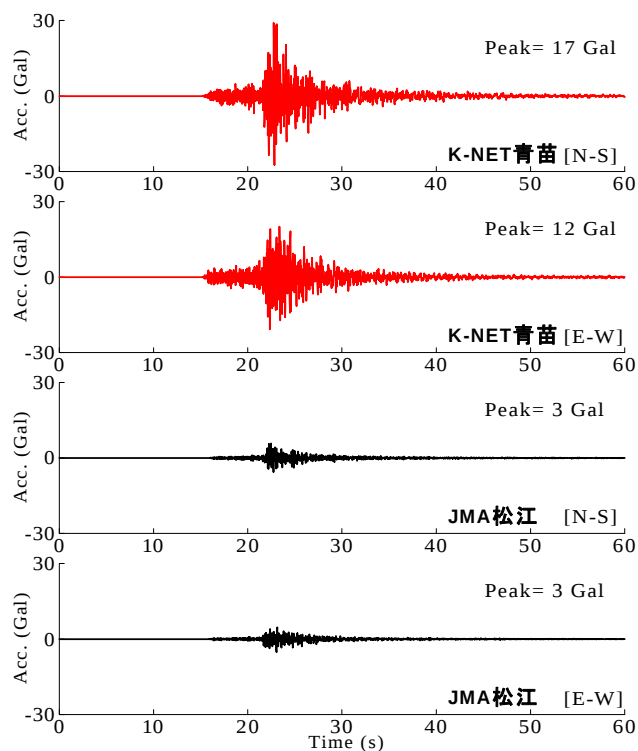


図-5 サイト位相特性(北海道南西沖の中小地震)の比較

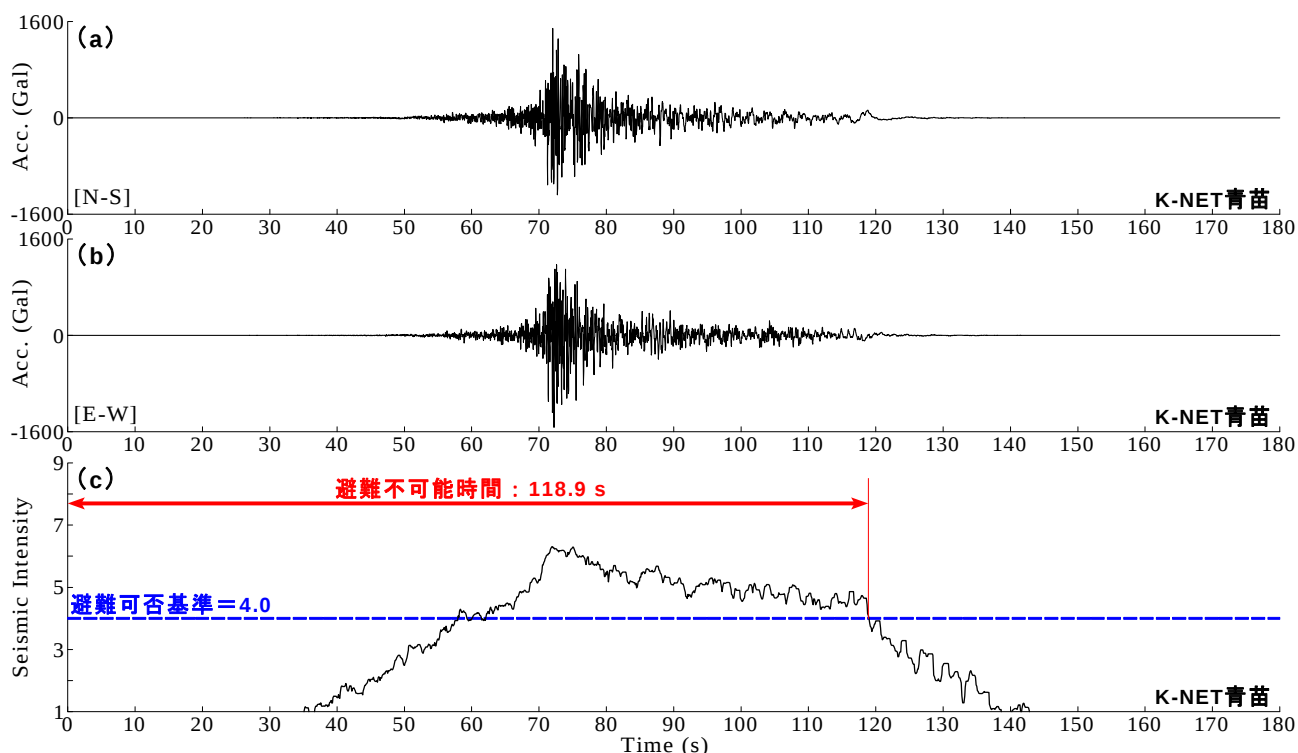


図-6 1993年北海道南西沖地震による推定地震動と瞬間計測震度の時刻歴に基づく避難不可能時間の評価(K-NET青苗)

本震観測記録の速度波形およびフーリエ振幅スペクトルを一定の精度で評価可能なモデルである。

一方で、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³⁹⁾では、まず式(1)により統計的グリーン関数を生成する。

$$A(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot G(f) \cdot \frac{O(f)}{|O(f)|_p} \quad (1)$$

ここに、 $A(f)$ は地表における統計的グリーン関数のフーリエ変換で複素数、 $S(f)$ は中小地震の震源特性⁴⁹⁾で実数、 $P(f)$ は伝播経路特性⁴³⁾で実数、 $G(f)$ はサイト増幅特性(図-4参照)で実数、 $O(f)$ は青苗地区での中小地震観測記録(2013年12月25日に発生した北海道南西沖を震源とする地震($M_j 4.4$: 図-1参照)によるK-NET青苗もしくはJMA松江での観測記録(図-5参照))のフーリエ変換で複素数、 $|O(f)|_p$ はその絶対値に対してバンド幅0.05HzのParzen Windowを適用したものである。式(1)からわかるように、本手法では、統計的グリーン関数のフーリエ振幅は震源特性・伝播経路特性・サイト特性の積として求め、統計的グリーン関数のフーリエ位相としては現地で得られた中小地震記録のフーリエ位相を用いる。式(1)をフーリエ逆変換し、経験的グリーン関数法と同様の重ね合わせを行うことで、大地震による波形が求まる。なお、Parzen Window(添字p)は因果性を満足する地震波を生成する目的で用いられている³⁹⁾。

図-6(a),(b)および図-7(a),(b)は、1993年北海道南西沖地震におけるK-NET青苗およびJMA松江での推定地震動

(水平動)の加速度時刻歴である。図-6(a),(b)および図-7(a),(b)に示すように、両観測点間におけるサイト増幅特性の差異(図-4参照)およびサイト位相特性の差異(図-5参照)に起因して、K-NET青苗のほうがJMA松江よりも加速度振幅も大きく、地震動の継続時間も長くなっている。

図-6(c)および図-7(c)は、K-NET青苗およびJMA松江における本震時の避難不可能時間である。避難不可能時間は、予測地震動の加速度波形(図-6(a),(b)および図-7(a),(b)参照)において瞬間計測震度(水平2成分合成)²⁹⁾の時刻歴を計算し(図-6(c)および図-7(c)参照)、先行研究²⁹⁾による知見を参考に、瞬間計測震度が4.0を下回るまでの連続時間とした。ここに、上述した経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震波形計算手法³⁹⁾に基づいた統計的グリーン関数法による予測地震動には、位相波(図-5参照)の時刻遅れが入力されているため、本来、震源(破壊開始点: 図-1参照)からの絶対時刻とはならない。なお、避難不可能時間の原点として、緊急地震速報等による覚知時間あるいは初期微動の覚知時間などを採用することも考えられるが、既往の研究成果⁵⁰⁾によれば、緊急地震速報や初期微動によって避難を開始するとは考えにくい。そこで本検討では、破壊開始点に最も近い陸地において同じサイト位相波を用いて予測した地震動との相対時間を予測地震動の時刻歴(図-6および図-7の時間軸)として採用¹⁸⁾した。

図-6(c)および図-7(c)に示すように、JMA松江(山城)では避難不可能時間が極端に短くなっているのに対し、

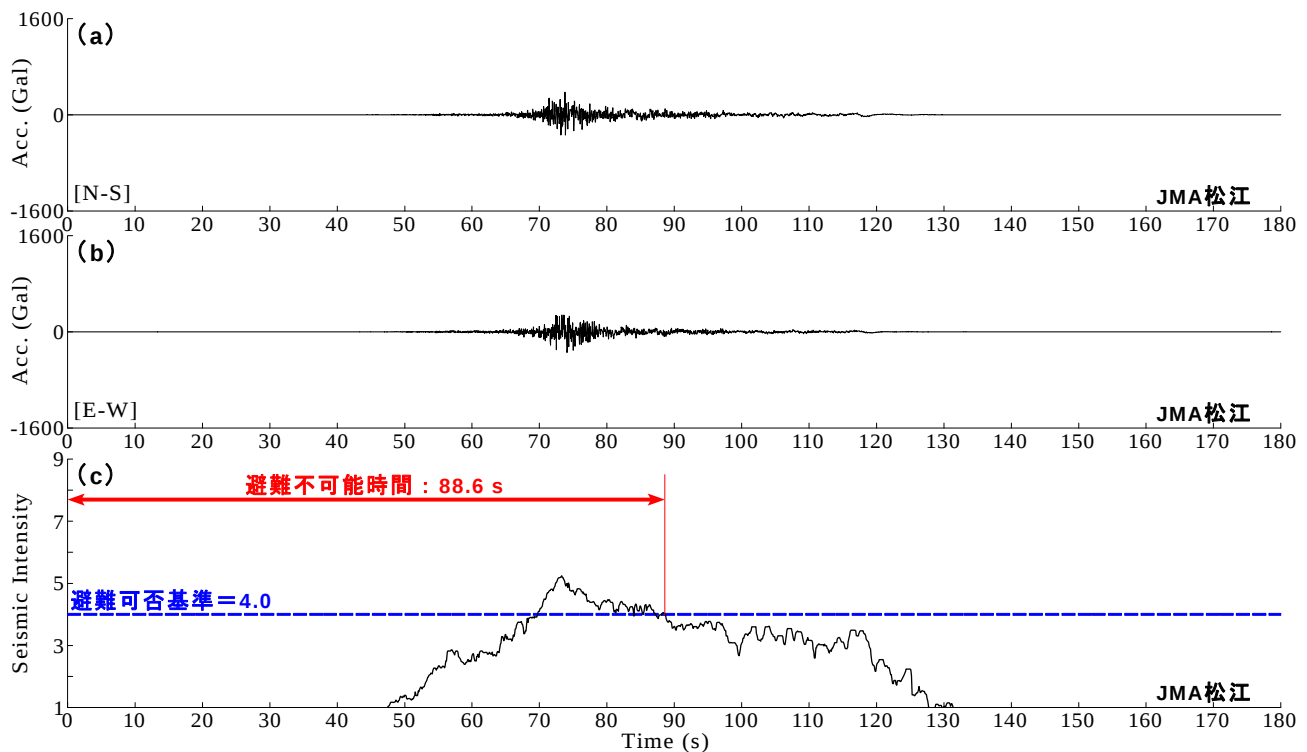


図-7 1993年北海道南西沖地震による推定地震動と瞬間計測震度の時刻歴に基づく避難不可能時間の評価(JMA松江)

K-NET青苗(沿岸域)では避難不可能時間が比較的長くなっており、両観測点間での避難不可能時間の差異が顕著に表れている。具体的には、津波来襲の恐れがない山域に位置するJMA松江よりも、1993年北海道南西沖地震(および1983年日本海中部地震)による津波来襲地域(沿岸域)に位置するK-NET青苗のほうが、強震動作用中の避難不可能時間が30秒程度長くなっている。すなわちこれは、津波避難困難地域の設定(1.参照)などにおいて、サイト特性(地盤震動特性)の差異に起因した強震動作用中の避難不可能時間の違いを考慮する必要性が高いことを示唆するものである。

4. まとめ

本稿では、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することで、強震動作用中の避難不可能時間を評価した。その結果、津波来襲の恐れがない山域に位置するJMA松江よりも、1993年北海道南西沖地震による津波来襲地域(沿岸域)に位置するK-NET青苗のほうが、強震動作用中の避難不可能時間が30秒程度長く算定された。

今後は、本稿で得られた知見を踏まえ、地盤震動特性の違いによる強震動作用中の避難不可能時間の時間差を考慮した津波避難困難地域の設定方法の開発を進めていきたいと考えている。

謝辞：本研究では、国立研究開発法人防災科学技術研究所K-NETおよび気象庁JMAによる地震観測波形データを使用しました。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. (last accessed: 2015/08/15)
- 2) 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)，津波断層モデル編—津波断層モデルと津波高・浸水域等について—，内閣府防災情報ホームページ，2012. (last accessed: 2015/08/15)
- 3) 秦吉弥，秋山充良，高橋良和，後藤浩之，野津厚，幸左賢二：スーパーアスペリティモデルと経験的サイト増幅・位相特性を考慮した 2011 年東北地方太平洋沖地震による南三陸町志津川での強震動の評価，土木学会論文集 B3，Vol.69, No.2, pp.I_161-166, 2013.
- 4) 秦吉弥，野津厚，山田雅行，常田賢一，青木伸一：余震観測に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震による宮古市田老の防潮堤沿いでの強震動評価，土木学会論文集 B3，Vol.70, No.2, pp.I_936-941, 2014.
- 5) 湊文博，秦吉弥，山田雅行，常田賢一，魚谷真基：常時微動 H/V スペクトルに基づく和歌山県串本町での地盤震動特性の評価，Kansai Geo-Symposium 2014 論文集，地盤工学会，Paper No.3-4, 2014.
- 6) 湊文博，秦吉弥，山田雅行，常田賢一，魚谷真基：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，No.580,

- 2014.
- 7) 湊文博, 秦吉弥, 山田雅行, 常田賢一, 魚谷真基: 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, pp. 3689-3697, 2014.
- 8) 湊文博, 秦吉弥, 常田賢一, 鎌田泰子, 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.
- 9) 湊文博, 秦吉弥, 山田雅行, 常田賢一, 鎌田泰子, 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.
- 10) Hata, Y. and Yamada, M.: Evaluation of site amplification and phase effects in Kushimoto Town, Wakayama Prefecture, Japan, *Proc. of 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Paper No.631, Istanbul, Turkey, 2014.
- 11) 湊文博: 強震動と津波避難に関するハイブリッド評価—南海トラフ巨大地震による和歌山県串本町を例として—, 第 4 回サイエンス・インカレ研究発表会要約集, 文部科学省, pp.24, 2015.
- 12) 秦吉弥, 湊文博, 山田雅行, 常田賢一, 魚谷真基: 和歌山県串本町における高密度常時微動計測, 物理探査, Vol.68, No.2, pp.83-90, 2015.
- 13) 秦吉弥, 湊文博, 常田賢一, 小山真紀, 鎌田泰子, 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—, 第 40 回海洋開発シンポジウム講演集, 土木学会, Paper No.107, 2015.
- 14) 湊文博, 秦吉弥, 常田賢一, 小山真紀, 鎌田泰子, 山田雅行: 地盤特性を考慮した強震動と津波避難に関するハイブリッド評価—和歌山県串本町を例として—, 平成 27 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, Paper No.0301, 2015.
- 15) 湊文博, 秦吉弥, 山田雅行, 常田賢一, 鎌田泰子, 小山真紀: 高密度常時微動計測に基づく和歌山県串本町の津波来襲予想地域における強震動予測, 第 50 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.2019-2020, 2015.
- 16) 湊文博, 秦吉弥, 常田賢一, 小山真紀, 鎌田泰子, 山田雅行: 強震動予測と歩行実験のハイブリッド評価に基づく津波避難余裕時間の試算, 第 50 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.2021-2022, 2015.
- 17) Minato, F., Hata, Y., Yamada, M., Tokida, K., Kuwata, Y. and Uotani, M.: High density predictions of ground motion during Nankai Trough Earthquake, *Proc. of the 25th International Ocean and Polar Engineering Conference*, pp. 789-794, Hawaii, U.S.A., 2015.
- 18) 湊文博, 秦吉弥, 山田雅行, 常田賢一, 鎌田泰子, 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, 2015. [in press]
- 19) 小笠原敏記, 中畑摩耶, 松林由里子, 堺茂樹: 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, 2013.
- 20) 太田和良, 西田治彦, 玉川純次: 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, 2006.
- 21) 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—和歌山県串本町串本地区を参考にして—, 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.
- 22) 串本町役場総務課: 津波ハザードマップ, 袋・串本・大水崎・鬨野川(東側)地区, pp.19-20, 2014.
- 23) Kuwata, Y. and Takada, S.: Instantaneous instrumental seismic intensity and evacuation, *Journal of Natural Disaster Science*, Vol.24, No.1, pp.35-42, 2002.
- 24) 鎌田泰子, 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.
- 25) 国土交通省都市局 都市安全課・街路交通施設課: 津波防災まちづくりの計画策定に係る指針(第 1 版), 日本都市計画学会・土木学会協力, 国土交通省ホームページ, 2013. (last accessed: 2015/08/15)
- 26) 和歌山県地震・津波被害想定検討委員会: 和歌山県の津波避難困難地域と津波対策について, 和歌山県総務部危機管理局総合防災課ホームページ, 2014. (last accessed: 2015/08/15)
- 27) 沖縄県知事公室防災危機管理課: 沖縄県津波避難困難地域について, 沖縄県庁ホームページ, 2014. (last accessed: 2015/08/15)
- 28) 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.
- 29) 南慎一: 津波災害からの奥尻島青苗地区の復興過程 [1993 年北海道南西沖地震・津波], *Consultant*, Vol. 255, pp.20-23, 2012.
- 30) 南慎一, 大柳佳紀: 奥尻島青苗地区の復興まちづくり策定過程, 第 33 回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.835-840, 1998.
- 31) 安藤昭, 佐々木栄洋, 岩佐正章, 赤谷隆一: 奥尻島青苗地区住民による津波被災後の地区環境評価からの復興計画案に対する検討, 農村計画学会誌, Vol.14, No.4, pp.16-25, 1996.
- 32) 廣井脩, 中村功, 中森広道: 巨大津波と避難行動—奥尻島青苗地区で何が起きたか—北海道南西沖地震調査報告(2), 月刊消防, Vol.16, No.1, pp.33-40, 1994.
- 33) 山下隆男, 高林努, 土屋義人: 北海道南西沖地震による津波と奥尻島青苗地区での津波氾濫解析, 海岸工学論文集, 土木学会, Vol.41, pp.231-235, 1994.
- 34) 廣井脩, 中村功, 中森広道: 巨大津波と避難行動—奥尻島青苗地区で何が起きたか—北海道南西沖地震調査報告(1), 月刊消防, Vol.15, No.12, pp.9-15, 1993.
- 35) Aoi, S., Kunugi, T. and Fujiwara, H.: Strong-motion seismograph network operated by NIED: K-NET and KiK-net, *Jour. of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.65-74, 2004.
- 36) Nishimae, Y.: Observation of seismic intensity and strong ground motion by Japan Meteorological Agency and local governments in Japan, *Jour. of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.75-78, 2004.
- 37) 古和田明, 田居優, 岩崎好規, 入倉孝次郎: 経験的

- サイト増幅・位相特性を用いた水平動および上下動の強震動評価, 日本建築学会構造系論文集, No.512, pp.97-104, 1998.
- 38) 野津厚, 長尾毅, 山田雅行: 経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法の改良—因果性を満足する地震波の生成—, 土木学会論文集 A, Vol.65, No.3, pp.808-813, 2009.
- 39) 野津厚: 1993 年北海道南西沖地震 (M7.8) の特性化震源モデル, 港湾空港技術研究所地震防災研究領域ホームページ, 2015. (last accessed: 2015/08/15)
- 40) 産業技術総合研究所: 地質図表示システム (地質図 Navi), 地質調査総合センターホームページ, 2013. (last accessed: 2015/08/15)
- 41) 鹿野和彦, 星住英夫, 巖谷敏光, 酒井彰, 山元孝広, 牧本博, 久保和也, 柳沢幸夫, 奥村公男: (資料・解説) 地質図に用いる用語, 記号, 模様, 色及び凡例の表示に関する基準とその解説, 地質調査所月報, Vol. 51, No.12, pp.657-678, 2000.
- 42) 野津厚, 長尾毅, 山田雅行: スペクトルインバージョンに基づく全国の強震観測地点におけるサイト増幅特性とこれを利用した強震動評価事例, 日本地震工学会論文集, Vol.7, No.2, pp.215-234, 2007.
- 43) Boore, D. M.: Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.73, No.6A, pp.1865-1894, 1983.
- 44) 佐藤智美, 巽誉樹: 全国の強震記録に基づく内陸地震と海溝性地震の震源・伝播・サイト特性, 日本建築学会構造系論文集, No.556, pp.15-24, 2002.
- 45) 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (上巻), 国土交通省港湾局監修, pp.336-341, 2007.
- 46) Hata, Y., Nozu, A. and Ichii, K.: Variation of earthquake ground motions within very small distance, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol.66, pp.429-442, 2014.
- 47) 澤田純男, 盛川仁, 土岐憲三, 横山圭樹: 地震動の位相スペクトルにおける伝播経路・サイト特性の分離, 第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp. 915-920, 1998.
- 48) Hata, Y., Nozu, A. and Ichii, K.: A practical method to estimate strong ground motions after an earthquake based on site amplification and phase characteristics, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.101, No.2, pp. 688-700, 2011.
- 49) Maruyama, Y., Yamazaki, F. and Hamada, T.: Micro-tremor measurements for the estimation of seismic motion along expressways, *Proc. of the 6th International Conference on Seismic Zonation*, pp.1361-1366, 2000.
- 50) Nakanishi, I., Kodaira, S., Kobayashi, R., Kikuchi, M. and Kasahara, M.: The 1993 Japan Sea earthquake: quake and tsunamis devastate small town, *EOS Trans. Am. Geophys. Union*, Vol.74, No.34, pp.377-379, 1993.
- 51) Mendoza, C. and Fukuyama, E.: The July 12, 1993, Hokkaido-Nansei-Oki, Japan, earthquake: Coseismic slip pattern from strong-motion, *Journal of Geophysical Research*, Vol.10, No.B1, pp.791-801, 1996.
- 52) 今西和俊, 池田岩音, 佐藤魂夫: 経験的グリーン関数法による 1993 年北海道南西沖地震の破壊過程, 地震第 2 輯, 第 48 号, pp.365-373, 1995.
- 53) 壇一男, 宮腰淳一, 八代和彦: 経験的グリーン関数法による 1993 年北海道南西沖地震の札幌および秋田における地震記録の再現—強震動予測のための震源モデルの特性化手法の検証—, 日本建築学会構造系論文集, No.554, pp.53-62, 2002.
- 54) 野津厚: 1993 年北海道南西沖地震 (M7.8) の特性化震源モデル, 国立研究開発法人港湾空港技術研究所 地震防災研究領域ホームページ (last accessed: 2015 /08/15)
- 55) Nozu, A.: Current status of strong-motion earthquake observation in Japanese ports, *Jour. of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.79-83, 2004.
- 56) 土肥裕史, 奥村与志弘, 小山真紀, 湯浅亮, 清野純史: 津波避難初期過程におけるコミュニティのシミュレーションモデルの構築, 土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集, I-350, pp.699-700, 2014.

(2015. 9. 4 受付)

STRONG MOTION ESTIMATION AT OBSERVATION STATION SITES IN AONAE, OKUSHIRI ISLAND, JAPAN FOR THE 1993 SOUTHWEST HOKKAIDO EARTHQUAKE BASED ON EMPIRICAL SITE AMPLIFICATION AND PHASE EFFECTS

Fumihiro MINATO, Yoshiya HATA, Masayuki YAMADA, Yasuko KUWATA,
Maki KOYAMA, Tadayoshi NAKASHIMA and Ken-ichi TOKIDA

During the 1993 Southwest Hokkaido Earthquake, not only strong motion but also huge tsunami is attacked in Aonae District, Okushiri Island, Japan. In this study, first, seismic waveforms at sites of present strong motion station in the tsunami attack area were estimated based on the characterized source model considering local site effects. Using non-evacuation time based on the time history of instrumental seismic intensity, the effect of the strong motion on tsunami evacuation was then discussed.