

琵琶湖・沖島における津波避難困難時間の評価を目的とした強震動予測

山田 桂吾¹・秦 吉弥²・荒木 進歩³・山田 雅行⁴・山内 政輝⁵

¹ 学生会員 大阪大学 工学部 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: kyamada@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 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: araki@civil.eng.osaka-u.ac.jp

⁴ 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

⁵ 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: myamauchi@civil.eng.osaka-u.ac.jp

山梨県・西湖などでは、2011年東北地方太平洋沖地震の強震動の作用によるサイスミック・セイシュの発生とその被害が報告されている。一方で、滋賀県・琵琶湖では、歴史地震による津波発生の痕跡が記録されている。しかしながら、津波避難困難区域に関する現行の評価基準は、海岸に主眼が置かれており湖岸は基本的に対象とされていない。そこで本稿では、琵琶湖沿岸の津波避難困難区域を抽出するための基礎的な検討として、琵琶湖に浮かぶ沖島の居住地域を対象に常時微動計測や臨時地震観測などの現地調査を行った。そして、調査結果に基づいた強震動予測を実施し、強震動作用中の避難困難時間を評価した。

Key Words : ground motion, tsunami evacuation, ground investigation, site effect, Biwako Tsunami

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震($M_w9.0$)の強震動の作用により、山梨県・西湖や神奈川県・芦ノ湖などでは、湖での津波の発生(サイスミック・セイシュ)とその被害が報告¹⁾²⁾されている。我が国最大の湖である琵琶湖では、沿岸の遺跡(塩津港遺跡など)において平安時代後期の神社跡から見つかった柱が一樣に湖面とは逆の方角に傾いていたことが近年明らかになっており、1185年に発生した大規模地震(文治地震)によって琵琶湖で津波が発生し、湖岸に波が押し寄せた可能性が指摘⁴⁾されている。また、1586年天正地震などにおいても琵琶湖津波の発生が同様に指摘⁵⁾されている。これらの琵琶湖津波については、方丈記などの古典文献においてもその発生について記載が残されている。

上記の指摘に対して滋賀県防災危機管理局⁶⁾では、琵琶湖周辺の活断層(図-1参照)による変位を仮定した琵琶湖津波の発生に伴う湖岸における津波高(図-2～図-6参照)や津波来襲時間などに関する予測・検討を近年実施している。これに対し、琵琶湖周辺の活断層を対象とした強震動に関する予測・検討は、地震調査研究推進本部

による琵琶湖西岸断層帯(図-1参照)を対象とした先行研究⁷⁾が存在するものの、特定の地域(後述の沖島等)における詳細な検討は行われていないのが現状である。

一方で、我が国における津波避難困難区域の評価⁸⁾⁹⁾は、太平洋沿岸・日本海沿岸などの海岸に主眼が置かれており、湖岸を対象とした検討は実施されていない。仮に、琵琶湖沿岸の地域特性を考慮した津波避難困難区域の抽出¹⁰⁾を行う場合、上述した津波来襲時間⁶⁾のほかに強震動作用中の避難困難時間や強震動作用後の避難所要時間などをそれぞれ評価する必要がある。この点に関して著者ほか¹¹⁾は、湖上に浮かぶ我が国唯一の有人離島である琵琶湖・沖島(図-1参照)の居住地域(写真-1参照)を対象フィールドとして、琵琶湖西岸断層帯による大規模地震を想定した強震動シミュレーションを行い、避難困難時間を概算しているが、強震動の作用における地盤の非線形挙動を考慮できていないなどの課題があった。

そこで本稿では、沖島の居住地域における地盤の非線形性を考慮した強震動シミュレーションを行い、琵琶湖西岸断層帯による想定地震時の地震動を予測するとともに、得られた予測地震動に基づいて避難困難時間を評価した結果について報告する。

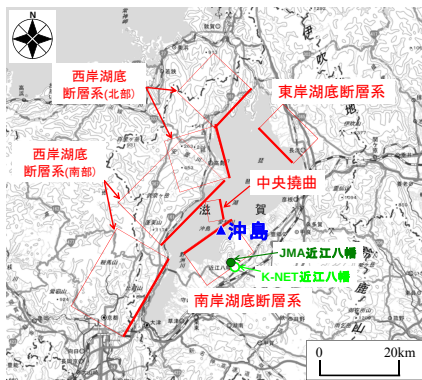


図-1 琵琶湖周辺の活断層の分布⁶⁾

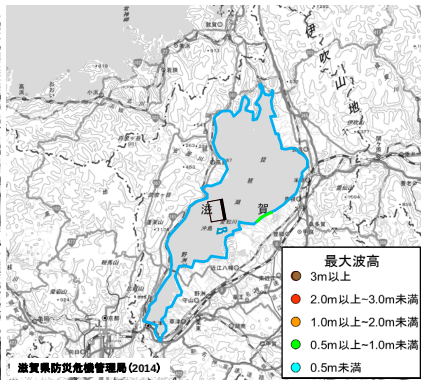


図-2 中央撓曲による津波高⁶⁾

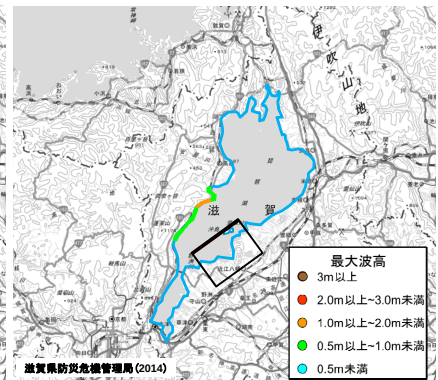


図-3 南岸湖底断層系による津波高⁶⁾

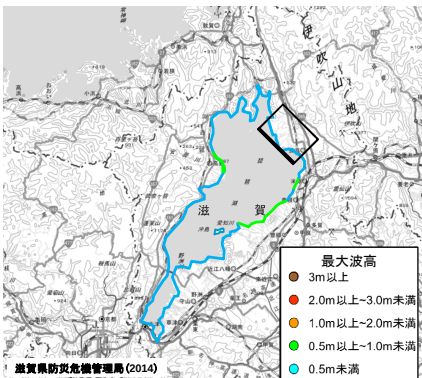


図-4 東岸湖底断層系による津波高⁶⁾

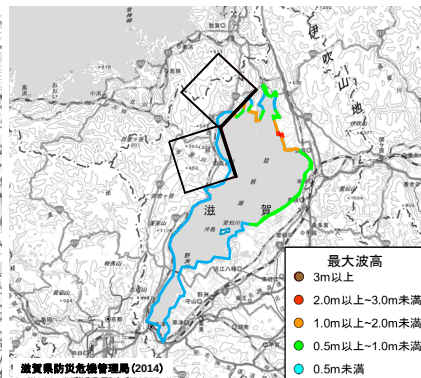


図-5 西岸湖底断層系北部による津波高⁶⁾

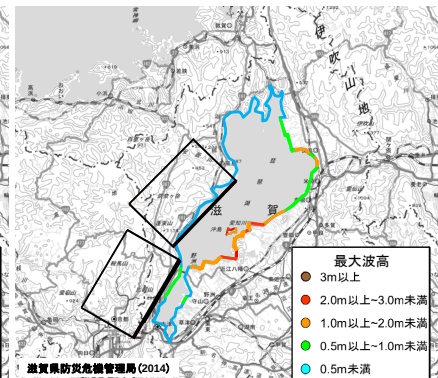


図-6 西岸湖底断層系南部による津波高⁶⁾

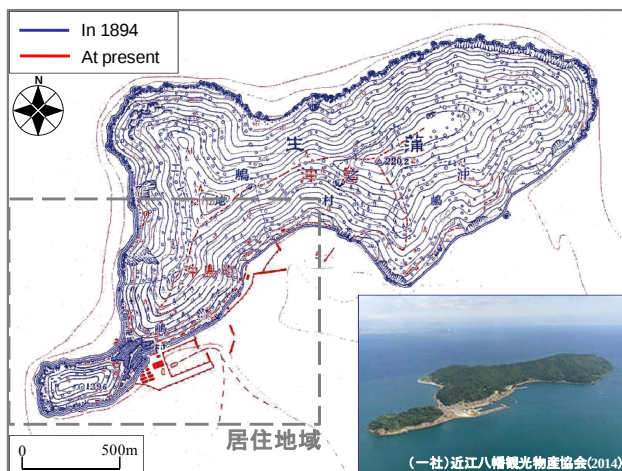


図-7 沖島の地形状況と居住地域に設けた臨時地震観測点¹⁶⁾¹⁷⁾



写真-1 沖島の居住地域の現況(ドローンによる撮影)

2. 常時微動計測の実施

常時微動計測は、沖島の居住地域(図-7の枠内参照)内における計176地点において実施した(図-8参照)。写真-2に微動計測の実施状況の一例を示す。計測期間は、2017年4月15日、5月20日、6月22日の計三日間である。計測は昼間に実施し、同型の七台の微動計(七台ともに白山工業(株)製の一体型微動探査兼地震計機器¹²⁾)を採用した。計測機器の諸元については、文献12)を参照されたい。計測方向は水平二成分と鉛直成分の計三成分であり、後

述する常時微動H/Vスペクトルの計算では、水平二成分の平均をとった。計測時間は、一計測点あたり約30分間の単点計測である。常時微動H/Vスペクトルの計算処理方法¹³⁾としては、まず、微動の加速度時刻歴に対して0.1 Hzのハイ・パスフィルターを施し、雑振動が比較的小さい163.84秒の区間を七区間抽出し、フーリエスペクトルの計算を行い、バンド幅0.05HzのParzen Windowで平滑化した後に、H/Vスペクトルを算出し、七区間の平均をとった。評価振動数の範囲としては、使用した微動計測器の性能¹²⁾などを考慮して0.2～10Hzとした。

図-9は、沖島の対岸に位置するK-NET近江八幡およびJMA近江八幡(ともに、図-1参照¹⁴⁾¹⁵⁾)における常時微動H/Vスペクトルと、沖島の居住地域(全176地点)の常時微



写真2 常時微動計測の実施状況例

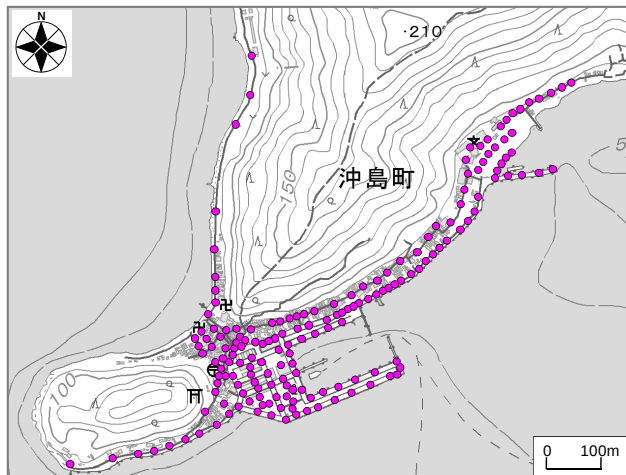


図-8 沖島の居住地域における単点微動計測地点

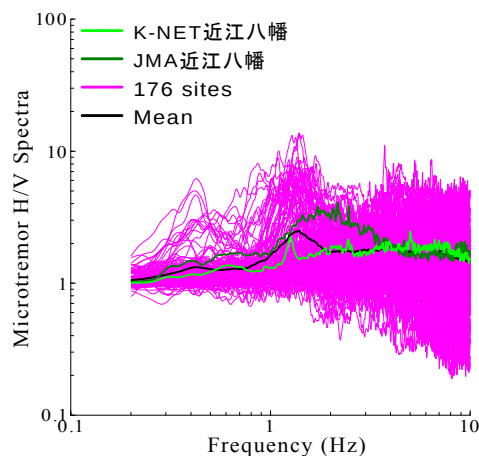


図-9 常時微動H/Vスペクトルの比較 [全176地点]

動H/Vスペクトルを重ね合せたものである。図-9に示す
とおり、沖島のH/Vスペクトル(周波数ごとの平均値)と
既存強震観測点におけるH/Vスペクトルの比較において、
沖島とK-NET近江八幡ではピーク周波数やスペクトル形
状などのH/Vスペクトルの一般的特徴が類似している点
が見受けられる。しかしながら、沖島の居住地域内での
H/Vスペクトルのバラツキは非常に大きいことから、少
なくとも、沖島の居住地域における地盤震動特性(特に、
サイト増幅特性)を一つに代表させることはできないこ
と、K-NET近江八幡での地盤震動特性を沖島の居住地域
に対して直接的に転用することはできないことがそれぞ

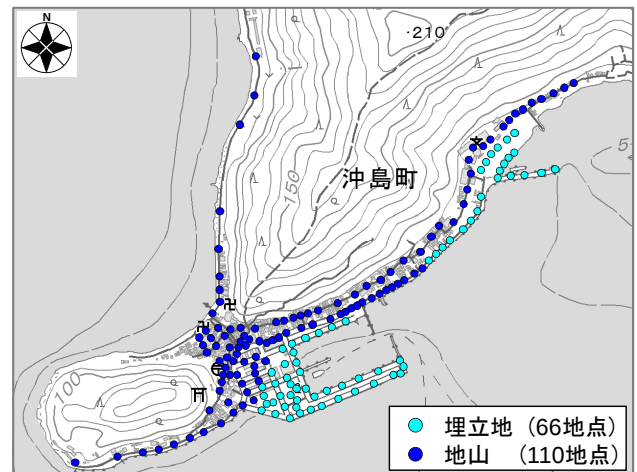


図-10 常時微動計測地点の地山と埋立による区分

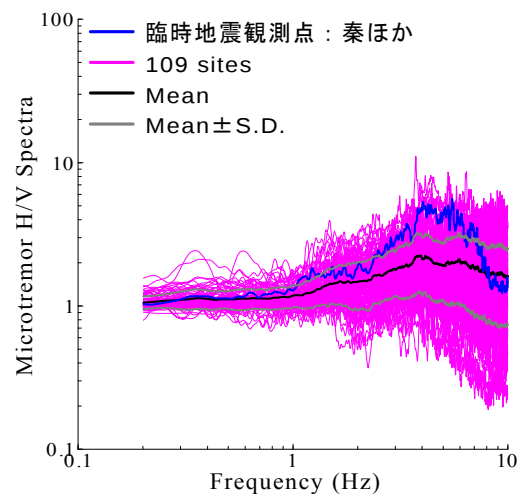


図-11 常時微動H/Vスペクトルの比較 [地山110地点]

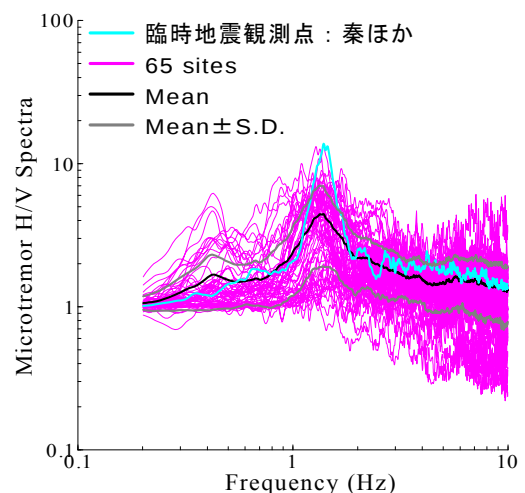


図-12 常時微動H/Vスペクトルの比較 [埋立66地点]

れ示唆される。

図-7は、現在の地形図に対して1894年測量の地形図を
沖島全域にわたって重ね合せたものである。図-7に示す
ように、居住地域の一部分は埋立地となっていることが
読み取れる。そこで本研究では、居住地域内において埋
立地に該当する地域(以後、埋立と呼ぶ)とそうでない地
域(以後、地山と呼ぶ)における常時微動計測点を、図-

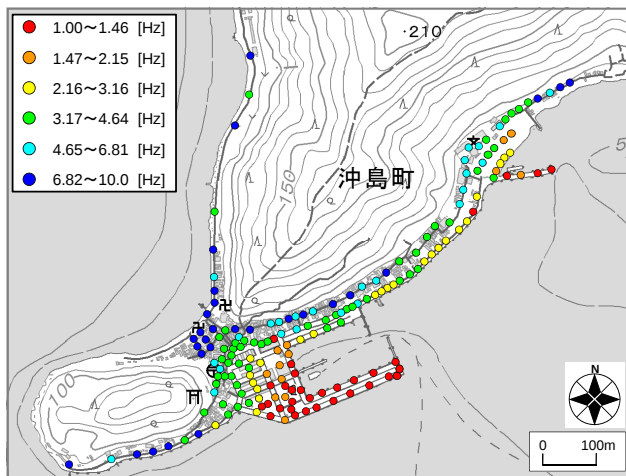


図-13 H/Vスペクトルのピーク周波数の分布

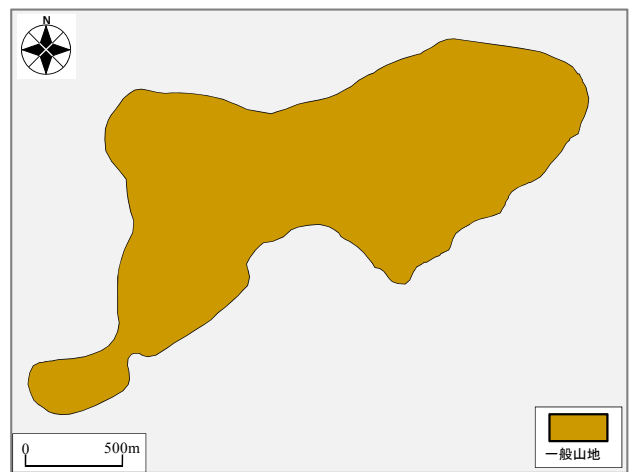


図-15 国交省による沖島の地形分類¹⁹⁾

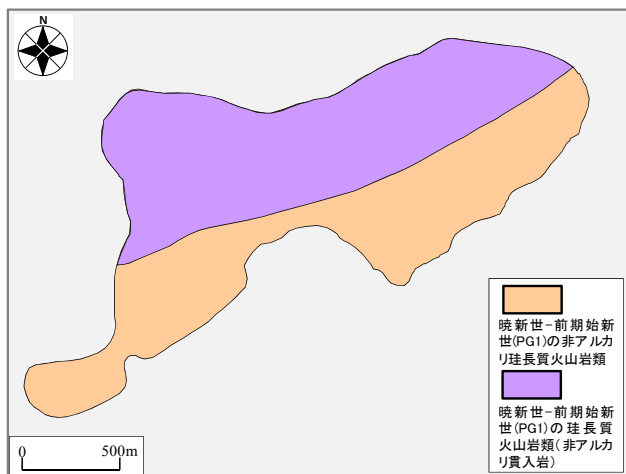


図-14 産総研による沖島の地質図¹⁸⁾

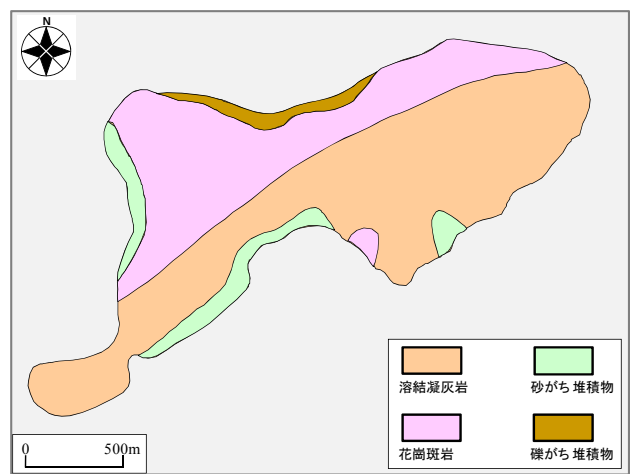


図-16 国交省による沖島の表層地質の区分¹⁹⁾

10)に示すとおり二分割することで、H/Vスペクトルの特徴について再度検討を行った。図-11および図-12は、地山(110地点：地山に設けた臨時地震観測点(後述)¹⁶⁾を含む)と埋立(66地点：埋立に設けた臨時地震観測点(後述)¹⁷⁾を含む)でのH/Vスペクトルを比較したものである。なお、図-11および図-12には、地山と埋立でそれぞれ一地点ずつ臨時設置した地震観測点^{16),17)}でのH/Vスペクトルについても同時に示している。図-11および図-12に示すように、地山におけるピーク周波数の平均は5Hz付近であるのに対し、埋立におけるピーク周波数の平均は1.2Hz付近となっており、同じ居住地域内においても地山と埋立において非常に大きな差異が確認できる。

図-13は、沖島の居住地域内での常時微動H/Vスペクトル(図-9参照)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-13に示すとおり、H/Vスペクトルの差異(図-9参照)に起因してピーク周波数の分布においても一定のバラツキが確認でき、特に、上述した地山と埋立(図-10参照)ではピーク周波数の分布特性が明らかに異なっている。図-14、図-15、図-16は、沖島を対象とした産総研地質図¹⁸⁾、国交省地形分類¹⁹⁾、国交省地表層地質区分¹⁹⁾である。図-13に対して図-14、図-15、図-16をそ

れぞれ比較すると、評価したH/Vスペクトルのピーク周波数の分布に対する地形・地質の違いについて明らかな関係性をいずれも読み取ることはできない。

3. 臨時地震観測の実施

沖島の居住地域内の地山と埋立にそれぞれ設けた臨時地震観測点の位置を図-7の枠内に示す。地震観測は、ボアホール型加速度計²⁰⁾を地表に埋設することで実施^{16),17)}した。観測期間は、2016年10月16日～11月19日(地山)もしくは2016年10月29日～11月19日(埋立)である。観測の条件として、サンプリング周波数は100Hz、および観測方向はNS, EW, UDの三成分とし、トリガー加速度レベルは設定せずに常時観測を継続するシステムとした。その結果、以下に示すような中小地震観測記録がK-NET近江八幡(図-1参照)と同時に得ることができた。

- ・EQ-1 : 2016/10/21 14:07 11km 鳥取県中部 (M_j 6.6)
- ・EQ-2 : 2016/10/21 14:53 9km 鳥取県中部 (M_j 5.0)
- ・EQ-3 : 2016/11/06 17:08 11km 大阪府北部 (M_j 3.5)
- ・EQ-4 : 2016/11/19 11:48 51km 和歌山県南部 (M_j 5.4)

表-1 沖島の居住地域の地山（左表）と埋立（右表）における表層地盤の速度構造モデル

Thickness (m)	Depth (m)	Soil column	Soil density (kg/m ³)	P-wave velocity (m/s)	S-wave velocity (m/s)	Thickness (m)	Depth (m)	Soil column	Soil density (kg/m ³)	P-wave velocity (m/s)	S-wave velocity (m/s)
5.7	5.7	Surface soil	1,700	750	150	13.9	13.9	Surface soil	1,700	750	150
2.6	8.3	Sand	1,900	1,000	200	0.3	14.2	Sand	1,900	1,000	200
8.6	16.9	Gravelly sand	1,900	1,250	250	39.4	53.6	Gravelly sand	1,900	1,250	250
2.6	19.5	Gravel	1,900	1,500	300	1.1	54.7	Gravel	1,900	1,500	300
—	—	Rock (Engineering Bedrock)	2,100	1,800	500	—	—	Rock (Engineering Bedrock)	2,100	1,800	500

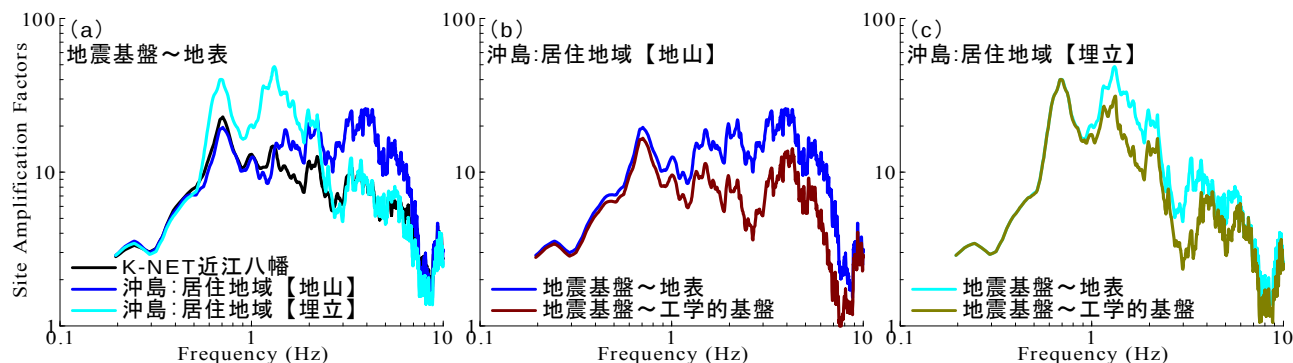


図-17 沖島の居住地域におけるサイト増幅特性の比較（左図：地震基盤～地表，中図・右図：地震基盤～工学的基盤）

ここに、地山ではEQ-1～4による観測記録，および埋立ではEQ-3～4による観測記録が得られていることになる。

4. サイト増幅特性の評価

図-17(a)は、沖島の居住地域(地山と埋立)とK-NET近江八幡でのサイト増幅特性を比較したものである。地山および埋立におけるサイト増幅特性は、地山・埋立とK-NET近江八幡で同時に得られた中小地震観測記録(EQ-1～4：地山もしくはEQ-3～4：埋立)を対象に、両地点の距離の違いによる補正²¹⁾²²⁾を考慮したフーリエスペクトルの比率(地山もしくは埋立/K-NET近江八幡)を計算し、この比率をK-NET近江八幡における既存のサイト増幅特性²³⁾に掛け合わせることによって、地震基盤～地表相当のサイト増幅特性を評価した。

図-17(a)に示すように、沖島とK-NET近江八幡ではサイト増幅特性に有意な差異があるだけでなく、同じ沖島の居住地域内においても地山と埋立ではサイト増幅特性に明らかな差異が見受けられる。これらの差異は、沖島を対象とした強震動予測を行う場合にK-NET近江八幡でこれまでに得られた地震観測記録を直接転用することは回避すべきであること、地山と埋立に作用すると予測された地震動強さに大きな違いが生じる可能性が高いことなどを示唆するものである。

表-1は、微動アレイ探査に基づく地山および埋立における表層地盤(工学的基盤～地表)の速度構造モデル²⁴⁾である。表-1に示すとおり、地山および埋立では比較的軟弱な地盤が堆積していることから、沖島の居住地域に強震動が作用した場合、少なからず非線形挙動を示すものと考えられる。そこで、図-17(b)および図-17(c)に示す

ように、上記で評価した地山および埋立でのサイト増幅特性(地震基盤～地表：図-17(a)参照)を、表層地盤(工学的基盤～地表)の速度構造モデル(表-1参照)に基づく伝達関数で除することで、地震基盤～工学的基盤相当のサイト増幅特性を算定した。図-17(b)と図-17(c)を比較すると、地山と埋立では地震基盤から同じ工学的基盤相当までのサイト増幅特性に大きな違いが確認できる。

5. 想定地震による断層モデルの構築

図-2～図-6は、滋賀県防災危機管理局⁶⁾によって想定されている琵琶湖周辺の活断層変位による琵琶湖津波の発生に伴う湖岸における津波高の分布であるが、沖島に対して最も大きな影響を及ぼすのは西岸湖底断層系(南部)であることから、本稿では、当該断層による地震を想定地震として採用した。図-18に西岸湖底断層系(南部)を想定した断層モデル(特性化震源モデル)と沖島の位置関係、および表-2にそのモデルパラメータの一覧をそれぞれ示す。以下、表-2の上から記載順にパラメータの設定根拠¹¹⁾について述べる。

まず、巨視的パラメータである断層の走向・傾斜については、滋賀県防災危機管理局⁶⁾による津波を対象とした断層モデルの形状に関する特性値を採用した。

次に、微視的パラメータであるアスペリティに関する諸量(地震モーメント・長さ・幅)については、現行の港湾基準²⁵⁾による経験的手法を用いて設定した。さらに、アスペリティと破壊開始点の配置についても、現行の港湾基準²⁵⁾を参考に、アスペリティの破壊が沖島に向かって進展するような配置を採用し(図-18参照)、アスペリティの中心深さは想定断層面の中心とした。その際、ラ

表-2 西岸湖底断層系(南部)を想定した特性化震源モデルのパラメータの一覧

	Asperity-1	Asperity-2	Asperity-3	Asperity-4
走向(deg.)	210	210	224	224
傾斜(deg.)	35	35	35	35
地震モーメント(dyne・cm)	5.99×10^{24}	2.69×10^{25}	2.69×10^{25}	5.99×10^{24}
アスペリティの長さ(km)	4.9	8.0	8.0	4.9
アスペリティの幅(km)	4.9	8.0	8.0	4.9
ライズタイム(s)	0.50	0.82	0.82	0.50
分割数	5×5×5	10×10×10	10×10×10	5×5×5
破壊開始点の位置	N_ 35.056 E_135.743	N_ 35.135 E_135.783	N_ 35.263 E_135.850	N_ 35.325 E_135.943
破壊開始点の深さ(km)	6.6	7.5	7.5	6.6
Q値		$180 \times f^{0.7}$		
密度(kg/m ³)		2.7×10^3		
せん断波速度(km/s)		3.4		
破壊伝播速度(km/s)		2.4		

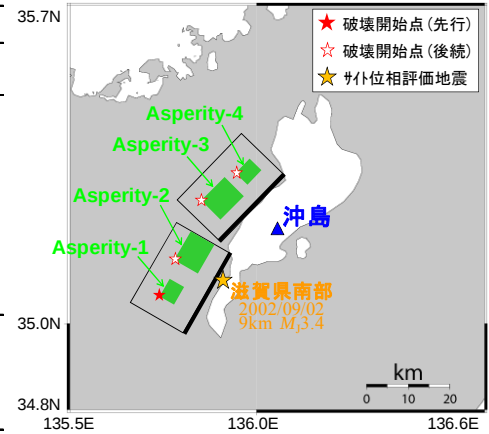


図-18 想定断層のモデルとサイト位相特性

イズタイムについては、後述する破壊伝播速度とアスペリティ幅に関する経験式²⁶⁾に基づいて算定した。

最後に、その他のパラメータの中で伝播経路における媒質のQ値は近畿地方を対象としたPetukhinほか²²⁾による内陸地殻内地震を対象とした値を採用した。一方で、密度・せん断波速度・破壊伝播速度については、地震調査研究推進本部⁷⁾による設定値を援用した。

6. 強震動の予測手法

本稿では、構築した想定地震の断層モデル(5.参照)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²⁷⁾の組合せを用いて、地山および埋立の工学的基盤相当での想定地震時の強震動を推定した。当該計算手法では、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²¹⁾で実数、 $P(f)$ は伝播経路特性²¹⁾で実数、 $G(f)$ は地震基盤～工学的基盤相当のサイト増幅特性(図-17(b)および図-17(c)参照)で実数、 $O(f)$ は中小地震観測記録(後述)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²⁷⁾。

以後、サイト位相特性の評価地震(1式において $O(f)$ で表される中小地震による観測記録)の取り扱いに関する

説明を追加する。沖島の居住地域での臨時地震観測の期間において、想定地震の断層内を震源とする中小地震の記録は得られていない(3.参照)。そこで本稿では、沖島周辺に位置するK-NET近江八幡(図-1参照)¹⁴⁾においてこれまでに得られた地震観測記録の中で、西岸湖底断層系(南部)内もしくはその近くに震源を有する中小地震を調査した(サイト位相特性の評価地震を候補化した)。そして、その候補の中で震源メカニズム²⁸⁾などが想定地震に対して概ね調和的である地震(2002/09/02 01:45 9km 滋賀県南部(M_j 3.4))によるK-NET近江八幡での観測記録を選定した。この際、当該観測記録は地表面相当のものであることから、地震基盤～工学的基盤相当のサイト増幅特性(4.参照)に対する整合性を図るため、地表での観測地震動と表層地盤の速度構造モデル(表-1参照)に基づく組合せに対して等価線形解析²⁹⁾を適用することで、工学的基盤相当の地震動を計算し、これを地山と埋立における共通のサイト位相特性として援用した。

7. 避難困難時間の評価

図-19(a)～(d)は、想定地震時における地山と埋立での工学的基盤相当の予測地震動(水平動)の加速度時刻歴である。図-19(a)～(d)に示すように、サイト増幅特性(地震基盤～地表)の差異に主に起因して、予測地震動の計測時間などの特徴に違いが生じている。これらの工学的基盤相当の予測地震動と表層地盤の速度構造モデル(表-1参照)に基づく組合せに対して、地盤の非線形性³⁰⁾を考慮した等価線形解析²⁹⁾を適用することで、地山と埋立での地盤地表面相当における地震動を計算した結果を図-19(e)～(h)に示す。図-19(e)～(h)と図-19(a)～(d)を比較すると、表層地盤(工学的基盤～地表)における地震動の増幅効果により、工学的基盤相当波に対して地表面相当波は、加速度振幅が大きくなっているだけでなく主要動の継続時間も長くなっている。

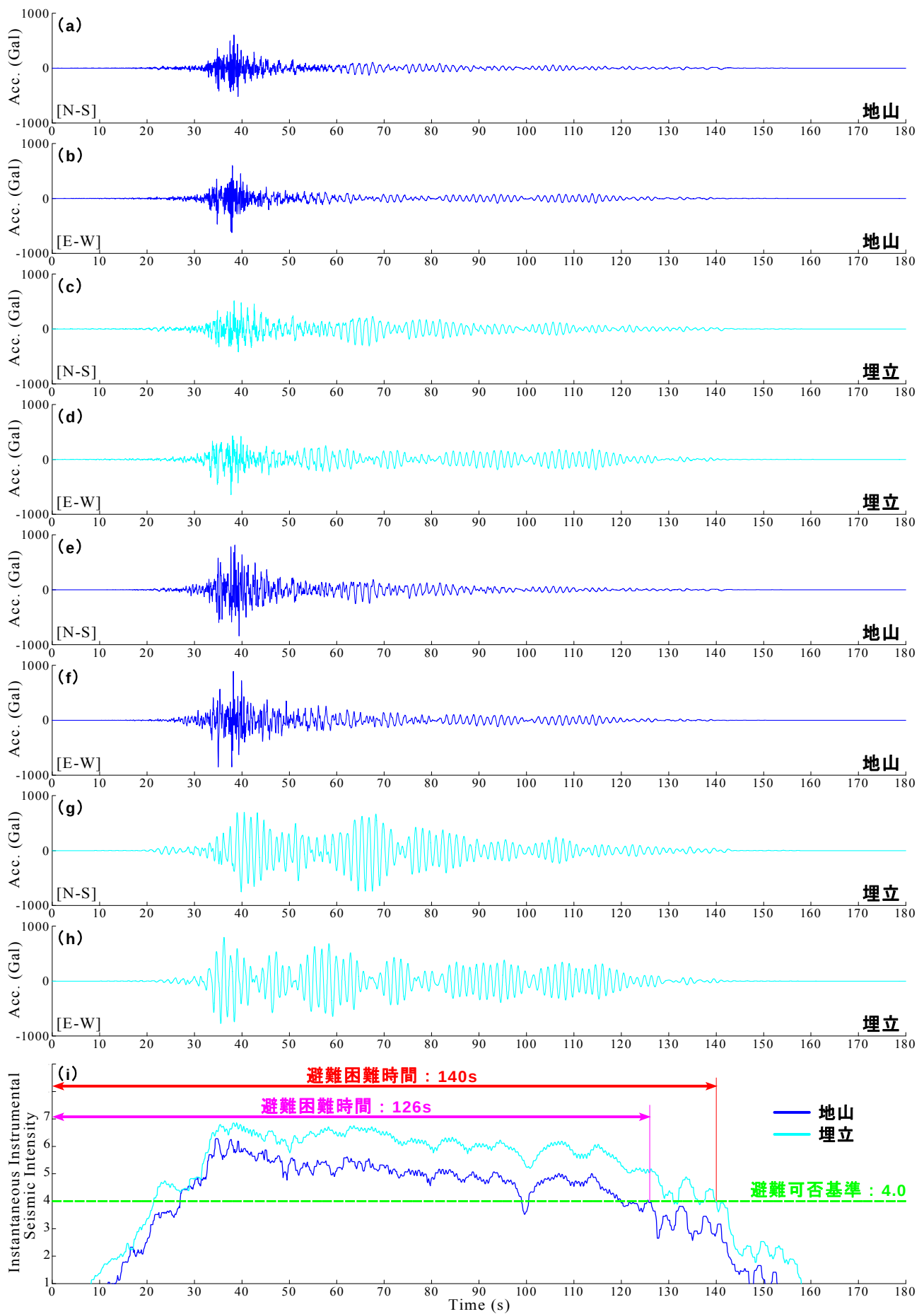


図-19 予測地震動に基づく工学的基盤波(同図(a)～(d)参照), 地表面波(同図(e)～(h)参照), 瞬間計測震度の時刻歴(同図(i)参照)

図-19(i)は、想定地震による強震動作用中の避難困難時間を地山と埋立で比較したものである。ここに、避難困難時間は、地山もしくは埋立における地表面相当の推定地震動(図-19(e),(f)もしくは図-19(g),(h)参照)に対して瞬間計測震度(水平二成分合成)³⁾の時刻歴を計算し、既往研究³⁾による知見を参考に、瞬間計測震度が4.0を最終的に下回るまでの連続時間とした。図-19(i)に示すように、沖島の居住地域における避難困難時間は、地山で126sおよび埋立で140sとそれぞれ算定され、14sの差異が生じる結果となった。沖島は想定地震の波源断層に比較的近く(図-6参照)、地震(湖底地盤の変位)発生後に津波が到達するまでの時間は五分程度と推定されていることから、二分強(津波来襲時間の半分程度)が津波来襲前の強震動の作用により失われることが示唆される。

8. まとめ

本研究では、湖上に浮かぶ我が国唯一の有人離島である琵琶湖・沖島の居住地域を対象フィールドとし、西岸湖底断層系(南部)を震源とする大規模地震が発生した場合に、強震動の作用が津波避難に及ぼす影響について常時微動計測や臨時地震観測などの結果を考慮した強震動シミュレーションに基づく検討を行った。その結果、沖島における津波来襲時間は約五分と予想されているのに対して、強震動作用中の避難困難時間は二分強と算定され、約半部分が津波避難困難時間によって占められる、言い換えれば、住民や観光客などが津波避難のために本来持ち合わせている時間の約半部分が強震動の作用で失われる可能性が高いことが明らかとなった。

今後は、本稿で評価した避難困難時間に対して津波来襲時間や避難所要時間などを組合せることによって、沖島の地域特性を考慮した津波避難困難区域の抽出を行っていきたいと考えている。

謝辞：本研究では、(国研)防災科学技術研究所K-NETによる地震観測記録を使用しました。常時微動計測や臨時地震観測などの現地調査の際には、沖島の住民や関係者の皆様などに大変お世話になりました。本研究の遂行にあたって、(一財)伊藤忠兵衛基金による研究助成の一部を使用しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 鈴木猛康：2011年東北地方太平洋沖地震で発生した西湖のサイスミック・セイシュ、土木学会論文集 A1, Vol.68, No.4, pp.152-160, 2012.
- 2) 大平幸一郎, 柴山知也：長周期地震動による震源遠隔地での波の発生, 土木学会論文集 B3, Vol.68, No.2, pp.155-159, 2012.
- 3) 原田昌武, 板寺一洋, 行竹洋平：2011年東北地方太平洋沖地震によって励起された芦ノ湖のセイシュ(静振), 神奈川県温泉地学研究所報告, Vol.46, pp.9-16, 2014.
- 4) 濱修：地震考古学の発展に向けて、(公財)滋賀県文化財保護協会紀要, 第25号, pp.1-7, 2012.
- 5) 濱修：出土文字資料に近江古代史を求めて一付表「滋賀県下の発掘調査で検出した地震跡」一、(公財)滋賀県文化財保護協会紀要, 第30号, pp.18-25, 2017.
- 6) 滋賀県防災危機管理局：湖底断層の変位を仮定した琵琶湖における津波高さの考察(平成26年度報告書), 滋賀県防災ポータルホームページ, 14p, 2014. (2017年8月29日閲覧)
- 7) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：琵琶湖西岸断層帯の地震を想定した強震動評価について、地震調査研究推進本部事務局ホームページ, 2004. (2017年8月29日閲覧)
- 8) 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(第一版), 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. (2017年8月29日閲覧)
- 9) 国土交通省：日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書, 国土交通省ホームページ, 43p., 2014. (2017年8月29日閲覧)
- 10) 例えば、湊文博, 秦吉弥：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, 平成28年度近畿地方整備局研究発表会論文集, 防災・保全部門 No.05, 2016.
- 11) 山田桂吾, 秦吉弥, 荒木進歩, 山内政輝：臨時地震観測に基づく琵琶湖・沖島における強震動予測とその応用, *Kansai Geo-Symposium 2017 論文集*, 地盤工学会, 2017. [掲載決定]
- 12) 先名重樹, 安達繁樹, 安藤浩, 荒木恒彦, 飯澤清典, 藤原広行：微動探査観測システムの開発, 第115回物理探査学会学術講演会講演論文集, pp.227-229, 2006.
- 13) 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.1, pp.83-90, 2015.
- 14) 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.
- 15) 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.
- 16) 秦吉弥, 山内政輝, 大川雄太郎, 植田裕也：琵琶湖沖島での臨時地震観測に基づく居住地域におけるサイト増幅特性の評価, 第52回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.1737-1738, 2017.
- 17) 秦吉弥, 湊文博, 山田桂吾, 山内政輝, 荒木進歩：琵琶湖・沖島港における臨時地震観測に基づくサイト増幅特性の評価, 地域安全学会梗概集, Vol.40, pp.147-148, 2017.
- 18) (国研)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. (2017年8月29日閲覧)
- 19) 国土交通省国土政策局：5万分の1都道府県土地分類基本調査[彦根西部], 国土政策局国土情報課ホームページ, 2003. (2017年8月29日閲覧)

- 20) 例えば, 秦吉弥, 野津厚, 中村晋, 高橋良和, 後藤浩之: 拡張型サイト特性置換手法に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震による新幹線橋梁被災地点での地震動の推定, 第 14 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, pp. 227-234, 2011.
- 21) 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.
- 22) Petukhin, A., Irikura, K., Ohmi, S. and Kagawa, T.: Estimation of Q-values in the seismogenic and aseismic layers in the Kinki Region, Japan, by elimination of the geometrical spreading effect using ray approximation, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.93, No.4, pp.1498-1515, 2003.
- 23) 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.
- 24) 秦吉弥, 山田雅行, 羽田浩二, 山田桂吾, 荒木進歩, 山内政輝: 常時微動の高密度単点計測とアレイ計測に基づく琵琶湖・沖島における地盤震動特性に関する評価, *Kansai Geo-Symposium 2017 論文集*, 地盤工学会, 2017. [掲載決定]
- 25) (社)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.
- 26) 片岡正次郎, 日下部毅明, 村越潤, 田村敬一: 想定地震に基づくレベル 2 地震動の設定手法に関する研究, 国土技術政策総合研究所研究報告, No.15, 2003.
- 27) 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.
- 28) 福山英一, 石田瑞穂, Dreger, D.S., 川井啓廉: オンライン広帯域地震データを用いた完全自動メカニズム決定, 地震, 第二輯, Vol.51, 1998.
- 29) Yoshida, N., Kobayashi, S., Suetomi, I. and Miura, K.: Equivalent linear method considering frequency dependant characteristics of stiffness and damping, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol.22, No.3, pp.205-222, 2002.
- 30) 安田進, 山口勇: 種々の不攪乱土における動的変形特性, 第 20 回土質工学研究発表会講演概要集, pp. 539-542, 1985.
- 31) Kuwata, Y. and Takada, S.: Instantaneous instrumental seismic intensity and evacuation, *Journal of Natural Disaster Science*, Vol.24, No.1, pp.35-42, 2002.
- 32) 楢田泰子, 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.

(2017. 8. 29 受付)

STRONG MOTION PREDICTION AT RESIDENTIAL SITES OF OKI ISLAND IN BIWA LAKE DURING A SCENARIO EARTHQUAKE BASED ON RECORDS OF TEMPORARY SEISMIC OBSERVATIONS AND MICROTREMOR MEASUREMENTS

Keigo YAMADA, Yoshiya HATA, Susumu ARAKI,
Masayuki YAMADA and Masaki YAMAUCHI

Oki Island in Biwa Lake, Shiga Prefecture is an only manned island on the freshwater lake in Japan. In recent years, Biwako Tsunami are concerned based on the serious damage induced by the historical earthquakes. It is important to extract the difficult zone for the evacuation in Oki Island caused by Biwako Tsunami. In this preliminary report, local site effects in Oki Island were evaluated based on microtremor measurements and temporary seismic observations. In order to estimate difficult time for the tsunami evacuation, strong motion prediction was also carried out considering the site effects.