

山梨県西湖周辺における地盤震動特性の評価

秦 吉弥¹・宮本 崇²・山田 桂吾³・山内 政輝⁴・植田 裕也⁵

¹ 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

² 正会員 山梨大学 工学部 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

E-mail: tmiyamoto@yamanashi.ac.jp

³ 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

⁴ 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

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: yueda@civil.eng.osaka-u.ac.jp

2011年東北地方太平洋沖地震時に山梨県・西湖ではサイスミック・セイシュの発生とその被害が報告されており、鈴木は振動台模型実験に基づきその現象の解釈を試みている。その際、入力地震波は、西湖周辺のK-NET本栖での観測記録に基づいて設定されているが、その設定根拠は十分であるとは言い難い。そこで本稿では、2011年東北地方太平洋沖地震において西湖に作用した地震動を評価するための基礎的研究として、西湖周辺の既存強震観測点におけるサイト増幅特性を評価した結果について報告する。この評価結果は、将来の南海トラフ巨大地震を対象とした西湖における強震動予測への利活用が期待できる。

Key Words : seismic seiche, ground motion, site amplification factor, permanent station, Sai Lake

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震($M_w9.0$)による表面波を含む長周期地震動の作用により、震源から約500km離れた山梨県富士五湖の一つである西湖(図-1参照)では、サイスミック・セイシュ¹⁾の発生とその被害が報告²⁾されている。この点に関して鈴木³⁾は、振動台模型実験を行うことでサイスミック・セイシュの発生に関する解釈を試みている。その際、入力地震波は、西湖から約6km離れたK-NET本栖(図-1参照)⁴⁾で観測された本震記録に基づいて設定している。しかしながら、図-1に示すように、

西湖に最も近い既存強震観測点はSK-net足和田⁵⁾、次いでSK-net鳴沢⁵⁾となっており、K-NET本栖よりも近距離にそれぞれ位置している。さらに、図-1には既存強震観測点で得られた本震記録の気象庁計測震度⁶⁾の値も記載しているが、西湖に比較的近いSK-net足和田やSK-net鳴沢では、K-NET本栖よりも大きな震度の値が記録されており、観測点ごとのサイト特性の影響が示唆される。

そこで本稿では、2011年東北地方太平洋沖地震において西湖に作用した地震動を評価するための基礎的研究として、西湖周辺の既存強震観測点(図-1参照)におけるサイト増幅特性などを評価した結果について報告する。

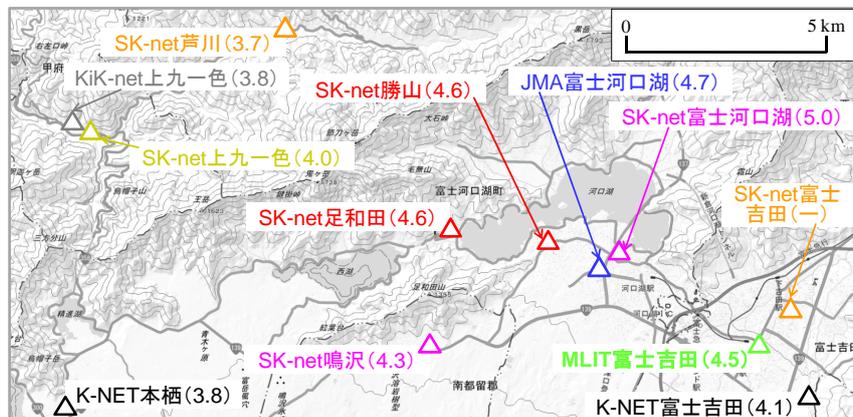
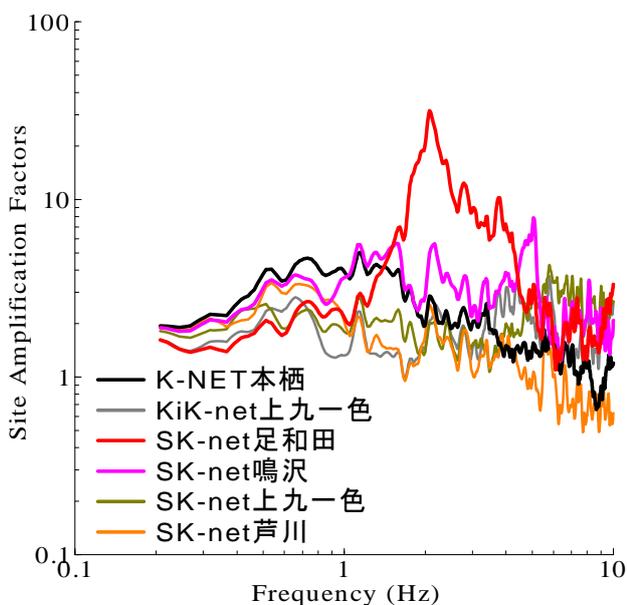
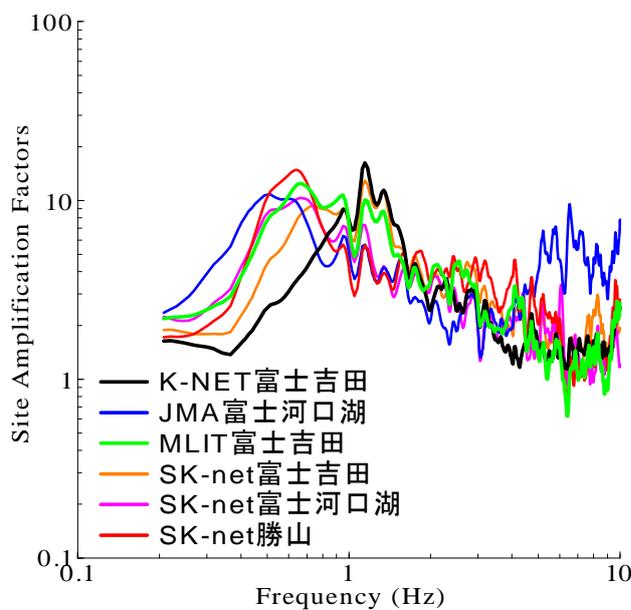


図-1 西湖周辺の既存強震観測点で得られた2011年東北地方太平洋沖地震による気象庁計測震度の分布



(a) 西湖周辺地域(西側)



(b) 西湖周辺地域(東側)

図2 既存強震観測点におけるサイト増幅特性(地震基盤～地表)の比較



写真-1 常時微動計測状況例

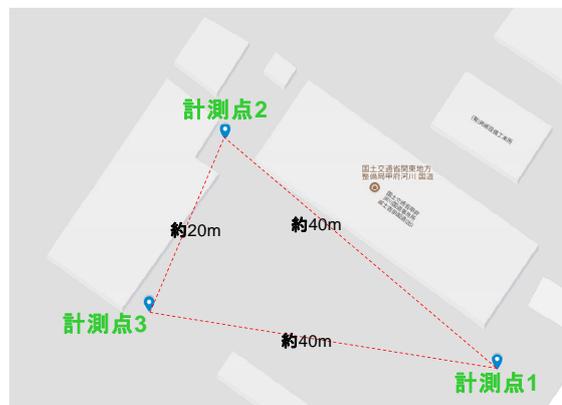


図3 常時微動計測地点の分布 (Googleマップに一部加筆)

2. サイト増幅特性の評価

サイト増幅特性の評価対象とする既存強震観測点は、図-1に示す12つの観測点(以後、対象観測点と呼ぶ)である。対象観測点のうち、K-NET本栖およびK-NET富士吉田では、スペクトルインバージョンに基づくサイト増幅特性が既に設定⁷⁾されていることから、本稿では、残りの10観測点を評価対象とする。

図-2に対象観測点におけるサイト増幅特性の評価結果を示す。なお、本稿でのサイト増幅特性は、全て地震基盤～地表の地震動の増幅特性である。対象観測点におけるサイト増幅特性は、上記10観測点とK-NET観測点(K-NET本栖もしくはK-NET富士吉田)で同時に観測された比較的規模の大きな主要地震(M6以上を目安とした)による記録を対象に、二地点間の距離の違いによる補正⁸⁾を考慮したフーリエスペクトルの比率を計算し、この比率をK-NET観測点(K-NET本栖もしくはK-NET富士吉田)におけるサイト増幅特性⁷⁾に掛け合わせることで

設定¹⁰⁾した。ここに、西湖周辺地域の西側に位置するKiK-net上九一色・SK-net足和田⁵⁾・SK-net鳴沢⁵⁾・SK-net上九一色⁵⁾・SK-net芦川⁵⁾に対してはK-NET本栖⁴⁾をそれぞれ割り当て(図-2(a)参照)、西湖周辺地域の東側に位置するJMA富士河口湖⁹⁾・MLIT富士吉田¹¹⁾・SK-net富士吉田⁵⁾・SK-net富士河口湖⁵⁾・SK-net勝山⁵⁾に対してはK-NET富士吉田⁴⁾をそれぞれ割り当てた(図-2(b)参照)。なお、距離の違いによる補正としては、西湖遠方で発生した地震の採用に伴いその影響は軽微であるが、幾何減衰に関する補正と非弾性減衰⁸⁾に関する補正を行い、非弾性減衰を表すQ値は佐藤・巽⁹⁾による東日本地域でのQ値を適用した。本稿の付録図には、対象観測点ごとのサイト増幅特性に関する一覧を示す。

図-2(a)および図-2(b)に示すように、西湖周辺の地域(図-1参照)の西側と東側でサイト増幅特性の表示を二分割しているが、1.で述べた西湖に比較的近いSK-net足和田とSK-net鳴沢(ともに西側)間においてもサイト増幅特性に明らかな差異が見受けられる。この差異は、西湖に作用した地震動を今後評価していく際に、何らかの方法

に基づいた西湖におけるサイト増幅特性の評価が必要不可欠であることを示唆するものである。

3. 常時微動H/Vスペクトルの評価例

2で示唆したサイト増幅特性の評価手法の一つとして、常時微動計測が挙げられる。本章では、MLIT富士吉田(国土交通省甲府河川国道事務所富士吉田国道出張所敷地内)¹¹⁾の図-3に示す三か所(計測点1, 2, 3)において常時微動計測(単点計測)を行い、H/Vスペクトルを評価した結果について述べる。写真-1に計測状況の一例を示す。計測期間は、2017年8月23日の日中である。計測は、固有周波数2Hzの動コイル型速度計を用いて、サンプリング周波数を100Hzとし、24bit分解能のデータロガーで記録した。図-4に計器補正後の微動速度の時刻歴をN-S, E-W, U-Dの三成分について示す。H/Vスペクトルの計算処理方法¹²⁾としては、計測記録(図-4参照)から突発的なノイズの影響の少ない20.48sのセグメントを10区間抽出し、各セグメントにおける速度波形のバンド幅0.2HzのParzen Windowを考慮したフーリエ振幅スペクトル(図-5参照)の水平二成分の二乗和平均と鉛直成分の比を計算し、図-6

に示すように各々のセグメント間の平均を算出した。

図-5に示すように、鉛直成分のフーリエ振幅スペクトルが最も信号強度が低くなっているものの、0.6Hz以上の周波数帯域ではノイズの影響は小さく、信頼性を有する計測記録が得られているものと推察できる。図-6は、常時微動H/Vスペクトルを0.6~10Hzの周波数帯域において計測点1, 2, 3ごとに示したものであるが、三地点においてスペクトル形状が概ね類似していることがわかる。特に、計測点3(強震観測点最近傍)および計測点2では、2~3Hzにかけてピーク周波数が確認できる。これらのスペクトル形状やピーク周波数は、MLIT富士吉田におけるサイト増幅特性(図-2(b)および付録図(e)参照)においても同様に確認できることから、常時微動計測の有効性が示唆される。

4. まとめ

本稿では、2011年東北地方太平洋沖地震の際にサイスマック・セイシュとその被害が発生した山梨県西湖周辺の既存強震観測点におけるサイト増幅特性や常時微動H/Vスペクトルなどの地盤震動特性の評価を行った。そ

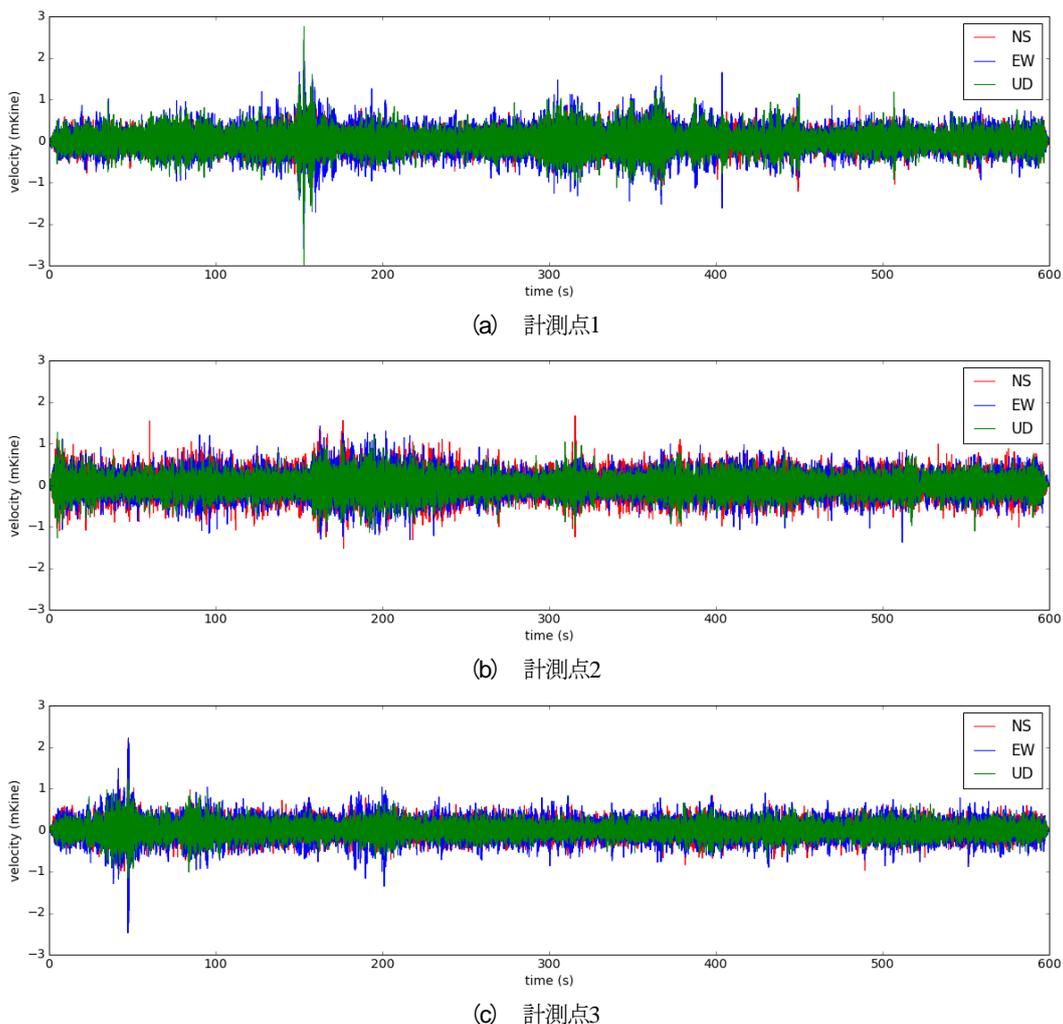
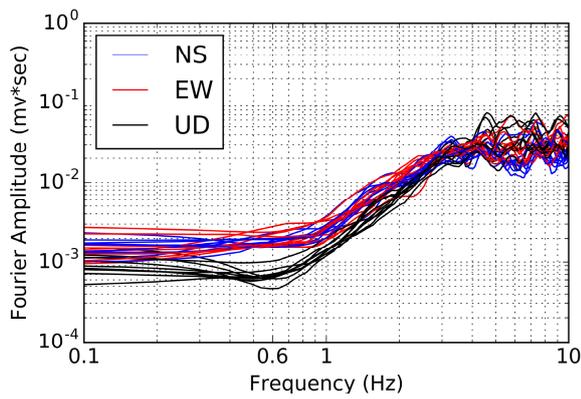
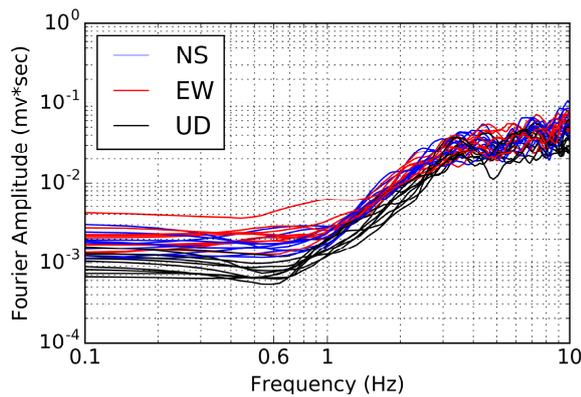


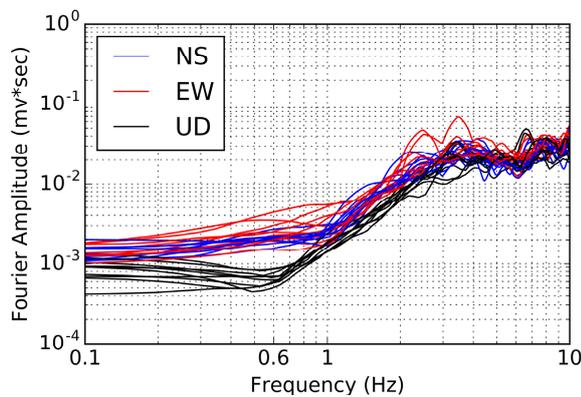
図-4 計測した微動速度の時刻歴波形の比較



(a) 計測点1

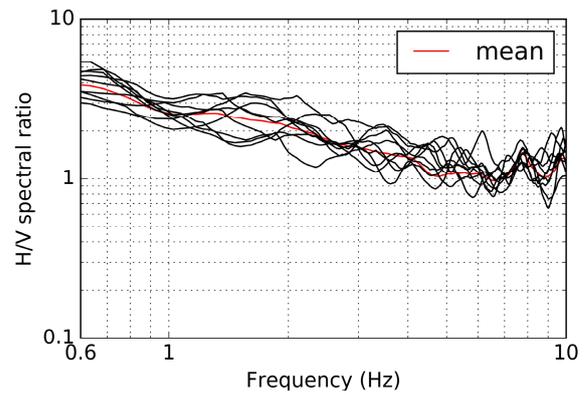


(b) 計測点2

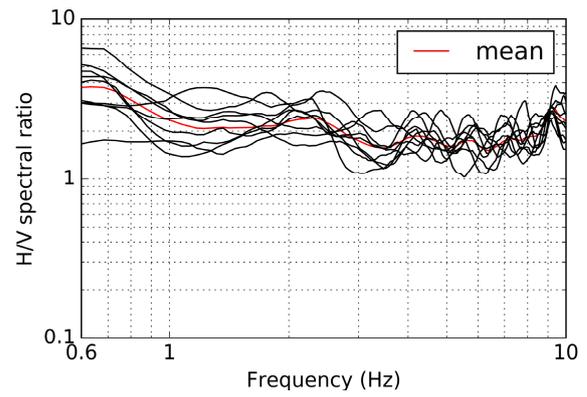


(c) 計測点3

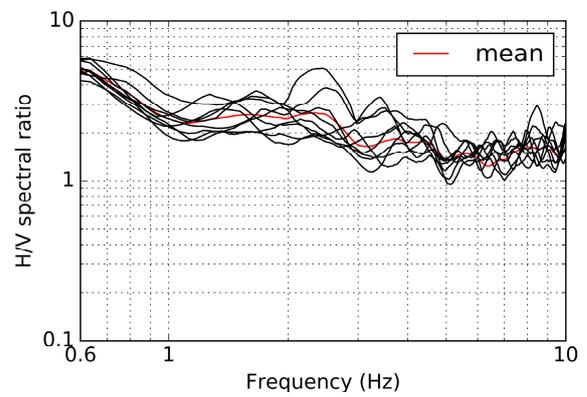
図-5 計測記録のフーリエ振幅スペクトルの比較



(a) 計測点1



(b) 計測点2



(c) 計測点3

図-6 常時微動H/Vスペクトルの比較

の結果、西湖沿岸での臨時地震観測や常時微動計測の実施の有効性を確認することができた。今後は、本稿で得られた知見に基づいて2011年東北地方太平洋沖地震時に西湖に作用した地震動を推定していきたいと考えている。

謝辞：常時微動計測の実施にあたっては、国土交通省甲府河川国道事務所富士吉田国道出張所の関係者の皆様に変にお世話になりました。(国研)防災科学技術研究所K-NET/KiK-net, 東京大学地震研究所・山梨県SK-net, 国土交通省MLIT, 気象庁JMAによる地震観測データを使用させていただきました。本研究の遂行に際して(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。

参考文献

- 1) Macgarr, A. and Vorhis, R.C.: Seismic seiches, *U.S. Geological Survey Professional Paper*, No.544-E, pp.196-236, 1965.
- 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.I_55-59, 2012.
- 3) 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.I_152-160, 2012.
- 4) Aoi, S., Kunugi, T., and Fujiwara, H.: Strong-motion seismograph network operated by NIED: K-NET and KiK-net, *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.65-74, 2004.

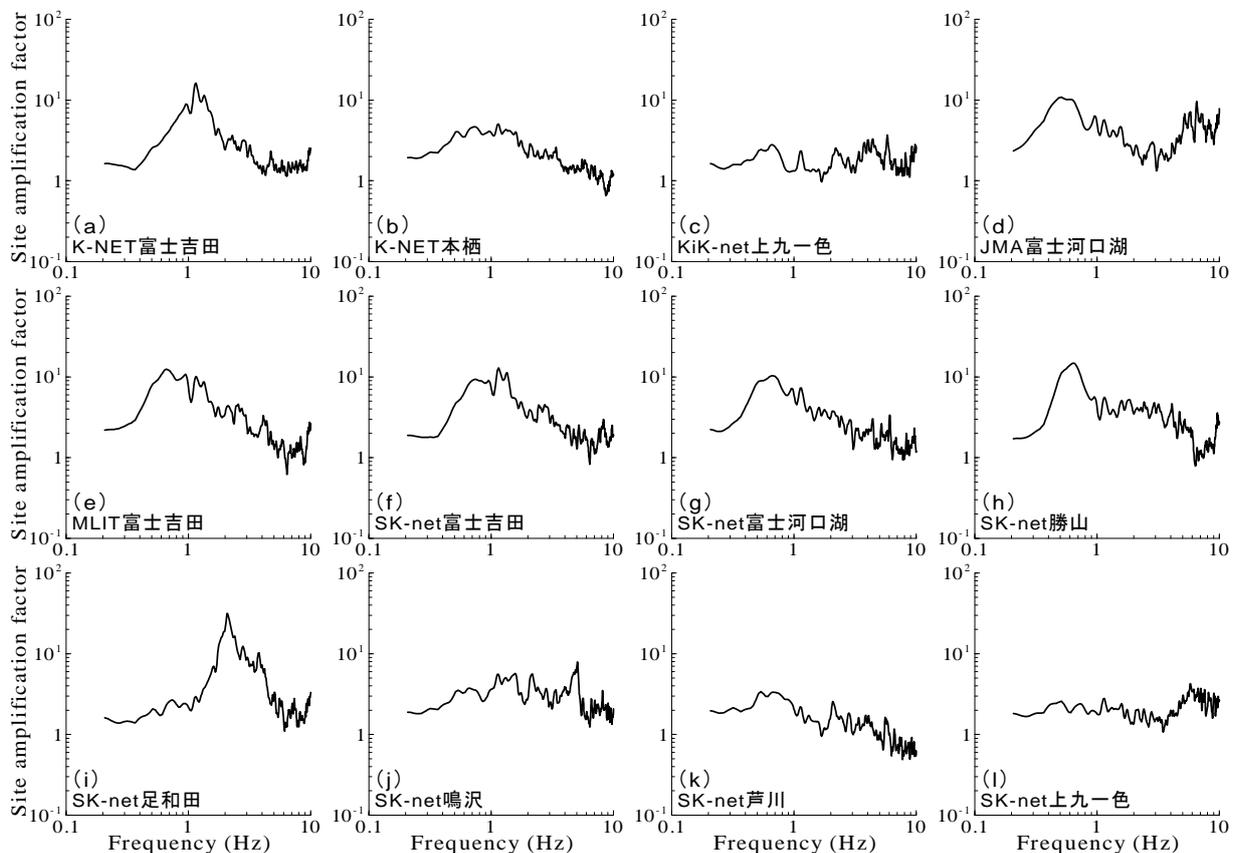
- 5) 鷹野澄, 瀨瀬一, 工藤一嘉, 古村孝志, 山中佳子, 卜部卓, 土井恵治: 首都圏強震動総合ネットワーク SK-net, 記念シンポジウム「日本の強震観測 50 年」一歴史と展望—講演集, 防災科学技術研究所資料, No.264, pp.119-122, 2005.
- 6) Nishimae, Y.: Observation of seismic intensity and strong ground motion by Japan Meteorological Agency and local governments in Japan, *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.75-78, 2004.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) (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.
- 11) Uehara, H. and Kusakabe, T.: Observation of strong earthquake motion by National Institute for Land and Infrastructure Management, *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.90-96, 2004.
- 12) 宮本崇, 飯山かほり, 後藤浩之, 盛川仁: 平成 28 年(2016 年)熊本地震の概要と益城町周辺における余震・常時微動観測(速報), *自然災害科学*, Vol.35, No. 2, pp.77-86, 2016.

(2017.8.29 受付)

EVALUATION OF GROUND SHAKING CHARACTERISTICS AT PERMANENT STATIONS FOR STRONG MOTION OBSERVATION CLOSE TO SAI LAKE IN YAMANASHI PREFECTURE, JAPAN

Yoshiya HATA, Takashi MIYAMOTO, Keigo YAMADA,
Masaki YAMAUCHI and Yuya UEDA

During the 2011 Tohoku Earthquake, seismic seiche was occurred in Sai Lake, Yamanashi Prefecture, Japan. In order to clarify the detailed mechanism, it is important to estimate the ground motions in Sai Lake for the 2011 main shock. In this preliminary report, ground shaking characteristics such as site amplification factor from seismological bedrock to ground surface at permanent stations for strong motion observation close to Sai Lake were evaluated. The evaluated characteristics will be useful for the ground motion estimation in Sai Lake for the 2011 main shock and the future Nankai Trough earthquake.



付録図 西湖周辺の既存強震観測点におけるサイト増幅特性(地震基盤～地表)の一覧