超高密度地震観測に基づく造成宅地におけるサイト位相特性の評価

Evaluation of site phase effects at residential area in Kanagawa Ward, Yokohama City based on temporary earthquake observation with very high density

○秦吉弥[1]，吉田武[1]，常田賢一[1]
Yoshiya HATA[1], Takeshi YOSHIDA[1] and Ken-ichi TOKIDA[1]

[1] 大阪大学　大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Osaka University

In this paper, ground shaking characteristics at residential area in Kanagawa Ward, Yokohama City are evaluated based on temporary earthquake observation records. In particular, first, 33 seismographs installed with very high density at not only cutting sites but also banking sites in the residential valley-filling areas. Seismic waveform records are then observed simultaneously at the temporary station sites during some moderate earthquakes. Based on the analysis consequence of the observed seismic waveforms, finally, site phase effects focused on Tokyo Bay Area were evaluated. The obtained findings will be useful in future study of strong motion prediction at the sites of interest.

Keywords *: earthquake observation, residential valley-filling area, seismic waveform, Northern Tokyo Bay Earthquake*

１．はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震（M_W9.0）では，深刻な被害が数多くの地点で報告 [1)]されている．この点に関して，これまで著者ら [2)-10)]は，造成宅地に作用した 2011 年東北地方太平洋沖地震時における強震波形を評価している．その際，いずれのケースにおいても既往の大規模地震を対象とした強震動の事後評価を目的としている．これらの事後評価で得られた知見を，近未来に発生が予想されている大規模地震（東京湾北部地震 [11)]など）を対象とした強震動予測に活かしていくことは，造成宅地の耐震性評価などを行う上で大変有意義 [12)]であると考えられる．

一方で，造成宅地の地震時の安定性を考える上で，造成宅地の震動特性を把握しておくことは重要であるが，現地での実測に基づいた研究事例 [2),13)]は少ない．現地において直接，地震観測などを行い，得られた記録に基づいて造成宅地の震動特性を評価することも重要である．

そこで本稿では，造成宅地における強震動予測を行うための基礎的検討として，横浜市の造成宅地（**図-1** 参照）を対象に高密度地震アレー観測を実施し，得られた記録に基づいて東京湾北部地震を想定したサイト位相特性 [14)]を評価した結果について報告する．

２．対象造成宅地

図-2 は，本稿で対象とする横浜市神奈川区の造成宅地（以後，対象造成宅地と呼ぶ：**図-1** 参照）の平面図に対して，大規模盛土造成地の状況調査の結果 [15)]を参考に，戦前および戦後における谷埋め盛土の位置・形状を追記したものである．**図-2** には，対象造成宅地に臨時に設けた地震観測点（後述）の分布状況を同時に示す．**図-2** に示すように，横浜市高密度強震計ネットワーク [16)]による既存強震観測点（SK-net 神奈川消防署および SK-net 神奈川土木事務所）の設置密度よりも，本稿による臨時地震観測点（後述）の設置密度のほうが明らかに高いことから，超高密度地震観測を呼ぶこととする．既存観測点である SK-net 神奈川消防署と SK-net 神奈川土木事務所の間には，谷埋め盛土が複雑に広がっており，両観測点間において地震動特性の差異が生じている可能性は否定できない．

想定地震における対象地点での強震動は，臨時地震観測点（後述）における地盤震動特性（サイト増幅・位相特性）を評価した上で予測することが肝要である．

３．地震アレー観測の実施

本研究では，**図-2** に示すように，対象造成宅地内の計 33 地点（P-01～33）において地震計を設置し，臨時の中小地震観測（地震アレー観測）を実施した．ここに，33 地点（P-01～33）において同時観測（アレー観測）としたのは，33 地点で同じ地震記録を用いて，サイト位相特性を評価

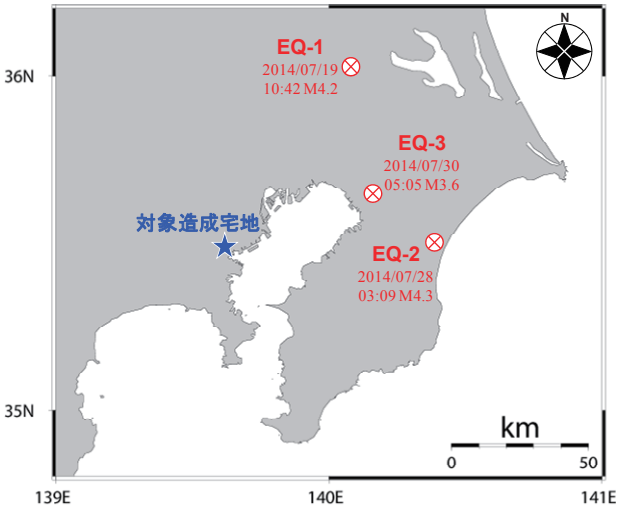

図-1　対象造成宅地と観測地震イベント

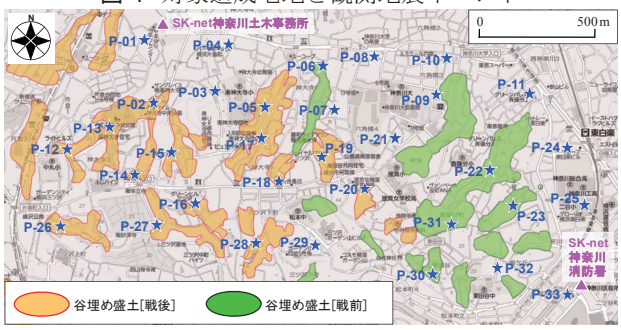

図-2　対象造成宅地内に臨時設置した地震観測点の分布

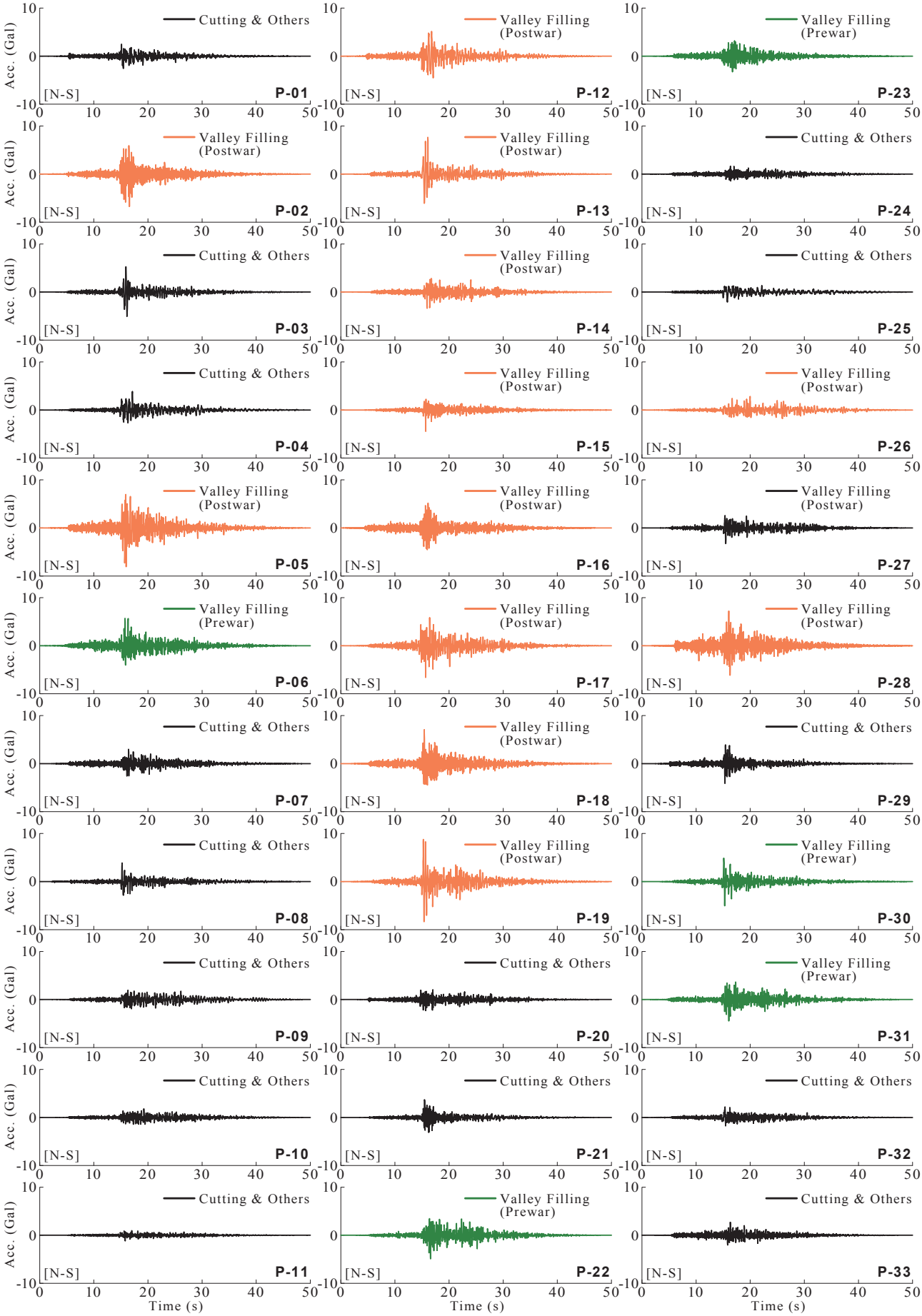

図-3 2014 年 7 月 30 日 5 時 5 分に発生した千葉県北西部を震源とする地震（M_J3.6）によって臨時観測点で同時に得られた時刻歴加速度波形の比較（東京湾北部地震を対象とした対象造成宅地内でのサイト位相特性の評価）［N-S 成分］

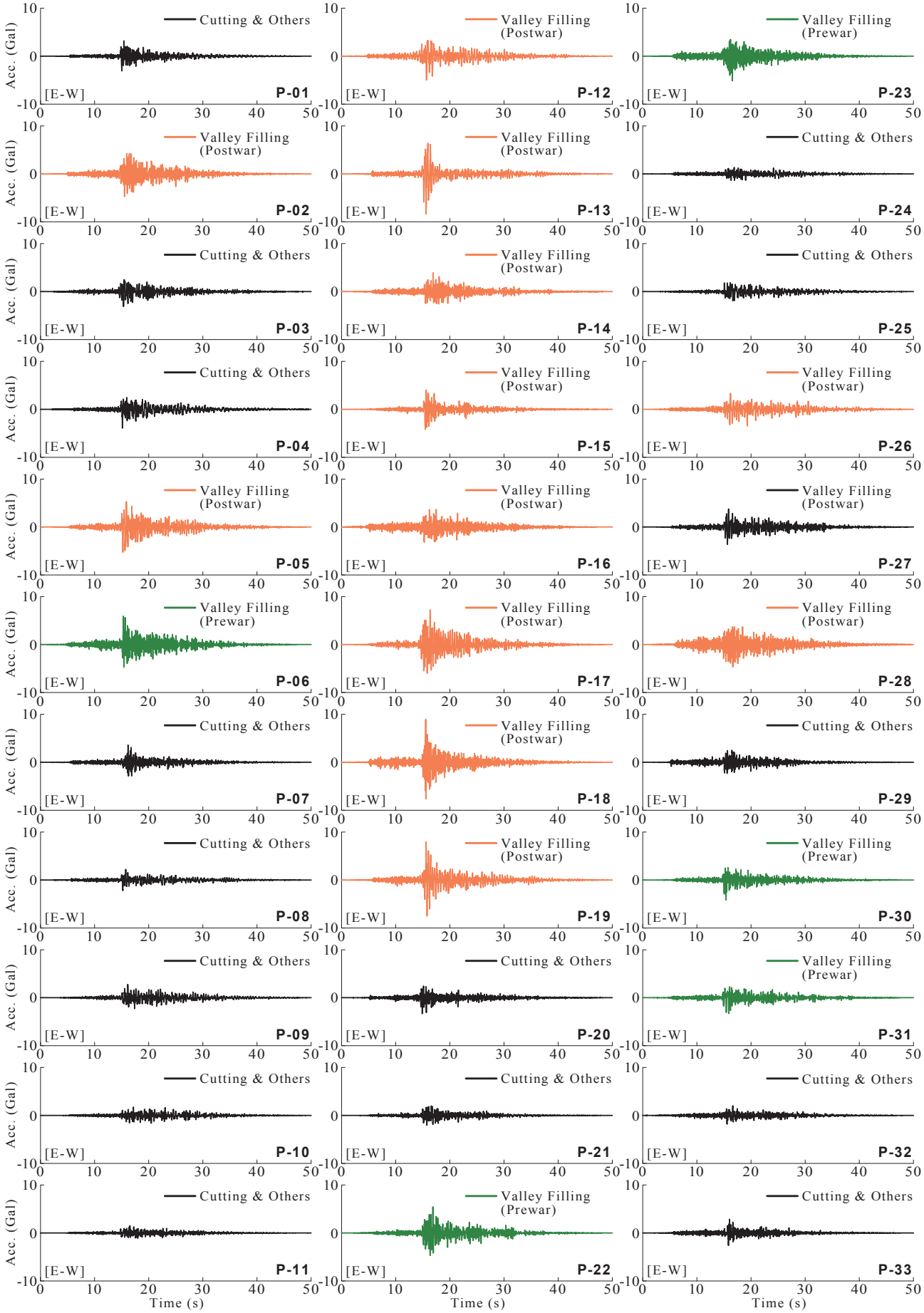

図-4 2014 年 7 月 30 日 5 時 5 分に発生した千葉県北西部を震源とする地震（M_J3.6）によって臨時観測点で同時に得られた時刻歴加速度波形の比較（東京湾北部地震を対象とした対象造成宅地内でのサイト位相特性の評価）［E-W 成分］

(後述)することで，33 観測点間の地盤震動特性の差異を直接的に評価するためである．なお，計 33 地点によって構築された造成宅地での地震アレー観測は，先行研究(計 5 地点で構築された地震アレー観測)[2]よりも観測点数が飛躍的に増加していることを付記しておく．

観測期間は 2014 年 7 月 13 日～2014 年 8 月 10 日の約 1 か月間であり，地震計は加速度計(一体型微動探査兼地震計機器 [17]もしくはボアホール型地震計 [18])を採用し，データロガーは白山工業(株)製 LS-7000XT を共通採用し，対象造成宅地内の地盤地表面に概ね一様に設置(**図-2** 参照)した．観測機器の詳細については，文献 17)もしくは文献 18)を参照されたい．また，観測条件として，サンプリング周波数は 100Hz，観測方向は 3 成分(N-S，E-W，U-D 方向)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を採用した．なお，観測期間および観測条件などは，33 地点(**P-01～33**)で共通である．その結果，以下に示す三つの地震(**図-1** 参照)が 33 地点(**P-01～33**)において同時に得られた．

・**EQ-1**：2014/07/19 10:42 63km 茨城県南部　(M_J4.2)
・**EQ-2**：2014/07/28 03:09 64km 千葉県北東部(M_J4.3)
・**EQ-3**：2014/07/30 05:05 69km 千葉県北西部(M_J3.6)

４．サイト位相特性の評価

３．で述べた三つの地震(**EQ-1, 2, 3**)のうち，**EQ-3** は，東京湾北部地震の震源域近くで発生した中小地震である．**図-3** および**図-4** は，**EQ-3** によって 33 観測点(**P-01～33**)で同時に得られた時刻歴加速度波形を N-S 方向および E-W 方向についてそれぞれ比較したものである．**図-3** および**図-4** に示すように，加速度振幅のみならず波形形状についても臨時観測点ごとに明らかな違いが読み取ることができる．これは，対象造成宅地内におけるサイト増幅特性 [19]のみならずサイト位相特性についても有意な差異があることを示唆するものである．

５．まとめ

本稿では，横浜市神奈川区の造成宅地において超高密度地震アレー計測を行い，得られた記録に基づいて東京湾北部地震に着目した造成宅地内でのサイト位相特性を評価した．その結果，造成宅地内におけるサイト位相特性は一様であると見なすことができことがわかった．今後は，本稿において評価したサイト位相特性を用いて，想定地震(東京湾北部地震など)を対象とした強震動予測を非常に高密度に実施していきたいと考えている．

謝辞：(国研)防災科学技術研究所 K-NET および横浜市(東京大学地震研究所：SK-net)で得られた地震観測データを使用させていただきました．超高密度地震観測の実施にあたり，横浜市神奈川区の住民の皆様に大変お世話になりました．本研究の遂行にあたって，科学研究費補助金・若手研究 A「超高密度地震観測に基づく宅地造成斜面におけるダイナミック地すべり挙動の広域的評価(15H05532)」の一部を使用しました．ここに記して深く御礼申し上げます．

参考文献

1) 例えば，釜井俊孝：平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震によって発生した造成地盤の地すべり，自然災害科学(東日本大震災速報)，Vol.30, No.2, pp.193-197, 2011.
2) 秦吉弥，駒井尚子，釜井俊孝，王功輝，野津厚：高密度地震アレー観測に基づく既往の大規模地震における仙台市泉区南光台での強震動の評価，土木学会論文集 A1，Vol.70, No.4, pp.I_334-356, 2014.
3) 秦吉弥，釜井俊孝，野津厚，王功輝：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おける仙台市緑ヶ丘団地での強震動の評価，土木学会論文集 A1，Vol.69, No.2, pp. 153-158, 2013.
4) 秦吉弥，釜井俊孝，王功輝，野津厚：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おける仙台市折立団地での強震動の評価，土木学会論文集 A1，Vol. 69, No.4, pp.I_298-310, 2013.
5) 秦吉弥，駒井尚子，常田賢一，魚谷真基：2011 年東北地方太平洋沖地震における仙台市青葉区西花苑での斜面崩壊，地盤工学会誌，Vol.61, No.9, pp.14-17, 2013.
6) 秦吉弥，中村晋，駒井尚子，常田賢一：経験的サイト増幅・位相特性を考慮した 2008 年岩手・宮城内陸地震および 2011 年東北地方太平洋地震における一関市舘ニュータウンでの強震波形の評価，土木学会論文集 A1，Vol.70, No. 4, pp.I_357-368, 2014.
7) 秦吉弥，野津厚，常田賢一：2011 年東北地方太平洋沖地震で被災した盛土での余震観測と地震動の評価，日本地震工学会論文集，Vol.13, No.3, pp.56-59, 2013.
8) 秦吉弥，野津厚，王功輝，釜井俊孝：経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法に基づく既往の大規模地震における宮城県白石市緑が丘団地での強震波形の推定，日本地震工学会論文集，Vol.14, No.1, pp.117-141, 2014.
9) 秦吉弥，中村晋，野津厚：地盤非線形応答時のサイト増幅特性の評価―2011 年東北地方太平洋沖地震による福島市の造成盛土崩壊地点での地震動の推定―，地盤工学ジャーナル，Vol.7, No.1, pp.139-149, 2012.
10) 秦吉弥，釜井俊孝，王功輝：2011 年東北地方太平洋沖地震で被災した造成宅地における地震動の評価，日本地震工学会論文集，Vol.14, No.2, pp.181-184, 2014.
11) 内閣府中央防災会議：首都直下地震対策専門調査会；公開配布資料，防災情報に関するホームページ，2005. (last accessed: 2015/08/23)
12) 野津厚，一井康二：性能設計の発展型としての Evidence-Based Design の提案とその実現に向けた課題，第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集，日本地震工学会，pp.3073-3080, 2010.
13) 釜井俊孝，Aurelian C.T.，村尾英彦：2004 年新潟県中越地震による郊外住宅地の斜面災害，宅地地盤の安全性と性能評価に関するシンポジウム発表論文集，地盤工学会，pp. 17-24, 2005.
14) 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.
15) 横浜市建築局：大規模盛土造成地の状況調査について，宅地審査部ホームページ(2010 年 2 月 22 日作成・2014 年 4 月 1 日更新)，2014. (last accessed: 2015/08/23)
16) 例えば，阿部進，鈴木誠：横浜市リアルタイム地震防災システムについて，リアルタイム地震防災シンポジウム論文集，土木学会，Vol.2, pp.11-18, 2000.
17) 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.
18) 秦吉弥，一井康二，常田賢一，柴尾享，山田雅行，満下淳二，小泉圭吾：アレー計測を利用した道路盛土の地震応答特性の評価，地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム 2010 論文集，地盤工学会，pp.21-26, 2010.
19) 秦吉弥，吉田武，常田賢一：超高密度地震アレー観測に基づく造成宅地におけるサイト増幅特性の評価，日本地震工学会第 11 回年次大会梗概集，2015. [in press]