

応答加速度超過領域 (ERAA) に基づく南海トラフ巨大地震における和歌山県内の変電所における被災度の予測に関する基礎的研究

Preliminary study on damage evaluation at substations in Wakayama Prefecture, Japan, based on Area of Exceeded Response Acceleration during the Nankai trough earthquake

○片山潤一¹, 秦吉弥², 大川雄太郎²
 Jun-ichi KATAYAMA¹, Yoshiya HATA² and Yutaro OKAWA²

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

Strong motion due to the 2011 Tohoku Earthquake caused serious damage to electrical substations in the focal area. The 2011 main shock along the Japan Trench also motivated us to hypothesize an equally gigantic earthquake along the Nankai trough. Thus, we have already carried out the strong motion prediction at substations in Wakayama Prefecture, Japan, considering the empirical site amplification and phase effects. In this study, using the predicted strong motions, seismic damage at the substations of interest was evaluated based on Area of Exceeded Response Acceleration. The obtained findings will be useful for performance evaluation for the electrical supply network.

Keywords: strong motion, substation, Area of Exceeded Response Acceleration, Nankai Trough Earthquake

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震 ($M_w9.0$) では、巨大津波だけでなく強震動の作用による変電所等の電力供給施設の深刻な被害が報告^{1),2)}されている。一方で、2011年東北地方太平洋沖地震の発生を受け、南海トラフにおいても $M_w9.0$ 程度の巨大地震が想定されており、南海トラフ巨大地震に対する電力供給施設の耐震性評価を行い、対策を施しておくことは重要である。このような大規模地震に対する電力供給施設の耐震性の検討を実施²⁾する場合、当該施設において予測される地震動の大きさを予め評価しておく必要がある。

この点に関して、著者ほかは、南海トラフ巨大地震の想定震源域に近い和歌山県内の66か所の変電所(以後、対象変電所と呼ぶ：図-1参照)において常時微動計測を実施³⁾し、その計測記録に基づき H/V スペクトルによる地盤震動特性を評価⁴⁾している。さらに、地盤震動特性を考慮した強震動シミュレーションを行うことで、対象変電所に作用する強震動を予測⁵⁾している。図-2および図-3は、対象変電所ごとの予測地震動による絶対加速度応答スペクトル(減衰定数5%)を N-S および E-W 成分について比較したものである。図-2および図-3には、電気設備の耐震設計指針(H22)による設計基準スペクトル⁶⁾、2011年東北地方太平洋沖地震の際に損傷した仙台変電所での推定地震動による応答スペクトル²⁾、新福島変電所での観測地震動による応答スペクトル⁷⁾、および2000年鳥取県西部地震の際に損傷した日野変電所での推定地震動による応答スペクトル⁸⁾についても重ね合せにより同時に示している。図-2および図-3に示すように、予測地震動の応答スペクトルは、周期帯域によって、比較対象とした設計基準スペクトルや2011年東北地方太平洋沖地震の震源域における変電所での応答スペクトルを上回る傾向が確認でき、この傾向は N-S および E-W 成分において

概ね共通である。よって、上記の応答スペクトルの比較結果を踏まえれば、南海トラフ巨大地震時に対象変電所では何らかの損傷等が発生する可能性が示唆される。

そこで本稿では、基準とするスペクトル(後述)に対する応答加速度⁹⁾の超過領域に着目した指標として、ERAA (Area of Exceeded Response Acceleration) を提案し、提案指標に基づき対象変電所における被災度の評価を試みた。

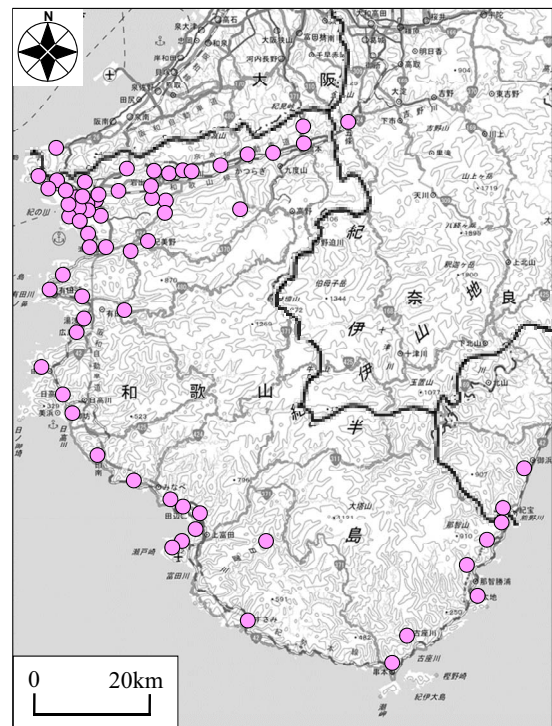


図-1 和歌山県内を主とした対象変電所の分布

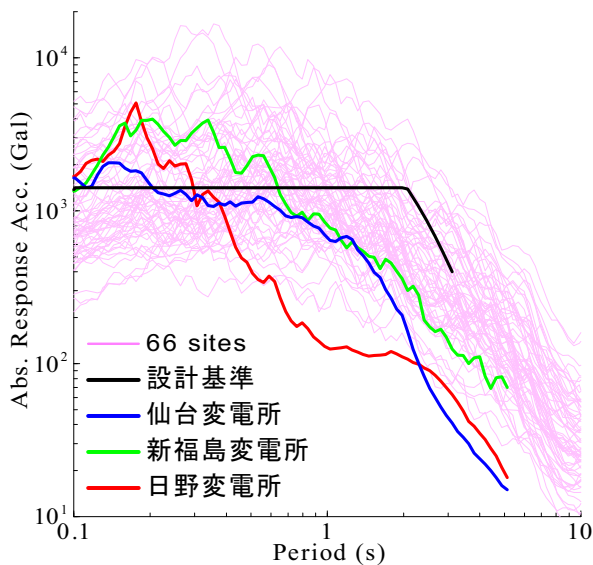


図-2 予測地震動の応答スペクトルの比較(N-S)

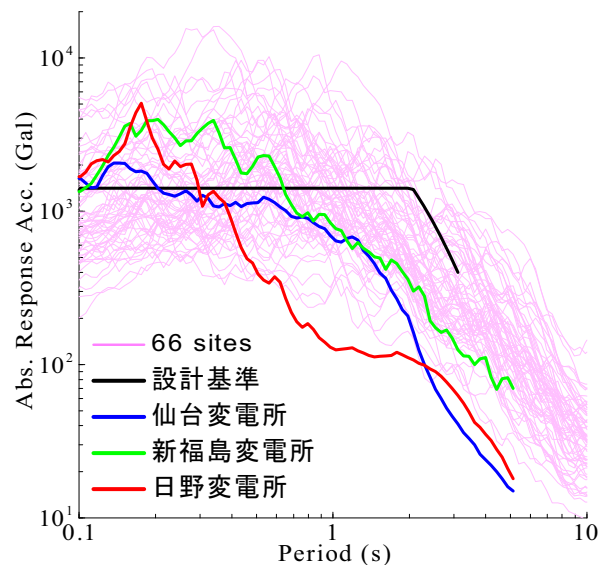


図-3 予測地震動の応答スペクトルの比較(E-W)

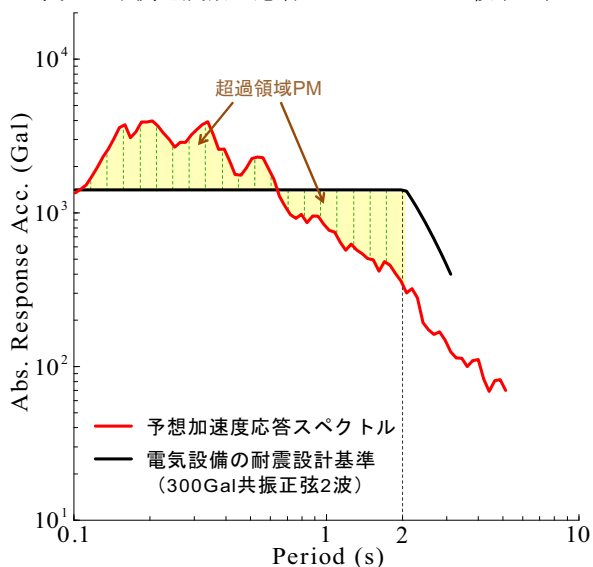


図-4 応答加速度超過領域の提案(イ：ERAA-PM)

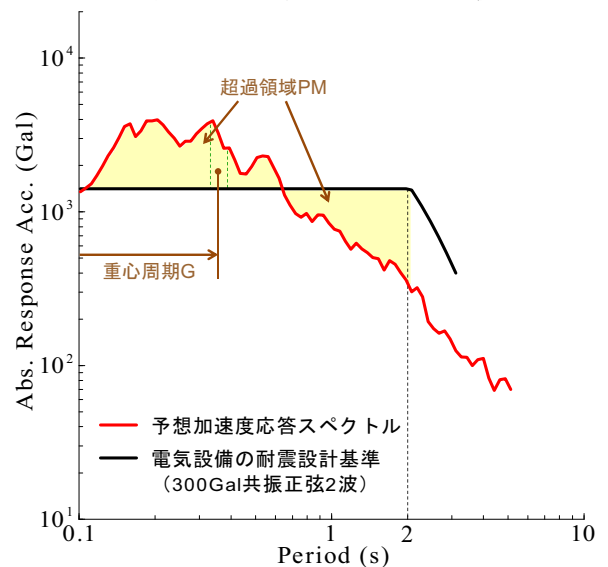


図-5 応答加速度超過領域の提案(ロ：ERAA-PM-G)

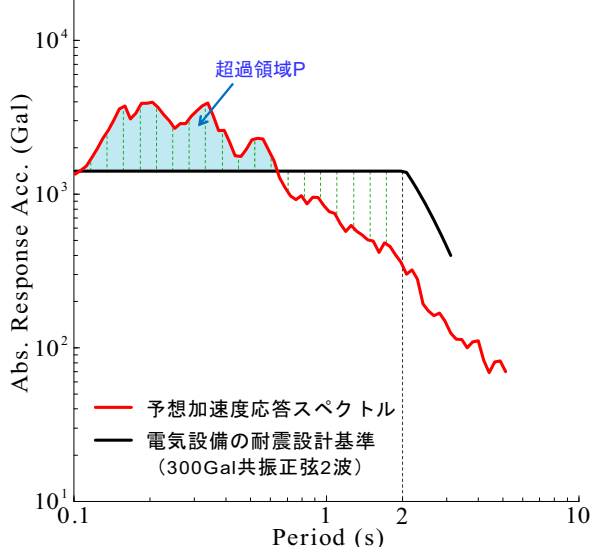


図-6 応答加速度超過領域の提案(ハ：ERAA-P)

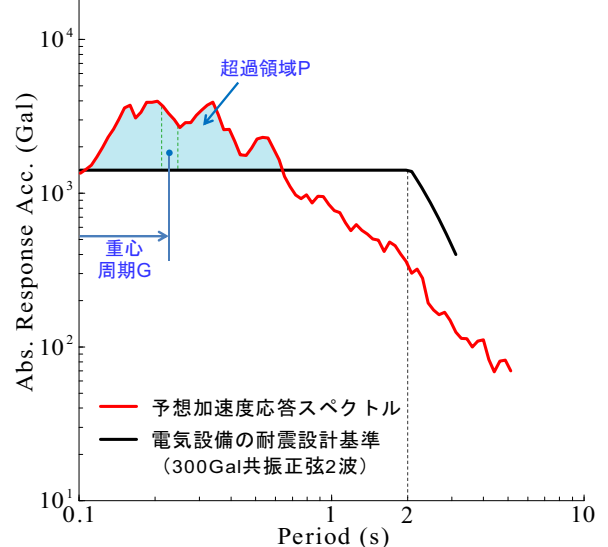


図-7 応答加速度超過領域の提案(ニ：ERAA-P-G)

2. 応答加速度超過領域ERAAの提案

1. で述べた ERAA として、本稿では以下に示す四つの指標について検討を行った。

- (イ) ERAA-PM (正負・超過領域)
- (ロ) ERAA-PM-G (正負・超過領域・重心周期)
- (ハ) ERAA-P (正・超過領域)

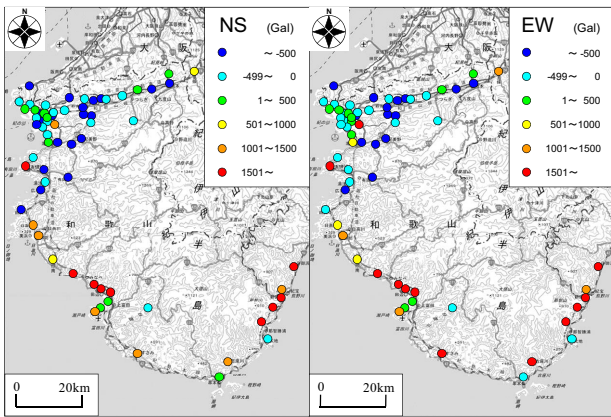


図-8 応答加速度超過領域の分布(イ: ERAA-PM)

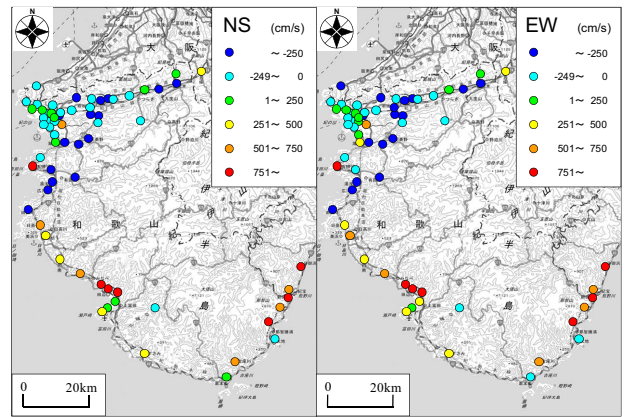


図-9 応答加速度超過領域の分布(ロ: ERAA-PM-G)

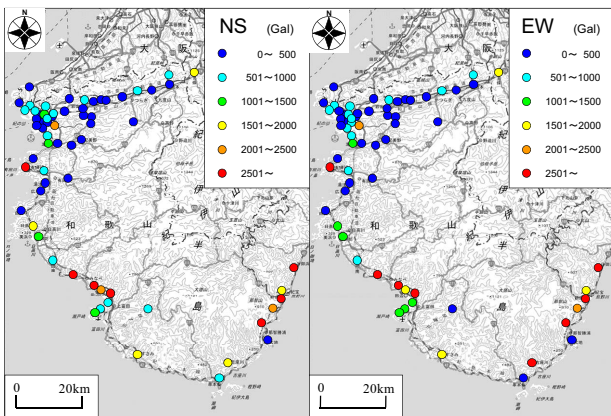


図-10 応答加速度超過領域の分布(ハ: ERAA-P)

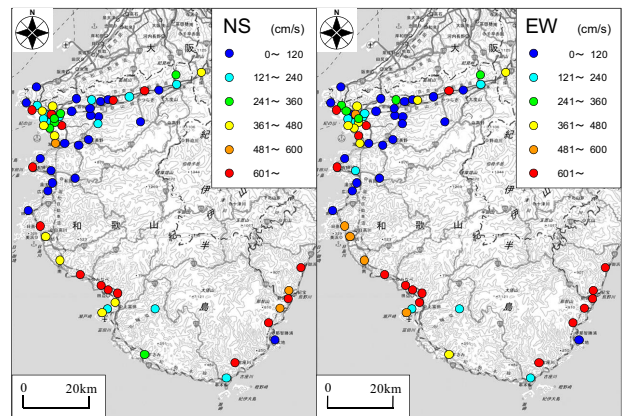


図-11 応答加速度超過領域の分布(ニ: ERAA-P-G)

(二) ERAA-P-G (正・超過領域・重心周期)

まず、ERAA-PM については、図-4 に示すように、フラットなスペクトル形状を示す周期帯域(電気設備の地震被災に比較的影響を及ぼす周期帯域；以後、影響周期帯域と呼ぶ)内での設計基準スペクトル(以後、設計基準と呼ぶ)⁶⁾に対して、上回っている(正の)応答加速度と下回っている(負の)応答加速度の面積を周期軸上で計算し、その面積の影響周期帯域内での平均応答加速度を求めた。

次に、ERAA-PM-G については、図-5 に示すように、上記の ERAA-PM に対する周期軸(対数軸)上での重心周期を掛け合せたものである。次元は速度の単位となる。

さらに、上記の ERAA-PM では正と負両方の応答加速度を考慮していたが、図-6 に示すように、ERAA-P については、正の応答加速度のみを考慮したものである。

最後に、ERAA-P-G については、図-7 に示すように、上記の ERAA-P に対する周期軸(対数軸)上での重心周期を掛け合せたものであり、次元は ERAA-PM-G と同じく速度の単位となる。

図-8～図-11は、対象変電所におけるERAA-PM, ERAA-PM-G, ERAA-P, ERAA-P-Gに関する分布である。図-8～図-11に示すように、東側の新宮市街地および西側のみなべ市街地付近において提案指標が比較的大きな値を示す傾向があり、この傾向は、本稿で提案する四つの応答加速度超過領域に関する指標において共通して見受けられる。また一方で、ERAA-P-Gを採用したケース(図-11参照)では、上述した新宮・みなべの市街地に加えて、和歌山市街地においても比較的大きな指標値を示している。上記の結果を総合すると、南海トラフ巨大地震が発生した際、新宮・みなべ・和歌山の市街地の変電所において被災の可能性が相対的に高いことが読み取れる。

3. 被災程度の基礎的評価

2. では、本稿で提案した新しい指標である応答加速度超過領域 ERAA(四種類)の分布を示したが、本章では、ERAA に基づいて被災程度を評価することを試みる。具体的には、1. で紹介した大規模地震による被災経験を有する仙台変電所・新福島変電所・日野変電所の中で、当該地点に作用した地震動の加速度応答スペクトルが最も大きくなるのは、新福島変電所であることから(図-2 および図-3 参照)、新福島変電所での応答加速度超過領域 ERAA(四種類)に対して上回っているか否かによる判断(いわゆる二価関数に基づいた判断)により、対象変電所の被災程度(被災の有無)に関する基礎的な検討を行った。図-12～図-15 に、ERAA-PM, ERAA-PM-G, ERAA-P, ERAA-P-G に基づいた検討結果を示す。

図-12～図-15 に示すとおり、東側の新宮市街地および西側のみなべ市街地付近において、新福島変電所での被災実績を上回る傾向が強いことがわかる。この傾向は、ERAA-PM, ERAA-PM-G, ERAA-P, ERAA-P-G において概ね共通して確認できる。さらに、ERAA-P-G を採用したケース(図-15 参照)では、上述した新宮・みなべの市街地付近に加えて、和歌山市街地の付近においても新福島変電所における被災実績を上回る対象変電所が比較の数多く存在していることが読み取れる。したがって、南海トラフ巨大地震の際に、新宮・みなべ・和歌山の市街地付近における対象変電所では、被災の危険性が一種の絶対評価として高いことが読み取れる。なお、2. および 3. で抽出された対象変電所の地域はそれぞれ概ね類似していることから(図-8～図-11 と 図-12～図-15 参照)、本稿で抽出された対象変電所の電力設備に対して、より詳細な耐震検討を行っていく必要があると思われる。

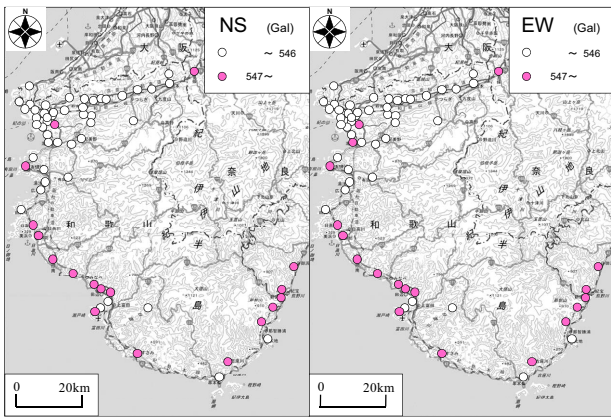


図-12 応答加速度超過領域による判断(イ：ERAA-PM)

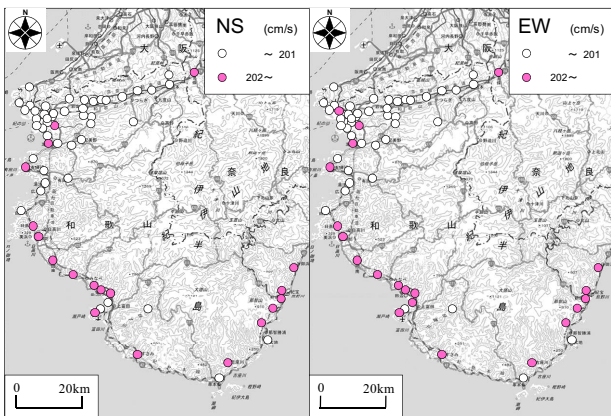


図-13 応答加速度超過領域による判断(ロ：ERAA-PM-G)

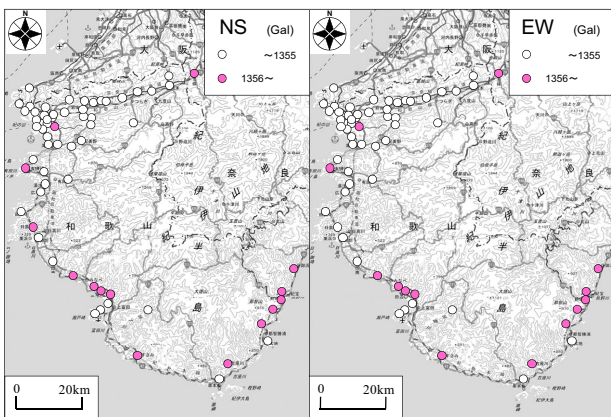


図-14 応答加速度超過領域による判断(ハ：ERAA-P)

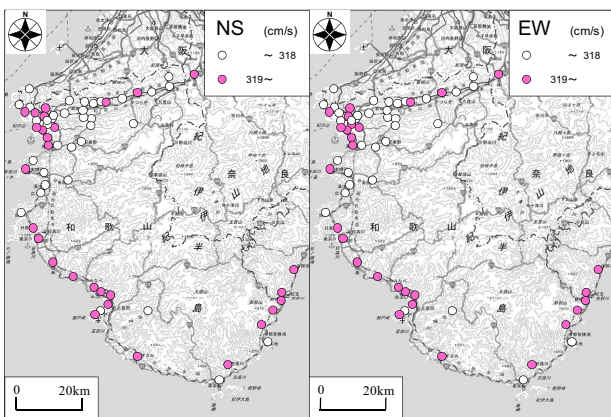


図-15 応答加速度超過領域による判断(ニ：ERAA-P-G)

4. まとめ

本稿では、南海トラフ巨大地震時に大きな地震動の作用が懸念される和歌山県内の変電所を対象に実施された強震動シミュレーションの既存結果に基づき、対象変電所の被災の可能性に関する基礎的な検討を行った。得られた知見を以下に示す。

- (1) 対象変電所の被災を表現する一手法として、予測地震動の応答スペクトルと電気設備の耐震設計指針(H22)による設計基準スペクトルとの大小関係に着目した応答加速度超過領域(ERAA)の提案を行った。
- (2) 応答加速度超過領域(ERAA)として四種類の指標を用いて、対象変電所の相対的な被災の程度を相対的に評価した結果、新宮・みなべ・和歌山市付近の変電所においてERAAの値が高い結果が得られた。
- (3) 近年の大規模地震による被災経験を有する仙台変電所・新福島変電所・日野変電所のうち、ERAAの値が最も高い新福島変電所を基準とした場合においても、新宮・みなべ・和歌山市付近の変電所において被災の危険性が高いことが明らかとなった。

今後は、本稿で得られた知見に加えて、上記列挙した知見で抽出された変電所に耐震性能も考慮しつつ、和歌山県内全体の電力供給ネットワークの途絶の危険性などについて検討を行っていきたいと考えている。

謝辞

本研究の遂行に際して、公益財団法人関西エネルギー・リサイクル科学研究振興財団第22回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) 風間基樹：2011年東北地方太平洋沖地震被害の概要と地盤工学的課題，地盤工学ジャーナル，Vol.7, No.1, pp.1-11, 2012.
- 2) 佐藤浩章，石丸真：東北地方太平洋沖地震における変電設備の被害要因と入力地震動レベルの関係，電力中央研究所報告，No.N12016, 2013.
- 3) 秦吉弥，湊文博，大川雄太郎，山内政輝：和歌山県内における変電所での常時微動 H/V スペクトル，平成29年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集，Paper No.0330, 2017.
- 4) 秦吉弥，湊文博，大川雄太郎，山内政輝：常時微動計測に基づく和歌山県内の変電所での MSR 値の評価，土木学会第72回年次学術講演会講演概要集，I-444, pp.887-888, 2017.
- 5) 片山潤一，秦吉弥，大川雄太郎：常時微動計測に基づく南海トラフ巨大地震における変電所での強震動の基礎的評価，第37回地震工学研究発表会講演論文集，土木学会，Paper No.1086, 2017.
- 6) 日本電気協会発変電専門部会，日本電気技術規格委員会：電気設備の耐震設計指針，256p., 2010.
- 7) 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会：東北地方太平洋沖地震における変電設備被害の原因分析結果について，電力安全小委員会電気設備地震対策ワーキンググループ(第3回)配付資料，経済産業省ホームページ，2011。(最終閲覧日：2017年10月4日)
- 8) 佐藤浩章，佐藤清隆，当麻純一，東貞成：2000年鳥取県西部地震における変圧器被害の発生要因の究明，電力中央研究所報告，No.U01023, 2001.
- 9) 例えば，和歌山県由良町防災会議：由良町地域防災計画—地震・津波災害対策編一，pp.1-32, 2017.