

# 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

片山 潤一<sup>1</sup>・秦 吉弥<sup>2</sup>・大川 雄太郎<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 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: jkatayama@civil.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>2</sup> 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

<sup>3</sup> 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: yokawa@civil.eng.osaka-u.ac.jp

2011年東北地方太平洋沖地震では、強震動の作用による変電所施設の深刻な被害が報告されている。本稿では、南海トラフ巨大地震において強震動の作用が懸念される和歌山県内の変電所(66地点)を対象に強震動予測を行った。その際、対象とした全ての変電所において常時微動計測を行い、得られたH/Vスペクトルに基づきサイト増幅特性を評価することで、地点固有の強震動を対象変電所ごとに予測した。その結果、強震動生成域と対象変電所の位置関係や対象変電所ごとのサイト増幅特性に主に起因して、対象変電所において予測される地震動特性の差異が比較的大きいことなどが明らかとなった。

**Key Words :** microtremor measurement, site effect, electrical substation, seismic intensity

## 1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震( $M_w$ 9.0)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<sup>1)</sup>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 $M_w$ 9.0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<sup>2)</sup>する場合、当該施設において予測される地震動強さ(例えば、震度等)を予め評価しておく必要がある。

そこで本稿では、南海トラフ巨大地震の想定震源域に近い主に和歌山県内の66か所の変電所を対象に(以後、対象変電所と呼ぶ：図-1および表-1参照)、強震動予測を行った結果について報告する。具体的には、まず、対象変電所において常時微動計測を実施<sup>3)</sup>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<sup>4)</sup>した。次に、対象変電所周辺の既存強震観測点(以後、基準点と呼ぶ：表-1参照)においても同様に常時微動H/Vスペクトルを計測・評価し、H/Vスペクトルとサイト増幅特性の経験的関係<sup>5)</sup>に基づき、対象変電所でのサイト増幅特性(地震基盤～地表)をそれぞれ評価した。最後に、評価したサイト特性と南海トラフ巨大地震によるSMGA

モデル<sup>6)</sup>に基づく強震動シミュレーションを行い、対象変電所において予測される地震動強さ(例えば、気象庁計測震度<sup>7)</sup>等)を評価した。

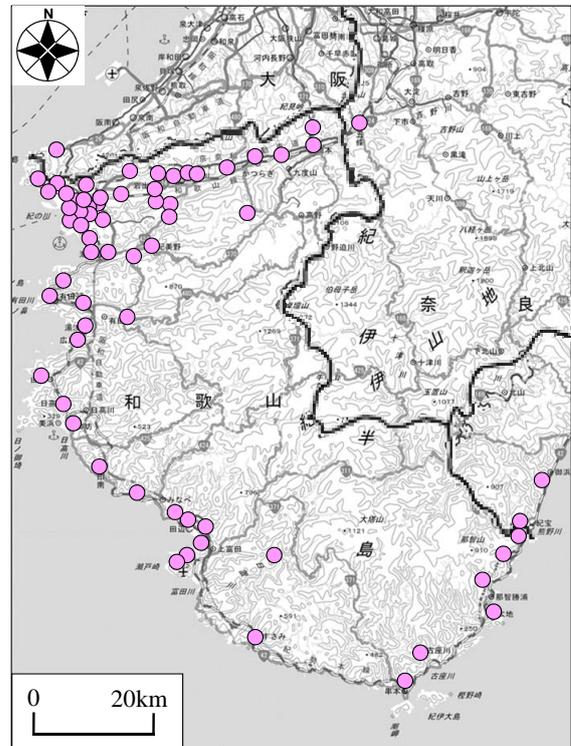


図-1 地形図上における対象変電所の分布

表-1 対象変電所とそれに対応した基準点・参照点・非線形パラメータの一覧

No.	対象変電所		基準点	参照点	非線形パラメータ	
					$v_1$	$v_2$
01	有田	Arida	MLIT湯浅	KiK-net山方	0.71	0.29
02	阿田和	Atawa	紀宝町本庁舎	K-NET八戸	0.87	0.13
03	五条	Gojo	K-NET五條	KiK-net野辺地	0.92	0.08
04	橋本	Hashimoto	橋本市役所	KiK-net都路	0.80	0.20
05	幡川	Hatagawa	KiK-net野上	KiK-net下郷	0.74	0.26
06	芳養	Haya	K-NET田辺	KiK-net新郷	0.87	0.13
07	広	Hiro	MLIT水越	K-NET飯舘	0.85	0.15
08	堀止	Horidome	JMA和歌山	KiK-net一戸	0.76	0.24
09	布施屋	Hoshiya	MLIT船戸	K-NET郡山	0.70	0.30
10	印南町	Inamicho	印南町役場	K-NET宮古	0.83	0.17
11	有功	Isao	JMA和歌山	K-NET普代	0.85	0.15
12	岩出	Iwade	MLIT船戸	K-NET南部	0.81	0.19
13	城北橋	Jyohokubashi	JMA和歌山	K-NET福島	0.88	0.12
14	加太	Kada	岬町役場	K-NET下館	0.93	0.07
15	貝柄町	Kaigaracho	JMA和歌山	KiK-net浪江	0.82	0.18
16	海南	Kainan	海南市役所	K-NET脇野沢	0.82	0.18
17	上岩出	Kamiiwade	MLIT船戸	K-NET水戸	0.85	0.15
18	金屋	Kanaya	MLIT水越	K-NET小野	0.82	0.18
19	笠田	Kaseda	かつらぎ町役場	KiK-net名川	0.88	0.12
20	勝浦	Katsuura	MLIT太地	K-NET南通	0.90	0.10
21	紀宝	Kiho	紀宝町分庁舎	K-NET岩井	0.75	0.25
22	紀北	Kihoku	かつらぎ町役場	KiK-net名川	0.88	0.12
23	紀見	Kimi	K-NET五條	KiK-net野辺地	0.92	0.08
24	紀三井寺	Kimiidera	PARI和歌山	K-NET石岡	0.88	0.12
25	紀の川	Kinokawa	MLIT船戸	K-NET郡山	0.70	0.30
26	貴志川	Kishigawa	MLIT船戸	KiK-net田子	0.70	0.30
27	北島	Kitajima	MLIT湊中洲	KiK-net花巻南	0.79	0.21
28	粉河	Kokawa	JMA紀の川	K-NET水沢	0.87	0.13
29	高野口	Koyaguchi	MLIT妙寺	K-NET六ヶ所	0.78	0.22
30	神前	Kozaki	JMA和歌山	KiK-net一戸	0.76	0.24
31	串本	Kushimoto	K-NET串本	K-NET川内	0.86	0.14
32	松江	Matsue	MLIT湊中洲	KiK-net矢巾	0.74	0.26
33	南部	Minabe	みなべ町中央公民館	KiK-net二戸東	0.82	0.18

表-1 対象変電所とそれに対応した基準点・参照点・非線形パラメータの一覧 (つづき)

No.	対象変電所		基準点	参照点	非線形パラメータ	
					$v_1$	$v_2$
34	湊	Minato	JMA和歌山	KiK-net一戸	0.76	0.24
35	箕島	Minoshima	MLIT湯浅	KiK-net野辺地	0.92	0.08
36	岬	Misaki	岬町役場	K-NET原町	0.90	0.10
37	三輪崎	Miwasaki	JMA新宮	KiK-net西郷	0.74	0.26
38	宮	Miya	JMA和歌山	KiK-net岩木	0.87	0.13
39	桃山	Momoyama	MLIT船戸	K-NET南部	0.81	0.19
40	妙寺	Myoji	かつらぎ町役場	K-NET石鳥谷	0.86	0.14
41	西向	Nishimukai	古座川町役場	K-NET脇野沢	0.82	0.18
42	野上	Nogami	KiK-net野上	K-NET南郷	0.79	0.21
43	岡崎	Okazaki	海南市役所	K-NET脇野沢	0.82	0.18
44	阪井	Sakai	MLIT船戸	K-NET南部	0.81	0.19
45	島	Shima	JMA御坊	KiK-net一戸	0.76	0.24
46	下津	Shimotsu	MLIT湯浅	KiK-net十和田湖西	0.93	0.07
47	新宮	Shingu	JMA新宮	K-NET石岡	0.88	0.12
48	新粉河	Shin-kokawa	JMA紀の川	K-NET水戸	0.85	0.15
49	新田辺	Shin-tanabe	K-NET田辺	K-NET西根	0.79	0.21
50	塩屋	Shioya	PARI和歌山	K-NET福島	0.88	0.12
51	白浜	Shirahama	JMA白浜	KiK-net六ヶ所	0.93	0.07
52	水軒	Suiken	PARI和歌山	K-NET鯨ヶ沢	0.74	0.26
53	周参見	Susami	K-NETすさみ	K-NET西根	0.79	0.21
54	太地	Taiji	K-NET太地	K-NET大熊	0.90	0.10
55	滝内	Takiuchi	上富田町役場	K-NET水戸	0.85	0.15
56	田辺	Tanabe	K-NET田辺	K-NET藪川	0.74	0.26
57	谷	Tani	MLIT船戸	K-NET大熊	0.90	0.10
58	手平	Tebira	JMA和歌山	KiK-net岩瀬	0.78	0.22
59	殿山	Tonoyama	KiK-net上富田	KiK-net久慈北	0.84	0.16
60	内原	Uchihara	JMA御坊	KiK-net一戸	0.76	0.24
61	打田	Uchita	JMA紀の川	K-NET江戸崎	0.87	0.13
62	梅原	Umehara	PARI和歌山	K-NET大子	0.78	0.22
63	和歌山	Wakayama	JMA和歌山	K-NET脇野沢	0.82	0.18
64	湯浅	Yuasa	MLIT湯浅	K-NET東田沢	0.76	0.24
65	由良	Yura	MLIT由良	KiK-net長沼	0.86	0.14
66	湯崎	Yuzaki	JMA白浜	K-NET東田沢	0.82	0.18



写真-1 常時微動計測状況例 (対象変電所)



写真-2 常時微動計測状況例 (基準点)

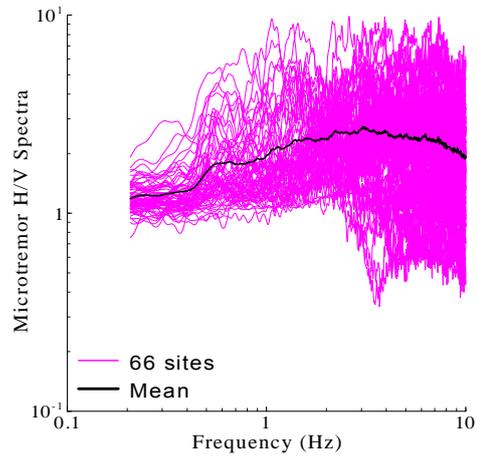


図-2 常時微動H/Vスペクトルの比較

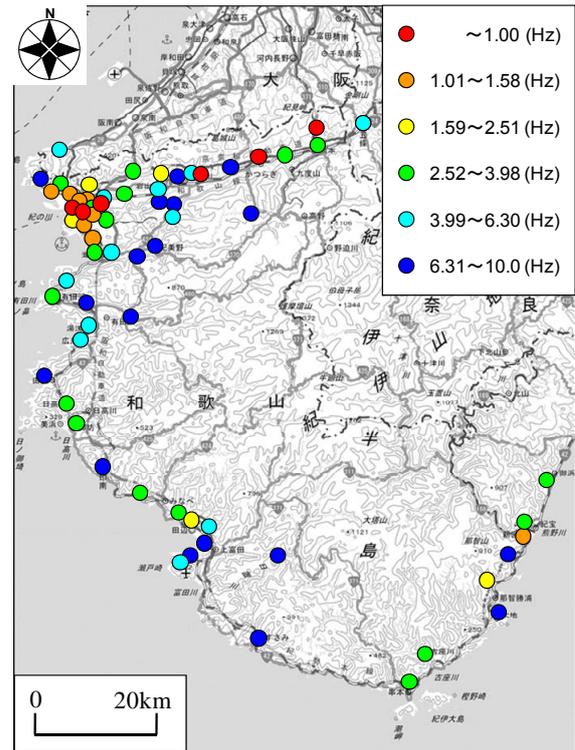


図-3 H/Vスペクトルのピーク周波数の分布

## 2. 常時微動計測の実施

常時微動計測は、対象変電所(の敷地外の極近傍地点)および基準点(の候補地点)においてそれぞれ実施<sup>3,4)</sup>した。写真-1および写真-2に対象変電所および基準点での常時微動計測状況の一例を示す。計測期間は、2017年1月11～13日、4月10～11日の計五日間である。計測は主に昼間に実施し、同型の八台の微動計(八台ともに白山工業(株)製の一体型微動探査兼地震計機器<sup>8)</sup>)を採用した。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<sup>9)</sup>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30分間の単点計測とした。

H/Vスペクトルの計算処理方法<sup>9)</sup>としては、まず、微動の加速度時刻歴に対して0.1Hzのハイ・パスフィルターを施し、163.84秒の区間(雑振動(望ましくないノイズ等)が小さい163.84秒間)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で平滑化したのちに、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<sup>2)</sup>などを考慮して0.2～10Hzとした。

図-2は、対象変電所における常時微動H/Vスペクトルを重ね合せたものである。ここに、H/Vスペクトルの比較を対象変電所ごとに示したものについては、本稿の付録図-1を参照されたい。一方で、図-3には、対象変電所

におけるH/Vスペクトル(図-2参照)のピーク周波数を地形図上にプロットしたものを示す。図-2および図-3に示すとおり、対象変電所では、常時微動H/Vスペクトルの一般的な特性(ピーク周波数やスペクトル形状等)がばらばらになっているのが確認でき、対象変電所での地盤震動特性は一樣ではなく、一つに代表させるのは困難である。

## 3. サイト増幅特性の評価

図-4は、常時微動H/Vスペクトル(図-2参照)に基づき評価した対象変電所におけるサイト増幅特性(地震地盤～地表)を重ね合せたものである。ここに、サイト増幅特性の比較を対象変電所ごとに示したものについては、本稿の付録図-2を参照されたい。

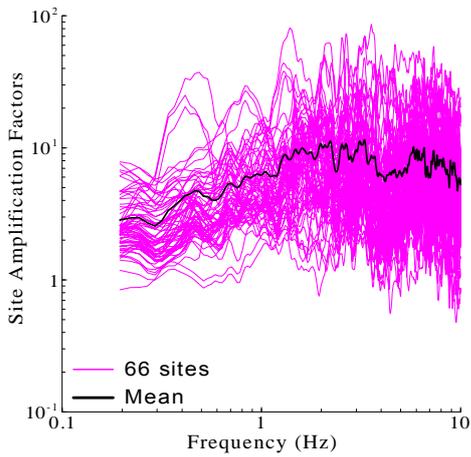


図4 サイト増幅特性(地震基盤～地表)の比較

サイト増幅特性の評価手順について以下に述べる。まず、各々の対象変電所に対応する基準点を表-1に示すとおり選定した。具体的には、選定方法としてDGS値<sup>10)</sup>を用いた定量的方法<sup>11,12)</sup>を採用した。DGS値は、常時微動H/Vスペクトルの任意の二地点間(本稿では基準点と対象変電所)の比率の常用対数を取り、表示周波数範囲内(0.2–10Hz: 図-2参照)において積分した値であり次式で表わされる。

$$DGS = \sum \left| \log \left( \frac{R_{Substa}(f)}{R_{Refer}(f)} \right) \right| \cdot \Delta f \quad (1)$$

ここに、Substaは対象変電所、Referは基準点の候補(対象変電所周辺の既存強震観測点<sup>7,13,17)</sup>である。式(1)を用いて、各々の対象変電所におけるDGS値を周辺の強震観測点(三地点程度)に対してそれぞれ計算し、最も小さな値を示す強震観測点(基準点)を各々の対象変電所についてそれぞれ選定した(表-1参照)。そして、対象変電所と対応する基準点におけるH/Vスペクトルの比較に基づき、基準点での地震観測記録に基づくサイト増幅特性<sup>17,18)</sup>に対して、H/Vスペクトルのピーク周波数およびピーク振幅の違いに着目した経験的補正(微修正)<sup>19,20)</sup>を加えることによって、対象変電所におけるサイト増幅特性を図-4に示すようにそれぞれ評価した。

#### 4. 震源モデルと地震動予測手法

南海トラフ巨大地震による地震動の推定には、内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会<sup>9)</sup>によるSMGAモデル(基本ケース)を採用した。図-5に静岡県駿河湾～宮崎県日向灘のサブイベント(12個のSMGAで構成)と、対象変電所が主に位置する和歌山県との関係を示す。モデルパラメータの詳細については、文献6)を参照されたい。なお、Q値については、Petukhinほかによる推定値<sup>21)</sup>を採用した。本稿では、図-5に示すとおり、この震源モデルにおける破壊開始点の位置を串本沖に配置<sup>22,23)</sup>した。

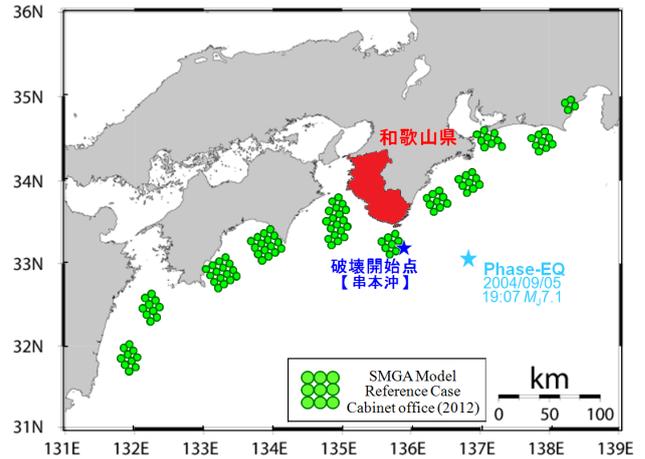


図5 採用した南海トラフ巨大地震のSMGAモデル(基本ケース)

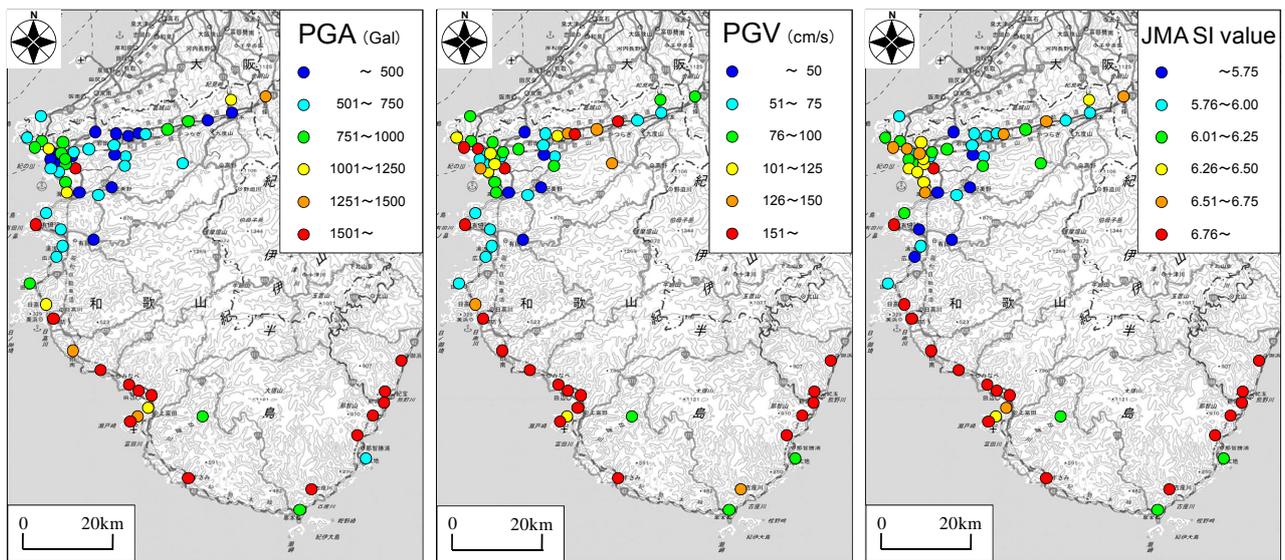
本研究では、経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震波形計算手法<sup>24)</sup>を適用した。この方法では、まず式(2)により統計的グリーン関数を生成する。

$$A(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot G(f) \cdot \frac{O(f)}{|O(f)|_p} \quad (2)$$

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、 $S(f)$ は小地震の震源スペクトルで実数、 $P(f)$ は伝播経路特性<sup>25)</sup>で実数、 $G(f)$ はサイト増幅特性(図-4参照)で実数、 $O(f)$ は想定震源域近く(破壊開始点近く)で発生した地震(2004/09/05 19:07 38km 三重県南東沖を震源とする地震( $M_j7.1$ ): Phase-EQ(図-5参照))による観測記録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。震源特性を計算する際、ラディエーション係数<sup>25)</sup>としては、全方位への平均値である0.63を用いた。また、地震動エネルギーの水平二成分への分散を表す係数であるPRITN<sup>25)</sup>は、水平二成分ともに0.71とした。

式(2)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、現地で得られた地震記録のフーリエ位相を用いる。式(2)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<sup>26)</sup>を行うことで、大地震による波形が求まる。なお、Parzen Window(式(2)の添字 $p$ で表示)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<sup>24)</sup>。また、サイト位相特性(式(2)の $O(f)$ で表示)の取り扱いについては、入射角およびback azimuthが各サブイベントとできるだけ共通となるように(堆積層が地震動の位相に及ぼす影響をより適切に考慮できるように)、基準点(表-1参照)で得られたPhase-EQ(図-5参照)による観測地震動のフーリエ変換を、サイト増幅特性とサイト位相特性の相関性<sup>27)</sup>を踏まえて対応する対象変電所ごとに割り当てた。その際、既往研究の成果<sup>28)</sup>を参考に海溝型地震(ここでは、Phase-EQ)による観測波形の時間軸の伸縮補正は実施していない。

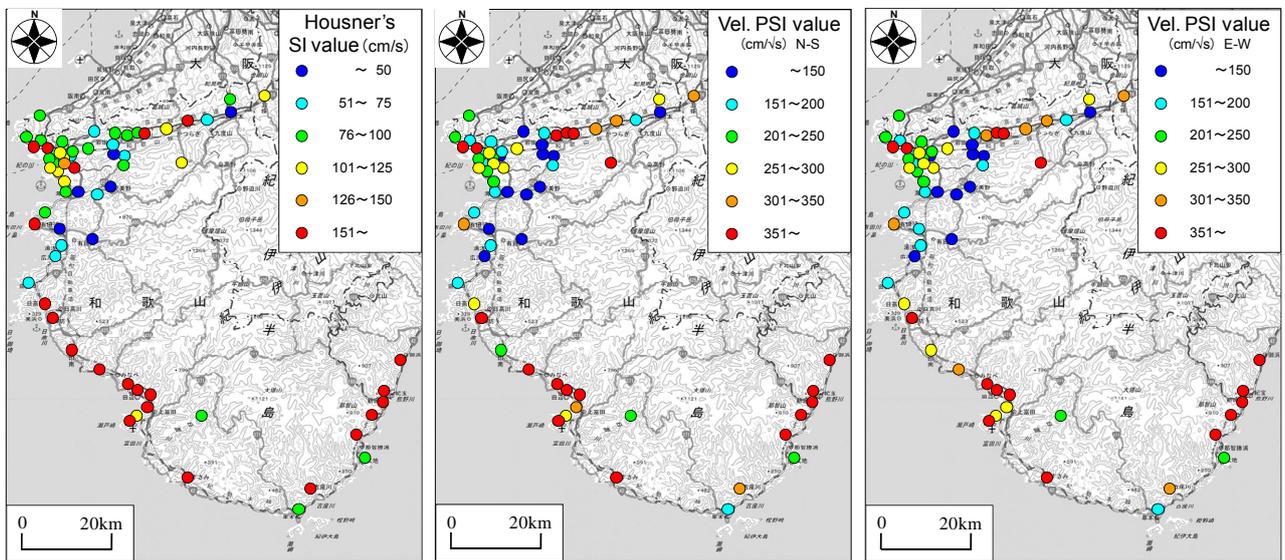
なお、対象変電所が主に位置する和歌山県では、南海



(a) 最大加速度PGA

(b) 最大速度PGV

(c) 気象庁計測震度



(d) SI値

(e) 速度PSI値(N-S成分)

(f) 速度PSI値(E-W成分)

図-6 対象変電所での予測地震動に基づく指標値の分布

トラフ巨大地震時に少なからず地盤の非線形挙動が生じる可能性が高いと考えられる。そこで、表層地盤の非線形挙動の効果を考慮してグリーン関数を補正する方法<sup>29)</sup>を採用し、S波速度の低下率を表すパラメータ $v_1$ (非線形性の影響が大きいほど低下)と堆積層における平均的な減衰定数の増分を表すパラメータ $v_2$ (非線形性の影響が大きいほど増加)を、2011年東北地方太平洋沖地震における参照点での観測実績<sup>30)</sup>に基づき対象変電所ごとにそれぞれ設定した。具体的な参照点の採用方法としては、対象変電所のサイト増幅特性(図-4参照)に対して、2011年東北地方太平洋沖地震の震源域に位置するK-NET/KiK-net観測点<sup>13)</sup>の中でサイト増幅特性<sup>18)</sup>が比較的類似している(SAF値<sup>31)</sup>などによって判断)強震観測点を、対象変電所ごとに複数選定した。そして、複数選定された観測点で得られた2011年東北地方太平洋沖地震による記録と南

海トラフ巨大地震による予測地震動の大きさについて比較検討を行い、観測地震動と予測地震動(ともにフリーエスペクトル(水平二成分合成)によって評価)が最も良い一致を示す観測点を参照点として表-1に示すように採用した。

## 5. 強震動予測結果

図-6は、対象変電所における予測地震動の指標値を地形図上にプロットしたものである。ここに、地震動指標としては、以下に示す六種類を採用した。

- ・最大加速度PGA (水平二成分合成)
- ・最大速度PGV (水平二成分合成)
- ・気象庁計測震度 (水平二成分合成)<sup>7,32)</sup>

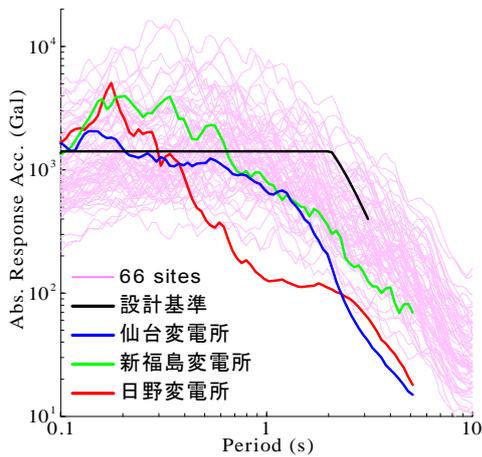


図-7 予測地震動の応答スペクトルの比較とその特徴(N-S)

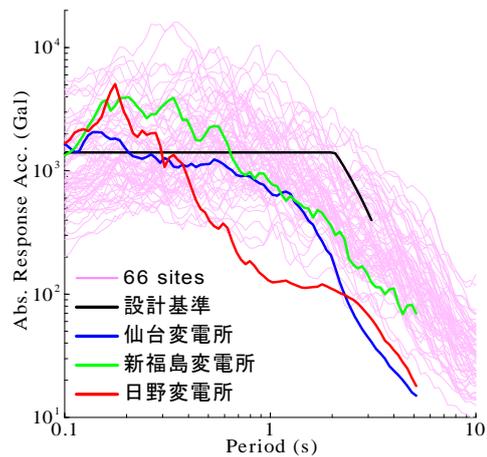


図-8 予測地震動の応答スペクトルの比較とその特徴(E-W)

- ・SI値(水平二成分合成)<sup>33)</sup>
- ・速度PSI値(N-SおよびE-W成分)<sup>34)</sup>

ここに、N-SおよびE-W成分について算定された予測地震動(水平動)に対して上記の指標値を計算した。

図-6に示すように、南海トラフ巨大地震時に対象変電所に作用が予測される地震動の特性は一様であるとはいえず、局所的に大きな地震動が予測される傾向が確認でき、この傾向は地震動指標の種類によって変化していない。ここで、SMGAモデルに基づく強震動評価においてその信頼性が最も高いと考えられる気象庁計測震度(図-6(c)参照)<sup>6)</sup>に着目すると、和歌山県内の主要都市である和歌山、田辺、新宮付近の市街地において気象庁計測震度が比較的大きな値を示していることが読み取れる。

図-7および図-8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。ここに、加速度応答スペクトルの比較を対象変電所ごとに示したものについては、本稿の付録図-3を参照されたい。なお、図-7および図-8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<sup>35)</sup>、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<sup>2)</sup>、新潟県新潟市での観測地震動による応答スペクトル<sup>36)</sup>、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<sup>37)</sup>についても重ね合せにより同時に示している。

図-7および図-8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。

## 6. 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主に和歌山県内の変電所における常時微動計測の結果に基づいてサイト増幅・位相特性を評価した。そして、評価したサイト特性を用いて南海トラフ巨大地震による強震動シミュレーションを行うことで、県内の変電所に作用する強震動をそれぞれ予測した。

その結果、強震動生成域(SMGA)と各変電所の位置関係や各変電所でのサイト特性の差異などに起因して、各々の変電所に作用する予測地震動の特性には大きな違いが確認でき、特に、和歌山・田辺・新宮の市街地付近に位置する変電所では、局所的に大きな気象庁計測震度の予測値を示すことが明らかとなった。

本稿で予測した和歌山県内の各々の変電所の強震波形は、南海トラフ巨大地震を対象とした個別の電力施設の耐震性評価などへの利活用が期待できる。今後は、本稿で評価した予測地震動の指標値の分布等を踏まえて、電力供給ネットワークが途絶する危険性を最小化する耐震補強戦略や地震後の早期復旧計画について合理的な議論・検討を行っていきたいと考えている。

**謝辞:** 常時微動計測などの現地踏査の際には、地域住民や関係者の皆様などにご協力・ご支援いただいた。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) 長尾毅, 山田雅行, 野津厚: 常時微動 H/V スペクトルを用いたサイト増幅特性の経験的補正方法に関する研究, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.56A, pp.324-333, 2010.
  - 6) 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. (最終閲覧日: 2017 年 8 月 29 日)
  - 7) 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.
  - 8) 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.
  - 9) 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.
  - 10) 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.
  - 11) 秦吉弥, 高橋良和, 後藤浩之, 野津厚: 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おける岩切線路橋での地震動の評価, 構造工学論文集, Vol.59A, pp.383-395, 2013.
  - 12) Hata, Y., Minato, F., Yamauchi, M., Okawa, Y., Ueda, Y., Atoji, S., Goto, H., Yoshimi, M., Furukawa, A., Morikawa, H., Ikeda, T. and Kagawa, T.: Evaluation of local site effects with very high density in central Mashiki Town, Kumamoto Prefecture, Japan, based on temporary earthquake observations and microtremor measurements, and its applications, *Proc. of the International Workshop on the 2016 Kumamoto Earthquake (Japan-USA Joint Workshop)*, Fukuoka, Japan, pp.167-172, 2017.
  - 13) 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.
  - 14) 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.
  - 15) Shiba, Y. and Yajima, H.: Observation network for strong motions operated by CRIEPI, *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.108-111, 2004.
  - 16) 西前裕司: 気象庁・地方公共団体における震度観測および強震観測について, 日本地震工学会大会—2003 梗概集, pp.特 58-59, 2003.
  - 17) 秦吉弥, 山田孝弘, 湊文博, 飛田哲男, 植田裕也, 清野純史: 常時微動計測を利用した南海トラフ巨大地震における JR きのくに線沿いでの強震動の予測, 第 36 回地震工学研究発表会講演論文集, 土木学会, Paper No.917, 2016.
  - 18) 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.
  - 19) 長尾毅, 山田雅行, 野津厚: 常時微動 H/V スペクトルを用いたサイト増幅特性の経験的補正方法に関する研究, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.56A, pp.324-333, 2010.
  - 20) 秦吉弥, 常田賢一, 林健二: 常時微動 H/V スペクトルを用いたサイト増幅特性の評価に関する試み, 地盤と建設, 地盤工学会, Vol.31, No.1, pp.125-131, 2013.
  - 21) 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.
  - 22) 湊文博, 秦吉弥, 山田雅行, 常田賢一, 鉦田泰子, 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, pp.I\_123-135, 2015.
  - 23) 湊文博, 秦吉弥, 常田賢一, 鉦田泰子, 小山真紀, 植田裕也: 高密度常時微動計測・臨時地震観測に基づく南海トラフ巨大地震における和歌山県広川町での津波避難不可能時間算出のための強震動評価, 土木学会論文集 A1, Vol.72, No.4, pp.I\_68-81, 2016.
  - 24) 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.
  - 25) 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.
  - 26) 入倉孝次郎, 香川敬生, 関口春子: 経験的グリーン関数を用いた強震動予測方法の改良, 日本地震学会秋季大会講演予稿集, No.2, B25, 1997.
  - 27) 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.
  - 28) 長尾毅, 山田雅行, 野津厚: 設計用入力地震動評価における位相特性の補正方法に関する研究, 土木学会論文集 A1, Vol.68, No.4, pp.I\_13-19, 2012.
  - 29) 野津厚, 盛川仁: 表層地盤の多重非線形効果を考慮した経験的グリーン関数法, 地震, 第 2 輯, Vol.55, pp.361-374, 2003.
  - 30) 例えば, 若井淳, 野津厚: 2011 年東北地方太平洋沖地震の際に見られた表層地盤の非線形挙動の概略的傾向, 港湾空港技術研究所資料, No.1272, pp.1-32, 2013.
  - 31) Hata, Y., Ueda, Y., Minato, F., Ikeda, T., Fukushima, Y., Tokida, K. and Yoshida, T.: Evaluation of 'SAF value' at reclaimed land in residential area based on seismic array observation with very high dense spatial location, *Proc. of*

*the 5th International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, Taipei, Taiwan, Paper No. P125A, 2016.

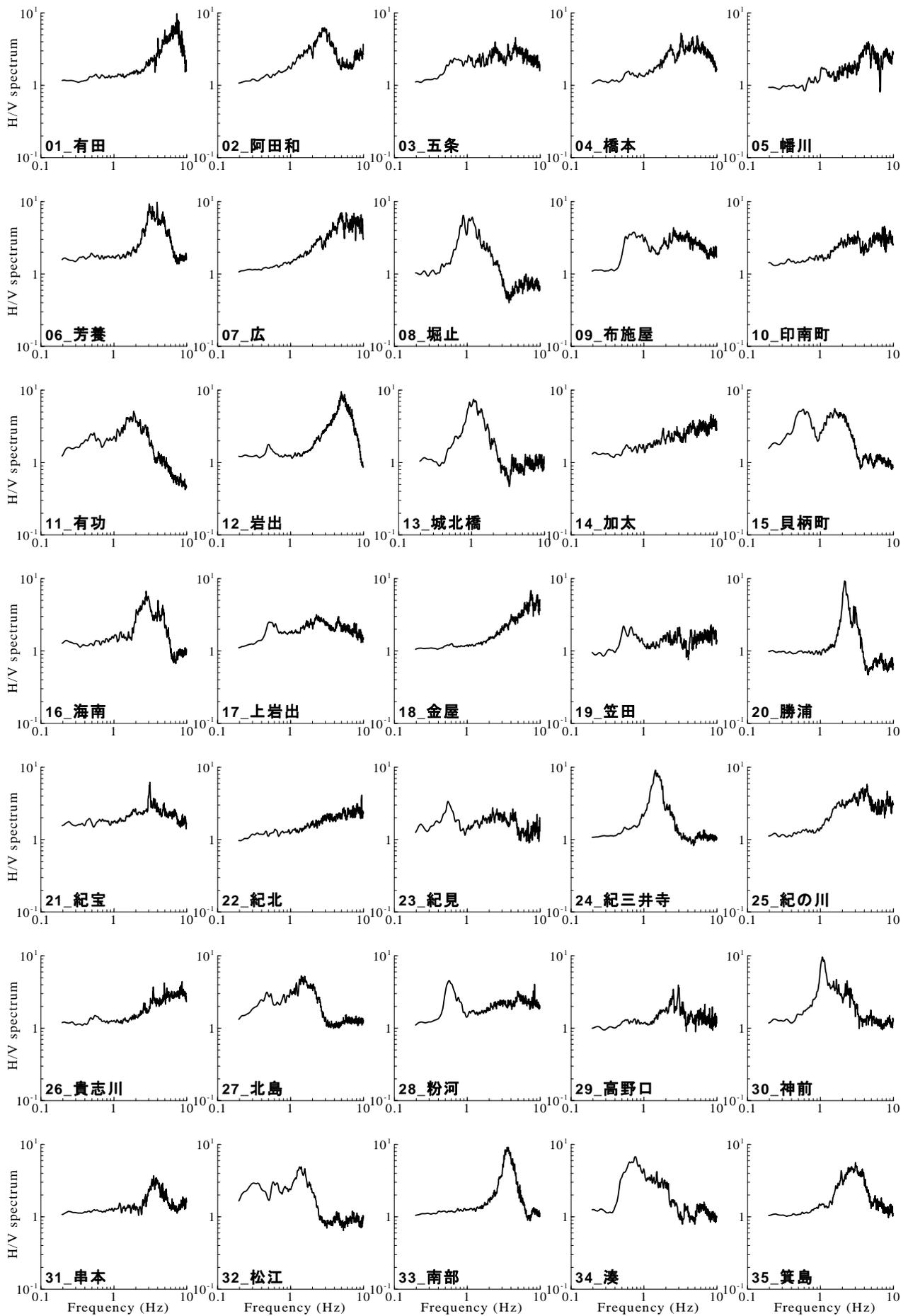
- 32) 中村豊：合理的な地震動強度指標値の検討—DI 値を中心とした地震動指標値間の関係—, 土木学会地震工学論文集, Vol.27, Paper No.290, 2003.
- 33) Housner, G. W.: Intensity of earthquake ground shaking near the causative fault. *Proc. of 3rd World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, pp.94-115, 1965.
- 34) Hata, Y., Minato, F., Ikeda, T., Fukushima, Y. and Tokida, K.: Evaluation of velocity power spectrum intensity with very high dense spatial location in residential valley-filling area during a future large-scale earthquake, *Proc. of 16th World Conference on Earthquake Engineering*, Santiago, Chile, Paper No.282, 2017.
- 35) 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.
- 36) 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8月29日)
- 37) 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.

(2017.8.29 受付)

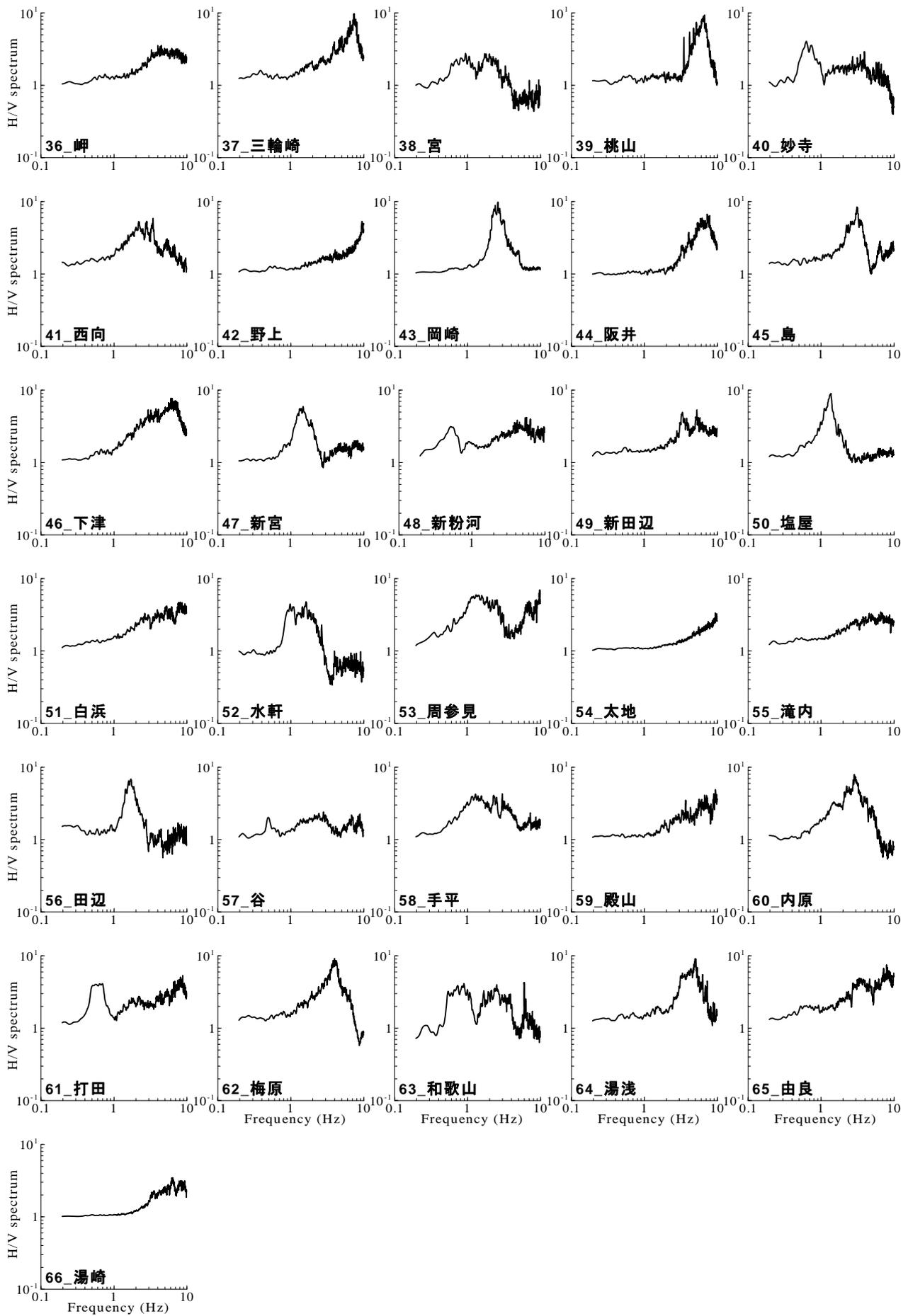
## PRELIMINARY PREDICTION OF GROUND MOTION INTENSITY AT ELECTRICAL SUBSTATION SITES IN WAKAYAMA PREFECTURE, JAPAN, DURING A SCENARIO EARTHQUAKE WITH $M_w$ 9.0 ALONG NANKAI TROUGH BASED ON MICROTREMOR MEASUREMENTS

Jun-ichi KATAYAMA, Yoshiya HATA and Yutaro OKAWA

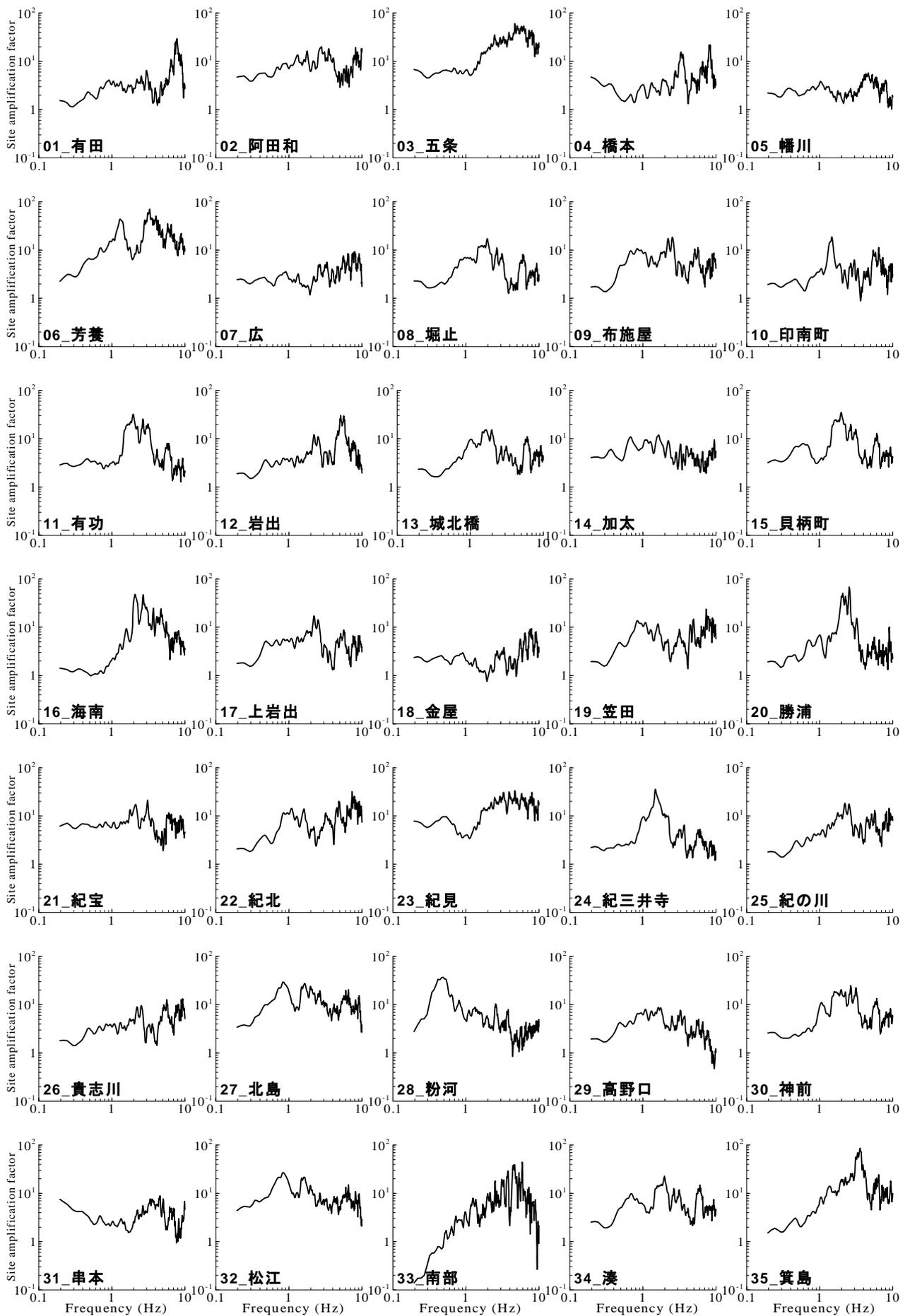
Strong motion due to the 2011 Tohoku Earthquake caused serious damage to electrical substations in the focal area. The 2011 main shock along the Japan Trench also motivated us to hypothesize an equally gigantic earthquake along the Nankai trough. In this study, based on the empirical relationship between microtremor H/V spectrum and site effect, the site amplification factors at 66 sites for electrical substation in Wakayama Prefecture were evaluated. Ground motions in the sites of interest were then predicted based on the SMGA models considering the empirical site effects. The predicted ground motions will be useful for the evaluation of seismic performance for the electrical substations.



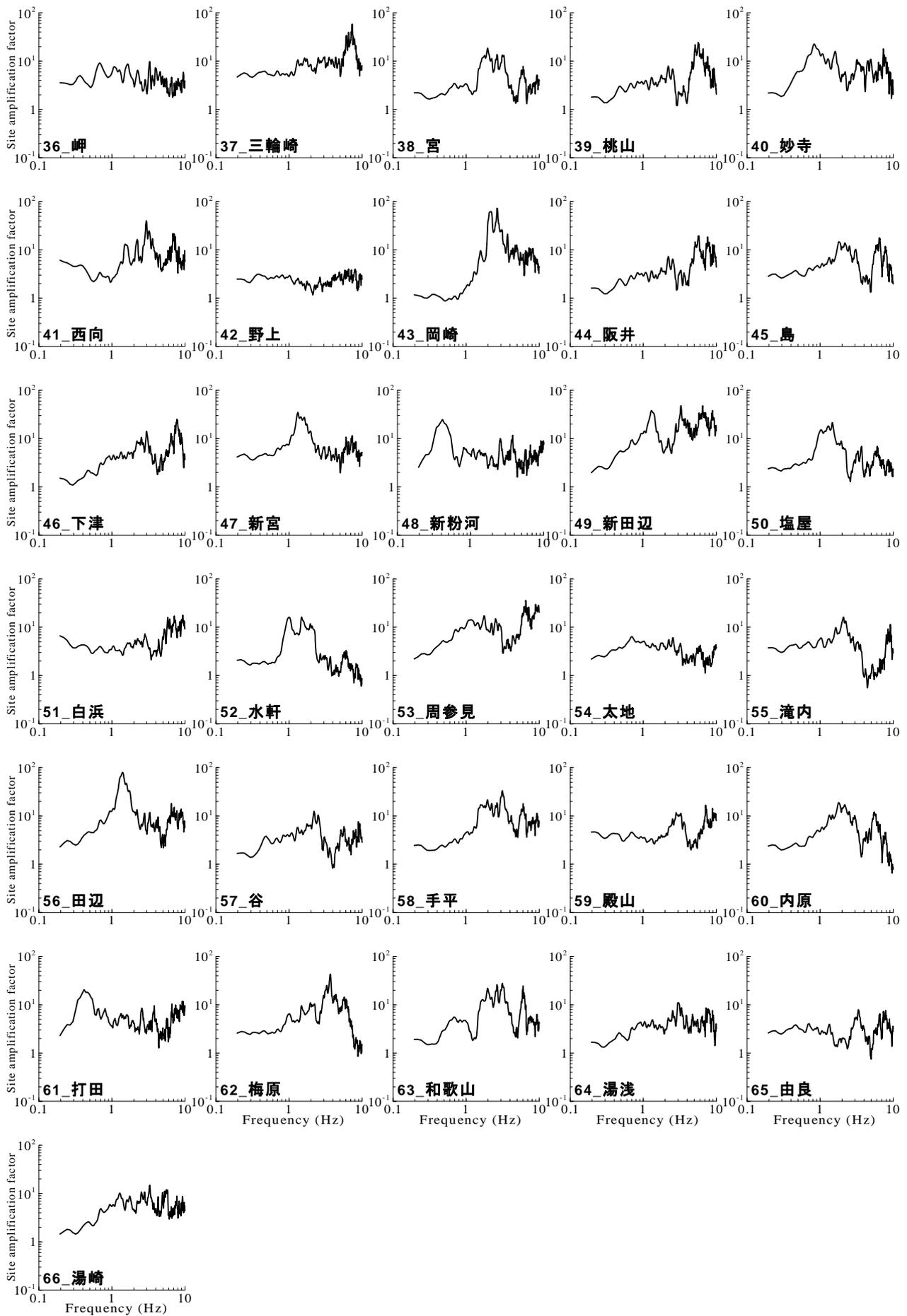
付録図-1 対象変電所における常時微動H/Vスペクトルの一覧



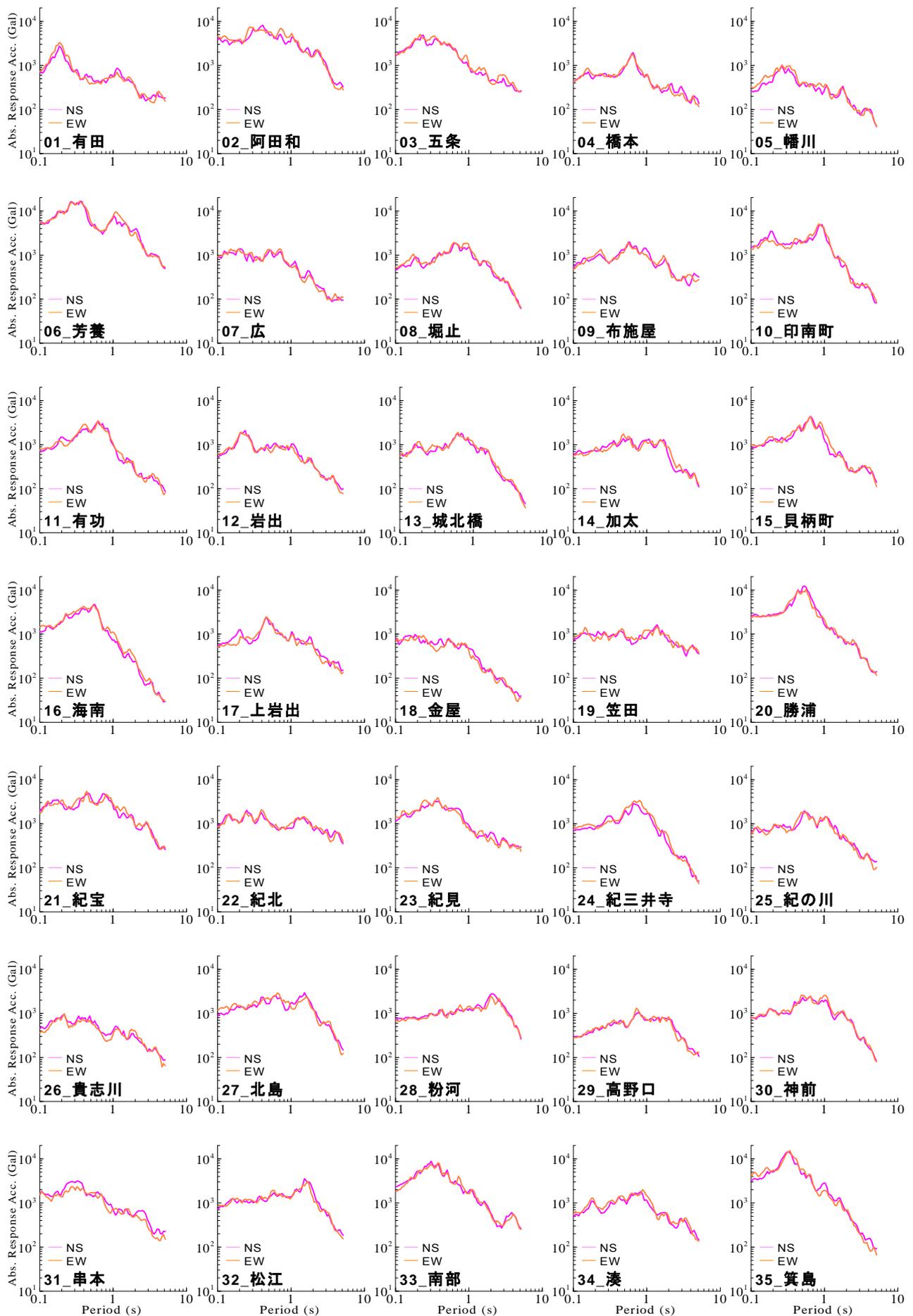
付録図-1 対象変電所における常時微動H/Vスペクトルの一覧 (つづき)



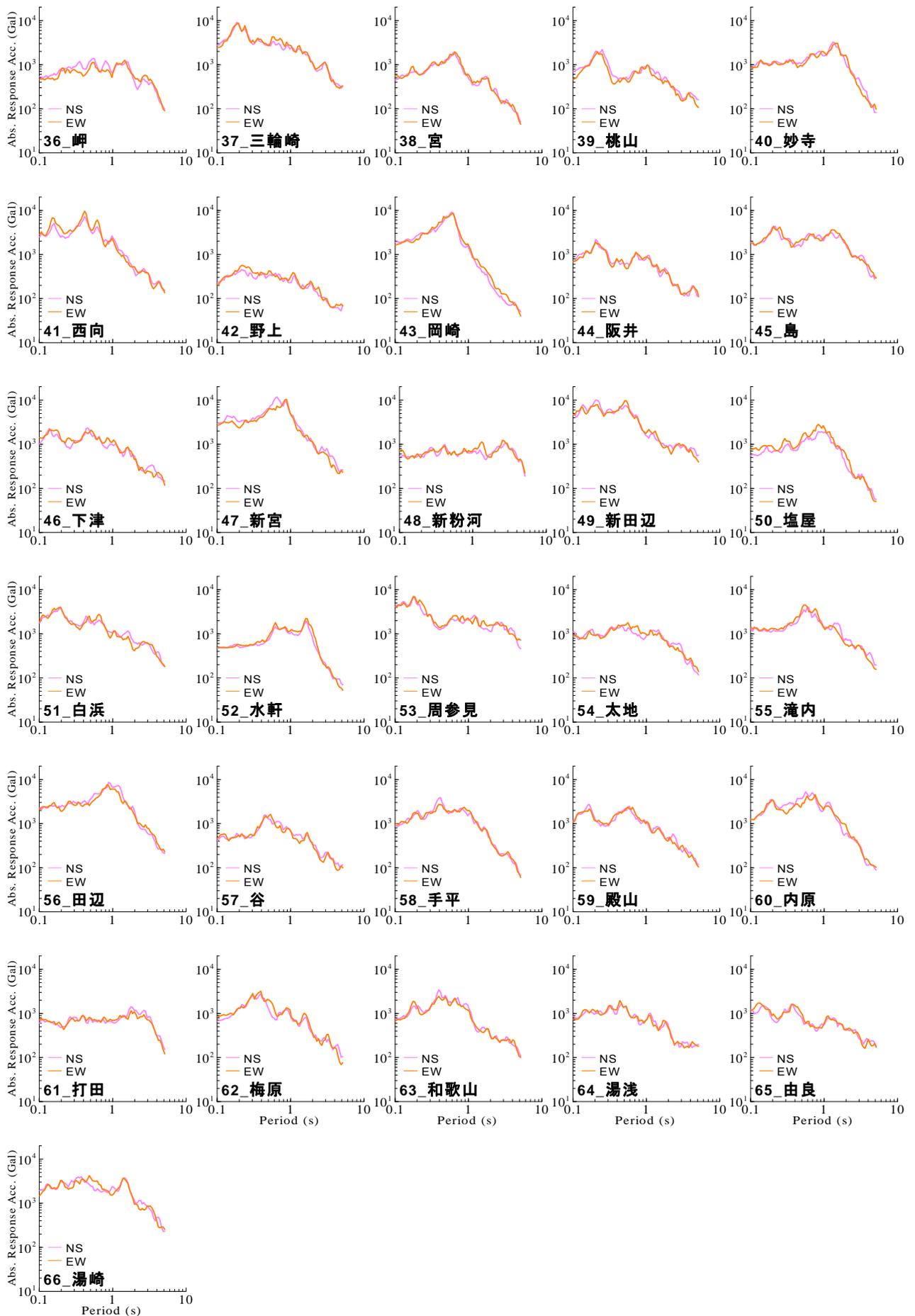
付録図-2 対象変電所におけるサイト増幅特性(地震基盤～地表)の一覧



付録図-2 対象変電所におけるサイト増幅特性(地震基盤～地表)の一覧 (つづき)



付録図-3 対象変電所における予測地震動に基づく絶対加速度応答スペクトル(減衰定数5%)の一覧



付録図-3 対象変電所における予測地震動に基づく絶対加速度応答スペクトル(減衰定数5%)の一覧 (つづき)