

# 同一地域メッシュ内での強震動の高密度予測 —南海トラフ巨大地震における 徳島県三好市街地を例として—

大川 雄太郎<sup>1</sup>・秦 吉弥<sup>2</sup>・三神 厚<sup>3</sup>・湊 文博<sup>4</sup>・山内 政輝<sup>5</sup>・常田 賢一<sup>6</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: yokawa@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> 正会員 東海大学 工学部 (〒259-1292 神奈川県平塚市北金目4-1-1)

E-mail: atsushi.mikami@tokai.ac.jp

<sup>4</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: fminato@civil.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>5</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: myamauchi@civil.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>6</sup> フェロー会員 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: tokida@civil.eng.osaka-u.ac.jp

公的機関などでは一般的に地域メッシュごとに強震動の評価が行われている。その際、対象とする地域メッシュ内に作用する地震動の特性はほぼ均質であるという必然的な仮定がなされている。しかしながら、近年の調査研究により、同一地域メッシュ内の強震観測点間で特性が大きく異なる地震動が記録された事例が多数報告されている。そこで本稿では、徳島県三好市街地が含まれる第三次地域メッシュ内を対象に常時微動計測を高密度に行い、得られた記録に基づきサイト増幅特性を評価することで、南海トラフ巨大地震によって当該メッシュ内に作用する強震動を常時微動計測地点ごとに予測した。

**Key Words :** ground motion, microtremor measurement, H/V spectrum, grid square, Nankai trough

## 1. はじめに

近年、内閣府による地震・津波に関する各種検討会<sup>1)</sup>や(国研)防災科学技術研究所による地震ハザードステーション(J-SHIS)<sup>2)</sup>などでは、対象とする大規模地震の震源断層(例えば、南海トラフ巨大地震(図-1参照))を特定して地震動を評価する手法が採用されている。その地震動の評価では、一般的に、対象とする地点の地震動の特性が、震源特性・伝播経路特性・サイト増幅特性の三つの要素からなると考える。この三つの要素の中で、サイト増幅特性は、大規模地震の諸量に依存せず、対象とする地点に固有の地盤特性であると考えられ、十分な調査・観測などを行うことで、強震動評価の精度向上が期待できる要素<sup>3)</sup>である。

一方で、上述した内閣府検討会や防災科研J-SHISなどでは、対象とする地域メッシュごとに強震動の評価がそ

れぞれ行われている。すなわち、第三次メッシュ(約1km四方)内や4分の1地域メッシュ(約250m四方)内などにおいて、地震動の特性はほぼ均質であるという必然的な仮定がなされている。しかしながら、近年の研究結果により、近接する複数の地点で得られた観測地震動の特徴が大きく異なる事例が報告<sup>4)5)</sup>されていること、観測地震動の違いが当該地点間の地盤震動特性の差異に主に起因<sup>6)</sup>していること、サイト増幅特性の差異が地震被災に大きな影響<sup>7)8)</sup>を及ぼすことなどを勘案すると、地域メッシュに依存しない対象とする地点のサイト増幅特性を考慮した地震動の評価<sup>9)</sup>は、非常に重要である。

サイト増幅特性を評価するためには一般的に地盤調査を実施する必要があり、破壊調査と非破壊調査に大別できる。破壊調査の一つとして、地震基盤(せん断波速度3,000m/s相当)<sup>9)</sup>まで到達するようなボーリング調査が挙げられるが、調査が広域または大深度に及ぶ場合、ボー

リング調査の実施だけでは技術・コスト面などで様々な課題が生じることになる。これに対し、臨時地震観測<sup>10)</sup>や常時微動計測<sup>11)</sup>などの物理探査は、非破壊で調査可能である点で有効な手法である。特に、常時微動計測は広域かつ高密度に地盤震動特性(経験的サイト増幅特性)を、地震発生イベントを待つことなく比較的短時間で評価することが可能である。

上述した背景を踏まえ本稿では、徳島県三好市(図-1参照)の街地が含まれる同一地域メッシュ内において、常時微動計測を広域かつ高密度に実施し、得られた計測記録に基づいてサイト増幅特性(地震基盤～地表)を評価した。そして、次に、評価したサイト増幅特性および南海トラフ巨大地震のSMGAモデル<sup>1)</sup>を用いて、強震動シミュレーションを実施し、同一地域メッシュ内に作用する強震動を微動計測点ごとに高密度に予測した。

## 2. 三好市街地における第三次地域メッシュ

検討対象とした地域は、図-2に示すように、徳島県三好市街地を含む第三次地域メッシュ(コード: 5133-0634)に基づく約1km四方の範囲である。まず、図-2～図-7は、

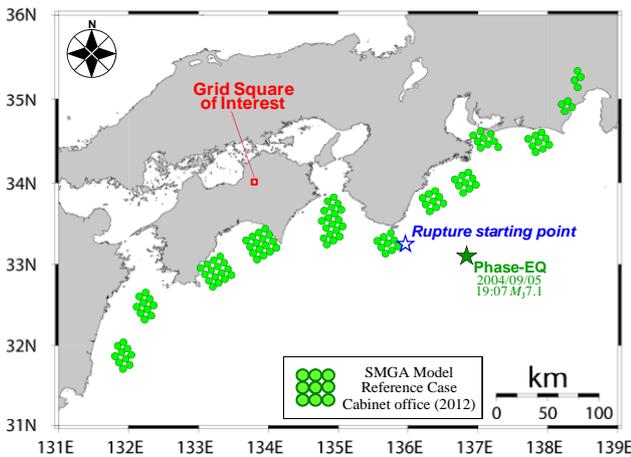


図-1 南海トラフ巨大地震の震源域に位置する三好市



図-2 対象とする第三次地域メッシュ内の既存強震観測点

三好市街地における新旧地形図や地形・地質等に関する各種分類図<sup>12),13)</sup>であるが、対象とする第三次地域メッシュ内において造成を伴う土地利用の変化や地形・地質の不均質性などが見受けられることから、同じ地域メッシュ内においても地盤震動特性の差異が示唆される。

次に、図-8、図-9、図-10は、対象地域メッシュ内における防災科研J-SHIS<sup>2)</sup>に基づく、微地形区分、30m平均S波速度(AVS30)<sup>14)</sup>、地盤増幅率の分布である。図-8、図-9、図-10に示すとおり、後背湿地に分類されている南西端の区域においてAVS30に基づいた地盤増幅率が比較的大きくなっているのが読み取れる。最後に、当該地域メ

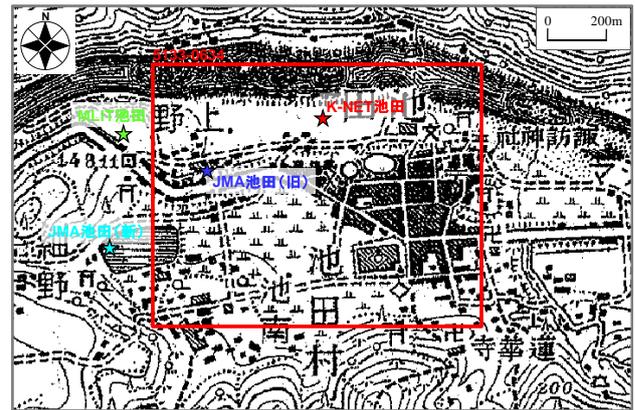


図-3 対象地域メッシュと旧・地形図(1906年測量)

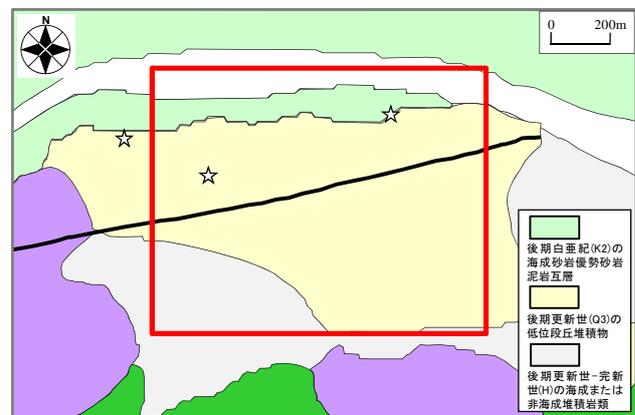


図-4 対象地域メッシュと産総研地質図<sup>12)</sup>

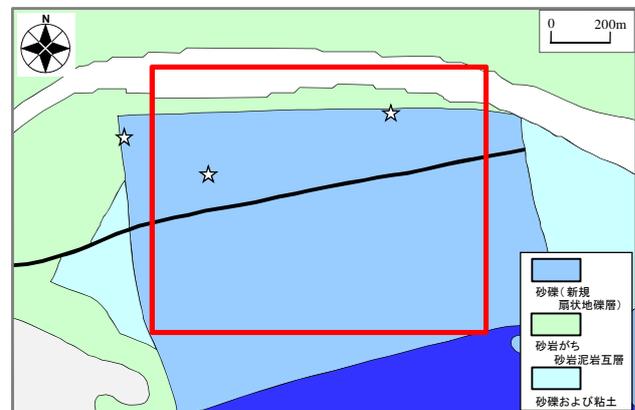


図-5 対象地域メッシュと国交省表層地質図<sup>13)</sup>

メッシュ内とその近傍には、三つの既存強震観測点<sup>15),16),17)</sup>が位置しており(図-2および図-3参照)、図-11に示すように、地震記録に基づき評価されたサイト増幅特性(地震基盤～地表)<sup>18),19)</sup>には有意な差異が見受けられ、同一地域メッシュ内に作用する地震動の特性を均質であると思えないことが確認できる。

### 3. 高密度常時微動計測と得られた記録の整理

常時微動計測は、対象地域メッシュ内における図-12

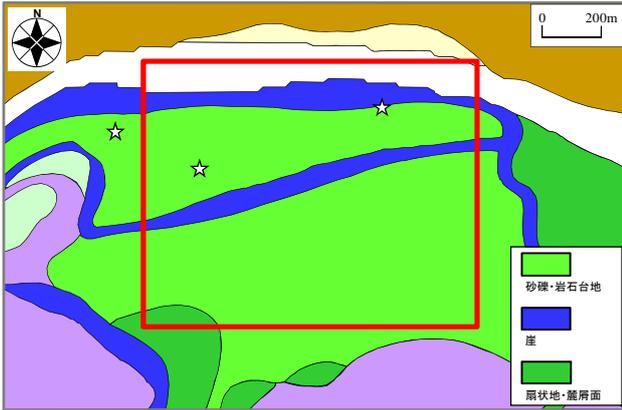


図-6 対象地域メッシュと国交省地形分類図<sup>13)</sup>

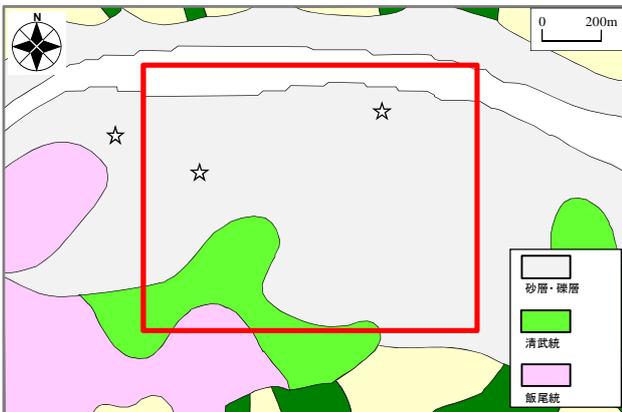


図-7 対象地域メッシュと国交省土壌図<sup>13)</sup>



図-8 対象地域メッシュと防災科研J-SHIS微地形区分<sup>2)</sup>

に示す計200地点において実施<sup>20),21)</sup>した。すなわち、約70mの間隔ごとに一つの計測点を設けた概算となる。図-13に示すように、計測点の標高差は最大で50mにも及ぶことが読み取れる。写真-1に常時微動計測状況の一例を示す。計測期間は、2016年4月19～22日の四日間である。計測は主に昼間に実施し、同型の四台の微動計(ともに白山工業(株)製の一体型微動探査兼地震計機器<sup>22)</sup>)を採用した。計測機器の諸元については、文献22)を参照されたい。計測方向は水平二成分と鉛直成分の三成分であ



図-9 対象地域メッシュと防災科研J-SHISでのAVS30<sup>2)</sup>

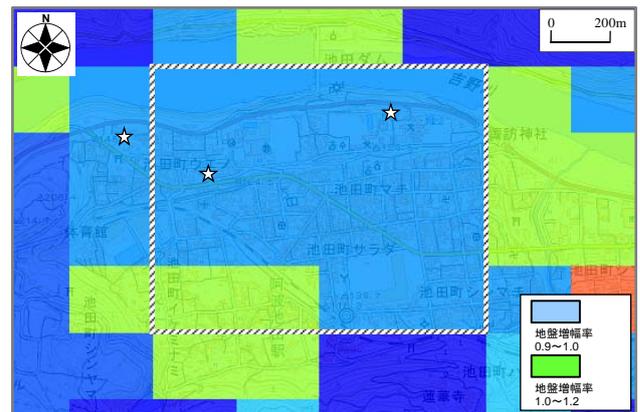


図-10 対象地域メッシュと防災科研J-SHIS地盤増幅率<sup>2)</sup>

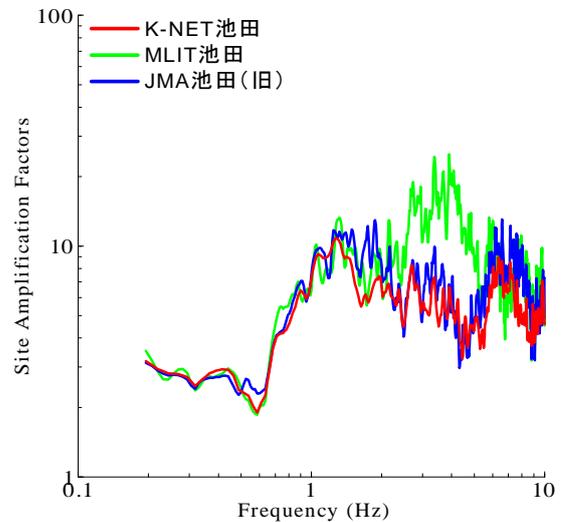


図-11 既存強震観測点におけるサイト増幅特性の比較<sup>19)</sup>

り、後述する常時微動H/Vスペクトルの計算処理<sup>21)</sup>では水平二成分の平均を採用し、一計測点あたり30分間の単点計測とした。

図-14は、上述した三つの既存強震観測点(K-NET池田<sup>15)</sup>、JMA池田<sup>16)</sup>、MLIT池田<sup>17)</sup>)で得られた常時微動H/Vスペクトルと、対象地域メッシュ内(残り197地点)における常時微動H/Vスペクトルの比較である。常時微動H/Vスペクトルの計算処理方法<sup>11)</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(雑振動が比較的小さい163.84秒間)を7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



写真-1 常時微動計測の実施状況の一例

ペクトルを算出し、7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>22)</sup>などを考慮して0.2~10Hzとした。図-14に示すとおり、同じ地域メッシュ内においても、ピーク周波数やスペクトル形状などの常時微動H/Vスペクトルの一般的特徴がばらついているのが確認でき、対象地域メッシュ内における地盤震動特性が様であるとは言い難い。さらに、既存強震観測点(3地点)とその他の地点(197地点)における常時微動H/Vスペクトルの比較では、両者の特徴が明らかに異なっていることから、既存強震観測点で得られた観測記

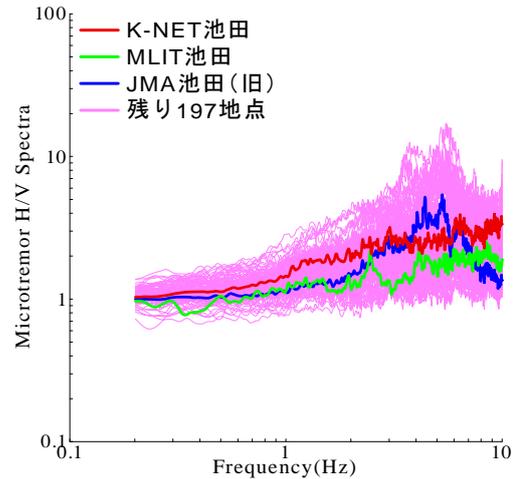


図-14 常時微動H/Vスペクトルの比較

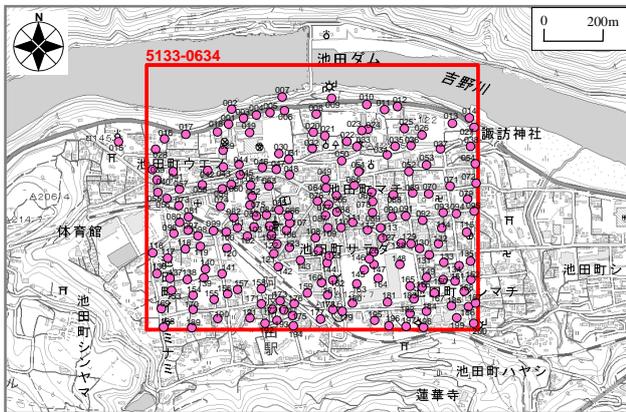


図-12 対象地域メッシュ内における微動計測地点の分布

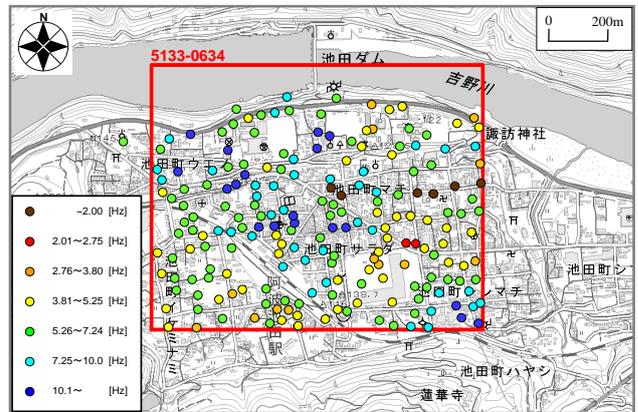


図-15 対象地域メッシュ内におけるピーク周波数の分布

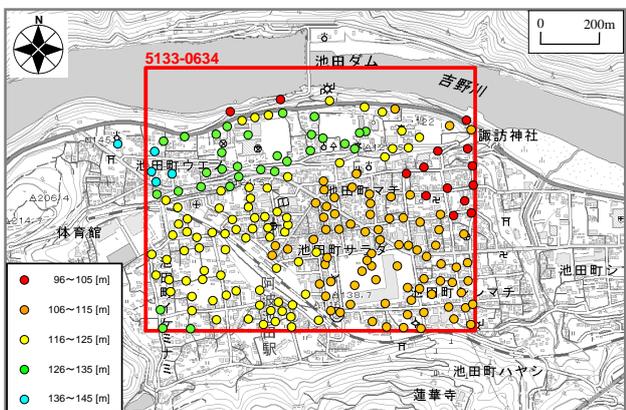


図-13 対象地域メッシュ内における標高値の分布

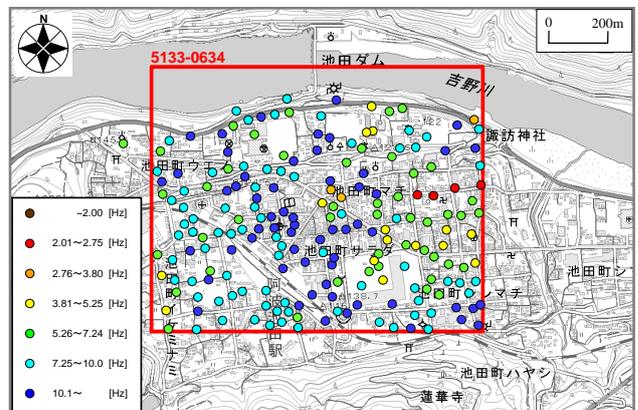


図-16 対象地域メッシュ内におけるトラフ周波数の分布

録を、対象地域メッシュ内において作用した地震動として代表させることができないことが示唆される。

対象地域メッシュ内における常時微動H/Vスペクトル(図-14参照)のピーク周波数(Ridge frequency), トラフ周波数(Trough frequency),  $T/R$ (Trough/Ridge)周波数比<sup>23)</sup>をそれぞれ地形図上にプロットしたものを、図-15, 図-16, 図-17に示す。図-15および図-16に示すように、対象地域メッシュ内におけるピーク周波数およびトラフ周波数の分布は同様であるとは言い難く、地盤震動特性の有意な差異が確認できる。一方で、図-17に示すように、対象地域メッシュ内における $T/R$ 周波数比の分布に着目する

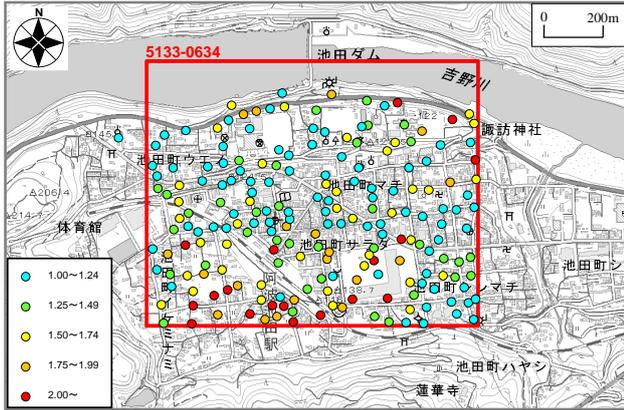


図-17 対象地域メッシュ内における $T/R$ 周波数比の分布

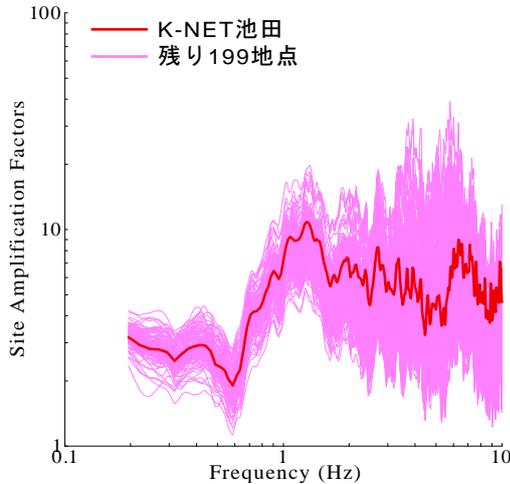


図-18 サイト増幅特性(地震基盤～地表)の比較

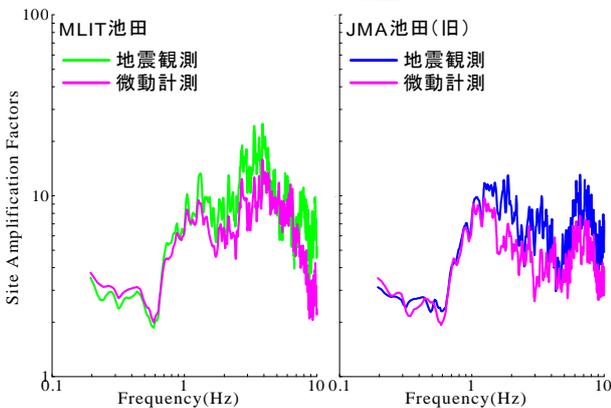


図-19 サイト増幅特性の評価手法の適用性確認

と、南西端のエリア付近において $T/R$ 周波数比が比較的大きな値を示す傾向が読み取れる。このエリアは、上述したAVS30に基づく地盤増幅率<sup>14)</sup>が比較的大きい区域(図-10参照)と概ね類似していることから、 $T/R$ 周波数比が表層地盤内における地震動の増幅度合を簡易的に評価する指標の一つとして有効である可能性が示唆される。

#### 4. サイト増幅特性の経験的評価

図-18は、地震観測に基づき評価したK-NET池田でのサイト増幅特性(図-11参照)<sup>18)</sup>に対する常時微動計測に基づき評価したサイト増幅特性(残り199地点)の比較である。ここに、微動計測地点におけるサイト増幅特性(地震基盤～地表)は、K-NET池田と微動計測地点における常時微動H/Vスペクトルの比較(図-14参照)を199地点ごとに実施し、K-NET池田における既存のサイト増幅特性(図-11参照)<sup>18)</sup>に対して、常時微動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等に着目した経験的補正(微修正)<sup>24)25)</sup>を加えることによって評価した。図-18に示すとおり、対象地域メッシュ内における常時微動H/Vスペクトルのばらつき(図-14参照)に起因して、経験的に評価したサイト増幅特性についても対象地域メッシュ

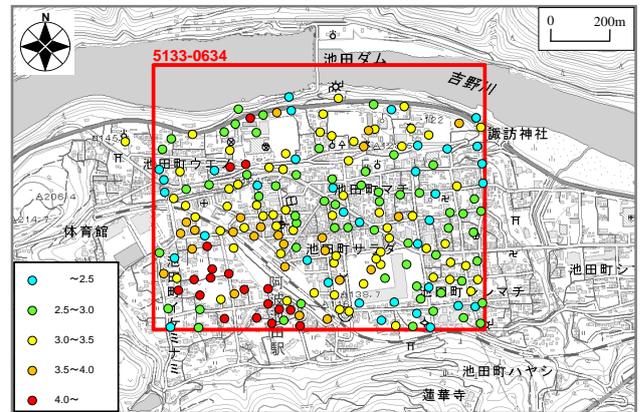


図-20 対象地域メッシュ内でのSAF値の分布(0.5~2Hz)

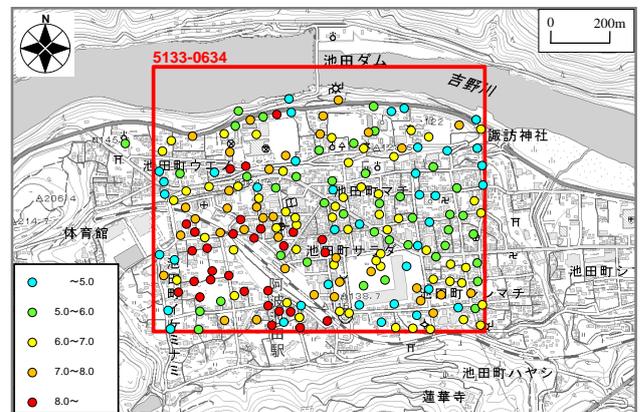


図-21 対象地域メッシュ内でのSAF値の分布(0.2~10Hz)

内において有意な差異が見受けられる。

図-19は、地震観測と常時微動計測に基づき評価したサイト増幅特性の比較をJMA池田およびMLIT池田についてそれぞれ示したものである。図-19に示すとおり、JMA池田およびMLIT池田ともに地震観測と常時微動計測に基づき評価したサイト増幅特性が比較的良い一致を示していることから、常時微動計測に基づき評価したサイト増幅特性(図-18参照)の適用性が示唆される。

図-20および図-21は、サイト増幅特性の指標の一つであるSAF値<sup>26)</sup>を、対象地域メッシュ内の微動計測地点(200地点)についてプロットしたものである。ここに、積分区間となる周波数範囲として、地震被災との関連が非常に深いやや短周期帯域<sup>27)</sup>を中心とした0.5–2Hz(図-20参照)およびサイト増幅特性の表示区間0.2–10Hz(図-21参照)を採用した。図-20・図-21と図-10を比較すると、SAF値が比較的大きい地点が集合している南西端付近のエリアに対して、上述したAVS30に基づく地盤増幅率が比較的大きい区域は比較的良い一致を示している。一方で、4分の1地域メッシュ内では、防災科研J-SHISに基づく地盤増幅率は一律な値を示しているものの、常時微動H/Vスペクトルの差異に基づき経験的に評価されたSAF値は概ね一様であるとは言い難い。すなわちこれは、サイト増幅特性の差異に主に起因して、南海トラフ巨大地震(図-1参照)などの大規模地震発生時に同じ4分の1地域メッシュ内(ならびに第三次地域メッシュ内)に作用する地震動の特徴が異なってくる可能性が高いことを示唆するものである。

## 5. 強震動の評価

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>1)</sup>によるSMGAモデル(基本ケース)を採用した。図-1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)と対象地域の位置関係を示す。モデルパラメータの詳細については、文献1)を参照されたい。なお、Q値については、佐藤・巽による推定値<sup>28)</sup>を採用した。本稿では、図-1に示すとおり、既往研究<sup>29)</sup>を参考に破壊開始点の位置を串本沖に配置した。

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>30)</sup>を適用した。この方法では、まず式(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、 $S(f)$ は小地震の震源スペクトルで実数、 $P(f)$ は伝播経路特性<sup>31)</sup>で実数、 $G(f)$ はサイト増幅特性(図-18参照)で実数、 $O(f)$ は現地で観測された地震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>31)</sup>としては、全方位への平均値である0.63を用いた。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PRITIN<sup>31)</sup>は、震源特性を表す $S(f)$ の関数の一種であり、水平二成分ともに0.71とした。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<sup>32)</sup>を行うことで、大地震による波形が求まる。なお、Parzen Window(式(1)において添字 $p$ 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>30)</sup>。

サイト位相特性(式(1)における中小地震観測記録のフーリエ変換 $O(f)$ )の取り扱いについては、入射角および地震動推定地点から見た対象地震の震源の方向を表すback azimuthが堆積層に対して入射する地震動(S波)の位相特性(地震波形の形状)に及ぼす影響をより適切に考慮できるように選定した。具体的には、図-1に示すPhase-EQ

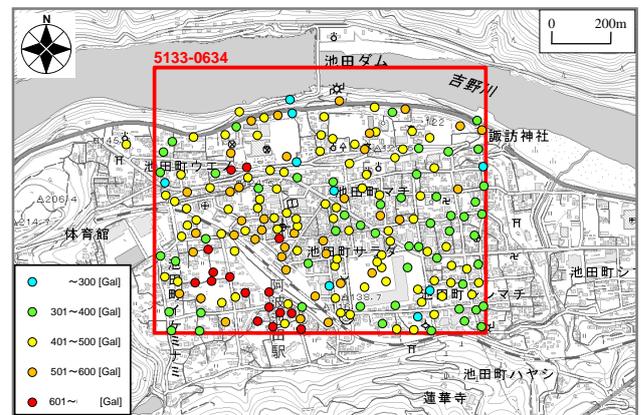


図-22 対象地域メッシュ内における最大加速度PGAの分布

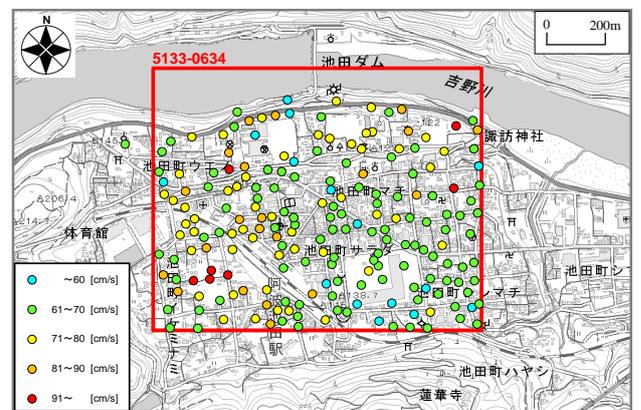


図-23 対象地域メッシュ内における最大加速度PGVの分布

(2004/09/05 19:07 38km 三重県南東沖を震源とする地震( $M$ , 7.1))によって、K-NET池田(図-2参照)<sup>8)</sup>で得られた観測波形を対象地域メッシュ内に設けた微動計測点(200地点)において共通採用した。ここに、既往研究の成果<sup>33)</sup>を参考に海溝型地震による波形の時間軸の伸縮補正は実施していない。

図-22～図-29は、対象地域メッシュ内における予測地震動の分布である。ここでは、地震動指標値として、最大加速度PGA(水平二成分合成：図-22参照)、最大速度PGV(水平二成分合成：図-23参照)、気象庁計測震度(図-24参照)<sup>16)</sup>、SI値(水平二成分合成：図-25参照)<sup>34)</sup>、速度

PSI値(N-SおよびE-W成分：図-26、図-27参照)<sup>35)</sup>、加速度パワー値(N-SおよびE-W成分：図-26、図-27参照)<sup>36)</sup>をそれぞれ採用した。

SMGAモデルは、気象庁計測震度<sup>16)</sup>などの再現に主眼を置いた特性化震源モデル<sup>137)</sup>であることを踏まえ、気象庁計測震度の分布(図-24参照)にまず着目すると、南海トラフ巨大地震時に予測される対象地域メッシュ内の気象庁計測震度が一様な値とはなっておらず有意な差異を示す傾向が見受けられる。特に、上述した南西端のエリア付近において気象庁計測震度が比較的大きな値を示す傾向が読み取れる。これらの傾向は、対象地域メッシ

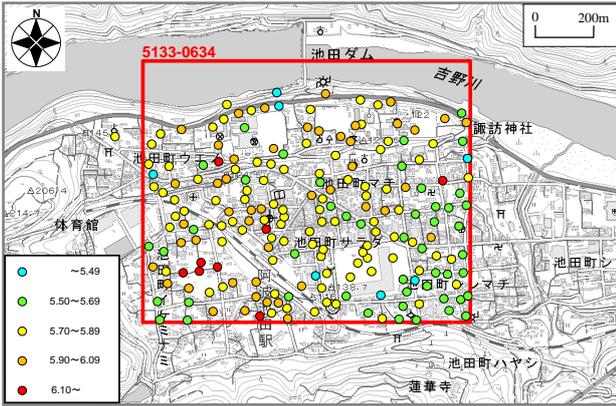


図-24 対象地域メッシュ内における気象庁計測震度の分布

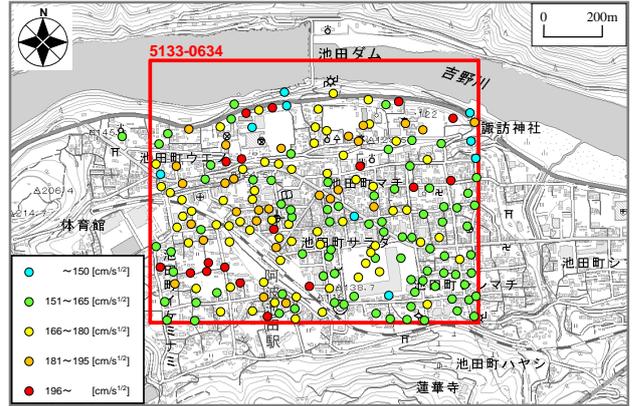


図-27 対象地域メッシュ内における速度PSI値(E-W)の分布

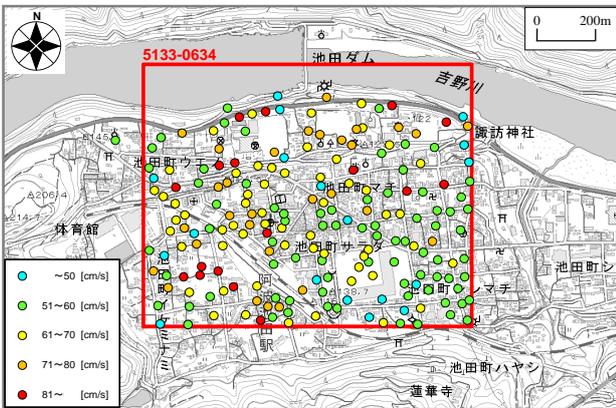


図-25 対象地域メッシュ内におけるSI値の分布

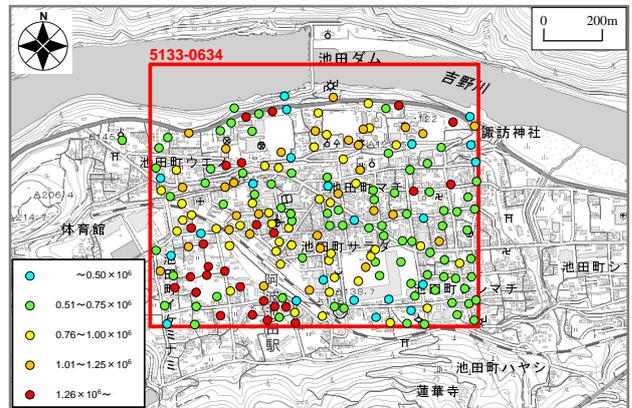


図-28 対象地域メッシュ内における加速度パワー値(N-S)の分布

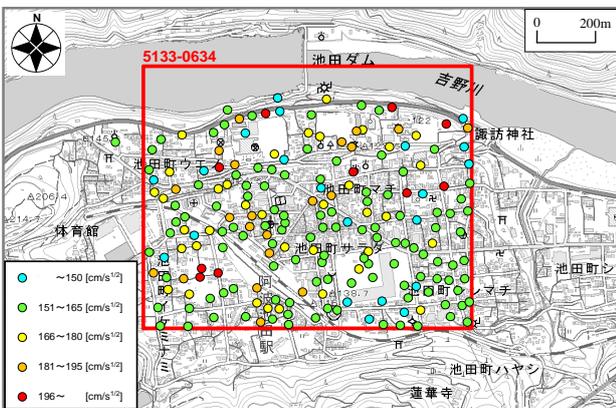


図-26 対象地域メッシュ内における速度PSI値(N-S)の分布

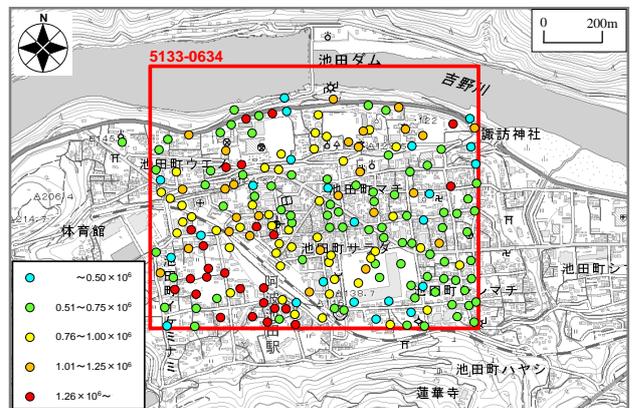


図-29 対象地域メッシュ内における加速度パワー値(E-W)の分布

域内における他の地震動指標値に関する分布(図-22, 図-23, 図-25~図-29 参照)においても同じく確認することができる。すなわちこれは, 1.で述べた地域メッシュに依存しない対象とする地点固有のサイト増幅特性を考慮した地震動の評価<sup>9)</sup>の重要性を示唆するものである。

## 6. まとめ

本稿では, 徳島県三好市街地を含む第三次地域メッシュ内(約1km四方)を対象に, 常時微動計測を高密度に実施し(計200地点), 得られた記録に基づいてサイト増幅特性を評価した。さらに, 評価したサイト増幅特性に基づいた強震波形計算を実施し, 南海トラフ巨大地震時に対象地域メッシュ内に作用する地震動を評価した。得られた知見を以下に示す。

- (1)  $T/R$ 周波数比が比較的大きなエリアと, AVS30に基づく地盤増幅率が比較的大きい区域は, 概ね類似していることから,  $T/R$ 周波数比が表層地盤内における地震動の増幅度合を簡易的に評価する指標の一つとして有効である可能性が高い。
- (2) 対象地域メッシュ内のJMA池田およびMLIT池田において, 地震観測と常時微動計測に基づき評価したサイト増幅特性は, 比較的良好一致を示す。
- (3) 比較的大きなSAF値を有する微動計測地点が集合している南西端のエリアと, AVS30に基づく地盤増幅率が比較的大きい区域は, 比較的良好一致を示す。
- (4) 南海トラフ巨大地震時に対象地域メッシュ内に作用する地震動の特性は一樣であると思なすことができず, 特に上記(3)で挙げた南西端のエリアでは, 比較的大きな地震動が作用する可能性が高い。

今後は, 三好市街地以外の地域メッシュを対象に同様の検討を行うなどして, 知見を積み重ねていきたい。

**謝辞:** (国研)防災科学技術研究所K-NET, 気象庁JMA, 国土交通省MLITによる地震観測波形データを利用しました。常時微動計測の実施にあたっては, 三好市の住民の方などにご支援・ご協力いただきました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 例えば, 南海トラフの巨大地震モデル検討会: 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. (last accessed: 2016/09/01)
- 2) 藤原広行, 河合伸一, 青井真, 森川信之, 先名重樹, 工藤暢章, 大井昌弘, はお憲生, 若松加寿江, 石川裕, 奥村俊彦, 石井透, 松島信一, 早川讓, 遠山信彦, 成田章: 「全国地震動予測地図」作成手法の検討, 防災科学技術研究所研究資料, 第336号, 2009.

- 3) 例えば, 後藤浩之, 澤田純男: 地震動予測の現状と課題, 地盤工学会誌, Vol.60, No.3, pp.10-11, 2012.
- 4) 秦吉弥, 野津厚, 一井康二: 極近傍地点における地震動指標の変動に関する基礎的検討—平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震とその余震の事例—, 土木学会第66回年次学術講演会概要集, I-485, pp.969-970, 2011.
- 5) Hata, Y., Goto, H. and Yoshimi, M.: Preliminary analysis of strong ground motions in the heavily damaged zone in Mashiki Town, Kumamoto, Japan, during the main shock of the 2016 Kumamoto Earthquake ( $M_w7.0$ ) observed by a dense seismic array, *Seismological Research Letters, SSA*, Vol.87, No.5, pp.1044-1049, 2016.
- 6) 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.
- 7) 秦吉弥, 野口竜也, 古川愛子, 香川敬生: 大規模地震を対象とした強震動評価におけるサイト増幅特性の評価の重要性, 地盤工学会誌, Vol.61, No.1, pp.12-15, 2014.
- 8) 秦吉弥, 矢部正明, 葛西昭, 松崎裕, 高橋良和, 秋山充良: 臨時地震観測に基づく2016年熊本地震の強震動の作用によって被災した橋梁地点でのサイト増幅特性の評価, 第19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.127-134, 2016.
- 9) 例えば, (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.
- 10) 秦吉弥, 村田晶, 野津厚, 羽田浩二, 山田雅行, 宮島昌克, 藤木昂, 常田賢一: 2014年長野県北部の地震における白馬村神城地域での臨時余震観測に基づく強震動の広域評価, 土木学会論文集 A1, Vol.72, No.4, pp. I\_55-67, 2016.
- 11) 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.
- 12) (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. (last accessed: 2016/09/01)
- 13) 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[池田], 国土政策局国土情報課ホームページ, 2003. (last accessed: 2016/09/01)
- 14) 松岡昌志, 翠川三郎: 国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング, 第22回地盤震動シンポジウム資料集, 日本建築学会, pp.23-34, 1994.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) Uehara, H. and Kusakabe, T.: Observation of strong earthquake motion by National Institute for Land and Infrastructure Management, *Jour. of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.90-96, 2004.
- 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) 秦吉弥, 三神厚, 吉田武, 常田賢一: 地域メッシュに着目した徳島県三好市街地における地盤震動特性の評価, 土木学会第 71 回年次学術講演会概要集, I-150, pp. 299-300, 2016.
  - 20) 大川雄太郎, 秦吉弥, 三神厚, 湊文博, 山内政輝, 常田賢一: 徳島県三好市街地における高密度常時微動計測とその応用, *Kansai Geo-Symposium 2016 論文集*, 地盤工学会, 2016. [in press]
  - 21) 大川雄太郎, 秦吉弥, 三神厚, 湊文博, 山内政輝, 常田賢一: 同一地域メッシュ内における高密度常時微動計測～徳島県三好市街地を例として～, 地盤工学会誌, Vol.65, No.1, 2017. [in press]
  - 22) 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.
  - 23) 例えば, 後藤浩之, 稲谷昌之, 羽田浩二, 池田貴昭, 高屋俊康, 木村紗也佳, 秋山良平, 澤田純男, 満永仁志, 飯山かほり, 盛川仁: 大崎市古川地区の浅層地盤構造をターゲットとした超高密度常時微動観測, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会梗概集, Paper No. SSS25-P18, 2015.
  - 24) 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.
  - 25) 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.
  - 26) 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.127, 2016.
  - 27) 川瀬博: 震源近傍強震動の地下構造による増幅プロセスと構造物破壊能—1995 年兵庫県南部地震での震災帯の成因に学ぶ—, 第 10 回日本地震工学シンポジウムパネルディスカッション資料集, pp.29-34, 1998.
  - 28) 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.
  - 29) 例えば, 湊文博, 秦吉弥, 常田賢一, 楯田泰子, 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.
  - 30) 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.
  - 31) Boore, D. M.: Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of theradiated spectra, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.73, No.6A, pp.1865-1894, 1983.
  - 32) 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.
  - 33) 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.
  - 34) 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.
  - 35) Hata, Y., Yoshida, T., Fukushima, Y., Ikeda, T. 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. [in press]
  - 36) 鴫田由希, 堀井克己, 室野剛隆, 館山勝: ニューマーク法に基づく盛土変位量と地震動特性の相関, 第 36 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.1353-1354, 2001.
  - 37) Miyake, H., Iwata, T. and Irikura, K.: Source characterization for broadband ground-motion simulation: Kinematic heterogeneous source model and strong motion generation area, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.93, No.6, pp.2531-2545, 2003.

(2016.9.1受付)

ESTIMATION OF GROUND MOTION FOR A SAME GRID SQUARE  
IN MIYOSHI CITY CENTRE, TOKUSHIMA PREFECTURE, JAPAN,  
DURING A SCENARIO EARTHQUAKE WITH  $M_w$ 9.0  
ALONG THE NANKAI TROUGH BASED ON THE SMGA MODELS  
CONSIDERING LOCAL SITE EFFECTS

Yutaro OKAWA, Yoshiya HATA, Atsushi MIKAMI,  
Fumihito MINATO, Masaki YAMAUCHI and Ken-ichi TOKIDA

Generally, prediction of ground motions have already been carried out for every grid square by NIED, Japanese Cabinet Office, Local Government Office and so on. In other words, it is assumed that the ground shaking characteristics in the grid square of interest is almost uniform in the ground motion prediction. In this study, ground motion estimation with high dense spatial location for a 3rd grid square, in Miyoshi City centre, Tokushima Prefecture, Japan, during the Nankai Trough scenario earthquake are carried out based on the SMGA models considering the empirical site amplification and phase effects.