

# 地震動スペクトルによる地盤増幅度評価

西川 隼人<sup>1</sup>・宮島 昌克<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 舞鶴工業高等専門学校 (〒625-8511 京都府舞鶴市白屋234)  
E-mail:nisikawa@g.maizuru-ct.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 金沢大学 理工研究域 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)  
E-mail:miyajima@se.kanazawa-u.ac.jp

本研究では著者らの提案している地震動スペクトルから地盤増幅度を評価する手法をM6~9の地震に対して適用し、観測記録による地盤増幅度との対応を調べた。地盤増幅度はS波速度2~3km/sの層までの地盤情報が明らかなKiK-net観測点や近接する地震観測点を対象に評価した。6地震について観測記録と提案手法によって計算した地盤増幅度を求め、両者の関係を調べた。また、観測値と計算値の誤差を調べるためにRMS値を求めたところ、いずれの地震でも最大地動速度の方が値が小さくなった。

**Key Words :** Amplification factor, Peak ground acceleration, Peak ground elocity, Source spectrum, Site mplification spectrum

## 1. はじめに

地震動指標の地盤増幅度評価手法として地盤情報をパラメータとする経験式<sup>1)~4)</sup>が広く用いられている他、サイト増幅特性や常時微動のH/Vスペクトル比のような地盤特性を表すスペクトルを利用した評価手法も提案されている<sup>5)~8)</sup>。例えば藤井他<sup>9)</sup>は震源スペクトルのコーナー振動数から高域遮断振動数までの振動数を対象に地盤の伝達関数の平均増幅率を求め、最大加速度の地盤増幅度との関係式を求めている。また、鶴来他<sup>7)</sup>は経験的なサイト増幅スペクトルの平均値から震度増加量を推定する手法を提案している。これらの研究の多くはスペクトルの特定の振動数の平均値と地盤増幅度の関係式に基づくものである。

一方、著者らの提案した地震動スペクトルの無限積分値から地盤増幅度を評価する手法<sup>9)10)11)</sup>は地震動スペクトル全体を対象としているものであるため、地震規模の変化に伴うスペクトル形状の変化を地盤増幅度の評価に十分、反映することができ、地震規模を考慮した地盤増幅度の評価が可能である。ただし、著者らの研究<sup>10)11)</sup>では規模の大きな地震の観測値に対する提案手法の適用性を十分に検証していない。

そこで本研究では強震動予測で対象となるようなM6以上の規模の地震で得られた観測記録から最大地動加速度と最大地動速度の地盤増幅度を計算し、提案手法から評価した地盤増幅度と比較する。

## 2. 地震動スペクトルと地盤増幅度

著者らは、パーセバルの定理と極値理論に基づき、ある地点の地表面とS波速度2~3km/s程度の解放地震基盤における地震波の最大振幅の比、いわゆる地盤増幅度が次式で表わされることを導びくとともに、模擬地震波や観測地震波においても関係式が概ね成り立つことを示している<sup>9)10)</sup>。

$$F = \frac{A_s}{A_b} \doteq \sqrt{\frac{\int_{-\infty}^{\infty} G(f)^2 F_b(f)^2 df}{\int_{-\infty}^{\infty} F_b(f)^2 df}} \quad (1)$$

ここに $F$ は地盤増幅度、 $A_s$ は地表波の最大振幅、 $A_b$ は解放基盤の地震波の最大振幅である。また、 $G(f)$ は対象地点のサイト増幅特性、 $F_b(f)$ は解放基盤波のフーリエスペクトルである。

ここで $F_b(f)$ はBooreの研究<sup>12)</sup>に従い、次式で表わされるものとする。

$$F_b(f) = CM_0 \frac{1}{R} \exp\left(-\frac{\pi f R}{Q_s V_s}\right) S(f) \quad (2)$$

$F_b(f)$ はS波のみから成り立つものとし、式(2)の $C$ はラディエーションパターンなどをパラメータとする係数、 $1/R$ は幾何減衰に対応する。ラディエーションパターンは地表と基盤ともに全方位の平均値を考えた。 $R$ は震源距離である。 $M_0$ は地震モーメント、指数項は内部減衰に対応し、 $Q_s$ はS波の減衰の程度を表すパラメータ、 $V_s$

は地震発生層のS波伝播速度， $S(f)$ は震源スペクトルである。

同一地点における地表波のスペクトル $F_b(f)G(f)$ と基盤波のスペクトル $F_b(f)$ の $C$ ， $M_0$ ， $R$ は同じ値であるので，両スペクトルの比をとることにより，これらはキャンセルされる。また，式(2)の指数項の $Q_s$ は一般に $Q_s^\nu$  ( $Q_0$ は定数)と表わされるが，ここでは $\nu=1$ と仮定することにより，この指数項を定数と考える。これにより，式(1)は以下のように表すことができる。

$$F = \frac{A_s}{A_b} \equiv \sqrt{\frac{\int_{-\infty}^{\infty} G(f)^2 S(f)^2 df}{\int_{-\infty}^{\infty} S(f)^2 df}} \quad (3)$$

震源スペクトルとして次の $\omega^2$ 則に従う式に高域遮断フィルターを考慮したものを用いた。

$$S(f) = \frac{(2\pi f)^n f_c^2}{f_c^2 + f^2} \frac{f_{max}}{\sqrt{f_{max}^2 + f^2}} \quad (4)$$

右辺第1項が $\omega^2$ 則モデル，第2項が高域遮断フィルターに対応しており， $f_c$ は震源スペクトルのコーナー振動数， $f_{max}$ は高域遮断振動数である。加速度の場合 $n=2$ ，速度の場合 $n=1$ である。

### 3. 地盤増幅度の観測値と計算値の比較

#### (1) 解析対象地震の諸元

本研究で提案する地盤増幅度評価式の精度を検証するために，表-1に示すM6～9クラスの6つの地震で得られた観測記録を解析に用いた。東北地方太平洋地震については野津の提案する擬似点震源モデル<sup>13)</sup>を用い，各対象観測点に対して最大振幅への影響が大きいと考えられるサブイベントの情報を用いた。

地盤増幅度評価式で用いる震源スペクトルの $f_c$ ， $f_{max}$ は表-1のとおりである。東北地方太平洋地震以外の地震のコーナー振動数はこれまでの研究<sup>14)～16)</sup>で求められている短周期レベルAは短周期レベル (dyne・cm/s<sup>2</sup>) とF-NET<sup>17)</sup>による地震モーメント $M_0$ を用い，式(5)から求めた。また， $f_{max}$ は地震モーメントをパラメータとする式(6)<sup>18)</sup>で求めた。

$$A = 4\pi^2 f_c^2 M_0 \quad (5)$$

$$f_{max} = 7.31 \times 10^3 \times M_0^{-0.12} \quad (6)$$

#### (2) 地震観測記録による地盤増幅度の評価

本研究ではS波速度が2～3km/s程度の地震基盤相当の解放基盤面（以降，基盤）を基準として地盤増幅度を評価するので，基盤までの地盤定数が明らかな観測点を解析対象とする必要がある。そこでこれまでの研究報告で基盤までの地盤定数が求められているKiK-net観測点のうち，以下の条件を満たし，表-1の地震で観測記録が得ら

れている表-2の20地点を解析対象観測点とした。

- ・地盤の非線形化の影響を避けるために地表波の最大加速度(3成分合成値)が200cm/s<sup>2</sup>未満の記録
- ・地表波の最大加速度(3成分合成値)が5cm/s<sup>2</sup>以上の記録

また，KiK-net観測点との観測点距離が10 km程度以下の表-3のK-NET，KiK-net観測点も解析対象とした。地盤定数は羽島は日本原子力発電などの報告<sup>19)</sup>，糸魚川は佐藤<sup>20)</sup>，岩瀬は佐藤他の研究<sup>21)</sup>，下総，岩槻，府中は木下・大池の研究<sup>22)</sup>をもとに設定し，その他の観測点は原子力安全基盤機構<sup>23)～26)</sup>による値を用いた。

観測記録による最大地動加速度，速度の地盤増幅度はそれぞれ地表と基盤の加速度，あるいは速度時刻歴波形の水平2成分最大値の大きい方の値の比と定義した。ただし，加速度，速度波形の最大振幅が後続波の場合はS波到達から破壊継続時間を加えた区間での最大値を最大振幅として用いた。破壊継続時間は川上他の論文<sup>27)</sup>の式を用いて計算した。速度時刻歴波形は加速度波形をフーリエ変換を利用して積分することによって求めた。なお，積分の際には0.1～20Hzでフラットであり，両端にコサインテーパーを施したバンドパスフィルターをかけている。基盤の地震波形は地表の地震波形と地盤定数を用い，重複反射理論に基づく剥ぎ取り解析によって計算した。

表-3に示すK-NET，KiK-net観測点の地盤増幅度は表-2のKiK-net観測点の基盤での最大振幅を用い，翠川他<sup>28)</sup>を参考に距離減衰による補正を加えた次式によって評価した。

$$F = \frac{A_s}{A_r} \cdot \frac{R_s}{R_r} \quad (7)$$

$F$ は地盤増幅度， $A_s$ は表-3の地震観測点の地表での最大振幅， $A_r$ は基準とする表-2のKiK-net観測点の基盤での最大振幅， $R_s$ は表-3の地震観測点の震源距離， $R_r$ は表-2のKiK-net観測点の震源距離である。

#### (3) 地盤増幅度の比較

最大地動加速度，最大地動速度の地盤増幅度を式(3)と式(4)によって評価した。式(3)の分子，分母に含まれる積分値として0～50Hzを対象とした台形公式による積分値を用いた。式(4)のパラメータである $f_c$ ， $f_{max}$ は表-1の値を用いた。また，式(3)の分子に含まれるサイト増幅特性 $G(f)$ は表-2のKiK-net観測点の場合は既往研究の同定結果から求めたSH波伝達関数(2E入力)，表-3の地震観測点の場合は表-2に示す近接するKiK-net観測点の伝達関数を補正した式(8)によって求めた。

$$G(f) = \frac{A_s(f)}{A_r(f)} \cdot \frac{R_s}{R_r} \cdot G_r(f) \quad (8)$$

表-1 解析対象地震の諸元とパラメータ

| 地震番号 | 地震名または震源域       | 発震時刻               | $M_{JMA}$ | $M_w$ | $M_0$<br>(dyne·cm)    | $A$<br>(dyne·cm/s <sup>2</sup> ) | $f_c$<br>(Hz) | $f_{max}$<br>(Hz) | $A, f_c$ の<br>引用文献 |
|------|-----------------|--------------------|-----------|-------|-----------------------|----------------------------------|---------------|-------------------|--------------------|
| 1    | 2007年新潟県中越沖地震   | 2007/7/16 10:13:22 | 6.8       | 6.6   | $9.30 \times 10^{25}$ | $1.44 \times 10^{26}$            | 0.198         | 5.59              | 14                 |
| 2    | 2008年岩手・宮城内陸地震  | 2008/6/14 8:43:45  | 7.2       | 6.9   | $2.72 \times 10^{26}$ | $2.66 \times 10^{26}$            | 0.157         | 4.92              | 14                 |
| 3    | 2011年東北地方太平洋沖地震 | 2011/3/11 14:46:18 | 9.0       | 8.7   | $1.07 \times 10^{29}$ | -                                | -             | -                 | -                  |
|      | サブイベント4         | -                  | -         | 6.8   | $2.3 \times 10^{26}$  | -                                | 0.79          | 5.02              | 13                 |
|      | サブイベント7         |                    |           | 6.4   | $5.0 \times 10^{25}$  |                                  | 0.74          | 6.03              |                    |
|      | サブイベント9         |                    |           | 6.7   | $1.6 \times 10^{26}$  |                                  | 0.37          | 5.24              |                    |
| 4    | 茨城県沖            | 2011/3/11 15:15:34 | 7.6       | 7.8   | $5.66 \times 10^{27}$ | $6.19 \times 10^{26}$            | 0.053         | 3.42              | 15                 |
| 5    | 宮城県沖            | 2011/4/7 23:32:43  | 7.2       | 7.1   | $4.74 \times 10^{26}$ | $1.49 \times 10^{27}$            | 0.282         | 4.60              | 15                 |
| 6    | 福島県浜通り          | 2011/4/11 17:16:12 | 7.0       | 6.6   | $9.58 \times 10^{25}$ | $9.70 \times 10^{25}$            | 0.160         | 5.57              | 16                 |

表-2 KiK-net観測点の情報

| 観測点名 | コード    | 緯度<br>(°) | 経度<br>(°) | 地震番号 |   |   |   |   |   | 引用<br>文献 |
|------|--------|-----------|-----------|------|---|---|---|---|---|----------|
|      |        |           |           | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |          |
| 旭    | AICH07 | 35.2194   | 137.4039  |      |   |   |   |   |   | 24       |
| 下総   | CHBH04 | 35.7966   | 140.0206  | ○    | ○ |   | ○ | ○ | ○ | 22       |
| 成田   | CHBH13 | 35.8307   | 140.2980  | ○    | ○ |   | ○ | ○ | ○ | 26       |
| 銚子中  | CHBH14 | 35.7342   | 140.8230  | ○    |   | ○ | ○ | ○ | ○ | 24       |
| 檜枝岐  | FKSH07 | 37.0103   | 139.3755  | ○    |   | ○ | ○ | ○ | ○ | 24       |
| 都路   | FKSH19 | 37.4703   | 140.7227  | ○    | ○ |   |   |   | ○ | 26       |
| 羽島   | GIFH09 | 35.2768   | 136.7002  |      |   |   | ○ |   |   | 19       |
| 岩瀬   | IBRH11 | 36.3701   | 140.1401  | ○    | ○ |   |   | ○ |   | 21       |
| 霞ヶ浦  | IBRH17 | 36.0864   | 140.3140  | ○    | ○ |   |   | ○ | ○ | 24       |
| 岩泉   | IWTH03 | 39.8020   | 141.6520  |      | ○ | ○ | ○ |   | ○ | 26       |
| 川井北  | IWTH17 | 39.6442   | 141.5977  |      | ○ |   | ○ | ○ |   | 26       |
| 清川   | KNGH21 | 35.4628   | 139.2146  |      |   | ○ | ○ | ○ | ○ | 25       |
| 唐桑   | MYGH03 | 38.9207   | 141.6377  |      | ○ |   |   |   | ○ | 26       |
| 東和   | MYGH04 | 38.7860   | 141.3254  |      |   |   |   |   | ○ | 26       |
| 河北   | MYGH11 | 38.5158   | 141.3421  |      | ○ |   |   |   |   | 26       |
| 志津川  | MYGH12 | 38.6416   | 141.4428  |      | ○ |   |   |   |   | 26       |
| 糸魚川  | NIGH16 | 36.9378   | 137.8480  | ○    |   |   |   |   |   | 20       |
| 岩槻   | SITH01 | 35.9290   | 139.7349  |      | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 22       |
| 大樹   | TKCH08 | 42.4865   | 143.1520  |      |   |   |   | ○ |   | 23       |
| 府中   | TKYH02 | 35.6539   | 139.4704  |      |   | ○ | ○ | ○ |   | 22       |

表-3 近接観測点の情報

| 観測点名 | コード    | 基準点<br>コード | 緯度<br>(°) | 経度<br>(°) | 地震番号 |   |   |   |   |   |   |
|------|--------|------------|-----------|-----------|------|---|---|---|---|---|---|
|      |        |            |           |           | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |   |
| 尾西   | AIC001 | GIFH09     | 35.2976   | 136.7500  |      |   |   | ○ |   |   |   |
| 白井   | CHB003 | CHBH04     | 35.7943   | 140.0564  | ○    | ○ | ○ |   |   | ○ | ○ |
| 銚子   | CHB005 | CHBH14     | 35.7358   | 140.8300  | ○    |   |   |   |   | ○ | ○ |
| 成田   | CHB006 | CHBH13     | 35.7801   | 140.3067  | ○    | ○ |   | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 市川北  | CHB028 | CHBH04     | 35.7660   | 139.9665  | ○    | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 葛尾   | FKS006 | FKSH19     | 37.5031   | 140.7588  | ○    | ○ |   |   |   |   |   |
| 桧枝岐  | FKS029 | FKSH07     | 37.0159   | 139.3801  | ○    |   |   | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 笠間   | IBR005 | IBRH11     | 36.3851   | 140.2372  | ○    | ○ | ○ |   |   | ○ |   |
| 川井   | IWT016 | IWTH17     | 39.5997   | 141.6789  |      | ○ |   |   |   | ○ |   |
| 藤沢   | IWTH05 | MYGH04     | 38.8654   | 141.3512  |      |   |   |   |   |   | ○ |
| 秦野   | KNG012 | KNGH21     | 35.3794   | 139.2048  |      |   | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 気仙沼  | MYG001 | MYGH03     | 38.9015   | 141.5684  |      | ○ |   |   |   |   | ○ |
| 東和   | MYG003 | MYGH04     | 38.7348   | 141.3106  |      |   |   |   |   |   | ○ |
| 北上   | MYG008 | MYGH12     | 38.5676   | 141.4266  |      | ○ |   |   |   |   |   |
| 春日部  | SIT008 | SITH01     | 35.9829   | 139.7456  |      | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 大宮   | SIT010 | SITH01     | 35.9065   | 139.6481  |      | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 八王子  | TKY004 | TKYH02     | 35.6282   | 139.4034  |      |   | ○ | ○ | ○ |   |   |
| 小金井  | TKY006 | TKYH02     | 35.6990   | 139.5029  |      |   | ○ | ○ | ○ |   |   |

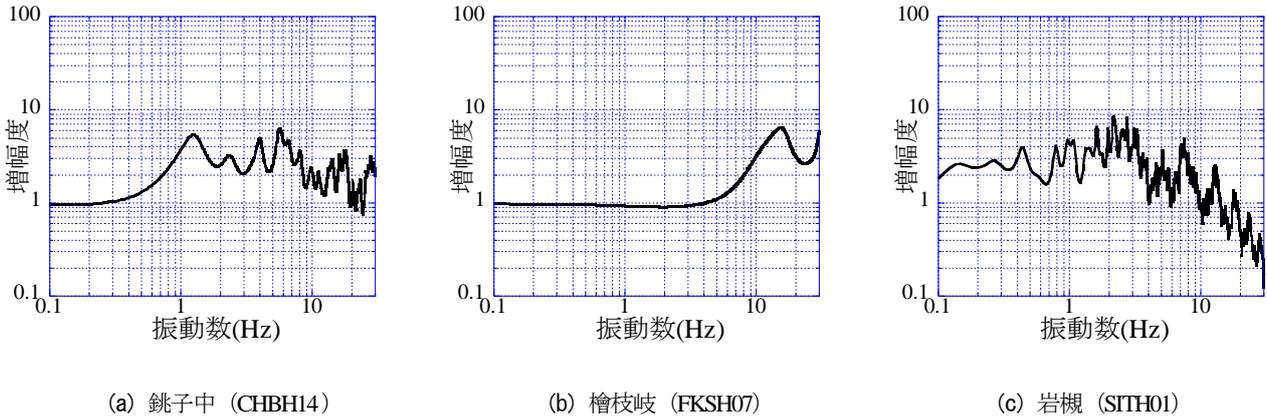


図-2 表-2の地震観測点のサイト増幅特性

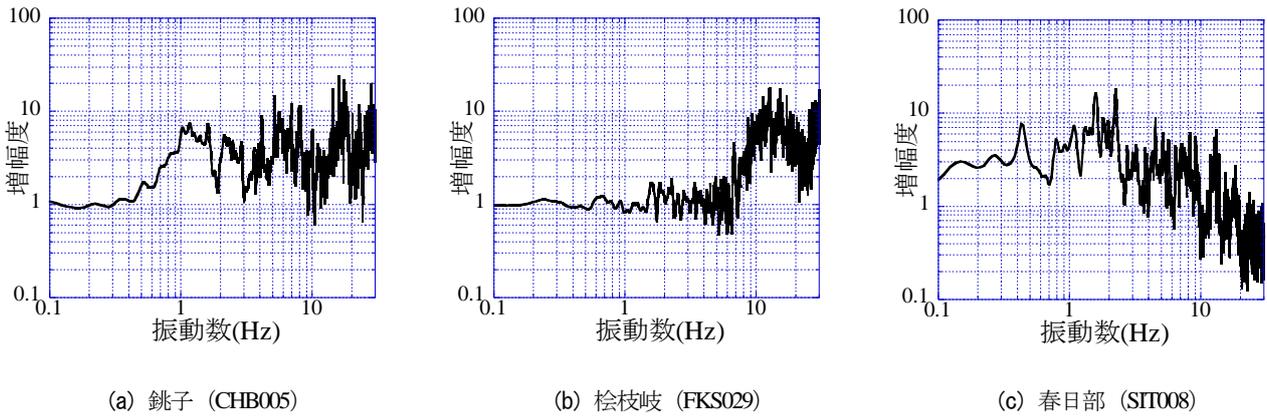


図-3 表-3の地震観測点のサイト増幅特性 (地震6)

$G(f)$ は表-3の地震観測点のサイト増幅特性,  $A_s(f)$ は表-3の地震観測点のフーリエスペクトル,  $A_r(f)$ は基準とする表-2のKiK-net 観測点のフーリエスペクトル,  $G_r(f)$ は表-2のKiK-net観測点の伝達関数である. フーリエスペクトルはS波到達時刻から川上他の論文による破壊継続時間を加えた時刻までを対象区間として求めた. ただし, 2011年東北地方太平洋沖地震は40秒間を対象とした. また, スペクトルはバンド幅0.1Hz のParzen windowによって平滑化した. フーリエスペクトルは地震によって異なるので, 表-3の地震観測点のサイト増幅特性は地震ごとに得られる.

図-2に表-2の地震観測点のサイト増幅特性 (SH波伝達関数), 図-3に表-3の地震観測点のサイト増幅特性の一例を示す. 檜枝岐 (FKSH07) と桧枝岐 (FKS029) は10~20Hz, 銚子 (CHB005) と銚子中 (CHBH14) は1~2Hzに1次のピークが見られる. 春日部 (SIT008), 岩槻 (SITH01) は0.1~0.2Hzに1次のピークがあり, 広い振動数帯で増幅が見られる.

図-4, 図-5に観測記録による地盤増幅度 (観測値) と式(3), (4)によって評価した地盤増幅度 (計算値) の対応を示す. 各地震の最大加速度と最大速度の地盤増幅度の平均値を比較すると, 観測値は17~55%, 計算値は42~86%, 最大加速度の方が大きい. 観測値と計算値は全体的に見ると相関関係があり, 最大速度の方が相関が

良い傾向にある.

続いて, 地震ごとに観測値と計算値の誤差を示すRMS値を次式によって求めた.

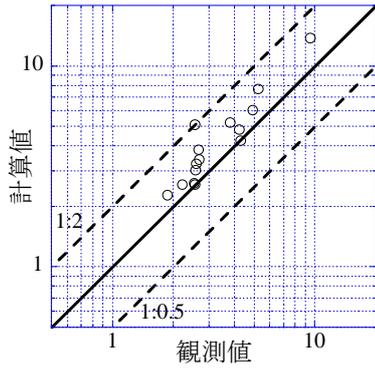
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i^o - F_i^c)^2} \quad (9)$$

ここに $N$ は各地震のデータ数,  $F_i^o$ は地盤増幅度の観測値,  $F_i^c$ は計算値である.

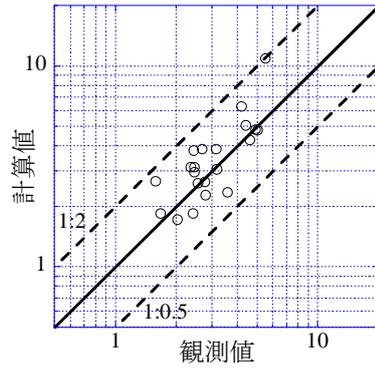
表-4を見ると, 全ての地震で速度が加速度よりもRMS値が小さくなっており, 速度の方が観測値と計算値の対応が良いことが分かる. 加速度の方がRMS値が大きくなった要因の一つとして次のことが考えられる. 著者らの研究<sup>9)</sup>で最大加速度の地盤増幅度は最大速度に比べて $f_{max}$ の影響が大きいことを示している. 今回,  $f_{max}$ を地震規模に依存する経験式から求めたが, 地震規模に依存しないという研究もあることから, 本研究で設定した値が適当でなかった可能性があり, その結果, 最大加速度の地盤増幅度を適切に評価できなかったことが考えられる.

#### 4. まとめ

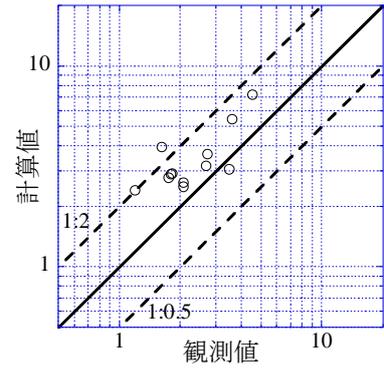
本研究では著者らの提案している地震動スペクトルが



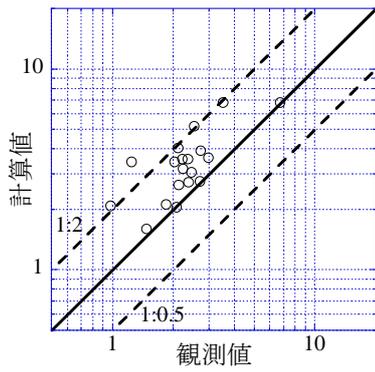
(a) 地震1



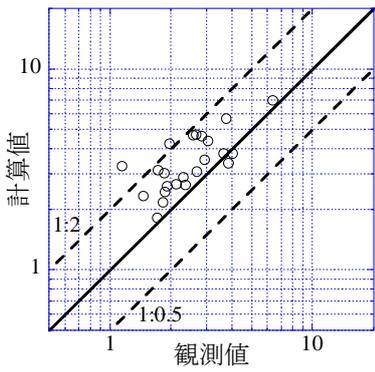
(b) 地震2



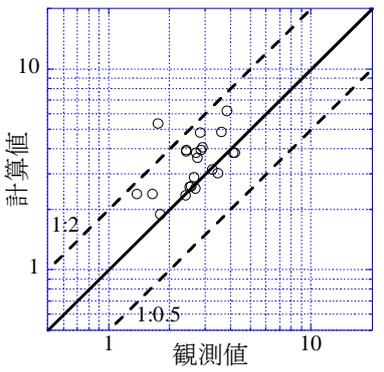
(c) 地震3



(d) 地震4

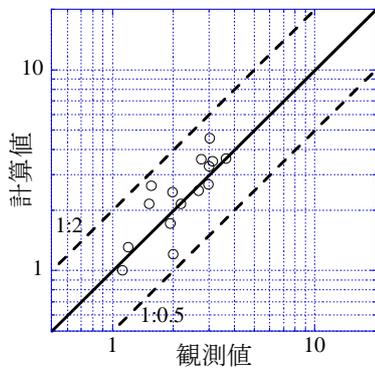


(e) 地震5

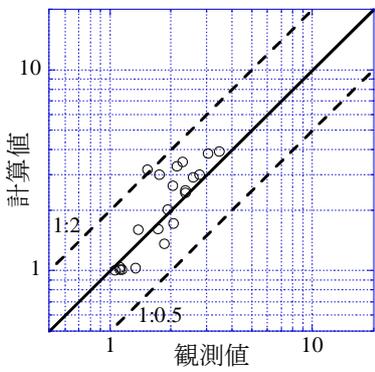


(f) 地震6

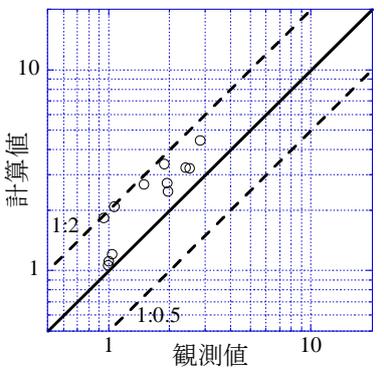
図-4 最大地動加速度の地盤増幅度の観測値と計算値



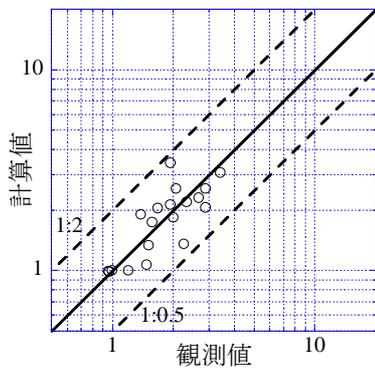
(a) 地震1



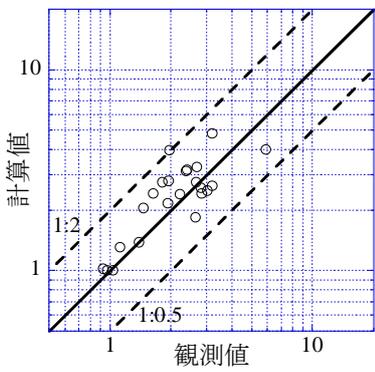
(b) 地震2



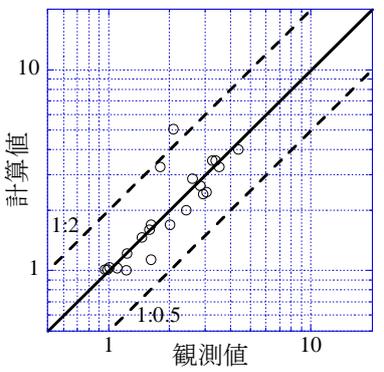
(c) 地震3



(d) 地震4



(e) 地震5



(f) 地震6

図-5 最大地動速度の地盤増幅度の観測値と計算値

表-4 RMS値

|     | 地震1   | 地震2   | 地震3   | 地震4   | 地震5   | 地震6   |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 加速度 | 1.502 | 1.384 | 1.316 | 1.337 | 1.163 | 1.221 |
| 速度  | 0.613 | 0.632 | 0.893 | 0.519 | 0.819 | 0.750 |

ら地盤増幅度を評価する手法を強震動予測で対象となるようなM6以上の地震に対して適用し、観測記録による地盤増幅度との対応を調べた。地盤増幅度はS波速度2～3kmの層までの地盤情報が明らかなKiK-net観測点や近接する地震観測点を対象に評価した。

6地震について観測記録による地盤増幅度（観測値）と提案手法による値（計算値）を比較した結果、最大地動速度は最大地動加速度に比べて観測値と計算値の相関が良い傾向にあった。また、観測値と計算値の誤差を調べるためにRMS値を求めたところ、いずれの地震でも最大地動速度の方が値が小さくなり、3つの地震で最大地動加速度の半分以下の値となった。

**謝辞：**本研究は公益財団法人 前田記念工学振興財団の研究助成により実施しました。また、独立行政法人 防災科学技術研究所のK-NET, KiK-netの地震観測記録を利用させて頂きました。記して御礼申し上げます。

**参考文献**

1) 杉戸真太, 亀田弘行, 廣瀬憲嗣: 工学的基盤面と沖・洪積地盤面の地震動の変換係数, 土木学会構造工学論文集, Vol.32A, pp.789-799, 1986.

2) 翠川三郎, 松岡昌志, 作川孝一: 1987年千葉県東方沖地震の最大加速度・最大速度にみられる地盤特性の評価, 日本建築学会構造系論文報告集, No.442, pp.71-78, 1992.

3) 末富岩雄, 石田栄介, 磯山龍二, 後藤洋三: 地盤の平均S波速度による地震動強度指標の非線形増幅度評価法について, 土木学会地震工学論文集, vol.27, pp.122-129, 2003.

4) 川瀬 博, 松尾秀典: K-NET, KiK-net, JMA 震度計観測網による強震動波形を用いた震源・パス・サイト各特性の分離解析, 日本地震工学会論文集, Vol. 4, No. 1, pp.33-52, 2004.

5) 藤井直樹, 安中 正, 野沢是幸: 表層地盤による最大加速度増幅率の予測方法, 第19回地震工学研究発表会講演概要, pp.137-140, 1987.

6) 小川安雄, 清水謙司, 前島大吾, 江尻譲嗣: 常時微動観測結果を用いた最大水平速度分布簡易予測手法の種々の検証, 第 25 回地震工学研究発表会講演論文集, pp.225-228, 1999.

7) 鶴来雅人, 澤田純男, 宮島昌克, 北浦 勝: サイト増幅スペクトルに基づく震度増加量の推定法, 土木学会論文

集, No. 738, I-64, pp.191-205, 2003.

8) 山下 修, 神野達夫, 原 弘明, 三浦賢治: 微動 H/V スペクトルによる地盤特性評価とそれに基づく計測震度の面的補間: その 2 微動 H/V スペクトルを用いた計測震度の推定, 日本建築学会学術講演梗概集, B-2, 構造 II, pp.85-86, 2006.

9) 西川隼人, 宮島昌克: 地震動スペクトルのパラメータによる地盤増幅度の表現と地震規模依存性の評価, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 66, No. 1, pp.20-29, 2010.

10) 西川隼人, 宮島昌克: 地震規模依存性を考慮した地盤増幅度評価式の改良と観測増幅度との比較, 日本地震工学会論文集, Vol. 12, No.3, pp.34-48, 2012.

11) 西川隼人, 宮島昌克: 地震基盤までの地盤構造と地盤増幅度の地震規模依存性の関係, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 79, No.698, pp.445-451, 2014.

12) Boore, D. M. : Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, *Bull. Seism. Soc. Am.* Vol.73, 1983, pp.1865-1894.

13) 野津 厚: 少ない数のパラメータで記述された海溝型巨大地震の震源モデル, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造II, pp.61-62, 2012.

14) 佐藤智美: 逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した日本の地殻内地震の短周期レベルのスケーリング則, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 75, No. 651, pp.923-932, 2010.

15) 佐藤智美: 経験的グリーン関数法に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源モデル - プレート境界地震の短周期レベルに着目して -, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 77, No. 675, pp.695-704, 2012.

16) 佐藤智美, 堤 英明: 2011 年福島県浜通り付近の正断層の地震の短周期レベルと伝播経路・地盤増幅特性, 日本地震工学会論文集, Vol.12, No.7, pp.1-18, 2012.

17) Faccioli, E. : A study of strong motions from Italy and Yugoslavia in terms of gross source properties, *Geophysical Monograph*, 37, Maurice Ewing, AGU, Vol.6, pp.297-309, 1986.

18) 独立行政法人 防災科学技術研究所 広帯域地震観測網 F-net, <http://www.fnet.bosai.go.jp/>, 2014.7.2 参照

19) 日本原子力発電株式会社, 独立行政法人日本原子力研究開発機構, 関西電力株式会社: 若狭地域の地震動評価に用いる地盤モデル再評価について【補足検討】, 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設

- 計小委員会, 地震・津波, 地質・地盤合同WG (第42回), 2010.
- 20) 佐藤浩章: 広帯域強震動予測のための新潟平野における深部地盤のモデル化とサイト増幅特性評価, 東京工業大学学位論文, 2009.
- 21) 佐藤智美, 早川 崇, 大島光貴, 川瀬 博, 松島信一, 長嶋史明, 飛田幸樹, 青地秀雄: 東北地方太平洋沖地震の岩瀬観測点 (IBRH11) での大振幅の要因の分析, 日本地震工学会・大会-2012梗概集, pp.92-93, 2012.
- 22) 木下繁夫, 大池美保: 関東地域の堆積層-基盤系におけるS波の減衰特性—0.5~16Hz—, 地震第2輯, Vol.55, pp.19-31, 2002.
- 23) 独立行政法人 原子力安全基盤機構: 平成14年度原子力発電立地調査に関する報告書 その1 地震波伝ば特性評価法調査, 2003.
- 24) 独立行政法人 原子力安全基盤機構: 原子力安全基盤機構: 平成16年度原子力発電立地調査に関する報告書(地震波伝ば特性評価法調査), 2005.
- 25) 独立行政法人 原子力安全基盤機構: 平成17年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 (地震観測記録を用いた地震動特性に関する調査に係る報告書), 2006.
- 26) 独立行政法人 原子力安全基盤機構: 平成18年度原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 活断層及び地震動特性に関する調査・解析に係る報告書, 2007.
- 27) 川上洋介, 額額一起, 久田嘉章: 地震観測記録より推定した関東平野におけるサイト特性と地形分類との関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.687-688, 2004.
- 28) 翠川三郎, 駒澤真人, 三浦弘之: 横浜市高密度強震計ネットワークの記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均S波速度との関係, 日本地震工学会論文集, Vol. 8, No. 3, pp.19-30, 2008.

## EVALUATION OF AMPLIFICATION FACTOR BASED ON EARTHQUAKE MOTION SPECTRUM

Hayato NISHIKAWA and Masakatsu MIYAJIMA

We apply a proposed estimation method of amplification factor evaluated from earthquake motion spectra to actual earthquakes with magnitude of 6 to 9 and examine a relation between observed and evaluated amplification factor. Amplification factors are evaluated at KiK-net observation sites where information of ground structure from surface to a layer with S-wave velocity of 2 to 3 km/s is already obtained, and its neighboring observation sites. Amplification factors are evaluated from observation records obtained in 6 earthquakes and proposed method, and a relation between both amplification factors is examined. Moreover, root mean square (rms) values between observed and evaluated amplification factors are estimated. It is clarified that the rms values for PGV are smaller than those for PGA in all earthquakes.