

地震動指標の地盤増幅度と最大加速度比による サイト特性の推定

森本 吉輝¹・西川 隼人²・池本 敏和³・宮島 昌克⁴

¹株式会社IHI (〒135-8710 東京都江東区豊洲三丁目1-1)

²舞鶴工業高等専門学校 (〒625-8511 京都府舞鶴市宇白屋234)

E-mail: nisikawa@maizuru-ct.ac.jp

³金沢大学講師 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: tikemoto@t.kanazawa-u.ac.jp

⁴金沢大学教授 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: miyajima@t.kanazawa-u.ac.jp

著者らは地震波形の収集が困難な自治体観測点を対象に、最大地動加速度と計測震度の地盤増幅度からサイト特性を推定する手法を提案している。この手法はサイト特性の周期0.1～1秒における任意区間の平均増幅度は精度良く推定できたが、周期1～2秒では推定精度が良くなかった。本研究では周期1～2秒のサイト特性の推定精度を向上させるために、地震動の周期1～2秒成分の相対的な強さと相関がある最大加速度比をサイト特性推定の際に考慮した。推定にあたり、M7前後の地震観測記録から計算した最大加速度比とサイト特性の周期1～2秒の増幅度の相関を調べたところ、両者に良好な相関が見られた。地盤増幅度と最大加速度比をパラメータとする式によってサイト特性を求めたところ、周期1～2秒におけるサイト特性の観測値と推定値の相関係数が向上した。また、ほとんどの周期帯で相関係数が0.9を超えていた。

Key Words : PGA, JMA seismic intensity, response spectrum, amplification factor, site spectrum

1. はじめに

著者ら¹⁾は地震波形の収集が困難な自治体観測点を想定して、全国のほとんどの自治体観測点で収集されている最大地動加速度と計測震度の地盤増幅度からサイト特性(周期または振動数領域の地盤増幅特性)を推定する手法を提案している。この手法では周期 0.1～1 秒の任意区間の平均増幅度であれば、ある程度の精度で推定できたが、地震動スペクトルに関する情報を考慮しなかったため、周期 1 秒以上を対象とする場合やサイト特性のスペクトル形状については十分に評価できなかった。

著者ら²⁾は上記の研究とは別の最大地動加速度や計測震度と地震動のスペクトル特性の関係を調べた研究の中で、計測震度算出の際に用いる実効加速度と最大地動加速度の比(最大加速度比と呼ぶ)が地震動のスペクトル形状と密接な関連があり、最大加速度比が大きいほど周期 1～2 秒の地震動成分が相対的に大きくなることを示している。最大加速度比は

スペクトル形状と関係があり、全国のほとんどの自治体観測点で得られる最大地動加速度と計測震度によって計算できることから、自治体観測点のサイト特性を推定する際に利用できるものと考えられる。

そこで本研究では、著者らが提案したサイト特性推定手法¹⁾に最大加速度比を考慮することにより、サイト特性の推定精度の向上を試みる。今回、本研究で提案するサイト特性推定手法を、西川ら³⁾が地盤増幅特性の評価の際に対象とした地震観測点に適用し、観測記録によるサイト特性と推定値を比較する。西川ら³⁾が対象とした 140 の地震観測点の多くは中部地方に位置する K-NET, KiK-net 観測点であり、本研究ではそれらの観測点の最大地動加速度、計測震度の地盤増幅度および加速度応答スペクトルのサイト特性を評価する。評価した地盤増幅度とサイト特性を用い、過去に提案したサイト特性手法と今回、新たに提案するサイト特性推定手法の適用性を確認し、それぞれの手法による推定結果を比較する。

2. 解析対象観測点と地震データ

サイト特性の評価対象とした地震は西川ら³⁾と同じものであり、能登半島地震やその余震の他に1997年～2009年にかけて北陸地方などで発生した地震を含む45の地震である。図-1に解析対象地震と観測点の分布を示す。対象地震に地域的な偏りが見られるが、西川ら³⁾が評価したサイト特性は様々な地域で発生した地震の観測記録による野津・長尾⁴⁾のサイト特性と大きな違いはなかった。対象とした地震の気象庁マグニチュードは4.1～6.9、震源深さは0～21kmである。解析の対象とした地震観測点は西川ら³⁾が対象としたK-NET 79点、KiK-net 61点である。対象とする地震観測点では45の対象地震のうち、5つ以上の地震で記録が得られている。内山・翠川の距離減衰式に関する研究⁵⁾で M_w 6.5以下の地震では断層最短距離200km以内の記録を使っていることから、これを参考に西川ら³⁾が対象とした地震波形記録の中で、断層最短距離あるいは震源距離が200km以内だった2443の記録を解析に用いた。なお、対象とした観測記録には最大地動加速度が 200cm/s^2 を超える大振幅のものがいくつか含まれている。このような大振幅が記録された観測点では地盤増幅度やサイト特性に地盤の非線形化の影響が含まれている可能性があるが、データ数が少なく影響が小さいと考え、そのまま解析に用いた。

3. 地盤増幅特性の評価

(1) 解析手法

加速度応答スペクトルを対象に振動数、または周期領域の地盤増幅特性であるサイト特性を求める。また、最大地動加速度と計測震度を対象に地盤増幅度を求める。サイト特性と地盤増幅度はこれまでの著者らの手法¹⁾と同じく、地震動指標が震源に依存する項、距離減衰に関する項(内部減衰と幾何減衰)と地盤増幅特性に関する項の和で表されるとし、各項を二段階回帰分析⁶⁾の1段階目の手法によって評価した。最大地動加速度と計測震度は式(1)、応答スペクトルに対しては式(2)を用いた。

$$A_{ij} = S_i^k - \log_{10} R_{ij} + b^k R_{ij} + g_j^k \quad (1)$$

$$\log_{10} S_{ajj}(T) = S_i(T) - \log_{10} R_{ij} + b(T) R_{ij} + g_j(T) \quad (2)$$

A_{ij} は*i*番目の地震における*j*番目の観測点の最大地動加速度 PGA の常用対数 $\log_{10} PGA$ か計測震度 I である。また、 $S_{ajj}(T)$ は周期*T*の加速度応答スペクトル(減衰定数5%)である。 $S_{ajj}(T)$ は地震観測波形の全区

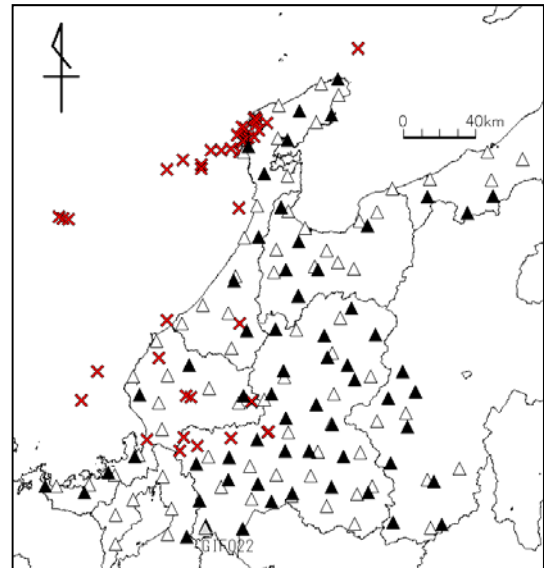


図-1 対象観測点分布と地震震央(□気象庁, △K-NET, ▲KiK-net, ×震央)

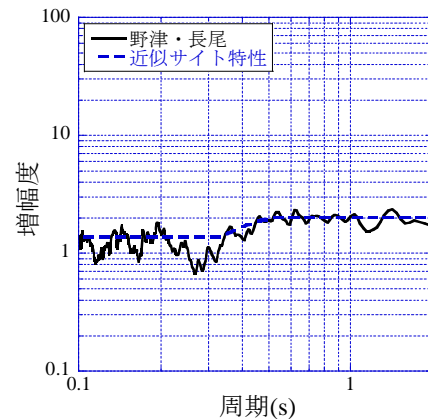


図-2 GIF022のサイト特性⁴⁾

間を用い、周期0.1～2秒の区間を対数軸で20等分し、21個計算した。 $S_{ajj}(T)$ は水平2成分をベクトル合成したもの、 PGA は水平2成分のうち大きい方の値を用いた。式(1)の上添え字*k*は対象とする地震動指標を区別するためのもので、 $\log_{10} PGA$ の場合は*A*、計測震度では*I*である。式(1)の S_i^k 、式(2)の $S_i(T)$ は*i*番目の地震の震源に依存する係数、 R_{ij} は*i*番目の地震における*j*番目の観測点の断層最短距離(km)である。能登半島地震における断層最短距離 R_{ij} は国土地理院の断層モデル⁷⁾に基づく計算値である。その他の地震については地震の規模が小さいので、震源断層を点震源とみなし、 R_{ij} として震源距離を用いる。式(1)、(2)の b^k と $b(T)$ は距離減衰に関する係数、 g_j^k と $g_j(T)$ は*j*番目の観測点の地盤増幅特性に関する係数である。式(2)では $S_i(T)$ などの係数を周期*T*ごとに評価する。 PGA の地盤増幅度 F^A は $10^{g_j^A}$ 、 I の地盤増幅度 F^I は $10^{g_j^I}$ 、サイト特性は $10^{g_j(T)}$ で定義される。

式(1)、(2)を求める際に S_i^k と g_j^k あるいは $S_i(T)$ と

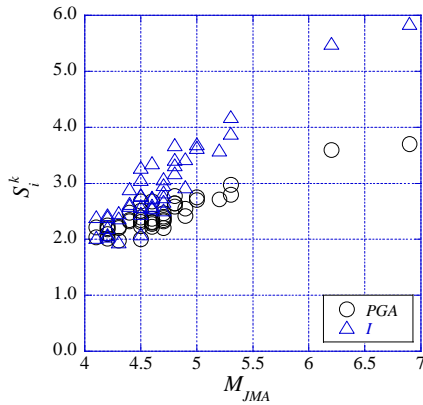


図-3 M_{JMA} と S_i^k

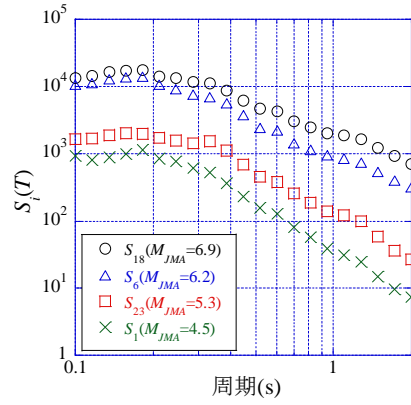


図-4 $S_i(T)$ の一例

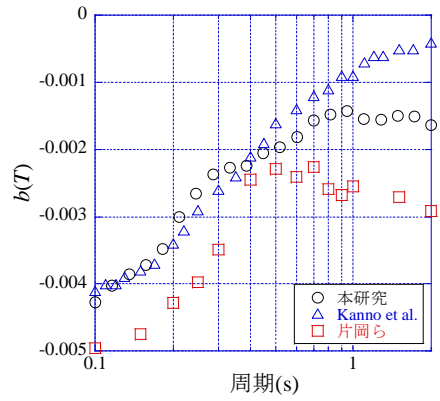


図-5 $b(T)$

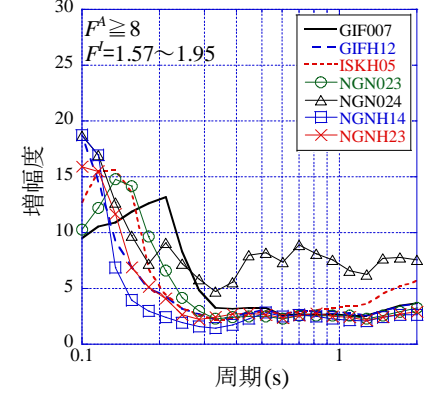
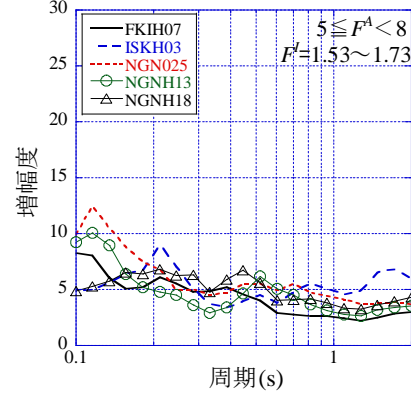
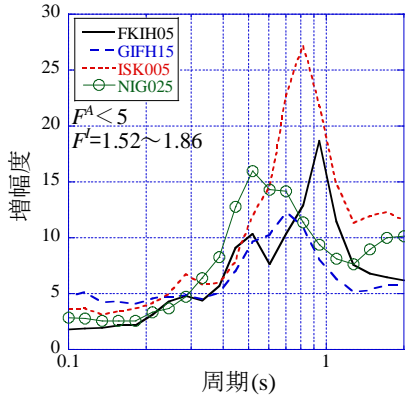


図-6 F^A が 1.5 以上の地震観測点のサイト特性

$g_j(T)$ の間にあるトレードオフの関係を避けるために、基準となる観測点を定め、その観測点の g_j^k や $g_j(T)$ を拘束条件として与えて回帰分析を実施した。本論文では K-NET 上石津(GIF022)を基準観測点とした。この観測点は図-2 に示す野津・長尾⁴⁾のサイト特性(地震基盤を基準とする相対的サイト特性)から分かるように周期による増幅度の変動が小さく、その値も小さいことから、基準観測点として適していると考えられる。

式(2)の係数を求める際に、野津・長尾⁴⁾のサイト特性を近似したサイト特性(図-2 の破線)を GIF022 のサイト特性として与え、拘束条件とする。また、式(1)の係数を求める際、GIF022 の g_i^k と g_j^k を 0 とした。この時に GIF022 の地震基盤面における PGA, I を求めるために次の計算を行う。地表波形をフーリエ変換したものを図-2 の近似サイト特性で除して、逆フーリエ変換し、得られた波形から PGA, I を計算した。得られた PGA, I が地震基盤面相当の層での値となる。以上の拘束条件を与え、回帰分析により得られる各観測点の g_i^k と $g_j(T)$ は GIF022 を基準とした相対的な値となる。

(2) 解析結果(震源特性、伝播経路特性)

本節では回帰分析の結果得られた震源特性、伝播経路特性を説明する。図-3 に地震ごとに得られた S_i^k と気象庁マグニチュード M_{JMA} の対応を、図-4 には

$S_i(T)$ の一例を示す。図-3 から分かるようにばらつきがあるものの、 M_{JMA} と S_i^k に正の相関関係が見られる。また、図-4 を見ると $M_{JMA}=6$ クラスの $S_i(T)$ は $M_{JMA}=4, 5$ の場合に比べて明らかに大きい。 $M_{JMA}=6$ クラスの $S_i(T)$ を比較すると周期 0.1~0.2 秒では両者に大きな違いはないが、それよりも長周期側では、両者に差が見られる。

解析で得られた距離減衰に関する係数 b^A は -0.004, b^I は -0.011 であり、既往研究^{8), 9), 10)}と同じ程度の値であった。図-5 に本研究で得られた $b(T)$ と式(2)と同タイプの式を用いている既往研究^{9), 11)}の値を示す。同図を見ると本研究の $b(T)$ は、周期 0.4~0.5 秒までは Kanno et al. の値と概ね等しく、それよりも長周期側では Kanno et al. と片岡らの中間的な値になっている。 $b(T)$ の値の違いの要因としては解析対象とした地域での伝播経路特性の違いなどが考えられる。観測値と回帰分析による推定値の標準誤差は PGA を対象とした場合は 0.222, I では 0.435 であった。また、 $S_{ij}(T)$ では対象周期で 0.210~0.251 の範囲にあり、これらの値は安中ら^{8), 10)}や Shabestari and Yamazaki¹²⁾と同じ程度である。

(3) 解析結果(地盤増幅特性)

今回対象とする 140 地点全ての地盤増幅特性を評価しているが、紙面の都合で全て載せることができないので、地盤増幅特性の大きかった観測点を取り

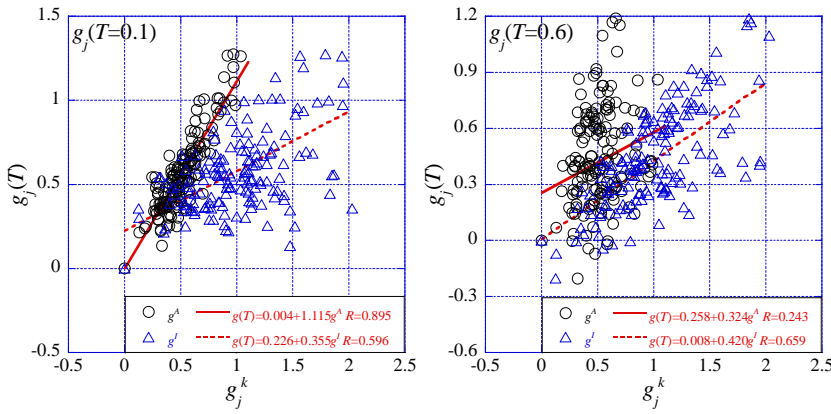


図-7 g_j^k と $g_j(T)$

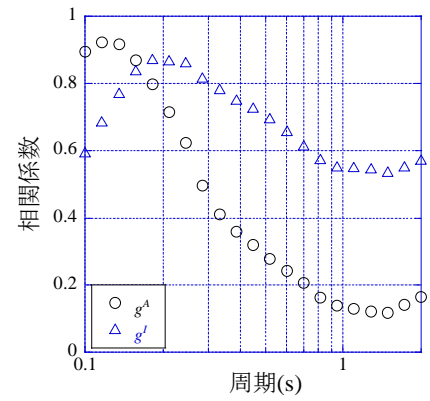


図-8 $g_j(T)$ の観測値と式(3)による推定値の相関係数

上げ、地盤増幅度やサイト特性の特徴を述べる。

図-6に震度増幅度 F^I が1.5以上であった地震観測点のサイト特性を示す。最大地動加速度の増幅度 F^A によるサイト特性の違いを見るために、 F^A の値によって3グループに分けて示している。各グループの F^I はそれぞれ1.52～1.86, 1.53～1.73, 1.57～1.95の範囲にあり、大きな違いはない。まず、 F^A が5未満の観測点のサイト特性を見ると、ピークが周期0.5～1.0秒の間に見られる。 F^A が8以上の場合にはピークが周期0.1～0.2秒付近にあり、この周期の増幅度が相対的に大きい傾向にある。 F^A が5以上8未満の場合は先の2グループのサイト特性の中間的な特徴を持っている。以上のことから、 F^I に大きな違いのない観測点でも F^A によってサイト特性が大きく異なることが分かる。これは著者らの研究¹⁾で指摘しているように、 F^A は短周期のサイト特性成分と相関が高く、 F^I が同程度の場合は F^A が大きいほど短周期のサイト特性が大きくなるためだと考えられる。

上記の地盤増幅度とサイト特性の関係を調べるために両者の相関関係を調べる。次式で示す g_j^k をパラメータとする $g_j(T)$ の回帰式を周期 T ごとに求め、 $g_j(T)$ と g_j^k との相関関係を調べる。

$$g_j(T) = c_1(T)g_j^k + c_2(T) \quad (3)$$

ここで $c_1(T)$ 、 $c_2(T)$ は回帰係数である。図-7に g_j^k と $g_j(T)$ の対応の一例を、図-8に観測記録による $g_j(T)$ と式(3)によって推定した $g_j(T)$ の相関係数を示す。図-7や図-8から分かるように周期0.1～0.2秒では g_j^A と $g_j(T)$ の相関が高いが、周期0.2秒以降になると相関係数が急激に低下する。一方、 g_j^I の場合の相関係数は周期0.1秒では0.6程度であるが、これから0.5秒付近までは概ね0.7程度であり、周期1～2秒でも相関係数は0.5～0.6の範囲にある。 g_j^I と $g_j(T)$ の相関係数が周期1～2秒でもそれほど低くならない要因として、計測震度を算出する際に用いたフィルター

のピークが周期1～2秒にあることが考えられる。このような g_j^k と $g_j(T)$ の相関関係は既往研究¹⁾で見られた特徴と対応するものである。

式(3)は g_j^A と g_j^I それぞれと $g_j(T)$ の関係式であるが、著者らは g_j^A 、 g_j^I と $g_j(T)$ の関係式を求めている¹⁾。本研究でも次に示す g_j^A 、 g_j^I と $g_j(T)$ の関係式を求める。

$$g_j(T) = c_3(T)g_j^A + c_4(T)g_j^I + c_5(T) \quad (4)$$

ここで $c_3(T)$ 、 $c_4(T)$ 、 $c_5(T)$ は回帰係数である。図-9に $g_j(T)$ の観測値と式(3)、(4)による推定値の相関係数を示す。同図から分かるように、式(3)の単一の g_j^k から $g_j(T)$ を推定した場合に比べて、かなり相関係数が高くなっている。ただし、式(4)は(3)に比べて自由度が1つ大きいので、相関係数だけで推定式の善し悪しを判断することは望ましくない。そこで評価モデル式の良さの指標の一つであるAIC(赤池情報量基準)¹³⁾を式(3)と式(4)について求め、どちらが推定式として優れているか判断する。AICは次式によって計算した。

$$AIC = n \ln(S_r / n) + 2m \quad (5)$$

ここで n はデータ数、 S_r は観測値と推定値の残差二乗和、 m は評価式のパラメータ数である。図-10に示すようにほとんどの周期で式(4)が式(3)よりもAICが小さく、式(4)の方が $g_j(T)$ の推定式として優れていることが分かる。ただし、式(4)を用いても、既往研究¹⁾と同じように周期1秒前後では相関が他の周期に比べて低く、相関係数が0.8を割っている。

4. 地盤増幅度と最大加速度比によるサイト特性の推定

(1) 最大加速度比とサイト特性の関係

著者らは最大地動加速度や計測震度と地震動スペ

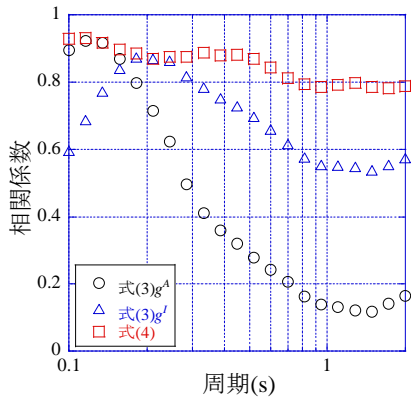


図-9 $g_j(T)$ の観測値と式(3), (4)による推定値の相関係数

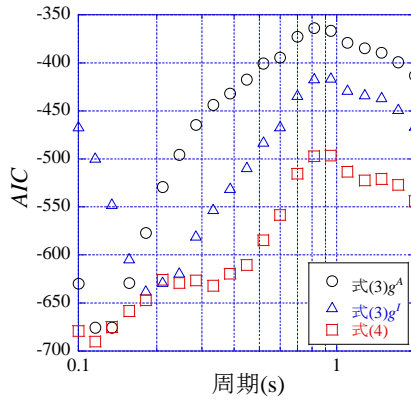


図-10 式(3), (4)に対する AIC

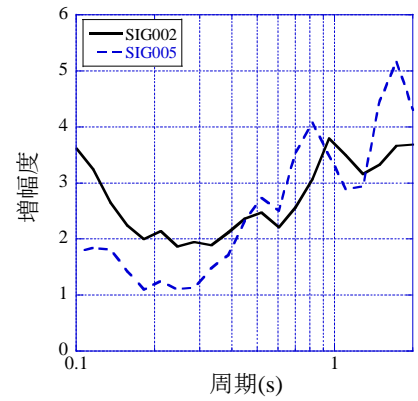


図-11 SIG002, SIG005 のサイト特性

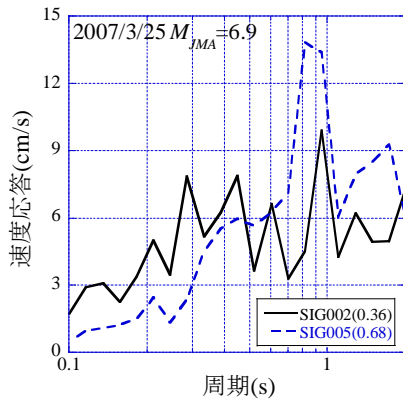


図-12 能登半島地震における速度応答スペクトル(減衰定数0%)

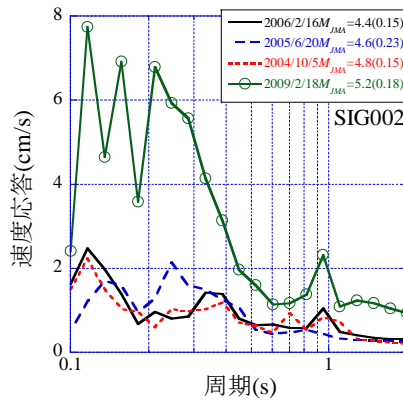
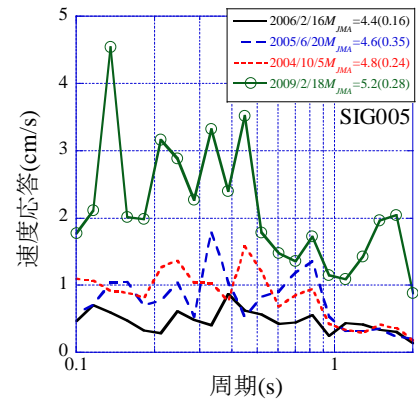


図-13 $M_{JMA}4, 5$ クラスの地震における SIG002, SIG005 の速度応答スペクトル(減衰定数 0%)



クトルの関係を調べており、その中で加速度波形に震度フィルターによる処理をした波形の最大振幅 A_{fmax} と最大地動加速度の比が次式で表わされることを示している²⁾。

$$\frac{A_{fmax}}{PGA} \doteq \sqrt{\frac{\int_{-\infty}^{\infty} H(f)^2 F(f)^2 df}{\int_{-\infty}^{\infty} F(f)^2 df}} \quad (6)$$

ここで $F(f)$ は加速度波形から求めたフーリエスペクトル、 $H(f)$ は震度フィルターである。 $H(f)$ は周期 1～2 秒にピークを持っているので、 $F(f)$ の周期 1～2 秒の振幅が相対的に大きいほど A_{fmax}/PGA が大きくなる。実効加速度 A_0 は震度フィルターによる処理をした波形に継続時間 0.3 秒を考慮したものであるが、継続時間を考慮していない A_{fmax} と強い相関を持っているため、 $r_a(A_0/PGA)$ は A_{fmax}/PGA と相関が高く、 r_a が大きいほど周期 1～2 秒の地震動成分が相対的に大きくなりやすい。このような最大加速度比の特性を利用すれば、周期 1～2 秒のサイト特性の推定精度を向上できるかもしれない。ここでは最大加速度比とサイト特性の関係を調べ、サイト特性推定に利用できるかどうか検証する。

まず、サイト特性のピーク周期が 1 秒付近にある K-NET 今津(SIG002)と K-NET 彦根(SIG005)を例に挙

げ、最大加速度比によるサイト特性、地震動スペクトルの違いを見てみる。なお、最大加速度比は実効加速度と加速度波形 3 成分を時刻歴でベクトル合成した際の最大値の比とする。図-11 に SIG002, SIG005 のサイト特性を、図-12 に能登半島地震における減衰定数 0% の速度応答スペクトルを示す。図-12 の凡例の括弧内の数字は最大加速度比である。まず、図-11 のサイト特性を見ると、SIG002 は周期による増幅度の変化が小さいが、SIG005 は周期 1～2 秒の増幅度が相対的に大きい。図-12 を見ると最大加速度比が大きい方の SIG005 の応答スペクトルはサイト特性と同様に周期 1～2 秒の成分が相対的に大きい。また、応答スペクトルとサイト特性はある程度似た形状になっている。このことから最大加速度比は地震動スペクトルだけでなくサイト特性においても周期 1 秒程度の成分と相関が高い可能性がある。

しかし、図-13 の $M_{JMA}4, 5$ クラスの地震における SIG002, SIG005 の速度応答スペクトルを見ると、図-11 のサイト特性や図-12 の速度応答スペクトルとは形状が異なり、周期 1～2 秒の振幅が他の周期に比べて小さい。これは地震動スペクトルを構成する要素の一つである震源スペクトルの周期成分が地震の規模によって異なるためだと考えられる。この

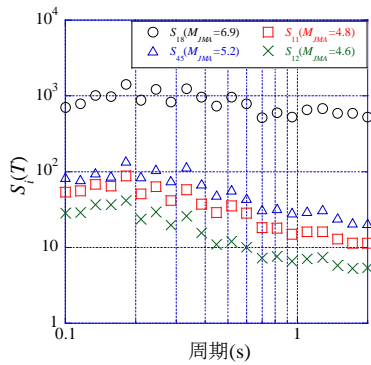


図-14 速度応答スペクトルを
対象とした場合の $S_v(T)$

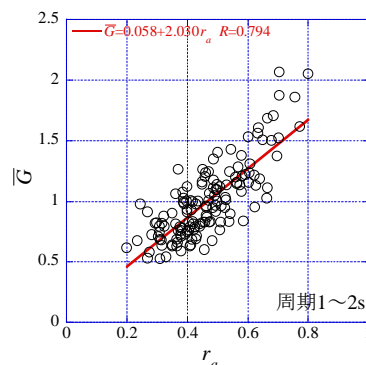


図-15 r_a と \bar{G} の対応

表-1 M_{JMA} 7前後の地震の諸元

発生地域	発生日時	M_{JMA}
三重県南東沖	2004年9月5日19:07:7.5	7.1
三重県南東沖	2004年9月5日23:57:16.8	7.4
新潟県中越地方	2004年10月23日17:56:0.3	6.8
新潟県中越地方	2004年10月23日18:34:5.6	6.5
新潟県上中越沖	2007年7月16日10:13:22.5	6.8
駿河湾	2009年8月11日05:07:5.7	6.5

ことを確認するために、式(2)を用い減衰定数 0%の速度応答スペクトルを対象に回帰分析により震源に依存する係数 $S_v(T)$ を評価する。図-14 に図-12 の能登半島地震、図-13 の M_{JMA} 4.4 の地震以外の 3 つの地震に対応する $S_v(T)$ を示す。図-14 を見ると、能登半島地震に対応する $S_{18}(T)$ は周期による振幅の変化が小さいが、他の地震の $S_v(T)$ は長周期の振幅が相対的に小さくなっている。

このように地震の規模が小さい場合は $S_v(T)$ の長周期側の振幅が小さいので、サイト特性のピークが長周期側にあっても、地震動スペクトルとサイト特性ではピーク周期が違う可能性があり、地震動スペクトルとサイト特性では両者の形状がかなり異なる場合がある。以上から、地震の規模が大きい場合は既往研究で指摘されている最大加速度比と地震動の周期 1~2 秒の成分の相関関係²⁾がサイト特性の間にも成り立つ可能性がある。

ここまでは2つの地震観測点に対して最大加速度比とサイト特性の関係を見たが、続いてはサイト特性の評価対象とした全観測点について検討を行う。全140点を対象に気象庁マグニチュード M_{JMA} 7前後の地震の観測記録を対象に最大加速度比とサイト特性の相関関係を調べる。サイト特性の評価に用いた地震において M_{JMA} 7前後の地震は2007年能登半島地震だけであるので、能登半島地震とそれ以外の M_{JMA} 7前後の6地震(表-1)の観測記録から各観測点の最大加速度比を計算し、その平均値によりサイト特性との関係を調べた。なお、表-1に示す地震は対象観測点の多くで震源距離が200km以上だったので、サイト特性の評価対象としていない。また、FKIH02とGIF025は上記のいずれの地震でも記録が得られていないので、2000年6月7日6時16分に石川県西方沖で発生した M_{JMA} =6.2の地震から最大加速度比 r_a (実効加速度と最大地動加速度の比)を計算した。

図-15に全140点の最大加速度比 r_a とサイト特性の周期1~2秒の平均増幅度と周期0.1~2秒の平均増幅度の比(\bar{G})の対応を示す。図中の式と実線はそれぞれ r_a をパラメータとする \bar{G} の回帰式と回帰直線であ

る。観測サイト特性の \bar{G} と回帰式による値の相関係数は0.8近くあり、相関が良いことが分かる。

この結果から M_{JMA} 7 前後の地震記録から求めた最大加速度比をサイト特性推定の際に考慮すれば、周期 1~2 秒のサイト特性の推定精度を向上できるものと考えられる。

(2) 地盤増幅度と最大加速度比によるサイト特性の推定

周期 1~2 秒前後のサイト特性の推定精度を上げるために、式(4)に最大加速度比を導入し、サイト特性の推定を試みる。以下に示す g_j^A 、 g_j^I と最大加速度比をパラメータとする $g_j(T)$ の推定式を求める。

$$g_j(T) = c_6(T)g_j^A + c_7(T)g_j^I + c_8(T)\log_{10} r_a + c_9(T)r_a + c_{10}(T) \quad (7)$$

r_a は最大加速度比、 $c_6(T) \sim c_{10}(T)$ は回帰係数である。 r_a は前節で M_{JMA} 7前後の地震の観測記録から求めた値である。図-16、17に $g_j(T)$ の観測値と式(4)、(7)による推定値の相関係数と標準誤差、図-18に式(4)、(7)に対するAICを示す。周期0.2秒以下では両式による相関係数、標準誤差、AICに大きな違いはないが、それより長周期側では相関係数、標準誤差とAICが明らかに異なる。式(4)では周期0.4秒以上になると相関係数が急に低下するとともに標準誤差が大きくなっているが、式(7)を用いた場合は周期2秒まで相関係数が0.9前後と高い値となっており、標準誤差は概ね0.12以下である。また、AICは周期0.13秒よりも長周期では式(7)が式(4)に比べて小さく、式(7)の方がサイト特性の推定に優れていることが分かる。

以上の結果からサイト特性の推定において M_{JMA} 7 前後の地震の観測記録から計算した最大加速度比が有効な指標であることが明らかになった。式(4)、(7)による推定サイト特性の違いを見るために図-19にサイト特性の一例を示す。NGN019 のように式(4)、(7)による推定サイト特性に大きな違いがないものも

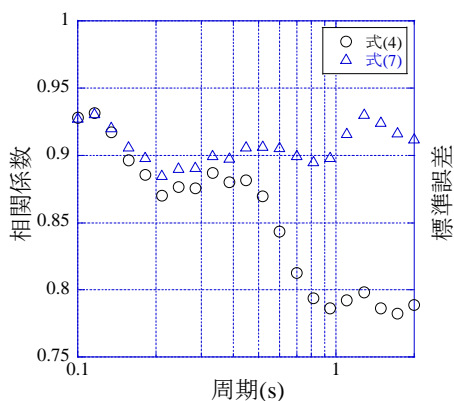


図-16 $g_j(T)$ の観測値と式(4), (7)による推定値の相関係数

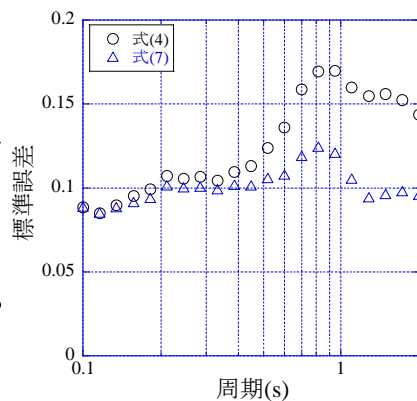


図-17 $g_j(T)$ の観測値と式(4), (7)による推定値の標準誤差

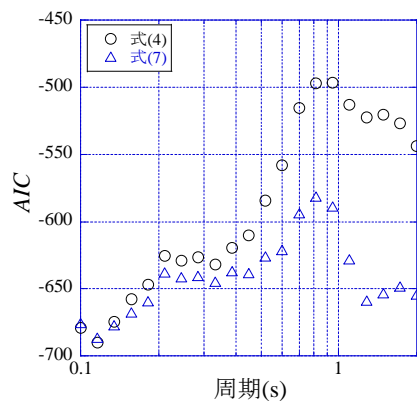


図-18 式(4), (7)に対する AIC

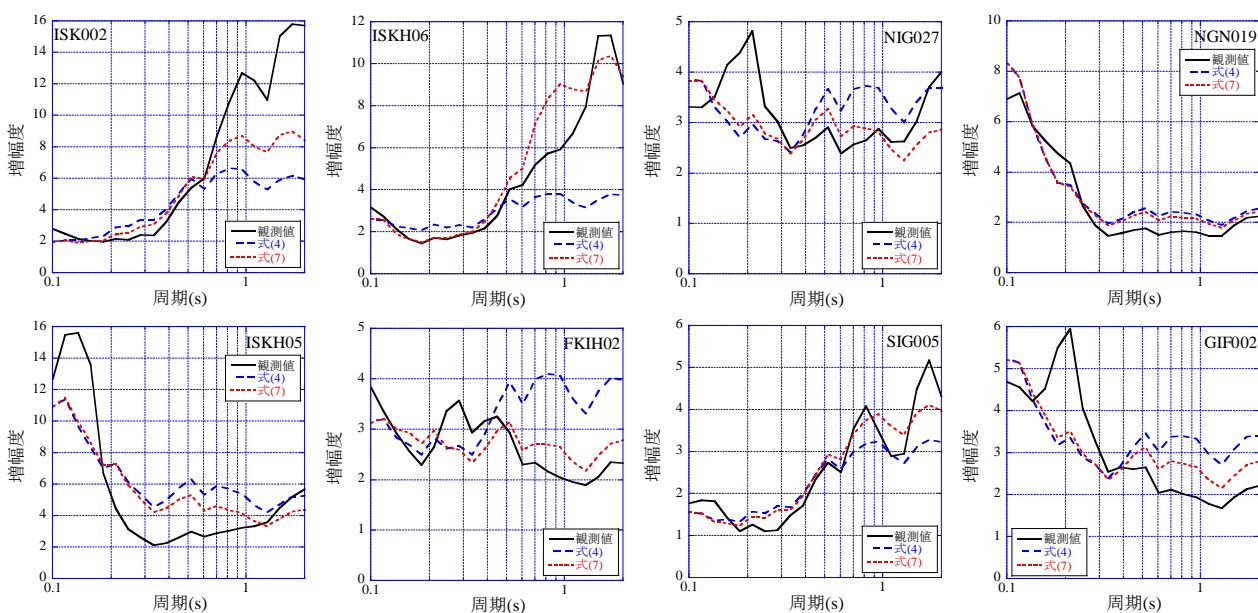


図-19 観測サイト特性と式(7)による推定サイト特性

あるが、多くの観測点ではISK002やISKH06のように式(7)の方が式(4)よりも推定サイト特性と観測サイト特性の対応が良かった。ただし、ISKH05のようにサイト特性に鋭いピークがある場合は式(7)による推定サイト特性でも観測値との対応が良くない場合がある。今後、このようなサイト特性の推定精度向上に努めていく所存である。

5. まとめ

本研究では著者らが過去に提案した地盤増幅度によるサイト特性推定手法を改良するために、推定の際に最大加速度比を考慮することにより、推定精度の向上を試みた。まず、サイト特性を中部地方やその周辺にある K-NET, KiK-net 観測点を対象に評価し、提案したサイト特性推定手法の適用性を調べた。地盤増幅度と最大加速度比によるサイト特性推定式を求める前に最大加速度比とサイト特性の相関関係を調べた。その結果、 $M_{JMA}7$ 前後の地震記録から計

算した最大加速度比とサイト特性の周期1～2秒の平均増幅度には正の相関が見られた。

続いて、地盤増幅度と最大加速度比をパラメータとするサイト特性推定式を求めるとともに、地盤増幅度のみからサイト特性を推定する場合と推定精度を比較した。地盤増幅度からサイト特性を推定した場合は周期0.5秒以上になると観測値と推定値の相関係数が急に低下したが、最大加速度比を考慮した場合は対象周期0.1～2秒で相関係数が0.9前後と高い値となった。また、評価式の良さを表す指標の一つであるAICを提案したサイト特性推定式を対象に求めたところ、最大加速度比を考慮した式の方がAICが小さく、地盤増幅度のみをパラメータとする式に比べてサイト特性の推定に優れていることが明らかになった。

謝辞：本研究では独立行政法人 防災科学技術研究所のK-NET, KiK-net観測記録を使用させて頂きました。また、査読者の方々から貴重なご意見を頂き

ました。記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 西川隼人, 宮島昌克: 自治体観測点で得られる地震動指標の地盤増幅度によるサイト特性の推定, 土木学会論文集A, Vol. 65, No. 1, pp.178-187, 2009.
- 2) 西川隼人, 宮島昌克: 計測震度と最大加速度による地震動の周期特性の評価, 土木学会論文集A, Vol. 65, No. 3, pp.784-796, 2009.
- 3) 西川隼人, 森本吉輝, 宮島昌克: 中部地方のK-NET, KiK-net観測点の地震記録に基づくスペクトルインバージョン解析, 第28回日本自然災害学会学術講演会, pp.7-8, 2009.
- 4) 野津 厚, 長尾 毅: スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等におけるサイト増幅特性, 港湾空港技術研究所資料, No.1112, 2005.
- 5) 内山泰生, 翠川三郎: 震源深さの影響を考慮した工学的基盤における応答スペクトルの距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, Vol.606, pp.81-88, 2006.
- 6) Fukushima, Y. and Tanaka, T.: A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.84, pp.757-783, 1990.
- 7) 国土地理院: 平成19年(2007年)能登半島地震を起こした震源断層の姿, http://www.gsi.go.jp/cais/notohanto-fault_model.html
- 8) 安中 正, 大金義明, 林 孝幸, 岩口健司, 上園 智大: 計測震度の距離減衰式に基づく確率論的地震ハザードマップ, 第12回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.126-129, 2006.
- 9) 片岡正次郎, 佐藤智美, 松本俊輔, 日下部毅明: 短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式, 土木学会論文集A, Vol.62, No.4, pp.740-757, 2006.
- 10) 安中 正, 森田 大, 相京泰仁, 原田光男: 地震タイプを考慮した加速度応答スペクトル推定式, 第28回地震工学研究発表会講演論文集, 論文番号99, 2005.
- 11) Kanno, T., Narita, A., Morikawa, N., Fujiwara, H., and Fukushima, Y.: A new attenuation relation for strong ground motion in Japan based on recorded data, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.96, pp.879-897, 2006.
- 12) Shabestari, K. T. and Yamazaki, F.: Attenuation relation of strong ground motion indices using K-NET records, 第25回地震工学研究発表会講演論文集, pp.137-140, 1999.
- 13) Akaike, H.: A new look at the statistical model identification, *IEEE, Trans. on Automatic Control*, AC-19, No.6, pp.716-723, 1974.

(原稿受理2010年7月23日)

A STUDY ON ESTIMATION OF SITE EFFECT OF LOCAL GOVERNMENT OBSERVATION SITES USING AMPLIFICATION FACTORS AND PEAK ACCELERATION RATIO

Yoshiki MORIMOTO, Hayato NISHIKAWA, Toshikazu IKEMOTO and Masakatsu
MIYAJIMA

This paper deals with estimation of a site effect of local government observation sites. We have already proposed the method to evaluate site effect by using *PGA* and *JMA* seismic intensity obtained at local government observation site because it is difficult to obtain waveform records there. This method can be accurately evaluate an averaged amplification factor of site effect in arbitrary range of period from 0.1 to 1second, but not accurately evaluate it between 1 and 2 second. In this study, peak acceleration ratio related to relative amplitude of earthquake spectrum in this period range was considered in evaluation in order to improve the accuracy of evaluation of the site effect in this period range. The correlation between peak acceleration ratios calculated from records observed in earthquakes of about magnitude 7 and the site effect in this period range was estimated. Since both have a good correlation, site effects were evaluated by formula in terms of amplification factors and peak acceleration ratio. As a result, correlation between observed site effect and evaluated one in this period range was improved, and its correlation coefficient were more than 0.9 in almost all period range.