

# クリギング法等を用いた中部・西部日本の サイト增幅特性の簡易評価法に関する研究

長尾 肇<sup>1</sup>・福田 健<sup>2</sup>・伊藤佳洋<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 神戸大学教授 都市安全研究センター（〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1）

E-mail:nagao@people.kobe-u.ac.jp

<sup>2</sup>学生会員 神戸大学大学院工学研究科 市民工学専攻（〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1）

E-mail: 160t129t@stu.kobe-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 株式会社ニュージェック 技術開発グループ（〒531-0074 大阪市北区本庄東2-3-20）

E-mail: itoys@newjec.co.jp

深層地盤構造による增幅特性は一般に一次元構造を仮定した增幅特性と比較して大きな振幅を示す。このため、解析的にサイト增幅特性を精度良く評価することは困難を伴うことが多く、強震記録の解析により評価される。一方で、耐震設計や地震防災の観点からはサイト增幅特性を任意の地点で簡単に評価することが求められる。本研究では、一次元の深層地盤構造を仮定した周波数伝達関数を補正することでサイト增幅特性を安全側に評価する方法について、中部・北陸・中国・四国地方を対象に、クリギング法等の適用を検討した。さらに、周波数伝達関数の精度が悪い場合の改善方法として、常時微動H/Vスペクトルを用いて精度向上を図る方法についても検討した。

**Key Words :** site amplification factor, transfer function, deep subsurface profile, kriging, microtremor

## 1. はじめに

地震動は、震源特性、伝播経路特性、浅部・深部地盤による地震動增幅特性に依存する<sup>1)</sup>。このため、地震動は震源依存かつ地点依存であることを踏まえて設定する必要がある<sup>2)</sup>。設計基準類においても、地点ごとにこれらの点を考慮して設計地震動を求めることが行われつてある<sup>3)</sup>が、数多くの基準類では依然として地盤分類等に応じた数例の代表的なスペクトル等を用いて設計を行うことを標準としている。上記の3特性のうち、浅部・深部地盤による地震動增幅特性(以下、サイト增幅特性)は地点ごとに大きく異なる場合が多く、かつ複雑な深層地盤構造により、1次元の水平成層構造による增幅倍率よりも大きな増幅倍率を示す場合が多い。

このために、任意の地点のサイト增幅特性を正確に評価することは困難を伴う。このことが、多くの設計基準類でサイト增幅特性を的確に反映した設計地震動の採用に至っていない理由の一つであると考えられる。

サイト增幅特性の評価のために、これまでにスペクトルインバージョン<sup>4)</sup>を用いた評価が行われてきた<sup>5)</sup>。スペクトルインバージョンは、大深度のボーリングや大規模な地下探査などを実施することなく、地表での地震観測記録をもとにサイト增幅特性の評価を可能にする優れた手法である。しかし、全国的な地震観測網は整備され

ている現状ではあるものの、強震計の設置間隔は数キロ～数十キロメートル程度離れているため、対象地点の直近で強震計が設置されていない場合にはサイト增幅特性の評価が困難となる。対象地点より離れた地点のサイト增幅特性をもとに、常時微動 H/V スペクトル比を用いて対象地点のサイト增幅特性を評価する試みも見られるが<sup>6,7,8)</sup>、常時微動 H/V スペクトルを用いるだけでは補正精度に問題がある場合があることも考えられるとともに、常時微動 H/V スペクトルのピークが明瞭でない場合には補正が困難であるなどの問題も残されている。

近年、深層地盤情報と表層地盤情報は各方面でデータベース化の努力がなされ、容易に入手できる環境が整いつつある。そこで、深層地盤情報をもとに、より簡易な方法として、地震基盤に至る地盤構造をもとにした1次元の水平成層を仮定した周波数伝達関数(以下、周波数伝達関数)を補正することでサイト增幅特性を評価する方法も近畿地方を対象に提案されている<sup>9)</sup>。この方法は周波数伝達関数の1次ピーク周波数をもとに回帰分析を用いて補正方法を決定するものである(以下、ピーク周波数法と記述)。さらに、この簡易法については、空間的確率現象に対する統計的手法のうち代表的な方法であるクリギング法<sup>10,11)</sup>を用いて対象地点の近傍のサイト增幅特性から対象地点のサイト增幅特性の補正方法を決定する方法について、近畿地方と九州地方の港湾を対

象に検討が行われた<sup>12)</sup>。その結果として、ピーク周波数法よりもクリギング法の方がサイト增幅特性を精度良く推定できる地点が多いことが示されている。本研究では、検討が行われていない中部・北陸、中国・四国地方を対象に、クリギング法の適用性について検討を行うとともに、精度検証のため、ピーク周波数法についても検討を行った。さらに、周波数伝達関数の精度が悪い場合の改善方法として、常時微動 H/V スペクトルを用いて周波数伝達関数を補正することによる精度向上についても検討を行った。

なお本研究では、サイト增幅特性の精度が確認されている 0.2Hz 以上<sup>13)</sup>、工学的に重要な周波数帯として 10Hz 以下の増幅特性を対象として議論する。

## 2. サイト增幅特性の簡易評価法

### (1) サイト增幅特性

サイト增幅特性の算出方法については文献5)等に示しているが、本論での議論のために手法を簡単に紹介する。本研究で対象とする地方については、防災科学技術研究所のK-NET<sup>14)</sup>・KiK-net<sup>15)</sup>および港湾地域強震観測網<sup>16)</sup>の観測記録を対象とした。基準観測点をブロック毎および周波数毎に最もサイト增幅特性の小さい地点とし(ただし軟弱地盤上の観測点を除く)、基準観測点に対する各観測点の増幅特性を評価している。

解析は2段階に分けて行っている。第一段階ではS波を含む40秒間のデータから計算したフーリエスペクトルを対象とし、震源特性の分離を行った。このとき基準観測点でのサイト增幅特性を1とした。第二段階では、震源特性を第一段階で得られたものに固定し、後続位相を含む160秒間のデータから計算したフーリエスペクトルを対象に解析を行い、サイト增幅特性の評価を行った。このように解析を二段階に分けて行ったのは、基準観測点となるような堅固な観測点であっても、40秒のデータから計算したフーリエスペクトルと160秒のデータから計算したフーリエスペクトルには若干の差があり、この差が震源特性の評価に与える影響を避けるためである。分離された震源特性の低周波側のフラットレベルから地震モーメントを評価し、F-net<sup>17)</sup>のCMT解と比較すると、両者は概ね対応するため、得られたサイト增幅特性はほぼ地震基盤から地表に至る増幅特性に対応するものと考えられる。

### (2) サイト增幅特性と1次元増幅特性の比較

本研究で扱う増幅特性は深層地盤を含んだ増幅特性であるため、深部地盤構造が必要となる。深層地盤構造については、地震ハザードステーション(J-SHIS)<sup>18)</sup>により公

開されているデータを用いた。表層地盤データについては、K-NET等において公開されているデータを用いた。表層地盤の情報と深層地盤の情報を統合して1次元の深層地盤データを作成した。表層地盤の地盤情報はPS検層等の実施により一定の精度が保たれていると考えられるが、深層地盤の情報は大規模な物理探査結果等をもとに設定されていると考えられ、全ての強震観測点で十分な精度の情報が設定されているとは必ずしもいえないと考えられる。統合にあたり、表層地盤の最深部の情報と対応する深度の深層地盤情報を照合し、既往の研究による以下の方針<sup>19)</sup>で両者を結合した。

- ①深層地盤データがただ1層のみ登録されている場合は、表層地盤の最下層がさらに層厚30m続いているものと仮定した。
- ②表層地盤最下層のS波速度 ( $V_{ss}$ ) と深層地盤の対応する深さのS波速度 ( $V_{sd}$ ) の関係が  $V_{sd} > 3V_{ss}$  の場合は、表層地盤の最下層がさらに層厚30m続いているものと仮定した。
- ③上記に該当しない場合は、表層地盤最下層と該当する深さの深層地盤土層の層厚と同じとした。

以上の方針は表層地盤の情報と深層地盤の情報が食い違うことが多いことを踏まえて、表層地盤の情報を優先的取り扱った際の一つの考え方であり、十分な根拠に基づいたものではない。この方法の妥当性などは今後慎重に精査する必要があると考えられる。

このようにして設定された地盤構造をもとに1次元の増幅特性を評価するが、減衰定数については、参考文献19)等を参考に  $V_s < 500\text{m/s}$  の場合は 1/70, 500m/s 以上の場合は 0.005 とした。

図-1 に EHM011 を対象に、サイト增幅特性と周波数伝達関数を比較する。両者の不整合な点として、①低周波領域 (0.2-0.3Hz) の振幅、②最大振幅、③包絡形状の 3 点の違いを挙げることができる<sup>9)</sup>。なお、①の周波数帯域は、サイト增幅特性が 0.2Hz 以上の領域で精度を確保している<sup>13)</sup>ことを考慮して設定している。

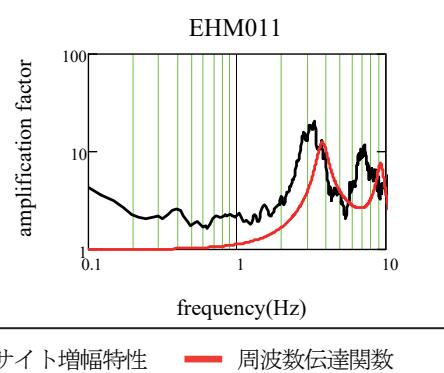


図-1 サイト增幅特性と周波数伝達関数の比較

### (3) 簡易評価法による補正方法

上記の3点の問題を踏まえ、簡易評価法においては、以下の手順により增幅特性を評価する<sup>9)</sup>。

①周波数伝達関数のピーク周波数をバンド幅（ただし上限は4Hz）とするParzenウインドゥで1次元增幅特性を平滑化する。

②平滑化した增幅特性に以下の係数を乗じる。

・0.25Hz以下の領域では、0.25Hzで低周波倍率推定値になるように係数C<sub>1</sub>を乗じる。

・XHz以上では、平滑化した周波数伝達関数のピーク値が推定ピーク値になるような係数C<sub>2</sub>を乗じる。

・0.25-XHzの区間はC<sub>1</sub>とC<sub>2</sub>を補間した係数を乗じる。Xは1.25と周波数伝達関数のピーク周波数のうち小さい方の値とする。

簡易評価法においては、低周波領域の倍率とピーク倍率を何らかの方法で推定することで任意の地点の增幅特性を評価する。ピーク周波数法は、これら指標を周波数伝達関数のピーク周波数との統計分析により推定するものであり、クリギング法はこれら指標をクリギング法を用いて推定する。

## 3. クリギング法による簡易評価

### (1) クリギング法

クリギング法<sup>10,11)</sup>は、地球統計学と呼ばれる手法の代表的な方法であり、対象地点s<sub>0</sub>における推定値をその周辺の地点s<sub>i</sub>におけるデータの重みつき平均として評価する。

$$z^*(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(s_i) \quad (1)$$

ここに、z<sup>\*</sup>(s<sub>0</sub>) : z(s<sub>0</sub>)の不偏推定量、λ<sub>i</sub> : 重みであり、式(2)に従う。

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (2)$$

z<sup>\*</sup>(s<sub>0</sub>)は、その分散値が観測値の他のどの線形結合よりも小さくなるように得られると仮定する。これより、

$$E[z(s_0) - z^*(s_0)] = 0 \quad (3)$$

$$Var[z(s_0) - z^*(s_0)] = \min \quad (4)$$

ここに、E及びVarはそれぞれ期待値および分散である。分散を最小化するためにラグランジュ未定乗数法を用いることで重みλ<sub>i</sub>が求められる。

### (2) クリギング法による簡易評価

クリギング法においては、空間分布特性をセミバリオグラムを用いて評価する。セミバリオグラムの評価にあたり、統計解析の精度を高める観点から検討対象地方のK-NET, KiK-net, 港湾地域強震観測網のサイト增幅特性評価が行われている全地点<sup>13)</sup>を対象に統計解析を行った。

クリギング法で対象地点の低周波倍率、最大振幅比を評価するにあたり、強震観測地点は平面上で一定の間隔で設置されているわけではない。このためまず、平面上で10kmグリッド上で低周波倍率、最大振幅比を推定し、対象地点近傍のグリッドにおける推定値をもとにして対象地点の値を推定するという手順を取る。なお、クリギング法については、近傍に他の強震観測点が存在しない離島では適用が困難である<sup>12)</sup>が、本研究で対象とした中国・四国および中部・北陸地方においてはそのような地点は存在しなかった。

## 4. ピーク周波数法による簡易評価

図-2に中部・北陸地方、図-3に中国・四国地方における低周波倍率Alfと1次元增幅特性のピークの周波数f<sub>p</sub>の関係を示す。f<sub>p</sub>は0.1-10Hzの領域で增幅倍率が最も高い周波数としている。■のマークは区間平均であり、対数軸上で等間隔となる区間で平均としている。ここでは鉛直軸を対象に区間平均を算出し、区間平均を対象に回帰式（図中の実線）を求めた。

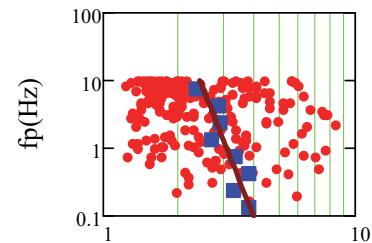


図-2 低周波倍率とピークの周波数の関係  
(中部・北陸地方, ■は区間平均値)

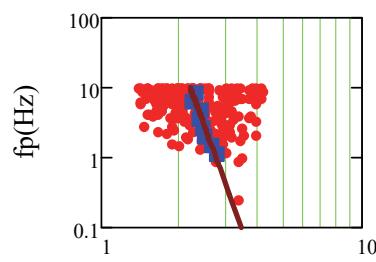


図-3 低周波倍率とピークの周波数の関係  
(中国・四国地方, ■は区間平均値)

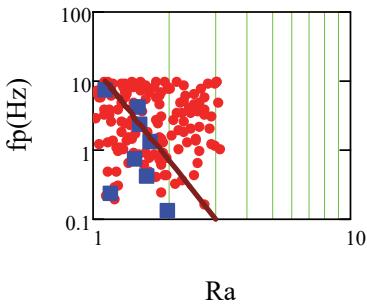


図4 最大振幅比とピークの周波数の関係  
(中部・北陸地方, ■は区間平均値)

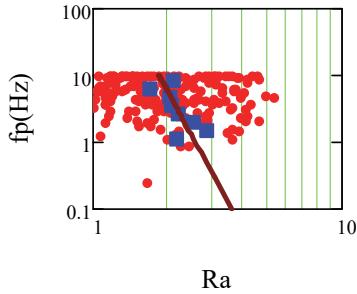


図5 最大振幅比とピークの周波数の関係  
(中国・四国地方, ■は区間平均値)

これらの結果より求められた回帰式は中部・北陸地方について式(5), 中国・四国地方について式(6)のとおりである。

$$Alf = 10^{0.49} f_p^{-0.11} \quad (5)$$

$$Alf = 10^{0.44} f_p^{-0.21} \quad (6)$$

ピークの倍率については、対象とする0.2-10Hzの領域における1次元增幅特性の最大倍率に対するサイト增幅特性の最大倍率比を最大振幅比 $R_a$ と定義し、1次元增幅特性のピークの周波数 $f_p$ の関係より検討する。図4に中部・北陸地方、図5に中国・四国地方について両者の関係を示す。最大振幅比が極端な場合の影響を排除する観点から、最大振幅比の5%比超過値及び95%超過値のデータは排除して区間平均（■のマーク）を算出し、回帰式（図中の実線）を求めた。中部・北陸地方については、ピーク周波数が1Hz未満の領域ではデータ数が少なく、区間平均値の精度に問題がある可能性を考慮し、1Hz以上の領域の区間平均値を対象に回帰を行った。

回帰式としては、中部・北陸地方について式(7)、中国・四国地方について式(8)が得られた。

$$R_a = 10^{0.26} f_p^{-0.21} \quad (7)$$

$$R_a = 10^{0.41} f_p^{-0.15} \quad (8)$$

## 5. 両手法による增幅特性の推定精度の比較

クリギング法、ピーク周波数法による增幅特性の評価結果について、中国・四国地方で30地点、中部・北陸地方で24地点を例として図6～図8に示す。

堆積層の非常に薄い地点（例えば、図7のTTR003、図8のGIF026等）では周波数伝達関数により概ねサイト增幅特性を説明できるのに対して、それ以外のほとんどの地点では周波数伝達関数をサイト增幅特性とみなすと過小評価となる。

一方簡易評価法では、例えば図6のEHM011、TKSH02、図7のOKYH04、SMN002、TTR003、図8のTYM001等の地点においては增幅特性をかなり過大評価しているほか、図8のNGN015においては周波数伝達関数よりも增幅特性を大きく評価しているものの、経験的サイト增幅特性と比較すると過小評価である。NGN015の誤差については後に考察する。しかしながら、図7のKGWH02、図8のHRS07、OKY012、AICH14、図8のISKH04のように、周波数伝達関数と比較すると簡易評価法を用いることでサイト增幅特性の評価精度が大きく向上する地点がある。なお図8のISKH04については、3Hz以上の帯域で過大評価となるが、土木構造物の耐震性評価において特に重要な周波数帯については精度が確保できているものと考えられる。

この他の簡易評価法に誤差が大きいケースの特徴として、周波数伝達関数のピーク周波数とサイト增幅特性のピーク周波数にズレがある場合があることが指摘できる。例えば図6のKOC015、KOMATSUJIMA-G、HRS019等の地点がこれに該当し、これは深層地盤構造の誤差によるところが大きいと考えられる。これら地点の精度向上方策については次章で検討する。

次にクリギング法とピーク周波数法の結果について検討する。全体的な傾向としては、2つの手法による增幅特性は大きな差が認められない地点が多い。ただし幾つかの地点については推定結果に有意な差が認められる。2つの手法の違いは、低周波倍率とピーク倍率の違いだけであるが、傾向としてどちらかの手法が必ず大きな倍率となるというわけではない。2つの手法の差が大きくなる地点として、例えば図6のHRS06、図7のSMN002、TTR003、AIC001、図8のNGN015、ISK001等が挙げられるが、前述のように何れの手法もサイト增幅特性を過小評価しているNGN015以外の地点ではピーク周波数法よりもクリギング法の方がサイト增幅特性を精度良く推定できているといえる。特に図7のAIC001では、クリギング法ではサイト增幅特性を精度良く推定できているのに対して、ピーク周波数法ではかなり過大評価となることが分かる。

次に、周波数伝達関数のピーク周波数には大きな誤差

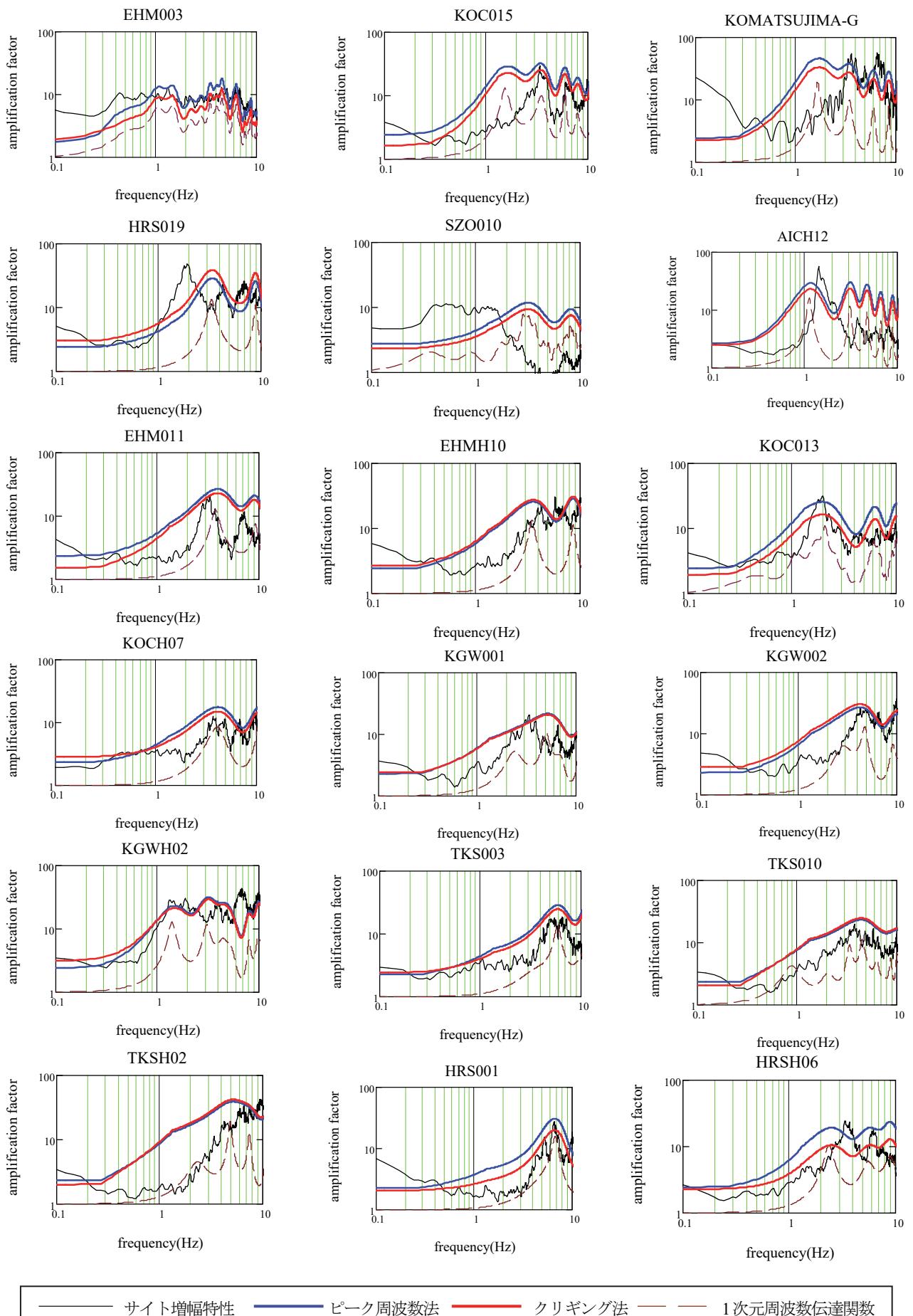


図-6 サイト增幅特性推定結果

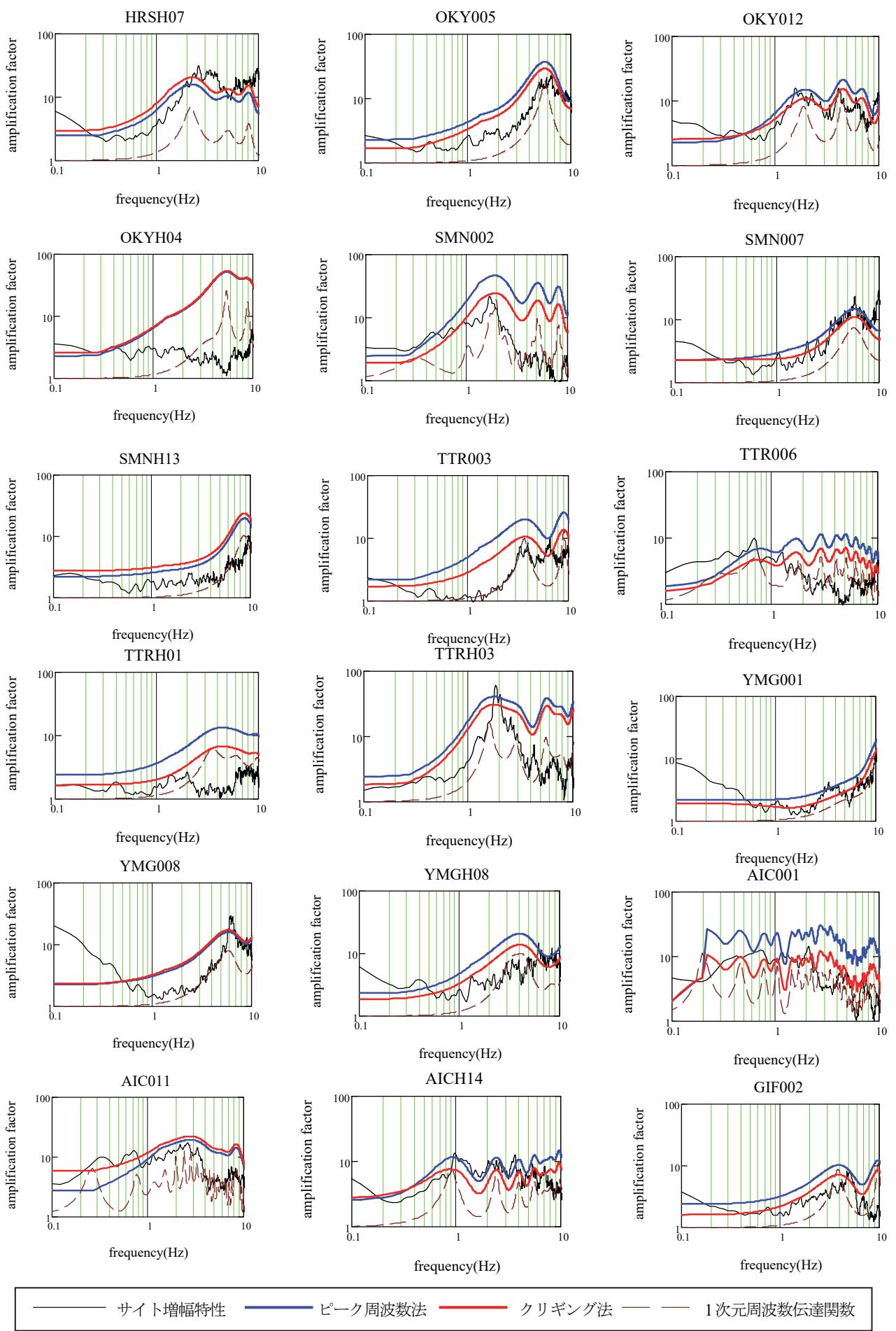


図-7 サイト增幅特性推定結果

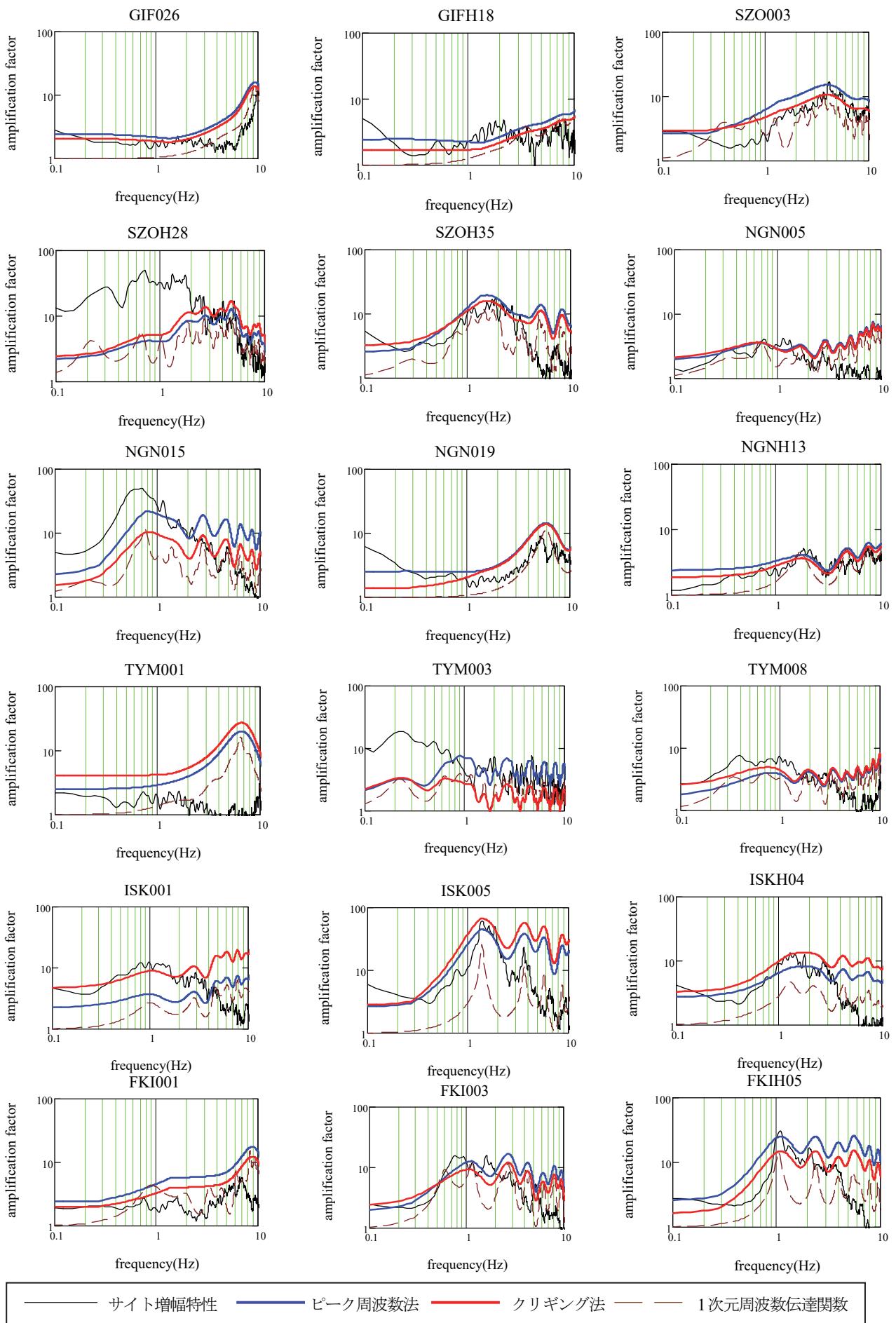


図-8 サイト增幅特性推定結果

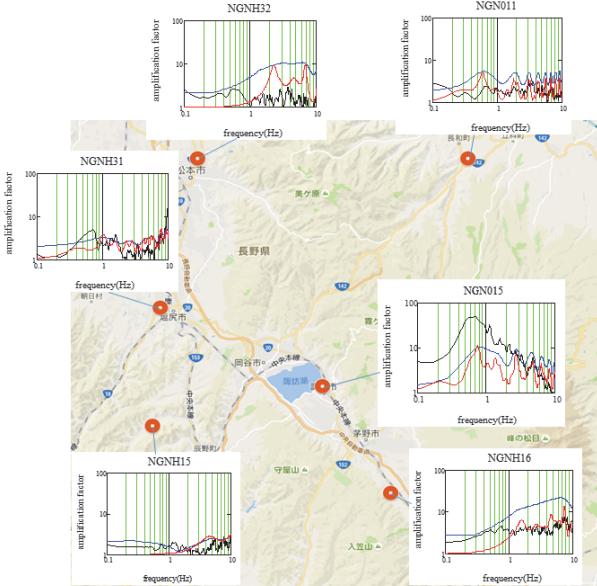


図-9 NGN015周辺地点 (Google マップ<sup>20)</sup>に加筆)

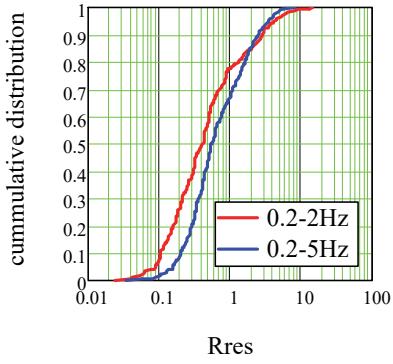


図-10 残差二乗比の累積分布  
(クリギング法, 中部・北陸地方)

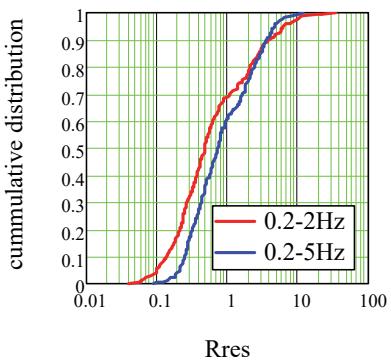


図-11 残差二乗比の累積分布  
(ピーカ周波数法, 中部・北陸地方)

は含まれていないと考えられるものの、特にクリギング法ではサイト增幅特性を過小評価したNGN015について、周辺地点を含めたサイト增幅特性を図-9に示す。図より分かるように、NGN015はサイト增幅特性の倍率が比較的低い地点に囲まれている。クリギング法においては、対象地点の周辺の地点の情報から対象地点の倍率を推定するため、このように增幅特性が周辺地点から急激に変化している地点においては推定精度が大きく低下するといえる。

次に、既往の研究<sup>9)</sup>と同様に、構造物の耐震性などの議論で特に重要な周波数帯における簡易評価法によるサイト增幅特性の推定精度を1次元增幅特性と比較する。周波数帯としては0.2-2Hzと0.2-5Hzの2つを設定する。この2区間について、1次元增幅特性と簡易評価法による增幅倍率とサイト增幅特性との残差二乗を算出した。1次元增幅特性の残差二乗に対する簡易評価法の残差二乗を残差二乗比(Rres)と定義し、残差二乗比の累積分布を中部・北陸地方を対象に図-10および図-11に示す。横軸1未満が簡易評価法の方が1次元增幅特性と比較して精度が良いことを示す。

0.2-2Hzの範囲ではクリギング法では80%程度の地点で、ピーカ周波数法では70%程度の地点で周波数伝達関数よりもサイト增幅特性の推定精度が良い。図示しないが中国・四国地方も同様の傾向で、前者が80%，後者が70%の地点で簡易評価法が推定精度が良く、何れもクリギング法の方がピーカ周波数法と比較して精度が良い地点が多い結果となった。これは近畿・九州地方の港湾を対象とした検討結果<sup>12)</sup>と同様の結果であった。なお近畿地方のピーカ周波数法による推定<sup>9)</sup>では精度が良い地点は80%程度であったため、本研究の対象地点ではピーカ周波数法による推定精度は近畿地方よりも若干劣る結果となった。

また、周波数帯として0.2-5Hzまでの範囲とした場合は、クリギング法およびピーカ周波数法では精度の良い地点の割合はそれぞれ70%，60%に減少する。図示していない中国・四国地方も同じ傾向であった。近畿地方のピーカ周波数法による推定<sup>9)</sup>では精度が良い地点は65%程度であったため、本研究の対象地点ではこの周波数帯においてもピーカ周波数法による推定精度は近畿地方よりも若干劣る結果となった。

## 6. 常時微動 H/V スペクトルを用いた評価精度向上の試み

前述のように、周波数伝達関数の評価に用いる深層地盤構造に誤差が多く含まれている場合、いずれの手法によってもサイト增幅特性の推定精度が低くなる。しかしながら、深層地盤構造を全ての地点で精度良く評価することは現時点では困難である。

一方、適用の容易な常時微動観測により得られる常時微動 H/V スペクトルから評価されるピーカ周波数は、

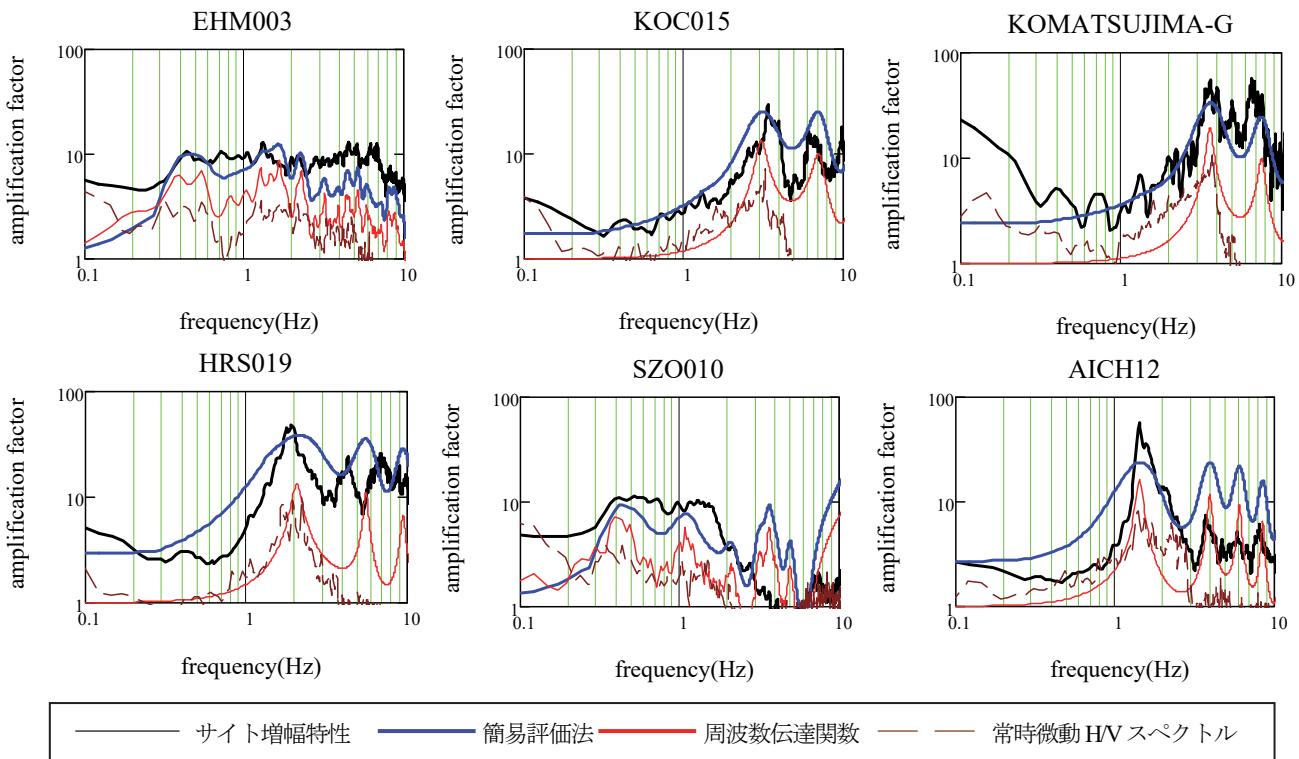


図-12 常時微動H/Vスペクトルを用いた補正結果

サイト增幅特性のピーク周波数と良く一致することが指摘されている<sup>21)</sup>。その際、常時微動 H/V スペクトルのピーク周波数に参照する増幅特性のピーク周波数を一致させることでサイト增幅特性の推定精度を高める方法が提案されている<sup>21)</sup>ことから、本研究では常時微動観測地点において周波数伝達関数のピーク周波数が常時微動 H/V スペクトルのピーク周波数に一致するように対数軸上で平行移動させたうえでこれまでの方法により簡易推定を行った。検討は 2 つの手法のうち精度が高い地点の多いクリギング法とした。対象地点は図-6 の上 2 列に示した 6 地点である。補正結果を図-12 に示す。図-6 との比較により、ピーク周波数が一致することでサイト增幅特性の推定精度が高まる地点が多いことが分かる。上述の残差二乗について、周波数伝達関数補正前と補正後の比較を図-13 に示す。特に KOC015, KOMATSUJIMA-G, SZO010 の 3 地点はピーク周波数を補正することで推定精度が大きく向上している。その他の地点についても推定精度は向上しているが、HRS019 のみは推定精度が変化しないかまたは若干精度が悪くなった。これは、ピーク周波数は精度良く推定できているものの、簡易評価法による増幅特性の包絡形状が経験的サイト增幅特性の包絡形状と比較してより裾の広いカーブを有しているためであり、スペクトルの平滑化に用いたバンド幅の影響であると考えられる。このバンド幅の適正化については今後更に検討を進める必要がある。

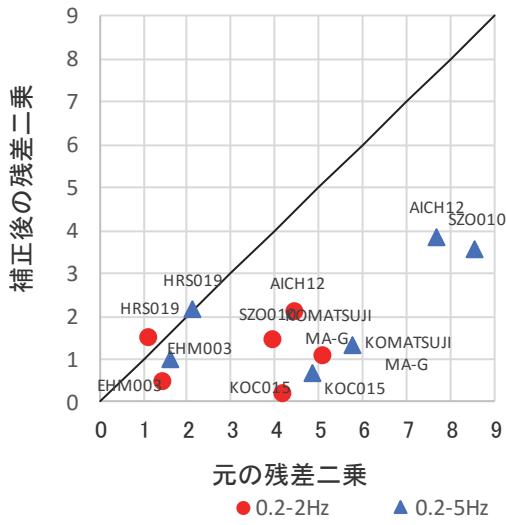


図-13 推定精度の変化

## 7.まとめ

本研究では、中部・北陸、中国・四国地方を対象に、1次元の深層地盤構造を仮定した周波数伝達関数を補正することでサイト增幅特性を安全側に評価する方法について、低周波倍率とピーク倍率をクリギング法などによって推定する手法の適用を検討した。本研究により得ら

れた主要な結論は以下の通りである。

- ①1次元の深層地盤構造を仮定した周波数伝達関数をもとに、低周波領域の振幅、最大振幅を近隣の地点の値をもとにクリギング法で推定する手法を適用した。これをピーク周波数との関係で補正するピーク周波数法との精度比較を行った結果、検討対象とした中部・北陸、中国・四国地方の何れについても、クリギング法が精度良くサイト增幅特性を推定できる地点がピーク周波数法よりも多かった。ただし、增幅倍率が近隣の強震観測点と比較して大きく変化する地点ではクリギング法では推定精度が悪く、更に検討が必要と考えられる。
- ②深層地盤情報に誤差が含まれている地点について、常時微動H/Vスペクトルのピーク周波数より周波数伝達関数を補正したうえで簡易評価法を適用することで、多くの地点でサイト增幅特性の推定精度が向上する。

謝辞：本研究は、JSPS科研費26420458の助成を受けたものである。

## 参考文献

- 1) 土木学会地震工学委員会耐震基準小委員会：土木構造物の耐震設計ガイドライン（案）－耐震基準作成のための手引き－, 2001.
- 2) 土木学会：2016年制定 土木構造物共通示方書 性能・作用編, 2016.
- 3) 国土交通省港湾局監修、(社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2007.
- 4) 岩田知孝、入倉孝次郎：観測された地震波から、震源特性・伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み、地震2, Vol.39, No.4, pp.579-593, 1986.
- 5) 野津 厚、長尾 耕、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增幅特性とこれを用いた強震動評価事例、日本地震工学会論文集、第7巻、第2号、pp.215-234, 2007.
- 6) 神山 真、松川忠司：常時微動 H/V スペクトルによる地震動増幅スペクトルの一推定法、土木学会第 61 回年次学術講演会, I-268, pp.535-536, 2006.
- 7) 原田隆典、王 宏沢、斉藤将司：常時微動 H/V スペクトル比による地震動推定法とその検証例、地震工学論文集, pp.123-131, 2007.
- 8) 長尾 耕、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增幅特性の経験的補正方法に関する研究、構造工学論文集 Vol.56A, CD-ROM, 2010.
- 9) 長尾 耕、加納嵩士、伊藤佳洋、山田雅行：深層地盤構造を用いた近畿地方のサイト增幅特性の簡易評価法に関する研究、土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 72, No. 4, p.I\_188-I\_198, 2016.
- 10) 間瀬 茂、武田 順：空間データモデリング－空間統計学の応用、共立出版, 2001.
- 11) 張 長平：地理情報システムを用いた空間データ分析、古今書院, 2009.
- 12) 長尾 耕、福田 健、伊藤佳洋、山田雅行：近畿地方及び九州地方の港湾におけるサイト增幅特性の簡易評価、第 41 回海洋開発シンポジウム, 2016.
- 13) 野津 厚、長尾 耕：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增幅特性、港湾空港技術研究所資料、No.1112, 2005.
- 14) Kinoshita, S.: Kyoshin Net (K-net), Seim. Res. Lett., Vol. 69, pp.309-332, 1998.
- 15) Aoi, S., K. Obara, S. Hori, K. Kasahara, and Y. Okada: New strong-motion observation network KiK-net, Eos Trans. Am. Geophys. Union, 81, 329.
- 16) 野津厚、長坂陽介：港湾地域強震観測年報（2013），港湾空港技術研究所資料 No.1302, 2014.
- 17) Fukuyama, E., M. Ishida, S. Hori, S. Sekiguchi and S. Watada: Broadband seismic observation conducted under the FREESIA Project, Rep. Natl. Res. Inst. Earth Sci. Disas. Prev. 57, 23-31, 1996.
- 18) (独)防災科学技術研究所：地震ハザードステーション J-SHIS, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>. (2016年8月31日閲覧).
- 19) 東南海、南海地震等に関する専門調査会（第 16 回），[http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chubou/senmon/tounankai\\_nankaijishin/16/index.html](http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chubou/senmon/tounankai_nankaijishin/16/index.html). (2016年8月31日閲覧).
- 20) <https://www.google.co.jp/maps/>. (2016年8月31日閲覧) .
- 21) 長尾 耕、山田雅行、野津 厚：堆積層が薄い地点におけるサイト增幅特性の簡易評価法の検討、土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) [特]地震工学論文集, Vol.66, No.1, pp.1-11, 2010.

## A SIMPLE ESTIMATION METHOD OF SITE AMPLIFICATION FACTOR AT CENRAL AND WESTERN DISTRICT OF JAPAN BY USE OF KRIGIN METHOD

Takashi NAGAO, Ken FUKUTA and Yoshihiro ITO

It is difficult to evaluate site amplification factor analytically because site amplification factor is affected by several factors such as three dimensional deep subsurface profile. Site amplification factors have been evaluated by spectral inversion using strong motion record in the previous study. Therfore, site amplification factor has not been evaluated precisely at sites without strong motion observation.

This study aims at proposing a simple estimation method of site amplification factors by modifying the amplification factors assuming horizontally layered deep subsurface profile at the site of interst. Amplification factors at low frequencies and peak amplification factors were estimated both by the kriging method and regression equations in terms of peak frequencies of the amplification factors. Applicability of the proposed method was discussed.