

# 応答スペクトルの距離減衰式に基づく 地点増幅特性と地形・表層地質分類との関係

山内 洋志<sup>1</sup>・山崎 文雄<sup>2</sup>・若松 加寿江<sup>3</sup>・Khosrow T. SHABESTARI<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 修(工) 国土交通省河川局河川計画課 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3)

<sup>2</sup>正会員 工博 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

<sup>3</sup>正会員 博(工) 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

<sup>4</sup>正会員 博(工) 防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター(〒673-0433 三木市三木山2465-1)

地震動分布を予測するためには、震源、伝播経路、および表層地盤の影響を考慮する必要がある。とくに広域の地震動分布を簡便に推定するには、国土数値情報の土地分類データ等を利用して、日本全国や特定地域の表層地盤の増幅度を推定する研究が行われている。しかしながら、これらの研究は、最大加速度や最大速度などの指標についての増幅度を扱ったものであり、地震動のスペクトル特性を考慮に入れたものではない。そこで本研究では、全国の気象庁77観測点における応答スペクトルの距離減衰式における地点係数と地形・表層地質条件との関係を検討することにより、国土数値情報から全国任意地点の応答スペクトルの増幅度を簡便に推定する手法を提案した。

**Key Words:** station coefficient, JMA-87-type accelerometer, geomorphological land classification, Digital National Land Information, response spectrum

## 1. はじめに

地震による地表面の地震動分布の推定は、耐震設計や防災計画などの基本条件となるばかりでなく、地震発生後の被害推定や緊急対応などにおいても重要である。とくに、地震被害想定<sup>1,2)</sup>や早期被害推定システム<sup>3,4)</sup>などへの利用を考えると、広域の地震動分布を一般に入手可能なデータに基づいて簡便に推定する手法が望まれる。

地震動の大きさは、マグニチュードで代表される震源特性、断層面からの距離で代表される伝播経路、それに増幅率で代表される表層地盤の影響などで支配される。地震動分布を簡便に推定する方法として、これら3つの要因を簡単な関数型で表した距離減衰式があり、地震記録の統計解析によりさまざまなモデルが提案され、地震被害想定<sup>5)</sup>や地震危険度解析などに多用されている。これらの多くは、最大加速度<sup>6,8)</sup>、最大速度<sup>7,8)</sup>、計測震度<sup>9)</sup>などの地震動強度指標についてのものであるが、応答スペクトルについての距離減衰式<sup>10-13)</sup>も幾つか提案されている。

Molas and Yamazaki<sup>7,13)</sup>および Shabestari and Yamazaki<sup>9)</sup>は、気象庁87型強震計による観測記録を用いて、これらの地震動強度指標や応答スペクトルについての距離減衰式を構築しており、本研究では、これら距離減衰式に

おける観測地点の相対的な揺れやすさを表す地点係数を地盤増幅特性データとして用いる。

地盤増幅特性を簡易に推定する方法としては、日本全国を1kmメッシュでカバーしている国土数値情報<sup>14)</sup>に含まれる地形・地質学的情報を用いる研究が最近幾つか行われている。

松岡・翠川<sup>15-17)</sup>は、関東地方のデータを用いて、国土数値情報から平均S波速度を介して最大速度の地盤増幅度を推定する手法を提案した。西阪・福和ら<sup>18,19)</sup>は、国土数値情報の標高・地形・表層地質を説明変数として、名古屋・東海地域の地盤応答解析による最大加速度と最大速度について回帰分析を行い、増幅度を求める予測式を提案した。大西ら<sup>20)</sup>は、気象庁87型強震計データに基づく距離減衰式における地点係数と土地分類基本調査<sup>21,22)</sup>等に基づく土地分類との相関関係を検討し、国土数値情報の地形・表層地質データから、最大加速度、最大速度、計測震度についての地盤増幅度を提案した。これらいずれの方法によっても、日本全土の地盤増幅度を1kmメッシュ単位で簡易に推定することが可能である。

以上の研究は、最大加速度、最大速度などの強度指標についての地盤増幅度を扱ったものであり、地震動のスペクトル特性を考慮に入れたものではない。構造物の地震応答は地震動のスペクトル特性に影響されるため、広

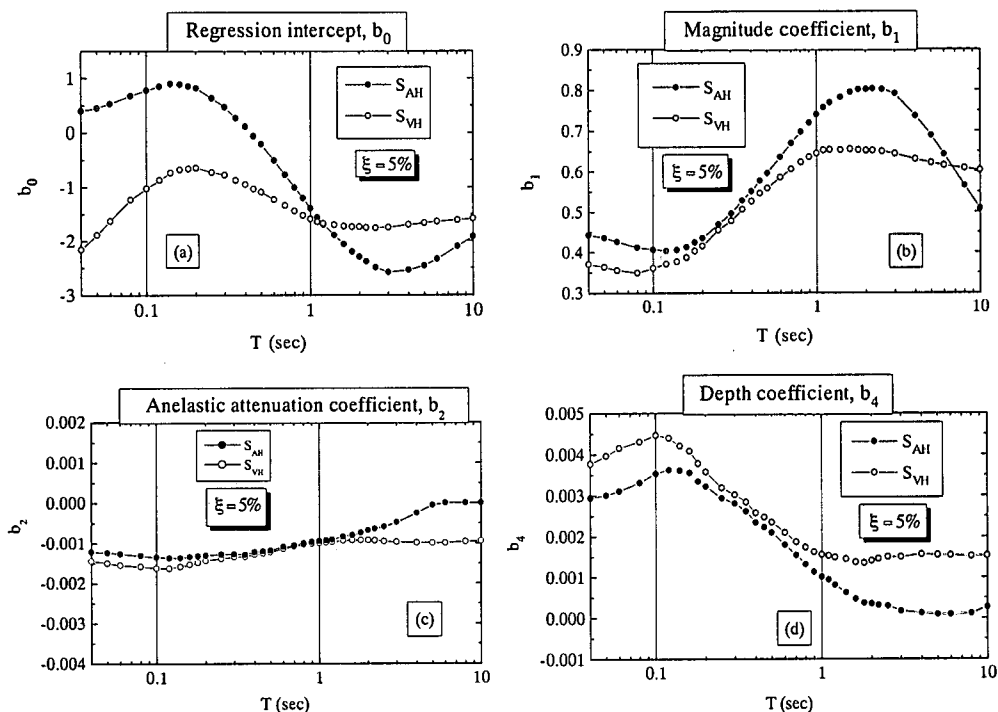


図-1 加速度スペクトルおよび速度応答スペクトルの距離減衰式の回帰係数<sup>29)</sup> (減衰定数5%)

域の応答スペクトル分布を推定することは、構造物の耐震設計や地震被害推定において極めて重要である。また、最新の地震計ネットワークでは、地震発生後、即座に応答スペクトルを収集するものもある<sup>4)</sup>。

このような背景により、本研究では、日本全国に適用できる周期ごとの地盤増幅度の簡便な推定方法の提案を目的として、大西ら<sup>20)</sup>の研究を発展させ、応答スペクトルの距離減衰式における地点係数と地形・地質分類との関係を検討することにより、国土数値情報を利用した応答スペクトルの地盤増幅度の推定について検討を行う。この研究成果を用いることにより、ある地震による基盤面における応答スペクトルが与えられる場合、もしくは地表面での応答スペクトル観測値を空間補間することによって、日本全国の地表面での応答スペクトルの面的な分布を、簡易に推定・予測することが可能となることが期待される。

## 2. 応答スペクトルの距離減衰式

本研究で用いた地震波形記録はMolas and Yamazaki<sup>7)</sup>および安中ら<sup>12)</sup>によって整理されたものであり、気象庁の全国77箇所<sup>1)</sup>の87型地震計で1988年8月1日から1996年3月31日までに観測された1,020の地震による3,990組の記録

である。記録の中には、1993年釧路沖地震、1993年北海道南西沖地震、1994年北海道東方沖地震、1994年三陸はるか沖地震、1995年兵庫県南部地震など、最近の被害地震の記録が含まれている。これらの地震記録は、マグニチュード4.0以上の地震によるもので、水平2成分がともに1.0Gal以上のものを選択している。

これらの波形データを全て用いて、減衰比5%の絶対加速度応答スペクトルおよび相対速度応答スペクトルを計算した。水平成分の応答スペクトルは、各地震波形において水平2成分の応答スペクトルを計算し、その大きい方を用いた<sup>23)</sup>。

回帰分析には、以下の関数型を用いた。

$$\log_{10} y(T) = b_0(T) + b_1(T) M + b_2(T) r - \log_{10} r + b_4(T) h + c_i(T) \quad (1)$$

ここで  $y$  は加速度応答スペクトルまたは速度応答スペクトル、 $M$  は気象庁マグニチュード、 $r$  は断層面への最短距離 (km)、 $h$  は震源深さ (km)、 $b_0, b_1, b_2, b_4$  は回帰分析により求める係数、 $c_i$  は地震観測地点  $i$  における地点係数である。これら回帰係数がすべて周期  $T$  の関数となる点だが、最大速度などの強度指標値の距離減衰式との違いである。回帰分析の方法等は文献<sup>7)</sup>を参照されたい。

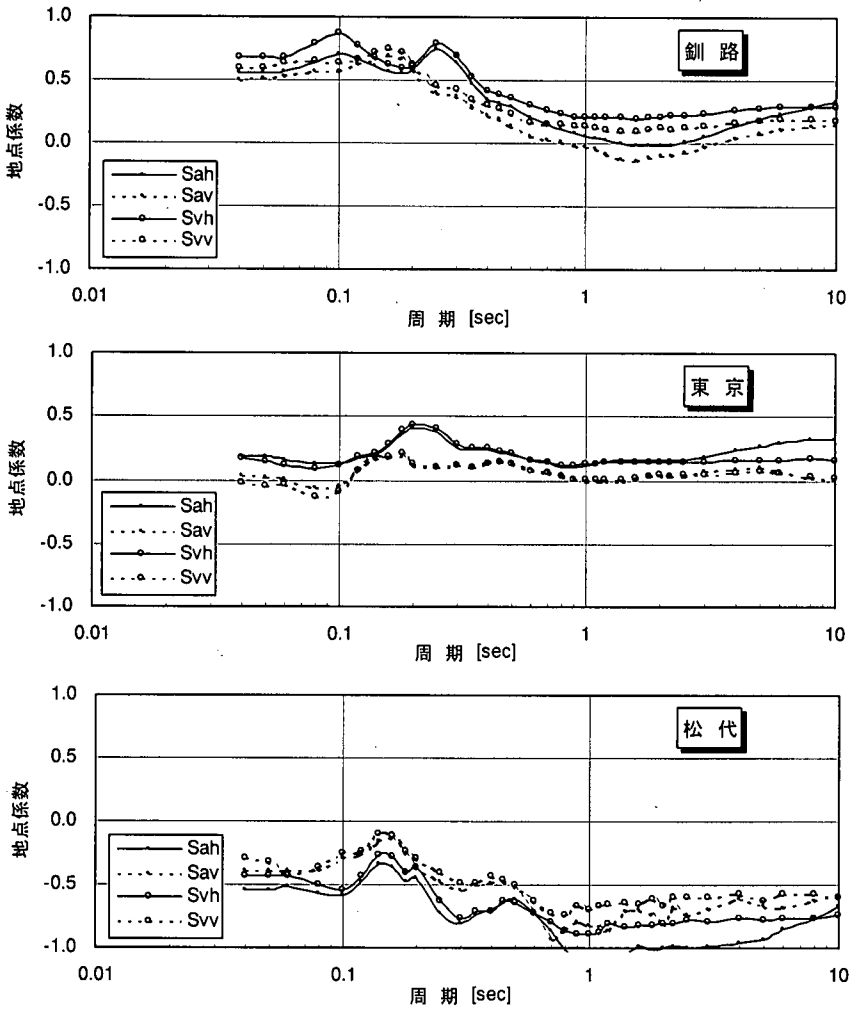


図-2 加速度応答スペクトルおよび速度応答スペクトルの距離減衰式における地点係数の例

地点係数は、距離減衰式の補正項として導入した地点ごとの揺れやすさを表す係数で、その観測点における地盤条件、地形効果、地震計の設置条件などの影響が重なったものと考えられている<sup>7),13),24)</sup>。全観測点の地点係数の平均値は0であり、地点係数が正の地点は平均より揺れやすいことを、また負の地点は揺れにくいことを表している。大西ら<sup>20)</sup>の研究では、最大速度などの強度指標の地点係数と地形・表層地盤分類の関係について検討したが、本論文では、応答スペクトルの地点係数について同様の検討<sup>20)</sup>を行う。応答スペクトルの地点係数は、観測地点における、各周期の1自由度系の相対的な揺れやすさを表すものであり、地点ごとにそれぞれ固有の振幅形状を示す。

このような地震観測地点によって、固有の増幅特性を有することに関する研究はかなり以前より行われている。例えば小林・長橋<sup>26)</sup>は、主として港湾に設置された

SMAC型地震計による強震記録を用いて、地点固有のスペクトル増幅特性があることを指摘している。この結果を利用して、翠川・小林<sup>27)</sup>は、地震基盤における入射波スペクトルのモデル化を行っている。また、最近においても、幾つもの研究<sup>13), 28), 29)</sup>が見られる。しかし、このような地点スペクトル増幅特性を広域の地盤データベースと比較し、全国的面的なスペクトル分布推定に結びつけた研究は見あたらない。

回帰結果の水平成分に対する加速度応答スペクトルおよび速度応答スペクトルの回帰係数と図-1に示す。

また、釧路、東京、松代の気象庁観測点における加速度および速度応答スペクトルの地点係数を図-2に示す。図中、 $S_a$ 、 $S_v$ は加速度応答スペクトル、速度応答スペクトルをそれぞれ示し、 $h$ は水平成分を、 $v$ は垂直成分を意味する。

Molas and Yamazaki<sup>13)</sup>は、加速度応答スペクトルと速度

表-1 本研究で比較した地盤条件の分類方法

地形・表層地質 <sup>20)</sup>	地形	表層地質	地質年代	地盤種別 <sup>33)</sup>
埋立地	山地	岩		
砂州・砂丘	丘陵地	礫		
三角州性低地(泥・粘性土)	台地/段丘	砂		
三角州性低地(砂まじり)	扇状地性低地	泥	古生代	第1種
扇状地性低地	自然堤防	それらの互層	中生代	第2種
火山灰台地	砂州/砂丘	火山灰	古/新第三紀	第3種
砂礫台地	三角州性低地	溶岩等火山碎屑物	洪積世	第4種
岩石台地	氾濫原/谷底平野		沖積世	
丘陵地	埋立地			
火山山麓地				
山地				

応答スペクトルのそれぞれについて地点係数を求め、それらの振幅形状がよく似ていることを示した。彼らの用いた1988年8月1日から1993年12月31日までの2,166組の地震記録に、1996年3月31日までの1,824組の記録を加えた本研究においても、図-2に示したように、両者の形状は似ていることがわかる。加速度応答スペクトルと速度応答スペクトルは、擬似加速度応答スペクトル<sup>30)</sup>を介して関係づけることができる。地点係数(スペクトル)は、地点間の相対的な揺れの大きさを表すもので、加速度応答スペクトルと速度応答スペクトルの近似関係はそのまま保存される。したがって、図-2において、加速度応答と速度応答の地点係数スペクトルが近似するのは当然のことといえる。以上のことより、本研究では、速度応答スペクトル(水平成分)の地点係数について検討を行うことにする。

地点係数スペクトルの振幅は、その周期の1自由度系の、平均的な地点に対する相対的な揺れやすさであり、伝達関数のような周期そのものに対する変化に意味があるものではない。しかし、その地点において、ある周期の1自由度系が、他の地点の同じ周期の1自由度系より揺れやすいということは、その周期がその地点の卓越周期となる可能性は大きい。したがって、地点係数スペクトルのピーク周期によって、地盤分類を行うことも可能と思われる。

このように、水平成分に対する地点係数スペクトルのピークは、S波伝達関数の卓越周期にほぼ対応すると考えられよう。また、強震動において鉛直入射の実体波(S波とP波)が卓越するとした場合、波動論でS波(水平動)とP波(上下動)が同じ方程式で表されることを考え合わせると、鉛直成分に対する地点係数スペクトルのピークは、P波伝達関数の卓越周期にほぼ対応すると仮定できよう。図-2の水平および鉛直成分の速度応答スペクトルの地点係数(スペクトル)のピーク位置の関係は、この理論に対応しているといえる。この地点係数スペクトルの

意味付けについては、以前の論文<sup>20,31)</sup>で詳しく論じているので参照されたい。なお、これ以降の部分では、水平方向の応答スペクトルに限定して議論を行う。

また、加速度応答スペクトルは、短周期域で地動最大加速度に漸近することより、加速度応答スペクトルの地点係数も短周期域で最大加速度の地点係数に近似する。同様に、速度応答スペクトルは長周期域で地動最大速度に漸近することにより、その長周期域での地点係数は地動最大速度の地点係数に近似する。これまでの研究<sup>7,20)</sup>によれば、気象庁87型強震計の観測地点のうち、最大加速度の地点係数が最大(最も揺れやすい)のは釧路気象台であり、最小なのは松代観測所である。また、最大速度の地点係数が最大となる地点は酒田、最小となるのは松代である。本研究でも、加速度応答スペクトルの地点係数の短周期域、および速度応答スペクトルの地点係数の長周期域で、上記と一致する結果が得られた。

### 3. 地震観測点の地盤条件

応答スペクトルの地点係数と地盤条件との関係を明らかにするためには、77観測点の地盤条件を調べる必要がある。しかしながら、全国47都道府県に広く分布する気象庁観測点のボーリングデータを全て入手することは極めて困難である。気象庁地震火山部も、気象官署の地盤条件については、以前に収集整理したものを保有するのみで<sup>32)</sup>、その後、官署の移設などに伴う調査資料の収集を行っていない。

そこで、日本全国をカバーする数値地図の国土数値情報の利用が考えられるが、その地形・表層地質データは、縮尺1/20万分の領域表示の地形分類図および表層地質図に基づき、国土地理院による基準地域メッシュ(約1km四方)ごとに、メッシュ内で最も広い面積を占める地形・表層地質区分をそのメッシュの属性としている。したがって、地震観測点のような特定の地点の地形・地質条件

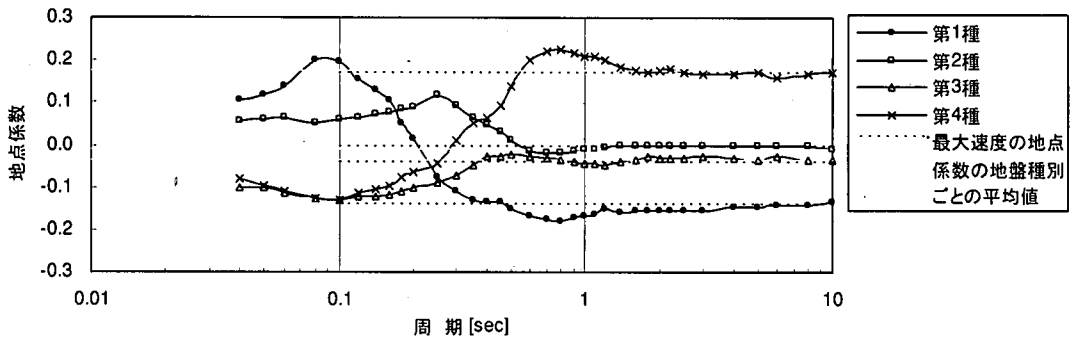


図-3 道路橋示方書の地盤種別ごとの速度応答スペクトルの地点係数の平均値

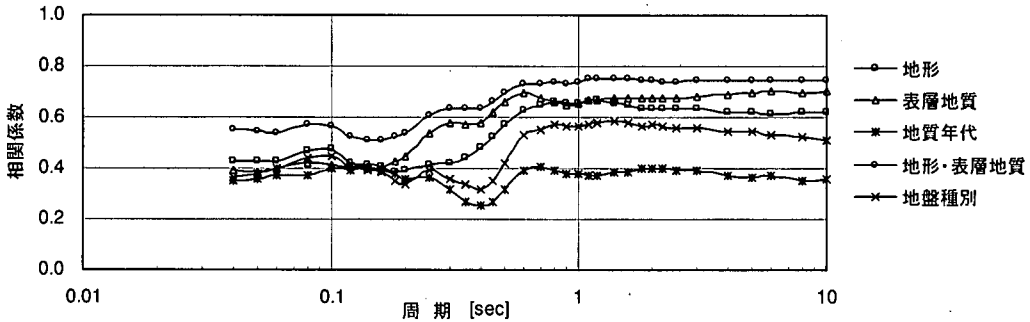


図-4 各種土地分類法ごとの地点係数の平均値と実際値の相関係数

を調べる場合は、メッシュ表示の国土数値情報を用いると誤判定される可能性がある。

以上のことから本研究では、大西ら<sup>20)</sup>の研究と同じく、地震計設置位置の地盤条件を決定するに際しては、土地分類基本調査<sup>21), 22)</sup>等によって調べた土地分類(地形、表層地質、地質年代)および道路橋示方書<sup>33)</sup>に示されている地盤種別による分類を用いた。77観測点の詳細な土地分類結果は、大西らの論文<sup>20)</sup>に表として示されている。また、大西らは77観測点を地形分類と表層地質を組み合わせた11グループに分類した場合、各グループ内の地震動指標値の地点係数のばらつきが最も小さくなることを示した。本研究でも、上記の分類項目に加えて、大西らによる11グループ(表-1)と速度応答スペクトルの地点係数との関係を検討した。

図-3は、道路橋示方書<sup>33)</sup>で示されている地盤種別ごとに、本研究で対象とする77地点<sup>20)</sup>(1種: 14地点, 2種: 29地点, 3種: 18地点, 4種: 16地点)について、速度応答スペクトルの地点係数の平均値を求めたものである。Molas and Yamazaki<sup>7)</sup>は、これらが最大速度の地点係数の平均値に長周期域で漸近していくことを示したが、4種の地盤区分を見直した図-3においても、同様な傾向が認められる。また、それぞれの地盤種別がピークをとる周期は、

道路橋示方書に示されている地盤種別の卓越周期の範囲とほぼ一致している。

図-4に、各種分類法ごとに、速度応答スペクトルの地点係数の同一グループ内の平均値と実際の地点係数の相関係数を示す。これを見ると、地形・表層地質による11分類は、全ての周期において、他の分類法よりも高い相関関係を示している。他の分類と比べて分類数が多いので相関係数だけで精度の議論はできないが、図-4の0.2s以下で相関係数が高い地形分類と、0.2s以上で相関係数が高い表層地質を組み合わせたものであり、全国について簡易に適用できる利点がある。一方、地盤種別による4分類は、分類数が少ない割には、0.6sより長周期の領域で相関係数が高いが、ポーリングデータがないと分類が行えないなどの不便点がある。

この地形・表層地質による11分類法は、土地分類基本調査を用いると正確に、また1kmメッシュの国土数値情報を利用すると空間的な精度は劣るものの地理情報システム(GIS)上で簡便に行える<sup>20)</sup>ことから、実用性も高いと考えられる。以上のことから、以下ではこの11分類と応答スペクトルの地点係数との関係について検討を行う。

#### 4. 応答スペクトルの地点係数と地形・表層地質条件との関係

大西らの11分類法によってグループ分けした速度応答スペクトルの地点係数を図-5に示す。各グループ内の地点係数は、地点ごとのばらつきが大きいものも見られるが、卓越する周期や全体の振幅形状において近似した傾向が見られる。

埋立地における「稚内」は、グループ内の他の3地点と著しく異なった地点係数スペクトルの周期変化が見られる。稚内観測点は、山地の縁辺に造成された小規模な埋立地上にあり、地表面下の浅所に岩盤が存在するなど、地盤特性から見てわが国の一般的な埋立地とは異なると判断されている<sup>20)</sup>。

また、山地において、「松代」と「網代」は、他の3地点と大きく異なる振幅形状を示しているが、これらの地点では、地震計の設置場所が、岩盤トンネル内と山地の崖錐地盤上にそれぞれ置かれるという、他とは条件が著しく異なっている。

図-6は、図-5に示した速度応答スペクトルの地点係数について、各グループ内の平均値を示したものである。地点係数の平均値を求めるに際して、大西ら<sup>20)</sup>と同様に、地点係数が特異になっている「松代」「網代」「稚内」の3地点は除外した。

図-6より、地点係数のピークは三角州性低地などの柔らかい地盤は長周期域に、丘陵地や山地などの固い地盤ほど短周期域にあることがわかる。地点係数の大きさを見ると、三角州性低地は長周期域で揺れやすく、丘陵地や火山山麓地・台地は短周期域で揺れやすい。また砂礫台地や岩石台地は全周期域において平均的な揺れやすさを示し、山地は周期約0.2秒より長周期域において揺れにくい。火山灰台地は全周期において揺れやすいが、これは、火山灰台地では岩石台地または砂礫台地を基盤として、その上に比較的柔らかい火山灰が堆積しているためと考えられる。

このように、地形と表層地質を組み合わせた11分類は、周期に依存する地点固有の揺れやすさの傾向を大まかに表現しているといえよう。これより、国土数値情報の地形・表層地質データを用いることにより、マグニチュードと震源位置を与えれば、式(1)によって日本全域の応答スペクトル分布を概略推定することが可能となった。

#### 5. 応答スペクトルの地盤増幅度

地形と表層地盤分類を考慮した応答スペクトルの推定は、上記により可能となった。しかし、地表面における応答スペクトルの推定に際しては、基盤面での応答ス

ベクトルに、表層地盤でのスペクトル増幅度を乗ずることも一般的に行われる。したがってここでは、適当な基準地盤を決めて、それに対する地盤分類ごとのスペクトル増幅度についても求めておくことにする。

加速度または速度応答スペクトルを $y(T)$ とすると、それらの地盤増幅度は、地表面での値を $y_i$ 、基準面での値を $y_0$ として、

$$AR(T) = y_i(T) / y_0(T) \quad (2)$$

で与えられる。ここで、地表面および基準面における距離減衰式を用いると

$$y_i(T) / y_0(T) = 10^{(c_i(T) - c_0(T))} \quad (3)$$

となる。これより、スペクトル増幅度は次式で与えられる。

$$AR(T) = 10^{(c_i(T) - c_0(T))} \quad (4)$$

基準地盤としては、大西らの研究と同じく「山地」を用いることにした。地形・表層地質によるグループごとに、「山地」を基準とした速度応答スペクトルの地盤増幅度を求めた結果を図-7に示す。これより、「山地」を基準としたスペクトル増幅度は、周期約0.2秒以上の領域で、どの地形・表層地質分類についても「山地」より大きいことが分かる。

この応答スペクトルの地盤増幅度は、想定地震による地震動分布の予測に利用できるばかりではなく、地表面の地震計によって応答スペクトルが観測された場合、これを面的に補間して地表面での応答スペクトル分布を求めるのにも利用できる。方法的には、既に最大加速度や最大速度について提案している、距離減衰式をトレンド成分とする基盤面でのKriging法<sup>34)</sup>と同じで、これを周期ごとに繰り返すことになる。

しかし、ここで提案した応答スペクトルの地盤増幅度と地形・表層地質分類との関係は、広域の地震動推定のための概略的なもので、詳細な地盤データがある地点の増幅度については、地盤応答解析などを行うことが望ましい。

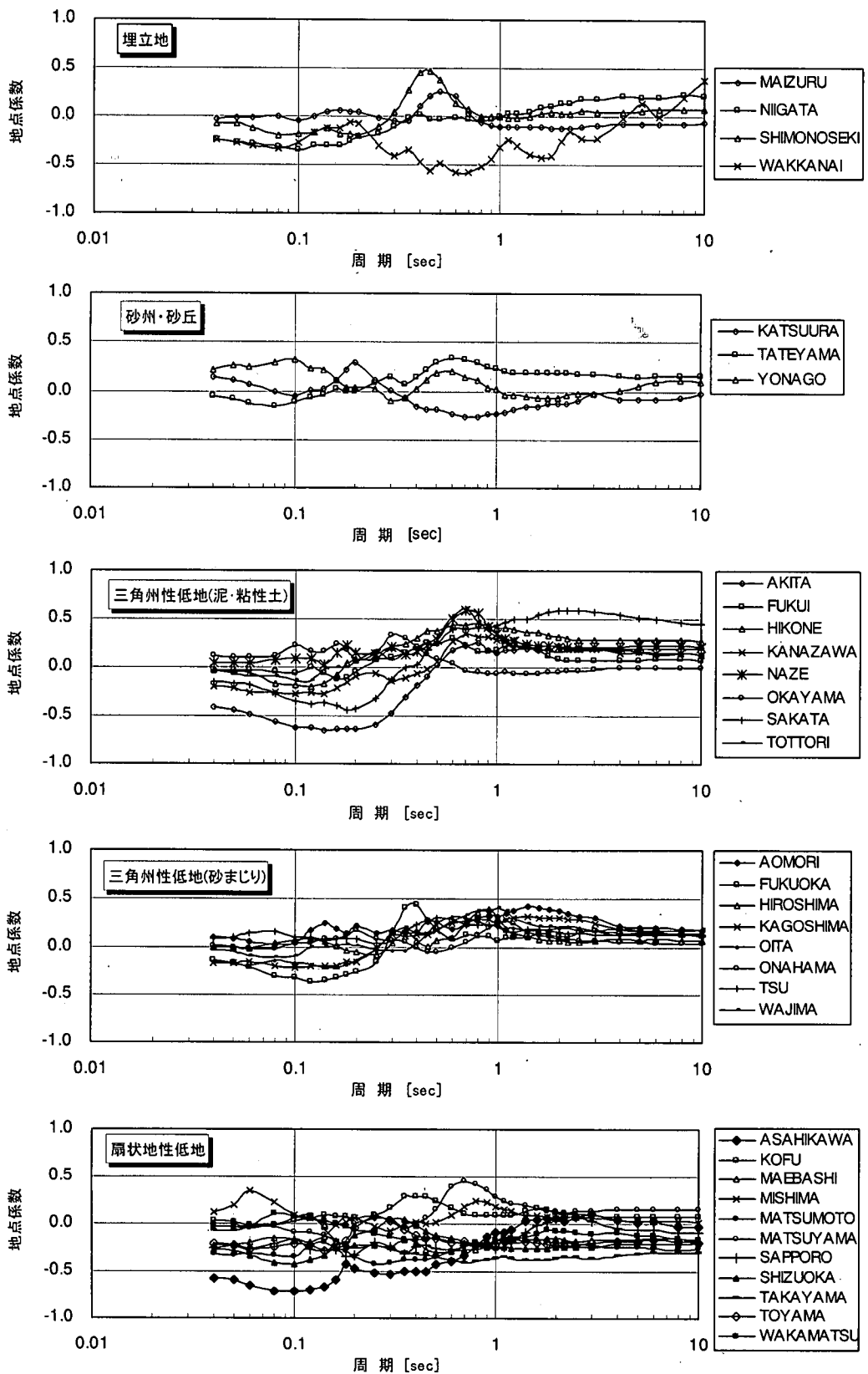


図-5 地形・表層地質に基づく11分類によるグループごとの地点係数

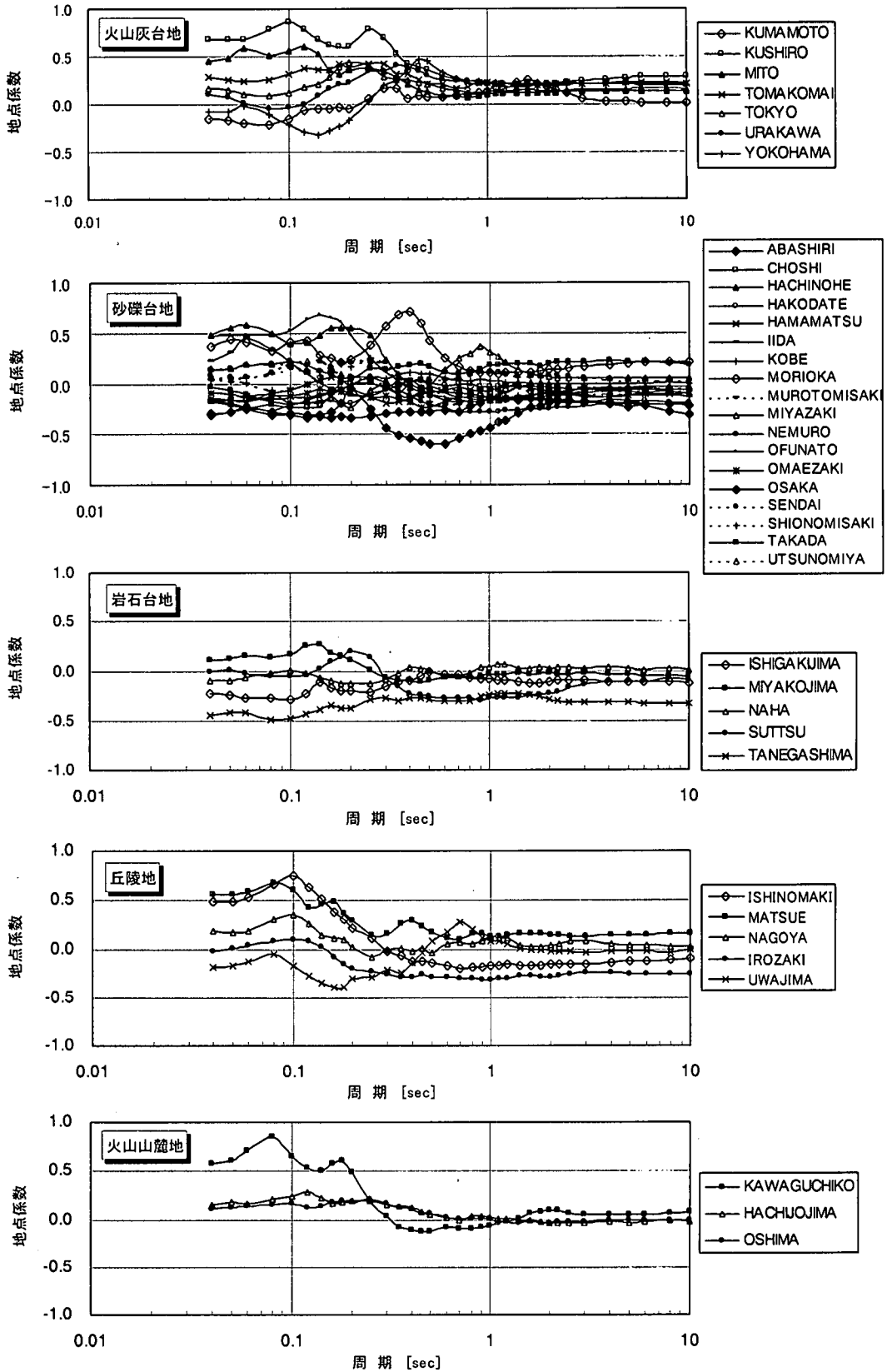


図-5 地形・表層地質に基づく11分類によるグループごとの地点係数 (続き)



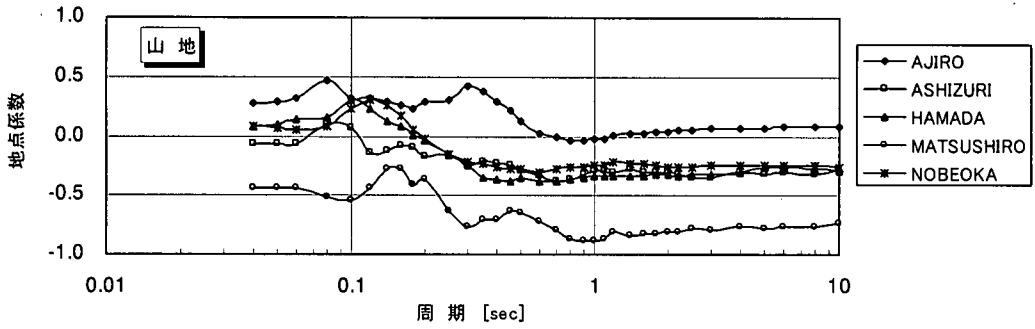


図-5 地形・表層地質に基づく11分類によるグループごとの地点係数 (続き)

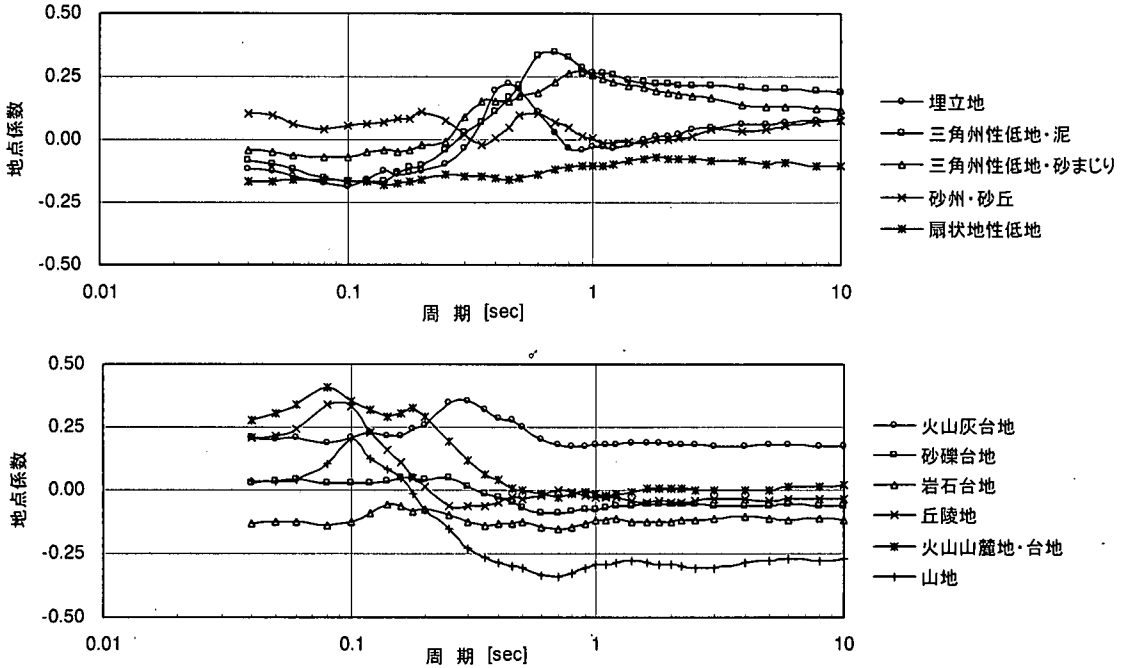


図-6 地形・表層地質に基づく11分類によるグループごとの地点係数の平均値

## 6. 結論

本研究では、周期ごとの地盤増幅特性と地形分類との関係を明らかにすることを目的として、気象庁の全国77箇所の87型地震計で過去8年余りに観測された1,020の地震による3,990組の記録を用いて、速度応答スペクトルの距離減衰式における地点係数と各種土地分類との関係を検討した。その結果、速度応答スペクトルの地点係数について、大西ら<sup>20)</sup>が提案した地形と表層地質を組み合わせた11のグループに基づく分類法は、全ての周期において他の分類法よりも高い相関を示すことが判明した。また、グループごとに地点係数スペクトルを見ると、短

周期域についてはばらつきがやや大きいものの、揺れやすさの大きさとそのピークをとる周期が、グループごとに異なることが確認できた。

さらに、グループごとの地点係数の平均値を見ると、柔らかい地盤ほど揺れやすさのピークが長周期域に、固い地盤ほどそれが短周期域にあることがわかった。また、地点係数の大きさを見ると、長周期域において揺れやすいとか、全周期域において揺れにくいなど、グループによってその性質が異なることが明らかになった。

本研究により、国土数値情報という一般に入手可能なデータベースを用いて、広域において1kmメッシュで周期ごとの地盤増幅特性を推定することが可能になった。

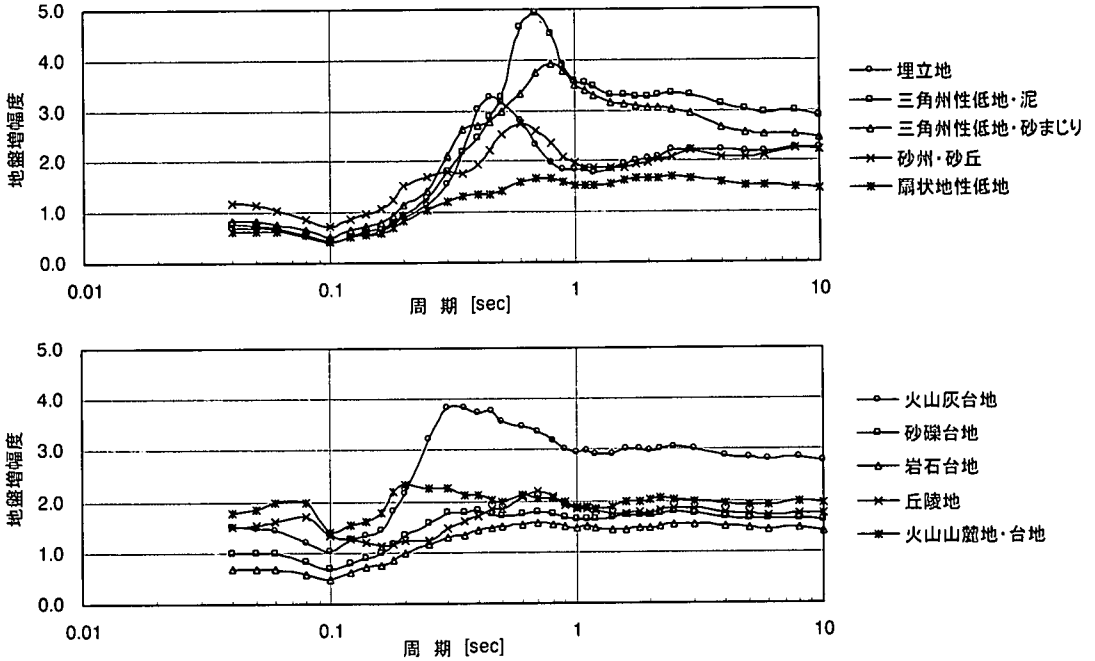


図-7 地形・表層地質に基づく11分類によるグループごとの速度応答スペクトルの地盤増幅度（山地を基準）

これを距離減衰式に取り入れることにより、想定地震に対する日本全域の応答スペクトルの分布を推定することができる。また、観測地震動スペクトルの空間補間にも利用できる。

しかし、今回検討に使用した気象庁87型地震計の観測点の総数は77箇所とさほど多くなく、地形・表層地質分類によっては、平均的な傾向を把握するのに十分な数といえないものもある。また、ボーリングデータが無いために、分類の仕方にも個人差が生ずる可能性もあった。今後は、K-NETなどのボーリングデータとより多くの観測点を有する地震計ネットワークから得られた強震記録を用いて、地盤分類との関係について同様の分析・検討を行い、さらに細かいグループ分けを行うことで、地盤増幅度の推定精度を上げることが可能になると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 消防科学総合センター：地震被害予測システムに関する検討調査報告書，1997。
- 2) 損害保険料率算定会：地震被害想定資料集，地震保険調査報告28，1998。
- 3) 山崎文雄：リアルタイム地震防災システムの現状と展望，土木学会論文集，No.577/I-41，pp.1-16，1997。
- 4) 翠川三郎：リアルタイム地震防災システム—現状と課題—，地震ジャーナル，No.28，pp.52-65，1999。
- 5) 東京都：東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書，1997。
- 6) Fukushima, Y. and Tanaka, T.: A New Attenuation Relation for

- Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80 (5), pp. 757-783, 1990.
- 7) Molas, G.L. and Yamazaki, F.: Attenuation of Earthquake Ground Motion in Japan Including Deep Focus Events, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85 (5), pp. 1343-1358, 1995.
- 8) 司宏俊，翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文報告集，523，pp.63-70，1999。
- 9) Shabestari, K.T. and Yamazaki, F.: Attenuation Relationship of JMA Seismic Intensity Using Recent JMA Records, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集，1，pp.529-534，1998。
- 10) Kawashima, K., Aizawa, K. and Takahashi, K.: Attenuation of Peak Ground Motion and Absolute Acceleration Response Spectra, *Proc. 9th World Conf. Earthquake Engineering*, pp. 257-264, 1984.
- 11) Annaka, T. and Nozawa, Y.: A Probabilistic Model for Seismic Hazard Estimation in the Kanto District, *Proc. 9th World Conf. Earthquake Engineering 2*, pp. 107-112, 1988.
- 12) 安中正，山崎文雄，片平冬樹：気象庁87型強震計記録を用いた最大地動及び応答スペクトル推定式の提案，第24回地震工学研究発表会講演論文集，pp.161-164，1997。
- 13) Molas, G.L. and Yamazaki, F.: The Effect of Source Depth and Local Site to the Attenuation Characteristics of Response Spectra, 第23回地震工学研究発表会講演概要，pp. 69-72, 1995.
- 14) 国土庁計画調整局，国土地理院：国土数値情報（改訂版），国土情報シリーズ8，大蔵省印刷局，1992。
- 15) 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，第442号，pp. 71-78, 1992。
- 16) 松岡昌志，翠川三郎：国土数値情報を利用した地盤の平均S波速度の推定，日本建築学会構造系論文報告集，第443号，

- pp. 65-71, 1993.
- 17) 松岡昌志, 翠川三郎: 国土数値情報を利用した広域震度分布予測, 日本建築学会構造系論文報告集, 第447号, pp. 51-56, 1993.
  - 18) 西阪理永, 福和伸夫, 荒川政知, 錢傑: 国土数値情報を活用した地盤増幅度と地震動の予測, 第2回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集, pp. 341-344, 1997.
  - 19) 福和伸夫, 荒川政知, 西阪理永: 国土数値情報を活用した地震時地盤増幅度の推定, 構造工学論文集, Vol. 44B, pp. 77-84, 1998.
  - 20) 大西淳一, 山崎文雄, 若松加寿江: 気象庁地震記録に基づく地点増幅特性と地形分類との関係, 土木学会論文集 No.626/I-48, pp.79-91, 1999.
  - 21) 経済企画庁: 土地分類基本調査 (縮尺1/5万) .
  - 22) 各都道府県: 土地分類基本調査 (縮尺1/5万) .
  - 23) Ansary, M.A. and Yamazaki, F. and Katayama, T.: Statistical Analysis of Peaks and Directivity of Earthquake Ground Motion, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 24 (11), pp.1527-1539, 1995.
  - 24) Yamazaki, F. and Ansary, M.A.: Horizontal-to-Vertical Spectrum Ratio of Earthquake Ground Motion for Site Characterization, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26 (7), pp. 671- 689, 1997.
  - 25) 山内洋志, 山崎文雄, 若松加寿江, Shabestari, K. T.: 応答スペクトルの距離減衰式における地点係数と地形分類との関係, 第3回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集, pp. 97-100, 1998.
  - 26) 小林啓美, 長橋純男: 地表で観測された地震動の周期特性から求めた地盤の増幅特性と地震基盤における地震動の性質, 日本建築学会論文報告集, 240号, pp. 79-92, 1975.
  - 27) 翠川三郎, 小林啓美: 地震動の地震基盤からの入射波スペクトルの性質, 日本建築学会論文報告集, 273号, pp. 17-28, 1978.
  - 28) Kobayashi, S., Takahashi, T., Matsuzaki, S., Mori, M., Fukushima, Y., Zhao, J. and Somerville, P.: A Spectral Attenuation Model for Japan Using Digital Strong Motion Records of JMA87 Type, *12th World Conference on Earthquake Engineering*, CD-ROM, 2000.
  - 29) Shabestari, K.T. and Yamazaki, F.: Attenuation Relation of Response Spectra in Japan Considering Site-specific Term, *12th World Conference on Earthquake Engineering*, CD-ROM, 2000.
  - 30) 大崎順彦: 新・地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, 1994.
  - 31) 山崎文雄, Ansary, M.A.: 地震動のH/Vスペクトル比の地点依存性に関する解釈, 第24回地震工学研究発表会, pp. 285-288, 1997.
  - 32) 気象庁地震課: 気象庁地震観測官署の地盤調査, 験震時報, 37, pp. 113-115, 1972.
  - 33) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 (昭和55年度版), 1980.
  - 34) 山崎文雄, 大西淳一, 田山聡, 高野辰雄: 高速道路構造物に対する地震被害推定式の提案, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, Vol. 3, pp. 3491-3496, 1998.

(2000. 8. 25 受付)

## RELATIONSHIP BETWEEN GEOMORPHOLOGICAL LAND CLASSIFICATION AND SPECTRUM AMPLIFICATION RATIO DERIVED FROM ATTENUATION RELATIONS

Hiroshi YAMAUCHI, Fumio YAMAZAKI, Kazue WAKAMATSU and  
Khosrow T. SHABESTARI

The relationship between the site amplification of the response spectra and the ground condition was investigated using a total of 3,990 strong motion records measured at 77 JMA stations in the period of over 8 years. The site amplification ratios of the response spectra were obtained from the station coefficients of the attenuation relationships derived from the JMA records. The combined use of the geomorphological land classification and the surface geology was found to give the best estimate of the spectrum amplification ratios, the same as the cases for the peak ground acceleration and velocity. This result suggests that the Digital National Land Information may be conveniently used for the estimation of the response spectrum distribution in a large area in Japan.