

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

末冨岩雄1・石田栄介2・磯山龍二2・後藤洋三3

 ¹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 川崎ラボラトリー (〒210-0855 神奈川県川崎市川崎区南渡田町1-2) E-mail: suetomi@kedm.bosai.go.jp
 ²日本技術開発株式会社 (〒164-8601 東京都中野区本町5-33-11) E-mail:isida@jecc.co.jp, isoyama@jecc.co.jp
 ³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 川崎ラボラトリー 所長 (〒210-0855 神奈川県川崎市川崎区南渡田町1-2) E-mail:goto@kedm.bosai.go.jp

地震観測網を利用する即時被害推定で精度良く地震動分布を評価するためには,表層地盤の増幅特性評価が大変重要である.しかしながら,強震時には地盤の非線形化の影響を受けることから,即時に適切な評価を行うことは容易ではなく,既往の手法では不十分である.また,地盤パラメータとして,地形分類等や卓越周期が用いられることが多かったが,平均S波速度の利用が近年増加している.本研究では,弱震記録の分析から得られた平均S波速度と増幅度の関係と地震応答解析による地盤の非線形化の影響を考慮した増幅度関数とを結びつける手法を提案した.

Key Words : Amplification factor of shallow soil deposits, Nonlinear effect, Mean shear wave velocity, Peak ground motion, Site effect

1.はじめに

国や自治体等の様々な機関で1995年兵庫県南部地 震以後,地震計ネットワークを利用した地震観測情 報収集および早期被害推定を行う地震防災システム が構築されている¹⁾, JRのユレダス²⁾や東京ガスの SUPREME³⁾のように地震動に基づき列車運行停止 やガスの供給停止という制御を行う防災システムで は,目的が明確で情報が有効に活用されている.し かしながら,自治体のシステムの多くは,対策本部 の設置や自治体職員の召集の目安として使われてい るに過ぎない.地震発生から1時間で対策本部会議 を開き、初動方針を決定するという地域防災計画が 多い.その際,判断を行うためには災害の全体像が 不可欠であるが,実際の被害情報を30分程度で収 集・把握することは大災害が発生した場合には困難 である.したがって,人命救助・消火・被害情報収 集を効率良く行うためには,高精度・細密の被害推 定に基づいて対応行動の決定支援を行うシステムが 必要となる.そのような現状を鑑み,文部科学省に よる「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」の 1「震災総合シミュレーションシステムの開発」で は情報技術(IT)を活用し発災後の災害対応行動を最 適化することを目的とした次世代防災情報システム の構築を目指している.本研究は,その一環として 地震動分布推定を高精度に行うための手法を提案す るものである.

地震観測網を利用する即時被害推定で精度良く地 震動分布を評価するためには,表層地盤の増幅特性 評価が大変重要である.しばしば用いられているの は,1kmメッシュの国土数値情報に基づく松岡・翠 川の方法⁴⁾であるが,2つの問題がある.1つは500~ 1kmメッシュでは,丘陵地域における谷底平野や平 野部における旧河道との関連など微地形との関係を 適切に反映させるには粗い点である.また自治体が 具体的な対応策を決定する支援を行うための詳細被 害推定を行っていくためには,地震動分布も細密に 推定する必要がある.もう1つは,松岡・翠川の方 法では最大速度の増幅度を評価しているので,構造

物被害推定を行う際に最大加速度や震度を必要とす る際,地盤の非線形化の影響を考慮せず最大速度と の経験的関係で与えることが多いことである.しか しながら,強震時には地盤の非線形化の影響を受け ることから,即時に適切な評価を行うことは容易で はなく,既往の手法では不十分である,第1の点に ついては,自治体が保有しているボーリングデータ を整備・活用することにより高密度のデータが得ら れる、首都圏では数万本のボーリングデータがデジ タル化されており,東京ガスの防災システム SUPREMEでは50mメッシュでの地震動評価を行っ ている.ここでは,SUPREMEと同様に時間の制約 を考慮してボーリングデータから地盤パラメータを 算出することとする.第2の点については,最大加 速度,計測震度,SI値,最大速度のそれぞれの地盤 の非線形化が及ぼす影響を適切に評価したモデルを 構築する必要がある,また,地盤パラメータとして, 地形分類等や卓越周期が用いられることが多かった が,平均S波速度の利用が近年増加している.末富 ら⁵⁾は横浜市の観測記録を用いて,SI値と深度20m までの平均S波速度の関係を,田村ら^のはK-NET観 測記録を用いて最大加速度やSI値等とある深度まで の平均S波速度の関係を求めている.そして,東京 ガスの防災システムSUPREMEでは、この関係を用 いている³⁾.本研究では,弱震記録の分析から得ら れた平均S波速度と増幅度の関係と地震応答解析に よる地盤の非線形化の影響を考慮した増幅度関数と を結びつける手法を提案する.

2.地盤の非線形化を考慮した増幅度モデル

即時被害推定では時間の制約があることから,最 大加速度や最大速度等の地震動強度指標の関数とし て構造物被害推定を行うことが多い.したがって, 地震動分布推定も時刻歴応答解析ではなく地震動強 度指標を用いて地震動を表すことが多く,表層地盤 による増幅度λも次式のように係数として表される.

$$X_{s} = \lambda \cdot X_{b} \tag{1}$$

ここで, X_s :地表地震動, X_b :基盤地震動(2E),で ある.ただし,強震時には地盤の剛性が低下し減衰 定数が増大するという非線形化現象が生じるので, その影響を考慮して $\lambda = \lambda(X_b)$ として,入力地震動 の関数とする場合も多い.しかしながら,多くは入 力地震動が大きくなるにつれ単調に増幅度が小さく なるモデルである.地盤材料の剛性や減衰定数の変



化はせん断ひずみが10⁻⁵程度まではそれほど大きく ないので,地震動増幅特性の変化も小さい.一般に 最大加速度が数十cm/s²では地盤の非線形化は現れ ないにも拘わらず,単調モデルでは入力地震動が 1cm/s²における増幅度と10cm/s²における増幅度が, 地盤の非線形化による影響で異なることになる.最 大加速度が100cm/s²では使わないことを前提とした モデルとも考えられるが,地震防災システムの検証 は数十cm/s²程度の記録を活用して行う必要がある (100cm/s²を超える記録は多くは得られないし数百 cm/s²の時は本番である).また,地震動増幅は単 にボーリングデータから構築した地盤モデルの地震 応答解析では十分に説明しきれず,中小地震観測記 録の統計解析を活用することが精度の良い地震動分 布推定には必要である.

末富ら⁷⁾は,増幅度λを3つの領域に分けて関数 化するモデルを提案している.弱震時は上述の考え に基づき,増幅度は一定値としている.ただし,α が3を超えると関数がスムーズでなくなるので,こ こでは,接続する点での接線が連続するように関数 形を変更し,本研究では式(2)でモデル化する(図 1).

$$X_{s} = \alpha \cdot X_{b} \qquad (X_{b} \leq X_{1})$$

$$X_{s} = X_{L} - \beta \cdot (X_{2} - X_{b})^{n} \qquad (X_{1} < X_{b} < X_{2}) \qquad (2)$$

$$n = \alpha \frac{X_{2} - X_{1}}{X_{L} - \alpha \cdot X_{1}}$$

$$\beta = \frac{X_{L} - \alpha \cdot X_{1}}{(X_{2} - X_{1})^{n}}$$

$$X_{s} = X_{L} \qquad (X_{b} \geq X_{2})$$

ここで,αは弱震時の増幅度であり,X_bは基盤地震 動(2E),X₁,X₂は変曲点である.X_Lは地表面地震 動の上限値である.末富ら⁸⁾は,様々な条件で地盤 の一次元非線形地震応答解析を行い,地盤のせん断 強度以上のせん断力は上層に伝わらないので,最大 加速度,計測震度,SI値には上限値が存在するこ とを指摘している.

計測震度は対数値であるので,増幅度は地表と基盤との差で表し,増幅度モデルも式(2)でなく次式で表す(図2).IJ₁とIJ₂の間は直線で結んでいる. したがって,式(2)と異なり陽な形で増幅度を表せるので,増幅度λの形で示している.

$$\lambda_{IJ} = \alpha_{IJ} \qquad (IJ_b \le IJ_1)$$

$$\lambda_{IJ} = \alpha_{IJ} - \beta_{IJ} (IJ_b - IJ_1) \qquad (IJ_1 < IJ_b \le IJ_2) \qquad (3)$$

$$\beta_{IJ} = \frac{\alpha_{IJ} - IJ_L + IJ_2}{IJ_2 - IJ_1}$$

$$\lambda_{IJ} = IJ_L - IJ_b \qquad (IJ_2 \le IJ_b)$$

3. 地震応答解析によるパラメータ評価

弱震時から極めて強い地震動まで増幅度を評価す るには、まだ断層近傍での強震観測記録が充分では ないので地震応答解析が適している.また、断層震 源モデルを用いて入力地震動を作成することにより、 弱震から強震まで一貫性を保つことができる.ポー トアイランド等、地震観測記録により妥当性が検証 されている地盤モデルに、被害想定等で用いられて いる標準的な地盤定数を用いて作成したモデルを加 えた約 60 の浅層地盤モデルについて、地震応答解 析による増幅度評価を行い、式(2)の 4 つのパラメ ータを評価する.S波速度 500m/s の層を工学的基 盤とし、周波数依存性を考慮することにより弱震時 から強震時までの適用性を拡張した Suetomi &



Yoshida⁹による等価線形解析法を用いる.

(1)入力地震動の作成

地震観測記録が得られる頻度が比較的高いマグニ チュード(M)5 程度から大規模な M8 程度まで適用可 能な増幅度評価を行う必要があるので, M=5,6,7,8 で の入力地震動を作成する. ²モデルに基づく震源加 速度フーリエ・スペクトル $S_A(f)$ は次式で与えられる.

$$S_A(f) = R_{\theta\phi} \cdot FS \cdot PRTITN \cdot \frac{\pi M_0}{\rho V_s^3} \cdot \frac{f^2}{1 + (f/f_c)^2} \cdot \frac{1}{1 + f/f_{\text{max}}}$$
(4)

R はラディエーションパターン係数, FS は自由地 表面の影響による増幅, PRTITN は 2 方向の水平成分 のエネルギー分配を表す係数, は媒質の密度, V_S はS波伝播速度, M_0 は地震モーメント, f は振動数, f_c はコーナー周波数, f_{max} は高域遮断振動数である. ここでは, = 2.5t/m³, V_S = 3.0km/s, FS = 2.0 とし, f_c は Brune(1970)の関係¹⁰⁾, f_{max} は Faccioli(1986)の関係 ¹¹⁾を用いて M_0 から与える.点震源の際は PRTITN を 2 成分の平均である 0.71 とし, 断層震源の際は 1.0 として水平 2 成分それぞれ算出する.*R* を点震源の際は平均である 0.63 とし,断層震源の際は周波数 依存型の放射特性¹²⁾を用いる.

伝播経路特性は次式で与えられる.

$$P(f) = \frac{1}{x} \cdot \exp\left(\frac{-\pi \cdot f \cdot x}{Q(f) \cdot V}\right)$$
(5)

ここで, x は震源距離(km), V は地震波伝播速度 (km/s), Q(f)はQ値である.伝播経路のQ値に関し ては,関東地方での観測記録のインヴァージョン解 析から得られた次式¹³⁾を用いる.

$$Q(f) = 100 \times f^{0.85}$$
(6)

式(4)の震源特性を有する模擬地震動作成を Boore(1983)の方法¹⁴⁾により行う.M7級の数十kmの 断層サイズを有する地震に対しては,断層面での破 壊伝播や観測点との位置関係の影響が重要になるの で,入倉(1986)¹⁵⁾による重ね合わせを行う統計的グリ ーン関数法¹⁶⁾を用いる(図3).

M=7,8 について,小地震の重ね合わせを行う.ア スペリティの分布と破壊開始点を,図4に示すよう に定める.断層上面の地震基盤からの深さを 5km とし,断層タイプについては dip angle の違いのみ を考慮し,横ずれ断層で 90°,逆断層で 30°とす る.ディレクティビティの影響を考慮するために, 3方向に断層近傍から遠方まで観測点を配置する.

深層地盤構造は表1に示すように3層地盤とする. 関東平野,濃尾平野,大阪平野における値を参考に して設定した.一般に硬質地盤では地震基盤も浅く 軟弱地盤では地震基盤も深いと考えられるので,浅 層地盤の地盤種別に応じて深層地盤の層厚を変えて いる.



図5 入力地震動と地盤増幅度の関係の例(関電技研モデル)

No	密度	S 波速度	減衰比	層厚(m)		
INO.	(t/m^3)	(m/s)	(%)	硬質	標準	軟弱
1	2.0	500	$1.50 f^{0.8}$	100	200	400
2	2.0	700	$1.07 f^{0.8}$	300	500	800
3	2.2	1500	$0.50 f^{0.8}$	500	800	1200
4	2.5	3000	-	-	-	-

表1 深層地盤構造モデル

(2)地震応答解析結果

地震応答解析により得られた入力地震動と地盤増 幅度の関係の例を,関西電力(株)総合技術研究所 (以下,関電技研)について図5に示す.図に赤線 で示したように,式(2)の4つのパラメータを定め て増幅度関数を決定する.同様に,各地盤モデルに ついてパラメータを定める.最大速度については, 関電技研のみならず他の地盤モデルでも地盤の非線 形化の影響は見られなかったので,入力地震動の大 きさに依らず一定値とする.すなわち,最大速度に ついては弱震時増幅度を用いることが可能である (ただし,入力地震動特性の差異の影響は考慮する 必要が生じる可能性はある).

4 . 平均S波速度による増幅度パラメータの評価

過去の強震観測事例では、震源との距離が無視で きるほど近傍の2点でも、地盤条件の差異により地 震動強度指標には3倍程度の差異が見られる.高密 度アレーでの弱震記録では、それよりも大きな差が 出ることも少なくない.しかしながら、上述の表層 地盤の地震応答解析から算出した弱震時増幅度 α は 2前後の大きさにしかならなかった.これは、実地 震では、深層地盤構造の差異など一次元浅層地盤の みを対象とした解析では考慮していない要因も大き いためと考えられる.そこで、弱震時増幅度 α とし て地震観測記録から統計的に算出された増幅度を用 いることとする.地盤の非線形化の影響については、 表層地盤の地震応答解析で考慮できていると考えら れるので、他のパラメータ X_1, X_2 (変曲点), X_L (上限値)は変更しない.

地盤パラメータとして様々なものがあるが,ここ では詳細な地盤データベースを簡易に活用できる平 均S波速度を用いる.田村ら^のは,K-NET 観測地点 について地震動強度指標の距離減衰式を回帰分析に より作成する際に得られる地盤増幅度と深さ d(m) までの平均S波速度 AVS(d)との関係を以下のよう に求めている.なお,AVS(20)=500m/sの地点を基 準点(増幅度=1.0)とした時の増幅度として評価し ている.



 $\log(\alpha_{st}) = -0.785 * \log(AVS(20)) + 2.12$ (8)

 $\log(\alpha_{PGV}) = -0.734 * \log(AVS(20)) + 1.98$ (9)

文献 6)では計測震度の増幅度が示されていないの で,同じ Shabestari&Yamazaki による K-NET 観測点 の地点係数¹⁷⁾と深度 20m までの平均 S 波速度の関 係を評価する(図 6).得られた回帰係数を次式に 示す.

$$\alpha_{II} = -1.478 * \log(AVS(20)) + 3.624 \tag{10}$$

さらに,これを式(7)~(9)と同様にAVS(20)=500m/sの地点を基準点(増幅度=0.0)として次式を用いる.

$$\alpha_{II} = -1.478 * \log(AVS(20)) + 3.99 \tag{11}$$

なお,Shabestari&Yamazakiでは大振幅の記録も一 部含まれているが,その数は少ないとして地盤の非 線形化の影響を無視している.ここでは,その見解 に基づき,弱震時増幅度として用いる.将来的には, 本モデルでの弱震時増幅度は大振幅を含まず,地域 の特性を考慮した式で評価することが望ましい.

一方, 非線形化に関する3つのパラメータについては,60地点のモデル毎に定めた値を,次式のようにAVS(*d*)との関係で表し,係数*a*,*b*を回帰分析により求める.最大速度については,非線形化の影響を考慮する必要がないので,式(9)を強震時まで適用すればよい.

$$\log(ACC_X) = a_{ACC} \cdot AVS(d) + b_{ACC}$$
(12)

- $\log(SI_X) = a_{SI} \cdot AVS(d) + b_{SI} \tag{13}$
 - $IJ_{X} = a_{IJ} \cdot \log(AVS(d)) + b_{IJ}$ (14)



図7 平均S波速度と増幅度パラメータの関係

d=10,20,30mの3通りのAVS(d)について,回 帰分析を行った.回帰分析の例として,最大加速度 に関する3つのパラメータとAVS(20)の関係を図7 に示す.平均S波速度が大きくなるにつれ,地盤の

表2 最大加速度に関する回帰分析結果

パラメ ータ	AVS(d)	a_{ACC}	b_{ACC}	相関 係数
	<i>d</i> =10m	1.450	-1.087	0.77
ACC_1	<i>d</i> =20m	1.355	-0.976	0.79
	<i>d</i> =30m	1.175	-0.626	0.72
	<i>d</i> =10m	1.031	0.743	0.62
ACC_2	<i>d</i> =20m	1.243	0.178	0.82
	<i>d</i> =30m	1.258	0.074	0.86
	<i>d</i> =10m	0.920	0.986	0.56
ACC_L	<i>d</i> =20m	1.159	0.365	0.78
	<i>d</i> =30m	1.199	0.209	0.84

表3 計測震度に関する回帰分析結果

パラメ ータ	AVS(d)	a_{IJ}	b_{IJ}	相関 係数
	<i>d</i> =10m	2.327	0.174	0.68
\mathbf{IJ}_1	<i>d</i> =20m	2.250	0.177	0.73
	<i>d</i> =30m	2.048	0.531	0.69
	<i>d</i> =10m	3.323	-0.733	0.74
IJ_2	<i>d</i> =20m	3.536	-1.470	0.87
	<i>d</i> =30m	3.398	-1.340	0.87
	<i>d</i> =10m	2.749	0.669	0.72
IJ_L	<i>d</i> =20m	2.874	0.175	0.83
	<i>d</i> =30m	2.727	0.364	0.82

表4 SI 値に関する回帰分析結果

パラメ ータ	AVS(d)	a_{SI}	b _{SI}	相関 係数
	<i>d</i> =10m	1.925	-2.545	0.73
SI_1	<i>d</i> =20m	2.123	-3.144	0.89
	<i>d</i> =30m	2.040	-3.064	0.89
	<i>d</i> =10m	0.780	0.626	0.70
SI_2	<i>d</i> =20m	0.851	0.405	0.84
	<i>d</i> =30m	0.774	0.539	0.80
	<i>d</i> =10m	0.773	0.603	0.65
SIL	<i>d</i> =20m	0.839	0.393	0.78
	<i>d</i> =30m	0.782	0.482	0.75

非線形化の影響が現れる地震動は大きくなることが わかる.

表 2~4 に得られた回帰係数と相関係数を示す. X_1 については比較的浅い部分, X_2 , X_L については やや深い部分までの地盤条件が影響すると考えられ, AVS(10)との相関係数は X_1 では比較的大きいが, X_2 , X_L では小さくなっている.ただし,今回の解析で は,AVS(20)とAVS(30)で明瞭な差は出ておらず, X_1 との相関もよいAVS(20)で統一するのが実用的と 思われる.

図8に上述のAVS(20)との関係から評価した非線 形増幅度関数を用いて得られた基盤地震動と地表面 地震動の関係を示す.中小規模の地震動(震度5以 下)では地盤が軟かいほど地表地震動が大きくなる が,被害が生じるような規模の地震動(震度6以



上)になると地盤の非線形化の影響が顕著になり必ずしも軟弱地盤で大きいとは言えない.1995年兵庫県南部地震では,基盤で最大加速度400~600cm/s²程度,計測震度5.6~5.8程度,最大速度

80cm/s 程度と見られる¹⁸⁾が,この規模では AVS(20)=100~150m/s の軟弱地盤での地震動は AVS(20)=200m/s の地盤より小さくなっており,震 災の帯より海側では,エッジ効果と地盤の非線形化 の影響の相乗効果で地震動が小さかったこととも定 性的に整合しており,本提案モデルにより地盤の非 線形化の影響が適切に考慮されていると考えられる.

4.おわりに

大都市などボーリングデータが整備されている地 域では,地盤の平均S波速度を小メッシュで評価す ることが可能となっており,本研究ではそのための 増幅度評価法について検討を行い,以下の知見が得 られた.

- 1) 地盤の非線形化の影響を適切に評価するための 増幅度のモデル化を行った.
- 2) 多数の地盤の地震応答解析により,増幅度パラ メータを評価し,これをある深度までの平均S 波速度の関数としてモデル化した.
- 3)最大速度については地盤の非線形化の影響を考慮する必要がないことを示した。

今後,応答スペクトルについても検討し,また平 均S波速度以外のパラメータとも関連づける予定で ある.本研究を行うにあたっては,東京大学生産技 術研究所山崎助教授から,K-NET観測点の計測震度 地点係数データならびに貴重なご助言を頂きました. 記して感謝の意を表します.なお本研究は,文部科 学省が推進している大都市大震災軽減化特別プロジ ェクトの一環として行ったものである.

参考文献

- 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.
- 2) 中村豊:研究展望:総合地震防災システムの研究,土 木学会論文集,No.531/I-34,pp.1-33,1996.
- 3) 清水善久:東京ガスの新リアルタイム防災システム-SUPREME-と今後の展望,第1回リアルタイム地震防 災シンポジウム論文集 - リアルタイム地震防災の現 状と今後 - , pp.13-18, 1999.
- 4) 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, pp.23-34,1994.
- 5) 末冨岩雄,吉田望,清水善久,中山渉,山崎文雄,阿 部進,鈴木誠:横浜市強震記録を用いた地盤増幅度の 検討 - 卓越周期との関係 - ,第 25 回地震工学研究 発表会,pp.157-160,1999.
- 6) 田村勇,山崎文雄, K.T.Shabestari: K-NET 地震記録を

用いた平均 S 波速度による地盤増幅度の推定,土木学 会第 55 回年次学術講演会講演概要集,I-B, pp.714-715, 2000.

- 7) 末冨岩雄,吉田望,阿部一郎,蛯沢勝三:断層モデル による地震波を用いた表層地盤地震応答解析に基づく 各種地震動代表値の増幅度評価,第 25 回地震工学研 究発表会,pp.89-92,1999.
- 8) 末冨岩雄,澤田純男,吉田望,土岐憲三:地震動の上 限値と地盤のせん断強度の関係,土木学会論文集, No.654/I-52, pp.195-206, 2000.
- 9) Suetomi, I. & Yoshida, N.:Damping characteristics of soil deposits during strong ground motions, *Proceedings of the* second international symposium on the effects of surface geology on seismic motion, Yokohama, pp.765-772, 1998.
- Brune, J. N.: Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, *J. Geophys. Res.*, Vol.75, pp.4997-5009, 1970.
- Faccioli,E.: A study of strong motions from Italy and Yugoslavia in terms of gross source properties, *Geophys. Monograph*, **37**, Maurice Ewing, AGU, 6, pp.297-309, 1986.
- 12) 釜江克宏,入倉孝次郎,福知保長:地域的な震源スケ ーリング則を用いた大地震(M7級)のための設計用 地震動予測,日本建築学会構造系論文報告集,第416 号,pp.57-70,1990.
- 13) 香川敬生,田居優,中村晋,蛯沢勝三,亀田弘行:断 層モデルによる地震動予測式の作成法 - 断層パラメ

ータの定量評価および地震動のばらつき - , 土木学会 第 51 回年次学術講演会, pp.422-423, 1996.

- 14) Boore, D.M.: Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.73, No.6, pp.1865-1894, 1983.
- 15) Irikura,K.: Prediction of strong acceleration motion using empirical Green's function, 第7回日本地震工学シンポジウム, pp.151-156, 1986.
- 16) 釜江克宏,入倉孝次郎,福知保長:地震のスケーリン グ則に基づいた大地震時の強震動予測 統計的波形合 成法による予測,日本建築学会構造系論文報告集,第 430号,pp.1-9,1991.
- 17) 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.
- 18) Suetomi, I. and Yoshida, N.: Nonlinear behavior of surface deposit during the 1995 Hyogoken-Nambu earthquake, *Soils and Foundations, special issue on geotechnical aspects of the January 17 1995 Hyogoken-Nambu earthquake*, No.2, pp.11-22, 1998.

(2003. 6. 26 受付)

AMPLIFICATION FACTOR OF PEAK GROUND MOTION USING AVERAGE SHEAR WAVE VELOCITY OF SHALLOW SOIL DEPOSITS

Iwao SUETOMI, Eisuke ISHIDA, Ryoji ISOYAMA and Yozo GOTO

In order to consider nonlinear characteristics of soft ground, we propose a new amplification function which has four parameters such as an amplification factor during weak motions and the upper limit depending on shear strength of the soil deposits. Earthquake response analyses are carried out with many conditions and 4 parameters are decided. Topography classifications and a predominant period have been often used as ground parameter, but in late years the use of average S-wave velocity increases. Therefore, we connect average S-wave velocity to 20m or 30m deep with four parameters in order to apply to the area where boring data are provided to high density.