

京大工学部 正会員 ○亀田弘行 同 杉戸真太
清水建設 正会員 石川 裕

1. はじめに 耐震工学における地震動予測のプロセスは、地震発生予測、地震動のアテニュエーション特性の評価、およびマイクロゾーニングの3つの方法を含むものであり、従来多くの方法が開発されてきた。筆者らもこうした問題にとり組んできたが、なお検討すべき事項も多い。ここでは、これまでに提案してきた手法にいくつかの新たな提案を加えて、この問題に関する現時点での考えをとりまとめた。本報告で扱うのはアテニュエーション特性とマイクロゾーニングに関する手法であり、地震のイメージとしてはプレート性の巨大地震より、むしろ $M < 7.5$ 程度の“直下型”の被害地震を考えている。巨大地震については、震源過程に基づく地震動予測の研究の進展が著しく、今後工学で必要とされる短周期領域での成果が期待される。

2. 最大地震動のアテニュエーション特性(震央域の取扱い)

マグニチュード M および震央距離 Δ (km)が与えられた場合の最大加速度 A 、最大速度 V を次式で表す。

$$A = U_a \bar{A}(M, \Delta), \quad V = U_v \bar{V}(M, \Delta) \quad (1)$$

ただし、 $\bar{A}(M, \Delta)$ と $\bar{V}(M, \Delta)$ は強震記録と M, Δ の回帰分析から求められるアテニュエーション式で、その形を表-1の(a)欄に示した¹⁾。また、 U_a, U_v はデータのばらつきから定められる確率変数で、モード=1なる対数正規変量として扱う。それらの変動係数を表-3の(a)欄に示した。

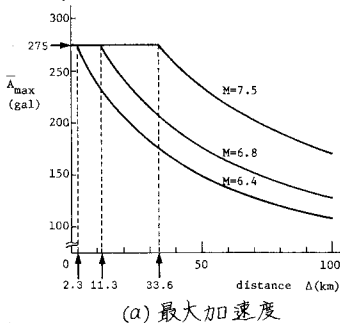
これらの結果は強震記録をもとにして得られたもので、震央域でのデータ(特に大きい M に対する)を欠いている点が問題となる。村松²⁾の研究から、

震度階VI以上となる領域の半径 r_H を求め、これを表-1中の式(2)に代入すると図-1のように加速度レベルはマグニチュードによってあまり変化しない。そこで、図-1の平均的な値275 galをもって、震央域では平均加速度を一定とする。この限界を与える Δ の値 Δ_0 は次式のように M の関数となる。

$$\Delta_0(M) = \begin{cases} 0.629 \times 10^{2.67M-30}, & M \geq 6.29 \dots (4) \\ 0, & M < 6.29 \end{cases}$$

このようにして得られる平均最大地震動の例を図-2に示した。

震央域での平均最大速度は M とともに増加する。



(a) 最大加速度

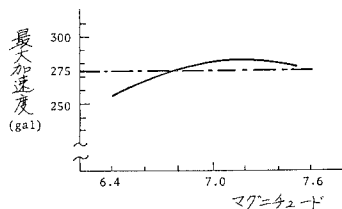
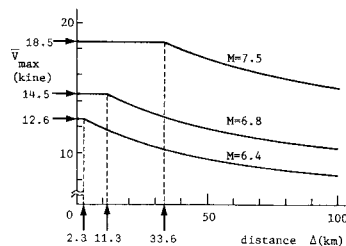


図-1 震央距離 r_H における最大加速度の期待値



(b) 最大速度

図-2 上限値をとり入れたアテニュエーション特性

表-1 最大地震動のアテニュエーション式と震央域での扱い

	(a) $\Delta \geq \Delta_0(M)$, アテニュエーション式	(b) $\Delta < \Delta_0(M)$, 震央域
平均最大加速度 $\bar{A}(M, \Delta)$, gal	$202 \times 10^{0.178M} / (\Delta + 30)^{0.666}$ ---- (2)	275
平均最大速度 $\bar{V}(M, \Delta)$, kine	$1.17 \times 10^{0.232M} / (\Delta + 30)^{0.200}$ ---- (3)	$\bar{V}(M, \Delta_0(M))$

3. 地盤条件の評価(N 値を用いた連続量による地盤パラメータ)

地盤条件を表現するために、従来は才1種~才4種のように定性的な分類が用いられることが多かったが、現実には大部分の場合 N 値が測定されており、これを用いて、以下のような連続量によって地盤条件の影響をとり入れた。すなわち、 M, Δ に加えて地盤の N 値柱状図が与えられた場合に、式(1)の代りに次式によって最大地震動 A, V を表す¹⁾。

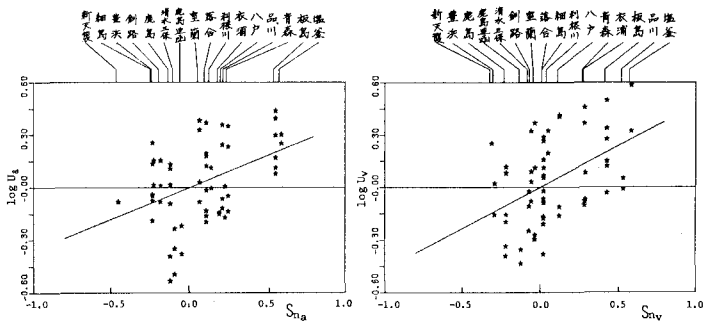
$$\left. \begin{aligned} A &= U_{1a} C_{m_a}^{S_{na}} \bar{A}(M, \Delta) \\ V &= U_{1v} C_{m_v}^{S_{nv}} \bar{V}(M, \Delta) \end{aligned} \right\} \text{-----(5)}$$

ただし, S_{na} , S_{nv} は次式で定義される
地盤の軟弱度を表すパラメータである。

$$\left. \begin{matrix} S_{na} \\ S_{nv} \end{matrix} \right\} = \frac{S_2 - \beta}{1/\gamma_2 - \beta} \quad \text{--- (6)}$$

ここに,

$$S_2 = \int_0^{d_1} \exp\{-\gamma_1 N(x)\} \exp\{-\gamma_2 x\} dx \quad \text{--- (7)}$$



S_{na}, S_{nv} の値は $N(x) \equiv 0$ のときに 1, 図-3 地盤パラメータ S_{na}, S_{nv} と最大加速度・最大速度の変動
堅い地盤ほど小さな値をとる。定数 $C_m, \gamma_1, \gamma_2, \beta$ は加速度・速度についてそれぞれ表-2 のように求められ
ている。

地盤パラメータ S_{Na} , S_{Nv} に対するデータの変動を図-3に示した。同図中の回帰直線が $C_{Na}^{S_{Na}}$, $C_{Nv}^{S_{Nv}}$ を示している。以上より、式(5)においては、地盤の N 値に依存する S_{Na} , S_{Nv} を用いて平均地動 $\bar{A}$, $\bar{V}$ を補正することになり、この場合データのばらつき U_{1a} , U_{1v} は図-3の回帰直線からの隔りを表す。これらをモード=1の対数正規変量としたときの変動係数は表-3の(b)欄に与えられており、地盤条件を考慮しない場合と比較して加速度で0.08、速度で0.12ばらつきが減少し、予測精度が向上している。

4. 異地点間で相関を有する地震動

最近、ライフライン系のような地域的な広がりを持つ施設の地震時のシステム信頼度が問題とされることが多いが、異なる2地点における地震動

は通常すべて独立な確率変量として扱われている。しかし、 M, Δ, S_N のいずれもが地震動の変動を説明するパラメータとして不完全なものである以上、表-3の $\delta U, \delta U_c$ にはこれらの要因によるばらつきがある割合で寄与

しているはずである。また、 M による不確定性はある地域の地震動

を一樣に変動させるであろうし、局所的な地盤条件による不確定性は地点間では無相關な地震動を与える傾向を持つであろう。結局、

これらの効果が相乗されると、異なる2地点での地震動は部分相関を持つと考えらるべきである。このような相関関係を詳細に調べるこ

とはきわめて困難であるが、ここでは以下のような検討を行った。

表-4に、非定常地震動の予測モデル³⁾から得られる最大地動の変動係数を示した。

同図で、レベルⅡは表-3では(b)欄に対応し、レベルⅢは地盤条件による不確実性が除去されたと仮定した場合である。そこで、

最大加速度	0.380	0.225
最大変位	0.395	0.260

$$U_{Ia} = U_{Ta} \cdot U_{La}, \quad U_{Iv} = U_{Tv} \cdot U_{Lv}$$

とおき、式(5)の U_1 を、 U_T と U_L の積に分離する。 U_T と U_L は互に独立であるが、2地点での地震の間では、 U_T は完全相関、 U_L は無相関とする。表-3の(b)欄の値をもとにして、表-4のレベルⅡ、Ⅲに比例的に分散が配分されるとすると、 U_T と U_L の変動係数、2地点間の地震の相関係数 ρ_{LT} は表-3(c)欄のように求められる。表-3の ρ_{LT} の値は、同一の地震による異なる2地点での地震の相関係数の下限値に近いと考えられる。

- 1) 後藤・亀田・杉戸：地震動予測におけるN値を用いた地盤条件の評価法について，第17回自然災害科学シンポジウム，1980.10.
- 2) 村松：震度分布と地震のマグニチュードとの関係，岐阜大学教育学部研究報告，自然科学一，第4巻第3号，昭44. pp.168-176.
- 3) Kameda, H., Sugito, M., and Asamura, T., "Simulated Earthquake Motions Scaled for Magnitude, Distance, and Local Soil Conditions," JWCCE, Vol. 2, 1980.