

最大地動のアテニュエーションモデルにおける地盤条件の影響

京都大学工学部 正会員 杉戸真太・亀田弘行・後藤尚男
阪急電鉄(株) 員 ○西尾佳郎

1. はじめに 最大地動(加速度 A , 速度 V)の予測モデルとして, Kameda, Sugito, Goto¹⁾はマグニチュード(M), 震央距離(Δ)で回帰分析して得た(1)式に地盤条件として N 値分布より得られる地盤パラメータ S_n を導入し, 強震記録より得られる A , V を(3)式のように表わした。(3)式における U_{1a}, U_{1v} は M , Δ に加えて S_n を考慮してもなお残るばらつきを示すものであり, 本研究では表面層厚 d_p を導入することによりこのばらつきを減少させることを目的としている。(2)式において d_s は N 値の得られている所までの深さであり, $N(x)$ は深さ x mでの N 値である。 S_n は S_L を正規化したもので, 軟弱なほど1に近い数値をとる。(1)(3)式を用いた場合の最大地動におけるデータの変動係数を表-2(a)(b)に示す。

最大地動のアテニュエーション式

$$\left. \begin{aligned} \bar{A} &= 349 \times 10^{0.232M} / (\Delta + 30)^{0.959} \\ \bar{V} &= 2.65 \times 10^{0.360M} / (\Delta + 30)^{0.893} \end{aligned} \right\} (1)$$

地盤パラメータ S_n の定義

$$\left. \begin{aligned} S_L &= \int_0^{d_s} e^x p\{-0.040N(x)\} e^x p\{-0.14x\} dx \\ S_n &= 0.264S_L - 0.883 \end{aligned} \right\} (2)$$

S_n を考慮した最大地動の表現

$$\left. \begin{aligned} A &= U_{1a} C_a(S_n) \bar{A}(M, \Delta) \\ V &= U_{1v} C_v(S_n) \bar{V}(M, \Delta) \end{aligned} \right\} (3)$$

地盤パラメータ S_n による最大地動の補正係数

$$\left. \begin{aligned} \text{最大加速度} \quad C_a(S_n) &= \begin{cases} 2.09^{S_n} & S_n \leq 0.60 \\ 1.56 & S_n > 0.60 \end{cases} \\ \text{最大速度} \quad C_v(S_n) &= 2.23 \end{aligned} \right\} (4)$$

2. 表面層厚 d_p の設定 文献1)で提案

された S_n が評価しうる地盤条件は通常25m程度である。しかし地震動にはより深い部分も影響すると考えられる。したがって, S_n に加えてより深い地盤条件を評価できるパラメータを設定する必要がある。ここでは, 地盤を比較的軟らかく, 地震動の増幅に大きく影響すると考えられる部分とそうでない部分に分け, 表面層と基盤と呼ぶことにし, 表面層厚を地盤パラメータ d_p として取り扱うことを試みた。ここで定義する基盤とは原則的に岩質層とし, S 波速度で700~800 m/s程度以上, あるいは中期洪積層以

表-1 強震観測地点における表面層厚 d_p

地 点 名	表面層厚 (m)	用いた強震記録数
室蘭-S	14.5	4
釧路-S	100.0	4
釧路気象台	14.0	2
青森-S	112.3	4
八戸-S	180.0	4
塩釜工場-S	15.0	2
品川-S	35.0	2
山下変-S	35.9	2
細島-S	51.0	6
板 島 橋	22.0	4
新石狩橋	120.0	4

表-2 最大地動予測におけるデータの変動係数

与えられる情報 最大地動	(a) : M, Δ による 変動係数(式(1))	(b) : M, Δ, S_n による 変動係数(式(3))	(c) : M, Δ, S_n, d_p による 変動係数(式(5))	(d) : M, Δ, d_p による 変動係数(式(6))
最大加速度	0.529	0.481	0.425	0.417
最大速度	0.574	0.502	0.448	0.457

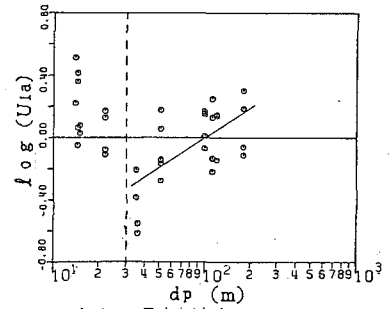
(用いたデータ (a)(b) : 最大加速度は16観測地点57成分, 最大速度は18観測地点61成分
(c)(d) : 最大加速度・最大速度とも 7観測地点26成分)

Masata SUGITO Hiroyuki KAMEDA Hisao GOTO Yoshio NISHIO

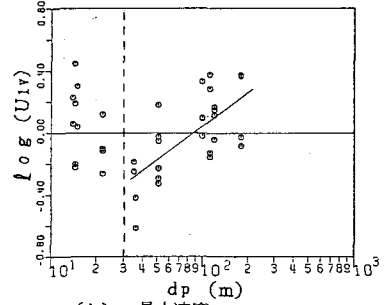
前の地層とした。ゆが国の強震観測地点のうち主な記録が得られており、かつ d_p が設定できたのは表-1に示した11観測地点である。

3. 表面層厚 d_p と最大地動のデータの変動との関係

表-1のデータを用いて(3)式の U_{1a} , U_{1v} と d_p の関係を図-1に示した。図中の破線は $d_p=30$ (m)を示し、この深さ以深の地盤条件は S_n では評価されない。図-1より、 d_p が30m程度を境にデータの傾向は明らかに異なり、 $d_p=30$ (m)で分けて解析を行なった。図中の直線は $d_p \geq 30$ (m)である7観測地点26成分より得られる回帰直線である。この結果より A , V は d_p にも依存することがわかった。また、 $d_p < 30$ (m)である4観測地点12成分のデータについては次のような考察を行った。図-3は図-2に示したモデル地盤の第5層に地震動を入力し、重複反射理論を用いて表面層厚 d_p を変化させた場合の最大地動の応答倍率(第5層に対する第1層の倍率)を示したものである。図-3では d_p が比較的小さい場合、ばらつきが大きい。これは d_p が小さい場合周波数特性が強く影響し、このような範囲では d_p で最大地動を評価することが有効でないことを示すと考えられる。したがってパラメータ d_p は $d_p \geq 30$ (m)の場合のみ適用すべきと考え、 d_p を導入した最大地動の推定式を(5)式に示した。 $D_a(d_p)$, $D_v(d_p)$ は図-1の回帰直線を示す。また、 S_n は得られないが d_p の推定ができる場合を考え(6)式に示した。(5)(6)式を用いた場合の最大地動予測におけるデータの変動係数を表-2(c)(d)に示す。



(a) 最大加速度



(b) 最大速度

図-1 d_p とデータの変動との関係

表面層

基礎層

第1層	$\rho = 1.8$ $V_s = 80.0 \text{ m/s}$ 減衰定数 0.02
第2層	$\rho = 1.85$ $V_s = 150.0 \text{ m/s}$ 減衰定数 0.01
第3層	$\rho = 1.9$ $V_s = 300.0 \text{ m/s}$ 減衰定数 0.005
第4層	$\rho = 2.2$ $V_s = 700.0 \text{ m/s}$ 減衰定数 0.002
第5層	$\rho = 2.2$ $V_s = 2000.0 \text{ m/s}$ 減衰定数 0.001

図-2 モデル地盤

S_n および d_p が与えられた場合 ($d_p \geq 30 \text{ m}$)

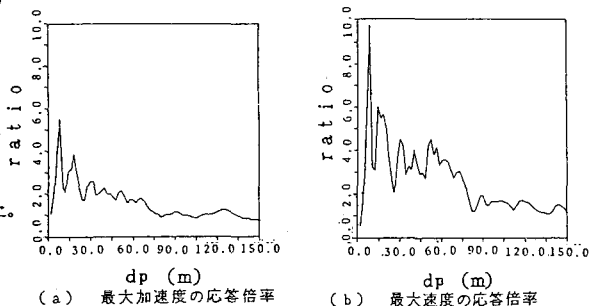
$$\left. \begin{aligned} A &= U_{1a} D_a(d_p) C_a(S_n) \bar{A}(M, \Delta) \\ V &= U_{1v} D_v(d_p) C_v(S_n) \bar{V}(M, \Delta) \\ \text{最大加速度} \quad D_a(d_p) &= 0.0521 \times d_p^{0.640} \\ \text{最大速度} \quad D_v(d_p) &= 0.0392 \times d_p^{0.725} \end{aligned} \right\} (5)$$

d_p のみ与えられた場合 ($d_p \geq 30 \text{ m}$)

$$\left. \begin{aligned} A &= U_{1a} D_a'(d_p) \bar{A}(M, \Delta) \\ V &= U_{1v} D_v'(d_p) \bar{V}(M, \Delta) \\ \text{最大加速度} \quad D_a'(d_p) &= 0.0735 \times d_p^{0.612} \\ \text{最大速度} \quad D_v'(d_p) &= 0.0556 \times d_p^{0.704} \end{aligned} \right\} (6)$$

謝辞：今回の地盤資料に関し以下の方々たいへんお世話頂いた。

- 記して深謝の意を表する次第である。
- 北海道大学災害資料センター 酒井良男 名誉教授
 - 北海道大学工学部 太田裕 教授
 - 弘前大学教育学部 岩井武彦 教授
 - 東北大学理学部 北村信 教授
 - 東京大学地震研究所 嶋悦三 教授



(a) 最大加速度の応答倍率

(b) 最大速度の応答倍率

図-3 d_p と最大地動の応答倍率との関係

(入力した地震波：1968年5月16日 十勝沖地震 観測地 宮古 E-W)