

京大工学部 正員 ○杉戸真太

京大工学部 正員 亀田弘行

1. はじめに ごく表層付近の局地的な地盤条件が地震動に大きく影響することは、過去の震害例からも明らかである。著者らは、このような地盤条件を N 値分布より連続量として得られる地盤パラメータ S_n で表現し、地震動の最大地動（最大加速度・速度）や非定常地震動の予測モデルに取り入れることを提案した。地盤パラメータ S_n は、地表面下 20~30m 程度までの地盤の軟弱さの程度を表すが、さらに深い地盤条件も地震動に影響することは言うまでもない。ここでは、このような地盤条件として比較的堅固な岩質層までの「表面層厚」を取りあげ、地震動予測に取り入れることを検討した結果について報告する。なお、本報は文献3)、4)を統合的に取りまとめたものである。

2. 表面層厚の定義とデータ

工学における地震動予測で用いる地盤パラメータとしては、(1)比較的簡単に入手できること、(2)強震観測地点など過去の地震による地震動強度が記録されている地点で得られており地盤パラメータの妥当性の検証ができること、の条件を満たしている必要がある。これらを考慮し、 S_n の次に考慮すべきパラメータとして表面層厚を取り挙げる。地表から基盤までの深さを表面層厚 $dp(m)$ とし、基盤としては岩質層 (S 波速度で 700~800 m/sec 程度以上、または中期沈積層以前の地層) とする。当研究室所有の強震記録の観測地点について得られた dp の値と、対応する強震記録数を表-1に示した。

表-1 強震観測地点における表面層厚

地 点 名	表面層厚 (m)	用いた強震記録数
宝塚-S	14.5	4
鋼路-S	100.0	4
鋼路気象台	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
網島-S	51.0	6
板 島 橋	22.0	4
新石狩橋	120.0	4

3. 表面層厚 dp を考慮した最大地動の予測モデル

N 値データより得られる地盤パラメータ S_n (式(2)) を用いて、最大加速度、速度の観測値は式(3)のように表現される。 U_{sa} , U_{sv} は、 S_n を考慮してもお残るばらつきを表す。図-1に、 U_{sa} , U_{sv} と表面層厚 dp との関係を示した。図中の破線は $dp=30m$ を示し、この深さ以上の地盤条件は S_n では評価されない。同図より、 $dp=30m$ を境にしてデータの傾向が明らかに異なっている。 $dp<30m$ では、とくに同波数特性の影響が大きく、 U_{sa} , U_{sv} の定量的な傾向は単純な表面層厚では評価できないものと考えられる。そこで、 $dp \geq 30m$ のデータによる $\log U_{sa}$, U_{sv} との回帰直線を実線で示した。同図より、 $dp \geq 30$ の最大地動のアテニュエーション式

$$\bar{A} = 349 \times 10^{-0.232N} / (\Delta + 30)^{0.959}$$

$$\bar{V} = 2.65 \times 10^{-0.380N} / (\Delta + 30)^{0.893}$$

の場合、 dp を考慮することにより予測精度が向上することがわかる。 M , Δ , S_n および dp が与えられた場合の A , V は式(5)のように表現される。

最大地動のアテニュエーション式

$$\bar{A} = 349 \times 10^{-0.232N} / (\Delta + 30)^{0.959}$$

$$\bar{V} = 2.65 \times 10^{-0.380N} / (\Delta + 30)^{0.893}$$

地盤パラメータ S_n の定義

$$S_n = \int_0^{ds} \exp\{-0.040N(x)\} \exp\{-0.14x\} dx$$

$$S_n = 0.264S_z - 0.883$$

 S_n を考慮した最大地動の表現

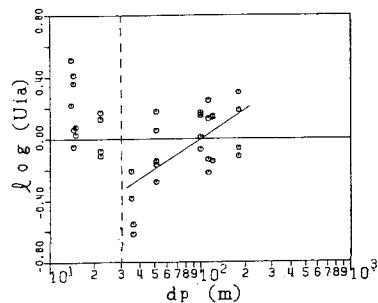
$$A = U_{sa} Ca(S_n) \bar{A}(M, \Delta)$$

$$V = U_{sv} Cv(S_n) \bar{V}(M, \Delta)$$

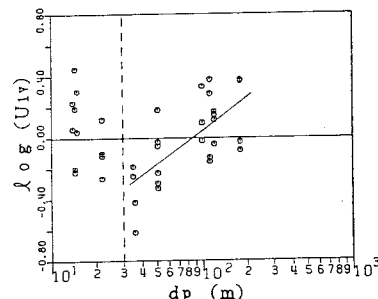
地盤パラメータ S_n による最大地動の補正係数

$$\text{最大加速度 } Ca(S_n) = \begin{cases} 2.09^{S_n} & S_n \leq 0.60 \\ 1.56 & S_n > 0.60 \end{cases}$$

$$\text{最大速度 } Cv(S_n) = 2.23$$



(a) 最大加速度



(b) 最大速度

図-1 dp とデータの変動との関係

表-2に、与えられる情報に対する最大地動の予測精度をデータの変動係数によって示した。 S_n に加えて dp を考慮することにより、最大地動予測の信頼性が向上することがわかる。

$$\left. \begin{aligned} S_n \text{および } dp \text{ が与えられた場合 } (dp \geq 30 \text{ m}) \\ A = U_2 a Da(dp) Ca(S_n) \bar{A}(M, \Delta) \\ V = U_2 v Dv(dp) Cv(S_n) \bar{V}(M, \Delta) \\ \text{最大加速度 } Da(dp) = 0.0521 \times dp^{0.640} \\ \text{最大速度 } Dv(dp) = 0.0392 \times dp^{0.725} \end{aligned} \right\} (5)$$

4. 表面層厚 dp を考慮した非正常地震動の予測モデル

非正常地震動の予測モデル²⁾における強度パラメータ $\alpha_m(f)$ の推定において、地盤パラメータ S_n は式(6)で表わされるパワーのばらつき C_o の補正に用いた。最大地動の場合と同様に、 S_n を考慮してもなお残るパワーのばらつきを dp により補正する。 dp の影響が振動数域により異なるため、表-3に示す3つの振動数域に分けて解析した。図-2に、 S_n を考慮してもなお残るばらつき C_o' ($C_o' = C_o / \hat{C}_o(S_n)$) と dp との間係を各振動数域毎に示した。 dp によるパワーの補正係数 $\hat{C}_o'(dp, f)$ は式(7)で表わされ、強度パラメータ $\alpha_m(f)$ は式(8)のように表現できる。式(8)における $U_2'(f)$ は、 S_n, dp を考慮してもなお残るばらつきである。表-3に、与えられる情報で区分した予測モデルの各レベルにおける強度パラメータ $\alpha_m(f)$ の予測精度を、データの変動係数で示した。

$$C_o = \frac{\int_{\log f_L}^{\log f_H} \alpha_m(f) d(\log f)}{\int_{\log f_L}^{\log f_H} \hat{\alpha}_m(f) d(\log f)} \quad (6)$$

$$\hat{C}_o'(dp, f) = \begin{cases} (0.0519 dp^{0.773} - 0.0234 dp^{0.948}) \log f + 0.00132 dp^{0.948} - 0.0296 dp^{0.773} & (0.13 < f < 1.14) \\ (0.0631 dp^{0.475} - 0.0519 dp^{0.773}) \log f + 0.0357 dp^{0.773} - 0.00368 dp^{0.475} & (1.14 < f < 10.03) \end{cases} \quad (7)$$

$$\alpha_m(f) = U_2'(f) \cdot \hat{C}_o'(dp, f) \cdot \hat{C}_o(S_n) \cdot \hat{\alpha}_m(f) \quad (8)$$

表-3におけるレベルⅡ, Ⅱ'の値は、地盤の伝達関数を考慮することにより振動数軸方向の変動(振動数特性)がすべて考慮されると仮定した場合のものである。

謝辞：今回の地盤資料に関して以下の方々にたいへんお世話頂いた。記して謝辞の意を表する次第である。

- ・北大災害資料センター
酒井 良男 名誉教授
- ・北大工学部
太田 裕 教授
- ・弘前大教育学部
岩井 武彦 教授
- ・東北大理学部
北村 信 教授
- ・東北地震研究所
嶋 悦三 教授

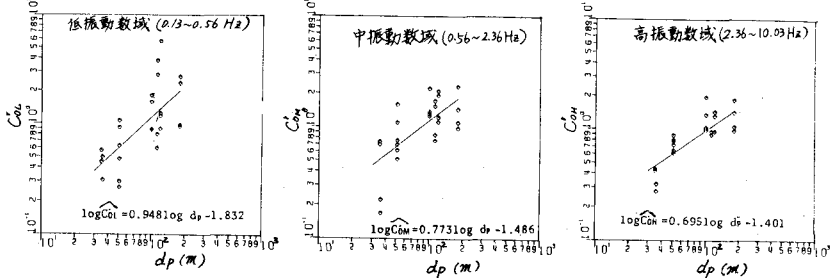


図-2 地震動パワーの変動と表面層厚 dp との関係

参考文献 ① Kameda, Sugito, Goto, 3rd International Earthquake Microzonation Conference, Vol.Ⅲ, pp. 1463-1474, 1982.
② Kameda, Sugito, Asamura, 7th World Conference on Earthquake Engineering, Vol.Ⅱ, pp. 295-302, 1980.
③ 杉戸 竜田・後藤 西尾, 昭和58年度土木学会関西支部講演会, 昭和58年5月。 ④ 後藤 竜田・杉戸 得津, 昭和58年度土木学会関西支部講演会, 昭和58年5月。

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	最大加速度	最大速度
(a) M, Δ	0.529	0.574
(b) M, Δ, S_n	0.481	0.502
(c) M, Δ, S_n, dp	0.425	0.448

用いたデータ
(a) 30観測地点 91成分
(b) 最大加速度:16地点 51成分, 最大速度:18地点 61成分
(c) 7観測地点 21成分

表-3 強度パラメータ $\alpha_m(f)$ 推定におけるデータの変動係数

レベル	与えられる情報	変動係数		
		0.13~0.56 Hz	0.56~2.36 Hz	2.36~10.03 Hz
I	M, Δ	0.752		
Ⅱ	M, Δ, S_n	0.657		
Ⅱ'	M, Δ, S_n, dp	0.651	0.586	0.508
Ⅲ	M, Δ, S_n , 地盤の伝達関数	0.426		
Ⅲ'	M, Δ, S_n, dp , 地盤の伝達関数	0.416	0.329	0.193