

I-400

工学的基盤面と沖・洪積地盤面の地震動の変換係数
～表層地盤の非線形性を考慮した非定常スペクトルの変換～

京大工学部 正員 ○杉戸真太・亀田弘行・後藤尚男
日本国土開発 正員 廣瀬憲嗣

はじめに 一般に、地震動のレベルが大きいと、表層地盤の非線形性によって基盤と地表面での地震動の増幅率が変化する。著者らは、基盤レベルで推定される地震動強度を、このような地盤の非線形性を考慮して簡単に地表での地震動強度に変換する手法を提案した。そこで扱った地盤特性はN値分布より得られる軟弱さの指標 S_n ²⁾と、基盤までの深さ d_p ³⁾であり、対象とした地震動強度は、最大加速度、速度、および応答スペクトルである。本報では、この手法を地震動の非定常スペクトル⁴⁾に適用した結果を報告する。

基盤と沖・洪積地盤での非定常スペクトルの変換

文献5)では、与えられたマグニチュード M 、震央距離 Δ に対する開放基盤面での非定常スペクトル（図-1に示すモデル関数 G_x ）を推定し、それより次式により非定常地震動を得る予測モデル（EMP-I B）を開発した。

$$x(t) = \sum \sqrt{2G_x(t, \omega_k)} \Delta \omega \cdot \cos(\omega_k t + \phi_k) \quad (1)$$

種々の M 、 Δ に対するシミュレーション地震動を表-1に示す強震観測地点⁷⁾での基盤への入射波とし、対応する地表での地震動を等価線形化手法を用いて算出した。

図-2に、基盤面と沖・洪積地盤面でのシミュレーション地震動の一例を示した。同図(c)は、基盤と地表での非定常スペクトルのモデル関数を表したものである。なお、地表でのモデル関数は、その時間パラメータ $t_s(f)$ 、 $t_p(f)$ を基盤のそれらと同じ値として強度パラメータを算出したものを用いている。同図(d)に基盤と地表での $\alpha_m(f)$ を示した。地表での $\alpha_{ms}(f)$ は、振動数軸上で3次曲線により平滑化したものをデータとし、次式により変換係数 $R_m(f)$ を定義する。

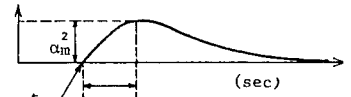


図-1 非定常パワースペクトルのモデル関数⁵⁾

表-1 強震観測地点の地盤パラメータ

地点名	S_n	$d_p(m)$
室蘭-S	0.03	14.5
八戸-S	-0.01	180.0
細島-S	-0.06	51.0
青森-S	0.37	115.1
品川-S	0.71	28.9
板島 BRG.	0.48	18.5
塩釜工場-S	0.52	16.8
小名浜-町-S	-0.22	8.3
山下変-S	0.39	35.0
仙台-M	-0.07	11.8

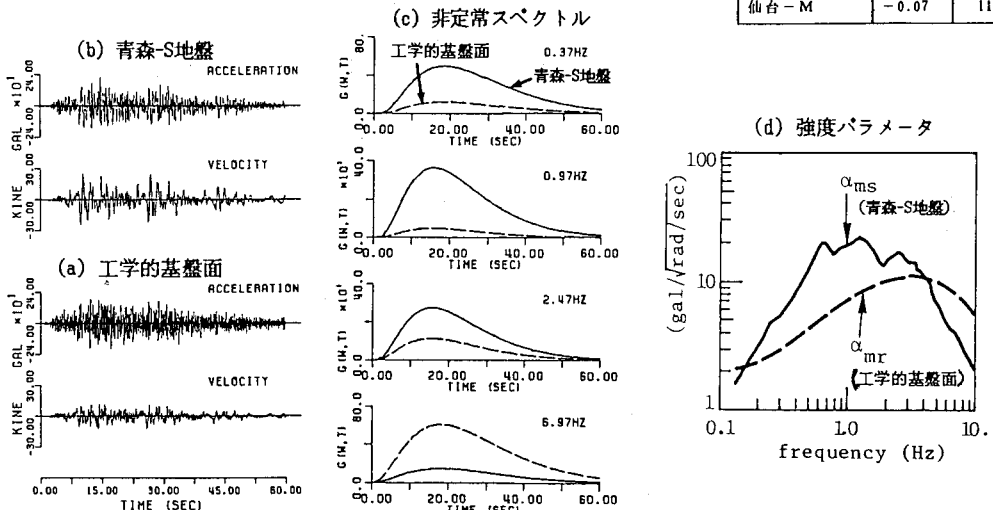


図-2 工学的基盤面と沖・洪積地盤面（青森-S地盤）でのシミュレーション地震動と非定常パワースペクトル

($M=8.0$, $\Delta=120km$)

$$R_0(f) = \alpha_{ms}(f) / \alpha_{mr}(f) \quad (2)$$

各振動数毎に得られる $R_0(f)$ とそれに対応する地盤パラメータ S_n, d_p ,さらに基盤での $\alpha_{mr}(f)$ との関係より,変換係数 $R_0(f)$ をモデル化した。

表-2に, $R_0(f)$ 算出のための式を示した。非線形特性の影響の表れる1 Hz以上の振動数域では,線形領域と非線形領域の境界を与える基盤での強度パラメータ $\alpha_{mf}(f)$ を S_n の関数として定義し(式(6)),式(4)のように R_0 の算出において考慮することとした。非線形特性の影響の表われない $f < 1.0$ Hzの領域では, R_0 は入力地震動のレベルに関係なく,

表-2 非定常スペクトルの変換係数の推定式

変換係数 R_0 による 強度パラメータの変換	$\alpha_{mf}(f) = R_0(f) \cdot \alpha_{mr}(f)$	---(3)
変換係数 R_0	$f > 1.0(\text{Hz});$ $R_0 = 10^{f^{\alpha_{mf}} + \alpha_{mr} f^{\alpha_{mf}}}$ $R_0 = 10^{f^{\alpha_{mf}} + (\alpha_{mf})^f f^{\alpha_{mf}}}$ $f \leq 1.0(\text{Hz});$ $R_0 = 10^{f^{\alpha_{mf}}}$	$\left. \begin{array}{l} \alpha_{mf} \geq \alpha_{mr} \\ \alpha_{mf} < \alpha_{mr} \end{array} \right\}$ ---(4) ---(5)
変換係数を分ける 基盤の強度パラメータ α_{mf} ($f > 1.0 \text{ Hz}$)	$\alpha_{mf} = 10^{(f^{\alpha_{mf}} + f^{\alpha_{mf}} S_n)}$ $f^{\alpha_{mf}} = 1.135 - 0.843 \log f + 2.258 (\log f)^2 - 2.913 (\log f)^3$ $f^{\alpha_{mf}} = -0.350 + 0.266 \log f - 4.880 (\log f)^2 + 4.888 (\log f)^3$	---(6) ---(7)
変換係数 R_0 算出のための係数	$r_{\alpha m}(f) = u_{\alpha m}(f) + u_{\alpha 1}(f) S_n + u_{\alpha 2}(f) \log dp$ $r_{\alpha r}(f) = u_{\alpha r}(f) + u_{\alpha 1}(f) S_n + u_{\alpha 2}(f) \log dp$	---(8)

図-3には,種々の地震動レベルに対する非定常スペクトルの変換係数 $R_0(f)$ の値を2つの地盤種に対して示した。とくに軟弱な地盤での高振動数域での非線形増幅特性や,地震動の卓越する中振動数域での軟弱な地盤の大きな増幅特性など,工学的に重要な地盤震動特性が R_0 に取り入れられていることがわかる。また図-4には,青森-S地盤を例にとり,地盤の応答解析により得られる地表の α_{ms} と R_0 による推定値を2組の M, Δ の組合わせに対して比較して示した。

表-3 変換係数 R_0 推定のための係数

振動数(Hz)	U_{00}	U_{01}	U_{02}	U_{10}	U_{11}	U_{12}
0.13	0.0	0.006	0.0	0.0	0.0	0.0
0.19	-0.073	0.007	0.071	0.0	0.0	0.0
0.25	-0.169	0.008	0.156	0.0	0.0	0.0
0.31	-0.201	0.040	0.198	0.0	0.0	0.0
0.37	-0.212	0.069	0.222	0.0	0.0	0.0
0.43	-0.202	0.083	0.231	0.0	0.0	0.0
0.49	-0.192	0.098	0.236	0.0	0.0	0.0
0.55	-0.168	0.110	0.230	0.0	0.0	0.0
0.61	-0.151	0.121	0.227	0.0	0.0	0.0
0.67	-0.130	0.135	0.218	0.0	0.0	0.0
0.73	-0.115	0.139	0.216	0.0	0.0	0.0
0.79	-0.104	0.149	0.212	0.0	0.0	0.0
0.85	-0.083	0.156	0.203	0.0	0.0	0.0
0.91	-0.061	0.162	0.194	0.0	0.0	0.0
1.03	-0.035	0.178	0.184	0.0	0.0	0.0
1.21	0.0	0.195	0.171	-0.002	-0.010	-0.002
1.45	0.032	0.256	0.160	-0.004	-0.103	-0.004
1.75	0.087	0.322	0.148	-0.010	-0.206	-0.019
2.11	0.158	0.348	0.130	-0.015	-0.262	-0.048
2.53	0.236	0.330	0.118	-0.023	-0.283	-0.086
3.01	0.318	0.254	0.104	-0.035	-0.266	-0.125
3.55	0.389	0.150	0.087	-0.055	-0.228	-0.155
4.15	0.452	0.0	0.067	-0.089	-0.152	-0.176
4.81	0.482	-0.128	0.054	-0.155	-0.114	-0.164
5.53	0.507	-0.218	0.031	-0.239	-0.072	-0.144
6.25	0.527	-0.284	0.002	-0.295	-0.053	-0.130
7.03	0.540	-0.342	-0.026	-0.350	-0.040	-0.119
7.87	0.559	-0.401	-0.054	-0.401	-0.030	-0.105
8.77	0.560	-0.468	-0.075	-0.441	-0.024	-0.095
10.03	0.552	-0.555	-0.100	-0.500	-0.020	-0.072

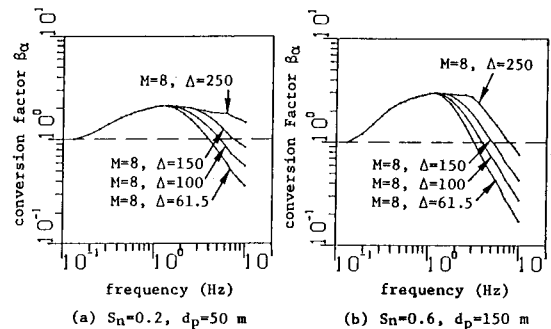
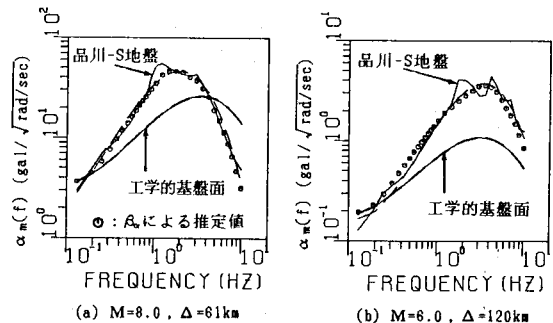
図-3 地震動レベルに対する変換係数 R_0 の変化

図-4 基盤面と沖・洪積地盤での強度パラメータ

(品川-S地盤)

- 1) 杉戸・亀田・廣瀬, 構造工学論文集Vol.32, 1988
- 2) Kameda, Sugito, Goto, 3rd. Microz. Conference, 1982
- 3) 杉戸・亀田, 土木学会全国大会, I-418, 1983
- 4) 亀田, 土木学会論文集, 235号, 1975
- 5) Sugito, Kameda, Proc. JSCE, Vol.362, 1975
- 6) Kameda, Sugito, Asamura, 7WCEE, Vol.2, 1980
- 7) 土田・倉田・山田・石坂・横山; 港湾技研資料, No.34, 107, 156, 298, 351, 1967~1980.