

成層地盤の地震動について

神戸大学工学部 正員 畑中元弘
兵庫県土木部 正員 O 河南嘉彦

1. まえがき

近年、構造物の長大化、高層化が進み、深い基礎を有する場合が多くなってきた。また地下構造物の建設も盛んである。その動的応答解析を行なう場合、地下の地震動が必要となる。しかるに地下の地震動は観測し難い、その記録も少ない。本文では、地表での強震記録から、ボーリング調査などによる地質条件を用いて、地下の地震動を推定することと考え、その性質について、2・3の考察を試みた。地表での強震記録として、室蘭、青森八戸、宮古の4港湾で得られた1968年の十勝沖地震の記録を用いた。また、地盤を成層構造であるとみなし、地震を地表面に対し鉛直下方から伝播してくるせん断波とみなして、重複反射理論を用いた。

2. 解析法

図-1のよる成層地盤を考える。各層内では密度 ρ 、せん断波伝播速度 V は、一定であり最下層は層厚を無限大とし、これを基盤と呼ぶことにする。地表の記録波形から地下の地震動の波形を時間領域で計算する場合は、小林鍾味²⁾の方法によった。このとき地盤の粘性は考えない。粘性を考慮する場合は、上の方法は用いることができない。したがって、パワースペクトルと周波数応答関数によって、地下地震動も周波数領域で推定することにした。

周波数応答関数は、次のようになる。基盤からの入射波を $U_0 = e^{i\omega t}$ とにおいて、波動方程式 $\frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = V^2 \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}$ 、 $V = \sqrt{\mu/\rho}$ と境界条件を満足するように解くと、最終的に次式を得る。

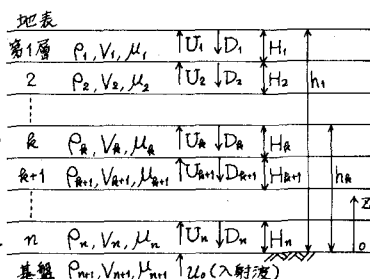


図-1 成層地盤

$$\frac{|U_k, z=h_k|}{|U_0, z=0|} = \frac{|\{g_{11}^{(k-1)} e^{i2f_k h_1} + g_{12}^{(k-1)}\} e^{-if_k h_k} + \{g_{21}^{(k-1)} e^{i2f_k h_1} + g_{22}^{(k-1)}\} e^{if_k h_k}|}{|g_{11}^{(n)} e^{i2f_k h_1} + g_{12}^{(n)}|} \quad (1)$$

ここに、左辺の分母は最層上境界での波形を示し、 $g_{ij}^{(k)}$ は $[Q_k] = [P_k][P_{k-1}] \cdots [P_1]$ の要素である。また、

$$[P_k] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} (1+\alpha_k) e^{i(f_{k+1}-f_k)h_{k+1}} & (1-\alpha_k) e^{i(f_{k+1}+f_k)h_{k+1}} \\ (1-\alpha_k) e^{-i(f_{k+1}+f_k)h_{k+1}} & (1+\alpha_k) e^{-i(f_{k+1}-f_k)h_{k+1}} \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} f_k &= \omega/V_k \\ \alpha_k &= \rho_k V_k / \rho_{k+1} V_{k+1} \end{aligned}$$

である。粘性を考えると、 μ の代りに複素弾性定数 μ^* を用いて、(1)式を計算すればよい。なお(1)式においては、位相差は無視しており振幅の絶対値のみを問題にしている。

3. 数値計算例と考察

地盤モデルは、表-1に示す通りである。密度 ρ は、地表に近いところではほぼ一定値であり、 2.0 ton/m^3 程度の値であると考へ地質から適当に仮定することにした。せん断波速度 V は、土質柱状図に示された N 値の分布図から、その急変点を層の境界とし、境界間の N 値の平均値から推定した。 N 値と V の関係は、実測結果から種々の提案がなされているが、両対数グラフで表わすとほぼ直線関係である。今井・青村³⁾は $V = 52\sqrt{N}$ という関係

表-1 成層地盤モデル

	室蘭			青森			ハ 戸			宮 古		
層	P	V	H	P	V	H	P	V	H	P	V	H
1	1.8	78	3.0	1.8	100	2.0	1.8	91	3.0	2.0	122	2.4
2	1.9	262	6.0	1.8	160	4.0	1.9	258	5.9	2.1	307	5.0
3	2.0	355	5.5	1.9	200	4.0	2.0	392	8.7	2.0	198	2.0
4	2.1	534	2.6	1.8	140	11.0	2.2	524	—	2.2	712	—
5	2.2	739	10.4	1.8	170	6.0						
6	2.2	1081	—	2.0	400	—						

P:密度(ton/m^3), V:せん断波速度(m/sec), H:層厚(m)

を示している。他の実測値からみてもほぼ妥当であると思われ、取り扱いが簡便であることから、この関係式によりVの値を決めた。

計算結果を図-1～5に示す。図-2と図-3を見比べると、青森と宮古の場合では両者のピークの位置がほぼ一致しており、地表の地震動が地表近くの地盤の振動特性に大きく影響されていることがわかる。このことは、地盤が堅いもしくは軟らかいとはより判断できる場合には、成層地盤モデル化が容易であり、せん断波の重複反射理論によっても、地盤の振動性状をかなりよく表現できることを示していよう。また、地盤が堅いほど卓越周期が短く、軟弱なほどそれが長いという傾向もよく表われている。図-4は、基盤からの入射波の波形を計算し、そのパワースペクトル密度を計算したものである。この図から、地下の地震動は地表の地震動に比べて振幅が小さく、フラットな周波数特性を有することが推察される。

図-5は、粘性を考慮した場合の周波数応答関数の例である。周波数が高くなるほど増幅度は小さくなり、図-4を考え合わせると粘性を考えれば、地下の地震動の周波数特性はフラットなものになるといえる。

4 あとがき

せん断波の重複反射を考えることにより、地下の地震動を推定することは可能であるが、地表と地下の同時観測による検討が必要である。今後の問題としては、表面波、地盤の非線形性、地震動を定常ランダム過程とみなすことの妥当性などの問題点があげられる。

参考文献；1) 土田ほか，運輸省港湾技術資料，No.80，1969。2) 小林鏡味，建築学会論文報告集，No.173，1970。3) 今井・吉村，土と基礎，Vol.18，No.1，1970，4) 嶋・工藤，Proc. of 3rd J.E.E.C.，1970。

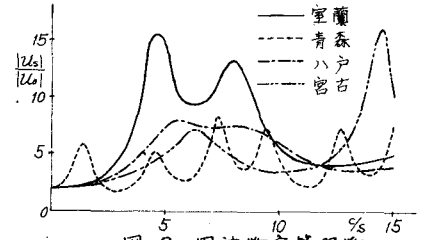


図-2 周波数応答関数

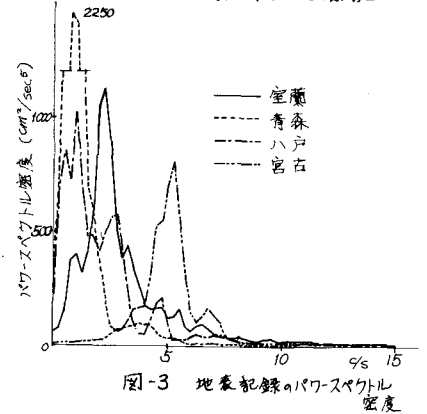


図-3 地表記録のパワースペクトル密度

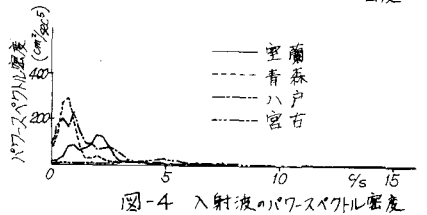


図-4 入射波のパワースペクトル密度

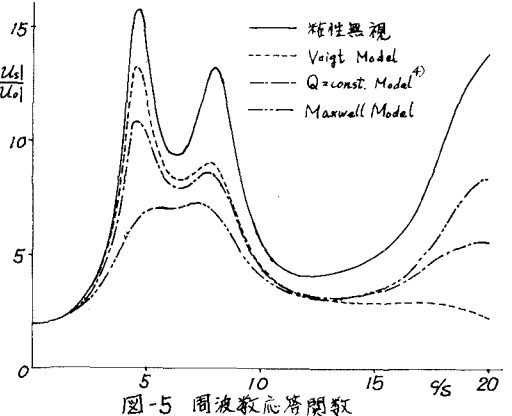


図-5 周波数応答関数