

金沢大学工学部 正員 池本 敏和
金沢大学工学部 正員 北浦 勝

1. まえがき

構造物の地震応答解析には入力波が重要な意味を持っている。その入力波には地盤の局所的な動特性が大きな影響を及ぼすといわれている。しかしながら、地盤の動特性を的確に表わす指標は十分にはわかっていないが、現在までの研究から、その固有周期と減衰定数がわかれば、地盤の地震応答がほぼシミュレートされるようになってきている。このうち固有周期に関してはボーリング柱状図や、それを用いる重複反射理論、また P-S 横層などによって比較的容易に推測されるが、減衰定数に関しては適当な評価手法はあまり見当らず、単に仮定しているにすぎない場合も多い。本研究では、常時微動の測定結果を利用して、特に地盤の減衰定数を評価する手法を提案した。次に、これらの手法を地盤の減衰定数のわかっている模擬常時微動液に適用し、手法の妥当性について検討を加えた。さらに、福井平野における常時微動の結果に、これらの手法を用いて地盤の減衰定数を求め、従来から減衰定数を求めるために使われる手法^{1,2)}と比較、検討を行った。

2. 減衰定数の評価法の提案

(1) パワースペクトルを用いる手法 地盤を線形 1 自由度系と仮定し、常時微動の加速度のパワースペクトルを $S_{\ddot{x}+\ddot{z}}$ とすれば、入力と出力は次の関係となる。

$$S_{\ddot{x}+\ddot{z}} = |H a(\omega)|^2 \cdot S_{\ddot{z}} \quad , \quad |H a(\omega)|^2 = \frac{1 + (2h \frac{\omega}{\omega_0})^2}{\{1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2\}^2 + (2h \frac{\omega}{\omega_0})^2} \quad \text{----- (1)}$$

本手法では上記の関係式を用いる。すなわち、(1) $S_{\ddot{x}+\ddot{z}}$ においてピークが最大となる円振動数を地盤の固有円振動数 ω_0 とする。(2) 地盤の減衰定数 h をパラメトリックに変化させることにより、各 h に対する加速度応答倍率 $|H a(\omega)|^2$ が求まる。一般に $S_{\ddot{z}}$ はホワイトノイズに近いといわれているので、 $S_{\ddot{x}+\ddot{z}}$ を $|H a(\omega)|^2$ で除して得られる $S_{\ddot{z}}$ が対象とする振動数領域において最もホワイトノイズに近くなるような h を、地盤の減衰定数 h であるとみなす。なお常時微動に本手法を適用するに当ってはデータの継続時間は 0.02 秒刻みに 1024 個、すなわち 20 秒とした。また変動係数が最小となるような $S_{\ddot{z}}$ をホワイトノイズに近いと判定した。さらに、対象とする振動数領域は 0 rad/sec から固有振動数 ω_0 の 1.5 倍の円振動数までとした。これは $S_{\ddot{z}}$ の平均がこれより大きい振動数域では十分小さくなることによる。

(2) 加速度応答スペクトルを用いる手法 この手法においても地盤を線形 1 自由度系と仮定し、常時微動の加速度応答スペクトルと後述する方法で求まる地表面加速度の加速度応答スペクトルとを比較することによって、地盤の減衰定数を評価する。Fig. 1 にこの手法のフローチャートを示す。基盤での入力をホワイトノイズと考え、一定の確率密度を有する確率変数から取り出された振動数を持つ余弦関数も、時間軸上でランダムにずらしたものを重ね合わせて作成した。これを種々の減衰定数を持つ 1 自由度系に入力させ、その応答加速度として地表面加速度を求めた。このとき求まる地表面加速度の振幅は常時微動と地表面応答加速度を応答スペクトルの概念で比較検討する上で非常に重要である。従って、ここでは常時微動のパワース

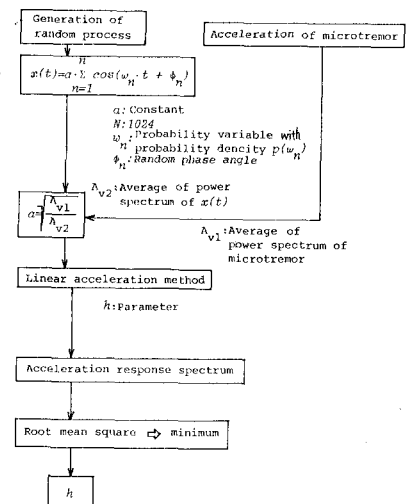


Fig.1 Flow chart

パワトルの平均を地表面加速度のパワースパクトルの平均で除し、その平方根を係数 α とおく。次に、係数 α を地表面加速度に乗じた値を改めて地表面加速度とした。こうすることによって常時微動と地表面加速度の振幅レベルを等しくした。以上のようにしたのちに、常時微動と地表面加速度のそれぞれの加速度応答スペクトルの差の自乗平均が最小となる地表面加速度を生み出した減衰定数を地盤の減衰定数とした。

3. 提案手法の検討

2. で提案した手法(1),(2)の精度の検討は両手法を、固有周期、減衰定数を仮定して得られる模擬常時微動波形に適用し、得られた減衰定数を最初に仮定したそれと比較することによって行った。求めた減衰定数 h_c と仮定した減衰定数 h_a の比較をFig.2に示す。模擬常時微動波形の固有周期は0.1, 0.2, 0.33, 1.0 秒の4種類としている。Fig.2(a),(b)はそれぞれ手法(1),(2)の結果を示している。両図を比較してみると、プロットした点の傾きの異なっていることがわかる。Fig.2のうち各点が45°の傾きを持つ直線近くに分布している方が精度の良い評価法と考えられる。(a)においては $h_c \approx 0.8h_a$ であり、(b)においては $h_c \approx 2.0h_a$ という結果となった。地盤の固有周期を変化させると h_c と h_a を結びつける係数は異なるが(a)すなわち手法(2)の方が h_c と h_a を結びつける係数は1に近い。また点のバラツキ具合からも(a)すなわち手法(2)が(b)すなわち手法(1)より妥当性があるのではないと思われる。

4. 減衰定数の評価

本手法(1),(2)を用いて福井平野で測定した常時微動記録の減衰定数を求めた。Fig.3に測定地点と1948年の福井地震での木造家屋被害率を示した。その結果と従来からよく使用されている ① 自己相関関数が減衰自由振動をしていると仮定し、その振幅より、対数減衰率を求め減衰定数を決める方法も含めて比較検討を行った。結果をTable1に載せる。手法(1),(2)はそれぞれ手法1に比べて3~5倍程度も大きい値を示している。次に、①,(1),(2)の手法で求めた減衰定数を常時微動の卓越振動数を横軸にとってプロットしなおしたのがFig.4である。Fig.4によると、手法①より求まる減衰定数は全体的に低い値となっている。また、文献②で求まる等価逸散減衰定数 h_e を考えてみる。測定地点の地盤のインピーダンス比はだいたい0.3程度であるので、 h_e は0.2程度となり、本手法とよい対応を示していると考えられる。以上のようなことから、地盤を対象とした場合には手法(2)で提案した加速度応答スペクトルより減衰定数を評価する手法が有効ではないかと考えられる。

最後に、本研究を実施するにあたり多くの助言をいただいた本学部・官島昌克助手、ならびに測定、解析に助力をいただいた元学部生・清水政浩君(現・セキヤ工業)に感謝の意を表します。

参考文献 1) 小堀為雄：応用土木振動学，p48，森北出版，1979.
2) 土岐憲三：構造物の耐震解析，p100，技報堂，1981.

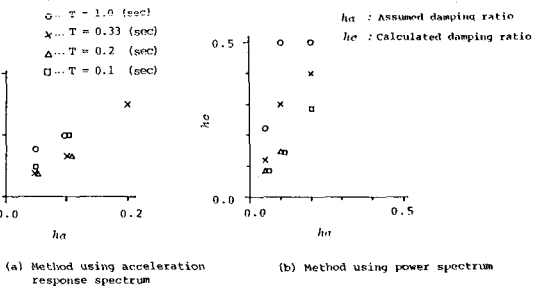


Fig.2 Relationship between h_c and h_a .

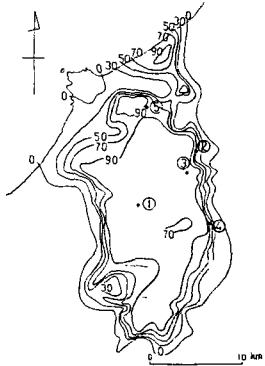


Fig.3 Damage ratio contour map and measured sites.

Table 1 results of evaluated damping ratio

Predominant frequency $f_0 (= \omega_0/2\pi)$	Power spectrum (1)	Acceleration response spectrum (2)	Autocorrelation function ①
2.59	0.07	0.07	0.07
5.03	0.15	0.15	0.03
4.49	0.15	0.10	0.05
4.98	0.30	0.20	0.08
5.47	0.30	0.25	0.06

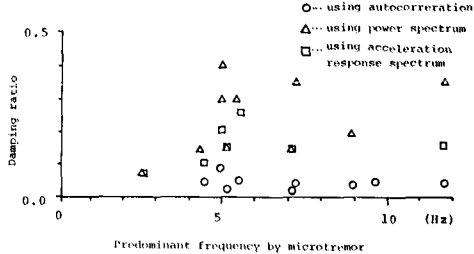


Fig.4 Relationship between damping ratio and predominant frequency