

早稲田大学 理工学部 正員 宮 原 玄

系の相互作用解析を行う場合、地盤と直方体要素などの有限要素によつて忠実にモデル化すると、節点数の増大、ひいては取扱う方程式の未知量の増加を招くことが問題になる。著者らは系の静的相互作用解析に実績のある地盤のWinkler仮定によるモデル化を応用して、動的相互作用解析の地盤のモデル化に拡張Winkler仮定を適用している。すなわち、地盤をバネ・ダッシュポット・質点要素(K-D-M要素)によつてモデル化している。この方法によれば、地盤のモデル化のために新たな節点を設ける必要がないので、電子計算機の記憶容量を無駄なく構造物より忠実なモデル化に当てることが可能になるなどの長所があり、高架橋のような長大な構造物の各支持点の三方向に性質の明確な地震波の入力が容易であるなどの特長もある。

図-1(i)にこのモデルを概念的に示してある。このモデルでは地盤は互に独立して密に分布するバネ、ダッシュポット、質点に置換されるので、地盤の持っている連続体としての性質は損われる。そのため、この方法による地盤のモデル化は直方体要素によるモデル化と比較して質が劣ることが直感的に予想される。また、これら二つの考え方を、簡単な構造の振動応答を数値実験によつて求め、比較すると両者の間に大きな差異が存在することがわかる。

図-2(i),(ii)は外径20cm、曲げ剛性 $9.7 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ 、長さ20mの鋼管が、ヤング率 54.4 kg/cm^2 、ポアソン比0.4—Vesicの式で換算すれば地盤反力係数 1.0 kg/cm^2 —の地盤に10m埋込まれ、その頂部に $1 \times 1 \text{ m}$ 、地表部に $1 \times 2 \text{ m}$ のコンクリート・ブロックを持つ構造物を模擬地震波によつて振動させた場合の頂部の加速度応答のフーリエ・スペクトルを示している。図-2(i)には顕著なピークが三ヶ所—0.4, 0.5, 0.8 Hz附近—にある。0.5 Hz附近のピークは、上部構造のみの一次固有振動数が0.517 Hzであることから、上部構造の一次固有振動数であり、他の二つは地盤の固有振動数であると考えられる。図-2(ii)にはピークが一ヶ所—0.4 Hz附近—しかない。これは、系の連成系としての一次固有振動数が0.404 Hzであることから、系が一体となつて振動していることを示している。

同様な比較を数組の E_s と K_h について行つた。その結果をまとめると次のようになる。

(1) E_s , K_h が大きい場合には、二つのモデル化による応答のフーリエ・スペクトルは良く似た形状を示している。これは次のように考えられる。大きな E_s , K_h を用いれば、上部構造は剛性の比較的に大きな支持点を持つことになり、相互作用は少ない。従つて、いずれの解法でも応答に対する地盤からの寄与は小さく、上部構造の寄与が相対的に大きくなり、フーリエ・スペクトルは主に上部構造の性質を表すためと考えられる。

(2) 直方体要素による地盤のモデル化では E_s を減少している。フーリエ・スペクトルの形状は極端には変化しないが、相互作用による地盤の影響と考えられる変化が際々に出現する。すなわち、構造系の固有振動、地盤の固有振動と考えられるピークが数ヶ所にある。このようなことから、この方法は地盤・基礎・構造系のモデル化に適していると考えられる。

(3) バネ・ダッシュポット・質点要素による地盤のモデル化では K_h の減少に伴つて、フーリエ・スペクトルの形状と量に大きな変化が現われ、ピークは一つになる。これはこの解法が直方体要素によるモデル化とは異つた

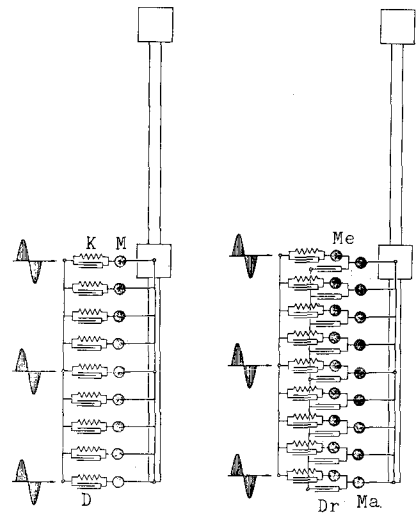


図-1 地盤・基礎・構造系のモデル
(i) K-D-M要素 (ii) K-D-M要素(2)

モデル化を行っていることを示しており、この方法は系のモデル化に適していないことを示している。地盤の質量 M を増加しても、この傾向は変わらない。

以上の数値実験で明らかになった差異を解消するために、図-1(i)に示したバネ・ダッシュポット・質点要素の地盤質量 M を二つの部分に分割して、図-1(ii)のように改造した。図-1(i)のモデル化では、地震加速度が構造物周辺の地盤質量 M に作用して、地震力の一部になり、地震速度がダッシュポット D に、地震変位がバネ K に作用して生ずる地震力とともに基礎・構造系に入力されるのに対して、図-1(ii)のモデル化では、図-1(i)の場合と同一の地震力が地盤・基礎・構造系に入力される。すなわち、図-1(ii)では地盤質量を地震力の一部に属する部分 M_e と他の地震力が入力される部分 M_a —換言すれば、系と一体になって振動する部分、または系の付加質量と考える部分—に分割しているのに対して、図-1(i)ではそれらを分割せずに、まとめて考えている。なお図-1(ii)のダッシュポット D_r は系の放射減衰を表わしている。

図-2(i), (ii)で取扱った構造と同一の構造を図-1(ii)によってモデル化し、数多くの M_e, M_a を組合せて、図-2(i), (ii)と同一の条件下で振動させ、フーリエ・スペクトルを求めた。図-2(iii)はその代表例であり、 M_e として $13 \times 13 \times 10m$, M_a として $5 \times 5 \times 10m$ の土のブロックを考えた場合の結果である。 $1.3Hz$ 以上の振動数領域では差異は拡が

っている。しかし、長大な構造物に重大な影響を及ぼす低い振動数領域では大きなピークが三ヶ所— $0.3, 0.6, 0.8$ 附近—にあり、直方体要素の結果(図-2(i))に近付いて来ている。これはバネ・ダッシュポット・質点要素が、まだ改良の余地は残されているが、地盤質量を一つにまとめてモデル化(図-1(i))するよりも、二つに分割してモデル化(図-1(ii))することによって改善される方向にあることを示している。

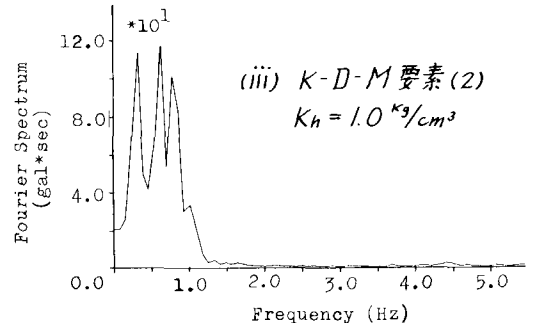
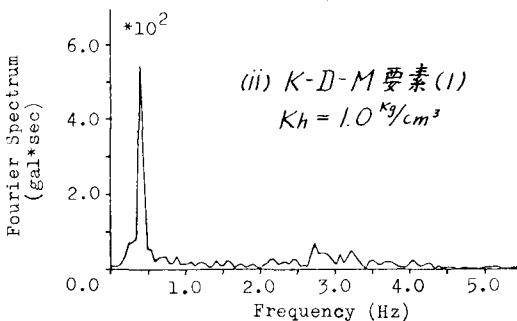
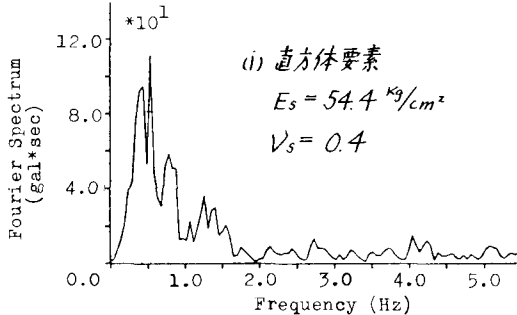


図-2 フーリエ・スペクトル

参考文献

- 1) F. Miyahara & J.G. Ergatoudis, "Matrix Analysis of Structure-Foundation Interaction", Jour. Str. Div., ASCE, Vol.102, No. ST1, 1976.
- 2) F. Miyahara, "A Method of Analysis for the Structure-Foundation Interaction", Memoirs of the School of Science & Engineering, Waseda Univ. No.40, 1976.
- 3) G.E. Brandow, "Soil-Foundation-Structure Interaction During Earthquake Excitation", Stanford University, Ph.D., 1971.
- 4) A.B. Vesic, "Beams on Elastic Subgrade and the Winkler's Hypothesis", Proc. 5th Internatl. Conf. on Soil Mechanics & Foundation Eng., Paris, 1961.
- 5) 星谷, 千葉, 草野, "地震加速度波の非定常特性とシミュレーション", JSCE 論文報告集, No. 245.