

早稲田大学 理工学部 正員 宮原 玄
酒井 克 宜

本文は地盤・基礎・構造系の相互作用解析法について比較検討を行つたものである。

系の上部・下部を向わず、また静的・動的を向わず、その系に外力が作用する時、基礎を介して地盤と構造との間にエネルギーの授受が行われる。これに注目した相互作用解析法が重要なことが指摘されている。

相互作用解析に有限要素法を応用した研究では系のモデル化に際して、地盤の部分を三次元¹⁾または二次元有限要素でモデル化する場合が多いが、一次元有限要素でモデル化する場合もある。これら方法では系のモデル化に取入れる地盤の範囲が明確でなく、地盤部分のモデル化に多くの節点を設けなければならぬ²⁾弱点がある。電子計算機は大型化しているが、記憶容量の多くを地盤部分にでなく、構造および基礎の部分に設ける節点に利用したいと考えるのは当然であろう。この要求に最も適した要素はバネ系要素³⁾である。

地盤に Winkler 仮定を適用してバネ要素によつてモデル化し、系の静的相互作用解析を行い、良好な結果を得た⁴⁾ので、地盤をバネ・ダッシュポット・質点要素でモデル化する方法を用いて、系の動的相互作用解析を行っている。この方法によれば、構造および基礎の部分に設けた節点の自由度に関する運動方程式によつて、地盤に支持された構造物の動的相互作用解析を行うことが可能である⁵⁾。

この解析方法による結果と地盤部分を三次元有限要素でモデル化した解法による結果を比較検討する。図-1は上部構造の高さが10m、表層地盤の厚さが10m、また点Aに1×1×1m、点Bに1×2×2mのコンクリート製ブロッコがついている系を示している。上部構造の一次固有振動数は0.52Hzである。この系を地震動によつて加振し点Aの応答を二つの解析法で求めスペクトル解析を行った。

構造のモデル化は両方法で同一に取扱うことができる。地盤のモデル化はバネ・ダッシュポット・質点要素による場合(モデル-I)の地盤反力係数 K_h と三次元有限要素による場合(モデル-II)の地盤のヤング率 E_s およびポアソン比を関連づけて決定しなければならない。ここでは、これらの量が次式で⁶⁾関連づけられるとする。

$$K_h \cdot D = 0.65 \cdot \sqrt{E_s \cdot D^3 / E_b \cdot I} \cdot (E_s / (1 - \nu_s^2))$$

ここに、 $D(=20\text{cm})$ は基礎杭の幅、 $E_b \cdot I(=9.7 \cdot 10^9 \text{kg} \cdot \text{cm}^2)$ は基礎杭の曲げ剛性、 $\nu_s(=0.4)$ はポアソン比である。

加振に用いる地震波は、モデル-Iの場合には各支持点に直接に地震波が入力されるので、地盤特性の影響による変化を考慮した地震の変位、速度および加速度波形が必要になる。一方、モデル-IIの場合には加速度は基礎盤に入力され、地盤の特性によつて影響を受けた後に各支持点に異なった地震動が入力されるので、地震動は加速度波形のみで良い。地震記録は加速度による場合が多く、またある地点に建設される構造の応答解析に、地盤特性の異なる他地点の記録地震波形を用いることは適当でない⁷⁾ので、構造物の建設地点の過去の記録地震波形の特性を取入れた模擬地震波形を作成して用いる。

表-1によれば、両解法とも地盤の剛性が減少するに従つて最大応答加速度および変位が増大する傾向があり、表層地盤によつて地震波が増幅されるという現象と一致している。図-2はモデル-Iで $K_h=0.5 \text{kg/cm}^2$ とした場合およびモデル-IIで $E_s=28.7 \text{kg/cm}^2$ とした場合の点Aの加速度応答のフーリエ・スペクトルである。他の K_h と E_s の組に対しても同様な解析を行った。それらに共通な傾向は顕著なピークがモデル-Iでは1個、0.4Hz附近にあり、モデル-IIでは3個、0.4、0.5、0.8Hz附近にあることである。モデル-Iのピークは系の一次固有振動数であり、モデル-IIの0.5Hz附近のピークは上部構造の一次固有振動数、0.4および0.8Hz附近のピークは地盤の固有振動数である。

以上によつて、モデル-IおよびIIの間にスペクトルの構造に相違があることがわかった。前述の様にモデル-IIには弱点があるが、現実に近いモデル化である点でモデル-Iに勝っている。従つて、この相違はモデル-Iの改善によつて埋めたい。今後は(1)系のモデルに取入れる地盤質量の評価方法、(2) K_h と E_s を関連づける方法、(3)バネ・ダッシュポット・質量要素の改造などの諸点に注意して検討して行く。

表-1 時刻歴から得たデータ

		地盤の定数 $K_h, K_s, K_t/E_s$	最大加速度		最大変位	
			gal	sec	cm	sec
モデル-I	*	-	57.2	4.94	11.5	3.28
	**	5.0 2.0 1.0	84.1	4.90	13.3	3.42
		1.0 0.4 0.2	112.8	4.92	15.0	3.62
		0.5 0.2 0.1	-125.7	6.60	16.0	3.72
モデル-II	*	-	56.8	4.88	11.6	3.30
	**	240.4	-61.8	3.02	11.8	3.26
		54.4	-129.0	5.85	15.1	3.26
		28.7	-105.0	6.10	17.5	3.44

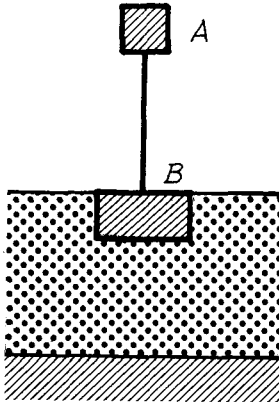
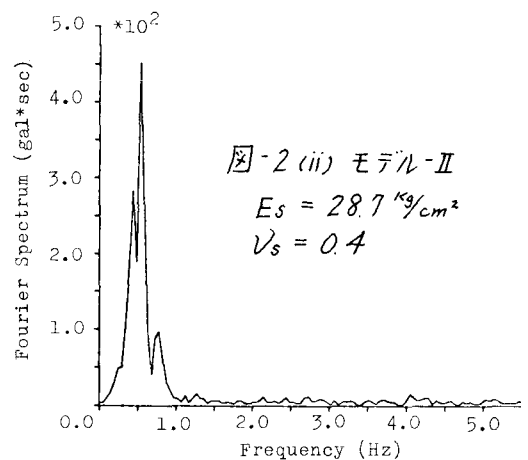
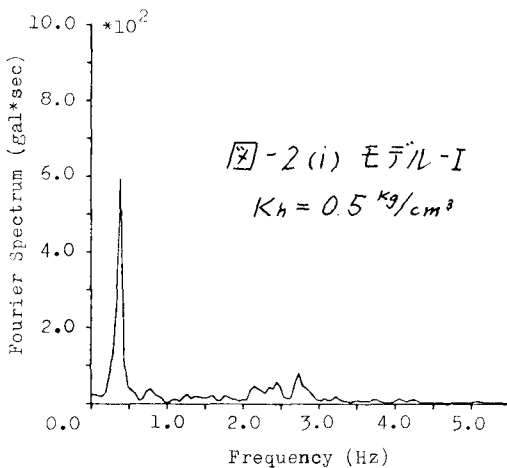


図-1 地盤・基礎・構造系

注) * 上部構造のみ解析

** 相互作用解析



参考文献

- 1) G.E.Brandow, "Soil-Foundation-Structure Interaction During Earthquake Excitation", Stanford University, Ph.D., 1971.
- 2) J.K.Minami & J.Sakurai, "Earthquake Response Spectra for Soil-Foundation-Building System", Proc. 6WCEE, Jan. 1977.
- 3) J.Penzien, C.F.Scheffey & R.A.Parmelee, "Seismic Analysis of Bridges on Long Piles", Jour. Mech. Div., ASCE, Vol.90, No.EM3, 1964.
- 4) F.Miyahara & J.G.Ergatoudis, "Matrix Analysis of Structure-Foundation Interaction", Jour. Str. Div., ASCE, Vol.102, No.ST1, 1976.
- 5) 宮原・平嶋, "地盤・基礎・構造系の地震動加振に対する振動解析", 早大理工研報告, 772輯, 1976.
- 6) A.B.Vesic, "Beams on Elastic Subgrade and the Winkler's Hypothesis", Proc. 5th Internatl. Conf. on Soil Mechanics & Foundation Eng., Paris, 1961.
- 7) 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.