

I-473 非線形動的相互作用のオンライン実験解析

～構造物を2自由度ばね-質点系とした場合～

武蔵工業大学大学院 学生会員 荻野輝之

武蔵工業大学 正会員 片田敏行

武蔵工業大学大学院 学生会員 西岡和昭

1. まえがき

構造物の耐震設計法には震度法や修正震度法などがある。また重要構造物の場合には直接応答解析が行われる。このとき重要な点は、地盤と構造物の動的相互作用をどのように評価するかである。通常、地盤と構造物との間に反力ばねを仮定し、動的相互作用を考慮している。動的相互作用を考慮した応答解析方法には1)ばね-質点系モデルによる連成解析、2)有限要素法による解析、3)動的サブストラクチャー法による解析などが挙げられる。これらの計算機のみによる数値解析法に対して、計算機と動的試験機を用いて、オンライン実験装置を構築し、地盤-構造物系を解析することが考えられる¹⁾²⁾。この解析方法は実現象と力学的に等価な振動システムを計算機と動的試験機で構築して、表層地盤-構造物系の動的相互作用を解析しようとするものである。本論文では動的相互作用のオンライン地震応答解析の第一段階として、構造物が2自由度のばね-質点系で与えられる場合の解析例を報告する。

2. オンライン地震応答解析法

2.1 解析システムの概要

地震時における地盤-構造物系の解析を行うとき、地盤反力ばね特性が構造物に作用する地震力の特性を左右する。構造物に作用する地震力は振動三軸試験機より求め、これを外力としてマイコン内で2自由度系の応答計算を行う。したがって、オンライン地震応答解析装置はマイコンと振動三軸試験機より構成される。地盤-構造物系のモデルと地震力の算出方法の概要を図-1に示す。

2.2 解析の手順

地震波が表層地盤に伝播して基礎周辺の地盤がゆれ始める。その結果、地盤反力ばねを介して地震力が構造物の基礎に作用する。伝達された地震力によって構造物は応答をする。このとき構造物がゆれて生じる慣性力の影響などにより、地震力の地盤へのフィードバックが起こる。この動的相互作用を室内で再現するため、構造物と表層地盤の相対変位で振動三軸試験機にセットした供試体(高さ10cm、直径5cm)を強制変形させる。その単位面積当りの反力を構造物基礎に作用する単位面積当りの地震力と考える。この地震力を外力とする構造物(ここでは2自由度ばね-質点系)の応答解析を行う。解析には線形加速度法を用いた。これにより質点1および質点2の応答変位を求める。これを繰り返して全継続時間にわたる各時間刻みごとの質点の応答値を求める。

3. 解析条件

地盤挙動を表す入力変位波には、地震加速度記録(日向灘沖地震、 $M_g=7.5$ 、1969.4.21、細島記録、NS成分波)に対する1自由度系の応答変位を用いた。このとき最大値を0.1cmに正規化した。1自由度系の復元力関数モデルにはRamberg-Osgoodモデルを用いた。そのパラメーターを表-1に示す。さらに表-2には質点系の物性値を示す。構造物に作用する地震力を求める供試

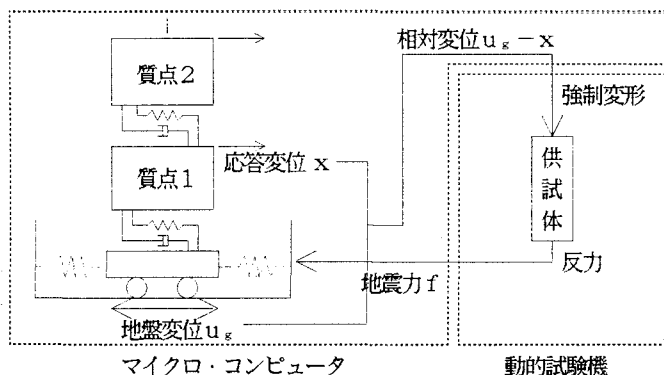


図-1 地盤-構造物系のモデルと地震力の算出方法の概要

体の作成には豊浦標準砂を使用した。したがって、表層地盤は豊浦標準砂より成り、そこに位置する構造物の応答解析を想定している。表-2に示す物性値に対してこのばね-質点系の1次固有振動数は0.93Hz、2次固有振動数は2.43Hzである。また、地盤と構造物の相対変位で決まる地震力を取り出す振動三軸試験においてその拘束圧を1.5kgf/cm²とした。供試体は乾燥砂より成り、密詰め状態（Dr=59.61%）とした。

表-1 入力波作成に当たって用いたR-0モデルのパラメータ

初期最大せん断剛性	913 kgf/cm ²
初期最大せん断応力	0.269 kgf/cm ²
最大履歴減衰定数	0.32
層 厚	1000 cm
単位体積重量	1.8 gf/cm ³

表-2 ばね-質点系の物性値

	質点1	質点2
質量	5000 kg	5000 kg
減衰係数	9425 $\frac{\text{kgf} \cdot \text{sec}}{\text{cm}}$	9425 $\frac{\text{kgf} \cdot \text{sec}}{\text{cm}}$
ばね係数	444132 kgf/cm	444132 kgf/cm

4. 解析結果

解析結果を図-2に示す。質点2と質点1の応答変位波を比較すると、質点1の場合には主要動以外の比較的小さな入力波部分では約2.9Hzの成分が卓越している。また入力波の主要動部における応答変位は約1.0Hzの成分が卓越している。これに対して入力波の主要動部では約1.2Hzの成分が卓越している。したがって、入力波の主要動部に見られる応答変位の約1.0Hzの大きな応答は、ばね-質点系の1次固有振動数0.93Hzと入力波の卓越振動数約1.2Hzの共振の結果といえる。これに対して質点1に見られる約2.9Hzの卓越部分は系の2次固有振動数2.43Hzの影響かもしれない。

図-3には供試体反力～相対変位の関係を示す。構造物を引っ張る引っ張り側で、地震力が一定となるような形状を示している。供試体に作用する最大ひずみは約 2.7×10^{-2} である。したがって構造物に近接する地盤に約 2.7×10^{-2} のひずみが生じている非線形動的相互作用を解析していることになる。

5. あとがき

本研究では、地盤-構造物系の非線形動的相互作用の解析にオンライン実験装置を使用する第一段階として構造物を並進運動のみを考慮した簡単な2自由度系でモデル化し、解析例を示した。今後はより現実に近い構造物を解析対象とする必要がある。それゆえ、次段階としてはラーメン構造物などの非線形動的相互作用の解析を目指したい。さらに基礎形状、大きさをどのように評価して解析に取り入れるかについても検討していきたい。

謝辞

本研究で用いた地震加速度記録は運輸省港湾技術研究所で公開されたものです。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 片田敏行・佐藤祐明：室内試験による地盤反力特性の解析、土木学会論文集、1989年4月号登載予定
- 2) 土岐憲三・佐藤忠信・清野純史・吉川正昭：地盤-構造物系の非線形動的相互作用に関するハイブリッド実験法の開発、京都大学防災研究所年報 No.31,1988.4.
- 3) 家村浩和：ハイブリッド実験の発展と将来、土木学会論文集、No.356/1-3、pp.1-10,1985.4.

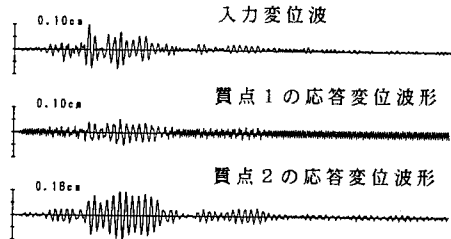


図-2 解析結果（入力変位波形、質点1の応答変位波形、質点2の応答変位波形）

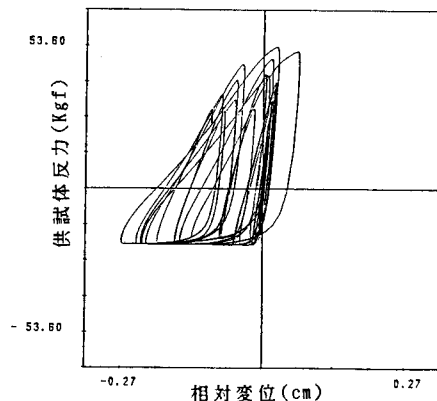


図-3 乾燥砂地盤の相対変位～供試体反力