

動的相互作用を考慮した構造物-地盤系の非線形地震応答解析

鹿児島大学工学部 学生員 ○木村 至伸
 鹿児島大学工学部 正 員 河野 健二

1. はじめに

性能設計の観点から、地震力が構造物の応答へ及ぼす影響を非線形領域で検討することが重要となる。構造物の地震時挙動は地盤の動的特性と構造物の振動特性を考慮した動的相互作用解析を行うことで、その応答特性を明らかにすることができる。本研究では、動的相互作用を考慮した構造物の非線形地震応答解析を行い、動的相互作用の影響を基礎固定時の応答と比較して検討した。また、地盤種別、必要強度スペクトルを用いて構造物の応答に及ぼす影響について検討を加えた。

2. 解析方法

図-1 に動的相互作用を考慮した構造物-地盤系の解析モデルを示す。基礎形式はケーソン基礎とし、並進運動と回転運動を考慮した。上部構造物の非線形特性は Versatile 型復元特性モデルで与えた。バネ定数 k に関して(1)のように置き換える。

$$kx = \alpha(F_y/Y)x + (1-\alpha)F_yZ$$

$$\dot{Z} = -r/Y |x||Z|^{n-1}Z + 1/Y (A - \beta|Z|^n)k \quad \cdots (1)$$

F_y は降伏荷重、 Y は降伏変位、 Z は無次元の非線形関数であり、 $A, \alpha, \beta, \gamma, n$ は、非線形特性を決めるパラメータである。並進バネ定数及び回転バネ定数の値はせん断弾性定数から求め、地盤の非線形特性は Hardin-Drnevich 型モデルで与えた。せん断弾性定数 G 及び減衰定数 h のひずみ依存性を(2)のように定義する。

$$G_1/G_0 = \frac{1}{1 + \gamma/\gamma_y}$$

$$h = \frac{4}{\pi} \left[1 + \frac{1}{\gamma/\gamma_y} \right] \left[1 - \frac{\ln(1 + \gamma/\gamma_y)}{\gamma/\gamma_y} \right] - \frac{2}{\pi} \quad \cdots (2)$$

γ_y は基準ひずみと呼ばれるもので、 10^{-3} に相当する。初期剛性は地盤種別によるものとし、解析に用いた諸元を表-1 に示す。これらについて、運動方程式を立て4次精度の Runge-kutta 法を用いて非線形地震応答解析を行う。

3. 解析結果及び考察

入力地震波としては、兵庫県南部地震で観測された南北方向波(ここでは、KOBE-NS と表す)を用い、最大地震加速度を 500gal として解析を行う。地盤条件としては、健全な地盤である第 I 種地盤と軟弱な第 III 種地盤を考える。図-2 に、動的相互作用の影響を構造物全体系の加速度応答に注目して基礎固定時(ここでは、1 自由度系と表す)の応答スペクトルとの比較として示す。地盤種別に関

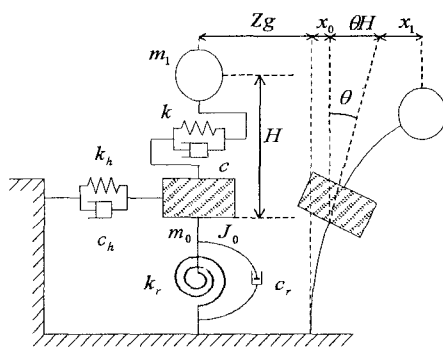


図-1 解析モデル

表-1 並進及び回転バネ定数の初期剛性

	並進バネ定数(tf/m)	回転バネ定数(tf-m/rad)
第I種地盤	408226.60	3.34442E+07
第II種地盤	384392.30	1.76760E+07
第III種地盤	193132.60	1.21399E+07

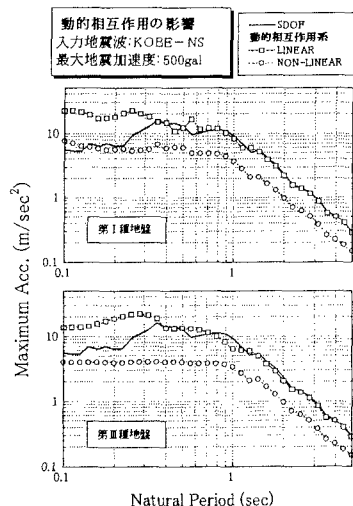


図-2 動的相互作用の影響

ならず動的相互作用を考慮した線形時の応答スペクトルのピークが短周期側に移動し、1 自由度系よりも上回る結果が得られた。非線形特性を考慮した場合においては、第Ⅰ種地盤の短周期側で若干上回るものの、全体を通じて加速度応答は抑制されたことが分かる。地盤種別で比較してみると、構造物の固有周期が約 0.9 秒付近まで軟弱地盤である第Ⅲ種地盤の方が 1 自由度系の加速度応答をより抑制したことが分かる。次に、これらの影響を変位応答に着目して検討してみる。図-3 に、非線形応答倍率として、上部構造物に関しては塑性率で、並進及び回転による変位に関しては応答倍率で示した。降伏基準は線形系における 200gal 入力時の最大変位応答とする。第Ⅰ種地盤は、健全な地盤であるため全体的に応答倍率が 1 前後である。短周期側において若干上部構造物に影響が現れている。一方、第Ⅲ種地盤に関しては並進の応答倍率に関しては約 2.5~4.5、回転の応答倍率に関しては約 1.5~3.5 を示し地盤の非線形特性が色濃く現れていることが分かる。これにより、地盤が地震力を吸収したと考えられ上部構造物の塑性率が 1 を下回ったと考えられる。しかし、基礎の応答倍率が大きくなるということは、基礎の構造物が破壊に近づくことを意味するので注意が必要である。図-4 に、必要強度スペクトルを示す。線形時の応答を塑性率 1 として上部構造物の塑性率を 5 とした場合を、1 自由度系と比較している。どちらの系においても、線形時の応答よりも低減していることが分かる。しかし、両系の DF=5 の場合を比較してみると、第Ⅰ種地盤において上部構造物の固有周期が約 0.4 秒付近まで、動的相互作用系の応答が大きいたことが分かる。これに対し、第Ⅲ種地盤においては約 0.6 秒付近まで 1 自由度振動形の必要強度スペクトルを下回り、より構造物の加速度応答を抑制したことが分かる。図-5 には、上部構造物の塑性率を 5 とした場合の、加速度応答の低減率を示す。上部構造物が長周期になると低減率に差は見られないが、約 0.6 秒付近までは、第Ⅲ種地盤の低減率が高く地盤種別による影響が明確に現れている。

4. あとがき

今回の解析では、出来る限り簡単なモデルを用いたが、1 自由度系の必要強度スペクトルより構造物の加速度応答を抑制したケースも見られた。今後はさらに、より複雑な解析モデルでの地震応答解析、基礎-地盤系のモデル化、非線形特性をあらわすパラメータについての検討を加えることが必要であると考えられる。

<参考文献>

- 1) H.Iemura et al ; Ductility strength demand for near field earthquake ground motion : Structural safety and Probability , pp1705~1708 , 1998
- 2) 土岐憲三、清野純史、石崎浩、小野祐輔：地盤と構造物の相互作用を考慮した必要強度スペクトル、第 10 回日本地震工学シンポジウム 論文集 第 2 分冊 p 1861・1866、1998

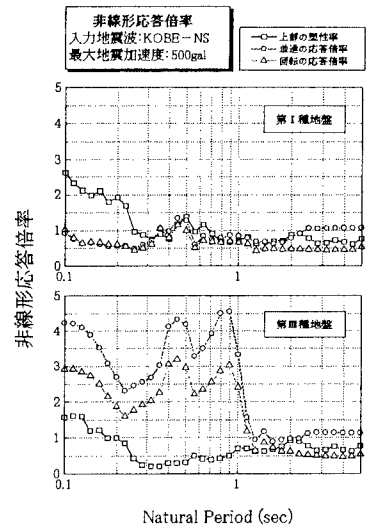


図-3 非線形応答倍率

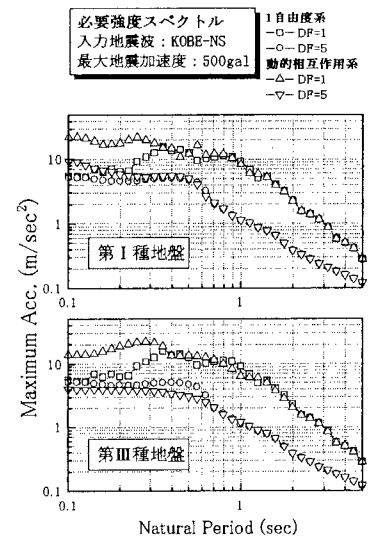


図-4 必要強度スペクトル

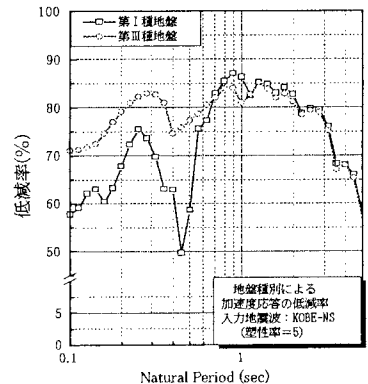


図-5 低減率