

# 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** 性能設計による構造物の耐震性を明らかにしておくためには、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。

$$kx = Q(x, \dot{x}) = \alpha(F_y/Y)x + (1 - \alpha)F_yZ$$

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

$F_y$  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。

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

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

$\gamma_y$  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。また、これら非線形特性の影響を解析タイプ別に比較するため、表 - 2 のように分類する。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。

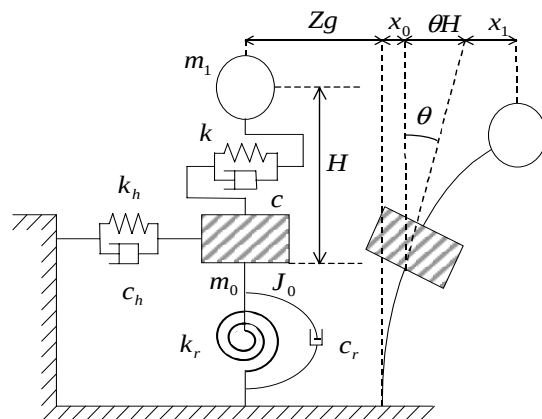


図 - 1 解析モデル

表 - 1 並進及び回転バネ定数の初期剛性

|         | 並進バネ定数(kN/m)        | 回転バネ定数(kN・m/rad)    |
|---------|---------------------|---------------------|
| 第 Ⅰ 種地盤 | $4.001 \times 10^6$ | $3.278 \times 10^8$ |
| 第 Ⅱ 種地盤 | $3.767 \times 10^6$ | $1.732 \times 10^8$ |
| 第 Ⅲ 種地盤 | $1.893 \times 10^6$ | $1.190 \times 10^8$ |

表 - 2 解析タイプの分類

| 解析区分    | 上部構造物 | 基礎 - 地盤系 | 表示名     |
|---------|-------|----------|---------|
| 基礎固定時   | 線形    | —        | TYPE L0 |
|         | 非線形   | —        | TYPE N0 |
| 動的相互作用時 | 線形    | 線形       | TYPE LL |
|         | 非線形   | 線形       | TYPE NL |
|         | 非線形   | 非線形      | TYPE NN |

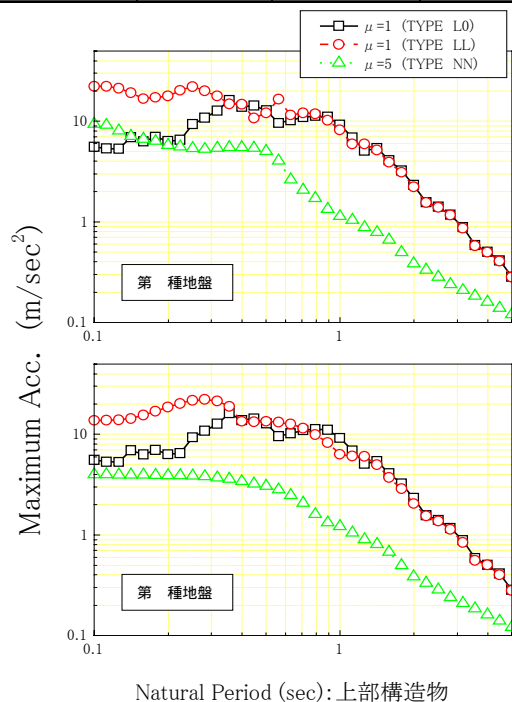


図 - 2 非線形加速度応答スペクトル

キーワード：動的相互作用、非線形地震応答解析、必要強度スペクトル

連絡先：〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学工学部海洋土木工学科 TEL 099-285-8470

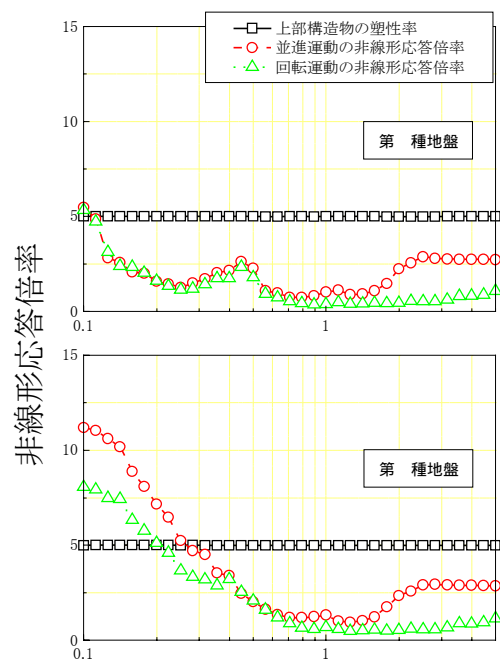
### 3. 解析結果及び考察

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、地盤剛性の大きい第 Ⅰ種地盤と軟弱な第 Ⅲ種地盤を考える。まず、上部構造物の非線形特性に着目して、塑性率(図中では $\mu$ と示す)を用いて比較を行う。また、線形時における応答は塑性率 1 と見なせ、その応答との比較を行う。図 - 2 に、非線形加速度応答スペクトルとして、構造物の固有周期を横軸に、最大加速度応答を縦軸に取り地盤種別ごとの比較を示す。解析タイプ TYPE NN において、上部構造物の塑性率を 5 として設計を行うことで、構造物の最大加速度応答は TYPE LL に比べかなり低減できる。地盤種別で比較してみると、第 Ⅰ種地盤に関して短周期側で TYPE L0 よりも若干大きい値を示すが、第 Ⅲ種地盤に関して見れば、全体的に加速度応答を低減することが可能である。その時の変位に関する非線形応答倍率を図 - 3 に示す。第 Ⅰ種地盤においては、並進及び回転に関してみると、非線形応答倍率は比較的小さい値を示したが、第 Ⅲ種地盤の短周期側において、並進及び回転に対する非線形応答倍率がかなり大きな値を示し、基礎-地盤系に及ぼす影響も大きいことが分かる。図 - 4 には、上部構造物の塑性率を 5 とした場合の、TYPE LL に対する TYPE NN の加速度応答の低減率を示す。これにより、全体的にかなり加速度応答を低減する事が分かる。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 Ⅰ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。図 - 5 には、必要強度スペクトルを示す。TYPE L0 において塑性率 1 として設計した場合の必要強度スペクトルを基準と考える。まず、TYPE N0 において、上部構造物の塑性率を 5 として設計することで、必要強度を低減することが可能である。さらに、動的相互作用を考慮した系で、上部構造物の塑性率を 5 とすることで、TYPE N0 における必要強度スペクトルよりも低減することが可能である。

**4. あとがき** 構造物の地震時挙動は、地盤の種別に大きく関係し、考慮する地盤種別により動的相互作用の影響は異なる。そのため、上部構造物の固有周期と基礎-地盤系の固有値の関係、また、地盤種別により異なる構造物全体系の固有周期を明確にしておく必要があると考えられる。

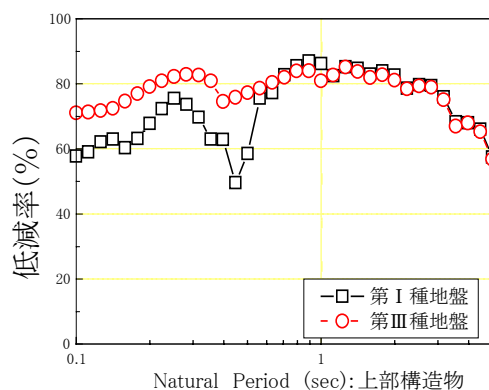
#### <参考文献>

- 1) H.Iemura et al ; Ductility strength demand for near filed 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 p1861-1866、1998



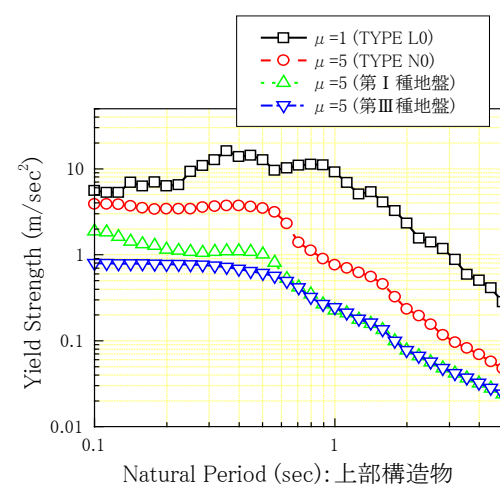
Natural Period (sec): 上部構造物

図 - 3 非線形応答倍率



Natural Period (sec): 上部構造物

図 - 4 低減率



Natural Period (sec): 上部構造物

図 - 5 必要強度スペクトル