

## I-555

## 埋設基礎を有する構造物の非線形地震応答

宮崎大学大学院 ○学生員 山下 典彦  
宮崎大学工学部 正会員 原田 隆典

1. まえがき 地盤を構成する土の応力-歪関係は非線形特性を示すが、これまでの構造物の非線形解析の多くは有限要素法等でおこなわれてきた。本研究では、非線形特性の機構が理解できる非線形バイリニア復元力モデルによって、埋設基礎を有する3自由度系の非線形地震応答解析を行い、基礎と周辺地盤の剥離や滑りの影響について考察する。

2. 解析モデルの概要 本研究では図-1に示すような上部1質点および剛体2自由度からなる3自由度モデルを採用する。基礎周辺地盤はウィンクラーモデルとする。基礎側面のばねは、単位深さ当りの水平ばね  $K_{HS}$  から構成される。さらに基礎底面ばねは、水平と回転ばね  $K_{HB}$ ,  $K_R$  で与えられる。また上部工のばねを  $K_S$  とする。これらの全てのばねは、図-2に示すバイリニア特性を持つものとする。上部工のばね  $K_S$  の非線形性は、コンクリート、鉄筋あるいはスチールの降伏によって生じるものでバイリニア特性の降伏点の評価は、例えば建設省土木研究所の開発した方法<sup>1)</sup>等によって評価することができる。地盤に関するばねの降伏点は土が引っ張りに耐えないものとし、更にモール・クーロンの破壊基準に従うものとして評価する<sup>2)</sup>。地盤に関するものの結果を以下に示すが、地盤の弾性定数と粘性力と内部摩擦角がパラメータである。

## 3. 地盤の動的復元力モデルの概要

(1) 線形ばねと降伏点変位(図-2のOYの傾きと  $U_y$  の値)

$$\text{底面回転} \quad K_R = Ga^3 \frac{8}{3(1-\nu)}, \quad \varphi_{Ry} = 0.37 \frac{W}{k_{bn} a^3} \quad (1)$$

$$\text{底面水平} \quad K_{HB} = Ga \frac{8}{2-\nu}, \quad U_{HB y} = \frac{C + \frac{W}{3a^2} \tan \phi}{k_{b\theta}} \sqrt{\frac{\varphi_R}{\varphi}} \quad (\varphi < \varphi_{Ry}, \frac{\varphi_R}{\varphi} = 1) \quad (2)$$

$$\text{側面の単位深さ水平} \quad K_{HS} = G_S \left( \frac{-1.2}{\nu_S - 0.59} + 11 \right) \left( \frac{a}{H_S} + \frac{0.002}{\nu_S - 0.53} + 0.19 \right), \quad U_{HS y} = \frac{\gamma_S (1 - \sin \phi_S)}{k_n} Z \quad (3)$$

ここに、 $a$  = 基礎半径、 $G$  = せん断剛性、 $\nu$  = ポアソン比、 $H_S$  = 表層地盤の厚さ、 $W$  = 上部構造物及び基礎の全重量、 $C$  = 粘着力、 $\phi$  = 内部摩擦角、 $\gamma$  = 土の単位体積重量、下添字  $S$  は、側面地盤の地盤定数を表す。また、 $k_{bn}$ ,  $k_{b\theta}$ ,  $k_n$  は地盤反力係数で以下のように与えられる。

$$k_{bn} = \frac{4K_R}{\pi a^4}, \quad k_{b\theta} = \frac{K_{HB}}{\pi a^2}, \quad k_n = \frac{K_{HS}}{2\pi a} \quad (4)$$

(2) 降伏後のばね(図-2のYBの傾き)

$$\text{底面回転} \quad K_{Ry} = \frac{2}{n + \sqrt{n}} K_R \quad (5)$$

$$\text{底面水平} \quad K_{HB y} = 0 \quad (6)$$

$$\text{側面の単位深さ水平} \quad K_{HS y} = \frac{1}{2} \left( \frac{2\sigma_p - \pi\sigma_S}{4\sigma_p - \pi\sigma_S} \right) \quad (7)$$

$$\text{ここに、} n = 8, \quad \sigma_p = \gamma_S Z \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi_S}{2} \right) + 2C_S \tan \left( 45^\circ + \frac{\phi_S}{2} \right), \quad \sigma_S = \gamma_S Z (1 - \sin \phi_S)$$

4. 結果と考察 解析は増分法を用い、El-Centro, May 18, 1940 N-S 成分の地震波を作用させた。モデルの諸定数等を表-1に、解析結果を表-2及び図-3に示す。

非線形モデルでは、Case 2 : 上部構造物がすぐに降伏する場合  $U_{Sy}$  と Case 3 : 降伏しにくい場合  $U_{Sy}$  の2つの場合を想定した。Case 2 では、上部構造物が降伏して、ここで地震エネルギーを吸収するため基礎の変位、加速度は小さくなるが、逆に Case 3 のように上部構造物が降伏しにくい場合には、基礎部への地震力も大きくなり基礎の応答変位、加速度は大きくなる。図-3には Case 1 と Case 2 の上部構造の相対加速度を示すが、線形、非線形モデルの違いとして非線形により振動周期が長くなり最大加速度は小さくなるのがわかる。

## [参考文献]

- 1) 太田 実 : 単一柱形式鉄筋コンクリート橋脚の耐震設計法に関する研究, 土木研究所報告, 第153号, 1980年 3月
- 2) 原田隆典、広瀬利光、山田清朗 : 基礎の動的な非線形復元力評価におけるウィンクラーモデルの適用, 宮崎大学工学部研究報告, 第34号 別冊, 1988年 6月

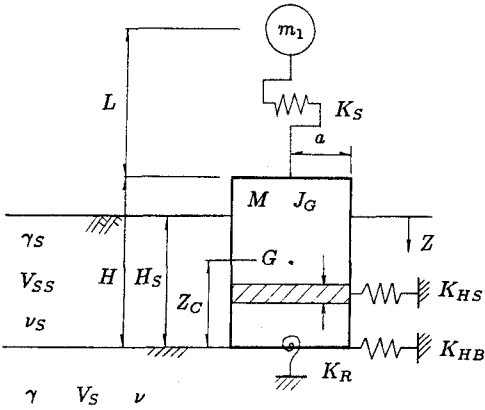


図-1

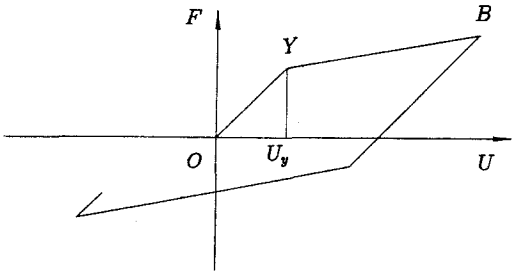


図-2

表-1 モデルの諸定数

|           |                          |       |                 |                      |      |
|-----------|--------------------------|-------|-----------------|----------------------|------|
| $m_1$     | (tf・sec <sup>2</sup> /m) | 119.3 | $\gamma_s$      | (tf/m <sup>3</sup> ) | 1.5  |
| $M$       | (tf・sec <sup>2</sup> /m) | 415.4 | $\gamma$        | (tf/m <sup>3</sup> ) | 1.8  |
| $J_G$     | (tf・sec <sup>2</sup> m)  | 30481 | $V_{SS}$        | (m/s)                | 100  |
| $K_S$     | (tf/m)                   | 11147 | $V_S$           | (m/s)                | 500  |
| $L$       | (m)                      | 20    | $\nu_s$         |                      | 0.45 |
| $H = H_S$ | (m)                      | 30    | $\nu$           |                      | 0.3  |
| $a$       | (m)                      | 5     | $C = C_S$       |                      | 0    |
| $Z_C$     | (m)                      | 15    | $\phi = \phi_S$ |                      | 30   |

表-2 解析結果

| Case<br>(1) | 根入れ (m)<br>(2) | $U_{Sy}$ (m)<br>(3) | 上部構造 $y_1$       |                                 | 基礎水平 $y_0$       |                                 | 基礎回転 $y_2$           |                                  |
|-------------|----------------|---------------------|------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------------------|
|             |                |                     | Disp.(cm)<br>(4) | Acc.(cm/s <sup>2</sup> )<br>(5) | Disp.(cm)<br>(6) | Acc.(cm/s <sup>2</sup> )<br>(7) | Rot.(rad)<br>(8)     | Acc.(rad/s <sup>2</sup> )<br>(9) |
| 1. 線形       | 30.0           | -                   | 9.9              | 841.2                           | 0.9              | 306.4                           | $6.4 \times 10^{-4}$ | 0.22                             |
| 2. 非線形      | 30.0           | 0.02                | 6.9              | 499.2                           | 0.8              | 301.6                           | $5.7 \times 10^{-4}$ | 0.25                             |
| 3. 非線形      | 30.0           | 0.2                 | 8.2              | 638.0                           | 1.2              | 358.2                           | $8.7 \times 10^{-4}$ | 0.28                             |

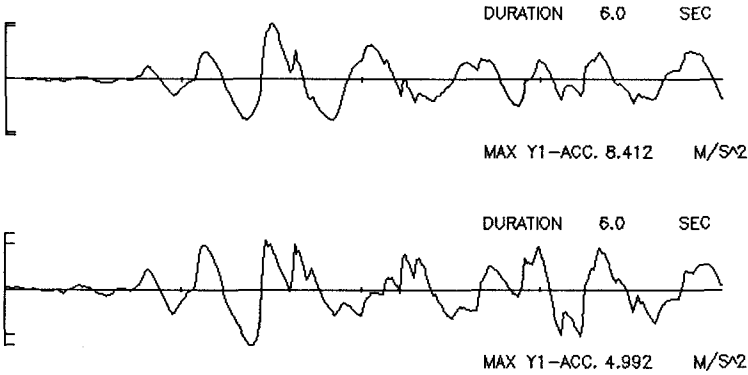


図-3