

Ⅲ-453 液状化に起因する地盤の側方流動が基礎杭に及ぼす影響の一評価手法

NKK 基礎技術研究所 正会員 南部俊彦 正会員 関口宏二

1. はじめに

臨海部の埋立地等の護岸近傍に杭基礎を有する構造物が建設される場合、地震時の液状化に起因する地盤の側方流動が基礎杭に及ぼす影響が問題となる。我々は、このような側方流動を受ける基礎杭の応力・変形挙動を把握するために、液状化による影響を考慮した地盤抵抗の非線形性と杭体の非線形性を加味した解析手法を開発しているので、ここに紹介する。

2. 解析手法

2.1 概要 解析手法は、基本的には Miura¹⁾が提案している方法と同様であり、弾塑性支承上の梁モデルに地盤バネを介して静的に強制変位入力に働くと考え（図1参照）。解析には、当社で開発した地盤ばね～杭基礎～構造物系の汎用解析プログラムFLOAT/3D²⁾を用いた。同プログラムでは非線形の解析手法としては荷重増分法を、また、連立一次方程式の解法としてはウェーブフロント法を採用している。

2.2 地盤の強制変位入力 地盤の変位形状 $\delta_g(z)$ は、実際には

平面的に異なった変位分布となっていると考えられるが、本解析では液状化した層内では正弦波分布すると仮定し、次式で与えた（図1参照）。

$\delta_g(z) = \delta_{gs} \cdot \cos\left(\frac{\pi z}{2h}\right)$, ここに、 δ_{gs} :液状化層上面における地盤変位、 z :液状化層上面からの深さ、 h :液状化層の厚さ
なお、液状化層より上の非液状化層では地盤変位は、一様に δ_{gs} であると仮定した。

2.3 地盤～杭の相互作用のモデル化 側方流動中の土は杭に圧力を及ぼすが、土は塑性の性質を有するため、土の圧力には上限値があると考えられる。本解析では、以下に示すようなバイリニア型の地盤ばね特性により、地盤の液状化の影響を考慮して評価した。

(1) 地盤ばね係数の評価 道路橋示方書耐震設計編の規定のベースとなっている岩崎・常田(1983)³⁾による地盤反力係数の低下率を円弧にて近似し（図2参照）、建築基礎構造設計指針⁴⁾によるばね係数評価式と組み合わせることにより、次式のように定式化した。

$$k_h(Lu) = D_E \cdot k_h(Lu=0)$$

ここに、 $k_h(Lu)$:過剰間隙水圧比が Lu のときの地盤ばね係数 (kg/cm^3)

$$D_E(Lu):過剰間隙水圧比が Lu のときの地盤ばね低減係数 $D_E = \sqrt{1-Lu^2}$$$

Lu :過剰間隙水圧比 (過剰間隙水圧/初期の有効上載圧)

$k_h(Lu=0)$:建築基礎構造設計指針(1988)に示される地盤ばね係数

$$k_h = 0.8 \cdot E_0 \cdot B^{-\frac{3}{4}}, \text{ここに、} E_0: \text{平均} N \text{値より } E_0 = 7 \cdot N \text{で推定した変形係数 } (kg/cm^2)$$

(2) 地盤ばねの極限抵抗土圧の評価 地盤ばねの極限抵抗については、岸田・中井の砂質地盤に関する評価式⁵⁾のうち領域Ⅱの提案式を利用することとした。ただし、土の有効上載圧については γz を σ'_v と読み変えている。

$$P_y(Lu) = F_\phi \cdot \sigma'_{v0} = F_\phi \cdot (1-Lu) \sigma'_{v0}$$

ここに、 P_y :地盤の極限土圧 (kg/cm^2)、 σ'_{v0} :有効上載圧 $[(1-Lu) \cdot \sigma'_{v0}]$, σ'_{v0} :初期の有効上載圧 (kg/cm^2)

$$F_\phi = \frac{\cos\left(\frac{\pi-\phi}{4}\right) \cdot (1-\sin\phi)}{\cos\left(\frac{\pi+\phi}{4}\right) \cdot \cos\phi} \cdot \exp\left\{\left(\frac{3\pi}{2}-\phi\right) \cdot \tan\phi\right\} - \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}$$

ここに、 ϕ :土の内部摩擦角

以上の評価式により、任意の深さの層において過剰間隙水圧比 Lu が与えられれば、バイリニア型の地盤ばね特性を決めることができる。

2.4 杭のモデル化 杭体は、梁部材の断面力に関する弾塑性理論により材料非線形を考慮した梁要素でモデル化した。すなわち、軸力 N および曲げ M を受ける梁部材を $M-N$ 関係の降伏関数で表し、一度降伏状態に達した部材端の応力状態は、そ

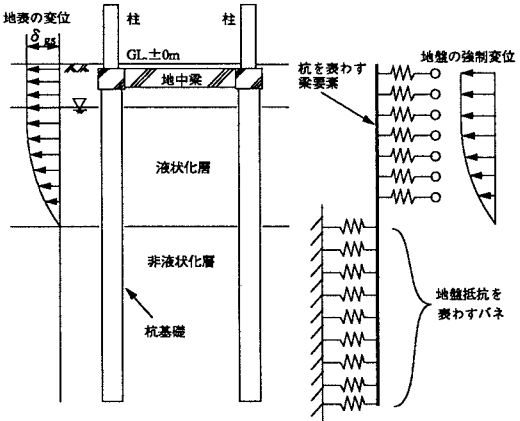


図1 解析モデル概念図

の以降の塑性変形において降伏曲面上あるいはその内側にあるものと仮定した。

3. 解析例

解析モデル例を図3に示す。地盤については、液状化層をGL-5.0～-12.0mとし、過剰間隙水圧比を $Lu=0.95$ （かなり液状化の程度が進んだケース）とした。基礎杭は、外径1200mmの場所打鉄筋コンクリート杭を想定し、杭頭はフーチング下端レベルとした。その境界条件は水平、鉛直方向変位の拘束および回転拘束とした。また、ここで対象としている問題は、実際には動的な軸力の変動下での曲げの問題であるが、軸力の推定が難しいので、本解析では軸力 N はゼロと仮定した。従って、降伏モーメント M_0 は、別途求めた杭の耐力線図（ M ～ N インタラクションカーブ）より、 $N=0$ に相当する曲げ耐力を読み取り入力パラメータとした。なお、弾性域における杭の曲げ剛性はコンクリートの剛性のみで評価し、コンクリートのヤング係数は $E_c=2.3 \times 10^5$ （ kgf/cm^2 ）とした。地盤の強制変位 $\delta_{gs}=5\text{cm}$ まで解析を行った時の杭の変形、せん断力および曲げモーメントの分布を図3に示す。これらの図では、地表の変位が1, 2, 3, 4, 5cmの時の解析結果を表示している。これらの図から、まず、① δ_{gs} が2cmの時には、杭頭が塑性化している様子がわかる。次に、②GL-5.5mの位置の曲げモーメントが杭体の曲げ耐力を超え、③最後に、GL-13mの位置の曲げモーメントが杭の曲げ耐力を超え塑性化していることがわかる。

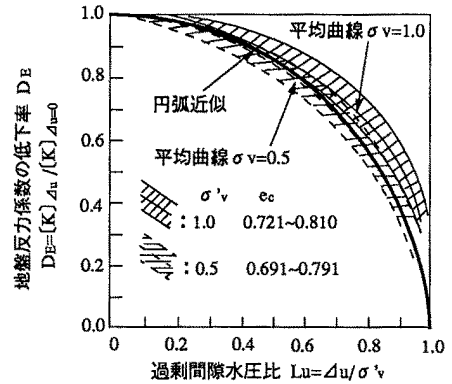


図2 地盤反力係数の低下率に関する円弧近似（円弧近似以外のデータは文献3）より引用）

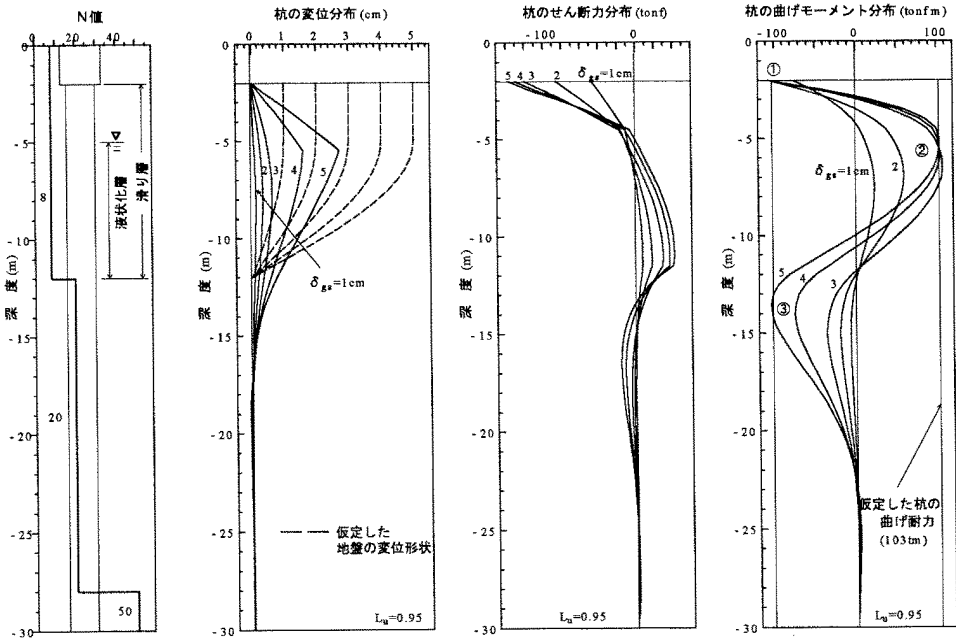


図3 解析モデルと解析結果

4. おわりに

本解析は様々な仮定の下に実施したものであり、解析法や解析条件の設定に改良すべき点が多々あると思われる。それらの解決は今後の課題としたい。

【参考文献】1) Miura, F. et al. (1991): Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.10, No.5, pp.271-279. 2) 関口・大石(1987):土木学会論文集, 第380号/I-7, pp.467-473. 3) 岩崎・常田(1983):第17回地震工学研究発表会, pp.217-220. 4) 建築基礎構造設計指針(1988). 5) 岸田・中井(1979):日本建築学会論文報告集, 第281号, pp.41-53.