

カクテルグラスモデルにおける杭-地盤相互作用ばねの適用

明窓社 正会員○小堤 治 東電設計 正会員 溜 幸生
京都大学 正会員 井合 進 沿岸技術研究センター 正会員 川崎栄久
明窓社 正会員 鈴木明憲

1. はじめに

液状化する可能性のある地盤上に建設される杭基礎を有する構造物の地震時挙動を正しく評価するためには、杭と周辺地盤との相互作用を的確にモデル化して解析を行う必要がある。著者らは直杭式横棧橋のように加振直交方向に杭が等間隔で繰り返し現れるような構造を対象として(図-1 a) その3次元挙動を近似的に表すために、2次元有効応力解析における杭を表すはり要素節点と平面ひずみ条件下の地盤要素節点を結ぶ非線形ばね(以下、相互作用ばね)を提案した¹⁾。すなわち、まず杭1本分の円形断面と隣接杭との中間地点(循環境界条件を課す)までの地盤からなる厚さ1mの水平断面モデル(図-1 b)を用いて、杭に静的繰り返し载荷を行った場合の荷重と杭変位(直近の循環境界に対する相対水平変位)の関係を求め、これを相互作用ばねに必要とされる静的特性とした。さらに、そのような特性は、要素シミュレーション(図-2)で求めた杭周辺土のせん断応力-せん断ひずみ関係とある条件下で相似になることを利用して、以下に示すように地盤の構成則を用いて静的なばね特性を表現する方法を提案した。なお、土のモデル化には非排水条件下で砂の液状化時挙動を考慮可能な2次元有効応力解析プログラムFLIPのマルチスプリング要素²⁾を使用した。

$F = \alpha_p \tau$ (一般的には、 $F = (H \times D \times \alpha_p) \times \tau$) (1)

$u = \beta_p \gamma$ (一般的には、 $u = (D \times \beta_p) \times \gamma$) (2)

ここに、 F : 相互作用ばねのばね力、 u : 同ばね変位、 τ と γ は、それぞれ”せん断応力”と”せん断ひずみ”であり、杭周辺土の構成則²⁾に基づくせん断応力-せん断ひずみ関係を満足するものである。 α_p と β_p は荷重-杭変位関係とせん断応力-せん断ひずみ関係が相似になるように定めた杭間隔比や液状化の状況に応じて定まる係数(無次元数)である¹⁾。また、 H : ばね鉛直方向支配長、 D : 杭径である。これらにより相互作用ばねの静的特性 $F-u$ 関係が定まる。さらに、相互作用ばねを動的解析に適用するためにその減衰特性が検討されている。

近年、空港滑走路の不等沈下等の問題がクローズアップされ、排水沈下を考慮する機能が必要とされるようになった。これに対応するため、土の正負のダイラタンシー挙動や排水時等の土の体積剛性も詳細に制御可能なカクテルグラスモデルが井合らにより提案された³⁾。このモデルでは体積ひずみの収縮的および膨張的ダイラタンシー成分($\epsilon_d^c, \epsilon_d^d$)は仮想単純せん断機構のせん断挙動に関連付けられている。このモデルがカクテルグラスモデル要素としてFLIPに実装されたのを機に、マルチスプリング要素向けの相互作用ばねの定式化(1)、(2)式をそのままカクテルグラスモデル要素にも適用するようにした。本検討では、このカクテルグラスモデル要素対応の相互作用ばねの特性を調べた。

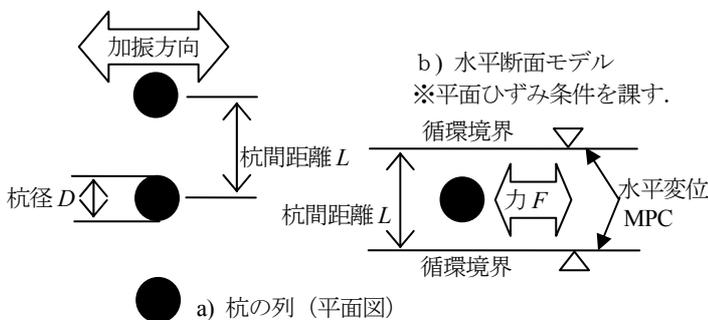


図-1 加振直交方向に杭が繰り返し現れる構造と杭1本分を取り出した水平断面モデル

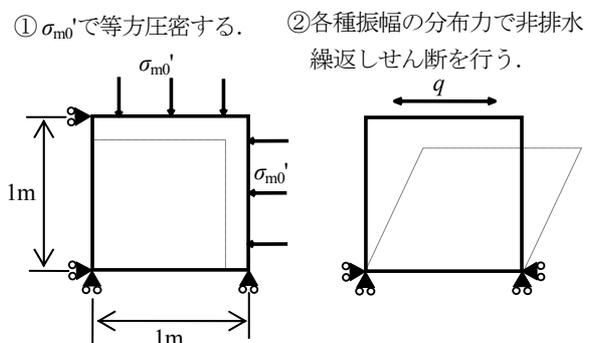


図-2 要素シミュレーションの手順

キーワード: 2次元, 有限要素解析, 有効応力法, 杭, 相互作用ばね, 液状化

連絡先: 〒170-0014 東京都豊島区池袋1-8-7 サン池袋1 408 (株)明窓社 Tel.03-5954-7117

2. 解析モデルと検討結果

1) 水平断面モデル 杭径 1m, 杭間隔 5m, 地盤は液状化した飽和砂(過剰間隙水圧比=90%, 非排水条件)である水平断面モデルを考える(図-3). 地盤はカクテルグラスモデル要素, 杭はコンクリート

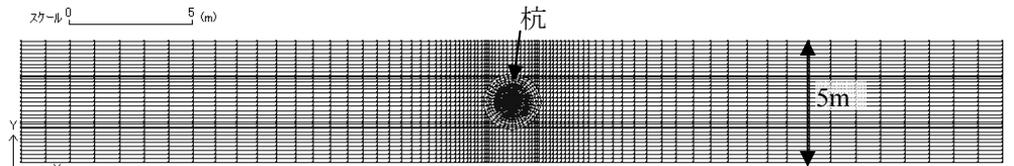


図-3 水平断面モデルの有限要素分割図(厚さ1m)

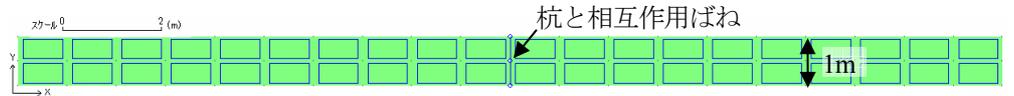


図-4 平面ひずみモデル(鉛直断面)の有限要素分割図(奥行き方向幅5m)

相当の剛性の線形平面要素とした. 有効拘束圧 98kPa で等方圧密後, 片振幅 200kN, 400kN, 600kN の正弦波状の水平力を杭芯に加えた. 図-5a)には解析結果である荷重-杭変位(循環境界基準)関係を示す. これが相互作用ばねに求められる静的特性である.

2) 平面ひずみモデル(鉛直断面) 高さ 1m, 奥行き方向幅 5m の平面ひずみ条件下の地盤モデル中央に, 杭を表す線形はり要素を縦に置き, 地盤節点と同位置に杭節点(3点)を設け, 杭節点と対応する地盤節点をカクテルグラスモデル要素対応の相互作用ばねで結んだ(図-4参照). 地盤および杭は水平断面モデルと同じ条件とし, 杭要素には1本分の剛性を与えた. 地盤を有効拘束圧 98kPa で等方圧密し, その後, 杭の上下端に水平方向に合計で片振幅 200kN, 400kN, 600kN の正弦波状の水平力を加えた. 図-5b)には荷重-杭変位(地盤節点基準)関係を示す. これは, 以下に示す要素特性を反映して正のダイラタンシーが生じる曲面ではシャープに立ち上がり水平断面モデルによる荷重-杭変位関係とは形状がやや異なるが変位のレンジは両者で概ね対応している.

3) 要素シミュレーション結果 水平断面モデルの地盤と同じ解析定数のカクテルグラスモデル要素1要素を用いて, 98kPa で等方圧密後, 非排水繰返しせん断を行った(過剰間隙水圧比=90%). せん断応力片振幅は(1)式で $\alpha_p=12.6$ とおいて¹⁾設定した. せん断応力-せん断ひずみ関係を図-5c)に示す. 上記と同様, 正のダイラタンシーが生じる曲面ではシャープに立ち上がる. 水平断面モデルの荷重-杭変位関係は多くの要素の寄与を重ね合わせた結果なのでピークが鈍くなり, 両者はピタリと相似と言う訳ではない.

まとめ FLIP に導入されたカクテルグラスモデル要素対応の相互作用ばねの荷重-杭変位関係を調べたところ, 水平断面モデルの荷重-杭変位関係を概ね近似するものの, 精度向上のためにはさらなる検討が必要である. 謝辞: 本研究は FLIP 研究会(事務局: 沿岸技術研究センター)の透水解析 WG における研究成果をもとにとりまとめたものである. WG に参加された方々のご尽力に感謝します. 参考文献: 1) 小堤他: 2次元有効応力解析における杭と液状化地盤の相互作用のモデル化, 第38回地盤工学研究発表会, 2003. 2) Iai, S. et al.: Strain space plasticity model for cyclic mobility, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol.32, No.2, pp.1-15, 1992. 3) 井合他: 砂の繰返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンシー関係, 京大防災研年報, 2008.

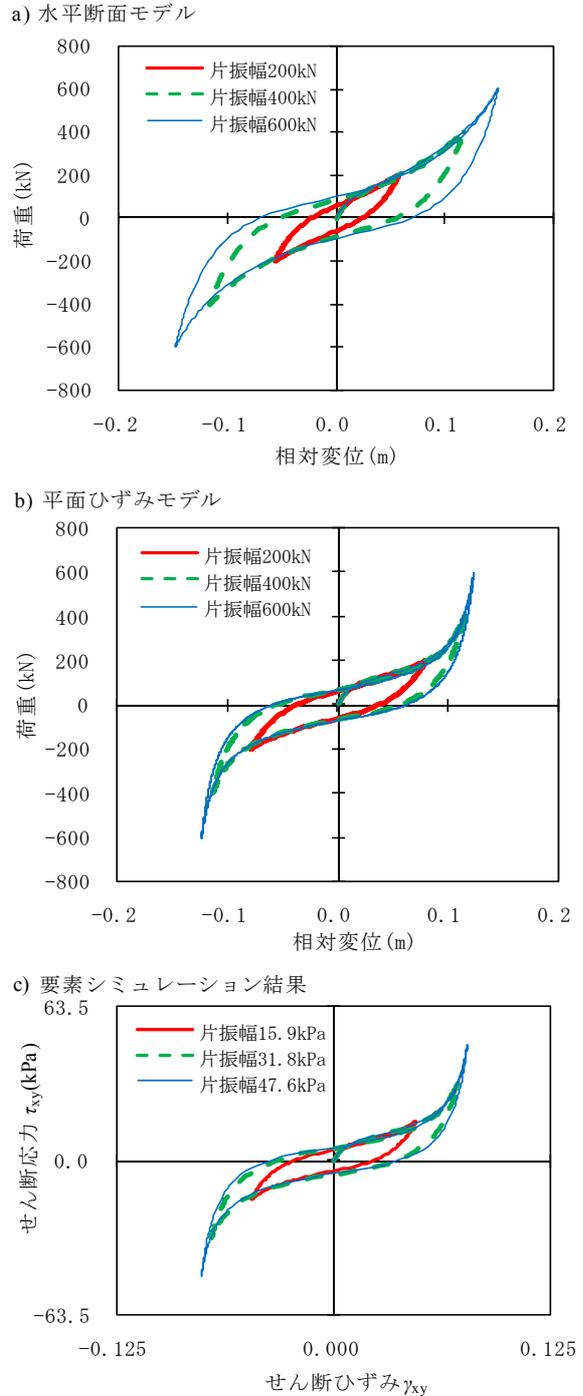


図-5 相互作用ばねの荷重-相対変位関係等