

杭近傍地盤の応力－歪関係に依存する相互作用ばねを用いた杭基礎の2次元有効応力解析

川崎製鉄	正会員	○岡 由剛
西松建設	正会員	佐藤 靖彦
佐伯建設工業	正会員	河辺 知之
日本鋼管	正会員	塩崎 禎郎
京都大学	正会員	井合 進
沿岸開発技術研究センター	正会員	梅木 康之

1. はじめに

2次元解析で杭と周辺地盤との相互作用をモデル化する方法の一つとして、非線形ばねで結ぶ方法が用いられる。小堤ら¹⁾は有効応力解析プログラム FLIP²⁾を用いて2次元水平断面内の杭－地盤系のモデルで杭に作用させる荷重と杭変位の関係を求め、周辺地盤のせん断応力－せん断歪関係と相似であることを見出した。この関係に基づき周辺地盤の状態を参照して特性を変化させる杭－地盤相互作用ばねを定義し、液状化地盤中の杭の動的相互作用に関する振動実験を対象に解析を行い、本モデルの適用性を検討した。

2. 検討方法

解析は液状化地盤中の実物の杭の挙動を調べることを目的に大型振動台で実施された振動実験³⁾を対象にしている。図－1に実験モデルの概要を示す。長さ12m、高さ6m、奥行き3.5mのせん断土槽底盤に、4本杭からなる杭基礎3体を固定した。このうち解析は、杭頭を剛結した鋼管杭(φ216.3mm、肉厚5.8mm)を用いた杭基礎Cを対象とした。霞ヶ浦の銚田の砂を用い水中落下方式で地盤を作成し、相対密度は61%であった。加振は1Hzの正弦波30秒間で、加速度レベル150galのケースを解析の対象とした。

解析には多重せん断ばねモデルと井合の過剰間隙水圧上昇モデルを組み込んだ有効応力解析プログラム FLIP を用いた。図－2に解析モデルの概要を示す。地盤の奥行きは杭間隔に等しい800mmとし、杭はバイリニア型の非線形ばね要素とした。杭節点と対応する地盤節点は、小堤らが提案する杭－地盤相互作用ばね要素で結んだ。このばね要素は地盤節点近傍の土要素の物性や状態を参照し、時間ステップ毎にばね特性に反映される。

3. 検討結果

図－4に杭近傍地盤の過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。計算値は開始から10秒程度で過剰間隙水圧比が上昇し16秒以降は完全液状化に至っており、実験値と良い一致を示している。図－5に杭基礎フーチング部の加速度の時刻歴を示す。10～16秒の水圧上昇時を除き、位相、振幅ともに非常に良く一致している。図－6に杭のひずみの計測値から求めたフーチング直下の杭の曲げモーメントの実験値と計算値の時刻歴を示す。地盤が完全に液状化する16秒以降は比較的良く一致しているが、実験値で特徴的な15秒前後の大きなピークは計算値では現れていない。実験では地表面付近の地盤の加速度の時刻歴においても同様のピークが現れており、液状化による地盤剛性低下の進行に伴い一時的に共振が起こった可能性がある。しかし今回の解析では杭基礎A、Bの影響を考慮していないなど試験土槽を完全にモデル化していないために、こうした状況があらわれなかったと考えられる。また今回用いた杭－地盤相互作用ばねの特性の検討においては、杭周辺地盤の慣性力の影響を考慮していない。地盤の応答加速度が小さい非液状化時や、剛性が極めて小さくなる完全液状化時には比較的良い結果が得られたが、水圧が上昇する局面では杭周辺地盤の挙動による影響が大きく、実験値との違いがあらわれたとも考えられる。

謝辞：本検討は FLIP の改良と高度利用法の研究を推進する目的で設立された FLIP 研究会（事務局：（財）沿岸開発技術研究センター）の活動の一環として実施されたものである。また基礎の大型土槽振動台実験に関する資料は高圧ガス保安協会より提供を受けた。ここに関係者の方々に謝意を表します。

キーワード 動的相互作用、液状化、杭、有効応力解析

連絡先 〒100-0011 東京都千代田区内幸町2-2-3 川崎製鉄株式会社 TEL03-3597-4114

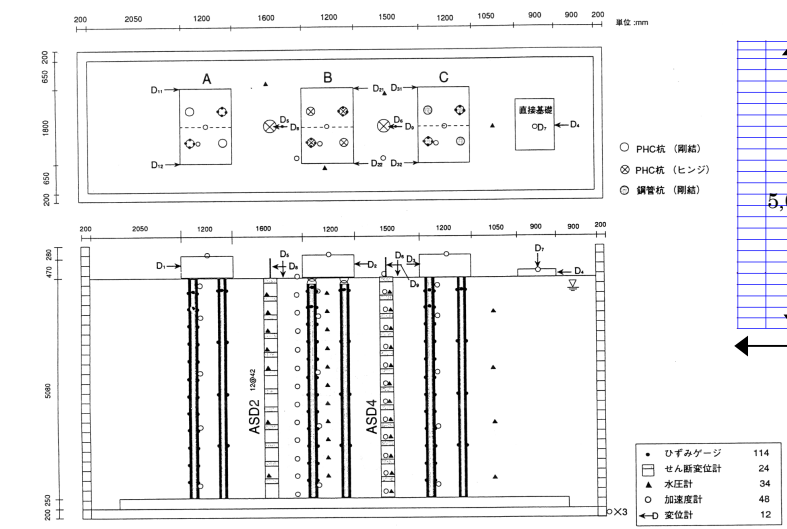


図-1 実験モデルの概要図 ③,④

表-1 地盤物性値

質量密度 ρ_i (t/m ³)	2.0	変相角 ϕ_v (度)	28
間隙率 n	0.413	S_1	0.005
平均有効拘束圧 σ_{m0} (kPa)	7.9	w_1	1.0
初期せん断剛性 G_{m0} (kPa)	18170	p_1	0.7
m_G, m_K	0.5	p_2	1.1
体積弾性係数 K_{m0} (kPa)	47380	c_1	1.6
ポアソン比 ν	0.33		
最大減衰 h_{max}	0.24		
内部摩擦角 ϕ_f (度)	43.5		

表-2 鋼管杭物性値

せん断弾性係数 (kPa)	7.92+E07	有効せん断断面積率	0.5
ポアソン比	0.3	曲げ剛性 (弾性) kN・m ²	4375
質量密度	7.85	曲げ剛性 (二次勾配)	0
断面積 (m ²)	0.00384	全塑性モーメント (kN・m)	60.41

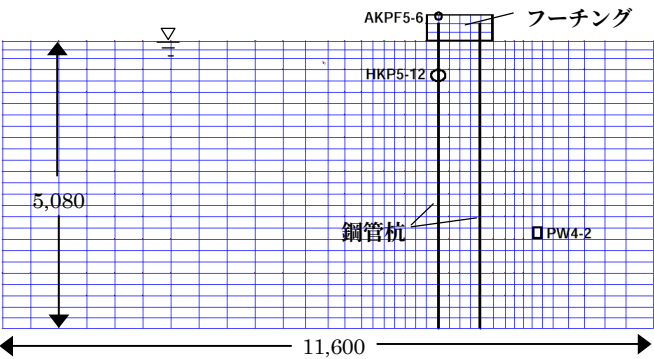


図-2 解析モデルの概要図

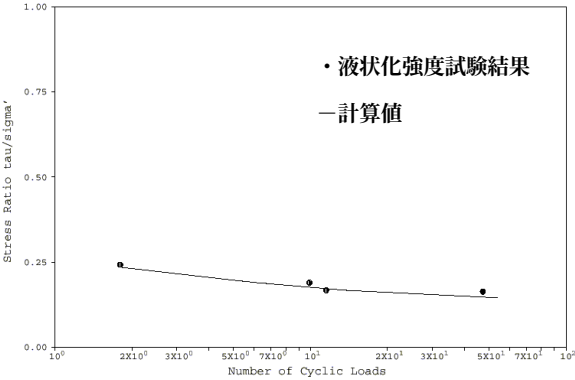


図-3 液状化強度比

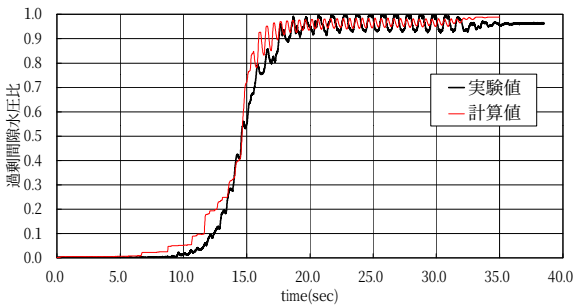


図-4 杭近傍(PW4-2)過剰間隙水圧比の比較

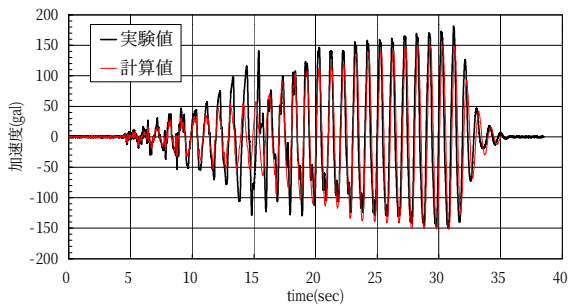


図-5 フーチング加速度(AKPF5-6)の比較

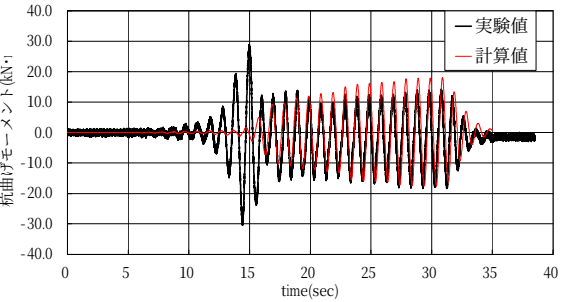


図-6 曲げモーメント(HKP5-12)の比較

参考文献

- 1)小堤ら：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，2003.7（投稿中）
- 2)Iai,S. et al.: Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, Soils and Foundations, Vol.32, No.2, pp.1-15, 1992.6.
- 3)安田ら：液状化地盤中の杭の動的相互作用に関する実大振動実験 第34回地盤工学研究発表会，1999.7
- 4)高压ガス設備等耐震対策に係る基礎・液状化委員会報告書 高压ガス保安協会 平成10年3月 pp97-115