

初期せん断応力を考慮した締固め砂杭地盤の地震時変形に関する有効応力解析

東電設計 正会員 ○溜 幸生 東京電力 正会員 森田 大
東京電力 正会員 原田 光男

1. 目的

締固め砂杭による地盤改良は土構造物の耐震対策工法として広く用いられており、近年、改良地盤の地震時挙動や土構造物の変形量予測を目的とした解析的検討が精力的に実施されている。特に、最近、有効応力法に基づく改良地盤の挙動検討が行われるようになった¹⁾。しかしながら、改良地盤を用いた振動台実験との対比に基づき解析方法の妥当性を示した検討は見られない。今回筆者らは、改良地盤の地震時変形挙動を明らかにするために、砂杭を打設した改良地盤を用いた振動台実験を行った²⁾。本検討では、解析の妥当性を検証することを目的として、実験を対象に動的有効応力解析を実施した。以下、内容について示す。

2. 実験概要

砂杭を打設した模型地盤の概要を図-1に示す。せん断土槽内に作成された幅 1.2m、高さ 0.8m、奥行き 0.8m の模型地盤に締固め砂杭が 6 本打設されており、置換率は 9.2%である。土は豊浦砂を用いており、砂杭部分の相対密度は 90%、砂杭間（対角中央）の相対密度は約 65%であった。土圧測定に基づく加振前の静止土圧係数は 1.0～2.0 の範囲となった。改良地盤が盛土の近傍に位置している状態を想定して、重錘を用いて初期せん断応力を模型地盤に導入した。加振実験は、改良地盤に初期せん断応力が作用した状態で、5Hz、150gal の正弦波を入力して行った。加振により砂杭および砂杭間地盤の過剰間隙水圧は上昇し、模型改良地盤は初期せん断応力により加振に伴い変形が進行した。加振後、改良地盤の静止土圧係数は 0.7 程度に低下した。

3. 解析方法

解析は有効応力法に基づく動的解析(解析プログラム：FLIP³⁾)により、非排水条件を仮定して行った。解析モデルは図-2に示すように、砂杭部分では砂杭の物性を持つ要素を、砂杭間地盤の物性を持つ要素に貼り合わせることで作成¹⁾した。それぞれの部分の要素の厚さは置換率を満足するように設定した。解析のパラメータは、実験の模型地盤における拘束圧度を考慮した豊浦砂の要素試験結果から表-1に示すとおりを設定した。設定したパラメータによる液状化強度は図-3に示すとおりである。動的解析の前に、初期自重解析と初期せん断応力を解析モデルに導入する静的解析を行った。得られた初期せん断応力を図-2の右側に示すが、重錘による張力から計算される初期せん断応力と同等となっている。動的解析はこの状態を初期状態として行った。

4. 解析結果

動的解析により得られた過剰間隙水圧の時刻歴を図-4(a)(b)に示す。解析による砂杭間の過剰間隙水圧は実験結果と同程度に上昇していく結果となっているが、1.4 秒より前の加振初期において上昇しやすい傾向が見られる。また、解析による砂杭の過剰間隙水圧は、土の膨張的な挙動に起因すると考えられる周期的な低下が継続しているが、実験においてはこの挙動が 2.4 秒以降消滅している。解析では砂杭の密度は一定としているのに対し、実験では加振中に周囲の密度の低い地盤の影響を受けて、砂杭の密度が低下した可能性が考えられる。改良地盤の変位の時刻歴(0～8 秒)を(c)図に示す。解析による変位の時刻歴は、位相を含めて概ね実験結果と一致している。(d)(e)図には 8 秒における変形図、および、変形図から抽出したせん断土槽枠における変位の深度分布を実験結果とともに示す。解析による変位分布は実験結果と概ね一致するが、模型地盤の底部において解析による変位が実験より大きい傾向が見られる。

5. まとめ

砂杭を打設した模型地盤を対象に、地盤に導入された初期せん断応力を考慮して、有効応力法に基づく地震時変形解析を行った。その結果、土の軟化に伴う改良地盤の変形は、解析により概ね良好に再現されることが示唆された。しかしながら、過剰間隙水圧の挙動の細部については、差異が見られることも明らかとなった。

キーワード 締固め砂杭、液状化、変形、振動台実験、有効応力解析

連絡先 〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 東電設計(株) 技術開発本部 TEL 03-5818-7788

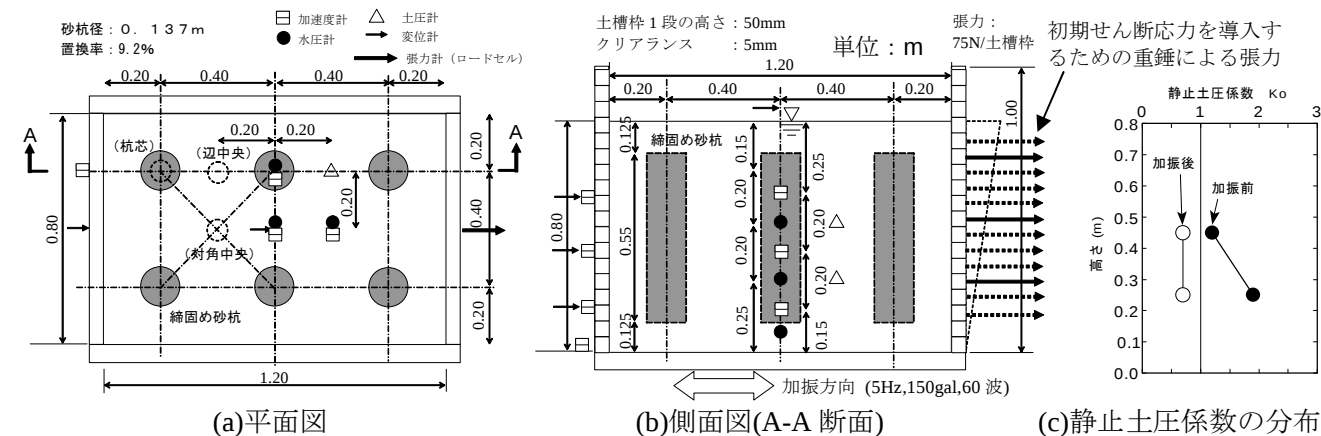


図-1 初期せん断応力を考慮した締固め砂杭模型地盤の概要

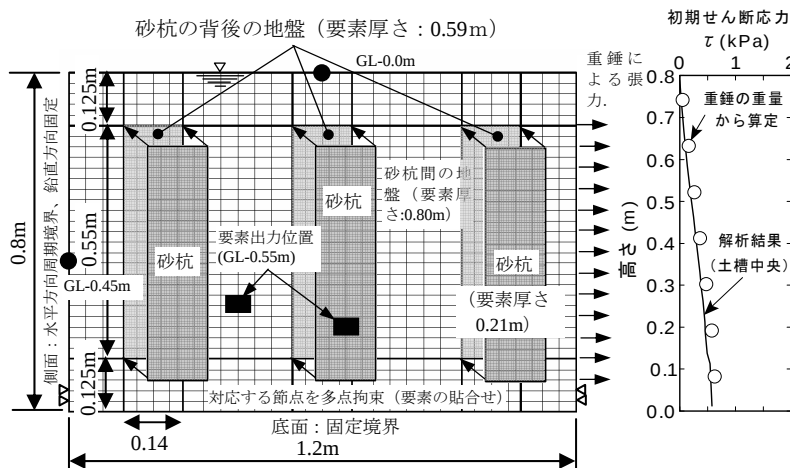


図-2 解析モデル

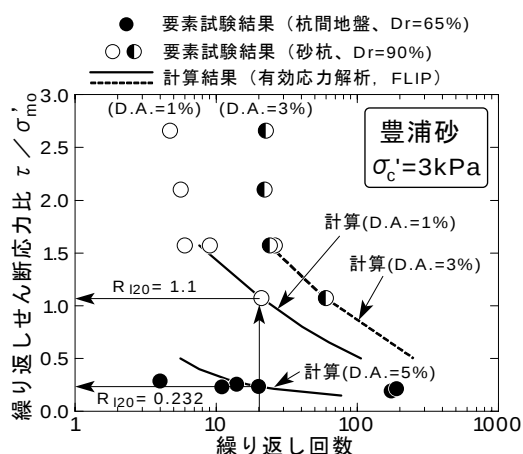


図-3 砂杭および砂杭間地盤の液状化強度

表-1 解析パラメータ (FLIP)

箇所	質量 密度 (t/m ³)	間隙 率	動的変形パラメータ						液状化パラメータ					
			初期剛性 Go(kPa)	基準化拘束圧 σ _m (kPa)	拘束圧依存 係数 m _G	ポアソン 比 ν	履歴減衰上 限値 h _{max}	内部摩 擦角 φ _f	変相角 φ _p	w ₁	p ₁	p ₂	c ₁	S ₁
杭間(Dr=65%)	1.95	0.424	12600	2.82	0.362	0.33	0.24	40	28	7.5	0.5	1.0	1.5	0.0005
砂杭(Dr=90%)	2.01	0.392	15000	2.82	0.317	0.33	0.24	45	28	50.0	0.5	0.62	1.0	0.0005

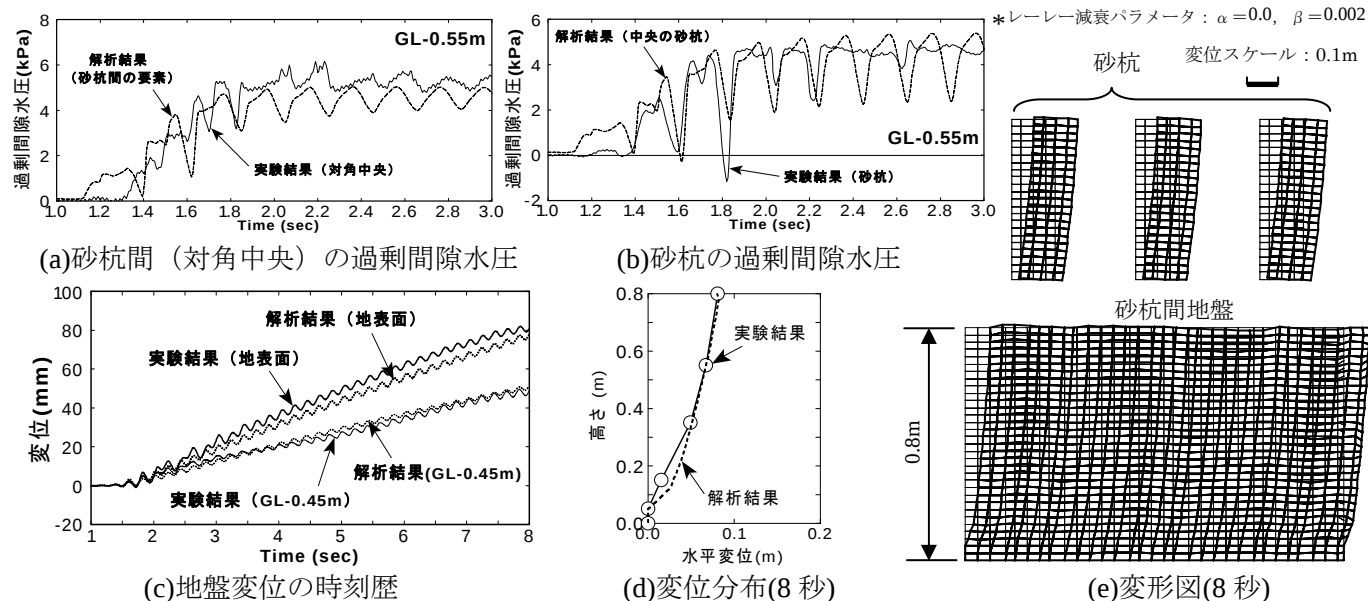


図-4 解析結果

参考文献

1)古池・立石・宇野：密度増大工法における液状化強度設定法の研究—3 次元有効応力解析による液状化強度設定法の検討—, 第36回地盤工学研究発表会, pp.2217-2218, 2001. 2)溜・森田・原田：締固め砂杭による改良地盤の地震時変形に関する振動台実験, 第40回地盤工学研究発表会, 2005(投稿中). 3)Iai, Matsunaga, Kameoka: Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol.32, No.2, pp.1-15, 1992.