

固化改良体の破壊挙動に関する基礎的検討

ハザマ 正会員 ○足立 有史 浦野 和彦
 ハザマ 正会員 三原 正哉 西村 毅
 豊橋技術科学大学 正会員 河邑 眞

1. 目的

筆者らはこれまでに杭基礎の地中部を部分的に固化することにより杭基礎の耐震性を向上させる工法を提案し、振動台実験や実大杭基礎模型を用いた載荷試験¹⁾などによりその補強効果を確認してきた。この固化改良体を設計する場合には通常弾性体として取り扱っているが、レベル2地震動を想定した場合には、引張応力による固化改良体の損傷なども考慮する必要があると考える。そのため、粘土地盤を対象とした固化改良体の模型試験体を用いた載荷試験を実施し、固化改良体の破壊挙動について検討する。また、弾塑性FEM解析による数値シミュレーションを実施し、固化改良体の破壊挙動の特徴を検証する。

2. 試験条件と試験方法

(1) 試験条件

試験体は、高圧噴射攪拌工法により造成される地盤固化改良体を想定し、セメントミルク（高炉セメントB種）に粘性土（ジョージアカオリン）を添加し作製した。目標一軸圧縮強度を2MPaとし、事前の室内配合試験の結果をもとに表-1に示す配合量を決定した。

試験体の強度を表-1に示すが、引張強度については直接引張試験より算定した。また、固化改良体の引張軟化特性を把握するため、引張軟化曲線を求める曲げ試験も別途実施した。

試験体は0.5m角程度とし、壁状の固化改良体を模擬した形状とした。試験ケースは幅、壁厚などをパラメータとした表-2に示す4ケースとし、比較のためにブロック状の固化改良体についても実施した。

(2) 試験方法

図-1に模型載荷試験の概要図を示す。試験体側面上部に載荷板を配置し、油圧ジャッキで水平に載荷する。試験体はコンクリートベースに差し筋を用いて固定されており、上部及び側方部からの拘束力は作用していない。

図-2に示すように、載荷方法は一方向多サイクル方式とし、載荷速度は1kN/min程度とした。載荷は試験体にひびわれが発生し、荷重が低下するまで実施した。

計測項目はジャッキ荷重、試験体変位の他に、ひびわれが予想される載荷板側の試験体下部の歪みとした。

3. 載荷試験結果

図-3に荷重-変位関係を示すが、壁厚が薄いケース1、2についてはひびわれ発生後一気に荷重低下を起こしているが、壁厚が厚いケース3とブロック状のケース4では初期ひびわれによる剛性低下以降も荷重は増加し、その後のひびわれの進展により急激な荷重低下を起こすという2段階の荷重-変位関係となっている。

図-4にケース3の試験体下部の歪みゲージの経時変化、図-5にひびわれ図を示すが、載荷後歪みゲージは伸張方向

表-1 試験体の配合と強度

配合 (1m ³ 当たり)	セメント C (kg)	234
	水 W (kg)	702
	カオリン N (kg)	554
	W/C	3.00
強度	W/(C+N)	0.89
	圧縮強度 σ_c (MPa)	1.85
	引張強度 σ_t (MPa)	0.21

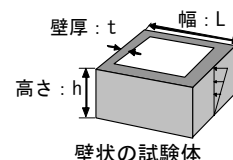


表-2 試験ケース

ケース	試験体寸法(m) (幅 * 奥行き * 高さ, t: 壁厚)	備考
1	0.5*0.5*0.4, t=0.1	基本形
2	0.4*0.4*0.4, t=0.1	試験体幅の影響
3	0.55*0.55*0.4, t=0.15	壁厚の影響
4	0.5*0.5*0.4	ブロック状との違い

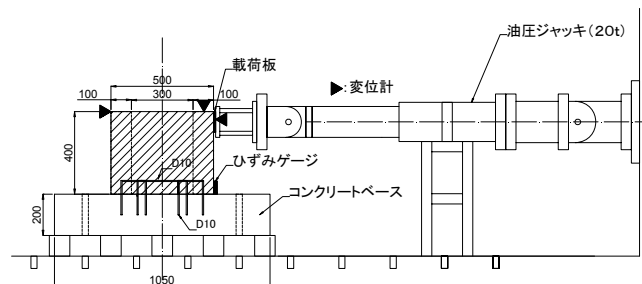


図-1 載荷試験概要

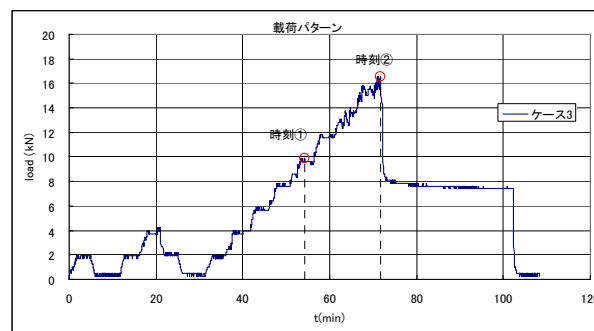


図-2 載荷パターン（ケース3）

キーワード 地盤改良, 載荷試験, 破壊

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 ハザマ技術研究所 TEL029-858-8813

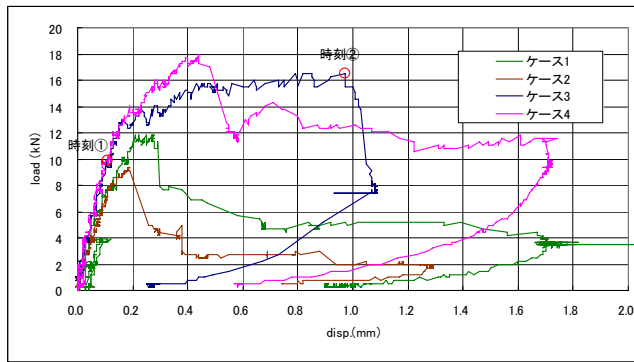


図-3 荷重－変位曲線

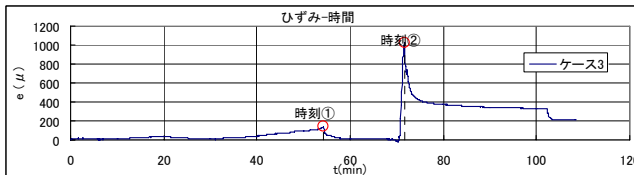


図-4 試験体下部の歪みの経時変化（ケース 3）

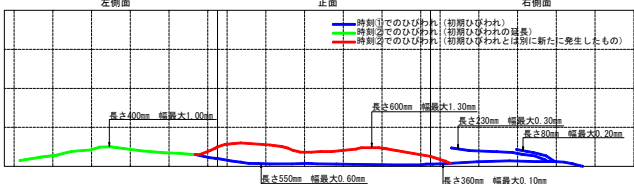


図-5 ひびわれ図（ケース 3）

（正方向）に変位しており、時刻①で初期ひびわれが発生し、時刻②で大きく荷重低下を起こすひびわれの進展が発生したと考えられる。

4. 数値シミュレーション

(1) 解析条件

前記の模型荷重試験を対象に 3 次元弾塑性FEM解析による数値シミュレーションを実施した。固化改良体は、引張側と圧縮側で形状が異なるDrucker-Prager型の降伏基準を用いた弾塑性モデル²⁾とした。また、事前に実施した曲げ試験結果などをもとに、歪み軟化（引張軟化）を考慮した応力－歪み関係を適用した。一方、表-3 の材料パラメータに示すように、コンクリートベース及び鉄筋は弾性要素とした。解析では、荷重板位置の固化改良体側面上部の節点に強制変位を作用させた。なお、初期応力は自重解析により別途算出し考慮した。

(2) 解析結果

表-4 に全ケースの最大荷重を示す。最大荷重値や各ケース間の大小関係については、解析結果が試験結果をほぼ再現していると考える。ケース 2 における固化改良体の歪み分布、荷重－変位曲線を図-6、図-7 に示す。ここで、荷重－ひびわれ変位曲線や解析において歪みが卓越する位置（試験体下部の赤色部分）と試験におけるひびわれ発生位置はほぼ一致している。ただし、図-7 に示すように、荷重制御である荷重試験ではひびわれの発生に伴い変位が不連続に変化しているが、変位制御である解析では連続的に滑らかに変化している。

4. まとめ

固化改良体の模型荷重試験と数値シミュレーションを実施し、固化改良体の歪み軟化挙動や形状の違いによる破壊挙動の違いを確認することができた。今後は、地震時荷重を想定した繰返し荷重に対する固化改良体の破壊挙動に関する検討も実施する予定である。

<参考文献>

- 1) 足立有史, 浦野和彦, 竹之下朋章, 丹澤宣彦, 河邑眞: 地盤固化工法を用いた杭基礎の耐震補強工法の実大実験, 土木学会論文誌, 2007.
- 2) Lee, J. and G. L. Fenves: Plastic-Damage Model for Cyclic Loading of Concrete Structures, Journal of Engineering Mechanics, Vol. 124, No.8, pp. 892-900, 1998.

表-3 材料パラメータ

材料種別	固化改良体	コンクリートベース	鉄筋
要素	ソリッド要素	ソリッド要素	梁要素
構成則	弾塑性	弾性	弾性
単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	15.0	24.0	78.5
弾性係数 E (kN/m ²)	1.0E+06	2.5E+07	2.0E+08
圧縮強度 σ_c (MPa)	1.85	—	—
引張強度 σ_t (MPa)	0.21	—	—
ポアソン比	0.35	0.2	0.2

表-4 最大荷重比較表(単位: kN)

ケース		1	2	3	4
最大荷重 (kN)	試験	11.8	9.4	16.5	18.0
	解析	13.3	10.1	18.0	19.3

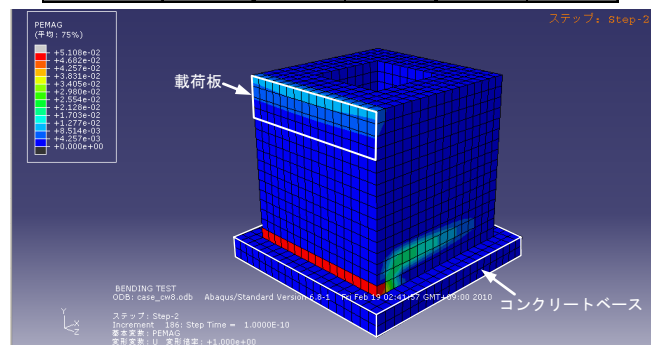


図-6 試験体の歪み分布（ケース 2）

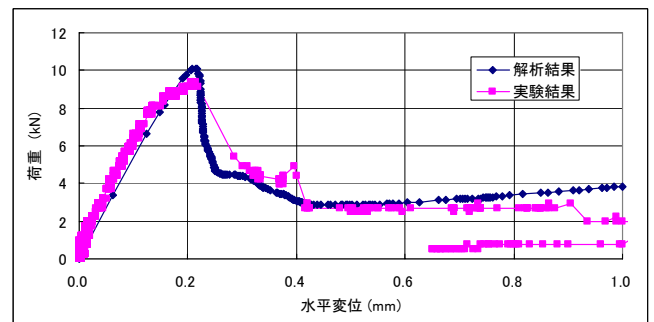


図-7 荷重－ひびわれ変位曲線（ケース 2）