

砕石杭とジオテキスタイル端部拘束によるハンモック効果を活かした 液状化対策工法に関する研究

茨城大学大学院 学生会員 ○渡辺 真大 茨城大学大学院 正会員 小林 薫
地球・地域環境共創機構(GLEC) フェロー会員 安原 一哉
みらい建設工業株式会社 正会員 足立 雅樹

1. 目的

2011年の東北地方太平洋沖地震により、広範囲で液状化被害が発生した¹⁾。茨城県ひたちなか市でも同被害が多数報告され、液状化層の厚い地盤上の住宅では施された対策工の液状化時沈下抑制効果が小さく、図-1に示すようなめり込み沈下が生じる等、住宅の機能に被害を及ぼした²⁾。しかし、戸建住宅の様な施工面積が小さい場合の安価かつ施工性の高い液状化対策工は未だ開発されていない。これを受けて、Datら³⁾は、無排土で砕石杭を打設することで、密度増加による液状化強度の増加及び過剰間隙水圧の早期消散により、めり込み沈下量の抑制効果が得られることを明らかにしたが、液状化層が厚い場合(5m超)では、その効果は小さかった。また、野口ら⁴⁾は、剛性の高いジオテキスタイル(以降、G.t.とする)を敷設することで、めり込み沈下量の抑制効果が得られ、G.t.の幅が広く剛性が高いほどその効果が高いことを明らかにしたが、剛性の高いG.t.は高価で狭隘地への材料運搬や施工性が悪い等の課題がある。そこで本研究では、砕石短杭(最長5m)とG.t.を併用し、小型の既存施工機械の利用を想定した砕石短杭とG.t.の端部を砕石による排水層へ適切に拘束することでハンモック効果を発揮させ、めり込み沈下量を抑制する安価で狭隘地でも施工可能な液状化対策工の開発を目指す。図-2に示すようなハンモック効果によりG.t.の引張強度が発揮され、めり込み沈下量の抑制効果が期待できる。実際に著者ら⁵⁾は、図-2のようなG.t.端部を折り曲げ、地盤に埋設する方法(以降、埋め込み法とする)で固定した際に発揮される引抜き抵抗によるハンモック効果と排水層の過剰間隙水圧の早期消散により、めり込み沈下量の抑制効果があることを明らかにした。しかし、めり込み沈下量が許容基準値以内に抑制されなかった。これを踏まえ本報告では、砕石杭とG.t.端部拘束によるハンモック効果を活かした液状化対策工の液状化時めり込み沈下量の抑制効果を1G場振動台模型実験により検証した。

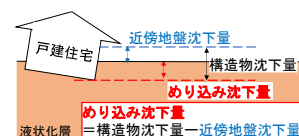


図-1 めり込み沈下の概要図

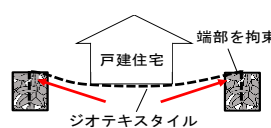


図-2 ハンモック効果の概要図

2. 1G場振動台模型実験による液状化時めり込み沈下量の抑制効果の検証

2.1 実験概要

本実験では端部を拘束したG.t.と砕石杭を併用した工法の液状化時めり込み沈下量の抑制効果を検証した。図-3に実験の概要を示す。模型土槽の寸法は幅1000mm×高さ480mm×奥行き200mmである。試料には豊浦砂($\rho_s=2.651 \text{ Mg/m}^3$)を用い、液状化が生じた茨城県ひたちなか市の地盤構造を参考に、本実験は1/50スケールとし液状化層($D_r=30\%$)は340mm、非液状化層($D_r=70\%$)は50mmと設定した。G.t.には施工性・経済性を考慮し、剛性が低く引張強度を有するものとしてガーゼ(ダブルガーゼ60番手)を用いた。G.t.端部は著者ら⁵⁾の研究で最も引抜き抵抗を発揮した埋め込み法で鉛直で拘束するが、液状化層に埋設すると液状化時に砂が流動化し拘束されないため、著者ら⁵⁾の研究においてG.t.端部拘束による引抜き抵抗を最も発揮した7号砕石(2.5-5.0mm: $\rho_s=2.65 \text{ Mg/m}^3$, $k=1.75 \times 10^{-2} \text{ m/s}$)による排水層に埋設し拘束した。模型砕石杭の杭材にはDatら³⁾と同様に7号砕石を用い、無排土で打設する。また、本研究では模型土槽の長さ

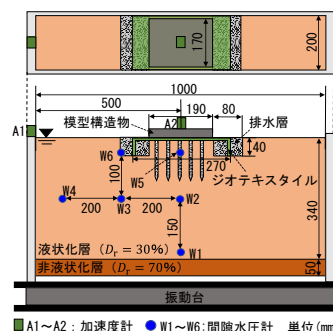


図-3 1G場振動台模型実験の概要

と液状化判定深度に着目し、現象を支配する方程式を用いて基本的な実地盤と模型の相似則を考えた⁶⁾。現象を支配する方程式とは2つの系に対して同等に適用可能で、これを無次元化することにより現象を支配し、無次元量を抽出する方

キーワード ジオテキスタイル、液状化、ハンモック効果、砕石杭、振動台模型実験

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1 国立大学法人茨城大学 TEL: 0294-38-5004 E-mail: 21nm842t@vc.ibaraki.ac.jp

法である。表-1 にこの方法により得た本実験の相似則を示す。想定する地盤厚さと模型地盤厚さの幾何学相似比 l は実地盤と模型の長さの比より $\lambda=l_p/l_m$ となる。本研究では液状化判定を行う際、地表面から20 m以内にある飽和土層を対象としているため液状化判定深度 l_p を20 mとして、模型土槽の高さ l_m は390 mmであるので $\lambda=51$ となる。表-2 にこの値を用いて求めた模型構造物の寸法と質量を示す。2階建ての戸建住宅を模擬した模型構造物はアクリル製であり、加振前の模型地盤において模型構造物を設置しても沈下に至らない上載圧となっている。実験では、模型地盤の作製後、入力加速度200 gal、加振時間6秒、周波数5 Hzの正弦波の水平振動を模型地盤に与えた。加振前後で、模型土槽の天井から模型構造物とその近傍地盤の地盤表面までの距離を測定し、それらから模型構造物とその近傍地盤の表面沈下量を算出した。その結果を基に、液状化時のめり込み沈下量を算出し抑制効果を検証した。

表-3 に実験ケース、図-4 に case 毎の模式図を示す。狭隘地の実施工において小型バックホウによる掘削を想定しているため、小型バックホウの最大掘削深さ2 m程度以下を最大埋め込み深さとし、本実験のG.t.の埋め込み深さは40 mmとした。排水層については施工性・経済性を考慮し、構造物直下に碎石を敷設せず拘束部分のみに碎石を敷設した排水層にG.t.端部を拘束した。実施工では施工性の観点から碎石短杭の最大杭長は5 mとするため、本実験の模型杭長は100 mmとし、 $\phi=10$ mmである。

2.2 実験結果

図-5 に実験結果、図-6 に W3 における過剰間隙水圧を示す。case B ではめり込み沈下量の抑制効果は微小であった。G.t.の剛性が低く、構造物沈下時に曲げ部材として機能せず構造物荷重が分散されなかったと考えられる。case C では図-6 より排水層における過剰間隙水圧の消散効果が確認されたことから、めり込み沈下が抑制されたと考えられる。Case D では、無対策時と比較しめり込み沈下量が約7割抑制され、加振後にG.t.敷設が埋め込み部から2~3 mm程度の引抜きが確認された。これらから、模型構造物の沈下に伴い引抜き力が発生し、G.t.敷設拘束の引抜き抵抗によるハンモック効果が発揮されたと考えられる。また、case A,C,Dの比較により、G.t.端部拘束による抑制効果と排水層の過剰間隙水圧の消散による抑制効果は同程度の結果となった。case F ではめり込み沈下量が許容基準値以内に抑制された。これは、G.t.敷設拘束によるハンモック効果とともに図-6 のように排水層と碎石短杭による過剰間隙水圧の消散効果が発揮されたためだと考えられる。

3. まとめ

液状化層厚が厚い模型地盤構造であるため、碎石短杭によるめり込み沈下量の抑制効果は微小であるが、排水層に端部を拘束したG.t.との併用により、排水層の過剰間隙水圧の消散効果とG.t.端部拘束のハンモック効果が発揮されめり込み沈下量を許容基準値以内に抑制することが確認された。

参考文献

- 国土交通省：宅地の液状化に関する取り組み(案)，<https://www.mlit.go.jp/common/000990192.pdf>(2022.9.23 閲覧可能)
- ひたちなか市役所：液状化対策検討住民説明会，2013。
- 地盤工学会関東支部：造成宅地の耐震対策に関する研究委員会，造成宅地の耐震効果に関する研究委員会報告書—液状化から戸建て住宅を守るための手引き—，2013。
- 野口武彦，村上哲，小林薫，安原一哉：ジオグリッド敷設による液状化に伴う構造物のめり込み沈下抑制に関する振動台模型実験，ジオシンセティックス論文集，Vol.32，pp.13-18，2017。
- 渡辺真大，小林薫，安原一哉，足立雅樹：ジオテキスタイル端部拘束によるハンモック効果を活かした液状化対策工法に関する研究，ジオシンセティックス論文集，Vol.37，pp.19-24，2022。
- 井合進：1G場での地盤・構造物系の模型振動実験の相似則について，地震工学研究発表会講演概要集，19巻，pp.341-344，1987。

表-1 模型実験の相似則⁶⁾

| 項目 | 模型/構造物 |
|-----|---------------|
| 長さ | $1/\lambda$ |
| 振動数 | λ^3 |
| 密度 | 1 |
| 加速度 | 1 |
| 変位 | $1/\lambda^2$ |
| ひずみ | $1/\lambda^2$ |
| 応力 | $1/\lambda$ |

表-2 模型構造物の寸法と質量

| | 戸建住宅 | 模型構造物 |
|-----|-------------------|---------------------|
| 幅 | 9.7 m | 190 mm |
| 奥行き | 8.7 m | 170 mm |
| 床面積 | 86 m ² | 323 cm ² |
| 重量 | 96 t | 0.7 kg |

表-3 実験条件

| case | 排水層 | G.t.敷設 | 碎石杭 | 碎石杭改良幅比 |
|------|-----|---------|-----|---------|
| A | — | — | — | — |
| B | — | 有(敷設のみ) | — | — |
| C | 有 | — | — | — |
| D | 有 | 有(拘束有) | — | — |
| E | 有 | — | 25本 | 1.05 |
| F | 有 | 有(拘束有) | 25本 | 1.05 |

※碎石杭改良幅比=碎石杭改良幅 / 模型構造物幅

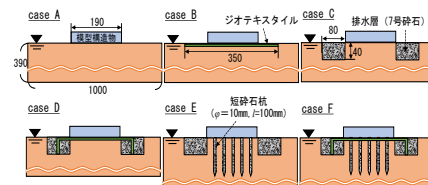


図-4 各 case の模式図

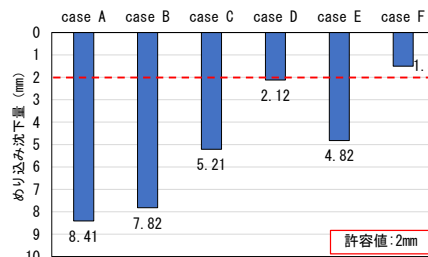


図-5 各 case のめり込み沈下量の比較

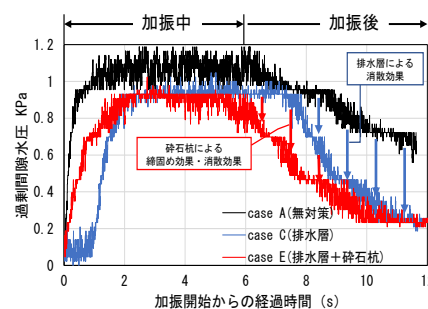


図-6 W3 における過剰間隙水圧