

砕石パイルの地震時耐力について

東京都市大学 学生会員 ○大和田 健樹, 正会員 末政 直晃
 ハイスピードコーポレーション株式会社 非会員 堀田 誠, 非会員 藤村 行正

1. はじめに

2018年に発生した北海道胆振東部地震では、札幌市清田区にある谷地形を埋土した宅地造成地において大規模な液状化が発生した。日本にはこのような造成地が各地に点在し、液状化リスクは高いといえる。地震などに対して地盤の安定性を保つためには、その土地や土の性質にあった地盤改良が必要である。本研究では様々な地盤改良工法の中で、砕石パイル工法に着目した。これは天然砕石のみを使用した地盤改良工法のため、環境に優しい工法である。この工法では、図-1に示すように投入した砕石をケーシングで押しこむため、杭周辺の地盤の締固めが促進され、砕石杭に加えて地盤全体の支持力が增加することが期待される。しかし、砕石は固結されていないため地震時の水平力により砕石パイルの形状が変化し、支持力が低減する恐れがある。そこで本研究では、砕石パイル工法によって改良された地盤の地震時耐力について調べることを目的とした。本報告では、改良および未改良の模型地盤に対して鉛直載荷と水平載荷の組み合わせ載荷実験を行い、本工法による改良効果を確認した。

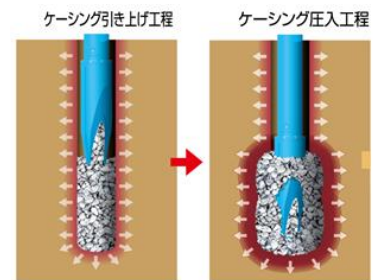


図-1) 砕石パイル締固め模式図

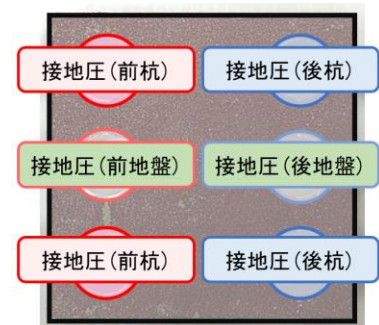


図-2 ロードセルと杭の関係

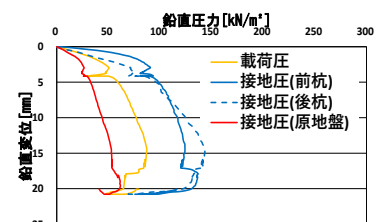


図-3 4本杭改良地盤(低密度)

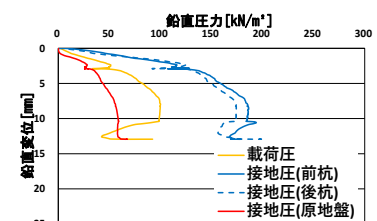


図-4 4本杭改良地盤(中密度)

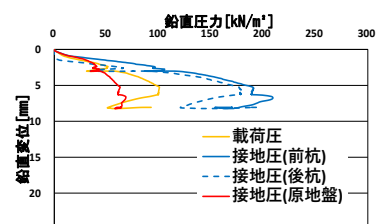


図-5 4本杭改良地盤(高密度)

2. 実験概要

模型地盤には青粘土と珪砂7号を乾燥重量比1:1の割合で混合した試料を最適含水比14.2%で調整した。鉄製の直方体土槽(縦400mm×横1000mm×高さ300mm)に1層当たり20kgの試料を投入し、地盤表面を水平にならした。その後、塩化ビニル製の小型ローラー(直径105mm, 転圧幅100mm)で横方向に水平移動させ締固め、この作業を9層分繰り返した。なお、小型ローラーにはベロフラムシリンダーを用いて鉛直荷重を作用させた。砕石パイルの造成では、直径18mm, 高さ500mmの中実の棒と直径20mm, 厚さ1mm, 高さ250mmの鉄製パイプを使用し、1.32kgの錘を落下させて中実の棒とパイプを200mm貫入した。その後、砕石を模擬した粒径の大きい珪砂4号と間隙を埋める役割を担う粒径の小さい珪砂6号を1:1の割合で混合した試料を一層あたり15g投入し、1.32kgの錘を50mmの高さから1回落とすことで締め固めた。これを表層まで行い直径20mm, 杭長200mmの砕石パイルを造成した。

組み合わせ載荷では、まず極限荷重の1/3である使用限界荷重を鉛直載荷し、3分間待機した後 $k=0.15$ で水平載荷を行う。その後水平荷重を除荷し極限荷重の2/3である損傷限界荷重を鉛直載荷する。再び3分間待機し $k=0.30$ で水平載荷を行う。今回は極限荷重を1500Nと設定したため使用限界荷重は500N, 損傷限界荷重は1000Nとした。本実験では

キーワード 砕石パイル, 鉛直載荷, 水平載荷, 地震時耐力, 組み合わせ載荷実験

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1丁目28-1 東京都市大学 TEL 03-5707-0104

杭の接地圧を計測するために6個のロードセルを用いている。改良地盤においてロードセルは図-2のように前杭に2本、後杭に2本、原地盤に2本接している。杭または原地盤の接地圧には同種の2点の平均値を用いている。未改良地盤においても同様のロードセル配置である。今回、未改良地盤と4本杭改良地盤、16本杭改良地盤の3ケースを、低密度地盤(1.47g/cm³)、中密度地盤(1.55g/cm³)、高密度地盤(1.67g/cm³)で実験し、変位と圧力の比較を行った。

3. 実験結果 (鉛直変位)

未改良地盤では密度が高くなると鉛直変位が減少することを確認できた。

4本杭改良地盤では図-3～図-5より、載荷圧が100kN/m²に達した時の変位が、低密度地盤では達せず、中密度地盤では約7.9mm、高密度地盤では約5.2mmとなった。この結果から未改良地盤と同様に密度が高くなると鉛直変位が減少することが確認できた。また4本杭改良地盤では、杭との接地圧と原地盤との接地圧の差が大きくなっていることから、杭が原地盤よりも圧力を負担していることがわかる。

16本杭改良地盤では、図-6～図-8より、載荷圧が100kN/m²に達した時の変位が、低密度地盤では約6.6mm、中密度地盤では約6.3mm、高密度地盤では約1.9mmとなった。今回も密度が高くなるほど鉛直変位が減少し、杭が原地盤よりも圧力を負担していることが確認できた。

4. 実験結果 (水平変位)

水平荷重30kN/m²を与えた際の変位は、地盤の密度によらず、未改良地盤、4本杭改良地盤、16本杭改良地盤の順に小さくなった。また、改良条件が同じである場合には、密度の増加に伴って変位は小さくなった。なお、低密度地盤では未改良地盤において水平荷重が30kN/m²に達する前に地盤の降伏が生じたが、他の二つでは未改良地盤に比べ16本杭改良地盤では変位量が1/2程度に低減された。

5. 応力分担比

応力分担比とは、原地盤の接地圧力に対して砂杭がどの程度の圧力を分担しているかを表す指標である。本報告では鉛直載荷実験の結果を用いて次のように算出した。

$$n = (\text{砕杭の接地圧}) / (\text{原地盤の接地圧}) \quad (1)$$

ここで砂杭の接地圧は、砂杭上に設置した4つのロードセルの平均値から、原地盤の接地圧は前・後ろの2つのロードセルの平均値から求めた。

中密度地盤と高密度地盤の4本杭改良地盤と16本杭改良地盤では変位は違うものの、それぞれ2程度となった。しかしながら低密度地盤はこれに当てはまらず、4本杭改良地盤は沈下量が17mm程度まで応力分担比2程度で、荷重分担していたが、その後降伏して応力分担比が1程度になった。なお、降伏時には杭が壊れる音がしたため破壊が起きたと考えられる。

6. まとめ

本実験の結果から、鉛直載荷および水平載荷における改良地盤の効果が確認された。特に鉛直方向・水平方向ともに16本杭改良地盤が最も改良効果を得ることができた。また水平載荷を行った際、水平載荷の前側に位置する杭が圧力を負担していること、杭自体も水平載荷に対応することを確認できた。応力分担比の算出結果から、砕石杭は原地盤よりも応力を負担していることがわかる。

7. 参考文献

- 1) ハイスピードコーポレーション株式会社 「<https://www.hyspeed.co.jp/kairyoo/>」 (2021年7月9日閲覧)

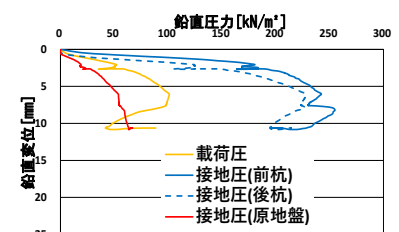


図-6 16本杭改良地盤(低密度)

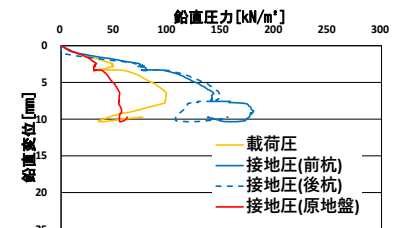


図-7 16本杭改良地盤(中密度)

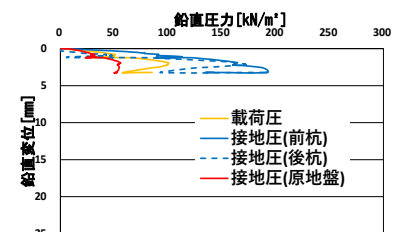


図-8 16本杭改良地盤(高密度)