

福井工業高等専門学校	正会員	吉田雅穂
金沢大学大学院	学生会員	武澤永純
金沢大学工学部	正会員	宮島昌克
金沢大学工学部	フェロー	北浦 勝

1. はじめに

液状化に伴う地盤流動に対する対策工を検討する場合、液状化対策工法を適用することが基本と考えられるが、その流動対策工法としての有効性については未解明の点が多い。液状化対策工法の一つであるグラベルドレーン工法は、地中に碎石の柱を打設し液状化時に発生する過剰間隙水圧を早期に消散させることを目的とした工法である。著者らは、この工法の地盤流動対策への適用について実験的に検討を行い、対策工法としての利用の可能性を示している¹⁾。ところで、兵庫県南部地震を契機に、グラベルドレーン工法の設計においてもレベル2地震動に対する検討が必要となっているが、耐震性能を越える地震動が作用した場合の対策地盤の流動に対する安定性、さらには周辺の未対策地盤が流動した場合の対策地盤の安定性についての検討も今後の重要な課題と考えられる。

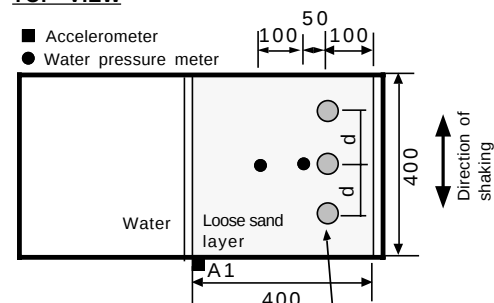
このような観点から本研究では、グラベルドレーン打設地盤に対する単純せん断実験を実施し、常時または液状化時における対策地盤のせん断剛性の変化を明らかにし、地盤流動に対する安定性について検討を行った。

2. 飽和地盤に対する単純せん断実験

図-1に実験装置の概要を示す。アクリル製の土槽内に、同じくアクリル製のせん断枠（長さ400mm×幅400mm×高さ650mm）を設置した。このせん断枠の各節点はヒンジ構造となっており、スムーズにせん断変形させることが可能である。そのせん断枠内に7号珪砂（ $\rho_s=2.63\text{g/cm}^3$, $D_{50}=0.16\text{mm}$ ）を用いた層厚400mmの飽和砂地盤（ D_r : 約30%）を水中落下法により作成した。ドレーンの材料は7号碎石であり、その作成方法は、地盤作成前にせん断枠内に設置した直径55mmのケーシング内に碎石を半分程度投入しアクリル製のロッドで150回突き固め、地盤が完全に作成された後に碎石を追加投入し、ケーシングを抜き取りながら再度150回突き固めるものである。ドレーンはせん断枠の載荷側壁より100mmの位置に設置しており、せん断変形は反力壁に取り付けた油圧ジャッキによりせん断枠を介して地盤に与えた。せん断速度は地表面位置で1.5mm/sであり、約30秒間継続した。荷重は油圧ジャッキとせん断枠の間に取り付けられた荷重計で計測し、変位はせん断枠の変形をレーザー変位計で計測し地表変位に変換した。

図-2は模型地盤の応力ひずみ曲線の一例を示したものであり、実験で得られた荷重変位曲線をせん断応力とせん断ひずみの関係に変換して整理したものである。図中のN-1は無対策のケース、GL-150はドレーン3本を150mm間隔で1列に配置して対策したケースである。また、GLNC-150はGL-150と配置は同じであるが、ドレーンの突き固めを地盤作成前に300回実施しており、突き固め処理の影響が地盤に作用していないケースである。同図より、突き固め処理を行わなかったケース（GLNC-150）でも無対策地盤と比較して地盤のせん断抵抗力が向上している点は興味深い結果であり、ドレーンの設置が常時の地盤のせん断剛性を高める効果を有することを示すものである。また、突き固め処理を行ったケース（GL-150）では、ドレーン周辺地盤が締固められたことにより、さらにその効果が増大する結果となっている。本文では、ドレーンの設置によるせん断剛

TOP VIEW



FRONT VIEW

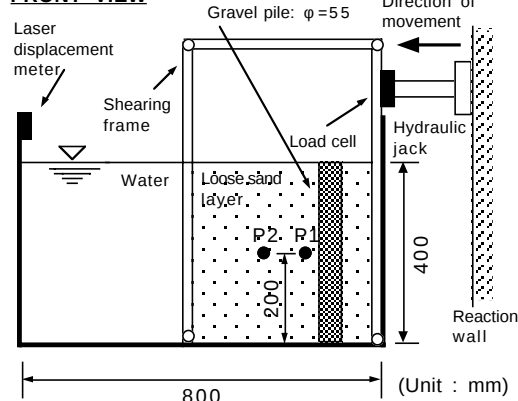


図-1 実験装置の概要

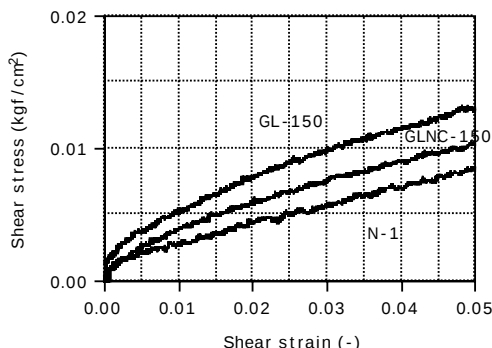


図-2 せん断応力とせん断ひずみの関係

キーワード：地震、液状化、地盤流動、対策、グラベルドレーン工法、単純せん断実験

連絡先：〒916-8507 福井県鯖江市下司町 TEL: 0778-62-8305 FAX: 0778-62-3416 E-mail: masaho@fukui-nct.ac.jp

性の向上を置換効果、また突き固め処理による影響を締固め効果と呼んでいるが、グラベルドレーン工法を地盤流動対策として適用する場合には、本工法が従来から持つ過剰間隙水圧の早期消散効果、すなわち透水効果の付加効果として、この2点を考慮する必要があるものと思われる。

3. 液状化地盤に対する単純せん断実験

実験装置は前章と同様であり、ここでは実験内容について特に異なる点のみ記述する。実験方法は、土槽を載せた板バネ式振動台を土槽短手方法に打撃して液状化を発生させた後、前章と同様に油圧ジャッキによってせん断碎に変形を与えるものである。図-3は入力波の一例であり、最大加速度約200gal、振動数約3Hz、加振時間約6秒である。実験中は、前章と同様に変位と荷重を計測し、さらに加速度計で入力加速度を、地盤に埋設した水圧計で過剰間隙水圧を計測した。

図-4はP1の位置における過剰間隙水圧比の時刻歴を示したものである。無対策のケース(N-1)では過剰間隙水圧比が1.0に達し、その状態が約8秒間継続しているが、ドレーンを設置したケース(GL-150)では過剰間隙水圧の上昇が抑制され、かつ消散も促進されており透水効果が顕著に現れている様子が分かる。一方、ドレーンをナイロン製の膜で被ったケース(GLUD-150)は、透水効果の除去されたケースであったため過剰間隙水圧比は1.0にまで達していたが、ドレーン設置時の締固め効果により周辺地盤の液状化強度が増加しており、その継続時間は無対策地盤と比較して短縮されていた。

図-5は液状化発生後の各ケースの応力ひずみ関係を示したものである。同図より、ドレーンを設置したケース(GL-150)では、無対策のケース(N-1)と比較して地盤のせん断抵抗力が大きく向上していることが確認できる。また、同図におけるGL-150とGLUD-150の結果の差が、ドレーンによる透水効果の差と判断できるが、それによる影響が非常に大きいことが分かる。以上より、ドレーンによる周辺地盤の過剰間隙水圧の抑制が、液状化後の地盤のせん断剛性を向上させる効果を有することが明らかとなった。

図-6は図-5の応力ひずみ曲線において、せん断ひずみが0.01と0.03の時の割線勾配より求めたせん断弾性係数を各ケースごとに示したものである。ここで、せん断ひずみが0.01の時は、無対策地盤において過剰間隙水圧比が1.0に達していた場合であり、0.03の時はほぼその消散期に相当するものである。GL-150の場合では前述の3つの効果によっていずれの時期においても高いせん断剛性を示しており、GLUD-150の場合でも過剰間隙水圧消散期ではドレーンによる置換効果と締固め効果によってN-1よりもせん断剛性が向上している様子が確認できる。しかし、GLUD-150のひずみが0.01の時にみられるように、ドレーンによる透水効果が機能せず、周辺地盤の過剰間隙水圧比が1.0に達し地盤が軟化してしまった場合には、ドレーンの置換効果や締固め効果によるせん断剛性は期待できないことが明らかとなった。

4. おわりに

液状化地盤の流動に対するグラベルドレーン工法の効果として、透水効果、置換効果、締固め効果の3つを取り上げ、常時または液状化時の地盤のせん断剛性に与える影響とその分担割合を実験的に明らかにした。今後は実地盤における効果について定量的に検討していきたい。

参考文献：1) 宮島昌克・近藤宏樹・吉田雅穂・北浦 勝・後藤幸司：グラベルドレーン工法による液状化地盤の流動対策に関する実験的研究，第10回日本地震工学シンポジウム論文集，Vol.1，pp.49-54，1998。

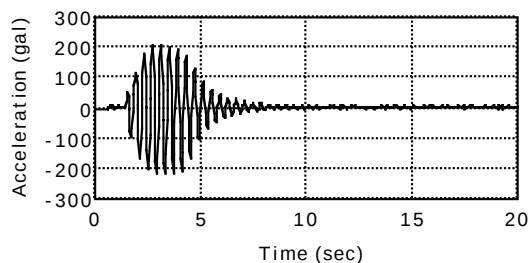


図-3 入力加速度 (A1)

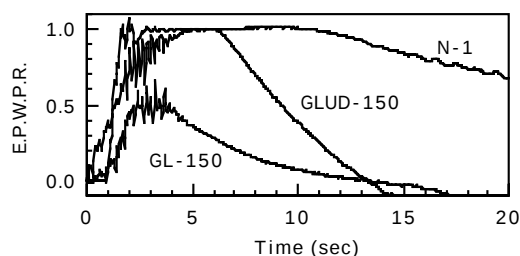


図-4 過剰間隙水圧比 (P1)

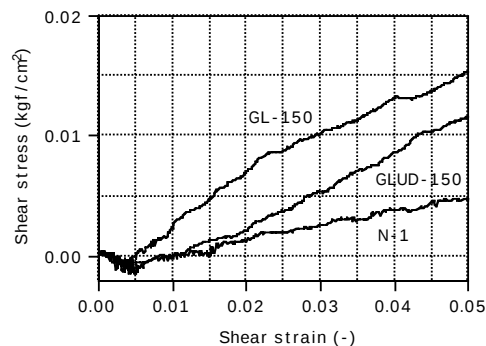


図-5 せん断応力とせん断ひずみの関係

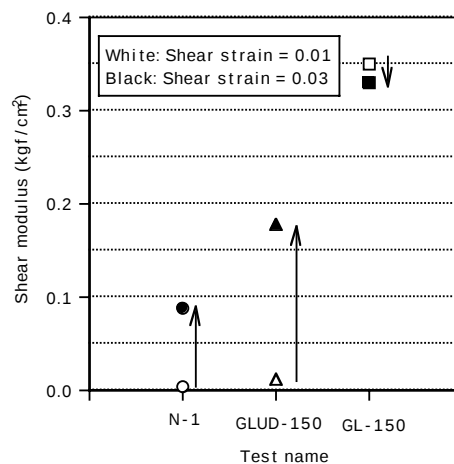


図-6 せん断弾性係数の変化