

液状化による地盤流動を受けるグラベルドレーン打設地盤の挙動に関する模型実験

福井工業高等専門学校専攻科	学生会員	○武澤永純
福井工業高等専門学校	正会員	吉田雅穂
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

液状化した地盤が水平方向に移動する地盤流動は、1964 年新潟地震を初め数多くの被害地震で確認されている。現在、この地盤流動による構造物被害を防止するための対策法についていくつか提案されているが、工法として確立されたものは少ないと言える。液状化対策工法の一つであるグラベルドレーン工法は、地中に礫の柱を打設することにより、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 L2 地震動に対する検討が必要となっているが、対策地盤の安定性、さらには周辺の未対策地盤が液状化した場合の対策地盤の安定性については不明の点が多い。特に地盤流動のように広範囲に水平方向への永久変位が発生する場合には、それによる対策地盤の安定性の検討も必要と考えられる。

この様な観点から本研究では、グラベルドレーン打設地盤周辺の未対策地盤において、液状化に伴う地盤流動が発生した場合を想定し、対策地盤と周辺の未対策地盤の挙動について実験的に検討を行った。

2. 単純せん断実験

グラベルドレーン打設地盤の液状化発生時のせん断特性を明らかにするため、単純せん断実験を行った。実験装置の概要を図-1に示す。アクリル製の土槽の中に、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蝶番によりヒンジになっており、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 号珪砂を用いた層厚 400mm の飽和砂地盤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ケーシング内に碎石を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。

実験方法は、土槽を載せた板バネ式振動台を打撃して液状化を発生させた後、油圧ジャッキによって約 1.5mm/s の速度で 30 秒間せん断枠を水平に载荷した。入力に用いた波形は最大加速度約 200gal、振動数約 3Hz、加振時間約 3 秒間の波であり、加振方向は土槽短手の水平方向である。

図-2 は実験より得られた変位と荷重より、地盤のせん断ひずみとせん断応力を求めて、両者の関係を示したものである。実験ケースは、ドレーンを設置していない無対策地盤（N-1）と、直径 55mm のドレーンを载荷側から 100mm の位置に、中央から 150mm 間隔で直線状に 3 本設置した地盤（GL-150）である。同図より、ドレーンを設置することにより、地盤のせん断抵抗力が顕著に増加していることが分かる。

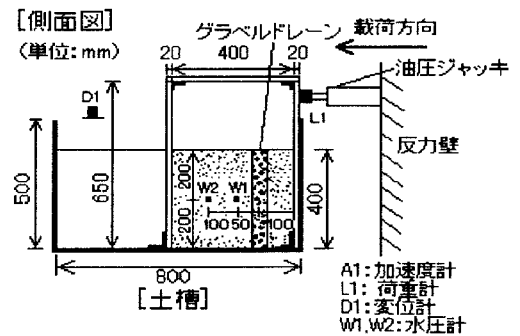


図-1 実験装置概要図

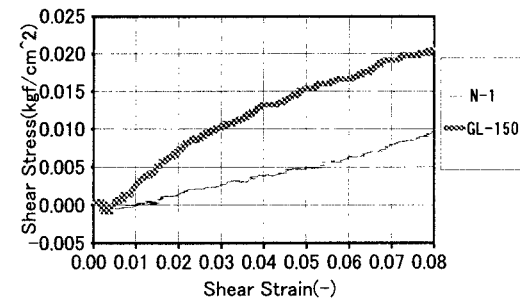


図-2 せん断応力-ひずみ曲線

3. 模型振動実験

地盤流動が発生した場合のグラベルドレーン打設地盤の挙動特性を明らかにするため、模型振動実験を行った。図-3に実験装置の概要を示す。電気油圧サーボ式の振動台上に鋼製の土槽（長さ 1500mm×幅 600mm×高さ 800mm）を設置し、その中に 7 号珪砂を用いて水中落下法により層厚 400mm の飽和砂地盤を作成した。土槽内下部には 10%勾配の傾斜基盤を設けており、その上面はベニヤ板、その下部には十分に締め固めた 7 号珪砂を敷き詰めている。なお、本実験では地盤流動の発生条件として地表面および基盤が同一勾配で傾斜している場合について検討を行っている。模型地盤は、ドレーンを設置しない無対策地盤（N-1）と、地盤中央から 300mm 下流側の位置に、直径 55mm のドレーンを 100mm 間隔で 5 本づつ 2 列設置した対策地盤の 2 種類である。なお、対策地盤ではドレーンを設置する際に、前述の単純せん断実験と同様にグラベルを突き固めながら設置するケース（L-GCS-100）と、突き固めを行わないケース（L-GS-100）を行った。入力波は 5Hz で一定振幅 100gal の正弦波を 30 波与えており、前後の 5 波はテーパとなっている。

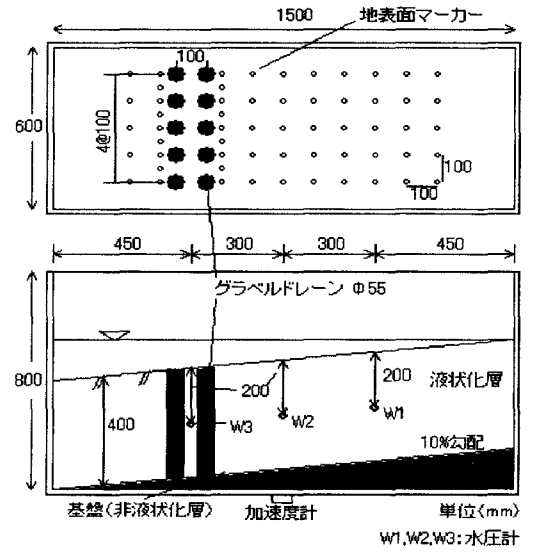


図-3 実験装置概要図

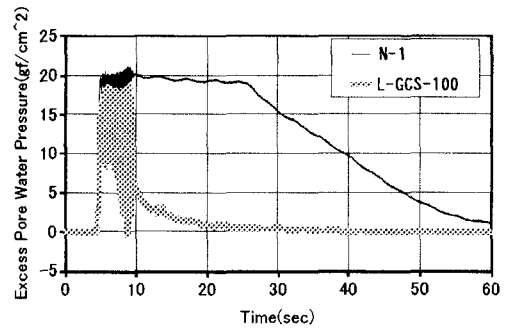


図-4 過剰間隙水圧(W3)の時刻歴

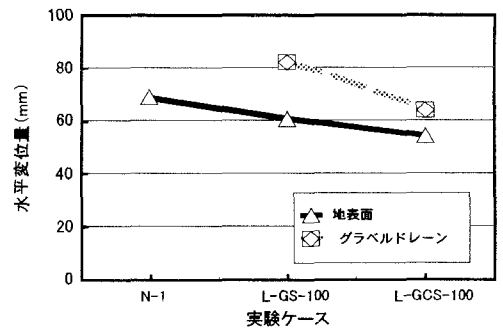


図-5 地表面とドレーンの変位量

図-4 に無対策地盤と対策地盤における過剰間隙水圧（W3）の時刻歴波形を示す。両者とも過剰間隙水圧が初期有効上載圧まで達しており、無対策地盤ではその後約 20 秒程度その状態が継続しているが、対策地盤のドレーン内では早期に過剰間隙水圧が消散している様子が分かる。これにより、ドレーン周辺地盤では地盤の軟化が早期に終了していると推測できる。

図-5 は地盤中央部における地表面の水平変位とグラベルドレーン頭部の水平変位を実験ケースごとに示したものである。なお、地表面変位は地盤中央部の幅 200mm の範囲内での平均値である。同図より、無対策地盤の変位量に比べて、対策地盤の変位量が低減されていることが分かり、周辺地盤の流動に対してグラベルドレーンが変位抑制に効果を発揮していることを示している。また、その効果はグラベルを突き固めながら打設したケースの方がより顕著であり、ドレーンの変位量についても同様の傾向であった。

グラベルドレーンが地盤流動を抑制する要因としては、①グラベルの透水性により過剰間隙水圧を早期に消散させて地盤の軟化を防止する透水効果、②ドレーン本体の剛性が地盤のせん断変形を抑制する剛性効果、③ドレーン打設時の突き固めが周辺地盤の相対密度を高める締め固め効果の 3 つが考えられる。このうち L-GS-100 は①と②の効果を有し、L-GCS-100 は 3 つ全ての効果を有するケースと考えられる。したがって、図-5 における両ケースの変位量の差は③の締め固め効果による影響と考えられる。

4. おわりに

以上より、グラベルドレーンの透水効果、剛性効果、締め固め効果の 3 つの効果が、地盤流動を抑制する要因となっていることを示した。今後もさらに実験を行い、各効果の分担割合などについて検討していきたい。

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。