

グラベルドレーン工法の液状化被害軽減効果 に関する実験

宮島昌克¹・近藤宏樹²・吉田雅穂³・北浦 勝⁴

¹正会員 工博 金沢大学助教授 大学院自然科学研究科 (〒920 金沢市小立野 2 丁目 40-20)

²金沢大学大学院工学研究科 (〒920 金沢市小立野 2 丁目 40-20)

³正会員 福井工業高等専門学校助手 環境都市工学科 (〒916 福井県鯖江市下司町)

⁴正会員 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科 (〒920 金沢市小立野 2 丁目 40-20)

本研究は、従来から排水工法の一つに上げられているグラベルドレーン工法を置換工法の一つと捉え、地盤置換率という指標で液状化対策効果を評価しようと考え、実験的に検討したものである。振動台を用いた液状化実験を実施し、グラベルドレーンによる地盤置換率と最大過剰間隙水圧比、および地表面沈下率の関係について考察した。その結果、地盤置換率の増加に伴い最大過剰間隙水圧比が減少し、それとともに地表面沈下率も低減することが明らかとなった。

Key Words: gravel drain system, transposition ratio, liquefaction, settlement, shaking table test

1. はじめに

グラベルドレーン工法は、排水工法の一つであり、低騒音でなおかつ周辺地盤の振動などによる変状をほとんど伴わないといった施工上の特徴を有することから、既設構造物近傍や市街地での施工に適した工法と言われ、全国でもその施工事例は数多い¹⁾。一方で、本工法の対策原理が過剰間隙水圧の早期消散を目的としていることから、間隙水の排水によって生じる、地震後の残留沈下が問題視されている²⁾。

1993 年釧路沖地震においては、釧路港のグラベルドレーンを施工した地点で 400gal を越える加速度が観測されたにもかかわらず、改良域での亀裂や地盤沈下は見られなかったことから、初めてグラベルドレーン工法の液状化軽減効果が実証された³⁾。

以上のことを踏まえた上で本研究では、グラベルドレーン工法を排水工法というよりは、むしろ、ゆる詰めめの砂地盤の一部を碎石などの透水性の高い材料で置換するといった置換工法の一つとして捉え、振動台を用いた液状化実験を行い、改

良地盤における地盤置換率が地盤の液状化抑制効果に与える影響について検討した。

2. 実験概要

(1) 実験装置および入力条件

図-1 に実験装置の概要を示す。振動台の上に設置された鋼製の砂箱 (幅 500×長さ 1500×高さ 350mm) 内に模型地盤を作成した。同地盤は、非改良地盤 (幅 500×長さ 750×高さ 200mm) と改良地盤 (幅 500×長さ 750×高さ 200mm) から成っている。非改良地盤は、5 号珪砂 (平均粒径 $D_{50}=0.40\text{mm}$, 均等係数 $U_c=1.93$) を用いて水中落下法によって作成した緩詰め飽和砂地盤である。改良地盤の作成については、まず塩ビ管 (φ 55mm) にナイロン製ストッキングを覆い被せたケーシングを砂箱内に設置し、ケーシング内にコンクリート骨材用の 5 号碎石 (最大粒径 $D_{max}=25\text{mm}$) を投入し、砂箱内には上記と同様の砂を水中落下させた。地盤がある程度の高さまで作成された後、ケーシングを引き抜き、グラベルドレーンを作成した。

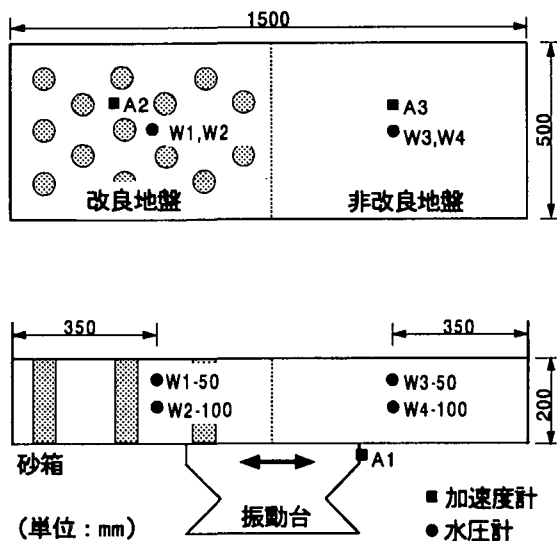


図-1 実験装置概要図

表-1 実験ケース

置換率(%)	打設間隔(cm)	ドレーン本数
5	23.4	6
7	19.8	10
10	16.6	10
15	13.5	21
20	11.7	25
30	9.6	36
50	7.4	55

入力加速度は約 100gal、200gal の 2 ケースである。入力波は、5Hz の調和波であり、2 秒間で最大加速度に達するようにし、その後さらに同振幅で 8 秒間加振した。入力方向は砂箱の長手方向である。

(2) 実験ケースおよび計測方法

改良地盤におけるグラベルドレーンは正三角形配置とし、同配置における地盤置換率は次式によって表される。

$$a_g = \frac{2\pi a^2}{\sqrt{3}d^2} \times 100(\%) \quad (1)$$

ただし、 a_g ：地盤置換率、 a ：ドレーンの半径、 d ：ドレーンの打設間隔である。

実験では、地盤置換率を 5～50% の範囲内で変化させた。表-1 に実験ケースの一覧を示す。

計測項目として、加振中に振動台に貼付した加速度計で入力加速度を、地盤内に設置した水圧計で過剰間隙水圧を計測した。また、地表面に設置

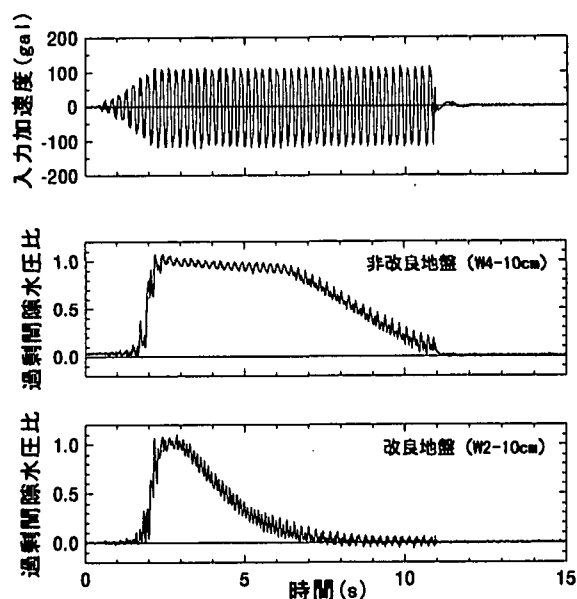


図-2 入力加速度および過剰間隙水圧比の時刻歴（地盤置換率 5%、100gal）

した加速度計で応答加速度を計測した。なお、加振前後に、定測点（非改良地盤、改良地盤ともに 14 カ所）およびグラベルドレーンの正三角形重心位置（6 カ所）において、地盤厚を測定し、地盤の沈下量を求めた。

3. 実験結果および考察

図-2 は地盤置換率 5%、入力加速度 100gal のケースにおける入力加速度および改良地盤、非改良地盤の W2、W4 における過剰間隙水圧比の時刻歴を示したものである。過剰間隙水圧比の図より、非改良地盤では入力加速度が最大値に達した辺りで急激に増加し、ピークに達した状態が数秒間継続しているのに対し、改良地盤では過剰間隙水圧比が 1.0 付近まで達してはいるものの、すぐに消散し始めていることがわかる。また、このときドレーンから間隙水が吹き出すのが目視でき、過剰間隙水圧の早期消散効果があったといえる。同じ入力加速度のもとで、地盤置換率を 10% にしたケースの結果を図-3 に示す。同図における過剰間隙水圧比の記録をみると、非改良地盤では図-2 のケースとほとんど変わらないが、改良地盤では、水圧の振動成分を除けば、過剰間隙水圧比が 0.2 程度に抑えられており、このときのドレーンからの間隙水の排出はほとんど見られなかった。これらのことから、地盤置換率が 10% の図-3 のケースにおいては、間隙水がドレーンに向かって流れることによる消散効果というよりは、むしろドレ

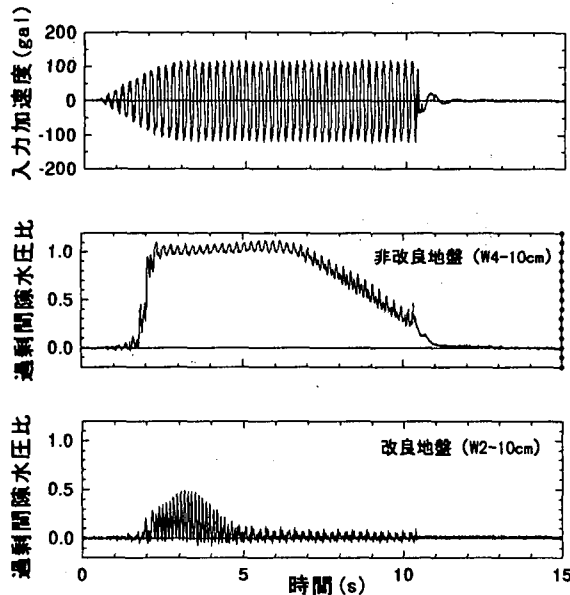


図-3 入力加速度および過剰間隙水圧比の時刻歴（地盤置換率 10%, 100gal）

ーで置換されることによって地盤全体の透水性が良くなり、結果として液状化抵抗強度が増加したと考えることができる。

図-4 は地盤置換率と最大過剰間隙水圧比との関係を表したものである。入力加速度が 100gal、200gal のいずれのケースについても、地盤置換率が増加していくにつれて最大過剰間隙水圧比が減少していることがわかる。入力加速度が 100gal の場合は、特にその傾向が顕著であり、地盤置換率が 20%では過剰間隙水圧がほとんど発生していない。これに対し、入力加速度が 200gal になると、地盤置換率が 10%までは過剰間隙水圧比が減少せず、15%辺りで 0.5 程度に抑えられ、0.2 以下に抑えるためには地盤置換率を 50%まで増加させなければならない。

図-5 に、地盤置換率と地表面沈下率（初期地盤厚に対する地表面沈下量の百分率）の関係を示す。非改良地盤（地盤置換率 0%）、改良地盤ともに入力加速度の増加による地表面沈下率の増加が見られる。また、改良地盤においては、地盤置換率の増加に伴って地表面沈下率が減少しており、グラベルドレーンによって地盤沈下が軽減されていることが確認できる。このような関係は、図-4 で示した地盤置換率と最大過剰間隙水圧比との関係とよく似た傾向を表すことから、全ケースにおける最大過剰間隙水圧比と地表面沈下率との関係について整理したものが、図-6 である。同図より、過剰間隙水圧比が大きい値の付近に沈下率が大きかった点が多く分布しており、過剰間隙水

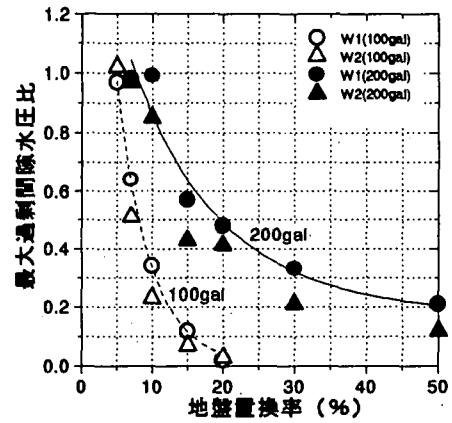


図-4 地盤置換率と最大過剰間隙水圧比の関係

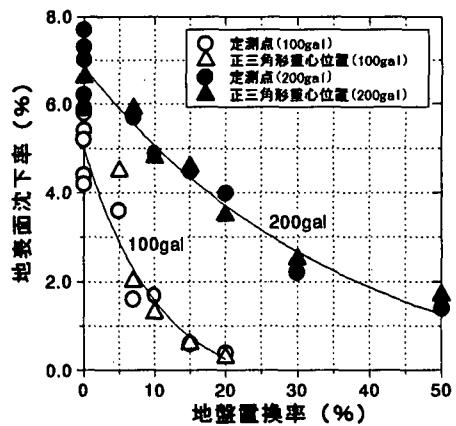


図-5 地盤置換率と地表面沈下率の関係

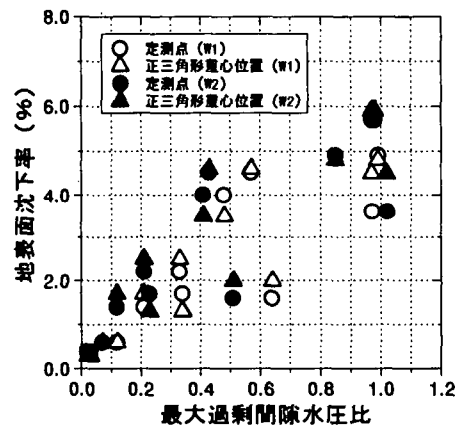


図-6 最大過剰間隙水圧比と地表面沈下率の関係

圧比の最大値が低く抑えられることによって、地盤沈下も低減されることがわかる。したがって、図-2 に示されるように過剰間隙水圧を早期に消

散できても、その最大値を抑えることができれば、従来から懸念されている残留沈下が生じることになる。

4. 地盤置換率と液状化抵抗強度に関する検討

前項の実験結果から、グラベルドレーン施工地盤では地盤置換率の増加に伴い、過剰間隙水圧の上昇を抑えるとともに地盤沈下も抑制されることが明らかとなった。ここでは、実験結果から得られた過剰間隙水圧比 γ_u を式(2)を用いて液状化安全率 F_L に換算し、グラベルドレーン施工地盤における地盤の沈下特性について検討する。

$$\gamma_u = (F_L)^{-7} \quad (2)$$

図-7、図-8 はそれぞれ、実験結果から得られた液状化安全率と地表面沈下率および地盤置換率の関係についてプロットしたものである。これらの図を用いて、本実験におけるグラベルドレーンによる改良地盤の沈下特性およびその抑制効果について評価する。図-7 より、液状化安全率が大きい範囲内では地表面沈下率は小さく、増加も緩やかであるが、安全率が1.2を下回った辺りから急激に沈下率が増加していることから、地表面沈下率を1.0%程度に抑えるためには液状化安全率が1.2以上である必要があることがわかる。また、図-8により液状化安全率が1.2以上となるためには、地盤置換率は入力加速度が100gal程度であれば約10%、200gal程度であれば約30%であればよいことになるが、ねばり強さと経済性を考慮すれば、約20%が合理的ではないかと思われる。

5. まとめ

本研究では、振動台を用いた液状化実験を行い、グラベルドレーン施工地盤における地盤置換率が過剰間隙水圧比、地表面沈下率の抑制効果に与える影響について定性的に検討した。以下にその結果をまとめる。

- (1)グラベルドレーンによる液状化軽減効果には、過剰間隙水圧の早期消散および発生抑制があり、その様相は異なる。
- (2)地盤置換率が増加することに伴い、最大過剰間隙水圧比が減少するとともに地表面沈下率も抑制される。また、両者には良い相関が見られた。

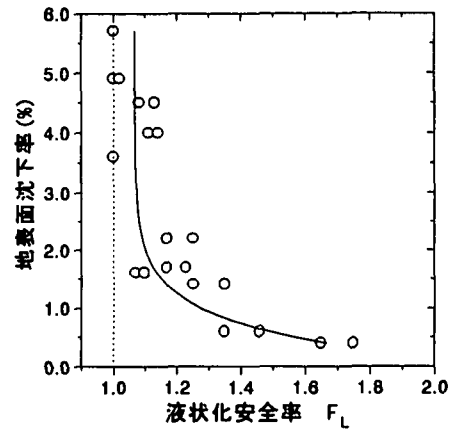


図-7 地表面沈下率と液状化安全率の関係

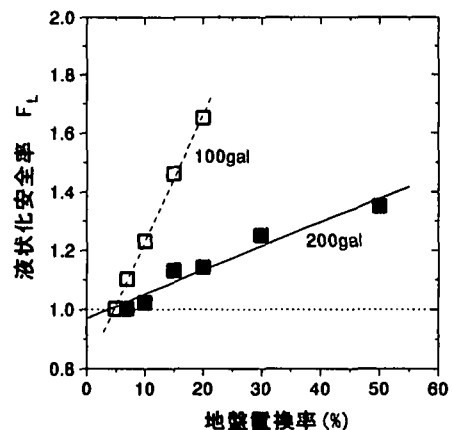


図-8 地盤置換率と液状化安全率の関係

(3)実験結果より換算した液状化安全率によって、改良地盤の沈下特性および沈下抑制効果について評価したが、本実験の範囲内では入力加速度の増加による安全率の低下が比較的大きいため、想定地震動および経済面での検討が必要と思われる。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、全般的に貢献していただいた(株)浅沼組 金山友弥氏(元金沢大学学生)に、また、実験において協力をしていただいた金沢大学工学部土木建設工学科学学生奥村智恵氏、後藤幸司氏に深く感謝いたします。

参考文献

- 1)田中幸久・中島 豊・坪井英夫：対策工法，地盤の液状化対策に関するシンポジウム発表論文集，pp.15～40，1991.1.
- 2)吉見吉昭：砂地盤の液状化（第二版），技報堂出版，pp.145～152，1991.5.
- 3)グラベルドレーン研究会：1993年釧路沖地震被害報告書（速報），pp.33～50，1993.2.