誘導式自在ボーリングを併用した急速浸透注入工法と地盤改良効果[†]

石井 裕 泰* 小 泉 亮之助**
三 和 信 二*** 小 山 忠 雄****

Study of Rapid Permeation Grouting and Its Effectiveness with Use of Horizontal Directional Drilling

by

Hiroyasu ISHII*, Ryonosuke KOIZUMI**, Shinji MIWA*** and Tadao OYAMA****

This paper describes the field experiment of permeation grouting for soil improvement using horizontal directional drilling and chemical grouting. The rapid permeation grouting method was newly developed and subjected to the field test. Five improvement bodies were made applying different grouting processes and performance of the present method was found to be feasible. Investigations were conducted after grouting, which included the removal of overburden, direct observations of the improved bodies and laboratory tests performed on undisturbed samples. Effectiveness of improvement was found through unconfined compressive strengths and cyclic loading performance compared with the original soil.

Key words: Horizontal directional drilling, Permeant grouting, Ground improvement, Liquefaction, Packer

1 はじめに

近年、耐震指針の改訂、あるいは火災など二次災害等に対する意識の高まりから、既存施設の耐震性能を向上させる必要性が高まっている。特に、施設における生産活動を阻害することなく施工ができれば、事業者にとって大きなメリットになるものと考えられる。著者らは、斜め、曲がり、直線削孔を可能とする自在ボーリングを利用することにより、既設構造物直下地盤への適用が可能な地盤改良工法を開発してきた。¹⁾この中で、地盤を乱すことなく間隙水を改良材で徐々に置き換える浸透注入工法は、上記メリットを有しながら地盤の液化抵抗を高めることが可能で、施設の基礎部分から耐震性能を高める手法である。

従来からの鉛直ボーリングを用いた浸透注入では、様々な注入方式が実用化されている。しかし自在ボーリングで用いる管は曲線追従性を確保するため管径、肉厚が制約されることから、適用できる注入管にも制約がある。このため、注入効率の向上などを目指した注入方式等については、既往の報告²⁾の中でも積極的に検討されてきたとは言えない。そこで著者らは注入作業（通常数～十数時間）の効率を高めるため、新たな注入方式の開発を行った。本論文では、本手法を用い直径3.7mの球状改良体を造成した施工試験の概要、およびその地盤改良効果について報告するものである。

2 工法および施工試験の概要

開発技術においては、1) 削孔経路に沿った薬液の逸走防止を高めるための地山パッカー (External Packer)、2) 注入効率を高めるために多数のスリットがついた注入外管 (Flexible Casing Pipe)、3) 注入経路を簡素化することで装備の小型化が図られたセルフパッカー方式の注入

Fig. 1 Process of grouting.

[†] 原稿受理 平成 19 年 3 月 27 日 Received Mar. 27, 2007 ©2008 The Society of Materials Science, Japan

* 大成建設(株)技術センター 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町, TAISEI CORPORATION, Tech. Center, Totsuka-ku, Yokohama, 245-0051

** 三信建設工業(株) 〒112-0004 東京都文京区後楽, SANSHIN CORPORATION, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-0004

*** (株)キャプティ 〒230-0045 横浜市鶴見区末広町, Capty Co., Ltd., Tsurumi-ku, Yokohama, 230-0045

**** 強化土エンジニアリング(株) 〒113-0033 東京都文京区本郷, KYOKADO ENGINEERING CO., LTD, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0033

内管 (Flexible Grout Pipe)³⁾を併用することを特徴とする (Fig. 1)。従来型に見られる等間隔に注入孔を設けた注入外管を用いる場合に比べると、同等の注入圧で注入量を増やすことができ、注入時の施工効率を高めることができる方式であると言える。曲がりボーリングにより敷設された削孔管内にこれらを挿入し削孔管を引抜くと、注入作業に必要な装備のみを地盤中に敷設することができる。なお、必要な口径を確保するために自在ボーリングには2重管削孔方式を採用する。⁴⁾

施工試験は茨城県神栖市内の工場敷地内にて実施した。Fig. 2に実施箇所付近の調査ボーリング結果、Fig. 3に施工計画図を示す。上部埋土層 (G.L.~3.5m)、緩い細砂層 (G.L.-3.5m~-7.6m)、締まった砂層 (G.L.-7.6m~) からなり、緩い細砂層内に地盤改良範囲 (G.L.-3.5m~-6.5m、細粒分含有率 = 4~10%) を設定し注入を計画した。なお、後述の事後調査においては G.L.-3.5m 以深から部分的にコンクリートガラ等が出現し、実際の埋土層、細砂層の境界は Fig. 2 に対して不陸があった可能性が高い。長さ 44m、到達深さ 5.0m の削孔を2本行い、先端部にそれぞれ改良体を3体、合計6体を計画した。それぞれの改良体は、Table 1に示す条件、Table 2に示す順序で注入を行った。これらは、粗詰め注入 (Pre-grouting) の有無、浸透注入に際して一括あるいは分割で行うかにより条件設定し、本開発手法自体の有効性ととも

る注入部分の分割施工、について検討することを目的とした。ここで、粗詰め注入とは本注入に先立ち注入管周辺地山を強化するための注入を言う。また、分割施工とは一括注入 (Fig. 1 (c) で A, B 部分を同時注入) を標準的な手法と位置付けた上で、A: 発進口側を先行注入、B: 先端側を翌日に注入した場合の改良状況を確認するものである。これは、注入作業中において、本来安定すべき吐出量、吐出圧に変動が生じたり地表面への漏液が観察されるなどの場合には、隣接する部分からの注入により改善を図ることが実務上求められることを想定している。本検討を通して、そのような手順の有効性を確認することを目的とした。

削孔にあたっては電磁ロケーターにより削孔管先端部の位置検知を行うとともに、完了時には挿入式ジャイロを用いて削孔線を確認した。また、浸透注入に際しては、「浸透固化処理工法技術マニュアル」⁵⁾に示された標準的な吐出量 15L/分に対して、事前の限界注入速度試験に基づき吐出量を 20L/分とした。

なお、地山パッカー、粗詰め注入には速硬性懸濁型材料を、浸透注入にはコロイダルシリカをベースとしたシリカ系材料の恒久グラウトを使用した。

3 施工試験結果

Fig. 4に、吐出量、吐出圧の経時変化を示す。ここでは、標準手法として No.2-3 と同条件で実施した No.2-1 の結果、およびおおむね同様の結果を得た No.1-2 の結果は記載を省略している。

地山パッカーおよび粗詰め注入後に平行して注入した No.1-3、2-2 では、地表面に漏液が発生したため、分割注入の発進口側、先端側とも吐出量を 10L/min (限界吐出量の半分) で吐出圧を制御した。No.1-3、2-2 とも、(A) 発進口側の注入開始直後に高い吐出圧 (3MPa 程度) となっているが、注入管内に残されていた微細な固

Fig. 2 Soil Profile.

Fig. 3 Test Plan.

Table 1 Test Cases.

Improvement body No.	Pre-grouting	Permeant grouting	Remark
1-1	Not included in present study		
1-2	Done	Full	
1-3	Not done	Separated	
2-1	Not done	Full	Basic Case
2-2	Done	Separated	
2-3	Not done	Full	Basic Case

Table 2 Procedure of Test.

Test Step	No.	Type of grouting
1	All	External packer
2	1-2 2-2	Pre-grouting
3	1-3 2-2	Permeant grouting: Part A
4		Part B
5	2-3	Part A & B
6	1-2	Part A & B
7	2-1	Part A & B

(a) No.1-3 (separated injection without pre-grouting)

(b) No.2-2 (separated injection with pre-grouting)

(c) No.2-3 (full injection without pre-grouting)

Fig. 4 Record of injection speed and injection pressure.

形物等が影響したものと思われ、以降同じ管を転用した作業では見られなかった。No.1-3, 2-2の吐出圧とともに、部分的には変動が見られたものの1.6～2MPa程度で安定して注入が行われた。No.2-2 (A) 発進口側360分ほどで吐出圧、吐出量が減少しているが、地上への漏液が新たに見られたため吐出圧を1MPaに落として施工を行ったためである。引き続き一括注入の条件で施工したNo.2-3, No.1-2では、当初計画の吐出量20L/minを吐出圧2MPa程度で終始安定した注入が行われた。

Fig. 5, Fig. 6に、施工後1ヶ月ほど後に地盤を掘削し、改良状況を確認した状況を示す。ここで、掘削は注入管の深度 (G.L.-5.0m) まで行い目視確認、ブロックサ

Fig. 5 Observational section of No. 1-3.

ンプリングを行うと同時に、格子状にボーリング調査を行い改良範囲下部の注入範囲を調べた。改良範囲上面が計画高さに達していないのは、ロングゲルタイム（今回の計画注入時間約9時間にあわせて薬液を配合）に調整した薬液が、結果的に地下水位付近まで沈降したためと推測される。このため、地下水位から注入管の深度にかけては、浸透が横方向に計画範囲より広がっている。また、A線に沿った改良体No.1-2, 1-3の下部 (Section 2, 4のA下部)の浸透深さが計画より浅くなっている。双方の施工条件は粗詰め注入の有無、一括・分割注入とも異なる条件であり、注入手法とは別の地盤の不均一性等が原因になったものと考えられる。その他については、改良体下部でも計画範囲にわたり浸透が確認され、分割注入を行った場合でも一括注入による注入形状とは大きな違いは認められなかった。すなわち、先行する注入で漏液などが認められた場合でも引き続き隣あう地点からの注入である程度補完できることを確認できた。

4 室内試験による改良効果の確認

ブロックサンプリングにより採取した供試体に対して実施した材齢約1ヶ月での一軸圧縮試験の結果をFig. 7に示す。ここでは各2供試体の平均値を注入管からの距離でまとめている。注入管からの距離により全体的に強度が減少する傾向が見られるが、1mの浸透距離で50%程度の低減を確認した既往の研究⁶⁾ほどではなく、200～400kPa程度の固結強度に達したことを確認した。なお、一軸圧縮強さのうちNo.1-3の結果に着目すると距離に応じて増加する傾向にあるが、本研究の範囲では原因を特定するに至っていない。また、No.1-3周辺の地下水位付近で採取した未改良部、No.2-3より採取した改良部の各不攪乱試料に対して繰返し非排水三軸試験を実施した。Fig. 8に示すように、改良体においては未改良の場合に生じるような軸ひずみの蓄積は見られず、繰返し载荷に対する安定性が向上したことを確認できた。

5 まとめ

本試験施工を通し、注入工程の効率化を目指した新たな注入方式についてその有効性を確認した。

今後も、既設構造物直下の地盤改良に適用可能な工法として、誘導式自在ボーリング、注入改良を融合した本工法についての研究・開発を進めていきたい。

Fig. 6 Observation of grout front.

Fig. 7 Distribution of unconfined compressive strength.

参考文献

- 1) H. Ishii and K. Higaki, "Development of ground-improvement method under existing structures", Electric Power Civil Engineering, Japan, No.326, pp.70-73 (2006).
- 2) H. Yamazaki, M. Mukai, T. Yamada, T. Mihara and J. Yokoo, "Field experiment of liquefaction countermeasure by chemical grouting using horizontal directional drilling", Journal of Japanese Society of Civil Engineering, No.756/VI-62, pp.89-99 (2004).
- 3) S. Shimada, S. Kawai, T. Suzuki and R. Koizumi, "Development of chemical grouting method beneath existing structures", 60th Annual Conference of Japanese Society of Civil Engineering, 6-256 (2005).
- 4) H. Ishii, R. Koizumi, S. Miwa and T. Oyama, "Study of rapid permeation grouting and its effectiveness with use of horizontal directional drilling", Proceedings of the Seventh National Symposium on Ground Improvement, pp.77-80 (2006).
- 5) "Shintou koka shori kouhou gijutu manual", Coastl Development Institute of Technology, p.43 (2003).

Fig. 8 Undrained triaxial cyclic loading tests.

- 6) K. Hayashi, K. Zen, H. Yamazaki and N. Hayashi, "A large soil stratum test on the permeability and the improved strength of new solution type chemical grout", Journal of Japanese Society of Civil Engineering, Japan, No.694/III-57, pp.221-228 (2001).