

割裂注入による地盤改良効果に関する原位置試験（その2）

注入 地盤改良 割裂注入

(株)設計室ソイル 正 高田 徹
 三井ホーム(株) 正 岡野 泰三
 (有)富山建設 平崎 毅
 グラウト工業(株) 正 今井 敬介

1.はじめに

戸建住宅に利用される地盤補強工法の多くは“表層改良”、“柱状改良”、“小口径鋼管杭”であり、注入による補強は少ない。これは前報(その1)¹⁾で述べた注入工法の技術的課題が起因していると考えられる。しかしながら、注入工法は小型機を用いるため他工法で施工困難な住宅密集域など狭小地施工に対応できたり、空洞充填注入など特殊な地盤条件にも廉価に適用できるなど長所も多い。筆者らは、これまでに戸建住宅の地盤補強工法として注入工法を約千棟(10年間)実施し、基礎の不同沈下事故も0.3%と少なく、補強工法の一つとして対応できる範囲にあると考えている。しかし未だに過去の実績等を踏まえて注入設計が成されたり、改良効果の確認手法が不明瞭な点も課題として残っている。

本稿は、前報(その1)¹⁾の実験に続き、造成盛土地盤で注入を行い注入量(率)と改良効果の関係をスウェーデン式サウンディング(SWS)及び表面波探査を用いて確認した結果を示すものである。

2.試験概要

試験場所は、神奈川県横須賀市に位置する丘陵地で高さ4mのL型擁壁で宅地造成された盛土地盤である(写真1)。盛土材はハンドオーガーによる目視調査によれば、改良深度GL-1.0~3.0m付近は砂分が混在するシルト主体の土質である。



写真1 試験位置(左: 擁壁全景、右: 敷地全景)

改良対象土量は $W5m \times L5m \times H2m = 50m^3$ で、図1, 2に示す孔配置にて注入した。注入材は瞬結型セメント系薬液(表2)を用い、2重管ストレーナ(单相)方式にて注入した。各注入孔は、1次孔から4次孔まで内挿法で配置させ、各次数の注入完了毎、1日の養生期間を設けてSWSと表面波探査を行った。累積注入量は最終次数で10,000L(表1)とし、この数値は注入率():20%に相当する。

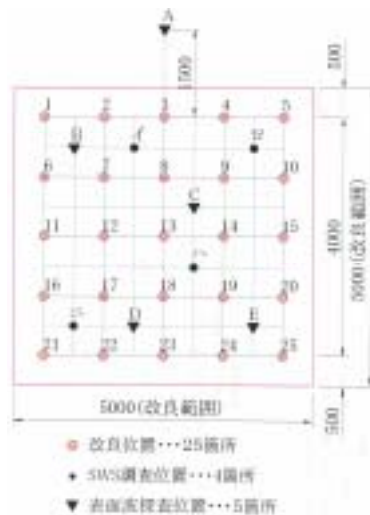


図1 孔配置図(平面図)

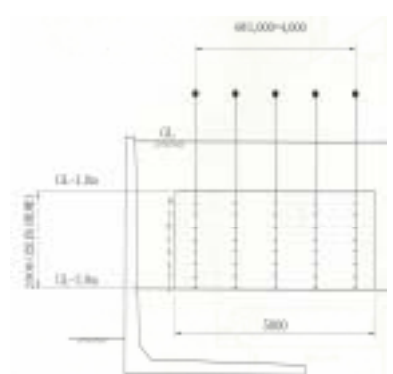


図2 孔配置図(断面図)

表1 次数別注入量

次数	注入箇所数	孔	1孔当り注入量	注入量(L)	累積注入量(L)	注入率
1次孔	5	1,5,13,21,25	400L	2000	2000	4%
2次孔	6	7,9,11,15,17,19		2400	4400	9%
3次孔	8	3,6,8,10,16,18,20,23		3200	7600	15%
4次孔	6	2,4,12,14,22,24		2400	10000	20%
計	25			-	10000	20%

表2 使用材料配合 (400L当り)

	A液	B液
3号珪酸ソーダ	100L	普通セメント 80kg
水	100L	硬化剤(LG-1P) 30kg
		水 約160L
計	200L	計 200L

3.実験結果と考察

図3に注入前の表面波探査結果の一例を示す。今回用いた表面波探査は、2個の受信器で得られたデータから鉛直方向の表面波速度 $V_r(m/s)$ を求めるものである。この V_r より深度補正した区間平均速度 V_m を求め、一軸圧縮強度 $q_u(kN/m^2)$ を推定する。なお V_r

と q_u の関係は以下の相関式を用いた²⁾。

$$q_u = 111 \cdot (V_r / 134)^{(1/0.443)} \dots \dots \dots (1)$$

図4に注入前のSWS結果の一例を示す。SWSで求められる W_{sw} (kN), N_{sw} から q_u を式(2)で評価した。

$$q_u = 45W_{sw} + 0.75N_{sw} \dots \dots \dots (2)$$

図5, 6に各調査結果から式(1), (2)で推定した q_u による深度分布を注入回数毎にプロットした。いずれも注入領域4測点の平均値である。図5, 6より回数が増す, すなわち注入率が高まるにつれて q_u が上昇しているのが分かる。図5に示すSWS結果では, スクリューポイントが硬化した割裂脈にぶつかり極度に数値が上昇しているが, 貫通してしまうと元地盤の強度と変わらないか若干高まる程度の値となる。この傾向は前報(その1)¹⁾と酷似している。またスクリューポイントが割裂脈の走向や傾斜によってぶつかる回数も異なると思われ, 測点数を比較的多くしないと評価は難しいと考える。

一方, 図6に示す表面波探査結果では, 深さが深くなるにつれ q_u は高まり, SWS など多くのサウンディング結果と異なる傾向を示し, また数値自身も高い値を示している。これは元地盤よりも十分硬質な割裂脈あるいはガラや礫質層があると, V_r (図4)は乱れやすい傾向にあり下部もその影響を受けてしまうからと考える。また深さ4.5mにある擁壁底盤の影響もある。しかし表面波探査は表層からの非破壊調査であり, 改良前の V_r に対して, 割裂脈の数, すなわち割裂脈の密度が V_r の変化に対応していると考えられる。そこで各注入率で換算した q_u を改良前の q_u で無次元化したものを改良率と定義する。図7に注入率と の関係を示す。図7では, 表面波探査による元地盤の換算 q_u が深度方向で大きな差が見られていたので, 注入区間を上部と下部の平均値もプロットした。図7より, 注入区間(GL-1~3m)の は注入率10%で1.36, 注入率20%で1.52の値を示しており, 注入率が増すにつれ の増加は少なくなる。また注入区間上部, すなわち元地盤の q_u が小さくなるにつれ, は高い値を示す傾向にある。この改良率と注入率の相関は, 一般の設計資料³⁾と合致しており, 定性的に改良効果を表す手法としては適用できると言える。ただし一般に粘性土に対する注入率は30%以上(原地盤の粘着力+10kN/m²)と言われており³⁾, それに比して十分低い値で改良効果が見られている。この違いは薬材の強度が十分高いことが上げられるが, 割裂脈を複合土として, かつ非開削で評価したことが大きいものと考えている。

4. まとめ
割裂注入による改良効果の確認手法にSWSの他に, 表面波探査を実施した。その結果, 以下の知見が得られたので要約する。
SWSでは硬化した割裂脈と粘性土からなる複合土を分離して評価することとなり確認手法としては不向きである。表面波探査は表層からの調査であり数値の妥当性は低いが, 注入の前後で実施すれば改良効果を定性的に評価することができる。
今後は, 調査データを蓄積し地盤条件の違いによる注入効果を明確にし, 設計資料へ反映していきたいと考える。
最後に本報告(その1,2)をまとめるに当たって実験・解析にご協力いただきました, 薬液注入工法の支持力効果に関する研究会((社)建築研究振興協会 委託研究), 東海大学工学部藤井衛教授, ならびに研究室の皆様方に深く感謝致します。

4. まとめ

割裂注入による改良効果の確認手法にSWSの他に, 表面波探査を実施した。その結果, 以下の知見が得られたので要約する。

SWSでは硬化した割裂脈と粘性土からなる複合土を分離して評価することとなり確認手法としては不向きである。表面波探査は表層からの調査であり数値の妥当性は低いが, 注入の前後で実施すれば改良効果を定性的に評価することができる。

今後は, 調査データを蓄積し地盤条件の違いによる注入効果を明確にし, 設計資料へ反映していきたいと考える。

最後に本報告(その1,2)をまとめるに当たって実験・解析にご協力いただきました, 薬液注入工法の支持力効果に関する研究会((社)建築研究振興協会 委託研究), 東海大学工学部藤井衛教授, ならびに研究室の皆様方に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 高田他3名:割裂注入による地盤改良効果に関する原位置試験(その1),第43回地盤工学研究発表会,2008.7
- 2) 土質工学会:土質調査法,1982
- 3) (社)日本グラウト協会:薬液注入工 設計資料,H16.4

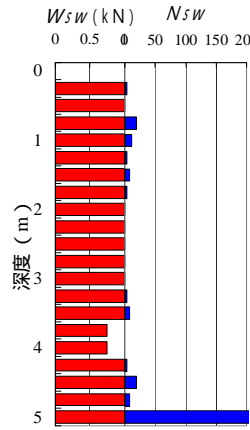


図3 SWS結果

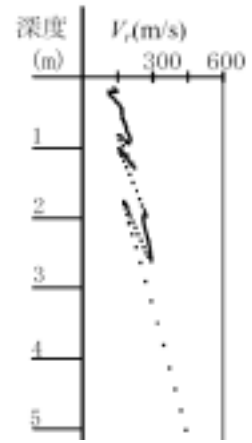


図4 表面波探査結果

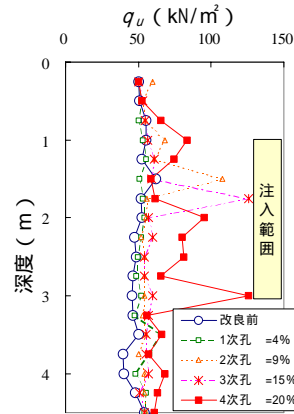


図5 q_u の回数毎の深度分布 (SWS)

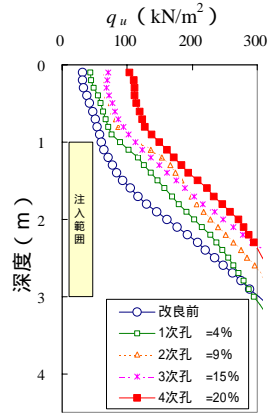


図6 q_u の回数毎の深度分布(表面波探査)

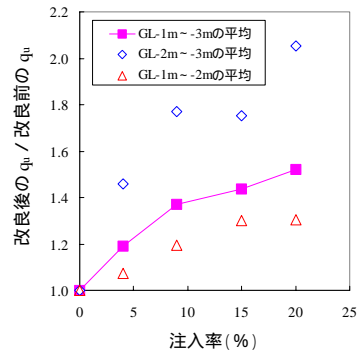


図7 注入率と無次元化した q_u の比較 (表面波探査)