

薬液注入工法の注入速度が改良体品質に与える影響に関する一実験

日特建設株式会社 正会員 ○竹内 仁哉 佐藤 潤 中島 雅和

1. はじめに

筆者らは、より経済的な新しい薬液注入工法「New スリーブ注入工法」の開発に取り組んでいる。本工法の特徴の一つとして「従来工法よりも早い注入速度で施工可能」がある。この特徴を実証するために、注入速度が与える改良体品質への影響を検証する目的で野外注入実験を行った。その実験結果について報告する。

2. 野外注入実験概要

(1) 注入工法について

注入実験は「New スリーブ注入工法」で行い、注入パイプは長尺な浸透源（約 1m）を確保し、多数の吐出口から低圧かつ高速注入できる「Polygon Pipe」（写真-1）を使用した。この注入パイプは、外形が六角形断面の柱状であり（図-1）、六辺の各頂点部に多数のスリット（吐出口）を設け、注入パイプ周りのシールグラウトを縦方向に規則的にクラッキングさせて、地盤中に注入材料を均等に浸透させることができる¹⁾という特徴を持つ（図-2）。

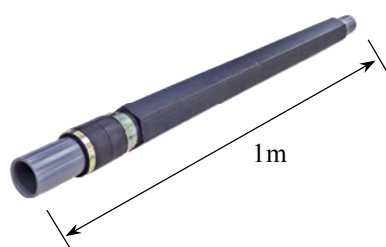


写真-1 注入パイプ
(Polygon Pipe)の外観

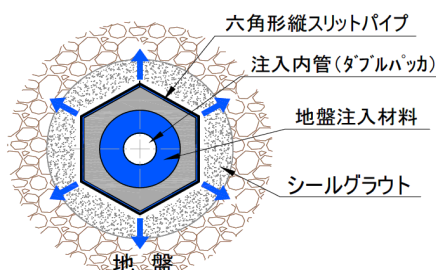


図-1 注入パイプ
(Polygon Pipe)断面図

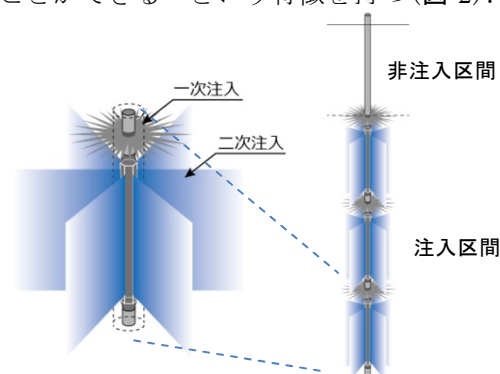


図-2 地盤注入イメージ図

(2) 実験用土層

注入実験は掘削した地盤内に砂質土を投入して締め固めを行い、上部に盛土を行って注入実験に必要な土被り圧力を確保して造成した。土層の周囲は遮水シートを敷設して砂の投入時に清水を注水し、飽和状態を再現することに努めた。使用した砂質土の物理特性、粒度分布を表-1、図-3 に示す。

表-1 砂質土の物理特性

土粒子の密度	2.802 g/cm ³
最大乾燥密度	1.594 g/cm ³
最少乾燥密度	1.239 g/cm ³
平均粒径	0.290mm
均等係数	2.64
細粒分含有率	5.8 %

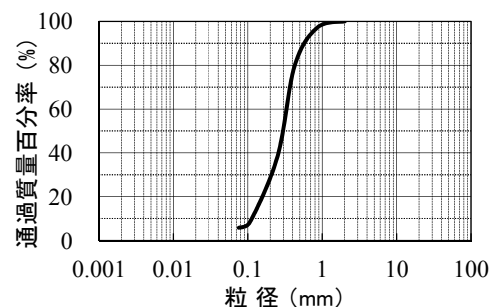


図-3 粒径加積曲線

(3) 実験ケース

注入孔は実機を使用して削孔を行い、通常のダブルパッカ工法と同様の施工手順で4本設置した。注入は各孔とも計画改良体径をφ1500mmとして注入率をλ=45%と設定（一次注入:5%、二次注入:40%）し、二次注入の注入速度をパラメータとした（図-4、図-5）。

注入材料については、一次は「速硬性懸濁型材料」、二次は「耐久性無機溶液型シリカゾル注入材料」を選定し、注入作業もダブルパッカ工法と同様に1.5ショット方式で作業を行い、計画量を注入した。

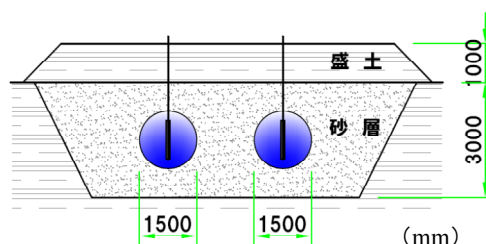


図-4 実験土層断面図

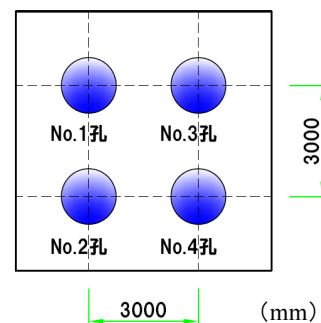


図-5 実験土層平面図

キーワード 薬液注入, 野外注入実験, 注入速度, 一軸圧縮強さ, 透水係数

連絡先 〒103-0004 東京都中央区東日本橋 3-10-6 日特建設(株)技術本部 TEL 03-5645-5116 E-mail: mag@nittoc.co.jp

3. 注入実験結果

(1) 注入量・注入速度・改良体出来形

注入量及び注入速度は表-2の通りである。注入完了後、約2週間の養生期間後、出来形確認の掘削作業を実施した。いずれの改良体も注入材料の割裂脈はなく球体状を呈しており（写真-2参照）、土粒子間に均等な浸透注入が出来たことを確認した。改良体径については計画径φ1500mmに対して、出来形径は平均約φ1600～1700mmであり、わずかではあるが注入速度の速い方が出来形径は大きくなる傾向があった。

(2) 室内試験結果

出来形確認後、各改良体から数個ずつブロックサンプリングを行い、室内において整形(φ5×10cm)し、一軸圧縮試験及び室内透水試験を実施した。

i) 一軸圧縮試験

試験結果を表-3、図-6に示す。No.1、No.2及びNo.3は一軸圧縮強さ q_u が概ね100～170kN/m²の範囲で安定した値を示しており、変動係数が小さい。このことから同じ注入形態（浸透注入）であれば、注入速度 q が改良体の一軸圧縮強さ q_u に与える影響は少ないことが推察された。

No.4(10ℓ/min)は他孔に比べて平均値、変動係数がともに大きな値であるが、地盤状態の不均一さが影響している可能性があると考えられた。図-7に一軸圧縮強さ q_u と変形係数 E_{50} の関係を示す。注入速度の違いによる明瞭な差異は無く、 $E_{50}=100\sim200\times q_u$ の相関関係が認められた。

ii) 室内透水試験

透水試験は、変水位透水試験で実施した。結果を表-4、図-8に示す。各注入孔とも $k=1.0\sim4.6E-6$ m/sの範囲でバラツキの小さい値であり、均質な改良体が造成されたことを窺わせている。

なお原地盤の透水係数 k は測定していないが、注入の効果によって概ね2オーダー程度の低下が図られているものと推察され、一般に言われる実地盤での薬液注入工法の平均的な止水改良効果と同等な結果であった²⁾。

表-2 注入量・注入速度・改良体出来形結果

注入孔番	一次注入		二次注入		出来形径(mm)
	注入量	注入速度	注入量	注入速度	
No.1	100 ℓ ($\lambda_1 \div 5$ %)	8 ℓ/min	710 ℓ ($\lambda_2 \div 40$ %)	8 ℓ/min	φ 1600
No.2				18 ℓ/min	φ 1700
No.3				14 ℓ/min	φ 1700
No.4				10 ℓ/min	φ 1650



写真-2 改良体出来形 (No.2)

表-3 一軸圧縮試験結果

注入孔番	No.1	No.2	No.3	No.4
試験個数	9	9	9	9
q_u (kN/m ²)	平均値	121.7	136.3	130.1
	最大値	150.3	168.6	148.2
	最小値	94.6	113.4	108.0
標準偏差	20.3	18.7	17.1	58.5
変動係数	16.7%	13.7%	13.1%	29.0%

表-4 室内透水試験結果

注入孔番	No.1	No.2	No.3	No.4
試験個数	3	9	9	9
k (m/s)	平均値	1.07E-6	2.85E-6	3.20E-6
	最大値	1.08E-6	3.62E-6	4.60E-6
	最小値	1.06E-6	1.84E-6	2.61E-6

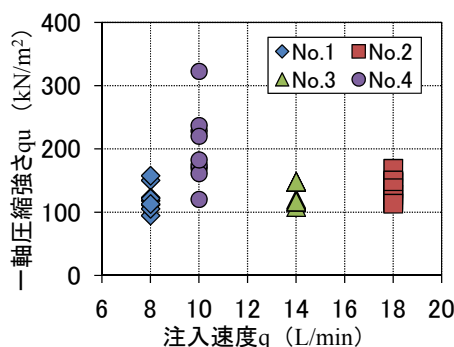


図-6 q_u - q の関係

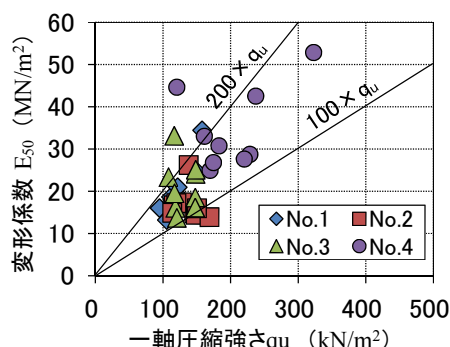


図-7 E_{50} - q_u の関係

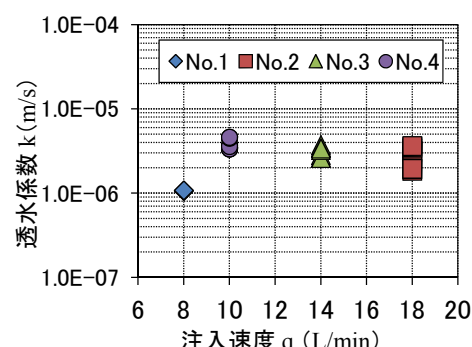


図-8 k - q の関係

4. まとめ

野外における実規模の薬液注入実験から、注入材料が浸透注入形態であれば、注入速度が改良体品質（強度、止水性）に与える影響はほとんど無いことがわかった。

参考文献 1) 竹内他: 多角形縦スリットを用いた地盤注入工法の開発 その1-注入パイプの形状に関する検討-, 土木学会第68回年次学術講演会, 2013. 2) (社)日本グラウト協会: 新訂 正しい薬液注入工法, p338～p339, 2007.