

特殊な性質を有する腐食土層に対して実施した注入試験

JR 東日本 正会員 ○丸子 文之 正会員 小笠原 桃子
 正会員 竹谷 勉 正会員 本田 諭

1. はじめに

薬液注入工法は、地盤中に薬液を注入して固結させ、地盤強度の増加や地盤の止水性を向上させる工法である。地盤中の間隙(水や空気)を注入材に置き換えるため、地質条件によって注入の効果や周辺地盤への影響が大きく左右される。特に腐食土層は間隙比が大きく、自然含水比も大きい。有機物の繊維を多く含んでいるため、どのような注入形態になるか判断ができず、地表面への影響も推定できない。現状として、腐食土層に対して薬液注入を実施した実績や事例がほとんどなく、注入管理の計画をたてるのが困難である。本稿では、腐食土層に対して注入試験により確認した止水効果および注入管理方法の検討について報告する。

2. 地質概要および試験位置

図-1 に試験箇所の地質縦断図を示す。表層に厚さ約2.0mの盛土、その下に厚さ1~1.5mの腐食土層、さらに下は砂質土と粘性土の互層で構成される。表-1 に腐食土層の土質試験結果を示す。N値は0~2と軟弱で、間隙比は2.511と大きく、自然含水比も103%と大きい。

図-2, 3 に試験位置および試験深度を示す。No.0で限界注入速度試験, No.1~3で設計注入試験を実施した。深度は地表面から2,200~3,200mm下の腐食土層に対して試験を行った。

3. 注入試験

3.1 試験概要

注入試験については、図-4に示す試験フローの通り、下記の三つの試験を実施した¹⁾²⁾。

- ① 現場透水試験：改良前後での透水係数を確認
- ② 限界注入速度試験：注入速度・圧力の関係から限界注入速度を確認して注入速度を設定
- ③ 設計注入試験：注入率を変えて3ケース実施し、効果的に止水可能な注入率を確認

止水効果の判断は、透水係数 $k=1.0 \times 10^{-4}(\text{cm/s})$ 以下を基準とした。試験の流れは、初めに注入前の

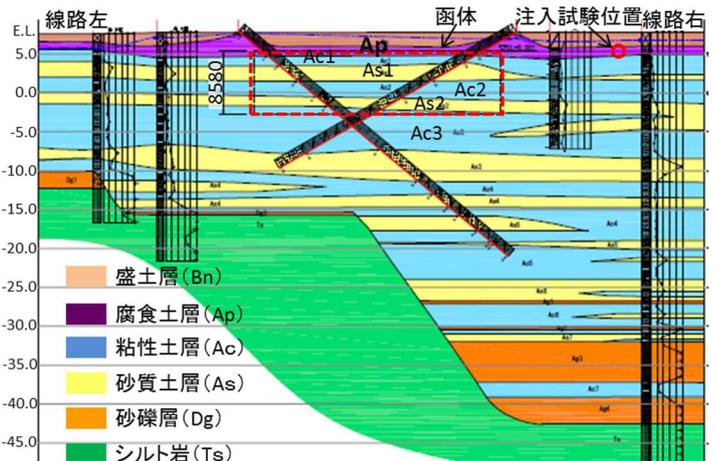


図-1 地質縦断図

表-1 腐植土層の土質試験結果

採取深度 G.L.-(m)	2.0~3.6	土粒子の密度 g/cm^3	2.384
地層名	腐食土	自然含水比 %	103.0
地層番号	Ap	間隙比	2.511
N値	0~2	飽和度 %	97.8
湿潤密度 g/cm^3	1.381	圧密指数	0.814
乾燥密度 g/cm^3	0.684	圧密降伏応力 kN/m^2	23.2

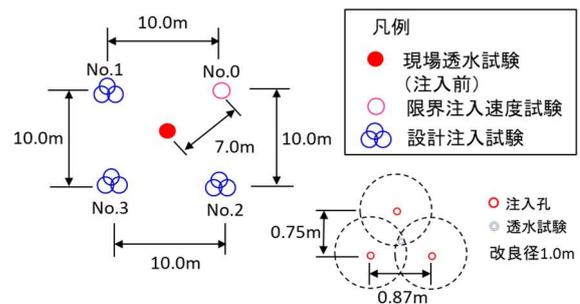


図-2 試験位置

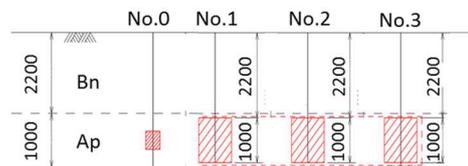


図-3 試験深度

腐食土層に現場透水試験を実施し、透水係数が $k=1.0 \times 10^{-4}(\text{cm/s})$ 以上であれば限界注入速度試験を実施して注入速度を設定し、計画した注入率で設計注入試験を行う。ここで、ゲルタイム経過後、圧力が上がらずに追加注入できる場合は充填不足の可能性があるので、追加注入を実施するケース

キーワード 腐食土, 注入試験

連絡先 〒163-0231 東京都新宿区西新宿2丁目6番1号 新宿住友ビル31階 TEL03-6276-1251

も設定し、その後に現場透水試験で注入効果を確認することとした。試験ケースを表-2に示す。No.1の注入率は、土質試験結果の間隙比($e=2.511$)より間隙率($n=71.5\%$)を算出し、てん充率($\alpha=90\%$)から、注入率 $\lambda=64.4\%$ 、一次注入はセメントベントナイトを10%、二次注入は水ガラス系溶液を54.4%と設定し、追加注入は実施しないケースとした。No.2は、No.1と同じ注入率で追加注入を実施するケースとし、追加注入はゲルタイム経過後、二次注入と同じ速度で注入し、注入率はてん充率を100%(10%追加)にするよう注入時間を3分間と設定して10.8%とした。No.3ではNo.2の追加注入量も含めた総量を注入するケースとし、地表面への影響と止水効果を比較した。

3. 2 注入方式

注入方式は間隙比が大きく、軟弱で地表面変状リスクも大きいため、一次注入により間詰めができ、極力低速でかつ追加注入が可能な注入方式として、二重管ダブルパッカーを採用した。

3. 3 限界注入速度試験

限界注入速度試験は注入速度を0~15L/minまで、0.5L/min間隔で段階的に上げながら注入圧力を測定した。注入圧力は、圧力が落ち着いて1分間保持してから測定した。限界注入速度試験で計測した注入圧力(p)と注入速度(q)の関係を表した曲線グラフを図-5に示す。12L/minの注入速度を超えたあたりから注入圧力が大きく上昇した。その結果から注入圧力が上昇する前であれば地表面への変状リスクも少ないと考え、注入速度を12L/minと設定した。

4. 注入試験結果

表-3に注入試験の結果を示す。No.1の試験結果としては、二次注入による隆起は1mmと最も小さく、透水係数は $3.78 \times 10^{-6}(\text{cm/s})$ と十分な止水効果が確認された。No.2では二次注入時に2mm隆起し、64.4%注入完了後、追加注入を実施した。注入圧力の上昇や地表面への変状は生じなかったが、その後の現場透水試験結果は、透水係数が $1.21 \times 10^{-6}(\text{cm/s})$ と十分な止水効果が確認された。No.3では二次注入により3mmの隆起と最も大きかったが、地表面に大きな変状はなく、透水係数は $4.03 \times 10^{-6}(\text{cm/s})$ と十分な止水効果が確認された。

5. まとめ

腐食土層に対する注入管理方法としては、限界注入速度試験から設定した12L/minの注入速度で二重管ダブルパッカーにより注入することで地表面への大きな変状が生じないことを確認した。また、今回の

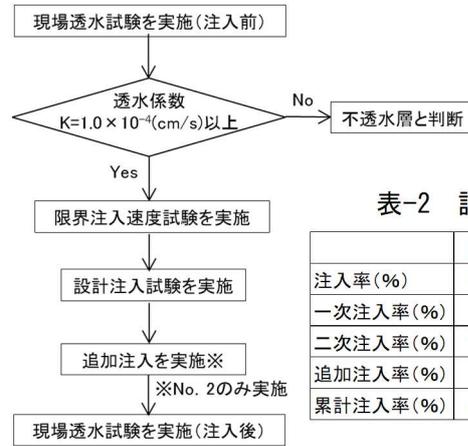


図-4 試験フロー

表-2 試験ケース

	No.1	No.2	No.3
注入率(%)	64.4	64.4	75.2
一次注入率(%)	10	10	10
二次注入率(%)	54.4	54.4	65.2
追加注入率(%)	0	10.8	0
累計注入率(%)	64.4	75.2	75.2

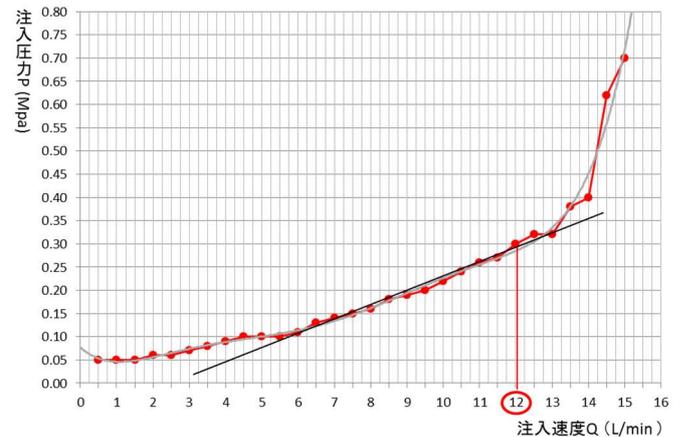


図-5 曲線グラフ

表-3 注入試験結果

	No.1	No.2	No.3
注入率(%)	64.4	64.4	75.2
追加注入率(%)	0	10.8	0
累計注入率(%)	64.4	75.2	75.2
注入速度(L/min)	12	12	12
最大圧力(Mpa)	0.40	0.31	0.51
地盤変位(mm)	1mm隆起	2mm隆起	3mm隆起
透水係数【改良後】(cm/sec)	3.78×10^{-6}	1.21×10^{-6}	4.03×10^{-6}
透水係数【改良前】(cm/sec)	1.33×10^{-4}		

腐食土層では、注入率64.4%以上であれば十分な止水効果が得られることを確認した。No.1(注入率64.4%)とNo.3(注入率75.2%)を比較すると、透水係数に大きな差は生じず、地表面変位はNo.1の隆起1mmが最小であった。

今後、試験箇所から資料を採取し、圧密試験を実施予定であり、その試験結果を施工時の注入率に反映させる計画である。

参考文献

- 1) 東日本旅客鉄道株式会社：注入の設計マニュアル，pp. 8-36，2019.4
- 2) 鉄道総合技術研究所：注入の設計施工マニュアル，pp. 50-53，2011.3