

脈状地盤改良工法による品質管理手法の一考察

東日本旅客鉄道 正会員 ○水野 弘二・滝沢 聡
 鉄道総合技術研究所 正会員 井澤 淳・小島 謙一
 ライト工業 正会員 大西 高明・荒木 豪

1. はじめに

筆者らは、動的な薬液注入により、地盤内に多方向に脈状の改良体を形成させることで、低改良率で効率的に液状化被害の軽減が可能な脈状地盤改良工法を提案している(図-1)¹⁾。本工法を液状化対策工法として、鉄道盛土直下の液状化地盤に適用するにあたり、試験施工を行いその改良効果を確認した²⁾³⁾。改良効果の確認に用いた手法は、ピエゾドライブコーン試験(以下、PDC試験)、密度検層、孔内水平載荷試験(以下、LLT試験)である。本稿では、それらの手法による品質確認結果を基に、改良効果を現場で容易に確認できる品質確認フローを提案する。

2. 施工試験概要

図-2に試験施工の概要及び品質評価手法の適用位置を示す。試験注入を実施した地盤(液状化が想定される地盤)は、土被り4.2m、層厚3.4m程度の細砂層($F_c=20.6\%$, $D_{50}=0.18\text{mm}$)である。注入孔ピッチは2.0mピッチ(A, Bブロック)と1.5mピッチ(C, Dブロック)の2ケース実施した。また、計画注入率は改良地盤体積の10%とし、注入範囲下端から上端に向けて250mmピッチのステップアップ施工を行った。本稿では、より高い改良効果が得られ、本施工における標準仕様とした1.5mピッチ(CDブロック)での試験結果を記載する。2.0mピッチでの試験結果については文献²⁾³⁾を参照されたい。

3. 試験結果

3.1 改良品質確認

図-3に深度0.5m毎に平均化したPDC試験結果を示す。改良後は N_d 値が5~10程度上昇した。深度4.5m付近において、 N_d 値の上昇が見られない範囲があるが、同深度は細粒分含有率 F_c が高く、締固めによる剛性、強度の増加が現れにくい地盤であったと考えられる。

図-4に深度0.5m毎に平均化した密度検層の結果を示す。事前の密度1.8~1.9程度に対して、改良後の密度は1.9~2.0程度となり0.1~0.2程度の密度増加が確認された。また、 N_d 値の上昇が見られなかった深度4.5m付近においても、密度増加が確認された。

図-5にLLT試験結果により求めた静止土圧係数 K_0 を示す。孔壁の不安定が原因と考えられるバラツキが見られるが注入による改良効果が表れている。また、密度検層と同様に F_c の高い深度4.5m付近においても K_0 の増加が確認された。

表-1に事前・事後のPDC試験結果(N_d 値)より算定した各ブロックの有効注入率を示す。有効注入率の算定方法については文献¹⁾を参照されたい。今回の試験施工では、地表面隆起によ

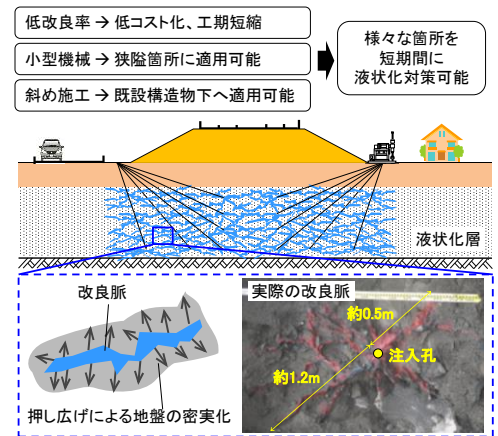


図-1 脈状地盤改良工法の概要

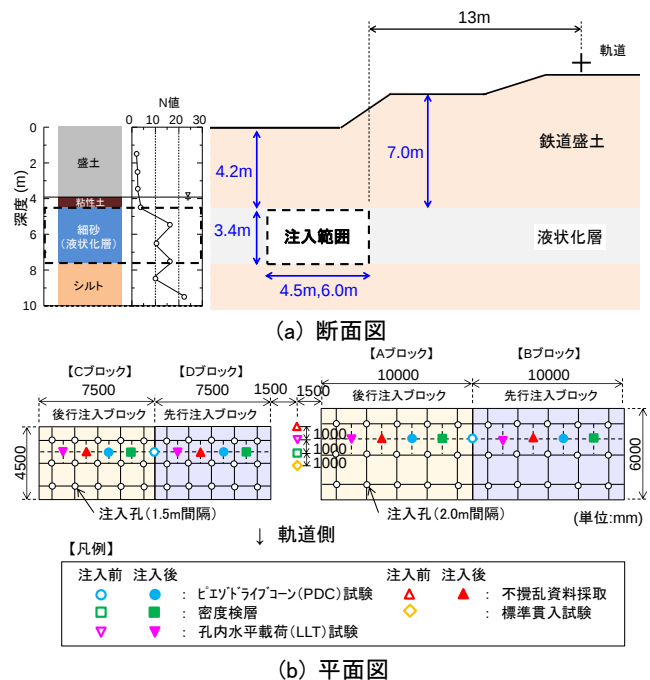


図-2 試験施工箇所の概要

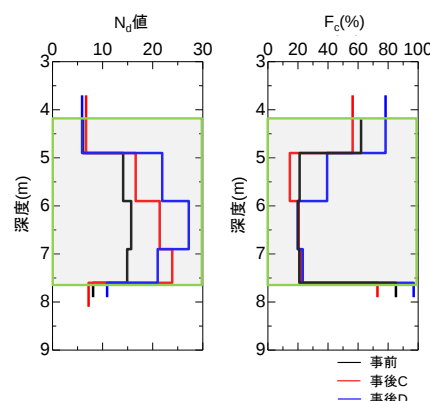
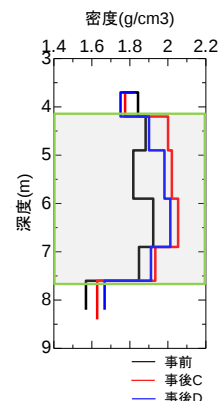
図-3 PDC 試験結果 (N_d 値, F_c)

図-4 密度検層結果

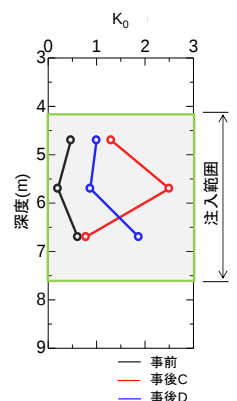


図-5 LLT 試験結果

キーワード 脈状地盤改良, 液状化対策, 品質管理

連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木 2-2-6 東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター TEL03-6276-1251

る注入量の制限から、計画注入率 10%に対して、実施注入率は平均 8.2%であった。算定結果より有効注入率は平均 4.6%（実施注入率の 55%程度）であり、既往の研究¹⁾と同程度の改良効果が得られた。

液状化判定結果を表-2に示す。液状化検討深度は、PDC 試験で高い F_c が確認された、注入範囲上部を除く範囲に対して行った。判定結果より、CD ブロックの P_L 値は L2 スペクトル I⁴⁾ 対し、事後は平均 7.7（事前 P_L 値から 42% 程度低減）となり、L2 スペクトル II⁴⁾ では事後は平均 0.5（事前 P_L 値から 95% 程度低減）となった。

3.2 品質確認フローの提案

図-6に改良品質の確認結果から提案した、本現場における品質確認フローを示す。計画注入率は、試験施工において改良効果を確認した平均実施注入率から 9.0%に設定した。地表面変位を監視しながら施工を行い、計画通り 9.0%の注入が出来た場合は事後の品質確認試験 (N_d 値計測) を行い、管理 N_d 値を満足するか確認する。管理 N_d 値は、改良後に所定の要求性能（本フローでは、L2 スペクトル II に対し P_L 値 < 5）を満足するよう算出した N_d 値である。改良後の N_d 値が、管理 N_d 値に満たなかった場合、改良後の N_d 値から改良範囲全体を平均化して評価する有効注入率を算定し、管理有効注入率を満足するか比較する。

注入時の地表面変位等により、計画注入率 9.0%を注入できなかった場合、その時点での平均実施注入率が 6.0%以上であるか確認する。注入率の閾値を 6.0%としたのは、試験施工において最も実施注入率の低かった C ブロックの実績から設定した。平均実施注入率が 6.0%以上の場合は事後の品質確認試験を行い評価していくが、6.0%に満たない場合、あるいは 6.0%以上の注入を行ったとしても管理有効注入率を満足しない場合は、軌道整備を行い再注入することや、品質確認試験の手法を別途検討する。品質確認試験は、先の試験施工において効果が確認された、密度検層や LLT 試験を行う。また、細粒分含有率 F_c の割合により締固め効果に影響がすることから、PDC 試験により N_d 値と共に F_c の傾向を把握することも検討するものとした。

4. まとめ

本研究では、脈状地盤改良工法による液状化対策を行うにあたり試験施工を行い、改良効果の確認を行った。また、改良効果の確認結果を基に、本施工における改良効果を判断できる品質管理フローを提案した。

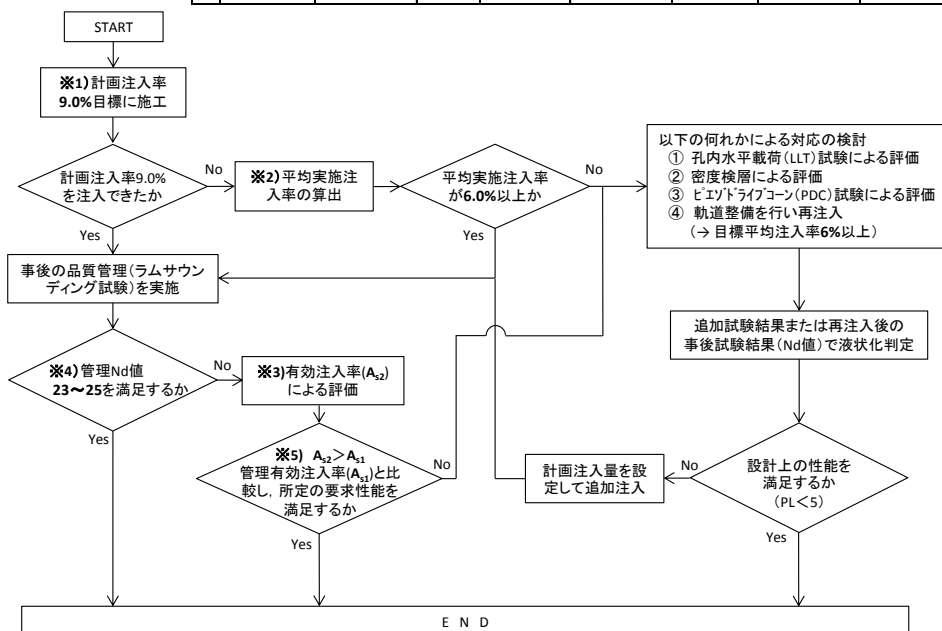
本研究の一部は「国土交通省 交通運輸技術開発推進制度」により実施しました。

表-1 有効注入率算定結果

	検討深度 (m)	F_c (%)	事前調査結果		事後調査結果			実施注入率 (%)
			N_d 値	e_0	N_d 値	e_1	有効注入率 (%)	
Cブロック	4.9 - 5.9	20.6	14.1	0.983	16.6	0.944	2.0	6.5
	5.9 - 6.9	20.6	15.6	0.972	21.4	0.894	4.0	
	6.9 - 7.6	20.6	14.9	0.990	23.9	0.875	5.8	
	平均	-	14.9	0.981	20.3	0.908	3.7	
Dブロック	4.9 - 5.9	20.6	14.1	0.983	21.9	0.880	5.2	10.0
	5.9 - 6.9	20.6	15.6	0.972	27.2	0.834	7.0	
	6.9 - 7.6	20.6	14.9	0.990	21.0	0.914	3.8	
	平均	-	14.9	0.981	23.6	0.872	5.5	
CDブロック平均 (%)							4.6	8.2

表-2 液状化判定結果

	検討深度 (m)	F_c (%)	N_d 値	L2 スペクトル I		L2 スペクトル II	
				FL	PL	FL	PL
事前	4.9 - 5.9	20.6	14.1	0.458	13.3	0.604	9.7
	5.9 - 6.9		15.6	0.437		0.604	
	6.9 - 7.6		14.9	0.396		0.542	
事後	4.9 - 5.9		19.3	0.604	9.5	0.917	2.3
	5.9 - 6.9		21.2	0.625		0.958	
	6.9 - 7.6		20.6	0.541		0.792	
	4.9 - 5.9		22.2	0.833	4.3	1.334	0.0
	5.9 - 6.9		24.2	0.876		1.417	
	6.9 - 7.6		23.6	0.709		1.125	
	4.9 - 5.9		20.6	0.687	7.7	1.083	0.5
	5.9 - 6.9		22.5	0.708		1.167	
	6.9 - 7.6		21.9	0.604		0.917	



- ※1) 計画注入率：実施工で改良地盤体積に対する施工計画上の注入率
 ※2) 平均実施注入率：実施工で実際に注入した注入量から算定する、改良範囲全体の平均注入率
 ※3) 有効注入率 (A_2)：事後の品質管理試験 (N_d 値) から算出される改良効果を評価する注入率
 ※4) 管理 N_d 値：改良後に所定の要求性能を満足する N_d 値
 ※5) 管理有効注入率 (A_1)：管理 N_d 値より算出される有効注入率

図-6 本現場における脈状地盤改良の品質管理フロー

参考文献 1) 井澤ら：脈状改良工法による液状化対策，基礎工，2015. 2) 細井ら：脈状注入による液状化対策工法の試験施工結果，第 51 回地盤工学研究発表会，2016. 3) 水野ら：脈状注入による液状化対策工法の注入率と算定改良率の関係，第 51 回地盤工学研究発表会，2016. 4) 国土交通省監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，2012.