

松山駅高架化事業における脈状地盤改良工法の適用 その2（試験施工）

四国旅客鉄道（株）	正会員	糸川和樹
中央復建コンサルタンツ（株）	正会員	○山脇奨平
ライト工業（株）	正会員	大西高明
（公財）鉄道総合技術研究所	正会員	山本昌徳 井澤 淳

1. 目的

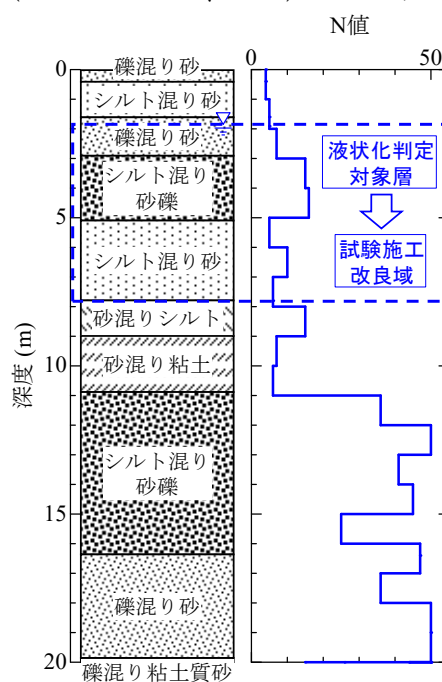
予讃線松山駅付近高架化事業における高架区間と現在線の取り付け区間は、土工区間として計画している。この土工区間の直下地盤には、液状化層があることから脈状地盤改良工法¹⁾による対策を検討した。事前検討²⁾において、改良対象となる砂質土層で有効注入率 2.6%程度を得られれば、L2 スペクトル II 地震動に対して $P_L < 5$ まで改良できる可能性を確認した。本稿では、実地盤に対して、想定した改良効果が得られることを確認するために実施した試験施工について報告する。

2. 試験施工概要

図 1 に検討対象区間の地盤調査地点および試験施工箇所の位置関係を示す。試験施工は標準貫入試験 SPT R03-No.1²⁾の近傍で実施した。図 2 に試験施工の改良域を示す。改良深度は 1.9~7.8 m の液状化判定対象層とし、4.5 m×3.0 m の改良幅で実施した。実施注入率は 10%とし、1.5 m 間隔の注入孔 6 点から厚さ 250mm のボトムアップ施工で実施した。また、改良後に注入孔から最も離れた 2 点（MRS R03-No.1、No.2）でミニラムサウンディングによる N 値計測を行った。表 1(a)に試験施工箇所における改良前の L2 スペクトル II 地震動³⁾に対する液状化判定結果を示す。なお、改良前の N 値は SPT R03-No.1 の結果を用いた。第 5 層（深度 1.9~2.0 m）および第 9~11 層（深度 5.0~7.8 m）で $F_L < 1$ となり、 $P_L > 5$ であることから液状化対策が必要な地盤と判定された。

3. 試験施工結果

図 3 に改良後に実施したミニラムサウンディングから得られた N 値を、改良前の N 値と併せて示す。改良後の N 値は改良対象域全域で改良前の N 値を上回っていることが分かる。これらの N 値を用いて、L2 スペクトル II 地震動に対する改良後の液状化判定を実施した。表 1(b)にその結果を示す。脈状地盤改良工法を用いることで試験施工箇所において P_L を 5 以下まで改良出来ることが確認できた。ここで、表 1(a)から分かるように、第 5 層（深度 1.9~2.0 m）は改良前に $F_L < 1$ であるもののその程度は小さいこと、第 6~8 層は改良前から $F_L \geq 1$ であることから改良は不要と判断し、液状化に大きく影響を与えると考えられる第 9~11 層（深度



(a) 深さ方向

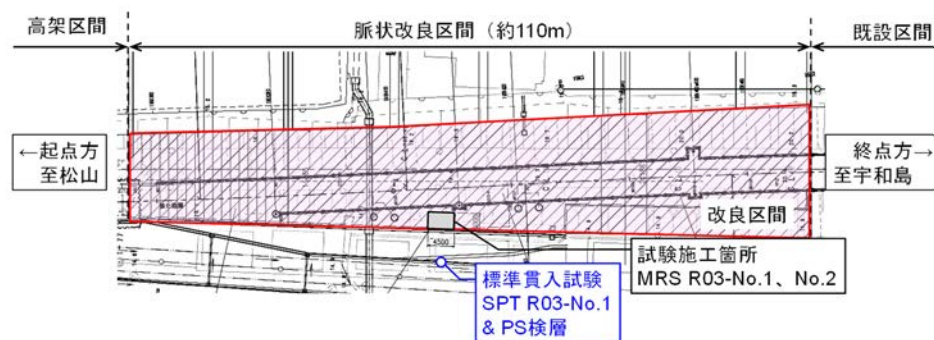
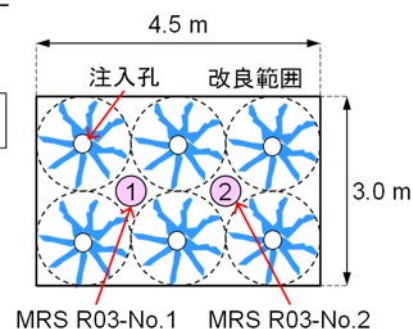


図 1 検討対象区間および試験施工、地盤調査箇所の位置関係



(b) 平面方向

図 2 改良対象

5.0~7.8 m)のみを本施工の改良域とすることとした。
表 2 に試験施工から得られた有効注入率を示す。なお、MRS R03-No.1、No.2 について、液状化判定において分割した各層と土質分類毎に平均した平均有効注入率を示している。本施工で改良対象域とする第 9~11 層のシルト混り砂層の土質別平均有効注入率は MRS R03-No.1、No.2 でそれぞれ 3.9%、2.4%の有効注入率となった。本施工における品質確認の目安とする有効注入率は、2 点の平均有効注入率 3.2%(=(3.9 + 2.4)/2)に設定することとした。

4. まとめ

脈状地盤改良工法の適用を検討している箇所での試験施工を実施した結果、礫混り砂層で 1.5%~3.2%、シルト混り砂礫層で 2.0%~2.8%、シルト混り砂層で 2.4%~3.9%の有効注入率が得られ、L2 スペクトルⅡ地震動に対して $P_L < 5$ まで改良可能であることを確認した。本施工の改良対象域については、液状化程度が高いシルト混り砂層とし、品質確認の目安として有効注入率 3.2%を設定し、本施工を実施することとした。

参考文献

1) 井澤ら：脈状割裂注入による効率的な液状化対策工法の開発，土木学会論文集 C, Vol. 75, No.4, 2019. 2) 山本ら：松山駅高架化事業における脈状地盤改良工法の適用 その 1（事前検討），土木学会第 78 回年次学術講演会, 2023. 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 2012.

表 1 試験施工箇所の改良前後の液状化判定結果

地層 番号	土質 分類	深度 (m)	F_c (%)	(a) 改良前						(b) 改良後(MRS R03-No.1)						(c) 改良後(MRS R03-No.2)					
				N値	R	L	F_L	ΔP_L	P_L	N値	R	L	F_L	ΔP_L	P_L	N値	R	L	F_L	ΔP_L	P_L
4	礫 混り砂	1.6 ~ 1.9	17.8	5.0	—	—	—	0.000		5.0	—	—	—	0.000		5.0	—	—	—	0.000	
5		1.9 ~ 2.0	17.8	5.0	0.423	0.473	0.89	0.086		8.9	0.610	0.473	1.29	0.000		11.5	0.748	0.473	1.58	0.000	
6	シルト 混り砂礫	2.0 ~ 3.0	17.8	7.0	0.526	0.486	1.08	0.000		8.9	0.587	0.486	1.21	0.000		11.5	0.729	0.486	1.50	0.000	
7		3.0 ~ 4.0	6.3	15.0	0.676	0.507	1.33	0.000		22.3	2.873	0.507	5.67	0.000		20.4	1.816	0.507	3.58	0.000	
8	シルト 混り砂	4.0 ~ 5.0	6.3	16.0	0.677	0.524	1.29	0.000		22.3	1.988	0.524	3.79	0.000		20.4	1.366	0.524	2.61	0.000	
9		5.0 ~ 6.0	17.0	5.0	0.303	0.539	0.56	3.174		13.5	0.651	0.539	1.21	0.000		10.8	0.539	0.539	1.00	0.000	
10	シルト 混り砂	6.0 ~ 7.0	17.0	10.0	0.481	0.550	0.87	0.847		13.5	0.619	0.550	1.13	0.000		10.8	0.504	0.550	0.92	0.565	
11		7.0 ~ 7.8	17.0	6.0	0.314	0.559	0.56	2.209		13.5	0.605	0.559	1.08	0.000		10.8	0.489	0.559	0.87	0.631	
12	砂混りシルト	7.8 ~ 9.0	55.8	6.0	—	—	—	0.000	6.3	6.0	—	—	—	0.000	0.0	6.0	—	—	—	0.000	1.2
14	砂混り粘土	9.0 ~ 11.0	64.1	7.0	—	—	—	0.000		7.0	—	—	—	0.000		7.0	—	—	—	0.000	
16	シルト 混り砂礫	11.0 ~ 12.0	10.0	36.0	4.904	0.583	8.41	0.000		36.0	4.904	0.583	8.41	0.000		36.0	4.904	0.583	8.41	0.000	
17		12.0 ~ 13.0	10.0	50.0	27.123	0.583	46.52	0.000		50.0	27.123	0.583	46.52	0.000		50.0	27.123	0.583	46.52	0.000	
18		13.0 ~ 14.0	10.0	41.0	6.211	0.582	10.67	0.000		41.0	6.211	0.582	10.67	0.000		41.0	6.211	0.582	10.67	0.000	
19		14.0 ~ 15.0	10.0	45.0	8.737	0.581	15.04	0.000		45.0	8.737	0.581	15.04	0.000		45.0	8.737	0.581	15.04	0.000	
20	礫混り砂	15.0 ~ 16.0	10.0	25.0	0.723	0.578	1.25	0.000		25.0	0.723	0.578	1.25	0.000		25.0	0.723	0.578	1.25	0.000	
21		16.0 ~ 16.4	10.0	47.0	7.827	0.576	13.59	0.000		47.0	7.827	0.576	13.59	0.000		47.0	7.827	0.576	13.59	0.000	
22		16.4 ~ 17.0	18.6	47.0	7.060	0.574	12.30	0.000		47.0	7.060	0.574	12.30	0.000		47.0	7.060	0.574	12.30	0.000	
23		17.0 ~ 18.0	18.6	36.0	1.618	0.571	2.83	0.000		36.0	1.618	0.571	2.83	0.000		36.0	1.618	0.571	2.83	0.000	
24		18.0 ~ 19.0	18.6	50.0	6.955	0.566	12.29	0.000		50.0	6.955	0.566	12.29	0.000		50.0	6.955	0.566	12.29	0.000	
25		19.0 ~ 20.0	18.6	50.0	5.620	0.560	10.04	0.000		50.0	5.620	0.560	10.04	0.000		50.0	5.620	0.560	10.04	0.000	

表 2 試験施工箇所の有効注入率

								(a) 改良前		(b) 改良後 (MRS R03-No.1)				(c) 改良後 (MRS R03-No.2)				
層 番号	土質 分類	深度 (m)		土質データ				改良前		改良後		有効注入率 (%)		改良後		有効注入率 (%)		
				F_c (%)	σ'_v (kPa)	e_{max}	e_{min}	N_0	e_0	N_1	e_1	各層	土質別平均	N_1	e_1	各層	土質別平均	
5	礫	1.91	～	2.00	17.8	143	1.356	0.742	5	1.160	8.9	1.094	3.0		11.5	1.059	4.7	
6	混り砂	2.00	～	3.00	17.8	147	1.356	0.742	7	1.126	8.9	1.097	1.4	1.5	11.5	1.062	3.0	3.2
7	シルト	3.00	～	4.00	6.3	155	1.126	0.650	15	0.870	22.3	0.814	3.0		20.4	0.828	2.3	
8	混り砂礫	4.00	～	5.00	6.3	163	1.126	0.650	16	0.866	22.3	0.820	2.5	2.8	20.4	0.833	1.8	2.0
9	シルト 混り砂	5.00	～	6.00	17.0	171	1.340	0.736	5	1.159	13.5	1.042	5.4		10.8	1.074	3.9	
10		6.00	～	7.00	17.0	179	1.340	0.736	10	1.088	13.5	1.047	2.0	3.9	10.8	1.078	0.5	2.4
11		7.00	～	7.80	17.0	186	1.340	0.736	6	1.148	13.5	1.051	4.5		10.8	1.082	3.0	

：本施工で対象とする改良域