

V-26

盛土支持地盤における軟弱地盤対策工法の施工について

○ 北海道旅客鉄道(株) 正会員 瀧口孝司
北海道旅客鉄道(株) 正会員 高木敏雄

1. はじめに

石狩川改修計画に伴うJR北海道の札沼線（愛称：学園都市線）の石狩川橋りょう改築工事は、平成13年秋の営業開始に向けて新設橋りょうの下部工とその前後の盛土工事を現在施工中である。

この盛土部分の地盤は、浅い泥炭層とN値0～3の厚い粘性土層とが堆積していることから盛土の沈下抑制及び、安定対策を目的とする軟弱地盤対策工法として固結工法の生石灰パイル工法と高圧噴射攪拌による深層混合処理工法を併用し、地盤改良工事を平成10年9月から平成11年8月にかけて施工した。

本文は、鉄道営業線及び、重要構造物に近接して行われる地盤改良工法の施工を地盤の水平変位量に着目し、その設計、施工及び、品質管理等を報告するものである。

2. 工事概要

1) 地盤の概要

盛土の支持地盤を含め本地区は、石狩低地帯を貫流する石狩川の流域に発達する氾濫原上に位置し、地質は第四紀沖積世～洪積世の堆積物が厚く分布し、図-2.1の様に表層部は鉄道建設の際に問題となる泥炭と圧密沈下を伴う粘性土の軟弱地盤が厚く分布していた。

2) 設計の概要

当初、新線への切替時期から設定される工期と許容残留沈下量以内で、表-2.1の必要盛土厚を施工することを条件に、盛土に伴う支持地盤の沈下抑制と地盤強度増加のための安定対策工法は、計画盛土を5.0mと設定して検討した結果、施工性と経済性から改良幅が盛土全面にわたる固結工法の生石灰パイル工法とした。（表-2.2）

表-2.1 当該地盤の沈下及び安定解析（無処理地盤）結果

計画 盛土高 Hb(m)	列車荷重 相当分 a(m)	換算 盛土高 Hb+a(m)	必要 盛土厚 Ht(m)	最終 沈下量 Sf(m)	残留沈下 10cmとなる 日数 t(日)	限界盛土厚 (Fs=1.2) Hbr(m)
5.0	1.75	6.75	7.8	1.05	1,625 (4.5年)	3.3

表-2.2 生石灰パイル工法の設計諸元

パイル径 φ(cm)	パイルピッチ P(m)	パイル長 L(m)	改良幅	パイル強度 T'p(N/mm ²)
40	1.4×1.4	15.5	盛土全面	980

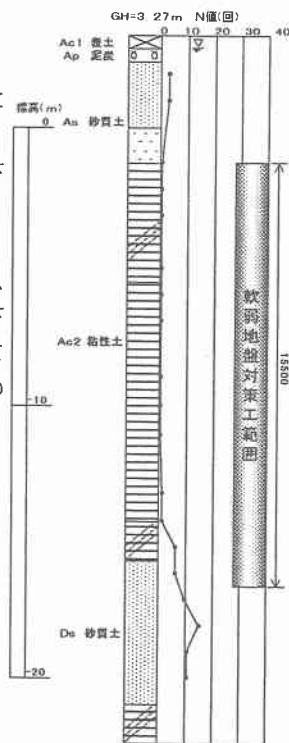


図-2.1 土層図

しかし、在来線盛土へのすり付け部分、北海道電力(株)の鉄塔（以下 北電鉄塔）など近接構造物及び、隣接田畑への影響低減を考慮した対策工法の再検討、また当該地上空には前出の鉄塔を結ぶ高圧送電線が存在することから、その影響エリアと上空制限下での工法変更に伴う施工区間などの検討も必要となった。

About a method of counter measure for soft ground under a fill
by Takashi Takiguchi

3. 軟弱地盤対策工法の再検討

施工条件を考慮して再検討した結果、対策工法は固結工法の採用が最も適当と判断した。

固結工法は表-3.1のような工法があり、各々独自の特徴を有しており検討した結果、一般部は生石灰パイル工法（ケミコパイル工法）を採用するものとし、施工条件のある部分は全体の盛土計画等を考慮して個別に採用工法を検討し、決定することにした。

表-3.1 固結工法の分類と主な特徴及び評価

分類	細分	処 理 方 式	工法名の例	評 価				
				沈下抑制	強度増加	近隣影響	高盛土	工期
生石灰パイル工法		ケーシングオーガー方式	ケミコパイル工法	◎	○	△	○	○
		アースオーガー方式						
深層混合処理工法	高圧噴射攪拌工法	スラリー噴射方式	ミニマックス工法・CCP工法	○	◎	◎	△	△
		スラリー・エア噴射方式	JSG工法・CJG工法					
		機械攪拌・スラリー噴射方式	JMM工法					
	低変位噴射攪拌工法	スラリー混合方式	LDIS工法					
		スラリー混合方式	CDM工法					
		低変位スラリー混合方式	LODIC工法					
		粉体混合方式	DJM工法					

凡例：◎適合 ○原則的に適合 △要検討

4. 計画盛土と地盤改良工法及び改良率

盛土計画は、図-4.1及び表-4.1のとおりである。

盛土高は、H=0.0～10.4mで変化し軟弱な粘性土厚は15.5m程度であり、それぞれ在来線とのすり付け盛土部、北電30番鉄塔部、補強土盛土による防護が必要な北電29番鉄塔部及び、一般盛土部に分けられる。
なお、北電28～30番鉄塔間は高圧線下の施工となる。

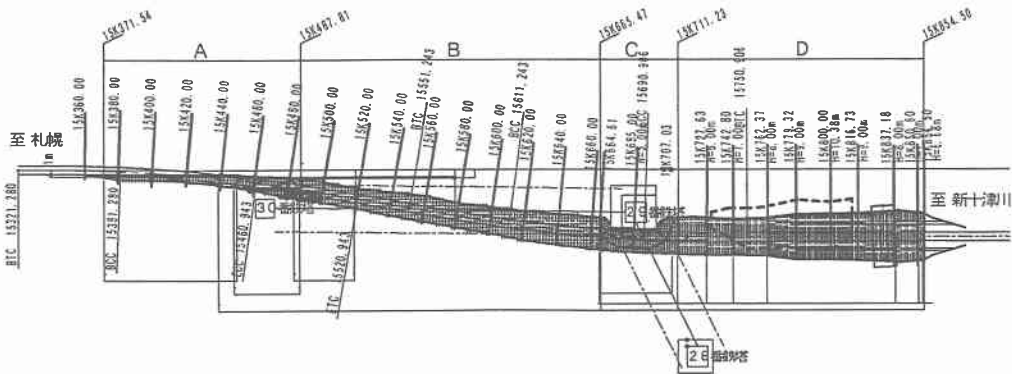


図-4.1 盛土計画全体図

表-4.1 盛土計画の概要

	位 置	測 点	盛土高 (m)	地盤改良工法選定上の留意事項
A	在来線すり付け部	15k371m～ 15k447m	0.0～1.5	在来線とのすり付け区間であり、軌道への影響が少ない工法が必要。
	北電30番鉄塔付近	15k447m～ 15k487m	1.5～2.1	鉄塔、軌道への変位対策を考慮する必要がある。
B	高圧線影響部	15k487m～ 15k665m	1.9～4.9	高圧線下での施工となるため上空制限を考慮した工法が必要。
C	北電29番鉄塔付近	15k665m～ 15k711m	4.0～5.4	高圧線下での施工。補強土盛土による鉄塔防護区間。鉄塔への変位対策必要。
D	一般盛土部	15k711m～ 15k854m	5.4～10.4	制約条件がないため大型の機械による施工が可能。

変位抑制その他の制約条件がないD部は、生石灰パイル工法（ケミコパイル工法）とするがA、B、C部は、ケミコパイル工法に加えて深層混合処理工法（セメント系改良材）による地盤改良工法を選定した。

なお、盛土の沈下抑制及び安定性の確保のために必要となる改良率及び、改良ピッチは、盛土高さに応じて表-4.2とした。

表-4.2 改良率と改良ピッチ

盛土高	1.0m	3.0m	5.0m	6.0m	7.0m	8.0m	9.0m	10.0m	11.0m	鉄塔部
生石灰パイル パイルピッチ	1.6m	1.6m	1.6m	1.4 m	1.3 m	1.2 m	1.1 m	1.1 m	1.0 m	—
深層混合処理 改良率 ap	35%	35%	35%	45 %	60 %	75%	78%			50%

5. 周辺構造物への影響予測

在来線すり付け部（A部）及び、北電鉄塔などに近接して（A、C部）固結工法による地盤改良の施工を行った場合は、施工中に地盤変位の発生が予想された。

北電鉄塔があるA、C部の地盤改良は、北海道電力(株)との協議により鉄塔の許容変位量を5mm以内とし、当社の札沼線に対する軌道の許容変位量は、線路等級3級線の軌道整備目標値9mm以内とした。

なお、固結工法のうち通常施工による深層混合処理工法の変位の影響範囲¹⁾、改良域からの距離 x と改良長 L との比 x/L と水平変位量 δx の関係図を図-5.1に示す。

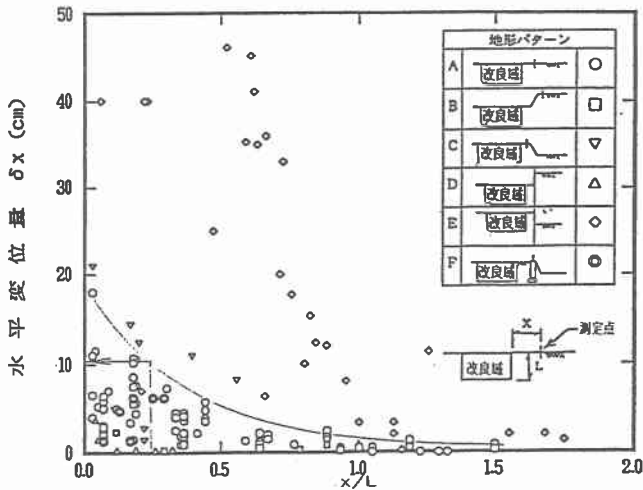


図-5.1 x/Lと水平変位量の関係

上記の図-5.1より水平変位は、深層混合処理工法の改良深度の概ね2倍の距離内において発生しており、とりわけ x/L=0~1.0の範囲では、大きな変位量が発生している。

在来線すり付け区間の地盤水平変位量は、図-5.1より改良深度20m、測点となる軌道中心までの距離x=4.0mとした場合に、x/L=0.2より10cm以上の変位が予想された。

以上より、在来線すり付け部及び北電鉄塔付近は、低変位工法による対策が必要となった。

6. 変位抑制対策工法の選定

固結工法はいずれも地盤中に固化材を強制的に混入あるいは噴射するために、体積変化による地盤変位を周辺地盤に与える。ここでは、以下に分類される変位低減工法を用いた場合の変位量を推定し、在来線すり付け部及び北電鉄塔付近で施工可能な工法の選定を行うこととした。

- 変位低減工法
- ①低変位スラリー混合方式
 - ②低変位噴射方式
 - ③粉体混合方式 + 変位吸収孔（緩衝孔）併用方式
 - ④排土式ケミコパイル工法

以上の工法を比較検討することとした。

①低変位スラリー混合方式

この工法は三点式杭打機を用いて地盤中の土をアースオーガを介して排出させ、地盤中に注入するセメントスラリー量にほぼ相当する土量を排出することによって、周辺地盤や近接構造物の変位を低減する方法である。通常型（CDM工法）と排土式の変位低減型（LODIC工法）の実測最大変位量を表-6.1に、改良域からの距離 x と改良長との比 x/L と、水平変位量の関係図を図-6.1に示す

表-6.1 通常型及び変位低減型（LODIC工法）実測最大変位

施工事例	土質条件	測定距離(m)	最大変位(cm)	
			通常型	変位低減型
I	粘性土	6	2.8～3.3	-1.5～0.8
II	粘性土	5～6.5	4.0～6.5	0.5～1.0
III	砂質土	2	2.6～8.2	1.0～2.2
IV	粘性土	0.8	—	0.7～1.2
V	砂質土	3.5	—	-1.0～0.3

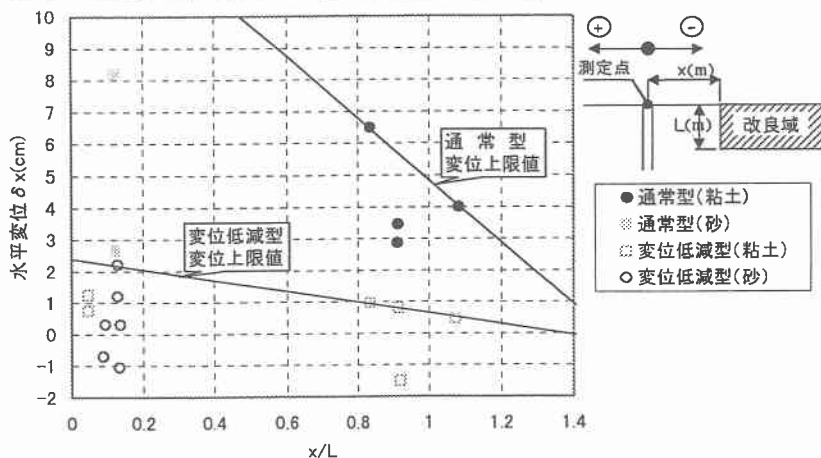


図-6.1 x/L と水平変位量の関係

図-6.1により在来線すり付け部及び、北電鉄塔部の変位低減型（LODIC工法）による水平変位量は、表-6.2のとおり変位量が大きくなり採用は無理と判断した。

表-6.2 変位低減型（LODIC工法）による変位量

位 置	距離 x (m)	打設長 L (m)	x/L	予想変位量 δ (mm)	許容変位量 δ_a (mm)	判定
在来線すり付け部	1.5	19.0	0.08	23	9	×
北電鉄塔部	2.0	19.0	0.11	22	5	×

②低変位噴射方式（以下LDis工法）

LDis工法は比較的小型のボーリングマシンを使用し、特殊攪拌翼に螺旋状の排土攪拌盤を装着したLDisヘッドで削孔・攪拌・引抜きを繰り返し、周辺地盤との縁切りを行う。その後、超高压スラリー噴射による内部圧力の増加と排土攪拌盤の効果により、噴射スラリー量に見合う原土を地上に排出させ、周辺地盤の体積増加による変形を抑制する工法である。

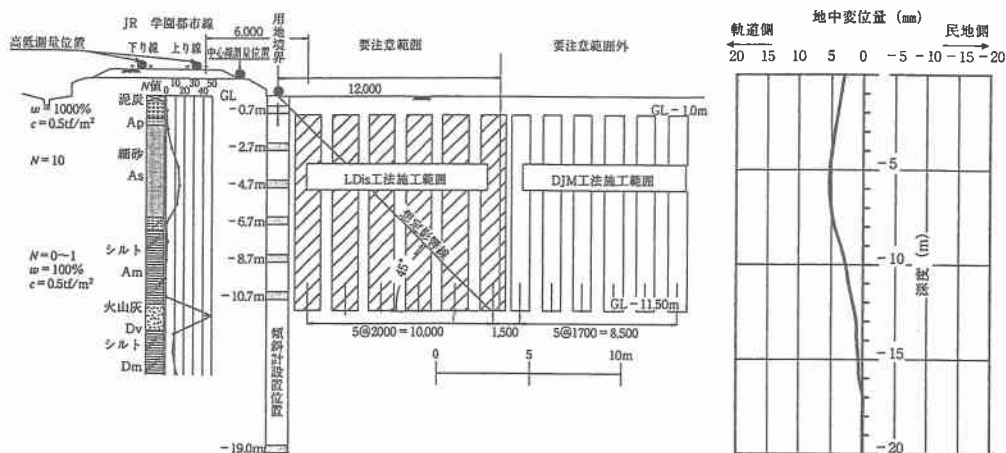


図-6.2 LDis実施断面と変位実測結果

図-6.2のLDis工法を用いて計測した実測結果より、改良域からの離隔が1.0mと非常に近接した位置であるが、変位量は3～7mmで平均5mm程度と極めて小さい変位量に収まっており、対策工法として期待できる。

③粉体混合方式（以下DJM工法）＋変位吸収孔（緩衝孔）併用方式

排土方式とは異なるが、DJM工法でエア回収孔と変位吸収孔を併用した変位低減対策事例があるが、改良長10m、改良域から測点までの距離2.5mと4.0mとで行った変位量が最大15mm～27mm発生している。

④排土式ケミコパイル工法

ケミコパイル工法の通常施工は、 $\phi 400\text{mm}$ のケーシングを地盤中に強制的に貫入し、生石灰を投入後ケーシングを引き抜く方法である。

このため、深層混合処理工法と同様に周辺地盤に変位を与えるとともに、打設後に時間経過とともに変位量が戻る傾向にあり、他の深層混合処理工法と比較して特異な挙動を示す特徴がある。表-6.2は排土式の打設直後の推定変位量を求めた結果である。

表-6.2 生石灰パイル工法（排土式）の推定変位量

位 置	距離 x(m)	打設長 L(m)	パイル m×m	予想変位量 $\hat{\sigma}$ (mm)	許容変位量 $\hat{\sigma}_a$ (mm)	判定
在来線すり付け部	1.5	19.0	1.6×1.6	25	9	×
北電鉄塔部	2.0	19.0	1.6×1.6	24	5	×

以上、変位抑制対策工法として有効と思われる4工法の比較検討を行ったが、許容変位量内で在来線すり付け部及び、北電鉄塔付近で改良可能な方法は②低変位噴射攪拌工法（LDis工法）のみと考えた。

なお、北電高圧線下の施工は同種機械設備を使用し、攪拌翼の形状を変えた機械攪拌・スラリー噴射方式（以下JMM工法）を選択することで対処することとした。

7. 実施施工計画

各部の変位抑制必要箇所は表-7.1の通りである。

この中で在来線すり付け部を含む鉄塔に関わる部分は、低変位高圧噴射攪拌工法であるLDis工法を採用するとともに、施工は盛土と鉄塔の中間付近で鋼矢板による縁切りを行い水平変位を確認するために地中変位計測（傾斜計）による施工管理を実施することとした。

また、北電高圧線による上空制限を受ける高圧線影響部の変位抑制対策を在来線からの離れによって、LDis3列+JMM+矢板、JMM+矢板、JMMのみの3工法として施工範囲を決定した。

表-7.1 各部の対策工法

	位 置	測 点	選定工法	採用工法	変位抑制 の必要性
A	在来線すり付け部 北電30番鉄塔付近	15k371m~487m	深層混合処理工法 (高圧噴射攪拌工法)	LDis工法(矢板併用)	あり
B	高圧線影響部	15k487m~519m	深層混合処理工法 (高圧噴射攪拌工法)	LDis3列+JMM+矢板	あり
		15k519m~580m		JMM+矢板	あり
		15k580m~665m		JMM	なし
C	北電29番鉄塔付近	15k665m~711m	深層混合処理工法 (高圧噴射攪拌工法)	鉄塔影響エリアはLDis 工法(矢板併用)、以外 はJMM工法	あり
D	一般盛土部	15k711m~854m	生石灰パイル工法	通常型メカパイル工法	なし

8. まとめ

施工実績数量は表-8.1のとおり。

表-8.1 施工実績数量

	採用工法	本数	改良長	改良延長	備 考
A	LDis工法	186	15.5	2,883.0	在来線すり付け部・北電30番鉄塔付近
B	LDis工法	59	15.5	914.5	高圧線影響部
	JMM工法	807	15.5	12,508.5	
C	LDis工法	193	15.5	2,991.5	北電29番鉄塔付近
	JMM工法	117	15.5	1,813.5	
D	通常型メカパイル工法	2,751	15.5	42,640.5	一般盛土部

地盤改良に伴う水平変位量は、表-8.2及び、図-8.1のとおりであり測点及び、測点深度によって実測変位量には幅がある。なお、実測変位量は在来線側を正、田畑等の民地側を負とする。

在来線すり付け部と高圧線影響部は、軌道狂い量を地盤改良に伴う実測変位量として記載した。

在来線すり付け部は、許容変位量内であったが、高圧線影響部において下段の実測変位量が許容変位量以内で推移しなかったのは、地盤改良工事着手前の初期測定値に対して、軌道整備目標値に達した後、軌道整備直前までの最大変位量を実測変位量としているため、同時期に発注していた軌道整備で対応した。

北電鉄塔部は、両鉄塔付近の実測変位量が許容変位量内であり、地中部分及び、地上の鉄骨部分についても別途行った鉄塔変位測定において変位等はなかった。

表-8.2 地盤改良による水平変位量

	採用工法	許容 変位量	実測 変位量
A	在来線すり付け部	9mm	1~-4mm
	北電30番鉄塔付近	5mm	1~-2mm
B	高圧線影響部	9mm	1~-8mm 5~-6mm
C	北電29番鉄塔付近	5mm	1~-4mm

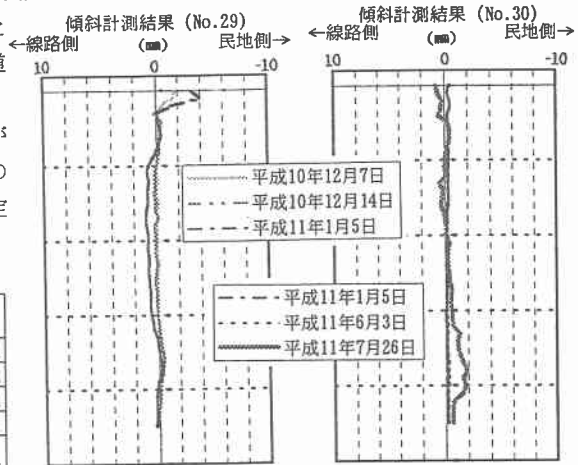


図-8.1 地中変位計測結果

おわりに

現在は、有害な沈下及び水平変位等は発生していない。盛土施工による自重や開業後の列車荷重の影響等を計測していきたいと考えている。

参考文献

1)水野他 深層混合処理工法の施工に伴う周辺地盤変位とその対策 土木学会第3回「施工体験発表会」講演概要、昭和61年6月