# 33. 低コスト及び環境配慮型の低変位超高圧噴射攪拌工法

# (機械攪拌と高圧噴射攪拌のハイブリッド式深層混合処理工法)

小野田ケミコ株式会社 ○ 近 国土交通省長崎河川国道事務所 西 中央大学理工学部 齋

○ 近藤 省一 西島純一郎 齋藤 邦夫

# 1. はじめに

今日の社会基盤整備では、適切な品質確保とコストの縮減が主要な命題である。一例として、軟弱地盤上に盛土を構築する場合、その用途や機能に応じて基礎地盤の改良強化を図る一方で、改良率を抑制する工夫が出来れば施工コストを低減することが可能となる。しかし、実施工では、同時に環境に対する理解と適切な対応が重要である。

すなわち,多くの地盤改良施工では,攪拌翼を 地盤内に貫入し固化材を高圧で吐出させ,強制的 に原土と混合攪拌を行って改良体を造成すること を原理としている。しかし,これが周辺地盤に非 排水変形を生じさせる原因となり,その大きさに よっては周辺構造物の機能に多大な影響を与える ことも考慮しなければならない。また,こうした 影響を避けるため,高圧噴射攪拌工法では,排泥 をエアリフトさせる方法もあるが,排出されたス ライムの処理に課題を残す。

以上のように、これからの地盤改良工事では、 設計原理とこれを確実に実現させる高い施工技術 に加え、周辺環境に配慮することのできる工法の 選択が重要である。

本文では低変位高圧噴射攪拌工法(LDis 工法)の概略と、これらを鉄道軌道に平行する国道の盛土によるバイパス化事業に伴う地盤改良工に適用した事例について述べる。

#### 2. LDis工法の概要

LDis 工法(Low Displacement Jet Column method:エルディス)は、攪拌翼先端部にスクリュー型の特殊な排土盤装置と拡径型噴射モニター(以下LDis ヘッドと記す)を一体型にした拡径型攪拌装置の装着を特徴としている。

図-1 は、LDis 工法の改良と排土原理を示す。LDis ヘッドは、機械攪拌翼形状の排土機能を持つ噴射攪拌装置で、標準直径  $\phi$  0.6mの攪拌翼には整流域を設けた特殊な撹拌翼で、ジェット噴流形状がシャープで強力な切削性能を持つ超高圧ジェット噴流により地盤を切削破壊し大口径の改良体を造成することができる  $^{1}$ 。

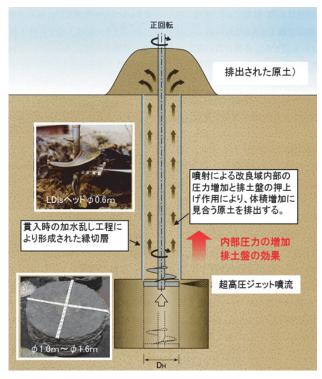


図-1 LDis 工法の改良と排土原理

LDis ヘッドの先端ノズルから水平方向に固化材ス ラリーを超高圧噴射し,連続的に回転引上げしな がら、円柱状の改良体を造成するものである。LDis ヘッドの先端部に取り付けた噴射ノズルからは, 固化材スラリーを吐出圧力 p=30~40MPa, 吐出量 q=100~150ℓ/分により、地盤を切削・混合する。 ロッド回転に伴い LDis ヘッドの背面あるいは、下 端部に生じた間隙に負圧が生じることで, 切削し た土砂と固化材スラリーとの混合土が瞬時に移動 する。さらに LDis ヘッドのステップ方式の引上げ 改良により,同一位置において繰返し攪拌混合し, 高圧噴射攪拌と機械攪拌との複合的な混合攪拌が なされる。同時にLDis ヘッドにより、地上部へ固 化材スラリー噴射量に相当する土量の押し上げ作 用が発生し、地盤内の固化材液量増加の体積との バランスが保たれて, 地盤変位が抑制される。

# 3. 施工事例

本事業は、超軟弱地盤が広がる地域で交通混雑の緩和、交通環境の改善を目的とした国道のバイパス化事業である。施工箇所は、図-2 に示すように鉄道営業線の軌道に近接し、且つ N≒0 の軟弱なガタ土 (Ac 層)が 20m を超えて堆積する環境条件にある。このため、地盤改良に伴う地盤変位により鉄道敷に影響を与えることが懸念された。こうした背景から、固化材供給量と排土量をバランスさせる機能に優れ、地盤変位の抑制に実績のある深層混合処理工法の一つである LDis 工法が選定された。

また、改良杭配置は ALiCC 工法を適用した。 ALiCC 工法(低改良率セメントコラム工法) は盛 土に発生するアーチ効果を巧みに利用し、盛土荷 重をあらかじめ打設した地盤改良体に導くことで、 改良体本数を従来工法に較べ大幅に減らす設計法 であり、低コスト、工期短縮の課題に応えること ができる。このためには設計に合致した改良体の 出来形、強度を安定して造成する必要があり、高 い施工技術が必須の条件となる。

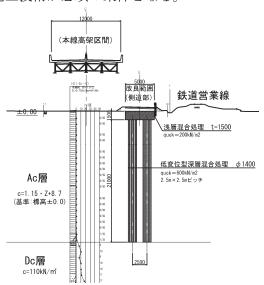


図-2 施工標準断面図

# 3.1 土質条件

原地盤は、前述したように 20m 超える軟弱な沖積土が堆積し、自然含水比は  $w_{\rm n=}100\%$ 程度、液性限界が  $w_{\rm L=}80\sim90\%$ であって、地盤は乱れ易く鋭敏性に富む。また、湿潤密度は  $\rho_{\rm t=}1.3\sim1.4\rm g/cm^3$ 、その粘着力は  $s_{\rm t=}10\sim30~\rm kN/m^2$  であった。

## 3.2 設計仕様

表-1 は本工事における LDis 施工の設計仕様である。沈下対策として導入する ALiCC 工法に基づく設計改良仕様は着底型で、改良径 $\phi$ 1.6 m、改良配置 2.5m×2.5m であり、改良率は ap=12.5%であった。さらに盛土荷重の大きさより、改良体が具備する改良設計強度は  $q_u$ =600 kN/m² となった。

表-1 設計仕様

施工本数	262本		
改良率	ap=12.5%(ALiCC形式)		
目標改良径	φ 1.0m (su≦30kN/㎡より φ 1.6mが造成)		
改良長	L=21.0 <sub>m</sub> (av.)		
改良強度	$qu=600 \mathrm{kN/m}^2$		
固化材混入量	$aw=153kg/m^3$		

#### 3.3 施工仕様

設計仕様を具体化する改良仕様は、現場配合試験の結果から設定し表-2に示すとおりである。

表-2 LDis 改良仕様

吐出圧力	p=40MPa		
吐出量	q=100"ッ/分		
回転数	$20 \pm 2$ rpm		
改良時間	t=4.1分/m		
専用固化材	ケミコC201S		
水·固化材比	W/C=1.0		

#### 3.4 施工方法

写真-1 は、LDis 本体の施工機械を示す。LDis マシンはスライドベース上に搭載され、H 鋼レール上を走行・横行し、正確に施工位置にセットできるため、機動性が高い。また、施工時には補助クレーンを使用せずに、機械移動やロッド継切り作業を行うことができるなど施工効率が高い。



写真-1 鉄道営業線の近接位置によるLDis施工状

# 3.5 地盤変位の測定方法と結果

#### (1) 地盤変位測定位置

LDis 施工では、鉄道営業線に近接した施工であるため軌道部への影響について調査した。図-3 は変位測定位置図である。測定位置は、改良体杭芯位置から 3.5m の位置に地中傾斜計を設置し、8.0m 離れた位置に鉄道軌道が敷設されている。なお、本工事では、軌道管理者における施工時の軌道変位量管理では、警戒値が LEVEL①: ±8mm, 工事中止値が LEVEL②: ±14mm と規定されている。軌道変位量とは、5m 毎に設置した測点間の相対変位量であり、レールの通り差異に関する変位量の規定値である。(軌道監視業務資料より)

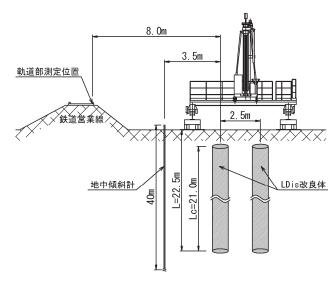
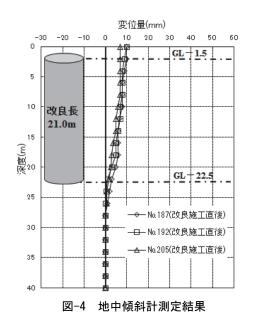


図-3 変位測定位置計画図

# (2) 地中傾斜計による測定結果

図-4 に地中傾斜計測定結果を示す。測定結果は LDis 改良部の全長において、水平変位量が観測さ



れているが、改良施工直後は、いずれの測点においても最大 10mm 程度の水平変位量であり、地中内変位量は微少量である。

# (3) 軌道変形量の測定結果

図-5 に軌道変位量の測定結果を示す。測定結果では、変位量は改良施工の進捗とは関係なく微量しか観測されず、軌道変位量の警戒値±8mm に対して水平方向も鉛直方向にも最大値で±2mm以下であり、鉄道営業線の営業運行にも影響を与えず、施工期間中は中断することなくLDis施工を完了した。

# (4) 地盤変位の比較

図-6はLDis施工時のx/Lと水平変位量の施工実績と、今回の施工結果を加筆して示した。測点距離xと施工深度Lの比との水平変位量では、地中傾斜計の位置についてはx/L=3.5m/22.5m=0.16で水平変位量10mmであった。また鉄道軌道部の変位量については、x/L=8m/22.5m=0.36で水平変位量が2mmとほとんど水平変位は生じていない。そのため、過去の施工実績と照し合せても本工事の地盤変位が十分に抑制されたことが確認された。

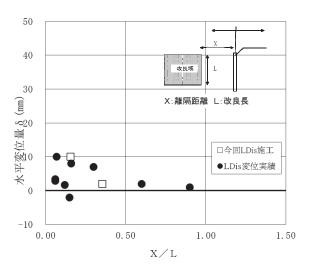


図-6 水平地盤変位量

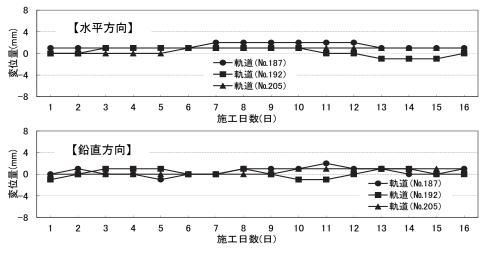


図-5 軌道変形量測定結果

#### 3.6 改良強度

表-3 に改良後に採取した改良コアの一軸圧縮強さの結果を示す。改良強度は上・中・下層の 3 層に区分して行った。その結果,改良強度は,quf=  $4400 \sim 5300 \text{kN/m}^2$ であり,設計強度を十分に上回っている。また,改良強度の変動係数 v は,深度方向に増加傾向ではあるが,いずれも  $v \leq 20\%$ が確認され,一般的な機械攪拌工法の  $v = 20\% \sim 40\%$ と比較しても良好な結果が得られた。また,コアの連続性についても RQD 値 90%以上であり,固結部の連続性が高いことを確認した。

表-3 改良強度結果

	一軸圧縮強度		平均值	標準偏差	変動係数	
採取 位置		')	$\overline{q}_{uf}$	σ <sub>n-1</sub>	V	
	A12L	G7L	G9R	$(kN/m^2)$	$(kN/m^2)$	(%)
上層	4, 116	4,500	2, 707	4 407	722	16. 4
	4, 219	4, 959	4, 501			
/ 🛮	4, 699	5, 191	4, 771	4, 407	122	16. 4
平均	4, 345	4, 883	3, 993			
中層	5, 487	6, 098	5, 618	5, 348	882	16. 5
	4, 985	5, 987	4, 893			
	3, 303	6,077	5, 680			
平均	4, 592	6,054	5, 397			
下層	3, 874	6, 106	5, 634	4, 634	883	19. 1
	4,672	3, 652	5, 210			
	4, 552	3, 558	4, 449			
平均	4, 366	4, 439	5, 098			

# 3.7 排出土性状および排出土率

表-4はLDis施工時に排出された軟泥土の土質性状である。排出された土は、LDis ヘッドの削孔貫入する際に少量加水しているものの、原土とほとんど同じ程度のw=84%であった。排出される土は、写真-2 のように乱された状態の原土が円筒状に押し出され、排出形態は軟泥土であり泥水状態にはならない。また、排出土量の計測の結果、1 日の平均排出土量が約  $30 \text{m}^3$  であった。1 日当たりのLDis 施工本数は、平均 4 本/2 マシンであり、1 本当たりの固化材噴射スラリー量が約  $7.5 \text{k} \ell$  で、地盤内へ供給した固化材スラリー量は約  $30 \text{k} \ell$  となる。

表-4 LDis 施工時排出土の土質性状

湿潤密度	原土	$1.50 \mathrm{g/cm^3}$
(0)	I III at a T	
$(\rho_t)$	排出土	1.45g/cm <sup>3</sup>
含水比	原十	84.0%
— · · ·		
(W)	排出土	84.5%

排出土率は、100%程度でほぼ固化材スラリー量に相当していたことを確認した。地盤内に混入した固化材スラリー量のほぼ全量が地表面に排出されたことになり、地盤変位の抑制に大きく寄与していることが判断できる。



写真-2 LDis 工法の排土状況

## 4. まとめ

鉄道営業線などの既設構造物の近傍において地盤改良を行う際には、周辺地盤に有害な変状を与える可能性がある。そのため環境保全への配慮が絶対条件となる。高圧噴射攪拌工法のうち、従来のエアを併用する多重管式工法では、エアリフト作用により多量のスライムが発生して、且つ処分費用・処分場の確保等で環境面での課題が生じる。

LDis 工法は、強度発現に必要な固化材スラリー量を必要最小限とし、かつ LDis ヘッドを介して、混入した固化材スラリー量に相当する原土を地表面に排出することで地盤変位を大幅に抑制することができる。これは、LDis ヘッドによる地山との縁切り効果と排土作用により、固化材スラリー噴射と同時に噴射量に見合う原土を地表へ容易に排出できるからである。大口径の改良体で改良時間も大幅に短縮でき、排出土量には固化材の混入がなく排出土量も少ない。また河川及び港湾部などの水際での施工も可能で水質汚染がないなどの特徴を併せ持ち、低コストで環境に配慮したハイブリッド式の深層混合処理工法である。

#### 参考文献

1) 鈴木孝一・西尾経:機械排土式低変位高圧噴射攪拌工法 -SDM工法とLDis工法の設計・施工-, 軟弱地盤の改 良⑩, 総合土木研究所, pp.89~99, 1999.11