

57. 集水井掘削における深礎工事機械化工法の適用事例

東急建設㈱：*柳原 好孝，福田 澄男
鷹巣 征行

1. はじめに

集水井の掘削は他の基礎杭などの用途で採用される深礎工事に比較して機械化施工が難しい。その要因の第1は、施工条件の違いである。集水井は、山間部での施工が大半で、間隔が50m以上分散して設置されるため、複数の集水井を同時に施工することが少ない。また、大掛かりな工事用道路も設置されないのが一般的である。第2に構造上の相違があげられる。ライナプレートの他に補強リング、バーチカルステフィナを山留に使用する他、杭基礎で使用される仮設の昇降設備と異なり完成後にも使用される本設の昇降用タラップを掘削と並行して設置しなければならない。坑内作業スペースが制限され、大型掘削機による施工が難しい。

本報告では、このような機械化が難しいとされていた集水井工事に「深礎工事機械化工法」を適用し、得られた施工データをもとに、集水井工事において機械化を図るための施工上の改善点、導入効果について述べる。

2. 深礎工事機械化工法の概要

深礎工事機械化工法は、安全性と省人化を主眼に開発した深礎工事の機械化工法である。これまで作業員4人（深礎径3.5m時）で行っていた掘削・排土作業を、オペレータ1人で作業床上4～5m上部のステップからリモコンにより遠隔操作でき、1台の深礎工事ロボットで掘削から残土の搬出までの一連の作業を可能としている。深礎工事ロボットを写真-1に、主仕様を表-1に示す。ロボットは総重量が2tと軽量コンパクトであり、クローラ上部に旋回体を有し、旋回体の前後に土砂切削用のカッタとバケットまたは、バキューム（図-1）を配置している。ロボット掘削の適用範囲は深礎径3.0～6m、掘削深度20m程度であり、掘削地盤は普通土から、一軸圧縮強度10MPa程度の軟岩まで適用できる。



写真-1 深礎工事ロボット

表-1 深礎工事ロボット仕様

外形寸法	全長 1,750mm 全幅 1,190mm 全高 2,250mm
掘削装置	切削方式 ドラムカット式
	原動機 5.5kW 4P 電動機
走行装置	方式 クローラ
	走行速度 10m/min
	接地圧 40kPa
	原動機 油圧モータ
排土装置	方式 バキューム式
	管径 150mm
油圧装置	電動機 7.5kW 4P
	入力電源電圧 200V、50Hz
	吐出量 24ℓ/min
	吐出圧力 13.7MPa
	総出力 約13kW
	総重量 約2,130kg

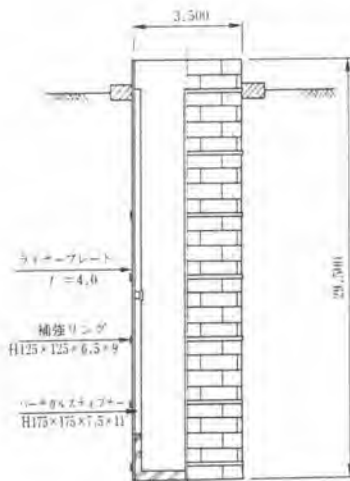


図-2 集水井の構造

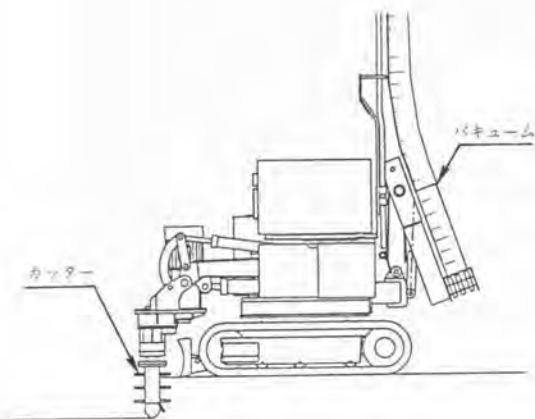


図-1 深礎工事ロボット

は、掘削時の坑壁崩壊（ボイリングの発生）や、有毒ガス発生による酸素欠乏などの危険性を伴う作業でもある。これら多くの問題点があるにもかかわらず、これまで掘削作業条件の大幅な改善は施されておらず、①作業員の劣悪な作業環境からの解放、②安全性と施工能力の向上の技術開発が大きな課題になっていた。

3.2 工事概要

図-3に本工事の施工フィールドの断面、およびロボット掘削のシステム構成を示す。また、仮設の

3. 集水井工事

3.1 集水井工事の施工の現状と課題

集水井工は、横ボーリング工で集水できない深い部分の地下水を排除するため、井戸を施工する工事であり、施工法は深礎工事と同形態である（図-2）。集水井の掘削土留作業は、従来から地滑り地帯という特殊性もあって、人力作業が主体であった。作業は4人1組となって0.7m程度の深さまで掘削および排土積込を行い、次に1リング（0.5m）当り7枚のライナープレートを組み立てる作業工程の繰り返しである。作業員は常に狭い坑内で長時間苦渋作業を強いられる。また、坑内作業

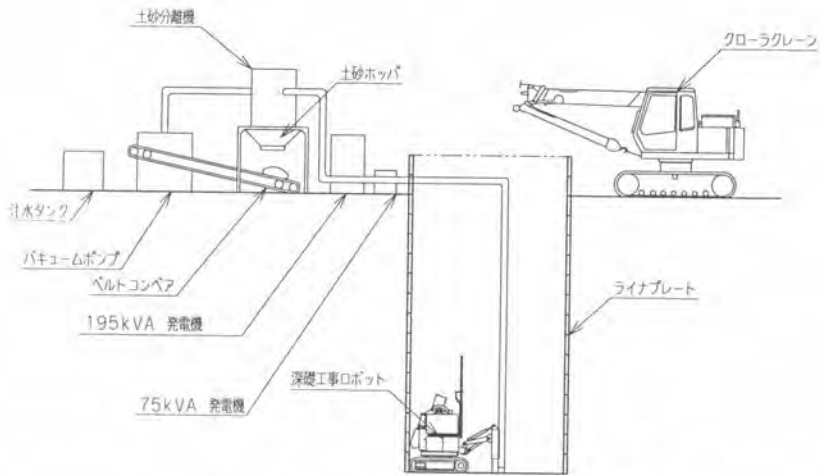


図-3 深礎工事機械化工法システム構成図



写真-2 現場施工全景

全景を写真-2に示す。集水井の構造は、直径 ϕ 3500、深度29.5mの規模で山留はライナプレート、補強リング、パーティカルスティフナである。

施工はロボットをクレーンで掘削位置に移動後、遠隔操作により1層を300mmとして、2層すなわち600mm程度の掘削を行う。掘削された残土は、地上のループロー式真空ポンプによって排土ホース(ϕ 150mm)で吸引し移送され、混合土砂は地上の土砂分離機内で、気流と土砂に分離され、ホッパに集積される。さらに、ベルトコンベアによってダンプトラックに積み込まれ現場から搬出される。掘削終了後、ロボットをクレーンにより引き上げ、ライナプレート、補強リング、パーティカルスティフナ、昇降階段等の組立作業を行う掘削土留1サイクル500mmごとの繰り返し作業である。

表-2 土質試験結果

杭番号 深度	W-21 GL-5.0	W-21 GL-12.0	W-21 GL-19.0	W-21 GL-23.5
土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.650	2.574	2.642	2.606
自然含水費 ω_n %	38.6	34.9	25.8	20.7
礫分	0.5	60.1	31.1	0
砂分	90.1	20.2	42.8	66.3
シルト分	5.9	13.9	10.6	20.7
粘度分	3.5	5.8	15.5	13
均等係数 U_c	3.58	189.5		68.18
曲率係数 U_c'	1.16	0.585		13.60
最大粒径 mm	1.76	19.1	19.1	2.00
分類名	砂	礫質土	砂質土	砂質土
分類記号	S	GF	SF	SF

3.3 土質条件

掘削した集水井の土質は、GLより-13.8mまでが強風化砂岩であり、13.8m以深は砂岩層となっている。表-2に各深度の土質試験結果を示す。

4. 施工調査の概要

4.1 調査内容

施工では、次の点に主眼をおいて調査を行った。

1) 省人化

オペレータ1人による掘削が可能か。

2) 施工性

深礎工事ロボットの施工能力、およびバキュームの排土能力（掘削適用深度）。

3) 安全性

作業員の安全性が向上しているか。

4.2 施工結果

- ①ロボットの運転・操作は特別な法定資格を必要とせず、オペレータが2日程度訓練すれば習得でき、ロボット1台で全断面の機械掘削が可能となり、従来工法より省人化施工が実現できた。
- ②砂岩層の一軸圧縮強度は3~5MPaで、切削カッタで十分に掘削できた。
- ③バキューム排土は掘削深度25m程度から極端に作業効率が落ちることから、掘削深度20m程度までが有効適用範囲と考えられる。
- ④従来の集水井工事の掘削土留作業は、人力併用機械掘削（クラムシェルやミニバックホウ）で軟岩程度の地質条件の標準作業量は0.4m/日程度である。今回の施工でもほぼ同程度の掘削能力

表-3 施工結果

土質		強風化砂岩	砂岩
深さ (m)		8.3	15.2
掘削	準備	880	2102
	掘削排土	4760	12515
	移動		200
	後片付け	440	485
	小計	6080	15302
井枠材組立	準備	150	407
	ライナプレート組立	660	757
	補強リング組立	60	154
	梯子・踊り場組立	300	600
	パーチカルスティフナ組立	280	531
	後片付け	60	222
	小計	1510	2671
その他		1540	1943
合計		9130	19916
作業日数 (日)		19.0	41.5
1日当り掘削長 (m/日)		0.44	0.37

であった（施工調査結果を表-3に示す）。

- ⑤バキューム排土方式の場合、掘削土の土質が粘性土およびシルト質系で高含水比の土質条件では、バキュームホース内に土砂が付着し閉塞を起こすため閉塞対策が必要となった。
- ⑥集水井工事での代表的な事故は、飛来落下物による作業員の負傷、有毒ガス発生、酸素欠乏など坑内掘削作業時に発生するものが多い。したがって、掘削中の杭底部での作業を無人化した本工法は安全性が大きく向上したといえる。

4.3 バキューム排土の閉塞対策

バキュームホース内は掘削土の付着により施工の初期段階においてたびたび閉塞した。要因としては、切削ブリの土質試験結果からも明らかなように、GL-5.0m地点の土質は砂分90.1%で、土質分類上は砂となるが、シルト分5.9%、粘土分3.5%で、自然含水比が38.6%と高く、粘着性に富む土質条件であったと考えられる。

閉塞箇所は、ロボットのバキューム排土取り込み用ロータリーフィーダ部、バキュームホース内では曲管部と接続部、排土装置のタンク内部であった。このため、施工現場では次のような閉塞対策で対応した。

1) 高分子系吸水剤使用による搬送土の土質改良

搬送経路の閉塞については、高分子系の吸水剤で対応した。添加剤は高いゲル強度を有し、土粒子間のベアリング効果が期待でき、流動化しやすく、固化しても減圧で水分を放出せず、環境に対しても無

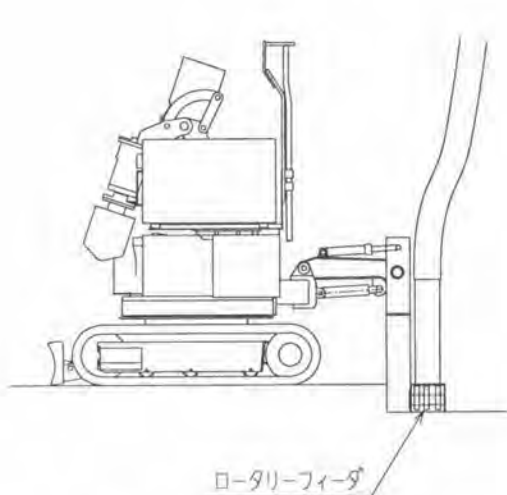


図-4 ロータリーフィーダ

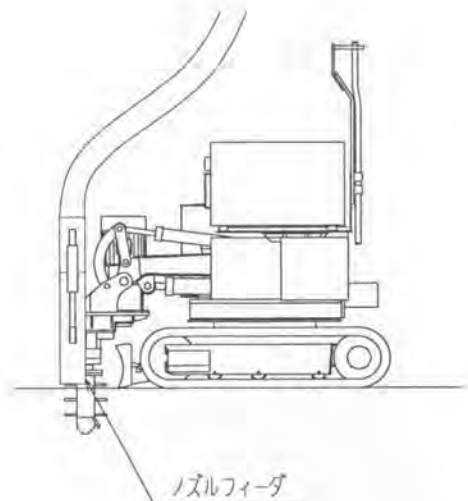


図-5 ノズルフィーダ

害であるアクリル酸ナトリウム混合物を選定した。なお散布量は、使用量と管内の閉塞状況の現地試験結果に基づき1㎡当り0.7kgとし、混合形態は地山に直接散布し、切削カッタによる掘削中の自然攪拌混合とした。

2) 吸引ノズルの改良

ロータリーフィーダ部も掘削土が粘着性に富むため閉塞した。改良前の掘削ロボットには、図-4に示すように当初、ロータリーフィーダを掘削用カッタードラムと対向した部分に装着していたが、フィーダー部および各部の閉塞を解消するためには、高分子吸水剤による改良土を短時間で搬送する必要があり、図-5に示すノズルフィーダをカッタードラム側面に伸縮可能にして取付け、掘削後、ただちにバキューム排土が可能な構造に改良した。

以上の対策の結果、経路の閉塞を軽減することができ、定期的な清掃で完全閉塞を回避することができた。

5.おわりに

深礎工事の中でも最も機械化が難しいとされる地滑り対策工の集水井工事に、深礎工事ロボットによる掘削とバキューム排土を用いた「深礎工事機械化工法」を適用した。その結果、集水井における掘削から搬出までの連続的施工が可能であることが検証できた。しかし、掘削地盤が粘着性が高い地質の場合、バキュームホースの閉塞対策が必須であることが判明した。

今後は、掘削適用土質を軟岩 (5MPa) から中硬岩掘削までの幅広い土質に拡張し、さらに山間部など急峻な地形での施工にも対応できるよう開発を進めていきたい。