

パーカッションドリル機を用いた 高圧噴射攪拌の斜施工機械の開発

三信建設工業株式会社 ○木田 匠紀
島野 嵐
萩原 耕太
大栗 雅明
鈴木 英文

1. はじめに

都市土木における地盤改良工事は、地下には多くの埋設物があり地上部は道路や構造物があり、制約条件が厳しい場所で施工する必要がある。また、近年では深度 50 m を超える地下空間構築技術が向上したことにより、地盤改良工事でも硬質な洪積土層を対象とする事例が増えてきた。

一方、高圧噴射攪拌工法は小型なボーリングを使用して $\phi 100\sim 200$ mm 程度の削孔径で施工を行うことから地下埋設物を避けた施工には有利であるが、大深度の施工では硬質地盤の削孔や、埋設物を避けた斜めボーリングの必要があり、この場合、作業能率や安全性が悪く、現場条件によっては適用が困難な場合がある。

我々はこれらを鑑み、硬質地盤で斜めボーリングを安全に施工できる高圧噴射攪拌工法の施工機械の開発を行った。

2. 高圧噴射攪拌工法の概要

今回施工機の検討を行った V-JET 工法¹⁾は、図-1 に示すように、硬化材に高い圧力を与えて得られる強力なエネルギーによって地盤を切削し、硬化材と土とを攪拌混合して円柱状の改良体を造成する地盤改良工法である。

V-JET 工法は従来の高圧噴射攪拌工法と異なり、先端の特殊噴射装置と硬化材の噴射量を使い分けることにより、改良径の異なる 4 つのタイプ (V0,V1,V2,V3) が用意されていて施工条件に合わせて 1.0~6.0m の幅の広い改良径の選択が可能である。これらのタイプ以外でも、現場の条件に対応する特殊仕様を設定し、試験施工等により有効な改良径を確認した上で施工仕様を設定することも可能である。

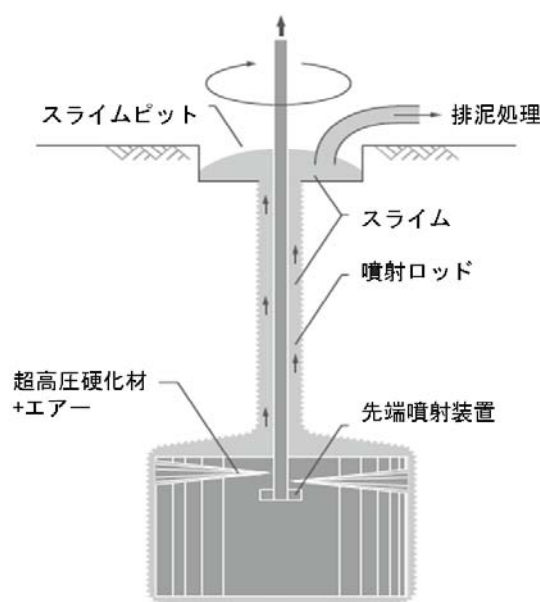


図-1 高圧噴射攪拌工法概念図

3. 施工機械の概要

V-JET 工法における標準施工で使用する従来施工機は写真-1 に示す小型のボーリングマシンであり、改良体の配置計画において斜施工が必要となる場合には、重量物である削孔ケーシングや噴射ロッドの脱着時の作業員における安全性を考慮し、表-1 および図-2 に示すよう鉛直に対し、小・中口径改良で 10° 、大口径改良で 5° の角度を限界角度として設定している²⁾。地盤強度に対しては N 値 200 程度の砂質土や砂礫土の削孔が可能であるが硬質地盤の層が厚い場合、削孔時間が長くなるためロータリーパーカッションドリルや大口径ボーリング等を削孔機として使用する場合がある。これらより、採用実績のあるロータリーパーカッションドリル式削孔機をベースとした施工機の開発と、削孔ケーシングや噴射ロッドの安全な脱着

手法の確立をすれば、従来施工機より作業効率や安全性が向上すると考えた。斜めボーリングが可能な高圧噴射攪拌工法の施工機を開発することが出来ると考えた。



写真-1 従来施工機

表-1 従来機斜施工適用可能角度

| 施工タイプ | 改良径 | 施工設備 | 限界角度 |
|-------|-------|------|------|
| V0 | 2.0 m | 小 | 10° |
| V1 | 3.0 m | 中 | 10° |
| V2 | 4.0 m | 中 | 10° |
| V3 | 6.0 m | 大 | 5° |

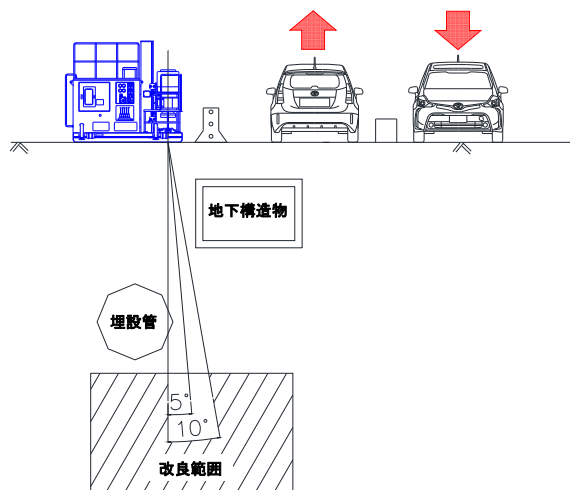


図-2 斜施工概要図

4. ロータリーパーカッションドリルの改造

ロータリーパーカッションドリル施工機を高圧噴射攪拌の造成に使用するに当たり、「二重管スイベルの製作」および「自動ステップ装置の搭載」を行った。「二重管スイベルの製作」は、従来の施工機の回転動力がスイベルの下部であるのに対しロータリーパーカッションドリル施工機の回転動力がスイベルの上部にあることから構造の検討・新規製作を行った。「自動ステップ装置の搭載」につ

いては、従来施工機に搭載の自動ステップ装置を取り付け、任意の時間・ステップ距離の設定を可能とした。開発したロータリーパーカッションドリル（以下、開発施工機とする）の全景を写真-2に示す。なお、従来使用している噴射ロッド等の施工ツールのせん断力は、開発施工機の最大トルク値以上であることを確認し標準の施工ツールを使用することとした。



写真-2 開発施工機の全景

5. ツール脱着時のマニピュレータ導入検討

削孔ケーシングや噴射ロッドおよび先端噴射装置などの施工ツールは重量物であり、最大で230 kgである。これらの施工ツールの脱着時には移動式クレーンを用いた吊り作業となるが、斜施工の場合、鉛直の施工と比較し手指の挟まれや吊り荷の振れによる挟まれ等のリスクが高い。これらのリスクを回避し作業員の安全性を向上させるため、海外では既の実現場で用いられているマニピュレータ（機械式ロッドチェンジャー）の導入検討を行った。マニピュレータは表-2に示す機械仕様のもので採用し、バックホウ装着型およびクレーン装着型の2タイプを用い施工配置・作業性・コストを指標に実機を用い比較検討した。それぞれのマニピュレータの全景を写真-3および写真-4に示す。また、上述の指標を基にした比較試験結果を以下に示す。

施工配置：バックホウ装着型が施工機の横に配置する必要が有るのに対しクレーン装着型は配置に自由度がある。

作業性：鉛直施工時には差異は無いが、斜施工時にバックホウ装着型が斜めに取り付けられるのに対し、クレーン装着型は介錯ロープ等を用い作業員の補助が必要である。

コスト：バックホウ装着型の方が作業員の数も減るためクレーン装着型と比較し安価である。

以上より総合的に判断しバックホウ装着型マニピュレータを採用することとした。

表-2 マニピュレータ機械仕様

| 項目 | 諸元 |
|----------|--------------------|
| 寸法L×W×H | 1.75 m×1.1 m×1.3 m |
| 重量 | 375kg |
| クランプ幅 | 60~225 mm |
| 最大クランプ重量 | 1t (0.5t/箇所×2箇所) |
| 旋回角度 | 0~90° |
| 回転モーメント | 10kN |



写真-3 バックホウ装着型マニピュレータ



写真-4 クレーン装着型マニピュレータ

6. 実現場での適用確認

実現場において開発施工機を用い安全性・施工性・削孔精度の確認を行った。

6. 1. 安全性の確認

開発施工機を用いて安全性の確認を行った。開

発施工機ではバックホウ型マニピュレータを用いるため、機械主体の施工となり従来施工で課題となった手指の挟まれや吊り荷の振れによる挟まれ等のリスクの危険がなく、安全性が向上した。

6. 2. 施工性の確認

従来施工機と開発施工機を用いて施工性の確認を行った。表-3に施工性の比較結果について示す。限界角度は従来施工機が5°に対して開発施工機は22.4°であった。

また、平均削孔時間は主な対象土細砂および玉石混じり砂礫(50<N≤150)で、従来施工機が14 min/mに対して、開発施工機は5 min/mであり約3倍に向上した。

さらに、従来施工機では、作業員の数は4名(従来施工機のオペレータ1名、クレーンのオペレータ1名、介錯ロープや玉掛のため手元2名)であったが、開発施工機では、作業員の数は3名(開発施工機のオペレータ1名、マニピュレータ1名、手元1名)であり省人化を図ることができた。

表-3 施工性の比較

| 項目 | 従来施工機 | 開発施工機 |
|--------|----------|---------|
| 限界角度 | 5° | 22.4° |
| 平均削孔時間 | 14 min/m | 5 min/m |
| 作業員数 | 4名 | 3名 |

6. 3. 削孔精度の確認

開発施工機を用いて削孔精度の確認を行った。削孔精度の確認はジャイロを用いた孔曲がり計測装置(多摩川精機製:TUG-NAVI)を用い削孔管路位置の確認を行った。削孔精度は1/250を目標値として実施した。

6. 3. 1 孔曲がり計測装置の概要

管路計測装置の概要を図-3に示す。

ジャイロセンサが設置されたセンサプローブにより、造成杭の削孔孔や改良径確認技術の計測管などの対象管の管路位置(孔曲がり)を測定することが可能である。測定方法は以下の通りである。

- (1) センサプローブを対象管の上端に設置し、x軸、y軸、z軸の基準点の設定を行う。
- (2) 所定の深度(削孔完了深度)までセンサプローブを挿入する。
- (3) センサプローブを巻取り装置で引上げながら、センサプローブに内蔵されたジャイロセンサにて傾きを測定する。

また、出力データは、事前に設定した平面位置のx軸、y軸および深度のz軸で計測用PCに表示され、各深度での管路位置(孔曲がり)が出力される。

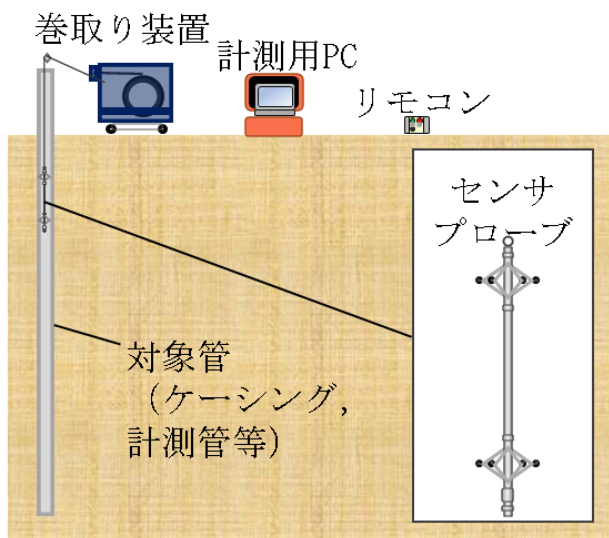


図-3 管路計測装置の概要

6. 3. 2. 計測結果

削孔精度の計測結果は目標値1/250に対して、1/100~1/2208の範囲であり平均値として1/521の精度であった。計測結果例を図-4に示す。この値はロータリーパーカッションドリルの削孔精度1/100³⁾、従来の高圧噴射施工機の削孔精度1/200~1/250⁴⁾と比較し遜色のない結果であった。また、全体の施工本数52本に対して20%程度が削孔精度の目標値1/250を満たさなかったが、これらを含む全施工本数について3DCADを用いて削孔管路位置を確認し、改良目的を満たせるか(未改良部が無い)を確認後に施工を行った。

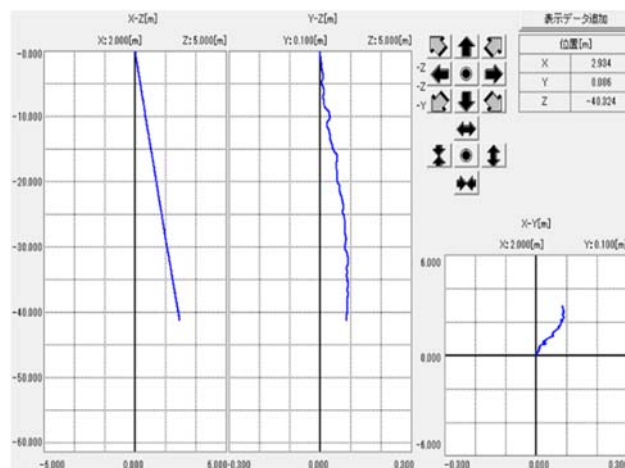


図-4 削孔精度計測事例

7. まとめ

ロータリーパーカッションドリル機を改造し、硬質地盤で斜めボーリングが可能な高圧噴射攪拌工法の施工機械の開発をした。バックハウ装着型のマニピュレータを用いることにより施工ツール脱着時における安全性の向上および作業の効率化、省人化を図ることができた。また、実現場で確認した削孔精度は、従来の高圧噴射施工機の削孔精度と比較し遜色のない結果であった。

参考文献

- 1) V-JET 協会：V-JET 工法技術・積算資料(第7版)，p. 1, 2019.
- 2) 前掲載 1), p. 11
- 3) (一社)日本アンカー協会：グラウンドアンカー設計施工マニュアル，p. 113, 2013.
- 4) 日本ジェットグラウト協会：JET GROUT Q&A 平成26年1月.