

40. 低空頭マッハシステムの開発と実用化

大成建設(株)： 牧野 松明・西野 誠二
 *大矢 浩
 (株)利 根：川崎 博行

1. はじめに

最近、市街地での再開発に伴い、地下空間の利用を図るため、道路下や既設構造物の下など、厳しい空頭制限のある場所での施工が増加しているが、これらの場所では、スペースの問題、機械装置の形状、交通規制、環境問題等、様々な制約条件に直面している。

さらに、砂礫、岩盤などの掘削が困難な地盤条件の所では、掘削能率の面で計画通り進捗しないのが実状であり、工期やコストが大幅に増加し、再開発の計画にブレーキを掛ける要因ともなっている。

このような環境を背景に、このたび空頭制限 3.8mという条件の下で、岩盤掘削を能率的に施工する事が可能な低空頭マッハ掘削機を用い、路下での土留め杭および支持杭を、安全かつ急速に施工するシステムを開発し実用化した。

表-1 工事概要

2. 開発の背景

2.1 概要

地下鉄東西線は、京都市内を東西に貫通し、京都市東部山科方面と都心部を経て西部洛北方面とを結ぶ総延長 30kmの路線である。現在、この内の、都心部と東部地域を結ぶ第一事業区間(12.7Km)として着工されている。

当御陵駅工区は、京都高速鉄道(株)の発注によるもので、山科盆地の西北端、天智天皇陵の西側に位置し、府道四の宮～四ツ塚線及び京津線日ノ岡～御陵間の道路部及び軌道部の下部に、約300mの駅舎部を築造する工事である。

2.1.1 施工環境

当工区は、交通量の多い幹線道路の下 3.5～7.5mの深さの所に、3層階の駅舎を築造するものであるが、道路幅員が狭いうえ、道路中央部に路面電車の軌道があり、地上からの開削工法が採用できないため、民地部に3ヶ所の立坑を設け、駅舎部築造に伴う土留杭及び支持杭をパイプルーフ下部(路下)から、岩盤地層で、延長13,150m(753本)を急速施工する必要があった。

2.1.2 地質概要

施工場所付近の地質は表層より、丹波帯、中生層の頁岩(Sh)、礫岩(Sg)、砂岩(Ss)が深部まで及び、各層とも、堆積状況は直立に近い傾斜を示している。掘削部の地質状況は頁岩、礫岩の断層破碎帯から、硬質な砂岩・頁岩と変化している。

| | | | |
|------|-----------------------------|----------------------|--------------|
| 工事件名 | 高速鉄道東西線建設工事御陵駅工区その2 | | |
| 工事場所 | 京都市山科区御陵原西町17番 | | |
| 発注者 | 京都高速鉄道株式会社 | | |
| 施工者 | 大成建設(株)、(株)間組、(株)浅沼組、(株)岡野組 | | |
| 工事内容 | 路下土留杭 | 5,690m | φ65cm MACH工法 |
| | 路下土留杭 | 3,340m | φ70cm BH工法 |
| | 路下中間杭 | 1,750m | φ65cm MACH工法 |
| | 路下中間杭 | 1,520m | φ70cm BH工法 |
| | 路下中間杭 | 850m | φ70cm MACH工法 |
| | 本体掘削 | 63,400m ³ | |
| | 躯体鉄筋コンクリート | 24,800m ³ | |

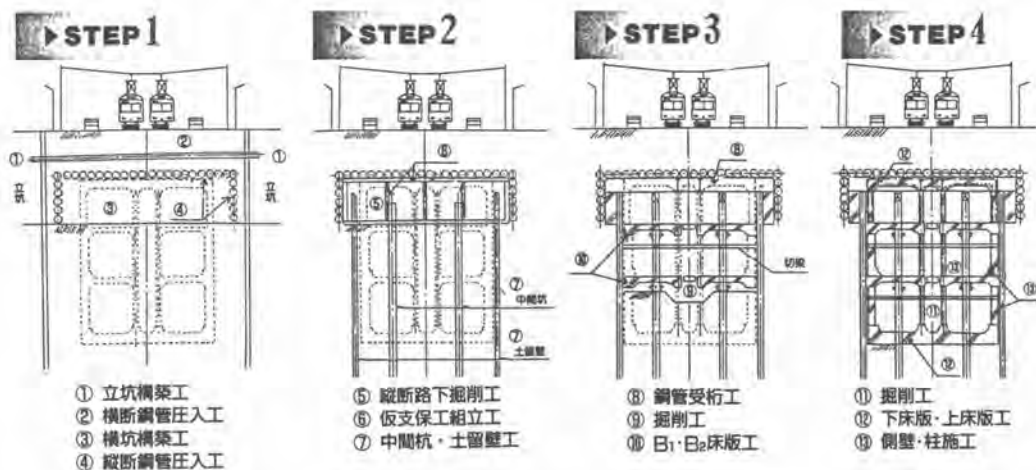


図-1 駅部施工順序図

2. 1. 3 工事概要

工事は、図-1に示すような順序で行われるが、今回の削孔に関わる部分は、ステップ2に於ける中間杭・土留壁工である。

全長約300mに及ぶ駅部工事の内、MACH工法、BH工法による、土留め及び支持杭の施工数量は、表-2の通りである。

表-2 杭の施工数量

| | MACH工法 | | | BH工法 | | |
|-------|--------|--------|-----|------|--------|-----|
| | 削孔径 | 延長 | 本数 | 削孔径 | 延長 | 本数 |
| 路下土留杭 | φ660 | 5,690m | 348 | φ712 | 3,340m | 181 |
| 路下中間杭 | φ660 | 1,750m | 104 | φ712 | 1,520m | 76 |
| | φ712 | 850m | 44 | | | |

2. 2 開発目標

従来は、低空頭掘削機としてBH工法、TBHリバース工法など、泥水循環方式の小型掘削機を使用していたが、作業性に関しては必ずしも能率的ではなかった。また、狭隘な場所での岩盤掘削に対し、掘削能率を左右するビットはウイングビットやローラタイプビットであり、トルクや荷重の問題から、能率的な掘削をしていたとはいえず、工期の遅れが目立っていた。

このような背景の中、工期短縮を図るべく、掘削装置システムの開発が要望され、当工事においては、施工機械に関して、以下のような条件が求められた。

- ① 岩盤を能率的に削孔でき、削孔時間を短縮できること。
- ② 機械装置がコンパクトで機動性及び作業性が良く、安全に作業できること。
- ③ 掘削に関わる煩雑な作業を単純化し、作業性の向上を図った掘削システムであること。
- ④ 掘削、建込の作業を分業化でき、お互いの作業に影響を及ぼさないこと。
- ⑤ 狭隘な空間での資材の移動を、容易に行えること。
- ⑥ 騒音、振動が小さく、粉塵を出さないこと。

これらの条件をふまえ、削孔装置の選定に当たっては、あらかじめ地上からの試験削孔を行い、その結果、トリコンビットの約5~6倍の能率で岩盤を能率的に削孔でき

表-3 システムの基本仕様

| | |
|----------|---|
| ・ 施工方法 | リバース式柱列杭 |
| ・ 掘削口径 | φ660mm、φ712mm |
| ・ 機体寸法 | 機高 3,800mm 幅 1,600mm(片幅 800mm) 全長 3,500mm |
| ・ 最大分解重量 | 3,500Kg |
| ・ 削孔装置 | MACH工法機並びに付属ツール |
| ・ 掘削機 | 最大孔径800mm 軌道式 |
| ・ ロッド台車 | 20m分搭載 軌道式 |
| ・ H鋼搬送台車 | クローラ式、H鋼押し込み装置付 |

る、水中式エアハンマードリルMACH-50B形を選定した。

また、掘削・施工システムの基本仕様は、表-3のように設定した。

3. システムの概要

3.1 システムの構成

以上の条件・構想のもとに、図-2に示すよ

うにシステム化を図り、掘削に関わる作業と、鋼材設
置に関わる作業とに分け、機械装置もそれぞれの作業専用機とした。

掘削に関わる作業は、掘削・ロッド着脱の作業からなり、削孔装置を懸架し、ポンプ、配管等を搭載した掘削機と、ロッドの搬送、つり込み、回収を行うロッド台車とで構成し、機械システムとした。

今回は柱列杭施工に適した直線施工が主体であり、掘削機とロッド台車を直列に配置し、作業の連続性を図っている。

鋼材設置システムは、鋼材の搬送、建て込み、さらに押し込みの一連の作業を、鋼材搬送・建て込み台車で行うものとした。

3.2 システムを構成する機械装置

3.2.1 削孔装置 MACH-50R形

MACH工法は泥水中で使用できるエアハンマーで、コンプレッサーから供給された圧力エアは、MACHハンマを作動し、ビットに打撃エネルギーを与えた後、ロッドの排気ラインを経て地上に戻され、

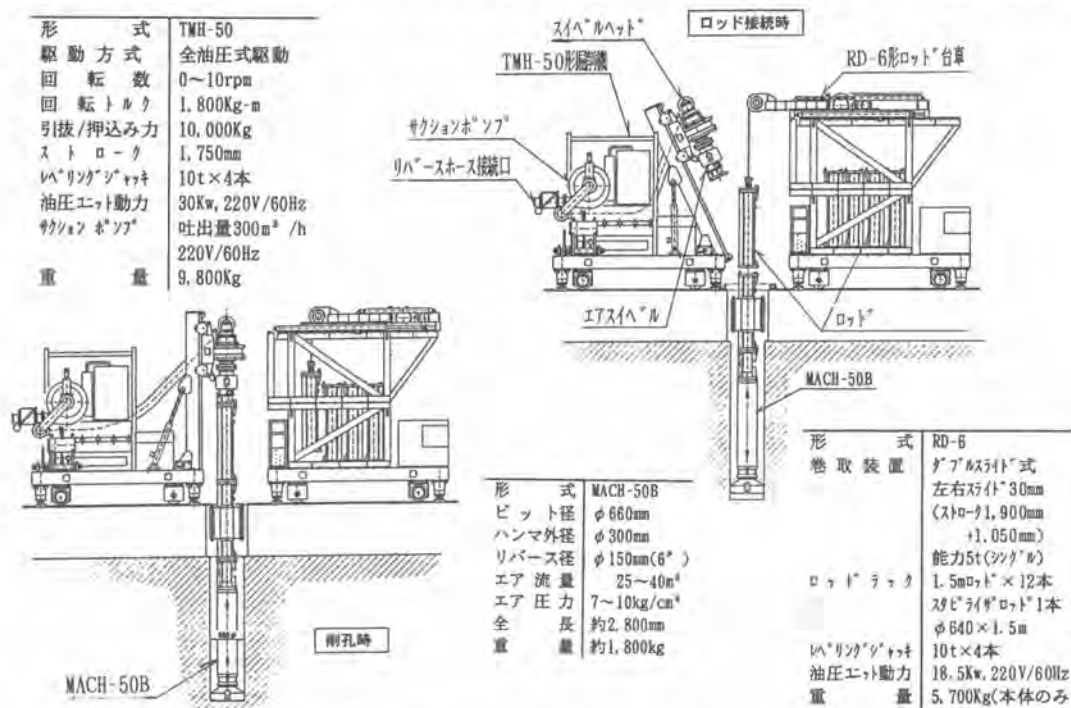
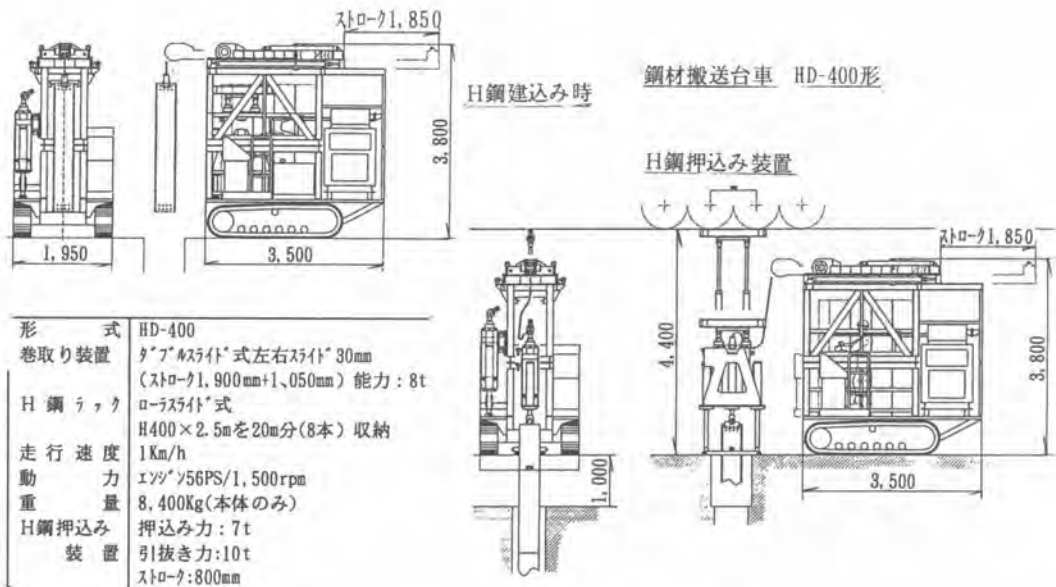


図-3 MACH工法による掘削システム



| | |
|---------|---|
| 形 式 | HD-400 |
| 巻取り装置 | タブ・ロースタイト [®] 式左右スライト [®] 30mm (ストローク1,900mm+1,050mm) 能力: 8t |
| H 鋼 ラック | ロースタイト [®] 式 H400×2.5mを20分(8本) 収納 |
| 走行速度 | 1Km/h |
| 動力 | エンジン56PS/1,500rpm |
| 重量 | 8,400kg(本体のみ) |
| H鋼押込み装置 | 押込み力: 7t 引抜き力: 10t ストローク: 800mm |

図-4 鋼材運搬・建て込み・押し込みシステム

大気解放される。また、ハンマ本体は掘削機から回転と送りを与えられ掘削を行う。掘削により発生したカッティングスはサクションポンプにより、排出される。主な特徴を、以下に示す。

- ① 水中で作動するため騒音が小さく、粉塵の発生が全くない。
- ② エア供給量の調整で地盤条件に応じた打撃力を選定でき、岩盤、砂礫、一般土質等あらゆる地層の掘削が能率よくできる。
- ③ 排土に、大径のロッドを必要としないため、ロッド並びに掘削機の重量が小さくてすむ。

3. 2. 2 掘削機 TMH-50形

MACH工法を行うための掘削装置で、ロッドジョイントを容易化、迅速化するとともに、移動時の煩雑な作業の簡素化、作業性の向上を図るため、次ぎのような新機構を採用し、以下の特徴を有する。

- ① スイベルヘッド、エアスイベルの機械高の短縮フィード機構の変更等により、有効ストローク長を延長し、ロッド長を従来の1mから1.5mとした。

その結果、ロッド接続回



写-1 ロッド台車・掘削機・鋼材運搬台車

数を減らすことができた。

- ② ロッド接続時の作業スペースを確保するため、フィード装置を柱型構にし傾斜可能にした。また傾斜計を設置し、フィード装置の鉛直精度を確保した。
- ③ ヘッドシーブをロッド台車に設置する事により、低空頭化が図れた。
- ④ 専用のエアスイベル、エア供給装置、サクシヨンポンプを搭載し、作業性、機動性を確保した。
- ⑤ 縦移動、横移動（車輪90度回転）が可能な自走装置で、かつレベリング用アウトリガーを設け、機動性と掘削時の精度を確保した。
- ⑥ 掘削ロッドの接続ボルトを、M-24×6本からM-36×3本に変更し、さらに従来の手締を、エア駆動の高トルクレンチ使用に変更することにより、ボルト接続時間の短縮を図った。

3. 2. 3 ロッド台車 RD-6形

MACH工法において、ロッドの運搬、接続、切り離しの際に使用する装置で、ロッドの継ぎ足し作業、削孔作業を迅速に行うため、集積、移動を容易にし、狭隘な場所での作業性の向上を図った。

- ① 吊り込み装置は、掘削ツール全重量を吊り下げられる。
- ② ボギータイプの車輪を装備し、直角や円運動による移動が可能である。

3. 2. 4 鋼材搬送台車 HD-400形

ロッドやH鋼等、長尺状の資機材の搬送作業や、H鋼を継ぎ足して孔内に建て込む作業を、空頭制限のある狭い場所で、掘削・芯材建込作業を分割し、効率よく行うために開発したものである。

孔底にスライムが存在していても、芯材の下端面を残存スライム中に押し込んで掘削工の孔底に確実に密着させる機能を持っている。

- ① H400×2.5mを20m分（8本）収納、移動できる。
- ② 建て込んだH鋼の全重量を、吊り下げることができる。
- ③ H鋼押し込み装置を有し、芯材を掘削孔の溝底に密着させることができる。
- ④ クローラ自走方式である。

4. 施工とその結果

4. 1 システムを用いた施工方法

4. 1. 1 掘削

- ① 削孔装置本体とロッド台車を、削孔位置に設置する。
- ② 削孔時は、削孔装置本体のスイベル装置によってハンマーに回転と打撃を与えて削孔する。
- ③ ロッド接続時は、削孔装置本体のフィード装置を傾斜させ、ロッド台車のラック内に格納されたロッドを吊り込み、連結した後、スイベル装置を削孔位置に戻し、ロッドの上部をスイベル装置に連結する。
- ④ ②、③の工程を繰り返すことにより、ロッドを複数本継ぎ足して削孔する。

4. 1. 2 H鋼の設置

- ① 運搬台車により、H鋼を搬入口から設置場所まで構内を移動する。
- ② つり込み装置のスライド機構を使用し、台車内から設置部にH鋼をせり出し、仮受けする。

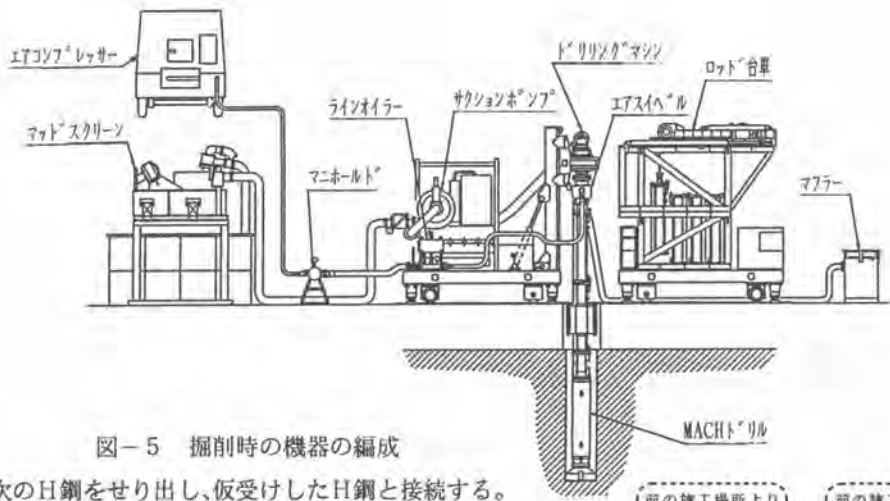


図-5 掘削時の機器の編成

- ③ 次のH鋼をせり出し、仮受けしたH鋼と接続する。
- ④ 所定の本数を接続後、押し込み装置により、H鋼先端が孔底に密着するまで押し込む。
- ⑤ 設置終了後、モルタルを打設し、H鋼を固定する。

4.2 結果

- ① 使用ロッド長を、1.0mから1.5mに伸ばすことにより、着脱回数の減少と作業の軽便化が可能になり、1孔当たりの削孔作業時間を約2時間短縮できた。
- ② ロッド接続時の作業スペースを広くとれるため、作業性が向上した。また、掘削機の垂直性は、傾斜計の採用により、オペレータがリアルタイムで測定できるため、管理が容易になった。
- ③ 掘削装置はサクションポンプを搭載型にしたため、移動時間を30分程度に短縮できた。

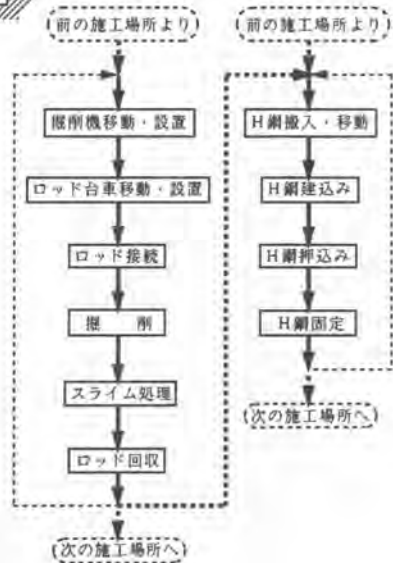


図-6 掘削工・H鋼建込みフロー図

- ④ 狭隘な場所では、相番クレーンの使用が不可能なため、ロッド接続に多大な時間を要するが、ロッド供給装置の使用によりスピードアップがはかれ、かつ安全な装置として使用できた。
- ⑤ H鋼建て込み装置を使用することにより、芯材運搬及び建て込み作業が掘削と分離してでき、能率よく作業できた。

5. おわりに

空頭に制限があり、かつ平面的にも動きに制限がある狭い地下空間での作業を、無事、初期の目的通り能率良くすませることができた。工事に関わった方々に、この場をお借りして、深く感謝致します。

今後も、条件の厳しい類似の工事はいくつも計画されると思われるが、常に安全な施工を心がけながら、合理的な施工にチャレンジしていく所存である。