

39. 岩盤トレンチャによる溝掘削工法

(株)熊谷組：*北原 成郎, 垣内 幸雄
益田 光雄

1. はじめに

従来、道路トンネル工事等における中央排水管敷設のための掘削作業は、発破工法やブレーカを併用したバックホウによる機械掘削工法で行われていた。その中で一般に硬岩質の地山では、発破工法が採用されているが、発破時の騒音・振動や坑内作業への影響、覆工コンクリートを傷める危険性などの問題点があった。また、ブレーカによる破碎掘削では、著しく施工能率が低下し、激しい振動の中での長時間の作業など運転者への負担も大きい。このため発破工法やブレーカ工法にかわる新しい掘削工法が強く求められてきた。一方これまでトレンチャは、海外で土砂や軟岩での溝掘削向けに発展しており、連続掘削による工期短縮や作業員負担の軽減、余掘りの低減などの優れた特徴を持っているが、山岳トンネルのように地中深部の硬い岩盤へ対応については検証されていなかった。

そこで、国内で初めて山岳トンネル中央排水工施工に本格的に採用するため、大型トレンチャに、ブーム位置の変更やクローラ幅の拡大などの硬岩掘削に対応した改良を施し、硬岩が出現する現場へ導入した。その結果、導入後約1年で8000m以上の中央排水工を掘削したのでここに報告する。(写真-1 岩盤トレンチャ)



写真-1 岩盤トレンチャ

2. 導入のねらい

当初、トレンチャについては、大断面トンネルでの急速施工に対応するため、下半切削専用機械としての可能性を検証することをねらいとして、山岳トンネル工事への導入を検討していたが、さらに以下の項目について検証するため、中央排水工の施工への導入を決定した。

①硬岩掘削への対応

ブレーカでは掘削が難しい 100 N/mm^2 以上の硬岩への対応がどの程度可能であるか確認する。

②連続掘削方式の検証（工期短縮のメリット）

バックホウなどの代表的施工機械の動作は、掘削・移動・積込みと各動作が分断さる。掘削効率を上げるには、連続性のある掘削機械が理想であり、その合理性の確認を図る。

（図-1 従来工法との比較）

中央排水工は、工事車両の通行遮断のため、トンネル工事の最終工程となる場合が多く、工期を短縮できるメリットは大きい。そのため、硬岩への対応能力を調査しながら、最も効果的な中央排水工への導入を行った。



図-1 従来工法との比較

3. 機械仕様

トレンチャは、カッタービットを規則的に配列したチェーンカッタを回転させるカッターブームを車体後部に取り付け、カッタの回転で岩盤を掘削する。これはアップカット方式と呼ばれ、クローラとチェーンカッターを逆方向に回転させて掘削する方式で、トレンチャの掘削の反力と車体重量をうまくバランスさせ、クローラの牽引力を十分に掘削に利用した合理的な掘削機構である。

車体の移動はクローラで行い、ブームの負荷に応じて移動速度を変化させる。チェーンカッタを高速で回転させることで地山を必要以上にいためることなく幅広い地質の岩盤に対応して掘削することがで

きる。さらに掘削したズリはそのままベルトコンベアへと運ばれ、ダンプトラックへ積み込まれるか、または車体の側部へ排出する。

(図-2 施工概要図、表-1 機械仕様)

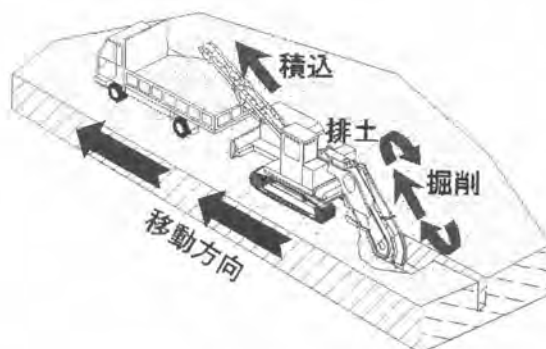


図-2 施工概要図

表-1 岩盤トレンチャ 機械仕様

項目	仕様
型式	マステンブルク社 3025
総重量	42,000 kg
エンジン出力	246 kw
外形寸法 (H×W×L)	3.0m×2.95(4.32)m×16.6m
掘削幅	0.65m (0.95) m
掘削深さ	地表面から 1.3m (1.8m, 2.8m)
チェーンカット周速度	0～3.5 m/sec

4. 主な特徴

トレンチャによる施工上の主な特徴を述べる。

- ・大型チェーンカットで岩盤を連続切削することで、掘削・排土・積込作業をトレンチャ1台で行う。
- ・ビットによる機械掘削により、周囲の地山を傷めない。掘削した断面形状は整った矩形であるため、余掘りが少なく、埋め戻し材の無駄がなく、配管工事等の後工程も容易になる。

(写真-2 掘削形状)



写真-2 掘削形状

- ・硬岩から礫、土砂まで適用範囲が広く、コンクリートやアスファルト舗装の上からでも掘削可能である。
- ・レーザーレベル等により深さ、掘削方向の管理が容易にできる。
- ・掘削能率はブレーカ工法と比較すると機械の動作に無駄がなく、工期は大幅短縮が可能である。
- ・発破工法と比較して、騒音、振動が少なく、近接する他の構造物等への影響が少ない。

5. 現場施工

トレンチャの実績はいずれもトンネルの中央排水工に導入したものである。中央排水工の掘削断面例を示す(図-6参照)。トレンチャの掘削は、以下の施工手順で行う。施工は不規則の休止時間(作業状

況により間隔を変更する)を入れ連続掘削し、掘削土の排土方法は現場条件により、機械本体横へ排出するか、前方のダンプトラックへ積み込む。施工手順を以下に示す。

- ① 方向及び深さ管理のためのレーザーレベルを掘削作業前に、走路に平行に設置する。
- ② 方向管理用レーザーを元にトレンチャーを規定の位置にセットする。
- ③ 掘削は岩の硬さなどにより速度を変化させながら行い、同時に掘削土砂をトレンチャーの横に排出、またはダンプトラックへ積み込む。
- ④ 規定の区間が終了したら、出来形の検査および機械の点検を行う。

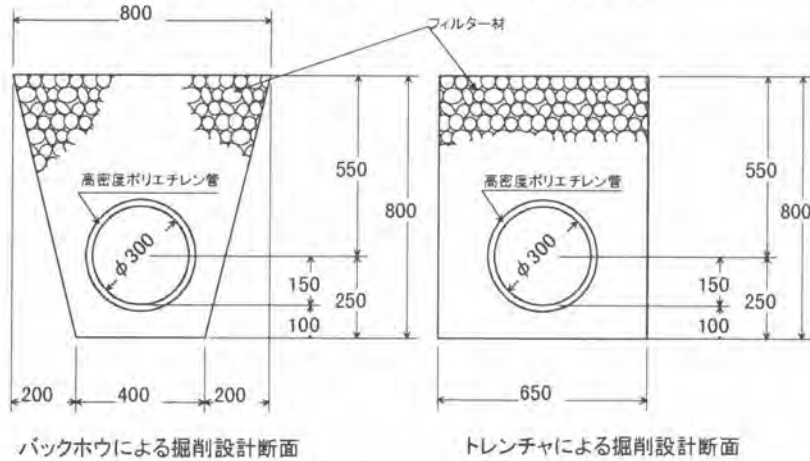


図-6 掘削断面例

実績として中硬岩質のBトンネルでの支保パターン別の掘削速度を示す。(図-8 Bトンネルでのパターン別掘削速度) このトンネルは、延長約2.3kmの中、2.2kmの中央排水工をトレンチャーで掘削した。安山岩の一部(一軸圧縮強度約150N/mm²)で極端に掘削速度が遅くなる区間(約10m)を除き、全体では平均約1.4m/hで掘削を完了した。平均値が低めに表示されるのは、ダンプトラックの入れ替え時間等の影響が現れるためと思われる。

(写真-4 トレンチャー坑内掘削状況)

粉塵対策についてはCトンネルにおいて集塵機を設置、実験しておりその効果を確認している。



写真-4 トレンチャー坑内掘削状況

次に施工トンネルの実績を示す。平成9年11月の導水路トンネルへの本格的導入以来、これまでに施工延長は約8000mとなった。(表-2 施工実績表)

表-2 施工実績表

No.	トンネル名	用途	岩種	掘削延長
1	A	導水路	凝灰角礫岩他	264m
2	B	道路	緑色頁岩 他	2899m
3	C	道路	安山岩、凝灰岩、砂岩他	3192m
4	D	道路	砂岩、泥岩	2345m

支保パターン別速度グラフ

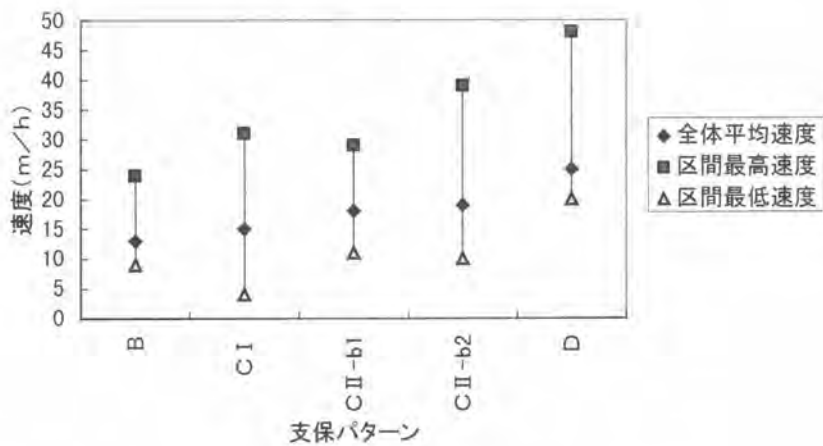


図-4 Bトンネルでのパターン別掘削速度

6. 導入効果

発破工法およびブレイカによる従来工法での施工と比較すると、掘削工程は大幅に短縮できた。また、掘削後の形状の正確さから、後工程の工期短縮にも大きな成果を得られた。

後工程については、これまでの工法と単純に比較はできないが、作業性は大幅に向上している。例えばこれまではバックホウで埋め戻し材を溝に投入していたが、Cトンネルでは、ダンプトラックを改造し溝の幅へフィルター材を均一に投入することで、1日100m以上の施工が可能になった。(写真-4 Cトンネルでの埋め戻し材投入状況)



写真-4 Cトンネルでの埋め戻し材投入状況

Aトンネルでは中央排水工の余掘り量についてはトレンチャの場合では、10～20%程度に収まっている。溝の断面は整った矩形であるため、インバートなどの埋め戻し区間で壁面が崩れる場合以外は余掘り量は大変少ない。掘削ズリを路盤材等に流用する場合には、ダンプトラックは必要なく、さらに施工の合理化になる。その場合ダンプトラックの誘導員が必要ないため、施工はトレンチャの運転者と機械の誘導員の2名で掘削が可能である。

7. 今後の課題

実績から一軸圧縮強度が70 N/mm²以下であれば、安定した掘削速度を得られるが、反面、課題もある。以下にその問題点を示す。これらは、現場でのデータを生かし、今後システムの改良により改善していきたい。

1. 岩質によって、多量の粉塵が発生する。このため、他の作業に影響が出る場合がある。
2. 地山によって、掘削速度が大きく変化するため、掘削速度の推定が難しい。
3. 硬岩掘削時には、騒音が大きくなる。(直近で100～110 dB程度まで観測)
4. ビットの消費量は、変動が大きく予測が難しい。
5. 他の工種との関連などで工期短縮にならない現場では、コストが割高になるため使いにくい。
6. ダンプトラックを利用する場合は、掘削速度が速いため機械を休止しない搬出を検討する必要がある。
7. ビットでは破碎できない程度の強度の転石がある場合、効率が著しく低下する。

8. まとめ

これまでの実施工の結果では、施工速度の大幅な向上により、中央排水工の工期短縮に大きく貢献することが判明した。また騒音などトンネル工事特有の問題や岩種にもよるがトレンチャの硬岩(135 N/mm²以下)への適用は可能であった。連続掘削による施工合理化や余掘り低減などの効果と合わせて、その掘削能力の高さからトンネル工事に限らず、岩盤トレンチャの溝掘削への適用は今後の土木工事の合理化施工技術の一端を支える可能性を持つ。これまで述べた問題点も現場での工夫により、解消するものと思われる。その適用性の広さと合理性により、硬岩掘削の一つの可能性を拡大すると思われる。

《参考文献》

- 1) ジェオフロンテ研究会：下半切削に関する報告書 1998年11月30日
- 2) Towards the prediction of rock excavation machine performance. Bulletin of engineering Geology and the Environment Volume57 Number1・June 1998:3-15
- 3) 垣内、北原：「山岳トンネルにおける岩盤トレンチャ溝掘削工法」：建設の機械化 '99.6