

山岳トンネルの補助工法として「フォアプレート工法」を開発 —安全性・施工性に優れた“鉄矢木の機械式無水打撃”による天端安定対策—

戸田建設（株）（社長：今井 雅則）と古河ロックドリル（株）（社長：三村 清仁）は、山岳トンネル工法（NATM工法）の軟弱地山における補助工法として、「フォアプレート工法（鉄矢木の機械式無水打撃工法）」を開発しました。

本工法は既存のドリルジャンボのガイドセル部（削孔機構部）に特殊な改良を加え、削孔水を使用しないでトンネル天端部に鉄矢木を打設する、機械式の鉄矢木打撃工法です（特許出願済：特願 2016-165363、図-1、図-2 参照）。

低強度で軟弱な地山区間に対して、本工法を採用することにより、地山を削孔水により劣化や軟弱化させることなく、安全かつ施工性に優れた天端崩落防止対策を実施することができます。

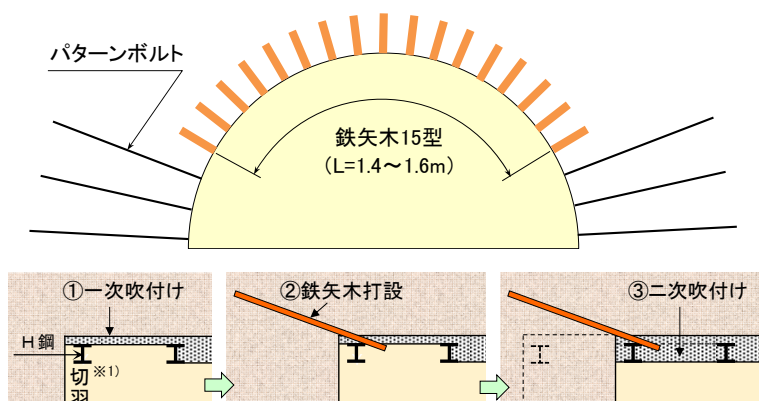


図-1 フォアプレート工法

⇒上記②鉄矢木打設のステップにおいて従来工法の
3工程から1工程に短縮（次頁表1参照）

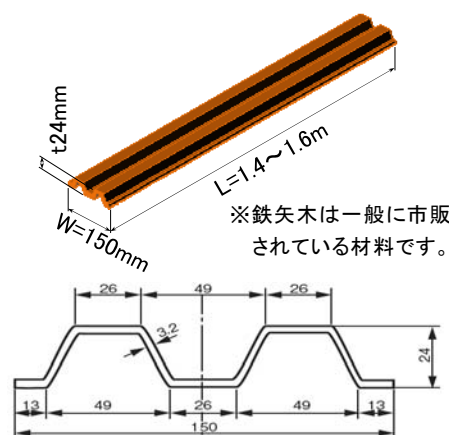


図-2 本工法に使用する鉄矢木の形状

※1)切羽：トンネル最先端部。軟弱地盤では、掘削に先立ちあらかじめ切羽上方（トンネル進行方向）に、鉄筋や鉄矢木等の補強部材を挿入し、崩落防止措置（天端安定対策）を講じた上で、トンネル掘削を進めて行くことが多い。

1. 開発の背景

軟弱地山に対する天端安定対策の補助工法としては、D25×3mの鉄筋等（ボルト）を挿入するモルタル充填式のフォアポーリング工法※2）が一般的です。

しかし、この工法は削孔水を使用するため、砂質土等の軟弱地山の場合、天端前方部の地山をさらに緩める恐れがあることや、ボアホール（削孔穴）の孔壁が崩れ、モルタルの充填不足やボルトの挿入が困難になるなどの課題がありました。

一方、鉄矢木による補助工法※3）は従来から採用され、その効果が確認されてきましたが、打設方法が人力打撃であり、切羽に近接した作業となるため、苦渋労働と共に労務災害の発生リスクが高い作業でした。

「フォアプレート工法」は、これらの地山安定性、作業環境および労働安全性の課題を一挙に解決した工法です。

※2)モルタル充填式のフォアポーリング工法：①土砂排出のための削孔水を使用し、ドリルでボルト挿入用の孔（ボアホール）を穿ち、②定着材（モルタル）充填、③ボルトの挿入、の順に図1の②「鉄矢木打設」を3工程で実施する工法。

※3)鉄矢木による補助工法：鉄矢木を地山に打ち込む1工程だけで作業を完了させる工法。

2. フォアプレート工法（鉄矢木の機械式無水打撃工法）の特徴

- ・本工法には、山岳トンネル工事の汎用機であるドリルジャンボに、特殊改良※4)を加えて構成した『鉄矢木打撃装置』を使用します（鉄矢木打撃の機械化）。
- ・同一サイクルで行われるパターンボルト※5) 施工時は、本装置を設置したままで削孔・挿入が可能です。
- ・あらかじめ削孔することなく、鉄矢木を直接、地山に挿入する工法のため、水を必要としません。
- ・機械化により、作業員は切羽前面で作業する必要がなく、安全な場所で鉄矢木をセットし、ドリルジャンボのオペレータがレバー操作により鉄矢木を打設します。
- ・強度発現までの時間を必要とするモルタル等の定着材を必要としないで1工程で設置できるため、施工サイクルが短縮されると共に、打設完了と同時に天端安定効果を発揮できます。
- ・N値の低い砂質土や強風化花崗岩（マサ）や注入の施工が困難な粘土・シルトなど、軟弱で水により劣化しやすい地山などに適しています。

※4) 特殊改良：ガイドセル部（削孔機構部）に新開発の特殊セントライザ、サブセントライザ、特殊アタッチメントを設置するだけの簡便な改良で、削孔装置を鉄矢木打撃装置に変換します（図-3 参照）。本来削孔装置であるガイドセルは、駆動部となるドリフタの回転力・打撃力・押し込み力により削孔作業を行います。上記改良により打撃力と押し込み力だけを鉄矢木に与える装置に変換します。

※5) パターンボルト：崩落防止のためトンネル壁面方向に挿入されるボルト。

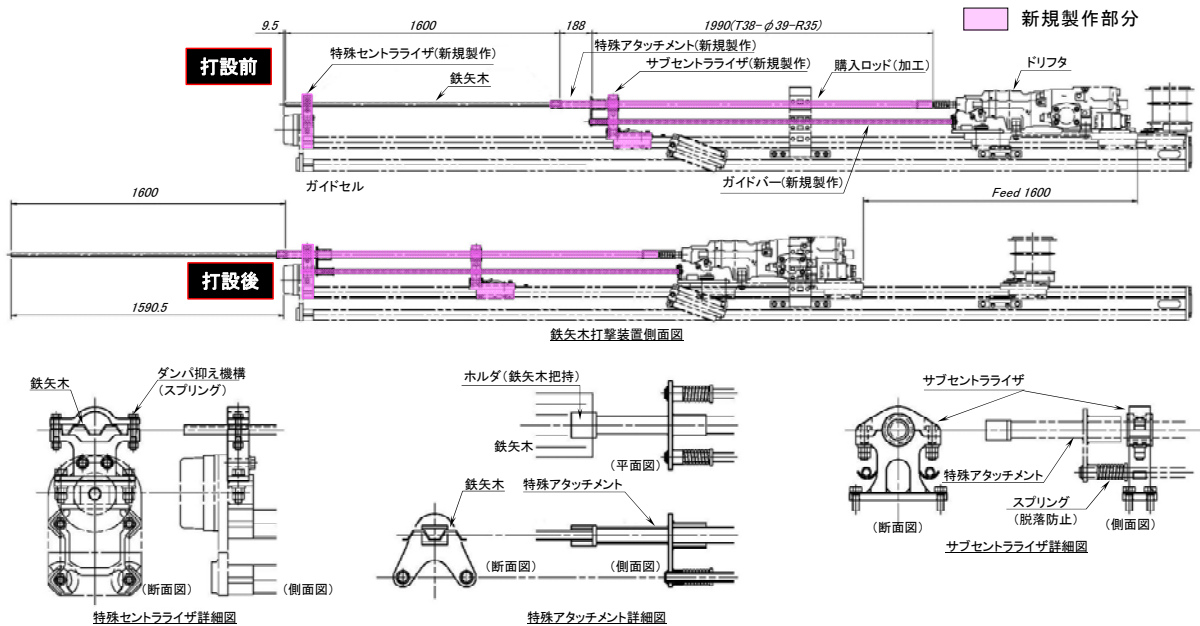


図-3 フォアプレート工法で使用するドリルジャンボの打撃装置

3. 従来工法との比較

新開発のフォアプレート工法と従来工法の充填式フォアポーリング工法との相違点を表-1 に示します。

表-1 新工法と従来工法の相違点

工法名	フォアプレート工法	充填式フォアポーリング工法
設置方法	鉄矢木打設の1工程	水削孔⇒定着材充填⇒ボルト挿入の3工程
材	規格寸法	鉄矢木(15型 L=1.4~1.6m)
	重量	4.89kg/m(6.8~7.8kg/本)
料	曲げ剛性	EI=91.4 N・mm ²
	支持面積	15cm(@60cmで25%)
適用土質	玉石を含まない軟弱地山	ほぼ全土質・岩質に対応
施工時間 ^{注)}	38分	74分
工費(材料費)	1.4千円/本	1.5千円/本

注) 標準的な2車線道路トンネル断面における、上半アーチ120° 範囲の@60cm、18本/m

配置の場合の施工時間(試算結果)

4. 模擬地山における打設実験結果

古河ロックドリル（株）吉井工場において、均一土質の模擬地山での打設実験^{※6}を行い、打設速度約6m/分（鉄矢木1本あたり15秒）を実現し、従来工法による削孔時間のみとの比較でも遜色ない結果であることを検証しました（写真-1、図-4 参照）。

※6) 打設実験：標準的な条件設定として、長さ1.6mの鉄矢木をN値30程度（一軸圧縮強度570kN/m²）の地山に、フィード（押し込み）圧5Ma、打撃圧10~15Mpaにて打設。



写真-1 模擬地山による基礎実験状況
(ガイドセル部を改良したドリルジャンボ)

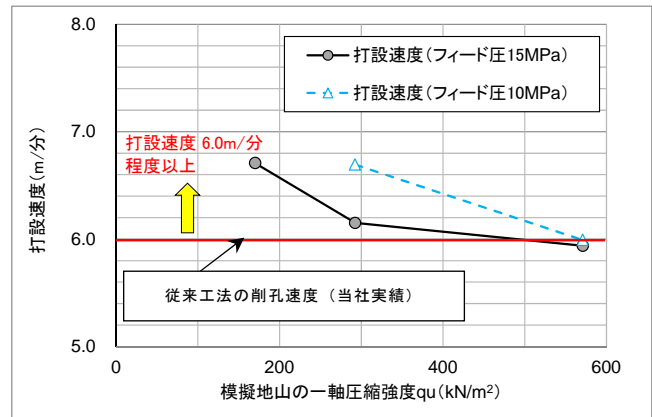


図-4 模擬地山における打設実験結果

5. 今後の展開

安全かつ施工性に優れた本工法は、トンネル工事において施工機会の多い、坑口部や小土被り部等の軟弱な地山や強風化花崗岩（マサ）等の地山条件に適しており、今後その採用を積極的に提案していきます。