

24. TWSによる泥岩トンネルの急速施工

日本道路公団： 芹川 博
山王トンネルJV工事事務所： 山本 宏司
(株)大林組：*藤井 剛

1. はじめに

北陸自動車道山王トンネルにおいて、泥岩地山の急速施工を主目的として検討・開発された多機能型全断面掘削機（トンネルワークステーション、以下TWSと称する）による機械化施工が本格的に実施された。このTWSは、支保の合理化や機械設備の集約化といったコンセプトのもとに設計され、新支保方式を含む切羽作業からインバート閉合までの一連の作業を集約した総合的な機械システムであり、将来の軟岩地山におけるトンネル施工方法を示唆する有力な工法の一つとして期待されている。現在までに掘削はほぼ完了しており、幾つかの課題はあるもののロスタイムの低減による施工の急速化や安全性の向上等について良好な結果を収めている。

本稿では、TWSの概要と施工結果について報告するとともに、最適なシステムとするための今後の課題について報告する。

2. 工事概要

工事概要を以下に示す。

工事名称：北陸自動車道 山王トンネル工事
工事場所：新潟県西頸城郡能生町大字百川
発注者：日本道路公団 北陸支社
工期：平成7年10月～平成11年3月
掘削断面積：約85m²
施工延長：2,227m
施工方法：TWS（写真-1）によるNATM
両坑口部は従来NATM
地質：主として泥岩・砂岩互層



写真-1 TWS外観（上：前部 下：後部）

3. TWSの概要

3.1 TWSの開発コンセプト

開発コンセプトは以下のとおりである。

- ①トンネルの早期断面閉合による、構造物としての早期安定性の向上（支保の合理化）
- ②機械設備の集約化による切羽人力作業の軽減（切羽の施工安全性の向上と迅速化）
- ③機械設備の集約化と併行作業によるロス時間・作業時間の短縮（施工速度の向上）

3. 2 TWSの機能

上記コンセプトに基づき、以下のような機能を盛り込んでいる。

- ①切羽作業からインパット閉合までの一連の作業が可能な機械システム
- ②作業の合理化を目指し、切羽作業の機械をガントリーに集約して配置
- ③作業時間の短縮を図るため、一次吹付けコンクリートと二次コンクリートの作業箇所を分離

なお、二次コンクリートは粉塵による坑内環境と他の機械設備への環境を考慮し、全周型枠式コンクリート（NTL）を採用した。

3. 3 TWSの構造

TWSの全体構造を図-1に示す。TWSは全長約 110m、総重量約 660tf（ずり積み機、インパット掘削機を含む）の規模で、構成は切羽側よりガントリー部（切羽作業）、全周型枠部（NTLによる二次コンクリート）、インパット部（インパット掘削・打設）および電源台車部（全体制御・監視、ずり積込み、吹付材圧送等）の4つの部分に大きく分けられ、全体をずり運搬用のコンベアフレームが貫通した構造とした。

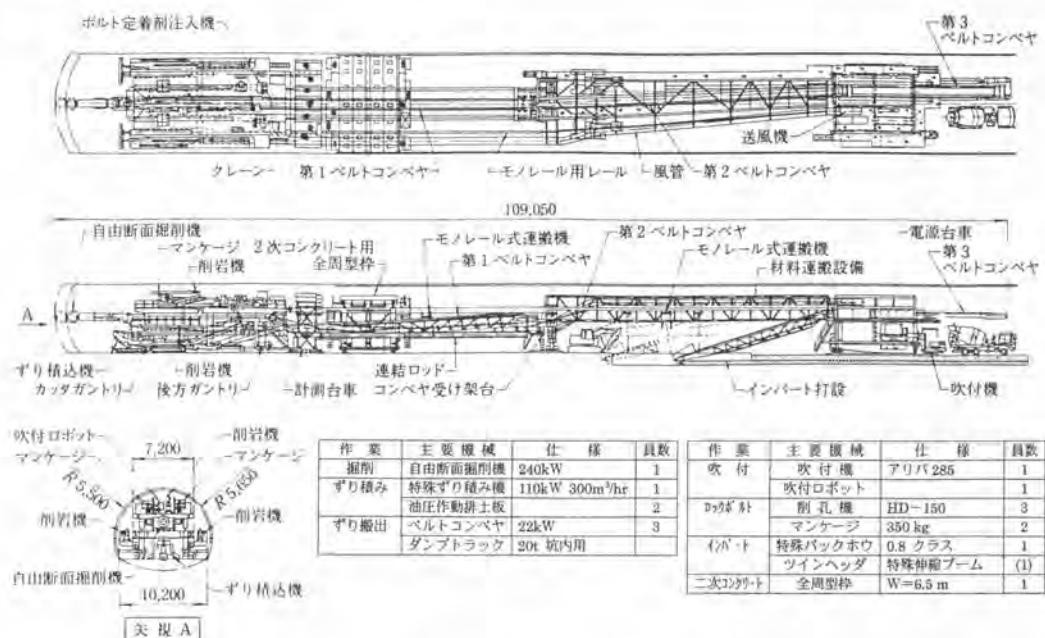


図-1 TWS全体構造

4. 新支保システム

ここで採用された新支保システムはTWSと一体として機能するものであり、鋼製支保工の省略等切羽での支保の軽減を図っている。

4. 1 断面形状

(1) 円形近似断面

以下の諸条件を考慮し、泥岩地山でのTWS工法に適合する新しい円形近似断面を採用した。

- ①泥岩トンネルの長期安定性
 - ②支保の合理化に伴う曲げモーメント発生抑制
- (2) 球面切羽形状

切羽外周部地山の応力集中の緩和と鏡面の安定を図るため、切羽形状はガントリー搭載の定置式掘削機により図-2に示すような安定性の高い球面形状とした。

4. 2 支保方式と支保材料

急速施工への対応と支保の合理化を図るため、以下の新支保方式を採用した。

- ①早期の支保効果を発現する瞬結モルタルによる薄肉の一次支保
- ②急硬性注入式ボルトによる先行斜打ちロックボルト
- ③切羽後方での二次コンクリート (NTL)
- ④変位の大きな区間での一次吹付け厚の増加 (5cm→10cm) もしくは鋼繊維吹付けコンクリート

当工事の地山区分と代表的な支保パターンを表-1に、支保構造の一例を図-3に示す。

表-1 支保パターン

項目	地山区分		摘要
	I	II	
I掘進長			
	1 m	1 m	
支保部材	一次吹付けモルタル (瞬結タイプ)	t = 5 cm	t = 10 cm (5 cm)
	二次コンクリート (NTL)	t = 10 cm	t = 10 cm
	二次吹付けコンクリート (SFR C)	—	(t = 5 cm)
	ロックボルト	— (必要に応じて)	L = 4 m × 18本/2m
切羽対策工	地山区分 I, II 共通		
	球面切羽で掘削し、切羽の状態により以下の対策工を選定する。		
	① 注入式フォアポーリング (L = 4m)		
	② 先行斜打ちロックボルト (L = 4m)		
	③ 部分鏡吹付け (一次吹付けモルタルと同じ)		
	④ 全面鏡吹付け (一次吹付けモルタルと同じ)		
⑤ 鏡止めロックボルト (L = 4m)			

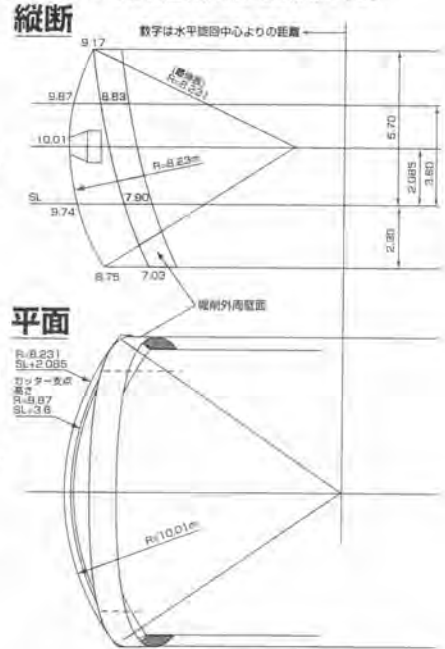


図-2 球面切羽形状

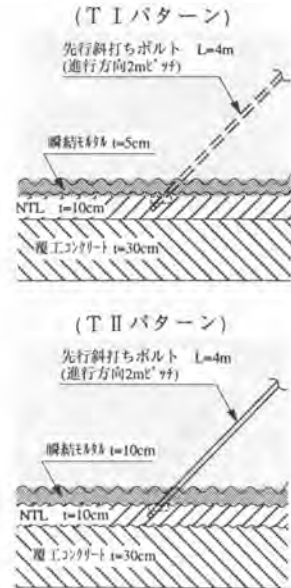


図-3 支保パターン構造例

5. 施工方法と運転管理システム

5. 1 TWSによる施工方法

支保パターンにより異なるが、基本的には以下のように切羽、NTL、インバートの3作業場所での

併行作業となる。

①掘削・ずり出しの併行作業

掘削カッター下余裕を4m程度確保し、掘削とずり出しの併行作業を図った。

②掘削と二次コンクリート施工の併行作業

ガントリー後方での二次コンクリート施工により支保を分離し、掘削と二次コンクリート施工を併行作業とした。

③掘削とインバートの併行作業

掘削断面の早期閉合を図るため、TWS内にインバート施工スペース(24m)を設け掘削と同時進行の併行作業とした。なお、掘削ずりの搬送は、NTL、インバート施工箇所を貫くベルトコンベア方式とした。

5. 2 TWS運転管理システム

大規模機械システムにおける安全確保、システムの円滑な運用そして適正な施工管理を行うため、コンピューターネットワークを用いた運転管理システムを構築した。このためTWS内に中央監視室を設け、総合的な管理を行った(図-4)。管理項目は以下のとおりである。

- ①安全管理
- ②運転管理
- ③連絡通信
- ④施工情報管理

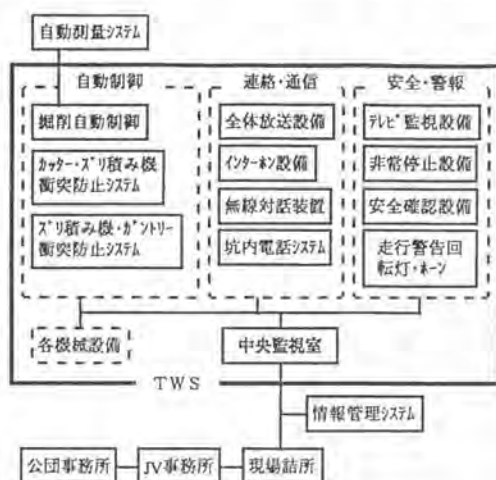


図-4 TWS運転管理システム

(1) 自動測量・掘削システム

TWS機械設備はトンネル断面を占有し、従来のレーザーや測量の見通し確保が困難なことや、球面切羽で立体的に複雑な外周形状となり、レーザー等によるマーキングが困難なことから、測量・掘削の自動システム化を図った。図-5に自動測量・掘削システムの概念を示す。

自動測量システムは、後方の自動追尾式トータルステーションとTWS本体内の姿勢検出用の計器類(ジャイロ、ピッチング・ローリング計)により、切羽におけるカッターガントリーの位置と姿勢を計測するシステムである。

また、自動掘削システムは、自動測量システムから得られる機械の位置・姿勢データと線形・断面データから油圧制御により自動掘削を行うシステムであり、正確な掘削形状の確保と作業員の労力の低減を図った。

(2) 安全設備

TWSの全体走行とベルトコンベヤの起動・停止が安全確保の上で最も懸念されたため、3台の監視カメラを設置し、中央監視室で管理することによりこれらの安全確認を行うと同時に、警報・回転灯等各種安全設備を設置した。

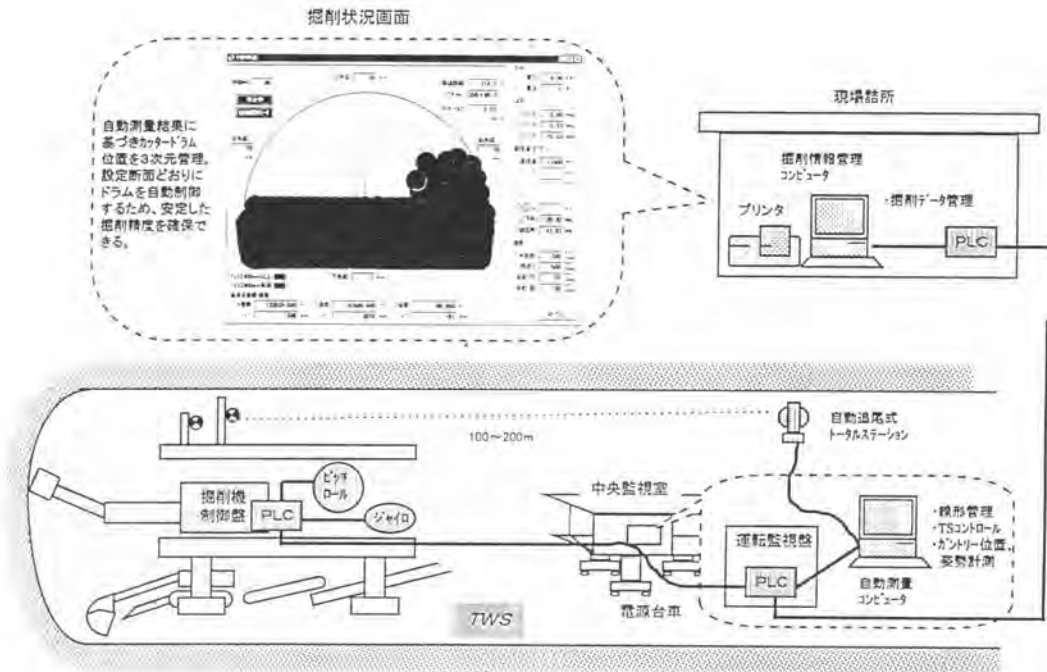


図-5 自動測量・掘削システムの概念

(3) 情報伝達・監視設備

TWSでは相互に離れた場所での連携操作を必要とすることから、中央監視室では作業状況、機械設備の運転状況、故障・異常の程度や場所等の情報を速やかに検知できるようにし、また検知した情報を速やかに伝達できるように連絡・通信設備を設置した。

6. 施工結果および評価

平成8年11月の掘削開始以来、約18ヶ月で計画通りほぼ掘削は完了した。施工は、切羽観察、変位計測および支保クラックなどの変状観察等に基づいて行い、地山の変状が大きくなった区間では、吹付けコンクリートの厚さの増加や鋼繊維

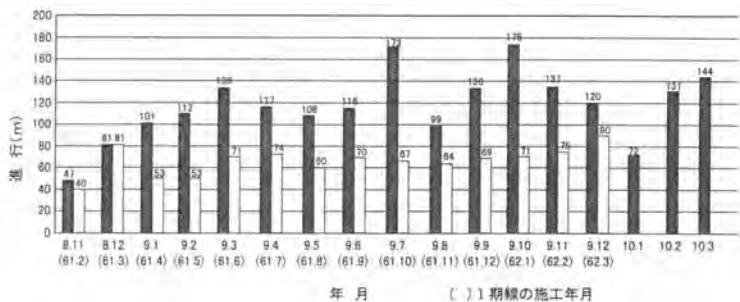


図-6 I期線との月進行比較

吹付け、ロックボルトの増打ち等の補助工法を盛り込んだ支保パターンを設定し、随時実施した。

図-6に従来NATMで施工したⅠ期線工事の上半切羽進行とTWSにより施工したⅡ期線工事の月進行の比較を示す。Ⅰ期線工事に対し、Ⅱ期線工事では掘削、ずり積込みの併行作業化や吹付け、ロックボルト作業の機械入れ替え時間削減により切羽での作業ロスが減少し、結果として従来NATMに比べ約2倍程度の急速施工が実現できた。

さらに、自動測量・掘削システムの採用により従来に比べ大幅な切羽作業時間の短縮や省力化が可能となり、また遠隔操作や円形近似断面・球面切羽形状の採用により明らかに切羽災害の要因が減少したものと考えられ、当初の開発コンセプトに対してほぼ満足できる成果があげられたものと考えている。

7. 今後の課題

TWSによる施工をさらに最適なシステムとするための課題を以下に述べる。

①早期の適切な支保の判断

今回採用された新支保システムは、鋼製支保工を省略して切羽での支保軽減を図り、地山に応じて斜め打ちボルト等の補助工法を行ったものであるが、地山の変化が激しいところではその変化をより早期に捉え、迅速に対処できる支保システムの構築や適用範囲の広いシステムとする必要があると思われる。

②TWS機械構造の柔軟性

施工設備が切羽に集約されているため、ガントリー通過区間の支保補強が困難であることや故障・修理時のガントリー下部での機械の入れ替えが困難であること等から、TWS後退機能の追加やガントリー下部の汎用機械通過スペースの確保等、今後はより柔軟なシステムにする必要があると思われる。

③二次コンクリート（NTL）の今後の利用方法の検討

NTLは全周型枠による石灰石微粉末を添加した高流動コンクリートであり、その材料特性の観点から今回の二次支保としての利用以外に一次支保や永久支保、防水工といった利用方法も考えられる。それぞれ利用にあたっては、1打設長・巻厚・強度・透水性等の十分な検討が必要であるが、検討価値は大きいと思われる。

8. おわりに

今回の実績から、新支保システムとTWSによる施工システムは軟岩地山におけるトンネルの急速施工に有効となる可能性があることが実証された。この実績をもとに今後課題を克服すべくより合理的なシステムの構築について検討を進めていきたい。

最後に本システムの開発・現場への導入にあたり、御指導・御協力いただいた関係各位に対し、感謝の意を表します。