

17. 鉄道営業線における軌道走行式 トンネル補強システム

東急建設㈱：*寺山 拓也、豊田 旬、

梅津 薫

1. はじめに

近年社会的要請により、既設構造物に近接して施工する技術や、既設構造物を解体することなく維持・補修するリニューアル技術の研究開発が進められている。

このことは、例えば用地・施工条件に関して制限の多い鉄道工事においてはより顕著であり、営業線に支障することなく施工する技術が開発されている。

また、建設業における熟練作業員においては高年齢化と共に就業人口の減少も顕著であることから、労働集約型の在来施工方法に代って、機械化施工方法の開発が求められている。

この様な社会情勢の中、従来から機械化施工が困難であった鉄道単線トンネルの補強工事においてき電停止時間内に軌道上を走行しながらトンネルを補強する機械システムを開発した。

本システムは各種補強方法に合わせた最適な車両編成ができ、鋼支保工建込工、コンクリート吹付工、ロックボルト打設工等の補強工種の施工が可能である。また作業時間が線路閉鎖後の作業となるため、夜間の短時間内の施工が可能となるように省力化を図った。本システムをトンネル補強工事に導入することにより、従来の施工方法と比べて施工の効率化、安全性及び、品質の向上を実現した。

本論文では、トンネル補強機械システムの概要、従来の施工方法との比較、施工実績について報告する。

2. 開発の経緯

今回のトンネル補強工事では、鉄道営業線のトンネルという事から施工条件は非常に厳しく制限されていた。主な施工条件として以下の4項目が挙げられた。

- ① 作業時間は、線路閉鎖作業・き電停止作業となる為、深夜間の3時間35分の短時間である
- ② 小断面トンネル(1号トンネル)の本線上での作業の為、大型機械の搬入が不可能である
- ③ 地形的要因により、トンネル坑口付近への進入路と施工バックヤードの確保が困難である
- ④ 緊急な補強工事である為、効率良く確実に施工する必要がある

これらの条件下で補強工事を施工するには、従来の施工方法では効率的な作業、安全作業、品質の確保に関して満足な結果が得られないと判断し、新しい機械化施工システムを開発することになった。

特に、作業可能な時間が夜間き電停止時間内の3時間35分と非常に短い時間での作業となることから、鋼アーチ支保工の建込・ロックボルトの打設・繊維補強吹付コンクリートの施工に関しては、更なる施工の効率化が必須条件であったので、各補強の工法に対応した適切な施工機械システムに重点を置いた開発をすることとした。

3. 補強工法の概略

本工事では、トンネル構造物にじん性(粘り)を持たせることを目的に、変状程度に対応した鋼製支保+吹付コンクリートを主体とする基本補強パターンを設定し施工することとした。

トンネル補強工事の主な基本補強パターンを図-1に示す。

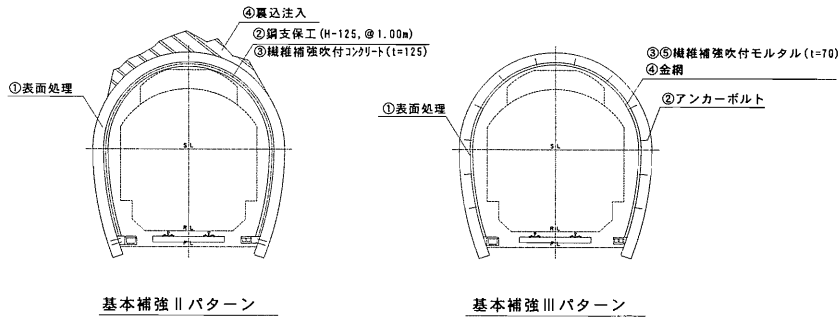


図-1 基本補強パターン図

4. システムの概要

トンネル補強システムは以下の項目を開発の基本コンセプトとした上で詳細な検討を実施した。

- ① 短時間内での作業性を考慮し、省力化を重点に付加価値の高い装置を装備する
- ② 工事用進入路の確保が困難であり、鉄道営業本線を利用した軌道走行による施工機械編成にて施工することとし、施工機械を台車に積載する(工事用モーターカーによる牽引式施工機械編成)
- ③ 夜間での軌道内作業・単線トンネル内・軌道モーターカーによる施工機械編成であり、狭隘部からの高所作業等に対して安全性を重点に置いた機械とする
- ④ トンネル施工機械の内、後工程に影響を及ぼす作業とならない様に、施工機械を製作・改造する検討の結果、既存のトンネル施工機械システムの中から、各工種に適合した単品機械の組合せにより新しい機械施工システムを構築することとした。

表-1に主な補強工種に対応した開発・導入機械の一覧表を示す。

表-1 開発・導入機械一覧表

工 種	開発・導入機械
鋼支保工建込工	支保工エレクタ (2ブーム1バスケット)
繊維補強吹付コンクリート工	吹付マニピュレータ (1ブーム1バスケット)
	コンクリートモービル(吹付機搭載) 骨材供給台車
ロックボルト工	ドリルジャンボ (1ブーム1バスケット)

各開発・導入機械の共通の仕様としては、以下の特徴を有している。

- ① 作業範囲全域で、作業可能な高所作業用バスケットを装備し迅速かつ安全な作業が可能であること (支保工エレクタ ・ 吹付マニピュレータ ・ ドリルジャンボ)
- ② 鉄道営業本線上を走行する為、走行時車輛限界に全ての装置が格納でき、かつ作業時には所定の位置に移動可能な装置と非常時の脱線復旧ジャッキを装備していること

各開発・導入機械の特徴を表-2に示す。

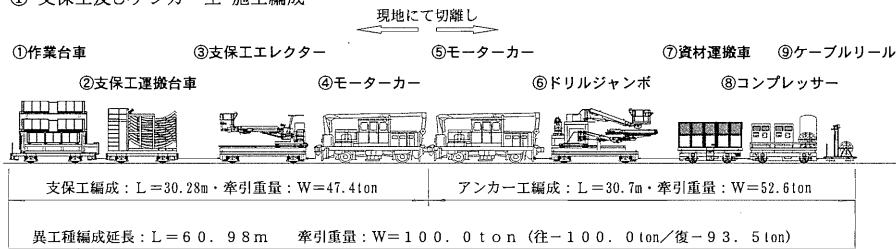
表-2 開発・導入機械の特徴一覧表

① 支保工エレクタ	・鋼支保工を所定の位置及び形状に建込む装置であり、左右2基の油圧式アームを備へ伸縮・起伏の作動とアーム先端の把持部の旋回により、容易に鋼支保工の建込を遠隔操作で行い省力化を図っている ・鋼支保工運搬台車からの荷取り～建込位置への移動～建込作業迄一連の動作で可能
② 吹付マニピュレータ	・吹付コンクリートの吹付作業をノズルマンに代わって施工を行う装置であり、ノズルマンの安全衛生の改善に有効であること、吹付作業範囲全域で大量の吹付を行うことで施工性の向上を図っている
③ ドリルジャンボ	・ロックボルトの穿孔用に高速穿孔能力に優れた油圧式ドリフタを移動式台車に搭載し、その作動と移動を遠隔操作で行い省力化を図っていること、長尺ロックボルト打設時の継ぎノミ作業用に油圧把持装置を装備して、安全性と施工性の向上も図っている
④ コンクリートモービル	・コンクリートを連続的に製造可能な設備で、骨材・水・セメント等の貯蔵ホッパーを内蔵していること、繊維補強用材料の供給・練り混ぜ装置を搭載していることに加え、コンクリート吹付速度に合わせて製造量の調整が可能であり施工性の向上を図っている
⑤ 骨材供給台車	・連続的に骨材をコンクリートモービルに自動供給する為、砂ホッパー2基(12㎡+8㎡)・砕石ホッパー1基(12㎡)・骨材供給用ベルトコンベア2基をそれぞれ台車に搭載した車輛編成とした(最大製造量:コンクリート26㎡ モルタル20㎡) ・コンクリートの製造能力に合わせて骨材供給量を自動調整可能な装置としたことにより、省力化と施工性の向上を図っている

5. 機械編成

機械編成に関しては、工事用モーターカーの牽引重量・各機械の配置・重量バランス・編成延長に種々の規制・規則があり、その中で各補強工種の施工組合せを検討し最も施工効率の高い機械編成とした。また、補強工種の変更に伴う機械編成の入替に関して、編成替えによる作業損失日数の縮減を考えた。主な補強工種施工時の機械編成を図-2に示す。

① 支保工及びアンカー工 施工編成



② 吹付コンクリート工及びモルタル工 施工編成

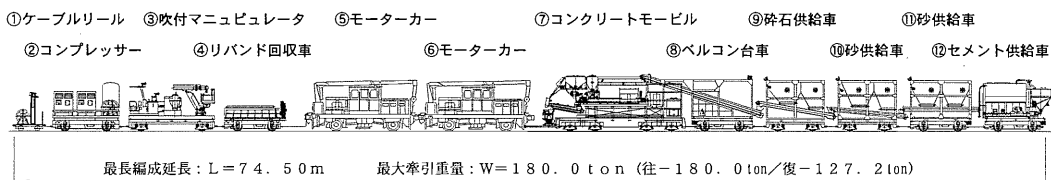


図-2 トンネル補強システム機械編成図

6. 在来工法との比較と施工実績

在来工法との比較検討表を表-3に示す。

表-3 在来施工法との比較表

比較項目	単位	ドリルジャンボ	判断	削孔機	判断	備考
日常の施工数量	本/日	10.0	◎	4.0	×	削孔機は3台、作業時間10h
地山変化に伴う対応		可能	◎	ほぼ不可能	×	圧縮強度の高い岩の場合
長大トンネル(6.0km)施工		可能	◎	不可能	×	
作業人員	人/日	2.0	◎	4.0	△	人力は削孔機2台
作業の連続性		連続削孔が可能	◎	途中休憩が必要	△	
高所作業は否		有り	△	有り	△	
墜落の危険性		遠隔操作の為、安全	◎	身を乗り出す、不安全	×	
作業の難易度		比較的簡単	◎	熟練を要する	△	
施工精度		良好	◎	作業員の技量による	△	
削孔設備の整備性		良好	◎	良好	◎	
短時間の作業員への影響		遠隔操作の為、人員より良い	◎	削孔機に近い為、あまり良くない	△	
削孔時の振動の影響		遠隔操作の為、振動は無い	◎	負担が作業員に直接伝わる	×	
総合判定			◎		×	



写真-1 ロックボルト打設状況(1)

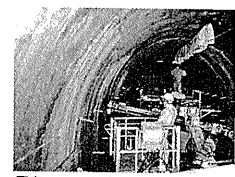


写真-2 ロックボルト打設状況(2)

比較項目	単位	吹付マニピュレータ	判断	人力施工	判断	備考
日常の吹付能力	m ³ /日	18.0	◎	10.0	△	吹付け時間3h
作業人員	人/日	2	◎	3	○	人力は2名+手荒2人
高所作業は否		マニピュレータ有り	◎	有り	○	
墜落の危険性		無し	◎	多い	×	
作業の難易度		比較的容易	◎	熟練を要する	△	
施工精度		良好	◎	作業員の技量による	△	
吹付け設備の整備性		マニピュレータ有る	◎	比較的簡易	△	
短時間の作業員への影響		遠隔操作の為、人員より良い	◎	吹付け設備での作業で劣悪	×	
トンネルの作業員への影響		遠隔操作の為、安全	◎	作業員に直接伝わる	×	
総合判定			◎		×	

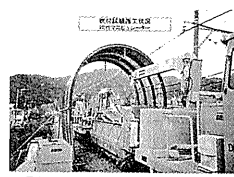


写真-3 吹付試験施工状況

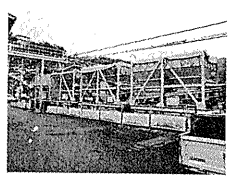


写真-4 骨材供給台車

比較項目	単位	支保工レクタ	判断	クレーン機工	判断	備考
日常の施工数量	本/日	8.0	◎	2.0	×	作業時間10h
作業効率		支保工を積み重ねて建設して行く	◎	支保工の取付と撤去が必要	×	※マニピュレータは必要
高所作業は否		マニピュレータ有る	◎	高所作業台車が必要	×	
墜落・落下の危険性		遠隔操作の為、安全	◎	高所で重機を扱う、不安全	×	
作業の難易度		比較的容易	◎	熟練を要する	△	
施工精度		良	◎	作業員の技量による	△	
支保工建て込み設備の整備性		油圧式等がある	◎	比較的容易	◎	
総合判定			◎		×	



写真-5 エレクタ台車

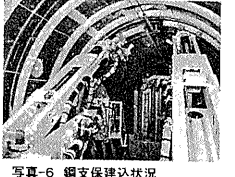


写真-6 鋼支保建込状況

骨材供給設備の検討

今回の補強工事では、吹付コンクリートの作業量の確保が重要な課題である。吹付コンクリート施工にあたっては、一日当たり約23mのコンクリート管を現場で連続的に製造する事が条件である。現場で連続的に供給するため、コンクリートプラント(コンクリートメーカーCM250)を管内に持ち込む事とする。更に、一日の製造量23mを確保するためには、骨材の連続的な供給も必要である。コンクリートプラント(CM250)自体のホッパー容量での製造量は約3.8mしか無く、残りの約20m分の材料を管内に持ち込み連続的にコンクリートプラント(CM250)に供給可能な設備が必要である。また、今回コンクリート管内にモルタルの製造も要求されているので、各設備に対しての取付必要高・接続高さ・必要容量を考慮した骨材供給設備を選定した。

名称	仕様	数量	備考
砂供給ホッパー	12m ³	1基	
砂供給ホッパー	8m ³	1基	
砕石供給ホッパー	12m ³	1基	
骨材供給エレクタ	15m/分	1基	



写真-7 鋼支保建込完了



写真-8 鋼支保建込完了・吹付完了

施工実績としては、ほぼ目標どおりの施工実績を達成できた。しかし実施工においては計画時点では予想出来なかった問題点が発生し、個々に対策を講じることで対応した。またこれらの対策を機械システムと協調、させることにより更なる効率化への可能性があることを確信した。

6. おわりに

軌道走行式トンネル補強システムの開発、実用化によって鉄道単線トンネル補強工事における労働集約型の在来施工法に代わって、施工の効率化・省力化・安全性と品質の向上に寄与することができた。しかしながら鉄道単線トンネル補強工事においては、一層厳しい条件下での施工ニーズが高まっていることを考慮すると、施工実績を重ねながらシステムの高度化を図ることが急務であると考え。今後社会資本整備に占める維持・修繕投資の比率が高まる中、新しい建設機械技術の導入も含め施工効率の最大化を実現するには、建設産業の技術に拘らずに他業種からの技術導入を含めて検討することも必要不可欠であると考え。

最後に本システムの開発・実用化にあたり、ご指導、ご協力いただいた関係各位に対し、深く感謝いたします。