

電化に伴うトンネルの活線改築工事 The Renovation Work of Railway Tunnel in Operation for Electrification

*

**

安居 和博 ・ 田村 寿夫

Kazuhiro YASUI, Hisao TAMURA

Renovation Work was performed in Koujinyama Tunnel, which was a single-track railway tunnel with old brick lining. The work was to install the new lining instead of the brick lining after increasing the height of the cross section by 80 cm was performed during 270 minutes of the train service interval at night.

The ground around the tunnel was loose terrace deposit with high water content. Furthermore the new lining had to be the final support. The authors used an improved load header for smooth excavation and introduced "A NEW Support System", which consisted of steel rib with high-performance precast concrete plate and thixotropic special light weight mortar as backfill material.

Keywords : the Renovation of a tunnel in operation/loose soft high water content/high-performance precast concrete lagging/special light weight mortar/thixotropic

1. はじめに

本工事は、JR山陰線京都～福知山間の高速化工事に伴い、単線鉄道トンネルを電化対応断面に上半部を約80cm程度拡大することを目的とした工事である。明治40年頃に築造され経年約90年の煉瓦覆工で、目地の風化が相当進んでいる。また坑口部は、変状によると見受けられるクラックが多数発生している。

当該線区は現在営業線であり、改築工事は夜間の列車間隔約270分を利用して施工する活線改築工事である。既設の同種改築工法は、トンネル全線に亘り防護設備を取付けた後、頂設導坑等の切掘げを行い、その後二次覆工を設ける方式が一般的で、改築作業はトンネル外側より

* 正会員 西日本旅客鉄道㈱大阪工事事務所 綾部工事所副所長

** 正会員 大成建設㈱ JR西日本荒神山トンネル作業所所長

狭隘な場所での人力作業が主体であった。

しかし、本工事では工程面や経済性、施工性及び断面形状から改築切羽のみの防護とし且つ二次覆工を採用せず、検討の結果一次支保を最終支保とした。

当荒神山トンネルの地質は未固結な軟弱地山のため、掘削中の地山の崩壊防止や地山と一次支保（吹付コンクリート）の剝落防止が、列車の安全運行確保の見地から最も重要な課題であった。

そこで、列車の安全運行を確保しながらトンネル内側より機械化作業を主体とし、且つトンネルの長期的な安定とメンテナンスフリーを目指して、高強度コンクリート版と特殊軽量モルタルを使用した「新しい覆工方式」を開発し、数回の試験施工を経て安全性を確認のうえ、本工事に採用した。

2. 工事概要

J R 山陰線は、京都から幡生に至る673.8 kmの陰陽連絡の使命を有する重要な幹線であるが平成2年3月京都～園部間(34.1 km)が電化されたものの、いまだ非電化単線区間を多く有するインフラ整備の遅れている線区である。

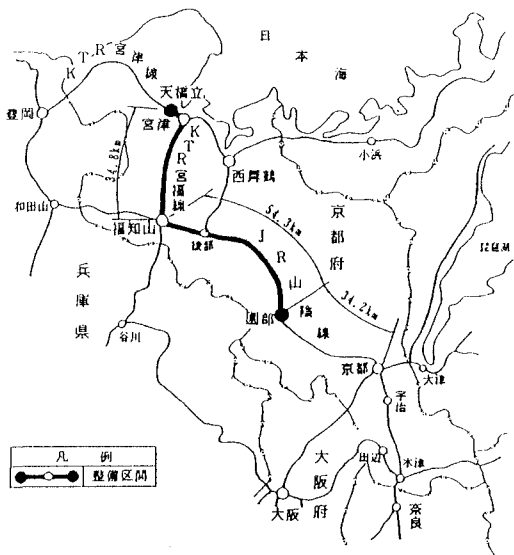
当該改築工事は、このうちの園部～福知山間(54.3km)の電化に伴い、必要空頭確保のため狭小トンネル(9本、総延長1,620 m)を活線改築するものである。当稿では、これら9本のトンネルのうち、荒神山トンネル($l=286$ m)の改築工事の施工について述べる。

3. 地質・地形

地質は、新世代第四紀更新世中後期の高位段丘堆積物である。

坑内地質調査ボーリングによると、総じて未固結地山であり、砂・粘土・亜円礫等の互層で構成されており、湧水（乾期で約60ℓ/minの恒常水）はほぼトンネル全体にわたり分布している。また、煉瓦覆工背面に約30～50cm程度の空隙に近い非常にルーズな埋戻し土砂が確認された。

両坑口部の地形は自然崩壊状態でありトンネル上部はなだらかで、水田や乳牛場に利用されており、土被りは約3 D程度と薄く、表面水の影響を直接受けやすい等から自立性は極めて悪いと想定された。



位置図

4. 改築工事の問題点

当工区の改築工事の施工条件は、①実作業時間が約150分程度と極めて短い。②1サイクルが完結しないと線路が開放できない。③作業空間等から二次覆工を省略して、一次支保を永久支保とする。④土被りが薄く、表面水の影響を直接受けやすい地形である。⑤地山は、シルト・亜円礫などの互層で構成されており、未固結な軟弱地山である。などが挙げられる。

以上のような荒神山トンネルの改築条件や地山特性から、掘削機械の問題点として①地山に反力を必要とする掘削機械は、切羽前方の既設煉瓦覆工の剥落や地山の崩壊を招く恐れがある

また、一次支保に対する問題点として②湧水部や土砂・粘土区間では、地山と吹付コンクリートの付着力が期待できず、剥落の恐れがある。③土砂地山であることから、ある程度の緩み領域荷重を考慮した覆工を必要とする。④作業中のトラブルが、極力発生しない工法や機械を選定する必要がある、⑤断面形状（建築限界）から、防護設備の大きさに制約を受けるなどである。

5. 工法の選定と覆工材料特性

以上から、まず掘削機械の具備すべき条件として、①地山や改築切羽前方の既設煉瓦に振動を与えず掘削が可能なこと。②地山の応力集中や崩壊を防ぐため、周壁の円滑な掘削が可能なこと。③地山は土砂地山で軟質であるが、煉瓦の強度が $q_u = 300 \text{ kg/cm}^2$ 程度と想定されるため $q_u = 300 \text{ kg/cm}^2$ 以上の掘削能力を有していること。④作業範囲のうち、掘削高さが最大5.2m以上確保出来ること。⑤作業性が良くトラブルが少ないことや、緊急時の安全対策装置が装備されていること。

これらから、①・②にたいして自由断面掘削機（ロードヘッダー）を採用し、③・④・⑤にたいして、S200タイプを選定した。また、同機械の走行性を改良するためレールマウントタイプに改良するとともに、アイトリガーとサイドグripperを新設し掘削能力の増大と、本線レールの保護を図った。

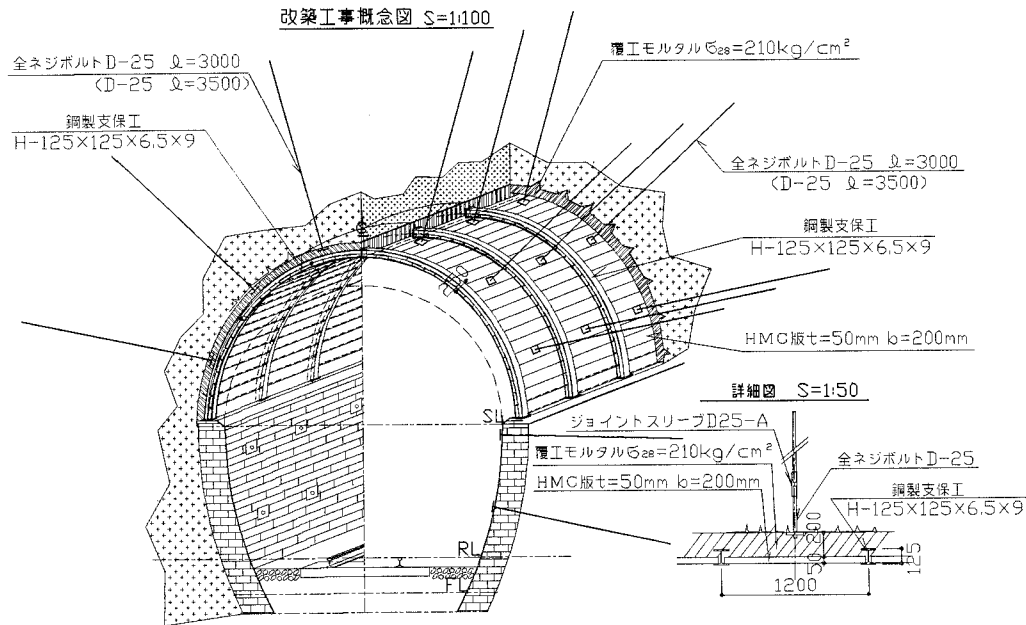
また、支保部材の具備すべき条件として、⑥湧水に対して抵抗性が高く、分離しないこと。⑦強度発現が早く、設計強度が確実に得られること。⑧地山に密着し、地山を緩めないこと。⑨作業性が良く、施工に際してトラブルが極力少ないこと。⑩将来にわたりメンテナンスフリーが目指せること。などが挙げられる。

以上より、⑥・⑦・⑧・⑨にたいして特殊軽量モルタル（以下スカムモルタルという）を採用した。このスカムモルタルの特長は、比重が1.4～1.6と軽質で tiksnon 性を有しているため水に対する抵抗性が高く、充填後早期に安定し側圧を軽減する。（従来のモルタルと比較して液圧換算で、約20％軽減される）これにより、HMC版の部材寸法を薄くする事が出来た。また、このモルタルは凝結遅延性が小さく設計基準強度20～300 kgf/cm²までの広範囲において品質の優れたモルタルグラウトが得られ、セメント粒子の分散性が高く分離が生じにくいため、ブリージングは殆んど発生しない。

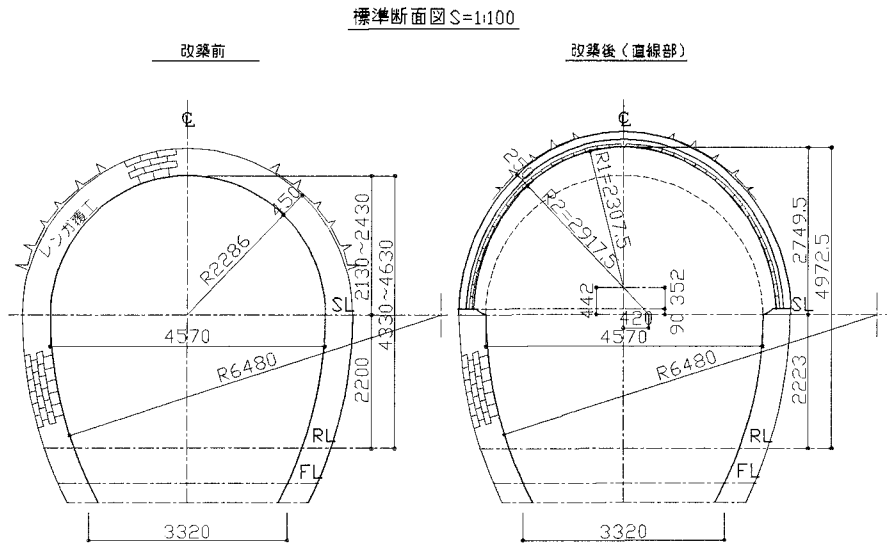
また、⑨・⑩にたいしては、小分割された高強度コンクリート版（以下HMC版という）を使用し、鋼製支保工のフランジ内側に型枠として取り付けた。このHMC版は、高比強度無機

材料で、熱硬化メラミン樹脂をセメント・微粒シリカ・特殊添加材を配合した組成物に混入し、熱処理によりられる新素材である。HMCの曲げ強度(150Kg_f/cm²)・圧縮強度(1,000 kg_f/cm²)は従来のモルタルやコンクリートの3～4倍の強度を有している。

HMC: Heat melamine composite



6. 標準断面図



7. 施工

7.1 施工フロー

施工フローは上記の通りであるが、当稿では改築工特に覆工について記す。



6.2 鋼製支保工

改築後のトンネルの長期的な安定・緊急時の反力支保・HMC版の取付用・電車線金具の取付用として、全区間鋼製支保工(H-125×125 ×6.5 ×9)を使用した。鋼製支保工の防錆処理として、タールエポキシ樹脂系塗料を工場で2層塗りし使用した。

6.3 HMC版

一般に、PC版を使用したトンネルのリニューアルや改築工事では、アーチ状もしくは2分割された大型のPC版を、エレクターを搭載した運搬台車にて取付け、組立てている。

しかし、荒神山トンネルは断面が狭小なことや、土砂地山のためある程度の緩み領域荷重を考慮した覆工を必要とすることなどから、大型のPC版は使用出来ない。しかも、改築部はトンネルの上半部で高所作業となる。

このような背景から、荒神山トンネルではHMC版を型枠として使用し、サイズをB=2000mm、t=50mm、ℓ=支保工建込ピッチとし、ハンドリングを考慮して25kg/枚以下とした。このHMC版が副次的にプロテクターの機能も有した。

6.4 スカモルタル

スカモルタルは、坑外のコンクリートプラントで混練し、トラミキで坑内に搬入する。注入は、下方より注入し最後に天端注入口より注入し、襖側最上部に取り付けた確認パイプから連続的にリークするのを確認して注入完了とする。

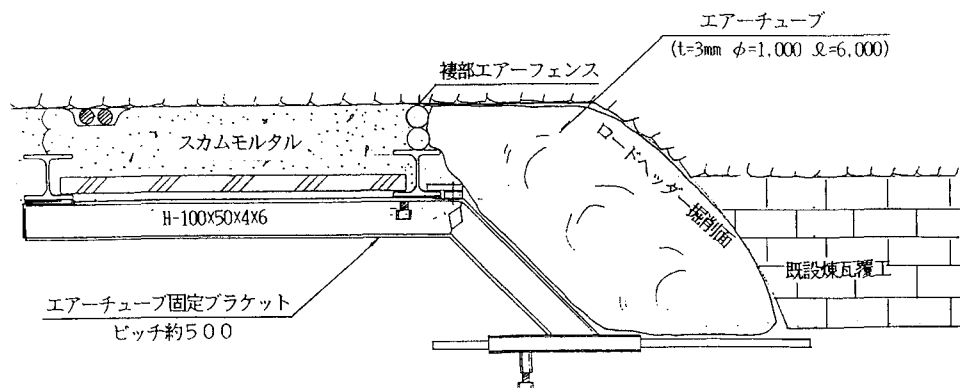
スカモルタル標準配合表

設 計 強 度 kg f/cm ²	抜 き フ ロー cm	空 気 量 %	単 位 容 積 質 量 kg / ℓ	W / C %	単 位 量 kg / m ³			
					W	C	S	混和材
210	140	10±5	1.6	37.0	225	608	777	5.0

6.5 切羽防護工

HMC版により既に覆工された箇所及び既設煉瓦覆工部は、線路が防護された格好になっているが、ロードヘッダーにより掘削されたHMC版と煉瓦覆工の間の切羽部は、地山が開放された状態になっている。この部分のプロテクトを必要とするため、下図のようなアーチューブによるブテクターを考案し使用した。短時間で当り付け作業が可能で、翌日の作業時間帯までの切羽崩落防止が期待できるものとした。

切羽防護工



7. おわりに

近年、老朽化が著しいトンネルのリニューアルや、トンネルの機能改善を目的とした改築の技術の確立が強く望まれている。幸い今回、荒神山トンネルにおいて高強度プレキャストコンクリート版と特殊軽量モルタルを組み合わせた「新しい覆工方式」を実施できる機会を得た。現在迄比較的順調に推移し、約100m間改築が完了しているが、今後の未固結地山の改築工事の課題として、①掘進長の増大及び、地山の安定を目指した確実な地山改良方法並びに改良効果の確認方法の開発、②サイクル数の増大（1サイクル⇒2サイクル）のための補助工法の開発などが考えられる。今後の施工において更に改良を加え、トンネル改築の一工法を確立したいと考えている。

最後に、本工法を採用するに当たり京都大学足立紀尚教授・JR総研朝倉俊弘主任研究員他各委員の方々にご指導ご助言いただいたことを記し、感謝の意を表します。

8. 参考文献

- (1) 桜井春輔・足立紀尚：都市トンネルにおけるNATM
- (2) 高永 彰・後藤康男・平野寿治：日本鉄道協会誌（山陰・宮福線等の高速化）