

西日本旅客鉄道(株) 建設工事業部 正会員○中西 宏友 片岡 建司
正会員 安居 和博 柴原 豊和

1. はじめに

山陰線京都～福知山間高速化（電化）工事に伴い、非電化区間の既設トンネルの断面を拡幅する必要が生じた。従来の工法は、設計的に必要性が生じなくても安全性の向上、品質・耐久性の確保等の観点から一次支保＋二次覆工を設けることが通例となっていた。二次覆工を省略した場合、品質の確保、耐久性等が問題になる。今回採用した方式はその問題を克服しシンプル構造とした活線改築の工事状況について述べる。

2. 工事概要

山陰線園部～福知山間には11トンネル（内2トンネル改築済）あり、9トンネル（延長約1620m）について改築を計画し施工中である（図-1）。

当該工区の地形は標高300m～500mの比較的なだらかな地形である。各トンネルの土被りは概ね5m～最大で30mと比較的浅く表流水の影響を受けやすい。地質は主に古生代の丹波層群で、粘板岩・砂岩・チャート等から形成されている。又、上部には河岸段丘堆積物が分布する箇所もある。一例として船岡山トンネルの地質縦断を示す（図-2）。

既設トンネル（明治39年頃築造）を電化対応断面にするためトンネル上半部を約50cm～70cm拡大し改築する（図-3）。

活線改築の作業間合い270分を確保し、当夜に必ず1サイクル（改築長80cm～150cm）完結することが条件となる。

標準支保パターンと吹付コンクリートの標準配合を示す（表-1、表-2）。設計条件として $\sigma_{1h}=25\text{kgf/cm}^2$ 、 $\sigma_{ok}=240\text{kgf/cm}^2$ とした。この設定は、①初列車通過時の振動等により吹付コンクリート自体の自重で剥落を避ける強度を目標とした。②通常の二次覆工コンクリートは $\sigma_{ok}=180\text{kgf/cm}^2$ ¹⁾（覆工厚30cm）である事に対し吹付コンクリートの変動係数を考慮し更に地山条件から定まる覆工厚さ10cmから決定した。（FEM解析結果より、上半内空変位量が10mm以内であれば二次覆工不要と考えられている。²⁾）

3. 吹付コンクリートの品質確保と耐久性

3-1 事前調査

今回の施工実施に先立ち青函トンネル等の事前調査を実施した。吹付コンクリートの工学的特性として圧縮強度の結果は、平均圧縮強度 252kgf/cm^2 、変動係数 $V=18.8\%$ である（表-3）。耐久性に関して、経過年数約15年の長期強度調査より、経年による圧縮強度の低下は認められなかった（図-4）。凍結融解試験においても劣っている結果も出ていない。この結果より強度のばらつきを考え設計基準強度 240kgf/cm^2 を確

Hirotomō Nakanisi, Kazuhiro Yasui, Kenji Kataoka, Toyokazu Sibahara

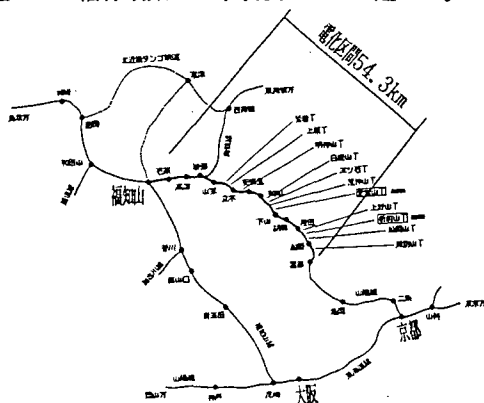


図-1 施工位置略図

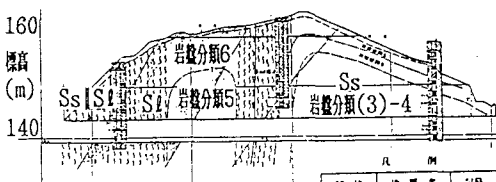


図-2 地質縦断図

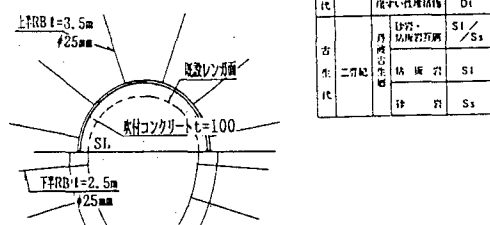


図-3 標準改築断面図

表-1 標準支保パターン

パターン	I	II	III	IV
施工間隔	0.8～1.0	1.0～1.2	1.2～1.5	1.5
上6本	3.5m/本	3.5m/本	3.0m/本	3.0m/本
下4本	3.0m/本	2.5m/本	2.0m/本	2.0m/本
吹付コン厚 (cm)	最小厚 10	最小厚 7	平均厚 10	平均厚 10

保でき耐久性も問題ない事が確認できた。又、配合設定はセメント量及び急結剤の量を変化させ試験吹きを実施し決定した。その結果、セメント量及び急結剤と強度の関係は、共に配合量が少ないと初期強度の確保が難しく、多い場合には施工上で吹付配管の閉塞が生じる事がわかった。

3-2 品質管理

吹付方式は乾式を使用した。理由として①夜間作業でレディーミクトコンクリートが使用できない。②小量吹付に適している。③地山急変の場合（湧水箇所を含む）の対応が早い等である。吹付コンクリートの品質確保として①骨材管理②吹付機及びコンクリートモビルの仕様③施工状態の確認等がある。骨材管理としては、日常の表面水率の測定（5%以下）の実施、冬場ジェットバーナー等による骨材の凍結防止措置。吹付機の仕様は最大吐出量8m³/h（施工では3m³/h程度）、最大圧送距離1km（実圧送距離最大500m）で、実施工よりも2倍程度許容範囲の大きい物を使用し、脈動を防いだ。水量調整は水流量計を取付ける事でW/Cを43～48%で監視できた。配合管理はコンクリートモビルに計量計を取付け定期的に重量計量しキャリブレーションを行った。施工日毎にプルアウト試験を実施し初期強度の確認及び温度による影響変化、急結剤等の添加量のチェック等を行い翌日の品質管理にフィードバックさせた。又、設計基準強度は現物のコア採取による圧縮強度試験・靱性試験を実施し確認した。

3-3 施工実績

改築9トンネルの内、船岡山（ $L=86.5m$ ）が昨年11月末改築が完了した。その結果を示す（図-5）。設計条件 $\sigma_{1k}=25kgf/cm^2$ 、 $\sigma_{ak}=240kgf/cm^2$ に対して、平均強度 $\sigma_{1k}=29.9kgf/cm^2$ 、 $\sigma_{ak}=276kgf/cm^2$ 、 $V=6.4\%$ となった。以上の結果と試験施工と合わせ、所定の強度と品質管理が得られるものと判断した。又、施工時における内空変位測定結果（1断面5箇所、20m毎）は、天端沈下、側壁など最大で2mm以下、吹付コンクリートの応力度18.8kgf/cm²、H型支保工軸力21.5t、モーメント0.22tmであった。

3-4 適用条件の検討

以上の結果から、吹付コンクリートの品質管理をコントロールすることにより、適用地山条件（内空変位量の少ない中硬岩～硬岩で上載荷重が作用せず設計的に二次覆工を要しないもの）を定めれば一次覆工（吹付コンクリート）によるシンプルシェル構造でより経済的且つ早く施工性に優れたものを構築できると確信した。

4. まとめ

鉄道トンネル等において、一次覆工（吹付コンクリート）の設計基準強度を指定したものはなく目安として180kgf/cm²に定めてあるが、今後設計条件と地山の適用条件を考慮すれば、経済的に優れたものが可能と判断できる。今回の施工で全てを解決したわけではないが、今後の設計・施工の参考になれば幸いと考えている。

京都大学教授足立紀尚・JR総研主任研究員朝倉俊弘のご指導に感謝の意を表し結びとする。

〔参考文献〕 1) NATM設計施工指針（鉄道総研） 2) 鉄道トンネルにおける吹付コンクリートによる永久覆工に関する調査研究報告書（S60.3）

表-2 標準配合

設計基準強度 (kgf/cm ²)	C kg	W/C %	s/a %	急結剤 %	F CxVol %
240	380～400	45	60～70	10～20	1

表-3 青函トンネル吹付コンクリート圧縮強度

	夜間作業吹	日間作業吹	夜間作業吹	日間作業吹	計
採取箇所数	34	24	33	42	133 箇所
供試体個数	208	149	201	238	796 個
平均圧縮強度	218.7	288.6	210.2	292.4	252 kgf/cm ²
変動係数	20.1	17.2	21.8	16.2	18.8 %

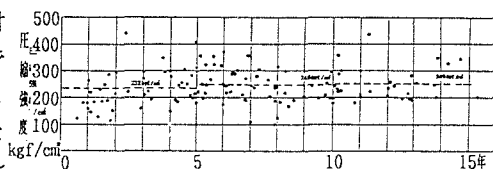


図-4 経過年数と圧縮強度

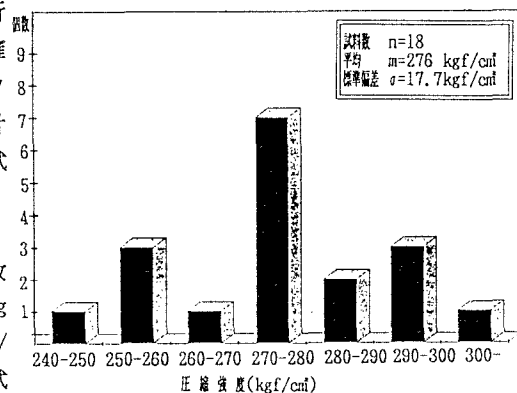


図-5 吹付コンクリート圧縮強度分布