

国鉄岐阜工事局，長野工事事務所，山元啓太郎，山口進，峰田勲  
塩嶺トンネル膨張性泥岩区間におけるNATMの施工について

中央本線輸送力増強の一環として、施工中の岡谷・塩尻間線増は、現在線27.7kmを11.7kmに短絡するルートで、この区間の塩嶺トンネルは延長5994mの複線鉄道トンネルである。このうちNATMは岡谷方の1060mで膨張性地山は、延長約600mであった。

### 1. 地形、地質

本地区は、著名な構造線であるフォッサマグナ西縁糸魚川・静岡構造線と、中央構造線が会合する特異地域であり、断層や褶曲により著しくかく乱されている。地質は大別して上部は多量の湧水を含んだ多孔質安山岩と、凝灰角レキ岩の互層によって構成された塩嶺層であり、下部は膨張性泥質岩の三沢泥岩である。膨張性地山区間の岩石物性値及び力学的性質は、弾性波速度で1.7~1.9km/sec、一軸圧縮強度65kg/cm<sup>2</sup>以下の泥岩が主体で国鉄での岩盤分類によるとD-5~D-6の不良岩盤であり、特に湧水区間の岩石試験ではCH級に分類される非常に塑性の大きな粘土で圧縮強度3.9kg/cm<sup>2</sup>、C=1.8kg/cm<sup>2</sup>、φ=10°であった。

### 2. 掘さく

掘さくについては、基本的掘さくパターンを定め、地山の性状に対応して種々のパターンを用いたが、結果的には代表パターン3、変形パターン8となった。掘さく方法は、上半先進ショートベンチ工法、レール方式とし、上半切さく機械はロードヘッダー、上半ロックボルトの穿孔にクローラージャンボを使用し、吹付けコンクリートには、S・E・Cセミ湿式を使用した。支保工は地質、地層、湧水等の地山状態に併せて、可縮支保工、(MU-29)、150H及び200H型支保工を使用し、ロックボルトはSNヘッドアンカーφ24を採用し、変位のやや少ない箇所はλ=3.0m、4.5mの2種類、内空変位の増大に従ってλ=3.0m、4.5m、6.0mの3種類も使用してきた。ロックボルトの1m当りの使用本数は32本~43本、(111m~218m)であり、変形余裕量は上半部において15cm~40cm、吹付けコンクリート厚は、15cm~20cmで施工した。

### 3. 湧水区間におけるNATM

湧水区間延長約110mは、薬液注入により被圧湧水を軽減する工法をとって掘さくしたが、完全止水は望めないため、湧水の増加(150~200ℓ/sec)に伴って上半盤をヘッド化しその結果、上半脚部の支持力低下を招き支保脚部の沈下、内空変位の進行、吹付けコンクリートのクラック拡大、ロックボルトの破断など悪条件が重なり作業は難航した。このためミニベンチNATM(λ=約10m)に変更し、上半盤に仮インバート厚さ20cmを施工、上半断面を閉合して掘さくを進めた。その結果掘削後1日当り20~40mmで変形していた上半水平変位が1日当り5mm、切羽ストップ中は1日当り0.5mmに激減することができ、断面閉合の偉大なる効果と尊い経験を得ることができた。

### 4. 計測

計測の結果内空変位は、上半で約280mm~約560mm、天端沈下は約130mm~約500mm、下半は約200mm~約400mmという結果であった。湧水区間で地山変位、ロックボルト軸力、ロックボルト曲げモーメントの計測を行った。計測の結果、岩盤内空変位と内空変位を比較すると、相似的

な傾向を示しているが、変位量が倍近く内空変位の方が大きくでている。このことから考察するとゆるみ領域は6m以深に及んでいると考えられる。なお膨張性泥岩部で測定した吹付けコンクリートの半径方向は、左肩部で最大 $9 \text{ kgf/cm}^2$ を記録し、接線方向は天端で最高を示し $40 \text{ kgf/cm}^2$ 、左肩部で $120 \text{ kgf/cm}^2$ が測定された。

#### 5. 塩嶺トンネルにおける膨張性地山の特色

1) 掘さく後、支保工を建込んでから内空変位の測定開始までの変形を当トンネルでは、初期変位と呼んでいるが、約12時間の経過時間で上半部の内空変位(相対変位量)が少ない箇所では約100mm、異状箇所では200mmを計測しており、掘さく直後の異状な変位の立ち上りに警異をいただきその対策に苦慮した。

2) 内空変位の収束経時日数は短いもので90日、長いものでは190日を要しているが、平均的には約150日の経時日数でようやく収束している実情であり、変形は粘性変形の影響をかなり受けている。(平均粘性速度 =  $0.068 \text{ mm/day}$ )

3) 当トンネルでは、二次覆工打設前にインバート鉄筋コンクリートを打設し、変位抑制に努めているが、インバート鉄筋コンクリート掘削前下半変位速度は1日当り1.5mmであったものが、インバート掘削により変位は1日約20mmとなり、コンクリート打設後は1日当り0.17mmに減少した。

4) MU-29の変状状態であるが、坑内の変状調査では、スリット部分があたかもヒンジのような作用をしあって弱点となっているのが多く、スリット部分の吹付けコンクリートの剝落が顕著である。MU-29における吹付けコンクリートの剝落は、上半水平変位が150~200mmで発生している。H型支保工は、支保が上半盤に沈下して変位を吸集するため変位は少いが、インバート吹付けコンクリートによって断面を閉合すると、天端、肩部、SL部の弱点箇所に応力が集中し、H型支保工は座屈または切断され、吹付けコンクリートに大きなクラックが発生し、剝離、剝落が生じた。H型支保工における吹付けコンクリートの剝落は、上半水平変位が300~350mmで発生している。

#### 6) NATM施工結果に対する考察

膨張性地山では可縮支保工が絶体不可欠の条件である。しかしながら現在市販されているMU-29は可縮開始軸力10t級であるため、塩嶺トンネルのような膨張性地山では、可縮機構が弱すぎて支保としての要をなさないため、20t~40tという地圧にも対処できる可縮支保工の開発を期待するものである。変状対策としては、ほとんど増ボルトで対処している。増ボルトは、変形余裕値の50%を注意目標とし、変形余裕値の70%を管理限界として、変位の状況により $\ell = 4.5 \text{ m}$ 、 $6.0 \text{ m}$ 、 $8.0 \text{ m}$ のボルトで変位抑制に努めてきた。しかるに地山の変形状態が当初の予想よりはるかに大きくでたため、二次覆工断面を阻害し、はつり及び縫い返し工を湧水区間を主体に前後約300mにわたって施工した。二次覆工断面阻害の原因については、湧水区間前後の地質が非常に軟弱であった。また断層が介在していたこと、注入による注入圧、ならびに注入による塑性領域の拡大等が主な要因と考えられる。なお計測結果の考察から判断してみると、変形余裕量のとり方、ロックボルトの断面当りの本数、鉄繊維吹付けコンクリートへの変更等種々考えられたが、塩嶺トンネルの膨張性地山では、少くともトンネル掘削断面程度に相当する、10m位の長ボルトが必要であったと思われる。