

## 膨張性地山における多重支保工法の適用

日本鉄道建設公団 正会員 竹津 英二  
 日本鉄道建設公団 正会員 ○小島 隆

### 1. はじめに

北陸新幹線飯山トンネルは、長野県飯山市から新潟県板倉町に至る全長約 22.2km の長大トンネルで、現在 6 工区に分割して施工中である。このうち新潟県側木成工区の地質は第三紀中新世椎谷層の泥岩が主体である。膨圧で施工が著しく難航した飯山トンネル北東 30km 付近に位置する北越北線鍋立山トンネルの地質と類似している。当工区では、この膨張性地山に対して多重支保工法を採用した。これは、膨圧に対し剛性の高い支保工で対抗するのではなく、坑壁の変位をある程度許容することにより最初の支保工の健全性が損なわれることを見越し、その内側に新たに何層にも支保工を設けることで支保工全体の健全性を確保する工法である。

本報では、まず、飯山トンネル木成工区において多重支保工法を採用に至る経緯について述べる。次に、試験施工により、二次支保工の施工時期と健全性について検討した結果について述べる。

### 2. 地質状況

トンネル周辺の地質は新第三紀中新世の椎谷層で、泥岩を主体とし砂岩・凝灰岩が挟在する。泥岩は主として片理の発達した泥岩で片状に割れやすい。図-1 は木成工区の岩石試験結果である。物理特性では、浸水崩壊度は 3、塑性指数は 0.47、陽イオン交換容量は 32.7 で膨張性を検討する項目はいずれも高い数値を示している。強度特性においては、一軸圧縮強度で 4.8 ~ 8.1MN/m<sup>2</sup>、変形係数 800 ~ 1540MN/m<sup>2</sup> を示しており、地山強度比は 0.9 ~ 2.0 となっている（図では平均値を示した）。

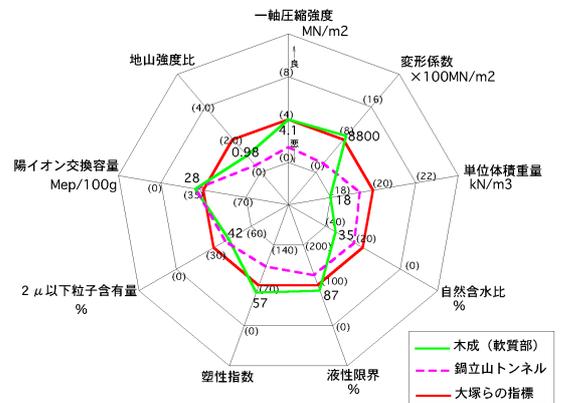


図-1 岩石試験結果

### 3. 多重支保工法へ至る経緯

当工区では、当初、上半先進ショートベンチ工法で掘削を進めた。しかし、進行とともに地質状況が悪化し、支保工を重くしてもトンネルの変状を抑止できず所要断面の確保が次第に困難となった。この時の変状の特徴としては、1) 上半掘さく直後の変位速度が非常に大きく下半切羽が到達するまでに支保工脚部が押し出されているために、下半の支保工がスムーズな形状で上半の支保工と接続できず軸力が十分に伝達できていないこと、2) 鋼製支保工の座屈、吹付コンクリートの剥離等、一次支保工としての機能が損なわれていることが挙げられる。

従来の膨張性地山においては、大きな内空変位が生じ、縫い返しを余儀なくされることがしばしば発生した。一般に、縫い返し後の内空変位量は当初掘さく時に比べ小さくなることを確認されている。

そこで、縫い返し時と類似の効果を期待し、かつ、施工の手戻りとならない工法として多重支保工法を採用した。

図-2 は木成工区で採用した多重支保工の標準的な支保工パターンである。一次支保工はロックボルトと鋼製支保工 200H、吹付コンクリート 25cm（補強

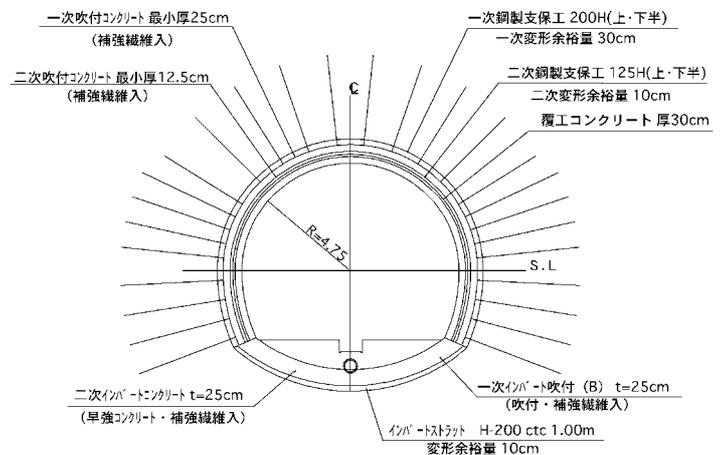


図-2 多重支保パターン図

繊維入り)、一次インバートは早期閉合と断面剛性のアップを考慮してインバートストラット (200H) 付きの吹付コンクリート 25cm (補強繊維入り) とした。二次支保工は鋼製支保工 125H、吹付コンクリート 12.5cm (補強繊維入り) でロックボルトはない。二次インバートは場所打ちコンクリート (早強、補強繊維入り) で厚さ 25cm とした。なお、変形余裕量は、一次支保工で 30cm、二次支保工で 10cm とした。

#### 4. 試験施工結果

多重支保工法における変位抑制効果と支保工の健全性については、その施工時期との関係が問題となる。二次支保工の施工時期が早ければ、二次支保工に発生する応力・変位量が大きくなり二次支保工自体の健全性が保てなくなる。二次支保工の設置時期を遅くすれば、一次支保工に発生する応力・変位量が大きくなり、一次支保工の変形余裕量不足、吹付コンクリートのクラック発生・剥離による安全上の問題が生じる。このため、最適な二次支保工の施工時期を決定することが、多重支保工で施工をする上で重要な問題であった。

図-3 は二次支保工施工時期と一次・二次支保工変位比率を示した図である。

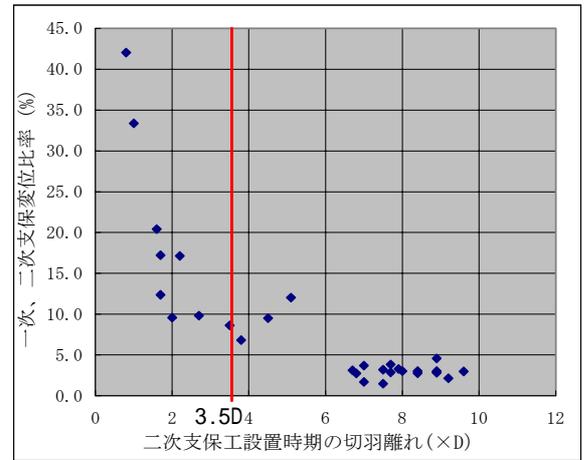


図-3 一次、二次支保変位比率

この図より、二次支保工の設置時期を、切羽から 3.5D 以上離して施工することにより二次支保工に発生する変位量を小さくできることが判った。そこで切羽から 1.0D(10m)離れと 3.5D(35m) 離れでB計測を実施し、二次支保工施工時期の違いによる変位量及び発生応力の違いを確認した。図-4 に吹付コンクリートの応力測定結果を示す。離れ 3.5D の場合は、 $6.5\text{N/mm}^2$  と小さい値を示しているのに対して、離れ 1.0D では、 $17.4\text{N/mm}^2$  設計基準強度 ( $\sigma = 18\text{N/mm}^2$ ) に近い値を示しており、実際吹付コンクリートにはクラックも発生している。同じ位置で測定した、鋼製支保工の測定結果も同様な値となっている。これらの結果より二次支保工の施工を切羽から 3.5D 程度離れて行うことにより、長期的な地山変形に伴う応力増加に対しても十分健全性を保てると考え、二次支保工の施工時期を切羽離れ 3.5D 以上で実施することとした。また、二次支保工施工時点での一次支保工の変形余裕量を確保するため、一次支保工の変形余裕量を 200mm から 300mm に変更した。

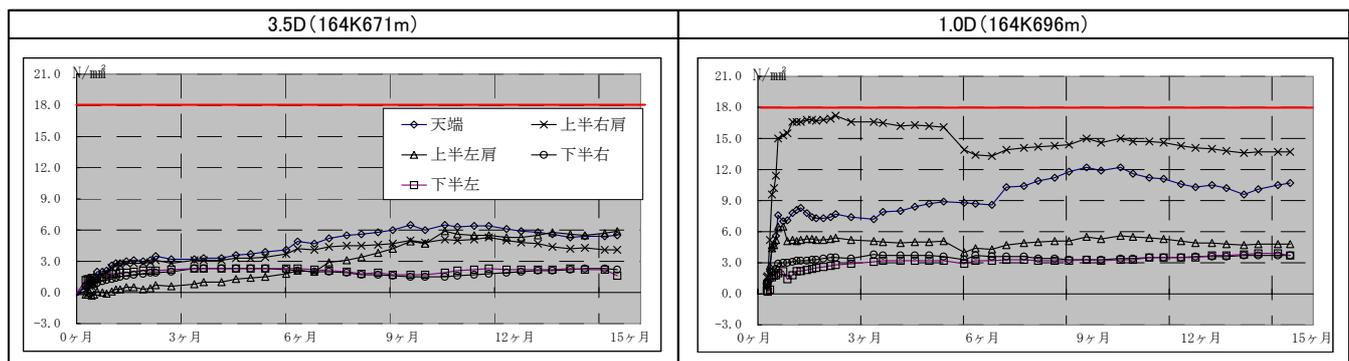


図-4 3.5Dと1.0Dの比較(吹付コンクリートの応力測定)

#### 5. まとめ

膨張性地山のトンネル掘削において支保工の健全性を確保する目的で多重支保工法を採用した結果、以下の事が明らかになった。

- 1) 一次支保工が破損し変位が収束しない状況でも、適切な時期に二次支保工を施工して断面を閉合することにより、支保工の健全性と変位の収束を図ることができた。
- 2) 二次支保工の施工時期については、支保工の健全性を確保するために切羽から 3.5D 以上離して実施することが望ましい。