

盤ぶくれに対応した山岳トンネルのインバート構造のより良い選定に向けて

(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
(公財) 鉄道総合技術研究所

正会員 宮寄 俊彦, 今地 洋佑, 今林 泰史  
正会員 ○嶋本 敬介, 川越 健, 野城 一栄

1. はじめに

NATM で建設された山岳トンネルにおいて、トンネル完成後に盤ぶくれが問題となることがある。いくつかの盤ぶくれ事例を受け、鉄道・運輸機構では 2008 年に発刊された設計施工標準において、インバートを原則として設置することとした。しかし、その後もインバートのある山岳トンネルでいくつか盤ぶくれが確認されたため、2014 年 5 月には、一次インバートと本インバートの役割を明確にする等の改訂をした上で、2014 年 12 月に盤ぶくれ対策フローの暫定案 <sup>1)</sup> (図-1) を提示している。本稿では、2003 年頃に掘削された A トンネルと 2018 年頃に掘削された X トンネルの地質とトンネル構造を比較するとともに、盤ぶくれに対応したインバート構造に関して、今後の課題を示す。

2. A トンネルと X トンネルの地山物性の比較

A トンネル B 工区, X トンネル Y 工区それぞれ 3 つの箇所を実施した岩石試験の結果の比較を表-1 に示す。地質はともに新第三紀の泥岩である。A トンネルは本インバート打設後の盤ぶくれ箇所を実施したボーリングコアの試験結果, X トンネルはインバート対策フロー (図-1) に従い、切羽で採取した岩石で実施した試験結果である。なお、A トンネルについては、B 工区約 3.3km のほぼ全長で本インバート打設後、40mm 前後の盤ぶくれが確認されており <sup>2)</sup>、表-1 の 3 か所が特に地質が不良であるというわけではない。また、X トンネルについては、内空変位の収束性は良かったものの、インバート変位計 <sup>3)</sup> で計測したインバート変位の収束が悪く、一次インバートを実施したキロ程の岩石試験結果を選んでいる。なお、X トンネル Y 工区では、50m 毎に岩石試験を実施しているが、これら 3 箇所が目立って岩石試験の結果が不良であるわけではなく、他の箇所と大きくは変わらない <sup>3)</sup>。

表-1 を、図-1 のフローと照らし合わせ、内空変位が収束したとすれば、A トンネルは I<sub>Si</sub> または I<sub>NAi</sub>, X トンネルは I<sub>NAi</sub> のパターンとなることがわかる。なお、A トンネル, X トンネルともに、今回対象のいずれの箇所も掘削時の内空変位は概ね 50mm 程度であり、収束性も比較的良好で、下半通過後 1 か月以内に、盤ぶくれ対策フローの暫定案でインバート打設の目安として提示している 2mm/月以下 <sup>4)</sup> に収まっている。

図-2 に、表-1 の A トンネル, X トンネルのそれぞれの平均をレーダーチャートで比較した結果を示す。図-2 で A トンネルと X トンネルを比較すると、概ね A トンネルの方が、X トンネルよりも膨張性が大きいと判断される結果となっている。

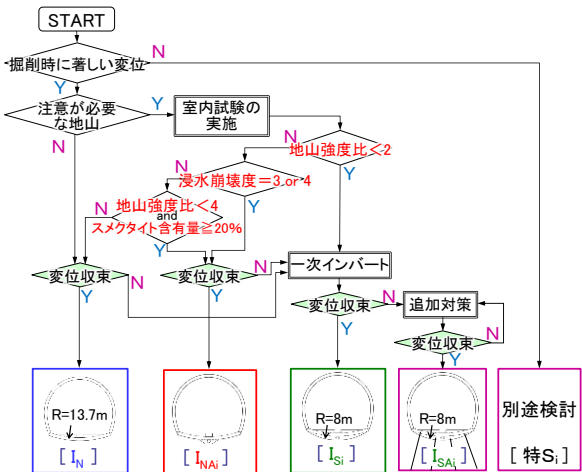


図-1 盤ぶくれ対策フロー暫定案 <sup>1)</sup>を簡略化

表-1 A トンネルと X トンネルの岩石試験の結果

|                  | A トンネル  |          |          |     | X トンネル    |            |            |      |
|------------------|---------|----------|----------|-----|-----------|------------|------------|------|
|                  | TD.243m | TD.2411m | TD.3216m | 平均  | TD.955.5m | TD.1155.5m | TD.1755.5m | 平均   |
| 一軸圧縮強さ (MPa)     | 5.58    | 9.21     | 13.78    | 9.5 | 4.38      | 3.36       | 2.57       | 3.4  |
| 地山強度比            | 5.27    | 1.20     | 1.74     | 2.7 | 4.72      | 6.75       | 4.15       | 5.2  |
| スレーキング指数         | 4       | 4        | 4        | 4   | 4         | 4          | 3          | 3.67 |
| スメクタイト含有量(%)     | 50      | 23       | 13       | 29  | 10.1      | 9.5        | 11.2       | 10   |
| CEC (cmol(+)/kg) | 62      | 38       | 38       | 46  | 27        | 27         | 28         | 27   |
| 水平内空変位 (mm)      | 56.0    | 56.4     | 58.6     | 57  | 26.5      | 53.5       | 57.1       | 46   |
| 盤ぶくれ (mm)        | 42      | 51       | 24       | 39  | —         | —          | —          | —    |

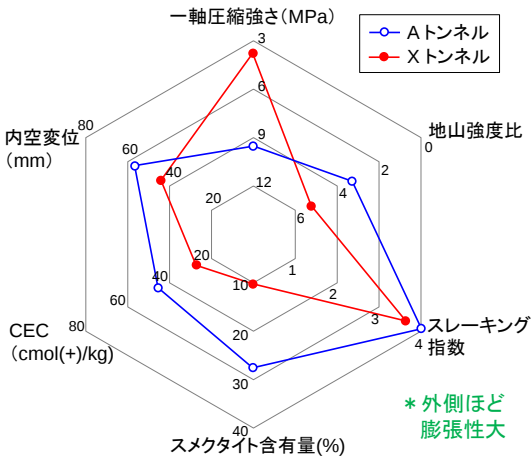


図-2 岩石試験の結果 (3 箇所の平均)

キーワード 山岳トンネル, 盤ぶくれ, インバート, 岩石試験  
連絡先 〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 地質 TEL:042-573-7265

3. AトンネルとXトンネルの構造の比較

表-1 の内、Aトンネル TD.2411m と Xトンネル TD.955.5m のトンネル構造を図-3 に示す。また、表-2 でトンネル構造を表で比較して示す。

これらより、A トンネルの方が、上下半の支保は重いものの、インバートは薄いことがわかる。A トンネルの変位量や切羽観察記録<sup>2)</sup>からこれよりもしっかりとしたインバート構造を選定することは当時としては難しかったと考えられるものの、結果として盤ぶくれが発生している。一方で、X トンネルについては、図-2 で示した通り、地質的な盤ぶくれ要因はA トンネルよりも小さいと考えられるものの、A トンネルよりも曲率が大きく分厚いインバート構造となっている。2003 年時点で当時の設計指針により X トンネルを掘削していたと仮定すると、A トンネルと同様の標準的なインバート構造となり、場合によっては盤ぶくれを発生させた可能性があるが、盤ぶくれ対策フロー等のインバート構造選定の考え方の進歩により、X トンネルは盤ぶくれを抑制できていると考えられる。

4. X トンネルの変位計測結果

X トンネル TD.955.5m の変位計測結果を図-4 に示す。これより、内空変位は、上半掘削から 50 日程度で、盤ぶくれ対策フローの暫定案における本インバート打設可能時期の目安である 2mm/月以下<sup>3)</sup>に収まっている。一方で、インバート変位計の計測データはその後にも隆起が進行している。仮に、内空変位が 2mm/月以下になった時点で本インバートを施工していたら、6mm の地山変位分の荷重がインバートに作用していたことになる。これより、本箇所では、内空変位が 30mm 以下と小さく、収束性も問題なかったが、盤ぶくれの地質的素因がある地山と判断し、完成後に盤ぶくれを発生させないために、図-3b) のインバート構造とする判断をした。インバート変位計については、適切に活用することで、インバートの打設時期やインバート構造の判断に有益なデータが得られる可能性があることがわかったので、今後、さらにデータを蓄積していく。

5. おわりに

盤ぶくれ対策フローに基づくインバート構造選定の考え方の導入等、トンネル完成後の盤ぶくれを防ぐ技術は進歩している。一方で、現状においても、課題はあると考えている。以下に代表的な課題を 2 点あげる。

1 つ目は一軸圧縮強さの算定法である。X トンネルで地山強度比が 4 以上であるにも関わらず、一次インバートが必要となった背景の一因として、一軸圧縮強さの算定法に課題があると考えられる。地山強度比算定のための一軸圧縮試験は供試体を作製可能な塊状部を試料とする場合が多いと思われることから、割れ目や破碎部等の影響を反映した地山としての強度ではなく、高めの値が得られる。割れ目や破碎部の影響を適切に考慮した強度を用いて盤ぶくれ対策フローの判定ができるようになれば、施工上、手戻りが少なくなると考える。

2 つ目は地質の縦断的な分布を把握しインバート構造の選定に反映することである。変位を発生させる岩層がインバート下に潜る箇所は盤ぶくれの懸念がある<sup>3)</sup>が、これを把握するには、切羽観察を基に地質縦断の実績図を作成し、盤ぶくれ危険箇所を抽出する必要がある。地質縦断実績図の重要性を認識し、その運用法を再度、確立していくことが重要である。

参考文献

1) 小林, 下津, 上野, 渡辺, 嶋本, 朝倉: 長期的な盤ぶくれに対するインバート構造の抑制効果に関する基礎的研究, 土木学会 論文集 F1 特集号, Vol. 72, No. 3, pp. I\_96-I\_107, 2016.  
2) 木野村, 木梨, 伊藤, 辻村: インバート隆起量計測システムの開発, 土木学会第 70 回年次学術講演会, VI-686, 2015.  
3) 今地, 今林, 後藤, 上野, 川越, 嶋本, 野城: 切羽観察記録からの将来的なインバート部地山の変位箇所抽出に関する考察, 土木学会第 74 回年次学術講演会, III-187, 2019.

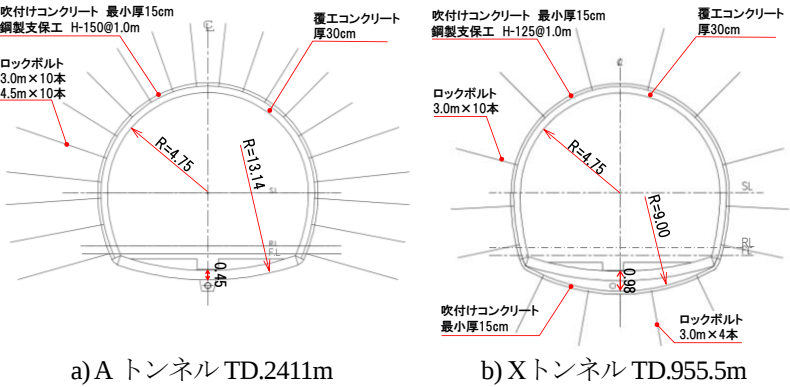


図-3 トンネル構造の比較

表-2 トンネル構造の比較

|       |                  | A トンネル TD.2411m   | X トンネル TD.955.5m               |
|-------|------------------|-------------------|--------------------------------|
| 上下半   | 吹付けコンクリート        | 最小厚 15cm          | 最小厚 15cm                       |
|       | ロックボルト           | 3m×10 本+4.5m×10 本 | 3m×10 本                        |
|       | 鋼製支保工            | 上下半 150H          | 上下半 125H                       |
| インバート | 一次インバート          | なし                | 吹付けコンクリート 15cm + ロックボルト 3m×4 本 |
|       | インバート半径(外径)      | 13.14m            | 9.0m                           |
|       | 本インバート厚さ (中央通路部) | 45cm              | 98cm (一次インバート除く)               |

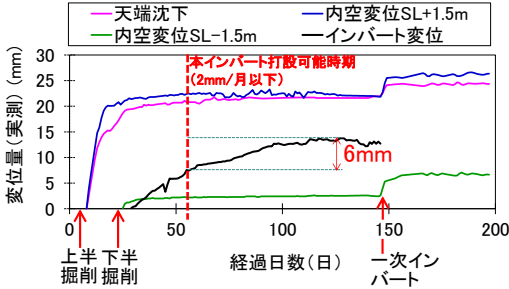


図-4 変位計測結果 (X トンネル TD.955.5m)