

トンネルインバート設置区間の供用後における盤膨れと地質

(株)大林組 上信越佐久トンネル工事事務所 正会員 ○下村哲雄 正会員 北岡治
 東日本高速道路(株)関東支社 佐久管理事務所 正会員 中野清人 天野淨行
 (株)ネクスコ東日本エンジニアリング 高橋孝二

1. はじめに

日暮山トンネル 期線(下り線)ではインバート設置済み区間で供用後に盤膨れが進行していることが判明したため、片側車線規制によりインバート再構築を実施し、膨張性を呈する泥岩に水が供給されていたことが原因であると突き止めた。変状の原因となった地質性状について、他のトンネルとの比較も踏まえて報告する。

2. 地形と地質

図1に示すように、変状箇所は堅固な安山岩と脆弱な泥岩・凝灰岩互層の層境に位置する。建設時に土被り130mの大崩落を起こした箇所から、長野側(東側)に200m程度離れている。

図2は、平成22年の調査時と平成25年の施工に行った土質試験結果を、地山の膨張性を示す指標に基づき評価したダイヤグラムである。膨張性指標は、こ

れまでに提案されている様々な文献を参考に設定した。土質試料は盤膨れの顕著な箇所の泥岩であり、浸水崩壊度(=D)、吸水膨張率(=最大17.69%)、地山強度比(=0.7)で膨張性指標を大きく超え、一軸圧縮強度、陽イオン交換容量CEC、モンモリロナイト含有量、自然含水比においても指標を上回った。

3. 変状とその原因

平成22年に最大5cmの路面隆起が確認され、その後も年間22.7mmの隆起が進行した。図3と図4に示すように、既設インバートは斜め45°のせん断クラックが貫通して10cmの段差が生じており、また覆工にも多数のクラックが確認された。

膨張性を呈する泥岩に上流側から中央排水を通して集まる湧水などが供給されインバート下の地山が強度低下を起こし、長時間かけて塑性厚が増加してインバートが損傷したことが原因である。変状箇所は、建設時に大きな変位が発生したため、最終的にインバート閉合して変位を収めた箇所である。それにもかかわらず盤膨れが進行している点や、コンクリート強度発現中に耐力以上の曲げモーメントが作用していることから、コンクリート打設直後の若材齢時に地圧により潜在的な分離面が形成されていたと推定した。

4. 変状対策工

供用中であり通行止めが困難なことから、片側車線規制においてインバートコンクリートの再構築を行った。図5に示すように、インバート半径を上半半径の約2倍とし、施工中の変状も抑制できるように先行側(追越車線側)の新設と既設インバートとが早期に閉合できるよう、トンネルセンターにおいて厚くなる形状とした。コンクリートが硬化するまでの初期変状を低減するため、1日強度24N/mm²の早強コンクリートを用い、ストラ

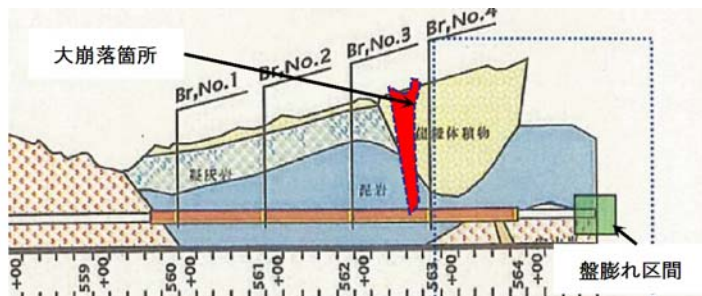
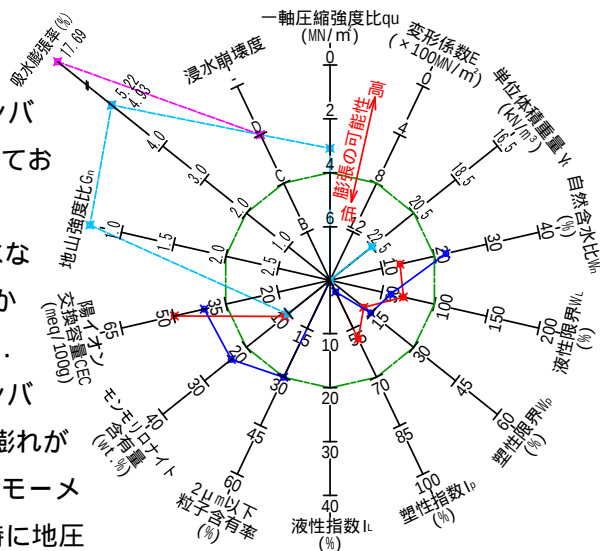


図1 地質縦断面図



調査件名	記号	種別
H25日暮山トンネル	—	膨張性地山を示す指標
インバート変状箇所土質試験	—	No. 1
H22上信越自動車道	—	No. 2
佐久管理事務所管内	—	GL-1.40 ~ 1.50m
トンネル性状調査	—	GL-4.80 ~ 5.00m

図2 土質試験結果

キーワード インバート、泥岩、凝灰岩、膨張、盤膨れ、供用、車線規制

連絡先 〒385-0022 東日本高速道路(株)関東支社 佐久管理事務所 TEL 0267-68-8861



図3 インバート破壊状況写真

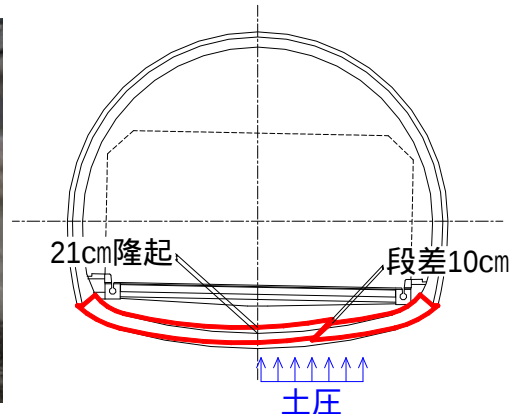


図4 変状状況断面

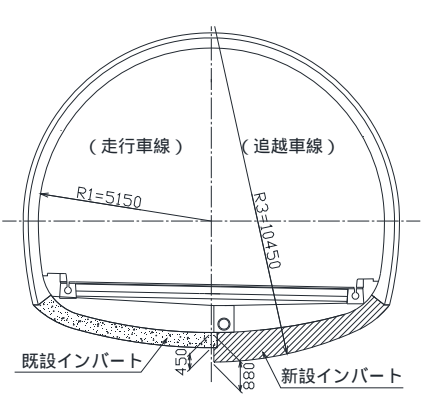


図5 インバート改修断面

ットと鋼繊維による補強を行った。再構築後の剛性の大きいインバート構造によって、コンクリート応力は十分な安全率を保って許容内に収まっている。ただし、今後の長期的な挙動も計測監視を継続していく必要がある。

5. 他の事例との比較

インバートがあるにもかかわらず供用後に盤膨れが問題となった他の道路トンネルとの比較を表1に示す。盃山トンネルは日暮山トンネルと同様に膨張性指標の大きい地質と水が原因とされており、対策工も盃山を参考にして日暮山の再構築構造を設計した。風波トンネルは粘土状の非常に脆弱な地質でありながら、膨張性を呈していないにもかかわらず盤膨れが問題となった事例である。

表1 他トンネルとの比較¹⁾

名称	日暮山トンネル	盃山トンネル	風波トンネル
種別	道路トンネル	道路トンネル	道路トンネル
場所	群馬県下仁田町 上信越自動車道	山形県 山形自動車道	新潟県親不知 北陸自動車道
断面と延長	道路2車線断面, 2,051m(変状区間41.5m)	道路2車線断面, 1,234m	道路2車線断面, 522.7m(変状区間36.0m)
覆工とインバートの構造	コンクリート造, インバート有り	コンクリート造, インバート有り	コンクリート造, SFRCコンクリート造, インバート有り
覆工とインバートの厚さ	覆工30cm, インバート45cm	覆工30cm, インバート50cm	覆工10~25cm, 20~35cm(SFRC), インバート45cm
施工方法	標準工法(NATM)	標準工法(NATM)	標準工法(NATM)
完成年	2002年(平成14年)	1990年(平成2年)	1987年(昭和62年)
地質	泥岩・凝灰岩互層	流紋岩質凝灰岩	凝灰角礫岩, 緑色粘土層凝灰岩
膨張性指標	・地山強度比:0.7 ・モンモリロナイト含有量:10.8~23.6% ・浸水崩壊度:D ・吸水膨張率:4.93~17.69%	・地山強度比:0.1 ・スメクタイト含有量:33~94%	・粘土状に軟化しているため非常に脆弱 ・膨張性は呈さない
変状状況	・完成8年後, 50mm路面隆起 以降, 22.7mm/年で隆起進行 ・変状地点より東京側に約200mの地点では土被り約130mの大崩落が生じている	・完成18年後, 路面隆起とひび割れ発見 ・その1日後, 250mm隆起 ・それ以降, 11日間で隆起量は380mmになった	・130~250mmの変位 ・変状地点より新潟側に約30mの地点では約500m ³ の土砂崩落が生じている ・覆工のひび割れは, 側壁とインバートともに貫通している
変状原因	・閉合インバート若材齢時, 大きな応力が加わり分離面発生 ・供用中に中央排水の水が浸入し, インバート下の地山が強度低下 ・塑性圧が増加し破壊に至る	・供用中にインバート下面に浸透した地下水により地山の強度が低下し, 大きな塑性圧が発生していたところに, 盤膨れによりインバート内のひび割れが開口 ・中央排水からの流水が流れ込み, 更なる地山強度低下 ・内空変位が卓越した状況となり, 隆起, 水の流入, 地山の塑性化が進展し破壊に至る	・トンネル施工時は安定を保っていた ・地山の強度が低いために何らかの要因により地山の塑性変形および塑性圧が増大し, 覆工とインバートを破壊 ・その要因としては, II期線の施工, 地下水浸入による地山劣化, 地震, 凍上圧等が考えられたが特定には至っていない
対策工	・インバート撤去, 再構築 ・インバート半径=上半半径×2 ・インバート厚さ=45~88cm ・コンクリート24N/mm ² で鋼繊維入り ・鋼製支保工H-150 @1.5m	・インバート撤去, 再構築 ・インバート半径=上半半径×2 ・高強度吹付けインバート厚さ=25cm ・インバート厚さ=50cm ・コンクリート24N/mm ² ・鋼製支保工H-200 @1m	・アーチ部は埋設型枠による内巻補強 t=10cm, 圧縮40N/mm ² , 引張3N/mm ² ・インバート部はコンクリート増打ちによる内巻補強 t=25cm, 18N/mm ² 補強鉄筋D25@200

6. おわりに

日暮山トンネルの特徴は、高速道路トンネルで初めて車線規制下でインバート再構築を実現できたことであり、変状の特性を踏まえて早期に断面閉合する工法を採用することにより安全性を確保することができた。通行止めで工事を実施する場合も含めて、供用後のトンネル盤膨れ対策は非常にコストがかかるだけでなく一般車に与える影響が大きい。将来にインバートの変状が予想される地質の判定方法、遭遇した際の対応方法などが、インバート設計・施工の課題であるが、本報が一つの参考になれば幸いである。

参考文献

1) 山岳トンネルのインバート - 設計・施工から維持管理まで -, 2013年11月, p.310-311, 314-315, 土木学会