

青函トンネル作業坑・先進導坑における変状現象の数値解析による評価

(公財) 鉄道総合技術研究所

正会員 ○今泉 光智哲, 野城 一栄

(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構

小原 雄一

(株) 地層科学研究所

眞野 宏之

1. はじめに

青函トンネルの作業坑と先進導坑では、背面地山の劣化に伴う地圧作用が原因と考えられる内空縮小や路盤隆起等が発生している(図1)。これまでに地山劣化モデルによる解析を実施し、対策工としてのロックボルトの仕様(配置, 長さ)を検討してきた。ここで、解析はボーリング等により変状箇所の地山の物性値を用いて行うことが理想だが、作業坑, 先進導坑は場所の制約等から必ずしも当該箇所でボーリングが行われていないことがあり、このような場合は、変位計測結果を再現できる値を探索することにより地山の解析入力値(地山強度)を定めていた。本論文では、これまでの数値解析の結果とコアの室内試験の結果とを比較することにより解析結果の妥当性を確認した結果と、断面形状別に地山劣化にともなう変状の傾向について述べる。



図1 青函トンネル作業坑・先進導坑の変状箇所

2. 計測結果

青函トンネルの作業坑と先進導坑の変状箇所は複数あるが、変形パターンはトンネルの断面形状により、以下の3つのパターンに大きく分類できる。また、各変状パターンの代表的な計測結果例を図2に示す。図より、内空縮小と路盤隆起がいずれも大きいパターン、主に①馬蹄形でインバートがない断面で見られる。路盤隆起が大きいパターン、主に②馬蹄形でインバートがある断面で見られる。大きな変形が発生しないパターン、主に③円形断面で見られる。

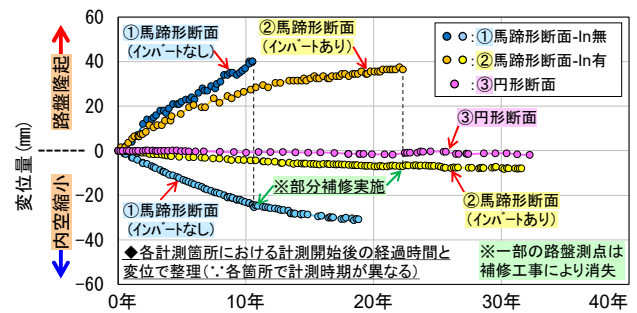


図2 各変状パターンの代表的な計測結果例

3. 解析手法

変形解析は、解析コード FLAC3D を用いた「地山劣化モデル」²⁾により行った。本手法は、地山の強度を低下させることによりトンネル周囲の地山が破壊に至り、地山の応力が再配分されることで、内空縮小や盤膨れ等のトンネルや周辺地山の変形を表現することができる。解析ケースで①～③の断面とした解析モデルの例を図3に示す。

4. 解析結果

地山劣化後のトンネルの変形について、実測値を概ね再現できた各断面形状の代表的な解析結果を図4に示す。図より、①馬蹄形断面(インバートなし)では、水平内空と盤膨れの大きい変形量が出る変形モードが再現できている。②馬蹄形断面(インバートあり)では、水平内空の変形は抑制されるが、盤膨れの大きな変位が出る変形モードが再現できている。③円形断面は、変形量が不明で、支保工が破壊するまで地山強度(劣化前)を落としたケースであるが、大きな変位は出ないことが再現されている。ここで、各再現ケースにおける劣化前の地山強度(解析入力値)と、地質調査結果に基づく試験値との比較を図5に示すが、

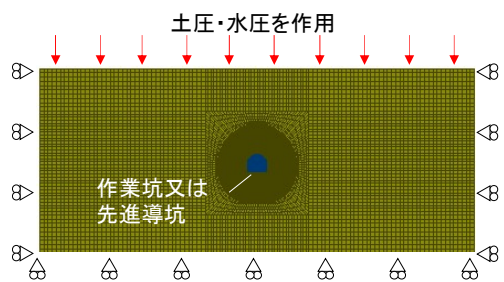


図3 解析モデルの例

キーワード 海底トンネル, 維持管理, 数値解析, 土圧

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 トンネル TEL:042-573-7266

各解析入力値は試験値の範囲内であり、妥当な値といえる。

各断面形状の代表的な解析例を用いて、変状が再現できたケースにおける、地山劣化前の地山強度比と地山劣化後の変形量（水平内空）の関係を図6に示す。図より、

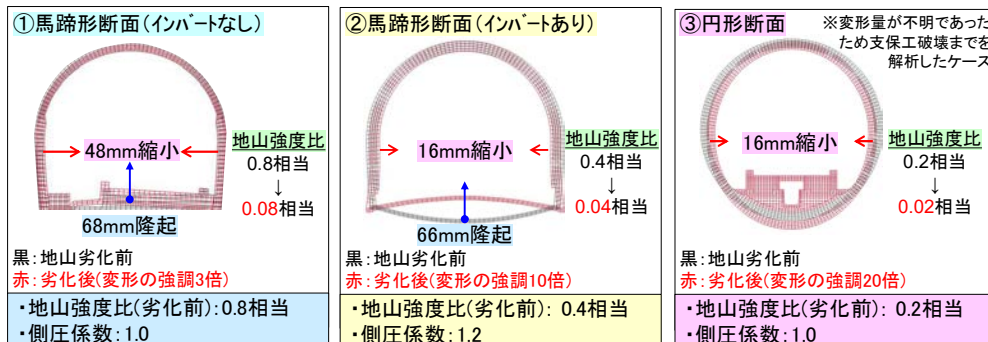


図4 断面形状別の変状再現解析結果

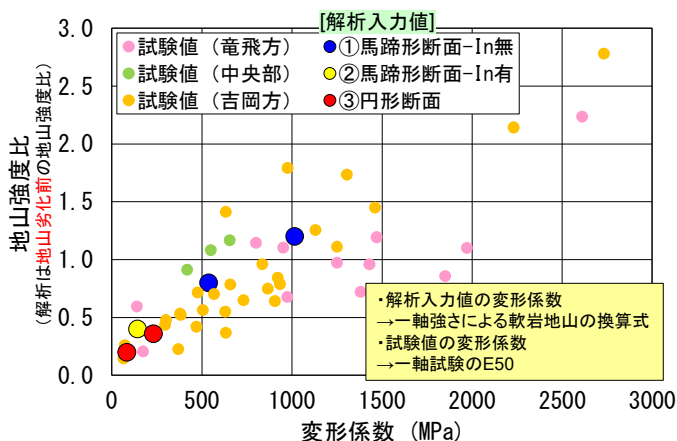


図5 解析入力値と地質調査結果

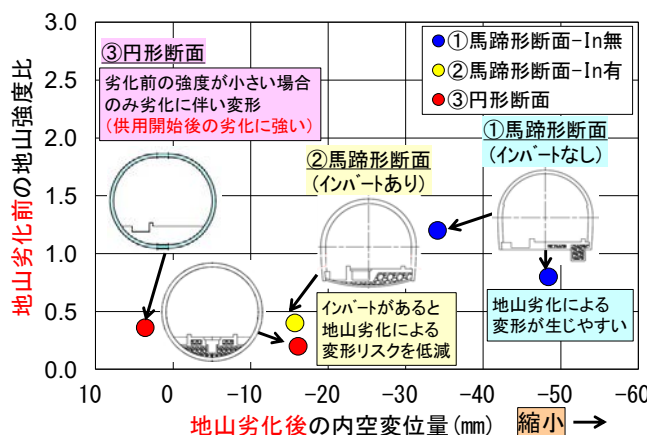


図6 地山強度(劣化前)と変形量(地山劣化後)の関係

①馬蹄形断面 (インバートなし) は、劣化前の地山強度を比較的大きく設定しても地山劣化による変形が大きくなる。一方、③円形断面は劣化前の地山強度をかなり小さく設定しないと劣化による変形が生じないため、供用開始後の地山劣化に強い断面形状といえる。

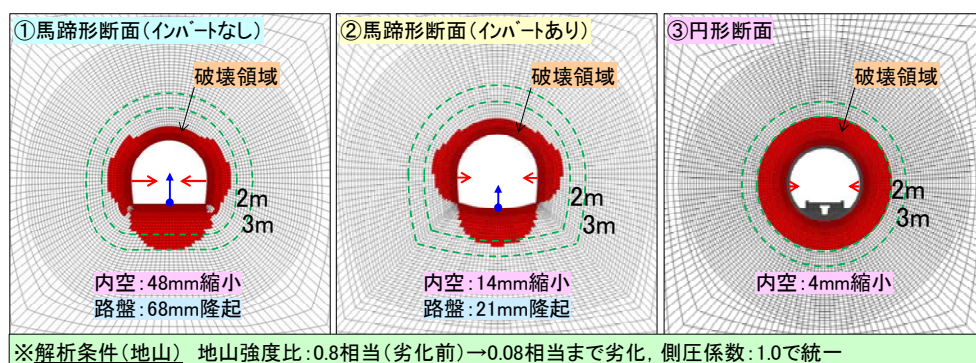


図7 断面形状別の変形量と地山の破壊領域(地山条件同一)

そして、②馬蹄形断面 (インバートあり) は、前述の2断面の中間的な特徴を持ち、インバートが地山劣化による変形リスクを低減しているといえるが、盤膨れの抑制効果は十分でないことがある (図4)。

また、各断面形状で解析条件 (地山) を同一とした場合の変形量と、トンネル周囲の地山の破壊領域を図7に示す。図より、①馬蹄形断面 (インバートなし) は、変形量が水平内空、盤膨れ共に大きく、路盤部の破壊領域が広い。②馬蹄形断面 (インバートあり) は、①と比べて変形量と路盤部の破壊領域が小さく、インバートにより変状が抑制されていると考えられる。③円形断面は、破壊領域は同心円状に広がるが、変状はほとんど発生していない。

5. まとめ

数値解析の結果とコアの室内試験の結果とを比較したところ、各解析入力値は試験値の範囲内であり妥当であることがわかった。また、断面形状により地山強度の低下に対する変形挙動が異なることがわかった。

参考文献

- 1) 三谷憲司, 岡田竜夫, 野城一栄, 今泉光智哲: 開業 33 年を経た青函トンネルにおける計測の結果と評価, トンネルと地下, Vol.52, No.10, pp.837-847, 2021
- 2) 嶋本敬介, 野城一栄, 小島芳之, 塚田和彦, 朝倉俊弘: 建設時の影響を考慮した山岳トンネルの路盤隆起現象とその対策工に関する研究, 土木学会論文集 F1 (トンネル工学), Vol.69, No.2, pp.105-120, 2013.