

地圧により変状が進行するトンネルのシミュレーション解析

鉄道総研 正会員 ○野城一栄, 高橋幹夫, 小島芳之
 JR 西日本 正会員 渡邊恭崇
 京都大学 正会員 松長 剛, 朝倉俊弘

1. はじめに

山岳トンネルでは、完成後の地圧の作用により、変形、ひび割れなどの変状を生じることもあるが、時間に依存した変形挙動については不明な点が多く、経時的な変形を生じる変状トンネルの維持管理法は確立されていないのが現状である。本稿では経時劣化を考慮した解析手法を用いて行った既設変状トンネルのシミュレーション解析の結果について報告する。

2. トンネルの概要

解析対象のトンネルは地圧による変状を生じた履歴を持つ A トンネルである。本トンネルは主として流紋岩ないし流紋岩質凝灰岩からなる地山に位置し、2 箇所にて内空の縮小、ひび割れ、圧ざ等の変状が生じている。図 1 に A トンネルの縦断図、表 1 に諸元、図 2 に内空変位の推移、図 3 に変状展開図を示す。

解析入力値を得るため、数値解析に先立ちトンネル坑内から地質調査を実施した。調査の結果を図 4 に示す。地質は風化を生じやすい流紋岩質凝灰岩で、礫の間やランダムに発達した亀裂に粘土を挟んでおり、覆工周辺では粘土化している箇所が見られた。また、塑性化領域はトンネル側方から 4.75m と広範囲におよんでいることがわかった。

3. 解析条件

解析は地山劣化モデル¹⁾を用いて実施する。すなわち、地山を Mohr-Coulomb の降伏規準による弾塑性材料と仮定し、地山の各要素の強度定数を初期値から徐々に低下させることで経年に伴う地山の強度の低下、トンネルの内空が縮小する挙動を表現するものである。

地山の解析入力値を表 2 に示す。入力値は地質調査の結果を参考に設定することとしたが、A トンネルは全体的に不均質な地質であり、三軸試験に使用できるコアの数が限られ、結果として必ずしも深度の深い位置での地山の強度が大きくはならなかった。このため、全てのコアを通して最も大きな強度を示した深度のデータを地山の強度の初期値として用いることとした。

覆工のモデル化は文献²⁾と同様であるが、解析対象区間の覆工はコンクリートブロック造であるので、解析では覆工全体をいくつかのグループに区切り、接触とすべりを考慮できるインターフェース要素を用いて結合することで不連続体を表現した(図 5)。ここで、インターフェース要素は圧縮力が作用した場合はコンクリートと同様の挙動、引張力が作用した場合には剛性=0 となり、引張力が伝達しないことになっている。

さて、地山劣化モデルでは、トンネルの経時的な縮小を表現す

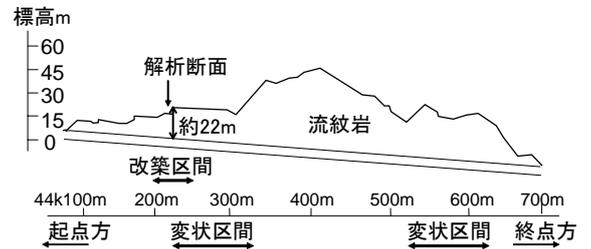


図 1 縦断図

表 1 諸元

延長	615m
しゅん功	1901 年
掘削工法	在来工法
形状	単線、非電化
地形・地質	流紋岩、流紋岩質凝灰岩
構造	煉瓦(アーチ)、石積(側壁)
補修歴	裏込注入、ロックボルト 改築(1935 年、一部区間コンクリートブロック化)

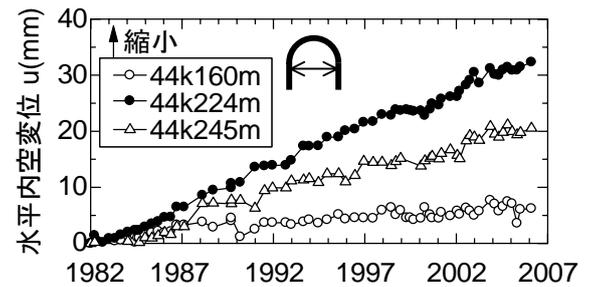


図 2 内空変位の推移

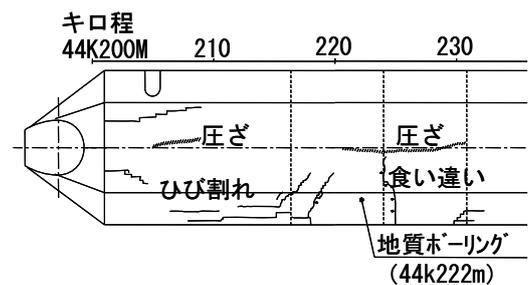


図 3 変状展開図

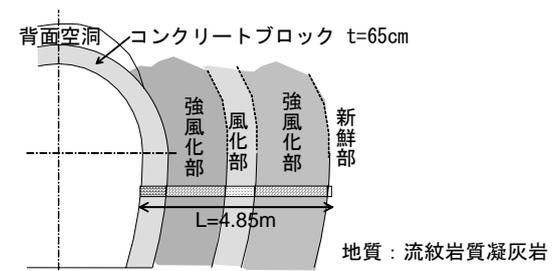


図 4 地質調査結果

キーワード トンネル 変状 シミュレーション 解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所構造物技術研究部 TEL:042-573-7266

るために地山の強度が時間の経過に伴って低下する挙動を示した地山の「劣化曲線」を仮定する必要がある。このため、シミュレーション解析に先立ち、まず、地山の劣化曲線の形状とトンネルの内空変位の現れ方との関係を明らかにするため、試解析を行うこととした。劣化曲線としては、①直線型： $c=c_0-A t$ 、②対数型： $c=c_0-A \times \ln(t+1)$ を想定した。ここで、 A ：係数、 t ：トンネル掘削からの経過年数（年）、 c_0 ：地山の初期強度である。

図6下図に c_0 を0.2MPa ($q_u=1.2$ MPa 想定)とし、劣化開始50年後に粘着力が $c_0/2$ となるように A を設定した場合の劣化曲線を示す。①は粘着力の低下速度が一定であるため、100年後には粘着力が0となる。②は劣化開始直後は粘着力の低下速度は大きい、粘着力の低下速度は時間の経過とともに小さくなる。

4. 解析結果

図6上図に解析の結果得られた内空変位の経時変化を示す。①直線型は強度低下初期の内空変位速度は小さいが時間の経過とともに内空変位速度は増加していく。一方で、②対数型は時間の経過とともに内空変位速度は少しずつ減少していくが、①と比較すれば内空変位速度は一定である。以上の結果から、Aトンネルのように比較的変位速度が一定であるタイプの変状であれば②の近似式で、劣化曲線を仮定することができると考えられる。

次に、このモデルを用いて再現解析を実施する。すなわち、地山の劣化曲線を②対数型： $c=c_0-A \times \ln(t+1)$ と仮定して試行錯誤的に解析を行い、内空変位の計測値を再現できるような係数 A を求めることとした。ここで、解析断面は供用開始時にレンガ覆工であったが、変状により1935年に改築され現在はコンクリートブロック造となっている。したがって、計測を開始した時点(1981年)ですでに地山の強度がかなり低下していることが予想される。このため、計測を開始した時点で地山の強度が初期強度の半分程度 ($c=0.2$ MPa) まで低下していたと仮定してここから強度を低下させていくこととした。

図7に解析結果を示すが、係数 A を0.029 (MPa) と設定すると、供用開始から対策工施工までの内空変位の進行を適切に表現できることがわかった。また、図7に地山の塑性化領域を示すが、解析上の現在に相当する $c=0.103$ MPa 時の塑性化領域は、地質調査で確認された新鮮部-風化部境界 (図8) と同程度であり、塑性化領域に関しても現状を適切に再現できていることが確認できた。

5. まとめ

今回の研究により得られた知見を以下にまとめる。

- ①劣化曲線の形状と解析により得られる内空変位との関係を把握することができた。
- ②地山劣化モデルにより、経時的な内空変位の縮小を伴うトンネルの変形挙動を適切に再現することができた。

参考文献

1) 松長剛他：地山強度の経時劣化を考慮したトンネル変状の予測と対策に関する研究，土木学会論文集，No.799，2005.9

表2 解析入力値 (地山)

項目	入力値	設定方法
単位体積重量 γ (kN/m ³)	25.0	室内試験
一軸強度 q_u (MPa)	1.2	室内試験
弾性係数 E (MPa)	330	室内試験
ポアソン比 ν	0.33	7'イ'ン・蔀の式より推定
粘着力 c (MPa)	初期 0.35 残留 0.02	7'イ'ン・蔀の式より推定
内部摩擦角 Φ (°)	25	室内試験

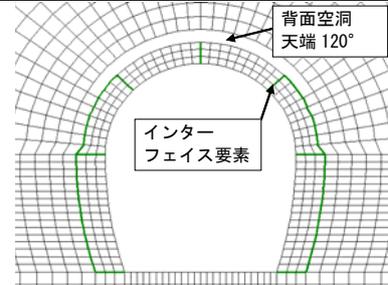


図5 トンネルのモデル化

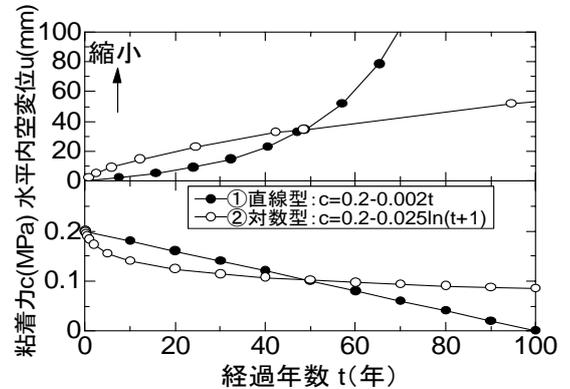


図6 内空変位の経時変化

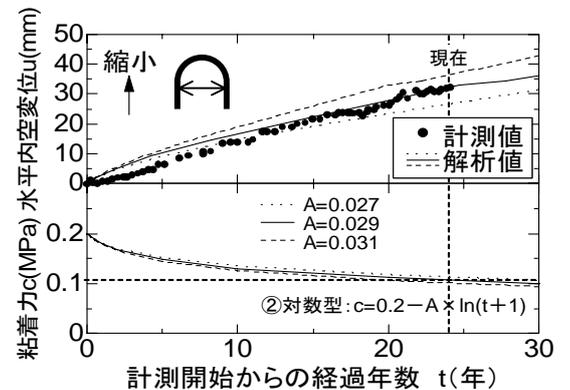


図7 近似曲線によるシミュレーション解析結果

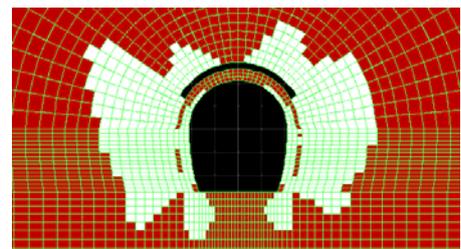


図8 塑性化領域 (現在相当, $c=0.103$ MPa 時)

2) 高橋幹夫他：地山強度の経時劣化を考慮した既設トンネルのシミュレーション解析，第41回地盤工学研究発表会，2006.7