

## 変形速度に着目したトンネル変状の実態と補強のタイミングについて

応用地質株式会社 正会員 奥井 裕三  
 応用地質株式会社 正会員 太田 裕之

### 1. 概要

トンネルの変状現象には、大きく分けて外力による変状、覆工材料の劣化、漏水がある。

外力による変状では、それが進行する場合には覆工の破壊による耐荷力の低下や地山の緩みを極力少なくするよう早急に補強対策工を実施する方が有利である。

しかし、鉄道や道路のトンネルは、供用中で迂回路が確保できない等の理由から抜本的な対策工事が容易に実施できず計測や観察等の監視を続けながら供用しているトンネルも少なくない。このようなトンネルにおいては、対策のタイミングを見誤るとトンネル構造自体が破壊に至り、交通に対して大きな支障がおよぶ恐れがある。

本研究では、内空変位や盤ぶくれが進行する場合に着目して、変状発生から対策までの時間を把握し補強対策を実施するタイミングの目安を得ることを目的として、既往事例調査とFEM解析を実施した。

その結果、補強対策が必要になるまでの余裕時間を評価するためには、変形速度だけでなく変状発生時期と変状発生からの全変位量を把握することが必要であることがわかった。

### 2. 外力によるトンネル変状の実態

外力による変状の実態把握は、鉄道と道路トンネルを対象に変形速度と変状発生時点から対策までに要した時間について、事例を調査した（[1]～[10]）。ここで、変状発生時点とは、変状が発見された時点を示すが、時期が不明確なものはトンネルの供用開始時点とした。

その結果を図1に示す。図1において、「矢板」は矢板工法で建設されたトンネルを示し、「NATM」は標準工法で建設されたトンネルを示す。また、変状の進行を表す指標として内空変位速度と盤ぶくれ速度に着目し、前者に関しては壁面片側の変位量（内空変位量の1/2、以下「壁面変位」と記す）から変形速度を求めた。

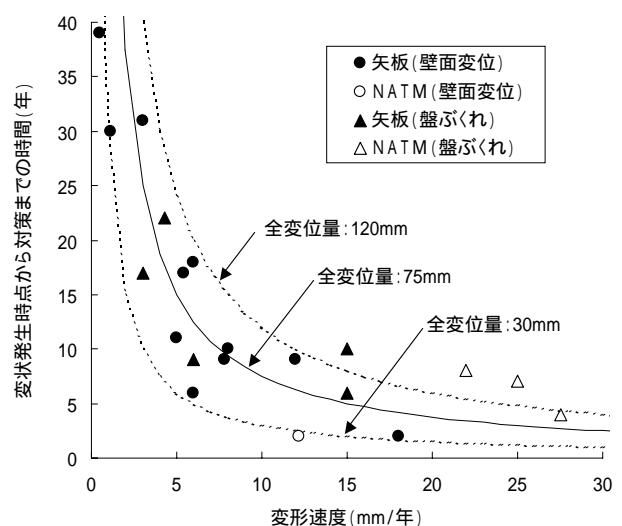


図1 変形速度と対策時期の実態

図1より、変形速度と変状発生時点から対策までの時間について、以下の実態がわかった。

- 1) 変形速度が大きいほど、変状発生から対策実施までの時間が短い。
- 2) 変形速度が小さくても、経年が長いと補強対策工が適用されている。
- 3) 全変位量が概ね30～120mmになると補強対策工が適用されている。
- 4) 上述の2つの関係は、矢板工法とNATM、および壁面変位と盤ぶくれで明確な差異はない。

### 3. 内空変位と覆工に発生する応力の解析的検討

図1に示す補強対策工を適用した時点において、覆工応力がどのような状態であったかを推定するために、トンネルに発生する変形と覆工の応力状態の関係について簡単なモデルを仮定してFEM解析を実施した。

キーワード 変状トンネル、補強対策、変形速度、内空変位、盤ぶくれ、FEM解析

連絡先 〒331-8688 埼玉県さいたま市北区土呂町2-61-5 応用地質株式会社 技術本部 TEL 048-667-9396

解析モデルは、図 2 に示すような平均的な 2 車線道路トンネル断面（半径 5m、巻厚 30cm、インバート厚 50cm）とし、外力として側圧のみが作用する場合を仮定した。地山は塑性圧による側圧が卓越する地山として地山等級 DII 相当とし、簡単のために弾性体でモデル化した。また、覆工は通常の無筋コンクリートとし、引張強度は圧縮強度の 1/10 の  $1.8\text{N/mm}^2$  と仮定した。

解析の結果として、図 3 に覆工に発生する最大圧縮応力と最大引張応力を壁面変位との関係で示す。図 3 より、最大圧縮応力、最大引張応力共に壁面変位が増加するにつれて増加し、壁面変位で約 6mm のときに引張強度の  $1.8\text{N/mm}^2$  の引張応力が側壁で発生する。さらに、壁面変位約 25mm のときに圧縮強度に等しい圧縮応力が天端に発生する。

図 3 に示す結果は、図 1 に示す全変位の最小値（30mm）とほぼ同じレベルであることから、過去の事例では、覆工に圧ざ（圧縮破壊）が発生したときに補強対策が実施されていると推察される。

したがって、外力による変状が進行する場合、補強対策が必要になるまでの余裕時間を評価するためには、変形速度だけでなく変状発生時期と変状発生からの全変位量を把握することが必要であることがわかった。

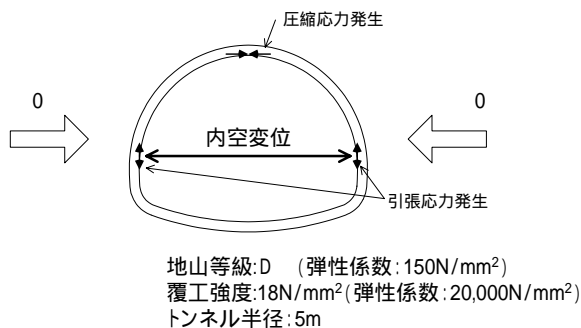


図 2 解析モデルおよび解析条件

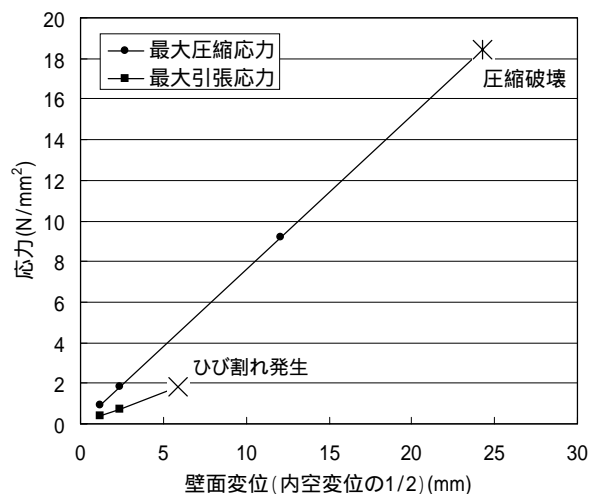


図 3 内空変位と覆工に発生する応力の関係

#### 4. まとめ

内空変位や盤ぶくれといった変状が進行する場合の変形速度と対策までの時期について、既往事例を調査した。また、FEM解析を実施し、内空変位と覆工に発生する応力の関係を把握した。

その結果、変形速度が小さくてもトンネルに発生する全変位量が 30～120mm 程度になると補強対策が必要になることがわかった。さらに、外力による変状が進行するトンネルに対して、補強対策が必要になるまでの余裕時間を評価するためには、変形速度だけでなく変状発生時期と変状発生からの全変位量を把握することが必要であることがわかった。

このため、建設初期の段階でトンネルの形状を正確に把握しておくことと定期的な観測を行うことが、トンネルの維持管理上、重要であることがわかった。

#### 参考文献

- [1] 野澤伸一郎、ほか：既設トンネルの膨圧を克服、只見線六十里越・田子倉トンネル、トンネルと地下、p.17、1992年10月
- [2] 高木敏雄：営業線トンネルの変状と対策、JR北海道函館本線 神居トンネル、トンネルと地下、p.7、1997年11月
- [3] 片寄紀雄、ほか：緩やかな膨圧現象と付き合って30年、JR信越本線 塚山トンネル、トンネルと地下、p.7、1997年3月
- [4] 新田定雄、ほか：活線下での覆工打ち換え工事、一般国道13号 東栗子トンネル、トンネルと地下、p.13、2001年4月
- [5] 中田正夫、ほか：供用トンネルにおける変状と対策、上信越自動車道 浅間山トンネル、トンネルと地下、p.7、2000年4月
- [6] 林幸一、ほか：変状トンネルの改築(1)、国道25号・関トンネル、トンネルと地下、p.22、1974年3月
- [7] 奥山英治、ほか：月山道路におけるトンネル補修補強工事について、第24回日本道路会議一般論文集(B)、p.194、2001年
- [8] 変状トンネル対策工設計マニュアル：財団法人、鉄道総合技術研究所、1998年2月
- [9] トンネル補修・補強マニュアル：財団法人 鉄道総合技術研究所、1990年10月
- [10] ハイウェイ技術No.9、1997年12月