

## 光ファイバ計測技術によるトンネル維持管理の効率化に関する研究（その2）

## － トンネル変状対策の設計の効率化に関する検討 －

山岳トンネル 光ファイバ計測 維持管理

鹿島建設（株） 正会員 ○宮嶋保幸 正会員 川端淳一  
八千代エンジニアリング（株） 坂本昇 金井和彦 笹田俊之  
（一財）先端建設技術センター 山本拓治

## 1. はじめに

山岳トンネルにおいて外力を起因とする変状の対策工を設計する場合、外力の種類、作用荷重やその範囲を設定するために調査、計測を実施する。従来の計測方法では、変状確認後に天端や側壁などの限られた観測点で調査計測を実施し、変状要因の推定や対策工の荷重を想定している。しかし、実際の状況と対策工の範囲が乖離し、過大もしくは過小な対策工を選定してしまう場合がある。これに対し、建設時に横断方向や縦断方向のひずみ分布が計測可能な光ファイバを覆工やインバートに設置することで、応力分布の評価と作用荷重分布が明らかとなり、対策工の適切な選定や設計が可能となる。本稿では、供用後に覆工とインバートに変状が発生した道路トンネルの対策工の事例を参考として、光ファイバ計測の導入による対策工設計の合理化について検討した結果を述べる。

2. 検討対象トンネルの概要と変状調査及び設計<sup>1),2)</sup>

対象としたトンネルは NATM で施工された道路トンネルである。当該区間では建設時の切羽観察によって弱層の粘土層が確認されており、最大 250mm 程度の変位が発生した箇所であった。当該箇所の覆工は、将来的な荷重増大に備えて高強度鋼繊維補強コンクリートが採用されていた。変状が確認されたのは供用開始から 20 年後の内装板交換時であり、その時には、トンネル右側の覆工側壁に大規模なひび割れが発生し、追加調査によりインバートにもひび割れ発生が確認された。発生した変状の原因、地質調査、変状の進行を明らかとするため、測量やボーリング、変位計測が実施された。その結果、地山の強度が低いため何らかの要因により地山の塑性圧が増大し覆工・インバートが破壊に至ったと判断されたが、トンネルに発生している応力や外力を正確に評価することはできていない。

対策工は片側車線規制で施工可能で、建築限界を侵さないで高い耐荷能力が期待できる工法として、覆工アーチ部は埋設型枠による内巻補強工、インバートは内巻補強工が採用された。補強工の設計は、覆工・インバートの破壊時と同様の荷重が将来的に覆工に作用することを想定して実施された。具体的には、図-1 に示した地質分布を反映するため、弱層と地山区分 CII の地山条件を表-1 に示す通りとし、変状が発生したトンネルを対象として、図-2 に示すトンネル解析モデルで 2 次元骨組み構造解析が実施された。これにより、図-3 に示す M-N 耐力曲線を取得し、トンネル構造の耐力を超過する荷重として、650kN/m<sup>2</sup> が上半全周に作用している荷重と判断し、補強設計の設計荷重とした。その結果、補強工は、図-4 に示すように、覆工は埋設型枠による内巻補強工（厚さ 100mm）、インバートは内巻補強厚が 250mm となった。

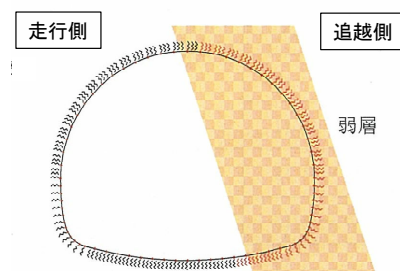


図-1 トンネル解析の地質モデル

表-1 トンネル解析の物性値

地盤区分	変形係数 $E_0$	法線方向地盤反力係数 $K_n$
C II	10,000 N/mm <sup>2</sup>	197.8 N/cm <sup>3</sup>
弱層	2,300 N/mm <sup>2</sup>	45.5 N/cm <sup>3</sup>

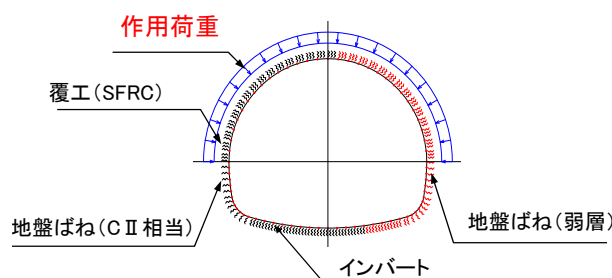


図-2 トンネル解析モデル

Research on productivity improvement of tunnel maintenance management by optical fiber measurement technology (part 2)  
- Study on Improving the Efficiency of Design of Tunnel Deformity Countermeasures -

Yasuyuki MIYAJIAMA Kajima Corporation  
Jyunichi KAWABATA Kajima Corporation  
Noboru SAKAMOTO Yachiyo Engineering Co., Ltd.  
Kazuhiko KANAI Yachiyo Engineering Co., Ltd.  
Toshiyuki SASADA Yachiyo Engineering Co., Ltd.  
Takuji YAMAOTO Advanced Construction Technology Center

3. 光ファイバ計測により作用荷重分布が把握できた場合に想定される対策工設計

対策工は、実際に採用された工法と同じように、覆工アーチ部は埋設型枠による内巻補強工、インバートは内巻補強工とした。ここでは、建設時に覆工とインバートのコンクリートの中に設置された光ファイバにより、覆工とインバートに発生している応力が把握されていることを想定し、対策工の設計を行った。具体的には、図-5に示すように弱層が分布する右側にのみ荷重が作用しているとして、トンネル解析モデルによって2次元骨組み構造解析を実施した。

これにより、図-6に示す M-N 耐力曲線を取得した。その結果、設計荷重を 500kN/m<sup>2</sup> とした。

この結果に基づいて補強工を検討した結果、図-7に示すように、覆工の仕様は前章と同じく埋設型枠による内巻補強工（厚さ 100mm）となったが、インバートは内巻補強厚が 250mm から 150mm となった。

4. まとめ

外力の増大により供用中に変状が発生するトンネルを対象として、光ファイバにより応力分布を把握した場合に想定される補強工の設計について検討を行った。その結果、作用荷重分布範囲により補強工の規模が変わる可能性があることを確認した。また、計測結果から逆解析を行うことで、作用荷重をより高い精度で設定できることが期待できる。

このように、補強工の設計にあたり、作用荷重範囲や荷重を把握することで、補強工の規模や対象範囲を合理的に決めることができる。また、建設時に光ファイバを設置していれば、覆工の残耐力からトンネルの健全性を常時評価することが可能となる。これによって、補強が必要な場合には、計測のための特別な調査が不要となるので、設計に加えて調査の効率化が図れることが期待できる。

さらに、本稿で対象とした道路トンネルのように車線規制が伴う場合、調査や補強の規模が軽減された際には、調査や対策工のコスト縮減、工期短縮の効果に加えて、交通規制期間の短縮により、道路利用者への負担軽減効果も期待できる。

今後、模型実験や実トンネルへの適用を通じて計測データを蓄積し、本稿で実施した検討結果の妥当性を検証するとともに、変状モードやひずみ分布の計測結果と解析結果の対比に向けて精度向上に努めたい。本研究は、国土交通省の建設技術研究開発助成制度（JPJ000094）成果の一部である。

参考文献

- 1) 畝田ら、塑性圧によるトンネル変状と対策事例について（その1 調査および設計）土木学会第64回年次学術講演会、VI-316、2009.9
- 2) 佐藤ら、塑性圧によるトンネル変状と対策事例について（その2 対策）土木学会第64回年次学術講演会、VI-317、2009.9

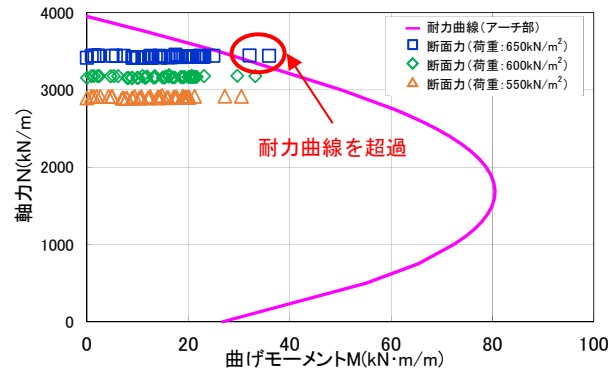


図-3 M-N 耐力曲線（作用荷重）

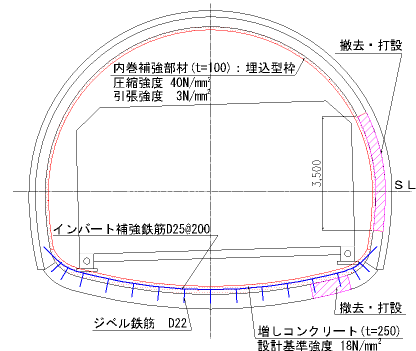


図-4 補強対策工概要図

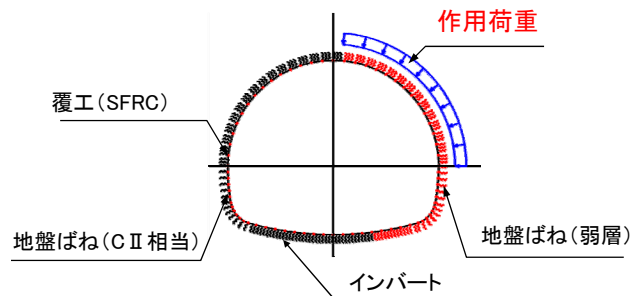


図-5 光ファイバ計測に基づくトンネル解析モデル

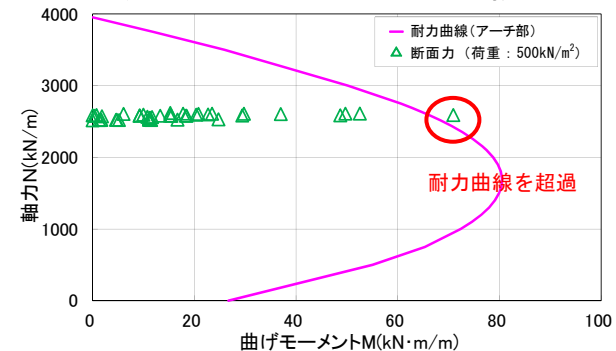


図-6 光ファイバ計測に基づく M-N 耐力曲線（作用荷重）

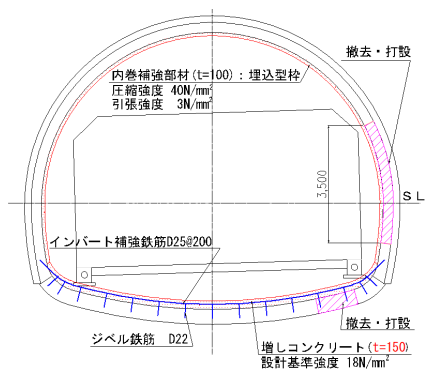


図-7 光ファイバ計測に基づく補強対策工概要図