

光ファイバ計測技術によるトンネル維持管理の生産性向上に関する研究（その5） - 光ファイバ計測データに基づくトンネル変状対策の設計に関する検討 -

八千代エンジニアリング（株） 正会員 坂本昇 金井和彦 笹田俊之 加瀬太都
鹿島建設（株） 正会員 宮嶋保幸 正会員 川端淳一
（一財）先端建設技術センター フェロー会員 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、変状確認後に限られた観測点で調査計測を実施し、変状要因の推定や作用荷重を想定しているため、対策工の設計着手までに時間を有する場合がある。これに対し、建設時に光ファイバを覆工やインバートに設置することで、横断方向や縦断方向の面的なひずみ分布が長期間に計測可能となる。これにより、覆工やインバートの周方向や縦断方向の応力分布を評価し、さらには応力分布が明らかになることで、図-1に示すような変状要因の推定や対策工の荷重の設定期間の短縮が図られ、対策工の設計に早期に着手可能になることで設計の合理化に繋がるなど、トンネル維持管理の生産性向上に寄与できると考えている。

本稿では、光ファイバ計測の計測結果による外力性の変状要因の推定の早期実現に向けた指標の一つとして、外力による変形モードや応力（曲げモーメント、軸力）（以下、応力とする）の分布状況を予め想定し、計測結果との対比で変状要因の推定が早期に実施することで設計の合理化が図れると考え、数値解析にて外力作用による変形モードおよび応力分布を想定した。

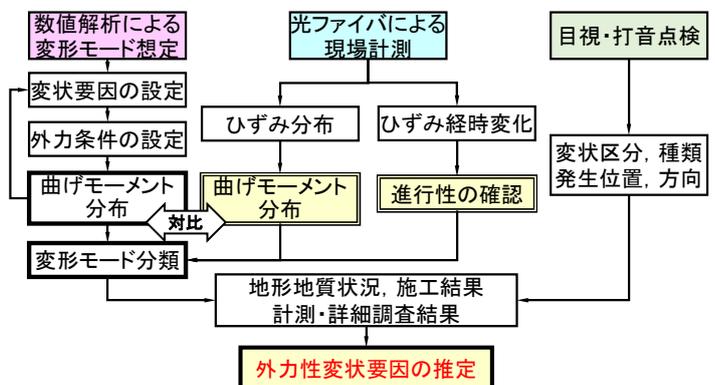


図-1 光ファイバ計測結果による外力要因推定

2. 変形モードおよび応力分布の想定方法

数値解析による外力作用による変形モードおよび応力分布の想定方法は、複数ある外力から今後の活用に向けて事例が多い外力を想定し、その作用荷重を骨組み構造解析で設定し、その荷重から2次元FDM解析を用いて実施した。図2に解析モデルおよび表-1に変形モードの推定に用いた解析条件を示す。トンネル断面は、2車線相当の道路トンネル（内径10.6m）を想定し、土被りは（坑口部を想定）1~2D程度とし、地盤はD相当、支保構造はC（覆工厚0.3m、インバート厚0.4m、普通コンクリート： $c_k=18\text{N/mm}^2$ ）とした。地盤、覆工、インバートの物性値については、文献値¹⁾を参考とした。

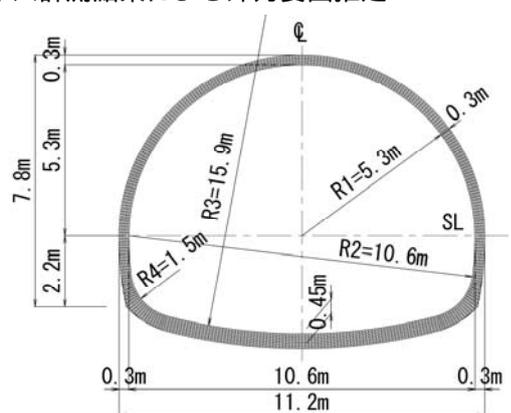


図-2 トンネル解析断面

3. 想定する外力の種類と作用荷重

想定する外力の種類は、道路トンネルでの外力による変状事例²⁾で事例数が多い緩み土圧、偏土圧、膨張性土圧の3種類とした。

外力荷重の作用方法は、図3に示すように緩み荷重はトンネル上方でのTerzaghiの緩み土圧、偏土圧は土被りの違いによる土圧（左：

表-1 数値解析物性値

項目	単位 体積 重量 (kN/m^3)	変形 係数 (MN/m^2)	ポア ソン比	粘着力 (kN/m^2)	内部 摩擦角 ($^\circ$)
地盤 (D II相当)	21.0	150	0.35	0	30
覆工・ インバート	23.0	22,000	0.20	—	—

キーワード トンネル、維持管理、光ファイバ、計測、設計

連絡先 〒111-8648 東京都台東区浅草橋5丁目20-8 CSタワー 八千代エンジニアリング（株）
TEL03-5822-6044

小,右:大),膨張性土圧は側方から等分布荷重を作用させ,覆工やインバートが損傷することを想定した.想定した外力による作用荷重は,骨組み構造解析を用いて応力を算出し,覆工やインバートのMN耐力曲線を超過する荷重を設定した.

4. 外力作用に伴うトンネルによる数値解析結果

変形モードや応力分布の算出に用いた 2 次元

FDM 解析の解析モデルは,土被り高さ 2D (小土被りとなる坑口部の範囲を想定)とし,解析ステップは, Step1:トンネルおよびインバート掘削, Step2:覆工およびインバート打設, Step3:外力の作用の 3 ステップとした.表 3 に外力を作用させた 2 次元数値解析結果による変形モードおよび応力分布の算出結果を示す.ひずみの解析値は,光ファイバ設置を想定し,覆工内の 2 測線(内空側と地山側でかぶり 0.1m の位置),覆工表面の 2 測線(内空側と地山側)の計 4 測線を抽出した.数値解析の結果,緩み土圧ではひずみ,曲げモーメントが左右均等,偏土圧では土かぶり大きい側で大きく,膨張性土圧ではアーチ天端では地山側に大きくなる傾向が確認された.

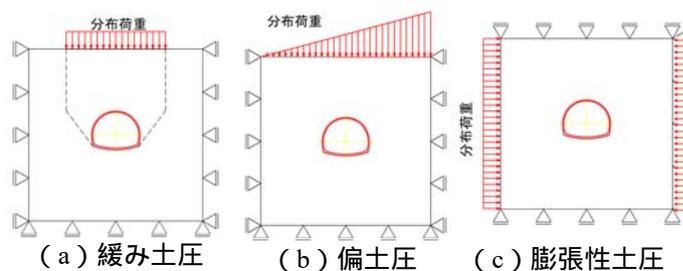


図 - 3 外力荷重作用概要図

表 - 3 数値解析結果による外力作用時の変形モード, ひずみ分布, 応力分布

外力	荷重図	変形モード (灰色:変形前)	ひずみ分布	応力分布 (曲げモーメント・軸力)
緩み土圧				
偏土圧				
膨張性土圧				

5. おわりに

想定した 3 種類の外力作用によってトンネルに発生するひずみや応力の分布の違いが確認することができた.本検討での結果を踏まえ,光ファイバにより計測されるひずみから応力分布を解析することにより,数値解析結果と対比させ,変状要因の推定の早期実現に繋がることで設計の合理化が図ることが期待される.また,光ファイバによる面的かつ長期的な計測結果からトンネル構造自体の残存耐力の推定や荷重状態の把握が容易となり,その結果をもとに逆解析を行うなどで精度が高い設計条件の設定でき,対策工の設計の精度向上を図れることが期待される.今後,トンネルに作用する荷重や地質条件等は多種多様であるため,実トンネルへの適用による計測データの蓄積により,本稿で実施した解析結果の妥当性を検証するとともに,ひずみ分布や変状モードの計測結果と解析結果の対比により精度向上に努め,設計の合理化を目指していきたい.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) 日本道路公団:トンネル数値解析マニュアル,1998
- 2) 公益社団法人 日本道路協会:道路トンネル維持管理便覧(本体工編) 令和2年版,2020