

第VI部門

## リニューアル (14)

2023年9月14日(木) 16:20 ~ 17:40 VI-2 (広島工業大 五日市キャンパス三宅の森Nexus21 503)

## [VI-408] 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1) - 研究概要 -

## Research on Productivity Improvement of Tunnel Maintenance Management by Optical Fiber Measurement Technology (1)

-research summary-

\*宮嶋 保幸<sup>1</sup>、川端 淳一<sup>1</sup>、山本 拓治<sup>2</sup>、岸田 欣増<sup>3</sup>、新保 弘<sup>4</sup>、金井 和彦<sup>5</sup>、野中 隼人<sup>1</sup>、今井 道夫<sup>1</sup>、坂本 昇<sup>5</sup> (1. 鹿島建設株式会社、2. 一般財団法人先端建設技術センター、3. ニューブレクス株式会社、4. リテックエンジニアリング株式会社、5. 八千代エンジニアリング株式会社)

\*Yasuyuki Miyajima<sup>1</sup>, Jyunichi Kawabata<sup>1</sup>, Takuji Yamamoto<sup>2</sup>, Kinzo Kishida<sup>3</sup>, Hiroshi Shinbo<sup>4</sup>, Kazuhiko Kanai<sup>5</sup>, Hayato Nonaka<sup>1</sup>, Michio Imai<sup>1</sup>, Noboru Sakamoto<sup>5</sup> (1. Kajima corporation, 2. Advanced Construction Technology Center, 3. Neubrex Co., Ltd., 4. Retec Engineering corporation, 5. Yachiyo Engineering Co., Ltd.)

キーワード：光ファイバ、維持管理、計測、設計

optical fiber, maintenance, measurement, design

山岳トンネルでは、供用時に地山劣化により構造物に変状が発生し、補強対策が必要となる場合がある。変状状況を確認するための計測は、変状が顕在化してから開始されるため、変状状況を正確に評価できなかった。これに対し、長期耐久性に優れる光ファイバを用いることでトンネルの常時モニタリングを長期に実施することが可能となり、対策の設計を合理的に可能とするなど、トンネル維持管理の生産性向上に寄与できる可能性が期待できる。本稿では、本研究の概要と本技術の適用が期待できるケースの提案を行う。

In mountain tunnels, deformation occurs in structures during service, and reinforcement measures may be required. Since the measurement to confirm the deformation situation was started after the deformation became apparent, the deformation situation could not be evaluated accurately. In contrast, the use of optical fibers with excellent long-term durability enables long-term monitoring of tunnels, making it possible to rationally design countermeasures, and is expected to contribute to improving the productivity of tunnel maintenance and management. . In this paper, we provide an overview of this research and propose cases where this technology can be expected to be applied.

# 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1）

## －研究概要－

鹿島建設(株) 正会員 ○宮嶋保幸 フェロー会員 川端淳一 正会員 野中隼人 今井道男  
 (一財)先端建設技術センター フェロー会員 山本拓治  
 ニューブレクス(株) 正会員 岸田欣増  
 リテックエンジニアリング(株) 正会員 新保 弘  
 八千代エンジニアリング(株) 正会員 金井和彦 坂本 昇

### 1. はじめに

山岳トンネルでは、供用後においても地山の劣化や近接施工などによる外力の影響で構造物に変状が発生し、補強ロックボルトやインバートの打ち換えなどの対策が必要となる場合がある。供用後のトンネルの維持管理は、5年に1度の頻度で実施される点検が標準的だが、変状が路盤下や設備の裏などの目視点検ができない箇所から発生し、路盤の隆起など顕著な異常により顕在化する事例が見られる。このため、調査や計測は、変状後となるため変状や応力状況を正確に評価することができなかつた。これに対し、近年、計測精度や評価技術の進歩が著しく、長期耐久性に優れる光ファイバを用いることでトンネルの常時モニタリングを長期に実施することが可能となった。これにより、変状などの異常やその予兆を早期に検知し、対策の設計を合理的に可能とするなど、トンネル維持管理の生産性向上に寄与できる可能性が期待できる。本稿では、本研究の概要と本技術の適用が期待できるケースの概要について述べる。

### 2. 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

山岳トンネルの外力に起因する変状は、建設完了後、数年から10年以上の長期にわたり発生するが、従来の電気式計測器では、数年で絶縁抵抗が低下するなど長期計測が難しく、変状が顕在化してから計測が行われていた。このため、調査や計測に数ヶ月以上の時間を要している。また、覆工やインバートに発生している応力や変状を正確に把握できず、対策工の設計は想定や仮定を前提として実施せざるを得なかつた。これに対し、光ファイバは長期耐久性に優れ、全長にわたって連続的な計測が可能のため、建設時に光ファイバを実装すれば覆工やインバートの応力状態を建設直後からモニタリングすることが可能となる。図-1に、山岳トンネルの維持管理フローに光ファイバ計測技術を導入することによるトンネル維持管理の生産性向上の効果を示した。すなわち、変状が発生した場合の要因調査を縮減できるとともに、適切な時期に正確な情報に基づいた合理的な設計と対策工が可能となる。

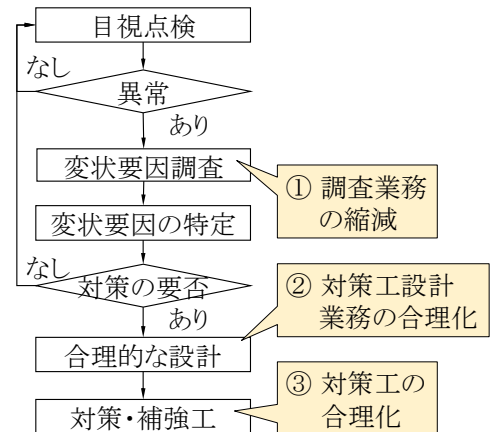


図-1 光ファイバ計測技術によるトンネル維持管理の生産性向上の効果

### 3. トンネル維持管理に適用する際の課題と本研究の取り組みの概要

光ファイバ計測技術は近年の技術革新により、ひずみゲージと同等の精度で連続的なひずみ分布の計測が可能であり、長期耐久性に優れていることから、土木構造物の維持管理への利用が期待されており、様々な構造物を対象とした取り組みが進んでいる。一方、これまでにトンネルの維持管理を目的として、実際のトンネルに実装した事例は極めて少なく、実用化するためには、①設置方法の確立、②実規模トンネルでの計測精度の検証、③計測結果に基づく対策工の設計方法の確立が欠かせない。本研究ではこれらの課題に対し、以下に示す(1)～(4)の取り組みを通じて、実現性を示した。なお、各取り組みの詳細は別途報告する。

キーワード 光ファイバ, 維持管理, 計測, 設計

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

### (1) 新設トンネルのインバートと覆工への設置方法の検証

建設中の新名神高速道路宇治田原トンネル西工事において、施工中のインバートと覆工への光ファイバ設置方法に関する実証試験を行った。コンクリートに発生する軸力と曲げモーメントを計測することを目的として、断面内の地山側と内空側の2側線設置した。また、維持管理段階における配線を考慮し、将来的に設備の電線や通信線が配線される監査廊下の多孔陶管に配線できるような配線方法を考案し、現場での設置試験を通じて、実現可能性を示した。



写真-1 模擬トンネルでの載荷試験

### (2) 既設トンネルへの設置方法の検証

既設トンネルに光ファイバを設置する場合を想定し、施工技術総合研究所の模擬トンネル覆工内面に光ファイバを設置した。施工体制と施工機械を計画し、施工速度を記録した。その結果、現実的な施工速度で設置できることを明らかにした。

### (3) 実規模トンネルにおける計測精度の検証

光ファイバによる実規模トンネルにおける外力の増大に伴う挙動の計測とその計測精度を確認するための検証試験を実施した。実際のトンネルでは外力を制御することができないため、上記(2)の模擬トンネルの上部に土のうを使って載荷し、覆工表面に設置した光ファイバを使って覆工の挙動のモニタリングを行った(写真-1)。覆工表面には、ひずみゲージを設置し光ファイバと比較した結果、光ファイバではひずみゲージと同程度の精度、かつ連続的なひずみを計測できることを明らかにした。

### (4) 光ファイバ計測データを利用した対策工設計の検討

光ファイバ計測データを利用し、対策工設計の合理化について検討を行った。これまでは、覆工に生じたひび割れ分布や方向から変形モードと外力や変状要因を特定し、設計が行われているが<sup>1)</sup>、光ファイバ計測データにより、図-2のように曲げモーメントと変形モードを把握し、対策工設計の合理化が図れることを示した。

## 4. 光ファイバ計測を利用したトンネル維持管理の適用ケースの提案

山岳トンネルの維持管理時に外力が起因する変状が懸念されるケースとして、蛇紋岩地質のトンネルや断層箇所、大土被りのトンネルなど様々なケースが想定される。その中でも以下に示すようなケースでは、外力が増大する可能性が極めて高いため、本研究で実証した光ファイバ計測の積極的な適用を提案する。

- ① 道路トンネルの4車線化のため2期線を建設するトンネルで、1期線で変状が発生した箇所
- ② 地すべり地形や極端な偏圧が作用する坑口部や小土被り箇所
- ③ 将来的にトンネル直上において、盛土や切土によって地形改変がされる箇所
- ④ 掘削時にDIIパターン以上の重厚な支保構造を要した箇所

## 5. おわりに

本研究では、光ファイバ計測技術のトンネル維持管理への適用に向けて、①設置、②計測精度、③設計について取り組みについて言及した。今後、実トンネルへの適用を通じて計測データを蓄積し、当技術の普及に努めたい。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。

実規模トンネルを対象とした設置試験においては、施工技術総合研究所殿に試験場をご提供頂き、多岐にわたるご協力とご助言を賜った。ここに深謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 真下英人, 砂金伸治, 石村利明, 坂本昇, 笹田俊之: 道路トンネルの変状に関する研究報告書—判定・診断の考え方と変状事例—, 土木研究所資料, 第4360号, 2017.

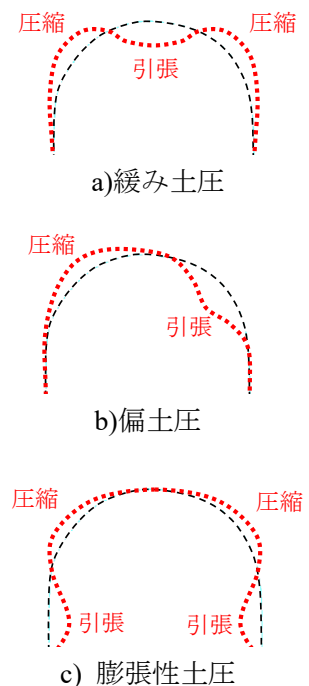


図-2 変形モードによる土圧の推定<sup>1)</sup>