

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1）

－ 研究の目的と覆工・インバートへの実装試験 －

山岳トンネル 光ファイバ 維持管理 鹿島建設(株) 正会員 ○川端淳一 宮嶋保幸 非会員 野中隼人 小池胡楠
 八千代エンジニアリング(株) 非会員 金井和彦 坂本 昇
 (一財) 先端建設技術センター 山本 拓治

1. はじめに

山岳トンネルでは、供用後においても地山の劣化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、トンネルの変状は路盤下などの目視点検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り、変状や応力状況を正確に評価することができなかった。これに対し、近年、計測精度や評価技術の進歩は著しく、長期耐久性に優れる光ファイバを用いることで、建設中から維持管理の長期にわたってトンネルの常時モニタリングが可能となっている。これにより、変状などの異常や予兆を早期に検知し、合理的な対策の設計を可能とするなど、トンネル維持管理の効率化に寄与できる可能性がある。本研究は、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を目的とした、実装技術、計測精度、設計に関するものであり、本稿では研究の概要と実装技術および計測精度に関して述べ、別稿にて解析的検討による山岳トンネル維持管理時の補強設計に関する検討を述べる。

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10年後に顕在化することがある。これに対し、長期耐久性に優れる光ファイバを建設時に実装すれば、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の導入によるトンネル維持管理の生産性向上の効果を示す。これにより、変状が発生した場合の要因調査を縮減できるとともに、計画的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。

3. トンネル維持管理に適用する際の課題

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。

筆者らは、これらの課題に対し、建設中のトンネルでの設置試験、模擬トンネルでの計測精度検証試験を実施したので、その結果を以下に示す。

4. 建設中のトンネルでの光ファイバ設置試験

維持管理段階での計測を見据えた新設トンネルへの設置方法の確立に向け、建設中の新名神高速道路宇治田原トンネルにおいて実現性検証のための実証試験を行った。図-2に光ファイバの設置レイアウトを示す。本試験では、覆工およびインバートの

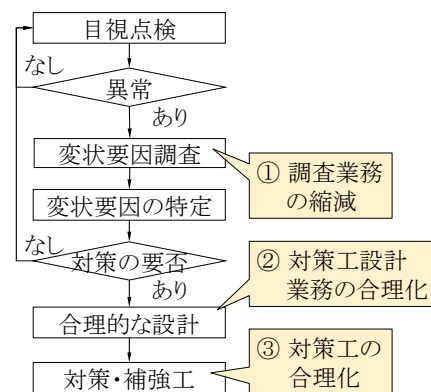


図-1 光ファイバ計測技術によるトンネル維持管理の効率化の効果

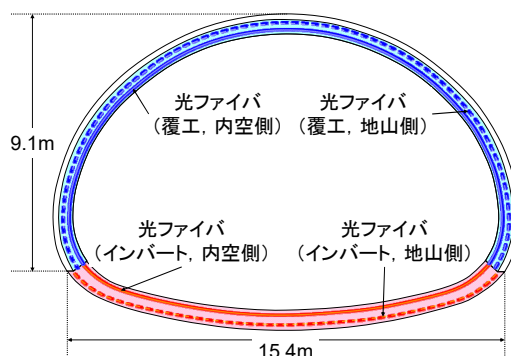


図-2 建設中のトンネルへの光ファイバの設置レイアウト

Research on productivity improvement of tunnel maintenance management by optical fiber measurement technology (part 1)
 - Purpose of research and implementation test for lining/invert -

Jyunichi KAWABTA Kajima Corporation
 Yasuyuki MIYAJIAMA Kajima Corporation
 Hayato MIYAJIMA Kajima Corporation
 Konan KOIKE Kajima Corporation
 Kazuhiko KANAI Yachiyo Engineering
 Noboru SAKAMOTO Yachiyo Engineering
 Takuji YAMAOTO Advanced Construction Technology Center

断面力を評価することを目的として、断面内の地山側と内空側の 2 つの深度に光ファイバを設置した。光ファイバの設置はコンクリート打設時に流されないように、ガイドとなる鉄筋に光ファイバを沿わせて正確な位置に設置した。

図-3 にインパルトへの設置状況を、図-4 に覆工への設置状況を示す。インパルトへの設置は 3 人体制で 1 測線当たりの光ファイバの設置時間は 2~3 時間程度であった。また、覆工への設置は 4 人体制で 1 測線当たりの設置時間は 5~6 時間程度であった。部材への設置後に必要となる光ファイバの配線作業等は、補強鉄筋の組立てなどの通常作業と並行して実施できるため、光ファイバの設置に関わる作業が現場工程に及ぼす影響は軽微であることを確認した。また、打設後に断線のないことを確認した。

5. 模擬トンネルにおける載荷試験

実規模での光ファイバの計測精度を確認する目的で、内空の高さが 7.1m、幅 11.2m の実物大の模擬トンネルにて載荷試験を行った。図-5 に、本試験で用いたセンサのレイアウトを示す。光ファイバは、接着剤により覆工表面の周方向への全面設置とし、精度検証のため、ひずみゲージを天端、肩部 2 箇所、SL.高さ 2 箇所に、既存計器として設置した。

図-6 にトンネル上に最大の 47t を載荷した時の光ファイバと従来計測手法のひずみゲージによる計測結果を示す。横軸は、トンネル脚部のうち南側(図-5)を起点 0m としてトンネル周方向に沿って展開し、天端付近を 10m、脚部北側を 20m としている。この結果、光ファイバでは、天端部のひび割れ位置を除き全体に圧縮ひずみが生じており、肩部に最大の圧縮が発生している。これはトンネル天端部に載荷した時の一般的な傾向と整合している。ひずみゲージでも同じ傾向であり、ひずみの値も概ね同等であることが確認できた。

図-7 はトンネル両肩部における載荷から除荷段階のひずみ計測結果を示したものである。光ファイバとひずみゲージ共に載荷が進むにつれて圧縮ひずみが増加し、除荷過程では徐々に圧縮ひずみが減少する傾向を示した。設置表面の不均質性などの影響により光ファイバはひずみゲージと最大で $7\mu\epsilon$ 程度の誤差はあるものの、実際に評価する上では軽微であり、同等の精度で計測が可能であることを確認できた。

6. まとめ

山岳トンネルの維持管理への利用を目的とした光ファイバの設置試験と模擬トンネルにおける載荷試験を実施した。試験の結果、光ファイバの設置は現場の工程に影響の少ない現実的な設置方法であることが確認できた。また、模擬トンネルでの載荷試験を通じて、ひずみゲージと同等の精度で連続的な計測が可能であることを確認した。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。本試験では、西日本高速道路株式会社、施工技術総合研究所殿に試験場を提供して頂き、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。

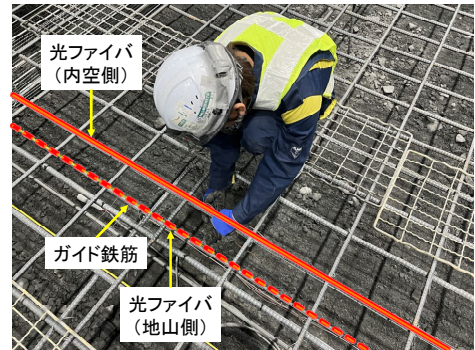


図-3 インパルトへの設置状況

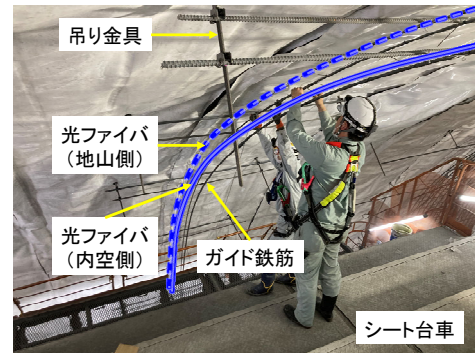


図-4 覆工への設置状況

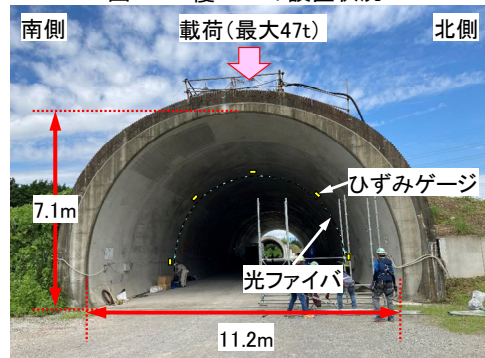


図-5 模擬トンネルにおける光ファイバ設置レイアウト

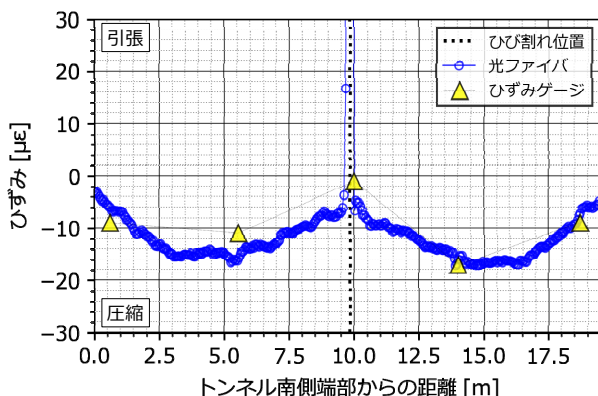


図-6 ひずみ分布計測結果(載荷 47t)

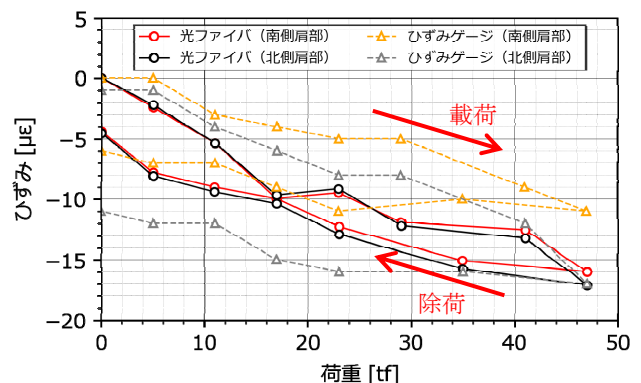


図-7 載荷除荷によるひずみ計測結果