

光学ストランドを用いた構造物モニタリングについて

光ファイバー、モニタリング、維持管理

(株) 間 組 正会員 ○蓮井 昭則
(株) 宮地鐵工所 能登 有愿
日本エヌ・ユー・エス (株) 門 万寿男

1. まえがき

最近、構造物の維持管理において光ファイバーを利用した各種のセンサーによる計測技術が注目されている。その理由は、光ファイバーを利用したセンサーが従来の電氣的計測方法に比べて高耐久性を有し、電氣的劣化がなくノイズに強いなどの特徴により、長期モニタリングでの利用が期待されるためである。地下空間、特に大深度地下空間に構築される構造物は、他の構造物に比べて長期利用が求められ、さらにメンテナンスが困難であるため、維持管理の効率化がより求められる。その方策の1つとしても、構造物の変位や応力といった定量的な数値モニタリングによる情報化管理が必要である。本報では、維持管理におけるモニタリングの意義、光学ストランド（光ファイバーの撚り線）による構造物モニタリング技術の概要と事例を紹介し、大深度地下空間の構造物におけるモニタリングのあり方について提案する。

2. 構造物の管理における長期モニタリングの意義

構造物の一生は「計画」、「設計」、「建設」、「供用」、「撤去」の順に経過し、そのうち「供用」期間がほとんどを占め、通常のコンクリート構造物では数十年以上の供用が想定されている。このような構造物を安全に長く利用するためには効果的なメンテナンスが必要であり、そのためには構造物の状況を適切に確認することが求められる。ところが構造物の建設段階では変位や応力を計測し、設計や施工にフィードバックすることが行われているが、供用段階では目視観察程度は行われているものの、定量的な監視はほとんど実施されていない。

一般に計測値による管理では、変位や応力などの指標に対して管理基準を設け、その管理基準値と測定値を比較して構造物の状態を判断されるが、供用中に計測を開始した場合には初期状態が不明であり、管理基準値を設定することが難しい。このような場合には、指標の変化を継続してモニタリングし、図-1 (a) に示すように変化傾向から構造物の状態を推定する方法¹⁾が利用できると思われる。土砂斜面における変位速度での管理や地下発電所掘削での掘削課程と地中変位との関係による管理などが一例である。また、建設中あるいは直後から継続したモニタリングが開始されれば、図-1 (b) に示すように、管理基準値の設定も容易であり、管理基準と変化傾向による判断の2通りの情報を得ることができるため、構造物の現状把握はより容易になる。さらに日本での事例はまだ少ないが、計測値に変化がない、つまり「構造物は変化していない・安全である」ことを確認、証明するためのモニタリングも、古い構造物の増加とともに、今後増えていくものと思われる。

このように継続したモニタリング（長期モニタリング）は、構造物の状態を適切に確認するための情報を得るツールとして構造物の維持管理に利用することができる。

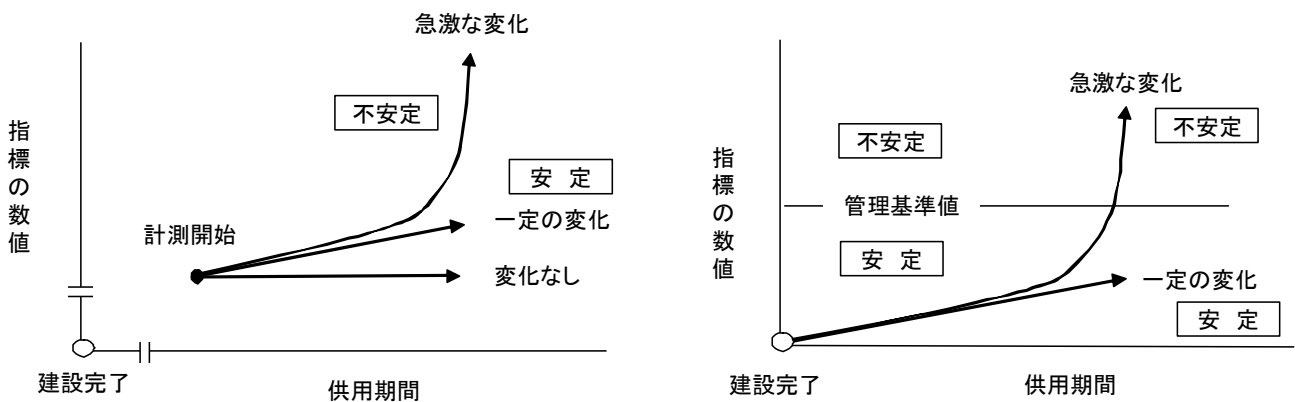


図-1 測定値を利用した管理方法

3. 技術概要

(1) 測定原理

光ファイバーの中を赤外線が透過するとき、経路の曲線部で赤外線の一部が外部に漏洩し、ファイバー内を透過する赤外線の強度が変化するという性質（マイクロベンディングの原理）がある。光学ストランドによる構造物のモニタリングシステム（Optical Strand Monitoring System : OSMOS）の測定原理は、この性質を利用し、対象物の変化や動きを測定しようとするものである。

(2) 機器構成

OSMOS システムは、対象物に設置する光学ストランドを用いたセンサー部と、ファイバー内を通す赤外線の強度を制御・検知して変位量に換算する光学変換部、そして測定結果を把握するモニタリング部で構成されている²⁾。システム構成を図-2に、センサー部である光学ストランドの例を写真-1に、赤外線を発・受信するオプトボックスを写真-2に示す。

対象物に変位が発生すると、センサー部の撚り線状になった光ファイバーに伸び縮みが生じ、ストランド部の曲率がわずかに変化し、オプトボックスにかえてくる赤外線の強度が変化する。測定はこの赤外線の強度変化を変位に変換することによって行われる。光学変換部とモニタリング部間が遠隔地の場合には、有線電話回線や携帯電話を使ったデータ採取やシステムの作動コントロールが行われる。また、最近ではオプトボックスから従来計測で使われるデータログにデータを直送し、他の計測手法と組み合わせたモニタリングも可能になっている。

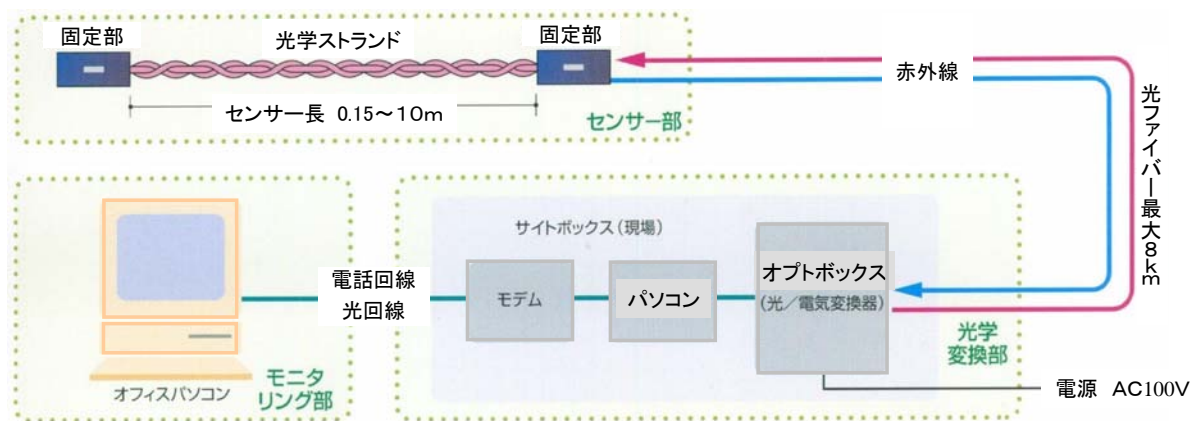


図-2 OSMOSのシステム構成



写真-1 光学ストランド



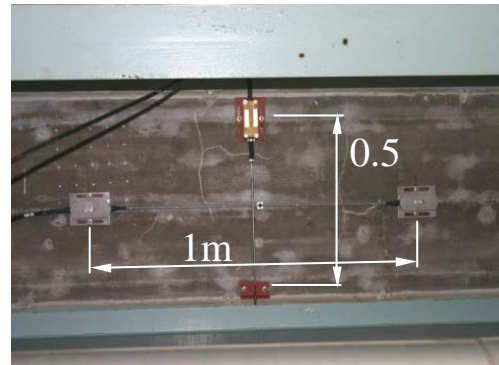
写真-2 オプトボックス

(3) センサーの設置

センサーの設置はセンサー両端の固定部をアンカーボルト、接着剤あるいは磁石などを用いて対象物に取り付けるだけで済むため簡単である。写真-3にコンクリート構造物へ取り付け例を、写真-4に橋梁の鋼主桁のフランジに取り付けた例を示す。また、固定部以外は対象物に固定する必要がないので、建物の梁と柱との相対関係を監視するために、空中に配することも可能である。その例を写真-5に示すが、ここでは事故等で損傷を受けた高層ビルを補修・補強するための監視方法として、モニタリングが採用されている。



(a) 固定部



(b) コンクリート表面での設置

写真-3 コンクリート構造物への設置

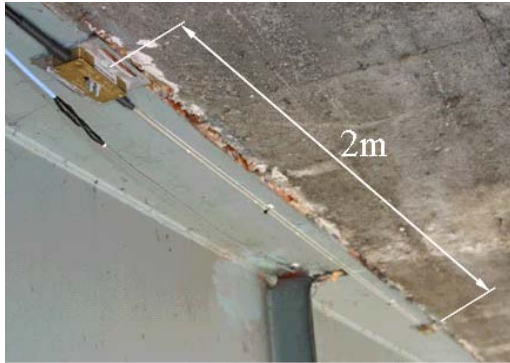


写真-4 橋梁の主桁フランジへの設置



写真-5 梁と柱への設置

4. 適用事例

4.1 静的モニタリング

トンネル、土砂斜面や建築物などの構造物は、地震時を別にすると、静的なモニタリングにより構造物に発生している変化を捉えるが可能である。静的モニタリングの例として、火山活動によって影響を受けている山岳トンネルの覆工コンクリートの挙動モニタリング事例³⁾を紹介する。

このトンネルが受けた火山活動の影響（覆工コンクリートの損傷）には3つのパターンがみられたため、モニタリングは各パターンの代表的な3ヶ所を選定し、火山活動の影響の収束過程を確認した。そのうちの1箇所の状況を写真-6に示すが、トンネル軸に斜めにひび割れが発生した地点で1つのひび割れに着目して変位方向が判別できるように長さ2mの光学ストランドを設置し、10分に1回の測定を実施した。測定結果を図-3に示すが、測定は6月中旬から9月中旬までの3ヶ月間で、火山活動の影響が徐々に収束していった様子がよく分かる。

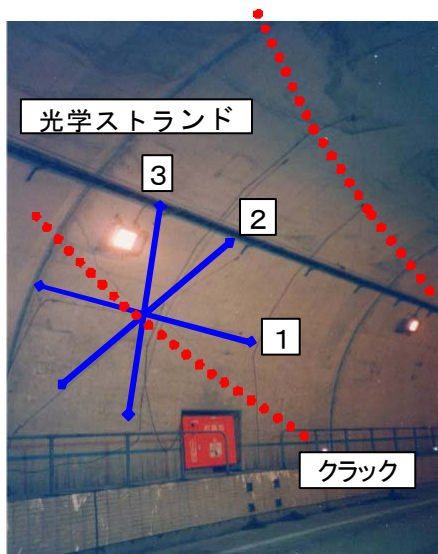


写真-6 トンネル変状位置の状況

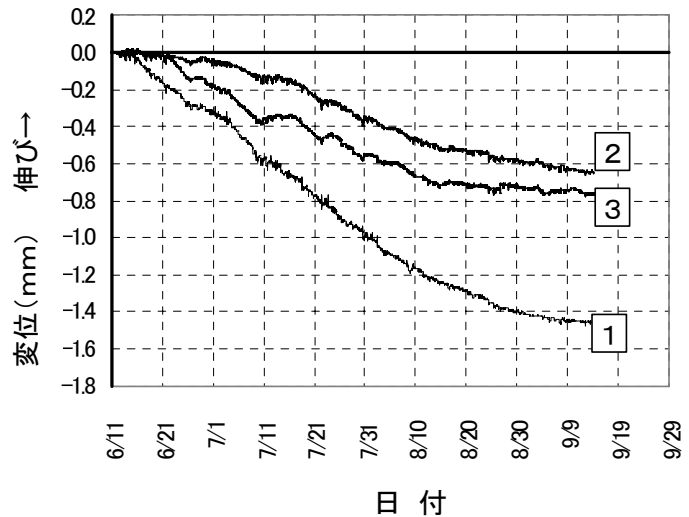


図-3 トンネル覆工コンクリートの測定結果

4.2 動的モニタリング

橋梁のように交通荷重が作用する構造物、あるいは地震時の挙動は、外力の作用による構造物の反応を測定することで、見かけ上の剛性を確認することが可能である。そのような構造物に対しては、動的なモニタリングが適している。動的モニタリングの例として、橋梁主桁の挙動モニタリング事例⁴⁾を紹介する。

対象とした橋梁は供用開始後40年以上が経過したゲルバー鋼板桁橋で、既に縦桁増設、床版増厚などの補強工事が施されている。図-4に橋梁および計測位置を示すが、センサーは径間中央の主桁の上下フランジで橋軸方向に長さ2mの光学ストランドを設置した。測定結果を平均ひずみで整理した一例を図-5に示すが、車両の通過による主桁フランジの動きが良く分かる。このような動的挙動は車両の重量によって、あるいは橋梁の見かけ上の剛性によって変わるため、橋梁の性能を示す指標としての利用が考えられる。

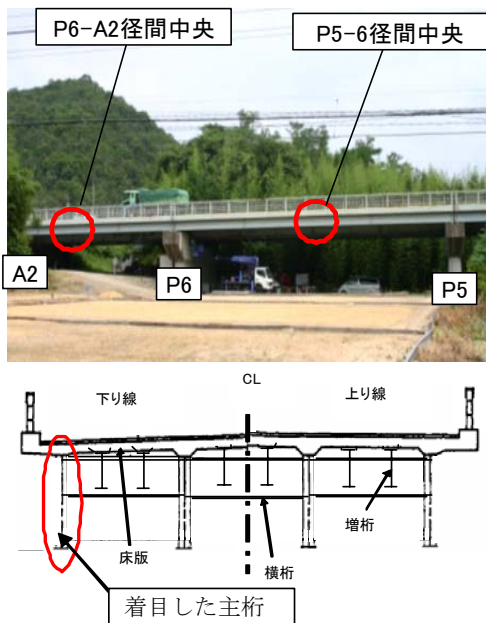


図-4 橋梁および計測位置

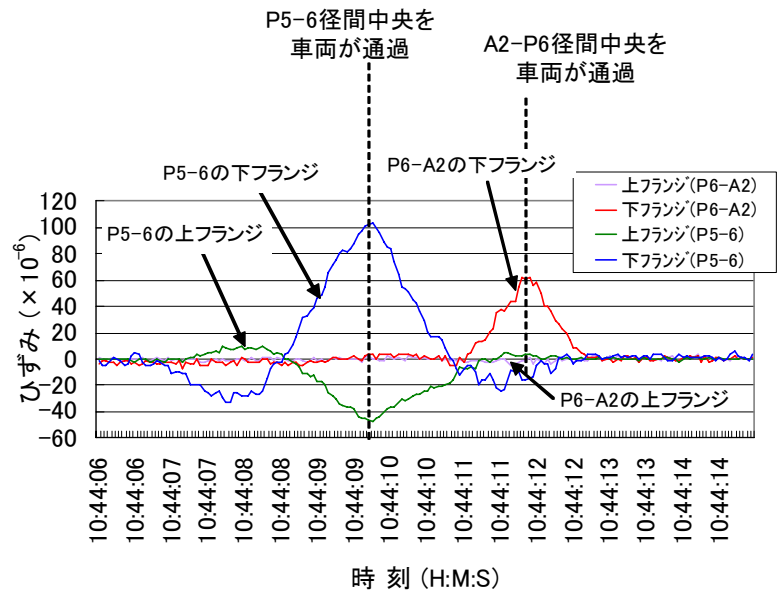


図-5 主桁の測定結果例 (平均ひずみで整理)

5. 大深度地下空間の構造物モニタリング

大深度地下空間の構造物では、外側に地盤(土、水など)があり、建設した後の供用段階で人間が入ることがほとんどなく、また、湿度が高い・暗い・狭いなどの条件も加わり、地表にある構造物のようなきめ細かい維持管理を行うことは難しい。そのため、大深度地下空間での効率的な維持管理のためには補修・補強の適切な方法や時期を判断できる定量的な情報が必要である。一方、光ファイバーを利用した計測方法はセンサーの耐久性が非常に高いため、長期にわたる測定ができ、ランニングコストを抑えることが可能である。このような特性を持つモニタリングは大規模地下空間での維持管理に有効な情報を提供できると考えられる。特に、施工中の段階からセンサーを設置し、供用後もモニタリングを継続すれば、より正確な情報を得ることが可能である。

6. あとがき

光学ストランドによる構造物モニタリングは、数mという構造物のマクロ的な挙動を簡単に捕らえることができるため、構造物の種類や計測目的に応じた色々な利用の仕方が考えられる。しかし、測定結果からの評価方法についてはまだまだ手探りの状態であり、今後の技術開発が必要である。

参考文献

- 1) 門万寿男・佐藤拓哉：光ファイバセンサによる構造物の長期連続モニタリング、土木学会応用力学論文集 Vol.6、pp.1105-1112、2003.
- 2) OSMOS 技術協会：OSMOS パンフレット
- 3) 坂田英一・山下英俊・志賀正延・桑原正・今井淳次郎：変状トンネルモニタリングへの光ファイバーセンサーの適用、土木学会第56回年次学術講演会VI-121、pp.242-243、2001.
- 4) 山下久生・蓮井昭則・能登有愿・大島義信：光学ストランドによる既設橋梁の動的モニタリング、土木学会第60回年次学術講演会I-428、pp.853-854、2005.