

OSMOSの使用法とその特徴

Usage and its Features of the Optical Strand Monitoring System (OSMOS)

能 登 宥 愿*
Hiroyoshi NOTO

Summary

Monitoring is a measurement system, which pursues the variations of the condition for time being and exhibits the progress situation to the ultimate state of a structure (a steel bridge with a concrete floor slab is described mainly in this paper), at need. The "OSMOS" system uses optical strands of twisted optical fiber cables to monitor statically or dynamically the deformation of the structure by its expansion or shrinkage. This paper outlines the followings;

- (1) features of "OSMOS" usage
- (2) long term observation method for varied condition of a structure
- (3) comparisons with the ordinary method using strain gauges
- (4) evaluation method for the security of a structure
- (5) applied usage of "OSMOS"

キーワード：モニタリング，計測，光ファイバーケーブル

1. まえがき

モニタリングシステムは、一般に構造物（本文では主にコンクリート床版を有する鋼橋）の変状を経時的に捉え、必要に応じ構造物の終局状態への進行状況を明示するものである。“OSMOS”は、光ファイバーを撚った光学ストランドを利用し、構造物の変形を静的に、または連続して動的に計測するシステムである。本文では①“OSMOS”の使用法の特徴、②変状の追跡方法、③ひずみゲージとの比較、④構造物の安全性評価法、⑤応用的利用法等について述べるものとする。

2. “OSMOS”の使用法の特徴

構造物を構成する部材のモニタリング対象とする部位を挟んで、固定された端子間の光学ストランド（又は光学伸縮計）で、伸び、縮みの連続的な変位の変化を計測する。

まず、光学ストランドの荷重－変位の相関係数を求める。この係数は広い範囲で完全な線形性を表す訳ではない。高い精度を追求する場合は、使用するひずみの範囲

の中心付近で相関係数即ち校正係数を作成する。こうすることにより、高い精度でデータを得ることができる。

センサーの使い分けは、部材の広い範囲には光学ストランド（標準の長さ：2m、5m、10m）を使用する。鋼橋の部材には2mのストランドを使用することが多い。局所的な部位には光学伸縮計を使用し、適材適所に使い分ける。これらのセンサーは、亀裂が発生していない箇所のみならず、既に亀裂が発生している箇所を跨いで設置し、測定することができる。

次にセンサーとしての光学ストランドに対する温度影響を考える。構造物を構成する部材の材料は、一般的に鋼またはコンクリートである。これらの材料のおよその線膨張係数は 1.2×10^{-5} または 1.0×10^{-5} である。これに対しガラス繊維のストランドの線膨張係数はおよそ構造物材の十分の一である 1.0×10^{-6} 位である。そこで構造物に対する温度影響は考慮すべきであるが、センサーに対する温度影響は考慮する必要がないと考えられる。また、特殊な外部条件、使用法は、本技報前号に記述しているので参照して頂きたい。

*技術本部技術開発部部长

3. 変状の追跡法

本システムは基本的に構造物のポイントとなる箇所にセンサーを設置し、その寿命をマクロ的に捉えるものである。

センサーを貼付した着目範囲の測定（静的測定）は一定間隔（例えば30秒間隔）で行う。但し、急激な変形や衝撃が生じた時は、静的測定と平行して、自動的に20Hzで動的測定も行うシステムとなっている。その測定値は連続的にコンピュータに収録される。その結果、データとしての加工は静的（いくつかのデータの平均値をとる）にも、動的にも処理することができる。

着目範囲の測定値（変形量）には、弾性ひずみ、塑性ひずみ、クラックが混在することもある。しかし、長期的にデータを収録していけば、ある程度各々の値を分離することができる。弾塑性ひずみは、必要に応じて貼付したひずみゲージで特定することができる。クラック発生時は衝撃値がプラスされクラック幅よりその分だけ大きくなる。このことより、クラックの位置および発生時刻（または発生荷重）を知ることができる。しかし、この衝撃値は瞬間的な値であり、その後はクラックとひずみ（一部はクラック解放後のひずみ）を合計した変形量となる。

構造物の温度変化による挙動を知るには、昼間部のデータを採るだけではなく、構造物全体の温度分布が一定となる夜間のデータを採取して比較すれば可能となる。また構造物全体の一定温度差に対する影響は、夜間の一定温度の異なるデータを採取することにより明確になる。但し、この場合二時点の残存亀裂、影響を与える荷重が同一である条件が必要である。長期測定（異なる温度時点の測定）が困難な時、概略の温度影響値を知りたい時には、構造モデルに温度変化を与えて解析的に求めることにより可能である。

4. ひずみゲージとの比較

光学ストランドとひずみゲージとの比較を示す。対象構造物はPC床版を有する開断面鋼2箱桁モデルである。図-1に示すように床版下面の中央部に、橋軸方向3センサー（中央センサーに2センサーをラップさせて）、橋軸直角方向1センサーを設置した。

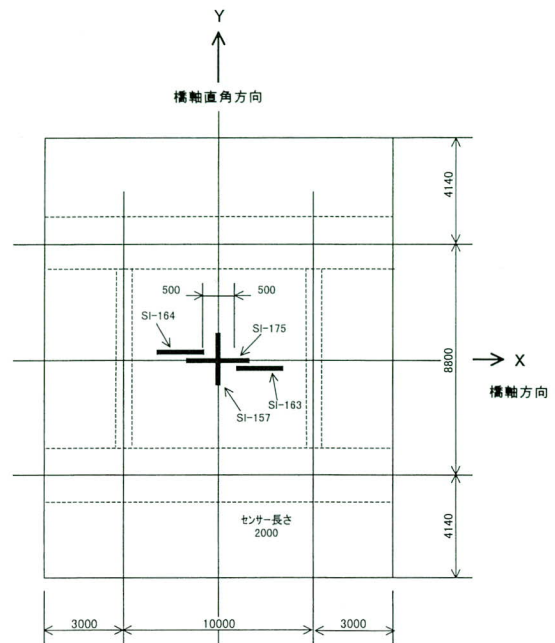


図-1 OSMOSセンサーの設置位置

両方向の中央センサーの変形量に大差はないが、変形量のより大きい橋軸直角方向センサーの測定値について詳細に説明する。（図-2、-3、-4）

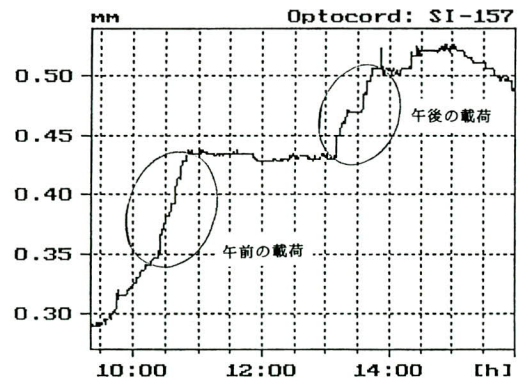


図-2 Y方向センサーの荷重（時刻）-変位

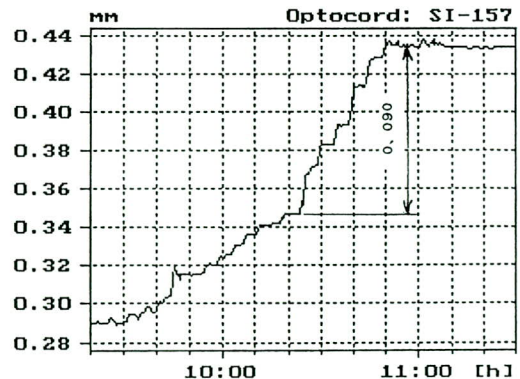


図-3 午前のY方向センサーの荷重（時刻）-変位

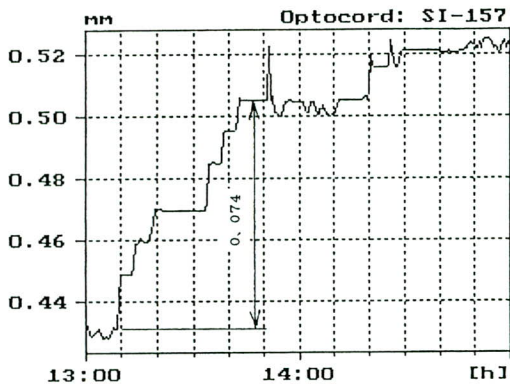


図-4 午後のY方向センサーの荷重(時刻)ー変位

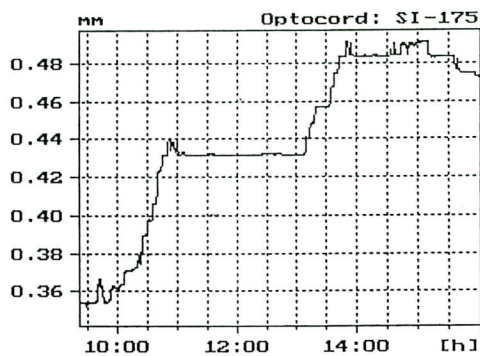


図-5 X方向中央センサーの荷重(時刻)ー変位

図-3、-4で示すように両者とも6段階で荷重増加(5ton/段階、載荷位置は異なる)していることが読みとれる。また図-3の載荷前の変化部は温度影響値である。同様に橋軸方向の中央センサーについて図-5に示

す。荷重段階は図-2と同じように各6段階(合計12段階)で変化している。

表-1 OSMOSとひずみゲージの比較

	ひずみゲージ		OSMOS	
	TOTAL	差分	変位	平均ひずみ
第1ST	-661.0	—	0.344	—
第1EN	-604.9	56.1	0.434	45
第1ST	-612.0	—	0.43	—
第1EN	-570.2	41.8	0.51	40

但し、平均ひずみ=(0.434-0.344) / 2000=45×10⁻⁶

ひずみゲージとの比較値を表に示す。クラックの発生する前では、コンクリートひずみは多少バラツキがあるが、良く対応していることが分かる。

5. 構造物の余寿命の評価法

構造物の部材断面が腐食等により損耗した場合、今後どのくらいの余寿命があるかを見積もることは、非常に重要なことである。そこで、まず現状の死荷重でどのくらいの応力が発生しているかを調べる必要がある。磁歪法等の計測による方法もあるが、精度等を考えると解析的に求める方が現状では良いようである。この場合に、応力は変化をみるために原断面と損耗断面の両方で計算して求める。但し、死荷重応力として使用するのは、損耗断面のほうである。次に現状以降の応力はOSMOSに

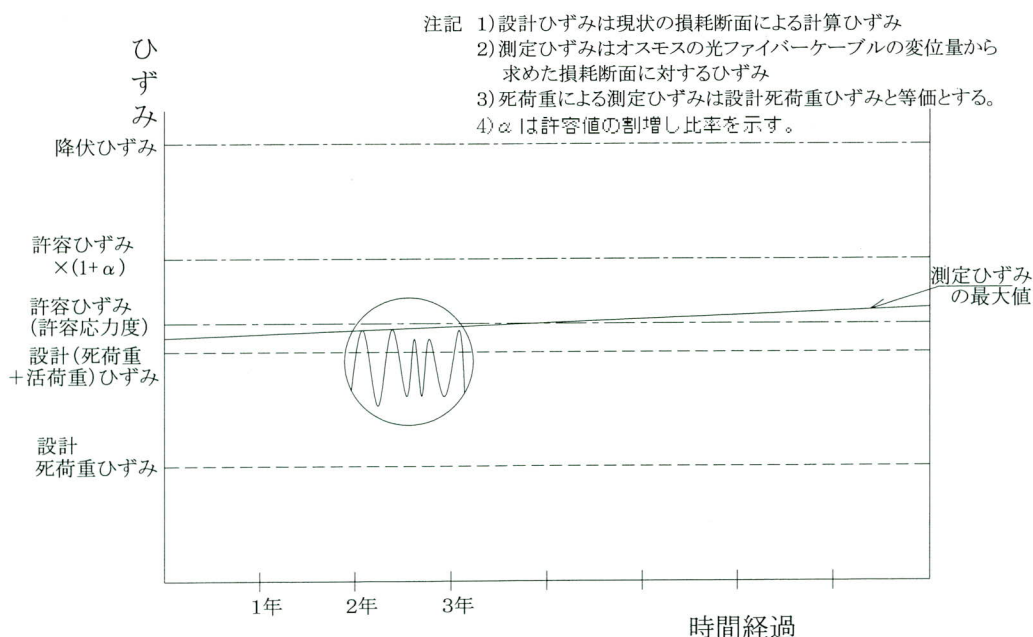


図-6 設計ひずみとモニタリングによる測定ひずみ

- 注記 1) 設計ひずみは現状の損耗断面による計算ひずみ
 2) 測定ひずみはオスモスの光ファイバケーブルの変位量から求めた損耗断面に対するひずみ
 3) 死荷重による測定ひずみは設計死荷重ひずみと等価とする。
 4) α は許容値の割増し比率を示す。

より変形量（ひずみ量）から求める。もちろん、変形量がどのような割合で進行するかを経時計測で確認していく。前述の死荷重応力と現状以降の応力を加算して合計応力を求める。これを許容される応力（設定応力：許容応力 $\times(1+\alpha)$ ）と対比して、その変化率から余寿命を推定することになる。但し、この変化率が時間とともに変化していくのでこの値を利用することにより、余寿命はさらに精度の良いものとなっていく。

6. 応用的な利用法

応用的利用法として、変形量（またはひずみ量）そのものの測定は目的でないもの、ひずみ量とその波形形状の波数の相関関係を求めるもの等がある。

例えば前者は、重要なものを貯蔵する時に温度管理を必要とする場合である。貯蔵庫内に線膨張係数が明確な材料の棒部材をセットし、これに光学ストランドを設置し温度変化を測定する。このとき変形量から許容温度を報知するようにする。

後者は動的なデータを利用することである。ケーブル支持構造物のケーブルに光学ストランドを設置し、ケーブルの振動を表す変形量の変化波数からケーブルの死荷重張力を算定する。但し、活荷重張力は変形量（またはひずみ量）からも求められる。他の例として、ひずみ量の値と発生頻度数をカウントし、これらの二値を利用する頻度計測がある。その他にも応用的利用法には、いろいろなことが考えられる。

7. あとがき

本システムはトンネルのクラック調査、護岸の迫り出し、近接施工の地盤の変状調査等に使用され、有効性が認められている。我々が携わっている鋼橋も東京オリンピックに向けて架設されたものは、40年を経ている。その間、当初想定した車両荷重に対する重量増、走行車両の頻度増加等にもより、橋は老朽化が進んできている。橋の新設が難しい中、維持管理が必須になってきている。このための適切な管理に、モニタリング技術は有効と考えられる。この“OSMOS”は簡易でかつ、非常にタフなシステムなので現場には非常に適していると思われる。

<参考文献>

- 1) 能登, 中島, 渋谷: 光センサーによるモニタリングの特徴と有効性, 宮地技報No. 16, pp. 80~82
2001. 12. 28 受付

グラビア写真説明

香椎かもめ大橋

外字コンテナ埠頭、親水緑地等の整備により、博多港の一大拠点として総合的な港湾空間となることが計画されている香椎ポート地区や博多湾東部につくられる未来都市のアイランドシティ地区における国際外貿コンテナターミナルの物流交通の連絡強化を図るために計画されている幹線臨港道路の一部で、平成6年春に片側三車線で暫定供用、現在は六車線化に向けて施工中で14年12月には全線で供用する予定となっている。

大きくはばたく「かもめ」、優美な曲線美（橋の連続性）をイメージしたデザインで福岡市で一番長い橋になり、幹線ルートとして機能するだけでなく周辺地域の交通利便性の向上に寄与し、湾西群の福岡タワー、荒津大橋とならんで湾東部の新しいシンボルとなることが期待されている。
(矢野)