

# 高分解能な自立型無線式傾斜計（LIRIS-TM）の ベント傾斜モニタリングのデータ評価

## Data evaluation of bent tilt monitoring of high-resolution self-contained wireless tiltmeter (LIRIS-TM)



永谷 秀樹\*<sup>1</sup>  
Hideki NAGATANI



神野 夢希\*<sup>2</sup>  
Yumeki KAMINO

### 要旨

OSMOS（Optical Strand Monitoring System）モニタリングシステムにおける自立型無線式センサーシステムであるLIRISの傾斜計は、分解能が0.001°と非常に高い性能を有している。弊社では、この無線式の電源・配線不要で現場での施工性に優れた高分解能傾斜計を用いたM-STモニタリングシステムを、架設時の安全管理として、ベントの傾斜の常時監視に2018年から適用し、データの蓄積を行ってきた。ここでは、そのデータから、架設時のベントの常時挙動とモニタリング時の分解能について評価を行う。また、温度や風などの影響をベントの傾斜角がどの程度受けるかも示す。

キーワード：安全管理, ベント, 常時モニタリング, 自立型無線式傾斜計, OSMOS, LIRIS

### 1. はじめに

架設時の事故防止対策として、ICT、IoTを活用してベント傾斜角の架設時モニタリングが適用されている。これは、温度変化による桁の伸縮および支持荷重等により、ベント基礎に想定外の不等沈下が生じた場合に、ベントが損傷し、その結果として第三者災害を含む重大な事故に繋がることを事前に防止するためである。

したがって、基礎の不等沈下等によるベントの傾きを常時モニタリングする必要がある。モニタリング結果よりベントの傾斜の変状を事前に把握する必要がある。このため、弊社では0.001°の単位で計測できる高分解能の自立型無線式傾斜計（LIRIS-TM）を用いてベントの傾斜の常時監視を行うM-STモニタリングシステムを開発し、適用している。そのシステムの概要を図-1に示す。この図に示すように傾斜計による計測は常時10Hzで実施している。

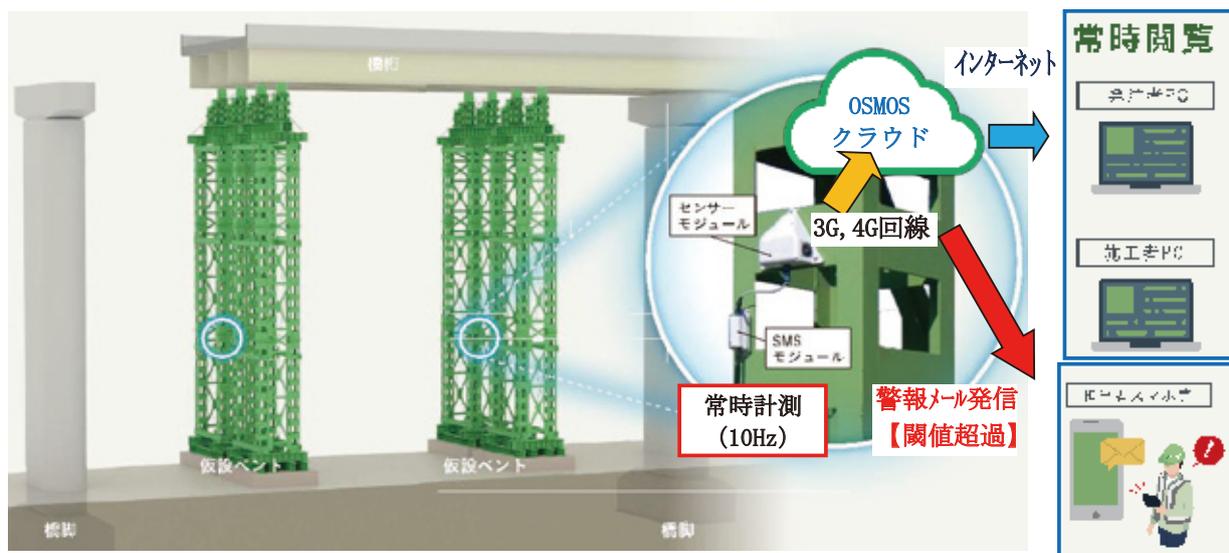


図-1 ベントの傾斜モニタリング（M-STモニタリングシステム）の概要

\*<sup>1</sup> 技術本部技術開発部技術開発グループリーダー

\*<sup>2</sup> 技術本部技術開発部技術開発グループ

また、計測された傾斜角の6時間置きのデータ（6時、12時、18時、24時の4ポイントデータ）が毎日0時に自動的に3G、4Gの携帯回線を用いてOSMOSのデータクラウドに送信される。クラウドに送信されたデータは専用の閲覧ソフトSafeWorksにて、インターネット経由で時間と場所を選ばずに確認することができる。さらに、センサー内に傾斜角の閾値を設定することにより、計測結果が閾値を越えた場合に即時に警報メールが発信され、異常を管理者に知らせることができる。

ベントの常時監視における要求事項として、著者は以下の通り考える。

①地震や風などの瞬間的な異常も検知する必要があるため、極力短い間隔で経時計測を実施する。

②温度、架設時荷重、地盤沈下等による外的作用に対して、ベントの傾斜角の変化を常時確認できる。

そこで、本システムでは、要求事項①に対しては1秒間に10回（10Hz）にて計測を実施している。さらに、要求事項②については、計測の分解能を $0.001^\circ$ と高くすることにより微小な変化も確認可能となっている。

ここで、要求事項②については、本来、常時にベントの傾斜がどの様に変化するかを把握した上で、分解能等を決定する必要がある。本稿では、今までの弊社のモニタリング実績のデータから、ベントの傾斜に関する常時挙動や台風時などの異常時の挙動を検証し、モニタリングとして必要とされる分解能などについて評価を実施する。

## 2. ベントの傾斜角のモニタリング概要

M-STモニタリングシステムを用いて実施したベントの傾斜角モニタリングは、1つのベントに対して橋軸・橋直の2方向の傾斜角を対象としている。図-2に示すように、ベントにはネオジム磁石にて強固に固定し、基部底面に近い基部からの高さ2.5m以内に通常は設置している。

前述の通り、計測に用いた傾斜計は、現場での電源・配線が不要で施工性に優れたOSMOS社の自立型無線式傾斜計（LIRIS-TM）であり、計測間隔は10Hzで、 $0.001^\circ$ の非常に高い分解能度で計測している<sup>1), 2)</sup>。また、この傾斜計は同時に設置位置の温度も計測している。

計測データは1時間毎に傾斜計本体内部に保存され、本体に設定した閾値を越えた場合のデータも計測・保存され、同時に警報メール発信を行う。さらに、架設時特有の衝撃的な振動による傾斜計の誤報発信防止の対策が実施可能となっている。なお、計測データはSMSモジュール



図-2 傾斜計のベントへの設置状況

により携帯回線を用いて自動でクラウドへ送信し、モニタリングデータ閲覧ソフトSafeWorksを用いてインターネットによる遠隔モニタリングを実施している。ここで、計測データの自動送信頻度は前述の4ポイントデータの1回/日送信する以外に、1回/1時間の頻度で送信することも可能である。前者はSMSモジュールのバッテリー消費を抑えることができるメリットがあるため、通常は前者の頻度での自動送信を選択しており、閾値を越えた場合には即時に警報メールが発信されることから、適切であると考えられる。

## 3. ベント傾斜角のモニタリング結果と考察

### (1) 常時における計測結果と挙動評価

図-4、5にベント傾斜角の常時における計測結果の事例を示す。この計測結果は同一橋梁における計測結果であり、計測するベントにより挙動が異なり、図-4に示すように一部のベントにおいて傾斜角が経時的に増加していることが確認でき、ベント1、2の橋軸方向の傾斜角のみが経時的に増加している。

これらの経時的な傾斜角の増加は、ベント基礎に圧密沈下が生じたことによる影響と考えられ、ベントが架設時の桁の自重を支持した後に圧密沈下により時間と共に緩やかに $0.10^\circ \sim 0.25^\circ$ 程度の角度の増加が生じ、20日程度での沈下完了後に値は一定となっている。

つぎに、29基のベントを対象として、架設期間におけるモニタリング結果における橋軸・橋直方向の傾斜角の最大値、最小値、平均値および標準偏差を図-3に示す。なお、29基のベントは全て同一の橋梁架設におけるものではなく、9橋の架設時において適用されたもので、各橋梁におけるベントの使用基数も異なる。同時に、ベントの基部から桁支持点までの高さをベント高として示している。

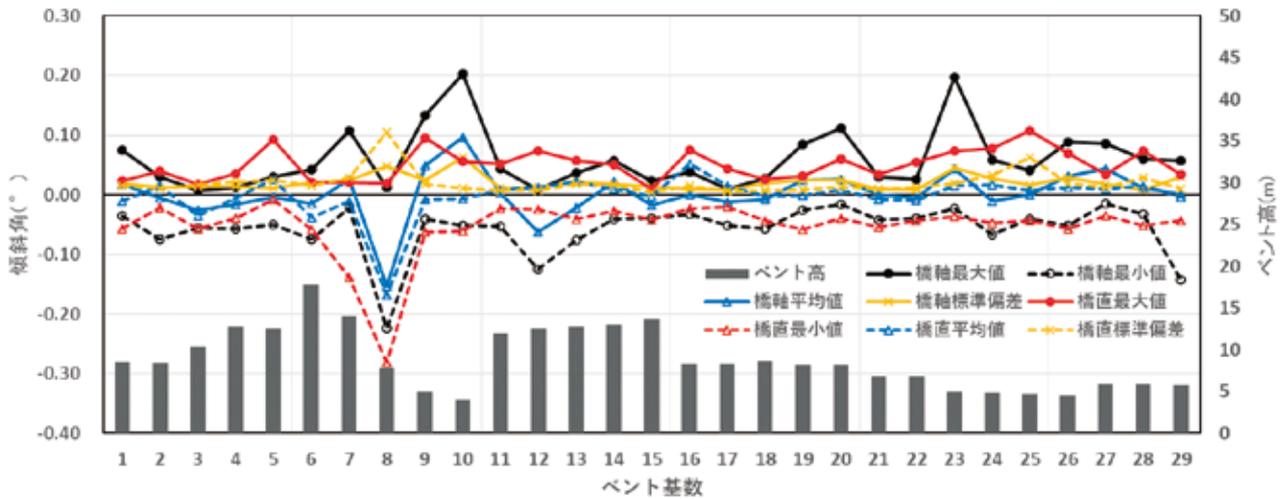


図-3 ベント傾斜角のモニタリング結果の全体集計

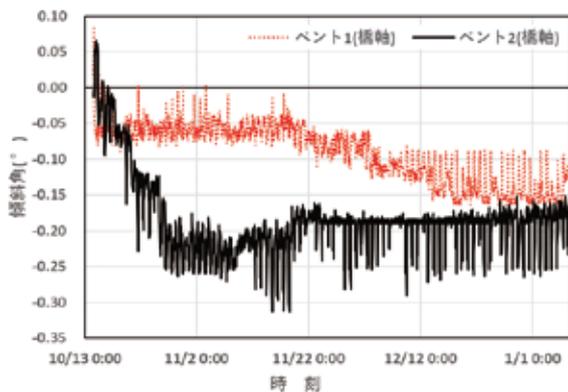


図-4 常時の計測結果（沈下有り）

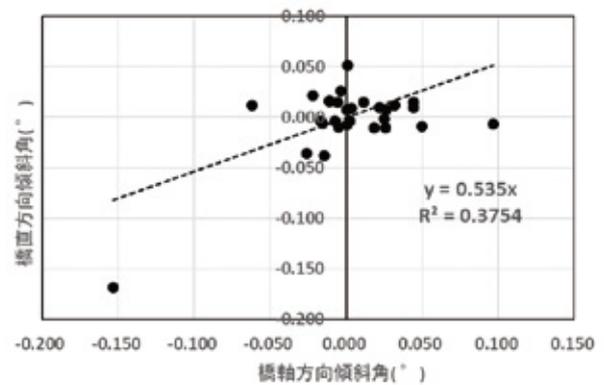


図-6 橋軸と橋直方向の傾斜角の相関関係

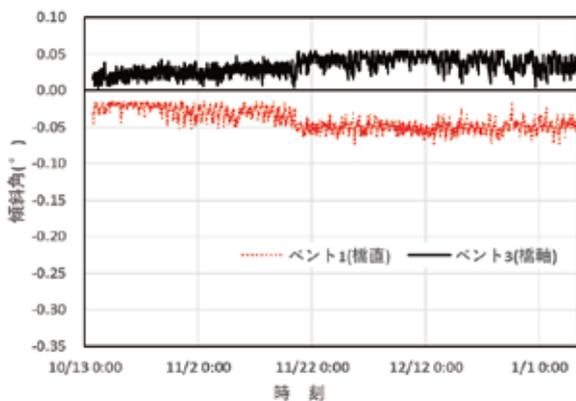


図-5 常時の計測結果（沈下無し）

この図に示す通り、計測値はほぼ $\pm 0.10^\circ$ の微小な範囲の挙動となっている。また、標準偏差は、全ベントでの平均値が $0.02^\circ$ と非常に小さい。したがって、ベントの常時挙動の変化をモニタリングする場合には、 $0.02^\circ$ より小

さい分解能による計測を行う必要があると考えられる。また、前述の基礎の沈下はゆっくりと角度の増加が発生するため、ベント傾斜角の変化を日々確認できることは、ベントの想定外の負荷による倒壊防止対策を事前に実施でき、架設時の安全管理に有効であると考えられる。

また、ベント高に比例して傾斜角の最大値が大きくなっていない。これは、現地調査から傾斜角が大きくなったベントは架設上の制約条件からコンクリート等による強固な基礎を構築できなかったことが原因であると考えられる。

さらに、橋軸方向と橋直方向の計測値の最大値（絶対値）が発生するベントは異なっており、図-6に示すように橋軸方向と橋直方向の傾斜角の相関性は小さく、個別に挙動しているものと考えられる。したがって、ベントの挙動が安全対策等により制御されない場合には、モニタリングにおいては橋軸・橋直の2方向の計測を実施するのが望ましいと考えられる。

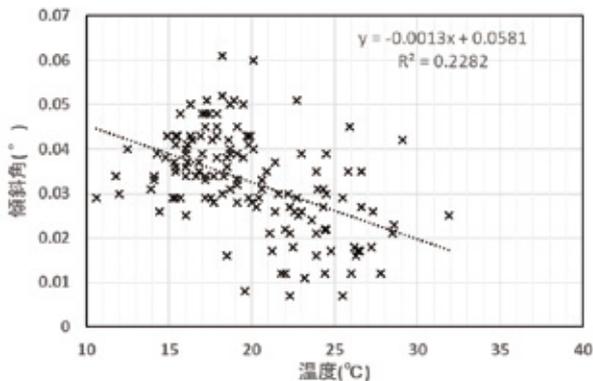


図-7 傾斜角と温度の相関性（計測期間4/30～5/5）

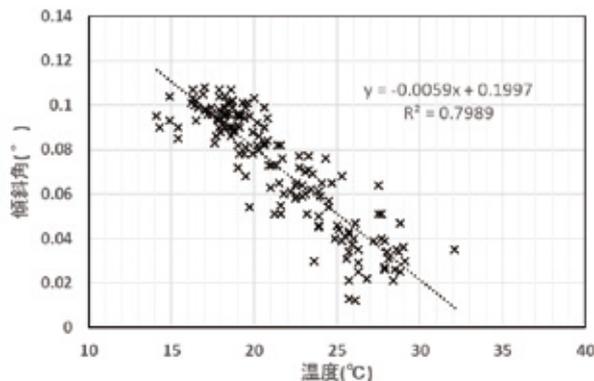


図-8 傾斜角と温度の相関性（計測期間5/30～6/5）

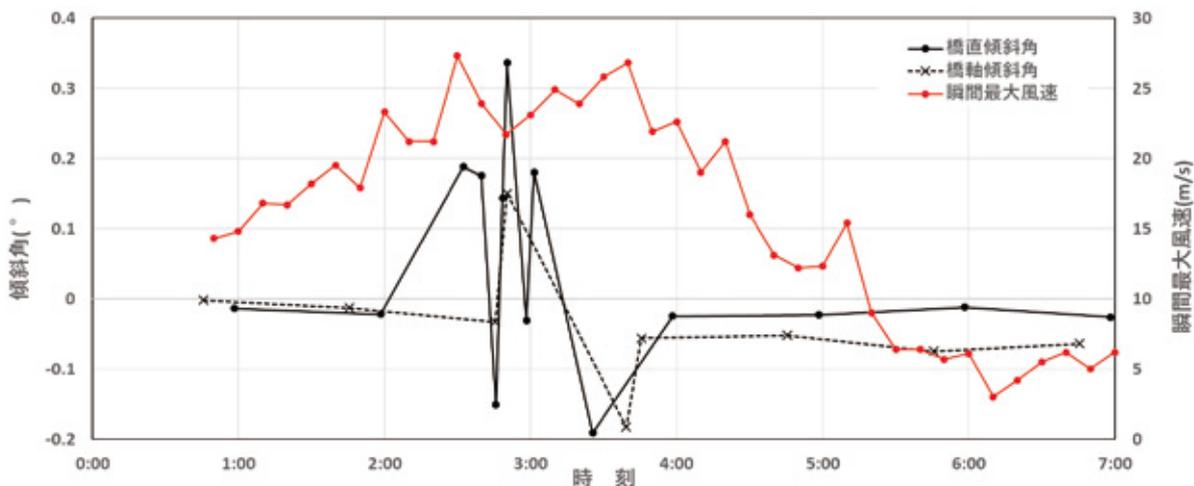


図-9 台風時の強風が作用した際のベント傾斜角のモニタリング結果

## (2) 常時における温度の影響

図-7、8に同一計測点での異なる計測時期（図-7は4/30～5/5、図-8は5/30～6/5）における温度と橋軸方向の傾斜角との相関関係を示す。図-7における傾斜角と温度の相関係数は0.228と比較的小さい。しかし、図-8における両者の相関係数は0.799と大きく変化しており、この計測期間においては傾斜角と温度とは非常に高い相関関係があることが確認できる。

この原因としては、鋼桁は温度により伸縮するため、主桁の継手が連結されることにより、ベント支持位置における伸縮桁長が大きくなりベントに生ずる橋軸方向の変位が大きくなることによるものと考えられる。したがって、温度と傾斜角の両者を計測することにより、架設した桁の継手の連結などの架設状態の変化による傾斜角への影響をモニタリング結果から確認可能であり、温度を同時に計測することは架設時の挙動変化をモニタリングする上で有効であると考えられる。

## (3) 台風時における強風による挙動

図-9は、2019年に関東に上陸した台風の強風によるベントの傾斜角に対する影響を示している。この図に示す最大瞬間風速は、気象庁の架設地点近傍の値を用いている。この時の台風は、深夜1:00～明け方の5:00頃に関東を通過しており最大の瞬間最大風速27.3m/sであった。

この図に示すように、常時に比べて非常に大きな傾斜角が計測されており、風速の計測値地点が架設地点の近傍の観測点で完全に一致していないことから、最大瞬間風速発生と傾斜角の最大値の発生時刻に若干の差異が生じているが、瞬間最大風速が20m/s以上の場合に常時での計測範囲の $\pm 0.10^\circ$ を超える非常に大きな傾斜角が生じており、その最大値は $0.336^\circ$ （1/170）であった。

なお、この $\pm 0.10^\circ$ を超える計測値は閾値を $0.143^\circ$ （1/400）に設定していたことにより、閾値を越えた時点において計測された値を用いている。

#### 4. まとめ

弊社でM-STモニタリングシステムを用いて実施した架設時の安全管理のためのベントの傾斜角モニタリングの実績から、29基の鋼桁架設時のベントの傾斜角のモニタリング結果の評価を実施し、以下の結論が得られた。

- ①常時の傾斜角の変動は通常 $\pm 0.10^\circ$ 以下で、その標準偏差も $0.02^\circ$ と微小なものであった。常時の挙動の変化をモニタリングするには最低でも標準偏差の $0.02^\circ$ 程度以下の分解能が必要であると考えられる。
- ②ベントの傾斜角は、基礎地盤面の沈下等の変状の影響が大きく、ベント高より基部の安定性（コンクリート基礎の適用など）の影響を大きく受けることが確認された。
- ③基礎の圧密沈下は20日程度の時間的に非常に長いスパンで $0.10^\circ \sim 0.25^\circ$ 程度まで傾斜角の増加を示していた。したがって、沈下による傾斜角の変化を経時的にモニタリングすることは、ベントの想定外の負荷による倒壊を防止することができ、架設時の安全管理において有効であると考えられる。
- ④台風による強風時のベント傾斜角の計測値は $0.336^\circ$ と常時の変動範囲の $\pm 0.10^\circ$ と比較して非常に大きな値であり、10Hzでの常時モニタリングにおいて閾値を越えた場合に計測されたものであった。したがって、強風による最大応答は瞬間的なものであったと考えられ、強風や地震動による最大応答を検証する場合には、計測間隔を極力短くするのがよいと考えられる。
- ⑤鋼桁は温度変化により伸縮するため、ベントの桁支持点の変位も温度変化の影響を受ける。このため、鋼桁では温度とベント傾斜角との相関性が高くなる。桁継手の連結による構造系の変化によりベントの桁支持点位置での伸縮桁長も変化する。温度の同時計測は、桁とベントとの連成挙動の確認も含め架設時の挙動変化の検証に有効であると考えられる。

#### 5. おわりに

OSMSO社の自立型無線式傾斜計（LIRIS-TM）を用いたモニタリングシステムであるM-STモニタリングシステムは、高分解能である以外に以下の特徴を有しており、弊社の傾斜計の適用実績も200台以上となっている。

【優れた施工性】：電源・配線不要で設置、撤去が容易、直ぐに設置可能

【安定性】：計測時にフィルター設定を行うことにより、架設時の衝撃による誤報を防止可能

【確実性】：センサー本体内部にデータを保存するため、通信不良によるデータ欠損が無い

【即時性】：10Hzにてモニタリングを実施しているため、閾値を越えた場合に即時に警報が発報できる

これまでの本システムを用いた架設時の傾斜モニタリング実績から、データ送信不良、データ欠損、誤報の発信も殆どなく非常に安定したシステムである。

また、傾斜計のベントへの設置も通常はネオジム磁石で設置可能であり、技術者2人で1日10台は設置可能なため、緊急時の即時計測も機材調達ができれば可能である。

架設時の安全管理におけるモニタリングは、日々の作業内容に関連したデータの変化を確認することが重要であると考えられる。本システムはデータの閲覧もSafWorksにより簡単に即時可能で誰にでも容易に使用可能なものである。また、高分解能な傾斜計を用いることにより日々の挙動の変化を確実に検知することが可能となるため、事故防止のためにもより一層の有効活用をしたい。

#### <参考文献>

1) 永谷秀樹：OSMOSを用いた施工時モニタリング，宮地技報No.32，pp.7-11，2019.

2) OSMOS技術協会ホームページ：<http://www.osmos.jp/>  
2022.5.23 受付