

鉄筋コンクリート試験体に埋設したOSMOSによる伸縮量測定に関する試験検証

澤田純之^{*1}・西村 毅^{*1}

各種構造物の維持管理や現場の安全管理に資する計測器として、光ファイバを光学センサとして利用したOSMOSの使用を検討している。本計測器は、測定、データ取得およびクラウドへのデータ転送までがシステム化され、耐用年数が20年以上と長期計測が可能な計測器である。本試験では、コンクリート埋設時におけるデータの精度、信頼性の確認を目的に、OSMOSを鉄筋コンクリート試験体（RC試験体）に埋設して長期間のデータ取得を実施している。本報告では、打込み直後からコンクリート硬化時までの試験体内部の発生ひずみ（温度ひずみ自己収縮ひずみ）を計測し、評価・検証を行った。

キーワード：OSMOS、光学センサ、鉄筋コンクリート、埋設、伸縮量測定

1. はじめに

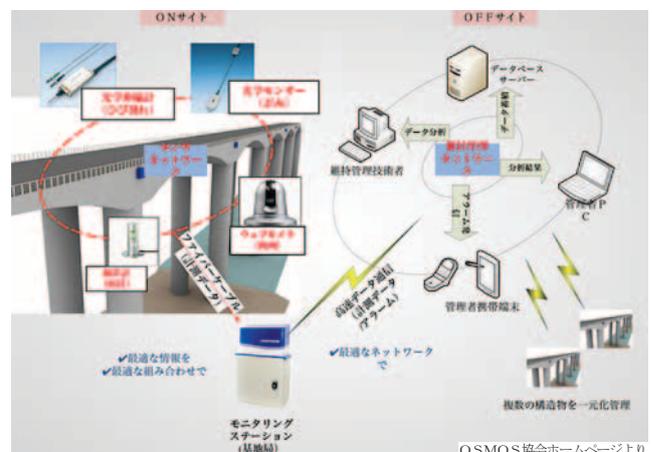
我が国では、高度経済成長期に建造されたインフラの供用期間が50年を超え、維持管理から更新の時期を迎えている。道路インフラは、道路法の改正に伴って平成26年（2014年）より、5年に1度の近接目視による定期点検が義務化され、健全性の診断が行われている。この点検による評価が構造物の維持管理の継続、補修・補強の実施および更新の判断に利用され、本点検が重要な位置を占めると考えられる。この点検では、肉眼での目視点検の実施、必要に応じて触診や打診等の非破壊検査等が実施され、人が直接行うことが基本となっている。なお、定期点検は前述と同等の点検方法でも可能とされており、ドローンによる撮影、その画像解析による点検および判定等、少子高齢化、技術者不足の課題を解決するための省人化を目指した技術開発が盛んに行われている。しかしながら、今後の維持管理をさらに省人化を実施しつつ、合理的かつ効率的に行うためには、供用初期のデータや継続的に実施した点検データを活用して劣化進行度を評価し、インフラの将来予測の実施が必要と考える。

一方、施工現場においては比較的短期間ではあるものの、仮設構造物を設置する。その安全管理として日常的に点検を実施するが、常時観測が可能な計測機器を設置することにより合理的な管理が可能になると考えられる。施工現場の計測では、特に簡易な設置、簡易なデータ取得、および低コストの計測機器が求められる。

以上の観点から、インフラの維持管理や現場の安全管理には、初期値の取得、継続的な微小変化データの取得

が可能であり、長期耐久性（供用期間の計測）を有する計測機器が理想的である。また、データの取得が容易であることも必要である。そこで、本試験では以上の性能を有するOSMOS¹⁾に着目して検討を行った。

図-1には、本システムの概要を示している。OSMOSは、光ファイバを光学センサとして利用した伸縮量測定器であり、長期耐久性、設置性に優れ、計測データの専用ネットワークまでの接続が可能となるシステム化された計測器である。最近では、供用中の既設構造物の外側に敷設して伸縮量を計測し、橋梁の維持管理に使用^{2),3)}されている。本試験では、OSMOSを鉄筋コンクリート試験体（RC試験体）内に埋設し、その計測性能を検証することを目的に行った。検証は、OSMOSの他、埋込型ひずみ計および箔型ひずみゲージを使用し、コンクリートの埋設時からデータを取得、それらの比較を行うことにより実施した。



*1 土木研究部

表-1 設置した計測機器の一覧

計測機器	型名	設置数量	計測機器の仕様					計測に必要な機器
			測定区間 (ゲージ長)	計測範囲	分解能	温度補正	耐用年数	
OSM OS	OSM OS (光学伸縮計)	1本	1,000mm	5.0mm (5,000 μ)	0.001mm (1 μ)	0.6 μ /°C	20年以上	モニタリング ステーション式
埋込型 ひずみ計	KM-100BT	3箇所	100mm	\pm 5,000 μ	1 μ	補正式	(記載なし)	・ データロガー (測点追加時： スイッチボックス)
箱型ひずみ ゲージ	FLA-2-11	下端鉄筋：9点 上端鉄筋：9点	2m	5% (50,000 μ)	1 μ	補正式	(記載なし)	

2. 計測機器の概要

表-1には、RC試験体中に設置した計測機器の一覧を示している。設置した計測機器は、OSMOSの他、比較計測機器として、埋込型ひずみ計および箱型ひずみゲージであり、試験体の伸縮量を測定した。なお、図-2には、各計測器の試験体内の設置状況を示している。

2.1 OSMOS

OSMOSは、光ファイバのマイクロベンディングの原理¹⁾を利用し、これを光学センサとして使用した伸縮計測器である。図-1の概要に示す通り、OSMOSはシステム化された計測器であり、計測、記録、ネットワーク接続、データベースへのデータ転送までをモニタリングステーションに光学センサを接続することで実施可能となる計測器である。光学センサ部は、所定の張力を維持した状態から計測するため、端部にある固定部を固定する必要がある。本試験では、軸方向鉄筋の端部に鋼製の専用治具を溶接し、それに光学センサの固定部を取り付けた。なお、可能な限りコンクリートの挙動以外の影響が小さくなるように光学センサの測定区間にはゆるみ防止用の支持は設けず、配筋時に中空に浮いている状態で埋め込んだ。本試験には、測定区間1,000mmの光学センサを使用した。

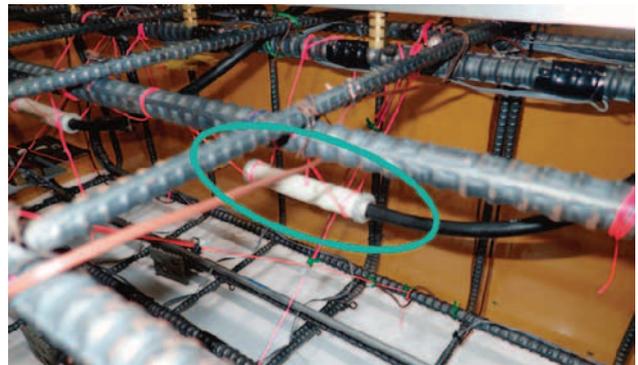
測定データは、モニタリングステーションに接続した無線モバイルルータにより専用ネットワークに接続し、データベースサーバに自動転送されている。そのため、ノートPCからデータベースサーバにアクセスし、遠隔操作にてデータ収集を行った。

2.2 埋込型ひずみ計

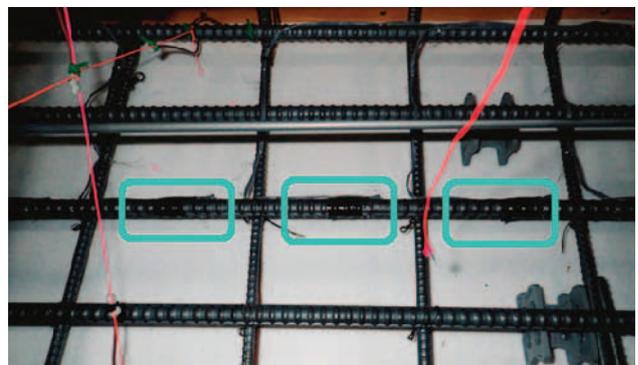
埋込型ひずみ計は、コンクリート内部の自己収縮ひずみを測定する際に一般的に使用される計測機器である。測定器は測定方向に張力がかからないよう糸等を用いて吊るして所定の位置に配置する。本試験では上端鉄筋から吊るして配置した。計測器には温度計が内蔵され、温



(a) OSMOS (光学センサ部)



(b) 埋込型ひずみ計



(c) 箱型ひずみゲージ (鉄筋貼付)

図-2 各種計測機器の設置状況

度補正が可能なものを選択した。計測器は、データロガー(スイッチボックス)に接続し、データの収集を専用プログラムを有するノートPCにより行っている。

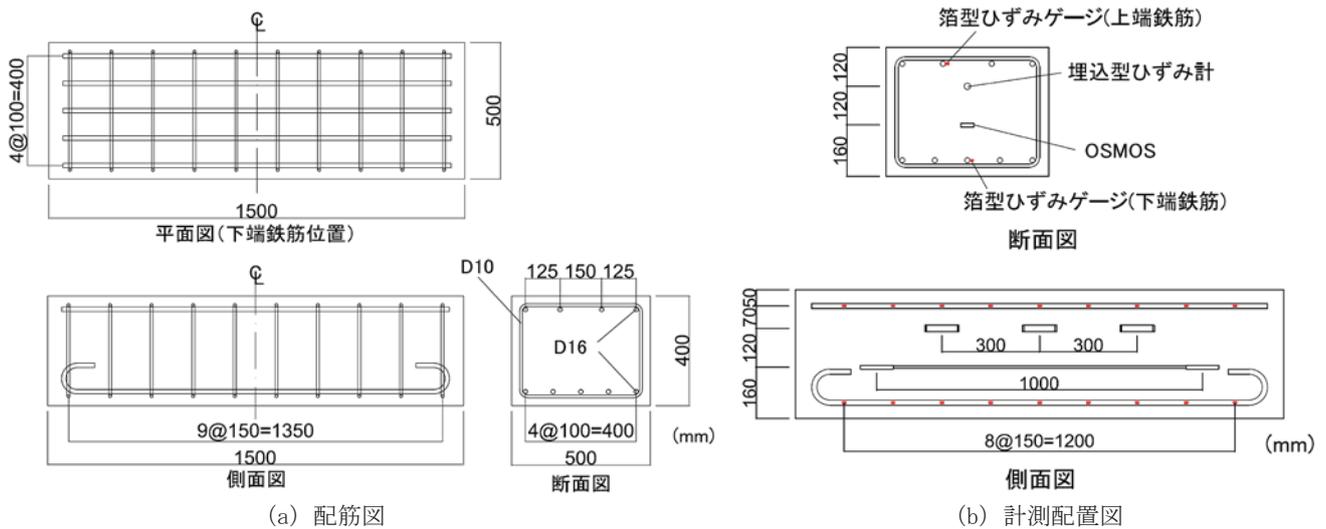


図-3 試験体の形状寸法，配筋概要および各種計測機器の配置位置

2.3 箔型ひずみゲージ

箔型ひずみゲージは，最も一般的に使用されている計測器であり，本試験では軸方向鉄筋に貼付して計測した。箔型ひずみゲージは，OSMOSと比較して，測定区間が短く局所的なデータ取得に特化した計測器であり，OSMOSの計測区間に合わせて複数測定した。なお，使用計測機器には，前述の埋込型ひずみ計と同様，データロガー（スイッチボックス）およびノートPCが必要となる。

3. 試験概要

図-3には，計測機器を埋設した試験体の形状寸法，配筋概要および各種計測機器の配置位置を示している。試験体は断面形状400×500mm，長さ1,500mmの矩形RC試験体とした。鉄筋には，軸方向鉄筋にD16，せん断補強鉄筋にD10を用いている。試験体の底面には，試験体の伸縮に対する摩擦抵抗を可能な限り小さくするため，テフロンシートを敷設した。

OSMOSの設置位置は，下端鉄筋の折り曲げ定着部に鋼製治具を溶接したため，梁試験体底面から約160mmの位置である。また，OSMOSの測定区間のセンターと試験体の中心とが一致するように設置した。埋込型ひずみ計は，測定区間が100mmと短いため，光学センサの測定区間内(1,000mm)に3箇所設置することとした。なお，コンクリート内部の温度は，この計測機器に内蔵されている温度計の平均値を用いている。箔型ひずみゲージは，上・下端に配筋した軸方向鉄筋に貼付した。測定区間が2mmのゲージを使用し，光学センサの測定区間に9点ゲージを貼付した。

使用したコンクリートは，JIS規格に適合している生



写真-1 試験体の養生時の状況

表-2 試験体静置期間の主なイベント一覧

イベント日時	イベント内容
2018/8/1 16:30	コンクリート打込み完了
2018/8/2 2:07	コンクリートの最高温度発生時
2018/8/2 15:05	型枠の脱型完了

コン工場のレディーミクストコンクリート（呼び強度24）とした。打込み後は，コンクリート表面をこてで均し，ラップ養生を行っている。試験体は定温環境（20℃）の室内に静置し，コンクリート打込み時から連続計測している。写真-1には，試験体の養生時の状況を示している。

表-2には，試験体静置期間における主なイベントを示している。コンクリートの打込み完了は，コンクリートの均し作業を終了した時点とした。また，型枠の脱型は圧縮強度試験により脱型強度の発現を確認した後に実施している。なお，本試験の計測は，コンクリート打込み前より開始し，1分間隔でデータを取得している。

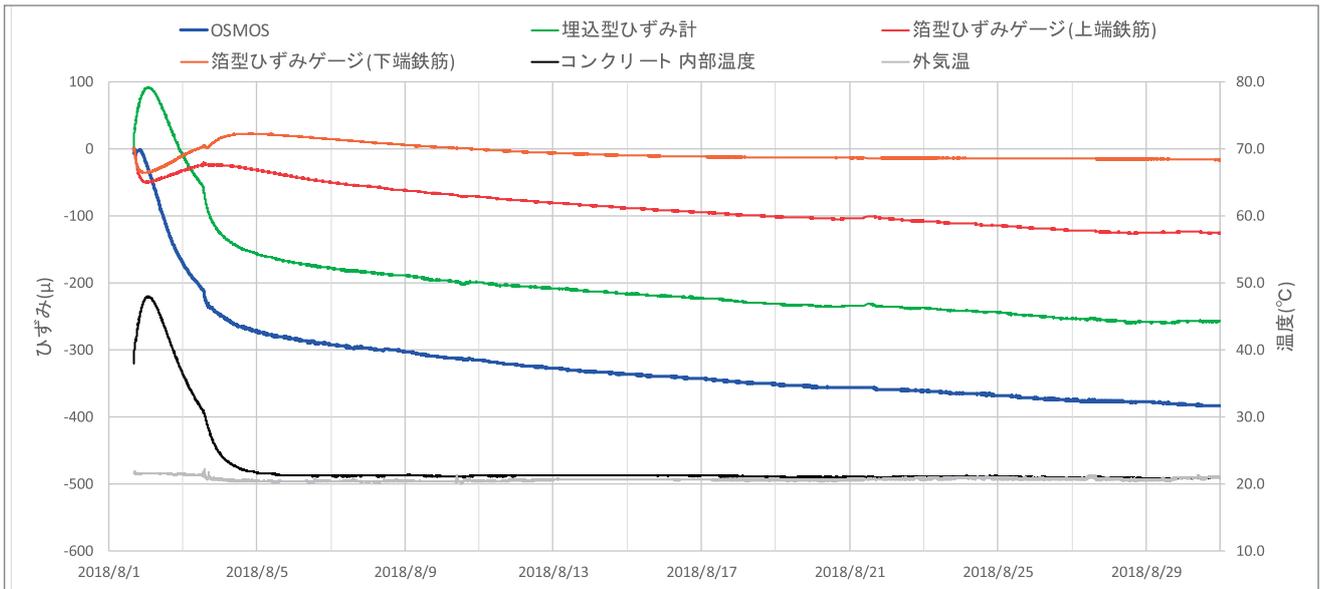


図-4 各計測機器のひずみ変化量および温度の経時変化 (2018年8月1日～8月31日)

4. 計測結果および考察

4.1 各計測器のひずみ測定結果

図-4には、打込み完了時からの各計測器のひずみ変化量および温度（コンクリート内部温度、外気温）の経時変化を示している。また、図-5には、その拡大図（8/1～8/5）を示している。なお、打込み作業時のパイプレータやこて均し作業が計測値に影響を与える可能性があるため、コンクリート打込み完了時をゼロとしてデータ整理した。複数点測定している埋込型ひずみ計、上下鉄筋に貼付けた箔型ひずみゲージの結果は、平均値を示している。

図より、測定温度に着目すると、コンクリート内部の温度は、打込み完了直後からコンクリートの硬化に伴う温度上昇が確認でき、2018/8/2 2:00 頃に最大温度 48.0 度を示した。その後、コンクリート温度は下降に転じ、最終的に室内温度に漸近する形で低下し、2018/8/6には一定温度となり、概ね室内温度と挙動が同様となった。

埋込型ひずみ計の計測結果を見ると、コンクリート内部温度の上昇に伴ってひずみが増加（伸長）する傾向が見られる。最大温度で最大ひずみを示した後に減少（収縮）傾向に転じ、2018/8/3には打込み完了時の状態よりも収縮となった。その後、減少（収縮）割合は徐々に小さくなるものの、継続的に収縮していることがわかる。また、表-2に示したイベント時に着目すると2018/8/3の脱型作業による変化が確認できる。

OSMOSの計測結果を見ると、コンクリート打込み直後に伸縮は確認できないが、打込み後6時間程度を過ぎた辺りから徐々に収縮していることがわかる。これは光学センサ設置時にプレストレスを掛けて固定してい

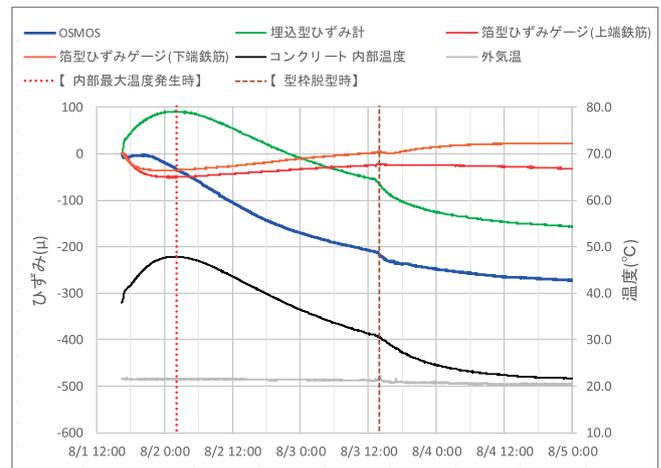


図-5 各計測機器のひずみ変化量および温度の経時変化(拡大) (2018年8月1日～8月5日)

るため、コンクリートがある程度硬化するまで力が伝達せず、センサが反応していないためと考えられる。反応後は継続的に収縮する傾向がみられ、脱型作業時の反応も確認できる。ここで、埋込型ひずみ計の結果と比較すると、コンクリート内部の最高温度到達後においては同様の収縮傾向を示していることがわかる。

鉄筋に貼付した箔型ひずみゲージの結果を見ると、コンクリート温度の上昇に伴って収縮ひずみが発生している。コンクリート内部温度の最高温度到達後には伸長方向に転じており、他の計測機器とは傾向が逆となっている。この傾向は2018/8/6のコンクリート内外の温度差が小さくなる付近までで確認される。コンクリート内部温度が外気温と同程度となつてからは、自己収縮のみが作用し、他の計測機器とほぼ同様の性状となった。初期の結果は温度変化が見られる間の傾向であり、今後、詳細を検討する必要がある。

4.2 実計測を想定した各種計測データについて

実際の構造物における維持管理等の測定では、計測機器を既設構造物に設置した時からのデータ取得となる。そのため、各種計測値は測定開始からの相対変化量を測定することとなり、計測開始点により測定結果の挙動が異なることが考えられる。そこで、実際の測定を想定したデータ整理を行い、各種計測機器の測定に関する妥当性を検討した。

図-6には、ゼロシフトする基準点を変え、その基準点からのひずみ変化量の経時変化図を示している。図には、(a) コンクリート内部温度の最高温度発生時、(b) 型枠脱型直後、(c) コンクリート内部および外気温が一致した時、の各点でゼロの基準を取り、整理して示している。

図-6(a)より、コンクリートの最高温度発生時をゼロ基準とした場合、OSMOSと内部ひずみ計の結果を比較すると、ほぼ同様の性状を示しており、2018/8/13を過ぎた時点では概ね同じ値を示して推移している。また、ひずみ差は最大で30 μ 程度である。この挙動はコンクリートの温度低下に伴う収縮と硬化に伴う自己収縮が考えられ、その挙動を測定出来ているものと考えられる。一方、鉄筋ひずみは、この時点での整理では大きく値が異なり、計測値も大きく異なる。なお、上下端鉄筋の比較においても値が大きく異なることがわかる。

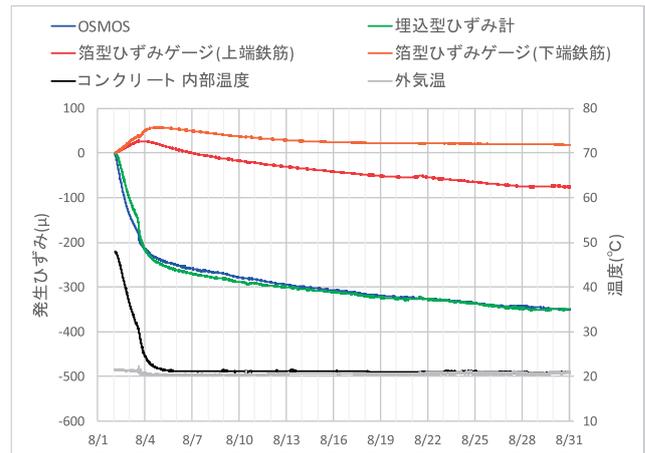
図-6(b)の型枠脱型直後からのひずみを見ると、下端鉄筋の箔型ひずみゲージの値を除き、概ね同様の性状を示している。すなわち脱型直後からはいずれの計測器も収縮傾向を示し、細かな挙動も同様の性状を示している。ひずみ値の差は最大で15 μ 程度であり、脱型後から測定することにより、いずれの計測機器で測定しても同様の結果が得られると考えられる。なお、下端鉄筋に貼付した箔ひずみゲージが異なる点に関しては、試験体底面の摩擦の影響が大きいと考えられる。

図-6(c)のコンクリートの内外温度が一致した点(内外の温度比が1%未満と設定)を基準とした比較を行うと、下端鉄筋の箔型ひずみゲージの結果を除き、よく一致している。ひずみの差は最大でも5 μ 程度であり、いずれの計測方法でも同様の測定結果を取得可能であることが明らかになった。

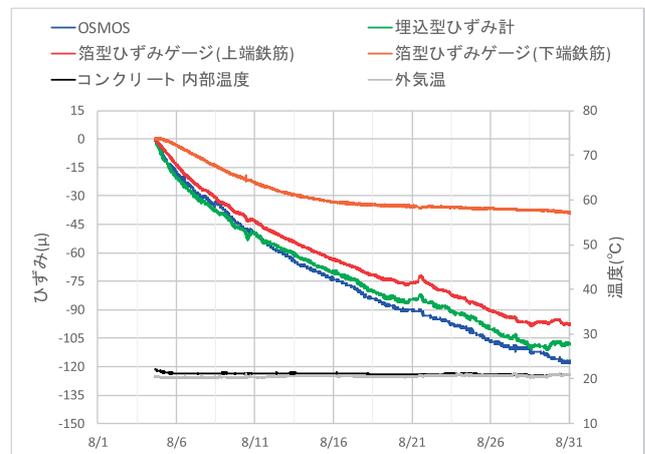
5. 埋設時の計測機器の仕様について

表-3には、各種計測機器の特徴を一覧に示している。比較内容として、データの特徴、信頼性、設置性および耐久性に着目した。

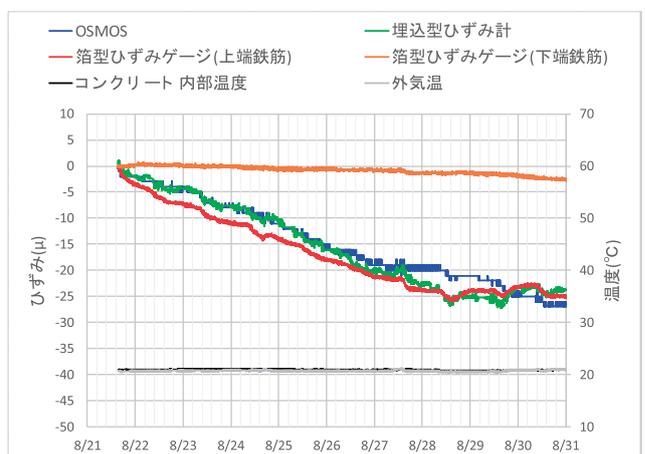
OSMOSは、計測機器の設置時には緊張固定する必



(a) コンクリートの最高温度発生時を基準



(b) 型枠脱型直後を基準



(c) コンクリート内外温度一致時を基準

図-6 基準時を変更した経時変化の比較

要があるものの、設置後はシステム化されているため、ケーブルを接続して直ちにデータ取得が可能であり、長期的な変状計測が可能である。データの特徴は、計測区間が他のセンサに比較して長いこと、実大構造物の全体挙動を把握する計測においても、少ない計測点で対応可能と考えられる。コンクリート埋設時のデータとしては、内部温度が最大温度到達後から、埋設型ひずみ計と同様の測定が可能である。

表-3 各計測機器の特性に関する詳細

計測機器	データの特徴	コンクリート埋設使用時のデータの信頼性	計測器の設置性	耐久性
OSMOS	比較的計測区間が長く、全体の挙動として捉える	コンクリート温度の最大発生時より	・ センサ部の緊張固定が必要 ・ モニタリングステーションへの接続	耐用年数20年以上 (エッフェル塔など)
埋込型ひずみ計	硬化前から測定可能	打込み完了直後時より	・ 測定位置で無応力状態での固定もしくは鉄筋等への貼付が必要 ・ データロガーへ接続して測定 ・ 機器の養生が別途必要	記載なし
箔型ひずみゲージ	測定区間が短く、局所的な変化を捉える	コンクリート内部と外気温が同程度となってから (ただし、型枠の摩擦力等、外力を受ける箇所は困難)		記載なし (接続ケーブルにより異なる)

埋込型ひずみ計は、測定軸方向に力がかからないように設置し、データロガー（スイッチボックス）への接続が必要であり、計測点数が多い場合には、測定までに若干の手間がかかる。また、長期的に計測する場合には計測機器の養生が必要となる。計測データに関しては、コンクリート打込み直後からのデータ取得が可能である。

箔型ひずみゲージの設置には、鉄筋への貼付・防水処理作業に手間がかかる。また、埋込型ひずみ計と同様、データロガー（スイッチボックス）が必要である。取得データに関しても測定区間が短く局所的なデータであり、大きな構造物の全体挙動を測定するためには、測点数を多くする必要がある。埋設時の挙動測定は、コンクリート内外の温度が同程度になった場合に他の計測機器と同様の精度で測定が可能となる。

6. まとめ

本試験では、OSMOSを鉄筋コンクリート中に埋設し、他の計測機器の測定結果と比較することにより、自

己収縮ひずみや温度ひずみに関する測定性能の検証を試験的に実施した。本試験より得られた知見をまとめると以下の通りである。

- 1) OSMOSは予め埋設することにより、コンクリート内部のひずみの測定が可能である。
- 2) OSMOSの計測データは、コンクリートの内部温度が最大温度到達後に測定データの基準をとることで、埋込型ひずみ計と同様のデータ取得が可能となる。

参考文献

- 1) OSMOS 技術協会ホームページ； <http://www.osmos.jp/>
- 2) 安川 義行, 門 万寿夫, 羽柴 俊明, 阿南 誠一：道路橋プレキャスト床版継手部のモニタリング手法と評価方法の検討（その1），土木学会第73回年次学術講演会，CS9-025，2018.8
- 3) 門 万寿夫, 安川 義行, 羽柴 俊明, 阿南 誠一：道路橋プレキャスト床版継手部のモニタリング手法と評価方法の検討（その2），土木学会第73回年次学術講演会，CS9-024，2018.8

Examination Inspection of the Quantity of Strain Measurement by OSMOS Embedded in a Reinforced Concrete Specimen

Sumiyuki SAWADA, Tsuyoshi NISHIMURA

As a measure that contributes to the maintenance of reinforced concrete structures and on-site safety management, the application of OSMOS using an optical sensor was considered. In this study, in order to confirm the precision and reliability of data measured by OSMOS, this sensor was embedded in a reinforced concrete specimen and long-term data acquisition was performed. Strain data with a temperature change and the concrete autogenous-shrinkage inside the specimen from the casting of the concrete were obtained and evaluated, and inspection was performed.