

論文 レーザ変位計測システムによるPCブロック桁橋の変位計測

今尾 勝治*¹・井上 浩之*²・西尾 浩志*³・森本博昭*⁴

要旨：本研究に用いたシステムはレーザビームを用いる3次元変位計測システムであり、大型土木構造物の3次元方向の変位を離れた位置から高精度で簡便に計測でき、多方面への応用が検討されている。本研究では当システム完成のための基礎的データの収集を主目的として、ポストテンション方式のPCブロック工法桁における緊張力導入時以降の変位を本システムにより計測した。その結果、実構造物の長期変形計測に対する本システムの実用性が確認でき、あわせて、PC道路橋の桁に関する緊張力導入時以降の変形特性についての知見が得られた。

キーワード：計測、変形、レーザビーム、PC橋、ブロック工法

1. はじめに

大型土木構造物の実際の挙動を計測することは、構造物の健全度を把握したり、構造物設計手法の合理化を計るための資料を得ることができるなど、その意義は極めて深い。従来からこのような土木構造物の変位計測は、トランシットを用いた方法や写真測量法によって行われてきた。しかし、それらは、計測精度や手間の面で十分なものではなかった。

本システムは、このような現状を踏まえて開発された、レーザビームを用いる3次元変位計測システムであり、次のような特長を有している。すなわち、大型土木構造物の3次元方向の静的または動的な変位を離れた位置から高精度で簡便に計測できること、計測のたびに機器を取り外して再度取り付けても継続して前回からの変位を計測できるため、長期計測が可能なこと等であり、多方面への応用が検討されている[1][2]。筆者らは、これまでに、製作工場内でのプレストレストコンクリート（以下、PCと略す）桁製作時の変位計測により本システムの有効性を確かめた[3]。しかし、本システムは、現場での長期計測への適用性等、さらに研究が必要と考えられる。

そこで、本研究では、本システム完成のための基礎的データの収集を主目的と

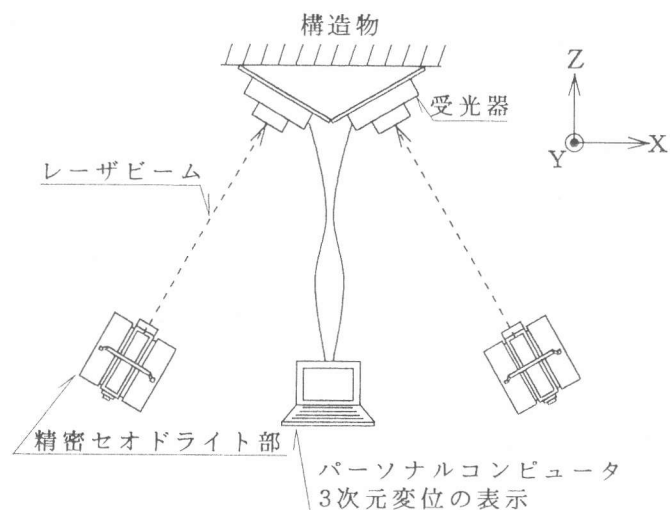


図-1 3次元計測システム概念図

- * 1 (株)安部工業所 技術部 課長 (正会員)
- * 2 (株)安部工業所 技術部
- * 3 (株)安部工業所 技術部 次長 (正会員)
- * 4 岐阜大学助教授 工学部土木工学科、工博 (正会員)

して、PCブロック桁橋の建設現場において、主桁の緊張力導入時以降の変位を本システムにより計測した。

2. 計測システムの概要

本計測システムの概念図を図-1に示す。本システムは、精密電子セオドライトに半導体レーザを発するレーザ発振部を取り付けた精密電子セオドライト部と、測定対象構造物に取り付けられレーザビームを受光する受光部および計測された座標を表示して記録するパーソナルコンピュータ部とからなっている。受光部は、2次元PSD（位置検出）センサが使用されており、このPSDセンサがレーザビームを受けると、その位置をX、Y座標にて検出する。さらに、計測点1点を2方向から同時に計測することにより3次元変位が測定できるしくみである。なお、本システムの仕様は、受光器の分解能=0.05mm、最大有効測定範囲（X、Y方向共）=±39.0mm、レーザ到達可能距離=200mであり、動作温度範囲は、精密電子セオドライトが-10～+60℃、受光器が0～+50℃で、この範囲内の使用であれば精度保証されている。

3. 変位計測方法

3.1 計測対象構造物

計測対象とした道路橋は、岐阜県益田郡下呂町宮地地内に建設されたPC道路橋である。本橋はポストテンション方式単純T桁橋であるが、PCブロック工法を採用しているため、主桁を工場にて3分割して製作し、現場にて緊張力を導入することにより1本の主桁にする特徴を有している。本橋の一般図を図-2に示す。ここで、左岸側が固定支承、右岸側が可動支承であり、各支承にはゴム支承が用いられている。

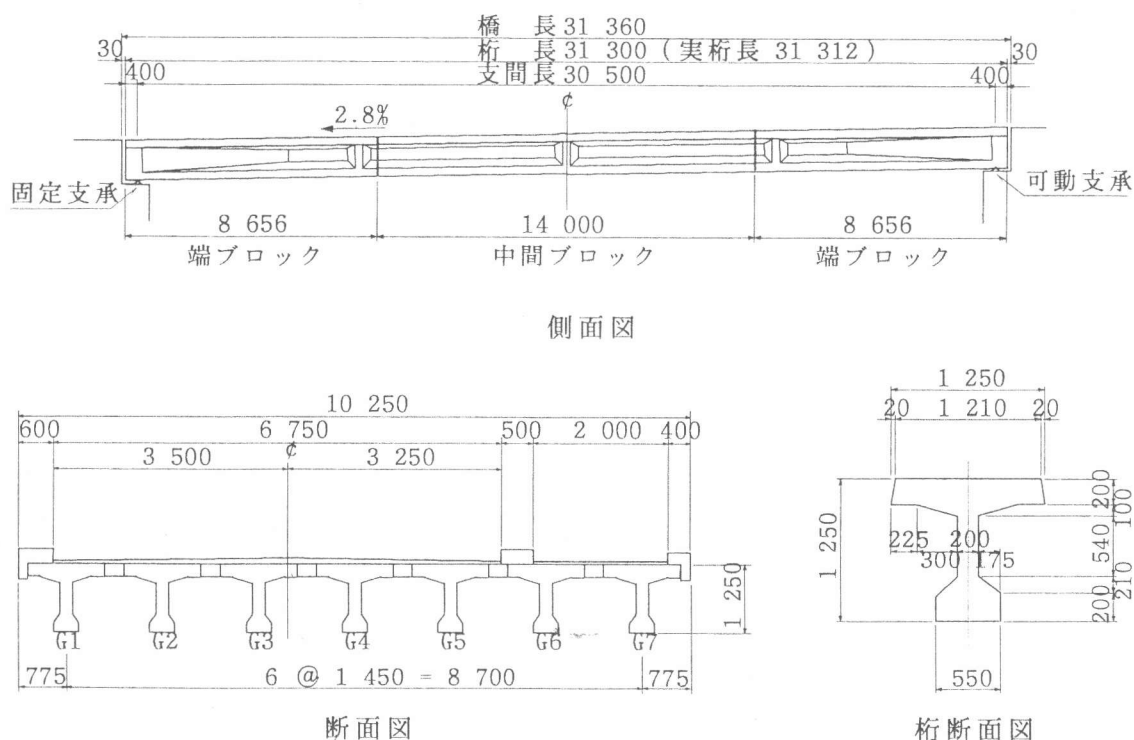


図-2 計測対象道路橋一般図

桁の架設方法は、次のとおりである。最初にG7桁位置に架設用の鋼製ガーダーを設置し、そのガーダー上に1本の桁を構成する3つのセグメントを並べてPC鋼材を配置した。次に接合面に接着剤を塗布したのち軸方向に配置したPC鋼材を緊張して1本の桁とした。緊張力導入後、ただちに桁を川の兩岸に配置した2台のトラッククレーンにより吊り上げ、所定の位置に設置した。桁の架設順序は計測方法および施工性を考慮して、G6, G5, G4, G3, G2, G1そしてG7の順とした。

計測対象とした桁は、精密セオドライトの設置位置および施工手順を考慮して、下流側耳桁であるG1桁とした。計測期間中、間詰めコンクリートおよび横締めは施工されておらず、各々の桁は独立した状態であった。

3.2 変位計測手法

本システムは構造物の長期変位計測に対応できるように、精密セオドライト部および受光器が脱着できるシステムとなっている。また、長期計測に備えて、受光器が脱着可能なように、桁の各計測点については、あ

らかじめ工場にて受光器固定用のプレートを取り付けた。精密セオドライト部は、コンクリート製の基礎部(600×600×500)に取り付けられた鋼製のポスト上部に固定される。ポスト上部は精密セオドライト部を計測するたびに脱着しても、それが前回と同じ位置にセットされる仕組みになっている。

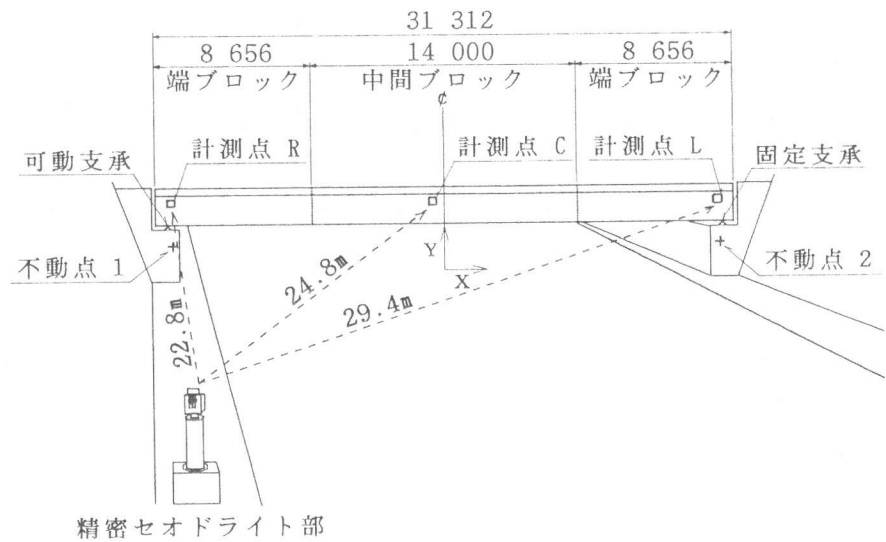


図-3 計測機器配置図

図-3に計測機器の

配置図を示す。精密セオドライト部を建設現場の右岸下流位置に設置し、本橋の下流側耳桁であるG1桁について、緊張力導入後の変位を本システムにより計測した。計測点は、左岸側固定支承位置として「計測点L」、右岸側可動支承位置として「計測点R」そしてスパン中央部として「計測点C」

の計3点とした。計測機器の脱着を考慮して、現場では、両橋台側面に不動点を各1点、計2点設置して、計測の基準とした。

計測期間および回数は、1994年11月10日から11月30日の21日間、基本的に1日につき1回と

表-1 計測概略工程

項目	'94	9月	10月	11月	12月
G1桁変位計測	11月10日~30日			■	
G1桁日変化の計測	12月17日				■
G1桁コンクリート打設	9月28日	■			
G1桁緊張, 架設	11月10日			■	
吊り足場組立	11月12日~17日			■	
間詰めコンクリート打設	12月3日				■

た。なお、本システムによる計測と並行して、レベルによっても計測した。

さらに、桁変位の日変化を明らかにする目的で、同年12月17日の9:00から16:00にかけて計測Cの変位を1時間につき1回計測した。

表-1に計測に関する概略工程を示す。

4. 計測結果

図-4から図-8に計測結果を示す。図-4、5、7および8の横軸については、G1桁緊張力導入日からの経過日数が示してあり、導入日である11月10日の午前0:00を原点としている。また、縦軸に関しては、緊張力導入後に桁を架設した直後の計測値を基準にしている。変位のX、Y座標は図-3に示すとおりである。

4. 1 桁中央部（計測点C）の鉛直（Y）方向変位

計測期間中の桁中央部（計測点C）における本システムによる鉛直方向の変位の計測値とレベルによる計測値を図-4に示し、さらに本システムによる計測値と計算値および建設現場、宮地地内における日平均気温の変動をあわせて図-5に示す。

ここで、計算値は、「コンクリート標準示方書 平成3年版」（土木学会）に従って算出されたもので、架設荷重（吊り足場）、コンクリートのクリープ（架設荷重、およびプレストレスによる）、コンクリートの乾燥収縮およびプレストレスの減少（クリープ、乾燥収縮およびPC鋼材のリラクセーション）の影響が考慮されている。

次に、12月17日に測定された桁中央部（計測点C）における

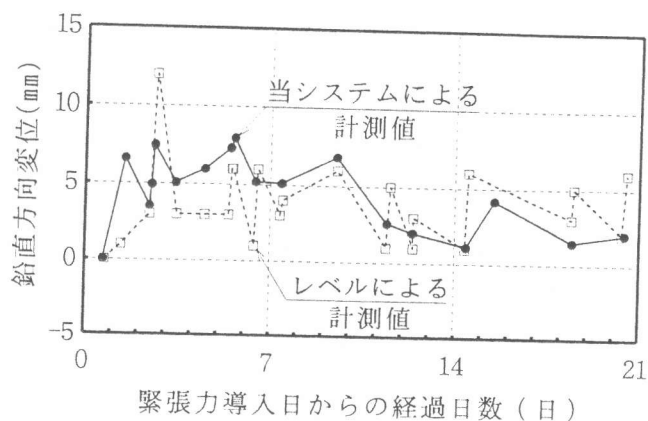


図-4 本システムとレベルとによる計測点Cの鉛直方向変位に関する計測値

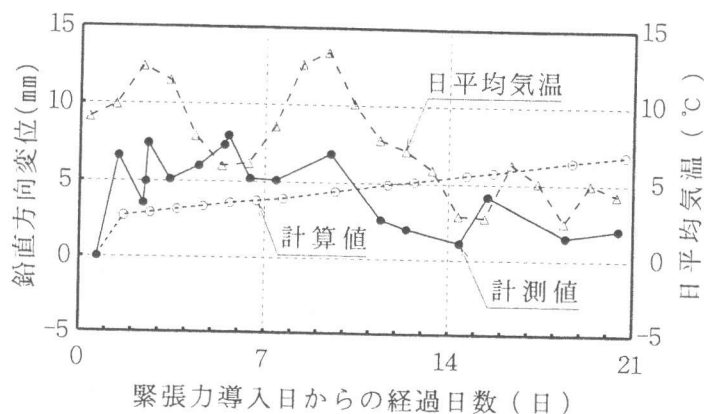


図-5 計測点Cにおける本システムによる鉛直方向変位の計測値と計算値

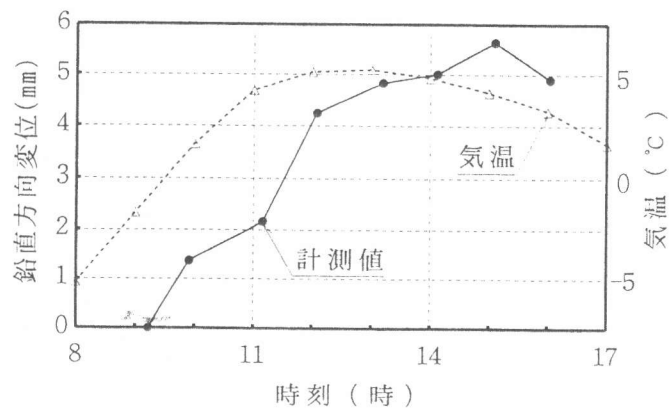


図-6 計測点Cにおける鉛直方向変位の計測値の日変化と気温

本システムによる鉛直方向変位計測値の日変化と当日の気温を図-6に示す。鉛直方向変位については当日1回目の計測値を基準にして表されている。なお、当データ計測時には、すでに間詰めコンクリート打設および横締めが完了していて、各々の桁は独立していない状態であった。

4. 2 支承部（計測点L、R）における水平（X）方向変位の計測値および桁の短縮量

計測期間中の支承部（計測点L、R）における水平方向変位の計測値およびそのデータから算出される桁の短縮量を図-7に示す。さらに、桁の短縮量の計測値と計算値を図-8に示す。

桁の短縮量の計算値は、4.1で述べた手法を用いるとともに、桁の平均温度変化による軸方向変形の影響も考慮されたものである。ここで、計測時の桁の平均温度は宮地地内における毎時気温から推定した。

5. 考察

図-4、5、7および8中、本システムにより得られた計測値にみられる変動は、日射および外気温等による桁内の温度分布および平均温度の日変化の影響によると考えられる。図-6によれば、横締め完了後の12月17日に計測したG1桁の鉛直方向変位は計測時間内で約5mm以上の日変化を生じている。

5. 1 桁中央部（計測点C）の鉛直方向変位

図-4に示すように、本システムにより計測した計測点Cの鉛直方向変位とレベルによる計測値とは比較的よく対応している。両者の値が多少異なるのは、本システムによる計測時刻とレベルによる計測時刻とが前後しており、その間に日変化の影響を受けたためと考えられる。図から緊張力導入後、21日間におけるクリープ等による鉛直方向変位の進行は3mm程度で、結果的にわずかであることがわかる。図-5において、緊張力導入後約10日までは計測値が計算値を上回り、それ以降は計算値が計測値を上回る結果となった。これは、次の理由によると考えられる。すなわち、計算値には日射の影響により桁上フランジ部の温度が上昇し桁が曲げ上がる変形の影響が考慮されていないこと、ならびに計測期間中、同図中に示したように日平均気温が最高約13℃から最低約3℃へと急激に減少し、桁の変形に影響を及ぼしたものと考えられるが、計算値には

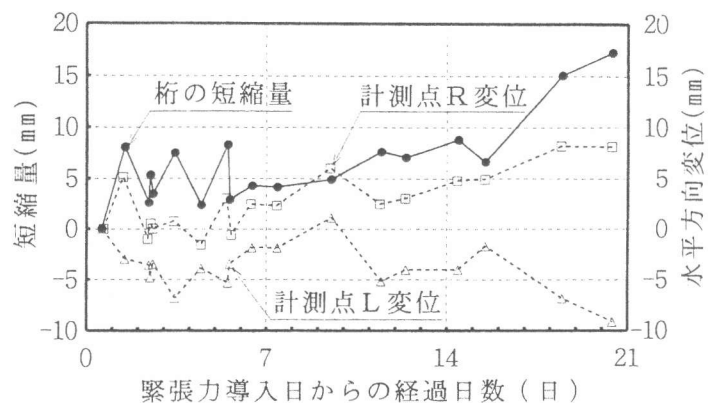


図-7 計測点L、Rの水平方向変位および桁の短縮量

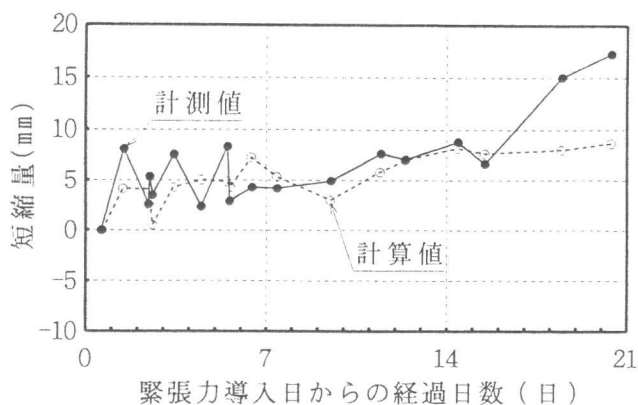


図-8 桁短縮量の計測値と計算値

この気温変化の影響が考慮されていないことなどが考えられる。

5. 2 支承部（計測点L、R）における水平方向変位の計測値および桁の短縮量

図-7に示すように、計測点Lでは負の変位が、計測点Rでは正の変位が発生しており、桁が短縮したことが確認できる。図-8に示すように、当システムにより計測された短縮量と計算値とは比較的よく対応している。図-7より、固定支承部（計測点L）においても可動支承部（計測点R）と同程度の水平方向の変位が生じており、この橋梁に用いられたゴム支承構造においては固定支承といえどもこの程度（10mm程度）の変形の範囲であれば水平方向に変位することが確認された。

以上のように、本システムにより緊張力導入後のPCブロック桁の約1カ月にわたる変形挙動を計測、確認することができた。本システムによる変位計測値は全般的にレベル計測値および計算値とよく合致しており、本システムの実構造物に対する有効性ならびに精密セオドライト部および受光器を脱着して長期計測を行うことが可能であることが確認された。

6. まとめ

レーザービームを用いた変位計測システムによって、ポストテンション方式のPC道路橋の主桁の変位を計測した結果、以下のことが明らかとなった。

- ①計測された変位はレベル計測値および計算値とよく合致しており、本システムによる実構造物の長期的変形計測に対する有効性が確認された。
- ②計測対象としたPCブロック工法桁について、緊張力導入後21日間においてはクリープ等による鉛直方向変位の進行は結果的に3mm程度とわずかであった。
- ③本橋梁に用いられたゴム支承構造においては、固定支承といえども、10mm程度の変形の範囲であれば水平方向に変位する。

今後は、さらに実構造物での計測を重ねて、本システムを大型土木構造物の長期的な3次元変位を離れた位置から高精度に、かつ簡便に測定できる実用的なシステムとして完成させていく予定である。

謝辞

本研究は文部省科学研究費補助金（課題番号04555116:代表 田辺忠顕 名古屋大学教授）を受けて行ったものである。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 吉田弥智、田辺忠顕、梅原秀哲、上原匠：光素子センサーを用いた大型土木構造物の三次元変位測定システムの開発に関する研究、土木学会論文集、第397号/V-9、pp. 105-113、1988.9
- 2) 吉田弥智、田辺忠顕、梅原秀哲、上原匠：コンクリートアーチダムの日射による日変位挙動に関する研究、土木学会論文集、第420号/V-13、pp. 229-237、1990.8
- 3) 今尾勝治、守屋和則、竈橋広文、森本博昭：PCげた製作時の変位計測によるレーザー変位計測システムの検証実験、第49回年次学術講演会講演概要集、第5部、pp. 620-621、1994.9