

ステレオカメラを用いた画像処理技術による緊張時伸び測定システムの開発

極東鋼弦コンクリート振興(株)	正会員	○菊池 厚
極東鋼弦コンクリート振興(株)	正会員	黒輪 亮介
(株)安部日鋼工業	正会員	早川 岳
(株)安部日鋼工業	正会員	工修 辛 軍青

キーワード：緊張管理，ステレオカメラ，画像処理技術，伸び測定

1. はじめに

近年の建設現場においては、3次元技術・ICT技術を駆使した情報化施工の活用が求められてきている。国土交通省では、建設現場の「一人一人の生産性」や「労働災害の減少による安全性」の向上を目指し、情報化施工の活用推進を「i-Construction」と称し推進している。

一方、PC構造物において、計画されたプレストレス量を導入することは、構造物の性能上、重要な施工プロセスである。一般的に、PC構造物へのポストテンション方式におけるプレストレスの導入は、緊張ジャッキの圧力と緊張材の伸びを測定しながら行うが、読み取り間違いによる人為的誤差が発生する可能性がある。とくに、伸びの測定においては、高荷重が作用している緊張ジャッキに接近するという作業を余儀なくされるため、安全性の向上に改善の余地がある。

上記のような社会的ニーズへの対応や緊張作業上の課題を解決するために、ステレオカメラを用いた3次元画像処理技術による緊張材の伸び測定システムを開発した。本報告では、本システムの構成や確認試験の結果について報告する。

2. ステレオカメラを用いた緊張時伸び測定システムの概要

2.1 ステレオカメラによる3次元計測技術の原理

ステレオカメラによる3次元計測技術の基本原理は、三角測量の原理と同様である。図-1に示すように、左右2台によるステレオカメラの場合、左右のカメラの位置・姿勢と各カメラで撮影した画像中における計測対象点Pの位置（左画像P1，右画像P2のずれ）がわかることで、計測位置までの3次元距離を求めることができる。

この原理を利用し、測定者がジャッキに近づくことなく緊張材の伸びを測定できるシステムを開発した。本システムでは、より正確に計測対象点の位置をカメラで認識できるよう、写真-1に示すマーカー（円型）を使用している。このマーカーを緊張材と不動点となる座金に設置することで、マーカー間の2点間距離を精度よく計測できる。また、緊張材ごとの識別が可能となるようマーカーには色付けを施した。これにより、複数本の緊張材の伸びを同時に測定できるようにし、緊張管理の信頼性向上を図った。なお、測定可能な本数は、一箇所に設置された左右のカメラが映し出せる最大本数の4本（1/3周×12本=4本）としている。

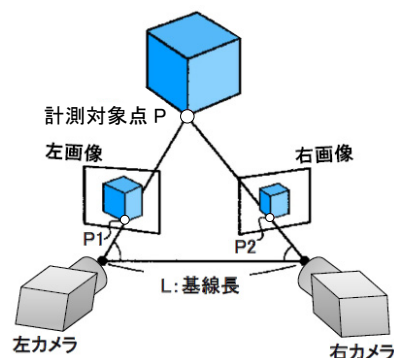


図-1 ステレオカメラによる3次元計測原理

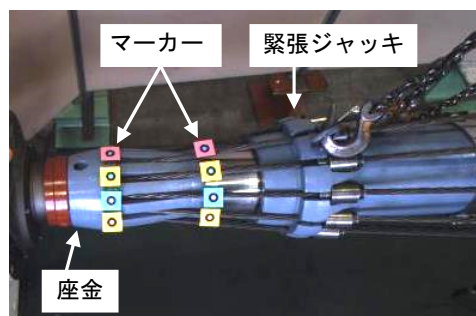


写真-1 測定用のマーカー

2.2 ステレオカメラを用いた緊張時伸び測定システムの構成

(1) 使用機材

本システムに使用する主な機材は、ステレオカメラ、マーカー、固定アーム、デジタル圧力計、ノートパソコンである。ステレオカメラは、現場での使用を想定して防水等級IPX3相当のケースに収納し、固定アームに取り付ける（写真-2）。固定アームは、緊張ジャッキに設置する構造としており、取付け角度は回転方向に対してジャッキの吊り位置を除き自由である（写真-3）。なお、緊張ジャッキと固定アームの接続部分は、作業性を考慮し、脱着可能な構造としており、ステレオカメラの取外しを容易に行えるようにした。したがって、ジャッキの段取り替えは、ステレオカメラが邪魔することなく、これまで通りの作業で行うことができる。



写真-2 ステレオカメラ

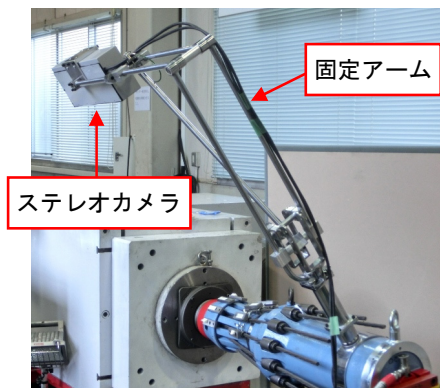


写真-3 ステレオカメラ取付け状況

(2) ソフトウェア

本システムの構成図を図-2に示す。本システムでは、開発した「2点間計測ソフト」と「計測管理ソフト」の2種類のソフトウェアを使用する。2点間計測ソフトは、マーカー間の距離計測および緊張圧力値のデータ抽出を行うためのソフトウェアであり、計測管理ソフトは、その2点間計測ソフトから無線LANを介してデータを集計し、伸びと圧力値の管理を行うソフトウェアである。また、ステレオカメラで撮影している画像は、フレームレートは低いながらも、2点間計測ソフトから計測管理ソフトへほぼリアルタイムで転送される。したがって、計測管理ソフト上で、緊張作業中のジャッキの状態を監視することができる。さらに、測定した伸びと圧力は汎用性の高いCSVファイル形式で出力することができ、伸び測定の際に撮影した画像は、これらの情報と関連付けて保存される。これにより、トレーサビリティの確保された測定管理を行うことが可能となる。

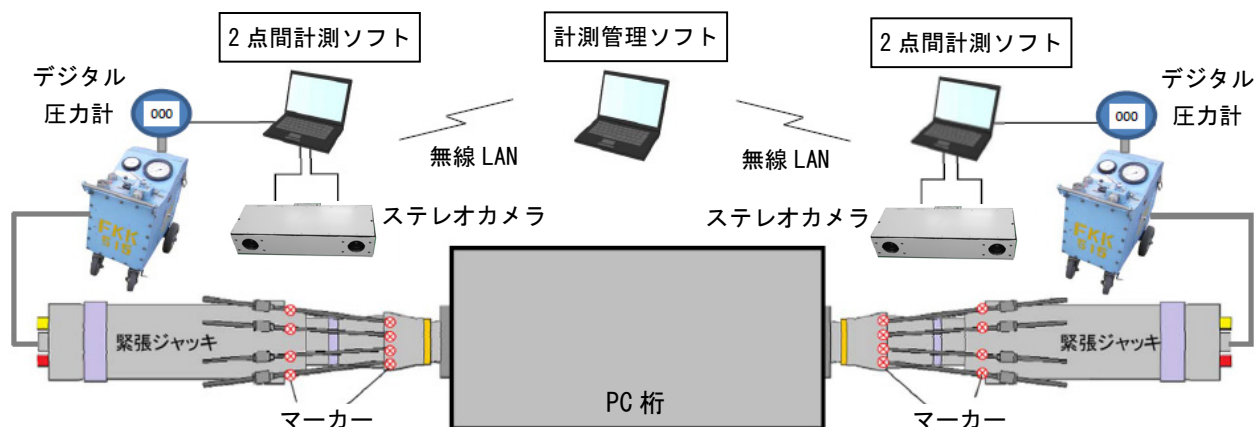


図-2 ステレオカメラを用いた緊張時伸び計測システム構成図

3. 測定精度確認試験

3.1 試験方法

ステレオカメラによる伸び測定の精度確認を実施した。試験状況を写真-4示す。緊張ジャッキのピストン（可動側）とシリンダー（固定側）へ図-3に示すようなマーカーを貼り付けた測定治具を設置し、ジャッキのストロークを出すことにより伸びを模擬して、マーカーの移動量を測定した。また、測定治具には、穴ピッチノギス（容量：300mm，分解能：0.01mm）による測定が行えるようφ8mmの穴加工を施し、ステレオカメラと同時に移動量を測定した。測定は、ストローク0から150mmの範囲で約30mm間隔ごとに行った。試験回数は3回とした。

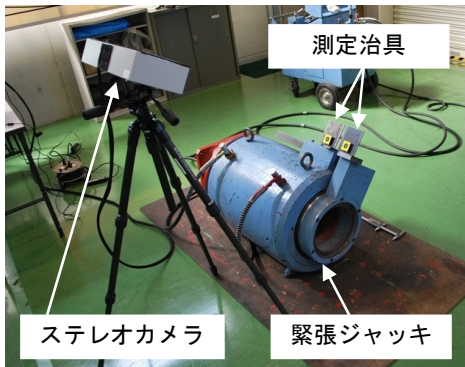


写真-4 試験状況

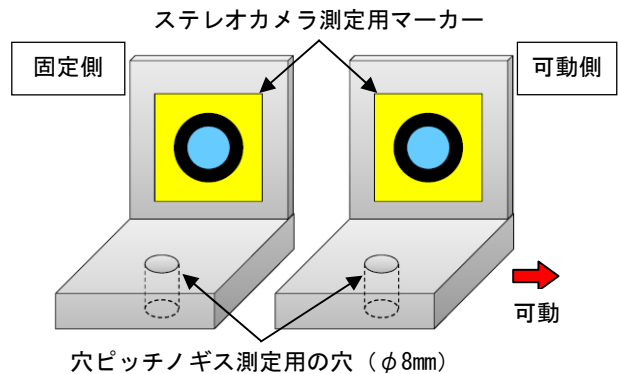


図-3 測定治具

3.2 試験結果

試験結果を図-4に示す。図中には、各3回のステレオカメラによる測定値と穴ピッチノギスによる測定値をストロークごとに示している。ステレオカメラと穴ピッチノギスとの測定値の差異（絶対値）は、最大で0.28mm（ストローク60mm→90mmの試験No.2）であった。また、差異（絶対値）の平均値は、0.16mmであった。ここで、ステレオカメラの3次元計測では、理論誤差を撮影画像上で計測点が1ピクセルずれたと仮定して求められる。本システムの場合、理論誤差は±0.95mmと計算されるが、本試験の結果から実質的には±0.5mm程度の誤差で測定が可能であるといえる。また、一般的に伸び測定で使用されるJIS一級相当の鋼製巻尺は、測定長さが0～1.0mの範囲では±0.5mmであるが、測定時のたわみや直線性の保持という点で人為的誤差が生じやすい。さらに近年、本システムと同様な目的で使用される巻型変位計は、一般的に用いられる容量500mm，非直線性0.3%R0の場合で±1.5mmである。

以上から勘案すると、本システムはこれらの測定方法と同等以上の精度で測定することが可能であり、さらなる精度向上を目指し、自動露出（AE）機能をソフトに追加することや、マーカーに太陽光の影響を低減させる低反射素材を使用するなど検討している。

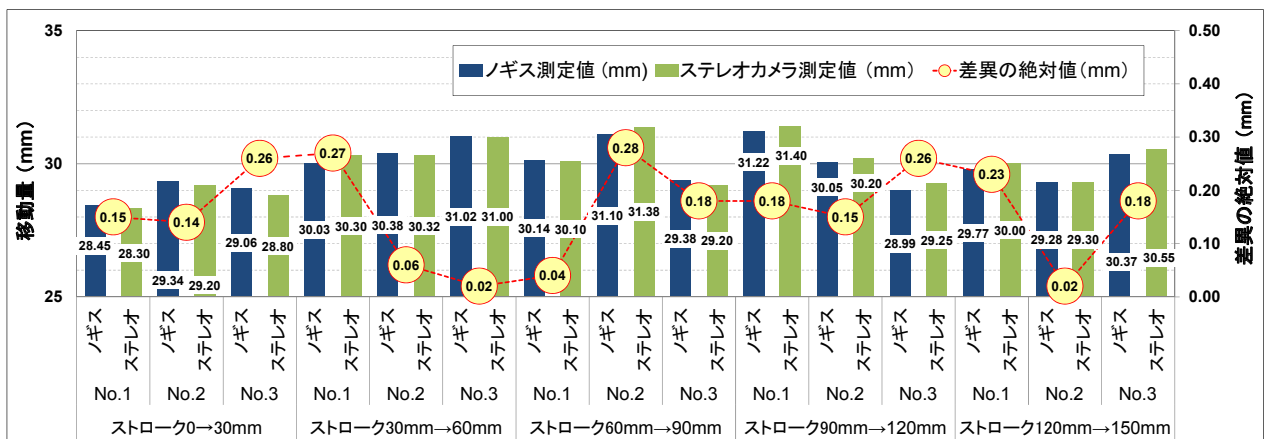


図-4 試験結果

4. 緊張作業を想定した各種動作確認試験

4.1 試験方法

一連の緊張作業を実施し、本システムの動作確認を行った。試験方法としては、緊張ジャッキに緊張材12S12.7を配置し、一連の緊張作業を「緊張→ストロークの盛替え→再緊張→定着→減圧（標点の戻り量の計測）」の手順で実施した。また、測定した緊張材の本数は4本とし、両引き緊張により行った。なお、各緊張材の伸び量に不具合が生じた場合を想定したエラー表示の動作確認も行った。

4.2 試験結果

試験時の2点間計測ソフトの画面と、計測管理ソフトの画面を写真-5と写真-6に示す。一連の緊張作業に本システムを使用した結果、伸びと圧力を問題なく測定できた。とくに、緊張作業中の盛替えでは、画面上に設けた専用のボタンをクリックすることで盛替えの前後で伸びを引き継げるようにしており、これについても問題なく機能していた。

また、本システムでは、緊張作業中に生じ得るエラーとして、「1）マーカの不正貼付け」、「2）マーカの不正移動（接触・脱落）」、「3）各緊張材の異なる伸びの発生」をソフト内で検知できるようにした。試験中、模擬的にエラーを発生させてその動作確認を行ったが、いずれの場合もエラーを検知することができた。

5. おわりに

3次元技術・ICT技術を活用した本システムの優位性を以下にまとめる。

- 1) 緊張ジャッキに接近せずに伸びを測定できるため、測定者の安全性を確保できる。
- 2) 人為的な読み取り誤差の発生を防止できる（ヒューマンエラーの防止）。
- 3) 計測管理者が緊張作業状況を画像によりモニタリングできることや、緊張作業中の不具合を検知しエラー表示する機能などにより、緊張作業中の不具合のリスクを低減できる。
- 4) パソコン操作により容易かつ迅速に伸びと圧力が測定できる（デジタルデータ化）。
- 5) 複数本の緊張材の伸び測定ができ、緊張管理の信頼性を向上できる。
- 6) 各社で保有する「緊張管理図の作成ソフト」に、本システムを活用できるよう、汎用性の高いCSVファイル形式によってデータの保存ができる。
- 7) あらゆる定着システムに応用できる。

今後は、実工事を想定した環境下での採用に向けて、実証試験を行う予定である。

最後に、本システムのソフト製作にあたり、ご協力を頂いた（株）アプライド・ビジョン・システムズ社に感謝の意を表します。



写真-5 2点間計測ソフトの画面



写真-6 計測管理ソフトの画面