

リアルタイム3次元画像計測システムの開発と適用（道頓堀川作業所）

Development of Real-time 3D Measurement System by the Image Data Processing Technique

松田 浩朗^{*1} 阿保 寿郎^{*1} 松元 和伸^{*1} 小林 薫^{*2}
Hiroaki Matsuda Toshiro Abo Kazunobu Matsumoto Kaoru Kobayashi
中川 勲治^{*3} 梶 正樹^{*3} 藤井 彰^{*4}
Kunji Nakagawa Masaki Kaji Akira Fujii

【要旨】

これまでに、精密写真測量技術（TPhotoS）¹⁾を開発し、地すべり地や災害復旧工事の安全監視に適用している²⁾。本技術は、市販のデジタルカメラを使用し、現地では撮影するのみで変位計測を可能とするものであり、コスト面などで有利であるが、撮影が手動であることから、連続的に計測を行うことが困難であった。

そこで筆者らは、精密写真測量技術による3次元変位計測の自動化を目的に、定点カメラを利用した連続変位計測システムを開発した。本稿は、開発したシステムの計測精度の検証を目的とした室内実験の結果と、本システムの護岸の計測監視に適用した結果を示す。

【キーワード】 画像計測 自動化 3次元変位 写真測量

1. はじめに

近年、台風や地震による自然災害が多発しており、防災監視技術の関心が高い。これまでに、筆者らは精密写真測量技術（TPhotoS）¹⁾を開発し、地すべり地や災害復旧工事の安全監視に適用している²⁾。本技術は、市販のデジタルカメラを使用し、現地では撮影するのみで変位計測を可能とするものであり、コスト面などで有利であるが、撮影が手動であることから連続的に計測を行うことが困難であった。

一方、近年のネットワークカメラの普及などから、現場状況の確認などを目的とした定点カメラによる遠隔監視のニーズが高まっている。さらに、このカメラに付加価値（防犯を目的とした侵入検知など）を加える機能の開発も盛んである。

そこで筆者らは、精密写真測量技術による変位計測の自動化と、定点カメラの高付加価値化（同時に変位計測可能）を目的に定点カメラを利用した連続変位計測システムを開発した。

本システムは、設置された複数台の定点カメラより対象物の画像を取得し、取得画像から計測点の3次元座標を求めるもので、この一連の流れを自動化している。

本稿では、開発したシステムの有効性の検証を目的に

行った室内実験の結果について示す。さらに、護岸工事における護岸の変位計測の適用結果から、本システムの実用性について示す。

2. リアルタイム3次元画像計測システムの概要

図-1に開発したリアルタイム画像計測システムの概要と流れを示す。本システムでは、対象物を複数台の固定カメラにより撮影する。パーソナルコンピュータ（以下、PC）上で、固定カメラによる映像が確認できるため、遠隔地の画像監視が可能である。次に、本カメラより定期的に画像が自動的に取得される。この取得画像より写真測量解析を行うことで、計測点の3次元座標を求める。これを繰り返し行うことで、計測点の3次元変位を求めるものである。本システムでは、この一連の流れを自動化することで、リアルタイム自動3次元変位計測を可能としている。

使用するカメラは、PC上でリアルタイムに映像が確認できるものとし、要求される計測精度を満足する画素数を持つカメラを選択する。カメラ-PC間は、無線あるいは有線で接続されるが、数100m～数kmにおよぶ場合は、光ファイバ等を利用し、長距離伝送を可能とする。

本システムでは、インターネット回線を利用すること

1. 技術研究所 第一研究室 2. 技術研究所 3. 大阪支店 道頓堀川作業所 4. 大阪支店 ちよつきり橋作業所

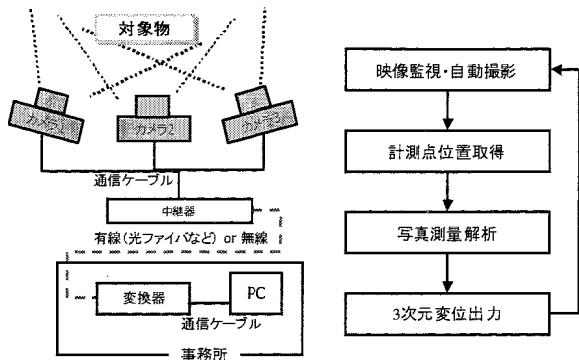


図-1 システム概要

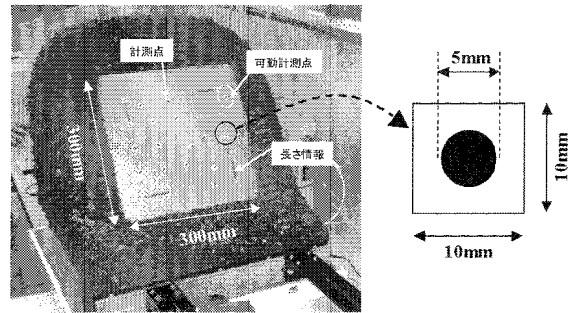


写真-2 斜面模型と計測点

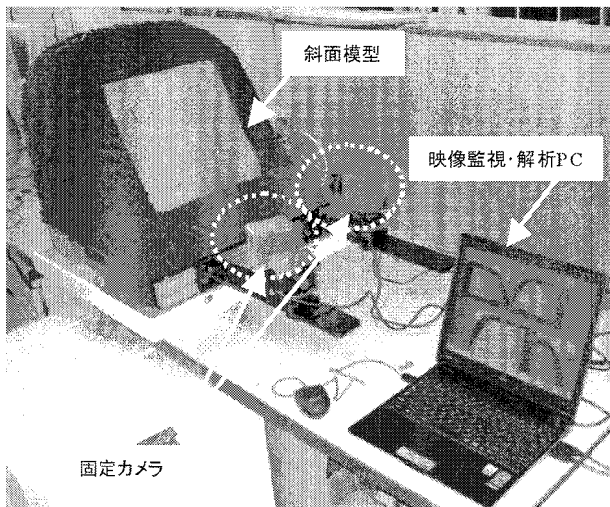


写真-1 実験装置およびシステム

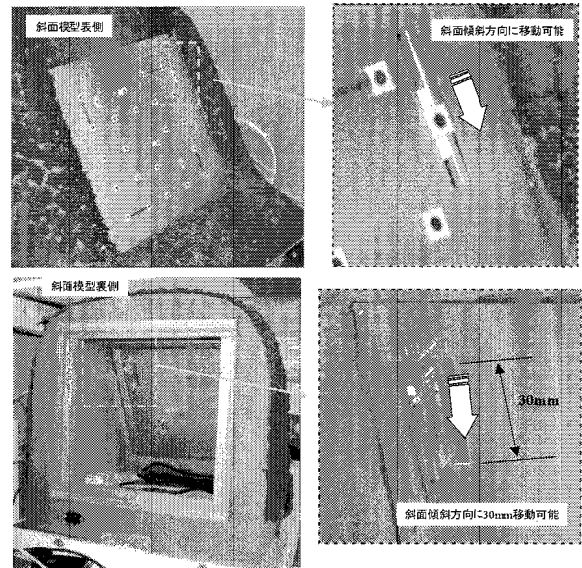


写真-3 計測点の移動

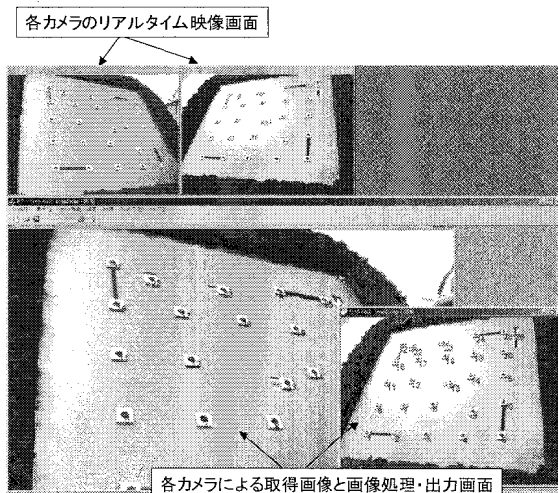


図-2 制御プログラム表示画面の一例

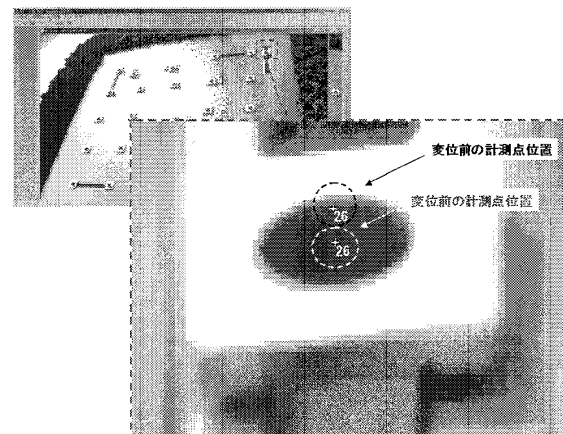


図-3 自動解析処理の一例

で、計測結果や取得画像をサーバにアップする機能を有しており、これまでに開発されているWebリアルタイム監視システム³⁾と連携することで、Web上でリアルタイムに計測結果を確認することも可能である。

3. 室内実験

3.1 計測システムと実験の概要

本システムの計測精度を検証する目的で室内実験を行った。写真-1に使用した実験装置および3次元画像計測システムを示す。本システムは、2台の固定カメラと映像監視・解析PC、ならびに、制御プログラムで構成さ

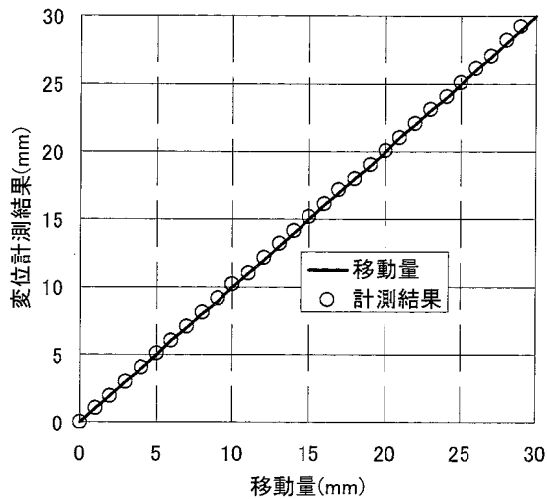


図-5 計測結果と移動量の差

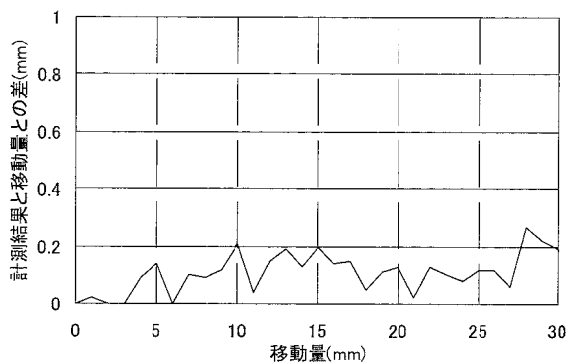


図-6 適用現場

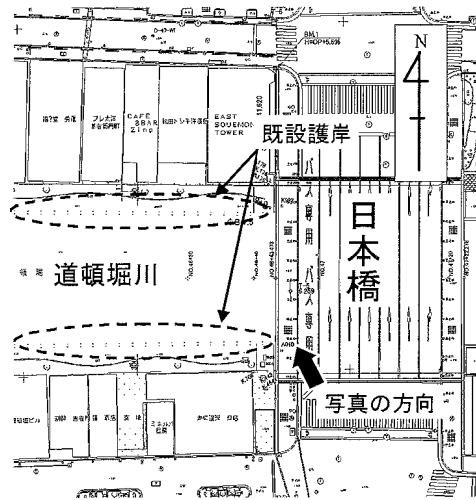


写真-4 現地概況

れている。固定カメラは、産業用USBカメラ(300万画素)で、斜面模型全体を確認できるよう2台設置している。このカメラとPCをUSBにて接続されており、PC上でカメラの映像がリアルタイムに確認できる。また、定期的あるいは指定時に画像が取得され、取得画像から画像上の計測点の位置が自動で取得される。さらに、斜面模型上の計測点の3次元座標および3次元変位が写真測量解析により自動的に求められる。

写真-2に、斜面模型と計測点を示す。斜面模型は、300mm×300mmの面上に約50mm間隔で、26点の計測点が配置されている。計測点は、10mm×10mmの白色正方形面上に、直径5mmの黒色塗りつぶし円が描かれており、この円の中心を計測点としている。斜面模型には、手で計測点位置を移動できる可動計測点が5点あり、その中の1つは30mm程度斜面傾斜方向に移動可能である(写真-3参照)。

図-2に、制御プログラム画面を示す。画面上には各カメラの映像がリアルタイムに表示される。さらに、定期的あるいは指定時に取得される画像と解析結果が併せて表示される。

3.2 実験結果

写真-2、および写真-3に示す可動計測点を1mm毎に30mm手で斜面傾斜方向に移動させ、移動毎に本システムにより変位計測を行った。この移動量の計測精度について検討した。なお、移動量は目視による鋼尺で確認した。

実験時の自動解析処理の一例を図-3に示す。図より、計測点の画像上の位置が変位により移動しているものの、解析処理により計測点の画像上の位置が自動的に検出できていることがわかる。

可動計測点の移動量に対する本システムによる計測結果を図-4に示す。図中、横軸は可動計測点に与えた移動量、縦軸はそのときの本システムによる変位計測結果を示す。また、丸印は本システムによる計測結果を、実線は移動量の真値を示す。図より、本システムは移動量の大きさにかかわらず、精度良く計測されていることがわかる。なお、本実験においては1回の計測に要した時間は数秒であり、ほぼリアルタイムに計測を行うことが可能であった。

各可動計測点の移動量に対する移動量と計測結果の差

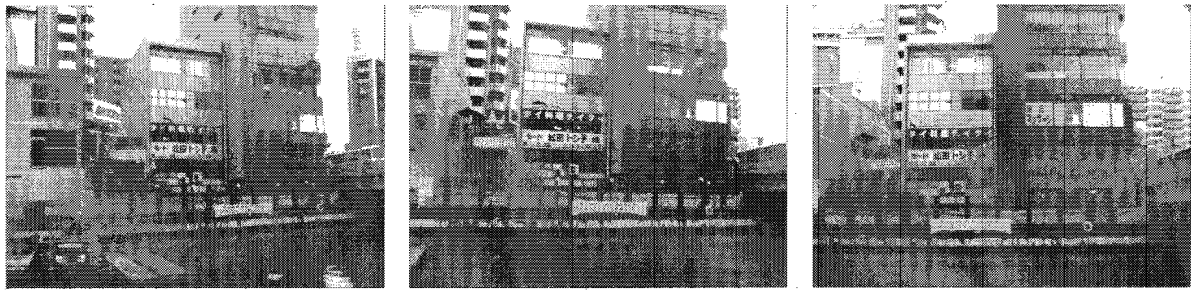


写真-8 取得画像の一例

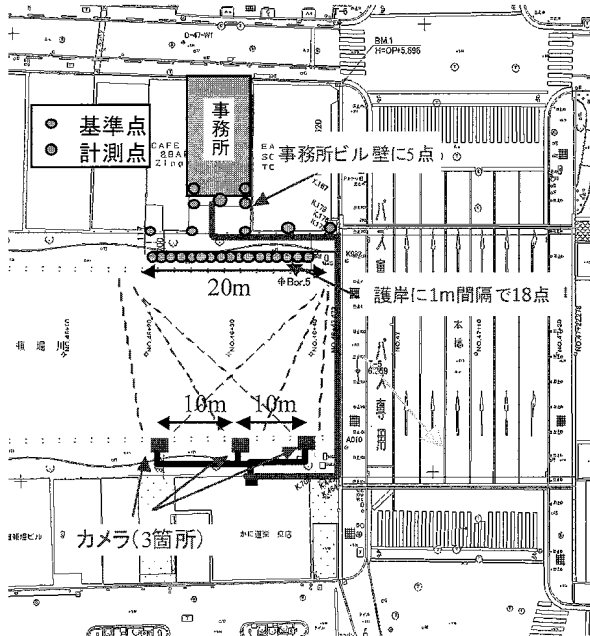


図-7 カメラおよび計測点の配置

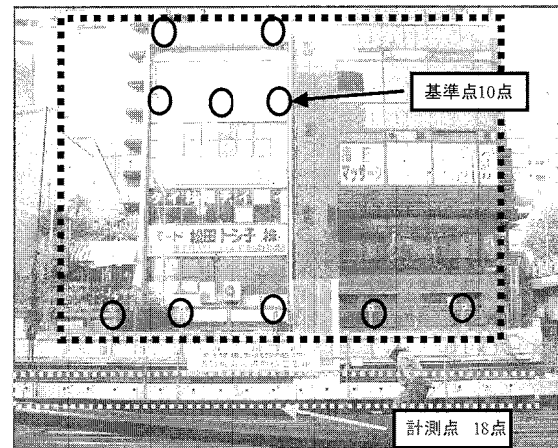


写真-6 計測点および基準点設置状況

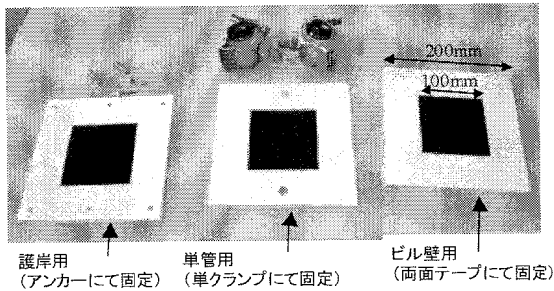


写真-5 専用ターゲット

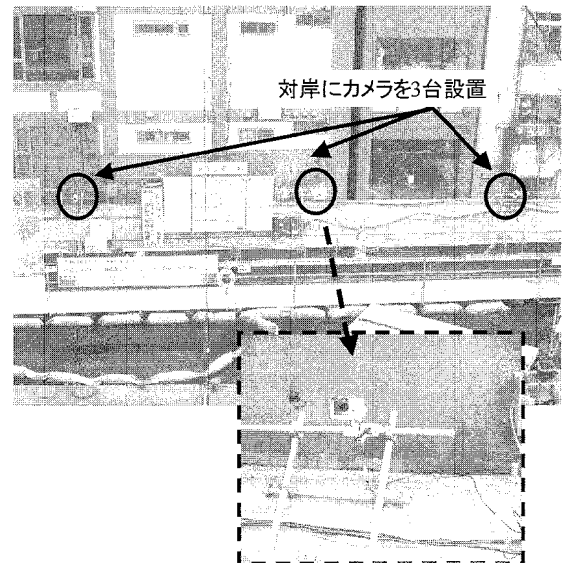


写真-7 カメラ設置状況

の比較を図-5に示す。図より、その差はほぼ0.2mm未満である。本実験で使用したシステムにおいては、画像上で1ピクセルの長さを実際の長さに換算すると0.3mmである。1ピクセルあたり0.3mmの画像を使用した結果0.2mm程度の誤差であるため、本システムは1ピクセル未満の計測誤差で計測が可能であることがわかる。

4. 現場適用

4.1 適用システムと現場の概要

本システムを変状監視に試験適用した。適用した現場

は、大阪市の道頓堀川を渡る日本橋付近であり、日本橋～相合橋間の護岸改修工事である。図-6に適用現場平面図を、写真-4に現場付近の写真を示す。本工事では、護岸新設のためのH鋼や鋼矢板の打設に伴って、撤去予定の既設護岸の変状が懸念された。そのため、H鋼および鋼矢板打設前後における既設護岸の変状監視に本システムを試験的に適用した。なお、既設護岸を近接構造物への施工の影響を把握する目的で、地表面傾斜計および地中傾斜計が設置されている(図-8および図-10参照)。

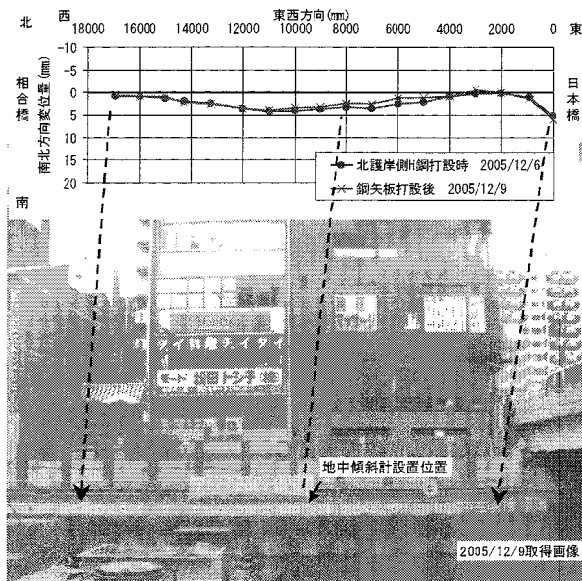


図-8 南北方向変位計測結果

カメラおよび計測点の配置を図-7に示す。監視する護岸に1m間隔で計測点として専用ターゲット(写真-5参照)を設置した。ターゲットは200mm四方の白色板に100mm四方の黒塗り正方形が描かれており、この黒塗り正方形の中心を計測点としている。また、ビル壁およびその付近に基準点を設置し、計測した変位量はこれらを基準とした相対変位とした。計測点の川を挟んで反対側の護岸に計測用カメラを3台10m間隔で設置した。カメラは事務所に設置された制御PCまで有線で接続した。計測点および基準点設置状況を写真-6に、カメラ設置状況を写真-7に示す。

4.2 適用結果

本システムは2005/11/29から2005/12/9までの、H鋼および鋼矢板打設前後の期間適用した。写真-8に本システムで取得された画像の一例を示す。

図-8に、本システムによる計測結果の内、H鋼および鋼矢板打設日時に着目して抜き出した結果を示す。図中横軸は、計測点最東側を0とし、西方向を正とした計測点の位置であり、縦軸は、川側(南方向)を正とした南北方向の変位量を示している。また、計測値は2005/11/29の計測結果を基準とした相対変位量である。同図より、H鋼および鋼矢板打設による既設護岸への影響は数mmであり、護岸およびこれに付随する構造物にほとんど影響を与えることなく、H鋼や鋼矢板を施工できたと考えられる。なお、同時期に光波測距儀により計測点の測量を行ったが、本システムと同様の結果であった。

ここで、地中傾斜計設置位置付近の計測結果をみると(図-9参照)、H鋼打設により南側に変位した後、鋼矢板

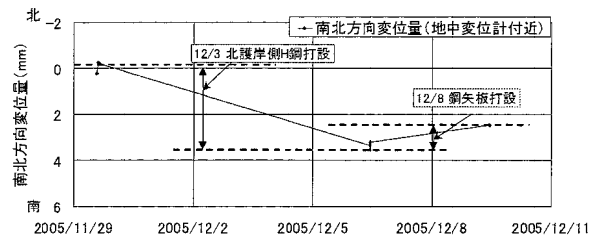


図-9 地中傾斜計設置位置付近の計測結果

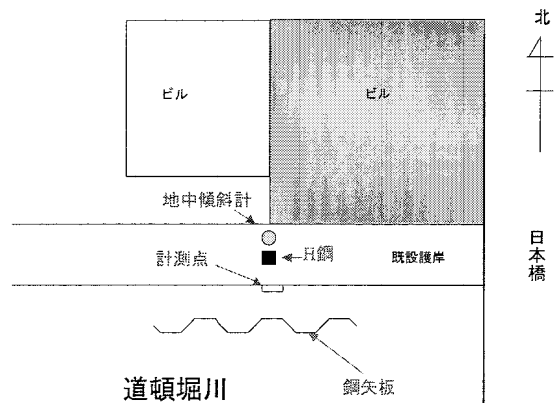


図-10 H鋼および鋼矢板と計測点の位置の関係

打設時に北側に戻る挙動がみられる。これは、図-10に示すように、H鋼と鋼矢板に計測点が挟まれるように配置されていることから、H鋼打設により川側へ変位し、鋼矢板打設時にビル側へ変位する挙動となったと考えられる。

5. おわりに

開発したリアルタイム3次元画像計測システムの計測精度の検証を目的とした室内実験と、本システムの現場適用結果を示した。

室内実験では、本システムは自動計測が可能であり、1ピクセル以下の誤差で計測可能であることが示された。例えば、対象物が2000mm四方、使用カメラの画素数が2000ピクセル四方であれば計測精度は1mm未満といえる。

なお、1回の計測に要する時間は数秒であり、ほぼリアルタイムに計測が可能であった。

また、本システムを護岸の変位計測に試験適用した結果、変位計測に適用可能であることを示した。なお、本工事では、既設護岸に影響を与えることなく、H鋼および鋼矢板が施工された。

ただし、本システムは連続変位計測を可能とするよう開発されたが、現場適用においては、施工時の重機等が障害物となり、連続的に計測を行うことはできなかった。計測点およびカメラ位置を工夫することにより、この問題は解決できると考えられる。

【参考文献】

- 1) H. Chikahisa, K. Matsumoto, K. Kumagai and K. Kobayashi: Measurement of ground displacement during tunnel excavation by the optical measurement system for ground displacement, Proceedings of 3rd Asian Rock Mechanics Symposium, pp.617-622, 2004.
- 2) 三木浩史, 柳瀬正寿, 小川内良人, 石塚佳年, 近久博志, 小林薫, 阿保寿郎: 画像計測による斜面挙動のモニタリング, 砂防学会研究発表会概要集, pp.238-239, 2005.
- 3) 飛島建設ホームページ: Web リアルタイム監視システムをダム現場・法面挙動長期監視に本格適用, <http://www.tobishima.co.jp/news/news070508.htm>

Summary : The precise photogrammetry technique (TPhotoS) has been developed to monitor the behaviour of a large slope (e.g. landslide). This technique is advantageous for measuring displacement more economically than other methods. However, this technique has not been applicable to the case where automatic measurement is needed. To cope with this problem, the authors developed a real-time 3D measurement system by the image data processing technique to realize automatic displacement measurement. This paper describes the results of laboratory tests to verify the accuracy of the new system, as well as in-situ tests carried out to monitor a revetment .

Keywords : *measurement by image data processing, automation, 3D displacement, photogrammetry*