

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25289123

研究課題名(和文) 3次元計測技術を応用した土砂災害発生の予兆検知と警戒情報の取得

研究課題名(英文) Prediction detection of the landslide disaster as an application of three-dimensional high-precision measurement technique

研究代表者

橋本 岳 (HASHIMOTO, Takeshi)

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：60228418

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：土砂災害は身近かつ大変危険な災害であり、土砂災害の予兆検知に関する技術の確立は緊急かつ不可欠である。しかし現状では計測精度・計測範囲・計測装置の複雑さ等から妥当な方法が存在しない。

本研究期間中には、橋本が有する高精度計測技術を活用して、屋外遠距離にて、広範囲かつ高精度な計測方法を実現した。具体的には、カメラ基線長約1m、計測距離約90mで最大誤差10mm以下という画期的な計測システムの試作に成功し、それを高速道路の法面計測へ適用した。

また、本計測方法の様々な応用へも積極的に取り組み、一例として建物や橋梁の振動計測実験を行った。これらは、建物の耐震判定やインフラ構造物の点検にも有効と考えられる。

研究成果の概要(英文)：The landslide disaster occurs frequently and is extremely disastrous. Therefore, a technique for the prediction detection of landslides is urgently required. However, no currently available practical methods satisfy the conditions for both measurement precision and measurement range simultaneously.

During this research period, Hashimoto's high-precision measurement technology was utilized to realize a wide-range and highly accurate measurement method. We developed a prototype of a revolutionary measurement system having a stereo camera base length of ~1 m, measurement distance of ~90 m, and maximum error of 10 mm or less and applied it to the slope measurement of an expressway.

We actively worked on various applications of this measurement method and conducted vibration measurement experiments of buildings and bridges as an example. This method is thought to be effective for both evaluating the earthquake resistance judgment of buildings and the safety inspection of infrastructure.

研究分野：画像計測

キーワード：3次元計測 防災 画像計測 土砂災害 情報ネットワーク

1. 研究開始当初の背景

(1) 計測対象と計測の必要性

本研究が対象とする災害は土砂災害である。政府広報オンラインに「土砂災害の危険箇所は全国に 52 万箇所！」、「土砂災害の発生件数は年間約 1,000 件」とあるように、土砂災害は身近でかつ大変危険な災害である。土砂災害の予兆検知に関する技術の確立は緊急かつ不可欠である。

(2) 計測技術の現状

これまでに土砂災害に関連する計測技術として様々な研究が進められてきている。例えば、次のような方法を挙げられる。干渉 SAR：衛星画像等を用いて広範囲に計測でき、誤差数センチ(変動量)で計測が可能である。しかし、衛星の周期から連続計測ができず(数十日に 1 回)、このため、地上の法面や谷の堆積土砂等の計測は不可能である。GPS：計測箇所ごとに受信機の設置が必要である。3次元計測：レーザ計測や画像計測(計測対象にマーカーを用いる方法)が各種提案されている。しかし、計測精度・計測範囲を同時に満たし、計測装置の複雑さ等から妥当な計測法が見当たらない。

2. 研究の目的

橋本が開発した画像計測技術は「距離 50m にて誤差 1mm」で対象座標を計測でき、動き計測・連続計測・多数点同時計測、低コストである。つまり、遠方対象の動きを高精度に“監視”することができる。

この技術を活用して、法面の擁壁ブロック・岩・樹木等の微小な移動を捉える計測システムを試作し、その計測結果から土砂災害発生の予兆を検知、警戒情報を取得するシステムの開発を研究目的とする。つまり、従来カメラで撮影されている分野に 3次元計測を導入し、その計測結果と土砂災害との関連を明確にすることで土砂災害を予測できるシステムを目指している。本研究の成果は、早期で正確な避難につながると思われる。さらに、この計測技術は、天然ダムの危機管理、掘削面の崩壊予測等、応用範囲がとても広い。

3. 研究の方法

(1) 計測システムの製作

できるだけ早期に予兆を検出するには、対象の微小な変化(mm単位)を計測できるシステムが不可欠である。計測のコアとなる高精度 3次元計測技術は、自然光を使うパッシブステレオ計測に属し、今回の計測目的を最も効率的に実現できる計測手段である。

自然計測では様々な制限があるため、計測環境に合わせて計測システムを設計し、計測システムを製作した。特に、高速道路法面の計測では、計測距離 90m が必要であり、(計測装置の運搬などから)装置のサイズを小さくする必要があるのでステレオカメラの基線長を約 1m という相反する条件が課題とし

て浮上した。これらの解決のため、計測技術を進歩させて、計測システムへ適用した。

(2) 計測の実施

まず、土砂災害のための現場に合わせた計測方法について研究を行った。

次に、計測結果と土砂災害の関係から予兆検知および警戒情報を取得するために、製作した計測システムを計測環境へ設置して高精度計測を実施した。法面上のマーカーやブロック等の変化について、通常の動きと土砂災害での動きとの違いを見つけるためである。具体的には、賛同して頂ける企業の御協力を得て、高速道路の法面へ設置して計測を行った。

さらに、本計測方法を振動計測へ拡張することに成功した。計測対象として、起震車内の新型建物、および、橋梁等について計測を行った。

(3) 計測結果の分析・改良、公開

計測結果の分析を行い計測装置の改良に取り組んだ。現場で計測を行ったからわかること、温度の影響、空気ゆらぎ、カメラ設置位置の動き、耐久性、等について詳細な検討を行い、その対策を提案した。

また、計測対象について、様々な検討を行った。さらに、研究成果を公開するためのホームページを作成した。

4. 研究成果

研究期間中には、次のような有意義な成果を挙げる事ができた。

(1) 画期的な小型高精度計測システムの製作

土砂災害のための計測には図 1 のような手法がある。この図 1 の第一象限、すなわち計測範囲が広くかつ精度の高い計測方法(連続計測も可能である)を、本研究において初

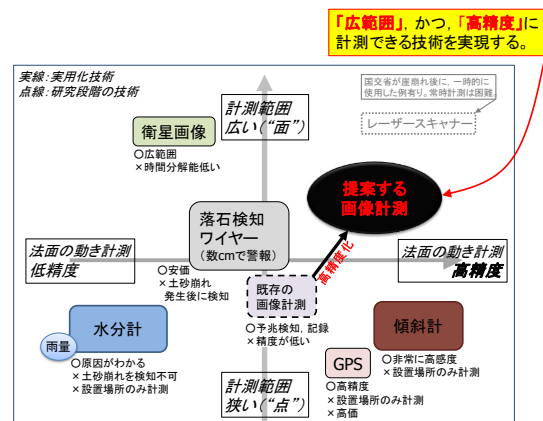


図 1 土砂災害計測システム

めて実証することができた。

さらに、カメラを用いた計測では、人工的なマーカーの計測以外に、マーカーを用いない計測が可能であり、人の立ち入りが危険な箇所の計測も可能である。加えて、対象の変化を記録できるという、大きな優位性を有する(画像計測の優位性を継承)。

上記の技術を生かして製作した計測シス



図 2 試作した計測システム

テムを図 2 に示す (参考: 雑誌論文①)。

【計測技術の説明】画像を用いた 3 次元計測においてステレオ計測は基本かつ主要な方法である。しかし、ステレオ計測には、対応点誤差・量子化誤差・キャリブレーション誤差などの誤差要因があり、既存計測技術では遠距離における計測精度が不十分とはいえない。具体的には、ステレオ 3 次元計測では、「カメラ-対象間距離」/「カメラ-カメラ間距離」という比が計測精度に強く関係し、この比が大きくなる(例えば、カメラ-対象間距離が長く)ると計測精度が低下してしまう(現状のステレオ 3 次元計測では多くの場合この比が数倍程度までで計測が行われる)。これに対し、橋本が開発した技術では、この比が 20 倍程度でも従来技術より一桁以上高い精度を実現できる。

(2) 計測の実施

次のような①～③の計測を実施した。

①土砂の流れの計測, ブロック擁壁の計測

土屋教授が有する実験施設にて、ステレオカメラを用いて、土砂の流れの計測に関する研究を行った。その結果、詳細な土砂の流れを計測可能であることが分かった (図 3)。

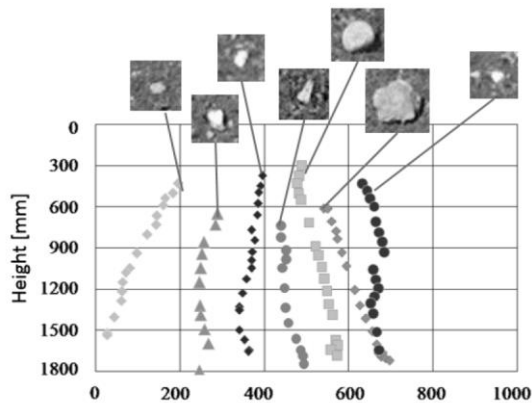


図 3 土砂の流れ計測の例

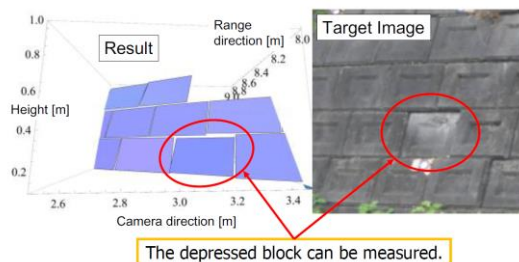


図 4 ブロック擁壁の計測例



図 5 高速道路の法面の計測の様子

また、市販カメラを用いたステレオ計測により、ブロック擁壁の変動の計測に成功した (図 4)。連続計測が可能になれば、ブロック擁壁の崩壊の予兆を検知できる可能性がある。

さらに、高速道路のブロック擁壁を点群として計測することにも成功した。屋外にあるブロック擁壁等ではその汚れを画像的特徴としてパターンマッチングで計測可能なことが多い。この計測はレーザースキャナーを用いた計測より安価、撮影時間は短時間であり、ブロック擁壁の検査に応用できる可能性が高い。

② 高速道路の法面の計測

山間部を通過する高速道路は切土あるいは盛土により造られることが多く、その法面に動きが発生する可能性があり、法面が一定以上動いた場合には警戒する必要がある。現在、GPS による表面の動き計測および水分計による計測が行われている。しかし、水分計は (そもそも法面の動きを計測できない) 場所の少しの違いでも水分量が異なることがある。GPS は (上述のように) 受信機の点の計測しかできない。以上より、法面表面の広い範囲の計測には画像計測が有望と期待されている。

以下に法面の計測の現状をまとめる。ステレオカメラ (撮像系) はカメラ (2592 pixel × 1944 pixel), レンズ (f=35mm) 等から構成され、(高精度計測の実現のために) スライダーを用いてカメラ方向へ 1mm ごと 19 回移動させて疑似的に左右 20 個のカメラ群での計測に相当させている (対象の法面の動きは非常に緩慢であるため、カメラシフト時間は問題とならない)。撮影したステレオカメラ画像から 3 次元座標計測値を算出するには 2 次元 DLT (Direct Linear Transform) 法を用いた。カメラと計測対象までの距離は約 90m であり、計測誤差を検証したところ、最大誤差は約 5mm であった。なお、本計測装置は無線 LAN を内蔵することによって、遠隔から制御および計測が可能である。

例として、2015 年 4 月上旬から 12 月上旬までの 8 ヶ月間の計測結果を対象として、左右 20 個のカメラ群のそれぞれの計測値およびターゲットマーカ-6 点の計測値を統計処理した。毎日午前 6:45 に撮影した画像を用いて計

測した結果、1 ヶ月で約 3mm 移動している場合もあり誤差を考慮すると妥当な計測が実現したといえる。ただし、計測日によって小さなばらつきが伺えた。この原因の一つとして、陽炎が発生し、画像のゆらぎが生じたことが考えられる。陽炎発生時に断続的に撮影した場合、ターゲットのある 1 点の画像座標の分布 (10 fps のフレームレートで 200 秒間撮影) から最大 2 pixel 程度のばらつきが確認できた。この画像のゆらぎによって、左右のカメラで対応点誤差が発生し、計測値が変化すると考えられる。こうした画像のゆらぎは適切に連写撮影を行うことによって補正が可能であり、精度が向上することが確認できている。現在は、計測装置にこうした改良を加えて観測を続けている (図 5 に例を示す)。

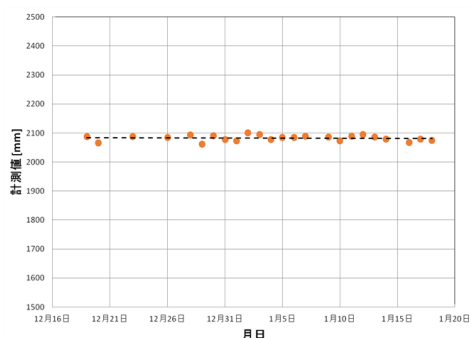


図 5 高速道路の法面の計測例

さらに、計測システムを改良し様々な要警戒箇所へ適用することを計画している。

③ 振動計測

動画像に対して高精度計測を適用すれば、有益な振動計測を実現できるため、その基礎実験を行った。計測対象は、起震車内の建物の振動計測 (図 6) および天竜川の橋梁である。いずれにおいても計画通りの計測を実施でき、良好な結果を得た。これらの計測は、地震時の建物の耐震に関する新しい知見を得ること、および、日本中で課題となっているインフラ構造物の検査のための新しい指標となる可能性があるため、鋭意研究を進めている。



図 6 建物の振動計測の様子

(3) 計測結果の分析・改良、公開

以上の計測結果の分析を行ったところ、屋外計測特有の課題が明確になってきた。上述の陽炎による画像のゆらぎ以外に、カメラを設置した法面自体の動きも観測された。さらに、カメラの温度変化、耐久性についても検証を行う必要があることがわかった。現在、これらについて、改良を行っているところである。

また、本計測法には様々な応用があることが明らかになってきている。例えば、文化財の計測へ適用できることがわかった。文化財の多くは設計図が残っていないことが多い。そこで、レーザ計測より安価かつ短時間 (撮影するだけ) というメリットを生かして、神社仏閣の計測を試みた。

さらに、積極的に情報発信を行っている。以上の計測結果を論文および学会発表、展示会での発信等を行った。また、竹林教授の技術を使って適切なホームページを作成した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 高柳 翔平, 松原 真治, 山本 茂広, 橋本 岳: 防災応用を目的とした切土法面の三次元画像計測の実験的研究, 電気学会論文誌 C, 査読有, Vol. 137-3, 2017, pp. 467-473, DOI: 10.1541/ieejieiss.137.467
- ② András Rövid, Takeshi Hashimoto: On Local Stereo Matching for High Precision Measurement, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), 査読有, Vol. 3, 2014, pp. 23-32, http://www.ijeit.com/Vol%203/Issue%2010/IJEIT1412201404_05.pdf
- ③ Takeshi Hashimoto, Satoshi Kimura, András Rövid, Satoshi Tsuchiya, Yoichi Takebayashi: Multi-camera Based Monitoring Approach to Support the Prediction of Landslides, IJCSN International Journal of Computer Science and Network, 査読有, Vol. 3, 2014, pp. 92-98, <http://ijcsn.org/IJCSN-2014/3-3/Multi-Camera-Based-Monitoring-Approach-to-Support-the-Prediction-of-Landslides.pdf>
- ④ Takeshi Hashimoto, Takayoshi Tezuka, András Rövid: Stereo-Vision Based Oscillation Measurement for Disaster Prevention, IJCSN International Journal of Computer Science and Network, 査読有, Vol. 3, 2014, pp. 66-72, <http://ijcsn.org/IJCSN-2014/3-1/Stereo-Vision-Based-Oscillation-Measurement-for-Disaster-Prevention.pdf>

[学会発表] (計 10 件)

- ① 小松 拓海, 橋本 岳, 松原 真治, 大石 裕也, 坂口 祐一: 三次元画像計測による切土法面の連続計測結果の報告, 2017 年電子情報通信学会総合大会, 2017 年 3 月 22 日, 名城大学 天白キャンパス (愛知県名古屋市中)
- ② 橋本 岳: 『最先端・高精度位置計測技術の紹介～人間の眼を超えて～』, 第 103 回「産学官交流」講演会・交流会, 2016 年 9 月 26 日, 静岡商工会議所 清水事務所 (静岡県静岡市) 【招待講演】
- ③ 高柳 翔平, 笠井 将司, 小野 友輔, 橋本 岳, 土屋 智, 竹林 洋一: 防災応用を目的とした切土法面の三次元画像計測の実験的研究, 平成 27 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 2015 年 9 月 29 日, 名古屋工業大学 (愛知県名古屋市)
- ④ 小林 峻平, 栗田 正光, 橋本 岳: 画像を用いた地震時の人体の動き計測の基礎的研究, 平成 27 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 2015 年 9 月 29 日, 名古屋工業大学 (愛知県名古屋市)
- ⑤ 橋本 岳, 高柳 翔平, 松原 真治, 土屋 智, 竹林 洋一: 防災応用を目的とした切土法面の三次元計測の紹介, 日本リモートセンシング学会 第 60 回 (平成 28 年度春季) 学術講演会, 2016 年 5 月 13 日, 日本大学生産工学部 (千葉県習志野市)
- ⑥ 橋本 岳, 小野 友輔: 簡便なステレオカメラシステムを用いた文化財の寸法測定に関する実験的研究, 日本リモートセンシング学会 第 60 回 (平成 28 年度春季) 学術講演会, 2016 年 5 月 13 日, 日本大学生産工学部 (千葉県習志野市)
- ⑦ Takeshi Hashimoto, Shohei Takayanagi, András Rövid: Correspondence Matching for Stereo Vision Based Outdoor Measurement, ISICIE/ASME 2014 International Symposium on Flexible Automation (ISFA2014), 2014 年 7 月 14 日～2014 年 7 月 16 日, Awaji Yumebutai International Conference Center (Awaji-Island, Hyogo, JAPAN)
- ⑧ 平岡 直祈, 吉野 真之, 橋本 岳, András Rövid: ラウンドエッジ誤差低減法を用いた車両事故記録の簡略化に向けた基礎研究, 平成 25 年度電気関係学会東海支部連合大会, 2013 年 09 月 24 日～2013 年 09 月 25 日, 静岡大学 (静岡県浜松市)
- ⑨ 木村 諭史, 高柳 翔平, 橋本 岳, 土屋 智, 竹林 洋一, András Rövid: 複数カメ

ラを用いた堆積土砂の三次元計測に関する基礎実験, 平成 25 年度電気関係学会東海支部連合大会, 2013 年 09 月 24 日～2013 年 09 月 25 日, 静岡大学 (静岡県浜松市)

- ⑩ Takeshi Hashimoto, Satoshi Kimura, András Rövid: INTRODUCTION OF HIGH-PRECISE 3D MEASUREMENT FOR APPLICATION ON DISASTER PREVENTION, inter-Academia 2013, 2013 年 09 月 23 日～2013 年 09 月 27 日, Sofia University (Bulgaria)

[産業財産権]

○取得状況 (計 1 件)

名称: 位置計測システム及び位置計測方法

発明者: 橋本 岳

権利者: 国立大学法人静岡大学

種類: 特許

番号: 特許第 5581612 号

取得年月日: 2014 年 7 月 25 日

国内外の別: 国内

[その他]

①ホームページ

<http://tehs3.eng.shizuoka.ac/~jacc-user/research/bousai.html>

②研究内容が 2015 年 10 月 27 日に, NHK にて, 「レポート: 未来を作る研究室『土砂災害の前兆を捉えろ』」というタイトルで紹介された。

③次の展示会に出展した。

- ・ イノベーション・ジャパン 2015
2015 年 8 月 27, 28 日, 東京ビッグサイト
<https://www.jst.go.jp/tt/fair/ij2015/index.html>
- ・ 危機管理産業展 2016
2016 年 10 月 19~21 日, 東京ビッグサイト
<http://www.kikikanri.biz/2016/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋本 岳 (HASHIMOTO, Takeshi)

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号: 60228418

(2) 研究分担者

土屋 智 (TSUCHIYA, Satoshi)

静岡大学・農学部・教授

研究者番号: 60197720

竹林 洋一 (TAKEBAYASHI, Yoichi)

静岡大学・情報学部・教授

研究者番号: 10345803