

令和 2 年 11 月 27 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06547

研究課題名（和文）プロジェクタを利用した図面の直接投影による橋梁の変位計測技術の開発

研究課題名（英文）A measurement technique for changes in a bridge by directly projecting drawings with a projector

研究代表者

山本 義幸（YAMAMOTO, Yoshiyuki）

愛知工業大学・工学部・准教授

研究者番号：10580508

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、図面を現地でプロジェクタにて直接投影して橋梁の変位を計測するための技術開発である。その開発の中心は、図面を現地で同じ位置に投影させる手法の自動化である。自動化にあたってGNSS（人工衛星を利用した位置情報を取得する仕組み）を使用した。GNSSで取得したプロジェクタ位置から図面を投影するための行列を導出した。誤差の補正が必要であるが、プロジェクタによる投影で現地での橋梁の変位計測を行う基本的な仕組みを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

維持管理工学での評価領域を拡大する点で学術的意義が高い。これまでは、レーザ等で計測する「点的評価」が主であった。これに対して、本研究は、プロジェクタを利用した「面的評価」を可能とするものである。「面的評価」の方が「点的評価」より一度に評価できる領域が広く、効率のよい評価を可能とする。

昨今、問題となっている橋梁の老朽化対策を支援する社会的意義を有している。老朽化による危険性が危惧されている橋梁は多く、その対策には高いマンパワーとコストが要求されている。本研究成果は、評価領域が従来より広く、これによってマンパワーとコストの軽減が期待できる。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to develop a measurement technique for changes in a bridge by directly projecting drawings with a projector. A main part of this development was to automatically project a drawing to its location on site; Global Navigation Satellite Systems (GNSS) was used for automation. The matrix was developed to project a drawing using a GNSS position. Although it was necessary to correct errors, the basic system was developed to measure changes in a bridge on site using a projector.

研究分野：地理空間情報工学，維持管理工学

キーワード：投影 構造物 橋梁 GNSS プロジェクタ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本の土木事業は大きな転換期を迎えている。戦後の復興そして高度経済成長を支えてきた土木構造物の老朽化が顕著に表面化している。また、社会経済が成熟し、さらに人口減少もあいまって、土木構造物の新規建設は少なくなっている。よって老朽化が進む土木構造物の維持管理が、今や、土木事業の主となっている。しかしながら、技術者不足も顕在化し技術伝承等も危惧されているなか、老朽化が懸念され対策が急務となっている多くの土木構造物を対象として維持管理を十分に与える技術開発までには至っていない。

維持管理において、主たる関心事は、経年変化である。経年変化に対して、大きく質と量の二つの評価がある。質は、構造物の材料が化学変化を起こし脆くなっていないかなどを評価する。一方で、量は、歪やたわみが発生していないかなどを計測し、構造物の安定性を評価する。これら二つの評価においては、構造物の全体にわたって調査することが望ましいが、時間と費用を鑑み、部分的な評価で全体を代表しているのが現状である。具体的には、量の評価においては、トータルステーションと呼ばれるレーザで位置を計測する器械で、構造物の端点を計測する点の評価が一般的である。この計測法自体は、mmレベルで精度が高いものである。しかしながら、点的评价であるため、例えば、全体に渡る変位を数点のみで行われたトータルステーションによる計測結果で代表することは不適切である。そこで、点的评价ではなく面的評価を行う方法としてプロジェクタの利用に着目した。構造物が作られた当時の図面を現地においてプロジェクタで投影できれば、変位の面的評価が可能となる。しかしながら、現地で正確に図面を投影するためには、投影に必要なパラメータを適切に設定しなければならない。これに関しては、図面情報が現地の座標系に則っていれば、プロジェクタ位置を Global Navigation Satellite Systems (GNSS, 人工衛星を利用した位置情報を取得する仕組み) で取得することで、自動的にパラメータを決定し投影できる可能性がある。特に、我が国においては、みちびき(準天頂衛星システム: QZSS) による高精度な位置情報が無料で利用できるようになっている。橋梁においては、土木構造物の中でも、多方向からプロジェクタで投影しやすく、プロジェクタによる面的評価という維持管理における新たな変位計測手法を具現化できる可能性を大いに有している。

昨今の土木分野における情報技術を活用する周辺環境は、CIM や i-Construction といったような政策が進められており、整備が進んでいる。このような状況化においても、プロジェクタを利用した面的な評価方法の確立は、時代に即しており、この手法が確立できれば、広い社会貢献が期待できる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、図面を現地でプロジェクタにて直接投影して橋梁の変位を計測するための変位計測処理システムの技術開発である。その開発の中心は、図面を現地で同じ位置に投影させる手法の自動化である。上記の背景をもとに、本研究は、図1に示すような橋梁の変位において点から面での評価を可能とする新たな橋梁の維持管理手法の基盤となる研究を行う。主に、以下の3つの研究項目を設定した。

(1) 投影精度

投影条件(プロジェクタの解像度、投影距離)に対する投影精度(水平方向・鉛直方向)を明らかにする。

(2) 投影像の視認性

屋外でのプロジェクタの利用であることから、投影像を正しく確認できるか、異なる周辺環境・投影条件(投影距離、投影色)で実験し面的評価が可能かについて検証する。実験での投影結果を撮影した画像を処理して、全体的な変位を概観可能な視認性を具体的に明らかにする。

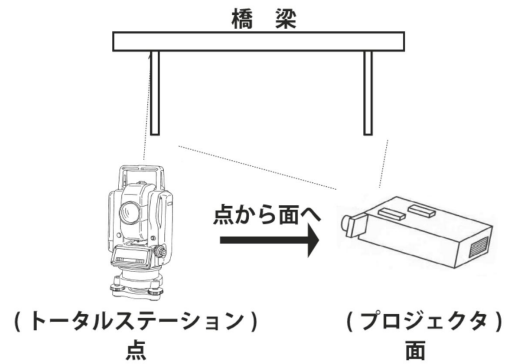


図1 点から面への評価方法

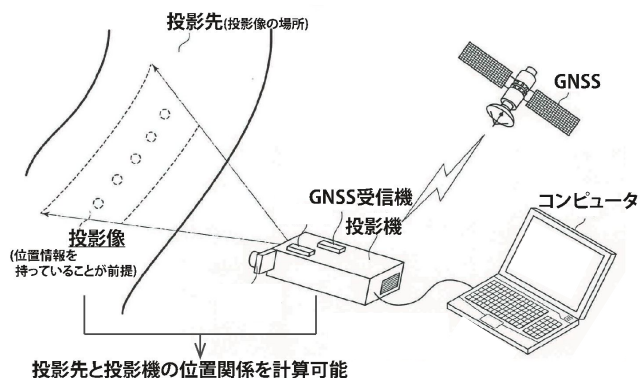


図2 プロジェクタによる変位計測法

(3) プロジェクタを使用した橋梁の変位計測レベル

図2に示すようなプロジェクタを使用して橋梁の変位を計測する技術を開発し、計測レベルを明らかにする。ここで、プロジェクタ位置はGNSSで取得する。また、投影する土木構造物の像は、GNSSで取得する現地の地理空間座標と整合がとれる位置情報を持っていることが前提である。これにより、投影パラメータの自動決定を可能とする。さらに、先行技術であるトータルステーション（距離と角度の精密測量機器）による変位計測法と比較し長所・短所を明らかにして、実用性について検討する。

3. 研究の方法

上記で掲げた3つの研究項目を明らかにするために、以下のような方法を設定し、取り組んだ。本研究で開発予定の変位計測処理システムは図3に示す処理フローを有すものである。この処理フローは～の9つの処理を行うシステムである。以下に、上記で述べた研究項目(1)～(3)と開発予定の9つの処理の対応を示し研究方法を記述する。

(1) 投影精度の実験・検証（フロー～）

投影条件（プロジェクタの解像度、投影距離）に対する投影精度（水平方向・鉛直方向の位置ずれ）を明らかにする。現在のプロジェクタは平面（二次元）への投影が前提の仕組みとなっている。投影に使用する土木構造物の図形は三次元オブジェクトを前提とし、二次元図面から作成する。よって三次元オブジェクトの投影像は三次元から二次元への座標変換によって計算される。これにおいて、従来手法と異なりユニークである点は、本研究の投影は、スクリーンではなく、橋梁の桁や橋脚、橋台に直接投影することである。すなわち、投影先（橋梁）は奥行きを有しており、そのまま投影すると位置ずれが起きる。そこで、奥行きを有する投影面へ投影するための座標変換法を構築中である。この構築予定の座標変換法（行列）で投影像を作成し投影精度の実験・検証を行う。具体的には、図3に示す通り、プロジェクタの位置情報をGNSSで取得するところからスタートする（フロー）。ここで得た位置情報を利用して、簡易な形状からなる位置基準映像を生成し、投影する（フロー）。そして、実像と位置基準映像とのずれを検出する（フロー）。ずれの程度を確認し、設定した許容範囲内かを確認する（フロー）。許容範囲に収まるようならば終了し、収まらない場合はプロジェクタの位置情報等を修正し（フロー）、再度フローからの処理に戻る。このフロー～の過程は、ずれが許容範囲に収まるまで繰り返し行い、自動化につながるような処理システムを構築する。

(2) 投影像の視認性の実験・検証（フロー～）

投影像を正しく確認できるか、異なる周辺環境・投影条件（投影距離、投影色）で実験し検証する。本研究の特徴は、従来の点的評価ではなく面的評価を実現することである。そして、面的評価では目視で変位を概略的に評価できるようになると利便性が高まる。そこで、実験での投影結果を撮影した画像を処理して視認性を輝度値で明らかにする。具体的には、図3に示す通り、現地に橋梁の映像を生成・投影する（フロー）。そして、橋梁の実像と投影像とのずれ（変位）を検出する（フロー）。これにおいて、そのずれの見やすさを確認する（フロー）。見やすければ終了で、見えづらい場合は投影像の色情報を順次、修正する（フロー）。以降、見やすくなるまでフロー～の処理を繰り返し実施して、実利用への完成度を高めていく。

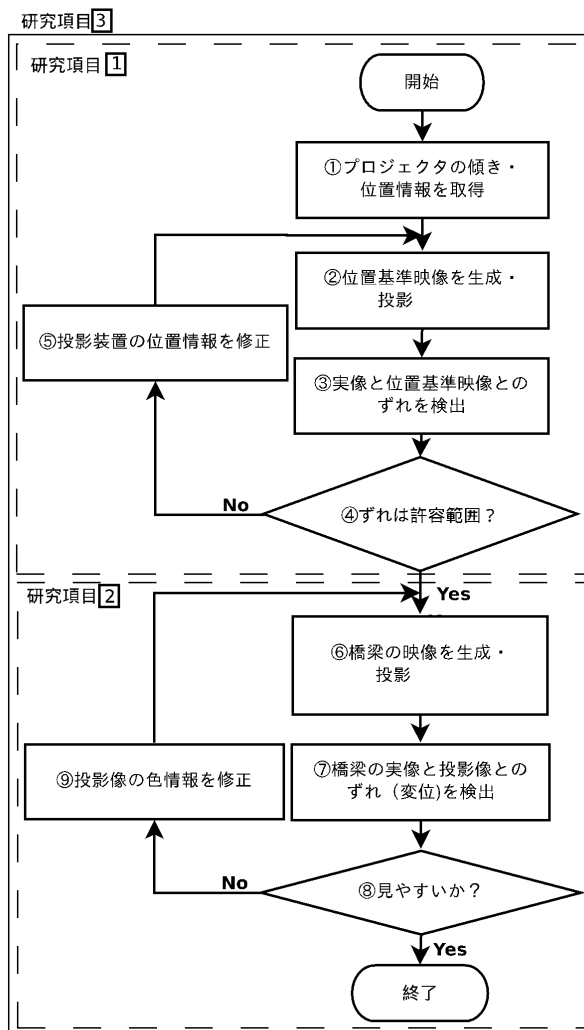


図3 研究の方法のフローチャート

(3) プロジェクタを利用した橋梁の変位計測技術の開発・検証

研究項目(1)と(2)で検証し作り上げた理論とシステムを基に、実橋梁を対象に計測技術を開発・検証する。特に、先行技術のトータルステーション(距離と角度の精密測量機器)による変位計測法と比較する。具体的には、各部材(橋桁、橋脚、橋台など)に応じた計測技術法を開発し長所・短所を明示する。そのため、できる限り、GNSSを使用した位置決定の誤差原因を特定し、許容範囲を満たす手法を検討する。さらに、自動化を念頭においた手法の開発を検討する。

4. 研究成果

本研究は、図面を現地でプロジェクタにて直接投影して橋梁の変位を計測するための技術開発に取り組んだ。その開発の中心は、図面を現地で同じ位置に投影させる手法の自動化である。自動化にあたってGNSSを使用した。そして、投影するオブジェクトの位置座標をGNSSと同じ座標系として、再帰的に、投影パラメータを決定できるようにした。これより、GNSSで取得したプロジェクタ位置から図面を投影するための行列を導出した。結果として、誤差の補正が必要であるが、プロジェクタによる投影で現地での橋梁の変位計測を行う基本的な仕組みを開発した。

本研究成果は、維持管理工学での評価領域を拡大する点で学術的意義が高い。これまでは、トータルステーションを利用したレーザ等で計測する「点的評価」が主であった。これに対して、本研究は、プロジェクタを利用した「面的評価」を可能とするものである。「面的評価」の方が「点的評価」より一度に評価できる領域が広く、効率のよい評価を可能とする。また、昨今では、三次元化の技術開発も早いスピードで進められており、「面的評価」はもとより「空間評価」への展望が期待できる。例えば、複数台のプロジェクタで多方向からの投影やホログラフィーの活用によって「空間評価」へと繋がる可能性がある。この方法においても、本研究で導出した図面を投影するための行列は、投影変換計算での基本として利用できるものと考えている。

また、昨今、問題となっている橋梁の老朽化対策を支援する社会的意義を有している。老朽化による危険性が危惧されている橋梁は多く、その対策には高いマンパワーとコストが要求されている。本研究成果は、評価領域が従来より広く、これによってマンパワーとコストの軽減が期待できる。また、橋梁のみならず、他の構造物等への水平展開も期待できる。よって、どんな構造物を対象としても利用可能な汎用的な手法論の確立が今後の課題の一つとして挙げられた。

国内においては、CIMやi-Constructionといった情報技術の利活用による土木分野の高度化が進められているが、本研究成果はこれらの情報技術との親和性が高く、相乗効果が見込まれる。特に、GNSSの活用においては、国産の位置情報システムみちびきの利用が有効である。従来、リアルタイムに位置情報を取得するためには補正情報の受信に費用がかかる。しかしながら、みちびきが提供するセンチメートル級測位補強サービスCLASは無料で利用可能である。よって、CLASの利用が実利用化への近道と考えられ、本処理システムへの実装を進めていく予定である。

本研究では、構造物の図面を基に投影する手法を示したが、古い構造物においては、図面がない場合がある。これにおいても、昨今の三次元化技術の3Dレーザスキャナや多視点から撮影した写真のSfM(Structure from Motion)で、構造物の三次元位置情報が高精度で取得できるため、これらを活用した投影手法も期待できる。さらには、これらの方法で、現状の地形の三次元情報を作成しておき、地形変動評価への利活用の可能性も有している。特に、わが国は、災害が多く、地形変動の計測は重要である。これまでは、航空写真や衛星写真を活用して、変動を可視化していた。しかしながら、それらは、あくまでもモニタや写真上で示すものである。本手法が地形にも適用できれば、土砂崩れ箇所での現地投影により、復旧の効率化が図れるものと考えられる。

国外においては大規模な三次元情報の可視化技術の研究開発が進められている。対象とする構造物の情報量が多い場合、可視化がスムーズに動作しない場合がある。また、可視化の安定性も考えると、大規模な対象物の可視化の対応に関して、国外の先進的な可視化テクノロジーとのコラボレーションを検討する必要がある。特に、3Dレーザスキャナデータのような大規模なデータにおいては必須であり、可視化を見据えたデータ構造の標準化について進めていく必要がある。

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。