

土木分野における位相限定相関法の試行

(株)フジタ 正会員 ○仲沢 武志
(株)フジタ 森時 悠
(株)フジタ 園木 匠
東京都市大学 包 躍

1. 目的

高度経済成長以降，建設された社会資本である土木構造物は古いもので約 50 年程度供用されているので，老朽化が懸念されているものも少なくない．現存する老朽化した構造物の改修を同時に実施することは，労働力を含めたコストの問題から考えて現実的ではない¹⁾．よって，改修の実施に優先順位を付けた対応が必要になる．この優先順位の判定は，一般にモニタリングによることになるものと考えられるが，従来実施されている計測手法にもコストの問題が発生する場合も考えられる．

計器による計測には実績があるものも多く，計測時のイメージが付きやすいが，一般には高価で得られる情報として計測された数値だけが収集される．また，人手によるものは，技術者の減少から監視作業者の労働負担や技術的ノウハウの伝承などの問題が将来的に予想される．そこで，維持管理分野において新たなモニタリング技術が必要になるものと思われる．

本稿では，老朽化した土木構造物の新たなモニタリング技術や常時監視が必要な計測手法の一つとして，近年注目されている画像によるセンシングの内，特に変位に関する計測について報告する．

画像による変位の計測で使われる解析手法にはいくつかの方法が提案されているが²⁾，本稿では位相限定相関法を選択した．位相限定相関法は，画像をフーリエ変換した結果得られる振幅と位相のうち位相だけを使って画像の類似性を解析するものである．サンプルとなる画像の輝度やコントラスト，軽微なノイズなどに影響されることなく相似成分のみを抽出して解析することが可能で，外乱に強く大きな誤りが無いと言われていることから採用を考えたものである．

この位相限定相関法の適用性を把握するために，常時計測を考えた時に発生する夜間計測を想定した暗所での基礎性能を可視照度下での結果とともに示し，現場での試行例を紹介する．

2. 位相限定相関法

本稿では，画像情報を用いた土木構造物の変位計測の内，位相限定相関法を採用する．位相限定相関法は，画像をフーリエ変換した結果得られる情報を使って画像の変化を解析するものであり，サンプルとなる画像の輝度やコントラスト，軽微なノイズなどに影響されることなく解析することが可能で，外乱に強く大きな誤りが無いと言われている．この方法は，フーリエ変換から得られる情報のうち，特に位相情報だけを使って画像の類似性を比較するものである．

基本的な手続きを図-1 に示す．画像の類似性から変位を計測するので，計測開始時の画像と変形後の画像が必要となる．その各々をフーリエ変換し，振幅成分を正規化して位相成分のみを抽出する．抽出された各位相画像の畳み込みによって合成画像を作成し，相関画像を得る．この相関画像から変位を計算する．画像の平行移動を対象とした場合，このような処理から得られる情報は画像中の画素のズレ量となる．この画素のズレに予め設定している校正係数を乗算することで所要の変位を得ることができる．校正係数は，画像の 1 画素のズレが撮影面上でどのくらいの長さに相当しているのかを設定することで予め設定される数値となる．

なお，位相限定相関法の実装は OpenCV を使用している．

キーワード 画像，変位計測，位相限定相関法

連絡先 〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1 株式会社フジタ技術センター TEL 046-250-7095

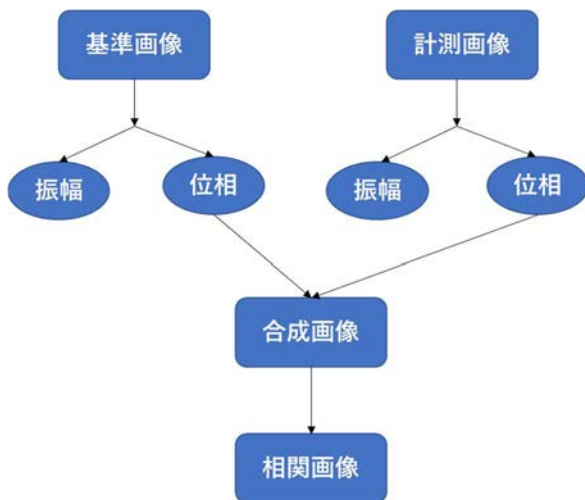


図-1 位相限定相関法の概要

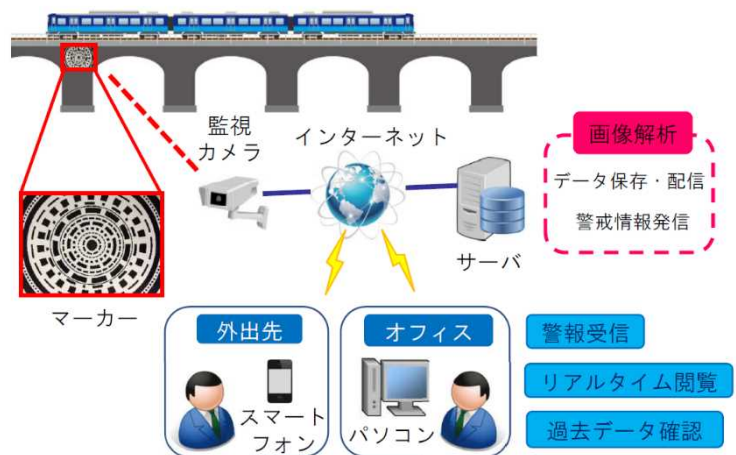


図-2 計測システム構成概要

3. 変位計測システムの導入例

前述した位相限定相関法による変位計測のシステム構成を記述する。図-2 は現場計測の適用として、鉄道の橋脚の変位を計測する場合を例としている。所要の位置に監視カメラとして使用される Web カメラを設置して、ターゲットとなるマーカーを撮影する。この例では、現場にはマーカーを撮影するカメラと通信機器だけが設置されていて、画像データは通信システムを通じて中央サーバーに転送される。転送された画像データは、中央サーバーで位相限定相関法に基づき解析され、変位が求められる。計測過程における様々な段階で、認証されたユーザーは、インターネットを通じて過去のデータの確認、リアルタイムの計測状況などの情報を閲覧することができる。また、閾値を設定することでメールなどの手段によりアラートを発報することも可能である。なお、ここではインターネットによる情報提供の例を示しているが、インターネットなど外部との通信をしないローカルなシステムを構成することも可能である。

4. 性能確認試験

土木構造物の変位計測を実施する際には、昼間の計測だけではなく、夜間の計測も含めた常時計測を実施するケースも考えられる。そこで、まず目視で可視できる照度での性能と夜間を想定した暗所での性能試験を基礎性能試験として実施した。

(1) 試験状況

性能確認試験は、フジタ技術センターの免振地下ピットで実施した。これは、現段階での計測距離の最大値を 30m と想定しているの、この距離とほぼ照度ゼロの状況を確保できる場所として選定したものである。

カメラについては、ここで、通常の Web カメラ以外にグローバルシャッターカメラでも検証している。これは、計測スピードや計測対象の動きなどの撮影条件による画像のブレへの対応について検討するためである。

マーカーは、移動量を電動で指定できる台座を作成しその上に据え付けた。また、夜間計測への対応を検討するために赤外線を使った撮影方法を採用するが、その際、画像の視認性を確保するためにマーカーには再帰性反射材を用いている。なお、赤外線の灯光は AXIS カメラのオプション品である AXIS Fixed Box IR Illuminator Kit A を固定カメラおよびグローバルシャッターカメラの両方に使っている。以上の前提で、台座を各指定変位量移動させ、マーカーを撮影し変位量を解析した。

今回使った撮影機材の情報を表-1 に、マーカーの撮影画像の画角の 1 部を写真-1 示す。ここで、右側の幾何模様のマーカーを今回使っている。左側のチェッカー模様のマーカーはモアレに用いるものであるが、これについては別途報告する。

表-1 撮影機材

	カメラ	レンズ	パスフィルター (赤外線使用時)
固定カメラ	AXIS P1365-E MK II (AXIS社)	HV880DCIR-MP (スペース社)	B850-76 (セラテックジャパン社)
グローバル シャッターカメラ	BU132M (東芝テリー社)	HD880MIRX (スペース社)	8850-76 (セラテックジャパン社)

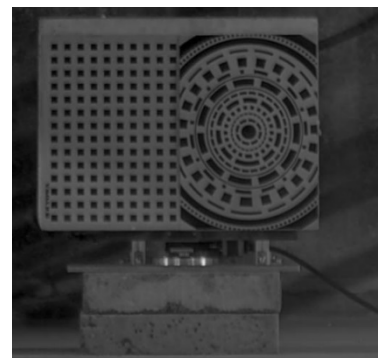


写真-1 撮影画像

(2) 可視照度（明所）での性能確認

可視照度での性能試験結果を図-3 および図-4 に示す。図-3 は固定カメラによる計測結果で図-4 はグローバルシャッターカメラによる計測結果である。グローバルシャッターカメラの結果に多少のブレがあるもののほぼ良好な結果が得られていると思われる。

(3) 夜間計測（暗所）での性能確認

夜間計測を想定した暗所での試験結果を図-5 および図-6 に示す。可視照度での結果のように図-5 は固定カメラによる計測結果で図-6 はグローバルシャッターカメラによる計測結果である。

赤外線を使った計測においても可視照度での結果と同様にグローバルシャッターカメラの結果には多少のブレが見られるが用途によっては使用可能なケースもあると思われる。

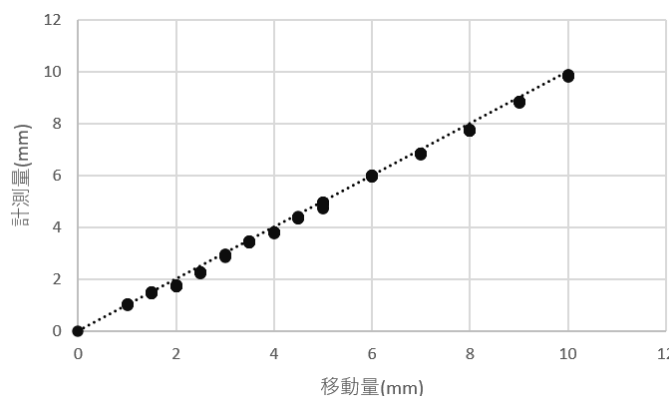


図-3 計測結果（固定カメラ：明所）

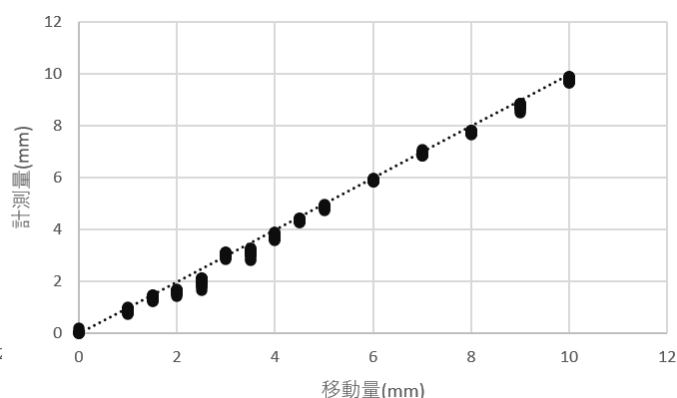


図-4 計測結果
(グローバルシャッターカメラ：明所)

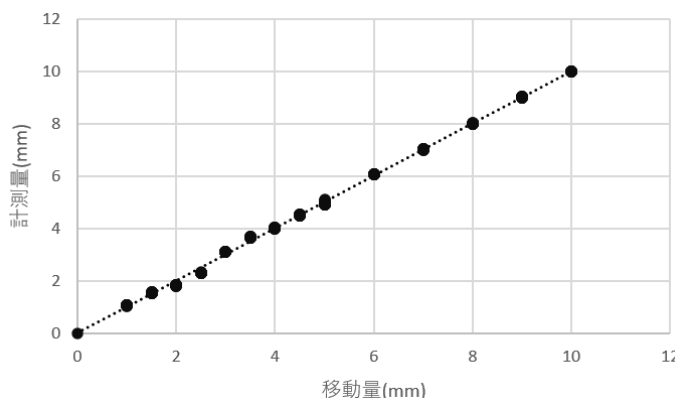


図-5 計測結果（固定カメラ：暗所）

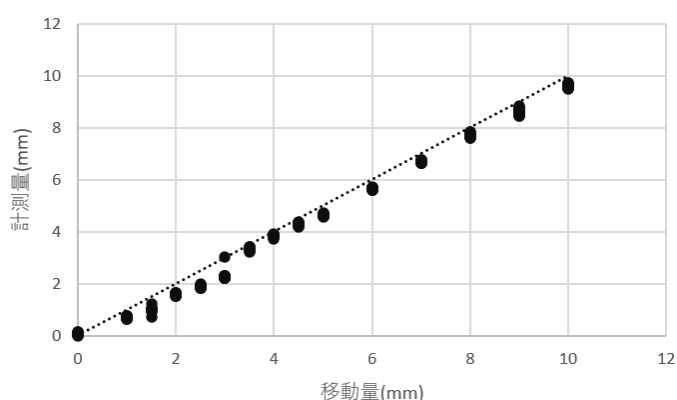


図-6 計測結果
(グローバルシャッターカメラ：暗所)

5. 現場への適用事例

本稿で考えている位相限定相関法を現場で試行した例を以下に紹介する。

(1) 工事箇所近隣擁壁の変位計測への適用例



写真-2 機材設置状況

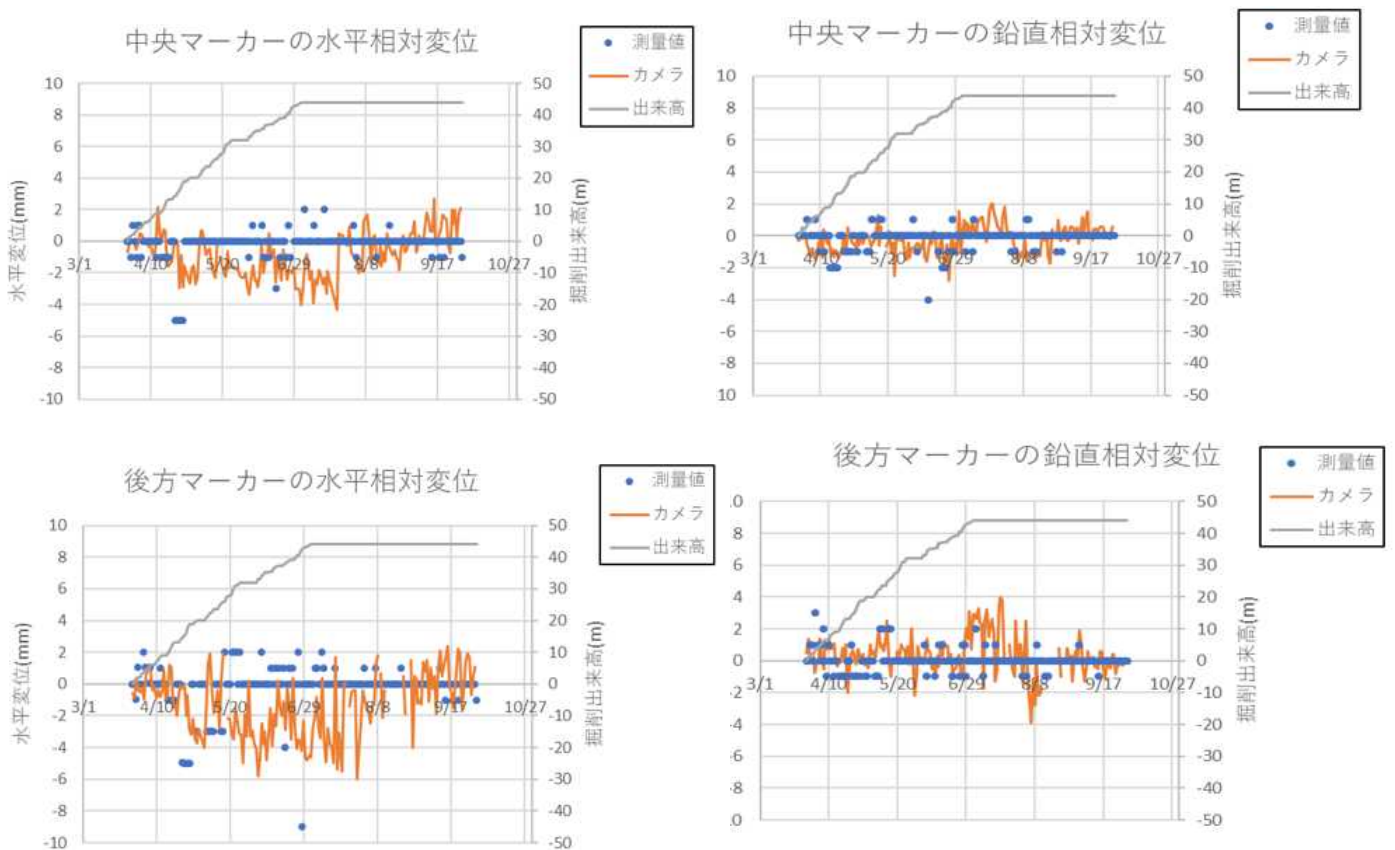


図-7 計測結果

はじめに立坑の掘削に伴う近隣の擁壁への影響をモニタリングした例を紹介する。

カメラおよびマーカーの設置状況を写真-2 に示す。本計測では、カメラ自体の動きによる変位を相殺するために、カメラ側のマーカーを基準とし、中央と奥側のマーカーに関しては基準としたマーカーとの相対変位を算出している。計測結果を掘削出来高とともに図-7 に示す。図中には、通常の測量手段で計測した手動の結果も示してある。手動で計測したものは、本稿での手法と同じくカメラ側マーカーを基準とした相対値に換算している。

本稿の画像による変位計測の結果には若干の乱れが認められはするが、施工中での結果であること、また屋外での計測であることを考慮するとノイズとして許容できる範囲と思われる。

(2) 盛土壁面の変位計測への適用例



写真-3 盛土壁面変位の計測画像

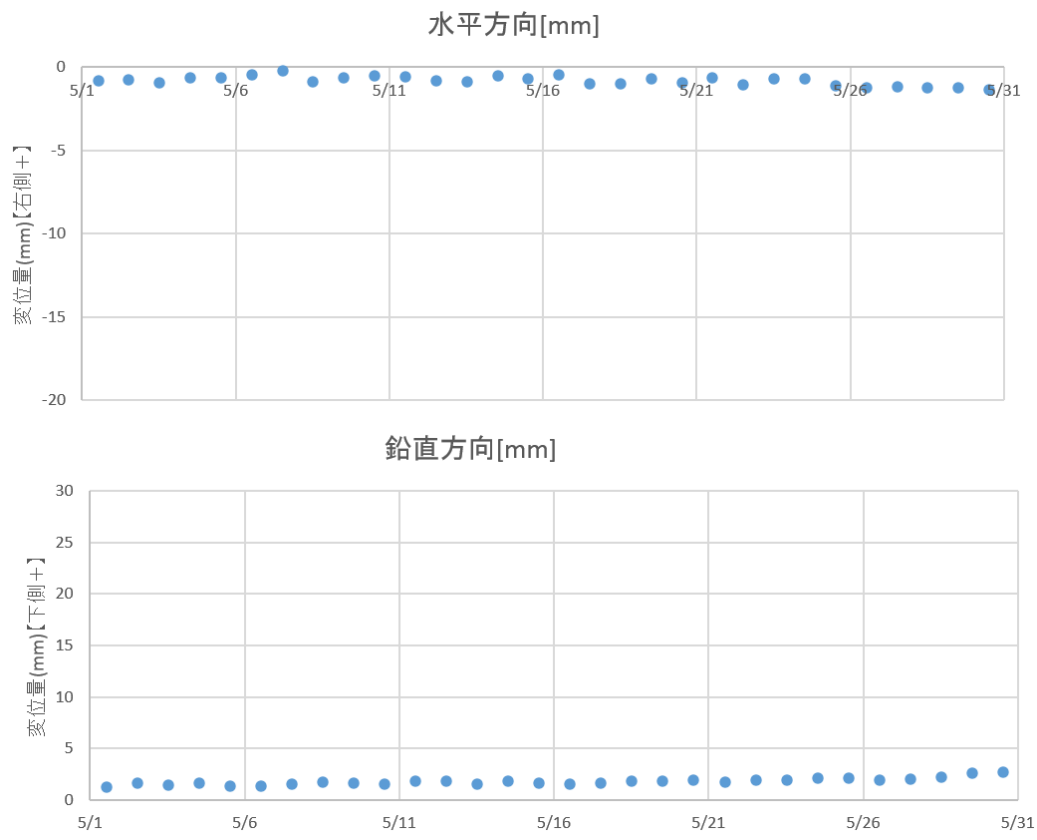


図-8 計測結果

次の建設現場への適用例として、急勾配の盛土における壁面変位の計測を紹介する。本工種の適用には、盛土施工過程で出来高の進行に伴う壁面変位の計測や施工完了後の安定性のモニタリング計測など数種の目的が考えられる。本稿で紹介するのは、盛土が完了し安定性をモニタリングしている例を挙げる。

写真-3には、計測に用いるために撮影した画像の例を示す。**写真-3**には2枚のマーカーが含まれているが、計測対象は右側のマーカーである。左側のマーカーは固定点として設置していて、カメラの微小な動きがあった場合の補正に使っている。つまり、右側のマーカーの動きは、左側のマーカーに対する相対変位として換算している。

当該箇所で計測された変位の一部のデータを**図-8**に示す。この例における計測方法は、1日回の計測で1計測あたり10枚の画像を撮影し、得られた変位の上下1つずつのデータを除外した上での平均値を求めている。

本紹介例においては、施工もほぼ完了した上での安定性のモニタリングであるため、ほぼ変位が生じていな

い状況が確認できる。

6. まとめ

本稿では、画像による変位計測において位相限定相関法を用いた計測について記述した。まず、基本性能を室内で確認した。基礎性能試験は、常時計測を念頭においた夜間計測に赤外線と再帰性反射材を使って視認性を確保した状態で実施している。

さらに現場への適用例として、維持管理を目的とした案件が現段階で身近になかったため、工事地区近隣の擁壁変位と垂直盛土の2件について紹介した。その他の適用例としては、近隣掘削工事の橋脚への影響をモニタリングした例、盛土による法尻の変位を計測した例や切土による法肩の変位を計測した例などがあるが別の機会に報告する。

参考文献

- 1) 例えば, http://committees.jsce.or.jp/infra_ac/system/files/2015_Handout.pdf
- 2) 例えば https://www.shinkawa.co.jp/times/column/y-morimoto/vol007_no05_col05.html