

## 石積み擁壁の維持管理における SIFT を用いた画像解析技術の適用可能性

## Applicability of a SIFT-based image analysis to maintenance of masonry retaining walls

角田光法 Mitsunori KADOTA (広島大学大学院工学研究科)  
小野淳子 Junko ONO (元広島大学工学部)  
一井康二 Koji ICHII (広島大学大学院工学研究院)

近年、土木構造物の効率的な維持管理手法として画像解析技術の導入が進められている。本研究では、さらなる画像解析の実務への適用を目指し、未だ目視等の人力に依存しているケースが多い石積み擁壁の維持管理に対して、デジタルカメラ画像による3次元形状復元(SIFTを用いた画像解析技術)の適用性を検討した。まず、野外撮影画像による検討の結果より、現場で石積み擁壁の形状復元が可能であり、画像解析の適用性があることを示した。また、模型実験より、石積み擁壁が外力を徐々に受ける過程において、崩壊に至るまでの形状変化過程を、画像解析を用いて定量的に把握できることを示した。

キーワード：石積み擁壁，画像解析，維持管理，3次元形状復元 (IGC：H02)

## 1. はじめに

我が国において、山に囲まれ平地に乏しい地域では、斜面を石積み擁壁で補強して宅地造成し、そこに住宅が建設されているケースが多い。しかし、地震の多い我が国では、地震による石積み擁壁の被害が多数報告されており、その背景には、十分な維持管理が行われていない可能性がある。現在の石積み擁壁の維持管理手法は目視などの人力に依存するものが多く、定量的な方法ではない。また、目視以外の手法は多大な時間やコスト、労力を必要とする。

ここ数年、画像解析の分野では、デジタルカメラ画像による3次元形状復元が可能となってきた。特に、画像の特徴量を SIFT(Scale Invariant Feature Transformation)<sup>1)</sup>により求め、特徴量によりカメラパラメータを逆算し、対象施設の表面形状を3次元点群として復元する技術が確立されてきた。このため、デジタルカメラの撮影位置の情報を与えることなく、極めて簡便に3次元形状の復元が可能となっている。そして、この手法では簡便に構造物の3次元形状を記録できるため、形状の変化を把握することで、土木構造物の維持管理の高度化が期待できる。

現在、土木分野における SIFT を用いた画像解析の適用性については、例えば、各種土木材料や消波ブロックへの適用性検討がなされている<sup>2,3)</sup>。そこで本研究では、更なる土木分野への画像解析の適用を目指し、石積み擁壁の維持管理への SIFT を用いた画像解析技術の適用性について検討を行った。

## 2. デジタルカメラ画像を用いた3次元形状復元の原理と応用

## 2.1 3次元形状復元・変位検出の流れ

SIFTを用いた3次元形状復元は3段階の作業からなる。**図-1**にデジタルカメラ画像による3次元形状復元の流れを示す。

まず第1段階は、画像内の特徴点の検出である。**図-1(a)**に示すように、特徴点とは画像中のエッジやコーナーに与えられるものである。複数の画像で同一と認識できた点について、3次元位置が得られると形状の認識ができる。特徴点とはこの様に、同一点として対応付けるための何らかの特徴を持つ点である。特徴点を手動で与えると、復元は容易であり、既にいくつかのソフトが市販されている<sup>4,5)</sup>。

しかし、手動で特徴点を与える作業は大変である。これに対し、自動で特徴点を検出する方法として SIFT が提案されている<sup>1)</sup>。SIFT は画像中の輝度変化を基に特徴点を検出し、特徴点周辺の輝度勾配と輝度方向により特徴量を算出するアルゴリズムである。

次の段階は、特徴点の対応付けである(**図-1(b)**)。対応付けとは、検出した特徴点がある画像ではどこにあるかを探索することである。手動で特徴点を与える場合、人間の判断で対応付けを行うが、その作業は極めて大変である。これに対し SIFT を用いる方法では、特徴量の類似性を用いて、自動で対応付けを行う。

そして最後の段階は、対応付けられた特徴点の座標値を用いた3次元形状復元である(**図-1(c)**)。三角測量の原理を

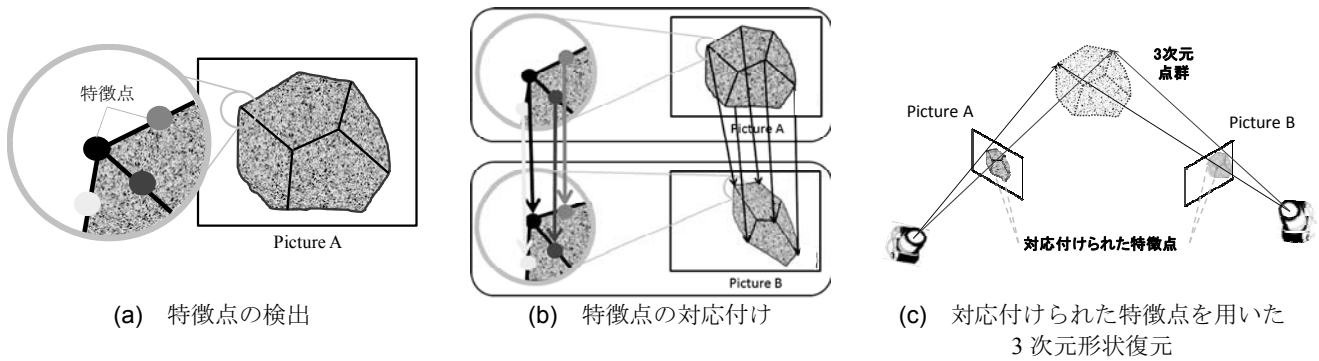


図-1 SIFT を用いた 3 次元形状復元の流れ

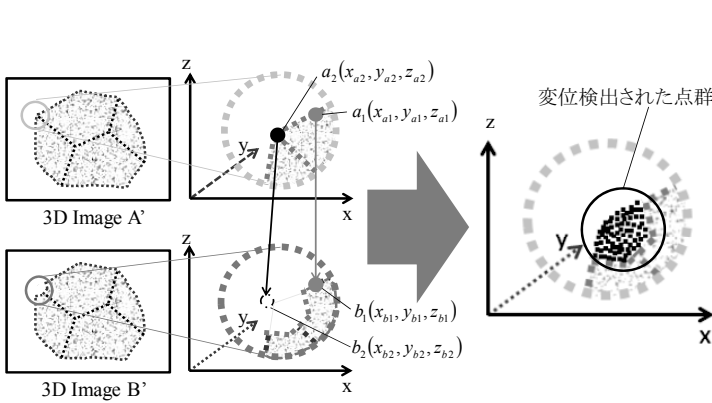


図-2 形状変化の検出の概要

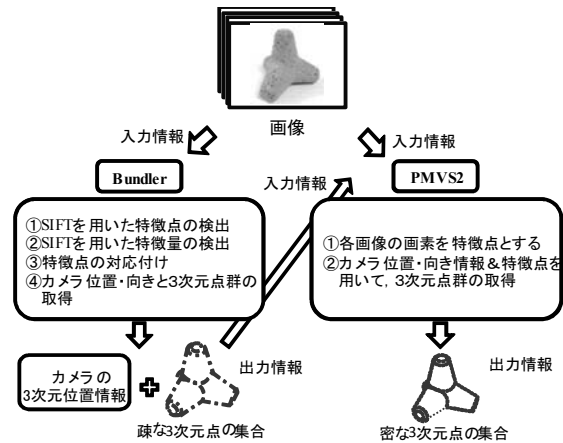


図-3 データ処理の流れ

用いて、カメラから特徴点へ直線を引き、対応する特徴点を通る 2 本の直線の交点が復元した 3 次元点となる。もし対応が誤っていると、本来得られるはずであった 3 次元位置とは異なる位置が得られ、異なる形状が得られることとなる。そのため、特徴点は正しく対応付けられなければならない。

3 次元形状復元により得られる座標値の情報は、復元結果ごとに基準点や座標軸、スケールがそれぞれ異なる。そこで、各 3 次元点群の不動点を用いて、形状変化前後の 3 次元形状復元の座標軸、スケールを統一する。この作業の後には、各 3 次元点群中の不動点は重なり合う。そこで、3 次元点群同士を比較すると、形状変化の検出ができる。具体的には、閾値以上座標値がずれていた場合、その点は移動したとみなし、着色して表示することとする。図-2 に形状変化の検出の概要を示す。形状変化前後の 3 次元復元形状をそれぞれ 3D Shape A', 3D Shape B' とし、3D Shape A' 内における点  $a_i(x_{ai}, y_{ai}, z_{ai})$  のそれぞれに対し、3D Shape B' 内においても同座標値付近に点が存在しているか否かを検討する。つまり、変位検出の定義は以下の(1)および(2)式で表される。

$$|a_i(x_{ai}, y_{ai}, z_{ai}) - b_j(x_{bj}, y_{bj}, z_{bj})| < \varepsilon \quad (1)$$

(3 次元点は  $a_i$  は不動)

$$|a_i(x_{ai}, y_{ai}, z_{ai}) - b_j(x_{bj}, y_{bj}, z_{bj})| > \varepsilon \quad (2)$$

(3 次元点は  $a_i$  は移動)

なお、式(1)、(2)中の  $i=1,2,\dots,m$  は 3D Shape A' の各点であり、 $j=1,2,\dots,n$  は 3D Shape B' の各点である。つまり、式(1)のように、3 次元点  $a_i$  に対して他の 3 次元復元形状においても閾値  $\varepsilon$  以内に点が存在する場合は、その 3 次元点  $a_i$  は移動していないものとする。逆に式(2)のように、閾値  $\varepsilon$  以内に点が存在しない場合、その 3 次元点  $a_i$  は移動したとみなし、赤く表示させることにより、変位検出がなされる。

## 2.2 システムの流れ

本研究の検討事例では、画像解析のフリーソフトである Bundler<sup>6)</sup>と PMVS2<sup>7)</sup>を用いて、図-3 に示すような処理を行っている。Bundler は入力情報として対象物を写した 3 枚以上の画像を用い、各画像で特徴点を検出する。そして、画像 2 枚ごとに比較を行い、特徴点情報の一致を基にカメラの 3 次元位置情報と対象物の 3 次元形状情報を出力する。ここで出力される 3 次元形状情報はわずかで、対象物の形状が分かるほど正確な情報ではない。そこでさらに、PMVS2 を用いて対象物の詳細な 3 次元形状復元を行う。ここでは、Bundler で出力されたカメラの 3 次元位置情報と画像をそれぞれ入力情報として用いる。3 次元復元された形状は点の集合であり、各点の 3 次元座標値と各点の表面法線情報、色情報(RGB)の 9 つが出力される。

表-1 撮影条件

日時	2011/10/6, 13, 19
天候	晴れ
場所	広島県呉市(すべて屋外)
撮影箇所	計107点
撮影枚数	各12~22枚
画素数	1600×1200(pixel)
撮影時の発光	すべて強制発光
35mm判換算焦点距離	36mm
被写体とカメラとの距離	約1.8m

表-2 野外撮影事例および復元事例

	撮影場所			復元形状		撮影枚数
	名称	緯度(°)	経度(°)	高さ	幅	
1	二河川公園	34.2494	132.5571	約1.6m	約2.7m	20枚
2	西愛宕町	34.2493	132.5535	約1.1m	約1.5m	12枚
3	東三津田	34.2530	132.5555	約1.2m	約1.6m	20枚
4	西三津田	34.2518	132.5552	約1.0m	約1.4m	18枚
5	新宮	34.2488	132.5383	約1.1m	約1.4m	13枚
6	海岸4丁目	34.2486	132.5385	約1.0m	約1.4m	20枚
7	大歳神社	34.2451	132.5495	約1.2m	約1.6m	19枚
8	新宮	34.2477	132.5352	約1.1m	約1.5m	18枚
9	恵美寿神社	34.2487	132.5371	約1.4m	約1.1m	12枚
10	山手	34.2577	132.5603	約1.5m	約1.8m	21枚
図-4	宮原	34.2333	132.5657	約1.6m	約1.2m	18枚



写真-1 解析に用いた石積み擁壁の画像

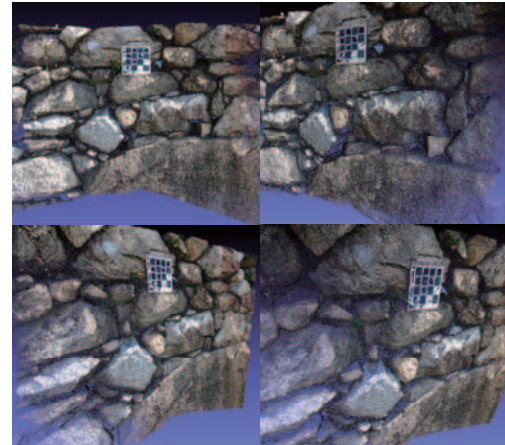
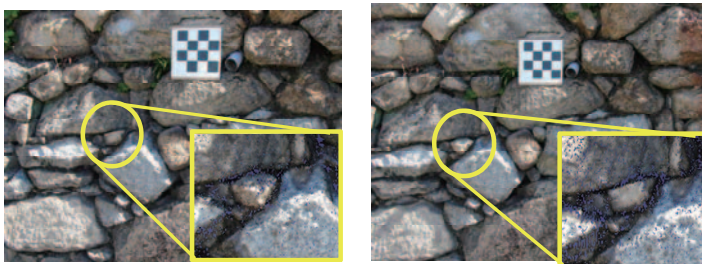


図-4 3次元形状復元結果の一例



(a) 移動前 (b) 移動後  
写真-2 変位検出に用いた石積み擁壁画像



図-5 変位検出結果

前述したように、SIFTを用いた画像解析技術では最低3枚の画像から3次元形状復元が可能であり、カメラの3次元位置情報も得られる。なお、測定精度を保証するための具体的な画像枚数に関しては、撮影角度や撮影対象の材質のほか、復元範囲や入力画像の解像度などに依存するため、一般性のある議論は難しい。なお、検討事例については参考文献<sup>8)</sup>を参照されたい。

ここで示した方法による画像解析に用いる画像は特定の位置から撮影する必要がなく、撮影位置の情報も入力する必要がない。この点が、既往の手法と大きく異なる点であり、現場での運用を容易かつ安価に可能とする。また、画像解析に用いる画像の枚数が多ければ多いほど、より密な3次元形状復元が可能である。解析結果はテキスト形式のファイルで出力され、例えば非構造3D三角形メッシュ

の処理・編集のためのフリーソフトである Mesh Lab<sup>9)</sup>を用いて可視化できる。

### 3. 野外撮影画像による3次元形状復元と変位検出

野外撮影画像を用いて画像解析を行うことにより、石積み擁壁の3次元形状復元の可否、および変位検出の可否の検討を行った。まず、石積み擁壁の多く存在する広島県呉市にて神社や公園を中心に石積み擁壁を探し、計107点で野外撮影を行った。撮影条件を表-1に、野外撮影事例およびその復元事例(例として10ケース)を表-2にそれぞれ示す。

撮影では、壁体から約1.8m離れ、市販のデジタルカメ



ラを用いて、様々な角度から約 600 万画素で 12~22 枚程度撮影した。ここで撮影距離を 1.8m とした理由は、現地 の状況で最も撮影に適した撮影条件であったためである。そして、撮影で得られた壁体の画像群を用いて 3 次元形状復元を試みた。壁体の画像の一例を写真-1 に、Mesh Lab を用いて可視化した 3 次元形状復元結果を図-4 にそれぞれ示す。表-2、図-4 に示すように、現地で得られたデジタルカメラ画像を用いて、現地の石積み擁壁の 3 次元形状復元を行うことが可能であることを確認した。

次に、呉市宮原での野外撮影において石積み擁壁内に容易に動く石があったため、その石を移動させ、石の移動前後の撮影画像から 3 次元形状復元及び変位検出を行った。写真-2 に石の移動前後における撮影画像の一例を示す。また、図-5 に画像解析により得られた移動前の状態における 3 次元形状復元結果、及び移動前の状態から 1.0cm 以上移動したと検出された点群を重ねて示す。なお、枠内の石が移動させた石である。図-5 において、赤い点群で表示されている部分が変位検出された部分であり、移動させた部分と整合している。従って、野外撮影画像を用いて、3 次元形状復元及び変位検出を行うことが可能であることが確認できた。なお、形状復元結果は無次元の 3 次元点の集合であるが、チェスパターンのスケーラー(写真-1, 2, 図-4, 5)を同時に撮影しておき、座標変換によって各 3 次元点の座標値をメートル単位系に換算している。

#### 4. 変位検出による不安定度評価法の検討

##### 4.1 実験概要

画像解析を用いた変位検出による石積み擁壁の安定性評価法を検討するため、模型擁壁に傾斜と打撃を与える模型実験を実施した。表-3 に撮影条件、図-6 に模型実験の概要図をそれぞれ示す。

まず、約 60cm 四方の石積み擁壁の模型を作成した。模型の外枠にはベニヤ板を使用し、外枠の数ヶ所に 3 次元復

元形状の座標変換の際に用いるためのマーカーを貼り付けた。外枠の背面には、打撃を与えた際に外枠が破壊しないようにベニヤ板を当てて補強している。また、石積み擁壁の背面の土層にはまさ土を使用し、3 層に分けて締め固めた。土層高さは約 50cm であり、土層の勾配は、一般的な石積み擁壁の勾配<sup>10)</sup>である 1:0.3 に合うように、傾斜角を約 73 度に設定した。擁壁には花崗岩を使用し、大小組み合わせて 6 段積んだ。石を積む際には、事前に石同士がよくかみ合うような石の組み合わせを選びながら積むこととした。なお、石積み擁壁の最下段は石の半分(5cm)ほど根入れすることとし、前面にまさ土を締め固めた。また、石積み擁壁の天端部分は、擁壁と背面の土層が一体化するように、石の天端部分に土をかぶせて締め固めた。

次に、作成した石積み擁壁の模型全体を 10 度および 15 度傾け、石積み擁壁の背面からの土圧を増加させた状態にした。そして約 11kg のおもりを振り子のように自由落下させ、石積み擁壁の背面から打撃することにより外力を与えた。打撃を与える度に模型の撮影を行い、石積み擁壁が崩壊するまでこれを繰り返した。最後に石積み擁壁が外力を徐々に受けた場合の変位の情報と石積み擁壁の安定性との関係、画像解析を用いて検討した。

##### 4.2 3次元復元形状の復元精度の評価

まず、模型実験における 3 次元復元形状の復元精度の評価を行うために、擁壁の初期状態において、解析から得られた 3 次元復元形状の座標値(解析座標値)と実測座標値との比較を行った。

表-3 撮影条件

日時	2011年12月28日
場所	室内(室内灯のみ)
撮影枚数	打撃回数ごとに50枚
画素数	1600×1200(pixel)
撮影時の発光	すべて強制発光
35mm判換算焦点距離	36mm
被写体とカメラとの距離	約1.5m



図-6 模型実験の概要

石積み擁壁の維持管理におけるSIFTを用いた画像解析技術の適用可能性

まず、各石の座標を把握するため、それぞれの石にビニールテープで目印を貼り、座標検出を行う目印を付けた。写真-3に目印を貼った石の写真、写真-4に各石の番号をそれぞれ示す。写真-4に示すA点を原点として、実測と3次元形状復元を利用した方法の2種類により、各石のx, y, z座標の測定を行った。実測では、石積み擁壁模型の外側に設置した目盛を付けた器具を用いて、各石に貼った目印の座標値を測定した。本実験では擁壁全体の変形モードを対象としており、擁壁を構成している石自体の回転は

無視して計測を簡略化するため、石の中心1点の座標値を測定した。写真-5に実測座標値測定の様子を示す。また、3次元形状復元を利用した方法では、画像解析により得られた3次元点群から各石の座標値(各石に貼った目印の座標値)を抽出した。表-4に模型の実測座標値、表-5に3次元復元形状の座標値(解析座標値)、表-6に実測座標値と解析座標値の差、図-7に各石における誤差(実測座標値と解析座標値の差)の分布をそれぞれ示す。

表-6に示すように、座標間距離に関する実測値と解析

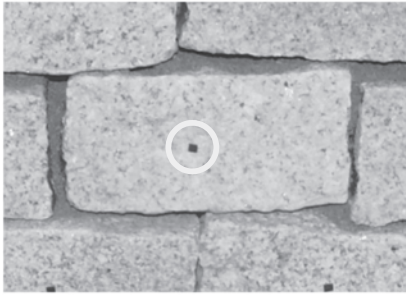


写真-3 石に貼った目印

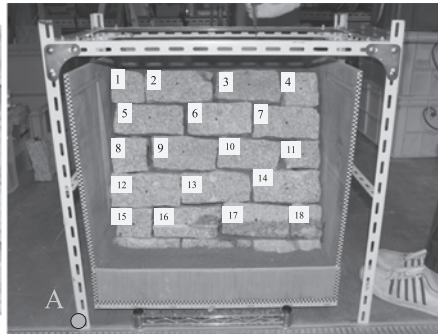


写真-4 各石の番号

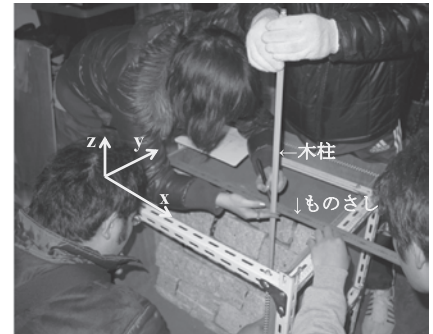


写真-5 実測座標値測定の様子

表-4 実測座標値

石番号	実測座標値		
	x	y	z
1	10.8	30.6	55.4
2	24.5	32.9	55.2
3	45.1	32.6	54.6
4	59.6	32.0	53.1
5	17.5	27.6	46.8
6	36.0	29.3	46.0
7	55.0	28.6	44.8
8	11.5	23.5	37.8
9	26.1	24.7	37.9
10	44.3	24.8	37.2
11	59.8	23.7	36.8
12	16.1	20.5	28.1
13	34.6	21.5	29.0
14	55.3	20.5	28.3
15	12.7	17.1	19.7
16	26.9	16.5	19.3
17	46.6	18.1	19.9
18	60.2	17.1	19.6

[単位: cm]

表-5 解析座標値

石番号	解析座標値		
	x	y	z
1	11.1	30.9	55.5
2	24.6	32.9	55.2
3	45.0	33.3	54.5
4	59.7	32.4	53.6
5	17.3	27.3	46.8
6	35.6	29.1	45.7
7	55.4	28.5	44.7
8	11.4	23.0	38.0
9	26.3	24.6	37.8
10	44.3	25.2	37.1
11	59.8	24.4	36.8
12	16.2	19.9	28.0
13	34.9	21.3	28.9
14	55.2	20.6	28.2
15	12.3	16.9	19.7
16	26.8	17.2	19.4
17	46.5	18.0	19.8
18	60.2	16.8	19.5

[単位: cm]

表-6 実測座標値と解析座標値との差

石番号	(解析値)-(実測値)			座標間距離
	x	y	z	
1	0.3	0.3	0.1	0.4
2	0.1	0.0	-0.0	0.2
3	-0.1	0.7	-0.1	0.7
4	0.1	0.4	0.5	0.6
5	-0.2	-0.3	0.0	0.4
6	-0.4	-0.2	-0.3	0.5
7	0.4	-0.1	-0.1	0.4
8	-0.1	-0.5	0.2	0.5
9	0.2	-0.1	-0.1	0.2
10	0.0	0.4	-0.1	0.4
11	-0.0	0.7	0.0	0.7
12	0.1	-0.6	-0.1	0.6
13	0.3	-0.2	-0.1	0.4
14	-0.1	0.1	-0.1	0.3
15	-0.4	-0.2	0.0	0.5
16	-0.1	0.7	0.1	0.7
17	-0.1	-0.1	-0.1	0.2
18	0.0	-0.3	-0.1	0.3

[単位: cm]

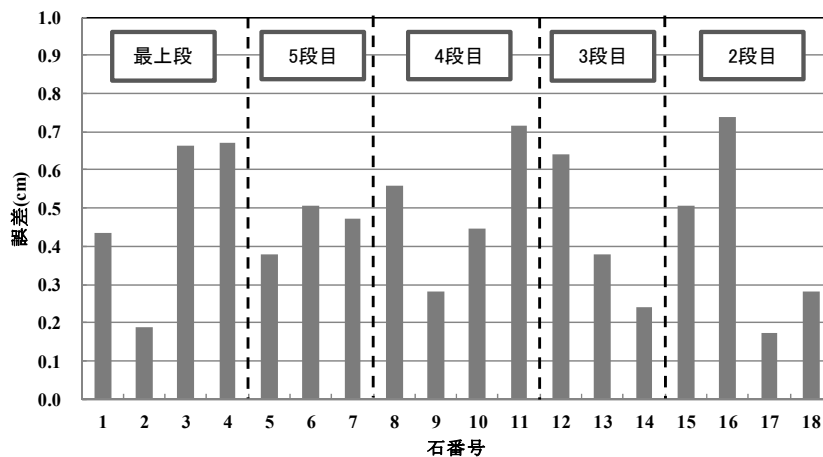


図-7 各石における誤差の分布

値の最大差は0.7cmとなった。また、図-7に示すように、石の段数、位置によらず、誤差は均等に分布していることがわかる。この結果より、今回のケースでは、石の位置に関わらず、誤差0.8cm程度で変位検出が可能であることが分かった。誤差が生じた原因としては、実測値自体に器具のずれや傾斜による誤差が含まれていることや3次元形状復元結果から座標データを抽出する際の誤差等が考えられる。

#### 4.3 3次元形状復元による変位検出結果

実験では傾斜角10度及び15度の2ケースを実施した。両ケースにおいても打撃7回目で模型が崩壊した。撮影画像の3次元形状復元を行った後、閾値を0.9cmに設定して変位検出を行った。4.2節より、本実験では誤差0.8cm程度で変位検出が可能であることから、閾値は少なくとも0.8cmより大きい値に設定する必要があると考え、閾値を0.9cmに設定した。一例として写真-6に模型傾斜角15度における各打撃後の模型の撮影画像、及び図-8に各打撃回数の変位検出結果を示す。変位検出で出力される3次元点の色を変え、打撃を与えていない初期状態の3次元形状復元結果に、各変位検出結果を重ねて表示している。本実験では、閾値を0.9cmとした変位検出において検出されたが、1.8cmとした変位検出において検出されなかった3次元点は変位量を0.9cm~1.8cmとし、青色の点群で示している。同様に変位が1.8cm~2.7cmの場合は緑色、2.7cm~3.6cmの場合は黄色、3.6cm~4.5cmの場合はオレンジ色、4.5cm以上の場合は赤色の点群で表示している。なお、この実験シリーズでは各打撃回における各石の変位の実測は行っていない。

図-8に示すように、打撃回数が増すにつれ、全般的に変位が大きくなっている。また、石積み擁壁の上段中央から変形し始め、徐々に下方に向かって変形した範囲が同心円状に広がっている。このように、石積み擁壁の変形過程を画像解析により把握できたことが分かる。このような変形になったのは、おもりによる打撃を与える際の力点が石積み擁壁模型の背面全体ではなく、背面の一点に集中しており、その点を中心にして同心円状に石積み擁壁が変形しようとしたことと、下端は根入れされているのに対し上端が自由であることによると考えられる。また、石積み擁壁の左右両端が外枠と触れていた可能性も考えられる。つまり、外枠と石との間に摩擦力が働き、両端の変形が拘束された可能性もある。

また、本実験の外力は傾斜による土圧、及びおもりによる打撃である。実際の石積み擁壁に加わる外力としての土

圧増加と地震動(慣性力)をイメージはしているが、必ずしも現実的な外力条件ではない。従って、ここで観察された変形が一般的なものであるかどうかは、実際の石積み擁壁の変形の分析との比較により議論されるべきである。

#### 4.4 変位検出による不安定度評価の課題

石積み擁壁が崩壊する直前の打撃回数6回時にて、変位検出された3次元点数を最終検出点数と定義する。最終検出点数に対する打撃回数に応じた変位検出点数の割合の推移を図-9に示す。なお、図-9(a)の打撃1回目のデータは欠損している。

ここで、模型傾斜角15度の場合に着目すると、変位が0.9cm以下の場合には、打撃回数3回で約6割の点の変位が既に検出されている。しかし、変位が2.7cm以上になると、打撃回数3回時には2割程度の点しか変位検出されていないが、打撃4回時においては、検出された点の割合が急に20%以上増加していることがわかる。模型傾斜角10度の場合においても、打撃回数3回と4回の間に変位点の検出割合が20%以上増加していることがわかる。つまり、閾値の違いにより、変位検出点数の割合の増加傾向が異なることがわかる。本実験では、外力を受ける過程において、初期段階では石積み擁壁の広範囲にわたり小さな変位が生じ、その小さな変形の範囲の増加が頭打ちになったところで大きな変位が発生し、不安定度が増加して崩壊したと考えられる。すなわち、変位検出の精度が高く、微小な変位を検出できたとしても、微小変位の範囲が頭打ちとなって変化しない状態に達したところで、全体の安定性が低下することもある。従って、全体の安定性に影響するレベルの変位を把握しておいて、その値を閾値とした変位検出を行うことが重要である。

なお、本研究では石積み擁壁の変形過程の定量的把握について検討している。この結果、外力を徐々に受ける過程において、石積み擁壁が崩壊に至るまでの変形過程を、画像解析を用いることにより定量的に把握できた。しかし、実際の石積み擁壁の変形モードに関する検討は、本論文では議論しておらず今後の課題である。

また、本来ならば、図-9において10度の実験ケースより15度の実験ケースの方が不安定になるべきだが、今回の実験では、10度の実験ケースの方が15度の実験ケースよりも不安定になっており、供試体の再現性に問題があると考えられる。このため、今回は定量的に安定性を把握するための閾値の議論はできていない。今後は実務的な観点からの閾値の設定も含めて議論していく必要がある。



石積み擁壁の維持管理におけるSIFTを用いた画像解析技術の適用可能性

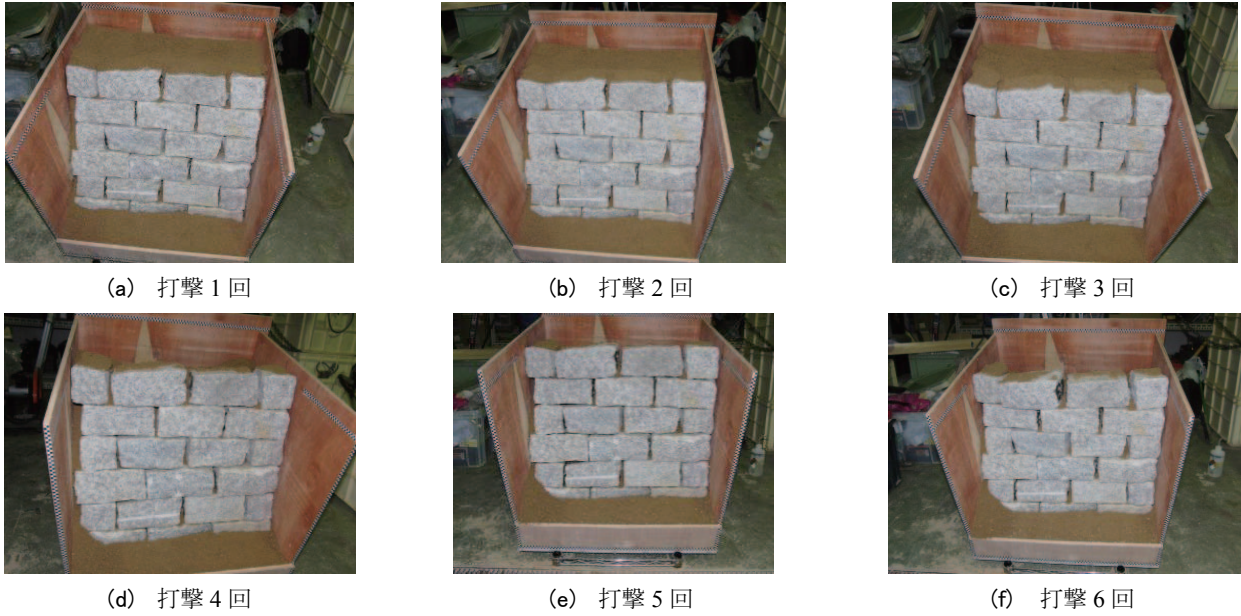


写真-6 打撃後の石積み擁壁の様子(傾斜角 15 度のケース)

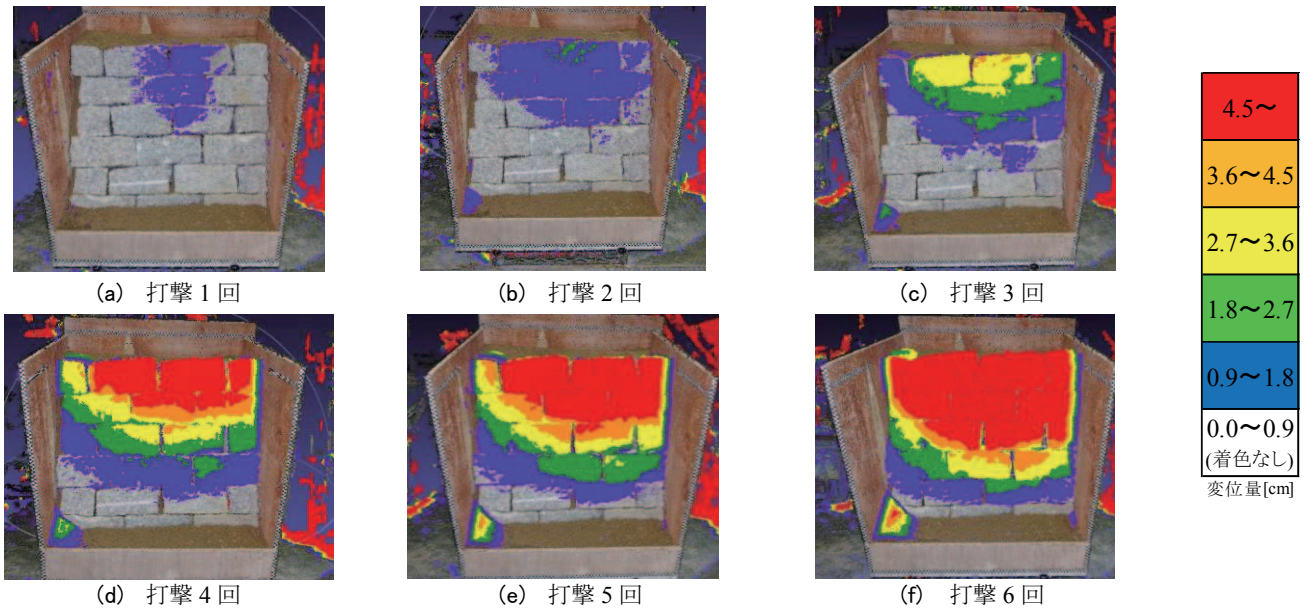


図-8 変位検出結果(傾斜角 15 度のケース)

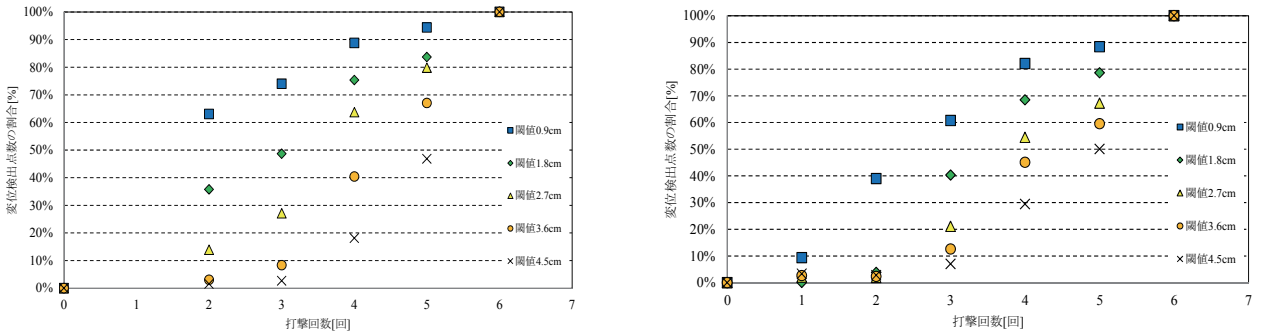


図-9 最終検出点数に対する打撃回数に応じた変位検出点数の割合の推移

## 5. 結論

本研究では、石積み擁壁の簡便な維持管理手法の提案に向けて、SIFT を用いた画像解析技術の石積み擁壁への適用性について検討した。また、模型実験を行うことにより、石積み擁壁が崩壊に至るまでの形状変化過程を画像解析で定量的に把握できることを示した。以下に、それらの結果から得られた知見を示す。

- 1) 石積み擁壁の野外撮影画像について SIFT を用いた画像解析が十分に機能することを示した。スケーラーの設置によりスケールを合わせれば、1.0cm 以上の変位に対し、その変位の発生を検出することができることを確認した。
- 2) 外力を徐々に受ける過程において、石積み擁壁が崩壊に至るまでの形状変化過程を、画像解析を用いることにより定量的に把握できることを示した。これは、将来起こりうる崩壊形態を予測する上で有用な情報であると考えられる。
- 3) 変位検出の精度が高く、微小な変位を検出できたとしても、微小変位の範囲が頭打ちとなって変化しない状態に達したところで、石積み擁壁全体の安定性が低下することもあることが分かった。従って、全体の安定性に影響するレベルの変位を把握しておいて、その値を閾値とした変位検出を行うことが重要である。

今後の課題として、まず、石積み擁壁の維持管理における画像解析のための撮影方法のマニュアル作成を行うことが挙げられる。石積み擁壁は屋外に存在するものであり、撮影時の光量や撮影距離が毎回異なる。従って、撮影時の光量や撮影距離に応じて、SIFT を用いた画像解析が十分に機能するような撮影条件を検討していく必要がある。

また、石積み擁壁の崩壊形態の事例をさらに収集し、石積み擁壁が崩壊に至るまでの様々な形状変化パターンを把握する必要がある。その為には、模型実験に加えて、現存する石積み擁壁の定期的な撮影・調査を行うことにより、データを蓄積することが有効であると考えられる。

## 謝辞

本研究にあたり、広島大学工学研究科知的モデリングシステム研究室より多くの協力を得た。玉木徹准教授をはじめ、関係者各位に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) David Lowe : Distinctive image features from scale-invariant keypoints, *International Journal of Computer Vision*, Vol.60, No.2, pp.91-110, 2004.
- 2) 角田光法, 一井康二, 玉木徹, 石田裕章, 小野淳子 : 地盤構造物の防災・減災における SIFT を用いた画像解析技術の適用可能性, 防災・減災のための地盤構造物の設計・施工法に関するシンポジウム, 地盤工学会関東支部, pp.125-130, 2012.
- 3) 一井康二・玉木徹 : 画像解析を用いた護岸消波工の積層構造分析技術の開発と維持管理及び長寿命化への応用, 平成 22 年度中国地方建設技術開発交流会, 2010.
- 4) 倉敷紡績株式会社 : 3D Photogrammetry system Kuraves-MD, [http://www.kurabo.co.jp/e.be.hp.transer.com/el/3d/kuraves\\_md\\_01.html](http://www.kurabo.co.jp/e.be.hp.transer.com/el/3d/kuraves_md_01.html), 2012 年 4 月
- 5) 株式会社ニコンシステム : 2006 年 4 月 17 日報道資料, [http://www.nikon.co.jp/news/2006/0417\\_gs1\\_01.htm](http://www.nikon.co.jp/news/2006/0417_gs1_01.htm), 2012 年 4 月
- 6) N. Snavely, S. M. Seitz and R. Szeliski : Modeling the World from Internet Photo Collections, *International Journal of Computer Vision*, vol.80, No.2, pp.189-210, 2008.
- 7) Y. Furukawa, J. Ponce, J : Accurate, Dense, and Robust Multiview Stereopsis, *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.32, no.8, pp.1362-1376, 2010.
- 8) 角田光法, 一井康二 : 土構造物の維持管理への SIFT を用いた画像解析の適用性に関する実験, 地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム 2011, 地盤工学会関西支部, pp.5-10, 2011.
- 9) Mesh Lab : Main page, <http://meshlab.sourceforge.net/>, 2012 年 4 月
- 10) 社団法人全日本建設技術協会 : 平成 12 年度改訂版土木構造物標準設計第 2 巻, [http://www.zenken.com/syuppan/hyoujyunsekkei/hyoujyun2\\_15.pdf](http://www.zenken.com/syuppan/hyoujyunsekkei/hyoujyun2_15.pdf), 2012 年 4 月

(2012 年 6 月 20 日 受付)