

〈論文〉

視体積交差法を用いたがれき堆積廃棄物の計測手法の開発

藤原 健 史¹⁾

¹⁾ 岡山大学廃棄物マネジメント研究センター
 (〒700-8530 岡山市北区津島中3-1-1 E-mail: takeshi@cc.okayama-u.ac.jp)

概 要

地震や津波の被災地では、発生した災害廃棄物が仮置場に山積みされている。災害廃棄物を迅速に処理するために、仮置場ごとに堆積しているがれき量を正確に把握することが必要であるが、巨大で表面形状が複雑ながれき堆積廃棄物の体積を計量することは容易ではない。本研究では、カメラの映像とレーザー距離計とコンパスから得られる距離及び方位の情報をもとに、視差体積法を応用してがれき堆積物の立体形状を簡易に再現する方法を開発した。小型のがれき堆積廃棄物を対象として体積を推計した結果、誤差は3.7%程度であった。

キーワード：がれき堆積廃棄物，視体積交差法，3次元形状復元，体積推計，東日本大震災

原稿受付 2012.5.30 原稿受理 2012.8.24

EICA: 17(2・3) 184-190

1. はじめに

東日本大震災では津波によって家屋が倒壊や浸水し、多くの災害廃棄物が発生した。その後、がれきの仮置場への搬入が進み、現在は山のように積み上げられたがれきを、少しずつ取り崩して前処理を行う段階にある。東北の日本海沿岸では平野部が少ないため、仮置場のスペースが十分確保できず、駐車場や公園、校庭などが一時仮置場として利用された。仮置場の狭いスペースを有効に活用するため、がれきは高く積み上げられた。環境省は火災や崩落の防止を考えて、がれきの積上高さを5m以下にするよう指示したが、実際には5m以上積み上げられた仮置場もあった。市町村や県は、災害復旧計画策定に向けて災害廃棄物発生量を把握するために仮置場のがれき量を知ることが必要となったが、災害直後の混乱期に搬入トラックの台数がカウントされていなかったため、仮置場のがれき山（これを堆積廃棄物と呼ぶことにする）の体積を測量することが現実的な方法と考えられた。体積が得られれば、一般に報告されているがれき等の見かけ比重参考値¹⁾や、現場調査で得るみかけ比重実測値を用いて、体積を重量へと変換できる。

底面積が小学校の校庭やサッカーグラウンドほどの広がりがあり、高さが5m程度で、形状が必ずしも円錐台や四角錐台ではないがれき堆積廃棄物の形状を測量することは容易ではない。仮置場はトラックによるがれきの搬入・搬出や、ブルドーザによる整地など、常に運搬車や建設重機が行き交う危険な場所であることや、がれき堆積廃棄物の周辺では斜面からがれきの一

部が落下する危険性があることなどから、仮置場で長時間測量することは望ましくない。そのため、現場で簡単に体積を測量できる方法の検討が必要である。そこで本研究では、現地において撮影したがれき堆積廃棄物の写真から、その体積を計測する簡便な方法について検討する。

写真や映像を利用した物体の認識に、2つのカメラの角度と視差を利用したステレオ画像計測法が良く用いられる。近年、ステレオ画像で3D映像を記録するカメラが普及してきており、3D対応テレビもすでに多く使われている。3D映像は2枚のステレオ画像を交互に人に見せることで、疑似立体を頭に描かせる仕組みであるが、被写体の3次元位置を計算する場合には、2枚のステレオ画像で対応する同一点を探し出し距離計算をする必要がある。例えば、ニコンシステムのMegaPointer II²⁾は、非同期の単カメラで写真が2枚以上あり、写真間の一致点を最低8点ととることができれば、対応点間の距離、被写体の面積、体積を計算できるとしている。ステレオ法は、境界面がはっきりとしていて同一点を明瞭に判断できる人工構造物の測量などには適しているが、がれき堆積廃棄物のように雑多なものが重なり表面形状が複雑な被写体には、必ずしも適切とは言えない。

そこで、本研究では被写体の形状を認識する他の方法として視体積交差法の考え方を採用する。写真に写った被写体が存在しうる空間領域は、カメラのレンズ位置を頂点とし、被写体を内包する領域（物体領域）を切り口とした錐体（視体積）の内部に存在することになる。物体を多数の撮影点から撮影し、各画像

から抽出された最小の物体領域に対する視体積を求め、その共通部分をとれば、物体に近い3次元形状が復元できる。このように視体積交差法は、同一点を選択する必要がなく、画像中の被写体の境界線に関する情報だけで3次元形状を再現できる。複数のカメラを用いて人間や物体など被写体の立体形状を構築する研究がこれまでに進んでいる³⁻⁵⁾。これらの研究は、室内における物体の認識が主で、カメラ位置や台数を自由に変えることができ、正確な位置データやカメラの角度データをもとに物体像を正確に再現できる。しかし、カメラの設置場所が限られる現場の条件における応用研究はされていない。製品化された MegaPointer IIの方がむしろ現場で使われているため本研究への適用性はあるが、複雑な形状のがれき山への適用は未知数である。

本研究は、がれき堆積廃棄物を被写体として、複数の撮影点からデジタルカメラで撮影し、被写体の空間位置を再現し、体積を求める簡便な計測方法を確立する。

なお本論文中に使用する用語を次のように定義する。「撮影点」とはカメラの撮影位置、「測量点」とはカメラの垂直光軸上（画像の水平中央）に位置する点で、測量時に長さの基準を与える点。「射影面」とは、測量点を含み水平光軸及び垂直光軸に垂直な面で、仮想的に被写体の境界線を射影する面。「長さ基準」とは測量点において実長を与えるために本研究で用意した既知長さの太線を言い、それを印刷したプレートを測量点に置いてカメラ映像に写し込むもの。

2. 方法

2.1 立体測量の特徴

本研究では、視体積交差法を応用したのがれき堆積廃棄物の三次元形状と体積を再現する手法を提案する。

本手法の特徴は以下の通りである。

1) 撮影点及び測量点の位置補正

複数の撮影点及び測量点の位置関係をそれら2点間の距離と角度で計測しておき、補正を加えることで正確な座標を得る。

2) 射影面上の物体領域の構成

視体積を撮影点及び射影面に射影された被写体の境界線（物体領域）で表す。その際、物体領域に正確な長さを与えるために、測量点の位置にて実長標準を画像に写し込んでおき、物体領域を実長に変換する。

3) 複数画像の連結

大きながれき堆積廃棄物を撮影するために複数画像に分割して撮影しなければならない場合の物体領域の合成について考案する。

2.2 立体測量の方法

a) 現場での測量

撮影のイメージを Fig. 1 に示す。測量手順は以下の通りである。

- (1) 最初の撮影点と次の撮影点（被写体を時計廻り、あるいは反時計回りに撮影点をとる）を決める
- (2) 測量点を定め、測量点に長さ基準のプレートを立てて、撮影点から写真を撮影する。撮影した写真の例を Picture. 1 に示す。
- (3) 撮影点から測量点への距離と角度（真北を0°として時計回りの絶対角度）を計測する
- (4) 同様に、現在の撮影点から次の撮影点への距離と角度を測る
- (5) 次の撮影点に移動して、(2)～(5)を繰り返す。
- (6) 最後の撮影点に来た時に、次の撮影点が最初の撮影点と一致するようにする。

撮影するカメラの地面高を 110 cm とする。長さの

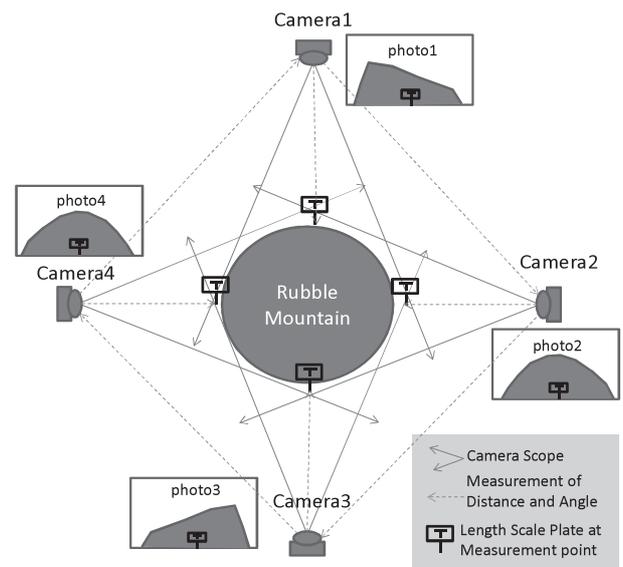


Fig.1: An image of Shooting Photo form Several Camera Stations



Picture.1: Length Scale Plate Standing at Measurement Point

基準を映像に写しこむために、**Fig. 2**のプレートを用意する。水平及び垂直方向の基準が必要であることから、「T」字の形状とする。プレートの掲示高さをカメラの高さに合わせて110 cmとする。

b) 画像データの処理

手順は以下の通りである。**(Fig. 3)**

- (1) 撮影位置と測定位置のデータから撮影点と測量点の空間配置を計算，座標の補正を行う。画像に写り込んだ「T」字の長さ標準について，水平方向および垂直方向のピクセル数をカウントし，後に示す方法でピクセル当たり実長を計算する。
- (2) 各写真について被写体の稜線をデジタルイズし，

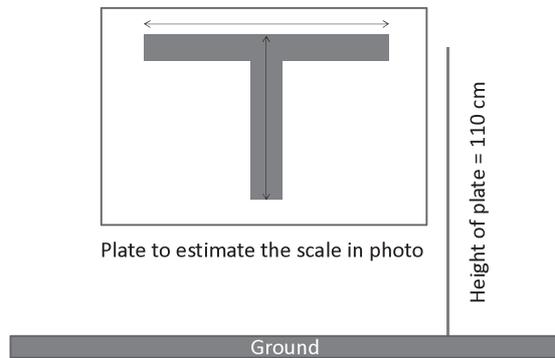


Fig.2: Length Scale and Plate

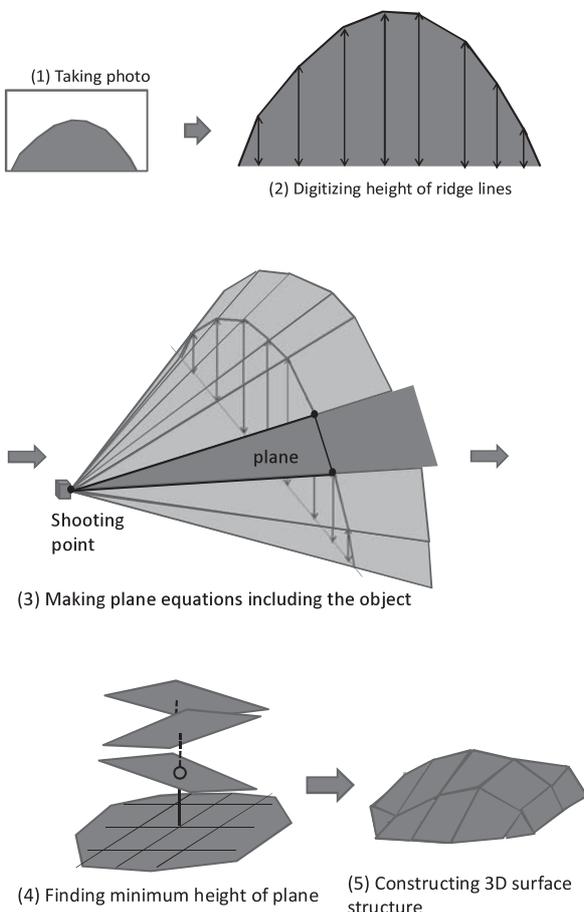


Fig.3: Process in Image Data Treatment for Structuring 3D Shape

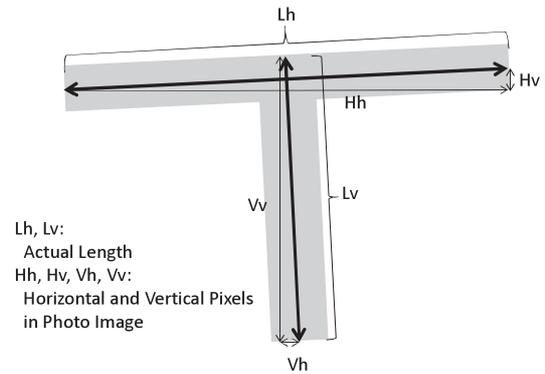


Fig.4: Pixel Count of Length Scale Image Taken in a Photo

稜線を折れ線で近似。折れ線の間隔と高さを計算する。

- (3) 撮影点および折れ線の位置と高さから，被写体を内包する複数の平面を構成する。これを，複数の撮影点で撮影した写真に対して行い，平面を構成する。
- (4) 被写体を含む地平面に引いた格子の各点について，地表面から最も低い高さを選ぶ。
- (5) 各格子点での高さを用いて，平面で被覆された3次元の構造を作る。
- (6) 立体構造の体積を計算する。

ここで，長さ基準（以下 T 字と呼ぶ）の処理について説明する。T 字の画像上のピクセル数をから，水平，垂直方向のピクセル当たり実長さ λ_h, λ_v (cm/pixel) を求める。**Fig. 4** に示すように，画像中では，T 字が必ずしも正確に水平・鉛直に写っているとは限らない。長さ基準の水平と垂直の実長をそれぞれ L_h, L_v (cm) とし，画像上の水平基準，垂直基準のデジタルイズされたピクセル数を，水平，垂直それぞれ H_h, H_v (pixel) と V_h, V_v (pixel) とする。このとき， λ_h, λ_v を以下の式 (1) で計算する。

$$\begin{aligned} \lambda_h &= \sqrt{(V_v^2 L_h^2 - H_v^2 L_v^2) / (H_h^2 V_v^2 - H_v^2 V_h^2)} \\ \lambda_v &= \sqrt{(H_h^2 L_v^2 - V_h^2 L_h^2) / (H_h^2 V_v^2 - H_v^2 V_h^2)} \end{aligned} \quad (1)$$

画像処理は NI インストルメントの NI Vision を用いて行ない，画面の表示や面積の計算はマイクロソフトエクセルを用いた。

2.3 複数画面の合成

がれき堆積廃棄物は形状が異なるだけでなく，水平の長さが数十メートルの小さいものから，50メートルを超える大きいものまで様々である。被写体の横幅や高さが長くなると，測量点を含めた1枚の写真に，がれき堆積廃棄物全てを収めることが困難となる。また，がれき堆積廃棄物の周辺に障害物があったり別の堆積体があるために，測量点と撮影点の間に十分な距

離をとることができない場合も多い。その場合に、がれき堆積廃棄物の全体を記録するために、まず測量点を含めた写真を1枚撮影し、その撮影した像の左右の像を撮影して、それらの写真を1枚の像に合成することが考えられる。写真で得られた2枚の像を1つの像に合成するためには、がれき堆積廃棄物について、2枚の写真に同時に写り込んだ特徴点を探し、それらを同一点とみなして、2つの像を合成する方法がある。しかし、同じ撮影点でもがれき堆積廃棄物に対する撮影角が異なるため、撮影角を考慮して、ある写真の座標系に位置する像を別の写真の座標系へと写像する必要がある。

Fig. 5 に示すように、測量点 P を中心として $\angle AOB$ ($=2\theta$) の角度で写した写真(1)と、その写真の右側を $\angle A'OB'$ ($=2\theta$) の角度で写した写真(2)があるとす。像写真(1)は撮影点 O と測量点 P との距離が m (m) であり、OP を結ぶ直線を射影軸と呼び、測量点 P を通りその軸と垂直に交わる面を射影面と呼ぶことにし、写真に写る範囲を線分 LR とする。写真(2)には測量点がないため、仮想的な面(原像面と呼ぶ)を考え、 $\angle A'OB'$ の角の二等分線(原像軸と呼ぶ)に垂直に交わり、写真(2)の左端(半直線 OA')が L' で射影面と交わるようにとす。すなわち、線分 LR が、線分 $L'R'$ に対応する。今、写真(2)に写っているカメラ高さ(=1.1 m)の被写体 X' を射影面に射影するとし、その像を射影面の L' から右に c の位置にある点 X とする。ここで、写真(2)の像を写真(1)の像に射影することになると、写真(2)の左端 OA' 方向にある被写体は、射影面と原像面上の同じ点 L' に射影される。 OB 方向にある被写体は写真(1)の R 、写真(2)の R'' に射影される。そこで、 PL' 、 RL' をそれぞれ a 、 b 、そして $L'R''$ 、 $L'X'$ をそれぞれ $d1$ 、 $d2$ とする。また、 $\angle POL'$ を角 α 、 $\angle R''OX'$ を角 γ とすると、正弦定理より b 、 c 、 $d1$ 、 $d2$ 、 α 、 γ の間に式(2)、(3)が得られ、整理すると式(4)、(5)となり、それらから式(6)が得られ、最終的に辺の長さで表わして式(7)を得る。 OX 方向の被写体は、射影面の L' から右に式(7)の c の位置の点 X に射影されることになる。

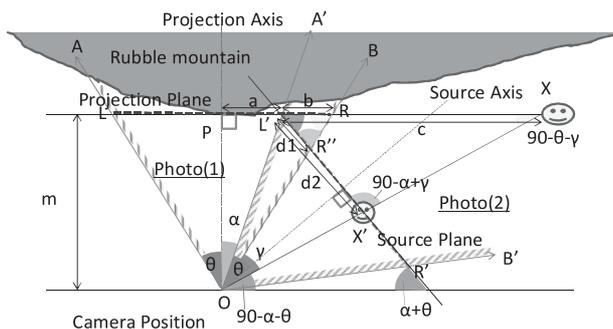


Fig.5: Horizontal Projection Method for Image Combine

$$b/\sin(90-\alpha) = d1/\sin(90-\theta) \tag{2}$$

$$c/\sin(90-\alpha+\gamma) = d2/\sin(90-\theta-\gamma) \tag{3}$$

$$b/\cos(\alpha) = d1/\cos(\theta) \tag{4}$$

$$c/\cos(\gamma-\alpha) = d2/\cos(\gamma+\theta) \tag{5}$$

$$c = b(d2/d1) (\cos\theta \cos(\gamma-\alpha)) / (\cos\alpha \cos(\gamma+\theta)) \tag{6}$$

$$c = b(a^2+m^2) / ((d1/d2)((a+b)^2+m^2) - b(2a+b)) \tag{7}$$

次に、写真(2)の被写体を、写真(1)の射影面に射影するとき、被写体の高さの補正を行う必要がある。撮影ではカメラの高さと測定高さをともに1.1 mとした。従って、1.1 mを基準とする被写体の高さについて、以下のように補正する。

まず、**Fig. 6** の上に被写体の高さを考えることにし、写真(2)の実際の高さを表す面を ZZ' 面とする。 OX 方向にある被写体の写真上の高さを hc とし、その原像面での高さを $H'c$ 、射影面での高さを Hc として、この値を求める式を誘導する。ここで、点 X' と射影面との距離を m' とすると、

$$m' = d2 \sin(\alpha+\theta) = m \cdot c(2a+b) / (a^2+c(2a+b)+m^2) \tag{8}$$

$$H'c = Hc(m-m')/m = Hc(a^2+m^2) / (a^2+m^2+c(2a+b)) \tag{9}$$

写真上の高さ、原像面の高さとが比例関係にあると仮定し、その比例係数を K とすると、

$$H'c = K \cdot hc \tag{10}$$

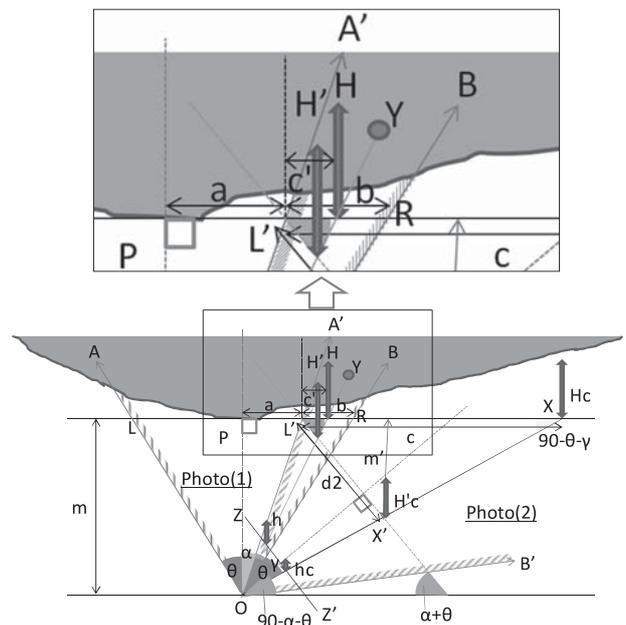


Fig.6: Vertical Projection Method for Image Combine

$\lambda \equiv (2a+b)/(a^2+m^2)$ とおけば、(9)式より (8)式は、

$$Hc=hc(1+c \cdot \lambda)K \tag{11}$$

今、OY 方向にある被写体が写真(1)と写真(2)の両方に写っていて、写真(2)上で高さ h、射影面上で高さ H、原像面上で高さ H' とし、射影面の像が L' から右に c' の位置にあるとすると、式(11)と同様に、

$$H=h(1+c' \cdot \lambda)K \tag{12}$$

あるいは、

$$K=(H/h)/(1+c' \cdot P) \tag{13}$$

式(11)に代入して、

$$Hc=hc(H/h)(1+c \cdot P)/(1+c' \cdot P) \tag{14}$$

ここで、H/h は測量した倍率として求めることができ、c' は写真(1)に写る写真(2)の左端から共通被写体までの距離として、「T字」の長さ標準を用いて測ることができる。なお、以上の考え方から、画像に歪が出ない歪補正付きのカメラで写真を撮ることが前提となる。

3. 結果と考察

(1) 推定誤差の評価

視差体積交差法を応用したがれき堆積廃棄物測量法を、体積が測定可能な小山に対して行い、測定結果の誤差を評価した。

Picture. 1 に示したがれき小山は、実際に陸前高田あつたがれきの堆積体である。ほぼ鉛直上方に凸型の回転体に近い形状であったため、メジャーを用いて長さを測定したところ、高さ 1.4 m と周長 15 m であり、底面を囲んだ長方形の辺が 4.6 m、4.5 m であった。これらの結果を **Table. 1(a)** にまとめる。

小山の裾部分にはがれきがちらばり明確な小山の境界線を引くことは難しく周長や底面の幅には誤差を含むが、ここでは底面を真円と仮定して半径を 2.28 m (長方形辺の平均) と定めた。そのとき、底面積は 16.3 m² となる。小山を鉛直上方に凸の二次関数で近似すると、高さ y は中心からの長さ x を用いて $y = -0.269x^2 + 1.4$ と表され、この近似式から体積は 10.9 m³ と推計される。**(Table. 1(b))** もし単純な円柱や円錐形を仮定すれば、体積はそれぞれ 22.9 m³、7.6 m³ となる。

この小山を対象として、4 地点から小山の撮影を

Table.1: Measurement Result of Target Rubble Knoll

(a)Manual Measurement of Rubble Knoll		
Item	Value	Reference
Height (m)	1.4	Really measured
Circumference (m)	15.4	Really measured
Front Width (m)	4.6	Really measured
Back Width (m)	4.5	Really measured
Average radius (m)	2.28	Calculated
Area of base (m ²)	16.3	Calculated
Volume (m ³)	10.9	Calculated
(b)Estimated by Using Proposed Meathod		
Item	Value	Reference
Maximum height (m)	1.38	Estimated
Area of base (m ²)	17.4	Estimated
Volume (m ³)	10.5	Estimated
(c)Evaluation		
Item	Value	Reference
Error between Volumes (m ³)	0.4	Volume: (a) - (b)
Error Ratio to Volume in (a) (%)	3.7%	

行った。4 枚の写真が小山の全方位の斜面の様子を含むように、写真を撮影する 4 地点をランダムに定めた。写真撮影は一定の高さ (110 cm) とした。鉛直方向と水平方向の測量点における標準長さを記録するために、作業員が「T字」プレートを測量点において一定の高さに掲げ、「T字」がほぼ中央に来るようにカメラ写真を撮した。また、撮影点と測量点との直線距離をレーザー距離計で測定するとともに、撮影点から測量点に向かう方向を、コンパスを用いて真北を 0 度とした 360 度の角度で計測した。カメラ撮影は小山を取り囲む 4 点を時計まわりに回ることとし、現在のカメラ撮影位置と次のカメラ撮影点との間の直線距離および角度も測定した。この作業を 4 つのカメラ撮影点で繰り返した。

以上により得られた、①カメラ撮影点と測量点との直線距離およびその角度、②カメラ撮影点と次のカメラ撮影点との直線距離およびその角度から、カメラ撮影点および測量点を計算した。最初の撮影点を原点とし真北を X 軸方向としてプロットした図を **Fig. 7** に

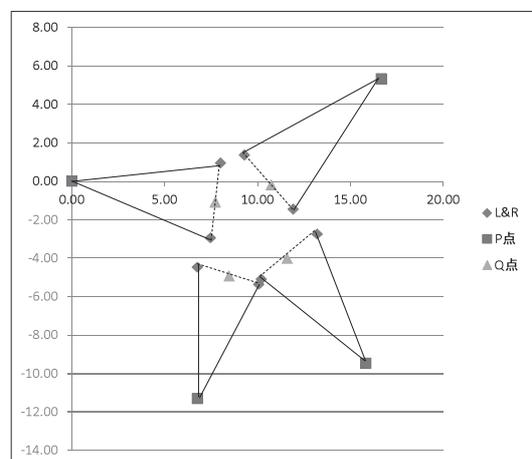


Fig.7: Position Map. Positions of Photo Taking Points (P), Measurement Points(Q), and Left & Right Width of The Knoll(L & R)

示す。点線は射影面，直線は撮影点から射影面に写る小山の左右末端位置へ引いた線を表しており，被写体はこの2つの直線に挟まれた部分のみに存在する。中央付近にある小山を4つの角度からとらえようとしていることがわかる。

次に4つの写真から視差体積交差法により，空間中の視差体積を形成し，中央の小山を取り囲み互いに交差する平面において，接線が切り取る部分平面のうち，もっとも地面に近いものを集めて，がれき山の立体形状を3次元画像として形成する。各写真の画像から，**Picture. 2**に示すように，小山の稜線を折れ線として表し，各線分の両端点と撮影点の3点より平面を形成する。小山の頂上部分については，レーザー計測器を用いて鉛直高さを測定し，その高さを上限とする。最後に，**Fig. 7**より，小山が存在する地平面積上に細かい格子点を取り，各格子点の高さ方向で複数の平面と交差する点うち，もっとも小さい高さを持つ点をその位置の対象物の高さとした。

以上の操作により，得られた各格子点の高さを3次元にプロットした図を**Fig. 8**に示す。写真が4方向のみなので，小山の表面は面を合成した形状となっているが，全体を表すことができている。

次に，この立体画像から高さと底面積を計算し，さ

らに立体の体積を計算したところ，結果は**Table. 1 (b)**のようになった。視体積交差法を用いた推計では，高さ，底面積，および体積はそれぞれ1.38 m, 17.4 m², 10.5 m³となった。体積誤差は小山を二次関数の回転体として仮定した体積に対して約3.7%程度であり，良い一致を示した。また，小山を単純に円柱や円錐と仮定した場合には体積誤差は54%，32%となり，本方法の体積誤差は明らかに小さく，優位性が示された。

(2) がれき山への適用

陸前高田市は津波の被害が大きく，海岸に近い地域はコンクリート構造物を除いて，住宅はほぼ壊滅状態となった。がれきの撤去によって，広大な平地となった町には，あちこちのガレージや広場が仮置場となって，がれきが山のように積み上げられた。その中の1つである陸前高田病院前のれき山を対象に，本研究で提案した写真計測を行なった。結果を3次元の立体画像として表し，さらにその地域のグーグルマップに貼りつける(**Picture. 3**)。

堆積廃棄物の高さが5m近くあり，幅も20mを超えるため，一度に1枚の写真には収まりきらず，1撮影点で2枚~3枚を撮影し，それを2.2の方法によって画像を合成した上で，3次元構造を構築することを試みた。ただし，堆積廃棄物の側面からがれき山を見上げる映像を用いて立体を形成するため，がれきの頂上部分の形状を正確には得られない。そこで，本研究ではレーザー距離計で堆積廃棄物のおよその高さを5mと計測し，その高さに5mの制限を持たせて立体を合成している。この頂上部分は大きな誤差を含む部分である。高所からのカメラ撮影ができる場合には，その画像をもとに頂上部分を表現する平面多面体を形



Picture.2: Extraction of Skylines of Rubble Knoll Image

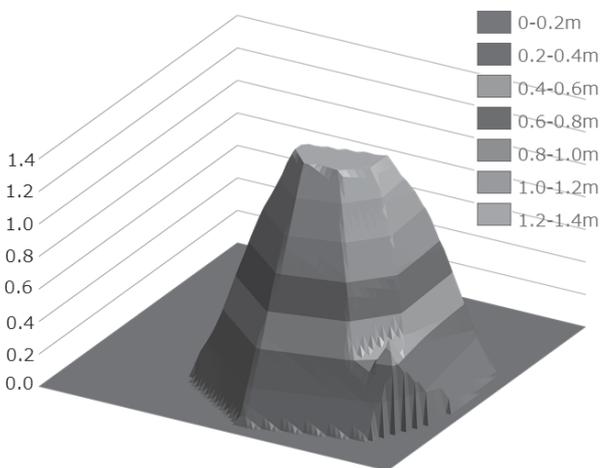


Fig.8: 3-Dimensional Contour Picture Re-Constructed of Target Rubble Knoll.



Picture.3: 3-Dimensional Contour Picture Re-Constructed of Actual Rubble Knoll in Rikuzen Takada City.

成でき、体積の推計精度は向上する。しかし、高所撮影ができない場合は、頂上に凸形状を仮定して推計することになる。なお、本研究では、平面多面体から3次元の堆積体を再現するため、がれき山が凸形状であることを仮定したが、実際には凹形状の部分があることが考えられる。例えば、ショベル車でがれき山を切り崩している部分には凹型の形状になる。その場合には、レーザー距離計で凸形状を把握してその部分の体積を修正するなどの方法が必要である。

4. さ い ご に

本研究では、地震や津波などの災害廃棄物が仮置場に貯留されたときに、その体積を簡易に推計するために視差体積法を応用した手法を開発した。本研究では、カメラの映像とレーザー距離計とコンパスから得られる距離及び方位の情報をもとに、視差体積法を応用してがれき堆積廃棄物の立体形状を簡易に再現する方法を開発した。小型のがれき堆積廃棄物を被写体として体積を推計した結果、誤差は仮定した二次関数回転体体積に対して3.7%程度となった。実際の測量では、がれきの山が大きすぎて1撮影点で像を重ねながら複

数の写真を撮らなければならないことがあるため、それらの映像を1つにまとめる方法についても示した。陸前高田市の実際規模のがれき堆積廃棄物を撮影して、3次元の立体構造を復元することができた。本方法は、カメラと距離計、コンパスがあれば、立体形状を簡単に再現できるため、現場におけるがれき量推計の簡便法として利用できると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 国立環境研究所, 災害廃棄物の重量容積変換について(第一報), http://www.nies.go.jp/shinsai/dwaste_spgrv1_20110404.pdf, 2011
- 2) Megapointer II, ニコンシステムパンフレットより
- 3) 豊浦正広, 飯山将晃, 角所 考, 美濃導彦, 視体積交差法における時系列画像の統合による三次元復元形状の再現性の向上, 電気情報通信学会論文誌 D, Vol. J88-D, No. 8, pp. 2413-2424, 2005
- 4) 豊浦正広, 飯山将晃, 角所 考, 美濃導彦, ランダムパターン背景を用いた視体積交差法のためのシルエット欠損修復, 電気情報通信学会論文誌 D, Vol. J89-D, No. 11, pp. 2413-2424, 2006
- 5) 奥村幸司, 視体積交差法による3次元形状復元の高速化, 中部大学工学部情報工学卒業論文, 2004

Development of Measurement Method for Pileup Rubble Waste by Using Silhouette Volume Intersection

Takeshi Fujiwara¹⁾

¹⁾ Solid Waste Management Research Center, Okayama University

Abstract

At the disaster area attacked by earthquake or tsunami, a huge amount of disaster waste is piled on the temporal stock yard. In order to deal with the disaster waste quickly, it is necessary to estimate accurately the amount of rubble waste in each temporal stock yard, however, it is difficult to measure the volume of huge pileup rubble with complex shape. In this study, using only camera photos and shooting position data, which are measured by laser distance meter and compass respectively, a new method to construct 3D shape image and volume of a pileup rubble by applying the Silhouette Volume Intersection Method is developed. As a result of measurement of the volume of sampled piled rubble, the error in volume prediction was about 3.7%.

Key words : pileup rubble waste, 3D-shape reconstruction, volume estimation, silhouette volume intersection method, Tohoku big earthquake