

航空レーザー計測による堆積土砂量の推測

島 重章*・橋口 翔**

(平成22年10月29日受付)

The Prediction of Collapse Soil by Airlines Laser Survey Data

Shigenori SHIMA and Sho HASHIGUCHI

(Received Oct. 29, 2010)

Abstract

The slope disaster and the flood disaster by earthquake and the heavy rain occur frequently in Japan. The method of measuring geographical features at the disaster area and their change has advanced in recent years. Especially, the Airlines Laser measurement has been used to estimate the amount of earth and sand, and flood damage.

In this research, the earth flow disaster, which occurred in Miyajima Island in Hiroshima Prefecture on September 6, 2005, was examined on the basis of the Airlines Laser data. As a result, the amount of earth and sand was estimated from difference of elevation at the mountain stream area by using the Airlines Laser data that was observed after the disaster.

Key Words: Airlines Laser data, collapse soil, geographical features

1. はじめに

日本列島は、その位置、地形、地質、気象などの自然的条件から、台風、豪雨、豪雪、洪水、土砂災害、地震、津波、火山噴火などによる災害の誘因条件を有し、災害が頻繁に発生しやすい国土となっている。

地形の特徴は急峻で、河川は著しく急勾配であり、ひとたび大雨に見舞われると急激に河川流量が増加し、洪水などによる災害が起りやすくなっている。また、急峻な山地や谷地、崖地が多い上に、地震や火山活動も活発である等の国土条件に、台風や豪雨、豪雪に見舞われやすいという気象条件が加わり、土石流、地すべり、がけ崩れ等の土砂災害が発生しやすい条件下にある¹⁾。これらの自然災害を未然に防ぐためには、災害発生場所や規模の予知・予測が必要不可欠である。災害後に人的・物的被害を未然に防ぐためにも災害の要因となると考えられる地質・地形・植生など、広範囲の地盤情報と山地斜面の未確認情報の事前

抽出が必要である。

そこで、地盤形状を広域に捉えるための手法として、航空レーザー計測データを用いることが有効であると考えられる。航空レーザー計測データは、レーザー一点ごとの高さ精度が±15cm程度とされる。この精度は計測高度には依存しないため、高々度から撮影された空中写真測量の標高値よりも精度が高いという利点がある²⁾。

ここでは、広島県西部に位置する宮島を対象に実施された航空レーザー計測データから得られた地盤形状を地形解析し、そのデータに数値地図より得られた標高データを適用することで、地形変状ならびに標高差を明らかにした。また、降雨により崩壊し土石流が発生した流路の堆積土砂量についても推測し、検討した。

2. 宮島の地域特性

対象とする地域は、Fig.2.1に示す緑色部分の宮島(東経132°15'~132°30', 北緯34°10'~34°20')である。

* 広島工業大学工学部都市デザイン工学科

** 広島工業大学大学院工学研究科建設工学専攻



Fig2.1 調査対象地域概要図

1) 地形

島の大部分は険しい大起伏の山地で占められている。全体の形は北東・南西方向の構造線に支配されているが、山地中の谷や尾根は南北・東西系の構造線に支配されているのが特色である。山地北部では弥山（標高:535m）がドーム状にそびえ立つ。その周辺には、標高 300 ~ 400m 付近に狭い山頂平坦面を形成し、標高が 100 ~ 200m 付近にかけては、かなり広い山腹緩斜面が見られる。南西部の標高 200m 以下には広い面積を占める山麓地があり、それに加えて海岸線に起伏の小さな山麓地が付着している³⁾。

険しい山体を持つ宮島には所々に粗大な礫によって構成される扇状地が発達している。大起伏の山地を背後にもつため、谷の勾配は急であり谷底平野の幅は狭くなっている。

2) 地質

宮島は花崗岩（別名：黒雲母花崗岩）から構成され、白亜紀型花崗岩類の風化したもので、正長石を主として石英が多く、粘着力が少なく透水性は大きい、表面侵食を受けやすい土質材料である。花崗岩を構成する結晶は、主として石英、長石および雲母である。このような結晶は、結晶構造の上から言うと、石英は緻密な組織を持ち、化学的風化を受け難い。逆に雲母は化学的風化に弱く、粘土化しやすい。長石は両者の中間に位置する。宮島には、黒雲母花崗岩が広く分布している。黒雲母花崗岩でも細粒部は侵食に抗して高い尾根を作り、粗粒部は深層風化を受けて軟らかくなり、急斜面と緩やかな山麓地の組み合わせを作る場合が多い。花崗岩の風化に由来する巨礫や岩屑が急斜面を覆うようにして発達している宮島は、豪雨に伴い土石流となって、一般に自然災害を引き起こし易い地盤であるとみなされている⁴⁾。

3. 平成 17 年宮島土砂災害の概要

平成 17 年 9 月 6 日、台風 14 号の中国地方接近に伴い、山口県下関気象台における雨量は、9 月 5 日 0 時から 7 日 0 時までの連続雨量が 350 ~ 400mm を観測した。広島県

西部に位置する廿日市市宮島町の白糸川ではこの大雨により風化花崗岩土砂流が流下し、巖島神社南側の住宅地に被害をもたらした。この時の降雨量データを Fig3.1 に、台風 14 号のレーダー・アメダス解析雨量図を Fig3.2、Fig3.3 に示す⁵⁾⁶⁾。

最大時間雨量が 33mm に達した 6 日 22 時頃、白糸川上流部の駒ヶ林（標高 509m）の標高 400m 付近で崩壊が起こり、土石流が発生した。気象庁では 1 時間雨量が 30mm 以上 50mm 未満の場合、山崩れ・崖崩れが起きやすいと定めている。ここでは、宮島町雨量観測データを Fig3.4 に示し、災害発生時の状況として Fig3.5 に示した⁷⁾。

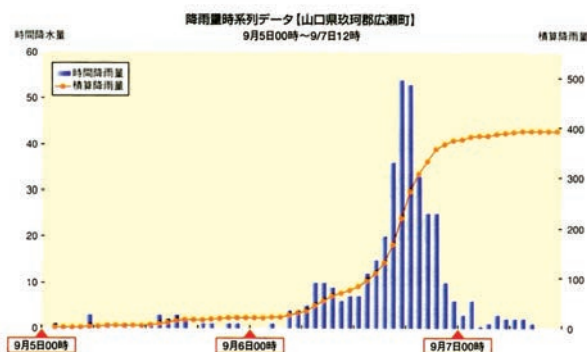


Fig3.1 アメダス降雨量時系列データ⁵⁾

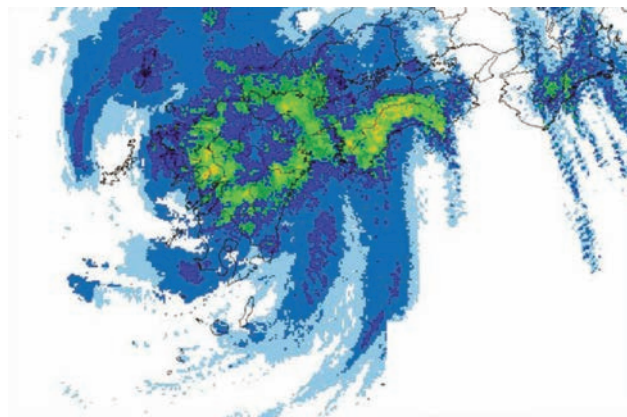


Fig3.2 9月6日14時雨量図⁶⁾

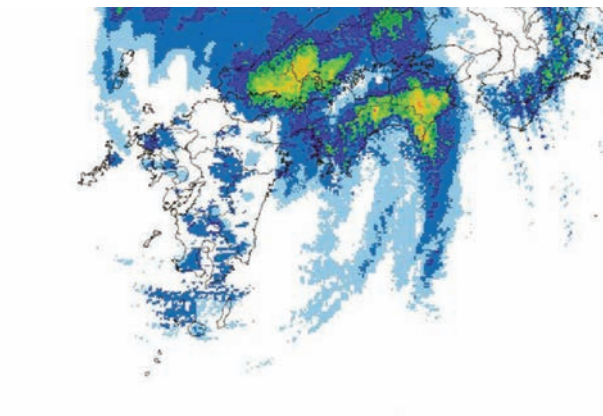


Fig3.3 9月6日21時雨量図⁶⁾

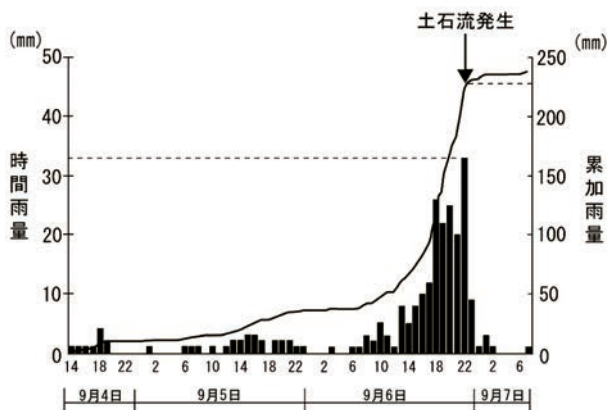


Fig.3.4 宮島町雨量観測所降雨状況図⁷⁾

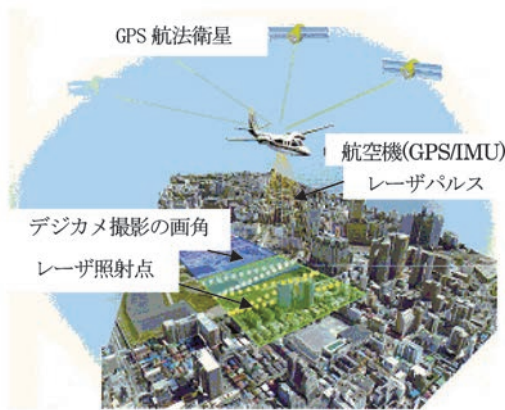


Fig.4.1 航空レーザ計測システム⁸⁾



Fig.3.5 被害状況 (被災直後の様子)

マッチングによって標高を抽出するにしても、経験的な要素に基づく推定が含まれ曖昧さは多少残る。しかし、航空レーザ計測では、直接的で樹木下の地表面標高（地盤高）を得ることができる。さらに、空中三角測量を実施する必要がなく、現地測量を必要としない⁹⁾。宮島の様に特別保護区域に指定されていて、現地調査が困難である場所には最適であると考えられる。

4.2 使用した航空レーザ計測データ

今回使用した航空レーザデータは、Table4.1に示す諸元として宮島において平成18年11月に得られたデータである。また、その航測範囲をFig4.2に示すが、本研究では、矩形の白糸川流域を解析範囲とした。Fig4.3においては、調査地域である白糸川の土砂流の流下経路を示す。

4. 航空レーザ計測データの適用

4.1 航空レーザ計測の概要

航空レーザ計測は、従来の航空写真測量手法と同等、あるいは目的や対象地域によっては優位性を発揮することができる。航空写真測量は、対象エリアを広域に捉え、面的に三次元広域データを収集するという点で、その目的を十分に果たしている。航空レーザ計測にも長所・短所があり、一概にどちらが良いとはいえないが、特記すべきことは、航空レーザ計測が新しい原理に基づいた新しい手法であるということである。Fig4.1に航空レーザ計測の概要図を示した。三次元広域データの収集は航空機に搭載されたレーザを地表に向けて飛ばすことで画像表示が可能となる⁸⁾。

その特徴として、能動的センシングであること、樹木下での地盤高推定ができること、基準点（標定点）が不要であること等が挙げられる。これらの航空レーザ計測による利点は以下の様なことである。

能動的センシングの利点は、近赤外線レーザを自ら地表面に照射することにより、撮影日の太陽高度や方位角による放射輝度の影響を受けないことである。また、写真測量の場合に直接地形を図化するとしても、ソフト的に画像

Table4.1 航空レーザスキャナ部の主要諸元

計測距離	反射率 $\geq 80\%$ の対象物1000mまで
	反射率 $\leq 10\%$ の対象物350mまで
精度	$\pm 6\text{mm}$
波長	近赤外
ビーム広がり角	0.25m rad
範囲	80°

レーザ装置と共にGPSやIMUも備えつけられており、三次元計測データはもとより、オリジナルデータ、クラウドデータ、メッシュデータ等の可視化されたデータの作成が可能となる。

GPS (Global Positioning System) とは、全地球測位システムと呼ばれ、地球上での現在位置を調べるための衛星測位システムのことである。

IMU (Inertial Measurement Unit) とは、慣性計測装置のことで、移動の姿勢であるローリング (Rolling)、ピッチング (Pitching)、ヘディング (Heading) の傾きについて角速度と加速度を求めることができる。Fig4.4にIMUの装置写真を示す。



Fig4.2 航測範囲



Fig4.4 IMU (慣性計測装置)



Fig4.3 流下経路平面図



Fig4.5 画像解析処理フロー

4.3 使用した画像とその解析処理

航空レーザ計測データの画像解析処理フローを Fig4.5 に示す。対象とした白糸川流域の画像は、三次元処理ソフトを通して Fig4.6 の様に表現できる。Fig4.6 は白糸川の流路および全体画像を示し、画像の矢印の方向を縦断面とし、流路に直行する方向を横断面としている。レーザデータが示す三次元表示を分かりやすく表現する為、Fig4.7 ①～③にて視点を移動させた。Fig4.6 の丸印を基点として、斜面に対し視点を左から右に移していくこととする。なお、画像解析処理は、三次元地形情報ソフトウェア「Geo-

Graphia」を使用した。

次に、横断面を作成すると、DSM (Digital Surface Model : 数値表層モデル) および DEM (Digital Elevation Model : 数値標高モデル) として表現できる。両者にはそれぞれに特徴があり、ここでは Fig4.8 (①または②) に 2 種類の画像を示す。

1) DSM 表示画像 (Fig4.8 ①)

この画像は、数値表層モデルといい、地表面とその上に存在する植生や構造物などの全ての地物を含む画像で表現される¹⁰⁾。航空レーザ測量で直接得られる高さのデータ画像をいう。

2) DEM 表示画像 (Fig4.8 ②)

この画像は、数値標高モデルといい、植生などの地物を取り除いた地表面のみからなる画像で表現される¹⁰⁾。DSM 画像により得られたデータから地表の高さを表したい場合、建物や樹木の高さを取り除くことが必要である。そのため、フィルタリングと呼ばれる地物を取り除く作業を行ってできた画像が DEM 画像である。

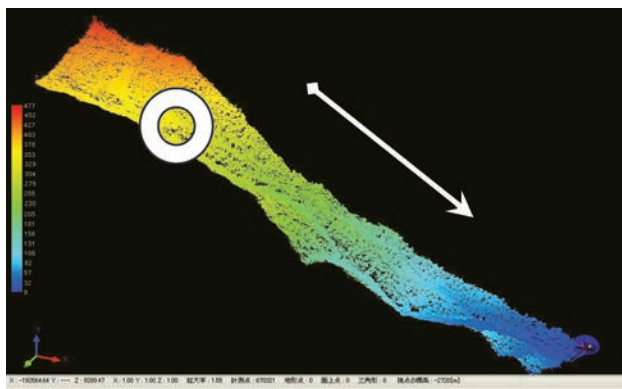
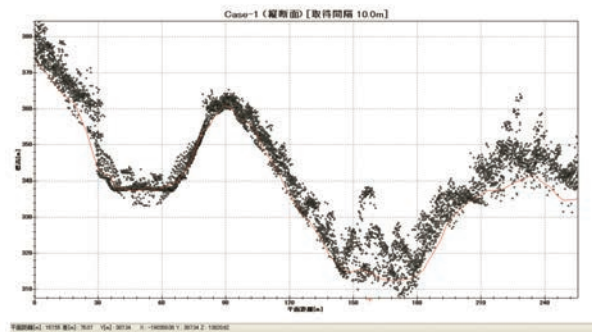
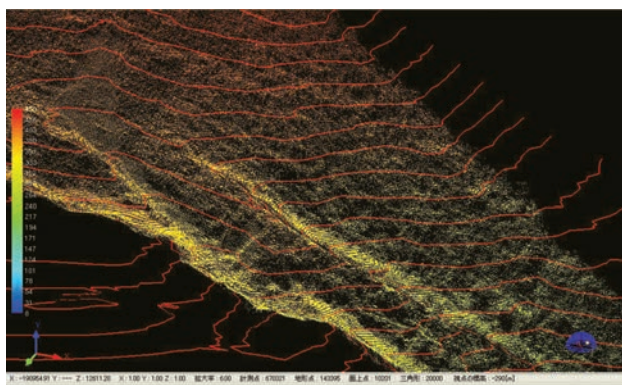


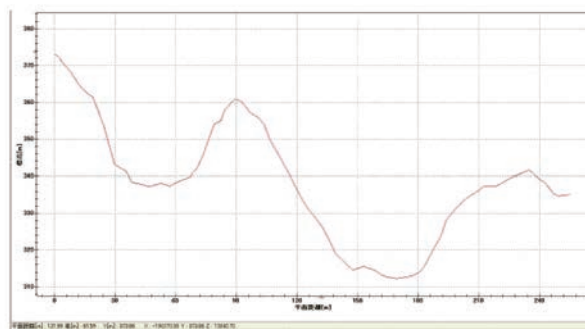
Fig4.6 白糸川流路全体画像



① DSM 表示画像

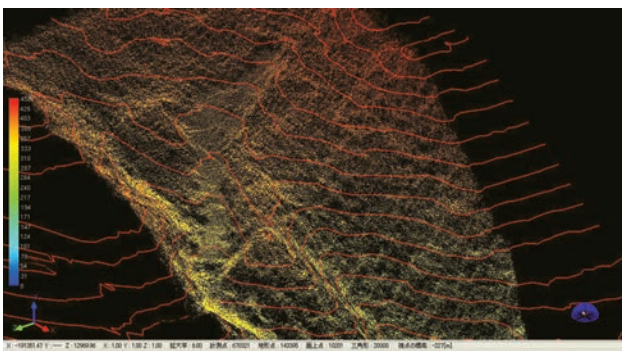


地形解析画像①

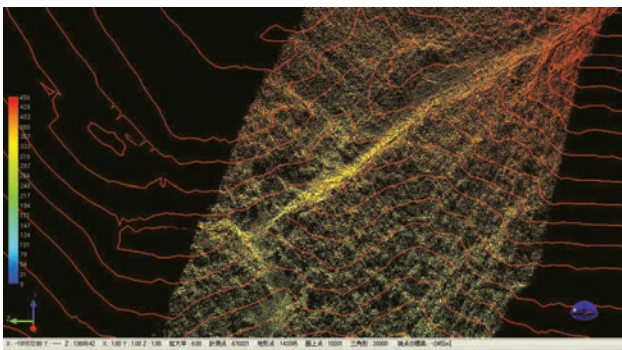


② DEM 表示画像

Fig4.8 横断面画像



地形解析画像②



地形解析画像③

Fig4.7 視点移動画像

5. 画像解析処理手順

航空レーザデータを解析処理していくためには、後述の3つの作業が重要となる。ここでは、その重要となる作業工程について簡単に示すこととした。

まず、計測データを三次元地形情報ソフトウェア上で解析していくための点群データを画面上に表示する。Fig5.1に点群データ表示画像を示す。



Fig5.1 点群データ表示画像

次に、フィルタリングを設定しサーフェスの作成を行う。サーフェスの作成は、画像解析をする中で大切な作業で、点群で表示されたデータにメッシュデータを作り、断面解

析を可能にするための準備段階に当たる。サーフェスを作成する為には、フィルタリング設定や TIN (Triangulated Irregular Network:内挿, 不整三画網モデル) 設定, グリidding設定等, 解析する画像に対して各設定を適用する。その際にそのそれぞれに最適な手法を決めなければならないが, ここでは, 画像の作成を行うためにそれぞれの設定ごとに, サーチアングル法, 修正トポロジー法, 双線形補間法の手法を用いた。Fig5.2にサーフェス作成画像を示す。

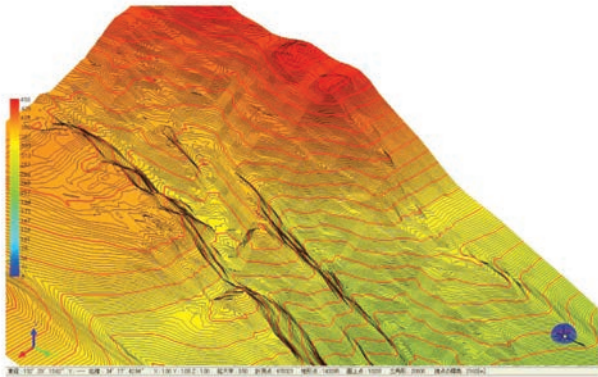


Fig5.2 サーフェス作成画像

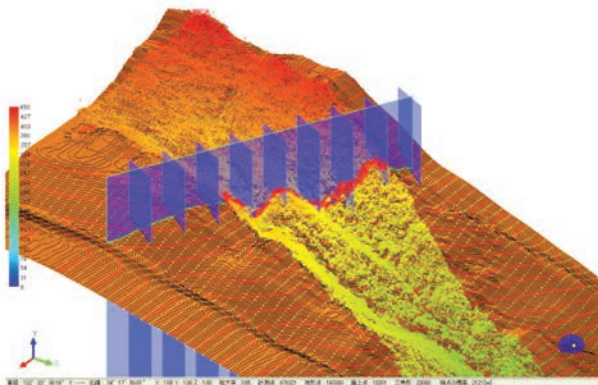


Fig5.3 任意断面表示画像

最後に, 縦横断面を作成するため, サーフェス画像を用いた画像上で任意断面を作成していく。手順としては, 解析したい断面の始点と終点を決めて解析を実行すると, 選択線上に透明なガラスのような印が現れる。この部分が任意断面となり, Fig4.8 の様な 2 種類の画像の表示が可能となる。Fig5.3 に任意断面表示画像を示す。

6. 堆積土砂量の推測

平成 17 年に発生した宮島土砂災害は, 宮島にある溪流のうち, 巖島神社から南方にのびる白糸川において, 上流部の駒ヶ林(標高 509m)の標高 400m 付近で崩壊が起り, 土石流が発生した。Fig6.1 に崩壊源頭部の写真を示す。

崩壊規模の算出方法として, 降雨量と移動土砂量から土石流の規模を推定する方法があるが, ここでは溪流斜面に



Fig6.1 崩壊現場写真

における堆積土砂量を標高データ(数値地図 1/25000)とレーザーデータの任意断面から計測・推定し, 災害の規模を推測するものである。

本研究で用いた標高データ(数値地図 1/25000)が平成 14 年度版であることから, 災害発生前の崩壊現場周辺の標高データとなる。ここでは, 災害後の航空レーザー計測データとの標高差から堆積土砂量の値を比較検討することとした。

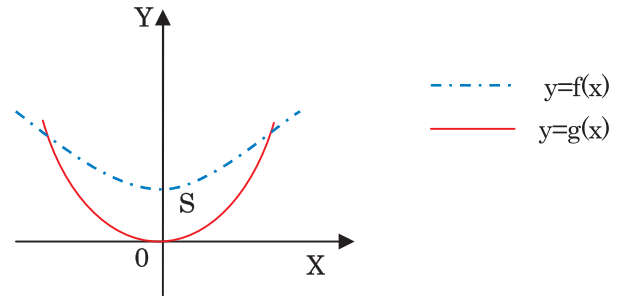


Fig6.2 堆積土砂量算出方法

$$S = \int_a^b \{f(x) - g(x)\} dx \quad \dots (a)$$

Fig6.2 に示す $f(x)$ は標高データを, $g(x)$ は航空レーザー計測データを指す。式(a)により各断面積を計算し, その和と単距離から流路全体の堆積土砂量の値とした。

災害の規模を推測するため, 標高データとして前述の Fig4.3 の流域画像から Fig6.3 に示す縦断面図, Fig6.4 に示す横断面図を作成した。このとき, 縦断面図は巖島神社南方の A 地点から崩壊現場がある C 地点までとした。また, 横断面図は崩壊現場の上流端から 30m の間隔で B 地点まで作成することとした。

Fig6.4 に示す緑枠部分に, 現在は 1 号堰堤が設置されている。そこで本研究では, 同箇所のデータである航空レーザー計測データ (Fig6.5) と標高データ (Fig6.4) を重ね合わせた画像を作製した。重ね合わせた画像を Fig6.6 に, 現在の 1 号堰堤の全貌を Fig6.7 にそれぞれ示す。

流路上での緯度・経度と航空レーザーデータ上の緯度・経度を同一に重ね合わせたのち, 平均断面法を用いて堆積土砂量の推測を行った。流路全体の堆積土砂量の算出結果は, Table6.1 の計算結果の合計と残りの No.11 ~ 40 の合

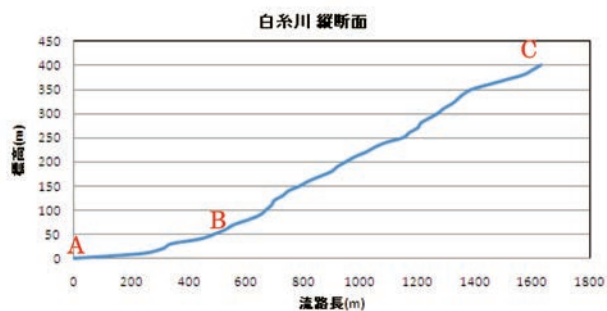


Fig6.3 白糸川縦断面図



Fig6.4 標高データ

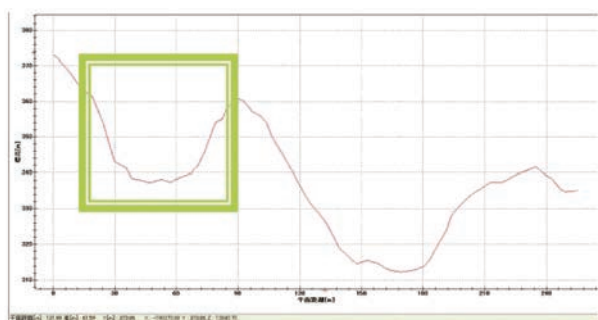


Fig6.5 航空レーザ計測データ

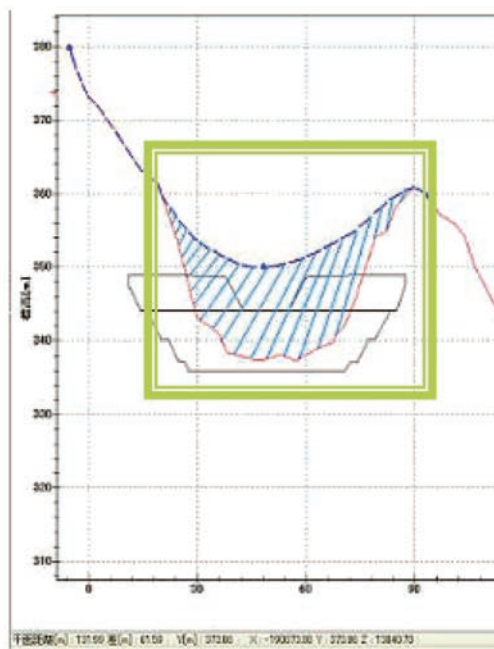


Fig6.6 重ね合わせた画像



Fig6.7 1号堰堤の現場写真

計からなる。以下に示すデータは、崩壊源頭部 (No.1 : C地点) から中流端 (No.40 : B地点) までの横断面の差分面積を堆積土砂量とし、集計したものである。Table6.2に集計結果を示す。

7. 航空レーザ計測データによる災害後の状況結果

航空レーザの利点である三次元点群データから、植生を含む崩壊現場周辺のデータおよび地形の凹凸データなど、地図上では見ることのできない詳細なデータが得られた。

本稿で算出した堆積土砂量は 289,582.2 m³ となった。この算出量は平成 17 年 9 月の災害により発生流下した全土砂量を意味する。しかしながら、この流域は風化花崗岩土によって覆われているので、広島県土木建築部河川砂防総室砂防室では、災害後の対応として残留分が 16,210.0 m³ ありとして砂防堰堤の設置をしている¹¹⁾。今後の山地斜面の風化の進行を考慮すると、さらに不安定土砂量は増加す

Table6.1 堆積土砂量の算出 (No.1 - 10)

測点 No.	平均断面積 (m ²)	区間距離 (m)	堆積土砂量 (m ³)
1	533.34	30	0
2	555.00	30	16500.0
3	616.67	30	18500.1
4	566.67	30	17000.1
5	366.66	30	10999.8
6	91.66	30	2749.8
7	-75.01	30	-2250.3
8	166.66	30	4999.8
9	426.38	30	12791.4
10	343.05	30	10291.5

Table6.2 集計結果

堆積土砂量 (m ³)	289582.2
不安定土砂量 (m ³)	16210.0

る傾向がある。従ってこの不安定土砂量は今後の災害により貯留する限界の土砂量である。

また現段階で発生した問題点は、断面を作成した際に Fig6.6 に示す様に流路上での標高差が大きい事である。そこで標高データ（数値地図 1/25000）を大縮尺データにし、現地標高を明確にして誤差を失くし、相関性を高める必要があると考えられる。

8. おわりに

平成 17 年宮島土砂災害で土砂流が発生した白糸川について、航空レーザー計測データを用い、地形の変状を三次元点群データとして表した。また、数値地図から標高を読み取り、標高データとして航空レーザー計測データと重ね合わせることで、堆積土砂量の推測を行った。ここに得られた結果を以下に要約する。

- 1) 航空レーザー計測は、能動的センシングであること、樹木下での地盤高推定ができること、基準点（標準点）が不要であることなどの特性を有すると共に、三次元広域データの作成を提供する。
- 2) 航空レーザー計測による表示画像は、三次元点群データで表したデータの他に DSM 画像、DEM 画像の二種類の画像が作成可能である。
- 3) 航空レーザー計測データの解析処理を行う際、サーフェスの作成とフィルタリング処理が重要な鍵となるため、ここでは数ある方法の中でよく用いられているサーチアングル法、修正トポロジー法、双線形補間法を用いて作成する。
- 4) 標高データと航空レーザー計測データを重ね合わせる事で災害前の堆積土砂量の算定が可能となる。
- 5) 今後の山地斜面の風化の進行を考慮すると、さらに不安定土砂量は増加する恐れがある。

謝 辞

本研究に使用した航空レーザー計測データは、ECR (株) から使用許諾を受けたデータである。また、三次元地形情報処理ソフトは、地層科学研究所より許諾を受けたソフトである。

参考文献

- 1) 内閣府編：平成 21 年度版防災白書，pp.20～21，2009.
- 2) 国土地理院 地理調査部社会地理課：http://www1.gsi.go.jp/geowww/Laser_HP/senmon.html
- 3) 国土調査：「土地分類基本調査（厳島）」pp.15，1979.
- 4) 国土調査：「土地分類基本調査（厳島）」pp.13，1979.
- 5) 島重章：「岩国・宮島の被災について（速報）」，土木学会誌，第 90 巻，第 11 号，pp.48～50，2005.
- 6) 大阪管区気象台 気象災害資料：<http://www.jma-net.go.jp/osaka/saigai/saiga.html>
- 7) 海堀正博，浦真，吉村正徳，藤本英治：「2005 年 9 月 6 日広島県宮島で発生した土石流災害」，砂防学会誌，第 58 巻，第 5 号，pp.18～21，2006.
- 8) 財団法人日本測量調査技術協会：「図解 航空レーザー計測」，pp.21，2008.
- 9) 財団法人日本測量調査技術協会：「図解 航空レーザー計測」，pp. 9～10，2008.
- 10) 古今書院：「地理」，第 55 巻，第 9 月号，pp.12～13，2010.
- 11) 広島県土木建築部河川砂防室総室砂防室：「砂防技術指針」，2001.