

# 金峯神社周辺地盤の安定性評価

片山諒辰<sup>1</sup> 小柏尚己<sup>1</sup> 小松博英<sup>1</sup> 西村凌介<sup>1</sup>  
大内雅博<sup>2\*</sup>

(受領日：2017年5月8日)

<sup>1</sup> 高知工科大学大学院工学研究科基礎工学専攻社会システム工学コース修士課程  
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

<sup>2</sup> 高知工科大学システム工学群教授  
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

\* E-mail: ouchi.masahiro@kochi-tech.ac.jp

要約：金峯神社は高知県香美市土佐山田町佐岡地区内にあり、里山基盤科学技術の社会実装モデルプロジェクト（佐岡プロジェクト）の活動拠点地となる古民家北側に位置している。古民家および神社周辺は高知県の土砂災害警戒区域に指定をされており、神社南側斜面には根曲りした樹木が多く見受けられるなど、がけ崩れの痕跡が確認されている。本研究では、最新の測量および地理情報システム技術を用いて、地盤の安定性を評価した。さらに、当該斜面における立木調査を行い、樹木伐採による斜面安定性の向上効果を推定した。

## 1. はじめに

金峯神社は高知県香美市土佐山田町佐岡地区内にあり、里山基盤科学技術の社会実装モデルプロジェクト（佐岡プロジェクト）の活動拠点地となる古民家北側に位置する。古民家および神社周辺は高知県の土砂災害警戒区域に指定をされており、神社南側斜面には根曲りした樹木が多く見受けられるなど、がけ崩れの痕跡が確認されている（図1）。本調査は、大学院修士課程の講義であるセミナーにおいて、金峯神社周辺地盤を対象に斜面安定解析により現状の斜面の安定性を評価するものである。また、その事前調査として神社周辺の平面図測量、ボーリング調査および土質試験、樹木重量の推定を行った。斜面安定解析に必要な調査項目を示す（図2）。



図1. 金峯神社南側斜面



図2. 金峯神社周辺の調査項目

## 2. 金峯神社周辺の平面図測量

### 2.1 基準点測量

GNSS測量の実施にあたり、基準点位置の検討を行った。金峯神社周辺は樹木が密集しており、人工衛星からの電波を受信するのに十分な上空視界を確保することが困難である。そこで、神社南側の古

民家近くの畑および神社北側の舗装道路上に基準点を設置し、スタティック法により観測を行った。図3に使用器械を、図4に観測計画図を示す。

基準点の位置計算はトプコン社の3次元網平均計算ソフト（GNSS-Pro）を使用し、近傍の電子基準点

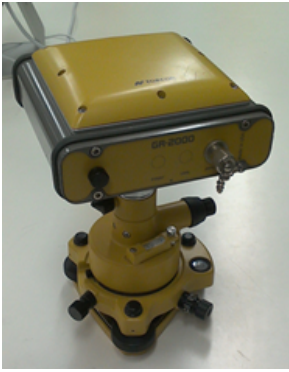


図 3. GNSS 受信機



図 4. 観測計画図

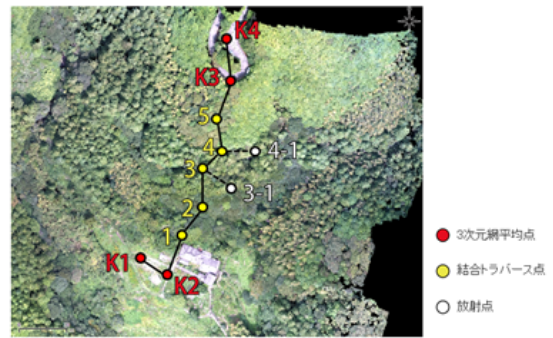


図 5. 基準点位置図

表 1. 測量成果 (GNSS)

点名	X 座標 (m)	Y 座標 (m)	Z 座標 (m)
K1	71715.427	20209.179	126.536
K2	71704.878	20224.281	126.628
K3	71829.509	20625.164	192.699
K4	71855.743	20262.891	195.884

表 2. 測量成果 (TS)

点名	X 座標 (m)	Y 座標 (m)	Z 座標 (m)
1	71724.975	20235.159	—
2	71741.527	20245.118	—
3	71771.731	20247.204	156.923
4	71777.373	20266.520	162.026
5	71802.157	20258.540	180.330

を既知点として計算を行った。表 1 に測量成果を示す。次に GNSS 測量により求めた基準点を既知点として、TS を用いて単路線結合トラバースを実施した。TS は距離と角度を同時に測定できる器械であり、測量現場で一般的に使用される器械である。また、後続の地形測量用に放射トラバース点の設置も行った。表 2 に測量結果を、図 5 に基準点位置図を示す。

## 2.2 SfM による神社周辺の 3 次元モデル作成

一般に平面図の作成には TS を用いることが多いが、神社や石段などの形状を細かに測定するには、やや時間のかかる方法となる。そこで、写真測量の手法である SfM により地物の 3 次元モデルを作成し、オルソ化した画像を QGIS 上でトレーシングすることで効率的に地物の位置を求めることにした。画像取得は手持ち状態のデジタルカメラにより行い、鳥居から境内周辺を 350 枚撮影し、Agisoft 社のフォトスキャンにより処理を行った。図 6 に作成した 3 次元メッシュを示す。点群データの幾何補正は

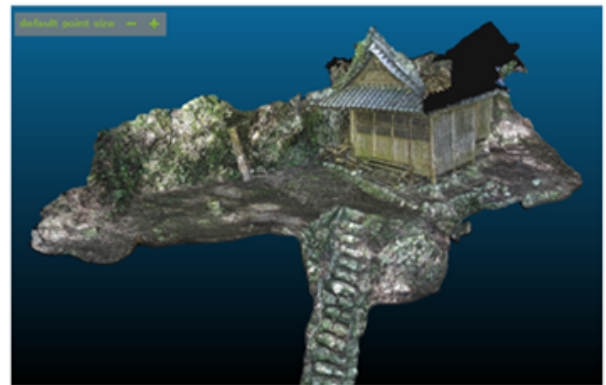


図 6. 3 次元メッシュ



図 7. オルソ画像

3 次元アフィン変換により行った。幾何補正の平均二乗誤差は  $RMSE_{xy} = 0.002m$  である。また、幾何補正後の点群データのオルソ画像化は、フリーソフトであるクラウドコンペアを用いて処理を行った。図 7 に作成したオルソ画像を示す。

## 2.3 地形測量

等高線の作成は TS を用いた横断測量により行った。横断測量は境内に設けた基線に対し直角方向の地形変化を観測するものである (図 8)。



図 8. 横断観測位置

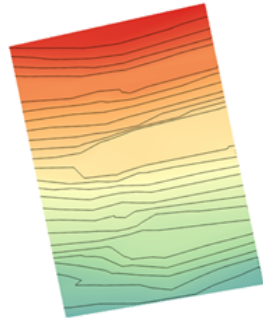


図 9. 標高分布図



図 11. 金峯神社の遷座方向

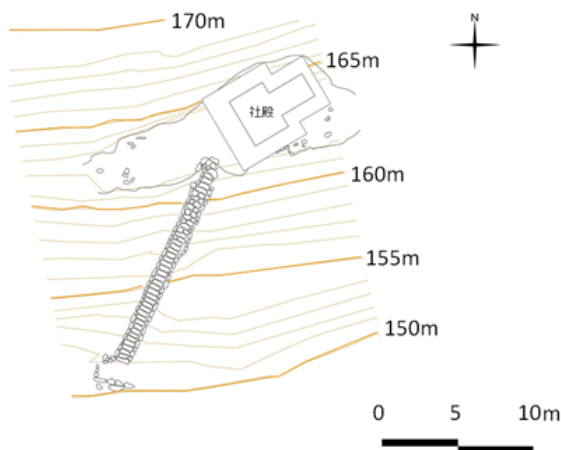


図 10. 並行図

標高分布図は横断測量により求めた測点の座標値を QGIS で点補完したものであり、これより 1 m 間隔の等高線を抽出した (図 9)。

地物のトレーシングデータと等高線データを重ね合わせた金峯神社周辺の平面図を示す (図 10)。

金峯神社は修験道とゆかりの深い神社であることから、遷座方向について渡辺<sup>1)</sup>らは、信仰上の理由があることを指摘している。そこで、作成した平面図内の社殿中心線を御在所山方向に延長させ、葦生大山神社との位置関係を調査した。その結果、金峯神社の社殿中心線は葦生大山神社に対して約 1 度のずれであることがわかり、金峯神社は葦生大山神社に正対して建立されたと推測した (図 11)。

### 3. 立木調査

#### 3.1 目的

この調査の目的は測量範囲内の立木、特に金峯神社北側斜面にあるカシの木の重量が斜面の安定性評価にどの程度影響するかを調査することである。

立木数、樹高、胸高直径 (地面から 1~2m の高さの直径) などの調査結果から材積と重量を求め、



図 12. GPS ロガーを用いた調査

最終的な立木の総重量を斜面安定解析に反映させることとした。

#### 3.2 立木位置・樹種・胸高直径の調査

測量した範囲内でどんな種類の立木が分布しているかを把握するために、主な立木の位置と樹種、また、後述する材積を算定するために胸高直径を測定した。

立木位置は 2 種類の方法を用いて調査した。1 つ目の方法は、GPS ロガーを用いた位置測定方法である (図 12)。立木の横で GPS ロガーの位置情報を取得した (図 13)。

しかし、GPS ロガーの精度の問題で、正確な立木位置を測定することができなかった。

そこで、2 つ目の方法として、レーザー距離計を用いた立木の位置測定を行った (図 14)。予め測量した基準点を利用し、レーザー距離計を原点とした座標系で立木位置を求め、測量した地形平面図に反映させた (図 15)。この時、合わせて胸高直径を調査した。測定にはノギスを用いた (図 16)。基準点をもとに測量を行ったため、現地で立木位置を確認しても遜色の無い、正確な測量結果を得ることができた。

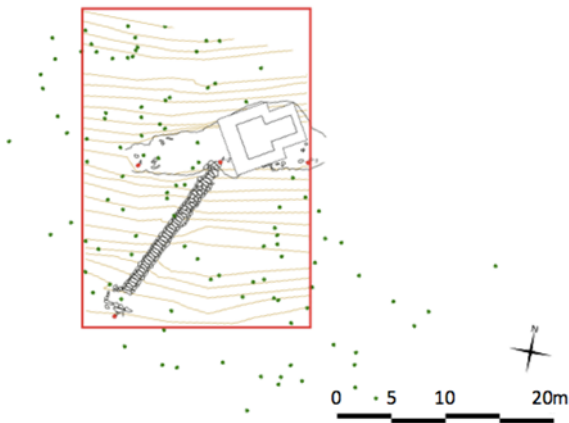


図 13. GPS ロガーで測定した樹木位置



図 14. レーザー距離計



図 15. レーザー距離計で測定した樹木位置



図 16. 胸高直径の測定

### 3.3 樹高の測定

位置測定した立木の樹高を求める。ここでは様々な測定方法の検討を行った。主に、三角比の原理を用いた方法と TS を用いた測量、オルソ画像を用いた測定方法などを検討した (図 17)。

この方法は、見通しの悪い現地で頂点 A と下端 B を目視しづらいこと、また辺  $\alpha$ 、 $\beta$ 、それぞれの長さを求めることが困難である。TS での測量は重い機材を運ぶ手間、機械を現地で設置する手間などが課題となった。そこで、オルソ画像と地表面の標高データから大まかな樹高を求める方法を採用した (図 18)。写真左がオルソ画像、右は樹冠 (樹木の頂点付近) の標高データ画像である。標高データは、赤色は標高が高く、青色は標高が低い場所を示している。オルソ画像から樹冠部分の標高を取得し、地形測量の結果から得た標高データとの差を、それぞれの樹木の樹高とした。

このように求めた樹高の精度を検証するために、現地でのレーザーによる測量も行った。根元から樹冠部分まで見通せる樹木を数本選び、レーザー距離計で樹木の高さを測定して、オルソ画像で求めた樹高と比較した。オルソ画像とレーザーそれぞれの測定結果に大きな差は見られず、おおよそ正しい樹高をオルソ画像から求められたと考える。

### 3.4 材積と重量の算定

これまで求めた樹種、胸高直径、樹高などから材積を算定した (図 19)。材積算定には、国立研究法人森林総合研究所が作成した「幹材積計算プログラム」を使用した。求めた材積に、樹種ごとの密度を乗じたものが樹木の重量となる。

測定した 111 本の立木のうち、地形測量範囲内の 96 本の樹木の総重量は合計 18.57t となった。金峯

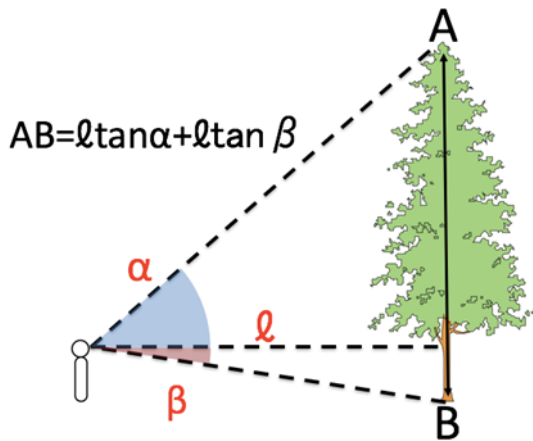


図 17. 三角比を用いた樹高測定

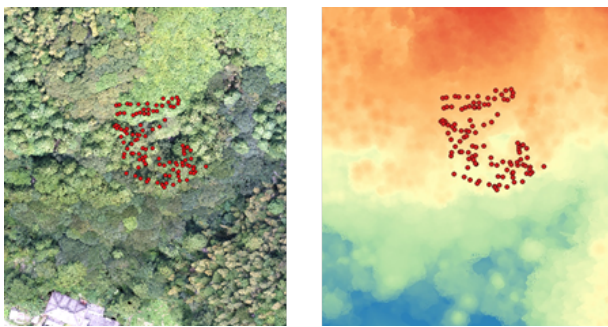


図 18. オルソ画像と樹冠標高データ

神社北側斜面のカシの木単体の重量は 2.70t となった。以下、これら樹木の重量を考慮して斜面の安定解析を行い、斜面安定性確保のために樹木の撤去が必要かどうかなどを検討することとした。

## 4. 地盤調査

### 4.1 ボーリング調査

古民家周辺の地盤状況の把握、また金峯神社南側の斜面に対し安定解析を行うため、ボーリング調査を行い、深度 0.0m～10.0m の試料を採取した。調査位置は古民家の南に位置する農地（北緯 33°38'47" 東経 133°43'04"）、調査は「株式会社相愛」に依頼した。期間は平成 28 年 7 月 27 日～28 年 8 月 6 日の 11 日間行った。ボーリング調査位置と斜面安定解析の調査範囲を示す（図 20）。

### 4.2 調査結果

ボーリング調査の結果、約 3.5m を境に礫の層から岩の層に変わっており、N 値が大きくなっていることがわかった。また、地下水の位置は深度約 6m であることがわかった。図 21 に調査結果を図 22、に採取したコア写真を示す。

表 3. 供試体の情報

供試体	i	ii	iii
直径 cm	5.02	5.02	5.01
	5.02	5.03	5
	5.02	5.02	5.01
平均直径 $H_i$ cm	5.02	5.02	5.01
高さ cm	9.85	10.05	9.97
	9.86	10.06	9.96
	9.86	10.05	9.96
平均高さ $D_i$ cm	9.86	10.05	9.96
体積 $V_i$	195.15	198.91	196.35
含水比 $\omega_i$ %	34.3	34.3	34.3
質量 $m_i$ g	337.9	338.84	338.43
湿潤密度 $\rho_{li}$ g/cm <sup>3</sup>	1.731	1.703	1.724
乾燥密度 $\rho_{di}$ g/cm <sup>3</sup>	1.289	1.268	1.284
炉乾燥質量 $m_s$ g	251.6	252.3	252

表 4. 試験結果と強度定数

供試体	i	ii	iii
圧密応力	30	50	80
圧縮強さ $(\rho_a - \rho_r)_{max}$	369	370	443
軸ひずみ $\epsilon_{br}$	2	2.5	3.5
強度定数	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi^\circ$	$\tan \phi$
	94.2	26.8	0.504

### 4.3 非圧密非排水 (UU) 三軸圧縮試験

ボーリング調査により採取したコアを非圧密非排水 (UU) 三軸圧縮試験にかけ土の強度測定を行った。試験は供試体をゴムスリーブに入れ、水で満たした三軸室内に入れる。更に、三軸室内の水に圧力をかけることで地中での土圧を再現した。試験は供試体を 3 つ用意し（表 3）、圧密応力を変えて 3 回行った。圧密応力が 30、50、80 (kN/m<sup>2</sup>) の供試体をそれぞれ i、ii、iii とした。試験の結果、供試体 i、ii の圧縮強度が 369、370 (kN/m<sup>2</sup>) であったのに対し、供試体 ii の値が 443 kN/m<sup>2</sup> と大きく外れた。結果を基にモールの応力円を描き、クーロンの式の関係から土の強度定数  $c$  と  $\phi$  を求めた。表 4 に試験結果を、図 23 にモールの応力円図を示す。

## 5. 斜面安定解析

### 5.1 解析を行う斜面

解析を行う斜面は、金峯神社より下方向に二面、東側を斜面 A、西側を斜面 B、上方向を斜面 C とする 3 か所である（図 24）。

	緯度	経度	種類	直径 (cm)	地上 (m)	樹冠 (m)	樹高 (m)	材積 (m <sup>3</sup> )
3	33.64703	133.7185	スギ	25.6	161.9	178.3	16.4	0.4
4	33.64703	133.7185	スギ	29.6	161.1	178.8	17.7	0.6
5	33.64703	133.7185	スギ	25.5	161.0	179.0	18.0	0.4
				⋮				
				⋮				
				⋮				
108	33.64701	133.7184	スギ	10.4		175.5		
109	33.64702	133.7185		7.6	159.4	177.2	17.8	
110	33.64695	133.7184		25.8		172.1		
111	33.64712	133.7186	カシ	82.2	168.1	180.9	12.8	2.7

地域と樹種	直径 (cm)	樹高 (m)	F列の数式	幹材積 (m <sup>3</sup> )
高知スギ	20	16	=StemVolume (B21, C21, D21)	0.25
	20	16	=StemVolume ("東京スギ", C22, D22)	0.25
			=StemVolume ("東京スギ", 20, 16)	0.25
高知広葉樹	20.1	16.3	=StemVolume (B24, C24, D24)	0.24
東京スギ	20.1	16.3	=ROUND (StemVolume (B25, C25, D25), 2)	0.26
東京スギ	20.1		=StemVolume (B26, C26, D26)	0
東京スギ	20.1	-16.3	=StemVolume (B27, C27, D27)	#VALUE!
東京スギ	20.1	欠測	=StemVolume (B28, C28, D28)	#VALUE!
東京シダ	20.1	16.3	=StemVolume (B29, C29, D29)	東京シダという材積
	20.1	16.3	=StemVolume (B30, C30, D30)	地域と樹種が空白で
			=StemVolume (B31, C31, D31)	書式は'=StemVolume

## 重量

合計: 18.57t  
カシの木: 1.86t

図 19. 木材積の算定結果



図 20. ボーリング調査位置と斜面安定解析範囲

### 5.2 安全率の算出条件

ボーリング調査結果より想定する地質層を、地表面から粘土質礫、粘土質砂礫、岩盤があるものと設定した (表 5)。岩盤は変形しないものとした、すべり面は円弧滑りとし、地滑りの両端を通り岩盤に接するように設定した。すべり面の端点は樹木の根

表 5. 想定する地質層の強度定数

	粘着力 C (kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 $\phi$ (°)	単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
粘土質礫	94.2	26.8	19
粘土質砂礫	0	37.5	20

表 6. 樹木伐採による安全率向上の算定

	安全率	
	伐採前	伐採後
斜面 A	2.504	2.517
斜面 B	2.193	2.204
斜面 C	2.007	2.279

曲がり方向と根曲がりを生じている樹木の範囲で判断した。斜面安定解析は RSSA (ライズ斜面設計株式会社) を使用した。

### 5.3 樹木伐採前後の解析結果

木の重量を除く前後で解析を行い、樹木を伐採した状態を再現し安全率の変化を検討した。安全率の変化は表 6 の通りである。斜面安定解析の結果、



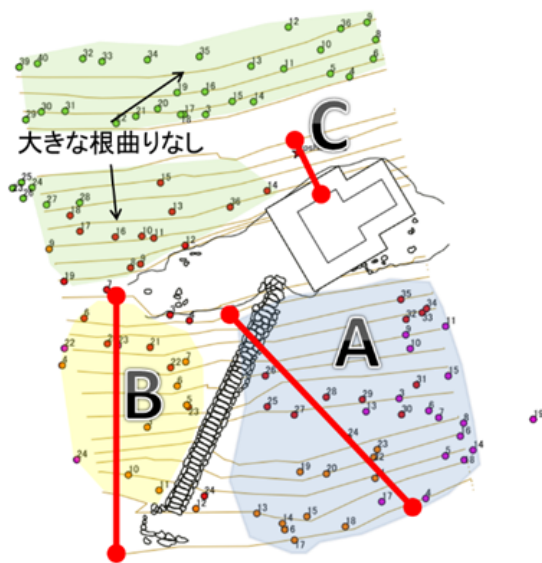


図 24. 解析対象の斜面

## 文献

- 1) 高知工科大学社会システムコース, “香美市の中山間地域における古民家周辺の聖地・葬地の現況”, 2016.
- 2) 解析ソフトウェア RSSA (ライズ斜面設計株式会社) [http://riseslopedesign.com/info/upload\\_rssa/](http://riseslopedesign.com/info/upload_rssa/)



# Slope Stability around Kanamine Shrine with Photogrammetry and GIS

**Akinobu Katayama<sup>1</sup> Naoki Kogashiwa<sup>1</sup> Hirohide Komatsu<sup>1</sup>  
Ryosuke Nishimura<sup>1</sup> Masahiro Ouchi<sup>2\*</sup>**

(Received: May 8th, 2017)

<sup>1</sup> Master course student, Graduate School of Kochi University of Technology  
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782–8502, JAPAN

<sup>2\*</sup> Professor, Kochi University of Technology  
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782–8502, JAPAN

\* E-mail: [ouchi.masahiro@kochi-tech.ac.jp](mailto:ouchi.masahiro@kochi-tech.ac.jp)

**Abstract:** The authors estimated the slope stability around Kanamine Shrine, Kochi, Japan with digital surveying and GIS technology as a model case of efficient estimation of slope stability.

Also the trees living on the slopes were surveyed and its enhancement in the stability of the slope was estimated.