

木灰コンクリートを用いた 斜面保護ブロックの設計、作成と施工

鈴木 麻由¹ 谷野 正和¹ 藤原 匠¹

竹内 悠一郎² 大内 雅博^{3*}

(受領日：2018年5月9日)

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

² 高知工科大学大学院修士課程 工学研究科基礎工学専攻環境数理コース
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

³ 高知工科大学教授 システム工学群
〒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：高知工科大学による里山基盤科学技術の社会実装モデルプロジェクト（通称：佐岡プロジェクト）の一環として、高知県香美市佐岡地区の斜面中の金嶺神社社地の安定化に取り組んでいる。同社地の山側崖上に生育している御神木の倒壊防止のため樹勢回復のための選定作業を行い、その数量をSfMにより効率的に測定した。SfMによる測量結果を用いたボクセルモデルから斜面の断面図を作成し、木灰を用いた斜面保護ブロックの寸法を安定計算により決定した。ブロックの施工に際しては同配合の木灰コンクリートを裏込め材とした。ブロック本体、および斜面との間の裏込め材の現場製造のための材料の運搬に際しては安全かつ効率に課題があることが分かった。

1. はじめに

高知工科大学による里山基盤科学技術の社会実装モデルプロジェクト（通称：佐岡プロジェクト）の一環として、高知県香美市佐岡地区の斜面中の金嶺神社社地の安定化に取り組んでいる。2016年に老朽化のため取り壊すまで金嶺神社が鎮座していた山側崖上には、御神木であるコバンモチの巨木がある（図1）。御神木直下の崖はえぐれて根がむき出しとなり、木の勢いが衰え、社地に倒れこむ危険性があった（図2）。本研究では、樹勢回復のための剪定作業と、斜面保護の検討を行った。斜面保護を行う場合、一般的にコンクリートを使用し、現場打ちをする場合がほとんどである。しかし、対象地周辺の道幅は狭く機材の侵入が困難であり、人

力のみ作業になることを想定した。

そこで、本研究では木灰コンクリートに着目した。木灰コンクリートは木灰に消石灰と水を混ぜることにより硬化する¹⁾。一般のコンクリートの単位体積重量が約23 kN/m³であるのに対し、木灰コンクリートは約17 kN/m³であり軽量だからである。また、木灰コンクリートは肥料としても用いられる木灰と、土壌中和剤としても用いられる消石灰のみを原料としているため、役目を終えた際には樹木育成の養分としての環境循環型素材となり得る、これまでコンクリートが抱えていた物質循環の問題を解決する可能性がある。以上の理由から木灰コンクリートを採用した。



図 1. 御神木



図 3. 幹と枝の接触部



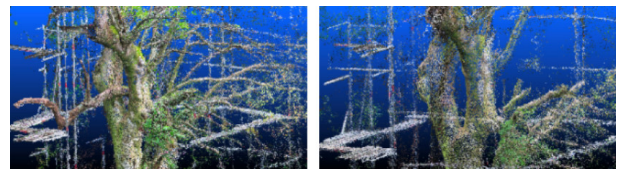
図 2. えぐれた斜面



図 4. 剪定作業

2. 樹木の剪定

御神木（コバンモチ）の枝の多くは枯れていた。また、幹と枝がこすれあい、腐食の進んでいる箇所も見受けられた（図3）。そこで剪定作業を実施した（図4）。剪定作業の前後には写真測量の手法の一つである SfM（Structure from Motion）を行った。SfM は、複数の写真からカメラの撮影地点や物体の三次元形状を点群として復元する手法である。今回は剪定前と剪定後ともに足場に登り 300 枚程度の写真を撮影し、Agisoft 社の PhotoScan により処理を行った（図5）。剪定前後を比較すると、明らかに枝の本数が減っていた。今後、剪定前後の点群を比較することで、剪定した材量も算出可能となる。



(a) (b)

図 5. 剪定前 (a) と剪定後 (b) の点群

3. 斜面保護ブロックの設計

3.1 設計のコンセプト

保護ブロックの断面図のイメージと、設置に必要な諸量の算出フローを示す（図6）。対象とする斜面はオーバーハングしており、根がむき出しとなっている。そのため、全ての裏込め材に木灰コンクリートを用いると、根と接触する箇所ができる。木灰は強アルカリ性であるため、根と接することは可能な限り避けなければならない。

そこで、一部裏込め材に現地の土を使用した。裏込め土の算出にはボクセルモデルから作成した断

面図により算出した。また、保護ブロックを sketch up により作成し、ボクセルモデルと重ね合わせることで裏込め木灰コンクリートの量も算出した。

3.2 SfM による斜面の現地測量とボクセルモデルによる断面図作成

保護ブロック設置箇所の現地測量を前章と同様に SfM を用いて行った。取得した点群を示す（図7）。この測量は斜面の三次元形状を把握することが目的であるため、基準点を設置していないが、スケール変換のためにスタッフを用いた。

取得した点群数は 35,505,556 点（1 cm² あたり約 100 点）と高密度であるが、作成する断面図は 20 cm 間隔である。

そこで、ボクセルモデル（図8）を用いてデータ量を削減した。ボクセルモデルとは、三次元空間の微小立方体で区切り、それぞれの微小立方体に属性

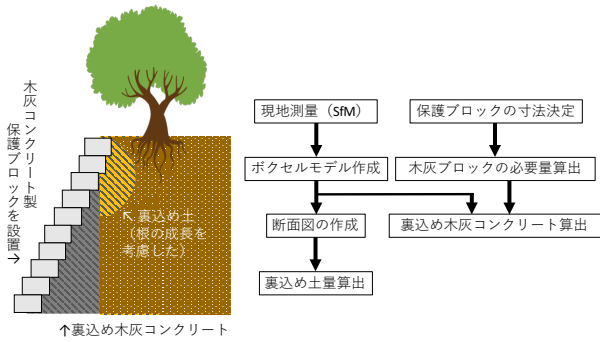


図 6. 保護ブロックの断面と諸量算出フロー

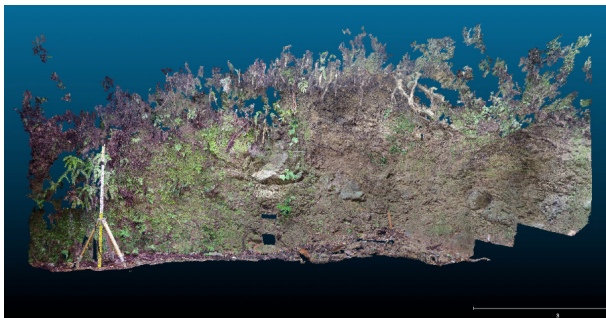


図 7. 保護ブロック設置箇所の点群

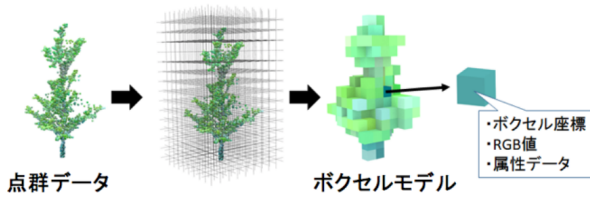


図 8. ボクセルモデル

値を付与したデータモデルである。点群データはデータ量が膨大かつ、一つ一つの点の配置がバラバラで不均質であるため扱いにくい。ボクセル化することにより、点群データを均質にし、かつデータ量を大幅に削減できるため、ボクセル化はデータ量が膨大な三次元計測データの処理に有効である²⁾。今回のボクセルサイズは20cmである。ボクセル化後の点群数は2,413点となり約15万分の1にまで点群を減らすことができた。今回ボクセルの属性には、ボクセル座標とRGB値のみを付与している。

オーバーハングしている1.6m区間で断面図を20cm間隔で作成した(図9)。作成した断面図の例を示す(1.6m区間の左から0.0m、0.8m、1.6m)(図10)。断面図は横軸に視線方向の距離、縦軸に高さを示している。なお、今回はスケール変換のみであるため座標は相対的なものとなる。断面図から、中央にかけて裏込め土量が必要であることがわかった。すべての区間で土量を算出した結果、1.6³必

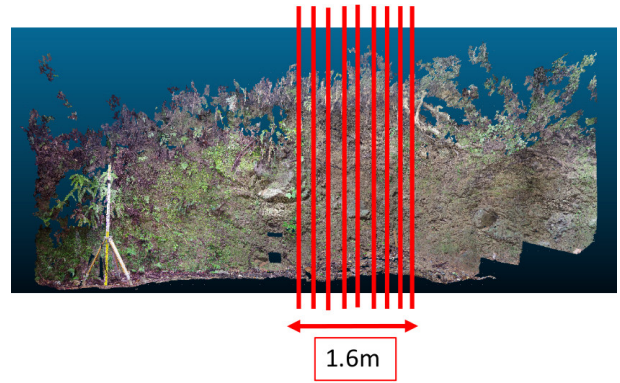


図 9. 断面図作成位置

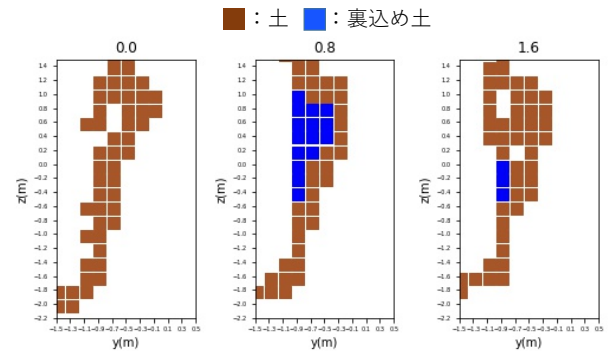


図 10. ボクセルモデルにより作成した断面図

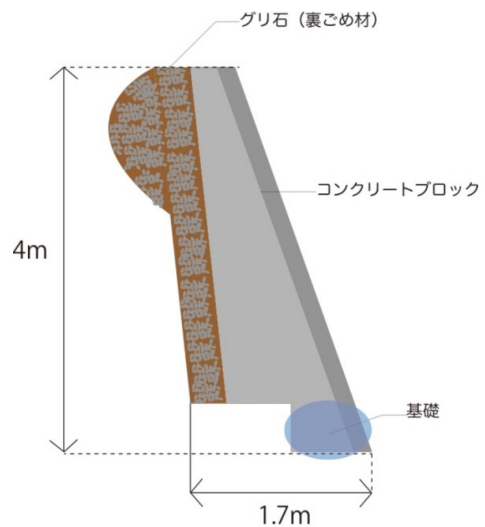


図 11. 斜面保護ブロック全体イメージ

要であった。

3.3 斜面保護ブロックの設計と耐力計算

測定の結果から斜面保護ブロックの全体寸法は幅4m、高さ4mとし、下部の奥行き1.7m、上部の奥行きを0.4mとした。擁壁の勾配は擁壁工指針から1:0.4を採用した(図11)。

擁壁工指針から試行くさび法の計算式(式1)

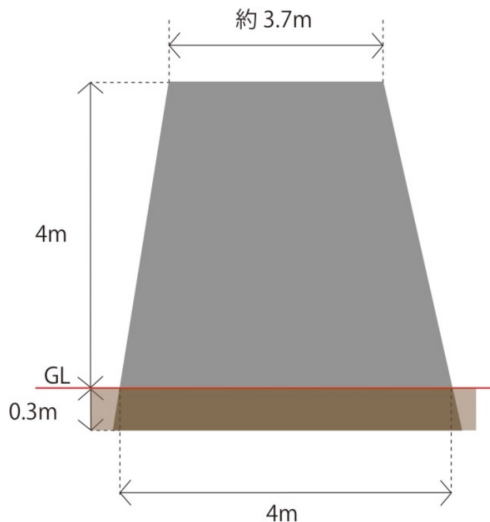


図 12. 斜面保護ブロック正面イメージ

(式 2) を用い、主働土圧を 141.5 kN と求めた。

$$P = \frac{1}{2} K_p \cdot \gamma \cdot H^2 \quad (\text{式 1})$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos(\alpha + \delta) \cdot \cos^2 \alpha \left\{ 1 + \sqrt{\frac{A}{B}} \right\}^2} \quad (\text{式 2})$$

$$A = \sin(\varphi + \alpha) \sin(\varphi - \beta)$$

$$B = \cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)$$

主働土圧合力 : $P = 35.4 \text{ kN/m}$

主働土圧係数 : $K_p = 0.2211$, $\delta = 17.9^\circ$

壁背面と鉛直面のなす角 : $\alpha = 16.9^\circ$

法面傾斜角 : $\beta = 33.7^\circ$

裏込め土の単位体積重量 : $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

裏込め土の剪断抵抗角 : $\varphi = 37.5^\circ$

主働土圧 : $P = 141.5 \text{ kN}$

まず sketch up から保護ブロック全体の体積が 24 m^3 であることが分かった。次にグリ石の体積を求め (式 3)、全体の体積からグリ石の体積を引き (式 4)、木灰コンクリートの単位体積重量から木灰コンクリートの重量を算出した (式 5)。

$$4 \text{ m} \times (2 \text{ m} + 4 \text{ m}) \times 1/2 \times 4 \text{ m} = 4.8 \text{ m}^3 \quad (\text{式 3})$$

$$24 - 4.8 = 19.8 \text{ m}^3 \quad (\text{式 4})$$

$$19.8 \text{ m}^3 \times 17 \text{ kN/m}^3 = 336.6 \text{ kN} \quad (\text{式 5})$$

グリ石の比重 25.5 kN/m^3 から試行くさび法の計算式 (式 1) (式 2) を用いて、グリ石の断面図上での主働土圧を算出し (式 6)、グリ石を込める幅を



図 13. 金属型枠

代入してグリ石の主働土圧を計算した (式 7)。

$$p' = 45.1 \text{ kN/m} \quad (\text{式 6})$$

$$P' = 180.3 \text{ kN} \quad (\text{式 7})$$

グリ石と背面土の主働土圧を算出し (式 8)、全体の主働土圧より保護ブロック全体の重量の方が大きいため (式 9)、土圧に耐えられると判断した。

$$141.5 \text{ kN} + 180.3 \text{ kN} = 321.8 \text{ kN} \quad (\text{式 8})$$

$$387.6 \text{ kN} > 321.8 \text{ kN} \quad (\text{式 9})$$

全体の主働土圧より保護ブロック全体の重量の方が大きいため、土圧に耐えられると判断した。

3.4 ブロックのデザインと型枠

学生が人力で運搬・作業するため、ブロック 1 個当たりの質量を 13 kg とした。表面の寸法は間知ブロックを参考にしつつ、そこからの軽量化に伴いサイズを縮小した。幅 31.5 cm、高さ 22.5 cm に設定した。奥行きは本来 35 cm 必要であるが、裏込め木灰コンクリート幅が規定の三倍近くあることから、ブロックの重さの調節のため 18 cm とした。

ブロックの表面を 12 分割し大きさを小さく見せ、分割した表面の厚みを三段階に分けることで壁面としての圧迫感を和らげた。ブロック同士が接している部分には隙間が避けられないため、12 分割した凸凹の間に 1.2 cm の溝を作成し、ブロック同士の隙間を調節することで境界線を隠した。また、木灰コンクリートの材料を飛灰のみに統一することで、自然な黒みを表現することを期待した。ブロックの型枠は側面、溝、凸凹部分の三つに分けた。ブロックの側面の型枠は転圧の力を一番強く受ける部分であるため金属で作成し、ボルトで固定した (図 13)。

木の板を縦に 3 枚、横に 2 枚、格子状に組むことで作成した (図 14)。それぞれを固定せず、脱型の



図 14. 溝部分の型枠分解した状態



図 15. 溝部分の型枠組み立てた状態



図 16. 表面の型枠をはめこんだ状態

際に一枚ずつ外せるようにブロックの形状の維持を図った(図 15)。

厚さ 24 mm の木の板を用意し、溝部分の型枠にちょうど収まる大きさに切ったものが凸凹部分の型枠となる。重ねる枚数を変えることで高さの調節を自由に行うことができる。今回は分割したものに番号を振り、どこに何枚重ねるかを決定することで作業効率の向上を図った(図 16)。

4. 木灰コンクリートブロックの作成

4.1 木灰コンクリート採用の理由

斜面保護ブロックの材料となる木灰コンクリートは、高知県宿毛市の木質バイオマス発電所から発生する木灰を主原料とした、セメントを用いずに水硬



図 17. 棒状バイブレーター（左）と面状バイブレーター（右）を用いた作成の様子



図 18. 脱型の様子

するコンクリートである。高知工科大学コンクリート研究室が 2015 年度に開発した。このコンクリートは木灰に消石灰と水を混ぜて硬化させるものである。土に還り樹木の養分となり得るか、土壌中和剤となる材料のみを用いていることから、コンクリートにおける物質循環サイクル構築の可能性のある材料である。「大学が有する様々な知的資源を投入した活動」という」里山プロジェクトの目的に適合する材料として保護ブロックの材料として採用した。

4.2 使用材料と配合

従来の木灰コンクリートに高炉スラグを混和材として配合することで早強硬化が得られる研究成果(片山、2018)を得たため、木灰と消石灰、高炉スラグを材料に用いた(表 1)。木灰を多く用いて高い強度を得るため、水比をなるべく下げてスランプ 0 cm を目標にした。配合を示す(表 2)。気中養生での材齢 28 日の圧縮強度 5.0 N/mm² であった。

4.3 ブロックの作成

コンクリートの型枠内への充填率が強度を左右する。スランプ値が小さく施工性の良くない木灰コンクリートの強度を維持するため、型枠への充填の際、凹凸部には棒状バイブレーター、それ以外の部位には面状バイブレーターを用いて振動締め固めを



図 19. 整備箇所

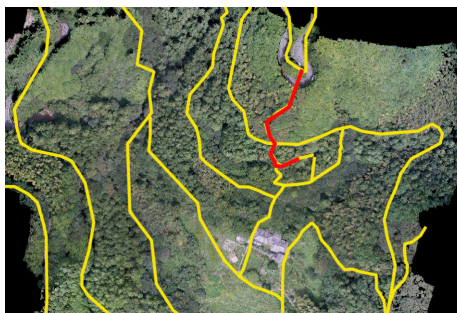


図 20. 運搬経路

行った（図 17）。脱型は即時脱型とした。凹凸部が剥離してしまうことのないよう丁寧に脱型作業を行った（図 18）。

5. 保護ブロックの施工

5.1 基礎部分の掘削と整備

保護ブロックの基礎部分の整備を行った。熊の手で枯葉を取り除き、スコップで基礎部分を掘削した。また、掘削した土は、裏込め材の一部に使うため、土嚢袋に入れた。掘削に使用したスコップは古民家から借用した。

剪定作業で使用した足場の配置の関係から、幅 1.2m 部分を整備（図 19）した。その箇所を掘削していたところ、地下 2cm で大きな石に突き当たって掘削が困難となったため、予定していた掘削深さを 30cm から 20cm に変更した。

5.2 資材の運搬

資材の運搬に使用した経路を示す（図 20）。2017 年 10 月に発生した台風の影響により倒木や懸木が多く見受けられた。

運搬した資材を示す（表 3）。総質量は約 700kg であった。土嚢袋を 1 人で運搬する事は困難であったため、ザルに入れて 2 人 1 組で運搬した（図 21）。掘削に用いたスコップ同様、ザルも古民家にあったものを借用した。



図 21. 土嚢袋の運搬



図 22. 裏込めの様子



図 23. 完成した 3×3 個の保護ブロック

5.3 保護ブロックの設置と裏込め材の充填

保護ブロックの設置に当たっては、最初に奥側（山側）に水を含まない裏込め材を置き、手前側にブロックを置き、裏込め材に水を投入して硬化させる施工手順とした（図 22）。

まず、裏込め材が流出しないようにした。木板を設置し、裏込め材と水を混合させる箇所を囲んだ。裏込め木灰コンクリートはブロックと同じ配合（表 2）のものから水のみを抜いて高知工科大学のコンクリートミキサーを用いて空練りして現地まで運搬したものである。

グリ石には金峰神社の瓦を砕いたものを再利用した。次に、手前側に木灰ブロックを設置した。最後に裏込め木灰コンクリートと木灰ブロックの間に水を流しこみ、スコップや足でかき混ぜてふみ固めた。今回は、幅 1.2m の区間に木灰ブロックを 3 段積んだ保護ブロックが完成した（図 23）。

表 1. 使用材料

水	水道水
消石灰	工業消石灰特号；密度 2.21 g/cm ³
木灰（飛灰のみ）	発生比率 15 %；密度 2.23 g/cm ³
高炉スラグ微粉末	比表面積 6,000 cm ² /g；密度 2.91 g/cm ³

表 2. 配合

W/B (%)	CH/BFS (%)	a/m (%)	単体量 (kg/m ³)				スランプ (cm)
			水	高炉スラグ	消石灰	飛灰	
100	5	50	397	353	18	858	0

表 3. 運搬した資材

	質量	個数
木灰ブロック	13 kg	11
ポリタンク（水）	20 kg	10
土嚢袋（裏込め木灰 コンクリート粉末）	25 kg	15

6. まとめ

今年度は、樹勢回復のための剪定作業と、必要な斜面保護作業の一部を行った。木灰ブロック 11 個分を幅 1.2 m の区間に設置した。木灰ブロックの製造に問題はなかった。

しかし、今回の作業では、全体の約 4 % しか施工は完了しなかった、現地へのブロックの運搬および裏込め材のための水の確保の方法に課題のあることが分かった。裏込め材を練るためのポリタンク入りの水は全て高知工科大学にて汲んで困難を伴いながら運搬したものであった。今後は、現地での水の確保の方法や工夫が必要である。また、保護ブロック設置の作業で、総量約 700 kg という膨大な量の材料を運搬したが、現地までの道中に足場が悪い箇所や傾斜が急な箇所があり、必ずしも安全であるとは言えなかった。次年度以降は、安全かつ効率よく運搬する方法や、それらを考慮した設計を行う必要がある。

文献

- 1) 片山諒辰, “木灰と消石灰を用いたコンクリートの強度発現”, 高知工科大学 2015 年度卒業論文.
- 2) 兼子瞭介, “ボクセルモデルによる森林構造の表現手法の構築”, 高知工科大学 2016 年度修士論文.
- 3) 日本道路協会, “道路土工擁壁工指針（平成 24 年度版）”, 丸善出版.

Design, Production and Construction of Wood Ash Concrete Block for Protecting Mountain Slope

Mayu Suzuki¹ Masakazu Tanino¹ Takumi Fujiwara¹
Yuichiro Takeuchi² Masahiro Ouchi^{3*}

(Received: May 9th, 2018)

¹Post graduate student, Infrastructure Systems Engineering Course, Graduate School of
Kochi University of Technology
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782–8502, JAPAN

²Post graduate student, Environmental and Mathematical Sciences Course, Graduate School of
Kochi University of Technology
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782–8502, JAPAN

³Professor, School of Systems Engineering, Kochi University of Technology
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782–8502, JAPAN

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

Abstract: The authors designed, produced and constructed wood ash concrete block for stabilizing the slope located around the shrine as a part of the SATOYAMA activation project initiated by the Kochi University of Technology. The cross-section of the slope was measured and drawn using GIS technology like the SfM method prior to design. Wood ash concrete was utilized, as the material, for the block and backfill in the ground owing to its lightness in weight compared to ordinary concrete. As a result, due to safety and efficiency problems, only 4% of the entire construction plan was completed.