

籾殻灰を用いた異なる土壌における改良効果に関する研究：国頭マーグと笠岡粘土の比較

立命館大学院理工学研究科 OLI YU 中村達也

立命館大学理工学部 藤本将光 宮本拓実 川崎佑磨 里深好文

沖縄大学経法商学部 糸数哲

株式会社ジェネスラボ 岩藤修一

1. 背景と目的

持続可能な開発目標（SDGs）では資源の有効活用や陸域環境保全が強調されており、農業副産物の有効活用は重要な課題である。特に稲作では大量の籾殻が発生し、その籾殻灰は肥料や土壌改良材、高強度コンクリートの混和剤などに利用されている。先行研究では、籾殻灰は生石灰と混合することで土中に強固な結合を形成し地盤を安定化できる。筆者らの研究では、笠岡粘土に籾殻灰を用いた改良土の強度特性に関する実験的検討を行った。しかし、異なる土壌において同様の改良効果があるかについては十分検討されていないことが報告されている。そこで、沖縄島北部に分布し、浸透性が高く降雨時に赤土流出を起こしやすい国頭マーグに対して検証を行った。これは、生石灰の水和による脱水効果と、生成した $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と籾殻灰中のシリカとのポズラン反応によってカルシウムシリケート水和物などの生成物が析出し、土粒子間の結合が高まるためである。本研究では、籾殻灰を土質改良材として活用し、性質の異なる国頭マーグと笠岡粘土に対する改良効果を比較検討することを目的とする。

2. 実験方法

2.1 材料

本研究で対象とする土質は、沖縄県産の国頭マーグ（風化残積土）および岡山県産の笠岡粘土（堆積粘土）である。改良材には太平洋セメント社製 1 号生石灰（ CaO ）と、含有 SiO_2 濃度の異なる 3 種類の籾殻灰（約 52.5%：バイオ炭、約 67.1%：焼成・焼成微粉砕、約 91.6%：シリカ・シリカ微粉砕）を用いた。

2.2 試料調製および養生

供試体は直径 5 cm・高さ 10 cm の円柱状に成型した。まず各土に水を加えて含水比を 55%に調整し、生石灰（5%）と籾殻灰（0%、5%、10%、15%）を均一に混合する。練り混ぜた改良土を所定の方法で型入れ、締固めして円柱供試体を作製し、各条件につき 3 体ずつ調製した。成型後は初期 3 日間密封で空气中に静置し、その後所定期間密封で水中養生した

（養生期間 7 日間および 28 日間）。養生終了後、一軸圧縮試験（JIS A 1216）によって供試体の一軸圧縮強さを測定した。

3. 実験結果と考察

本研究では、生石灰と籾殻灰を併用した場合の土質改良効果を明らかにするため、一軸圧縮試験により国頭マーグおよび笠岡粘土改良土の強度発現特性を評価した。図 1 に 7 日間養生後、図 2 に 28 日間養生後の一軸圧縮強さ結果を示す。両図から、生石灰での改良に比較し、籾殻灰の併用により一軸圧縮強さが明らかに向上していることが認められる。しかし、その強度発現の程度や最適混合率については、使用する土質および籾殻灰の種類や混合割合により顕著な違いがあることが明確となった。

養生期間 7 日の一軸圧縮試験結果（図 1-a, b, e）に着目すると、笠岡粘土改良土では、バイオ炭、焼成およびシリカ（微粉砕）において、混合率 5%時にそれぞれ最大の強度は 440 kN/m^2 、567 kN/m^2 、740 kN/m^2 を示し、10%以上の混合率では逆に圧縮強度が低下した。一方で、国頭マーグ改良土（図 1-c, d）では、焼成（微粉砕）およびシリカにおいて、10%混合時にそれぞれ 620 kN/m^2 、673 kN/m^2 と最も高い強度を示し、笠岡粘土とは異なる傾向を示した。この結果は、笠岡粘土の細粒性および 55%含水比では、籾殻灰の多量混合により反応生成物の分散が不十分となり、土骨格の形成を妨げることが一因と考えられる。

28 日間養生後の試験結果（図 2）では、7 日間養生に比べ両土壌とも圧縮強度が顕著に増大したことから、長期養生によるポズラン反応の進展が確認された。特に国頭マーグでは、シリカ 10%混合で 1610 kN/m^2 、シリカ（微粉砕）10～15%混合で 1887～1980 kN/m^2 の極めて高い強度となった。一方、笠岡粘土はシリカ（微粉砕）5%で 1343 kN/m^2 と最大値を示したが、それ以上の混合では減少した。このような差異は、国頭マーグが比較的排水性に優れ、粗粒分を含むため、ポズラン反応生成物が土中に均一に分散・固結しやすいことに起因すると考えられる。一

方で、笠岡粘土は細粒分が多く含水比も高いため、生成物の拡散が制限され、局所的な反応にとどまりやすい。また、同じ SiO_2 濃度でも微粉碎処理された粃殻灰が高い強度を示したことから、粒径や比表面積などの物理特性も強度発現に重要であることが明らかとなった。

4. 課題

本研究により、粃殻灰と生石灰の併用が国頭マージおよび笠岡粘土改良土の一軸圧縮強度の向上に有効であることが確認されたが、同時に複数の課題も明らかとなった。特に笠岡粘土改良土では、10%以上の粃殻灰混合率において、圧縮強度が低下する傾向が認められた。加えて、笠岡粘土改良土の供試体の断面に未反応の生石灰が確認されており、現在設定している生石灰の5%配合比について再評価する必要がある。本研究では含水比 55%で供試体を調製しており、特に笠岡粘土ではその細粒性と保水性の

影響により、水分が過剰に残留し、反応の進行や生成物の分散が阻害された可能性があると考えられ、土質ごとの配合設計のさらなる最適化が必要である。

一方、国頭マージ改良土では、シリカ（微粉碎）の高濃度混合（10～15%）により顕著な長期強度が得られたものの、本研究では養生期間を 28 日間限定しており、それを超える長期間の強度推移や安定性については十分に解明されていない。したがって、今後はより長期の養生期間における圧縮強度特性について詳細な追跡評価を行い、長期的な地盤安定性に関する実用的知見を蓄積する必要がある。

参考文献

大矢綾香, 奥本龍馬, 藤本将光, 深川良一, 李徳河: 文化遺産周辺の河岸侵食対策の提案に向けた生石灰と粃殻灰を用いた改良土の力学特性に関する研究, 立命館大学歴史都市防災論文集, pp. 139-144, 2014

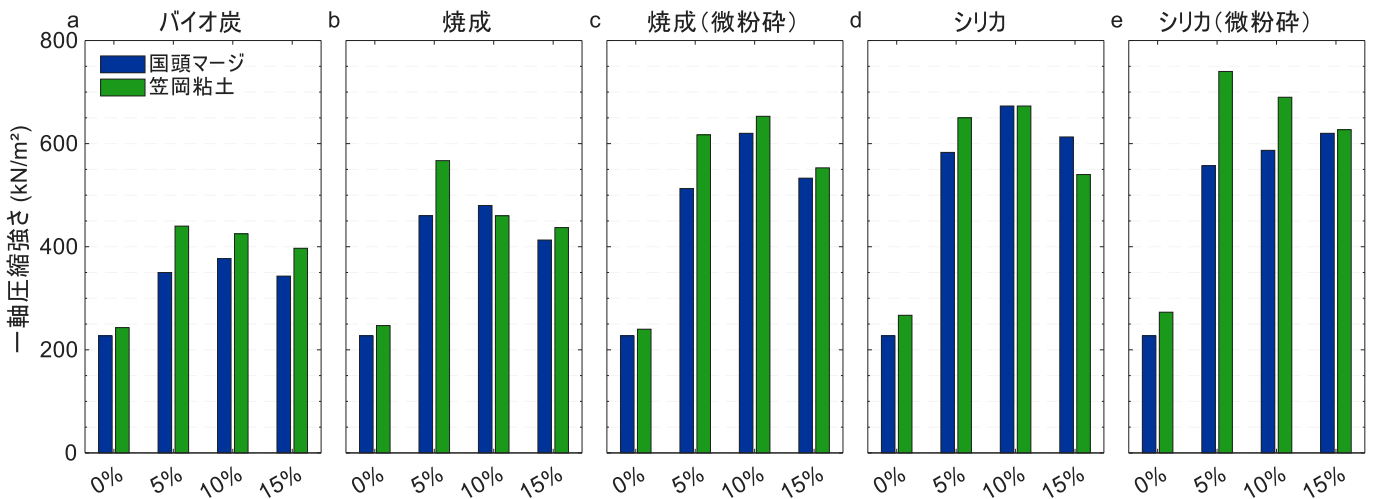


図 1：各種粃殻灰を混合した供試体の 7 日間養生後の一軸圧縮強さ（国頭マージ・笠岡粘土）

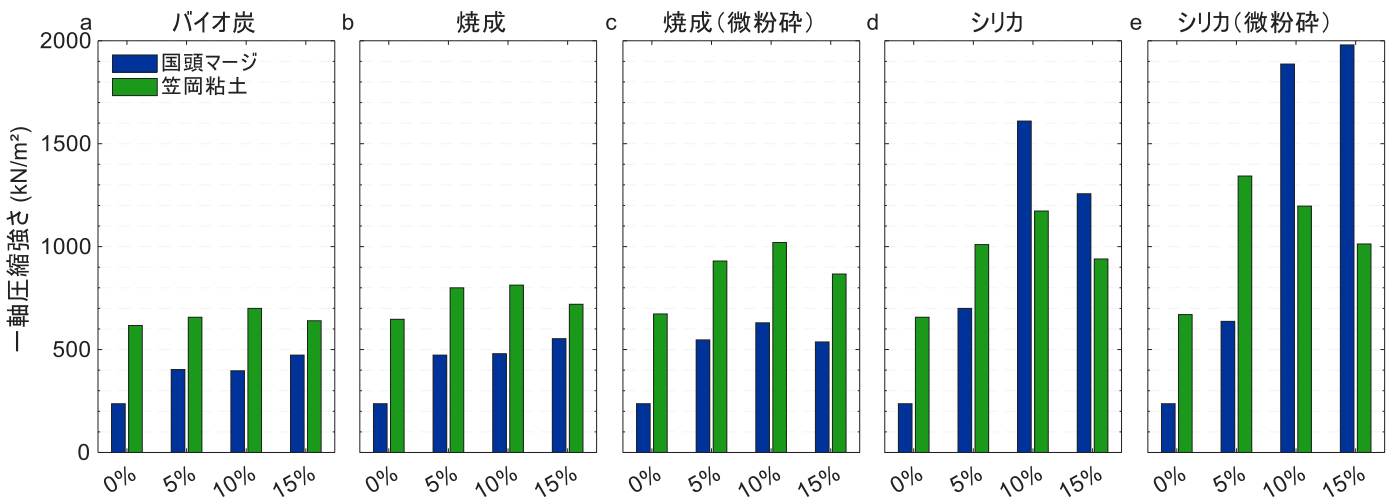


図 2：各種粃殻灰を混合した供試体の 28 日間養生後の一軸圧縮強さ（国頭マージ・笠岡粘土）