

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18560492

研究課題名（和文） 貝殻消石灰を利用した酸性硫酸塩土の改良効果

研究課題名（英文） Stabilization effects of acid sulfate soil by the utilization of oyster shells

研究代表者

重松 宏明（SHIGEMATSU HIROAKI）

石川工業高等専門学校・環境都市工学科・准教授

研究者番号：90353268

研究成果の概要：酸性硫酸塩土に貝殻由来の消石灰（貝殻消石灰）を混ぜ合わせるにより、どの程度の改良効果が見込めるのかを実験的に検証した。その結果、貝殻（カキ殻）消石灰は高品質で、工業用消石灰（JIS R 9001）の「特号」に相当し、酸性硫酸塩土の改良材として十分適用できることが明らかになった。また、その改良効果には、水和反応によって形成されたエトリンサイトと呼ばれる針状結晶が大きく関与していることを理解した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,200,000	0	1,200,000
2007年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	690,000	4,190,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：貝殻、石灰安定処理、酸性硫酸塩土、室内実験、エトリンサイト

1. 研究開始当初の背景

石川県に堆積する地盤の多くは、黄鉄鉱（パイライト、 FeS_2 ）と呼ばれる鉱物を有している。黄鉄鉱を有する地盤は、土中において還元状態にある場合は中性を示すが、掘削などによって土が一旦大気に曝されると、その直後から黄鉄鉱は水や酸素と反応して硫酸（ H_2SO_4 ）を生成する。その結果、地盤は強い酸性を有するようになる。このような土を「酸性硫酸塩土」と呼ぶ。黄鉄鉱の酸化に伴う硫酸の生成は、土質特性を大きく変化させ、場合によっては法面崩壊などの地盤災害を

引き起こす原因にもなる。また、硫酸の生成は地域の環境にも多大な影響を及ぼす。例えば、掘削された地盤（ずり）をそのまま放置した状態で降雨などが浸透すると、浸透した水は硫酸イオン（ SO_4^{2-} ）を多く生成し強酸性水となり、周辺地域に広がり、地盤中の有害金属を溶出させる。

また一方で、石川県は日本海側有数の養殖カキの産地で、殻発生量は毎年2,000トン以上にも上る。カキ殻は付着した藻や有機物を取り除くため、そのほとんどは屋外に野積みされ天日や雨にさらされる。野積みされたカキ殻は悪臭を放つのみならず、自然の景観を

損なうなど、地域に対して多大な悪影響を及ぼしている。これらの廃棄されたカキ殻の有効活用については、これまで多くの技術者・研究者によって提案されてきた。しかしながら、どれもコストの面で折り合いがつかず、大きな成果を上げていないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究においては、酸性硫酸塩土に貝殻消石灰を混ぜ合わせるにより、どの程度の改良効果が見込めるのかを検証していく。以下に、具体的な検証項目を示す。

(1) 貝殻消石灰の品質評価

製造された貝殻消石灰は、精製された工業用消石灰に比べて品質が劣ることが予想される。そこで、先ず両者の消石灰について X線回折分析を行い、それぞれの主要鉱物を確認する。次に、化学成分組成を調べて消石灰中の不純物を把握し、貝殻消石灰の品質評価を行う。

(2) 中和処理・安定処理に対する改良効果

異なる混合率で貝殻消石灰を混ぜ合わせた酸性硫酸塩土の室内実験を養生日数ごとで実施する。これらの実験結果から、混合率の違いによる酸性硫酸塩土の強度・変形特性、pHの経時変化などを確認し、中和処理・安定処理に対する効果を把握する。その際、工業用消石灰についても同様の試験条件で実験を実施し、貝殻消石灰による改良効果と比較する。また、一軸圧縮試験で用いた供試体を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察し、土粒子の固化状況を視覚的に把握する。

3. 研究の方法

(1) 貝殻消石灰の作製

炭酸カルシウム (CaCO_3) を主成分とする貝殻を高温で焼却すると、酸化カルシウム (生石灰、 CaO) が焼成され、酸化カルシウムの水和・消化により水酸化カルシウム (消石灰、 Ca(OH)_2) が生成される。

電気マuffle炉に細かく砕いたカキ殻を入れ、1000 で1時間焼却し、焼成された酸化カルシウムに100gあたり65mlの蒸留水を加えた。その後、水和熱によって内容物の温度は上昇し、白色のカキ殻消石灰が生成された。なお、使用したカキ殻は石川県七尾市中島町において山積みされたもので、殻に付着した藻や有機物を取り除くため、予め5時間ボイルさせてある。

(2) 処理対象土の試料調整

一方、処理対象土には、「深草粘土」と「酸性硫酸塩土」を用いた。表-1に供試体作製時における両者の物理・化学特性を示す。深草

粘土は京都市伏見区内の深草から採取して調整したパウダー状の粘性土で、土質試験の一斉試験などで用いられるように極めて標準的な土質特性を有している。実験には、予め0.42mmふるいで通過させたものを用いた。また、表中のpHが示すように、深草粘土は酸性化がかなり進行しているが、これは恐らく保存期間中に空気中の炭酸ガスを吸収したためと思われる。酸性硫酸塩土については、石川県河北郡津幡町北中条 (石川高専近傍) の土取り場より採取した粘性土である。採取試料の全量を0.85mmふるいで裏ごしした後、含水比が変化しないように施し、強酸性 (pH=3以下) に至るまで放置した。次に、供試体 (直径3.5cm、高さ7.0cm) の作製方法について述べる。処理対象土が深草粘土の場合は一定量の蒸留水を加えながら、酸性硫酸塩土の場合は加水せず、所定の混合率 (処理対象土の乾燥質量に対する安定材の乾燥質量比) で消石灰を混ぜ合わせた。そして、それらを必要量モールドに入れ、一定の乾燥密度 ($=1.30\text{g/cm}^3$) になるように静的に締め固めた。なお、処理対象土のみの供試体 (混合率0%) の含水比は、深草粘土が39.3%、酸性硫酸塩土が37.9%であった。その後、作製した供試体は含水比が変化しないように施し、インキュベーター内にて一定温度 (20) のもと、所定の期間養生させた。表-2に消石灰の混合率および供試体の養生期間を示す。

表-1 処理対象土 (供試体作製時) の物理・化学特性

	深草粘土	酸性硫酸塩土
pH	3.2	2.7
初期含水比 w (%)	5.0	40.5
土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)	2.674	2.683
砂分 (%)	9.1	11.9
シルト分 (%)	60.7	74.1
粘土分 (%)	30.2	14.0
液性限界 w_L (%)	54.3	40.1
塑性限界 w_P (%)	25.7	19.6
塑性指数 I_P	28.6	20.5
強熱減量 L_i (%)	7.2	5.8

表-2 消石灰の混合率と供試体の養生期間

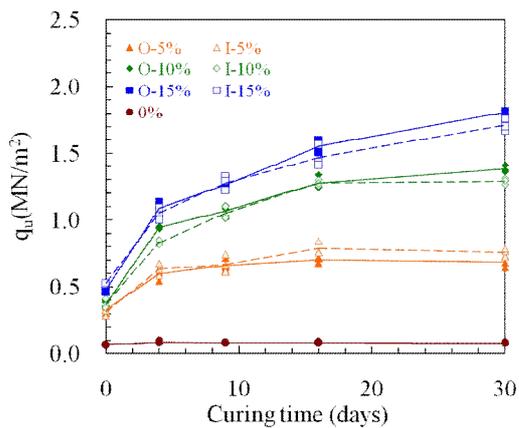
消石灰の混合率 (%)	0, 5, 10, 15
供試体の養生期間 (日)	0, 4, 9, 16, 30

4. 研究成果

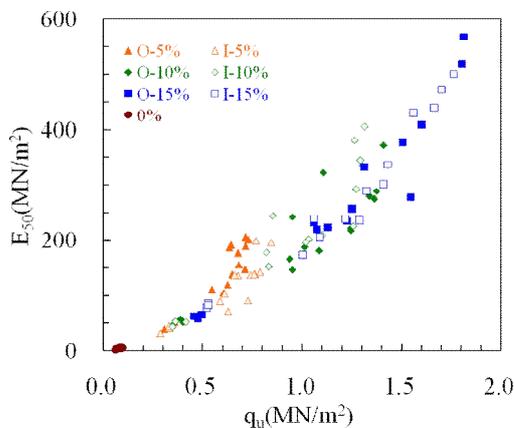
先ず、貝殻消石灰の品質評価について述べる。貝殻消石灰は蛍光 X線による成分分析の参考値としては、工業用消石灰 (JIS R9001)

の等級（特号、1号、2号）の中の「特号」に相当した。

次に、貝殻消石灰と市販の精製された工業用消石灰（JIS R9001、特号）の安定材としての効果を比較するため、処理対象土である深草粘土に両者を別々に混ぜ合わせて作製した供試体について一軸圧縮試験を実施した。図-1に実験結果を示す。図中の記号は供試体名を表しており、安定材として用いた消石灰の種類と混合率を表す。例えば、O-15%は貝殻消石灰 15%を、I-10%は工業用消石灰 10%を混ぜ合わせたことを意味する。0%は処理対象土のみの供試体である。(a)は一軸圧縮強度 q_u の経時変化を表す。養生 0 日の q_u が混合率によって異なるのは、供試体作製時に乾燥した消石灰を混ぜたことによる含水比の低下によるものである。図より、混合率・養生期間に関係なく、貝殻消石灰と工業用消石灰のどちらを安定材として用いても、顕著な強度増加が認められ、両者の間に明瞭な違いはない。(b)は変形係数 E_{50} と q_u の関係を表す。図より、若干のばらつきはあるものの、貝殻・工業用消石灰に関係なく E_{50} と q_u の関係はほぼ比例関係にある。



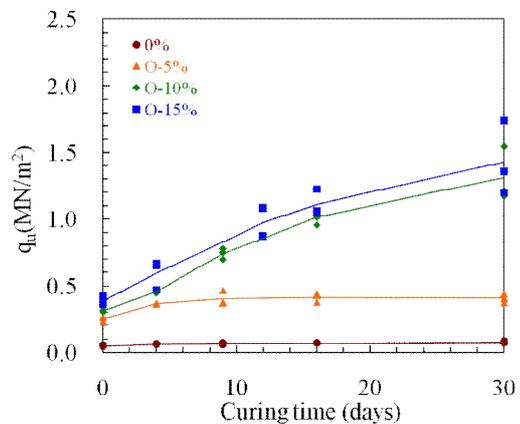
(a)一軸圧縮強度の経時変化



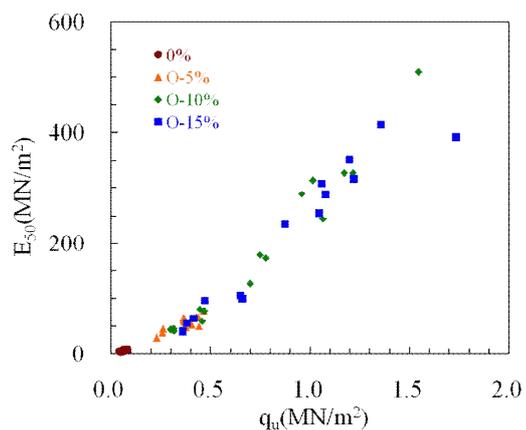
(b)変形係数と一軸圧縮強度の関係

図-1 一軸圧縮試験の結果
(処理対象土:深草粘土)

酸性硫酸塩土の安定処理に対する貝殻消石灰の適用可能性を明らかにするため、異なる混合率で貝殻消石灰を混ぜ合わせて作製した供試体について一軸圧縮試験を実施した。図-2に実験結果を示す。 q_u の経時変化より、混合率 5%は養生 4 日までは強度増加が認められるものの、それ以降は収束している。一方、混合率 10%と 15%については、養生日数に伴い q_u は著しく増加し、養生 30 日において初期（養生 0 日）の 4 倍前後の強度増加が認められる。また、すべての養生期間において両者の間に大きな強度差はない。このことから、酸性硫酸塩土の安定材として貝殻消石灰を適用する限りにおいては、混合率 10 ~ 15%がその上限値と予想される。 E_{50} と q_u の関係については、深草粘土の場合と同様に比例関係にあることから、変形・強度特性の対応性が取れている。



(a)一軸圧縮強度の経時変化



(b)変形係数と一軸圧縮強度の関係

図-2 一軸圧縮試験の結果
(処理対象土:酸性硫酸塩土)

最後に、一軸圧縮試験に用いた供試体を走査型電子顕微鏡で可視化した。写真-1に酸性硫酸塩土に貝殻消石灰 10%を混ぜ合わせて作製した供試体（養生 30 日）の電子顕微鏡写

真を示す。酸性硫酸塩土に消石灰を混ぜ合わせると空隙中に水和反応により結晶化したエトリンガイト ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) が析出され、土粒子同士をつなぎ止める作用がある。写真より、土粒子と土粒子の空隙に針状のエトリンガイトが成長し、複雑に絡み合っている様子が確認できる。このエトリンガイトなどの水和物の生成が酸性硫酸塩土の強度増加に大きく貢献しているものと思われる。

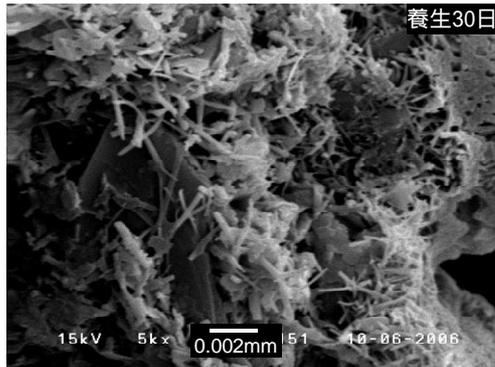


写真-1 酸性硫酸塩土の電子顕微鏡写真
(カキ殻消石灰 10%)

今後は、カキ殻消石灰を利用した土質安定処理における反応生成物の種類やその生成量を詳細に調べ、酸性硫酸塩土の強度発現メカニズムを解明していく。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

重松宏明, 西木佑輔, 西澤誠, 池村太伸: 酸性硫酸塩土の石灰安定処理に関する一考察, 土木学会論文集C, Vol.65, No.2, 425-430, 2009 (査読有り)

[学会発表](計1件)

重松宏明, 西木佑輔, 西澤誠, 池村太伸, 吉田守: カキ殻消石灰の安定材としての適用性, 第42回地盤工学研究発表会, 2007.7.6 (名古屋)

[図書](計0件)

[産業財産権]
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1)研究代表者

重松 宏明 (SHIGEMATSU HIROAKI)
石川工業高等専門学校
環境都市工学科
准教授
研究者番号: 90353268

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし