

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 29 日現在

機関番号：53301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560613

研究課題名(和文) 貝殻由来の炭酸カルシウム結晶析出法による土の改良効果

研究課題名(英文) Improvement effect of soil by calcium carbonate precipitation technique derived from waste shells

研究代表者

重松 宏明 (SHIGEMATSU, Hiroaki)

石川工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：90353268

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では先ず、炭酸カルシウム結晶析出法の実用可能性を確かめるため、純度の高い市販の CaCl_2 水溶液を使って土中に CaCO_3 結晶を析出させた。そして、その土に対して一連の強度実験を実施し、土の強度発現効果を把握した。この結果を踏まえた上で、カキ殻から CaCl_2 水溶液を製造し、同様の実験を行った。これらの実験結果から、予め土に混ぜ合わせる炭酸ナトリウムが多いほど、かつ CaCl_2 水溶液を浸透させる際の圧縮荷重が大きいほど、より大きな強度発現効果が得られることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：When the CaCl_2 aqueous solution is penetrated into the target-treated soil which was mixed with sodium carbonate (Na_2CO_3) in advance, CaCO_3 crystal is precipitated among soil particles. As the results, the soil particles are cemented each other and then the improved soil turns into very strong material.

In this study, in order to clarify the effect of the improved soil by the calcium carbonate technique, a series of laboratory tests were carried out. The following conclusion is obtained from the present study. The strength characteristics, compressive strength and penetration resistance, of the improved soil is fluctuated remarkably with changes of amount of sodium carbonate mixed in advance.

研究分野：工学

キーワード：土質改良 炭酸カルシウム 貝殻

1. 研究開始当初の背景

石川県は日本海側有数の養殖カキの産地で、毎年 3,000 トン以上の貝殻を排出している。剥き身後の殻は、一部粉碎して土壌改良や肥料などに利用されるものの、多くは養殖地内に設けられたヤードに野積みされる。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す。現在の廃棄物処理法によると、種々の貝殻は一般廃棄物として指定されており、各地域内において適正な処理が義務付けられている。そのため、建設業や農業など、多分野における有効活用が強く求められている。

申請者はこれまで、カキやホタテの貝殻を利用した土質改良工法の開発に取り組んできた。中でも、使用に耐えられなくなったグラウンドに対しては、表層部に破碎した貝殻を混ぜ合わせることでグラウンドの改善効果（特に透水性と支持力）¹⁾を、酸性硫酸塩土のような強酸性土（pH=2.6 程度）に対しては、貝殻石灰を使用して中和処理・安定処理に対する効果²⁾を検証してきた。これらの工法の特徴は、砕いた貝殻（もしくは貝殻石灰）を土に混ぜ合わせることで、土自体の特性を質的に変化させるところにある。したがって、土の物性（粒度組成、コンシステンシー、pH など）の違いや含水比の高低によっては、必ずしも十分な効果が得られない場合がある。そこで申請者は、炭酸カルシウム（CaCO₃）結晶析出法による新たな土質改良工法を検討することにした。CaCO₃結晶析出法³⁾とは、予め炭酸ナトリウム（Na₂CO₃）粉末を均一に混ぜ合わせた土試料に、塩化カルシウム（CaCl₂）水溶液を添加し、土中の空隙に CaCO₃結晶を析出させることにより、土粒子同士を化学的に固結させる工法を言う。砂に対しては、既に CaCO₃結晶析出法による改良効果が認められ、液状化対策などに有効であることが報告されている⁴⁾。しかしながら、粘土やシルトを多く含有する細粒土に対しては、ほとんど実績がない。

以上のような現状を踏まえた上で、本研究においては、CaCO₃結晶析出法による土質改良が、砂質土のみでなく、粘性土のような細粒土に対しても有効であるのかを実験的に検証する。ただし、結晶の析出に欠かせない CaCl₂水溶液については、CaCO₃を主成分とするカキ殻から製造する。これによって、石川県内で毎年大量に排出される貝殻の処理問題に対しても、大きく貢献できる。

2. 研究の目的

本研究では先ず、純度の高い市販の CaCl₂水溶液を使って土中に CaCO₃結晶を析出させ、その土に対して針貫入試験を実施し、土の強度発現効果を確認した。この結果を踏まえた上で、カキ殻から CaCl₂水溶液を作製し、同様の実験を行った。そして、両者の実験結果を比較し、地産地消型の新たな土質改良工

法を目指す「貝殻由来の炭酸カルシウム結晶析出法」の是非を検討した。

3. 研究の方法

(1) 使用材料と試験条件

処理対象土は市販のシルト質粘性土（以後、藤森土と呼ぶ）を、反応に必要な炭酸ナトリウム（Na₂CO₃）は市販のものを使用した。Na₂CO₃の添加率は、乾燥質量比で 0%（未処理）、10%、20%、30%、40%に設定した。また、土試料を締め固める際の先行圧縮荷重を p₀=1256kN/m²とし、静的に締め固めた供試体は荷重 p'=628, 314, 157, 78.5kN/m²と、4 通り荷重まで除荷させ、その後 CaCl₂水溶液を浸透させた（なお、除荷させないで p'=1256kN/m²の荷重の状態 CaCl₂水溶液を浸透させたものもある）。浸透期間については、CaCl₂水溶液が供試体全体を満たす時間を考慮して 7 日以上とした。

(2) 試料調整

表 1 の配合表にしたがって藤森土に蒸留水を加えて練り合わせた後、炭酸ナトリウムを添加し、均一に混ぜ合わせた。

表 1 配合表

固材材混合率(%)=[Na ₂ CO ₃ /ms]	40	30	20	10	0
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)	2.689	2.689	2.689	2.689	2.689
最大乾燥密度 ρ _{max} (g/cm ³)	1.601	1.601	1.601	1.601	1.601
最適含水比 W _{opt} (%)	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9
締固め度 D _r (%)	67.5	65.0	62.5	60.0	57.5
供試体の乾燥密度 ρ _d (g/cm ³)	1.081	1.041	1.001	0.961	0.921
供試体の直径 D(cm)	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
供試体の高さ H(cm)	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
供試体の体積 V(cm ³)	56.549	56.549	56.549	56.549	56.549
乾燥土+Na ₂ CO ₃ (g)	61.11	58.85	56.58	54.32	52.06
供試体の含水比 w(%)	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9
Na ₂ CO ₃ (g)	17.46	13.58	9.43	4.94	0.00
空気乾燥土質量 m _t (g)	43.65	45.27	47.15	49.38	52.06
絶対乾燥土質量 m _s (g)	42.10	43.66	45.48	47.63	50.20
既存含水量(g)	1.55	1.61	1.68	1.76	1.85
加水量 m _w (g)	12.44	11.87	11.28	10.68	10.07

(3) 供試体の作製方法

針貫入試験用供試体の作製方法について説明する。調整した土試料を圧密容器に詰め（圧縮後の高さが 1cm 以上になるように土量を設定）、先行圧縮荷重 p₀=1256kN/m²を載荷させて 30 分以上プレスし、所定の圧力（p'=628, 314, 157, 78.5kN/m²）まで除荷させた後、CaCl₂水溶液（1mol/L）を圧密容器内に注ぎ 7 日以上放置させた後、解体して針貫入試験を実施した。図 1 に一連の実験フローを示す。

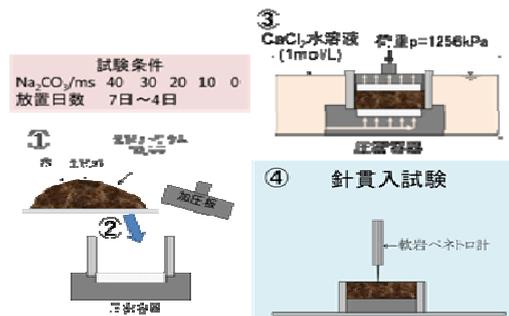


図 1 実験フロー

(4) 換算一軸圧縮強度

先端押圧子および支持リングをセットし、測定点に先端押圧子を直角に押し当て、針貫入試験を行う。この場合2通りの方法でデータを読み取る。まず、貫入量が10mmの時の貫入力(N)を読み取る場合。または、貫入力が100Nの時の貫入量(mm)を読み取り針貫入勾配(N/mm) = (貫入力/貫入量)を算出する。針貫入勾配と一軸圧縮強度の相関図より、一軸圧縮強度(kN/m²)を求める。

4. 研究成果

(1) 強度発現効果

調整した土試料に対して、市販の塩化カルシウムを用いた場合の最適なNa₂CO₃添加率(%)を決定するために、添加率を乾燥質量比で0%(未処理)、10%、20%、30%、40%と変化させ、かつ土試料に先行圧縮荷重p₀=1256kN/m²を載荷し、締め固めて作製した供試体に対して、針貫入試験を実施した。そして、試験から得た貫入力から換算一軸圧縮強度を算出した。図2はその結果で換算一軸圧縮強度-Na₂CO₃関係を示す。先ず、Na₂CO₃添加率0~10%まではほとんど貫入力が得られず強度発現効果は認められなかった。しかしながら20%以降は添加率の増加に伴って強度が著しく上昇した。添加率20%以上で目標強度1000kN/m²を上回っていることから、カキ殻を用いた実験では、Na₂CO₃添加率20%から使用することにした。市販の塩化カルシウムの場合と同様に、添加率の増加とともにカキ殻による実験も一定の強度発現効果が見られた。添加率40%の場合では、一軸圧縮強度に大きなばらつきが出ていることが確認できる。これは、土試料に炭酸ナトリウムを添加する際、均一に攪拌することが難しく、20%と30%の場合に比べて不均一だったと考えられる。しかし、不均一であっても固化しないわけではなく、固化はするが本来得られるはずの強度発現効果ではなかったと考えられる。カキ殻の場合も20%から十分な強度発現効果が得られている。添加率30%までは市販のCaCl₂水溶液を用いた場合に比べて強度が出ているが30%と40%ではあまり強度に差が出ていない。これは、市販のCaCl₂水溶液がカキ殻から製造したCaCl₂水溶液に比べて純度が高いことが要因ではないかと考えられる。

(2) 塩化カルシウム水溶液を浸透させる際の圧縮荷重が強度発現効果に及ぼす影響

Na₂CO₃添加率30%の供試体に対して、先行圧縮荷重1256kN/m²から荷重p'=628, 314, 157, 78.5kN/m²まで除荷させ、もしくは除荷させないで針貫入試験を実施した。図3はその結果である。なお、図の横軸は先行圧縮荷重p₀=1256kN/m²で正規化した圧力比を示す。図3より、p'=78.5kN/m²まで除荷させてCaCl₂水溶液を浸透させると強度はでていないが、十分とは言えない。しかし、p'=157kN/m²以上

になると目標強度を確保できることが確認でき、圧力比の増加とともに強度は著しく増大した。

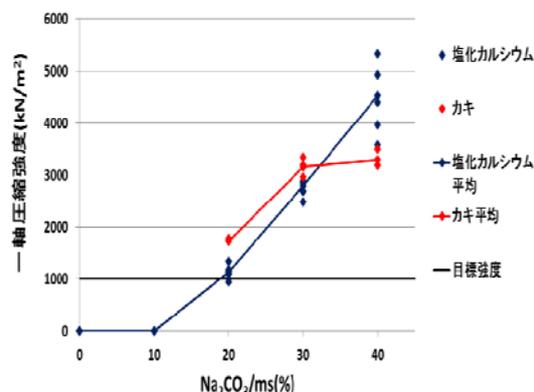


図2 換算一軸圧縮強度と炭酸ナトリウム添加率の関係

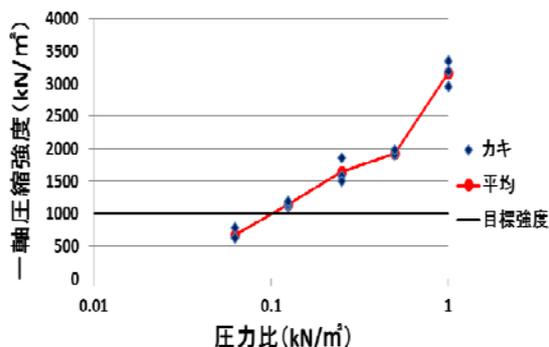


図3 一軸圧縮強度と塩化カルシウム水溶液を浸透させる際の圧縮荷重の関係

<引用文献>

- 1)重松宏明, 小田憲一, 樋口恵美子, 高野典礼, 田崎宏: 貝殻混合によるグラウンド表層材の土質改良効果, 土木学会論文集 C(地圏工学), Vol. 68, No. 1, pp.138-149, 2012.
- 2)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, pp.425-430, 2009.
- 3)林和幸, 只信紗也佳, 安原英明, 岡村未対: 炭酸カルシウム結晶析出による砂の力学特性の改善効果, 土木学会論文集 C, Vol.66, No.1, pp.31-42, 2010.
- 4)林和幸, 岡村未対, 安原英明: 炭酸カルシウム結晶析出による砂の液状化特性の改善効果, 地盤工学ジャーナル, Vol.5, No.2, pp.391-400, 2010.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計1件)

- ①重松 宏明, 石井 智明, 谷多 裕弥, 貝殻由来の炭酸カルシウム結晶析出法による

土の強度発現効果, 第 48 回地盤工学研究
発表会講演概要集, pp.735-736, 2013.7.23-25,
富山県民会館 (富山県富山市).

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・
教授
研究者番号 : 9 0 3 5 3 2 6 8

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

田中 均 (TANAKA, Hitoshi)
株式会社 田中建設