

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 7 日現在

機関番号：53301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21560528

研究課題名（和文）カキ殻・廃石膏・浄水汚泥を原料とした石灰系固化材の土質改良材としての適用性

研究課題名（英文）Study on the development of “New Soil Stabilizer” that utilized waste materials of oyster shell, plaster board and purified water sludge

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（和文）：カキ殻消石灰（カキ殻を 1000℃で焼成したもの）、もしくは工業用消石灰を母材とし、廃石膏・浄水汚泥を添加材とした廃棄物由来の石灰系固化材を製造した。一連の室内実験の結果から、物性の全く異なる種々の処理対象土に対して、一定の改良効果が認められた。それと同時に、本固化材を土質改良材として使用することにより、エトリンサイトと土粒子のロッキング効果を確認することができた。また、本固化材は細粒土に最も適しているものの、粗粒土であっても締固め度を適度に高くすることによって所定の強度を確保できることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：This study examines an importance of mechanical properties of lime stabilized soil with waste materials (crushed oyster shell, waste plasterboard and purified water sludge). In order to clarify the influence of the new soil stabilizer on mechanical properties, three kinds of soil samples mixed with the stabilizer at different mixture rate are investigated by a series of laboratory tests. The following conclusions are obtained from the present study: 1.The new lime stabilizer is suitable for better fine-grained soils than coarse-grained soils. However, even in coarse-grained soil, necessary strength can be secured by raising moderately the degree of compaction of the specimens. 2.A lot of ettringite (needle shaped crystal,  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ) were generated in the lime stabilized soils, and those were locking soil particles.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：地盤環境工学

## 1. 研究開始当初の背景

建設発生土のリサイクルや災害時における復旧工事など、土質改良における石灰系固化材の果たす役割は非常に大きい。しかしながら、最近の鉄鋼メーカーの増産体制などによる石灰原料の不足は、固化材価格の高騰に拍車をかけ、建設事業の経営を圧迫してきている。また近年においては、廃棄物処理法の改正（1992）に伴い、廃棄物の減量化・リサイクルの推進が強く求められている。そこで申請者は、石灰系固化材に必要な原料を、石川県から毎年大量に排出されるカキ殻・廃石膏ボード・浄水汚泥の3種類の廃棄物で賄うことを検討する。これによって、廃棄物の減量化は勿論のこと、固化材原料の安定的な供給、さらには土質改良費の大幅なコストダウンが期待できる。

カキ殻は一般廃棄物として指定されており、石川県だけでも毎年3,000トン以上排出され、その処分に沿岸域の市町村や養殖業者は困惑している。また、建物解体時に排出される廃石膏ボードは、近年の法律改正（2006）に伴い、これまでの安定型処分から高コストを要する管理型処分への移行が義務付けられるようになった。浄水汚泥は一部防草土や土系舗装などに利用されているものの、リサイクル率は他の廃棄物に比べて低い。これらのことから、カキ殻・廃石膏ボード・浄水汚泥の再資源化は急務であり、循環型社会システムを構築する上でも必要不可欠である。

## 2. 研究の目的

カキ殻消石灰もしくは工業用消石灰に、一連の工程を経て処理された廃石膏（半水石膏）と浄水汚泥（乾燥状態）を加えたものを新たな固化材とした。本研究は、処理対象土の物性の違いが石灰安定処理土の力学特性にどのような影響を及ぼすのかを明らかにすることを目的としている。そのために申請者は、物性の全く異なる3種類の処理対象土に対して、本固化材を所定の混合率で混ぜ合わせた後、異なる締固め度で供試体を作製し、一連の室内実験（一軸圧縮試験、各種物理・化学試験）を実施した。

## 3. 研究の方法

### (1) 固化材の原料および処理対象土

固化材はカキ殻石灰もしくは工業用消石灰を母材とし、これに石膏と浄水汚泥の2種類の添加材を組み合わせたものである。石膏は建築現場から排出された廃石膏ボードを破碎分離した後、24時間炉乾燥させた半水石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ）である。浄水汚泥は、石川県白山市市鶴来浄水場において発生した汚泥を脱水・乾燥処理することによって得られ

表-1 各処理対象土の物理・化学特性

	太田土	宇ノ気土	深草土
pH	5.1	5.7	3.1
土粒子の密度 $\rho_s$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.629	2.657	2.685
砂分 (%)	62.8	46.3	13.3
シルト分 (%)	26.4	38.5	62.8
粘土分 (%)	10.8	15.2	23.9
液性限界 $w_L$ (%)	30.7	63.8	51.7
塑性限界 $w_p$ (%)	NP	27.7	25.9
塑性指数 $I_p$	NP	36.1	25.8
活性度A	-	3.41	2.29
強熱減量 $L_t$ (%)	2.98	5.00	7.35

たパウダー状の細粒土（ $\rho_s=2.692\text{g}/\text{cm}^3$ 、砂分：33%、シルト分：48.3%、粘土分：18.7%）である。各原料の比率は、石灰50%、石膏25%、浄水汚泥25%である。

一方、処理対象土には、石川県河北郡津幡町太田地内から採取した建設発生土（以後、太田土と呼ぶ）、石川県かほく市宇ノ気地内から採取した建設発生土（以後、宇ノ気土と呼ぶ）、および京都市伏見区深草に位置する市販のパウダー状の粘性土（以後、深草土と呼ぶ）を用いた。表-1に各処理対象土の物理・化学特性を示す。太田土と宇ノ気土については、一旦含水比15%以下になるまで空気乾燥させた後、均一になるようによくかき混ぜ、4.75mmふるいで通過させたものを、深草土については、0.425mmふるいで通過させたものを実験試料とした。表より、太田土は6割以上を砂分で占められており、かつ塑性限界 $w_p$ が求められないことから、非塑性（NP）に分類される。これに対して、宇ノ気土は半分近くを砂分が占めているものの、塑性指数 $I_p$ は高くなっている。深草土は宇ノ気土よりも遙かに多い細粒分（粘土・シルト分）を含んでいるが、 $I_p$ は宇ノ気土よりも低くなっている。両者を活性度Aで比較してみると、宇ノ気土は深草土よりも活性が強いことがわかる。

### (2) 供試体の作製方法

一軸圧縮試験用供試体の作製方法について説明する。まず、各処理対象土に対して締固め試験を実施し、最大乾燥密度と最適含水比を求める。そして、各処理対象土を締固め度 $C_d=80\%$ 、90%および100%に相当する含水比（ $C_d=80\%$ 、90%については締固め曲線上のwet側）に調整し、所定の混合率（0%（未処理土）、5%、10%、20%）で固化材を混ぜ合わせた後、インキュベーター内にて一定温度（20℃）のもと、3日間湿潤養生させてエトリンガイト（ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ）の析出を待つ。その後、養生させた土試料を円筒形の割型モールド（直径5cm、高さ10cm）に詰め、所定の密度になるように静的に締め

固めて供試体を作製する．なお， $C_d=100\%$ の供試体は太田土・深草土の2種類のみ作製した．

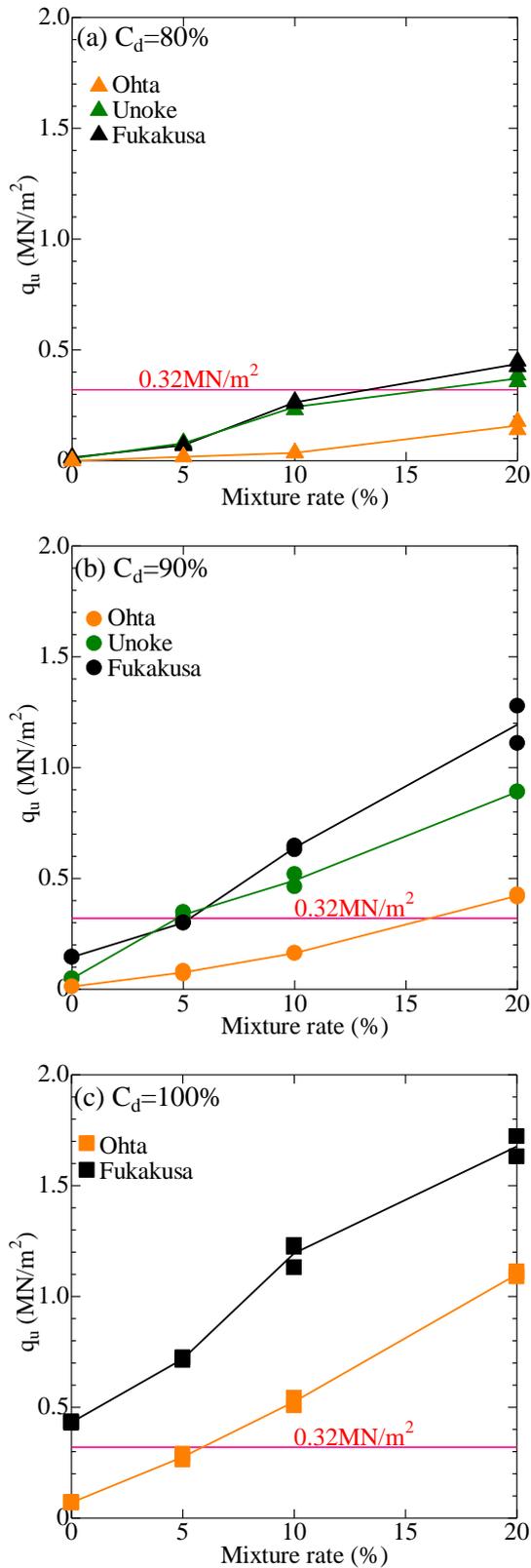


図-1 一軸圧縮強度と固化材混合率の関係，

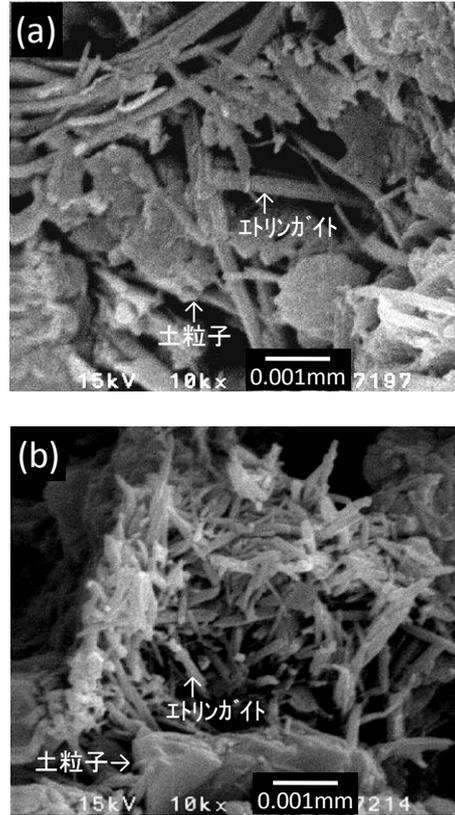


写真-1 石灰安定処理土の電子顕微鏡写真  
(a) 太田土，(b) 深草土

#### 4. 研究成果

##### (1) 強度特性

図-1 は一軸圧縮試験の結果で，(a)～(c)は供試体の締固め度  $C_d$  がそれぞれ 80%，90%，100%の場合の一軸圧縮強度  $q_u$  と固化材混合率（以後，単に「混合率」と述べる）の関係を示す．なお，図中に示す目標強度 ( $=0.32 \text{ MN/m}^2$ ) は，建設発生土の土質区分基準で定められている第2種改良土（コーン指数  $q_c > 0.8 \text{ MN/m}^2$ ）および現場・室内試験の強度比0.5（=現場/室内）を考慮して決定した．

$C_d=80\%$ の場合（図-1(a)）では，混合率増加に伴う  $q_u$  の増加は認められるものの，それほど大きな強度発現は見られない．特に，太田土は固化材を20%混ぜ合わせても目標強度に達していない． $C_d=90\%$ の場合（図-1(b)）では，混合率に比例して強度は飛躍的に増大し，宇ノ気土・深草土は混合率10%，太田土については20%で目標強度をクリアした． $C_d=100\%$ （図-1(c)）になると，混合率に比例して強度はさらに増大し，深草土は混合率0%（未処理），太田土については10%で目標強度を上回った．また，混合率増加に伴う強度発現の割合を処理対象土ごとで比べてみると，すべての締固め度の場合において，深草土が最も高いことがわかる．これは本固化材が細粒分を多く含有する深草土に最も適

していることを意味する。そこで筆者らは、太田土（粗粒土）と深草土（細粒土）の強度発現の違いをより詳細に調べるために、実験に用いた両者の供試体を走査型電子顕微鏡（SEM）で観察し、エトリンガイトと土粒子のインタラクションを視覚的に捉えることにした。

写真-1(a)に太田土を、(b)に深草土を処理対象土とした場合の電子顕微鏡写真（混合率10%、 $C_d=90\%$ ）を示す。写真より、両者ともに針状のエトリンガイトが形成され、土粒子（粘土分）をロックしている様子が確認できる。エトリンガイトによる土粒子のロック効果と強度発現特性の関係については、今後の検討課題である。

## (2) 変形特性

変形係数  $E_{50}$  と  $q_u$  の関係を図-2 に示す。なお、 $E_{50}-q_u$  関係は線形近似 ( $E_{50}=\alpha q_u$ ) できる。全体的に見ると、 $E_{50}$  は  $q_u$  の増加に比例して増大しており、非常に高い相関性を示している。これは土の圧縮強度が増加するに伴い、その変形が比例的に小さくなり、脆性的な材料の性質へと変化していくことを意味する。また、 $E_{50}-q_u$  関係の傾きの大小は、その材料の脆性度合の高低を表す。図より、 $C_d=100\%$ 、 $90\%$ 、 $80\%$ （図-2(c)→(b)→(a)）と、締固め度が低くなるにしたがって各処理対象土の  $E_{50}-q_u$  関係の傾きは大きくなっていく。これは同一の処理対象土に、固化材を同じ混合率で混ぜ合わせても、締固め度の高低によって材料の脆性度合が大きく変わること意味する。この傾向は太田土に顕著に表れている。また、処理対象土の物性の違いが  $E_{50}-q_u$  関係に及ぼす影響を見てみると、 $C_d=80\%$  および  $90\%$  の場合においては、3 者の処理対象土にそれほど大きな違いは見られない。 $C_d=100\%$  の場合のみ、 $E_{50}-q_u$  関係に処理対象土の物性の違いによる影響が見られた。

## 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 0 件）

〔学会発表〕（計 3 件）

重松宏明・角一平・西澤誠・藪下諒二・平本成明・坂久弘・田中均・辻要：廃石膏・浄水汚泥混合による石灰安定処理土の強度発現特性，第 44 回地盤工学研究発表会発表論文集，pp.573-574，2009.8.

重松宏明・吉村康平・竹田健成・崎浦雄大・能澤真周・角一平・松本卓也・谷川晶太・田中均・辻要：廃石膏・浄水汚泥を添加材とし

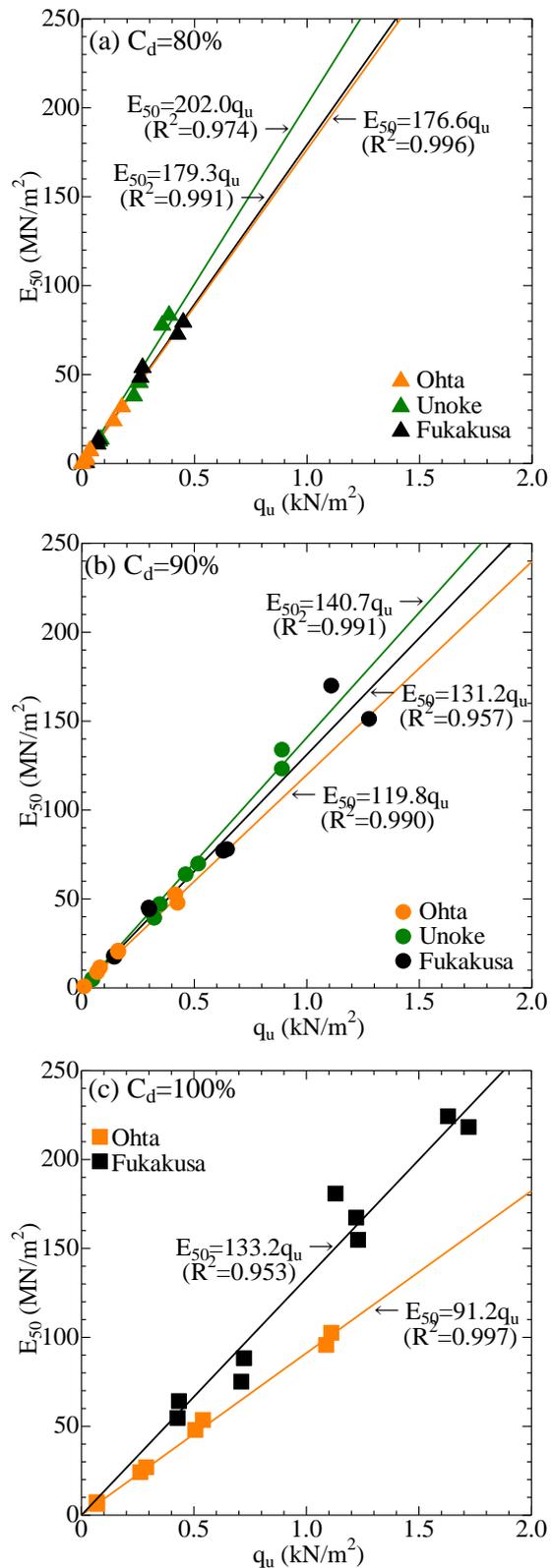


図-2 変形係数と一軸圧縮強度の関係

た石灰安定処理土の強度発現特性，第 45 回地盤工学研究発表会発表論文集，pp.547-548，2010.8.

重松宏明・竹田健成・谷多裕弥・田中均・辻  
要：磨石膏・浄水汚泥混合による石灰安定処  
理土の非排水せん断挙動，第 46 回地盤工学  
研究発表会発表論文集，pp.595-596，2011.7.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（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