

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420484

研究課題名(和文) エトリンガイト生成量に着目した複合リサイクル材料の開発とその学際的意義

研究課題名(英文) Development of composite recycled materials based on the formation of ettringite in ground improvement applications and its interdisciplinary significance

研究代表者

亀井 健史 (KAMEI, TAKESHI)

宮崎大学・工学部・教授

研究者番号：30177597

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：現在わが国では、廃棄物処分の問題が社会問題化し廃棄物の有効利用が急務となっている。本研究では、産業廃棄物(廃石膏、石炭灰、高炉スラグ)からなる複合リサイクル材料の地盤改良材としての有効性を検討している。その結果、複合リサイクル材料の添加率の増加に伴って土の強度変形特性が大幅に改良され、エトリンガイト生成量や形状がその内部構造や強度発現過程と密接な関係があることを解明している。一方、地盤環境工学観点から重金属類(フッ素、六価クロム、カドミウム、鉛等)の溶出量が環境基準値を満足していることも確認し、本複合リサイクル材料のケヤ節材料としての有効性を学際的な面から実証している。

研究成果の概要(英文)： This study describes the effective use of composite recycled materials based on the formation of ettringite in ground improvement applications and its interdisciplinary significance. Recycled basanite is mixed with coal ash and blast furnace slag in varying proportions to obtain the optimal ettringite production.

The unconfined compressive strength increases with increase in composite recycled materials. Based on the observation of internal structure using a scanning electron microscope, ettringite occurrence is related to the strength increase of cement-stabilized soil. The use of composite recycled materials also achieve the acceptable durability against the effects of freeze-thaw and wet-dry cycles. The concentration of fluorine, hexavalent chromium, cadmium and lead decrease with increasing composite recycled materials contents, and to values less than the Japanese environmental quality standard. These properties make composite recycled materials useful as a construction material.

研究分野：工学

キーワード：一軸圧縮強さ 石炭灰 セメント安定処理土 廃石膏ボード リサイクル 軟弱地盤 内部構造 半水石膏

1. 研究開始当初の背景

現在わが国では、廃棄物処分の問題が社会問題化し廃棄物の有効利用が急務となっている。その中でも近年廃石膏ボードが大量に排出されており、その処分に関する問題が指摘されている。廃石膏ボードは、環境省による「廃石膏ボードから付着している紙を除去したものの取り扱いについて」に基づいて、管理型処分場への廃棄が義務付けられており、現在年間 140 万トンが排出されている。一方で管理型最終処分場の残余容量は逼迫しているという現状から、その処分場用地の不足が懸念されている。そのため、その一般産業廃棄物の再資源化技術の開発が大きな社会問題となっている。

2. 研究の目的

上記の点に着目して本研究代表者は、すでにエトリンガイト生成量に着目した三種類（半水石膏、石炭灰、高炉スラグ）の産業廃棄物からなる複合リサイクル材料とアルカリ刺激材としての微量の高炉セメント B 種からなる新地盤材料のエトリンガイト生成量や地盤環境面（フッ素、ホウ素、六価クロム等の低減）での優れた特長を予備実験により確認している。本研究で対象としている複合リサイクル材料を地盤改良材として大量に再資源化できれば、循環型社会の構築に大きく貢献できるものと考えられる。しかしながら、本複合リサイクル材料には、重金属類等が環境に悪影響を及ぼす物質が混入している可能性もあることから、廃石膏を土壌の改良材として利用する場合には、これら重金属類が土壌から流出しないよう物理的および化学的対策を講じ、環境基準を満足させる必要がある。したがって、本複合リサイクル材料を地盤改良材として添加した地盤の力学的特性および重金属類の不溶化の確認を行っておく必要がある。

以上のことから本研究では、本複合リサイクル材料の地盤改良材としての実務への適用性を学際的な観点から解明し、現在求められている資源循環型社会の形成に資することを目的としている。

3. 研究の方法

本研究では、本複合リサイクル材料を種々の添加率で混入した地盤材料を作成し、各供試体に対して実施した一連の土質試験結果に基づいてその力学的特性を明らかにする。また、地盤の耐久性を検討するため、同供試体に対して凍結・融解作用や乾湿・繰り返し作用を加えた供試体に対しても同様の実験を行い、その影響を検討する。さらに、添加率の異なる供試体に対して SEM 観察による内部構造の変化傾向を把握する。

この結果に基づいて、エトリンガイト生成量やその形状変化がその内部構造や強度発現過程との関係を解明する。一方環境にも配慮するため、対象土からの重金属類の不溶化の確認を行う。

4. 研究成果

図-1 にセメント安定処理土の一軸圧縮強さと複合リサイクル材料添加率との関係を示す。図より、複合リサイクル材料添加率の増加に伴い一軸圧縮強さがほぼ直線的に増加していることがわかる。

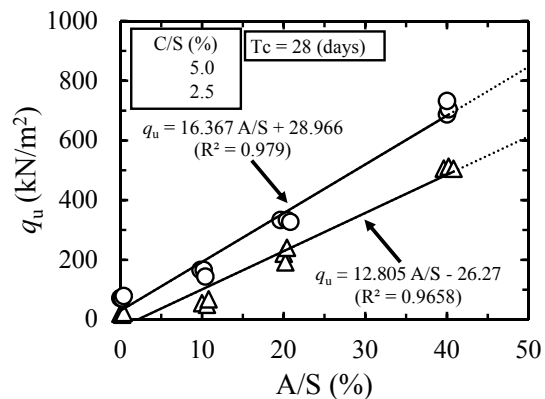


図-1 一軸圧縮強さと複合リサイクル材料添加率との関係

また、今回対象とした改良土は乾湿や凍結融解に対する耐久性も改善されることが明らかとなった。この主要因として、複合リサイクル材料の添加率の増加に伴い乾燥密度が増加すること、エトリンガイト生成量が増加することを指摘している（図-2）。

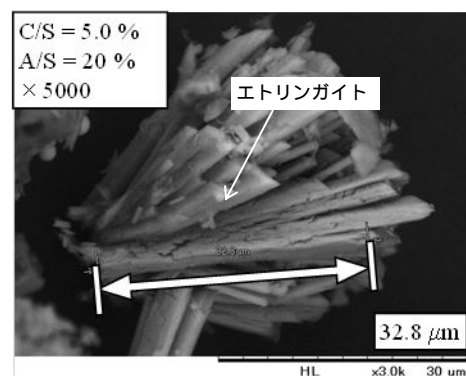


図-2 エトリンガイト長さとの複合リサイクル材料添加率の関係

エトリンガイト長さとの複合リサイクル材料添加率との関係を図 3 に示す。図より複合リサイクル材料の添加率の増加に伴ってエトリンガイト長さが成長していることがわかる。また図 4 に一軸圧縮強さとエトリンガイト長さの関係を示す。図よりエトリンガイト長さとの複合リサイクル材料添加率との密接な関係がわかる。以上の結果より、本

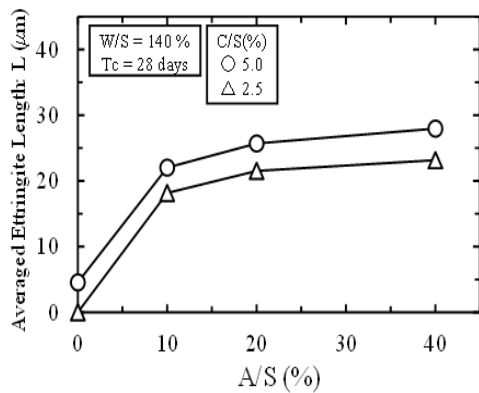


図-3 エトリンサイト長さとは複合リサイクル材料添加率との関係

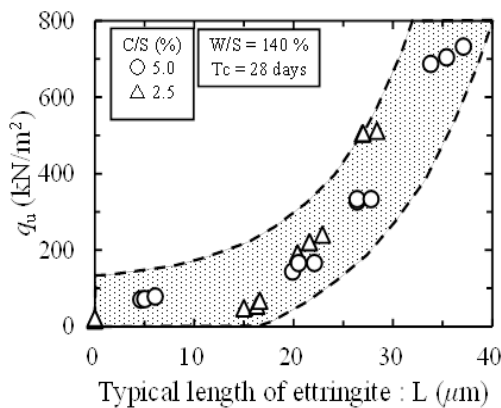


図 4 一軸圧縮強さとエトリンサイト長さとの関係

複合リサイクル材料で安定処理した土の強度とエトリンサイトの構造は密接な関係にあることわかる。一方、地盤環境工学の観点から、本複合リサイクル材料で処理したセメント安定処理土は、フッ素、カドミウム、鉛などの重金属の溶出濃度も環境基準を満足していることを実証した。また研究の発展性という観点から、現在本リサイクル材料の困窮りー工学への適用性についても取り組んでいる。

本研究で開発した産業廃棄物を用いた八複合リサイクル材料は、地盤工学および地盤環境学的に優れている。さらに実施工への適用性に関しても良い結果が得られており、産業廃棄物のリサイクル分野の受け皿として期待できることから、循環型社会の構築に多大な貢献が可能となろう。

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 10 件)

- (1) 李春鶴・亀井健史・長納央樹 複合リサイクル材料を有効利用したモルタルの性能評価, セメント・コンクリート論文集, 査読有, Vo. 69, 2016, pp.228-234.

- (2) 古川芹菜, 亀井健史. 複合リサイクル材料を利用したセメント安定処理土の強度と内部構造に及ぼす養生期間の影響, 宮崎大学工学部紀要, 査読無, No.45, 2016, pp.15-22.
- (3) 古川芹菜・亀井健史. 凍結融解作用が複合リサイクル材料を添加したセメント安定処理土の強度とその耐久性に及ぼす影響, 宮崎大学工学部紀要, 査読無, No.45, 2016, pp.23-33.
- (4) 李春鶴・亀井健史. 廃石膏を用いた高性能コンクリートの開発, 第 43 回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集, 査読無, 2016, pp.73-76
- (5) Ahmed, A., Soliman A., El-Naggar, M.H., and Kamei, T. An assessment of geoenvironmental properties for utilization of recycled gypsum in earthwork project, *Soils and Foundations*, 査読有, Vol.55, No.5, 2015, pp.1140-1148.
- (6) Kamei, T., Ahmed, A., Horai, H. and Ugai, K. A novel solidification technique for fluorine-contaminated bassanite using waste materials in ground improvement applications. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 査読有, Vol.17, No.2, 2015, pp.380-390.
- (7) 古川芹菜・亀井健史 複合リサイクル材料を添加したセメント安定処理土の強度変形特性とその内部構造, 宮崎大学工学部紀要, No.44, 2015, pp.173-180.
- (8) 亀井健史・蓬萊秀人 リサイクル石膏を用いた硬化時間が任意に調節可能な地盤改良材の開発, 地盤と建設, 査読有, 2014, Vol.32, No.1, pp.29-36.
- (9) Shibi, T. and Kamei, T. Effect of freeze-thaw cycles on the strength and physical properties of cement-stabilised soil containing recycled bassanite and coal ash. *Cold Regions Science and Technology*, 査読有, Vol. 106-107, 2014, pp.36-45.
- (10) Kamei, T., Ahmed, A. and Horai, H. Solidification technique for fluorine contaminated-bassanite using composite recycling materials for ground improvement applications, *Memoirs of the Faculty of Engineering, University of Miyazaki*, 査読無, No.43, 2014, pp.133-140.

[学会発表](計 6 件)

- (1) 田口弘平、丸山智裕、李春鶴、亀井健史 産業廃棄物を活用したコンクリートの強度特性、収縮特性に関する検討、平成 28 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、V-013, pp.621-622, 2017 年 3 月 4 日, 佐賀大学(佐賀県・佐

- 賀市).
- (2) 丸山智裕、田口弘平、李春鶴、安井賢太郎、亀井健史 複合リサイクル材料を用いたコンクリートの自己治癒に関する検討、平成28年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、V-021、pp.637-638、2017年3月4日、愛媛大学(愛媛県・愛媛市).
- (3) 伊達周平・内田翔太・李春鶴・亀井健史 (2016) 複合リサイクル材料を有効利用したモルタルの2, 3の検討, 第70回セメント技術大会講演要旨, pp.84-85.(公益法人)セメント協会, 2016年5月10日, ホテルメトロポリタン(東京都・豊島区).
- (4) 内田翔太, 伊達周平, 李春鶴, 亀井健史. 複合リサイクル材料を用いたモルタルの強度特性と収縮特性に関する研究, 平成27年度土木学会西部支部年次学術講演会講演概要集, -038, pp.697-698.(公益法人)土木学会西部支部, 2016年3月6日, 九州産業大学(福岡県・福岡市).
- (5) 長納央樹・李春鶴・亀井健史・境健太郎 複合リサイクル材料を用いたモルタルの性能評価, 土木学会第70回年次学術講演会講演概要集, V-569, pp.1137-1138,(公益法人)土木学会, 2015年9月15-17日, 岡山大学(岡山県・岡山市).
- (6) 志比利秀・亀井健史. 凍結融解作用が廃石膏と石炭灰を用いたセメント安定処理土の強度および物理的性質に及ぼす影響, 平成27年度土質工学セミナー報告会(研究報告), 地盤工学会中国支部. 2015年7月10日, とりぎん文化会館(鳥取県・鳥取市).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年月日：
 国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年月日：
 国内外の別：

〔その他〕
 ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

亀井 健史 (KAMEI TAKESHI)
 宮崎大学・工学部・教授
 研究者番号：30177597

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()