

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25年 4月 17日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2012

課題番号：21560520

研究課題名（和文） 産業廃棄物を有効利用したハイブリッド型地盤材料の開発と
その学際的意義研究課題名（英文） Development of the hybrid geomaterial using industrial waste 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

研究成果の概要（和文）：我が国では毎年多くの産業廃棄物が排出され、特に廃石膏ボードの量は年約170万トンに達しており、そのリサイクル技術の開発は急務である。本研究では、リサイクル半水石膏と石炭灰を対象としたセメント改良土の諸特性を学際的な観点から解明している。その結果、半水石膏および石炭灰の添加率の増加に伴って土の強度変形特性や地盤環境工学的性質が改善されることが明らかとなり、この主要因として、エトリンガイト生成量の増加とその構造の発達過程を挙げている。

研究成果の概要（英文）：The huge growth of waste materials in Japan is one of the largest challenges nowadays. Over 1.7 million tons of gypsum waste plasterboards are generated every year in Japan, and beneficial uses are needed to avoid costly disposal in landfills and keep sound environment. This study investigates the use of recycled Bassanite which is produced from gypsum wastes in conjunction with coal ash to improve the strength of soft clay soil. For this purpose, recycled Bassanite was mixed with coal ash in different proportions and this admixture used as a stabilizer to enhance the performance of the tested soil. The Bassanite-coal ash admixture was treated with a small amount of Furnace cement to prevent the solubility of bassanite. The test results show that the Bassanite-coal ash admixture has a significant effect on the strength improvement of tested soil. The use of Bassanite-coal ash admixture within the limits investigated in this study did not show any negative effect on the environment and the increased solidification agent level in admixture improved environmental properties of the tested soil. Based on the observation of internal structure, this is due to concomitant increase in the production of ettringite.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学・土質力学

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・半水石膏・リサイクル・軟弱地盤・内部構造

1. 研究開始当初の背景

近年、我が国では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も指摘され始めている。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。2010 年にはその排出量は年間 200 万トンに達すると予測されているが、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、その再資源化技術の開発が大きな課題となっている。

2. 研究の目的

廃石膏ボードから再生可能な半水石膏は、適量の水と混合すると化学反応が起こり硬化するという特性を有する。このような特性を利用して、土と水に加えて、半水石膏を混合することにより新しい地盤材料を開発できれば、廃石膏ボードを地盤改良材として大量に再資源化できる可能性がある。しかしながら、廃石膏には、重金属類等の環境に悪影響を及ぼす物質が混入している場合もあることから、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な対策を講じ、環境基準を満足させる必要がある。したがって、廃石膏を用いた地盤の力学的特性およびその特性に及ぼす主要因を明らかにするとともに、重金属類の不溶出化技術の開発を行い、廃石膏ボードのリサイクルシステムの構築、さらには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、廃石膏ボードと石炭灰を有効利用したハイブリッド型新地盤材料を開発するとともに、その力学的特性およびそれに及ぼす主要因を定量的な観点から明らかにする。その際、重金属等の溶出に関しても環境基準を満足するように配慮する。ハイブリッド型地盤材料に対して、土質試験や重金属等の溶出試験を実施し、その力学的特性および重金属等の溶出量に及ぼす廃石膏、石炭灰およびセメントの配合比の関係を検討する。さらに、ハイブリッド型地盤材料の力学的特性の改善と重金属等の不溶出化のメカニズムを明らかにするために、走査型電子顕微鏡による内部構造の可視化やX線回折試験によるエトリンガイトの定量的な比較を実施する。

4. 研究成果

研究代表者らは、半水石膏と石炭灰を添加したセメント安定処理土の一軸圧縮強さの関係を明らかにし、半水石膏添加率および石炭灰添加率の増加に伴い一軸圧縮強さが増加することを実験的に示した (図-1)。

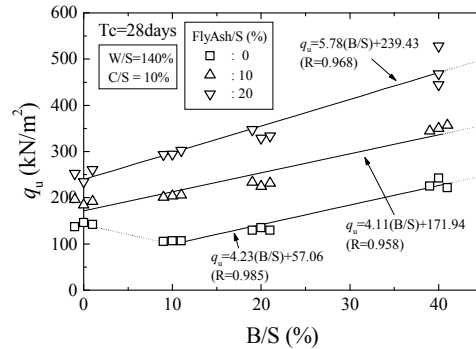
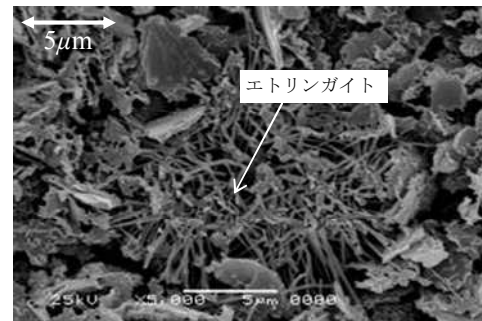
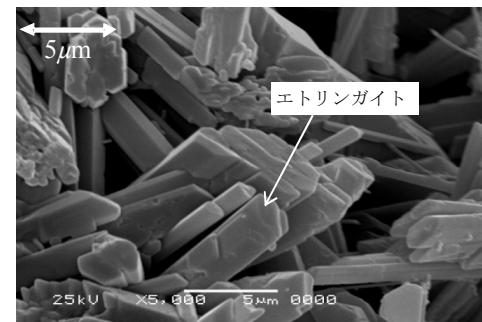


図-1 廃石膏と石炭灰を添加したセメント安定処理土の一軸圧縮強さ

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、石膏および石炭灰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)。



(a) 廃石膏添加率：0% 石炭灰添加率 20%



(b) 廃石膏添加率：40% 石炭灰添加率 20%

図-2 廃石膏と石炭灰を添加したセメント安定処理土の内部構造
さらに半水石膏添加が締固め土のCBR値や

流動化処理土の強度特性に及ぼす影響についても検討し、今回対象とした地盤改良材の有効性を地盤工学的観点から実証した。また、フッ素やホウ素、六価クロムなどの溶出濃度も環境基準を満足している (図-3)。

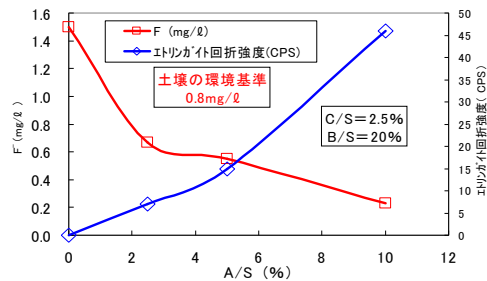


図-3 フッ素溶出量およびエトリンガイト生成量と石炭灰添加率の関係

本研究で開発した産業廃棄物を用いたハイブリッド型の地盤材料は、地盤工学的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である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 34 件)

- (1) Kamei, T., Ahmed, A. and Ugai, K., Durability of soft clay soil stabilized with recycled bassanite and furnace cement mixtures, *Soils and Foundations*, 査読有、Vol.53, No.1、2013、pp.155-165.
- (2) Kamei, T., Ahmed, A. and Shibi, T., The use of recycled bassanite and coal ash to enhance the strength of very soft clay in dry and wet environmental conditions, *International Journal of Construction and Building Materials*, 査読有、Vol. 38, No. 1, 2013, pp. 224-235.
- (3) 矢島寿一、武藤 優、亀井健史、廃石膏ボードから再生した半水石膏の流動化処理土への適用性、*地盤工学ジャーナル*、査読有、Vol. 7, No. 4, 2012, pp. 517-525.
- (4) 志比利秀、神庭崇彰、亀井健史、締固め粘性土の一軸圧縮特性に及ぼす廃石膏添加率の影響、*地盤と建設*、査読有、Vol.29, No.1、2012、pp.47-53.
- (5) 蓬萊秀人、亀井健史、鶴飼恵三、半水石膏生産システムの小型化：その能力と地盤改良材としての可能性、*土木構造・材料論文集*、査読有、No.28、2012、pp.104-114.
- (6) Kamei, T., Ahmed, A. and Shibi, T., Freeze-thaw cycles on durability and strength of very soft clay soil stabilised with recycled bassanite, *Cord Regions Science and Technology*, 査読有、Vol.82、2012、pp.124-129.
- (7) 亀井健史、志比利秀、塚本真希、伊藤哲男、出口宗浩、半水石膏を添加した締固め土の締固め特性と CBR 値—廃石膏ボードのリサイクル—、*土木学会論文集 C (地圏工学)*、査読有、Vol.68、No.3、2012、pp.466-474.
- (8) Kamei, T., Ahmed, A. and Shibi, T., Recycled bassanite in conjunction with coal ash for stabilization of soft clay, *International Symposium on Ground Improvement IS-GI Btussels*, 査読有、Vol. 2, 2012, pp. II373-II384.
- (9) Ahmed, A., Ugai, K. and Kamei, T., Assessment of Recycled Gypsum for Organic Soft Clay Soil Improvement, *GeoCongress 2012, Geotechnical Special Technical publication, American Society of Civil Engineers*, 査読有、No. 225, 2012, pp. 1026-1035.
- (10) 志比利秀、亀井健史、神庭崇彰、廃石膏を混入した締固め土の一軸圧縮特性、*地盤と建設*、査読有、Vol. 29, No. 1, 2011, pp. 47-53.
- (11) 志比利秀、亀井健史、二水石膏添加が締固め土の締固め特性と CBR 値に及ぼす影響—廃石膏ボードの有効利用—、*地盤と建設*、査読有、Vol.29, No.1、2011、pp.39-45.
- (12) Ahmed, A., Ugai, K. and Kamei, T., Laboratory and field evaluations of recycled gypsum as a stabilizer agent in embankment construction, *Soils and Foundations*, 査読有、Vol.51, No.6、2011、pp.975-990.
- (13) Ahmed, A., Ugai, K. and Kamei, T., The performance of soft soil stabilized with recycled bassanite in wet environment, *14th Pan-American Conference on Soil Mechanics and geotechnical Engineering*, 査読有、Vol.1, No.308、2011、pp.1-7.
- (14) 矢島寿一、村岡卓也、武藤 優、亀井健史、半水石膏を混入したセメント安定処理土のせん断特性、*地盤工学ジャーナル*、査読有、Vol. 6, No. 2, 2011, pp. 331-339.
- (15) Ahmed, A., Ugai, K. and Kamei, T., Environmental evaluation for clayey soil stabilized with gypsum waste plasterboard in Japan, *Advances in Unsaturated Soil, Geo-Hazard, and Geo-Environmental Engineering, Geotechnical Special Technical*

- Publication, American Society of Civil Engineers, 査読有、No. 217、2011、pp. 9-17.
- (16) Ahmed, A., Ugai, K. and Kamei, T., Investigation of recycled gypsum in conjunction with waste plastic trays for ground improvement, International Journal of Construction and Building Materials, 査読有、Vol. 25, No. 1, 2011、pp. 208-217.
- (17) 志比利秀、亀井健史、半水石膏と石炭灰を添加したセメント安定処理土の応力一ひずみ関係のモデル化、島根大学総合理工学部紀要シリーズ A、査読無、Vol. 45、2011、pp. 25-30.
- (18) 志比利秀、大島章寛、亀井健史、半水石膏と石炭灰を添加したセメント安定処理土の一軸圧縮特性に及ぼす乾湿繰り返しの影響、島根大学総合理工学部紀要シリーズ A、査読無、Vol. 45、2011、pp. 15-24.
- (19) 蓬萊秀人、亀井健史、松田哲夫、伊藤哲男、出口宗浩、半水石膏中に含まれるフッ素の不溶化技術、地盤と建設、査読有、Vol. 28, No. 1、2010、pp. 31-38.
- (20) 亀井健史、志比利秀、平野 将、大島章寛、松田哲夫、伊藤哲男、出口宗浩、水浸条件が半水石膏を添加した締固め土の強度変形特性に及ぼす影響—廃石膏ボードのリサイクル—、地盤と建設、査読有、Vol. 28, No. 1、2010、pp. 15-21.
- (21) 松田哲夫、亀井健史、志比利秀、鶴飼恵三、廃石膏ボードから再生した半水石膏を添加した締固め土の CBR 値、土木構造・材料論文集、査読有、No. 26、2010、pp. 118-123.
- (22) Ahmed, A., Ugai, K., and Kamei, T., Durability of fine grained soil stabilized with gypsum waste plasterboard, Proceedings of the 6th international Congress on Environmental Geotechnics, New Delhi, India、査読有、Vol. 2、2010、pp. 1469-1477.
- (23) 亀井健史・蓬萊秀人・鶴飼恵三、半水石膏・石炭灰・高炉セメント B 種を用いた安定処理土中のフッ素・六価クロムホウ素の不溶化、地盤工学ジャーナル、査読有、Vol. 5, No. 3、2010、pp. 449-461.
- (24) Ahmed, A., Ugai, K., and Kamei, T., Application of gypsum waste plasterboard and waste plastic trays to enhance the performance of sandy soil, Proceedings of Geo-Shanghai 2010, Ground Improvement and Geosynthetics. Geotechnical Special Technical Publication, American Society of Civil Engineers、査読有、No. 207、2010、pp. 165-173.
- (25) 亀井健史、小川靖弘、志比利秀、半水石膏と石炭灰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—ハイブリッド型地盤材料の創出—、地盤工学ジャーナル、査読有、Vol. 5, No. 3、2010、pp. 35-43.
- (26) 亀井健史、志比利秀、松田稔史、半水石膏を利用したセメント安定処理土の一軸圧縮特性に及ぼす乾湿繰り返しの影響、島根大学総合理工学部紀要シリーズ A、査読無、Vol. 44、2010、pp. 9-16.
- (27) 亀井健史、志比利秀、日野淳二、松田哲夫、伊藤哲男、出口宗浩、乾湿繰り返し作用が半水石膏を混入した締固め土の一軸圧縮特性に及ぼす影響、島根大学総合理工学部紀要シリーズ A、査読無、Vol. 44、2010、pp. 1-7.
- (28) 亀井健史、小川靖弘、志比利秀、松田哲夫、半水石膏添加がセメント安定処理土の一軸圧縮強さと内部構造に及ぼす影響、地盤と建設、査読有、Vol. 1, No. 1、2009、pp. 153-158.
- (29) 亀井健史、大島章寛、志比利秀、半水石膏と石炭灰を添加した締固め土の一軸圧縮特性、地盤と建設、査読有、Vol. 1, No. 1、2009、pp. 97-104.
- (30) 亀井健史、榛葉 悠、志比利秀、半水石膏を利用したセメント安定処理土の水浸条件下での一軸圧縮特性に及ぼす養生期間の影響、土木構造・材料論文集、査読有、No. 25、2009、pp. 146-151.
- (31) 亀井健史、小林立樹、志比利秀、松田哲夫、大内浩之、半水石膏を利用した締固め土の強度特性に及ぼす養生条件の影響、土木構造・材料論文集、査読有、No. 25、2009、pp. 138-145.
- (32) 亀井健史、小川靖弘、志比利秀、半水石膏を利用したセメント安定処理土の一軸圧縮特性に及ぼす養生期間の影響—廃石膏ボードの有効利用—、地盤工学ジャーナル、査読有、Vol. 4, No. 1、2009、pp. 99-105.
- (33) 亀井健史、蓬萊秀人、高炉セメント B 種による半水石膏のフッ素不溶化技術の開発、地盤工学ジャーナル、査読有、Vol. 4, No. 1、2009、pp. 91-98.
- (34) 亀井健史、高嶋純一、気泡混合軽量土の一軸圧縮強さに及ぼす半水石膏添加量の影響とその内部構造—廃石膏ボードのリサイクリング—、島根大学総合理工学部紀要シリーズ A、査読無、Vol. 42、2009、pp. 9-16.

〔学会発表〕(計7件)

- (1) 神庭崇彰、志比利秀、亀井健史、廃石膏を添加して締め固めた粘性土の一軸圧縮特性、平成24年度土質工学セミナー報告会(ポスターセッション)、(公益法人)地盤工学会中国支部、2012年8月8日、広島大学 学士会館。
- (2) 武藤 優、矢島寿一、亀井健史、廃石膏ボードを用いた流動化処理土の一軸圧縮・三軸圧縮特性、土木学会第66回年次学術講演会講演集Ⅲ部門、2011年9月8日、愛媛大学。
- (3) 志比利秀、亀井健史、廃石膏を用いた締め固め土のCBR値、平成23年度土質工学セミナー報告会(研究報告)、(公益法人)地盤工学会中国支部、2011年7月15日、くにびきメッセ。
- (4) 神庭崇彰、志比利秀、亀井健史、二水石膏を混入した締め固め土の一軸圧縮特性、平成23年度土質工学セミナー報告会(ポスターセッション)、(公益法人)地盤工学会中国支部、2011年7月15日、くにびきメッセ。
- (5) 亀井健史、地盤工学からみた廃石膏ボードの再利用による循環型社会への貢献、NPO 法人北関東産官学発表会、(公益法人)地盤工学会他、2011年2月4日、群馬県桐生地域地場産業振興センター。
- (6) Ahmed, A., Ugai, K., Kamei, T. and Aizawa, Evaluation of using recycled gypsum for clayey soil improvement based on mechanical and environmental functions, Proceeding of the 45th Annual Meeting on Geotechnical Engineering, 2010年8月19日、愛媛大学
- (7) 大島章寛、志比利秀、亀井健史、半水石膏と石炭灰を用いた締め固め土の強度特性、平成22年度土質工学セミナー報告会(ポスターセッション)、(公益法人)地盤工学会中国支部、2010年7月16日、とりぎん文化会館。

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

志比 利秀 (SHIBI TOSHIHIDE)

島根大学・総合理工学部・助教

研究者番号：60311792