

生石灰混合による再生半水石膏を用いた地盤改良土の力学・溶出特性

福岡大学 学生会員 ○金子りさ 吉田英史

福岡大学 正会員 佐藤研一 押方利郎

ふくおか石膏ボードリサイクル研究会 非会員 大山勝寿 森田博史

1.はじめに 近年、廃石膏ボードは、中間処理が義務付けられ、管理型処分場の容量不足等の問題からリサイクル化¹⁾が求められている。その為、廃石膏ボードから生成される再生半水石膏を地盤改良材に用いる研究が、積極的に行われている^{2,3)}。しかし、再生半水石膏を添加した改良土の長期的な力学・溶出特性については未だ明らかにされていない。また、昨年度の研究成果⁴⁾より、再生半水石膏のみの改良では、土木工事の利用において強度発現が不十分である事が指摘されている。そこで本研究では図-1に示すフローに従って、再生半水石膏の固化を補助する役割を持つ固化材として生石灰と高炉セメント B 種を用い、軟弱地盤改良土の力学・溶出特性について実験及び検討を行った。特に、補助固化材の種類の違いと養生期間に着目して比較・検討を行った結果について報告する。

2.実験概要

2-1 実験に用いた試料 本実験では、土質試料として 2mm ふるいを通させた博多粘土、固化材として IH 式石膏半水化装置(焼成温度約 125~160)で焼成された再生半水石膏、補助固化材として生石灰と高炉セメント B 種を使用した。特に生石灰⁵⁾は、短期的に消化吸収水反応・イオン交換反応、長期的にボゾラン反応・炭酸化反応が起こるという特徴がある。各試料の粒径加積曲線を図-2に、物理特性値を表-1に示す。図-2,表-1より、博多粘土と再生半水石膏はシルト分構成で、博多粘土は強熱減量 9.79%と高有機質土である事が分かる。

2-2 実験方法 改良土の力学特性は、一軸圧縮試験とコーン指数試験により評価した。表-2に配合条件(固化材添加量は乾燥土 1m³に対する質量比)を示す。一軸圧縮試験用の供試体は、安定処理土の締固めを行わない供試体作成方法⁶⁾に準じ、モールド(直径φ=50mm,高さh=100mm)に入れ3層に分けて打設した。コーン指数試験の供試体は、モールド(直径φ=100mm,高さh=126mm)に入れ、各層突固め40回、3層に分けて打設した。また、モールド内に突固める際には、一軸圧縮試験結果と同様の締固め度 D=95%になるように、タンピング法にて供試体を作製した。溶出特性は、環告 46 号法に準拠した方法で検体を作製し、イオンクロマトグラフによりふっ素溶出濃度を測定し、評価した。

3.実験結果及び考察

3-1 力学特性 図-3(a),(b)にそれぞれ生石灰、高炉セメント B 種添加量 100kg/m³における養生日数と一軸圧縮強さの関係(凡例は、B:再生半水石膏、Ca:生石灰、Bc:高炉セメント B 種)を示す。養生日数に伴い一軸圧縮強さは増加しており、3ヶ月に及び長期養生後も安定した強度発現が認められる為、再生半水石膏を混合した改良土は長期的にも安定した強度が得られる事が判明した。また、補助固化材の種類の違いに着目すると、生石灰混合による改良土は、長期に伴って一軸強度が一定値に落ち着かず増進している。これは、生石灰の特徴であるボゾラン反応が原因とみられる。一方、高炉セメント B 種は、養生3日後から急な強度増加を示すが、56日を越えると強度

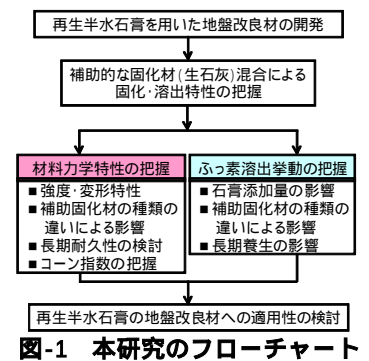


表-1 物理特性値

	博多粘土	IH式 再生半水石膏
粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.737	2.951
細粒分含有率 F_c (%)	86.90	80.0
液性限界 W_L (%)	79.65	-
塑性限界 W_P (%)	30.94	-
塑性指数 I_P	48.71	-
強熱減量(%)	9.79	-
pH	8.08	7.46
F(mg/l)	1.21	5.94

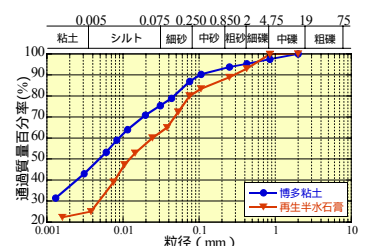


図-2 粒径加積曲線

表-2 本研究の実験の配合条件

土質試料	含水比 w(%)	固化材 再生半水石膏 添加量 B(kg/m ³)	補助固化材 生石灰/高炉セメントB種 添加量 Ca/Bc(kg/m ³)	養生日数 tc(day)
博多粘土	100	0, 100, 200	100	3, 7, 14, 28, 56, 72, 91

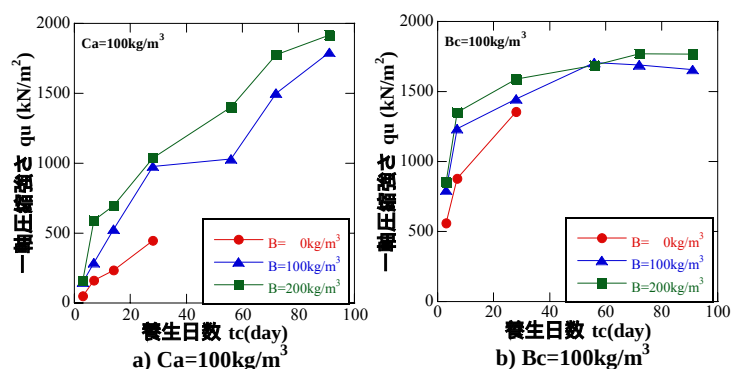


図-3 養生日数と一軸圧縮強さの関係

る改良土は、長期に伴って一軸強度が一定値に落ち着かず増進している。これは、生石灰の特徴であるボゾラン反応が原因とみられる。一方、高炉セメント B 種は、養生3日後から急な強度増加を示すが、56日を越えると強度

増加が一定値に落ち着く傾向を示している。したがって、早期に軟弱地盤のトラフィカビリティーの改善を図る場合に、高炉セメント B 種は有効であると言える。図-4 に再生半水石膏添加量とコーン指数の関係を示す。一軸圧縮強さの結果同様に、再生半水石膏添加量及び補助固化材添加量の増加に伴い、コーン指数が増加している事が分かる。図-5 にコーン指数と一軸圧縮強さの関係を示す。全条件共にコーン指数が 800kN/m^2 以上を示している為、高含水比の軟弱地盤を養生 7 日で第 2 種処理土に改良できると言える。また、補助固化材の種類の違いに着目すると、相関性はどちらも $R=0.9$ 以上を示し、相関性は高いと言える。回帰式は、生石灰を添加した場合 $q_c=4.8q_u$ 、高炉セメントを添加した場合 $q_c=9.0q_u$ という関係を示した。したがって、コーン指数による強度算定時に、補助固化材の種類の違いによる考慮が必要である。

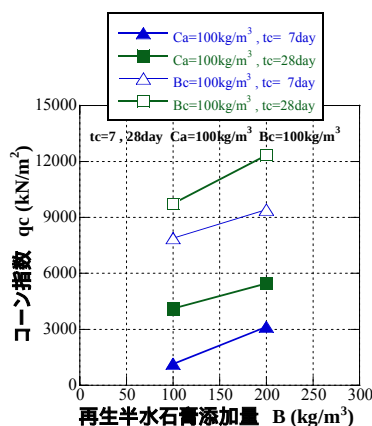


図-4 再生半水石膏添加量とコーン指数の関係

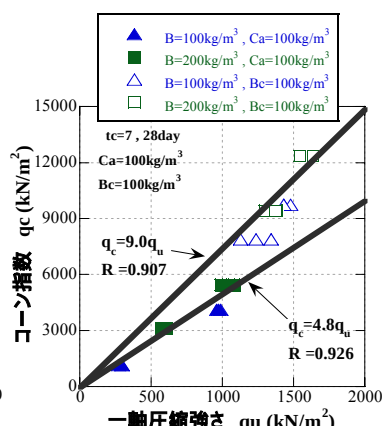
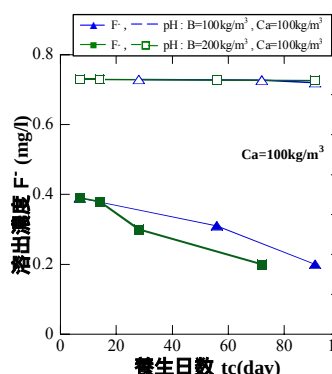
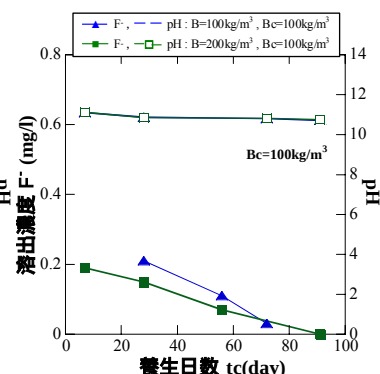


図-5 一軸圧縮強さとコーン指数の関係



a) $\text{Ca}=100\text{kg/m}^3$



b) $\text{Bc}=100\text{kg/m}^3$

図-6 養生日数とふっ素溶出濃度、pH の関係

3-2 溶出特性 図-6(a),(b)に補助固化材である生石灰と高炉セメント B 種を用いた改良土における、養生日数とふっ素溶出濃度の関係を示す。pH に着目すると、改良土は両補助固化材を用いる事により、強アルカリ性を示している事が

分かる。したがって、再生半水石膏と補助固化材を地盤改良材として実地盤へ用いた場合、アルカリ環境下の為、硫化水素は発生し難くなると考えられる⁷⁾。また、生石灰を添加した方が、高炉セメント B 種と比較して高い pH を示している。これは、酸化カルシウムが水溶液となった時、水酸化カルシウムとなり強塩基性を呈する為だと考えられ³⁾、高炉セメント B 種より生石灰の方が酸化カルシウムの含有量が多い為、高い pH を示していると考えられる。ふっ素溶出濃度に着目すると、補助固化材の種類の違いに関係なく養生日数が経過するにつれて溶出濃度が低下しており、いずれも土壤環境基準値である 0.8mg/l 以下を示している事が分かる。これは、生石灰の場合、水と反応して消石灰となった後、土中の粘土鉱物と結びつき、エトリンガイトが生成される事によってふっ素が固定され、溶出を抑制した為であると考えられる³⁾。高炉セメント B 種の場合も、含有している生石灰によって同じ効果が働いたと考えられる。

4. 結論 1) 補助固化材として生石灰を用いると、ポゾラン反応の影響により、長期養生に伴ってせん断強度が増進する。一方、高炉セメント B 種の場合は、早期に軟弱地盤のトラフィカビリティーの改善を図る事ができる。2) 補助固化材を用いた再生半水石膏改良土の強度をコーン指数から算定する場合、補助固化材の種類の違いによる影響を考慮する必要がある。3) 生石灰と高炉セメント B 種を添加した改良土は強アルカリ性を示す為、実地盤へ用いた場合、硫化水素は発生し難くなる。また、補助固化材の利用により、水和反応によりエトリンガイトが生成され、ふっ素の溶出を抑制する事ができる。

謝辞：本研究は、環境省平成 23 年度循環型社会形成推進科学研究費(No.K2359)および文部科学省化学研究費(No.21560527)の一部として実施された研究である。関係各位に心より感謝申し上げます。

【参考文献】 1) 社団法人 石膏ボード協会 2) 例えば亀井ら: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,地盤工学ジャーナル,vol.4,No.1,pp.99-105 3) 亀井健史: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,vol.4,No.1,pp.91-98 4) 松崎ら:再生半水石膏による軟弱地盤改良技術の検討,土木学会西部支部研究発表会,2011.3 5) 拓南産業株式会社,石灰の改良原理と特徴 6) 地盤工学会,土質試験の方法と解説 - 第一回改正版 -,「安定処理土の締固めをしない供試体」,PP.308-316. 7) Xu, Qiyong, Townsend, T., and Reinhart, D.(2010): Attenuation of hydrogen sulfide at construction and demolition debris landfills using alternative cover materials, Waste Management, Vol.30, No.4, pp.660-666.