

再生半水石膏を用いた軟弱地盤改良材の力学・溶出特性

福岡大学大学院 学生会員 吉田 英史
 福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗
 福岡大学大牟田産学連携推進室 非会員 押方 利朗

1.はじめに 廃石膏ボードから得られる二水石膏を焼成して得られる半水石膏（以下再生半水石膏）は、水を加えると固化する性質があり、中性固化材のため地盤改良材としての有効利用が望まれている。国内においても施工実績が挙げられているが、重金属溶出や硫化水素発生等が課題として挙げられていることが現状である¹⁾。そこで本報告では、再生半水石膏を用いて、特に軟弱地盤の浅層混合処理の固化材の開発を目的とし、力学・溶出特性の実験的検討を行った結果について報告する。

2.実験概要

2-1 実験試料 土質材料として福岡市内の現場で採取した博多粘土を用い 2mm ふるいにて粒度調整したものを使用した。また、固化材として IH 式半水化装置(130 ~ 160 で一定加熱)で焼成された再生半水石膏、補助固化材として高炉セメント B 種を、さらに助材として長期強度の向上を目的とし石炭灰を使用した。図-1 に各試料の粒径加積曲線を、表-1 に物理特性を示す。図-1 及び表-1 より、博多粘土と石炭灰はシルト分、再生半水石膏は砂分で構成されていることが分かる。さらに、博多粘土は高有機質土、石炭灰は他の試料に比べ粒子密度が小さい事が分かる。フッ素溶出濃度に着目すると、博多粘土、再生半水石膏、石炭灰自体には、土壤環境基準値を大きく上回るフッ素が含有されていることが分かる。また pH に着目すると、半水石膏は中性固化材としての特徴を示していることが分かる。

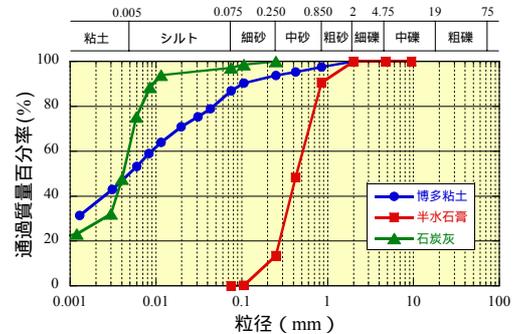


図-1 粒径加積曲線

表-1 物理特性

	博多粘土	再生半水石膏	石炭灰
粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.737	2.951	2.263
細粒分含有率 F_c (%)	86.90	0.030	97.2
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	9.93
F(mg/l)	1.21	5.94	3.41

2-2 実験方法 1) 力学特性の検討 表-2、表-3 に示す配合条件に従って安定処理土の締固めを行わない供試体作成方法²⁾に準じて、直径 5 × 高さ h10(cm)の塩ビ製モールドに打設した。翌日整形、翌々日に脱型し、ラップに包み 20 一定の恒温室内で所定日数養生させ、一軸圧縮試験(JIS A 1216)を行った。安定材の添加量については、土質材料に対する重量比から算出している。

2) 溶出特性の検討 溶出試験用の試料は、一軸圧縮強度を測定した後の破壊断片を回収したものを使用した。表-4 に示す溶出条件に従い環状 46 号法試験に準拠した方法で溶出試験を行った。そして、得られた検液はイオンクロマトグラフによりフッ素溶出量の測定を行った。

表-2 (再生半水石膏+高炉セメント B 種)

土質材料	含水比 w (%)	再生半水石膏 B (kg/m ³)	高炉セメント B 種 C (kg/m ³)	養生日数 t_c (day)
博多粘土	80	75	35	7
	100		45	
	120		55	
	150		65	
			75	

2-3 検討内容 1) 軟弱地盤の浅層混合処理材料の開発を行うため、改良された地盤の目標一軸強度³⁾である養生 7 日における 300(kN/m²)を満足する補助固化材の最低添加量の力学・溶出特性を把握する(表-2)。2) 長期強度の向上を目的として、1)の検討項目より得られた最低添加量を基に石炭灰を添加した際の力学特性を把握する(表-3)。

表-3 (再生半水石膏+高炉セメント B 種+石炭灰)

土質材料	含水比 w (%)	再生半水石膏 B (kg/m ³)	高炉セメント B 種 C (kg/m ³)	石炭灰 F_A (kg/m ³)	養生日数 t_c (day)	
博多粘土	100	75	54	10	7	
		150	48			
	120	75	59		30	28
		150	55			

3.実験結果及び考察

3-1 要求強度を満足する補助固化材最低添加量の検討

図-3 に養生 7 日での補助固化材(高炉セメント B 種)添加量と一軸圧縮強さの関係を示す。また、図中の色枠は浅層混合処理工法の要求強度である 300 kN/m² 以上を示している。補助固化材添加量が増加するにつれて大きな強度発現を呈していることが分かる。また、全ての条件において補助固化材添加量と一軸圧縮強さの相関性が非常に高い値を

表-4 溶出条件

試料	L/S	振とう時間	設定pH
混合試料	10	6	5.8 ~ 6.3

キーワード 廃石膏ボード、半水石膏、地盤改良材、一軸圧縮試験

連絡先 〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1 福岡大学工学部 道路・土質研究室 TEL092-871-6631

示していることから、目標強度である 300kN/m^2 を満足する補助固化材の最低添加量を推測することができる。図中に要求強度を満足する補助固化材の最低添加量の検討結果を示す。含水比に着目すると、要求強度に必要な最低添加量が増加していることがわかる。これは水セメント比の関係によるものと考えられる。一方、再生半水石膏添加量に着目すると、再生半水石膏添加量が増加するにつれて補助固化最低添加量が減少していることがわかる。これは、再生半水石膏の凝結硬化作用が働いたためであると考えられ、実施工を想定した場合でも、再生半水石膏を添加することで要求強度に必要なセメント量を減少させられると予測できる。図-4 に養生 7 日での補助固化材添加量とフッ素溶出量と pH の関係を示す。色枠はフッ素の土壤環境基準値を示している。pH に着目するといずれの条件においても 10~11 の弱アルカリ性を示していることがわかる。再生半水石膏を固化材として利用する場合、課題となるのが硫化水素ガスの発生である。また、硫化水素発生抑制対策として、pH 値を弱アルカリ性に設定することが挙げられている。実地盤に適用する際、改良土の透水性が低いいため、改良土内部のアルカリ分が溶出しにくいと考えられるが、改良土表面は空気中の炭酸ガスにより炭酸化が進み、pH が低下することが予想される。今後長期的な養生日数に伴う pH の変化を確認し硫化水素ガスの発生の評価を行う事が課題として挙げられる。フッ素溶出濃度に着目すると、全ての条件においてセメント添加量が増加するにつれ、漸次低下していることがわかる。これはエトリングイトによりフッ素イオンが固定され、再生半水石膏からのフッ素の溶出が抑制されたと考えられる。

3-2 産業廃棄物混合による力学特性への影響 図-5 に要求強度を満足する補助固化材添加量に助材として石炭灰を添加した際の一軸圧縮試験結果を示す。図より、石炭灰添加量が増加するにつれて最大圧縮応力が増加していることがわかる。図-6 に一軸圧縮強さと助材(石炭灰)添加量と含水比の関係を示す。助材添加量が増加するにつれて石炭灰添加に伴う吸水効果が現れ含水比が低下し一軸圧縮強さが増加していることがわかる。さらに、実地盤に適用した際にも、早期にトラフィカビリティーが改善され、工期の短縮が可能になるものと考えられる。一方、石炭灰の特徴として、石炭灰の主成分であるシリカとアルミナが、セメントの水和反応により生成される水酸化カルシウムとポゾラン反応を起こすことによる長期強度の増進効果が挙げられる。今後長期的な養生から、増進効果を確認していく予定である。

4.まとめ 1) 補助固化材添加量と一軸圧縮強さには、非常に高い相関性が認められ、目標一軸強度を満足する添加量を推定することが可能である。さらに、再生半水石膏添加量が増加するにつれ、再生半水石膏の凝結硬化作用が働き、補助固化材の最低添加量は減少することが明らかとなった。2) セメント系固化材を添加することでフッ素の溶出量を抑制することができる。3) 石炭灰の添加は、吸水効果による強度増加が期待出来る。

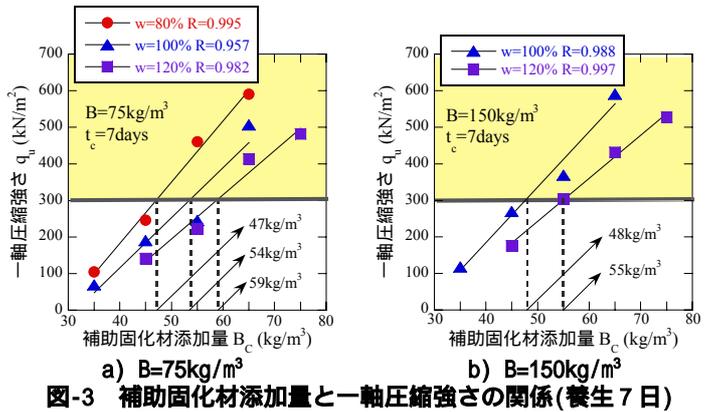


図-3 補助固化材添加量と一軸圧縮強さの関係(養生 7 日)

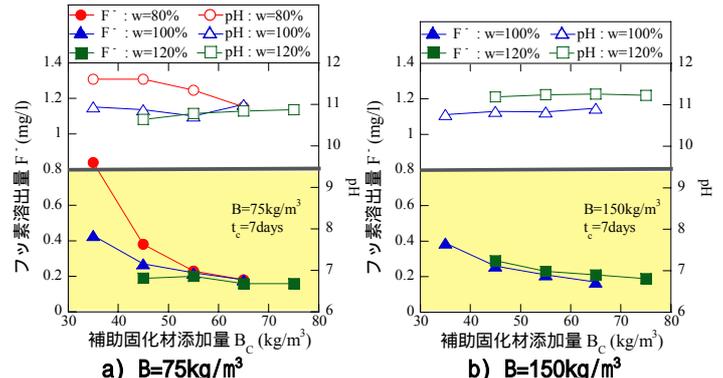


図-4 補助固化材添加量とフッ素溶出濃度と pH の関係(養生 7 日)

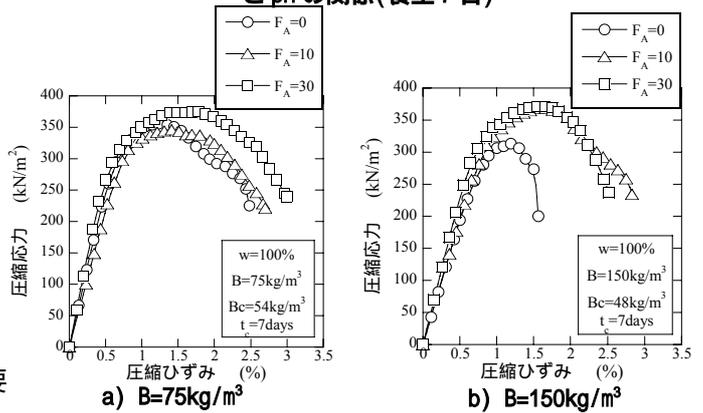


図-5 一軸圧縮試験結果($w=100\%$ 養生 7 日)

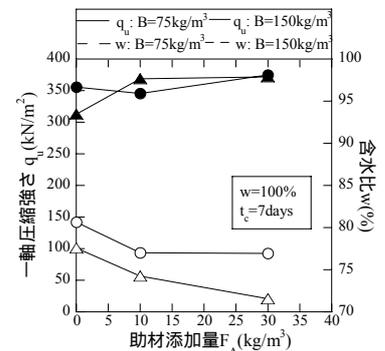


図-6 一軸圧縮強さと助材添加量と含水比の関係($w=100\%$ 養生 7 日)

参考文献 1) 平成 20 年度廃石膏ボードの再資源化促進方策検討業務調査報告書 2) 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作製」, PP.308-316. 3) (社)日本建築学会, 建築基礎のための地盤改良設計指針案, PP.37-42.