

再生石膏と特殊添加材を用いた中性化固化材の開発に関する検討

福岡大学工学部 学生会員 藤山 晶帆
 福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣

1.はじめに 地盤改良や土壌汚染対策等において、セメント安定処理工法が幅広く用いられている。その一方で、近年の環境意識の高まりにより、建設工事に伴う環境負荷の低減が求められており、pHが中性域で施工可能な中性化固化材の開発が期待されている¹⁾。一方、建築物の解体で発生する廃石膏ボードは毎年増加し、2018年は130万トンに達する²⁾ことから、再資源化の促進が緊急な課題となっている。その廃石膏ボードの有効利用技術として、廃石膏ボードをボード紙と石膏に分離・焼成処理することで得られる再生二水・半水石膏が注目されている。再生石膏は、中性の性質を示すという特徴を持つため、固化材と併用することで中性化固化材として石膏の有効利用に繋がる可能性がある。そこで、本報告では再生石膏を用いた中性化固化材の開発を目的とし、再生半水・二水石膏に特殊添加材を混合した改良土の力学・溶出特性について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験に用いた試料 土質材料には、カオリン鉱物を主成分とし有機物を含んでいる木節粘土を使用した。表-2 に示すように固化材には所定の割合で再生半水または二水石膏に特殊添加材を所定の割合で混合させたもの(以下、固化不溶化材とする)を使用した。なお、再生半水石膏は、再生二水石膏を焼成処理して製造されたものである。特殊添加材は、アルミナ成分とカルシウム成分を多く含む材料を使用している。表-1 に木節粘土の物理特性、図-1 に各試料の粒径加積曲線を示す。

表-1 木節粘土の物理特性

木節粘土	
密度 ρ_s (g/cm ³)	2.690
初期含水比 w_n (%)	3.9
最適含水比 w_{opt} (%)	21.9
液性限界 w_L (%)	44.0
塑性限界 w_p (%)	16.1
細粒含有率 F_{20} (%)	96.4
強熱減量lg-loss(%)	8.5

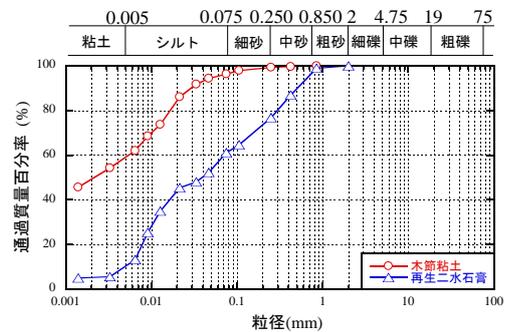


図-1 各試料の粒径加積曲線
 表-2 実験条件

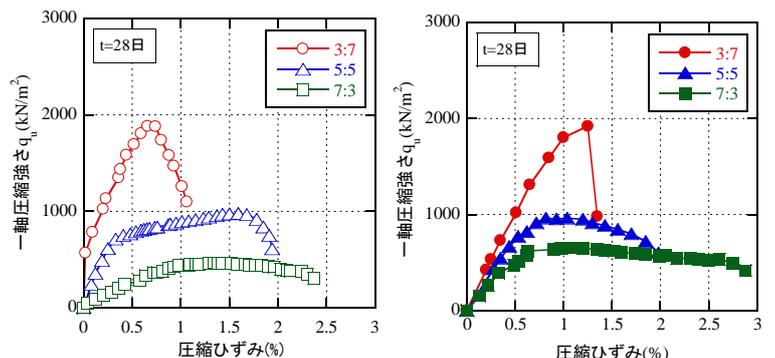
土質材料	設定含水比 (%)	固化不溶化材		養生日数 (日)	
		再生半水石膏・特殊添加材	再生二水石膏・特殊添加材		
木節粘土	66(1.5w _L)	3:7	200	7	
		5:5			
		7:3			
		3:7	300		28
		5:5			
		7:3			

2-2 実験方法及び実験条件 表-2 に実験条件を示す。供試体の作製方法は、含水比 $w=66\%$ ($1.5w_L$) に調整した木節粘土に固化不溶化材を添加・攪拌し直径 5cm、高さ 10cm のモールドに充填し、締め固めを行わない供試体作製(JGS-0821-2000)に準じて、供試体の作製を行った。その後、20°Cの一定の恒温室にて養生させ、所定の日数に一軸圧縮試験(JIS A 1216)を行った。ここで、処理土の目標強度は、石炭灰混合材料等の安定処理土の設定強度(300~1000kN/m²)とした³⁾。また、再生石膏は、有害物質であるフッ素を含有しており、再生石膏の地盤改良材への適用は、環境安全性の確認が必要不可欠であるとされている。そこで、本研究では、固化不溶化材による改良土の溶出特性を把握するため、養生 7, 28 日に平成 3 年環境庁告示第 46 号法試験を行った。六価クロムの分析には分光光度計(SHIMAZU 社製 UVmini-1240)、フッ素の分析にはイオンクロマトグラフィー(ダイオネクス社製 ICS-1000)を用いている。

3. 実験結果及び考察

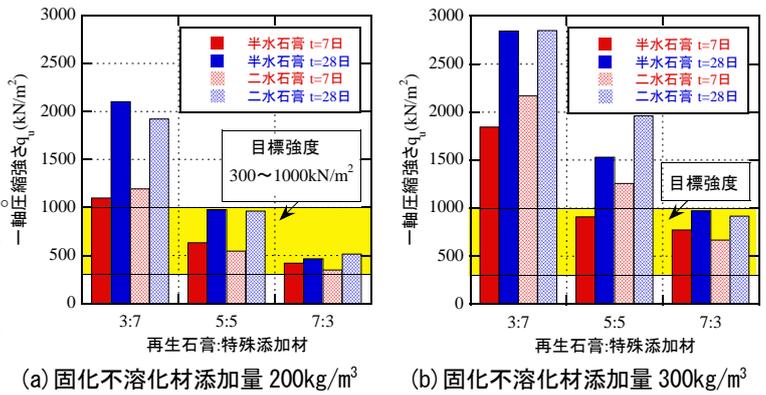
3-1 固化不溶化材を用いた処理土の力学特性 図

2 に再生半水・二水それぞれの再生石膏を用いた固化不溶化材添加量 200kg/m³、養生 28 日の一軸圧縮試験の結果を示す。図より、いずれの再生石膏のせん断挙動においても固化不溶化材の再生石膏と特殊添加材の配合割合の影響を受けていることが分かる。また、特殊添加材の混合割合の増加とともに最大圧縮強度が大きくなり、初期剛性も増加していることも分かる。しかしながら、固化処理土の強度・変形特性に再生石膏の違いによる顕著な差は見



(a) 再生半水石膏・特殊添加材 (b) 再生二水石膏・特殊添加材
 図-2 一軸圧縮試験結果

られないことも確認できる。そこで、図-3(a), (b)に一軸圧縮強さと養生日数の関係を示す。結果を見るといずれの条件においても養生日数の増加と固化不溶化材添加量の増加を行うことで一軸圧縮強さは増加し、目標強度を満足していることが分かる。また、固化不溶化材添加量 300kg/m^3 の 5:5 の混合率を除き、2種類の再生石膏混合による強度差は、最大 20kN/m^2 程度しか見られない。したがって、固化不溶化材の固化効果に再生石膏の種類の影響は少ないと考えられる。さらに、再生石膏の添加量の増加に伴い、一軸圧縮強さが減少していることから、特殊添加材の添加が固化不溶化材による処理土の強度発現に寄与していると考えられる。この石膏と特殊添加材の添加・混合により高含水比の粘性土を改良出来たのは、石膏と特殊添加材に Al_2O_3 , CaO , CaSO_4 が含有していることから、石膏の存在下での間隙質の水和によりエトリンガイトが生成されたこと⁴⁾が要因である。また、二水石膏と特殊添加材を混合させることで目標強度を十分に満たしていることから、コスト的に廉価な二水石膏の優位性も示唆している。



(a) 固化不溶化材添加量 200kg/m^3 (b) 固化不溶化材添加量 300kg/m^3
図-3 一軸圧縮強さと養生日数の関係

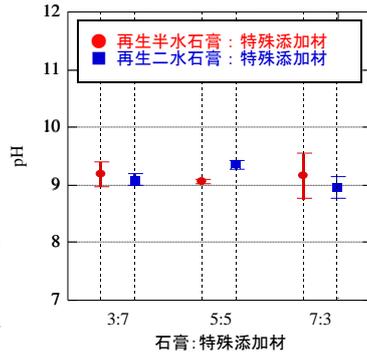


図-4 配合条件の違いが pH に及ぼす影響

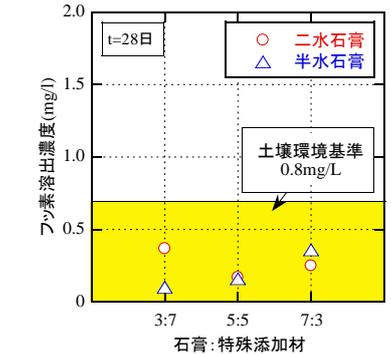


図-5 フッ素溶出結果

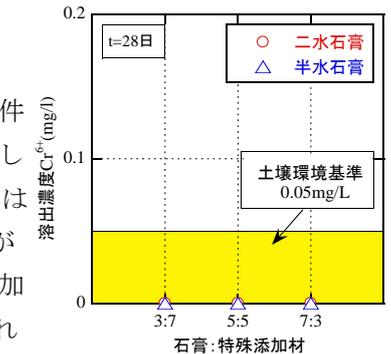


図-6 六価クロム溶出結果

3-2 固化不溶化材を用いた処理土の環境安全性の検討 図-4に各再生石膏の配合条件に伴う pH の変化を示す。なお、pH の変動は、各処理土の養生に伴う変動量を表わしている。各配合条件において養生日数の経過に係わらず近い値を示した。また、pH は弱アルカリ ($\text{pH}=8\sim 9.5$) を示していることが分かる。一般的に、中性化固化材は pH が弱アルカリである $8\sim 9.5$ の範囲で用いられている。今回検討を行った石膏と特殊添加材の混合による固化不溶化材は、中性化固化材として使用可能であることが考えられる。図-5に固化不溶化材添加量 300kg/m^3 におけるフッ素の溶出試験結果を示す。いずれも再生石膏の割合の増加に伴い、フッ素の溶出量が増加していることが分かる。しかしながら、固化不溶化材添加量 300kg/m^3 かつ再生石膏の割合が多い 7:3 の条件下においてもフッ素の溶出が土壤環境基準以下に抑えられていることが分かる。フッ素の溶出が抑えられた要因としては、特殊添加材が含有している Al_2O_3 と溶出したフッ素が反応して AlF_3 を生成し吸着したため、フッ素の溶出量が低下したと考えられる。また、生成されたエトリンガイトがフッ素を吸着した⁵⁾可能性も考えられる。図-6に六価クロムの溶出試験結果を示す。養生日数に係わらず六価クロムの溶出は見られなかった。これは、特殊添加材はアルミナ成分により、エトリンガイトが多く生成され、六価クロムの吸着量が多くなったことが要因と考えられる⁶⁾。

4. まとめ 1) 再生石膏を用いた固化不溶化材による処理土は、石膏の種類に係わらず養生日数の経過と固化材添加量の増加に伴い、一軸圧縮強さは増加した。その強度発現に特殊添加材の添加が寄与していることも明らかとなった。2) 再生石膏を用いた固化不溶化材による処理土の pH は、弱アルカリを示し、中性化固化材として適用できることが示唆された。また、処理土からのフッ素及び六価クロムの溶出は、土壤環境基準を満たすことが明らかになった。

謝辞：本研究は、環境省環境研究総合推進費 No.3-1702 の助成を受けて研究を進めたものです。記して、関係者各位に心より感謝申し上げます。

【参考文献】1) 環境に優しい固化材を用いた汚泥のリサイクル例, 土木学会第 57 回年次学術講演会, VII-199, pp397-398, 平成 14 年 9 月 2) 国土交通省 廃石膏ボード現場分別解体マニュアル 平成 24 年 3 月 : 3 廃石膏ボードの処理及び再資源化 3) (財)石炭エネルギーセンター, 湾岸工事における石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン, pp36-37, 平成 27 年. 4) 亀井ら: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, pp35-43 5) 橋本ら:合成したセメント水和生成物による微量元素(六価クロム、ヒ素、セレン、ホウ素、フッ素及びアルミニウム)の固定化について, Cement Science and Concrete Technology, pp71-78, 平成 28 年. 6) A.M.Neville 「ネビルのコンクリートバイブル」 技報堂出版株式会社(平成 16)pp14-23, pp818-823