

再生石膏固化材の硬化特性と固化土の現場強度

香川高等専門学校 正会員○ 小竹 望
 香川高等専門学校 学生会員 塩入潤一郎
 大分工業高等専門学校 正会員 佐野博昭
 明石工業高等専門学校 正会員 稲積真哉
 徳山工業高等専門学校 正会員 桑嶋啓治
 鎌長製衡株式会社 非会員 松下和史

1. はじめに

廃石膏ボードのリサイクルに向けて、筆者らは再生石膏固化材を用いた軟弱地盤改良工に関する室内実験ならびに現場実験を実施してきた^{1),2)}。本研究では、再生石膏固化材の基本的な硬化特性と再生石膏固化土の現場強度について述べる。

2. 再生石膏固化材

再生石膏固化材は、石膏固化体の不溶化とフッ素の溶出防止のため、セメント系あるいは石灰系の固化材と併用することが有効とされている。本研究では、土の炉乾燥質量に対する固化材の添加率を以下の様に定義する。

$$a_t = a_c + a_G \quad (1)$$

ここで、 a_t ：固化材総量の添加率、 a_c ：セメント系固化材の添加率、 a_G ：再生石膏の添加率である。本研究で用いた再生石膏ならびに半水石膏の試薬（焼石膏）の成分を表-1に示す。再生石膏①と③は、固化に寄与する半水石膏を86%以上、半水石膏と無水石膏を合わせて96%以上を含有している。

3. 再生石膏固化体の硬化特性

再生石膏の基本的な固化強度特性を把握するため、石膏に加水して得られる石膏固化体の基本的な硬化特性を検討した。石膏固化体として、粉体の石膏に加水した後、ミキサーで30秒間混合し、速やかにプラスチック製モールドに充填して円柱供試体（φ50mm×H100mm）を作製した。20℃の気中で養生し、材令 $T_c=7$ 日で一軸圧縮試験（JIS A1216）を実施した。加水率が一軸圧縮強さ q_u に及ぼす影響を図-1に示す。ここで、加水率は、石膏質量に対する水の質量比(%)である。図-1より再生石膏に含まれる半水石膏の割合が高ければ、石膏固化体の発現強度は試薬の場合とほぼ同等であると認められる。また、一軸圧縮強さ q_u と材令 T_c の関係を図-2に示す。再生石膏③の固化強度は、若干のばらつきがあるが試薬と同様に材令に伴う変化がほとんどみられない。

4. 混合時間が石膏固化土の強度に及ぼす影響

石膏固化土の混合時間が強度発現に及ぼす影響を室内試験で検討した。土質材料は、カオリン粘土（液性限界 $w_L=64\%$ ）を用いて、高含水比の底泥を想定した含水比 $w=80, 96\%$ に調整した。再生石膏③を使用し、NPセメントを $a_c=2.5, 5.0\%$ 、再生石膏をそれぞれ $a_G=20.0, 22.5\%$ 添加したケース（固化材総量 $a_t=25\%$ ）について、ソイルミキサーによる混合

表-1 再生石膏の成分

種別	成分 (%)		
	二水	半水	無水
半水石膏(試薬)	max 3	100 (min97)	--
再生石膏①	4	90	6
再生石膏②	62~69	23~30	8~9
再生石膏③	2	86	12

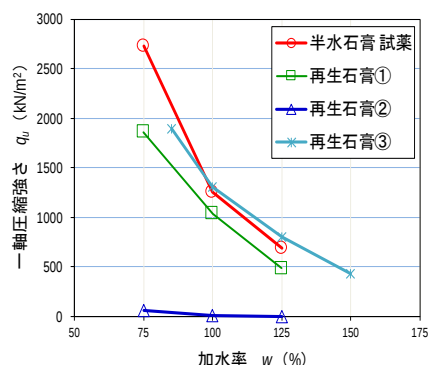


図-1 加水率と一軸圧縮強さの関係

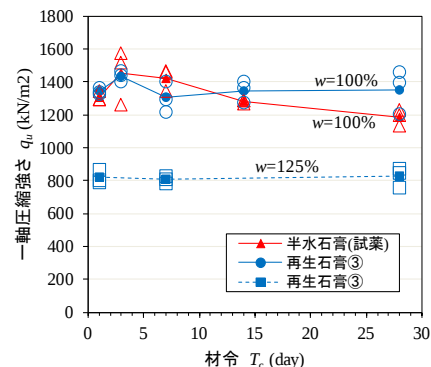


図-2 材令と一軸圧縮強さの関係

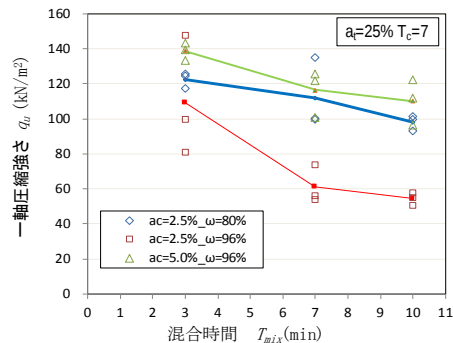


図-3 混合時間と一軸圧縮強さの関係

再生石膏固化材、固化土、一軸圧縮強さ、材令、混合時間、針貫入試験

香川県高松市勅使町 355 香川高等専門学校 建設環境工学科 Tel 087-869-3927

時間 $T_{mix}=3, 7, 10$ 分の供試体を作製した。材令 $T_c=7$ 日における一軸圧縮試験の結果を図-3に示す。既往の石膏だけを用いた場合($a_c=0$)¹⁾と同様に混合時間とともに発現強度の低下がみられた。この原因は、加水で硬化した石膏固化体の土粒子間結合が必要以上の混合によって分離するためと推定される。

5. 現場改良土の強度特性

5-1 室内配合試験

ため池底泥を改良対象とする固化改良工の試験施工において、再生石膏③を用いて室内配合試験を実施した。配合はセメント系固化材の添加率 $a_c=2.5, 5.0, 7.5\%$ に対し固化材総添加率 $a_t=10, 15, 20, 25\%$ となるように再生石膏添加率 a_g を設定した。また、現場採取土を自然含水比($w_n=46.7\%$)に調整し、供試体を作製した(JGS0821-2000)。ここではセメント系固化材と土との混合時間は10分間とし、その混合が5分経過してから再生石膏を混合することで、再生石膏と土の混合時間は5分間とした。

材令 $T_c=7$ 日の供試体を用いて一軸圧縮試験を実施した。図-4に一軸圧縮強さ q_u と再生石膏混合率 a_g の関係を示す。再生石膏はセメントよりも固化性能が小さいが、その添加率を増加すると圧縮強度が比例的に増加していくことが認められた。

5-2 現場改良強度

バックホウを用いる浅層混合処理工法によってため池底泥と再生石膏③とセメント系固化材を混合攪拌して固化改良した。固化強度と環境安全性から固化材配合と混合時間に関する施工条件を設定した。3種の施工ケースについて、固化材添加率と改良対象土の単位体積当りの混合時間をセメント系固化材と再生石膏について表-2にそれぞれ示す²⁾。

原位置試験に加えて改良地盤から混合直後の未固結状態でサンプリングして現場養生した供試体の一軸圧縮試験を実施した。図-5に一軸圧縮強さと材令の関係を示す。石膏混合により $T_c=3$ 日までの早期材令における比較的高い強度発現が認められた。

5-3 長期強度の検討

混合攪拌時にサンプリングして大型土嚢に充填した現場改良土を屋外での暴露状態で経緯観察した。材令 $T_c=1$ 年が経過した改良土の強度試験を行った。乱れのないサンプリングが難しいことから、土木学会「軟岩の調査・試験の指針(1991)」³⁾に準じた針貫入試験をそれぞれ20箇所で実施し、針貫入抵抗値と一軸圧縮強さの相関から一軸圧縮強さを推定した。現場養生供試体の材令 $T_c=28$ 日の一軸圧縮強さ(図-5)との比較を図-6に示す。1年経過後に施工時の強度を維持していることが認められる。

6. まとめ

本研究では、再生石膏の基本的な硬化特性を踏まえ再生石膏固化材を用いた軟弱地盤改良工を試験的に実施した。現場改良強度は、施工後1年経過した時点で当初の固化性能を維持していることが確認された。

参考文献

- 1) 小竹ほか:再生石膏固化材の軟弱粘性土に対する固化性能,平成26年度地盤工学研究発表会,pp.539-540,2014.
- 2) 小竹ほか:再生石膏固化材による底泥固化改良の現場実験,廃棄物資源循環学会第25回研究発表会,pp.147-148,2014.
- 3) (社)土木学会:軟岩の調査・試験の指針(案),pp.56-60,1991.

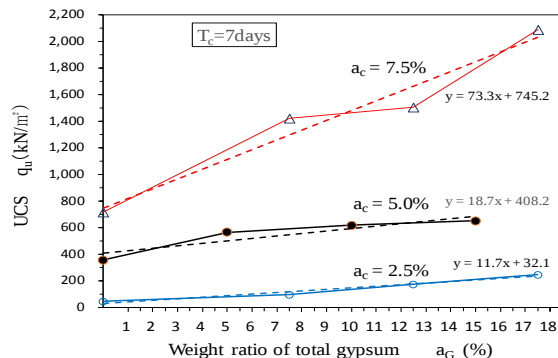


図-4 室内配合試験結果 ($q_u \sim a_g$)²⁾

表-2 現場実験の配合と混合条件

施工 ケース	添加率 (%)			混合時間(min/m³)	
	a_t	a_c	a_g	セメント	石膏
No.1	10	5	5	8.3	8.3
No.2	15	5	10	8.3	8.3
No.3	15	5	10	8.3	4.2

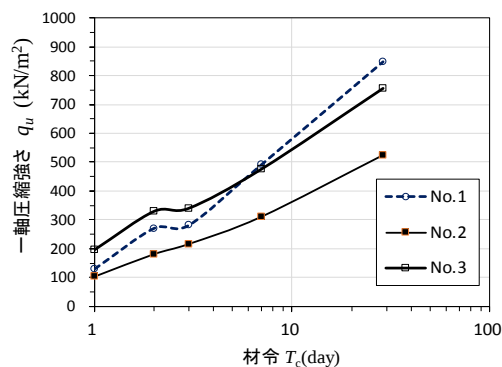


図-5 現場改良土の一軸圧縮強さと材令の関係

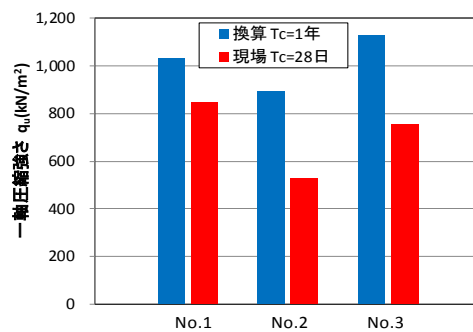


図-6 現場改良強度と材令