

再生石膏を用いた土質固化材による改良効果の検討

香川高等専門学校 学生会員 ○濱田和綺 角野 充  
香川高等専門学校 正会員 小竹 望  
鎌長製衡株式会社 非会員 川野浩二 松下和史

1. はじめに

廃石膏ボード・リサイクルの技術開発に向けて、軟弱地盤の土質改良に用いる再生石膏固化材の固化性能ならびに環境安全性について評価することが本研究の目的である。再生石膏固化材は、廃石膏（二水石膏）を加熱処理して生成される半水石膏が加水により固化する性質を利用するため、中性で早期に強度が発現する長所を有している。しかし、石膏は水溶性のため石膏固化体は水中で再泥化すること、また製造過程で混入するフッ素の不溶化処理が必要になることから、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<sup>1)</sup>。

2. 実験方法

2.1 再生石膏固化材

表-1 に本実験の再生石膏固化材の添加率を示す。再生石膏固化材として半水石膏と二水石膏の試薬を所定割合で混合することにより、半水化率の異なる再生石膏を実験用に作製した。また、軟弱地盤用セメント系固化材を併用した。

ここでは、土の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。 $a_t = a_c + a_g = a_{G5} + a_{G2} + a_{G0}$  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、 $a_g$ ：石膏総量の添加率、 $a_{G5}$ ：半水石膏の添加率、 $a_{G2}$ ：二水石膏の添加率、 $a_{G0}$ ：無水石膏の添加率である。半水化率は、 $a_{G5} / a_g \times 100$  (%) である。

表-1 再生石膏固化材の添加率

| 固化材<br>総量<br>$a_t$ (%) | セメント系<br>固化材<br>$a_c$ (%) | 半水石膏<br>$a_{G5}$ (%) | 二水石膏<br>$a_{G2}$ (%) |
|------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|
| 15                     | 2.5                       | 12.5                 | 0                    |
| 25                     | 10                        | 15                   |                      |
|                        | 5                         | 20                   |                      |
|                        |                           | 15                   | 5                    |
|                        |                           | 10                   | 10                   |
|                        |                           | 5                    | 15                   |
|                        |                           | 0                    | 20                   |
|                        | 2.5                       | 22.5                 | 0                    |
|                        | 0                         | 25                   |                      |
| 35                     | 2.5                       | 32.5                 |                      |
|                        | 0                         | 35                   |                      |

2.2 供試体の作製

土質材料としてカオリン粘土を用いた。高含水比の底質を想定し含水比を液性限界 $w_L$ の1.5倍で $w=96\%$ に調整した。供試体寸法を $\phi 50\text{mm} \times H100\text{mm}$ とし JGS0821-2000「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法」に準じて作製した。土質材料と固化材をソイルミキサーで混合し、混合後速やかに鋼製モールドに充填して 20℃で封緘養生を行なった。ここで、混合時間は $T_{mix}=10\text{min}$ を基本とした。水浸試験は、材令 $T_c=1$ 日で脱型した後、水温 20℃の水槽内で水浸を開始した。

2.3 強度試験

一軸圧縮試験(JIS A 1216)は材令 $T_c=7$ 日の供試体を用いて実施した。また、土木学会「軟岩の調査・試験の指針(1991)」に準じた針貫入試験により強度を評価した。本研究では、針貫入部を圧縮試験機に取付け変位制御で貫入する方式とした(図-1)。円柱供試体の端面から 25, 50, 75 (mm)の3箇所毎分 3mm の速度で 12mm まで貫入し、10mm 貫入時の抵抗値から貫入勾配 NP (N/mm)をそれぞれ求めた。



図-1 針貫入試験の試験状況

3. 実験結果と考察

3.1 混合時間が強度に及ぼす影響

既往研究<sup>2)</sup>より、再生石膏固化土の強度は半水化率の影響が明瞭に現れないことが確認されている。本実験では、混合時間が固化土の強度発現に及ぼす影響を調べるため、まず半水石膏だけ( $a_c=0\%$ )をカオリン粘土に混合した固化材総量  $a_t=a_{G5}=25, 35$  (%) のケースについて、混合時間 $T_{mix}=1, 3, 5, 7, 10$  (min) の供試体をそれぞれ作製し、材令 $T_c=1$

日で針貫入試験を実施した。図-2 に針貫入勾配 NP(N/mm) と混合時間  $T_{mix}$  の関係をそれぞれ示す。混合時間が長くなると強度が低下する傾向を示し、 $T_{mix}=7\text{min}$  以上の供試体は養生しても硬化が生じなかった。

半水石膏に加水して形成される半水石膏固化体は、混合後数時間で硬化が終了し、その後材令に伴う強度増加がないことが確認されている。したがって、混合時間の増加に伴う強度低下は、加水で硬化した石膏固化体の土粒子間結合を必要以上の混合によって破碎するためと推定される。

さらにセメント系固化材  $a_c=2.5\%$  を添加した固化材総量  $a_t=15, 25\%$  のケースについて混合時間  $T_{mix}=1, 3, 5, 7, 10(\text{min})$  の供試体を作製し、材齢  $T_c=7$  日で一軸圧縮試験を行った。図-3 に一軸圧縮強さ  $q_u$  と混合時間の関係をそれぞれ示す。混合時間を長くすると強度がやや低下するが、セメント系固化材の添加によって強度が安定する傾向が見られた。

### 3.2 水浸が強度に及ぼす影響

固化材総量  $a_t=25\%$  に対し、セメント系固化材と半水石膏の割合を  $[a_c=2.5\% + a_{g05}=22.5\%]$ ,  $[a_c=5\% + a_{g05}=20\%]$ ,  $[a_c=10\% + a_{g05}=15\%]$  で添加した再生石膏固化体の供試体(混合時間  $T_{mix}=10\text{min}$ ) を作製し、水浸時間  $T_s=1\sim 122$  日における針貫入勾配 NP を測定した結果をそれぞれ図-4 に示す。 $a_c=2.5\%$  のケースは強度増加が少ないが  $a_c=5\%$  以上のケースは水和反応によって強度が増加する傾向がみられる。

上記のうちセメント系固化材添加率  $a_c=2.5\%$  のケースについて、 $T_s=1\sim 122$  日における針貫入力  $P\sim$  貫入量  $d$  の関係をそれぞれ図-5 に示す。水浸時間の経過に伴い表面部の抵抗値がほとんどない領域が現れ、内部に徐々に拡大している。これが再泥化の生じた範囲と見なされる。このとき内部は時間経過に伴って強度増加する傾向がある。なお  $a_c=5\%$  と  $10\%$  のケースでは再泥化の傾向が見られなかった。

### 4. あとがき

本研究では、再生石膏固化材の軟弱地盤への適用を室内試験で検証し基礎資料を得た。これを踏まえて実施した現場実証実験の結果は別途報告する。

### 参考文献

- 1) 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 Vol. 4, No. 1, pp. 91-98, 2009.
- 2) 濱田和綺・小竹望：再生石膏固化材を用いた固化土の再泥化、地盤工学会四国支部平成 25 年度技術研究発表会, pp. 21-22, 2013.

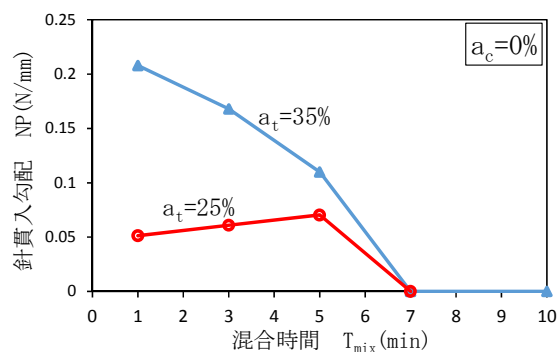


図-2 混合時間と針貫入勾配の関係

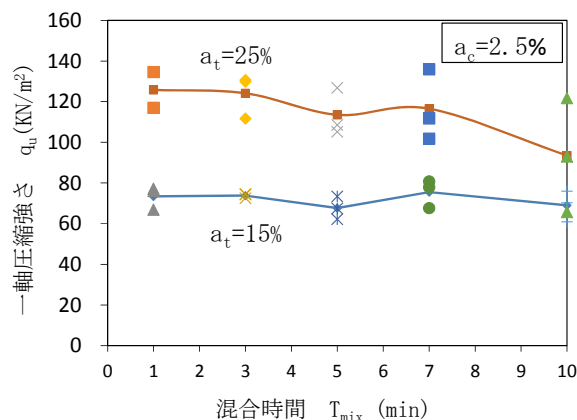


図-3 混合時間と一軸圧縮強さの関係

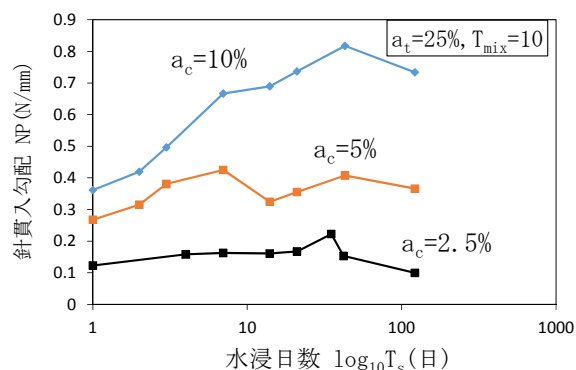


図-4 水浸による針貫入勾配の変化

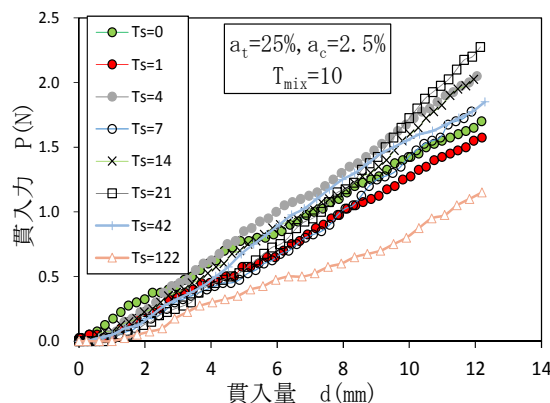


図-5 針貫入力と貫入量の関係