

## 再生半水石膏を用いた改良土の膨張メカニズムとその対策

福岡大学工学部  
福岡大学工学部

学生会員 寺本 天平 池田 茄生  
正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣

1. はじめに 建築物等の解体に伴い発生する廃石膏ボードの一部は、中間処理（分離・焼成）を経て再生半水石膏となり固化材や改質材として利用されている。しかしながら、路盤材や盛土等の地盤材料として利用した際の膨張特性については未だ課題が残されており、有効利用が進んでいないのが現状である。今後さらに廃石膏ボードの排出量が増大することを考慮すると、再生半水石膏の有効利用の推進が求められる。そこで本報告では軟弱地盤の改良や盛土の構築を想定し、再生半水石膏を用いた改良土の膨張メカニズムについて検討した結果について報告する。

### 2. 実験概要

2-1 実験試料 土質材料には、図-1 に示す物性を有する関東ロームと木節粘土をそれぞれ使用した。いずれも水道水を加えコーン指数  $q_c=200\text{kN/m}^2$  (土質区分では粘土に相当) となるように含水比調整(関東ローム:  $w=71.0\%$ , 木節粘土:  $w=26.0\%$ ) しており、これら2種類の粘土に固化材と再生半水石膏を混合して改良土を作製した。なお、固化材の種類が膨張に与える影響を把握するため、高炉セメント B種とセメント系固化材の2種類を使用した。改良土の作製に用いた配合は表-1 に示すとおりであり、これらの配合は実際に膨張が生じた現場のヒアリング調査を踏まえたものである。

2-2 実験方法 表-1 に示す配合に基づき、ホバートミキサーを使用して材料の練り混ぜを行った後、直径 100mm、高さ 27.5mm の塩ビ製モールドを用いて突固めによる土の締固め試験法 (JISA 1210:A 法) に準じて改良土を作製した。その後、モールドをラップに包み 20°C一定の恒温室内にて7日間養生を行い、養生後、膨張量を把握すべく浸漬試験を実施した。なお、浸漬試験においては、改良土の透水性が低いことを踏まえ、間隙中への水の浸透を促すべくプラスチックハンマーを用いて解きほぐした後(粗破碎した後)に再度締固めた条件でも検討を行った。浸漬条件については表-2 に示すように水道水に4ヶ月間浸漬させる条件と、水道水に1ヶ月浸漬させた後に、硫酸塩溶媒( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :水溶液濃度 1%)に3ヶ月浸漬させる2条件で膨張量の測定を行った。ここで、硫酸塩溶媒に浸漬させた理由は、エトリンガイトの再転化による膨張<sup>1)</sup>の有無を確認するためである。

### 3. 実験結果及び考察

3-1 改良土の解きほぐしが膨張に与える影響 図-2 に解きほぐしの有無(破碎の有無)に着目した浸漬日数と膨張率(膨張量を供試体高さで除して百分率で表した)の関係を示す。破碎無しの場合においては、いずれも膨張率は1%未満であった。路盤用鉄鋼スラグの場合、膨張率が1%を超えると路盤膨張によるトラブルが発生している<sup>2)</sup>状況を鑑みると、石膏改良土においてその可能性は低いことが分かる。一方、溶媒への浸透を促した破碎有りの条件においては、固化材添加量によっては2.5%以上の膨張が生じる結果となった。このことより、水が浸入しやすい環境下にあるほど粒子との接触面積が増える

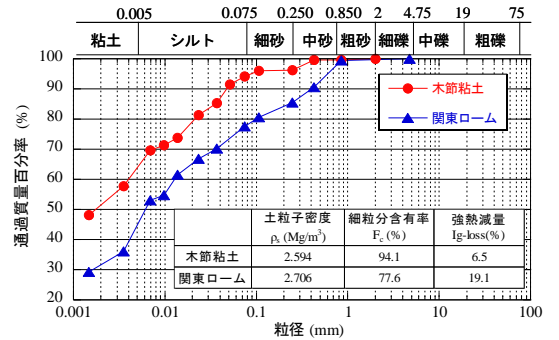


図-1 実験に用いた試料の物性

表-1 改良土の作製条件

土質材料	固化材の種類	固化材添加量 C (kg/m <sup>3</sup> )	再生半水石膏添加量 B (kg/m <sup>3</sup> )	養生日数 (日)	解きほぐし (粗破碎)
木節粘土 (w=26.0%)	高炉セメントB種	10	300	7	有り
関東ローム (w=71.0%)	セメント系固化材	30			無し

表-2 浸漬条件

浸漬条件
・水浸4ヶ月
・水浸1ヶ月 → 硫酸塩溶媒3ヶ月

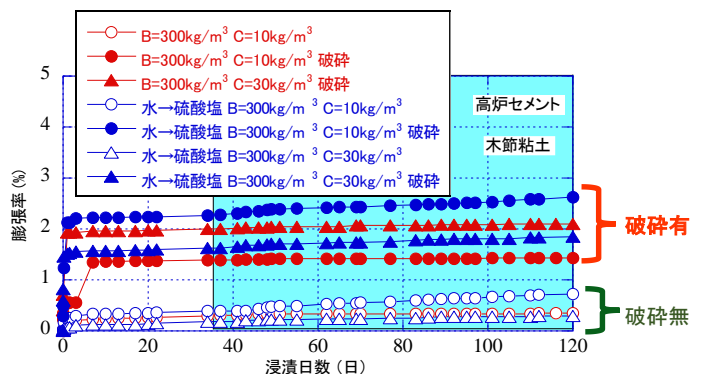


図-2 浸漬日数と膨張率の関係

ことで水和反応が促進し、膨張量は大きくなる事が分かる。そのため、実施工においては、降雨や地下水が改良土に過剰に浸透する状況を防ぐことで膨張の発生を抑えることが可能と考えられる。なお、以降の検討は、膨張メカニズムを明らかにすべくいずれも破砕有りの条件で行った結果について示す。

3-2 固化材及び土質材料の違いが膨張に与える影響

図-3(a),(b)は、固化材の違いが膨張率与える影響について溶媒ごとに示した結果である。いずれの条件も固化材や溶媒の種類に関係なく、浸漬初期に著しく膨張を引き起こし、浸漬10日あたりから膨張は収束する傾向が見られた。また、浸漬1ヶ月経過後に硫酸塩溶媒に浸漬した条件においても膨張の発生は見られなかった。そこで、“B=300kg/m<sup>3</sup>・C=10kg/m<sup>3</sup>・水浸1ヶ月後硫酸塩溶媒3ヶ月”の供試体を用いてX線回折を行った結果を図-4に示す。X線回折の結果からエトリンガイトとモノサルフェートのピークは確認できず、二水石膏(CaSO<sub>4</sub>・2H<sub>2</sub>O)のピークが確認された。よって、改良土において見られる浸漬初期の著しい膨張は、吸水による二水石膏の析出によるものと考えられる。

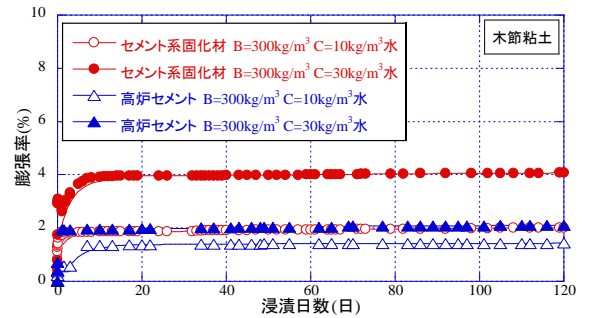
これら一連の浸漬実験によって得られた実験終了後の膨張率を最大膨張率と定義し、土質材料ごとに整理した結果を図-5(a),(b)に示す。固化材の違いに着目すると、木節粘土においては高炉セメントに比べセメント系固化材を用いたほうが最大膨張率は高い傾向にあるが、その一方で関東ロームにおいては、セメント系固化材に比べ高炉セメントの方が最大膨張率は高くなる傾向を示した。

これは関東ロームが高有機質土であることから、高炉セメントによる改良効果が得られにくいことに起因していると考えられる。よって、再生半水石膏を用いた改良土は使用する固化材や土質材料によっても膨張量が異なることが考えられるため、実施工においては使用する固化材や土質材料の選定に留意が必要である。

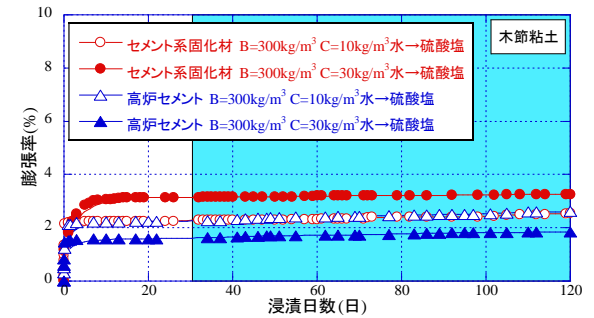
4. まとめ 1)再生半水石膏を用いた改良土は、通常の状態において膨張する可能性は低いが、破砕やクラック等に伴い降雨や地下水が浸透しやすい状況下になると膨張を引き起こす可能性がある。2)浸漬実験より、再生半水石膏を用いた改良土の膨張は、浸漬初期において顕著に見られ、その後、収束する傾向にある。3)再生半水石膏を用いた改良土の膨張メカニズムは、吸水による二水石膏の析出によるものと考えられる。4)使用する土質材料や固化材の種類によっても膨張量が異なるため、実施工においては材料の選定に留意が必要である。

謝辞 本研究の遂行にあたり、一般社団法人九州建設技術管理協会より令和3年度建設技術開発助成を受けました。また、本論文をまとめるにあたり、前田道路(株)の協力を得ました。末筆ながらここに記し謝意を表します。

【参考文献】1) 藤川拓朗・佐藤研一・古賀千佳嗣・池田茄生：再生石膏粉を用いた再生路盤材の膨張特性，第2回交通地盤工学に関する国内シンポジウム論文概要集，2022.2) 安藤和彦・寺田 剛・坂 修平：鉄鋼スラグ路盤設計施工指針の発刊～鉄鋼スラグの水浸膨張比の規格値検討～，土木技術資料 57-11, pp.52-55, 2015.



(a) 水浸4ヶ月



(b) 水浸1ヶ月→硫酸塩溶媒3ヶ月

図-3 浸漬日数と膨張率の関係

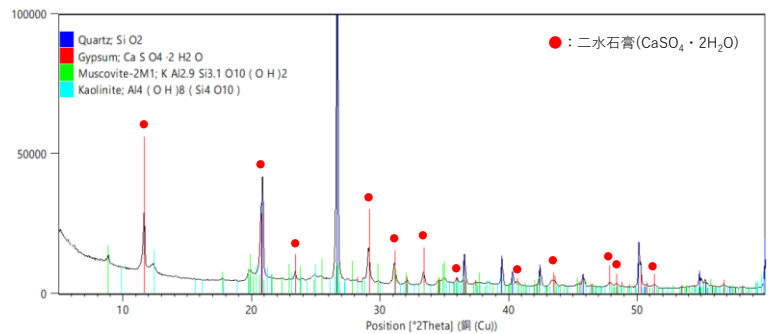
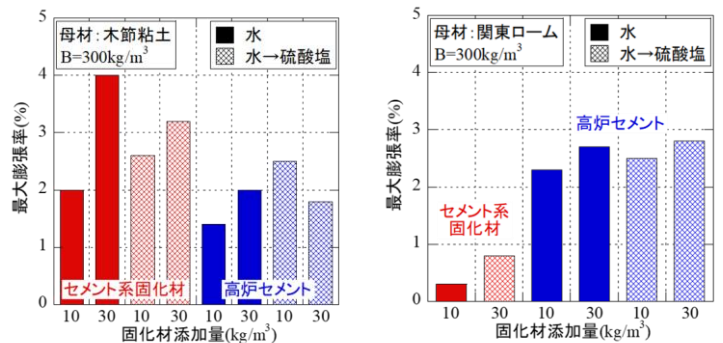


図-4 XRD (粉末X線回折)の結果



(a) 木節粘土

(b) 関東ローム

図-5 固化材添加量と最大膨張率の関係