

再生石膏粉を用いて改良した地盤材料の膨張特性

福岡大学工学部 学生会員 吉田 瑞宜 池田 茄生
 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 建築物等の解体工事に伴い発生する廃石膏ボードは、中間処理を経て再生石膏粉としてリサイクルが進められているものの、地盤改良材や石膏ボードメーカーでの有効利用はあまり進んでいない¹⁾。著者らはこれまでに、再生石膏粉の地盤工学的利用について研究を行っており、再生石膏粉の改良効果や環境安全性について明らかにしている²⁾。しかしながら、路盤材や盛土材等の地盤材料として利用した際の課題が残されており、石膏改良にともなう材料の膨張メカニズムとその対策が有効利用を推進していくためにも急務である。そこで、本研究ではヒアリング調査をもとに膨張が生じた事例として、①再生石膏粉由来の人工石粉を粒度調整材として用いた路盤の膨張事例 (Case1)、②再生石膏粉を用いて軟弱地盤改良した地盤の膨張事例 (Case2) に着目し、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

① Case1 (人工石粉をRC40に混入した再生路盤材) における膨張特性 人工石粉とは、RC40に粒度調整材として添加させた材料であり、表-1に示すように、建設発生土の洗砂における濁水処理に伴って発生する脱水ケーキを母材とし、セメント系固化材と半水石膏粉を混合させて作製している。今回の検討においては、セメント系固化材や再生半水石膏の割合を変化させた検討を行い、

表-1 人工石粉作製条件

石粉名	配合			
	母材	セメント系固化材 (%)	再生半水石膏 (%)	再生二水石膏 (%)
人工石粉A	脱水ケーキ	10		
人工石粉B		5	5	
人工石粉C		5		5
人工石粉D		3	7	
人工石粉E		3		7

再生路盤材の膨張特性に与える影響因子や添加率に着目している。なお比較のため、再生二水石膏を用いた検討も行っている。表-2は、再生路盤材の作製条件と水浸条件を示したものであり、5種類の人工石粉A～EをRC40の湿潤質量に対して7%添加して再生路盤材を作製している。具体的には、RC40と人工石粉を十分混合した後、D=100mm, H=127mmの塩ビ製モールドに1Ec (≒550kJ/m³) の締固めエネルギーで突き固めて供試体を作製した。供試体作製後、水道水に4ヶ月水浸させる条件と水道水に2ヶ月水浸させた後に1%の硫酸塩溶媒に2ヶ月浸漬させる2パターンの浸漬試験を行い、膨張量の測定を行った。ここで、4ヶ月という浸漬条件は、実際の路盤材において施工後4ヶ月後に膨張が発生したというヒアリング結果を踏まえたものである。また、硫酸塩溶媒に浸漬させた理由は、図-1に示すモノサルフェートからエトリングタイトへの再転化による膨張メカニズム³⁾の再現を考慮している。

表-2 再生路盤材の作製条件及び水浸条件

路盤材	人工石粉の種類	人工石粉添加量 (%)	水浸条件
RC40	人工石粉A 人工石粉B 人工石粉C 人工石粉D 人工石粉E	7	・水浸4ヶ月 ・水浸2ヶ月 → 硫酸塩2ヶ月

② Case2 (再生石膏粉を用いた改良地盤) における膨張特性

市販の木節粘土に水を加え、コーン指数がqc=200kNm²となる模擬泥土を作製した。この模擬泥土に、表-3に示すように再生半水石膏とセメント添加量をそれぞれ変化させ改良土を作製し、

①に示す供試体作製方法と同じ条件で突き固めて供試体を作製した。供試体作製後、養生7日後に水道水に4ヶ月水

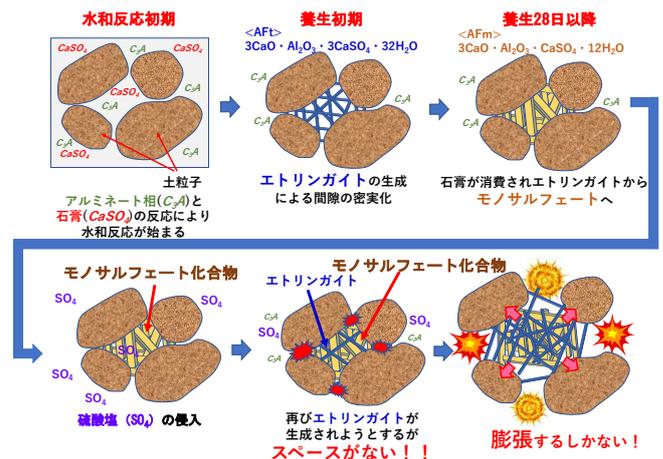


図-1 再生石膏を用いた改良土の膨張メカニズム (案)³⁾

表-3 改良土の作製条件及び浸漬条件

土質材料	再生半水石膏 (kg/m ³)	高炉セメントB (kg/m ³)	養生日数 (日)	解きほぐし	浸漬条件
模擬泥土 (w=21.5%)	300	10 30	7	有 無	・水浸4ヶ月 ・水浸1ヶ月 → 硫酸塩3ヶ月

浸させる条件と水道水に1ヶ月水浸させた後に1%の硫酸塩溶媒に3ヶ月浸漬させる2パターンの浸漬試験を行い膨張量の測定を行った。なお、間隙中への水の浸透を促すべく、養生後に解きほぐして(粗破碎して)再度締め固めた条件についても検討を行った。

3. 実験結果及び考察

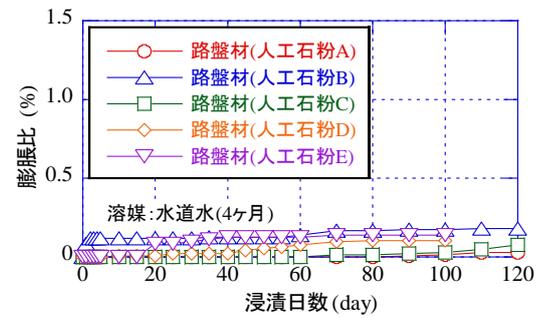
3-1 再生路盤材の膨張特性 (Case1) 図-2に(a)水浸4ヶ月、(b)水浸2ヶ月後に1%の硫酸塩溶媒に2ヶ月浸漬させた再生路盤材の吸水膨張試験結果を示す。(a)水浸4ヶ月においては、浸漬初期に膨張が発生し、その後は一定した値で推移しており膨張の発生は見られていない。一方、2ヶ月後に硫酸塩溶媒に浸漬させた条件においては、路盤材(人工石粉D) (固化材3%+再生半水石膏7%)及び路盤材(人工石粉E) (固化材3%+再生二水石膏7%)の条件において、膨張量の増加が顕著に見られた。これは、硫酸塩の浸入により再びモノサルフェートがエトリンガイトに転化され、初期のエトリンガイトの生成において密実化した間隙内にさらにエトリンガイトが生成されたことに伴う膨張によるものと考えられる。膨張比(膨張量を供試体高さで除して百分率で表したものは浸漬100日において1%程度であり、これは路盤用鉄鋼スラグの施工後の路盤膨張によるトラブル(クレーム)が発生した膨張比⁴⁾に相当する。よって、再生石膏粉を由来とした人工石粉を粒度調整材として利用する場合、再生石膏粉の添加率や周辺環境(硫酸イオンが存在する地盤等)には留意が必要である。

3-2 改良土の膨張特性 (Case2) 図-3に(a)水浸4ヶ月、(b)水浸1ヶ月後に1%の硫酸塩溶媒に3ヶ月浸漬させる再生路盤材の吸水膨張試験結果(途中経過)を示す。なお、参考までに改良後の模擬土のコーン指数は $q_{c7}=3,500\text{kN/m}^2$ (再生半水石膏粉: 300kg/m^3 , 固化材: 10kg/m^3)であった。膨張比については、改良土中の再生半水石膏添加量が多いため水浸直後から膨張が見られ、現時点で最大1.6%の膨張が生じている。Case1と同様に、今後、硫酸塩溶媒においてエトリンガイトの再転化による更なる膨張量の発生が予想される。今回の結果から、再生半水石膏粉の添加量が多い改良土や路盤材等において、地下水や降雨等の浸出水との接触がある場所では、利用制限や止水対策が必要であることが明らかとなった。

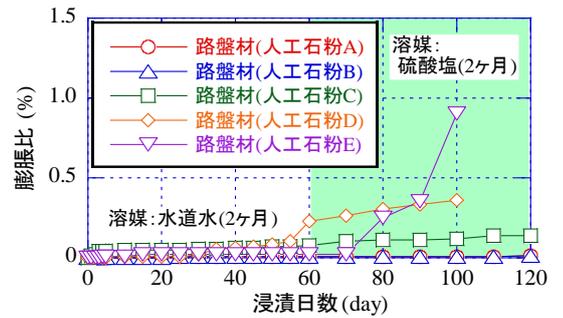
4. まとめ 1) 再生石膏粉を用いた再生路盤材の膨張特性は、硫酸塩溶媒においてエトリンガイトの再転化が生じ、著しい膨張が生じたと考えられる。2) 再生半水石膏を 300kg/m^3 添加させた改良土は、水浸直後から著しい膨張が見られた。

謝辞 本論文をまとめるにあたり、(株)前田道路の協力を得ました。末筆ながらここに記して謝意を表します。

【参考文献】 1) 国立研究開発法人国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター：再生石膏粉の有効利用ガイドライン(第一版), 2019. 2) 例えば、松尾典映・佐藤研一・藤川拓朗・古賀千佳嗣：解体・新築系廃石膏ボードの混合率に着目した再生半水石膏による地盤改良固化特性の影響, 第49回地盤工学研究発表会, pp.537-538, 2014. 3) 鴨川祐剛・郭 嘉・佐藤研一・藤川拓朗・古賀千佳嗣：再生二水・半水石膏を用いた改良土の膨張挙動の把握, 令和2年度土木学会西部支部研究発表会論文集, pp.417-418, 2020. 4) 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.

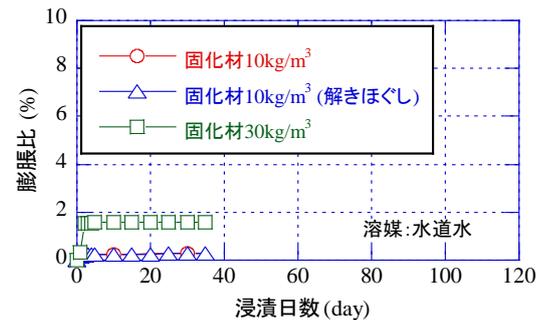


(a) 水浸 4 ヶ月

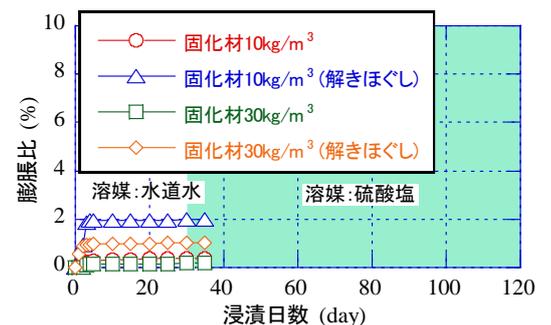


(b) 水浸 2 ヶ月後、硫酸塩 2 ヶ月

図-2 再生路盤材の吸水膨張試験結果



(a) 水浸 4 ヶ月 (途中経過)



(b) 水浸 1 ヶ月後、硫酸塩 3 ヶ月 (途中経過)

図-3 改良土の吸水膨張試験結果