

再生二水・半水石膏を用いた改良土の膨張挙動の把握

福岡大学工学部 学生会員 鴨川 祐剛 郭 嘉
 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 建築物等の解体により発生する廃石膏ボードの排出量は年々増加しており、2030年には約180万トンに達することが予想され、再資源化の促進が喫緊の課題となっている。このような背景の中、著者らは、廃石膏ボードを中間処理により破砕・分別処理した再生石膏粉の地盤工学的利用について一連の研究を行っている^{1), 2)}。これまでの研究において、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きた。しかし、再生石膏により改良した地盤材料の膨張挙動については十分明らかにされていないのが現状である。そこで、再生石膏粉(再生二水石膏及び再生半水石膏)を用いた改良土や路盤材の膨張特性について検討すべく、一連の実験的検討を行った結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験試料 本実験では、再生半水石膏を用いて改良した路盤が膨張した事例を基に、実験試料の選定を行った。実験には、脱水ケーキ(w=42.3%)にセメント系固化材を混合・改良して製造した人工石粉を用いた。この人工石粉は、再生材 (RC40) の粒度調整材として使用 (再生材に対して質量比で数パーセント程度) されるものであり、実際には、セメント系固化材の一部を再生半水石膏で代替して使用しているのが現状である。実験に使用した人工石粉の配合条件を表-1に示す。脱水ケーキに脱水ケーキの質量比10%に相当するセメント系固化材を添加して作製したものを人工石粉A、再生石膏に着目し、質量比5%に相当するセメント系固化材と質量比5%に相当する再生半水石膏と再生二水石膏を添加して作製したものを人工石粉B、人工石粉Cとする3つの人工石粉を用いた。

2-2 実験方法 (a) 人工石粉の改良効果の把握 人工石粉単体における再生石膏の改良効果を把握すべく、一軸圧縮試験 (JIS A 1216) を行った。表-1に示す3種類の人工石粉を用いて、直径

D=5cm、高さH=10cmの塩ビ製モールドに、1.5kgランマを12回×3層で突き固め、締固めエネルギーが1E_c (= 550kJ/m³) となるように供試体を作製した。脱型後、20℃一定の恒温湿にて0, 7, 28日養生を行い所定の養生経過後に一軸圧縮試験を実施した。

(b) 人工石粉の膨張特性の把握 表-1に示す3種類の人工石粉に対して突固めによる土の締固め試験 (JIS A 1210) を実施 (E-b法) し、得られた最適含水比および最大乾燥密度の条件下でそれぞれ供試体を作製した後、吸水膨張試験を行った。なお、通常の吸水膨張試験では4日間水浸であるが、今回は10日間の水浸を行い膨張量の測定を行った。また、実際に路盤の膨張が発生した事例は、施工後4ヶ月以上経過して起こったことを考慮し、本研究では比較の為、供試体作製後120日間養生させた後に吸水膨張試験を行った。なお、再生石膏を用いた改良土の膨張メカニズムは、図-1と式(1)に示すエトリングタイトの再転化によるものと考えている。

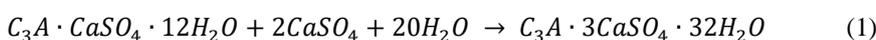


表-1 配合条件

呼び名	主材	固化材添加率 (%)	半水石膏添加率 (%)	二水石膏添加率 (%)
人工石粉A	脱水ケーキ	10		
人工石粉B		5	5	
人工石粉C				5

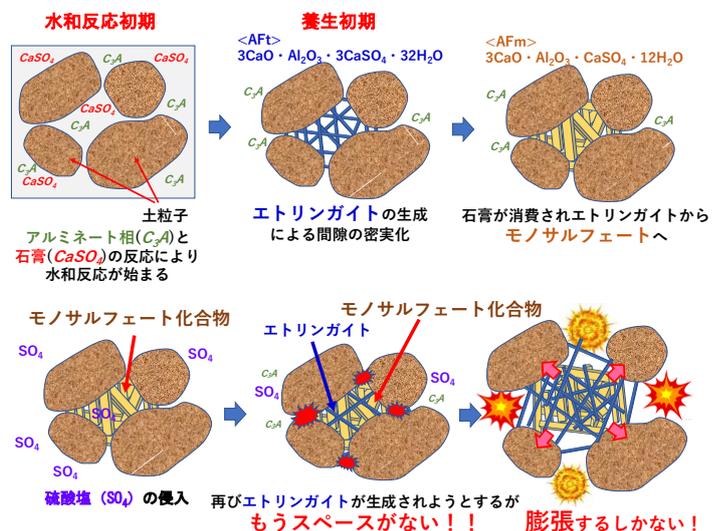


図-1 本研究で考えている石膏を用いた改良土の膨張メカニズム

表-2 実験条件

土質試料	溶媒の種類	養生日数
人工石粉A(固化材のみ)	水道水 硫酸塩溶媒	0
人工石粉B(半水5%)		120
人工石粉C(二水5%)		

一般的に、アルミネート相と石膏の反応により水和反応が始まり、次いでエトリングタイトが生成して間隙が密実化され、石膏が消費された後にエトリングタイトが未水和のアルミネート相と反応してモノサルフェート水和物に変化

することが知られている。その後、硫酸塩の侵入などにより新たにSO₄が存在する環境になった場合、エトリンガイトの再転化が起こり、膨張を引き起こすものと考えている。そこで、吸水膨張試験に用いる溶媒に着目し、表-2に示す実験条件のとおり、水道水と1%の硫酸塩溶媒の2種類を用いて検討を行った。

3. 実験結果及び考察

3-1 再生石膏の改良効果 図-2(a)~(c)に各養生日数における人工石粉を最適含水比で突き固めた供試体の一軸圧縮試験結果を、図-3に一軸圧縮強さと養生日数の関係を示す。養生0日(締固め直後)においては、一軸圧縮強さに差異は見られず、応力ひずみ曲線はいずれも似たような挙動を呈していることが分かる。しかしながら、養生日数の増加に伴いいずれの条件においても強度増加が確認できる。再生半水石膏と再生二水石膏の改良効果については、養生7日までは両者に差はみられないものの、養生28日においては再生二水石膏を用いた供試体(人工石粉C)が最も高い一軸圧縮強度を有することが判明した。これは再生半水石膏が再生二水石膏と比べ、エトリンガイトを多く生成する³⁾ことに起因すること考えられる。

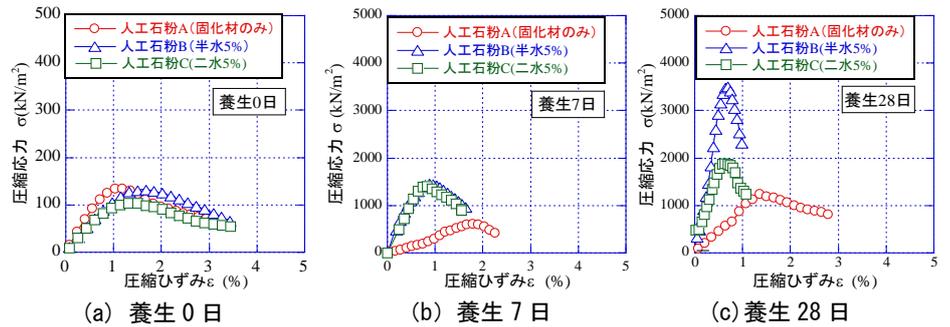


図-2 一軸圧縮試験結果

図-2(a) 養生0日

(b) 養生7日

(c) 養生28日

図-3は一軸圧縮強さと養生日数の関係を示す。いずれも明確なピークを示す材料であり、配合の違いが締固め特性に与える影響はほとんど見られないことが分かる。ここで得られた最適含水比及び最大乾燥密度の条件のもと、供試体作製後(養生0日)に吸水膨張試験を行った結果を図-5に示す。養生0日においては、人工石粉Aでは膨張が見られないものの、人工石粉BおよびCでは、浸水後直ちに膨張が見られ、再生半水石膏を用いた人工石粉Bが最も高い膨張比を示す結果となった。このことは、図-3に示す一軸圧縮試験結果において人工石粉Bの強度が最も高かったことから分かるように、エトリンガイトの生成による影響と考えられる。また、溶媒の違いに着目すると、人工石粉Bを用いた条件において膨張比に顕著な差が見られたことから、エトリンガイトの生成量と硫酸塩溶媒は膨張を引き起こす重要な因子であることが示唆される。図-6は、養生120日経過後に浸漬を開始し10日間の測定を行った結果である。モノサルフェートからエトリンガイトの再転化により、最も高い膨張傾向を示すと思われたが、結果的に養生0日と比べていずれの条件においてもほとんど膨張が見られない結果となった。これは養生に伴う供試体の固化により透水性が低下し、溶媒が供試体内部まで浸透しなかったことが原因と考えられる。そのため、長期的な吸水膨張試験については、供試体作製方法や試験方法も含めて再度検討が必要である。

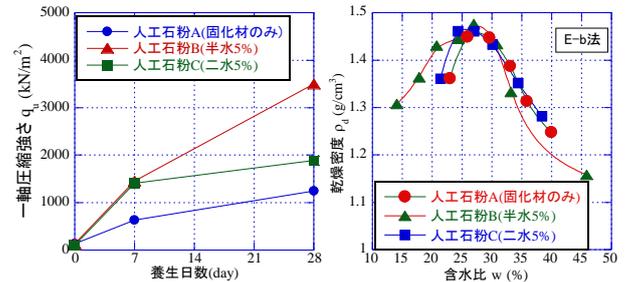


図-3 一軸圧縮強さと養生日数の関係

図-4 人工石粉の締固め曲線

図-4は人工石粉の締固め曲線を示す。いずれも明確なピークを示す材料であり、配合の違いが締固め特性に与える影響はほとんど見られないことが分かる。ここで得られた最適含水比及び最大乾燥密度の条件のもと、供試体作製後(養生0日)に吸水膨張試験を行った結果を図-5に示す。養生0日においては、人工石粉Aでは膨張が見られないものの、人工石粉BおよびCでは、浸水後直ちに膨張が見られ、再生半水石膏を用いた人工石粉Bが最も高い膨張比を示す結果となった。このことは、図-3に示す一軸圧縮試験結果において人工石粉Bの強度が最も高かったことから分かるように、エトリンガイトの生成による影響と考えられる。また、溶媒の違いに着目すると、人工石粉Bを用いた条件において膨張比に顕著な差が見られたことから、エトリンガイトの生成量と硫酸塩溶媒は膨張を引き起こす重要な因子であることが示唆される。図-6は、養生120日経過後に浸漬を開始し10日間の測定を行った結果である。モノサルフェートからエトリンガイトの再転化により、最も高い膨張傾向を示すと思われたが、結果的に養生0日と比べていずれの条件においてもほとんど膨張が見られない結果となった。これは養生に伴う供試体の固化により透水性が低下し、溶媒が供試体内部まで浸透しなかったことが原因と考えられる。そのため、長期的な吸水膨張試験については、供試体作製方法や試験方法も含めて再度検討が必要である。

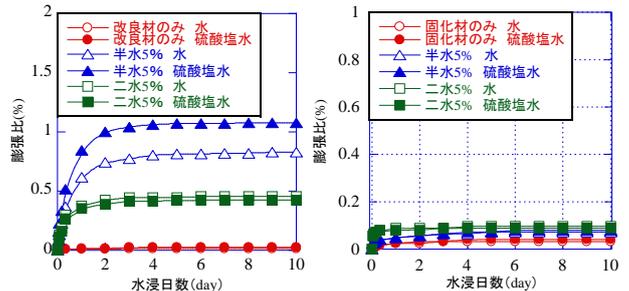


図-5 吸水膨張試験(養生0日)

図-6 吸水膨張試験(養生120日)

図-6は、養生120日経過後に浸漬を開始し10日間の測定を行った結果である。モノサルフェートからエトリンガイトの再転化により、最も高い膨張傾向を示すと思われたが、結果的に養生0日と比べていずれの条件においてもほとんど膨張が見られない結果となった。これは養生に伴う供試体の固化により透水性が低下し、溶媒が供試体内部まで浸透しなかったことが原因と考えられる。そのため、長期的な吸水膨張試験については、供試体作製方法や試験方法も含めて再度検討が必要である。

4. まとめ

- 1) 再生半水石膏を用いて改良を施した人工石粉の強度発現が最も大きく、これはエトリンガイトの生成によるものと考えられる。
- 2) 吸水膨張試験より、再生半水石膏を用いて改良を施した人工石粉の膨張比が最も大きく、溶媒に硫酸塩溶媒を用いた場合、膨張比はさらに増加することが明らかとなった。

【参考文献】 1) 松尾典映・佐藤研一・藤川拓朗・古賀千佳嗣：再生半水石膏の品質が軟弱地盤改良効果に及ぼす影響，第48回地盤工学研究発表会，pp.635-636,2013. 2) 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) 伊澤康子：クリップボード，社団法人セメント協会，pp.67-71,2008.