# 石膏固化処理土の力学的特性に及ぼす混合時間及びクエン酸ナトリウムの影響

香川高等専門学校　学生会員　○佐伯　颯良
香川高等専門学校　正会員　荒牧　憲隆
香川高等専門学校　非会員　高石　晴陽

## １．はじめに

廃石膏ボードの排出量は、2006 年に年間排出量 100 万 t を超え、2019 年には 150 万 t を超えると推計され、今後も増加傾向にある。新たな最終処分場の建設が困難な状況にあるため、廃石膏ボードの処分量を縮減することは喫緊の課題である。また、現代社会において資源の有効利用は重要な要素であり、多くの産業廃棄物・低利用資源の有効利用法が検討されている。これまで、廃石膏の軟弱地盤改良への有効利用の検討を進めてきたが、石膏の固化反応速度が速すぎるため、室内での配合試験や原位置での施工において、混合方法等の違いが石膏固化処理土の力学的特性に影響を及ぼすことが明らかになった[1)]。

本研究では、固化材の固化時間調整のために硬化遅延剤を添加、石膏固化処理土の力学的特性に与える混合時間の影響について検討することを目的としている。

## ２．実験に用いた試料

実験には、NFS カオリンを用いている。力学試験においてカオリン粘土の初期含水比は液性限界の 1.5 倍に相当する w=96%に調節した。固化材は、化学的成分が安定している市販の半水石膏試薬と普通ポルトランドセメントを使用した。また、固化材の固化時間の調節のためにコンクリート打設でも用いられるクエン酸ナトリウムを用いている。

## ３．配合条件

表 1 に固化処理土の配合条件を示す。セメント石膏固化処理土のセメント添加率 $a_c$ と石膏添加率 $a_g$ は、カオリン粘土の乾燥質量比で、$a_c$=5%と $a_g$=20%の 1 ケース設定した。また、クエン酸ナトリウムの添加率 $a_r$ は、均等な混合物を得るため、水との混合溶液として使用した。クエン酸ナトリウムを水に対する質量比で 0%、0.02%、0.08%添加した。材齢は 1、7、14、28 日として気中養生を行った。

表 1 固化処理土の配合条件

| カオリン粘土の含水比 w(%) | セメント添加率 $a_c$(%) | 半水石膏添加率 $a_g$(%) | クエン酸ナトリウム添加率 $a_r$(%) | 混合時間 t(min) | 材齢(days) |
|---|---|---|---|---|---|
| 96 | 5 | 20 | 0<br>0.02<br>0.08 | 4 | 1<br>7<br>14<br>28 |
| | | | 0<br>0.02<br>0.08 | 10 | |

## ４．供試体作製方法及び実験方法

供試体は、 JIS 0821 に準拠し作製した。水とクエン酸ナトリウムを混合し、クエン酸ナトリウム水溶液を作製し、カオリン粘土の粉体をクエン酸ナトリウム水溶液と 30 分程度混合する。カオリン粘土に半水石膏試薬と普通ポルトランドセメントを投入し、所定の時間混合する。混合終了後、φ=50mm、H=100mm のモールドに 1/3 程度ずつ充填し、モールド底面をタッピングしながら気泡を上昇させる。充填完了後、乾燥防止のため、モールド上部を PP フィルムにより密封した供試体を、所定の条件で養生している。所定の日数、気中養生を行い、一軸圧縮試験(JIS A 1216)によって試験を実施した。ひずみ速度は 1%/min により載荷している。

## ５．実験結果及び考察

図 1 に $a_r$=0%の 4 分混合、10 分混合、図 2 に $a_r$=0.08%の 4 分混合、10 分混合における一軸圧縮強さと材齢の関係を示した。図 1 より $a_r$=0%の場合、4 分混合では材齢 14 日までは一軸圧縮強さが増加しているが、材齢

キーワード　クエン酸ナトリウム、石膏、混合時間
連絡先　〒761-8058　香川県高松市勅使町 355　香川高等専門学校高松キャンパス　ＴＥＬ087-869-3927

© Japan Society of Civil Engineers

14 日以降は一軸圧縮強さの増加率は、それまでに比べると小さい。10 分混合では、材齢の増加とともに、一軸圧縮強さが増加していることが伺える。また、混合時間における一軸圧縮強さを比較すると、4 分混合時の強度が高いことが分かる。石膏が水と早い段階から固化反応を示すが、10 分間機械攪拌では、反応中の石膏とカオリンの固結を阻害してまた石膏が反応をする、といったことを繰り返しており、4 分混合ではその繰り返しが少なかったことが影響していると考えられる。次に、図 2 より、$a_r$=0.08%の 4 分混合の場合、$a_r$=0%の 4 分混合と同様の傾向を示していることが分かる。10 分混合では、材齢が 1 日から 14 日までは一軸圧縮強さが緩やかに増加しており、その後、28 日までに大きく一軸圧縮強さが上昇していることが分かる。材齢 14 日までは混合時間の違いにおいて一軸圧縮強さに差が認められないが、材齢 28 日になると大きくことなる。クエン酸の混合により、4 分及び 10 分混合とも固化遅延が確認され、強度はやや低下した。

次に、図 3 に $a_r$=0%の 4 分混合、10 分混合、図 4 に $a_r$=0.08%の 4 分混合、10 分混合における変形係数 $E_{50}$ と材齢の関係を示す。$E_{50}$ は最大圧縮応力の 50%における応力-ひずみ曲線の割線勾配とされており、地盤の変形のしやすさを表している。図 3 より、$a_r$=0%時の 10 分混合における $E_{50}$ は、材齢の経過とともに増加している。このことから、材齢が増加すると、変形が抑制されることが分かる。一方で、4 分混合では材齢が増加しても $E_{50}$ には大きな変化がみられないため、10 分混合時に比べると変形が発生しやすいことが分かる。そのため、$a_r$=0%時は 4 分混合時に比べ、10 分混合の供試体において、変形を抑制する構造になったと推察される。図 4 より、$a_r$=0.08%ではクエン酸ナトリウムを添加することで遅延効果が発揮されているため、石膏と水、土の反応に遅延が生じていると考えられる。そのため、4 分混合、10 分混合ともに $E_{50}$ にそれほど大きな差がないと考えられる。また、$a_r$=0%時の 10 分混合と $a_r$=0.08%時の 10 分混合を比較すると材齢 28 日時点での $E_{50}$ に大きな差があることが分かる。これは、クエン酸ナトリウムを添加することによって石膏と水の反応速度に影響を与えたと示唆される。

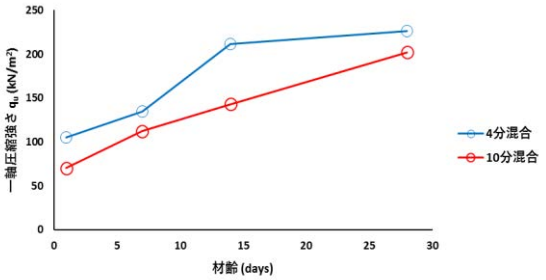


図 1 $a_r$=0%の一軸圧縮強さと材齢の関係

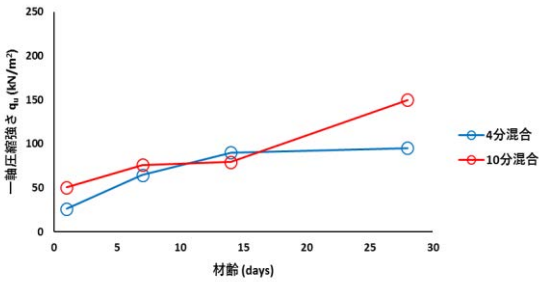


図 2 $a_r$=0.08%の一軸圧縮強さと材齢の関係

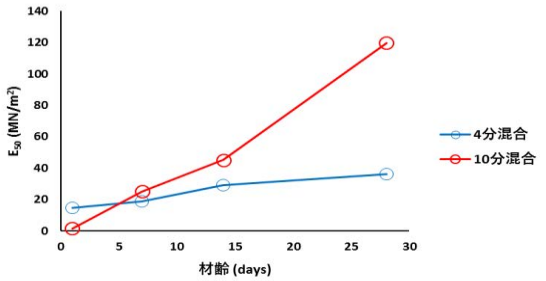


図 3 $a_r$=0%の $E_{50}$ と材齢の関係

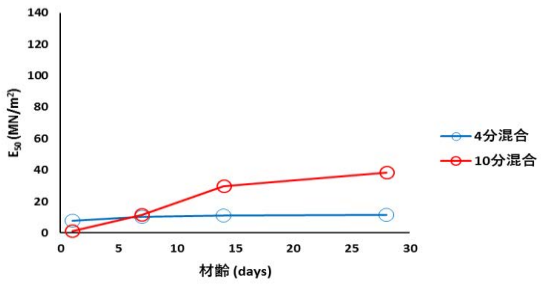


図 4 $a_r$=0.08%の $E_{50}$ と材齢の関係

## 6.おわりに

クエン酸ナトリウムを添加することで一軸圧縮強さ及び $E_{50}$ に混合時間の影響があることが確認できた。

## 参考文献

1) Nozomu Kotake Hiroaki Sano,Hardening performance of reclaimed gypsums for stabilizing agent to improve soft clayey ground ,Journal of Material Cycles and Waste Management, VoL20, pp766-776,2018.

© Japan Society of Civil Engineers