【063】

石灰系固化材添加後の養生時間が地盤材料特性に及ぼす影響

中部土質試験協同組合　○伊藤　康弘，法安　章二
清水　亮太，伊吹　卓紘

1. はじめに

石灰系固化材による安定処理は関東ロームなどの高含水比の土に対して行われることが多く，その主な目的として含水比の低下と強度増加が挙げられる．室内試験において，生石灰を用いた安定処理の場合では，吸水効果により含水比の著しい低下が見込まれる反面，添加量によっては試料が非常に高温になるため，取り扱う際に危険を伴う．養生時間の目安は長くとも 24 時間以内とされているが [1]，試料の含水比や添加量によっても異なるため，試料の温度から消化の進行具合を推し量る必要がある．

本研究では，典型的な粘性土に対して生石灰を添加し，仮置き養生時間を変えることで試料の締固め特性および一軸圧縮強度に与える影響について比較を行った．

2. 試験条件

(1) 試験に用いた試料

青粘土の含水比を液性限界近傍になるように調整し，0～5mm 以下の粉状または粒状の生石灰を湿潤土に対して200kg/m^{3}となるように粉体添加した．本研究で用いた青粘土の物性値を表-1に示す．

表-1　青粘土の物性値

土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)	含水比 w (%)	粒度 (%)			液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)
		砂分	シルト分	粘土分		
2.758	41.0	10.0	51.7	38.3	42.6	19.8

(2) 練り混ぜおよび仮置き養生時間

青粘土と生石灰を約1分間と約2分間の2回に分けて合計約3分間練り混ぜた後，室温約20℃の部屋で仮置き養生を行った．仮置き養生する際は外気の影響を避けるために容器内に試料を広げ，袋の中に入れて密封した．仮置き養生の時間が0，1，3，6，24，168時間の6種類の試料を用意した．

(3) 試料温度と含水比の経時変化

練り混ぜ直後の試料は非常に高温になり，含水比が著しく変化する．そこで，仮置き養生中の試料の温度と含水比がどのように変化するか計測を行った．

(4) 締固め試験および一軸圧縮試験

試験工程を図-1 に示す．まず，所定の仮置き養生の時間経過後に締固め試験(A-c 法)を実施した．締固め試験で作製された各含水比での供試体をモールドから取り出してから空気中で 7 日間養生し，一軸圧縮試験を実施した．なお，生石灰による安定処理を行うと供試体を膨張させる可能性があることから，一軸圧縮試験を実施する際に供試体の体積を測定し，7 日間養生前の供試体の体積から体積膨張比を算出した．

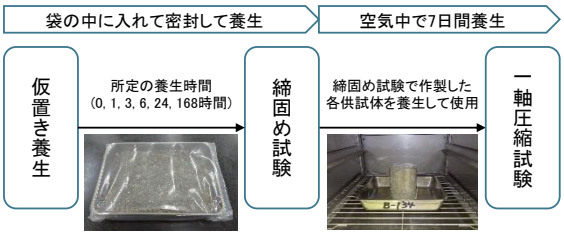

図-1　試験工程

3. 試験結果

(1) 試料温度と含水比の経時変化

試料温度と含水比の経時変化を図-2に示す．試料の温度に着目すると，仮置き養生開始時には約75℃まで発熱していることが見て取れる．また，仮置き開始から約5分間で急激に温度が低下し，それ以降は緩やかに温度が低下していることが確認できる．

次に，含水比に着目すると，仮置き養生開始から約5分間で急激に含水比が低下していることが分かる．また，それ以降で含水比の低下が緩慢になることから試料温度と同様の傾向を確認することができる．

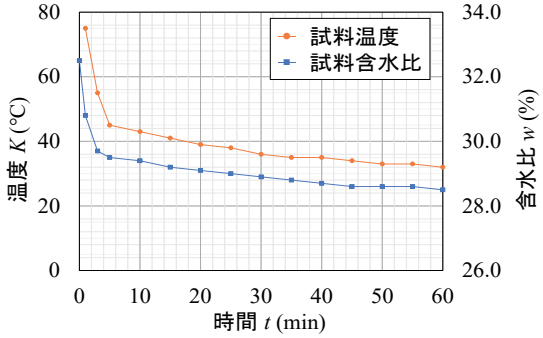

図-2　試料温度と含水比の経時変化

(2) 締固め試験結果および一軸圧縮試験結果

各試料の締固め曲線を図-3に示す．仮置き養生の時間が長いほど最大乾燥密度が小さく，最適含水比が大きくなる傾向が確認できる．また，仮置き養生時間が6時間を経過した頃から類似した締固め曲線が得られていることが分かる．

次に，含水比と一軸圧縮強度の関係を図-4に示す．仮置き養生0時間の試料に着目すると，一軸圧縮強度が全体的に低く，強度のばらつきが大きいことが見て取れる．また，各試料の初期含水比における一軸圧縮強度を比較すると，仮置き養生1，3時間の試料は仮置き養生時間をそれ以上長くした試料に比べて強度がやや低い傾向にあることが分かる．加えて，仮置き養生を6時間以上行った試料はほぼ同程度の強度が得られていることが分かる．

仮置き養生0時間の試料について，初期含水比における供試体の様子を写真-1に示す．写真-1を見ると，供試体にひび割れが多数生じていることが確認できる．また，各試料の平均体積膨張比を図-5に示す．仮置き養生0時間の供試体の平均体積膨張比は約1.07であり，顕著に膨張していることが分かる．その中でも初期含水比における体積膨張比は約1.12で最大値となり，その際の一軸圧縮強度は最小値となった．一方，仮置き養生1時間以上の供試体に着目すると，大きな膨張は見られず，時間経過とともに体積膨張比が小さくなる傾向が確認できる．

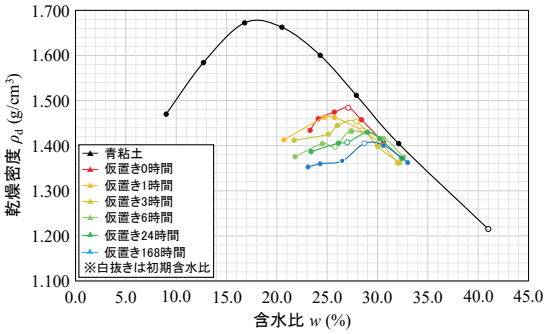

図-3 各試料の締固め曲線

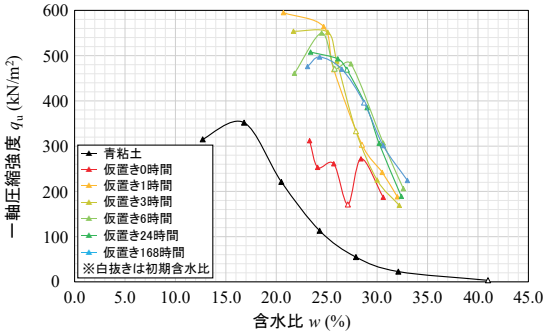

図-4 各試料の含水比と一軸圧縮強度の関係

写真-1 供試体の状況(仮置き 0 時間)

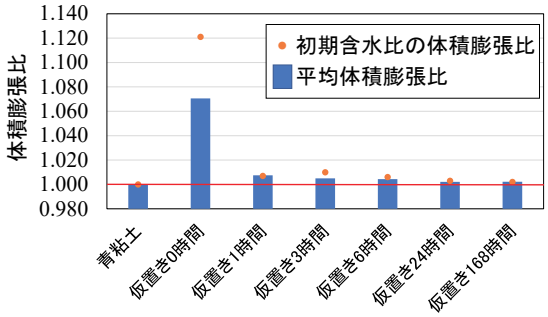

図-5 各試料の平均体積膨張比

4. 考察

(1) 試料温度と含水比の経時変化

生石灰を添加することで土中の水分と生石灰(CaO)が反応を起こし，消石灰($Ca(OH)_2$)が生成される．この反応で，土中水が水和水として取り込まれ，かつ発熱反応により蒸発することで試料の含水比を大きく低下させている．この反応は消化吸水反応[2)]と呼ばれ，以下の式で表される．

$$CaO+H_2O=Ca(OH)_2+1.17MJ/kgCaO$$

はじめに述べた通り，消化の進行具合は試料の温度で推定することが必要となる．図-2を見ると，仮置き養生開始から約5分までに含水比が著しく低下していることから，消化吸水反応が非常に短期間で生じることが確認できる．試料の温度のみに着目すれば，仮置き養生時間を10分程度で取り扱いやすい温度まで落ち着くが，締固め特性と一軸圧縮強度を見れば，養生時間として不十分であることが分かる．

(2) 締固め試験結果および一軸圧縮試験結果

仮置き養生の時間を増やしていくと，締固め曲線は消化吸水反応によって生成された水和化合物が時間経過とともに増加していくので，最大乾燥密度が小さくなる．締固め特性は仮置き養生6時間以上の場合に概ね定常となることが分かった．

また，消化が十分に進行していない状態で供試体作製を行うと，膨張によって供試体がひび割れしてしまい，一軸圧縮強度を著しく低下させる要因となることが分かった．仮置き養生6時間以上の供試体では一定の強度が得られ，値のばらつきも小さくなった．締固め試験結果との関係性からも仮置き養生時間が少なくとも6時間は必要であることが分かった．

5. まとめ

本研究では，青粘土に対して生石灰を添加し，仮置き養生時間を変えることで試料の締固め特性および一軸圧縮強度に与える影響について比較を行った．その結果，仮置き養生を6時間以上とすれば，消化が十分に進行し，締固め特性および一軸圧縮強度への影響が小さくなることが分かった． 消化の進行具合は試料の種類や含水比，添加量によっても異なるため，温度によって推定することが重要となる．試料温度は仮置き養生を開始してから短時間で取り扱いやすい温度まで低下するが，試料温度のみで判断せず，地盤材料特性への影響を十分に留意する必要がある．

《引用・参考文献》

1) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説-二分冊の1，p. 433，2020.
2) 日本石灰協会：石灰による地盤改良マニュアル，pp. 7～35，2012.