

## セメント添加・カルシウム溶脱による疑似年代効果の付加と年代効果の制御

名古屋大学 学生会員 ○松村洸太郎

名古屋大学 正会員 中井健太郎, 野田利弘

## 1. はじめに

地盤は地殻変動・火山活動の影響や、風雨に削られた土砂が運搬・堆積し、長い年月をかけて形成される。この数千年から数百万年に及ぶ時間経過の間に生じる環境変化によって、地盤／土の物性や強度変形特性は変化し「年代効果」と呼ばれる。年代効果は様々で、土中に含まれる有機物によって化学的結合が進むセメンテーション作用や土粒子配列の配向性発達など、強度を増加させる正の年代効果もあれば、海進・海退や地下水浸透に伴う溶脱作用など、強度を低下させる負の年代効果もある。年代効果の発達した自然堆積地盤の力学特性を正確に把握するためには、現位置から乱れの少ない土試料を採取し、室内試験（要素試験や模型試験）を実施することが求められる。しかし、サンプリング時に生じる不可避な乱れ、堆積時に元々有するばらつき、サンプリングコストなどの面から、均質で良質な供試体を多量に準備することは難しい。そのため、乱した土試料を現位置と同じ密度に調整した再構成試料を用いて実験することが多いが、堆積時の力学特性を忠実に再現しているとは言い難い。

これまで人工的／簡易的に年代効果を付加することを目的に、高温再圧密<sup>1)</sup>や少量のセメント添加<sup>2)</sup>による供試体作製が行われてきているが、基本的には正の年代効果を期待するものであった。我々は、正負両方の年代効果を同時に／任意に付加・制御できる供試体作製方法を目指し、正の年代効果であるセメンテーションによる化学的結合の再現として少量のセメント添加を、負の年代効果である溶脱作用の再現として硝酸アンモニウム水溶液によるカルシウム溶脱を併用した供試体作製に取り組んできた<sup>3)</sup>。本報では、負の年代効果の制御を目的に、セメント添加試料の溶脱時間がせん断挙動に及ぼす影響を把握することを目的とした。

## 2. 供試体作製方法

実験に用いた粘土母材は乾燥状態で販売されている工業製品であり、物性は表1に示すとおりである。この粘土試料を用いて、以下の手順で供試体を作製した。

- 1) 含水比が112.6%（液性限界の2倍）のスラリー状に調整した粘性土にセメントミルクを添加し、10分間しっかりと攪拌・脱気する。本報では正の年代効果を固定するために、セメント添加量を5%で統一した。
- 2) 攪拌終了後、振動を与えて空気を抜きながら、試料をプラスチックモールドに投入する。
- 3) ブリーディングによって上昇してきた水をヘラで取り除き、表面を平らに整えて2週間水中養生させる。
- 4) 供試体をモールドから取り出した後、3.1mol/Lの硝酸アンモニウム水溶液に所定の時間浸漬させる。この際、水溶液の量と浸漬させる供試体本数が毎回等しくなるように管理した。表2に浸漬時間と硝酸アンモニウム水溶液のpH変化を示す。浸漬初期に急速にpHが増加し、2dayを過ぎると8.1付近で収束した。

## 3. 非排水三軸圧縮試験

1週間以上溶脱した後、正規圧密状態（300kPaで等方圧密）および過圧密状態（300kPaで等方圧密後に50kPaで等方除荷）のもと、軸ひずみ速度0.001mm/minで非排水三軸圧縮試験を実施した。試験結果（応力

表1 実験に用いた粘土母材の物性

土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.706
液性限界 $w_L$ (%)	56.3
塑性限界 $w_p$ (%)	24.4
細粒分含有率 (%)	98.2
粘土分含有率 (%)	90.6

表2 浸漬時間と水溶液のpH変化

浸漬時間	pH
供試体投入前	4.7
投入直後	5.8
10 min	6.7
25 min	7.6
40 min	7.7
1 day	7.7
2 day	8.1
7 day	8.0

ひずみ曲線，有効応力パス) を図 1 に示す．有効応力パスを見ると，正規圧密状態では，塑性圧縮を伴う硬化 ( $p'$  の減少を伴う  $q$  の増加) の後，塑性圧縮を伴う軟化 ( $p'$  の減少を伴う  $q$  の減少) を示す．過圧密状態では，塑性圧縮を伴う硬化 ( $p'$  の減少を伴う  $q$  の増加) から塑性膨張を伴う硬化 ( $p'$  の増加を伴う  $q$  の増加) に転じた後，最終的には塑性圧縮を伴う軟化 ( $p'$  の減少を伴う  $q$  の減少) を示す．このひずみ軟化挙動は，自然堆積軟弱粘性土に特徴的なせん断挙動であり，セメント添加・Ca 溶脱によって疑似的に年代効果を付加することができた．

続いて，硝酸アンモニウム水溶液への浸漬時間を変えた非排水三軸圧縮試験結果を図 2 に示す．すべて等方圧密圧力は 300kPa である．溶脱なしの試験結果を見ると，荷重変位関係において明確なピークを示して強度低下を示すものの，曲線はせん断応力低下中にガタついている．図 3(a) を見ても明らかなように，せん断中の強度低下はせん断面形成に起因した脆性的なものである．一方，溶脱時間 60min の試験結果を見ると，せん断応力低下時に明確なせん断面は見られない (図 3(b))．応力ひずみ曲線も滑らかであるため，材料特性としてひずみ軟化挙動を示したことがわかる．なお，溶脱時間が長くなると，次第にピーク強度が低下するとともに，ひずみ軟化の程度も小さくなる．なお，溶脱時間が 6day を超えるとせん断挙動に差異が見られなくなるが，

これは表 2 で示した pH の変化とも整合的である．以上から，本実験条件においては，2day よりも短い範囲で溶脱時間を管理することで，せん断強度およびひずみ軟化の程度を制御できることがわかった．

#### 4. おわりに

セメント添加とカルシウム溶脱の併用で正負両方の年代効果を付加し，自然堆積軟弱粘性土と類似の特徴を有する供試体の作製に成功した．また，硝酸アンモニウム水溶液への浸漬時間を変化させることにより，負の年代効果を制御できることを見出した．今後は，セメント添加量の影響を把握して正の年代効果の制御に取り組むとともに，粘性土だけでなく，砂質土やシルト質土への適用も試みていく．

#### 参考文献

- 1) 土田孝ら(1989): 高温再圧密による海成粘土の..., 港湾技術研究所報告, 28(1), 121-147.
- 2) 土田孝ら(2013): 少量のセメントを添加し再圧密した..., 地盤工学ジャーナル, 9(1), 71-84.
- 3) 中井ら(2022): セメント添加・カルシウム溶脱によって人工的に..., 第 57 回地盤工学研究発表会, 20-3-2-01.

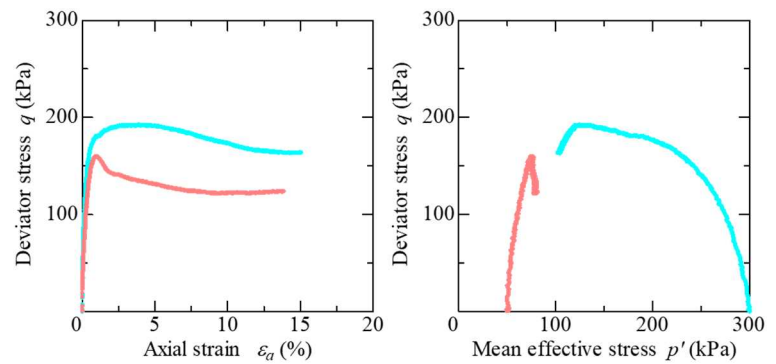


図 1 拘束圧の違いによる非排水せん断挙動

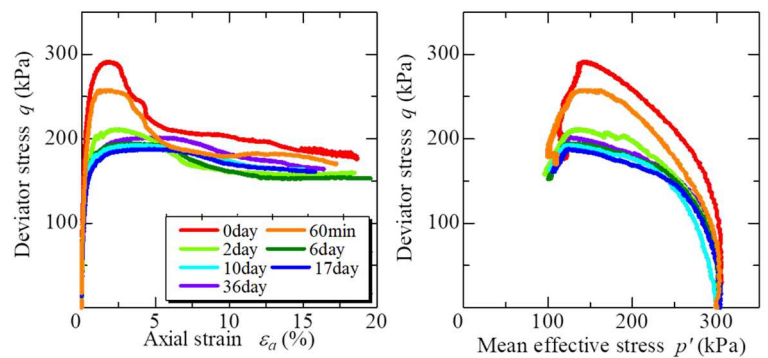
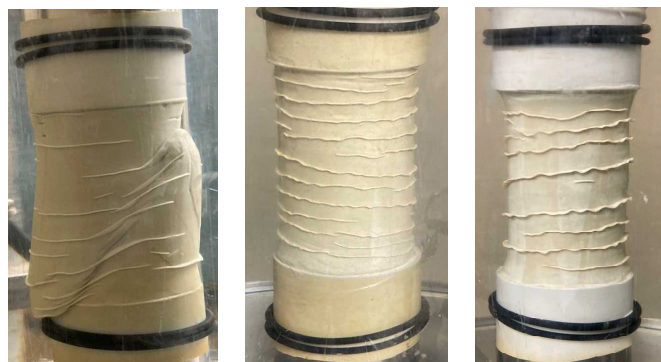


図 2 浸漬時間の違いによる非排水せん断挙動



(a) 溶脱なし (b) 溶脱 60min (c) 溶脱 2day

図 3 せん断中 (ピーク付近) の供試体の様子