

# セメント添加・Ca 溶脱による疑似年代効果の付加と溶脱時間の影響

名古屋大学 正会員 ○中井健太郎, 野田利弘  
名古屋大学 学生会員 松村洸太郎

## 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、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、圧密作用など、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、乱れの少ない土試料を採取して室内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。これまで人工的／疑似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、その多くは正の年代効果を期待するものであった。著者らは、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、正の年代効果の1つ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、負の年代効果の1つ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調べた結果を示す。

## 2. 供試体作製方法

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。この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 分間攪拌・脱気する。正の年代効果を固定するために、セメント添加量は質量比で 5% とした。
- 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) 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、水溶液の量と供試体本数が等しくなるように管理した。硝酸アンモニウムを用いると純水に比べて溶脱が速く進むことに加え、溶脱による生成物は潮解性が高く供試体周りに余計な物質が析出しない利点がある。

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

## 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。ひずみ軟化挙動は自然堆積粘性土に

年代効果, セメント添加, カルシウム溶脱, 軟弱粘性土, 三軸試験

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1 hour (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144 hour (6day) を超えるとせん断挙動に差異が見られなくなる。図4には浸漬時間とpHおよび非排水せん断強度の関係を示す。浸漬初期からpHは急増するが48 hour (2 day) を超えるとば収束する。またpH変化とともに非排水せん断強度も低下していることがわかる。以上、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。

### 5. 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溶脱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。なお、紙幅の都合から省略したが、溶脱時間が長いほど等方圧密時の体積変化量は大きい傾向にある。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、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.

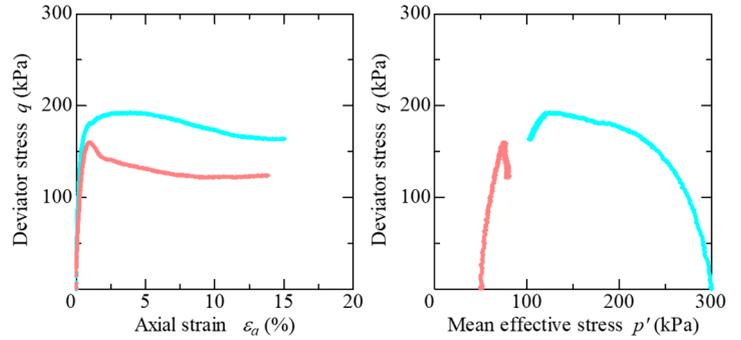


図1 拘束圧の違いによる非排水せん断挙動

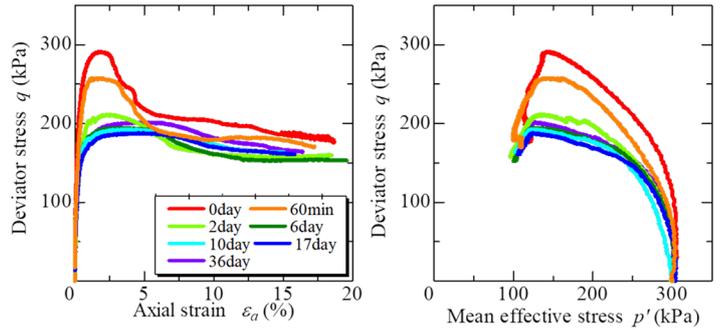


図2 溶脱時間の違いによる非排水せん断挙動



(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

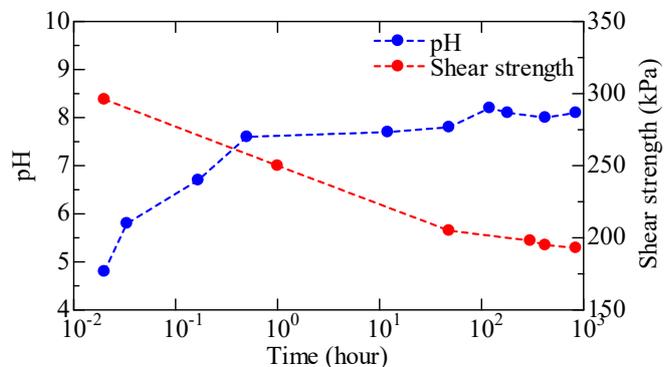


図4 浸漬時間とpH・非排水せん断強度の関係