

高含水比粘性土の圧密特性に及ぼす間隙水質の影響

佐賀大学 ○学 野田 雄介 齋藤 昭則
正 根上 武仁 正 柴 錦春

1. はじめに 高含水比の粘性土の場合は一定の圧密応力 p においても初期含水比が異なると圧密終了後の間隙比 e が異なることが、近年の研究により明らかとなっている¹⁾。また鶴林らは、その初期含水比の影響について粘性土の種類によって異なることを明らかにしており²⁾、有明粘土の場合、初期含水比の影響が大きく、河川と海の合流地点で採取した浚渫粘性土の場合、初期含水比の影響が小さいことを指摘している。これは間隙水中の陽イオン濃度が異なり、粘性土粒子表面に形成した電気二重層、そして微視的土構造が異なったためと考えられている。このような傾向は一般的なものか否かまだ不明である。

本研究では、有明粘土に凝集剤(塩化カルシウム)、および分散剤(ヘキサメタリン酸ナトリウム)を添加した試料を用いて、初期含水比が異なる試料に対して、最小で供試体に 0.5kN/m^2 の圧密応力を載荷可能な圧密試験装置で圧密試験を行った。これらの圧密試験結果から、高含水比の粘性土の圧密特性に及ぼす間隙水質の影響を検討した。

2. 試験装置・方法 圧密試験装置を図-1に示す。この装置では圧密圧力を 0.5kN/m^2 から載荷することができる。高含水比の粘性土を用いるため圧縮量が大きいためと考え、供試体の直径は通常の圧密試料と同じ 60mm であるが、高さを 30mm とした。粘性土試料について、佐賀県小城市芦刈町で採取した粘性土を用いた。凝集剤(塩化カルシウム)、および分散剤(ヘキサメタリン酸ナトリウム)を添加する場合は間隙水中の濃度が 3% となるように調整して粘土中に混合した。各試料の液・塑性限界と含水比 $w=180\%$ の pH 値を表-1に示す。供試体を作製する際には、初期含水比を 120% から 180% まで約 20% 刻みで4段階に調整した。圧密試験の手順は以下の通りである。

(1) 圧密圧力 $0.5\sim128.0\text{kN/m}^2$ 図-1の装置を用い、所定のおもりで圧密応力を加えて試験を開始する。加えた荷重は順に $0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0, 32.0, 64.0, 128.0\text{kN/m}^2$ の9段階である。1つの荷重増分の圧密期間は1日とした。

(2) 圧密圧力 $256.0\sim1024.0\text{kN/m}^2$ 図-1の装置では 128.0kN/m^2 までの載荷しかできないため、 128.0kN/m^2 まで載荷した供試体を圧密容器ごと高圧用圧密試験装置へ移動させる。その後 $256.0, 512.0, 1024\text{kN/m}^2$ の3段階の載荷を行った。

3. 試験結果及び考察 図-2に各試料の $e\text{-log } p$ 曲線を示す。図中の w_0 は初期含水比である。図より、すべての試料において初期含水比の違いによって、 p が小さな領域では曲線に違いがあることがわかる。荷重が大きくなると、各試料の圧密特性の違いが見られる。無添加の場合(図-2(a))、 $p=1024\text{kN/m}^2$ まで初期含水比の違いがその圧密特性に影響を与えている。凝集剤を添加した場合(図-2(b))は、 $p=32\text{kN/m}^2$ までは初期含水比の違いの影響があるが、その後は各曲線がおおよそ1つに収束した。分散剤を添加した場合(図-2(c))は、無添加と凝集剤添加の試料に比べ同じ

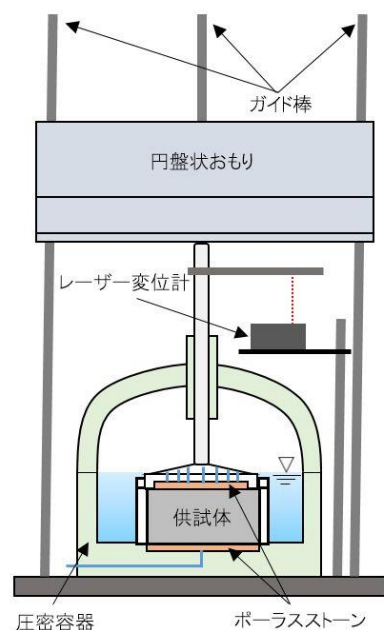
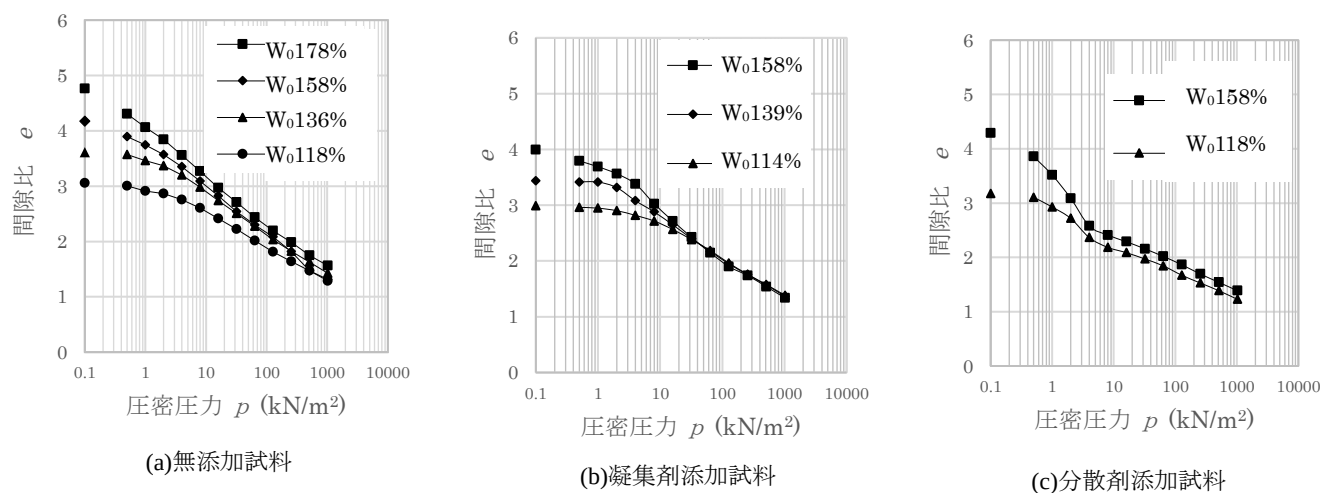


図-1 圧密試験装置の概要

表-1 各試料の液・塑性限界と pH 値

	液性限界 $w_L(\%)$	塑性限界 $w_P(\%)$	pH 値 ($w=180\%$)
無添加	107.0	40.7	7.24
凝集剤	104.0	42.7	5.49
分散剤	71.0	36.8	5.75

図-2 e - $\log p$ 曲線

圧密応力で間隙比 e が著しく減少しており、初期含水比の影響は $p=1024\text{kN/m}^2$ まで見られる。

表-2 に各試料の間隙水中の陽イオン濃度の分析結果を示す。塩化カルシウムを添加した試料は無添加のものと比較すると、 Ca^{2+} の濃度が大きく増加していることが確認できた。ヘキサメタリン酸ナトリウムを添加した試料は Na^+ に加え、 Ca^{2+} と Mg^{2+} の濃度が増加していた。これは、分散剤の作用によって、元々粘土粒子に吸着されていた陽イオンが、間隙水中に遊離したものと推測する。

表-2 各試料の間隙水中の陽イオン濃度

分析項目	無添加(ppm)	凝集剤(ppm)	分散剤(ppm)
カルシウム(Ca)	106	19,642	1,311
マグネシウム(Mg)	178	1,916	1,817
ナトリウム(Na)	465	825	9,232
カリウム(K)	101	396	294

間隙水中の陽イオン濃度と圧密特性における初期含水比の影響の関連については、凝集剤と分散剤添加の場合でそれぞれ異なる。凝集剤の場合、陽イオン濃度の増加と pH の低下によって粘土粒子表面に形成されている電気二重層の厚さが減少する。その結果、粘土粒子間の面一辺の接触が増え、小さい圧密応力でも、既に安定した凝結的な粒子間の再配列が生じて微視的土構造が変化し、無添加の試料と比べると圧密特性におよぼす試料の初期含水比の影響が小さくなる。分散剤を添加した場合、間隙水中の陽イオン濃度が増加し、pH が低下するが、分散剤の効果によって粘土粒子表面の電気二重層厚に顕著な影響を与えず、分散的な微視的土構造が形成される。この場合、試料の初期含水比は、その分散的な微視的土構造に影響を与えることができる。したがって、初期含水比が粘土の圧密特性におよぼす影響の程度は粘土の微視的土構造によって異なる。粘土の微視的土構造が凝結的な場合は初期含水比の影響の程度が小さく、分散的な微視的土構造の場合は初期含水比の影響の程度が大きいものと考えられる。

4. まとめ 初期含水比が異なる有明粘土、有明粘土に凝集剤(塩化カルシウム)、または分散剤(ヘキサメタリン酸ナトリウム)を添加した試料の圧密試験を行い、その結果から以下の知見を得た。

- ①無添加の試料に比べ、塩化カルシウムを添加した試料における圧密特性に試料の初期含水比の影響は小さくなった。ヘキサメタリン酸ナトリウムを添加した試料については、同じ圧密応力でその間隙比が明確に減少したが、圧密特性における初期含水比の影響程度は、無添加試料とほぼ同様である。
- ②圧密特性における試料の初期含水比の影響については、凝結的な微視的土構造の場合は影響の程度が小さく、分散的な微視的土構造の場合は影響の程度が大きい。

参考文献：1) Hong, Z.-S. et al : Effect of initial water content on undrained shear behavior of reconstituted clays. Geotechnique, vol. 63, No. 6, pp. 441-450, 2013. 2) 鶴林悠太、齋藤昭則、根上武仁、柴錦春ら：浚渫粘性土の圧密特性における初期含水比の影響, 平成 27 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 2016. 3