

練返し粘土の圧縮曲線の決定方法

名古屋大学 学生会員 ○黒田信司 柴原友樹 橋本麻以 酒井宏和
名古屋大学 正会員 田代むつみ 中野正樹 浅岡顕

1. はじめに

自然に堆積した粘土は、たとえ水を加えずに含水比一定の状態であっても、練返しなどの人工的な「乱れ」を受けると、強度を失い軟らかくなる。また、乱れの少ないサンプリングを行っても、図1の標準圧密試験に見られるように、自然堆積粘土は練返し粘土に比べて载荷により大きな間隙変化(大圧縮)を示す。このような、乱れに伴う強度・変形特性の変化は、特に軟弱粘土における力学挙動の把握を困難にしており、様々な工学的問題を引き起こしている。例えば、旧日本道路公団による軟弱粘土地盤上への高速道路用盛土の施工例はこれまでに約50地区あるが、そのうち約2割の現場において、建設前の予測沈下量を1m以上も上回る残留沈下が観測されており、大きな問題となっている。

乱れは粘土の「状態」は変化させるが、その「種類」は変えない。すなわち、図1のような自然堆積粘土と練返し粘土に見られる力学特性の差はその「状態」の違いに起因する。名古屋大学地盤工学研究室では、三笠(1964)¹⁾に倣い、飽和土の状態を決める含水比以外の要素を包括的に「骨格構造」として表し、さらに骨格構造を「構造」・「過圧密」・「異方性」の3つで定義することで、砂・粘土の弾塑性力学特性を説明してきた(SYS カムクレイモデル²⁾)。この研究成果に基づけば、粘土の骨格構造のうち、自然堆積粘土の力学特性に最も支配的なのは、「構造」であることが分かってきている。

ここで「構造」とは、図1に見られるように、十分に練り返した粘土に対する「嵩張り」を意味する。構造が高位な粘土は、同じ応力下ではより大きな間隙比を持ち、同じ間隙比であればより大きな強度を発揮する。乱れにより嵩張り強度を消失することは、構造の劣化(低位化)として表現される。したがって、ある粘土が有する「構造」の量とその変化の様子を把握するには、構造を完全に喪失させた粘土(練返し粘土)を同時に準備し、室内試験により両者の力学特性を直接比較する必要がある。実務でも多く用いられる「鋭敏比」はその一つの指標であり、初期構造の程度を把握するときに用いられる。一方、図1のような標準圧密試験では、(一次元に限定されるものの)広範囲な応力変化に伴う圧縮特性を比較することができる。「構造」を有する粘土の力学特性を把握する上では、練返し粘土の圧縮曲線を正しく求めることが非常に重要となる。

そこで本報告では始めに、練返し粘土の圧縮曲線を、傾き $\tilde{\lambda}$ (圧縮指数)及び切片 N_0 ($\sigma_v=98\text{kPa}$ における比体積)の2つの材料定数で定量的に表現し、これらを正確に得るための試験方法を検討した。標準圧密試験は、一般に地盤内からできるだけ乱さないようにサンプリングした試料が主な対象とされているため、特に実務においては、練返し粘土による試験はほとんど実施されていないのが現状である。そのため、練返し試料の作製方法や载荷基準などは明確に示されていない。本報告では、練返し粘土の標準圧密試験に対して「初期圧密応力」に着目し試験結果に及ぼす影響について検討した。また本報告では、種々の海成沖積粘土に対する試験結果から、Skempton(1944)³⁾の研究成果を基に練返し粘土の圧縮曲線の傾き $\tilde{\lambda}$ (圧縮指数)と液性限界 w_L の関係について検討した。これは、練返し粘土の圧密試験が実施されない場合、 $\tilde{\lambda}$ の簡易同定法につながる。

2. 練返し試料の標準圧密試験の手法の確立

「土質試験の方法と解説」⁴⁾によると、標準圧密試験における「初期圧密応力」は 9.8kN/m^2 であり、以降は2倍ずつ順に19.6, 39.2, 78.5, 157, 314, 628, 1256 kN/m^2 と計8段階で载荷することが標準とされている(ただし、目的に応じて初めまたは終わりの幾つかの段階を省略したり、上記範囲外の圧密応力を加えても良いこととなっている)。初期圧

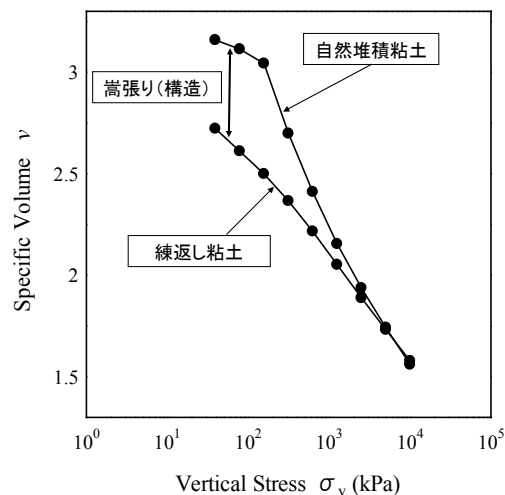


図1 標準圧密試験結果

密応力がこのように非常に低いのは、乱れの少ない粘土では原位置の力学特性をより正確に把握するために圧密に伴う乱れを極力少なくする必要があること、また先行圧密応力を求めるためと考えられる。しかし、練返し粘土では「乱れ」は十分に与える必要があり、また試験機内での試料の浮き上がりなどを防ぐためにも、より高応力での圧密が望ましい。そこで本報告では、標準圧密試験を行い、「初期圧密応力」が練返し粘土の圧縮曲線に及ぼす影響を調べた。用いた粘土試料は、日本海沿岸東北自動車道の中条 IC 付近で採取された海成沖積粘土で(中条粘土)で、自然含水比=70.8%、塑性限界=46.0%、液性限界=100.0%の高塑性の粘土である。

9.8, 39.2, 156.8, 627.2 kN/m²の4種類の初期圧密応力から、それぞれ 2508.8 kN/m²まで载荷した時の試験結果を図2に示す。4つの試験で用いた試料の初期状態はすべて等しくなるように、 $w = 78.4\%$ まで極少量加水した粘土を真空のビニール袋の中で十分に練り返した後、4分割して各圧密容器に空気の混入や含水比変化が無いよう注意してすばやく流し込んで作製した。図2には、試験結果から得られた傾き $\tilde{\lambda}$ 及び切片 N_0 を示すが、初期圧密応力によらず練返し粘土の圧縮曲線はほぼ唯一に得られており、試験期間の短縮も可能であることがわかる。

3. 練返し粘土の圧縮曲線の傾き $\tilde{\lambda}$ と液性限界 w_L の関係

表1は5地区の海成沖積粘土に対する当研究室による室内試験結果である。Skempton(1944)³⁾による練返し粘土の圧縮曲線の傾きと液性限界の関係式、 $\tilde{\lambda} = 0.4343 \times 0.007(w_L - 10)$ から換算した $\tilde{\lambda}$ と、標準圧密試験から直接得られた $\tilde{\lambda}$ は、比較的一致することが分かる。液性限界は $\tilde{\lambda}$ と同様、粘土の「種類」で決まる材料定数であり、練返しの試験が実施されない場合、 $\tilde{\lambda}$ の簡易同定法としてSkemptonの式が参考になることが分かる。

4. まとめ

「構造」を有する粘土の力学特性を把握する上で重要である練返し粘土の圧縮曲線の傾き $\tilde{\lambda}$ (圧縮指数)を求める方法を検討し、以下の結論を得た。

- 1) 初期圧密応力を4種類変化させて、 $\tilde{\lambda}$ (圧縮指数)を求めたところ、初期圧密圧力によらずほぼ一定の値を示した。この結果は、载荷段階を短縮することができることを示唆している。
- 2) Skemptonの式からおおよその圧縮曲線の傾き $\tilde{\lambda}$ (圧縮指数)を求めることができる。練返し粘土の標準圧密試験を実施していない場合、 $\tilde{\lambda}$ の簡易同定法として用いることが出来る。

圧縮曲線に影響する因子としては、初期圧密応力のほか初期含水比の影響が考えられる。Katagiriら(1994)⁵⁾によれば、再構成試料の作製時(予備圧密前)における初期含水比が液性限界の100%~300%においては圧縮曲線の傾きはほぼ一定の値を示す。また、Skemptonの式は、圧縮曲線を求める際の初期含水比として液性限界を与えている。今後、練返し試料の圧縮曲線に対する初期含水比の影響を調べ、その結果を踏まえて、練返し資料の圧縮曲線の試験方法の確立を目指してゆく。

参考文献 1) 三笠(1964)土の工学的性質の分類表と…、土と基礎、12(4), pp.17-24. 2) Asaoka, A., Noda, T., Yamada, E., Kaneda, K. and Nakano, M. (2002) : An elasto-plastic description of ..., S&F, Vol.42, No.5, pp.47-57. 3) A, W, Skempton (1943): Notes On The Compressibility..., Quart. J. Geol. Soc., pp119-135. 4) 土質工学会(1990), 土の圧密試験, 土質試験の方法と解説, pp289-313. 5) Katagiri, M. and Imai, G. (1994): A new in-laboratory method to make homogeneous clayey samples and their mechanical properties, S&F, Vol.34, No2, pp87-93.

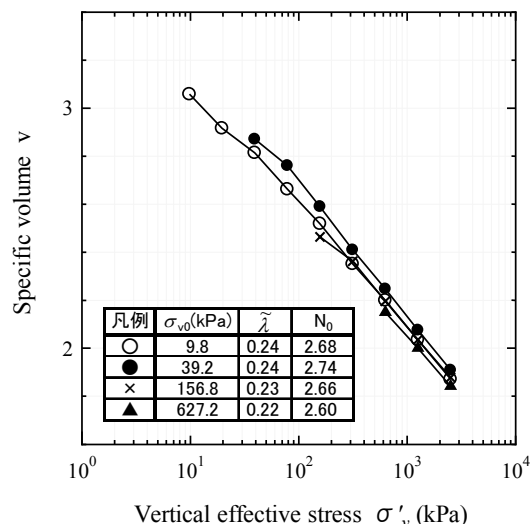


図2 初期圧密応力の影響

表1 練返し粘土の圧縮曲線の傾き $\tilde{\lambda}$

粘土の種類	液性限界 (%)	Skemptonの式による換算値	実験値
常磐	114.25	0.31	0.29
長島	78.81	0.21	0.20
伊勢	99.3	0.27	0.23
中条-1	99.97	0.27	0.23
中条-2	90.83	0.25	0.23
中条-3	101.52	0.28	0.28
中条-4	98.65	0.27	0.22
岩槻-1	87.52	0.24	0.30
岩槻-2	111.5	0.31	0.24