

練返し試料を対象とした段階載荷による圧密試験方法の提案

中部土質試験協同組合 〇清水 亮太, 石原 聖子
池田 謙信, 法安 章二

1. はじめに

鋭敏比の定義にあるように、原位置から可能な限り乱さないように採取した試料は、たとえ自然含水比のままであっても練り返すことで強度を失い、軟らかくなる。

圧密試験を例に挙げれば、乱れの少ない試料は十分に練り返した試料に比べて間隙比が大きく嵩張った状態にあり、外力などの乱れの影響によって嵩張りを喪失し、大きな間隙比変化を生じる。ここで、図-1 に示す概念図のように、異なる 3 種類の乱れの少ない試料から同じ形状の圧縮曲線がそれぞれ得られた場合を考える。これらの曲線を比較するだけでは、各試料の力学特性の違いは分からない。しかし、十分に練り返した各試料の圧縮曲線を併記すると、乱れの少ない試料の嵩張りの程度や乱れやすさが見えてくる。

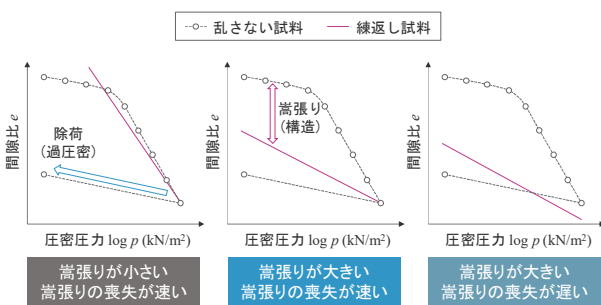


図-1 練返し試料の圧縮曲線

このように、乱れの少ない試料の力学特性を正確に把握するためには、「原位置から可能な限り乱さない試料」の試験結果だけでは不十分で、それを「十分に練り返した試料」の試験結果と照らし合わせる 것이重要となる。

しかし、練返し試料の圧密試験方法には明確な規定がないため、試験が実施されること自体が非常に少ないことに加え、試験結果の妥当性についても確認することが困難である。

そこで本研究では、段階載荷による圧密試験によって得られる練返し試料の圧縮曲線に着目し、練返し時の含水比の違いが圧縮曲線に及ぼす影響を骨格構造概念の観点から考察した。

2. 骨格構造概念における土の「構造」

三笠¹⁾は、土の力学的性質を決定するのは、土の「種類」と「状態」であり、「状態」を決定する因子のうち含水比と密度を除く全てのものを包括的に「骨格構造」と定義した。飽和土であれば、含水比と密度は同義であるため、十分に練り返した試料は骨格構造を完全に喪失した状態と捉えることができ、逆に、自然堆積土は骨格構造が発

達した状態として捉えることができる。浅岡ら²⁾は、三笠の定義した骨格構造を「構造」、「過圧密」、「異方性」の3つで表現し、これらの量の変化を塑性変形と結びつけることで、粘土の鋭敏性や砂の液状化・締固めなどあらゆる土の「乱れ」による現象や影響を同じ理論的枠組みの中で表現可能とした。ここに、「構造」とは、図-1に示すような練返し試料に対する嵩張りの程度を表す。

3. 乱さない試料の圧密試験結果と物理試験結果

東海地方で採取された乱れの少ない粘性土(以下、試料 A)を対象に段階載荷による圧密試験と各種物理試験を行った。まずは、試料 A の物理試験結果を図-2に示す。試料 A は有機物が少量混じるものの均質な粘性土である。採取深度は16.50m であり、自然含水比 w_n は液性限界 w_L よりも小さく、過圧密状態にあると推察される。

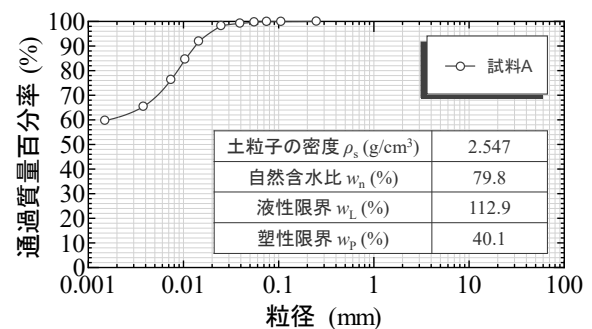


図-2 試料 A の物理試験結果

次に、段階載荷による圧密試験結果を図-3に示す。圧密降伏応力 $p_c=185$ (kN/m²)、圧縮指数 $C_c=1.12$ となった。

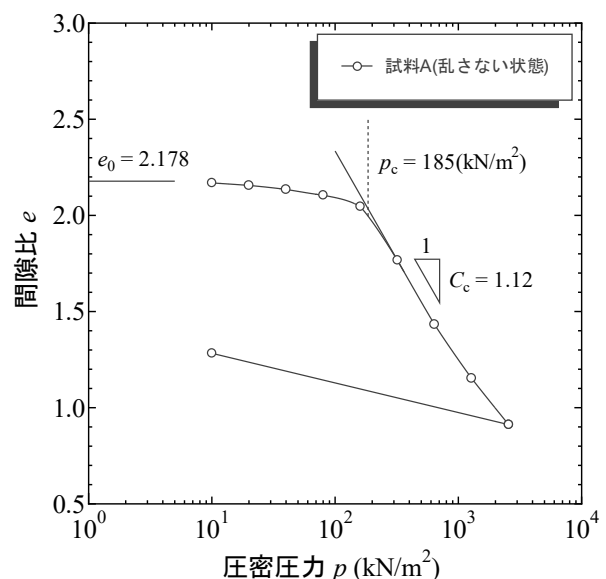


図-3 乱さない状態の試料 A の圧密試験結果

4. 練返し試料の圧密試験

練返し試料の作製について、鋭敏比の定義に従えば、自然含水比状態を保ったまま十分に練り返すこととなる。しかし、骨格構造概念に基づいて考えると、練返し操作の重要な点は、土の骨格構造を完全に喪失させることにある。仮に、自然含水比が塑性限界付近であった場合、試料が硬いため練返しに大きな力が必要となり、練返し後は骨格構造としての過圧密が残存すると考えられる。一方、試料の含水比を液性限界よりもさらに大きくしていった場合、土の嵩張りも大きくなっていき、骨格構造としての構造が発達していくと考えられる。

そこで本研究では、試料 A の含水比 w について $w=w_L$ 、 $w=1.5w_L$ 、 $w=2.0w_L$ の 3 パターンを用意し、骨格構造を完全に喪失させるために最適な含水比について比較した。

含水比調整方法については、試料をビニール袋に入れてから所定の水を加え、固形物がなくなるまで手で十分に練り返した。その後、含水比 $w=w_L$ の場合は、ビニール袋の隅を切り取って、絞り出すようにして圧密試験機に流し込み、端面を直ナイフで整えた。含水比 $w=1.5w_L$ 、 $2.0w_L$ の場合は、流動性が非常に高いため、試料をスプーンで汲み取り、圧密試験機に流し入れてから端面を直ナイフで整えた。なお、試験工程上、供試体の初期高さを測定することが困難であるため、試験終了時の供試体高さと各段階の沈下量から初期高さを逆算した。

各含水比に調整した試料 A の練返し圧密試験結果を図-4に示す。なお、図-4には、図-3で示した乱さない状態の試料 A の圧密試験結果を併記している。

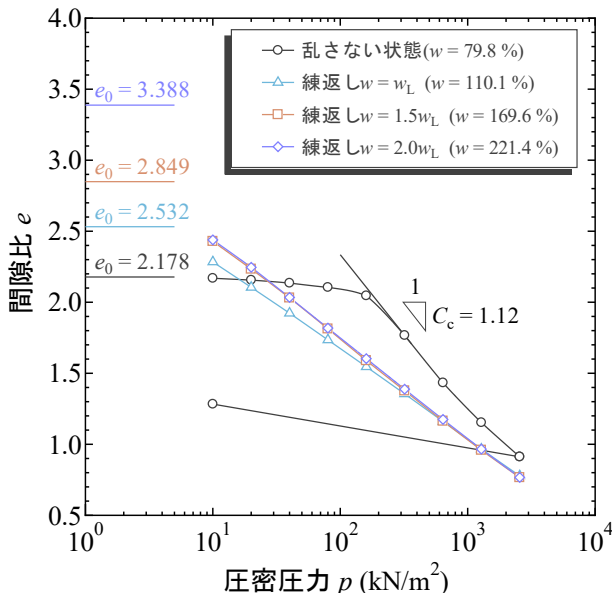


図-4 試料 A の練返し圧密試験結果

初期間隙比に着目すると、練返し時の含水比が大きいほど、大きな間隙比を有していることが分かる。このことから、練返し時の含水比が大きいほど、骨格構造としての構造が発達し、嵩張った状態にあると考えられる。

$w=w_L$ の場合の圧縮曲線に着目すると、片対数グラフ上

ではあるが、直線状の圧縮曲線が得られていることが分かる。次に、 $w=1.5w_L$ と $w=2.0w_L$ の場合の圧縮曲線に着目すると、両者からは非常に近い曲線が得られ、 $w=w_L$ の場合よりも上側に位置していることが分かる。また、圧密圧力が大きくなるほど、 $w=w_L$ の場合の圧縮曲線に漸近していく様子が見て取れる。本研究では、圧密圧力の最大値を $2560 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ としたが、さらに大きな圧密圧力まで載荷した場合は、1つの曲線になるものと予想される。

次に、圧縮曲線の傾きに注目すると、 $w=1.5w_L$ と $w=2.0w_L$ の場合は、 $w=w_L$ の場合よりも傾きが大きく、圧密圧力が大きくなるにつれて、三者の圧縮曲線の傾きは同程度 (0.62程度) となっていることが分かる。

以上のことから、練返し試料を作製する際に、含水比を液性限界程度に調整し、十分に練り返すことで、土の骨格構造を可能な限り喪失させることができたと考えられる。しかし、実務上では、圧密試験を実施する際にその試料の液性限界が判明していることは少なく、試料の含水比を液性限界程度に調整することは試験者の経験に依るところが大きい。本研究の試験結果を見ると、液性限界の1.5倍程度に含水比を調整した場合、骨格構造としての構造の発達が確認されたが、大きな圧密圧力域では、液性限界で練返しした圧縮曲線に漸近していく結果が得られている。あくまでも典型的な粘性土を使用した結果ではあるが、液性限界よりも少々高い含水比で練返しした場合は、より大きな圧密圧力まで載荷するなどの工夫により、液性限界で練返しした圧縮曲線を推定することが可能であると考えられる。

5. まとめ

自然堆積土の力学特性を正確に捉えるためには、その土が堆積環境に応じて培った骨格構造を定量的に把握することが重要であり、そのためには練返し試料の試験結果を正確に求めることが必要である。本研究では、段階載荷による圧密試験を用いて、練返し時の含水比の違いが圧縮曲線に及ぼす影響を骨格構造概念に基づいて考察した。その結果、練返し試料を作製する際の含水比は液性限界程度が理想的であり、それ以上の含水比で調整した場合は、骨格構造としての構造の発達を十分に考慮した上で、より大きな圧密圧力域まで載荷するなどの工夫が必要であることを示した。

《引用・参考文献》

- 1) 三笠正人 (1962) : 土の工学的分類表とその意義, 土と基礎, Vol. 12, No. 4, pp. 17-24.
- 2) Asaoka A., Noda T., Yamada E., Kaneda K., and Nakano M. (2002) : An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, Soils and Foundations, Vol. 42, No. 5, pp. 47-57.