

粘土の繰返し一次元圧密の評価法の提案

九州大学 工学部

学○佐藤友也 正 落合英俊

正 林 重徳 正 梅崎健夫

1. まえがき

粘土に繰返し荷重が載荷された場合、その内部では圧縮部分と膨潤部分が混在し、更に過圧密と正規圧密の部分が混在した状態にあると考えられる。繰返し圧密はこのような挙動の一つであり、本研究は、粘土層内部の要素がそれぞれ静的圧密の膨潤と圧縮を繰返すと考え、これらを重合わすことで繰返し圧密を表現しようと試みたものである。そこで、まず現象が単純で静的圧密理論の比較的完成している一次元圧密を取り上げ、要素試験とみなせる静的圧密試験より得られたパラメータを用いて差分法による数値解析を行ない、本手法の妥当性を検討した。

2. 繰返し圧密の考え方

本研究は、繰返し圧密を静的圧密の重合わせとして表現するうえで、大別して次の3つの仮定を用いた。

(1) 除荷時および再載荷時の間隙水圧挙動について

有効応力の原理を基にして、除荷時では、間隙水圧は全応力の減少分だけ減少し負の値となり、排水面では瞬時にゼロになると考えた。再載荷時も同様の仮定を用いた。

(2) 粘土骨格の構成則について

この手法では、各要素に適用して現象をよく再現できるような粘土骨格の変形を示す構成則を使うことが重要である。図-1は今井ら¹⁾により、供試体厚さ5mmで7連の分割型圧密試験より得られた $e \sim \log \sigma'$ 関係である。排水面側の1, 2の供試体を除き、3~7の供試体はほぼ同じ曲線となっており、これらは要素とみなせる。また、この曲線はクリープ的な挙動も含んでいる。そこで本研究では、図-1に示される3~7の供試体の曲線を経験的な粘土要素の構成関係として用いた。しかし、計算過程において、この $e \sim \log \sigma'$ 関係を、応力とひずみを一対一に対応させる関係としてそのまま用いるのではなく、 $\partial e / \partial \sigma' (=mv) \sim \sigma'$ 関係を用い、 mv を有効応力に関して非線形な定数とした。 $e \sim \sigma'$ 関係の勾配を用いることにより、急激な状態の変化を示す排水面では、図-1にみられるようなズレを生じることになる。また、繰返し圧密の場合、膨潤か圧縮か、また過圧密か正規圧密かが重要である。従って、過圧密における圧縮過程における構成則も膨潤過程における構成則も、要素とみなせる状態で求めた応力・ひずみ関係を基にするべきであるが、今回は、正規圧密における圧縮過程では静的圧密と同様とし、過圧密における圧縮過程および膨潤過程では膨潤指数を用いている。

(3) 外力とその作用について

外力の波形は矩形波を対象とし、載荷された瞬間、速やかに外力の大きさが排水面の有効応力となると考えた。今回は静的圧密から繰返し圧密を表現することを目的としており、攪乱などの繰返し載荷による特別な効果を考えていない。

以上の仮定を基にして静的圧密の重ね合わせによって繰返し圧密を表現しようとしている。尚、計算手法は Hawleyら²⁾が行なった計算と基本的には同じであり、透水則、連続の式および構成則の一階偏微分方程式をそのまま差分化し計算するという手法である。

3. 計算結果

図-2は、排水距離2cmの供試体を20要素に分割して得られた静的圧密の沈下曲線である。要素毎に異なった経路をたどる実験結果を忠実にシミュレートしている。従って、この計算手法で排水面を含め全要素にわたって内部状態を表現できることが判る。図-3は同じ条件のもと、載荷周期40secの繰返し圧密を計算した場合の、除荷時および載荷時における過剰間隙水圧分布の経時変化である。除荷後、膨潤する要素は次

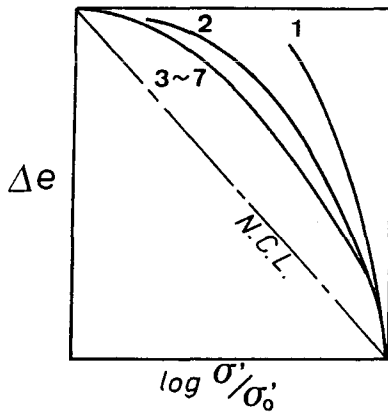


図-1 $e \sim \log \sigma' / \sigma'₀$ 関係

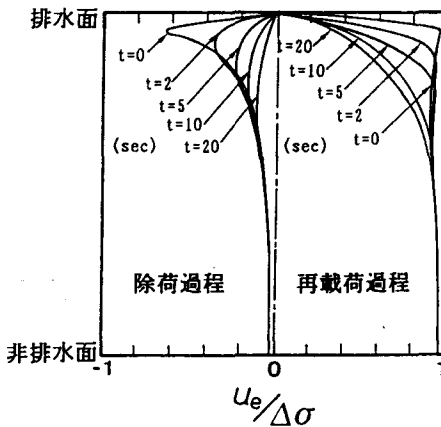


図-3 過剰間隙水圧分布の経時変化

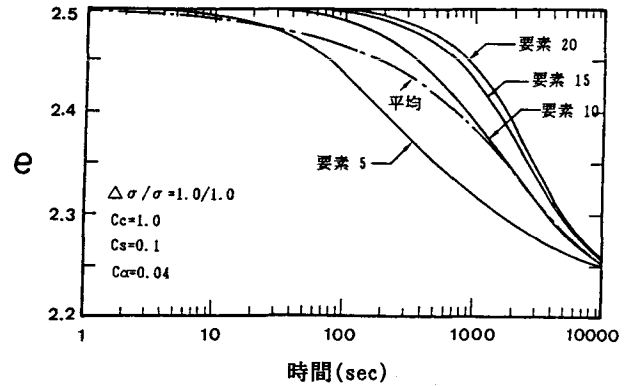


図-2 静的圧密の沈下曲線

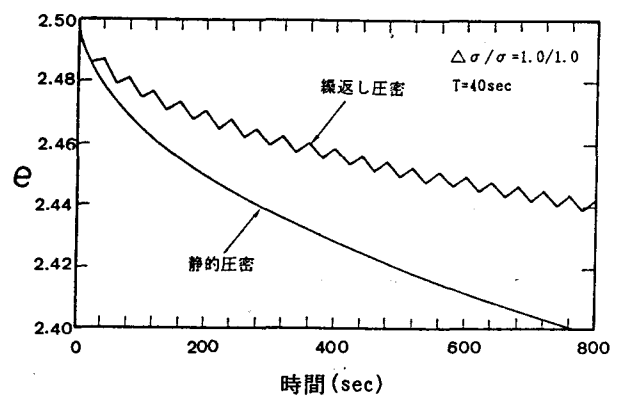


図-4 繰返し圧密の沈下曲線

第に排水面から供試体の内部要素へと移行する。しかし、20secの除荷の間に全ての要素が膨潤するまでには至らず、排水面から2/3程度の要素に留まっている。再載荷過程でも同様に、次第に排水面から圧縮する要素が増えていくが、20secの載荷の間に全ての要素が圧縮へと移行している。図-4は繰返し圧密の沈下曲線である。静的圧密に比べ沈下量は小さく、その沈下曲線を越えることはない。この傾向は当研究室において行なった繰返し再圧密の供試体の実験結果³⁾に類似している。ただしこの計算は、繰返し載荷による粘土骨格の攪乱等の効果を考慮しておらず、また、間隙水圧に関する1)の仮定に基づいているため、Balighら⁴⁾が計算しているように静的圧密の沈下量を越えることはない。従って、今後、不攪乱試料のように粘土骨格が高位の構造をもった場合に対する考慮が必要である。

4. まとめ

圧縮部分と膨潤部分および過圧密と正規圧密の部分がの混在すること等の繰返し圧密の性質を、静的圧密の重合合わせにより表現することを目的として、幾つかの仮定のもとに数値解析を行った。その結果、繰返し再圧密粘土の繰返し圧密の傾向を定性的に表現できた。今後、(1)～(3)の仮定を検討するとともに、繰返し効果を考慮し、量的な対応も考えていくつもりである。

【参考文献】 1) Hawley et al(1973): A Unified Theory For Consolidation, Proc. 8th ICSMFE, Vol. 1-3, pp. 107-119 2) 今井 他(1986): 分割型圧密試験装置を用いた均質粘土の一次元圧密特性, 第21回土質工学研究発表会, pp. 191-194 3) 梅崎 他(1988): 粘土の繰返し圧密特性に及ぼす影響要因について, 第23回土質工学研究発表会, pp. 301-304 4) Baligh et al(1973): Consolidation Theory For Cyclic Loading, ASCE, Vol. 104, pp. 415-431