

Ⅲ - A 166

固結力を有する粘土の K_0 値の特性

九州大学工学部○学 笠間清伸

九州大学工学部 正 落合英俊 正 安福規之

1.はじめに

軟弱地盤の改良工法に粉体またはスラリー状にした固化材を注入しながら攪拌混合するセメント安定処理工法がある。この工法は、固化材の量を調整することにより地盤を所定の強度に改良することができるため、現在幅広く用いられている。また、このように土粒子間に固結力を与えられた粘土は、再構成された粘土とは異なる力学特性を示すことが知られている。著者らは、土の特性を生かしつつ合理的な地盤改良を目的として、粘土に少量の固化材を混入し若干の固結力を持たせた粘土の力学特性を調べてきた。その中で、土粒子間に固結力を有する粘土の力学挙動の体系化を目的として、固結効果を表わすためのパラメーターを新たに導入し固結力を考慮した粘土の構成式を提案してきている^{1) 2)}。

本研究では、固結効果を表わすパラメーターを導入した構成式から K_0 値の算定式を導き、その妥当性を実際にセメントを混入し固結力を与えた粘土の K_0 圧密試験結果より検証した。

2. 消散エネルギー式と K_0 算定式2.1 固結効果のパラメーター p_r の導入

図1は、固結効果を表わすパラメーター p_r を導入したときの p - q 空間および e - $\ln p^*$ 空間における限界状態線を示したものである。図に示すように、固結力を持つ粘土の限界状態線は固結力を待たない粘土の限界状態線に平行で、固結力の効果 p_r の分だけ左側にシフトする。ここで、 $p^* = p + p_r$ と表わし e - $\ln p^*$ 線形関係に着目すると、弾性体積ひずみ増分 dv^e と塑性体積ひずみ増分 dv^p は次式で表すことができる。

$$dv^e = \frac{\kappa^*}{1+e} \frac{dp^*}{p^*} \quad (1) \quad dv^p = \frac{\lambda^* - \kappa^*}{1+e} \frac{dp^*}{p^*} \quad (2)$$

2.2 一般化した消散エネルギー式の導入

カムクレイモデル、修正カムクレイモデルにおける消散エネルギー式は以下の通りである。

$$dW_{in} = p M de^p \quad (3)$$

$$dW_{in} = p \sqrt{(dv^p)^2 + (M de^p)^2} \quad (4)$$

そこで、塑性体積ひずみと塑性せん断ひずみのカップリングを表す“ $X dv^p de^p$ ”を導入し、より一般化した式として

$$dW_{in} = p \sqrt{(dv^p)^2 + X dv^p de^p + (M de^p)^2} \quad (5)$$

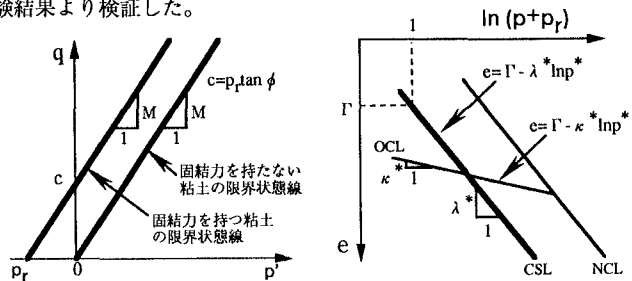
を考えることができる。この項の X はストレスダイレイタンスー関係の特徴づけるものとして意味を持つ。

2.3 固結力を考慮したストレスダイレイタンスー式

さらに式(5)に固結力の成分 p_r を導入したエネルギー消散式として次式を仮定する。

$$dW_{in} = p^* \sqrt{(dv^p)^2 + X dv^p de^p + (M de^p)^2} - p_r dv^p \quad (6)$$

この式は、等方圧密 ($q=0, de^p=0$) の状態を考えた場合、

図1 p_r を導入したときの p - q 空間および e - $\log(p+p_r)$

$$dW_{in} = p^* dv^p - p_r dv^p = p dv^p \quad (7)$$

となり、等方圧密時には固結力によるエネルギー消散の効果はなく、限界状態 ($q/p^* = M, dv^p = 0$) の場合

$$dW_{in} = p_r M de^p = (p_r + p_r) M de^p = q_r de^p \quad (8)$$

となり、固結力の効果がエネルギー消散の中に含まれ、せん断課程において固結力が大きく寄与していることを示している。また、この式は $p_r=0$ のとき、式(5)と一致することは明らかである。ストレスダイレイタンスー関係は、次のようになる。ただし、 $X = (2-c)\eta^*$ と与え、分母を $c\eta^*$ と表している。

$$\frac{dv^p}{de^p} = \frac{M^2 - \eta^{*2}}{-X + 2\eta^*} = \frac{M^2 - \eta^{*2}}{c\eta^*} \quad (9)$$

2.4 K_0 値の決定と評価

$de^e=0$ と仮定し、式(1),(2),(9)を基に、ひずみ増分比 (de/dv) を求めると

$$\left(\frac{de}{dv} \right) = \frac{de^e + de^p}{dv} = \left(1 - \frac{\kappa^*}{\lambda^*} \right) \frac{c\eta^*}{M^2 - \eta^{*2}} \quad (10)$$

となる。また、 K_0 圧密条件は $(de/dv)_{K_0} = 2/3$ で与えられるから、これを式(10)に代入した上で、 K_0 条件を満たす応力比 $\eta_{K_0}^*$ について解くと

粘土, 固結力, 消散エネルギー式, 構成式, K_0 値

〒812 福岡市東区箱崎6丁目6-10-1 TEL092-642-3286 FAX092-642-3285

$$\eta_{k_0}^* = \frac{-A + \sqrt{A^2 + 4M^2}}{2} \quad \text{ただし, } A = \frac{3}{2}c \left(1 - \frac{\kappa^*}{\lambda^*}\right) \quad (11)$$

を得る。

さらに、 $\eta_{k_0}^*$ と η_{k_0} の間には $\eta_{k_0} = \left(1 + \frac{p_r}{p}\right) \eta_{k_0}^*$ の関係があるから、これを $K_0 = \frac{3 - \eta_{k_0}}{2\eta_{k_0} + 3}$ に代入すると、最終的に K_0 値として

$$K_0 = \frac{3 - \left(1 + \frac{p_r}{p}\right) \eta_{k_0}^*}{2 \left(1 + \frac{p_r}{p}\right) \eta_{k_0}^* + 3} \quad (12)$$

を得る。この K_0 算定式は、右辺に平均有効応力 p と固結力の効果 p_r を含む形となり、対象とする土に作用する応力レベルと固結力の程度によって K_0 値が変化することを意味している。図2には、 p_r と p による K_0 値の変化を示している。この図より、固結力 p_r が大きくなるほど K_0 値が小さくなり、 p が大きくなるほど K_0 値は大きくなるのが分かる。

さらに、図3には K_0 値における限界応力比 M と固結力 p_r の関係を示している。この図を見ても分かるように、 K_0 値は限界応力比 M によって一義的に定まらず、 p_r と p の大きさによって変化することが分かる。また、圧密が進行するにつれ (p_r が一定で p が大きくなる) K_0 値が増加していくことも示している。

3. 実験による検証

詳しい供試体の作成方法や実験方法については、参考文献3) を参照されたい。図4に実験から求めた K_0 値と p の関係を示している。図中には上記の K_0 算定式により予測した K_0 値も示している。固結力を持つ粘土の K_0 値が固結力を持たない粘土のものよりも小さくなっており、圧密が進むに従ってそれらの値は漸近するような傾向にある。予測値は実測値の傾向をかなり良好に表わしていると判断できる。

4. まとめ

1) 固結力を考慮した K_0 算定式を提案した。2) 固結力を持つ粘土の K_0 値は、固結力を持たない粘土の K_0 値よりも小さくなるものの、圧密圧力大きくなるにつれて K_0 値は固結力を持たない粘土の K_0 値に近づく。3) 固結効果を表すパラメーターを導入した構成式による K_0 値の予測の結果は、実際のものによく似た傾向を示す。

【参考文献】

- 1) 冨永ら (1996) : 限界状態に着目した人工固結粘土の非排水せん断特性, 「第51回年次学術講演会講演概要集」, III-A73, pp.146-147.
- 2) Yasufuku, N. et al., The dissipated energy equation of lightly cemented clay in relation to the critical state model, 「9th IACMAG'97」, (投稿中)
- 3) 笠間ら (1997) : 人工固結粘土の K_0 におけるセメント混入率の影響, 「土木学会西部支部研究発表講演概要集」, pp.470-471.

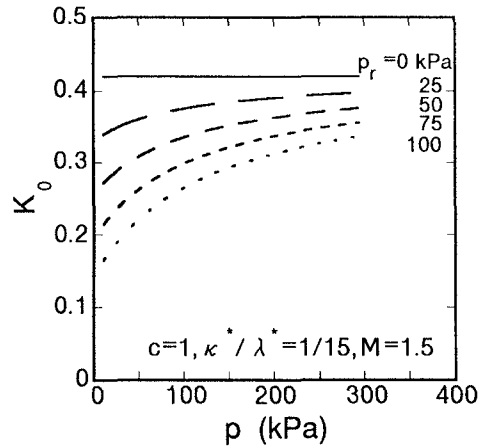


図2 平均有効応力 p による K_0 値の変化

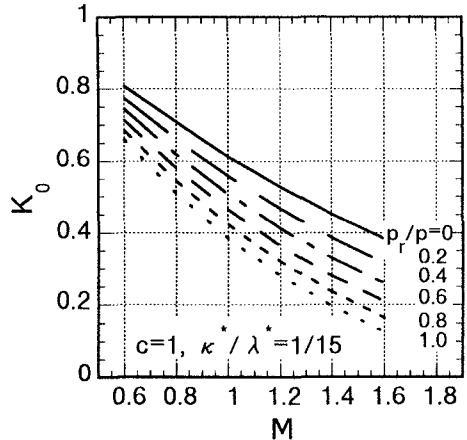


図3 限界応力比 M による K_0 値の変化

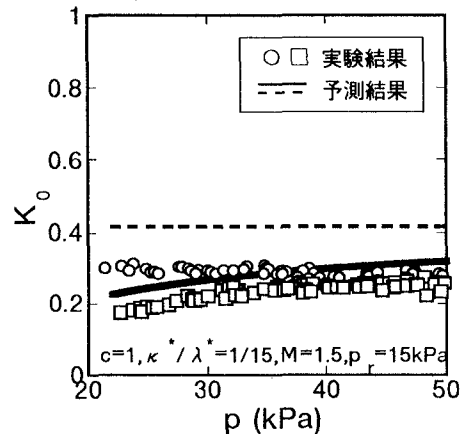


図4 実験結果との比較