

人工固結粘土の K_0 値におけるセメント混入率の影響

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

九州大学工学部 正 大嶺 聖 正 大野司郎

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、一般にセメント安定処理した地盤の K_0 値は小さくなることが知られており、擁壁の裏込め土として用いる場合には、擁壁に作用する土圧の低減が期待され、擁壁の合理的かつ経済的な設計が可能となる。

著者らは、土の特性を生かしか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、固結効果を表わすためのパラメーターを新たに導入し、土粒子間に固結力を有する粘土の力学挙動の体系化と、固結力を考慮した粘土の構成式の提案を目的とした研究を行っている^{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 値の評価式を導き、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. K_0 評価式の誘導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持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、 $p^* = p + P_r$ 、 $\eta^* = \frac{q}{p + P_r}$ と表わすと

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

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

を得る。また、著者らはエネルギー的考察に基づき、 P_r を導入したストレスダイレイタンス式として次式を提案している³⁾。

$$\frac{d\epsilon^p}{dv^p} = \frac{c\eta^*}{M^2 - \eta^{*2}} \quad (3)$$

2.2. K_0 値の決定

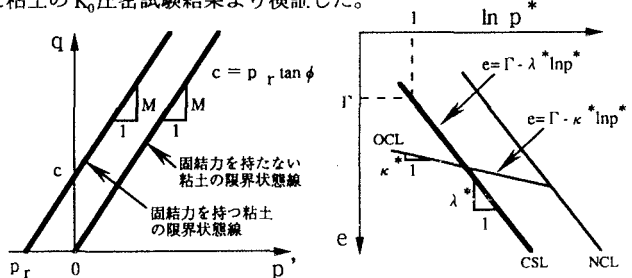
$d\epsilon^e = 0$ と仮定し、式(1)～(3)を基に、ひずみ増分比 $\left(\frac{d\epsilon}{dv}\right)$ を求めると

$$\left(\frac{d\epsilon}{dv}\right) = \frac{d\epsilon^e + d\epsilon^p}{dv} = \left(1 - \frac{\kappa^*}{\lambda^*}\right) \frac{c\eta^*}{M^2 - \eta^{*2}} \quad (4)$$

となる。また、 K_0 圧密条件は $\left(\frac{d\epsilon}{dv}\right)_{K_0} = \frac{2}{3}$ で与えられるから、これを式(4)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

$$\eta_{K_0}^* = \frac{-A + \sqrt{A^2 + 4M^2}}{2} \quad (5)$$

ただし、 $A = \frac{3}{2}c \left(1 - \frac{\kappa^*}{\lambda^*}\right)$ を得る。

図1 P_r を導入したときの p - q 空間および e - $\ln p^*$ 空間

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

$$K_0 = \frac{3 - \left(1 + \frac{P_r}{p}\right) \eta_{K_0}^*}{2 \left(1 + \frac{P_r}{p}\right) \eta_{K_0}^* + 3} \quad (6)$$

を得る。

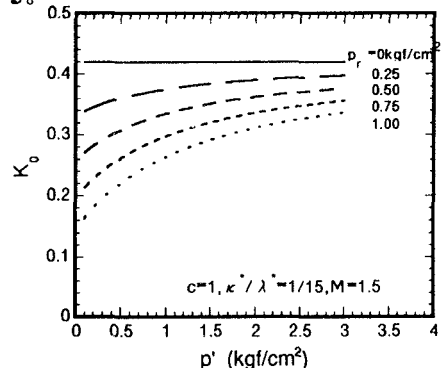
図2 固結効果を考慮した K_0 値の評価

図2には ($c=1$ 、 $\kappa/\lambda=1/15$ 、 $M=1.5$) として、 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 値は大きくなる事が分かる。

3. 実験による検証

3.1. 供試体および試験方法

人工固結粘土・・・425 μm のふるいを通過させた有明粘土 ($w_L=97.2\%$ 、 $I_p=40.0$ 、 $\rho_s=2.597\text{g/cm}^3$) を攪拌機によってスラリー状にした後、粘土の乾燥重量の0%、3%になるようにポルトランドセメントを混入した。その後液性限界の約2倍の含水比状態に調整し、両面排水の1次元圧密装置により0.5kgf/cm²の圧密圧力で圧密した。なお、圧密終了時間は31法により決定した。圧密終了後、これを直径3.5cm×高さ7.0cmの円柱としてトリミング法で取り出し供試体として用いた。

K_0 圧密試験方法・・・初期等方応力0.2kgf/cm²、軸ひずみ0.00125%/minとして、JGS T525『土の K_0 圧密非排水三軸圧縮試験方法』に準じて行った。

3.2. 実験結果および考察

図3、4に試験より得られた p - q 空間での応力経路および K_0 値の変化を示している。図3より、固結力を持つ粘土の K_0 圧密時の応力経路は、固結力を持たない粘土のものの上に位置していることが分かる。また、 K_0 値は固結力を持つ粘土の方が固結力を持たない粘土のものよりも小さくなっているが、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。図5、6には上記の K_0 評価式により予測した応力経路および K_0 値の変化を示している。これらの図から、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 評価式を提案した。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 P_r 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) 富永, 笠間, 落合, 安福 (1996): 圧密圧力に着目した人工固結粘土の圧縮および非排水強度特性, 「第31回地盤工学研究発表会講演集」, D-6-390, pp.779-780.
- 2) 富永, 笠間, 落合, 安福 (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.
- 3) Yasuhuku, N. Sugiyama, M. Hyodo, M. and Murata, H.: Extended critical state model for cohesive clay with initial induced anisotropy, 「technology Reports of the Yamaguchi University」, Vol.5, No.2, pp.103-116.

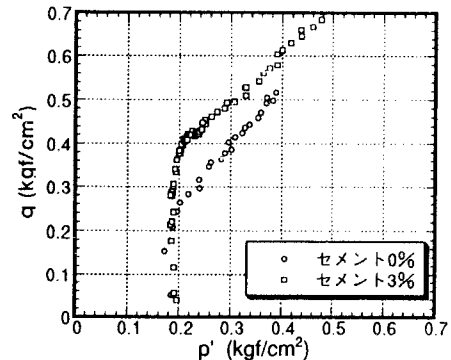


図3 固結力を持つ粘土の K_0 圧密応力経路

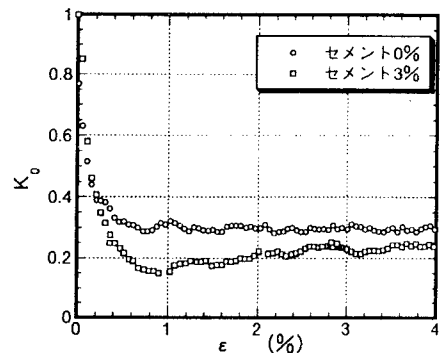


図4 固結力を持つ粘土の K_0 値の変化

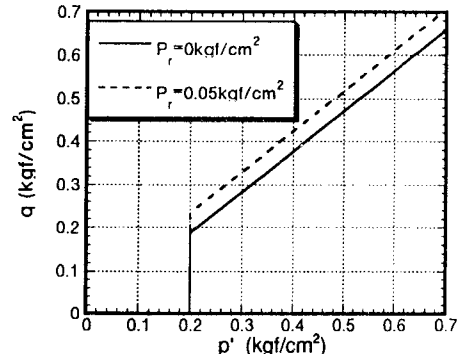


図5 K_0 評価式による予測 (p - q 空間)

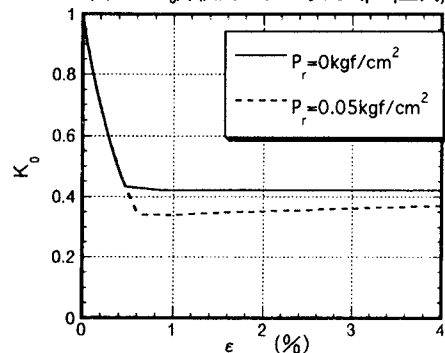


図6 K_0 評価式による予測 (K_0 値の変化)