

### III-A 73 限界状態に着目した人工固結粘土の非排水せん断特性

九州大学 正〇富永哲男（現J R九州） 学 笠間清伸

九州大学 正 落合英俊 正 安福規之

正 大嶺 聖 正 大野司郎

1. はじめに 著者らは固結力を有する粘土の強度-変形特性を明らかにし、固結力の影響を考慮した構成式を導くことは極めて意義があるという立場から、これまでに固結力を持つ粘土の限界状態の概念について理論的な検討を行い、次節に示すひとつの考え方を提示している<sup>1)</sup>。本文では、粘土試料に少量のポルトランドセメントを添加することにより作成した人工固結粘土を対象に一連の非排水三軸試験を行い、固結力を有する粘土の $q-p'$ 空間、 $e-\ln p'$ 空間における限界状態の概念の妥当性について検証を行った。

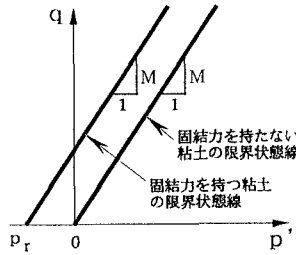


図-1  $q-p'$ 空間における限界状態

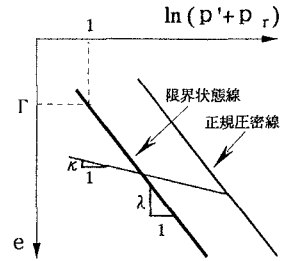


図-2  $e-\ln(p'+p_r)$ 空間における限界状態

2. 固結力を考慮した限界状態の概念 著者らは固結力を有する粘土の限界状態(CSL)は $q-p'$ 空間において図-1のように切片を持ち、0%粘土のCSLと同じ傾きの直線と仮定した。さらに、この図から求められた固結力を表す定数 $p_r$ を用いて $e-\ln p'$ 空間の横軸を $\ln(p'+p_r)$ とすると、図-2に示すように固結力を持つ粘土は固結力を持たない粘土と等しい圧縮指数 $\lambda$ 、膨張指数 $\kappa$ を持つと考えた。したがってこれらは以下の式で表される。

$$q = M(p' + p_r) \quad e = \Gamma - \lambda \ln(p' + p_r)$$

#### 3. 人工固結粘土の非排水三軸試験による検証

3-1. 試料作成法および試験方法 試料は425 $\mu$ mのふるいを通過させた有明粘土( $\rho_s=2.609\text{g/cm}^3$ ,  $w_L=86.5\%$ ,  $I_p=51.3$ )にスラリー状としたポルトランドセメントを乾燥重量の0%、1%、3%となるように加え、液性限界の2倍の含水比に調整した後、両面排水の一次元予圧密装置により圧密応力49kPaで予圧密したものを用いた。この時の圧密打ち切り時間はセメントを加えない試料を基準とした3t法により決定し、すべて11日間とした。この後、含水比を一定に保ったまま35日間養生させた試料から直径3.5cm、高さ

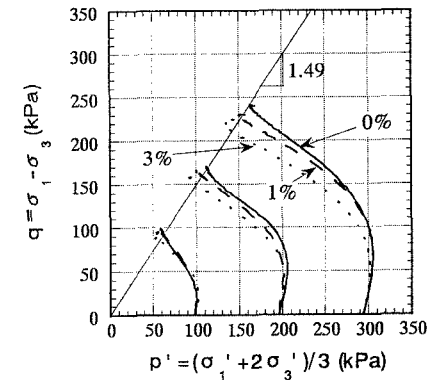


図-3 人工固結粘土の非排水有効応力経路

表-1 人工固結粘土の材料定数

	標準圧密試験		$p_r$ を考慮した場合		
	$\lambda$	$\kappa$	M	$p_r$ (kPa)	M
0%粘土	0.273	0.040	1.49	0	1.49
1%粘土	0.314	0.037	1.65	8	1.49
3%粘土	0.371	0.021	1.71	15	1.49

7.0cmの円柱供試体を成形し、これを周面排水により所定の圧密応力で等方圧密させた後、非排水せん断試験を実施した。この時の等方圧密も3t法により打ち切り時間を決定した。なお、本文ではセメント含有率に合わせて、それぞれの粘土を0%粘土、1%粘土、3%粘土と略して表現する。

3-2.  $q-p'$ 空間における限界状態 図-3には三軸試験より得られた人工固結粘土の非排水有効応力経路を示した。図中の限界状態線の傾きMは0%粘土を基準として求めたものである。1%粘土や3%粘土はこの0%粘土のCSLを越えて限界状態に至っており、これが固結効果によるものと考えられる。各粘土のMは等しいと考え $p_r$ を導入した場合、表-1に示すような $p_r$ 値が得られた。また、 $p_r$ を考慮せずにそれぞれ原点を通る限界

状態線を考えた場合のMも表中に示している。

**3-3.  $e-\ln p'$ 空間における限界状態** 図-4は各試料の  $e-\ln(p'+p_r)$ 空間における限界状態線を示したものである。この図より固結力を有する粘土の限界状態線は、図に示す応力域では直線で表せるということが分かる。ただし図-2で示した概念とは異なり、それぞれの粘土の限界状態線は一致せず、固結効果が大きい粘土ほど限界状態線の傾き  $\lambda$  が急になっていることが分かる。図-5はそれぞれの粘土における限界状態線の傾きを0%粘土の  $\lambda$  で正規化した値  $\lambda/\lambda_0$  とセメント量の関係を示したものである。ここでは比較のために、横軸を  $\ln p'$  とした時に得られる  $\lambda$  についてもプロットしたが、どちらの場合もセメント含有率が増加するほど、 $\lambda/\lambda_0$  の値が大きくなっていることが分かる。

**3-4. 人工固結粘土の非排水有効応力経路** 人工固結粘土の標準圧密試験と非排水せん断試験より得られた材料定数(表-1参照)を用いて予測した非排水有効応力経路を図-6に示す。この時、 $\lambda$ 、 $\kappa$  はそれぞれの粘土によって異なる値を用いた。ここでは、 $p_r$  を導入したカムクレイモデルを用い、以下に示す式より非排水経路を予測した。

$$\ln\left(\frac{p^*}{p_0^*}\right) + \frac{(\lambda-\kappa)\eta^*}{\lambda M} = 0$$

ここで  $p^* = p' + p_r$ 、 $p_0^* = p_0 + p_r$ 、 $\eta^* = q/(p' + p_r)$  であり、 $p_0$  は圧密終了時の  $p$  を意味する。図-6(1)では、 $p_r$  を考慮せずに各粘土に対して異なるMの値(表-1参照)を用いて予測を行った。

図-1の実測値においてはセメント添加量の増加とともに経路は左にシフトしているが、図-6(1)ではこの傾向を表現できていないことが分かる。これに対し、図-6(2)は  $p_r$  を導入した場合の予測結果である。この場合、予測値は実測値の傾向によく対応している。したがって、この結果から固結力を有する粘土の非排水有効応力経路の評価において  $p_r$  の導入は有効であると判断される。

**4. まとめ** 本研究より得られた結論を以下に示す。

- 1)  $e-\ln p'$ 空間における人工固結粘土の限界状態線は直線で表すことができ、固結効果に応じて異なる勾配を持つ。
- 2)  $q-p'$ 空間における限界状態線は切片を持つと仮定でき、固結力を有する粘土の非排水有効応力経路の評価において固結力を表す定数  $p_r$  の導入は有効である。

**【参考文献】** 1) 安福, 兵動, 村田(1994): 粘着成分を有する粘土の限界状態の概念と消散エネルギー式について, 土木学会第49回年次学術講演会, pp. 408-409.

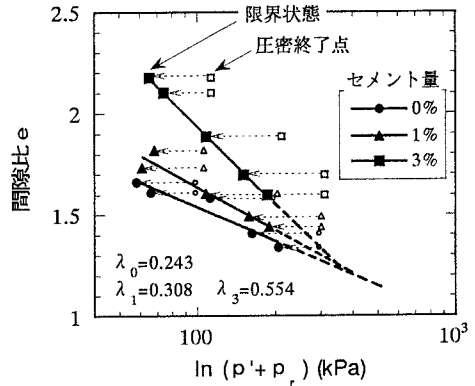


図-4  $e-\ln(p'+p_r)$ 空間における限界状態

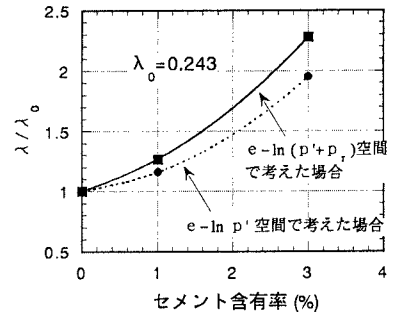


図-5 限界状態線の傾き  $\lambda$  とセメント含有率の関係

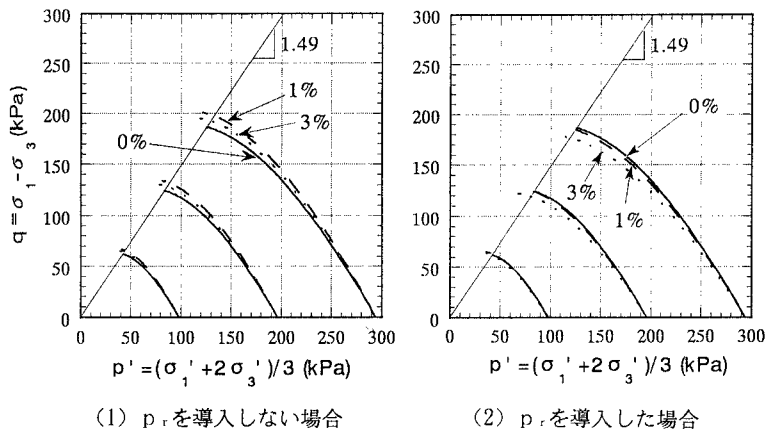


図-6 カムクレイモデルを用いた非排水経路の予測