

Ⅲ-A61 土の消散エネルギー式に着目した固結力を有する粘土の構成式

九州大学大学院○学 笠間清伸 フェロー 落合英俊
九州大学大学院 正 安福規之 学 森嶋武宏

1.はじめに 近年、生活基盤の拡大に伴って人工的に固化材を混合した土を用いて人工島や埋め立て地の開発が行われている。この人工処理土は、土粒子間が化学的作用により固結した地盤材料であり、その力学特性は固結力の程度に依存し、より複雑なものとなる。著者らは、人工処理土の強度・変形特性を簡明なモデルを用いて評価し、人工処理地盤の変形挙動の予測に用いることを目的とした研究を行っている¹⁾。本文では、土の消散エネルギー式に固結力の成分を導入した Cam-Clay²⁾タイプの構成式を提示し、その特性を示すとともに固結力を有する材料への適用性を検討した。

2. 固結力を有する粘土の構成式 土粒子に固結力を有する地盤材料の内部消散エネルギー式を検討する上で、固結力の効果を以下のように考えた。1) 土粒子同士の摩擦として消散されるエネルギーだけでなく固結成分に対してなされるエネルギーがある。2) 土の構造を変化させるような変形が生じたとき、固結力が大きく抵抗する。従って、固結力に対してなされるエネルギーは主にせん断変形によって起こる。3) 固結成分は受けたエネルギーによって失われ、最終的には完全に消失する。これらの考えに基づき、固結力を考慮した土の内部消散エネルギー式および固結成分 c_r の特性を以下の式で考えた。

$$dW_m = p' M d\varepsilon^p + c_r d\varepsilon^p \quad (1)$$

$$c_r = c_{r0} \exp(-\alpha \varepsilon^p) \quad (2)$$

式(2)はせん断変形の増加に伴って固結成分が失われることを簡単な数式によって表現している。ここで、 c_{r0} はせん断初期の固結成分 c_r の値であり、 α は固結力の消散の程度を表すパラメーターである。この時式(1)を用いて、ストレスダイレイタンスー関係を導くと次式となる。

$$\frac{dv^p}{d\varepsilon^p} = M - \eta + \frac{c_r}{p'} \quad (3)$$

図1に c_r を導入したストレスダイレイタンスー関係を示す。 c_r/p' が一定の時はストレスダイレイタンスー関係は傾き 1.0 の直線となり c_r/p' の大きさにより平行に移動する。続いて、式(3)に直行則を適用し、求めた降伏関数が次式である。

$$f = \eta + M \ln \frac{p'}{p'_0} - c_r \left(\frac{1}{p'} - \frac{1}{p'_0} \right) \quad (4)$$

ここで、 $c_r=0$ とすると式(4)は Cam-Clay モデルの降伏関

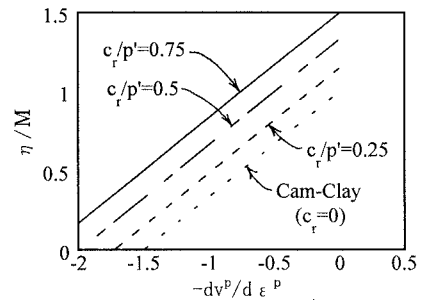


図1 提案式によるstress-dilatancy関係

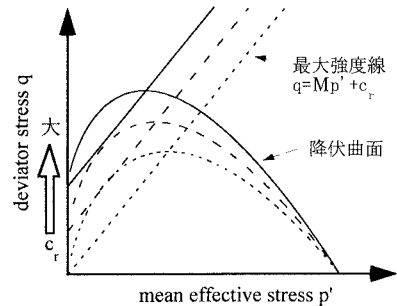


図2 降伏曲面と最大強度線

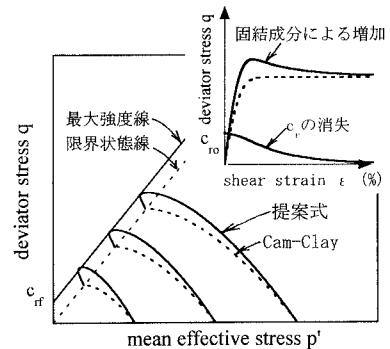


図3 c_r を導入した応力経路

固結力,セメント,粘土,構成式,消散エネルギー式,非排水せん断特性

〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 Tel. 092-642-3316 Fax. 092-642-3316

数に一致する。図2は p' - q 空間における c_r を一定としたときの降伏曲面および最大強度線である。この図より、 c_r を導入した降伏曲面は q 軸方向に拡大し、それにもとない弾性挙動を示す領域が大きくなることわかる。次に最大強度線に着目すると、Cam-Clay モデルの限界状態線が原点を通るに対して、 c_r を導入したときの最大強度線はその大きさの分だけ上側に平行移動する。図3には一例として提案式を用いた p' - q 空間における応力経路と応力ひずみ関係を示す。この図より、固結成分 c_r はせん断変形によって単調に減少し、軸差応力が最も大きくなる時の c_r の値が p' - q 空間の切片の値 c_{rf} として表れ、応力経路は Cam-Clay モデルによる応力経路の上側に位置する。さらに固結成分が消失すると軸差応力の値は徐々に一定の値の残留状態に近づくという特性を有する。

3. 非排水せん断強度特性の評価 本研究では、土粒子間の固結力の程度を変化させた4種の人工処理粘土を供試体として用いている。具体的な供試体作製方法は、参考文献3)に詳しい。また、本文では、セメント混合量に合わせて、それぞれの粘土を0%粘土、3%粘土、5%粘土及び7%粘土と略して表現する。図4に実験により得られた p' - q 空間における最大軸差応力状態を示す。固結力を有する粘土の最大強度線は0%粘土のものに平行と見なすことができ、 q 軸に対して切片を有する。この切片の値は固結効果を表すパラメーターとして考えることができ、図3によく対応する。図5に拘束圧196kPaにおける応力ひずみ関係を示す。縦軸は残留時(軸ひずみ15%)の軸差応力によって正規化している。この図より、固結力を有する粘土の非排水せん断時の最大軸差応力と残留時の強度には差があり、その程度は固結力が大きいほど顕著になる。続いて、提案式を用いて固結力を有する粘土の非排水せん断時の最大強度と残留強度の比を評価したのが図6である。用いた定数を表1にまとめている。ここで、 c_{r0} および α は材料で固有な定数と考えられるが、今回は、実験結果との対応を考えて c_{r0} は切片の値 c_{rf} の1.2倍、 α は500と仮定した。また、横軸はセメント量に対応する量として c_{rf} を用いた。提案式による $q_{max}/q_{15\%}$ の値は実測値の c_{rf} が増加するほど大きくなるという傾向を表現する。以上の考察より、内部消散エネルギー式への固結力項の導入が固結力を有する材料の非排水せん断強度特性を表現するのに有効であると言える。

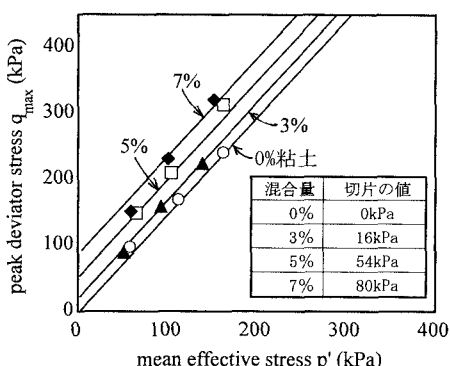
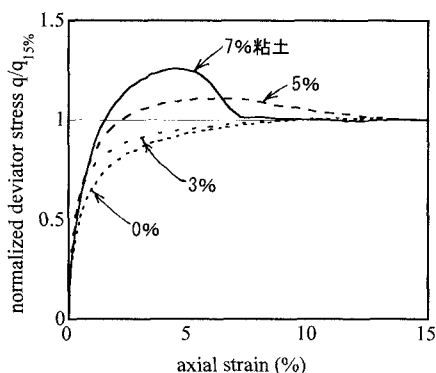

図4 p' - q 空間における最大強度線


図5 固結力を有する粘土の応力ひずみ関係

表1 用いた材料定数

	λ	κ	M	c_{rf}	c_{r0}	α
0%粘土	0.273	0.040	1.5	0kPa	0kPa	500
3%粘土	0.371	0.021	1.5	16kPa	19.2kPa	500
5%粘土	0.509	0.015	1.5	54kPa	64.8kPa	500
7%粘土	0.830	0.013	1.5	80kPa	96.0kPa	500

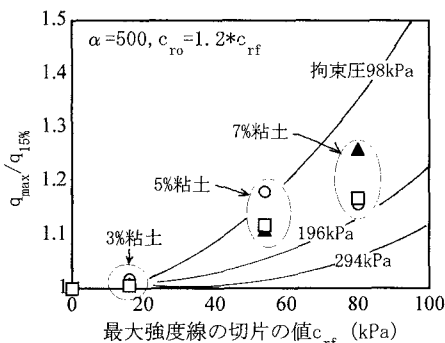


図6 理論式による最大軸差応力と残留強度の比

【参考文献】1) Kasama, K., Ochiai, H. & Yasufuku, N. 1998: A constitutive model of cemented geomaterials based on critical state concept, Proc. 13th Southeast Asian Geotechnical Conference, 337-342. 2) Schofield, A. N. & Wroth, C. P. 1968: Critical state soil mechanics, McGraw-Hill Book Company, New York. 3) 森嶋武宏, 落合英俊, 安福規之, 笠間清伸: 粘土の降伏曲面に与える固結力の評価, 平成10年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III, 356-357.