

不動建設(株) 正員 一本英三郎
 同上 正員 奥山 一典
 正員 ○ 山田 隆

1. はじめに

締固め砂杭と原地盤粘土で形成される複合土は、砂と粘土の応力～ひずみ関係（特性）の合成効果が地盤改良の意義（効果）に直結している¹⁾。本研究では、複合土のうち粘土のひずみ軟化挙動に焦点をあて、実用設計に適用し得る範囲において、簡便な構成モデルを検討・定式化した。その結果、双曲線などの経験式を組み合わせることで、粘土のひずみ硬化・軟化域における応力～ひずみ関係などの表示が可能となった。

また、本構成モデルは、有効応力に関するパラメーターを用いて記述される。一方、実用的な立場で非排水せん断試験から得られるせん断強度～ひずみ関係から逆にこの有効応力パラメーターを推定し、簡便な方法で応力～ひずみ関係を近似したことを合わせて報告する。

2. 構成モデルの定式化

粘土の三軸CU試験（側圧 σ_3 一定）から得られるダイレイタンスーによる過剰間隙水圧比（ $\Delta u^* / p_0$ ）と応力比 η の関係を図-1に示す。ここに、 $\eta = q / p'$ 、 q ：軸差応力、 p' ：平均有効主応力、 Δu^* ：ダイレイタンスーによる過剰間隙水圧、 p_0 ：初期平均主応力である。有効応力径路を図-2に示す。 η 、 q 、過剰間隙水圧 Δu ～最大せん断ひずみ γ の関係を図-3に示す。また、鋭敏な不攪乱海性粘土の実験値を図中に示す。

さて、図-1において（ $\Delta u^* / p_0$ ）～ η の関係を直線で近似すると次式となる。

$$\frac{\Delta u^*}{p_0} = B \left(\frac{q}{p'} - \eta_c \right) \quad (1)$$

ここに、 B ：ダイレイタンスーによる過剰間隙水圧に関する係数、 η_c ：柴田²⁾の σ_c に相当する定数である。

p' と Δu^* の関係は次式で与えられる。

$$p' = p_0 - \Delta u^* \quad (2)$$

η ～ γ 関係は、参考文献3)に示した次式で与える。

$$\eta = \frac{\gamma}{a + b \gamma} \quad (3)$$

式(1)～(3)より、非排水せん断試験における q ～ γ 関係は次式で表される。

$$\frac{q}{p_0} = \frac{\gamma}{a + b \gamma} \left\{ 1 - B \left(\frac{\gamma}{a + b \gamma} - \eta_c \right) \right\} \quad (4)$$

式(4)で計算した q ～ γ 関係を図-3に示す。パラメーター a 、 b は η ～ γ 関係の硬化部を双曲線近似して決定

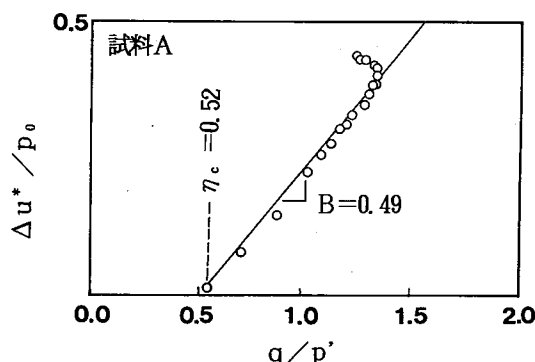


図-1 $\Delta u^* / p_0 \sim \eta$ 関係

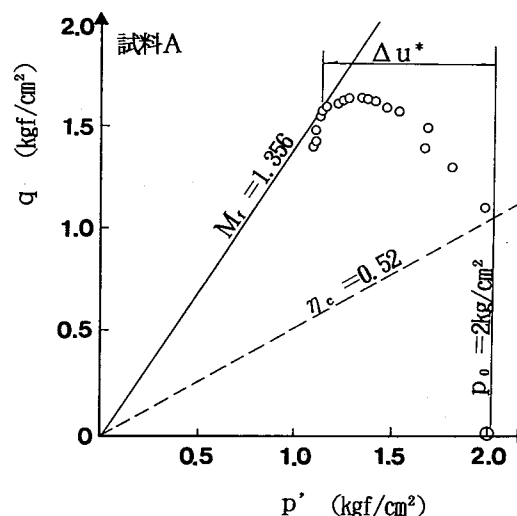


図-2 有効応力径路

した。また、 B , η_c は図-1の直線部を近似して決定した。図-3より、 $q \sim \gamma$ 関係の硬化部では、実験値と計算値はよく合っているが、ピーク以後ではひずみが大きくなるほど実験値は軟化している。これはせん断の進行に伴う粘土の構造骨格の変化に起因すると考えられる。

3. 本構成モデルの実用的取扱い

式(4)において $\eta_c = 0$ とすると次式が得られる。

$$\frac{q}{p_0} = \frac{a\gamma + (b-B)\gamma^2}{(a+b\gamma)^2} \quad (5)$$

上式および式(4)は、ひずみ硬化・軟化型の関数形となっているが、本質的に粘土の構造骨格の変化に起因すると思われるひずみ軟化現象は表現していない。

さて、非排水せん断試験から得られる $(q/p_0) \sim \gamma$ 関係のピーク強度 $(q/p_0)_{peak}$ 、ピークひずみ γ_{peak} および残留強度 $(q/p_0)_r$ が既知ならば、パラメータ a , b , B を式(5)より次式で推定することができる。

$$\begin{aligned} a &= (2B - b)\gamma_{peak} \\ b &= \{1 - \sqrt{1 - 4B(q/p_0)_{peak}}\} / (q/p_0)_r \\ B &= 1/4 / (q/p_0)_{peak} \dots \dots \dots (6) \end{aligned}$$

一般の軟弱地盤の実務設計では、粘土の強度定数を一軸圧縮試験で設定することがほとんどである。また、現場において品質管理を行う上でも、早く安くできる試験として一軸圧縮試験は利用されている。

そこで、この一軸圧縮試験結果を利用して、全応力表示による粘土の応力～ひずみ関係を再現することを試みる。

図-4に式(5), (6)による計算値と実験値を示す。計算に必要な値 $(q/p_0)_{peak}$, γ_{peak} は一軸圧縮試験の $q \sim \gamma$ 関係と初期圧密応力 p_0 より求め、 $(q/p_0)_r$ は繰り返し一軸圧縮試験値のピーク強度を残留強度と考え、鋭敏比と p_0 より求めた。

図-4から、一軸圧縮試験（繰り返し試験を含む）より得られる $(q/p_0)_{peak}$, γ_{peak} および $(q/p_0)_r$ の3つの値を用いて $p \sim \gamma$ 関係をよく近似できることがわかる。

4. おわりに

本報告に示した構成モデルでは、4個の基本土質パラメータ (a , b , B , η_c) で粘土の応力～ひずみ関係を表示した。今回は、ダイレイタンシーによる過剰間隙水圧比 ($\Delta u^* / p_0$) と応力比 η の関係に着目して簡易な構成モデルを定式化した。その他にも柴田²⁾が提案したダイレイタンシー係数 D' , σ_c と式(3)を組み合わせる方法やストレス～ダイレイタンシー関係に立ち戻って定式化すること等が考えられる。また、実用的立場から $\eta_c = 0$ を仮定して、一軸圧縮試験より本モデルの有効応力パラメータが推定できることを示した。この方法による地質解析、設計への適用は今後の課題である。

参考文献 1) 一本・奥山・野津：複合土に係わる応力とひずみの関係，土木学会第44回年次学術講演概要集Ⅲ，pp. 706-707, 1989. 2) 柴田 徹：粘土のダイレイタンシーについて，京都大学防災研究所年報，第6号，pp. 128-134, 1963. 3) 一本・奥山・野津・山田：複合土における砂の全ひずみ型硬化・軟化構成モデル，第25回土質工学研究発表会，（投稿中），1990.

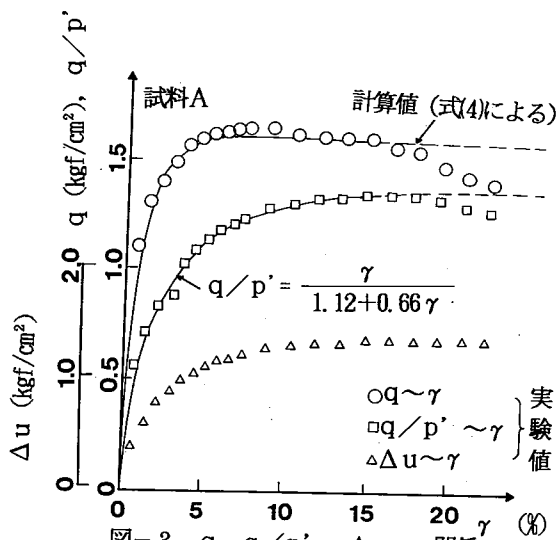


図-3 q , q/p' , $\Delta u \sim \gamma$ 関係

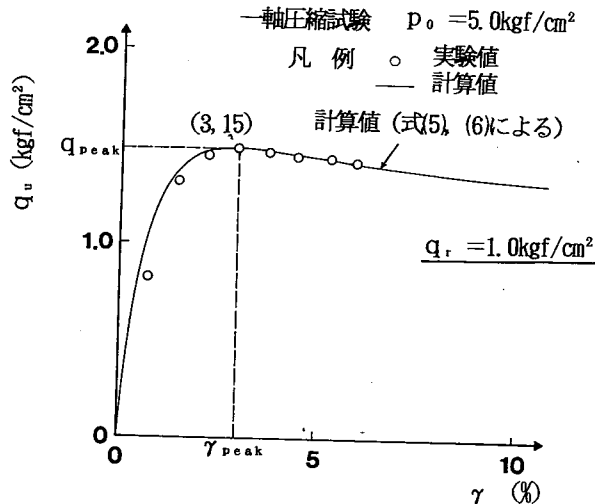


図-4 $q_u \sim \gamma$ 関係