

III-159 不飽和まさ土の構成式について

岡山大学工学部 西垣 誠
岡山大学大学院 ○孫 躍
岡山大学工学部 河野 伊一郎

1. まえがき

まさ土の力学挙動に関する研究がよく行われている¹⁾。これらの研究の多くは、まさ土の強度、応力・ひずみ挙動が風化度、含水状態および拘束圧の違いによって著しく変化するということを指摘している。このため、例えば、その応力・ひずみ挙動を精度よく予測あるいは解析するためには、このような力学特性を正に評価できるような構成モデルを開発することが望まれる。それが比較的簡単に利用できるものであれば、工学的にきわめて有益である。以上のことから、本研究では、不飽和状態に締め固めたまさ土のひずみ硬化特性、飽和度を考慮し、その力学挙動を実験的立場から議論するとともに、等方硬化弾塑性モデルを提案し、そのモデルの適用性について検討する。

2. 不飽和状態に締め固めたまさ土の力学的性質

試料は岡山市市神崎地区に産するまさ土を用いた。主な物性と応力経路は表1.に示されている。Fig.1 にはせん断試験結果の一部分を示す。これより、応力・ひずみ曲線に対して、飽和度の影響は拘束力、応力経路の影響と同じように存在することがわかる。Fig.2 に異なる飽和度で行なった圧密試験の結果を示す。圧密変形に対しては、飽和度あるいはサクシンの大きさによる影響が顕著にみられるため、これらは構成式に考慮する必要がある。

3. 飽和度の降伏面への影響

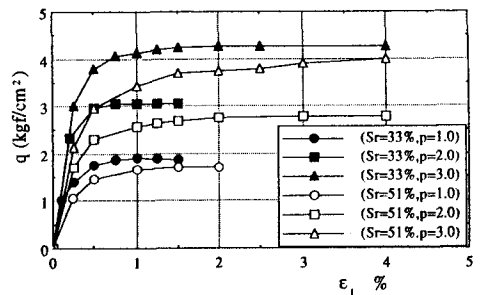
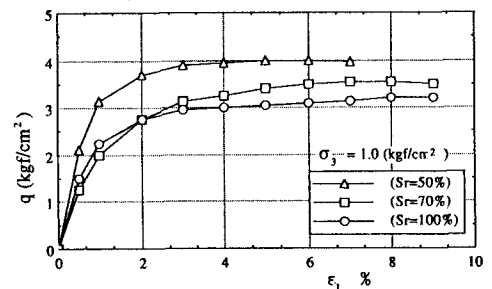
Fig.1.に示したの応力経路の応力・ひずみ曲線は、初期に直線部分を持つので、直線部分から曲線部分に変化する点から、降伏点を決定する。これより得られたデータを $q-p$ 座標にプロットした結果をFig.3に示す。ここで示した応力経路のデータは少ないが、これより、飽和度の変化に伴って降伏面がわずかに変動する傾向があることがわかる。したがって、初期応力条件が同じである場合に、降伏面の大きさは飽和度の増加とともに減少し、等方収縮すること、仮定され得る。

4. 等方応力下の不飽和まさ土の構成式

前述の結果から、不飽和状態に締め固められたまさ土は、降伏面が飽和度の変化とともに等方収縮、膨張になることがわかる。これより、飽和度が降伏面の形状への影響を考えられないから、提案されている従来の飽和状態砂質土のモデルを利用し、係数の変化に対する、飽和度の影響を考慮した。このように得られた構成式は、飽和状態から不飽和状態まで、連続的に利用できる。ここで、文献2)の方法を参考にして、実測した $\eta \sim dq/dp$ の関係を双曲線として次の降伏面が提案できる。

表-1. 物理的性質と応力経路

物理的性質		応力経路	
比重	2.66	$\sigma_3 = \text{const}$	
砂分	78 %	CD	CU
シルト分	17 %	排気	不排気
粘土分	5 %	排水	不排水
最適含水比	12 %	$P = \text{const}$	
最大乾燥密度	1.87	排気	排水


Fig.1(a) $q-\epsilon_1$ curves of $p=\text{const.}$ test

Fig.1(b) $q-\epsilon_1$ curves of $\sigma_3 = \text{const.}$ test

$$f = \ln(P/P_0(Sr)) + c/(2(c-1))\ln(N)^2 + \eta^2/N^2 \quad (1)$$

関連流れ則より次の応力・ひずみ関係を用いる。

$$\left\{ \frac{d\epsilon_v}{de} \right\} = \frac{1}{H} \begin{bmatrix} \frac{H}{k} \frac{\partial f}{\partial p} \frac{\partial f}{\partial p} & \frac{\partial f}{\partial q} \frac{\partial f}{\partial p} \\ \frac{\partial f}{\partial p} \frac{\partial f}{\partial q} & \frac{H}{3G} + \frac{\partial f}{\partial q} \frac{\partial f}{\partial q} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} dp \\ dq \end{Bmatrix} \quad (2)$$

ここで、 N は $dq/dp=0$ における η の値、飽和度の変動とともにわずかな変化がある。 C の値は $\eta \sim dq/dp$ 関係曲線が双曲線とした時のパラメーターである。降伏面の大きさの変化を表わす硬化パラメータ K^p は、不飽和土に対して、応力の関数であるほかに、また、飽和度あるいはサクシヨンの関数である。ここでは増分式として、塑性体積ひずみ成分と塑性軸差ひずみ成分を含んだ次の式を仮定する。

$$dK^p = d\epsilon_v^p + \eta d\epsilon^p \quad (3)$$

式(1)の $P_0(Sr)$ は飽和度 Sr 状態における応力比 $\eta = q/P = 0$ 時に降伏式の P_0 値である。Fig.2の曲線関係より、 dK^p を一定する場合に異なる飽和度の $P_0(Sr)$ と飽和状態の P_0 の間の関係が決定できる。

$$P_0(Sr) - P = (\lambda/\lambda(Sr))(P_0 - P) \quad (4)$$

$$\text{また,} \quad \lambda(Sr) = a + b \cdot (Sr) \quad (5)$$

硬化係数 H は次の式で、表現できる。

$$H = (-\partial f / \partial P_0) (\partial P_0 / \partial K^p) \quad (6)$$

等方圧密時に、 $dK^p = d\epsilon_v^p$ となる。これより、式(1)、(4)など関係を利用して、次の式(7)が得られる。

$$H = -(1/P_0) * (1 + e_0) / (\lambda(Sr) - \kappa) * (\partial f / \partial P + \eta * (\partial f / \partial q)) \quad (7)$$

以上の式(1)～(7)を用いると、不飽和まき土の応力・ひずみ関係を解析できる。

5. 構成式の検討

式(2)を用いて、不飽和まき土の三軸試験結果に対して予測を行ない、式(2)の適用性を検討した。その1例とFig.4(a), (b)に示す。これらの結果から、本研究で提案した応力・ひずみ構成式により、飽和度と応力の影響が考慮できることがわかる。

6. おわりに

構成式の係数中に飽和度の影響を考慮することにより、まき土の不飽和力学特性を反映できることがわかった。今後、様々な問題点を解消するために研究を行なう予定である。

参考文献：1)土質工学会(1988), "風化残積土に関するシンポジウム発表論文集"；2)村田・兵動・安福(1988): "低・高圧下における砂の降伏特性を評価した弾塑性構成式について", 土木学会論文集, No. 394/III-9, pp11-20.

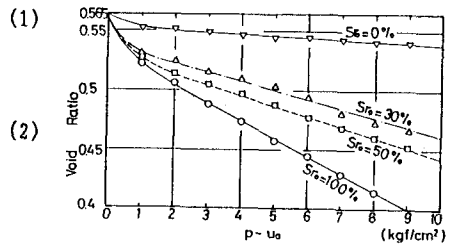


Fig.2 Void Ratio versus $(p-u_a)$.

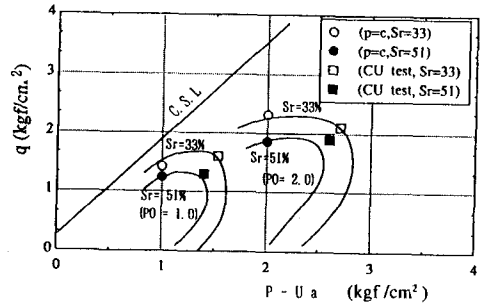


Fig.3 Yield curves of unsaturated MASA soil

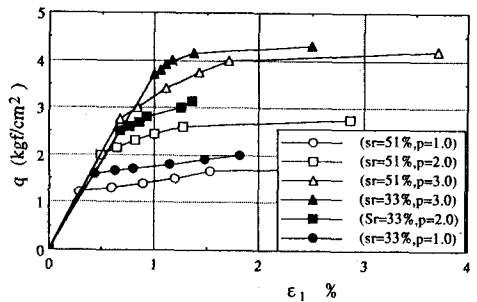


Fig.4(a) $q - \epsilon_1$ curve of $p=\text{const.}$ tests (calculated by eq.2)

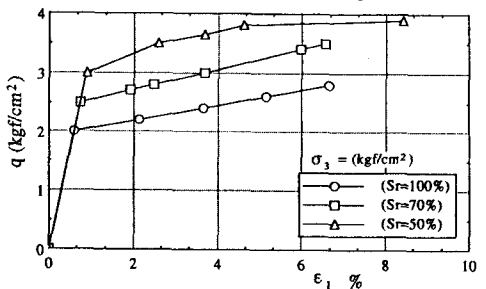


Fig.4(b) $q - \epsilon_1$ curve of $\sigma_3=\text{const.}$ tests (calculated by eq.2)