

九州大学工学部 学生員 坂井 晃

同 正員 山内 豊聡

同 川越 達郎

1. まえがき

土の構成式は、弾塑性理論等の種々の立場から提案されているが、Valanis¹⁾は内部の構造変化と対応する内部変数の蓄積過程として現象を捉え、塑性挙動に対する力学モデルを導いている。その後、繰返しせん断を受ける砂の体積ひずみや間隙水圧上昇を併う液状化モデルに適用されてきた。²⁾³⁾これらは、土粒子骨格構造の変化によって蓄積される状態量が、載荷履歴に対するひずみ経路の長さ、すなわち変形の単調増加関数として表わされる点に特徴がある。砂の塑性変形はこれらの蓄積過程として捉えられ、複雑なひずみ履歴も単一のパラメータで表現されている。本研究は、応力振幅一定の液状化試験結果から、間隙水圧上昇量とせん断ひずみの蓄積量との関係を求め、不規則外力に対する間隙水圧上昇量の計算に適用したものである。

2. 実験方法

実験には、振動三軸試験装置(側圧一定、軸圧変動)を用い、応力 σ 制御で周波数0.5Hzの正弦波を載荷した。供試体は、豊浦標準砂を用いて水中落下法により作成し、水頭差で脱気水を通じた後、バックプレッシャーを $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 加えた。相対密度 $D_r=50\%$ 、初期有効拘束圧 $\sigma'_v=1\text{kg}/\text{cm}^2$ で一定とした。

3. 実験結果と考察

3-1 間隙水圧と内部変数の関係

液状化における間隙水圧上昇は、せん断ひずみによる不可逆的な土粒子骨格の再配列に起因している。したがって、内部変数はせん断ひずみの関数で、特に繰返し載荷を受ける場合にはせん断ひずみの蓄積量に関して対応関係にあると考えられる。ここでは、各載荷毎のせん断ひずみ増分 $d\gamma$ を γ の増分 $d\gamma$ とする。 $d\gamma=d\gamma$ ……(1)

応力制御による液状化試験では、間隙水圧比 u/σ'_v は応力比 σ/σ'_v と繰返し回数 N の関数として表わされる。 $u/\sigma'_v=f_1(\sigma/\sigma'_v, N)$ ……(2) ここで、 N のかわりにせん断ひずみの蓄積量 γ で表わすと、 $u/\sigma'_v=f_2(\sigma/\sigma'_v, \gamma)$ ……(3) となる。ところが、応力制御試験においては、図-1に示されるように、 γ が σ/σ'_v と N の関数 $\gamma=g(\sigma/\sigma'_v, N)$ ……(4)であるから、 N のみとの関係を得るために γ と線形関係にある K を導入する。 $K=f_2(\sigma/\sigma'_v, \gamma)$ ……(5) 実験結果から γ と N の間には、 $\gamma=A(N_2) \cdot N^b$ ……(6)、 $A(N_2)=0.59N_2^{-0.966}$ 、 $b=1.15$ の関係が成り立ち、これを式(5)に代入すると、図-2に示されるように K は N のみの関数となる。 $K=N_2^{0.966} \cdot \gamma=0.59N^{0.15}$ ……(7) ただし、初期液状化における γ の値 γ_x は、 $\gamma_x=0.5N_x^{0.740}$ であり、それ以後は $N^{1.75}$ に比例して γ が急増する。

次に、間隙水圧とせん断ひずみの蓄積量との関係を示したが、

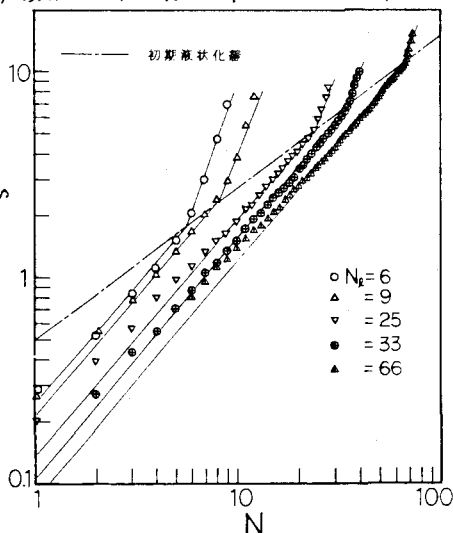
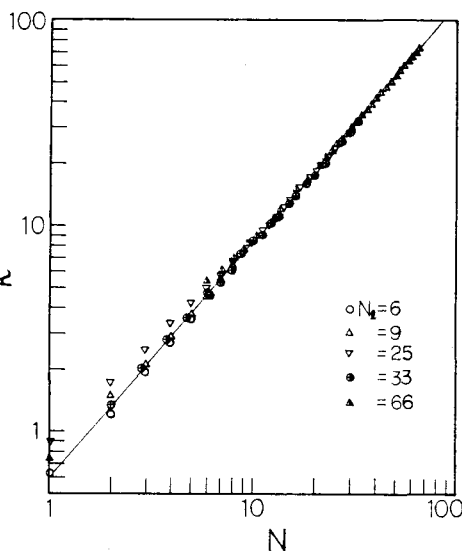
図-1 繰返し回数 N と内部変数 γ の関係図-2 繰返し回数 N と内部変数 K の関係

図-3である。式(3)における u/σ'_0 と χ の関係は、式(6)と同様に次式で表わされる。 $u/\sigma'_0 = C(N_k) \cdot \xi^d \dots (8)$, $C(N_k) = 1.2 N_k^{-0.608}$, $d=0.88$ 。ここで、間隙水圧上昇に対しては、強度低下を示す単調増加関数 χ の関数として、 $u/\sigma'_0 = F(\chi) \dots (9)$ で表現する。 χ は、 N_k と同様 ξ との線形関係 $\chi = H_1(N_k) \cdot \xi$ とすると、式(8)から次の関係式が得られる。 $\chi = N_k^{-0.691} \cdot \xi \dots (10)$ このことは、 χ が任意のせん断応力に対するせん断ひずみの蓄積量を評価するパラメータであることを意味しており、 $u/\sigma'_0 = 1.2 \chi^{0.88} \dots (11)$ を得る。式(11)の関係は図-4に示され、 u/σ'_0 は χ のみによって表わされる。

図-5は、以上述べてきた間隙水圧と内部変数の関係を示す。ただし、破線の経路は不規則外力に対する評価方法を示している。

3-2 不規則外力に対する間隙水圧上昇量の計算

間隙水圧は χ のみの関数で表わされるから、不規則外力に対しては以下の手順によって評価される。まず、与えられたせん断応力に対する液状化回数を求め、次に、各載荷毎のせん断ひずみの増分を算出するために、式(7)から各サイクル目の N_k の増分 dN_k を求める。 $d\xi_k$ は、 dN_k を用いて次式で計算される。 $d\xi_k = dN_k / N_k^{0.691} \dots (12)$ これより、 χ の増分 $d\chi_k$ は式(10)によって求められ、 $\chi_k = \sum_{i=1}^k N_k^{-0.691} d\xi_k \dots (13)$ によって χ_k を計算する。以上のようにして、不規則外力を χ に変換すれば式(11)によって間隙水圧上昇量が求められる。図-6は、不規則外力に対する u/σ'_0 の計算値と実測値を比較したものであり、良好な結果が得られた。

4. あとがき

以上のことから、液状化過程において蓄積されるせん断ひずみに着目すると、間隙水圧はパラメータ χ によって表現されることが分かった。このことは、数少ない簡便なパラメータで精度よく予測できることを示唆しており、実地盤の液状化解析への適用に有用であると考えられる。

参考文献

- 1) Valanis, K.C.: A theory of viscoplasticity without a yield surface (I, II), Arch. Mech. pp. 517-551, 1971.
- 2) Bazant, Z.P. and Krizek, R.J.: Endochronic constitutive law for lignofaction of sand, Proc. ASCE, pp. 225-238, 1976.
- 3) Finn, W.D.L. and Bhatia, S.: Endochronic theory of sand lignofaction, Proc. 7th World Conf. on Earthquake Eng., pp. 149-153, 1980.

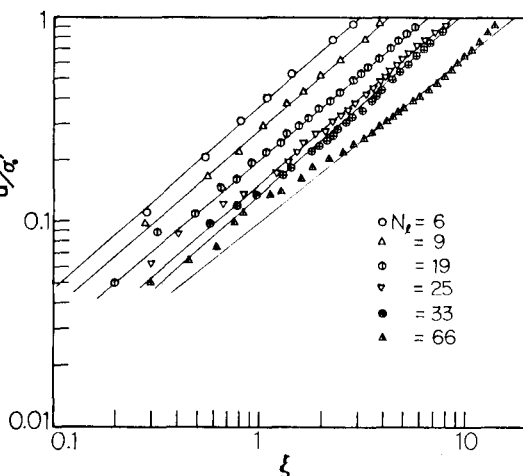


図-3 内部変数 ξ と間隙水圧比 u/σ'_0 の関係

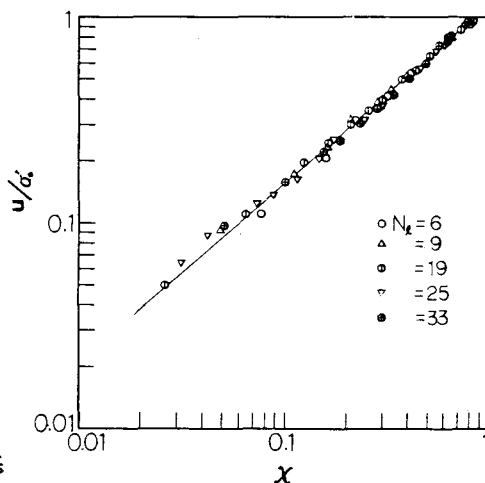


図-4 内部変数 χ と間隙水圧比 u/σ'_0 の関係

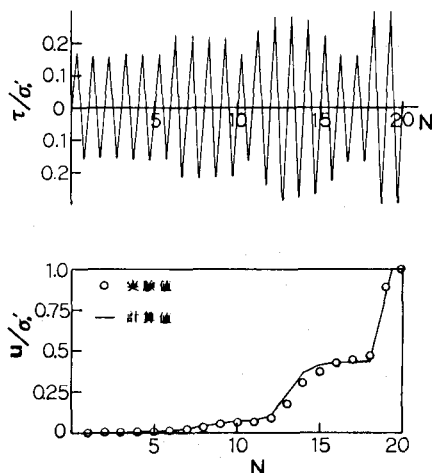


図-6 不規則外力に対する間隙水圧の上昇