

東京大学工学部 正 石原 研而

東京大学工学部 正 関 元治

東京大学大学院 学 永瀬 英生

清水建設 杉原 克郎

1. はじめに

これまで二方向単純せん断装置を用いて飽和砂の繰返し載荷試験を行ない、水平面内で回転状の径路をもつせん断応力を受ける砂の液状化特性について調べてきた⁽¹⁾。その結果、繰返し載荷を受けても、間げき水圧は初期有効拘束圧に等しくなるまでには至らず、その8~9割程度しか上昇しないことがわかった。すなわち、常にせん断応力が作用している繰返し載荷中には、供試体はダイレートする傾向を示し、初期液状化状態に至らないことが示された。本研究では、二方向単純せん断装置を用い、繰返し載荷方向と直交する方向に初期せん断応力を加えた繰返し載荷試験を行ない、せん断応力の作用状態と間げき水圧の上昇の関連について検討を加えてみた。

2. 実験方法

直交する二方向の応力を独立に制御できる単純せん断装置を用いて、飽和富士川砂の繰返し載荷並びに静的載荷試験を行なった。装置および繰返し載荷試験の詳細については、以前に報告したのでここでは省略する⁽²⁾。静的載荷試験は、繰返し載荷試験と同一の相対密度の試料を用い、繰返し載荷試験と同一の手順で98(%)と19(%)まで圧密した。圧密終了後、非排水状態でおよそ0.60 (kg/cm²・min) の速さで静的せん断を行ない、5分ごとに間げき水圧、せん断応力、垂直応力、ひずみを逐次測定した。

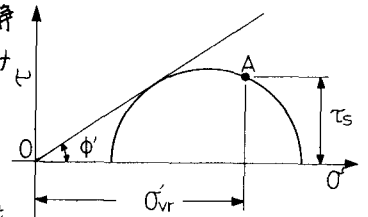


図-1

3. 解析方法

石原・山崎⁽¹⁾の実験に関連し、吉見は、間げき水圧上昇量を予測する式を図-1に示すMohrの応力円より導いている。すなわち、単純せん断によつて水平面上の点Aに作用するせん断応力を τ_s とすると、垂直有効応力 σ'_{vr} は、

$$\sigma'_{vr} \geq \tau_s \cot \phi' \quad \text{--- (1)}$$

を満足するので、間げき水圧の上昇量を表わす u_{max}/σ'_v は、

$$u_{max}/\sigma'_v = \frac{\sigma'_v - \sigma'_{vr}}{\sigma'_v} \leq 1 - (\tau_s/\sigma'_v) \cdot \cot \phi' \quad \text{--- (2)}$$

と表わせるのである。もし単純せん断装置では水平面に τ_s が加えられているが、この面がすべり面であると仮定すると、図-2より

$$\sigma'_{vr} = \tau_s \cot \phi' \quad \text{--- (3)}$$

となるので、 u_{max}/σ'_v は、

$$u_{max}/\sigma'_v = 1 - (\tau_s/\sigma'_v) \cdot \cot \phi' \quad \text{--- (4)}$$

が導かれる。また、水平面が最大せん断応力面と仮定した場合には、同様に

$$\sigma'_{vr} = \tau_s \frac{1}{\sin \phi'} \quad \text{--- (5)}$$

$$u_{max}/\sigma'_v = 1 - (\tau_s/\sigma'_v) \cdot \frac{1}{\sin \phi'} \quad \text{--- (6)}$$

と表わされる。(図-3)に式(5)に示された u_{max}/σ'_v は、(2)式からわかるように、間げき水圧上昇量の上限值を表わしている。

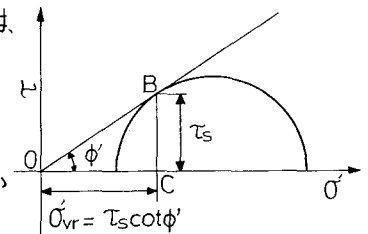


図-2

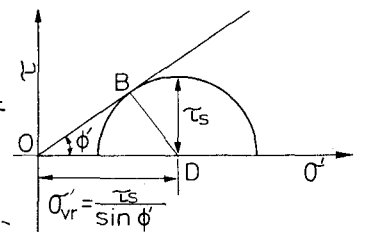


図-3

3. 静的載荷試験の結果と考察

静的せん断応力を載荷する際には、垂直方向の変位を拘束しているため、その結果軸圧が変動することになる。そこで、垂直有効応力 σ_v' は、

$$\sigma_v' = \frac{\sigma_a + 2\sigma_r}{3} - u = \sigma_v' + \frac{4\sigma_v}{3} - u$$

となる。ここに σ_a : 軸圧, σ_r : 側圧, u : 間げき水圧, $4\sigma_v/3$: 軸圧の変化。

静的載荷試験より得られたせん断応力 τ と σ_v' の関係を図-4に示す。初期拘束圧 98 (kN/m²), 196 (kN/m²) の2本のストレスパスについて、せん断ひずみ $\gamma_s = 3, 4, 5, 6, 7\%$ を生じる点も求め、それをつないで求めた等ひずみ線を図示している。それぞれの等ひずみ線に対応する ϕ を $\tan^{-1}(\tau/\sigma_v')$ から求め、(4), (6) 式に代入すると u_{max}/σ_v' は γ_s の一次関数として表示できる。

一方、繰返し載荷試験の結果より、初期せん断方向の累積ひずみ γ_s が 3, 4, 5, 6, 7% に達したときの間げき水圧 u_{max} を読みとり、初期有効拘束圧 σ_v' で除すと、繰返し載荷試験に関する u_{max}/σ_v' を求めることができる。この値を γ_s に対してプロットし、(4), (6) 式の関数と比較してみた。図-5 は $\gamma_s = 5\%$ 、図-6 は $\gamma_s = 6\%$ にそれぞれ対応している。この2つの図からわかるように、 γ_s が 5% のときは、 u_{max}/σ_v' の実験値は(4), (6) 式の直線のかなり上側に位置しているが、6% の場合は、(4) 式の間げき水圧の上限値を示す直線に比較的よい一致を示している。そこで $\gamma_s = 5\%$ と 6% に対応する等ひずみ線より計算を行なったのは、両者が、最も大きな間げき水圧の値を示す変相角を表わす直線に相当していることによる。

4. まとめ

静的なせん断試験結果より求めた変相角に相当する ϕ を、吉見の提案した式に適用し、初期せん断が加わった繰返し載荷時の間げき水圧を予測してみたが、 γ_s が 6% のときに、計算値と実験値の比較的よい一致を見た。

5. 参考文献

- (1) Ishihara and Yamazaki (1980) "Cyclic Simple Shear Tests on Saturated Sand in Multi-Directional Loading" Soils and Foundations, Vol. 20, No. 1, Mar. pp. 45~59
- (2) 石原, 関, 永瀬, 杉原 (1981) "多方向単純せん断試験による砂の液状化特性" 第16回土質工学研究発表会
- (3) Yoshimi (1981) Discussion on "Cyclic Simple Shear Tests on Saturated Sand in Multi-Directional Loading" Vol. 21, No. 1, Mar. pp. 121~122.

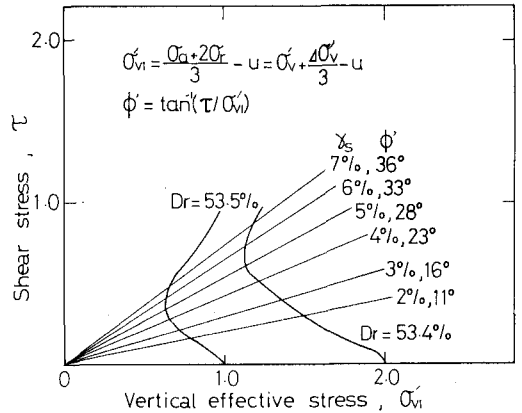


図-4 ストレスパス

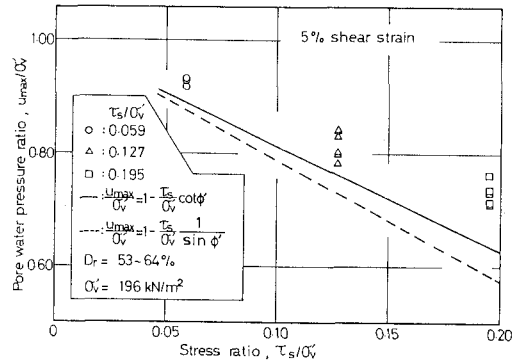


図-5 せん断ひずみ 5% 時の間げき水圧上昇量

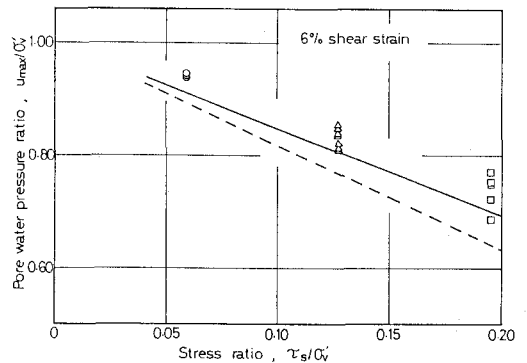


図-6 せん断ひずみ 6% 時の間げき水圧上昇量