

等せん断仕事線に基づく間隙水圧の評価

九州大学 工学部 正 員 山内 豊聡 正 員 落合 英俊
 同 上 " 林 重徳 " 坂井 晃
 同 上 ○ 学生員 杉本 洋一 学生員 久保 明

1. まえがき

従来、筆者らは、せん断によって生ずる塑性変形を、構造変化と対応する内部変数の累積過程として捉える Endochronic 理論の立場に立つて液状化過程中に発生する間隙水圧を定式化し、繰返し載荷によって累積する物理量と間隙水圧の関係を明確にしてきた。本提案による間隙水圧モデルでは、繰返しせん断によって累積していくせん断仕事を用いて、種々の初期拘束圧における間隙水圧上昇量を定式化した。さらに、繰返しせん断応力が作用している状態における間隙水圧変動量を求めるために、せん断仕事を用いて、各サイクル終了時の間隙水圧モデルと対応させて定式化し、液状化過程全体にわたる有効応力の変化傾向を明確にした。

2. 実験方法

実験には、振動三軸試験装置を用いて、周波数0.02 Hz の平均主応力一定試験を行った。試料は、豊浦標準砂を使用し、供試体は、煮沸した試料を水中落下法によって作成した。拘束圧は、 σ'_0 98, 196, 294 kN/m² の3種類について、等方圧密し、各々の拘束圧に対して相対密度Dr=50%で実験を行った。

3. 等方応力状態における累積せん断仕事Wsと間隙水圧u の関係

せん断仕事の累積量は、応力テンソル σ_{ij} とひずみ増分テンソル $d\epsilon_{ij}$ を用いて次式で表わせる。

$$W_s = \sum_{i=1}^N W_i, \quad W_i = 1/V \cdot \int (\sigma_{ij} \cdot d\epsilon_{ij}) dV \quad (1)$$

また、累積せん断仕事Wsと間隙水圧uの間には、次式の関係が成立つ。

$$W_s = \beta' \cdot \sigma'_0 \{ \exp(\alpha' \cdot u / \sigma'_0) - 1 \} \quad (2)$$

ここに、定数 α' 、 β' はそれぞれ相対密度、拘束圧に関わる定数である。図-1には、拘束圧のちがいにによる等方応力状態におけるWsとuの関係を示す。図中の実線は、式(2)を用いた計算曲線である。

4. 等せん断仕事線に基づく間隙水圧の評価

4-1 せん断応力作用時のせん断仕事Wsと間隙水圧uの関係

前述までの間隙水圧の予測に用いた累積せん断仕事は、繰返しせん断応力がゼロになるときの値、すなわち、繰返しせん断時において、等方応力状態になるときの値である。ここでは、繰返しせん断応力が作用しているときの間隙水圧変動量を定式化し、液状化過程全体にわたる間隙水圧の変動量を求めた。繰返しせん断応力が作用しているときの間隙水圧は、累積せん断仕事によって評価される。図-2は各せん断応力値に対するWsとuの関係を示すが、繰返しせん断応力が大きくなるほど、また、間隙水圧が上昇するほど、間隙水圧発生に要する累積せん断仕事Wsは大きい。これらの関係は、各サイクル終了時のWsとuの関係を用いるとともに、繰返しせん

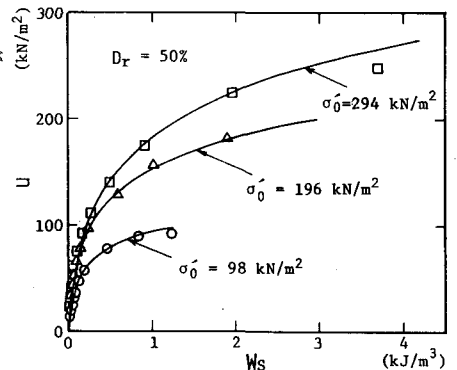


図-1 Wsとuの関係

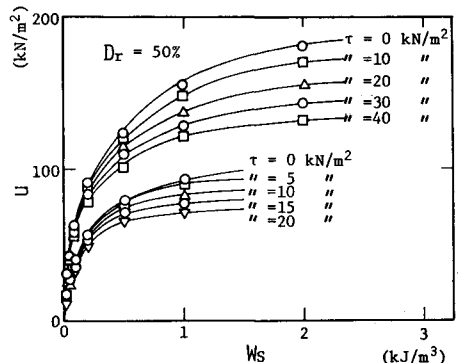


図-2 せん断応力作用時のWsとuの関係

断応力が作用しているときのせん断仕事の増分を明らかにすることによって、平均主応力 P' とせん断応力 τ の応力面上の任意の応力経路に対する等せん断仕事線として表わすことができる。

4-2 同一の間隙水圧値におけるせん断応力 τ と累積せん断仕事 W_s の関係

せん断応力が作用しているときの間隙水圧の評価に際しては、前述のせん断応力 $\tau = 0$ のときのせん断仕事とせん断応力が作用しているときのせん断仕事との差を考える。すなわち、同一の間隙水圧を生じるのに必要な W_s が各せん断応力によってどのような値をとるのかを調べるものであり、図-3 に間隙水圧一定値に対するせん断応力 τ とせん断仕事 W_s の関係を示している。

ここで、同一の間隙水圧値における等方応力状態からのせん断仕事の増加量 ΔW_s とせん断応力 τ の関係式は次式で与えられる。

$$\Delta W_s = F \cdot \sigma'_0 \{ \exp(\lambda \cdot \tau / \sigma'_0) - 1 \} \quad (F, \lambda \text{ は定数}) \quad (3)$$

定数 F は、図-4 に示されるように、拘束圧の直線関数で与えられる。図-5 は、拘束圧の違いによる定数 λ と間隙水圧 u の関係を示したものである。

ここでは、定数 λ を間隙水圧比 u/σ'_0 の関数、すなわち、次式 (4) で表すものとする。

$$\lambda = g(u/\sigma'_0) = C_1 \{ \exp(C_2 \cdot u/\sigma'_0) - 1 \} \quad (C_1, C_2 \text{ は定数}) \quad (4)$$

図-6、図-7 は圧縮側における、定数 C_1, C_2 について種々の実験データを用いて整理した結果である。また、伸張側においても同様の関係が認められた。したがって式 (2)、式 (3) より、せん断応力が作用しているときの、 $W_s \cdot \tau \cdot u$ の関係式は、次式で与えられる。

$$W_s = \beta' \cdot \sigma'_0 \{ \exp(\alpha' \cdot u/\sigma'_0) - 1 \} + F \cdot \sigma'_0 \{ \exp(\lambda \cdot \tau / \sigma'_0) - 1 \} \quad (\times 10^{-1}) \quad (5)$$

図-8 は、式 (5) を用いた等せん断仕事線と実測値を比較したものである。せん断応力が作用しているときの間隙水圧上昇量は累積せん断仕事 W_s を用いた式 (5) によって

求められる。この関係式は、間隙水圧が等方応力状態の成分とせん断応力が作用している成分の和で表わされ、任意の応力経路に対する等せん断仕事線を与えることができる。

5. あとがき

累積せん断仕事と間隙水圧の関係を表わした式 (5) は、液状化過程全体にわたる間隙水圧変動量を求めたもので、任意の応力経路における等せん断仕事線を表わしている。

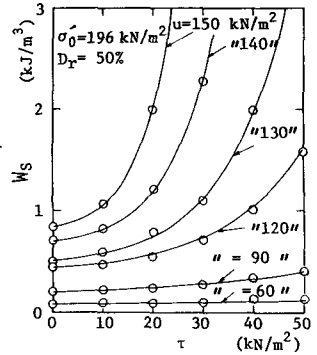


図-3 W_s と τ の関係

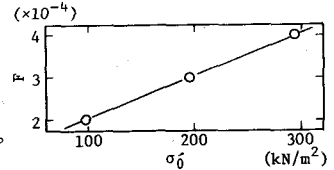


図-4 定数 F と拘束圧 σ'_0 の関係

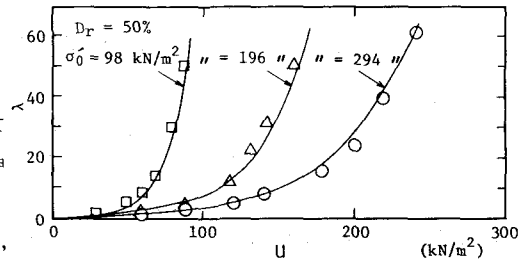


図-5 定数 λ と u の関係

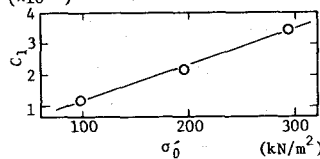


図-6 定数 C_1

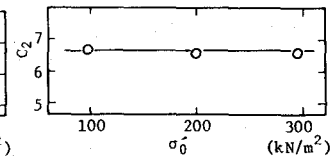


図-7 定数 C_2

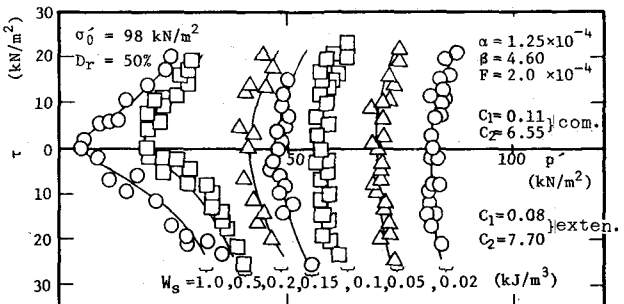


図-8 等せん断仕事線

参考文献) 1) 石原, 東畑: ゆるい砂の非排水せん断にみる主応力軸回転の影響; 粒状体力学の構成に関する研究 pp 159~551 1982

2) 山内, 坂井, 杉本: 砂の液状化における Endochronic 理論の適用; 九大工学集報, vol 56, NO. 5, 1983