

III-245

液状化試験より実測した間隙水のエネルギー吸収率

大成建設(株) 土木設計第1部 正会員 ○志田智之・五十嵐俊一

1. はじめに

土の繰返しせん断による間隙水圧の発生量を推定することは、液状化問題の解析的検討において重要な要素である。これまで、塑性せん断仕事から経験式により、間隙水圧の上昇量を推定する方法¹⁾、塑性体積ひずみから水の弾性係数を介して間隙水圧の上昇量を求める方法²⁾、また、塑性変形によって失われるエネルギーと間隙水圧に蓄積されるエネルギーが比例するという間隙水圧モデルによる方法³⁾等が提案されている。ここでは、土の塑性変形によって失われるエネルギーと間隙水圧に蓄積されるエネルギーの比を、繰返しせん断試験結果より求め、3番目のモデルの妥当性を実験的に検討する。

2. 間隙水のエネルギー吸収率

間隙水のエネルギー吸収率は、繰返しせん断によって生ずる土の骨格の塑性変形による損失エネルギー D と、間隙水に蓄えられるひずみエネルギーの変化 ΔE_p の比として次のように定義されている³⁾。

$$\Delta E_p = \eta D \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで間隙水圧が p_0 から p_a に変化したとき、間隙水に蓄えられるひずみエネルギーの変化 ΔE_p は、間隙率 n 、水の圧縮率 C 、間隙水圧の変化量 Δp から次式で計算される。

$$\Delta E_p = \frac{1}{2} n C (p_a^2 - p_0^2) = \frac{1}{2} n C \Delta p (\Delta p + 2 p_0) \quad \dots\dots\dots(2)$$

また D は、1サイクル当たりの損失エネルギーで、せん断応力 τ とせん断ひずみ γ を用いて次式で計算される。

$$D = \oint \tau d\gamma \quad \dots\dots\dots(3)$$

3. 試験条件及び結果

試験は、豊浦標準砂($e_{max}=0.973$ 、 $e_{min}=0.609$ 、 $G=2.645$)を空中落下法で作成した供試体を、中空ねじりせん断試験装置(外径7cm、内径3cm)を用い、有効拘束圧98kPa、バックプレッシャー196kPa、相対密度67%、等方圧密の条件下で行った。各試験ケース(ケース1~4)での応力比はそれぞれ、(0.13、0.15、0.17、0.20)である。載荷は応力制御で行い、所定の応力振幅で周期10秒のサイン波を用いた。ここでは、液状化に至るまでの載荷回数が10回以上となる応力比 $R_i=0.13$ 、0.15の2ケースについて考える。図1~2に示す応力~ひずみ関係より、式(3)で示される各載荷サイクルごとの損失エネルギー D を計算できる。また図3~4に示す間隙水圧の時刻歴より式(2)を用いて間隙水に蓄えられる各載荷ステップでのひずみエネルギー増分 ΔE_p を得る。応力比0.13および0.15の場合について、載荷サイクル~損失エネルギー関係を図5~6に、載荷サイクル~間隙水に蓄えられるひずみエネルギーの関係を図7~8に示す。両図から式(1)を用いて、各載荷サイクルでのエネルギー吸収率 η を求めることができる。

(図9~10)

4. 考察

図9、図10より載荷ステップの初期段階では、間隙水に蓄えられるひずみエネルギー ΔE_p が大きいため、エネルギー吸収率 η は1%以上の大きな値をとる。その後 ΔE_p は、各載荷ステップでほぼ一定の値をとるようになり、 η は、ほぼ一定の値となる。液状化付近に至ると、 ΔE_p が相対的に大きくなり、液状化に至る載荷ステップでは、 η が0に近付く傾向を示す。図9(応力比0.13)における η の平均値は0.67%、図10(応力比0.15)では0.63%となり、ほぼ1%以下の値をとり、全体としては、 η はほぼ一定の値をとることがわかる。また標準偏差はそれぞれ、0.38%、0.42%となる。

参考文献 1) 東畑郁生。砂の繰返しせん断変形特性に及ぼす主応力軸回転の影響。東京大学学位論文: pp.249-345; 1971. (2) F.Oka, A. Yashima et al. A constitutive model for sand based on the non-linear kinematic hardening rule and its application. 10WCEE: pp.2529-2534; 1992. (3) Shunichi Igarashi. Dislocation Energy of Liquefaction. J. Geotech. Eng. III-25(No.481): pp.175-186; 1993.

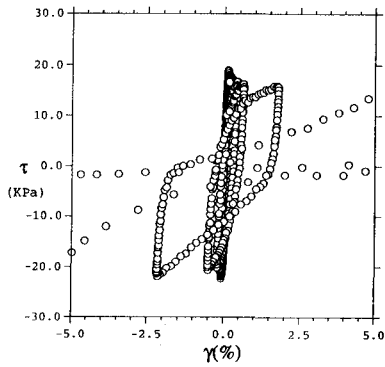


図1 応力-ひずみ関係（応力比0.13）

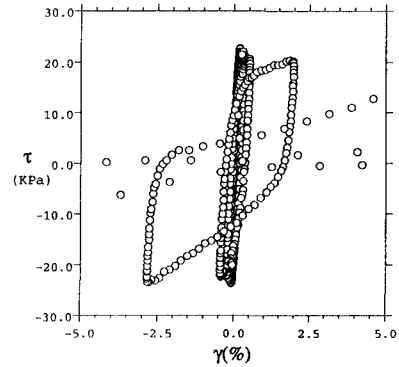


図2 応力-ひずみ関係（応力比0.15）

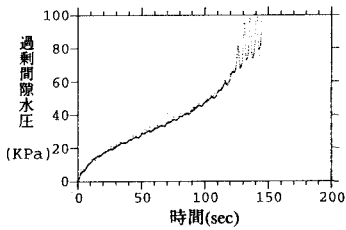


図3 間隙水圧時刻歴（応力比0.13）

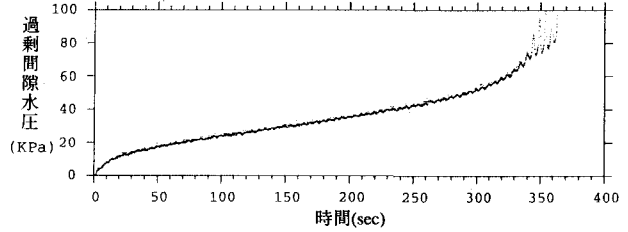


図4 間隙水圧時刻歴（応力比0.15）

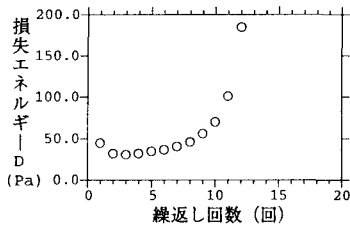


図5 損失エネルギー（応力比0.13）

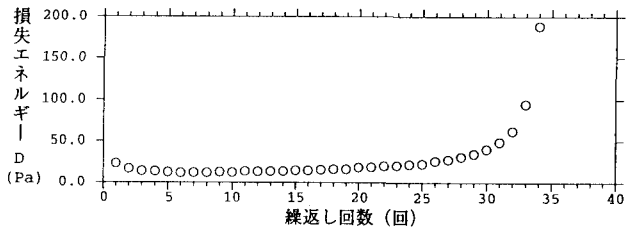


図6 損失エネルギー（応力比0.15）

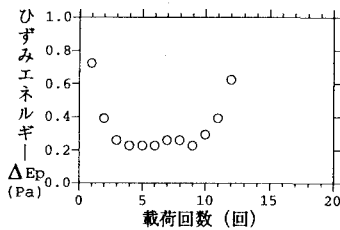


図7 ひずみエネルギー（応力比0.13）

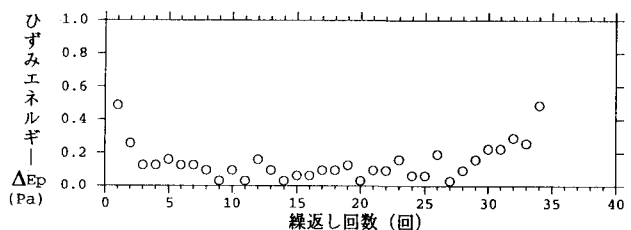


図8 ひずみエネルギー（応力比0.15）

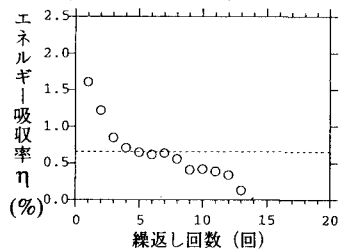


図9 エネルギー吸収率（応力比0.13）

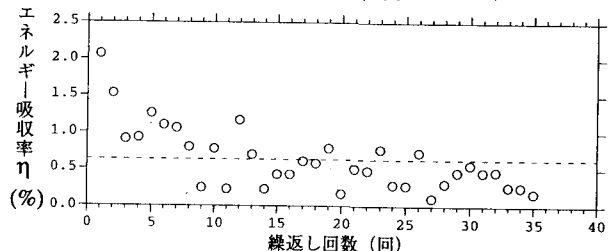


図10 エネルギー吸収率（応力比0.15）