

Ⅲ-A159 各種液状化試験における消散エネルギーと過剰間隙水圧、せん断ひずみ

東急建設㈱ 正会員 遠藤 修
 東京大学工学部 正会員 東畑 郁生
 東急建設㈱ 正会員 大河内保彦

1. はじめに

砂の液状化現象に及ぼす地震動の多方向性の影響を調べるため、繰返し非排水三軸試験、二方向単純せん断試験、二方向同時加振による液状化振動台実験を行ってきた^{1), 2)}。これらの結果を統一的に解釈するために消散エネルギー比を適用し、室内試験の結果に対してせん断ひずみの増加、過剰間隙水圧の上昇過程と消散エネルギー比の関係について報告してきた³⁾。本報告では、さらに、振動台実験についても同様な検討を行い、室内試験の結果との比較について報告する。

2. 実験概要、

試料は絶乾状態の硅砂6号を用い、繰返し非排水三軸試験(CTT)、二方向単純せん断試験(SST)および液状化振動台実験(STT)の概要は、参考文献に示す。図1は、STTで用いた円形断面のせん断土槽の模式図である。

3. 消散エネルギーの定義

消散エネルギーDEは、せん断による単位体積あたりのひずみエネルギーとし、試験中に計測される応力とひずみの関係から定義した³⁾。STTの場合には、模型地盤が一様にせん断変形していることを確認し、平均的な消散エネルギーとして評価するため、計測される加速度 $ax1$ 、 $ay1$ 、変位 $dx5$ 、 $dy5$ (図1参照)から、せん断応力 τ_x, τ_y 、せん断ひずみを γ_x, γ_y を求めた。また、室内試験における消散エネルギーは初期有効拘束圧 σ_0 で正規化して消散エネルギー比 $D.E./\sigma_0$ とし、平均片振幅せん断ひずみ $\bar{\gamma} = \sqrt{\gamma_x^2 + \gamma_y^2}$ 、過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma_0$ の関係について検討した。なお、STTの場合には、土槽底面での有効上載圧 σ_{v1} で正規化して消散エネルギー比を求め、過剰間隙水圧は中央の間隙水圧計P3より求めた($P3/\sigma_{v3}'$)。

4. 検討結果および考察

図2にSTTにおける消散エネルギー比 $D.E./\sigma_{v1}'$ と平均片振幅せん断ひずみ $\bar{\gamma}$ 、過剰間隙水圧 $P3/\sigma_{v3}'$ の関係を示す。この図では、液状化が発生し、 $\bar{\gamma}$ が最大となるまでの関係を示している。凡例の記号は加振方法(xs:一方向加振、es:楕円回転加振、cs:円形回転加振)を示しており、数字は相対密度 Dr を示している。この図より、加振方法の異なる(加振加速度も異なる)3つの試験結果は、ほぼ同様な結果となっていることがわかる。すなわち、加振の進行とともに $\bar{\gamma}$ はあまり増加しない状態で $D.E./\sigma_{v1}'$ が上昇し、おおそ $D.E./\sigma_{v1}'=5$

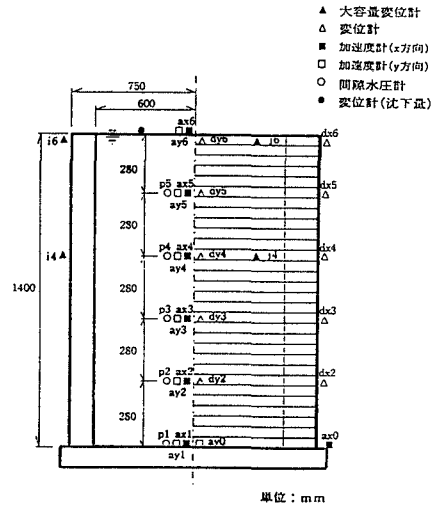


図1 せん断土槽の模式図

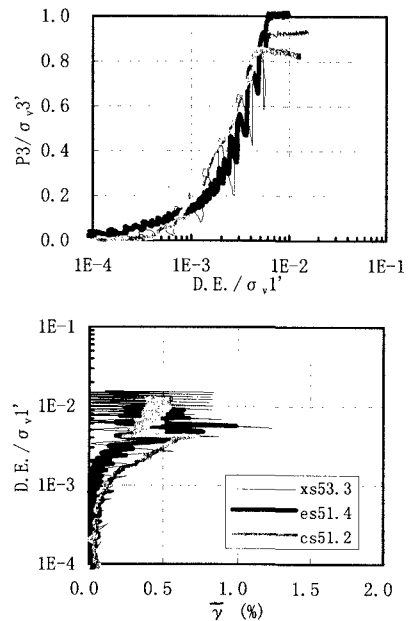


図2 液状化振動台実験結果

砂、液状化、二方向単純せん断試験、繰返し非排水三軸試験、振動台実験、消散エネルギー
 東京都渋谷区渋谷 1-16-14、TEL03-5466-5284、FAX03-3406-7309

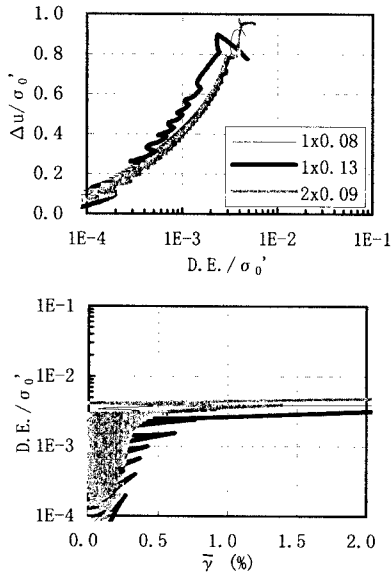


図3 二方向単純せん断試験結果
（一方向せん断、 $Dr=56.2\sim56.3\%$ ）

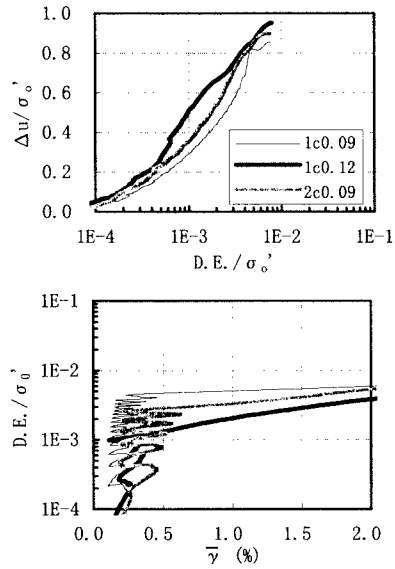


図4 二方向単純せん断試験結果
（円形回転せん断、 $Dr=54.1\sim59.5\%$ ）

$\times 10^{-3}$ 付近で $\bar{\gamma}$ が急激に増加しているのがわかる。また、その際、 $P_3/\sigma'_{v,3}$ も0.4程度から急激に増加している。このような傾向は、他の相対密度でも認められ、 Dr が大きくなると $\bar{\gamma}$ 、 $P_3/\sigma'_{v,3}$ が急増する際の $D.E./\sigma'_{v,1}$ の値が大きくなった。以上より、 $D.E./\sigma'_{v,1}$ により、振動台実験における液状化発生する過程を加振方法の違いによらず説明できそうある。一方、同様な相対密度におけるSSTの結果は、図3、図4に示す通りである。両図の凡例中の記号の前の数字は初期有効拘束圧（1：98kPa、2：196kPa）を示し、記号の後ろの数字はせん断応力比を表している。これらの図より、 $\sigma'_{v,1}$ 、せん断応力比が異なっても

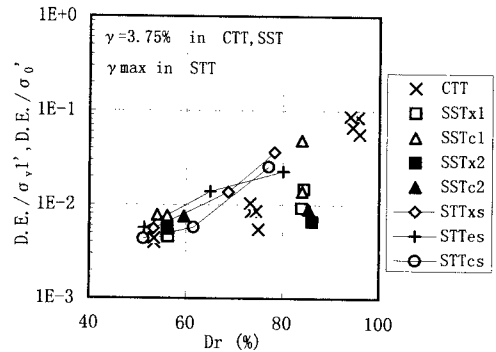


図5 消散エネルギー比と相対密度 Dr の関係

$\bar{\gamma}$ 等の関係は同様であり、せん断方法、 $\sigma'_{v,1}$ の影響は認められない³⁾。STTとSSTの結果を比較すると、全体の傾向は類似しているが、STTでは $\bar{\gamma}$ はあまり大きくならず液状化に達していること、 $P_3/\sigma'_{v,3}$ の上昇のしかたが急激であることなどの相違点が認められる。これは、模型実験と室内実験の差（排水条件、拘束圧など）に起因しているものと考えられる。図5は、液状化に達したと考えられる時点（CTTとSSTでは $\bar{\gamma}=3.75\%$ 、STTでは $\bar{\gamma}$ が最大）における、相対密度 Dr と消散エネルギー比の関係を示している。この図より、 Dr が小さい場合にはいずれの試験においても消散エネルギー比が同様な値になっているが、 Dr が大きくなると室内試験（CTTとSST）と模型実験（STT）との間に相違が認められる。これは、ダイレイタンシー特性の拘束圧依存性の影響ではないかと考えられた。

5. まとめ

多方向せん断を含む室内試験と振動台実験において、液状化が発生する際の消散エネルギーを検討した。その結果、各試験ではせん断方法による違いはないが、両者の比較では、 Dr が大きくなると若干の差が認められた。これは、排水条件やダイレイタンシーの拘束圧依存性の影響ではないかと考えられた。

<参考文献> 1) 遠藤、大河内、駒延：二方向単純せん断試験と振動台実験における液状化時の消散エネルギー、第32回地盤工学研究発表会、1997。 2) Endo, O., Nishimura, A. and et al. (1997): "Comparisons of the dissipate energy during sand liquefaction obtained by cyclic triaxial tests, multidirection simple shear tests and multidirection shaking table tests," IS-NAGOYA'97.

3) 遠藤、東畑、大河内：液状化時の消散エネルギーとせん断ひずみ、過剰間隙水圧の関係、第33回地盤工学研究発表会、1998。