

Ⅲ-289

消散エネルギーを用いた多方向・不規則波加振による液状化実験の検討

東急建設(株)技術研究所 正会員 遠藤 修
同 上 正会員 駒延 勝広

1. はじめに

砂地盤の液状化に及ぼす地震動の多方向性の影響を調べるため、規則波（正弦波）の二方向同時加振による回転加振を行い、通常の一方向加振との違いを検討してきた。その際、模型地盤の単位体積当りの消散エネルギー（Dissipated Energy per Unit Volume）を用いると、初期液状化までの消散エネルギーに対する加振方法の影響は少ないことがわかった¹⁾。今回は、実地震波（エル・セントロ波）のN-S成分による一方向加振と、N-S、E-Wの両成分による二方向加振を行い、消散エネルギーを用いて、砂地盤の液状化に及ぼす地震動の多方向性、不規則性の影響について検討した。

2. 実験概要

実験は、外形1500mm、内径1200mm、高さ1400mmの円筒形のせん断土層（図1）を用いて行った。模型地盤は、硅砂6号を用い、水中落下法により相対密度Dr=約50%となるように作製した。

規則波（正弦波、2Hz、50波）による加振は、通常の一方向（x方向）加振（記号:xs）と、二方向（x方向、y方向）の加振で合成される加速度の軌跡が楕円形（記号:es）、円形（記号:cs）となる回転加振とし、設定加振加速度を20galから10galずつ増加させるステージテストで行った。また、エル・セントロ波を用いた不規則波による加振は、そのN-S成分による一方向加振（記号:N-S）と、N-S成分とE-W成分をそれぞれx方向、y方向の加振波形として用いた二方向加振（記号:N-S,E-W）とし、最大加速度を実際の50%程度の1種類に設定して行った。図1に計測器の種類と設置位置を示す。

3. 消散エネルギーの計算

加振中に模型地盤内で消散される単位体積当りのエネルギーD.E.(Dissipated Energy per Unit Volume)は、実験中に計測される加速度と変位から求めたx、y方向のせん断応力は τ_x 、 τ_y とせん断ひずみ γ_x 、 γ_y を用い、次式により算定した。

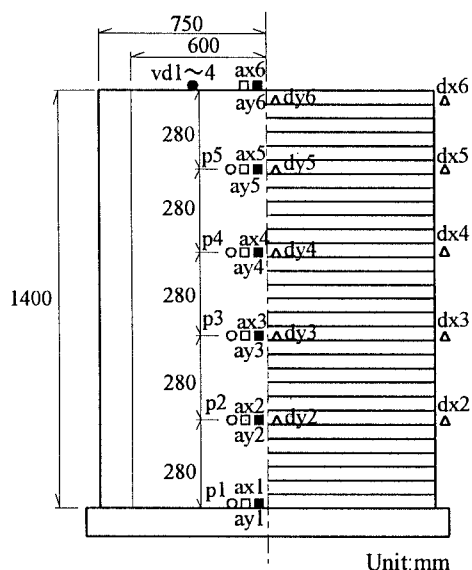
$$DE = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{2} \left\{ (\tau_{x_{i+1}} + \tau_{x_i}) \cdot (\gamma_{x_{i+1}} - \gamma_{x_i}) + (\tau_{y_{i+1}} + \tau_{y_i}) \cdot (\gamma_{y_{i+1}} - \gamma_{y_i}) \right\}$$

ここで、計算に用いた加速度と変位は、図1に示したx、y方向加速度 ax_1 、 ay_1 、及び変位 dx_5 、 dy_5 である。また、消散エネルギーの計算は、規則波加振の場合には、加振開始からある片振幅せん断ひずみ γ が生ずるまでの時間について、また、不規則波加振の場合には、最大片振幅せん断ひずみ γ_{max} が生ずるまでの時間について行った。なお、二方向加振の片振幅せん断ひずみはx、y方向せん断ひずみ γ_x 、 γ_y より、次式を用いて平均片振幅せん断ひずみ $\bar{\gamma}$ として求めた。

$$\bar{\gamma} = \sqrt{\gamma_x^2 + \gamma_y^2}$$

4. 加振方法、波形の違いによる消散エネルギーD.E.

図2に、規則波加振で液状化が発生した場合の片振幅せん断ひずみ γ_x 、 $\bar{\gamma}$ とそのひずみが発生するまでの消散エネルギーD.E.の関係を示す。凡例中の数字は模型地盤の相対密度Drを示している。



ax, ay: x, y方向の加速度
dx, dy: x, y方向の変位
p : 過剰間隙水圧
vd : 地表面沈下

図1 せん断土槽の模式図

この図より、 Dr が小さい場合、D.E.は加振方法の違いに関係なくほぼ同一であることがわかる。一方、 Dr が大きくなると、回転加振に比較して一方向加振の場合には、同一のせん断ひずみに対し、約1.5倍程度の消散エネルギーが必要であり、多方向性の影響が認められる。

図3は、不規則波加振での最大片振幅せん断ひずみ $\gamma_{x \max}$ 、 $\bar{\gamma}_{\max}$ と、それが発生するまでの消散エネルギーD.E.の関係を示している。図中の数字は、図1の間隙水圧計p3の測定結果より求めた、 $\bar{\gamma}_{\max}$ 発生時の過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma'_v$ を表わしており、(内)の数字は模型地盤の相対密度 Dr を示している。この図において、 $\bar{\gamma}_{\max}$ の小さい場合は、液状化に至っていないことを示している。一方、液状化が発生した場合の $\gamma_{x \max}$ は、図2に示した規則波の場合よりかなり大きい値となっている。また、地盤の密度が同じでも二方向加振になると液状化が発生することが確認できる。さらに、不規則波においても、地震動の多方向性によらず、消散エネルギーがある値以上になるとは、液状化が発生するものと考えられる。

そこで、図4に規則波加振と不規則波加振において、最大片振幅せん断ひずみ $\bar{\gamma}_{\max}$ が発生するまでの消散エネルギーD.E.と、地盤の相対密度 Dr の関係を示す。図中の数字は、前述の不規則波加振における過剰間隙水圧比を示している。また、規則波加振は、全て液状化が発生した場合の試験結果である。この図より、前述したように、両加振の $\bar{\gamma}_{\max}$ の大きさは異なるが、 Dr が同程度であれば、液状化時のD.E.はほぼ等しいことがわかる。したがって、液状化の発生するための消散エネルギーD.E.は、地震動の多方向性、不規則性によらず、地盤の相対密度 Dr に対して決定され可能性があると推定される。

5. まとめ

多方向・不規則波加振の液状化実験に対して、消散エネルギーを用いて検討し、以下のことがわかった。

- 1) 液状化時の最大片振幅せん断ひずみは、加振波形の不規則性により異なるが、消散エネルギーの値は地盤の密度が同程度であればほぼ等しい。
- 2) 消散エネルギーを用いると、地震動の多方向性、不規則性によらず、地盤の密度のみにより液状化の判定できる可能性があると考えられる。

参考文献 1) 遠藤他2名；二方向加振による液状化振動台実験の消散エネルギーによる検討、第30回土質工学研究発表会、1995。

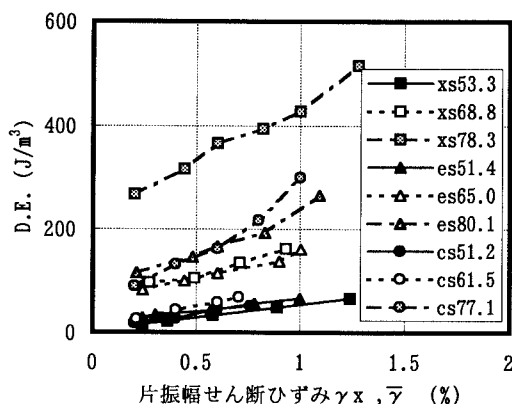


図2 規則波加振における液状化時の γ とD.E.の関係

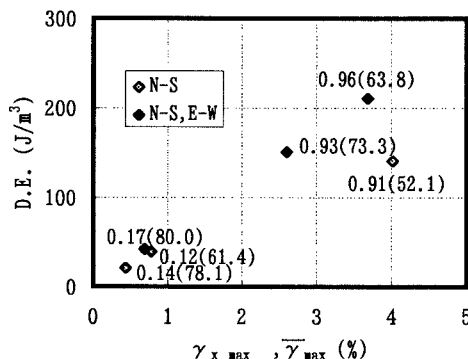


図3 不規則波加振における γ とD.E.の関係

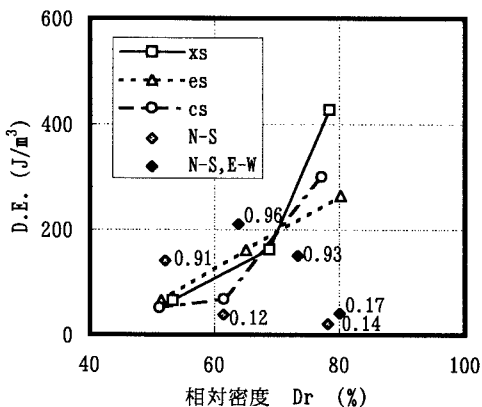


図4 規則波・不規則波加振における Dr とD.E.の関係