

III-A 136

二方向加振を用いた振動台実験における液状化時の入力エネルギー

東急建設技術研究所 正会員 遠藤 修
 同上 正会員 大河内保彦
 同上 正会員 駒延 勝広

1. はじめに

水平面内に多方向・不規則な地震動が、砂地盤の液状化現象に与える影響について検討するために、二方向同時加振が可能である大型せん断土槽を設計・製作し、液状化振動台実験を実施してきた^{1),2),3)}。今回は、振動台から模型地盤に入力されるエネルギーを定義し、正弦波と実地震波を用いた通常の一方向加振および二方向同時加振において、液状化現象の発生と入力エネルギーの関係について検討した。

2. 実験概要、

大型せん断土槽（図1）は、外径150cm、内径120cm、高さ140cmの円筒形である。模型地盤は砂粒6号を用い、水中落下法で相対密度 $Dr=50\%$ となるように作製した。加振方法は、正弦波(2Hz, 50波)による規則波加振とエル・セントロ波を用いた不規則波加振である。規則波加振においては、通常の一方向加振(記号:xs)と、水平面内の二方向(x,y方向)同時加振により合成される加速度の軌跡が楕円形(es)、円形(cs)となる回転加振を行い、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。不規則波加振においては、N-S成分を用いた一方向加振(NS)と、N-S、E-W成分を用いた二方向同時加振(NSEW)を行った。この際の加振最大加速度は、実際の50%程度に設定した。

3. 入力エネルギーの定義

振動台から模型地盤内に入力される単位体積あたりの入力エネルギーI.E.は、図1に示した模型地盤底面でのx,y方向の加速度記録 ax_{1i} , ay_{1i} より、次式を用いて求めた。

$$I.E. = \sum_{i=1}^n v_{xy_i} \cdot \alpha_{xy_i} \cdot \Delta t$$

$$v_{xy_i} = \sqrt{v_{x_i}^2 + v_{y_i}^2}, \quad \alpha_{xy_i} = \sqrt{ax_{1i}^2 + ay_{1i}^2}$$

$$v_{x_{i+1}} = \sum_{j=1}^i 1/2 (ax_{1j+1} + ax_{1j}) \cdot \Delta t, \quad v_{x_1} = 0$$

$$v_{y_{i+1}} = \sum_{j=1}^i 1/2 (ay_{1j+1} + ay_{1j}) \cdot \Delta t, \quad v_{y_1} = 0$$

ここでn: 計算を行う時刻に対応するデータ番号
 Δt : 計測時間間隔 (4×10^{-3} sec)

また、液状化の有無は、図1に示した間隙水圧計p3より求めた間隙水圧により、模型地盤中央部における過剰間隙水圧比がほぼ1.0となることにより判定した。

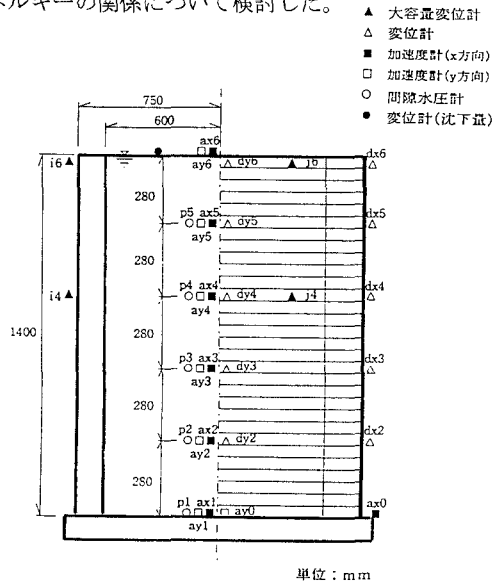


図1 せん断土槽の模式図

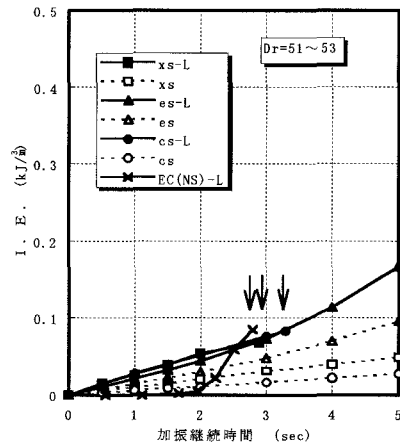


図2 入力エネルギー (Dr=51~53%)

4. 入力エネルギーの時刻歴

図2、3、4に模型地盤の相対密度がそれぞれ51～53%、61～69%、および77～80%における、加振継続時間と入力エネルギーI.E.の関係を示す。これらの図では、入力エネルギーの計算誤差等の問題から、加振初期（5秒間）の計算結果を示している。凡例内の記号は前述の加振方法を表しており、記号Lは液状化現象が発生した加振ケースで、図中では実線で示されている。また、液状化の発生により、平均片振幅せん断ひずみの最大値が5秒以内に発生した場合には、その時刻を矢印（↓）で示している。また、液状化が発生しなかった場合の実験ケースの計測結果は点線で示している。

これらの図より、規則波加振の場合には加振時間の増加に伴い、I.E.が直線的に増加していることがわかる。また、若干のばらつきはあるものの、密度が大きいほうが直線の傾きが大きいことがわかる。一方、不規則波加振の場合には、地震動に対応してI.E.が約2秒後から急激に増加し、二方向加振EC(NSEW)になると、当然ではあるがその増加率も大きくなっている。規則波加振で液状化の有無について注目すると、直線の勾配は液状化が発生した場合の方が大きく、単位時間当たりの入力エネルギーがある値以上になると液状化が発生すると考えられる。特に、密度がゆるい場合（図2）には、液状化が発生する場合のI.E.の勾配に対する加振方法の違いの影響は認められない。しかし、密度が大きい場合のばらつきが大きく、文献1)で示したように、模型地盤内の密度が不均質になっていること等が影響していると考えられる。

不規則波加振に注目すると、今回の加振は同じ加振レベルで実施しているため、I.E.の時刻歴は同様であるが、密度、加振方法の違いによって液状化の発生が異なることがわかる。つまり、液状化が発生した場合のI.E.は、規則波加振の液状化が発生した場合の加振継続時間～I.E.線（実線）に達していることが認められる。以上より、液状化の発生に対しては、加振継続時間に対する入力エネルギーの限界線が存在し、地震動の多方向性・不規則性にかかわらず入力エネルギーの時刻歴がその限界線に達した場合に液状化が発生するものと推定される。

5. まとめ

二方向加振による液状化振動台実験に対して、液状化の発生と入力エネルギーの関係について検討した。その結果、加振継続時間に対して液状化の有無を決定する入力エネルギーの限界線が、地盤の密度に応じて存在することが推定された。

参考文献1)遠藤、駒延；二方向加振による模型地盤の振動台実験（その1）、（その2）、第29回土質工学研究発表会、1994。2)遠藤、駒延；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、土木学会第50回年次講演会、1995。3)Endo, O., Komanobe, K.1995. Single- and multi- directional shaking table tests of sand liquefaction. IS-TOKYO'95.

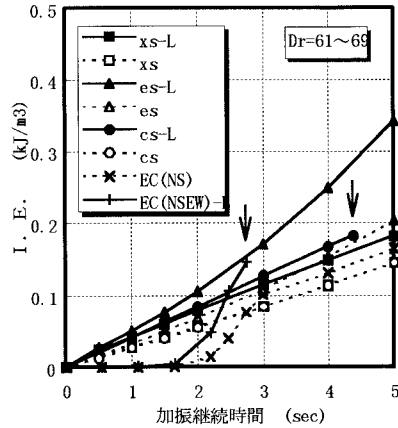


図3 入力エネルギー (Dr=61～69%)

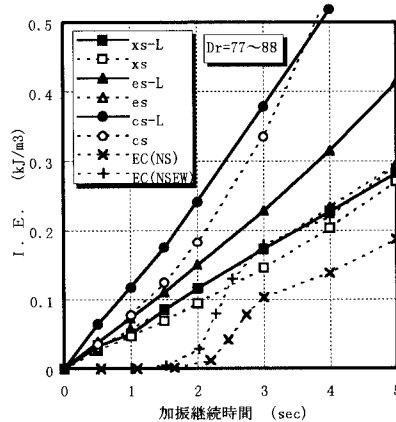


図4 入力エネルギー (Dr=77～80%)