

三軸試験による砂礫材料の損失エネルギーの検討

(株)ニュージェック 正会員 原 忠・天野 真輔
 中央大学 正会員 國生 剛治
 関西電力(株) 正会員 大石 富彦

1. はじめに

兵庫県南部地震（1995年）では、ポートアイランドなどの埋め立て地において、礫分を多く含んだまさ土からなる礫質地盤が広範囲にわたり液状化し、構造物に甚大な被害を与えた。この地震により、震源近傍での第四紀層の地盤では、最大0.6Gを越える強い加速度記録が観測されたが、これら記録では、液状化により地盤の非線形挙動が明瞭に現れており、表層の加速度が減少する様子が捉えられた¹⁾。このような、地盤の液状化によるエネルギー減衰特性を調べることは、地震エネルギーの収支による検討²⁾と並び重要であり、今後のレベル2地震動に対応した設計基準に大きな影響を与えるものと思われる。

本研究では、室内調整砂礫材料、および兵庫県南部地震で液状化したまさ土不攪乱試料の応力制御試験^{3),4)}より得られた応力 - ひずみ関係に基づき、単位体積当たりの損失エネルギーを算出し、相対密度、粒度分布が液状化過程における砂礫地盤のエネルギー吸収能に与える影響を検討した。

2. 実験材料

図-1に、本研究で用いた砂礫材料の粒径加積曲線を示す。試料は、利根川砂礫などから人工的に粒度配合し、粒度分布を3段階に変化させた堅硬な粒子を有する砂または礫質土である。室内調整試料の物理特性を表-1に示す。まさ土は、ポートアイランド北西部梱包団地および関西電力(株)東灘ガスタービン発電所よりそれぞれ凍結採取した試料を用いた。ポートアイランドまさ土は、ロッドコンパクション工法による地盤改良地点より採取したものであり、地震後の液状化の痕跡は見受けられない。

表-1 室内調整砂礫材料の物理特性

| | $D_{50}(\text{mm})$ | U_c | ρ_s (g/cm^3) | ρ_{dmax} (平均値) (g/cm^3) | ρ_{dmin} (平均値) (g/cm^3) | e_{max} (平均値) | e_{min} (平均値) |
|-----|---------------------|-------|--|---|---|--------------------|--------------------|
| 試料1 | 0.14 | 1.44 | 2.696 | 1.502 | 1.198 | 1.250 | 0.794 |
| 試料2 | 0.40 | 3.79 | 2.697 | 1.839 | 1.421 | 0.898 | 0.467 |
| 試料3 | 1.15 | 13.1 | 2.655 | 2.038 | 1.675 | 0.585 | 0.303 |

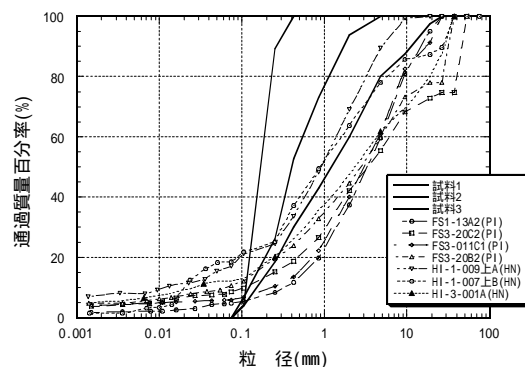


図-1 試料の粒径加積曲線

3. 応力 - ひずみ関係における累積損失エネルギー

各試料に蓄えられる累積損失エネルギーは、履歴ループが描く面積の累積値で計算し⁵⁾、液状化試験において、両振幅軸ひずみ DA が10%に至り、液状化試験を終了するまでの累積値を求めた。

図-2に、室内調整砂礫材料での均等係数の大きい試料3の相対密度 $D_r = 60\%$ 供試体における、繰り返し回数と累積損失エネルギーの関係を示す。ここでの縦軸は、初期有効拘束圧 ($\sigma'_v = 98\text{kPa}$) で除して基準化した値を表している。これより、各試料ともひずみの増加とともに累積損失エネルギーが増加する様子がうかがえる。また、両振幅軸ひずみ $DA=10\%$ では、繰り返し載荷回数の小さい試料ではばらつきが見られるが、各試料とも液状化試験での載荷応力比が異なるにもかかわらず、両振幅軸ひずみ $DA=2\%, 5\%$ に至るまでの累積損失エネルギーはほぼ等しい。

図-3に不攪乱まさ土の同様な関係を示す。室内調整砂礫材料同様、載荷応力比が異なるにもかかわらず、両振幅軸ひずみ DA が $2\%, 5\%$ に至るまでの累積損失エネルギーはほぼ等しい。

キーワード：砂礫材料、まさ土、累積損失エネルギー、粒度分布、相対密度

連絡先：〒542-0082 大阪市中央区島之内 1-20-19 (株)ニュージェック TEL.06-6245-4901 FAX.06-6251-2565

図-4 に、相対密度と両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ に至るまでの累積損失エネルギーとの関係をまとめる。ここでは、供試体のある程度のばらつきを平均化して示している。これより、室内調整砂礫材料の累積損失エネルギーは、相対密度 $Dr=50\%$ 供試体でデータにばらつきが見られるが、粒度分布が異なっているにもかかわらず、相対密度をパラメータとした場合、ほぼ一致した結果が得られている。また、 $Dr=50\%$ 以上の範囲においては、両振幅軸ひずみ DA が大きい場合ほど、相対密度の増加とともに累積損失エネルギーが増大する様子が見られる。すなわち、密度の大きな砂礫内を大きなひずみ振幅に達するまでに必要とするエネルギーは、加速度的に大きくなり、逆に言えば大きなひずみを生じにくくなることが分かる。図-4 中の不攪乱まさ土の $DA=5\%$ に至るまでの累積損失エネルギーは、本研究で得られた範囲では、相対密度が異なるにも関わらず $W/c=0.04$ 程度のほぼ等しい値を示しており、 $Dr=50\%$ 以上では、室内調整砂礫材料に比べ累積損失エネルギーの値が明らかに小さい。このことから、細粒分を多く含み、粒子破砕性を有するまさ土は、相対密度が大きい密な場合においても、大きなひずみに達するまでのエネルギー消費がそれほど増やされず、液状化して大ひずみが生じないことを示している。

4. 結論

- (1) 液状化に達するまでのエネルギー消費量は、 $DA=5\%$ では応力履歴によらず一定と見なせる可能性があり、エネルギーによる液状化判定の可能性を伺える。
- (2) 両振幅軸ひずみ $DA=2\%, 5\%$ で定義される砂礫材料の累積損失エネルギー量は、相対密度をパラメータとした場合、粒度分布、間隙比が大きく異なる場合においてもほぼ一義的に表せる。
- (3) 従って、砂礫の液状化判定は、粒度分布によらず相対密度と入力エネルギー量により行える可能性が考えられる。
- (4) まさ土は相対密度の大きい範囲では、密な砂礫材料に比べエネルギー消費が小さい。

【参考文献】 1) Kokusho, T. and Matsumoto, M.: Nonlinearity in site amplification and Soil properties during the 1995 Hyogoken-Nambu earthquake, Soils and Foundations special issue No.2, pp.1-9, 1998. 2) 國生剛治, 本山隆一: 鉛直アレー記録から見た表層地盤における地震エネルギーの吸収, 第25回地震工学研究発表会講演論文集, pp.269-272, 1999. 3) 原 忠, 國生剛治三軸試験による礫質土の液状化強度特性, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, 第2分冊, pp.1313-1318, 1998. 4) 原 忠, 國生剛治: 砂礫の液状化強度および液状化後の非排水せん断におよぼす粒度分布の影響, 土木学会論文集, No.645, pp.245-253, 2000.3 5) 風間基樹, 増田昌昭, 山口 晶, 柳澤栄司: 神戸ポートアイランドまさ土層の液状化推定, 第24回地震工学研究発表会講演論文集, pp.465-468, 1997.

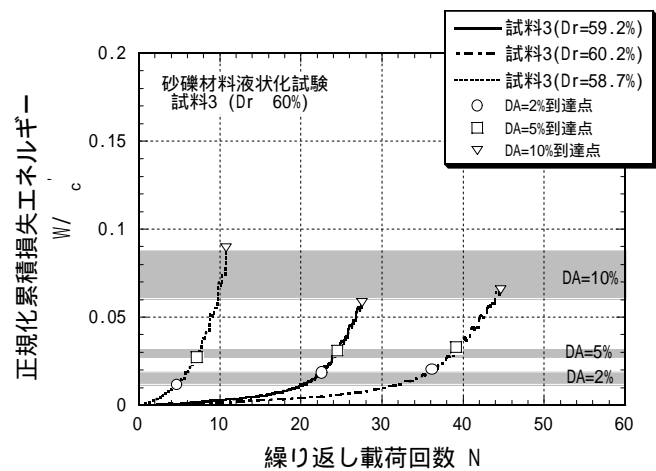


図-2 繰り返し載荷回数と累積損失エネルギーの関係 (試料3)

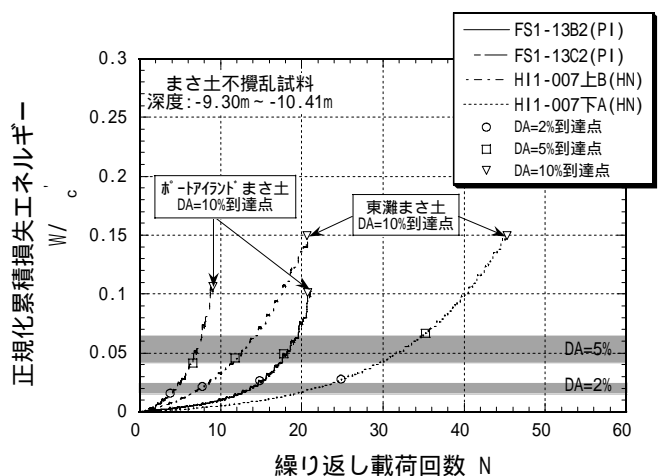


図-3 繰り返し載荷回数と累積損失エネルギーの関係 (まさ土)

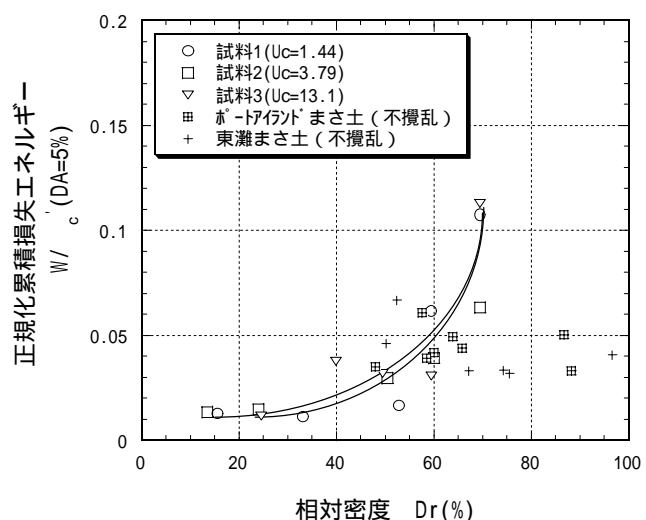


図-4 相対密度と累積損失エネルギーの関係 ($DA=5\%$)