

III-53

砂礫の動的変形・減衰特性に及ぼす繰返し回数の影響

（財）電力中央研究所 正会員 田中幸久

1. はじめに

地盤ならびに地盤上の構造物の地震時応答を求めるために等価線形解析がしばしば行われる。等価線形解析では、地盤材料の動的変形・減衰特性に及ぼす地震波の繰返しの影響を無視している。つまり、粘弾性体であると仮定している。ところが、飽和した砂礫や砂は、繰返しせん断応力が大きいと繰返しに伴って軟化するため、せん断応力の大きさから見た適用限界を明らかにしておくことは重要である。本報告では、砂礫の非排水繰返しせん断試験を実施し、その結果から、砂礫が粘弾性的に振る舞う限界について検討する。

2. 繰返し載荷に伴う軸ひずみ振幅の増大

図-1は、T地点から凍結サンプリングにより採取した砂礫の非排水繰返し三軸試験¹⁾²⁾³⁾における軸ひずみ振幅 ϵ_{DA} 、繰返し回数 N_c の関係を $\epsilon_{DA} < 2\%$ の範囲で示したものである。いずれの場合も ϵ_{DA} の値は、繰返し回数とともに増加している。 ϵ_{DA} の値が2%未満の場合、 ϵ_{DA} と N_c の関係は、双曲線関数を座標変換して得られた次式により精度よく近似できる²⁾³⁾。

$$\epsilon_{DA} = \epsilon_{DA0} + (2 - \epsilon_{DA0}) \frac{(\sqrt{2} - \alpha)^2 \cdot N_c / N_2}{\alpha^2 - 2(\sqrt{2} - 1) \cdot N_c / N_2} \quad (1)$$

ここで、記号の説明は以下の通りである。

N_2 : $\epsilon_{DA} = 2\%$ 達するのに要する繰返し回数。

ϵ_{DA0} : $\epsilon_{DA} \sim N_c$ 関係を示すグラフにおいて $N_c = 0$ に対応する見かけの切片（図-2参照）。

α : $\epsilon_{DA} \sim N_c$ 関係を表わす曲線の形状を定めるパラメータ。

別途行われた検討によれば、試料の種類、有効拘束圧、不攪乱試料か否かにかかわらず ϵ_{DA} と N_c/N_2 の関係は、式（1）により精度よく近似できる。更に、 ϵ_{DA0} と α と N_2 は、試料の種類、有効拘束圧、不攪乱試料か否かにかかわらず、供試体に加えた応力比 R と R/R_s （ R_s : $\epsilon_{DA} = 2\%$ 、 $N_c = 20$ で定義した非排水繰返し強度）により定まることがわかっている²⁾³⁾。

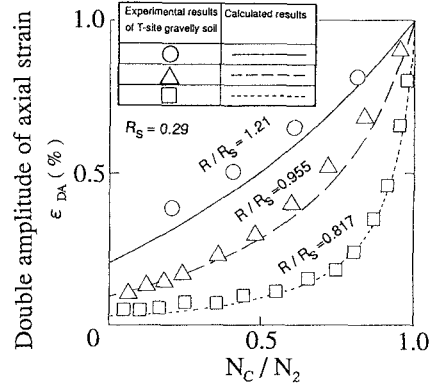
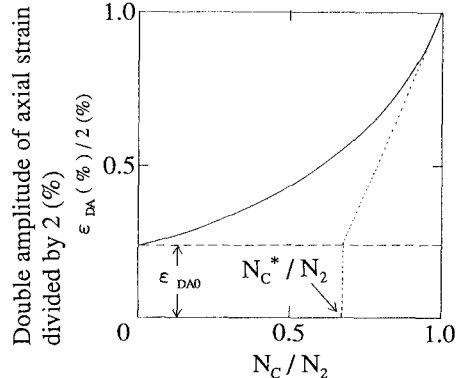
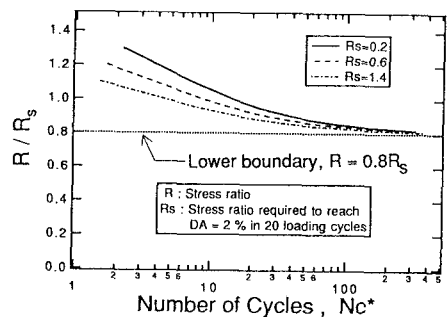
次に、 ϵ_{DA} と N_c の関係において、繰返しに伴う軸ひずみ両振幅の急増点における繰返し回数 N_c^* を図-2に示すように定義する。式（1）や他の実験式²⁾³⁾を用いると N_c^* は次のように求められる。

$$N_c^* = \frac{40(\sqrt{2}\alpha - 1)}{\alpha^2} \frac{1}{(5R/R_s - 4)^{1.25}} \quad (2)$$

前述したように、 α は R_s と R/R_s の関数であるため、

N_c^* も R_s と R/R_s の関数となる。

図-3は様々な R_s に対する N_c^* と R/R_s の関係を示したものである。 $R/R_s = 0.8$ の直線も図中に示してある。


 図-1 ϵ_{DA} と N_c/N_2 の関係

 図-2 N_c^* の決定方法

 図-3 N_c^* と R の関係

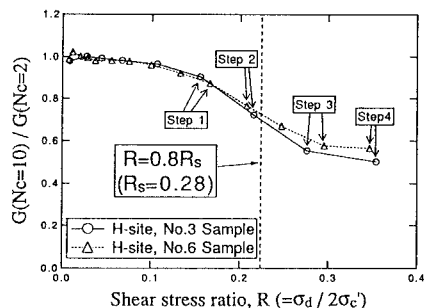
N_c^* と R/R_s の関係を表わす曲線はいずれも $R/R_s=0.8$ の直線よりも上方に位置している。このことは、 $R \leq 0.8 R_s$ であれば、軸ひずみ両振幅が急増することはないことになる。そこで $0.8 R_s$ を降伏応力比と呼ぶことにする。 $R \leq 0.8 R_s$ であれば、軸ひずみ両振幅が急増することはないので、繰返し効果が顕著でなく、土は粘弾性的に振る舞う可能性が高い。そこで、降伏応力比が粘弾性体とする場合の限界となりうるかどうかについて以下に検討する。

3. 動的変形特性と降伏応力比の関連性

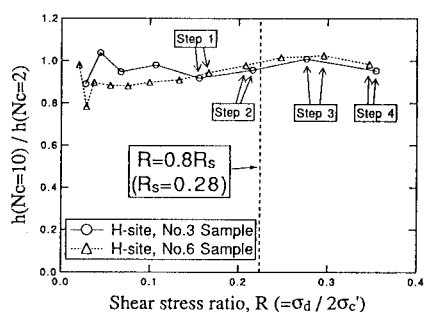
図-4 は、H地点から原位置凍結サンプリングにより採取した砂礫供試体⁴⁾⁵⁾に対する繰返し三軸試験装置による動的変形試験結果である。試験は非排水条件下で行われた。縦軸は、各載荷段階における10波目のせん断弾性係数、減衰比の値を2波目の値で除したものの G_{10}/G_2 、 h_{10}/h_2 である。横軸は R/R_s であり、載荷段階が進むに従って R の値が大きくなるので R/R_s の値も大きくなる。 G_{10}/G_2 の値は、降伏応力比 $0.8 R_s$ をはさんで減少している。図-5 ならびに図-6 中には、図-4 中に示された各供試体の各ステップ毎の2波目と10波目のヒステリシスループが描かれている。 $R < 0.8 R_s$ であるStep1 ならびにStep2 では、2波目と10波目のヒステリシスループの形状の変化が顕著でないのに対して、 $R > 0.8 R_s$ であるStep3 ならびにStep4 では、顕著である。従って、この場合には、降伏応力比が、繰返しの効果が顕著に現われない限界（つまり、粘弾性的に振る舞う限界）をほぼ適切に評価していると言える。

参考文献

- 1) 田中幸久、工藤康二、吉田保夫、国生剛治（1991）：砂礫地盤の地震時の強度と沈下量の簡易評価法、電力中央研究所報告、研究報告U90063。
- 2) 田中幸久、国生剛治、工藤康二（1993）：密な砂礫の非排水繰返しせん断に伴って生じる変形量について、第28回土質工学研究発表会発表講演集、pp.993-996。
- 3) Tanaka, Y., Kokusho, T., Tohma, J. and Kudo, K. (1994) : Settlement Evaluation of Gravel and Sand due to Earthquake, Proc. of XIII ICSMF E, Vol.3, pp.1025 - 1028.
- 4) 田中幸久、工藤康二、西好一、瀬尾和義（1993）：いくつかの計測方法により求めた不攪乱砂礫および砂の動的変形特性、第28回土質工学研究発表会発表講演集、pp.991-992。
- 5) Tanaka, Y., Kudo, K., Nishi, K. and Okamoto, T. (1994) : Shear modulus and damping ratio of gravelly soils measured by several methods, Proc. of IS-Hokkaido, (投稿中)



(a) せん断弾性係数 G の変化



(b) 減衰比 h の変化

図-4 繰返しに伴う G 、 h の変化

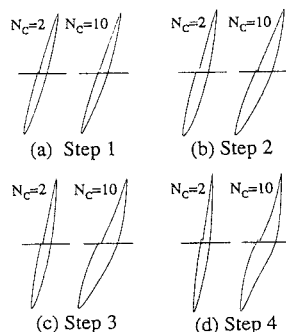


図-5 各ステップにおけるヒステリシスループの変化（H地点試料、No. 3）

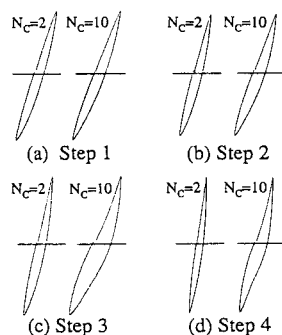


図-6 各ステップにおけるヒステリシスループの変化（H地点試料、No. 6）