

東北大学工学部 正 員 柳沢 稔司
○東北大学工学部 学生員 斎藤 巧

1 序論

地盤と工構造物の耐震性の検討や地盤上の各種構造物の耐震設計を行う際、地震時における地盤や盛土等の振動特性を知る必要があるが、このためには任意の応力状態における土の動弾性係数の性質を予測する必要がある。本論文は古くは砂質土の動弾性係数の性質と共振性法試験によって測定した結果をとりまとめたものである。

2 実験方法

(1) 実験装置 本研究に用いた共振性試験装置は中50mm, H125mmの中空円柱状試験体の頂部で振動コイルにより振動を加え、このときの頂部の振動と圧電素子型のピクアップにより計測するように設計されている。なお、この試験機はHardin型の試験機と異なり中空円柱状試験体を用いることとなっているが、これまでの実験結果より、両者に対応性のあることはすでにわかっている。

(2) 試験料 実験に用いた試験料は空気乾燥状態の聖浦産標準砂で、その諸定数は次のとおりである。

比重: 2.649 均等係数: 1.46 最小間隙比: 0.602 最大間隙比: 0.959

(3) 試験体作成法 ゴムスリーブをエポキシ樹脂内に負圧により密着させた状態で、試験体を5層に分けて所定の間隙比になるようにタンパーで定圧固め、負圧を付けてセリットする。

3 実験結果と考察

図1に示したようなNo1～No13までの各応力経路に沿って、等方圧縮状態から破壊直前までの任意の応力状態を測定を行った結果、次に示す(1)～(5)までのことが明らかになった。なお、測定に用いたヒズミ振幅はすべて 6.4×10^{-3} である。

(1) セン断弾性係数 G と等方圧縮応力 σ_0 の関係

図2に示したように σ_0 と G の両対数グラフ上を表わすと、(A)式のような実験式が得られた。 $G = 1110 \times (\sigma_0)^{0.53}$ (A)

また、Seedが提案した実験式(B)を用いて筆者の実験値と比較するため、パラメータ k_2 に粘土とシルトの値50を代入して比較した結果よく一致することがわかった。 $G = 1000 k_2 (\sigma_0)^{1/2}$ psf (B)

(2) 異なる応力経路による G の変化特性

図1に示したNo1, 3, 5なる異なる応力経路に測った主応力比 σ_1/σ_3 を変化させ、破壊直前まで測定した結果、図3に示したように全く異なる変化過程を示すことがわかる。図3は等方圧縮状態でのセン断弾性係数 G_0 を任意の応力状態での G と除いて無次元化し、主応力比 σ_1/σ_3 に対して表わしたものである。No2, 4, 6やNo8, 9, 10に因って全く同様な傾向が見られ、特に注目すべきことは、 $\sigma_1/\sigma_3 = 3.0$ のとき、 G_0 に対してNo3では38.5%増加し、No5ではほぼ同値で、No1では約20%減少している。これを相対的に比較した場合、No1とNo3では50.5%の差がある。また、破壊における応力状態では G_0 に対して、No1が約49%、No5が約24%減少するのに対して、No3では20%増加したままである。このような応力経路依存性と支配する要因は応力状態、すなわち σ_1/σ_3 と σ_0 の連関と、土の力学過程の要因となる土の構造、ダイレイタンスー増減であると考えられる。

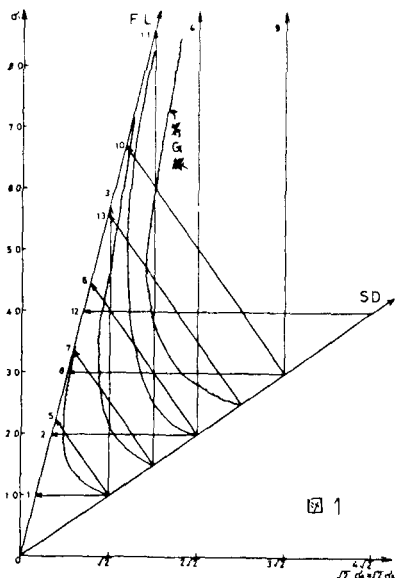
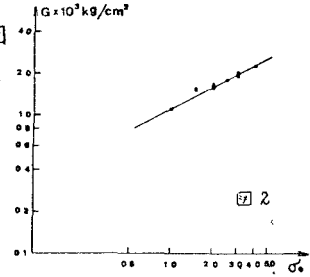


図 1

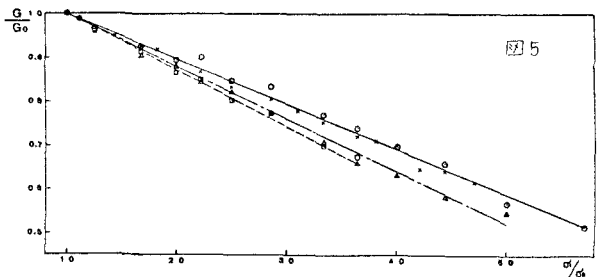
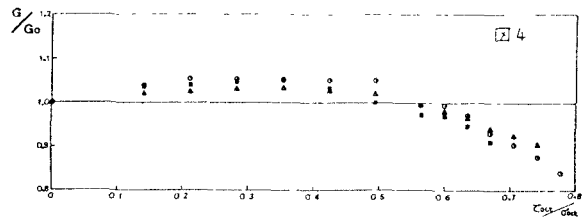
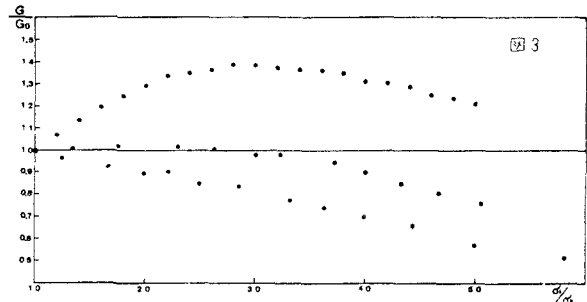
(3) 平均主応力一定試験における G と e の関係

図4は縦軸に G/G_0 、横軸に τ_{oct}/σ_{oct} をとって規準化したものである。この図から明らかなように、間隙比による影響はほとんど見られず、 G が G_0 に等しくなる主応力比はほぼ $0.57 \sim 0.60$ の間にある。従って粒子構造変形に与える τ_{oct} の効果は主応力比 0.6 以降に強まるものと考えられる。また、Hardinらは σ_{oct} 一定経路上では G を G_{oct} で表わせるとしたが、図から明らかに $\sigma/\sigma_0 \geq 3$ では成り立たず、 τ_{oct} の影響を考慮する必要がある。



(4) $\sigma_0, 2, 8, 12$ の主応力経路上の G と主応力比との関係

図5は上記経路の G を G_0 で除して無次元化し、主応力比に対して表わしたものである。図から明かに G と主応力比は直線関係にあり、直線の傾きは間隙比 e $e_{min} = 0.646, e_{max} = 0.779$ の間で変化させた結果わずかに変化し、直線を $y = ax + b$ と仮定すると a は e_{min} に対して -0.1031 , e_{max} に対して -0.1237 となった。(但し、 $y = G/G_0, x = \sigma/\sigma_0, 1 \leq x \leq 6$) また、 $x = 1$ のとき $y = 1$ ゆえ、上記の a の値から e_{min} に対して $b = 1.1031$, e_{max} に対して $b = 1.1237$ と一意的に決まる。この値から間隙比によるパラメータ a , b の変化率と(A)式に間隙比の項を組み入れることにより、 $1 \leq \sigma/\sigma_0 \leq 6, 0.646 \leq e \leq 0.779$ の範囲における同主応力経路上の任意の応力状態での G の算定式が得られ、次のとおりである。



$$G = 793 \left(\frac{2.17 - e}{1 + e} \right)^2 (\sigma_0)^{0.53} \times \left\{ 0.155 e (1 - \sigma/\sigma_0) - 0.00297 \times (\sigma/\sigma_0) + 1.003 \right\}$$

(5) レンドリック主応力経路上の等 G 線

図1に示した各主応力経路上の決定点に得られた G の値を $G_{e1} = G_{e1} \cdot \left\{ \frac{(2.17 - e_1)^2}{1 + e_1} \right\} / \left\{ \frac{(2.17 - e_2)^2}{1 + e_2} \right\}$ なる G と e の関係式で間隙比統一してやると、等しい G の値をもつ点の間には明らかに線型関係があり、同図に示した曲線はほぼ双曲線に近いものと思われる。双曲線と仮定した場合、 $x/y = a$ として、 y は破壊線と一致するものであり、 x は実験値として算定される。

参考文献

- 1) Vibrations of Soils and Foundations ; F.E. Richart, J.R. Hall, R.D. Woods
- 2) Shear Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analyses ; H.B. Seed, I.M. Idriess
- 3) Sand Stiffness under Various Triaxial Stress ; B.O. Hardin, W.L. Black
- 4) 建設省土壌研究所報告 第148号 ; 岩崎敏男, 龍岡文夫, 吉田精一
- 5) 第12回土質工学研究発表会講演集108 (D-7) ; 柳沢栄司, 楊 燾亮