

III-237 三軸繰返し試験による人工軟岩の変形係数と履歴減衰特性(軸ひずみ測定方法の影響)

北海道大学工学部 正会員 ○遊谷 啓
 東京大学生産技術研究所 正会員 龍岡文夫
 東京大学大学院 正会員 金 有性

はじめに: 特に軟岩のような剛性の高い材料の場合、単調荷重時でのひずみレベル $10^{-6} \sim 10^{-2}$ (0.0001~1%) における変形係数を正確に求めるためには、供試体側面において端面のベディングエラーを含まない局所軸ひずみを測定する必要がある¹⁾。繰返し荷重試験におけるひずみレベル $10^{-6} \sim 10^{-4}$ (0.0001~0.01%) での等価変形係数 (G_{eq} あるいは E_{eq}) および履歴減衰係数 (h) についてはどうであろうか。

実験結果および考察: セメント改良砂質土の単調および繰返し三軸試験を行った²⁾³⁾。非接触変位計を用いて供試体のキャップの動きから⁴⁾と、局所軸ひずみ測定装置 (LDT)⁵⁾ から求めた軸ひずみをそれぞれ ε_1 (external) および ε_1 (local) とする。供試体端面の平行度と平滑性の確保には十分注意した²⁾。

等方圧密した大型供試体 (直径30cm、高さ60cm) の単調荷重試験において、破壊までの異なる応力レベルにおいて軸ひずみ片振幅 (ε_1)_{SA} $\approx 0.001\%$ の微小繰返し荷重を行った (図1)。荷重直後の軸ひずみ0.005%以下の初期線形部分の弾性ヤング係数⁶⁾ E_{max} ($=E_{tan}=E_{sec}$) と有効拘束圧の関係 (図2) および微小繰返し荷重での E_{eq} と単調荷重時の接線変形係数 E_{tan} ($=d\sigma/d\varepsilon_1$) の応力レベル依存性 (図3) を示す。 $q_{max} = (\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ 、 q_0 はそれぞれ、圧縮強度と微小繰返し荷重の振幅の中心である。それぞれ ε_1 (external) と ε_1 (local) から得られた E_{max} の比は、 $\sigma_c' = 2.5 \text{ kgf/cm}^2$ においても 0.6~0.7程度である。拘束圧の増加に伴い軸ひずみ測定上のベディングエラーの影響が小さくなっている (図2)。一方、微小繰返し荷重時の E_{eq} の同様な比は、 $q/q_{max} < 0.5$ で同じく0.6~0.7、破壊に近づいて ε_1 (local) より得た E_{eq} が小さくなるにつれ両者の差が小さくなっている (図3)。 E_{eq} の減少は、セメンテーションの部分的な破壊が原因と考えられる。図3から微小繰返し荷重において軸ひずみの弾性および塑性成分をそれぞれ $d\varepsilon_1^e$ 、 $d\varepsilon_1^p$ とすると、 $d\varepsilon_1^p/d\varepsilon_1^e = (E_{eq}^e - E_{tan})/E_{tan}$ ($E_{tan} > 0$) である。 $q/q_{max} < \approx 0.1$ では $d\varepsilon_1^p/d\varepsilon_1^e = 0$ (線形弾性挙動) であり、破壊に近づくにつれ $d\varepsilon_1^p$ が相対的に大きくなること分かる。

非排水繰返し荷重試験での、10回目の応力・ひずみ関係の例 (図4) と G_{eq} のひずみレベル依存性 (図5) および h のひずみレベル依存性 (図6) を示す。図5には単調荷重試験の割線せん断剛性率 (G_{sec}) とせん断ひずみ (γ) の関係および原位置弾性波試験 (PS検層) 結果 (G_r) も示している。 $\gamma < 10^{-5}$ でのせん断剛性率は、ひずみ速度および試験法に依らない⁷⁾。図2と同様に、 σ_c' が $0.2 \sim 2.5 \text{ kgf/cm}^2$ 、 γ が $10^{-5} \sim 4 \times 10^{-4}$ の範囲で、 ε_1 (external) から求めた G_{eq} は $10 \sim 20\%$ 程小さい。ところが $h \sim \gamma_{SA}$ (log表示) 関係は、ひずみ測定法にそれ程影響を受けていない (図6)。しかし、各荷重段階での ε_1 (external) と ε_1 (local) の絶対値が異なる (図4) ので、 h の値そのものはベディングエラーの影響を受ける場合がある (Aのデータ)。

まとめ: 軟岩材料の繰返し荷重三軸試験において、 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ の広いひずみ範囲での正確な等価せん断剛性率を求めるためには、単調荷重試験の場合と同様に供試体側面で局所軸ひずみを測定する必要がある。履歴減衰係数に関しては、その必要がない場合もある。

<参考文献>

- 1)例えば、Tatsuoka et al.(1990):Discussion, Geotech. Testing Jour., 13-1, 63-67. 2)佐藤剛司・遊谷 啓・金 有性・龍岡文夫(1989):セメント改良砂質土の三軸圧縮試験方法、24回土質発表会、649-655. 3)遊谷 啓・金有性・龍岡文夫・木村勝・中垣透(1989):セメント改良砂質土の微小ひずみでの繰返し変形特性、44回土木学会、III 598-597. 4) Kokusho, T.(1980):Cyclic triaxial test of dynamic soil properties for wide strain range, S & F, 20-2, 45-60. 5)Goto S. et al.(1991):Simple gauge for local small strain measurements in the laboratory, S & F, 31-1 (In press). 6)龍岡文夫・遊谷 啓(1991):三軸試験と原位置試験法との関連 (変形特性について)、三軸シンポジウム発表論文集、土質工学会、39-84.

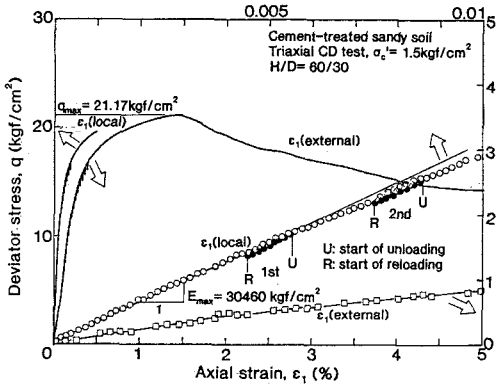


図1 単調荷重試験での偏差応力と軸ひずみの関係(大型供試体の排水試験)

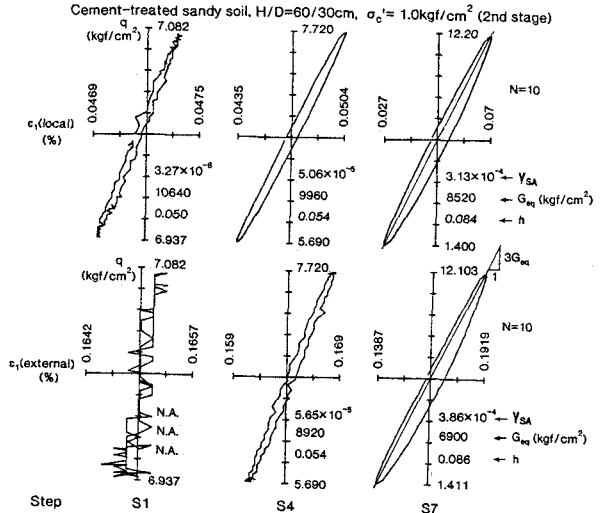


図4 非排水繰返し荷重試験での偏差応力と軸ひずみ関係の例

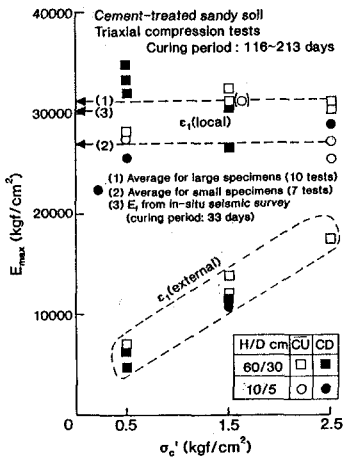


図2 弾性変形係数と圧密有効拘束圧の関係(等方圧密供試体)

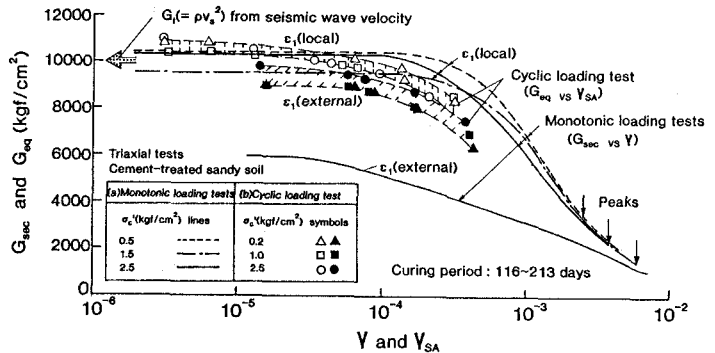


図5 繰返し荷重試験での $G_{sec} \sim \gamma_{SA}$ 関係および単調荷重試験での $G_{eq} \sim \gamma$ 関係の比較

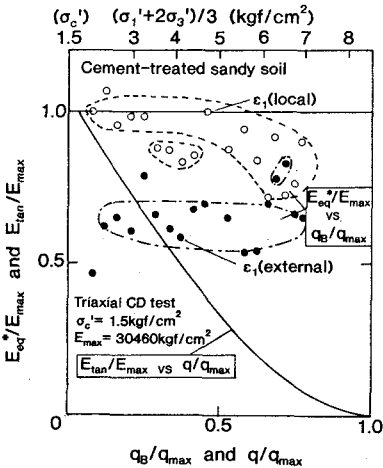


図3 単調荷重試験での E_{tan} と微小繰返し荷重での E_{eq} の応力レベル依存性(大型供試体の排水試験、図1)

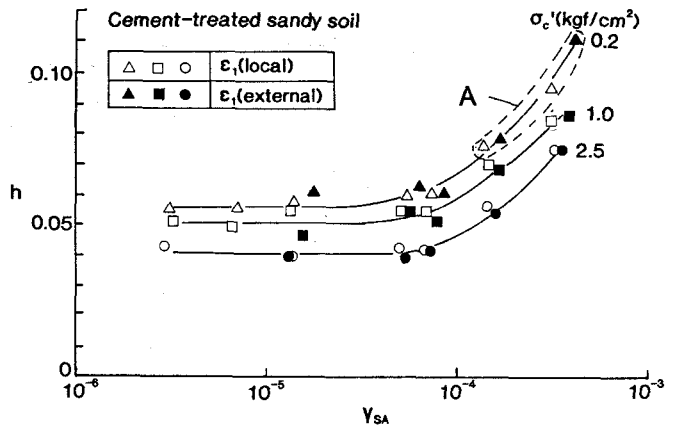


図6 繰返し荷重試験での履歴減衰係数と γ の関係