

(III-22) 粘性土の微小ひずみ領域における変形特性

日建設計 中瀬土質研究所 正 ○伊藤 祐仙 片桐 雅明 斎藤 邦夫

1. はじめに

微小ひずみ領域では、土粒子の骨格構造に損傷を与えることはなく、弾性的な挙動を示すものと考えられる。何種類かの砂やレキにおいて、せん断初期の剛性率は、静的せん断試験と動的せん断試験でほぼ同等であることがこれを裏付けている^{1),2)}。本報告では、等方応力下において正規圧密した川崎粘土を対象とし、三軸圧縮・伸張試験および動的変形試験の結果をもとに、静的載荷ならびに動的載荷条件下における変形特性について比較、考察する。

2. 試料および実験方法

本実験に用いた試料は、川崎粘土 ($\rho_s=2.704\text{g/cm}^3$, $w_L=52.8\%$, $w_p=29.0\%$, $I_p=23.8$) である。この粘土を含水比 80% に調整して充分練り返した後、圧密圧力 1.0kgf/cm^2 で 7 日間予圧密して、供試体(直径 5cm, 高さ 10cm)を切り出した。

実験には油圧サーボ方式の動的三軸試験機を用い、圧密圧力 2.0kgf/cm^2 で等方圧密した後、非排水条件で三軸圧縮・伸張試験および動的変形試験を行った。圧縮・伸張試験のせん断時のひずみ速度は $0.08\%/min$ とし、動的変形試験では正弦波 0.1Hz の繰返し荷重を応力制御で与えた。動的変形試験では、各ステージ終了後に排水し、過剰間隙水圧を完全に消散させた。1 ステージ当たりの繰返し載荷回数は 10 回である。供試体の飽和には 2 重負圧法を用い、背圧 2.0kgf/cm^2 は圧密開始前から与えた。

せん断時の微小変位は、セル内に設けたギャップセンサーによりトップキャップの変位を測定した。

3. 実験結果および考察

図-1 に各試験から得られたの応力-ひずみ関係を示す。伸張試験の軸ひずみ ε_a 、主応力差 $q(=\sigma_a-\sigma_r)$ は、ともに絶対値とり、 $|\varepsilon_a|$ 、 $|q|$ とした。動的変形試験の結果は、繰返し荷重の 2 分の 1 $q_d(=\sigma_{d\max})$ 、軸ひずみの両振幅 DA の 1/2 を軸ひずみ ε_{sa} とし、10 波目の値を用いた。 q 、 q_d は、同一のひずみレベルに対して、動的試験、圧縮試験、伸張試験の順に大きくなっている。

せん断初期の剛性および剛性のひずみ依存性を比較するために、静的試験から得られた割線弾性係数 E_{sec} 、動的試験から得られた等価弾性係数 E_{eq} を軸ひずみで整理し、図-2 に示す。せん断初期 ($\varepsilon_{sa}=0.01\%$ 付近) では、 $E_{sec}=1100\text{kgf/cm}^2$ 程度、 $E_{eq}=1200\text{kgf/cm}^2$ 程度であり、静的試験と動的試験の初期剛性は、ほぼ同等と見なすことができる。

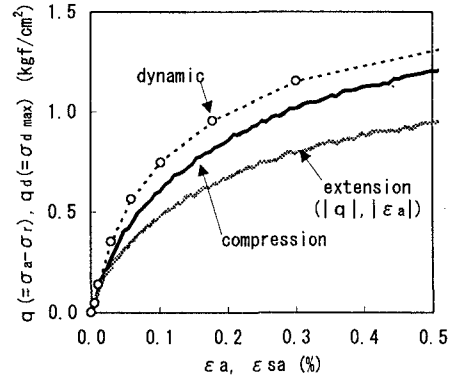


図-1 静的試験および動的試験の
応力-ひずみ関係

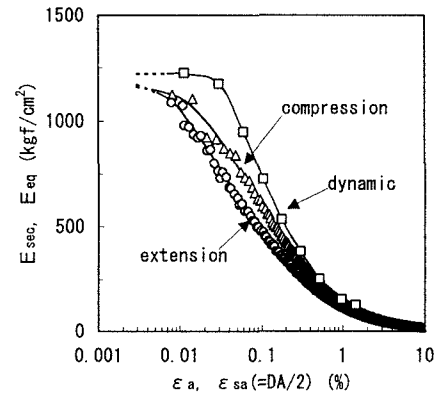


図-2 割線・等価弾性係数のひずみ依存性

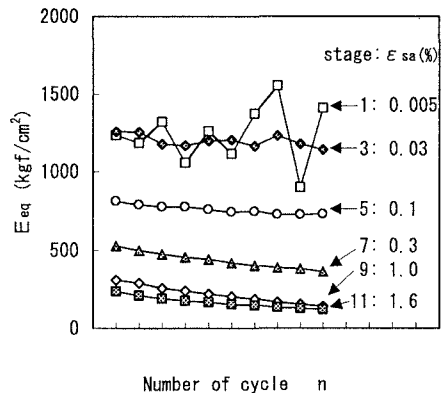


図-3 等価弾性係数に及ぼす
繰返し載荷回数の影響

E_{eq} は、 $\varepsilon_{sa} > 0.03\%$ においてひずみ依存性が顕著に現れている。 E_{sec} も $\varepsilon_{sa} > 0.01\%$ 程度で同様の傾向が認められ、伸張試験の方が E_{sec} が小さくなっている。

動的変形試験では通常 10 波目の測定値を用いて結果を整理するが、あるひずみレベル以上になると繰返し荷重によりひずみが累積し、逐次変形が進行する。図-3に E_{eq} と n の関係を示す。ステージ5以降では、 n が増すほど E_{eq} が低下する傾向にあり、その傾向は、ひずみレベルが大きいほど顕著に現れている。それに対し、ステージ1、3では、ばらつきが大きいものの、概ね $E_{eq} = 1200 \text{ kgf/cm}^2$ で一定していると思われ、この程度のひずみレベルでは、ほとんど n の影響を受けないものと推察される。

ひずみレベルの異なる繰返し載荷時の有効応力経路（履歴ループ）を図-4に示す。同図には、静的試験のせん断時における有効応力経路も示した。(a)、(b)両図ともに、過剰間隙水圧の上昇に伴い、平均主応力 p' が減少し逐次ループが原点方向に移動する。応力振幅が大きい(b)は、ループの移動に伴いループ形状にゆがみが生じ、液化化試験等で見られる様な挙動を呈している。各ステージにおけるこのループの最上点および最下点の軌跡を図-6に示す。同一の q における $\square \rightarrow \triangle$ は、ループの移動量を表している。応力振幅が小さい場合は、ループの移動量が少なく、 n による応力状態の変化は小さい。反対に、応力振幅が大きいほど、応力状態は限界状態線(CSL)に近付いており、繰返し荷重によるひずみの累積が顕著に現れることを示唆している。このことは、図-3で示した現象と合致する。

図-5の10波目のデータを用い、各ステージのひずみレベルに対応する圧縮試験の有効応力状態を対比させ、図-6に示す。同一ひずみレベルにおける q_d は、 q に比べ、その絶対値が大きく、ひずみレベルの増加に伴い、差が大きくなる傾向を示している。逆に、ひずみレベルの微小な領域において、応力状態の差異は小さく、十分に小さな応力レベルでは、ほぼ同等の値を示すものと考えられる。伸張側も同様の結果が得られている。

4. まとめ

等方応力下において正規圧密した粘性土の剛性について調べた結果、1)三軸圧縮・伸張試験および動的変形試験の弾性係数は、せん断初期において概ね同等の値を示すこと、2)粘性土の動的変形係数は、動的繰返し載荷回数にも影響を受けることが分かった。今後、圧密条件および応力履歴の影響についても調べるとともに、他の粘性土についてもデータを蓄積し、2)について更なる検討を加えたいと考えている。

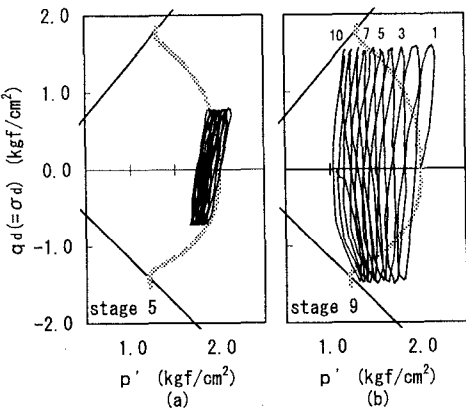


図-4 履歴ループ形状に及ぼす応力振幅の影響

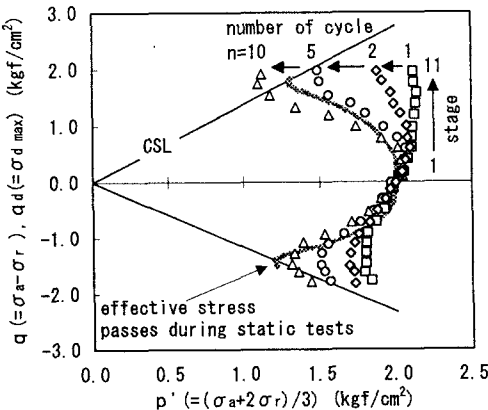


図-5 応力状態に及ぼす繰返し載荷回数の影響

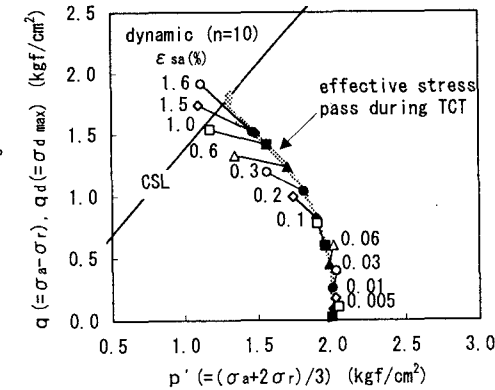


図-6 静的試験と動的試験における応力状態の比較

【参考文献】1)SIBUYA, S. et al. 1992, ELASTIC DEFORMATION PROPERTIES OF GEOMATERIALS, SOIL AND FOUNDATIONS, Vol. 32, No. 3, JSSMFE, pp26-46. 2)J. DONG et al. 1993, DEFORMATION PROPERTIES OF GRAVELS DURING MONOTONIC AND CYCLIC LOADING, THE 28TH JAPANESE NATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION, JSSMFE, pp647-650