

Ⅲ-16 多段階拘束圧载荷法を用いた土の変形特性

愛媛大学大学院 学生会員 ○松下 怜
愛媛大学工学部 フェロー会員 森 伸一郎
愛媛大学大学院 学生会員 河田 皓介

1. はじめに

土の変形特性を評価するためには、不攪乱試料を採取して室内試験により直接評価する必要がある。しかし、実際にはコストの問題から試験が実施されない場合が多い。性能設計では変形特性の評価は重要であるので、効率よく評価する必要がある。そこで、本研究では、これまでは複数の供試体を採取して、1 供試体に 1 拘束圧下で実施していた試験を、1 供試体に対して複数の拘束圧に対する結果を求めることを目的とした多段階拘束圧载荷法(以降多段階法とする)を開発した。この方法では供試体に応力とひずみ履歴の影響を無視する程度に収める必要がある。そこで、従来のステージテスト方式(以降従来法とする)の結果と同等の結果を得られるような多段階法の詳細を検討した。

2. 実験方法

本研究で用いた試料は豊浦砂 ($\rho_s=2.64 \text{ g/cm}^3$, $e_{\max}=0.96$, $e_{\min}=0.60$, $D_{50}=0.14 \text{ mm}$)である。本実験では、油圧制御方式の中空ねじり試験機を用いた。供試体は、内径 6 cm, 外径 10 cm, 高さ 12 cm の中空円筒状であり、空中落下法にて供試体を作成した。圧密前相対密度は 50 %を目標とした。表-1 に実験条件を示す。表より、従来法と多段階法の 50 kPa の圧密前相対密度はほぼ等しい値となっている。CO₂ 置換の後、脱気水を通水して飽和化を図った。所定の拘束圧により等方圧密を行った後に、繰返しねじりせん断を行った。ねじり変位の測定は、上蓋回転角度ポテンシオメータ、上蓋微小変位ギャップセンサー、供試体 2 点微小変位ギャップセンサーを併用している。図-1 に従来法と多段階法の概念を示す。多段階法とは、1 供試体、複数拘束圧下での試験であり、低い拘束圧から高い拘束圧まで段階的に拘束圧を変えながら、各拘束圧で繰返し変形特性を実施する試験方法である。本研究では、拘束圧の増加方法として、2 倍の間隔で増加させる方法($\Delta \sigma_{cn}=2\sigma_{cn-1}$)、50 kPa の間隔で増加させる方法($\Delta \sigma_c=50 \text{ kPa}$)を用いた。また、载荷時の最大のせん断ひずみ γ_m を $\gamma_m=0.1$, 0.01 %のとし、これらの载荷方法を組み合わせることで多段階法の適用を検討した。

3. 実験結果と考察

図-2 に $\Delta \sigma_{cn}=2\sigma_{cn-1}$, $\gamma_m=0.01 \%$ の载荷方法を用いた

表-1 用いた試料と実験条件

供試体 No.	载荷方法	拘束圧 σ_c' (kPa)	圧密前相対密度 D_r (%)	圧密後相対密度 D_{rc} (%)
T-1	従来法	50	49.2	50.1
T-2	従来法	100	49.5	52.0
T-3	従来法	200	50.2	53.2
T-4	多段階法	50	51.0	52.7
		100	56.8	57.7
		200	67.3	68.1
T-5	多段階法	50	49.2	50.1
		100	50.2	51.9
		200	52.1	53.0
T-6	多段階法	50	50.2	52
		100	51.9	53.4
		150	53.5	54.5
		200	54.6	56.5

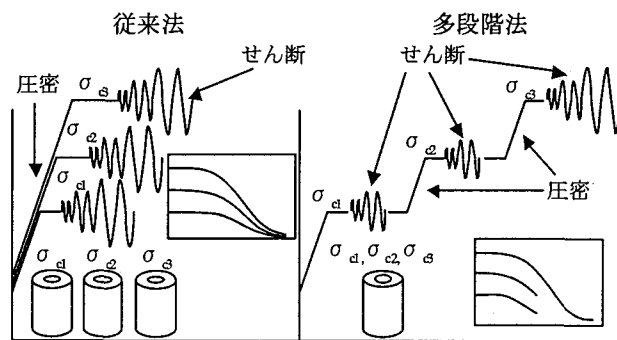


図-1 従来法と多段階法の概念

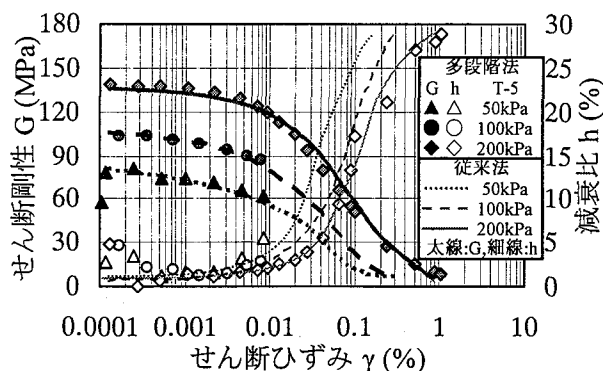


図-2 $G, h \sim \gamma$ の関係 ($\Delta \sigma_{cn}=2\sigma_{cn-1}$, $\gamma_m=0.01 \%$)

ときの $G, h \sim \gamma$ の関係を示す。多段階法の適用性を検討するために、従来法によって得られた結果も併せて示す。図中のマークで塗りつぶしはせん断剛性 G 、白抜きは減衰比 h である。また、図中の曲線が従来法の結果であり、太線が G 、細線が h である(以下同様)。図より、各拘束圧において多段階法と従来法の G, h が一致していることがわかる。200 kPa においては破壊ひずみに至るまで G, h ともに従来法と一致していることから、多段階法による影響は小さいといえる。図-3 に $\Delta \sigma_{cn} = 2 \sigma_{cn-1}$ 、 $\gamma_m = 0.01 \%$ の荷重方法を用いたときの $G \sim \sigma_c$ の関係を示す。図に示す a は G と σ_c の関係を表す直線の傾きである。図より、各 γ において従来法と多段階法の a がほぼ等しいことから、多段階法と従来法はほぼ等しいといえる。以上より、 $\gamma = 0.01 \%$ まで荷重の荷重であれば、多段階法の影響は小さく、適用可能であるといえる。

図-4 に $\Delta \sigma_{cn} = 2 \sigma_{cn-1}$ 、 $\gamma_m = 0.1 \%$ の荷重方法を用いたときの各拘束圧での $G, h \sim \gamma$ の関係を示す。本研究では、10 サイクル目の応力-ひずみの関係より G, h を算定したが、せん断中に γ_m に達した際には、その時点で荷重を終了させている。そのため、図-4 のように、 $\gamma_m = 0.1 \%$ まで荷重させた際に結果が表示されない場合がある。図より、拘束圧が 100, 200 kPa の多段階法と従来法の G, h がどのせん断ひずみにおいても異なることがわかる。原因として、密度変化が考えられる。表-1 より、供試体 T-4 の 50 kPa の Dr と 100 kPa の Dr、100 kPa の Dr と 200 kPa の Dr に大きな差が生じている。これは、せん断中に密度変化が生じたことを表している。

図-5 に累積軸変位量を示す。図中には軸変位量が急激な増加を始めるときのせん断ひずみをマークで示してある。どの拘束圧においても $\gamma = 0.02 \%$ 付近で軸変位が急激に増加することがわかる。また、拘束圧が低いほど軸変位量が増加しやすいことがわかる。軸変位が増加することで供試体が排水され、塑性体積ひずみが生じることが考えられる。これより、軸変位量が増加し始めた地点でせん断を終了させ、次の荷重へ移行することで、多段階法の適用が可能と考えられる。

図-6 に $\Delta \sigma_c = 50 \text{ kPa}$ 、 $\gamma_m = 0.01 \%$ の荷重方法を用いたときの $G, h \sim \gamma$ の関係を示す。従来法との比較のため、150 kPa の結果は示していない。図より、200 kPa において多段階法と従来法の結果が異なることがわかる。拘束圧増加の間隔が短いことによる影響だと考えられる。

4. 結論

本研究で得られた知見は以下の通りである。

拘束圧を 2 倍の間隔で増加させ、せん断ひずみ 0.01 % までの荷重であれば、多段階法と従来法は一致する。

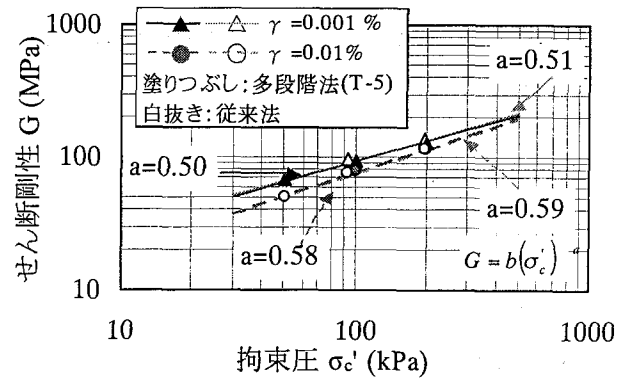


図-3 $G \sim \sigma_c$ の関係($\Delta \sigma_{cn} = 2 \sigma_{cn-1}$, $\gamma_m = 0.01 \%$)

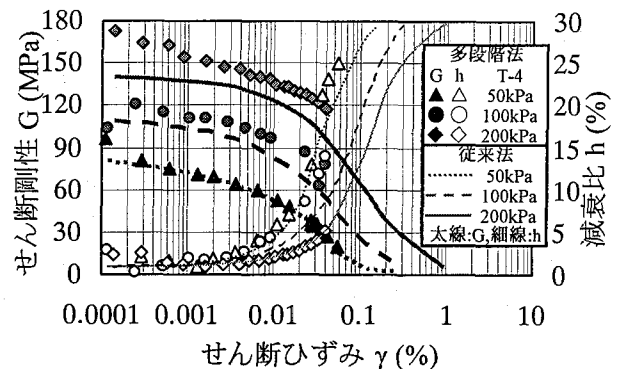


図-4 $G \sim \sigma_c$ の関係($\Delta \sigma_{cn} = 2 \sigma_{cn-1}$, $\gamma_m = 0.1 \%$)

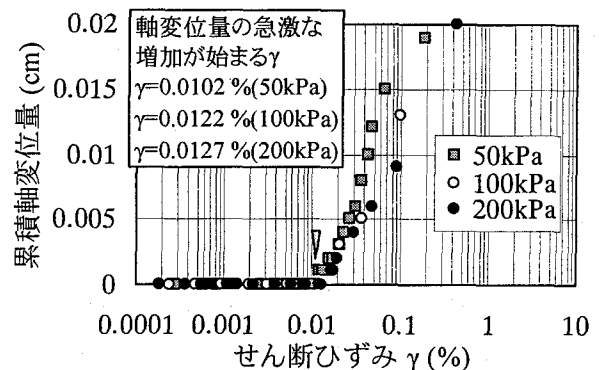


図-5 累積軸変位量

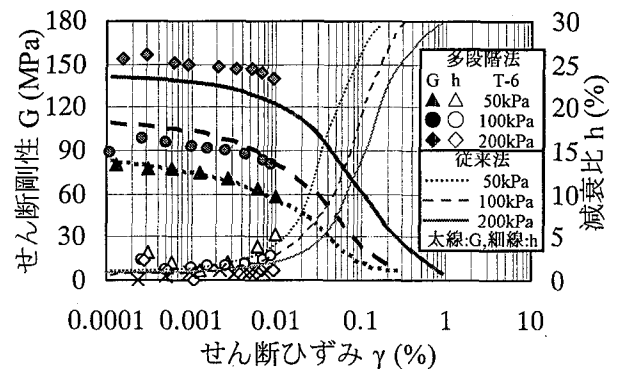


図-6 $G, h \sim \gamma$ の関係($\Delta \sigma_{cn} = 50 \text{ kPa}$, $\gamma_m = 0.01 \%$)