

液状化の強度特性に与える拘束圧の影響

九州工業大学 工学部 ○安田 進
 工学部 永瀬英生
 大学院 規矩大義
 学部生 木辻浩二

※まえがき※

液状化した地盤の強度、変形特性を知ることは、永久変位に代表されるような大変形問題を考える上で非常に重要である。筆者ら¹⁾は、以前からペーン試験装置や繰返しねじりせん断試験装置を用いて、液状化地盤の持つ強度や変形特性に関する研究を行っており、液状化地盤のせん断強度や初期せん断剛性が、液状化前の地盤にくらべて大きく低下する結果を得ている。しかし、どのような因子が強度や剛性の低下に影響を与えるかは、明確な結論が出ていないのが現状である。

本研究では、拘束圧が液状化後の地盤強度・変形特性に与える影響に関して、繰返しねじりせん断試験装置を用いて実験を行ってみた。結果を以下に報告したい。

※実験方法※

液状化地盤の強度・変形特性を調べる方法として、液状化している供試体に静的せん断を加え、その応力～ひずみ関係を求める方法が考えられる。本研究で用いた繰返しねじりせん断試験装置は、空圧式の繰返し載荷装置と、電磁モーターによる単調載荷装置を備えており、液状化後の供試体に対し、静的せん断が任意のひずみ速度で行えるようになっている。

試料には豊浦標準砂を用い、空中落下法によって外径10cm、内径6cm、高さ10cmの中空供試体を作成した。供試体に対してCO₂置換を行い、脱気水を通水して飽和させ、約30分間セル内等方圧密を行った。その後、繰返し載荷を行って、供試体中の過剰間隙水圧比が1.0に達してから、非排水状態のまま静的せん断に移行した。また、比較のために、繰返し載荷を行わないで、圧密後すぐに静的せん断を加える実験も行った。図-1に載荷のパターンを示す。

各供試体の相対密度は、Dr=38.2%～40.8%、有効拘束圧は $\sigma'_o = 0.3, 0.5, 1.0$ (kgf/cm²)の三段階とした。繰返し載荷には、周波数0.1 Hzの正弦波を用い、数波～数十波で液状化するように応力比を設定し、静的載荷は、1%/min.のひずみ制御で行っている。

※結果と考察※

図-2に各ケースの静的単調載荷で得られた、応力～ひずみ関係を示す。

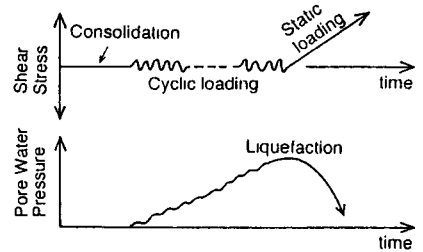


図-1 載荷パターン

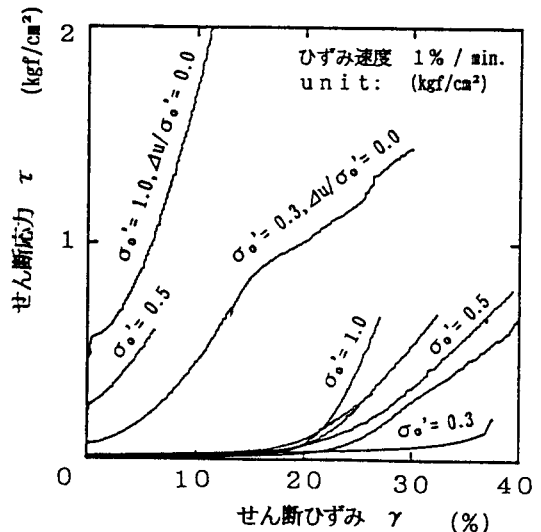


図-2 静的せん断時の応力～ひずみ関係

各ケース毎の拡大した応力～ひずみ関係の図は割愛するが、図からも明らかのように、液状化前後の供試体で応力ひずみ曲線の形状は全く異なってくる。液状化前の供試体では、載荷直後から大きな剛性を発揮し、その後もピークを示さない。これは、ひずみの進行に伴って供試体中に負圧が発生し、見かけの強度が増していったためと考えられる。さらに、載荷直後の初期接線勾配は、拘束圧の大きな供試体ほど急激になっている。(図-3)

液状化後の供試体では、載荷の瞬間にわずかながら勾配を持つものと全く勾配を持たないものに分かれた。拘束圧レベルの違いによる、傾きの違いはほとんど見られないが、繰返し載荷での応力比が大きいものほど、液状化後の静的載荷時に、応力が生じない結果となった。液状化の程度(激しさ)によって、剛性が完全に失われるものと、若干の剛性を残すものがあるようである。さらに、完全液状化したケースでも、ひずみが増加していくと過剰間隙水圧が低下してきて、有効応力が回復してくる。供試体によって異なるが、せん断ひずみで、20%～30%までは、剛性は失われたままになっている。また、その後の強度回復時の応力～ひずみ履歴曲線の接線勾配は、拘束圧に比例している。(図-3)

図-4に、液状化前後の静的載荷時のせん断弾性係数の低減率と拘束圧の関係を、図-5に低減率とせん断ひずみの関係を示す。ここで、 $\gamma = 0\%$ は液状化前後の初期せん断弾性係数を $\gamma = 10, 20\%$ の値は、液状化前の初期せん断弾性係数と液状化後の割線係数とで比較している。これより、液状化後の剛性は、初期地盤の約1/2000～1/5000以下にもなり、拘束圧の大きなものほど剛性の低下率は大きい。ただし、これは初期の剛性の違いに起因するところが大きい。大きなひずみ領域で見ると、低減率は小さくなっていくが、 $\gamma = 20\%$ 程度でも約1/1000程度の剛性しか有しないことが判った。ひずみの増加による強度回復の傾向には、拘束圧による違いはみられなかった。

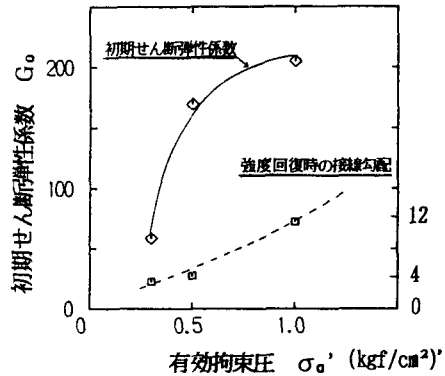


図-3 拘束圧の違いによる剛性の変化

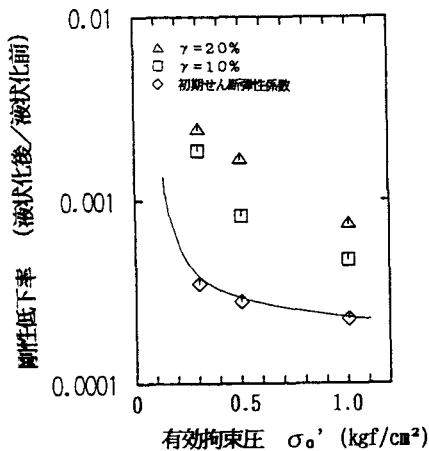


図-4 拘束圧と剛性低下率の関係

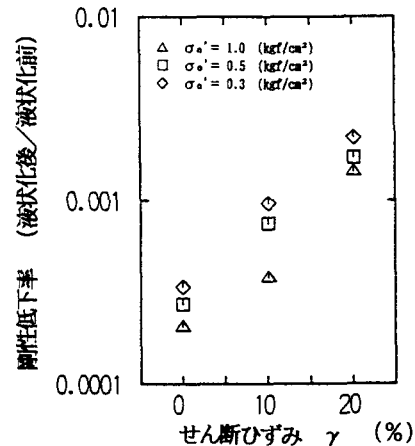


図-5 ひずみと剛性低下率の関係

※参考文献※

- 1) 安田、永瀬、規矩：液状化による地盤の永久変位の簡易解析法、第8回日本地震工学シンポジウム、1990
- 2) 規矩、安田 他：液状化に伴う地盤の強度・変形特性の変化、第45回土木学会年次学術講演会、1990