

高速載荷下における液状化した砂の粘性係数

東京電機大学 学生員 樋口佳意
東京電機大学 正会員 安田 進
東京電機大学 中村知嗣

1 はじめに

兵庫県南部地震の際に流動により多くの構造物が被害を受けたため、橋梁や建築物、埋設管などの耐震設計に早急に考慮する必要がでてきた。そこで流動量の予測方法や流動が構造物に与える影響などの研究が各方面で熱心に行われるようになり、地震後 1~2 年で早くも一部の設計基準類に取り入れられるようになってきた。これまでの研究成果¹⁾により、液状化した土を固体と捉えた場合のせん断剛性、流体と捉えた場合の粘性係数が定量的に求められるようになってきたが、試験装置の技術的な制約により実現象に即した速い速度での実験は行なわれていない。特に粘性係数は速度に依存する基本的な性質を持っているため、液状化した土を流体と捉えた場合には速い速度で実験を行なうことは必至となる。そこで新しく開発した高速載荷可能な中空ねじり試験装置を用いて、液状化後の変形特性試験を行い、粘性係数を求めてみた。

2 試験装置

実験には、新しく開発した高速載荷が可能な中空ねじりせん断試験装置を用いた。この装置の概略と計測配線を図 1 示す。繰返し載荷装置は、左右 2 つの脈流コイルとその中間に 1 つ直流コイルを備えているソレノイドを利用したアクチュエータである。脈流発生器で交互に左右の脈流コイルにソレノイドが発生し、直流コイルで磁力を持ったシャフトが左右に動く構造になっている。また、脈流発生器は導体と絶縁体が交互になっているカムスイッチ式のモータで構成されており、繰返し載荷速度はモータの速度を変換機で調整できるようになっている。一方、静的載荷装置は、速度サーボモータの回転力でギアを介してワイヤーを引く構造になっている。計測変換器は、セル室内に供試体のキャップ上部・下部にそれぞれ加速度計、トルク・軸力の 2 方向ロードセル、ねじり方向のレーザー変位計を、セル室外に間隙水圧計、セル水圧計、軸方向のレーザー変位計を設置している。また、記録は各変換器から DMA による高速データ転送が可能な、動ひずみ測定器・A/D 変換器・インターフェイスが一体化されているデジタル動ひずみアンプを用い、GP-IB を介して PC に取り込んでいる。

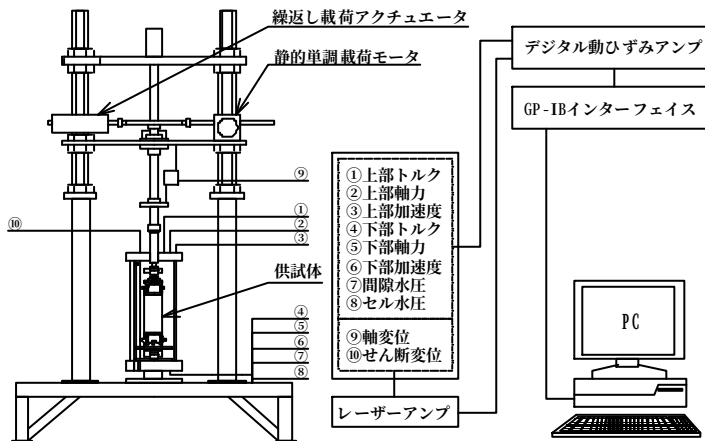


図 1 試験装置概略図

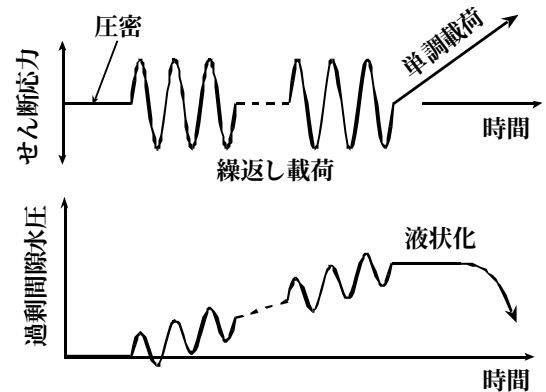


図 2 載荷パターン

3 試験方法

供試体は中空円筒形（外径 10，内径 6，高さ 10 および 20cm）で、試料には豊浦砂を使用し、空中落下法で緩詰め（ $D_r=30\%$ ）になるように作製した。載荷方法は、図 2 の載荷パターンのように繰返し載荷で液状化が発生した後、静的単調載荷を与えるようにした。繰返し載荷過程は $F_L=0.95$ 程度の応力比で 20 回の繰返し載荷を行なった。静的単調載荷は、数百%/min 程度の速度レベル 1 と数万%/min の速度レベル 2 で行なった。

キーワード：中空ねじりせん断試験，粘性係数

連絡先：〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 TEL0492-96-2911(2748) FAX0492-96-6501

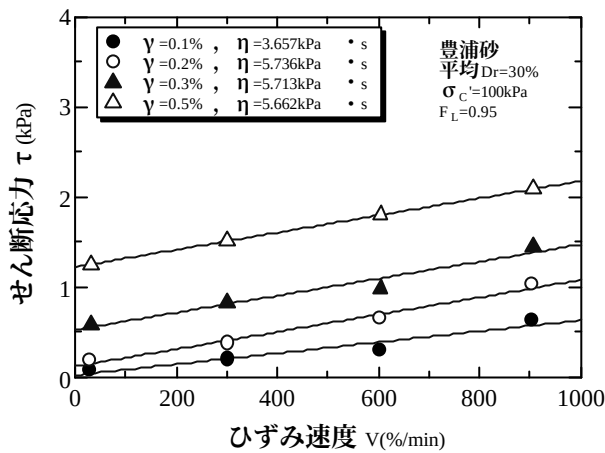


図3 セン断応力 τ －ひずみ速度 V 関係（速度レベル 1）

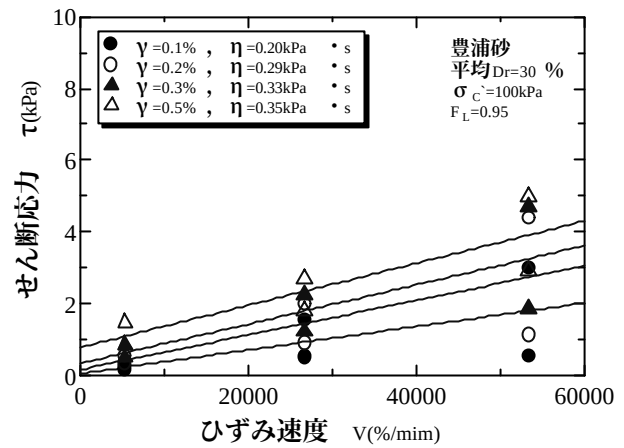


図4 セン断応力 τ －ひずみ速度 V 関係（速度レベル 2）

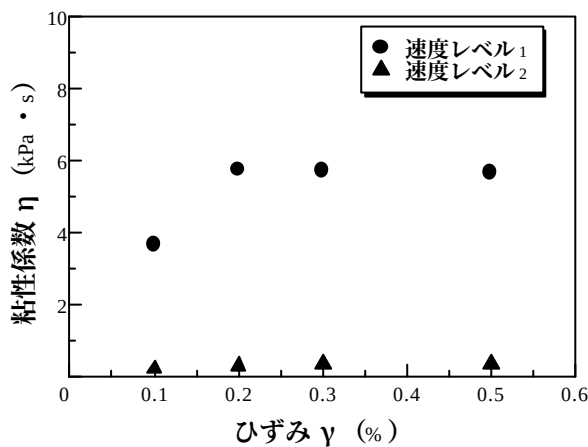


図5 粘性係数 η －ひずみ γ 関係

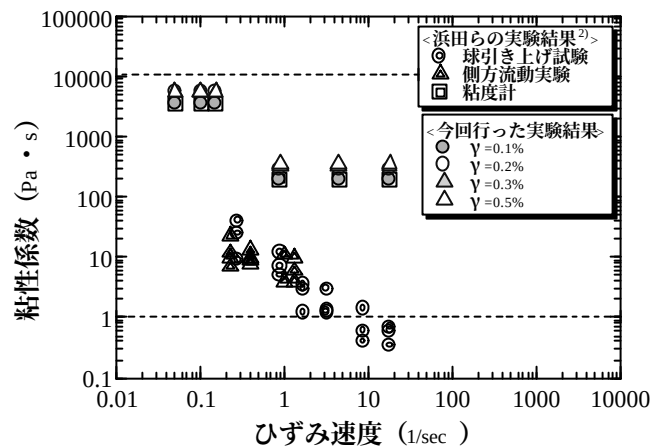


図6 粘性係数 η －ひずみ速度関係

4 試験結果

図 3、4 にそれぞれ速度レベル 1 および速度レベル 2 のせん断応力 τ －ひずみ速度 V 関係を示す。これらを見ると、せん断応力がひずみ速度に依存しており、液状化した土が粘性流体のような挙動をしていると考えられる。図 3、4 の勾配から各ひずみレベルでの粘性係数 η を求めたところ、速度レベル 1 で 3.657～5.736 kPa・sec，速度レベル 2 で 0.20～0.35 kPa・sec となった。図 5 は粘性係数 η －ひずみ γ 関係でまとめたものである。これらを見ると $\gamma=0.1\%$ と $\gamma=0.2\sim0.5\%$ で粘性係数 η が異なっていることがわかる。これは、せん断応力 τ －ひずみ γ 関係での初期勾配が異なるためだと考えられる。一方、速度レベル 1 と速度レベル 2 を比較すると粘性係数 η が 10 倍程度異なっている。そこで、図 6 に示すように、既往の研究結果²⁾と併せて粘性係数 η －ひずみ速度関係で整理してみた。図 6 から本実験の結果、既往の実験結果とも、ひずみ速度の増加に伴い粘性係数 η が低下する傾向がみられる。これは、せん断応力 τ －ひずみ速度 V 関係が非線形であることを意味しており、Bingham 流体のような挙動をしていると考えられる。

5 おわりに

高速に载荷可能な中空ねじり試験装置の開発を行い、液状化した砂の粘性係数を測定することが出来た。今後、装置の改良を図り、実験条件や実験ケースを増やすことで、液状化した砂の粘性係数の定量化を行なっていきたい。なお、本研究は文部省科学技術研究費（課題番号 90102385，代表者 安田 進）の補助により行なったものである。

参考文献

- 1) 地盤工学会，地震時の地盤・土構造物の流動性と永久変位に関する研究委員会：地震時の地盤・土構造物の流動性と永久変位に関するシンポジウム発表論文集，1998
- 2) 浜田，若松：液状化による地盤の水平変位の研究，土木学会論文集 Vol00，pp000～000，1998