

低拘束圧下における砂と粘土の動的変形特性

東京電機大学工学部	フェロー会員	安田 進
東京電機大学大学院理工学研究科	学生会員	齋藤盛文
東京電機大学大学院理工学研究科	学生会員	直井賢治

1.はじめに

液状化に伴う構造物の挙動や変形量を調べる目的で、模型振動台実験が行われている。しかし振動台は1mから数mの規模であるため実地盤と比べ拘束圧が小さくなる。したがって実験結果に対して詳細な評価を行うとなると、この低拘束圧領域での物性把握が必要となる。そこで、10kPa程度の低拘束圧領域でも精度良く試験できる繰返しねじりせん断試験機を用いて砂の動的変形特性を求め過去の研究結果^{1),2)}と比較検討した。また不攪乱試料の粘性土を同様に試験し、安田・山口の式から得られる結果と比較検討した。

2.試験方法

試料には豊浦砂と東京都東大和市で採取した不攪乱の粘性土を使用した。粒径加積曲線を図1に示す。拘束圧は10,50kPaとし、豊浦砂の相対密度 D_r は70%とした。供試体寸法は豊浦砂、粘性土共に外径10cm、内径6cm、高さ10cmとした。供試体作成方法は豊浦砂では空中落下法によってロートから落下する方法を用い、不攪乱試料ではトリミング法により成形した。次に供試体を有効拘束圧分の負圧にて自立させ、負圧を側圧に置換した後に2時間以上二酸化炭素を通した後12時間以上かけて通水した。B値が0.96以上であることを確認した上で、軸方向変位を固定し、非排水状態で載荷を行った。載荷方法は応力制御で載荷速度を0.1Hzとした。広いひずみ範囲での動的変形特性が必要であるため、一つの供試体でひずみ振幅を段階的に上げていく方法をとった。一つの段階では一定の正弦波せん断応力を11波与え、次の段階に移る時は過剰間隙水圧を消散させるため一旦排水状態にし、再び非排水状態にして次の段階の載荷に移った。そして各段階の10波目におけるヒステリシスループを描きループから等価せん断剛性率 G と減衰定数 h を求めた。

3.豊浦砂における試験結果と過去の研究結果の比較

各拘束圧における等価せん断剛性率 G と減衰定数 h をせん断ひずみ片振幅に対してプロットしたものを図2に示す。 G は各拘束圧ともに 10^{-5} 程度より小さい場合は、ほぼ一定の値となりその値は拘束圧が大きいほど大きくなった。 10^{-5} を超えると G は急激に低下し始めた。拘束圧10kPaにおける排水・非水の両条件下では排水のほうが剛性が低下するひずみ振幅が大きくなった。減衰定数 h は 10^{-5} 以下の時はほぼゼロであり、ひずみと共に大きくなった。非排水条件の場合 10^{-2} 程度まで大きくなると h は逆に低下した。 10^{-6} の時の G を初期せん断剛性 G_0 とし、せん断剛性比 G/G_0 との関係を図3に示す。

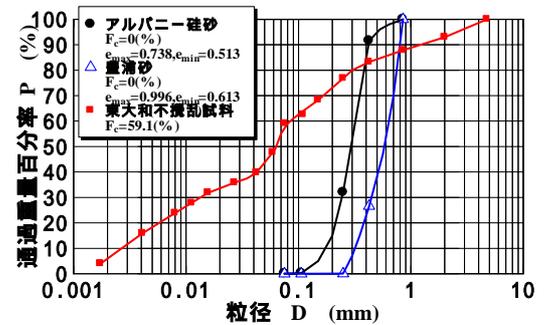


図1 粒径加積曲線

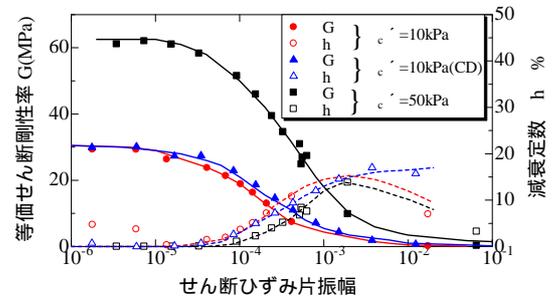


図2 各拘束圧におけるG, h- (豊浦砂)

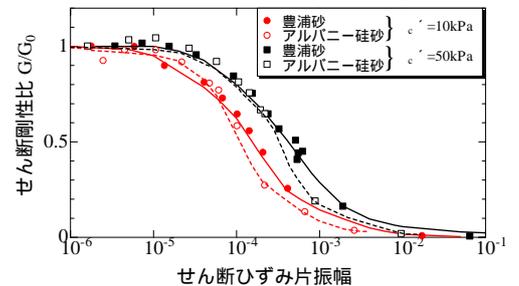


図3 両砂のG/G_0の比較

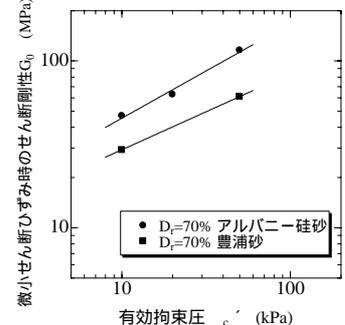


図4 両砂のG_0の比較

この図に見られるように拘束圧が大きいほど剛性が低下するひずみ振幅が大きくなった。また過去の研究結果¹⁾であるアルバニー硅砂と比較するとアルバニー硅砂のほうが剛性が低下する割合が高く

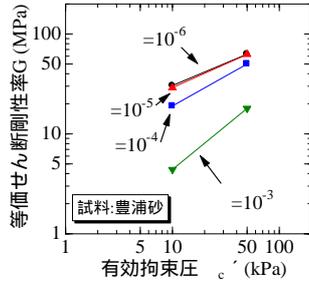


図5 G- c' 関係

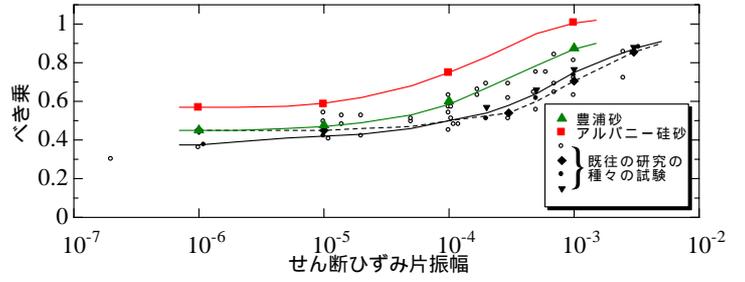


図6 龍岡らの実験結果との比較(べき乗- 関係)

なった。両砂の初期せん断剛性と各拘束圧の関係を図4に示す。各拘束圧においてアルバニー硅砂のほうが豊浦砂より剛性が大きくなった。次に豊浦砂の各ひずみ振幅ごとのGと c' の関係を図5に示す。が大きくなるほど直線の傾きが大きくなった。またこの直線は傾きが拘束圧のべき乗になると仮定して、この値を過去の龍岡らの研究結果²⁾にプロットしたものを図6に示す。この図より本実験結果およびアルバニー硅砂の値は少し大きかったものの過去の研究結果と同様の傾向を示した。

4.東大和市採取試料と安田・山口の式より得られた結果の比較

不攪乱試料による試験結果を図7に示す。減衰定数hは豊浦砂の結果と異なり非排水状態といえどもが大きくなって低下しなかった。ところで安田・山口は砂質土から粘性土までの約100個の不攪乱試料の結果をまとめて次式を提案している³⁾。

$$G/G_0 = (A_1 + A_2 \log D_{50}) \times (p'/98)^{(B_1 + B_2 \log D_{50})} \quad \text{式(1)}$$

$$h = (C_1 + C_2 \log D_{50}) \times (p'/98)^{(D_1 + D_2 \log D_{50})}$$

A₁ ~ D₂ はせん断ひずみごとに変わる定数、p' は有効平均主応力(kN/m²)であり、今回の不攪乱試料の結果と安田・山口の式による曲線を比較したものを拘束圧10,20,50kPaに対してそれぞれ図8,9,10に示す。これらの図に見られるように G/G₀- 曲線において本試験結果とほぼ同様の結果となった。一方 h- 曲線はひずみが大い場合どの拘束圧においてもかなり異なる結果となった。これは本試験で使用した不攪乱試料は粗粒から細粒まで幅広く含まれており、細粒分は多いものの D₅₀ は0.063(mm)と大きな値のため、D₅₀ だけ考慮する式(1)による結果のほうが大きくなったと考えられる。

5.まとめ

豊浦砂および東京都東大和市で採取した試料の動的変形特性について繰返しねじりせん断試験を行ったところ、以下の事がわかった。

- 拘束圧が大きいほど等価せん断剛性率Gは大きくなった。
- アルバニー硅砂のほうが豊浦砂より初期せん断剛性G₀が大きくなった。
- ひずみ振幅が大きくなるほど拘束圧の影響を大きく受けることがわかった。

なお、東大和市の試料採取にあたっては東京ガス(株)の岸野洋也氏にお世話になった。末筆ながら感謝する次第である。

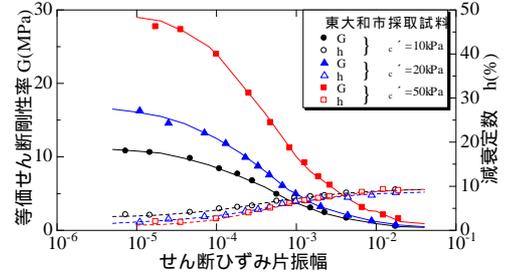


図7 粘性土における G, h-

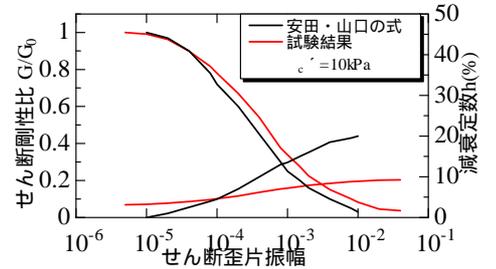


図8 式との比較(c' =10kPa)

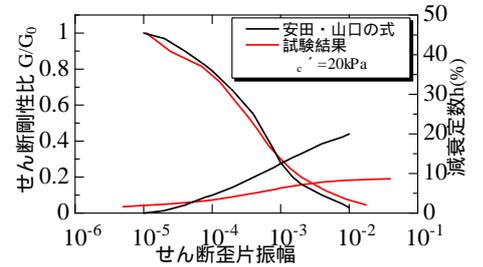


図9 式との比較(c' =20kPa)

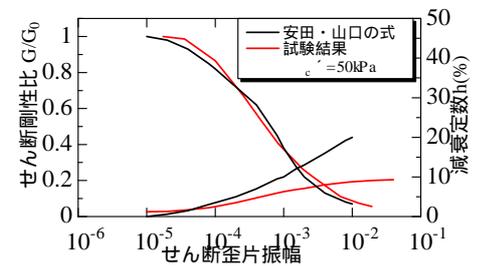


図10 式との比較(c' =50kPa)

[参考文献] 1) 安田進・齋藤盛文・鈴木秀明: アルバニー硅砂の低拘束圧領域における動的変形特性、土木学会第62回年次学術講演会 pp.605-606、2007

2) 龍岡文夫、足立紀尚: 土木学会編 新体系土工学 18 土の力学 -圧密・せん断・動的解析, pp220-222, pp227-229

3) 安田進・山口勇: 種々の不攪乱土における動的変形特性、第20回土質工学研究発表会講演集 pp.539~542, 1985