

## 超音波振動を用いた三軸圧縮試験における端面摩擦の低減の試み

東京理科大学 正会員 塚本 良道、石原 研而、中澤 博志  
 基礎地盤コンサルタンツ 正会員 黄 永男、酒井 運雄

## 1.はじめに

三軸圧縮試験は、円柱供試体の上下端面と三軸試験機のキャップ・ペDESTALの境界面で発生する摩擦により、一様な供試体の変形に障害をきたすという端面摩擦の影響の問題点を抱えている。従来、この影響を考慮し供試体の高さ／直径の比(H/D)を2としているが、完全な摩擦の除去には至っていないといえる。また、シリコングリースとゴム膜を用いた摩擦低減層を供試体端面に設ける方法の適用が行なわれている<sup>1)</sup>。最近、金属やプラスチック等の固体材料の摩擦が、超音波の加振により低減されることが確かめられている。そこで本研究では、三軸供試体の上下端面に超音波振動を加えることにより、三軸圧縮载荷中に供試体端面の摩擦を低減することが可能かどうかを検討した。

## 2.三軸圧縮試験機の開発

図1に、本研究で開発した超音波加振の可能な三軸圧縮試験機を示す。超音波振動子として圧縮振動子も検討したが、圧縮振動にともなう体積変化によりキャビテーションの発生が懸念されたため、体積変化のともなわないねじり振動子の適用が行なわれている。また、振動子で節（振動振幅なし）を、供試体との接触端面で腹（振動振幅が最大）を形成するような共振状態となり、周波数 18.5kHz・振幅 0～4 $\mu$ mの超音波加振が可能となっている。また供試体上部の超音波振動子にはカバーが取り付けられ、三軸圧縮载荷による圧縮荷重は、振動子に加わるとなくこのカバーを伝達し供試体上部に载荷される設計となっている。

## 3.豊浦砂を用いた排水三軸圧縮試験結果

まず豊浦砂を用い、空中落下法により所定の密度になるように供試体を作成し、凍結後整形を行った。供試体寸法 H/D を、0.6, 1.0, 2.0 と変化させて実験を行った。拘束圧は、19.6, 49, 98, 147(kPa)の4種類を設定した。等方圧密後、周波数 18.5kHz・振幅 0～4 $\mu$ mの超音波加振をせん断開始 20 分前から行い、排水三軸圧縮試験を行った。図2に、等方圧密後せん断前に超音波加振を行なった際に観測された供試体の間隙比の変化を示す。砂のような粒状体に超音波を加振すると、

予期せぬほど体積圧縮が生じ間隙比が小さくなることがわかった。図3に、排水三軸圧縮試験の応力-ひずみ曲線を示す。超音波振動の有無に関わらず最大軸差応力に大きな変化はない。超音波加振を行なった実験では、最大軸差応力のピーク付近において急激な体積変化が起こり、急激な応力の低下が発生した。その後軸ひずみの増加に伴い再び応力の回復が起こるが、再びピーク付近に至ると同じ挙動を繰り返している。これは、応力の増加により粒子間構造が不安定化し、超音波振動の負荷により粒子間構造の乱れが誘発される

キーワード：三軸試験、端面摩擦、超音波振動

連絡先（〒278—8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学工学部土木工学科

Tel : 04-7124-1501 ex(4004) Fax : 04-7123-9766)

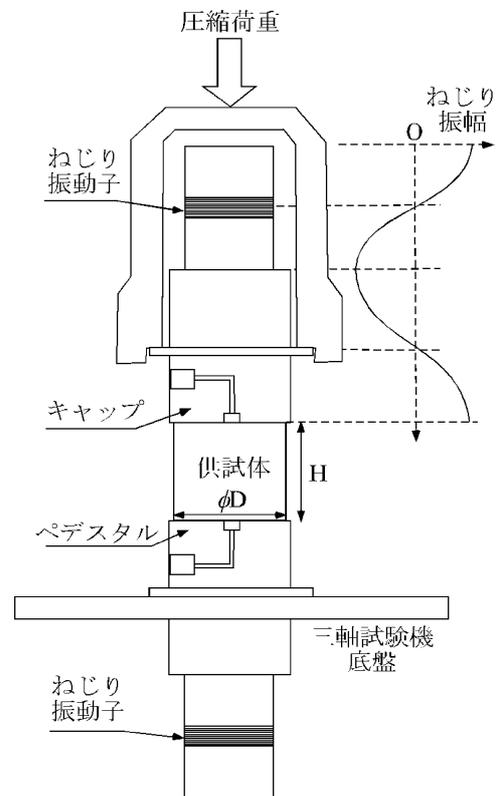


図1 超音波加振可能な三軸試験機

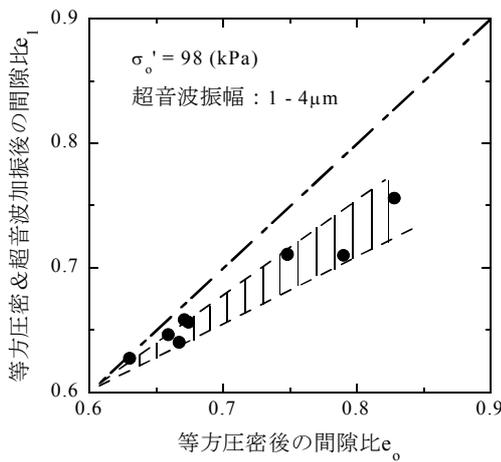


図2 超音波加振による間隙比の変化（豊浦砂）

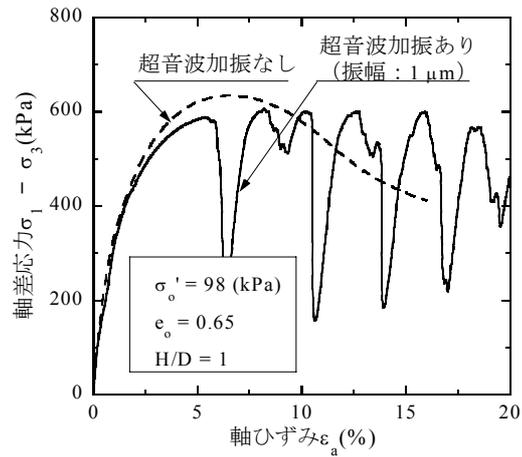


図3 応力—ひずみ曲線（豊浦砂、CD試験）

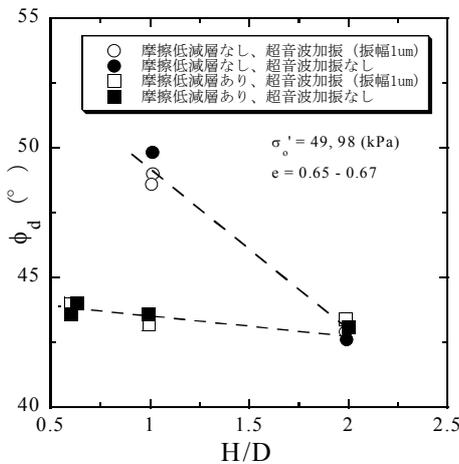


図4  $\phi_d$ —H/D の関係（豊浦砂、CD試験）

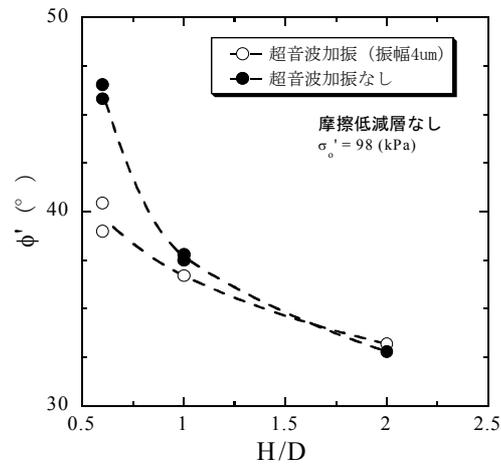


図5  $\phi'$ —H/D の関係（藤ノ森粘土、CU試験）

ためと思われる。図4に、有効応力比の最大値 $(q/p')_{max}$ より求めたせん断抵抗角 $\phi_d$ とH/Dの関係を示す。超音波加振の有無に関わらず、H/Dが小さくなると $\phi_d$ は増加する傾向にあった。またシリコングリースとゴムメンブレンからなる摩擦低減層を供試体上下端面に入れた試験も同時に行い、同図中にプロットした。この摩擦低減法により、H/Dの減少にともなう $\phi_d$ の増加の割合は減退しているが、まだ完全な端面摩擦の除去には至っていない。このように排水三軸試験では超音波加振により体積圧縮が生じ、端面摩擦低減法への実用性に問題があるため、豊浦砂と藤ノ森粘土を用いた非排水三軸圧縮試験を行なった。

4. 藤ノ森粘土を用いた非排水三軸圧縮試験結果

ここでは、藤ノ森粘土の非排水三軸圧縮試験を報告する。一次圧密後の含水比が約45%になるように調整し、供試体の作成を行なった。非排水試験では、豊浦砂の排水試験で見られたような急激なせん断応力の低下・上昇の繰り返しは生じなかった。図5に、軸ひずみ15%の時のせん断抵抗角 $\phi'$ とH/Dの関係を示す。超音波加振により、H/Dの減少にともなう $\phi'$ の増加の割合は低下している。しかし、H/D=2.0における $\phi'$ に比べ、H/Dの小さい試験における $\phi'$ はまだ大きく、完全に端面の摩擦は除去されていないといえる。

5. まとめ

超音波加振による三軸試験での端面摩擦の低減を試みた。豊浦砂を用いた排水試験では、超音波加振による体積圧縮・せん断挙動の乱れが観察されたが、藤ノ森粘土を用いた非排水試験では、ある程度有用性が確認された。今後さらに本方法の端面摩擦の低減への適用を検討するつもりである。

謝辞 実験の遂行に尽力した、池田哲郎氏（元東京理科大学理工学部土木工学科4年）に感謝します。

参考文献 1) Tatsuoka, F. & Haibara, O. (1985) “Shear resistance between sand and smooth or lubricated surfaces”, Soils and Foundations, Vol.25, No.1, pp.89 – 98.