

セメント系固化材により安定処理されたカオリン粘土の力学特性

徳山工業高等専門学校 正〇桑嶋啓治 正 藤原東雄
徳山工業高等専門学校 正 上 俊二 正 福田 靖
徳山工業高等専門学校専攻科 学 重政敦志

1. はじめに

近年セメントおよび生石灰などの従来の固化材の代わりにセメント系固化材を用い、軟弱地盤を改良する工法が増加している。固化材により安定処理された粘土は、化学的作用により見かけ上過圧密土の挙動を示すことが知られており、また、土被り圧より大きな先行荷重を示すと同時に非排水せん断強さも大きくなることが知られている。しかしながら、それらの固化材による処理土の強度、力学特性、特に処理土の強度、変化特性を広域な応力範囲での力学特性、特に高い圧力域での動的挙動の面から固化材の有効性を調べた例は少ない。そこで本研究では、広域な応力域におけるセメント系固化材により安定処理された粘土に対して三軸圧縮試験を行い、静的荷重と動的荷重を受けたときの力学特性を検討した。

2. 試料及び固化材

本実験に用いた試料は、単一の粘土鉱物であり有機物を含まないアメリカ産のカオリン粘土である。その物理的性質は表-1に示す。またセメント系固化材には、主に粘性土から砂質土までの一般軟弱土、およびヘドロの安定処理に用いられる固化材一般品を採用した。

表-1 試料の物理的性質

	液性限界 WL(%)	塑性限界 WP(%)	塑性指数 Ip	土の密度 (g/cm ³)
カオリン粘土	78.50	37.50	41.00	2.65

3. 供試体作成方法

乾燥状態のカオリン粘土は添加水の分散性が悪いので、所定の含水比になるように加水し、ミキサーで混合調整した後、一週間湿潤箱内で密閉して養生した。そして、含水比を調整した試料土に粉末状態の固化材を一定の割合で徐々に添加しながらミキサーで混合した。混合時間は通常10分程度とされているが、固化材の混合性が劣るので、15分間混合した。混合後、含水比が変化しない状態で20分間静置し、モールドにタッピングをしながら充填することにより供試体を作成した。その後、供試体を温度20±3℃、湿度95%以上の恒温恒湿槽に静置して養生した。また、カオリン粘土の初期含水比を $\omega=100\%$ 、固化材添加量を100kg/m³とし、材齢を28日以上とする供試体を作成した。

4. 実験結果及び考察

4-1 等方圧密試験 図-1に等方圧縮試験におけるe-log p曲線を示している。曲線はある応力域を過ぎたあたりから折れ曲がっており、先行荷重を負荷しないで供試体を作成したにも関わらず、固化材を添加することにより生じたと考えられる見かけ上の圧密降伏応力が生じていることがわかる。また、この図より、圧密降伏応力は1MPa付近であることが読み取れる。

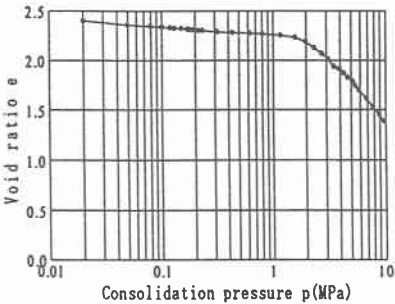


図-1 e-log p 曲線（等方圧密）

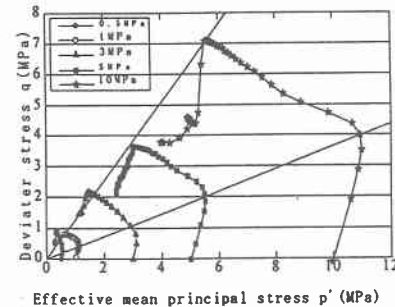


図-2 有効応力経路

4-2 非排水せん断試験 図-2は各拘束圧での平均有効主応力と軸差応力の関係を示しており、この有効応力経路では一本の破壊線に到達した時点で軟化している。さらに、拘束圧の影響を明らかにするために、軸差応力q、平均有効主応力p、を各拘束圧 σ_c で正規化した経路を図-3に示した。この図より、拘束圧0.5MPaの挙動は、他のものに比べ、立ち上がり急になっており、大きな値を示しているのに対し、拘束圧1MPa以上での挙動は拘束圧の違いによらず、応力経路の形状は

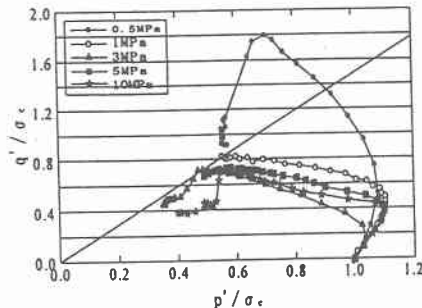


図-3 拘束圧で正規化した有効応力経路

類似しており、同一の破壊線上に至っている。

さらに、圧密降伏応力を境に、安定処理を施した粘土に対し、繰返しせん断挙動を調べるために、高い拘束圧(1MPa, 3MPa)において繰返しせん断試験を行った。

4-3 非排水繰返しせん断試験 図-4 および図-5は、繰返し周期0.02Hz, 拘束圧1MPa, 3MPaの条件の下で、一定の軸差応力を裁可した時の軸差応力 q_{cyc} , 軸ひずみ ϵ , 間隙水圧 u の時刻歴を示している。図-4は、 $q_{cyc}=0.9\text{MPa}$ における時刻歴でありこの図より、繰返し回数の増加に伴い、間隙水圧が徐々に増加しているものの軸ひずみは、あまり増加しておらず、繰返し回数50回においても、破壊までには至っていないことがわかる。この他、いずれの軸差応力においても、明瞭な破壊は認められなかった。しかしながら図-5に示す拘束圧3MPa, 軸差応力 $q_{cyc}=2\text{MPa}$ においては、軸ひずみ、間隙水圧ともに、繰返し荷重を約20回程度載荷した後、急激に発達していることが認められる。このような破壊形態は、通常の粘土地盤においては、見られない現象である。粘土の非排水繰返しせん断試験では、粘土供試体が破壊に近い状態に近づくと、軸ひずみ、間隙水圧ともに徐々にその値が増加するが、セメント系固化材により固結された粘土においては、明確な破壊の現象を示していることがわかる。また、2MPaより小さな軸差応力において、明瞭な破壊は認められなかった。図-1に示すように、供試体の降伏応力は、ほぼ1MPa程であり、その降伏応力を越えた拘束圧で、さらに、軸差応力が2MPa程度の大きな荷重を繰返し載荷すると、供試体は、かなり大きな破壊を示すことが伺える。

本研究では、拘束圧を1MPa, 3MPaのもとで、様々な繰返し軸差応力で実験を行った。繰返し回数50回後のひずみ両振幅と軸差応力の関係で、試験結果を、まとめたものが図-6である。ただし、図-6に示す結果は、繰返し回数50回後において、明確な破壊が認められなかった結果のみ示している。試験結果はいずれの拘束圧においても、それらの関係は双曲線になっており、軸差応力の増加とともに、軸ひずみが発達していることがわかる。また、拘束圧1MPaにおいては、拘束圧3MPaに比べ、軸ひずみの増加量が大きいことがうかがえるが、軸差応力が、拘束圧とほぼ同程度の大きさに載荷されているにも関わらず、軸ひずみ両振幅は、わずか1.6%程度しか発達していないことがわかる。また、拘束圧3MPaにおいて、図-5に示すように、繰返し軸差応力が2.0MPaで破壊しているのに対し、繰返し軸差応力が1.8MPa程度では、軸ひずみの発達が0.8%程度であり、破壊の様子が伺えないことがわかる。

今後は、さらに拘束圧を高くし、繰返しせん断破壊を生じる軸差応力との関係を調査する予定である。

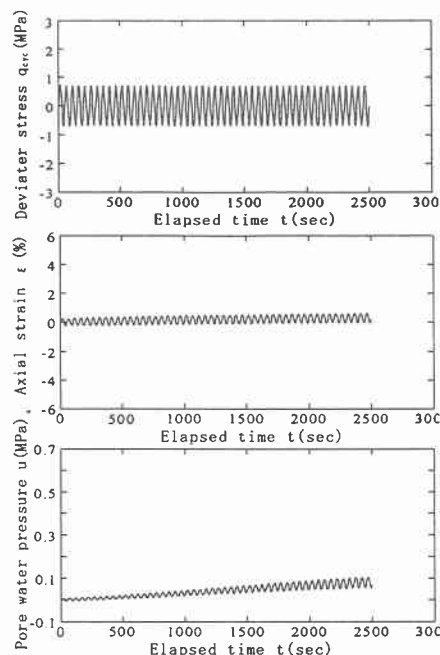


図-4 時刻歴 ($\sigma_c=1\text{MPa}$)

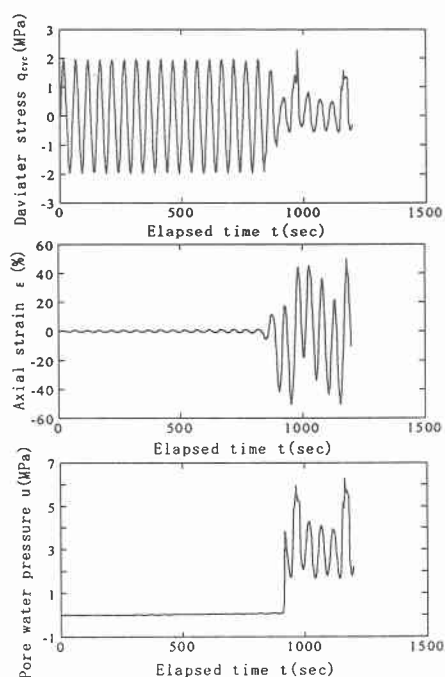


図-5 時刻歴 ($\sigma_c=1\text{MPa}$)

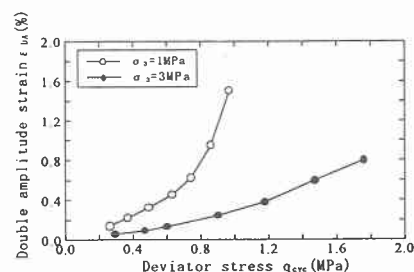


図-6 軸ひずみ両振幅と軸差応力の関係