

砂質粘性土の凍結による力学特性への影響

中部土質試験協同組合 ○久保裕一, 池田謙信, 石原聖子, 法安章二
名城大学 小高猛司

1. はじめに

近年調査が多い堤防やため池の試料は土質が極めて不均質で、細粒分と砂分が混在する。押出機での抜き取り作業は砂分が多く含まれる場合、試料を圧縮してしまうため、やむを得ず冷凍してから切り出しが行われる。しかしながら、その凍結の過程が力学特性に与える影響について詳細に検討された報告は少ない。今回、人工的に圧密させた粘性土と中間土を用い、凍結による力学特性の影響について比較、検討したので報告する。

2. 実験条件

実験試料は、三河珪砂6号砂と青粘土を乾燥質量比1:1で混合した混合試料（中間土と称す）と、比較のため青粘土のみ（粘性土と称す）を使用し、凍結試料と未凍結試料を用い実験を行った。試料の作製は、直径20cmの一次元圧密容器を準備、容器内で含水比50%程度になるように含水調整（試料の分離を防ぐためある程度粘性を持たせた）、攪乱しながら12時間真空脱気を行った後、4日間圧密させた。そして、容器から試料を取り出し4分割した後、直径5cm、高さ10cmに整形し供試体とした。実務に即した方法とするため、凍結後に整形作業を行った。ただし、凍結整形作業は専用回転式凍結整形機を使用しているため2分程度で整形が可能で、融解による乱れの影響を受けることなく三軸セルに入れられる。図1に粘性土と中間土、添加した6号珪砂の粒径加積曲線を示す。

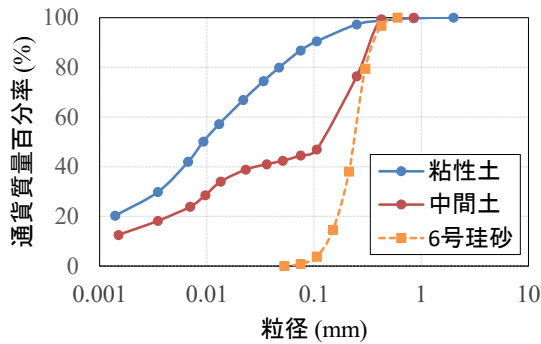


図1 粘性土と中間土 6号珪砂の粒径加積曲線

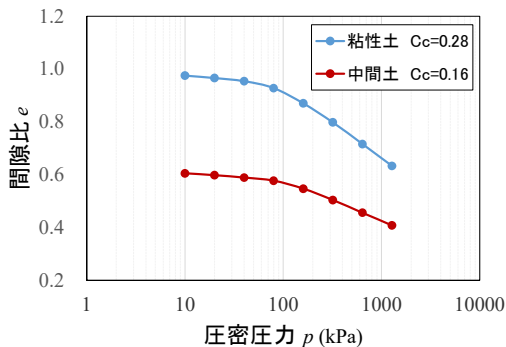


図2 粘性土と中間土の $e-\log p$ 圧密曲線

作製した試料の圧密曲線を図2に示す。 $e-\log P$ 圧密曲線は、100kPaの圧密圧力を反映して粘性土、中間土、それぞれ100kPa付近で折れ点が観察される。圧縮指数 C_c は粘性土0.28、中間土0.16であった。

3. 実験結果

(1) 物理試験結果(液性限界・塑性限界試験)

表1 液性限界・塑性限界試験結果

| | 粘性土 | 中間土 |
|--------|------------|------------|
| 液性限界 % | 49.4(48.5) | 29.7(28.3) |
| 塑性限界 % | 23.2(23.5) | 15.4(15.2) |

まず、凍結させることで液性限界と塑性限界の値が変化するのか調べた。試験結果を表1に示す。液性限界、塑性限界のカッコ内の数値は凍結し解凍した後の数値を示す。液性限界と塑性限界はともに凍結後にやや数値が約1%ほど低下するものの、わずかな差異で特に大きな違いは見られなかった。

(2) 三軸圧縮 CUB 試験結果

三軸試験の結果を図3と図4に示す。図3は粘性土の未凍結と凍結の有効応力経路を示し、それぞれ軸差応力最大時と変相時の破壊比を求めた。図4は中間土である。図3の粘性土では、せん断の最終段階で凍結が未凍結と

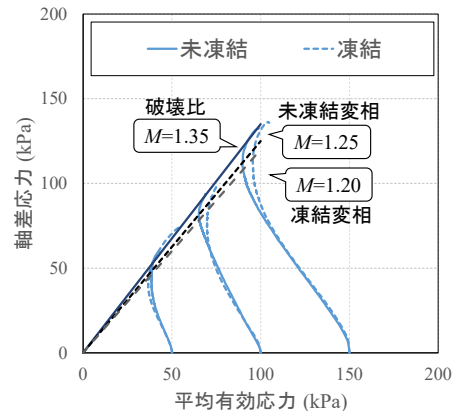


図3 粘性土の有効応力経路

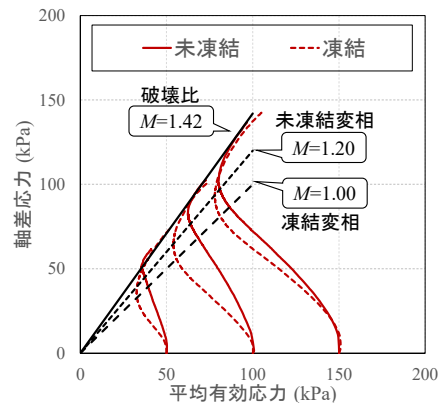


図4 中間土の有効応力経路

比較して早く正のダイレイタンスが発現している。それ以外で特に凍結と未凍結で大きな差異は見られない。これに対し図4の中間土では、凍結においてせん断初期から負のダイレイタンスが発生し、その後大きく正のダイレイタンスを発現させている。未凍結と全体を比較すると、せん断開始時とせん断最終段階のみが一致するのみであり、ほとんど凍結と未凍結で異なる経路をたどり最終段階に至ることがわかる。

最終的な軸差応力最大時の破壊応力比は、粘性土で1.35、中間土で1.42となった。これらの破壊時のひずみの大きい領域では最終的に凍結と未凍結のそれぞれの曲線が漸近し、最終的に同じ破壊応力比となることがわかった。変相時の応力比を求めると、粘性土では未凍結で1.25、凍結で1.20。そして中間土では、未凍結で1.20、凍結で1.00であった。これらから、凍結により変相応力比が減少することから、凍結により構造が劣化し、弾性応答が弱まり塑性圧縮が増加するために、変相応力比に影響を与えると考えられる。この影響は砂分が多く含まれる中間土の方が大きい。

次にモール円について考察する。実務においては通常三軸圧縮試験を実施した場合にはモールの応力円による強度定数が報告される。データ整理の際は、軸差応力最大値での応力によりモール円が求められる。図5は中間土の有効応力によるモール円である。軸差応力最大時と変相時の有効応力で $c=0$ として破壊規準線を求めた。軸差応力最大時と変相時ではモール円の大きさが異なるものの、せん断抵抗角に大きな差が無いことがわかる。表3に全ての条件における粘性土と中間土の凍結、未凍結の軸差応力最大時と変相時でのせん断抵抗角を示した。いずれの条件、軸差応力最大時と変相時、どちらの場合においてもモール円の大きさが変化するのみで、せん断抵抗角に差がないことがわかった。

これらの三軸圧縮試験の結果から、粘性土と中間土ともひずみの大きい領域では破壊応力比は最終的に軸差応

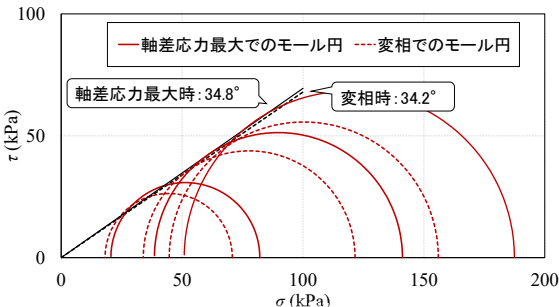


図5 $c=0$ での中間土のモールの応力円

表2 粘着力を0とした場合のせん断抵抗角

| | 軸差応力最大時 | 変相時 |
|---------|---------|-------|
| 粘性土:未凍結 | 33.4° | 33.0° |
| 粘性土:凍結 | 32.6° | 32.2° |
| 中間土:未凍結 | 34.8° | 34.2° |
| 中間土:凍結 | 33.8° | 32.2° |

力最大値ではともに同じになるものの、凍結させることにより構造が変化し、解凍しても完全に元には戻らず変相が早く発現し過圧密的な挙動を示すようになる。これは凍結により弾性的な構造が劣化するものと考えられる。そして、この影響は砂分が多く含まれる中間土の方が粘性土より大きくなる。またモール円で結果を整理した場合、粘性土と中間土のどちらにおいても軸差応力最大時と変相時では包絡線の角度の差はわずかで、凍結による影響は表現できないことがわかった。

(3) 変形特性を求める繰返し三軸試験結果

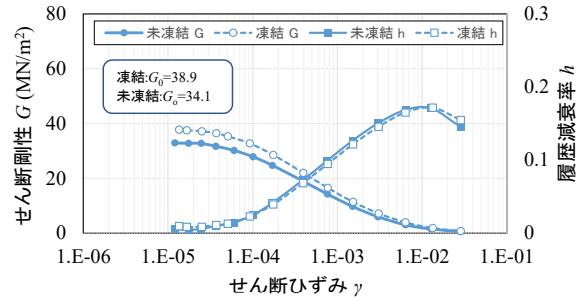


図6 粘性土の $G-\gamma \cdot G-h$ 曲線

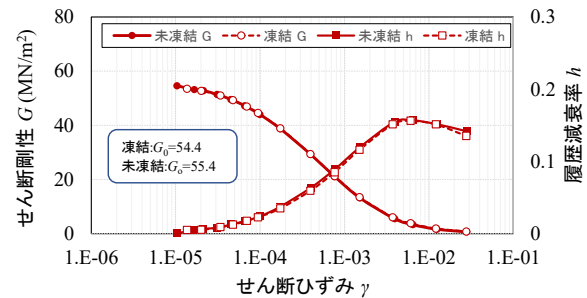


図7 中間土の $G-\gamma \cdot G-h$ 曲線

前節の三軸試験結果では比較的ひずみの大きい領域での影響について考察したので、ここでは動的変形試験を実施し、比較的ひずみの小さい領域について検証した。図6と図7は、三軸圧縮試験と同様に粘性土と中間土において凍結、未凍結条件で繰返し三軸試験を行い、せん断ひずみ～せん断剛性・履歴減衰率関係を求めたものである。図7の中間土においては、せん断剛性率と履歴減衰率において全く差異は見られないものの、図6の粘性土においてはせん断剛性率に差異が見られ、凍結のせん断剛性率が大きくなっている。これは、凍結した供試体の方が等方圧密後の間隙比が小さくなっており、実際に剛性が高くなっているからである。

4. まとめ

粘性土と中間土において、凍結による影響を検討した結果、三軸圧縮試験から変相するタイミングの違いなど影響が認められたが、実務レベルでのモール円による強度定数では凍結と未凍結の違いを表現できなかった。また、繰返し三軸試験の結果からも粘性土においてやや初期せん断剛性率に違いは見られるものの、大きな違いは見られなかった。今後も実験をかさねる予定である。