

凍結履歴が土供試体の体積変化に及ぼす影響に関する実験的検討

横浜国立大学 学生会員 ○寺本 諒
正会員 崔 瑛

1. はじめに

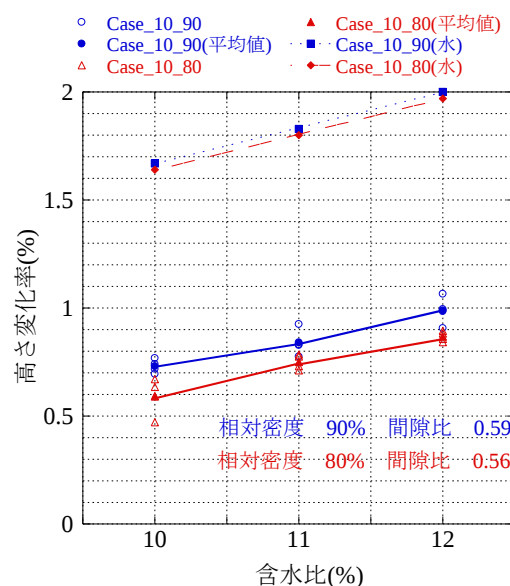
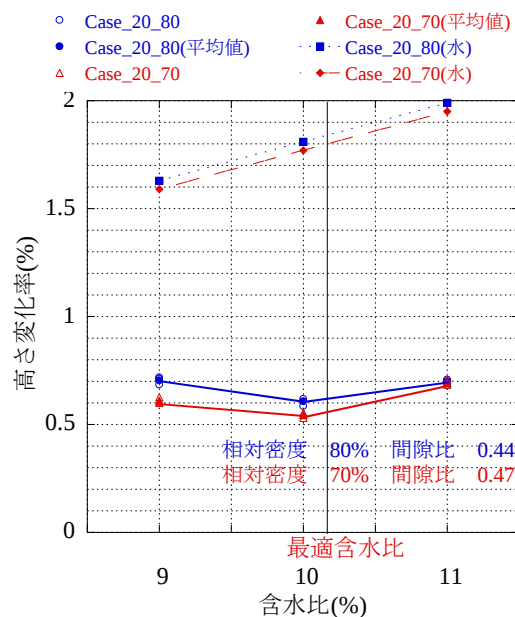
土構造物の設計や照査に必要な強度定数は主に三軸試験によって求められているが、現場における土の力学特性を正確に評価するためには、極力乱れの少ない供試体を用いる必要がある。粘着力のない砂試料の場合、採集や運搬、成形過程において乱れが生じないように、凍結によるブロックサンプリング、もしくはチューブにより採取後凍結させる場合が多い¹⁾。しかしながら、この乱れ防止のための凍結が土の力学特性に影響を及ぼす可能性があるとの報告もしばしばされており²⁾、高精度の強度定数を得るためには、凍結履歴による影響を明確にする必要がある。通常、凍結により水は 1.1 倍に膨張すると考えられており、凍結履歴による土の力学特性の変化は、凍結による間隙水の膨張や水分の移動による体積変化や構造の乱れに起因すると考えられる。本報では、細粒分含有率 (F_c)、含水比、間隙比、凍結温度が砂質試料の体積変化に及ぼす影響について検討する。

2. 実験の概要

本研究では、三軸試験で一般的に用いられている直径 50mm、高さ 100mm の供試体を作製し、凍結前後の体積変化を計測した。地盤材料には、瑞浪珪砂 3~9 号を用い、 F_c が 10% と 20% になるような二種類の試料を配合した。供試体は、所定の含水比になるように調整した試料を用い、所定の間隙になるように密度管理を行いながら 5 層に分けて締固めて作製した。供試体の含水比は、締固め試験結果に基づき、最適含水比と乾燥側の値を選定した。なお、間隙比は、最大最小密度試験結果を参考に、 $F_c=10\%$ の場合は相対密度が 80, 90%, $F_c=20\%$ の場合は相対密度が 70, 80% になるように設定した。供試体作製後、20 時間以上所定の温度で凍結させ、凍結後の体積を計測した。なお、本実験ではモールドごと凍結を行ったため、直径の変化は発生せず、体積変化は高さの変化により評価する。供試体の温度変化速度が体積変化に及ぼす影響を調べるため、さらに内部に熱電対を埋め込んだ供試体を作製し、温度の経時変化を計測した。表-1 に検討ケースの一覧を示す。

表-1 検討ケース

F_c (%)	相対密度 (%)	含水比 (%)	凍結温度 (°C)
10	90%	10, 11, 12	-22, -27, -32
	80%	10, 11, 12	
20	80%	9, 10, 11	
	70%	9, 10, 11	

図1 供試体高さの変化 ($F_c=10\%$)図2 供試体高さの変化 ($F_c=20\%$)

キーワード 凍結履歴, 体積変化, 細粒分, 含水比, 相対密度

連絡先 〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 横浜国立大学 TEL 045-339-4040

3. 間隙比と含水比による影響

図1, 2に, $F_c=10\%$ と 20% の供試体における, 含水比が体積変化に及ぼす影響を示す. 縦軸は, 凍結前の供試体高さ (100 mm) に対する供試体高さの変化量の割合である. 図中の点線は, 供試体中に含まれる間隙水の凍結による体積変化を凍結前の供試体体積で除したもので, 間隙水の体積膨張がすべて供試体の体積増加に反映された状況を想定している. 図より, $F_c=10\%$ の供試体においては, 含水比の増加とともに供試体の高さ変化率は線形的に増加する. これに対し, $F_c=20\%$ の場合は, 最適含水比付近で高さ変化率が最も小さい結果が見られた. 凍結による体積変化は含水比により大きく変化し, さらにこれらの変化状況は粒度によっても異なる結果が見られ, その原因について次のように考察できる.

本研究では, 凍結による体積変化の程度は土粒子同士の固結力と水の凍結時の膨張力とのつり合いによって決定すると仮定する. 間隙水の膨張による体積変化は, 供試体中の間隙空気中に侵入し, 供試体全体の体積は変化させず間隙のみに変化をもたらす部分と, 供試体の間隙空気はそのまま供試体全体の体積を変化させる部分に分類できる. 固結力がより大きい場合, 膨張した水は間隙空気の部分に侵入し, 供試体の体積変化は小さい. 膨張力がより大きい場合は, 供試体の体積変化も大きくなる. 固結力は密度や粒度によって変化し, 膨張力は含水比によって異なり, 最適含水比付近では固結力が卓越するため体積変化が小さくなると考えられる.

4. 凍結温度による影響

図3, 4に凍結による影響を示す. 点線は図1と同じく水のみ の体積変化が供試体全体の体積に及ぼす影響を示すが, -27° と -32° では温度による体積変化が見られない. さらに図より $F_c=10\%$ と 20% の供試体に対し, 凍結温度が体積変化に及ぼす影響が異なる結果が見られる. $F_c=10\%$ の供試体は点線で示す水のみ の体積変化と同じく, -27° と -32° では変化が見られない. 一方, $F_c=20\%$ の供試体は凍結温度が低下とともに, 高さ変化率が線形的に増加する. これらの結果より, 膨張力は含水比に加え, さらに凍結温度によって変化すると考えられる. $F_c=20\%$ の供試体は温度が低下することで, 膨張力が増加し, 体積が増加したと考えられる. 一方, $F_c=10\%$ の供試体の含水比では, 膨張力が -27° で頭打ちになったと考えられる.

5. まとめ

本研究では凍結の際の供試体の体積膨張量は水の膨張力と土粒子同士の固結力のつり合いによって決まると仮定した上, 様々な初期条件において凍結による供試体の体積変化について検討し, 膨張力と固結力を左右する要因について考察を行った. 実験結果より, 供試体の初期条件の中で, 粒度分布および密度によって固結力が大きく変化し, 含水比および凍結温度は膨張力の変化をもたらすことが分かった. 膨張力が固結力の大きい場合は供試体が大きく膨張し, 固結力が大きい場合は体積変化が顕著になる. 今後は, これらの要因について定量的な評価指標を模索するとともに, 凍結が土の力学特性に及ぼす影響について検討する予定である.

参考文献 1) 地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解説, 丸善, p.567, 2010. 2) 小高ら: 砂質堤防土の強度定数評価に及ぼす供試体再構成と凍結過程の影響, 第50回地盤工学研究発表会, 2015.

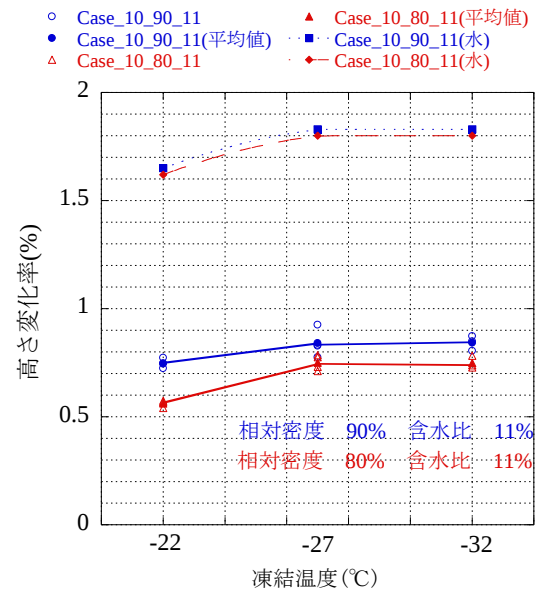


図3 凍結温度による影響 ($F_c=10\%$)

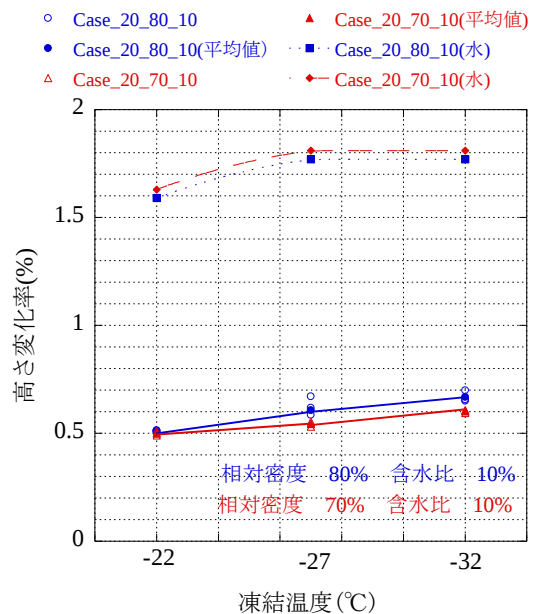


図4 凍結温度による影響 ($F_c=20\%$)