

土系舗装におけるX線CT画像に基づく凍結融解特性（その3）

信州大学工学部 正〇河村 隆，正 梅崎健夫

信州大学工学部 松高芽生（現 三井住友建設（株））

（株）平林組 横沢昌弘

（株）アールエフ 小平計美

1. はじめに 新たに開発したペルチェ素子冷却ユニットを用いた繰り返し凍結融解試験装置¹⁾により、土系舗装供試体を下部から凍結融解させる試験を実施した。凍結融解後にX線CT撮影を実施し、CT画像に基づいて供試体内部のひずみを求め、凍結融解特性について検討した。

2. 試料および試験の概要 前報²⁾と同様に、施工実績のある粒度調整佐久土を用いて土系舗装試料を製作した。土試料を混合・攪拌する際に、X線CT撮影時の測点としてジルコンビーズ（直径0.5 mm，密度3.9 g/cm³）を、土試料に対して質量比0.2%添加した。所定の養生期間を経過した後、コア抜きして供試体（初期高さ61 mm，初期直径73 mm）とした。水浸して24時間以上脱気することにより供試体を飽和し、ゴムスリーブ（直径70 mm，厚さ0.3 mm）で被覆して、内側にシリコングリース塗布したアクリル円筒（内径74 mm，肉厚9 mm）に挿入し、ペルチェ素子ユニットを用いた繰り返し凍結融解試験装置（図-1）に設置した。上部の密閉空間を一定温度2℃に保ち、下部の水冷式ペルチェ素子ユニットを-8℃～2℃の間で制御することにより、供試体下部からの凍結・融解を繰り返した。試験装置および試験方法の詳細は文献1)を参照されたい。凍結後および融解後において、装置から供試体を取り出すことなく、上部のペルチェ素子ユニットと下部のペルチェ素子冷却ユニットの冷却水循環チューブ、制御・電源ケーブルを取り外して、X線CTスキャナ（（株）アールエフ，コンピュータ断層撮影装置NAOMi-CT）を用いて撮影を行った。撮影画像に対してNAOMi-CTビューワソフト（（株）アールエフ）を用いて、供試体内部のひずみを算定した。各サイクルにおいて、撮影データから直交する2つの鉛直CT画像を抽出し、各画像内の測点の鉛直距離と水平距離の変化から求めた。供試体を縦横各3つに分割して、供試体上部および下部の中心付近、外周付近における鉛直および側方ひずみを算定した。

3. 結果および考察 図-2にCT画像に基づいて算定した供試体全体の側方ひずみと鉛直ひずみの変化、表-1に凍結後、融解後のX線CT画像、をそれぞれ示す。側方ひずみは上中下3カ所で測定した直径（計6カ所）、鉛直ひずみは供試体底面から上面付近の測点までの高さ（計14カ所）に基づいて算定した。いずれも膨張を正としている。供試体全体の側方ひずみは、凍結融解サイクル $n=10$ 以降において、 $\varepsilon_r^*=1\%$ 程度でほぼ一定である。一方、供試体全体の鉛直ひずみは、 $n=3$ 以降において大きく増加し、サイクルを終了した $n=26$ においてもまだ増加する傾向にある。表-1(b)に示すように、 $n=3$ から4において、X線CT画像で確認できる程度の水平クラックが、供試体上部の中心付近に生じ始める。 $n=6$ （表-1(c)）では外周付近に供試体中心の下部に向かって傾斜したクラックが認められる。その後、凍結融解サイクルが進むにつれてクラックは供試体全体に広がる。供試体外周付近では

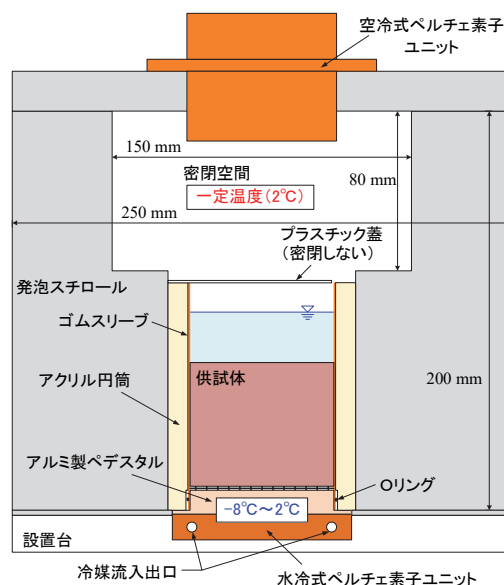


図-1 試験装置

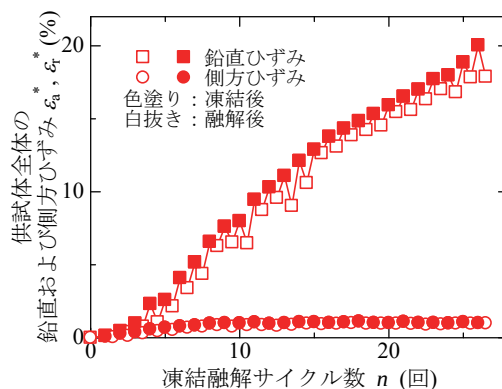
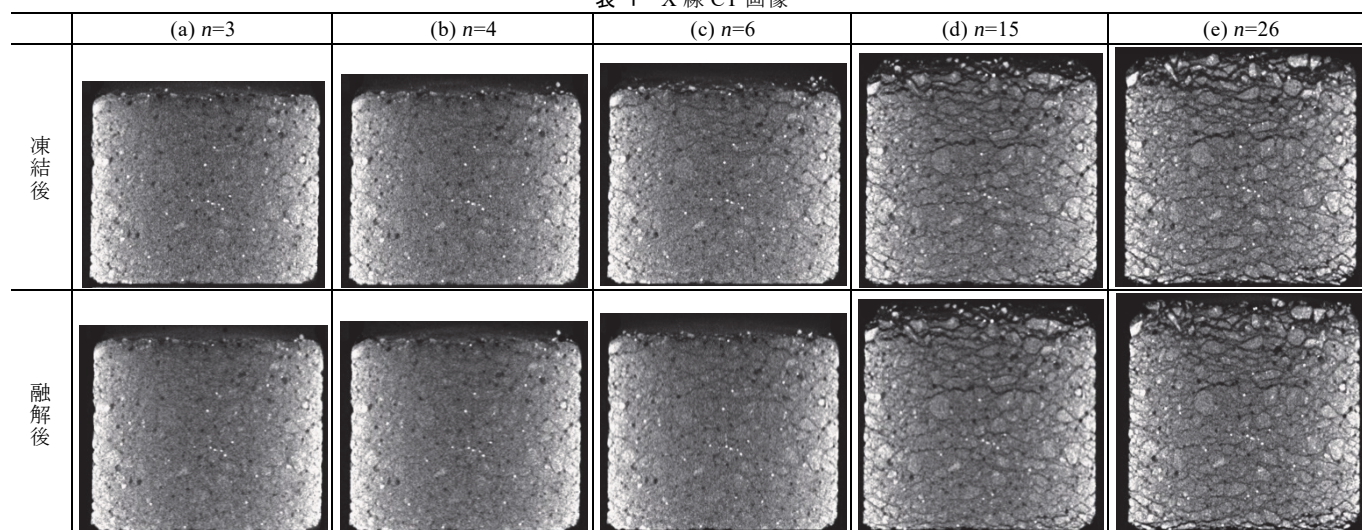


図-2 供試体全体の鉛直および側方ひずみ

キーワード：土系舗装，凍結融解，X線CT，局所変形，膨張変形

連絡先：〒380-8553 長野市若里 4-17-1 信州大学工学部水環境・土木工学科 TEL 026-269-5289

表-1 X線CT画像



傾斜したクラックが、中心付近では水平方向のクラックが顕著である。特に、供試体上部の中心付近に水平方向のクラックが発達する（表-1(d), (e)）。クラックは融解時に元には戻らず、サイクルの進行とともにクラックは徐々に広がっており、図-2のように供試体全体の鉛直ひずみの増加が継続する傾向と整合している。

図-3(a), (b)に供試体内部の側方および鉛直ひずみの変化を示す。凍結過程の結果のみを示している。比較のために供試体全体の側方および鉛直ひずみも示した。供試体全体の側方ひずみは、 $n=10$ 以降において $\varepsilon_r^*=1\%$ 程度でほぼ一定であるが、場所ごとに大きく異なっている。内部の側方ひずみは、供試体上部、下部ともに外周付近の方が大きい。下部の外周付近が最も大きく、最大で3~4%程度であり、下部の中心付近が最も小さく、圧縮を生じる場合もある。一方、供試体内部の鉛直ひずみは、供試体上部、下部ともに中心付近の方が大きい。上部の中心付近が最も大きく、下部の外周付近の2倍以上である。表-1に示したクラックの発生挙動と比較すると、中心付近では水平方向のクラックが発達しており、供試体下面から凍結面を水平に保って徐々に凍結が上方に進行していると考えられる。一方、供試体の外周部では外周に近いほど凍結が速く進行して、高さごとの凍結の進行が異なり凍結面が傾斜するために、傾斜したクラックが発生したと考えられる。

4. まとめ 得られた主な知見は以下のとおりである。①凍結融解サイクルが進むにつれて、供試体の中心付近に水平方向のクラックが発達する。クラックは融解時に元に戻らず、サイクルの進行とともに徐々に広がる。このような傾向は、供試体上部において顕著である。②供試体内部の側方ひずみ（膨張）は、供試体の外周付近の方が中心付近よりも大きい。供試体内部の鉛直ひずみは、供試体上部の中心付近が最も大きく、供試体下部の中心付近の2倍程度である。③供試体内のクラックの発生、供試体内部のひずみの進展から考察すると、供試体の中心付近では供試体下面からの凍結が支配的で凍結面が水平を保って徐々に上昇するが、外周付近では中心付近よりも凍結が速く進行し、凍結面が傾斜していると考えられる。

謝辞 本研究はJSPS 科研費 18K04300（研究代表者：信州大学 河村 隆）の助成を受けた。

【参考文献】 1) 河村ら：土系舗装におけるX線CT画像に基づく凍結融解特性（その2），第56回地盤工学研究発表会，2021（印刷中）。2) 河村ら：土系舗装におけるX線CT画像に基づく凍結融解特性（その1），第55回地盤工学研究発表会，23-10-2-01，pp.1-2，2020。

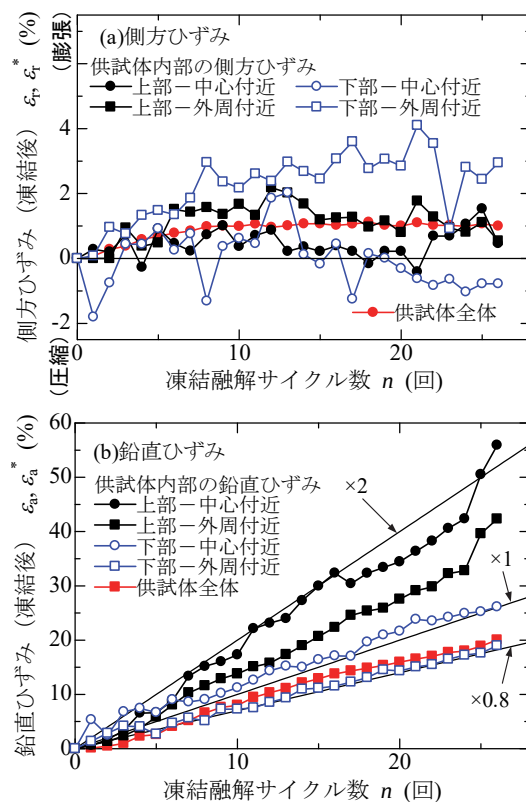


図-3 供試体内部および全体における側方および鉛直ひずみ