

X線 CT 画像を用いた機能性土系舗装の凍結融解過程における供試体変形の定量評価

信州大学工学部 正 河村 隆, 正 梅崎健夫

信州大学大学院 学○川田幸広

(株) 平林組 横沢昌弘, 浦野孝明

信州大学技術部 正 外谷憲之

(株) アールエフ 小平計美

1. はじめに 凍結融解過程における土系舗装供試体に対して X 線 CT 撮影を実施した。得られた X 線 CT 画像を用いて供試体の高さおよび直径を測定し、凍結融解過程における供試体変形の定量評価を行った。

2. 試料および試験の概要 混合佐久土¹⁾ (佐久土, 7号砕石, 川砂を体積比 5:3:2 で混合) 40L に対して, 普通ポルトランドセメント 10kg, 水 7.5~8L, 土質改良剤¹⁾ ((株)SL 化学研究所, SL-1900 および SL-1900Z) 1.08L, 顔料 (酸化鉄) 0.16kg を混合して約 7 分間攪拌したものを型枠に打設した。空中養生 28 日以上経過した後にコアカッター (内径 72mm) を用いてコア抜き

し, 供試体 (初期高さ 58mm, 初期直径 72mm) とした。その上端面に直径 3mm 程度のドリルで深さ 1mm 程度の凹みを設け, その中にステンレス球 (直径 2mm) を設置し, 供試体の高さおよび直径を測定する際の目印とした (写真-1)。供試体の上端面が完全に水浸するように丸型のプラスチック容器内 (内径: 110mm) で水浸させて 24 時間静置して十分に吸水させた。水浸したままの状態, 1 サイクル 24 時間の周期で凍結融解を 10 サイクル繰り返した。図-1 に示した供試体中心の温度変化の一例のように, -20℃以下に達するまで冷凍庫内に 12 時間程度, 20℃以上に達するまで恒温庫内に 12 時間程度静置した。各サイクルの凍結後および融解後において, 水浸した容器から供試体を取り出すことなく, X 線 CT 撮影装置 ((株) アールエフ, コンピュータ断層撮影装置 NAOMi-CT) を用いて X 線 CT 撮影を行った。また, 凍結融解サイクル $n=1, 5$ および 10 回の凍結過程において, 1 時間ごとに冷凍庫から取り出して X 線 CT 撮影を行った。図-2 に示すように, 撮影画像に対して NAOMi-CT ビューワソフト ((株) アールエフ) を用いて供試体の高さと直径を測定した。供試体上端面に設置したステンレス球を目印とすることにより, 高さおよび直径を計 12 および 6 カ所において測定した。なお, 本文においては, 鉛直ひずみ ε_v , 水平ひずみ ε_h は膨張を正として用いている。

3. 結果および考察 図-3 に凍結融解の各サイクルにおける鉛直ひずみ ε_v と水平ひずみ ε_h の変化を示す。 ε_v , ε_h とともに高さと直径の測定値を平均して求めたものである。X 線 CT 画像を用いることにより, 凍結した容器の内部から供試体を取り出すことなく, 凍結

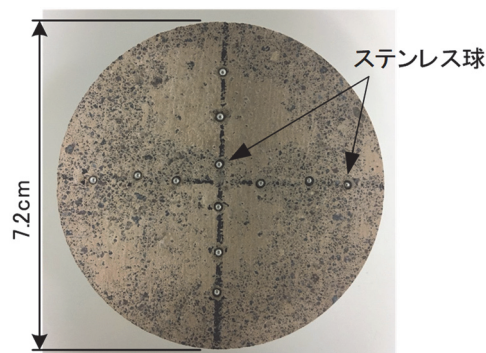


写真-1 供試体上端面への測点の設置

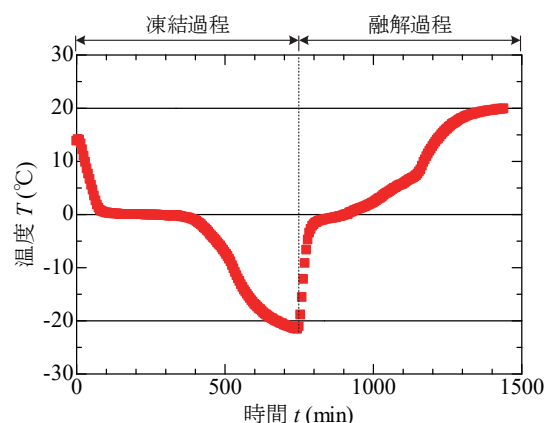
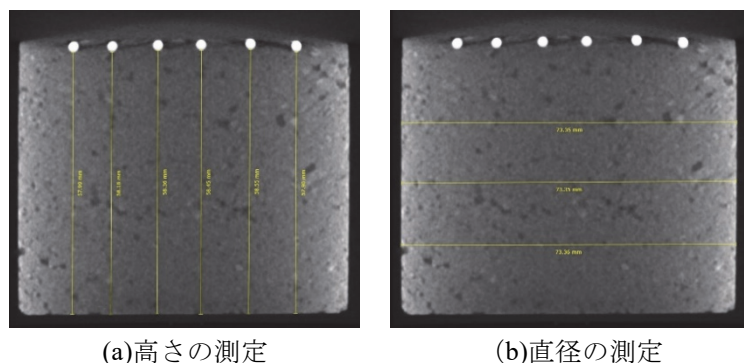


図-1 供試体中心の温度変化の一例



(a)高さの測定

(b)直径の測定

図-2 X線 CT 画像の一例

過程における供試体の変形を測定することが可能である。 ε_v , ε_h のいずれも凍結過程において膨張変形が生じ,その後の融解過程において膨張変形が回復する傾向を示す。凍結と融解それぞれの過程における変形は,凍結過程における膨張変形の方が大きく,サイクル数の増加とともに膨張変形が蓄積する。ほとんどのサイクルにおいて, ε_v が ε_h よりも約2倍程度大きく, $n=10$ 終了時の ε_v , ε_h の値は,1.9, 1.1%程度である。別途実施した圧縮強度試験²⁾から得られた圧縮破壊ひずみは0.5~0.8%である。ポアソン比を0.5と仮定すると圧縮破壊時の水平ひずみ(伸張方向)は0.25~0.4%である。凍結融解試験ではそれよりも大きなひずみが生じているものの,供試体にクラックなどの変状は見られなかった。

図-4 および図-5 に凍結サイクル $n=1, 5, 10$ における鉛直ひずみ ε_v および水平ひずみ ε_h を示す。 ε_v , ε_h は各サイクルにおける凍結開始直前の測定値を初期値として求めた値である。

図-4 に示すように, $n=1, 5$ における ε_v は,凍結開始から400分ほどの間は,若干圧縮する傾向を示している。これは,供試体周囲において水の凍結が始まることによって,供試体が拘束圧を受けたためであると考えられる。その後,供試体の凍結が始まると,鉛直方向に膨張が生じ, $n=1$ では $\varepsilon_v=0.3\%$ 程度, $n=5$ では $\varepsilon_v=0.5\%$ 程度に至る。 $n=10$ においては,凍結開始直後において圧縮する挙動は確認されない。凍結の初期の段階から膨張変形が生じ,300分程度以降において急速に膨張が進み $\varepsilon_v=0.8\%$ 程度に至る。一方,図-5 に示すように, ε_h は凍結開始直後の60~120分までの間において,若干膨張する傾向を示す。膨張挙動は若干回復し,その後再度膨張する。凍結後の ε_h は ε_v よりも小さく, $n=1, 5, 10$ における ε_h は,0.1, 0.2, 0.3%程度で, ε_v の1/3程度である。

4. まとめ X線CT画像を用いることにより,氷の中から供試体を取り出すことなく,凍結過程における供試体の変形を測定することができた。得られた主な知見は以下の通りである。①凍結過程において生じる供試体の膨張変形は,その後の融解過程において完全には回復せず,サイクル数の増加とともに膨張変形が蓄積する。②凍結融解を繰り返すと,鉛直および水平ひずみが徐々に増加する。鉛直ひずみは水平ひずみよりも2倍程度大きく,10サイクル終了時のそれぞれの値は,1.9, 1.1%程度である。③凍結過程における鉛直ひずみおよび水平ひずみは凍結融解サイクルが進行するほど大きくなる。

謝辞 本研究は信州大学基盤研究支援事業(A評価者研究費支援)の助成を受けたものです。ここに付記して謝意を表します。

【参考文献】 1)河村 隆, 梅崎健夫, 川田幸広, 外谷憲之, 横沢昌弘: 主材料の異なる土系舗装の凍結融解特性(その1), 土木学会第71回年次学術講演会, V-088, pp.175-176, 2016. 2)河村 隆, 梅崎健夫, 川田幸広, 山下伊千造, 外谷憲之, 横沢昌弘, 浦野孝明: 機能性土系舗装の圧縮強度, 保水性および吸水性と乾燥密度および間隙率の関係, 土木学会第72回年次学術講演会, pp.61-62, 2017.

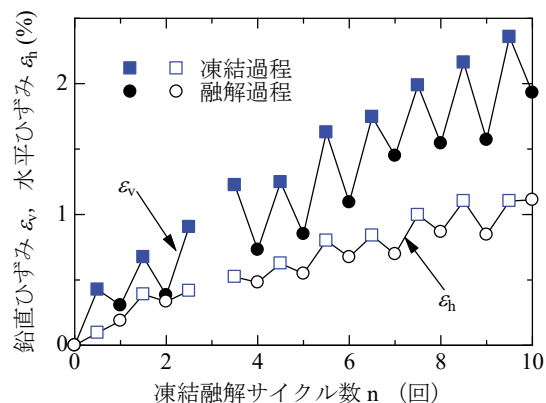


図-3 凍結融解サイクル数と鉛直ひずみおよび水平ひずみの関係

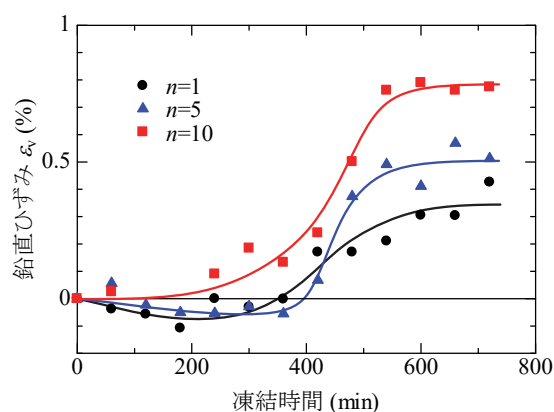


図-4 凍結過程における鉛直ひずみの経時変化 ($n=1, 5, 10$)

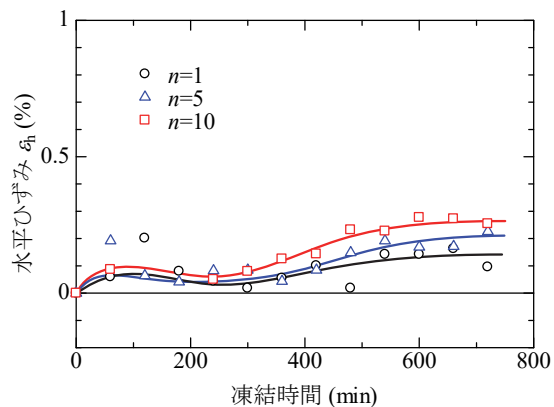


図-5 凍結過程における水平ひずみの経時変化 ($n=1, 5, 10$)