

X線CT画像を用いた機能性土系舗装の凍結融解挙動の定量評価

信州大学工学部 正〇河村 隆, 正 梅崎健夫
 信州大学大学院 学 川田幸広 (現 JR 東海)
 信州大学技術部 正 外谷憲之
 (株) 平林組 横沢昌弘, 浦野孝明
 (株) アールエフ 小平計美

1. はじめに 半年間乾燥養生した土系舗装供試体に対して, 水浸した状態で凍結融解試験を実施し, 試験中に X 線 CT 撮影を実施した. 得られた画像を用いて供試体の高さおよび直径を測定し, 凍結融解挙動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号碎石, 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. 通常, 水中もしくは湿潤状態における養生によって強度増加を促進させるが, 本研究では, 凍害劣化の影響を顕著にするために, 乾燥状態の室内において半年間養生を行った後, コアカッター (内径 72mm) を用いてコア抜きして供試体 (初期高さ $H_0=58\text{mm}$, 初期直径 $R_0=72\text{mm}$) 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) を置き, 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プ

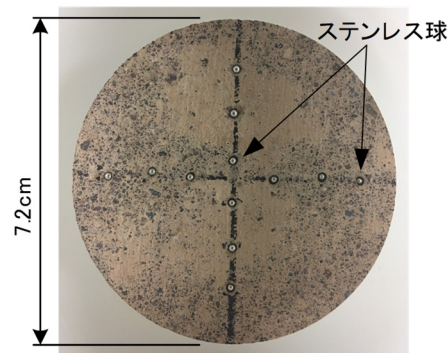


写真-1 供試体上端面への測点の設置

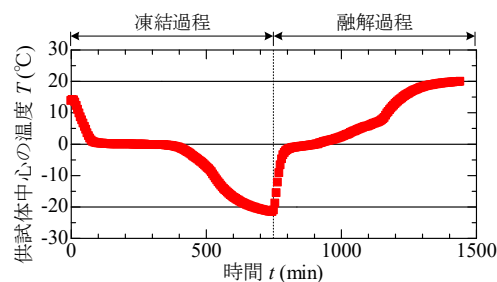
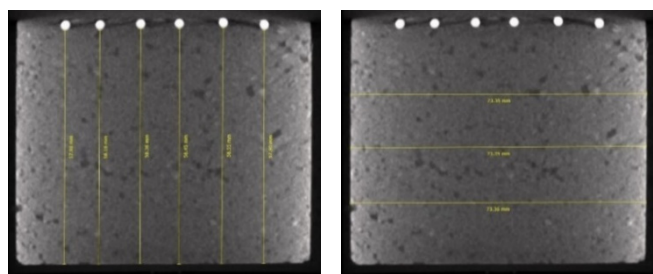


図-1 供試体中心の温度変化の一例

ラスチック容器 (内径: 110mm) において水浸させて 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繰り返した. 図-1 に示すように, 供試体中心の温度が -20°C 以下に達するまで冷凍庫内に 12 時間程度, 20°C 以上に達するまで恒温庫内に 12 時間程度静置した. 凍結後および融解後において, 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, サイクル $n=1, 5, 10, 15, 20, 25$ 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. 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.



(a)高さの測定

(b)直径の測定

図-2 X線CT画像の一例



(a)上面

(b)側面

写真-2 26 サイクル終了時の供試体

3. 結果および考察 写真-3 に 26 サイクル終了時

キーワード: 土系舗装, 凍結融解, X 線 CT, 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

において、供試体周囲の状況を確認するために、水中から取り出した供試体を示す。取り出す際に上下に2つの塊に分離したため、試験はここで終了した。直前のX線CT画像において、供試体が上下に分離していないことを確認しており、持ち上げる際に自重で破壊したと判断される。半年間乾燥養生した供試体を使用しており、機能性土系舗装の凍結融解に対する耐久性については、さらに検討が必要である。

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、容器内の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となり、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。 ε_v が ε_h よりも約2倍程度大きく、 $n=26$ 終了時の ε_v 、 ε_h の値は、8.1、3.5%程度である。

図-4 および図-5 に凍結サイクル $n=1, 5, 10, 15, 20, 25$ の凍結過程における ε_v と ε_h の経時変化を示す。 ε_v 、 ε_h は各サイクルにおける凍結開始時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、 ε_v は凍結時間の経過とともに、膨張変形が進行し、500～600分においてほぼ一定値に収束する。供試体が破壊する直前の $n=25$ における鉛直ひずみは、600分以降においても増加傾向を示している。サイクル数が増加すると、膨張変形が生じ始める凍結時間が早くなり、凍結過程終了時($t=720\text{min}$)の鉛直ひずみが大きくなる。終了時の鉛直ひずみは、 $n=1$ において $\varepsilon_v=0.4\%$ 程度、 $n=25$ において $\varepsilon_v=1.7\%$ 程度である。一方、水平ひずみ ε_h は、図-5 に示すように、凍結時間の経過に伴う膨張変形の進行は、 ε_v と同様の傾向を示している。しかし、凍結に伴って発生する水平方向の膨張変形量は、図-4の鉛直方向よりも小さく、 $n=1$ において $\varepsilon_h=0.2\%$ 程度、 $n=25$ において $\varepsilon_h=0.5\%$ 程度であり、 ε_v の1/2～1/3程度である。

4. まとめ 得られた主な知見は以下の通りである。①X線CT スキャナを用いることにより、供試体を氷の中から取り出すことなく、凍結時の変形を測定することが可能である。②半年間乾燥養生した供試体の凍結過程において生じる膨張変形は、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。③機能性土系舗装の凍結融解に対する耐久性については、さらに検討が必要である。

謝辞 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。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.

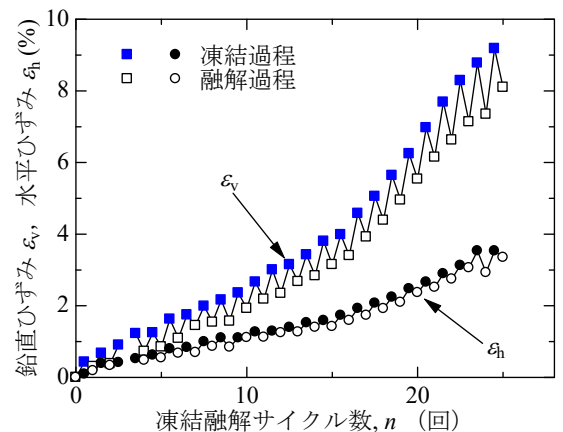


図-3 凍結融解サイクル数と鉛直ひずみおよび水平ひずみの関係

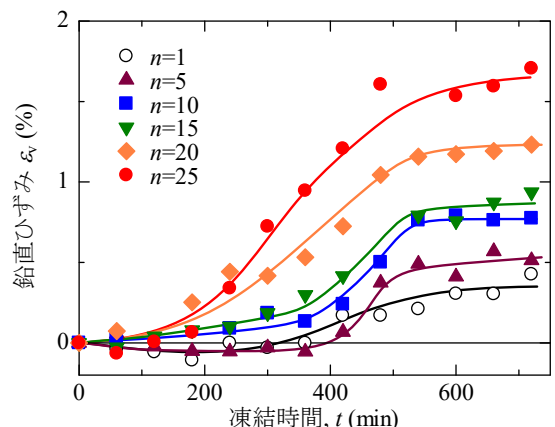


図-4 凍結過程における鉛直ひずみの経時変化 ($n=1, 5, 10, 15, 20, 25$)

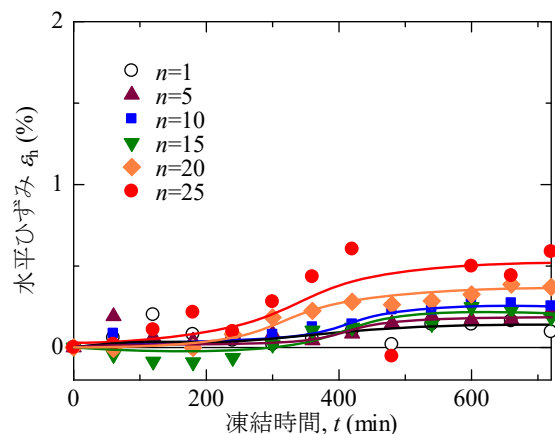


図-5 凍結過程における水平ひずみの経時変化 ($n=1, 5, 10, 15, 20, 25$)