

## 凍結融解を繰り返した供試体内部の体積変化計測への X 線 CT 法の適用

近畿大学 正会員 ○麓 隆行  
 近畿大学 非会員 川本 幸宏  
 大阪兵庫生コンクリート工業組合 正会員 村田 隆男  
 フローリック 正会員 高田 良章

## 1. はじめに

コンクリートの凍害は、内部水が凍結する際に生じる体積膨張により、未凍結水に伝わる圧力増加が繰り返されて進行する。その進行速度を推定できれば維持管理に有効な情報だと考えられる。そのために、コンクリート内部の凍害進行メカニズム、特に深さ方向の温度と膨張量との関係が重要となる。本研究では、X 線 CT(Computed Tomography)法で凍結前後の画像から供試体内部の膨張範囲を推定できる可能性に着目し、まず X 線 CT 法で凍結による空気量 0% のモルタル供試体内部の膨張変化を計測できるかを試みた。

## 2. 実験概要

モルタルの配合を表-1 に示す。W は水道水、C は普通セメント、S1 は硬質砂岩砕砂、S2 は石灰岩砕砂、Zr は内部変形の計測精度向上のために混入したジルコニア球(径 0.1mm)を示す。また、ポリエーテル系消泡剤を使用し、空気量がほぼ 0% となるように調整した。ミキサで練混ぜたモルタルを直径 75mm、高さ 150mm の型枠の半分の高さまで打設した。なお、熱電対を打設面から供試体側面付近の高さ 20mm と供試体中心に 1 本ずつ挿入した。

翌日脱型後、20°C の水中で養生した。材齢 29 日に水中から取り出し、図-1 のように打設面を下にして、プラスチック容器の底面に設置した。供試体周囲にシリコン樹脂を高さ 15mm まで充填し、供試体を固定後、水道水を供試体上面から 10mm の厚さになるまで容器内に満し、容器を高さ 90mm まで恒温溶液循環装置内の冷媒に浸漬した。凍結融解時の供試体中心の目標温度が  $-18 \pm 2^\circ\text{C}$  となるまで 3 時間冷却後、 $15 \pm 2^\circ\text{C}$  となるまで 2 時間昇温するサイクルを繰り返した。本試験中、水は取り替えなかった。

凍結融解開始前と最低温度に達した際に、表-2 の撮影条件で容器ごと X 線 CT 画像を取得した<sup>1)</sup>。凍結融解開始前の画像と各最低温度の画像を用いて 3 次元画像相関法(Digital Volume Correlation, 以下 DVC)による内部変形計測を実施した<sup>2)</sup>。その際、相関領域を一辺約 1.5mm の立方体、その重心点間隔を約 0.75mm とした。隣り合う相関領域の変位差から算出した各軸方向ひずみの総量を体積ひずみとし、その 3 次元分布を算出した。また、各最高温度で容器を取り出し、容器ごと超音波伝播速度と共鳴振動法による動弾性係数の測定した。

## 3. 実験結果

図-2 に 1 サイクル目の温度変化を示す。凍結時の水と供試体表面は同様に温度低下し、約  $-5^\circ\text{C}$  で一定となった後、再び低下した。供試体中心温度は少し遅れて低下し、約  $-5^\circ\text{C}$  以降で表面温度との差は広がった。融解時の中心温度は表面温度より遅れて温度上昇し、その差は徐々に開いた。

キーワード モルタル, 凍結融解, X 線 CT, 画像相関法, 体積ひずみ

連絡先 〒577-8502 大阪府東大阪市小若江 3-4-1 近畿大学理工学部社会環境工学科 TEL06-4307-3557

表-1 モルタルの配合

W/C (%)	S/C	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
		W	C	S1	S2	Zr
68	3.39	299	440	893	600	46

注) 消泡剤を  $\text{Ad}=3.52\text{kg/m}^3$  添加, Zr モルタル全体積の 0.75%

表-2 撮影条件

管電圧 (kV)	管電流 ( $\mu\text{A}$ )	積算レート (f/s)	プロジェクション数	銅板 (mm)	分解能 (mm)
170	100	3	2000	1	0.062

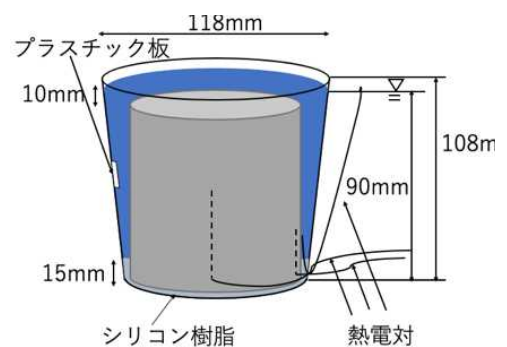


図-1 供試体概要図

表-3 供試体中央縦断面とその断面での体積ひずみ

	1 サイクル	7 サイクル	10 サイクル	凡例
供試体中央縦断面				
同断面の体積ひずみ				膨張 0.07 0.06 0.05 0.04 0.03 0.02 0.01 0 -0.01 収縮

図-3 に超音波伝播速度と相対動弾性係数の結果を示す。いずれも2サイクル目から低下し、10サイクルで当初の40%程度まで低下し、その後緩やかに変化した。

表-3 に1, 7および10サイクルにおける供試体中央縦断面でのX線CT画像とDVC計測結果を示す。画像では、1サイクルに比べ、7サイクルでは上面に組織の緩みがあり、10サイクルには明確なスケーリングを起こした。内部の体積ひずみでは、1サイクルでは収縮を示す領域が目立つが、7サイクルでは上部や左側面近傍で膨張が生じ、それらが10サイクルには膨張が全体に広がった。

以上から、空気量0%のモルタルが非破壊試験で示した劣化過程が、内部で組織の緩みの進行や表面近傍で生じたスケーリングであることをX線CT画像や画像計測により計測することができたと考えられる。

#### 4. まとめ

本実験で、X線CT法と画像計測により供試体表面近傍での膨張により生じたスケーリングと、表面より徐々に内部組織の緩みが進行し、供試体全体が劣化したことが示され、非破壊試験結果とも一致した。これによりX線CT法により、凍結融解によるモルタル供試体内部の体積変化を計測できることが示された。

**謝辞** 本研究はJSPS 科研費 17K06522 の助成を受けたものです。

**参考文献** 1) 麓隆行: 新しい機構のX線CTの開発とポリマーコンクリートの圧縮試験への適用, 土木学会論文集E2, Vol. 69, No. 2, pp. 182-191, 2013.

2) Tudisco, E.他: TomoWarp2: A local digital volume correlation code, SoftwareX, Vol.6, pp. 267-270, 2017.

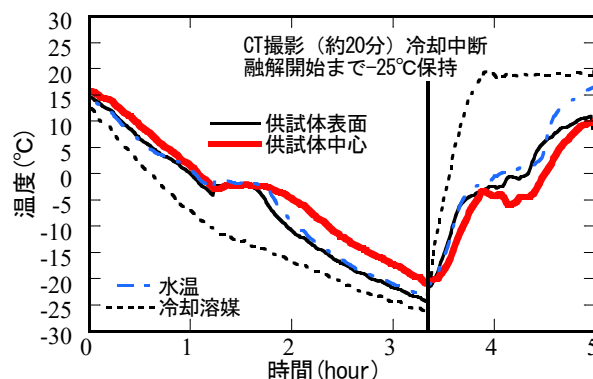


図-2 1サイクル目の温度変化

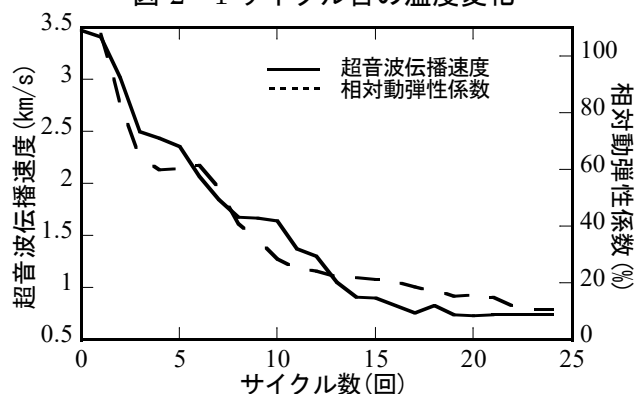


図-3 超音波伝播速度と相対動弾性係数の推移