

## 凍結融解作用を受けるコンクリートのひび割れ進展モデル

東北大学大学院 学生会員 ○伊東知哉

東北大学大学院 学生会員 青木峻二

東北大学大学院 正会員 内藤英樹 (独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 山洞晃一

(株)オリエンタルコンサルタンツ 正会員 古賀秀幸

東北大学大学院 フェロー 鈴木基行

## 1. はじめに

コンクリートの凍結融解抵抗性に関する研究は多く行われているが、主にひび割れの無い供試体（以下、健全供試体）を対象としている。ひび割れが生じているコンクリート供試体（以下、ひび割れ供試体）は健全供試体よりも各種耐久性劣化が顕著になることが報告されている<sup>1)</sup>。しかし、ひび割れ供試体の凍結融解試験の実験データは不足しており、コンクリート構造物の設計・施工に際して、凍結融解作用を想定した許容ひび割れ幅や許容ひび割れ深さの規定はない。また、各地域の気象条件に対して、ひび割れ進展速度を評価する手法も確立されていない。そこで本研究では、寒冷地におけるコンクリートのひび割れ進展モデルを構築するため、模擬ひび割れを導入したコンクリート供試体の凍結融解試験を行う。そして、凍結融解サイクル数とひび割れ深さとの関係を整理し、コンクリートのひび割れ進展モデルを構築する。

## 2. 凍結融解試験

## (1) 試験概要

供試体諸元を表-1に示す。健全供試体をD0、ひび割れ供試体をD1~D5とし、1シリーズにつき3体ずつ供試体を作製した。模擬ひび割れのパラメータはひび割れ幅、ひび割れ深さ、ひび割れ本数とし、いずれの供試体も10cm×10cm×40cmの角柱供試体とした。供試体に使用したコンクリートの配合表を表-2に示す。なお、セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、打設後24時間の蒸気養生した後に脱型し、材齢28日まで実験室に気中静置した。初期ひび割れ導入は図-1に示すように、コンクリート打設時にステンレス板を供試体打設面に挿入し、硬化開始時に引き抜いた。ひび割れを3本導入したD5供試体では、図-1のひび割れ間隔を100mmとした。水中凍結融解試験では、供試体中心の温度変化-18℃~+5℃を基準として300サイクルの温度履歴を与えた<sup>2)</sup>。なお、凍結融解試験前に行った強度試験結果は、圧縮強度36.3MPa、引張強度2.58MPa、ヤング係数27,300MPaであった。

## (2) 試験結果

20サイクル毎の相対動弾性係数を図-2に示す。なお、質量減少率については、全供試体において0~3%に収まったため図は割愛した。

図-2により、健全供試体D0は動弾性係数の低下がなく、表-2の配合のコンクリートは優れた耐凍害性を有すること、セメントペースト中の水分の凍結融解作用は無視できることが確認された。これに対して、ひび割れ供試体は動弾性係数の低下が見られたが、供試体毎に大きくばらつき、特に初期ひび割れ深さ $d_0=50\text{mm}$ としたD3シリーズは劣化が顕著であった。これは、ひび割れ深さが深いほど、ひび割れ部に満たされた水の凍結膨張圧によってひび割れが開口するためと考えられる。なお、ひび割れ幅(0.1mmと0.3mm)とひび割れ本数(1本と3本)についても検討したが、これらの明確な差異は見出せなかった。

## 3. ひび割れ進展モデル

ひび割れの進展にしたがって供試体の共鳴振動数 $f$ が低下することに着目し、共鳴振動試験からひび割れ

表-1 供試体諸元

供試体名	初期ひび割れ		
	幅(mm)	深さ(mm)	本数(本)
D0	—	—	—
D1	0.3	10	1
D2		30	
D3		50	
D4	0.1	30	3
D5	0.3	30	

Key Words : 凍害, 凍結融解試験, 初期ひび割れ, ひび割れ進展モデル

連絡先 : 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL : 022 (795) 7449 FAX : 022 (795) 7448

表-2 示方配合

骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント 比(%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				AE減水剤 (ml)
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
25	15.5	53	6.2	40.6	148	279	755	1143	2.79

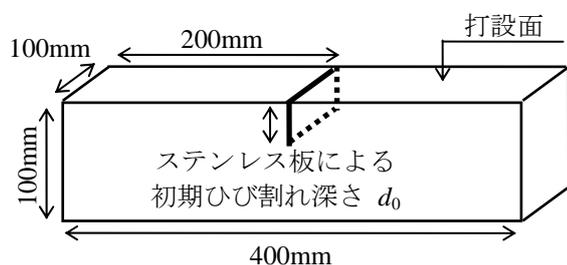


図-1 ひび割れ供試体の概略図

深さを推定した。そして、コンクリートを弾性体と仮定し、線形破壊力学<sup>3)</sup>を用いてひび割れ進展モデルを構築した。その際、水の凍結膨張圧が不明確であるためその同定を行った。膨張圧はひび割れ内部に等分布していると仮定し、膨張圧によってひび割れ先端に生じた応力がコンクリートの引張強度に達する域を新たなひび割れ進展長さと考え、 $n$  サイクル時のひび割れ深さ  $d_n$  は次式で表される。

$$d_n = d_{n-1} \left\{ 1 + \frac{2}{2(\sigma_t/P)^2 - 1} \right\} \quad (1)$$

ここで、 $P$  は水の凍結膨張圧、 $\sigma_t$  はコンクリートの引張強度、 $d_{n-1}$  は  $n-1$  サイクル時のひび割れ深さである。進展モデルは、安全側の配慮から図-2 の 150 サイクル以前に相対動弾性係数が 0% に達した実験データ (D2, D3, D4) を用いて構築した。

これらの供試体から推定されるひび割れ深さと式(1)が整合するように  $P$  を求めた結果、 $P=0.28\text{MPa}$  のときに最も良く整合した。ひび割れ深さの推定値と、式(1)に  $P=0.28\text{MPa}$  を代入した値を併せて図-3 に示す。以上より、本試験のようにコンクリート表面にひび割れが生じ、そのひび割れに水が常時満たされているときの水の凍結膨張圧は  $0.28\text{MPa}$  程度であり、この膨張圧と式(1)を用いることで、コンクリート中のひび割れ深さの進展予測が可能となった。

#### 4. まとめ

本研究では、初期ひび割れを有するコンクリートの凍結融解試験を行った。その結果、1) 繰り返し凍結融解作用によるひび割れ深さ進展度にはひび割れ深さが影響すること、2) 線形破壊力学に基づくコンクリートのひび割れモデルによって、凍結融解作用に伴うひび割れ進展長さを概ね評価できること、などを示した。今後、気象条件やひび割れ内部の水分状態、鉄筋の拘束等を考慮した進展モデルに発展させることで、寒冷地におけるコンクリート構造物のひび割れ進展速度を評価できると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 岡本修一, 魚本健人: 凍結融解による劣化への初期ひび割れの影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.913-918, 1988. 2) 土木学会: コンクリート標準示方書 規準編, 2005. 3) 矢川元基: 破壊力学, 培風館, 1998.

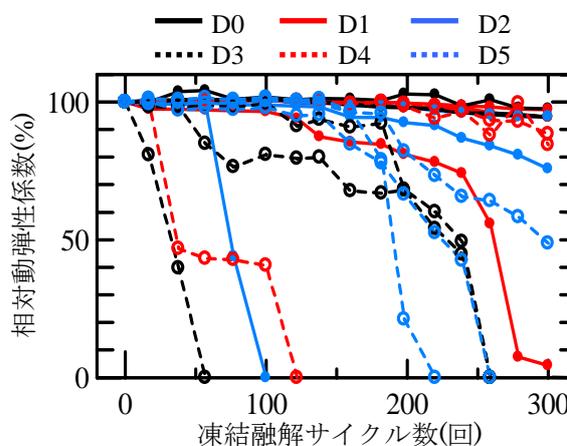


図-2 相対動弾性係数

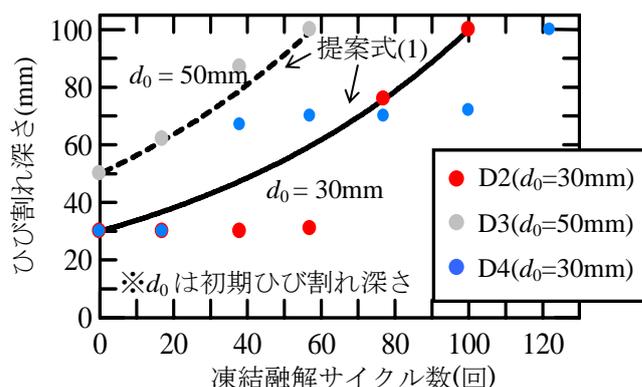


図-3 ひび割れ進展解析