

凍結融解作用により劣化したコンクリートの圧縮特性

北海道大学大学院工学研究科	学生員	奥山英俊
北海道大学大学院工学研究科	正員	佐藤靖彦
共和コンクリート工業（株）	正員	進藤邦雄
共和コンクリート工業（株）	正員	成田義昭

1. はじめに

現在、凍結融解試験は ASTM によるものが一般的であるが、本研究では、気中に置かれたコンクリートの温度を制御して実条件に近い凍結融解試験を行い、その劣化性状について考察した。

2. 試験機概要

本研究では、幅：約 1.8m、奥行き：約 3.5m、高さ：約 1.6m の外的環境制御式載荷システム（写真-1）を用い、実験を行った。この試験機は、環境室内の温度、湿度、散水、照射を制御することができ、アクチュエータにより、静的荷重、動的荷重を加えることができる。その特徴は以下のである。

- ・温度 1 時間単位で -30 ~ +30 で制御可能
- ・最大静的荷重 750kN
- ・湿度 1 時間単位で 20%~95% で制御可能
- ・最大動的荷重 500kN
- ・散水 任意の時点での設定水量の散水可能
- ・照射 任意の時点での設定量の照射可能

3. 実験概要

供試体には、W/C=60% の AE コンクリート円柱供試体を用いた。凍結融解試験は気温、散水条件を図-1 のように制御して行った。コンクリート温度とひずみはそれぞれ熱電対、ひずみゲージにより測定し、コンクリートの凍結融解試験中の挙動を調べた。凍結融解試験のサイクル数は 0, 88, 148, 188 サイクルとし、凍結融解試験後、気温、コンクリート温度 20 で圧縮試験を行い、凍結融解作用による損傷と圧縮強度および静弾性係数との関係を調べた。また、圧縮試験により得られた応力 ひずみ関係に基づいて、凍結融解作用による損傷の影響を前川モデル¹⁾に組み入れた。

4. 実験結果および考察

4.1 凍結融解試験

凍結融解作用を繰返すたびに残留膨張ひずみ（+5 時のひずみ）が増加した。また、コンクリートの最低温度を低くした方が残留膨張ひずみは大きくなり、劣化の度合いが大きかった。

4.2 圧縮試験

図-2 に圧縮強度と残留膨張ひずみの関係を示す。残留膨張ひずみが増加すると圧縮強度は低下し、強い相関関係が見られた。図-3 に静弾性係数と圧縮強度の関係を示す。凍結融解作用を受けていないものは示方書式と同等かそれ以上だったが、凍結融解作用を受けたものは示方書式よりも若干下回った。

4.3 前川モデルによる凍結融解作用を受けたコンクリートの損傷評価

式(1)~(3)に前川モデルの概要を示す。

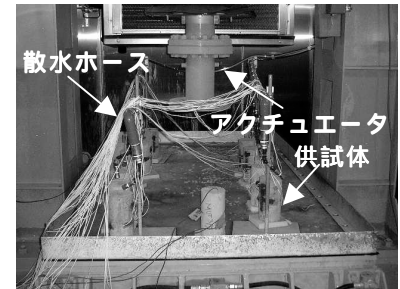


写真-1 外的環境制御式載荷システム

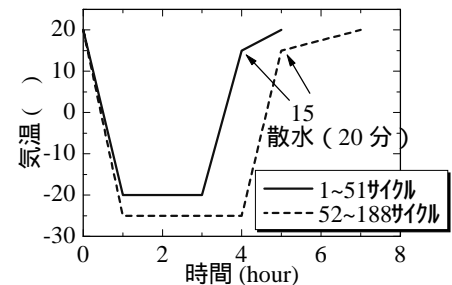


図-1 凍結融解温度履歴

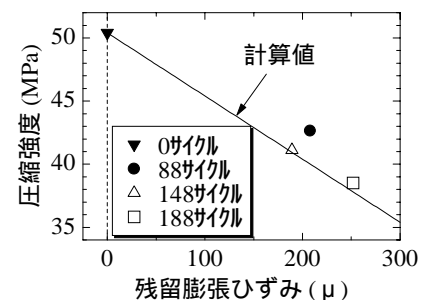


図-2 圧縮強度と残留膨張ひずみの関係

キーワード 凍結融解試験，圧縮強度，残留膨張ひずみ，初期弾性係数，等価応力

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学大学院工学研究科 TEL 011-706-6181

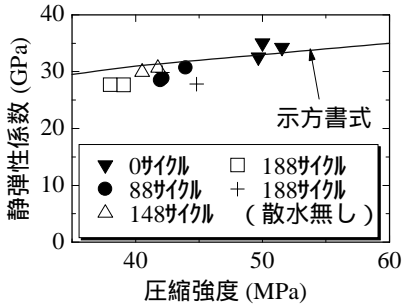


図-3 静弾性係数と圧縮強度の関係

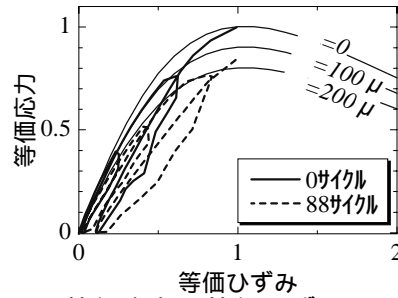


図-4 等価応力と等価ひずみの関係

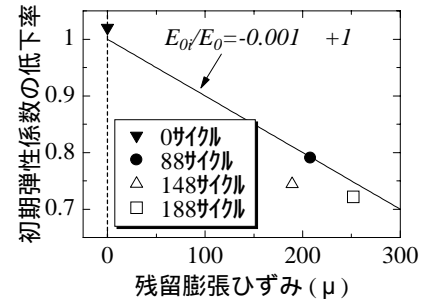


図-5 初期弾性係数の低下率

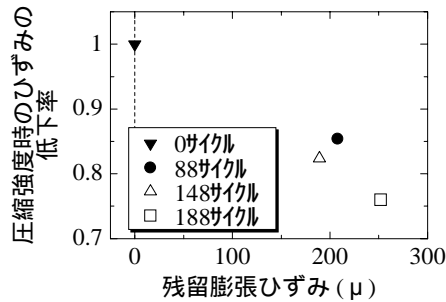


図-6 圧縮強度時のひずみの低下率

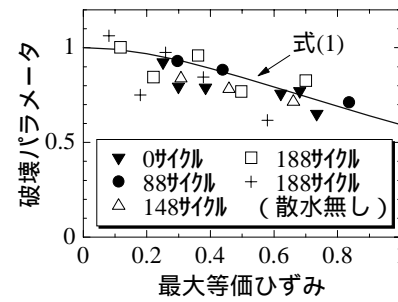


図-7 破壊パラメータ

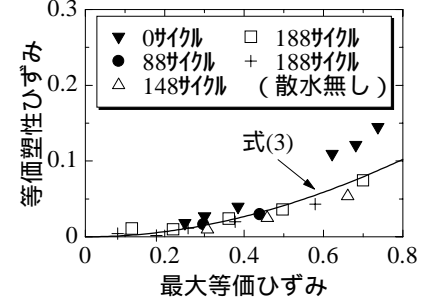


図-8 等価塑性ひずみ

$$K_0 = \exp(-0.73E_{max}(1 - \exp(-1.25E_{max})))$$

$$S = E_0 K_0 (E - E_p)$$

$$E_p = E_{max} - 20/7(1 - \exp(-0.35E_{max}))$$

$$(1)$$

$$(2)$$

$$(3)$$

ここで、 S ：等価応力、 E ：等価ひずみ、 E_0 ：初期弾性係数、 E_p ：等価塑性ひずみ、 K_0 ：破壊パラメータ

本研究では、圧縮試験直前のひずみを 0 として等価応力（以下「 S 」）等価ひずみ（以下「 E 」）を表し、前川モデルにより凍結融解作用を受けたコンクリートの圧縮特性を調べた。図-4 に 0 サイクルと 88 サイクルの実験値を示す。凍結融解作用を受けたコンクリートは初期弾性係数（以下「 E_0 」）が低下しているのがわかる。図-5 に E_0 の低下率 E_{0i}/E_0 (E_{0i} ：任意のサイクルの E_0 、 E_0 ：前川モデルにおける $E_0 (=2)$) と残留膨張ひずみの関係、図-6 に圧縮強度時のひずみ（以下「 ϵ_0 」）の低下率と残留膨張ひずみの関係を示す。凍結融解試験後は、 E_0 、 ϵ_0 ともに 0 サイクルのコンクリートよりも低下し、残留膨張ひずみが大きくなると低下する傾向があった。図-5 で示したように凍結融解作用を受けたコンクリートは E_0 が低下する。そこで、 E_0 の低下を図-5 中の式より求めると、破壊パラメータ、等価塑性ひずみはそれぞれ図-7,8 のようになり、式(1),(3) にほぼ沿った値となる。よって、凍結融解作用を受けたコンクリートと受けていないコンクリートは E_0 の低下を考慮すれば、圧縮応力下の応力 ひずみ関係における両者の違いを表すことができる。 S は、式(2)に定式化されている。ここで、凍結融解作用による損傷によって引き起こされる E_0 の低下を考慮して、凍結融解試験後の S は、式(4)のように表すことができる。

$$S = E_0 K_0 (E - E_p) \tag{4}$$

ここで、 $\epsilon_0 = -0.001 + 1$ 、 ϵ_0 ：残留膨張ひずみ

図-4 に、式(4)を用いた S と E の関係を示す。凍結融解作用を受けたコンクリートの S と E の関係は、 E_0 の低下を考慮することにより、残留膨張ひずみを変数として表すことができる。図-2 における計算値は、式(4)により得られた最大応力をプロットしたものである。ほぼ実験データと近い値となった。

5. まとめ

- 1) 残留膨張ひずみが大きいほど、圧縮強度が低下し、圧縮強度時のひずみも小さくなる傾向にある。
- 2) 静弾性係数は、凍結融解作用を受けると低下する。
- 3) 凍結融解作用による損傷によって引き起こされる初期弾性係数の低下を考慮することにより、凍結融解作用を受けたコンクリートの等価応力 等価ひずみの関係を、残留膨張ひずみを変数として表すことができる。

参考文献 1) 岡村甫，前川宏一：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則，技報堂出版

謝辞 本研究は、平成 12 年度産業技術研究助成事業により実施したものである。