

凍結融解作用を受けるコンクリートの劣化予測に関する基礎的研究

東北大学 学生員 ○ 藤田 知高
 東北大学 井手口尚子
 東北大学 フェロー 三浦 尚

1. はじめに

コンクリートは、低温までの繰り返し冷却を受けるような厳しい環境下にさらされた場合、著しく劣化する。しかし、そのような環境下におかれる実構造物の劣化予測が可能となれば、より合理的な配合設計や耐久性設計を行うことが可能となり、耐久性と経済性を同時に満足した良い構造物ができると考えられる。本研究における最終目的は、極低温領域を含めた凍結融解作用を受けるコンクリートの劣化予測を行うことである。劣化予測の実現には、実環境条件を同程度の劣化を引き起こす単純な実験条件に変換すること、つまり凍結融解作用で言えば、厳しきの異なる温度履歴の作用順序や作用回数を変え、単純化することが必要であると思われる。そこで、凍結融解作用を受けるコンクリートの劣化予測に関する基礎的研究として、劣化が厳しきの異なる温度履歴の作用順序に依存するのかどうかを確かめることとした。

2. 実験方法

コンクリートの凍害劣化は、セメント硬化体に含まれる水分の膨張に起因したものが多くことから、本研究ではセメント硬化体の劣化に着目し、 $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ のモルタル角柱供試体を用いて実験を行った。配合は、水セメント比 56% のコンクリートを想定し、その配合から粗骨材を取り除くことで決定した。ただし、各条件による劣化の違いを早期に判定できるよう Non-AE とした。実験条件は、常温域で相対湿度を 98% に保つことにより外部からの水分供給を行う気中凍結気中融解条件とした。冷却最低温度は -20°C および -40°C の 2 種類とし、それぞれの冷却最低温度での凍結融解作用回数を変えずに、 -40°C までの冷却を受ける時期のみを変えた複数の冷却加熱条件を受けることによる劣化の程度を比較した。

表-1 冷却加熱条件

記号	冷却加熱条件
—◇—	$40_5 20_{30}$
—△—	$20_5 40_5 20_{25}$
—□—	$20_{10} 40_5 20_{20}$
—▽—	$20_{25} 40_5 20_5$
—●—	20_{35}

本研究で設定した冷却加熱条件を、 $20_{10} 40_5 20_{20}$ のように数字を用いて記す。 20 および 40 の数字はそれぞれ冷却最低温度である -20°C および -40°C までの冷却を、添字は作用回数を表す。例えばここに示した $20_{10} 40_5 20_{20}$ は、 -20°C までの冷却を 10 サイクル受けた後 -40°C までの冷却を 5 サイクル受け、その後 -20°C までの冷却を 20 サイクル受け、計 35 サイクル冷却加熱することを意味する。実験を行った冷却加熱条件は表-1に示す 5 種類であり、記号は図-1に対応している。

劣化の指標として、供試体の残留膨張ひずみを示す平均ひずみ¹⁾を用いた。また、ある劣化度における平均ひずみの値から算出される増加空隙中に、水が完全に満たされたと仮定した場合の飽水状態の質量（以下、飽水質量）とその時点での実際の質量から算出される飽水度を、平均飽水度と定義し、凍結融解作用を受けることによる供試体内部の水分状態の変化を検討する指標とした。

3. 実験結果および考察

各冷却加熱条件による凍結融解作用を受けた場合の平均ひずみの測定結果を図-1に示す。この図より、 -20°C までの冷却および -40°C までの冷却で構成された 4 種類の冷却加熱条件について、a) -40°C までの冷却を 5 サイクル受けることによる劣化量、および b) 35 サイクル終了時点における最終的な劣化量の 2 点について比較する。健全な状態から -40°C までの冷却を受けた $40_5 20_{30}$ が a) b) 共に最も大きく、 -40°C までの冷却を受ける時期が最も遅い $20_{25} 40_5 20_5$ が a) b) 共に最も小さいことが分かる。また、 -40°C までの冷却を 6 サイクル目から受ける $20_5 40_5 20_{25}$ と、11 サイクル目から受ける $20_{10} 40_5 20_{20}$ の劣化を比較すると、15 サイクル終了時点までは $20_5 40_5 20_{25}$ の劣化が大きかったにもかかわらず、15~20 サイクルの間で

平均ひずみの値が逆転する結果が得られた。しかしここで、 $20_5 40_5 20_{25}$ および $20_{10} 40_5 20_{20}$ それぞれにおいて、a) について比較した場合、 -40°C までの冷却を早期に受けた $20_5 40_5 20_{25}$ の方が明らかに大きかったことを考慮すると、 $20_5 40_5 20_{25}$ の最終的な劣化量が $20_{10} 40_5 20_{20}$ のそれに比べ小さくなるという傾向は、その差が 183μ と小さいことから、ばらつきの可能性が高いと思われる。

以上のことから、凍結融解作用による劣化は、それぞれの冷却最低温度での凍結融解作用回数が同じであっても、より厳しい条件を受ける時期によって変化する可能性が示された。

このような結果が得られた原因を、凍結融解作用を受けたことにより、セメント硬化体内部の水分状態が変化したためではないかと考えた。そこで 20_{35} について、劣化に伴う質量変化を測定した。結果を図-2に示す。この図より、健全な状態から -20°C までの冷却を5サイクル受けることにより、飽水質量は僅かに増加しているにもかかわらず、実際の質量は大きく減少していることが分かる。外部からの水分供給は十分であったことから、この現象は、供試体内部から外部への水分の移動に伴う脱水によるものではないかと考えた。さらに -20°C までの冷却を繰り返し受けることにより、実際の質量も増加に転ずるものの、飽水質量と実際の質量の差が徐々に開いていく結果が示された。

この飽水質量および実際の質量から算出した平均飽水度の変化を図-3に示す。この図より、平均飽水度は初期5サイクルにおいて大幅に低下し、その後緩やかに低下していくことが分かる。つまり、 -40°C までの冷却を開始するサイクル時における平均飽水度が変化していることが、図-1において、健全な状態から -40°C までの冷却を受けた場合は劣化が非常に大きくなること、および -40°C までの冷却を受ける時期が遅くなるに従って、 -40°C までの冷却を受けることによる劣化量が小さくなることの原因であると考えられる。

4. 結論

-20°C および -40°C という2種類の冷却最低温度で構成される凍結融解作用について、それぞれの冷却最低温度での凍結融解作用回数を変えずに、 -40°C までの冷却を受ける時期のみを変えた冷却加熱条件による劣化の程度を比較したところ、健全な状態から -40°C までの冷却を受けた場合が最も劣化し、 -40°C までの冷却を受ける時期が遅くなるに従って劣化が抑制される傾向にあることが分かった。つまり、劣化はそれぞれの冷却最低温度での凍結融解作用回数が同じであっても、厳しい条件を受ける時期によって変化する可能性が示された。さらに、初期に -20°C までの冷却を受けることにより、 -40°C までの冷却を開始するサイクル時におけるセメント硬化体内部の飽水度が低下したことが、その後に受ける -40°C までの冷却による劣化量および最終的な劣化量が小さくなった原因である可能性が示された。

参考文献

- 1) 中村 誠, 岩城 一郎, 三浦 尚: 繰り返し極低温まで冷却されるコンクリートの劣化に及ぼす冷却最低温度の影響, セメント・コンクリート論文集, No.51, pp. 702~707, 1997

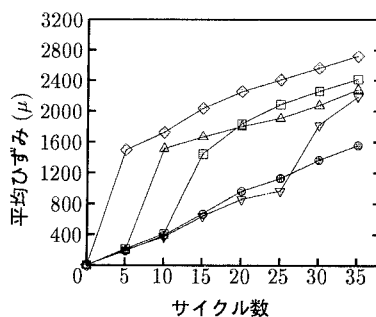


図-1 平均ひずみの測定結果

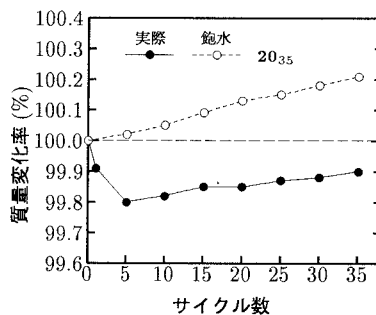


図-2 質量変化の様子

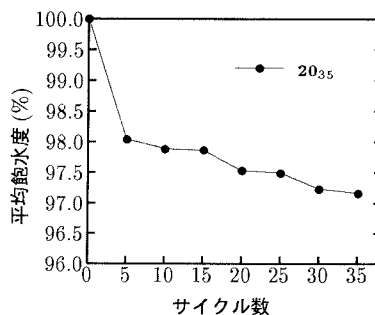


図-3 平均飽水度の変化