

エネルギー則に基づいたコンクリートの凍害メカニズムの基礎研究

出雲 健司 [北海道大学大学院工学研究科／助手]

背景・目的

一般的に行われている凍結融解を繰り返してコンクリートの動弾性係数の低下を測定する方法自体は簡便で理に適っていると考えられるが、この実験結果をそのまま実構造物に適用ができない。そこで、申請者はこの問題点を解決するため、エネルギー保存則を基本とした凍害のメカニズムの構築を行うことを最終目的にしている。メカニズムを解明する上で、コンクリートの体積変化に関するデータは凍結時融解時を問わず、時系列的に連続なデータが必要である。そこで、本研究の研究範囲として、基本データであるコンクリートの体積変化の測定とその測定システムの構築を目的とする。

内容・方法

セメントは普通ポルトランドセメント(密度: 3.16g/cm³)、細骨材には鵠川産川砂(密度: 2.70g/cm³)を使用している。水セメント比を25%、55%の2段階、目標空気量を0%、5%の2段階に設定した。目標フロー値 200 ± 20 mmを得るためにポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を適量使用し、空気連行剤と消泡剤によって空気量の調整を行った。供試体は打設後材齢1日で脱型し、材齢14日まで水温20°Cで水中養生した後に凍結融解試験を行った。凍結融解試験は、JIS A 1148-2001に準拠して温度 5 ± 2 °C～ -18 ± 2 °Cの範囲で、1日6サイクルで行った。ひずみの測定は埋め込み型ひずみゲージを供試体中央部に設置して行った。本研究で使用した埋め込み型ひずみゲージは既往の研究の吸水性があるシリコンシーラントで被膜したひずみゲージではなく、吸水性がないエポキシ系樹脂で被膜した新型のひずみゲージを使用した。このひずみゲージにより凍結融解の際のひずみ変化を常時測定できるシステムを構築した。

結果・成果

凍結融解作用を受けるモルタルに対して、エポキシ系の樹脂の埋め込み型ひずみゲージを使用した常時ひずみ測定システムはほぼ完成したと思われる。ただし、ひずみゲージ自体にまだ個体差や他の測定法とひずみ変化が若干異なるなどの問題があり、これから実験データを数多く取る必要があると思われる。凍結融解作用を受けた各サイクルのひずみ変化を比較した場合、温度の低下とともにひずみ変化は水セメント比25%においては横這いであり変化がないか、あるいは収縮側に変化しているのに対して、水セメント比55%では膨張側に変化してい

る。温度低下の際、モルタル内のセメント硬化体は収縮し、内部で凍結した水は膨張すると考えられる。このことから、水セメント比25%ではモルタル内部で凍結する水が少なく、水セメント比55%ではモルタル内部で凍結する水が多いと考えられる。また、水セメント比55%において空気量で比較した場合、空気量が多い方が温度の低下の際の膨張量が少ない。このことから空気量が多い方がモルタル内部で凍結する水の量が少ないとではないかと推測できた。また、温度低下の際に膨張量が少ない水セメント比25%の供試体の方が、残留ひずみが少ないという結果になり、水セメント比25%より圧縮強度が低い水セメント比55%の方が劣化しやすいという既往の研究と同様な挙動になった。セメント硬化体中の内部水の形態は大きく分けて、自由水、吸着水、結合水の3つに分かれると考えられる。これら形態の違う水はそれぞれエネルギー量が大きく異なるため、凍結融解作用を受ける際に挙動が異なると考えられる。つまり、モルタルの配合によって、エントロピーや化学ポテンシャルが異なるので、元々の内部エネルギーが異なり、凍結融解作用を受ける際のエネルギー変化も異なるのでひずみの変化量も異なると考えられる。自由水は0°C以下の温度降下時に凍結するので膨張する。吸着水は自由水よりは凍結しにくい水の形態であり、凍結させるのには温度をさらに下げるなど大きなエネルギー変化が必要である。また、結合水は水和生成物を構成しているものであり、温度降下と共に収縮すると考えられる。つまり、水セメント比25%の方が水セメント比55%に比べて、内部水の自由水の量が少ないと考えられるので、膨張量も少ないと考えられる。エントロペー^アより比表面積が増えることが予想され、それにより吸着水が増加すると考えられる。したがって、吸着水が増えた分、自由水が減るので温度降下の際の凍結する水の量が減るために耐凍害性が向上するのではないかと考えられる。以上のことで、コンクリートやモルタルの耐凍害性を向上させるには、凍結する内部水の量、つまり、自由水を減らすことが最も有効な手段と考えられる。

今後の展望

エネルギー保存則に基づくメカニズム理論を完成させるためには本研究で行った体積変化によるエネルギー変化だけではなく、エントロピーや化学ポテンシャルによるエネルギー変化を測定する必要があると考えている。また、現在の凍結融解試験方法では1サイクル当たりの時間が短く実構造物に適用する際、急激な温度変化による内部エネルギー変化が生じてしまう。したがって、このエネルギー変化を少なくするために今後1サイクル当たりの時間を長くする必要があると考えられる。また、ひずみゲージの検証をさらにする必要があり、ひずみのデータを数多く収集する必要がある。