

論文の内容の要旨

論文題目 乾湿繰返しによる空隙構造の変化が
凍結融解抵抗性に及ぼす影響に関する研究
A study on the influence of repetition of dry-wet cycles
on concrete pore structure and freeze-thaw resistance.

氏 名 宮 菌 雅 裕

コンクリートの凍結融解抵抗性は、一般的に JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」に示される実験によって得られる耐久性指数や質量減少率、長さ増加比で評価される。これは、標準養生を施した供試体について、凍結及び融解の急速な繰返しを与え、供試体の相対動弾性係数や質量、長さ変化率を測定する試験である。この試験は、使用材料、配合などの異なるコンクリートの凍結融解抵抗性を相互に比較するものであり、コンクリート構造物における耐凍害性を直接的に評価したり、耐凍害性によって定まるコンクリート構造物の耐用年数を予測するためのものではないとされている。既往の研究によれば、室内試験で高い耐久性指数を示した配合であるにも拘わらず、実際に構造物に用いられた場合には、養生方法の違いや環境作用の影響により、想定よりも相当に早く相対動弾性係数が低下したり、スケーリングが発生したりする例が報告されている。

このような背景の下、本論文では、乾湿の繰返しがコンクリートの空隙構造の変化に与える影響について水銀圧入法を用いて検討した上で、空隙構造の変化が水分移動特性や凍結融解抵抗性に与える影響を明らかにすることを目的とした。また、乾湿繰返しによる凍結融解抵抗性の低下を抑制する方法についての検討と、従来、凍結融解抵抗性を高める目的で使用されている AE 剤によってコンクリートに導入されるエントレインドエア（連行空気）の効果に及ぼす乾湿繰返しの影響についての検討も行った。

本論文は全 6 章から構成される。第 1 章では、上記した本論文の背景及び目的について論じた。

第 2 章では、凍結融解抵抗性に関する既往の研究を調査した。まず、コンクリート構造物の凍害劣化事例を調査した。AE 剤を使用していないが高い凍結融解抵抗性を有する構造物

や AE コンクリートにも拘らず凍結融解作用によってスケーリング等の表面劣化が確認された事例を示した。この結果は、実環境に曝される構造物の凍結融解抵抗性は、たとえ空気量を確保した場合においても凍結融解抵抗性が低下する可能性を示すものである。次に、乾湿繰返しを与えたコンクリートの凍結融解抵抗性を検討した既往の研究を調査した。乾湿繰返しによって、空隙構造が粗大化することで、 -20°C で凍結する含水量が増加し凍結融解抵抗性が低下するモデルが提案されている。このメカニズムは、乾湿繰返しによる凍結融解抵抗性の低下を十分に説明することができる。さらに、本研究では、空隙構造を第 3 章に後述する手法を用いて、連続性の高い空隙とインクボトル空隙に分離して評価し、凍結融解抵抗性との関係を検討した。

第 3 章では、乾湿繰返しを与えたモルタルやコンクリート供試体を対象に、水銀圧入ポロシメータによる空隙構造の分析と JIS A 1148 による凍結融解抵抗性の評価を実施した。空隙構造の評価手法は、水銀の圧力を段階的に増加させて圧入と排出を繰返し実施する漸次繰返し圧入法を採用した。これにより、水分移動特性を決定づける空隙の形状を、水銀の出入りが可能な比較的に連続性の高い箇所と、一度圧入された水銀が圧力を下げても排出されない比較的に独立性の高いインクボトル空隙に分離して評価した。その結果、乾湿繰返しを与えたモルタルやコンクリート供試体の空隙構造は、空隙の連続性が高まり、インクボトル空隙の割合が減少することを確認した。また、乾湿繰返しを与えた供試体に凍結融解試験を実施した結果、水中浸漬や促進乾燥だけを与えた供試体よりも、供試体表層部の劣化が顕著に現れることを確認した。以上の結果より、セメント硬化体に乾湿繰返しを与えると、空隙の連続性が徐々に高まって供試体表層部の空隙中への水の浸入が容易となり、凍結融解抵抗性が低下する機構を明らかにした。

第 4 章では、乾湿繰返しを受けた場合においても凍結融解抵抗性を維持する為の方法を検討した。ここでは、明治 30 年より北海道の小樽港で建設された火山灰を混入した港湾コンクリート構造物が、海水や凍結融解の影響のある過酷な条件にも拘らず、竣工後 100 年以上が経過した現在においても、外観上顕著な剥離やひび割れなどが認められず、健全な状態を保っていることにヒントを得て、セメント硬化体中の水酸化カルシウムを安定化させることが凍結融解抵抗性の維持に有効であると考えて、強制炭酸化や混和材を使用することを着想した。その結果、強制炭酸化をさせた場合や、混和材として高炉スラグ微粉末もしくはシリカフェームを使用した場合には、乾湿繰返しを与えても、空隙構造の変化と凍結融解試験実施時の表層劣化が抑制されることを明らかにした。

第 5 章では、乾湿繰返しの履歴がコンクリート中の連行空気の効果に及ぼす影響について検討した。その結果、AE 剤によって連行空気を導入した供試体の方が、消泡剤を用いて空気量を減少させた供試体よりも、乾湿繰返しの影響によって吸水量の増加する割合が大きく、さらに、乾燥を与えた後の凍結融解試験において、表層劣化の程度が大きいことを確認した。本来の連行空気の役割は、凍結時に空隙中の水の凍結膨張圧を空気泡に吸収させて凍結膨張圧を緩和するというものであるが、乾湿の繰返しによって連行空気の壁面を形成

している空隙構造中のボトルネック空隙径の粗大化が生じてしまうと、本来は液状水の浸入を許さないはずの空気泡中への液状水の浸入が生じてしまい、空気泡サイズの結氷による逃げ場のない極めて大きな凍結膨張圧の発生が生じる可能性があることを明らかにした。また、撥水作用を有する表面含浸材の使用も、乾湿繰返し作用下での凍結融解抵抗性の維持に有効であることを確認した。

第6章では、本論文で得られた成果をまとめた。