

コンクリート構造物の凍害の劣化評価と予測に関する研究

学位論文内容の要旨

わが国においてコンクリートが使用されるようになってから約100年が経過するが、寒冷地にとってコンクリートの凍害は長年の課題であった。近年、耐凍害性を向上させるための混和剤として、AE剤が50年前より導入されるようになり、凍害の被害はかなり減少している。しかし、AE剤を使用する以前の構造物が北海道を中心にまだ多く残っているなど、凍害が発生する可能性があり、これらの劣化評価が必要となっている。また、AE剤を使用した構造物において凍害は減少しているが、まだ多くの構造物で凍害は発生している。一般に、コンクリートを劣化させる作用には、乾湿、凍結融解、炭酸化、アルカリ骨材反応および塩化物、硫酸塩などの各種塩との反応などが考えられる。これらの中でも気象による作用は避けることができず、特に寒冷地における凍害は、発生の危険範囲の広さからも重要な問題となっている。

このような現状の中で、凍害の研究は多くの研究者によって広範囲にわたり行われ、凍害防止のために多くのデータが蓄積されている。しかし、凍害は多くの要因が影響し、それらが複雑に組み合わされて発生するため、凍害を評価するには困難さを伴うが、考えられる要因を組み合わせることでコンクリートの耐凍害性を評価することが重要である。また、AE剤を一般的に使用ようになってからは、コンクリート内部組織にわたる劣化ではなく、スケーリングや微細ひび割れがコンクリート表面より徐々に進行する形態に変わり、コンクリートのかぶりなどの減少による構造物の耐久性あるいは景観にとって重要な問題となっている。コンクリート構造物における凍害劣化のメカニズムを明確にし、凍害進行深さを評価することが耐凍害性あるいは劣化予測に対して有効となる。

本研究では実構造物の凍害調査を行い、凍害の現状を整理し、凍害劣化を定量的に評価するために、超音波伝播速度を用いた劣化評価方法の適用性について検討している。さらに、室内促進試験の結果をもとに、凍害メカニズムを明確にし、コンクリート構造物の耐凍害性の評価法および劣化予測法を提案し、実構造物あるいは室内試験によって、本手法が有効であることを確かめている。

本論文は、全6章から構成されており、各章の概要は次の通りである。

第1章は、本研究の序論であり、本研究の背景と研究目的を述べるとともに、凍害機構、実構造物の調査および凍害評価に関する既往研究について論じている。凍害機構に関するものは数多く研究されており、基本的なメカニズムは解明されているが、実構造物の凍害調査による劣化評価は少なく、凍害指標などに基づいた凍害評価を求めることが実用的である。また実構造物の調査には非破壊試験による手法が望まれ、その中でも超音波伝播速度法が期待できる。

第2章は、253箇所の構造物の凍害調査により凍害の現状を整理した結果、調査対象のうち76%以上で何らかの凍害を受けていること、凍害を受けている箇所では

塩化物イオン浸透量および中性化深さが大きいことを明らかにしている。

第3章は、一般的に用いられている凍結融解試験法は、コンクリート材料としての耐凍害性を評価する方法であり、実際のコンクリート構造物の劣化を評価することは難しいことから、凍害を定量的に評価する方法として、非破壊試験のうち超音波伝播速度法を用いて凍害深さを評価することを提案している。超音波伝播速度法によって各種測定状況を検討した結果、凍害による劣化を超音波法で評価することが実用的であることを明らかにしている。また、凍結融解作用を受けたコンクリートは細孔構造に変化が生ずること、コンクリート中の鉄筋の付着特性については、凍結融解作用により相対動弾性係数が低下し、付着強度が低下すること、相対動弾性係数が低下しないAEコンクリートにおいても、初期のすべり量は増加する傾向にあることを明らかにしている。

第4章は、第3章の結果をもとに、実コンクリート橋の橋台および覆道の柱部の凍害を受けている範囲や凍害深さの測定を行い、本評価方法との有効性を確かめている。実際の測定結果では、目視で凍害が発生していると思われる範囲より、超音波伝播速度により判断した劣化範囲の方が広く、目に見えない微細ひび割れを定量的に評価でき、また、凍害による細孔構造の変化は、超音波伝播速度の低下とよく対応し、超音波伝播速度による凍害深さの評価は有効であることを確かめている。

第5章は、コンクリートの細孔構造による氷点降下に着目した凍結水量の算定方法を用いて、凍結水量が凍結時のひずみ挙動に大きく影響することを明らかにし、この凍結水量を主体とした耐凍害指標値による凍害劣化予測法およびAEコンクリート構造物の長期劣化予測法について明らかにしている。

凍結時のひずみ挙動の算定では、凍害発生メカニズムとして一般に知られている水圧説と浸透圧説の両方の理論を取り入れ、凍結水量と気泡の役割を明確にし、凍結膨張、収縮によるひずみ挙動を明らかにしている。また、本手法を実構造物に適用した結果、実際のひずみ挙動とよく対応していることを照査している。

耐凍害指標値による凍害劣化予測法では、凍害発生要因のうち、圧縮強度、気泡間隔係数、総細孔量、凍結水量を組み合わせた耐凍害指標値を提案し、凍結融解回数によって相対動弾性係数を算定する劣化特性曲面を同定している。また、コンクリートの凍害による劣化を累積損傷としてとらえ、線形被害則により劣化度の算定を行い、凍害の劣化予測法を明らかにしている。

AEコンクリート構造物の長期劣化予測法では、一般にAEコンクリートは耐凍害性に優れているが、AEコンクリートでも長期の厳しい環境条件などによって凍害劣化が発生することに着目し、その要因としてコンクリートの品質、温度分布、凍結融解回数などを考え、その影響を定量的に評価するために室内試験を行っている。また、それらの結果を組み合わせた劣化予測方法を示し、実構造物の部位によって劣化程度が大きく異なることを明らかにしている。

第6章は総括であり、本研究で得られた成果を要約したものである。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐 伯 昇
副 査 教 授 鎌 田 英 治
副 査 教 授 大 沼 博 志
副 査 教 授 角 田 與 史 雄

学 位 論 文 題 名

コンクリート構造物の凍害の劣化評価と予測に関する研究

近年、コンクリートの耐凍害性を向上させるための混和剤としてAE剤が導入されるようになり、凍害の被害はかなり減少している。しかし、AE剤を使用する以前の構造物が北海道を中心としてまだ多く残っているなど、凍害が発生する可能性があり、また、塩分を含む融氷剤の使用あるいは海水の影響を受ける沿岸のコンクリート構造物において凍害が発生し、これらの劣化評価および予測が必要となっている。

凍害は多くの要因が影響し、それらが複雑に組み合って発生するため、凍害を評価するのは困難さを伴うが、考えられる要因を組み合わせてコンクリートの耐凍害性を評価することが重要である。また、AE剤を一般的に使用ようになってからは、コンクリート組織全体にわたる劣化ではなく、スケーリングや微細ひび割れがコンクリート表面より徐々に進行する劣化形態に変わり、コンクリートのかぶりなどの減少による構造物の耐久性あるいは景観にとって問題となっている。コンクリート構造物における凍害劣化のメカニズムを明確にし、凍害進行深さを評価することが耐凍害性あるいは劣化予測に対して有効となる。

本論文では既存コンクリート構造物の凍害調査を行い、凍害の現状を整理し、凍害による劣化を定量的に評価するために、超音波伝播速度を用いた劣化評価法の適用性について検討している。さらに、室内促進試験の結果をもとに、凍害メカニズムを明確にし、コンクリート構造物の耐凍害性の評価法および劣化予測法を提案し、既存構造物あるいは室内試験によって、本手法が有効であることを確かめている。

本論文は、全6章から構成されており、各章の概要は次の通りである。

第1章は、本研究の序論であり、本研究の背景と研究目的を述べるとともに、コンクリートの凍害機構、既存構造物の調査および凍害評価に関する既往研究について論じている。凍害機構に関するものは数多く研究されており、基本的なメカニズムは解明されているが、既存構造物の凍害調査による劣化評価は少なく、凍害指標などに基づいて凍害評価を行うことが実用的である。また既存構造物の調査には非破壊試験による手法が望まれ、その中でも超音波伝播速度法が有効であることを明らかにしている。

第2章は、253箇所のコンクリート構造物の凍害調査により凍害の現状を整理した結果、調査対象のうち76%以上で何らかの凍害を受けていること、凍害を受け

ている箇所では塩化物イオン浸透量や中性化深さが大きいことなどの劣化の実状を明らかにしている。

第3章は、一般的に用いられている凍結融解試験法は、コンクリート材料としての耐凍害性を評価する方法であるため、実際のコンクリート構造物の劣化を評価するには、非破壊試験のうち超音波伝播速度法による凍害劣化の評価が有効であることを明らかにしている。

第4章は、第3章の結果をもとに、既存コンクリート構造物の凍害を受けている範囲や凍害深さの測定を行い、超音波伝播速度により目に見えない微細ひび割れを定量的に評価できることを明らかにしている。

第5章は、コンクリートの細孔構造による氷点降下に着目した凍結水量の算定方法を用いて、凍結水量が凍結時のひずみ挙動に大きく影響することを明らかにし、凍害発生要因のうち、圧縮強度、気泡間隔係数、総細孔量、凍結水量を組み合わせた耐凍害指標値による凍害劣化予測法およびAEコンクリート構造物の部位により劣化程度は大きく異なるなどの長期劣化予測法について明らかにしている。

第6章は総括であり、本研究で得られた成果を要約したものである。

これを要するに、著者はコンクリート構造物の凍害調査を行って凍害の実状を把握し、凍害劣化を定量的に評価する手法および劣化予測法に関する新知見を得たものであり、コンクリート工学の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。