

耐寒促進剤による寒中コンクリート施工技術に関する研究

学位論文内容の要旨

寒中コンクリートでは、初期凍害と低温による強度発現の遅れが施工上の問題となる。これらの対策として、従来よりコンクリートの凍結温度の低下に主眼をおいた混和剤の利用が考えられてきた。しかし、近年、これらの混和剤が鋼材の腐食やアルカリ骨材反応を引き起こす可能性のあることが明らかとなり、現在ではその成分が従来とはまったく異なるものとなっている。この種の混和剤は、保温養生を必要としない寒中コンクリートの施工効率化の手段のひとつとして期待されているものであるが、その目的とする初期凍害防止の性能が明確化されておらず、また寒中コンクリートへ適用するための具体的なシステムが確立されていない。

本研究は、寒冷地におけるコンクリート工事の新技術としての耐寒促進剤の利用技術を確立することを目的として行ったものである。このため、耐寒促進剤として耐久性上の問題のない無塩化・無アルカリ型の薬剤を選び、この混和剤を用いたコンクリートの初期凍害防止効果と圧縮強度増進性状を把握し、耐寒促進剤を用いたコンクリートの性能を明らかにするとともに、建築の実務における施工指針を提案した。

本論文は、全7章から構成されており、各章の概要は次のとおりである。

第1章は本研究の序論であり、研究の背景と目的を述べ、耐寒促進剤の現状と国内外の関連する既往の研究を示すとともに、本論文の構成を示した。

第2章では、耐寒促進剤を用いたコンクリートについて、コンクリート中の水分の凍結温度、コンクリートの凝結・硬化性状および初期凍害に対する抵抗性に関する実験を行い、その性能を評価した。さらに、凍結環境下のコンクリートの冷却過程について、部材の熱容量を考慮した温度履歴解析を行い、耐寒促進剤によるコンクリートの初期凍害の防止効果について検討した。その結果、従来、コンクリート中の水分の凍結温度を低下させる防凍剤として位置づけられていたこの種の混和剤の融点降下作用は過大に評価されていたものであり、耐寒促進剤による初期凍害の防止効果が、わずかな凍結温度の低下と低温下での硬化促進作用、構造体の熱容量の複合作用であることを明らかにした。なお、この章では、耐寒促進剤溶液の凍結温度、成分分析、セメントペーストの凍結温度、初期性状に関する基礎的な実験も行っている。

第3章では、耐寒促進剤を用いたコンクリートの性能を調合設計および実施工時の強度管理に反映させるため、積算温度関数式による強度増進曲線を誘導し、気温による強度補正值についての検討を行なった。その結果、耐寒促進剤を用いたコンクリートは、水セメント比が同じ普通コンクリートに比べて長期強度が増大するため、気温による強度補正值を大幅に低減できることを示した。また、この結果を現場施工実験で検証し、耐寒促進剤は、その早強性と強度増大の性質を利用した使い方が望ましいことを指摘した。

第4章では、早強ポルトランドセメントに耐寒促進剤を併用したコンクリートの凍結温

度、凝結性状、初期強度増進性状、初期凍害に対する抵抗性および圧縮強度増進性状について、第2章および第3章と同様の試験を行い、普通ポルトランドセメントの場合と比較検討した。早強セメントに耐寒促進剤を併用した場合、普通セメントの場合と同様に、低温による凝結遅延が抑制され、初期強度、長期強度ともに増大するものの、経済性を考慮すると耐寒促進剤と併用する効果は小さいことを指摘した。

第5章では、耐寒促進剤を用いたコンクリートの凍結状態での強度増進性状について検討した。凍結状態での強度増進は、常温での強度増進に比べて著しく緩慢になるものの、耐寒促進剤の利用によりその程度は一般のコンクリートよりも改善され、その理由が耐寒促進剤を用いたコンクリートの中の水分がシャーベット状の氷として成長し、不凍結水率が増加するためであることを明らかにした。また、この不凍結水率は、耐寒促進剤の使用量が多いほど、材齢が進行するほど増加することを示した。

第6章は、耐寒促進剤を建築の実務に適用する技術として確立するための施工指針の提案である。最初に、わが国で市販されている無塩化・無アルカリ型の耐寒促進剤について JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」に準じた共通試験を行い、耐寒促進剤の品質標準を定め、それに適合するものについて、寒中コンクリート工事の計画、施工、管理上の留意点を整理した。ここでは、耐寒促進剤を用いたコンクリートの特徴を生かした調合方法を提示し、第5章までの結果を踏まえ、効率的な寒中コンクリート工事を可能とするための施工指針を提案した。

第7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 鎌 田 英 治
副 査 教 授 佐 伯 昇
副 査 教 授 大 沼 博 志
副 査 教 授 井 野 智

学位論文題名

耐寒促進剤による寒中コンクリート施工技術に関する研究

寒中コンクリートでは、初期凍害と低温による強度発現の遅れが施工上の問題となる。これらの対策として、従来よりコンクリートの凍結温度の低下に主眼をおいた混和剤の利用が考えられてきた。しかし、近年、これらの混和剤が鋼材の腐食やアルカリ骨材反応を引き起こす可能性のあることが明らかとなり、現在ではその成分が従来とはまったく異なるものとなっている。この種の混和剤は、保温養生を必要としない寒中コンクリートの施工効率化の手段のひとつとして期待されているものであるが、その目的とする初期凍害防止の性能が明確ではなく、また寒中コンクリートへ適用するための具体的な仕様が確立されていなかった。

本研究では、寒中コンクリート用化学混和剤としてのこれらの混和剤の性能を検討し、その作用機構を考慮して耐寒促進剤の用語を提唱するとともに、その種類をA E・減水成分を含むタイプⅠとそれらの成分を含まないタイプⅡの2つに分類することにより、それぞれの役割を明確化し、寒冷地におけるコンクリート工事のための耐寒促進剤の利用技術を確立している。具体的には、耐寒促進剤を用いたコンクリートの初期凍害防止効果と圧縮強度増進性状を把握し、その要求性能を明らかにするとともに、建築の実務における施工指針を提案している。なお、対象とした混和剤は鋼材の腐食やアルカリ骨材反応に対して問題のない無塩化・無アルカリ型としたが、研究の過程で従来市販されていた尿素系成分をもつ混和剤はコンクリート中のアルカリと反応してアンモニアガスを発生させる問題を有することが明らかとなり、尿素系成分を全廃する方向での商品化を混和剤メーカーに対して指導するとともに、研究の対象から除いている。

本論文の成果とその評価を要約すると、以下のようになる。

1) 従来、コンクリート中の水分の凍結温度を低下させる防凍剤として位置づけられていたこの種の混和剤の融点降下作用が過大に評価されていたことを指摘し、耐寒促進剤による初期凍害の防止効果が、わずかな凍結温度の低下と低温下での硬化促進作用、構造体の熱容量の複合作用であることを明らかにしている。これらの成果は、これまで曖昧だった

この種の混和剤の効果の概念を明確にしたものであり、極めて有用な知見である。

2) これまでは耐寒促進剤のタイプによる作用機構の違いは意識されていなかった。著者は、混和剤のタイプにより強度増進特性が異なることを示している。タイプⅠの耐寒促進剤を用いたコンクリートは、水セメント比が同じ普通コンクリートに比べて早強性がありその後の強度も増大するため、調合設計において気温による強度補正值を大幅に低減できるのに対して、タイプⅡの耐寒促進剤ではこのような効果は期待できないことを指摘している。この結果は、現場施工実験でも検証されており、耐寒促進剤を用いるコンクリートの調合設計および強度管理の実務に有益な知見を与えるものである。

3) 耐寒促進剤は比較的高価な混和剤であることから、著者は、早強ポルトランドセメントとの併用によるコスト低減の可能性について検討している。早強ポルトランドセメントに耐寒促進剤を併用した場合には、普通セメントの場合と同様に低温による凝結遅延が抑制されるが、セメント自体の早強性が大きいいため硬化促進に及ぼす耐寒促進剤の影響は小さいことを明らかとし、経済性を考慮すると、耐寒促進剤を早強セメントと併用する効果は小さいことを指摘している。このことは、耐寒促進剤を選択する上での有益な指標となり、実務上の価値が大きい。

4) 耐寒促進剤を用いたコンクリートの凍結状態での強度増進性状について検討し、凍結状態での強度増進は、常温での強度増進に比べて著しく緩慢になるものの、耐寒促進剤の利用によりその程度は一般のコンクリートよりも改善されることを示し、その理由が耐寒促進剤を用いたコンクリート中の水分がシャーベット状の氷として成長し、不凍結水率が増加するためであることを明らかにしている。また、この不凍結水率は、耐寒促進剤の使用量が多いほど、材齢が進行するほど増加することを示している。このことは、凍結時には強度増進がないとしていた従来の仕様を変えることを促す重要な知見である。

5) 耐寒促進剤を建築の実務に適用する技術として確立するために耐寒促進剤の品質標準を定め、タイプⅠおよびタイプⅡそれぞれに対応させた寒中コンクリート工事の施工指針を提案している。これらの成果は、日本建築学会・寒中コンクリート施工指針に反映されており、耐寒促進剤の特徴を生かした効率的な寒中コンクリート工事を可能とするものである。

これを要するに、本研究は、これまでその有効性の評価が十分になされていなかった耐寒促進剤の効果と寒中コンクリートにおける適切な使用法について、詳細な実験と系統だった考察をもとに明らかにしており、今後の寒中コンクリートの施工技術の向上に有益な知見を与えるものであり、コンクリート工学、建築材料学の今後の進歩発展に貢献するところが大きい。

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。