

学位論文題名

Strength Development and Frost Resistance of
High Strength Concrete

(高強度コンクリートの強度増進と耐凍害性に関する研究)

学位論文内容の要旨

高性能A E減水剤の開発とその実用化は高強度コンクリート技術の発達をもたらし、これまで不可能であった鉄筋コンクリート造による高層建築物の施工を可能としている。この高強度コンクリートによる建築物を寒冷地で施工するためには、低温と凍結に伴う種々の問題を解決しなければならず、これらの外的な条件に対する材料としての性能を適切に評価することが必要である。

本研究は、低温環境によって生じるコンクリートの強度増進の遅れと凍結による障害を対象に、高強度コンクリートを寒冷地で施工するにあたって必要な性能を検討したもので、以下の8章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の目的と背景を述べたほか、本研究に関連する既往の研究を検証している。ここでは通常コンクリートで提案されている強度増進理論と、その成果の寒中コンクリートにおける適用を検討し、高強度コンクリートの低温環境下の強度増進特性を把握するうえで重要となる要因について述べている。また、凍結による障害に関し、通常コンクリートの凍害理論の検討から、高強度コンクリートでは、コンクリート内部の水分の凍結についての知識が不足していること、これが高強度コンクリートの耐凍害性についての従来からの議論の解決に重要となることを指摘している。

第2章は、高強度コンクリートの強度増進に関する実験研究とその解析の結果で

ある。水セメント比28%から45%の高強度コンクリートについて、5°Cから40°Cまでの一定温度を持続させて各材令段階の強度増進傾向をとらえた実験、および、打ち込み直後、3時間、9時間後にコンクリート温度を変化させた場合の影響に関する実験から、高強度コンクリートでは通常のコンクリートとは異なって積算温度算定のための基準温度を-4°Cとした場合に最も良い近似が得られること、積算温度関数としてとらえたコンクリートの強度増進特性はエクスポネンシャル曲線に最も良く適合することなど、高強度コンクリートの強度増進特性を評価するうえで基礎となる成果を得た。さらに初期における温度変化がコンクリートの強度増進特性に影響することから、初期の養生温度、硬化過程の水和発熱を考慮したコンクリート強度の算定式を誘導し、この結果の寒中コンクリートへの利用を提案した。

第3章は、高強度コンクリートの耐凍害性を、水セメント比、空気量、養生条件を要因として検討したものである。2年間の屋外暴露を含めて各種の条件で養生したコンクリートの凍結融解試験の結果、ある水セメント比を限界として高強度 non A Eコンクリートの耐凍害性が優れたものになるという従来の指摘が、高強度コンクリートに普遍的に成立するものではなく、2週水中養生という標準試験の場合に得られる結果であることを明らかにした。乾燥を受けた場合など、養生が異なる条件では通常のコンクリートとは異なって劣化が促進される傾向を示し、高強度コンクリートの耐凍害性の確保には、通常のコンクリートと同様、あるいはより以上の空気量を導入する必要がある。

高強度コンクリートに関する従来の研究は、使用する骨材および高性能A E減水剤の影響を考慮していない。このため第4章では、安山岩砕石、石灰岩砕石、川砂利を用いた高強度コンクリートについて、高性能A E減水剤の種類と使用量を変えて実験を行った。この結果、高強度コンクリートの耐凍害性には、骨材の果たす役割が大きく、また、同一強度のコンクリートにおいても高性能A E減水剤の使用量によって耐凍害性に相違が生じることを見出した。

第5章は、高強度 non A Eコンクリートの耐凍害性が水セメント比に依存して著しく異なり、その限界となる水セメント比が実験者によって異なっていることを説明するために行った実験である。実験計画法を利用し、通常の実験では考慮されることの少ない実験実施のための条件を因子とした実験を行い、その解析結果から、高強度コンクリートでは脱型時期、練り混ぜ温度など、コンクリート作製時の条件

の相違が水セメント比に匹敵するほどの効果をもつことを明らかにし、水セメント比のみを評価基準とする従来知見が高強度コンクリートの耐凍害性評価において無意味なものであることを指摘した。

第6章は、コンクリートを構成する硬化セメントペースト、骨材について、それぞれの耐凍害性、熱膨張特性、凍結膨張挙動、細孔構造を検討したものであり、第3章、第4章の結果を説明するために行った実験である。従来から知られていたように硬化セメントペーストの耐凍害性は特定の水セメント比を限界として極めて優れたものとなるが、これは凍結時の膨張挙動にも現われ、さらにこの傾向は細孔構造の緻密さに依存することを見いだした。また、使用骨材の相違により、コンクリートの耐凍害性が相違する結果についても骨材と硬化セメントペーストの熱膨張係数の差によって説明できる可能性のあることを指摘した。

第7章では、高周波電流の抵抗が水分の凍結によって著しく低下する特性を利用し、コンクリート中の水分凍結量を自動的に測定する装置を開発し、コンクリートおよびこれを構成する硬化セメントペースト内部に含まれる水分の凍結量を測定した。この結果、標準試験の条件である水中養生を行った低水セメント比の高強度コンクリートでは、ある水セメント比を限界として水分の凍結が見られなくなること、気中養生を行ったコンクリートでは、同じ養生期間を得たものでも水分の凍結が生じ、高強度コンクリートの組織構造の相違によって生じる水分凍結の有無が高強度コンクリートの耐凍害性を支配していることを明らかにした。

第8章は本研究の結論であり、成果を要約して述べている。

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	石山	祐二
副査	教授	城	攻

学位論文題名

Strength Development and Frost Resistance of High Strength Concrete

(高強度コンクリートの強度増進と耐凍害性に関する研究)

高性能A E減水剤の開発とその実用化は高強度コンクリート技術の発達をもたらし、これまで不可能であった鉄筋コンクリート造による高層建築物の施工を可能としている。この高強度コンクリートによる建築物を寒冷地で施工するためには、低温と凍結に伴う種々の問題を解決しなければならず、これらの外的な条件に対する材料としての性能を適切に評価することが必要である。

本研究は、高強度コンクリートを寒冷地で施工するにあたって必要な性能を低温環境によって生じるコンクリートの強度増進の遅れと凍結による障害を対象に検討し、その対策を示したもので、主要な成果を要約すると以下のようなになる。

(1) 高強度コンクリートの強度増進特性について、5°Cから40°Cまでの一定温度を持続させた実験、打ち込み直後、3時間、9時間後にコンクリート温度を変化させた実験から、高強度コンクリートでは通常のコンクリートとは積算温度算定のための基準温度が異なること、積算温度関数としてとらえたコンクリートの強度増進特性はエクスポネンシャル曲線に最も良く適合することなど、高強度コンクリートの強度増進特性を評価するうえで基礎となる成果を得た。さらに、初期の養生温度、硬化過程の水和発熱を考慮したコンクリート強度の算定式を誘導し、この結果の寒中コンクリートへの利用を提案した。

(2) 高強度コンクリートの耐凍害性を2年間の屋外暴露を含めた各種の養生条件のコンクリートにより検討した結果、高強度 nonA Eコンクリートの耐凍害性がある水セメント比を限界として優れたものになるという従来知見が普遍的に成立するものではなく、2週水中養生という標準試験の場合に得られる結果であることを見いだした。また、乾燥を受けた場合など、養生が異なる条件では通常のコンクリートとは異なって劣化が促進されること、高強度コンクリートの耐凍害性の確保には、通常のコンクリートと同様、あるいはより以上の空気量を導入する必要があることを指摘した。

(3) 高強度コンクリートに関する従来研究は、使用する骨材および高性能A E減水剤の影響を考慮していない。このため安山岩碎石、石灰岩碎石、川砂利を用いた実験から、高強度コンクリートの耐凍害性には、骨材の果たす役割が大きく、また、同一強度のコンクリートにおいても高性能A E減水剤の使用量によって耐凍害性に相違が生じることを見出した。

(4) 高強度 nonA Eコンクリートの耐凍害性が水セメント比に依存して著しく異なり、その限界となる水セメント比が実験者によって異なっている。著者はこの説明のため実験計画法を利用した実験を行い、高強度コンクリートでは脱型時期、練り混ぜ温度など、通常は考慮されることの少ないコンクリート作製時の条件の相違が水セメント比に匹敵するほどの効果をもつことを明らかにし、水セメント比のみを評価基準とする従来知見が高強度コンクリートの耐凍害性評価において無意味なものであることを指摘した。

(5) コンクリートを構成する硬化セメントペースト、骨材について、それぞれの耐凍害性、熱膨張特性、凍結膨張挙動、細孔構造を検討した結果、硬化セメントペーストの耐凍害性の相違が細孔構造の緻密さに依存することを見だし、使用骨材によるコンクリートの耐凍害性の相違についても骨材と硬化セメントペーストの熱膨張係数の差によって説明できる可能性のあることを指摘した。

(6) コンクリート中の水分凍結量を測定するために高周波電流の抵抗が水分の凍結によって著しく低下する特性を利用した装置を開発し、コンクリートおよびこれを構成する硬化セメントペーストの水分の凍結量を測定した。この結果、標準試験の条件である水中養生を行った低水セメント比の高強度コンクリートでは、ある水セメント比を限界として水分の凍結が見られなくなること、気中養生を行ったコンクリートでは、同じ養生期間を得たものでも水分が凍結し、高強度コンクリートの組織構造の相違によって生じる水分凍結の有無が高強度コンクリートの耐凍害性を支配していることを明らかにした。

以上要するに、本研究は寒冷地で用いられる高強度コンクリートに要求される性能を明らかにし、その適用を可能としたものであり、建築材料・施工分野の進歩に寄与するところが大きい。よって、著者は博士(工学)の学位を授与される資格のあるものと認める。