

コンクリートの強度増進における氷点下域の影響および 推定方法に関する研究

学位論文内容の要旨

寒中コンクリート工事において合理的かつ経済的な施工を行うためには、構造体コンクリートの強度増進の過程を把握することが極めて重要である。特に、氷点下域となる施工条件下でのコンクリートの強度増進を評価し、それを予測することができれば、強度補正によるコンクリートコストの増加、養生上屋・加温などの経費を抑制することができ、より合理的な寒中コンクリート工事を行うことが可能となる。また、高強度コンクリートや、各種リサイクル材料を用いた新しいコンクリートも使用されるようになってきており、これらのコンクリートの寒中工事に関する知見が求められている。

コンクリート強度を推定する必要がある調合計画、強度管理には積算温度方式が幅広く利用されている。積算温度と圧縮強度の関係は、 0°C 以上の温度範囲での適合を基本としたものであり、氷点下域ではコンクリートの強度増進は大幅に遅延し、現行の積算温度方式はあてはまらない。また、日本建築学会「寒中コンクリート施工指針(以下、寒中指針)」には、資料6として圧縮強度増進の標準曲線を用いた圧縮強度の推定方法が示されているが、最近の実際の施工現場における高強度コンクリートや各種コンクリートの強度を適切に推定していないことが指摘されている。

本論文では、アンケート調査により寒中コンクリート施工の実態を把握し、寒中指針の現状と課題を明らかとした。寒中指針の調合計画の問題点として「氷点下温度に対する積算温度の評価方法が明確に示されていない」ことがあげられ、これに対して推定方法の提案を行った。また、寒中指針・資料6の圧縮強度増進の標準曲線について高強度域を含んだコンクリートの強度増進の標準曲線の修正式を提案した。さらにリサイクル材料を用いた各種コンクリートについて初期凍害抵抗性を明らかとし、提案した標準曲線との適合性の検討を行った。

本論文は6章から構成されており各章の概要は以下の通りである。

第1章は、本研究の序論であり、研究の背景と目的について述べ、本研究の位置づけを行うと共に各章の構成を示した。

第2章では、北海道と東北地域の実務者を対象として実施した調合計画、養生計画、強度管理手法および現行の寒中指針に対する評価などに関するアンケート調査結果から寒中指針の課題について検討を行った。その結果、利用される調合計画手法は地域によって異なり、北海道においては寒中指針・資料6の圧縮強度増進の標準曲線が多く割合で採用されていることが明らかとなったが、水セメント比が小さいほど推定値が小さくなるなど、実際の現場のデータと対応していないとの指摘もあった。また、氷点下における積算温度の算定は通常の方法(平均温度 $+10$)が利用できるものと多くの技術者に誤解されていることを明らかとした。

第3章では、氷点下域におけるコンクリートの強度増進性状を明らかにし、その影響を考慮した積算温度方式について提案することを目的として実験的検討を行ったものである。氷点下域での強度増進には、コンクリート中の水分の凍結状態が影響すると考えられ、水セメント比、耐寒促進剤の有無や氷点下とする材齢および放置温度を変えた供試体を作製し、強度増進に及ぼす不凍結水率の影響とこの強度増進を説明できる積算温度の検討を行った。氷点下域の積算温度としては、従来の積算温度の氷点下の部分を補正係数 α で低減する方法とした。その結果、補正係数 α に対する凍結開始材齢および放置温度の影響は小さく、耐寒促進剤を用いない場合、水セメント比ごとに一定の補正係数 α を用いて氷点下の条件での積算温度を補正することにより、ある程度の精度で強度増進との関係を表現できることを示した。さらに、氷点下の補正係数 α の値を水セメント比によらず0.2と固定しても実用的には十分な精度で強度増進との関係を表現でき、この方法を氷点下の積算温度として提案した。

第4章では、寒中指針・資料6の圧縮強度増進の標準曲線に対して、寒中コンクリートにおける生コン工場の実績データと実験室実験データを用いて標準曲線の検証を行った。その結果、現場の実績データと標準曲線の関係は、初期材齢で適合性が悪く、2章のアンケート結果の意見のように水セメント比が小さいほど推定値が小さくなる傾向が認められた。なお、標準養生の試験体においてもこの傾向は同様であった。このため、水セメント比25~65%のコンクリートの実験を行い、寒中コンクリートで使用可能な積算温度と圧縮強度の関係を表す強度増進標準曲線の修正式を提案した。

第5章では各種リサイクル材料を用いたコンクリートについて温度依存性を考慮して圧縮強度増進の標準曲線について検討するとともに、寒中コンクリートの技術的基本事項である初期凍害の防止に関して検討した。使用したリサイクル材料は、近年、廃棄物の減量を目的として開発されたものであり、フライアッシュを原料とした高強度人工骨材、電気炉酸化スラグ骨材、PS灰造粒骨材、エコセメントとした。この結果、高強度人工骨材または電気炉酸化スラグ骨材を用いたコンクリートの強度増進性状は一般的なコンクリートと同等であり、PS灰造粒骨材を用いたコンクリートの4週強度は一般的なコンクリートの6~7割程度であるが、圧縮強度増進の温度依存性は同等であることが明らかとなった。さらに、普通エコセメントを用いたコンクリートの圧縮強度増進の温度依存性は一般的なコンクリートと異なることを明らかとした。また、4種類のリサイクル材料を用いたコンクリートの初期凍害防止のために必要な圧縮強度は、一般的なコンクリートと同等の $5N/mm^2$ とすることができることを明らかとした。エコセメント以外のリサイクル材料を用いたコンクリートの強度増進と標準曲線の関係は、一般的なコンクリートと同様である。すなわち、強度増進は、標準曲線で表現でき、現行式では低水セメント比の若材齢時に適合性が悪くなるが、提案式ではこれが改善される。普通エコセメントを用いたコンクリートでは、普通ポルトランドセメントの場合と異なる標準曲線が必要なことを明らかとした。

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	千 歩	修
副査	教授	大 沼	博 志
副査	教授	杉 山	隆 文
副査	准教授	長谷川	拓 哉

学 位 論 文 題 名

コンクリートの強度増進における氷点下域の影響および 推定方法に関する研究

異なる温度条件におけるコンクリート強度の推定方法として積算温度方式があり、日本建築学会「寒中コンクリート施工指針(以下、寒中指針)」の調合計画、強度管理の方法として幅広く利用されている。しかしながら、氷点下域ではコンクリートの強度増進が大幅に遅延し、現行の積算温度方式の適用範囲外となっている。また、寒中指針には、積算温度と圧縮強度の標準的な関係を表す「標準曲線」を用いた圧縮強度の推定方法が示されているが、高強度コンクリートの強度を適切に推定していないことが指摘されており、各種の新材料を用いた新しいコンクリートに対する適合性の確認も必要である。近年、合理的かつ経済的な寒中コンクリート工事が求められており、このためには氷点下域における強度増進の活用、各種リサイクル材料を用いたコンクリートの強度増進の温度依存性等の明確化等が求められている。

本論文では、アンケート調査により寒中コンクリート施工の実態と問題点を明らかにし、積算温度方式における氷点下域の積算温度の評価方法を提案し、氷点下の条件も考慮した実用的な強度推定を可能としている。さらに、高強度域を含んだコンクリートの強度増進の明確化、近年開発された各種リサイクル材料を用いたコンクリートについて、初期凍害抵抗性および強度増進の温度依存性等を明らかにしている。これらの知見は、実務において合理的な寒中コンクリートの施工を行うための有用な成果である。

本論文の成果とその評価を要約すると以下ようになる。

- 1) 北海道と東北地域の実務者を対象として実施した寒中コンクリート施工のアンケート調査から調合計画、養生計画、強度管理手法等の現状と問題点を明確にしている。特に、調合計画手法として寒中指針に示されている「圧縮強度増進の標準曲線を用いた方法」が北海道において利用される割合が高いこと、この方法は高強度域のコンクリートへの適合性が不十分なこと、氷点下における積算温度の考え方に対する誤解が多いこと等を明らかとしている。これらの結果は、この研究における目標を明確にするうえで重要なものとなっている。
- 2) 積算温度方式における氷点下域のコンクリートの強度増進を推定する方法として、補正係数 α を乗じて積算温度を低減する方法を提案している。この補正係数 α は、凍結開始材齢および放置温度

の影響は小さく、水セメント比ごとに一定の補正係数 α を用いて氷点下の条件での積算温度を補正することにより、実際の強度に近い推定値を得ることができることを示している。さらに、耐寒促進剤を用いない場合、氷点下の補正係数 α の値を水セメント比によらず 0.2 と固定しても実用的には十分な精度で強度増進を説明できることを示し、この方法を氷点下域の積算温度の算定方法として提案している。ここで提案された方法は、冬期間の住宅のコンクリート基礎工事等の建設現場にも簡易に利用できるものであり、寒中コンクリートの調合計画および強度管理を合理的かつ簡便に行う方法として評価される。

3) 寒中指針に示される圧縮強度増進の標準曲線に対して、寒中コンクリートにおける生コン工場の実績データと実験室実験データを用いて標準曲線の検証を行い、これらのデータと標準曲線の関係は、初期材齢で適合性が悪く、水セメント比が小さいほど推定値が小さくなることを明らかとしている。この問題を解決するために、水セメント比 25~65% のコンクリートの実験を行い、現行式の問題点を改善した標準曲線の修正式を提案している。これにより、実施工において使用する強度範囲のコンクリートについて実用的な強度推定を可能としている。

4) 各種リサイクル材料を用いたコンクリートの初期凍害防止のために必要な圧縮強度および強度増進の温度依存性について明らかにしている。これにより、各種リサイクル材料を用いたコンクリートに対して、寒中施工のための基本的性状が明確になったものと評価される。

これを要するに、著者は、寒中コンクリート施工の実態と課題を明らかとし、積算温度方式によるコンクリートの圧縮強度推定方法を実用的な方法で氷点下域に拡張し、コンクリートの強度増進の標準曲線を実施工で使用する強度範囲とした修正式を提案し、さらに各種のリサイクル材料を用いたコンクリートについて寒中施工のための基本的性状を明らかにしたものであり、コンクリート工学および建築材料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のあるものと認める。