



コンクリートの初期凍害の診断及び防止技術に関する研究

メタデータ	言語: English 出版者: 公開日: 2023-06-07 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 崔, 家琿 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15118/00010889

氏 名 CUI JIAHUI(サイ ジャフイ)

学位論文題目 Study on technology for prevention and diagnosis of early
frost damage of concrete
(コンクリートの初期凍害の診断及び防止技術に関する研究)

論文審査委員 主査 教授 濱 幸雄
教授 溝口 光男
准教授 高瀬 裕也

論文内容の要旨

寒中コンクリート工事で最も留意すべきこととして、初期凍害の防止と強度増進の遅れに対する対応が挙げられる。初期凍害は、フレッシュ時から硬化初期にかけてコンクリート中の水分が凍結することにより、強度発現の停滞などを引き起こす被害のことである。日本建築学会の寒中コンクリート施工指針・同解説では、初期凍害に耐える圧縮強度 5.0 MPa、適切な空気量などが規定されている。しかし、日本土木学会はコンクリートの初期凍害を防ぐために、15.0 MPa の圧縮強度が必要の場合がある。日本建築学会と土木学会は規定についての相違点が存在する現象により、現在の寒中指針に関する国際規格の統合を行い、世界的範囲内における寒中コンクリート施工現状を調査する必要がある。一方で、現場で有効な初期凍害の非・微破壊の診断手法が望ましいので、新しい診断手法を開発することが求められる。本研究では新しい初期凍害の防止手法も目指す。そのため、以上の背景を踏まえ、寒中コンクリートの品質確保のために、コンクリート初期凍害の診断および防止の技術の研究を目的とした。

国際寒中指針の調査により、諸国の寒中コンクリート施工の現状が把握でき、大部分の施工事項の内容が同じであるが、その中では初期凍害に耐える強度の違い、有効な被害診断・防止手法の不足の問題点が発見された。

そのため、まず、初期凍害に耐える強度の違いにより、凍結融解開始前圧縮強度がコンクリートの耐凍害性に及ぼす影響を明らかにした。コンクリートの圧縮強度が大きい程、耐凍害性が良くなる。更に、国際寒冷地の気象条件により、年間の凍結融解回数である ASTM 相当サイクル数を用いた初期凍害に耐える強度 5.0 MPa を評価した。5.0 MPa は世界的な共通の強度として初期凍害を防止することが安全である。

一方で、微破壊の貫入試験は初期凍害を診断できるかを検討した。釘の貫入試験は効果が良くないが、空気圧ピン貫入試験機の場合では貫入量と被害深さの関係により、被害程度の推定ができる。

コンクリートの凝結時間調整材 (ACF) を用いた初期凍害防止の効果を検討した。ACF 材の添加量は 0, 2, 4, 6kg /m³ の 4 水準を設置した。ACF 材の添加量が多い程、凝結時間が早

くなり、低温でも顕著な効果がある。添加量の $2\text{kg}/\text{m}^3$ の場合では、初期凍害を受ける状況は $0\text{kg}/\text{m}^3$ の場合と同じ。添加量が $4, 6\text{kg}/\text{m}^3$ の場合では、初期材齢に凍結を受けたコンクリートが初期凍害を受けなく、圧縮強度は凍結なしのコンクリートと同等になる。ACF 材添加量の $4, 6\text{kg}/\text{m}^3$ を初期凍害の防止手法として提案した。

ABSTRACT

The most critical things in cold weather concreting are preventing early age frost damage and guaranteeing a normal strength development. Early age frost damage is a serious problem for concrete structures in cold regions, which is caused by freezing and cyclic freeze-thaw cycles during the initial hardening stage. The objective of this study was to (1) grasp the present situation of cold weather concreting in various countries and summarize the content from various guidelines by investigating Guides to Cold Weather Concreting of various countries, (2) propose effective diagnosis methods for early age frost damage, (3) investigate the effect of compressive strength development at early ages on frost resistance of concrete and (4) propose a prevention method of early age frost damage by using additive for setting time adjustment.

Based on the literature review of Guides to Cold Weather Concreting of various countries, it is known that most of the regulations are relatively similar. However, the minimum required compressive strength is the main difference in various countries. Meanwhile, technological development is needed to improve the diagnosis and prevention of early age frost damage.

The nail and pneumatic penetration test machine methods are discussed to develop accurate diagnostic methods for detecting the depth of early age frost damage. The penetration test by pneumatic penetration test machine effectively diagnoses the depth of early age frost damage in 7 days. It can roughly detect the damage depth with a micro-destructive degree.

To investigate the effect of compressive strength development at early ages on the frost resistance of concrete, laboratory and outdoor exposure tests were conducted. Air-entrained concrete with a compressive strength of 5.0MPa can withstand several freeze-thaw cycles and effectively prevent early age frost damage. Concrete that has finished its final setting can effectively resist early age frost damage in Air-entrained and Non-air-entrained conditions.

To develop an effective prevention method for early age frost damage using additive for setting time adjustment, setting time test and compressive strength test are performed. Adding 4 and $6\text{kg}/\text{m}^3$ of ACF additive effectively prevents early age frost damage, which can apply for cold weather concreting due to the outstanding prevention effectiveness of early age frost damage.

論文審査結果の要旨

寒中コンクリート工事では、練り上がり直後から凝結・硬化の初期段階で凍結することによって生じる初期凍害を防止するための対策を講じることが必要不可欠であり、我が国だけでなく多くの国で施工指針が制定されている。しかしながら、地域の気象条件や対象とする構造物などによって初期凍害の防止に必要とされるコンクリート強度や空気量、養生条件が異なっているのが現状である。また、実施工において初期凍害を受けたか否かを目視で判断しているのが一般的であり、より合理的な品質管理が求められている。そこで本研究では、寒中コンクリート工事に関する諸外国の施工指針を調査し、各国の規定の共通点、相違点を整理するとともに、初期凍害に耐える最低強度の国際的統合化の条件を検討している。さらに、非破壊での初期凍害の定量的に診断する技術の開発と初期凍害防止のための新しい技術を提案することを目的としている。

各国の施工指針の調査では日本、韓国、中国、米国、カナダ、ロシア、欧州の施行指針を調査し、基本的な考え方には違いはないものの、初期凍害防止のための強度規定が部材条件や気象条件により 3.5MPa から 15Mpa までの幅があること、低温による強度増進の遅れへの対応を考慮した調合設計に関する規定があるのは日本の建築分野の施工指針の特徴であることが明らかとなった。この結果を受けて、初期材齢で凍結作用を与えたコンクリートの室内試験と 3 年間の屋外暴露試験の結果及び各国の気象データから算出した年間の凍結融解回数である ASTM 相当サイクル数の算出結果を基に、初期凍害防止のための最低強度として 5.0MPa が妥当であることを示した。

さらに、初期凍害の非破壊診断方法として、反発度法と空気圧ピン貫入試験を併用することで被害範囲と被害深さを定量的に把握できることを示した。また、スラブの仕上げ作業の効率化、生産性向上のために近年開発された凝結促進材 ACF (Advanced Concrete Finishing) に着目し、低温環境下での凝結促進効果を確認するとともに初期凍害防止に対して有効となる添加量などの使用条件を明らかにしている。

以上の成果は、寒中コンクリート工事の合理化に大いに貢献するものである。よって、著者は博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認められる。