

凝結・硬化過程に凍結を受けたコンクリートの強度増進停滞機構および被害範囲・深さ測定手法に関する研究

著者	山下 紘太郎
学位名	博士（工学）
学位の種類	課程博士
報告番号	甲第480号
研究科・専攻	工学専攻
学位授与年月日	2021-09-27
URL	http://doi.org/10.15118/00010421

氏 名 山下 紘太郎

学位論文題目 凝結・硬化過程に凍結を受けたコンクリートの
強度増進停滞機構および被害範囲・深さ測定手法に関する研究

論文審査委員 主査 教授 濱 幸 雄

准教授 高 瀬 裕 也

准教授 菅 田 紀 之

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。初期凍害とは、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である。初期凍害の防止策は、圧縮強度 5.0N/mm^2 が得られるまでコンクリートを凍結させないような初期養生を行うことである。初期凍害の判定は、実務では温度測定、研究では凍結融解後の養生による強度回復の有無で判定するのが一般的である。しかし、強度回復レベルと被害程度との対応が明らかではないという問題がある。また、実務では厳冬期には万全な凍結防止対策が施されるが、防水押えのコンクリート、部材厚さが薄いスラブ、パラペット等では予期せぬ寒波や養生管理の不備などにより、部材表面を凍結させてしまうという不具合が少なからず発生しているのが現状である。

既往研究より、凍結によるセメントペーストの被害程度および回復程度は水セメント比と凍結融解後の養生条件の影響を大きく受ける可能性を報告している。コンクリートを使用した実験に先立ち、セメントペーストおよびモルタルの初期材齢時の凍結による強度増進停滞に関する研究を行った。その結果、凍結前後でセメントペーストの水和反応性は変化しないこと、モルタルでは被害程度の差は凍結を受けた際の凝結性状の影響が大きく、凝結終結前後の凍結が被害の有無を左右する結果になった。そこで、コンクリートについて凝結終結時の凍結が強度増進に及ぼす影響を確認した結果、混和剤による連行空気がないものは、凝結終結時の凍結により強度増進が停滞する結果であった。また、凝結始発前後の凍結を受けた場合には骨材界面にひび割れが生じており、強度低下の要因の一つであることを示した。

以上の結果を受け、強度回復が可能となる条件は明らかになったが、実際の施工現場では凝結性状の測定は行っておらず、凝結過程のどの段階で凍結したかは不明である。凍結模様や黒ずみで初期凍害が確認されれば、各々で脆弱と判断した範囲の打ち直し、または補修が行われる。そのため、初期凍害範囲・深さ測定手法の検討を行うために、初期凍害事例が多い土間および防水押え等を対象とし、初期凍害範囲および初期凍害深さ測定として有効になりうる測定手法を選定した。実際の屋外環境で初期凍害を発生させ、それぞれの測定方法

について詳細調査により得られた結果との比較と妥当性を検討し、初期凍害範囲・深さ測定手法の一提案を行った。

ABSTRACT

It is important to prevent early frost damage and the response to the delay in strengthening in concrete. Early freezing damage stagnates strength development because of water freezing in the concrete before the early setting stage. Preventive measures against initial frost damage include performing initial curing to avoid freezing concrete until a compressive strength of 5.0 N/mm² is obtained.

In practice, complete antifreeze measures are taken during the winter season. However, frost damage at early ages may occur with unexpected cold waves and inadequate curing management in places where the thickness of the member is small.

The authors have investigated the strength enhancement properties of cement paste subjected to initial freezing damage. It is reported that the damage and recovery degree of the frozen cement paste are influenced by the water-cement ratio and the curing conditions after freezing and thawing.

In this study, we first confirmed the effects of the water-cement ratio and the curing conditions on the strength enhancement after freezing at the initial age were confirmed by experiments using cement paste and mortar. As a result, it was found that there was no change in the reactivity of cement before and after freezing, and that freezing around the final setting time affected the presence or absence of damage. Next, the compressive strength-enhancing properties of the frozen concrete at the final setting time were confirmed. As a result, the compression strength enhancement of the specimen with a small amount of air in the concrete stagnated due to freezing at the final setting time. In addition, the concrete frozen before and after the first setting time had cracks at the aggregate interface. It was shown that the cracks at the interface of the aggregate are one of the factors that reduce the strength of the concrete that was damaged by the initial frost.

However, initial frost damage occurs in an environment where the outdoor temperature changes finely. In the current situation, when initial frost damage occurs, it is dealt with in consultation with the supervisor at each site. Therefore, in order to investigate the optimum initial frost damage range and depth measurement method, an experiment was conducted in which initial frost damage was generated in concrete outdoors in winter. As a result, it was found that the damage range can be specified non-destructively by the degree of repulsion, and the damage depth can be judged by the change in power consumption during core drill drilling.

Based on the above experimental results, we proposed a method for dealing with concrete damaged by the initial frost damage.

論文審査結果の要旨

コンクリートは凝結・硬化過程で凍結作用を受けるとその後の強度増進が停滞し所要の強度が得られない致命的な欠陥を受けることから、寒冷期のコンクリート工事ではコンクリートを凍結させないための養生が基本的な対策であり極めて重要である。しかしながら、本州などの比較的な温暖な地域では予期せぬ寒波による被害を受ける事例も見られる。また、初期材齢時の凍結による強度増進停滞のメカニズムや凍結による被害を免れる限界条件については明らかになっておらず、実施工において被害範囲や被害深さを判定する品質管理手法は確立していない。

本研究では、セメントペースト、モルタルおよびコンクリートを対象として、凝結・硬化過程で凍結させた場合の融解後の再養生による強度回復性状と被害レベルの対応を把握することで、強度増進の停滞機構を解明することを目的としている。さらに、実際の施工現場で適用可能な品質評価手法を提案することも目的としている。

その結果、セメントペーストでは凍結前後での水和反応性は変化しないこと、モルタルでは凝結の終結以降に凍結した場合には融解後の再養生による強度増進の停滞は認められないことを確認している。一方、コンクリートでは空気連行のない条件では凝結終結以降の凍結の場合でも再養生による強度停滞が認められ、その原因が粗骨材界面のひび割れによることを明らかにしている。

また、初期材齢の凍結による被害範囲の判定方法として目視、引っかき傷幅試験、反発度を、被害深さの判定方法として削孔抵抗試験、濡れ色観察法を考案し、施工現場での適用可能性を考慮して各試験方法の有効性、判定基準を検討し、初期凍害事例が多い土間や防水押え等の非構造部材を対象とした調査方法を提案している。提案した方法は、破壊試験に先立ち非破壊試験を行った上で、状況に応じて微破壊試験あるいは破壊試験を行って被害程度を特定するもので、これまで行われていた全範囲にわたるコア採取やはつり法と比べ、構造体の損傷リスクの低減と調査コストの縮減が期待できるものである。

以上の成果は、寒冷期のコンクリート工事の合理化と品質向上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。