HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| Title | 寒冷環境下のコンクリート構造物における補修効果の持続性評価に関する研究 [論文内容及び審査の要旨] |
| Author(s) | 内藤, 勲 |
| Citation | 北海道大学. 博士(工学) 甲第14444号 |
| Issue Date | 2021-03-25 |
| Doc URL | http://hdl.handle.net/2115/81081 |
| Rights(URL) | https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ |
| Type | theses (doctoral - abstract and summary of review) |
| Additional Information | There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL. |
| File Information | Isao_Naito_abstract.pdf (論文内容の要旨) |

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学　位　論　文　内　容　の　要　旨

博士の専攻分野の名称　　博士（工学）　　氏名　内藤 勲

学　位　論　文　題　名

寒冷環境下のコンクリート構造物における補修効果の持続性評価に関する研究
(Study on Persistence of Repairs Effectiveness of Concrete in Cold Environment )

1960 年代以降の高度経済成長期に数多く建設されたコンクリート構造物の老朽化問題は、2012 年の中央自動車道笹子トンネル天井板落下事故によって顕在化された。その翌年に「インフラ長寿命化基本計画」が策定され、以降、社会資本の戦略的な維持管理・更新の推進により、コンクリート構造物の補修や補強、更新が多く実施されている。一方で補修需要の増加に伴い、補修箇所が早期に再劣化する等の不具合事例が増加し、特に、寒冷環境下の補修後における早期不具合が多く見られ、その不具合防止策が補修の際の喫緊の課題となっている。このような不具合が生じる要因として、寒冷環境下における補修効果の持続性が明確ではないこと、再劣化等を防止する品質管理技術等が確立されていないことが上げられる。

このような背景から、本研究では、寒冷環境下でも確実な補修効果を期待できる品質管理手法および補修手法の確立を目的として、寒冷環境下における再劣化の要因やメカニズム等の解明、および補修材料の低温における品質評価や適用方法を検討するため、代表的な補修工法である断面修復工法とひび割れ修復工法の寒冷環境下における補修効果の持続性向上に関する研究を行った。断面修復工法では、補修箇所のコンクリート界面を改善して断面修復する技術における耐凍害性の検証、ひび割れ修復工法では、凍害による再劣化発生要因とその劣化進行メカニズムの解明、低温環境におけるひび割れ注入材の注入性と充填性 (以下、注入充填性) の評価による注入後の品質向上検討、およびひび割れ修復工法選定時の問題点を解決する新たなひび割れ注入手法の提案を行った。

まず、断面修復箇所が早期に剥離する等の再劣化事例において、再劣化原因のひとつである補修界面のコンクリートに残存する脆弱部の劣化進行に着目し、この劣化進行を防止するため、脆弱部を改善して断面修復する技術の耐凍害性に対する有効性について室内実験による検証を行った。脆弱部の改善方法は、コンクリート界面に種々の浸透系塗布材 (以下、塗布材) を浸透させて脆弱部を緻密化させる方法とした。検証実験では、塗布材を塗布した供試体と塗布後に断面修復を施した供試体を用いて凍結融解試験を行い、超音波測定と走査型電子顕微鏡 (以下、SEM) 測定によって脆弱部の改善状態を評価し、凍結融解試験、透水試験、曲げ試験、および接着強度試験によって断面修復箇所の耐久性を評価した。

その結果、脆弱部の微細ひび割れに塗布材が浸透・固化している状態を SEM 等によって確認し、塗布材の浸透深さが材料の粘性と劣化の程度によって変化することを明らかにした。劣化前の状態までには戻らないものの、透水試験における透水量の減少や接着強度の増加から、塗布材によって脆弱部が緻密化して改善されたことを確認した。また、塗布材による脆弱部の改善によって断面修復箇所の耐凍害性が向上することを確認し、塗布材の浸透がより深くまで、かつ密実に充填することができれば、断面修復箇所の耐凍害性は大きく向上する可能性が示唆された。特に、樹脂系の塗布材は断面修復箇所の耐凍害性の向上に非常に有効であることを明らかにした。

次に、工法選択で常に比較されるひび割れ注入工法とひび割れ充填工法において、ひび割れ補修を模擬した供試体を用いた凍結融解試験と暴露試験を行い、超音波測定、曲げ試験、塩化物イオンの計測による補修効果の持続性の評価、および X 線 CT による注入後の再劣化状況の解析から劣化進行メカニズムの解明を試みた。

その結果、ひび割れ注入材 (以下、注入材) の注入後の耐凍害性に関して、樹脂系材料はコンク

リートの凍害劣化で接着強度が低下する傾向にあること、セメント系材料は自身の凍害劣化で接着強度が低下することによって、それぞれ補修効果が低下することを確認した。ひび割れ充填材 (以下、充填材) もほぼ同様の結果となったが、変成シリコーン系材料は凍結融解作用の影響は受けない結果となった。また、暴露した供試体において電子マイクロアナライザーと電位差滴定法で塩化物イオンを測定した結果、注入材はひび割れからの塩分浸透を抑制できるが、充填材はひび割れからの塩分浸透を抑制できないことを確認した。さらに、ひび割れ注入後の凍害劣化による再劣化の進行状態を X 線 CT によって解析した結果、注入材の未充填がある状態で凍結融解作用を受けると未充填部から凍害劣化が進展することを明らかにした。

低温環境におけるひび割れ注入材の注入後の品質向上については、注入材の未充填が生じないように、ひび割れ注入工法の低温における注入材の性能の規格化と注入充填性の向上を目標とした。異なる温度環境におけるエポキシ樹脂系注入材の粘度変化と温度変化から低温での注入材の性能変化を評価し、その結果を基に、コンクリート供試体への注入実験と既往の注入面積速度式との相関による注入充填性の定量的な評価を試みた。

その結果、注入材の低温における性能評価では、可使時間を温度上昇法で判定できない材料が多いこと、少量では温度上昇法による判定ができないこと、また、低温時の注入材の粘度は常温時の 4〜7 倍大きくなることを確認した。低温での注入充填性の評価では、低温においても既往の注入面積速度式とひび割れ幅の関係には相関があることを確認し、この結果から得られた低温の補正係数を用いることで、ひび割れ幅やひび割れの規模に応じた注入材の選定や注入効率を事前に把握することが可能であることを明らかにした。

最後に、析出物のあるひび割れへの注入手法の提案を行った。析出物のあるひび割れ補修では、析出物によってひび割れが閉塞することからひび割れ充填工法が採用される事例が多い。しかしながら、析出物はひび割れ背面からの水分供給によって生成され、表面のみを補修するひび割れ充填工法ではひび割れ内部に滞水して凍害等による再劣化が生じる事例が多い。そのため、ひび割れ注入工法によってひび割れ内部を注入材で充填し、止水と内部鋼材の腐食抑制を行うことが最善策となることを提案した。

これに対して、析出物によるひび割れの閉塞状態調査と析出物を除去して注入する手法を提案した。実構造物においてコア採取による析出物の閉塞深さ調査を行った結果、閉塞深さはひび割れ表面から深さ 5mm までが大多数であった。この析出物を除去して注入する方法として、ひび割れに直交する深さ 10mm 程度の切り込みを入れ (以下、クロスカット)、そこから注入する手法を提案した。その実用性と有効性を実構造物での試験施工で検証した結果、クロスカットによる析出物の閉塞深さ確認はコア採取の調査結果とほぼ同じとなり、注入作業ではクロスカットの注入箇所が通常の注入箇所よりも多くの注入材を注入できることがわかった。以上の結果から、クロスカット注入手法は析出物のあるひび割れへの補修に非常に有効であり、注入効率がより向上する手法であることを確認した。

本研究により、脆弱部を改善する断面修復手法は補修効果の持続性の向上に有効であること、ひび割れ注入は未充填部から凍害劣化が進展しやすく、低温補正した注入面積速度式による注入充填性の評価やクロスカット注入手法は注入後の品質向上に有効であることを明らかにした。