

耐寒材料チーム

はじめに

耐寒材料チームは、北海道開発局開発土木研究所の材料研究室を前身とし、平成13年4月の独立行政法人化を経て、平成18年4月に現在の名称となり今日に至っている。

当チームでは、凍害や塩害との複合劣化に関する診断技術や対策などを中心に積雪寒冷地の厳しい環境に適応するコンクリート等の土木材料に関する幅広い研究開発を行っている。

本稿では、第3期中期計画（平成23年～平成27年）の研究成果を中心に、近年の主な研究内容について紹介する。

研究概要

（1）第3期中期計画（平成23年～平成27年）の研究成果

第3期中期計画では、コンクリート構造物の耐久性を向上させるための品質管理・検査および診断・補修・補強などの技術開発に関する研究を中心に実施した。主な研究成果は以下の通りである。

①プロジェクト研究「コンクリート構造物の長寿命化に向けた補修対策技術の確立」

プロジェクト研究「社会資本ストックをより永く使うための維持・管理技術の開発と体系化に関する研究」に関する個別課題の「コンクリート構造物の長寿命化に向けた補修対策技術の確立」の研究を、iMaRRC（基礎材料チーム、新材料チーム）との分担で実施した。本研究は、補修対策工法（システム）の要求性能など各種補修の基本的考え方の提案や補修対策工法の材料・施工管理標準等の提案を行うことを目的としており、各種コンクリート補修工法（断面修復工法、表面保護工法、ひび割れ修復工法）のうち、耐寒材料チームでは、ひび割れ修復工法（ひび割れ注入材や充てん材）を主に担当した。

補修方針選定の考え方に基づく補修の設計方法を現場に適用可能とするため、想定される劣化機構および劣化程度と、それに応じて選択可能な補修方針の関連付けを行った。さらに各種補修工法・材料を対象に様々な環境下での実験的検証や暴露実験を実施することで補修後の耐久性や施工性を確認した。適切な補修を行うための標準的な考え方（補修方針の設定、補修メカニズムと要求品質、各種補修工法の選定方法など）や補修材の品質確認方法および施工上の留意点をとりまとめ、補修に関わる基本理念から、各補修工法の選定方法、選定した補修工法の設計・施工方法に至るまで、共通の考えに基づいて「コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル（案）」として取りまとめ公表した。

また、本プロジェクト研究の期間中に ISO 16311（コンクリート構造物の維持管理と補修）の原案作成、意見照会および制定がなされ、原案の内容を調査し、研究結果に基づく修正案を国内審議団体を通じて提案し、その修正案が採択された。



写真-1 樹脂系注入材を用いたひび割れ注入工法

②プロジェクト研究「凍害・塩害の複合劣化を受けた壁高欄の衝撃耐荷力向上対策に関する研究」

プロジェクト研究「寒冷な自然環境下における構造物の機能維持のための技術開発」に関する個別課題の「凍害・塩害の複合劣化を受けた壁高欄の衝撃耐荷力向上対策に関する研究」は、凍害・塩害の複合劣化を受けた壁高欄を対象として、その機能を適切に

維持することをめざし、衝撃耐荷力に対する評価技術の提案および点検・診断技術と補修・補強対策の提案を目的として実施した。

積雪寒冷地域における壁高欄を有する 451 橋梁の劣化状況調査の結果を反映した衝撃載荷実験を、複合劣化した壁高欄を模擬した供試体を用いて実施し、劣化により衝撃力作用時の応答変位が増加し、破壊が集中することを確認した。また、変位への影響要因である鉄筋への付着に着目し、両引き付着試験から鉄筋腐食とコンクリートの劣化が付着に与える影響を評価し、凍害劣化したコンクリート、複合劣化した RC 構造の応力-ひずみ関係をモデル化した。

さらには北海道で 40 年間供用された壁高欄を対象とした詳細な劣化調査および載荷実験により、劣化程度と各性能への影響程度との関係を整理し、補修の判断指標として、各性能への影響度と材料の劣化度の関係を示したリスクマトリクスを用いた手法を提案した。



写真-2 衝撃載荷試験の様子

③プロジェクト研究「性能規定に対応したコンクリート構造物の施工品質管理・検査に関する研究」、「凍害の各種劣化形態が複合したコンクリート構造物の性能評価法の開発」

プロジェクト研究「社会資本の機能を増進し、耐久性を向上させる技術の開発」に関する個別課題の「性能規定に対応したコンクリート構造物の施工品質管理・検査に関する研究」を、つくばの基礎材料チームとの分担で実施した。本研究は、性能規定に対応した各種性能を長期に亘り保持するため、受け取り時の検査方法と適切な施工標準を確立するものであり、長寿命化およびライフサイクルコストの縮減に寄与するものである。

受け取り時の検査方法については、表面吸水試験や各種非破壊試験法（透気試験、超音波等）がコンクリートの品質評価に有効であることを確認するとともに、実際の構造物に適用するための課題や留意事項を整理した。また、施工標準については、コンクリート構造物が養生終了後すぐに厳しい凍・塩害環境下に曝される条件下では、材齢初期の凍害を防ぐ養生方法として、湿潤養生を十分に行った後、さらにコンクリートの含水率を低下させてから開放することを提案（養生方法選定フロー（案））した。



写真-3 非破壊試験(透気試験)による品質評価

「凍害の各種劣化形態が複合したコンクリート構造物の性能評価法の開発」では、凍害によるスケーリングとひび割れおよび塩化物イオンの供給を同時に受けやすい寒冷地のコンクリート構造物に対し、凍害の影響が考慮された適切な性能評価法の提案を目的として研究を実施した。

凍害の各劣化形態を複合的に受けたコンクリートの性能評価法の提案に向け、寒冷地の構造物を対象にした凍害程度（スケーリング、ひび割れ）調査や、実環境を想定した5年間に亘る種々の凍結融解試験に基づき、スケーリング・ひび割れが複合した凍害の進行予測式および凍害が塩化物イオンの浸透に及ぼす影響に関する評価式を開発した。

実構造物でも凍害の進行予測および塩化物イオンの浸透性の評価を行い、凍害の形態は凍結防止剤の使用の有無などの環境条件によって異なることや、差分法が塩化物イオ

ンの浸透性の評価方法として有効であることを明らかにし、凍害を考慮した塩害に対するコンクリートの耐久性照査の基本的な考え方を提案した。また、本研究の成果の一部は、「表面走査法によるコンクリートの凍害点検・診断マニュアル（案）」として計算プログラム(excel)とともに公表されるとともに、過年度の研究成果として公表され、北海道開発局道路設計要領でも引用されている「凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書（案）」にも反映された。



写真－４ 超音波（表面走査法）を用いた凍害診断

（２）第４期中長期計画（平成 28 年～平成 33 年）の研究概要

第４期中長期計画では、「社会資本の戦略的な維持管理・更新への貢献」分野における研究開発プロジェクト「凍害・複合劣化等を受けるインフラの維持管理・更新に関する研究」に関連し、積雪寒冷環境下のコンクリート構造物に顕在化している凍害・複合劣化等による劣化損傷に対し、1)各複合劣化の点検・診断・評価技術の確立、2)複合劣化を受けたコンクリート構造物等に関する補修補強技術の確立、3)コンクリート構造物の複合劣化に関する高耐久化技術の確立等を目的として、既往研究の成果を反映し、さらに発展・高度化させながら研究を推進している。

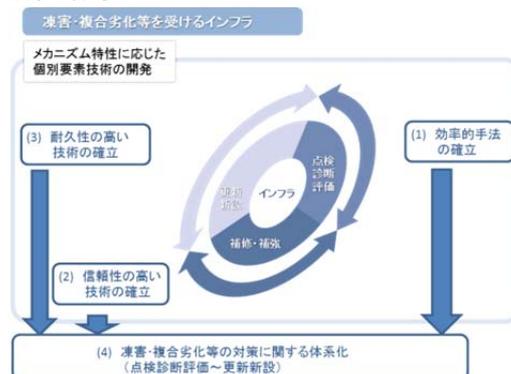
主な研究テーマは以下の通りである。

- ・橋梁床版の劣化損傷に応じた性能評価技術および補修補強技術の開発
- ・各種河川構造物の劣化の最適な点検・診断技術、評価手法の構築
- ・各凍害複合劣化予測式の開発
- ・寒冷環境下における耐寒促進剤の補修への適用技術の開発
- ・寒冷環境下における表面含浸材の施工法の提案
- ・凍塩害複合環境下におけるコンクリートの要求性能・標準仕様の提案

また、「持続可能で活力ある社会の実現への貢献」分野における研究開発プロジェクト「低環境負荷に資するリサイクル材料等の利活用技術の構築」に関連し、リサイクル材料を活用したコンクリート用骨材の利用技術の提案を目的として「リサイクル材料のコンクリート用骨材への利用技術の開発」を実施している。

（３）施設

耐寒材料チームでは、コンクリート構造物の凍害に対する耐久性を評価する上で不可欠な各種の凍結融解試験装置を保有している。当研究所では、コンクリート供試体に対する凍結融解試験は、古くは冷蔵庫を用いて試験を行っていたが、昭和29年にASTM試験方法に適合する全自動式コンクリート凍結融解試験機を用いた試験へと移行した。また、平成28年度から開始した研究開発プロジェクト「凍害・複合劣化等を受けるインフラの維持管理・更新に関する研究」の遂行に必要な各種の劣化促進試験に対応するため、凍結融解に加えて、塩害、中性化、ASRを複合的に再現可能とし、さらに対応温度域を+40℃～-40℃に拡大したコンクリート複合劣化促進試験装置（写真－5）を新たに導入した。



図－１ 第IV期中長期計画の研究イメージ

現在では、凍害関連の設備として、JIS A1148（米国規格ASTM C 666同等+5～-18℃）に対応し、10×10×40cmサイズの試験体を用い、凍結融解によるコンクリート材料の内部劣化を評価する試験装置2連、小型試験体に対して気中の凍結・融解または気中凍結・散水融解の試験を行うコンクリート凍害試験装置（+30～-30℃）1台、モルタル等の小型試験体の気中凍結融解を行うプログラム低温恒温装置（+30～-30℃）1台、15×15×7.5cmサイズの試験体で真水・塩水を用いて一面凍結融解によりスケーリングを評価できるRILEM（欧州規格）CDF & CIF試験装置（+20～-20℃）1台、同様に塩水を表面に湛水させ凍結融解によりスケーリングを評価するASTM C 672（塩水湛水+23～-18℃）試験等が可能な低温環境の部屋（+40～-40℃）を2室（5×4m、5×3m）、更に2×2m程度の鉄筋コンクリート版や梁を気中凍結・水中融解できる大型凍結融解試験装置（+30～-30℃）2連など、多様な各種凍結融解試験装置（室）を有しており、フル稼働で試験を行っている。



写真－5 コンクリート複合劣化促進試験装置

また、凍害関連の施設としては、積雪寒冷環境下に長期暴露されたコンクリートの耐久性を評価するため、各種コンクリートの自然環境下での凍害抵抗性の比較や室内における急速劣化促進試験と実構造物の凍害等の関連づけを目的として、昭和46年に国道36号沿い苫小牧市美沢の美々凍害実験場を設置した。立地している箇所の環境条件から、美々では凍害単独劣化に主眼を置いたコンクリート暴露試験を行ってきた。例えば、初代十勝大橋（横道英雄博士設計 昭和16年～平成8年）のコンクリート橋桁を保存し、平成9年から西暦2146年まで物理化学試験や圧縮強度を定期的実施して長期耐久性の研究（写真－6）を行っている。建設当時、良好な施工管理を行っており、70年経過した平成23年の圧縮強度試験等では、強度が緩やかに上がっており、粒径の粗い当時のセメントが雨水等の影響で時間をかけ反応が進んでいる可能性が高いことから、反応生成物の分析を行っていく必要があること、中性化は表面に限られているなど耐久性が高いコンクリートであることがわかってきている。さらに、それより先の昭和41年には留萌市沖見町の国道231号沿い海岸に留萌暴露実験場を設置した。当初、塩害や中性化等に主眼を置いた試験を行っていたが、その後、国道の拡幅に伴って平成8年に231号増毛町元阿分へ移設した。現在は、凍害と塩害の複合劣化に着目した暴露試験等のために使用されている。



写真－6 美々暴露試験場（旧十勝大橋の桁）

以上のように耐寒材料チームは、古くから凍害等の積雪寒冷地における課題解決のため、ノウハウや専門的知識を蓄積して、現場に密着した研究を進めてきた。今後もこれらの知見やノウハウを活用して、全国の積雪寒冷地において広く活用される研究や技術開発を行っていく計画である。