

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24380132

研究課題名(和文) 積雪寒冷地における農業水利施設の長寿命化に向けた診断と対策に関する研究

研究課題名(英文) Countermeasure Work and Diagnosis for Life Extension of Irrigation and Drainage Facilities in Cold Regions

研究代表者

緒方 英彦(OGATA, Hidehiko)

鳥取大学・農学部・教授

研究者番号：90304203

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、積雪寒冷地における開水路及び水路橋の凍害劣化について、局所的な劣化発生機構の解明、凍害診断手法の開発、長寿命化対策の提案を行うための研究を実施し、次の成果を得た。平成24年度は、コンクリート側壁における凍害劣化の目視調査手法および超音波法及び電磁波レーダ法による劣化程度の評価手法を明らかにした。平成25年度は、共鳴振動法による凍害診断手法の確立、注入工法による凍害劣化範囲の評価手法を明らかにした。平成26年度は、これまでの研究で明らかになった壁状部材に特徴的な凍害劣化の発生機構を踏まえ、凍害劣化程度に応じた長寿命化対策としての水路更生工法の基本設計を行った。

研究成果の概要(英文)：Explication of local deterioration mechanism, development of diagnosis method and proposal for construction method about frost damage of an open channel and water bridge in cold regions were studied by this research. Visual observation technique of a side wall, technique for the degradation grade by electromagnetic wave rader and ultrasonic method were cleared by a study in 2012. Diagnosis methods by resonance vibration, evaluation technique of the degradation by low-pressure silane injection were cleared by a study in 2013. Fundamental planning of the method for rehabilitation of channel in cold regions was performed by the study which was done based on the generation mechanism of frost damage made clear by the former study in 2014.

研究分野：農業造構学

キーワード：農業水利施設 開水路 ストックマネジメント 積雪寒冷地 凍害 機能診断 水路更生工法

1. 研究開始当初の背景

国営土地改良事業などにより建造された膨大な農業水利施設は、国民への安定的な食料供給機能や国土保全機能に代表される多面的機能を有する社会基盤ストックを形成している。これら農業水利施設は、高度経済成長期に集中して整備されたため、その多くは集中的に寿命を迎えることが予測されている。しかし、現状の厳しい社会経済状況においては、莫大な費用を要する施設の改築といった従来手法で対応することは困難である。そこで、ストックマネジメントの考え方に基づいて、その重要度に応じて適切に機能を回復する新たな予防保全対策を定め、将来の施設の更新時期を分散させるとともに、社会基盤ストックとしての農業水利施設の機能を確実に次世代へと継承しなければならない。これらのことを背景に、農林水産省では、「農業水利施設の機能保全の手引き」、「農業水利施設のコンクリート構造物調査・評価・対策工法選定マニュアル」の取り纏めを行い、農業水利施設のストックマネジメントの実践における基本を示した。

農業水利施設のストックマネジメントは、上記の参考図書に基づいて日本各地で実践されているが、その実践を通じて様々な課題が現在露見している。その課題の一つに挙げられるのが、地域的な気象条件の違いを考慮した農業水利施設のストックマネジメントの実践である。同じ形式の農業水利施設であっても気象条件の違いによっては、施設に生じる劣化機構、診断手法及びその対策工法が異なることから、地域的な気象条件に基づいた農業水利施設のストックマネジメント手法を確立する必要がある。特に積雪寒冷地においては、農業水利施設にとって最も身近な存在である「水」がコンクリート部材に凍結融解作用による劣化である凍害を引き起こす原因になることから、これまでに蓄積されてきた農業水利施設以外の土木分野や建築分野の経験・実績だけでストックマネジメントに取り組むことができない。

2. 研究の目的

積雪寒冷地における開水路のコンクリート側壁には、図1に示すような凍害劣化が見られる。これは農業水利施設に特徴的な凍害劣化であり、最多頻度水位の上部である気中部だけに凍害劣化が見られ、下部である水中部には凍害劣化が見られないというものである。表面的な変状としては、このように最多頻度水位の上部と下部において変状の表れ方が異なることから、農業水利施設の特徴である灌漑期と非灌漑期の供用環境の違いが影響していると考えられる。一方、側壁内部における凍害の変状は、表面的な変状とは異なることが、研究代表者らのこれまでの研究によって明らかになっている¹⁾²⁾。側壁内部における凍害の変状は、図2に示すように、側壁部材を縦に割るように部材厚方向に対

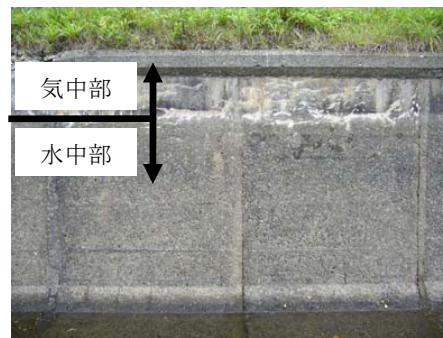


図1 開水路側壁における凍害の表面変状

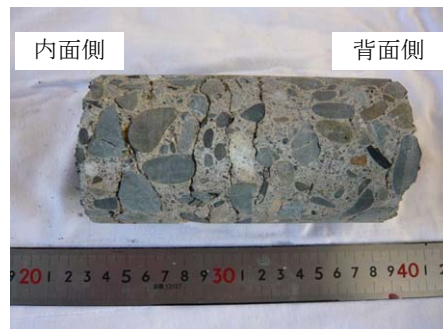


図2 開水路側壁における凍害の内部変状

して層状のひび割れとして表れる。側壁の表面と内部でひび割れの発生状況が異なる原因は、側壁が部材厚に対して面的に大きいという壁状部材としての構造上の特徴を有し、外気の温度変化を面的に受けるためであると考えられる。しかし、図1及び図2に示す凍害劣化は、全ての開水路側壁に発生しているわけではなく、側壁スパンで発生形態が異なり、同じスパン内でも局所的に異なるなど、その劣化機構の全容は明らかになっておらず、劣化機構に基づいた診断手法及び対策工法も開発されていない。また、開水路側壁と同じような供用環境、構造形式である水路橋側壁でも同様の凍害劣化が懸念されている。

そこで、本研究課題では、農業水利施設として供用されている開水路及び水路橋に特徴的に生じるコンクリート側壁の凍害劣化について、①局所的な発生機構の解明、②内部変状の診断手法の開発、③長寿命化対策の提案、を行うための研究を実施する。

3. 研究の方法

積雪寒冷地で供用されている開水路及び水路橋の長寿命化に向けた診断と対策に取り組む本研究課題は、次の3つの項目で実施する。

- (1) 凍害劣化の表面変状と内部変状についてその局所的な発生機能の解明：壁状部材である構造形式、灌漑期・非灌漑期の供用環境を考慮した上で、表面変状と内部変状のマッピングを現地調査や採取コアの分析の結果から行う。また、局所変状の発生要因を明らかにするための室内試験及び解析を実施し、表面変状と内部変状の発生機構を解明する。

- (2) 表面から観察することができない内部変状の診断手法の開発：これまでの非破壊試験の知見を整理し、表面変状に左右されない内部変状の局所的診断が可能な非破壊検査手法を開発する。
- (3) 劣化程度に応じた長寿命化対策の提案：診断から本来の対策実施までの期間の対策である一時的延命対策、壁状部材に特徴的な凍害劣化を抜本的に改善し長期供用性を確保するための対策である抜本的長寿命化対策を開発して提案する。

4. 研究成果

平成 24 年度は、側壁の構造形式、灌漑期・非灌漑期の供用環境、背面状況を考慮した上で、コンクリート側壁における凍害劣化の目視調査手法を明らかにするとともに、側壁内部におけるコンクリート材料の劣化要因の解明、超音波法及び電磁波レーダ法による部材内部の凍害診断手法に関する研究に取り組んだ。その結果、以下の成果を得た。

- (1) 表面ひび割れが凹凸の起伏を持って発生している側壁では、ひび割れの形態が下に凸の箇所層状ひび割れ（側壁の部材厚の方向に層状に生じるひび割れ）が発生している可能性が高いことを現地調査により明らかにした上で、目視調査による層状ひび割れの発生箇所の定性的診断表を作成した。
- (2) コンクリート側壁の凍害の主要因は、通水内面側からの温度変化と背面側からの水の供給であることを現地調査により明らかにした上で、局所的な凍害の発生状況の違いについて検討し、吸水率がセメントペーストよりも小さい骨材は線膨張係数も約 50～60%と小さく、また凍結環境（-30～0℃）における骨材の線膨張係数は非凍結環境（0～30℃）の約 60～70%となり、凍結環境における骨材とセメント硬化体の線膨張係数の違いが影響していることを実験的・解析的に明らかにした。
- (3) 超音波の表面走査法による側壁の凍害診断では、得られる走時曲線のパターンを 3 種類に分類した上で、分類パターンから内部変状の存在が定性的に評価できることを現地測定結果から明らかにした。また、電磁波レーダ法では、鉄筋かぶりの推定値から内部変状の程度が評価できること現地測定結果から明らかにした。

平成 25 年度は、凍害診断手法である超音波法の精度向上、共鳴振動法による凍害診断手法の開発、注入工法による凍害劣化範囲の評価に関する研究に取り組んだ。その結果、以下の成果を得た。

- (1) 表面法による超音波法の精度に影響を及ぼす要因の検討を北海道にあるコンクリート開水路壁体における現地調査・試験で行った結果、コンクリート表

面の粗度よりも、凍害劣化の一形態として表層部に生じる薄肉の層状ひび割れが直接的に影響を及ぼしていることを明らかにした。

- (2) コンクリート側壁を対象にした共鳴振動法による凍害診断については、小型起振機を駆動端子として対象部材に振動を入力し、ピックアップで測定される振動波形から一次共鳴振動数を求める手法を検討した。その結果、直接法（駆動端子とピックアップを部材対面に設置）、表面法（駆動端子とピックアップを部材同一面に設置）の有効性を円柱・角柱コンクリート供試体で確認するとともに、表面法の実用性を青森県弘前市のコンクリート開水路壁体に適用した結果から明らかにした。
- (3) 超音波法の表面走査法、共鳴振動法ならびに電磁波レーダ法の測定結果を組み合わせた現地非破壊試験による動弾性係数の評価フローを作成し、模擬コンクリート壁体および青森県弘前市のコンクリート開水路壁体での検証結果を踏まえて、その実用性を明らかにした。
- (4) 注入工法については、ひび割れの連続性が確保される目地付近及び側壁天端付近では凍害劣化範囲の評価が可能であることを北海幹線水路の L 型ブロックでの試験から明らかにした。

平成 26 年度は、これまでの研究で明らかになった壁状部材に特徴的な凍害劣化の発生機構を踏まえ、凍害劣化程度に応じた長寿命化対策に関する研究に取り組んだ。その結果、以下の成果を得た。

- (1) 凍害劣化が生じた開水路を抜本的に改善し長期供用性を確保するための工法として、既設水路における凍害劣化部を除去せずに、FRPM 板とポーラスコンクリートの合成構造で開水路の機能回復を図る水路更生工法の基本設計を行った。
- (2) FRPM 板を既設水路に固定するためのアンカーの引抜荷重について、凍害劣化の程度とアンカー埋め込み位置及び最大引抜荷重の関係はほぼ線形であることを明らかにした。
- (3) ポーラスコンクリートにおける間隙の飽和・不飽和状態が凍結融解抵抗性及び熱的性質に及ぼす影響を評価し、凍結時に間隙中に水が保持されていなければ十分に凍結融解抵抗性を有すること、不飽和状態のポーラスコンクリートの熱的性質は飽和状態に比べて温度が変化しやすい、熱は伝わりにくくなることを明らかにした。
- (4) 水路更生工法で用いる目標空隙率 20% のポーラスコンクリートを対象に温度測定を行い、凍結融解環境下で間隙が飽和状態のポーラスコンクリートの温度には、顕熱変化と潜熱変化の区間が明瞭

に現れ、飽和状態の温度解析では空隙内の結氷性状、融解性状を考慮する必要があることを明らかにした。

<引用文献>

- 1) 緒方英彦, 高田龍一, 野中資博, 服部九二雄, RC 開水路の凍害, 農業農村工学会誌 76 (9), 2008, 31-34
 - 2) 緒方英彦, 高田龍一, 鈴木哲也, 山崎大輔, 佐藤周之, RC 開水路の側壁内部における凍害ひび割れの発生形態, 農業農村工学会誌 78 (5), 2010, 29-33
5. 主な発表論文等
〔雑誌論文〕(計 11 件)
- 1) 緒方英彦, 山崎大輔, 周藤将司, 兵頭正造, シラン低圧注入によるコンクリートの微細ひび割れ検査法の現地実証試験, 農業農村工学会論文集, 査読有, 第 295 号, 2015, 85-90
 - 2) 周藤将司, 緒方英彦, 兵頭正造, 土居賢彦, コンクリート水利構造物を対象にした現地非破壊試験による一次共鳴振動数の測定方法に関する研究, 農業農村工学会論文集, 査読有, 第 295 号, 2015, 69-75
 - 3) 石井将幸, 長束 勇, 緒方英彦, 円城寺将貴, 上見謙太, 水路トンネルの安全性評価を目的とした現場載荷試験と数値解析によるその評価, 農業農村工学会論文集, 査読有, 第 292 号, 2014, 41-48
 - 4) 緒方英彦, 山崎大輔, 周藤将司, 兵頭正造, 低圧注入法によるコンクリートの微細ひび割れ検査における注入材の実験的評価, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 36, 2014, 1984-1989
 - 5) 周藤将司, 緒方英彦, 石神暁郎, 佐藤 智, 凍害劣化した RC 開水路におけるひび割れ注入工法による内部変状の評価, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 35, 2013, 919-924
 - 6) 坂田 昇, 橋本 学, 菅俣 匠, 緒方英彦, 中庸熱フライアッシュセメントを用いたコンクリートの耐凍害性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 35, 2013, 895-900
 - 7) 山岸俊太郎, 鈴木哲也, 緒方英彦, 周藤将司, 凍害損傷したコンクリートの圧縮強度特性評価に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 35, 2013, 385-390
 - 8) 周藤将司, 緒方英彦, 石神暁郎, 金田敏和, RC 開水路側壁の内部ひび割れに対する注入工法の適用性と超音波法による充填範囲の評価, セメント・コンクリート論文集, 査読有, No.66, 2013, 296-302
 - 9) 佐藤 智, 金田敏和, 石神暁郎, 周藤将司, 緒方英彦, RC 開水路の目視による凍害診断の留意点, 農業農村工学会誌, 査読有, 第 81 巻 第 2 号, 2013, 31-34
- 10) 石神暁郎, 金田敏和, 佐藤 智, 周藤将司, 緒方英彦, 超音波を用いたコンクリート開水路の凍害劣化深さの推定, 農業農村工学会論文集, 査読有, 第 283 号, 2013, 87-98
- 11) 緒方英彦, 金田敏和, 石神暁郎, 周藤将司, 凍結融解作用による開水路側壁の内部変状に対する目視調査および超音波試験の考察, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 34, 2012, 892-897
- 〔学会発表〕(計 20 件)
- (1) 緒方英彦, 壁状構造物であるコンクリート製開水路の凍害診断, 日本非破壊検査協会アコースティック・エミッション部門講演会, 2015 年 3 月 30 日, 日本非破壊検査協会(東京)
 - (2) 緒方英彦, HPFRCC を表面遮水壁および下流法面保護層に用いるため池更新技術, 農業農村工学会中国四国支部第 38 回地方講習会, 2014 年 11 月 6 日, とりぎん文化会館(鳥取)
 - (3) 井下千尋, 兵頭正造, 緒方英彦, 暴露試験に供したコンクリート塊の再生粗骨材としての品質評価, 第 69 回 農業農村工学会中国四国支部講演会, 2014 年 11 月 5 日, とりぎん文化会館(鳥取)
 - (4) 緒方英彦, 山崎大輔, 周藤将司, 兵頭正造, シラン低圧注入による微細ひび割れ検査法の開水路側壁に対する適用事例, 平成 26 年度 農業農村工学会大会講演会, 2014 年 8 月 27 日, 朱鷺メッセ(新潟)
 - (5) 田村雄平, 緒方英彦, 佐藤 智, 石神暁郎, 赤外線サーモグラフィ法によるコンクリートの微細ひび割れの定量的評価手法の検討, 平成 26 年度 農業農村工学会大会講演会, 2014 年 8 月 27 日, 朱鷺メッセ(新潟)
 - (6) 周藤将司, 高田龍一, 緒方英彦, 凍害劣化した RC 開水路に対する動弾性係数評価手法の適用範囲に関する検討, 平成 26 年度 農業農村工学会大会講演会, 2014 年 8 月 27 日, 朱鷺メッセ(新潟)
 - (7) 井下千尋, 兵頭正造, 緒方英彦, 凍結融解処理を施した再生粗骨材の密度および吸水率の評価, 平成 26 年度 農業農村工学会大会講演会, 2014 年 8 月 27 日, 朱鷺メッセ(新潟)
 - (8) 緒方英彦, 山崎大輔, 周藤将司, 兵頭正造, シラン低圧注入によるコンクリートの微細ひび割れ検査法の現地実証試験, 第 68 回 セメント技術大会, 2014 年 5 月 13 日, ホテルメトロポリタン(東京)
 - (9) 緒方英彦, 周藤将司, 兵頭正造, 小型起振機を用いた共鳴振動法によるコンクリートの一次共鳴振動数の評価, 第 68 回 農業農村工学会中国四国支部講演会, 2013 年 10 月 17 日, 香川県社会福祉総合センター(高松)

- (10) 周藤将司, 緒方英彦, 兵頭正浩, 淺田勇輝, 非破壊による薄肉部材のコンクリートの動弾性係数推定フローに関する検討, 第 68 回 農業農村工学会中国四国支部講演会, 2013 年 10 月 17 日, 香川県社会福祉総合センター (高松)
- (11) 山岸俊太郎, 鈴木哲也, 緒方英彦, 周藤将司, 佐藤 智, 石神暁郎, 森井俊広, 河合隆行, 画像解析データのセミパリオグラム処理に基づく損傷コンクリートの変形特性評価, 平成 25 年度 農業農村工学会大会講演会, 2013 年 9 月 4 日, 東京農業大学 (東京)
- (12) 石神暁郎, 佐藤 智, 蒔苗英孝, 西田真弓, 周藤将司, 緒方英彦, 衝撃弾性波法によるコンクリート開水路側壁の内部変状調査, 平成 25 年度 農業農村工学会大会講演会, 2013 年 9 月 4 日, 東京農業大学 (東京)
- (13) 周藤将司, 緒方英彦, 石神暁郎, 佐藤 智, 鈴木哲也, 山岸俊太郎, 凍害劣化した開水路側壁コンクリートの注入工法による力学性能改善効果, 平成 25 年度 農業農村工学会大会講演会, 2013 年 9 月 4 日, 東京農業大学 (東京)
- (14) 緒方英彦, 周藤将司, 兵頭正浩, 凍結融解作用により劣化したコンクリートの共鳴振動法による動ポアソン比の評価, 平成 25 年度 農業農村工学会大会講演会, 2013 年 9 月 4 日, 東京農業大学 (東京)
- (15) 井下千尋, 兵頭正浩, 緒方英彦, 熱処理を施した再生粗骨材の物性評価に関する研究, 平成 25 年度 農業農村工学会大会講演会, 2013 年 9 月 4 日, 東京農業大学 (東京)
- (16) M. Suto, H. Ogata, M. Hyodo, A. Ishigami, S. Sato, T. Kaneta and R. Takata, Difference of Electromagnetic Wave Rader Reflection Image Due to Presence of Absence of Internal Deformation in RC Open Channel, The 23th International Offshore (Ocean) and Polar Engineering, 2013 年 7 月 1 日, アンカレッジ (アメリカ)
- (17) 周藤将司, 緒方英彦, 佐藤 智, 石神暁郎, コンクリート内部のひび割れが電磁波レーダ法による鉄筋探査の精度に及ぼす影響, 平成 24 年度 農業農村工学会大会講演会, 2012 年 9 月 19 日, 北海道大学札幌キャンパス (北海道)
- (18) 兵頭正浩, 前田啓祐, 緒方英彦, 再生骨材 M の品質向上に用いる酸性溶液と骨材物性の評価, 平成 24 年度 農業農村工学会大会講演会, 2012 年 9 月 19 日, 北海道大学札幌キャンパス (北海道)
- (19) 周藤将司, 緒方英彦, 石神暁郎, 金田敏和, 凍害が発生している開水路 L 型ブロックの注入材充填前後の超音波伝播速度, 平成 24 年度 農業農村工学会大

会講演会, 2012 年 9 月 19 日, 北海道大学札幌キャンパス (北海道)

- (20) 緒方英彦, 周藤将司, 兵頭正浩, 普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートの相対動弾性係数と各種強度の関係, 平成 24 年度 農業農村工学会大会講演会, 2012 年 9 月 19 日, 北海道大学札幌キャンパス (北海道)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 水路の更生方法

発明者: 緒方英彦, 藤本光伸, 裕昌也, 竹田誠, 関根寛幸, 松原道雄, 長谷川一仁, 石神暁郎, 田場一矢, 青山裕俊, 西尾悟, 伊藤勉, 渡部浩二

権利者: 国立大学法人鳥取大学, 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所, 株式会社栗本鐵工所, 株式会社ドーコン

種類: 特許権

番号: 特願 2014-209781

出願年月日: 2014 年 10 月 14 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

緒方 英彦 (OGATA, Hidehiko)

鳥取大学・農学部・教授

研究者番号: 90304203

(2)研究分担者

兵頭 正浩 (HYODO, Masahiro)

鳥取大学・農学部・助教

研究者番号: 60611803

(3)連携研究者

佐藤 智 (SATO, Satoshi)

独立行政法人土木研究所・寒地土木研究所・主任研究員

研究者番号: 60466026

金田 敏和 (KANETA, Toshikazu)

独立行政法人土木研究所・寒地土木研究所・研究員

研究者番号： 10625867

石神 暁郎 (ISHIGAMI, Akiyo)

独立行政法人土木研究所・寒地土木研究
所・主任研究員

研究者番号： 20625868