

ARIC情報

南原穴堰

■巻頭言

地図だけでは表しきれないそれぞれの「景色」

■トピックス

世界かんがい施設遺産

World Heritage Irrigation Structures

ー日本が世界に誇る歴史遺産ー

■研究レポート

ため池ハザードマップ作成のための
浸水想定区域算定マニュアル（案）

■官民連携新技術研究開発事業の成果紹介

スマートガビオンを用いた
ため池堤体の耐越水補強工の開発

農業用水門の運用・維持管理の
高度化技術の開発

ータブレット端末を活用した総合的かつ省力的な
農業用水門の点検、診断および操作技術の開発ー

■事業紹介

国営かんがい排水事業（直轄明渠排水事業）
常呂川下流地区

ー国営造成施設を活用した
効率的な湛水被害の解消を実現ー

龍ヶ池揚水機場

CONTENTS

ARIC情報

01 ●巻頭言

地図だけでは表しきれないそれぞれの「景色」.....02

東京大学大学院農学生命科学研究科 教授

一般社団法人農業農村整備情報総合センター 理事 吉田修一郎

02 ●トピックス

世界かんがい施設遺産

World Heritage Irrigation Structures

ー日本が世界に誇る歴史遺産ー04

農林水産省農村振興局整備部設計課海外土地改良技術室 海外調整係長 高梨 志健

03 ●研究レポート

ため池ハザードマップ作成のための浸水想定区域算定マニュアル (案) ...08

(国研) 農研機構 農村工学研究部門

小嶋 創

(国研) 農研機構 農村工学研究部門

吉迫 宏

(国研) 農研機構 農村工学研究部門

正田 大輔

04 ●官民連携新技術研究開発事業の成果紹介

スマートガビオンを用いたため池堤体の耐越水補強工の開発14

株式会社水倉組

小林 秀一

株式会社水倉組

小林 龍平

株式会社水倉組

板垣 知也

東網工業株式会社

高橋 直哉

国立大学法人新潟大学

森井 俊廣

農業用水門の運用・維持管理の高度化技術の開発

ータブレット端末を活用した総合的かつ省力的な

農業用水門の点検、診断および操作技術の開発ー22

株式会社IHIインフラ建設

馬場 浩史

株式会社IHIインフラ建設

茂木 和美

株式会社IHIインフラ建設

竹崎 友紀

株式会社IHIインフラ建設

田村 洋満

株式会社IHIインフラ建設

羽田 広胤

株式会社IHIインフラ建設

伊藤 瑞

株式会社IHIインフラ建設

山村 哲矢

株式会社イクシス

山崎 文敬

株式会社イクシス

森広 英和

株式会社イクシス

山崎 一也

(国研) 農研機構 農村工学研究部門

島崎 昌彦

(国研) 農研機構 農村工学研究部門

中田 達

05 ●民間開発の技術の紹介

表面含浸材の農業水利施設への適用

ークリスタルストーン NR (NNTD No.1389) の技術紹介ー30

株式会社日興 代表取締役

塩田 哲康

株式会社日興 技術開発部部長

松本 謙一

株式会社日興 技術開発部主任

岸田 貴弘

株式会社日興 技術開発部

金子 洋一

06 ●事業紹介

国営かんがい排水事業 (直轄明渠排水事業)

常呂川下流地区

ー国営造成施設を活用した効率的な湛水被害の解消を実現ー36

国土交通省北海道開発局網走開発建設部 北見農業事務所 第3工事課長 金谷 訓志

07 ●ARIC'S LETTER

ARIC 時代に学んだこと40

前 一般社団法人農業農村整備情報総合センター 専務理事

中西 憲雄

08 ●広告 (賛助会員)44

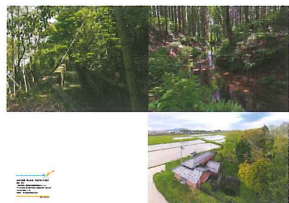
09 ●編集後記56

10 ●表紙コラム

令和6年世界かんがい施設遺産登録

「南原穴堰」「龍ヶ池揚水機場」「西光寺野疏水路」

(宮城県大崎市・滋賀県豊郷町・兵庫県姫路市・市川町・福岡町)57



■表紙写真

令和6年

世界かんがい施設遺産登録

「南原穴堰」

「龍ヶ池揚水機場」

「西光寺野疏水路」

今号の表紙写真は、農林水産省農村振興局整備部設計課海外土地改良技術室 (ICID 日本国内委員会事務局) から提供いただいた、令和6年に世界かんがい施設遺産登録された日本の3施設です。

世界かんがい施設遺産についてご紹介した「トピックス」「表紙コラム」と併せてご覧ください。

本誌の中での農林水産省職員の投稿文の内容や意見は、執筆者個人に属し、農林水産省の公式見解を示すものではありません。

表面含浸材の農業水利施設への適用

ークリスタルストーン NR (NNTD No.1389) の技術紹介ー



塩田 哲康^{*1}



松本 謙一^{*2}



岸田 貴弘^{*3}



金子 洋一^{*4}

^{*1} 株式会社日興 代表取締役

^{*2} 株式会社日興 技術開発部部长

^{*3} 株式会社日興 技術開発部主任

^{*4} 株式会社日興 技術開発部

1. はじめに

戦後集中的に整備された社会資本ストックは順次老朽化が進み、急速に更新時期を迎えている。一方、我が国の財政状況は厳しく、ライフサイクルマネジメントに基づく効率的且つ効果的な維持管理手法が求められている。

農業水利施設においても例外に漏れず、農林水産省の資料「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路編】令和5年3月」によれば、基幹的水路や基幹的施設（ダム、取水堰等）などの基幹的農業水利施設の整備状況は、令和2年3月時点で、基幹的水路が5万1,472km、基幹的施設が7,656箇所であり、このうち標準耐用年数を超過している施設は、再建設費ベースで5兆6千億円となり、全体の28%を占めている。さらに、今後10年のうちに標準耐用年数を超過する施設を加えると8兆4千億円であり、全体の42%を占めている。これまでの全面的な改築に代え、機能の監視・診断等によるリスク管理を行いつつ劣化の状況に応じた補修・補強

等を計画的に行うことにより、施設の長寿命化とライフサイクルコストの低減を図る戦略的な保全管理の推進が必要とされている。

2. 開水路の劣化要因

2.1 劣化要因の概略

コンクリート構造物の劣化要因は、塩害や凍害、中性化、アルカリシリカ反応（ASR）、化学的侵食などが一例として挙げられるが、農業水利施設のうち、コンクリート開水路に目を向けると、中性化、摩耗、凍害による変状が主体的となり、塩害やアルカリシリカ反応（ASR）、化学的侵食は全体から見ればレアケースとなり、地域性や環境により個々に生じる変状として取り扱われる。

2.2 開水路における劣化要因

2.2.1 中性化

中性化は、大気中の二酸化炭素がセメント水和物と炭酸化反応を起こし、細孔溶液中のpHが低下することで、鋼材の腐食が促進し、コンクリートのひび割れやはく離などを引き起こす現象である。

開水路においては、かんがい期間のコンクリートは湿潤状態であり中性化の主たる劣化要因である二酸化炭素に触れる機会は少なく一般構造物よりも中性化速度は遅い。一方、長期間にわたって流水に晒されることから、硬化コンクリート中のカルシウム水和物が溶脱し、気中部よりも水中部で中性化が進行していることもある。

2.2.2 摩耗

摩耗は、流水中の土砂による研摩作用や落差による衝撃力などが組み合わさり、コンクリートの表面が欠損していく現象である。

摩耗によりかぶり厚さが減少し、はく離、はく落から耐荷力の低下などを引き起こす。また、粗度係数が大きくなると流下能力が低下することがわかっている。一般に底版および側壁の底部で著しく、側壁の上部になるほど小さくなる。

平成19～23年度実施の国営造成水利施設保全対策指導事業の機能診断調査結果では、コンクリート開水路の変状で、「摩耗」による骨材露出が最も多い結果となっている。

2.2.3 凍害

凍害は、コンクリート中の水分が外気温や日射しによる影響を受け凍結と融解を繰り返すことで、水分の凍結膨張圧によりコンクリートにひび割れやはく離などが発生する現象である。

開水路では水路内面で直に水と接するとともに水路背面からの地下水の供給があり、しかも気象作用が厳しい箇所に設置されることが多いため、凍害を受けやすい状況にある。

2.2.4 その他

塩害は、干拓地の防潮水門や海岸付近に位置する構造物のほか、寒冷地では幹線道路沿いに位置する開水路では融雪剤が塩化物イオンの供給源となり、変状を生じることもある。

アルカリシリカ反応（ASR）については、造成年や地域性により、化学的侵食は温泉地や酸性河川流域など発生事例は少ないものの留意する必要がある劣化要因となることが知られている。

3. 表面含浸材

3.1 開水路の補修工法

開水路における補修工法は表面

処理工法とひび割れ補修工法、断面修復工法および目地補修工法、電気化学的防食工法の5つに大別される（表1）。

表面処理工法はさらに表面被覆工法と表面含浸工法に大別される（表2）。

表面被覆工法はコンクリート表面に数100 μ mから数mmの被膜を形成し、物理的に劣化因子の侵入を抑制または防止する工法である。ポリマーセメントモルタルなどのセメント系材料を主材とする無機系被覆工法と有機系樹脂を主成分とする有機系被覆工法のほか、パネル工法、シート工法に分類される。

表面含浸工法は、コンクリート表面に表面含浸材を塗布することで、その含浸部を緻密化、もしくは撥水層を形成することで劣化因子の侵入を抑制する工法であり、それぞれの主成分の違いから、けい酸塩系含浸材とシラン系含浸材、その他の含浸材に大別される。

3.2 農業水利施設での表面含浸材

表面含浸材はこれまで、建築物や一般土木構造物で施工実績を積み重ねてきた。しかし農業水利施

設において適用実績はそれほど多くはない。

近年、コンクリート構造物の維持管理や長寿命化の必要性が高まる中、耐久性を向上させ、ライフサイクルコストを最小化するべく、劣化の進行を抑制する技術が求められている。この流れを受け、最近では農業水利施設にも表面含浸材の適用が徐々に検討され始めており、令和5年3月に改定された「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路編】」では、開水路における表面含浸材の適用範囲や工法に要求される品質規格が新たに規定され、表面含浸工法に関する基準が大幅に拡充された。

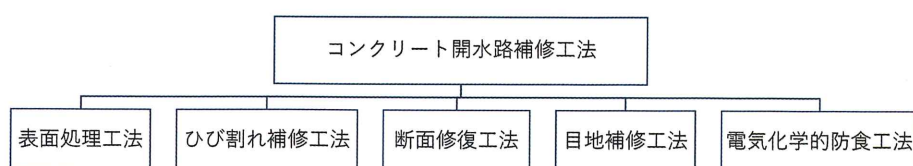
4. クリスタルストーンNR

4.1 NNTD登録と開発経緯

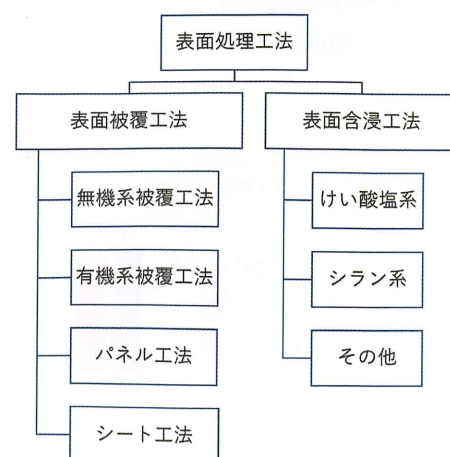
今回、ARICが運営するNNTD（農業農村整備民間技術情報データベース）に登録したクリスタルストーンNR（NNTD No.1389）は、コンクリート構造物の耐久性向上を主目的とし、1993年に開発したけい酸塩系表面含浸材である。

開発当初は、現在のようなインフラ老朽化やストックマネジメン

■表1 開水路における補修工法の分類



■表2 表面処理工法の分類





■写真1 クリスタルストーン NR の施工例



トに対する考えは浸透しておらず、品質規格もない状況であり、新技術の現場適用には高いハードルが課せられていたように思える。

現在は、SIP 創設をはじめとした国家としてのインフラ長寿命化への取り組み、NNTD や NETIS の活用促進などの背景もあり、施工実績も年々増加傾向にあると同時にインフラ構造物の維持管理上効果的な技術として認知されつつあるものと自負している。これまでの特徴的な施工例を写真1に示す。

4.2 概略と特徴

クリスタルストーン NR は純国産原料のみで構成される完全無機質の1液タイプのけい酸アルカリ水溶液である。材料特性を表3に示す。

コンクリートやモルタル等、セメント系下地表面から塗布することで5～7mm 浸透・拡散し、基材

空隙中の水酸化カルシウム等金属イオンと置換反応を起こす。この反応により基材表層部の空隙中にカルシウムシリケートを主体とするガラス物質を析出し空隙を充填する。表層部の空隙を充填することで、緻密化が図られ、コンクリートの内部に水分や二酸化炭素が侵入することを抑制し、凍害や中性化に抵抗性を示す。また、表層部の組織が緻密になり硬度が増大、耐摩耗性や付着強度が向上する。

4.3 性能

4.3.1 農業水利施設品質規格

令和5年3月より「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路編】」にて新たに規定された表面含浸材の品質規格について、クリスタルストーン NR の性能試験結果を表4に示す。

基本的性能として、農業水利施設での適用は勿論、凍害の恐れのある地域においても個別的性能として品質規格に適合することを確認した。

ある地域においても個別的性能として品質規格に適合することを確認した。

4.3.2 中性化抑制効果

クリスタルストーン NR の中性化に対する抵抗性試験結果を図1および図2に示す。

図1の試験は、JSCE-K571「表面含浸材の試験方法（案）」に準拠して促進中性化試験を実施し、水セメント比の異なる3ケースのコンクリート基板を用いた。試験の結果、クリスタルストーン NR を処理したコンクリートは何れの水セメント比においても一定の中性化抑制効果を確認した。

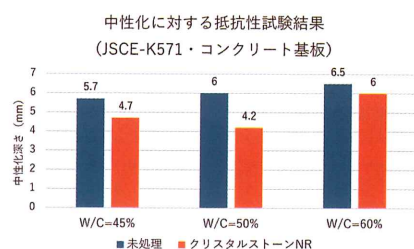
図2の試験では、既設コンクリートへの塗布を想定し、中性化した基板へ表面含浸材を塗布し、再度、促進中性化試験に掛け、長期的な中性化抑制効果を確認した。試験の結果、中性化が進んだコンクリートであっても、クリスタルストーン NR を含め表面含浸材の適用により、中性化の進行を一定程度抑制できることを確認した。その中でもクリスタルストーン NR の中性化抑制効果が優れていることを確認した。

4.3.3 耐摩耗性

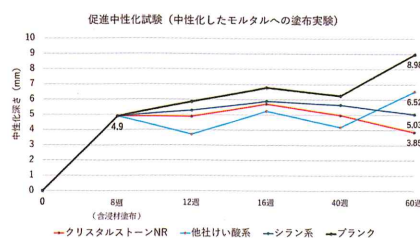
クリスタルストーン NR の耐摩耗性試験結果を図3に示す。

試験は、JIS K7204「プラスチック摩耗輪による摩耗試験方法」に準拠しモルタル基板を用いて未処理との比較を行った。なお、試験条件は、摩耗輪を H-22（粗く弾力性のない素材）、1000g 荷重、500 回転の試験を実施した。試験の結果、未処理と比較し、厚さ減少量が55%、質量減少量が44%の摩耗抵抗性を有することを確認した。

しかしながら開水路コンクリートにおいては、流水や混入している



■図1 中性化に対する抵抗性試験結果



■図2 中性化したモルタルへの塗布実験結果

■表3 クリスタルストーン NR の材料特性

主成分	けい酸ナトリウム
外観	無色透明
性状	水性液体
比重	1.10～1.20
粘度	9秒（フォードカップ）
pH	12
引火点	燃焼性なし
毒性	なし、皮膚障害なし

■表4 開水路マニュアルに定められている工法の要求性能試験結果

要求性能項目		品質項目	照査方法	品質規格値	試験結果
基本的性能	緻密度	乾燥固形分率	JSCE-K572-2018 6.2乾燥固形分率試験	10%以上	18.5%
	中性化抑止性	中性化抑制率	JSCE-K572-2018 6.8中性化に対する抵抗性試験	10%以上	11%
個別的性能	耐凍害性	透水抑制率	JSCE-K572-2018 6.6透水量試験	20%以上	27%
		吸水抑制率	JSCE-K572-2018 6.7吸水率試験	10%以上	14%

土砂の摩耗作用や衝撃による摩耗が支配的となるため、島根大学で開発された水砂噴流摩耗試験での確認などが今後必要と考えられる。

4.3.4 耐凍害性

クリスタルストーン NR の透水量試験結果を図4に示す。

耐凍害性を評価する方法としてはJIS A1148「コンクリートの凍結融解試験方法」のA法などがあるが、ここでは外部からの水の浸入を抑制する効果について、JSCE K571「表面含浸材の試験方法（案）」に準拠して透水量試験を実施した。水セメント比の異なる3ケースのコンクリート基板を用いた。試験の結果、水セメント比が大きくなる程、含浸材の効果が高まる傾向を確認した。

4.3.5 含浸深さ

クリスタルストーン NR の含浸

深さ測定結果を図5に示す。

試験は、微小硬度計によるビッカース硬さの測定により含浸深さを算出した。試験の結果、クリスタルストーン NR 処理面より5.5mm付近までは、未処理面側と比較して明瞭な硬度の上昇が認められたことにより、クリスタルストーン NR の含浸深さは5.5mmと推定した。

同様に水セメント比の違いによる含浸深さを確認しており、水セメント比が大きくなるに伴い含浸深さも大きくなることを確認した。

4.3.6 躯体改質効果（室内試験）

クリスタルストーン NR の躯体改質効果（室内試験）の試験結果を図6に示す。

試験は基盤モルタル（W/C=0.5、S/C=3）に対し、配合・養生条件の異なる5ケース（配合：通常および貧配合、養生：常温および低

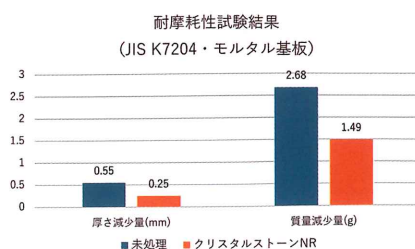
温（-5℃）、風圧）の市販ポリマーセメントモルタルを3mm塗付し、表面含浸材の有無について付着強度を測定した。

試験の結果、クリスタルストーン NR 塗布により、何れのケースにおいても付着強度の向上（33%～59%）が認められた。また、付着強度測定時のはく離深さもクリスタルストーン NR 処理の供試体で未処理より深い位置ではく離を確認した。

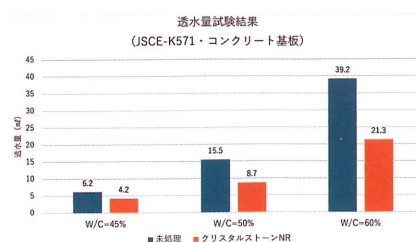
4.3.7 躯体改質効果（既設水路構造物）

クリスタルストーン NR の躯体改質効果（既設水路構造物試験）の試験結果を図7に示す。

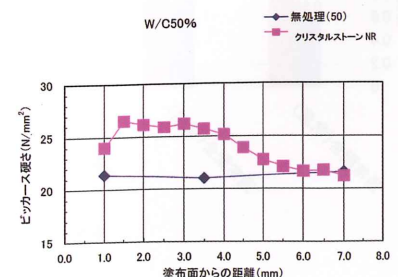
試験は建設から約40年経過した東海地区にある既設水路構造物（底版幅：0.85m、壁面高さ：0.65m、延長：6.00m、現場打ちコンクリー



■図3 摩耗性試験結果



■図4 透水量試験結果



■図5 含浸深さ測定結果

ト)にて実施した。下地洗浄後、クリスタルストーンNRを標準塗布量 0.2kg/m^2 および $\pm 0.1\text{kg}$ 塗布し、14日後に付着強度を測定した。

試験の結果、未処理位置での付着強度は底版で 0.53N/mm^2 、壁面で 2.06N/mm^2 であったが、クリスタルストーンNR塗布により、付着強度の向上(49%~258%)が確認できた。また、底版および壁面ともにクリスタルストーンNRの塗布量が増加するに従い、付着強度が増加する傾向も確認した。

上記により、「農業水利施設補修工事のためのガイドライン(一般社団法人農業土木事業協会)」に示される開水路補修施工の下地品質(壁面:1箇所3点の付着試験値は、それぞれ 1.0N/mm^2 以上、底版:1箇所3点の付着試験の平均値は 1.0N/mm^2 以上。かつ、個々の値は 0.85N/mm^2 以上)に満たない経年後の下地コンクリートであっても、クリスタルストーンNR処理により躯体を改質することも可能であると判断できる。

4.4 適用範囲と施工方法

4.4.1 適用範囲

クリスタルストーンNRは、コンクリート表層を緻密化することで、劣化に対する抵抗性の向上およびコンクリート表層部の改質を図る効果がある。

施工方法としては、クリスタルストーンNRを「表面含浸工法」として単独使用のほか、表面被覆工法との併用など「補助工法」としての使用が考えられる。

「補助工法」としては、無機系被覆工法の施工前に母材コンクリートに直接クリスタルストーンNRを塗布することで躯体改質効果を図る方法と、無機系被覆材施工後の表面にクリスタルストーンNRを塗布し無機系表面被覆の緻密化をすることを目的として塗布する方法の2パターンあるいは、その両方の方法を併用する3パターンがある。

適用にあたっては、「表面含浸工法」として単独使用の場合には、「新設」又は劣化過程「潜伏期」までにある構造物を適用対象とし、予防保全型維持管理へ有効に活用できる。また、「補助工法」とし

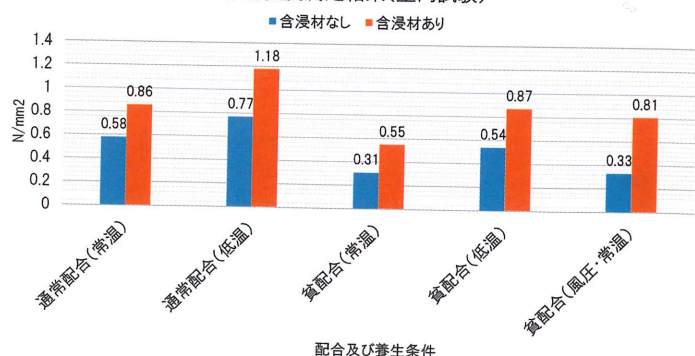
て無機系被覆工法と併用した場合には、その劣化状況に応じて、劣化過程の「進展期」や「劣化期」も適用対象となり、近年採用事例も増えている現状にある

4.4.2 施工方法

「表面含浸工法」として単独使用の場合には、大きく【①洗浄】【②塗布】【③余剰分の除去(散水等)】の3工程となる。まず、①コンクリート表面の脆弱部、藻や苔、汚れなどの付着物を高圧洗浄機などで除去する。②コンクリート表面の乾燥状態を確認し、クリスタルストーンNRを短毛ローラーや噴霧器などを使用して塗布する。③塗布後30分程度で表面に残ったクリスタルストーンNRを水洗いし施工完了となる。

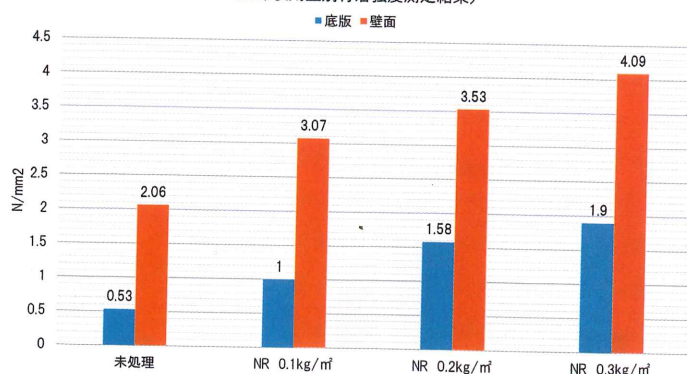
「補助工法」として、無機系被覆工法と併用する場合には、2パターンの方法がある。まず躯体改質効果を目的とし、無機系被覆工法の施工前に母材コンクリートに直接クリスタルストーンNRを塗布する場合には、上記の単独使用と同様の施工方法となる。しかし、対象となるコンクリートに藻や苔などの付着物の他、ひび割れの発生や鉄

品質の異なるモルタルにおける躯体改質効果
付着強度測定結果(室内試験)

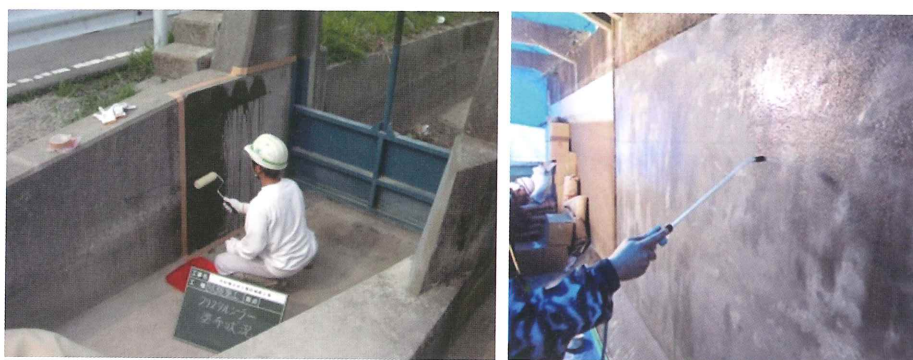


■図6 躯体改質効果(室内試験)

既設構造物(供用40年)の躯体改質効果
(塗布使用量別付着強度測定結果)



■図7 躯体改質効果(既設水路構造物試験)



■写真2 クリスタルストーン NR の農水施設施工状況

筋露出などがみられる場合は、現場状況に応じて、ひび割れ補修工法や断面修復工法など適切な下地処理を行った上で、クリスタルストーン NR を塗布する必要がある。

次に、無機系被覆材施工後の表面の緻密化を目的として塗布する場合においては、大きく【①塗布】【②余剰分の除去（散水等）】の2工程となる。塗布対象は施工後の無機系被覆表面となるため、洗浄は行わず、①乾燥状態を確認し、クリスタルストーン NR を短毛ローラーや噴霧器などで塗布し、②塗布後30分程度で表面に残ったクリスタルストーン NR を水洗いし施工完了となる。写真2に塗布状況写真を示す。

クリスタルストーン NR の施工方法は、固化型表面含浸工法に属すものの、JSCE-K572による反応試験からは反応型に分類される。詳しくは、固化する部分と反応する部分があり、双方の特徴を兼ね備えている。ここで示す実験はすべて乾燥状態のコンクリートまたはモルタル供試体での実験値であり、施工方法では、それらを反映して実施している。

また、品質管理としては、塗布使用量の管理のほか、施工前後の「塗布確認カード」の使用を実施している。

5. まとめ

クリスタルストーン NR を含む表面含浸材のメリットは、①施工が容易で、②経済性が良く、③塗布後の外観変化がほとんどないため維持管理し易く、④繰り返し施工が可能であり、⑤劣化を促進する副作用が無く、予防保全型維持管理に適することが挙げられる。そのため、建築物や一般土木構造物では、多くの施工実績を有している。

しかしながら、農業水利施設における表面含浸工法の適用例は、一般的な土木構造物に比べて多くない。これは、気中環境にある一般的な土木構造物ではその効果が実証されているものの、流水の影響を受ける農業用コンクリート開水路においては、表面含浸材の性能や効果の持続性に関する十分な検証データが不足していることが挙げられる。

弊社においては、今回紹介したクリスタルストーン NR のほかに、無機系被覆工法と表面含浸材との併用した「クリスタル NCP 工法 (NNTD No.1263)」やシラン系表面含浸材との併用した「T&C 防食 - 塩害用 - (NNTD No.1386)」などのラインナップがある。現在農業水利施設において、積極的な営業活動を行っており、小幅ながら順

調に施工実績を積み重ねているところである。

今後、これらのモニタリングを行いつつ、農業水利施設構造物への適用性や期待できる性能の把握、評価手法の確立することが必要であると考えている。これらの結果が、私たちの生活に必要な不可欠な農業水利施設の戦略的維持管理手法策定の一助となれば幸いである。

【引用文献】

- 1) 農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路編】令和5年3月（農林水産省農村振興局整備部設計課）
- 2) 農業水利施設補修工事のためのガイドライン（一般社団法人農業土木事業協会）
- 3) コンクリートライブラリー 119 表面保護工法設計施工指針（案）（土木学会）
- 4) コンクリートライブラリー 137 けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案）（土木学会）