開水路補修工法の追跡調査結果の分析および今後の課題

誌名	水土の知 : 農業農村工学会誌 : journal of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Rural Engineering
ISSN	18822770
著者名	長谷川,雄基 谷村,成 山本,昌宏 高橋,慶吉 佐藤,周之 長束,勇
発行元	農業農村工学会
巻/号	88巻6号
掲載ページ	p. 475-478
発行年月	2020年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

AgriKnowledge

小特集　農業水利施設の補修工法選定上の課題—❺

開水路補修工法の追跡調査結果の分析および今後の課題

Forthcoming Challenges and Analysis of Follow-up Survey Results on Repairing Method of Open Channel

長谷川雄基*　谷村成**　山本昌宏**
(HASEGAWA Yuki)　(TANIMURA Naru)　(YAMAMOTO Masahiro)
高橋慶吉**　佐藤周之***　長束勇****
(TAKAHASHI Keikichi)　(SATO Shushi)　(NATSUKA Isamu)

I. はじめに

農業水利施設のストックマネジメントや対策工法の重要性が強く認識されはじめたのは，今から10～15年ほど前のことである。当初，開水路の補修工法としては，一般の土木構造物や下水道施設で実績のあった多種多様な工法が試行錯誤的に適用されていた。この間，農林水産省をはじめとする関係機関では，施工事例に基づくさまざまな手引き・マニュアル類の整備を進めており，現在，開水路の表面処理工法では無機系被覆工法が最も一般的な工法として位置づけられている。

補修工法の品質確保を目的として，農林水産省では2015年に「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路補修編】(案)」(以下，「マニュアル」という）を発行し，改定を経ながら国営事業を中心に運用されている。マニュアルでは，補修工法の要求性能およびその評価方法が明示されており，これにより発注者は，施工後早期に補修箇所の変状などが生じにくい，一定の品質を満足した工法を採用できる環境が整備されつつある。

一方，マニュアルでは，補修後の追跡調査（モニタリング）については，その必要性には触れられているものの，具体的な指針は定められていない。これについて，筆者らは本誌第82巻第7号において，無機系被覆工法の追跡調査結果の一例を報告した[1]。本報では，調査対象を拡大し，同一工法（無機系被覆工法・ひび割れ充填工法）による補修工事が実施されたコンクリート製開水路73現場（総面積約42,000 m^2，総延長約22,000 m，補修後の経過年数0～12年）の追跡調査を行い，補修箇所の健全性および変状事例について整理した。これを通して，現在最も多用されている無機系被覆工法・ひび割れ充填工法の施工上の留意点や追跡調査方法の確立などの今後の課題について考察した。

II. 調査対象とした開水路補修工法の概要

本調査の対象現場は，四国地方に位置する比較的小規模な支線農業用開水路が大半を占めており，県営事業や団体営事業で造成および補修工事が実施されたものである。ほぼすべての開水路が比較的温暖な内陸環境にあり，凍害や塩害などの特殊な自然環境に起因する劣化は生じていないことを確認している。

本調査で対象とした無機系被覆工法は，けい酸塩系表面含浸材（以下，「含浸材」という）を併用することを特徴とする複合工法である。高圧洗浄等による下地処理後の既設コンクリート躯体(くたい)表面に含浸材を塗布・浸透させることで，躯体内部および無機系被覆材（ポリマーセメントモルタル，以下「被覆材」という）から供給されるカルシウム成分等と反応し，主要なセメント水和物であるC-S-H系結晶と同質の生成物を微細空隙に生成する。結果として，既設躯体の緻密化を図ることができる。本工法の施工手順は，①下地処理，②含浸材塗布（既設躯体面），③被覆材塗布（t=5 mm），④含浸材塗布（被覆面）である。本工法の施工性や耐久性などは，既報に整理している[2),3)]。

ひび割れ充填工法で使用されたシーリング材は，可とう性エポキシ樹脂系1種類およびウレタン系弾性シーリング材2種類の計3種類の製品である。

III. 追跡調査結果の整理

1. 追跡調査の方法

追跡調査の方法としては，目視検査・打音検査を主とした簡易調査や，既報[1)]のような詳細調査が挙げられる。本調査では，すべての現場において目視検査と打

*香川高等専門学校
**水路補修改修工法研究会
***高知大学教育研究部農学部門
****島根大学名誉教授

キーワード　無機系被覆工法，ひび割れ充填工法，開水路補修，モニタリング，表面含浸材，シーリング材

音検査を実施し，補修箇所の変状の有無を確認した。

2. 追跡調査の結果

まず，無機系被覆工法の追跡調査結果を**表-1** に示す。本報では，補修箇所の変状確認件数を補修面積で除して百分率表示した数値を変状部と定義した。これを経過年数ごとに分けて示す。

表-1 無機系被覆工法の追跡調査の結果

経過年数	調査件数	補修面積（m^2）	健全部（%）	変状部（%）
1年未満	4	647	100.00	0.00
1～3年	19	10,100	99.80	0.20
4～6年	24	17,509	99.79	0.21
7～9年	15	9,891	99.88	0.12
10年以上	11	4,075	99.80	0.20

表-1 より，無機系被覆工法における変状部は，経過年数にかかわらず1%未満であり，補修箇所のほとんどは健全に保たれていることがわかる。これは，比較的早期に変状が発生した箇所以外は健全に保たれており，経年に伴う新たな変状が起きにくい傾向が現れていると考えられる。

無機系被覆工法の調査結果を詳細に分析するために，無機系被覆工法の補修箇所に発生した変状の分類を行った。結果を**表-2** に示す。

表-2 無機系被覆工法に発生した変状の分類

名称	ひび割れ等		浮き等	摩耗
発生部位	ひび割れ充填工法の近接部	ひび割れ充填工法の近接部以外	ひび割れ充填工法の近接部	—
割合（%）	67.1	19.7	13.2	0.0

表-2 より，無機系被覆工法に発生した変状は，ひび割れ等が約90%，ひび割れ充填工法近接部の浮き等が約10%であり，ひび割れの大半は，ひび割れ充填工法の近接部でみられた。10年以上経過後も喫水線の上部と下部で大きな外観の相違はなく，ほとんど摩耗の発生がないことが確認された。

次に，ひび割れ充填工法の追跡調査結果を**表-3** に示す。表中の変状部の算出方法は，先述と同様である。ひび割れ充填工法においても，補修面積における変状は微小であった。しかし，無機系被覆工法とは異なり，経年に伴い変状部が増加する傾向が確認された。これは，使用材料が有機系（エポキシ系・ウレタン系）であるため，紫外線などによる劣化が経年的に進行するためと考えられる。ただし，補修箇所において通水性能に重大な影響を及ぼす変状は確認されず，水利用に問題はなかった。

表-3 ひび割れ充填工法の追跡調査の結果

経過年数	調査件数	補修面積（m^2）	健全部（%）	変状部（%）
1年未満	4	647	100.00	0.00
1～3年	19	10,100	99.98	0.02
4～6年	24	17,509	99.93	0.07
7～9年	15	9,891	99.90	0.10
10年以上	11	4,075	99.88	0.12

3. 補修箇所における変状事例の分析

本調査より，以下の①～③の特徴が確認できた。

① 全体的に被覆材には，ひび割れ，浮き，摩耗等の変状は少なく，良好な状態であるケースが多い。

② 時間経過に伴いシーリング材の劣化が頻発する。

③ 経年劣化により弾性が低下したシーリング材近接部の被覆材に変状が生じるケースが多い。

①について考察すると，調査を通して，被覆材自体のひび割れは施工面積全体の微小であり，さらに摩耗をはじめとする劣化による変状が生じている事例はみられなかった。本補修工法は，マニュアルで示される各種試験を通して，無機系被覆工法に要求される性能をすべて満足していることが確認できている。また，実環境下の被覆材の中性化や摩耗を調査した既往研究[1),4),5)]を参照すると，寒冷地の凍害などのケースを除き，被覆材自体の劣化が問題になることは少ないといえる。このことから，対象とする工法がマニュアルに則った要求性能を満足していれば，被覆材の材料そのものについては，補修工法の標準的な耐用年数とされる20年の期間において大きな変状は生じにくいと推察される。加えて，補修後に生じた微細ひび割れの多くは自閉していることが確認された。これについては，本工法の特徴である，含浸材のひび割れ補修効果[6)]が発揮された可能性がある。

②と③について考察すると，補修後の年数の経過に伴い，既設躯体のひび割れや目地の処理で使用したシーリング材が劣化する傾向が確認された。調査を通して，施工後早期は全体的に良好な状態であるが，徐々に痩せや割れの発生が目立つようになった。

被覆材と比較して，紫外線の影響等を強く受けるシーリング材は劣化の進行が早い。これに起因すると考えらえる，**写真-1** のようなシーリング材近接部における被覆材のひび割れや浮きが確認されることが多

写真-1 シーリング材近接部におけるひび割れと浮き

かった。これは，夏季の高温時に躯体コンクリートが膨張し，ひび割れ幅・目地幅が狭くなる際に，経年劣化により弾性が低下して硬くなったシーリング材に，被覆材が押されたことによる影響や，充填箇所から枝分かれしたひび割れの動きによる影響などが考えられる。

IV．無機系被覆工法・ひび割れ充填工法の適用における課題

1．施工時やメンテナンスで留意すべき事項

Ⅲ.の結果を踏まえ，無機系被覆工法・ひび割れ充填工法の施工時やメンテナンス（維持管理）において留意すべき事項を整理する。まず，無機系被覆工法について，被覆材は，既存躯体との一体化性が高く，被覆材の浮きや剥離などが生じるケースは少ない。また，既存躯体よりも圧縮強度が大きく緻密であるため，摩耗による影響もほとんど確認されず，補修箇所の大半は，10年以上経過後も良好な状態が保持されていた。

一方，被覆材のひび割れ追従性は低いため，特に変動幅が大きいひび割れの処理が問題となる。変動幅の大きいひび割れはひび割れ充填工法で処理すべきであり，このようなひび割れを見落とさないように留意することで，被覆材に発生するひび割れを低減でき，品質向上につながると考える。そのためには，高圧洗浄等による下地処理後の事前調査時に，目地と目地の中間付近，管周り，暗渠部など他の構造体との接合部，嵩上げ部との打継目など，変動幅が大きいひび割れが発生しやすい箇所の入念な調査が必要である。

次に，ひび割れに充填するシーリング材の劣化およびそれに付随した被覆材の変状については，本調査結果から，シーリング材は無機系被覆工法などの表面処理工法と比較して早期に劣化するものであるという認識を持つことが必要である。

つまり，ひび割れ充填工法を適用した場合は，シーリング材の定期的な交換が必要であることを認識し，管理者による直営施工，あるいは受注者による補修後のアフターサービスなどを含めた維持管理計画を考えなければならない。一例として，自動車のメンテナンスについて考える。自動車は，法令で定期的な検査が義務づけられており，消耗したパーツを適宜交換することで，購入から10年以上，快適かつ安全に利用することができる。これを開水路の補修工法に置き替えると，定期的な追跡調査を行い，劣化したシーリング材については適宜交換することが，適切な水路の維持管理と考えられる。

ストックマネジメントは，新設の水利施設に対して適時適切な調査診断・対策工法を実施していくことで，長寿命化を目指すものである。補修工事においても，マニュアルで補修効果が期待される期間，一切のメンテナンスなしに運用できるものではないという認識を持つことが重要である。特に，ひび割れ充填工法に使用するシーリング材については，耐用年数に関する規格がなく，比較的早期に劣化することを前提として，補修した開水路全体の維持管理に対するストックマネジメントのサイクルを回していくことが必要である。

2．追跡調査の方法に関する一考察

本調査結果を踏まえると，無機系被覆工法・ひび割れ充填工法の追跡調査では，特にシーリング材の劣化把握に主眼をおいた定期的な調査が必要となる。その上で，日常管理や定期点検時に被覆材に顕著な変状が確認された場合には，現地試験による詳細調査[1]を行うのが効果的であると考えられる。

被覆材に生じるひび割れの防止という観点からは，補修工事前の既設躯体の事前調査が鍵となる。これに加えて，補修工事後の完了検査において，各種性能の初期値の取得を考慮すると，**表-4**のような追跡調査の方法や時期が想定できる。ただし，この追跡調査の方法や時期は，本調査結果や既報[2]を踏まえた一例に過ぎず，施設の供用環境や社会的重要度に応じて最適な方法を検討していく必要がある。

V．まとめと今後の展望

本報では，同一の補修工法で施工された計73現場の追跡調査結果を整理し，施工やメンテナンスにおいて留意すべき課題をまとめた。なお，本報で対象とした無機系被覆工法は含浸材と被覆材を併用した複合工法であり，これが変状の抑制にどの程度の効果を発揮

表-4　無機系被覆工法・ひび割れ充填工法の追跡調査の評価項目と調査時期の一例

評価項目	試験方法，測定機材等	調査時期			
		事前調査	完了検査	定期調査	詳細調査
変状の有無	目視	○ 既設躯体	○	○	—
浮き	打音	○ 既設躯体	○	○	—
シーリング材の弾性	触診・硬度計等	—	○	○	—
中性化抑止性	コアビット法[4]等	○ 既設躯体	—	—	○
付着性	建研式等	○ 既設躯体	○ 初期値	—	○
耐摩耗性，表面粗さ（通水性）	レーザー変位計等	○ 既設躯体	○ 初期値	—	○
一体化性	テストハンマー	○ 既設躯体	○ 初期値	—	○
緻密性（物質侵入抵抗性）	表層透気試験，表面吸水試験等	○ 既設躯体	○ 初期値	—	○

しているのかは今後検証が必要である。

本報では変状部の表示を，補修面積における変状確認件数の百分率とした。また，ひび割れ充填工法の変状部を算出するに当たり，充填工法の施工総延長およびひび割れの総延長を測定するのは現実的に困難であったため，無機系被覆工法の施工面積全体における変状確認件数とした。今後，健全部と変状部を評価するための統一的な指標の構築が必要と考える。

本調査で確認された傾向として，水路背面が道路側に位置する側壁よりも，背面土がない圃場側で変状の発生率が高い傾向があった。これは，道路側は路盤・路床の締固めにより躯体の動きが抑制されたことなどが一因と考えられるが，今後，このような特徴を分析するための細かな分類・分析を継続していく予定である。

引 用 文 献

1) 長谷川雄基，谷村　成，田中基博，高橋慶吉，佐藤周之：無機系表面被覆材による開水路補修工事の追跡調査と性能評価，水土の知 82(7)，pp.23～26（2014）
2) 谷村　成，長谷川雄基，上野和広，佐藤周之，長束　勇：農業用水路におけるけい酸塩系表面含浸工法の施工性および施工上の留意点，平成 29 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集，pp.568～569（2017）
3) 長谷川雄基，上野和広，佐藤周之，長束　勇：けい酸塩系表面含浸材と無機系被覆材との複合工法における基礎特性の評価，平成 29 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集，pp.574～575（2017）
4) 川邉翔平，浅野　勇，森　充広，川上昭彦：供用中の無機系表面被覆工の中性化深さのばらつき，農業農村工学会論文集 304，pp.II_17～II_23（2017）
5) 浅野　勇，渡嘉敷　勝，森　充広，西原正彦：無機系被覆工の摩耗深さ測定手法，コンクリート工学年次論文集 36(2)，pp.1321～1326（2014）
6) 浅野純平，長谷川雄基，松本　拓，山本昌宏，谷村　成，高橋慶吉，佐藤周之：けい酸塩系表面含浸材によるひび割れからの透水抑制効果，平成 28 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集，pp.783～784（2016）

〔2020.4.21.受理〕

長谷川雄基（正会員）

略　歴
1987年　静岡県に生まれる
2013年　高知大学大学院修了
2016年　愛媛大学大学院連合農学研究科修了
香川高等専門学校助教
現在に至る

谷村　成（正会員）

1972年　宮崎県に生まれる
2007年　(株)アストン
2008年　水路補修改修工法研究会事務局
現在に至る

山本　昌宏

1963年　東京都に生まれる
2001年　(株)アストン
2008年　水路補修改修工法研究会事務局
現在に至る

高橋　慶吉

1958年　愛媛県に生まれる
1981年　大阪産業大学卒業
(株)総合開発（旧開発コンクリート(株)）
2008年　水路補修改修工法研究会事務局
現在に至る

佐藤　周之（正会員）

1972年　熊本県に生まれる
1995年　鳥取大学農学部卒業
2005年　高知大学教育研究部農学部門准教授
現在に至る

長束　勇（正会員）

1951年　滋賀県に生まれる
1974年　京都大学農学部卒業
2004年　島根大学生物資源科学部
2017年　島根大学名誉教授
現在に至る

(小特集⑤)

開水路補修工法の追跡調査結果の分析および今後の課題

長谷川雄基・谷村　成・山本　昌宏
高橋　慶吉・佐藤　周之・長束　勇

本報では，同一補修工法で施工された計73現場の無機系被覆工法・ひび割れ充填工法の追跡調査結果を整理し，施工やメンテナンスにおいて留意すべき課題をまとめた。追跡調査の結果から，無機系被覆工法では，全体的に被覆材のひび割れ，浮き，摩耗等の変状は少なく，良好な状態であるケースが多いことが確認された。一方，ひび割れ充填工法においては，補修後の時間経過に伴いシーリング材の劣化が頻発することが確認された。また，経年劣化により弾性が低下したシーリング材近接部では，被覆材のひび割れや浮き等の変状が生じるケースが多いことがわかった。

(水土の知88-6，pp.19～22，2020)

キーワード　無機系被覆工法，ひび割れ充填工法，開水路補修，モニタリング，表面含浸材，シーリング材