

腐食性土壌に対する管路更生工法の試験施工事例

—Two-Wayライニング工法—

留萌開発建設部 土地改良情報対策官 ○肱岡 恒徳
芳賀 こず恵
荒川 潤

管水路の更新整備において、近年は埋設されている管の撤去を行わずに復旧する工法（管路更生工法）が適用され、その工法も各種条件を考慮し工法選定を行い実施されている。今回、対象とする管は腐食性土壌に埋設されており、その環境条件に耐えられる工法を選定し、現地の実証を元に所要の要求性能を維持されているかを耐久性や安全性の面から検証するために試験施工を行った事例を報告するものである。

キーワード：管路更生工法、パイプライン、腐食性土壌、高度化

1. はじめに

国営土地改良事業により造成された農業水利施設は、食料安定供給に資する機能を有するのみならず、地下水のかん養や洪水防止等の多面的機能を有し、国民全体に便益をもたらす社会共通資本となっている。

これら基幹的な農業水利施設の多くは、標準的な耐用年数を経過しており、将来的に整備補修費の高騰が予測されることから、長寿命化とライフサイクルコストの縮減のため、機能保全計画を策定し補修や改修を行っているところである。

機能保全計画を作成するに当たっては、各種マニュアル等、整備されているところであるが、より一層に機能保全計画の精度を高めるためには、施設の診断、劣化予測、評価手法の確立及び、対策工法の有効性や耐久性の検証など、必要となる技術を現地で実践を通じて確立する、国営造成水利施設ストックマネジメント推進事業のうち技術高度化事業（以下、「高度化事業」という。）を適用して、苫前地区 苫前送水路において、腐食性土壌における管路更生工法を試験施工した事例を報告する。

2. 高度化事業と苫前地区

(1) 高度化事業について

高度化事業の対象について、国営造成水利施設ストックマネジメント推進事業実施要綱によると、国営土地改良事業により造成された農業水利施設を対象に、破損事故などの要因調査、診断技術の適用と評価、対策工法の適用と評価、リスク評価の実証調査とされている。

また、高度化事業においては、特に重点的に取り組む

べき事項として、全国検証テーマが設定されている。

管路更生工法の全国検証テーマについて、反転工法を施工したパイプラインが長期にわたり所要の要求性能を継続しているか検証されておらず課題となっている。

さらに、河川横断部などの非開削区間において、腐食性土壌及び高圧区間に適用する管路更生工法の検討が課題となっていたことから、苫前地区苫前送水路において、高度化事業により、令和6年度に管路更生工法の試験施工を行った。

(2) 苫前送水路の概要

試験施工を行った苫前送水路は、国営かんがい排水事業苫前地区において、S60年度～H10年度にかけて造成し、H11年度に供用開始し、現在、26年経過している（図-1）。



図-1 苫前地区位置図

(3) 苫前地区の腐食性土壌の状況

苫前地域の土壌について、過年度に行った腐食性評価（DIN）によると、強い腐食性が確認されており（表-1）、埋設したダクタイル鋳鉄管においては、ミクロセル腐食又は、マクロセル腐食が発生している状況である（写真-1）。



写真-1 管水路腐食状況

表-1 腐食性評価表（DIN）

区 分		No43+05.95	No48+77.27	No55+35.00
土壌の腐食性	B0	-9 腐食性	-9 腐食性	-3 弱い
土質差（通気差）マクロセル腐食の可能性	B1	-9 中程度	-11 高い	-3 低い
外部カソード以外のマクロセルの可能性				
アノード作用（土壌酸性）	BA	-8 強い	-8 強い	-2 弱い
アノード作用（土壌アルカリ性）	BK	-3 弱い	-7 ない	-2 弱い
外部カソードマクロセルの可能性（C/S・異種金属等）	BE	-11 強い腐食性	-11 強い腐食性	-10 強い腐食性

3. 管路更生工法の検討

苫前送水路に適用する管路更生工法について、「農業水利施設保全補修ガイドブック2022（一般社団法人 農業土木事業協会）」を基に、管路更生工法の適用条件を整理した（表-2）。管水路や口径や設計内水圧（φ450mm、1.26Mpa）の適用範囲及び、腐食性土壌にも適用可能な工法として、「Two-Wayライニング工法」を採用した。

なお、苫前送水路の試験施工区間は、過去の漏水事故や腐食性土壌の分布状況から以下のとおりとなっている。
施工区間：No46+64.24～No48+9.00 L=152m（Brk+7.24）

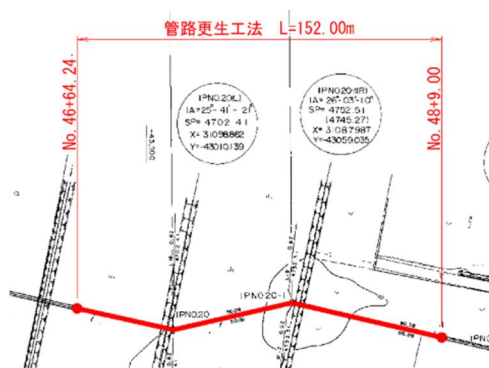


図-2 試験施工区間

表-2 管路更生工法一覧

工法	工法名称	対象内径（mm）	適用範囲			特徴	備考
			延長（m）	温度（℃）	内圧（MPa）		
反転工法	ホースライニング工法	1500 ～ 100	300	90	3.00	150 熱硬化性樹脂を含浸させたシールホースを圧縮空気や管内に反転挿入する	適用可（北海道工場のR6年以降）
	ARISライナー工法（CIPP管更生システム）	1800 ～ 100	500	90	1.00	150 熱硬化性樹脂を反転挿入し、温水シャワーリングシステムにより加熱硬化させる	内圧不足
	Two-Wayライニング工法	2500 ～ 100	500	90	1.50	— 樹脂含浸チューブを反転挿入させ、空気圧で加圧し管壁に張り付け、加熱又は常温で硬化させる	適用可
	インシチュフォーム工法	1500 ～ 200	600	—	1.38	150 熱硬化性樹脂を含浸したライナーバッグを反転挿入し、温水や蒸気で樹脂を硬化させる	北海道内の業者は対応していない
形成工法	EX工法	400 ～ 150	100	10	1.47	150 硬質塩化ビニル樹脂製のEXパイプを挿入し、蒸気とエアで円形に復元、拡張、密着させる	内径適用外
	KU-LINER工法	400 ～ 100	100	22.5	1.00	150 高密度ポリエチレンPE100のライナーを引き込み、蒸気により円形に復元、拡張する	内径適用外
	オメガライナー工法	400 ～ 150	120	10	0.60	150 折りたたんだ硬質塩化ビニル製樹脂を引き込み、蒸気加熱と空気圧で円形に復元、拡張する	内径適用外
	シームレスシステム工法	600 ～ 200	100	10	1.00	150 光硬化性樹脂製の更生材を管内に挿入し、空気圧で拡張し、光照射装置を走行させ硬化させる	内圧不足
	アルファライナー工法	800 ～ 150	100	5	1.00	150 光硬化性樹脂製の更生材を管内に挿入し、空気圧で拡張し、光照射装置を走行させ硬化させる	内圧不足
	サブライン工法	1000 ～ 75	1000	10	0.50	150 ハート型の高密度ポリエチレン管を引き込み、水圧により円形に復元する	内圧不足
	サブコイル工法	200 ～ 75	900	10	1.00	150 ハート型の高密度ポリエチレン管を引き込み、水圧により円形に復元する	内径適用外
鞘管工法	PIP工法（鋼管）	5000 ～ 800	500	—	高圧	— 鋼管を管内に引き込み、溶接する。既設管との隙間はモルタル充填する	内径適用外
	PIP工法（ダクタイル鋳鉄管）	1650 ～ 400	200	—	高圧	130 PN形ダクタイル鋳鉄管を発進立坑から押し込む。挿入管径は既設管より1口径ダウンとなる	直管部は適用可だが当該区間は曲管部を多く含むため不可とした。
	スリーブインライト工法	3000 ～ 800	500	—	—	150 薄肉FRP管を用いた既製挿入工法で、既設管との隙間はグラウト材を充填する	内径適用外
	L-PIP工法	900 ～ 500	300	5	1.30	— ReダグーンFRP管を接合後、推進機により挿入する。中込材充填は不要	内径適用外
	リフトイン工法	2600 ～ 700	2000	—	1.30	150 エスロンRCPを台車により管内を運搬する。既設管径の1～2サイズダウンとなる	内径適用外
	バイブリバース工法	700 ～ 100	150	11	1.25	— ポリエチレン管を既設管に挿入し、隙間にセメントミルクを注入。1～2サイズダウンとなる	既設管φ450の場合φ300になる
	NS-PIP工法	1800 ～ 800	—	90	—	— 4分割した鋼管を既設管内に搬入し、運搬、溶接、グラウト充填、内面塗装を行う	内径適用外
鋼管工法	SPR-SE工法	1650 ～ 450	100	—	0.20	150 硬質塩化ビニル製プロファイルを嵌合しながら製管し、隙間に間詰め材を注入する	内圧不足
	SPR-A工法	5000 ～ 800	500	5	—	150 硬質塩化ビニル製プロファイルを嵌合しながら製管し、隙間に間詰め材を注入する	内径適用外
	ダンビー工法	3000 ～ 800	700	6	—	150 硬質塩化ビニル製の帯板をスパイラル状に巻き立て接合用かん合部材で製管する	内径適用外

4. Two-Wayライニング工法（反転工法）

(1) 工法の概要

管路更生管の反転工法について、既設の管内に、樹脂を含浸させた更生材（ライニング材）を、空気圧を利用して裏返すように挿入し、管内で硬化させて新たな管を構築する工法である。

Two-Way ライニング工法の更生材は、ポリエステルとグラスファイバーを複合したポリエステルフェルトを含浸基材とし、温水と熱硬化性樹脂で硬化させたものである。参考にTwo-Way ライニング工法の略図を図-3、イメージ図を図-4に示す。

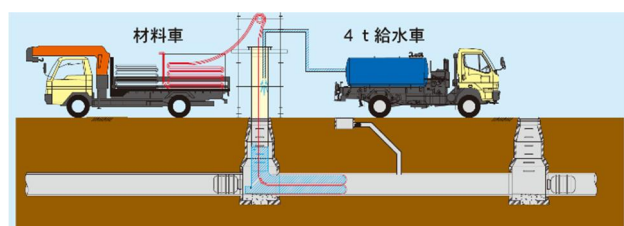


図-3 Two-Way ライニング工法略図



図-4 Two-Way ライニング工法イメージ図

(2) 施工フロー図

試験施工は、図-5に示すフロー図の手順で実施した。

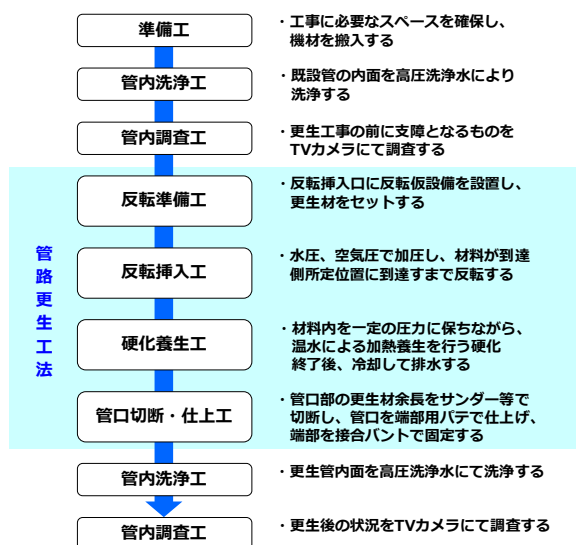


図-5 施工フロー図

(3) 更生材

主要材料は、ポリエステル繊維を圧縮してシートにした不織布に、熱硬化性樹脂を含浸させたものである（図-6）。

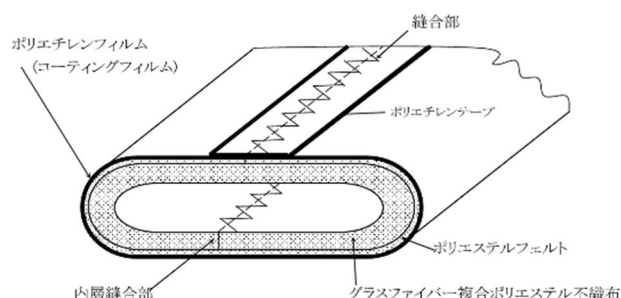


図-6 更生材断面図

(4) 温度管理

樹脂の硬化原理について、合成樹脂に特殊な過酸化合物を用い、光や熱を加えることで、爆発的な重合反応により安定した物質に変造（硬化）するものである。

反応開始温度、硬化ピーク温度、反応速度は、使用する過酸化合物により違うため、当工事での温度管理は、メーカーと調整し反転挿入時及び、硬化養生時に行った。

(5) 施工状況

a) 管内洗浄工

洗浄のための給水車を用意し、高圧洗浄車にて、既設管内を洗浄し、汚れ等を除去する（図-7）。



図-7 高圧洗浄車略図

b) 反転挿入工

更生材は空気圧を用いて既設管内に反転挿入させる。

反転は、更生材に異常な負担がかからないよう十分に注意し、適切な空気圧・速度で行った（写真-2）。

更生材が触れる箇所は、保護シート等で養生する。

更生材は、25℃を超えた外気に触れると重合反応（硬化）する恐れがあるため、温度管理は、水槽と冷却材を用いて施工した（写真-3）。



写真-2 更生材設置状況



写真-3 更生材冷却状況

③ 硬化養生工

硬化養生工について、材料内を一定の圧力に保ちながら、温水により加熱養生を行う。

硬化養生工の管理基準について、更生材の硬化は急反応を防止するため、一次硬化の温度は60～70℃、完全に硬化する二次硬化の温度は83℃以上とし、硬化時間はメーカーと調整し、それぞれ90分、70分とした。

硬化養生工の管理基準及び実測値については、表-3のとおりである。

表-3 硬化養生工の管理基準値及び実測値

		圧力 (Mpa)	温度 (℃)	時間
一次硬化	管理基準値	0.07	65 ± 5	90分以上
	実測値	開始	0.07	12:35～14:05
		完了	0.07	1:30 (90分)
二次硬化	管理基準値	0.07	83 以上	70分以上
	実測値	開始	0.07	14:05～16:00
		完了	0.07	1:10 (70分)

d) 管口仕上げ工

管の端部について、エポキシ樹脂で気密的に仕上げ、端部接合内面バンドφ450mmを設置し完成する（図-8、写真-4）。

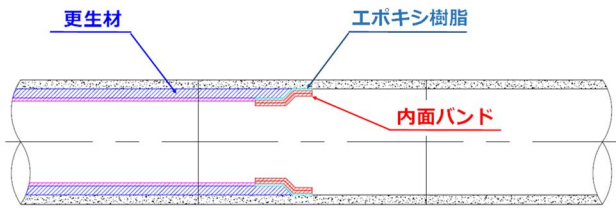


図-8 管口仕上げ工図



写真-4 仕上げ状況

5. モニタリング計画

(1) モニタリング手法の検討

モニタリングについて、「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル（パイプライン編）（案）（農林水産省）第6章 長寿命化対策後の施設のモニタリングを参考に計画を検討した。

モニタリング手法については、上記マニュアルに基づき、モニタリング項目及び手法を選定した（表-4）。

なお、Tow-Wayライニング工法（反転工法）に該当する項目を赤字で示している。

表-4 モニタリング項目及び手法

要求性能	想定される変状	モニタリング項目	モニタリング手法
水理機能	水密性	ひび割れ 侵入水 (漏水、漏水跡)	・ 浸水水の有無 ・ 漏水の有無 ・ 目視 ・ 水割り試験
	通水性	通水量の減少	・ 浸水水の有無 ・ 通水量の確認 ・ 表面粗度の確認 ・ 流量観測（流量や圧力計測による管路更生前後の比較評価等） ・ 聞き取り調査（施設管理者へ通水状況を聞き取る）
構造機能	耐荷性 耐久性 地盤追随性	ひび割れ、変形、シミ、たるみ、浮き、剥離、管厚の減少	・ 更生管仕上がり状況 ・ 更生管両端管口の隙間 ・ やすれ、剥離等の発生状況 ・ シフの発生状況 ・ 浮き、剥離の状況 ・ 更生管の厚さ（供試体の3点計測） ・ 目視（自走式TVカメラ） ・ 発生変状の簡易計測 ・ シワ高さ、間隔、周長の計測
			・ 計測（超音波管厚計測等）
		経年にある土壌成分の変化 土壌成分が供試体へ与える影響	・ 土壌調査 ・ 供試体の比較（管体一体型、管体一体型（孔食再現品）の管厚の計測、強度測定

(2) モニタリングの実施頻度

モニタリング調査は、令和6年度に実施した試験施工後に図-9に示す初期値を計測し、次年度以降、3年間継続して行うこととした。

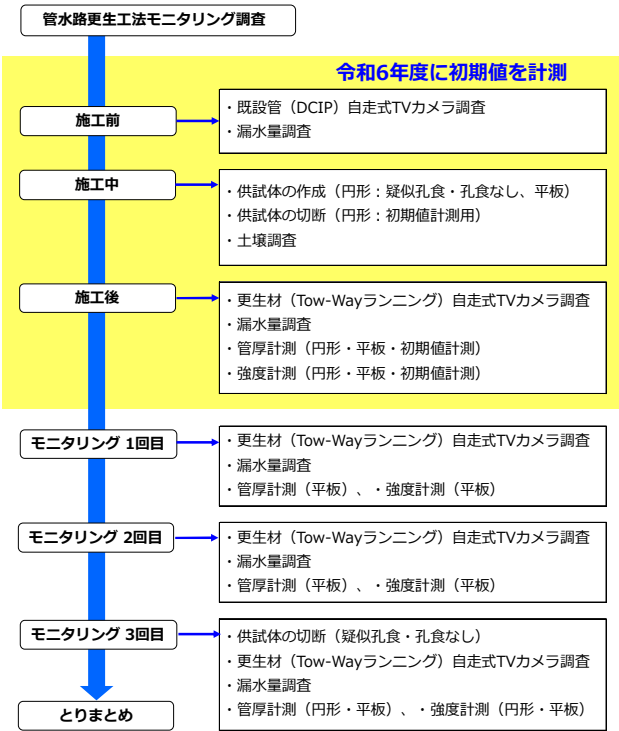


図-9 モニタリング調査実施フロー図

(3) 自走式TVカメラによる目視

試験区間全てにおいて自走式TVカメラによる管内面の観察を行う。異常箇所等は必ず状況を確認し、調査表に記載する。

管内面の観察は、画像データより変状等を計測する。計測位置はケーブルの延長や自走式TVカメラに搭載された距離計を基に特定する。

また、施工後及びモニタリング調査時は、更生管路区間で自走式カメラを用いて更生材のシワやたるみ、その他変状の有無や進行性について管内面の観察を行う（写真-5、写真-6、図-10）。



写真-5 管内カメラ



写真-6 TVカメラ

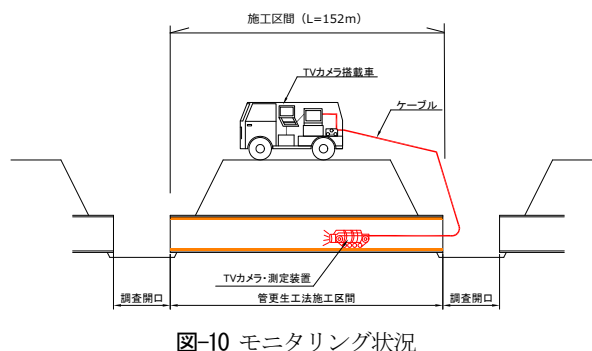


図-10 モニタリング状況

(4) 更生材の供試体作成

供試体について、構造機能面の評価及び、腐食成分が更生材へ与える影響をモニタリングするため、切管と平板の2種類を用意した。

a) 供試体（切管）

更生材の強度測定は、破壊試験となること。また、農業用水路として使用する環境下で行うことから、切管に更生材を施した供試体を作製して行う。

併せて、腐食によって、既設管（DCIP）に穴が生じた状態における強度を確認するため、既設管に孔食を再現させた供試体を作製し、今後のモニタリングでは、孔食なしと疑似孔食の供試体を比較する（図-11）。

製作した2つの供試体は、試験施工区間の両端に接続し、農業用水路として使用する環境にした。なお、モニタリング最終年に既設管から更生材を取出すため、剥離剤を施している。

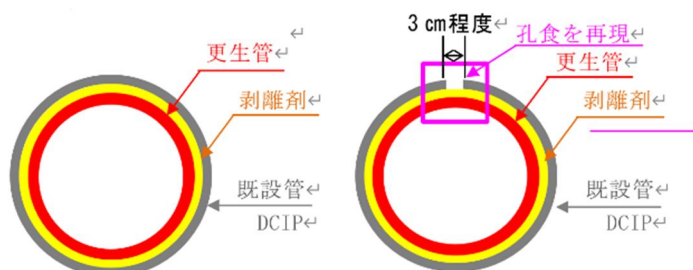


図-11 孔食なしと疑似孔食（断面図）

疑似孔食を施した供試体は、管路更生工法の到達側、疑似孔食の無い供試体は、発進側に設置した（写真-7）。



写真-7 疑似孔食を施した供試体

b) 供試体（平板）

腐食成分が更生材へ与える影響をモニタリングするため、更生管と同じ素材から平板の供試体を7枚作製し1枚は、基準値計測用、残り6枚を試験施工区間に埋設し、次年度以降のモニタリング調査時に取り出し、板厚計測や、強度試験を行う（写真-8、写真-9）。

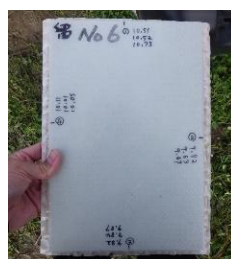


写真-8 供試体（平面）



写真-9 埋設状況

6. 測定結果

(1) 供試体の測定結果

試供体の強度における基準値について、円形の供試体の偏平強さは、日本下水道協会規格「下水道用硬質塩化ビニル管（JSWAS K-1）」。平板の曲げ強さ、曲げひずみは、日本産業規格「プラスチック曲げ特性（JIS K 7171）」、引張り強さは、日本産業規格「プラスチック-引張特性の試験（JIS K 7161）」の試験に準じて行い、Two-Wayライニング工法のカタログ申告値を満たしているか実測する。実施結果について、表-5に示す。

表-5 供試体の試験結果

■ 円形供試体				
試験項目		試験結果		基準値
偏平試験	圧縮量 (mm)	24		24
	線荷重 (kN/m)	15.3		7.55
■ 平板供試体				
試験項目	試料番号	測定値	平均値	基準値
曲げ強さ (MPa)	1	258	257	200
	2	246		
	3	263		
	4	258		
	5	258		
曲げ弾性率 (MPa)	1	13000	13200	11000
	2	13300		
	3	13300		
	4	13100		
	5	13300		
引張強さ (MPa)	1	152	151	130
	2	155		
	3	150		
	4	149		
	5	148		

(2) 管内調査

施工前と施工完了後、目視（管内カメラ）にて管内調査を行った（写真-10）。その結果、施工完了後は、多少のたるみ、シワはあるものの、構造に影響を与えるものではないため、これを初期値として、今後モニタリングで経過観測していく。

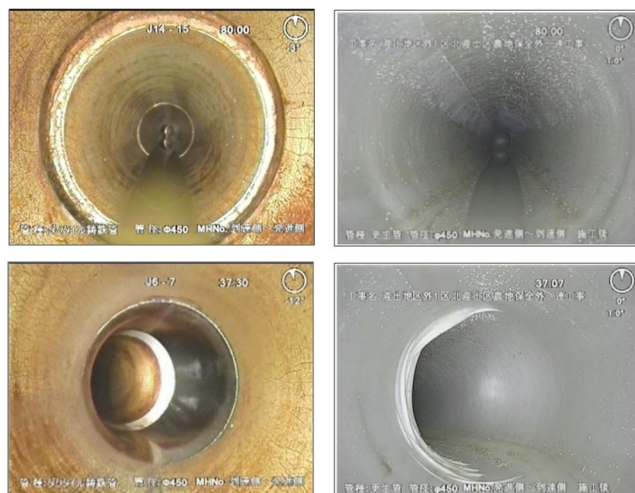


写真-10 施工前と施工後

7. 終わりに

本報告は、腐食性土壌におけるダクトイル鋳鉄管の管路更生工法の試験施工を報告するものである。

腐食性土壌による対策工法としては、管体に腐食性土壌が直接接触しないように管体の周りをポリエチレンスリーブで巻く工法や、エポキシ樹脂により防食塗装を塗布する工法が採用されている。

今後の更新事業においては、開削して管の入れ替えができる区間は、これらの工法で対応可能だが、非開削区間における対策工法である管路更生工法は確立されていない。

Tow-Wayライニング工法は、小口径で高い圧力を有する農業用パイプライン及び、腐食性土壌での施工実績例が少ないため、本検証により有益な結果を得られることを期待したい。

今後は、モニタリング1年目、2年目、3年目を行い耐久性や管内面の状態等の面から検証を行っていく。

参考文献

- 1) 土地改良事業計画設計基準・設計「パイプライン」
- 2) 農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル「パイプライン編」（案）（農林水産省）
- 3) 農業水利施設保全補修ガイドブック2024（一般社団法人 農業土木事業協会）
- 4) Two-Wayライニング工法設計マニュアル「圧力パイプライン編」（Two-Wayライニング工法協会）
- 5) Two-Wayライニング工法カタログ（Two-Wayライニング工法協会）