

排水路の鋼矢板の表面塗装による補修について — 施工年度におけるモニタリング調査結果 —

稚内開発建設部 農業開発課 ○角野 豊
宮崎 武博

国営総合農地開発事業沼川地区により建設されたニタトロマナイ排水路の落差工は、建設後26年以上が経過し、落差工の落口止水壁に使用している鋼矢板にマクロセル・ミクロセル腐食が発生している。このため、ストックマネジメント高度化事業により、劣化要因調査、対策工法検討等を行った。

本文は、本事業で実施した鋼矢板の表面塗装による補修について、工法選定、施工状況及び補修後のモニタリング調査結果を報告するものである。

キーワード：表面補修、鋼矢板、腐食、長寿命化

1. はじめに

国営総合農地開発事業沼川地区で造成されたニタトロマナイ幹線明渠排水路の周辺は泥炭土が分布しており、軟弱地盤であるため落差工の落口止水壁には、鋼矢板及び軽量鋼矢板方式を採用している。

鋼矢板は、腐食性土壌に起因する腐食により、鋼矢板表面の腐食が進んでいる。これら腐食の要因となっている電気化学反応を遮断するため、鋼矢板に塗装を行い表面被覆する補修を平成27年8月に行った。また、排水路の現場条件に適する塗装工法及び下地処理の違いによる塗装の適用性を検証するため、補修後にモニタリング調査を実施した。本報では、当補修について、工法選定、施工状況及び補修後のモニタリング調査結果を報告する。



写真-1 第1号落差工
(平成27年8月19日撮影)

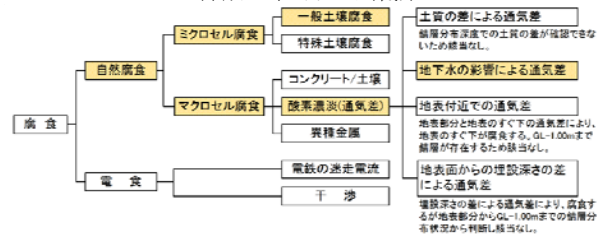


図-1 腐食の分類¹⁾

2. 対象施設の環境

対象施設は、昭和57年～62年に建設された鋼矢板構造の落差工3箇所である(写真-1)。第1号から第3号までの落差工は、施設間距離が760mと近接し、鋼矢板前面がいずれもほぼ西向きに立地していることから、環境条件は同様と判断される。

施設周辺地盤の土質は、粘土分含有量が多く、湿潤状態になりやすく、pH値が4.3～5.4と低い。DIN(ドイツ規格基準)での判定(表-1)において、土壌の腐食性が高いことから、ミクロセル腐食が発生しやすい環境であると推察される(図-1)。また、地下水位が変動(図-2)していることから通気差が生じやすく、通気差マクロセルアノード判定も強い評価結果となっていることから、マクロセル腐食も発生しやすい環境であると推察される。

以上のことから施設は、通気差マクロセル腐食とミクロセル腐食の複合型による表面劣化が進行しやすい土壌環境であると推察される。

表-1 DIN規格での腐食性土壌評価結果

地 点	第1号落差工			第2号落差工			第3号落差工		
	20cm	50cm	130cm	20cm	50cm	100cm	20cm	50cm	100cm
気温	10.1	10.3	10.2	10.9	11.0	10.8	11.5	11.6	11.4
泥温	9.7	10.0	11.7	11.7	10.7	11.3	11.7	12.4	12.0
pH	—	5.2	5.4	5.0	5.2	5.0	4.3	4.6	4.8
粒度試験(粘土含量)	%	74.0	23.1	37.9	62.5	94.0	87.8	55.4	55.2
含水率	%	40.6	27.4	32.0	31.8	46.1	69.3	39.4	44.6
COD	mg/g	40	8	15	50	64	300	120	170
強熱減量	%	8.09	2.92	4.37	7.61	11.70	27.30	17.30	18.80
土壌の腐食性		あり	ややあり	ややあり	あり	あり	あり	あり	あり
通気性(全面)腐食の可能性		少ない	非常に少ない	非常に少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない
通気性マクロセルアノードの判定		弱い	存在せず	弱い	弱い	強い	強い	強い	強い

(平成26年10月17日調査)

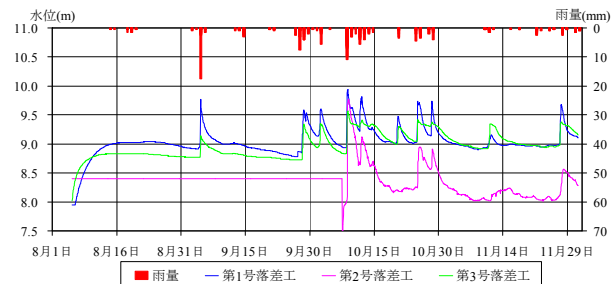


図-2 地下水位計測結果 (平成27年)

(第2号落差工は、観測孔を再設置した10月7日まで、地下水位が観測孔以下であったため欠測。)

3. 対策工法の選定

(1) 条件設定

対策工法は、鋼矢板の劣化状況・劣化要因を踏まえ、電気化学反応の遮断が現場施工により可能で経済的な、被覆防食の塗装工法を選定した（図-3）。

(2) 素地調整

鉄部の塗装では、表面のさびや旧塗膜を除去し、部材と塗料の密着を良くする素地調整（ケレン作業）が重要な作業工程となる。発錆が著しい場合は、1種ケレンを行うこととなるが、水質汚濁が発生しやすい。そのため、環境負荷低減に期待ができる2種及び3種ケレン相当の素地調整で塗装可能な工法を選定することとした。

(3) 塗料の選定

選定にあたり、まだ鋼矢板への使用実績が無く、現場条件、耐久性、経済性及び寒冷地である北海道内での施工実績を比較検討し選定した。

(4) 施工の組合せ

3種ケレンの素地調整で施工可能なエポガードと一般的な鋼橋で使用されているが、通常1種ケレンの素地調整を行う必要がある従来工法のRC-Iを2種または3種ケレンで行った場合を採用することとした（表-2）。施工の組合せは、表-3に示す3パターンとした。

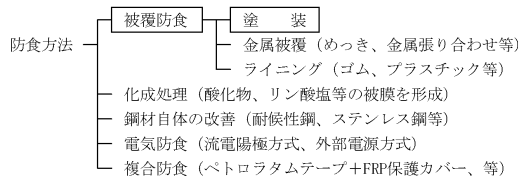


図-3 防食方法の種類²⁾

表-2 塗装の比較

塗料	エポキシ樹脂 エポガード	寒冷地用エポキシ樹脂 エコマックス	ポリウレタン樹脂 ゼミロン	エポキシ樹脂 RC-I
特徴	①赤錆を緻密で安定した黒錆に転換することができる。 ②3種ケレンで施工可能。 ③再塗装時は素地が黒錆化しているため、中塗り、上塗りのみ。	①厚膜塗装(500μm)が可能。 ②タール、重金属を含まない塗料。 ③気中環境・水没環境等への防食塗料が可能。	①溶剤を全く含有せず環境に優しい。 ②2液性で内部混合型塗装機を使用するため、2~3mmの厚膜塗装が可能。 ③塗装後30~60分で乾燥、寒冷地での塗装が可能。	①従来の素地調整は1種ケレン。 ②一般的な橋梁塗り替え塗装仕様。 ③シンナーで希釈できるため塗装作業に優れている。 ④水中・土中環境での使用実績なし。
現場条件	①気温5℃以下、湿度80%以上は適用外。 ②降雨、降雪時はシート囲いを設置。 ③表面油分は完全除去。 ④被塗装面が湿潤状態は適用外。	①気温20℃まで施工可能、湿度80%以上は適用外。 ②降雨、降雪時はシート囲いを設置。 ③表面油分は完全除去。 ④被塗装面が湿潤状態は適用外。	①気温5℃以下は適用外。 ②降雨、降雪時はシート囲いを設置。 ③直射日光が当たると急激な水分蒸発が予想されるため、シート養生が必要。	①気温10℃以下、湿度80%以上は適用外。 ②降雨、降雪時はシート囲いを設置。 ③表面油分は完全除去。 ④被塗装面が湿潤状態は適用外。
耐久性	各種試験で耐用年数40年以上	耐用年数15年程度	耐用年数15年程度	1種ケレンで耐用年数30年程度
工事費	14000円/㎡程度	16000円/㎡程度	30000円/㎡程度	5500円/㎡程度
施工実績	北海道内外の公共工事で200件程の実績	北海道内の施工実績が数件	北海道内外の施工実績多数	北海道内外の施工実績多数
総合評価	①経済的である。 ②北海道内の施工実績あり。 ③耐久性を有する。	①経済的である。 ②北海道の施工実績が数件である。	①経済的に割高である。 ②北海道の施工実績多数あり。	①最も経済的である。 ②北海道内の施工実績を有する。 ③2種・3種ケレンとした場合の耐用年数は不明。
	◎	○	△	◎

表-3 素地調整・塗料の組合せ、塗装仕様

落差工	第1号	第2号	第3号
鋼矢板型式	軽量鋼矢板(t=5mm)	普通鋼矢板(t=10mm)	第1号落差工と同じ
塗料	RC-I	エポガード	第1号落差工と同じ
素地調整	2種ケレン	3種ケレン	3種ケレン
塗装仕様	一次ブライマー	厚膜形有機ジンクリッチペイント[75]	ノンロール200
	下地処理	—	JM-S200
	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗り[60]	エポガード200[70]
	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗り[60]	—
	中塗り	弱溶剤形エポキシ樹脂塗料用中塗り[30]	弱溶剤形エポキシ樹脂塗料用中塗り[30]
	上塗り	弱溶剤形変性ふっ素樹脂塗料用上塗り[25]	弱溶剤形ポリウレタン樹脂塗料用上塗り[25]
塗膜厚合計	250(μm)	125(μm)	

表中の[]数値は標準塗膜厚(μm)を示す。

4. 試験施工の概要

試験施工で行う塗装範囲は、既設護岸ブロックより上部で水没しない範囲とし、土中部は錆層が確認されている深さ1.0~1.2mまでとした。左岸側は、塗装箇所と比較できるように未改修とした。

施工工程等を表-4に示す。素地調整は、2種ケレン、3種ケレンとも電動・手工具を使用した。作業時間は発錆状態により左右され、ケレン種別と作業時間に関連性は見られなかった。鋼矢板表面が無塗装で錆が全面的に発生しており、土中部の腐食が激しい部分においては、3種ケレン程度では錆除去が難しい状況であった。（写真-2）。

表-4 試験施工の概要

落差工	第1号	第2号	第3号
土工(掘削)	8月19日	8月19日	8月19日
素地調整	8月24日	8月25日	8月25日
作業時間	7時間	6時間	6時間
塗装作業	8月24日~29日	8月25日~29日	8月25日~29日
土工(埋戻)	9月2日	9月2日	9月2日
塗装延長/矢板枚数	7.33m/22枚	9.10m/23枚	6.66m/20枚
塗装面積	12.55㎡	14.66㎡	7.41㎡
塗膜厚測定平均値	534~568μm	233~284μm	502~578μm



写真-2 ケレン後の状況

左上：第1号土中部、右上：第1号気中部
左下：第2号土中部、右下：第2号気中部
（表-4の素地調整施工日に撮影）

5. モニタリング調査

(1) 調査内容

塗膜の劣化は経年すると外観に顕著に現れるため、外観目視調査を主体に行い、定量的な評価が可能となるよう、塗膜厚、インピーダンス測定による塗膜劣化度、塗膜接着力の測定を行った（図-4）。

a) 塗装前の外観調査

鋼矢板の腐食状況を目視確認、スケッチする。

b) 塗装後の外観調査

塗装の発錆度合、塗膜のふくれ、われ、はがれの程度を目視確認する。

引張付着力の評価は、機械工事塗装要領に準拠し、0～3の4段階評価とする。塗膜の劣化度を定量的に評価するため、下記に示す算定式により劣化度指標により劣化度を評価する（表-5）。

c) 塗膜厚調査

電磁式膜厚計を用いて1測定箇所につき5点測定し、最小値、平均値、標準偏差値を算出する。

d) 塗膜インピーダンス測定調査

インピーダンス計測器を用い、塗膜表面と鋼材の間に電流を流し、周波数200Hz、500Hz、1000Hzの抵抗値と電気容量値を測定する。測定値を抵抗値R、静電容量値Cに変換して評価点を求め、劣化度を評価する。劣化が進行すると、抵抗値が減少し容量値が増加する。

評価点は、機械工事塗装要領に準拠し、0～3の4段階とした（表-6）。

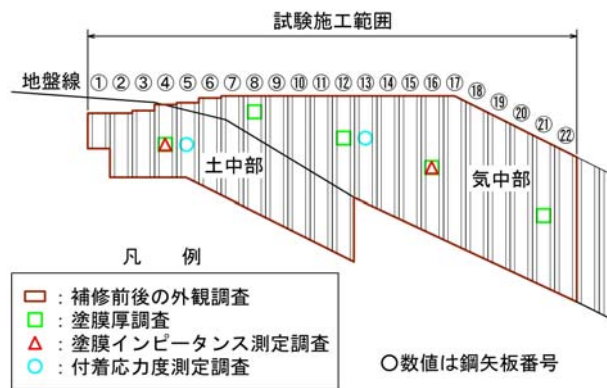


図-4 モニタリング調査位置図（第1号落差工）

表-5 塗膜厚劣化度判定基準

劣化度	劣化度指標	判定内容
A	100 ～60以上	全体にさび、ふくれ、はがれ等の発生が見られ著しく劣化が進んでいる状況
B	60未満 ～40以上	全体に小さなさび、ふくれ、はがれ等の発生が見られ、部分的には比較的大きな発生が見られる状況で、かなりの劣化が進んでいる状況
C	40未満 ～20以上	極小さな劣化は見られるが、劣化部分以外は健全な状況
D	20未満	異常なし、または極小さな劣化が見られる状況

$$\text{劣化度指標} = \left\{ 1 - \frac{\text{調査項目別評価合計点}}{\text{調査項目数} \times 3} \right\} \times 100$$

e) 付着応力度測定調査

端子を塗膜面に接着剤で接着させ、塗膜が剥離するまで垂直に引張り、塗膜の接着力を測定する。

評価点は、鋼橋塗膜調査マニュアルに準拠し、0～3の4段階とする（表-7）。

(2) 調査結果

調査は、施工完了から約1.5ヵ月後の平成27年10月中旬に行った。

a) 塗装前の外観調査

目視調査の結果、落差工3箇所とも全面的に腐食していたが、孔食は発生していなかった。土中部と鋼矢板継手部は凸凹の激しい腐食となっており（写真-3）、気中部は比較的平坦な腐食であった（写真-4）。

土中部は、地盤から約1.0m以深には錆層が確認されず、健全部が存在した（写真-5、図-5）。

表-6 塗膜インピーダンス測定の評価

劣化度	評価点		塗膜の状態
	抵抗値	容量値	
A	0	0	塗膜の劣化が著しい。
B	1	1	塗膜に発錆、ふくれ等が生じている。
C	1	2	塗膜が完全に付着し、上塗り塗膜のみ劣化している。
D	2～3	3	異常なし。

表-7 引張付着力の評価

劣化度	評価点	引張付着力(Mpa)
A	0	X=00
B	1	00<X<10
C	2	10≤X<20
D	3	20≤X



写真-3 凸凹の激しい腐食
（第1号落差工土中部）



写真-4 比較的平坦な全面腐食
（第1号落差工気中部）



写真-5 健全部の状況
（第1号落差工気中部）

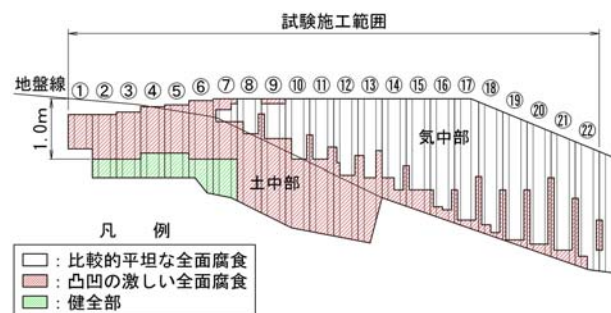


図-5 腐食の範囲（第1号落差工）

b) 補修後の外観調査

さび、ふくれ、われ、はがれは確認できず、劣化度はD評価であった(写真-6、表-8)。

c) 塗膜厚調査

塗膜厚は、目標塗膜厚を満たしていた(表-9)。

測定位置が施工時と若干異なるため、表-4 で示した値と異なる。

d) 塗膜インピーダンス測定調査

インピーダンス計測器での測定値を変換後、塗膜インピーダンス評価図にプロットした(図-6)。いずれの周波数でも抵抗値で3、容量値で3の評価となり、劣化度はD評価であった。

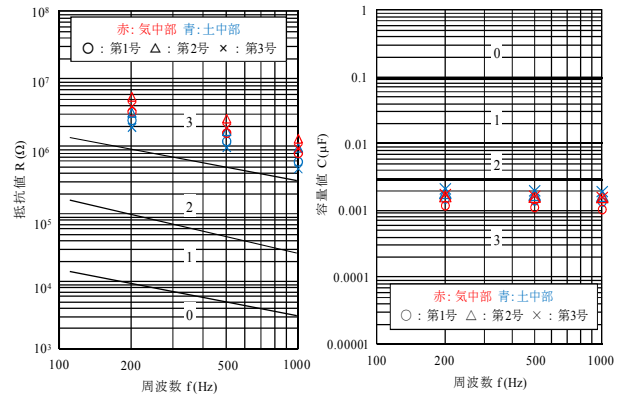


図-6 塗膜インピーダンス評価
(図中の数値範囲は評価点)

表-8 外観調査評価表

対象施設	塗料 素地調整	調査位置	評価点				劣化度 指標	劣化度
			さび	ふくれ	われ	はがれ		
第1号	RC-I 2種ケレン	土中部	3	3	3	3	0	D
		気中部	3	3	3	3	0	D
第2号	エポガード 3種ケレン	土中部	3	3	3	3	0	D
		気中部	3	3	3	3	0	D
第3号	RC-I 2種ケレン	土中部	3	3	3	3	0	D
		気中部	3	3	3	3	0	D



写真-6 補修後の外観(第1号落差工)
(平成27年9月1日撮影)

表-9 塗膜厚調査結果

対象施設 (素地調整、 塗料)	調査位置	測定値			標準偏差
		平均値(μm)	最小値(μm)		
第1号落差工 (2種ケレン、 RC-I)	土中部 ④	591	548	31	
	気中部 ⑧	665	626		
	⑫	615	561		
	⑯	611	587		
	㉑	592	564		
第2号落差工 (3種ケレン、 エポガード)	土中部 ③	392	352	53	
	気中部 ⑧	265	250		
	⑫	266	256		
	⑯	330	284		
	㉑	300	260		
第3号落差工 (3種ケレン、 RC-I)	土中部 ④	575	538	32	
	気中部 ⑪	532	475		
	⑰	480	428		
目標 塗膜厚	RC-I 標準塗膜厚=250μm 平均値(90%)=225.0μm、最小値(70%)=175.0μm 標準偏差(20%)=50.0				
	エポガード 標準塗膜厚=125μm 平均値(90%)=112.5μm、最小値(70%)=87.5μm 標準偏差(20%)=25.0				

調査位置欄の○数値は鋼矢板番号を示す。

e) 付着応力度測定調査

第3号落差工土中部の引張付着応力度が2.0(MPa)以下であり、劣化度はC評価であった。他はD評価であった(表-10)。

RC-Iと3種ケレンのパターンでは、付着応力度測定がC評価となった。これは、土中部の凸凹が激しい全面腐食箇所での塗装箇所であったこと、軽量鋼矢板で板厚が薄く、3種ケレン程度の素地調整では錆の除去が不十分であった可能性が考えられる。

表-10 付着応力度評価表

落差工	塗料 素地調整	調査位置		引張付着応力度 (MPa)	劣化度
第1号	RC-I 2種ケレン	土中部 ⑤		63	D
		気中部 ⑬		30	D
第2号	エポガード 3種ケレン	土中部 ④		23	D
		気中部 ⑬		28	D
第3号	RC-I 3種ケレン	土中部 ⑤		13	C
		気中部 ⑱		22	D

6. おわりに

本報告は、試験施工直後の初期値としてのモニタリング調査の結果をとりまとめた。

今後も劣化状況調査を継続し、評価をとりまとめていく予定である。

参考文献

- 1) 農業農村工学会：「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説(パイプライン)」(平成21年3月)
- 2) (社)日本建設機械化協会：「機械工事塗装要領(案)・同解説」(平成13年9月)
- 3) (株)エヌ・ティー・エス：「コンクリート・鋼構造物の新しい腐食・防食技術」(平成11年1月)
- 4) (社)日本鋼構造協会：「鋼橋塗膜調査マニュアル JSS IV-03」(平成5年9月)