

鋼製ゲートにおける防食耐久塗装工法の評価 —試験施工後2年目の事例—

帯広開発建設部 農業計画課 ○金田 敏和
川辺 明子
株式会社三祐コンサルタンツ 八木 陽介

鋼製ゲートで一般的に用いられているエポキシ樹脂系塗料は、経年とともに再塗装が必要で、維持管理費の増嵩要因となる。近年、長期耐久性や施工性を特徴とした塗装が開発されているが、工法選定等が不明確な状況にある。農業水利施設では、施工が非かんがい期の秋から初冬に限定される場合が多く、積雪寒冷地の北海道では気温等気象の影響を受けるほか、ゲート表面が結氷や解氷の影響を受けるため、防食塗装の耐久性等の適用性評価は急務である。

本報告は、積雪寒冷地に適したゲート設備の防食対策工（再塗装）の検証を目的に実施した防食耐久塗装の試験施工と、試験施工後2年目までの調査結果を報告するものである。

キーワード：ライフサイクルコスト、長寿命化、維持・管理、設計・施工

1. はじめに

鋼製ゲート等の再塗装については、一般にエポキシ樹脂系塗料（有機系）が用いられており、環境条件にもよるが経年とともに再塗装が必要となることから、多大な維持管理費を要することとなる。

また近年、長期耐久性や施工の容易性を特徴とした塗装が開発されているが、再塗装における工法選定や扉体の発錆程度等に応じた適切な下地処理程度・方法について不明確な状態にある。

特に、農業水利施設においては、施工期間が非かんがい期である秋から初冬に限定される場合が多く、積雪寒冷地である北海道においては、施工が気温や湿度等の気象の影響を大きく受けることや、ゲート表面が河川を流下する砂礫だけではなく、結氷や解氷による影響を受けることも多く、防食塗装に対する耐久性等の適用性の評価は急務である。

本報告は、積雪寒冷地に適した鋼製ゲート等の防食対策工（再塗装）の検証を目的に、ストックマネジメント技術高度化事業で実施した防食耐久塗装工法の試験施工の内容と、試験施工後2年目までのモニタリング調査結果を報告するものである。



図-1 札内川第一、第二地区位置図

防食耐久塗装工法の試験施工を実施した札内川頭首工は、平成3年から平成11年に造成され、平成12年から供用開始しており21年が経過している。本頭首工は、水道事業との共同事業で造成した施設で、今回試験施工を行った取水ゲートに上水道取水口が隣接し設置されている。このため、維持管理において当該取水ゲートの再塗装を行う場合には、塗装養生完了までの間、取水ゲート仮締切に伴い、水道取水が不安定にならないための配慮が必要であることから、施工に要する期間の短縮、塗装塗替え周期の延長が求められる状況にある。

2. 対象施設の概要

国営かんがい排水事業「札内川第一地区」「札内川第二地区」（図-1）では、帯広市、幕別町、中札内村、更別村の農地19,840haに対する畑地かんがい施設等の整備を行った。本事業においては、特定多目的の札内川ダムにかんがい用水を依存し、取水施設の札内川頭首工のほか、用水路が建設された。

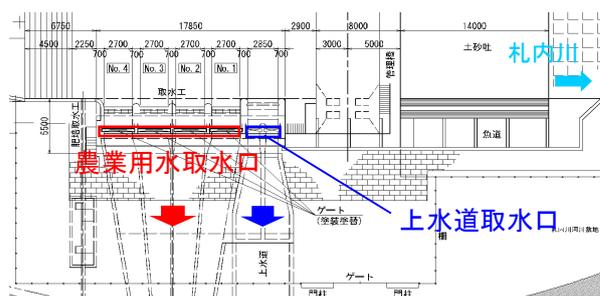


図-2 札内川頭首工平面図

表-1 ゲート仕様・規模

名称	形式	扉体材質	規模(m) B×H	門数
取水ゲート	スライドゲート	SS400	2.7×1.1	4



写真-1 取水ゲート全景写真

3. 現況塗膜の状況

試験施工を行う防食耐久塗装工法を選定するにあたり、平成30年度に取水ゲートの現況塗膜の劣化状況調査を実施した。取水ゲートは全4門（写真-1）あり、平成5年に2門（No.1、No.2）、平成10年に2門（No.3、No.4）が整備されており、それぞれ1門（No.2、No.3）について、近接目視調査、塗膜厚試験、クロスカット試験を実施し、現況塗膜の状況を評価した。

(1) 近接目視調査

近接目視調査は、「機械工事塗装要領(案)・同解説」の「5-3 維持管理」に準拠し実施した。塗膜の劣化は、さび、ふくれ、はがれ、われ、変退色（白亜化）の項目に区分、各項目における評価を点数化（表-2）し、次の式(1a)により劣化度指数を算出した。目視調査による劣化度は、表-3の基準により判定した。

表-2 各項目評価点と評価式¹⁾

〔さび評価〕			〔ふくれ評価〕		
評価点 (RN)	発生面積 (%)	発生状況	評価点 (RN)	発生面積 (%)	発生状況
3	X < 0.03	異常なし。誰が見ても外観的にはさびが認められないが、さびらしきものがあっても無視し得る程度のもの。	3	X < 0.03	発生している面積 (%)
2	0.03 ≤ X < 0.03	僅かにさびが見られる。さびが観察される部分以外の塗膜の防食性能はほぼ維持されていると思われる状態。	2	0.03 ≤ X < 0.3	同上
1	0.3 ≤ X < 5.0	明らかにさびが見られる。誰が見ても発錆部分が多く何らかの処置をほどこさなければならぬ状態。	1	0.3 ≤ X < 5.0	同上
0	5.0 ≤ X	見かけ上ほぼ全面にわたってさびが見られる。早急に塗料を塗り直さなければならない状態。	0	5.0 ≤ X	同上
〔変退色評価〕			〔はがれ評価〕		
評価点 (RN)	変退色の程度	グレースケール	評価点 (RN)	われ発生面積 (%)	
3	初期と比べてほとんど変化なし	4 ≤ X	3	0	
2	初期と比べて変化している	3 ≤ X < 4	2	0 < X ≤ 0.5	
1	初期と比べて著しく変化している	2 ≤ X < 3	1	0.5 ≤ X < 2.0	
0	初期の色をほとんどとめていない	X < 2	0	2.0 ≤ X	

KANETA Toshikazu, KAWABE Akiko, YAGI Yousuke

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

劣化度の判定結果を表-4に示す。No.2ゲートの水中部では、さびが進行しており、健全度はS-2であった。その他の部位は健全度S-5であった。

表-3 目視調査劣化度判定基準¹⁾

健全度	劣化度	評価点 (RN)	劣化度指数	判定内容
S-2	A	0	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
S-3	B	1	60未満~20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
S-4	C	2	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
S-5	D	3	20未満	異常なし、または極小さな劣化が見られる状況

表-4 現況塗膜の目視調査結果

調査 取水ゲート	部位	判定項目						劣化度	健全度	評価
		さび	はがれ	われ	ふくれ	変退色	劣化度指数			
No.2	気中	3	3	3	3	3	0	D	S-5	
	水中	1	-	-	-	-	67	A	S-2	
No.3	気中	3	3	3	3	3	0	D	S-5	
	水中	2	3	3	3	3	7	D	S-5	

※「-」はゲート閉状態であったため目視調査を実施しなかった項目

(2) 塗膜厚試験

塗膜厚試験結果は「機械工事塗装要領(案)・同解説」に基づき評価した（表-5）。いずれも設計値以上の膜厚が確保されており、健全度S-4と評価した（表-6）。

表-5 塗膜厚評価基準²⁾

健全度	評価基準
S-2	測定箇所全てが著しく設計値を下回る。さび、はがれ等の劣化状態が全体的に見られる。
S-3	測定箇所の一部が設計値以下。さび、はがれ等の劣化状態が部分的。
S-4	平均値が設計膜厚以上。最低値が設計膜厚の70%以上

表-6 塗膜厚試験結果

調査 取水ゲート	塗膜厚 (μm)		
	調査結果	設計値	評価
No.2	326	195	S-4
No.3	294	195	S-4

(3) クロスカット試験

塗膜の付着力試験として「クロスカット試験」を行い、「機械工事塗装要領(案)・同解説」（表-7）に基づき、試験結果を評価した（表-8）。No.2ゲートでは、ほとんど剥離が認められず健全度S-5、No.3ゲートは、上塗りと中塗りの間でわずかな剥離が認められたことから、健全度S-4と評価した。

表-7 クロスカット試験の評価基準¹⁾

評価点 (RN)	0	1	2	3
				はく離面積 60%以上
JIS IV03-1993	3	2	1	0
劣化度	D	C	B	A
健全度	S-5	S-4	S-3	S-2

表-8 クロスカット試験結果

調査	試験結果 (RN)	評価
取水ゲート No.2	0	S-5
取水ゲート No.3	1	S-4

(4) 現況塗膜の評価

現況塗膜調査の結果、No.2取水ゲートにおいては、健全度S-2となる項目が確認され、塗装補修が必要な塗膜状況であることが確認された。

表-9 現況塗膜の劣化度判定結果

調査	調査項目		
	目視	塗膜厚	付着力
取水ゲート No.2	S-2	S-4	S-5
取水ゲート No.3	S-5	S-4	S-4

4. 防食耐久塗装工法の選定

(1) 選定条件

防食耐久塗装工法の選定にあたっては、防食耐久性能及び施工性能に着眼して選定した。また、札内川頭首工の取水ゲートが4門であることから、比較検討用の従来工法1工法に加え、下記方針(表-10)に基づき3工法を選定することにした。

表-10 防食耐久性塗装工法選定の方針

項目	選定基本方針
防食耐久性	<ul style="list-style-type: none"> 耐水性、耐衝撃性、耐摩耗性に優れていること。 紫外線劣化への耐久性に優れた『無機系塗装』も選定する。
施工性能	<ul style="list-style-type: none"> 現場施工が可能であること。 2種ケレンまたは3種ケレンでの施工が可能であること。 1種ケレン(プラスト作業)を必要としないこと。

(2) 比較検討結果

防食耐久塗装工法選定表を表-11に示す。

有機系塗料は、従来工法の「a-1B系(エポキシ樹脂)」と、耐久性、施工性及び未試験による新たな実証効果確認のため「エコマックス」を選定した。無機系塗料は、耐久性と施工性から「マイティCF」と、耐久性及び新たな実証効果確認のため「ダイヤスーパーセラ」を選定した。

表-11 防食耐久塗装工法選定表

有機系・無機系の区分	塗装名	塗装系	工法の特徴	評価											
				概要	高度化事業採用実績	耐久性(年)	経済性(円/㎡)	耐摩耗性(膜厚μm)	施工性			点数 △0 ○1 ◎2	有機系・無機系における順位	判定	
									素地調整	層数	ケレン種別				
1	有機系	従来工法 a-1B系 ※有機工事塗装要領(案)分類記号	エポキシ樹脂系	■水中部や一般環境の乾湿交替部に用いられる標準的な塗装系 ■現場における塗替え塗装に用いられる	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	6	3位	【採用】 ・塗替え替えにおける従来工法であり、比較検証用として必要
2	有機系	エポテクトター	フルイー	■エポキシ樹脂の耐薬品性、硬度、耐油成を兼ね備えた塗料(環境対応型) ■従来のエポキシ樹脂塗料に比べ、揮発成分が少なく、環境に配慮されている	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	4	4位	【不採用】 ・有機系で最下位
3	有機系	エポガードシステム	錆転換型エポキシ樹脂塗料	■転換型エポキシ樹脂を用い、赤錆を緻密で安定した黒錆に転換する塗料 ■再塗装の素地調整を簡略化することが出来る ■従来工法に対し、耐久性に優れる	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	7	1位	【不採用】 ・エコマックスと同点だが、高度化で実証実績があるため不採用
4	有機系	エコマックス	高性能超厚膜型	■タレや膜切れが少なく、超厚膜での塗布が可能であるため、施工性に優れる ■水中環境、水没環境に適応した工法である ■従来工法に対し、耐久性に優れる ■塗り重ね回数が少ないため、施工性に優れる	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	7	1位	【採用】 ・耐久性に優れる ・経済性に優れる ・新たな実証効果の確認が必要
5	無機系	セラニク	無溶剤2液型無機系炭化水素樹脂塗料	■無機系塗料であるため、耐熱性が高い ■温度変化による伸縮差に優れており、寒冷地での使用に適している ■従来工法に対し、耐久性に優れる	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	6	4位	【不採用】 ・上位2位に入らず不採用
6	無機系	マイティCF	炭素繊維強化無機系防錆材	■無機系塗料であるため、耐熱性が高い ■炭素繊維を混入し、塗膜の引張強度を向上させている ■従来工法に対し、耐久性に優れる ■塗り重ね回数が少ないため、施工性に優れる	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	8	1位	【採用】 ・耐久性に優れる ・施工性に優れる ・他試験施工との比較が必要
7	無機系	テナクソン T556CS	無溶剤2液型エポキシ炭化水素樹脂塗料	■無機系塗料であるため、耐熱性が高い ■従来の無機系塗料に比べ、無機成分含有率が低い(5%) ■塗り重ね回数が少ないため、施工性に優れる	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	7	3位	【不採用】 ・上位2位に入らず不採用
8	無機系	ダイヤスーパーセラ	超耐候・超低汚染性無機塗料	■無機系塗料であるため、耐熱性が高い ■一般的な無機系塗料に比べ、無機成分含有率が高い(50%) ■従来工法に対し、耐久性に優れる	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	8	1位	【採用】 ・耐久性に優れる ・経済性に優れる ・新たな実証効果の確認が必要

5. 試験施工

再塗装の試験施工は、令和元年10月下旬から11月下旬に行った。塗料の塗装条件として気温5°C以上及び湿度85%以下と規定されていることから、防寒囲いを設置した(写真-2)。施工中の防寒囲い内は、気温13°C以上、湿度85%以下を確保した。



写真-2 防寒囲い状況

各ゲートの防食耐久塗装工法、塗装仕様、実作業時間と施工者聞き取りによる施工性の評価を表-12に示す。

施工に要した時間は、エコマックスが従来工法(a-1b系)と同程度、マイティCFが従来工法比1.2倍程度の129時間、ダイヤスーパーセラランが従来工法比0.8倍程度の85時間であった。最も施工時間が長いマイティCFは、最も短いスーパーセラランの1.5倍程度となった。

マイティCFの施工時間が長い理由は、塗料の粘性が高く時間当り施工量が小さいこと、膜厚が660 μm で最も厚く、層数も5層と多いことによる。

塗料の粘性については、エアスプレー施工とした

場合には大きな問題とはならない。今回は、河川敷地内で施工ヤードが制限された中での試験施工であったことや、工場での再塗装においてもエアスプレーが一般的な塗装方法であることを考慮すると、各工法間の施工性には、大きな違いはないと考えられる。

6. モニタリング調査

(1) モニタリング調査計画

試験施工を行った防食耐久塗装工法と従来工法に対する有効性、劣化の進行程度・状態・要因等を確認するため、試験施工完了後3年目までモニタリング調査を行う計画としている。調査項目及び調査スケジュールを表-13、「機械工事塗装要領(案)・同解説」における塗膜インピーダンス試験及び引張付着試験の評価基準について表-14、表-15に示す。

表-13 モニタリング調査計画一覧表

調査項目	施工年 (R1)	モニタリング調査		
		1年目 (R2)	2年目 (R3)	3年目 (R4)
近接目視調査	○	○	○	○
塗膜厚調査	○	○	○	○
塗膜インピーダンス試験	○	○	○	○
引張付着試験 (アドヒージョン試験)		○		○

※“○”は実施項目を示す。

表-12 塗装仕様及び施工性評価一覧表

ゲート位置	No.1取水ゲート 扉体			No.2取水ゲート 扉体			No.3取水ゲート 扉体			No.4取水ゲート 扉体			
塗装名	a-1B系塗装			エコマックス塗装			マイティCF塗装			ダイヤスーパーセララン塗装			
	(有機系)			(有機系)			(無機系)			(無機系)			
塗装仕様	塗装工程	塗料名称	膜厚 (μm)	使用量 (g/m^2)	塗料名称	膜厚 (μm)	使用量 (g/m^2)	塗料名称	膜厚 (μm)	使用量 (g/m^2)	塗料名称	膜厚 (μm)	使用量 (g/m^2)
	素地調整	3種ケレン			2種ケレン			3種ケレン			2種ケレン		
	下塗	有機ジンクリッチ ペイント	75	500	エコマックスNT	100	400	マイティCF	200	528	ダイヤハイエポ プライマー	36	200
	下塗	変性エポキシ樹脂塗料 下塗(水中部用)	100	400	エコマックスNT	100	400	マイティCF	200	528			
	下塗	変性エポキシ樹脂塗料 下塗(水中部用)	100	400				マイティCF	200	528			
	中塗	エポキシ樹脂塗料 中塗	40	180	エコピン 中塗	40	180	ポリウレタン樹脂塗料 中塗	30	140	ダイヤスーパーセララン	32	150
	上塗	エポキシ樹脂塗料 上塗	40	170	エコピン 上塗HB	40	170	ポリウレタン樹脂塗料 上塗	30	120	ダイヤスーパーセララン	32	150
計			355			280			660			100	
工程数	素地調整含め6工程			素地調整含め5工程			素地調整含め6工程			素地調整含め4工程			
塗装面積	15 m^2			15 m^2			15 m^2			15 m^2			
作業時間	素地調整	4時間			10時間			5時間			10時間		
	塗装	3時間			3時間			4時間			3時間		
	養生	98時間			96時間			120時間			72時間		
	計	105時間			109時間			129時間			85時間		
施工性評価	普通			やや難			やや難			良			
	使用実績の多い従来工法であり、作業者も施工慣れしていることから、施工性良。仕上がりが良好。			塗料の粘性が高く、塗装が平坦になる前に乾燥する場合あり。ハケ塗りでは仕上がりに塗装ムラや刷毛跡がどうしても残る。			塗料の粘性が高く、塗装が平坦になる前に乾燥する場合あり。ハケ塗りでは塗装ムラや刷毛跡がどうしても残る。塗料の伸びが悪いため作業効率もやや悪い。層数が多いため、仕上がりの施工管理が長時間となる。			塗料の伸びが良く、施工性良好。仕上がりは試験工法の中で一番良好。層数も少なく施工管理労力も少ない。			

表-14 塗膜インピーダンスによる評価基準¹⁾

健全度	劣化度	塗膜インピーダンス評価点		塗膜の状態
		抵抗値	容量値	
S-2	A	0	0	塗膜の劣化が著しい。
S-3	B	1	1	塗膜に発錆、ふくれ等が生じている。
S-4	C	2	2	塗膜が完全に硬く付着し、上塗り塗装のみ劣化している。
S-5	D	3,2	3	異常なし。

表-15 引張付着力による評価基準¹⁾

健全度	劣化度	評価点 (RN)	引張付着力 (MPa)
S-5	D	3	2.0 ≤ X
S-4	C	2	1.0 ≤ X < 2.0
S-3	B	1	0.0 < X < 1.0
S-2	A	0	X = 0

c) インピーダンス試験

無機系工法の No.3 及び No.4 ゲートにおいて、抵抗値及び容量値の低下が見られた（健全度 S-4）。有機系工法の No.1 及び No.2 ゲートは変化がなかった（健全度 S-5）。

d) 引張付着試験（1年目時点）

No.3 ゲートの表面において、付着力が低い結果となった（健全度 S-3）。その他のゲートでは 1MPa 以上の付着力が確保されていた（写真-3）。



写真-3 引張付着試験 剥離箇所状況写真 (No.3 ゲート表面)

(2) モニタリング調査結果

2年目までのモニタリング調査結果を表-16に示す。

なお、各調査結果の概要は、次のとおりである。

a) 近接目視調査

全てのゲートで変状は確認されなかった（健全度 S-5）。

b) 塗膜厚調査

いずれの箇所においても測定値が設計値を上回る結果であった（健全度 S-4）。

7. モニタリング調査2年目時点における適用性の評価

各防食耐久塗装工法の耐久性について、現時点における適用性を評価すると、次のようにいえる。

a) a-1B系塗装 (No.1取水ゲート)

全ての調査結果が「健全度S4～S5」であることから、現時点では良好な状態である。

b) エコマックス塗装 (No.2取水ゲート)

全ての調査結果が「健全度 S4～S5」であり、現時点では非常に良好な状態である。

表-16 モニタリング調査結果一覧表（調査2年目時点）

取水ゲート番号 塗装名	下地処理	部位	モニタリング調査結果															
			近接目視調査				塗膜厚調査				インピーダンス試験				引張付着試験			
			施工年 (R1)	1年目 (R2)	2年目 (R3)	3年目 (R4)	施工年 (R1)	1年目 (R2)	2年目 (R3)	3年目 (R4)	施工年 (R1)	1年目 (R2)	2年目 (R3)	3年目 (R4)	施工年 (R1)	1年目 (R2)	2年目 (R3)	3年目 (R4)
No.1 a-1b系	3種ケレン	表面	S-5	S-5	S-5		S-4	S-4	S-4		S-5	S-5	S-5		-	S-4	-	
		天端	S-5	S-5	S-5		-	S-4	S-4		S-5	S-5	S-5		-	S-5	-	
		裏面	S-5	S-5	S-5		S-4	S-4	S-4		-	S-5	S-5		-	-	-	
No.2 エコマックス	2種ケレン	表面	S-5	S-5	S-5		S-4	S-4	S-4		S-5	S-5	S-5		-	S-5	-	
		天端	S-5	S-5	S-5		-	S-4	S-4		S-5	S-5	S-5		-	S-5	-	
		裏面	S-5	S-5	S-5		S-4	S-4	S-4		-	S-5	S-5		-	-	-	
No.3 マイティCF	3種ケレン	表面	S-5	S-5	S-5		S-4	S-4	S-4		S-5	S-4	S-4		-	S-3	-	
		天端	S-5	S-5	S-5		-	S-4	S-4		S-5	S-5	S-4		-	S-4	-	
		裏面	S-5	S-5	S-5		S-4	S-4	S-4		-	S-4	S-4		-	-	-	
No.4 ダイヤモンドスーパーセラ	2種ケレン	表面	S-5	S-5	S-5		S-4	S-4	S-4		S-5	S-4	S-4		-	S-4	-	
		天端	S-5	S-5	S-5		-	S-4	S-4		S-5	S-4	S-4		-	S-5	-	
		裏面	S-5	S-5	S-5		S-4	S-4	S-4		-	S-4	S-4		-	-	-	

c) マイティCF塗装 (No.3取水ゲート)

目立った劣化の進行は確認されていない。インピーダンス試験における抵抗値及び容量値において「健全度 S-4」であり経年的に変化している状況であることから、次年度以降の変化を注視する必要がある。引張付着力は、表面において 1MPa を下回り「健全度 S-3」と評価されるが、次年度以降の変化に注視する必要がある。

d) ダイアスーパーセラ塗装 (No.4取水ゲート)

全ての調査結果が「健全度 S-4～S-5」であり、現時点では概ね良好な状態である。

8. おわりに

防食耐久塗装工法の評価のうち、各工法の施工性については、在来工法に対し塗料の粘性や層数の違いにより、作業時間が長くなる工法または短くなる工法があること

が判明した。耐久性については、3年目のモニタリング調査結果を踏まえ、劣化が確認される部位について供用条件との関連性について考察し、寒冷地における適用性評価を行う予定である。

謝辞：本調査を行うにあたって、調査の協力、資料等の提供を頂いた関係者の皆様に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 国土交通省総合政策局建設施工企画課：機械工事塗装要領(案)・同解説
- 2) 食料・農業・農村政策審議会、農業農村振興整備部会技術小委員会：農業水利施設の機能保全の手引き「頭首工(ゲート設備)」