

# 鋼製ゲートにおける耐久性塗装の評価

## — 工法別の特徴と評価 —

函館開発建設部 農業開発課 ○高嶋 憲太  
齋藤 晴保

農業水利施設のライフサイクルコストの低減と施設の長寿命化を図るストックマネジメントにおいては、診断、評価、対策工法などの関係技術を確認させる必要がある。

函館開発建設部では、鋼製ゲート塗装の対策工法を確認させるため、平成 29 年度に耐久塗装工法の試験施工を実施した。本報では平成 29 年（施工後）から令和元年のモニタリング調査を報告する。

キーワード：ストックマネジメント、耐久塗装工法、鋼製ゲート

### 1. はじめに

鋼製ゲートの塗装は、一般的にエポキシ樹脂塗料が用いられているが、塗装が劣化する度に、再塗装を行っており、維持管理費の高騰要因となっている。この要因を解消するには、耐久性の高い塗装により防食対策を講じることが肝要である。

本報文は、ストックマネジメント高度化事業にて実施した、耐久性塗装の試験施工（平成29年）及び施工後 1, 2年目（平成30年, 令和元年）のモニタリング調査について報告する。

### 2. 対象施設の概要

国営直轄かんがい排水事業 北桧山右岸地区（以下、「本地区」という）は、北海道檜山振興局管内に位置している（図-1）。本地区は、昭和 43 年から昭和 60 年にかけて実施され、既水田と開田地への用水補給と無水地帯への畑地かんがい用水の確保を目的とし、ダム 1 箇所、頭首工 2 箇所、揚水機場 1 箇所、排水機場 1 箇所、用水路 5 条、排水路 2 条を造成している。



図-1 北桧山右岸地区位置図

試験施工対象施設である丹羽頭首工の土砂吐ゲート設備（写真-2、表-1）は、昭和 47 年から昭和 48 年に造成され、昭和 49 年から供用を開始しており 45 年が経過している。なお、当ゲート設備は平成 18 年に塩化ゴム系塗料（塗膜厚 98 μm）で再塗装を行っている。



写真-1 丹羽頭首工全景

表-1 ゲート仕様・規模

名 称	ゲート形式		門数
土砂吐ゲート	鋼製ローラーゲート		1
	扉体材質	ゲート規模	
	SS41	純径間 15.0m 扉体高 2.0m	

### 3. 事前調査

試験施工に先立ち平成 28 年にゲートの①外観の目視調査（塗装の変状及び錆の有無）、②塗膜厚測定、③板厚測定、④有害物質含有調査を行った（表-2）。

表-2 H28 事前調査結果

位置	調査項目	調査結果
扉体表面	目視	前面には、部分的に錆コブが発生。 前面の下部は、他の部位に比べ錆コブが多い。 越流部は、部分的に錆コブが発生。
	塗膜厚	前 面：平均426 $\mu$ m (334~563 $\mu$ m) 越流部：平均137 $\mu$ m (105~204 $\mu$ m)
	板 厚	・前 面：平均9.99mm (9.83~10.39mm) ・越流部：平均9.62mm (9.42~9.98mm)
	有害物質	鉛化合物：0.017mg/1% クロム化合物：0.014mg/1% BCP：未検出
扉体裏面	目視	部分的に錆コブ、塗装の剥がれが発生。
	塗膜厚	平均575 $\mu$ m (441~767 $\mu$ m)
	板 厚	平均10.09mm (8.87~10.53mm)
	有害物質	未調査

### 4. 耐久性塗装工法の選定

#### (1) 条件の設定

耐久性塗装工法の選定に当たっては、塗装性能及び施工性能等について条件を設定した（表-3）。

表-3 塗装仕様の選定条件

項 目		塗装仕様の選定条件
塗装性能	耐性	耐久性、耐衝撃性、耐摩耗性を有していること。
施工性能	施工方法及び温度	現場塗装が可能であること。また、乾湿条件下で適用できる工法であること。
	塗装の作業性	塗料は取り扱いやすく、塗布作業が容易であること。
素地調整		鉛、クロム対策が不要な2種ケレン以上の工法。

#### (2) 塗装仕様の選定と特徴

塗装の仕様は、設定条件を満足する耐久性塗装工法の中から、ライフサイクルコストで有利であることはもとより、他地区での施工事例も鑑み、A工法、B工法、C工法の3工法を選定した（表-4）。

選定した各塗装の特徴は、次とおり。

表-4 塗装仕様比較一覧

塗装系	耐衝撃性	耐候性	付着性	施工費	耐用年数
炭素繊維強化 無機系防錆材 (A工法)	◎	◎	○	9,400円/m <sup>2</sup>	30年
無溶剤型エポキシ 炭化水素樹脂塗料 (B工法)	○	◎	△	12,700円/m <sup>2</sup>	25年 (20~30年)
錆転換型エポキシ 樹脂塗料 (C工法)	○	○	◎	9,000円/m <sup>2</sup>	30年

※施工費に2種ケレン費用(3,000円/m<sup>2</sup>)を含む

### I) A 工法

従来の塗料は有機溶剤に溶かして塗布するが、本製品は有機溶剤を必要としない。そのため、溶剤が蒸発する際に発生する細孔の無い緻密な塗膜を形成でき、耐久性の向上が期待できる。また、無溶剤性なので、有機溶剤中毒の対策が不要でより安全性が高い。表面に結露が発生する環境でも施工が可能であり、1回の塗膜厚が厚く、工程を短縮できる。

### II) B 工法

無機系防錆材料で、塗布直後はもとより長期間にわたりアルカリ性を維持することにより、鋼構造物塗布面を腐食から守る働きがある。強アルカリ性により表面の赤錆等も黒錆に変換する。鋼構造の防錆塗装材料としては安価で耐久性が高い。

### III) C 工法

高浸透性の下地処理剤と錆転換型特殊エポキシ樹脂系下塗り塗料との相乗効果により、鉄素地まで強力に浸透し錆を固着化させ、赤錆を緻密で安定した黒錆に転換するため、簡単な素地調整でも優れた防食性を発揮する。再塗装において、素地調整の種別にかかわらず施工することができ、費用の削減が可能であり中・上塗り一般的な塗料でよいため維持管理費を低減できる。

## 5. 試験施工

試験施工は、平成29年10月上旬～中旬に行った。なお、試験施工はゲートを上昇させた状態で行うことから、仮設工として吊足場を設置し、塗装材の飛散防止対策としてパネル内側にはブルーシートによる養生対策を講じた（写真-2）。



写真-2 仮設写真

塗装工法は、左岸側からA工法、B工法、C工法としており図-2、図-3に各工法の塗装仕様と割付（塗装範囲）を示す。

A工法	B工法	C工法
上塗 (塗膜厚80μm)	上塗 (塗膜厚30μm)	上塗 (塗膜厚40μm)
中塗 (塗膜厚250μm)	中塗 (塗膜厚30μm)	中塗 (塗膜厚40μm)
下塗 (塗膜厚250μm)	下塗 (塗膜厚250μm)	下塗 (塗膜厚70μm)
X	下塗 (塗膜厚250μm)	下地処理
	下塗 (塗膜厚250μm)	脱脂・洗浄
合計塗膜厚580μm	合計塗膜厚810μm	合計塗膜厚150μm
素地調整1回、2種ケレン		

図-2 塗装仕様

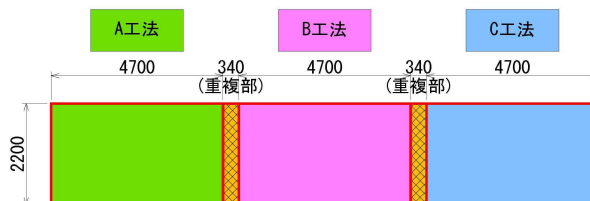


図-3 塗装割付

## 6. モニタリング調査

### (1) 調査計画

モニタリング調査は、試験施工を行った耐久性塗装の有効性や耐久性を検証するため、試験施工後5年目まで実施することとし、各塗装仕様について表-5に示すI) 塗膜外観調査（割れ、膨れ、剥がれ、変退色等）、II) 塗膜厚測定、III) 塗膜アドヒージョン（引張付着）試験、IV) 塗膜インピーダンス（劣化）測定を実施し評価を行った。

表-5 モニタリング調査計画

調査年度	調査・試験項目	調査地点・箇所数
平成29年度 (0年目、施工後) 平成30年度 (1年目) 令和1年度 (2年目) 令和2年度 (3年目)	塗膜外観調査	ゲート扉体全体（前裏面）
	塗膜厚測定	各塗装工の扉体表面：6測点、裏面：6測点
	塗膜アドヒージョン試験	各塗装工の扉体表面：3測点、裏面：3測点
	塗膜インピーダンス測定	各塗装工の扉体表面：3測点、裏面：3測点

塗膜の劣化判定は「機械工事塗装要領（案）・同解説」に準拠し、判定する（表-6～8）。なお、塗装膜厚については、試験施工時の塗膜厚からの減少で判断する。

表-6 塗膜表面状況劣化度判定基準

劣化度	劣化度指数	判定内容
A	100 ～60以上	全体的にサビ、膨れ、剥がれ等の発錆が見られ、著しく劣化が進んでいる状況。
B	60未満 ～40以上	全体的に小さなサビ、膨れ、剥がれ等の発錆が見られ、部分的には比較的大きな発生が見られる状況で、かなり劣化が進んでいる状況。
C	40未満 ～20以上	極めて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、または極めて小さな劣化が見られる状況。

表-7 アドヒージョンテスト  
(引張付着力)の評価点

評価点 (RN)	引張付着力 (MPa)
3	$2.0 \leq X$
2	$1.0 \leq X < 2.0$
1	$0 < X < 1.0$
0	$X = 0$

表-8 インピーダンス測定の評価点

インピーダンス評価点		塗膜の状態
抵抗値	容量値	
0	0	塗膜の劣化が著しい
1	1	塗膜に発錆、膨れ等が生じている
1	2	塗膜が完全に固く付着し、上塗塗膜のみ劣化している
2~3	3	異常なし

## (2)0年目(施工後)調査結果(平成29年)

### I)塗膜外観

A工法は、暴露試験用のプレートでは円滑な面となるが、ケレン処理後の塗装には凹凸が生じていた。

B工法は、暴露試験用のプレートでは円滑な面となるが、ケレン処理後の塗装にはクレーター上の穴が開き、深さの大きいものは中塗り材の表面まで達していた。これは、中塗り材を塗装している時に生じる気泡の残りであり、工事では、その気泡をつぶして除去してから20時間後に上塗を開始したが、気泡が上塗材に移りクレーター状の穴が生じた。

C工法は、暴露試験用のプレートとケレン処理後の塗装に大差はなかった。

### II)塗膜厚

必要な塗膜厚(A工法:580 $\mu$ m、B工法:810 $\mu$ m、C工法:150 $\mu$ m)は確保されている。

### III)塗膜アドヒージョン

A工法は0.8~1.7MPaで評価点は1~2点、B工法は0.2~0.7MPaで評価点は1点、C工法は1.3~2.7MPaで評価点は2~3点であった。

B工法の評価点が低い要因としては、試験施工から調査までの期間で養生温度5 $^{\circ}$ Cが必要期間を満足していないこと、塗膜厚が厚いことが考えられる。C工法は他工法より塗膜厚が薄いため、評価点が高くなった可能性がある。

### IV)塗膜インピーダンス

A工法とB工法は、表裏の抵抗値、容量値は全て評価点3点で「異常なし」との結果であった。C工法は、表裏の抵抗値、容量値に評価点2と「上塗り塗膜のみの劣化」が確認された。これは、C工法が有機系の塗膜被覆材であるため、無機系の材料に比べ微量ながら電流が流れることに起因しているためと考えられる。

## (3)1年目調査結果(平成30年)

### I)塗膜外観

A工法は、越流部の一部上塗り及び中塗りに、割れと剥がれが生じていた。

B工法は、越流部全体の上塗り及び中塗りに割れが生じていた。また、裏面は塗装の剥がれが生じていた。

C工法は、越流部の一部上塗り及び中塗りに、割れと剥がれが生じていた。また、裏面の一部には剥がれが生じていた。

3工法とも点的な剥がれは、転石等の衝突によるものと推測される。

### II)塗膜厚

必要な塗膜厚(A工法:580 $\mu$ m、B工法:810 $\mu$ m、C工法:150 $\mu$ m)は確保されており、摩耗はないものと推測される。

### III)塗膜アドヒージョン

A工法は4.2~5.6MPaで評価点は3点「問題なし」である。

B工法は0.9MPaが1箇所あるが、総じて1.0~1.2MPaで評価点は2点と施工0年目よりは良好な値であったが、付着力は「若干弱い」結果であった。

C工法は、1箇所1.7MPaがあるがその他は総じて2.0MPa以上で評価点は3点で「問題なし」である。

### IV)塗膜インピーダンス

A工法は、表裏の抵抗値、容量値は全て評価点3点で「異常なし」との結果であった。

B工法は、表裏ともに抵抗値に評価点2点があるが、容量値は全て評価点3点であるため「異常なし」との結果である。

C工法は、表裏ともに容量値の評価点2が多く「上塗り塗膜のみの劣化」との結果であった。

## (4)2年目調査結果(令和1年)

### I)塗膜外観

A工法は、1年目からの進行や拡大はなかった。

B工法は、全体的に割れが生じていた越流部の一部が剥がれに進行していた。

C工法は、越流部の剥がれの範囲が拡大していた。剥がれの箇所数も表裏で5箇所増加していたが、点的な剥がれであることから、転石等の衝突によるものと推測される。

### II)塗膜厚

1年目の調査結果と同様、必要な塗膜厚(A工法:580 $\mu$ m、B工法:810 $\mu$ m、C工法:150 $\mu$ m)は確保されており、摩耗はないものと推測される。

### III)塗膜アドヒージョン

A工法は1.9~6.4MPaで評価点は3点と1年目の調査値と同じ「問題なし」である。

B工法は0.9~1.8MPaで評価点は1~2点と1年目調査値と同等の値で、付着力は「若干弱い」結果であった。

C工法は3.0~9.0MPaで評価点は3点と「問題なし」

である。

IV) 塗膜インピーダンス

A 工法は、表裏の抵抗値、容量値ともに全て評価点 3 点で「異常なし」である。

B 工法は、表裏ともに容量値は 3 点であったのに対し抵抗値に 2 点が確認されたが評価としては、「異常なし」である。

C 工法は、前年と同様に表裏の抵抗値、容量値に評価点 2 が多くあり「上塗り塗膜のみの劣化」が確認された。



写真-3 塗装表面の割れ・剥がれ (B 工法)

7. 現時点のまとめと評価

各塗装仕様の耐久性は、モニタリング調査結果 (表-8) より以下のことが言える。

(1) A 工法

施工後 0 年目のアドヒージョンテストでは、平均引張付着力 1.3MPa と低い値であったが、これは施工後 5°C 以上の必要養生期間を確保できなかったことに起因していると考えられ、1 年目以降のテストでは平均付着力が 4.6MPa と高い結果であった。

表面の越流部に剥がれがあるが一部であり塗膜厚も確保されている。塗膜の劣化も「異常なし」であり、全てにおいて良好な状態と考えられる。

(2) B 工法

越流部表面全体の上塗り及び中塗りに割れがあり (写真-3)、一部は剥がれに進行している。塗膜厚は確保されているが、引張付着力は施工後 0 年目から平均 0.4MPa、2 年目でも最大 1.2MPa と低い結果であった。塗膜の劣化は異常なしである。1 年目から良好な値が得られていない要因として初期欠陥が考えられる。

(3) C 工法

表面の越流部に剥がれがあるが一部であり塗膜厚も確保されている。引張付着力は施工後 0 年目から平均 2.0MPa と高い結果であった一方で、塗膜の劣化は 2 年目から上塗り塗装の劣化が確認されたが、上塗りであることから、現時点では問題視することではない。

B 工法は、引張付着力で他の 2 工法より劣り、C 工法は、塗膜の劣化度で他の 2 工法より劣る結果となっているが、試験施工後 2 年しか経過していないことを考えると、劣化と捉えるよりも初期欠陥に起因していると推測するのが妥当と考える。

8. おわりに

耐久性塗装工法の検証で、耐久性については、施工後 2 年目の調査を終えた段階であることから、今後もモニタリング調査を継続し蓄積された調査結果に基づき、塗膜の劣化要因等を含めた検証を行うことが必要である。

参考文献

1) 機械工事塗装要領 (案) ・同解説：国土交通省 総合政策局 建設施工企画課

表-8 モニタリング調査結果

塗装仕様	測定箇所	塗装外観調査				膜厚測定 (4点平均値 μm)			付着力測定 (3点平均 MPa)			インピーダンス測定						備考		
		1年目 (H30)	劣化度	2年目 (R1)	劣化度	測定番号	初期値 (0年目) (H29)	1年目 (H30)	2年目 (R1)	初期値 (0年目) (H29)	1年目 (H30)	2年目 (R1)	初期値 (H29)		1年目 (H30)		2年目 (R1)			
													抵抗値	容量値	抵抗値	容量値	抵抗値		容量値	
A 工法	表面	塗装割れ 1箇所 剥がれ 5箇所	C	1年目からの進行や拡大なし	C	1	638	991	970	0.8	4.3	5.2	3	3	3	3	3	3	塗膜厚 580 μm	
						2	909	919	878	1.4	4.3	5.7	3	3	3	3	3	3		
						3	869	938	863	1.1	3.3	1.9	3	3	3	3	3	3		
						4	730	729	761	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
						5	747	868	838	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
						6	773	782	804	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
	裏面	剥がれ 2箇所	C	1年目からの進行や拡大なし	C	1	898	969	934	1.7	5.2	5.1	3	3	3	3	3	3		
						2	813	906	898	1.5	5.6	6.4	3	3	3	3	3	3		
						3	1133	901	856	1.3	4.2	4.1	3	3	3	3	3	3		
						4	848	934	921	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
						5	925	1211	1184	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
						6	841	791	772	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
B 工法	表面	塗装割れ 越流部全面	A	塗装割れ 越流部全面	A	1	1551	1377	1369	0.7	1.1	0.9	3	3	2	3	2	3	塗膜厚 810 μm	
						2	1155	1299	1354	0.4	1.2	1.6	3	3	2	3	2	3		
						3	1013	1268	1260	0.2	1.2	1.8	3	3	2	3	2	3		
						4	1510	1416	1354	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
						5	1310	1136	1142	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
						6	1062	1144	1029	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
	裏面	剥がれ 2箇所	A	1年目からの進行や拡大なし	A	1	1124	1037	1043	0.4	1.0	1.0	3	3	3	3	3	3		
						2	1199	1294	1218	0.5	1.1	1.1	3	3	2	3	3	3		
						3	968	1173	1254	0.3	0.9	1.2	3	3	2	3	2	3		
						4	1199	1209	1198	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
						5	1110	1110	1040	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
						6	1144	1158	1229	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
C 工法	表面	塗装割れ 3箇所 剥がれ 2箇所	C	塗装割れ 3箇所 剥がれ 3箇所	C	1	230	221	218	1.5	6.0	8.7	2	3	2	2	3	2	塗膜厚 150 μm	
						2	253	197	196	2.3	2.3	3.0	3	3	2	2	2	2		
						3	238	224	223	2.0	1.7	4.0	3	3	2	2	3	2		
						4	235	201	189	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
						5	215	227	229	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
						6	227	257	229	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
	裏面	剥がれ 2箇所	C	剥がれ 6箇所	C	1	338	321	336	1.3	6.3	9.0	2	3	2	3	2	3		
						2	213	362	342	2.3	6.2	7.8	2	3	2	3	2	3		
						3	199	213	221	2.7	4.9	8.7	2	2	2	2	2	2		
						4	350	175	167	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
						5	175	186	192	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—
						6	152	147	136	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—

※表中の黄色は、劣化が進行しているものを示す。