

ダム取水施設の塗装工法適用性の検証事例

網走開発建設部 農業整備課 ○奥山 郷
竹部 健司
松川 剛士

ダムの取水施設は、塗装により腐食原因を遮断して耐久性を確保しているが、貯水の影響や施設規模が大きい等の制約が多く再塗装の実施は難しい状況にある。また、近年、耐久性を向上させた塗装仕様が各メーカーにおいて開発されており、それらの使用により維持管理費の低減が期待される。

本稿では、古梅ダム取水施設で実施した長期耐久性を有する塗装工法の検証事例の報告を行うものである。

キーワード：長寿命化、維持・管理

1. はじめに

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ため、施設の診断、劣化予測、評価手法の技術向上や対策工法の有効性の検証を行い、適切な保全に必要な技術の向上が必要となっている。

本報では、ダム取水施設において実施した塗装工法適用性の検証について、前回の試験施工後1年目(H30)の調査から4年経過後(R4)のモニタリング調査結果を報告する。

2. 試験対象施設の概要

(1) 対象施設について

本事例の対象施設は、「国営かんがい排水事業女満別地区」において造成された古梅ダムの取水施設(直立型フローティングゲート)とし、昭和57年度から昭和58年度にかけてダム上流左岸部に整備された鉄骨構造の施設である(図-1)。

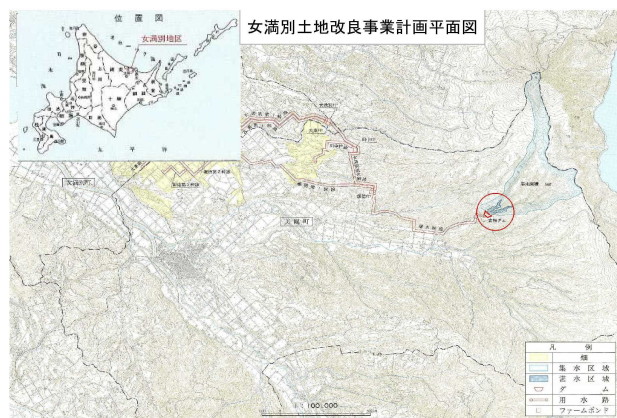


図-1 試験箇所位置図

(2) 塗装の状況

施設の塗装は、取水塔の造成後、平成8年度に塗装の塗り替え工事が実施されている。平成24年度に実施したダムの機能診断では、取水施設トラス部材、スクリーン及び管理橋において、部分的な「浮き錆・塗装剥離」が確認された(写真-1~4)。

取水施設などに使用される塗装の耐用年数は、既設塗装仕様(厚膜エポキシ樹脂)の場合10年程度とされ、このサイクルでの再塗装は、施設規模、工事費用等の制約が多く、再塗装が実施されていない状況にあった。

このため、平成30年度に環境条件への適用性を選定し、その適用性と評価検証するための試験施工として3工法による塗装を行った。



写真-1 取水塔全景

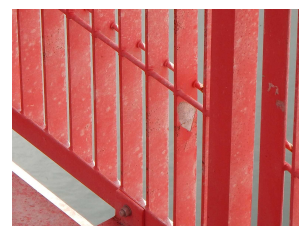


写真-2 スクリーン

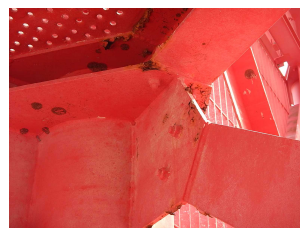


写真-3 トラス部材①

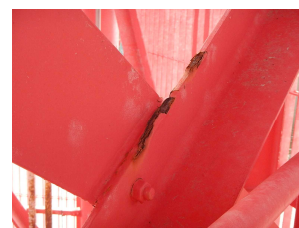


写真-4 トラス部材②

3. 試験塗装

工法の選定にあたっては、現地調査結果を踏まえた環境条件及び塗装に求められる考慮すべき条件に基づき3工法を選定した。

(1) 塗装に求められる考慮すべき条件

- ・ 厳冬期における氷雪の付着、凍結融解の発生。
- ・ 非かんがい期11月～2月に取水塔全体が露出。かんがい期は、貯水位の変動に応じて一部が水没。
- ・ 施設規模が大きく輸送による工場塗装は困難。
- ・ 現場施工での1種ケレンは、仮設費が高むため困難。
- ・ 素地調整の違いによる塗装性能への影響をモニタリング調査の目的とする。

(2) 選定工法

上記条件を考慮し、塗膜の各種性能（耐久性、耐候性、耐水性、耐衝撃・摩耗性、維持管理性）、施工性及び経済性から以下の3工法を選定し、それぞれ2種ケレン（旧塗膜、錆を除去し鋼材面を露出）と3種ケレン（健全部以外の錆など不良部を除去）の組合せでモニタリング調査を行うこととした。

- ①エポキシ樹脂系（厚膜型）塗料（A工法）
- ②無溶剤型エポキシ炭化水素樹脂塗料（B工法）
- ③錆転換型エポキシ樹脂塗料（C工法）

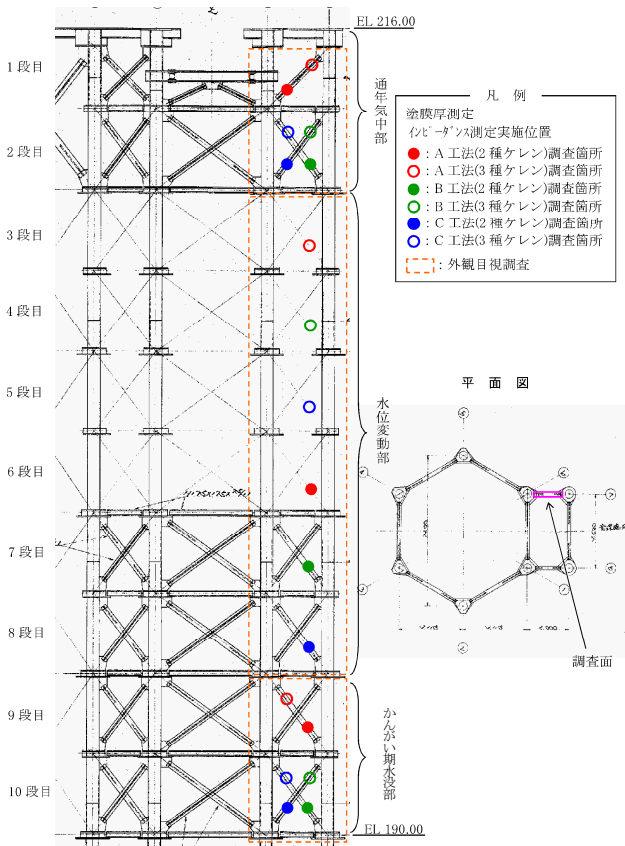


図-2 調査位置図

(3) 調査位置

水没などの影響を考慮して各段の塗装、素地調整(ケレン)の組合せから調査位置は図-2に示すとおりとした。

4. モニタリング調査

(1) モニタリング計画

試験施工（H29）から5年目（R4）までのモニタリング計画における調査項目を表-1に示す。

表-1 モニタリング計画表

調査項目	調査段階			
	施行年	1年目	4年目	5年目
	H29年	H30年	R3年	R4年
(1) 貯水位			●	
(2) 水質調査	●			
(3) 気象状況調査			●	
(4) 外観目視調査	●	●		●
(5) 塗膜厚測定	●	●		●
(6) 引張付着試験	●			●
(7) インピーダンス測定	●	●		●

(2) 貯水位調査

モニタリング期間中（H30.4～R3.12；約4ヶ年）の水位変動パターンを把握し、取水施設の各段が水没する日数を表-2のとおり集計した。

表-2 貯水位変動による水没日数表

区分	塗装位置	塗装工	ケレン種	水没日数 (日) ①	水没率 (%) (①/1705日)*100
通年 気中部	1段目	ケレン3種	A工法	0	0
			B工法	0	0
	2段目	ケレン3種	A工法	0	0
			B工法	0	0
水位 変動部	3段目	ケレン3種	A工法	82	4.8
			B工法	303	17.8
	4段目	ケレン3種	A工法	460	27.0
			B工法	592	34.7
	5段目	ケレン3種	A工法	686	40.2
			B工法	760	44.6
通年 水没部	9段目	ケレン3種	A工法	790	46.3
			B工法	815	47.8
	10段目	ケレン3種	A工法	884	51.8
			B工法	908	53.3
	ケレン2種	A工法			
		B工法			

塗膜の劣化は、乾湿の繰り返しや紫外線の影響が要因となることが一般的に言われていることから、上表に示すとおり水没することのない1・2段目を「通年気中部」、3～8段目を段階的に水没率が変動する「水位変動部」、かんがい期間はほとんど水没している9・10段目を「かんがい期水没部」に分類して、各種調査データとの関連について検証することとした。

(3) 気象状況調査

ダム周辺の降雨量と貯水位の関連について、5ヶ年分（H30～R4）を図-3のとおりグラフに整理した。

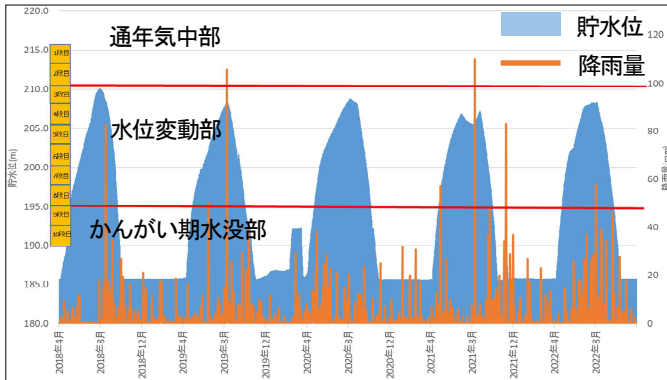


図-3 貯水位及び降雨量

上図のとおり1・2ヶ年目の降雨量が3年目よりも突出しているが、ダムの貯水位はほぼ同じ増減を繰り返しており、取水施設の塗装は一定のサイクルで劣化要因となる乾湿を繰り返していることが明らかとなった。

(4) 外観目視調査

前回調査（H30）から4ヶ年経過した取水施設の外観について、肉眼で確認できるレベルの劣化の進行は確認できなかった。これは、1段目（通年気中部）から10段目（かんがい期水没部）を通して同様であった。通年気中部は、土砂の付着が多かったが拭き取った下の塗装は健全であった。

また、塗装面が紫外線を受けると劣化症状と見られるチョーキング（塗膜樹脂が破壊され白い粉が浮き出る）現象が発生する可能性があるが、これも1段目から10段目にわたって確認されなかった（写真-5～8）。



写真-5 1段目 (H30. 12. 10)



写真-6 1段目 (R4. 10. 12)



写真-7 6段目 (H30. 12. 10)

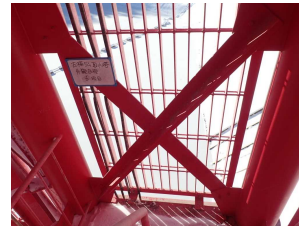


写真-8 6段目 (R4. 10. 12)

(5) 塗膜厚測定調査

a) 測定方法

塗膜厚測定は、電磁式デジタル膜厚計（LE-200；株式会社ケツト科学研究所）を用いて1測定箇所につき4点（上下左右）測定し、最大値、最小値、及び平均値を算出する。なお、調査点はH30調査でマーキングしたポイントと同じ位置で行った。

品質検査における基準値は、塗膜厚測定の平均値が標準塗膜厚以上であることとした（機械工事塗装要領(案)同解説より）。

b) 測定結果

表-3の結果より、すべての塗装箇所において標準膜厚が確保されていることが確認できた。

今回の調査で前回よりも数値が増えている箇所があるが、調査機械を使用する調査員による影響を考慮すると、いずれも測定誤差の範囲内と考えられ、塗膜厚に有意な劣化の進行は認められなかった（写真-9～10）。

表-3 塗膜厚測定結果一覧表

測定場所等			測定値		標準膜厚 (μm) ①	評価 平均値 \geq ①		
			H30 (μm) 平均値	R4 (μm) 平均値				
通年 気中部	1段目	A工法	3種ケレン	1,133	1,178	300	0 K	
			2種ケレン	510	483	300	0 K	
	2段目	B工法	3種ケレン	1,195	1,234	580	0 K	
			2種ケレン	607	590	580	0 K	
		C工法	3種ケレン	835	831	200	0 K	
			2種ケレン	501	528	200	0 K	
水位 変動部	3段目	A工法	3種ケレン	953	943	300	0 K	
	4段目	B工法	3種ケレン	1,144	1,116	580	0 K	
	5段目	C工法	3種ケレン	835	818	200	0 K	
	6段目	A工法	2種ケレン	422	408	300	0 K	
	7段目	B工法	2種ケレン	1,038	992	580	0 K	
	8段目	C工法	2種ケレン	439	424	200	0 K	
	かん がい 期	9段目	A工法	3種ケレン	932	923	300	0 K
				2種ケレン	474	481	300	0 K
10段目		B工法	3種ケレン	743	728	580	0 K	
			2種ケレン	614	602	580	0 K	
		C工法	3種ケレン	1,226	1,185	200	0 K	
			2種ケレン	508	344	200	0 K	



写真-9 使用機器



写真-10 調査状況

(6) 引張付着試験

a) 測定方法

引張付着強度測定は、清浄な状態にした塗装表面に対して、接着剤を塗布した端子（ドーリー）を固着させ、アドヒージョンテスタ（プルオフ式付着性試験機 Elecpmeter106 ; Elcometer）で端子を引き剥がし、その際の強度を測定するものである（図-4）。

引張付着強度測定は、3ヶ所のサンプルを取り、その3つの平均値とする。なお、引張試験部の破壊面は、目視確認をしたうえで試験塗装と同じ塗料により補修を行う（写真-11~12）。

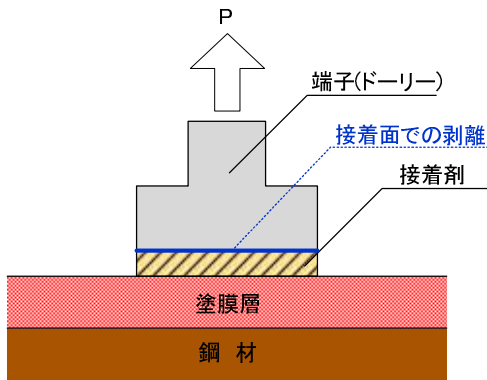


図-4 引張付着試験概念図



写真-11 測定状況①



写真-12 測定状況②

表-4 引張付着強度測定結果一覧表

調査位置	工法 ケレン	平成30年度			令和4年度		
		No.	値(Mpa)	剥離状況	No.	値(Mpa)	剥離状況
3段目	A工法 3種	1	3.5	接着剤	1	NG	ドリルカット中に破断
		2	NG	接着剤	2	3.0	上塗凝集破壊40%
		3	5.0	接着剤	3	3.0	上塗凝集破壊30%
		平均値	4.3		平均値	3.0	
4段目	B工法 3種	1	3.0	上・中界面破壊40%	1	3.5	旧上塗凝集破壊30%
		2	3.0	上・中界面破壊20%	2	3.0	上塗凝集破壊10%
		3	3.0	上・中界面破壊30%	3	4.0	旧上塗凝集破壊60%
		平均値	3.0		平均値	3.5	
5段目	C工法 3種	1	3.0	接着剤	1	2.5	上塗凝集破壊30%
		2	2.0	接着剤	2	2.5	旧上塗界面破壊5%
		3	2.2	接着剤	3	2.5	旧上塗界面破壊8%
		平均値	2.4		平均値	2.5	
6段目	A工法 2種	1	4.5	接着剤	1	4.5	上塗凝集破壊5%
		2	2.5	接着剤	2	3.0	上塗凝集破壊10%
		3	3.0	接着剤	3	5.5	接着剤
		平均値	3.3		平均値	4.4	
7段目	B工法 2種	1	3.0	上塗凝集破壊5%	1	0.5	下塗凝集破壊100%
		2	2.0	上・中界面破壊20%	2	1.0	下塗凝集破壊100%
		3	2.5	下塗凝集破壊100%	3	1.0	下塗凝集破壊100%
		平均値	2.5		平均値	0.9	
8段目	C工法 2種	1	2.0	接着剤	1	NG	ドリルカット中に破断
		2	2.0	接着剤	2	5.5	上・中界面破壊10%
		3	3.0	接着剤	3	4.0	接着剤
		平均値	2.3		平均値	4.8	

c) 塗膜補修

端子（ドーリー）に付着し剥がれた塗膜は、同じ塗料によって再塗装し、補修を行った。このように、継続して塗膜厚調査を行うモニタリング調査においては、前回と同じ位置で試験はできないため、正確な調査地点を記録しておく必要がある（写真-13~14）。



写真-13 塗膜補修前



写真-14 塗膜補修後

b) 測定結果

表-4の結果より、前回調査結果から強度が増加しているのは4ヶ所あり、強度が低下しているのが2ヶ所となった。ここで、強度低下している工法は、A工法とB工法、2種ケレンと3種ケレンが混雑しており、劣化要因が工法によるものなのか、ケレンの方法によるものか、または複合的なものなのかは、今回の調査のみで判断することは難しい。

ただし、7段目B工法2種ケレンについては、前回調査においても1ヶ所で下塗凝集破壊100%となっており、今回調査では3ヶ所すべてで下塗凝集破壊100%となっていることから、現時点で7段目は必要な耐久性を保持していないと考えられる。

(7) インピーダンス測定

a) 測定方法

インピーダンス測定は、200Hz、500Hz、1000Hzの各周波数における交流抵抗値と電気容量値を測定し、周波数に対する抵抗値や電気容量値の変化若しくは抵抗値の経時変化から、塗膜の劣化度を評価するものである。塗装後の塗膜の劣化状況の経時的な把握や経過年数が一定年数に達しているにもかかわらず、塗膜に欠陥が現れず目視観察では塗膜の劣化度を評価出来ない場合に、劣化度を推定する目的で行われる。

測定方法は、電導ペースト（3% NaCl溶液）を塗布したアルミニウム箔を塗膜面とアルミニウム箔に空気を巻き込まないように貼るつけ、インピーダンス測定器（インピーダンスメータD-50；三田無線研究所）で周波数200Hz、500Hz、1000Hzにおける抵抗成分と容量成分を測定する（写真-15~16）。



写真-15 測定機器



写真-16 測定状況

b) 測定結果

塗膜のインピーダンスは、劣化が進行すると抵抗成分は減少し、容量成分は増加する。塗膜の劣化により、塗膜下に水分が侵入し、水が素地の鉄鋼面と直接接触すると、鉄鋼面と水溶液の界面電気二重層の容量が測定値に寄与するようになり、容量成分の測定値が増加する。

これは、塗装鋼材のインピーダンスに関する構成成分の周波数特性が、成分ごとに異なっていることと、劣化進行とともに各成分の寄与率が変化するためである。

今年度の調査結果を以下に示す(表-5)。

なお、測定値から安全性を判断する際の基準値は下式による。

$$\text{安全性基準値 } \tan \delta = 1/2\pi \times (\Omega/1000) / F < 0.20$$

【機械工事塗装要領(案)同解説 P155より】

表-5 インピーダンス測定結果一覧表

調査位置	工法	電気抵抗(Ω)			電気容量(F)				tan δ
		200hz	500hz	1000hz	200hz	500hz	1000hz	1000hz	
1	A工法 3種ケレン	2.17E+06	1.22E+06	6.67E+05	1.5E-09	1.5E-09	1.4E-09	0.17	
	A工法 2種ケレン	3.03E+06	1.61E+06	7.30E+05	1.4E-09	1.4E-09	1.3E-09	0.16	
2	B工法 3種ケレン	7.69E+06	4.00E+06	2.08E+06	5.7E-10	5.2E-10	4.8E-10	0.16	
	B工法 2種ケレン	1.25E+07	6.25E+06	2.94E+06	5.2E-10	5E-10	4.4E-10	0.12	
	C工法 2種ケレン	4.00E+06	2.08E+06	1.02E+06	1.2E-09	1.1E-09	1.1E-09	0.14	
	C工法 3種ケレン	3.33E+06	1.39E+06	6.45E+05	1.7E-09	1.5E-09	1.4E-09	0.17	
3	A工法 3種ケレン	5.26E+06	2.94E+06	1.67E+06	7E-10	6.2E-10	5.6E-10	0.17	
4	B工法 3種ケレン	1.00E+07	5.26E+06	2.94E+06	5.1E-10	4.2E-10	3.7E-10	0.15	
5	C工法 3種ケレン	4.55E+06	2.08E+06	1.02E+06	9.8E-10	9.3E-10	8.9E-10	0.18	
6	A工法 2種ケレン	1.69E+06	8.13E+05	3.92E+05	2.5E-09	2.3E-09	2E-09	0.20	
7	B工法 2種ケレン	8.33E+06	3.85E+06	1.67E+06	1.3E-09	1.1E-09	9.2E-10	0.10	
8	C工法 2種ケレン	6.17E+05	3.61E+05	2.28E+05	3.1E-09	3E-09	3E-09	0.24	
9	A工法 3種ケレン	6.90E+05	3.72E+05	2.05E+05	3.9E-09	3.8E-09	3.7E-09	0.21	
	A工法 2種ケレン	1.18E+06	5.99E+05	3.04E+05	3E-09	2.9E-09	2.8E-09	0.19	
10	B工法 3種ケレン	2.13E+06	1.18E+06	6.54E+05	1.4E-09	1.3E-09	1.2E-09	0.20	
	B工法 2種ケレン	1.59E+06	7.46E+05	3.97E+05	2.9E-09	2.8E-09	2.8E-09	0.14	
	C工法 2種ケレン	4.55E+06	2.17E+06	1.10E+06	1.8E-09	1.6E-09	1.5E-09	0.10	
	C工法 3種ケレン	1.27E+06	6.45E+05	3.50E+05	1.8E-09	1.7E-09	1.7E-09	0.27	

左表より、ほとんどの調査位置でtan δの値が0.20以下であることから、現状では塗膜劣化がほとんど進行していない良好な状態にあると判断できる。8段目、9段目でtan δ値が0.20をわずかに超えているが、これは塗膜表層(上塗層)の若干の劣化によるものであり、塗膜全体での遮断性への影響はほとんどない状態であると考えられる。一方で、8段目より下の段においては、電気抵抗値が上段よりもやや高めの数値が得られていることから、塗膜が水の影響(ダムの貯水、雨、結露水など)を上段より多く受けており、劣化が早く進む可能性があるため、今後も注視する必要があると考えられる。

5. モニタリング調査結果

各種調査結果より、引張付着試験の7段目やインピーダンス試験の8~10段目など、劣化の兆候が見られる位置も確認はできたが、その要因が塗装自体または塗装工法によるものなのか外的要因によるものか、今回までのモニタリング調査結果では明確な解答は得られなかった。

一般的に、塗装は初期(施工から5年程度)の劣化進行が確認されなければ、塗装の耐用年数(10~30年)期間内は安定した塗膜状態を保つものと考えられる。今回の調査では、ほとんどの位置で優れた劣化は認められなかったことから、今後、それぞれの塗装工種の耐用年数が保持できているか継続的なモニタリング調査を行うことが望ましいと考える。

6. まとめ

今回の考察としては、施行後4年目の段階では、各工法とも塗膜厚の変化や外観の劣化が確認されず良好な状態にあると判断される。

今後も定期的にモニタリングを継続し、耐久性塗装の適用性の評価検証を行う必要があると考える。

また、近年では橋梁の塗装に関しては、メンテナンス負荷の軽減や耐用年数を重視した塗装工法を選定する傾向もみられるため、これら技術動向にも注視しながらダム取水施設の塗装工法を検討する必要がある。