

アスファルト表面遮水壁における ひび割れ補修工法の評価 —補修工法のモニタリング調査結果について—

小樽開発建設部 土地改良情報対策官 ○田中 竣也
成松 雅樹
西田 真弓

直轄かんがい排水事業双葉地区で造成された双葉ダムは、表面遮水壁型フィルダムであり、堤体表面の遮水壁としてアスファルト舗装により遮水性を確保している。このため、施設の長寿命化を図る上で、遮水壁のひび割れに対し施設管理者が簡易的に対策可能な補修工法が求められている。

本報では、2021(R3)年度に試験施工を行った遮水壁のひび割れ補修工法を、2022(R4)年度～2024(R6)年度の3カ年間モニタリング調査した結果を報告する。

キーワード：長寿命化、維持・管理、ダム、遮水壁、補修

1. はじめに

直轄かんがい排水事業双葉地区で造成された「双葉ダム」は、堤高61.35m、堤頂長247.90m、有効貯水量9,309千 m^3 であり、北海道内の農業用ダムとして唯一のアスファルト表面遮水壁（以下、「遮水壁」という。）を採用したロックフィルダムである。

1987(S62)年度のダム完成後、積雪寒冷地の厳しい自然条件下における温度応力等の影響を受け、遮水壁の損傷が進行したことから、2003(H15)年度～2007(H19)実施の国営造成土地改良施設整備事業の内、2005(H17)年度～2007(H19)年度で遮水壁保護層及び表層第3層を対象に改修が行われた。

その後、2018(H30)年度に実施した機能診断調査では、改修後の遮水壁には経年に伴うひび割れ等の損傷が確認されているものの、ひび割れの発生深度は浅く軽微なものに留まっている結果となった。

今後、遮水壁の損傷が進行し、再度、遮水壁保護層及び表層第3層の改修を行う場合は、イニシャルコストが嵩むことが懸念される。このため、施設管理者による日常の維持管理において補修を行うことで、遮水壁の長寿命化を図ることが求められている。

そこで、施設管理者による維持管理の範囲内で対策可能な補修工法の技術開発を目的に、遮水壁表面に生じる「ひび割れ」を対象として、2021(R3)年度に国営造成水利施設ストックマネジメント推進事業により試験施工を行った。

本報では、試験施工後3カ年（2022(R4)年度～2024(R6)年度）のモニタリング調査結果を報告する。

2. アスファルト表面遮水壁の構造と課題

遮水壁は、図-1に示す堤体の貯水池側表面に舗設されており、その構造を表-1に示す。

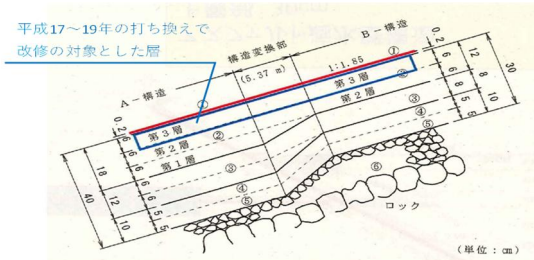
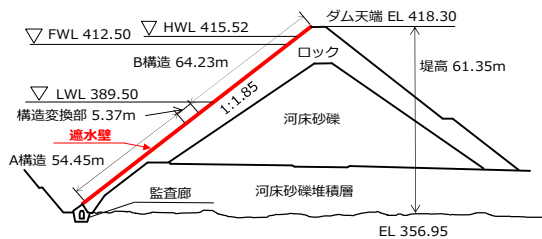


図-1 双葉ダム堤体断面

表-1 遮水壁の構造

No	名称	材料	A構造	B構造
①	保護層	アスファルトマスティック	2cm	2cm
②	表層	密粒度アスファルト混合物	6cm×3層	6cm×2層
③	中間排水層	開粒度アスファルト混合物	6cm×2層	8cm×1層
④	基層	密粒度アスファルト混合物	5cm×1層	5cm×1層
⑤	基層	粗粒度アスファルト混合物	5cm×1層	5cm×1層
⑥	トランション層	最大粒径80mm砕石	20cm	25cm
遮水壁の厚さ(①～⑤)			40.2cm	30.2cm

遮水壁表面には、写真-1のとおりふくれ・穴あき・ひび割れなど種々な損傷が生じている。



写真-1 遮水壁表面に生じている損傷

遮水壁に生じるひび割れ発生のメカニズムについては図-2のとおりであり、ひび割れの発生は避けることはできない。

発生した微細なひび割れが成長し、遮水壁の損傷が中間排水層まで進行すると、貯水池からの浸透水がこの層を伝って監査廊へ至り、遮水壁を通過した浸透量として計測される。浸透量が増加するとダム の安定性が損なわれるため、適期にひび割れ補修を行うことでその進行を抑制し、ダム の遮水機能を安定的に維持することが、ダム の長期供用を図るうえで重要となっている。

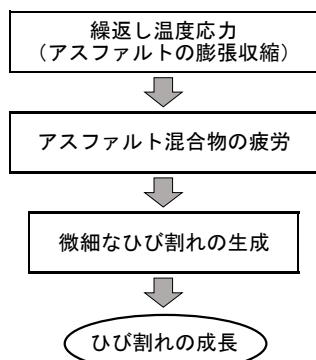


図-2 ひび割れ発生のメカニズム

3. 試験施工の概要

遮水壁の損傷部を早期に発見し補修を行うことで、遮水壁深部への進行を遅らせることが遮水機能の維持につながることから、本試験施工では表層のひび割れを対象とし、2021(R3)年度に補修対策工法の試験施工を実施した。

試験施工では、施設管理者による日常の維持管理におけるひび割れ補修を目的としていることから、補修材は一般的に道路補修材として用いられ、かつ容易に入手可能なRC加熱シーラー、クイックスティック、RC常温メンテの3種を選定した(表-2)。

なお、ゴム系アスファルト補修材に分類されているRC加熱シーラ、クイックスティックについては、注入前にUカットを施工することでひび割れ内部への浸透が期待されたことから、施工部の処理の仕方としてUカットの有無で区分し、図-3に示す5工法で実施している。

表-2 ひび割れ補修材

補修材	RC加熱シーラー	クイックスティック	RC常温メンテ
種別	ゴム系アスファルト	ゴム系アスファルト	アスファルト乳剤系
施工方法	加熱したシーラ剤をヤカン等で運搬し注入する。	棒状の製品をトーチバーナー等で加熱溶融し注入する。	主剤に硬化剤を添加混合して注入する。
施工写真			

工 法	施工部の処理
RC加熱シーラー	Uカットなし
	Uカットあり
クイックスティック	Uカットなし
	Uカットあり
RC常温メンテ	削孔

図-3 ひび割れ補修工法

4. モニタリング調査計画

ひび割れ補修工法の適用性を検証するために、表-3のとおりモニタリングの目的に基づき調査項目を選定した。また、試験施工を行う5工法を再現した供試体を施工ヤードに設置した暴露試験を行い、補修材の曲げ疲労試験と直接引張り試験を行った。なお、調査位置、調査方法については図-4のとおりである。

表-3 モニタリング調査計画

目 的	調 査 項 目	実施年度計画				
		短期評価			長期評価	
		R3年度 (試験工事) 初期値計測	R4年度 (E-列1ヶ) 1年目	R5年度 (E-列2ヶ) 2年目	R6年度 (E-列3ヶ) 3年目	R9年度 (E-列4ヶ) 6年目
ひび割れの進行状況確認	外気温、遮水壁温度測定	○	○	○	○	○
	調査状況調査	○	○	○	○	○
	補修材の目視調査	○	○	○	○	○
	定価調査（ひび割れ幅・延長計測）	○	○	○	○	○
補修材の疲労劣性	曲げ疲労試験	○	-	-	○	○
補修材のひび割れ進展性	直接引張り試験	○	-	-	○	○

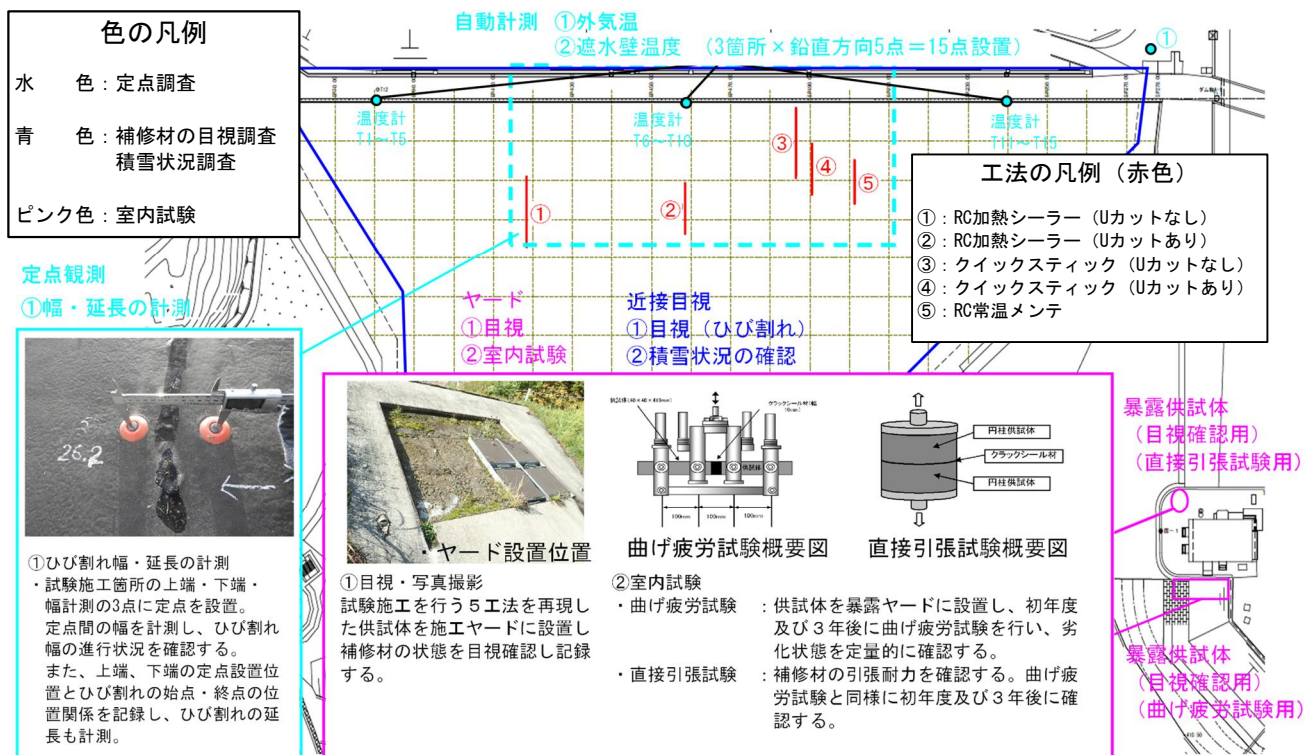


図-4 モニタリング調査位置図

(1) ひび割れの進行状況確認

a) 外気温、遮水壁温度測定

ひび割れの発生要因となる外気温や遮水壁温度から現地状況を把握する。

b) 積雪状況調査

ひび割れは、アスファルトが収縮する冬期に発生することが考えられ、また遮水壁表面の積雪状況も同様ではなく、場所によって落雪により露出することから、積雪状況とひび割れとの関連性を把握する。

c) 補修材の目視調査

補修材や補修工法の違いによるひび割れ補修後の変状を把握する。

d) 定点調査（ひび割れ幅・延長計測）

2021 (R3) 年度に試験施工を行ったひび割れに固定点を設置し、試験施工時の計測値を初期値（以下、「初期値」という。）として、ひび割れ幅及び延長の進行状況を把握する。

(2) 補修材の疲労耐性

a) 曲げ疲労試験

アスファルトに生じる収縮を曲げ疲労として、実測した外気温を基に再現し、その疲労耐性の違いから補修工法として適する補修材を評価する。

(3) 補修材のひび割れ追従性

a) 直接引張試験

補修材には、ひび割れの追従性が要求される。目視調査により補修工法の変状に加え、補修材の引張強度による材料特性より評価する。

5. モニタリング調査結果

(1) 外気温、遮水壁温度測定

2006 (H18) 年度から2024 (R6) 年度の年間の外気温及び遮水壁温度の推移を図-5に示す。

これによると、遮水壁温度が日最低で0℃を下回る日（11/1～3/31）が確認されている。また、図-6の遮水壁温度と外気温の相関図からは冬期の遮水壁温度は、外気温（-20℃～0℃の条件下）に追従せず0℃付近で一定となっていることがわかった。

なお、外気温が0℃以上になると、外気温の上昇に伴い遮水壁温度が上昇しており、一定の相関関係が見られる。

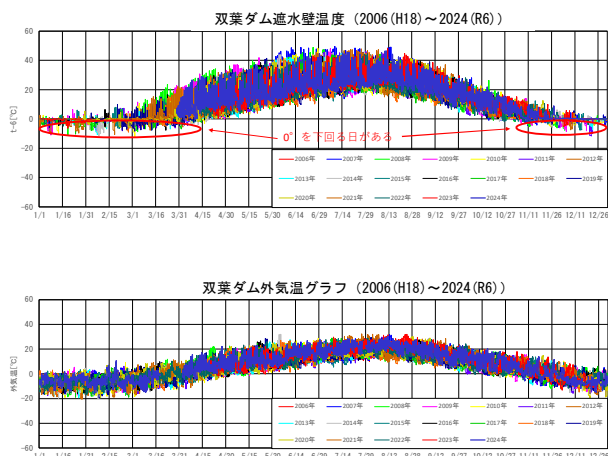


図-5 遮水壁温度、外気温グラフ（2006(H18)～2024(R6)）

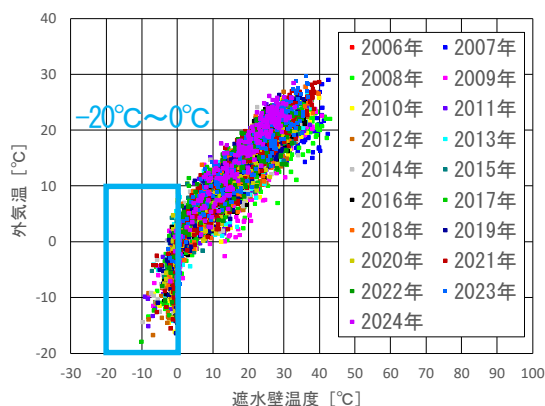


図-6 遮水壁温度、外気温相関図（2006(H18)～2024(R6)）

(2) 積雪状況調査

積雪が遮水壁に及ぼす影響を確認するため積雪状況について確認を行った。現地状況から遮水壁中央から左岸部にかけて落雪が生じていることが確認できる（写真-2）。

遮水壁温度が0℃以下に低下したのは落雪により遮水壁表面が外気にさらされたためであると考えられる。

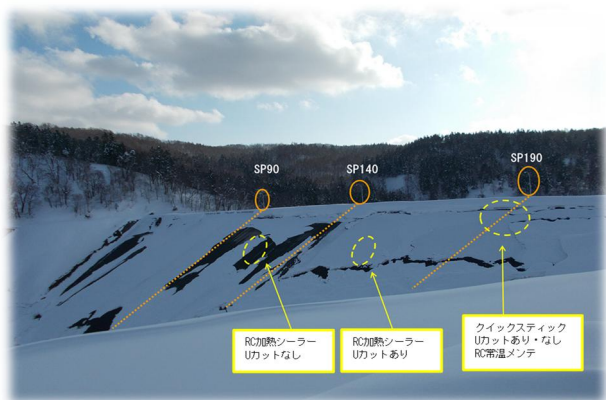


写真-2 表面遮水壁積雪状況（2024(R6)年1月撮影）

(3) 補修材の目視調査

補修材の目視調査結果を表-4にとりまとめた。

表-4 補修材の目視調査結果一覧表

工法	補修材	RC加熱シーラー		クイックスティック		RC常温メンテ	
	施工部の処理	Uカットなし	Uカットあり	Uカットなし	Uカットあり	削孔	
補修部の延長		16.2[m]	8.6[m]	15.7[m]	9.9[m]	9.8[m]	
積雪状況の確認		落雪が頻繁	落雪が頻繁	落雪がやや少ない	落雪がやや少ない	落雪がやや少ない	
剥離・欠損 ①	延長/割合	2.17[m] / 13.40 %	5.19[m] / 59.85 %	0.00[m] / 0.00 %	0.53[m] / 5.35 %	0.00[m] / 0.00 %	0.00 %
	亀裂 ②	0.00[m] / 3.70 %	0.40[m] / 4.65 %	11.48[m] / 73.12 %	4.47[m] / 45.15 %	1.94[m] / 19.80 %	19.80 %
健全部の割合 100- (①+②)		82.90 %	35.70 %	26.88 %	49.49 %	80.20 %	

目視調査の結果、各補修工法で部分的に補修材の浮き、剥離・欠損、亀裂等が確認された。

剥離・欠損については、RC加熱シーラー（Uカットあり・なし）において顕著に生じている。特にUカットありにおいては、施工延長の約60%に変状が生じている。これは、Uカットを施工したことで一体となった補修材が遮水壁に堆積した雪が落雪する際に広範囲に剥がされたためと考えられる。

亀裂については、クイックスティック（Uカットあり・なし）、RC常温メンテにおいて顕著に生じている。特にクイックスティックにおいては、触診で硬化が確認されており、補修材がアスファルト遮水壁の収縮に追従できていないと考えられる。RC常温メンテにおいては、小規模な亀裂が発生している。

補修材に発生している代表的な変状を以下に示す。

a) 補修材の浮き

補修材にはφ20～60mm程度の浮きが部分的に確認された（写真-3）。主な要因として、補修材と遮水壁の間に水や空気が侵入し、浮き上がっているものと考えられる。なお、浮きについては早急に遮水壁の機能に影響を及ぼすものではないことから、目視調査の評価対象外とした。



写真-3 補修材の浮き（RC加熱シーラー Uカットなし）

b) 剥離・欠損

RC加熱シーラー（Uカットあり・なし）およびクイックスティック（Uカットあり）において、剥離・欠損が確認された。これはひび割れ補修を行った総延長に対する約6%～60%にあたる。

主要要因として、落雪により補修材が引っ張られ剥離・欠損が生じたと考えられる。剥離・欠損が生じた工法では部分的にひび割れが露出し、補修効果が喪失している箇所も確認された（写真-4）。

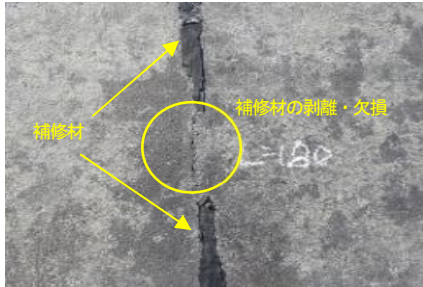


写真-4 補修材の剥離・欠損（RC加熱シーラー Uカットなし）

c) 亀裂

全ての工法において、ひび割れ直上部の補修材部分で亀裂が確認された（写真-5）。

主要要因として、温度変化に伴うアスファルト遮水壁の収縮に補修材が追従できなかったため、亀裂が生じていると考えられる。



写真-5 補修材の亀裂（クイックスティックUカットなし）

(4) 定点調査（ひび割れ幅・延長計測）

定点調査の結果、2021(R3)年度の初期値に対し2024(R6)年度計測値は、ひび割れ幅が0.1～1.3mm縮んだ。これは、同時期に調査をしたが、気温の違い及び計測誤差と考えられる。ひび割れ延長は4～14cm成長していた。

(5) 室内試験

曲げ疲労試験・直接引張試験を実施し、初期値との比較検証を行った。

a) 曲げ疲労試験

試験の結果、2021(R3)年度の初期値と2024(R6)年度試験結果を比較すると、加熱系シール材（RC加熱シーラー、クイックスティック）については、計測値が上昇し、劣化が進行していないことが確認された。（図-7、表-5）。一方、2024(R6)年度のRC常温メンテについては、明確な降伏点がなく降伏回数は確認できなかったため計測不可という結果になった。

RC加熱シーラー及びクイックスティックの降伏回数の増加要因として、夏場の日射等により供試体全体が暖められ補修材が軟化し、接着面が融着・固着したことにより補修材がアスファルトになじみ強度が増加した可能性が考えられる。

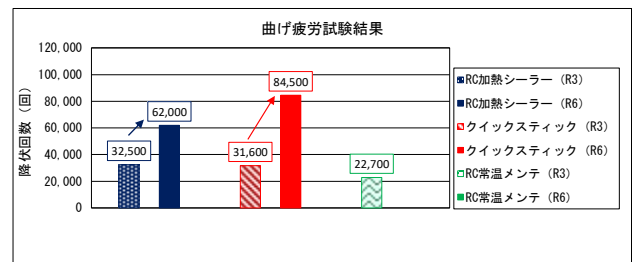


図-7 曲げ疲労試験結果

表-5 曲げ疲労試験結果

注入材種別	試験年度	試験体No.	降伏回数 (回)		初期応力 (Mpa)	破壊形式
			各データ	平均値		
RC加熱シーラー	2021年度 (R3年度)	1	24,900	32,500	3.07	注入材の割れ確認
		2	28,000		2.75	注入材の一部に割れあり
		3	44,500		2.42	注入材の割れ確認
	2024年度 (R6年度)	1	58,200	62,000	3.19	表面からシール材の割れ確認
		2	70,400		2.74	表面からシール材の割れ確認
		3	57,400		2.86	表面からシール材の割れ確認
クイックスティック	2021年度 (R3年度)	1	21,800	31,600	3.43	注入材の一部に割れあり
		2	46,400		3.25	注入材の一部に割れあり
		3	26,500		3.64	注入材の一部に割れあり
	2024年度 (R6年度)	1	142,500	84,500	3.17	上面からシール材の割れ確認
		2	83,300		2.78	上面からシール材の割れ確認
		3	27,700		3.46	上面からシール材の割れ確認
RC常温メンテ	2021年度 (R3年度)	1	24,500	22,700	0.53	注入材の一部に割れあり
		2	18,500		0.68	注入材の一部に割れあり
		3	25,000		0.70	注入材の一部に割れあり
	2024年度 (R6年度)	1	計測不可	計測不可	0.86	表面からシール材の割れ確認
		2	計測不可		0.73	表面からシール材の割れ確認
		3	計測不可		0.81	表面からシール材の割れ確認

b) 直接引張試験

試験の結果、2021(R3)年度の初期値と2024(R6)年度試験結果を比較すると、RC加熱シーラーは強度に変化がないことが確認された。クイックスティックについては、供試体毎に結果が異なるものの、全体的に強度低下が確認された。RC常温メンテについては、計測値が上昇していることが確認された（図-8、表-6）。

RC常温メンテの引張強度の増加要因として、夏場の日射等により供試体全体が暖められ補修材が軟化し、接着面が融着・固着したことにより補修材がアスファルトになじみ、強度が増加した可能性が考えられる。

クイックスティックの引張強度の低下要因は、凍結融解等を受け、劣化が進行したものと考えられる。

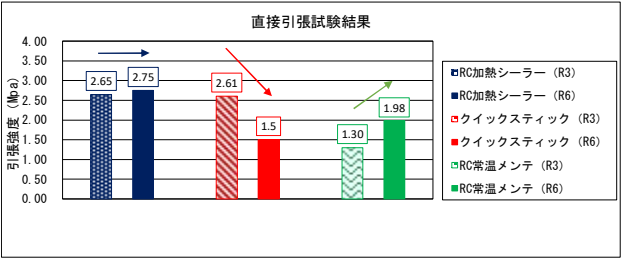


図-8 直接引張試験結果

表-6 直接引張試験結果

注入材種別	試験年度	試験体No.	引張強度 (Mpa)		変位量 (mm)	破壊形式
			各データ	平均値		
RC加熱シーラー	2021年度 (R3年度)	1	2.46	2.65	3.05	シーリング材による破壊
		2	2.80		3.00	治具接着面による破壊
		3	2.70		2.82	治具接着面による破壊
	2024年度 (R6年度)	1	2.51	2.75	3.00	シーリング材を含む部材破壊
		2	2.63		2.99	治具接着面付近の部材破壊
		3	3.10		4.50	治具接着面付近の部材破壊
クイックスティック	2021年度 (R3年度)	1	2.61	2.61	3.41	治具接着面による破壊
		2	2.64		2.93	治具接着面による破壊
		3	2.59		2.56	治具接着面による破壊
	2024年度 (R6年度)	1	2.71	1.50	7.23	シーリング材を含む部材破壊
		2	1.22		1.34	シーリング材による破壊
		3	0.57		0.82	シーリング材による破壊
RC常温メンテ	2021年度 (R3年度)	1	1.13	1.30	1.64	シーリング材による破壊
		2	1.33		2.26	シーリング材による破壊
		3	1.44		2.29	シーリング材による破壊
	2024年度 (R6年度)	1	1.75	1.98	1.74	シーリング材による破壊
		2	2.07		2.17	シーリング材による破壊
		3	2.13		1.98	シーリング材による破壊

目視調査結果から、健全度が50%以下の工法は「×」、RC加熱シーラーとRC常温メンテともに80%以上健全であるが、RC加熱シーラーよりもRC常温メンテは落雪が少ない箇所であることからRC常温メンテを「○」、RC加熱シーラーを「◎」とした。

曲げ疲労試験結果は、RC加熱シーラーは降伏回数が多くばらつきが少ないため「◎」、クイックスティックは降伏回数が多いがばらつきも多く供試体の表面から破壊されているため、表面からの劣化があると考え「○」、RC常温メンテは明確な降伏点がなく、RC加熱シーラー及びクイックスティックよりも降伏回数が多いと判断できないため「△」とした。

直接引張試験結果は、RC加熱シーラーは引張強度が最も高く「◎」、クイックスティックは最も低く「△」、RC常温メンテは他の補修材の試験値の間であるため「○」とした。

以上より、本調査結果は双葉ダムの環境下において現時点で評価が高い2工法は、評価結果に一長一短あるが施設管理者による維持管理における補修方法という視点を踏まえ、補修効果と施工性・経済性がそれぞれバランス良く優れているRC常温メンテが優位である結果となった。

6. まとめ

施工後3カ年のモニタリング調査結果においては、RC加熱シーラー（Uカットなし）、RC常温メンテが施工性、経済性に加えモニタリング調査結果からも維持管理による補修工法として総合的に評価できた（表-7）。

表-7 補修工法評価一覧表

評価項目		RC加熱シーラ (Uカットなし)	RC加熱シーラ (Uカットあり)	クイックスティック (Uカットなし)	クイックスティック (Uカットあり)	RC常温メンテ
試験施工	1. 施工性	△	△	◎	○	◎
	2. 経済性	△	×	×	×	◎
モニタリング調査	3. 目視調査	◎	×	×	×	○
	4. 室内試験					
	4-1. 曲げ疲労試験	◎	◎	○	○	△
	4-2. 直接引張り試験	◎	◎	△	△	○
評価	7. 点数	11	7	6	5	11

評価：◎＝3点、○＝2点、△＝1点、×＝評価「-」

7. おわりに

今後2027 (R9) 年度に試験施工6年目のモニタリング調査を予定している。継続調査を行い、再度調査結果をとりまとめ、施設管理者が行う維持管理におけるひび割れ補修工法の評価を行っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 公益社団法人土木学会：舗装工学
ライブラリー8 アスファルト遮水壁工、
P172～182、2012