第67回(2023年度)　北海道開発技術研究発表会論文

アスファルト表面遮水壁におけるひび割れ簡易補修工法の検討

ー試験施工後のモニタリング調査についてー

小樽開発建設部　農業開発課　○長谷川　光
農業開発課　池田　泰久
農業開発課　渡辺　秀博

双葉ダムは、1989年に築造されたアスファルト表面遮水壁型ロックフィルダムである。近年、経年劣化等によりアスファルト表面にひび割れが生じているため、補修可能な施工技術の確立が、本ダムの長期供用を図るうえで重要となっている。
本報告では、令和３年度に実施したアスファルト表面遮水壁ひび割れ補修試験施工後のモニタリング結果について中間報告する。

キーワード：長寿命化、維持・管理

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61.4m、堤頂長247.9m、有効貯水量9,309千m^3からなり、北海道内の農業用ダムとして唯一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。

ダム造成後、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、遮水壁の劣化・損傷が進行したことから、国営造成土地改良施設整備事業により、平成17年から19年にかけて遮水壁保護層及び表層第3層を対象に全面改修が行われた。

改修後の遮水壁には、平成30年度の機能診断調査結果により、経年に伴うひび割れ等の損傷・劣化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。

一方、今後、遮水壁の劣化・損傷が進行し同様の全面改修を行う場合は、イニシャルコストが嵩むため、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重要となる。

このため、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、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令和3年度に試験施工を行った。

本報では、試験施工後、令和4年度に実施したモニタリング1年目の結果について中間報告する。

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、その構造を図-2に示す。

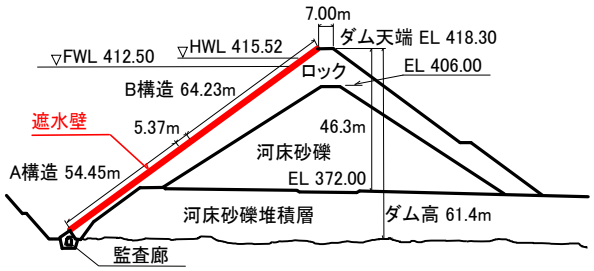
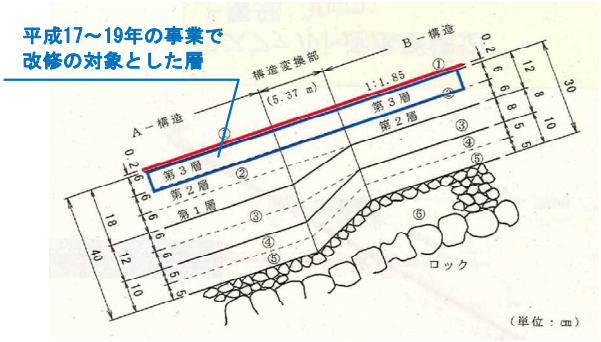


図-1 双葉ダム堤体断面



No	名　　称	材　　料	A構造	B構造
①	保護層	アスファルトマスチック	2mm	2mm
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	ﾄﾗﾝｼﾞｼｮﾝ層	最大粒径80mm砕石	20cm	25cm
		遮水壁の厚さ	40.2cm	30.2cm

図-2 遮水壁の構造

HASEGAWA Hikaru, IKEDA Yasuhisa, WATANABE Hidehiro

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。このため浸透量の増加が生じる前に、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課題となっている。なお、遮水壁に発生するひび割れのメカニズム[2]については図-3のとおりである。

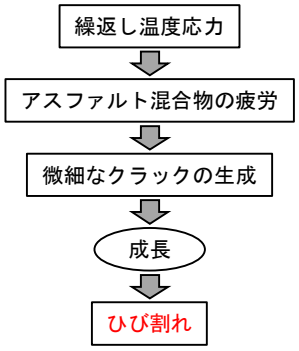


図-3 ひび割れのメカニズム

3. 試験施工の概要

遮水壁には、写真-1のとおり種々の劣化・損傷が生じている。本試験施工では、早期に発見・補修を行い深部に至るのを遅らせることで、遮水機能の維持につながることから、表層のひび割れを対象としている。

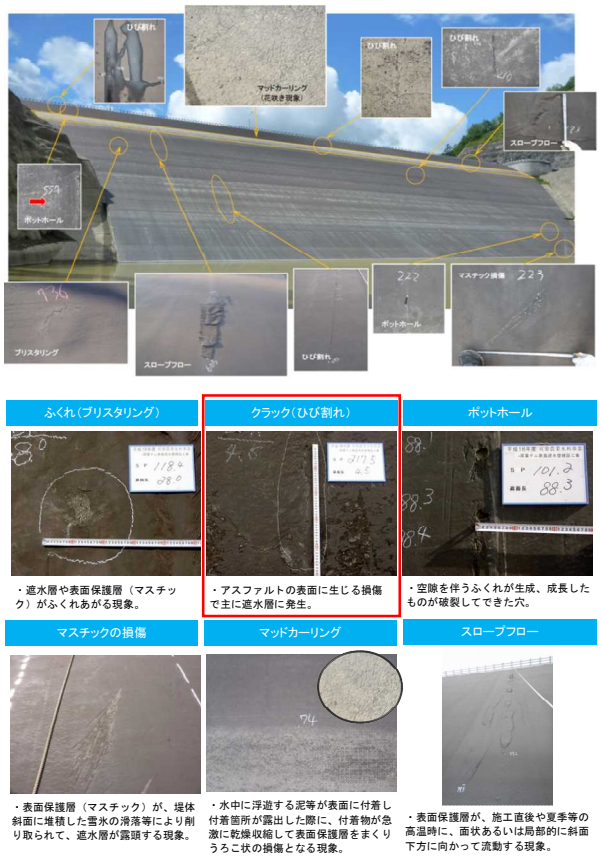


写真-1 表面遮水壁に生じている損傷

試験施工に用いる補修材は、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、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、クイックスティック、RC常温メンテの3種を選定した。（表-1）

表-1 試験施工材料

製品名	種別	施工方法	事前試験後の評価	写真
RC加熱ｼｰﾗ	ｺﾞﾑ系ｱｽﾌｧﾙﾄ	加熱したシール剤をヤカン等で運搬し、注入する。	Uｶｯﾄにより内部への充填ができることを確認した。ｽﾄﾚｰﾄ及びUｶｯﾄでの試験施工を計画する。	
ｸｲｯｸｽﾃｨｯｸ	（同上）	棒状の製品をトーチバーナー等で加熱溶融し注入する。	Uｶｯﾄにより内部への充填ができることを確認した。ｽﾄﾚｰﾄ及びUｶｯﾄでの試験施工を計画する。	
RC常温ﾒﾝﾃ	ｱｽﾌｧﾙﾄ乳剤系	主剤に硬化剤を添加混合して注入する。（可使時間10分程度）	施工は可能と思われるが、補修剤の粘度が低く、Uｶｯﾄは適さないことを確認。注入孔を施工することを計画する。	

また、ゴム系アスファルト補修材に分類される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、Uカットの有無で区分し、図-4に示す5工法で令和3年度に試験施工を実施した。

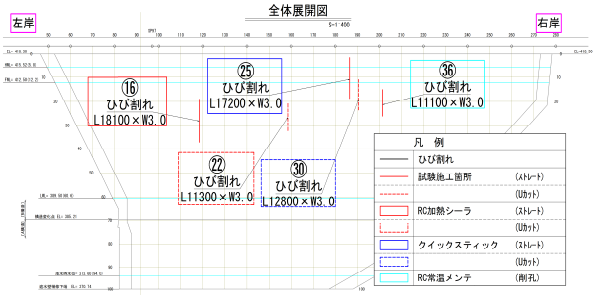


図-4 試験施工工法、箇所

4. モニタリング計画

ひび割れ補修工法の適用性を検証するために、表-2、図-5に示すモニタリング計画を作成した。モニタリング5項目の目的を以下に示す。

表-2 モニタリング計画

区　分	項　目	細　目	実施年度計画 短期的評価			
			Ｒ３年度（試験工事）初期値計測	Ｒ４年度（ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ）１年目	Ｒ５年度（ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ）２年目	Ｒ６年度（ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ）３年目
自動観測（現地）	外気温、遮水壁温度	既設機器による自動測定	○	○	○	○
近接目視（現地）	堤体の積雪状況	冬期にアスファルト遮水壁面の積雪状況を確認	○	○	○	○
	近接目視調査	ひび割れの目視調査	○	○	○	○
定点観測（現地）	クラック幅・長さの計測	定点計測	○	○	○	○
室内試験（供試体）	曲げ疲労試験	堤体近傍に設置した供試体により確認	○	－	－	○
	直接引張り試験		○	－	－	○

HASEGAWA Hikaru, IKEDA Yasuhisa, WATANABE Hidehiro

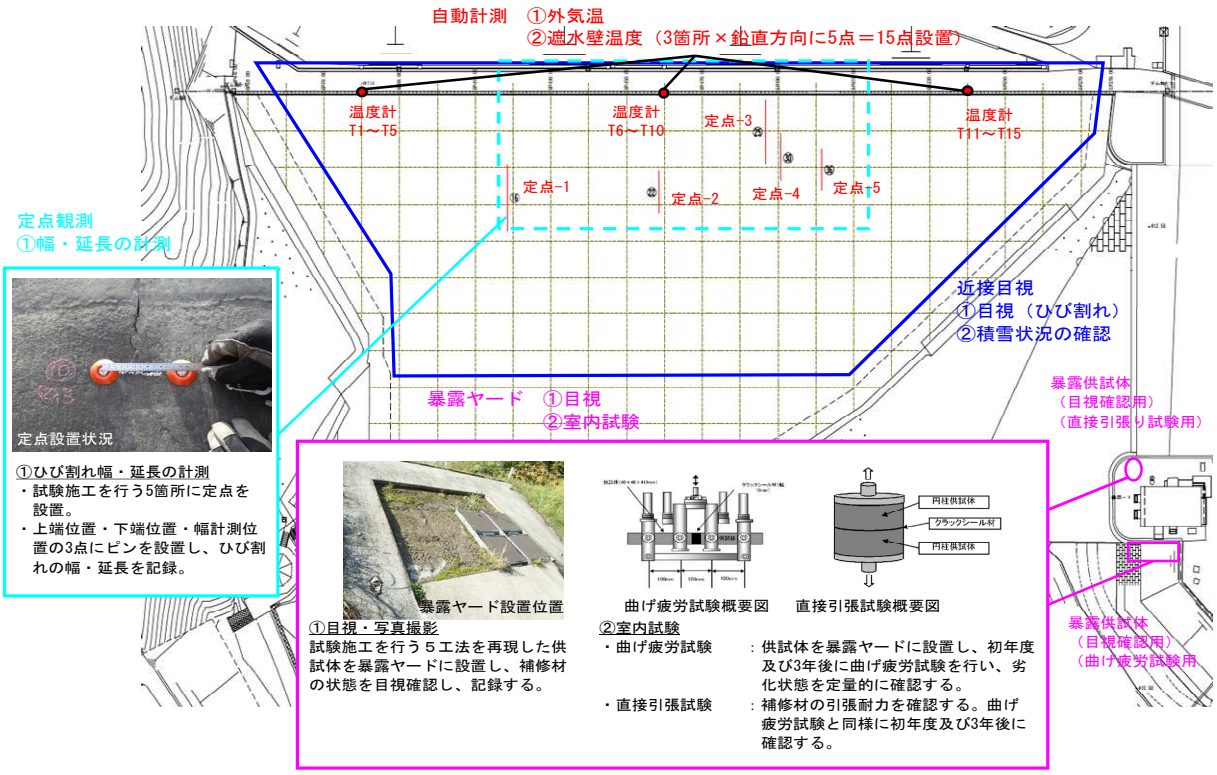


図-5 モニタリング項目、目的

(1) 外気温、遮水壁温度測定

ひび割れの発生の要因となる外気温や遮水壁温度から現地状況を把握し、後述する曲げ疲労試験の試験条件に反映する。

(2) 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一様でなく、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。

(3) 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。

(4) 定点調査（ひび割れ幅・延長計測）

令和3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、ひび割れの幅及び延長の進行状況を把握する。

(5) 供試体室内試験（曲げ疲労試験・直接引張試験）

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目的で、令和3年度に初期値を設定した。（表-3）

表-3 曲げ疲労試験 初期値

	補修材		
	RC加熱シーラ	クイックスティック	RC常温メンテ
初期値	32,500回	36,100回	22,670回

降伏回数	評価
150回以下	補修工法として採用できない。1年以内で剥離する可能性が高い。 ※補修してもその年に剥がれてしまう。
150回～450回	2年～3年で剥離する可能性がある。補修工法として課題がある。 （モニタリング調査期間に相当）
450回～1500回	4年～10年で剥離する可能性がある。補修工法として課題がある。 ※剥離が起こるたびに再補修を繰り返す必要があり、施設管理者の負担となる。
1500回～3000回	10年～20年で剥離する可能性がある。補修工法として適する。 ※剥離するたびに再補修を繰り返す必要があるが、10年に1回程度の頻度であり、施設管理者への負担は少ない。
3000回以上	20年以上剥離しない。補修工法として非常に適する。 ※遮水壁改修の間隔に1回補修することで、効果が見込める。

直接引張試験：補修材には、ひび割れの追従性が要求され、目視調査により補修工法の優劣を判断できない場合は、補修材の引張強度による材料特性より評価する目的で、令和3年度に初期値を設定した。（表-4）

表-4 引張強度試験 初期値

	補修材		
	RC加熱シーラ	クイックスティック	RC常温メンテ
初期値	2.65 MPa/m^2以上	2.61 MPa/m^2以上	1.30 MPa/m^2

5. 令和4年度モニタリング結果

令和4年度のモニタリング結果を以下に示す。

(1) 外気温・遮水壁温度

平成18年から令和4年の冬期（11/1～3/31）の遮水壁温度は、外気温（-20℃～0℃）に追従せず0℃付近で一定となっている。（図-6）

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。

HASEGAWA Hikaru, IKEDA Yasuhisa, WATANABE Hidehiro

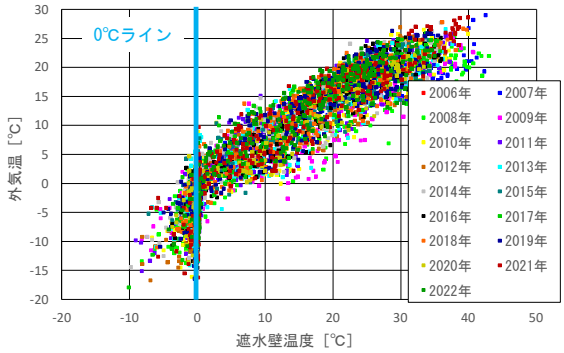


図-6 遮水壁温度、外気温相関関係(H18～R4)

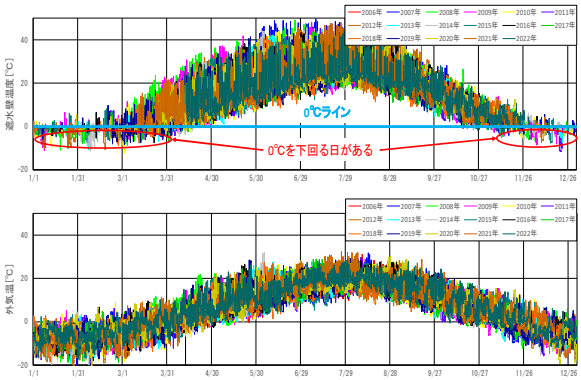
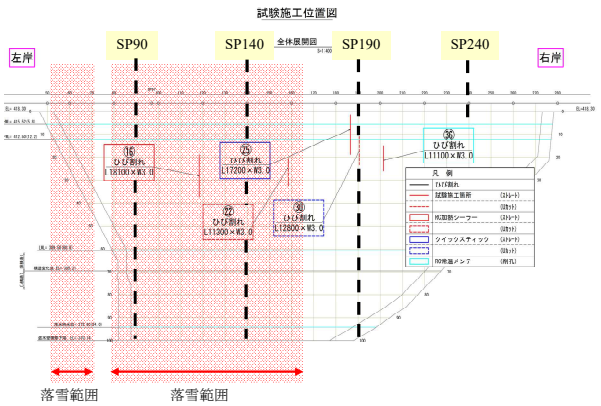


図-7 遮水壁温度、外気温グラフ(H18～R4)

また、遮水壁温度が0℃を下回る日（図-7）が確認されており、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。（図-8）

これは、落雪により遮水壁表面が外気にさらされることで、遮水壁温度が0℃以下に低下しているためだと考えられる。



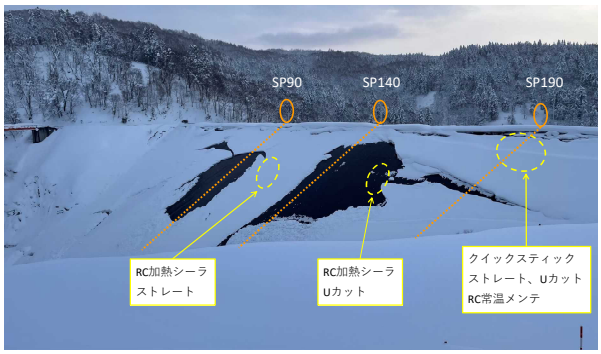


図-8 表面遮水壁 落雪状況

(2) 補修の目視調査

目視調査の結果、部分的に補修材の浮き、剥離・欠損、亀裂等が確認された。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φ20～60㎜程度の浮きが部分的に確認された。（写真-2）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。



写真-2 補修材の浮き

b) 剥離・欠損

各補修工法において、ひび割れ補修を行った総延長に対する剥離・欠損が発生した割合から評価すると、約1～6%の剥離・欠損が確認された。

主な要因として、積雪や落雪による補修材の剥離・欠損が考えられる。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-3）



写真-3 補修材の剥離・欠損

c) 亀裂

Uカットを施工していない工法では、ひび割れ直上部の補修材部分で亀裂が確認された。（写真-4）

HASEGAWA Hikaru, IKEDA Yasuhisa, WATANABE Hidehiro



写真-4 補修材の亀裂（Uカット無）

Uカットを施工した工法では、補修材の端部が露出する形で補修材の亀裂が確認された。（写真-5）



写真-5 補修材の亀裂（Uカット有）

主な要因として、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。

Uカットを施工した工法では、補修材に10㎜程度の厚みがあるため、アスファルトと補修材が接着しひび割れへの追従性が保たれ、ひび割れ部分での亀裂が生じなかったと推定される。

一方Uカットを施工しなかった工法では、補修材とアスファルトの接着が十分でなかったため、補修材の追従性が維持されず、亀裂が生じたと推定される。

(3) 定点調査（ひび割れ幅・延長計測）

定点調査の結果、初期値と令和4年度調査結果に変化がないことから、ひび割れの進行は確認されなかった。

6. モニタリング1年目の中間報告

定点調査や補修材の目視調査結果より、表-5にモニタリング1年目の中間報告をとりまとめた。

表-5 モニタリング結果とりまとめ

施工箇所・工法		ひび割れ番号	ひび割れ⑯	ひび割れ㉒	ひび割れ㉕	ひび割れ㉚	ひび割れ㊱
		補修材	RC加熱シーラ	RC加熱シーラ	ｸｲｯｸｽﾃｨｯｸ	ｸｲｯｸｽﾃｨｯｸ	RC常温ﾒﾝﾃ
		施工部の処理	ｽﾄﾚｰﾄ	Uｶｯﾄ	ｽﾄﾚｰﾄ	Uｶｯﾄ	削孔
外気温データの整理			外気温、遮水壁温度データは同一箇所のデータを使用				
積雪状況の確認（落雪頻度）			頻繁	頻繁	少ない	少ない	少ない
浮き	補修箇所	あり・なし	あり	なし	なし	なし	なし
	補修箇所以外	あり・なし	なし	なし	なし	なし	あり
欠損	ひび割れ露出 ①	変状部の割合（%）	6.54 %	-	-	-	-
	ひび割れ露出なし	変状部の割合（%）	-	-	94.55 %	96.07 %	97.65 %
亀裂	ひび割れ直上（貫通） ②	変状部の割合（%）	-	-	1.21 %	-	2.65 %
	ひび割れ直上以外	変状部の割合（%）	-	0.88 %	-	1.56 %	-
健全部の割合 （100-（①+②））			100-(0.00+6.54) =93.46%	100.00%	100-(0.00+1.21) =98.79%	100.00%	100-(0.00+2.65) =97.35%

※ピンク着色：現時点で補修効果に影響を及ぼす変状、または遮水壁に影響を及ぼす変状。
※黄着色：現時点では補修効果に影響を及ぼさないが、経過観察が必要と判断される変状。

試験施工を行った5工法いずれも、部分的ではあるが補修材の浮き、剥離・欠損、亀裂等の変状が確認された。

ゴム系アスファルト補修材に分類される、RC加熱シーラ及びクイックスティックを用いUカット施工を行った2工法では、補修効果に影響を及ぼす変状は確認されなかった。

なお、試験施工後1年目のモニタリング結果であるため、引き続き試験施工後の補修材に発生する変状に注視し、モニタリングを継続していきたいと考えている。

7. おわりに

令和6年度に予定しているモニタリング3年目調査においては、定点調査や補修材の目視調査等の継続調査に加え、暴露供試体を用いた室内試験（曲げ疲労試験、直接引張試験）を行い、ひび割れ補修工法の適用性について一定の評価を行う予定である。

また、施設管理者による日常の維持管理で実現可能なひび割れ補修工法の選定を目的としていることから、試験施工時に調査を行った表-6に示す施工性や経済性等も考慮し、評価を行っていきたいと考えている。

表-6 試験施工時の評価項目

評価項目	RC加熱シーラ（ストレート）	RC加熱シーラ（Uカット）	クイックスティック（ストレート）	クイックスティック（Uカット）	RC常温メンテ
1. 施工時間	◎	○	○	△	◎
2. 経済性	○	△	◎	○	◎
3. 施工性	×	×	○	○	○
4. 点数	5	3	9	7	10

※「施工時間」「経済性」：◎＝3点、○＝2点、△＝1点、×＝0点
※「施工性」：◎＝6点、○＝4点、△＝2点、×＝0点

参考文献

1) 一般財団法人日本ダム協会：ダム便覧、一覧表［アスファルトフェイシングダム］、http://damnet.or.jp/cgi-bin/binranA/TableAllItiran.cgi?zi=jyuni&jy=kou&kei=FA（参照 2023年11月24日）

2) 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、pp.179～182、2012