

平成29年度

# コンクリート製開水路の複合劣化に対する 補修・補強工法の有効性について

網走開発建設部

農業整備課

○飯山 智弘

遠藤 英樹

武田 耕一

積雪寒冷地におけるコンクリート製開水路では、摩耗と凍害による複合劣化が見受けられる。網走開発建設部では、これらの複合劣化に対する開水路補修・補強工法の有効性を検証するため、3種類の無機系表面被覆工法を選定。平成26年度に斜里郡斜里町内の国営農業用排水路において試験施工を行い、耐摩耗性、耐凍害性に関するモニタリングを実施している。本報は、施工後2年目のモニタリング調査結果について報告する。

キーワード：ライフサイクルコスト、長寿命化、維持・管理

## 1 まえがき

### 東1線排水路の概要

北海道東部斜里郡斜里町に位置する東1線排水路は、国営畑地帯総合土地改良パイロット事業斜里地区において、H5～12年に造成されたコンクリート製開水路であり、施工から24～17年が経過している。（図-1）

H28年3月期に観測した本地域の日気温は、最高7.7℃、最低-16.9℃であり、気温差24.6℃の厳しい自然環境に曝されている。

H21及びH24年度には機能診断調査を実施しており、フルーム区間の健全度評価は、ひび割れやスケーリング、目地モルタルの剥離のほか、表面劣化（粗骨材露出）や部分的な鉄筋露出により、S-3の評価を得ている。

（表-1、写真-1、写真-2）。

表-1 排水路諸元（モニタリング区間）

形 式	現場打ちコンクリートフルーム
内空断面(H×B)	1450×2000 mm
側壁・底板厚さ	250 mm
水路勾配	1:2,500
設計流速	0.84 m/s
計画排水量	1.68 m <sup>3</sup> /s

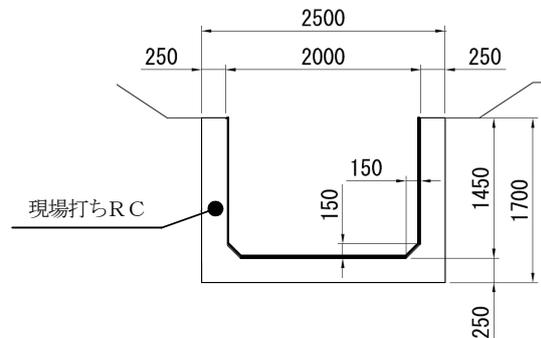


図-2 東1線排水路標準断面図



図-1 東1線排水路位置図



写真-1 東1線排水路（試験施工箇所）

## 2 目的

本排水路では側壁表面に粗骨材露出などの表面劣化が認められており、劣化グレードとしては進展期～加速期に相当するものと考えられる。(写真-2)

コンクリート製開水路において、表面劣化が進行すると、かぶりコンクリート厚さが減少し凍害や中性化による鉄筋腐食のリスクが高くなり、構造物の機能低下が懸念される。農業水利施設の機能保全の手引きでは、表面劣化に対する劣化要因の遮断・劣化速度を抑制するための工法として表面被覆工法が示されているが、積雪寒冷地におけるコンクリート製開水路の部分的な補修については施工実績は少なく、技術として確立されているものではない。

本試験では、経済性および施工性において優れる表面被覆工法の暴露試験を行い、他工法との比較から適用性を検証することとした。



写真-2 東1線排水路の表面劣化状況

図-3 試験施工区間

## 3 試験工法の選定

表面被覆工法の選定に当たっては、多数の工法が存在しているものの、排水路での補修は用水路と異なり絶乾状態を維持することが困難である。シート工法を含む有機系被覆工法は一般的に湿潤面において接着性が低下する。このため、有機系のエポキシ、ポリウレタン系については除外した。また、施工厚20mm程度と厚さのあるパネル工法についても、水路断面が縮小するため除外した。

無機系被覆工法の選定に当たっては、主要な工法として17工法を選定した後、①耐摩耗性を謳っている工法、②寒冷地で施工可能な方法、③現場打ちフルームの粗度係数 ( $n=0.012\sim 0.016$ ) を鑑み、粗度係数  $n=0.010$  以上、④施工厚さが10mm以下、⑤維持管理性を考慮して施工表面の変状が目視できる、⑥施工性として吹付、左官の両方に対応可能、の各条件を設定した結果、表-2のとおり5工法が残った。

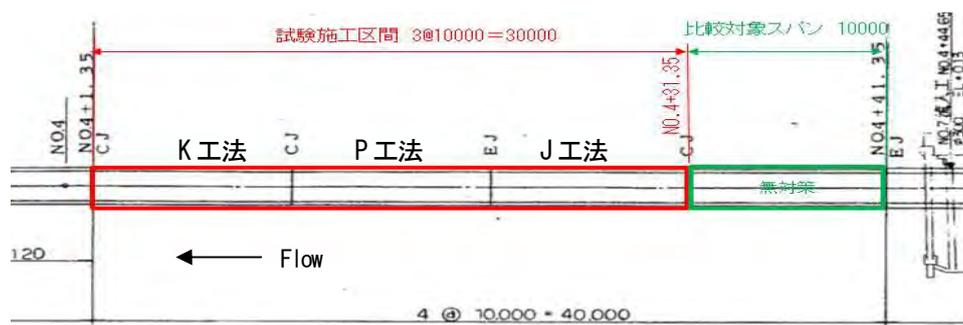
各工法の耐摩耗性能等については、大きな差が認められないことから、残る経済性により上位3工法 (K、P、J工法) を選定することとした。(表-2)

## 4 試験施工区間・対策施工範囲

暴露試験地点は以下の条件を満足するように決定した。①摩耗が顕著である現場打ち開水路区間、②作業ヤードが確保できる区間、③複数の対策工法が連続して行える区間。この条件として、H6年度に施工したNo.4+1.35～No.4+31.35 L=30.00m (3スパン@10.00m) 区間を選定。なお、上流1スパンは比較対象として無対策区間に設定した。(図-3)

表-2 工法選定表

区分	工法	主要組成	耐摩耗性	粗度係数	施工厚 (mm)	NETIS ARIC	概算施工費		評価
							(円/m <sup>2</sup> )	順位	
無機系	O モルタル	超微粒子高炉スラグ	試験方法: アルミナ研磨材220g/分 減少質量: 220g(30分)	0.011	10	-	11,090	4	×
	A モルタル	特殊エポキシ樹脂 +吹付施工用ポリマーセメント	試験方法①: JIS K 7204 摩耗量3.7g(H-22) 試験法②: 水流摩耗試験(農工研法) 1.04L <sub>28</sub> /50	0.012	10	-	11,400	5	×
	K モルタル	ポリマーセメント系	試験方法①: JIS K 7204 摩耗量2.0g(H-22) 試験法②: 水流摩耗試験(農工研法) 1.05L <sub>28</sub> /50	0.010	10	-	10,500	3	○
	P モルタル	ポリマーセメント系 +粉末樹脂・短繊維	試験方法: 水砂噴流摩耗試験(案) 標準供試体に対する平均摩耗深さの比 0.84(品質規格値: 1.5以下)	0.013	6	-	7,410	1	○
	J モルタル	高靱性繊維補強セメント複合材	試験方法: JIS K 7204 摩耗量4.0g(H-22)	0.011	側壁 6 底盤 10	○	8,030	2	○



対策施工範囲は水位が常時変動する排水路の性質を鑑み、水路内面全体とした。(図-4)

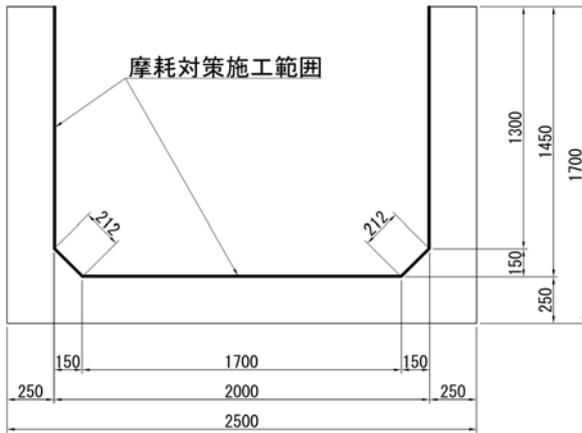


図-4 摩耗対策施工範囲断面図

## 5 調査方法

表-3に摩耗及び凍害を評価するためのモニタリング項目を示す。表面強度推定、超音波伝達速度計測、付着力強度測定、コンクリート供試体採取は、凍害による影響を把握する調査であることから、日照条件は、南面で建物等の遮蔽物が影響しない右岸側壁にて実施する。

表面強度推定調査は、500mmメッシュを基本とし1断面3点と、表面劣化が著しい側壁天端から800mmの位置1点を加え、計76点/スパンを計測する。

摩耗量測定は、試験施工区間に埋設したアンカーピンを計測基準点とし、底板、側壁ともに施工区間の中央部で行う。側壁は喫水部として最も低い位置である底板上面より250mmの位置で行う。

超音波伝達速度計測と付着力強度測定は、水分供給の有無による影響を勘案し、気中部と喫水部で実施する。

(表-3、図-5)

表-3 モニタリング項目

項目	目的	方法	概要
近接目視	補修箇所の傷、ひび割れ、剥離・剥落等の変状を確認	目視	目視のほか、触診、打音により確認し、スケッチと写真撮影で記録する
表面強度推定	補修材の浮きや剥離等の表面劣化に関する評価	コンクリートテスター(ハンマー打撃)	機械インピーダンス法により、コンクリート表面強度を推定する
摩耗量測定	摩耗量の評価	高速・高精度CCDレーザー変位計	側壁、底盤に設置されているステンレス丸棒を基準として、レーザー距離計により摩耗量を計測する
超音波伝達速度計測	凍害等による劣化層の厚さを推定	超音波測定器(表面走査法)	排水路側壁表面の超音波伝達速度を計測
水位観測	各種モニタリング調査結果と排水路水位との関係性の把握	自記水位計	H28年8月24日～12月8日(107日間)計測 1時間毎の水深の頻度を整理
付着力強度測定	各工法の付着力強度測定	建研式接着力試験器	付着力強度の初期値測定 (H27無体策区間で実施) 各工法の付着力強度測定 (H29予定)
劣化深さ測定	採取コアを用いた劣化深さの推定	超音波測定器(透過法)	採取コアによる超音波伝達速度測定 (H27無体策区間で初期値測定) 各工法の採取コアによる超音波伝達速度測定 (H29予定)

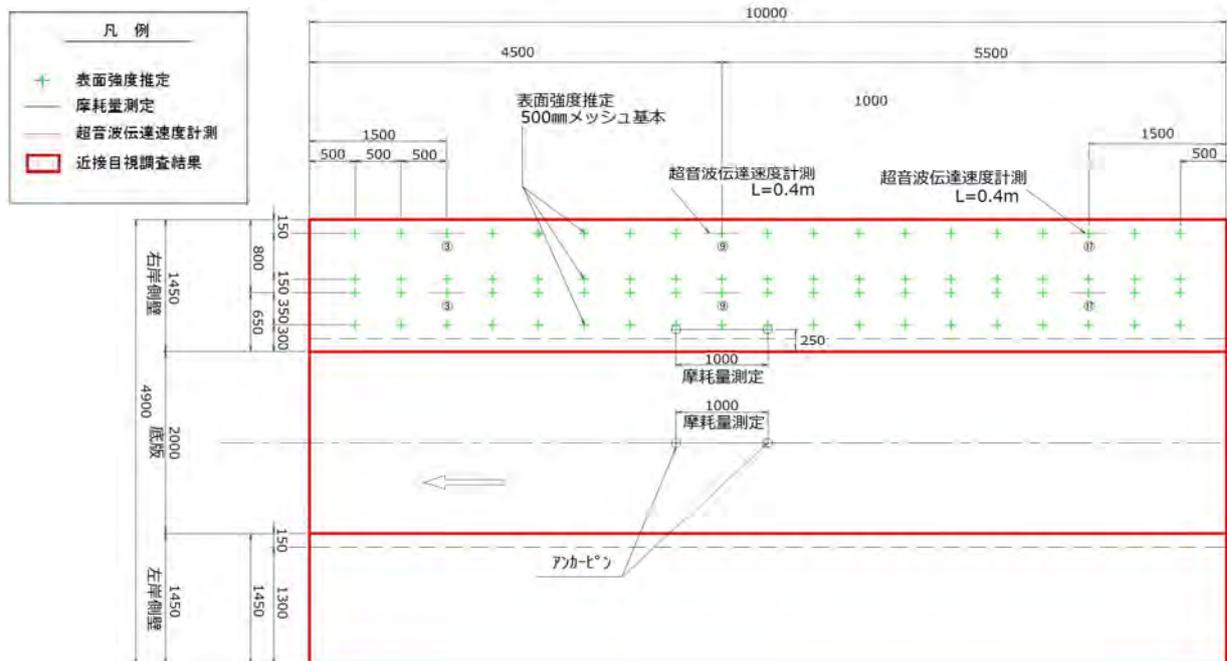


図-5 モニタリング位置

## 6 モニタリング結果

試験施工から2年経過したH28年度のモニタリング結果は以下のとおり。

### (1) 近接目視

全体的に大きな変状は認められなかった。三工法共通の事象としては、底版及び側壁の低い位置で被覆材表面に微細なキズが認められた。モニタリング準備の水替え時において、小数ではあるが水路底に20~40mm程度の礫が確認(写真-3)されたことから、礫接触の影響が少なからずあると思われる。なお、K工法では右岸側壁中央部付近に0.04mm程度の微細なひび割れが他工法と比較して顕著であり、乾燥収縮等に伴うひび割れと推察される。



写真-3 水路底に残った礫

### (2) 表面強度推定

コンクリートテスターを用いた推定圧縮強度による表面劣化の可能性について調査した。

推定圧縮強度の傾向は、K工法>J工法>P工法の順であり、K工法が他工法よりも卓越した数値を示しているが、H27年度計測よりも若干低下している。

劣化指数の傾向も表面強度と同様、劣化の可能性が低いのはK工法であり、この傾向は前年度と同様であった。

なお、比較対象とする無対策区間では、平均強度26.19N/mm<sup>2</sup>、平均劣化指数は1.35で、「表面劣化の可能性あり」の評価を得ている。(表-4)

表-4 表面強度推定計測値 (N/mm<sup>2</sup>)

位置	Kモルタル (右岸)		Pモルタル (右岸)		Jモルタル (右岸)		無対策 (右岸)
	H27	H28	H27	H28	H27	H28	H27
150	33.65	34.33	19.80	21.48	26.57	30.17	28.38
650	34.86	34.23	21.82	22.91	25.74	27.08	29.29
850	36.50	33.66	22.37	25.02	24.27	26.67	24.07
1150	35.91	33.43	22.22	24.47	27.03	26.29	23.00
平均	35.23	33.91	21.55	23.47	25.90	27.55	26.19

■ ~21.00 ■ 21.00 - 23.00 ■ 23.00 - 25.00 ■ 25.00 - 27.00 ■ 27.00 - 29.00 ■ 29.00 - 31.00 ■ 31.00~

表-4 (続き) 劣化指数 (INDEX値)

位置	Kモルタル (右岸)		Pモルタル (右岸)		Jモルタル (右岸)		無対策 (右岸)
	H27	H28	H27	H28	H27	H28	H27
150	1.13	1.09	1.26	1.24	1.24	1.18	1.25
650	1.10	1.09	1.30	1.31	1.18	1.15	1.39
850	1.12	1.11	1.30	1.31	1.15	1.16	1.43
1150	1.16	1.30	1.26	1.28	1.19	1.27	1.32
平均	1.13	1.15	1.28	1.28	1.19	1.19	1.35

■ 1.31以上

INDEX値	表面劣化の可能性
0.9 ~ 1.30	少ない
1.31 ~ 1.49	あり
1.50 ~	高い

### (3) 摩耗量測定

高速・高精度CCDレーザー変位計により、各工法の表面凹凸を計測し、摩耗量を求めた。

(図-6、写真-4)

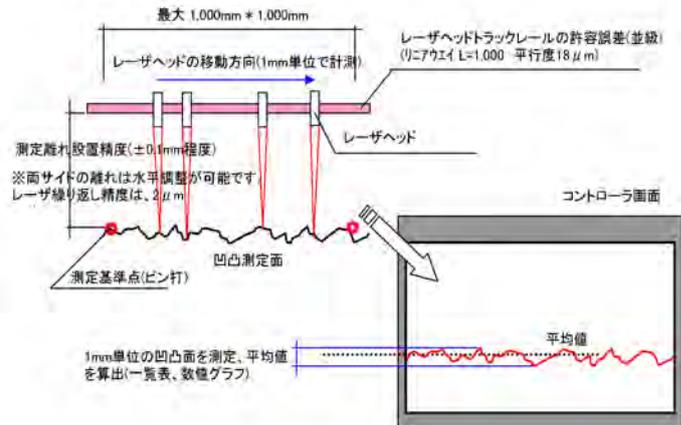


図-6 摩耗量測定方法



写真-4 摩耗量測定状況

H27年度計測を初期値として、H28年度計測との対比により年間の摩耗変化量を求めた。その結果、側壁においてはほとんど変化が認められなかった。底版ではP工法J工法で僅かではあるが0.1mm以上の摩耗が確認されている。厚さ10mmの表面被覆工法の耐用年数は10年といわれており、単純に摩耗許容量1mm/年と考えた場合、0.155mm/年程度であるため、現段階では劣化の主要因とは判断されない状況である。(表-5)

表-5 摩耗量測定結果一覧

側壁		表-5 摩耗量測定結果一覧					
工法		Kモルタル		Pモルタル		Jモルタル	
調査年度		H27	H28	H27	H28	H27	H28
相対的な摩耗深さ d <sub>1,2</sub> (mm)	①	6.821	6.914	8.816	8.643	6.688	6.564
	②	—	6.867	—	8.701	—	6.803
	③	—	6.897	—	8.744	—	6.467
	平均値	6.821	6.893	8.816	8.696	6.688	6.611
摩耗変化量d <sub>a</sub> (mm/年)		0.072		-0.120		-0.077	
底版		表-5 摩耗量測定結果一覧					
工法		Kモルタル		Pモルタル		Jモルタル	
調査年度		H27	H28	H27	H28	H27	H28
相対的な摩耗深さ d <sub>1,2</sub> (mm)	①	7.819	7.941	7.631	7.736	6.292	6.641
	②	—	7.844	—	7.830	—	6.251
	③	—	7.896	—	7.793	—	6.384
	平均値	7.819	7.894	7.631	7.786	6.292	6.425
摩耗変化量d <sub>a</sub> (mm/年)		0.075		0.155		0.133	

なお、H28年度は3回計測した中で、計測差がJ工法底版において最大の0.390mmを記録した。モニタリング初年度のH27年度は1回計測のみであったことから、平均値との比較については、評価方法に課題が残った。

また、計測差についても、計測精度が高い故の結果であると考えられるため、前年度計測と逆転するなど、摩耗量測定への適用にあたっての課題になると考える。

(表-5)

(4) 超音波伝達速度計測 (表面走査法)

表面走査法は、超音波の受発振子間距離がある値以上になったとき、伝播経路が健全層の縁端面に一本化され、受振子間距離に対する伝播時間の増加率が小さくなる。

ここで、原点から変曲点までの距離を $X_0$ 、劣化層と健全全部縁端面における超音波伝播速度を、それぞれ $V_d$ 、 $V_s$  (直線の傾きの逆数) とすると、劣化層の厚さ $t$ は次式で表される。(図-7)

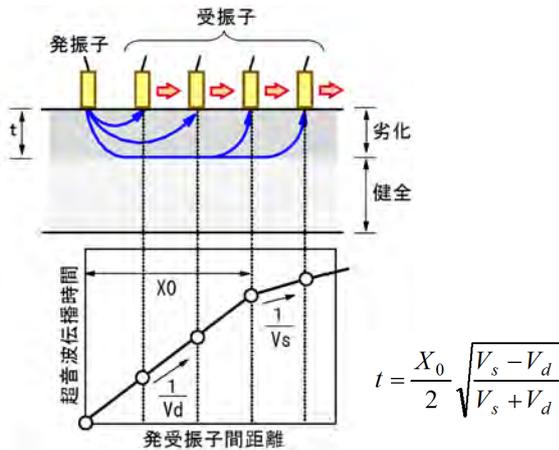


図-7 表面走査法概念図、劣化層厚算定式

表-6 推定劣化深さ一覧

工法	測定位置	推定劣化深さt (mm)		
		H27	H28	
K モルタル	H-150	③	0.00	0.00
		⑨	0.00	11.78
		⑰	64.16	0.00
		平均	21.39	3.93
	H-800	③	26.01	21.75
		⑨	49.73	0.00
		⑰	36.34	20.25
		平均	37.36	14.00
平均	29.37	8.96		
P モルタル	H-150	③	21.05	20.34
		⑨	0.00	15.97
		⑰	27.28	16.16
		平均	16.11	17.49
	H-800	③	21.58	20.85
		⑨	38.09	22.42
		⑰	37.15	19.94
		平均	32.27	21.07
平均	24.19	19.28		
J モルタル	H-150	③	49.88	0.00
		⑨	41.21	19.39
		⑰	21.82	11.87
		平均	37.64	10.42
	H-800	③	46.74	21.08
		⑨	31.83	22.41
		⑰	26.54	22.77
		平均	35.04	22.09
平均	36.34	16.25		
無対策	H-150	③	21.79	-
		⑨	0.00	-
		⑰	65.60	-
		平均	29.13	-
平均	29.13	-		

H28年度計測による推定劣化深さは、P工法>J工法>K工法の順となった。全工法共通の傾向は、計測位置の推定劣化深さが、側壁天端-800mm>側壁天端-150と、底版に近い位置で劣化が大きい結果となった。しかし、H27年度計測と比較した場合、計測誤差や表面被覆の影響と推測されるバラツキが大きいと、経年変化の傾向を把握することは困難である。(表-6)

(5) 水位観測

H28年8月24日~12月8日まで、107日間の水深計測では、0.2~0.7mの水深頻度が比較的高い。(図-8)これは天端-750mm以下の範囲であり、無対策区間における目視の劣化状況とほぼ一致しており、乾湿の繰り返しが劣化要因の一つと考えられる。(写真-2)

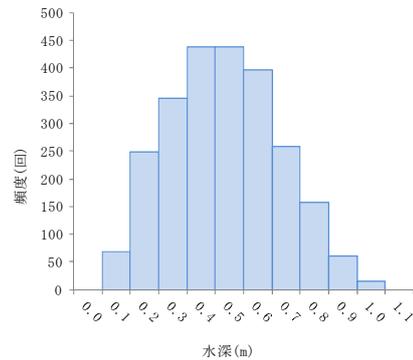


図-8 排水路水深の頻度 (計測間隔1時間)

(6) 付着力強度測定 (H27年度初期値)

各工法と比較検討のため、H27年度に無体策区間の右岸側壁において付着力強度測定を実施した。結果、側壁天端-200mmの位置で平均3.48N/mm<sup>2</sup>、同900mmの位置で平均1.59 N/mm<sup>2</sup>と側壁の上下で大きな差が生じる結果となったが、施工時の管理基準値である1.00 N/mm<sup>2</sup>以上の値は確保されていた。なお、各工法の付着力強度測定はモニタリング最終年であるH29年度に実施を予定している。

(7) 劣化深さ測定 (H27年度初期値)

本測定についても各工法と比較検討のため、前述の付着力強度測定と同様の位置でコアを採取し、超音波伝播速度計測 (透過法) を行った。結果として、側壁天端-200mm (H-200) の位置で、健全度の指標である3.7km/s程度以上を表層から40mm付近の範囲で下回っており、凍害の影響を受けていると考えられる。(図-9)

図-9 超音波伝播速度計測結果

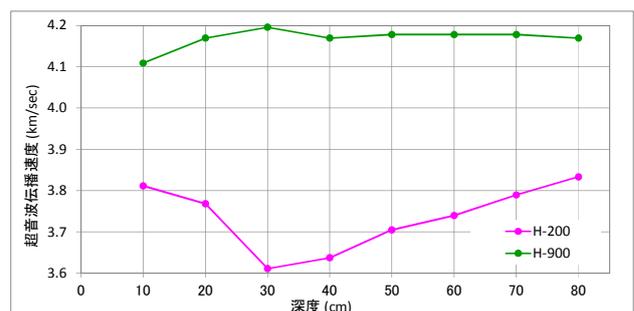


表-7 摩耗凍害対策工法モニタリング評価

工法	Kモルタル			Pモルタル			Jモルタル		
調査項目									
近接目視	・右岸側壁に微細なひび割れを数条確認(不規則方向) ・最大幅0.04mm 乾燥収縮等と史料			・目立った変状なし			・左岸側壁に微細なひび割れを1条確認(縦方向) ・幅0.06mm 乾燥収縮等と史料		
	△			○			○		
表面推定強度 (N/mm <sup>2</sup> )	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値
	39.42	21.74	33.92	33.21	17.17	23.48	34.56	21.21	27.55
○			△			○			
摩耗量	0.1mm未満 側壁、底版ともに、ほとんど摩耗は生じていない			0.155mm/年 底版でごく僅かな摩耗傾向は認められるが、工法の健全性に影響しない程度			0.133mm/年 底版でごく僅かな摩耗傾向は認められるが、工法の健全性に影響しない程度		
	○			○			○		
表面劣化(凍害) 深さ	調査結果より、工法の違いによる明確な傾向は確認できない。 劣化深さが調査対象である表面被覆工法の施工厚さを概ね上回っており、調査結果が素地の影響を受けている可能性も考えられる。								
	○			○			○		
総合評価	強度は、3工法中で最も高い値を示すが、表面被覆材に複数の微細なひび割れが顕在化してきている。 今後、経年的な進行性が危惧される。			視認できる変状は認められないが、3工法中で強度が最も小さく、設計基準強度を満たさない測定点が多く存在。 部分的に所要の強度を満たしておらず、現時点では他工法に劣る工法と評価。			左岸側壁にひび割れは確認されたものの、幅0.06mmと微細かつ1条のみであるため、表面被覆工の健全性に問題は無いものと判断。その他に、変状や劣化状況は特に認められず、現段階では3工法の中で最も適応性が高い工法と評価。		
	○			△			◎		

## 7 モニタリング評価

H28年度のモニタリング評価では、試験施工から2年しか経過していないこともあり、各調査項目において、明確な摩耗凍害による複合劣化の影響を確認するには至らなかった。しかし、各工法の比較では、K工法で乾燥収縮等に起因すると思われるひび割れが他工法と比較して多かったことや、P工法では表面強度が部分的に設計基準強度 (21N/mm<sup>2</sup>) を下回っていたことなど、工法別の変状を確認できた。現段階の評価としては、J工法が各調査項目において安定した結果を得ており、補修・補強工法として有効であると思われる。(表-7)

一方課題としては、本稿のテーマでもある摩耗に関する計測方法である。高速・高精度CCDレーザー変位計を用いた結果、3回の計測において、J工法で側壁、底版ともに最大値と最小値の差違が0.3mm以上となったことが挙げられる。他工法の計測では概ね0.1mm以内の差違であったことから、人為的な問題のほか、測定基準点であるアンカーピンの変状についてもチェックが必要になると考える。

また、表面走査法での劣化深さの推定についても、測定結果にばらつきが多く、評価することが困難な状況となっており、次年度行うコア採取による劣化深さ測定結果をもとに、表面被覆を行ったコンクリートに対する表面走査法の適用性についても確認が必要と考える。

## 8 今後について

H29年度は3年目のモニタリングを実施中であり、H27年度に初期値計測した付着力強度測定とコア採取による劣化深さ測定(超音波伝播速度計測(透過法))を追加して評価を行い、摩耗凍害の複合劣化に対する補修・補強工法の有効性を検証する予定である。

### 参考文献

- 1) 農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路補修編】(案)(平成25年10月)p13
- 2) 北海道におけるコンクリート構造物の性能保全技術指針【材料・施工編】p3,p5
- 3) アメダス観測データ 斜里2016年(月ごとの値):気象庁