

コンクリート開水路の補修工法に関する 評価について

－（第 2 報）－

函館開発建設部 農業開発課 ○高嶋 憲太
久本 俊幸
神 昭良

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立させる必要がある。函館開発建設部では、寒冷地における農業用コンクリート開水路の対策工法を確立させるため、平成 27 年度に表面被覆工法の施工を行っており、今回は施工後 2 年目のモニタリング結果とその結果を踏まえた最終年のモニタリング計画について中間報告するものである。

キーワード：開水路、表面被覆工法、寒冷地、ストックマネジメント

1. はじめに

コンクリート構造物は長期供用に従い、初期施工条件や使用環境、気象等の諸条件に起因して摩耗や変形、中性化等の劣化が進行する。さらに積雪寒冷地においては凍結融解現象により凍害が発生し、強度低下が増幅する場合がある。

これらの劣化要素に対し、インフラ資源の適正管理のため日常の点検、定期的な補修および補強を行うことにより、農業水利施設の長寿命化を図ることが求められている。

長寿命化技術の有効性を検証するため、函館開発建設部では平成 27 年度に管内のコンクリートフリーフォーム水路において表面補修工の試験施工を行った。さらに平成 30 年度（予定）まで、諸条件が表面補修材および躯体の機能に及ぼす影響についてモニタリング調査を行い、今後のストックマネジメントに活用することとしている。

本報文は、これらの研究に関する経過報告として、施工後1, 2年目のモニタリング調査結果を報告するものである。

2. 気象条件と施工箇所の関係

(1) 気象条件

今金町の年平均気温は 7.9℃であり、かんがい期では 16.6℃また、非かんがい期では 1.8℃、最低気温は昭和 53 年 2 月に -21.9℃を記録している。最深積雪は昭和 59 年 2 月に 149cm であり、積雪は概ね 11 月下旬から始まり、4 月上旬まで残る。

当該区間はほぼ東西方向に貫く直線であり、南向き面（右岸側）は日射を比較的浴びるため、夏場は乾燥の影響を受けやすいと考えられ、冬場は凍結融解の影響を受けやすいことから南向きを中心に実施している。

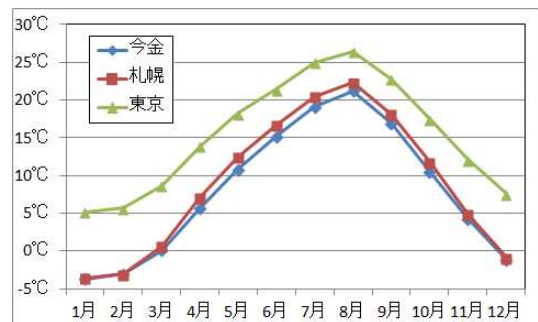
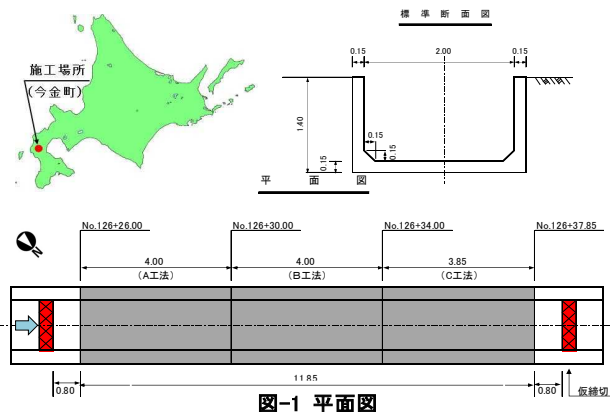


図-2 平均気温(平年値)

(2) 施工箇所

対象とした用水路は、今金町において国営かんがい排水事業北檜山左岸地区で昭和 55 年に建設された第 1 幹線用水路であり、試験区間は RC 構造のフリーム水路である。

表-1 施設諸元

施設名称	第1幹線用水路
造成事業	直轄かんがい排水事業 北檜山左岸地区
造成工期	昭和55年(1980年)
経過年数	37年
供用開始	昭和56年(1981年)
施設管理者	狩場利別土地改良区
構造寸法	現場うちRC構造 フリーム水路 B2000×H1250

3. 工法選定

本用水路の機能低下状況は、水中部においては流水による摩耗、水中・気中部全般に経年劣化による剥離・剥落が見られ、側壁肩部は凍害によるひび割れが著しい。このため、表面被覆工法の選定に当たっては断面復旧が容易な無機系材料を使用することとし、経済性、施工性、耐凍害性、耐摩耗性および道内での施工実績等を比較して①HPFRCC系（複合材料）（以下、「A工法」）、②エポキシ樹脂系プライマー系（以下、「B工法」）、③エマルジョン系

プライマー（以下、「C工法」）を選定した。

4. 施工から2年後のモニタリング調査結果

試験施工については平成 27 年 9 月 14 日～平成 27 年 11 月 17 日に実施した。その後、平成 27 年 12 月 15 日に施工直後の現地調査を行い、1 年目のモニタリング調査は平成 28 年 9 月 8 日～平成 28 年 10 月 7 日、2 年目は平成 29 年 9 月 25 日～平成 29 年 9 月 27 日に実施している。

(1) 外観調査

外観の目視調査では、1 年目に複数のひび割れが（図-5 橙色）B・C 工法発生し、2 年目は各工法でひび割れが増えていた（図-5 赤字）。補修が必要なひび割れ幅 0.2mm 以上のクラックは無かったが、右岸の肩部に集中してクラックが発生しており、内部からのひび割れ、周辺に盛り上がりがないことから乾燥収縮によるものと考えられ、冬期の凍結融解による凍害の発生は見られない。

(2) 中性化深さ

本年度の中性化深さ（表-2）は 1.16～1.42mm であり、品質規格値の 5mm 以下を満たしているため、3 工法ともに、現時点において特異な値は認められなかった。

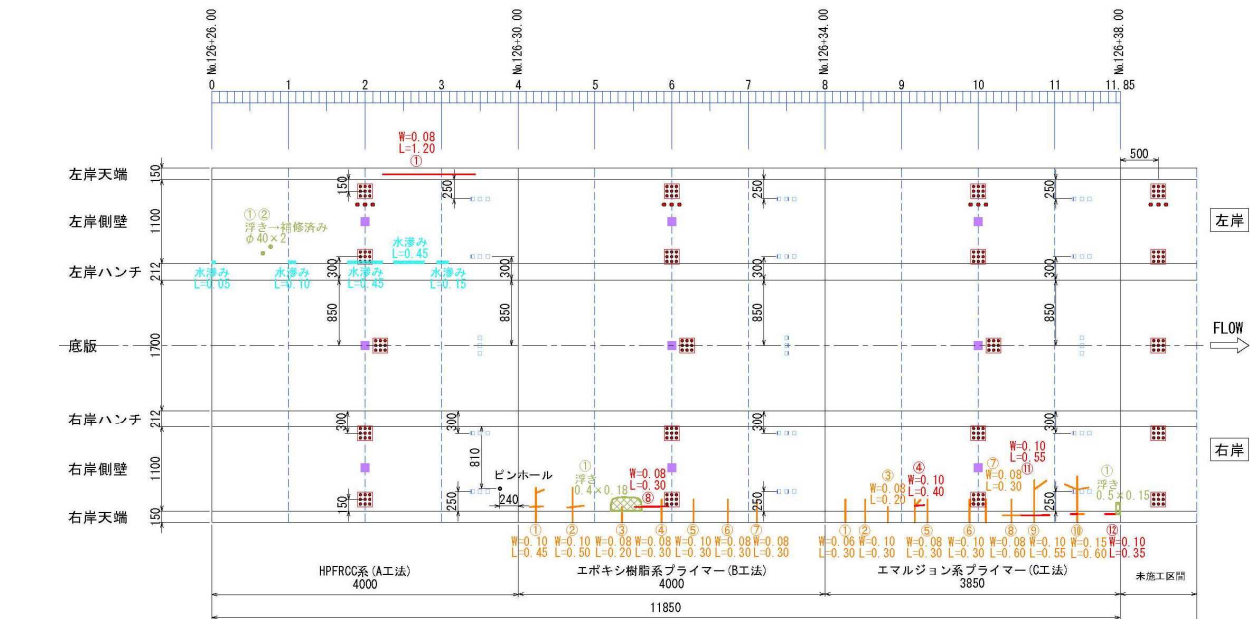


図-3 近接目視によるスケッチ図

凡例

—	ひび割れ幅 2.0mm以上	○	粗骨材露出
—	ひび割れ幅 1.0~2.0mm未満	○	粗骨材剥落
—	ひび割れ幅 0.2~1.0mm未満	○	錆汁
—	ひび割れ幅 0.2mm未満 (H29箇所)	○	漏水 (痕跡)
—	ひび割れ幅 0.2mm未満 (H28箇所)	○	H25コア採取位置
○	エプロン設置範囲	○	H25はつり調査位置
○	目地の変状	●	中性化試験位置
○	損傷・欠損	■	シュミットハンマー試験位置
○	浮き	□	付着力試験位置
○	剥離・剥落		
○	鉄筋露出		
○	細骨材露出		

表-2 中性化深さ結果

		A工法	B工法	C工法
平均 削孔深(mm)	1年目	1.14	1.36	1.73
	2年目	1.20	1.16	1.42

(3) 摩耗量

流水が被覆材表面に及ぼす摩耗量を測定した結果(表-3)、平成29年度では平均0.13~0.27mm/年で摩耗していた。A工法で最も摩耗が進み、B工法は他の工法より摩耗量が小さかった。全体的に微少な数値であり、躯体にただちに影響を及ぼすまでは至っていない。

表-3 摩耗量測定結果

工法	測定位置	摩耗進行速度	摩耗進行速度	平均値(1年目)	平均値(2年目)
		平均値(1年目)	平均値(2年目)		
A工法	左岸水中部	0.34	0.14	0.48	0.27
	底版	0.60	0.38		
	右岸水中部	0.49	0.29		
B工法	左岸水中部	0.32	0.21	0.17	0.13
	底版	0.00	0.00		
	右岸水中部	0.18	0.19		
C工法	左岸水中部	0.00	0.00	0.33	0.21
	底版	0.82	0.13		
	右岸水中部	0.18	0.51		

(4) 付着強度

付着強度試験(表-5)においては、2年目で全ての測点で基準値1.0N/mm²を上回る結果となった。特に、施工直後の計測で軒並み1.0N/mm²を下回ったB工法、C工法においても数値が安定している。(図-4)。

平成27年から付着強度試験を実施しているが破壊試験であるため同位置での調査が不可能なため数値にはばらつきがある。

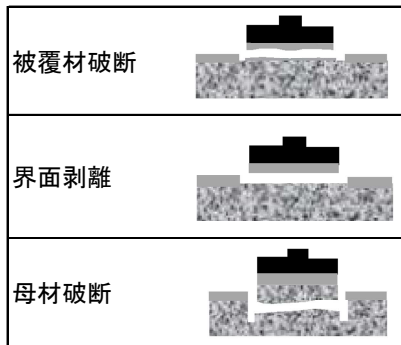


図-4 付着試験の破断面のイメージ図

(5) 反発強度

反発強度試験(表-4)では、施工後において強度不足を確認し、1年目の調査では設計強度21N/mm²を満たし、2年目も確保していたが、3工法とも大小はあるが底版の強度低下が確認された。

表-4 反発強度試験結果

工法	位置	推定強度(N/mm ²)		
		①施工後	1年目	②2年目
A工法	左岸気中部	16.7	33.9	38.5
	左岸水中部	15.7	32.4	39.9
	底版	-	19.1	10.4
	右岸水中部	14.3	33.9	39.0
	右岸気中部	15.2	34.3	39.8
B工法	左岸気中部	25.6	43.2	47.8
	左岸水中部	26.3	42.3	42.3
	底版	-	32.8	31.4
	右岸水中部	23.3	40.8	47.7
	右岸気中部	25.2	41.7	40.9
C工法	左岸気中部	20.7	31.4	37
	左岸水中部	18.3	33.7	36.6
	底版	-	35.0	23.9
	右岸水中部	22.8	39.9	43.3
	右岸気中部	27.4	37.1	39.7
未施工区間	左岸気中部	14.7	22.9	25.6
	左岸水中部	9.7	11.7	12.5
	底版	14.8	5.6	2.4
	右岸水中部	6.3	11.0	22.1
	右岸気中部	12.9	21.5	14.6

表-5 付着強度と破断位置

工法	試験箇所	過年度(H27年度)測定付着強度(N/mm ²)								施工後1年目(H28年度)測定付着強度(N/mm ²)								施工後2年目(H29年度)測定付着強度(N/mm ²)							
		1回目		2回目		3回目		平均値(N/mm ²)	1回目		2回目		3回目		平均値(N/mm ²)	1回目		2回目		3回目		平均値(N/mm ²)			
		付着強度(N/mm ²)	破断位置	付着強度(N/mm ²)	破断位置	付着強度(N/mm ²)	破断位置		付着強度(N/mm ²)	破断位置	付着強度(N/mm ²)	破断位置	付着強度(N/mm ²)	破断位置		付着強度(N/mm ²)	破断位置	付着強度(N/mm ²)	破断位置	付着強度(N/mm ²)	破断位置				
A工法 (HPFRCC系)	No.126+26.50	右岸側壁 気中部	1.71	被覆材	1.37	被覆材	2.41	被覆材	1.83	1.43	被覆材	1.45	被覆材	2.38	被覆材	1.75	2.38	母材	2.19	母材	2.48	母材	2.35		
		右岸側壁 水中部	1.37	被覆材	2.20	被覆材	2.76	被覆材	2.11	1.83	被覆材	2.24	被覆材	1.75	被覆材	1.94	1.41	母材	1.63	母材	1.13	母材	1.39		
		左岸側壁 気中部	2.94	被覆材	2.38	被覆材	2.87	界面	2.73	2.00	界面	2.56	母材	2.50	被覆材	2.35	2.46	母材	3.83	被覆材	3.29	母材	3.19		
		左岸側壁 水中部	1.65	母材	2.08	母材	1.71	母材	1.81	1.69	母材	0.83	母材	1.39	母材	1.30	1.80	母材	3.51	母材	3.59	母材	2.97		
		底版	1.49	被覆材	1.42	被覆材	0.99	界面	1.30	1.92	界面	1.84	被覆材	1.65	界面	1.80	1.41	被覆材	2.11	被覆材	1.62	被覆材	1.71		
B工法 (エポキシ樹脂系プライマー)	No.126+30.50	右岸側壁 気中部	0.76	被覆材	1.18	被覆材	1.01	被覆材	0.98	2.24	被覆材	2.39	界面	2.81	母材	2.48	2.44	母材	3.19	母材	2.74	被覆材	2.79		
		右岸側壁 水中部	0.68	被覆材	1.05	被覆材	0.53	界面	0.75	3.29	母材	2.47	母材	2.77	母材	2.84	2.66	母材	2.24	母材	2.18	母材	2.36		
		左岸側壁 気中部	0.00	界面	0.88	被覆材	1.01	被覆材	0.63	2.48	母材	2.54	母材	3.11	被覆材	2.71	3.06	被覆材	1.34	母材	2.19	被覆材	2.20		
		左岸側壁 水中部	0.58	被覆材	0.53	被覆材	1.28	被覆材	0.80	3.13	母材	2.54	母材	3.11	母材	2.93	4.08	界面	3.83	界面	1.92	母材	3.28		
		底版	1.31	界面	1.76	界面	1.39	界面	1.49	2.76	母材	2.35	母材	3.05	母材	2.72	2.58	母材	1.23	母材	2.48	被覆材	2.10		
C工法 (エマルジョン系プライマー)	No.126+34.50	右岸側壁 気中部	0.75	被覆材	0.59	被覆材	0.23	被覆材	0.52	2.59	被覆材	1.88	界面	2.11	界面	2.19	1.58	被覆材	1.50	界面	1.54	被覆材	1.54		
		右岸側壁 水中部	0.47	被覆材	0.14	被覆材	0.44	被覆材	0.35	2.33	母材	3.00	母材	1.59	母材	2.31	3.32	被覆材	1.36	母材	2.69	母材	2.46		
		左岸側壁 気中部	1.72	被覆材	2.27	被覆材	0.20	界面	1.40	0.81	被覆材	1.92	被覆材	1.86	被覆材	1.53	2.14	母材	1.71	被覆材	1.90	被覆材	1.92		
		左岸側壁 水中部	1.87	界面	1.79	被覆材	1.75	被覆材	1.80	2.49	母材	1.88	母材	2.19	母材	2.19	1.79	母材	1.54	母材	2.11	母材	1.81		
		底版	1.81	界面	1.26	界面	2.08	界面	1.72	3.21	母材	2.22	母材	1.57	母材	2.33	1.48	母材	1.05	界面	1.54	界面	1.36		

(6) 施工後の強度不足についての考察

施工後の調査で反発強度、付着強度試験において強度不足があり養生温度の不足と推定していたが本調査では気温観測の結果を用いて考察を行う。

1) 観測気温について

考察には平成27年11月17日（施工完了日）～平成28年11月17日まで必要であるが、そのうち平成27年12月4日～平成28年11月17日は寒地土木研究所の協力を得て使用し、残る平成27年11月17日～平成27年12月3日は気象庁今金観測所のデータを使用している（図-7）。

2) 温度データ

寒地土木研究所では、図-7に示したように、①補修材表面温度、②補修材料とコンクリートの界面温度を収集している。

このデータの中の補修材表面温度データを用いて、調査結果の検証を行う。

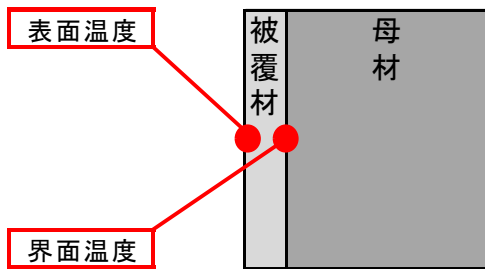


図-5 温度データ等観測箇所図

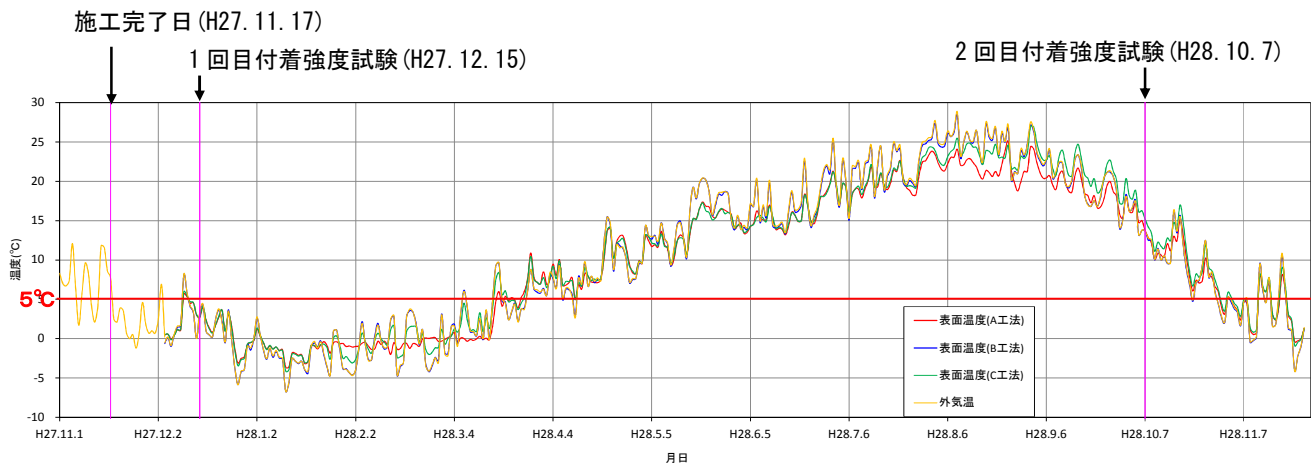


図-7 観測気温履歴図

3) 施工後の強度不足となった原因

(a) コンクリート材料の特徴

コンクリート材料は、図-6のように5°C以下で養生した場合、材令28日では80%程度の強度となることから、補修材料にも同様の現象があったと考えられる。

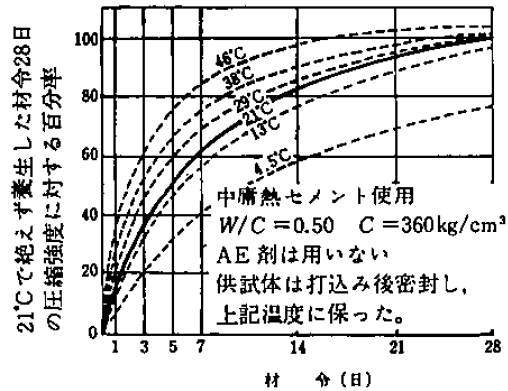


図-6 温度毎の材齢と圧縮強度の関係

(出典:近藤泰男訳「コンクリートマニュアル」)

(b) 養生期間の観測温度

図-7に示すようにB工法、C工法付着強度測定を行うまでの養生期間（平成27年11月17日～平成27年12月15日）で5°C以下が多いことから注、低温養生となり強度発現が遅延し、施工直後の付着強度が得られなかったと考えられる。

注)平成27年度施工時では防寒対策は行っていたが、適切な気温の保持ができていない可能性のため

5. 2年目の調査結果

本年度調査では、施工時の強度不足の原因は養生温度の不足であったと推測した。しかし、施工後、1年目、2年目の調査により強度等の数値は設計強度を満たしており問題ないと判断できる。一方、ひび割れなどについては1年目より増加しており引き続き調査を行い要因を明らかにする必要がある。

6. 今後の課題

各工法において機能に支障をきたすような劣化は見られなかったが、底版の反発強度低下の検証及び、右岸側壁肩部のひび割れ・浮きの継続調査についても行い、これらを踏まえた工法の違いによる評価を検討する。

本試験は長期供用を前提としたコンクリート施設の補修工法に関する比較検討・検証を目的とし、寒冷気候が表面被覆材に与える影響について最終年となる次年度に結果をまとめる予定である。なお、本モニタリング調査は、寒地土木研究所から今後も指導ならびに助言を頂きながら進め、積雪寒冷地のコンクリート開水路の長寿命化技術確立へ向けて努力したい。

参考文献

- 1) 農林水産省農村振興局：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)(2013)
- 2) 近藤泰男：コンクリートマニュアル(1966)