

# 用水路の補修工法経過観察結果について

## －表面被覆工法のモニタリング結果－

函館開発建設部 農業開発課 ○加藤 太吾  
安田 俊一  
齋藤 晴保

農業用水路の水路橋は、河川等と立体交差する架橋形式のため重要度が高い構造であり、漏水・破損事故による社会的影響が大きい。このため、水路橋については高性能で効率的な補修・補強技術の確立が望まれている。本報告は、試験的に実施した、有機系及び無機系の表面被覆工法の経過観察結果等について、報告するものである。

キーワード：戦略的維持管理、長寿命化

### 1. まえがき

函館開発建設部では、積雪寒冷地において既に表面補修工事が行われたコンクリート水路橋に対する、補修の長寿命化技術の有効性を検証することを目的に、今金町にて平成21年度に水路橋内面補修工法の試験施工を実施し、平成22年度よりモニタリング調査を実施している。(図-1)



図-1 試験施工箇所

本報告は今年度で補修工事から3年目の経過観察結果について報告する。

### 2. 試験施工箇所

試験施工の対象とした水路橋は、鉄筋コンクリート構造で、過去に表面被覆による補修工事が行われている(表-1, 2)。

表-1 水路橋の現況諸元

	1号水路橋	3号水路橋
形式	RC-U型	RC-BOX型
構造	1スパン鋼桁支持	2スパン単純梁
スパン	9.15m	S=23.55+20.15m
断面形	B2.25m×H1.57m	B1.85m×H1.49m
整備地区	利別川地区	北檜山左岸地区
【表面被覆工法施工年度】(経過年)	【平成12年度】(11年)	【昭和55年度以前】(30年以上)

表-2 補修工法の諸元

	1号水路橋	3号水路橋
表面被覆	ガラスファイバー	エポキシ樹脂塗装
主な変状	ひび割れ、剥がれ、はく離	ひび割れ、はく離、たわみ
変状要因	凍害、流水、施工不良	凍害、流水、追従不足
対策目標	耐用年数15~20年長寿命化、維持管理軽減	

### 3. 補修の工法

平成21年度に試験施工として実施した補修の工法は、変状とその要因から、耐久性、ひずみ追従性及び防水性の3点に着目して選定した。特に底版と側壁の環境作用の違いに着目し、無機系と有機系を使い分けた。また既設の健全度の高い表面被覆工部の有効利用、たわみ追従性や母材の劣化が進んだ箇所への付着性能の確保に留意した(表-3、図-2)。

表-3 補修工法の選定表

区分	側壁	底版
選定工法	1号水路橋	部分撤去 繊維補強高耐久性 無機系表面被覆工
	3号水路橋	部分撤去及び歪み追従性の対応から無機系の高靱性繊維補強複合材

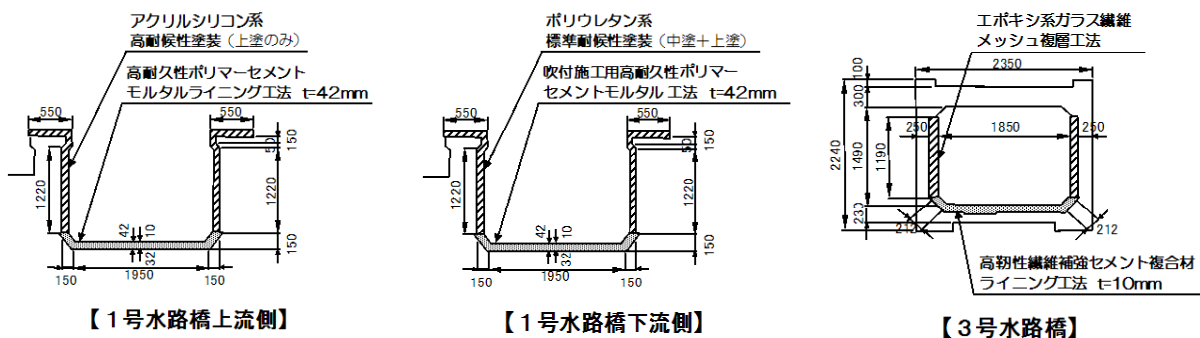


図-2 試験施工の補修工法

表-4 水路橋の経過観測調査項目

区分	材料区分	項目	細目	単位	初期値 (工事時)	調査・データ整理報告年														
						H22		H23		H24		H26	H31	H36						
						0.5年目	1.0年目 (落水後)	1.5年目	2.0年目 (落水後)	2.5年目	3.0年目 (落水後)	5年目	10年目	15年目						
近接目視調査	表面被覆材			区分		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
定点観測	構造本体	定点高さ歪み	レベル測定	区分		○				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		外面全体近接目視	双眼目視	区分		○		○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
現場試験 (定期定点試験)	表面被覆材	付着度試験	建研式付着試験	箇所	○						○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		膜厚測定	超音波式又は針式で測定	箇所	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		すり減り測定	埋め込みピン	箇所	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		摩耗量測定	レーザー測定器による測定	測線	-			○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○
		摩耗量測定	プレート法による測定	箇所	-			○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○
	母材・下地	表面強度	テストハンマー	箇所	○							○	○	○	○	○	○	○	○	○
		コア採取	50mm角形コア	箇所	○							○	○	○	○	○	○	○	○	○
		中性化試験	採取コアでフェノール1%	箇所	○							○	○	○	○	○	○	○	○	○
		超音波伝搬速度試験	採取コアで室内試験測定	箇所								○	○	○	○	○	○	○	○	○
												○	○	○	○	○	○	○	○	○

4. 補修後の経過観測の調査項目

補修後の経過観測は、補修した表面被覆工の有効性を確認し、施工後の劣化状況を監視評価するため、近接目視調査、定点調査(定点高さ歪み、外面全体近接目視調査)、現場試験(付着度強度試験、膜厚測定、すり減り測定、摩耗量測定レーザー測定器、摩耗量測定プレート法)を行ってきた(表-4)。

なお、水路橋は積雪、融雪等の環境作用を受けやすく、経過観察にあたっては環境作用が補修工法に与える影響に留意して調査を実施した(写真-1)。



写真-1 1号水路橋補修後の夏場・冬場状況

今年度は、これまで実施した経過観測の調査項目に加えて、補修が鉄筋コンクリート構造物本体に与える影響を確認するとともに、再補修箇所の付着強度を確認するため現場試験(付着強度試験、表面強度、コア採取、中性化試験、超音波伝搬速度試験)を実施した(表-4)。

5. 経過観測結果

5-1. 近接目視調査

変状の原因究明や表面被覆工法の適合性等の評価を目的として、過年度の近接目視調査により確認された変状箇所を重点監視ポイントと位置づけ、変異の範囲、進行度合及び新たな変状の有無を主に目視・打診等により調査を行い、スケッチに追記して記録した。

各水路橋の重点監視ポイントで劣化進行を確認したところ、1号水路橋で、剥がれの拡大及び、新たに浮き及び、ふくれの発生を確認した(写真-2, 3)。また、3号水路橋においても新たに、ふくれの発生を確認した(写真-4)。

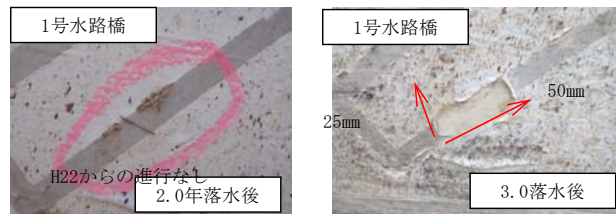


写真-2 はがれ拡大

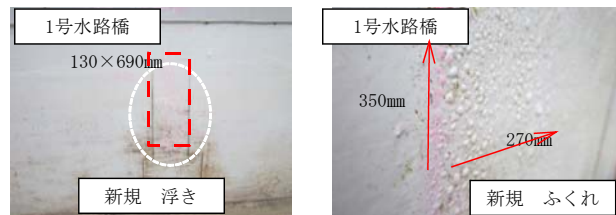


写真-3 新たに確認された 浮き、ふくれ

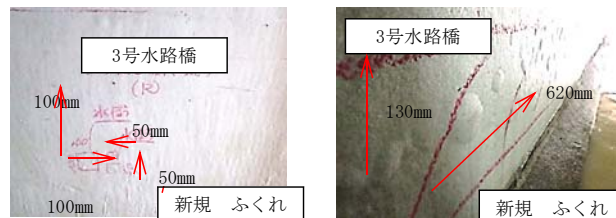


写真-4 新たに確認された ふくれ

1号水路橋の剥がれの拡大は、下地処理を行った箇所で発生しており、再補修時の側壁の下地処理が部分的に不確実であったことによる変状であると推定される。

1号水路橋及び3号水路橋において、新たに見られた浮きや膨れは、周囲にひび割れ等が見られないが、既に3年が経過していることから、初期欠陥以外の別な要因が作用しているものと推定される。

近接目視の結果における変状の多くは南向きの側壁に見られることから、日照条件が影響しているものと推定される。

### 5-2. 定点観測(定点高さ歪み調査～3号水路橋)

試験施工前の調査により、3号水路橋の底版は、中央部でたわみが確認されていたため、表面被覆材が剥離やひび割れることなく水路橋のたわみに追従できるよう、高靱性繊維補強モルタル複合材工法を選定した。

今回の定点高さ歪み調査は、水路橋本体の歪みの進行を過年度と比較し、選定した表面被覆工法が歪みに対して追従出来る範囲にあるかを確認する目的で実施した。

具体的な測定方法は過年度と同じ水準点を用いて水路天端の観測定点の標高を水準測量で確認した。

調査結果より得られた上下流の「たわみスパン比」の値は、過年度とほぼ同等の値であった(表-5、図-3)。また、「たわみスパン比」の値は、鉄筋コンクリート造建築物のたわみ劣化区分表で評価した場合においても劣化度Ⅰ(劣化なし)と評価された(表-6)。

また試験施工による再補修後のスパン長に対する

歪みは、上流で0.02mm下流で0.05mmであり、表面被覆材メーカーが示す引張終局歪みの0.25%を4オーダー程度下回る。また、表面被覆材の高靱性繊維補強モルタル複合材に、ひび割れは確認されなかつことから、底盤の表面被覆材は水路橋本体の歪みに十分に追従できている。

### 5-3. 定点観測(外面全体近接目視～3号水路橋)

水路橋外面から双眼目視で観測し、エフロッセンス、湿性、色調等の劣化進行を記録するとともに、表面被覆工法による内面防水効果の検証を実施した。なお、過年度指定ひび割れを決定していることから、指定ひび割れにも着目し調査を実施した。

目地部及びエフロッセンスに漏水やしみだしは確認されず、全体的に乾燥した状態であった。また、新たな変状もなく指定ひび割れ位置に変化は確認されなかったため、補修対策による内面からの水分を遮断する機能は維持した状態であると判断する(図-4)。

表-5 たわみスパン表

年次	段階	表面被覆再補修工	上流スパン(L=23.5m)		下流スパン(L=20.2m)	
			たわみスパン比	たわみ量	たわみスパン比	たわみ量
平成21年	通水前	実施前	1/530	44.5 mm	1/480	42.5 mm
	Qmax時		1/500	47.0 mm	1/460	43.5 mm
平成22年	通水前	実施後	1/570	41.5 mm	1/480	42.0 mm
	Qmax時		1/550	42.5 mm	1/490	41.5 mm
平成24年	Qmax時		1/530	44.5 mm	1/430	47.0 mm

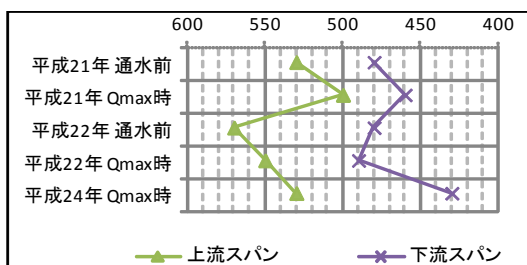


図-3 たわみスパン比の推移

表-6 たわみの劣化度区分表

劣化度	区 分 の 基 準	
	たわみスパン比	ひびわれ幅 (mm)・総長さ (m)
I (なし)	1/300 未満	0.5 未満 かつ 6 未満
II (軽度)	1/200 未満	1.5 未満 かつ 15 未満
III (中度)	1/100 未満	3 未満 かつ 20 未満
IV (重度)	1/100 以上	3 以上 かつ 20 以上

(※出典：鉄筋コンクリート造建築物の耐久性向上技術 p.77 国土開発技術研究センター建築物耐久性向上技術普及委員会)

調査時期	平成22年度調査(0.5年A)	平成23年度調査(2.0年)	平成24年度調査(2.5年B)	平成24年度調査(3.0年)
写 真				
状 況	エフロッセンスにやや湿っぽさは残るが立ち枯れている。	エフロッセンスにやや湿っぽさは残るが立ち枯れている。H22年度調査からの劣化進行は認められない。	エフロッセンスは立ち枯れている状況。H23年度調査からの劣化進行は認められない。	エフロッセンスは立ち枯れている状況。H23年度調査からの劣化進行は認められない。

図-4 定点観測劣化進行記録



### 5-4. 現場試験（付着度試験）

補修した表面被覆工と水路橋本体との付着度を確かめるために付着度試験を実施した。建研式の試験器を使用し、補修した表面被覆工と試験器のアタッチメントを接着させ、周囲をカッターで縁切りした後、試験器で破断させた。（図-5）。

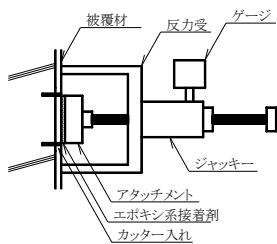
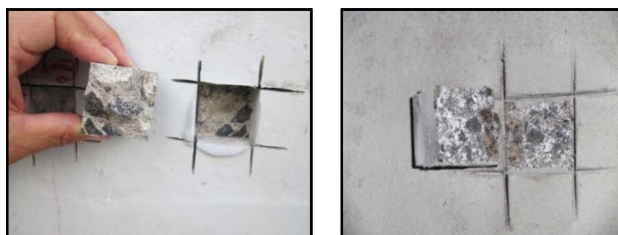


図-5 付着力試験概要図

試験の結果、再補修した表面保護工と水路橋本体との付着面で破断しものは無く、母材以上の強度を有していることを確認した（写真-5）。



1号水路橋

3号水路橋

写真-5 水路橋破断面の状況

### 5-5. 現場試験（摩耗量測定試験）

補修した表面被覆工の摩耗による経年変化量を確認するため、摩耗量測定試験を実施した。

測定方法は、基準点間に鋼尺を渡し、中央部の下がり方をノギスで測定するプレート測定法と測定対象物にレーザー光を照射し数μmの精度で1mm間隔で測定できるレーザー測定法がある。データの信頼性ではレーザー測定法が優れているが、機械が高価で汎用性に乏しいことからプレート測定法でも必要な精度が得られるかを検証するために両方を併用した。

レーザー測定法では、基準点間1,000mmに対して、基準点周辺部の測定誤差を除去するため、中央部の

900mmを有効測定範囲として、900点の平均値を採用した。プレート法では中央部を2点測定し平均値とした。（図-6）

摩耗量の測定結果は、レーザー測定法では平均で年間0.40mm(0.20～0.65mm)の測定結果を得た。

プレート法では平均で年間-0.14mm(-1.09～0.22mm)と膜厚が増加する測定結果となり、レーザー測定法との測定結果と比較して、バラツキが大きく、現時点ではそのまま採用することが出来ず、測定方法の改善、データの蓄積及び分析方法の改善が必要な結果となった（表-7）。

### 5-6. 現場試験（表面強度試験）

水路橋コンクリートの母材強度を測定し水路橋本体の劣化状態を把握するため、シュミットハンマーでコンクリート表面を打撃し反発度からコンクリートの圧縮強度を推定する。

水路内面が表面被覆工を施工していることから、側壁外面から実施した。圧縮強度は、ハンマーの角度、コンクリート表面の乾湿を考慮して補正し求める（写真-6）。



写真-6 シュミットハンマー調査

測定の結果は、何れも設計基準強度の21N/mm<sup>2</sup>以上が認められ、現時点では母材のコンクリート強度は保たれている。

- ・ 1号水路橋上流側 43.1N/mm<sup>2</sup>
- ・ 1号水路橋下流側 39.7N/mm<sup>2</sup>
- ・ 3号水路橋上流側 31.1N/mm<sup>2</sup>
- ・ 3号水路橋下流側 23.1N/mm<sup>2</sup>

今回の調査結果を今後の母材強度低下の進行度合を確認するための初期値し、今後とも継続的に確認を行う事とする。

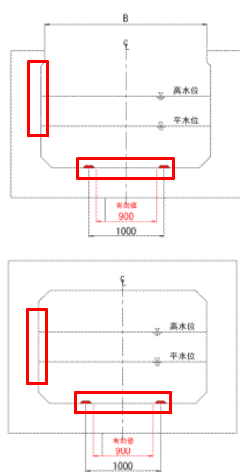


図-6 測定位置図

表-7 レーザー測定法結果

測定位置 調査番号	1号橋-上流側-底版 01-S1		1号橋-上流側-側壁 01-S2		1号橋-下流側-底版 02-S1		1号橋-下流側-側壁 02-S2	
	2.0年 (落水後)	3.0年 (落水後)	2.0年 (落水後)	3.0年 (落水後)	2.0年 (落水後)	3.0年 (落水後)	2.0年 (落水後)	3.0年 (落水後)
調査時期	2.0年 (落水後)	3.0年 (落水後)	2.0年 (落水後)	3.0年 (落水後)	2.0年 (落水後)	3.0年 (落水後)	2.0年 (落水後)	3.0年 (落水後)
測定日	H23.9.26	H24.9.21	H23.9.26	H24.9.21	H23.9.26	H24.9.21	H23.9.26	H24.9.21
高低差	-3.68	-3.97	-8.74	-8.94	-9.86	-10.30	-5.09	-5.48
摩耗量	レーザー法	0.30	レーザー法	0.20	レーザー法	0.44	レーザー法	0.39
	プレート法	0.22	プレート法	-1.09	プレート法	0.04	プレート法	0.22

測定位置 調査番号	3号橋-上流側-底版 03-S1		3号橋-上流側-側壁 03-S2	
	2.0年 (落水後)	3.0年 (落水後)	2.0年 (落水後)	3.0年 (落水後)
調査時期	2.0年 (落水後)	3.0年 (落水後)	2.0年 (落水後)	3.0年 (落水後)
測定日	H23.9.26	H24.9.21	H23.9.26	H24.9.21
高低差	-6.40	-7.03	-10.69	-10.27
摩耗量	レーザー法	0.64	レーザー法	0.41
	プレート法	0.09	プレート法	-0.33

表-8 水路橋の中性化深さ測定結果表

位置	測定箇所							平均	備考
	測定位置	コアによる中性化深さ							
		番号① mm	番号② mm	番号③ mm	番号④ mm	番号⑤ mm	番号⑥ mm		
1号水路橋 上流側	左岸側壁 気中部	0	0	0	0	0	0	0.00	
1号水路橋 上流側	右岸側壁 水中部	0	0	0	0	0	0	0.00	
1号水路橋 上流側	底版	0	0	0	0	0	0	0.00	
1号水路橋 下流側	左岸側壁 水中部	0	0	0	0	0	0	0.00	
1号水路橋 下流側	右岸側壁 気中部	0	0	0	0	0	0	0.00	
1号水路橋 下流側	底版	0	0	0	0	0	0	0.00	

位置	測定箇所							平均	備考
	測定位置	コアによる中性化深さ							
		番号① mm	番号② mm	番号③ mm	番号④ mm	番号⑤ mm	番号⑥ mm		
3号水路橋 上流スパン	左岸側壁 水中部	0	0	0	0	0	0	0.00	
3号水路橋 上流スパン	右岸側壁 気中部	24.31	11.03	16.87	20.36	26.27	28.38	21.20	
3号水路橋 上流スパン	底版	0	0	0	0	0	0	0.00	
3号水路橋 下流スパン	左岸側壁 気中部	13.25	10.26	9.51	17.05	17.73	15.12	13.82	
3号水路橋 下流スパン	右岸側壁 水中部	0	0	0	0	0	0	0.00	
3号水路橋 下流スパン	底版	0	0	0	0	0	0	0.00	



1号水路橋上流側左岸壁気中部



3号水路橋上流側右岸壁気中部

写真-7 水路橋の中性化深さ測定

は維持されているものと判断する。(表-8 写真-7)。

5-8. 超音波伝搬速度試験

水路橋コンクリート本体の表面被覆工による凍害の抑制効果を把握するために超音波伝搬速度測定試験を行った。

十分に硬化したコンクリート中の超音波伝搬速度は配合や設計強度にもよるが、コンクリートにおける弾性波伝搬速度は縦波(P波)が最も早く、通常のコンクリートで4.0~4.5km/s、横波(S波)と表面波はほぼ同じで2.5~3.0km/s程度である。

凍害によりコンクリートの組織が損傷すると、弾性係数が低下するため、コンクリート内部を伝播する弾性波の速度が低下する。このことを利用して、超音波測定器により伝播する音速を10mm間隔で深度毎に測定することにより凍害の影響範囲を推定した(図-8, 写真-8)。

5-7. 現場試験 (中性化試験)

水路橋コンクリートの母材について、表面被覆工施工後のCO<sub>2</sub>の遮断性と中性化の抑制効果を測定する為にコンクリートコアを採取し、中性化試験を行った。

採取したコア供試体を割裂した表面にフェノールフタレン1%溶液を噴霧し、コンクリートと表面から赤着色分までの距離をノギス、スケール等を用いて測定する。測定は、ノギスあるいはスケールを用いて少なくとも0.5mm単位まで求め、等間隔に6箇所測定し、平均値を小数点以下1桁mm単位で求め当該箇所の中性化深さとする(図-7)。

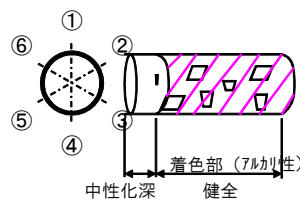
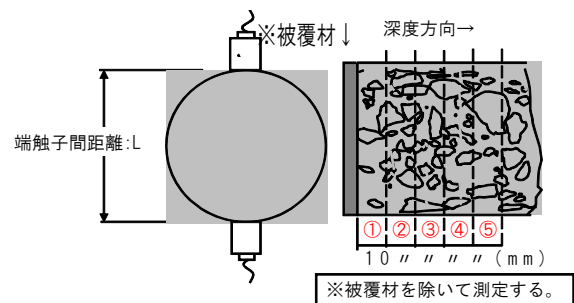


図-7 中性化試験判定図

1号水路橋の中性化深さは、0mmであった。

3号水路橋では、の上流側右岸壁と下流側左岸壁において、中性化(深さ10mm以上~29mm以下)が認められたが、それ以外の位置では0mmであった。補修工事の表面被覆工の下地処理として、コンクリート表面を2mm程度の除去していたが、今回、中性化が認められた位置においては、施工以前に施設の中性化が、それより深くまで進行しており、完全に中性化部を除去できなかったため確認されたと推定される。

以上のことより、被覆工による中性化の抑制効果



$V_p = L / t$  ここで、

$V_p$  : 超音波伝播速度 (m/sec)  
 $L$  : 端触子間距離 (m)  
 $t$  : 超音波伝播時間 (sec)

図-8 超音波伝播速度測定のご概念図

表-9 超音波伝達速度試験結果

供試体No.	項目	測点(測定深度:mm)										(参考1)
		測点1 (0-10)	測点2 (10-20)	測点3 (20-30)	測点4 (30-40)	測点5 (40-50)	測点6 (50-60)	測点7 (60-70)	測点8 (70-80)	測点9 (80-90)	測点10 (90-100)	1~10 平均値
1号水路橋 上流側 左岸側壁 (気中部)	測定値: t (μs)	1回目	35.5	34.4	33.7	33.1	33.6	33.9	34.2	33.4	33.7	34.0
		2回目	34.7	34.4	33.7	33.2	33.5	34.0	34.0	34.1	33.6	33.9
		平均値	35.1	34.4	33.7	33.2	33.6	34.0	34.0	34.2	33.5	33.7
	伝播速度: Vp (m/s)	2,849	2,907	2,967	3,017	2,981	2,946	2,941	2,928	2,985	2,967	2,949
	動弾性係数: Ed (N/mm <sup>2</sup> )	16,802	17,493	18,227	18,837	18,390	17,959	17,907	17,750	18,445	18,227	18,004

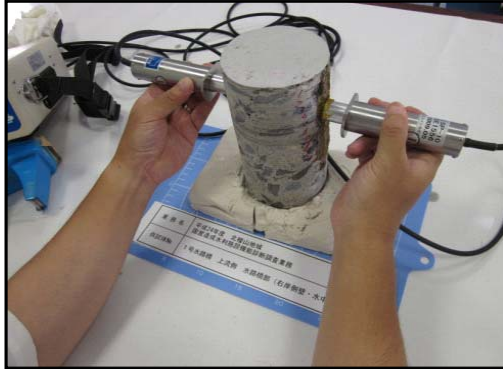


写真-8 超音波伝播速度測定試験

表-10 超音波伝達速度試験結果

調査位置		伝搬速度 (m/s)	動弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	備考
1号水路橋 上流	右岸側壁	2,875	17,120	
	底版	2,949	18,011	
	左岸側壁	2,949	18,004	
1号水路橋 下流	右岸側壁	2,847	16,780	
	底版	2,977	18,356	
	左岸側壁	2,958	18,120	
3号水路橋 上流	右岸側壁	2,718	15,304	
	底版	2,811	16,365	
	左岸側壁	2,810	16,353	
3号水路橋 下流	右岸側壁	2,843	16,729	
	底版	2,834	16,638	
	左岸側壁	2,841	16,711	

※表は1~100mmの各測定結果の平均値である。

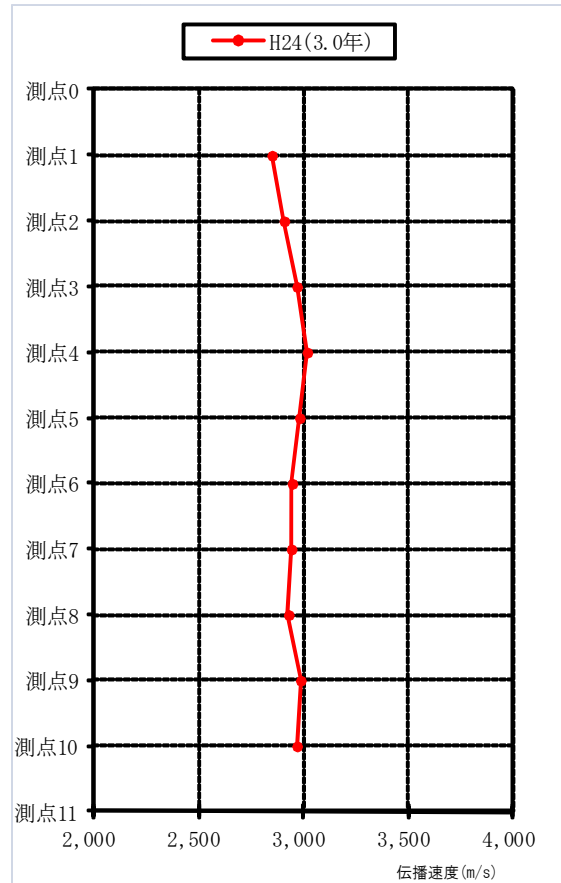


図-9 超音波伝播速度測定試験

全12供試体のうち9供試体は、表面付近(0-10mm)で速度低下を示す結果である(表-9, 図-9)。超音波速度測定器の測定精度は、250mm計測で±0.3 μs(100mmで±0.12 μs)の精度を持ち、今回の測定結果を考慮すると±1.0 μsを上回っていることから測定誤差によるものではないと思われる。

しかし、材料及び施工時の締固め時の不均一性の場合においても伝搬速度は変化する。今回の結果、伝搬速度が上昇したり低下したりとバラツキが多いことから、圧縮強度は全て21N/mm<sup>2</sup>を超えているが、母材コンクリート施工時に適正な材料の配合及び、締固めを行っていても、品質の不均一が発生することが影響していると推測される(表-10 図-9)。

今回の試験結果では、顕著な伝播速度低下が確認されていないことは凍害要因の1つのコンクリートへの水分移動が表面被覆工により遮断されているためであり、表面被覆工による凍害の抑制効果は発揮されていると判断できる。

## 6. 今後の水路橋の長寿命化に向けて

水路橋では内面表面補修工法の耐久性評価のほか、本体母材コンクリート構造の耐久性評価も併せて行うことが、施設の構造安全性の確保を図り社会的影響リスクを低減する上で必要不可欠である。

このため、今後も構造本体と表面補修工の両面について監視を行い、再補修の長寿命化技術の有効性を検証して行きたいと考えている。