事例報告

水路劣化の簡易な判定手法による洗浄圧概定及びプライマー有無と付着強度

ライト工業株式会社　岸田　久徳，二見　肇彦，塩田　克郎

1. はじめに

農業用水路の補修工事に特有の下地処理工では，付着強度の品質規格値である1.0N/mm^{2}以上[1)]を満足するウォータージェット（以下，WJ）の洗浄圧を決定しなければならない。この洗浄圧は下地処理工における現場試験施工により決定するが，洗浄後の付着強度試験により品質規格値を満足するまで洗浄圧を高めていくこととなり，何度も（超）高圧洗浄機を入れ替えることが必要となるため不経済であることと工期のロスが生じる。そこで，水路の劣化度合いの指標として水路表面の凹凸度合いやテストハンマー強度を用いて洗浄圧を概定する手法を検討した。

凹凸度合いの測定はデジタルフォトグラメトリ（以下，写真測量）によって簡易に測定可能か，実績の多いレーザー測定器との比較を行い検証した。

併せて，WJ による下地処理後の目荒らし効果（噛み合わせの良い凹凸状態）が表面被覆材の付着強度に有効に作用すると考え，プライマー無しでも付着強度の規格値を満足するか現場試験した。

2. 試験前の水路底版状態確認

試験対象とした農業用水路の概要を表－1に，断面を図－1に，着工前の状態を写真－1に示す。

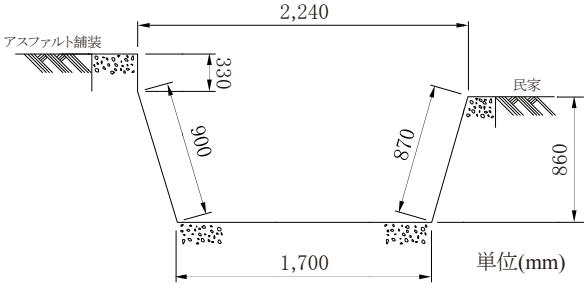
H 水路は香川県に位置し，施工後 50 年以上を経過した現場打ちコンクリート製三面張り開水路である。

後述するように個々の水路の置かれている状態によって，本報で求めようとしている劣化度と必要洗浄圧の関係が異なってくる。そこで本水路はどの程度劣化が進んでいるか，先ずは水路底版を試験してみた。

農業用水路を構成するコンクリートは，長期間水に曝される環境にあるため，これに起因するカルシウムの溶脱などのコンクリートの表層劣化現象が報告されており[2)]，カルシウムが溶脱すると，溶脱した部分が脆弱になることが知られている[3)]。側壁より底版の方が溶脱が大きいと言われており，水路底版より円柱コア供試体を採取して電子線マイクロアナライザー（EPMA）によって，水路底版表層部におけるカルシウムの溶脱と併せて硫黄の集積の状況確認を実施した。写真－2は，EPMA 分析に用いた試料である。図－2に示した EPMA 分析結果から当該水路では底版部のカルシウム溶脱が進み，表面部分はほぼ0%となっていることが分かる。

表－1　試験対象水路の概要

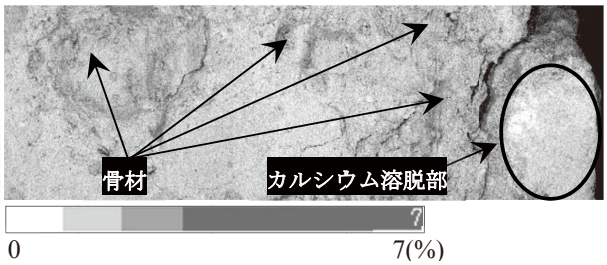
水路名	構造・形式	建設年
H水路	現場打ち コンクリート製三面張り水路	昭和35年前後



図－1　H 水路断面図

写真－１　H 水路着工前の状態

写真－２　EPMA 分析に用いた試料
（表紙の裏にカラーで掲載）



図－２　カルシウム濃度分析結果
（表紙の裏にカラーで掲載）

3. 試験手順・方法

現場試験のための工事は 2012 年 4 月中旬～下旬にかけて実施した。以下，図－ 3 に示す現場にて実施した試験の順序に従って，その方法等を説明する。

(1) 水路底版の清掃

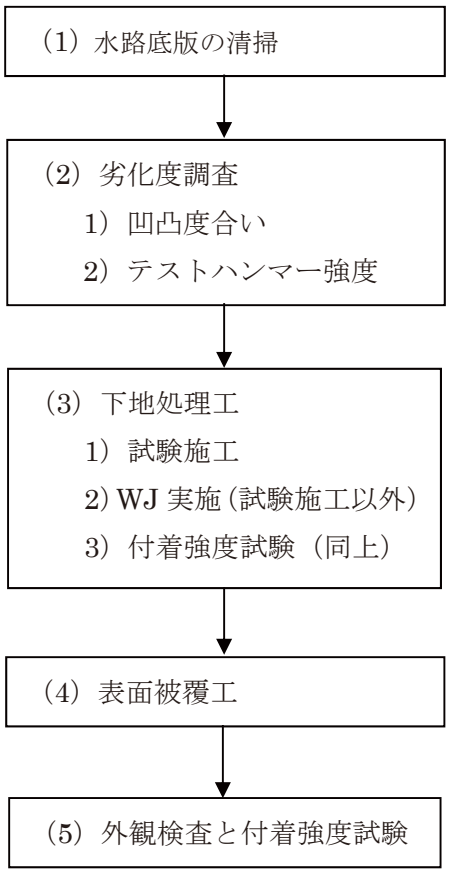
側壁は清掃しなくても劣化度調査に耐えうる状態であったので，藻や泥などが堆積している水路底版だけを洗浄機（30MPa）を用いて，いわゆる水洗いした。

(2) 劣化度調査

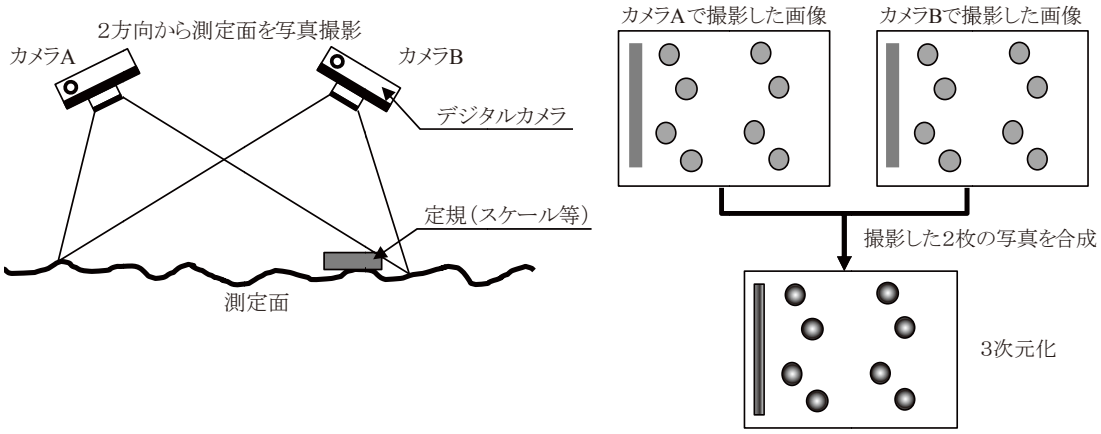
1) 凹凸度合い

先ずは写真測量を実施した。これは，母材の凹凸度合いを写真測量により簡易に測定可能か試みたものである。写真測量とは，ステレオ画像方法による 3 次元のモデル化を図るものである。ここでは，回転式レーザー測定器による方法との比較により精度を確認した。

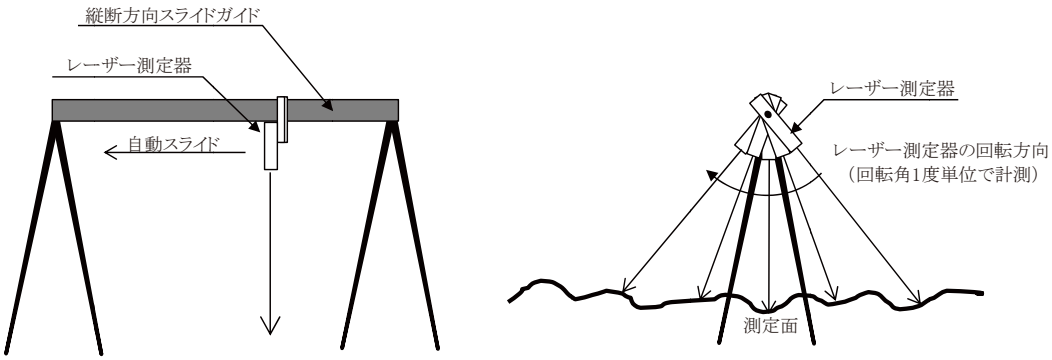
回転式レーザー測定器による方法（以下，レーザー測定）とは，三脚に渡したスライドガイド上



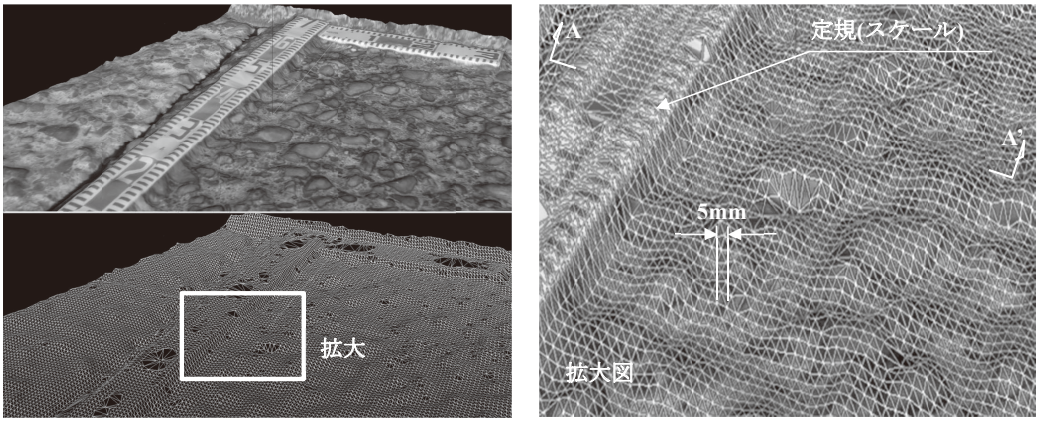
図－３　試験手順



図－４　写真測量による測定方法



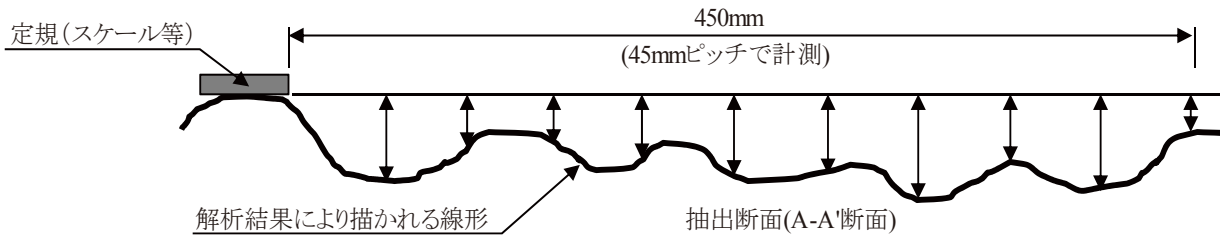
図－５　回転式レーザー測定器による測定方法



図－６　解析メッシュ模式図
（表紙の裏にカラーで掲載）

に回転式レーザー測定器を走行させて凹凸度合いを測定するものである。現在，三面張り水路及びトンネルなどの凹凸量調査や出来形計測に採用されている。

図－４に写真測量による測定方法の模式図を，図－５にレーザー測定の模式図を示す。写真測量によって，より精度の高い再現を行うには，三角網内挿処理の際のメッシュ間隔をできるだけ細かく設定することが望ましい。しかし，メッシュ間隔を縮小することにより解析処理に時間を有するため，撮影の際に解析始点の目印のために置く定規の原型確認が可能な最低メッシュ間隔とし，本件においては，図－６に示すように5mmメッシュで解析を試みた。ここでの凹凸量とは，図－７に示す写真測量又はレーザー測定によって再現されたコンクリート面に対して，ある断面における写真内の定規の端点から延伸させた水平線より差分によって求めたものである。



図－７　凹凸量の定義

2）テストハンマー強度

テストハンマー強度は，水路コンクリートの表層強度の目安として算出したもので，「硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法(JSCE-G504)」により，20 点の反発値から求めた見かけ上の圧縮強度である。

(3) 下地処理工

1）試験施工

下地処理工の現場試験施工による付着強度の品質規格値は次のように規定されている[1)]。

側壁：1 部位 3 点の付着強度は，それぞれ 1.0N/mm^2 以上。

底版：1 部位 3 点の付着強度の平均値は 1.0 N/mm^2 以上。かつ，個々の値は 0.85 N/mm^2 以上。

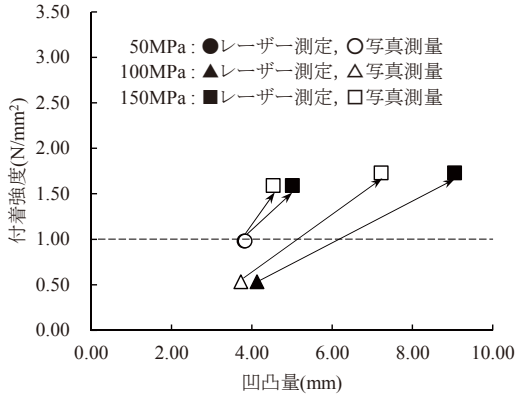
この規格値を満足する洗浄圧を確認するため，50MPa，100MPa，150MPa の計 3 パターンの WJ を 1m^2 当たりの掃射時間を 4 分，噴射ノズルと処理面との離隔を 100mm の一定条件で実施した。付着強度は建研式接着力試験器で測定した。下地処理工の施工前に実施した劣化度調査結果，及びその劣化度調査個所を所定の洗浄圧で下地処理したときのコンクリート付着強度の試験結果を表－ 2 に示す。

結果として，左右の側壁とも 50MPa で十分規格値を満足したが，底版部は 150MPa でないと満足することができなかった。そこで，底版部の 50MPa と 100MPa で洗浄した部位を再度 150MPa で洗浄した。その結果は図－ 8 に示すように 50MPa の時の付着強度 0.98 N/mm^2 及び 100MPa の時の付着強度 0.53 N/mm^2 の全部が 1.50N/mm^2 以上となり，十分規格値を満足した。なお，この再処理部の凹凸量を再度測定したところ，当然のことながら底版表面の凹凸量が増している（図－ 8 参照）。

表－２　試験施工における付着強度試験結果

部位	劣化度調査結果			試験施工結果					
	テストハンマー強度 (N/mm^2)	凹凸量(mm)		洗浄圧 (MPa)	付着強度(N/mm^2)				破断位置
		レーザー測定	写真測量		①	②	③	平均	
側壁(L)	29.80	2.52	2.04	50	2.51	2.64	1.96	2.37	①, ②, ③: 母材
	29.64	1.90	1.54	100	1.48	1.42	1.06	1.32	①, ②, ③: 母材
	26.36	1.33	1.47	150	1.61	1.37	1.85	1.61	①, ②, ③: 母材
側壁(R)	28.52	3.26	2.30	50	1.18	1.19	2.94	1.77	①, ②, ③: 母材
	29.40	1.79	2.17	100	1.84	1.03	1.76	1.54	①, ②, ③: 母材
	28.24	2.26	2.65	150	2.09	1.16	2.01	1.75	①, ②, ③: 母材
底版	13.27	3.81	3.83	50	1.58	0.86	0.51	0.98	①, ②, ③: 母材
	15.60	4.13	3.73	100	0.56	0.64	0.39	0.53	①, ②, ③: 母材
	12.58	3.60	2.89	150	1.16	0.93	1.03	1.04	①, ②, ③: 母材

※ 側壁の場合，①：上部，②：中部，③：下部



図－８　150MPa の WJ で再処理した際の付着強度と凹凸量 (底版)

2）WJ 実施

試験区間の全延長は 9.6m であり，試験施工（L = 3.6m）以外の残部分（L = 6.0m）の下地処理工としての高圧洗浄は次のようにした。

試験施工の結果，側壁は 50MPa でも付着強度 1.0 N/mm^2 以上を確保できたが，この後の表面被覆工におけるプライマーの有無別及び塗布方法の左官又は吹付の違いによる比較において，洗浄圧の違いがどの程度影響するか確認するために側壁は 50MPa，100MPa，150MPa の計 3 パターンで WJ を実施した。

底版部については規格値を満足する洗浄圧 150MPa だけとした。

3）付着強度試験

試験施工以外の残部分における下地処理工の施工前に実施した劣化度調査結果，及びその劣化度調査個所を所定の洗浄圧で下地処理したときのコンクリート付着強度の試験結果を表－ 3 に示す。全ての部位において，下地処理工の付着強度の品質規格値を満足している。

（4）表面被覆工

大多数の無機系表面被覆工法は，通常プライマーを用いている。しかし，プライマーを塗布しなくても施工可能な無機系被覆材も多いと考えられる。つまり，品質規格値を満足する付着強度を得られると考えられる。それは，プライマーは，一般的に接着材と呼ばれているが，その機能の他に主要用途としては，無機系被覆材のモルタル中水分が母材コンクリートに浸透するのを防ぐために用いる。つまり，モルタル中の水分が母材に吸収され乾いてしまい，十分反応せず固化してしまうことを防ぐものであり，吸水調整材とも言われている。したがって，プライマーの代わりに水湿しをしてからモルタルを被覆することも可能なためである。特に（超）高圧洗浄による母材表面の目荒らし効果がある状態においては尚更であると考えられる。

そこで，プライマーの有無により，どのような違いが出るか試験することにした。

プライマー（CE35）を使用する区間では施工面の表面水分率を高周波容量式水分計にて 5% 未満であることを確認し，プライマーを使用しない区間では十分な水湿しを行った。その後，ポリマーセメントモルタルにビニロン短繊維を混入した無機系被覆材であるハイパーモルタル（RP-1）を左官及び吹付で塗布した。塗布厚は側壁と底版でそれぞれ最低 6mm と 10mm とした。その後，表面仕上げ材（RP フィニッシャー）を RP-1 の

表－３　試験施工以外の残部分における付着強度試験結果

部位	劣化度調査結果			WJ実施結果					
	テストハンマー強度 (N/mm^2)	凹凸量(mm)		洗浄圧 (MPa)	付着強度(N/mm^2)				破断位置
		レーザー測定	写真測量		①	②	③	平均	
側壁(L)	30.20	1.87	1.08	50	1.54	2.02	2.76	2.10	①, ②, ③: 母材
	29.40	1.14	1.67	100	3.64	2.54	2.56	2.91	①, ②, ③: 母材
	26.06	3.06	2.98	150	2.39	1.39	2.05	1.94	①, ②, ③: 母材
側壁(R)	28.00	1.59	1.54	50	1.31	2.62	1.46	1.79	①, ②, ③: 母材
	30.05	3.08	2.62	100	1.93	1.57	2.24	1.91	①, ②, ③: 母材
	27.00	2.63	1.86	150	3.15	1.04	3.12	2.43	①, ②, ③: 母材
底版	12.54	8.87	5.38	150	1.04	1.21	1.69	1.31	①, ②, ③: 母材

※ 側壁の場合，①：上部，②：中部，③：下部

表－４　試験に供した無機系被覆材（RP-1）の性能諸元

品質項目	物性値 (試験値)	試験方法	
中性化深さ	1.0mm	JIS A1153	4週経過後の 中性化深さ
付着強度	2.77N/mm^2	JSCE-K561	標準条件
	3.29N/mm^2		多湿条件
	1.92N/mm^2		低温条件
	2.60N/mm^2		水中条件
	2.75N/mm^2		乾湿繰返し条件
	2.01N/mm^2		温冷繰返し条件
摩耗深さ	平均 摩耗深さ比： 1.06 以下	表面被覆材の 水砂噴流 摩耗試験(案)	水砂噴流摩耗試験10時間経過後の平均摩耗深さと標準供試体の摩耗深との比較(材齢28日)
圧縮強度	38.1N/mm^2	JSCE-K561	4週経過後の圧縮強度 (温度 23±2℃, 湿度 50±5%で養生)
長さ変化率	0.04%	JIS A1129	脱型後28日後の 長さ変化率
相対動 弾性係数	102%	JIS A1148 (A法)	300サイクル後の 相対動弾性係数
粗度係数	0.010以下	広島大学実験水路にて測定	
透水量	4.0g	JIS A6203	

粗仕上げ後に速やかに散布し，コテにて表面を仕上げた。

表－４に RP-1 の性能諸元を示す。

(5) 外観検査と付着強度試験

施工後の検査は，①28日後と②1年後に行った。外観検査については目視及び打音検査によりひび割れや浮きの有無等の状態確認を行った。付着強度試験については両側壁と底版において，洗浄圧別，プライマー有無別及び塗布方法別に１箇所３点ずつ測定し，平均した。

4. 試験結果の分析・考察

(1) レーザー測定との比較による写真測量の精度検証

写真測量とレーザー測定による凹凸量について比較した結果を図－９に示す。底版においてばらつきが認められるものの概ね合致していた。底版でばらつきが生じたのは，凹凸量が大きく図－７における解析結果により描かれる線形の上下の振れ幅が大きく傾斜が急になったためである。つまり，5mm メッシュでは十分に追従できず再現精度が荒いためである。このような場合は，より細かいメッシュ間隔とする必要のあることが分かった。

(2) 下地処理工の洗浄圧概定検討

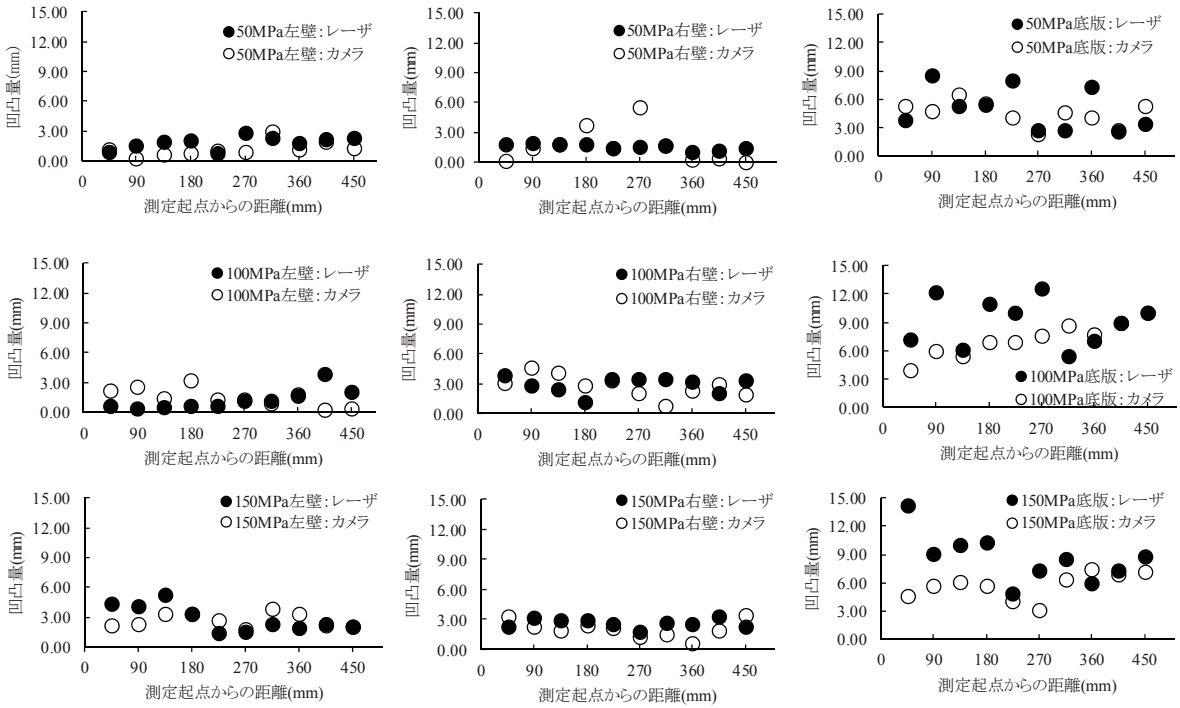
表－２の試験施工時のものとここではデータ数を増やして精度を上げるため，表－３の試験施工以外の部分のデータをも用いて分析する。付着強度と凹凸量との関係を図－ 10 にテストハンマー強度との関係を図－ 11 に示す。なお，凹凸量のデータとしては写真測量とここではより精度を上げて分析できるようレーザー測定によるものも合わせて示す。

両図及び表－２と表－３より次のことが言える。

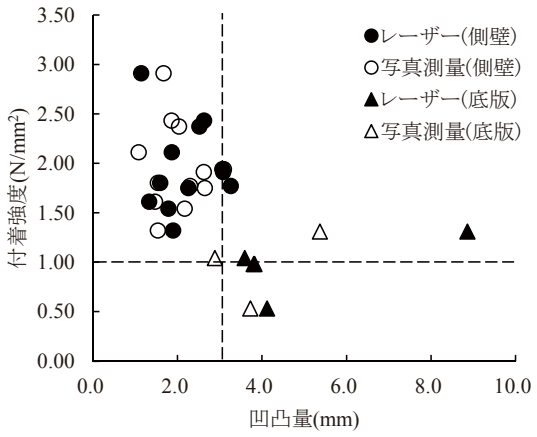
①側壁は，水路表面の凹凸量概ね 3.0mm 未満，テストハンマー強度 25N/mm^2 以上で，付着強度は全て 1.00N/mm^2 以上であった。

②底版は，水路表面の凹凸量概ね 3.0mm 以上，テストハンマー強度概ね 15N/mm^2 未満で，付着強度は全て 1.00N/mm^2 未満であった。このような場合は，150MPa の超高圧水洗浄を行うことにより 1.00N/mm^2 以上の付着強度を確保できた。

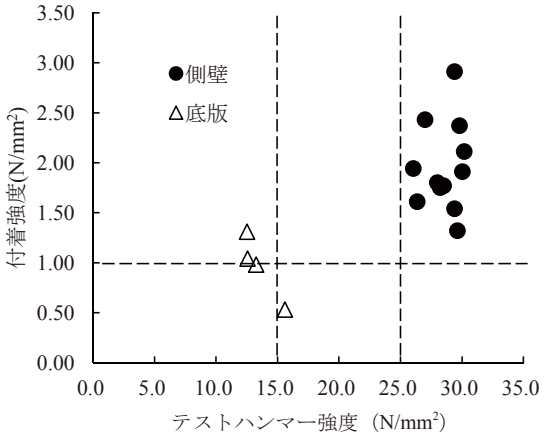
したがって，水路表面の劣化度から品質規格値を満足する洗浄圧を概定する方法としては，側壁と底版では劣化度が異なるため，それぞれ分けて検討設定する必要がある。



図－９　写真測量とレーザーによる凹凸量の測定結果比較



図－ 10　凹凸量と付着強度の関係



図－ 11　テストハンマー強度と付着強度の関係

(3) 表面被覆の検査結果

1) 材齢 28 日

表面被覆工完了 28 日後に打音及び外観目視検査をしたところ，割れ，浮き，剥がれ等の問題は生じていなかった。

表－ 5 に表面被覆完了 28 日後の付着強度試験結果を示す。なお，これまでの試験結果から側壁の左右岸の付着強度に大差ないことから右岸だけ試験した（ただし，吹付けのプライマー不塗布だけは左岸）。

付着強度は，部位，洗浄圧及び施工方法の違いに関わらず，またプライマーの有無にも関わらず全て 3 点の平均値が 1.70N/mm^2 以上となった（無機系表面被覆工の付着強度に関する品質規格値は 1.00 N/mm^2 以上[1)]）。洗浄圧及び施工方法の違いによる付着強度の値に明らかな差はなかったが，プライマーの有無で若干の差が出ている。プライマー塗布の全平均値が 2.42N/mm^2 で不塗布の場合は 1.99N/mm^2 と，プライマー塗布の方が不塗布に比べ 1.22 倍高い。換言すれば，プライマー不塗布の場合は塗布した場合より約 18％付着強度が低くなった。

表－５　表面被覆完了 28 日後の付着強度試験結果

部位	洗浄圧 (MPa)	施工方法	プライマー塗布					プライマー不塗布				
			付着強度(N/mm²)				破断位置	付着強度(N/mm²)				破断位置
			①	②	③	平均		①	②	③	平均	
側壁	50	左官	1.96	2.68	2.09	2.24	①, ②, ③:界面	1.50	2.26	1.87	1.87	①:母材②, ③:界面
		吹付	2.77	3.23	1.99	2.66	①, ②:母材③:界面	2.11	2.05	1.63	1.93	①, ②, ③:母材
	100	左官	2.93	1.75	2.39	2.35	①, ②, ③:界面	2.29	2.01	1.59	1.96	①, ②, ③:界面
		吹付	2.65	2.79	2.53	2.65	①, ②, ③:母材	2.68	2.20	1.59	2.15	①, ②, ③:母材
	150	左官	3.10	1.57	2.61	2.42	①, ②, ③:界面	2.23	2.68	2.13	2.34	①:界面②, ③:母材
		吹付	1.85	3.45	3.77	3.02	①:母材②, ③:界面	1.84	1.99	1.48	1.77	①, ②, ③:母材
底版		左官	2.24	2.32	1.39	1.98	①, ②, ③:界面	1.70	2.08	1.59	1.79	①, ②, ③:界面
		吹付	1.84	2.03	2.35	2.07	①, ②, ③:界面	1.79	2.08	2.36	2.07	①, ②, ③:界面

※ 側壁は右岸の場合（吹付けのプライマー不塗布だけは左岸），① ：上部，② ：中部，③ ：下部

2）一年後

表面被覆工完了約 1 年経過後に再検査した。この間に春の通水，夏期の高温，秋の落水，冬期の寒冷を経たことになる。打音及び外観目視検査結果において，変状等は見受けられなかった。付着強度試験は，その値が若干低い方のプライマー不塗布区間についてだけ実施した。表－ 6 に表面被覆完了 1 年後の付着強度試験結果を示す。表－ 6 から，通・断水を繰り返した 1 年後であっても，品質規格値を十分満足する 1.70N/mm² 以上の付着強度となっており，その他の変状も見受けられなかったことから，いわゆる初期欠陥は見受けられずプライマーを使用しなくとも十分であることが明らかとなった。なお，材齢 28 日と 1 年後の付着強度の値には，大差がなかった。

表－６　表面被覆完了 1 年後の付着強度試験結果（プライマー不塗布）

部位	洗浄圧 (MPa)	施工方法	付着強度(N/mm²)				破断位置
			①	②	③	平均	
側壁	50	左官	1.91	1.97	1.28	1.72	①, ②, ③:母材
		吹付	2.35	1.43	1.46	1.74	①, ②, ③:母材
	100	左官	3.19	2.69	1.82	2.56	①, ②, ③:母材
		吹付	1.17	2.45	1.73	1.78	①, ②, ③:母材
	150	左官	3.35	2.30	2.08	2.57	①, ②, ③:母材
		吹付	1.83	1.83	2.78	2.14	①, ②, ③:母材
底版		左官	2.78	1.80	2.20	2.26	①, ②, ③:界面
		吹付	1.56	1.49	2.12	1.72	①, ②, ③:界面

※ 側壁（左岸）の場合，① ：上部，② ：中部，③ ：下部

5. まとめ

①デジタルカメラを用いた写真測量で簡易に水路表面の凹凸度合いを測定できることを確認した。

②写真測量による水路表面の凹凸量又はテストハンマー強度と，下地処理工における洗浄圧の違いによる付着強度との関係を調べた。この予め調査した水路表面の劣化度（凹凸量又はより簡易に求められるテストハンマー強度）に対する付着強度の品質規格値を満足する洗浄圧は，劣化度が異なる側壁と底版では大きく異なることとなった。ちなみに本事例では，側壁は凹凸量概ね 3.0mm 未満，テストハンマー強度 25N/mm² 以上であり，下地処理工の洗浄圧は 50MPa で十分であった。一方，底版は凹凸量概ね 3.0mm 以上，テストハンマー強度概ね 15N/mm² 未満となり，下地

処理工の洗浄圧は150MPaを必要とした。しかし，ここで得られた結果は，当該水路における一事例であり普遍的なものとは言えない。今後データを積み重ね，この劣化度に対応する洗浄圧概定手法を深められたらと考えている。

③本試験に用いた無機系被覆材においては，プライマーを用いなくても水湿しすることで，プライマー塗布よりも付着強度は若干低いものの表面被覆工の品質規格値を十分確保できることが示された。

最後に，本試験に際しご協力いただいた現地の皆様に深く感謝の意を表する。

引用文献

1）一般社団法人　農業土木事業協会：平成 24 年度版農業水利施設補修工事品質管理士講習会テキスト【開水路編】，pp116 と 173
2）石神暁郎ほか：農業用水路コンクリートに生じる摩耗現象と促進試験方法に関する検討，コンクリート工学年次論文集，27（1），pp.805 − 810（2005）
3）斎藤裕司ほか：材料と配合の相違が電気化学的促進手法によるモルタルの変質性状に及ぼす影響，土木学会論文集，564，V-35，155-168（1997）