

# 橋梁洗浄技術の開発

～ 橋梁の長寿命化を目指した維持管理 ～

Bridge Washing Study

越後 滋  
Shigeru ECHIGO

川田工業(株)技術開発本部長

枝元 勝哉  
Katsuya EDAMOTO

川田工業(株)技術開発本部技術開発室室長

勝俣 盛  
Mori KATSUMATA

川田工業(株)技術開発本部技術開発室

磯 光夫  
Mitsuo ISO

㈱橋梁メンテナンス技術部開発課課長

小松 和憲  
Kazunori KOMATSU

㈱橋梁メンテナンス技術部開発課

渡辺 喜紀  
Yoshinori WATANABE

㈱橋梁メンテナンス技術部開発課

本論文の目的は、凍結防止剤の散布と飛来海塩粒子の多い積雪寒冷地の海岸沿いに架設された橋梁において、腐食の促進因子の1つで、主桁に付着する主に塩分の付着性状を把握し、洗浄などの除去方法の検討および付着物質について分析することである。その方法は、海岸線よりおよそ300 m離れ、塗替え後およそ8年が経過した橋梁において主桁の付着塩分性状と汚れに関する基礎的な洗浄実験を行うとともに、海岸沿いに架設された代表的な橋梁を選定して濁水を採取し、成分分析を行った。また、海の波しぶきが直接橋梁に付着したきびしい条件を想定して供試体を作成し、高圧水を用いて塩分除去実験を行った。その結果、主に塩分を除去するための方法と濁水処理方法について把握することができた。

キーワード: 橋, 洗浄, 付着塩分, 汚れ, 濁水

## 1. はじめに

我が国には15 m以上の橋梁が約13万橋あり、寿命を50年とすると、橋の架替えが毎年2 600橋発生する可能性がある。本格的な少子高齢化社会に突入しようとしている我が国にとっては、極めて大きな負担になることは確実であるため、長期にわたり維持管理していくことが重要である。橋梁の長寿命化を図るためには、損傷の一つである腐食を防止するために橋梁に付着した塩分や汚れを橋梁洗浄などにより除去することもたいせつである。特に塩分は、潮解作用によって大気中の水分を吸収することから鋼材表面の湿潤時間を長くし、水分の影響による塗膜の劣化を著しく促進させる。そのため塩分除去は塗膜の延命に必要不可欠であるとも言われている。

そこで、筆者らは橋梁の長寿命化を図るために、凍結防止剤の散布と飛来海塩粒子の多い積雪寒冷地の海岸沿いに架設された鋼橋において、腐食の原因となる主桁に付着する主に塩分の付着性状を把握し、洗浄などの除去方法および濁水処理方法について検討した。本文は、その結果について述べるものである。

## 2. 洗浄と濁水処理方法の検討

### (1) 実橋洗浄実験

腐食の促進因子の1つで、主桁などに付着する主に塩

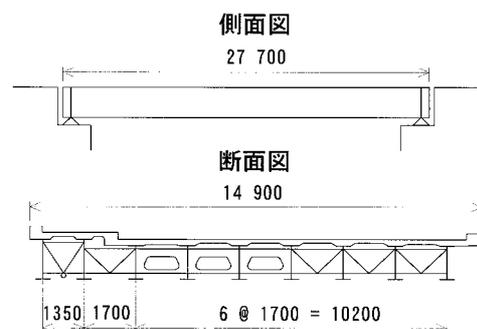
分の付着性状を把握するとともに除去方法を検討するため、凍結防止剤の散布と飛来海塩粒子などにより塩分の付着量が多いと予想される、積雪寒冷地の海岸沿いに架設された橋梁を対象に基礎的な洗浄実験を行った。



a) 位置図



b) 全景



側面図

27 700

断面図

14 900

1350 1700 6 @ 1700 = 10200

c) 概略図

図1 対象とした望来橋

a) 実験目的と方法

実験目的は、次のとおりである。

- 主桁部材に対する主に塩分の付着性状の調査
- 洗浄方法の相違による付着塩分や汚れの除去効果の検討

対象とした橋梁は、図1に示す海岸線よりおよそ300 m離れた位置に架設されている鋼単純桁橋であり、塗替え後およそ8年が経過していた。洗浄方法はすべて水道水を用いて表1に示す3種類について行った。洗浄風景を写真1に示す。実験の対象とした部材は、図2に示す橋台部付近の外桁と中桁であり、測定項目とその測定方法は、次のとおりである。

付着塩分：写真2a)に示す電導度測定器（東亜ディーケーケー㈱，SNA-2000）を用い、塩素イオン検知管法を併用して数値を確認した。

汚れ：目視と写真2b)に示す色差計（ミノルタ㈱，CR-10）を併用した。

b) 実験結果およびその考察

洗浄前における橋梁部材に対する塩分の付着性状の調査、および、洗浄方法の相違による付着塩分と汚れの除去効果に関する結果と考察は、次に示すとおりである。

主桁に対する塩分の付着性状

洗浄前の水洗い箇所における主桁に付着した塩分量を電導度測定機で測定した結果を図3に示す。この結果により、外桁より中桁に、またウェブより下フランジに多くの塩分が付着していることがわかった。これらのことにより、鋼桁における下フランジ部は、付着塩分が雨水や結露水などによって洗い流されにくいいため、塩分が蓄積する可能性が高いと考えられる。

洗浄方法の相違による付着塩分の除去効果

洗浄方法の相違による付着塩分の除去効果を把握するために、電導度測定器を用い、付着塩分量が多かった下フランジに着目してまとめた結果を図4に示す。この結果により、今回の洗浄条件における水道水を用いたスチーム、流水式超音波、および、水洗いとも主桁に付着した塩分は、ほぼ除去できることがわかった。

洗浄方法の相違による汚れの除去効果

汚れ（主に、砂ほこり）の除去効果を把握するために、色差計を用いて洗浄前後の明度を下フランジに着目してまとめた結果を図5に示す。この結果により、洗浄に寄与する要素の溶解力、熱および、加圧を有するスチームは、溶解力と超音波を有する流水式超音波と溶解力のみ水洗いと比較してわずかに高い除去効果しかないように判断できるが、目視調査の結果では洗浄面にむらがなく、ほぼ完全に汚れを除去でき大きな効果があるように感じられた。なお、今回の流水式超音波は、吐出口径が8 mmと小さかったことにより洗浄効果のデータにばらつきがあったが、橋梁の洗浄に適した方法に改良を加えれば耐候性鋼材を含めた洗浄に効果的であると考えられる。

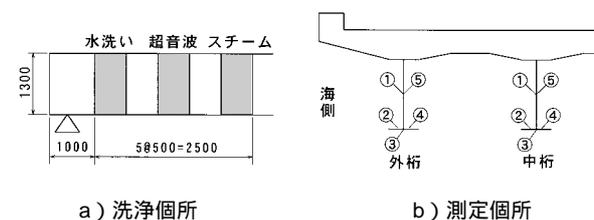


図2 洗浄箇所と測定箇所



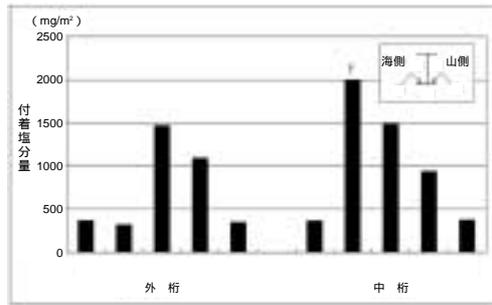
写真1 洗浄風景



写真2 測定風景

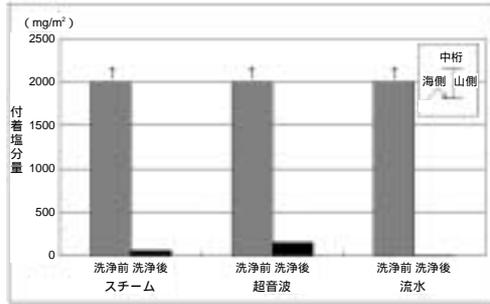
表1 洗浄方法の概要と洗浄条件

洗浄方法	概要	洗浄条件	使用機材
スチーム	高温高压洗浄機を用いて、洗浄対象物に適した圧力、水量、温度を調節して洗浄する。	吐出水量:7.8 ℓ/分, 吐出圧力:5.0 MPa, 吐出温度:100	ケルヒャー ジャパン㈱ HDS 995
流水式超音波	超音波洗浄機より照射される超音波により生ずる無数の真空に近い微小空洞（キャビテーション）と液体分子の振動により洗浄する。	吐出水量:3.5 ℓ/分, 吐出口径:8 mm, 吐出温度:常温, 発振周波数:0.4 MHz, 洗浄速度:1 cm/秒	本多電子㈱ W-357P-50
水洗い	流水により洗浄対象物を洗浄する。水量などは流水式超音波洗浄と同様である。	吐出水量:3.5 ℓ/分, 吐出口径:8 mm, 吐出温度:常温, 洗浄速度:1 cm/秒	

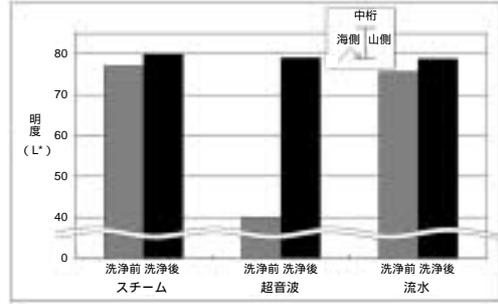


注)：印は、数値が2 000を越えている可能性がある

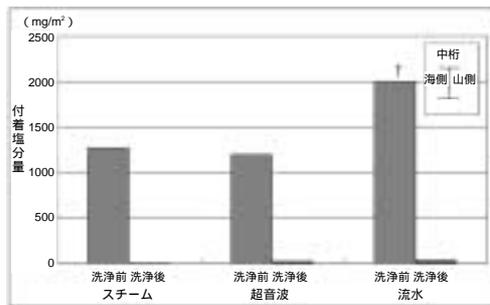
図3 水洗い個所の付着塩分量



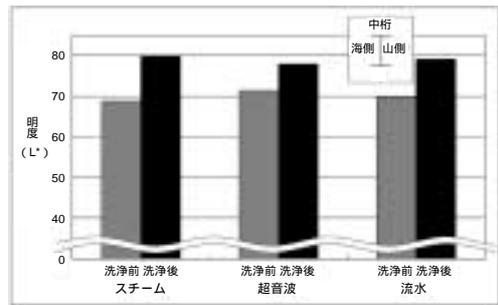
a) 下フランジ上側



a) 下フランジ上側



b) 下フランジ下側



b) 下フランジ下側

注)：印は、数値が2 000を越えている可能性がある

図4 洗浄方法の相違による付着塩分の除去結果

図5 洗浄方法の相違による明度差

## (2) 濁水処理

地球環境が重視されている現在では、橋梁洗浄の実用化を図るためには、洗浄による濁水の環境に与える影響について検討しておく必要がある。そこで、海岸沿いに架設された代表的な橋梁を選定して濁水を採取し、分析した。

### a) 実験目的と方法

実験目的は、高圧水を用いた洗浄に着目し、洗浄後の濁水における含有成分および含有量を分析し、いかなる処理を施して河川に排水すればよいかを把握することである。

橋梁洗浄後の濁水の採取方法は、洗浄における効果的な水量、水圧、温度などが把握されていないため、写真3に示すようにスポンジを用いて主桁や床版などの表面の付着物を拭き取った。洗浄に用いた水は、成分の統一を図るために同一の水道水を使用した。濁水を採取した橋梁は、表2に示す3橋を選定した。写真4は高砂橋における洗浄前後の状況を示す。

分析項目は、橋梁洗浄後の濁水が、排水あるいは環境水としてどのような性状にあるかを把握するため、生活環境項目にあたるpH, BOD, COD, 大腸菌群数, 全窒素, 全燐, 油分等, フェノール類, 銅, 亜鉛, 鉄, マンガン, 総クロム, アルミニウムなどに着目してその程度を分析した。また、土砂など懸濁物質により高い値を示したと考えられる項目(COD, 全窒素, 全燐, 一部重金属)については、ろ過して溶解性についても分析した。分析方法は、主に日本工業規格の工場排水試験により行った。

### b) 実験結果およびその考察

橋梁の主桁や床版などの付着物を、スポンジにより拭き取った濁水の成分分析の結果の一部を表3に示す。この結果より次のことがわかった。

鋼桁橋の御崎高架橋と高砂橋は、浮遊物質(SS)が高い値を示していた。このことは写真4に示すように下フランジの上面に塵埃などが蓄積しているためである。それにともない銅, 亜鉛, 鉄, マンガン

などの重金属類も高くなっていった。しかし、試料をろ過して分析するとこれら重金属類の濃度が低下することから、橋梁に付着している浮遊物質量を除去することにより、橋梁洗浄後における濁水の重金属類の濃度を低下できるものと考えられる。

御崎高架橋では亜鉛の値が高くなっているが、これは床版に亜鉛めっき鋼板が用いられており、この亜鉛が溶け出して主桁に付着したものと考えられる。PCポステンT桁橋の古平橋は、浮遊物質量などが少ない値を示していた。このことは、鋼桁橋に比較

して下フランジの上面などの水平個所がないため塵埃などの蓄積が少なかったものと考えられる。

### c) 濁水処理方法

橋梁洗浄により発生した濁水は、次の方法により河川に排出することができると考えられる。

沈殿槽に濁水を回収し、浮遊物質を沈殿させ上側のきれいな水を排水する。

あらかじめ、橋梁の部材に蓄積した粉塵などを吸引機などを用いて除去する。



写真3 濁水の採取方法



a) 洗浄前



b) 洗浄後

写真4 高砂橋における洗浄前後の状況例

表2 洗浄後の濁水を採取した橋梁

橋名	使用材料	形式	架設位置
御崎高架橋	耐候性鋼材	2径間連続 桁橋	室蘭市
古平橋	コンクリート	PCポステンT桁橋	余市町
高砂橋	A塗装系の鋼材	単純 桁橋	小樽市

表3 洗浄後の濁水の分析項目および結果

項目	単位	御崎高架橋	古平橋	高砂橋	洗浄用水	基準名
		洗浄水	洗浄水	洗浄水	水道水	
調査年月日		H12.10.17	H12.10.19	H12.10.19	H12.10.19	排水基準
調査時刻		14:40	10:55	15:25	17:00	
天候		曇り	晴れ	晴れ		
気温		13.3	10.8	12.8	21.1	
水温		15.4	11.6	14.3	15.0	
外観		褐色	淡褐色	褐色	無色	
臭気		無臭	無臭	無臭	無臭	
水素イオン濃度(pH)		6.7	8.6	6.2	7.2	
生物学的酸素要求量(BOD)	mg/l	7.1	0.5	69	<0.5	160(日間平均120)
化学的酸素要求量(COD)	mg/l	10	3.1	57	1.2	160(日間平均120)
溶解性化学的酸素要求量(S-COD)	mg/l	8.7	2.8	34	0.8	
浮遊物質量(SS)	mg/l	2 000	160	3 400	<1	200(日間平均150)
溶存酸素量(DO)	mg/l	9.4	11.5	6.5	12.1	
大腸菌群数	MPN/100 ml	330	170	13	0	日間平均3 000個/cm <sup>3</sup>
全窒素(T-N)	mg/l	4.4	1.1	10	0.42	120(日間平均60)
溶解性窒素(S-N)	mg/l	3.7	0.64	4.0	0.30	
全リン(T-P)	mg/l	0.072	0.048	0.096	<0.003	16(日間平均8)
溶解性リン(S-P)	mg/l	0.014	0.024	0.014	<0.003	
油分等	mg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	鉱油類 5 動植物油 30
フェノール類	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	5
銅(Cu)	mg/l	0.26	<0.04	0.27	<0.04	3
溶解性銅(S-Cu)	mg/l	0.26	<0.04	0.27	<0.04	3
亜鉛(Zn)	mg/l	7.0	0.09	1.9	<0.04	5
溶解性亜鉛(S-Zn)	mg/l	0.36	0.07	1.1	<0.04	
鉄(Fe)	mg/l	220	11	240	0.1	
溶解性鉄(S-Fe)	mg/l	0.1	0.3	0.5	<0.1	10(溶解性)
マンガン(Mn)	mg/l	8.5	0.1	3.6	<0.1	
溶解性マンガン(S-Mn)	mg/l	2.9	<0.1	1.5	<0.1	10(溶解性)
総クロム(T-Cr)	mg/l	0.34	<0.05	0.72	<0.05	2
溶解性クロム(S-Cr)	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	
アルミニウム(Al)	mg/l	160	9.8	570	0.05	
溶解性アルミニウム(S-Al)	mg/l	0.07	0.05	0.29	0.05	

### 3. 塩分除去実験

積雪寒冷地の海岸沿いに架設された橋梁を対象に行った基礎的な洗浄実験により概略的な主に塩分の付着性状と洗浄効果を把握できた。しかし、実用化のためにはより詳細な検討が必要であるため、ここでは付着塩分に着目し除去実験を行った。

#### (1) 実験目的と方法

実験目的は、基礎的な実橋洗浄実験の結果を参考に、ここでは海の波しぶきが直接橋梁に付着したきびしい条件を想定して、高圧水を用いてより効果的で経済的な塩分除去方法について検討することである。実験方法は次のとおりである。

表4に示す供試体に表5の人工海水を塗布し、室内で自然乾燥させる。なお、塗膜の水接触角は、経時的に低下するため、人工海水を塗布する前に恒温恒湿器において処理した。

図6に示す洗浄実験装置に、供試体を3枚ずつ壁面に取付け、洗浄ノズルが設置された自走式台車を用いて表6に示すように水圧、水量、水温、洗浄速度などを変化させて洗浄1回ごとに1枚ずつ取り除き各ケースごとに3回ずつ洗浄した。

塩分測定は、主に電気伝導度法によって行った。

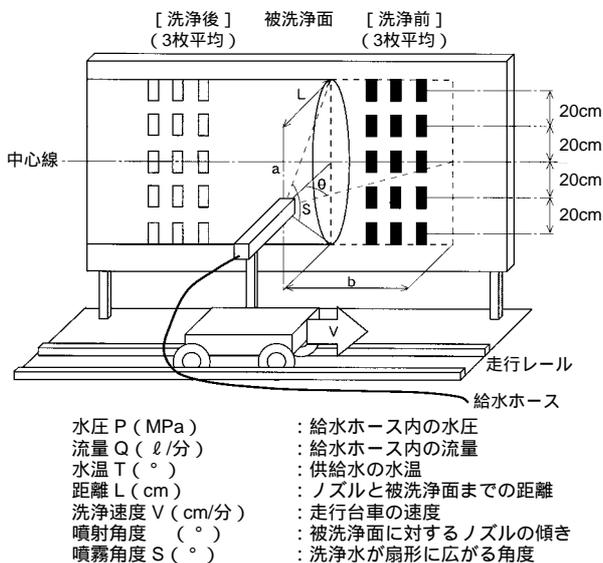


表4 供試体の諸元

項目	仕様	
材質	JIS G 3101(一般構造用)に規定するSS400材	
寸法	70 mm x 150 mm	
塗装系	A-3仕様	プライマー 長ばく形エッチングプライマー:15 μm
		下塗り(第1層) シアナミド鉛さび止めペイント:35 μm
		下塗り(第2層) シアナミド鉛さび止めペイント:35 μm
		中塗 シリコンアルキド樹脂塗料中塗:30 μm
		上塗 シリコンアルキド樹脂塗料上塗:25 μm
塗色	白色(日塗工色見本:F1-1036)	
養生	上塗り後 恒温恒湿(温度20±1 相対湿度65±5%)で2週間	
前処理	湿潤処理	湿潤処理(24時間)温度50±1 相対湿度95%以上
		恒温恒湿(3日間)温度20±1 相対湿度65±5%

### (2) 実験結果と考察

表6の各実験ケースにおいて3回ずつ洗浄した洗浄水量と付着塩分の関係を図7に示す。また、供試体の3回洗浄後において塗膜表面に付着物が確認されたことから、ひとつのケースにおいて塗膜面に付着した塩分を所定量の脱イオン水に溶解させて、Ca, NaをICP発光分光分析法で、K, MgをICP質量分析法で、Cl, NO<sub>3</sub>をイオンクロマトグラフィー法で測定した。付着塩分は電導度測定器で測定したものである。これらの洗浄回数と化学物質付着量、付着塩分の関係を図8に示す。これらの結果より次のことがわかった。

付着塩分を除去するための水量は6~8 ℓ/m<sup>2</sup>が適当である。

付着塩分を除去するための水温は、高い方が望ましい。

表5 人工海水の化学成分

化学成分	溶解量 <sup>*</sup> (g)
塩化マグネシウム(6水塩)[MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O]	222.28
塩化カルシウム(2水塩)[CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O]	30.70
塩化ストロンチウム(6水塩)[SrCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O]	0.85
塩化カリウム[KCl]	13.89
炭酸水素ナトリウム[NaHCO <sub>3</sub> ]	4.02
臭化カリウム[KBr]	2.01
ほう酸[H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ]	0.54
フッ化ナトリウム[NaF]	0.06
塩化ナトリウム[NaCl]	490.68
硫酸ナトリウム(無水)[Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ]	81.88

\*:脱イオン水20 ℓに溶解させる量

表6 塩分除去実験のケース

ケース No.	ノズル型番	扇形S(°)	水温 T(°)	水圧 P(MPa)	実流量 Q(ℓ/分)	角度(°)	距離 D(cm)	速度 V(m/分)
2502-C01	MEG-2502	36.7	Cold	2.5	1.9	90	15	3.0
2502-C02					1.8		30	6.0
2502-C03					1.8		45	3.0
2502-C04					1.9		15	12.0
2502-C05					2.7			
2502-C06					2.7			
2502-C07			3.8	Hot	10.0	3.0		
2502-C08			3.8					
2502-C09			1.6				30	6.0
2502-C10			1.8				15	3.0
2502-C11			2.5					
2502-C12			2.5					
2502-C13	3.7	45	15	3.0				
2502-C14	3.7							
2504-C01	MEG-2504	36.7	Cold	2.5	3.8	90	15	3.0
2504-C02					3.6		30	6.0
2504-C03					3.6		45	3.0
2504-C04					3.8		15	12.0
2504-C05					5.2			
2504-C06					5.2			
2504-C07			7.5	Hot	10.0	3.0		
2504-C08			7.5					
2504-C09			3.5				30	6.0
2504-C10			3.5				15	3.0
2504-C11			5.2					
2504-C12			5.2					
2504-C13	7.4	45	15	3.0				
2504-C14	7.4							
6504-C01	MEG-6504	70.7	Cold	5.0	3.8	90	15	3.0
6504-C02					3.5		30	6.0
6504-C03					3.6		45	3.0
6504-C04					3.7		15	12.0
6504-C05					5.3			
6504-C06					5.3			
6504-C07			6.3	Hot	10.0	3.0		
6504-C08			6.3					
6504-C09			3.5				30	6.0
6504-C10			3.6				15	3.0
6504-C11			5.3					
6504-C12			5.3					
6504-C13	7.5	45	15	3.0				
6504-C14	7.5							

スプレー角度は、同一水量の場合には広角にし、洗浄速度を小さくした方が塩分除去効果は高い。

付着塩分を除去するための洗浄回数は、水圧を低くし2回洗浄することが機能性、経済性に優れている。付着塩分の除去の考え方としては、洗浄水の圧力により吹き飛ばすのではなく、溶解させて洗い流すことを念頭に洗浄することがたいせつである。

図8の結果よりClイオンは1回目の洗浄でほぼ除去でき、2回目の洗浄でほとんどなくなる。しかし、SO<sub>4</sub>イオンは2回目以降の洗浄においても完全に除去することができないことがわかったとともに、洗浄後に目視によって確認された付着物は硫酸カルシウム (CaSO<sub>4</sub>) であると考えられる。

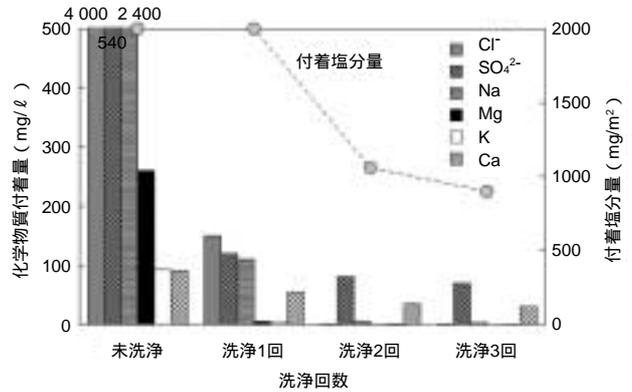


図8 残存塩分量とその成分

#### 4. まとめ

今回の橋梁洗浄技術の開発の結果をまとめると次のとおりである。

基礎的な実橋実験と塩分除去実験により、腐食の主な原因となる塩分は下フランジに多く付着し、それを除去するためには機能性や施工性を考慮するとスチーム洗浄が望ましいことがわかった。

橋梁洗浄により発生した濁水は、環境問題が重要視されている現在においては、洗浄前に塵埃などを吸引装置などを用いて回収するか、または、沈殿槽などに回収して浮遊物質を除去して河川に排水することが望ましいと考えられる。

#### 5. 今後の課題

今後の課題としては、次のことが挙げられる。

橋梁の主構造のみでなく、地覆などコンクリート部材も含めた橋梁全体に対する汚れや塩分の飛来量と付着性状を把握する。

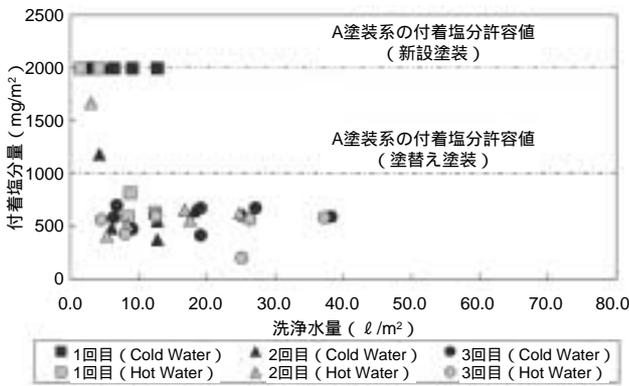
今回は、塩分除去を中心に検討したため、汚れの除去に適した溶解力、熱、超音波、加圧などの洗浄に寄与する要素およびその割合を検討する。

洗浄の効果に関する評価方法、経済性に優れた洗浄方法および洗浄後における長寿命化のための補修方法などについて検討する。

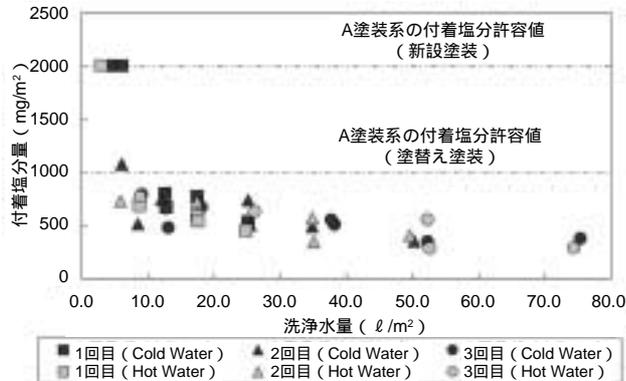
#### 6. あとがき

本論文は「橋梁の長寿命化に関する補修、補強、維持管理手法の研究」と題した独北海道開発土木研究所、川田工業㈱、㈱橋梁メンテナンスによる共同研究に関する報告の一部である。橋梁の長寿命化を検討する上で本論文が何らかの参考になれば幸いである。

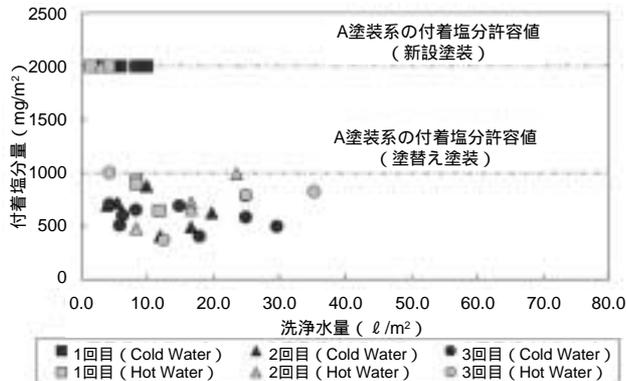
最後に、本共同研究にあたりご指導を賜った独北海道開発土木研究所構造部構造研究室並びに㈱ドーコンの方々に誌面を借りて厚くお礼申し上げます。



a) スプレーノズル MEG-2502



b) スプレーノズル MEG-2504



c) スプレーノズル MEG-6504

図7 洗浄後の付着塩分量と洗浄水量の関係