

橋梁洗浄技術に関する研究

磯光夫¹・勝俣盛²・渡辺喜紀³・安江哲⁴・三田村浩⁵・藤野陽三⁶

¹正会員 工修 川田工業株式会社 東京技術部技術開発課 (〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)

²正会員 川田工業株式会社 橋梁事業部保全室 (〒114-0024 東京都北区西ヶ原 3-45-4)

³正会員 工修 株式会社橋梁メンテナンス 製品本部製造部工務課 (〒115-0055 東京都北区赤羽西 1-7-1)

⁴フェロー 株式会社ドーコン 構造部 (〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央 1 条 5-4-1)

⁵正会員 独立行政法人 北海道開発土木研究所 構造部構造研究室 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3-1-34)

⁶フェロー Ph.D. 東京大学教授 工学系研究科社会基盤工学専攻 (〒113-8655 東京都文京区本郷 7-3-1)

本研究の目的は、橋梁の低廉な長寿命化手法として橋梁洗浄に着目し、凍結防止剤の散布と飛来海塩粒子の多い積雪寒冷地の橋梁において、汚れや付着塩分を除去するための洗浄方法、濁水の回収および処理方法について検討するとともに、米国における橋梁洗浄の評価方法などについて調査することである。その結果、積雪寒冷地における橋梁においては吐出水圧 5Mpa、吐出水量 4~6 ㍓/分のスチームや水により汚れや付着塩分を除去でき、米国でも洗浄効果を確認し積極的に活用していることがわかった。

キーワード：橋梁，洗浄，長寿命化，維持管理，濁水，付着塩分，汚れ

1. まえがき

日本の公共事業費が着実に減少しつつある中、限られた財源により数多くの橋梁を維持管理するためには低廉な手法を開発し、橋梁の長寿命化を図ることがこれからの社会資本整備において極めて重要になってくる。昭和 30~50 年代に大量につくられた構造物群が同時に老朽化する可能性があるため、最近では、構造物の損傷に対して実施する事後保全から、構造物の変状を早期に発見あるいは事前に予測し、少ない費用により長寿命化を図る予防保全に移行しつつある。その予防保全のひとつの方法として考えられるのが橋梁洗浄である。橋梁洗浄は、塗装やコンクリートなどの表面に付着した汚れや塩分を取り除き、元の状態に近づけて橋梁の長寿命化を図ることを目的としている。

そこで、著者らは橋梁の低廉な長寿命化手法の実用化を目指して、凍結防止剤の散布と飛来海塩粒子の多い積雪寒冷地である北海道の都市部と海岸部に架設された橋梁において、鋼とコンクリートの供試体を設置し 1 年間暴露して主桁などに付着する汚れや塩分

の付着性状を調査するとともに、暴露供試体を用いた汚れと塩分の除去実験を行った。これらの結果をもとに、橋梁洗浄の実用化を考慮して開発した、主桁のフランジ部に設置した吊金具を人力により盛替えて移動する簡易移動吊足場を用いて、既設橋を実際に洗浄し、洗浄方法、濁水の回収および処理方法について検討した。さらに、鋼管の先端に樹脂チューブを取り付け、吐出水圧などの増加により洗浄水が飛散するチューブノズルを用いた簡易洗浄装置により橋梁洗浄の省力化も試みた。しかし、橋梁洗浄技術を実用化するためには、洗浄効果の評価手法、洗浄後に発生する濁水の処理方法、濁水を処理せずに流す場合の環境に与える影響などに関して詳細に検討する必要がある。そこで、橋梁洗浄がすでに実践されている米国におけるニューヨーク州橋梁公団とロードアイランド州交通局管理部の二つの道路管理機関を訪問するとともに、実際の洗浄状況を調査した^{1)~17)}。

本文は、米国における橋梁の洗浄方法と比較するために、北海道における簡易移動吊足場と簡易洗浄装置を用いた既設橋全体の洗浄方法および米国における調査の結果について述べるものである。

2. 北海道における橋梁洗浄の取り組み

橋梁の長寿命化を図るために、橋梁洗浄の基礎的実験や暴露供試体を用いた室内実験を行い、塩分の付着性状や除去方法、濁水の含有成分、橋梁全体を洗浄するための望ましい足場、洗浄水の給水、洗浄、洗浄後の濁水の回収、処理方法、さらに省力化手法などについて検討した。

ここでは、米国における橋梁の洗浄方法と比較するために、橋梁全体の洗浄方法を中心に述べる。

(1) 検討目的

検討目的は、表-1 に示す海岸沿いに架設された鋼 I 桁橋と PCT 桁橋の 2 橋に対して主桁、床版下面、橋台部、支承部などの簡易移動吊足場を用いた洗浄方法、濁水の回収および処理方法について把握することである。また、人力による洗浄は、経済性などに劣るため鋼 I 桁橋において省力化も試みた。さらに、環境への影響を把握するために、橋梁への塵埃の蓄積期間の相違による洗浄後の濁水成分の変化についても調査した。

(2) 検討方法

a) 簡易移動吊足場を用いた洗浄方法

橋梁洗浄は、写真-1 に示すように鋼桁と PCT 桁のフランジ部に設置した吊金具を、人力により盛替えて移動する簡易移動吊足場を開発し用いた。洗浄方法は、この簡易移動吊足場を用いて散水車からの水を温水洗浄機により、吐出水圧 5Mpa、吐出水量 4 ㍓/分のスチームにして写真-2 に示すように行った。発生した濁水は、簡易移動吊足場に集めてポンプにより沈殿槽に回収し、上澄水を河川に流した。

b) 簡易洗浄装置による洗浄方法

洗浄方法は、写真-3 に示すように鋼管の先端に樹脂チューブを取り付け、吐出水圧などの増加により樹脂チューブが振動し、洗浄水が飛散するチューブノズル(株)テクノコア製)を両側のロープで吊る形式の簡易洗浄装置を、写真-4 に示すように下フランジ部に設置して行った。ここでは、吐出水圧 5Mpa、吐出水量 6 ㍓/分の水により洗浄した。



写真-1 簡易移動吊足場



写真-2 簡易移動吊足場を用いた洗浄状況



写真-3 チューブノズルを用いた簡易洗浄装置



写真-4 簡易洗浄装置の下フランジ部への設置状況

表-1 試験洗浄の対象とした橋梁

橋 名	使用材料	形 式	架設位置	塵埃などの蓄積期間
望来橋	B 塗装系の鋼材	単純鋼 I 桁橋	厚田郡厚田村	9 年と 1 年
竜神橋	コンクリート	PCT 橋	浜益郡浜益村	14 年

(3)測定方法

洗浄前後の効果を確認する方法は、塩分を電気伝導度法による表面塩分計(東亜電波工業製:SNA-2000)、汚れを色彩色差計(ミノルタ製:CR-300)によって測定した。簡易洗浄装置による洗浄前後の状況を確認する方法は、写真-5 に示すように路面上から視点方向を自由に変えられる CCD カメラにより行った。

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、生活環境項目に着目して水質を分析した。分析は、主に日本工業規格の工場排水試験法(JIS K 0102)により行った。



写真-5 洗浄効果を確認するための CCD カメラ

(4)検討結果とその考察

簡易移動吊足場および簡易洗浄装置を用いた、橋梁全体の洗浄に関する検討結果とその考察は次のとおりである。

① 簡易移動吊足場を用いた洗浄の結果例として、洗浄前後の状況を写真-6a)に、4 主桁における洗浄前後の付着塩分と汚れの差を示す色差の相違を図-1 に示す。これらの結果から吐出水圧 5Mpa、吐出水量 4 ㍓/分のスチーム洗浄により、積雪寒冷地の海岸沿いに架設された橋梁の付着塩分と汚れは、ほぼ除去できるものと考えられる。

② 簡易洗浄装置を用いた洗浄の結果例として、ひとつのチューブノズルに対する吐出水圧 5Mpa、吐出水量 6 ㍓/分の水による洗浄前後の状況を写真-6b)に、2 主桁における洗浄前後の付着塩分および色差の相違を図-2 に示す。これらの結果から簡易洗浄装置を用いた洗浄でも、積雪寒冷地の海岸沿いに架設された橋梁の付着塩分と汚れは、除去できることがわかった。

③ 橋梁全体を洗浄した濁水の成分分析をした結果を表-2 に示す。鋼橋に対しては塗装の塗替えから 9 年が経過し塵埃の蓄積期間が約 9 年間のものと、1 年前に洗浄し、塵埃の蓄積期間がおおよそ 1 年間のものを簡易洗浄機を用いて洗浄した場合の結果を示した。塵

埃の蓄積期間が約 9 年間の橋梁を洗浄した時に発生する濁水は、浮遊物質量(SS)のみが生活環境項目の排水基準を越え、他の物質が排水基準以下であった。これらのことから、鋼橋の場合には下フランジ上面などの水平部材に蓄積した塵埃が、排水基準に大きな影響を与えることがわかった。

それに対して、毎年橋梁洗浄を行うことにより、橋梁の水平部材に塵埃の蓄積が少なくなるなどの理由から濁水は、排水基準を満足することがわかった。

また、コンクリート橋は、暴露期間がおおよそ 14 年であったものの、排水基準を越える物質がないことにより、洗浄した濁水はそのまま河川に流しても問題がないと思われる。このことは、鋼 I 桁橋に比較して下フランジの上面などの水平箇所がないため、塵埃などの蓄積が少なかったことなどが考えられる。

④ 今回開発した路面上から視点方向を自由に変えられる CCD カメラを用いた点検装置は、間接目視ではあるものの汚れの除去効果を確認することができ、橋梁洗浄の効果を確認する装置として有効であることがわかった。

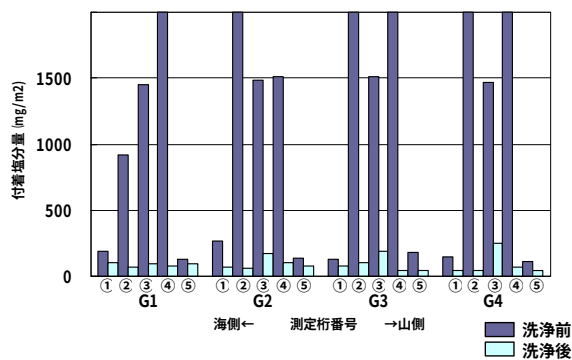


a) 簡易移動足場を用いた人力による洗浄

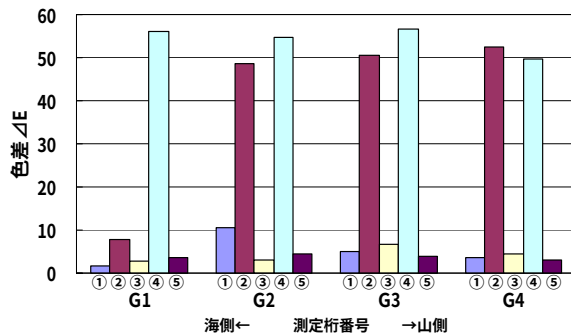


b) 簡易洗浄装置による洗浄

写真-6 洗浄前後の汚れの除去状況(手前が洗浄後)

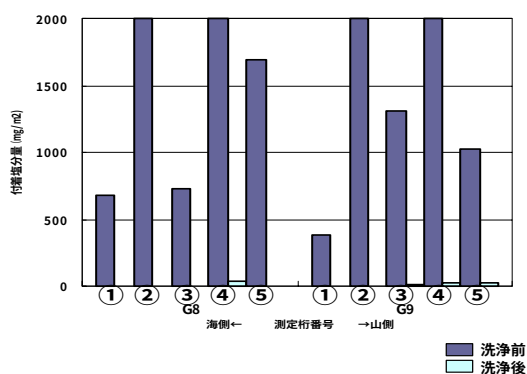


a) 付着塩分

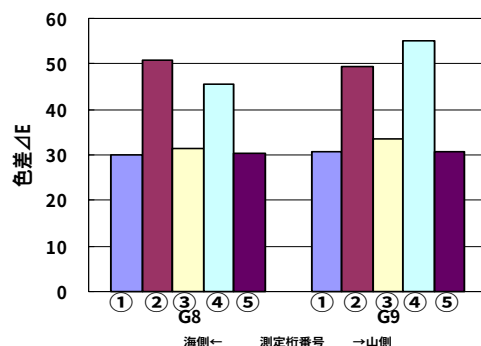


b) 色差

図-1 簡易移動吊足場を用いた洗浄前後における付着塩分と色差の関係



a) 付着塩分



b) 色差

図-2 簡易洗浄装置を用いた洗浄前後における付着塩分と色差の関係

表-2 塵埃などの蓄積期間の変化による洗浄後の濁水の成分分析結果

項 目	単 位	望来橋(鋼橋)				竜神橋(コンクリート橋)		排 水 基 準
		塵埃蓄積期間:約 9 年 (簡易移動吊足場を利用)		塵埃蓄積期間:約 1 年 (簡易洗浄装置を利用)				
		濁 水	洗浄水	濁 水	洗浄水	洗浄水	洗浄水	
調査年月日		H13.10.10	H13.10.10	H14.11.12	H14.11.12	H13.10.16	H13.10.16	
水素イオン濃度(pH)		7.3	7.6	6.3	6.6	8.6	8.1	海域以外 5.8～8.6 海域 5.0～9.0
生物化学的酸素要求量 (BOD)	mg/ l	11.0	2.2	9.6	1.8	4.6	<0.5	160 (日間平均 120)
化学的酸素要求量 (COD)	mg/ l	38	2.6	24	13	8.2	3.3	160 (日間平均 120)
浮遊物質質量 (SS)	mg/ l	580	1.0	191	33	130	6	200 (日間平均 150)
溶存酸素量 (DO)	mg/ l	9.8	10	10	10	9	7.1	
大腸菌群数	MPN/100ml	1300	13	1100	26	230	2	日間平均 3000 個/cm ³
全窒素 (T-N)	mg/ l	6.2	0.7	3.4	2.1	1.5	0.43	120 (日間平均 60)
全リン (T-P)	mg/ l	0.55	0.048	0.30	0.14	0.1	0.019	16 (日間平均 8)
油分等	mg/ l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	鉱油類 5.0, 動植物油 30
フェノール類	mg/ l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	5.0
銅 (Cu)	mg/ l	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	3.0
亜鉛 (Zn)	mg/ l	3.8	0.07	0.49	<0.04	<0.17	<0.04	5.0
鉄 (Fe)	mg/ l	45	2.7	17	0.9	9.2	4.8	
マンガン (Mn)	mg/ l	1.4	<0.1	0.4	<0.1	0.1	0.1	
総クロム (T-Cr)	mg/ l	0.50	<0.05	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	2.0
アルミニウム (Al)	mg/ l	10	1.5	6.0	0.56	3	8.6	

3. 米国における橋梁洗浄の調査

(1)調査目的

今回の調査目的は、米国における橋梁洗浄の目的、洗浄方法、濁水の処理方法、洗浄効果の評価手法などを把握することである。

(2)調査方法

調査方法は、橋梁洗浄を維持管理の手法として本格的に導入している図-3 に示すニューヨーク州橋梁公団とロードアイランド州交通局管理部の道路管理機関を訪問するとともに、実際の洗浄状況を調査した。

ニューヨーク州橋梁公団は、ニューヨーク市とアルバニー市の間に位置する、川幅がおよそ 2.5 km のハドソン河を跨ぐ吊橋やトラス橋など、渡河位置が 5 か所で 6 橋の長大橋を管理している。今回は、その中の写真-7 に示す橋長 2,440m、幅員 12.2m で 3 車線の塗装橋梁と、幅員 16.8m で 4 車線の耐候性鋼材橋梁で構成されているニューブルグ・ビーコン橋を訪問した。これらの橋梁では、橋梁部材を腐食から守るために、冬期における路面のスリップ防止剤として凍結防止剤ではなく砂を使用している。

ロードアイランド州交通局管理部は、州高速道路 1,736 km と 836 の橋梁を管理している。この管理部は、冬期除雪、高速道路照明・信号・標識・運転手補助通信システムの維持管理、ごみ清掃、路面清掃、草刈り、路側補修、排水溝清掃と補修、および、橋梁点検の責任を負っている。ロードアイランド州では、アメリカ道路交通協会(AASHTO)が開発中の橋梁マネジメントソフト(PONTIS)に、予防保全のひとつの方法として橋梁洗浄が提案されていたことから、1991 年頃から橋梁洗浄の研究に取り組み、1999 年から橋梁の洗浄と点検を組み合わせる本格的に導入している。

(3)調査結果とその考察

ニューヨーク州橋梁公団とロードアイランド州交通局管理部における橋梁洗浄技術の調査結果を表-3 に示す。

a)ニューヨーク州橋梁公団

ロードアイランド州交通局管理部の 2 年ごとの橋梁点検の際に行うのに対して、ニューヨーク州橋梁公団における橋梁洗浄は、橋梁路面のスリップ防止



図-3 ニューヨーク州橋梁公団とロードアイランド州の位置



写真-7 除雪中のニューブルグ・ビーコン橋

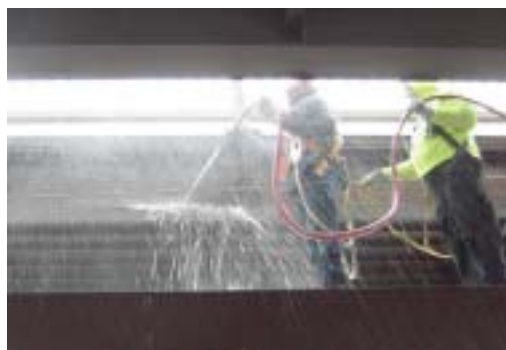


写真-8 ニューヨーク州橋梁公団における洗浄状況



写真-9 ハドソン川の水を運ぶ給水車

表-3 米国における橋梁洗浄技術の調査結果

		ニューヨーク州橋梁公団	ロードアイランド州
洗浄目的		・冬に橋梁の路面に車両のスリップ防止用に使用した砂と周辺の道路にまかれた凍結防止剤による塩分を除去して、橋梁の腐食低減を図る。	・橋梁点検の際に洗浄により、砂、泥、塩分、鳥の糞、鳥の巣などを除去し、点検効果を向上させて橋梁の長寿命化を図るとともに、点検者などの健康阻害を防止する。
洗浄期間		・毎年、春の6週間で洗浄する。	・2年ごとに橋梁点検と同時に行う。
洗浄箇所		・管理する長大橋6橋において砂や塩によって汚れた鋼とコンクリート部材。雨がかかるところは洗浄しない。	・砂、泥、塩分、鳥の糞、鳥の巣などで汚れた鋼とコンクリート部材。
洗浄方法	洗 浄 水	・ハドソン川の水	・水道水
	洗浄装置	・給水車、ホース、洗浄ガンなど。	・高所作業車、高圧洗浄機、水タンク、ホース、洗浄ガンなど。
	水 圧	・約0.4MPa(給水車を路面に駐車し、桁下空間を洗浄するときに位置の高低差から生じる圧力差を利用)。	・5～20MPa(高圧洗浄機を利用)。
	水 量	・約30～40ℓ/分	・約7～14ℓ/分
	濁水処理	・無処理。	・無処理。洗剤を使用する場合には処理する場合もある。
	作 業 員	・15名の公団職員による直営工事。	・洗浄業務を業者に委託。
洗浄効果		・定量的な評価はしていないが、橋梁の長寿命化手法として17年間橋梁洗浄を行っている。	・13橋に対して2年ごとに4回洗浄した計8年間の調査結果で、橋梁評価状態が変化しなかったことにより、維持管理費のコスト縮減が図れることを確認している。
費 用		・直営工事のため詳細は不明。	・幅員27m、橋長30mの高所作業車が利用できる一般的な橋梁で約22万円/橋であった。



写真-10 安全帯をかける安全ワイヤー



a) 高所作業車を用いた橋梁洗浄



写真-12 排水装置の清掃状況



b) 高圧水道水による洗浄

写真-11 ロードアイランド州における橋梁洗浄の状況

の砂や、周辺の道路への凍結防止剤の散布が終了する毎年の春の 6 週間に、橋梁部材に付着した砂や塩分などを除去するため、写真-8 に示すように公団職員が行う。その方法は、ハドソン川の水を写真-9 に示す給水車にくみ上げて、橋梁の路面上まで輸送し、その水を作業員が、足場を設置せずに写真-10 に示す安全ワイヤーに安全帯をかけて所定の場所へ移動して、位置の高低差を利用して桁下空間の部材を、およそ 0.4MPa の低水圧で洗浄する。路面から上の部材は、雨によって汚れや塩分が洗い流されることから洗浄していない。洗浄後の濁水は、処理しないでそのまま河川に流すことから、環境への影響を少なくするために、河川の水を利用していた。洗浄効果は、定量的に評価をしていなかったものの、腐食などによる補修・補強工事費と比較すると経済的であるものと判断しているとのことであった。これらのことにより、17 年前から、橋梁の長寿命化の手法として橋梁洗浄を利用している。

この公団における橋梁洗浄の特徴は、足場を設置せずに安全ワイヤーに安全帯をかけて、河川の水を給水車に積み、給水車と洗浄個所の位置の高低差を利用した圧力により洗浄し、濁水を河川に流しているところにある。この方法は、ハドソン川の水を用いて橋梁を洗浄することにより、河川環境に与える影響をできる限り少なくし、経済性を重視したものであると考えられる。

b) ロードアイランド州交通局管理部

ロードアイランド州交通局管理部における橋梁洗浄は、橋梁点検の際に砂、泥、塩分、鳥の糞、鳥の巣などを除去し、点検の精度を向上させて損傷箇所を早期に発見し対処することにより橋梁の長寿命化を図るとともに、塵埃の吸い込みなどを防いで点検者の健康障害を防止することを目的としている。洗浄方法は、2 年ごとの橋梁点検と同時に砂、泥、塩分、鳥の糞、鳥の巣などにより汚れた鋼とコンクリート部材を写真-11 に示す高所作業車や高圧洗浄機などを用いて水圧 5~20MPa の水道水により行っていた。洗浄効果は、この管理部の独自の方法を用いて、13 橋に対して 2 年ごとに 4 回洗浄した計 8 年間の調査により、橋梁状態評価が変化しなかったことによりその有効性を確認している。すなわち、橋梁洗浄を行うことにより、橋梁の損傷の進行を防止し、補修・補強の費用を縮減できる。この費用を縮減することが洗浄効果としている。橋梁洗浄の費用は、幅員 27m、橋長 30m の高所作業車が利用できる一般的な橋梁で約 22 万円／橋とのことである。また、ロードアイランド州では、

写真-12 に示すように排水装置の清掃も積極的に行っていた。

この管理部における橋梁洗浄の特徴は、橋梁点検と併用しあらかじめ砂、鳥の糞、鳥の巣などを除去することにより、点検者の健康に留意していることと、濁水に含まれている成分を自然界にある自然な物質とほぼ同様と判断して濁水を処理せずに河川などに流していること、さらには洗浄効果を橋梁点検に基づいて評価しているところにある。洗浄ガンを用いて水圧 5~20MPa の水道水により洗浄する方法は、著者の考え方とほぼ同様であった。

4. あとがき

今回は、橋梁洗浄に関して北海道における簡易移動吊足場と簡易洗浄装置を用いた既設橋全体の洗浄方法および米国における調査の結果について述べた。北海道における基礎的検討から、吐出水圧 5Mpa、吐出水量 4~6 ㍑/分のスチームや水を用いた洗浄により、積雪寒冷地の海岸沿いに架設された橋梁の付着塩分と汚れがほぼ除去でき、鋼橋では主桁の下フランジ上面などの水平部材に蓄積した塵埃が排水基準に大きな影響を与え、コンクリート橋では排水基準を越える物質が濁水に含まれていないことがわかった。鋼橋においても毎年洗浄することにより、濁水が排水基準を満足することも確認した。

また、米国における橋梁洗浄技術は、今回調査した以外においてもペンシルベニア州、バージニア州、オハイオ州などにも採用されており、橋梁の予防保全の方法として拡大しつつあることがわかった。日本においても自分の車を洗って長持ちさせるように、橋梁の長寿命化のひとつの方法として橋梁洗浄が普及するものと思われる。その際には、洗浄方法が容易で、環境に優しく、経済的なものでないと一般的に普及しないため、今までの研究成果をより一層改良して実用化を図りたいと考えている。

参考文献

- 1) 三田村浩、佐々木聡、越後滋、勝俣盛、磯光夫、小松和憲：橋梁洗浄に関する一検討、土木学会第 55 回年次学術講演会、2000.9.
- 2) 三田村浩、佐々木聡、勝俣盛、磯光夫、渡辺喜紀：橋梁に付着した塩分の除去実験、土木学会第 56 回年次学術講演会、2001.10.
- 3) 三田村浩、佐々木聡、越後滋、勝俣盛、磯光夫、小松和

憲：橋梁洗浄における濁水処理に関する検討，土木学会第 56 回年次学術講演会，2001.10.

4) 三田村浩，佐々木聡，勝俣盛，枝元勝哉，磯光夫，小松和憲：海岸沿いの橋梁における飛来海塩粒子の付着状況，土木学会第 56 回年次学術講演会，2001.10.

5) 三田村浩，永洞伸一，佐々木聡，勝俣盛，磯光夫，小松和憲：既設橋の洗浄方法に関する研究，土木学会第 57 回年次学術講演会，2002.9.

6) 畑山朗，藤野戸宏樹，枝元勝哉，勝俣盛，磯光夫，渡辺喜紀：橋梁における汚れや塩分の付着性状に関する研究，土木学会第 57 回年次学術講演会，2002.9.

7) 畑山朗，藤野戸宏樹，枝元勝哉，勝俣盛，磯光夫，渡辺喜紀：橋梁洗浄の有効性に関する研究，土木学会第 57 回年次学術講演会，2002.9.

8) 池田憲二，畑山朗，佐々木聡，金野千代美，磯光夫，渡辺喜紀：橋梁洗浄の省力化に関する研究，土木学会第 58 回年次学術講演会，2002.9.

9) Hatakeyama, Sasaki, katsumata, Iso: A STUDY ON WASHING OF BRIDGES, Structural Fault&Repair-2001, Commonwealth, London, UK.

10) 磯光夫，勝俣盛，安江哲，三田村浩，池田憲二、

藤野陽三：橋梁洗浄に関する北海道での取り組みと米国における実態調査，橋梁と基礎，Vol.38、PP.29～33，2004.9.

11) New York State Bridge Authority : The Hamilton Fish Newburgh-Beacon Bridge (South Span) Biennial Inspection Report 2001.

12) Rhode Island Department of Transportation Operations Division: Bridge Inspection / Washing Program, Bridge Drainage Program, February 2002.

13) (社)日本橋梁建設協会：橋梁の付着塩分管理マニュアル，2001.3.

14) 兼田教一ほか：電導度法による塗膜付着塩分測定，防錆管理，Vol.42, No.1, 1998.1.

15) 建設省土木研究所：官民連帯共同研究，構造物の防汚技術の開発，(財)土木研究センター，1999.11.

16) (社)日本鋼構造協会：鋼橋塗装ライフサイクル調査研究最終報告，1994.11.

17) New York State Department of Transportation: MAINTENANCE CLEANING AND WASHING OF BRIDGES, Manual ENGINEERING INSTRUCTION, January 12, 1995.