

無塗装耐候性橋梁腐食部の補修塗装における素地調整技術

阪神高速道路(株)保全交通部保全企画課 高井 由喜
 阪神高速道路(株)保全交通部保全企画課 青木 康素
 阪神高速技術(株)技術部調査点検課 塚本 成昭

要 旨

耐候性鋼材を使用している阪神高速道路北神戸線の西堀越川橋梁では、構造上の特徴より上部からの漏水が懸念される箇所が狭隘であるため、適切な乾湿状態が繰り返されず保護性さびが形成されにくい環境にあった。また、冬期に凍結防止剤を散布する路線であるため、異常さび発生箇所では付着塩分量が基準値を超え確認されたため、塩分除去を目的とした補修塗装を行う必要があった。耐候性橋梁の補修塗装を行う場合、普通鋼材を用いた橋梁と同様 1 種ケレンによる素地調整が必要とされているが、補修事例が少なく、現在素地調整方法が明確ではない。そこで、本橋および耐候性鋼材試験片を用い、パワーツールを用いた素地調整方法の検討、戻りさび観察試験、初期塗膜調査を行い、適切な素地調整方法を検討した。その結果、2 種ケレンにより異常さびを除去後、ブラスト工法を行うことで付着塩分の除去を確認できた。また初期塗膜物性については問題ないことを確認した。

キーワード: 無塗装耐候性橋梁, 素地調整方法, 補修塗装

はじめに

耐候性鋼材とは、表面に形成される緻密なさび層により腐食の進行を抑制する性質をもつ無塗装で優れた耐候性を発揮する鋼材である。そのため、ライフサイクルコスト削減および環境負荷低減効果を狙い、わが国において、昭和 40 年代から耐候性鋼材を用いた橋梁（以下、耐候性橋梁）が多く採用されている。阪神高速道路においては、

1981 年に 4 号湾岸線に位置する三宝入路および出島出路で初めて採用されて以降、現在 300 径間以上で使用されている（表-1 参照）。

耐候性鋼材は、適度な乾湿が繰り返され、かつ大気中の塩分量が少ない条件では保護性さびが形成されるが、海岸から比較的近く大気中の塩分量が多い環境では、保護性さびが形成されず、建設計画時に期待した防食性能を有さないこともある。このような地理要因以外にも、漏水や結露により鋼材表面に湿潤状態が継続するような環境条件下でも同様に、異常さびが発生する事例が確認されている。また、凍結防止剤の影響で腐食が発生する等の環境要因でも異常さびが生じる事例がある。

保護性さびが形成されない環境下において、損傷原因を取り除くことが困難な場合、また母材の減肉を伴う腐食が生じている場合、塗装による防食を提案している¹⁾。しかし、耐候性橋梁の補修

表-1 阪神高速道路 耐候性橋梁資産数

路線		数量(径間)
大阪	4号湾岸線	6
神戸	7号北神戸線	129
神戸	31号神戸山手線	34
京都	8号京都線 油小路線	97
京都	8号京都線 斜久世橋線	36
合計		302

塗装の事例が少なく、補修後の時間経過が短いことから耐久性評価はできておらず、具体的な素地調整方法や補修時の塗装仕様の確立には至っていない²⁾。また、付着塩分の除去にはブラスト後の桁水洗が有効との検討知見³⁾があるものの、特定の橋梁に対する一例のみである。そこで、耐候性橋梁の補修方法における特に塩分除去を目的とした素地調整方法について検討した。

1. 補修対象橋梁損傷及び補修方法概要

阪神高速道路7号北神戸線の柳谷JCT付近に位置する西堀越川橋梁は、平成9年度しゅん工の耐候性橋梁であり、上下分離構造の連続非合成桁（上り線：3径間、下り線：2径間）である（図-1参照）。当橋梁の一般的な橋梁外面（図-1、図-2図内①）において、保護性さびが形成されているが、上部からの漏水が懸念される伸縮装置直下、および上下線で隣接した高欄の直下（図-1、図-2図内②および③）は、狭隘な環境であるため、

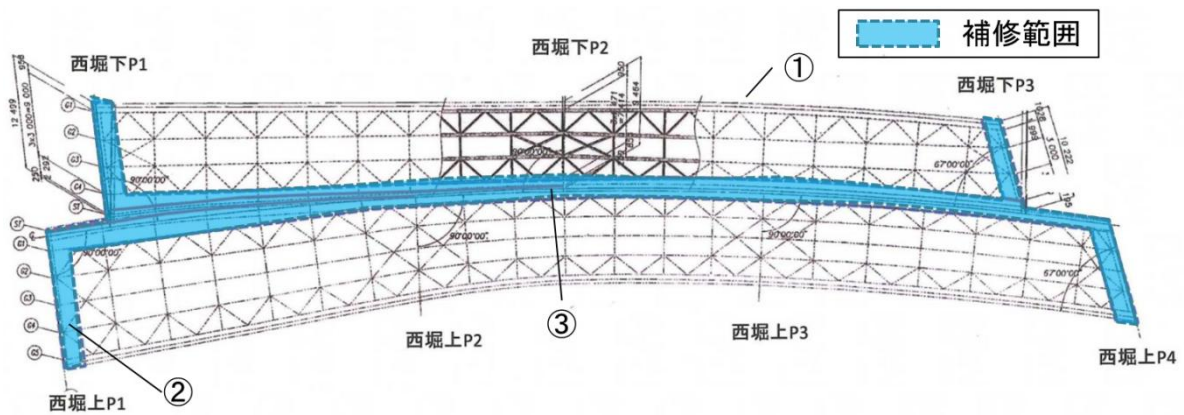


図-1 平面図および補修範囲図

橋梁全景	伸縮装置直下② 概略図	上下線分離の高欄直下③ 概略図
橋梁外面状況①	伸縮装置直下② 腐食状況	上下線分離の高欄直下③ 腐食状況

図-2 橋梁全景および狭隘部の腐食状況



写真-1 側縦桁下フランジ断面減少状況



写真-2 側縦桁の腐食状況例

表-2 補修塗装の仕様

工程	塗料	標準膜厚 (μm)	合計膜厚 (μm)
素地調整	1種ケレン	-	-
第1層	有機ジンクリッチペイント	75	250
第2層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	60	
第3層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	60	
第4層	ふっ素樹脂塗料用中塗	30	
第5層	ふっ素樹脂塗料上塗	25	

適切な乾湿が繰り返されず異常さびが確認された。応急対策として、異常さびのたたき落としと上下線の取り合い部を吹付ウレタンにて止水対策を行ったが、再度異常さびが生じた。現地踏査の結果、上下線が隣接している側縦桁下フランジにおいて異常さび厚さ1.5mm以上を確認し、鋼材の断面減少を最大2mm確認した(写真-1参照)。しかし、断面減少を確認した箇所が側縦桁に集中しているが、腐食範囲は写真-2に示すように側縦桁の全面には及んでいないことから、漏水により保護性さびが形成されないことが懸念される範囲(図-1参照)を補修範囲に選定した⁴⁾。なお、塗装仕様(表-2参照)は、既設橋梁の1種ケレンによる

塗装塗替え仕様と同様のものを用いている。

2. 調査項目

2-1 素地調整方法の検討

普通鋼材に1種ケレンを行い補修塗装を行う場合、表面粗度Sa 2 1/2を確保していること、鋼材表面の付着塩分量が $50\text{mg}/\text{m}^2$ 以下であることが必要である²⁾。しかし、異常さびが発生した耐候性鋼材の素地調整を行うにあたっては、上記に加え、異常さびの除去および凍結防止剤の影響による鋼材の付着塩分除去を加えて行う必要があった。耐候性鋼材に発生する異常さびは、通常のさびと比べ硬く、ブラストのみでの完全除去は困難と言われている。そのため、まず最初に異常さび除去を目的にパワーツールを用いた2種ケレン、付着塩分除去を目的に高圧水による洗浄を実施した後、補修塗装に必要な表面粗度を確保するためにブラスト処理を行った。ただし、試験範囲Aにおいては、通常の電動工具を使用したか、さびが硬く、異常さびの除去効率が劣ったため、試験範囲Bにおいては、2種ケレンに使用した工具を通常の電動工具よりも歯の硬度の高いダイヤモンド(写真-4参考)に変更し、素地調整を行った。また、高圧洗浄においては、温水塩分融解による付着塩分除去効果向上を狙い温水を用い、鋼材の戻りさびを懸念して防錆剤を添加させる予定であった。しかし、防錆剤(pH9程度の原液0.5%水溶液)が原因で洗浄水の電解質が増加するため、電解質当量から塩分量を計測する現有の塩分量計測機器では、付着塩分量を正確に計測出来ないことがわかった。以上より、今回、洗浄水には防錆剤は添加せず、代わりに戻りさび防止のため、温水高圧洗浄後の付着塩分量が基準値以下でも仕上げブラストを行い終了することとした。なお、2種ケレン後工程ブラストおよび温水高圧洗浄の順序を変更した方法Aおよび方法Bを用い、付着塩分量除去効率の比較を行った。試験範囲AおよびBは評点1程度のさびが確認された箇所であるが、試験範囲Cは、試験範囲AおよびBより異常さび発生状態が軽度




試験範囲	試験範囲A	試験範囲B	試験範囲C
評点	評点1	評点1	評点2
概観写真			
付着塩分量	1.999mg/m ² 以上		
素地調整工程	方法A	方法B	方法B

図-3 試験範囲の概要

表-3 各素地調整方法

	方法A	方法B
素地調整工程	2種ケレン *通常電動工具	2種ケレン *ダイヤモンド
	温水高圧洗浄	ブラスト
	ブラスト	温水高圧洗浄
	温水高圧洗浄	ブラスト
	ブラスト	温水高圧洗浄
	温水高圧洗浄	ブラスト
	ブラスト	—

表-4 各素地調整工程目的

工程	目的
2種ケレン	鋼材表面の異常さび除去
ブラスト	鋼材表面粗度の確保
温水高圧洗浄	鋼材表面の付着塩分除去



写真-3 2種ケレン前後の鋼材表面（試験範囲B）



写真-4 ダイヤツール

である評点2のさびが発生した箇所である。ブラスト工法はオープンブラスト工法を採用し、研掃材は“ビーナスサンド BN300”を使用した。

2-2 戻りさび観察試験

素地調整工程の中で、付着塩分除去を目的に防錆剤を用いず温水高圧洗浄を行うため、鋼材表面の戻りさびが懸念された。そこで、評点1のさびを対象に素地調整を行う試験範囲Aおよび試験範囲Bの調査対象箇所において、ブラスト終了直後から4時間後の素地表面および戻りさびの発生状況を確認した。なお、茶色の斑点状のさびが確認された時間を戻りさび発生時間としている⁵⁾。予備試験として、方法Bのブラスト処理1回目終了後の戻りさびの確認も行った。比較対象とする素地調整面積は各工程1.5m²程度とし、測点は上フランジ下面、下フランジ上下面においては1測点、ウェブ面においては3測点、合計7測点について付着塩分量の確認を行った。なお、各素地調整工程終了後、付着塩分量50mg/m²以下であること、戻りさびが確認できない状態である素地を合格とした。

2-3 初期塗膜性能調査

腐食した耐候性鋼材に素地調整を行うと、写真-5のように鋼材表面は凹凸が存在している。表面上ブラストにより適切な粗面を確認したとしても孔食内部にさびが残存する可能性があり、塗膜の密着力に影響を及ぼす懸念があった。そのため、試験片を用い、ケレン後に塗布した塗膜の健全性

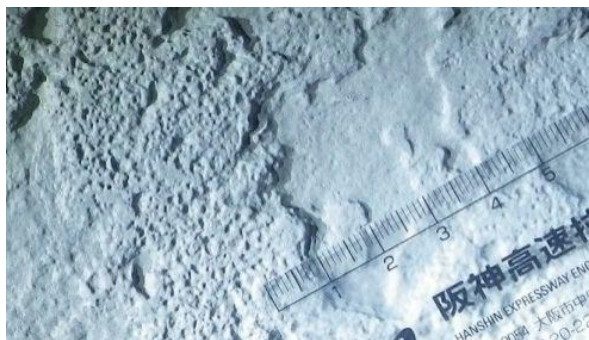


写真-5 素地調整終了後の鋼材表面
(有機ジンクリッチペイント塗布後)

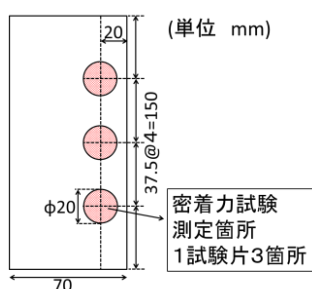


図-4 試験片概要

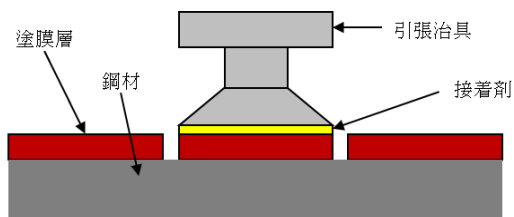


図-5 塗膜密着力試験概要

について調査を行った。試験片は 150mm×70mm の耐候性鋼材を用い、さび無しの試験片と評点 1 の異常さびを発生させた試験片を各 2 枚用意した。各調査項目を以下に示す。

(1) 平均膜厚

表-2 に示す塗装工程終了後、電磁膜厚計を用いて測定を行った。なお、表に示す合計膜厚 250 μm 以上を合格とした。

(2) イオン透過抵抗

表-2 に示す塗装工程終了後、イオン透過抵抗測定装置を用いて測定を行い、既往の検討⁶⁾を参考に 20G Ω 以上を目標値とした。

(3) 塗膜密着力

塗装工程終了後の試験片を用い、塗膜密着力の確認を行った。図-4 のように試験片に $\phi 20$ の測定箇所を 3 箇所設定し、接着剤にて塗膜と引張治具を接着させ、引張試験機にて接着強度を確認した。参考文献 7 を参考に、2.0MPa 以上を目標値とした。

3. 調査結果

3-1 各素地調整工程における付着塩分量推移

図-6, 7, 8 に、各方法における付着塩分量の推移を示す。試験範囲 A において、2 種ケレン後全測点で 1,500mg/m² を超える付着塩分量が確認された。なお、1 回目温水高圧洗浄後に降雨があり上部から漏水が確認されたため、もう一度温水高圧洗浄を行った。2 回目の温水高圧洗浄後には 300~650mg/m² 程度に低下が確認された箇所もあるが、下フランジ上下面においては 1,500mg/m² を超えており、付着塩分量低下を確認できなかった。その後、ブラスト処理 1 回目において、下フランジ下面で 750mg/m² まで低下を確認し、その後ほぼ一定に低下し、ブラスト 3 回目（仕上げブラスト時）に付着塩分量が合格基準を満たし、終了した。

試験範囲 B において、2 種ケレン後は試験範囲 A 同様に全測点で 1,500mg/m² を超える付着塩分量が確認されたが、ブラスト終了後には全測点において 100~450mg/m² まで低下した。しかし、その後行った温水高圧洗浄後での付着塩分量の低下はほとんど見られなかった。2 回目のブラスト処理後で全測点平均 55mg/m² と基準値近くにまで付着塩分量が低下し、ブラスト 3 回目（仕上げブラスト）で基準を満たした。なお、温水高圧水洗 2 回目で増加しているのは、工程の間に降雨があり、高欄隣接部から漏水が生じたためであり素地調整工程が影響したものではない。試験範囲 A および B の違いは、2 種ケレンに用いた工具の違いと、温水高圧洗浄およびブラスト処理の順番が異なることである。いずれの場合においても、温水高圧

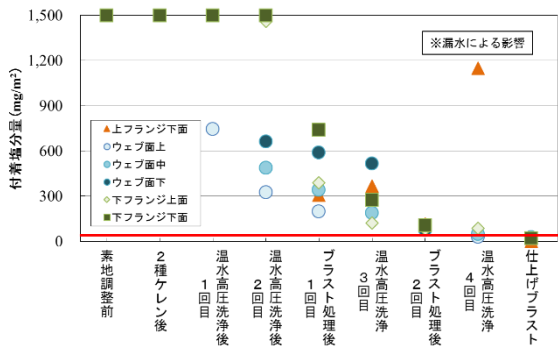


図-6 付着塩分量推移 (試験範囲 A)

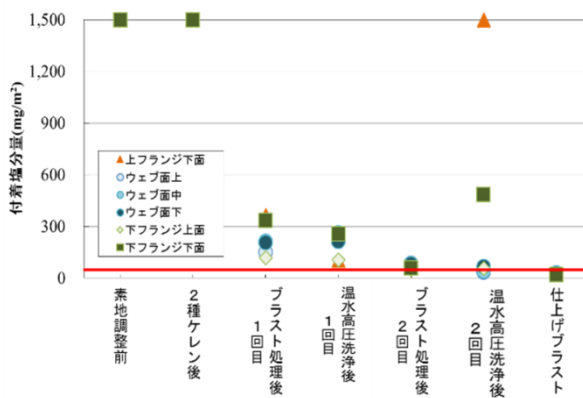


図-7 付着塩分量推移 (試験範囲 B)

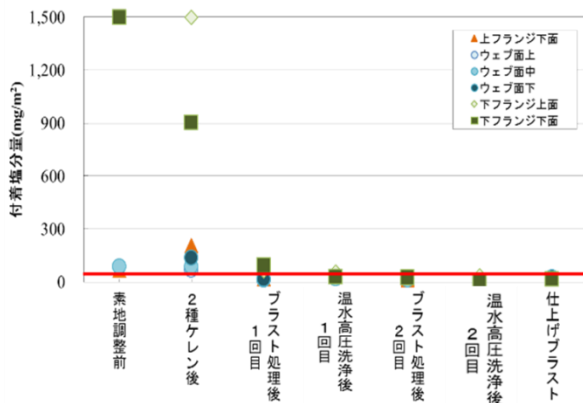


図-8 付着塩分量推移 (試験範囲 C)

洗浄による付着塩分量の低下量には大きな差がない。しかし、2種ケレン後温水高圧洗浄では全測点において低下がみられなかったが、ブラスト処理を行った試験範囲 B においては、全測点 300mg/m²まで低下していた。以上より耐候性鋼材

の付着塩分を除去するには、2種ケレンにより異常さびを確実に除去をすることが大切である。

さびの発生程度が異なる試験範囲 B および C について、同一素地調整方法 B により処理を行った結果を図-7 および図-8 に示す。試験範囲 C では、2種ケレン後に下フランジ上面において付着塩分量が低下しなかったが、下フランジ下面では 900mg/m²、その他の測点においては、200mg/m²以下まで低下した。最終的に、ブラスト処理 2 回終了時に付着塩分量 50mg/m²以下を確認した。なお、試験範囲 B においては、2種ケレン後は付着塩分量の低下はなく、ブラスト処理 3 回目終了後に 50mg/m²以下が確認された。以上より、温水高圧洗浄の付着塩分量除去に関する効果は小さいことを確認した。また、2種ケレンを行い、鋼材表面の異常さびを除去することで素地調整を効率的に行うことが可能であり、さびの状態が軽微であれば、付着塩分量の低下が望める。

3-2 戻りさび観察試験

図-9 および図-10 は、方法 A および方法 B の仕上げブラスト終了後の素地調整面である。付着塩分量は 16mg/m²、10mg/m²と両方もも基準値 50mg/m²以下であることを確認し、戻りさびの観察を行った。方法 A および方法 B においてブラスト処理後 4 時間では、戻りさびは確認できなかった。一方、図-11 は方法 B におけるブラスト 1 回目終了後の素地調整面である。付着塩分 114mg/m²と基準値を満たしていなかったが、ブラスト終了直後は茶色の斑点状のさびは確認されていない。しかし、ブラスト終了後 4 時間では茶色の斑点状のさびを確認した。付着塩分を確実に除去できていれば、鋼材の戻りさびは生じないため、ブラストは付着塩分量が基準値以下になるまで実施する必要がある。

3-3 初期塗膜調査

表-5 に各試験片の初期塗膜調査結果を示す。各試験片の平均膜厚において、塗装標準膜厚 250μm 以上であることを確認した。また、イオ

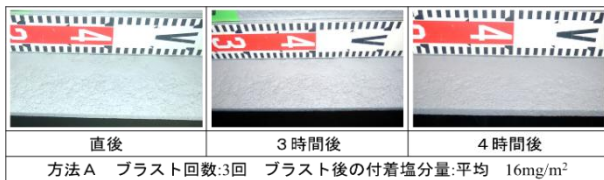


図-9 戻りさび観察試験（試験範囲 A）

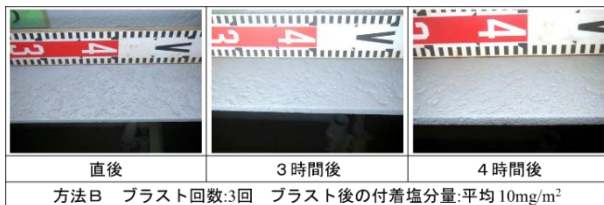


図-10 戻りさび観察試験（試験範囲 B）

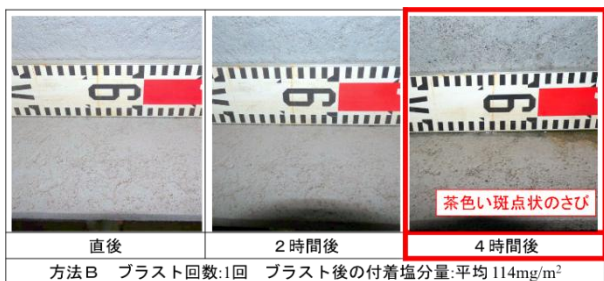


図-11 戻りさび観察試験
（試験範囲 B, プラスト 1 回目）

表-5 初期塗膜調査結果

		平均膜厚 (μm)	イオン透過抵抗 (Ω)	平均密着力 (Mpa)
方法A	さび無	348	>20G	7.3
		341		8.6
	さび有	331		6.8
		357		8.2
方法B	さび無	367		7.6
		470		8.5
	さび有	344		7.3
		326		6.8
方法C	さび無	340	7.2	
		307	8.0	
	さび有	341	6.1	
合格基準		>250	>20G Ω ⁶⁾	>2.0 ⁵⁾

ン透過抵抗と平均密着力共に目標値を満たしている。写真-6 および写真-7 よりさび無し試験片の塗膜の破壊状態は、上塗り塗膜の凝集破壊が大半であるが、さび有り試験片においては、中塗り塗膜の凝集破壊が確認された。どちらの試験片にお

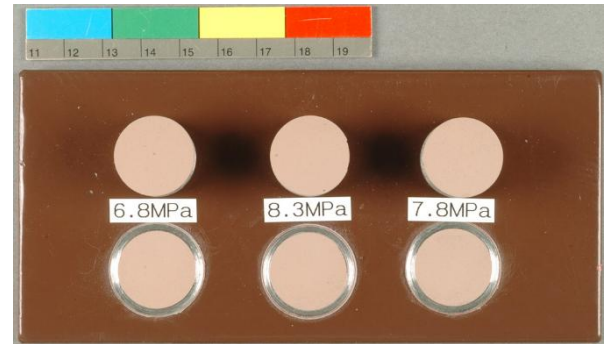


写真-6 塗膜密着力試験結果
（方法 B, さび無し鋼板）

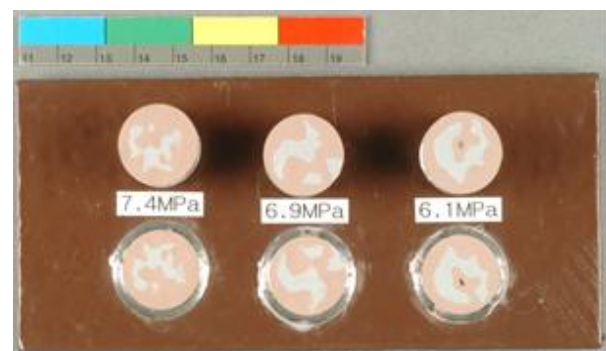


写真-7 塗膜密着力試験結果
（方法 B, さび有り鋼板）

いても、鋼材表面との付着切れによる破壊形態ではなかった。

鋼材表面に適切な素地を形成していれば、異常さびが生じた耐候性鋼での塗装による補修に関しても、健全な塗膜が形成可能と考えられる。

4. まとめ

耐候性橋梁の塗装補修における素地調整方法について検討を行った。得られた結果を要約すると以下のとおりである。

- 1) 素地調整工程において、異常さびを除去する 2 種ケレンを行うことで、付着塩分量除去を効率的に行うことができる。
- 2) 2 種ケレン、ブラスト処理を組み合わせることにより、鋼材の表面粗度確保および鋼材の塩分除去が可能である。
- 3) 既往の研究 ³⁾では、高圧洗浄により高い塩分

除去効果を確認したが、本検討では、高い効果は確認できなかった。今後、高圧洗浄による塩分除去方法の適用条件などを明確にする必要がある。

- 4) 付着塩分量が 50mg/m²以下であれば、素地調整終了後 4 時間以内には戻りさびは確認されなかった。
- 5) 異常さびが生じた耐候性鋼の補修塗装においても、鋼材表面の適切な素地 (Sa2 1/2) が確保できれば、一般部の塗装塗替えと同様に、健全な初期塗膜が形成できると考えられる。

耐候性橋梁の補修塗装において、健全な初期塗膜の形成のために必要な素地調整方法について検討を行った。今後は経年劣化に伴う塗膜の性能評価を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 阪神高速道路株式会社：耐候性橋梁の腐食損傷補修要領，2011. 9.
- 2) (一社)日本道路協会：鋼道路橋塗装・防食便覧 平成17年12月.
- 3) 今井，山本，麻生：耐候性橋梁の防食補修塗装の実施に関する一考察，土木学会論文集A1，Vol. 68，No. 2，pp. 347-355 2012.
- 4) 諸角，下田，徳増：無塗装耐候性橋梁の補修塗装検討について（7号北神戸線北延伸部 西堀越川橋），平成25年度阪神高速道路第45回技術研究発表会論文集
- 5) 樽岡，片岡，千葉：耐候性鋼材を使用した既設橋の補修について<耐候性鋼端の塗装補修事例>，2013.
- 6) 今井，立花，松本，紀平：鋼構造物の腐食診断にむけたイオン透過抵抗法の適用，防錆管理，Vol. 51，No. 5，2007.
- 7) (社)日本鋼構造協会：鋼構造物塗装診断マニュアル，p44-p45，2006.

CLEANING TECHNIQUE FOR REPAIR PAINTING ON A WEATHERING STEEL BRIDGE

Yuki TAKAI, Yasumoto AOKI and Shigeaki TSUKAMOTO

A weathering steel bridge on the Kita-Kobe Route of the Hanshin Expressway exhibited severe corrosion and salt adhesion caused by salt water leaking through a narrow gap between parallel bridge structures. The causes were poor formation of protective rust on the constantly wet surfaces and use of deicing salt during winter. Although the current design standard recommends shot-blast cleaning for repair painting on weathering steel, the technique has not been established due to lack of practical cases. This study showed that an appropriate combination of power tool cleaning and shot-blast cleaning followed by water cleaning would achieve satisfactory results, without affecting the initial coating films.

高井 由喜



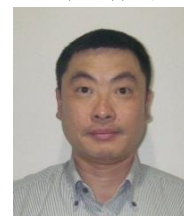
阪神高速道路株式会社
保全交通部 保全企画課
Yuki Takai

青木 康素



阪神高速道路株式会社
保全交通部 保全企画課
Yasumoto Aoki

塚本 成昭



阪神高速技術株式会社
技術部 調査点検課
Shigeaki Tsukamoto