

波形鋼板ウェブPC箱桁橋における塩害劣化の現状と評価

西日本高速道路エンジニアリング中国(株) 正会員 ○山内 健利
 西日本高速道路エンジニアリング中国(株) 俵 司
 西日本高速道路(株) 安井 健雄
 西日本高速道路(株) 澤井 健二

キーワード：波形鋼板ウェブ，凍結防止剤，塗膜劣化，付着塩分量

1. はじめに

山間部におけるコンクリート構造物は，冬季に散布される凍結防止剤による塩害が顕著であり，これらに対してさまざまな調査試験および検討が行われ，塩害の現状と対策工に関わる知見が蓄積されつつある。しかし，波形鋼板ウェブPC箱桁橋などの鋼・コンクリート複合構造の塗膜劣化や塩害の現状を調査・報告した事例などは少ない。本報告は，米子自動車道（蒜山IC～湯原IC）の供用後15年を経過した波形鋼板ウェブPC箱桁橋の塗膜と付着塩分量の調査を行い塩害劣化の現状と評価および維持管理上の留意点を報告するものである。

2. 対象橋梁の概要

本橋梁は，上り線が波形鋼板ウェブPC箱桁橋，下り線が1992年に架設された一般的なコンクリートウェブPC箱桁橋である。今回の調査対象である波形鋼板ウェブPC箱桁橋の橋梁全景を写真-1に，橋梁諸元を表-1に示す。橋梁形式は，コンクリートウェブを波形鋼板に換えた鋼コンクリート複合橋で上下コンクリート床版と波形鋼板の接合は，上下フランジプレートとアングルジベルにより接合するアングルジベル接合を採用している¹⁾ (図-1参照)。

この橋梁の周辺環境条件は，橋軸方向が南北，直角方向が東西方向（上り線が東側）となっており，さらに山間部に架設されているため，冬季には過去10年平均で年間約40t/kmの多量の凍結防止剤が散布されている²⁾。また，波形鋼板は鋼板の表裏を工場にて塗装し現場で接合部や連結部を塗装する仕様となっており，下側フランジプレートの上面には塗装完了後，防水層が施工されている。

今回の調査は，詳細点検時に波形鋼板外面に腐食点錆がほぼ全長にわたり確認され，とくに路肩側（東側）の鋼板下部に顕著な発錆と防水層の剥離が認められたため，塗膜の劣化状況の把握と凍結防止剤による付着塩分量調査を実施し，原因の推定と塗替塗装の必要性の判断材料とした（写真-2，写真-3参照）。



写真-1 橋梁全景（写真手前が上り線）

表-1 橋梁諸元（上り線）

構造形式	4径間連続波形鋼板ウェブPCラーメン箱桁橋
供用開始年	2003年（適用示方書：平成8年道示）
橋長（支間）	280.0m（44m+81m+95m+58m）
設計荷重	B活荷重
全幅員	10.150m
平面線形	R=700m
鋼材（波形鋼板）	SM490YB, t=9, 12, 16mm

3. 調査概要

3.1 調査項目および調査方法

調査項目・方法および調査数量を、表-2 に示す。塗装系は施工当時の規格である I 塗装系³⁾でその内訳を表-3 に示す。調査単位 (以下「パネル」と表記) は波形鋼板継目間 (幅 3.2~4.0m) とした。

塗膜調査は、外観調査、膜厚測定 (設計値 130 μm)、素地および塗膜層間の付着性を評価する付着性試験を実施した。また、付着塩分量試験は電導度法 (センサ固定による直接電気伝導率測定法) により健全部・劣化部で測定した。電導度法は測定器が軽量で現場での使用性に優れるが、NaCl 以外の水溶性塩類も検知するため、付着塩分量が実際より高めの測定結果となる。これに比べガーゼ拭き取り法は精度が高いものの作業時間が長くやや煩雑であり、とくに今回のような波形の表面ではさらに煩雑となる。したがって、今回は測定結果が安全側となることも考慮し電導度法による付着塩分量の測定を行うこととした。なお、付着塩分量の許容量は 50mg/m² 以下とした⁴⁾。

防水層の剥離については材料劣化が考えられるため、サンプル試料 (200mm×300mm) を現地で採取し持ち帰って引張および引裂試験とマイクロスコープによる断面観察を行った。

3.2 波形鋼板の塗装仕様について

本橋の塗装系である I 塗装は、重防食塗装系の工程数を減らし費用を抑えた薄膜重防食塗装 (旧仕様) である。このため、現行の重防食塗装系の C 塗装 (全膜厚 250 μm)⁴⁾ と比べ本橋の I 塗装 (全膜厚 130 μm) は薄く、重防食塗装の定義から外れ一般塗装系相当と考えられる。

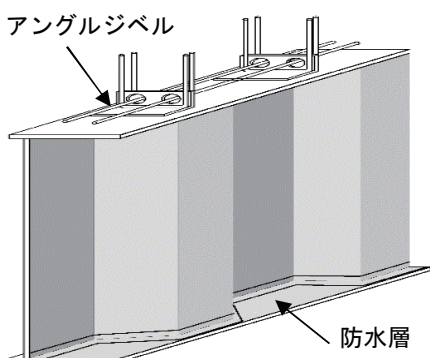


図-1 波形鋼板の概要



写真-2 腐食錆発生状況 (丸印内)

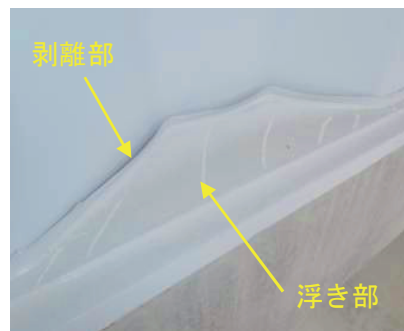


写真-3 防水層の浮き・剥離

表-2 塗膜 (外面) 調査項目一覧表

項目	調査・試験方法	数量
外観調査	近接目視調査 (パネル単位)	1 式 (さび, 剥がれにより I ~IV で判定)
膜厚測定	電磁式膜厚計	26 箇所 (健全部 11, 劣化部 15)
付着性試験	クロスカット法 JIS K5600-5-6	6 箇所 (健全部 3, 劣化部 3)
付着塩分量試験	電導度法 JIS Z 0313	22 箇所 (健全部 7, 劣化部 15)
防水材の材料試験	引張・引裂試験, 断面観察	1 試料 (剥離部 200×300)

表-3 波形鋼板 (外面) の塗装系

記号	工種	塗料または素地調整程度	標準使用料 (mg/m ²)	設計膜厚 (μm)	
I	前処理	プライマー	機能性プライマー	スプレー 200	17
	工場塗装	下塗り	有機ジンクリッチペイント	スプレー 700	75
		中塗り	ポリウレタン樹脂塗料用中塗	スプレー 170	30
		上塗り	ポリウレタン樹脂塗料用上塗	スプレー 140	25

4. 調査結果

4.1 外観調査

外観調査は、点検車による近接目視とし主にパネルごとのさび発生面積に着目し、保全点検要領構造物編(西日本高速道路株2017.4)に従い劣化度ランクを判定した(表-4参照)。これによると、「早急または適時な塗り替え」が必要となる劣化度Ⅱ～ⅢのパネルがA1-P1～P2-P3径間に集中していること、さらに、さびが発生(パネル面積に対して発錆1.0%以上)しているパネルの形状別(凹凸面:A面～D面)劣化面数を比較すると、C面がその約6割を占めていることが分かる(図-2参照)。

このC面にさびが多く確認される理由として、本橋の橋軸方向がほぼ南北方向であること、鋼板の形状が波形であることが要因と考えられる。さらに、鋼板の腐食に大きな影響を及ぼすと考えられる凍結防止剤は冬季に散布されること、最寄りの観測所の風向きの約6割が北寄りの風(年間を通じて北東から北西)であること⁵⁾によるためと考えられる。

なお、P3-A2径間の劣化パネルが少ないのは、本橋が終点に向かってやや右カーブの平面曲線を有しておりパネルの対面角度が南側に変化しているためと考えられる。

表-4 パネルの劣化度と径間別パネル数(単位:枚)

劣化度\径間	A1-P1	P1-P2	P2-P3	P3-A2	計
I 緊急な塗り替え	0	0	0	0	0
II 早急な塗り替え	1	10	2	0	13
III 適時な塗り替え	6	11	21	1	39
IV 調査を継続	5	5	9	17	36
合計	12	26	32	18	88

4.2 塗膜性状について

塗膜性状については、膜厚測定と付着性試験により判定した。膜厚測定結果を表-5に、付着性試験結果を表-6に示す。

膜厚測定結果は、健全部・劣化部とも平均値は設計値130μmを満足するものの、劣化部は一部設計値を下回り健全部よりやや薄い結果となった。

付着性試験は、さびの発生が顕著なパネルの健全部3箇所・劣化部3箇所(内1箇所は錆近傍)で実施し、5箇所において分類0～2の「塗膜の付着性能は一般目的に適合する」となったが、錆近傍の1箇所のみ分類4となった。

以上より、本橋の塗膜性状は膜厚、付着性とも一部の劣化部を除き施工当時の性能を維持していると考えられるが、「早急または適時な塗り替え」が必要となる劣化度Ⅱ～Ⅲのパネルが約6割確認されているため付着塩分量の分布等も踏まえた総合的な判断が必要と考えられる。

また、塗膜厚と塗膜の早期劣化率の関係について「膜厚が125μmを下回ると急激に欠陥の起こる確率が上昇する(膜厚125μmで劣化率10%、膜厚75μm以下で劣化率30～40%)」との文献⁶⁾もあり当初設計膜厚が薄いことが早期劣化の1要因とも考えられる。

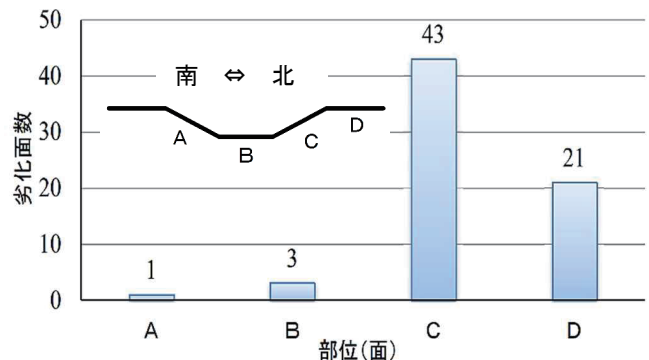


図-2 パネル形状別の劣化面数(発錆1.0%以上)

表-5 膜厚測定結果(平均値)

項目	健全部	劣化部
測定箇所数	11	15
測定値(μm)	141～291(187)	127～205(176)
設計値(μm)	130	130

表-6 付着性試験結果(クロスカット法)

分類No.	0	1	2	3	4	5
箇所数	0	4	1	0	1	0

試験結果の分類

分類	0	1	2	3	4	5
状態						4よりさらに悪い

4.3 付着塩分量試験

波形鋼板表面の付着塩分量は、電導度法にて健全部 7 箇所、劣化部 15 箇所にて測定し、その平均値を表-7 に、パネル形状別を表-8 に示す。

付着塩分量は、健全部・劣化部とも箇所別の測定結果平均では明らかな差は確認されないもののパネル形状別(面)では北側に面したC面が他の面に比べ4~5倍と多いことが分かる。この傾向は、外観調査結果と同様であり、本橋の橋軸方向と風向きが大きく関係し橋面に散布された凍結防止剤が通行車両により巻き上げられると同時に北寄りの風により桁側面に運ばれ、波形鋼板表面に付着したものと考えられる。



写真-4 付着塩分量測定状

表-7 付着塩分量測定結果 (平均値)

項目	健全部	劣化部
測定箇所数	7	15
付着塩分量 (mg/m ²)	86.3	90.4
許容塩分量 (mg/m ²)	50	

4.4 防水材の材料試験

防水層の浮き・剥離などの原因を推定するため防水層材の性能試験を実施し、その結果を表-9 に示す。これによると、防水層は材料としての性能劣化は認められなかったが、塗膜断面写真からはプライマー層が確認できなかったため、プライマー層の経年劣化に伴う付着性能の低下が要因と考えられる。

表-8 パネル形状別の付着塩分量 (平均値 : mg/m²)

径間\面	A	B	C	D
P1-P2, P2-P3	41.8	52.4	192.6	59.1

表-9 防水層の性能試験結果

項目		試験値	規格値
引張試験	引張強さ (N/mm ²)	17	12
	破断時の伸び (%)	390	380
引裂試験	引裂強さ (N/mm)	71	58
断面観察	プライマー層確認できず		

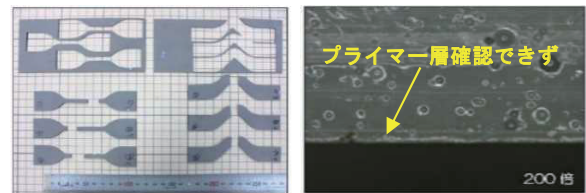
5. まとめ

今回の波形鋼板の塗膜調査結果により得られた知見および補修工事や維持管理上の留意点を下記に示す。

- (1) 本橋の塗膜は、当初設計膜厚を満足し付着性も良好であったが薄膜重防食塗装(旧仕様)であり膜厚の薄さが劣化の1要因と考えられる。
- (2) 外観調査結果(さびの発生状況)と付着塩分量は、劣化面数や形状において同様な傾向にあり、波形鋼板特有の凹凸形状および凍結防止剤を飛散させる北寄りの風が原因と考えられる。
- (3) 防水層の劣化は、材料試験結果よりプライマー層の経年劣化によると考えられる。
- (4) 現行の重防食塗装系への早期塗り替えと定期的な水洗いが維持管理上効果的と思われる。

参考文献

- 1) 公益社団法人プレストレストコンクリート工学会: コンクリート橋・複合橋保全マニュアル, 2018. 7
- 2) 日本道路公団中国支社: 中国支社管内平成 15 年度雪氷対策報告書作成業務雪氷報告書, 2004. 11
- 3) 西日本高速道路(株): 設計要領第Ⅱ集 橋梁保全編, 2017. 7
- 4) 公益社団法人日本道路協会: 鋼道路橋防食便覧, 2014. 3
- 5) 国土交通省気象庁 HP: 過去の気象データ <http://www.jma.go.jp/jma/index.html> (閲覧日 2019. 2)
- 6) 日本ペイント(株)HP: <https://www.nipponpaint.co.jp/> (閲覧日 2018. 12)



左: 引張試験 右: 引裂試験 採取塗膜断面写真