

鉄道鋼製桁上フランジ ライニングシステムの開発とその適用

西山 宏一・津田 晃宏

現在、鉄道の鋼製橋梁は架設後 60 年以上経過したものが多く、腐食進行による劣化が問題となっている。特に、直接まくらぎが接している桁上フランジの劣化部は、施工条件が厳しいため、有効な対策手法がなかったのが現状である。

そこで、鋼製桁の上フランジ面に対して、夜間の非常に限られた時間内（最終列車の運転終了後から、始発列車の運転開始までの間）に、耐久性の高い防食を可能とする工法を開発した。

本稿では、鋼製桁の現状および開発した「鉄道鋼製桁上フランジ ライニングシステム」の紹介と実橋梁での実証施工の報告を行う。

キーワード：鉄道橋、鋼製桁、上フランジ、重防食、ウレア系樹脂、まくらぎ、腐食

1. はじめに

鉄道の鋼製橋梁は全国に約 5 万橋あると言われており、そのうち半数は架設後 60 年以上経過している。

近年、土木構造物の長寿命化やライフサイクルコストの低減が注目されるなか、効率的かつ効果的なメンテナンス手法が求められている。

これらの鋼製橋梁では、塗装によるメンテナンスが定期的に行われている。しかし、軌道直下となる直接まくらぎが設置されている鋼製桁の上フランジの塗装に関しては、以下のような問題がある。

- ①施工は線路閉鎖時間内である夜間作業となり、時間的制約が大きい。
- ②塗装の 2～3 時間後には、塗膜に列車荷重が載荷される。

そのため、効果的なメンテナンス手法がなく、上フランジの腐食が進行している鋼製桁が多いのが現状である。

そこで、防食ライニングとして実績のある UU ライニング工法を適用し、桁上フランジに対して非常に限られた時間内に、耐久性の高い防食を可能とする工法「鋼製桁上フランジ ライニングシステム」を開発した。さらに、実橋梁において試験施工を行い、当工法が適用可能であり、実用レベルであることを確認した。

2. 鋼製桁上フランジのまくらぎ下の腐食状況

鋼製桁では、支承部、部材接合部およびまくらぎ下が最も腐食しやすい。

写真-1 は、60 年以上経過した鋼製橋梁の上フランジのまくらぎ下の状況である。健全な塗膜はほとん

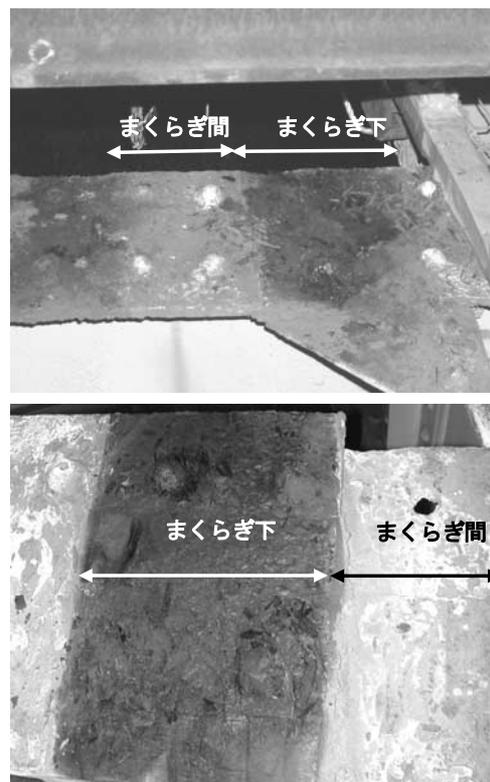


写真-1 桁上フランジの腐食状況

ど残っておらず、リベットやフランジ面に孔食や欠食がみられる。これらは、環境条件による腐食しやすさに加えて、軌道の振動に伴う摩耗の影響も大きいと考えられる。劣化は供用に支障をきたすレベルには達していないが、まくらぎ下の部分はまくらぎ間の部分に比べて、腐食が進行している。

3. 鋼製桁上フランジまくらぎ下のメンテナンスの現状

鋼製桁上フランジのまくらぎ下の部位に対して、現在行われているメンテナンス手法を以下に示す。

- ①まくらぎを移設して、塗装を行う。
- ②まくらぎ更換時に塗装を行う。
- ③点検を重点的に行う。

①の移設して塗装を行う手法としては、財団法人鉄道総合技術研究所の「鋼構造物塗装設計施工指針、2005」に示されている「ガラスフレイク塗料」による塗装が一般的である。しかし、図-1に示すようにまくらぎ間を塗装し、塗膜乾燥後まくらぎを移設し、

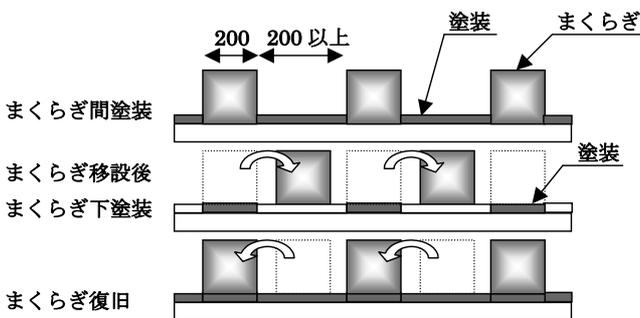


図-1 塗装に伴うまくらぎ移動略図

残りの部位を塗装後、まくらぎを元の位置に戻すため、まくらぎの移設が2回必要となる。また、まくらぎ間隔が20 cm 以下の場合（まくらぎ幅より短い）には移設が3回必要となる。さらにリベット桁では、各位置のリベット形状に合わせてまくらぎ底面が加工（くり抜き）されているため、移動も容易ではない。これらの理由により、現在は、ほとんど行われていない。

現状は②ないし③の手法でメンテナンスが行われているが、②のまくらぎ更換時に塗装を行う手法は、塗装が未乾燥の状態でまくらぎを載せることになり、十分な塗装効果は得られない。

4. 開発の方針

今後、まくらぎ下のメンテナンスを適切に行わなければ、鋼製桁の腐食が鋼材損傷に進展して大幅な補修・補強工事が必要になることが予想される。そのため、まくらぎ下の適切なメンテナンス手法の確立が必要である。

そこで、鋼製桁上フランジ面のまくらぎ下の部位に対する効率的かつ効果的な塗装工法の開発を行った。

問題点は「夜間作業で且つ時間的制約を受けるため、非常に効率が悪く、維持管理コストもかかる」ことであった。これらを解決するため以下の方針で開発に臨んだ。

- ①線路閉鎖時間で完了し、保線作業にかかる費用を縮減する。
- ②一般の塗装より耐久性が高い材料を使用することで、塗り替え周期を長くし、維持管理コストの抑制を図る。

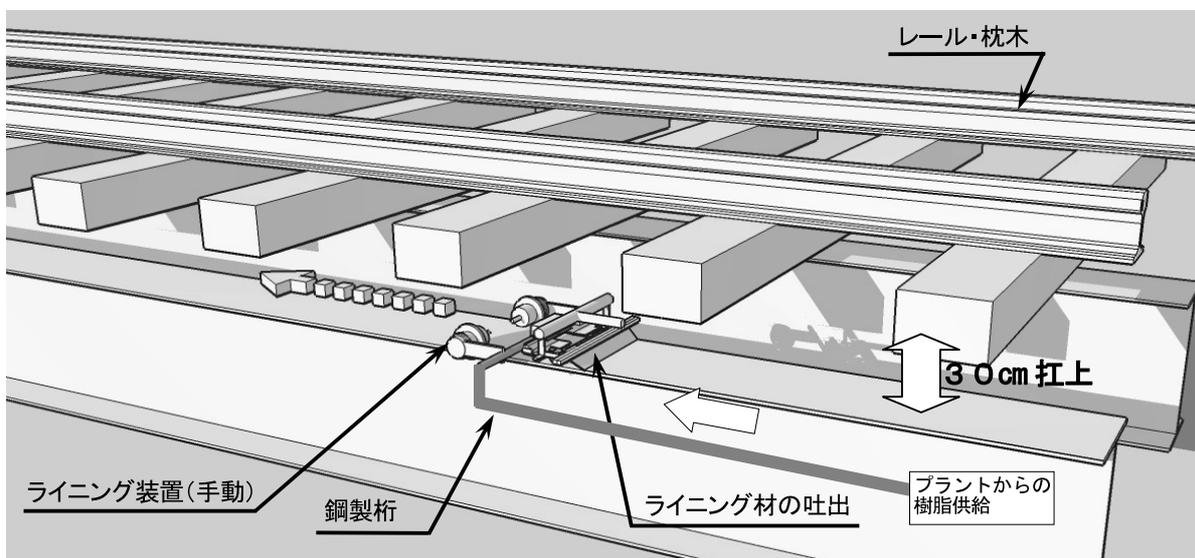


図-2 工法概要図

5. 工法の概要

開発した「鋼製桁上フランジ ライニングシステム」は夜間の線路閉鎖時間内にまくらぎとレールを締結したまま持ち上げ、ライニング装置を用いて鋼製桁の上フランジを速硬化性のウレア系樹脂で塗装する工法である（工法概要を図—2に示す）。

なお、ウレア系樹脂は現場付近に設置したプラントからホースを経由してライニング装置まで送液され、専用のノズルにより吐出される。

6. 工法の特長

(1) 特長

「鋼製桁上フランジ ライニングシステム」の特長を以下に示す。

- ①まくらぎとレールを締結したまま持ち上げ、まくらぎと上フランジ間に約 30 cm 程度の隙間を確保するだけで施工可能
- ②線路閉鎖時間内の短時間で効率的に施工可能
- ③速度制御可能なライニング装置と専用樹脂吐出ノズルにより均一な塗膜を形成可能
- ④ライニング材のウレア系樹脂は速硬化性なので、施工後、10分程度でまくらぎおよびレールを復旧可能
- ⑤ウレア系樹脂は非常に耐久性が高く、鋼製桁の劣化因子となる水分および酸素を遮断し、腐食進行を大幅に抑制可能

(2) 塗膜材料

鋼材の腐食進行を抑制するためには、塗膜材料には酸素と水分の供給を長期間遮断する性能が必要であ

表—1 ウレア系樹脂の諸性能

	項目	単位	結果・試験値	
基本物性・諸性能	引張強度	(MPa)	10	
	伸び率	(%)	500	
	引き裂き強度	(Mpa/cm)	500	
	硬度		83	
	ゲルタイム	(sec)	20～30	
	耐衝撃性	デュボン式		異常なし
	耐摩耗性	摩耗輪 CS-17	(g)	0
	接着力試験 (鉄板)		(MPa)	4.4
	ゼロスパン伸び		(mm)	6
	耐酸性試験			異常なし
	耐アルカリ性試験			異常なし
	酸素透過阻止性		(mg/cm ² ・日・atm)	4.04 × 10 ⁻²
	水蒸気透過阻止性		(mg/cm ² ・日)	2.2
遮塩性		(mg/cm ² ・日)	0.7 × 10 ⁻³ (測定下限値)	

る。また、まくらぎ下という過酷な環境下であるため、一般的な塗料では約 1 年で塗膜が消失する報告もあり、非常に高い耐久性が要求される。

さらに、夜間の線路閉鎖時間内に施工し、塗装後まくらぎを再設置し、すぐに始発列車が通過するためには、速硬化性、早期の強度発現という性能も要求された。

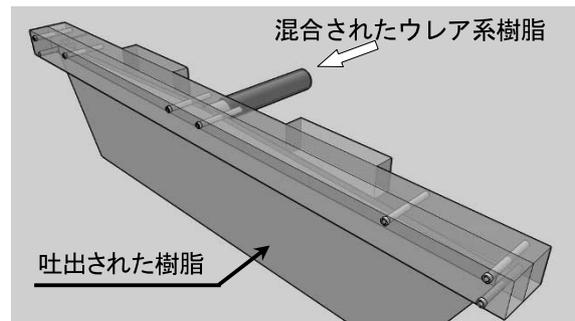
以上のような条件を考慮し、表—1に示すように劣化因子の遮断性能が高く、ゲルタイム（硬化時間）が非常に短く、耐摩耗・耐衝撃性能に優れたウレア系樹脂は最適である。

(3) ウレア系樹脂専用吐出ノズル

ウレア系樹脂は粘性が高いため、一般的には空気圧で樹脂を吹き付けて施工している。

しかし、吹付けは、通常ノズルの先から吹付け面まで 60 cm 程度必要とする。今回のようにまくらぎと上フランジ間に約 30 cm 程度の隙間しかない場合、吹付け作業は非常に困難となる。

そこで、図—3に示すような樹脂が硬化するまでに桁幅全体に幅広く樹脂を吐出させる構造のノズルを考案した。試作段階では、ゲルタイムが短いため、樹脂が硬化して閉塞することが問題であったが、改良を重ねた結果、写真—2に示すように、桁幅全体に均一に樹脂を安定して吐出することが可能となった。



図—3 ウレア系樹脂専用吐出ノズル



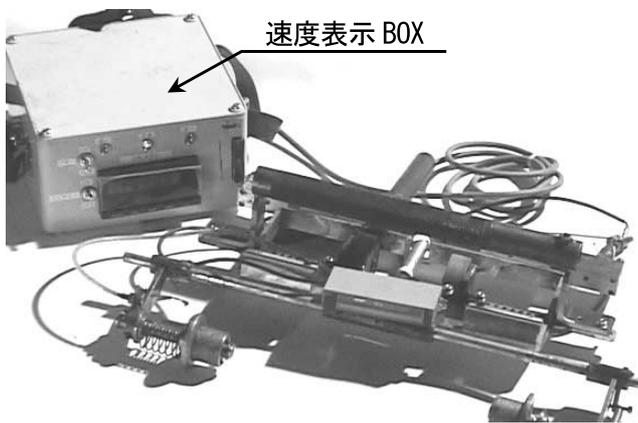
写真—2 ウレア系樹脂吐出状況

(4) ライニング装置

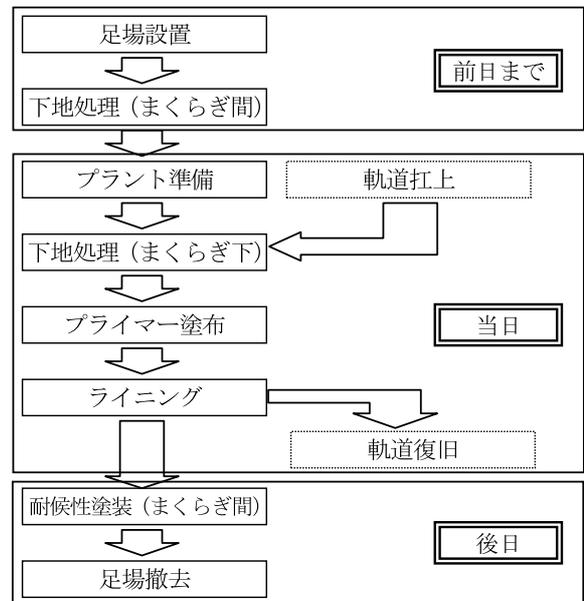
ライニング装置は、まくらぎと上フランジ間に30 cm 程度の隙間で施工するため、コンパクトでシンプルな構造とした。さらに非常に限られた時間内での作業となるため、トラブルに柔軟に対応できるように、手動による駆動方式とした。

均一な塗膜を形成するために、速度制御機能を付与した。車輪に組み込んだ速度検知装置により、オペレータは走行速度をリアルタイムで確認でき、一定速度で走行させることが可能となった（写真—3）。

塗膜の厚さは、樹脂の吐出量とライニング装置の走行速度で制御する。



写真—3 ライニング装置



図—4 施工フロー

7. 実橋梁への適用

今回、阪急電鉄株の実橋梁において本システムによる試験施工を行った。対象橋梁は桁長約13 mの鋼製上路桁I型鋼（I-300×1500）であり、片線2条を夜間線路閉鎖時間内の約3時間で軌道扛上からライニングまでの作業が完了できることを確認した。

全体の施工フローを図—4に示し、ライニング当日の作業詳細を以下に述べる。

(1) レール・まくらぎ扛上

線路閉鎖後、山越器を使用し橋梁部のまくらぎとレールを同時に持ち上げる（写真—4、5）。

(2) 下地処理（ケレン）

ディスクサンダーで、ライニング面のケレンを行う。ケレンの程度は時間的制約から2種ケレンと3種ケレンの中間程度となる（写真—6）。

(3) プライマー塗布

刷毛・ローラーでプライマーを塗布する。



写真—4 軌道扛上状況



写真—5 軌道扛上完了



写真—6 下地処理完了

(4) ライニング

約 10 分程度養生し、プライマーの乾燥を確認し、桁上フランジにライニング装置を設置し、専用ノズルからウレア系樹脂を吐出させながら、走行させてライニングする (写真一7, 8)。



写真一7 ライニング状況



写真一8 ライニング完了

(5) レール・まくらぎ復旧

ライニング後、約 5 分間静置した後、まくらぎとレールを降下させる。

ライニング当日の時間工程を表一2に示す。ライニング作業だけに要した時間は約 70 分であった。

表一2 時間工程

作業工程	時	0					1					2					3				
	分	50	0	10	20	30	40	50	0	10	20	30	40	50	0	10	20				
レール・枕木扛上																					
下地処理(ケレン)																					
プライマー塗布～養生																					
ライニング～養生																					
レール・枕木復旧																					

← 約70分 →

8. システムの有用性 (ライフサイクルコスト試算)

従来塗装と当システムを適用した場合のライフサイクルコストの比較を行った。なお、従来塗装は、まくらぎの移設を伴いながらエポキシ樹脂系ガラスフレークにより塗装を行うものを比較対照とした。

イニシャルコストは従来塗装の 2 倍程度になるが、従来塗装は耐用年数が 10 年程度とされており、10 年に一度は塗り替えが必要となる。

対して、ウレア系樹脂は、年間 20 ~ 50 μm の紫外線劣化が進行すると言われており、1.5 mm の膜厚であれば耐用年数は 30 年程度であると想定される。

以上の点から、維持管理も含めたトータルコストを考えると 10 年を経過した時点で逆転し、ライフサイクルコストは縮減できると考える。

9. おわりに

軌道直下のまくらぎと接触している鋼製桁の腐食が問題となっていることから「鋼製桁上フランジ ライニングシステム」を阪急電鉄(株)と共同開発し、供用中の鋼製桁において試験施工を行った。線路閉鎖時間内に、予定通り施工を終えることができ、当システムの実用性を確認することができた。

今後、鉄道鋼製構造物の長寿命化、メンテナンスを行っていくうえで、本工法が一役を担うことができれば幸いである。関係各社の指導、協力を仰ぎながら、事後保全だけでなく、予防保全も含めて技術提案を積極的に図っていきたいと考えている。

JICMA

《参考文献》

- 1) 財団法人鉄道総合技術研究所「鋼構造物塗装設計施工指針, 2005」

[筆者紹介]



西山 宏一 (にしやま こういち)
 (株)奥村組
 技術本部 環境プロジェクト部
 技術企画課



津田 晃宏 (つだ あきひろ)
 (株)奥村組
 関西支社 環境プロジェクト部
 リニューアル課