

# 報告 既設表面保護工の健全性に関する実橋調査

宮本 祐輔\*1・伊藤 裕一\*2・吉田 幸司\*3・伊藤 雄郷\*4

**要旨：**東海道新幹線のコンクリート高架橋を対象に、2000年より施工している既設表面保護工（塗装系）の健全性と効果について実橋調査を行った。その結果、既設表面保護工は概ね健全な状態であり、中性化防止効果が発揮されていることを確認した。また、施工上膜厚が薄くなりやすい部位を特定し、塗膜のひび割れを防止するための留意点について検討した。

**キーワード：**表面保護工、表面被覆工、塗膜、健全性、中性化、ひび割れ

## 1. はじめに

開業後 50 年以上が経過する東海道新幹線のコンクリート構造物は、現在も適切な維持管理により健全性を維持している。一方で、鉄筋コンクリート構造物の経年劣化の1つにコンクリートの中性化に伴う鉄筋腐食が懸念され、維持管理上の課題の1つとなっている。これに対し、1999年7月に「東海道新幹線コンクリート構造物維持管理標準」<sup>1)</sup>（以下、維持管理標準と略す）を制定し、2000年から中性化対策として図-1のように表面保護工（塗装系）を施工してきた<sup>2)</sup>。また、コンクリート構造物の予防保全として、平成25年度より大規模改修工事に着手し、変状発生抑止対策として高架橋の梁や中央スラブについては表面保護工、はね出しスラブについては恒久対策として新たに開発した鋼板接着を施工している<sup>3)</sup>。

一方で、高架橋における既設表面保護工は、維持管理標準に則って施工後、最大18年が経過しており、既設表面保護工の健全性や耐久性が明らかになっておらず、今後の塗替を含めた維持管理方法が課題となっている。そこで、東海道新幹線の高架橋を対象に、既設表面保護工の健全性と効果を確認することを目的として実橋調査を行ったので、その結果について報告する。



図-1 維持管理標準による既設表面保護工<sup>1)</sup>

## 2. 調査概要

### 2.1 調査対象

調査対象の既設表面保護工は、維持管理標準にて定める4種類の塗装種別（表-1）とした。それぞれの主な特徴は次のとおりである。A種は列車荷重を直接支える梁部材に施工するため、ひび割れ追従性に優れる。Ae

表-1 維持管理標準における塗装種別と施工部位<sup>1)</sup>

種別	Ae種	A種	B種	C種
対象部位（高架橋）	縦梁中央部（下面・側面）	縦梁ハンチ部（下面・側面） 横梁部（下面・側面）	中央スラブ部	はねだしスラブ部
1. 外観	塗膜は均一で、ながれ・むら・ふくれ・はがれないこと。			
2. 耐アルカリ性	水酸化カルシウムの飽和水溶液に30日間浸漬しても塗膜にふくれ・われ・はがれ・軟化・溶出のないこと。			
3. 耐候性	3000時間の促進耐候性試験を行った後、白亜化が極めてわずかであり、塗膜にわれ・はがれがなく、色の変化の程度が原状試験片と比べて大きくないこと。			
4. 接着性	標準状態	1.0N/mm <sup>2</sup> 以上		
	耐アルカリ性試験後	0.7N/mm <sup>2</sup> 以上		
5. 中性化抑止性	中性化深さ3mm以下			
	(二酸化炭素濃度5%の促進状態で10週間静置後)			
6. 水蒸気透過性促進耐候性試験後（3000時間）	1mg/cm <sup>2</sup> ・日以下	5~10mg/cm <sup>2</sup> ・日	10mg/cm <sup>2</sup> ・日以下	
7. 酸素遮断性促進耐候性試験後（3000時間）	0.05mg/cm <sup>2</sup> ・日以下			—
8. 耐疲労性	標準養生後促進耐候性試験後（3000時間）	塗膜のひび割れ・破断がないこと。		
	—	—	—	—
9. ひび割れ追従性	標準状態	0.6mm以上	0.4mm以上	—
	低温時（0℃）促進耐候性試験後（3000時間）	0.3mm以上	0.2mm以上	—
10. 押し抜き荷重試験	—	—	—	1.5kN以上

\*1 東海旅客鉄道（株） 総合技術本部 技術開発部 研究員 工修(正会員)  
 \*2 東海旅客鉄道（株） 総合技術本部 技術開発部 チームマネージャー 工博  
 \*3 東海旅客鉄道（株） 総合技術本部 技術開発部 チームマネージャー 工博(正会員)  
 \*4 東海旅客鉄道（株） 総合技術本部 技術開発部 主幹研究員 工修(正会員)

種は、A種のひび割れ発生を防止するために平成19年から新たに導入した仕様であり、耐疲労性を有する。耐疲労性は、温度湿度を制御しながら所定の加振条件で耐疲労性を確認できるよう独自に製作した塗膜疲労試験機を用いて試験を行っており、標準養生後および3000時間の耐候性試験後の試験体それぞれについて、0.2mmのコンクリートのひび割れに0.040mmのムーブメントを与え、-10℃、20℃、60℃において各600万回、計1800万回の加振を加えることにより、塗膜にひび割れ・破断が生じないことを要求している。B種は内部からの水分を外部へ逃がすために水蒸気透過性に優れた材料であり、水蒸気透過性に下限値を設けている。C種は剥落などによる公衆災害防止のため繊維シートを用いた材料であり、押し抜き荷重に対する抵抗性を要求している。

維持管理標準は、(社)日本鉄道施設協会にて発行され、品質規格を満たす材料であれば、どの塗料メーカーの製品でも採用可能である。施工実績として、維持管理標準制定直後は複数メーカーの塗料を使用していたが、2003年以降は概ね同一の製品(表-2)を施工している傾向にある。

調査対象の構造物は新幹線高架橋117セットとし、図-2のように既設表面保護工の施工年度や地区(東京、静岡、名古屋、大阪)を分散させて選定した。

## 2.2 調査項目および位置

各高架橋における調査項目は、接着性試験・膜厚測定・ひび割れ調査・紫外線測定・中性化深さの5項目とした。各調査項目の具体的な内容を以下に示す。また、各高架橋における調査位置は図-3による。

### (1) 接着性試験

JSCE K531-1999「表面保護材の付着強さ試験方法」に準拠し、既設塗膜に接着性試験用治具(40mm×40mm)を接着し、治具周辺に切り込みを入れてから建研式接着力試験器(LPT-400型)を用いて引張力を加え、破断時の最大引張荷重から付着力を算出した。

### (2) 膜厚測定

接着性試験により採取した試料を用いて、塗膜断面をデジタルファインスコープ(OMRON VC3500)にて観察し、上塗材の残存膜厚の測定を行った。測定イメージを図-4に示す。

### (3) ひび割れ調査

既設塗膜のひび割れの有無を、近接目視にて確認した。なお、現地で確認されたひび割れの一部については、 $\pi$ 型変位計を取付けて列車通過時の動的ひび割れ開閉量を測定するとともに、図-5のようにひび割れ部の現地塗膜を採取し、塗膜断面をデジタルファインスコープにて観察した。また、塗膜ひび割れが生じていない健全部から現地塗膜を採取し、既設塗膜の疲労耐久性能を確認し

た。試験方法は、維持管理標準に定める試験方法に準じて試験を実施し、試験体の作成方法は、現地塗膜をコンクリートと一体で採取し、コンクリートカッターで背面

表-2 各塗装種別の使用材料

塗装種別	上塗材	中塗材
A種	フッ素樹脂塗料	エポキシ樹脂塗料
Ae種	フッ素樹脂塗料	ポリブタジエン樹脂塗料
B種	アクリル系塗料	ポリマーセメント系無機質材
C種	シリカ系塗料	アクリル系ポリマーセメントモルタル

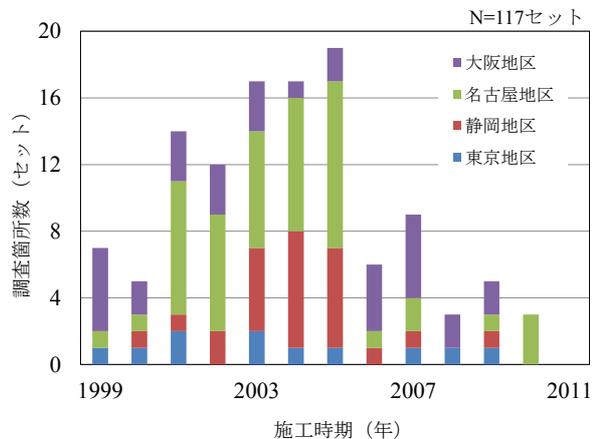


図-2 調査対象構造物の内訳

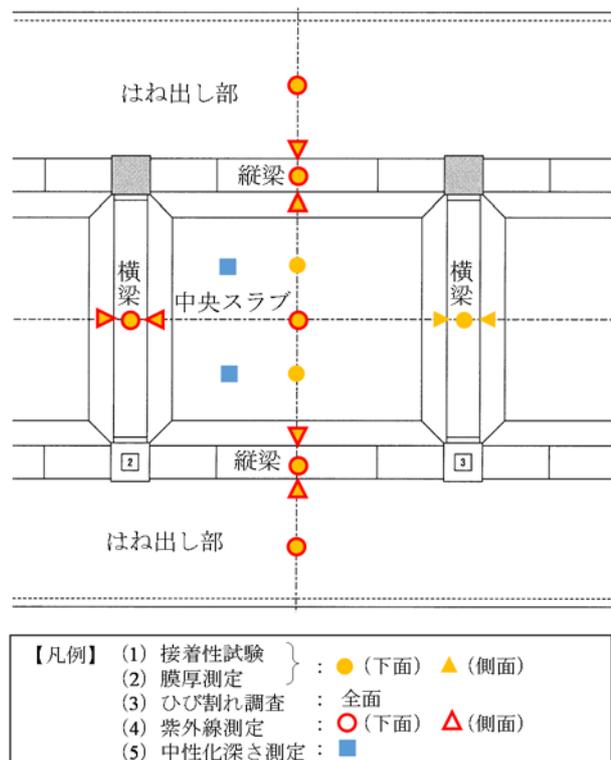


図-3 調査位置 (高架橋平面図)

に切れ込みを入れた後、塗膜を傷つけないように切れ込み部を開くように折り曲げてコンクリートの上に割れ目を入れることで、模擬的にひび割れ（幅0mm）を有する試験体を作成した（図-6）。なお、試験体は膜厚や気泡の有無をパラメータとして作成し、比較用として新品の塗膜の試験体も併せて作成した。

#### (4) 紫外線測定

高架橋の梁、中央スラブ、はね出しスラブにおける紫外線強度（UV-A）を測定した。測定方法は、紫外線強度計（UV-37SD）を使用して、概ね9時・12時・15時の計3回測定し、直射日光とそのときの天候も併せて記録した。

#### (5) 中性化深さ測定

表面保護工施工済みの高架橋の中央スラブにおいてコア削孔によりコアを採取し、JIS A1152「コンクリートの中性化深さの測定方法」に準拠して、コア側面にフェノールフタレイン1%エタノール溶液を噴霧することにより中性化深さを測定した。

### 3. 調査結果

#### 3.1 結果および考察

##### (1) 接着性試験

接着性試験結果を図-7、図-8に示す。結果は、維持管理標準制定以降に施工している全ての塗装について示しており、測定結果のばらつきは大きいものの維持管理標準にて定める基準値以上の付着力を概ね満足することを確認した。また、施工年度別による差は特に確認されなかったことから、経年劣化による接着力の低下傾向は確認されなかった。なお、接着力が基準値を下回る箇所がごく一部に確認されたが、塗膜の膨れや剥がれは生じていない。

##### (2) 膜厚測定

A種およびAe種の上塗材の膜厚測定結果を図-9、図-10に示す。なお、結果は表-2に示す製品について示しており、グラフ上にある目標膜厚とは、施工時に所定の膜厚が確保されていることを確認するために、高架橋1セット毎に5カ所、各層毎にウェットゲージを用いて膜厚測定をしている施工管理基準値である。測定結果より、全ての測定箇所の上塗材が残存していることを確認した。また、経年による劣化傾向は見られなかった。

続いて、B種およびC種の上塗材の膜厚測定結果を図-11、図-12に示す。結果は表-2に示す製品について示しており、全ての測定箇所の上塗材が残存していることを確認した。なお、B種およびC種は無機材料を含む塗料であるため、塗装内に骨材が介在しウェットゲージによる膜厚管理が困難であることから、目標膜厚による管理はしていない。そのため、塗料メーカーが塗装仕

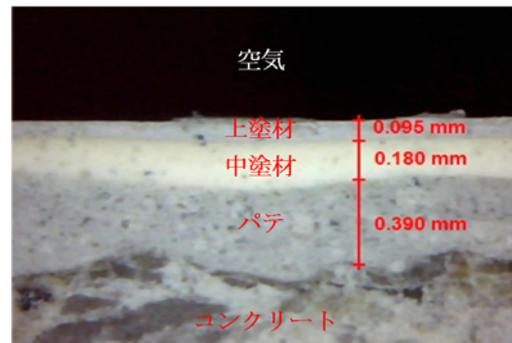


図-4 膜厚測定状況



図-5 既設塗膜の採取状況

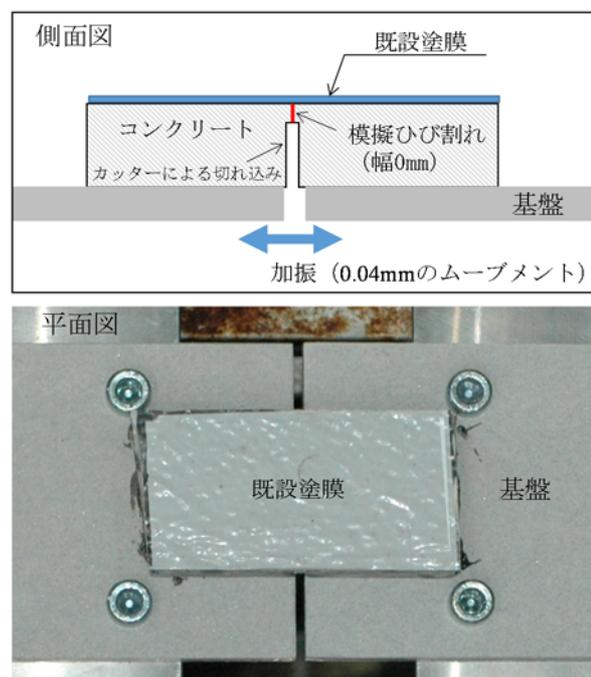


図-6 塗膜疲労試験機による疲労耐久性試験

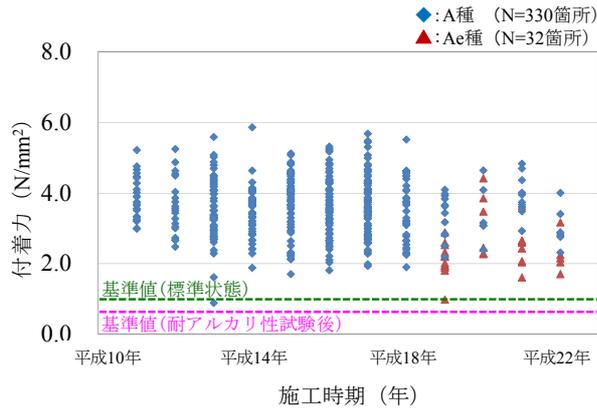


図-7 施工年度別接着強さ (A種, Ae種)

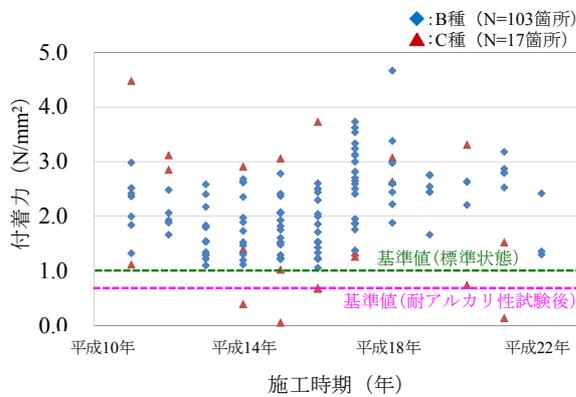


図-8 施工年度別接着強さ (B種, C種)

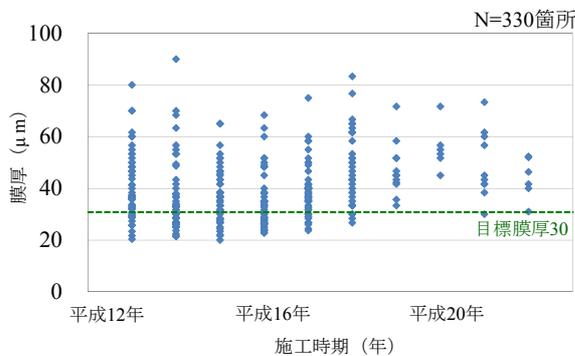


図-9 上塗材の膜厚 (A種)

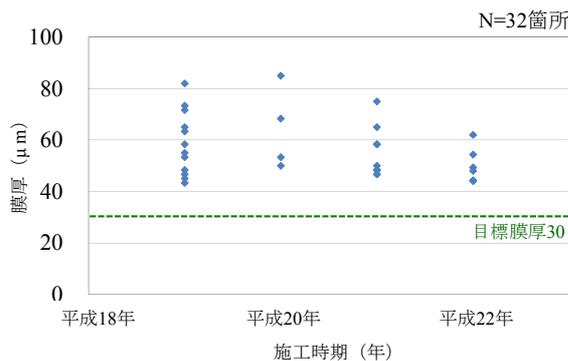


図-10 上塗材の膜厚 (Ae種)

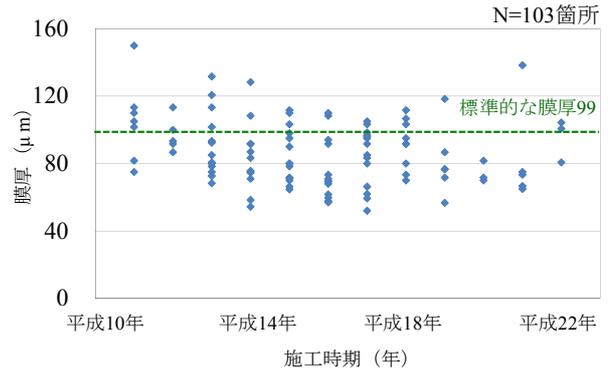


図-11 上塗材の膜厚 (B種)

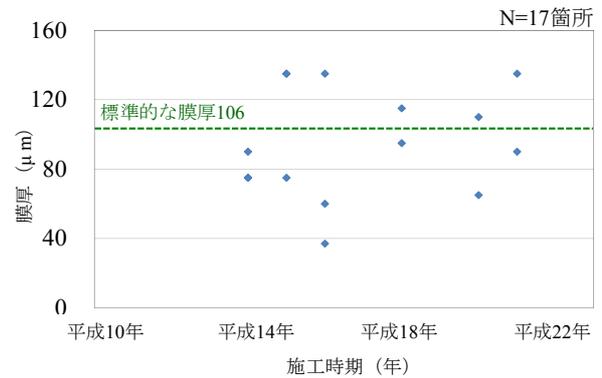


図-12 上塗材の膜厚 (C種)

様書で指定する標準塗布量から膜厚を換算し、標準的な膜厚としてグラフ上に示した。結果より、経年による劣化傾向は見られなかった。

### (3) ひび割れ調査

既設塗膜のひび割れを近接目視にて調査した結果、図-13に示すように、縦梁に施工した表面保護工 (Ae種を含む) の一部に塗膜ひび割れが確認された。なお、ひび割れ幅は主に0.05~0.1mmである。ひび割れの主な発生傾向として、コンクリートの曲げひび割れに沿って塗膜ひび割れが生じていた。また、縦梁下側または側面と面取り部の境界付近 (以下、エッジ部と呼ぶ) にひび割れが多く発生していた。

そこで、一部で確認されたひび割れのうち20本について動的ひび割れ開閉量を測定した (図-14)。ここで、動的ひび割れ開閉量とは、列車通過時のひび割れ開口量の最大値と最小値の差である。測定結果より、動的ひび割れ開閉量の最大値は0.035mm (平均0.023mm)であった。Ae種の耐疲労性の確認試験では0.040mmのムーブメントでひび割れが生じないことを確認しており、今回の測定では全て0.040mmを下回ったことから、著大な動的ひび割れ開閉量がひび割れ発生の原因ではない。

次に、20本のひび割れ断面における中塗材の膜厚を測定した。結果 (最小値) を図-15に示す。なお、塗膜内

に気泡が混入している場合は、気泡を除いた部分を膜厚として測定した。測定結果より、ひび割れが確認された塗膜はエッジ部において最も薄くなり、中塗材の目標膜厚 400 $\mu$ m を全て下回っていた。膜厚が薄くなる原因として、**図-16** に示すようにパテの垂れ下りや左官仕上げ時のムラなどによるものと推測された。

続いて、塗膜ひび割れが生じていないところから現地塗膜を採取して、疲労試験を実施した結果を**表-3** に示す。中塗材の膜厚が目標膜厚を満足する試験体 (400 $\mu$ m) と満足しない試験体 (100 $\mu$ m) を比較した結果、既設塗膜および新品の塗膜ともに、中塗材の膜厚が少ない試験体の方が早期にひび割れが発生したことから、疲労耐久性には膜厚が影響することを確認した。また、新品の塗膜については気泡が多い試験体の方が早期にひび割れた。

今回の実橋調査より施工時の膜厚管理がひび割れ防止において非常に重要であることが再確認された。したがって、既設塗膜のひび割れ補修を行うとともに、新たに表面保護工を施工する際は膜厚不足が生じないように十分に留意する必要がある。特に、エッジ部は要注意箇所として重点的に施工管理や出来形確認を行う必要がある。加えて、素地調整やパテを確実に施工し、素地をできるだけ平滑に仕上げることも膜厚確保に重要といえる。

#### (4) 紫外線測定

紫外線強度の測定結果を**図-17** に示す。調査結果より、現地の塗膜が受ける紫外線強度は直射日光に比べて非常に小さく、天候によらず直射日光に対して概ね数%程度であった。これは、一般に高架橋に施工している表面保護工はスラブ下面であるため、直射日光は当たらず、照り返しによる影響は少ないためと考えられる。このよう

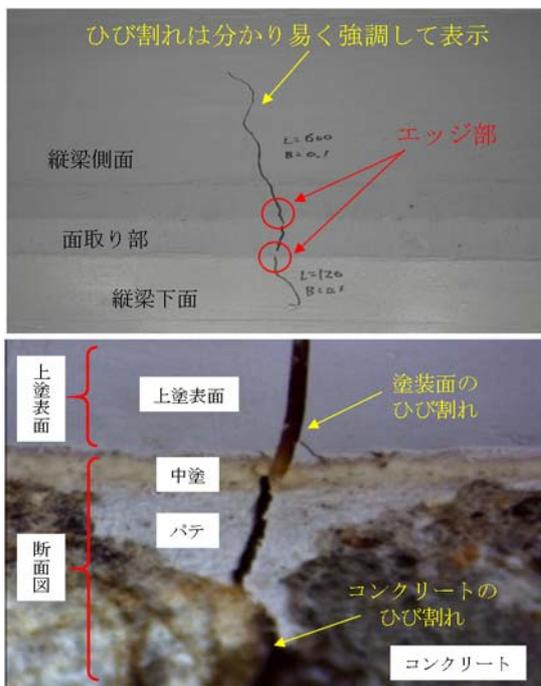


図-13 縦梁 Ae 種の塗膜ひび割れ

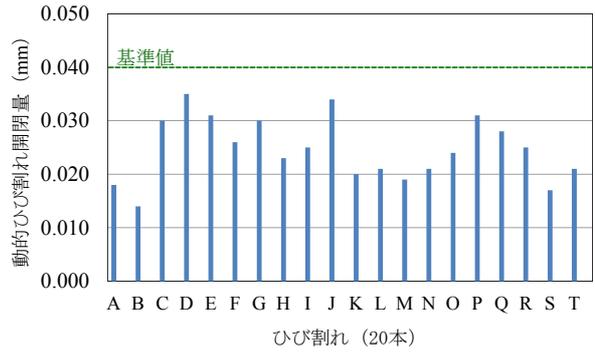


図-14 動的ひび割れ開閉量 (最大値)

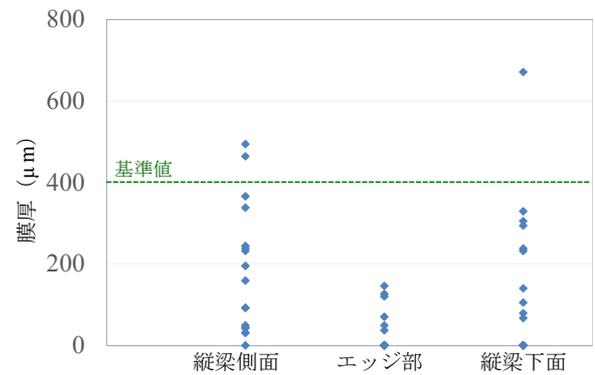


図-15 中塗材の膜厚 (最小値)



図-16 塗膜のひび割れ断面図

表-3 塗膜疲労試験結果

試験体の種類	中塗材の膜厚(μm)	気泡の有無	1800万回の疲労試験結果(3試験体の平均値)
実橋で採取した既設塗膜(施工後8年)	400	殆ど無し	1000万回にてひび割れ発生
	100	比較的多い	1160万回にてひび割れ発生
(参考)新品の塗膜	400	殆ど無し	433万回にてひび割れ発生
	100	比較的多い	ひび割れ無し
			1400万回にてひび割れ発生
			200万回にてひび割れ発生

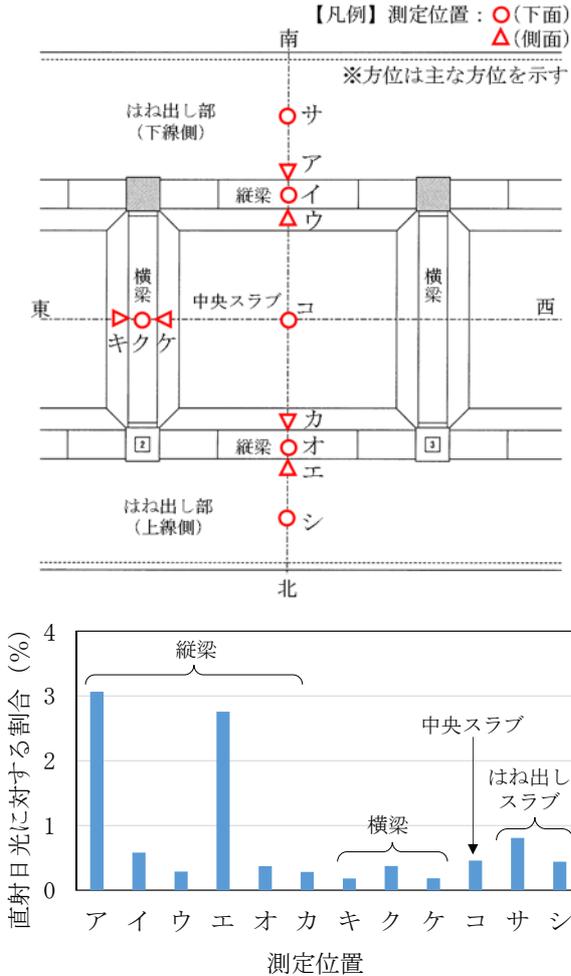


図-17 紫外線強度測定結果

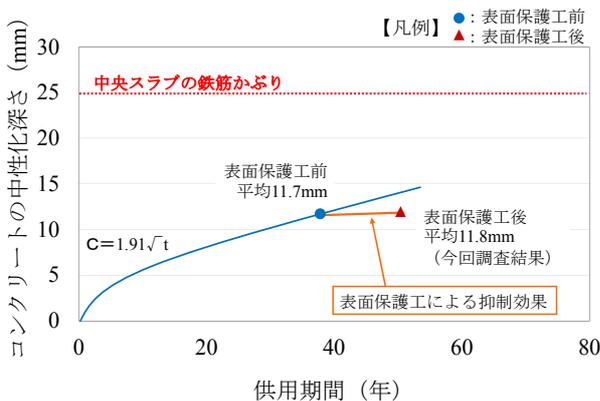


図-18 中性化深さ測定結果

に紫外線の影響が少ないことが一因で、現地塗膜は十分に上塗材が残存していたと考えられる。

(5) 中性化深さ測定

表面保護工施工前後における同一高架橋のコンクリートの中性化深さを、図-18 に示す。中性化深さは測定場所によって大きく異なり比較が困難なため、平均値にて表示している。今回の測定結果より表面保護工施工後の中性化深さ(平均値)は 11.8mm であり、中央スラブの鉄筋かぶりに対して、一般に中性化残りの限界値とされる 10mm<sup>4)</sup>以上の中性化残りを有していた。また、表面保護工の施工前後で中性化は殆ど進行しておらず、中性化の進行が鈍化していることが確認された。したがって、表面保護工による中性化抑制効果が発揮されていることが確認できた。

4. 結論

東海道新幹線の高架橋 117 セットにおいて、既設表面保護工の健全性と効果の確認を目的として実橋調査を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 全塗膜種別において基準値以上の付着力を概ね有していることを確認した。また全ての測定箇所の上塗り材が十分に残存しており、現時点において既設塗膜は健全な状態であることを確認した。
- (2) 表面保護工の施工前後で中性化は殆ど進行しておらず、表面保護工の施工による中性化の進行抑制効果が確認できた。
- (3) 一部の塗膜でひび割れが確認されたが、これは膜厚不足が原因と推測された。特に今回の調査では梁エッジ部において、隅角部や素地のムラに起因した膜厚不足が見られたため、エッジ部の施工は膜厚確保に十分留意する必要があると考える。

今後は、引き続き既設表面保護工の健全性調査を継続してデータの信頼性向上を図る。また、表面保護工の確実な施工管理を継続するとともに、今後も東海道新幹線のコンクリート構造物を適切に維持管理していく。

参考文献

- 1) (社)日本鉄道施設協会：東海道新幹線鉄筋コンクリート構造物維持管理標準，1999.7
- 2) 田中宏昌：東海道新幹線ラーメン高架橋の現状評価と維持管理システムに関する研究，筑波大学学位論文，2001.4
- 3) 関雅樹，森川昌司，吉田幸司：東海道新幹線土木構造物の大規模改修工事，JREA，vol.56，No.10，2013
- 4) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）コンクリート構造物，丸善（株），2007.1