

右田隆雄・古賀成善・安波博道・中島和俊

本稿では、これら鋼橋に生じた損傷の実態とその原因を調査し、特に塗膜劣化が進行したⅡ期線に関して最適な塗装仕様の策定、ならびに福岡前原道路全体の今後の塗替え塗装管理計画を策定した結果を報告する。なお、道路管理者である福岡県道路公社は塗替え塗装管理計画策定における基本条件（維持管理の基本計画、各橋梁における塗替え施工の要望や制約等）の提示、計画作成結果の評価を行い、土木研究センターは、現地調査・健全度診断の実施、合理的な塗替え方法（塗装仕様、優先順位付け）の提案、各橋梁の塗替え計画の作成を受託業務として担当した。

福岡前原道路の橋梁概要を表-1に、路線位置と建設期を図-1に示す。

先行して事業化されたⅠ期の橋梁は周船寺IC以西の上り線であり、隣接する下り線の橋梁（Ⅲ期）建設と同時期に重防食塗装（c-1塗装系）によって塗替えられ、2019年時点で約20年を経過するが概ね良好な状態を維持している。

続いて建設されたⅡ期の橋梁は、周船寺IC以東の上下線であり、大部分が福岡市西区の人口集中地区に該当する。また、海岸からの距離は最短で1kmを下回る。建設時の一般塗装（A塗装系）のまま約20年が経過し、塗膜剥離や錆の表出が顕著となっている。一部橋梁では2010年前後に一般塗装（Rc-Ⅲ塗装系）により塗替えが行われているが、添接部などに錆が再発している。

Ⅲ期の橋梁はⅠ期に隣接する下り線にあたり、建設時から重防食塗装（C-5塗装系）が施され、現時点で健全な状態を維持している。

なお、橋梁形式は鋼単純・連続箱桁橋が58橋
(内、Ⅱ期40橋)、鋼単純鈑桁橋が6橋 (同2橋)
である。

表-1 福岡前原道路の橋梁概要

橋梁種別	事業時期	主な防食仕様	橋梁延長(橋梁数)
鋼橋	I 期(1993)	c-1塗装系	1.2km(9橋)
	II 期(2001)	A塗装系	6.4km(42橋)
	III 期(2003～)	C-5塗装系	1.7km(13橋)
コンクリート橋			13.9km(150橋)



図-1 福岡前原道路 路線図²⁾

2.2 橋梁の損傷状況

平成30年度までに行われた定期点検結果から、主桁の腐食損傷に着目して、橋梁毎の腐食損傷（主桁毎の評価の内、最悪値で代表）を図-2に示す。

最後に建設されたA亘線と耐候性鋼橋梁である長野川橋下りを除き、全ての橋梁で何らかの腐食損傷が生じ、特に今宿高架橋の一連には腐食c、dなどの比較的大きな損傷が生じている。今宿高架橋の定期点検結果から、代表的な腐食損傷事例を抽出し、図-3、図-4に示す。

図-3は耐震補強部材の取付ガセットプレートに層状錆が生じた事例である。架橋環境や塗膜欠陥に起因する損傷ではなく、床版（排水桝部）からの漏水を原因とするものであり、当該部のみの特異な損傷であった。対策が必要な進行性の損傷だが、アクシデントによるものであり、塗替え塗装の管理計画とは別に個別に対応するものとした。

一方、図-4は下フランジ下面の大部分に塗膜剥離と点錆を生じた事例である。塗膜剥離は今宿高架橋ならびに拾六町高架橋のほぼ全橋に共通して生じ、人口集中地区の国道上空に位置する架橋環境から、景観性の大幅な低下を招いていた。

このような損傷状況から、塗替え塗装の管理計画策定に向けて、これまでに塗替えが行われていないⅡ期線一般塗装系の橋梁を対象として、以下の調査を実施した。

- ① 塗膜劣化の程度と分布の外観調査
- ② 腐食量・付着塩分量・塗膜付着力調査
- ③ 塗膜層内のSEM・EDS分析
- ④ 2回の定期点検結果を基にした損傷進行評価
現地調査（①～④）結果を以下に整理する。

① 塗膜劣化の程度と分布の外観調査

塗膜剥離は、下フランジの下面に多く見られるが、桁端部や中間部などの構造部位との関係性は薄く、部材単位で異なる剥離状態であった。また、下塗りのフェノール樹脂MIO塗料より下層が橋梁に残り、中塗り・上塗り塗料が剥離していた。

MIO塗料はMIO（Micaceous Iron Oxide：雲母状酸化鉄）顔料を多く含有した塗料であり、塗膜の表面粗度が大きく耐候性も良いので、長期間暴露した後も上に塗り重ねる塗料との密着性が低下しにくい特徴を有する。このため、工場塗装と

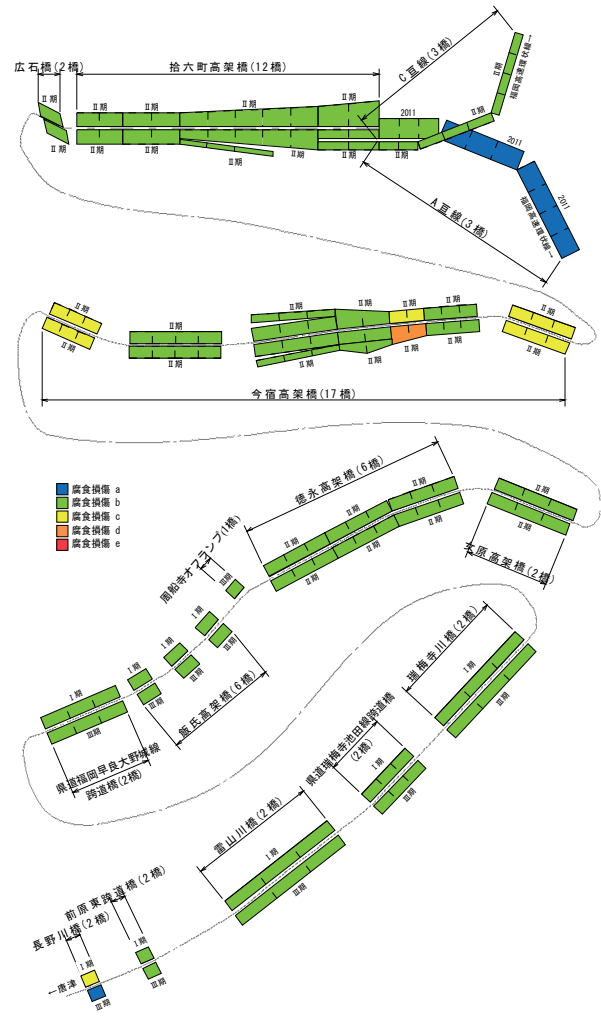


図-2 主桁の腐食損傷（橋梁平面形状を腐食損傷で色分け）



図-3 代表的な損傷状況（局所的な著しい腐食）

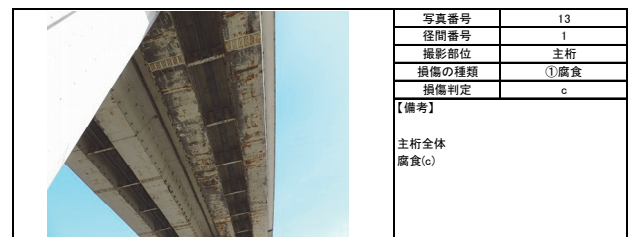


図-4 代表的な損傷状況（塗膜剥離と点錆）

現場塗装との間隔が長期化する場合の対策として広く採用された経緯がある。

本路線においてもA塗装系の橋梁にはMIOが使

土研センター

用されているが、施工会社が異なる上下線で剥離の程度が異なっていたり、塗装時期が異なる継手部や部材中間部で剥離の程度が異なっていたりするなど、橋梁の架設後の環境では整理できない塗膜剥離の発生状況であった。したがって、塗膜剥離はMIO塗料の塗布から架橋地点での中塗塗布までの期間（製作工場内保管～架設まで）に付着した異物が原因として考えられる。

② 腐食量・付着塩分量・塗膜付着力調査

腐食量については、図-3に示した局所的な損傷を除き、塗膜剥離部やその近傍は表面上の錆に留まり、板厚減少を伴う腐食損傷には至っていない。

付着塩分量については、海岸からの直線距離が最短で1kmを下回る地域にあり、特に橋脚周辺では、下フランジ下面や内桁側ウェブ面などで2,000mg/m²を超える付着塩分が計測された。海からの風が橋脚によって巻き上げられた影響と考えられる。

塗膜付着力調査は、塗膜剥離が生じMIO塗料が露出した面と、上塗りまで残存している面で実施した。MIO塗料面では、1.75MPa～4.5MPaの付着力が得られ、概ね良好な結果となった。一方、上塗りまで残存している面では、0.5MPa～2.5MPaと相対的に低い付着力であり、付着力が低い場合の破壊面は中塗塗料の凝集破壊が大きな割合を占めていた。

これらの調査結果から、現状生じている損傷の大半はいわゆる防食機能の劣化であり、腐食損傷は構造安全性に影響を及ぼす段階ではないと評価した。塗膜剥離については、MIO塗料が健全であり活膜として期待できる状況であること、現状で上塗りが残存している部分でも付着力が低下しつつあり、将来的に塗膜剥離が生じる可能性があることを確認した。また、MIO塗料と中塗りの間に剥離を引き起こした要因については、橋梁から鋼材とともに塗膜を切り出し、塗膜層内の介在物質をSEM-EDS分析により同定することとした。

③ 塗膜層内のSEM-EDS分析

塗膜健全部と塗膜剥離部の2箇所からφ22mmの鋼材片を採取し、塗膜層内のSEM-EDS分析を行った。鋼材片の採取位置と採取した鋼材片の外観を図-5に示す。採取した鋼材片のSEM像ならびにSEM-EDS分析によるClマッピング画像を図-6に示す。



図-5 鋼材片の採取

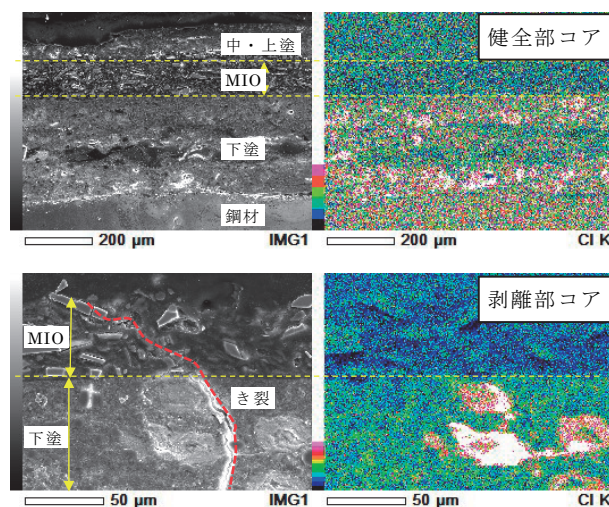


図-6 SEM-EDS分析結果

塗膜剥離の要因として、輸送中や桁架設後の中塗塗布までの期間に飛来塩分が付着したものと想定したが、健全部コアのMIO塗料上には、ClやNa、Cなどの異物の内包は確認されなかった。一方、既に中・上塗りが剥離した剥離部コアでは、MIO塗料から下塗（鉛系錆止め塗料）に達するき裂が見られ、下部には塩化鉛とみられるClの分布が見られた。

④ 2回の定期点検結果を基にした損傷進行評価

これまでの2回の定期点検結果を基に、塗膜剥離の進行状況、塗膜剥離後の腐食の進行状況、塗替え塗装済み橋梁の再劣化の状況の評価した（図-7、図-8）。

図-7に見られるように、約6年間で塗膜剥離が大きく進展し、下フランジ下面やウェブ下端では中・上塗りの大半が剥離しMIO塗料が露出している。一方、MIO塗料が露出した部分でも錆の広がりは見られないことが確認できる。

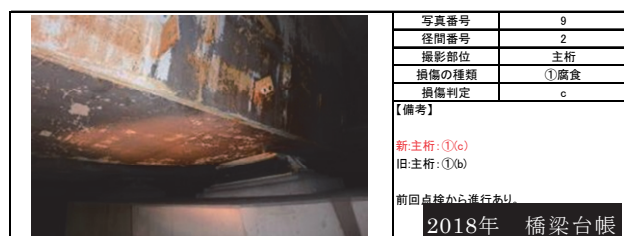


図-7 塗膜剥離と腐食状況

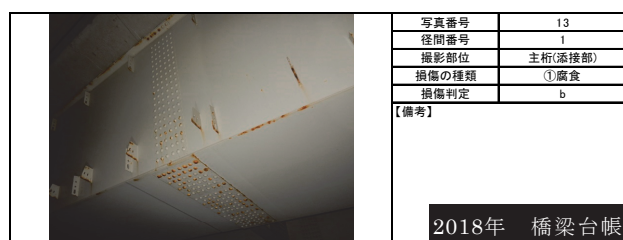
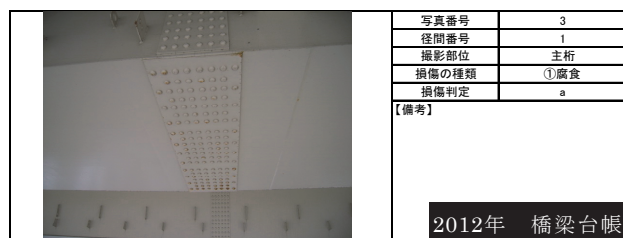


図-8 塗替え済み橋梁の再劣化状況

図-8は、今宿高架橋のなかで先行して2008年にRc-Ⅲ塗装系にて塗替えが行われた橋梁である。塗替えから4年が経過した時点でフランジのエッジ部やボルト頭、桁端部などに点錆が生じ、経年によりさらに損傷が進行している。一方、ウェブやフランジの一般部では再劣化は生じておらず、旧塗膜からの塗膜剥離も生じていない。

3. 塗替え塗装管理計画の策定

3.1 塗替えの基本方針

前項で整理した福岡前原道路の塗膜劣化・腐食損傷状態、ならびに塗替え後の再劣化状況を評価し、塗替えの基本方針を以下のように定めた。

①腐食損傷は軽微であるが、塗膜剥離が大規模に発生し今後も進行することが想定されるため、橋梁全体を塗替える必要がある。

②塗膜剥離が生じた後の残存塗膜（MIO塗料）

表-2 塗替えサイクル

	塗装系		塗装耐用年数の目安
新設	一般塗装系	A-2	10年～20年程度
	重防食塗装系	C-1、C-5	40年
	耐候性鋼	-	基本的に塗替えを行わない
塗替	一般塗装系	Rc-Ⅲ	15～25年程度
	重防食塗装系	Rc-Ⅰ	40年
	耐候性鋼	-	基本的に塗替えを行わない

は十分な付着力を有し、活膜として期待できる。

③現状中・上塗りが残存している部分でも、付着力は低い傾向にあり、Rc-Ⅲ塗装系で塗重ねる場合には適切に除去する必要がある。

④桁端部や継手部にRc-Ⅲ塗装系を用いると早期に再劣化が生じる可能性が高く、より高耐久性が期待できるRc-Ⅰ塗装系を適用する必要がある。

⑤④以外の一般部では、Rc-Ⅲ塗装系でも10年程度の期間は再劣化が生じていないことから、十分な耐久性が期待できる。

⑥フランジのエッジ部では塗膜の再劣化が生じやすいため、R加工（板厚角を2mmR面取り加工）を施し、適切な塗膜厚を確保する必要がある。

3.2 塗替え塗装管理計画の策定

塗替えの基本方針の基に、各橋梁の定期点検で示された腐食状態や塗装劣化状態を、桁端部・継手部などの部位ごと、または外桁・内桁、径間単位ごとに適切に評価し、現状に合った合理的かつ経済的な塗替え仕様を策定した。さらに福岡前原道路の全鋼橋の今後の塗替え塗装管理計画の策定を、以下の4つのステップで行った。

ステップ1：塗装種別毎の塗替えサイクルの策定
現状の防食仕様を、一般塗装系、重防食塗装系、耐候性鋼の3つに分類し、それぞれの塗装系毎に標準的な塗替えサイクルを定めた。標準的な塗替えサイクルは、既往図書等による塗替え間隔を参考に、福岡前原道路の架橋環境や、これまでの定期点検結果を基に損傷の進行速度を評価して表-2のように定めた。

ステップ2：塗替え優先順の策定

塗替え優先順は、各橋梁の損傷状況や損傷の進行速度、景観へ与える影響、剥離塗膜片による周辺環境の汚染、関連工事との調整等を指標としてスコア化し、トータルスコアの順に塗装優先度を定めた。要因毎のスコアを表-3に示す。

土研センター

各種要因毎のスコアは、相対比較を行う上で優先順位を明確化するために独自に設定したものであり、以下の要領でスコアのオーダーを定めた。

- ①原則的には判定された対策区分A～Eに応じ優先度を付ける。
- ②耐震補強等の工事が実施される場合には、併せて行うことが効率的であり、最も高いスコアを付与する。また、塗膜剥離により第三者被害（周辺汚染）が生じている場合も優先するべきと考え、次に高いスコアを付与する。
- ③同一対策区分の中では、腐食損傷程度に応じた優先度となるよう、上位の対策区分と逆転することない範囲のスコアを付与する。
- ④塗装仕様やDID、塗膜剥離の状態を考慮してスコアを付与する。ただし①～③まで判定による優先順位は逆転させない範囲のスコアとする。

ステップ3：塗装塗替え費用算出

各橋梁毎の塗替え費用を概略計算により算出する。塗装仕様は、塗替え後の再劣化（図-8）を踏まえ、桁端部や支点部、継手部をより耐久性の高いRc-I塗装系とし、その他はRc-III塗装系とした。

この塗替え塗装仕様は、図-8のような従来の全面Rc-III塗装系による塗替えに比べ初期コストにおいて53.2%増（直工費）と劣るものの、塗膜耐久性が高く塗り替え回数を削減できることや、塗替えサイクルを考慮したコスト上で優位（建設から100年時に48.9%減）となることを期待している（図-9）。なお、塗替えのインターバルは表-2を基本として定めた。

ステップ4：塗装塗替計画の策定

福岡前原道路は、料金収入を基に維持管理を行っているため、塗替えに掛かる費用は適切に平準化を図る必要がある。このため、橋梁の損傷状況や進行速度、立地環境、関連する工事などの諸要因を踏まえ、塗替えの優先順位を策定し、年度毎の塗替えに要する費用を概算した。

策定に当たっては、以下の観点で整理した。

- ・年毎の補修費用をなるべく平準化すること。
- ・工事に伴う騒音や工事車両の出入りの影響を受ける期間の縮減を目的として、可能な限り上下線を同時期に施工すること。

表-3 各種要因毎のスコア

(a) 対策区分スコア		(b) 腐食スコア	
対策区分	対策スコア	腐食損傷程度	腐食スコア
A, M	100,000	a	0
B	300,000	b	1,000
C	400,000	c	10,000
E	500,000	d	100,000
		e	100,000

(c) 塗装仕様スコア		(d) DID 地区スコア	
塗装仕様	仕様スコア	DID地区	DIDスコア
一般塗装系	100	範囲内	100
重防食塗装系	10	隣接	10
耐候性鋼材	0	範囲外	0

(e) 塗膜剥離スコア		(f) 塗装経過年スコア	
塗膜剥離程度	剥離スコア	塗装経過年スコア = (塗装経過年) ²	
大規模	1,000		
部分	100		
無	0		

(g) 塗膜剥離による周辺汚染		(h) 関連工事	
周辺汚染	汚染スコア	関連工事	工事スコア
大	400,000	有り	500,000
小	300,000	無し	0
無し	0		

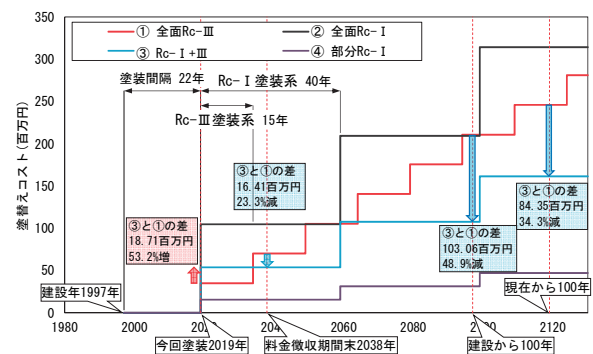


図-9 塗替え仕様毎のコスト比較

- ・エリア毎に可能な限り片押し施工を行い、補修順序がまだらとならないように配慮すること。
- ・塗替えサイクル（塗装耐用年数）を大きく超過しないこと。

3.3 策定された塗替え塗装計画

前記要領に基づいて各橋梁の塗替え優先度や塗装概算費用を算出し、年度毎の予算の平準化を図った。その結果、初回塗替えは2024年までに完了し、全体の塗替えは現在料金徴収期間として想定している2038年より前の2032年に完了できる計画を策定することができた。

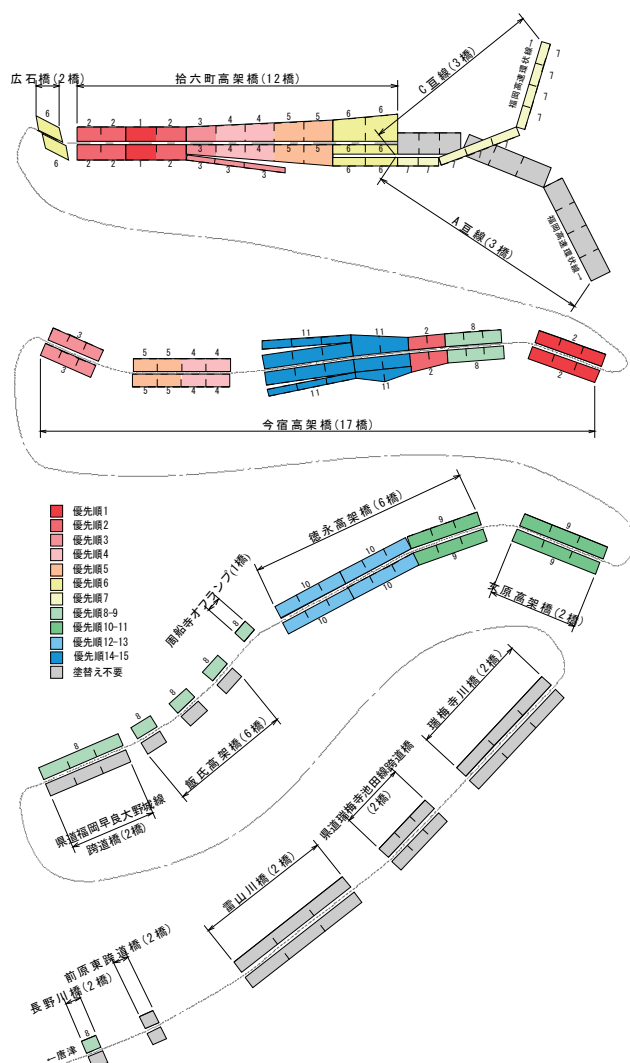


図-10 塗替之計画策定結果

なお、2回目の塗替えとなるⅠ期の橋梁には、現時点で軽微な損傷に留まり、予防保全的にも塗替えを要しない橋梁も多く含まれているが、前述の塗替えサイクルを念頭において計画に組み入れた。

塗装塗替計画策定結果の年度毎に色分けして図-10に示す。現時点で具体的に個別橋梁の塗替え予定年度を公表できないため、優先順位として表示している。なお、灰色で示した橋梁は重防食塗装系が施された橋梁であり、現時点で極めて軽微な損傷に留まることから、当面の期間は全面的な塗替えは不要とし、局所的な損傷はスポット補修³⁾などで都度対応することとした。

4. まとめ

塗膜劣化が進行した都市部の高架橋に対して、塗膜劣化の状況調査や原因把握を行った。主に塗膜剥離と桁端部等における部分的な腐食が主要な損傷であった。このため、景観性や第三者被害への対応が必要となる塗膜剥離部と、腐食が生じている桁端部や継手部等との塗装仕様を分け、損傷に対して効果的、かつLCC上効率的となる塗替え塗装仕様を定めた。また、今後20年間に亘る長期間の塗替え計画を定め、限られた維持管理費を計画的かつ戦略的に活用する塗替え塗装計画として策定した。

今後は、本計画を基本として塗替え塗装を確実に遂行するとともに、定期点検等による最新の損傷状況等を踏まえて、適宜見直しつつ計画を実行することを予定している。

参考文献

- 1) 右田隆雄、古賀成善：「福岡前原道路における鋼橋塗替え計画の策定」、第66号、九州技報、2020.3
- 2) 福岡県道路公社：福岡県道路公社 インフラ長寿命化計画（行動計画）平成28年度～平成50年度、2017.2
- 3) 片山英資、安波博道、永田佳文、小寺健史：「スポットリフレ工法」～貴方の車には小さくでも全塗装を行いますか？～、（一社）日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会、第22回技術発表大会予稿集、2019.5

右田隆雄



執筆当時 福岡県道路公社
道路部長、現 福岡県飯塚
県土整備事務所長
MIGITA Takao

古賀成善



執筆当時 福岡県道路公社
道路部主任技師、現 福岡
県福岡県土整備事務所主任
技師
KOGA Nariyoshi

安波博道



(一財)土木研究センター
材料・構造研究部長、
博士(工学)
Dr. YASUNAMI Hiromichi

中島和俊



(一財)土木研究センター
材料・構造研究部 主任
研究員
NAKASHIMA Kazutoshi