ISSN　1346－7328
国総研資料第 684 号
平 成　24　年　4 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL　NOTE　of
National　Institute　for　Land　and　Infrastructure　Management

No.684　　Aplil　2012

道路橋の部分塗替え塗装に関する研究

― 鋼道路橋の部分塗替え塗装要領（案）―

玉越　隆史・星野　誠・市川　明広・武田　達也

Research on partial repainting for steel bridges
－ Partial repainting manual for steel bridges (draft)－

Takashi TAMAKOSHI, Makoto HOSHINO, Akihiro ICHIKAWA, Tatsuya TAKEDA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

国土技術政策総合研究所資料
第 684 号　　2012 年 4 月

道路橋の部分塗替え塗装に関する研究

― 鋼道路橋の部分塗替え塗装要領（案）―

玉越　隆史　*
星野　誠　　**
市川　明広　***
武田　達也　****

概要

鋼道路橋において，板厚減少を伴う腐食は、桁端部等に局所的に生じることが多い。腐食した部位に対しては，迅速に塗装塗替えの補修を行うことが望ましいものの，桁端部は狭隘な施工条件となっており，十分な素地調整や塗装の施工が難しいこと，既存塗膜との境界部の処理方法が未確立であることから，部分塗替えを行うことは困難であった。このため，塗膜劣化や腐食がある程度の面積に進行してから大規模な塗り替え塗装が行われることが多く，その間にも腐食は進行するため，橋全体の性能に影響を及ぼす甚大な損傷につながるケースもみられた。

そこで，国土技術政策総合研究所では，既設橋の局部的な腐食部位を良好な品質の塗装で更新できる方法を検討し，その結果を踏まえて要領化を行った。本研究は，鋼 I 桁構造の模擬供試体を用いた施工性評価試験や実橋における試験施工調査により，オープンブラスト工法と機械工具等を組み合わせた部分的な素地調整手法，及び旧塗膜と塗替え塗膜の境界部における耐久性に優れた塗装仕様の開発を行い，これらの実用性について評価を行ったものである。

キーワード：部分塗替え，素地調整，ブラスト

---

*　　道路構造物管理研究室長
**　　元道路構造物管理研究室主任研究官
　　現在：国土交通省 関東地方整備局 常陸河川国道事務所
***　　元道路構造物管理研究室主任研究官
　　現在：国土交通省 関東地方整備局 川崎国道事務所
****　　元道路構造物管理研究室研究官
　　現在：国土交通省北陸地方整備局　羽越河川国道事務所

Technical Note of NILIM
No.684 April 2012

Research on partial repainting for steel bridges

－ Partial repainting manual for steel bridges (draft)－

Takashi TAMAKOSHI *
Makoto HOSHINO **
Akihiro ICHIKAWA ***
Tatsuya TAKEDA ****

Synopsis

For steel highway bridges, most of corrosion associated with decrease in board thickness occurs locally at the end of the girders. Although rapid repairs of repainting are preferable, it is difficult to conduct partial repainting, because most of the bridges have the narrow ends of girders and there is no established ways of dealing with boundary divisions with the existing coating films. As the large amount of repainting is usually conducted after coating degradation and corrosion progress to some extents, examples that lead to extensive damage having a great influence on the bridge performance can be seen.

NILIM studied on a method to be renewed by paintings with good quality at local regions with corrosion of the existing bridges. This paper deals with development of partial surface preparation methods that combine open blast method and machinery tools and the coating film specification that is superior to durability for boundary divisions of the old coating films and the repainted ones in terms of the practical use through evaluation experiments using the steel I-girder structures and test construction surveys for real bridges.

Key Words: partial repainting, surface preparation, open blast

---

* Head, Bridge and Structures Division, Road Department, NILIM
** Hitachi River and National Highway Office,Kanto Regional Development Bureau, MLIT
*** Kawasaki National Highway Office,Kanto Regional Development Bureau, MLIT
**** Uetsu River and National Highway Office,Hokuriku Regional Development Bureau, MLIT

目　次

第１章　概要 …… 1

第２章　桁端部を模擬した供試体における施工性評価 …… 12
2.1　試験概要 …… 12
2.2　試験ケース …… 13
2.3　供試体 …… 14
2.3.1　撤去桁の概要 …… 14
2.3.2　桁端部の条件 …… 20
2.3.3　供試体の概要 …… 23
2.4　試験方法 …… 26
2.4.1　素地調整の方法 …… 26
2.4.2　塗装の方法 …… 30
2.4.3　供試体の着目部位 …… 31
2.4.4　適用位置 …… 32
2.5　試験結果 …… 34
2.5.1 素地調整の施工性評価 …… 34
2.5.2 塗装の施工性評価 …… 57
2.6　まとめ …… 60

第３章　供試体を用いた塗り重ね部の仕様検討 …… 61
3.1　試験概要 …… 61
3.2　試験ケースと試験体製作 …… 61
3.3　付着力試験 …… 66
3.3.1 碁盤目試験 …… 66
3.3.2 プルオフ試験 …… 71
3.4　曝露試験 …… 76
3.4.1 試験方法 …… 76
3.4.2 試験結果 …… 77
3.5　まとめ …… 88

第４章　実橋における試験施工 …… 89
4.1　試験概要 …… 89
4.1.1 対象橋梁の概要 …… 89
4.1.2 試験施工の概要 …… 91
4.2　実施後の状況 …… 93
4.3　まとめ …… 94

附属資料）鋼道路橋の部分塗替え塗装要領（案）

第１章　　概要

（１）　桁端の腐食の特徴

塗装は，塗膜により鋼材を被覆し，腐食因子の水と酸素から遮断することにより，腐食を防止する防食法であるものの，塗膜は，紫外線や塩分，水分などの劣化因子の働きにより時間の経過とともに劣化するため，適切な時期に塗装の塗り替えを行わないと，やがては防食機能が低下し，鋼材は腐食してしまう。

桁の端部は，床版，橋台，支承や落橋防止装置に囲まれた狭隘な空間となっており，桁の支間中央部と比べて風通しが悪く湿気がこもりやすい条件である上，伸縮装置の排水機能や排水施設の不具合による漏水，滞水，土砂堆積の発生事例が多く，厳しい腐食環境に置かれており，地域や時期によっては漏水に劣化促進因子の塩分を含む凍結防止剤が多量に含まれる更に厳しい腐食環境におかれることもある。このようなことから，道路橋では，一般に桁の端部において，塗膜が局所的に劣化して著しい腐食に至るものと考えられてきた。図-1.1 に桁端の腐食事例を，図-1.2 に国土技術政策総合研究所で行った部位別の腐食発生状況の調査結果を示す。この調査[1.1)]は，直轄国道の定期点検結果を用いて，鋼I桁橋を対象として橋梁の部位と腐食発生状況の相関関係について，統計的に処理する方法で分析を行うとともに，桁端部における腐食事例を収集し，支点部の鋼桁を領域ごとに分割して腐食形態の傾向分析を行い，支点部の代表的な腐食形態を対象とした数値解析による耐荷力の影響を検討したものである。桁端部における腐食形態は，表-1.1 に示す 3 つの代表的なパターンで全体の 65%を占めている状況であった。

また，橋梁の部位と腐食発生状況の相関関係は，橋軸方向の位置を，両端支点部，1/4 支間及び 3/4 支間，支間中央の 5 領域を分けて無次元化し，各領域に該当する垂直補剛材で区切られる各要素に発生した腐食を損傷程度で点数化して腐食発生状況を集計している。端支点部は，1 要素のみが対象であるにも拘わらず，分析対象橋梁（587 橋）のうち端支点以外のみ腐食を生じていたものは 7.07%（40 橋）に過ぎず，図-1.2 に示す鋼単純鈑桁の腐食の部位別損傷点数からは，端支点の腐食頻度が支間中央よりも突出する傾向がみられた。損傷程度別に分けた腐食発生状況を図-1.3 に示す。表面的なさびが発生している損傷程度 b 及び損傷程度 c では，桁端とその他の部位との損傷点数の比率は 1.25 倍程度で大きな差がない状況である。一方，板厚減少を伴う損傷程度 d では約 2.0 倍，損傷程度 e では約 1.6 倍もの差があり，桁端での腐食発生が多い状況にあることがわかる。

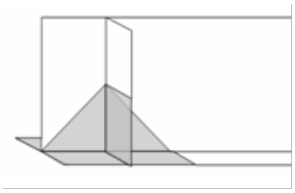
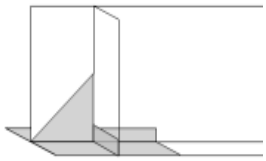
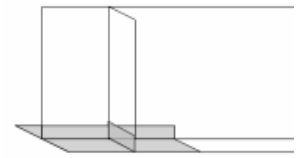
更に，過去 2 回の点検データによる 5 年間の腐食の進行状況の例を図-1.4 に示す。5 年以内遷移確率を見ると，表面的なさびが発生する損傷程度 b 及び c への進行は 1～3 割程度の確率で遷移しているものの，板厚減少を伴う損傷程度 d 及び e への進行は，損傷程度 a～c に損傷程度によらず，5%程度の割合で，遷移している状況にある。鋼 I 桁橋主桁の桁端部と支間中央部を分けた腐食の遷移状況を図-1.5 に示す。桁端部は支間中央部と比較すると，板厚減少を伴う損傷程度 d 及び e へ進行する割合が大きい状況にある。

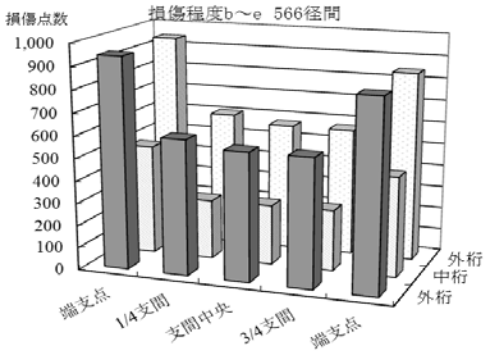
なお，腐食が橋梁の耐荷力に及ぼす影響を試算した数値解析結果[1-1)]によると，腐食による板厚減少やそれに伴う応力集中による亀裂の発生が耐荷力に大きな影響を及ぼすことがわかった。

以上から，板厚減少を伴う腐食の発生は，部位によって一様でなく，とりわけ狭隘な空間で漏水や土砂堆積等の影響を受ける機会が多い桁端部において多く発生する傾向にあり，それらの局所的な腐食は，全体的に塗膜劣化に伴う表面的なさびが発生している場合と比べて腐食の進行が早く，橋梁の耐荷力に大きな影響を及ぼすため，局所的な腐食に対処できる方策を導入し，予防保全することが重要である。

図-1.1　桁端における腐食事例[1.1)]

表-1.1　桁端の腐食形態[1.1)]

	主な腐食パターン			
腐食形態		事例数 3／20 （15%）		事例数 4／20 （20%）
		事例数 6／20 （30%）	その他	事例数 7／20 （35%）



錆の有無	錆の深さ	錆の広がり	損傷程度	損傷点数
なし	－	－	a	0
あり	表面のみ	局部的	b	1
		広域的	c	2
	板厚減少、鋼材表面の著しい膨張	局部的	d	3
		広域的	e	4

図-1.2　部位別の腐食発生状況（鋼単純鈑桁）[1.2)]

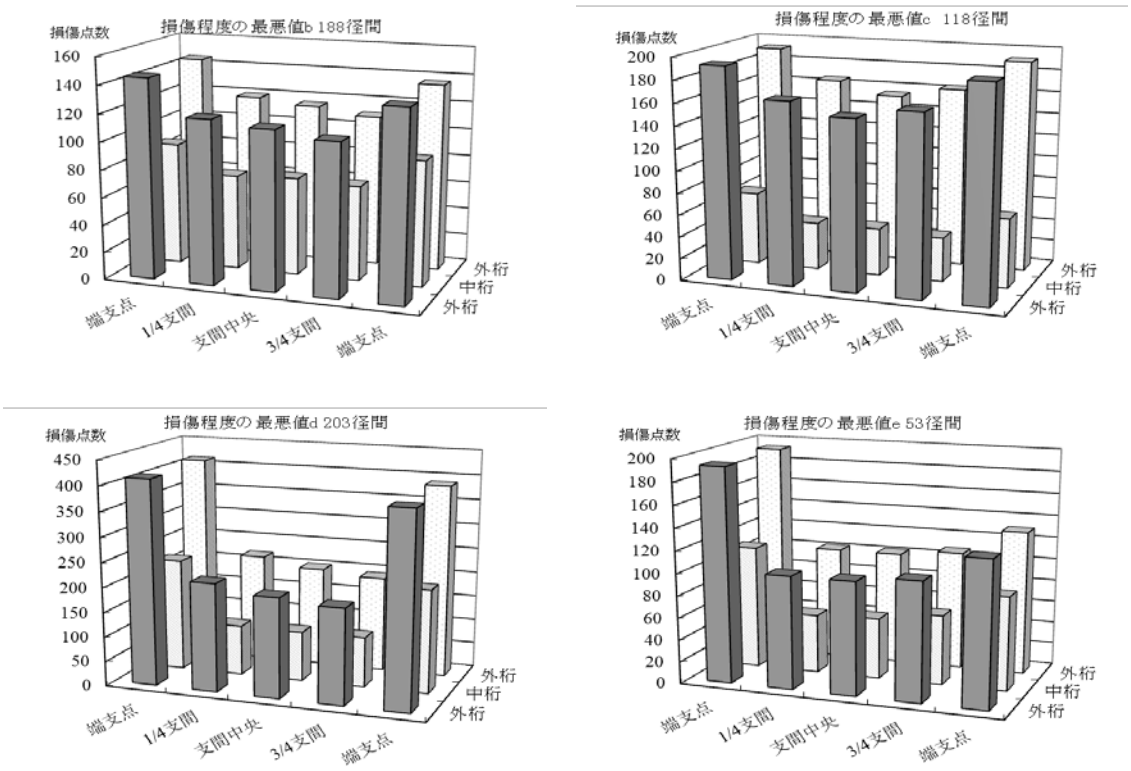


図-1.3　部位別・損傷程度別の腐食発生状況（鋼単純鈑桁）[1.2)]

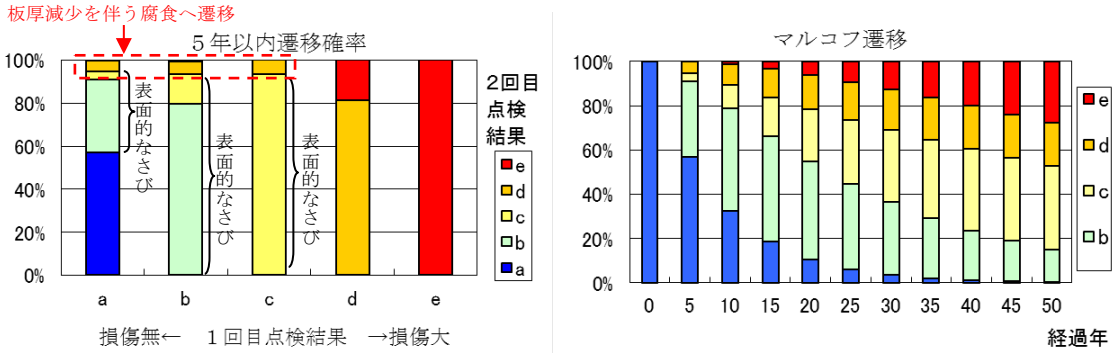
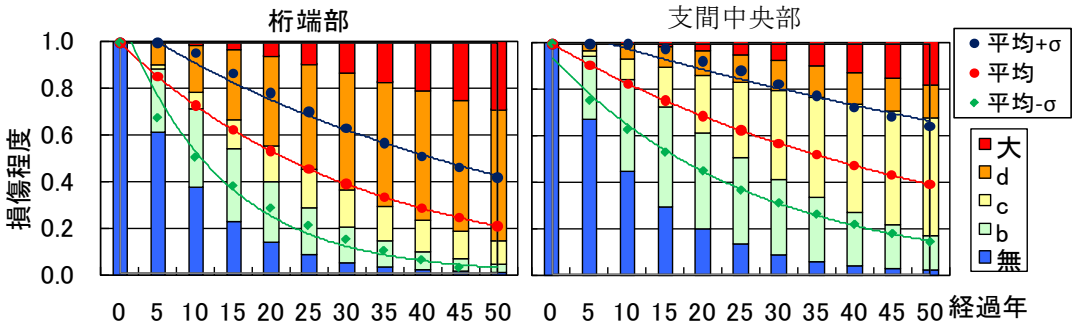


図-1.4　鋼橋主桁の腐食（一般塗装系）の劣化予測式算出過程の例[1.3)]



２回の点検結果の推移からマルコフ遷移確率を求め、損傷程度に重み付けを行い（無=1.0～大=0.0）、経過年毎に平均及び標準偏差を算出（損傷部位別の暫定値）。

図-1.5　鋼I桁橋主桁の腐食の劣化曲線の例[1.4)]

（２）塗り替え後の劣化状況

板厚減少を伴う腐食は，桁端部などにおいて局所的に発生する傾向にあることを前に述べた。これに対して従来は，劣化や腐食がある程度進行してから橋全体の塗装を一般塗装系で全面塗り替えする対応が行われていた。ここでは，全面塗り替え後の劣化状況に着目して，全面塗り替えにおける劣化状況と課題を整理する。

A塗装系やB塗装系の既設橋を機械工具等による３種ケレンにより塗り替える場合，さびやさび内部に付着した塩化物イオンを完全に除去することは困難であること[1.5)]から，腐食のあった部位の塗膜の耐久性は，新設時と比較して大きく劣っており，図-1.6 の事例に示すように，比較的早期に塗膜の再劣化が局部的に始まることがある。この様な過去に腐食のあった部位では，塗膜の劣化と腐食の進行により，比較的短い間隔で何度も塗装塗替えが行われている。一方，健全な塗膜の部分では，図-1.7 に示す既設橋の塗膜の断面の事例のとおり，過去の塗装塗り替えにおいて健全な塗膜の上に何度も塗り重ねられ，何層もの厚い塗膜厚になっており，防食機能の信頼性の面からも，経済性の観点からも，合理的とはいえない状態になっている。

直轄管理橋梁の点検において評価される対策区分の判定結果を，鋼橋主桁の腐食について集計したものを，図-1.8 に示す。橋年齢の古い橋ほど緊急対策を要する判定「E」あるいは速やかに補修すべき状態である判定「C」が多くなる傾向が見られ，経年によって腐食が進行し，橋の状態は悪化する傾向にある。適切な時期に塗装塗替えを行うことで状態の深刻化が防止できる可能性があると考えられるものの，従来の一般塗装系による全面塗替えでは再劣化が避けらない現状にある。

以上からは，橋梁に発生する全ての腐食に対して，さびや塩化物イオンを完全に除去するとともに，防食性能の高い重防食塗装で塗装塗替えし，短期間での再塗装の繰り返しを避ける対応策が望まれる。

図-1.6　３種ケレンによる塗替
（Rc－Ⅲ，約１年４ヶ月経過）

図-1.7　既設橋の健全な塗膜の断面
（A 塗装系）

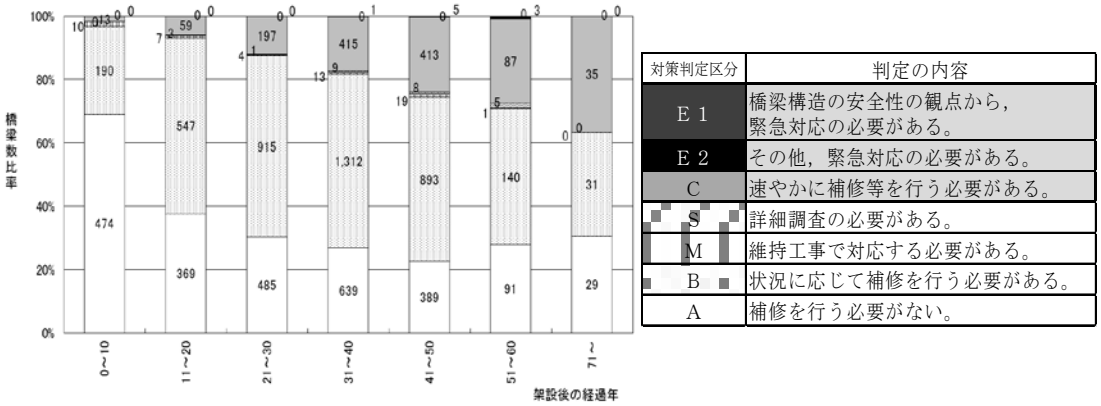


図-1.8　鋼橋主桁の腐食判定区分別の橋梁数比率（架設後の経過年）[1.6)]

（３）部分塗り替え塗装に関する技術資料

従来の塗装塗り替えにおいて，部分塗り替え塗装はほとんど行われていない状況であるので，技術資料等における部分塗り替え塗装に関する経緯と課題を整理する。

鋼道路橋塗装便覧（昭和 54 年 12 月）[1.7)]の塗り替え塗装の項目において，「塗装の劣化は，橋りょう全体に一様に進行することは少なく，フランジ下面や部材突縁部，現場継手部，雨水や土砂のたまりやすい箇所など，さびやすい部分とその他の部分とでは，劣化程度に差が生ずる。伸縮継手や排水ますの周辺，あるいはコンクリート床版からの漏水が流下する箇所など，特殊な原因により著しい劣化を生じている箇所に対しては，部分塗り替え塗装を行うこともある。」と，部分塗り替え塗装が紹介されていた。

鋼道路橋塗装便覧（平成 2 年 6 月）[1.8)]の部分塗り替えの項目において，「著しい漏水や滞水等の原因により早期に劣化した部分に対しては，原因を排除できない場合は，より防せい機能に優れた塗装系を適用することが必要である。」とされており，A系・B系塗装から，重防食塗装である有機ジンクリッチペイントとポリウレタン樹脂塗料（c－1）又はフッ素樹脂塗料（c－3）等への塗り替えが示された。

鋼道路橋塗装・防食便覧（平成 17 年 12 月）[1.9)]では，新設塗装において，ジンクリッチペイントとフッ素樹脂塗料を用いた高耐久性の重防食塗装を基本的に使用することとなった。塗り替え塗装においても，1 種ケレンを行った上で，重防食塗装を行うRc－Ⅰ塗装系(表-1.2)を基本とするのがよいと推奨している。部分塗替えの項目において，桁端部などの塗膜の劣化が著しくなる特定の部位を適切に維持管理することにより，全面塗り替え時期を延ばすことが可能であり，一般部の塗膜が健全でも，塗膜の劣化が著しい特定の部位を部分塗り替えすることもあると，紹介されている。

以上のとおり，部分塗装は技術資料で一般的な留意事項が紹介されていたものの，塗装系を部分的に変更する場合の知見が無いことから，従来は全面塗替えが行われることが多い状況にあった。そのため，部分塗装の新旧塗膜の境界部の仕様を検討する必要がある。

表-1.2　Rc－Ⅰ塗装系（スプレー）[1.9)]

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m²)	塗装間隔
素地調整	1 種		4 時間以内
下塗	有機ジンクリッチペイント	600	1～10 日
下塗	弱溶剤形変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗	240	1～10 日
下塗	弱溶剤形変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗	240	1～10 日
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	170	1～10 日
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	170	

（４）既設橋の塗装系

既設橋の塗装には，様々な種類の塗料が使用されており，塗り替えを検討する上で，既設橋に適用されている塗料の種類を把握することが重要であるため，過去の技術資料から主な外面用塗装系を整理する。

外面用塗装系の経緯を表-1.3 に示す。一般塗装系では，長油系フタル酸樹脂塗料を上塗りに使用した塗装系が一般環境で広く使用されており，外観の色調を長期間保持する必要がある場合にはシリコンアルキド樹脂塗料が上塗りに使用される。また，腐食環境が厳しい海岸付近等の場所や塗り替えの困難な場所では，塩化ゴム系の塗料を上塗りに使用した塗装系やポリウレタン樹脂塗料，ふっ素樹脂塗料を上塗りに使用した塗装系が選択される。平成 17 年 12 月の塗装・防食便覧改訂後は，ジンクリッチペイントの防食下地とふっ素樹脂塗料を上塗りに使用した重防食塗装系が，原則的に全ての道路橋に適用されている。

表-1.3　主な外面用塗装系

<table>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="4">一般塗装系</td><td colspan="3">重防食塗装系</td></tr>
<tr><td rowspan="4">主な塗料</td><td>上塗り</td><td>長油性フタル酸樹脂塗料上塗</td><td>シリコンアルキド樹脂塗料上塗</td><td colspan="2">塩化ゴム系上塗り塗料</td><td>ポリウレタン樹脂塗料上塗</td><td colspan="2">ふっ素樹脂塗料上塗</td></tr>
<tr><td>中塗り</td><td>長油性フタル酸樹脂塗料中塗</td><td>シリコンアルキド樹脂塗料用中塗</td><td colspan="2">塩化ゴム系中塗り塗料</td><td>ポリウレタン樹脂塗料用中塗</td><td colspan="2">ふっ素樹脂塗料用中塗</td></tr>
<tr><td rowspan="2">下塗り</td><td colspan="2" rowspan="2">鉛丹さび止めペイント１種(1979.12 以降)
鉛系さび止めペイント１種(1990.6 以降)
鉛・クロムフリーさび止めペイント(2005.12 以降)</td><td>フェノール樹脂 MIO 塗料</td><td colspan="2">HB 塩化ゴム系プライマー(1971.12 以降)
塩化ゴム系下塗り塗料(1979.12 以降)</td><td colspan="2">ポリウレタン樹脂系プライマー(1971.12 以降)
エポキシ樹脂塗料下塗(1979.12 以降)</td></tr>
<tr><td>鉛系さび止めペイント１種</td><td>ジンクリッチプライマー</td><td colspan="2">無機ジンクリッチペイント</td></tr>
<tr><td colspan="2">1971.12 以降[1.10)]</td><td>A－1</td><td></td><td></td><td></td><td>C－1</td><td>C－3</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">1979.12 以降[1.7)]</td><td>A－1</td><td></td><td>B－1</td><td>B－2</td><td>C－1</td><td>C－2</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">1990. 6 以降[1.8)]</td><td>A－1</td><td>A－3</td><td>B－1</td><td></td><td></td><td>C－1</td><td>C－3</td></tr>
<tr><td colspan="2">2005.12 以降[1.9)]</td><td>A－5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>C－5</td></tr>
</table>

（５）塗装系による腐食発生状況の違い

桁端部において，損傷程度 d 及び e の腐食が多く発生していることは前に述べた。前項で紹介した塗装系によって，腐食の発生状況にどのような違いがあるのか確認するため，直轄道路橋の定期点検結果から，主桁に損傷程度 d または e の腐食が発生している事例を 10 橋程度抽出して腐食発生状況を確認した。

１）長油性フタル酸樹脂塗料を上塗りに使用した塗装系

長油性フタル酸樹脂塗料を上塗りに使用した非合成単純 I 桁橋における損傷程度 d または e の腐食の発生事例を表-1.4 に示す。10 橋のうち，5 橋は桁端の 1 パネルのみ腐食が発生しており，他の 5 橋のうち，1 橋は桁端と同条件と考えられる桁が地山に接する部位の腐食，1 橋は床版のひびわれからの漏水による桁全体の腐食，残りの 3 橋は桁端から 1/4 支間のパネルの腐食であった。

２）塩化ゴム系塗料を上塗りに使用した塗装系

塩化ゴム系塗料を上塗りに使用した鋼橋における損傷程度 d または e の腐食の発生事例を表-1.5 に示す。10 橋のうち，5 橋は桁端の 1 パネルのみ腐食が発生しており，他の 5 橋は桁端も含めた桁の全体に渡って下フランジ等に腐食が発生していた。

３）ポリウレタン樹脂塗料を上塗りに使用した塗装系

ポリウレタン樹脂塗料を上塗りに使用した鋼橋における損傷程度 d または e の腐食の発生事例を表-1.6 に示す。11 橋のうち，8 橋は桁端の 1 パネルのみ腐食が発生しており，残り 3 橋のうち 2 橋は桁端も含めた桁の全体に渡って下フランジ等に腐食が発生していた。残る 1 橋はボルト継手におけるボルトの頭の腐食であった。

以上のように，損傷程度 d 以上の腐食が桁端のみで発生するという特徴には，塗装系の違いは支配的な要因にはならないものと考えられる。

表-1.4　長油性フタル酸樹脂塗料を使用した塗装系における腐食発生事例

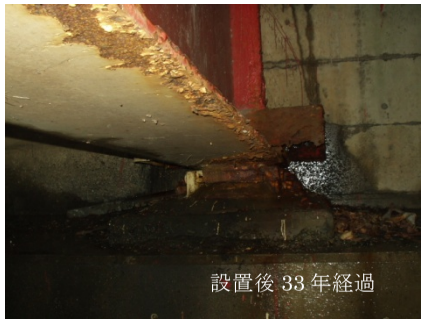
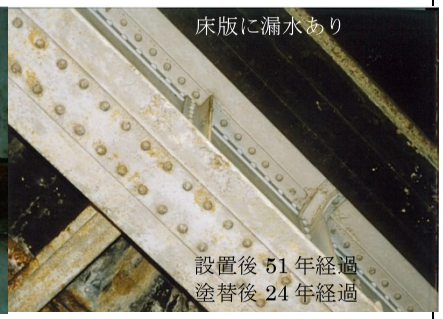
桁端１パネルのみ腐食	桁の全体で腐食発生等
設置後 24 年経過	桁端・1/4 支間のパネル 設置後 51 年経過 塗替後 10 年経過
 設置後 33 年経過	地山に接する桁腐食 設置後 36 年経過 塗替後 13 年経過
設置後 28 年経過 塗替後 7 年経過	桁端・1/4 支間のパネル 設置後 33 年経過 塗替後 14 年経過
設置後 47 年経過	床版に漏水あり  設置後 51 年経過 塗替後 24 年経過
桁中央に一部腐食有 設置後 68 年経過	桁端・1/4 支間のパネル 設置後 23 年経過 塗替後 12 年経過

表-1.5　塩化ゴム系塗料を使用した塗装系における腐食発生事例

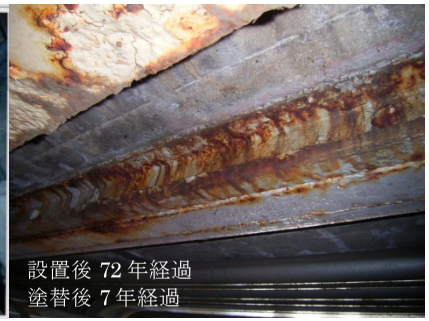
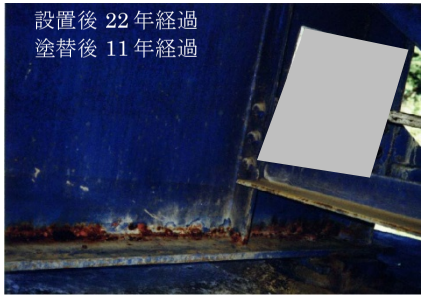
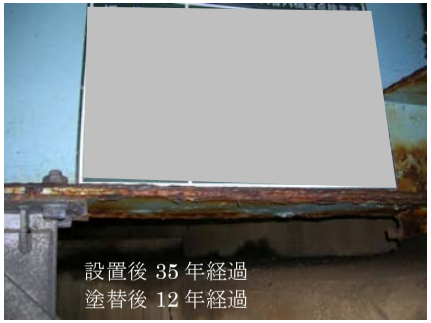
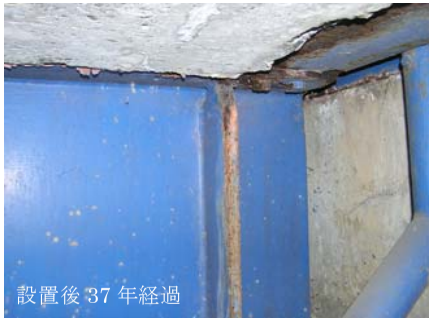
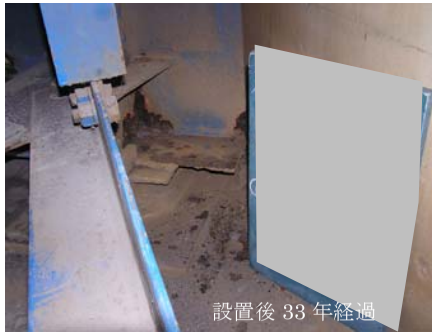
桁端１パネルのみ腐食	桁の全体で腐食発生等
	
	

表-1.6　ポリウレタン樹脂塗料を使用した塗装系における腐食発生事例

桁端１パネルのみ腐食			桁の全体で腐食発生等
 設置後 31 年経過	 設置後 29 年経過 塗替後 3 年経過	 設置後 41 年経過 塗替後 2 年経過	 設置後 38 年経過 補修塗装後 7 年経過
 設置後 35 年経過 塗替後 12 年経過	 設置後 34 年経過	 設置後 31 年経過	 設置後 39 年経過 塗替後 10 年経過
 設置後 37 年経過	 設置後 33 年経過		 ボルト頭のみ腐食 設置後 23 年経過

（６）部分塗り替え塗装導入に向けた課題の抽出

橋梁において発生する全ての腐食に対して，全面塗り替え塗装のみで対応することは，予算等の制約がある中では難しい場合がある。板厚減少を伴う腐食は，桁端で発生することが多いことから，桁端などを良好な品質の重防食塗装により塗り替える部分塗り替え塗装を導入する方策により，全ての腐食に対して迅速に対応することが考えられる。

そのため，本研究では，部分塗り替え塗装を導入するために必要な検討課題として，次の２点に着目して検討を行った。なお，桁端部以外での腐食も発生しているため，全面塗り替えと部分塗り替えの選定は，経済性や施工性，維持管理性を含めた比較検討を行い選定する必要があると考えられる。

１）桁端の狭隘な部位において良好な施工品質を確保するため，狭隘な部位における素地調整や塗装の施工性や施工品質の評価。

２）塗装系の異なる新旧塗膜の塗り重ね部において，塗膜に欠陥が発生せず，塗膜は十分な付着力を有し，耐久性があることの確認。

第２章　桁端部を模擬した供試体における施工性評価

2.1　試験概要

既設の塗装橋梁の桁端部において，部分的な塗り替えを行う場合，橋台や支承，落橋防止構造などの存在により，狭隘な施工環境となっており，必要な品質の素地調整や塗装の施工が困難であることが考えられた。また，図-2.1 に示す事例は，塩化ゴム系塗料の旧塗膜の上に異なる塗装系の長油系フタル酸樹脂塗料を塗り重ねた後 8 年経過した状況であり，既に塗膜の剥離がみられ，腐食が進んでいる状況にある。このように，異なる塗装系を塗り重ねると，新旧塗膜が一体化せずに剥離することがある。また，図-2.2 に示す事例は，ポリウレタン樹脂塗料の塗装を同じ塗装系で塗り替えたものの，わずか 2 年経過で腐食が発生している状況である。良好な素地調整を行わないと，防食性能の高い塗料を使用して塗り替えても，このように早期に劣化してしまう。これまで，部分塗装が控えられてきた一因でもある。

本研究では，施工性と品質の関係が明らかでないため，所要の品質で素地調整や塗装の施工が可能な条件を見いだすため，撤去された実橋の鋼桁を使用して，桁端部の狭隘な空間を模擬した供試体を製作し，素地調整及び塗装の作業に関する施工性評価試験を行った。

図-2.1　異なる塗装系で塗り替えた事例
(塩化ゴム系塗料→長油系フタル酸樹脂塗料，8 年経過)

図-2.2　重防食塗料を塗り替えた事例
(ポリウレタン樹脂塗料，2 年経過後)

2.2 試験ケース

（１）評価対象とする作業

１）素地調整の施工性に関わる試験ケース

対象とする素地調整は，表-2.1 に示すブラストと機械工具の 2 種類とし，重防食塗装を目標とすることから，除せい度ISO Sa2 1/2相当となるように施工することを基本とした。研削材の種類は，回収方法や養生方法，環境への配慮から 2 種類を選定した。

ここで，Sa,St の記号は，ISO8501-1 に示された素地調整の規格であり，Sa はブラストでの除せい度(JIS Z0313:2004)，St は機械工具での除せい度を示している。

表-2.1 素地調整の施工性に関わる試験ケース

施工法		備考
ブラスト	オープンブラスト	研削材はアランダム，スチールグリッドの２種類
	バキュームブラスト	研削材はスチールグリッドの１種類
機械工具	ディスクサンダー，ワイヤーホイル等の小型の動力工具	除せい度ISO Sa2 1/2相当
ブラストと機械工具等の組み合わせ	オープンブラスト，小型の動力工具	ブラストで除去できない部の塗膜に機械工具を適用
	オープンブラスト，小型ブラスト	ブラストで除去できない部の塗膜に機械工具を適用
自走式バキュームブラスト	小型バキュームブラストマシン	腹板を対象

２）塗装の施工性に関わる試験ケース

対象とする塗装の施工法は，表-2.2 に示すスプレー塗りと刷毛塗りの２種類とした。対象とする塗料は，重防食塗装による塗り替え塗装仕様 Rc－Ⅰ塗装系における下塗り塗料の有機ジンクリッチペイントとした。

表-2.2 塗装の施工性に関わる試験ケース

施工法	塗料
スプレー塗り	有機ジンクリッチペイント
刷毛塗り	有機ジンクリッチペイント

2.3 供試体

試験に使用する供試体の桁の断面形状は，適用事例が多く，桁端部が比較的複雑な形状であることから狭隘部の問題が起きやすいI型断面の鋼桁とし，断面寸法は，桁高や伸縮量が小さくなる短い支間長の橋を念頭に，単純桁において比較的適用される範囲とされている短い支間長 20～30mの範囲[2.1)]にあり，この支間長の多主桁における一般的な腹板の高さ約 1300~1800mmの範囲[2.1)]にある桁とした。

また，狭隘な施工条件や既存塗膜を忠実に再現するため，橋梁架替が行われる橋梁から，これらの狭隘な条件に合致するよう部材を切り出して供試体として使用することとした。部分塗替え塗装で対象となることが多いと想定している橋座付近の主桁において，局部的な腐食が多く狭隘な構造の多い端対傾構付近や橋座の上方にある下フランジ下面，及び一般部との塗り重ね部に相当する部分を含む撤去部材を対象とした。単純鋼 I 桁 2 連の撤去橋梁から，4 箇所の主桁端部を 2500mm の長さで切断して試験場に搬出し，実橋を模擬した条件で配置して 4 体の供試体とした。

2.3.1 撤去桁の概要

（1）撤去橋梁の諸元及び塗装系

使用した撤去橋梁の諸元を表-2.3 に，撤去前の橋梁の全景写真を図-2.3 に，撤去状況写真を図-2.4 に，橋梁一般図を図-2.6 に示す。I 型断面の主桁 3 本が 2050mm 間隔で配置されており，桁の寸法は，腹板の高さ 1600mm，下フランジの幅 300mm である。

既存の塗装は，図-2.5 に示す 1989 年 9 月の塗装塗り替えが最終の塗装となっており，下塗りに鉛系さび止め塗料，中塗り・上塗りに長油性フタル酸樹脂塗料を使用した仕様であり，表-2.4 に示す当時の鋼道路橋塗装防食便覧[1.6)]における塗り替え用のa塗装系（新設塗装におけるA－1 塗装系と下塗りの塗料を除き同一）に相当する。

表-2.3　撤去橋梁の諸元

橋　種	単純非合成鋼 I 桁橋 2 連（3 主桁）
橋　長	54m（27m＋27m）
竣　工	1963 年（昭和 38 年）4 月供用　（適用道示：昭和 39 年，一等橋）
塗装履歴	1989 年 9 月最終の塗り替え（図-2.5）
設置環境	山間部，内陸（瀬戸内海の海岸線から 5.7km）
撤　去	2006 年 8 月撤去　（桁端部の部材は，屋外のヤードで保管）

図-2.3 撤去前の橋梁

図-2.4 撤去中の橋梁

図-2.5 撤去橋梁の塗装記録表

表-2.4 塗り替え塗装系（a）の仕様（鋼道路橋塗装便覧　昭和 54 年 2 月）[1.7)]

塗装系	旧塗装系	下塗り		中塗り	上塗り
		第一層	第二層		
a	A－1 A－2 A－3	鉛系さび止めペイント１種（140g/m²）	鉛系さび止めペイント１種（140g/m²）	長油性フタル酸樹脂中塗り塗料（120g/m²）	長油性フタル酸樹脂上塗り塗料（110g/m²）

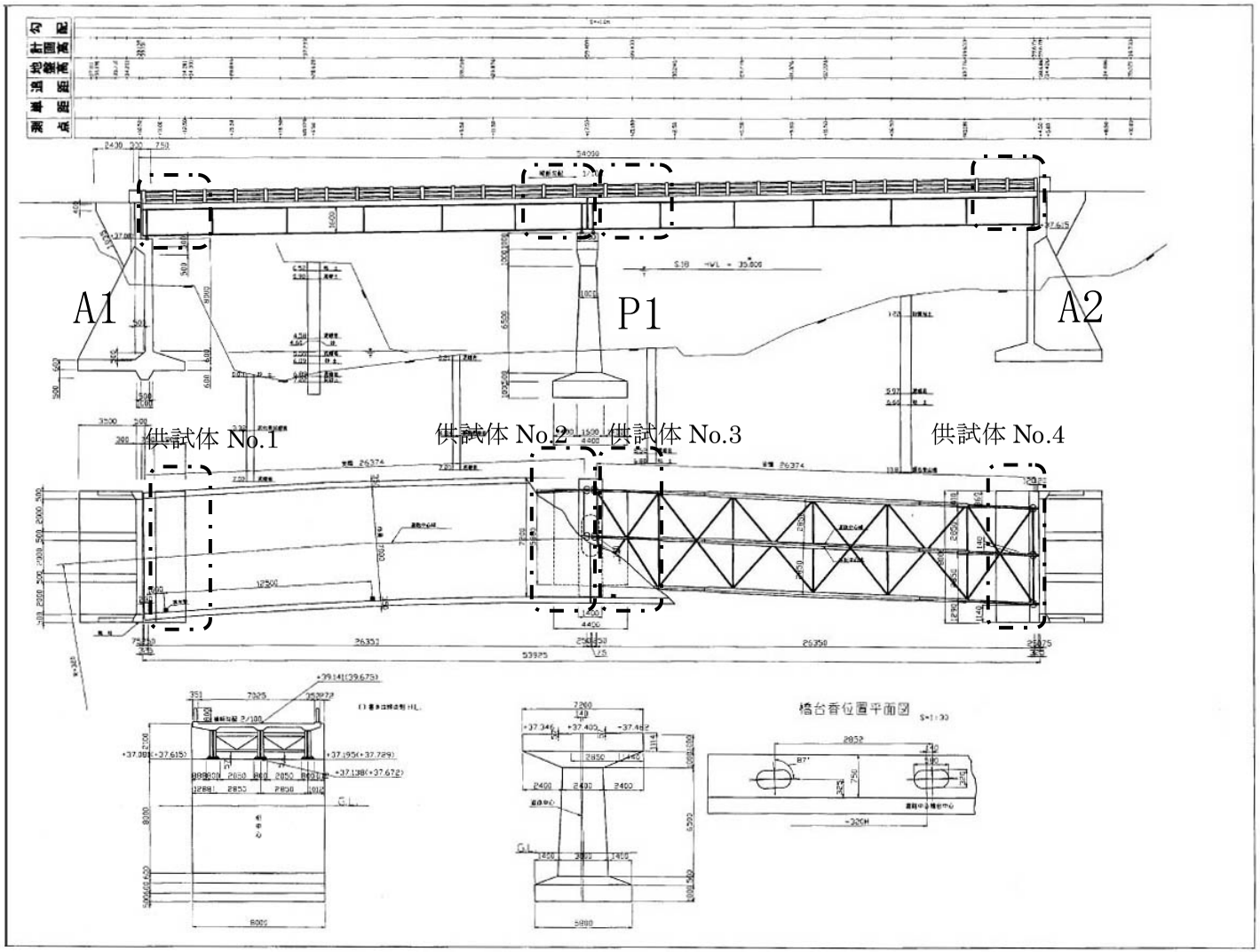


図-2.6 橋梁一般図

（２）旧塗膜の塗膜厚

使用した撤去橋梁の残存する塗膜厚を超音波板厚計により測定した。測定部位は，No.2，No.3，No.4 の主桁の腹板の一般部とした。表-2.5 に測定結果を示す。塗膜厚は，466～492μmであった。A塗装系の塗膜厚は，新設時 140μm（プライマー15μm +下塗り 70μm +中塗り・上塗り 55μm），塗り替え時 125μm程度（下塗り 70μm程度，中塗り・上塗り 55μm）[1.7),1.8)]であることから，ほぼ 4 回分の塗装に相当する塗膜厚（新設時 140μm +塗り替え時 125μm程度×3 回=515μm程度）であった。

これは，施工性評価試験の実施時に 3 種ケレンを行った箇所で，旧塗膜の構成を確認し，図-2.7 に示す 4 回分の塗装を目視でも確認している。

表-2.5 撤去橋梁の塗膜厚の測定結果

測定箇所	供試体No.2 CL桁			供試体No.3 CL桁			供試体No.4 CL桁		
	残存塗膜厚（μm）			残存塗膜厚（μm）			残存塗膜厚（μm）		
1	469	488	526	456	467	468	545	582	505
	489	467	543	496	518	530	484	561	511
	466	341	512	435	432	429	510	546	471
2	462	497	525	490	488	520	542	525	495
	508	477	559	449	444	441	479	501	504
	493	495	530	509	568	519	504	506	503
3	461	498	522	527	504	468	485	444	537
	431	521	495	546	493	455	495	458	516
	500	475	497	553	449	444	461	486	579
4	439	473	487	470	475	464	461	488	481
	446	475	508	450	430	421	476	459	494
	478	482	512	430	374	417	499	461	488
4	483	478	462	456	437	418	465	440	481
	482	453	454	449	457	443	463	457	429
	467	456	468	433	432	420	462	462	418
平均			483			466			492

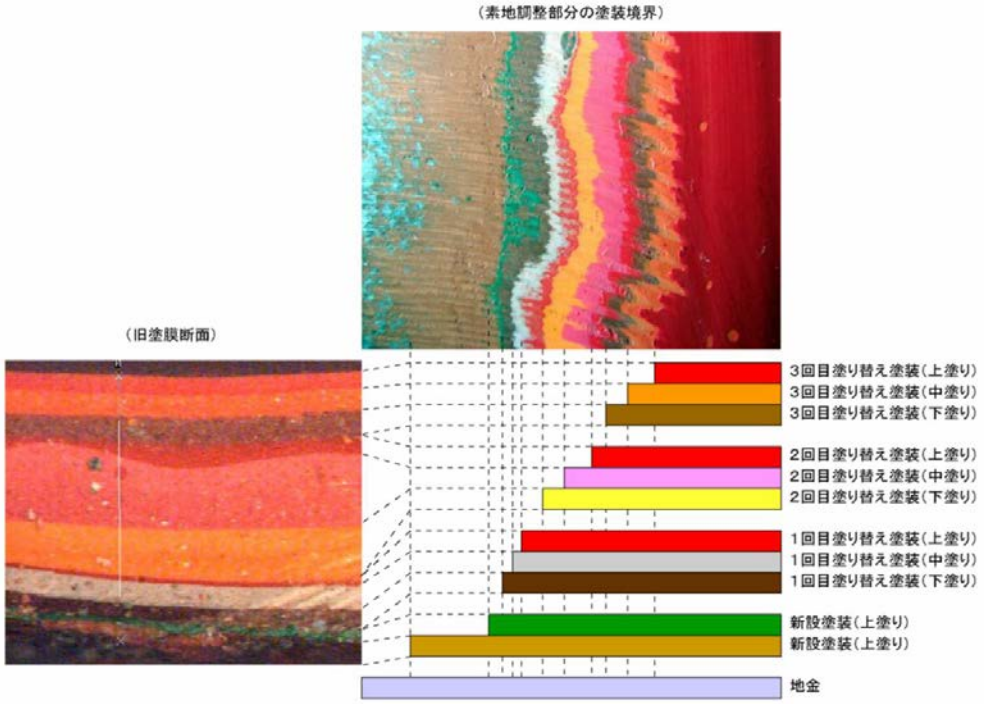


図-2.7　旧塗膜（A 塗装系）の概要

（３）旧塗膜の劣化状況

撤去橋梁から切り出した鋼桁端部において，目視による塗膜劣化度を調査し，塗膜の劣化状況を把握した。供試体組立時に主桁内外面のウェブ，下フランジ下面を対象とした全体的な劣化状況を，供試体の組立完了後に主桁の各部位の局所的な劣化状況を調査した。

１）主桁の腹板等

各供試体ともに，塗膜に「ふくれ」，「はがれ」，「さび」，「われ」は確認できず，健全であると考えられた。一方，外桁の外面には，図-2.8 に示すとおり全面に白亜化（チョーキング）がみられ，かなり白っぽい状態（等級 3）である（JIS K 5600-8-6）[2.2)] と判定された。

２）主桁の下フランジ下面

桁端部の一部塗膜において「はがれ」，「われ」が確認された。図-2.9 に示すNo.1供試体R桁の下フランジにおける「はがれ」の面積比は 15%程度（等級 5），その他の主桁の下フランジ下面では 3%程度（等級 4）であった（JIS K 5600-8-5）[2.3)]。

３）垂直補剛材

主桁端部に取り付けられた垂直補剛材に，塗膜劣化と腐食が見られた。特に端支点部（A1 橋台）上となる供試体 No.1 の垂直補剛材下側に，層状はく離さびの著しい腐食が認められた（図-2.10）。

４）端対傾構の取り付けガセット

供試体 No.1 を中心に端対傾構の取付けガセットに，塗膜劣化が認められた。著しい腐食は認められないものの，塗膜の「はがれ」や「ふくれ」，「われ」が認められた（図-2.11）。

以上から，一般部の塗膜は，白亜化が認められるものの比較的健全な状態にある一方で，局部的に板厚減少を伴う著しい腐食が支承付近の主桁に発生しており，部分塗り替え塗装が適した橋梁として想定している損傷状況に合致していると評価できた。また，一般的な形状･断面のＩ型断面の鋼桁であり，過去の塗装履歴や塗装仕様が明らかになっているため，実験に必要な条件を満足していた。

図-2.8 外桁外面の塗膜白亜化

図-2.9 下フランジ下面の塗膜劣化

図-2.10 垂直補剛材下側の腐食（No.1）

図-2.11　取付けガセットの塗膜劣化（No.1）

2.3.2 桁端部の条件

施工性評価に使用する供試体の配置を決定するにあたり，実橋における一般的な桁端部の空間の条件を把握するため，パラペットと端対傾構の水平距離及び下フランジと橋座面の鉛直距離の 2 点に着目して，実橋の状況を整理した。

（1）腐食事例における桁端部の状況

1 章（5）塗装系による腐食状況の違いの項目において抽出した直轄国道の橋において，主桁に損傷程度 d または e の腐食が確認された橋梁を対象として，既存資料や写真等により桁端の状況を判断して，表-2.6 に整理した。

1）パラペットと端対傾構の水平距離

パラペットと端対傾構の間のスペースに作業員が容易に進入して作業可能な 400mm 以上の橋がある一方で，多くの橋では，300mm 程度しかない狭い状況であった。

なお，支間の短いH形鋼橋や遊間異状で桁が胸壁に接している橋，角度が小さい斜橋の場合において，パラペットと端対傾構の水平距離が 200mm 程度しかない橋もみられた。

2）主桁下フランジと橋座面の鉛直距離

下フランジ下面と橋座面の間のスペースに作業員が進入可能な 500mm 程度の橋がある一方で，多くの橋では，150mm 程度しかない狭い状況であった。

なお，支間の短いH形鋼橋や線支承を用いた橋の場合において，主桁下フランジと橋座面の鉛直距離は 100mm 程度または 50mm 程度しかない橋もみられた。

以上より，パラペットと端対傾構の水平距離は 300mm 程度，主桁下フランジと橋座面の鉛直距離は 150mm 程度の橋が多い状況であった。なお，本実験に使用した撤去橋梁における撤去前の設置状況を図-2.12 に示す。上記と同程度の条件であった。

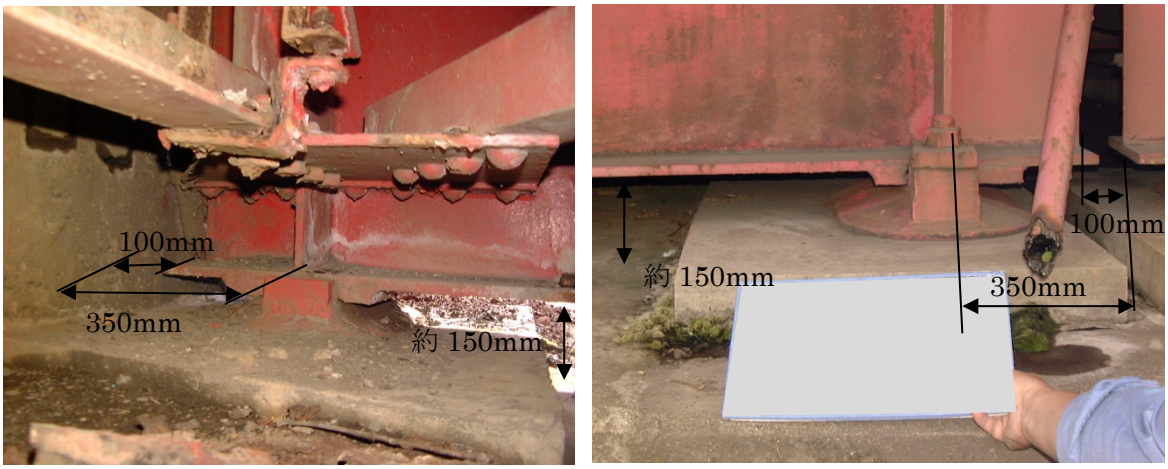
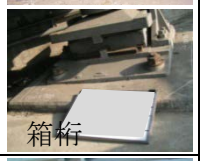
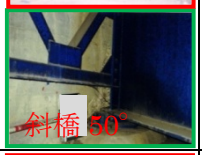
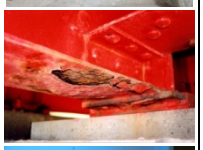
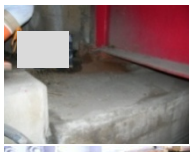
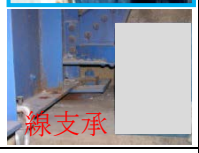
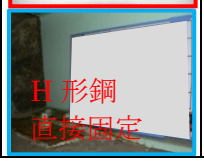


図-2.12 撤去橋梁の桁端状況（撤去前，鋼製線支承）

表-2.6 橋梁の桁端状況の例

		パラペットと端対傾構の水平距離			
		200mm 以上	250mm 以上	300mm 以上	400mm 以上
主桁下フランジと橋座面の鉛直距離	500 mm 程度				箱桁  箱桁
	250 mm 程度		箱桁		
	150 mm 程度	斜橋 65° 遊間異状 斜橋 45° 遊間異状  斜橋 50°	遊間異状 線支承 H 形鋼	斜橋 38°  線支承	
	100 mm 程度	遊間異常	H 形鋼 線支承	H 形鋼 H 形鋼  線支承	
	50 mm 程度	H 形鋼, 遊間異状  H 形鋼 直接固定			

□：遊間異状，□：H 形鋼橋，□：斜橋

（２）技術資料における桁端部の条件

１）パラペットと端対傾構の水平距離

桁遊間に関しては，支承の設計移動量の基準が，道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編（平成 14 年 3 月　（社）日本道路協会）4.1.3 節[2.4)]において，桁の温度変化や活荷重によって生じるたわみによる上部工の移動量ならびに施工時の余裕を考慮して設定するものとされており，算出方法が示されている。なお，Ⅴ耐震設計編 9.1 節[2.4)]の免震橋のように，耐震設計で想定した変位を考慮して遊間量を設定する場合もある。

また，端対傾構から桁端までの距離に関しては，道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編（平成 14 年 3 月 （社）日本道路協会）10.5.2 節[2.4)]において，荷重集中点の補剛材として，支点上の主桁に垂直補剛材を設置する設計において，柱としての有効断面積は，腹板板厚の 12 倍までと範囲が規定されており，この範囲の腹板は全反力を受け柱として計算されることから，端対傾構から桁端部までの距離を確保する必要がある。

なお，径間長 20～30m 程度の鋼Ⅰ桁橋における実際の設計事例をみると，桁遊間 100mm 程度，対傾構から桁端までの距離 200mm 程度の事例がみられた。

一方，桁端部の維持管理を考慮して，パラペットと端対傾構の距離を広く取った事例として，耐候性鋼橋において，通気性の改善と漏水防止を目的として，図-2.13 に示すように橋台と桁端を切り欠いた構造とし，橋台と桁端の空間を十分に確保し，通気をよくする事例がある。

２）主桁下フランジと橋座面の鉛直距離

支承の高さに関しては，支承に用いる部材の厚さの基準が，道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編（平成 14 年 3 月 （社）日本道路協会）4.1.4 節[2.4)]において，支承と上下部構造とを連結する部材（ソールプレート，ベースプレート）に用いる鋼板の板厚は 22mm 以上とすること，4.1.5 節[2.4)]において，鋼製支承の主要部の厚さは 25mm以上とすることと規定されている。

なお，実橋では，設計で使用する支承の高さにソールプレート，ベースプレート等の厚さを加え，無収縮モルタルの厚さ，台座コンクリートの高さで調整が行われている事例が多くみられる。径間長 20～30m程度の鋼I桁において一般的に用いられる支承等の標準的な高さとして，鋼製のBP支承や支承板支承等を使用した場合は 150mm程度，固定・可動型ゴム支承を使用した場合は 250mm程度[2.1)]の事例がみられた。

一方，桁端部の維持管理を考慮して，主桁下フランジと橋座面の鉛直を広く取った事例として，耐候性鋼橋において，通気性の改善と漏水防止を目的として，図-2.14 に示すように台座コンクリートにより沓座をかさ上げした構造とし，橋台天端と橋下面の空間を十分に確保し，通気をよくした事例がある。

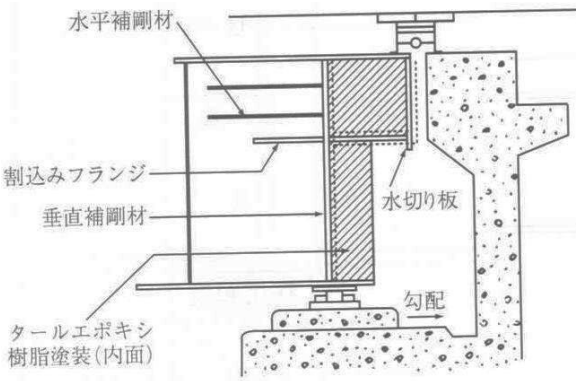


図-2.13　橋台と桁端を切り欠いた構造[2.5),2.1)]

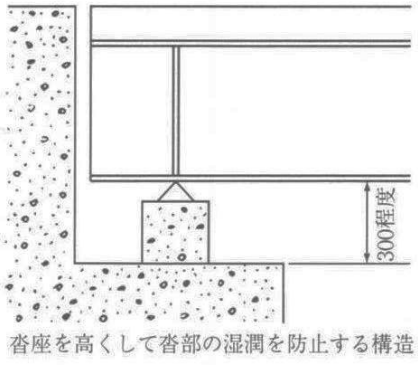


図-2.14　沓座をかさ上げした構造[2.5),2.1)]

2.3.3 供試体の概要

（１）桁端部の再現方法

施工性評価のための供試体において，実橋における桁端部の狭隘な空間を再現するため，図-2.15 に示すとおり，撤去部材の鋼桁を元の実橋と同様な条件で 3 本の主桁を 2000mm 間隔で配置し，桁周囲にある床版，橋台のパラペット及び橋座は，仮設用の足場パイプやコンパネ等を用いて実橋と同じ間隔で配置して狭隘な施工条件を再現することとした。供試体の各部の寸法を図-2.16 及び下記に示す。供試体の製作図を図-2.17 に，4 体の供試体の完成状況を図-2.18 に，供試体各部の模擬状況を図-2.19 に示す。

・取り付けガセット周りを除き欠けていた対傾構の部分は角材で接続して邪魔材とした。
・パラペットと端対傾構の間は，標準的な寸法 300mm を確保してパラペットの邪魔材を配置した。
・主桁下フランジと橋座面の間は，170mm と 270mm の 2 段階で設定して邪魔材を配置した。
・支承は，高さ 150mm の桁受け金具を下フランジ下側に設置することで再現した。

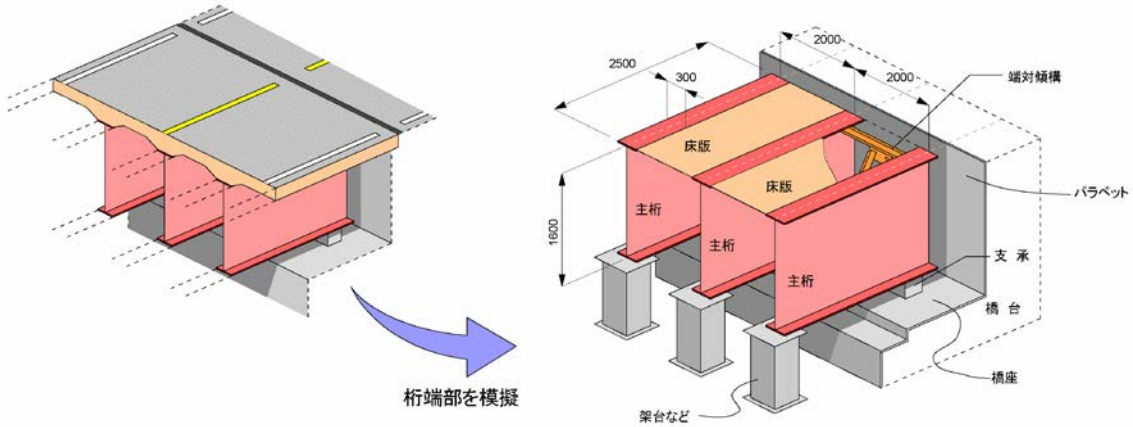


図-2.15　桁端部の模擬方法

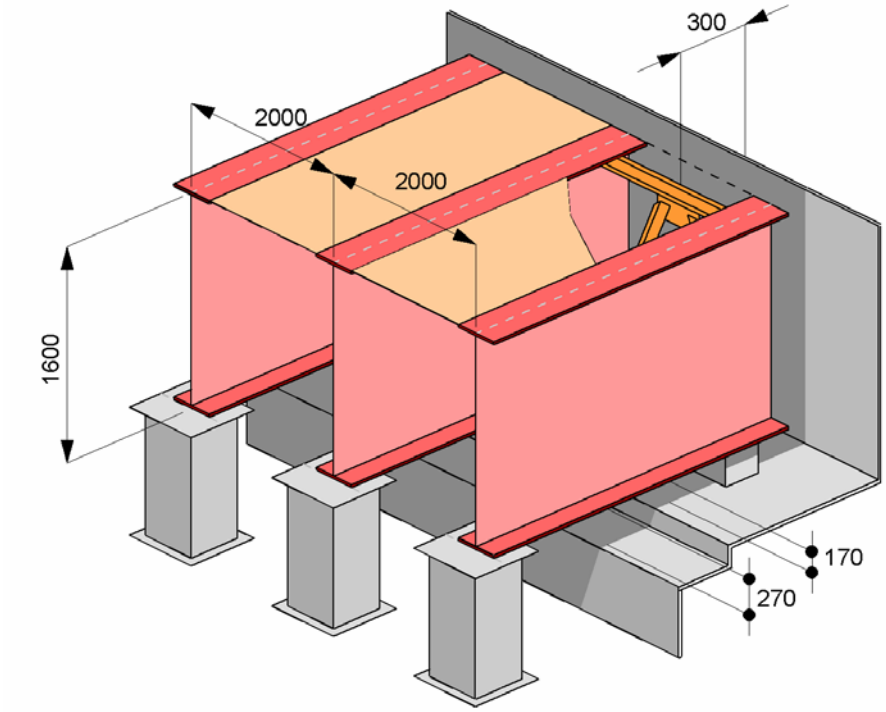


図-2.16　供試体の主な寸法　（単位：mm）

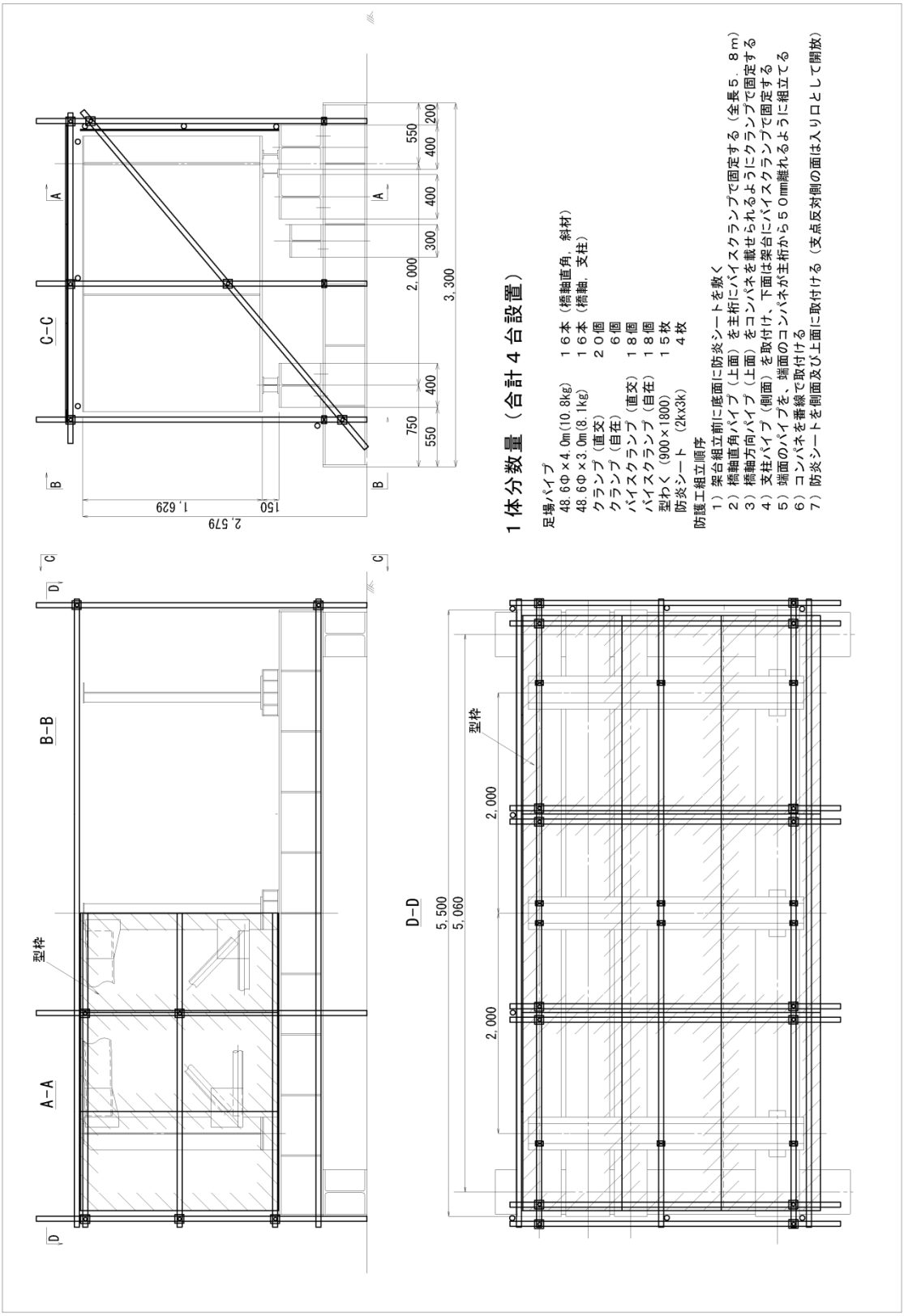


図-2.17　供試体の製作図　（単位：mm）

供試体 No.1

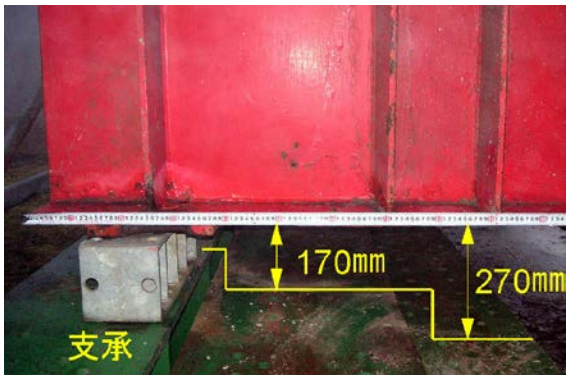
供試体 No.2

供試体 No.3

供試体 No.4

図-2.18　各供試体の完成状況

角材による端対傾構（邪魔材）の模擬



桁受金具による支承と桁下空間の模擬

図-2.19　供試体各部の模擬状況

2.4 試験方法

静岡県富士宮市根原にある独立行政法人土木研究所所管の曝露試験場（朝霧環境材料観測施設）に供試体を設置し，2006 年（平成 18 年）11 月 29 日～30 日に試験を行った。

2.4.1 素地調整の方法

（1） オープンブラスト

オープンブラストは，研削材やはく離した塗膜の粉塵飛散を防ぐことを目的に，桁端部全体をシートやコンパネ等により養生し，作業者がこのシートに囲われた内部の作業空間に進入し，直接ノズルを操作して対象部位をブラスト処理するものである（図-2.20）。今回の試験では，防炎シートを用いて養生した。

1）ブラスト機材

ブラスト機材は，全景を図-2.21 に，仕様を表-2.7 に示すバキュームブラスト装置をバキューム無しで使用した。このバキュームブラスト装置は，オープンブラストおよびバキュームブラスト，自走式バキュームブラストに共通して使用した。

2）研削材

研削材は，アランダム（アルミナ）とスチールグリッドの 2 種類を使用した(図-2.22)。

① アランダム（アルミナ）

溶融アルミナ粒を粉砕し，分級して作られた酸化アルミナ系の研削材である。硬度が高く，研掃力に優れている。飛散粒は発せいしないが，リユース率が低い。粒径 850～1,180μm のものを使用した。

②スチールグリッド

表面に鋭角が多いため，強力な研掃力があり，ブラストの研削材として広く使用されている。リユース率は高いが，飛散粒が湿気等により発せいしやすい。最大粒径 1,180μm のものを使用した。

ノズルの操作

施工状況と粉塵の状況

図-2.20 オープンブラストの施工状況

図-2.21　バキュームブラスト装置

表-2.7　バキュームブラスト装置の仕様

装置の構成	ブラストタンク装置　（重量 980kg） バキューム装置　（重量 2600kg） 集塵装置・エアードライヤー（重量 800kg）
ホース系列数	ブラストホース：2 系列　（L=120m） 回収ホース　　：2 系列　（L=60m）
ブラストタンク装置	エアー圧力：最大 0.68MPa （コンプレッサー190HP 以上必要）
バキューム装置	駆動モーター：55Kw （発電機 125KVA 以上必要）

アランダム

スチールグリッド

図-2.22　研削材の例

（２）バキュームブラスト

バキュームブラストは，噴射と同時に吸引力によってノズル（バキュームホルダー）内部で研削材を回収し，研削材の飛散を防止するものである（図-2.23）。作業空間の養生は簡易なもので対応が可能となるが，ノズル寸法が大きくなるため，狭隘部への施工性が劣る可能性がある。ただし，最近では，部材コバ面や曲面，狭隘部への施工を容易にしたノズルの改良事例も見られる[1.3)]。

１）ブラスト機材

ブラスト機材は，オープンブラストと同じ図-2.21 及び表-2.7 に仕様を示す機材を使用した。

２）研削材

施工性を比較するため，オープンブラストで用いたスチールグリッドを使用した。

ノズルの状況

施工状況と粉塵の状況

図-2.23　バキュームブラストの施工状況

（３）機械工具

カップワイヤ，ジェットタガネ，高速カッター，ロータリーグラインダ，ディスクサンダーの小型の機械工具を用いて素地調整を行うものである（図-2.24）。ウェブ面にはディスクサンダーやジェットタガネを，ボルト添接部やスカラップ周りなどの狭隘部についてはロータリーグラインダを用いた。機械工具による素地調整は 2 種ケレンに分類されるものの，今回は，ISO Sa2 1/2相当の除せい度を目標として，各機械工具を駆使して施工するものとした。

本試験にて用いた機械工具の一部

機械工具の施工状況

図-2.24　機械工具の施工状況

（４）ブラストと小型ブラスト装置，機械工具の組み合わせ

ブラスト工法では施工の難しい部位において，小型ブラスト装置や機械工具を併用して，ISO Sa2 1/2相当の素地調整を目指すこととした。ブラスト装置及び機械工具は，オープンブラスト及び機械工具と同じ機材を用いた（図-2.25，図-2.27）。

小型簡易ブラストは，ノズル径が小さい簡易なオープンブラストで，孔の明いた管にエアを流すと孔部では吸引する現象（ベルヌーイの定理）を利用している（図-2.26）。小さい面積や施工姿勢の厳しい状態での素地調整に向いている。比較的少ない空気圧で施工が可能であり，粉塵も比較的少ない。

ノズル

施工中の研削材吸引状況

図-2.25　小型ブラスト装置の施工状況

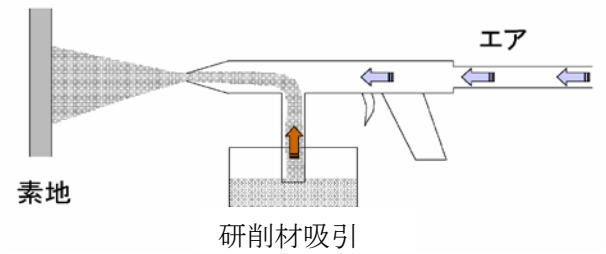


図-2.26 小型ブラストの原理

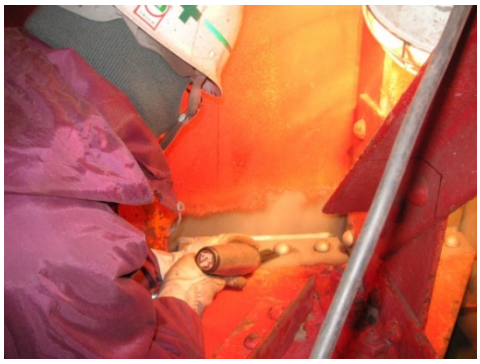


図-2.27 機械工具の組み合わせ施工

（５）自走式バキュームブラスト

近年，石油タンクや大型部材壁面への素地調整の施工を自動で行うために，自走式の小型バキュームブラストマシンが開発されている。この自走式バキュームブラストマシンの施工性についても確認した（図-2.28）。

自走式バキュームブラストマシンは，上部の金具に固定されたウィンチでチェーンを巻き取りながら，チェーンでつられた小型のブラストマシン本体を昇降させながら素地調整を行うものである。

図-2.28　自走式バキュームブラストマシン

2.4.2 塗装の方法

有機ジンクリッチペイントの塗装方法として，スプレーおよび刷毛塗りの 2 つの方法を実施した（図-2.29）。スプレーは，エアレススプレーを使用した。

有機ジンクリッチペイントを 1 回の塗布で目標膜厚 75μm（2 回塗り）の半分，約 38μm となるよう，塗布することとした。塗料は，所定の量をあらかじめ計量して用意した（図-2.30，図-2.31）。

スプレー塗り

刷毛塗りの状況

図-2.29　塗装の施工状況

図-2.30　コンプレッサーへの塗料充填

図-2.31 塗料の計量（刷毛塗り）

2.4.3 供試体の着目部位

素地調整および塗装の施工性の確認試験は，桁端部のうち主に端対傾構の上下の取付けガセットと主桁下フランジを着目部とした（図-2.32，図-2.34）。また，供試体 No.1 については，主桁垂直補剛材の下端部の腐食が進んでおり（図-2.10），ブラストの除せい程度の確認箇所として着目部に加えた。なお，試験位置の名称は，図-2.33 に示す記号を用いている。

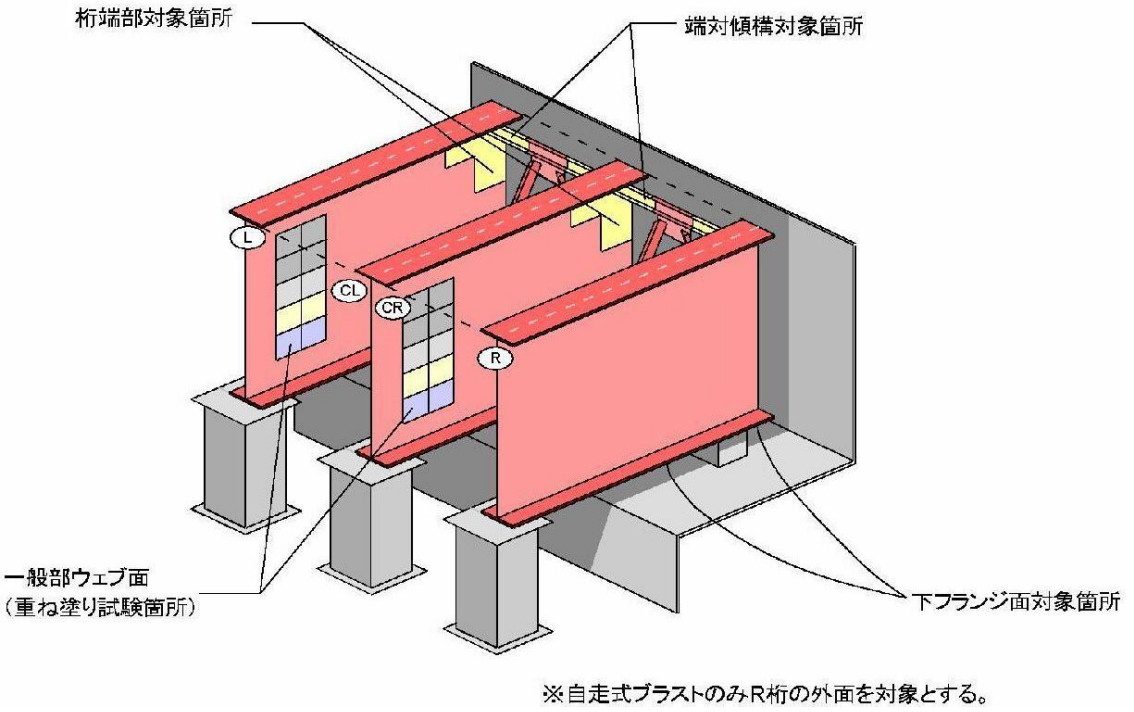


図-2.32 供試体の対象箇所

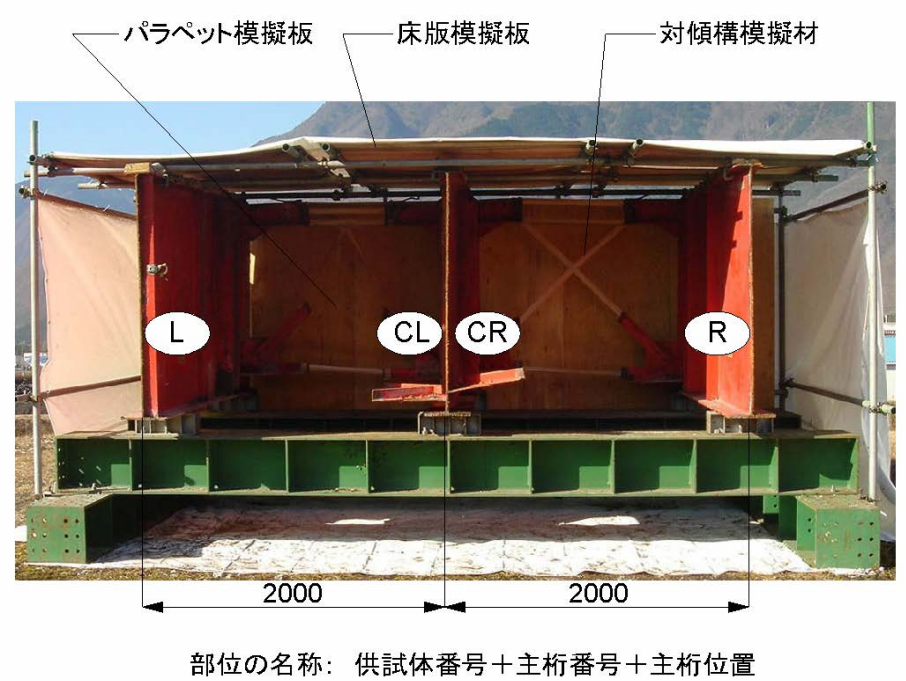


図-2.33　試験位置の名称の定義

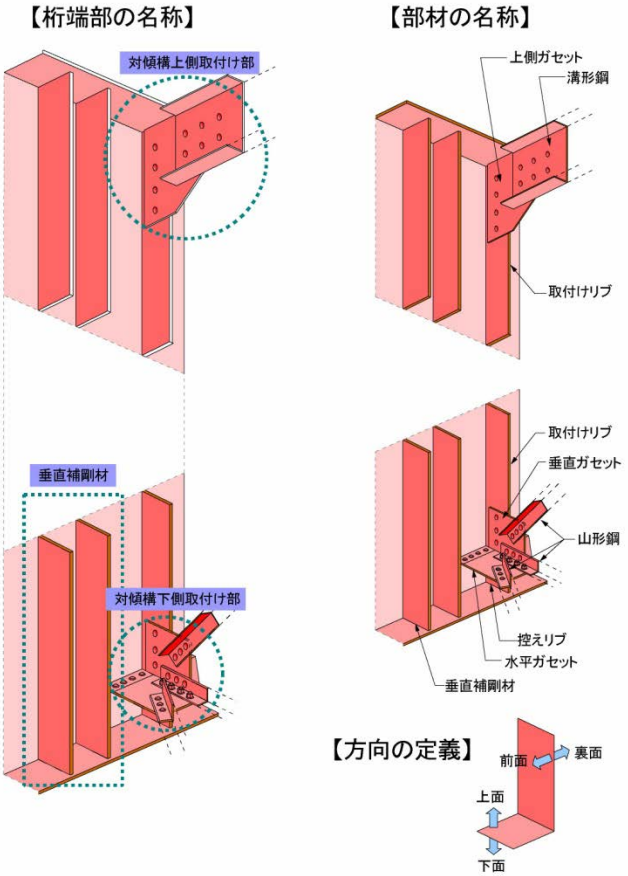


図-2.34　施工性評価確認試験の着目部と各名称

2.4.4 適用位置

4 体の供試体における素地調整及び塗装の各試験ケースの適用位置を，表-2.8 及び図-2.35 に示す。なお，各供試体において，施工性評価確認試験は端対傾構付近の桁端部において，塗り重ね評価試験は主桁ウェブ面において実施した。

表-2.8　試験ケース適用位置

<table>
<tr><td colspan="3">供試体番号</td><td colspan="4">1</td><td colspan="4">2</td><td colspan="4">3</td><td colspan="4">4</td></tr>
<tr><td colspan="3">桁記号</td><td>L</td><td colspan="2">C</td><td>R</td><td>L</td><td colspan="2">C</td><td>R</td><td>L</td><td colspan="2">C</td><td>R</td><td>L</td><td colspan="2">C</td><td>R</td></tr>
<tr><td colspan="3">試験位置記号</td><td>L</td><td>CL</td><td>CR</td><td>R</td><td>L</td><td>CL</td><td>CR</td><td>R</td><td>L</td><td>CL</td><td>CR</td><td>R</td><td>L</td><td>CL</td><td>CR</td><td>R</td></tr>
<tr><td rowspan="4">施工性評価試験</td><td rowspan="2">素地調整</td><td>桁端部</td><td colspan="2">オープンブラスト（アランダム）</td><td colspan="2" rowspan="2">オープンブラスト（グリッド）</td><td colspan="2">バキュームブラスト（グリッド）</td><td colspan="2" rowspan="2">機械工具のみ</td><td colspan="2" rowspan="2"></td><td colspan="2">RR ウェブ面にて自走式バキュームブラスト</td><td colspan="2">オープンブラスト＋機械工具(グリッド)</td><td colspan="2" rowspan="2">オープンブラスト＋小型ブラスト（グリッド）</td></tr>
<tr><td>下フランジ下面</td><td colspan="3">（一部）</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">塗装</td><td>桁端部</td><td></td><td></td><td></td><td>刷毛塗り</td><td></td><td></td><td></td><td>刷毛塗り</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>スプレー塗り</td></tr>
<tr><td>下フランジ下面</td><td></td><td colspan="3">刷毛塗り</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>塗り重ね部の試験</td><td>素地調整＋塗装</td><td>腹板</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>機械工具のみ＋塗装 5 ケース</td><td></td><td></td><td>オープンブラスト（アランダム）+塗装 5 ケース</td><td></td><td></td><td></td><td>オープンブラスト（グリッド+塗装 5 ケース</td><td></td><td></td></tr>
</table>

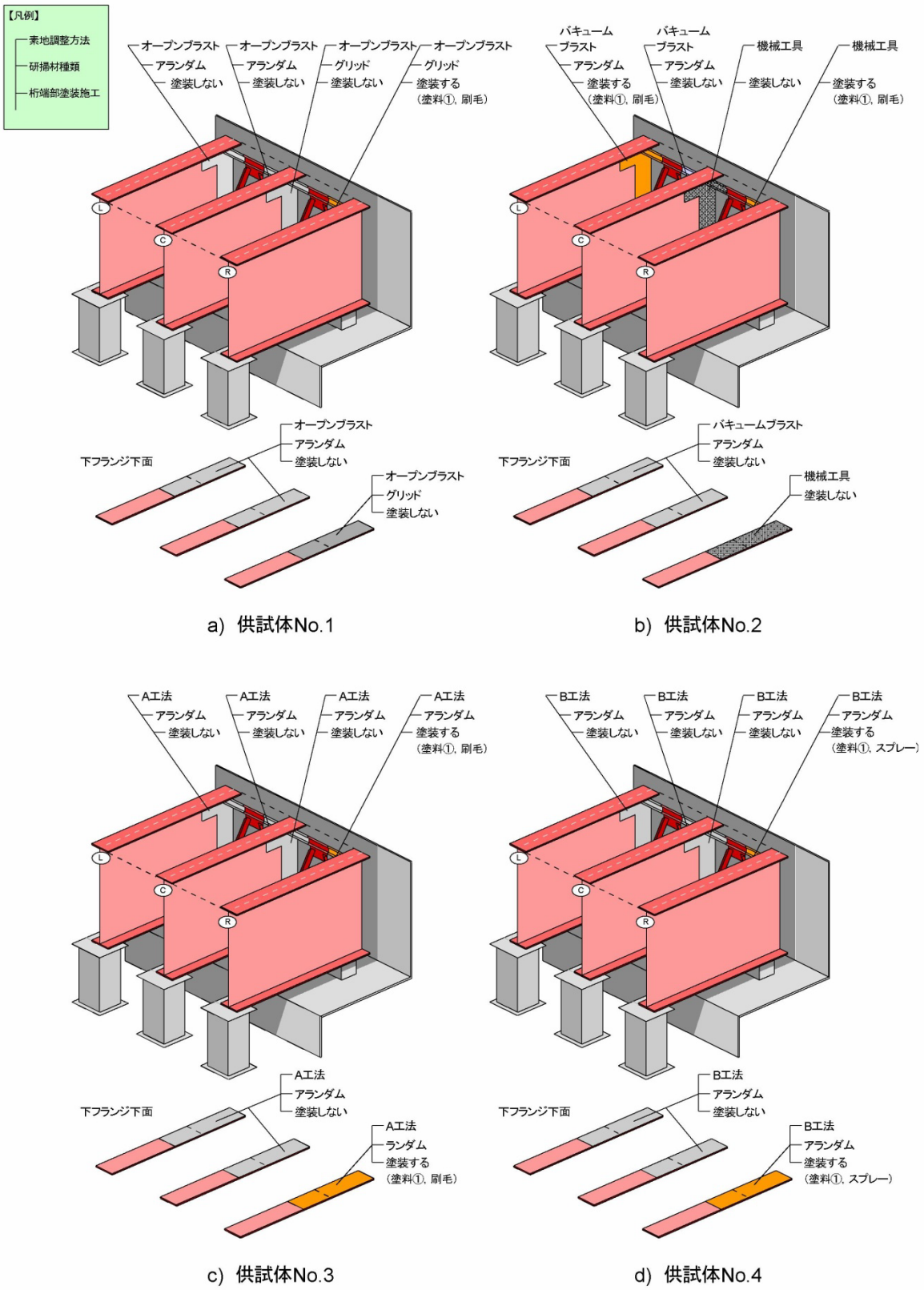


図-2.35 各試験ケース適用位置

2.5 試験結果

2.5.1 素地調整の施工性評価

桁端部の狭隘な作業条件で複雑な形状をした部位におけるISO Sa2 1/2相当を目指した機械工具及びバキュームブラスト，オープンブラスト等の各種方法による素地調整作業の評価結果は，以下のとおりであった。

（１）機械工具

ジェットタガネとディスクサンダー，ロータリーグラインダ等の小型機械の複数の工具を組み合わせた場合に，除せい度ISO St2～3 相当を確保できるものの塗膜やさびが若干残存することになり，ISO Sa2 1/2相当の確保は困難であった（表-2.9（a）～（c））。

なお，橋座面上の下フランジ下面でのジェットタガネ使用は，鋼材に対して鉛直に施工することができないため，ある程度斜めでの施工とならざるを得ない。今回用いたジェットタガネ（図-2.36）では，施工上必要な空間高さは 350mm 程度であった。

（２）バキュームブラスト（研削材：スチールグリッド）

研削材にスチールグリッドを用いたバキュームブラストだけを用いて素地調整を行い，その施工性を確認した結果，粉塵をほとんど発生しないため作業性が良く，平面部やノズルの入る部位では，ISO Sa2 1/2相当を確保できるものの，ノズルが干渉する突起部や隅角部では塗膜が残存した。下フランジ下面等のノズルが入らない狭隘な部位での作業は，不可能であった（表-2.10（a）～（c））。

今回の実験では使用していないが，狭隘部用に改良したノズルを適用することにより，作業不可能な部位を大幅に減らせる可能性はある。しかし，複雑な形状の鋼材面にノズルを接近できない部位において塗膜が残ることも予測されるため，あらかじめ施工性を確認する必要がある。なお，狭隘なためノズルが入らなかった下フランジ下面等の部位において，今回使用したノズル（バキュームホルダー）（図-2.37）を設置するために必要な作業空間は，ノズルの寸法にホース 2 本の取り回しを考慮して 300mm 以上必要であった。

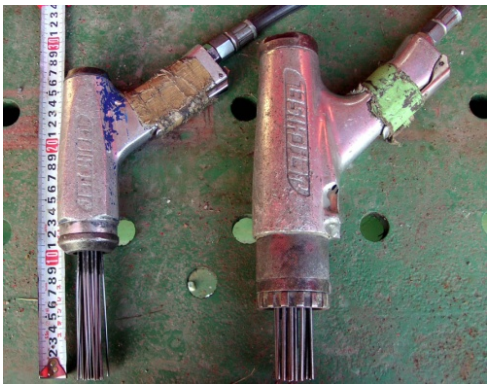


図-2.36　ジェットタガネの外観

図-2.37 ノズル（今回用いたノズルと同型）

（３）オープンブラスト（研削材：アランダム，スチールグリッド）

研削材にアランダムを用いたオープンブラストだけを用いて素地調整を行い，その施工性を確認した結果，大量の粉塵を発生させるため，粉塵対策で飛散防止や作業員の防護が必要となるものの，目視により施工対象を確認できる範囲であれば，大半の部位はISO Sa2 1/2相当を確保できた。なお，ボルトの頭周りやスカラップ部など陰になる部分において塗膜が残存するので，ロータリーグラインダ等の小型の機械工具を併用する必要があった（表-2.11（a）～（c））。研削材にスチールグリッドを用いたオープンブラストについても，同様な状況であった（表-2.12（a）～（c））。

なお，ブラストの研削材を一方向のみから打撃した場合，ボルト頭の陰の部分において，塗膜が残存してしまうことがある（図-2.38）。陰になって研削材が届きにくい部位は，直接

の目視による残存塗膜の確認は困難なことがある。

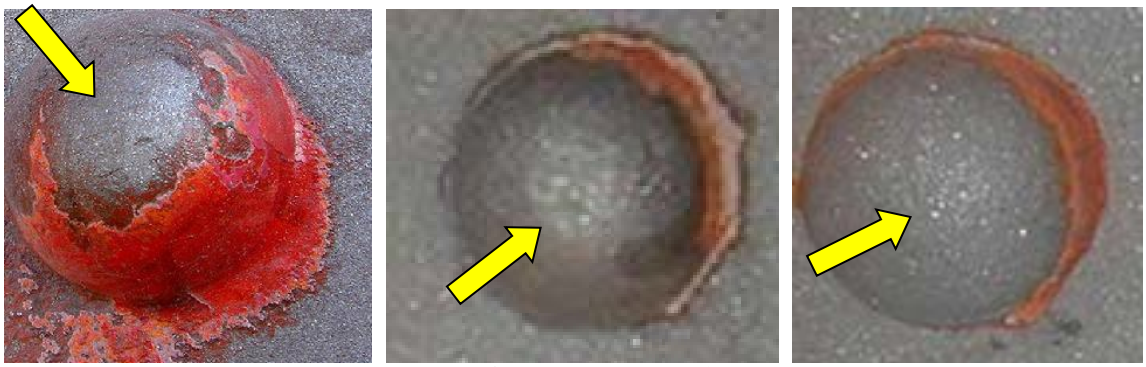


図-2.38 ブラスト方向と残存塗膜

（４）オープンブラストと小型ブラストの組み合わせ（研削材：スチールグリッド）

研削材にスチールグリッドを用いたオープンブラストを用いて素地調整を行い，残存した塗膜を除去するため，小型ブラストを併用した施工性を確認した結果，オープンブラストで残存した塗膜を小型ブラストにより除去して，全体のほぼ全ての部位でISO Sa2 1/2相当を確保できることを確認した（表-2.13（a）～（c））。小型ブラストは試験対象部分が目視できる範囲であれば，若干離れていても研削材が到達して素地調整ができるため，狭隘部における施工性が良い。オープンブラスト施工後に鏡等で素地調整状況を確認した上で，残存したさびや塗膜を確実に除去できる。

（５）オープンブラストと機械工具の組み合わせ（研削材：スチールグリッド）

研削材にスチールグリッドを用いたオープンブラストを用いて素地調整を行い，残存した塗膜を除去するため，機械工具を併用した施工性を確認した結果，オープンブラストで残存した塗膜は機械工具により除去し，ほぼ全ての残存塗膜を除去できたものの，機械工具で処理した部位は ISO St3 相当を確保できるものの，ISO Sa2 1/2相当には及ばないことを確認した（表-2.14（a）～（c））。機械工具は，工具そのものが試験対象部分に到達する必要があり，狭隘部では使用可能な工具の種類が制約されるため，小型ブラストと比較して施工性も劣っていた。

（６）局部的な腐食部位に対する素地調整

層状はく離さびが発生する局部的な腐食部位を対象とした素地調整の施工性を確認した。腐食により鋼材表面の凹凸が多く，鋼材の深部までさびが入り込んでいることがあり，アルミナを研削材とするオープンブラストを行ったものの，部分的にピット状の固着さびが残存してしまい，ブラストだけではさびの除去は困難であった。固着さびを残存させたまま補修塗装を行った場合，その部位の塗膜に再劣化の懸念があるため，機械工具との併用により固着さびを最大限除去したところ，ほとんどの固着さびは除去できたものの，ごく一部ではあるが小さいピット状の固着さびが残った（表-2.15）。

（７）自走式バキュームブラスト

障害物の無い平滑な主桁ウェブ面での施工は可能であったものの，施工できる範囲が機械の形状により制約される（表-2.16）。

表-2.9（a）　素地調整の施工性試験（機械工具）端対傾構上側取付け部

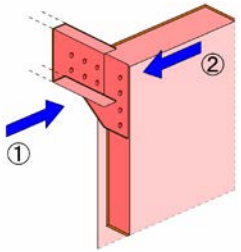
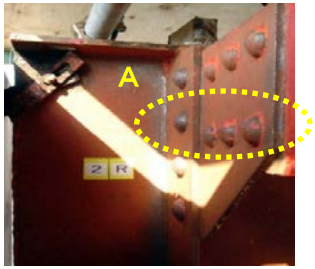
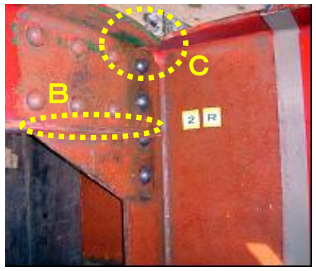
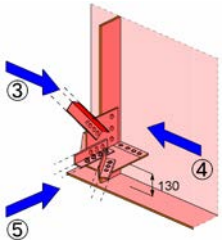
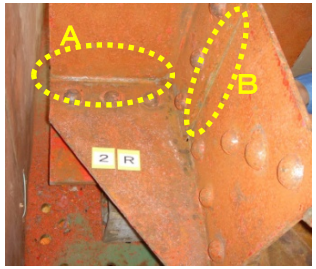
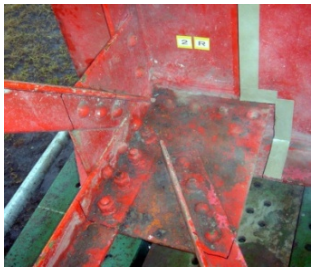
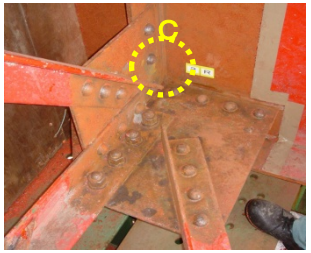
	着目部位		施工前	施工	施工後	評価
機械工具	端対傾構 上側取付け部  位置：2R,2CR	①裏面側		ジェットタガネ 	残存塗膜（A）  	■取付け部の連結板の前面および裏面とも，ジェットタガネを中心とした機械工具で素地調整は可能であった。 ■ボルト頭周り（図中 A），連結部材のコバ面（図中 B），スカラップ部（図中 C）等は，ジェットタガネによる施工が不十分となるが，ロータリーグラインダ等の小型機械により仕上げが可能となった。 ■除せい面積は 95%以上，除せい度は，ISO St2～3 相当となった。 →このことより，端対傾構上側取付け部の狭隘な部位やボルト頭周りの素地調整は，複数の機械工具の組み合わせが必要。また，得られる除せい度は ISO St2～3 相当であるので，残存したさびにより塗膜が早期劣化しなよう施工に留意する必要がある。
		②前面側	 ②ジェットタガネの残存塗膜（B,C）	ジェットタガネ ロータリーグラインダ 	残存塗膜（B,C）  残存塗膜除去完了 	

表-2.9（b）　素地調整の施工性試験（機械工具）端対傾構下側取付け部

	着目部位		施工前	施工	施工後	評価
機械工具	端対傾構 下側取付け部  位置：2R,2CR	③裏面側		ジェットタガネ 	残存塗膜（A,B）  	■取付け部の連結板の前面および裏面とも，ジェットタガネを中心とした機械工具で素地調整は可能であった。 ■ボルト頭周り（図中 A），連結部材のコバ面（図中 B），スカラップ部（図中 C）等は，ジェットタガネによる施工が不十分となるが，ロータリーグラインダ等の小型機械により仕上げが可能となった。 ■除せい面積は 95%以上，除せい度は，ISO St2～3 相当となった。 →このことより，端対傾構下側取付け部の裏面と前面は，上側取り付け部と同様であった。
		④前面／上面側		ジェットタガネ 	残存塗膜（C）  	

		⑤下面側		ジェットタガネ 	残存塗膜 	■ガセット下面へのジェットタガネの施工は，物理的な制約により困難であった。
			⑤ジェットタガネの残存塗膜	小型工具 	残存塗膜 	■ボルト頭周りなどロータリーグラインダ等小型機械による施工も十分とならない箇所があった。 →このことより，端対傾構下側取付け部の下面側は，狭隘な施工条件となり，機械工具では施工効率が悪く，施工品質に劣るので，他の方法と組み合わせた施工が必要。

表-2.9（c）　素地調整の施工性試験（機械工具）下フランジ下面

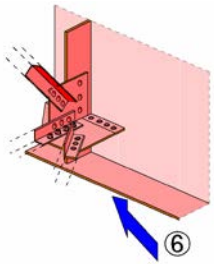
	着目部位		施工前	施工	施工後	評価
機械工具	下フランジ下面  位置：2R,2CR	⑥下フランジ下面	 	ジェットタガネ 		■下フランジ下面へのジェットタガネの施工は，支承高さが 170mm，270mm のいずれの箇所もタガネを傾けての作業となり，施工（作業）性が阻害された。
				小型工具 	塗膜除去完了 	■ディスクサンダーを用いた場合には作業は可能であった。 ■ディスクサンダーによる施工で，除せい面積は 95%以上，除せい度は，ISO St2～3 相当となった。 →このことより，下フランジ下面の素地調整は，ディスクサンダーを主とした小型の機械工具の組み合わせが必要。また，他の部位と同様に，残存したさびにより塗膜が早期劣化しなよう施工に留意する必要がある。

表-2.10（a）　素地調整の施工性試験（バキュームブラスト）端対傾構上側取付け部

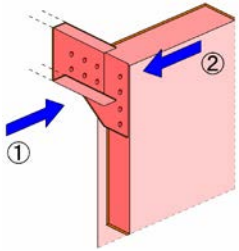
	着目部位		施工前	施工	施工後	評価
バキュームブラスト（研削材　スチールグリッド）	端対傾構 上側取付け部  位置：2L,2CL	①裏面側	 	バキュームブラストのノズルが，パラペット前面とガセット部分の狭隘部に設置できず，施工不可能。	施工できず 	■取付け部の連結板の裏面は，パラペット前面と桁端部の間における作業空間の不足により，バキュームブラストの施工は不可能であった。 ■作業空間が確保できる連結板の前面のうち，平面部はブラストが可能であるが，ノズルが干渉する溝型鋼材フランジ部分や，部材の隅角部への施工は困難であった。 ■除せい面積は 75%程度，除せい度は，ISO Sa2 1/2相当となった。 →このことより，バキュームブラストによる端対傾構上側取付け部の素地調整は，裏面側は施工できないので，他の方法による施工を検討する必要がある。前面側は，塗膜が残存するので，機械工具等との組み合わせにより全て除去する必要がある。
		②前面側	 	バキュームブラスト 	施工不能箇所 	

表-2.10（b）　素地調整の施工性試験（バキュームブラスト）端対傾構下側取付け部

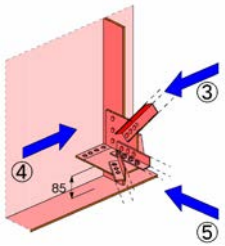
	着目部位		施工前	施工	施工後	評価
バキュームブラスト（研削材　スチールグリッド）	端対傾構 下側取付け部  位置：2L,2CL	③裏面側		バキュームブラストのノズルが，パラペット前面とガセット部分の狭隘部に設置できず，施工不可能。	施工できず 	■対傾構上側取付け部と同様に，取付け部の連結板の裏面は，パラペット前面と桁端部の間における作業空間の不足により，バキュームブラストの施工が不可能であった。 ■作業空間が確保できる連結板の前面のうち，平面部はブラストが可能であるが，ノズルが干渉するＬ型鋼材などの部材の隅角部への施工は困難であった。 ■下フランジ下面への施工についても，ガセット下面における作業空間の不足により，バキュームブラストの施工が不可能であった。 ■除せい面積は作業空間によって大きく異なった。ブラストが可能であったエリアの除せい度は，ISO Sa2 ½相当となった。 →このことより，バキュームブラストによる端対傾構下側取付け部の素地調整は，裏面側及び下面側は施工できないので，この部位では，他の方法による施工を検討する必要がある。
		④前面／上面側		バキュームブラスト 		
		⑤下面側		バキュームブラストのノズルが，ガセット下面の狭隘部に設置できず，施工不可能。	施工できず 	

表-2.10（c）　素地調整の施工性試験（バキュームブラスト）端対傾構上側取付け部

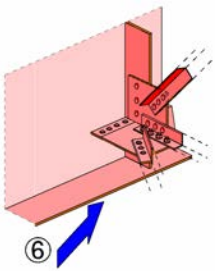
	着目部位		施工前	施工	施工後	評価
バキュームブラスト（研削材　スチールグリッド）	下フランジ下面  位置：2L,2CL	⑥下フランジ下面	 	バキュームブラストのノズルの寸法が，支承高さを超えており，下フランジ下面への施工は不可能である。	施工できず 	■下フランジ下面へのバキュームブラストの施工は，支承高さが 170mm，270mm のいずれの箇所もノズルを設置することができず，作業が不可能であった。 →このことより，バキュームブラストによる下フランジ下面の素地調整は，は施工できないので，他の方法による施工を検討する必要がある。

表-2.11（a） 素地調整の施工性試験（オープンブラスト　アランダム）端対傾構上側取付け部

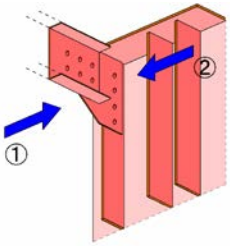
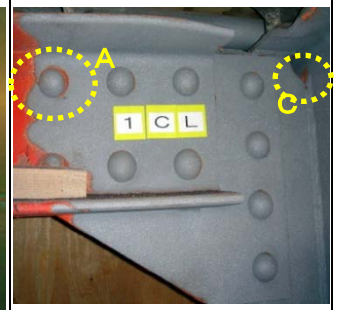
	着目部位		施工前	施工	施工後	評価
オープンブラスト（研削材　アランダム）	端対傾構 上側取付け部  位置：1L,1CL	①裏面側	 	オープンブラスト 	 	■取付け部の連結板の前面および裏面とも，目視により施工対象部を確認できる範囲であれば，大半がオープンブラストにより素地調整は可能であった。 ■研削材が直接打撃しない，ボルト頭周り（図中 A）や，スカラップ部（図中 C）等は，ロータリーグラインダ等の小型機械により仕上げをする必要がある。 ■除せい面積は 95%以上，除せい度はブラスト施工範囲については，ISO Sa2 ½相当となった。 →このことより，オープンブラストによる端対傾構上側取付け部の素地調整は，大半でISO Sa2 ½相当を確保可能であるものの，目視しにくいボルト頭周りやスカラップ部で塗膜が残存するので，ブラスト施工後に鏡で素地調整状況を確認した上で，小型の機械工具等により全て除去する必要がある。
		②前面側		オープンブラスト 	残存塗膜  	

表-2.11（b） 素地調整の施工性試験（オープンブラスト　アランダム）端対傾構下側取付け部

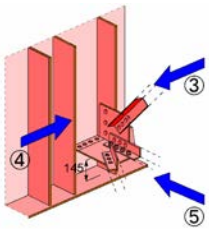
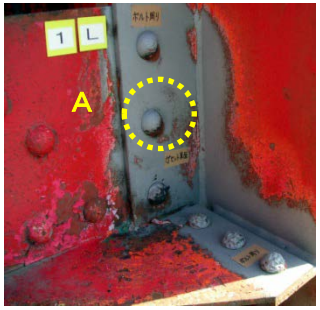
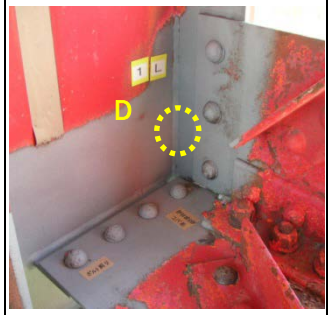
	着目部位		施工前	施工	施工後	評価
オープンブラスト（研削材　アランダム）	端対傾構 下側取付け部  位置：1L,1CL	③裏面側	 	オープンブラスト 	残存塗膜  	■取付け部の連結板の前面および裏面ともに，目視により施工対象部を確認できる範囲であれば，大半がオープンブラストにより素地調整は可能であった。 ■研削材が直接打撃しない，ボルト頭周り（図中 A）や，隅角部（図中 D）等は，ロータリーグラインダ等の小型機械により仕上げをする必要がある。 ■除せい面積は 95%以上，除せい度はブラスト施工範囲については，ISO Sa2 ½相当であった。 →このことより，オープンブラストによる端対傾構下側取付け部の素地調整は，上側取付け部と同様であった。
		④前面／上面側	 	オープンブラスト 	残存塗膜  	
		⑤下面側	 	オープンブラスト 	 	

表-2.11（c） 素地調整の施工性試験（オープンブラスト　アランダム）端対傾構上側取付け部

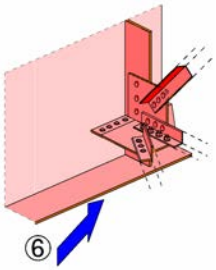
	着目部位		施工前	施工	施工後	評価
オープンブラスト（研削材　アランダム）	下フランジ下面  位置：1L,1CL	⑥下フランジ下面				下フランジ下面へのオープンブラストの施工性の確認は，別途オープンブラスト（研削材：スチールグリッド）と同様と判断し，供試体 No.1 の R 側で評価するものとした。

表-2.12（a） 素地調整の施工性試験（オープンブラスト　スチールグリッド）端対傾構上側取付け部

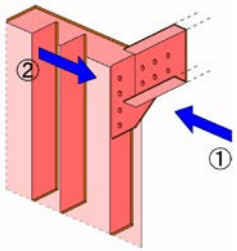
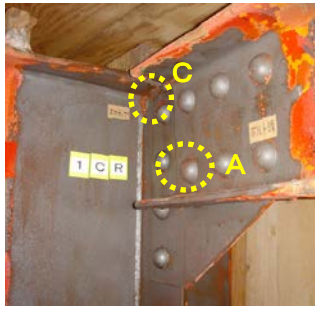
	着目部位		施工前	施工	施工後	評価
オープンブラスト（研削材　スチールグリッド）	端対傾構 上側取付け部  位置：1L,1CL	①裏面側	 	オープンブラスト 	 	■取付け部の連結板の前面および裏面とも，目視により施工対象部を確認できる範囲であれば，大半がオープンブラストにより素地調整は可能であった。その施工性については，アランダムを用いた施工とほぼ同程度であると考えられた。 ■研削材が直接打撃しない，ボルト頭周り（図中 A）や，スカラップ部（図中 C）等は，ロータリーグラインダ等の小型機械により仕上げをする必要がある。 ■アランダムを用いた施工と同様に，除せい面積は 95％以上であると考えられ，除せい度はブラスト施工範囲については，ISO Sa2 1/2相当となった。 →このことより，研削材にスチールグリッドを用いたオープンブラストによる端対傾構上側取付け部の素地調整は，アランダムを用いたオープンブラストと同程度の品質が確保されると考えられる。
		②前面側	 	オープンブラスト 	残存塗膜  	

表-2.12（b） 素地調整の施工性試験（オープンブラスト　スチールグリッド）端対傾構下側取付け部

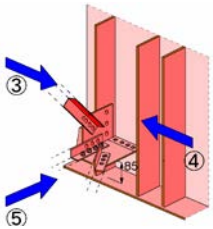
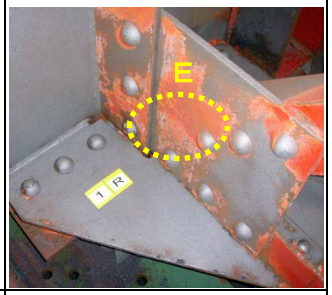
	着目部位		施工前	施工	施工後	評価
オープンブラスト（研削材　スチールグリッド）	端対傾構 下側取付け部  位置：1L,1CL	③裏面側		オープンブラスト 	残存塗膜  	■対傾構上側取付け部と同様に，目視により施工対象部を確認できる範囲であれば，大半がオープンブラストにより素地調整は可能であった。 ■研削材が直接打撃しない，裏面の一般部（鉛直面）（図中 E）や，ボルト近接部分（図中 A）等は，ロータリーグラインダ等の小型機械により仕上げをする必要がある。 ■アランダムを用いた施工と同様に，除せい面積は 95％以上であると考えられ，除せい度はブラスト施工範囲については，ISO Sa2 1/2相当となった。 →このことより，研削材にスチールグリッドを用いたオープンブラストによる端対傾構下側取付け部の素地調整は，アランダムを用いたオープンブラストと同程度の品質が確保されると考えられる。
		④前面／上面側		オープンブラスト 	残存塗膜 	
		⑤下面側		オープンブラスト 		

表-2.12（c）　素地調整の施工性試験（オープンブラスト　スチールグリッド）下フランジ下面

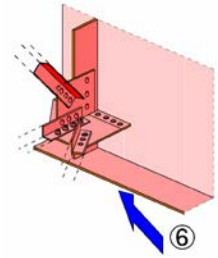
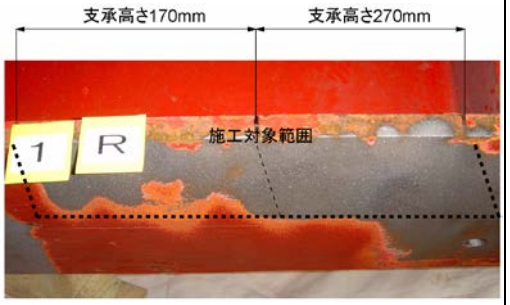
	着目部位		施工前	施工	施工後	評価
オープンブラスト（研削材　スチールグリッド）	下フランジ下面  位置：1L,1CL	⑥下フランジ下面		オープンブラスト 	 	■下フランジ下面へのオープンブラストの施工は，支承高さが 170 mm，270 mm のいずれの箇所もノズルを傾けることで素地調整は可能であった。  ■下フランジ下面は，目視によって施工対象部位が確認できるため，ブラストの施工は比較的容易であった。 →このことより，研削材にスチールグリッド又はアランダムを用いたオープンブラストによる下フランジ下面の素地調整は，一般部では可能であるものの，形状が複雑な支承周りでにおけるさびや塗膜の残存に注意する必要がある。

表-2.13（a）　素地調整の施工性試験（オープンブラスト＋小型ブラスト　スチールグリッド）端対傾構上側取付け部

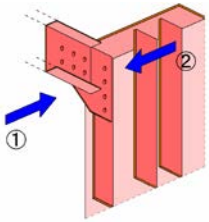
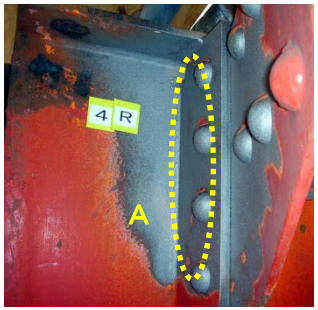
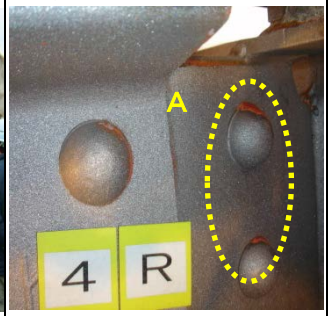
	着目部位		施工前	施工	施工後	評価
オープンブラスト＋小型ブラスト（研削材　スチールグリッド）	端対傾構 上側取付け部  位置：4R,4CR	①裏面側	 	オープンブラスト 	残存塗膜  	■オープンブラストにより，対象部分の大半の素地調整が可能であった。ただし，研削材が直接打撃しない，ボルト頭周りの一部分やスカラップ周辺は塗膜が残存している（図中 A）ものの，小型ブラストを施工することで，これらをほぼ除去することが可能となった。 ■除せい面積は 98%以上と考えられ，除せい度は小型ブラストの施工部分を含めてISO Sa2 ½相当となった。 →このことより，オープンブラストと小型ブラストを組み合わせた端対傾構上側取付け部の素地調整は，ISO Sa2 ½相当を確保可能であった。なお，塗膜が残存する部位は，目視が難しい部位であるのでブラスト施工後に鏡で素地調整状況を確認した上で，小型ブラストにより確実に除去する必要がある。
		②前面側	 	オープンブラスト 	残存塗膜  	
			オープンブラストの 残存塗膜	小型ブラスト 	残存塗膜除去完了 	

表-2.13（b） 素地調整の施工性試験（オープンブラスト＋小型ブラスト　スチールグリッド）端対傾構下側取付け部

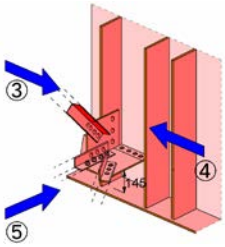
	着目部位		施工前	施工	施工後	評価
オープンブラスト＋小型ブラスト（研削材　スチールグリッド）	端対傾構 下側取付け部  位置：4R,4CR	③裏面側	 	オープンブラスト ↓ 小型ブラスト	 	■対傾構上側取付け部と同様に，目視により施工対象部を確認できる範囲であれば，大半がオープンブラストにより素地調整は可能であった。 ■研削材が直接打撃しない，ボルト近接部分等は，ロータリーグラインダ等の小型のブラストを施工することで，これらをほぼ除去することができた。 ■支承近傍の狭隘部については，オープンブラストのみでは施工が不十分な箇所が見られたが，これらも小型のブラストによる素地調整が可能となった。 ■除せい面積は 98%以上と考えられ，除せい度は小型ブラストの施工部分を含めてISO Sa2 1/2相当となった。 →このことより，オープンブラストと小型ブラストを組み合わせた端対傾構下側取付け部の素地調整は，上側取り付け部と同程度の品質が確保されると考えられる。
		④前面／上面側	 	オープンブラスト ↓ 小型ブラスト	 	
		⑤下面側	 	オープンブラスト ↓ 小型ブラスト		

表-2.13（c）　素地調整の施工性試験（オープンブラスト＋小型ブラスト　スチールグリッド）下フランジ下面

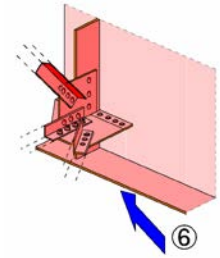
	着目部位		施工前	施工中	施工後	評価
オープンブラスト＋小型ブラスト（研削材　スチールグリッド）	下フランジ下面  位置：4R,4CR	⑥下フランジ下面	 	オープンブラスト ↓ 小型ブラスト		■下フランジ下面へのオープンブラストの施工により，大半の素地調整が可能であるが，目視できない箇所についても，小型のブラストの施工によって十分な素地調整が可能となった。 ■手鏡によって，直接目視できない下フランジ面の除せい度を確認したところ，ISO Sa2 1/2相当の除せい度が確保されていることが確認された。 →このことより，オープンブラストと小型ブラストを組み合わせた下フランジ下面の素地調整は，ISO Sa2 1/2相当を確保可能であった。なお，塗膜が残存する部位は，目視が難しい部位であるのでブラスト施工後に鏡で素地調整状況を確認した上で，小型ブラストにより確実に除去する必要がある。

表-2.14（a）　素地調整の施工性試験（オープンブラスト＋機械工具　スチールグリッド）端対傾構上側取付け部

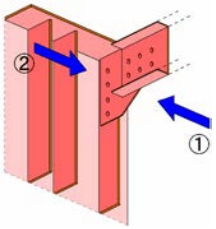
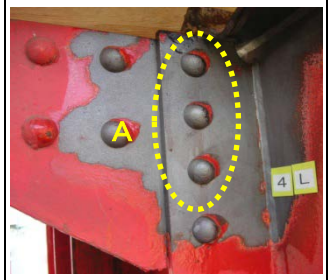
	着目部位		施工前	施工	施工後	評価
オープンブラスト＋機械工具　（研削材　スチールグリッド）	端対傾構 上側取付け部  位置：4L,4CL	①裏面側	 	オープンブラスト 	残存塗膜  	■オープンブラストにより，対象部分の大半の素地調整が可能であった。ただし，研削材が直接打撃しない，ボルト頭周りの一部分やスカラップ周辺は塗膜が残存している（図中 A）が，機械工具を用いた施工することで，これらをほぼ除去することが可能となった。 ■除せい面積は 98%以上と考えられ，除せい度はブラスト施工範囲がISO Sa2 1/2相当，機械工具の施工範囲はISO St3 相当となった。 →このことより，オープンブラストと機械工具を組み合わせた端対傾構上側取付け部の素地調整は，ISO Sa2 1/2相当及びSt3 相当となり，ほぼ全ての塗膜を除去できているものの，小型ブラストとの組み合わせと比較して若干劣る品質となった。なお，塗膜が残存する部位は，目視が難しい部位であるのでブラスト施工後に鏡で素地調整状況を確認した上で，機械工具により確実に除去する必要がある。
		②前面側	 	オープンブラスト 	残存塗膜 	
			オープンブラストの 残存塗膜	機械工具 	 	

表-2.14（b） 素地調整の施工性試験（オープンブラスト＋機械工具　スチールグリッド）端対傾構下側取付け部

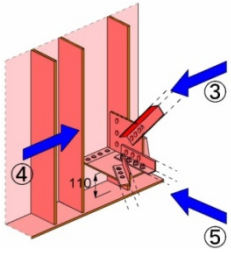
	着目部位		施工前	施工	施工後	評価
オープンブラスト＋機械工具（研削材　スチールグリッド）	端対傾構 下側取付け部  位置：4L,4CL	③裏面側	 	オープンブラスト ↓ 機械工具	 	■対傾構上側取付け部と同様に，目視により施工対象部を確認できる範囲であれば，大半がオープンブラストにより素地調整は可能であった。 ■研削材が直接打撃しない，ボルト近接部分等は，ロータリーグラインダ等の機械工具により施工することで，これらをほぼ除去することができた。 ■支承近傍の狭隘部については，オープンブラストのみでは施工が不十分な箇所が見られたが，これらも機械工具による素地調整が可能となった。 ■除せい面積は 98%以上と考えられ，除せい度はブラスト施工範囲がISO Sa2 1/2相当，機械工具の施工範囲はISO St3 相当となった。 →このことより，オープンブラストと機械工具を組み合わせた端対傾構下側取付け部の素地調整は，上側取り付け部と同程度の品質が確保されると考えられる。
		④前面／上面側	 	オープンブラスト ↓ 機械工具	 	
		⑤下面側	 	オープンブラスト ↓ 機械工具	 	

表-2.14（c）　素地調整の施工性試験（オープンブラスト＋機械工具　スチールグリッド）下フランジ下面

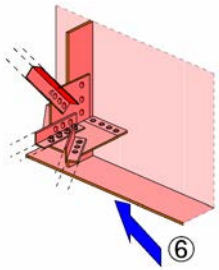
	着目部位		施工前	施工中	施工後	評価
オープンブラスト＋機械工具　（研削材　スチールグリッド）	下フランジ下面  位置：4L,4CL	⑥下フランジ下面				下フランジ下面へのオープンブラストの施工性の確認は，別途オープンブラスト（研削材：スチールグリッド）＋小型ブラストと同様と判断し，供試体 No.4 の R 側で評価するものとした。

表-2.15 素地調整の施工性試験（オープンブラスト＋機械工具　アランダム）垂直補剛材下端部の層状はく離さび

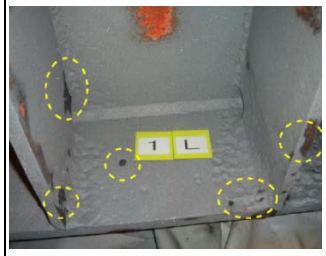
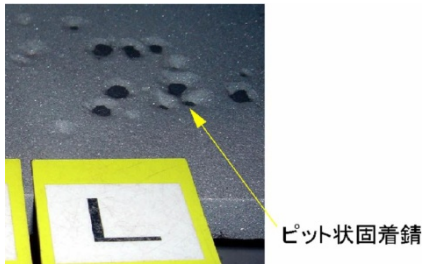
	着目部位		施工前	施工	施工後	評価
オープンブラスト（研削材　アランダム）	垂直補剛材 下端部 位置：1L	垂直補剛材下端部	層状はく離さび 	オープンブラスト	部分的にピット状の固着さびが残存 	■層状はく離さびが発生する局部的な腐食部位を対象とし，アルミナを研削材とするオープンブラストを施工した結果，ほとんどのさびや塗膜が除去可能であったものの部分的にピット状の固着さびが残存した。機械工具との併用により，固着さびの除去を行った結果，ほとんどの固着さびは除去できたもののごく一部ではあるが，小さいピット状の固着さびが残った。  →このことより，著しい腐食の発生した部位におけるオープンブラストによる素地調整は，大部分でISO Sa2 1/2相当を確保できるものの，凹みで固着さびが残ることがあり，塗膜の再劣化要因となるため，機械工具により固着さびを最大限，除去する必要がある。
			オープンブラストの固着さび	機械工具	固着さびはほとんど除去できたものの，わずかに残る 	

表-2.16 素地調整の施工性試験（自走式バキュームブラスト　スチールグリッド）腹板

	着目部位		施工前	施工	施工後	評価
自走式バキュームブラスト（研削材　スチールグリッド）	腹板 位置：3R（R 側）	腹板		自走式バキュームブラスト 	各列で異なる自走速度により素地調整程度が変わる 	■障害物の無い平滑な主桁ウェブ面での施工は可能であったものの，ブラストマシン本体の形状により施工不能範囲が存在し，フランジや凹凸のある部材接合部への接近限界がある。 ■ウィンチの巻き取り速度を調節することで，素地調整程度を替えることが可能であった。 →このことより，補剛材等の突起物の無い平面的な腹板では，ISO Sa2 1/2 相当以上の素地調整が良好な品質で施工可能であったものの，施工できる範囲が機械の形状により制約されるものと考えられる。
			接近限界距離 上フランジへ 680 mm 	垂直補剛材へ 65 mm 		

2.5.2 塗装の施工性評価

桁端部の狭隘な作業条件で複雑な形状をした部位におけるスプレー塗り及び刷毛塗りによる塗装作業の評価結果は，以下のとおりであった。なお，ローラー塗りは，複雑な形状の部位への適用は困難であるため，対象としていない。

（1）スプレー塗り

有機ジンクリッチペイントのスプレー塗りによる塗装を対傾構の取付けガセット付近，主桁下フランジ下面を対象として行い，施工性を確認した結果，施工対象が目視できる部位は施工可能であったものの，下フランジ下面などの狭隘部では，ノズルを垂直に向けることができなかった。また，ノズルから一定量の塗料が噴出するため，狭隘部においても，一定の速度でノズルを鋭敏に動かす必要があった（表-2.17）。

また，有機ジンクリッチペイントの施工 24 時間以上経過後に，桁端部の代表的な箇所の塗膜厚を計測した。測定値は，各測定点において 3 回測定した値の平均値とした。施工対象箇所が十分に目視できない部位（下フランジ裏面）において，塗膜厚が目標値（38μm）未満であった。

このことから，十分に目視できない狭隘部の塗装は，事前に刷毛塗りも含めて十分な検討を行った上で塗装方法を選択する必要がある。また，スプレー塗りは，十分な目視の難しい狭隘部では所定の塗膜厚未満であったので，施工時に狭隘部における塗膜厚を確認する必要があると考えられる。

（2）刷毛塗り

有機ジンクリッチペイントの刷毛塗りによる塗装を行い，施工性を確認した結果，作業者の意図に対応した施工速度とすることが可能な点で作業性が優れており，狭隘な部位や目視不可能な部位において塗布することが可能であった（表-2.18）。

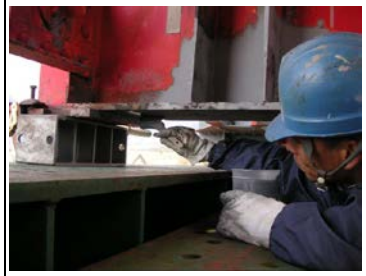
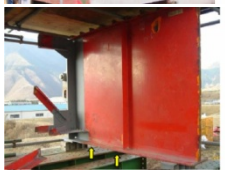
また，塗膜厚は，スプレー塗りと同様に，施工対象箇所が十分に目視できない部位（上側ガセット，水平がセット，下フランジ裏面及び前面）において，塗膜厚が目標値（38μm）未満であった。

このことから，刷毛塗りは，目視できない部位も含めて施工可能であったものの，スプレー塗りと比較して所定の塗膜厚未満の箇所が多いので，一般部はスプレー塗りを基本とし，スプレー塗りで所定の塗膜厚を確保しにくい十分な目視のできない狭隘部や複雑な形状の部分において，事前に十分な検討を行った上で塗装方法を選択し，また，施工時に狭隘部における塗膜厚を確認する必要があると考えられる。

表-2.17 塗装の施工性試験（スプレー塗り）

	着目部位		施工前	施工	施工後（塗膜厚（単位：μm））	評価
スプレー塗り	端対傾構取付け部 下フランジ下面 位置：4R	端対傾構上側取付け部		スプレー塗り 		■スプレー塗りは，小型のブラストと同等な施工性と考えられた。施工対象部が目視できる部位は施工可能であった。 ■対傾構上側取付け部のガセット裏面への塗装は，対象部位を覗き込んでの作業となった。 ■対傾構下側取付け部のガセット下面への塗装は，対象部位が目視できないこと，スプレーのノズルがガセット下面へ設置できないため，ノズルを施工面に対して垂直に向けることができなかった。 ■下フランジ下面への塗装は，同様に斜め方向からの施工となり，垂直に向けることができなかった。 ■スプレーによる施工はノズルから一定量の塗料が噴出されるため，施工エリア内でノズルを鋭敏に動かすスピードが求められた。 ■塗膜厚は，施工対象箇所が十分に目視できない部位（上側ガセット，下フランジ裏面）において，塗膜厚が目標値（38μm）未満であった。 →このことより，スプレー塗りは，目視できる部位に良好な品質で施工可能であったものの，狭隘部では所定の塗膜厚未満であったので，施工時に狭隘部における塗膜厚の確認が必要。
		端対傾構下側取付け部		スプレー塗り 	 	
		下フランジ下面		スプレー塗り 	 	

表-2.18 塗装の施工性試験（刷毛塗り）

	着目部位		施工前	施工	施工後（塗膜厚（単位：μm））	評価
刷毛塗り	端対傾構取付け部 下フランジ下面 位置： 1R,1CR,1CL,2R	端対傾構上側取付け部		刷毛塗り 	 上側ガセット （前面）（裏面） 30 49	■刷毛塗りは，作業者の意図に対応した施工速度とすることが可能な点でスプレーより作業性に優れている。 ■対傾構上側取付け部のガセット裏面への塗装は，ボルト頭部を穿孔して塗布し，その後平滑面への施工を行っている。対象部位を覗き込んでの作業となっているものの，作業性はスプレー塗りに比べて良い。 ■対傾構下側取付け部のガセット下面への塗装は，対象部位が目視できないものの，凹凸部に対しても塗布することは可能であった。 ■下フランジ下面への塗装は，スプレー塗りに比べ施工性が良かった。 ■塗膜厚は，施工対象箇所が十分に目視できない部位（上側ガセット，水平がセット，下フランジ裏面及び前面）において，塗膜厚が目標値（38μm）未満であった。 →このことより，刷毛塗りは，目視できない部位も含めて施工可能であったものの，スプレー塗りと比較して所定の塗膜厚未満の箇所が多いので，施工時に狭隘部における塗膜厚の確認が必要。
		端対傾構下側取付け部		刷毛塗り 	 水平ガセット（裏面側） （上面） 64 77 （下面） 水平ガセット（前面側） （上面） 100 34 （下面）	
		下フランジ下面		刷毛塗り 	 下フランジ（裏面側） （上面） 17  下フランジ（前面側） （上面） 170 270 27 46	

2.6 まとめ

（１）素地調整

桁端部の端対傾構取り付け部や下フランジ下面を対象として，機械工具，バキュームブラスト，オープンブラスト，オープンブラストと小型ブラストや機械工具の組み合わせの各ケースによる素地調整の施工性について評価を行った。

１）狭隘部における素地調整の施工は，ブラストと小型ブラスト等の他の方法を組み合わせることにより，ISO Sa2 1/2相当を確保することが可能であることが確認された。

２）機械工具（ジェットタガネとディスクサンダー，ロータリーグラインダ等の小型機械の組み合わせ）のみによる除せい度はISO St2～3 程度であったので，若干，塗膜が残存する。機械工具のみを適用する素地調整範囲は，最小限とする必要がある。

３）目視の難しい部位に残存塗膜が発生することが多いので，鏡を使用して素地調整状況を確認する必要がある。

４）バキュームブラストは，粉塵がほとんど発生しないので一般部では作業性が良いものの，狭隘部や突起部では，施工不可能な部位が発生する。狭隘部用のノズルを使用し，最大限バキュームブラストで処理するとともに，残存する塗膜のみ，オープンブラストや小型ブラストで処理することで，飛散する粉塵の最小化や防護工の簡易化の可能性がある。

５）オープンブラストは，多量の粉塵や大きな騒音が発生するため防護工や作業員の防護が必要である。狭隘部において目視により対象を確認できない部位を除き塗膜は残存しないので，周辺状況によりオープンブラストが適用困難な場合を除き，小型ブラスト等を組み合わせた施工が可能である。

６）層状はく離さびを生じた腐食部位を素地調整する場合は，鋼材表面の凹凸が多く，鋼材の深部までさびが入り込んでいることがあり，ブラストだけではさびの除去は困難であったので，機械工具を併用してさびを最大限除去する必要がある。

７）目標とする素地調整程度はISO Sa2 1/2相当が望ましいものの，狭隘な部位やボルト頭では，また，鋼材の深部までさびが入り込んでいる場合は，ブラストを行ってもさびや塗膜が残存することがある。この場合には，機械工具や小型ブラストを併用して残存したさびや塗膜を最大限除去してISO Sa2 1/2相当を目指すものの，完全な除去には無理もあることから，規格値としてはISO Sa2 1/2相当とした。

（２）塗装

桁端部の端対傾構取り付け部や下フランジ下面を対象として，有機ジンクリッチペイントのスプレー塗り，刷毛塗りの各ケースによる塗装の施工性について評価を行った。

１）スプレー塗り：　目視により施工対象を確認できる範囲は容易に施工可能で，目標とする塗膜厚を確保できるため，一般部ではスプレー塗りを基本とすることが施工品質を確保する上で有利であると考えられる。狭隘部では，ノズルが入らず施工不可能な部位がある一方，ノズルが入ってもノズルを垂直にできず目標とする塗膜厚が確保できない場合がある。また，スプレー塗りは一定の速度でノズルを移動する必要がある。以上から，狭隘部の塗装は，他の工法も含めて検討するとともに，所定の塗膜厚を確保するため，施工時の塗膜厚の確認が必要である。

２）刷毛塗り：　十分に目視できない部位でも作業可能であり，施工速度の制約がないので狭隘部でも施工性は良い。しかし，十分に目視できない狭隘部において，塗膜厚が目標値未満の部分があったので，所定の塗膜厚を確保するため，施工時の塗膜厚の確認が必要である。

第３章　供試体を用いた塗り重ね部の仕様検討

既設の塗装橋梁において，部分的な塗り替えを行う場合，旧塗膜と新しい塗膜の境界部に鋼材面が露出する弱点部をつくらないよう，旧塗膜の上に新しい塗膜を塗り重ねる部位（以下「塗り重ね部」という。）が必要となる。既設橋のＡ塗装系等の旧塗膜を重防食塗装のＣ塗装系で部分的に塗る替える場合，塗り重ね部において，旧塗膜の上に異なる塗装系の塗料を塗り重ねることになる。このような異なる塗装系の塗り重ね部において，塗膜がはく離せず新旧塗膜に十分な付着力のあることの確認，ふくれ，しわ等の欠陥が生じない良好な品質の塗膜ができることの確認が必要となる。そのため，新旧塗膜の付着力の確認及び塗り重ね部分の塗膜の耐久性の確認を行った。

3.1 試験概要

桁端部の施工性評価で使用した撤去橋梁の鋼桁を使用して，塗り重ね部において旧塗膜と接する新塗料の下塗を対象として，素地調整部と旧塗膜部の境界付近に新塗料を塗布して塗り重ね状況を再現し，碁盤目試験及びプルオフ法により新旧塗膜の付着力を確認した。また，この塗装した鋼板を切断して曝露試験の供試体を作成し，海岸付近で曝露試験を行い塗り重ね部分の耐久性の確認を行った。

3.2 試験ケースと試験体製作

（１）対象とする塗装系

対象とする旧塗膜の塗装系は，一般環境に設置されるＡ塗装系とした。

新しい塗装系は，鋼道路橋塗装・防食便覧において，塗り替え用の重防食塗装として示されている表-3.1 の Rc－Ⅰ塗装系に準拠することとした。

表-3.1　塗り替え塗装仕様Rc－Ⅰ塗装系[1.8)]

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m²)	塗装間隔
素地調整	１種		4 時間以内
下塗	有機ジンクリッチペイント	600	1～10 日
下塗	弱溶剤形変成エポキシ樹脂塗料下塗	240	1～10 日
下塗	弱溶剤形変成エポキシ樹脂塗料下塗	240	1～10 日
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	170	1～10 日
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	140	

（２）試験ケース

１）素地調整の方法

素地調整の方法は，表-3.2 に示す 3 種類とした。3 体の試験体に 1 種類ずつの素地調整を適用し，図-3.1 に示す左半分に素地調整を行った。なお，右半分の塗り重ね部に対しては，粉化物，汚れなどを除去する 4 種ケレンを行った。

表-3.2 素地調整の方法

供試体番号	作業方法	研削材	種別
No.2	機械工具	－	3 種ケレン
No.3	バキュームブラスト	アランダム	1 種ケレン
No.4	オープンブラスト	スチールグリッド	1 種ケレン

２）塗装の種類

塗料の種類は，塗り重ね部において既存の塗膜と直接接する下塗りの塗料として，表-3.1 に示す Rc－Ⅰ塗装系における下塗り塗料である有機ジンクリッチペイント及び既存塗膜への影響が少ないとされる弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料のほかに，箱桁内面で使用される無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料，新設橋で使用される強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料を加えた計 4 種類とした。塗装の作業方法は，有機ジンクリッチペイントについてのみ，スプレー塗りと刷毛塗りの 2 種類とした。これより，表-3.3 に示す計 5 種類のパラメータとなった。

なお，弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料は，VOC（揮発性有機化合物）を低減し環境にやさしい塗料として開発されたものであるものの，可使時間が短いなど施工性に課題があるとされている。また，無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料は，溶剤を全く含まないが，塗料粘度が高いため塗布作業が難しく，作業者によっては硬化剤でかぶれなどの障害を起こすことがあるとされている。

表-3.3 塗装のパラメータ

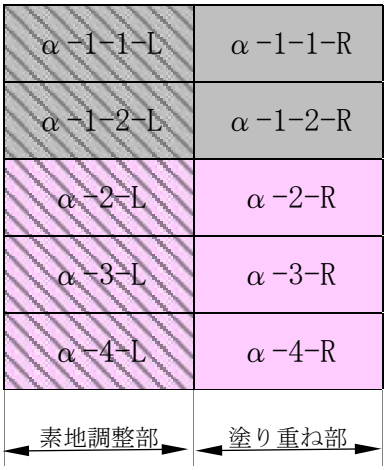
塗料種類	塗料名称	塗布方法
塗料①	有機ジンクリッチペイント	刷毛塗り
塗料①	有機ジンクリッチペイント	スプレー塗り
塗料②	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	刷毛塗り
塗料③	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	刷毛塗り
塗料④	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	刷毛塗り

３）試験ケース

施工性評価で用いた No.2～No.4 の 3 体の供試体の一般部の腹板を用いて，表-3.2 に示す 3 種類の素地調整を各 1 体ずつ行った後，表-3.3 に示す 5 種類の塗装を図-3.1 に示す配置で行い，計 15 種類の試験ケースとした。

なお，各ケースの試験体は，次の記号で表している。

「素地調整の種類 α（供試体番号 No.2～No.4 の数字）-塗料種類（塗料①～④の数字）-有機ジンクリッチペイントの塗布方法（1：スプレー塗り or 2：刷毛塗り）-試験体の左右（L：素地調整部 or R：塗り重ね部）」



塗料①：有機ジンクリッチペイント（スプレー塗り）

塗料①：有機ジンクリッチペイント（刷毛塗り）

塗料②：弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）

塗料③：無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）

塗料④：強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）

※ α は，素地調整の種類（供試体 No.2～4）

図-3.1 試験体の塗装

（３）試験体の製作

桁端の施工性評価試験で用いた橋の架替で撤去されたＡ塗装系の鋼桁の供試体 No.2～No.4 の腹板を使用して 3 本の鋼桁の片面に素地調整を 1 種類ずつ行い（図-3.2），各鋼桁に 5 種類の塗装を行い，試験体とした（図-3.3）。素地調整及び塗装は，2006 年（平成 18 年）11 月 29 日～30 日に行った。各塗装の塗布範囲は，幅 600mm×高さ 220mm の寸法とした。

供試体 No.2（2CR）　機械工具
（ディスクサンダー）

供試体 No.3（3CL）バキュームブラスト
（研削材：アランダム）

供試体 No.4（4CL）　オープンブラスト（研削材：スチールグリッド）
注）研削材は出てない状態

図-3.2　素地調整の作業状況

素地調整部←|→塗り重ね部

No.2-1-1（塗料①スプレー塗り）

No.2-1-2（塗料①刷毛塗り）

No.2-2　（塗料②）

No.2-3　（塗料③）

No.2-4　（塗料④）

供試体 No.2　素地調整：機械工具

素地調整部←|→塗り重ね部

No.3-1-1（塗料①スプレー塗り）

No.3-1-2（塗料①刷毛塗り）

No.3-2　（塗料②）

No.3-3　（塗料③）

No.3-4　（塗料④）

供試体 No.3　素地調整：バキュームブラスト（アランダム）

素地調整部←|→塗り重ね部

No.4-1-1（塗料①スプレー塗り）

No.4-1-2（塗料①刷毛塗り）

No.4-2　（塗料②）

No.4-3　（塗料③）

No.4-4　（塗料④）

供試体 No.4　素地調整：　オープンブラスト（スチールグリッド）

図-3.3 塗装後の試験体

3.3　付着力試験

部分塗装の塗り重ね部における新旧塗膜の付着力を確認するため，塗装施工後３ヶ月経過後に，塗膜の付着力試験としてプルオフ試験を行い，その他に塗膜と鋼材素地のはく離に対する耐性を評価する碁盤目試験を行った。試験は，各ケースの素地調整部及び塗り重ね部の図-3.4 に示す位置において全ケースで行った。

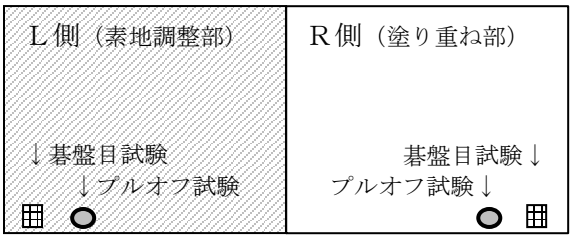


図-3.4 付着力試験の実施位置

3.3.1 碁盤目試験

（１）試験方法

碁盤目試験は，クロスカット法（JIS K 5600-5-6）[3.1)]によった。この試験は，塗膜に碁盤目状に素地に達するカッター傷を入れた後，セロハン粘着テープを塗膜に貼り付けた後に粘着テープを引きはがし，その粘着力で塗膜をはく離することにより，鋼材素地からのはく離に対する塗膜の耐性を評価するものである。本試験では，素地調整部における鋼材素地と新塗膜の間の付着性のほかに，塗り重ね部における旧塗膜と新塗膜のはく離に対する付着性を評価するために行った。

旧塗膜が残存している塗り重ね部においては，旧塗膜と新塗膜を合わせると塗膜厚が 250 μm を超えるため，カッター傷の導入時点で塗膜割れのおそれがあることを考慮して，碁盤目の間隔は 5mm とした。図-3.5 に碁盤目試験の要領を，図-3.6 に試験状況を示す。

碁盤目試験結果の評価は，表-3.4 に示すはく離状態と評価点によった。

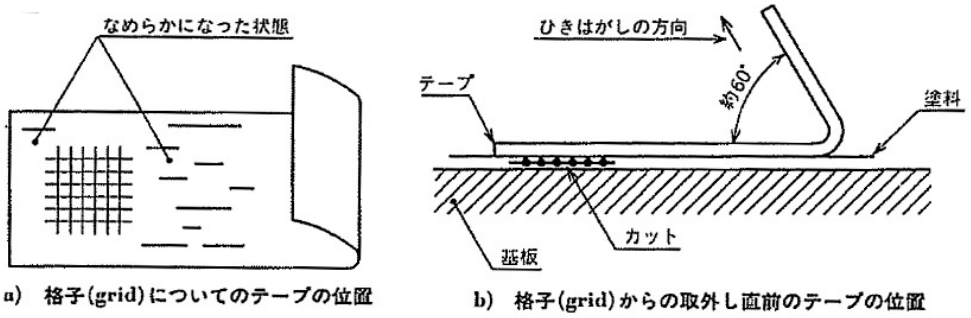
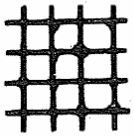
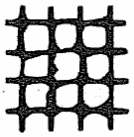


図-3.5　碁盤目試験方法[3.1)]

図-3.6　碁盤目試験状況

表-3.4　碁盤目試験評価点[3.2)]

評価点（RN）	0	1	2	3
				はく離面積 50%以上
JSS Ⅳ03-1993	3	2	1	0

（２）試験結果

碁盤目試験の評価点を表-3.5 に，試験結果の詳細を表-3.6（a）～表-3.6（c）に示す。一部で塗膜のはく離（評価点 1）があったものの，いずれも旧塗膜層内または新塗膜層内でのはく離であり，鋼材素地面でのはく離及び新旧塗膜の境界面におけるはく離はなかった。なお，各種変成エポキシ樹脂塗料の写真において，塗膜全体が赤みを帯びているものは，旧塗膜の赤色の影響が屋外での日照変化によって変わって見えたものである。また，テープ側の写真は，隣接する塗膜の上で撮影しているため，塗膜の色が透けて見えている。

１）ブラストによる素地調整（L 側，No.3 及び No.4）

いずれの塗料も剥がれが無く（評価点 0），鋼材面と塗膜は十分に付着していた。

２）機械工具による素地調整（L 側，No.2）

有機ジンクリッチペイントの一部で剥がれ（評価点 1）が認められたものの，旧塗膜層内及び有機ジンクリッチペイント層内でのはく離であったので，鋼材面と塗膜は十分に付着していた。

３）旧塗膜との塗り重ね部（R 側）

一部で剥がれ（評価点 1）が認められたものの，有機ジンクリッチペイントでは有機ジンクリッチペイント層内でのはく離，3 種類の変性エポキシ樹脂塗料ではいずれも旧塗装層内でのはく離であった。

表-3.5　碁盤目試験結果（評価点）

下地の種類 ＼ 塗料種類と塗布方法			供試体No.2		供試体No.3		供試体No.4	
			素地調整（機械工具）	A塗装系塗り重ね	素地調整（ブラスト：アランダム）	A塗装系塗り重ね	素地調整（ブラスト：グリッド）	A塗装系塗り重ね
塗料①	有機ジンクリッチペイント	スプレー	1	1	0	1	0	1
塗料①	有機ジンクリッチペイント	刷毛	1	1	0	1	0	1
塗料②	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	刷毛	0	0	0	0	0	1
塗料③	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	刷毛	0	0	0	0	0	1
塗料④	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	刷毛	0	0	0	1	0	1

表-3.6（a）　碁盤目試験（供試体 No.2　機械工具）

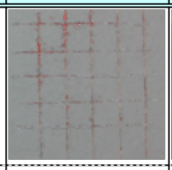
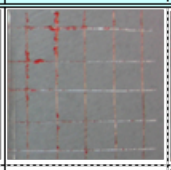
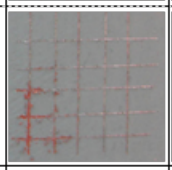
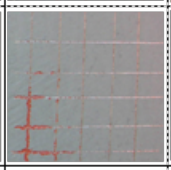
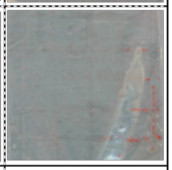
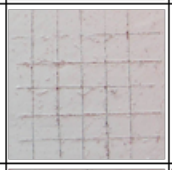
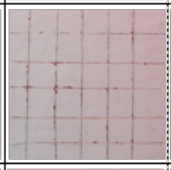
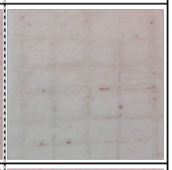
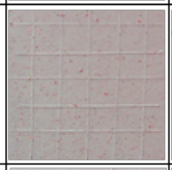
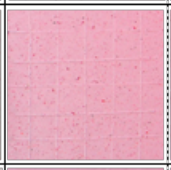
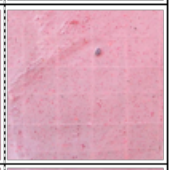
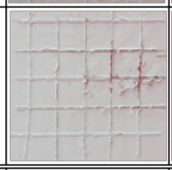
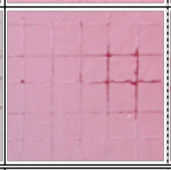
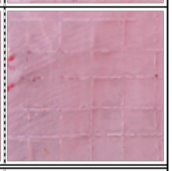
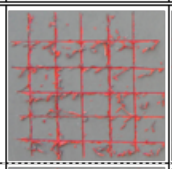
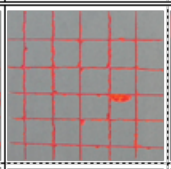
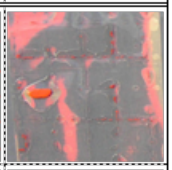
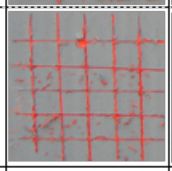
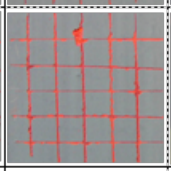
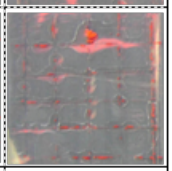
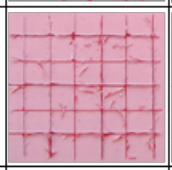
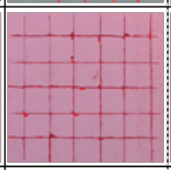
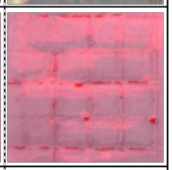
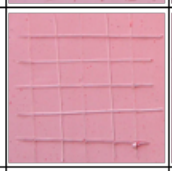
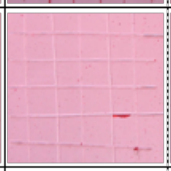
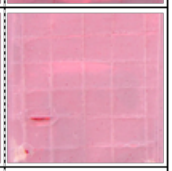
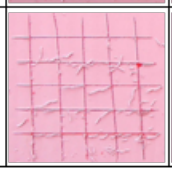
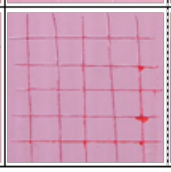
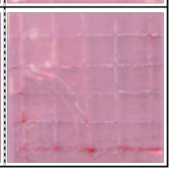
記号	素地調整	塗装仕様		評価点	剥離箇所	試験前（カット後）状況	試験結果	
		旧塗膜	新塗膜				試験体側	テープ側
2-1-1-L	機械工具（3種ケレン）	—	有機ジンクリッチペイント（スプレー）	1	旧塗膜・ジンク層内の剥離			
2-1-2-L		—	有機ジンクリッチペイント（刷毛）	1	旧塗膜・ジンク層内の剥離			
2-2-L		—	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	0	---			
2-3-L		—	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	0	---			
2-4-L		—	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	0	---			
2-1-1-R	4種ケレン	A塗装系	有機ジンクリッチペイント（スプレー）	1	新塗膜層内剥離			
2-1-2-R		A塗装系	有機ジンクリッチペイント（刷毛）	1	新塗膜層内剥離			
2-2-R		A塗装系	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	0	---			
2-3-R		A塗装系	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	0	---			
2-4-R		A塗装系	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	0	---			

表-3.6（b）　碁盤目試験（供試体 No.3　バキュームブラスト）

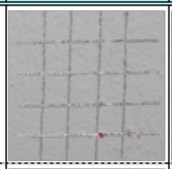
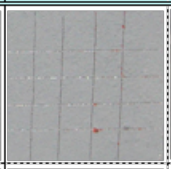
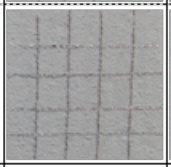
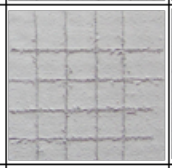
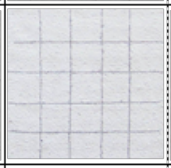
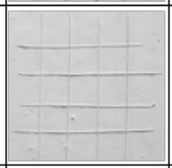
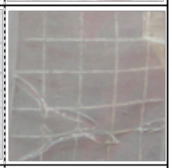
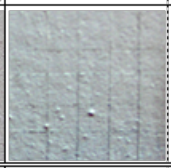
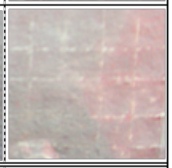
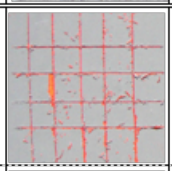
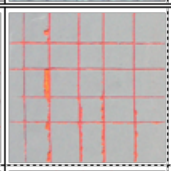
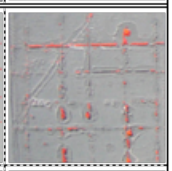
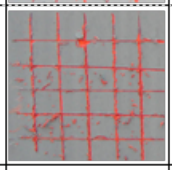
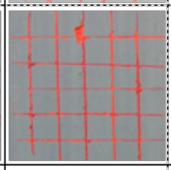
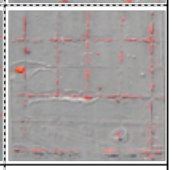
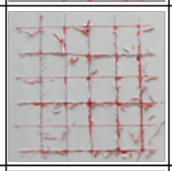
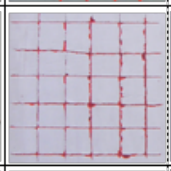
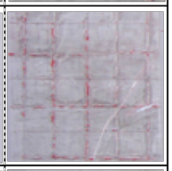
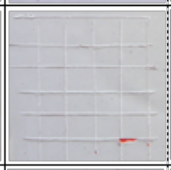
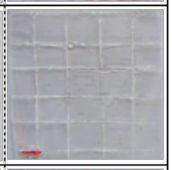
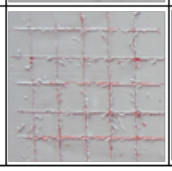
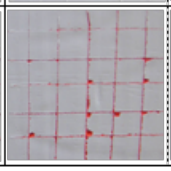
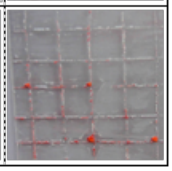
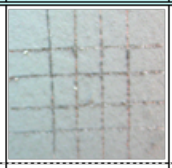
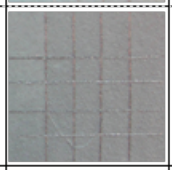
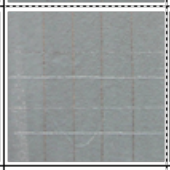
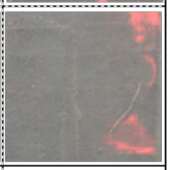
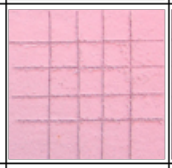
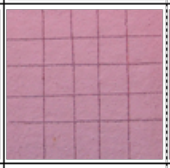
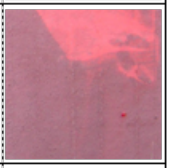
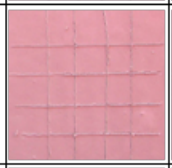
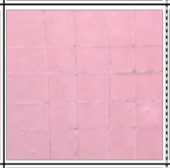
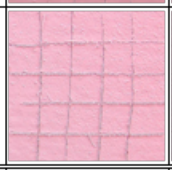
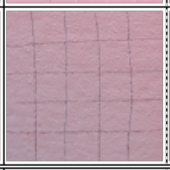
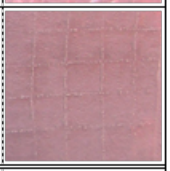
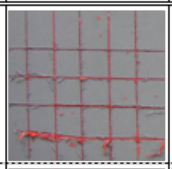
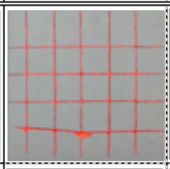
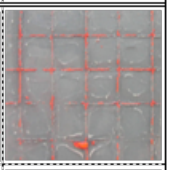
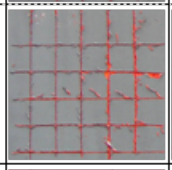
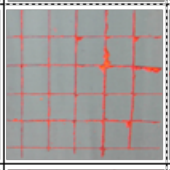
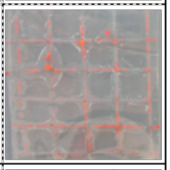
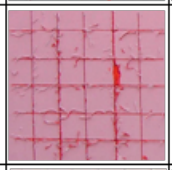
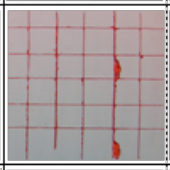
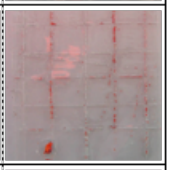
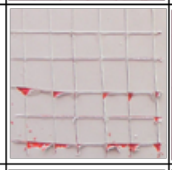
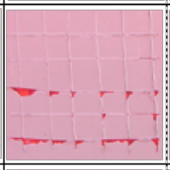
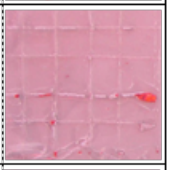
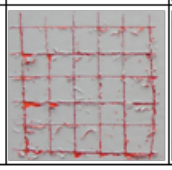
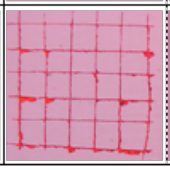
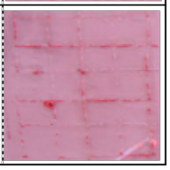
記号	素地調整	塗装仕様		評価点	剥離箇所	試験前（カット後）状況	試験結果	
		旧塗膜	新塗膜				試験体側	テープ側
3-1-1-L	ブラスト（アランダム）	—	有機ジンクリッチペイント（スプレー）	0	---			
3-1-2-L		—	有機ジンクリッチペイント（刷毛）	0	---			
3-2-L		—	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	0	---			
3-3-L		—	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	0	---			
3-4-L		—	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	0	---			
3-1-1-R	４種ケレン	A塗装系	有機ジンクリッチペイント（スプレー）	1	旧塗膜の中塗り剥離			
3-1-2-R		A塗装系	有機ジンクリッチペイント（刷毛）	1	旧塗膜の中塗り剥離			
3-2-R		A塗装系	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	0	---			
3-3-R		A塗装系	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	0	---			
3-4-R		A塗装系	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	1	旧塗膜の中塗り剥離			

表-3.6（c）碁盤目試験（供試体 No.4　オープンブラスト）

記号	素地調整	塗装仕様		評価点	剥離箇所	試験前（カット後）状況	試験結果	
		旧塗膜	新塗膜				試験体側	テープ側
4-1-1-L	ブラスト（グリッド）	—	有機ジンクリッチペイント（スプレー）	0	---			
4-1-2-L		—	有機ジンクリッチペイント（刷毛）	0	---			
4-2-L		—	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	0	---			
4-3-L		—	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	0	---			
4-4-L		—	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	0	---			
4-1-1-R	4種ケレン	A塗装系	有機ジンクリッチペイント（スプレー）	1	旧塗膜（中塗り層内）剥離			
4-1-2-R		A塗装系	有機ジンクリッチペイント（刷毛）	1	旧塗膜（中塗り層内）剥離			
4-2-R		A塗装系	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	1	旧塗膜（中塗り層内）剥離			
4-3-R		A塗装系	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	1	旧塗膜（中塗り層内）剥離			
4-4-R		A塗装系	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	1	旧塗膜（中塗り層内）剥離			

3.3.2 プルオフ試験

（１）試験方法

プルオフ試験は，アドヒージョンテスト（JIS K 5600-5-7）[3.3]によった。この試験は，直径 20mmの試験円筒を接着剤で対象部分の塗膜に固定し，接着剤の硬化後，塗膜に鋼材素地までの切込を入れ，垂直引張試験を行い，塗膜の付着力を計測するとともに，はく離状態を観察する。塗膜と素地，あるいは塗膜の層間の最も脆弱な箇所ではく離が発生することになる。なお，この試験器の計測限界 7N/mm²を超える場合は，「＞7」と表記している。

図-3.7 にプルオフ試験要領を，図-3.8 に試験状況を示す。

試験結果の評価は，表-3.7 に示すはく離状態と評価基準・評価点によった。

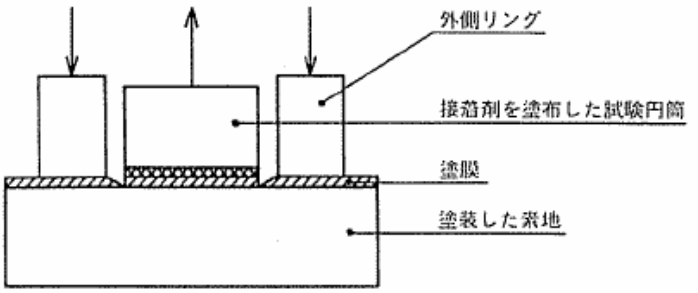


図-3.7　プルオフ試験要領[3.3]

図-3.8　プルオフ試験状況

表-3.7 引張付着力の評価点の例[3.2]

評価点（RN）	引張付着力（MPa）
0	2.0≦X
1	1.0≦X＜2.0
2	0≦X＜1.0
3	X＝0

（２）試験結果

プルオフ試験の引張付着力を図-3.9 に，試験結果の詳細を表-3.8(a）～（c）に示す。各ケースの素地調整部，塗り重ね部ともに，試験は各々1 回のみ実施のため値のばらつきは不明であるものの，全て引張付着力 2N/mm²以上（評価点 0）であった。

１）ブラストによる素地調整（L 側，No.3 及び No.4）

変成エポキシ樹脂塗料では，2～4N/mm²程度であったが，有機ジンクリッチペイントでは，5～7N/mm²以上の高い付着力を示した。いずれも，新旧塗膜の境界部に

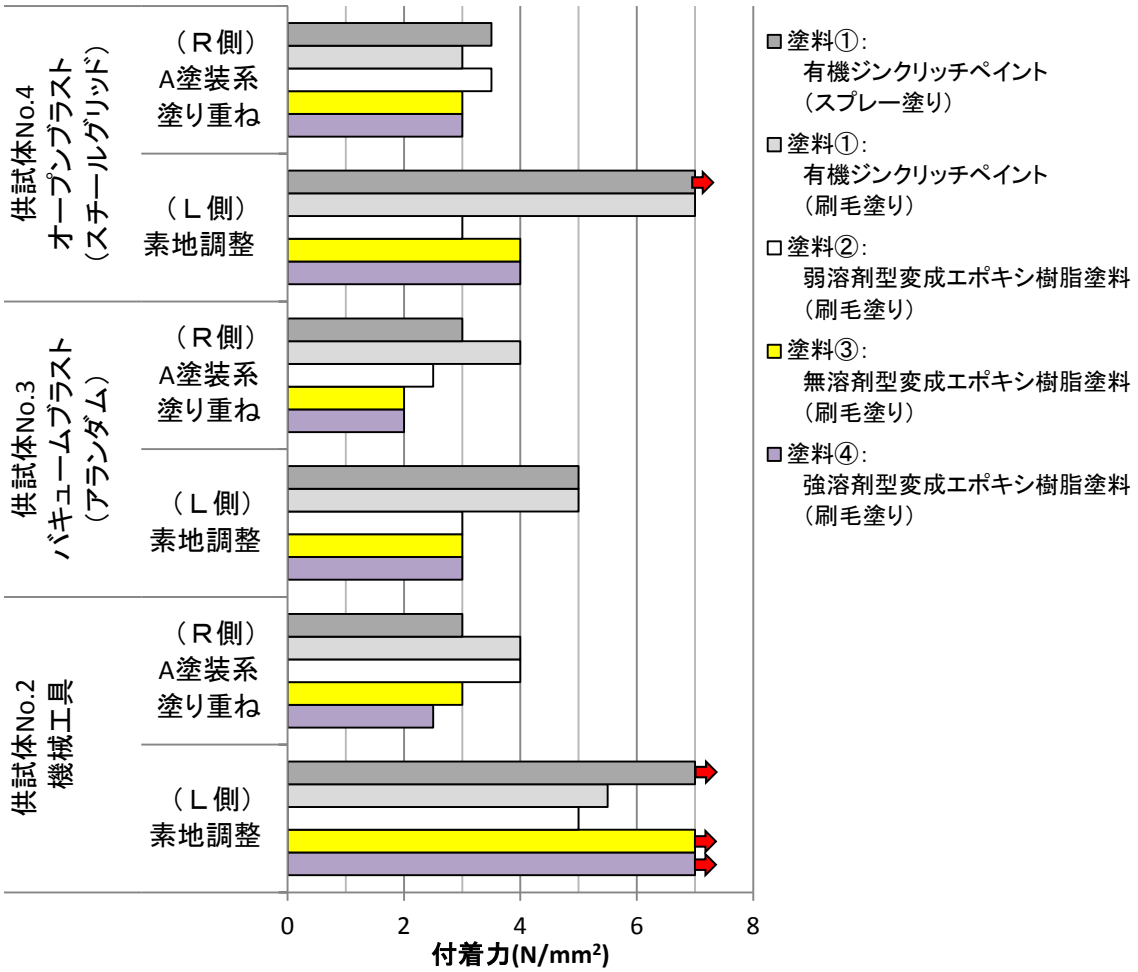
おけるはく離はなかった。

2）機械工具による素地調整（L 側，No.2）

いずれの塗装も，5～7N/mm²以上の高い付着力を示していた。いずれも，新旧塗膜の境界部におけるはく離はなかった。

3）旧塗膜との塗り重ね部（R 側）

いずれの塗装も，2～4N/mm²程度であった。いずれも，新旧塗膜の境界部におけるはく離はなかった。



※矢印は，付着力が 7N/mm²以上であることを示す。

図-3.9　プルオフ試験結果（付着力）

表-3.8（a）　プルオフ試験結果一覧（供試体No.2　機械工具）

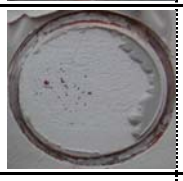
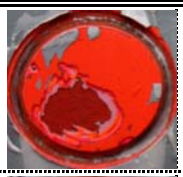
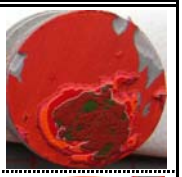
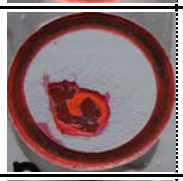
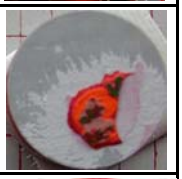
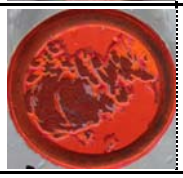
記号	素地調整	塗装仕様		付着力 (N/mm^2)	剥離箇所	剥離状況写真	
		旧塗膜	新塗膜			試験体側	試験治具側
2-1-1-L	機械工具（3種ケレン）	---	有機ジンクリッチペイント（スプレー）	＞7	剥離せず	---	
2-1-2-L		---	有機ジンクリッチペイント（刷毛）	5.5	治具／接着材　80% 新塗膜（凝集）10% 旧残存塗膜　10%		
2-2-L		---	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	5	治具／接着材　5% 接着材／新塗膜　10% 新塗膜（凝集）85%		
2-3-L		---	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	＞7	---	---	
2-4-L		---	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	＞7	---	---	
2-1-1-R	4種ケレン	A塗装系	有機ジンクリッチペイント（スプレー）	3	接着材／新塗膜　3% 新塗膜（凝集）3% 旧塗膜（凝集）94%		
2-1-2-R		A塗装系	有機ジンクリッチペイント（刷毛）	4	新塗膜（凝集）2% 接着材／新塗膜　3% 旧塗膜（凝集）95%		
2-2-R		A塗装系	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	4	接着材／新塗膜　45% 新塗膜（凝集）30% 旧塗膜（凝集）25%		
2-3-R		A塗装系	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	3	接着材／新塗膜　80% 旧塗膜（凝集）20%		
2-4-R		A塗装系	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	2.5	旧塗膜（凝集）100%		

表-3.8（b）　プルオフ試験結果一覧（供試体No.3　バキュームブラスト）

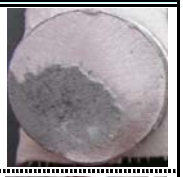
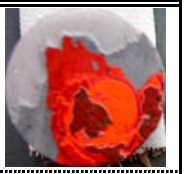
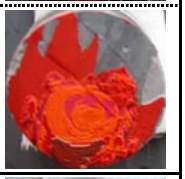
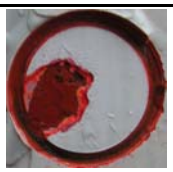
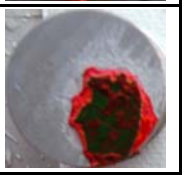
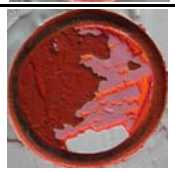
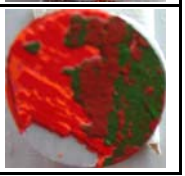
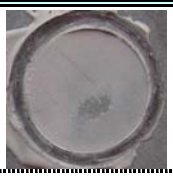
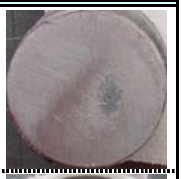
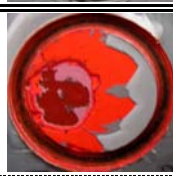
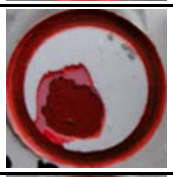
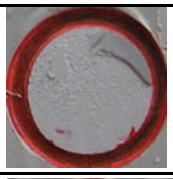
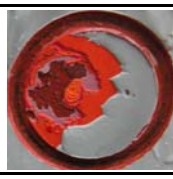
記号	素地調整	塗装仕様		付着力 (N/mm^2)	剥離箇所	剥離状況写真	
		旧塗膜	新塗膜			試験体側	試験治具側
3-1-1-L	ブラスト（アランダム）	---	有機ジンクリッチペイント（スプレー）	5	治具／接着材　50% 接着材／新塗膜　30% 新塗膜（凝集）　20%		
3-1-2-L		---	有機ジンクリッチペイント（刷毛）	5	治具／接着材　60% 接着材／新塗膜　5% 新塗膜（凝集）　35%		
3-2-L		---	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	3	接着材／新塗膜　100%		
3-3-L		---	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	3	新塗膜（凝集）　100%		
3-4-L		---	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	3	治具／接着材　35% 接着材／新塗膜　65%		
3-1-1-R	4種ケレン	A塗装系	有機ジンクリッチペイント（スプレー）	3	治具／接着材　15% 新塗膜（凝集）　15% 旧塗膜（凝集）　70%		
3-1-2-R		A塗装系	有機ジンクリッチペイント（刷毛）	4	接着材（凝集）　5% 新塗膜（凝集）　20% 旧塗膜（凝集）　75%		
3-2-R		A塗装系	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	2.5	接着材／新塗膜　60% 新塗膜（凝集）　5% 旧塗膜（凝集）　35%		
3-3-R		A塗装系	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	2	新塗膜（凝集）　35% 旧塗膜（凝集）　65%		
3-4-R		A塗装系	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	2	接着材／新塗膜　5% 旧塗膜（凝集）　95%		

表-3.8（c）　プルオフ試験結果一覧（供試体No.4　オープンブラスト）

記号	素地調整	塗装仕様		付着力 (N/mm^2)	剥離箇所	剥離状況写真	
		旧塗膜	新塗膜			試験体側	試験治具側
4-1-1-L	ブラスト（グリッド）	---	有機ジンクリッチペイント（スプレー）	7	治具／接着材　95% 新塗膜（凝集）　5%		
4-1-2-L		---	有機ジンクリッチペイント（刷毛）	＞7	---	---	
4-2-L		---	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	3	治具／接着材　10% 接着材／新塗膜　90%		
4-3-L		---	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	4	治具／接着材　20% 接着材／新塗膜　80%		
4-4-L		---	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	4	治具／接着材　90% 接着材／新塗膜　10%		
4-1-1-R	4種ケレン	A塗装系	有機ジンクリッチペイント（スプレー）	3.5	治具／接着材　10% 新塗膜（凝集）　5% 旧塗膜（凝集）　85%		
4-1-2-R		A塗装系	有機ジンクリッチペイント（刷毛）	3	治具／接着材　30% 旧塗膜（凝集）　70%		
4-2-R		A塗装系	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	3.5	接着材／新塗膜　50% 新塗膜（凝集）　10% 旧塗膜（凝集）　40%		
4-3-R		A塗装系	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	3	治具／接着材　5% 新塗膜（凝集）　60% 接着材／新塗膜　35%		
4-4-R		A塗装系	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛）	3	治具／接着材　15% 接着材（凝集）　20% 旧塗膜（凝集）　65%		

3.4　曝露試験

部分塗装の塗り重ね部における耐久性を確認するため，付着力試験で使用した試験体から塗装の種類ごとに曝露試験片を作成し，厳しい塩分環境において曝露試験を行った。

3.4.1 試験方法

（１）曝露試験片の作成

付着力試験に使用した図-3.3 に示した鋼桁の試験体から，付着力試験を行った部位を避け，寸法 200mm×300mm で工場でのシャーリング（せん断）により切断して，切断面のグラインダー仕上げや四隅のφ12mmm 削孔，切断面周囲 50mm 幅のタールエポキシ樹脂塗料塗布を行い，曝露試験片とした（図-3.10）。

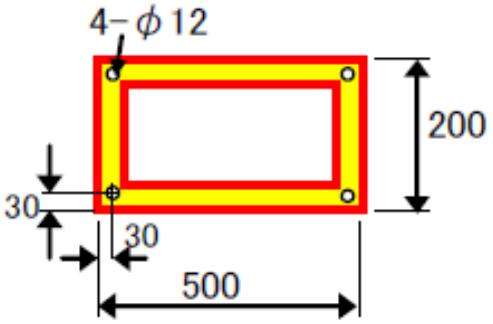


図-3.10 曝露試験片の形状，寸法

（２）曝露試験

１）曝露地点

短期間で傾向を把握できるように，厳しい塩分環境において曝露を行うこととし，図-3.11 に示す新潟県糸魚川市市振の海岸にある独立行政法人土木研究所所管の曝露試験場（市振曝露試験場）とした。

２）曝露方法

鋼製の曝露用架台を使用して，曝露試験片をボルトで固定した（図-3.12）。

３）曝露期間

曝露期間は，平成 19 年 12 月 18 日に開始した。

設置時点の曝露試験片の写真を表-3.9（a）～（c）に示す。

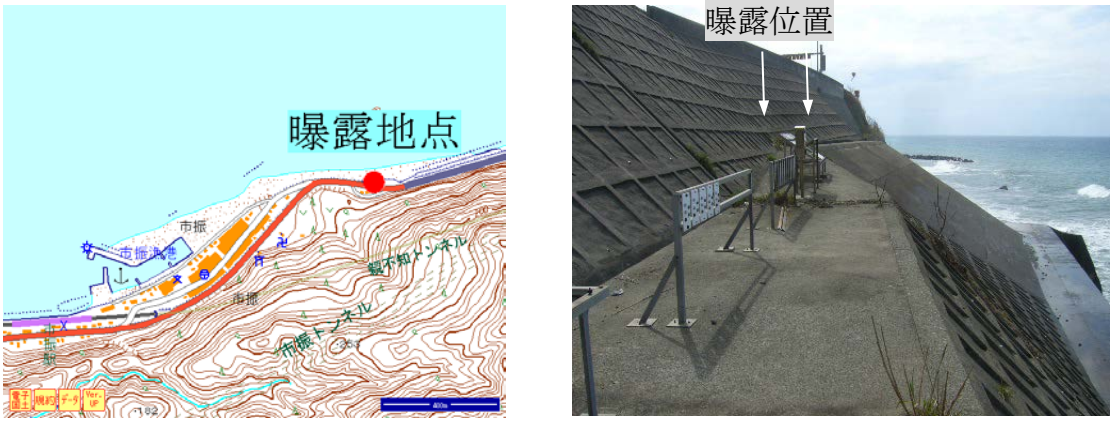


図-3.11　曝露地点

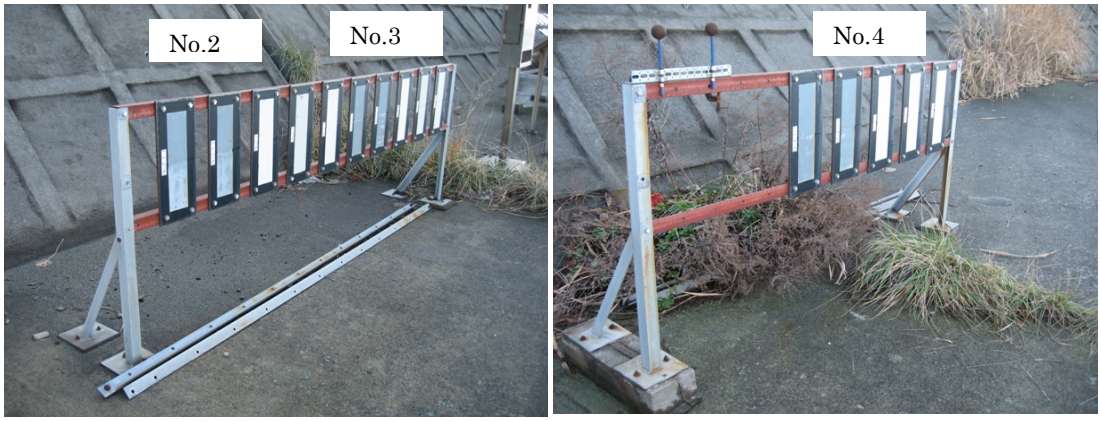


図-3.12　曝露試験片取付け状況

3.4.2 試験結果

（１）曝露１年経過

曝露開始１年経過の各曝露試験片の写真を，表-3.10（a）～（c）に示す。

１）有機ジンクリッチペイント（塗料①）

スプレー塗りと刷毛塗りでは差が出てないものの，素地調整を機械工具で行ったもの（No.2-1-1，No.2-1-2）は，素地調整部において部分的に有機ジンクリッチペイントの塗膜のはく離がみられた（図-3.13）。

２）変性エポキシ樹脂塗料（塗料②～④）

強溶剤形（塗料④）において，塗り重ね部（No.4-4）に塗膜割れが（図-3.14），素地調整部（No.2-4，No.3-4，No.4-4）に点さびの発生（図-3.15）が確認された。他の弱溶剤形（塗料②），無溶剤形（塗料③）の塗膜には異状がなかった。

（２）曝露２年４ヶ月経過

曝露開始後２年４ヶ月経過の各曝露試験片の写真を，表-3.11（a）～（c）に示す。曝露１年後よりも傾向が顕著に現れていた。

１）有機ジンクリッチペイント（塗料①）

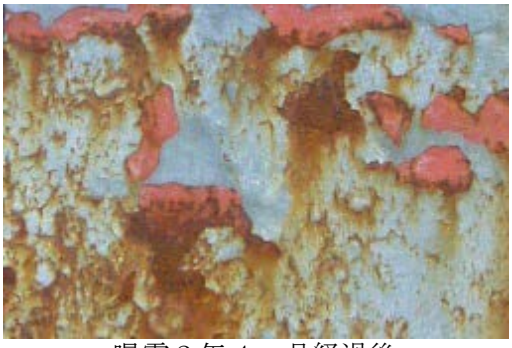
素地調整を機械工具で行ったもの（No.2）は，素地調整部に全面的な塗膜のはく離とさびが確認された（No.2-1-1，No.2-1-2）。素地調整をブラストで行ったNo.3，No.4の塗膜には異状が無かった。なお，スプレー塗り（塗料①）と刷毛塗り（塗料②）では各素地調整の方法ともに塗装方法による差はなかった。

２）変性エポキシ樹脂塗料（塗料②～④）

塗り重ね部では，曝露１年経過で塗膜割れが確認された強溶剤形（No.4-4）でさびが確認された。

素地調整部では，各素地調整のケースともに点さびが発生しており，強溶剤形（塗料④）＞弱溶剤形（塗料③）＞無溶剤形（塗料②）の順番で点さびが少なかった（図-3.16）。

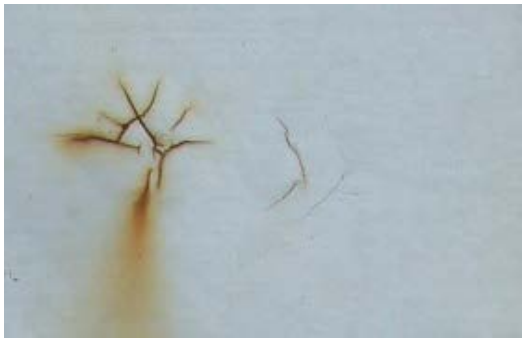
曝露 1 年経過後



曝露 2 年 4 ヶ月経過後

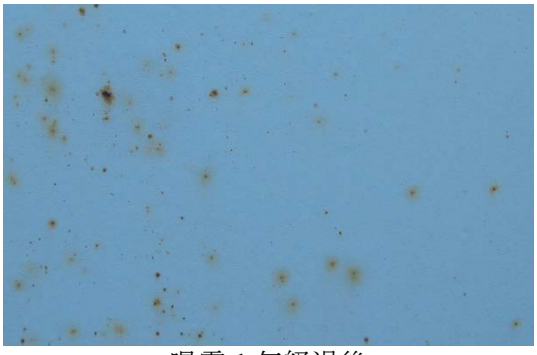
図-3.13　素地調整部の塗膜はく離（No.2-1-1 有機ジンクリッチペイント，機械工具）

曝露 1 年経過後

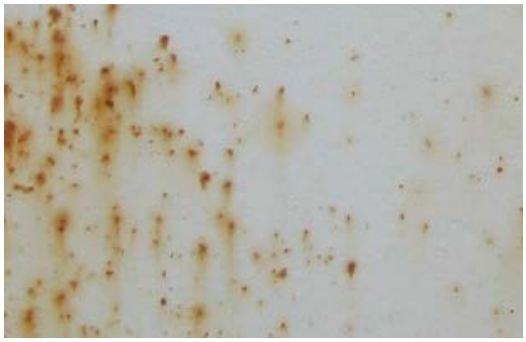


曝露 2 年 4 ヶ月経過後

図-3.14　塗り重ね部の塗膜割れ（No.4-4 強溶剤形変成エポキシ樹脂塗料）

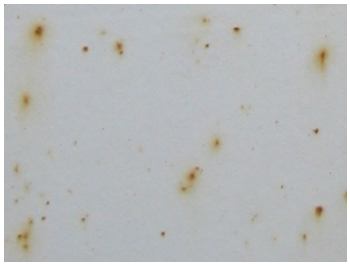


曝露 1 年経過後



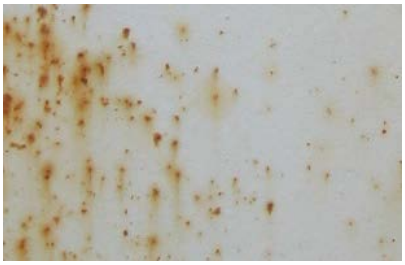
曝露 2 年 4 ヶ月経過後

図-3.15　素地調整部の点さび（No.4-4 強溶剤形変成エポキシ樹脂塗料）



No.4-2 弱溶剤形

No.4-3 無溶剤形



No.4-4 強溶剤形

図-3.16　変成エポキシ樹脂塗料の素地調整部の点さび（曝露 2 年 4 ヶ月経過後）

表-3.9（a）　曝露試験片写真（曝露前）

観察日：曝露前（平成 19 年 12 月 18 日設置）

曝露場所：市振曝露試験場（新潟県糸魚川市市振（親不知））

曝露試験片 No.		No.2-1-1	No.2-1-2	No.2-2	No.2-3	No.2-4
仕様	素地調整	機械工具				
	塗装	有機ジンクリッチペイント（スプレー塗り）	有機ジンクリッチペイント（刷毛塗り）	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）
写真	塗り重ね部 ↑ ―――――― ↓ 素地調整部					
状況	塗り重ね部	－	－	－	－	傷有り
	素地調整部	－	－	－	－	－

表-3.9（b）　曝露試験片写真（曝露前）

観察日：曝露前（平成 19 年 12 月 18 日設置）

曝露場所：市振曝露試験場（新潟県糸魚川市市振（親不知））

曝露試験片 No.		No.3-1-1	No.3-1-2	No.3-2	No.3-3	No.3-4
仕様	素地調整	バキュームブラスト（アランダム）				
	塗装	有機ジンクリッチペイント（スプレー塗り）	有機ジンクリッチペイント（刷毛塗り）	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）
写真	塗り重ね部 ↑ ――――― ↓ 素地調整部					
状況	塗り重ね部	―	―	―	―	―
	素地調整部	―	―	―	―	―

表-3.9（c）　曝露試験片写真（曝露前）

観察日：曝露前（平成 19 年 12 月 18 日設置）

曝露場所：市振曝露試験場（新潟県糸魚川市市振（親不知））

曝露試験片 No.		No.4-1-1	No.4-1-2	No.4-2	No.4-3	No.4-4
仕様	素地調整	オープンブラスト（スチールグリッド）				
	塗装	有機ジンクリッチペイント（スプレー塗り）	有機ジンクリッチペイント（刷毛塗り）	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）
写真	塗り重ね部 ↑ ―――――― ↓ 素地調整部					
状況	塗り重ね部	－	－	傷有り	－	傷有り
	素地調整部	－	－	－	－	－

表-3.10（a）　曝露試験片写真（1 年経過）

観察日：平成 20 年 12 月 16 日（平成 19 年 12 月 18 日設置，1 年経過）

曝露場所：市振曝露試験場（新潟県糸魚川市市振（親不知））

曝露試験片 No.		No.2-1-1	No.2-1-2	No.2-2	No.2-3	No.2-4
仕様	素地調整	機械工具				
	塗装	有機ジンクリッチペイント（スプレー塗り）	有機ジンクリッチペイント（刷毛塗り）	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）
写真	塗り重ね部 ↑ ―――― ↓ 素地調整部					
状況	塗り重ね部	－	－	－	－	－
	素地調整部	一部で有機ジンクのはく離	一部で有機ジンクのはく離，さび	塗膜の一部に点さび	－	塗膜の一部に点さび

表-3.10 (b) 曝露試験片写真（1 年経過）

観察日：平成 20 年 12 月 16 日（平成 19 年 12 月 18 日設置，1 年経過）

曝露場所：市振曝露試験場（新潟県糸魚川市市振（親不知））

曝露試験片 No.		No.3-1-1	No.3-1-2	No.3-2	No.3-3	No.3-4
仕様	素地調整	バキュームブラスト（アランダム）				
	塗装	有機ジンクリッチペイント（スプレー塗り）	有機ジンクリッチペイント（刷毛塗り）	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）
写真	塗り重ね部 ↑ ――――― ↓ 素地調整部					
状況	塗り重ね部	―	―	―	―	―
	素地調整部	―	―	塗膜全体に点さび	―	塗膜全体に点さび

表-3.10 (c) 曝露試験片写真（1 年経過）

観察日：平成 20 年 12 月 16 日（平成 19 年 12 月 18 日設置，1 年経過）

曝露場所：市振曝露試験場（新潟県糸魚川市市振（親不知））

曝露試験片 No.		No.4-1-1	No.4-1-2	No.4-2	No.4-3	No.4-4
仕様	素地調整	オープンブラスト（スチールグリッド）				
	塗装	有機ジンクリッチペイント（スプレー塗り）	有機ジンクリッチペイント（刷毛塗り）	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）
写真	塗り重ね部 ↑ ――――― ↓ 素地調整部					
状況	塗り重ね部	―	―	―	―	塗膜の割れ
	素地調整部	―	―	塗膜の一部に点さび	―	塗膜全体に点さび

表-3.11（a）　曝露試験片写真（2 年 4 ヶ月経過）

観察日：平成 22 年 4 月 16 日（平成 19 年 12 月 18 日設置，2 年 4 ヶ月経過）

曝露場所：市振曝露試験場（新潟県糸魚川市市振（親不知））

曝露試験片 No.		No.2-1-1	No.2-1-2	No.2-2	No.2-3	No.2-4
仕様	素地調整	機械工具				
	塗装	有機ジンクリッチペイント（スプレー塗り）	有機ジンクリッチペイント（刷毛塗り）	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）
写真	塗り重ね部 ↑ ―――――― ↓ 素地調整部					
状況	塗り重ね部	－	－	－	－	－
	素地調整部	全面的に有機ジンクのはく離，さび	全面的に有機ジンクのはく離，さび	塗膜の一部に点さび	－	塗膜の一部に点さび

表-3.11　(b)　曝露試験片写真（2 年 4 ヶ月経過）

観察日：平成 22 年 4 月 16 日（平成 19 年 12 月 18 日設置，2 年 4 ヶ月経過）

曝露場所：市振曝露試験場（新潟県糸魚川市市振（親不知））

曝露試験片 No.		No.3-1-1	No.3-1-2	No.3-2	No.3-3	No.3-4
仕様	素地調整	オープンブラスト（アランダム）				
	塗装	有機ジンクリッチペイント（スプレー塗り）	有機ジンクリッチペイント（刷毛塗り）	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）
写真	塗り重ね部 ↑ ――――― ↓ 素地調整部					
状況	塗り重ね部	－	－	－	－	－
	素地調整部	－	－	塗膜全体に点さび	－塗膜の一部に点さび	塗膜全体に点さび

表-3.11（c）　曝露試験片写真（2 年 4 ヶ月経過）

観察日：平成 22 年 4 月 16 日（平成 19 年 12 月 18 日設置）

曝露場所：市振曝露試験場（新潟県糸魚川市市振（親不知））

曝露試験片 No.		No.4-1-1	No.4-1-2	No.4-2	No.4-3	No.4-4
仕様	素地調整	オープンブラスト（スチールグリッド）				
	塗装	有機ジンクリッチペイント（スプレー塗り）	有機ジンクリッチペイント（刷毛塗り）	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（刷毛塗り）
写真	塗り重ね部 ↑ ―――――― ↓ 素地調整部					
状況	塗り重ね部	－	－	点さびは，曝露前にあった傷に発生	－	塗膜の割れ，さび
	素地調整部	－	－	塗膜全体に点さび	塗膜の一部に点さび	塗膜全体に点さび

3.5 まとめ

（１）付着力試験

有機ジンクリッチペイントと変成エポキシ樹脂塗料３種類（強溶剤形，弱溶剤形，無溶剤形）を対象としたA塗装系の塗り重ね部と素地調整部において，碁盤目試験及びプルオフ試験を行った結果，新旧塗膜の境界ではく離せず，引張付着力 2N/mm²以上あることが確認された。

このことから，A 塗装系への重防食塗装の塗り重ね部における新旧塗膜間では，十分な付着力を有していることが確認された。

（２）曝露試験

１）有機ジンクリッチペイント

スプレー塗りと刷毛塗りで差は認められなかった。

機械工具で３種ケレンを行ったケースにおいて，曝露１年経過後の比較的早期から，素地調整部において塗膜がはく離しているのが確認された。

このことから，A 塗装系の下塗りの残存塗膜と有機ジンクリッチペイントの付着性の耐久性が劣ると考えられる。そのため，機械工具のみで行うⅡ種ケレンやⅢ種ケレンは，残存した下塗り塗膜との付着性が良くないため避けるべきであり，ブラストによる１種ケレンを基本とし，やむを得ず機械工具で処理する部分は，ごく小さな範囲に留める必要がある。

また，旧塗膜と有機ジンクリッチペイントの塗り重ね部では，旧塗膜の残存塗膜には付着性の劣る下塗りが露出する可能性もあることのほか，ジンクリッチペイントは鋼材と直接接しないと亜鉛の犠牲防食効果を期待できないことより，新旧塗膜に隙間を空けない程度の最小限の幅とし，旧塗膜端部の断面形状は下塗りが露出する幅をむやみに広げないよう配慮する必要があることが確認された。

２）変性エポキシ樹脂塗料

強溶剤形塗り重ね部において塗膜のうきが生じ，その後，さび汁が確認された。また，素地調整部において，強溶剤形では，曝露１年経過後の比較的早期に多数の点さびの発生が確認された。

強溶剤形では，旧塗膜に影響があること，塗膜の耐久性が劣ることから，弱溶剤形又は無溶剤形を使用する必要があることが確認された。

（３）塗り重ね部の塗装仕様

A 塗装系の旧塗膜の橋において，部分的に重防食塗装を適用した場合の新旧塗膜の塗り重ね部の塗装仕様は，表-3.12 に示す塗り替え用の重防食塗装を適用しても問題のないことが確認された。塗り重ね部の幅は，有機ジンクリッチペイントは旧塗膜からはく離することが想定されるため，新旧塗膜に隙間を空けない程度の幅として 10mm 程度，弱溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗りでは 50mm 程度の幅とするのが良い。なお，塗り重ね部の旧塗膜は，白亜化の劣化していることがあるため，素地調整程度 4 種の処理により，粉化物や汚れを取る必要がある。

表-3.12　部分塗替えの塗装仕様

塗装工程	旧塗装（A 塗装系）	塗替え塗装		
		塗料名	使用量（g/m²）	塗装間隔
素地調整		素地調整程度１種（ISO Sa2 1/2相当）		4 時間以内
下塗		有機ジンクリッチペイント	600	1～10 日
下塗	鉛系さび止めペイント１種	弱溶剤形変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗	240	1～10 日
下塗	鉛系さび止めペイント１種	弱溶剤形変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗	240	1～10 日
中塗	長油性フタル酸樹脂塗料中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	170	1～10 日
上塗	長油性フタル酸樹脂塗料上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	170	

第４橋　実橋における試験施工

4.1 試験概要

施工性評価試験及び塗り重ね部の仕様検討等の結果を基に，実際に供用されている橋梁において部分塗り替え塗装の試験施工を行い，現地での実用性を検証した。

4.1.1 対象橋梁の概要

対象橋梁の諸元を表-4.1 に，横断図を図-4.1 に示す。I 型断面の主桁 4 本が 2800mm 間隔で配置されており，桁の高さは 2050mm である。図-4.2 に示す全景写真のとおり，端横桁とパラペットの間の水平距離は A1 側 500mm，A2 側 400mm であり，横桁形式である。作業するためには端横桁とパラペットの間に入る必要があり，対傾構形式と比べて作業性に劣る条件であった。主桁下フランジ下面と橋座面の鉛直距離は 300mm 程度あるものの，台座コンクリート上では 100mm 程度であった。鋼製支承を使用しており，桁端には落橋防止装置が橋台と各主桁の間に，桁間には添架物件が設置してあり，局部的に狭隘な部位がある状況であった。

既存の塗装は, 2001 年の塗装塗り替えが最終の塗装であり, 下塗りに鉛系さび止め塗料, 中塗り・上塗りに長油性フタル酸樹脂塗料を使用した表-2.4 の塗替え用 a 塗装系（新設塗装における A－1 塗装と下塗りの塗料を除き同一）の仕様となっていた。塗膜は，著しい劣化や鋼材の腐食はないものの，支承付近や下フランジに点さびが生じていた。

表-4.1　対象橋梁の諸元

橋　種	連続・単純合成鋼 I 桁橋（4 主桁）
橋　長	524m（A1 及び A2 上の桁端 2 箇所で部分塗装を実施）
竣　工	1973 年（昭和 48 年）竣工（適用道示：昭和 47 年，一等橋）
塗装履歴	2001 年度最終の塗り替え
設置環境	平野部，内陸（日本海の海岸線から 60km），凍結防止剤散布

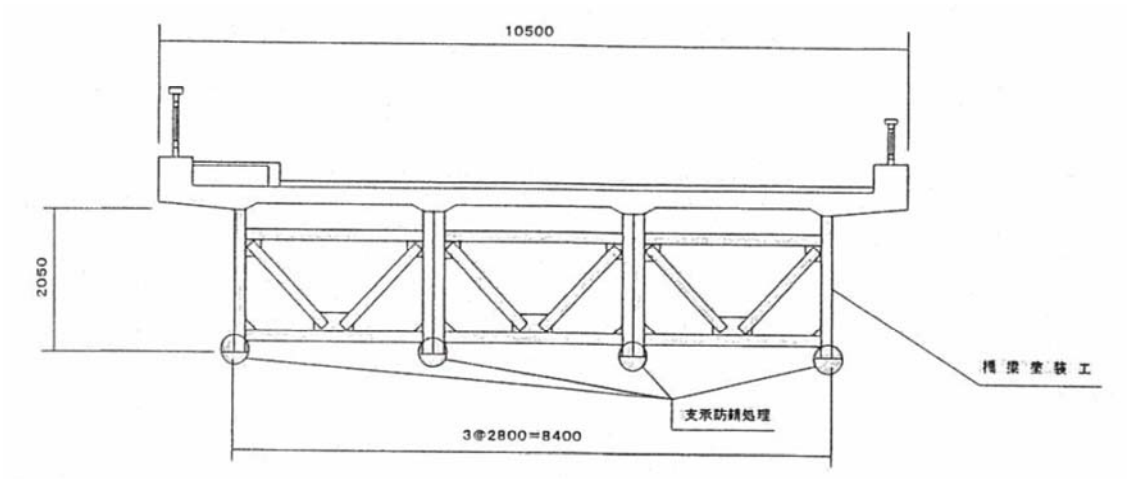


図-4.1　対象橋梁の横断図

A1 側の桁端部（桁側面）

A1 側の桁端部（桁間）

A2 側の桁端部（桁側面）

A2 側の桁端部（桁間）

図-4.2　試験施工対象箇所

4.1.2 試験施工の概要

A1 側及び A2 側の桁端部 2 箇所を部分塗り替え塗装の試験施工の対象とし，部分塗替え塗装範囲は，橋座面上を含め桁端から 1m 程度とされた。

A2 側を 2008 年 8 月 26 日～27 日，A2 側を 28 日～29 日の日程で，オープンブラスト工法による素地調整と下塗り 1 層目の有機ジンクリッチペイントの塗布が行われた。

（1）使用した機材

素地調整は，オープンブラスト用の機材が使用された（図-4.3）。研削材は，ガーネット（規格 4～5 号）が使用された。粉塵が発生するので，板張り及びシートによる防護工が設置された（図-4.4）。有機ジンクリッチペイントの塗装は，エアレススプレーで行われた（図-4.5）。

ブラストマシン

発動発電機，コンプレッサ

図-4.3　素地調整用の使用機材

桁下側の防護（A1 側）

桁側面の防護（A1 側）

図-4.4　粉塵対策の防護工

エアレス吹き付け機

ホース先端のノズル

図-4.5　塗装の使用機材

（２）素地調整

オープンブラスト工法では，ブラスト実施時に生じる騒音や粉塵の飛散が問題となるため，実施箇所をシートで養生することが必要となる。図-4.4 に示す板張りとブルーシートによる養生が行われたものの,騒音や粉塵の飛散を完全に防ぐことは難しい状況であった。試験施工箇所では，周辺の住宅と十分な距離があったため，特段の苦情等は見られなかった。使用した研削材は，塗膜中に鉛などの有害金属を含むため，スコップや掃除機で回収した上で，産業廃棄物として処理することとされていた。

ブラストによる塗膜やさびの除去の状況は，図-4.6 に示すとおり，桁端部の狭隘な空間の塗膜や腐食跡の窪みの固着さびを残さず除去されており，ISO Sa2 1/2 相当で素地調整されていた。

横桁裏面側

横桁裏面側の腐食跡

横桁前面側

支承付近

図-4.6　素地調整状況（A1 側）

（３）塗装

有機ジンクリッチペイントの塗布は，素地調整の研削材の回収，清掃の後，速やかに行われていた。液だれ防止のため，塗装作業はスプレーによる 2 度塗りで行われた。

有機ジンクリッチペイントの使用量は，ブラスト後の鋼材表面の凹凸に塗料が浸み込んでいくため，目標の膜厚を確保するには設計量以上が必要であった。旧塗膜との塗り重ね部分は，ブラスト時には素地調整対象外の旧塗膜を損傷しないよう板で養生し，旧塗膜の境界部をサンダーで整形した後，旧塗膜の表面に付着した汚れ等を落とした上でマスキングを行い，10mm 幅の塗り重ね部を確保して塗布していた（図-4.7）。塗り重ね部を確実に確保できることが確認できた。

スプレー塗布時の旧塗膜養生（A2 側）

ブラスト時の旧塗膜養生（A1 側）

図-4.7　塗り重ね部の施工状況

4.2 実施後の状況

部分塗り替え塗装施工後の状況を図-4.8 に示す。塗膜の塗料は美観上から旧塗膜と同じ色調とされた。

スプレー塗布時の旧塗膜養生（A2 側）

ブラスト時の旧塗膜養生（A1 側）

図-4.8　塗り重ね部の施工状況

4.3 まとめ

実橋における試験施工の結果から，次のことが分かった。

１）桁端部における素地調整

端横桁や主桁の桁端側，下フランジ下面等の狭隘な各部位において，オープンブラストによりさびや旧塗膜を腐食による凹みの固着さびも含めて全て除去でき，ISO Sa2 ½相当の良好な品質の素地調整となっていた。また，旧塗膜との境界部の施工についても，旧塗膜を必要以上に損傷せずに施工できた。

このことから，実橋の桁端部においても，施工性評価と同等な素地調整の品質を確保できることが確認できた。

２）桁端部における塗装

端横桁や主桁の桁端側，下フランジ下面等の狭隘な各部位において，スプレー塗りにより均一に塗装されていた。また，10mm 幅の塗り重ねを精度よく確保した施工ができた。

このことから，実橋の桁端部においても，施工性評価と同等な塗装の品質が確保できることが確認できた。

３）塗り重ね部における付着力，耐久性

塗装施工時に塗り重ね部における塗膜の異状はないことが確認できた。

なお，塗り重ね部における付着力，耐久性の確認は，経過観察が必要である。

【参考文献】

1 章
1.1）玉越隆史　中洲啓太　石尾真理　武田達也　水津紀陽：鋼道路橋の局部腐食に関する調査研究，国土技術政策総合研究所資料 No.294，2006.1
1.2）玉越隆史　小林寛　武田達也　平塚慶達：橋路橋の健全度に関する基礎的調査に関する研究，国土技術政策総合研究所資料 No.381，2007.4
1.3）玉越隆史　：道路橋の点検体系～スマート・インフラ・メンテナンス・マネジメントに向けて～，土木技術資料，vol.53，No.2，pp52-53，　2011.2
1.4）玉越隆史　大久保雅憲　関谷光昭：道路橋のアセット・マネジメント手法の確立に向けて，NILIM2011 国総研レポート 2011，No.10，pp63，2011.3
1.5）鋼道路橋塗装・防食便覧資料集　平成 22 年 9 月，（社）日本道路協会，2010.9
1.6）玉越隆史　大久保雅憲　北村岳伸　：平成 21 年度・平成 22 年度　道路構造物に関する基本データ集，国土技術政策総合研究所資料 No.645，2011.7
1.7）鋼道路橋塗装便覧　昭和 54 年 2 月，（社）日本道路協会，1979.2
1.8）鋼道路橋塗装便覧　平成 2 年 6 月，（社）日本道路協会，1990.6
1.9）鋼道路橋塗装・防食便覧　平成 17 年 12 月，（社）日本道路協会，2005.12
1.10）鋼道路橋塗装便覧　昭和 46 年 12 月，（社）日本道路協会，1971.12

2 章
2.1）‘11 デザインデータブック　，（社）日本橋梁建設業協会,2011.4
2.2）（財）日本規格協会：塗料一般試験方法　塗膜劣化の評価　白亜化の等級（JIS K 5600-8-61999），2002.3
2.3）（財）日本規格協会：塗料一般試験方法　塗膜劣化の評価　はがれの等級（JIS K 5600-8-5 1999），2002.3
2.4）道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編，Ⅱ鋼橋編，Ⅴ耐震設計編　平成 14 年 3 月，（社）日本道路協会，2002.3
2.5）建設省土木研究所，（社）鋼材倶楽部，（社）日本橋梁建設協会：耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書（XIX）―無塗装耐候性橋梁の細部構造に関する調査結果―，共同研究報告書第 87 号，1993.3

3 章
3.1）（財）日本規格協会：塗料一般試験方法　塗膜の機械的性質　付着性（クロスカット法）（JIS K　5600-5-6 1999），2002.3
3.2）（社）日本鋼構造協会：鋼構造物塗膜調査マニュアル　JSS　IV 03-2006，2006.10
3.3）（財）日本規格協会：塗料一般試験方法　塗膜の機械的性質　付着性（プルオフ法）（JIS K　5600-5-7 1999），2002.3

附属資料）　鋼道路橋の部分塗替え塗装要領（案）

本研究の成果を踏まえて、鋼道路橋に対して部分塗替え塗装を行う場合の推奨される条件や仕様、計画・施工上の留意点について、要領（案）という形でとりまとめた。

ここでは、以下の点を示した。

（１）　部分塗替えする部位の塗装仕様は、原則として耐久性に優れる重防食塗装への塗り替えとし、Rc-Ⅰ塗装系に準拠した仕様とした。

（２）　新塗膜と旧塗膜との境界部には、重なる塗り重ね部を設けることとし、その仕様を示した。

（３）　素地調整は、素地調整程度１種を原則とし、狭隘な作業条件における素地調整方法を示した。

（４）　塗り替え塗装の範囲は、腐食の発生状況より橋座面上を最小範囲として腐食環境に配慮して設定する事を示した。

（５）　素地調整及び塗装の施工において、狭隘な作業条件において良好な品質を確保するための品質管理方法を示した。

なお、ブラストで残る部位の素地調整方法は、要領案では、機械工具による方法を示しているものの、機械工具により処理した部分は ISO St3 程度にとどまるため、小型ブラストを使用すると、ISO Sa2 $^{1}/_{2}$相当の処理が可能である。

鋼道路橋の部分塗替え塗装要領（案）

目　　次

１．　総論 …… 資-1

1.1　適用の範囲 …… 資-1

1.2　目的 …… 資-1

1.3　用語の定義 …… 資-2

1.4　計画における留意点 …… 資-3

２．　塗装仕様 …… 資-5

2.1　塗替え塗装仕様 …… 資-5

３．　施工 …… 資-7

3.1　素地調整 …… 資-7

3.1.1　素地調整の意義 …… 資-7

3.1.2　素地調整の方法・程度 …… 資-7

3.1.3　素地調整の留意事項 …… 資-10

3.2　部材の角部の処理 …… 資-10

3.3　塗替え塗装 …… 資-10

3.3.1　塗替え塗装の方法 …… 資-10

3.3.2　塗替え塗装の範囲 …… 資-11

3.3.3　塗り重ね部の処理 …… 資-12

3.4　足場工 …… 資-13

４．　施工管理 …… 資-14

4.1　素地調整の施工管理 …… 資-14

4.2　塗替え塗装の施工管理 …… 資-14

4.3　部分塗替え塗装の記録 …… 資-14

4.4　塗装記録表 …… 資-15

１．総論

1.1　適用の範囲

本要領（案）は，塗装による防食が施された道路橋の鋼部材を対象とした部分塗替え塗装に適用できる。

【解説】

本要領（案）では，既往の点検結果や現状を踏まえて，将来的な予測や経済性等から道路橋の鋼部材のある範囲について部分的に塗装の塗替えを実施し防食機能の是正･改善を行うことが適当と判断された場合に実施される塗替え塗装を対象としている。

鋼道路橋塗装・防食便覧（(社）日本道路協会，平成 17 年 12 月（以下「塗装・防食便覧」という。)）の第Ⅱ編塗装編「第 7 章　塗替え塗装」では，塗替え塗装の一般的な留意事項等が示されているものの,部分的に劣化が著しい狭隘部等の部分的な塗装塗替えに特化したものとはなっていない。

このため，部分塗替え塗装を行うにあたっては，本要領（案）に基づき，個々の条件に応じて部分塗替え塗装の目的が達成されるよう十分な検討を行う必要がある。

本要領（案）は，主として道路橋のうち鋼橋を対象に検討されたものであり，鋼製の上部構造や鋼製橋脚等の鋼部材（以下「鋼橋等」という。）に適用することができる。

1.2　目的

部分塗替え塗装は，部分的に劣化が進行した部材・部位を塗替えることにより，塗膜全体の防食機能の維持と腐食の進行防止を図ることを目的とする。

【解説】

鋼橋等における塗装の防せい効果は，塗膜の劣化に伴って低下する。そのため，塗装による防食が行われる場合,劣化した塗膜の機能を回復することで防せい効果の回復や維持を目的として塗替え塗装が行われることがある。

塗膜は，種々の要因により一般には一様に劣化せず，限られた範囲で劣化が進行することが多い（写真-解1.1参照)。過去の調査事例によっても，鋼橋等における一般塗装（A,B,a,b 塗装系)，耐候性鋼材，溶融亜鉛めっき，金属溶射による防食機能の劣化が著しい部位は，水回りが集中する桁端部など狭隘な空間に集中している。[1),2)]

一方，そのような場合に，塗膜の劣化が他の部材や部位等に広範囲に拡がって全面的な塗替えを行うべき状態となるまで放置しようとすると,その限られた範囲で腐食が顕著に進展し，橋の安全性の低下を招くなど重大な影響を及ぼす危険性がある。これは，塗膜が劣化する速さが塗膜の防せい機能の強さと架橋環境における腐食因子の影響の大きさから決まるために，全面的な劣化や腐食の進行速度は一般に遅く，塗膜劣化が生じ始めてから短時間で構造物に重大な悪影響を及ぼす状態となることは少ない一方，部分的な劣化や腐食は，金属表面の状態の不均一あるいは環境の不均一によって特定の部材又は部位に集中して生じる現象であり,腐食箇所が弱点部に固定化されるため腐食速度が全面腐食に比べて著しく増大

することによる。

一般に，腐食による損傷が問題となるのはこうした部分的な集中腐食であり，腐食箇所が深くえぐれた状態となるなど鋼部材の断面減少量が全面的な腐食の場合より大きなものとなるその場合，補修に要する費用が多額となることや，補修時の交通規制など社会に与える影響も多大なものとなる可能性が高い。また，部分的な塗膜の劣化が進行している時点で，全面塗替えによって比較的健全な塗膜まで除去してしまうことも，維持管理コストや環境負荷の観点からは望ましいことではない。

以上のような背景から，本要領（案）の策定は，腐食の著しい部材又は部位のみを対象にして，品質の高い小規模の塗装が行える部分塗替え塗装を実現することで橋全体の健全性を合理的に保持するとともに，橋の長寿命化にもつながることを意図している。

写真-解 1.1　桁端部の部分的な腐食事例

1.3　用語の定義

(1)　部分塗替え塗装

特定の部材又は部位の劣化が著しい場合に，その箇所を塗替えることをいう。

(2)　全面塗替え塗装

橋全体又は一部の区間の劣化が著しい場合に，その範囲を塗替えることをいう。

(3)　このほか，本要領（案）で使用する用語は，鋼道路橋塗装・防食便覧（（社）日本道路協会，平成 17 年 12 月）によるものとする。

【解説】

(1)　ここでいう特定の部材又は部位とは，橋全体に対する一部の部材，あるいは主げたのようなある規模の部材の桁端部や連結部，下フランジの下面等の一部の部位や添接板等の小規模の部材など，それらを含む同様の塗装による防食塗装が施されたある拡がりをもった範囲や規模の部位や部材全体に対して限定された範囲を指している。そのため，橋の構造や部材の種類によって特定の部材又は部位の大きさや範囲については必ずしも同じというわけではない。

(2)　一部の区間とは，ここでは単一又は複数の径間，あるいは主げた全体など塗替え塗装の作業範囲としてある一定規模以上の範囲からなる全体を対象とする場合を指す。

1.4　計画における留意点

部分塗替え塗装は，既往の定期点検や現地調査等の結果，及び当該橋の今後の維持管理計画等も考慮して，合理的なものとなるよう適切に計画するものとする。

【解説】

部分塗替え塗装を計画する際は，事前に塗膜等の劣化状況を確認し，その有効性を検討する必要がある。そのため，過去の橋梁定期点検結果から防食機能の劣化や腐食についての損傷状況の整理を行うだけでなく，過去の補修塗装の履歴など当該橋の腐食環境等の防食に関する各種の資料を参考にし，また現地調査により現況や腐食環境を直接確認するなど，できるだけ情報を入手して計画に反映する必要がある。計画にあたっての検討フローを図-解1.1に示す。なお，このフローは基本的に全面塗替えの場合にも共通するものである。

また，フローには示されていないが，単に技術的に部分塗装が可能かどうかとは別に，部分塗替え塗装とするか全面塗替え塗装とするかは，対象とする鋼構造物の架橋環境や橋梁台帳等に記載の塗替え履歴，橋梁定期点検結果から得られる損傷の程度，さらには当該部位及び他の部位の今後の塗替え予定など当該橋の今後の維持管理計画について分かっている範囲で考慮し，全体として経済的で合理的な計画となるよう検討するのがよい。塗装・防食便覧においても長期的な維持管理費を算出するなどにより経済的な塗替え方式を採用するべきことが示されている。

橋梁定期点検結果や現地調査等から損傷原因が明らかとなった場合には，部分塗替え塗装の実施に先立ってその原因を排除することが肝要である。特に，漏水や滞水は塗膜等の劣化に大きく影響を与えるため，これらが局部的な腐食の原因と考えられるときはこれらの腐食環境を改善した上で部分塗替え塗装を行う必要がある。また，部分塗替え塗装の実施の有無にかかわらず塗装への悪影響が懸念される漏水や滞水を確認した場合には，速やかにこれを是正するなどの対処を行うことが望ましい。例えば，床版や伸縮装置部，排水管等からの漏水や，箱げた内部，橋台橋脚上の土砂の堆積による滞水，雨水等の橋台上面やパラペット部からの跳ね返り等による影響が多く見られる。これらについては，点検その他の機会に清掃を実施したり必要に応じて構造を改善するなど速やかに原因を取り除くことが防食機能の維持には有効である。一方，腐食が既に進行している場合には，耐荷力等の橋の機能に問題が生じていないかどうかの検討を行い，必要に応じて補修や補強等の適切な処置を講ずる必要がある。

部分塗替え塗装では，本要領（案）2.1に示すとおり旧塗膜と新塗膜との塗り重ね部が設けられる。しかし，この塗り重ね部は防食上の弱点となりやすいことから，部分塗替え塗装の範囲の設定にあたっては，できる限り環境が良好なところまで範囲を拡げたり，あるいはまた塗膜劣化のない部位まで拡げるなど塗装品質の確保に十分配慮する必要がある。

さらに，旧塗膜と新塗膜とでは色調や光沢，汚れの程度等に相違が生じるため，特に景観や美観上配慮する必要がある場合は，計画段階でこの点にも留意する必要がある。

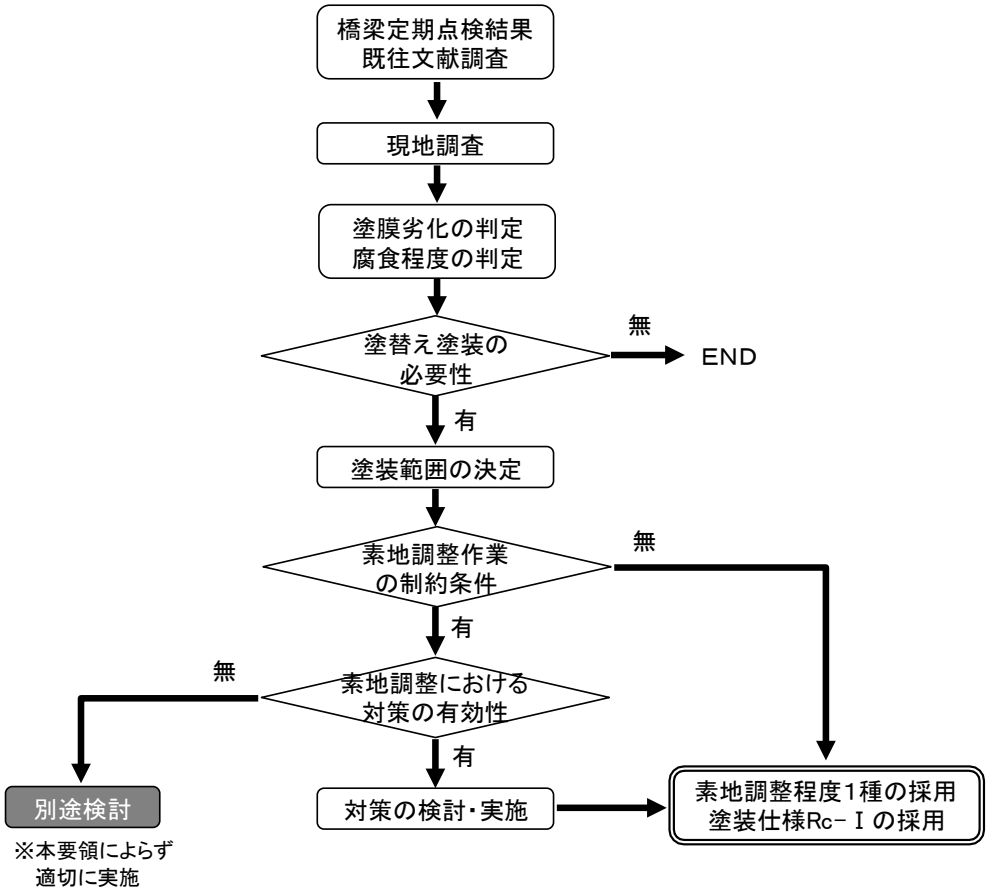


図-解 1.1　部分塗替え塗装の検討フロー

【参考文献】

1) 玉越隆史，中洲啓太他：鋼道路橋の局部腐食に関する調査研究，国土技術政策総合研究所資料第 294 号，2006.1

2) 玉越隆史，小林寛他：道路橋の健全度に関する基礎的調査に関する研究，国土技術政策総合研究所資料第 381 号，2007.4

２．塗装仕様

2.1　塗替え塗装仕様

部分塗替え塗装に用いる塗装仕様は，(1)及び(2)の規定によるものとし，旧塗膜との組み合わせを十分に考慮して選定しなければならない。

(1)　部分塗替え塗装仕様は，塗膜の耐久性を考慮し決定するものとする。

(2)　塗替え塗装による新塗膜と旧塗膜との境界部には，塗り重ね部を設けるものとする。

【解説】

(1)　部分塗替え塗装は，本要領（案）1.2 に示すとおり部分的に劣化が進行した部材又は部位に施工するものである。しかし，塗装の劣化は漏水や結露等の要因により，桁端部等において特に顕著となり，防せい防食の点から維持管理上の最大の弱点となりうる箇所である。また，これらの部位は狭隘な空間である場合が多く，素地調整や塗装作業の施工環境が厳しく作業効率も大きく劣る箇所でもある。このような箇所で頻繁に塗替えを繰り返すことは，不経済になる場合があるばかりか，素地調整による騒音の発生，足場架設に伴う交通規制など塗替え工事に伴う社会的な影響の観点からも問題となりうる。これらを踏まえると，部分塗替え塗装には，原則として耐久性に優れる重防食塗装系を採用するのがよい。

さらに，耐久性や信頼性の観点から旧塗膜がＡ塗装系，Ｂ塗装系等の一般塗装系である場合は，塗装・防食便覧に示される Rc-I 塗装系に準拠し表-解 2.1 の仕様によることを原則とする。なお，Ｃ塗装系又は耐候性鋼材，溶融亜鉛めっき，金属溶射については，別途検討が必要である。

表-解 2.1　Ｒｃ－Ｉ塗装系（スプレー）[1)]

塗装工程	塗料名	使用量 (g/㎡)	塗装間隔
素地調整	1 種		4 時間以内
下塗	有機ジンクリッチペイント	600	1 日～10 日
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	240	1 日～10 日
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	240	1 日～10 日
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	170	1 日～10 日
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	140	

(2)　部分塗替え塗装を行った場合，旧塗膜と新塗膜の境界部は腐食因子等が侵入して弱点となりやすい。そのため，素地調整によって露出した鋼材面への塗り残し等の施工不良を回避するために必ず新旧塗膜の塗り重ね部を設けるものとする。

ただし，塗料の組み合わせが適切でないと，塗り重ね部において塗膜間の密着不良を生じたり，溶剤の影響で下層の塗膜が膨張してしわになることもあるため，塗装仕様を決定する際に十分な検討が必要である。なお，Ａ塗装系の旧塗膜の上に表-解 2.1 に示す

ジンクリッチペイントを塗付した場合では，平成 18 年度に国土技術政策総合研究所において実施された施工性評価試験[2]（以下「施工性評価試験」という。）により，新旧塗膜の塗り重ね部で概ね付着不良が無かったことが確認されている。

【参考文献】

1）（社）日本道路協会：鋼道路橋塗装・防食便覧　平成 17 年 12 月

2）玉越隆史，市川明広他：鋼橋の部分塗装補修に関する検討，国土技術政策総合研究所年報　平成 18 年度，2007.3

３．施工

3.1　素地調整

3.1.1　素地調整の意義

素地調整は，塗膜の耐久性を左右する大きな要因であるため適切に行わなければならない。

【解説】

清浄な塗面に塗付した塗料は,付着性を低下させる要因がないため良好な防せい機能を発揮する。一方で素地調整が適切になされないと塗膜の耐久性は大きく損なわれる。したがって，塗料を塗付する場合は，鋼材面・塗膜面を問わず被塗面上のさび，劣化塗膜，汚れ，粉化物，水等を除去し，適度に粗にする素地調整の作業が極めて重要なものとなる。

3.1.2　素地調整の方法・程度

素地調整は，素地調整程度１種を原則とし，作業の制約条件等を考慮のうえ適切な方法を選択するものとする。

【解説】

部分塗替え塗装を行う際の塗装仕様は,耐久性を考慮して下塗にジンクリッチペイントを塗付する重防食塗装系が原則である。ジンクリッチペイントは，適切な素地調整がなされれば良好な防食性能を発揮することが既往の促進試験でも確認されており[1)]，本要領（案）では，素地調整はブラスト法により素地調整程度１種，ISO Sa2$^{1}/_{2}$相当以上（表-解 3.1 参照）に仕上げることを原則とする。

高力ボルト接合部や凹凸のある箇所に対してブラスト法による素地調整を行った場合は，研削材が直接打撃されない部材凸部の陰の部分や隅角部等でさびや劣化塗膜が残存する可能性が高く特に注意を払う必要があり，このような部材又は部位に対しては，機械工具を併用するなどによって仕上げを行い,残存塗膜やさびを確実に除去する必要がある（図-解 3.1，図-解 3.2 参照)。

ブラスト法で用いる研削材には，ショット・グリッド鋼砕・ガーネット等の種類があり，研掃度及び作業効率，周辺環境及び作業環境への影響，産業廃棄物又はリサイクル処理，並びに経済性等を考慮のうえ適切な研削材を選定するのがよい。

鋼橋等において部分塗替え塗装を計画する箇所は,腐食環境に劣る桁端部など狭隘な空間が少なくない。そのような箇所では，補剛材・対傾構・横構・支承等の各部材が複雑に組み合わさっており,それらの素地調整は十分な作業空間を確保できないなど困難を伴う場合がある。そのため，素地調整の方法は，対象とする箇所の作業性や作業効率等も考慮のうえ適切に選択する必要がある。素地調整の方法の選択にあたっては，表-解 3.2 に示す素地調整工法別の性能比較を参考にして検討するとよい。

なお,十分な作業空間を確保できない箇所や塗膜が厚い部材又は部位等においては一般的な箇所での施工よりも作業効率が劣ることから，このような場合も含め，効率的な施工を行

うためにブラスト法による素地調整の前処理として機械工具や塗膜はく離剤の併用を検討するとよい。塗膜はく離剤の使用にあたっては，事前にはく離性能や有害物質の混入の有無等を確認しておく必要がある。

表-解 3.1　除せい度（JIS Z 0313 :2004）

除せい度	鋼材表面の状態
Sa 1	拡大鏡なしで，表面には，弱く付着*1したミルスケール，さび，塗膜，異物，目に見える油，グリース及び泥土がない。
Sa 2	拡大鏡なしで，表面には，ほとんどのミルスケール，さび，塗膜，異物，目に見える油，グリース及び泥土がない。残存する汚れのすべては，固着*2している。
Sa 2 $^{1}/_{2}$	拡大鏡なしで，表面には，目に見えるミルスケール，さび，塗膜，異物，油，グリース及び泥土がない。残存するすべての汚れは，そのこん跡がはん(斑)点又はすじ状のわずかな染みだけとなって認められる程度である。
Sa 3	拡大鏡なしで，表面には，目に見えるミルスケール，さび，塗膜，異物，油，グリース及び泥土がなく，均一な金属色を呈している。

注*1 刃のついていないパテナイフで，はく離させることができる程度の付着。
*2 刃のついていないパテナイフでは，はく離させることができない程度の付着。

施工状況

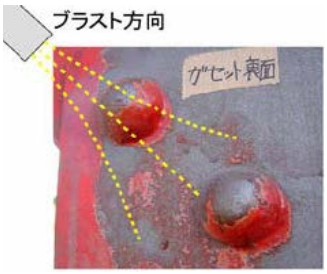
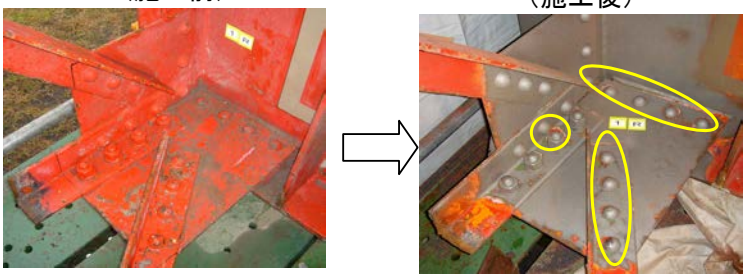


図-解 3.1　ブラスト法
（オープンブラスト）

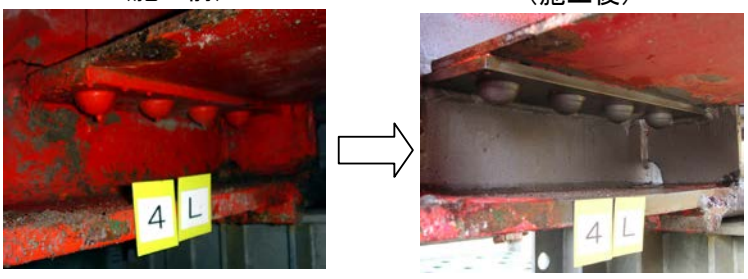
（施工前）　（施工後）



（※囲み部の塗膜が残存）

（a）ブラストによる仕上げ

（施工前）　（施工後）



（※残存塗膜の除去が可能）

（b）ブラスト＋機械工具による仕上げ

図-解 3.2　素地調整方法と仕上がり状態

表-解3.2　素地調整工法別の性能比較

項　目		オープンブラスト	バキュームブラスト	機械工具
一般的な施工性				
除せい度		◎ ISO Sa2 1/2，あるいは ISO Sa3 が可能 	◎ ISO Sa2 1/2，あるいは ISO Sa3 が可能 	△ ISO St2，あるいは ISO St3 程度が可能[2)] ただし，
作業効率		研削材の回収を同時に行わないため，作業効率が良い。ただし，研削材の回収，補給の工程を別途必要とする。	ウェブなど平面への施工性は良い。ただし，塗膜が厚い場合は，研削材の噴射力がオープンブラストより弱く作業効率は劣る。 また，フランジや板厚方向面などに対しては，特殊なノズルを使用する。	除せい度の程度によって異なる。 固着さび（さび塊）の除去が容易に可能。
周辺環境への影響	（粉塵）	△ 研削材の種類や養生による	○	○
	（騒音）	△ 養生が必要	△	△ 工具の種類による
	（汚染）	△ 研削材や塗膜ダストの飛散防止が必要	○	△ 塗膜ダストの飛散防止が必要
狭隘部への施工性				
除せい度		◎ 施工対象部分が目視確認できれば，ISO Sa2 1/2相当の除せい度が確保できる。 ただし，ボルト頭，部材材片，隅角部などでは，十分に除去できない可能性がある。	◎ バキュームノズルが設置できる空間が確保されれば，ISO Sa2 1/2相当の除せい度が確保できる。 ただし，ボルト頭，部材材片，隅角部などでは，十分に除去できない可能性があり，専用の治具を必要とする。	△ ブラストによって除去できないようなボルト頭周辺，板厚方向面など，狭い範囲での施工に有利である。ただし，時間を要しても，ISO Sa2 1/2相当の除せい度を確保するのは難しい。
作業性		オープンスペースで作業を行うため，作業姿勢は良い。 研削材や粉塵が噴出するため，作業環境はバキュームブ	バキュームノズルが設置できる空間が確保されれば，作業性は良い。	機械工具が設置できる空間が確保されれば，ある程度の作業性は得られる。
作業効率		凹凸部分が多い狭隘部で，かつ，施工面積が広い場合は有利である。	狭隘部でも必ずしも作業効率は悪くない。 ただし，施工面積が広い場合や塗膜が厚い場合では，作業量も増大し効率は劣る。	ブラストによって除去できないような箇所では有利である。

3.1.3　素地調整の留意事項

素地調整作業の実施にあたっては，周辺環境に配慮するものとする。

【解説】

オープンブラストにより素地調整を行う際,研削材そのものや旧塗膜粉等の粉塵が相当の範囲で飛散することが予想される。これらの対応策として，対象範囲をシートで覆うなどして周辺環境の保持に努める必要がある。このとき注意が必要なこととして，シートの継ぎ目部等から粉塵が外部に飛散する可能性があるため,目張り等を施し飛散防止を図らなければならない。また，ブラスト処理後４時間以内に塗装しなくてはならないため，塗膜ダストを集塵機で強制的に除去する必要がある。なお，素地調整工法には研削材の飛散防止を図ることのできるバキュームブラスト等もあり（表-解 3.2 参照），最近では，ノズルが届きにくい極小部や歪曲部にも対応できる特殊な治具の開発も進められているため,素地調整の部位によっては併せて検討するとよい。

ブラスト作業時には,鋼部材に研削材が衝突することにより激しい騒音が発生することから，特に市街地や家屋の近傍での施工はもとより，周辺環境等にも配慮し，適切な防音対策を図るなど事前に計画しておく必要がある。

3.2　部材の角部の処理

対象とする部材の角部に面取りや曲面仕上げが行われていない場合は，塗替え塗装時に膜厚が確保されるよう角部の処置を行うものとする。

【解説】

部材の角部がガス切断や切削仕上げにより鋭いエッジになっていると，塗料が十分に付着せず塗膜が薄くなり，早期にさびを生じやすくなる。

通常，２Ｒ以上の面取りを行って曲面仕上げとすることで，一般部と同等の塗膜厚が得られるので専用加工機やグラインダー等による曲面仕上げを行うとともに，その部分だけ先行塗装を行うのがよい（図-解 3.3 参照）。

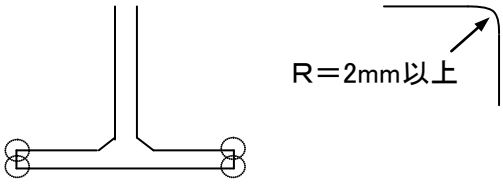


図-解 3.3　角部の曲面仕上げの例

3.3　塗替え塗装

3.3.1　塗替え塗装の方法

塗替え塗装は，スプレーにより塗付することを基本とする。ただし，作業性等の制約条件からスプレーによる塗装が適切に行えない場合には，事前に十分な検討を行い適切な施工が行えることを確認した上ではけ塗りやローラー塗りによる施工も行うことができる。

【解説】

本要領（案）の表-解 2.1 に示すとおり塗替え塗装はスプレーにより塗付することを基本とするものの,比較的施工量が少ない範囲又はトラス橋の格点部など狭隘な構造部位に対し

てスプレーミストの周辺への飛散防止処置に多大な費用がかかる場合は,はけ塗りやローラー塗りによる場合と作業効率性や経済性について比較検討し,適切な工法を選択するとよい。

検討の結果，はけ塗りやローラー塗りで施工する場合には，良好な施工品質の塗膜が得られるよう事前に施工方法や条件について十分な検討を行うとともに適切な方法で施工することが必要である。

3.3.2　塗替え塗装の範囲

(1) 塗装の範囲は，維持管理を考慮して決定するものとする。
(2) 桁端部を対象とする場合は，腐食環境に配慮し橋座面上を塗装の最小範囲とする。

【解説】

(1) 重防食塗装系でない一般塗装系で，塗膜劣化箇所が点在するなどそれぞれの面積が小さい場合に，タッチアップ塗装*1のような施工をすることは品質確保上好ましくない。また，そのような点在箇所を施工した場合には，他の部位と分別して維持管理していくことが困難であることから，将来の維持管理を考慮してある範囲をまとめて塗替えるのが望ましい（図-解 3.4 参照)。

ただし，構造上連続性がとぎれるなどの理由から，塗装範囲をまとめることが困難な場合や，このような施工を行うことが著しく不経済となる場合等において，部材単位や構造単位，あるいは塗膜劣化部分のみを対象に部分塗替え塗装を行うことを妨げるものではない。

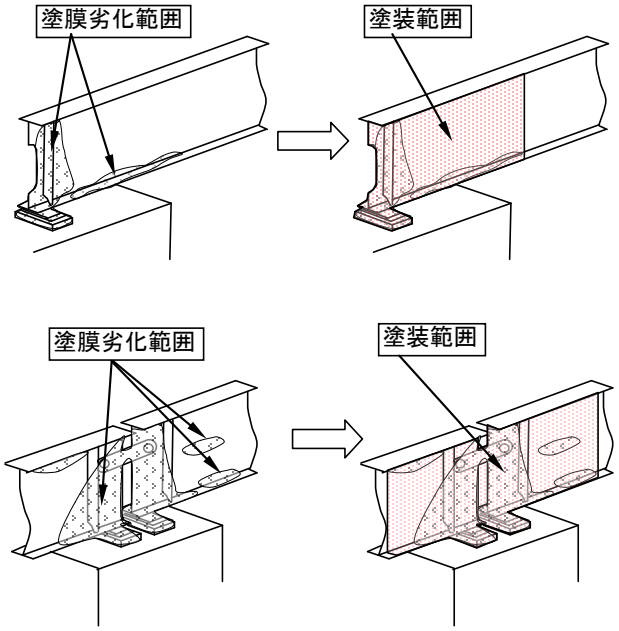


図-解 3.4　劣化部位に応じた塗装範囲の決定例

注*1 塗膜が鋼げた部材の製作，運搬，架設の過程で局部的に損傷することは避けられない。また，現地での塗装に際し作業足場や防護工の撤去時にも損傷することが多い。これらの損傷部は適宜はけ塗りで補修を行うが，この局部補修塗りを一般には「タッチアップ塗装」と呼んでいる。（(社)日本道路協会，鋼道路橋塗装便覧，1979.2)

(2) 桁端部は，通気性が悪く，また，構造物の連続性が途切れる部位であり，路面排水処理の不備や伸縮装置の漏水等により桁が長期間に渡って湿潤状態になるなど，最も厳しい環境下に曝される箇所でもある。したがって，桁端部における部分塗替え塗装の範囲は橋座面上を最小範囲とする（図-解 3.5(a)参照)。また，地形等の特徴から桁下空間が確保されず，風通しが悪いなど良好な環境が望めない範囲についても塗替え対象に含めるのが望ましい（図-解 3.5(b)参照)。

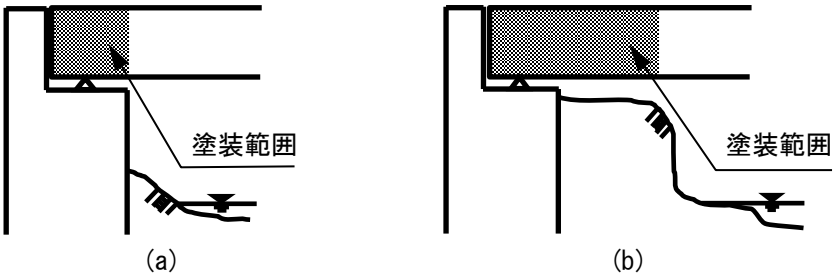


図-解 3.5　部分塗替え塗装の範囲（桁端部）

3.3.3　塗り重ね部の処理

部分塗替え塗装による新旧塗膜の塗り重ね部は，塗膜の付着性に配慮して，良好な品質が確保されるように処理するものとする。

【解説】

部分塗替え塗装では，本要領（案）2.1(2)に示すとおり新塗膜と旧塗膜との境界部に塗り重ね部を設け，鋼材面が露出して弱点部が生じないことに配慮している。図-解 3.6 は旧塗膜の塗装仕様がＡ塗装系である場合の処理を示したものである。これがＢ塗装系の場合は，新旧塗膜の付着性に配慮して塩化ゴム系塗膜に弱溶剤変性エポキシ樹脂塗料を一層塗付し，その上にジンクリッチペイントをブラスト部分から塗り重ねるなどの工夫を検討するのがよい。その場合，付着性に問題のないことを小面積で事前に確認しておくことが望ましい。

新塗膜と旧塗膜の塗り重ね部の範囲は，過度に広げる必要はなく 50㎜ 程度設ければよい。また，ジンクリッチペイントと旧塗膜との重ね幅は 10 ㎜程度を設けることでよい。

本要領(案)では，塗り重ね部の旧塗膜が概ね良好な状態である場合を想定しており，この場合，塗膜表面に付着した汚れ等が除去できれば十分であることから処理は素地調整程度４種でよい。

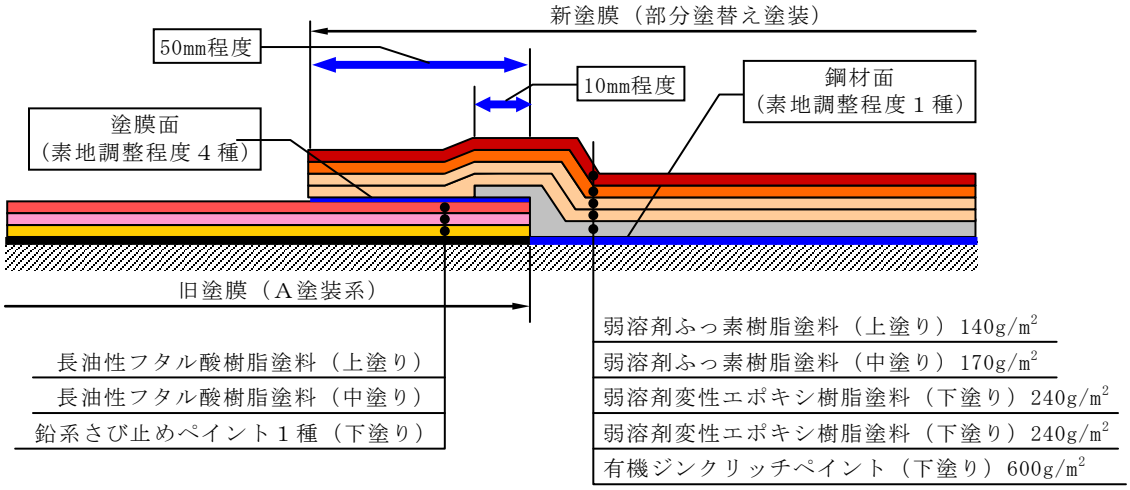


図-解 3.6　新旧塗膜の塗り重ね部の処理（旧塗膜がＡ塗装系の場合）

3.4　足場工

部分塗替え塗装用の足場は，施工範囲に応じて適切に設置するものとする

【解説】

部分塗替え塗装を行う際の足場は，部分塗替え塗装の意義からも施工範囲に応じて適切な塗装が行えるのに過不足なく経済的になるように，例えば橋梁点検車や簡易な移動足場，あるいは桁下空間の利用が可能な場合は高所作業車の利用も検討するのがよい。

【参考文献】
1）山本，後藤，藤代，守屋：鋼構造物塗替塗装の性能規定化に関する検討，第 30 回鉄構塗装技術討論会，2007
2）(社)日本道路協会：鋼道路橋塗装便覧　平成 2 年 6 月，p. 54

４．施工管理

4.1　素地調整の施工管理

塗付作業前に，素地調整の仕上がり状態の確認を行うものとする。

【解説】

素地調整は，塗替え塗装の中で最も重要な工程であるため，十分に管理する必要がある。塗料を塗付する面にさび・黒皮・付着物等があると，塗料の付着が阻害されたり塗膜欠陥を生じさせたりするおそれがあるため，塗付作業の前に素地調整が適切に行われていることを確認する必要がある。確認にあたっては，本要領（案）の表-解 3.1 に示す除せい度のほか鋼道路橋塗装便覧（(社)日本道路協会，平成 2 年 6 月）や国際標準規格（ISO8501-1）等の写真が参考となる。

ブラスト法により素地調整を行った場合は，黒皮やさびが完全に除去され鋼材面が露出した状態になっていることを確認する必要がある。このとき，狭隘な空間等で対象部位を直接目視できない場合などは，ミラーを用いて確認するなど工夫するのがよい（写真-解 4.1 参照）。

写真-解 4.1　ミラーを用いた確認の例

4.2　塗替え塗装の施工管理

塗付作業時に，塗料使用量や塗膜厚の確認を行うものとする。

【解説】

塗膜は，塗装の防せい効果と耐久性に大きく影響するため，適切な厚さとなるよう管理することが必要である。しかし，鋼材腐食が著しく進行している部材又は部位を対象に塗替え塗装を行う場合は，鋼材表面の凹凸により塗膜厚を正確に測定できず一律に管理することが難しい場合もある。その場合には，本要領（案）の表-解 2.1 に示す塗装使用量によるほかウェットフィルムゲージでウェット塗膜厚を測定し管理の目安とするのがよい。

4.3　部分塗替え塗装の記録

部分塗替え塗装完了後，施工に関する情報を電子媒体に記録し，適切に保管しておかなければならない。

【解説】

現行の橋梁台帳や橋梁管理カルテでは，部分塗替え塗装に関して将来の維持管理に必要な情報の全てが記載される様式とはなっていない。一方，塗装範囲（部位）及びその図面，素地調整程度（方法），塗装年月日，塗替え塗装系，塗料名称，塗装前後の写真等の情報は，以後の点検や塗装において参考となる基礎的な情報であるため確実に記録し，散逸しないよう保管しておく必要がある。本要領(案)では，これらの記録の活用しやすさにも配慮して電

子媒体への記録とした。表-解 4.1 に部分塗替え塗装の記録様式の例を示す。

なお,これらの記録のうち必要な事項については橋梁台帳や橋梁カルテにも反映させる必要がある。また，補修等の処置を講じた場合にも，それらに関する情報は別途適切に記録・保管することが重要である。

表-解 4.1　部分塗替え塗装の記録様式

塗　装　範　囲		
素地調整程度		
塗装年月日		
下　塗　塗　料		
中　塗　塗　料		
上　塗　塗　料		
上塗色(番号)		
特記・備考欄		
写真	施工前	施工後
	写真貼付	写真貼付

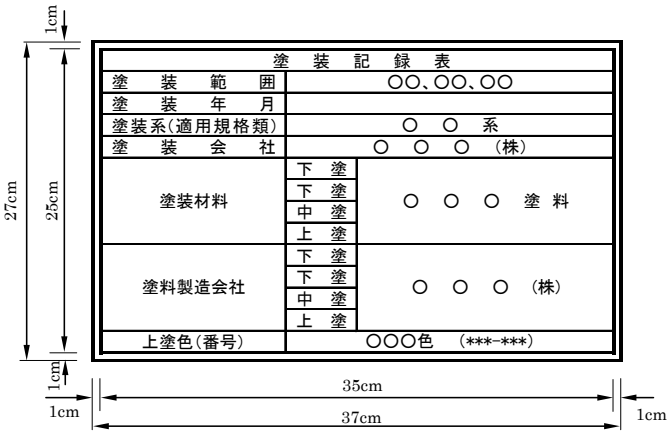
4.4　塗装記録表

部分塗替え塗装完了後，主げた端部の腹板等の見やすい位置に塗装記録表を残すことを原則とし，将来の維持管理に最低限必要な事項を記載するものとする。

【解説】

塗装記録表には，以後の点検や塗替え塗装において参考とするため，部分塗替え塗装の塗装範囲，塗装年月，塗装系，塗装材料，上塗装色，塗料製造及び塗装施工会社名等を記載するものとする。なお，塗装記録表の寸法等については図-解 4.1 を参考にしてもよい。

塗装記録表は，図-解 4.2 のようにけた端部の腹板等にペイント又は塩ビ系のシートで表示し，退色の



注）塗装材料は，商品名ではなく，一般名称で記載するものとする。

図-解 4.1　塗装記録表の例

生じにくい白色又は黒色を用いるのがよい。このとき，旧塗膜の塗装記録表が塗替え塗装により消去されてしまった場合には，新塗膜の塗装記録表の直近に復元するものとする。

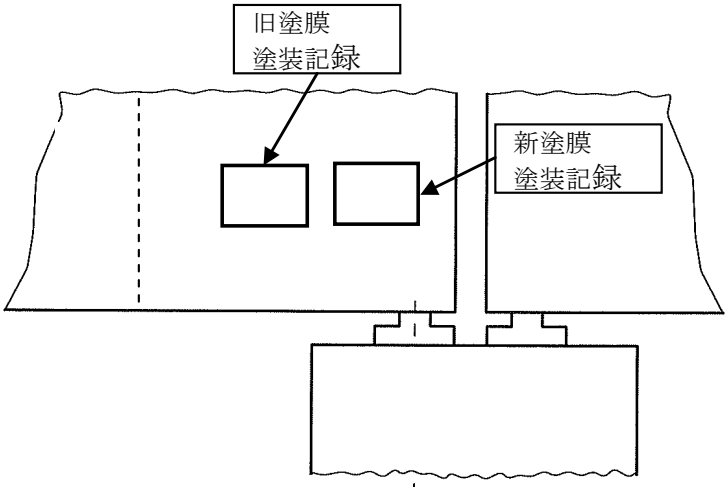


図-解 4.2　塗装範囲・塗装記録表の表示（桁端部を塗替えた場合）

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of N I L I M
N o. 684　　April 2012
編集・発行　国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは
〒305-0804　茨城県つくば市旭一番地
企画部研究評価・推進課　PHONE 029-864-2675