

ブラスト素地調整施工時における 現状の問題と今後の課題

池田工業株式会社
池田龍哉

1. 緒言

国際的に様々な素地調整方法が確立されており、中でもブラスト素地調整技術は経験的に最も塗膜の耐久性を期待できる素地調整方法として認識されている。
日本においても鋼道路橋塗装・防食便覧に記載されるなど橋梁の長寿命化工事において一般化しつつあり、エポキシシンク塗装システムには欠かせない素地調整方法である。
また、剥離対象である旧塗膜に鉛・PCB・クロムなどの有害物質が含まれている場合、ブラスト作業など剥離素地調整時に有害物質含有旧塗膜が微細粉塵となり作業員に対する健康被害が危惧される為、様々な剥離工法との併用も進みつつある。
しかし、ブラスト素地調整における最も基本的な品質管理上の問題によって本来得られるはずの防食性能が発揮されていない事例が見られる。
ブラスト素地調整に関して最も影響を与えると考えられる4つの事柄について現状の問題と原因及び今後の課題について日本と同じく橋梁防食にエポキシシンクシステムを採用している米国の事例を用い概説する。

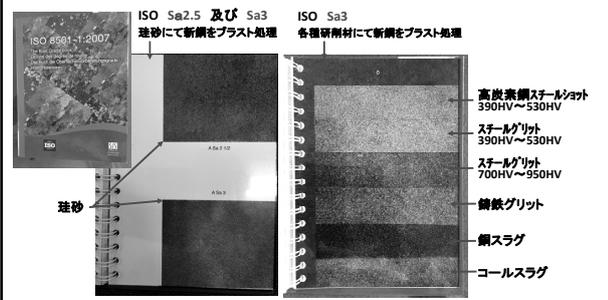
2. 今起きているブラスト素地調整の品質管理上の問題

- 2-1 除錆度に起因した品質管理問題と課題
- 2-2 表面粗さに起因した品質管理問題と課題
- 2-3 素地調整施工困難部位について
- 2-4 業者認定及び個人資格(インスペクターなど)の運用について

2-1 除錆度に起因した品質管理問題と原因

- 問題**
所定の除錆度(清浄度)が得られていない事に起因した塗膜欠陥が起きやすい
- 原因**
- ・除錆度(清浄度)のビジュアル判定は定性的で実技訓練制度がない為、判定がそれぞれの立場で我流で行われている
 - ・ISO8501-1のビジュアルブックが珪砂で無塗装鋼を素地調整した写真の為、判定が難しい

2-1 研削材の違いによるビジュアルの変化



2-2 表面粗さに起因した品質問題と原因

- 問題**
- ・粗さが十分でなく塗膜の付着力不足により塗膜欠陥を起こしやすい
 - ・最大粗さの管理が不十分で塗膜欠陥を起こしやすい
- 原因**
- ・除錆度と同様にビジュアル判定の訓練が必要
 - ・触針式測定器は桁など鋼材の歪を拾いやすく精度に難がある
 - ・目標粗さ設定がない※Rzjis80μ以下の規定のみで最低値管理がない
 - ・表面粗さの管理要件がない発注が多い※一部発注者除く
 - ・粗さと塗装システム耐久性との相関関係が周知されていない

3. 米国における取り組み事例

3. 米国の取り組み事例 (1/2)

3-1 除錆度について

- 表面粗さ・清浄度のビジュアル判定を実技訓練する資格を運用
- 素地調整規格 (SP) が整理されており詳細が周知運用されている

3-2 表面粗さについて

- 目標粗さ指定を行う(一般的に橋梁では50~60μ)
- 表面粗さ・清浄度のビジュアル判定を実技訓練する資格を運用

3. 米国の取り組み事例 (2/2)

3-3 施工困難部位について

→代表的な部位を特定し(マニュアルによる汎用部位指定、発注書に明記) 施工方法を検討する

→工事毎に施工前検討会議(発注者側エンジニア・設計者・受注者・施工者)を行っている

3-4 施工業者(会社・個人)の認定(資格)基準が無い

→個人資格と運動した会社認定制度(QP)が整備されており発注者が受注・施工業者を選択しやすい環境にある。

3-5 米国の最新事情

3-6 米国の取り組み事例まとめ

3-1 SP (Surface Preparation) 素地調整規格

- SP 1、「溶剤洗浄」
- SP 2、「手工具クリーニング」 = ISO S12
- SP 3、「電動工具クリーニング」 = ISO S13
- SP 4、「新しい鋼の光クリーニング」 → 廃止
- SP 5、「ホワイトメタル プラストクリーニング」 = ISO Sa3
- SP 6、「コマmercial プラストクリーニング」 = ISO Sa2
- SP 7、「ブラッシュオフ プラストクリーニング」 = ISO Sa1
- SP 8、「酸洗い」
- SP 9、「ウエザリングプラスト」 → 廃止
- SP 10、「ニアホワイト プラストクリーニング」 = ISO Sa2.5
- SP 11、「鋼素地への電動工具の清掃」 → プリストルプラスター
- SP 12、「塗装前のウオータージェットによる表面の準備と清掃」(廃止 → WJ1,2,3,4に移行)
- SP 14、「インダストリアル プラストクリーニング」
- SP 15、「コマmercial 電動工具クリーニング」
- SP 16、「塗装および未塗装の亜鉛メッキ鋼、ステンレス鋼および非鉄金属のブラッシュオフプラスト洗浄」
- SP WJ-1、「鋼素地への(ウオータージェット)洗浄」
- SP WJ-2、「非常に徹底的な(ウオータージェット)洗浄」
- SP WJ-3、「徹底的な(ウオータージェット)洗浄」
- SP WJ-4、「軽い(ウオータージェット)洗浄」



3-1 SP~素地調整規格に関連する事項

- その他のクリーニング方法
 - 1 化学剥離剤
 - 2 炭酸水素ナトリウム(重曹)プラスト洗浄
 - 3 プライアントメディア(スポンジ)プラスト
 - 4 二酸化炭素(ドライアイス)プラスト
 - 5 電気化学的剥離
 - 6 レーザー剥離
- コンセンサス参照写真(ビジュアルブック)
 - SSPC-VIS 1「乾式プラスト洗浄による鋼表面のガイドと参照写真」
 - SSPC-VIS 2「塗装された鋼表面の錆の程度を評価する標準的な方法」
 - SSPC-VIS 3「手工具と電動工具の清掃による鋼表面のガイドと参照写真」
 - SSPC-VIS 4「ウオータージェットで作成された鋼表面のガイドと参照写真」
 - SSPC-VIS 5「湿式砥粒プラスト洗浄による鋼表面のガイドと参照写真」



3-2 SP~素地調整規格に関連する事項

- 研削材、プラスト洗浄パラメータ、および装置の選択
 - ① 研磨特性
 - ② サーフエスプロファイルに影響を与える考慮事項
 - ③ 生産性に影響を与えるパラメータ
 - ④ 研磨タイプ
 - ⑤ プラスト機器
- SSPC研削材基準の概要
 - SSPC-AB 1「鉱物およびスラグ研削材」
 - SSPC-AB 2「リサイクルされたステールグリッドの清浄度」
 - SSPC-AB 3「ステールグリッド」
 - SSPC-AB 4「リサイクル可能なカプセル化研削材」(スポンジプラストメディア)
- 湿式プラストおよびウオータージェット洗浄方法
 - ① 水洗浄とウオータージェット洗浄(砥粒なし)
 - ② 湿式研磨プラスト洗浄
 - ③ 腐食防止剤および塩分除去剤

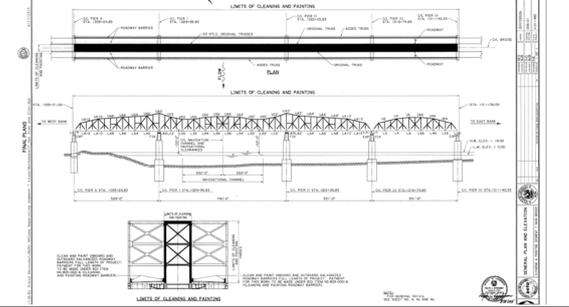


3-3米国ルイジアナ州THE HUEY P. LONG BRIDGE (鉄道橋)
塗り替え工事発注書より

8,076 feet (2,462 m) (road)
22,996 feet (7,009 m) (rail)



3-3発注図書: 全体図



3-3発注図書: 一部 CLEANING AND PAINTING GENERAL NOTES

3-3 CLEANING AND PAINTING GENERAL NOTES

1. SURFACE PREPARATION

2. CLEANING

3. PAINTING

4. QUALITY CONTROL

5. SAFETY

6. ENVIRONMENTAL PROTECTION

7. RECORDS

8. TRAINING

9. COMMUNICATIONS

10. INSPECTION

11. MATERIALS

12. EQUIPMENT

13. PERSONNEL

14. SCHEDULE

15. BUDGET

16. RISK MANAGEMENT

17. CONTRACT ADMINISTRATION

18. DISPUTE RESOLUTION

19. CLOSURE

20. POST-CLOSURE

3-3 CLEANING AND PAINTING GENERAL NOTES より
塩分除去と施工困難部位の特定及び施工法指示部の抜粋

• SURFACE PREPARATION

Deposits of dirt, debris, oil and grease are known to exist on the metalwork of this structure to be cleaned and painted and shall be removed in accordance with SSPC-SP1 SOLVENT CLEANING prior to abrasive blast cleaning. The contractor shall remove all caulking located on eyebar heads prior to pressure washing and blast cleaning. Only after pressure washing, conduct soluble salt tests as described in section 1.8.5 of the supplemental specification except that only chloride level testing shall be conducted. The contractor is warned and advised that pack rust has developed between BACK-TO-BACK angles of the members and at connections, seams and crevices between elements of the metalwork and that cleaning operations must remove all pack rust. The contractor shall be required to use needle guns, power tools, hammers, chisels, grinding wheels, die grinders or other devices in addition to blast cleaning to attempt to completely remove all corrosion products. A penetrating sealer is to be applied to all areas where unremoved crevice corrosion remains after all removal efforts have been made (as determined by the engineer).

• 表面処理

この構造物の金属工には、汚れ、破片、油およびグリースの堆積物が付着していることが知られており、研磨ブラスト洗浄の前にSSPC-SP1溶剤洗浄法に従って除去する必要があります。請負業者は、加圧水洗浄とブラストクリーニングの前に、アイバーのすべてのコーキングを掘り出し取り除くものとする。加圧水洗浄後のみ、クロライドレベル試験のみを実施する。それ以外は補充仕様の第1.8.5項に記載の可溶性塩試験を行う。請負業者は、部材の背合わせのアンクルと、金属ワークの要素間の接続部、縫い目および隙間との間にバック錆が発生しており、クリーニング作業によってすべてのバック錆が除去されなければならない。請負業者は、すべての腐食生成物を完全に除去するためにブラスト洗浄に加えて、ニードルガン、電動工具、ハンマー、チゼル、研削ホイール、ダイグラインダーまたは他の装置を使用する必要があります。徹底的な除去作業が行われた後に、除去されていない隙間腐食が残っているすべての領域(エンジニアが決定した通り)に浸透性シーラーを塗布する。

3-3CLEANING AND PAINTING GENERAL NOTES より
既存塗膜厚情報及び有害物質含有量情報(カドミウム・クロム・鉛)

EXISTING PAINT THICKNESS

NO.	DESCRIPTION	THICKNESS (MIL)	THICKNESS (MICRONS)
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

HAZARDOUS MATERIALS

NO.	DESCRIPTION	LEAD (PPM)	CHROMIUM (PPM)	CADMIUM (PPM)
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

1 mil = 25.4µm
50mil = 1270µm

3-4 QP (Qualification Procedures)会社を対象とした認証システムの種類

- QP1 重防食塗装業者の資格を評価
- QP2 有害物質含有塗膜除去塗装業者を評価
- QP3 工場塗装業者の資格を評価
- QP4 非塗装作業に関連した有害物質含有塗膜除去資格を評価
- QP5 コーティング及びライニング検査機関の認定基準を評価
- QP6 金属溶射業者の資格を評価
- QP7 限られた作業経験を有する塗装業者を評価
- QP8 コンクリート保護塗装業者の資格を評価
- QP9 建築塗装業者の資格を評価
- QN1 原子力関連塗装業者の資格を評価



3-4 個人を対象としたトレーニング & 認定プログラム

◎ 作業者トレーニング・認定プログラム ※一部抜粋

保護コーティングの基礎 (C1)
プラスト作業者プログラム (C7)
電動工具・ブラシ・ロール・ペイント・アプリケータ (C6) の表面処理および塗装アプリケーション
スプレー塗装プログラム (C12)
金属溶射スプレートレーニング
ウォータージェットプログラム (C13)
コーティングアプリケーションスペシャリスト認定プログラム (CAS)
鉛ペイント除去 (C3)
鉛ペイント除去再履修 (C5)
鉛ペイント作業安全 (労働者)



3-4 個人を対象としたトレーニング & 認定プログラム

◎ インспекタートレーニング・認定プログラム ※一部抜粋

ブリッジコーティングインスペクタプログラム (BCI Lv1,2,3)
封じ込め (密閉養生) の検査
検査計画と文書 (INSPEC PLAN)
マスターコーティングインスペクター証明書 (MCI)
工業用コーティングプロジェクトの計画と特定 (C2)
工業用塗装請負業者 (PRO MGMT) のプロジェクト管理
保護コーティングインスペクタプログラム (PCI Lv1,2,3)
保護コーティング専門家 (PCS) プログラム
品質管理監督者 (QCS)



3-5 CLEANING AND PAINTING GENERAL NOTES より
封じ込めに関する記述の抜粋

• CONTAINMENT

The contractor shall not be permitted to ventilate a containment or portion thereof through an area that has been previously coated. This is to prevent deposits of lead and dust on the freshly painted surfaces. Contractor will not be allowed to start work until all containment drawings and calculations are approved.

• 封じ込め (密閉養生)

請負業者は、以前に被覆された区域を通して封じ込めまたはその一部を換気することを許可されてはならない。これは、新しく塗装された表面に鉛や埃が堆積するのを防ぐためです。請負業者は、すべての封じ込めの図面と計算が承認されるまで、作業を開始することはできません。

3-5 封じ込め (密封養生) 状況

封じ込め (熱収縮シート)
外観朝顔部

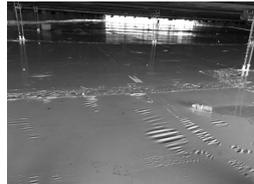


集塵ダクト及び
封じ込め (熱収縮シート) 朝顔内部区画



3-5 封じ込め (密封養生) 状況

床面養生・熱収縮シート

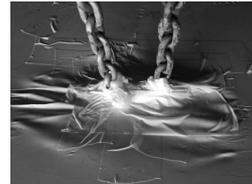


床面養生熱収縮シート 端部処理



3-5 封じ込め (密封養生) 状況

チェーン部除間処理



塗装後換気状況



3-5 封じ込め規格 Table A for Abrasive Blast Cleaning

TABLE A - ABRASIVE BLAST CLEANING
COMBINATIONS OF CONTAINMENT AND VENTILATION SYSTEM COMPONENTS

Containment Classification	Containment System							Ventilation (B or BSPC-Grade B)		
	5.3.1 Containment Materials	5.3.2 Penetrability	5.3.3 Support Structure	5.3.4 Joints	5.3.5 Entryway	5.4.1 Air Make-Up	5.4.2 Filtered Air Flow	5.4.3 Air Pressure	5.4.4 Air Movement	5.4.5 Exhaust Dust Filtration
Class 1A	A1 - Rigid A2 - Flexible	B1 - Air Impenetrable	C1 - Rigid C2 - Flexible	D1 - Full Seal	E1 - Airtight E2 - Removable E3 - Overlap	F1 - Controlled F 2 Open	G1 - Filtered G 2 - Natural	H1 - Subsonic Verification H2 - Visual Verification	I1 - Minimum Specified	J1 - Air Filtration
Class 2A	A1 - Rigid A2 - Flexible	B1 - Air Impenetrable	C1 - Rigid C2 - Flexible	D1 - Full Seal	E1 - Removable E2 - Overlap	F1 - Controlled F 2 Open	G1 - Filtered G 2 - Natural	H2 - Visual Verification	I1 - Minimum Specified	J1 - Air Filtration
Class 3A	A1 - Rigid A2 - Flexible	B1 - Air Impenetrable	C1 - Rigid C2 - Flexible	D1 - Full Seal	E1 - Overlap E2 - Fasten E3 - Seal	F1 - Controlled F 2 Open	G1 - Filtered G2 - Natural	H3 - Not Required	I2 - Not Specified	J1 - Air Filtration
Class 4A	A1 - Rigid A2 - Flexible	B1a - Air Penetrable B1b and B2b - Air Penetrable	C1 - Rigid C2 - Flexible C3 - Minimal	D1 - Full Seal D2 - Partial Seal	E4 - Open Seam E5 - Open Seam	F2 - Open	G2 - Natural G3 - Not Required	H3 - Not Required	I2 - Not Specified	J2 - Air Filtration on Exhaust

Note 1: The information in this table is provided for guidance only and does not guarantee that any specific levels of containment will be achieved by following the suggestions. The type of structure, entry conditions, components of the materials of construction, and many other factors play a role in containing dust and debris.

Note 2: The table occasionally identifies two options for a given component. For concrete, containment materials (5.3.1) are shown as being either rigid or flexible. If the specifier requires the use of rigid materials only, the specifier must be specified separately.

Note 3: The entryway suggestions in this table are based on the use of open doors. Other opening made containment can be made with doors. The considerations are similar but the proper design for just air control (pressure) must be specified separately.

Note 4: The degree of penetration in this table are based on the use of open doors. Other opening made containment can be made with doors. The considerations are similar but the proper design for just air control (pressure) must be specified separately.

Note 5: The degree of penetration in this table are based on the use of open doors. Other opening made containment can be made with doors. The considerations are similar but the proper design for just air control (pressure) must be specified separately.

Note 6: The degree of penetration in this table are based on the use of open doors. Other opening made containment can be made with doors. The considerations are similar but the proper design for just air control (pressure) must be specified separately.

Note 7: The degree of penetration in this table are based on the use of open doors. Other opening made containment can be made with doors. The considerations are similar but the proper design for just air control (pressure) must be specified separately.

Note 8: Certain combinations of components within each class may not be suitable when removing hazardous paints (e.g., leaded air input in combination with penetrable containment materials in Class 4A).

Note 9: When designing a ventilation system, care must be taken to balance the static pressure with the input airflow to avoid collapsing the containment due to high negative pressure.

Note 10: When vacuum abrasive blast cleaning is employed, ground covers under the hanging tarpaulin may provide control equivalent to Class 1A.

3-5 封じ込め規格 Ventilation System Components (con't)

- Air Pressure Inside Containment (Negative Pressure)
 - H1-Negative Required Instrument Verification
 - H2-Negative Required Visual Verification (0.03" WC relative to ambient)
 - H3-Negative Not Required



3-5 封じ込め規格 熱収縮シート施工動画



3-6 米国の事例～技術面

- 素地調整方法の規格 (SP) が整理され、用語が統一されている
- 素地調整 (SP) にて表面粗さや生産性、研削材の種類によって与える影響などが網羅されている
- 封じ込め「密閉養生」(CONTAINMENT)のガイドラインが制定されている
- 実技訓練を含むコーティング技能関連個人資格が充実しており、会社資格と連動している
- 粗さと清浄度の管理手法の問題(ビジュアル判定時の明るさ、見る角度など)、突き刺さりの問題など今後検討される

3-6 米国の事例～運用面

- QPを設定することにより発注者が業者を選定しやすい仕組みが確立されている
- 個人及び施工会社・検査会社の資格認定制度が確立されており、エンジニア・インスペクター・作業者それぞれの責任と権限が明確化している
- 様々な橋梁の形状・現地気象条件など個別要件に対応する為にインスペクター、エンジニアを配置し権限の中で個別判断を行っている
- 発注時の情報が多い(部位図面、既存塗膜厚、有害物質含有量、固有気象条件)
- 発注時に施工困難部位の指定と施工法が明記されている
- 州の権限が強く、規制が違うため、州ごとに運用の温度差がある
- 非QP業者(無資格業者)がローコストで受注する問題

3-6 米国の事例～安全面

- 1985年より鉛含有粉塵の剥離問題に取り組んでいる。OSHA(米国厚生労働省)、EPA(米国環境省)の基準を考慮しながら安全基準を構成しており、QPで会社の基準とし、個人資格認定で安全資格を取得する仕組みができています。
- QP2(有害物質含有塗膜除去の業者資格)改定時にはOSHA、EPAより代表者が参加している
- プラスト作業の効率化と安全化のためのロボット作業化が進み始めている
- 運用面と同じく州により安全基準が違う。連邦OSHAを批准しているのは50州中23州

3-6 橋梁を施工するブラストロボット動画



4. 今後の課題まとめ

4-1 除錆度に起因した品質管理問題と課題

・ビジュアル判定の実技訓練を盛り込んだ素地調整技術者資格認定制度を制定し発注者側技術者・受注者側技術者が保持

※除錆度(清浄度)ビジュアル判定時の変動要素

- ・見る角度(直角なのか、斜めからなのか)により見え方が違う
- ・表面粗さ(深さ)により見え方が違う
- ・研削材の種類により見え方が違う
- ・鋼下地の状況により見え方が違う
- ・照明により見え方が違う
- 上記を踏まえた一定のガイドラインが必要

4. 今後の課題まとめ

4-2 表面粗さに起因した品質管理問題と課題

- ・塗装システム毎に目標粗さを設定し周知する
⇒発注時に素地調整グレードともに目標粗さを明記する

※表面粗さ判定の変動要素

- ・粗さと防食耐久性の相関関係の科学的証明が必要
- ・re-ブラスト時の粗さ管理の検討
- ・コンパレーターを用いたビジュアル判定の実技訓練(除錆度同様)
- ・研削材の刺さりこみ影響の検証
- ・研削材の粒度の指定

4. 今後の課題まとめ

4-3 素地調整施工困難部位について

- ・施工困難部位の洗い出し
- ・共通した施工困難部位に対する対処方の検討
- ・発注時情報に施工困難箇所と代案(素地調整・塗装システム)を記載する
- ・対象橋梁固有の施工困難部位は施工前検討会議(発注側エンジニア・コンサルタント・受注者・施工者)を開催し、部位を特定し施工方法のコンセンサスを得る
- ・構造的施工困難部位の構造変更による改善
- ・構造的施工困難部位データを蓄積し今後の新橋計画に反映する

4. 今後の課題まとめ

4-4 業者認定及び個人資格(インスペクターなど)の運用について

- ・防錆知識(防錆管理士など)+除錆度・表面粗さのビジュアル実技判定
→素地調整技術者 など早急な運用の工夫が求められる

- ・素地調整・塗装に関する設計を行う為の資格
- ・素地調整する作業者の為の実技を伴う資格
- ・個人資格と連動した業者認定制度の構築

※上記資格を一元管理し運用する機関の問題

腐食した高力ボルトの維持管理技術の現状と理想

TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT TASK AND IDEAL CONCEPT OF
MAINTENANCE TECHNOLOGY FOR CORRODED HIGH-STRENGTH BOLTS

下里哲弘* , 田井政行**

Tetsuhiro SHIMOZATO and Masayuki TAI

ABSTRACT The high tension bolted joints of steel bridges can be often as weak points in respect of anti-corrosion maintenance. This paper presents the results of a residual axial force for corroded high-strength bolts. Also this paper reports about the outline of Cold Spray technique with mixed particles of zinc and alumina and result of basically tests such as adhesion mechanism, cross-section observation by SEM, accelerating corrosion property, mechanical strength and field tests.

KEYWORDS : 高力ボルト, 腐食, 残存軸力, 防食, コールドスプレー
High-strength bolt, corrosion, residual axial force, corrosion protection, cold spray

1. まえがき

高力ボルトは、角の多いボルトネジ部及びナット部において塗膜厚の確保がしづらいことに加えて、重防食塗装の下地処理として適用される無機系亜鉛処理が予め工場では処理できないこと、さらに、軸力導入時の締め付け疵が生じるため、他の構造部位に比べて早期に腐食減肉する。よって、高力ボルト継手部は腐食弱点部位と言われており、鋼構造物の防食技術の課題である。また、腐食減肉した高力ボルトは軸力低下が懸念され、腐食減肉ボルトの本数や箇所によっては構造不安定になる危険性がある。したがって、鋼橋の安全性を持続するためには腐食減肉した高力ボルトの残存軸力特性の解明と実用的な残存軸力評価法の構築が重要である。さらに、高力ボルト継手部の腐食は塗装塗り替えコストの増大に繋がり、鋼橋および鋼構造物建設に関する競争力低下の要因となっている。

これらの課題に対して、本文では、先ず、腐食した高力ボルトの残存軸力診断に関する研究を紹介する。この研究では実腐食した高力ボルトのナット部とボルト頭部の腐食減肉形状を計測し、その腐食減肉形状と残存軸力特性との相関に関する実験および解析的な検討に基づき、腐食した高力ボルトの実用的な残存軸力評価法に関する一案を提示する。

次に、鋼構造物の腐食弱点部である高力ボルト継手部の防食性向上を目的に、亜鉛・アルミナ粉体を用いた低温低圧型溶射法のコールドスプレー法（Cold Spray：以降、CS）を土木鋼構造物に応用した研究を紹介する。本文では、CSの概要を述べるとともに、CSにより生成した亜鉛皮膜の防食性と高力ボルトの機械的性質に与える影響などを紹介する。さらに、実鋼構造物でのCS試験施工についても報告する。

*工博 琉球大学准教授 工学部工学科社会基盤デザインコース (〒903-0213 沖縄県西原町千原1)

**工博 琉球大学助教 工学部工学科社会基盤デザインコース (〒903-0213 沖縄県西原町千原1)