

(技術資料)

鋼橋のライフサイクルコスト低減に向けた新鋼材の実橋への適用

New Steels to Reduce Bridge-related Lifecycle Costs



古川直宏*
Naohiro Furukawa



淵田保司*
Yasushi Fuchita



湯瀬文雄**
Fumio Yuse



岡野重雄***
Shigeo Okano



岡本安弘****
Yasuhiro Okamoto



荻野 啓*****
Kei Ogino

Kobe Steel has developed two new steels which were designed to reduce lifecycle costs related to bridges. These steels have already been used in many existing bridges. The first steel for unpaint use type, Super-ticor W, has much better atmospheric corrosion resistance properties in chloride environments than conventional JIS-SMA. The second for paint use type, Eco-View, can prevent underfilm corrosion to prolong the paint life that are superior to JIS-SM.

まえがき = 現在の日本においては、厳しい財政事情の下で引き続き社会資本整備を着実に進めていくことが要請されている。このため、今後建設される橋梁については、初期建設コストに加えて維持管理コストの軽減にも配慮した「ライフサイクルコストの低減」が重要課題となっている¹⁾。

当社では、鋼橋のライフサイクル低減に寄与しうる厚鋼板として、これまで海浜・海岸耐候性鋼と呼ばれてきた「ニッケル系高耐候性鋼(スーパータイコールW[®])」と「ロングライフ塗装用鋼(エコビュー[®])」を商品化している²⁾³⁾。

これらの新鋼材は既に多くの橋梁で使用されているが、更なる採用が検討されるケースも増えてきた。

本報告では、これらの新鋼材の特徴とともに、適用実績や適用にあたっての留意点などについて紹介する。

1. 橋梁向け新鋼材(スーパータイコールW, エコビュー)の特徴

1.1 スーパータイコールW

耐候性鋼は、大気腐食に伴って鋼材表面に保護性のさび層が形成され、そのあとの腐食を抑制する性質を持つものであるが、塩素イオン(Cl⁻)がその保護性さびの生成に影響を与えることが知られている。このため、従来の耐候性鋼については、国土交通省土木研究所・(社)鋼材倶楽部・(社)日本橋梁建設協会の三者共同研究として実施された長期暴露試験結果に基づき、飛来塩分量が0.05mdd (mg NaCl/dm²/day) 以下である地域での適用が推奨されている⁴⁾(図1)。

スーパータイコールWは、この塩化物イオンの鋼材表面への到達を抑制して、より高塩分環境においても有害

な層状はくりさびの発生を抑えて保護性さびが生成するよう、添加元素の種類や量を調整した鋼材である。特に当社では、安定性・緻密性に劣るといわれている有害なさび(-FeOOH)がチタン添加により抑制・微細化されるとの知見⁵⁾を活用することによって、ニッケル(Ni)などの添加元素を最適化し、耐塩害性の向上と優れた溶接・溶断施工性の両立を図っている²⁾。

図2及び写真1に促進試験結果を示す。促進試験は、当社加古川製鉄所構内(年平均飛来塩分量:0.42mdd)で行い、南向きの曝露架台に設置したサンプルに、海水濃度と同じ3%NaCl溶液を週に1回噴霧している。この

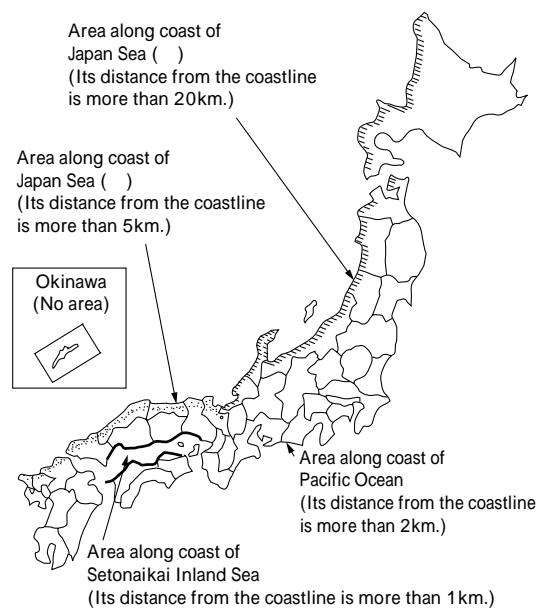


図1 JIS 耐候性鋼で飛来塩分量の測定を省略してよい地域
Fig.1 Regions not requiring measurement of chloride level of airborne salt for JIS SMA-W

*鉄鋼部門 厚板商品技術部 **技術開発本部 材料研究所 ***鉄鋼部門 加古川製鉄所技術研究センター ****都市環境・エンジニアリングカンパニー 構造技術部 *****都市環境・エンジニアリングカンパニー 橋梁工場

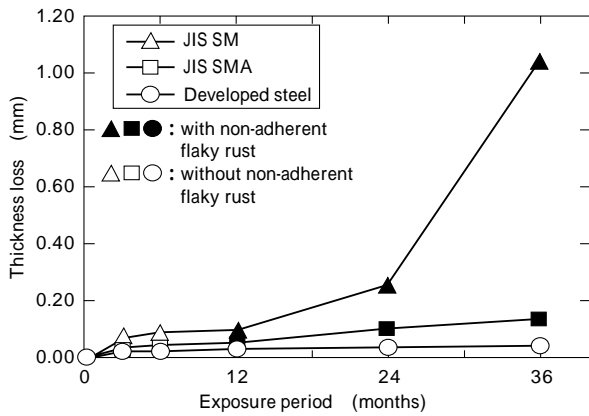


図2 スーパータイコールWの促進曝露試験結果
Fig. 2 Results of accelerated exposure test of developed steel (Super-ticor W)

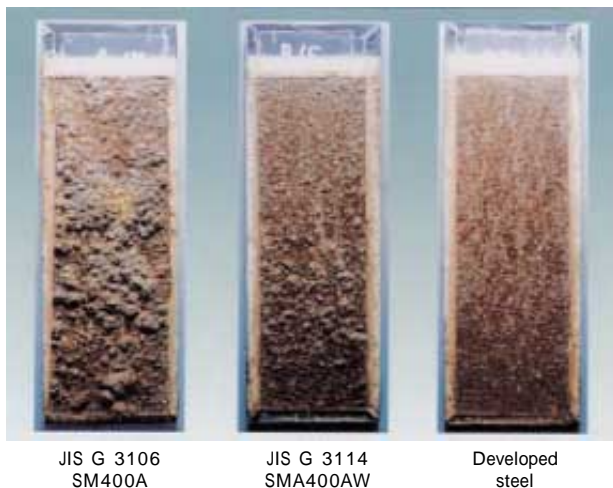


写真1 スーパータイコールWの促進曝露試験結果(2年間)
Photo 1 Results of accelerated exposure test of developed steel (Super-ticor W, for 2 years)

ような厳しい条件下で3年間曝露しても、新鋼材は安定した挙動を示しており、有害とされる層状はくりさびは発生していない。

また、 P_{CM} (溶接割れ感受性組成)を大きく低減することにより常温での予熱管理を不要とし、さらに高効率溶接でも優れた継手特性を有していることから、国内でも採用され始めた現地溶接施工にも適している²⁾。

1.2 エコビュー

景観が重視される都市部や海岸付近などの高塩分環境の橋梁は、一般に塗装が施されている。これら塗装橋に

については、通常は主に溶接構造用鋼材(JIS G 3106; SM材)が使用されている。しかしながら、鋼板自体にさびに対する効果的な腐食抑制機能を有していないため、塗膜欠陥を起点にさびが進行しやすく、このさびの進行による塗膜はがれが塗装寿命を決める一要因になっている。

一方で、現在建設される鋼橋の8割強が塗装橋であることから、この塗装橋での塗替え周期の長期化によるライフサイクルコストの低減が急務な状況にある。

塗替え周期の長期化に向け、塗料の開発や塗装施工方法の改善も進められてきているものの、コバ部(部材鋭角部)などの施工管理の困難な部位や、供用中に発生する塗装キズ部などが弱点となることは避けられない。

エコビューは、これらの弱点をカバーすべく、従来の溶接構造用鋼材の該当JIS規格(JIS G 3106; SM材)をすべて満たした上で、塗膜下腐食抑制機能を付加した鋼板である。

ところで、鋼材自体の耐食性を向上させた厚鋼板としては、「溶接構造用耐候性鋼材(JIS G 3114; SMA材)のP種」が既に存在している。しかしながら、塩分環境下では、含有するCrの作用による腐食先端部の酸性化の影響で、必ずしも塗装寿命の延長には寄与しないことがある⁶⁾。

エコビューは、スーパータイコールWの開発過程で得られたCr無添加-Cu-Ni-Ti系という独自の成分系を活用し、Crを添加しないことによって腐食先端部の酸性化を防止するとともに、塗装を前提にCu, Ni, Tiの添加量を最適化し、これらの添加元素の効果によって塗膜欠陥部の生成さびを緻密化させ、塗膜腐食の抑制を図ったものである³⁾⁷⁾。

日本道路公団殿で採用されている促進試験(JHS403-1997)によりエコビューの性能を評価した実験条件を、図3に示す。実験は6カ月間(720サイクル)実施したが、この条件は、北陸で5~6年、東京で11年、海水飛沫が直接塗面に付着する地域で4年程度の現地曝露試験に相当するとされている⁸⁾⁹⁾。

実験結果を写真2及び図4に示す。写真2より明らかなように、エコビューは従来鋼に比べて塗膜欠陥部からのさびの進行が大きく抑制されており、図4に示す通り塗膜のふくれ幅が1/3まで抑制されている。この実験結果より、塗膜の損傷による塗替え周期が規定されている

Details of paint films :
A-paint system
Top-coat : Phthalic resin (55 μ m)
Under-coat primer : Rust preventive Pb pigment (70 μ m)
Test Condition :
Cyclic corrosion test (JHS403-1997) for 6 months
using samples with artificial film defects (scratch)

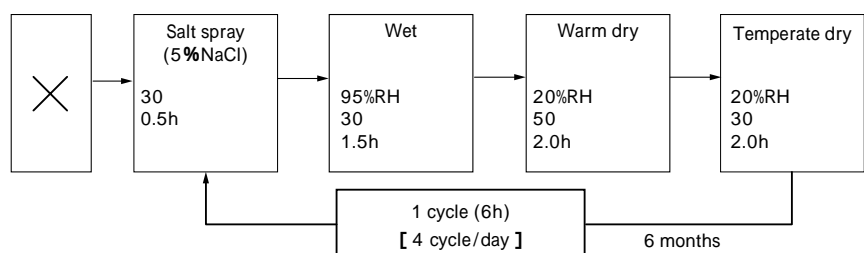


図3 エコビューの促進曝露試験条件
Fig. 3 Test conditions for evaluation of developed steel (EcoView) corrosion resistance

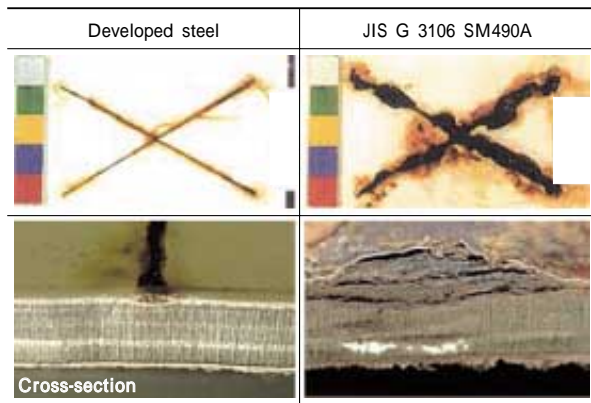


写真2 エコビューの JHS403:1997 による促進試験結果 (A系塗装, 6カ月)

Photo 2 Results of accelerated test of developed steel (EcoView) by JHS403:1997 (A-paint system for 6 months)

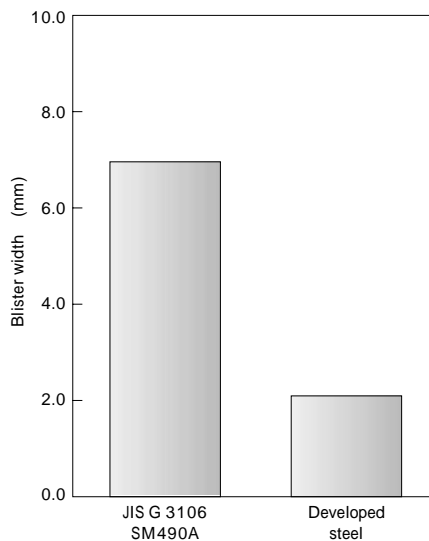


図4 エコビューの促進暴露試験結果

Fig. 4 Results of accelerated exposure test of developed steel (Eco View)

橋梁において、塗替え周期の長期化が期待される。いまだ限られた期間のデータではあるが、少なく見積もっても、従来の SM 材に対して 1.5 倍程度の塗替え周期の長期化効果を有しているものと思われる。現在、重防食塗装 (C 系) や薄膜重防食塗装 (JH 1 系) などほかの塗装系も含めたデータへの拡充を図っており、今後エコビューの効果をより明確に実証していく予定である。

なお、スーパータイコール W と同様に常温での予熱管理を不要としており、さらに高効率溶接でも優れた継手特性を有している³⁾。

2. 使用実績

これまでにスーパータイコール W は 9 橋 (鋼材使用量約 2 500 トン)、エコビューは 8 橋 (同約 1 150 トン) で採用されている。

以下に、その代表例を紹介する。

2.1 スーパータイコール W の採用例

1) 国道 175 号線・美囊川大橋 (写真 3)

スーパータイコール W が初めて採用された橋梁で、凍結防止剤の影響を考慮して試験採用された。

発注者 : 国土交通省 近畿地方整備局



写真3 美囊川橋 (スーパータイコール W)

Photo 3 The Minogawa Bridge (Super-ticor W)



写真4 加古川橋梁 (スーパータイコール W)

Photo 4 The Kakogawa Railway Bridge (Super-ticor W)

架設場所 : 兵庫県

架設年 : 1999 年

形式 : 3 径間連続鉄桁橋

橋長 : 71.5m (支間長 23.45 + 23.9 + 23.45m)

鋼材量 : 約 150 トン

仕様 : スーパータイコール W + 無塗装仕様

2) JR 山陽本線・加古川橋梁 (写真 4)

一級河川下流の平野部に架設された橋梁で、飛来塩分の影響を受けやすい地域に位置する。流れさび対策のため、さび安定化処理が施されている。

発注者 : JR 西日本

架設場所 : 兵庫県

架設年 : 2000 年

形式 : 3 径間連続下路トラス橋

橋長 : 213m (支間長 68.3 + 69.0 + 73.7m)

鋼材量 : 約 1 300 トン

仕様 : スーパータイコール W + さび安定化処理

3) 北陸新幹線・観法寺橋脚 (写真 5)

日本海側平野部 (海岸からの距離約 1 200m) に位置し、特に冬場の飛来塩分の影響を受けやすい地域に位置する。塗替え作業が困難な橋脚桁部に対してスーパータイコール W が採用されている。

なお、採用にあたっては、鋼材の性能以外に、溶接継手部の疲労特性¹⁰⁾やボルト接合部のすべり特性¹¹⁾など、鋼材・溶接材料・高力ボルトのすべてが橋梁製作にあた



写真5 観法寺橋脚（スーパータイコールW）
Photo 5 The Kanpouji Steel Piers (Super-ticor W)



写真6 園跨線橋（スーパータイコールW）
Photo 6 The Sono Over Bridge (Super-ticor W)

って十分な性能を有していることも確認されている。

- 発注者 : 鉄道建設公団
- 架設場所 : 石川県
- 架設年 : 2001年
- 鋼材量 : 約30トン（桁部に採用）
- 仕様 : スーパータイコールW + さび安定化処理

4) 青谷羽合道路・園跨線橋（写真6）

日本海側沿岸部（海岸からの距離約600m）に位置し、かつ国道9号線を跨ぐ形で架かるために冬場の凍結防止剤の巻き上げの影響も加わって、非常に高塩分環境となる。このため、従来の耐候性鋼材では保護性さびの生成が困難であるため、塗装が不可欠であったが、ライフサイクルコストの大幅な低減を目指して新しい耐候性鋼が採用された。

- 発注者 : 国土交通省 中国地方整備局
- 架設場所 : 鳥取県
- 架設年 : 2002年
- 形式 : 2径間連続鋼桁橋
- 橋長 : 70.9m（支間長 31.5 + 38.2m）
- 鋼材量 : 約140トン
- 仕様 : スーパータイコールW + さび安定化処理

2.2 エコビューの採用例

1) 南阪奈道・上池橋（写真7）

南阪奈道は古都を走る高速道のため、専門家により配色が決められるなど景観に対して特に配慮がなされている。この路線の當麻地区に架設される6つの少数主桁橋に対して、塗替え周期延長を図るべく、エコビューが試験採用された（総計約700トン）。

- 本橋はそのうちの最大の橋梁である。
- 発注者 : 日本道路公団 関西支社
- 架設場所 : 奈良県
- 架設年 : 2002年
- 形式 : 鋼4径間連続合成2主鋼桁橋
- 橋長 : 160m（支間長 41.25 + 41.4 + 41.4 + 34.55m）
- 鋼材量 : 約310トン



写真7 上池橋（エコビュー）
Photo 7 The Kamiike Bridge (Eco View)



写真8 有明橋（エコビュー）
Photo 8 The Ariake Over Bridge (Eco View)

- 仕様 : エコビュー + 薄膜重防食塗装（I塗装系）
- ##### 2) 上信越道・有明橋（写真8）

下を走る県道に散布された凍結防止剤の巻き上げの影響を受けやすい環境に位置する。このため、塗替え周期延長を図るべく、エコビューが試験採用された。なお、近接する別の鋼橋に対しても試験採用されている（観音沢橋；約250トン）。

- 発注者 : 日本道路公団 東京建設局
- 架設場所 : 長野県
- 架設年 : 2002年
- 形式 : 鋼単重合成2主鋼桁橋
- 橋長 : 30m

鋼材量 : 約 60 トン

仕様 : エコビュー + 薄膜重防食塗装 (I 塗装系)

3. 橋梁向け新鋼材適用にあたっての留意点・課題

3.1 スーパータイコール W

3.1.1 架設環境

スーパータイコール W は、従来の耐候性鋼と同様に保護性さびの生成にあたって適度な乾湿繰返しが必要となる。このため、本鋼材の適用可否を判断するにあたっては、架設環境における「飛来塩分」と「適度な乾湿繰返し(ぬれ時間)」に対して検討を行う必要がある。

1) 飛来塩分

従来の耐候性鋼に対して、耐塩害性を向上させているものの、その性能には限界がある。すなわち、塩分飛沫が直接付着するような環境(例えば海岸間近の橋梁、凍結防止剤を大量に散布する地域の桁下空間の小さなオーバブリッジなど)や著しく高い飛来塩分環境では、架設環境に対する十分な検討が必要となる。

2) ぬれ時間

従来の耐候性鋼と同様に、桁下空間の小さな橋梁においては、湿度が高い状態が長期間維持されるケースが多く、注意を要する。例えば米国では、耐候性鋼を無塗装仕様で計画する際には、水面から橋梁の下フランジまでのクリアランスを、静水の場合 10ft (約 3.0m) 以上、流水の場合 8ft (約 2.4m) 以上とすることが推奨されている¹²⁾。

一方、地山に近接した橋梁についても、湿度が高い状態が長期間維持されやすいため、注意を要する。例え

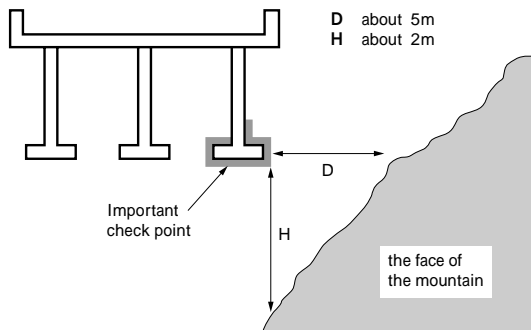


図5 地山接近時の重点点検部位
Fig. 5 Inspection point when a mountain is approached

- | | |
|-----------|---|
| 伸縮装置 | : 非排水型 |
| 床版 | : 信頼性の高い防水層 |
| 排水装置 | : ・排水管、ドレーン管先端位置を十分下げる
・フレキシブルジョイントを採用 |
| 桁端部 | : ウェブ切欠き(通風性向上), 桁端部塗装* |
| 下フランジ止水工 | : 上下面に非溶接タイプを設置 |
| 下フランジ排水勾配 | : 一般塗装橋と同様とする
(但し上そりは避ける) |
| 壁高欄 | : 隙間に止水工 |

図6 耐候性鋼を使用した橋梁における設計施工上の重要管理ポイント¹³⁾

Fig. 6 The important check point of construction management for atmospheric corrosion resistant bridge¹³⁾



*凍結防止剤の散布量が多い場合は、橋台前面まで内外面塗装を推奨します。

ば、(社)日本橋梁建設協会と(社)鉄鋼連盟の二者共同研究において、既設の日米の耐候性鋼橋梁調査結果に基づき種々の提案がなされているが¹³⁾、この中では水平距離で約 5m、垂直距離で約 2m 以下となる範囲が重点点検箇所として示されている¹³⁾(図 5)。

3.1.2 設計・施工上の留意点

機械的性質は、従来の耐候性鋼の規格 (JIS G 3114) を満足しており、構造設計上は従来鋼板と同様の取扱いが可能である。

一方、従来の耐候性鋼と同様に、水回りに対する設計上の配慮が必要となる。例えば、伸縮継手部・排水装置・壁高欄・床版クラックからの漏水対策の徹底や、スラブドレンからの排水などの配慮や、高湿度が長時間維持されやすい桁端部の塗装などが有効となる。詳細については、前述の(社)日本橋梁建設協会と(社)鉄鋼連盟の二者共同研究による設計・施工時の重点点検箇所に関する提案が参考となる¹³⁾(図 6)。

また米国においては、桁端部から桁高の 1.5 倍以内の全ての上部工部材を塗装することが規定されており、厳しい架設環境にかけられる橋梁では特に有効な対策となる。

なお従来どおり、流れさび防止や景観上の配慮が必要な場合には、さび安定化処理を施すことによって解決することが可能である。

一方、施工にあたっては、局部腐食を防止するために、スーパータイコール W 専用の溶接材料や高力ボルトを使用することが必要となる。

3.2 エコビュー

鋼橋では、塗膜表面に発生したさび、はがれ、色彩及び光沢の変化がある程度に達した時点で、塗替え塗装が行われる。

塗替え基準については種々の考え方があるが、大きく分けて性能的な観点を重視する場合(腐食の拡大など)と、美観上の観点を重視する場合(塗料の色あせなど)が考えられる。

エコビューでは、塗膜の欠陥部からの腐食進行速度が各種塗装系に応じて普通鋼の約 1/3 ~ 2/3 に抑制されるために³⁾、特に前者の場合において、塗替え周期の長期

化による大幅な維持コストの低減が期待される。

また、色彩及び光沢の変化の小さいふっ素樹脂塗料を採用する傾向も強まっており¹⁴⁾、これらの長寿命塗料と組み合わせることによって、塗料の持つ性能を本鋼板が持つ塗膜下腐食抑制機能が補完することになり、一層の塗替周期の延長も期待される。

一方、構造的な観点から塗替周期の長期化を図るためには、塗装施工管理の行いやすい少数主桁橋のようなシンプルな構造とすることや、弱点となりやすいボルト接合部の代わりに現地溶接施工を実施することなどがあげられる。エコビューは、常温での予熱管理を不要としかつ高効率溶接でも優れた継手特性を有していることから³⁾、このような形式の橋梁に最適な鋼板である。さらに、エコビューの持つ塗膜下腐食抑制機能との相乗効果によって、より一層の塗替周期の長期化も期待される。

むすび = 従来の耐候性鋼に対して耐塩害性を高めた「スーパータイコール W」及び従来の溶接構造用鋼に対して塗膜下腐食抑制機能を付加した「エコビュー」を商品化した。

前者は、従来の耐候性鋼では無塗装仕様が困難であった高塩分環境での無塗装仕様の実現によって、後者は、都市部など美観の観点で塗装が施される橋梁やスーパータイコール W でも無塗装仕様が困難なより高塩分環境の橋梁での塗装の塗替周期の長期化によって、ライフサイクルコストの大幅な低減が期待され、既に多数の橋梁で使用されている。

これらの新鋼材は、設計段階から架設環境に応じて鋼材の特徴を活かした検討を行うことによって、より効果を発揮させることが可能となる。現状では、個別に技術提案を行っている段階にあるが、今後、より簡便に活用できるように利用技術の拡充に努めていきたい。

参考文献

- 1) 西川和廣：橋梁と基礎，Vol.97, No.8 (1997) p.64.
- 2) 川野晴弥ほか：R&D神戸製鋼技報，Vol.52, No.1 (2002) p.25.
- 3) 岡野重雄ほか：R&D神戸製鋼技報，Vol.52, No.1 (2002) p.39.
- 4) 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 (XX)- 全国暴露試験のまとめ (概要編)- (1993).
- 5) 湯瀬文雄ほか：土木学会第 55 回年次学術講演会，(2000) - 150.
- 6) 菅俊明ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.49, No.2 (1999) p.31
- 7) 湯瀬文雄ほか：土木学会第 56 回年次学術講演会，(2001) - A234.
- 8) 藤原 博：土木学会論文集，No.570 (1997) p.129.
- 9) 藤原 博：材料と環境，Vol.45, No.7 (1996) p.432.
- 10) 竹下智ほか：土木学会第 55 回年次学術講演会，(2000) -151.
- 11) 長崎英二ほか：土木学会第 56 回年次学術講演会，(2001) - A233.
- 12) Federal Highway Administration: Uncoated Weathering Steel in Structures, FHWA Technical Advisory (T5140.22), Washington, D.C., October 1989.
- 13) (社)鋼材倶楽部，(社)日本橋梁建設協会：耐候性鋼の橋梁への適用 [解説書]，(2001).
- 14) (社)日本鋼構造協会：鋼橋の長寿命化のための方策，(2002).