

(技術資料)

## ロングライフ塗装用鋼板 (エコビュー™)

### Steel Plate with Long-life for Painted Bridges (Eco-View)



湯瀬文雄\*<sup>1</sup> (博士(工学))  
Dr. Fumio YUSE



松下政弘\*<sup>2</sup>  
Masahiro MATSUSHITA



泉 学\*<sup>3</sup>  
Manabu IZUMI

Kobe Steel has developed new steels which were designed to reduce the life cycle cost of bridges. The newly developed steel plates (Eco-View) showed excellent corrosion resistance in 10-year-exposure test results. The anti-corrosion properties of this newly developed steel (Eco-View), after painting, are better than those of conventional JIS-SM steel plates. Eco-View steel is expected to contribute to the reduction of life cycle costs, because it can prolong the period before repainting, especially in urban areas or, specifically, in harsh corrosive environments.

ま え が き = 平成25年4月現在、国内で管理されている道路橋は約69万9千橋ある。その多くは高度経済成長期に建設されたため、建設後50年を超える橋梁(りょう)の割合は16%であるが、20年後には65%と高齢化が急速に進行し、莫大な維持管理費、更新費が発生すると予測されている<sup>1), 2)</sup>。鋼道路橋では腐食が代表的な損傷となっているため、メンテナンスや塗装、防食への認識が増してきており、橋梁建設については長寿命化やライフサイクルコスト(LCC)の低減への意識が高まってきている。LCCは、建設・維持補修・架け替えまでの全ての段階を含んだ概念であり、当社は素材としての厚鋼板の側からの提案も行っている。例えば、高塩分環境でも無塗装使用が可能な塩化物耐食性と高溶接性を兼備した1%Ni-Ti高耐候性鋼を開発している<sup>3)</sup>。

一方、景観が重視される都市部や腐食環境の厳しい地域では塗装が不可欠である。当社ではこのような点を考慮し、従来の溶接構造用鋼材の該当JIS規格(JIS G 3106; SM)を全て満たした上で、鋼材自身に塗膜下腐食抑制機能を付加したロングライフ塗装用鋼板(以下、エコビュー™<sup>注</sup>)というを開発した<sup>4), 5)</sup>。エコビューは、NETIS新技術にも登録されている。本稿では、エコビューの10年間の暴露試験の結果<sup>6)</sup>や、耐食性調査結果とあわせて、開発コンセプトや耐食性向上メカニズムを紹介する。

### 1. 塗装用鋼板 (エコビュー) の特徴

#### 1.1 開発コンセプト

景観が重視される都市部や高塩分環境の橋梁は、全体の7割以上は塗装仕様であり、通常は溶接構造用鋼材

脚注) エコビューは当社の登録商標(第4631892号)である。

(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、塗装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ふくれや塗膜はがれが塗装寿命を決める一要因になっている。塗装費用は上部工建設費全体の5~15%に当たり、塗り替え費用も初期塗装費用と同程度必要と言われており、そのコストダウンが大きな課題となっている。

塗り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はいるものの、コバ部(部材鋭角部)などの施工管理が困難な部位や塗膜欠陥部(例えば、供用中に発生する塗装傷部)からの腐食の進行のほか、さびの発生や塗膜の劣化は避けられない。エコビューは、このような塗膜欠陥部から腐食が進行し、生成さびにより塗装耐食性が劣化することを抑制する機能を持つ鋼材である。

当社では、高塩分環境でも無塗装使用が可能な1%Ni-Ti高耐候性鋼を商品化するにあたって、Cr無添加-Cu-Ni-Ti系という独自の成分系を採用しており、今回のエコビューにおいても同様の耐食性向上技術を活用している。

一般に、耐食性を向上させる元素としてはCu, Ni, Crが知られており、JIS規格における耐候性鋼においてもこれらが必須添加元素となっている。しかしながら、長年の研究により、塩分環境下ではCrは腐食発生先端部でpHを低下させて腐食を促進させる効果があることが分かった。一方で、安定性に劣り耐食性に悪影響を及ぼすと言われるβさび(β-FeOOH)の形成抑制には微量Ti添加が有効であるとともに、Cu, Niは耐食性に良い影響を及ぼす非晶質さびの形成促進作用があることが見出された。このような知見に基づき、生成さび緻密

\*<sup>1</sup> 技術開発本部 材料研究所 \*<sup>2</sup> 鉄鋼事業部門 厚板商品技術部 \*<sup>3</sup> 鉄鋼事業部門 技術開発センター 厚板開発部

化による耐食性向上を目的として、Cr無添加、Ti微量添加として、Cu、Ni成分の最適化を行った<sup>3), 4)</sup>。

エコビューにおける塗装耐食性向上の想定メカニズムを図1に示す。塗膜欠陥部から腐食が進行しても、上記メカニズムによる塗膜下腐食の抑制効果が期待できる。なお、エコビューの化学成分を表1に示す。通常の鋼橋で使用される引張強さ400~570MPa級鋼板の全てのメニューをそろえ、橋梁向け溶接構造用鋼としても十分な性能を満足すべく、成分系はJIS SM規格の範囲内としている。低Cとしたことにより、Cu、Niなどが添加されているにもかかわらず、溶接低温割れの指標である $P_{CM}$ はいずれの強度クラスでも0.19%以下であり、予熱軽減の目安である0.21%を下回っている。また、各強度クラスの鋼板とも十分な強度、靱（じん）性を有している。したがって、エコビューの実橋への採用に当たっては、特別な手続きは不要である。

## 1.2 使用実績

エコビューは、旧日本道路公団において、南阪奈道路兵家第一橋、竹内橋（図2）など、および上信越自動車道観音沢川橋などに使用されているほか、地方自治体などで10橋以上使用されている<sup>7)</sup>。南阪奈道路は古都を走る高速道路のため、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。この路線の当麻

地区における6つの少数主桁橋に対して塗り替え周期の延長を図るべく、エコビューが採用された（総計約700トン）。竹内橋はそのうちの最大の橋梁であり、その概要を以下に示す。

発注者：日本道路公団関西支社（NEXCO西日本）  
 架設場所：奈良県  
 架設年：2002年  
 形式：鋼4径間連続合成2主桁桁橋  
 橋長：160m（支間長41.25+41.4+41.4+34.44m）



図2 南阪奈道路竹内橋  
 Fig. 2 Takeuchi-bashi Bridge of Minami Hanna Road

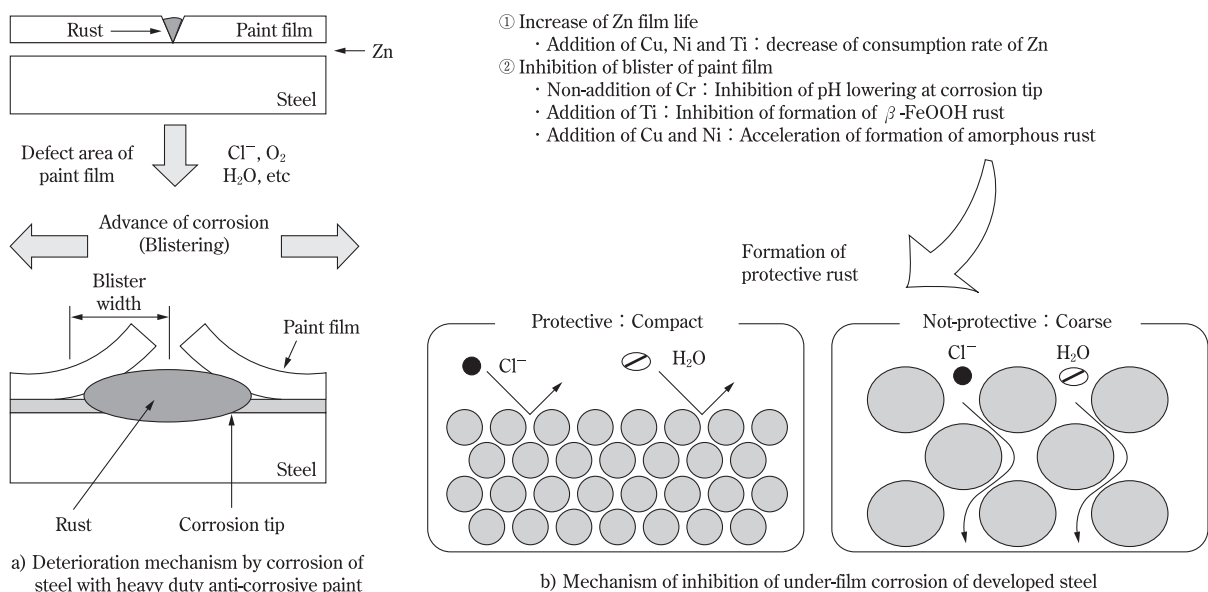


図1 エコビューの塗膜下腐食抑制メカニズム  
 Fig. 1 Mechanism of inhibition of under-film corrosion of Eco-View

表1 エコビューの化学成分  
 Table 1 Chemical compositions of Eco-View

Steel Class	Thickness (mm)	Chemical compositions (%)							Ceq (%)	$P_{CM}$ (%)
		C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Ti		
400MPa	25	0.05	0.30	0.65	0.78	0.41	0.01	0.045	0.24	0.14
490MPa	25	0.06	0.30	1.24	0.74	0.38	0.01	0.042	0.35	0.18
	50	0.05	0.32	1.56	0.79	0.41	0.02	0.046	0.40	0.19
570MPa	50	0.05	0.30	1.54	0.77	0.39	0.02	0.041	0.39	0.19

Note) 1)  $Ceq = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14 + (Cu/13)$

(Cu: applied when  $Cu \geq 0.50\%$ )

2)  $P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$

鋼材量 : 約310トン  
 仕様 : エコビュー+薄膜重防食塗装 (I塗装系)

## 2. 塗装耐食性

上記竹内橋近傍の兵家第一橋において、エコビューの効果を検証するために暴露試験を実施している。本章では10年暴露試験の調査結果について報告する。

### 2.1 調査概要

南阪奈道路兵家第一橋において、その検査通路に2003年から普通鋼 (SM490) とエコビューの小型試験片を設置し、暴露試験を継続している。小型試験片 (150×70×6 mm) は、裏面と側面をテープでシールし、本工事に使用されたI塗装系 (有機ジンク 75 $\mu$ m, ポリウレタン樹脂30 $\mu$ m, ポリウレタン樹脂 25 $\mu$ mの合計 130 $\mu$ m) を施した。さらに、塗装傷部やさびが広がりやすいコバ部を模擬するため、養生後にカッタナイフにて人工塗膜欠陥を付与した。比較として裸 (無塗装) の試験片も同じ暴露架台に設置した。試験片と暴露試験状況を図3、図4に示す。

10年暴露後、試験片の外観観察 (塗装健全部のわれやはがれ) を行うとともに、人工塗膜欠陥部のふくれ幅を測定した。ふくれ幅は、カット部を5等分して各区画最大値を測定した。一部の塗装は剥 (はく) 離剤を用いて塗膜を除去した。また、試験片を切断し、断面のSEM観察およびEPMA分析を行った。裸試験片に対しては、



図4 暴露試験状況  
 Fig. 4 Exposure test situation

除去したさびのX線回折測定を行い、さび成分の同定および定量も行った。

### 2.2 塗装試験片調査結果

暴露試験後の普通鋼およびエコビューの試験片外観 (水平設置材、粉塵 (じん) 除去後) を図5左に示す。いずれの鋼種においても、人工塗膜欠陥付与部以外にはさびや塗膜ふくれは観察されなかった。また、図5右には試験片の人工塗膜欠陥部からのふくれ幅を示した。ふくれ幅は、水平設置の方が垂直設置より大きくなる傾向があった。これは、水平部材の方が水分やほこりなどがたまりやすく、腐食が進行しやすくなるためと考えられる。

鋼種による比較では、エコビューのふくれ幅の方が普通鋼よりも平均で10%以上低減していることが分かった。

塗膜剥離後の鋼材表面状況を図6に示す。鋼材の腐食状況からも、エコビューの方が耐食性に優れていることが分かった。

### 2.3 断面観察結果

断面SEMおよびEPMA (Cl) 観察結果を図7に示す。普通鋼では腐食因子であるCl<sup>-</sup>がさびの先端 (鉄側界面) にまで存在しているのに対し、エコビューではさび層の外面に止まっており、腐食因子であるCl<sup>-</sup>の侵入抑制効果があることが分かる。その結果、エコビューは塗膜下腐食抑制効果が作用し、塗膜欠陥部からのふくれ幅が小

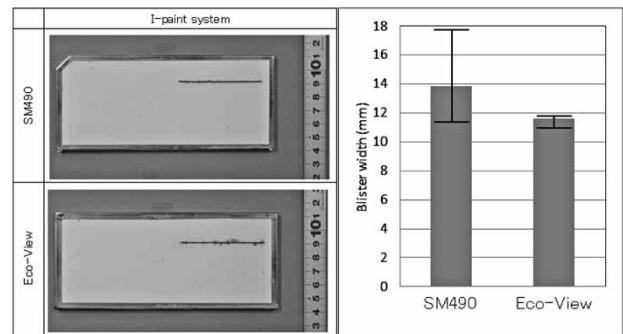


図5 試験片外観とふくれ幅  
 Fig. 5 Appearance and blister width of painted steels


	I-paint system	Appearance
Number of painting processes	3	150×70×6mm With artificial film defect (scratch)
Film thickness	130 $\mu$ m	
Applicable regions	Urban regions	
Details of paint films	Polyuretane resin	
	Organic Zn	
	Primer	
	Steel	

図3 試験片の塗装系と外観  
 Fig. 3 Painting system and appearance of test samples

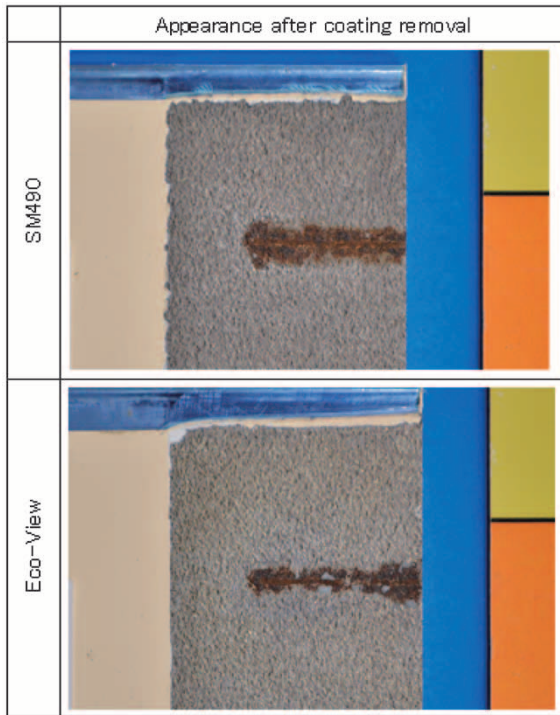


図6 塗膜除去後の試験片の外観  
Fig. 6 Appearance after coating removal of the test piece

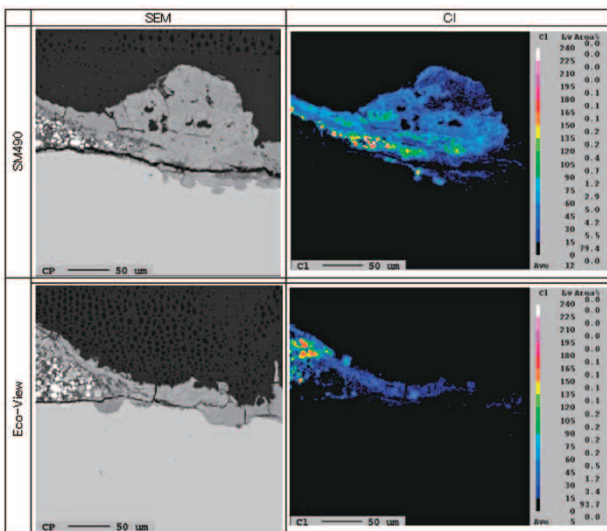


図7 断面SEM, EPMA (Cl)像  
Fig. 7 Cross-sectional images of SEM and EPMA of Cl

さくなっていると考えられる。

#### 2.4 さびのXRD分析結果

塗装試験片腐食部のさびは分析するためには少量すぎるため、塗装試験片と同様に暴露していた裸試験片のさびのXRD分析を実施した。塩化物環境下で特徴的に生成し、耐食性に悪影響を与える $\beta$ さびに着目すると、エコビューにおける $\beta$ さびの割合は普通鋼に比べて約半分程度と少ない結果を得た。

また、結晶性を定量的に評価するため、XRDピークの半幅幅からScherrerの式を用いて結晶子径を求めた結果を図8に示す。 $\beta$ さびの結晶子サイズはエコビューの方が30%程度微細化されており、Tiによる $\beta$ さび微細化効果が有効に機能していると考えられる。

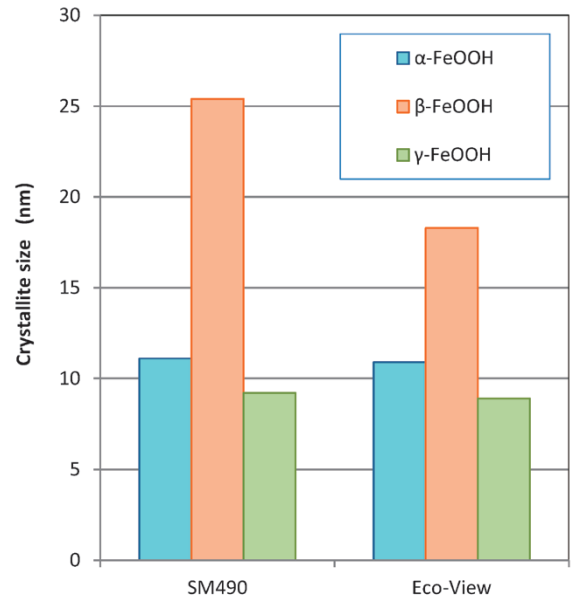


図8 さびの結晶子サイズ  
Fig. 8 Crystallite size of SM490 and Eco-View

### 3. 考察

塩化物環境では、有害さびと言われる $\beta$ さびが多く生成されるようになる。この $\beta$ さびの生成を妨害し、微細化により塩化物耐食性を向上させる元素としてTiが有効であるとされている<sup>8)</sup>。今回の実環境における小型試験片による暴露試験結果から、エコビューはふくれ幅において優位性が確認された。それは、Cr無添加、Ti、Cu、Ni添加などの成分最適化により、塗膜下腐食先端部での腐食抑制、生成さび緻密化による腐食因子の侵入抑制効果などによってもたらされており、当初の想定メカニズムの妥当性を示唆していると考えられる。

塗装系を変化させたエコビューの塗装耐食性を評価した過去の実験では、一般環境用のA塗装系においては、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、塗膜のふくれ幅も減少した。また、海岸近くの厳しい環境用のC系（重防食塗装系）およびI系（薄膜形重防食塗装系）では、ふくれ幅が小さく、亜鉛による犠牲防食効果が認められた<sup>4)</sup>。

鋼道路橋の防食は、鉛丹さび止めペイントにフタル酸樹脂塗料を主体としたA系から、下地にジンクリッチペイントを、上塗りに環境遮断となるふっ素樹脂塗料を採用する重防食へと移り変わってきている。しかし、優れた防食機能を持つ塗装系であっても、部材角部などの膜厚が付きにくい部位や、傷や欠陥部などからは腐食が進行しやすくなる。そのため、長期間経過し、亜鉛による犠牲防食効果が消失した後はこのような部位から地鉄の腐食が進行し、図1に示したメカニズムが同じように当てはまると考えられる。今回の10年暴露試験で用いた塗装はI系（薄膜形重防食塗装系）であり、また環境がマイルドなため鋼種間の差は小さい。しかしながら、将来的に腐食が進行した場合、上述したような添加元素の効果がより明瞭になり、鋼種間の差が大きくなると考えられる<sup>4)</sup>。

今回の実験結果から、塗膜の損傷による塗り替え周期が規定されている橋梁においては、エコビューによる塗り替え周期の長期化、ライフサイクルコスト低減が期待される。

**むすび** = 実橋における10年暴露試験結果から、橋梁向けロングライフ塗装用鋼板「エコビュー」は普通鋼に比べて優れた塗装耐食性を有することが分かった。さびの解析結果などから、想定どおりの塗膜下腐食抑制メカニズムが作用していると考えられ、エコビューは塗り替え周期の延長を可能とし、鋼橋のライフサイクルコスト低減効果が期待される。今後、さらなる長期間の耐食性データを採取するとともに、異なる環境での腐食データを積

み重ねていく所存である。

最後に、長期暴露試験にご協力いただいている西日本高速道路株式会社関西支社ならびに阪奈高速道路事務所に謝意を表す。

#### 参 考 文 献

- 1) 高木千太郎. 橋梁と基礎. 2014, No.9, p.33.
- 2) 玉越隆史ほか. 国土交通省国土技術政策総合研究資料. 2006, No.294, p.1.
- 3) 川野晴弥ほか. R&D 神戸製鋼技報. 2002, Vol.52, No.1, p.25.
- 4) 岡野重雄ほか. R&D 神戸製鋼技報. 2002, Vol.52, No.1, p.39.
- 5) 湯瀬文雄ほか. 土木学会第55回年次学術講演会. 2001, I-A234.
- 6) 高橋 章ほか. 土木学会第69回年次学術講演会. 2014, V-459.
- 7) 古川直宏ほか. R&D 神戸製鋼技報. 2003, Vol.53, No.1, p.47.
- 8) 石川達雄ほか. Zairyo-to-Kankyo. 2003, Vol.52, No.3, p.140.