

(株) 神戸製鋼所	材料研究所	正会員	○湯瀬文雄
	同上		中山武典
	加古川製鉄所	正会員	竹下 智
	同上		萱 俊明

1. 緒言

近年、橋梁分野においては、初期建設コストの縮減や維持管理コストの軽減が求められており、最小限の維持管理で最大限の長寿命化をめざす「ミニマムメンテナンス橋」に対するニーズが高まっている。特に海浜・海岸部など JIS 耐候性鋼が使用できない環境でも裸使用が可能な無塗装鋼板の開発が盛んである。一方、都市部などの景観が重視される地域や塩化物環境下などの腐食性の厳しい環境では塗装が必要不可欠である。しかし、塗装の塗り替えコストは莫大であり、維持管理コストを押し上げる要因となっている。

鋼種 \ 環境	山間部	都市部	海岸部	備考
	Cl ⁻ 少 ←		→ Cl ⁻ 多	
普通鋼	← 塗装 →			塗り替えコスト大
JIS耐候性鋼	← 無塗装 →			適用制限有り

当社では維持管理コスト低減が可能となる鋼板の開発に取り組み¹⁾²⁾、高溶接施工性と塩化物環境下での耐食性を両立した塗装用鋼板および無塗装用鋼板を開発した(表1)。

本報では、塩化物環境下における塗装耐食性向上に最適な成分系の検討結果を報告する。

2. 塩化物環境下における塗装耐食性向上の考え方

塗装用鋼は塩化物環境での塗り替え周期の長期化を目的として、塗膜下腐食抑制メカニズム(図 1)に基づき、塗装耐食性を高めた鋼材である。成分系は、JIS 耐候性鋼(Cu-Ni-Cr 系)から Cr を無添加とするとともに、Ti を添加した Cr フリー Cu-Ni-Ti 系である。

2-1 塗膜下腐食先端部での反応抑制

加水分解による 1N 溶液の Fe^{2+} と Cr^{3+} の平衡 pH はそれぞれ 6.61 と 1.60 であると報告されており³⁾、Cr は Fe に比べて腐食性を高めると考えられる。報告者らは、Cr フリー化により、塗膜下の腐食先端部の pH 低下、すなわち腐食性を緩和できるとの考えから、Cr の影響を検討した。

2-2 生成さびの緻密化促進

塗膜欠陥部からの腐食（ふくれ）を抑制するためには生成するさびの緻密化促進が重要であるとの考えから、Cu、Ni、Tiの影響を検討した。

3. 実験方法

供試材は、普通鋼 (SM400) 及び JIS 耐熱性鋼 (0.3Cu-0.2Ni-0.5Cr) をベースに Cu、Ni、Cr、Ti を増減した鋼板を用いた。試験片に塗装を施し、養生後に、カッターナイフにて人工塗膜欠陥を付与した。

腐食試験は、紫外線照射、塩水噴霧、湿潤、乾燥を組み合わせた複合サイクル試験と兵庫県内の臨海工業地区と田園地区にて週 1 回食塩水を散布する促進暴露試験（日向）を行った。塗装耐食性は外観観察と人工塗膜欠陥部からのふくれ幅にて評価した。

表 1 各種鋼材の使用環境別適用範囲

環境 鋼種	山間部	都市部	海岸部	備考
	Cl ⁻ 少		→ Cl ⁻ 多	
普通鋼	← 塗装 →			塗り替えコスト大
JIS耐候性鋼	← 無塗装 →			適用制限有り
開発鋼	← 塗装 →			塗り替え周期長期化
	← 無塗装 →			適用範囲拡大

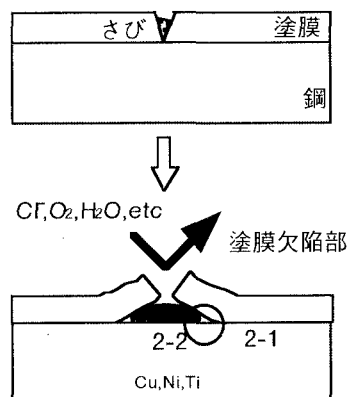


図 1 塗装下腐食抑制メカニズム

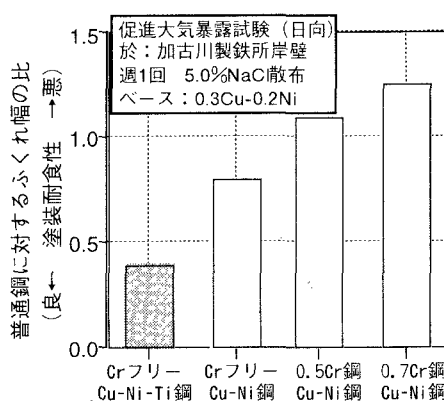


図2 促進暴露試験後のふくれ幅の測定結果

4. 実験結果と考察

促進暴露試験 12 ヶ月（臨海工業地区：週 1 回 5% 食塩水散布）後のふくれ幅の測定結果を図 2 に示す。JIS 耐候性鋼（0.3Cu-0.2Ni-0.5Cr）から Cr をフリー化した Cu-Ni 鋼および Cr をフリー化し Ti を添加した Cu-Ni-Ti 鋼は普通鋼や JIS 耐候性鋼よりも優れた塗装耐食性を示した。このように、塩化物環境下では、Cr フリー Cu-Ni-Ti 系鋼板が優れた塗装耐食性を示すことが明らかとなった。

次に、Cu-Ni-Ti 系の最適成分を検討するために、Cu（～0.8%）、Ni（～0.4%）、Ti（0.035～0.050%）量を変化させた鋼板を用いて促進暴露試験 6 ヶ月（田園地区：週 1 回 3% 食塩水散布）を日向および日陰にて行った結果を図 3 に示す。Cu+Ni 添加量が多いほど、また Ti 添加量が多いほど、優れた塗装耐食性を示す傾向にあり、0.8Cu-0.4Ni-0.05Ti 鋼は塗装寿命が普通鋼の 2 倍（普通鋼に対するふくれ幅の比：0.5 以下）以上の目標値を達成可能と推定される。

図 4 に JHS403-1997 に準拠した複合サイクル試験を 720 サイクル（6 ヶ月）行った後の試料外観写真の一例を示す。塗装用鋼（0.8Cu-0.4Ni-0.05Ti）は優れた塗装耐食性を示すことが明らかである。

本鋼板の Ti 添加効果の一考察として、塩化物環境下で生成し、耐食性に悪影響をおよぼすとされる β さびを人工的に合成した結果、 β さびは Ti 添加により著しく微細化することがわかった（図 5）¹⁾⁵⁾。

このように、塗装用鋼（Cu-Ni-Ti 系）が塩化物環境で優れた塗装耐食性を示したのは、Cr フリー化により、塗膜下の腐食先端部の pH 低下を緩和したことと、Ti が塩化物環境下で生成しやすく、安定性に劣るといわれる β さびの緻密化に寄与するためであると推察される。

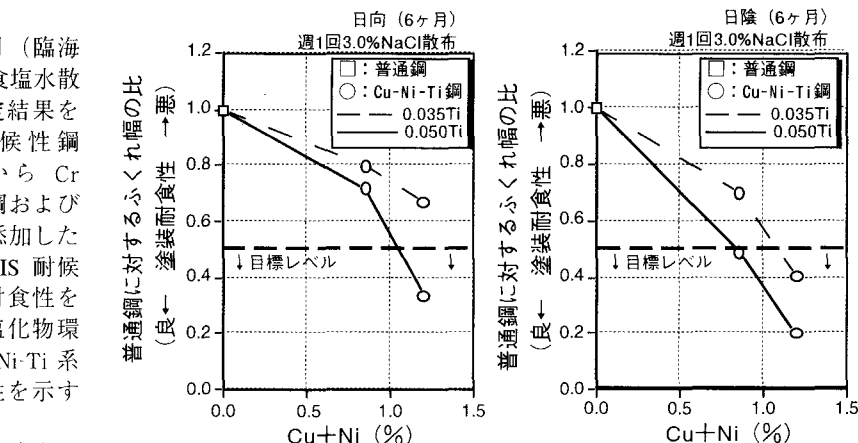


図 3 鋼中添加元素とふくれ幅の関係

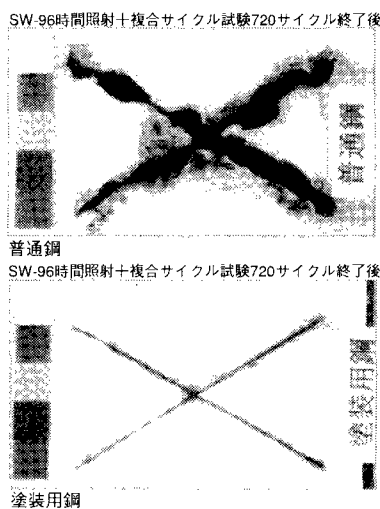


図 4 複合サイクル試験後の試料外観状況例

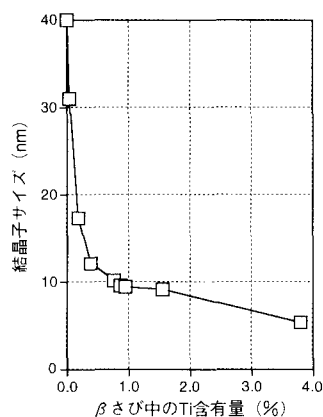


図 5 β さび中の Ti 含有量と結晶子サイズの関係

5. 結言

塩化物環境下で優れた塗装耐食性を有する成分系として、0.8Cu-0.4Ni-0.05Ti（Cr フリー）を決定した。本鋼板は、優れた塗装耐食性により、塗り替え周期が長期化し、トータルライフサイクルコストの低減効果が期待される。

参考文献：1)中山ら：CAMP-ISIJ Vol.11(1998)-454. 2)竹下ら：CAMP-ISIJ Vol.11(1998)-455.
3)A.J.Sedricks：“Corrosion of Stainless Steels”, John Wiley & Sons, Inc., New York (1979).
4)湯瀬ら：CAMP-ISIJ Vol.12(1999)-423. 5)湯瀬ら：CAMP-ISIJ Vol.12(1999)-1195.