

# 耐塩害性を高めた3%Ni耐候性鋼

## 3%Ni-Weathering Steel Plate for Uncoated Bridges at High Air-Borne Salt Environments

宇佐見 明<sup>(1)</sup>  
Akira USAMI

紀 平 寛<sup>(2)</sup>  
Hiroshi KIHIRA

楠 隆<sup>(3)</sup>  
Takashi KUSUNOKI

### 抄 録

従来の耐候性鋼の適用限界を超える飛来海塩の環境でも保護性さびを形成し、無塗装使用可能な3%Ni系の耐候性鋼を開発した。開発鋼の優れた耐候性は、Ni, Cuを含んださび層のイオン交換機能—内層が付着海塩中のNaを、外層がClをそれぞれ分離・選択濃縮する機能—が重要な役割を果たしている。塩化物イオンの内層への侵入が抑制され、腐食界面におけるpHの低下を抑制することにより、優れた耐候性が得られていると考えられる。実適用にあたっては、耐候性鋼の腐食減耗予測法を活用し、100年を超える超長期に異常なさび発生がおきない環境条件であることを確認することが望ましい。

### Abstract

3%Ni-weathering steel for uncoated bridges in high air-born salt environments was developed. The ion exchanging functions of the rust layer formed on the 3%Ni-weathering steel play an essential role on giving its high weathering performance. For more successful applications of the new weathering steel for uncoated bridges, it is recommended to make use of estimation methods of long-term penetration which give consideration to main environmental factors such as time of wetness, air-born salt deposition rate, mean-temperature etc.

### 1. はじめに

社会資本の蓄積、老朽化、少子化に伴い、今後新設する橋梁では、国土交通省提唱のミニマムメンテナンス橋構想<sup>1)</sup>に代表されるように、長期にわたり使用可能で、かつ、維持管理費の一層の低減が可能な防食技術が強く求められている<sup>1)</sup>。両者を満たす有望な材料として、補修塗装に伴う維持管理費を低減できる耐候性鋼が注目されている。

耐候性鋼はCu, Cr, Niなどの耐候性元素を微量添加した鋼材で、無塗装のまま年月の経過とともに表面に緻密で密着性の高い保護性さびが生成し、それ以降の腐食の進行を十分に低く抑える鋼材である。わが国では1960年代から鋼橋への適用が始まり、1996年までの累計で3 000橋を超え、年度別の適用比率も使用鋼材重量の14%を超えるまでに増えている<sup>2)</sup>。しかし海沿いでは、主に飛来塩分によって保護性さびが期待通り生成せず、層状の剥離さびを生じることがあった。現在、飛来塩分の測定を省略して、耐候性鋼を無塗装で使用する際の目安として、0.05mdd(mg/100cm<sup>2</sup>/day)以下であることが推奨されている(図1<sup>3)</sup>)。

ところが、日本の都市の多くは海岸沿いの平野部に位置し、都市間を結ぶ道路網も海岸線に近い所を通ることが多い。また、寒冷地

においては、スパイクタイヤの使用が禁止されて以来、冬期の融雪剤散布量が増大している。それゆえ、融雪塩を散布する地域でも無塗装使用可能な耐候性鋼材、すなわち耐塩害性に優れた耐候性鋼材の開発が強く望まれていた。

新日本製鐵では1980年代から耐塩害性に優れた耐候性鋼の研究に着手した。耐塩害性に優れた保護性さびの設計指針を検討し<sup>4,5)</sup>、その後、9年以上の大気曝露試験や、高Ni系橋梁用鋼の試作及び製鉄所内橋梁への試適用などの開発、実証的な試験を重ね、1998年に各種品質確性試験を経て、橋梁用厚鋼板を溶接材料、高力ボルトとともに製品化した<sup>6-14)</sup>。日本海親不知海岸から約600mの位置で

耐候性鋼(JIS SMA材)無塗装使用の適用基準  
0.05mdd(mg/dm<sup>2</sup>/day)以下の地域



図1 無塗装橋梁(従来型耐候性鋼)の適用基準

<sup>(1)</sup> 鉄鋼研究所 鋼材第一研究部 主任研究員  
千葉県富津市新富20-1 ☎293-8511 ☎0439-80-3099

<sup>(2)</sup> 鉄鋼研究所 鋼材第一研究部 主幹研究員 Ph.D

<sup>(3)</sup> 厚板営業部 商品技術グループ マネジャー

表1 3%Ni耐候性鋼の実績化学成分例

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	V	P <sub>cm</sub> *
SMA400W-MOD	0.06	0.18	0.50	0.006	0.002	0.34	3.06	0.02	-	0.16
SMA490W-MOD	0.06	0.20	0.85	0.005	0.002	0.32	3.05	0.02	-	0.18
SMA470WQ-MOD	0.06	0.20	1.36	0.004	0.002	0.34	3.06	0.02	0.02	0.20
(参考)JIS G 3114	≤0.18	0.15/0.65	≤1.40	≤0.035	≤0.035	0.3/0.5	0.05/0.30	0.45/0.75	-	-

$$*P_{cm} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/15 + 5B$$

海岸に並行する北陸高速自動車道と交差する新幹線架道橋に初めて採用<sup>15)</sup>されて以来、着実に採用が増え、2001年12月現在までに鉄道橋や道路橋を含めて30橋以上、鋼材累計で9 000トンを超える量が適用されており、今後も適用は拡大していくと予想される。本報では、耐塩害性を高めた3%Ni耐候性鋼について、設計思想及びメカニズムについて述べる。

## 2. 3%Ni耐候性鋼の概要

表1に3%Ni耐候性鋼の成分例を示す。耐塩害性を高めるために、3%Ni添加、Cr無添加を基本とし、他の成分はJIS G 3114“溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材”の規定範囲内で、かつ同規格に定める機械的特性を満足するように定め、引張強度400, 490, 及び570N/mm<sup>2</sup>級の厚鋼板(板厚≤100mm)を商品化している。

更に、鋼構造物を製作するために必要となる3%Ni添加、Cr無添加とした専用の溶接材料、高力ボルトも商品化し、いずれも橋梁用材料として十分な使用性能を有していることが確認されている<sup>16)</sup>。3%Ni耐候性鋼の溶接材料としては、母材と同程度のNiを含有し、かつ、溶接金属の凝固割れ感受性を改善するために、母材のCを0.06%と低減している点が特徴である<sup>17)</sup>。

## 3. 3%Ni耐候性鋼成分設計の考え方と耐塩害性向上機構

### 3.1 さびの設計指針

飛来塩分の高い環境で生成したさび層を調査すると、従来の耐候性鋼のさび層では、塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)がさび内層から地鉄界面まで侵入、濃縮し、ナトリウムイオン(Na<sup>+</sup>)がさび中間～外層に分離する(図2参照)。塩化物イオンが濃縮するさび内層/地鉄界面では溶解した鉄イオンの加水分解により、低pH、高塩化物イオン雰囲気となり、地鉄の溶解、すなわち腐食が加速されると考えられる。さび層下にイオンが濃縮して腐食が進むのは、ステンレス鋼の孔食内部に塩化物イオンが濃縮し、pH低下が生じる現象と類似している<sup>18)</sup>。

一方、図3に示すように、塩化物イオンがさびの外側に、ナトリウムイオンが内側に分離、濃縮するようなイオン交換機能をさび層に持たせるように鋼材成分を設計すれば、塩化物イオンの地鉄界面への侵入、濃縮、pH低下を抑制し、結果として地鉄の溶解を抑制する効果が期待される。この考え方が3%Ni耐候性鋼の基本思想である。

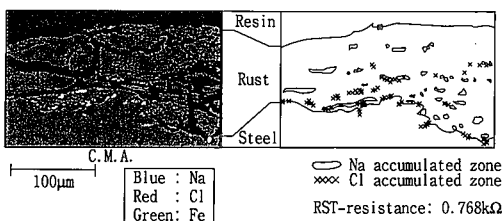


図2 飛来塩分の影響を受けた従来型耐候性鋼さび断面の元素分布(EPMA分析)

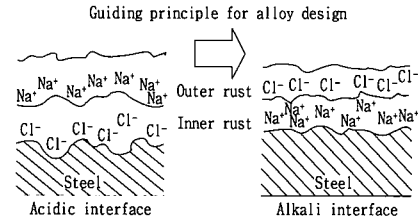


図3 耐塩害性を高めた保護性さび層の設計指針(さび層のイオン交換機能制御による界面アルカリ化)

### 3.2 海浜大気曝露試験による機能発現の確認

海浜地区で大気曝露試験を行い、高飛来海塩粒子環境での耐候性に及ぼすNiの影響を調査した。図4に曝露9年後の腐食減量から求めた平均板厚減少量とNi添加量との関係を示す。腐食速度及び層状剥離さびの有無から、Ni所要量としては、2%では不十分であり、3%が必要であるといえる。図5に従来型耐候性鋼と3%Ni耐候性鋼の腐食曲線を示す。この曲線から、3%Ni耐候性鋼上に形成されるさび層は飛来塩分が高い環境で十分な保護性を発現しているといえる。

### 3.3 3%Ni耐候性鋼の保護性さびの特徴

従来型耐候性鋼の保護性さび<sup>19)</sup>と3%Ni耐候性鋼の保護性さびとを比較すると、(1)2層構造である、(2)内層に連続した消光層が形成される、(3)内層の消光層は、X線的にもレーザーラマンでも無定形である、(4)内層の消光層には、耐候性元素(従来耐候性鋼ではCu, Cr, Ni, 3%Ni耐候性鋼ではCu, Ni)が全面的及び局所的に濃化しているという点で共通している。

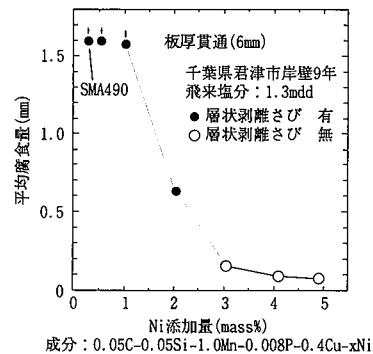


図4 海浜耐候性に及ぼすNi添加量の影響

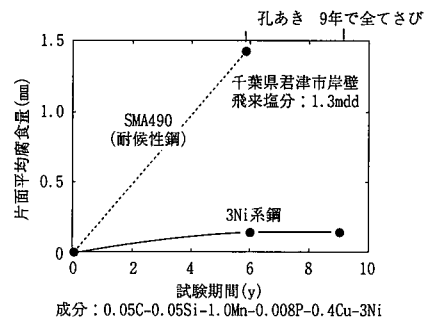


図5 3%Ni耐候性鋼の腐食量-時間曲線

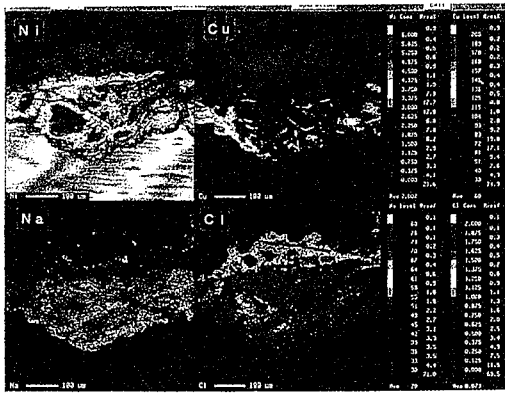


図6 3%Ni耐候性鋼9年曝露後さび断面の元素分布(Na:内層, Cl:外層に分離, 濃縮している)

図6に、海浜地区で9年間曝露した3%Ni耐候性鋼上に形成したさび層中の元素分布を示す。塩化物イオンをさび外層に止まらせる一方、内層にナトリウムを分離濃縮させる特性、すなわち、図3に示した高耐候性さび層の設計指針を反映した構造になっていることが分かる。このイオン交換機能は、さび内層に分布するNi, Cuによる作用と考えられる。イオン交換機能により、さび内層及び地鉄界面は、高アルカリ・低Cl雰囲気となり、耐候性元素であるNi, Cuによって緻密で保護性の高い内層さびが発達すると考えられる。なお、最近の研究によれば、3%Ni耐候性鋼の優れた耐候性を支えていると思われる内層さびは、電子線回折によれば超微細マグネタイト[鉄(II・III酸化物)]と同定されるX線的には非晶質さびと報告されている<sup>5)</sup>。

## 6. おわりに

従来の耐候性鋼に比較して耐塩害性を高めた3%Ni耐候性鋼の成分設計の考え方及び飛来塩分の高い環境での高耐候性機構について簡単に紹介した。今後、従来型耐候性鋼及び3%Ni耐候性鋼の寿命予測技術<sup>20)</sup>や、3%Ni耐候性鋼の特性を活かした構造詳細の検討<sup>21)</sup>など、周辺の利用技術の進歩が期待される。

## 参考文献

- 1) 建設省土木研究所: ミニマムメンテナンス橋(鋼桁橋編)
- 2) (社)日本橋梁建設協会技術委員会無塗装橋梁部会: 無塗装耐候性橋梁実績資料集, 第6版, 2001
- 3) 建設省土木研究所, 鋼材倶楽部, 日本橋梁建設協会: 耐候性鋼の橋梁への適用に関する共同研究報告書(XX), 第88号, 1993, p.1
- 4) 紀平, 伊藤, 溝口, 村田, 宇佐見, 田辺: 材料と環境, 42, 30-40(2000)
- 5) Kihira, H. et al.: Electrochemical Society Proceedings, 99(26), 127-136 (1999)
- 6) 宇佐見, 田辺, 山本, 間瀬, 井上: 第41回腐食防食討論会講演集, 1994, p.349-352
- 7) 宇佐見, 田辺, 山本, 間瀬, 井上: 腐食防食'95講演集, 1995, p.393-394
- 8) 宇佐見: 材料とプロセス, 11, 452(1998)
- 9) 宇佐見, 富田, 紀平, 都築, 田辺: 材料と環境'98講演集, 1998, p.65-66
- 10) 田辺, 宇佐見, 紀平, 富田: 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, 1998, p.100
- 11) 都築, 長尾, 宇佐見, 楠, 小山: 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, I-A51, 1998
- 12) 伊藤, 宇佐見, 紀平, 富田, 重里, 田辺: 材料と環境'99講演集, 1999, p.29-32
- 13) 伊藤, 宇佐見, 紀平, 長谷川, 富田, 重里, 杉山, 田辺: 第46回材料と環境討論会講演集, 1999, p.279-282
- 14) 伊藤, 宇佐見, 田辺, 楠, 富田: 新日鉄技報, (371), 78-83(1999)
- 15) 保坂, 峰田, 八巻, 松尾: 土木学会第53次学術講演会, I-A49, 1998
- 16) 高木, 市川, 保坂, 櫻井: 土木学会第54回年次学術講演会, I-A351, 1999.9
- 17) 糟谷, 小山, 大北, 三宅: 材料とプロセス, 14 (2), 2001
- 18) 鈴木, 増子, 久松: 防食技術, 20, 15(1970)
- 19) 岡田, 細井: 鉄と鋼, 56, 277(1970)
- 20) 紀平: 新日鉄技報, (377), 12-14(2002)
- 21) 保坂, 楠, 加藤: 橋梁と基礎, (6), 31(2002)