

溶接性に優れた極低炭素型新耐候性鋼

川崎製鉄（株）技術研究所 正会員 塩谷和彦，非会員 矢埜浩史，川端文丸，天野虔一
 水島製鉄所 非会員 宮本一範
 本社 非会員 西田俊一

1. 緒言

耐候性鋼（JIS-SMA）は、大気環境において、鋼材表面に保護性のある緻密なさび層を形成することにより、腐食速度が低減する。この防食効果を利用した無塗装耐候性鋼橋梁は初期塗装や塗り替え塗装を省略でき、ライフサイクルコストの低減に寄与する。しかし、現行の耐候性鋼は万能ではない。海浜地域では、保護性のある緻密なさび層が形成されずに、腐食速度が低減しない¹⁾。570MPa級厚肉耐候性鋼では溶接直前の鋼材の予熱が避けられず²⁾、また大入熱溶接による靱性低下の問題がある。そこで、従来の耐候性鋼の弱点を克服すべく、(1)良溶接性を具備した非調質570MPa級極低炭素型田園用新耐候性鋼、(2)良溶接性および耐塩特性を具備した非調質400~570MPa級極低炭素型海浜用新耐候性鋼を開発した。本報では、これら開発鋼板の性能について述べる。

2. 化学成分と製造方法

供試鋼の化学成分を表1に示す。田園用新耐候性鋼、海浜用新耐候性鋼ともに、良溶接性かつ570MPa級非調質化（リードタイム短縮）を実現した極低炭素ペイナイト成分³⁾を基本としている。田園用新耐候性鋼はJIS成分規格（G3114）に適合し、また非調質で製造可能である。海浜用については、耐塩特性を付与すべくNiを2.5~2.7%添加し、主にMn添加量と圧延条件の最適化により400,490および570MPa級の強度グレードを非調質で製造可能である。

表1 供試鋼の化学成分 (mass%)

| | C | Si | Mn | P | S | Cu | Ni | Cr | Ceq | Pcm |
|-----------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 570MPa級田園用新耐候性鋼 | 0.02 | 0.32 | 1.37 | 0.011 | 0.004 | 0.49 | 0.24 | 0.51 | 0.37 | 0.16 |
| 400MPa級海浜用新耐候性鋼 | 0.02 | 0.29 | 0.30 | 0.011 | 0.002 | 0.42 | 2.75 | 0.02 | 0.15 | 0.11 |
| 490MPa級海浜用新耐候性鋼 | 0.02 | 0.30 | 1.02 | 0.009 | 0.003 | 0.38 | 2.67 | 0.02 | 0.27 | 0.15 |
| 570MPa級海浜用新耐候性鋼 | 0.02 | 0.29 | 0.99 | 0.011 | 0.003 | 0.37 | 2.70 | 0.02 | 0.27 | 0.15 |
| 570MPa級従来耐候性鋼 | 0.12 | 0.36 | 0.98 | 0.019 | 0.003 | 0.33 | 0.19 | 0.50 | 0.42 | 0.23 |

Ceq=C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14
 Pcm=C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B

3. 耐候性

田園用新耐候性鋼の倉敷市での腐食量を図1に示す。従来耐候性鋼と同じ腐食量を示す。また、地鉄界面での消光層の連続性、耐候性合金元素であるCr,Cu,Niの分布およびさび組成は従来耐候性鋼と同様である。このことから、田園用新耐候性鋼の耐候性能は従来耐候性鋼と同等である。

図2に海水散布試験における鋼材腐食量に及ぼすNi量の影響を示す。Ni量の増加に従い、腐食量は減少し、かつ腐食が飽和する傾向を示した。このことから耐塩特性にNi添加が効果的であることが分かる。図3に海浜用新耐候性鋼の沖縄での腐食量の経時変化を示す。1年9ヶ月時点での海浜用新耐候性鋼の腐食量

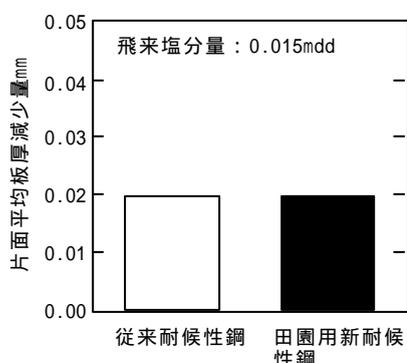


図1 田園用新耐候性鋼の倉敷での腐食量

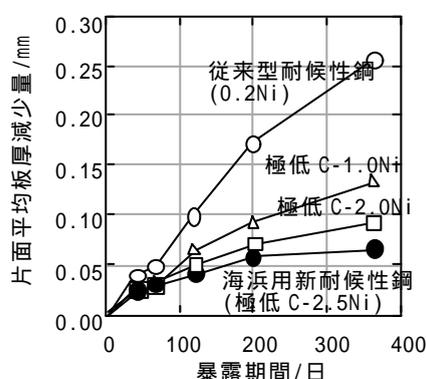


図2 腐食量に及ぼすNiの効果
 海水散布促進試験(水島岸壁
 週2回海水散布, 1h/回)

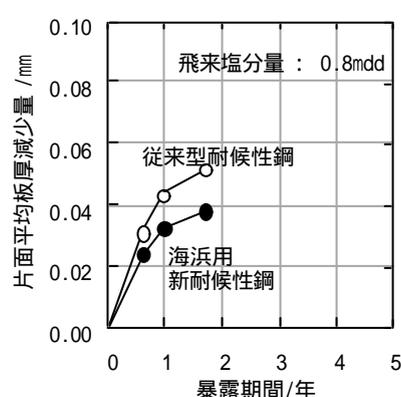


図3 海浜用新耐候性鋼の沖縄での腐食量の経時変化

は、従来耐候性鋼の70%である。また、従来耐候性鋼の暴露試験片の外観は橙色のさびが目立つのに対し、海浜用新耐候性鋼では暗褐色を呈する。なお、この暴露試験は現在も継続している。沖縄暴露試験片のさび層を解析した結果、従来耐候性鋼に対し海浜用新耐候性鋼のさび層は、1) 消光層の連続性が高い、2) 非晶質さびの比率が高い、3) 地鉄界面でのCl⁻量が少ない。これらのことから海浜用新耐候性鋼は、Niが緻密な消光層の形成を促進し、このさび層が地鉄への塩化物の侵入を抑制するため、優れた海浜耐候性を発揮するものと推定される。

4. 母材の機械的特性

母材の機械的特性を表2に示す。田園用では25mm、75mmいずれの板厚でもJIS SMA570Wの規格値を満足している。海浜用では25mm、50mmいずれの板厚でもJIS SMA400CW、490CW、570Wの規格値を満足している。

表2 母材の機械的特性

| 供試鋼 | 板厚 mm | 引張特性 | | | シャルピー衝撃特性 | | |
|---------------------|----------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|------------|
| | | YS MPa | TS MPa | EI % | vE0 J | vE-5 J | vE-20 J |
| 570MPa級田園用 新耐候性鋼 | 25 | 504 | 652 | 42 | - | 367 | 347 |
| | 75 | 459 | 615 | 28 | - | 292 | 299 |
| 400MPa級海浜用 新耐候性鋼 | 25 | 395 | 499 | 37 | 388 | - | 362 |
| | 50 | 382 | 481 | 37 | 397 | - | 395 |
| 490MPa級海浜用 新耐候性鋼 | 25 | 447 | 568 | 23 | 341 | - | 333 |
| | 50 | 448 | 580 | 33 | 357 | - | 310 |
| 570MPa級海浜用 新耐候性鋼 | 25 | 508 | 660 | 28 | - | 322 | 263 |
| | 50 | 483 | 629 | 28 | - | 292 | 261 |

5. 溶接性

溶接熱影響部(HAZ)の靱性を再現HAZ熱サイクル試験で評価した結果、田園用および海浜用いずれの鋼板でも、シャルピー吸収エネルギー(570MPa級は-5, 490MPa級と400MPa級は0)が、20~100kJ/cmの入熱範囲で150J以上、また200kJ/cmでも規格値である47J以上を超える値を示した。このことから大入熱溶接が可能である。

図4に570MPa級田園用新耐候性鋼、570MPa級海浜用新耐候性鋼および570MPa級従来耐候性鋼の板厚とP_{cm}の関係を示す。田園用、海浜用のP_{cm}はそれぞれ0.16, 0.15と低く、y形溶接割れ試験(JIS Z 3158, 湿度60%)において、20で割れは認められない。したがって、予熱を必要としない。最高硬さ試験(JIS Z3101)では、田園用、海浜用の最高硬さは570MPa級においても、ピッカース硬さでそれぞれ237, 258ポイントと低くすることが可能であることを確認した。

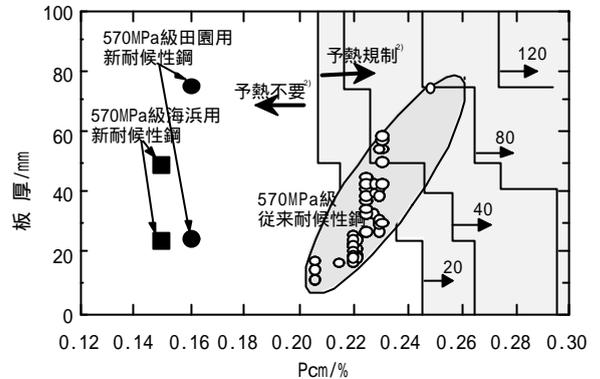


図4 鋼材予熱に及ぼす板厚とP_{cm}の関係

6. 溶接継手の機械的特性

海浜用新耐候性鋼の溶接材料には、海浜耐候性を具備させるため、母材と同等量のNiを添加し、開発した。表3に溶接継手の特性例として、サブマージーク溶接継手(入熱: 48.8kJ/cm)の機械的特性を示す。引張強度、シャルピー衝撃特性および側曲げ試験結果とも良好である。なお、田園用新耐候性鋼には従来耐候性鋼の溶接材料を使用出来、良好な継手特性を示すことを確認している。

表3 490MPa級海浜用新耐候性鋼の溶接継手特性例

| 溶接方法 | 溶接条件 | 引張特性 | | 継手側曲げ | シャルピー衝撃特性 | | |
|------|--------------------------------------|-----------|------|-------|-----------|-------------|--------|
| | | 引張強度(MPa) | 破断位置 | | 採取位置 | ノッチ位置 | vE0(J) |
| SAW | 650A-35V-28cm/min (48.8kJ/cm) | 609 | 母材 | 良好 | 試験片中央 | Weld Metal | 141 |
| | | | | | 試験片表面から | Fusion Line | 255 |
| | | | | | 板厚の1/4 | HAZ:1mm | 319 |
| | | | | | | HAZ:3mm | 321 |

7. 結言

極低炭素型田園用新耐候性鋼と海浜用新耐候性鋼は、溶接性、耐候性に優れ、橋梁などの施工、維持管理費用の低減に寄与する。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所, (社) 鋼材倶楽部, (社) 日本橋梁建設協会: 耐候性鋼の橋梁への適用に関する共同研究報告書(XX)(1993)
- 2) (社) 日本道路協会編: 道路橋示方書・同解説, I 共通編, II 鋼橋編, 平成8年12月
- 3) 岡津光浩, 林透, 天野虔一: 川崎製鉄技報, 30, 7(1998)