

I - A203

海浜環境で高耐候性を有する高力ボルトの性能試験

新日本製鐵* 正会員 高木優任 東京工業大学 正会員 市川篤司
日本鉄道建設公団 正会員 保坂鐵矢 日鐵ボルテン 櫻井久敏

1. はじめに 鋼橋の将来的なメンテナンスコスト低減を図れる材料として耐候性鋼材が注目されている。しかしながら、飛来塩分量が0.05mddを超える地区では鋼材表面に生成する緻密な錆が生成しにくく、腐食が進行することから、これらの地域では無塗装使用されていない。最近、飛来塩分量が0.05mddを超えるような高飛来塩分環境下においても無塗装使用が可能な高耐候性鋼材が開発されている²⁾。本文は、このような高耐候性鋼材を構造物に適用する際に必要となる、現場接合に用いられる高力ボルトを実橋梁へ適用するために行った各種の試験結果について報告するものである。

2. 成分系 文献2)において、高飛来塩分環境下での耐候性鋼材の耐食性を向上させる方法として、Niを3%程度添加し、Crを無添加とする方法が提案されている。高力ボルトの製造に関しても、耐食性を確保するため、基本的には同様の成分系としたが、高力ボルトとしての製造性、つまり、鍛造性、焼入れ・焼戻し特性等を考慮して成分設計を行った。試験に使用したボルトの成分を表-1に示す。なお、本試験においては、

通常の高力ボルトとの比較を行うため、表-1の下段に示す成分系の耐候性高力ボルトも製造し、同様の試験を行って比較することとした。		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	その他
	海浜耐候性鋼	0.23	0.19	0.50	0.007	0.003	0.35	2.97	—	微量元素
	通常の高力ボルト	0.22	0.21	0.77	0.015	0.021	0.34	0.38	0.65	微量元素

通常の高力ボルトとの比較を行うため、表-1の下段に示す成分系の耐候性高力ボルトも製造し、同様の試験を行って比較することとした。

3. 試験項目 高力ボルト摩擦接合としての性能を確認する試験として、表-2に示すような試験を実施した。継手としての施工性、長期の使用性能を確保する観点から、ボルトの機械的性質、耐食性、耐遅れ破壊性、継手性能を確認することを考え、試験項目を設定した。

4. 試験結果 主要な試験結果を以下に示す。

(1) ボルト性能 ボルトの強度水準としては、通常使用されるF8T、F10Tの2種類を考えた。通常、F10Tでは強度が110kgf/mm²以下となるように製造しているが、高力ボルトで問題となる遅れ破壊に対する感受性は強度が高くなるほど敏感となることから、F10Tの強度範囲

の上限(120kgf/mm²)を狙ったボルトも製造し、試験することにした。表-1に示す成分系の同一の鋼材の熱処理温度を変えることにより強度を調整し、高力ボルトを製造した。製造した高力ボルトの機械的性質を表-3に示す。高力ボルトの遅れ破壊に関しては、ボルトの製造過程における焼戻し温度

表-2 試験内容

着目点	試験項目
ボルト・ナット・座金の機械的性質(JIS B1186)	- ボルト試験片引張、製品引張、硬さ - ナットの保証荷重、硬さ - 座金の硬さ - セットのトルク係数値
ボルトの断面硬さ分布	- 断面硬さ分布 - 金属組織
部材の締付け性能	軸力-ナット回転角の関係
継手性能	- リラクセーション試験 - すべり試験
耐食性	- 塩水噴霧試験 - 大気暴露試験
遅れ破壊	- JIS原案法による遅れ破壊試験 - 暴露試験

表-3 ボルトの機械的性質

鋼種	等級	JIS4号試験片引張				硬さ (HRC)
		耐力 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	
JIS B1186	F8T	64以上	80~100	16以上	45以上	18~31
	F10T	90以上	100~120	14以上	40以上	27~38
海浜耐候性ボルト	F8T	89.2	93.8	21.1	67.2	27
	F10T	104.8	107.7	18.5	66.9	32
耐候性ボルト	F10T 上限	112.9	118.0	16.3	65.4	36
	F8T	84.8	90.1	22.3	68.2	26
耐候性ボルト	F10T	102.6	109.1	17.7	66.0	33
	F10T 上限	111.8	118.9	16.2	64.8	36

度が350℃付近の場合に影響が顕著になることが指摘されている³⁾。今回の試験に用いた海浜耐候性高力ボルトキーワード：耐候性鋼、高力ボルト、すべり係数、遅れ破壊

*連絡先：〒100-8071 東京都千代田区大手町 2-6-3 TEL:03-3275-7962 FAX:03-3275-5636

表-4 すべり係数

	海浜耐候性 (標準軸力)	海浜耐候性 (軸力 10%増)	耐候性 (標準軸力)	耐候性 (軸力 10%増)
No.1	0.561(0.568)	0.589(0.611)	0.594(0.608)	0.633(0.643)
No.2	0.637(0.664)	0.601(0.616)	0.595(0.611)	0.641(0.656)
No.3	0.593(0.600)	0.566(0.580)	0.606(0.622)	0.607(0.619)
平均	0.597(0.611)	0.585(0.602)	0.598(0.614)	0.627(0.639)

引張試験開始時の軸力で評価、()内はすべり時の軸力で評価した値
トは、すべての強度クラスで遅れ破壊に対して製造上の問題がないように焼戻し温度が 350℃を上回るような成分系として製造している。

(2)継手性能 継手性能を評価するため、F10T,M22 のボルトを用いて、①海浜耐候性高力ボルト+海浜耐候性鋼板(SMA490W 相当)、②耐候性高力ボルト+耐候性鋼板(SMA490W)の2種類の組み合わせで高力ボルトのリラクション試験を行い、その後すべり係数を求めるための引張試験を行った。試験体の形状・寸法を図-1に示す。ボルトの導入軸力レベルとしては、F10Tの標準軸力(22.6tf)、ならびに施工時の導入軸力として標準軸力の 10%増し(24.9tf)の2水準で試験を行った。摩擦面は耐候性鋼の裸使用を想定し、ショットブラストの後、赤錆を発生させ、ワイヤブラシにより浮錆を除去した状態とした。図-2に高力ボルトのリラクション試験の結果(平均値)、表-4に引張試験の結果得られたすべり係数を示す。1ヶ月間のリラクション試験におけるボルト軸力の低下は初期軸力の大きさに関係なく約 2.5%であり、海浜耐候性高力ボルトと通常の耐候性高力ボルトとは同水準であった。また、いずれの試験体も土木鋼構造物の設計で一般に考慮しているすべり係数 0.4 に対して大きなすべり係数を確保しており、継手としての性能に問題のないことが確認された。

(3)遅れ破壊特性 遅れ破壊の評価に関する試験方法は各種提案されているが、ここでは JIS 原案法による遅れ破壊試験⁴⁾を行った。JIS 原案法とは、腐食液(pH2の塩酸水溶液)中に浸した切欠きを有する供試体に所用の曲げ負荷を与え、破壊に至るまでの所要時間を測定するものである。図-3は、試験の結果得られた遅れ破壊線図である。図の縦軸は負荷応力(σ)を腐食液に浸漬しない場合の破断応力(σ_0)で無次元化した値、横軸は破断時間を示す。また、図中には 10^4 分で破壊が生じない限界応力比 σ_d/σ_0 をそれぞれの鋼種に対して示した。文献⁴⁾では、実績の調査から硬さ 35~40HRC、 $\sigma_d/\sigma_0 < 0.6$ では遅れ破壊の生じる可能性があるとしているが、今回の試験においてはいずれの供試鋼においても $\sigma_d/\sigma_0 > 0.6$ という結果が得られ、遅れ破壊に対しても問題ないと評価できる。

5. まとめ 海浜環境における耐食性を向上させるため、Ni を 3%程度添加し、Cr を無添加とした高力ボルトを製作し、各種の試験を行った。その結果、高力ボルトとしての性能、継手としての性能は十分満足できるものであることを確認した。なお、耐食性能については、室内促進試験で良好な結果が得られたが、より実環境に近い屋外環境での耐食性を評価するため、親不知、沖縄などの腐食環境の厳しい場所に別途大気暴露試験体を設置し、追跡調査を実施中である。

<参考文献> ①建設省土木研究所、鋼材倶楽部、日本橋梁建設協会：無塗装耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書(XX)，1993.3 ②田辺、宇佐見、紀平、富田：橋梁用高海浜耐候性鋼の研究(その1)，土木学会第53回年次学術講演会講演概要集，I-A50，1998.10 ③松山、遠藤、藤井、菅原、高橋：耐力点締め付けを行った高力ボルトの遅れ破壊特性、橋梁と基礎，1995-7 ④松山：遅れ破壊，日刊工業新聞社，1989

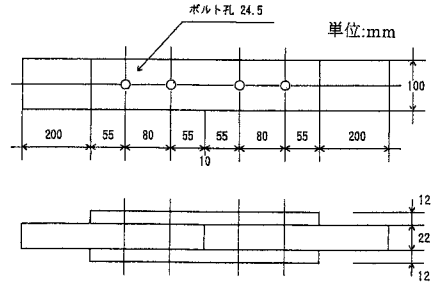


図-1 リラクション・すべり試験供試体の形状・寸法

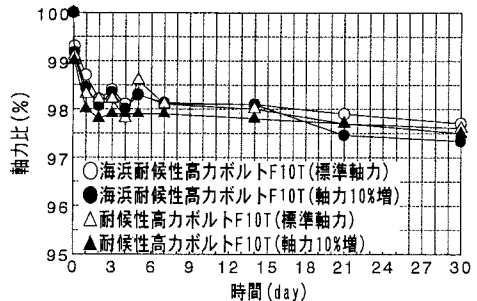


図-2 リラクション試験の結果(3本の平均値)

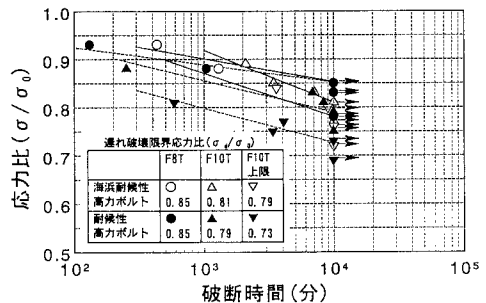


図-3 遅れ破壊線図