

ニッケル系 高耐候性鋼 Ver.2 (NAW-TEN®)

1%ニッケル高耐候性鋼 (V12)

1 耐候性鋼の弱点を克服したニッケル系高耐候性鋼 (NAW-TEN®)

鋼材の最大の弱点であるさびの問題をさびによって抑制する耐候性鋼は、橋梁をはじめとする鋼構造物のメンテナンス負荷軽減のため広く適用されてきました。しかし、海からの飛来塩分の影響が大きい地区においては必ずしも期待通りの効果が得られないケースが出てまいりました。そのような背景から1981年から1993年にかけて当時の建設省土木研究所、(社)日本橋梁建設協会、(社)鋼材倶楽部の3者で実施された長期的な全国曝露試験を含む検討からJIS 耐候性鋼の適用基準が定められ、2000年の「道路橋示方書・同解説」にも“解説”されました。(図1)

日本の国土の主要地域は殆ど海岸線に近いことから、これらの地域を結ぶ交通網も海岸からの距離は近くならざるを得ません。そこで“耐塩害性を高めた高性能”な鋼材へのニーズに応えた新しい耐候性鋼が3%ニッケル高耐候性鋼(ⅴ15)です。

弊社では、世界で最初にこの鋼材を開発し、1998年に日本鉄道建設公団殿(現、鉄道・運輸機構)北陸新幹線北陸道架道橋(仮称)で初めて採用され製造を開始しました。

本鋼材の開発技術は、1999年度市村産業賞貢献賞、2009年にものづくり日本大賞優秀賞を受賞いたしました。

目次

1 耐候性鋼の弱点を克服したニッケル系高耐候性鋼	1
2 耐候性に及ぼす合金元素の影響	2
3 NAW-TENメカニズム(3Ni鋼の例)	3
4 ニッケル系高耐候性鋼板規格	4
5 実鋼板データ例	6
6 溶接性データ例	6
7 ニッケル系高耐候性鋼用溶接材料	7
8 溶接継手特性例	8
9 ニッケル系高耐候性鋼用高力ボルト	8
10 ニッケル系高耐候性鋼の適用例	9

ご注意とお願い

本資料に記載された技術情報は、製品の代表的な特性や性能を説明するものであり、「規格」の規定事項として明記したもの以外は、保証を意味するものではありません。本資料に記載されている情報の誤った使用または不適切な使用等によって生じた損害につきましては責任を負いかねますので、ご了承ください。また、これらの情報は、今後予告なしに変更される場合がありますので、最新の情報については、担当部署にお問い合わせください。本資料に記載された内容の無断転載や複写はご遠慮ください。

本資料に記載された製品または役務の名称は、当社および当社の関連会社の商標または登録商標、或いは、当社および当社の関連会社が使用を許諾された第三者の商標または登録商標です。

その他の製品または役務の名称は、それぞれ保有者の商標または登録商標です。

日本製鉄のニッケル系高耐候性鋼の特長

1. JIS 耐候性鋼適用規定(図1)外の環境においても優れた耐候性を発揮します。
2. 化学成分以外はすべてJIS 耐候性鋼に適合します。
 - JIS 耐候性鋼と同様、引張り強さ400～570N/mm²級のメニューをご提供しています。
 - JIS 耐候性鋼と同等の機械的性質を保証しています。
 - JIS 耐候性鋼と同等サイズの厚板を提供しています。
3. ニッケル系高耐候性鋼専用の溶接材料と高力ボルトも開発し、製作上の利用技術を総合的に提供していきます。

耐候性鋼利用技術の提供

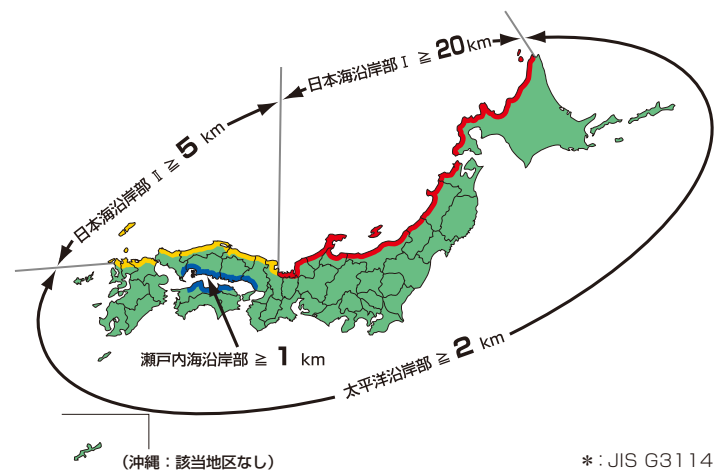
耐候性鋼の適用に関して、より安全で安心なミニマムメンテナンス技術を実現すべく、トータルソリューション技術を提案していきます。

- ① 従来の飛来塩分量に加え、温度・湿度・硫黄酸化物等の影響を考慮した腐食板厚減耗予測技術**
- ② 初年度の腐食量を測定し腐食環境を定量化する“ワッペン試験片”
- ③ 維持管理のための診断装置として、さび膜・塗膜の環境遮断機能を迅速かつ簡便に定量測定するRST(Rust State Tester)の開発

**：2005年 土木学会 田中賞(論文部門)受賞

図1-1 無塗装耐候性鋼(JIS 耐候性鋼*)の適用指針 (建設省土木研究所、鋼材倶楽部、日本橋梁建設協会)

- ① 飛来塩分量 $\leq 0.05\text{mdd}(\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day})$
- ② 下記の地域については飛来塩分量の測定を省略してもよい



*：JIS G3114 溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材

2 耐候性に及ぼす合金元素の影響

0.05C-0.25Si-1.35Mnの鋼にP, Cu, Niの各合金元素を単独添加して模擬海浜大気環境曝露試験(5%NaCl塩水散布曝露試験:12ヵ月)を行い腐食による平均板厚減少量を測定した結果、P, Cu, Niの添加が有効であり、特にNiの効果が大きいことが判りました。一方、通常の耐候性には有効とされるCrについては有害であることが判りました(図2-1)。

この結果をもとに、従来の耐候性鋼(COR-TEN®鋼)をベースに鋼中のNi添加量を増やし高飛来塩分地区での耐食性に有害なCrを無添加としたのがニッケル系高耐候性鋼です。ニッケル系高耐候性鋼は環境条件の厳しい地域における数年間の大気曝露試験結果でも優れた特性を示しております(図2-2)。

COR-TEN®は、United States Steel Corp.の登録商標です。

図2-1 模擬海浜大気環境(塩水散布曝露試験1年)における各種合金元素添加の影響

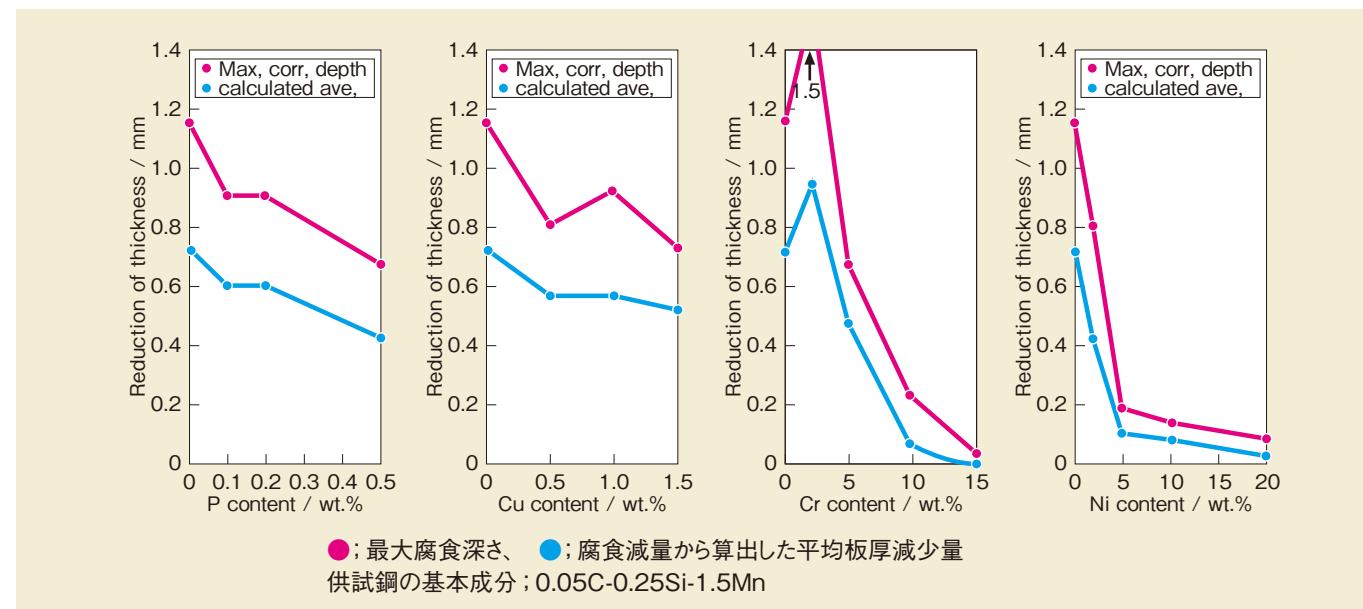
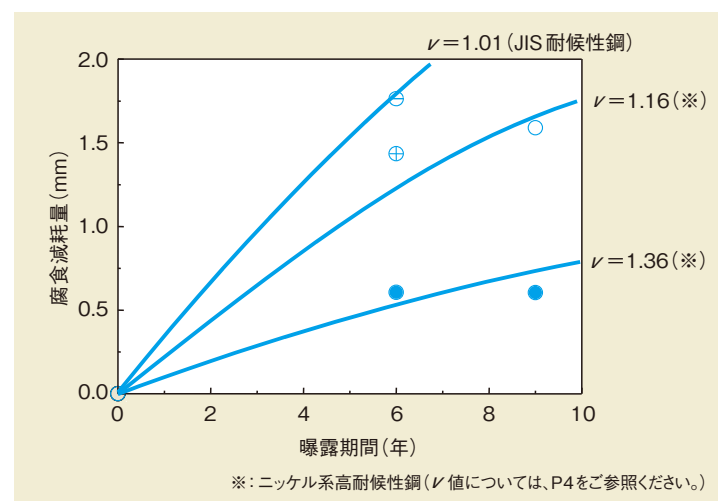


図2-2 大気曝露試験例

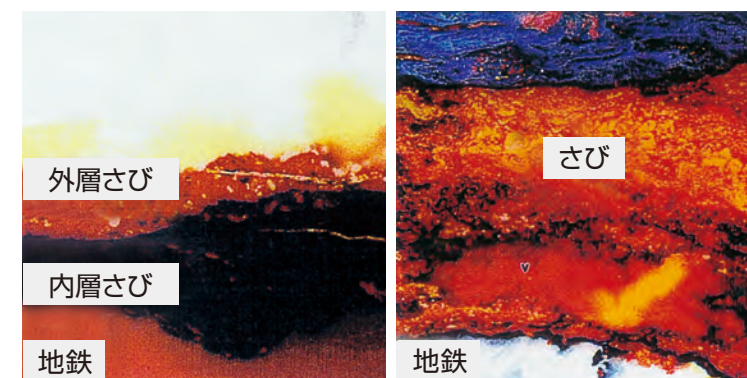


3 NAW-TENメカニズム(3Ni鋼の例)

JIS耐候性鋼で緻密な保護性さびの生成が困難な塩分飛来環境において、3%ニッケル高耐候性鋼(ν15)は、緻密で保護性のある内層さび(偏光顕微鏡で黒く見える部分:消光層)を形成可能です。

地鉄界面にNa⁺が濃縮し、外層さびにCl⁻が濃縮することで、塩分飛来環境において、腐食の進行を抑制させます。

写真3-1 さび断面偏光顕微鏡写真a)、b)



a) 君津市臨海部に9年間曝露腐食させた3%Ni高耐候性鋼(ν15) b) 君津市臨海部に9年間曝露腐食させたJIS耐候性鋼

図3-1 地鉄界面アルカリ化によるさび機能制御原理

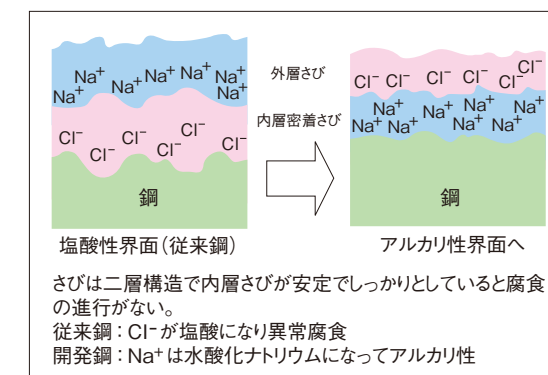
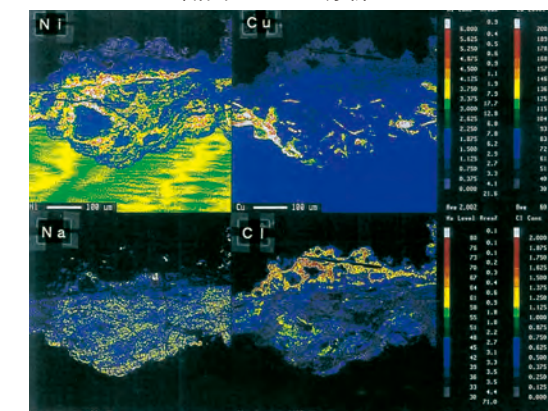
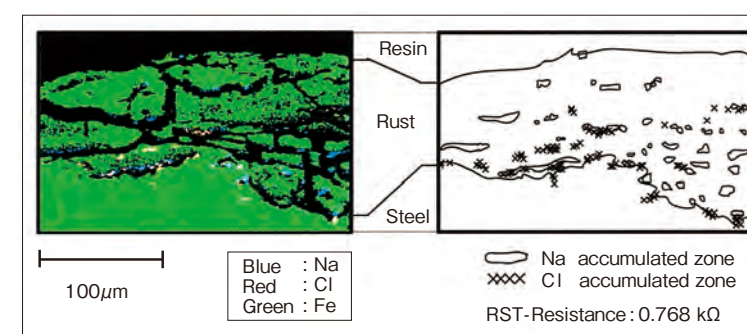


写真3-3 3%Ni高耐候性鋼(ν15)9年曝露材さび断面のEPMA分析



さび断面のEPMA元素分布分析
Cl⁻が外層さびに、Na⁺が内層さびに濃化している

写真3-2 塩分の影響を受けたJIS耐候性鋼さび断面のEPMA分析



4 ニッケル系高耐候性鋼板規格

ニッケル系高耐候性鋼はNi添加量を増加し、Crを無添加としているため化学成分はJIS G 3114 (JIS 耐候性鋼)と異なりますが、その他はすべてJIS G 3114に従っております。ニッケル系高耐候性鋼の、種類の記号についてはJIS G 3114の種類の記号の後ろに耐候性能に合わせ*「-MOD- V12」を追加いたします。
なお、日本製鉄規格としての種類の記号は、*「NAW-TEN® 12」といたします。

*数値は、耐候性能を表す v 値 (表 4-2 (注) 参照) の保証値の10倍を意味します。

表 4-1 種類の記号

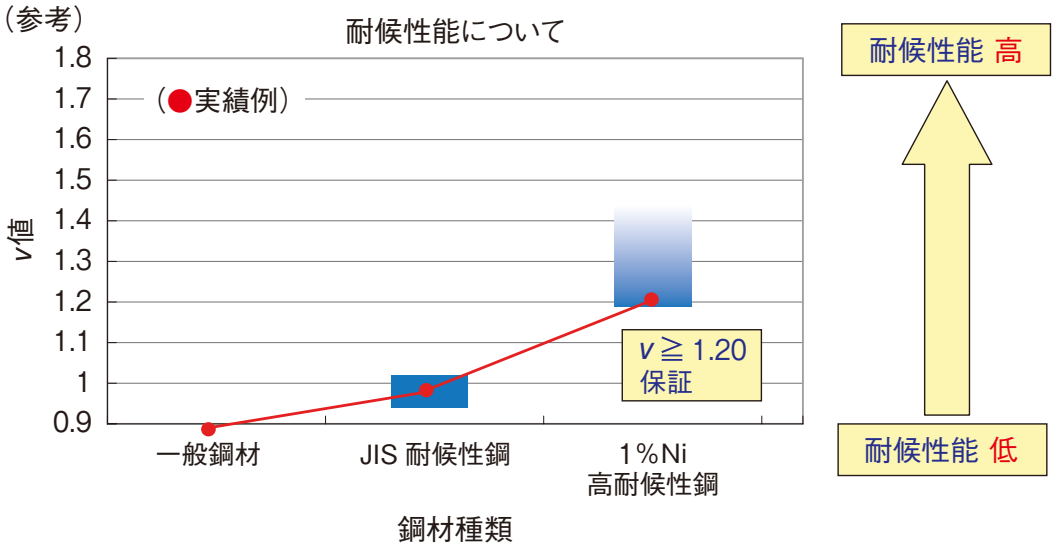
材料 (グレード)	種類の記号		適用厚さ (mm)
	相当JIS表記	日本製鉄規格表記	
1%Ni 高耐候性鋼 (V12)	SMA400*W-MOD- V12	NAW-TEN12-400*	6~100
	SMA490*W-MOD- V12	NAW-TEN12-490*	
	SMA570W-MOD- V12	NAW-TEN12-570	

*:シャルピー吸収エネルギー要求レベルに応じ、"A","B","C"と表記する。

表 4-2 化学成分

材料 (グレード)	種類の記号 (日本製鉄規格記号)	化学成分 (mass%)								
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	v 値
1%Ni 高耐候性鋼 (V12)	SMA400*W-MOD- V12 (NAW-TEN12-400*)	0.18 以下	0.15 ~ 0.65	1.25 以下	0.035 以下	0.035 以下	0.50 ~ 1.00	0.70 ~ 1.70	0.08 以下	1.20 以上
	SMA490*W-MOD- V12 (NAW-TEN12-490*)			1.40 以下						
	SMA570W-MOD- V12 (NAW-TEN12-570)									

*:シャルピー吸収エネルギー要求レベルに応じ、"A","B","C"と表記する。



耐候性合金指標 V は JIS G 3140 附属書に記載されています。

(注) JIS 耐候性鋼は、各合金元素毎の規定のみで V 値規定はないため実績レベルで表記

(注) 耐候性合金指標 (V 値) は以下に示す式による。 単位 : mass%

$$V \text{ 値} = 1 / \{ (1.0 - 0.16[C]) \times (1.05 - 0.05[Si]) \times (1.04 - 0.016[Mn]) \times (1.0 - 0.5[P]) \times (1.0 + 1.9[S]) \times (1.0 - 0.10[Cu]) \times (1.0 - 0.12[Ni]) \times (1.0 - 0.3[Mo]) \times (1.0 - 1.7[Ti]) \}$$

(三木千壽・市川篤司・鵜飼真・竹村誠洋・中山武典・紀平寛：無塗装橋梁用鋼材の耐候性鋼合金指標および耐候性評価法の提案、土木学会論文集、No.738／1-64、271-281、2003.7)

表 4-2 降伏点または耐力、引張強さおよび伸び (JIS G3114 と同じ)

種類の記号 (日本製鉄規格記号)	降伏点または耐力 (N/mm ²)				引張強さ (N/mm ²)	伸び		
	板厚 (mm)					板厚 (mm)	試験片	(%)
	16以下	16<t≤40	40<t≤75	75<t≤100				
SMA400*W-MOD-V12 (NAW-TEN12-400*)	≥245	≥235	≥215	≥215	400～540	t≤16	1A号	≥17
						t>16	1A号	≥21
						t>40	4号	≥23
SMA490*W-MOD-V12 (NAW-TEN12-490*)	≥365	≥355	≥335	≥325	490～610	t≤16	1A号	≥15
						t>16	1A号	≥19
						t>40	4号	≥21
SMA570W-MOD-V12 (NAW-TEN12-570)	≥460	≥450	≥430	≥420	570～720	t≤16	5号	≥19
						t>16	5号	≥26
						t>20	4号	≥20

*:シャルピー吸収エネルギー要求レベルに応じ、"A","B","C"と表記する。

表 4-3 シャルピー吸収エネルギー (JIS G3114 と同じ)

種類の記号 (日本製鉄規格記号)	試験温度 (°C)	シャルピー吸収エネルギー (J)	試験片
SMA400BW-MOD-V12 (NAW-TEN12-400B)	0	≥ 27	Vノッチ試験片 圧延方向 (板厚 12mm 超の 鋼板に適用)
SMA400CW-MOD-V12 (NAW-TEN12-400C)		≥ 47	
SMA490BW-MOD-V12 (NAW-TEN12-490B)		≥ 27	
SMA490CW-MOD-V12 (NAW-TEN12-490C)		≥ 47	
SMA570W-MOD-V12 (NAW-TEN12-570)	-5	≥ 47	

5 実鋼板データ例

表 5-1 実績化学成分 (mass%)

グレード	種類の記号 (日本製鉄規格記号)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	P _{CM}	ν値
V12	SMA400W-MOD-V12 (NAW-TEN12-400)	0.10	0.21	0.89	0.015	0.001	0.76	1.17	0.03	0.01	0.00	0.01	0.21	1.23
	SMA490W-MOD-V12 (NAW-TEN12-490)	0.09	0.21	1.37	0.012	0.002	0.75	1.18	0.02	0.01	0.00	0.00	0.22	1.21
	SMA570WQ-MOD-V12 (NAW-TEN12-570)	0.08	0.21	1.37	0.011	0.002	0.77	1.18	0.02	0.01	0.00	0.00	0.22	1.21

(注)シャルピー吸収エネルギー要求レベル "A","B","C" 表記は省略

表 5-2 機械的性質

グレード	種類の記号 (日本製鉄規格記号)	板厚 (mm)	引張試験			シャルピー衝撃試験	
			YP	TS	EL	試験温度	吸収エネルギー
			(N/mm ²)		(%)	(℃)	(J)
V12	SMA400W-MOD-V12 (NAW-TEN12-400)	9	405	495	26	0	—
		25	355	474	30		254
		50	352	479	38		201
		100	336	470	37		208
	SMA490W-MOD-V12 (NAW-TEN12-490)	9	396	576	21	0	—
		16	419	535	24		205
		25	363	513	26		275
		50	361	502	36		221
		80	379	509	36		275
	SMA570WQ-MOD-V12 (NAW-TEN12-570)	9	614	626	29	-5	—
		12	596	655	28		—
		50	509	607	30		290
		80	520	576	33		297

(注)シャルピー吸収エネルギー要求レベル "A","B","C" 表記は省略

6 溶接性データ例

●570N/mm²級

表6-1 最高硬さ試験 (JIS Z3101)

グレード	種類の記号 (日本製鉄規格記号)	板厚 (mm)	溶接条件							試験結果		
			溶接棒	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱 (kJ/mm)	雰囲気温度 (℃)	湿度 (%)	予熱温度(℃)		
										なし(20)	50	100
V12	SMA570WQ-MOD-V12 (NAW-TEN12-570)	50	L-60S	170	24	15	1.7	20	60	251	240	223

表6-2 y型溶接割れ試験 (JIS Z3158)

グレード	種類の記号 (日本製鉄規格記号)	板厚 (mm)	溶接条件							試験結果					
			溶接棒	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱 (kJ/mm)	雰囲気温度 (℃)	湿度 (%)	予熱なし(20℃)			予熱温度50℃		
										表面割れ(%)	断面割れ(%)	ルート割れ(%)	表面割れ(%)	断面割れ(%)	ルート割れ(%)
V12	SMA570WQ-MOD-V12 (NAW-TEN12-570)	50	L-60S	170	24	15	1.7	20	60	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0

7 ニッケル系高耐候性鋼用溶接材料

ニッケル系高耐候性鋼のグレードに応じた各種溶接材料を*日鉄溶接工業(株)にて用意しております。

表7-1 溶接材料一覧

グレード	溶接方法	強度区分		
		400MPa 級	490MPa 級	570MPa 級
V12	SAW 突合せ	Y-204B × NF-320M		
	SAW すみ肉	Y-204B × NF-820		
	FCAW	SF-50WLN(CO ₂)		SF-60T (CO ₂)
	GMAW	YM-1N(Ar+CO ₂)		YM-70C (CO ₂)
	SMAW	N-11		L-60S

表7-2 溶接材料化学成分例

グレード	溶接方法	溶接材料	強度区分	化学成分 (mass%)										ν値
				C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	
V12	SMAW	N-11	~490N	0.07	0.54	1.20	0.010	0.004	0.06	1.65	0.03	0.01	0.02	1.26
		L-60S	~570N	0.05	0.68	1.11	0.010	0.003	0.05	1.44	0.02	0.18	0.03	1.32
	MAG	YM-1N	~490N	0.04	0.28	0.98	0.006	0.006	0.34	1.08	0.04	0.25	0.02	1.25
		YM-70C	~570N	0.06	0.50	1.27	0.007	0.003	0.41	1.53	0.03	0.36	0.03	1.46
	FCAW	SF-50WLN	~490N	0.05	0.47	1.33	0.014	0.005	0.35	1.45	0.03	0.01	0.06	1.35
		SF-60T	~570N	0.04	0.42	1.41	0.011	0.005	0.35	1.48	0.02	0.08	0.03	1.31
	SAW	Y-204B × NF-320M	~570N	0.05	0.29	1.42	0.009	0.005	0.30	1.03	0.05	0.28	0.02	1.27

表7-3 溶接材料の特性例

グレード	溶接方法		SAW		GMAW		FCAW		SMAW	
V12	銘 柄		Y-204B		YM-1N	YM-70C	SF-50WLN	SF-60T	N-11	L-60S
			NF-320	NF-820						
	YP(N/mm ²)		561	538	519	626	562	618	513	525
	TS(N/mm ²)		629	619	577	664	633	667	656	639
	EL(%)		32	28	32	31	29	31	28	30
	vE	(℃)	- 5	0	0	- 5	0	- 5	0	- 5
(J)		157	64	198	104	136	83	223	224	
溶接電流範囲	溶接姿勢 ワイヤ径 電流範囲		下向き：AC 4.0mm：400～600A 4.8mm：550～800A	シングル下向き 4.0mm：500～600A 4.8mm：550～700A	下向き：DC(+) 1.2mm：100～350A 1.6mm：200～400A	下向・横向：DC(+) 水平すみ肉：DC(+) 1.2mm：180～280A	水平すみ肉：DC(+) 1.2mm：180～300A	下向き：AC, DC(+) 3.2mm：100～140A 4.0mm：140～190A 5.0mm：190～250A 6.0mm：250～310A		
			入熱：3 - 5kJ/mm	シングル水平 4.0mm：500～650A 4.8mm：650～750A	立向(上進)：DC(+) 1.2mm：180～250A (自動溶接)	立向(上進)：DC(+) 1.2mm：180～250A (自動溶接)	—	立向・上向：AC, DC(+) 3.2mm：90～130A 4.0mm：120～170A 5.0mm：140～190A 6.0mm：—		

*問い合わせ先: 日鉄溶接工業株式会社
〒135-0016 東京都江東区東陽2丁目4番2号 新宮ビル TEL:03-6388-9000 FAX:03-6388-9160 www.weld.nipponsteel.com

8 溶接継手特性例

●570N/mm²級

表8-1 継手性能

グレード	種類の記号 (日本製鉄規格記号)	溶接方法	溶接材料	板厚(mm)/ 開先形状	入熱 (kJ/mm)	継手引張試験 (JIS短ゲージ) (N/mm ²)	シャルピー衝撃試験			
							厚み位置	試験温度 (℃)	吸収エネルギー(J)	
								溶接金属	ボンド	
V12	SMA570WQ-MOD-V12 (NAW-TEN12-570)	SAW	Y-204B× NF-320M	50/ X	7.4	619	t/4	－ 5	157	190
		MAG	YM-70C	50/ X	3.4	633			104	184
		FCAW	SF-60T	50/ X	3.0	621			83	84

写真9-1 曝露試験状況



裸仕様

さび安定化
補助処理仕様

表9-4 すべり係数試験(M22)例

試験体種類	初期導入軸力 (tonf)	すべり係数	
		個々値	平均値
赤さび状態	23.5	0.584	0.624
	23.3	0.652	
	22.2	0.637	
厚膜系 無機ジンク	22.7	0.591	0.628
	22.1	0.655	
	22.4	0.637	
要求値	≥ 20.5	—	≥ 0.4

*問い合わせ先：日鉄ボルテン(株)
〒559-0022
大阪府大阪市住之江区緑木1丁目4番16号
TEL:06-6682-3261
FAX:06-6682-3270

9 ニッケル系高耐候性鋼用高力ボルト(F10TMR、S10TMR)

ニッケル系高耐候性鋼用の高力ボルトとしてNiを2.5%以上添加し、耐候性合金指標(ν値)1.50以上のボルトを*日鉄ボルテン(株)にて用意しております。
高力ボルトの種類としては、高力六角ボルトと高力TCボルト(トルシア形高力ボルト)を製造しております。
また、ニッケル系高耐候性鋼にさび安定化補助処理を施した場合に用いる高力ボルトも製造しております。

表9-1 化学成分・規格と実績例

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Mo	Ti	B	ν 値
規格	0.20~0.25	0.15~0.25	0.40~0.60	0.030以下	0.030以下	—	0.30~0.50	2.50~3.50	0.15~0.25	—	0.0010~0.0025	1.50以上
例	0.22	0.21	0.50	0.009	0.004	—	0.35	3.00	0.20	0.03	0.0020	1.74

表9-2 高力ボルトの機械的性質・規格と特性例

等級	JIS4号試験片引張				製品引張		硬さ HRC
	耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	引張荷重 (kN)	T/Ae (N/mm ²)	
F10T	規格	900以上	1000~1200	14以上	40以上	303以上	27~38
F10TMR	例	1027	1055	18	67	321	32

表9-3 ナット・座金の機械的性質・規格と特性例

	ナット(F10T)		座金(F35)
	保証荷重試験	硬さ(HRC)	硬さ(HRC)
規格	303kN	HRB95 (HRC16)~HRC35	35~45
例	合格	27	39

* 1 Ae:M22ねじ有効断面積303mm²
* 2 高力TCボルト等級表示はS10TMR

10 ニッケル系高耐候性鋼の適用例

凡例：①橋梁名 ②施主 ③所在地 ④橋梁形式等 ⑤鋼材耐候性グレード ⑥表面仕様 ⑦鋼材製造年(撮影年)



写真10-1 ①北陸新幹線北陸道架道橋
②日本鉄道建設公団(現、鉄道・運輸機構) ③新潟県
④箱桁・鋼管桁(4主)・橋脚 ⑤V15
⑥さび安定化補助処理 ⑦1998(2005.9)



写真10-2 ①東橋 ②名古屋市
③愛知県 ④鉸桁(5+5主) ⑤V12、V15
⑥さび安定化補助処理 ⑦2007(2013.6)



写真10-3 ①神崎跨線橋 ②大分県 ③大分県 ④鉸桁(5主)
⑤V12 ⑥裸 ⑦2010(2013.11)



写真10-4 ①宇都架道橋 ②鉄道・運輸機構 ③長崎県 ④箱桁・橋脚
⑤V12 ⑥さび安定化補助処理 ⑦2018(2022.12)