

耐候性鋼材の特性について

久 田 清 明*
 安 永 和 民**
 小 池 与 作***
 大 野 章****

1. 緒 言

大気中に暴露された鋼材に発生する錆の防止法については、従来我が国においては塗装による方法が一般的であったが、近年ようやく耐候性鋼に対する関心が高まり、車輛・産業機械を初め、最近では建築橋梁関係にも使用されている。このため、我が国製鉄各社は、ヨーテン（八幡製鉄）カブテン（日本鋼管）ジルテン（日本製鋼）リバーテン（川崎製鉄）など種々の耐候性鋼を製造しているが、当社はU. S. Steel が1933年に開発した“COR-TEN鋼”に関して技術導入を行い、昭和35年より“フジコルテン”として市販を開始した結果、現在までに数万屯の販売実績を得ている。しかし何分にも我が国における耐候性鋼使用の歴史は極めて浅いので、以下にフジコルテンの特性と接合について報告し、今後の御参考に供したい。

2. 化学成分及び機械的性質

(1) 化学成分

フジコルテンは板厚12mm以下はP-Cu-Cr-Ni系、12mm超はCu-Cr-V系の低合金キルド鋼である。オ1表に化学成分の規格値および実例を示す。

オ1表 フジコルテンの化学成分

	板 厚	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	V	Ceq
規格	12 mm以下	0.12 $\geq$	0.25 ~0.75	0.20 ~0.50	0.07 ~0.15	0.035 $\geq$	0.25 ~0.55	0.30 ~1.25	0.65 $\geq$	—	—
	12 mm 超	0.10 ~0.19	0.15 ~0.30	0.90 ~1.25	0.035 $\geq$	0.035 $\geq$	0.25 ~0.40	0.40 ~0.65	—	0.02 ~0.10	—
実例	6	0.09	0.48	0.38	0.090	0.009	0.29	0.73	0.39	—	0.32
	13	0.10	0.25	0.90	0.013	0.010	0.29	0.54	—	0.03	0.37
	18	0.11	0.24	0.99	0.014	0.010	0.30	0.52	—	0.03	0.39
	25	0.12	0.26	0.97	0.012	0.008	0.31	0.50	—	0.03	0.40
	38	0.16	0.22	0.98	0.012	0.006	0.29	0.55	—	0.03	0.44

$$* Ceq = C + \frac{1}{16}Mn + \frac{1}{24}Si + \frac{1}{40}Ni + \frac{1}{16}Cr + \frac{1}{14}V$$

表中の特殊成分はそれ単独においても耐候性の効果を有するが、特定の組合せで更に著しい効果をもたらすことが、U. S. Steel の実地試験の結果明かにされている。

* 富士製鉄株式会社 本社技術開発部長 *** 富士製鉄株式会社中央研究所研究部長
 ** " 広畑製鉄所技術管理部長 **** " 本社技術開発部

(2) 機械的性質

フジコルテンは引張り強さ 50 キロクラスの高張力鋼であるが、降伏点は SM50 より 1 割程度高く、いわゆる析出硬化系 50 キロ鋼と同等である。オ 2 表に機械的性質の規格値および実例を示す。

オ 2 表 フジコルテンの機械的性質

	板 厚	熱 処 理	引 張 り 試 験			曲 ゲ 試 験 (角度 180℃)
			降伏点 Kg/mm ²	引張強さ Kg/mm ²	伸び %	
規 格	38mm 以下	—	>36	≥50	≥20	18 以下 0.5 t 18 ~ 25 0.75 t 25 ~ 38 1 t
	38mm 超		>35			38 ~ 63 1.25 t 63 超 1.5 t
実 例	6	圧延のまま	40.0	52.0	25.0	密着 良好
	13	圧延のまま	41.0	54.3	23.7	0.5t 良好
		焼 ナ ラ シ	40.1	52.5	27.5	" "
	18	圧延のまま	40.5	54.5	25.0	0.5t 良好
		焼 ナ ラ シ	39.4	52.9	28.0	" "
	25	圧延のまま	39.7	54.1	26.0	0.75t 良好
		焼 ナ ラ シ	38.9	52.4	30.0	" "
	38	圧延のまま	38.7	55.6	26.0	1.0t 良好
		焼 ナ ラ シ	38.1	54.0	32.0	" "

(3) 衝撃試験結果

フジコルテンの切欠靱性には、12mm 超の厚板に対して SM50 と同じく A, B, C の 3 水準がある。オ 3 表に規格値および実例を示す。

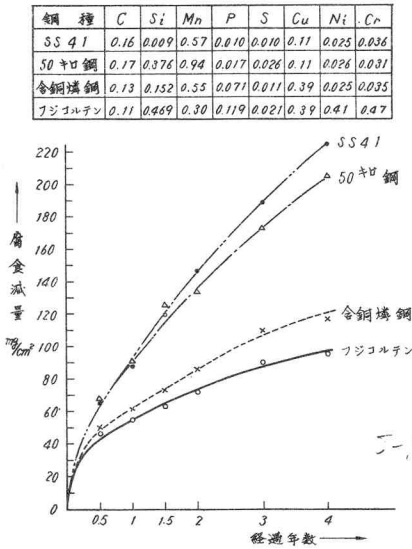
オ 3 表 フジコルテンの衝撃値

	板 厚	熱 処 理	$v E o$ Kg-m	$v T v 15$ ℃	$v T v s$ ℃
規 格	12mm 超 38mm 以下	—	A — B ≥2.8 C ≥4.8	—	—
実 例	13	圧延のまま	28.8	-60 以下	-32
		焼 ナ ラ シ	28.8	-60 以下	-60 以下
	18	圧延のまま	27.2	-60	-34
		焼 ナ ラ シ	28.8	-60 以下	-60 以下
	25	圧延のまま	19.6	-60	-24
		焼 ナ ラ シ	26.0	-60 以下	-55
	38	圧延のまま	15.7	-50	-15
		焼 ナ ラ シ	20.0	-60 以下	-30

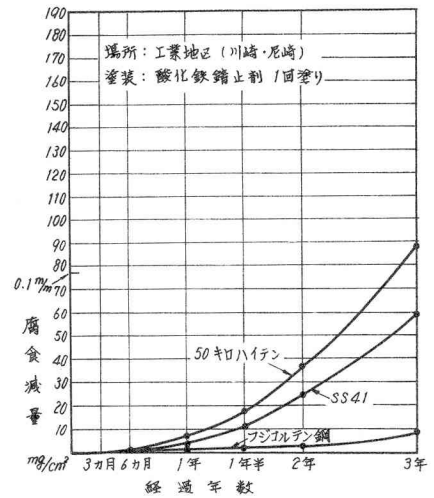
3. 耐 候 性

コルテン鋼の耐候性については、アメリカにおいては、U.S. Steel の長年月に亘る暴露試験によって、炭素鋼の 4～8 倍であることが認められているが、天候風土の異なる日本においても同等性能を発揮するかどうかを確認するため、当社では気象庁・気象協会・大日本塗料㈱・富士溶接棒㈱の御協力を得て、S36 年よりフジコルテンの国内 10 地区における耐候性試験を実施している。

才 1 図に各種裸鋼材の工業地区（川崎・尼崎）における 4 年間暴露結果を、才 2 図に各種塗装鋼材の同地区における 3 年間暴露結果を示す。図に明かなごとく、フジコルテンと普通鋼の腐蝕量の差は、最



才 1 図 各種裸鋼材の 4 箇年暴露後の腐蝕減量
場所：工業地区（川崎・尼崎）



才 2 図 各種塗装鋼材の 3 年暴露後の腐蝕減量
場所：工業地区（川崎・尼崎）

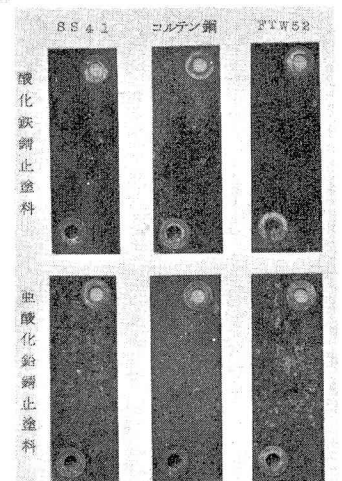
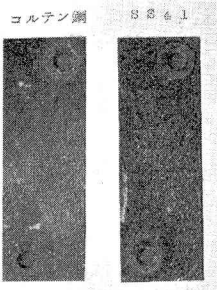
初の 1 年位は比較的少いが、その後急激に大きくなっている。この原因は普通鋼に発生する錆が進行性のものであるのに対して、

コルテンの錆は緻密で安定しているためである。このため最近では、このコルテン特有の錆を利用して、無塗装で構造物を建造する方法も行われている。

写真 1 に、暴露試験片の 1 例を示す。

写真 1 耐候性鋼 3 年暴露後の試験片外観

（工業地区）



4. 溶接性および溶接材料

(1) 溶接性

鋼材の溶接性としては、鋼材が欠陥なく接合出来るような“接合性能”と、それにより製作された構造物が、充分な強度および靱性を有するような“使用性能”とを併せ考慮しなければならないが、フジコルテンについて、接合性能を確認するために行った主要な試験結果を次に示す。

① 炭素当量

鋼材の炭素当量は溶接熱影響部の最高カタサに相関を持っているため、熱影響部の溶接割れ感受性を示す目安の一つとして使用される。フジコルテンは合金元素を添加しているため、通常の 50 キロハイテンに比較して炭素当量が上昇する事は避けられないが、炭素含有量を低く抑えているので、その上昇量は僅かであり、通常 0.46 程度以下である。

② JIS 最高カタサ試験

溶接熱影響部の JIS 最高カタサの実例は、オ 4 表に示す通りで、通常の 50 キロハイテンにおける許容値を充分満足している。

③ 標準ビード曲ゲ試験

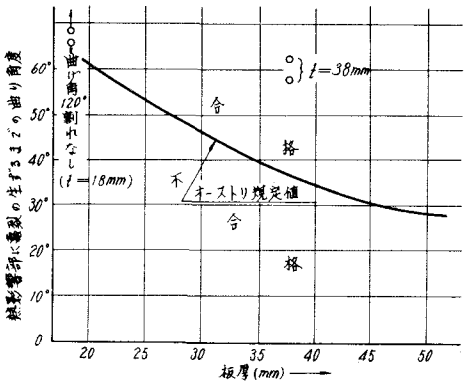
溶接熱影響部の延性は、最高カタサと並んで溶接割れ感受性を示す尺度の一つであるが、その測定法として、標準ビード曲ゲ試験をフジコルテンについて行った結果をオ 3 図に示す。通常の 50 キロハイテンの許容値を充分満足している。

④ y 型拘束割れ試験

溶接割れ感受性を直接測定するものとして、y 型拘束割れ試験をフジコルテンについて実施した結果をオ 5 表に示す。板厚 18 mm では室温で割れが発生せず、板厚 38 mm では板の初温 75℃ で割れはほとんど止り、100℃ では全く発生していない。

オ 6 表 フジコルテンの JIS 最高カタサ

板 厚 <i>m m</i>	J I S 最高カタサ (H _V 10)
13	297
18	321
25	333
38	348
SM50 (20mm)	350>



オ 3 図 フジコルテン標準ビード曲ゲ試験結果

オ7表 フジコルテンのY型拘束割レ試験結果

板厚 mm	溶接棒	溶接 電流 A	溶接 電圧 V	溶接 速度 mm/min	板の 初温 ℃	相対 湿度 %	底部ワレ率%					断面ワレ率%					表面ワレ率%				
							1	2	3	4	平均	1	2	3	4	平均	1	2	3	4	平均
18	CT-2 棒径 4mm	170	24	150	18	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					50	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
					100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
38	CT-2 棒径 4mm	170	24	150	18	67	100	100	100	100	100	97	80	87	94	90	84	79	66	62	73
					50	61	83	100	61	100	86	62	93	46	100	75	56	42	14	84	49
					75	61	0	61	22	0	21	0	10	2	0	3	0	0	0	0	0
					100	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(2) 溶接材料

COR-TENの溶接材料についてU.S.Steelは、多層溶接では継手の色を母材と同じようにするためにNiを2%~3%含有する溶接棒が望ましいが、その他の場合は母材からの溶込みがあるので、普通材料で充分であるとしている。しかし当社としては、フジコルテン専用の溶接材料の開発に努力した結果優良な製品を得るに至ったので、以下にその性能を報告する。

① 手溶接棒

フジコルテン用手溶接棒の開発に当っては、溶着鋼が必要にして十分な機械的性質と、すぐれた耐龜裂性を備え、しかも耐候性が母材のそれに近くなるように合金元素を添加することとした。その結果、比較的母材の溶込みの多い中薄板用として“CT-1”、一般厚板用として“CT-2”の2銘柄を得たがここでは厚板用“CT-2”の性能試験結果を示す。

オ4表 “CT-2”に依るフジコルテン全溶着金属の
化学的成分および機械的性質

銘柄	棒 径 mm	化 学 成 分 %							機 械 的 性 質				2V衝擊値		
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	絞り %	-40℃	0℃	20℃
CT-2	3.2	007	054	050	0011	0009	027	063	45.6	54.0	33.5	74.4	—	—	—
	4.0	008	042	046	0016	0010	031	056	47.8	54.9	33.6	74.6	6.1	25.6	25.8

オ 5 表 “CT-2” に依るフジコルテン溶接継手性能

銘柄	板厚 mm	予熱	積層法	熱 処 理	引 張 試 験			曲 ゲ 試 験				
					引張強サ kg/mm ²	伸 び 率 GL=200mm %	破断 箇所	曲ゲ方法	曲ゲ半径	ワレ発生 角 度	最終角度	ワレ発生 箇 所
CT-2 棒径 4~5 mm	18	なし	×開先	溶接のまま	55.0	25.1	母材	ローラー 曲げ	r=0.5t	ワレなし	180°	なし
					54.7	29.1	〃					
			1 4 層	625℃×45'	52.5	25.7	〃	〃	〃	〃	〃	〃
					52.7	27.5	〃					
	38	なし	×開先	溶接のまま	55.6	30.0	〃	型曲げ	r=19mm	〃	〃	〃
					54.7	28.0	〃					
			2 4 層	625℃×1°30'	53.9	28.3	〃	〃	〃	〃	〃	〃
					54.3	30.0	〃					

③ 自動溶接材料

フジコルテン専用のサブマージーク溶接材料としては

A) 軟鋼用のワイヤに、耐候性元素を添加したフラックスを組合せた方式

..... W-20×CT200

B) 耐候性元素を添加したワイヤに、軟鋼用のフラックスを組合せた方式

..... W-50C×C-350

C) 軟鋼用のワイヤおよびフラックスに、耐候性元素を添加したFNワイヤを組合せた方式

..... W-20×C-350×FN50C

の 3 種類が開発されている。一般の溶接施工には A) で充分であるが、特に高度の耐候性を要求する場合は B) を、また特に高度の衝撃値を要求する場合は C) が適当である。以下に各溶接材料の特性を示す。

オ 8 表 フジコルテンの自動溶接継手性能

形式	ワイヤ・フラックスの組合せ	試験箇所	化 学 成 分 %							機 械 的 性 質				2V 衝 撃 値		
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	降伏点 kg/mm ²	引張強サ kg/mm ²	伸 び 率 %	絞 り %	-20℃	0℃	20℃
A	W20 ×CT-200	全溶着鋼	0.04	0.35	0.83	0.016	0.016	0.17	0.29	—	52.3	30.8	60.1	4.6	9.6	12.2
		継手 * 溶着鋼	0.08	0.24	0.95	0.014	0.010	0.28	0.49	—	57.1	—	—	3.1	4.9	6.2
B	W-50C ×C-350	全溶着鋼	0.09	0.25	0.84	0.017	0.018	0.16	0.37	45.6	56.0	28.1	60.1	4.2	5.1	8.0
		継手 ** 溶着鋼	0.10	0.26	1.02	0.018	0.016	0.19	0.41	39.3	55.5	23.7	—	3.1	4.3	5.9
C	W20×C-350 ×FN50C	全溶着鋼	0.08	0.32	1.25	0.015	0.013	0.17	0.42	45.2	56.3	28.0	64.0	9.1	12.0	13.6
		継手 ** 溶着鋼	0.10	0.24	0.95	0.018	0.015	0.18	0.60	39.0	56.5	23.6	—	3.8	4.8	5.5

* 板厚 25mm

** 板厚 38mm

⑧ コルテンリベット

溶接によらずリベット継手とする場合は、リベット自身の耐候性が問題となる。このため当社においてはコルテン製リベットを市販しているが、その特性はオ9表およびオ10表に示すごとくで、普通材に比べて強度が高いため、締付時間は若干延長するが、その他の点では普通材と全く同等に取扱うことが出来る。

オ9表 フジコルテンリベット及び比較材の化学成分と機械的性質

種類	鋼種	トリベ径	化 学 成 分 %								引 張 試 験			密着			
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	V	降伏点 Kg/mm ²	引張強さ Kg/mm ²	伸ビ %		降伏点 Kg/mm ²	ねじり強さ Kg/mm ²	ねじり 回数
リベット機	フジコルテン	22φ	0.14	0.22	0.95	0.027	0.014	0.38	0.58	0.04	46.3	54.9	24.4	良好	27.2	56.9	12.3
	SV 41A	"	0.23	trace	0.49	0.016	0.016	—	—	—	32.4	46.1	31.0	"	25.1	51.0	5.7

オ10表 フジコルテンリベット及び比較材のリベット試験

鋼 種	軸 部 曲げ試験	頭 部 ツブシ試験	頭 部 打撃試験	リベット 締め時間	継手セン断強さ (リベット径による)
フジコルテン	密着良好	良 好	良 好	5.9 ^{sec}	55.1 Kg/mm ²
S V 4 1 A	"	"	"	5.3	45.2

5. 結 言

以上の報告を要約すれば、フジコルテンは通常の50キロ鋼に比して数倍の耐候性と高い降伏点を持ち、且つ同程度の溶接性を有する秀れた耐候性高張力鋼である。接合方法としては、耐候性元素を含む専用の溶接材料によって、手溶接および自動溶接が可能であり、リベット継手とする場合はフジコルテンリベットが用意されている。今後建築・橋梁用材料として広く使用されることが期待される。