NIPPON STEEL

www.nipponsteel.com

日本製鉄株式会社
〒100-8071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
Tel: 03-6867-4111　Fax: 03-6867-5607

耐硫酸・塩酸露点腐食鋼 S-TEN®
A012_02_202611f
© 2019, 2026 NIPPON STEEL CORPORATION 無断複写転載禁止

耐硫酸・塩酸露点腐食鋼

S-TEN®

技術資料

NET ZERO
NIPPON STEEL
Green Transformation
initiative

日本製鉄株式会社

NIPPON STEEL

耐硫酸・塩酸露点腐食鋼

S-TEN®

技術資料

特 長

◆日本製鉄オリジナルの耐硫酸・塩酸露点腐食鋼です。

- 石炭火力ボイラーや廃棄物焼却施設等の排煙設備における硫酸・塩酸露点腐食に対して優れた性能を発揮します。[火力発電・ごみ焼却施設でNo.1の使用実績を有しています（当社調べ）。]
- 平成19年 市村産業賞 功績賞を受賞いたしました。

◆強度・施工性・溶接性は、普通鋼と同等です。

◆ステンレス鋼に比べ経済的です。

◆熱延鋼板・鋼帯、冷延鋼帯、鋼管、溶接材料など、幅広いメニューを取り揃えています。

- 熱延鋼板（厚板）は、JIS G 3106 SM400A（S-TEN 1）、SM490A（S-TEN 2）に適合します。

◆鋼材問屋に常時在庫していますので、容易に入手可能です。

目 次

1. S-TEN鋼とは
- 硫酸・塩酸露点腐食 …… 1
- S-TEN鋼の効能 …… 2
- S-TEN鋼適用の検討 …… 3
- S-TEN鋼の適用例 …… 6
- S-TEN鋼使用上の注意 …… 6

2. S-TEN鋼の規格と製造可能寸法
- S-TEN規格 …… 7
- 製造可能寸法 …… 8

3. S-TEN鋼の特性（例）
- 化学成分と機械的性質 …… 9
- 高温特性 …… 10
- 物理的性質 …… 10
- 耐食性 …… 11

4. S-TEN鋼の溶接
- 溶接材料 …… 13
- 溶接特性 …… 14
- 溶接継手部の耐硫酸・塩酸性 …… 15
- 腐食雰囲気における異種金属との接触腐食 …… 16
- 確性試験結果 …… 16

5. 実機適用例 …… 17

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。

1. S-TEN鋼とは

硫酸・塩酸露点腐食

近年、環境問題が大きく取り上げられるようになり、高層煙突、エアープレヒーター、集塵器、排煙脱硫装置をはじめとする排煙処理設備の建造数が大幅に伸びてきました。

石炭や石油を燃料とするプラントの排煙処理プロセスでは、脱硫効率の向上が指向され、結果として硫黄酸化物による低温部腐食が大きな問題となっています。

この低温部腐食は、硫酸露点腐食と呼ばれる高温、高濃度硫酸による腐食で、一般の大気腐食等とは異なり普通鋼はもちろん、ステンレス鋼でも激しく腐食されます。

また、ダイオキシン対策の最近のめざましい技術革新の結果、以前よりも排ガス温度が低下するケースが増えてきました。

従来は、硫酸露点腐食だけしか生じなかった施設でも、ダイオキシン対策改修工事後、排気ガスの低温化にともない、塩酸露点腐食が生じることもあります。

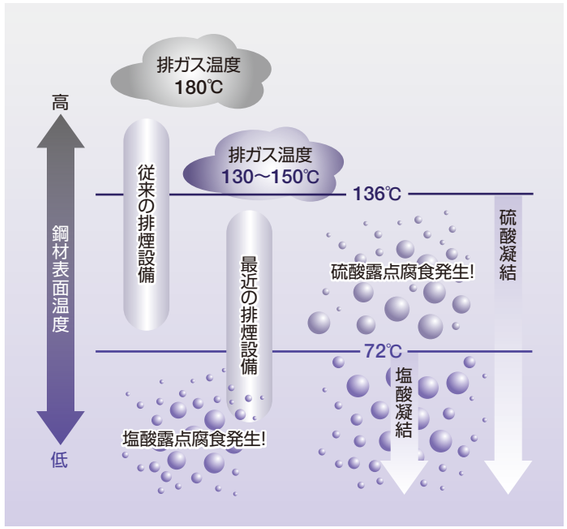
これらを解決すべく硫酸露点腐食や塩酸露点腐食に強い溶接構造用として開発されたのがS-TEN鋼です。

S-TEN 1は耐硫酸露点腐食、耐塩酸露点腐食、S-TEN 2は耐硫酸露点腐食に対して有効です。

鋼 種	耐硫酸露点腐食	耐塩酸露点腐食
S-TEN 1	○	○
S-TEN 2	○	—

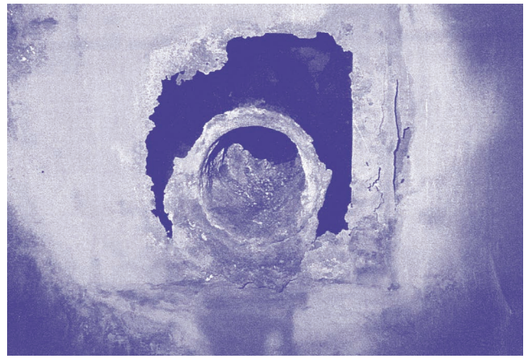
○：優れる

図 1.1 廃棄物焼却施設
排煙系統で生じる硫酸、塩酸露点腐食のメカニズム



排ガス成分（SO_3：3 ppm、$HC\ell$：300 ppm、H_2O：30%）の場合

写真 1.1 煙突内筒の塩酸露点腐食例



S-TEN鋼の効能

硫酸露点腐食が支配的な箇所では、普通鋼、ステンレス鋼を使用することはできません。また、COR-TEN®鋼等の耐候性鋼でも十分とは言えません。

このような箇所に適した材料がS-TEN鋼です。

図1.6に、図1.5から得られる温度と濃度の条件で、硫酸浸漬試験を行った結果を示します。

70℃、50%H_2SO_4の条件で非常に激しい腐食が起こりますが、この条件で、S-TEN鋼は普通鋼、COR-TEN鋼の約5倍、ステンレス鋼の約10倍の耐食性を示します。この条件ではS-TEN 1が最も優れています。

このように、高温高濃度硫酸による腐食は、通常の大気腐食と異なり、普通鋼ばかりではなくステンレス鋼も激しく腐食されます。その速度は5mm/年を越える大きなものとなる場合があります。

80℃、60%H_2SO_4以上の条件では、普通鋼、COR-TEN鋼、S-TEN鋼の耐食性は酸素供給量の多い実際の硫酸露点腐食環境条件で長時間試験を行うと、図1.7のように、差が認められます。

表1.1　供試材 化学成分

鋼 種（相 当）	化学成分(%) C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Sb	その他
SUS 410(13%Cr)　(相当)	0.10	0.38	0.46	0.019	0.012	0.12	0.19	12.53	—	—
SUS 430(18%Cr)　(相当)	0.07	0.51	0.34	0.040	0.006	0.11	0.27	17.29	—	—
SUS 304(18Cr-8Ni)　(相当)	0.08	0.58	1.42	0.029	0.008	0.20	9.21	18.56	—	—
SUS 316(18Cr-12Ni-2Mo)(相当)	0.08	0.68	1.62	0.030	0.008	0.24	11.72	17.05	—	Mo:2.20
SS 400	0.16	0.03	0.23	0.008	0.013	0.08	—	—	—	—
S-TEN 1	0.03	0.28	0.91	0.011	0.009	0.27	—	—	0.10	—
S-TEN 2	0.10	0.21	0.75	0.014	0.012	0.36	—	0.63	—	Ti:0.04
COR-TEN O	0.09	0.46	0.38	0.110	0.017	0.32	0.30	0.52	—	—

図1.6　硫酸－水系の気液平衡状態での硫酸浸漬試験結果

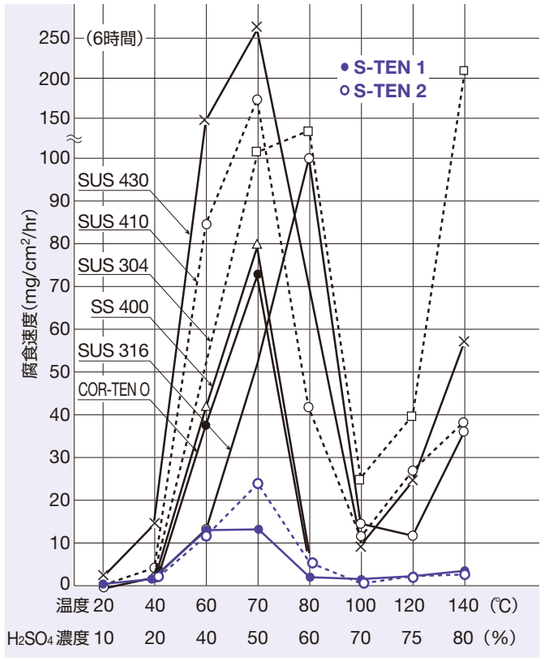
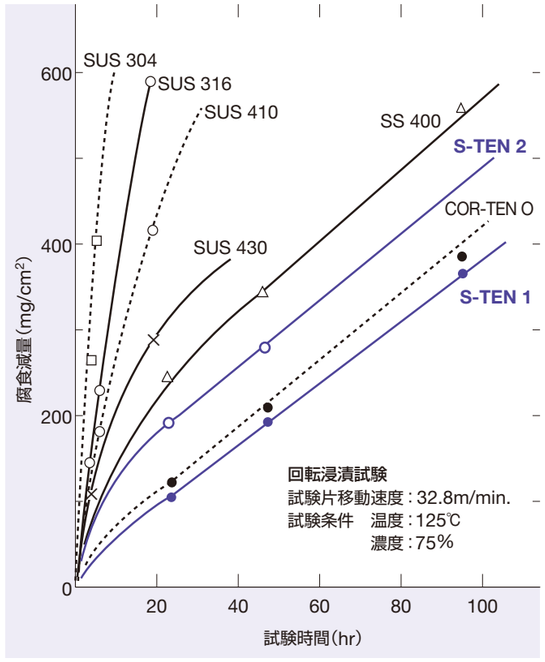


図1.7　H_2SO_4中における鋼の腐食量



S-TEN鋼適用の検討

STEP 1

排ガス組成（SO_x、HCℓ、H_2O）を書き出します。燃焼物で大きく変動する場合は、それぞれの最大値をとります。

STEP 2

排ガス組成から硫酸露点（温度）を見積もります。

S-TEN鋼をより適切にご利用いただくために（使用上の注意点）

より適切な装置設計とS-TEN鋼とを組み合わせることで、装置の補修費・維持管理費のミニマム化が可能になります。

ここでは、一般ごみ焼却施設に設置されるバグフィルターのケーシングに用いる鋼板を例として、推定される腐食環境と、S-TEN鋼の適正鋼種について調べてみます。

次のステップをたどると、ごみ焼却施設、環境装置において、S-TEN鋼をより適切にご使用いただけます。

表1.2

	H_2O（体積%）	SO_3(ppm)	HCℓ (ppm)
平均値(注1)	30	3	300
最大値(注2)	50	10	1,000

(注1)燃焼種の変動が小さいと予想される場合
(注2)燃焼種の変動が大きい、または予想が難しい場合

ここの例では、燃焼種の変動は小さいとして、平均値を使って先に進みます。

表1.2のSO_3(3ppm)，H_2O(30%)の数値を、表1.3の硫酸露点早見表に当てはめると、硫酸露点は、およそ136℃であることが読み取れます。

表1.3　SO_3-H_2O系ガスの硫酸露点温度早見表

ガス中SO_3（体積ppm）	ガス中水分（体積%） 5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
0.0	33	46	53	60	66	69	74	76	79	81	84	87
0.1	87	95	100	103	106	108	111	112	114	115	117	118
1	106	114	119	122	125	127	129	130	132	133	134	135
2	113	120	125	128	131	133	134	136	137	139	140	141
3	117	124	128	132	134	136	138	139	141	142	143	144
4	119	127	131	134	137	139	140	142	143	145	146	147
5	122	129	133	136	139	141	142	144	145	146	148	149
6	123	131	135	138	140	142	144	146	147	148	149	150
7	125	132	136	139	142	144	145	147	148	149	150	151
8	126	133	138	141	143	145	147	148	149	151	152	153
9	127	134	139	142	144	146	148	149	150	152	153	154
10	129	135	140	143	145	147	149	150	151	153	154	155
20	136	142	146	149	152	153	155	156	158	159	160	161
30	140	147	150	153	155	157	159	160	161	162	163	164
40	143	150	153	156	158	160	162	163	164	165	166	167
50	146	152	156	158	161	162	164	165	166	167	168	169
60	148	154	158	160	162	164	166	167	168	169	170	171
70	149	156	159	162	164	166	167	168	169	171	171	172
80	151	157	161	163	165	167	168	170	171	172	173	174
90	152	158	162	164	167	168	170	171	172	173	174	175
100	154	159	163	166	168	169	171	172	173	174	175	176
200	162	167	171	173	175	176	178	179	180	181	182	182
300	167	172	175	177	179	181	182	183	184	185	186	187
400	170	175	178	181	182	184	185	186	187	188	189	189
500	173	178	181	183	185	186	188	189	189	190	191	192

設計上のポイント：1. 同一露点では、腐食量はSO_3量にほぼ比例します。
2. SO_3≧100ppmの場合、S-TENでも腐食速度が大きくなるので適用には注意が必要です。

STEP 3

排ガス組成から塩酸露点を求めます。

表1.4の塩酸露点早見表などを使って、排ガス中の水分(H_2O)と塩化水素(HCℓ)の組成から塩酸露点を求めます。

常時、表中水色の領域になる部位では、希塩酸のドレインが大量に発生し、腐食量が大きくなりますので、S-TEN鋼の耐酸塗装仕様を推奨します。

表1.2のHCℓ(300ppm)，H_2O(30%)の数値を、表1.4の塩酸露点早見表に当てはめると、塩酸露点は、およそ72℃であることが読み取れます。

表1.4　HCℓ-H_2O系ガスの塩酸露点温度早見表

ガス中塩化水素（体積ppm）	ガス中水分(体積%)											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1	33	46	53	60	66	69	74	76	79	81	84	87
10	33	46	53	60	66	69	74	76	79	81	84	87
20	34	46	53	60	66	69	74	76	79	81	84	87
30	35	47	54	60	66	69	74	76	79	81	84	87
40	36	47	55	60	66	69	74	76	79	81	84	87
50	36	48	55	60	66	69	74	76	79	81	84	87
60	37	48	56	61	66	69	74	76	79	81	84	87
70	37	49	56	61	66	69	74	76	79	81	84	87
80	37	49	56	61	66	69	74	76	79	81	84	87
100	38	49	57	62	66	70	74	76	79	81	84	87
200	39	51	58	63	68	71	74	77	79	81	84	87
300	40	52	59	64	68	72	75	78	80	82	84	87
400	41	52	60	65	69	73	76	78	81	83	85	87
500	42	53	60	65	70	73	76	79	81	83	85	87
600	42	53	61	66	70	73	76	79	81	84	86	87
700	42	54	61	66	70	74	77	79	82	84	86	88
800	43	54	61	66	71	74	77	80	82	84	86	88
900	43	54	61	67	71	74	77	80	82	84	86	88
1,000	43	55	62	67	71	75	78	80	83	85	87	88
2,000	45	56	63	68	73	76	79	82	84	86	88	90
3,000	46	57	64	69	73	77	80	83	85	87	89	91
4,000	46	58	65	70	74	78	81	83	86	88	90	91
5,000	47	58	65	70	75	78	81	84	86	88	90	92
10,000	48	60	67	72	76	80	83	85	88	90	92	93

設計上のポイント

■：1. 水露点
2. 運転中に常時この温度域ですと多量の希塩酸のドレインの発生が予想されます。
3. ドレイン対策が必要です。
4. 耐硫酸露点腐食鋼S-TENの耐酸塗装仕様を推奨します。

■：1. 塩酸露点
2. 濃塩酸が凝結します。
3. 耐硫酸・塩酸露点腐食鋼S-TEN 1を推奨します。

STEP 4

検討している装置の特徴に応じてガスに接触する部材の表面の温度を求めます。

今回のバグフィルターのケーシングの場合、外部保温を施すとします。また、通過する排気ガスの温度を150℃とします。

表1.5を参考にすると、鋼板表面の温度は、

- 外部保温が効く箇所：約130℃
- 外部保温が難しい箇所：80～100℃

と見積もられます。

表1.5　壁面温度の大略の目安

煙道、煙突内筒、ダクト、ケーシング等の外壁（排ガス温度150℃前後の場合）	外部保温のある場合	排ガス温度：−20℃前後 （ただし、構造上放熱する場合　排ガス温度：−50～−70℃）
	外部保温のない場合	排ガス温度：−50～−70℃
エアーヒーターのエレメント等	排ガス温度と空気温度との中間の温度	
集塵機の極板等ガス中にあるもの	排ガス温度に同じ	
蒸気･温水を熱媒とした熱交換チューブ	熱媒の温度に同じ	

STEP 5

塩酸露点、硫酸露点、推定部材表面温度から、好適な材料･防食仕様を選択します。

以上まとめますと、

- 排ガス温度：約150℃
- 硫酸露点：136℃
- 塩酸露点：72℃
- 鋼板（壁面）温度は外部保温しますが、最低でも80℃以上であることがわかりました。

表1.6を参考にすると、このケースではS-TEN 1が好適であることがわかります。また、放熱箇所の推定温度（80℃）が塩酸露点（72℃）と近いので、設計上、放熱を避けるよう考慮すれば、予想外の腐食をより防止できることがわかります。

表1.6　ごみ焼却施設、環境装置排煙系統におけるS–TEN適正鋼種の選定

排ガス温度	壁面温度域	装置例	運転方法		備考（腐食量）
			連続運転	バッチ	
350℃以上	500℃以上		S-TEN 不適		ー
	350～500℃	減温塔前ダクト	**S-TEN 2**	**S-TEN 2**	稼働中：0.3mm/年以下 起動停止時：2～3μm/回
350℃未満 硫酸露点以上	350℃～硫酸露点	減温塔	**S-TEN 1** **S-TEN 2**	**S-TEN 1** **S-TEN 2**	稼働中：0.1mm/年以下 起動停止時：2～3μm/回
硫酸露点未満	硫酸露点～塩酸露点	減温塔、 バグフィルタケーシング、 空気予熱器、煙道･煙突	**S-TEN 1** **S-TEN 2**	**S-TEN 1** **S-TEN 2**	約0.2mm/年
	塩酸露点～水露点	煙道･煙突	**S-TEN 1**	**S-TEN 1**	約0.2mm/年

S-TEN鋼の適用例

表1.7　S-TEN鋼の適用例

対 象	使用実例				使用上の注意事項
	適用箇所	鋼 種		概略板厚 (mm)	
		S-TEN 1	S-TEN 2		
乾式集塵機	ケーシング、ダクト、集塵板	○	○	1.2～8	ケーシング、ダクトは保温状態に応じて、ガス温度より20～70℃低温になります。集塵板の温度はガス温度と同じと推定されます。ダストが堆積した場合、吸収されたH_2SO_4が吸湿し、予想以上に腐食するケースがあるため、ダストの堆積を防止する必要があります。
湿式集塵機	ケーシング、ダクト、集塵板	○	○	3.2～12	洗浄水が常時壁面上を流れる状態の場合、腐食量は大きくなります。また、この状態で洗浄水が、低pHとなる場合には、腐食量が急激に増加するので、S-TENの使用は避ける必要があります。
減温塔	ケーシング、ダクト	○	○	4.5～9	ケーシング、ダクトは保温状態に応じて、ガス温度より20～70℃低温になります。ノズル孔の劣化でミスト液滴が大きくなり、蒸発せず管体に届くと予想以上に腐食するケースがあるため、スプレーノズルの劣化管理を行う必要があります。
	灰掃き出し羽根	—	○	12～20	減温塔底に堆積する灰を掃き出す羽根材としてS-TEN 2が最適です。S-TEN鋼で、灰中塩化物による応力腐食割れを回避できます。
空気予熱器	ユングストローム型バスケットケース、エレメント	○	○	0.6～6	壁面温度が上下を繰り返すため、低温から高温までの露点腐食の繰り返しとなります。S-TENの効果が発揮される用途です。
	チューブ型パイプ	○	—	0.6～3.5	常時露点状態となる場合が多く、S-TENの効果が大きい装置で、S-TEN 1鋼管が最適です。
煙 道	ダクト、エキスパンション	○	○	4.5～9	S-TEN鋼の無塗装仕様または耐酸塗装仕様が適しています。ガス温度が露点以下となる場合、煙道下部にドレインが溜まり予想以上に大きな腐食を生じる場合があります。ドレイン抜きを十分行うことや、外部保温により鋼板温度の低下を防止する等の対策が推奨されます。
煙 突	内 筒	○	—	6～12	
排煙脱硫装置	排気筒、アフターバーナー用ダクト	○	○	3.2～6	ガスクーラー、吸収塔等、装置本体の直前直後のダクトは、硫酸ミストの飛来により低pHの液が壁面に付着する可能性があるので、十分ドレインの状態を調査する必要があります。
塩酸酸洗槽	槽本体	○	—	9～20	めっき処理の塩酸酸洗槽への使用に適しています。使用中耐傷性に優れ、廃棄処理も一般鋼材として取り扱えます。

S-TEN鋼使用上の注意

1) S-TEN鋼は、低合金耐食鋼です。露点腐食による腐食が抑制されますが、さびの発生はあり、腐食の進行もありますので、ご留意ください。
2) S-TEN鋼は、図1.6にありますように、硫酸露点腐食に対して他鋼種に比べ抑制効果がありますが、この場合の60℃や70℃の例のように、腐食の絶対量が他の温度域より大きくなる領域があります。
3) S-TEN鋼は、図1.8に示しますように、気液平衡状態で生じる腐食よりも、高温・低濃度の硫酸に対して腐食が大きくなることがありますので、注意が必要です。
4) 表1.8にpH2～4の非常に薄い硫酸濃度での耐食性の試験結果を示します。このような弱酸性あるいは中性の液の腐食に対しては、ステンレス鋼が最も優れており、腐食量は少ないです。pH3以上では普通鋼とS-TEN鋼で大きな差がありません。

図1.8　S-TEN鋼の非平衡領域での腐食挙動

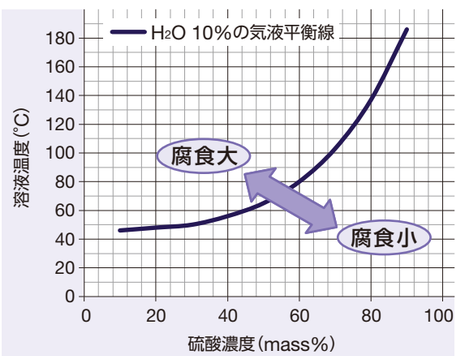


表1.8　弱酸性領域(pH2～4)における耐食性試験結果

鋼 種	腐食速度(mg/cm²/hr)			試験条件
	pH2	pH3	pH4	
S-TEN 1	1.6	2.0	0.36	試験温度：30℃ 試験片と溶液の相対速度：1.8m/sec 試験時間：72hr
S-TEN 2	2.8	2.2	0.38	
SS 400	8.2	2.5	0.36	
SUS 304	<0.001	<0.001	<0.001	
SUS 316	<0.001	<0.001	<0.001	
SUS 410	0.51	<0.001	<0.001	
SUS 430	0.001	<0.001	<0.001	

2. S-TEN鋼の規格と製造可能寸法

S-TEN規格

①種類記号

鋼材の種類記号は表2.1によります。

表2.1

鋼 種	品 種	厚さ[径](mm)
S-TEN 1	冷間圧延鋼板	0.6≦ t ≦2.3
	熱間圧延鋼板(注1)	1.6≦ t ≦20.2
	ERW鋼管(注2)	外径:19.0～114.3　肉厚:2.0～8.6
	継目無鋼管(注2)	外径:31.8～426　肉厚:3.0～50
	大径鋼管	外径:400～2,500　肉厚:6.0～20
S-TEN 2	冷間圧延鋼板	0.6≦ t ≦2.3
	熱間圧延鋼板(注1)	1.6≦ t ≦25.4
	棒･バーインコイル	t ≦38

(注1) 熱間圧延鋼板(厚板材は全量、HOT材は指定要)は、JIS G 3106に適合します(S-TEN1はSM400A、S-TEN2はSM490Aに適合します)。なお、ご指定により鋼材検査証明書に表記いたします。
(注2) ERW鋼管および継目無鋼管は、発電用火力設備の技術基準(火STB380J2、火STPT380J2)・ASME SA-423/423M、ASME Code Case 2494-2、ASTM A423/423Mに登録されています。

②化学成分

鋼材の化学成分はとりべ分析によりその値は表2.2によります。

表2.2

鋼 種	化学成分(%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ti	Sb
S-TEN 1	≦0.14	≦0.55	≦1.60(注1)	≦0.025	≦0.025	0.25～0.50	—	—	≦0.15
S-TEN 2	≦0.14	0.15～0.55	≦1.60	≦0.035	≦0.035	0.25～0.50	0.50～1.00	≦0.15	—

(注1) 2.5×[C]≦Mn
(注2) 必要に応じて、表以外の合金元素を添加することがあります。

③機械的性質

表2.3　冷間圧延鋼帯･棒鋼

鋼 種	板 厚 (mm)	降伏点 (N/mm²)	引張強さ (N/mm²)	伸 び (%)	試験片 (JIS)
S-TEN 1	—	235≦	400≦	23≦	5号
S-TEN 2	—	325≦	440≦	22≦	5号(注)

(注) 棒鋼は、径が25mm以下では2号、25mm超えは14A号

表2.4　熱間圧延鋼板･鋼帯･スパイラル鋼管

鋼 種	板 厚 (mm)	降伏点 (N/mm²)	引張強さ (N/mm²)	伸 び (%)	試験片 (JIS)
S-TEN 1	≦5	245≦	400～510	23≦	5号
	≦16			23≦	5号
				18≦	1A号(注)
	≦20.2	235≦		23≦	5号
				22≦	1A号(注)
S-TEN 2	≦5	325≦	490～610	22≦	5号
	≦16			22≦	5号
				17≦	1A号(注)
	≦25.4	315≦		22≦	5号
				21≦	1A号(注)

(注) JIS G 3106として製造の場合に適用(厚板は全量を適用)

表2.5　ERW鋼管・継目無鋼管

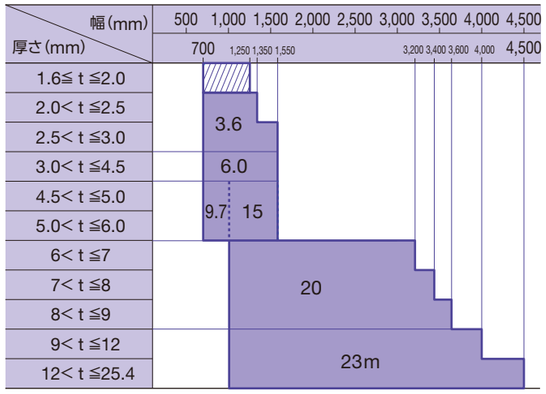
鋼 種	板 厚 (mm)	降伏点 (N/mm²)	引張強さ (N/mm²)	伸 び (%)	試験片 (JIS)
S-TEN 1	—	230≦	380≦	35≦(注)	11号または12号
				30≦	4号(管軸方向)

(注) 厚さ8mm未満の管で、12号試験片を用いて引張試験を行う場合の伸びの最小値は下表による。

厚さ区分						
1mmを超え2mm以下	2mmを超え3mm以下	3mmを超え4mm以下	4mmを超え5mm以下	5mmを超え6mm以下	6mmを超え7mm以下	7mmを超え8mm未満
26	28	29	30	32	34	35

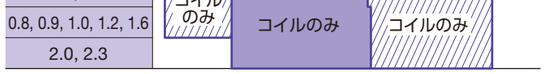
製造可能寸法

①熱延圧延鋼板および鋼帯の製造寸法 (S-TEN 1, S-TEN 2)



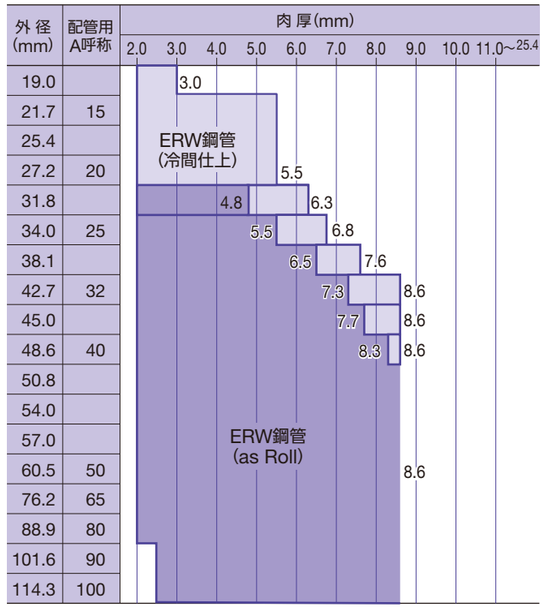
(注)1. 表中の数字は最大長さを示します。
2. 最小長さについては、板厚6mm以上は3m、6mm未満はご相談ください。
3. ▨ の範囲の寸法および板厚50mmまでは、あらかじめご相談ください。

②冷間圧延鋼帯の製造寸法(S-TEN 1, S-TEN 2)



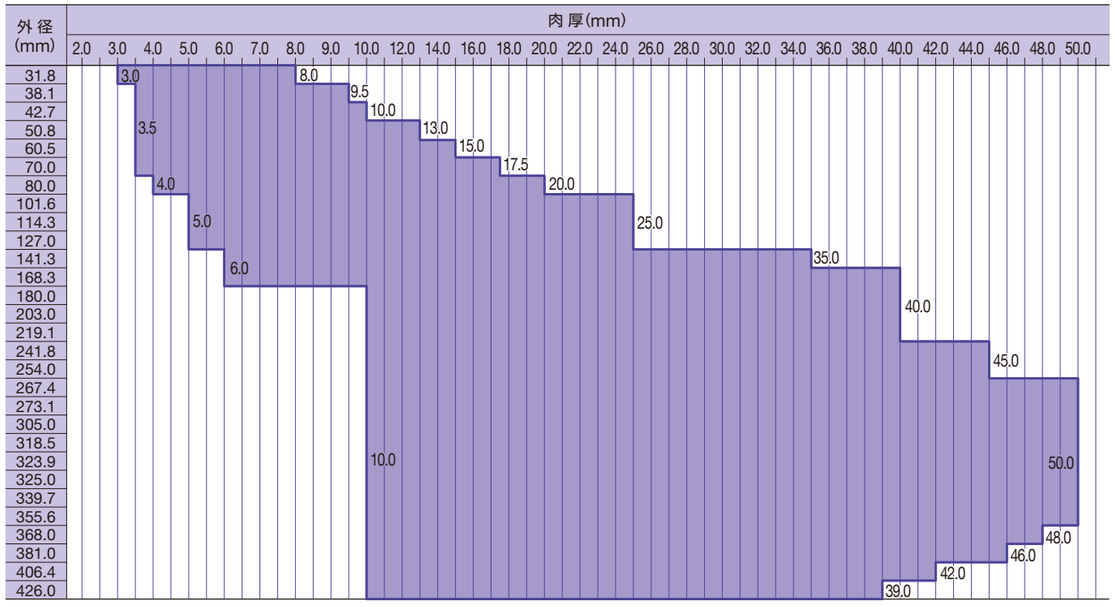
(注) ▨ の範囲の寸法についてはあらかじめご相談ください。

③ERW鋼管の製造寸法(S-TEN 1)



(注)以下のサイズもご要望により検討します。なお、SAW鋼管(BRまたはSP)となります。
外径−配管用A呼称が、138.9–125、165.2–150、216.3–200、267.4–250、318.5–300、355.6–350、406.4–400のサイズで、なお外径は最大2,500mmです。

④継目無鋼管の製造寸法(S-TEN 1)



3. S-TEN 鋼の特性(例)

化学成分と機械的性質

①化学成分

S-TEN鋼の化学成分の一例を表3.1に示します。

表3.1 化学成分例

鋼種	品種	化学成分(%)							
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	その他
S-TEN 1	冷延薄板	0.04	0.30	0.91	0.015	0.010	0.30	—	Sb : 0.10
	熱延中薄板	0.04	0.30	0.91	0.015	0.010	0.30	—	Sb : 0.10
	厚板	0.04	0.28	1.00	0.012	0.012	0.28	—	Sb : 0.09
	ERW鋼管	0.04	0.20	1.00	0.011	0.010	0.27	—	Sb : 0.10
	継目無鋼管	0.03	0.25	1.12	0.006	0.014	0.29	—	Sb : 0.12
S-TEN 2	冷延薄板	0.09	0.24	0.76	0.017	0.013	0.32	0.68	Ti : 0.03
	熱延中薄板	0.12	0.26	0.76	0.016	0.007	0.28	0.70	Ti : 0.03
	厚板	0.14	0.22	0.75	0.018	0.012	0.34	0.65	Ti : 0.03

②機械的性質

S-TEN鋼の機械的性質の一例を表3.2〜表3.5に示します。

表3.2 熱間圧延鋼板および鋼帯

鋼種	板厚(mm)	引張試験		
		降伏点(N/mm²)	引張強さ(N/mm²)	伸び(%)
S-TEN 1	2.3	332	449	39
	6.0	327	489	43
	9.0	345	444	44
	12.0	382	452	42
	16.0	368	441	47
S-TEN 2	2.3	440	540	33
	6.0	440	530	35
	9.0	420	520	39
	13.0	410	510	41

試験片: JIS 5号

表3.3 冷間圧延鋼帯

鋼種	板厚(mm)	引張試験		
		降伏点(N/mm²)	引張強さ(N/mm²)	伸び(%)
S-TEN 1	1.2	326	446	35
	1.6	334	447	35
S-TEN 2	0.8	380	490	32
	1.2	380	490	32

表3.4 ERW鋼管

鋼種	外径×肉厚(mm)	引張試験		
		降伏点(N/mm²)	引張強さ(N/mm²)	伸び(%)
S-TEN 1	48.6×3.5	298	403	61
	89.1×5.0	293	418	41

表3.5 継目無鋼管

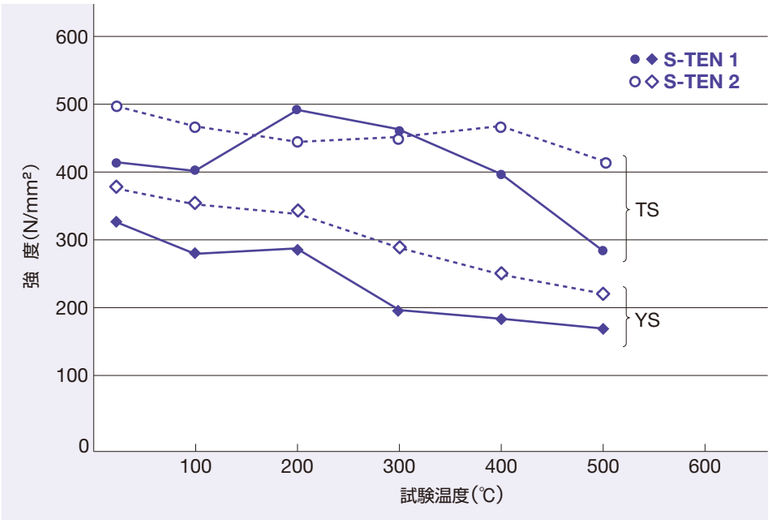
鋼種	外径×肉厚(mm)	引張試験		
		降伏点(N/mm²)	引張強さ(N/mm²)	伸び(%)
S-TEN 1	50.8×8.0	319	440	58
	219.1×15.1	300	414	56

高温特性

高温短時間強度

高温引張試験を行った結果を図3.1に示します。

図 3.1 S-TEN 鋼の高温引張試験結果



物理的性質

物理的性質を表3.6に示します。比熱、熱伝導率、熱膨張係数は、SS400、SM400A、SM490A等と同等レベルです。

表3.6 物理的性質

鋼 種	温 度 (℃)	ヤング率 (GPa)	比 熱 (kJ/kg·K)	熱伝導率 (W/m·K)	熱膨張係数 20℃～T (×10⁻⁶/℃)
S-TEN 1	25	207.4	0.450	44.2	—
	100	203.7	—	—	12.8
	200	198.3	0.491	45.5	13.2
	300	192.0	—	—	13.6
	400	184.0	0.532	36.8	14.0
	500	—	—	—	—
S-TEN 2	25	211.0	0.456	45.1	—
	100	207.0	0.486	41.2	12.8
	200	202.0	0.520	40.8	13.1
	300	196.0	0.553	40.2	13.5
	400	188.0	0.590	37.7	13.8
	500	179.0	0.644	34.1	14.2

測定法（ヤング率：共振法、比熱・熱伝導率：レーザーフラッシュ法、熱膨張係数：熱膨張測定）

耐食性

① 耐候性

S-TEN鋼の耐候性は普通鋼に比し、
S-TEN 1 …… 2倍程度（含銅鋼と同等）
S-TEN 2 …… 4～6倍（COR-TEN 490と同等）です。

表3.6 耐塩酸性試験の供試材の化学成分（図3.2～3.5）

鋼 種	化学成分（%）								
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Sb	Ti
S-TEN 1	0.03	0.26	0.90	0.011	0.010	0.27	—	0.09	—
S-TEN 2	0.09	0.24	0.69	0.009	0.014	0.29	0.54	—	0.03
SS 400	0.15	0.14	0.70	0.014	0.005	0.01	—	—	—

② 耐塩酸性

最近塵芥処理設備などで排ガス中に含まれる塩酸ガスによる腐食が問題となっております。S-TEN 1は塩酸に対しても普通鋼より優れた耐食性を示しておりますので、これらの分野でも有効にご活用いただけます。実験結果を図3.2～3.5に示します。

1）普通鋼に比べると、5～10倍の耐食性を示します。
2）希塩酸（約3%以下）では、SUSに比べると腐食速度が速く、このような条件での適用は好ましくありません。
3）濃度10%以上の塩酸では、S-TEN 1が優れます。
4）塩酸が高温・高濃度ほど、S-TEN 1がより優れます。
5）酸に混入物を含む場合、特性が変わることがありますのでご留意ください。

図3.2 塩酸濃度ー腐食速度の関係

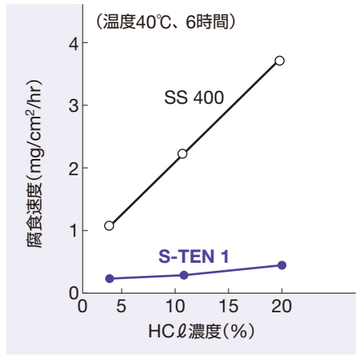


図3.3 塩酸濃度ー腐食速度の関係

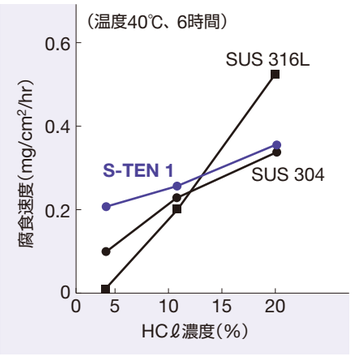


図3.4 塩酸濃度ー腐食速度の関係

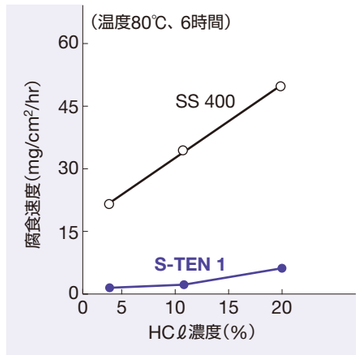
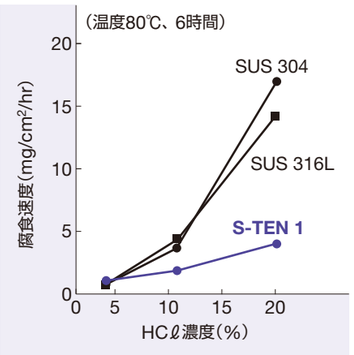
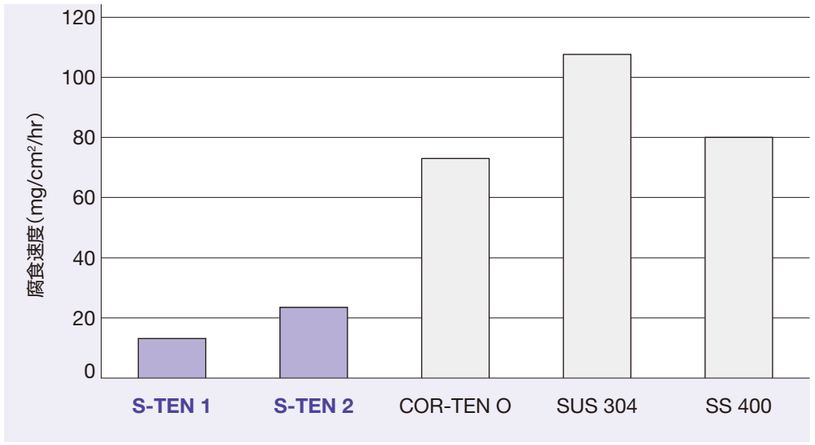


図3.5 塩酸濃度ー腐食速度の関係



③耐硫酸性

図3.6　各種鋼材の耐硫酸性（50%、70℃ H_2SO_4）



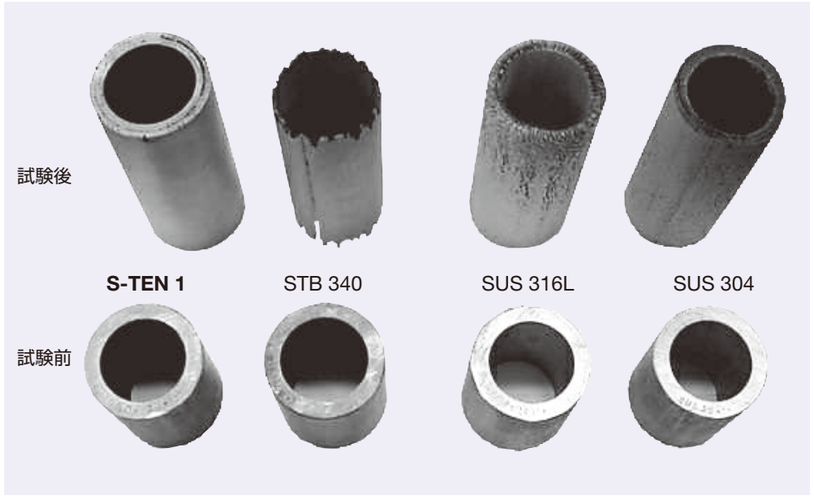
④加速試験後の各種材料の外観

写真3.1　10.5%塩酸、60℃、72hr



（試験片初期寸法：4t×25×25mm）

写真3.2　10.5%塩酸、80℃、144hr



4. S-TEN鋼の溶接

S-TEN鋼は耐食性の点からC、Mnを低くおさえておりますので優れた溶接性を備えており、同一強度レベルの普通鋼と同等の条件で溶接をすることができます。
　ただし、溶接部についても母材と同等の耐硫酸·耐塩酸露点腐食性が必要ですので、S-TEN鋼専用の溶接材料を使う必要があります。

溶接材料

S-TEN鋼専用の溶接材料は、日鉄溶接工業（株）*で下記のものをご用意しております。

＊問い合せ先：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

①溶接材料の種類

表4.1

鋼 種	溶接方法			
	被覆アーク溶接（SMAW）	マグ溶接（FCAW）	ティグ溶接（GTAW）	サブマージアーク溶接（SAW）
S-TEN 1	ST-16M（低水素系）	SF-1ST	YT-1ST	Y-1ST × NB-1ST
S-TEN 2	ST-16Cr（低水素系）	FC-23ST	YT-W4	—
	ST-03Cr（ライムチタニヤ系）			

各製品の保証については日鉄溶接工業までお問い合わせください。

②各種溶接材料による溶着金属の化学成分と機械的性質（例）

表4.2

溶接方法	銘 柄	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Sb	YS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	vE0 (J)
SMAW	ST-16M	0.04	0.62	0.50	0.009	0.004	0.42	—	0.08	471	568	29	165
	ST-16Cr	0.04	0.55	0.49	0.011	0.004	0.19	0.66	—	518	584	24	191
	ST-03Cr	0.07	0.19	0.57	0.019	0.006	0.21	0.70	—	497	549	24	56
FCAW	SF-1ST	0.05	0.60	1.41	0.012	0.013	0.39	—	0.10	581	640	25	71
	FC-23ST	0.04	0.36	0.76	0.010	0.005	0.32	0.67	—	468	547	25	76
GTAW	YT-1ST	0.01	0.29	1.33	0.004	0.009	0.32	—	0.10	398	478	39	285
	YT-W4	0.05	0.71	1.45	0.006	0.005	0.34	0.86	—	565	708	29	277
SAW	Y-1ST × NB-1ST	0.03	0.34	1.13	0.007	0.011	0.19	—	0.09	452	530	31	141

③ステンレスとの異材溶接用溶接材料（例）

表4.3

溶接方法	銘 柄	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	YS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	vE0 (J)
SMAW	309·R	0.06	0.33	1.51	0.020	0.006	24.2	13.2	460	582	37	64
SAW	Y-309 × BF-300M	0.06	0.45	1.64	0.020	0.010	24.0	13.5	375	558	38	89
FCAW	SF-309L	0.03	0.65	1.54	0.023	0.009	24.4	12.7	429	566	37	36
GMAW	YM-309	0.05	0.35	1.74	0.021	0.007	23.6	13.3	447	618	33	92
GTAW	YT-309	0.05	0.40	1.65	0.020	0.006	23.8	12.4	517	620	34	166

●異種金属接触腐食には十分ご留意ください。

溶接特性

溶接性を確認するためJIS Z 3101による溶接熱影響部の最高硬さ試験、JIS Z 3158によるy形溶接割れ試験を実施しました。 供試材として表4.4、 表4.5に示す特性を有するS-TEN 1、S-TEN 2を用いています。

表4.4　供試材の化学成分

鋼　種	板 厚 (mm)	化学成分(%)								
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ti	Sb
S-TEN 1	16	0.04	0.28	1.00	0.012	0.012	0.28	—	—	0.09
S-TEN 2	16	0.09	0.21	0.74	0.023	0.010	0.35	0.70	0.02	—

表4.5　供試材の機械的性質

鋼　種	板 厚 (mm)	引張試験		
		降伏点(N/mm²)	引張強さ(N/mm²)	伸び(%)
S-TEN 1	16	368	441	47
S-TEN 2	16	380	500	43

引張試験片：JIS 5号

①溶接熱影響部の最高硬さ試験

JIS Z 3101による溶接熱影響部の最高硬さ試験の結果を表4.6に示します。

表4.6　溶接熱影響部の最高硬さ試験結果

鋼　種	板 厚(mm)	溶接前の試験板温度	最高硬さ(Hv)
S-TEN 1	16	室 温	189
S-TEN 2	16	室 温	242

溶接条件：溶接棒 4mmφ、電流 170A、電圧 24V、速度 150mm/min

②y形溶接割れ試験

溶接部の割れ感受性を調べるためJIS Z 3158によるy形溶接割れ試験を行いました。その結果を表4.7に示します。

図4.1　y形溶接割れ試験の試験板形状及び寸法

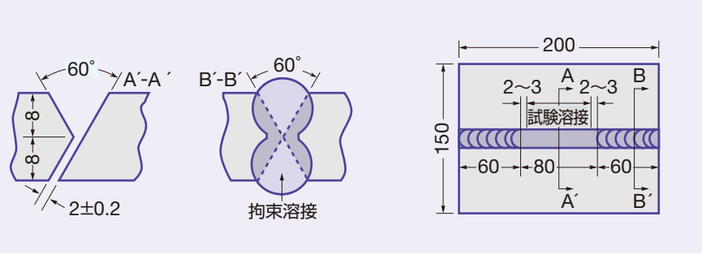


表4.7　y形溶接割れ試験結果

鋼　種	板厚(mm)	溶接前の試験板温度(℃)	断面割れ率(%)				ルート割れ率(%)			
			1	2	3	平 均	1	2	3	平 均
S-TEN 1	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		25	0	0	0	0	0	0	0	0
S-TEN 2	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		25	0	0	0	0	0	0	0	0

溶接条件：溶接棒 4mmφ、電流 170A、電圧 24V、速度 150mm/min

溶接継手部の耐硫酸･塩酸性

溶接継手部の耐硫酸・塩酸性を調査するため、硫酸および塩酸浸漬試験を行った結果を示します。

S-TEN 専用溶接棒を用いた溶接金属は母材と同等の耐食性を示しますが、普通鋼用溶接棒を用いた場合、継手部分が激しく腐食されることがわかります。

①S-TEN 1の例

図 4.2のように母材部と溶接部を含む試験片を用い、下記条件で浸漬試験を行いました。腐食断面の一例を写真 4.1 に示します。

図4.2　浸漬試験片形状

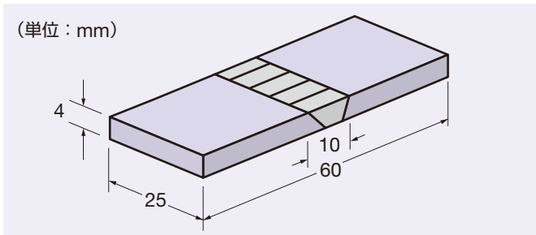


写真4.1　S-TEN 1溶接継手部の腐食状況写真

塩酸：10.5%塩酸×80℃×24時間浸漬

S-16(軟鋼用溶接棒)× 母材(SS 400)



硫酸：50% 硫酸×70℃×24時間浸漬

S-16(軟鋼用溶接棒)× 母材(SS 400)



ST-16M(S-TEN 1専用溶接棒)× 母材(S-TEN 1)



ST-16M(S-TEN 1専用溶接棒)× 母材(S-TEN 1)



②実機試験結果

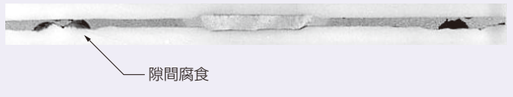
浸漬条件：塩酸 17.5%、32℃、全没

浸漬期間：4ヵ月

写真4.2　塩酸酸洗槽に4ヵ月浸漬された継手試験片の断面

母材×溶材

SS 400× S-16 (軟鋼用溶接棒)

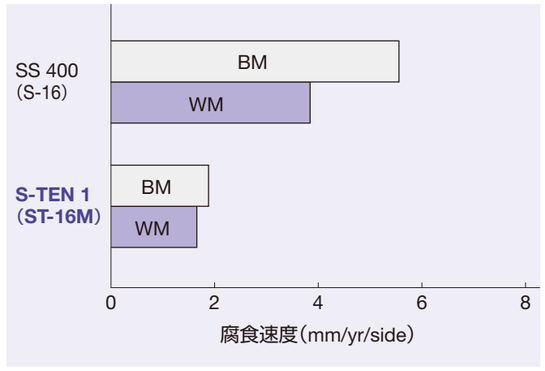


S-TEN 1×ST-16M (S-TEN 1専用溶接棒)



BM：母材、WM：溶接金属

図4.3　溶接継手試験片の塩酸酸洗槽中浸漬試験結果

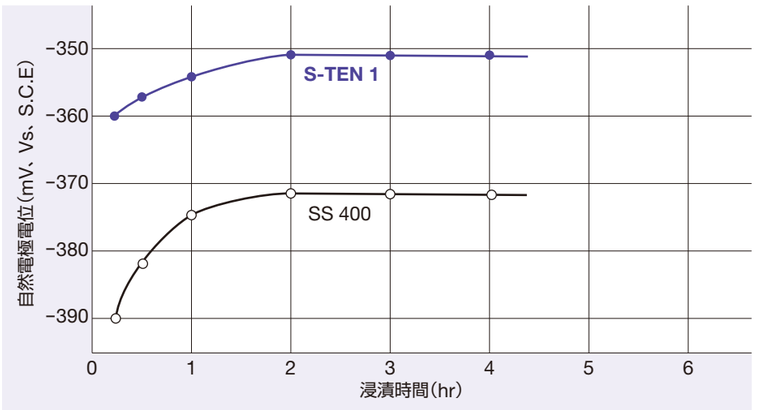


BM：母材、WM：溶接金属

腐食雰囲気における異種金属との接触腐食

接触腐食は異種金属間の電位差に起因するものです。
S-TEN 1とSS 400は60℃、40%硫酸中で図4.4のような自然電極電位の傾向を示します。すなわち、S-TEN 1はSS400よりも20mV高い電圧を示しますので、理論的にはS-TEN 1にSS 400を取り付けるとS-TEN 1が陰極となり、SS 400の腐食(アノード溶解)が促進されることが予想されますが、この程度の電位差では実用上あまり問題がないことが以下に紹介しますように確かめられています。

図4.4 40%硫酸(60℃)中でのS-TEN 1とSS 400の自然電極電位



確性試験結果

S-TEN 1

実験室で次の確性試験を行いました。試験片を製作するにあたって、S-TEN 1の面積に比べSS 400の面積が小さい場合SS 400の腐食が促進することが考えられますので、この点を考慮し、SS 400 : S-TEN 1の面積比が、突合わせ継手の場合1 : 1、1 : 10となるよう試験片を製作し、濃度40%、温度55℃の硫酸中に5時間浸漬し試験を実施しました。その結果、図4.5、4.6に示すようにそれぞれ母材のままの場合とほぼ同程度の腐食量であり、このような硫酸腐食環境では電位差20mV程度の接触は特に心配する必要のないことがわかりました。

図4.5 異材溶接継手各部の板厚減少量(面積比1:1)

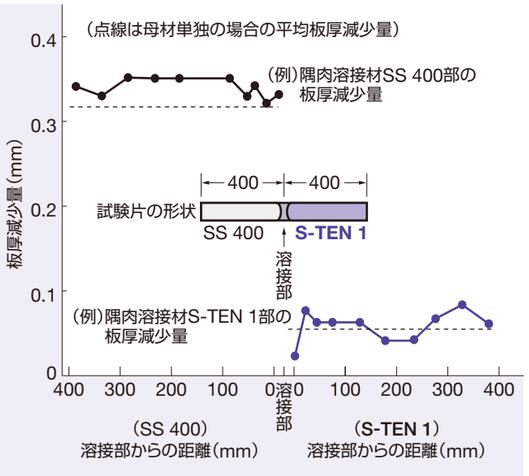
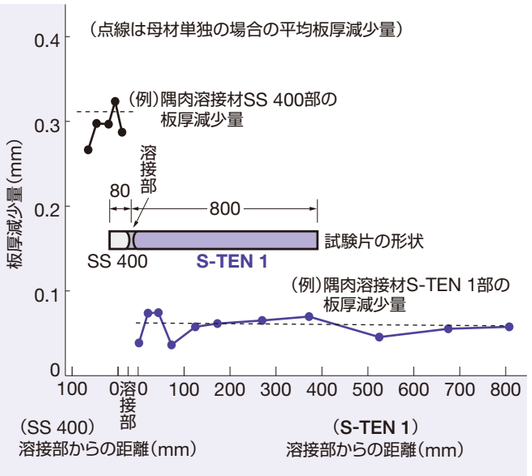


図4.6 異材溶接継手各部の板厚減少量(面積比1:10)



5. 実機適用例

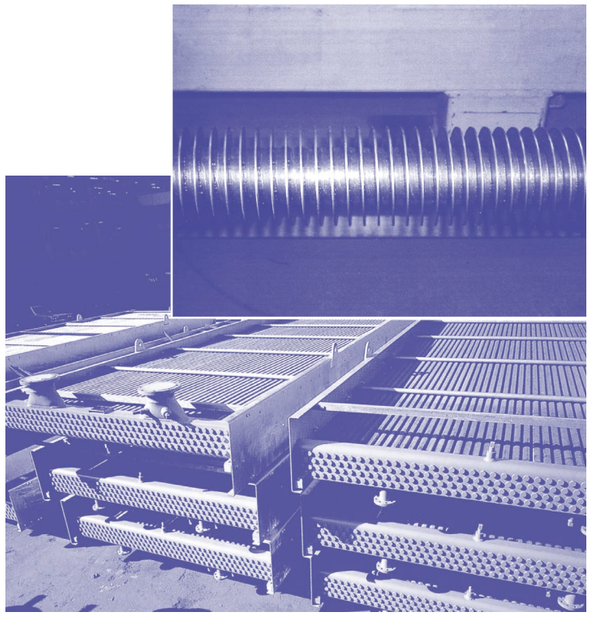


鹿島共同発電所



石炭火力発電所の排煙脱硫装置

フィンチューブ



エアフィンクーラー用鋼管