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

ABREX® (アブレックス) PERFECT BOOK
A115_04_202209f
© 2019, 2022 NIPPON STEEL CORPORATION 無断複写転載禁止

NIPPON STEEL

Toughness Made in Japan

ABREX®

PERFECT BOOK

0
NET ZERO
NIPPON STEEL
Green Transformation
initiative

日本製鉄株式会社

Toughness Made in Japan

ABREX®

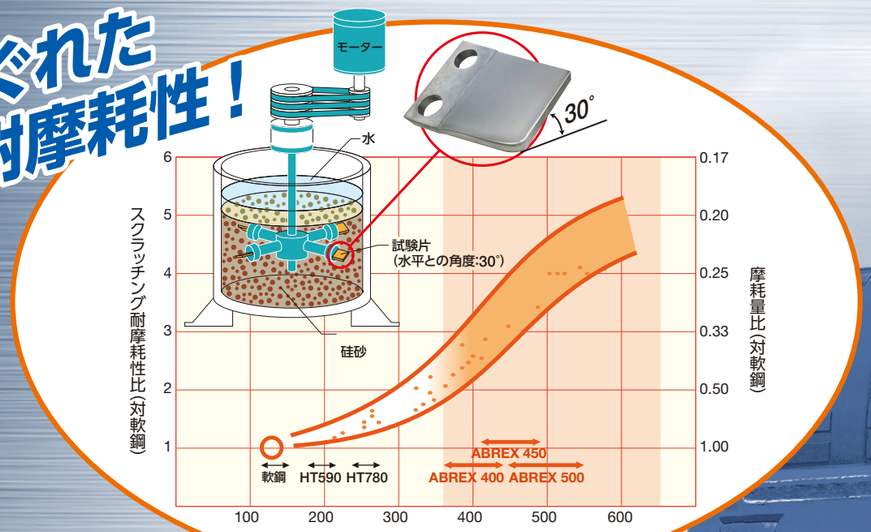
目 次

ABREXシリーズの種類 2
製造可能範囲 3
耐摩耗性 4
溶接性・溶接材料・曲げ加工性
・切断性・穴あけ加工性・塗装 6
使用例 12
参考資料 13

溶接ガイドライン
溶接材料の選定 14
予熱およびパス間温度 16
直後熱 19
溶接施工にあたっての留意点 19
低温割れについて 24

曲げ加工ガイドライン
曲げ加工力の予測(設備の選定) 26
スプリングバック量について 27
曲げ加工時の注意事項 28

すぐれた耐摩耗性！



ABREXなら、機械や部品の寿命を伸ばします

高い溶接性！

● 予熱温度の目安

鋼材	板厚(mm) ～11	～20	～25	～36	～50	～100
ABREX 400	RT		50℃	50℃	75℃	125℃
ABREX 400LT			75℃	75℃	100℃	125℃
ABREX 450			50℃	75℃	75℃	—
ABREX 450LT			50℃	150℃	150℃	—
ABREX 500		50℃	75℃	100℃	125℃	—

- 前提条件：HI=1.7kJ/mm、拡散性水素量<3m/100g
- RT：室温（気温が5℃以下の場合は20℃以上への予熱を推奨します。）
- ABREX 400LT：t≦60mm

ABREXなら、少ない予熱でのスピード溶接

豊富な規格とサイズ！

● 規格の種類および記号

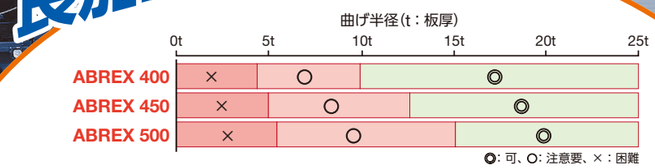
タイプ	記号	板厚 t (mm) 4.5 7.0 10 50 100	ブリネル硬さ(HBW) 狙い	保証	シャルピー衝撃試験(L方向) 試験温度(℃)	吸収エネルギー(J)
標準タイプ	ABREX 400	4.5～100	400	360～440	—	—
	ABREX 450	4.5～50	450	410～490	—	—
	ABREX 500	4.5～50	500	450～550	—	—
高靭性タイプ	ABREX 400LT	4.5～60	400	360～440	-40	≧27
	ABREX 450LT	4.5～50	450	410～490	-40	≧27

ABREXシリーズは、標準タイプ3種類、高靭性タイプ2種類を揃え、
さまざまな用途にご使用いただけます。
いずれの製品も不純物を低く管理し、溶接性、加工性に配慮しております。

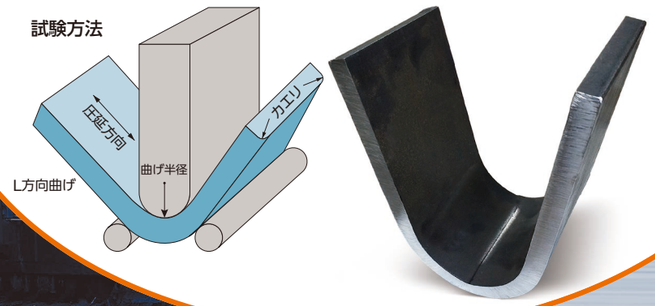
ABREXなら、どんな用途でも対応します

良加工性！

● 曲げ



試験方法



ABREXなら、曲げ加工にも耐える、曲げて使用も可

〈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。

ABREXシリーズの種類

ABREXシリーズは、標準タイプ3種類、高靭性タイプ2種類を揃え、さまざまな用途にご使用いただけます。
いずれの製品も不純物を低く管理し、溶接性、加工性に配慮しております。

●規格の種類および記号

タイプ	記　号	板厚 t (mm)	ブリネル硬さ(HBW) *1		シャルピー衝撃試験(L方向)*2	
			狙い	保証	試験温度(℃)	吸収エネルギー (J)
標準タイプ	ABREX 400	6(4.5) ～100	400	360～440	–	–
	ABREX 450	6(4.5) ～ 50	450	410～490	–	–
	ABREX 500	6(4.5) ～ 50	500	450～550	–	–
高靭性タイプ	ABREX 400LT	6(4.5) ～ 60	400	360～440	-40	≧27
	ABREX 450LT	6(4.5) ～ 50	450	410～490	-40	≧27

( )内についてはご相談ください。

*1 ブリネル硬さは鋼板表面の3点の平均値です。測定面は表面を約0.7mm切削し、脱炭層を除去した面とします。
上記の標準規格以外の硬さにつきましては、お問い合せください。
*2 シャルピー衝撃試験につきましては板厚12mm超について適用します。

タイプ	記　号	板厚 t (mm)	化学成分(%) *1											
			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	B	P_{CM} (t:厚さ) *2		
												t≦25	t≦50	t>50
標準タイプ	ABREX 400	～100	≦0.21	≦1.20	≦2.00	≦0.025	≦0.010	≦1.00	≦1.20	≦0.60	≦0.005	≦0.30	≦0.35	≦0.35
	ABREX 450	～50	≦0.23	≦1.20	≦2.00	≦0.025	≦0.010	≦1.00	≦1.20	≦0.60	≦0.005	≦0.36	≦0.36	–
	ABREX 500	～50	≦0.35	≦1.20	≦2.00	≦0.015	≦0.010	≦1.00	≦1.20	≦0.60	≦0.005	≦0.42	≦0.42	–
高靭性タイプ	ABREX 400LT	～60	≦0.21	≦1.20	≦2.00	≦0.020	≦0.010	≦1.00	≦1.20	≦0.60	≦0.005	≦0.30	≦0.35	≦0.35
	ABREX 450LT	～25	≦0.28	≦1.20	≦2.00	≦0.020	≦0.010	≦1.00	≦1.20	≦0.60	≦0.005	≦0.36	–	–
		25超							≦1.50			–	≦0.40	≦0.40

*1 必要に応じて上記以外の元素を添加することがあります。
*2 $P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$(%)

●特性例

タイプ	記号	板厚 (mm)	化学成分		ブリネル硬さ (HBW)	機械的特性(参考値)						
			P_{CM} (%)	Ceq*1 (%)		引張試験		曲げ試験 *2			シャルピー衝撃試験	
						降伏点 (N/mm^2)	引張強さ (N/mm^2)	半径 (t:厚さ)	角度	結果	温度 (℃)	吸収エネルギー (J)
標準タイプ	ABREX 400	25	0.27	0.49	406	1025	1259	3t	180°	割れ無し	0	38
											-20	30
	ABREX 450	25	0.31	0.50	457	1192	1469	3t	180°	割れ無し	0	57
	ABREX 500	25	0.36	0.54	514	1373	1552	3t	180°	割れ無し	0	43
高靭性タイプ	ABREX 400LT	60	0.30	0.60	392	1162	1207	3t	180°	割れ無し	-40	63
	ABREX 450LT	25	0.31	0.50	469	1089	1465	3t	180°	割れ無し	-40	43
試験要領					JIS Z2243 表面	JIS 5号or4号 C方向		JIS 1号 C方向			2mmVノッチ L方向	

*1 $Ceq = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cu+Ni)}{15} + \frac{(Cr+Mo+V)}{5}$
*2 曲げ加工性はP8をご参照下さい。

●使用上のご注意

板厚が増していくと、板厚中心部の硬さが多少減少する傾向があります。
高温の環境下での使用は別途ご相談ください。
低温環境下での使用の場合、高靭性タイプをご使用ください。

製造可能範囲

●ABREX 400、400LT　ABREX 400LT：t≦60mm

(長さ:m)

厚(mm) ＼ 幅(mm)	1000以上～1200以下	1200超～1400以下	1400～1600	1600～1800	1800～2000	2000～2200	2200～2400	2400～2600	2600～2800	2800～3000	3000～3200	3200～3400	3400～3600	3600～3800	3800～4000	4000～4200	4200～4400	4400～4500
4.5			8															
4.5超5以下																		
5～6			10															
6～7																		
7～8																		
8～9			18				15											
9～10																		
10～12																		
12～14																		
14～16																		
16～18																		
18～20																		
20～30																		
30～32																	22	22
32～34																22	21	20
34～36			23												22	21	20	19
36～38														22	20	19	19	18
38～40												22	22	20	19	18	18	17
40～42												20	20	19	18	17	16	16
42～44											22	20	20	18	18	17	16	16
44～46										22	21	19	19	18	17	16	15	15
46～48										21	20	18	18	17	16	15	15	14
48～50									22	20	19	17	17	16	15	15	14	14
50～52									21	20	19	17	17	16	14	14	13	13
52～54									21	19	18	16	16	15	14	14	13	13
54～56								22	20	18	17	15	15	14	13	13	12	12
56～58							22	21	19	17	17	15	15	14	13	13	12	12
58～60						22	22	20	18	16	16	14	14	13	12	12	12	11
60～65			22				20	19	17	15	15	13	13					
65～70			20				18	17	16	14								
70～75			19				17	16	15	13								
75～80			18				16	15										
80～85			17				15											
85～90			16															
90～95			15															
95～100			14															

●ABREX 450、500、450LT

(長さ:m)

厚(mm) ＼ 幅(mm)	1000以上～1200以下	1200超～1400以下	1400～1600	1600～1800	1800～2000	2000～2200	2200～2400	2400～2600	2600～2800	2800～3000	3000～3200	3200～3400	3400～3600	3600～3800	3800～4000	4000～4200	4200～4400	4400～4500
4.5			8															
4.5超5以下																		
5～6			10															
6～7																		
7～8																		
8～9			18															
9～10							13											
10～12																		
12～14																		
14～16																		
16～18																		
18～20																		
20～30																		
30～32																	22	22
32～34																22	21	20
34～36			23												22	21	20	19
36～38														22	20	19	19	18
38～40												22	22	20	19	18	18	17
40～42												20	20	19	18	17	16	16
42～44											22	20	20	18	18	17	16	16
44～46										22	21	19	19	18	17	16	15	15
46～48										21	20	18	18	17	16	15	15	14
48～50									22	20	19	17	17	16	15	15	14	14

(1) 表内の数値は製造可能長さを示します。
(2) □の範囲内はご相談ください。
(3) 板厚15.0mm以下の片面ショットブラストは、特に平坦度および除錆度に関しご相談のうえ製造いたします。
(4) 上表以外の寸法についてもご相談に応じます。
(5) 最小長さは3mとします。

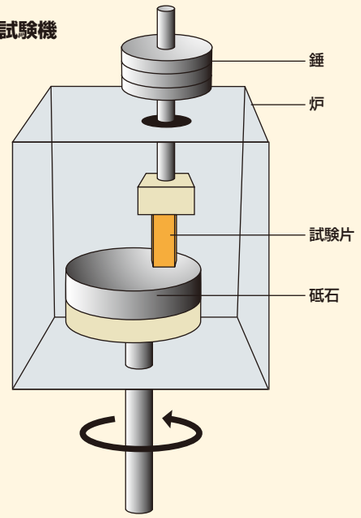
耐 摩 耗 性

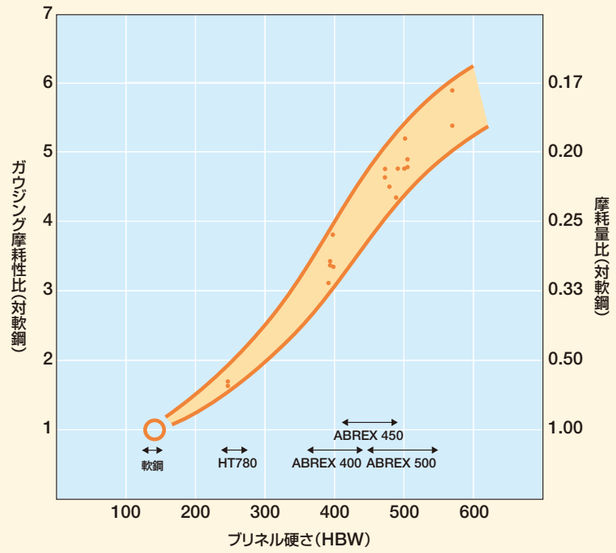
摩耗による重量ロスは鋼の表面硬さの増加により減少します。
従って耐摩耗性が要求される鋼は表面硬度が高い鋼が必要になります。
日本製鉄のABREXは土砂、岩石等に対する耐摩耗性を重視した設計になっております。
軟鋼に比べ、硬さレベルに応じ2～5倍の耐摩耗性を有しています。

●特性例

ガウジング摩耗試験結果

摩耗試験機

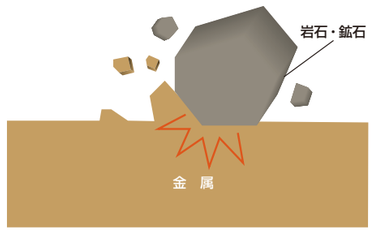




試験条件
試験片を砥石に押し付け、砥石を回転させることにより、その摩耗量を測定します。

回転速度　：30rpm
試験時間　：20min
荷重　　：29.4kg／cm²
雰囲気温度：200℃
砥石　　：高温用専用砥石

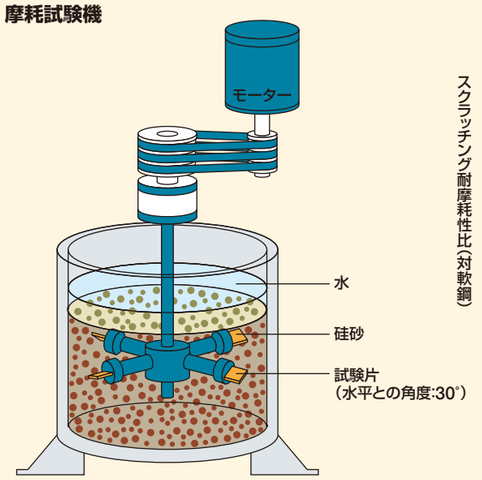
ガウジング摩耗
岩石あるいは鉱石などの掘削・破砕時に生じる摩耗。大きな荷重と衝撃が加わることにより、金属の表面から比較的大きな金属の塊がむしり取られ、溝状摩耗痕となる。岩盤の掘削時のショベル等に生じる。

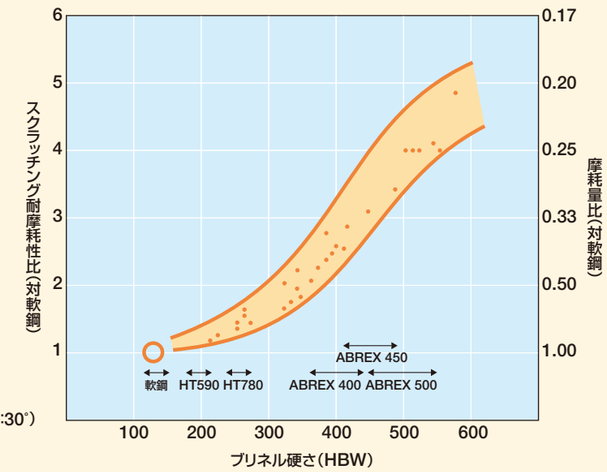


●特性例

スクラッチング摩耗試験結果（湿式）

摩耗試験機

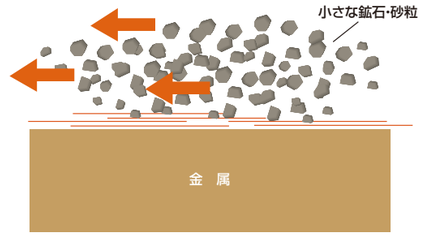




試験条件
水を含んだ砂の中で、摩耗試験片を回転させ、その摩耗量を測定します。

使用容器：φ580mm
砂　　：硅砂を試験片の上150mmの高さまで装入
水　　：砂面の上10mmの高さまで注入
試験片　：50mm×50mm　厚さ5mm
回転条件：3.7m/s

スクラッチング摩耗
比較的小さな鉱石・砂粒が、金属表面をこする際に生じる摩耗。荷重、衝撃力が小さいため、摩耗痕も比較的浅い。土砂を積み込むダンプベッセル等に生じる。



●使用上のご注意

摩耗量は使用環境により変化することがあります。

溶　接　性

耐摩耗鋼は、非常に高強度であるために低温割れ感受性が高く、溶接にあたっては、溶接材料の選定、予熱温度の管理が重要となります。また、継手の拘束条件、溶接入熱やビード長などの溶接条件、溶接時の環境条件、溶接材料の管理などにもご留意ください。詳細については『ABREX®（アブレックス）溶接ガイドライン』(p.14)をご参照下さい。

●予熱温度の目安（溶接部の耐摩耗性を考慮しないガスシールドアーク溶接の例）

鋼　材	溶　材	溶接条件	板厚(mm)					
			～11	～20	～25	～36	～50	～100
ABREX 400	YM-26 YM-28S	通常溶接（拘束小）	RT	RT	50℃	50℃	75℃	125℃
		補修溶接（拘束中）	RT	RT	75℃	75℃	100℃	150℃
ABREX 450		通常溶接（拘束小）	RT	RT	50℃	75℃	75℃	–
		補修溶接（拘束中）	RT	50℃	75℃	100℃	100℃	–
ABREX 500		通常溶接（拘束小）	RT	50℃	75℃	100℃	125℃	–
		補修溶接（拘束中）	RT	100℃	100℃	150℃	150℃	–

前提条件：HI=1.7kJ/mm、拡散性水素量＜3ml/100g
RT：室温（気温が5℃以下の場合は20℃以上への予熱を推奨します。）

低温割れを回避するための必要な予熱温度は、炭素当量、溶接金属水素量、溶接金属降伏強さ、入熱量、板厚などから有る程度推定できます[1]。適正な予熱温度は、外気温度、パス数、開先形状、予熱方法、などにも影響されますので、あくまで目安としてお考えください。

1)　N.Yurioka and T.Kasuya：溶接学会論文集、第13巻、第3号、pp347-357、1995.
または、溶接選書10.「鉄鋼材料の溶接」　産報出版(1999)、p.163

●特性例

CTS 割れ試験結果（JIS Z3154：重ね継手溶接割れ試験）

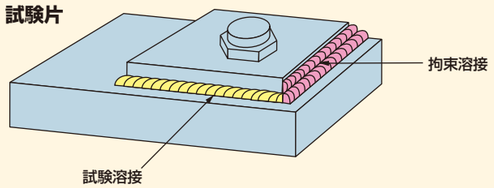
記　号	板厚（mm）	割れの有無	
		SMAW	GMAW
ABREX 400	25	○	○
ABREX 450	25	○	○
ABREX 500	25	○	○

○：割れなし

試験方法

項　目	SMAW	GMAW
温　度	常温	常温
入熱 kJ/mm	1.73	0.85
溶接材料	LF52	SCH60
水素量 cc/100g	3.48	1.62

試験片



●使用上のご注意

予熱時の加熱により鋼板の温度が上がりすぎると、鋼板の硬さが低下する場合がありますので、鋼板温度はできる限り200℃を超えないようご注意ください。

溶 接 材 料

●一般溶接材料

1）溶接部の耐摩耗性を考慮しない場合（各鋼種共通）

溶接法	銘　柄	規　格	溶接金属の硬さの一例 Hv(98N)	施工条件の一例（板厚20mm）	備　考
被覆アーク	L-55	JIS Z3211 E4916U AWSA5.1 E7016該当	180	入熱≦3.0kJ/mm	全姿勢溶接用 低水素系
ガスシールドアーク	YM-26	JIS　Z3312　YGW11 AWSA5.18 ER70S-G該当	180	入熱≦2.0kJ/mm	炭酸ガス用
	YM-28S	JIS　Z3312　YGW15 AWSA5.18 ER70S-G該当	200	入熱≦3.0kJ/mm	混合ガス用

2）溶接部の耐摩耗性を考慮する場合（各鋼種共通）

溶接法	銘　柄	規　格	溶接金属の硬さの一例 Hv(98N)	施工条件の一例（板厚20mm）	備　考
被覆アーク	L-80	JIS Z3211 E7816-N5CM3U AWSA5.5 E11016-G該当	250	入熱≦3.0kJ/mm 予熱≧100℃ *	全姿勢溶接用 低水素系
	L-100EL	WES 4101 DK9016該当	320	入熱≦3.0kJ/mm 予熱≧100℃ *	全姿勢溶接用 低水素系
ガスシールドアーク	YM-80C	JIS Z3312 G78JA2UCN5M3T AWSA5.28 ER110S-G該当	260	入熱≦2.0kJ/mm 予熱≧50℃ *	炭酸ガス用
	YM-80A	JIS Z3312 G78A4UMN5C1M3T AWSA5.28 ER110S-G該当	270	入熱≦3.0kJ/mm 予熱≧50℃ *	混合ガス用

* 溶接材料としての必要予熱温度であり、鋼板側で必要な予熱温度との高いほうで施工してください。

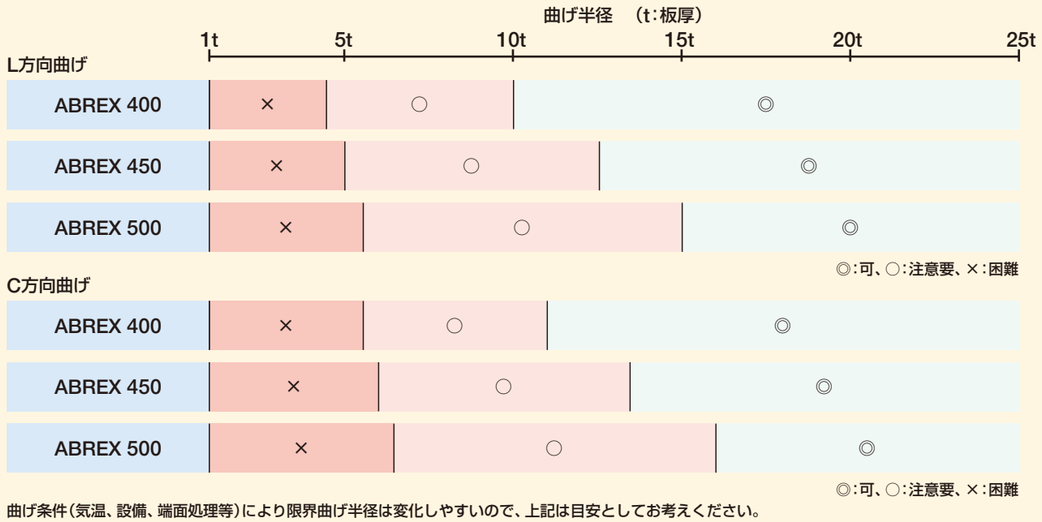
予熱ができない、あるいは省略したい場合には、SUS309などのオーステナイト系溶接材料を使用する方法もあります。また、従来ソリッドワイヤなどに比べても大幅に水素量を下げて、予熱温度の低減あるいは省略が可能となる、ワイヤもございますので、別途ご相談ください。

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

曲げ加工性

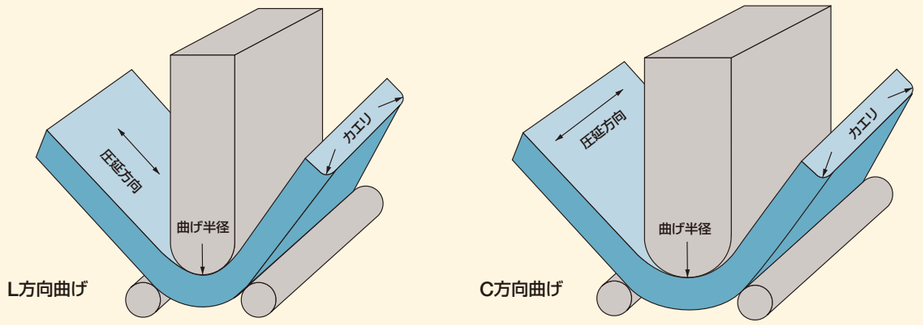
耐摩耗鋼は普通鋼に比べ伸び値が低いため、加工割れ防止のための管理が重要になります。
曲げ半径、切断面の品質、曲げ方向等加工要領にご配慮ください。
詳細については『ABREX®（アブレックス）曲げ加工ガイドライン』(p.26)をご参照ください。

●限界曲げ半径の目安



曲げ条件（気温、設備、端面処理等）により限界曲げ半径は変化しやすいので、上記は目安としてお考えください。

●特性例



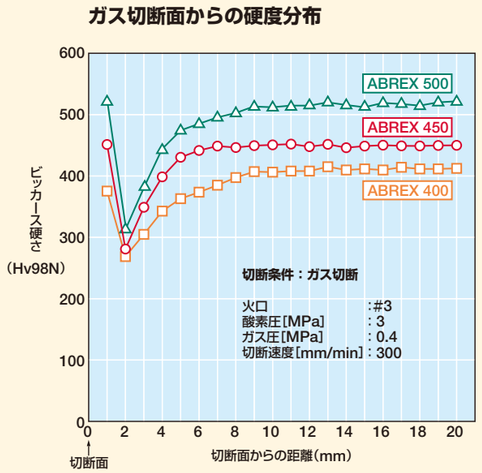
●使用上のご注意

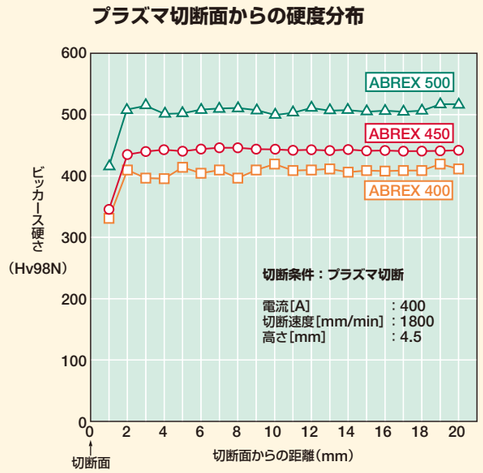
熱間加工は硬度が低下しますので避けてください。
切断面のノッチ、シャー面のカエリ、ガス切断面の硬化層は亀裂の原因になりますので、グラインダーなどで滑らかに除去してください。
また曲げ半径が極端に小さい場合、コーナーを面取りし、鋼板の長手方向を円周方向（L方向曲げ）にするようにご配慮ください。
普通鋼に比べスプリングバックが大きいため、あらかじめご確認ください。
室温が0℃以下の場合、曲げ加工は避けてください。

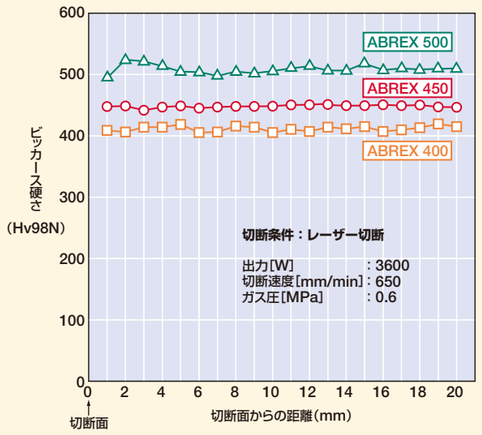
切　断　性

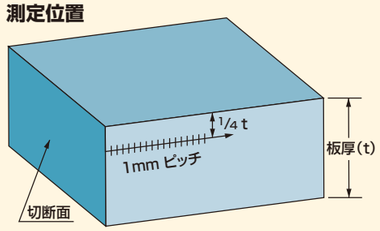
ABREXはガス、プラズマ、レーザー切断は可能ですが、その切断面は熱による影響を受けています。
切断面の特性をご理解いただくとともに、切断要領についてもご配慮ください。

●特性例









試験片厚さ

記　号	板厚 t（mm）
ABREX 400	25
ABREX 450	25
ABREX 500	25

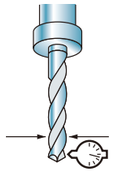
●使用上のご注意

室温が5℃以下の場合は、軽く予熱してください。
切断時の水冷は避けてください。
小物、狭幅切断の場合、硬度が低下する場合がありますので、ご注意ください。
切断により生じたノッチは、グラインダーで滑らかに仕上げてください。

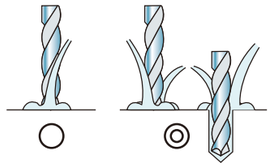
穴あけ加工性

ABREXは高硬度・難加工材のため、穴あけ加工にはマシニングセンタと超硬合金ドリルの組み合わせが最適と考えられます。
しかしながら、小部材の加工にボール盤とハイスドリルの組み合わせが採用されるケースも多いことから、ハイスドリルによるABREXの推奨切削条件をご紹介いたします。

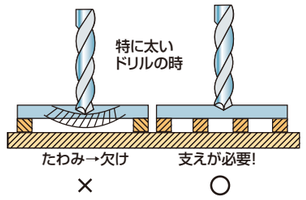
（1）穴あけ加工時の留意点



①ドリル取り付け時、外周の振れが0.03mm以下になるように、調整してください。



②切削油剤は、浸透性の良い水溶性をお奨めします。穴の入口に十分供給してください。



③被削材が振動したり、たわんだりしないように、強固に保持してください。

（2）推奨切削条件

ラジアルボール盤による穴あけ加工推奨条件を示します。

鋼　種	ドリル	切削速度 (m/min)	φ5		φ10		φ15		φ20		φ25		φ30	
			回転速度 (min^{-1})	送り量 (mm/rev)	回転速度 (min^{-1})	送り量 (mm/rev)	回転速度 (min^{-1})	送り量 (mm/rev)	回転速度 (min^{-1})	送り量 (mm/rev)	回転速度 (min^{-1})	送り量 (mm/rev)	回転速度 (min^{-1})	送り量 (mm/rev)
ABREX 500	粉末ハイス	5～8	320～510	0.05～0.10	160～250	0.10～0.20	110～170	0.15～0.30	80～130	0.15～0.30	65～100	0.15～0.30	55～85	0.15～0.30
ABREX 400	粉末ハイス	6～10	380～640	0.05～0.10	190～320	0.10～0.20	130～210	0.15～0.30	95～160	0.15～0.30	75～130	0.15～0.30	65～110	0.15～0.30
	コバルトハイス	5～8	320～510	0.05～0.10	160～250	0.10～0.20	110～170	0.15～0.30	80～130	0.15～0.30	65～100	0.15～0.30	55～85	0.15～0.30

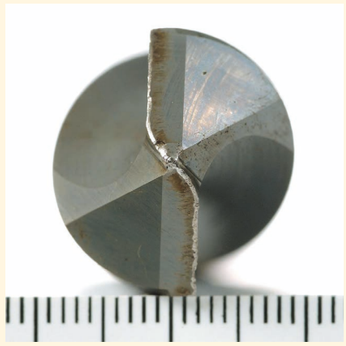
- 上記は目安としてお考えください。
  工作機械の剛性や被削材の保持方法によっては、適正条件がこの範囲外の場合もありますので、実加工の前に試切削をお薦めします。
- ABREX 500に対しては、コバルトハイスはお奨めできません。
- 一般に、 能率を優先される場合は切削速度（回転速度）・送り量とも高位側に設定しますが、ドリル寿命が犠牲になります。逆に、ドリル寿命・加工精度が要求される場合は、低位側の条件をお奨めします。
- 食い付き加工時において、切りくずが長く繋がる場合があります。その際は、切りくずを短かめに分断すると、ドリルへの負担が軽減されます。
- この推奨切削条件は水溶性切削油剤を使用する場合のものです。水溶性切削油剤は希釈倍率20倍以下の良質のものをご使用ください。
- 不水溶性切削油剤または20倍を超えるエマルジョンの時は、切削速度を20%下げてください。

（3）穴あけ加工データ例［ご参考］

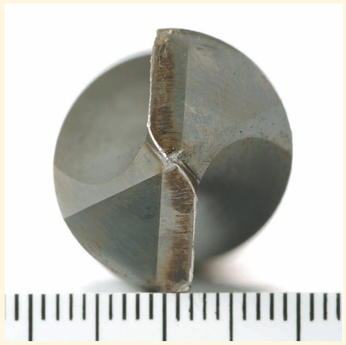
ラジアルボール盤での穴あけ加工データ例を示します。

鋼　種	ドリル種類	穴深さ (mm)	工作機械	切削油剤	ドリル径 (mm)	切削速度 (m/min)	回転速度 (min^{-1})	送り量 (mm/rev)	貫通穴数	切削長 (mm)
ABREX 500	粉末ハイス	25	立型ラジアルボール盤	水溶性15倍希釈	φ10	5.2	165	0.15	31	775
					φ20	4.7	75	0.25	53	1325
					φ30	4.7	50	0.25	20	500
ABREX 400	粉末ハイス	25	立型ラジアルボール盤	水溶性15倍希釈	φ10	6.3	200	0.15	78	1950
					φ20	6.9	110	0.25	136	3400
					φ30	7.1	75	0.25	42	1050
	コバルトハイス	25	立型ラジアルボール盤	水溶性15倍希釈	φ10	5.2	165	0.15	123	3075
					φ20	4.7	75	0.25	52	1300
					φ30	4.7	50	0.25	34	850

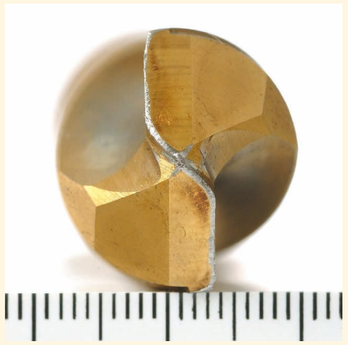
穴あけ加工後のドリル先端拡大写真（3点ともドリル径φ20）



ABREX 500　粉末ハイス
4.7m/min 0.25mm/rev　53 穴貫通後



ABREX 400　粉末ハイス
6.9m/min 0.25mm/rev 136 穴貫通後

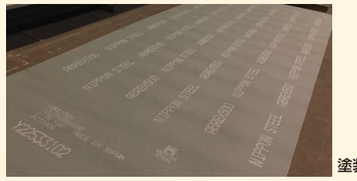


ABREX 400　コバルトハイス
4.7m/min 0.15mm/rev　52 穴貫通後

塗 装

ご注文に応じプライマー塗装して出荷致します。

記　号	標準色
ABREX 400、ABREX 400LT	ブラウン
ABREX 450、ABREX 450LT	グリーン
ABREX 500	グレー



塗装後全面マーキングの例

使 用 例

ブルドーザー

ダンプトラック

圧砕機

油圧ショベル

参考資料

日本製鉄規格新旧規格対比表

旧新日本製鉄	旧住友金属工業	日本製鉄
—	SUMIHARD-K340	—
WEL-HARD400 WEL-TEN　AR360E	SUMIHARD-K400	ABREX 400
WEL-TEN　AR400E	SUMIHARD-K450	ABREX 450
WEL-HARD500 WEL-TEN　AR500E	SUMIHARD-K500	ABREX 500
—	—	ABREX 400LT
—	—	ABREX 450LT

＊特別仕様で製造している規格品につきましては、お問合せください。

硬さ対照表（概数）

ブリネル硬さ（HBW）	ビッカース硬さ	ロックウェル硬さ（HRC）	ショア硬さ
タングステンカーバイド　10mm球 荷重　29400N		Cスケール 荷重　1470N　brale圧子	
400	423	43	57
450	478	48	64
500	533	51	68

溶接ガイドライン

溶接材料の選定

表１　一般溶接材料

１）溶接部の耐摩耗性を考慮しない場合の溶接材料（溶接金属硬さ HBW180 クラス）

鋼種	溶接法	溶接材料			
		銘柄	規格	シールドガス	溶接姿勢
ABREX 400 ABREX 400LT ABREX 450 ABREX 450LT ABREX 500	SMAW	L-55	JIS Z3211 E4916U AWS A5.1 E7016該当	–	全姿勢
	GMAW	YM-26	JIS Z3312 YGW11 AWS A5.18 ER70S-G該当	CO_2	下向、水平すみ肉、横向
		YM-28S	JIS Z3312 YGW15 AWS A5.18 ER70S-G該当	Ar+CO_2	全姿勢
		SF-1	JIS Z3313 T49J0T1-1CA-UH5 AWS A5.36 E71T1-C1A0-CS1該当	CO_2	全姿勢

２）溶接部の耐摩耗性を考慮する場合の溶接材料（溶接金属硬さ HBW240、300 クラス）

鋼種	溶接法	溶接材料					
		銘柄	規格	シールドガス	必要予熱温度(℃)	パス間温度(℃)	溶接姿勢
ABREX 400 ABREX 400LT	SMAW	L-80	JIS Z3211 E7816-N5CM3U AWS A5.5 E11016-G該当	–	≧100	100～150	全姿勢
	GMAW	YM-80C	JIS Z3312 G78A2UCN5M3T AWS A5.28 ER110S-G該当	CO_2	≧100	100～150	下向、水平すみ肉
		YM-80A	AWS A5.28 ER110S-G該当	Ar+CO_2	≧100	100～150	下向、水平すみ肉
		YM-100A	–	Ar+CO_2	≧100	100～150	下向、水平すみ肉

３）ステンレス溶材

鋼種	溶接法	溶接材料			
		銘柄	規格	シールドガス	溶接姿勢
ABREX 400 ABREX 400LT ABREX 450 ABREX 450LT ABREX 500	SMAW	309･R	JIS Z3211 ES309-16 AWS A5.4 E309-16該当	–	全姿勢
	GMAW	YM-309	JIS Z3321 YS309 AWS A5.9 ER309該当	Ar+CO_2	下向、水平すみ肉、横向
		SF-309LP	JIS Z3323 TS309L-FB1 AWS A5.22 E309L T1-1該当	CO_2、Ar+CO_2	全姿勢

耐摩耗鋼は、非常に高強度であることから低温割れ感受性が比較的高いため、使用目的に合致した強度で、できる限り拡散性水素の発生量が少ない溶接材料を選定することが重要です。

一般溶接材料で、溶接部の耐摩耗性を考慮しない場合には、表１-１）の、低強度の溶接材料の方が高強度よりも低温割れが抑制されやすいです。

すみ肉溶接部など、溶接部の耐摩耗性をある程度考慮する場合には、表１-２）の、高強度溶接材料を推奨いたします。高強度溶材を使用される場合、小入熱で特に硬化しやすいルートパスでは、溶接部の目標特性を確保できる限り、低強度溶材を推奨します。

表１-２）に記載の予熱温度は、溶接材料として必要な最小予熱温度ですので、この温度と、使用する鋼板側で必要な予熱温度（表２）との高い方で施工してください。

予熱温度を低減したい場合には、表１-３）に示すように高価ですが、309などのオーステナイト系ステンレス鋼溶接材料を使用する方法もあります。

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

溶接ガイドライン

予熱およびパス間温度

耐摩耗鋼の低温割れを回避するために、鋼種、板厚、溶接材料に応じた適切な予熱温度を選定することが必要です。

1） 鋼材の低温割れ感受性の指標

$$CEN = C + A(C)\left\{\frac{Si}{24}+\frac{Mn}{6}+\frac{(Cu+Ni)}{15}+\frac{(Cr+Mo+Nb+V)}{5}+5B\right\} \cdots (1)$$

$$A(C)=0.75+0.25\tanh\{20(C-0.12)\}$$

必要予熱温度の推定は、百合岡らによって、鋼材の化学組成、板厚、溶接金属拡散性水素量、溶接入熱、残留応力、継手拘束などが考慮された方法が提案されています[1)]。

この方法では、(1) 式で表される炭素等量CENが、低温割れ感受性への鋼材の合金量の影響を評価する指標として用いられています。溶接熱影響部（HAZ：Heat Affected Zone）の硬さは焼入れ性とC量（マルテンサイトの硬さを決定する）の両者の関係で決定され、CENはこの相互効果を考慮しており、広い範囲の鋼材の溶接性を評価できます。

1）N.Yurioka and T.Kasuya：溶接学会論文集、13（1995）、347

2） 必要予熱温度の目安

表2　一般溶接材料による予熱温度の目安

1）溶接金属硬さ HBW180 クラスの予熱温度の目安　ABREX 400LT：t≦60mm

鋼　材	溶　材	溶接条件	板厚（mm）					
			～11	～20	～25	～36	～50	～100
ABREX 400	YM-26 YM-28S SF-1	通常溶接（拘束小）	RT	RT	50℃	50℃	75℃	125℃
		補修溶接（拘束中）	RT	RT	75℃	75℃	100℃	150℃
ABREX 400LT		通常溶接（拘束小）	RT	RT	75℃	75℃	100℃	125℃
		補修溶接（拘束中）	RT	RT	100℃	125℃	125℃	150℃
ABREX 450		通常溶接（拘束小）	RT	RT	50℃	75℃	75℃	–
		補修溶接（拘束中）	RT	50℃	75℃	100℃	100℃	–
ABREX 450LT		通常溶接（拘束小）	RT	RT	50℃	150℃	150℃	–
		補修溶接（拘束中）	RT	50℃	75℃	200℃	200℃	–
ABREX 500		通常溶接（拘束小）	RT	50℃	75℃	100℃	125℃	–
		補修溶接（拘束中）	RT	100℃	100℃	150℃	150℃	–

前提条件：HI=1.7kJ/mm、拡散性水素量　＜3㎖/100g
RT：室温（気温が5℃以下の場合は20℃以上への予熱を推奨します。）

2）溶接金属硬さ HBW240 クラスの予熱温度の目安（高強度溶接材料）　ABREX 400LT：t≦60mm

鋼　材	溶　材	溶接条件	板厚（mm）					
			～11	～20	～25	～36	～50	～100
ABREX 400	YM-80C YM-80A	通常溶接（拘束小）	100℃	100℃	100℃	100℃	100℃	125℃
		補修溶接（拘束中）	100℃	100℃	100℃	100℃	100℃	150℃
ABREX 400LT		通常溶接（拘束小）	100℃	100℃	100℃	100℃	100℃	125℃
		補修溶接（拘束中）	100℃	100℃	100℃	125℃	125℃	150℃

前提条件：HI=1.7kJ/mm、拡散性水素量　＜3㎖/100g

3）オーステナイト系ステンレス鋼溶接材料の予熱温度の目安　ABREX 400LT：t≦60mm

鋼　材	溶　材	溶接条件	板厚（mm）					
			～11	～20	～25	～36	～50	～100
ABREX 400	309・R YM-309 SF-309LP	通常溶接（拘束小）	RT	RT	RT	RT	RT	RT
		補修溶接（拘束中）	RT	RT	RT	RT	RT	RT
ABREX 400LT		通常溶接（拘束小）	RT	RT	RT	RT	RT	RT
		補修溶接（拘束中）	RT	RT	RT	RT	RT	RT
ABREX 450		通常溶接（拘束小）	RT	RT	RT	RT	RT	–
		補修溶接（拘束中）	RT	RT	RT	RT	RT	–
ABREX 450LT		通常溶接（拘束小）	RT	RT	RT	75℃	75℃	–
		補修溶接（拘束中）	RT	RT	RT	100℃	100℃	–
ABREX 500		通常溶接（拘束小）	RT	RT	RT	RT	RT	–
		補修溶接（拘束中）	RT	RT	RT	RT	RT	–

前提条件：HI=1.7kJ/mm、拡散性水素量　＜1㎖/100g
RT：室温（気温が5℃以下の場合は20℃以上への予熱を推奨します。）

表2-1）は、一般的な軟鋼溶材を用いた（溶接部の耐摩耗性を考慮しない）場合に、ガスシールドアーク溶接で入熱量を1.7kJ/mm、溶接金属拡散性水素量を3㎖/100gと想定して、同様に求めた必要予熱温度の目安です。予熱温度は、溶接が完全に終わるまで保持してください。表2では、“通常溶接”の場合と、“補修溶接”の場合の予熱温度をそれぞれ示しています。通常溶接とは、すみ肉溶接や、あまり拘束の厳しくない突合せ溶接などを想定しています。補修溶接では、一般に冷却速度が速くなり、拘束応力も厳しくなるため、通常溶接よりも高い予熱温度が必要となります。栓溶接、仮付け溶接、ピース・ジグ等の小物類の溶接時も予熱温度は補修溶接と同様としてください。

表2-2）は、一般的な高強度溶材を用いた場合に、ガスシールドアーク溶接で入熱量を1.7kJ/mm、溶接金属拡散性水素量を3㎖/100g以下と想定して、同様に求めた必要予熱温度の目安です。溶接材料も割れやすいので、母材と溶材それぞれに必要な予熱温度の高い方を記載しています。

表2-3）は表1-3）に示すオーステナイト系ステンレス鋼の溶材を用いた場合の、必要予熱温度の目安です。高価ですがオーステナイト系ステンレス鋼の溶接材料を使えば、予熱を低減できます。

必要予熱温度は、炭素当量、溶接金属水素量、溶接金属降伏強さ、入熱量、板厚ばかりでなく、外気温度、パス数、開先形状、予熱方法、直後熱の有無などにも支配されるため、表2の予熱温度はあくまで目安としてお考えください。

RT（予熱なし）の場合でも、外気温や鋼板表面温度が5℃以下である場合には、開先面に結露の恐れがあるので、20℃以上への予熱を推奨します。また、5℃以上でも開先面に結露が認められた場合は、加熱などにより必ず結露を除去してください。

予熱およびパス間温度

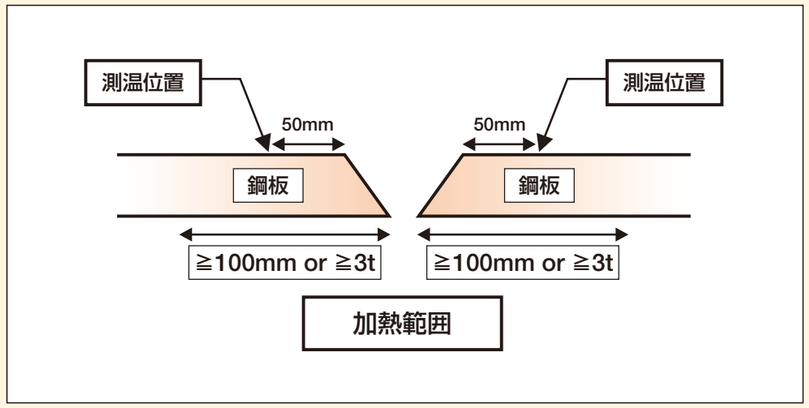
3） パス間温度

予熱温度≦　パス間温度　≦２００℃

パス間温度の下限は、必要予熱温度以上とします。

　また、パス間温度が高くなると、冷却速度が遅くなることから、溶接熱影響部の硬さ、靭性が低下する場合があるため、パス間温度の上限を200℃とすることを推奨いたします。

4） 予熱方法



局所的な温度上昇　⇨　表面温度　≦２５０℃

図１　予熱時の加熱範囲および測温位置

予熱は、開先内のみの極狭い範囲を加熱するのではなく、ある程度広い範囲にわたり，加熱面の反対側まで所定の温度になるように加熱する必要があります。その際、局所的に温度が上がりすぎないようにご注意ください（表面温度が250℃を超えないように制御ください）。具体的には、加熱範囲は、溶接線両側100mm（あるいは板厚の３倍）程度とし、温度測定は、溶接線両側から約50mm離れた位置で実施して下さい（図1）。

　予熱方法としては、ガスバーナーが簡易的ですが、長時間均一に加熱を行う場合には、サーモスタット付の電気抵抗加熱器などを使用することをお奨めします。

　また、溶接を中断した際には、溶接の再開時に、再度同様な予熱をすることが必要です。

直後熱

必要な予熱・パス間温度が高く、施工が困難な場合、溶接直後熱処理を採用することにより、ある程度予熱・パス間温度を下げることができます。また、板厚が厚い場合や、拘束が非常に厳しい場合などに、予熱と併用することで、低温割れを抑制する効果が一層高まります。直後熱は、溶接終了後あるいは溶接中断後に、溶接物を室温に下げることなく直ちに実施しなければなりません。直後熱は、溶接部からの脱水素を目的とするもので、一応の目安として150℃から200℃で、板厚／25.4mm×hr以上が必要です。

溶接施工にあたっての留意点

1） 溶接材料取り扱いの留意点

① SMAW用溶接材料

十分な乾燥、保管容器に保管

水分、錆、油汚れ、プライマー

SMAW用溶接材料は、使用前に溶材メーカーの指定条件（温度や時間）にて十分に乾燥する必要があります。この際、温度が高すぎるとフラックスが変質するので、注意してください。また、乾燥後も、大気中に放置したり、地面に置いたりすると再吸湿して拡散性水素量を増大させることになりますので、保管容器（温度等の保管条件は溶材メーカーの指定条件に準拠）に保管ください。また長時間放置後には乾燥を行ってください（乾燥後の許容放置時間も溶材メーカーの指定条件に準拠）。SMAWでは、溶接時の湿度の影響を受けやすいので、特に高温高湿条件下で溶接する際には、フラックスの吸湿や雰囲気の影響による拡散性水素量増加を避けるため、予熱温度を高めに設定してください。溶接する箇所の水分、錆、油汚れ、プライマーなどは拡散性水素源となりますので、これらは必ず溶接前に除去する必要があります。また、アーク長が長くなると拡散性水素量が増大する傾向があるため、アーク長は短くして溶接を実施してください。

② GMAW用溶接材料

水分、錆、油汚れ、プライマー

風速≧0.5m/sec.　⇨　風速＜0.5m/sec.　or　防風対策

GMAWでは、シールドガスを用いるので拡散性水素量は低いですが、突出し長さを長くしたり、アーク電圧を高めたりすると拡散性水素が増加します。溶接する箇所の水分、錆、油汚れ、プライマーなどは拡散性水素源となりますので、これらは必ず溶接前に除去する必要があります。清掃すべき範囲は図１の開先から温度測定点辺りまでとして下さい。MAG（MIG）ワイヤについては、錆などの異常が見られた場合は使用をお控えください。

溶接ガイドライン

溶接施工にあたっての留意点

2） MAG（MIG）溶接での欠陥防止の注意点

① 溶接施工時の注意点

・溶接姿勢の制約条件、適正電流・電圧、溶接速度、極性（当該溶接法では通常ワイヤ＋）、突き出し長さは、溶接材料メーカーの推奨条件に従ってください。
・シールドガスの適正流量は20～25ℓ／分です。流量は多過ぎても乱流となり、空気を巻き込みます。
・風速が0.5m/sec以上の時には、溶接を避けるか、衝立による防風対策を行ってください。
・溶接前には、溶接トーチのノズル内面に過度のスパッタ付着が無いこと、オリフィスが取り付けられていることを確認してください。
・スラグ巻込みを防止するため、溶接パスごとにビード表面に発生したスラグを除去してください。
・多層溶接での融合不良を防止するため、各ビード間及びビードと開先面の間が鋭い谷ようなの形状とならないよう、積層方法に注意してください。また、鋭い谷のような形状となった場合は、グラインダ等で滑らかな形状に研削してから、次のパスを溶接してください。
・開先内の溶接では、メタル先行（溶融金属が溶融池の前方に先行する現象）が発生し、溶込み不良やスラグ巻込みが発生しやすくなるため、溶接速度を速くしたり、後退角を採用するなど、メタル先行とならない溶接条件を選定してください。

② ワイヤ送給性の確保

・ワイヤ径に合った、適正なサイズの送給ローラ、コンジットライナー及びコンタクトチップを使用してください。
・コンタクトチップが損傷（摩耗，融着）している場合は、新品に交換してください。
・コンジットケーブルの曲がりの許容範囲は、一般に直径500mmにつき１ターンのみとなります。
・長期間使用された送給ライナーは、内面の摩耗や、異物の付着（ワイヤの削れカスや潤滑剤等）によって劣化し、ワイヤの送給性が悪くなります。その場合は、メーカーが推奨する方法で清掃するか、新品に交換してください。

3） 母材特性の観点からの推奨最大入熱

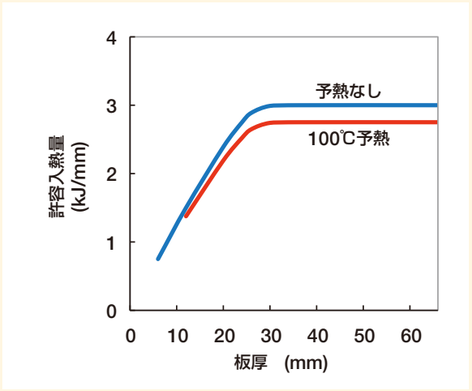


図２ 許容入熱量の目安

低温割れ防止の観点からは、溶接入熱が高いほど望ましいのですが、入熱量が高くなると冷却速度が遅くなるため、HAZ軟化幅が大きくなるなどの影響があります。図２に、板厚に応じた最大の溶接入熱量の目安を示します。予熱が必要なケースでは、予熱なしに比べて入熱を落とす事が、HAZの軟化幅を抑える面で望ましいです。

溶接入熱量（J/mm）＝
（60×電流[A]×電圧[V]）/溶接速度[mm/min]

4） 補修溶接時の留意点

補修溶接ビード長≧80mm

補修溶接では、一般に冷却速度が速くなり、拘束応力も厳しくなるため、表２に示すように、通常溶接よりも高い予熱温度が必要となります。補修溶接のビード長さは80mm以上とし、２パス以上重ねることを推奨いたします。**補修溶接後**はHAZで割れが発生しやすいため、構造物の重要度に応じ、NDTによる疵の検査を推奨します。たとえば、以下のような手順を推奨します。目視＋NDTによる割れの範囲・位置を確認→（必要に応じ割れ等の進展を抑えるために事前にストップホール加工を行い）→欠陥除去作業→再NDTによる欠陥除去を確認→グルーブ加工→補修溶接→48時間後等、水素拡散のための時間をおいてから再NDTにて補修溶接による欠陥が発生していないか最終確認。

欠陥の除去のためにアークエアガウジングではつりを行った場合には、グラインダで仕上げを行ってください。

5） 仮付け溶接時の留意点

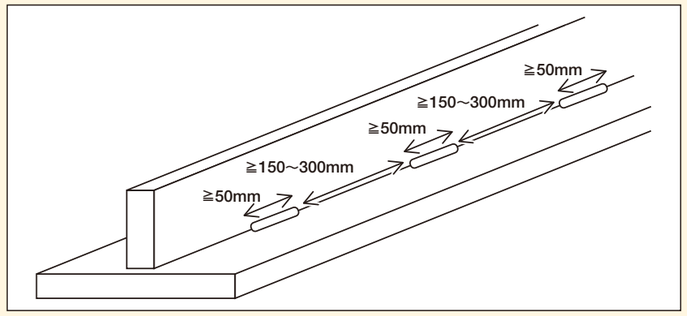


図３ 仮付け溶接のビード長と間隔

仮付け溶接時には、補修溶接以上に低温割れに対する注意が必要になります。特に、仮付け溶接のビード長さが短いと冷却速度が非常に速くなるため、溶接金属および母材熱影響部が硬化して割れ感受性が高くなります。そのため、仮付け溶接時のビード長さは50mm以上としてください。また、仮付けのピッチは、150mm～300mm間隔としてください（図３）。

仮付け溶接時の予熱温度は、表２の補修溶接時の予熱温度と同じにすることをお奨めいたします。また、母材上へのアークストライクは避けてください。仮付溶接部は割れやすいため、本溶接前にスラグを除去し、溶接部に割れがないことを確認することを推奨します。

溶接施工にあたっての留意点

6） 異なる鋼種、異なる板厚の溶接

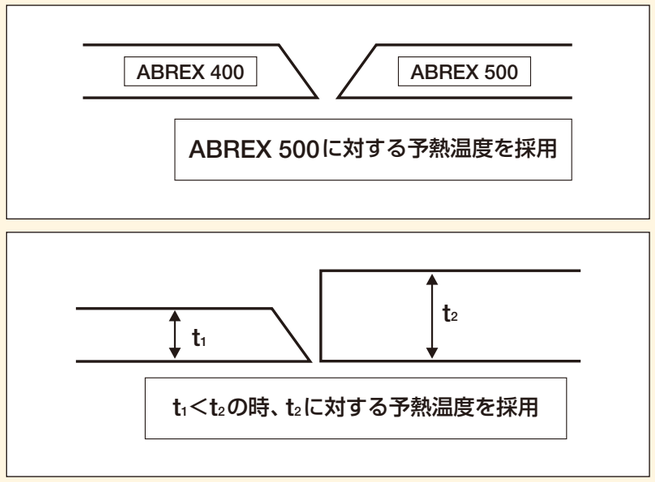


図４　予熱温度の採用方針

硬さの異なるABREX鋼材を溶接する場合には、表２の必要予熱温度の高い側の予熱温度を採用してください。

ABREX鋼材と異鋼種の鋼材を溶接する場合には、ABREXの相手材が普通鋼および590N/mm²級以下の高張力鋼である場合には、表２のABREXの予熱温度を採用してください。

また、厚さの異なるABREX鋼材を溶接する場合には、厚さの厚い側（必要予熱温度の高い側）にあわせてください。

7） その他

・溶接交差点（3線交差点等）は、溶接欠陥が生じやすいので可能な範囲で減らす設計が望ましいです。また、施工においては、ビードの終始端部が複数点重ならないようにご注意ください。

・クレーターなどで、溶接欠陥が発生する場合は、対策としてエンドタブを使用することを推奨いたします。エンドタブを使用する際は、切断除去時にノッチが生じないようにご注意ください。

・すみ肉溶接で、回し溶接の場合はコーナーからの溶接開始は回避することを推奨いたします。

・雨、雪等により鋼板や溶接材料が濡れる場所での溶接は厳禁です。５℃以下の場合は、（予熱が不要なケースでも）20℃以上への加熱を実施ください。

・SMAW用の溶材は、一般にフラックスが吸湿し易いため、使用前の乾燥、保管容器への保管、長時間放置後の再乾燥など、溶材メーカーの取り扱い要領にしたがってください。

・運搬用の吊り具用のピースやジグ等の小物類の溶接時は、“補修溶接”の予熱温度を採用ください。またこれらの切断除去は、例えば、母材表面から3mm以上オフセットして切断し、その後はグラインダで研削仕上げをする等、母材に有害な影響を与えないように配慮ください。

・脆化や止端部の再熱割れ、硬さ低下が起こるため溶接後熱処理（PWHT）は厳禁です。

・硬化肉盛りを溶接部や母材の上に肉盛りする際には、炭素当量の最も高い硬化肉盛り用の溶接材料の予熱温度に合わせてください。緩衝用の溶材を溶接する場合、硬化肉盛溶材の硬さレベルに応じて、表１-２）で推奨している通常の低水素系低強度の一般溶材をご使用ください。一般溶材で割れる場合は、表１-３）のステンレス溶材の採用をご検討ください。

・裏当溶接を行う場合は、裏当て材と母材間の距離は0.5mm以内を目安に密着させてください。また、母材同様、裏当材そのもののクリーニング（母材クリーニング要領に準じてください）及び、裏当材と母材の隙間の水分にご注意ください。

・磁気吹き対策については、当社厚板総合カタログの該当ページをご参照ください。

低温割れについて

低温割れは、水素に起因する割れであり、溶接終了後、しばらく経過した後に発生します（一般に300℃以下で発生）。
耐摩耗鋼の溶接では最も発生防止に気をつけるべき溶接欠陥であり、溶接施工条件の遵守が必要です。
その支配因子は、①硬化組織、②応力、③拡散性水素となります。

図５　低温割れの支配因子

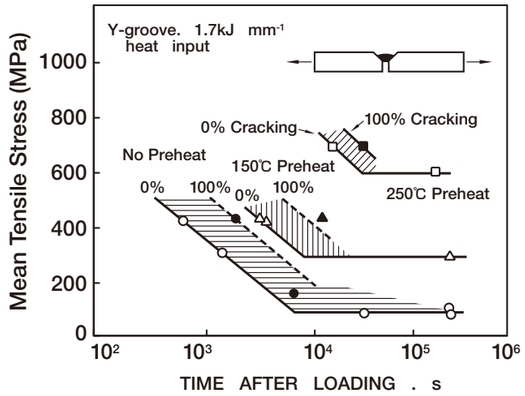


図６　TRC試験結果例[2)]

2) 鈴木ほか：溶接学会誌、32（1963）、p.44

図６は、TRC試験の例であり、低温割れが縦軸の応力の大きさに応じて割れまでの潜伏期間が異なること、
予熱温度が高くなるほど割れ発生の限界応力が高くなる概念を理解いただくために掲載したものであり、
耐摩耗鋼のデータではありません。硬さを損なわないために200℃以下の予熱を推奨いたします。

① 硬 化 組 織：

鋼板の炭素量（Pcm、CEN、CEV、CET等）が高いほどHAZに硬化組織を生じやすくHAZでの低温割れが起こりやすくなります。硬さを得る目的で高炭素当量の耐摩耗鋼は低温割れの感受性が高い材料と認識しなければなりません。特に高硬度、厚手になるほど、炭素当量は高くなる傾向があります。一方、溶接材料の炭素当量は、溶接金属での低温割れの感受性に関与します。溶接材料と母材のうち、高い方の炭素当量を前提に予熱条件を決める必要があります。
仮付け溶接やジグやピース等の小物類の溶接、栓溶接、厚手の溶接は、抜熱が大きく冷却速度が速くなりHAZ硬さを高めるため通常の溶接や薄手の溶接に比べ高い予熱温度が必要となります。予熱には、板からの水素拡散・放出効果と冷却速度を遅くしHAZ硬さを抑える２つの効果があります。また、入熱を大きくすると、冷却速度が遅くなり、同じように硬化組織の抑制と水素拡散効果がありますが、溶接部の靭性低下、HAZ軟化域の拡大等の影響から制約があります。

② 応　　力：

溶接後の残留応力は、溶接金属の強度が高いほど大きくなります。そのため耐摩耗鋼には低強度の溶接材料を推奨しますので、溶接部はアンダーマッチである事をご認識ください。強度が高めの溶材を使用すると表2-2）の例のように、予熱温度を高める必要があります。拘束応力は、補修溶接や栓溶接、厚手の溶接で高く（簡易的には拘束度は板厚に比例）、通常の溶接や薄手の溶接に比べ高い予熱温度が必要となります。薄手材でも溶接個所が多いなどで、拘束力が大きいと、応力が高くなる部分がありうるので注意が必要です。応力集中を避けるため、溶接時の融合不良や溶込み不良は回避ください。

③ 拡散性水素：

溶接材料含有の拡散性水素量のレベル（メーカーの製造に由来）、製造後の吸湿による溶材への水素のピックアップ、鋼板側に付着した水分、錆、油汚れ、プライマーや大気からの溶接中の侵入水素等が、溶接による熱履歴によって生成した硬化部（HAZや溶接金属）に拡散し、分子化することで低温割れが発生します。低水素の溶接材料を使用するとともに、溶接材料の保管・管理上の注意事項を遵守し、吸湿した溶材を使用しないことが必要です。推奨する日鉄溶接工業株式会社のソリッドワイヤやフラックスコアードワイヤは、拡散性水素を抑制しております。
拡散性水素は、溶接時以外に、使用中の鋼材腐食等によっても侵入することがありますので、注意が必要です。

曲げ加工ガイドライン

曲げ加工力の予測（設備の選定）

曲げ加工力は以下の式により概略を計算できます。必要な曲げ加工力を計算し、適切な加工設備を選定ください。

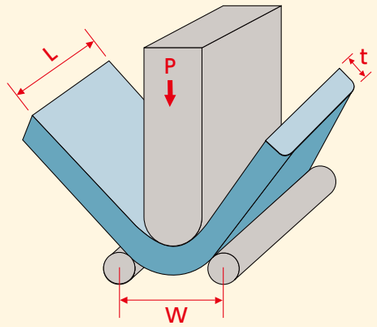
$$P_{[ton]} = 2.0^{※1} \times \frac{L \times t^2 \times \sigma_B}{W \times 9800}$$

※1 ダイスと鋼板の摩擦、ダイスの回転しやすさ、ダイス径などにより係数は変わります。係数 2.0 はダイスが回転しなく、やや大きめの値として設定しています。事前に試験をする事を推奨致します。

P：曲げ加工力[ton]
L：曲げ加工材の長さ [mm]
t ：鋼板板厚 [mm]
σ_B：引張強さ [N/mm²]
W：ダイスの間隔 [mm]
計算上ダイスの径はゼロとしています

σ_B：特性例
ABREX 400(25mm)：1259 [N/mm²]
ABREX 450(25mm)：1469 [N/mm²]
ABREX 500(25mm)：1552 [N/mm²]

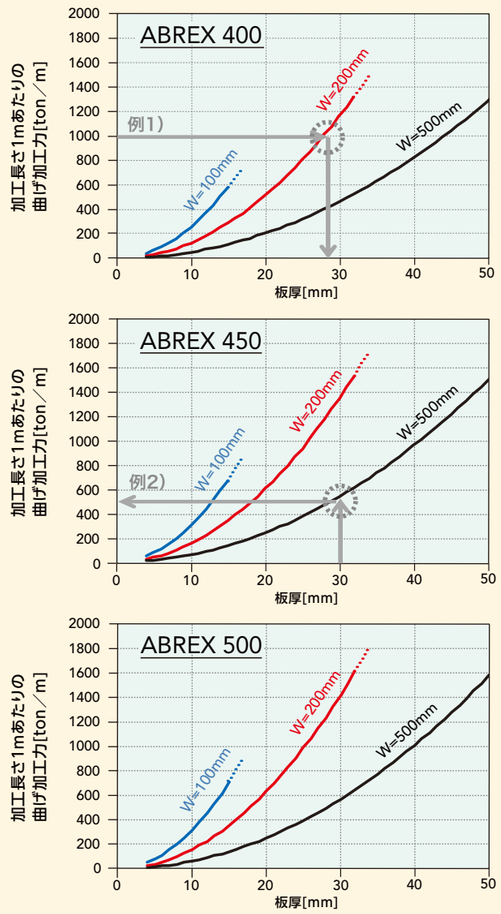
記号の説明図



上式を用い曲げ加工力を計算した結果を下図に示します。
お使いの設備で加工できるABREXの板厚計算などにご利用ください。

例1） 曲げ加工設備の能力が1000ton/m、W（ダイスの間隔）が200mmの場合、ABREX 400は板厚約28mmまで曲げ加工が可能となります。

例2） ABREX 450、板厚30mm、W（ダイスの間隔）が500mmの場合、必要曲げ加工能力は約540ton/mとなります。



スプリングバック量について

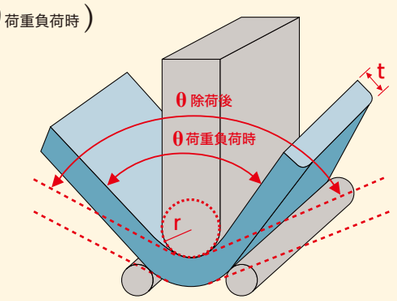
曲げ加工後の変形の戻り（スプリングバック）は、以下の式により概算が可能です。

$$\triangle\theta_{[度]} = \theta_{除荷後} - \theta_{荷重負荷時} = 3.4 \times \frac{\sigma_B \times r}{E \times t} (180 - \theta_{荷重負荷時})$$

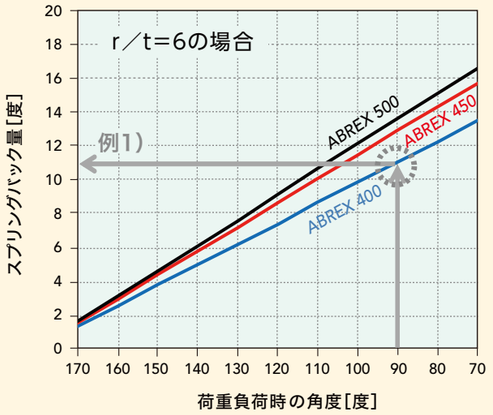
Δθ：スプリングバックによる角度変化
r ：曲げ半径 [mm]
E：鋼板のヤング率
（210,000N/mm²）
t ：鋼板板厚 [mm]
σ_B：引張強さ [N/mm²]

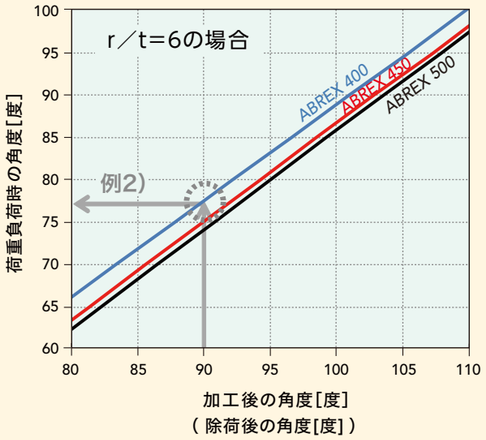
σ_B：引張強さ [N/mm²]
ABREX 400(25mm)：1259 [N/mm²]
ABREX 450(25mm)：1469 [N/mm²]
ABREX 500(25mm)：1552 [N/mm²]

記号の説明図



上式を用いスプリングバック量を計算した結果を下図に示します。
曲げ加工時の角度の目安としてご利用ください。
但し、概算であるため、事前に確認をする事を推奨致します。





例1） ABREX 400、r/t=6、荷重負荷時の角度が90度の場合、スプリングバック量は約11度となります。

例2） ABREX 400、r/t=6、スプリングバック量を考慮し90度に曲げ加工をおこないたい時、荷重負荷時の角度は約77度となります。

曲げ加工ガイドライン

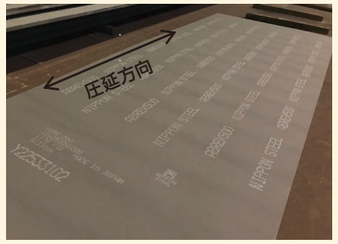
曲げ加工時の注意事項

耐摩耗鋼は普通鋼に比べ伸び値が低いため、割れ防止のための管理が重要となります。
以下を注意事項として、曲げ半径、曲げ方向、切断面の品質等の加工要領にご配慮ください。

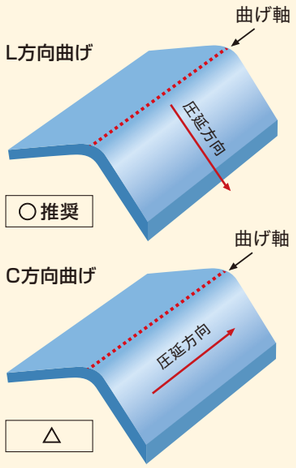
1）曲げ方向

圧延方向と直角に曲げる方が、曲げ半径をより小さくできます。これは一般に、熱間圧延によって長く延ばされた介在物を伝って割れが進行しやすいためであり、可能な限り圧延方向と「曲げ軸」を直角方向に曲げるように設計する事を推奨致します。
圧延方向は、下写真の方向が圧延方向となります。

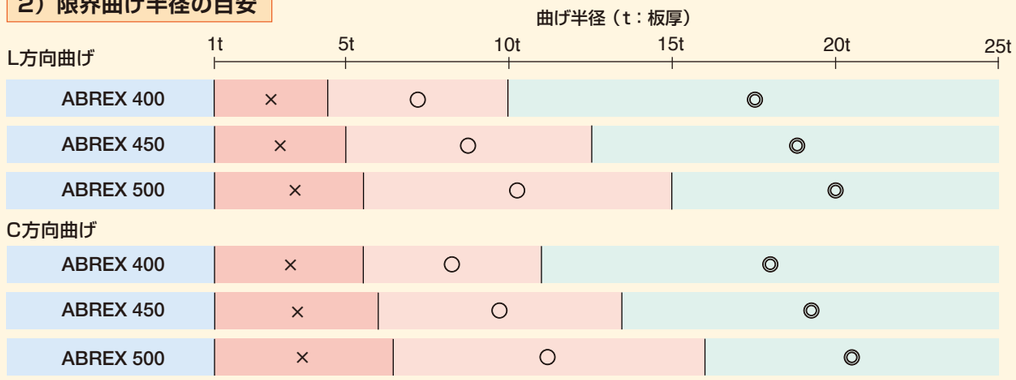
ステンシルを参考にした場合の圧延方向



全面マーキングを参考にした場合の圧延方向



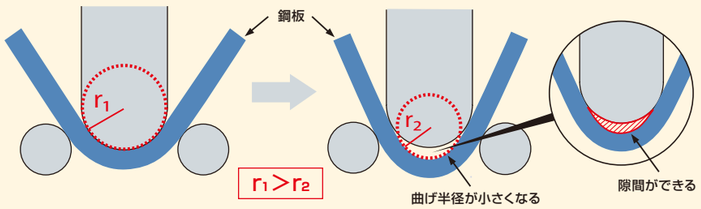
2）限界曲げ半径の目安



◎：可　○：注意要　×：困難

読み方の例：ABREX 400のL方向曲げの場合、4.5t以上で○となります。
4.5tとは、4.5×t（板厚）です。例えば板厚10mmの場合の限界曲げ半径の目安は、4.5×10(mm) = 45mmとなります。
曲げ条件（気温、設備、端面処理等）により限界曲げ半径は変化しやすいので、上記は目安としてお考えください。

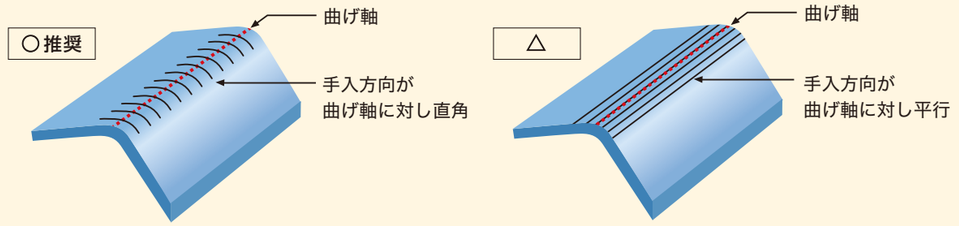
変形が進行し、加工装置、特にダイスと鋼板との摩擦係数が低くなると、曲げ半径（r）がポンチのrよりも小さくなっていきます。
この場合は、曲げ半径（r）を大きく取ってください。



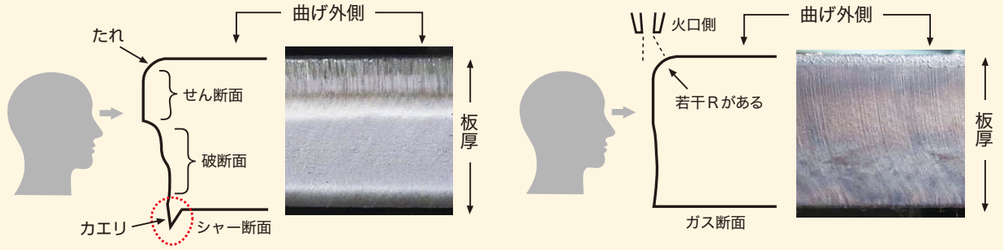
point　曲げ半径が割れ防止に対し最も重要です。曲げ半径は限界曲げ半径の目安の「○」以上で加工してください。

3）鋼板の断面および表面の処理について

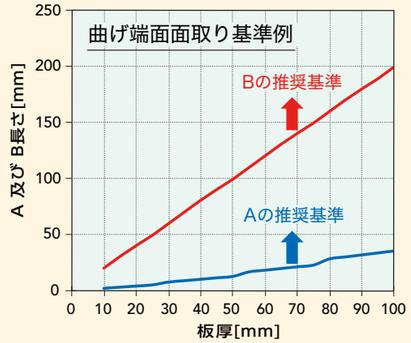
2）項の限界曲げ半径の目安で「○」の範囲、特に「×」に近い曲げ半径の時には鋼板の断面および表面の処理が重要となります。
鋼板表面のキズや錆びなどは、応力集中により割れの原因となります。曲げ加工前にグラインダーなどで除去してください。
この時グラインダーの目の方向は曲げ軸と直角になるように配慮してください。

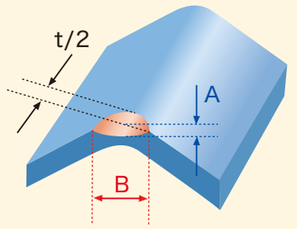


切断面のノッチ、シャー面のカエリ、ガス切断面の硬化層は割れの原因になりますので、グラインダーなどで滑らかに除去する事を推奨致します。除去する事が困難な場合は、ガス切断面では火口側、シャー切断面ではたれ側を曲げの外側にする事も有効な手段です。



また、曲げ加工前に曲げの外側の端面を面取りすることも、割れの回避には有効な手段です。推奨する面取り範囲を下表に示します。





4）その他

- ショットブラストをすると鋼板の表面が硬化するため、割れやすくなります。曲げ加工後にショットブラストを推奨致します。
- 同一箇所の複数回曲げ、逆向きへの曲げ戻しは避けてください。
- 鋼板の温度が0℃以下になる環境で曲げ加工を行う場合は、鋼板を20℃程度まで予熱する事を推奨致します。
  ※但し200℃を超える場合には硬さへの影響がありますので注意ください。

point
- 曲げの外側が最も歪が大きく割れの起点となります。また表面キズ、切断面の凹凸も鋭利であるほど応力集中により割れの起点となります。曲げの外側の鋭利なキズ、端面の凹凸を滑らかに除去する事がポイントです。
- 鋼板の硬さが高いほど割れやすくなります。曲げ加工により鋼板は加工硬化により硬くなりますので、極力一回での曲げを推奨致します。