

鋼船規則

K 編 材料

規
則

2014 年 第 2 回 一部改正

2014 年 12 月 19 日 規則 第 76 号

2014 年 7 月 29 日 技術委員会 審議

2014 年 9 月 16 日 理事会 承認

2014 年 12 月 5 日 国土交通大臣 認可

2014年12月19日 規則 第76号
鋼船規則の一部を改正する規則

「鋼船規則」の一部を次のように改正する。

K 編 材料

1 章 通則

1.5 合格材の表示と試験証明書

1.5.2 試験証明書

-2.(6)を次のように改める。

- (6) 炭素当量 (C_{eq}) 又は溶接割れ感受性組成 (P_{cm}) (本編に規定されている場合に限る。この場合、溶鋼分析値を用いて、次式により算出する。)

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (\%)$$

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (\%)$$

3章 圧延鋼材

3.2 ボイラ用圧延鋼板

3.2.3 化学成分

表 K3.9 を次のように改める。

表 K3.9 化学成分

材料 記号	厚さ	化学成分 (%)												
		C	Si	Mn	P	S	Mo	Cu	Ni	Cr	Nb	V	Ti	B
KP42	25mm 以下	0.24 以下		0.90 以下				0.12 以下						
	25mm を超え 50mm 以下	0.27 以下												
	50mm を超え 100mm 以下	0.29 以下												
	100mm を超え 200mm 以下	0.30 以下												
KP46	25mm 以下	0.28 以下	0.15~		0.025 0.020	0.040 0.020		0.40 以下	0.40 以下	0.30 以下	0.020 以下	0.030 以下	0.030 以下	0.0010 以下
	25mm を超え 50mm 以下	0.31 以下												
	50mm を超え 200mm 以下	0.33 以下												
KP49	25mm 以下	0.31 以下	0.20 0.40	1.20 以下	以下	以下		以下	以下	以下	以下	以下	以下	以下
	25mm を超え 50mm 以下	0.33 以下												
	50mm を超え 200mm 以下	0.35 以下												
KPA46	25mm 以下	0.18 以下		0.90 以下				0.45~						
	25mm を超え 50mm 以下	0.21 以下												
	50mm を超え 100mm 以下	0.23 以下												
	100mm を超え 150mm 以下	0.25 以下												
KPA49	25mm 以下	0.20 以下						0.60						
	25mm を超え 50mm 以下	0.23 以下												
	50mm を超え 100mm 以下	0.25 以下												
	100mm を超え 150mm 以下	0.27 以下												

(備考)

- 厚さ 25mm を超える KP46 については、C を 0.20% 以下、Mn を 1.00% 以下とすることができる。
- KP42、KP46 及び KP49 については、C を 0.20% 以下、Mn を 1.15% 以下と C の規定値を 0.01% 低減するごとに、Mn の規定値を 0.06% 増加することができる。ただし、Mn の規定値の上限は 1.50% を上限とする。

(3) KP42, KP46 及び KP49 については, Cu, Ni, Cr 及び Mo の合計は 1.00%以下とし, Cr 及び Mo の合計は 0.32%以下とする。

3.2.4 熱処理

-3.を次のように改める。

-3. 溶接後応力除去焼なましをしなければならない鋼板, 又は注文者が加工過程において応力除去焼なましを 1 回あるいは数回繰返し行う鋼板にあつては, 注文の際に熱処理条件及び回数その旨を指示しておかなければならない。 ~~ただし, 注文者から応力除去焼なましの方法が指示されない場合は, 供試材を 600℃～650℃に徐々に加熱し, 厚さ 25mm につき 1 時間以上の割合でその温度に保持した後, 300℃まで炉中冷却し, 大氣中に放冷する。~~

3.2.6 供試材の採取

-2.を次のように改める。

-1. 熱処理を行わない鋼板にあつては, 1 つのスラブ又は鋼塊から直接圧延された鋼板ごとに, 熱処理を行う鋼板にあつては, 1 つのスラブ又は鋼塊から直接圧延され, かつ, 同一の熱処理を施した鋼板ごとに 1 個の供試材を採取する。

-2. 前-1.の鋼板で **3.2.4-3.**の応力除去焼なましを行う鋼板から採取した供試材は, 注文者が指示する熱処理条件及び回数に応じ, 当該応力除去焼なましに対応する熱処理を施したものでなければならない。

3.3 圧力容器用圧延鋼板

3.3.3 化学成分

表 K3.12 を次のように改める。

表 K3.12 化学成分

材料 記号	化学成分 (%)					炭素当量 $C_{eq}(JIS)$ (%) ⁽¹⁾⁽²⁾					
						焼入れ焼戻しを 行う場合		TMCP を行う場合			
	C	Si	Mn	P	S	厚さ 50mm 以下	厚さ 50mm を超え 75mm 以下	厚さ 50mm 以下	厚さ 50mm を超え 100mm 以下	厚さ 100mm を 超え 150mm 以下	
KPV 24	厚さ 100mm 以下のもの	0.18 以下	0.15	1.40 以下	0.030 以下	0.030 以下	—	—	—	—	—
	厚さ 100mm を超えるもの	0.20 以下	0.35 以下				—	—	—	—	—
KPV 32	0.18 以下	0.15 0.55 以下	1.60 以下	—			—	0.39 以下	0.41 以下	0.43 以下	
KPV 36	0.20 以下	0.15 0.55 以下		—			—	0.40 以下	0.42 以下	0.44 以下	
KPV 42	0.18 以下	0.15 0.75 以下	—	—			0.43 以下	0.45 以下	—		
KPV 46	0.18 以下	0.15 0.75 以下	0.43 0.44 以下	0.45 0.46 以下			—	—	—		
KPV 50	0.18 以下	0.15 0.75 以下	0.44 0.45 以下	0.46 0.47 以下			—	—	—		

(備考)

(1) 炭素当量 $C_{eq}(JIS)$ は、1.5.2-2.(6)の規定にかかわらず、溶鋼分析値を用いて次式により算出する。

$$C_{eq}(JIS) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \quad (\%)$$

(2) 圧延のまま、温度制御圧延及び焼きならしを行う場合の炭素当量 $C_{eq}(JIS)$ の上限値は規定しない。

3.3.6 供試材の採取

-2.を次のように改める。

-1. 熱処理を行わない鋼板にあっては、1つのスラブ又は鋼塊から直接圧延された鋼板ごとに、熱処理を行う鋼板にあっては、1つのスラブ又は鋼塊から直接圧延され、かつ、同一の熱処理を施した鋼板ごとに1個の供試材を採取する。

-2. 前-1.の鋼板で 3.3.4-5.の応力除去焼きなましを行う鋼板から採取した供試材は、注

文者が指示する熱処理条件及び回数に応じ、当該応力除去焼きなましに対応する熱処理を施したものでなければならない。

3.12 の表題を次のように改める。

3.12 脆性亀裂伝播停止アレスト特性に関する特別規定

3.12.1 適用

-1.を次のように改める。

-1. 本規定は、設計に関連して、脆性亀裂伝播停止アレスト特性が特別に考慮された鋼材に適用する。

3.12.2 の表題を次のように改める。

3.12.2 脆性亀裂伝播停止アレスト特性等

-1.を次のように改める。

-1. 鋼板の脆性亀裂伝播停止アレスト特性は、温度勾配型 *ESSO* 試験又は温度勾配型二重引張試験を行い表 **K3.38** に掲げる規格に適合しなければならない。なお、試験方法は、本会の適当と認めるところによる。

表 K3.38 を次のように改める。

表 K3.38 脆性亀裂伝播停止アレスト特性

鋼材の種類		特性区分	温度勾配型 <i>ESSO</i> 試験又は温度勾配型二重引張試験	
			評価温度 (°C)	脆性亀裂伝播停止アレストじん靱性値 K_{ca} ($N/mm^{+5/2}$)
船体用圧延鋼材	<i>KE</i> , <i>KE32</i> , <i>KF32</i>	A400	-10	4000 以上
	<i>KE36</i> , <i>KF36</i> <i>KE40</i> , <i>KF40</i>	A500	-10	5000 以上
	<i>KE47</i>	A600	-10	6000 以上

(備考)

本会が適当と認めた場合、特性区分 A600 を超える特性区分を認めることがある。

3.12.5 を次のように改める。

3.12.5 再試験

温度勾配型 *ESSO* 試験又は温度勾配型二重引張試験の結果が規格に合格しなかった場合は、さらに2個の試験片を採取して、再試験を行うことができる。この場合、不合格になった試験片を含めて合計4個の試験片の脆性亀裂伝播停止靱アレストじん性値 K_{ca} を用いて合否を決定する。

附 則

1. この規則は、2014年12月19日（以下、「施行日」という。）から施行する。
2. 施行日前に申込みのあった材料については、この規則による規定にかかわらず、なお従前の例によることができる。

鋼船規則検査要領

K 編 材料

要
領

2014 年 第 1 回 一部改正

2014 年 12 月 19 日 達 第 64 号
2014 年 7 月 29 日 技術委員会 審議

2014年12月19日 達 第64号
鋼船規則検査要領の一部を改正する達

「鋼船規則検査要領」の一部を次のように改正する。

K 編 材料

K3 圧延鋼材

K3.2 ボイラ用圧延鋼板

K3.2.6 を次のように改める。

K3.2.6 供試材の採取

注文者が自己の工場で規則 K 編 3.2.4-2.に規定する焼きならしを行う場合の供試材の採取については次による。

- (1) 製造者は、注文者が指示する熱処理条件及び回数に従って焼きならしを供試材のみに行う。ただし、注文者の指示がない場合には、製造者が適当と考える焼きならしとしてよい。この場合、製造者は、施工した焼きならしの条件を注文者に通知するものとする。
- ~~(2) 供試材は、注文者の工場で焼きならしを行った鋼板から採取するか、又は、鋼板と同時に焼きならしを行ったものとする。~~
- ~~(3)~~(2)前(1)及び(2)の試験片による機械的性質は、規則 K 編表 K3.10 によるものとする。

K3.3 圧力容器用圧延鋼板

K3.3.4 を次のように改める。

K3.3.4 熱処理

規則 K 編 3.3.4-24.の「原則として」は、注文者が自己の工場で焼きならし又は焼入れ焼戻しを行う場合を考慮して規定したものである。この場合、試験片供試材は注文者においてそれぞれ要領 K3.3.6-1.の規定により採取する。

K3.3.6 を次のように改める。

K3.3.6 供試材の採取

注文者が自己の工場で規則 K 編 3.3.4-24.に規定する焼きならし又は焼入れ焼戻しを行う場合の供試材の採取については次による。

- (1) 製造者は、注文者が指示する熱処理条件及び回数に従って焼きならし又は焼入れ焼戻しを供試材のみに行う。ただし、注文者の指示がない場合には、製造者が適当と考える焼きならし又は焼入れ焼戻しとしてよい。この場合、製造者は、施工した焼きならし又は焼入れ焼戻しの条件を注文者に通知するものとする。
- ~~(2) 供試材は、注文者の工場で焼きならしを行った鋼板から採取するか、又は、鋼板と~~

~~同時に焼きならしを行ったものとする。~~

~~(3)(2)前(1)及び(2)~~の試験片による機械的性質は、規則 K 編表 K3.13 によるものとする。

K3.3.11 を次のように改める。

K3.3.11 表示

要領 K3.3.6 による場合の鋼板の熱処理に関する表示記号は、「TN」（供試材のみに焼きならしを行った場合）又は「TQ」（供試材のみに焼入れ焼戻しを行った場合）とする。

K3.12 の表題を次のように改める。

K3.12 脆性亀裂伝播停止アレスト特性に関する特別規定

K3.12.2 の表題を次のように改める。

K3.12.2 脆性亀裂伝播停止アレスト特性等

-1.を次のように改める。

-1. 規則 K 編 3.12.2-1.にいう「本会の適当と認めるところ」とは、温度勾配型 *ESSO* 試験及び温度勾配型二重引張試験にあっては、附属書 K3.12.2-1.「温度勾配型 *ESSO* 試験及び温度勾配型二重引張試験に関する検査要領」とすることができる。ただし、1 個の供試材から採取する試験片の個数は、当該附属書 1.2.11 の規定にかかわらず、規則 K 編 3.12.4-1. の規定に従い 2 個として差し支えない。

附属書 K3.12.2-1.の表題を次のように改める。

**附属書 K3.12.2-1. 温度勾配型 *ESSO* 試験及び
温度勾配型二重引張試験に関する検査要領**

1.1 から 1.9 を削る。

1.1 範囲

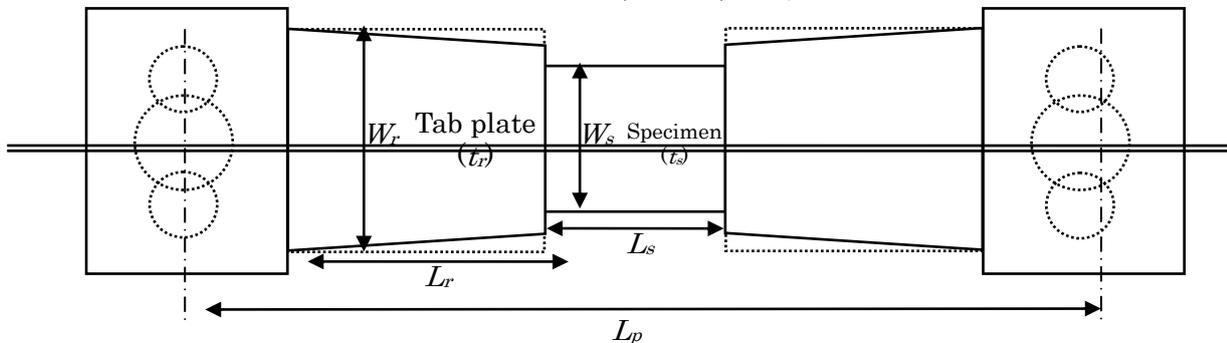
~~本試験手順は、板厚 100mm 以下の船体用圧延鋼板の脆性亀裂伝播停止靱性値 K_{IC} を求めるために用いる。それ以外の船体用圧延鋼板の脆性亀裂伝播停止靱性値については、本会の適当と認めるところによる。~~

1.2 記号

表 1 使用する記号の意味

記号	単位	意味
t_s	mm	試験片板厚
W_s	mm	試験片幅
L_s	mm	試験片長さ
t_r	mm	タブ板の板厚
W_r	mm	タブ板の幅
L_r	mm	タブ板の長さ
L_p	mm	ピン間距離
a	mm	荷重線に垂直な面への投影亀裂長さ
a_c	mm	脆性亀裂停止位置における最長亀裂長さ
T	°C	試験片の温度
dT/da	°C/mm	試験片の温度勾配
σ	N/mm ²	試験部グロス応力 (荷重/ $W_s \cdot t_s$)
K_{IC}	N/mm ^{3/2}	脆性亀裂伝播停止靱性値

図 1 試験片、タブ、負荷ジグ



1.3 目的

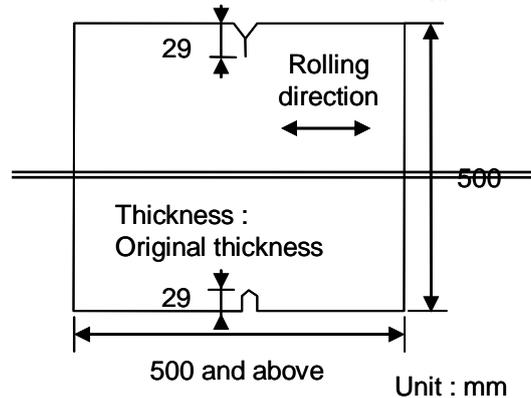
~~温度勾配を付した脆性亀裂伝播停止評価試験を行い、脆性亀裂伝播停止靱性値 K_{IC} を得~~

~~る。~~

~~1.4 標準試験片~~

- ~~1. 標準試験片形状を図2に示す。~~

~~図2 脆性亀裂伝播停止靱性 K_{IC} 試験片形状~~



- ~~2. 試験片板厚および板幅は表2による。~~

~~表2 試験片板厚と幅~~

試験片板厚, t_s	100mm 以下
試験片幅, W_s	500mm

~~(備考)~~

~~試験片幅を 500mm とすることが困難な場合は 600mm まで広げても良い。~~

- ~~3. 脆性亀裂伝播停止靱性 K_{IC} 試験片は同一鋼板から採取することとする。~~
- ~~4. 試験片は荷重軸方向が鋼板の圧延方向に平行となるよう採取する。~~
- ~~5. 試験片の厚さは鋼板の元厚のままとする。~~

~~1.5 試験装置~~

~~試験装置は、引張り試験可能なピン負荷方式油圧試験装置でピン間距離 2,000mm 以上とする。ここでピン間距離とはピンの軸心間距離のことを指す。脆性亀裂を発生させるための衝撃エネルギーは、落重式または空気銃式の打撃装置を用いる。楔は試験片上部切欠きより大きな角度を持ち、切欠きに開口力を加えられるものとする。~~

~~1.6 試験準備~~

- ~~1. 試験片はピン負荷ジグに直接またはタブ板を介して溶接接合にて固定する。試験片 + タブ板の全長は $3W_s$ 以上とする。タブ板の板厚及び幅は表3による。~~

表3 タブ板の寸法許容値

タブ板の寸法	タブ板の板厚, t_p	タブ板の幅, W_p
	$0.8 t_s^{(1)(2)} \leq t_p \leq 1.5 t_s$	$W_s^{(2)} \leq W_p \leq 2 W_s$

(備考)

(1) t_s : 試験片板厚

(2) タブ板が試験板よりも薄い場合は、応力波の反射が評価に対して安全側となるため、試験遂行の実際を考慮し、 $0.8 t_s$ を下限値とした。

(2) W_s : 試験片幅

- ~~2. 試験片切欠き延長上に50mmピッチで熱電対を貼付する。~~
- ~~3. 脆性亀裂が逸れることが予想される場合、試験片幅の中央部で、切欠き延長線上から荷重線方向に100mm離れた2点に熱電対を貼付する。~~
- ~~4. 動的計測が必要な場合、歪ゲージ、クラックゲージを所定の位置に貼付する。~~
- ~~5. 試験片は、溶接後タブ板ピン負荷ジグとともに試験機に装着する。~~
- ~~6. 打撃装置を取り付ける。打撃装置は、打撃エネルギーが確実に伝わる構造とすること。また、打撃装置による曲げ負荷の効果を最小限とするため、適切な受けジグ等を配すること。~~

1.7 試験方法

- ~~1. 残留応力の影響を除去するあるいは、タブ溶接の角変形を是正するなどの目的で試験荷重以下の予荷重を冷却前に付与してもよい。~~
- ~~2. 冷却および加熱は、熱電対貼付側の反対側の片面もしくは両面側から実施する。~~
- ~~3. 温度勾配は、試験片幅の中央 $0.3 W_s \sim 0.7 W_s$ の範囲で $0.25 \text{ C/mm} \sim 0.35 \text{ C/mm}$ の範囲に制御する。~~
- ~~4. 所定の温度勾配に到達してから、10分間以上温度保持をした後、所定の試験荷重を載荷する。~~
- ~~5. 試験荷重を30秒以上キープした後、打撃により脆性亀裂を発生させる。打撃エネルギーは板厚1mm当たり20-60Jを標準とする。母材の脆性亀裂発生特性が高く、脆性亀裂発生が困難な場合、板厚1mm当たり120Jを限界として打撃エネルギーを上げてよい。~~
- ~~6. 亀裂の発生、伝播、停止が確認されたら除荷し、常温に戻し、必要に応じてリガメントをガス切断した後、試験機にて強制破断する。あるいは、試験機にて延性亀裂を十分な長さ進展させた後、リガメントをガス切断にて切断する。~~
- ~~7. 強制破断後、破面、伝播経路の写真撮影及び、亀裂長さの測定を実施する。~~

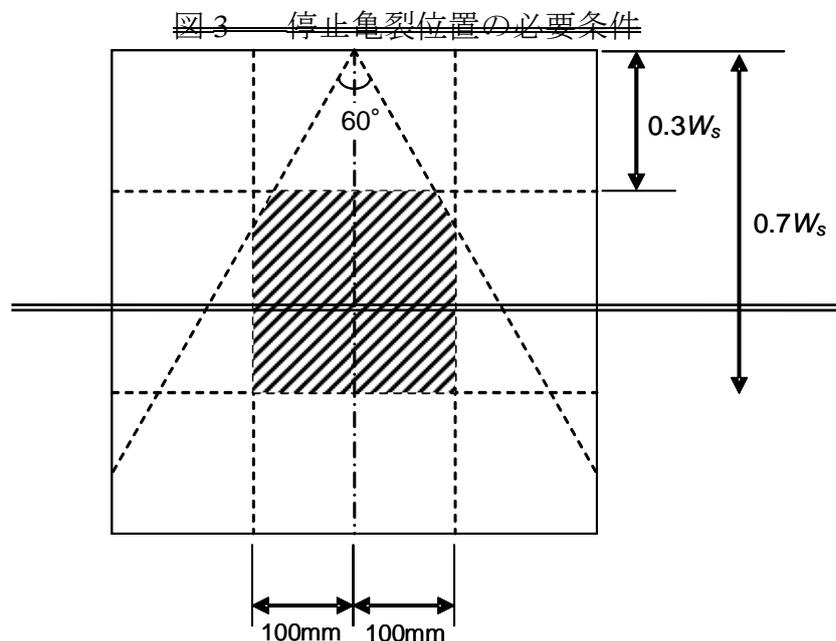
1.8 試験結果

- ~~1. ノッチを含む試験片頂部から停止亀裂先端の板厚方向の最長長さまでの距離を測定し、停止亀裂長さとする。亀裂面が試験片荷重線に垂直な面から逸れた場合には、荷重線に垂直な面に投影した長さを測定する。その際、明瞭な脆性亀裂の停止跡が破面上で観察される場合は、その最初の亀裂停止位置を停止亀裂位置とする。~~
- ~~2. 熱電対測定結果から、温度分布曲線をプロットし、停止亀裂長さに対応する停止亀裂温度を測定する。~~
- ~~3. 各試験の脆性亀裂伝播停止靱性値 (K_{IC} 値) は、下式により求める。~~

$$K_{ca} = \sigma \sqrt{\pi a} \sqrt{\left(\frac{2W_s}{\pi a}\right) \tan(\pi a/2W_s)}$$

1.9 報告

1. 次の各項目を報告する。
 - (1) 試験機：試験機容量，ピン間距離 (L_p)
 - (2) 負荷ジグ寸法：タブ板の板厚 (t_p)，タブ板の幅 (W_p)，タブ板を含めた試験片の長さ ($L_s + 2L_p$)
 - (3) 試験片寸法：板厚 (t_s)，試験片幅 (W_s)，長さ (L_s)
 - (4) 試験条件：予荷重応力，試験応力，温度分布 (図または表)，打撃エネルギー
 - (5) 試験結果：停止亀裂長さ (a_{st})，停止位置温度勾配，脆性亀裂伝播停止靱性値 (K_{est})
 - (6) 動的計測結果 (実施した場合)：亀裂速度，歪変化
 - (7) 試験片写真：破断経路，破面
2. 以下の条件を満足しない場合は，試験結果を参考値として扱う。
 - (1) 脆性亀裂停止位置が，図3の斜線部の範囲にあること。その際，脆性亀裂停止位置が試験片中央から試験片長手方向に50mm以上離れている場合には， $\pm 100\text{mm}$ 位置の熱電対の温度が中央の熱電対と $\pm 3^\circ\text{C}$ 以内であること。
 - (2) 脆性亀裂が伝播途中で明瞭な亀裂分岐を起こしていないこと。



- (3) 3点以上の有効な試験結果から，アレニウスプロット上での線形近似式を求めたうえで求めたい温度における K_{est} を算出する。その際評価温度を挟む高温，低温，両側にデータが存在することが望ましい。

1.1 から 1.3 として次の 3 節を加える。

1.1 一般

1.1.1 適用

本要領は、試験片厚さが 100mm 以下の船体用圧延鋼板に適用する。それ以外の船体用圧延鋼板については、本会の適当と認めるところによる。

1.1.2 定義

本要領で使用する記号の定義は、特に定める場合を除き、表 1 による。

表 1 使用する記号の定義

記号	単位	意味
a	mm	亀裂長さ又はアレスト亀裂長さ
E	N/mm^2	縦弾性係数
E_i	J	打撃エネルギー
E_s	J	試験片のひずみエネルギー
E_t	J	タブ板とピンチャック部の合計のひずみエネルギー
F	MN	負荷荷重
K	$N/mm^{3/2}$	応力拡大係数
K_{ca}	$N/mm^{3/2}$	アレストじん性値
L	mm	試験片長さ
L_p	mm	ピン間距離
L_{pc}	mm	ピンチャック部長さ
L_{tb}	mm	タブ板長さ
T	$^{\circ}C$	温度又はアレスト温度
T_D	K	特定温度
T_K	K	1.2.9 で得られたアレストじん性値のアレスト温度
t	mm	試験片厚さ
t_{tb}	mm	タブ板厚さ
t_{pc}	mm	ピンチャック部厚さ
W	mm	試験片幅
W_{tb}	mm	タブ板幅
W_{pc}	mm	ピンチャック部幅
x_a	mm	主亀裂先端の幅方向座標
x_{br}	mm	最長分岐亀裂先端の幅方向座標
y_a	mm	主亀裂先端の応力負荷方向座標
y_{br}	mm	最長分岐亀裂先端の応力負荷方向座標
σ	N/mm^2	負荷応力
σ_{Y0}	N/mm^2	室温における降伏応力

1.2 温度勾配型 *ESSO* 試験

1.2.1 一般

- 1. 本節の規定は、温度勾配型 *ESSO* 試験を行い、アレストじん性を評価するために用いる。
- 2. 本要領に定める事項以外の事項については一般社団法人 日本溶接協会規格 *WES2815* (ぜい性亀裂アレストじん性試験方法) による。

1.2.2 試験装置

- 1. 試験装置は、引張試験が可能なピン負荷方式の油圧試験装置とする。
- 2. 荷重方法は、両側のピンの軸心をそろえ、板幅方向の応力分布を均一にする。
- 3. 荷重方向は鉛直方向又は水平方向のいずれかとし、水平方向とする場合には、試験片の表面が地面に対し垂直になるように荷重する。
- 4. ピン間距離 L_p は $3.4W$ 以上を標準とする。

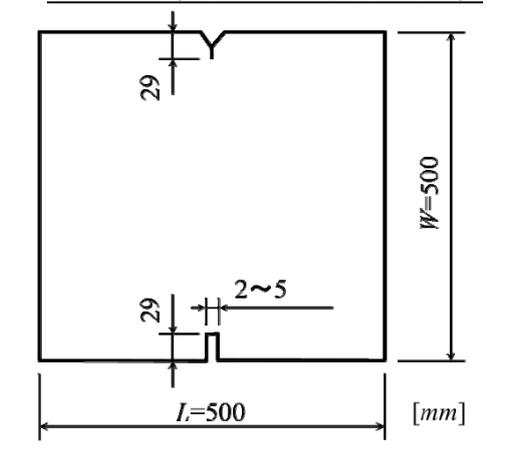
1.2.3 打撃装置

- 1. 脆性亀裂を発生させるための打撃装置は、落錘式又はエアガン式とし、衝撃荷重はくさびを介して荷重する。
- 2. くさびには打撃によって顕著な塑性変形を生じないように十分な硬さを有する材料を用いなければならない。
- 3. くさびの厚さは試験片の厚さ以上とし、くさびの角度は試験片に設けた切欠きの角度よりも大きくして、試験片の端部を押し広げることが可能な形状としなければならない。

1.2.4 試験片形状

- 1. 標準的な試験片の形状は、**図 1** による。なお、試験片長さ L は、原則として試験片幅 W 以上とする。

図 1 標準的な試験片の形状



- 2. 試験片厚さ t 及び試験片幅 W は、**表 2** による。

表 2 試験片厚さ及び幅

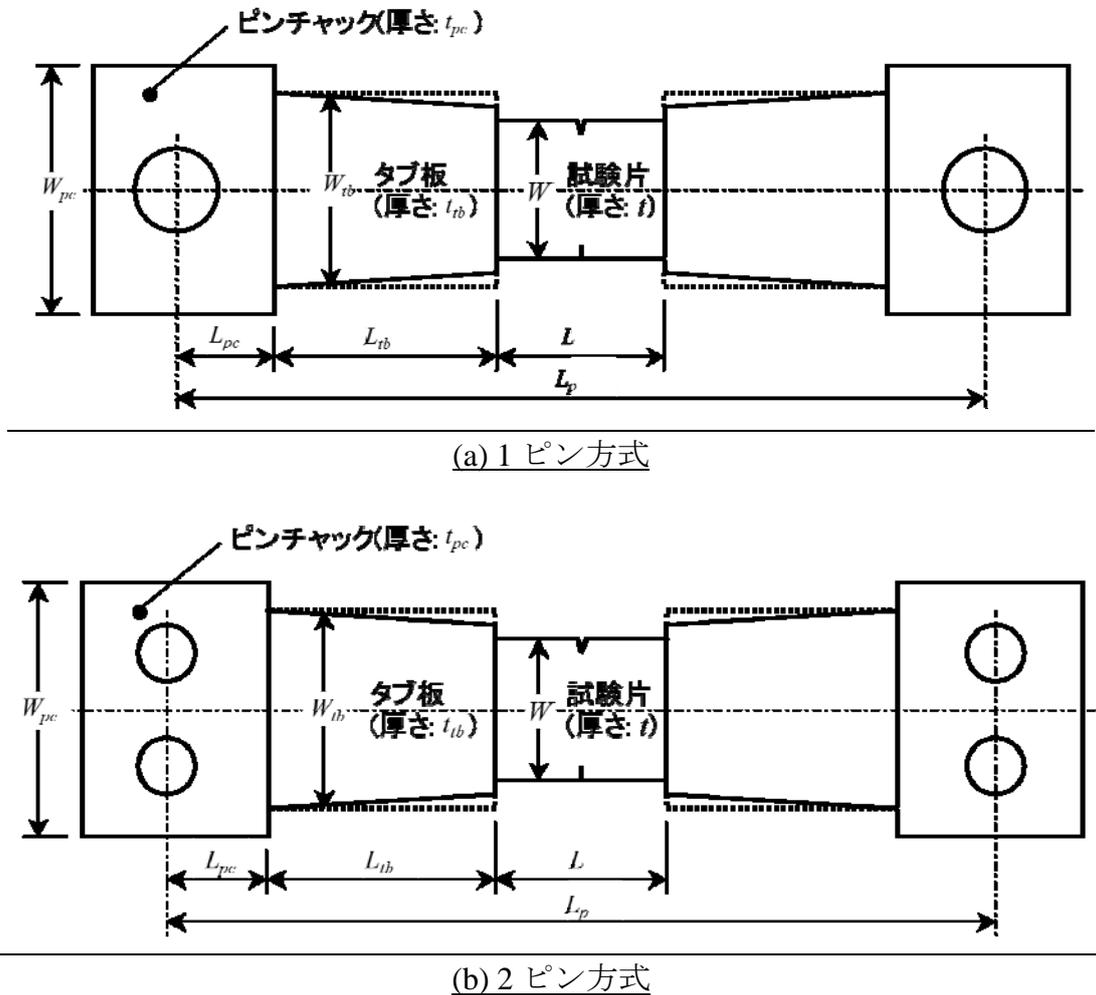
試験片厚さ t	$6\text{mm} \leq t \leq 100\text{mm}$
試験片幅 W	$350\text{mm} \leq W \leq 1000\text{mm}$
試験片幅／試験片厚さ W/t	$W/t \geq 5$

(備考)
 試験片幅 W は、500mm を標準とする。

1.2.5 タブ板及びピンチャックの形状

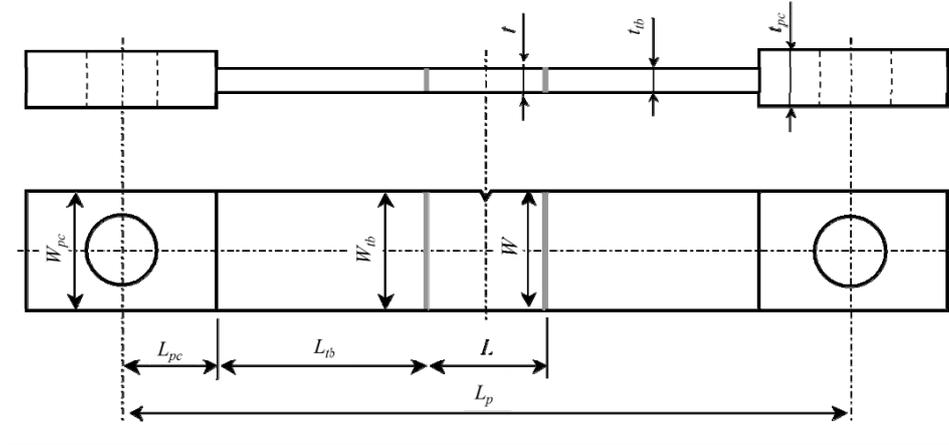
-1. タブ板及びピンチャックの寸法の定義は、図 2 による。

図 2 タブ板及びピンチャックの寸法の定義

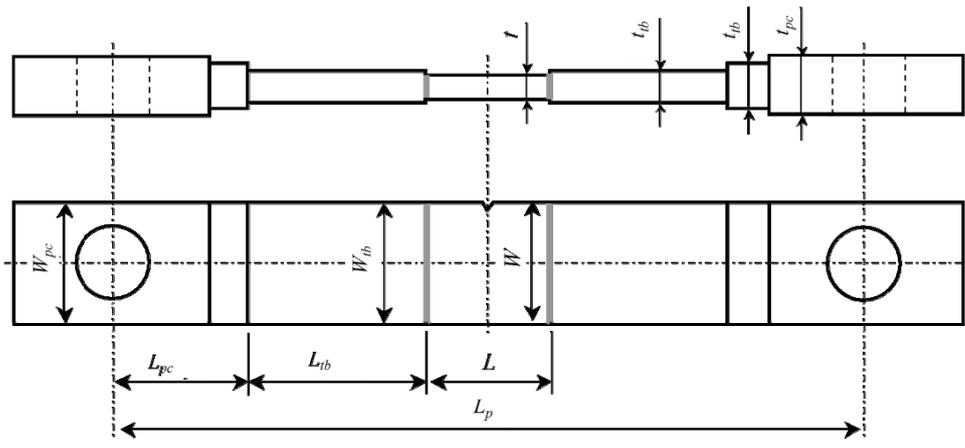


-2. 標準的なタブ板及びピンチャックの形状は、図 3 による。

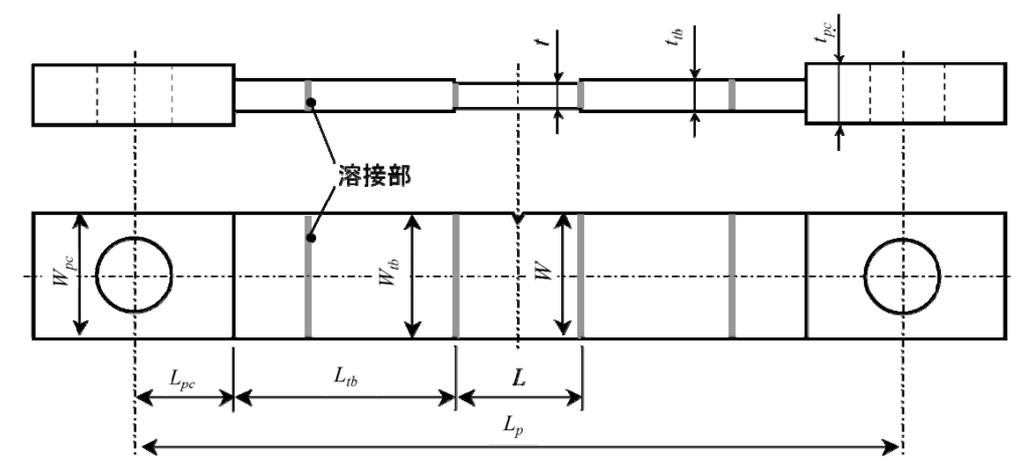
図3 標準的なタブ板及びピンチャックの形状



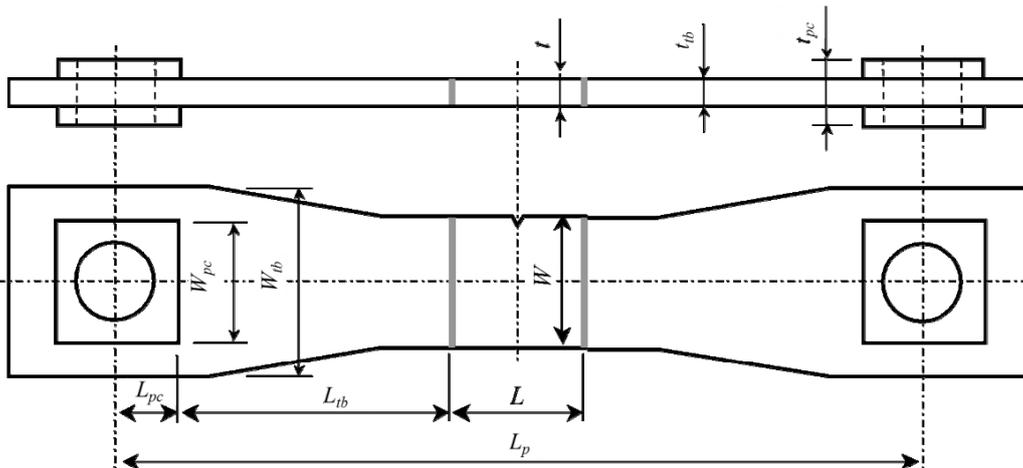
(a) 例1



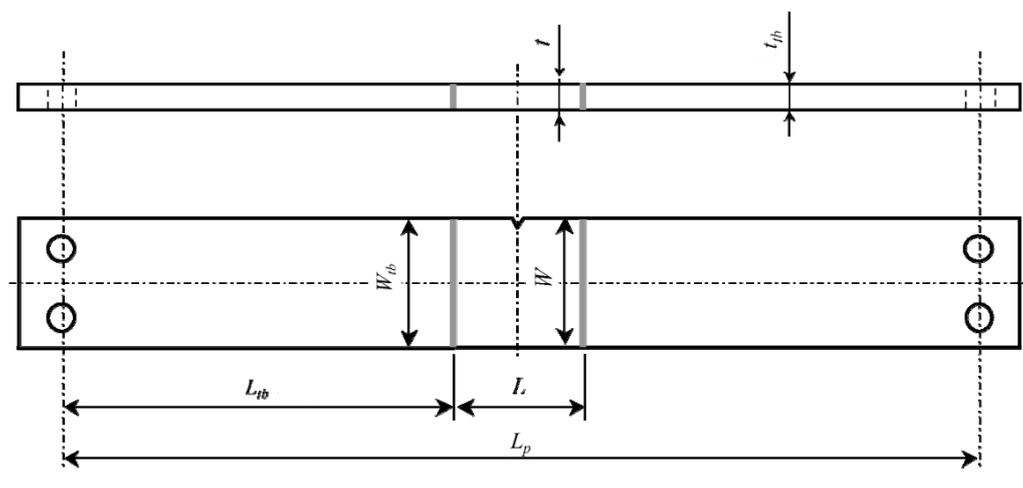
(b) 例2



(c) 例3



(d) 例 4



(e) 例 5

-3. タブ板寸法の許容値は、表 3 による。試験片の両端に取り付けるタブ板長さ L_{ib} が異なる場合は、長さが短い方をタブ板長さ L_{ib} とする。

表 3 タブ板寸法の許容値

タブ板の厚さ t_{ib}	$0.8 t \leq t_{ib} \leq 1.5 t$
タブ板の幅 W_{ib}	$W \leq W_{ib} \leq 2.0W$
試験片+タブ板の全長 $L+2L_{ib}$ (試験片+タブ板片側長 $L+L_{ib}$)	$L+2L_{ib} \geq 3.0W$ $(L+L_{ib} \geq 2.0W)$
タブ板長さ (L_{ib}) / 試験片幅 (W)	$L_{ib}/W \geq 1.0$

-4. ピンチャック部幅 W_{pc} は、原則としてタブ板幅 W_{ib} 以上とする。ピンチャック形状及び厚さは、载荷に十分耐えられる強度を確保できるように設定する。試験体両端のピンチャックが非対称の場合には、長さが短い方をピンチャック部長さ L_{pc} とする。

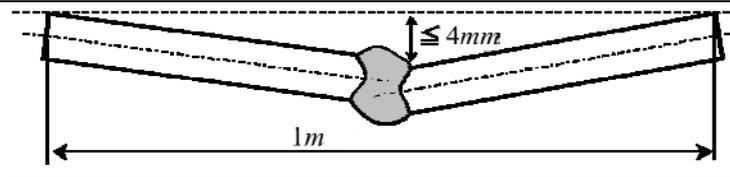
-5. ピン間距離 L_p は、次の算式による。ただし、図 3(e) のような場合は、 $L_{pc}=0$ として求める。

$$L_p = L + 2L_{tb} + 2L_{pc}$$

1.2.6 試験片とタブ板の溶接

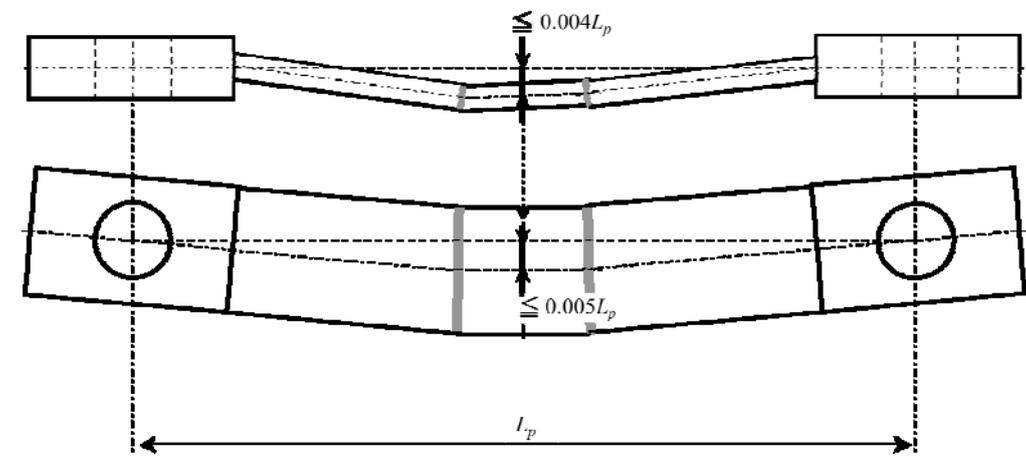
- 1. 試験片、タブ板及びピンチャックは溶接により接合し、溶接部の強度は試験荷重に耐えられるものでなければならない。
- 2. 試験片とタブ板の溶接部における角変形及び目違いは、**図4**に示すように1m 当り4mm 以内としなければならない。ただし、予荷重をかける場合、予荷重後の値がこれを満足すること。

図4 試験片とタブ板の溶接部の角変形及び目違い



- 3. 面内及び面外荷重軸精度は、**図5**による。面内荷重軸精度はピン間距離の0.5%以内、面外荷重軸精度はピン間距離の0.4%以内とし、載荷時の試験片内の応力は一様でなければならない。

図5 面内及び面外荷重軸精度



1.2.7 試験方法

- 1. 試験片の幅方向に少なくとも9点の熱電対を装着して測温し、温度制御することにより、試験片に所定の温度勾配を付与する。温度勾配の付与は、次の(1)から(3)による。
 - (1) 試験片幅 $0.3W \sim 0.7W$ の範囲において、 $0.25 \sim 0.35^\circ\text{C}/\text{mm}$ の温度勾配を付与する。試験片の厚さ中心で測温する場合には10分以上、試験片の表面で測温する場合には、中心までの均熱時間を考慮し $(10 + 0.1t [\text{mm}])$ 分以上の間、 $\pm 2^\circ\text{C}$ 以内に保持しなければならない。
 - (2) 試験片幅中央位置 ($0.5W$) において、試験片長さ方向 $\pm 100\text{mm}$ の範囲で、長さ方向中央位置における温度からの偏差を $\pm 5^\circ\text{C}$ 以内に制御する。ただし、長さ方向中

中央位置における計測点がない場合には、最も近い位置の温度の平均値をその値とする。

(3) 同一の幅方向位置において、表裏面の温度の偏差を±5℃以内に制御する。

-2. 脆性亀裂を発生させるための打撃エネルギー E_i と試験片厚さ t の比は、次の算式を満足することが望ましい。

$$\frac{E_i}{t} \leq \min(1.2\sigma - 40, 200)$$

ただし、min は 2 数値の最小値を指す。

1.2.8 試験手順

-1. 試験前手順は次の(1)から(8)による。

(1) 試験体を試験機に装着する。

(2) 冷却装置を試験片に取り付ける。必要に応じて加熱装置を取り付けてもよい。

(3) 打撃装置を取り付ける。必要に応じて適当な反力受けを配置する。

(4) 温度記録計の全ての熱電対の計測値が室温になっていることを確認し、冷却を開始する。温度分布及び保持時間は、1.2.7-1.による。

(5) 所定の打撃エネルギーを付与できるように、打撃装置の設定を行う。

(6) 所定の試験荷重までの载荷は、原則として温度制御の後に実施するが、载荷後に温度調整を行っても差し支えない。载荷速度と負荷応力は、それぞれ次の(a)、(b)の条件を満足すること。

(a) 载荷速度は、試験片温度分布の保持ができ、所定荷重に対して過大荷重とならないように制御できる範囲とすること。

(b) 負荷応力は次の算式を満足すること。

$$\sigma \leq \frac{2}{3} \sigma_{y0}$$

ただし、負荷応力は σ_{y0} の1/6以上を標準とする。

(7) 打撃直前に、0.3W~0.7Wの温度を乱さない範囲で切欠き部をさらに冷却してもよい。この場合、試験温度は切欠き部の直前冷却前の温度記録を基に求めた計測温度とする。

(8) 荷重記録計の計測荷重を記録し、この値を試験荷重とする。

-2. 载荷手順は次の(1)から(4)による。

(1) 所定の荷重を30秒以上保持した後、打撃装置によるくさびへの打撃を行う。亀裂が自然発生し、亀裂発生時の荷重が正確に把握できない場合は、試験を無効とする。

(2) 打撃後に荷重記録計の計測荷重を記録する。

(3) 打撃後の荷重が試験荷重よりも低下している場合に亀裂が発生したとみなす。亀裂が発生せず、再度打撃を与える場合には温度調整からやり直すものとする。

(4) 亀裂の発生、伝播及びアレストが確認されたら除荷する。

-3. 試験後手順は次の(1)から(3)による。

(1) 打撃装置、冷却箱、熱電対及びひずみゲージ類を取り外す。

(2) 試験片を室温に戻す。その際、ガスバーナなどで加熱してもよい。ただし、製造法承認試験等において、破面に焼き色が着くことを回避する必要がある場合、亀裂部を直接加熱してはならない。

(3) 必要に応じて未破断リガメントをガス切断した後に、試験機にて強制延性破断する。

あるいは、試験機にて延性亀裂を十分な長さまで進展させた後に、未破断リガメントをガス切断する。

-4. 破面観察及びアレスト亀裂長さ a の測定は、次の(1)から(3)による。

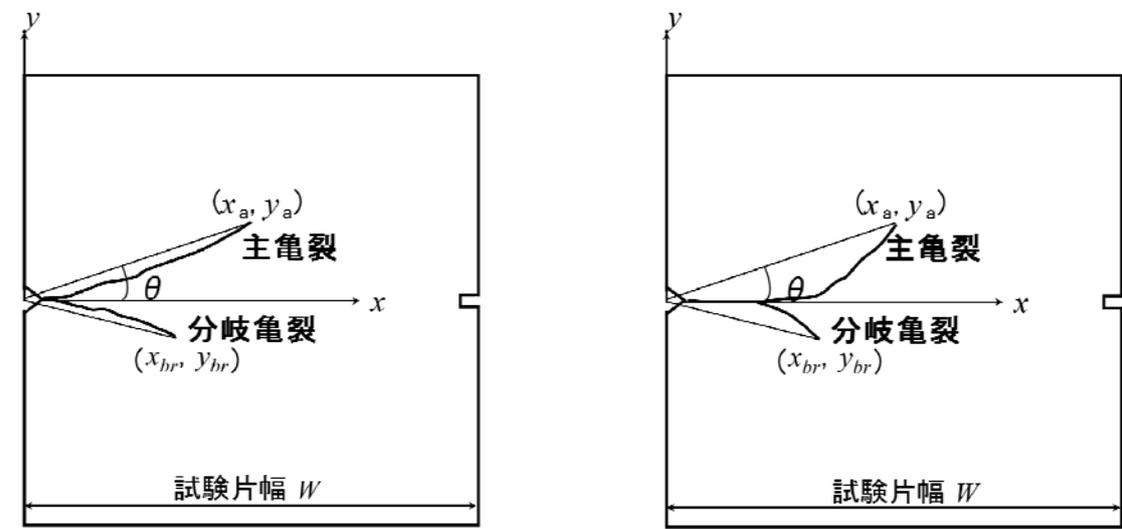
(1) 破面及び伝播経路を写真撮影する。

(2) アレスト亀裂先端の板厚方向の最長長さを測定し、それをアレスト亀裂長さ a とする。亀裂が荷重方向に垂直の方向から逸れた場合は、荷重線に垂直な面に投影した長さをアレスト亀裂長さ a とする。ただし、亀裂再発生や亀裂分岐が生じた場合は、それぞれ次の(a)、(b)の方法により判定すること。

(a) 一旦アレストした亀裂から脆性亀裂が再発生した場合には、最初のアレスト位置をアレスト亀裂位置とする。ここで再発生とは、主亀裂と再発生亀裂がストレッチゾーンにより完全に分離されており、かつ、ストレッチゾーンから明瞭な脆性亀裂発生が認められる場合をいう。なお、板厚方向において一部でも連続して亀裂が伝播している場合は、脆性亀裂の最長位置をアレスト位置とする。

(b) 亀裂が分岐した場合は、最長の分岐亀裂に対して、荷重線に垂直な面に投影した長さを分岐亀裂長さとする。具体的には、図6によって定義されるアレスト亀裂先端位置の座標 (x_a, y_a) 、分岐亀裂先端の座標 (x_{br}, y_{br}) より、 x 軸からの角度 θ を求め、 x_a をアレスト亀裂長さ a とする。ここで x は試験片幅方向の座標で、打撃側の端面を $x=0$ とする。 y は試験片長さ方向の座標であり、切欠き位置を $y=0$ とする。

図6 主亀裂及び分岐亀裂長さの測定要領



(a) 切欠き部から分岐した場合

(b) 脆性亀裂伝播中に分岐した場合

(3) 熱電対測定結果から、温度分布曲線(温度—試験片上端からの距離線図)を作成し、アレスト亀裂長さ a に対応するアレスト温度 T を求める。

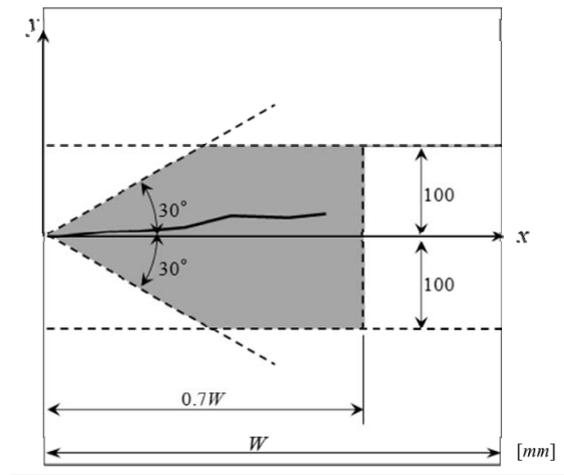
1.2.9 アレストじん性値の決定

-1. アレストした亀裂が、次の(1)から(4)の条件をすべて満足する場合、1.2.8 で決定されたアレスト亀裂長さ a を有効とする。一つでも満足しない場合、後-4.で算出されるアレストじん性値 K_{ca} は参考値とする。

- (1) 亀裂の発生から亀裂停止位置までの全体が図7に示す範囲にあること。ただし、主亀裂先端がこの範囲内に入っているものの主亀裂の一部がこの範囲の外を通過している場合、主亀裂がy方向に最も逸脱した位置における温度がy=0における温度よりも低いことが確認でき、さらに、主亀裂に対する応力拡大係数Kが同じアレスト亀裂長さaの直線亀裂に対する応力拡大係数Kの±5%以内である場合には、有効と判定してよい。応力拡大係数Kは次の算式による。

$$K = K_I \cos^3\left(\frac{\phi}{2}\right) + 3K_{II} \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right) \sin\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

図7 主亀裂伝播経路の許容範囲



- (2) アレスト亀裂長さaは、次の(a)から(c)の算式を満足すること。ただし、ピン位置におけるひずみ及び亀裂長さが動的計測されており、そのひずみの亀裂停止位置における値が亀裂発生直前の静的ひずみの90%以上であれば、(c)式を適用しなくても差し支えない。

(a) $0.3 \leq \left(\frac{a}{W}\right) \leq 0.7$

(b) $\left(\frac{a}{t}\right) \geq 1.5$

(c) $\left(\frac{a}{L_p}\right) \leq 0.15$

- (3) 亀裂直進性の条件として、次の算式を満足すること。

$$|y_a| \leq 50\text{mm}$$

ただし、 $50\text{mm} < |y_a| \leq 100\text{mm}$ かつ $|\theta| \leq 30^\circ$ の場合には、 $x = 0.5W$, $y = \pm 100\text{mm}$ における温度が $x = 0.5W$, $y = 0$ における温度に対して $\pm 2.5^\circ\text{C}$ の範囲内である場合に限り、有効とする。

- (4) 亀裂分岐の条件として、次の算式を満足すること。

$$\left(\frac{x_{br}}{x_a} \right) \leq 0.6$$

-2. 打撃エネルギー E_i は次式による値を満足しなければならない。これを満足しない場合、後-4.で算出されるアレストじん性 K_{ca} は参考値とする。

$$\frac{E_i}{E_s + E_t} \leq \frac{5a - 1050 + 1.4W}{0.7W - 150}, \text{ ただし, } 0.3 \leq \left(\frac{a}{W} \right) \leq 0.7$$

$$E_s = \frac{10^9 F^2 L}{2 E W t}$$

$$E_t = \frac{10^9 F^2}{E} \left(\frac{L_{tb}}{W_{tb} t_{tb}} + \frac{L_{pc}}{W_{pc} t_{pc}} \right)$$

-3. 図 3(b)のようにタブ板が多段の場合の打撃エネルギー E_i は、試験片のひずみエネルギー E_s とタブ板とピンチャック部の合計のひずみエネルギー E_t の合計とする。さらに、図 3(d)のようにタブ板幅にテーパが存在する場合には、弾性力学に基づいてひずみエネルギーを算出する。

-4. 前-1.により判定したアレスト亀裂長さ a 及び負荷応力 σ から、次の算式によりアレストじん性値 K_{ca} を求める。

$$K_{ca} = \sigma \sqrt{\pi a} \sqrt{\left(\frac{2W_s}{\pi a} \right) \tan \left(\frac{\pi a}{2W_s} \right)}$$

$$\sigma = \frac{10^6 F}{W t}$$

1.2.10 報告

試験結果として、次の(1)から(9)の各項目について報告すること。報告に用いる書式の例を書式例 1-1 に示す。

- (1) 試験材：材料記号及び室温降伏応力
- (2) 試験装置：試験機容量
- (3) 試験片寸法：厚さ、幅、長さ、角変形量及び目違い量
- (4) 試験体寸法：タブ板の厚さ、タブ板の幅、タブ板を含めた試験片の長さ及びピン間距離
- (5) 試験条件：負荷荷重、負荷応力、温度勾配、打撃エネルギー及び打撃エネルギーの試験体ひずみエネルギー（試験片ひずみエネルギーとタブ板ひずみエネルギーの和）に対する比
- (6) 試験結果
 - (a) アレストの判定：亀裂長さ、亀裂分岐の有無、主亀裂の角度、亀裂再発生の有無及びアレスト温度
 - (b) アレストじん性値
- (7) 打撃時の温度分布：熱電対位置、温度の数値及び温度分布
- (8) 試験片写真：亀裂伝播経路（片面）及び脆性亀裂破面（両面）
- (9) 動的計測結果（実施した場合のみ）：亀裂伝播速度履歴及びピンチャック部のひずみ変化

1.2.11 特定温度におけるアレストじん性値の算出方法

本節に規定する試験を複数回実施し、次の(1)から(4)に従うことで特定温度 T_D におけるアレストじん性値 K_{ca} を算出することができる。なお、アレストじん性値 K_{ca} のアレスト温度 T_K に対する温度依存性は次の算式による。

$$K_{ca} = K_0 \exp\left(\frac{c}{T_K}\right)$$

- (1) 4点以上の有効なアレストじん性値 K_{ca} を求める。この際、特定温度 T_D に対し高温側及び低温側に試験データが存在しない場合、追加の試験を行い、これを満たさなければならない。
- (2) $\log K_{ca}$ を $1/T_K$ に対する一次式で近似し、前(1)の試験データに対し、最小二乗法により、次の算式の係数 $\log K_0$ 及び c を決定する。

$$\log K_{ca} = \log K_0 + c \frac{1}{T_K}$$

- (3) 各試験データに対し、次の算式による値が 0.85~1.15 の範囲外となる試験データの個数が、 n (全試験データ数を 6 で除した値で、小数点以下を切り下げた値) を超えない場合、前(2)の最小二乗近似を有効とする。この条件を満たさない場合には、少なくとも 2 点の試験データを追加し前(2)を適用する。

$$\frac{K_{ca}}{K_0 \exp\left(\frac{c}{T_K}\right)}$$

- (4) $K_0 \exp(c/T_D)$ の値を、特定温度 T_D におけるアレストじん性値 K_{ca} の推定値とする。また、特定の K_{ca} 値に対応する温度の推定値を $T_K = c/\log(K_{ca}/K_0)$ として求めることができる。ただし、前(3)の条件を満たさない場合には、推定値を参考値とする。

1.3 温度勾配型二重引張試験

1.3.1 一般

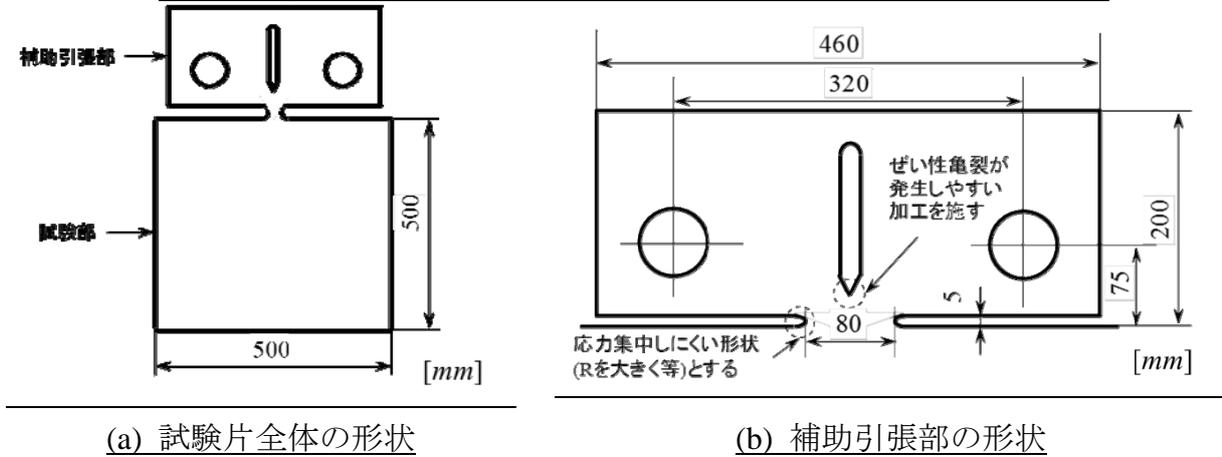
-1. 本節の規定は、温度勾配型二重引張試験を行い、アレストじん性を評価するために用いる。

-2. 本節に規定されていない事項については、1.2 の規定を準用する。

1.3.2 試験片形状

標準的な二重引張試験片全体の形状及び補助引張部の形状は、図 8 による。

図8 標準的な二重引張試験片全体の形状及び補助引張部の形状



(a) 試験片全体の形状

(b) 補助引張部の形状

1.3.3 温度条件と温度制御方法

- 1. 試験部の温度制御方法については **1.2.7-1.**の規定によること。
- 2. 補助引張部の冷却温度は試験部の温度勾配に影響を与えない範囲で冷却し、冷却方法は試験片の冷却方法と同様に冷却箱と冷媒を用いて行うことができる。
- 3. 補助引張部の測温については、熱電対を用いて行うこと。

1.3.4 補助引張部

補助引張部の载荷に用いる補助引張装置は次の**(1)**から**(3)**によること。

- (1) 補助引張装置は試験体に不必要な荷重が作用しないよう、適切な方法で保持すること。保持方法は次の**(a)**又は**(b)**に規定する方法を用いることができる。
 - (a) 吊下げ式
クレーン等で補助装置を吊下げることで保持する。
 - (b) 床置き式
架台等で補助装置を持ち上げることで保持する。
- (2) 補助引張部の载荷様式は油圧式とする。
- (3) 载荷方法はピン式とする。ただし、本会が適当と認めた場合には、他の载荷方法を採用することができる。

書式例 1-1

報告項目	項目詳細	記号	条件/結果	単位	有効/無効	
(1) 試験材	材料記号	—		—	—	
	室温降伏応力	σ_{Y0}		N/mm^2	—	
(2) 試験装置	試験機容量	—		MN	—	
(3) 試験片寸法	厚さ	t		mm		
	幅	W		mm		
	長さ	L		mm		
	角変形量+目違い量	—		mm/m		
(4) 試験体寸法	タブ板の厚さ	t_{tb}		mm		
	タブ板の幅	W_{tb}		mm		
	タブ板を含めた試験片長さ	$L + L_{tb}$		mm		
	ピン間距離	L_p		mm		
(5) 試験条件	負荷荷重	F		MN		
	負荷応力	σ		N/mm^2		
	温度勾配	—		$^{\circ}C/mm$		
	打撃エネルギー	E_i		J		
	打撃エネルギーの 試験体ひずみエネルギーに対する比	$E_i/(E_s+E_i)$		—		
(6) 試験結果	亀裂伝播 アレストの判定	亀裂長さ	a		mm	
		亀裂分岐の有無	—		—	—
		主亀裂に対する 分岐亀裂の長さ	x_{br}/x_a		—	
		主亀裂の角度	θ		度 (°)	
		亀裂再発生の有無	—		—	
		亀裂アレスト位置 における温度	T		$^{\circ}C$	
	アレストじん性値	K_{ca}		$N/mm^{3/2}$		
(7) 打撃時の温度分布	測温位置	—	添付	—	—	
	各測温位置における温度	—	添付	$^{\circ}C$	—	
	温度分布図	—	添付	—		
(8) 試験片写真	亀裂伝播経路	—	添付	—		
	脆性亀裂破面 (両面)	—	添付	—		
(9) 動的計測結果	亀裂伝播速度の履歴	—	添付	—		
	ピンチャック部のひずみ変化	—	添付	—		

附属書 K5.1.11(3) 船体用鋳鋼品の補修に関する検査要領

1.2 補修の方法

(2)(c)を次のように改める。

(c) 予熱

- i) 炭素当量 $C_{eq}(JIS)$ が 0.44% を超える場合、原則として溶接補修部及びその周辺を 200°C 以上の温度に予熱する。この場合の炭素当量 $C_{eq}(JIS)$ は次式による。

$$C_{eq}(JIS)(\%) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} (\%)$$

- ii) 炭素当量 $C_{eq}(JIS)$ が 0.44% 以下の場合でも、形状寸法等を考慮して溶接施工上必要と認められる場合は予熱を行う。

(2)(e) i) を次のように改める。

(e) 後熱

- i) 次の場合は、後熱処理を省略してもよい。ただし、炭素当量 $C_{eq}(JIS)$ が 0.44% を超える場合はこの限りではない。
- 1) 欠陥除去後のはつり跡深さが 25mm 以下（又は肉厚の 20% 以下のどちらか小さい方）で、かつ、長さが 200mm 以下の場合
 - 2) 表面欠陥で欠陥除去後のはつり跡深さが 15mm 以下で、かつ、その面積が 250,000mm² 以下の場合

附 則

1. この達は、2014 年 12 月 19 日（以下、「施行日」という。）から施行する。
2. 施行日前に申込みのあった材料については、この達による規定にかかわらず、なお従前の例によることができる。