# 高張力鋼溶接部の割れ防止予熱温度の決定 ——高張力鋼の溶接——

# Determining Preheating Temperature for Crack Prevention for in High Strength Steel Welds —Welding of High Strength Steel—

The authors studied cracks in high strength steel welds from the standpoints of material composition, hydrogen, intensity of restraint and stress concentration. The results:

- (1) Crack-preventing preheat temperatures (PHY and PHK) were determined and made available for actual welding.
- (2) A quick reference table and a nomograph to be used to determine such preheat temperatures were prepared.
- (3) The results obtained from this study were successfully applied to pressure vessels and construction instruments.

# 渡辺 潔<sup>\*</sup> Kiyoshi Watanabe 桐原誠信<sup>\*\*</sup> Seishin Kirihara 小沼 勉<sup>\*\*</sup> Tsutomu Onuma

## 1 緒 言

P

Y

7

i-sil

3

10.00

æ

1.75

- Ja

4.

7

Print.

機器の大容量化に伴い構造物はますます大形化し,設計応 力も高くなり,一般に溶接構造物に広く使用されている軟鋼 材では強度の点で超厚板となるので,溶接構造化に対しての 問題が生じてくる。そのため大形化に伴って高強度,高靱性 の高張力鋼の利用が要求されるようになってきた。 溶接材料には350℃×1hの再乾燥処理を施した。また試験 片の予熱は小形試験片の場合,電気炉により試験片全体が均 一な所定の温度(50~300℃)になったことを確認してから溶 接を行なった。大形試験片の場合は,開先から両側へそれぞ れ200 mmの範囲が所定の予熱温度になるようにガスバーナで 加熱後溶接した。

本研究は、高張力鋼の使用に当たって、最も重要な溶接割 れの問題について検討し、溶接割れ防止子熱温度決定のため の早見表及びノモグラフを作成したので報告する。

### 2 実 験

2.1 供試材

表1,2は、割れ実験に使用した高張力鋼板及び溶接材料の化学組成,並びに機械的性質を示すものである。

#### 2.2 実験方法

溶接割れの実験はY及びレ開先スリット試験片,レ開先H 形拘束試験片などを用いて行なった。

### 3 実験結果とその検討

3.1 鋼種,水素量及び拘束度に基づく割れ防止予熱温度の 検討

先に,化学組成,水素量,拘束度及び開先形状を加味した 溶接割れ防止子熱温度略算式 PHY 及び PHK<sup>(1)</sup>((1)及び(2)式)に ついて報告したが,本報告ではその PHY 及び PHK の式の応用 について,高張力鋼の化学組成,溶接棒の処理条件及びふん い気と水素量,モデル試験片による拘束度の解析及び実機構 造物の解析結果などを基にして検討を行なった。

67

表 | 高張力鋼の化学組成及び機械的性質 実

実験に用いた高張力鋼の化学成分とその機械的性質を示している。

Table I Chemical Composition and Mechanical Properties of High-Strength Steel

試 料	AM 17					1	上 鸟	学 养	E F	戎 (9	%)		1.1.20			降伏点	引張強さ	伸び
番号	<b>玉</b> 阿 <b>不</b> 里	С	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	AI	В	Nb	Ti	$(kg/mm^2)$	$(kg/mm^2)$	(%)
T- I	HT-80	0.13	0.25	0.87	0.016	0.010	0.29	0.83	0.59	0.47	0 .05	0.024	0.004	—	T. Market	77.8	82.5	25
T-2	"	0.14	0.29	1.03	0.010	0 .008	0.23	0.53	0.46	0.39	0 .029	0 .030	0.009	-	-	72.0	79.0	"
T-3	"	0.13	0.31	0.99	0 .009	0.007	0.20	1.03	0.38	0.48	0.020	0.024	0 .002		0.015	73.0	83.0	27
T-4	"	"	0.30	0.83	0 .004	0.005	0.24	0.82	0.56	0.49	0.04	-	0.001	-	-	74.0	79.0	25
T-5	"	0.12	0.26	0.76	0 .005	0.004	0.23	1.00	0.49	0.59	0 .02	-	0.0005	-	<u> 1997 -</u>	74.6	79.8	26
T-6	"	0.15	0.35	1.45	0.019	0 .005	0 .006	-		0.63		-	0.013	0.040		79.0	84.0	23
T-7	"	"	0.26	1.17	0.018	0.015	0.18	1.13	0.44	0.49		0.047		1000	-	72.0	80.2	24
T-8	HT-60	"	0.30	1.22	0.014	0.003	-	0 .02	0 .02	0.14	0 .06	_	1. LTC	_	- <u>-</u>	56.0	67.0	29
T-9	(SM <sup>"</sup> 53B)	0.17	0.52	1.32	0.012	0.019	_			-	-	-	-	_		38.0	54.0	26
T-10	"	0.13	0.41	1.38	0.015	0 .022		0.45	0.03	0 .086	0.035	0 .028	-	-	-	57.0	67.0	"
T-11	SS-41	0.16	0.03	1.07	0.012	0.018		_		-		-	-	-	-	30.0	46.0	25

\*日立製作所日立研究所工学博士 \*\*日立製作所日立研究所

#### 溶着金属の化学組成,機械的性質及び水素試験結果 表 2 実験に用いた溶着金属の化学組成とそ の機械的性質及び拡散性水素量を示している。

Table 2 Chemical Composition and Mechanical Properties of Deposited Metal and Hydrogen Test Result

<b></b> 滚	<b>木才 米</b> 斗			1ヒ	学	組	成	(%)			降伏点	引張強さ	伸び	水素量
	ባላጋ ብግ	С	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	$(kg/mm^2)$	$(kg/mm^2)$	(%)	(cc/100g)
被覆アーク	HT-80	0.07	0.55	1.51	0.009	0.010	1.66		0.50		71.0	80.6	25.3	1.3
· 次 接 梼	HT-60(A)	80.0	0.62	1.16	0.014	0.007	0.58		0.26		59.0	68.0	28.0	1.6
/日 1女 1年	HT-60(B)	0.05	0.32	1.11	0.021	0 .020	1.72	0 .08	0.28	0.01	59.5	66.7	25.0	"

$$P_{HY} = (1.33 P_W - 0.38) \times 10^3 (^{\circ}\text{C}) \cdots (1)$$

(X, V, U開先のルート及び止端割れ、

K、J、レ開先の止端割れに適用)

 $P_{HK} = (2.03 P_W - 0.55) \times 10^3 (^{\circ}C) \cdots (2)$ 

(K, J, レ開先のルート割れに適用)

但し,

 $P_{W^{(2)}(3)} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Ni}{20}$  $\frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5 B + \frac{(H)}{60} + \frac{K}{40 \times 10^3}$ 

上記の式を用いる場合, PHK の式は開先ルート部のガウジ ング処理後割れのないことを確認し、その後直ちにガウジン グ部を溶接する施工方式を採用するならK, J, レ開先であ っても PHY の式で溶接割れ防止予熱温度を決定しても特に問 題はない。

表4は、HT-60用溶接棒A棒及びB棒の拡散性水素量を示 すものである。この結果より、HT-60用溶接棒の拡散性水素 量[H]は2 cc/100 g以下と考えればよいことが分かる。

#### 3.1.3 拘束度

(1) モデル試験片による拘束係数測定

表5は、 突合せ継手部の 拘束係数の 解析結果を示すもので ある。モデル試験片(a)及び(b)は片端及び両端溶接完了後,中央 部の開先について拘束係数を解析したもので、最大拘束係数

> <sup>10</sup> 8 350°C × 1.5h

以上, 溶接割れ防止略算式についての概略を説明したが, 以下,割れ防止略算式の因子である化学組成,水素量,拘束度 及び開先形状について説明する。

#### 3.1.1 鋼材の化学組成

表3は、本実験に用いた高張力鋼と製品に使用した高張力 鋼及び鉄鋼メーカーの技術資料による化学組成の溶接割れ感 度指数 PCM<sup>(2)</sup>及び WES 規格<sup>(4)</sup>(WES - 135) 及び J I S 規格 (JIS 3106) で採用している炭素当量Ceqの式を用いて算出 し、そのばらつきを示したものである。HT-60材のPcm値の 平均値Xは0.231%,標準偏差 ∂は0.015%である。HT-80材 の $P_{CM}$ 値の平均値 $\overline{X}$ は0.264%,標準偏差 $\hat{\sigma}$ は0.025%である。

#### 3.1.2 水素量

(1) HT-80溶接部の水素

図1は350°C×1.5hの棒乾燥を行なった後、温度20°C、35 ℃,湿度80%及び90%のふんい気で0.5~24時間放置し水分 量を測定したものである。図2は、図1の水分量を横軸にと って拡散性水素量(cc/100g)を測定した結果を示したもので ある。例えば, 溶接棒を350℃×1.5h 乾燥した後, 温度20℃ で湿度80%のふんい気に2時間放置した場合の拡散性水素 量[H]は約2cc/100gとなる。JIS法で測定した場合の拡散 性水素量[H]は約1.0cc/100gである(表4参照)。 (2) HT-60溶接部の水素

表3 PCM及びCegの分布 一般に用いられている60kg/mm<sup>2</sup>及び80kg/mm<sup>2</sup> 高張力鋼のPcM及びCeq量の平均値とばらつきの度合を示したものである。

68



溶接棒の吸湿性(HT-80, 4¢) 種々の大気中に、溶接棒を放置 × I した場合の溶接棒被覆剤の水分量と放置時間の関係とを示したもので,水分量 は吸湿時間が長くなるにつれて、また温度及び湿度が高くなるにつれて上昇す る傾向にある。

Fig. I Hydroscopicity of Welding Rod (HT-80,  $4\phi$ )



#### Table 3 Distribution of $P_{CM}$ and $C_{eq}$

鋼種	項目	Р см (%)	Ceq (%)	
	$\overline{X}$	0.231	0.400	
HI-6U.	σ	0.015	0.023	
UT- 00	X	0.264	0.507	
HT- 00	ô	0.025	C.031	

拡散性水素量に及ぼす被覆剤中の水分の影響 区 2 溶接棒被覆 剤の水分量と溶着金属中に含まれた拡散性水素量との関係を示している。拡散 性水素量は,水分量が増加するにつれて増加する傾向にある。 Fig. 2 Effect of Moisture in Coating on Diffusion-type Hydrogen Content

#### 高張力鋼溶接部の割れ防止予熱温度の決定 日立評論 VOL. 56 No. 12(1974-12) 1195

表 4 溶接部の拡散性水素量測定結果 急冷法による60kg/mm<sup>2</sup>及び 80kg/mm<sup>2</sup>高張力鋼溶接棒の拡散性水素量の測定結果を示したもので,これより HT-60用棒の水素量[H] ≒1.2~2.5,HT-80用棒の水素量[H] ≒0.2~1.5である。 Table 4 Measured Amount of Diffusion-type Hydrogen in Welds

溶接後水冷ま	HT-60棒(A	()	HT-60棒(E	3)
での時間(s)	水素量(cc/100g)	平均值	水素量(cc/100g)	平均值
	1.4	:	1.5	
3	1.3	1.4	1.0	1.6
	1.6		2.5	
- 1.4 Sec. 1.4	1.1		1.7	
12	1.3	1.2	1.4	"
	"		1.6	

(a) HT-60

溶接後水冷ま	HT-80	)棒	
での時間(s)	水素量(cc/100g)	平 均 值	
	0. 2		
	0.3		
2	0.6	0 .81	
3	0. 9		
	1.4		
	1.5		

(3) 球形タンクの拘束度及び割れ防止予熱温度の算出

図4は酸素ホルダ(HT-60材使用)である。拘束度の測定 位置は、図中の①~⑦について行なわれたものである。また、 拘束度の測定は次のようにして行なわれた。開先部の表裏両 側にジャッキ及びロードセルを固定する拘束治具を取り付け、 コンタクトひずみ計により変形量と荷重との関係を求めた。

表7は表1に示す(T-8材)化学組成,水素量と実測した 拘束度を,割れ防止子熱温度略算式に代入して計算した結果



表 5 拘束係数の測定例 拘束係数  $K_0$  を測定した大形試験片例とその 結果を示したものである。拘束度 Kは次式によって求めることができる。  $K = K_0 \times t$  (t:母材板厚)

Table 5 Example of Measured Coefficient of Restraint

h-nd

计生

the

10.00



はモデル試験片(a)の場合,  $K_0 = 40 \text{kg/mm}^2 \cdot \text{mm}$ , (b)の場合,  $K_0 = 72 \text{kg/mm}^2 \cdot \text{mm}$ である。なお拘束度Kの計算は次式により 行なわれる。

 K = K<sub>0</sub> t
 (3)

 (2) 水車ケーシングの拘束度及び割れ防止予熱温度の算出

図3に示す水車ケーシングは,HT-60材による溶接構造 化である。拘束度の解析は現地溶接を行なう③, ⑤, ⑦, ⑦, ⑦の位置の⑤, ⑦, ⑦の部分3個所で行なわれた。拘束度測 定はスピードリングより約260mm, 570mm及び880mmと合計9 図3 水車ケーシングの模型図 拘束度を測定した水車ケーシングの 平面図と、拘束度測定位置を示すものである。図中の①~⑨は拘束度の測定位 置を示す。

Fig. 3 Model of Water Turbine Casing



個所の位置について行なわれた。その位置の拘束度測定結果 は、表6に示すとおりである。拘束係数 $K_0$ は最大44kg/mm<sup>2</sup>・ mm,最小2kg/mm<sup>2</sup>・mmである。拘束度の計算は、HT-60材の板 厚を60mm一定として行なわれた。なお、各拘束度測定位置の 割れ防止予熱温度はV開先の式 $P_{HY}$ を用い、水素量[H]は2 cc /100gを用いて決定したものである。

図 4 球形タンク模型図と拘束度測定位置 拘束度を測定した球形 タンクの側面図と拘束度測定位置を示すものである。図中の①~⑦は拘束度の 測定位置を示す。

**69** 

Fig. 4 Spherical Tank Model Diagram and Restraint Intensity Measuring Points 表 6 拘束度と割れ防止予熱温度 水車ケーシングの拘束度測定結果と割れ防止予熱温度 の計算結果を示したもので、これより $K \doteq 1,000$ のときの割れ防止予熱温度は、約70~80°C、 $K \doteq 2,500$ のときの割れ防止予熱温度は、約120~130°Cである。

測定者	番号	拘束度測定位置(mm) (リングからの距離)	拘 束 係 数 Ko(kg/mm <sup>2</sup> ・mm)	拘束度* (kg/mm・mm)	割れ防止予熱温度** <i>Pнr</i> (℃)
	1	260	43.93	2,700	130
	2	570	17.42	1,100	77
Ð	3	880	13.04	800	67
	(4)	2,810	2.16	130	45
	(5)	260	38.97	2,400	120
$\mathfrak{F}$	6	600	14.58	900	71
	1	2,300	1.97	120	45
æ	8	550	13.85	900	71
S	9	1,350	7.30	440	55

able	6	Intensity	of	Restraint	and	Crack-Preventive	Preheating	Temperature
------	---	-----------	----	-----------	-----	------------------	------------	-------------

注:	*板厚60mmとしてKを計算	
	**測定水車ケーシングの開先がV形であるため、Y	/ 形
	開先の割れ防止予熱温度略算式PHYで計算	
	$P_{HY} = (1.33 P_w - 0.38) \times 10^3 (^{\circ}C)$	
	$P_w = C + \frac{Si}{22} + \frac{Mn}{22} + \frac{Cu}{22} + \frac{Ni}{22} + \frac{Ni}{$	Cr +
	Mo V FD H K	20
	$15 + 10 + 5B + 60 + 40 \times 10^3$	
	水素量[H]=2cc/100gで計算	

T

を示すものである。この結果より、拘束度の最大値は 2,019 kg/mm·mmで、そのときの割れ防止予熱温度は70℃である。

#### 3.1.4 開先形状と割れとの関係

図5,6はレ及びy開先スリット割れ試験片による割れ試験

結果を示すものである。同図より明らかなように, y開先の 場合はいずれの鋼種とも約 150℃の予熱でルート割れを防止 できるが, レ開先の場合は約 250℃の予熱が必要である。図 7,8はT-5材レ及びY開先TRC試験片を用いて引張拘束 試験を行なったものである。図8はレ開先試験片に対して割 れ発生限界拘束応力*σκc*を求めたものであり,同図はY開先



図5 断面割れ率と予熱温度及び開先形状との開先 スリット試験片の開先形状の相違による(T-I材)予熱温度と割れ率との関係(T-I材)を示すものである。 У形開先の場合の割れ防止予熱温度PHrは 150℃であり、レ形開先の場合の割れ防止予熱温度PHK は 225℃である。

Fig. 5 Relation between Section Crack Ratio, Preheating Temperature, and Groove Shape (T-I Material)



試験片に対して求めたものである。これらの結果より予熱150 °Cの場合の割れ発生限界拘束応力 $\sigma\kappa c$ は、レ開先の場合は $\sigma\kappa c$ =69kg/mm<sup>2</sup>, Y開先の場合は $\sigma\kappa c$  =80kg/mm<sup>2</sup> であり、先にス リット割れ試験で述べたと同じように、レとY開先とでは図 9に示すようにルート部の応力集中が異なるため、10kg/mm<sup>2</sup> 程度の差が出ている。

レ開先,Y開先のルート部のθ<sub>L</sub>, θrの溶け込み角度を測定 すると,表8のようになる。参考としてビード止端部の角度 の平均値を記入したが,いずれもルート部よりは大きい値を 示している。この結果より,前記した割れ防止予熱温度略算 式*PHY*及び*PHK*の(1)式,(2)式を適用する場合,(1)式の*PHY*は ルート部及びビード止端部の溶け込み角度は約70度以上,(2) 式の*PHK*は70度以下に適用できる。

表7 拘束度と割れ防止予熱温度 球形酸素ホルダの拘束度と割れ防止予熱温度の計算結果を示したものである。これより,拘束度Kが 2,000kg/mm・mmと高い場合でも,予熱温度を70℃程度すれば割れが防止できることが明らかとなった。

Table 7 Intensity of Restraint and Crack-Preventive Preheating Temperature

① (a)	18.1	507	19
() (b)	28.5	798	29
(2) (a)	22.4	627	23
② (b)	42.9	1,201	43
③ (a)	40.9	1,145	41
④ (a)	33.15	928	33
(5) (a)	20.6	576	22
⑦ (c)	72.1	2,019	70

図6 断面割れ率と予熱温度及び開先形状との関係(T-2材) スリット試験片の開先形状の相違による予熱温度と割れ率との関係(T-2材)を 示すもので、割れ防止予熱温度は y形開先の場合、150℃、レ形開先の場合225 ℃である。

Fig. 6 Relation between Section Crack Ratio, Preheating Temperature, and Groove Shape (T-2 Material)

70

高張力鋼溶接部の割れ防止予熱温度の決定 日立評論 VOL.56 No.12(1974-12) 1197

#### 3.1.5 割れ防止予熱温度略算式PHY 及びPHK

5

T

\*

割れ防止子熱温度略算式PHY及びPHKの応用については、 前記した母材化学組成,水素量,拘束度及び開先形状を十分 考慮したうえで適用することが望ましい。なお、このPHY及 びPHKの式は1パス溶接で評価したもので、多層溶接部の割 れについては現在検討中である。

#### 4 溶接割れ防止予熱温度の求め方

図10は、母材のPcm、溶接部の水素量及び構造物の拘束度 より割れ防止子熱温度PHY及びPHKを求めるノモグラフであ  $る^{(7)}$ 。一例として、 $P_{CM} = 0.24\%$ 、水素量[H] =  $2 \operatorname{cc}/100 \operatorname{g}$ 拘 東度K = 2,000 kg/mm·mmとした場合の割れ防止予熱温度 $P_{HY}$ 



100t

71

100t

応力との関係を示すもので,割 れ発生限界拘束応力 orc は予熱 温度PH=100℃の場合σκc =54 kg/mm<sup>2</sup>, PH=150℃の場合σKC

Fig. 8 Relation between Weld Crack and Restraint Stress (T-5 Material)

高張力鋼溶接部の割れ防止予熱温度の決定 日立評論 VOL. 56 No. 12(1974-12) 1198



開先形状と応力集中の関係( $\theta_1 < \theta_2$ ) レ開先とソ開先試験片 义 9 のルート部の溶け込み角度を略図化した例である。

Fig. 9 Relation between Groove Shape and Stress Concentration  $(\theta_1 < \theta_2)$ 

表8 ルート及び止端部の溶け込み角 ルート及び止端部の溶け込み 角度の平均値とばらつきの度合いを示している。ルート部の溶け込み角度は外 開先よりレ開先のほうが約90度小さくなり,応力集中の高いことを示している。

Table 8 Penetration Angle at the Root and Toe of Weld



図10 割れ防止予熱温度決定ノモグラフ この図はPcM拡散性水素量, 拘束度からレ及び Y 開先の割れ防止予熱温度を求めるノモグラフである。表3 のPcM,表4の水素量及び表5の拘束度を基にすれば、割れ防止予熱温度PHY 及びРнкを求めることができる。

Fig. 10 Nomograph for Estimates of Crack-Preventive Preheating Temperature

開先形状	測定位置	平均值 x	標準偏差 <i>ô</i>
$\theta_{T2}$	θ <sub><b>R</b>2</sub>	150	7
$\theta_{R2}$	θ τ2	169	3
$\theta$ T3	θ <sub>R3</sub>	61	7
$\theta_{R3}$	θ τ3	141	10
			当代 ( <del>正</del> )

及び $P_{HK}$ を点線で表示してある。この結果, $P_{HY} \Rightarrow 50^{\circ}$ C,  $P_{HK}$ ≒107°Cである。

図10のノモグラフの使用方法は次に述べるとおりである。 (1) 高張力鋼母材の*Pcm*を求める。

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

HT-80材のPcmは、表4より0.264±0.025%, HT-60材の Рсмは0.231±0.015%である。

(2) 水素量を求める。

HT-80溶接部の水素量[H]は約1cc/100g, HT-60溶接部 の水素量[H]は約2cc/100gである。

(3) 構造物の拘束度を推定する。

表5より溶接継手部の拘束係数Koを求め、拘束度Kを次式 によって算出する。

(1) HT-60材の溶接割れ感度指数Pcm=0.231±0.015%, H  $T-80材のPcm = 0.264 \pm 0.025%$ である。

(2) HT-60材溶接部の水素量[H]は約2cc/100g, HT-80溶 接部の水素量[H]は約1cc/100gである。

(3) 表5のモデル試験片より、モデル試験片(a)の片端溶接完 了後,中央部を溶接する場合の最大拘束係数Koは40kg/mm<sup>2</sup>·mm であり、(b)の場合は $K_0 \max = 72 \text{kg}/\text{mm}^2 \cdot \text{mm}$ である。

(4) ルート部の割れについては、X、V、U開先よりK、J、 レ開先のほうが高く、この部の溶け込み角度はレ開先の場合 は61±7度である。

以上の結果を基にして、表3で統計的に求めた溶接割れ感 度指数Pcm 値の最大を用いてPcm, 水素量[H]及び拘束度K から成る溶接割れ防止予熱温度決定ノモグラフを提案した。 終わりに臨み、本研究を行なうに当たって御指導いただい た大阪大学佐藤教授,松井助教授に対し深謝する次第である。

#### 参考文献

(1) H. Sasaki, K. Watanabe, S. Kirihara, I. Sejima "Effects of Restraint Stress and Intensity of Restraint on Delayed Cracks in Welds of 80 kg/mm<sup>2</sup> High-Strength Thick Plate Steel"

I. I. W Doc. IX - 784 - 72, X - 654 - 72 (1972 - 7)

80kg/mm<sup>2</sup> 高張力鋼溶接部の遅れ割れについて、母材成分、 溶接金属中の拡散性水素量, 拘束度及び開先形状の点から検 討し, 溶接割れ防止予熱温度決定略算式を開発し, それにつ いて述べている。

5

伊藤、別所「高張力鋼の溶接割れの感受性の推定について」 (2)鉄と鋼 第58年(1972-11)

鋼材の溶接割れ感受性推定方法の一手段として、溶接割れ

ここに, t:母材板厚 (mm)

#### 5 結 言

72

高張力鋼溶接部の割れについて母材組成,水素量,拘束度, 及び応力集中などの点から検討を行なってきたが、その結果 を要約すると次のとおりである。

感受性指数を決め、それについて述べている。 (3) 佐藤, 松井, 伊藤, 別所, 桜井, 高原 IIW Doc. X-730-71 (4) 日本溶接協会編「溶接構造用高張力鋼板規格」WES-135 渡辺, 佐藤 造船協会論文集 第110号(昭36-11)  $(\mathbf{5})$ 渡辺, 佐藤 溶接学会誌 第33卷 (1964)  $(\mathbf{6})$ 渡辺, 桐原, 小沼 I.I.W Doc. IX-875-74, X-736-74  $(\mathbf{7})$ (1974 - 7)