(昭和60年5月 日本造船学会春季講演会において講演)

# TMCP 型 HT 50 鋼板溶接継手の 引張強さに関する評価

正員 井 輔\* 正員 弘\* 阪 大 仁 藤 音\*\* 浩\*\* 正員 井 H 好 正員 島 矢 彦\*\*\*\* 雄\*\*\* 正員 藤 邦 + 河 泰 佐 男\*\*\*\* 正員 曹 田 政

Tensile Strength of Welded Joints for TMCP Type  $50 \, kgf/mm^2$ -Class

High Tensile Steel Plates

by Hiroshi Nitoh, Member Hiroshi Yajima, Member Yasuo Sogo Masao Toyoda, Member Daisuke Sakai, Member Yoshiaki Inoue, Member Kunihiko Satoh, Member

### Summary

50 kgf/mm<sup>2</sup>-class high-tensile steel plate produced by newly developed TMCP (thermomechanical control process) is superior to conventional rolled steel plate in weldability (resistance to low-temperature cracking) as well as in toughness of HAZ of the high heatinput welded joint.

However, HAZ of high heat-input welded joint softens because of the low carbon equivalent.

The authors investigated the tensile strength of the welded joint with soft HAZ in ship hull and other heavy steel structures.

As a result, it was found that even with the maximum heat-input welding process prevalently in use in most of the domestic ship-yards, the tensile strength of the welded joint thereby produced in wide plate would be  $50 \text{ kgf/mm}^2$  or more and approximate that of the base metal when Ceq.  $\geq 0.23\%$ .

## 1 緒 言

新制御圧延法 (Thermo-Mechanical Control Process) により製造される 50 キロ級高張力 (HT 50) 鋼板 は,従来の HT 50 鋼板に比べて炭素当量 (Ceq.) が低 く,溶接性が優れていることや,大入熱溶接継手熱影響 部 (HAZ 部)の靱性が優れていることが特徴である<sup>1~5)</sup>。 これら TMCP 型 HT 50 鋼板の優れた特性と,船殻軽 量化の趨勢により,TMCP 型 HT 50 鋼板の使用量は拡 大されつつある。

しかしながら, TMCP 型 HT 50 鋼板は低炭素当量

- \*\* 三菱重工業(株)技術本部長崎研究所
- \*\*\* 新日本製鐵(株)中央研究本部八幡技術研究部
- \*\*\*\* 大阪大学工学部溶接工学科

であるがために,現場施工能率の高い大入熱溶接を施す と,HAZ 部に軟化域が生じ,継手強度の低下が懸念さ れる。

一方,造船現場においては,大入熱溶接の適用は不可 欠であり,TMCP型 HT 50 鋼板を広く実用するために は,大入熱溶接継手 HAZ 部の軟化が,諸強度(継手引 張強さ,疲労強度,座屈強度,など)に及ぼす影響を把 握しておく必要がある。

本報は, HAZ 軟化部を有する継手の引張強さについ ての評価を述べるとともに,造船現場で実用されている 最大入熱量の大入熱溶接法適用を前提として,船殻など 実構造物の強度上問題とならない軟化の程度を見極め, 母材 Ceq.の許容範囲を明らかにしたものである。

<sup>\*</sup> 三菱重工業(株)長崎造船所

#### 2 大入熱溶接継手 HAZ 部の軟化現象

代表的な TMCP 型 HT 50 鋼板 (Ceq. が 0.25% お よび 0.33%),および従来圧延型 HT 50 鋼板 (Ceq. が 0.40%)の,FCB (3電極片面1層サブマージアーク) 溶接 (入熱量 139 kJ/cm)継手部の硬さ分布を,Fig. 1 に示す。同図から明らかなように、従来圧延型鋼板の HAZ 部の硬さ分布は、母材と変わらないが、TMCP 型 HT 50 鋼板では、HAZ 部が軟化している。軟化の程度 を、HAZ 部の最低硬さ ([Hv] $\mathbb{H}^{AZ}_{nn}$ )で比較すると、Ceq. が低いほど、[Hv] $\mathbb{H}^{AZ}_{nn}$  は低くなっている。また、Ceq. が低いほど、HAZ 軟化域は広がるようである。

HAZ 部が軟化する原因としては、一般に次のように 考えられている。

すなわち,大入熱溶接継手 HAZ 部では,溶接熱による再加熱を受けて,変態点以上に加熱され,オーステナイト化した後徐冷される部分と,変態点以下で組織は変化しないが,数百度 C 以上に加熱されて焼戻し処理を受ける領域とがある。TMCP 型 HT 50 鋼板のこれらの領域では,TMCP による強度上昇の一部が消失するため,硬さ(強度)が低下するのである。

TMCP 型 HT 50 鋼板の各種大入熱溶接継手部, すな わち, FCB, FAB (2電極片面1層サブマージアーク溶 接), EG (エレクトロガス溶接) および CES (消耗ノズ ル式エレクトロスラグ溶接) などで溶接した継手部の, HAZ 引張強さ ( $\sigma_{U}^{HAZ}$ ) [6 mm<sup> $\phi$ </sup> (一部 10 mm<sup> $\phi$ </sup>) 丸棒引



fig. 1 Hardness distribution at high hea input welded joints

張試験片使用]に及ぼす入熱量の影響を, Fig.2 に示す。

Fig.2 より, 入熱量が 140 kJ/cm (FCB 溶接) から 610 kJ/cm (CES 溶接) まで増加しても,  $\sigma_{\rm H}^{\rm HAZ}$ の下限 値 (同図中の実線) は, ほとんど低下しないことがわか る。これは, 入熱量が 140 kJ/cm を超えるような大入 熱溶接では, 冷却速度が非常に遅く,  $\sigma_{\rm H}^{\rm HAZ}$ は, 母材の 化学成分で決まる強度まで低下し, それ以上入熱量が大 きくなっても, その影響は非常に小さいためであると考 えられる。

TMCP 型 HT 50 鋼板に, 100 kJ/cm 程度以上の大入 熱溶接を適用した継手部の,  $\sigma_{U}^{HAZ}$  に及ぼす Ceq. の影 響を, Fig.3 に示す。なお, Ceq. は, IACS の算定式 [(1) 式] によって求めたものである。

Ceq. (IACS) = C + 1/6(Mn) + 1/5(Cr)

+Mo+V)+1/15(Ni+Cu) (1)



Fig. 2 Effect of heat input on tensile strength of HAZ





306

日本造船学会論文集 第157号





Fig. 3 より明らかなごとく、Ceq. ならびに C 量が低下するにつれて、 $\sigma_{tt}^{HAZ}$  は低下している。図中の実線は、C量が 0.17%、0.15% および 0.08% の鋼板に対する  $\sigma_{tt}^{HAZ}$ の下限値を示したものである。Fig. 3 より、 $\sigma_{tt}^{HAZ}$ の下限値は (2)式により与えられる。

$$\left. \begin{array}{l} C = 0.17\% : \sigma_{u}^{\text{HAZ}} = 62.5 \text{ Ceq.} + 32.4 \\ C = 0.15\% : \sigma_{u}^{\text{HAZ}} = 61.3 \text{ Ceq.} + 30.5 \\ C = 0.08\% : \sigma_{u}^{\text{HAZ}} = 61.1 \text{ Ceq.} + 28.5 \end{array} \right\}$$
(2)

次に, 軟化幅 ( $H_0$ ) について調査した。Fig.4 は,  $H_0/t$  (軟化幅/板厚) に及ぼす Ceq. の影響を示したも のである。 $H_0$  は, 図中に示すように, ビッカース硬さ が, 母材の平均硬さ ( $[Hv]_{ave}^{B.M}$ ) を下回る領域の幅とし て定義した。

Fig. 4 より,軟化域が生じるのは Ceq. が 0.35~0.40 % 程度以下であり, Ceq. の低下とともに軟化幅は広く なることが明らかである。しかしながら,最も軟化が進行するとみなされる, Ceq. が 0.25% の鋼板に,造船 現場で実用されている最大入熱量の大入熱溶接を施した 場合でも,軟化幅は板厚の約 0.5~1.0 倍程度であるこ とがわかる。

# HAZ 軟化部を有する大入熱溶接 継手の引張強さ

#### 3.1 基本的な考え方

船殻等鋼構造物建造において,使用する鋼板の母材な らびに溶接継手の引張強さが,設計の基準となる強度を 満足していることは必須条件であり,溶接構造物の安全 の確保につながることである。したがって,HAZ 部に 軟化部を有する継手においても,その継手強度は,設計 上の要求値を十分満足するものでなければならないこと は当然である。

局所的に軟化部を有する継手の静荷重下における引張



Fig. 5 Schematic diagrams of welded joint with soft zone



Fig. 6 Effect of width of specimen on tensile strength of soft welded joints

挙動については、日本溶接協会 SJ 委員会<sup>6)</sup>で詳細な研究 が行われており、低強度溶接金属をもつ溶接継手(軟質 溶接継手)を対象に、次のような結果が得られている。

- Fig. 5 に示すような、軟化部を有する継手の引張 強さは、軟化部の塑性変形が、強度の高い母材によ って拘束される結果、軟化部自体の引張強さよりも 上昇する。
- ② Fig. 6 に示すように、軟化部を有する継手の引張 強さは、軟化部幅の板厚に対する相対幅[ $X_t$ (= $H_0$ / t)]と、板厚と板幅の比(t/W)の2つの因子の影 響をうける。 $X_t$ が減少するにつれて継手の引張強 さは上昇し、母材の引張強さに漸近する。また、 $X_t$ が一定で試験片の板幅が大きくなると、継手の引張 強さは、その $X_t$ によって定まる一定値まで上昇す る。一定値が得られる最小の板幅(W)は、 $X_t \leq$ 1.0 の範囲では、 $W = (5 \sim 7)t$ である。

以上により、HAZ 軟化部を有する TMCP 型 HT 50 鋼板大入熱溶接継手の引張強さは、HAZ 軟化部に隣接 する強度の高い母材と溶接金属の拘束によって、軟化部 の引張強さよりかなり高くなるものと期待できる。さら に、試験片の板幅が大きくなれば、継手引張強さは、 $X_t$ によって定まる一定値まで上昇することが期待できる。

このような観点から, HAZ 軟化部を有する TMCP 型 HT 50 鋼板において,広幅継手(試験片の広幅化)によ る強度上昇は,どの程度期待できるかを見極めることを 目的として,継手引張試験を実施した。

#### 3.2 評価対象溶接継手

降伏点 36 kgf/mm<sup>2</sup> 級 HT 50 鋼板としては, Ceq. が

TMCP型 HT 50 鋼板溶接継手の引張強さに関する評価

Table 1Chemical compositions and mechanical properties of TMCPtype HT 50 steel plates

	Thick.	Chemical Compositions (%)					Mechanical Properties					
Grade	(mm)	C	Si	Mn	P	S	A۵	Ceg.	бу <sup>в.м.</sup> (kşî/mm²)	σu <sup>B.M.</sup> (kgj/mm²)	EQ. (%)	VE (kgf.m)
КА36	25	0.14	0.14	0.67	0.020	0.008	0.032	0.25	36	52	20	L: 0°C=10.0 L:-20°C= 6.2

(1) Ceg. (IACS) = 
$$C + \frac{Mn}{6} + \frac{1}{5}(Cr + Mo + V) + \frac{1}{15}(Ni + Cu)$$

Table 2Welding conditions of TMCP typeHT 50 steel plates

Welding Method	Groove	Welding Current (A)	Arc Voltage (V)	Travel Speed (cm/min)	Heat Input (kJ/cm)
FCB		L :1400 T1:1250 T2:1100	L : 33 T1: 42 T2: 53	68	139
FAB		L:1100 T1:800	L:33 T1:38	29	138
CES	25	400	40	1.8 ~ 2.0	480 ~533



Fig. 7 Hardness distribution at high heat input welded joints

最も低いとみなされる 0.25% [Ceq. (IACS)] の TMCP 型 HT 50 鋼板 を 供試 し た。 化学成分と機械的性質を Table 1 に示す。この供試鋼板に, Table 2 に示す溶接 条件で,大入熱溶接を施した継手を,評価対象溶接継手 とした。

評価対象大入熱溶接継手の, HAZ 軟化の程度を把握 する目的で, ビッカース硬さ分布を測定した。測定結果 を Fig.7 に示す。HAZ 部の最低硬さは 130 Hv 程度で

Table 3 Tensile strength of HAZ and weld metal at high heat input welded joints

Welding	Method	0 y (kgf∕mm²)	σu <sup>w.M.</sup> σu <sup>HAZ</sup> (kgf/mm²)	El. (%)
ГСР	W.M.		56.6	24
FUB	HAZ	23.2	48.0	30
-	W.M.		53.4	29
FAB	HAZ	24.7	46.0	27
CEC	W.M.		51.6	14
UES	HAZ	27.4	46.8	29



Fig. 8 Dimensions of specimens

あり,母材の平均硬さより 20 Hv 程度以上低くなって いる。また,軟化幅は 20~25 mm,すなわち,板厚程 度であることがわかる。

さらに,評価対象大入熱溶接継手各部の機械的性質を 把握するために, HAZ 部および溶接金属から、溶接線 方向に, 直径 6 mm の丸棒引張試験片を採取し供試し た。引張試験結果を Table 3 に示す。HAZ 部の引張強 さは,母材の引張強さに比べ,4~6 kgf/mm<sup>2</sup> 程度低下 している。

#### 3.3 継手引張試験結果

上記評価対象大入熱溶接継手の継手引張強さを把握す るために, Fig.8 に示す3種類(W=30,200,400 mm) の継手引張試験片を作製し,供試した。幅400 mmの 試験片以外は,すべて余盛付(as weld)とした。幅400 mmの広幅試験片のみは,継手引張強さに及ぼす余盛の 影響を把握する目的で,余盛付と余盛削除(flush)の2 種類の試験片を供試した。さらに,Fig.9 に示す規格試 308



Fig. 9 Dimensions of NK U 2 A specimen

験片(NK U2A号試験片)も供試した。

得られた継手引張試験結果を, Fig. 10 に示す。Fig. 10 より, W/t が 1.2, すなわち試験片断面形状がほぼ正方形 とみなされる場合の継手引張強さは,

HAZ 軟化部の引張強さより  $1 \text{ kgf/mm}^2$  程度しか上昇 していない。しかしながら, W/t が 8 以上になると, 継手引張強さは, HAZ 軟化部の引張強さより, 4 kgf/mm<sup>2</sup> 程度上昇し, 50 kgf/mm<sup>2</sup> (降伏点 36 kgf/mm<sup>2</sup> 級 HT 50 鋼板に対する NK 規格最低強度) を満足する。 すなわち, Ceq. が 0.25% の TMCP 型 HT 50 鋼板 大入熱溶接継手では, HAZ 軟化の程度も大きく, 幅の



(a) FCB: 139 kJ/cm



(b) FAB: 138 kJ/cm



(c) CES: 480~533 kJ/cm
[w=400 mm, t=25 mm]
Photo 1 Fracture appearance of wide
welded joint tensile tests



Fig. 10 Effect of width of specimen on tensile strength of welded joints with soft HAZ

狭い試験片では規格値を満足しないが、板幅が大きくな れば、規格値を満足することが明らかとなった。また、 幅 400 mm の試験片では、余盛付き試験片と余盛削除、 試験片とで、継手引張強さにほとんど差はなく、ほぼ母 材の引張強さに近い値を示した。さらに、溶接金属の強 度差 (FCB: 56.6 kgf/mm<sup>2</sup>, FAB: 53.4 kgf/mm<sup>2</sup>, CES: 51.6 kgf/mm<sup>2</sup>) は、継手引張強さには、ほとん ど影響しなかった。

破断位置の代表例を、Photo 1 に示す。

Fig. 10 には、NK 規格試験片(NK U2A 号試験片)に よる試験結果も示してある。規格試験片により得られた 継手引張強さは、 溶接法によって顕著な差が認められ た。すなわち、CES 溶接の継手引張強さが、FCB、FAB 溶接に比べて高い値を示した。 これは、CES 溶接継手 では、板厚中央部が膨らむ太鼓状の溶接金属形状となっ ているため、軟化域がつかみ部(R部)に位置し、つか み部の拘束効果が顕著に生じたためと考えられる。

# 4 継手引張試験結果の考察と母材 Ceq.の許容範囲

軟化部を有する広幅 ( $W \gg t$ ) の突合せ溶接継手では, 軟化部と母材の引張強さの比 [ $S_r(=\sigma_x^0/\sigma_x^{0.M})$ ] と, 軟 化部の相対幅 [ $X_t(=H_0/t)$ ] が与えられれば, (3)式 により継手引張強さが推定できることが,著者らの一部 によって導出されている<sup>7,8)</sup>。

$$(\sigma_{u}^{J})_{W} = (1+1/3.86 X_{eq}.^{0.8}) \sigma_{u}^{S}$$
  
ただし、 $X_{t} > m$ の時  $X_{eq} = X_{t}$   
 $X_{t} \leq m$ の時  $X_{eq} = (X_{t}+m)/2$   
 $m = 2\{S_{r}/3.86(1-S_{r})\}^{1/0.8}$   
(3)

 (3) 式を, HAZ 軟化部を有する TMCP 型 HT 50 鋼板の継手引張強さに適用するため, Fig. 11 に示すような仮定を設けモデル化した。すなわち, TMCP 型 HT 50 鋼板溶接継手の引張強さに関する評価



Fig. 11 Model for estimation of tensile strength of welded joint with soft HAZ



- Fig. 12 Relation between experimental and calculated tensile strength of welded joints
- 溶接金属の引張強さは、母材の引張強さと等しい とする (σ<sup>W.M.</sup>=σ<sup>B.M.</sup>).
- ② 余盛形状の影響はないとする.
- ③ 母材と HAZ 軟化部は、それぞれ一様な機械的性質を有するとする。
- ④ 軟化幅(H<sub>0</sub>)は、ビッカース硬さ分布において母
   材の平均硬さを下回る領域とする.
- ⑤ 軟化部の引張強さ(σ<sub>k</sub><sup>S</sup>)は、HAZ 部の引張強さ [σ<sub>k</sub><sup>HAZ</sup>(6 mm<sup>\$\phi</sup> 丸棒引張試験片による値)]と等しい とする。

Fig. 12 に、上記仮定に基づいて、(3) 式により推定 した広幅継手の引張強 さと、実験値との相関関係を示 す。同図から、(3) 式によって推定した広幅継手の引 張強さは、実験値とよく適合していることがわかる。す なわち、軟質溶接継手(軟化部が溶接金属)の実験から 得られた簡略推定式[(3) 式]は、HAZ 部に軟化域を もつ継手に対しても適用できることが明らかとなった。

Fig. 13 は、広幅継手引張強さの実験値と、軟化部の引 張強さとの関係を、縦横軸とも母材の引張強さ (o<sup>B.M.</sup>) で除して無次元化して示したものであり、軟質溶接継手 の実験値<sup>6,9)</sup>も同時に示してある。同図中の破線は、(3) 式により求めた計算結果であり、実線は、近似的に(4) 式によって求めたものである。



Fig. 13 Effect of strength ratio on tensile strength of welded joints

- $S_{r} \ge (0.40 X_{t} + 0.18)/(0.43 X_{t} + 0.22) \text{ の時}$   $\sigma_{u}^{J} = \sigma_{u}^{B.M.}$   $S_{r} < (0.40 X_{t} + 0.18)/(0.43 X_{t} + 0.22) \text{ の時}$   $\sigma_{u}^{J} = (0.43 X_{t} + 0.22)\sigma_{u}^{S} + (0.82 0.40 X_{t})\sigma_{u}^{B.M.}$  (4)
- ただし、(4)式の適用範囲は  $0.2 \leq X_t \leq 1.0$ ,  $0.6 \leq S_t \leq 1.0$  である。

Fig. 13 より、広幅溶接継手を対象にすれば、 $X_t = 1.0$ の時、 $S_r = 0.9$ 程度で、継手引張強さは、母材の引張強さとほぼ同等になる。

次に,大入熱溶接法適用を前提として,実構造物の強度上問題とならない軟化の程度を明らかにする一つの指標として,母材 Ceq.の下限値の設定を試みた。

Fig. 14 に, HAZ 軟化部を有する継手の引張強さを推定する手法を示す。同図より,母材の炭素当量 (Ceq.), 母材の引張強さ ( $\sigma_u^{\text{B} M}$ ),板厚(t),軟化幅 ( $H_0$ )が与 えられれば,軟化度 ( $S_T = \sigma_u^{\text{HAZ}} / \sigma_u^{\text{B} M}$ )と相対幅 ( $X_t = H_0/t$ )が求まり,広幅継手の引張強さが推定できること がわかる。

Fig. 15 は、上記手法に基づいて、広幅継手の引張強 さが 50 kgf/mm<sup>2</sup> (降伏点 36 kgf/mm<sup>2</sup> 級 HT 50 鋼板 に対する NK 規格最低強度)、あるいは 48 kgf/mm<sup>2</sup> (降伏点 32 kgf/mm<sup>2</sup> 級 HT 50 鋼板に対する NK 規 格最低強度)を満足するために必要な母材の引張強さと HAZ 軟化部の引張強さとの関係を、(4) 式の  $\sigma_a^{\Omega}$  に  $\sigma_u^{\text{HAZ}}$  を代入して求めたものである。軟化幅は、Fig.4 より、最も軟化が進行する場合とみなされる、 $X_t$ (軟化 310

幅/板厚)=1.0 を用いた。また、縦軸には、 $\sigma_{u}^{\text{HAZ}}$ に対応する Ceq. の値を(2)式により求め、併記した。

Fig. 15 より、広幅継手の引張強さが、母材の引張強さ と同等とみなされる Ceq. の許容範囲は、C量によって 異なるが、たとえば、C=0.15%の時、Ceq. が 0.23% 程度まで、広幅継手の引張強さは 50 kgf/mm<sup>2</sup> を満足



Fig. 14 Flow chart of basic procedure to estimate the tensile strength of welded joint with soft HAZ することが明らかである。

## 5まとめ

HAZ 軟化部を有する TMCP 型 HT 50 鋼板大入熱 溶接継手の引張強さを把握するため,各種大入熱溶接継 手の引張試験を実施した。その試験結果を踏まえて,造 船現場で実用されている最大入熱量の大入熱溶接法適用 を前提として,実構造物の強度上,問題とならない軟化 の程度について検討した結果,次のことが明らかとなっ た。

(1) HAZ 軟化の現象は、Ceq. が 0.35~0.40% 程度以下になると生じる。軟化の程度としては、HAZ 軟化部の引張強さ(6 mm<sup>9</sup>の丸棒引張試験片による)が45 kgf/mm<sup>2</sup> 程度まで低下することがある。また、軟化幅は、板厚の約 0.5~1.0 倍程度である。

(2) 広幅継手の引張強さは、 $X_t$ (軟化幅/板厚)=1.0 の時、 $S_r(\sigma_t^{\text{HAZ}}/\sigma_t^{\text{B.M.}}) \ge 0.9$ であれば、母材の引張強さ と同等になる。

(3) 広幅継手の引張強さが、規格下限値 [50 kgf/mm<sup>2</sup> (降伏点 36 kgf/mm<sup>2</sup> 級), 48 kgf/mm<sup>2</sup> (降伏点 32 kgf/mm<sup>2</sup> 級)] を満足するための母材の Ceq. の下 限値は、Fig. 15 から求められる。

たとえば、母材の引張強さが 50 kgf/mm<sup>2</sup> で、母材の 炭素量が 0.15% の場合、Ceq. が 0.23% 以上であれ ば、広幅継手の引張強さは、50 kgf/mm<sup>2</sup> を満足する。

終りに、本報で紹介したデータの一部に、日本造船研 究協会第 193 研究部会および各鉄鋼メーカのデータを用 いたことを付記して、関係者各位に感謝の意を表しま す。また、本研究の一部は、昭和 59 年度文部省科学研



Fig. 15 Relation between tensile strength of base metal and HAZ for satisfying 50 kgf/mm<sup>2</sup> and 48 kgf/mm<sup>2</sup> tensile strength of welded joints

究費(試験研究 I,代表:佐藤邦彦)の援助の基に行われた。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 永元,牛島,川村,矢島,多田:新制御圧延型50 キロ級高張力鋼板の破壊靱性とその評価,日本造 船学会論文集,第152号(昭58.1).
- 2) 山形,出口,矢島,多田,今井:新制御圧延型低 温用アルミキルド鋼板の LPG タンクへの適用に 関する評価,日本造船学会論文集,第152号(昭 58.1).
- 5) 矢島,多田,井上,阪井,安田,岩城,町田:最近の船体用高張力鋼溶接継手部の強度特性について,西部造船会々報,第66号(昭 58.8).
- 4) 矢島, 多田, 出口, 仁藤, 今井:新制御圧延

(TMCP)型低温用鋼板の破壊靱性とその評価, 西部造船会々報,第67号(昭 59.3).

- 5) 日本造船学会:新しい製造法による鋼材(TMCP 鋼)の溶接構造物への適用に関するシンポジウム テキスト(昭 58.11.16).
- 6) 日本溶接協会鉄鋼部会技術委員会 SJ 委員会:軟 質溶接継手の力学的挙動と強度に関する研究(総 合報告書)(昭 50.11).
- 佐藤,豊田:機械的性質の不連続部をふくむ材の 静的引張強度に関する基礎的研究,溶接学会誌, 第40巻,第9号(1971),pp.885~900.
- 8) 佐藤,向井,豊田:溶接工学,理工学社 (1979).
- 9) 藤田,河部,他:電子ビーム溶接を施した 250 kgf/mm<sup>2</sup> 級薄板マルエージ鋼の継手強度,鉄と鋼,第69年,第8号 (1983), pp.990~997.