

極厚TMCP鋼の母材特性および溶接性の研究 (その2)

A Study on Characteristics of Extremely Thick TMCP Steel as a Base Metal and Its Weldability—Part 2

田中 一 男* 中野 秀 二**
Kazuo TANAKA Shuuji NAKANO

Summary

In recent years, TMCP (Thermo-Mechanical Control Process) steel, which combines high degrees of strength and cold toughness with good weldability, has been used more commonly and with larger thicknesses in steel building structures. This paper focuses on the softening of TMCP steel in the weld zone at high temperatures, to supplement the previous report that dealt with the characteristics of this steel as a base metal and its suitability for welding.

1. はじめに

近年、建築物の高層化や大空間を有する建築物の増加にともない、使用される鋼板の厚さがますます厚くなる傾向にある。これらの建築鋼材として、良好な溶接性を保持しながら高強度で低温じん性の優れた鋼材であるTMCP鋼 (Thermo-Mechanical Control Process) が用いられている。

そこで、極厚TMCP鋼の母材特性と溶接性を確認するために、母材試験およびエレクトロスラグ溶接、二電極サブマージドアーク溶接の大入熱溶接と、炭酸ガス半自動溶接、サブマージドアーク溶接 (一電極) による研究を行った。

前報では、種々の母材特性と、溶接特性について報告した。

本報では、大入熱溶接部の軟化の性質を明らかにするため、引張強さと硬さに着目した試験を行ったのでここに報告する。

2. 試験材料および溶接方法

本試験で使用した鋼材は、材質SM50Bで、板厚は40、50、80、90mmの4種類とし、その化学成分を表-1に示す。

溶接方法は、表-2に示す様に、炭酸ガス半自動溶接、エレクトロスラグ溶接、サブマージドアーク溶接、タン

表-1 供試鋼のミルシート値と化学分析結果

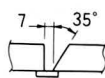
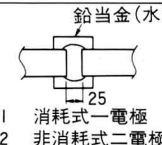
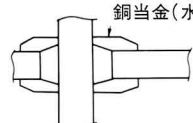
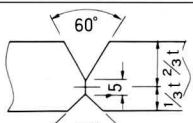
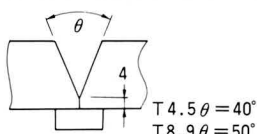
板厚 (mm)		C	Si	Mn	P	S	衝撃値 (kgf-m)	降伏点 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)	降伏比 Y·R(%)	Ceq (%)
40 (SM50B)	ミルシート	0.13	0.19	1.10	0.009	0.002	27	39	56	26	70	0.33
	t/4分析	0.13	0.19	1.10	0.008	0.001	—	—	—	—	—	0.33
50 (SM50B)	ミルシート	0.12	0.23	1.30	0.007	0.002	35	38	52	28	73	0.35
	t/4分析	0.11	0.24	1.32	0.007	0.002	—	—	—	—	—	0.35
80 (SM50B)	ミルシート	0.11	0.27	1.39	0.006	0.002	30	41	55	34	75	0.36
	t/4分析	0.11	0.27	1.38	0.006	0.001	—	—	—	—	—	0.35
90 (SM50B)	ミルシート	0.15	0.28	1.32	0.01	0.002	27	40	56	34	71	0.38
	t/4分析	0.14	0.28	1.32	0.009	0.002	—	—	—	—	—	0.38

製鉄メーカー 新日鐵 50mm 90mm 住友金属 40mm 80mm

* 松本工場製造部長

** 松本工場製造部生産技術課係長

表-2 溶接条件

溶接方法	溶接材料	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	姿勢	板厚 (mm)	1パス最大入熱KJ/cm	開先形状
炭酸ガス半自動溶接	YM-26 1.2φ CO ₂ 100%	280	32	15	F	40	46	
		340	38	25		50	46	
						80	46	
						90	46	
エレクトロスラブ溶接 (平型)	40mm、50mm YM-55A 1.6φ YF-15 *1 80mm、90mm US-49 2.4φ YF-15 *2 DIAノズル	370	48	1.5	V	40	515	
		390	52	2.5		50	593	
		320	36	1.0		80	2016	
		340	40	1.5		90	2688	
(十字型)	同上	同上	同上	同上	V	40	515	
						50	593	
						80	2016	
						90	2688	
サブマージドアーク溶接	Y-DL 4.8φ YF-15	650	32	30	F	40	61	
		800	40	50		50	61	
						80	64	
						90	62	
タンデムサブマージドアーク溶接	Y-A 6.4φ NSH-52	1000	36	25	F	40	209	
		1800	44	50		50	291	
						80	247	
						90	247	

タンデムサブマージドアーク溶接であり、溶接材料は60キロ級のものを使用した。

なお、本試験の全体概要については、第I報⁷⁾を参照して頂きたい。

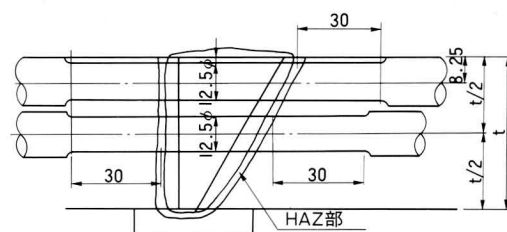
3. 試験方法

継手丸棒引張試験片の採取要領は図-1に示す様に、JIS Z 3111 (溶着金属の引張試験方法) のA 1号試験片に準拠し、径 (D) を12.5mm、平行部の長さ (P) は、両側の熱影響部の中心より30mm母材側までとし、熱影響部の軟化域が十分平行部に入る様に考慮した。

継手全断面引張試験は、JIS Z 3121 (突合せ溶接継手の引張試験方法) の1号試験片とした。形状は、平行部巾を25mm、平行部長さを溶接金属部の表面の最大巾より両方向へプラス6mmとした。

又、広巾引張試験は、JIS Z 3127 (突合せ溶接継手の広巾引張試験方法) に従い、試験体の形状を図-2に示す。

広巾引張試験では、全体ひずみ測定のための弓形ゲージ (GL=240mm) および各部位での応力-ひずみを測定するため、試験体の表、裏面にひずみゲージを貼付けた。図-3に、50mmエレクトロスラブ溶接広巾引張試験体の例を示す。



(注) 平行部はHAZより母材側へ30mmとする。

図-1 継手丸棒引張試験片

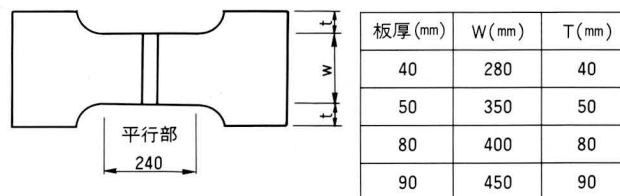


図-2 広巾引張試験体

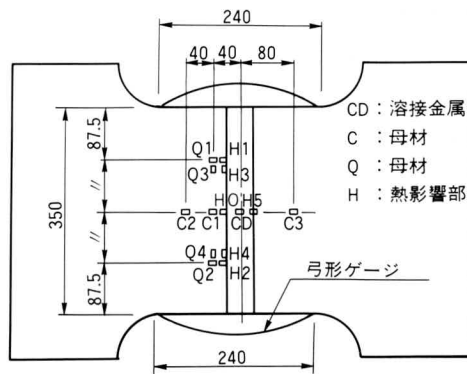


図-3 板厚50mmエレクトロスラグ溶接広巾引張試験体
ひずみゲージ貼付要領

4. 試験結果および考察

本試験で確認された、大入熱溶接部における熱影響部の軟化の性質について以下に述べる。

(1) 各種溶接における硬さ分布

図-4 に(a)板厚50mm炭酸ガス半自動溶接、(b)板厚50mmサブマージドアーク溶接、(c)板厚50mmタンデムサブマージドアーク溶接、(d)板厚50mmエレクトロスラグ溶接(平型)の硬さ分布図、写真-1にマクロ試験を示す。

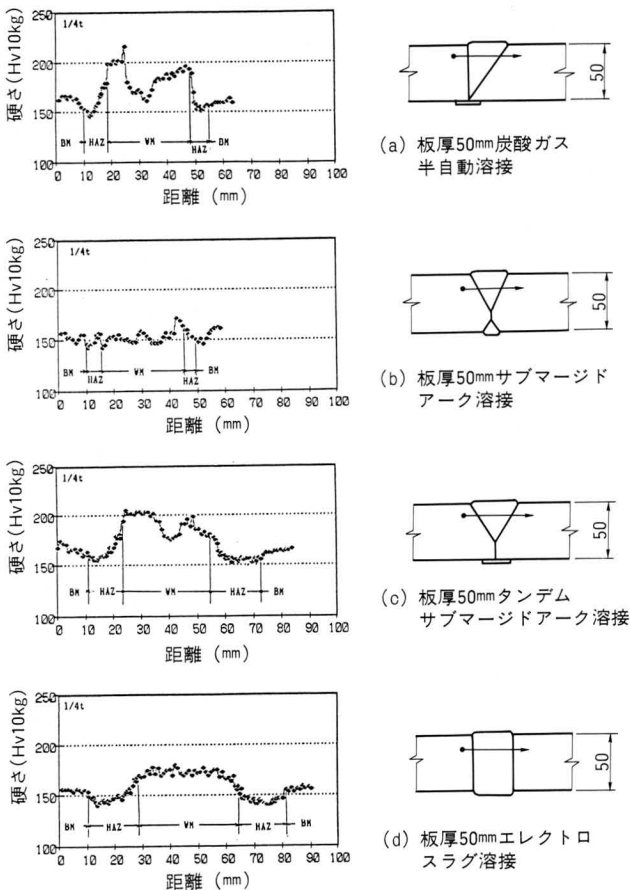
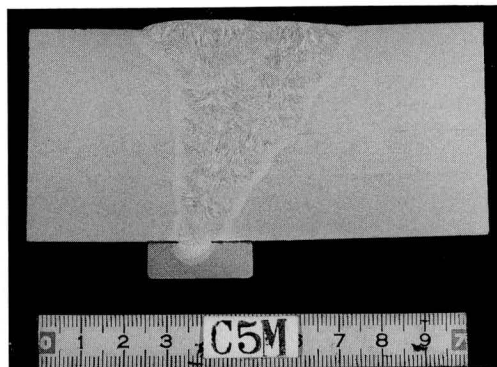
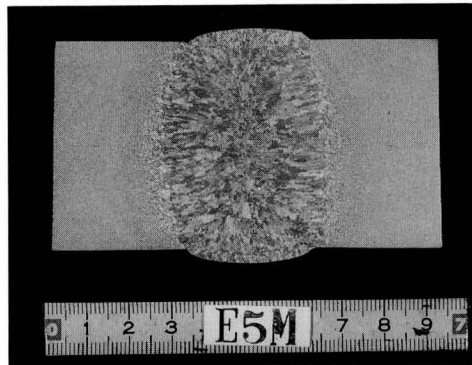


図-4 硬さ分布図



(a)板厚50mm炭酸ガス半自動溶接



(b)板厚50mmエレクトロスラグ溶接(平型)

写真-1 マクロ試験

ジドアーク溶接、(d)板厚50mmエレクトロスラグ溶接(平型)の硬さ分布図、写真-1にマクロ試験を示す。

(2) 各種引張試験結果

表-3 に継手丸棒引張試験の結果、表-4 に継手全断面引張試験の結果、表-5 に広巾引張試験の結果、写真-2、3、4 に各引張試験の破断状況を示す。

これらの結果から、溶接方法と各種形状の引張試験片の引張強度、熱影響部最小硬さの関係を明確にするため、図-5 に各板厚別～溶接方法毎の硬さと引張強度の関係を示す。

- ① 継手全断面引張強度と、広巾引張強度とは近い値を示す。
- ② 大入熱溶接方法であるエレクトロスラグ溶接において、継手全断面引張強度と広巾引張強度は母材の引張強度の規格値を満足し、他の溶接方法と比較しても同レベルの値を示している。
- ③ 継手丸棒引張強度は、継手全断面引張強度並びに広巾引張強度と比較して低い値を示す傾向にある。
- ④ 継手丸棒引張強度は、熱影響部最小硬さとよく対応した挙動を示している。

表-3 継手丸棒引張試験結果及びHAZ, Hvmin, 入熱量

種類	板厚 (mm)	継手丸棒引張り					HAZ Hvmin	1パス 入熱 (KJ/cm)
		部位	降伏点 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)	破断 位置		
CO ₂ 半自動溶接	40	表面	41	50	18	HAZ	150	46
		1/2 t	33	49	23	HAZ	130	
	50	表面	39	52	19	BM	160	46
		1/2 t	41	55	20	BM	165	
	80	表面	40	54	13	HAZ	150	46
		1/2 t	41	51	19	HAZ	145	
90	表面	48	58	14	Depo	180	46	
	1/2 t	40	55	16	BM	175		
エレスラ(平型)溶接	40	表面	33	48	18	HAZ	140	515
		1/2 t	35	47	17	HAZ	130	
	50	表面	32	50	18	HAZ	140	593
		1/2 t	33	51	17	HAZ	145	
	80	表面	36	49	14	HAZ	130	2016
		1/2 t	40	48	17	HAZ	135	
90	表面	31	50	17	HAZ	140	2688	
	1/2 t	32	51	15	HAZ	140		
サブマージドアーク溶接	40	表面	35	49	20	HAZ	140	61
		1/2 t	36	50	18	HAZ	140	
	50	表面	38	50	15	Depo	140	61
		1/2 t	38	54	20	BM	165	
	80	表面	41	50	20	Depo	150	64
		1/2 t	42	55	22	BM	150	
90	表面	35	50	14	Depo	155	62	
	1/2 t	40	56	20	BM	175		
タンデムサブマージドアーク溶接	40	表面	35	49	21	HAZ	130	209
		1/2 t	34	47	23	HAZ	120	
	50	表面	41	53	14	HAZ	160	291
		1/2 t	36	51	23	HAZ	150	
	80	表面	49	58	15	Depo	165	247
		1/2 t	40	56	22	HAZ	155	
90	表面	41	55	16	HAZ	160	247	
	1/2 t	38	53	17	HAZ	150		

(3) 継手丸棒引張強度と硬さ

表-3の継手丸棒引張強度と、熱影響部最小硬さの関係を図-6に示す。これらの図表より下記のことが言える。

- ① 熱影響部最小硬さが160~180においては、切断位置が母材または溶接金属であり、引張強度も高目である。
- ② 熱影響部最小硬さが120~150においては、切断位置が熱影響部であり、引張強度も低目となる。

表-4 溶接継手全断面引張試験結果

種類	板厚 (mm)	降伏点 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)	破断位置
CO ₂ 半自動溶接	40	—	52	51	BM-HAZ
		39	52	48	BM-HAZ
	50	42	55	40	BM-HAZ
		42	55	41	BM-HAZ
80	42	56	31	HAZ-Depo	
	42	56	22	HAZ-Depo	
90	45	60	50	BM-HAZ	
	44	59	48	BM-HAZ	
エレスラ(平型)溶接	40	39	54	40	HAZ
		38	54	40	HAZ
	50	38	54	34	HAZ
		38	54	36	HAZ
80	42	58	44	Depo	
	40	59	37	Depo	
90	42	58	57	Depo	
	45	58	55	Depo	
エレスラ(十字型)溶接	40	—	54	—	BM
		—	54	—	BM
	50	41	56	—	HAZ
		40	56	—	HAZ
80	—	61.7	—	HAZ-Depo	
	—	63.1	—	HAZ-Depo	
90	45.3	60.1	—	HAZ	
	48.8	60.7	—	HAZ	
サブマージドアーク溶接	40	38	54	43	Depo
		38	54	43	Depo
	50	41	54	45	Depo
		41	54	34	Depo
80	43	56	21	Depo	
	43	56	22	Depo	
90	40	53	32	Depo	
	40	53	30	Depo	
タンデムサブマージドアーク溶接	40	36	51	44	HAZ-Depo
		36	51	44	HAZ-Depo
	50	41	52	36	HAZ-Depo
		39	52	39	HAZ-Depo
80	49	62	48	HAZ	
	49	62	50	HAZ-Depo	
90	44	55	36	Depo	
	43	55	36	Depo	

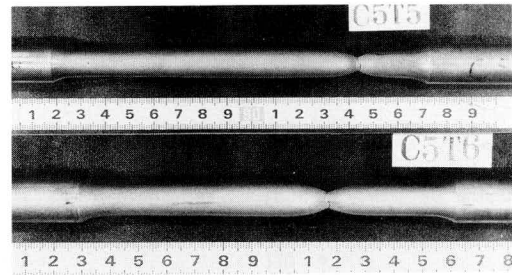
③ 熱影響部最小硬さが140を下回ると、母材の引張強度の規格値をやや下回るものが発生している。

④ 図-5からも分かる様に、継手丸棒引張強度の中には、継手全断面引張強度および広巾引張強度を上回るものも生じている。

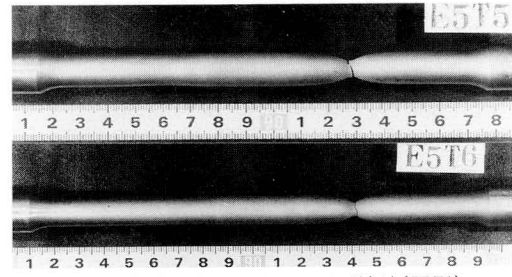
これらの事から、継手丸棒引張強度は、試験片の形状が、小断面積でかつ長ゲージであるため、採取位置の硬さ分布の状態、断面積に占める熱影響部の軟化域の割合の影響を強く受けていると考えられる。

表-5 広巾引張試験結果

種類	板厚 (mm)	降伏点 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	0.2% 耐力伸び (%)	破断伸び GL=240	破断
CO ₂ 半自動溶接	40	37.8	51.1	10.5	27.9	HAZ-母材
	50	38.8	53.4	—	33.0	母材
	80	38.8	56.5	10.8	25.2	Depo-HAZ
	90	40.8	58.4	13.2	25.2	母材
エレスラ (平型) 溶接	40	38.3	51.4	10.2	25.1	Depo-HAZ
	50	37.2	52.4	—	31.0	母材
	80	38.3	59.8	—	20.7	Depo-HAZ
サブマージドアーク溶接	40	38.5	53.2	11.0	29.6	HAZ-母材
	50	40.2	53.8	—	34.0	母材
	80	39.7	54.0	11.7	23.7	Depo-HAZ
	90	40.6	55.2	8.4	9.9	Depo

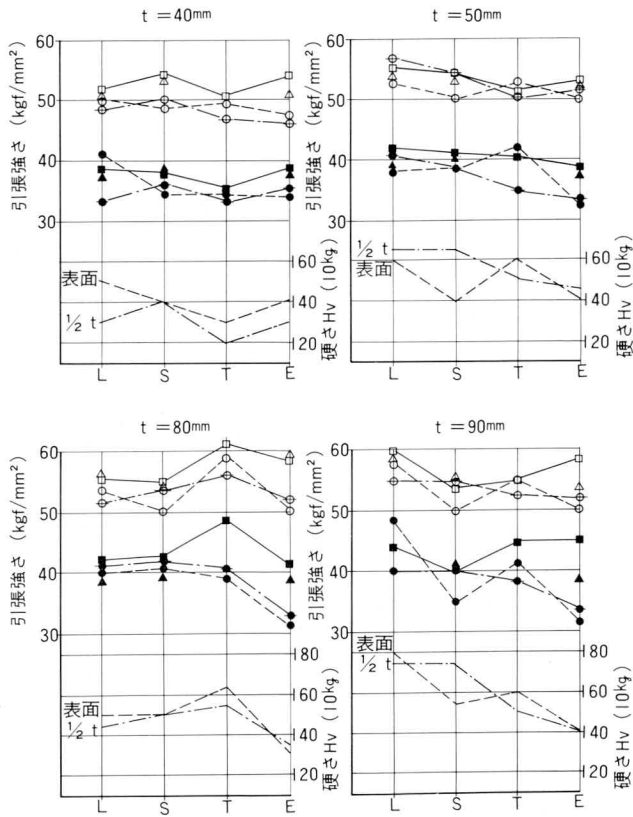


(a) 板厚50mm炭酸ガス半自動溶接



(b) 板厚50mmエレクトロスラグ溶接(平型)

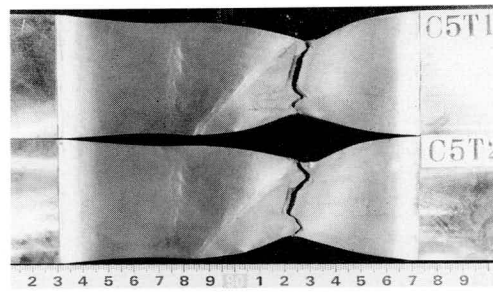
写真-2 継手丸棒引張試験破断状況



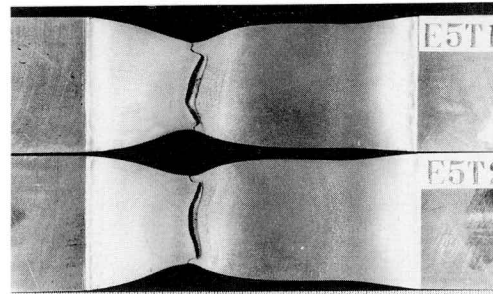
C : CO₂半自動溶接
 S : サブマージドアーク溶接
 T : タンデムサブマージドアーク溶接
 E : エレクトロスラグ溶接(平型)

○ : 丸棒引張(表面)白 — Ts
 ⊕ : 丸棒引張(1/2 t)黒 — Yp
 □ : 継手引張(JIS Z 3121)
 △ : 広幅引張(JIS Z 3127)

図-5 板厚・溶接方法別のHAZ最低硬さと引張強度



(a) 板厚50mm炭酸ガス半自動溶接



(b) 板厚50mmエレクトロスラグ溶接(平型)

写真-3 継手全断面引張試験破断状況

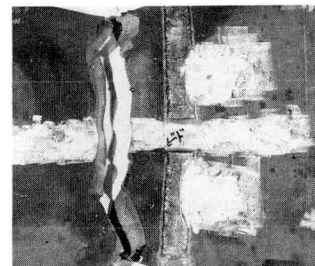


写真-4 板厚50mmエレクトロスラグ溶接(平型) 広巾引張試験破断状況

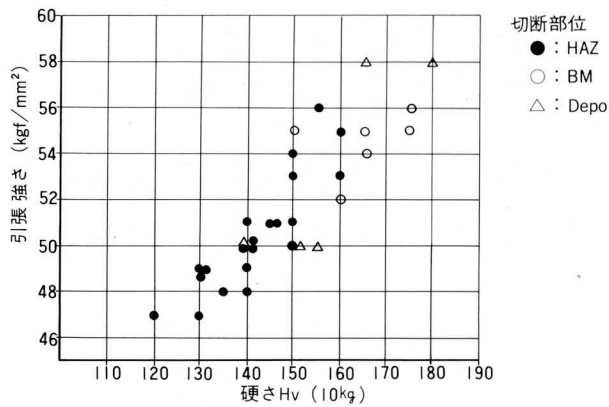


図-6 継手丸棒引張のHAZ最低硬さ—引張強さ

(4) 荷重—ひずみ曲線

- ① 図-7 に、50mmエレクトロスラグ溶接の弓形ゲージ (GL=240mm) の荷重—伸び曲線を示す。最大荷重点以後も十分な伸びがあり良好な結果である。
- ② 図-8 に、50mmエレクトロスラグ溶接の中中心表面の、溶着金属、熱影響部、母材部の荷重—ひずみ曲線を示す。

図-9 に、50mmエレクトロスラグ溶接の熱影響部の巾方向の荷重—ひずみ曲線を示す。

図-10 に、50mmエレクトロスラグ溶接の母材部の巾方向の荷重—ひずみ曲線を示す。

これらの荷重—ひずみ曲線はいずれも良好な結果である。

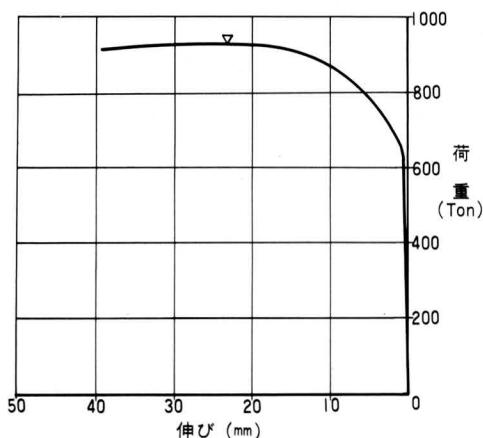


図-7 荷重—伸び曲線 (下部弓型ゲージ)

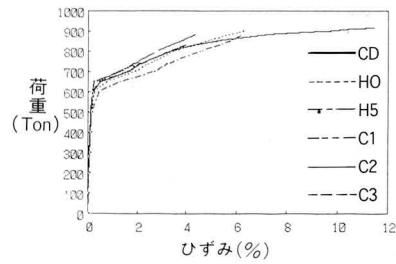


図-8 荷重—ひずみ線図

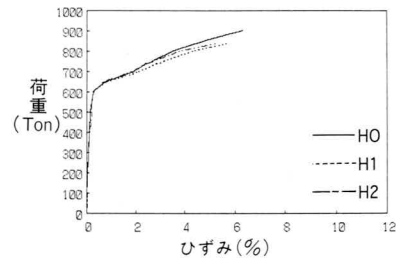
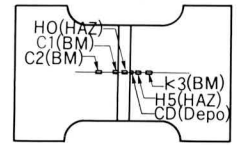


図-9 荷重—ひずみ線図

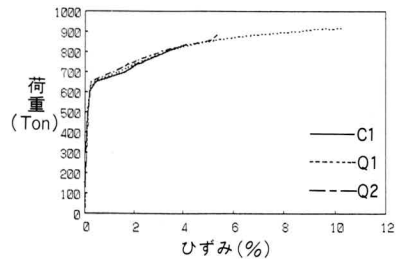
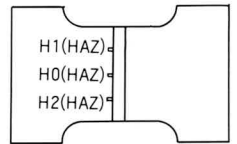
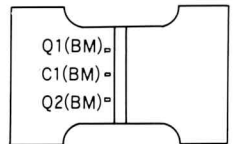


図-10 荷重—ひずみ線図



カース硬さ (10kg) で140程度と引張強度が50kgf/mm²を下回る部位が生ずる場合がある。しかし、継手全断面引張強度、広巾引張強度は、母材の引張強度の規格値を満足している。

今回の試験と第I報の結果を総合的に考えると、50キロ級TMC P鋼を建築鉄骨用鋼材として使用するにあたり特に問題のない事が確認できた。

建築鉄骨に使用される鋼材は、現在既に使用されているS M50クラスの鋼材に加えて、本報告で示したような極厚TMC P鋼の使用、さらに高強度の鋼材、あるいは、強度特性の異なる鋼材 (例えば、低降伏比の鋼材、耐火鋼) 等の使用が多くなると予想される。

その様な状況の中で本報告が何らかの役に立てば幸いである。

最後に、第I報、第II報を通じ本試験に多大な御協力をいただいた新日本製鐵株式会社、住友金属工業株式会社の関係各位に誌上を借りて心より御礼申し上げます。

5. おわりに

今回は、TMC P鋼を大入熱溶接方法で溶接した場合に生ずる熱影響部の軟化について試験を実施した。これらの試験より、大入熱溶接部の熱影響部には局部的にピツ

＜参考文献＞

- 1) 社団法人 日本造船研究協会、第193研究部会；新製造法による50キロ級高張力鋼の有効利用に関する研究総合報告書、昭和60年5月
- 2) 住友金属工業(株)；超高層ビル用極厚TMCP鋼の開発、1988.1
；TMCP型50キロ鋼板の大入熱溶接継手特性、CAMP-I S I J Vol.Z 1989.9
- 3) 新日本製鐵(株)；君津CLCプロセスの概要とCLC鋼板の特性、1988.4
- 4) 日本建築センター；ビルディングレター、建築構造用TMCP鋼材の性能について
- 5) 中込忠男；パス間温度と溶接強度、鉄構技術(S T R U T E C)、1889.11
- 6) 日本規格協会；J I Sハンドブック 鉄鋼1989、溶接1989
- 7) 田中、中野、大月；極厚TMCP鋼の母材特性および溶接性の研究、宮地技報No.5、1989

グラビア写真説明

恵庭大橋

恵庭大橋の架かる一般国道36号は、明治6年開拓使によって、開さくされた日本で初めての洋式馬道（函館～札幌間）の一部を成すものです。その国道も現在は、道央産業ベルト地帯の大動脈として、重要な役割をはたしておりますが、交通量の増加、道路環境の変化に伴い、恵庭バイパスの計画がなされ、地元恵庭市の総合計画である“水と緑のやすらぎプラン”とが一体となって計画施工された道路です。

橋梁の四方には、春夏秋冬をイメージした橋詰公園が設けられ、バルコニーには4体のモニュメントが配置され、公園の中に川が流れ、橋が架っているという豊かな環境の内に有り、潤いとやすらぎを与えてくれる橋梁ではないかと思っております。（川村）

第2宇戸橋

本橋は、150年前、頼山陽が「耶馬溪山天下無」と絶賛した大分県の下毛、日田玖珠、宇佐の四郡にまたがっている山と水によって作りだされた美しい耶馬溪の玖珠郡と宇佐郡を通り、玖珠町と宇佐市を結ぶ国道387号に架かる橋である。

架橋位置は地理的にいりくんだ溪谷を道路が迂回するように曲りくねっており、交通の安全、時間短縮を目的とし道路を一直線にするためにトラッククレーン+ペント工法により架設した。（宮沢）