

エレクトロガスアーク溶接を用いた SM58Q鋼の熱影響部の品質

Quality of the Heat-Affected Zone of SM58Q Steel When Using Electrogas Arc Welding

成宮隆雄* 伊東孝**
Takao NARUMIYA Takashi ITOH

Summary

With electrogas arc Welding quality assurance is required for its application to 60 kgf/mm² class hightensile strength steel as the input heat quantity is limited. In a previous report, the results of its qualification tests were favorable and there was no problems in terms of its quality assurance.

In the tests presented here, in order to confirm the above results from the viewpoint of welding metallurgy, electrogas arc welding was compared with conventional submerged arc welding and the effects of the quantity of input heat on the base metal are discussed.

The results proved that electrogas arc welding is superior to submerged arc welding in terms of its weldability.

1. まえがき

鋼橋の鉸桁フランジ及び箱桁の縦リブ等の細幅板継ぎ溶接に対し、立向きエレクトロガスアーク溶接が最適であるとの判断から実用化に取り組み、立向きエレクトロガスアーク溶接システム（VEGAS）の装置化・ライン化について、宮地技報No.4、1988で報告した。

立向きエレクトロガスアーク溶接法（EGW法）は高能率法であるが、溶接入熱量が多く、特に溶接入熱量に制限のある調質60キロ級鋼への適用について、継手性能（主に靱性）の品質保証の確認が必要であり、各種確認試験を行なった。確認試験の結果は良好であり、品質上特に危惧される問題点は認められなかった。

本実験は、この結果を冶金面から解明するために、EGW法と従来法の潜弧自動溶接法（SAW法）との比較において、入熱量が母材に与える実質的な熱影響について検討したものである。

2. 実験方法

母材に及ぼす熱影響の調査のため、供試鋼板にSM58Qを用いて、2電極潜弧自動溶接法（TSAW法）とエレクトロガスアーク溶接法（EGW法）により計算上の同一入熱条件で溶接を行ない、

① ボンド部の800～500℃の冷却速度

* 千葉工場製造部長

** 千葉工場製造部生産技術課長

② 熱影響部（ボンド部を含む）のオーステナイト粒度

③ ミクロ組織

④ 継手部の硬さ

⑤ 衝撃試験

等により両法の比較を行なった。

実験は入熱量を2水準とするため、供試鋼板は板厚18mm及び25mmの2種類で行なった。なお、化学成分を同一にするため板厚18mmは25mmを減厚して供試鋼板とした。目標入熱量は板厚18mmで70KJ/cm、板厚25mmは90KJ/cmとした。なお入熱量Qは $Q = (60 I \cdot V) / v$ J/cmによった。（I：電流（A）、V：電圧（V）、v：速度cm/min）

(1) 供試鋼板

供試鋼板の化学成分を表-1に示した。

表-1 供試鋼板の化学成分（鋼種 SM-58Q）

化 学 成 分 (%)							YP	TS	EL
C	Si	Mn	P	S	V	Ceq	Kgf/mm ²	Kgf/mm ²	%
0.13	0.26	1.37	0.014	0.005	0.04	0.38	54	64	42

(2) 溶接条件

試験体の開先寸法・溶接条件及び溶接材料を表-2に示した。

表-2 開先寸法・溶接条件及び溶接材料

溶接法	記号	板厚	開先寸法	溶接条件		入熱 kJ/cm
				電流/電圧	速度	
T-SAW法	S-1	18		B.P L 700A/35V T 600A/38V	70cm/min (極間30mm)	40.5
				F.P L 900A/35V T 700A/38V	50 (極間30mm)	69.7
ワイヤ Y-DM(4.8φ) フラックス YF-15B	S-2	25		B.P L 800A/35V T 700A/38V	55 (極間15mm)	59.6
				F.P L 900A/35V T 700A/38V	40 (極間30mm)	87.2
EGW法 フラックス入りワイヤEG-60(1.6φ) シールドガスCO ₂ (30ℓ/min)	V-1	18		380/39	12.7	70.0
	V-2	25		390/40	10.5	89.1

(3) 熱影響部 (HAZ部) の冷却速度の測定

T・SAW法とEGW法による熱影響部の温度および冷却時の測定を、図-1に示す長手方向中央部のA、B、Cの3点について行なった。測定点Aは開先面に最も接近した位置で、BはAより1mm、CはBよりさらに1mm離れた点とした。なお、突合せ断面の測定位置は鋼板表面から4mm下とし、母材への溶け込み量を推定して図-2、3に示す寸法の位置とした。

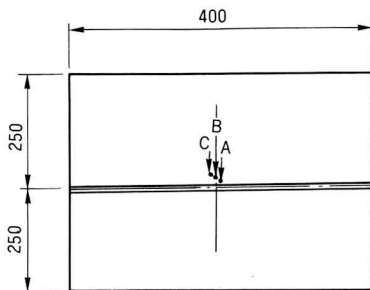


図-1 温度測定位置

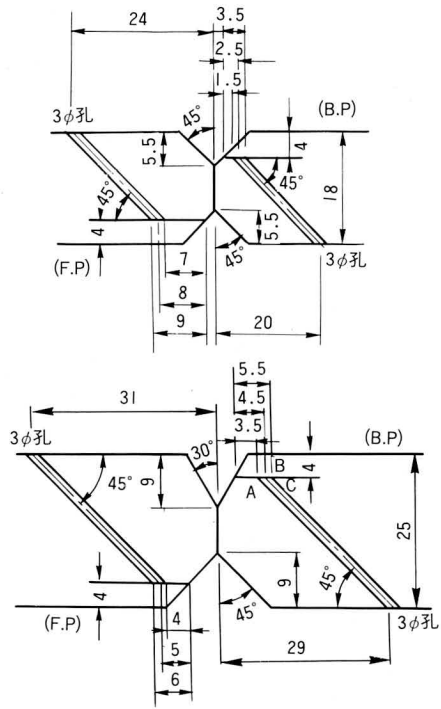


図-2 T-SAW法の温度測定位置

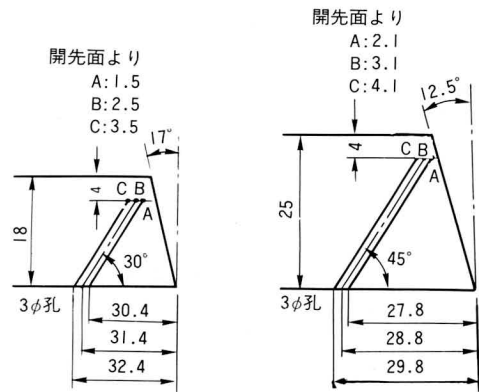


図-3 EGW法の温度測定位置

(4) 熱影響部 (HAZ部) のオーステナイト粒度測定

ボンド部 (溶接金属と熱影響部の境界線) より0.2mmのHAZ部について、表面下2mmより10mmの範囲を4等分し、それぞれのオーステナイト粒度をJIS G0552に定める切断法により測定し、平均結晶粒度を計算により求めた。

(5) ミクロ組織と継手部の硬さ測定

(a) ミクロ組織

ミクロ組織は板表面下2mm・5mm・7mmについて、ボンド部・HAZ1mm・HAZ2mm・HAZ3mmの位置の顕微鏡

組織（×200・×400）で調査した。

(b) 硬さ試験

硬さ試験はマイクロ組織調査位置と同様、板厚表面下2mm・5mm・7mmについて、ボンド部より0.5mmピッチでHAZ部4mmの範囲を測定した。

(6) 衝撃試験

衝撃試験片の採取は、JIS Z 3128の1種試験の規定に準拠し、板厚表面下2mm（試験片中心で7mm）でノッチ位置は衝撃靱性が低いと推定されるボンド部・HAZ 1mm・HAZ 2mmとした。試験片採取位置及びノッチ位置を図-4に示す。

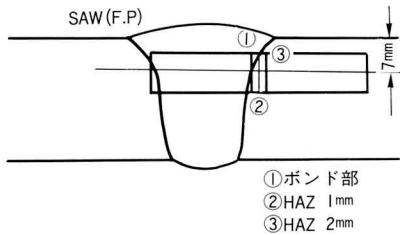


図-4 試験片採取位置及びノッチ位置

3. 試験結果

(1) 熱影響部の冷却速度

T・SAW法及びEGW法による熱影響部の800~500℃の冷却時間を表-3に、入熱量と冷却時間の関係を図-5に示した。

図-5で示したようにT・SAW法とEGW法では同一計算入熱量の冷却時間は明らかな差が認められる。なお、参考のため前回は行った冷却速度測定結果（宮地技報No.4）も同時に示した。すなわち、EGW法による入熱量90KJ/cmの冷却速度はT・SAW法の入熱量70KJ/cmの冷却速度に相当している。このことは溶接法の原理上からEGW法による熔融金属は水冷銅板により強制冷却され凝固するためと考えられる。

(2) 熱影響部のオーステナイト粒度

ボンド部より0.2mm離れた熱影響部のオーステナイト粒度の測定結果を表-4に示す。また、板厚表面下2mmより10mmの範囲の平均粒度と入熱量の関係を表-5に示した。なお、写真-1はオーステナイト粒度測定の結果の顕微鏡写真

表-3 800~500℃の冷却時間

溶接法	板厚 mm	入熱量 KJ/cm	測定点	冷却時間sec 800~500℃	備考
T・SAW 両面溶接	18	(BP) 40.5	A B C	— 35 —	最高温度低い 最高温度低い
		(FP) 69.7	A B C	— — 56.0	熔融断線 熔融断線
	25	(BP) 59.6	A B C	43.0 40.4 42.0	
		(FP) 87.2	A B C	91.2 86.0 80.3	
EGW法 片面溶接	18	70.0	A B C	— 30.0 —	熔融断線 最高温度低い
	25	89.1	A B C	58.2 58.2 50.4	

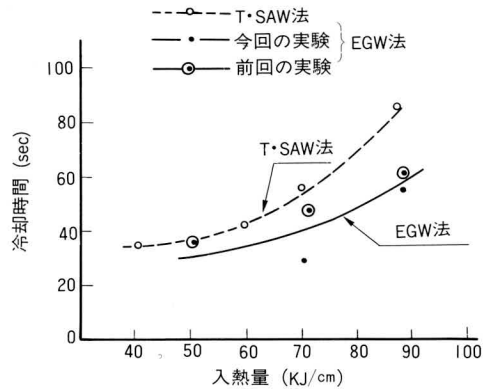


図-5 入熱量と冷却時間

の一例である。

オーステナイト粒度は、T・SAW法はEGW法に比較して入熱量70KJ/cmで15%、入熱量90KJ/cmで36%大きな値を示している。これは冷却時間（800~500℃の区間）の測定結果からも推察できる。

また、T・SAW法は入熱量70KJ/cmと入熱量90KJ/cmの間に差は認められないが、EGW法では、むしろ入熱量の多い方が小さい値を示している。今回の実験範囲からは明確でない。

(3) 継手部の硬さ

入熱量70KJ/cm及び90KJ/cmにおけるT・SAW法とE

表-4 オーステナイト粒度の測定結果

溶接法	板厚 mm	測定位置	測定長さ L mm	粒子の数 l (個)	平均粒径 μm	粒度番号 N	粒の数 n	
T・SAW法	18	1	2.64	14	189		1308	
		2	2.45	12	204			
		3	2.63	14	188			
		4	2.64	13	204			
	計		10.36	53	195.5	1.39		
	25	1	2.59	12	215			1217
		2	2.68	14	191			
		3	2.47	12	206			
4		2.80	14	200				
計		10.54	52	202.7	1.28			
EGW法	18	1	2.34	15	156		1726	
		2	2.17	11	199			
		3	2.18	14	156			
		4	2.16	12	180			
	計		8.85	52	170.2	1.79		
	25	1	2.24	16	140			2233
		2	2.11	13	162			
		3	1.95	13	150			
		4	2.23	15	148			
	計		8.53	57	149.6	2.16		

注. 1) ミクロ組織($\times 100$)のボンド部より0.2mm離れた部分を板厚表面下2mmから10mmの位置まで2mm毎に、切断法により求めた。
 $n = 500(M/100)^2 \times (l/L)^2$ M:倍率
 $N = (\log n) / 0.301 + 1$ l:結晶粒の数
 注. 2) オーステナイト粒度測定位置 L:測定長さ
 n:25mm平方中の結晶粒数
 N:粒度No.

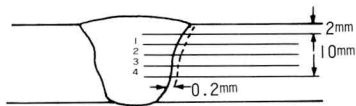


表-5 溶接入熱量とオーステナイト粒度

溶接法	板厚 mm	入熱量 KJ/cm	平均粒径 μm	備考
T・SAW	18	69.7	195	測定位置1~4の平均
	25	87.2	203	同上
EGW法	18	70	170	同上
	25	89	150	同上

EGW法の硬さ分布を図-6に示す。

硬さ分布はボンド近傍で最高硬さを示し、HAZ部はボンドから離れるにしたがって硬さは低下し、約3~4mmの範囲が最低値となっている。また、全般的にT・SAW法はEGW法に比べ軟化の範囲は広く、軟化の程度も

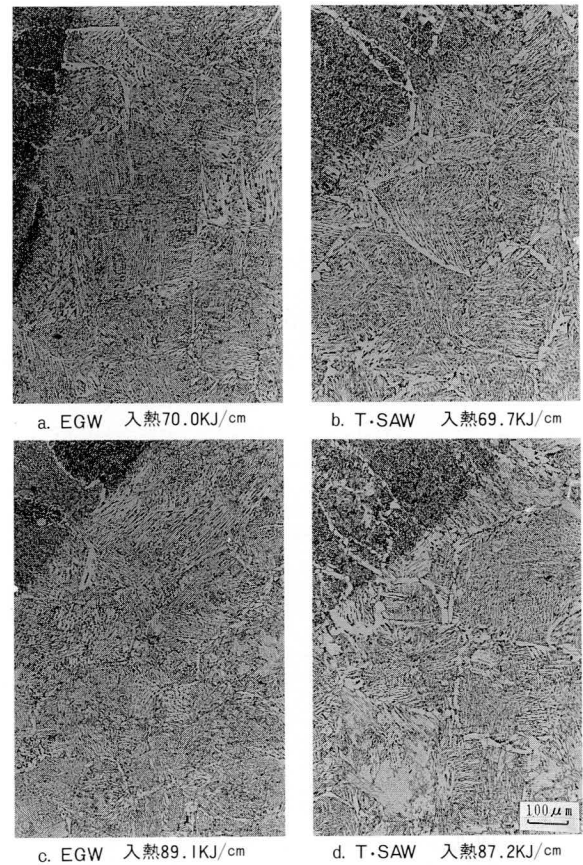


写真-1 オーステナイト粒度測定写真代表例

大きい。T・SAW法のHAZ2mmの硬さはEGW法のHAZ3mmの硬さに相当している。

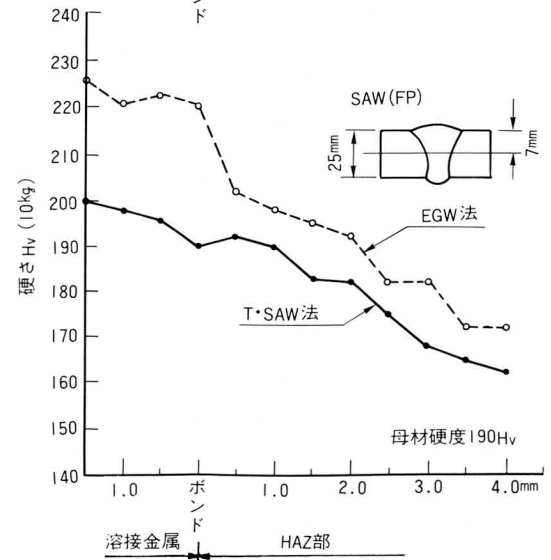
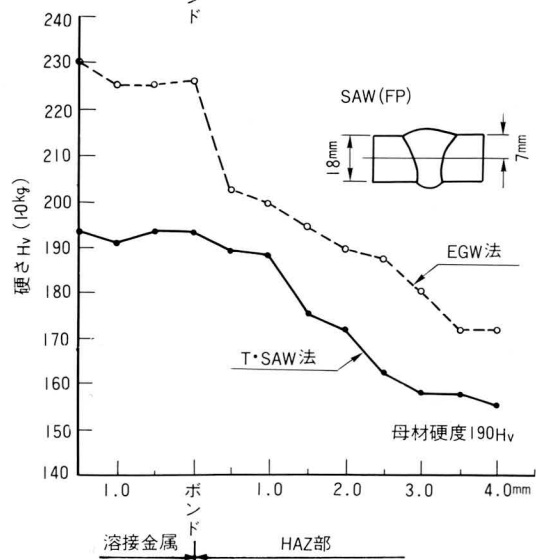
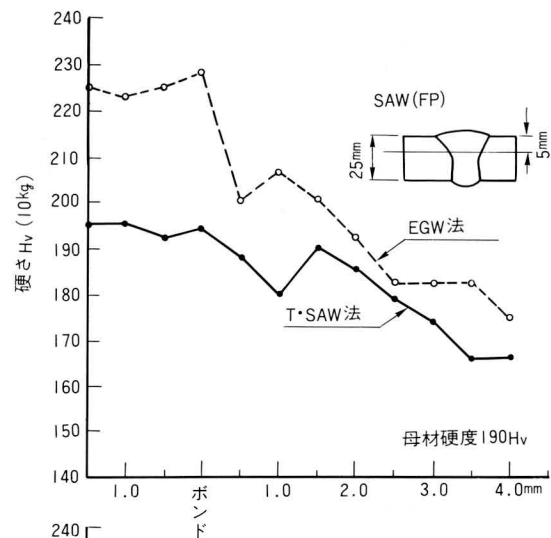
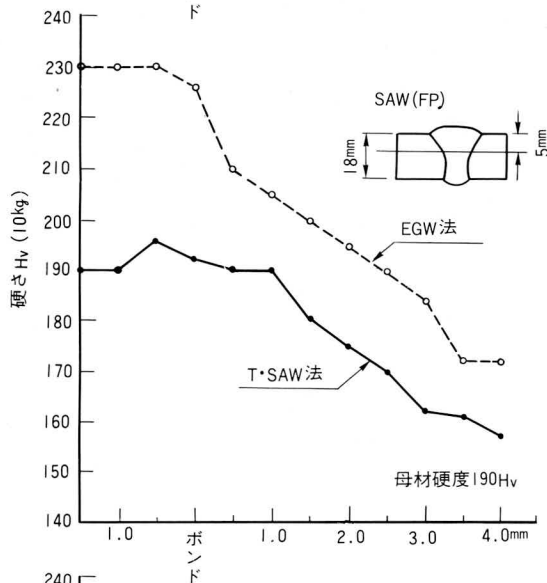
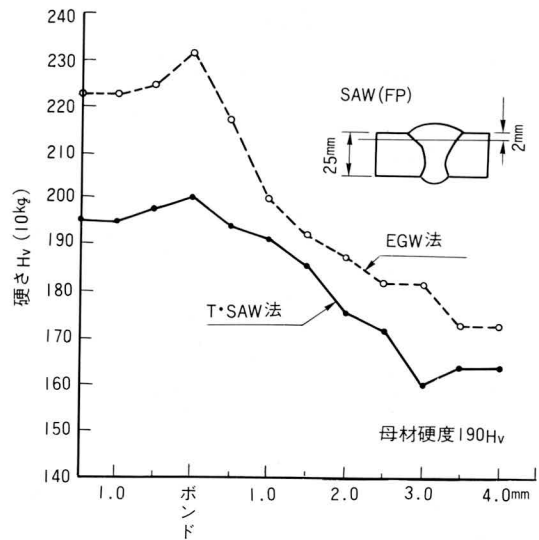
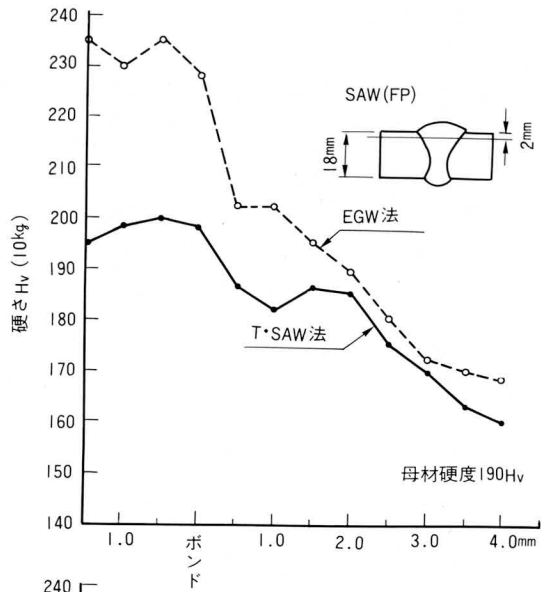
(4) ミクロ組織

板表面下2mm・7mmの位置のボンド部・HAZ1mm・2mm・3mmの顕微鏡($\times 200$)組織を写真-2、写真-3に示した。

T・SAW法・EGW法ともミクロ組織は粗大化したオーステナイト粒界に生成した初析フェライト、粒界より発達したフェライトサイドプレートおよび上部ペーナイトの混合組織からなっている。

ボンド部より1mm以内の結晶粒の粗大化の程度はEGW法がT・SAW法より小さく、初析フェライトの量も少ない。また、熱影響部の範囲もT・SAW法は広く、板表面下2mmのHAZ3mm近傍でEGW法は再結晶による粗大化は殆ど認められないが、T・SAW法ではかなり再結晶が認められている。なお、板厚中央にいくにしたがって熱影響の範囲は広がっているが、表面部と同様の結果である。

各試験体の断面マクロを写真-4に示した。



入熱量 T・SAW 69.7KJ/cm
EGW 70.0KJ/cm

入熱量 T・SAW 87.2KJ/cm
EGW 89.1KJ/cm

図-6 継手部の硬さ

溶接法	撮影位置	ポイント部	HAZ 1	HAZ 2	HAZ 3
エレクトログラス (EGW法) 入熱量 70KJ/cm	表面下 2 mm 				
	表面下 7 mm 				
潜弧溶接 (T-SAW法) 入熱量 FP側 69.7KJ/cm	表面下 2 mm 				
	表面下 7 mm 				

写真 2 顕微鏡組織 (板厚 18mm)

溶接法	撮影位置	ボンド部	HAZ 1	HAZ 2	HAZ 3
エレクトロロガス (EGW法) 入熱量 89kJ/cm	表面下 2 mm 				
	表面下 7 mm 				
潜弧溶接 (T-SAW法) 入熱量 FP側 87.2kJ/cm	表面下 2 mm 				
	表面下 7 mm 				

写真 3 顕微鏡組織 (板厚25mm)

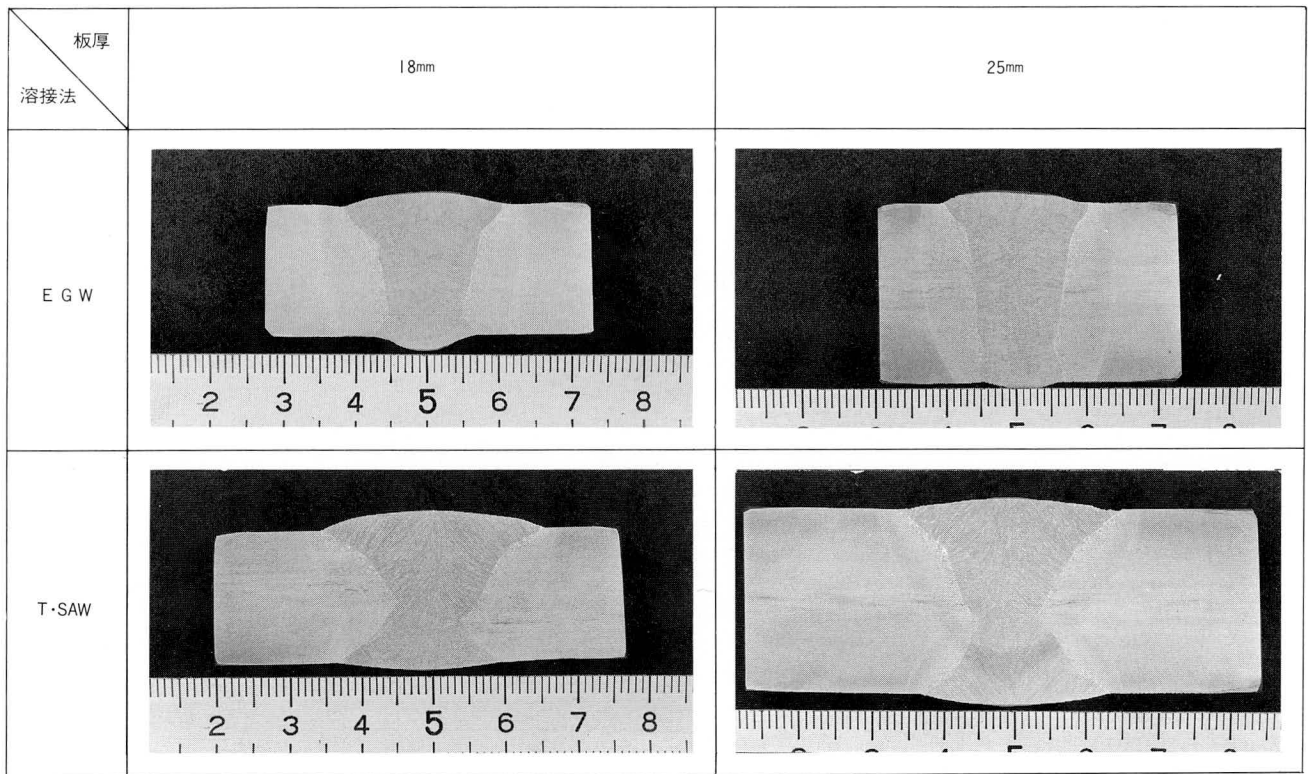


写真-4 断面マクロ

(5) 衝撃試験

ボンド部・HAZ 1mm・HAZ 2mmの位置の衝撃値を表-6に示す。

T・SAW法による衝撃値は、ボンド部・HAZ 1mmがほぼ同等の値を示し、HAZ 2mmではかなり改善され良好な値である。一方、EGW法はボンド部で最少値となり、HAZ 1mm・HAZ 2mmほぼ同値である。これは熱影響部の巾に起因するものと考えられる。

表-6 衝撃試験結果

ノッチ位置	T·SAW法				EGW法			
	入熱 69.7KJ/cm		入熱 87.2KJ/cm		入熱 70.0KJ/cm		入熱 89.0KJ/cm	
	衝撃値		衝撃値		衝撃値		衝撃値	
	測定値	平均	測定値	平均	測定値	平均	測定値	平均
ボンド部	7.3	9.3	7.5	8.0	7.8	10.3	6.5	7.0
	11.3		8.5		12.8		7.5	
HAZ 1mm	12.2	9.5	10.9	9.2	13.9	14.6	12.5	10.8
	6.7		7.5		15.3		9.1	
HAZ 2mm	14.2	13.7	12.6	13.3	13.0	14.1	10.8	11.5
	13.1		13.9		15.1		12.2	

(単位: kgf-m)

また、T・SAW法は入熱量による影響は認められないが、EGW法は入熱量の増加に伴い衝撃値は減少する傾向にある。しかし、いずれの衝撃値とも母材の規格値(-5℃・4.8Kg-cm以上)を十分に上まわっている。

4. まとめ

本実験は同一入熱条件で潜弧自動溶接法(SAW法)とエレクトロガスアーク溶接法(EGW法)により溶接を行ない、両法の①HAZ部の冷却速度、②HAZ部のオーステナイト粒度、③マイクロ組織、④継手部の硬さ、⑤衝撃値、等について比較検討したものである。

溶接法から予測される、水冷銅板の中で強制的に溶融金属が凝固する方式のEGW法は、大気中でスラグに覆われた状態で自然放冷により凝固するSAW法に比べ試験結果に有意な差が認められた。

- ① EGW法によるオーステナイト粒度(ボンド部より0.2mmの熱影響部)は入熱量70KJ/cmで15%、入熱量90KJ/cmで36%T・SAW法より小さい。
- ② フェライト組織に影響をおよぼす800~500℃の冷却速度は同一計算入熱量でEGW法が大きく、EG

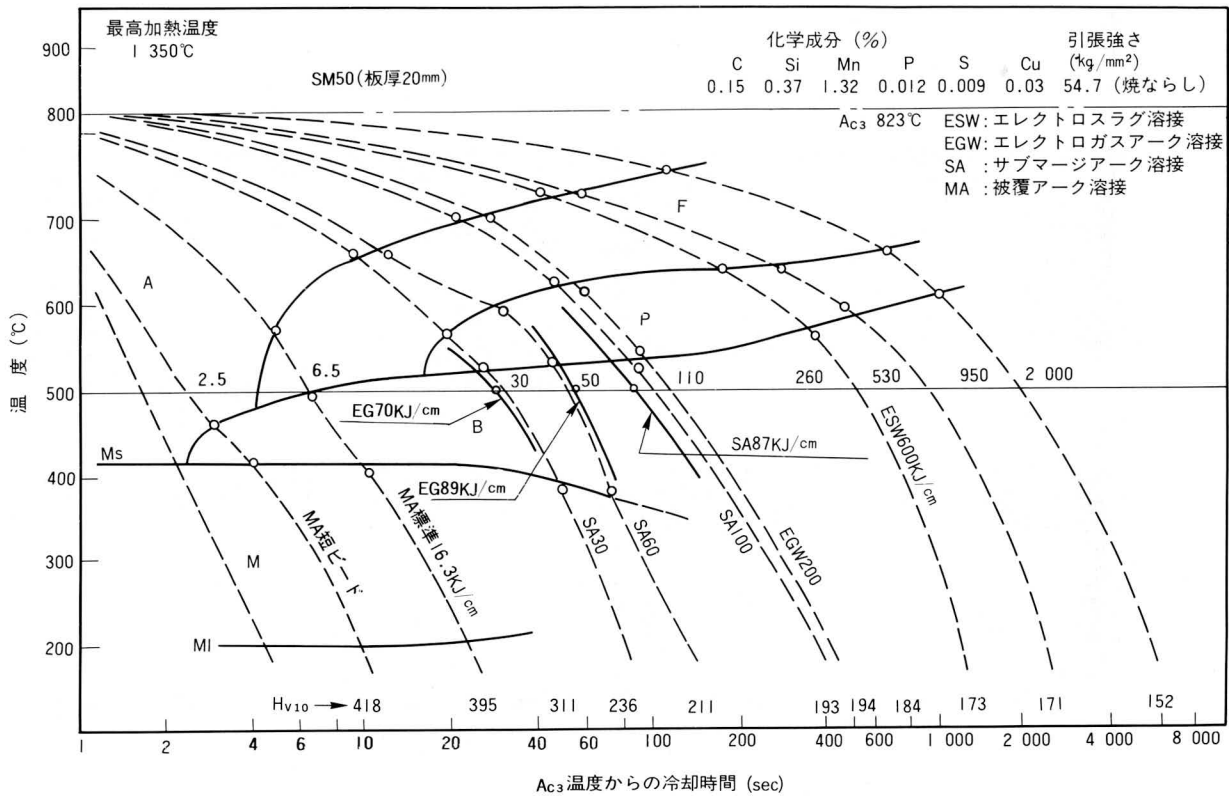


図-7 HT50 (50kg/mm²) 高張力鋼CCT曲線図²⁾ (実線: 今回の実験結果)
(最高過熱温度 350℃)

W法の入熱量の90KJ/cmとT・SAW法の入熱量70KJ/cmの冷却速度がほぼ等しい値を示している。

- ③ ボンド部の硬さは溶接金属の硬さとほぼ同じ値を示し、HAZ部は軟化の傾向を示している。なお、軟化の程度はT・SAW法のHAZ 1mmがEGW法のHAZ 2mmの値にほぼ匹敵する。
- ④ ミクロ組織上でT・SAW法はオーステナイト粒界の初析フェライトが大きく成長しており、また粒内フェライト組織も粗粒化の程度が大きい。
- ⑤ 衝撃値は両法でオーステナイト粒度や冷却速度に差があるにもかかわらず差はなく良好であった。

以上の結果から、EGW法はSAW法と同一入熱量で溶接した場合、SAW法に比べ特性上有利であり、大入熱(70KJ/cm以上)で溶接を行なっても継手性能上問題がないことが確認された。

なお、図-7に供試鋼板“SM-58鋼”の化学成分とは

ほぼ同一と見なされる。“HT-50鋼”のCCT図に今回のHAZ部の冷却速度結果を記入したが、CCT図の上からも同一入熱の溶接条件において両法の差が推定できる。

最後に本実験に対し多大な協力をいただいた日鐵溶接工業(株)の多喜乃 雄氏に、この紙上を借りて感謝申し上げます。

＜参考文献＞

- 1) 成宮、伊東；エレクトロガスアーク溶接による細幅板継ぎ溶接工法の実用化、宮地技報No.4, 1988年3月
- 2) 佐藤、山戸；50～60キロ非調質鋼溶接熱影響部の組織とじん性、溶接学会誌、Vol.50, No.1, 1981年1月
- 3) 鈴木・田村；溶接金属学、産報出版、1978年
- 4) 大北・矢竹；鋼溶接部の金属組織の見方、溶接技術、1985年12月