

日本船舶振興会 昭和 46 年度 補助事業

研究資料 No.161

“船舶の構造・性能に関する基礎的研究”

第 129 研究部会

小型鋼船の建造に対する炭酸ガス 半自動溶接工作法に関する研究

報 告 書

昭 和 47 年 3 月

社 团 法 人

日本造船研究協会

は　　し　　が　　き

本報告書は、日本船舶振興会の昭和46年度補助事業「船舶の構造・性能に関する基礎的研究」の一部として日本造船研究協会第129研究部会においてとりまとめたものである。

本研究部会の委員は、次のとおりである。

第129研究部会委員名簿（敬称略、順不同）

部会長 佐藤邦彦（大阪大学）

幹事 ※大場健二（新日本製鉄） ※広岡豊（石原造船所）

※山田桑太郎（川崎重工業）

委員 伊藤慶典（住友金属工業）

大石 実（神戸製鋼所）

奥山孝志（日本中型造船工業会）

尾花皓（運輸省）

国広敏之（日立造船）

小林三蔵（名村造船所）

小林卓也（船舶技術研究所）

坂井欣一（海上保安庁）

島本参之助（石原造船所）

谷垣尚（新日本製鉄）

松浦一馬（佐野安船渠）

※安岡俊樹（日本钢管）

※印 試験担当者

目 次

1. まえがき	1
2. 目的	1
3. 試験項目および試験担当	1
4. 供試材および使用溶接機	2
4.1 供試鋼材	2
4.2 溶接材料	2
4.3 使用溶接機	3
5. 母材試験	3
5.1 試験要領	3
5.2 試験片の形状	3
5.3 試験結果	4
6. 溶接作業性試験	5
6.1 試験要領	5
6.2 使用溶接材料および開先形状	5
6.3 試験条件	7
6.4 試験結果	8
7. 溶接継手性能試験	13
7.1 試験要領	13
7.2 試験片の形状	15
7.3 試験結果	16
8. 疲労試験	28
8.1 試験要領	28
8.2 試験片の形状	28
8.3 試験方法	29
8.4 試験結果	29
9. 結果のとりまとめ	34
9.1 母材試験	34
9.2 溶接作業性試験	35
9.3 溶接性試験	36
9.4 疲労試験	37
10. 総括	39
10.1 溶接機	39
10.2 溶接材料	39
10.3 溶接欠陥	39
付録 1 追加試験－その1－鋼材Ⅱの試験結果	40
付録 2 追加試験－その2－工作法試験結果	69

1 まえがき

最近、小型船は木材の高騰と船大工不足から船体構造は従来の木造に代つて鋼構造が主流になりつつある。その上小型鋼船は漸次高速化が望まれる傾向があり、これに属する船は重量軽減のため船体構造に降伏点が比較的高い耐候性鋼板を使用する傾向が顕著になりつつある。このような革新にもかかわらず工作法の中心である溶接技術は在来技術の流用にとどまり小型船に適した溶接技術に対する開発、実用化の検討は十分行なわれていないのが現状である。大型船の溶接工作においては、サブマージアーク自動溶接が板継ぎ溶接などに広く用いられているが、このサブマージアーク自動溶接法を小型船の薄板に適用するには開先精度の維持、溶接機の可搬性の点で問題が多い。一方、炭酸ガス半自動溶接法はそれほどの開先精度を要せず、かつ軽量で、可搬性に富むため、小型船の薄鋼板の溶接には適した溶接法と思われる。このように炭酸ガス半自動溶接法は、薄鋼板の溶接には基本的にすぐれた特性を有しているため、現在では車輛、自動車、橋梁、鉄骨など多くの陸上部門の分野で使用されており、また、造船においても大型船分野では一部使用されている。

2 目的

耐候性鋼板に対し、低水素系の溶接棒を用いた手溶接の場合については、溶接性、継手性能および疲労強度に関し、既に研究が実施されているので、本研究では耐候性鋼板に対し、現在市販されている代表的なものの中から炭酸ガス半自動溶接機とワイヤーをいくつか選定して同様の試験を実施し、この溶接法の実用化を図つて、工作法の合理化と溶接部信頼性の向上に寄与せんとするものである。^{注1)}

3 試験項目および試験担当

供 試 材			I									
溶 接 機			N				O					
板 厚			3.2 mm	4.5 mm	3.2 mm	4.5 mm	A	B	C	A	B	C
ワ イ ャ	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
母材試験	化 学 成 分	○		○		~		~		~		~
引 張 試 験	○		○		~		~		~		~	
曲 げ 試 験	○		○		~		~		~		~	
衝 撃 試 験	○		○		~		~		~		~	
溶接試験作業	外 観 檢 查	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	放 射 線 檢 查	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	外 観 檢 查	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	ダイエック検査	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
溶接性試験	化 学 分 析	○	○	○	~	~	~	~	~	○	○	○
	突 合	○	○	○	~	~	~	~	~	○	○	○
	硬 さ 試 験	○	○	○	~	~	~	~	~	○	○	○
	引 張 試 験	○	○	○	~	~	~	~	~	○	○	○
	曲 げ 試 験	○	○	○	~	~	~	~	~	○	○	○
	衝 撃 試 験	○	○	○	~	~	~	~	~	○	○	○
	マ ク ロ 試 験	○	○	○	~	~	~	~	~	○	○	○
疲 労 試 験	母 材	○		○		~		~		~		~
	すみ肉	○	~	~	○	~	~	~	~	~	~	~

[備考] ワイヤDについても溶接作業性試験を実施した。(8ページ参照)

4 供試材および使用溶接機

4.1 供試鋼材

本試験に供試した鋼材Ⅰの板厚は3.2, 4.5mmの2種類である。表1-(a)および1-(b)に供試鋼材の化学成分および機械的性質を示す。

なお、上記の供試鋼材以外の鋼材Ⅱについても同様の試験を行なつたが、その結果については付録1に示す。

表 1 - (a) 化学成分

鋼材・板厚(mm)		化 学 成 分 %									
		C	S i	M n	P	S	C u	C r	T i	N i	M o
I	規格値	≤0.16	0.15 ~0.55	≤0.90	≤0.035	≤0.035	0.25 ~0.50	0.40 ~0.65	≤0.15	-	-
	4.5 ミルシート	0.10	0.28	0.63	0.014	0.007	0.30	0.56	0.04	-	-
	分析値	0.11	0.29	0.69	0.010	0.009	0.31	0.58	0.05	0.04	0.05
	4.5 ミルシート	0.10	0.26	0.55	0.018	0.008	0.40	0.53	0.03	-	-
	分析値	0.11	0.28	0.64	0.013	0.010	0.40	0.58	0.04	0.03	0.04

表 1 - (b) 機械的性質

鋼材・板厚		引張試験			曲げ (曲げ角度180°)
		Y.S(Kg/mm ²)	T.S(Kg/mm ²)	E L o (%)	
I	規格値	≥37	50~62	≥22	良好
	3.2mm ミルシート	41.0	53.0	32	良好
	母材試験	39.3	51.0	30	良好
	4.5mm ミルシート	41.0	54.0	32	良好
	母材試験	44.3	53.7	30.5	良好

(注) 母材試験の値は2本の平均値である。

4.2 溶接材料

(1) 心線

本試験に用いた心線は、A, BおよびCの3種類で、その詳細は下表のとおりである。

型式	メーカー	径 (mmφ)
ソリッド型	A	0.9, 1.2
	B	1.0, 1.2
コンボジット型	C	1.2

(2) シールドガス

炭酸ガス 溶接用炭酸ガス

4.3 使用溶接機

溶接機は300A型半自動溶接機NおよびOの2種類を使用した。

5 母材試験

5.1 試験要領

本試験に先立ち各板厚に対し、図1に示す試験片採取要領により母材試験を行なつた。

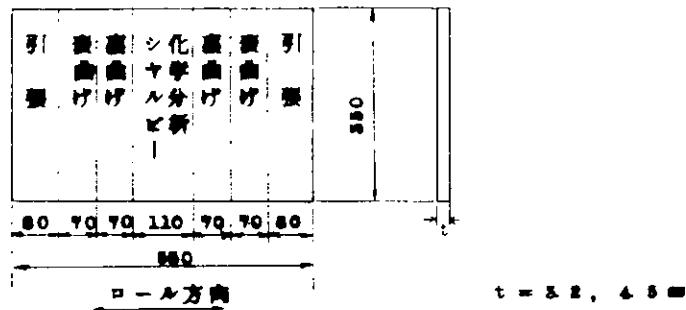
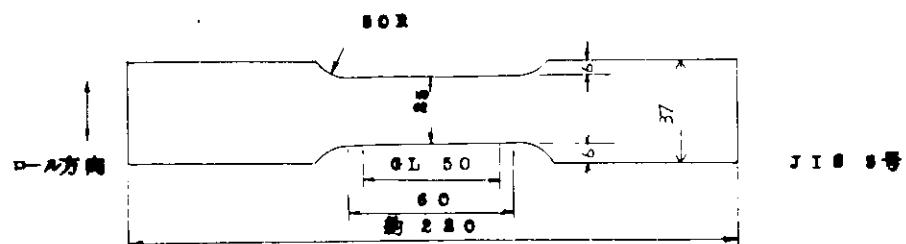


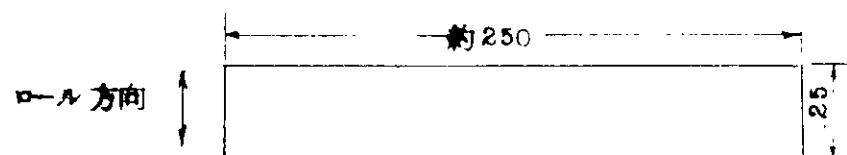
図1 母材試験片採取要領

5.2 試験片の形状

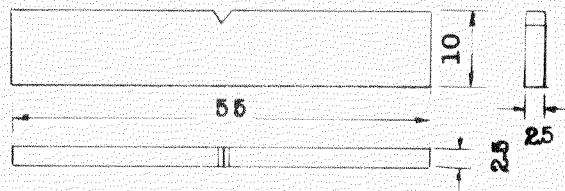
(1) 引張試験片



(2) 曲げ試験片



(3) 衝撃試験片 (2.5 mm V ノッチサブサイズ)



5.3 試験結果

- (1) 化学成分……表1-(a)に示す。
- (2) 引張試験……表1-(b)に示す。また、写真1に試験後の外観を示す。
- (3) 曲げ試験……表1-(b)に示す。また、写真2に試験後の外観を示す。
- (4) 衝撃試験……図2、IVに示す。また、写真3に-20°Cでの試験後の外観を示す。



写真1 引張試験後の外観

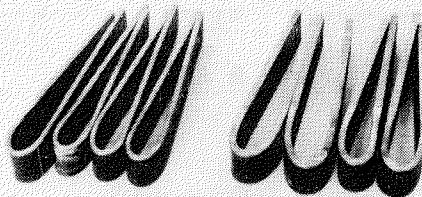


写真2 曲げ試験後の外観

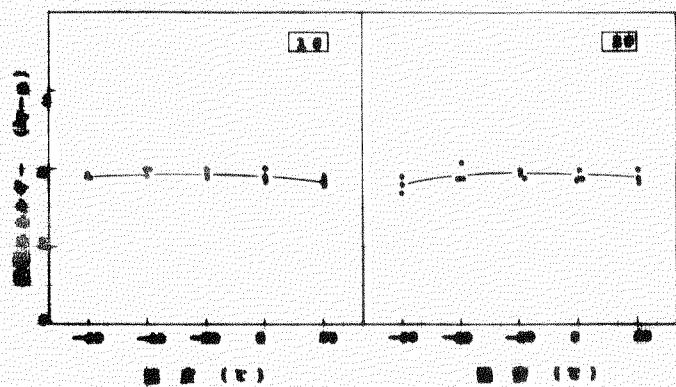


図 2 母材の遷移曲線

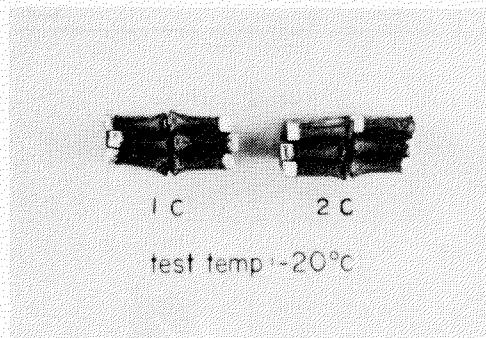


写真 3 衝撃試験後の外観

6 溶接作業性試験

6.1 試験要領

図 3 に示す突合せ継手およびすみ肉継手試験板を用い、表 3 に示す溶接条件により溶接を行ない、突合せ継手に対しては外観検査ならびに放射線検査により、すみ肉継手に対しては外観検査ならびにダイチエック検査により作業性についての比較検討を行なう。

6.2 使用溶接材料および開先形状

表 2 に使用溶接材料および開先形状を示す。

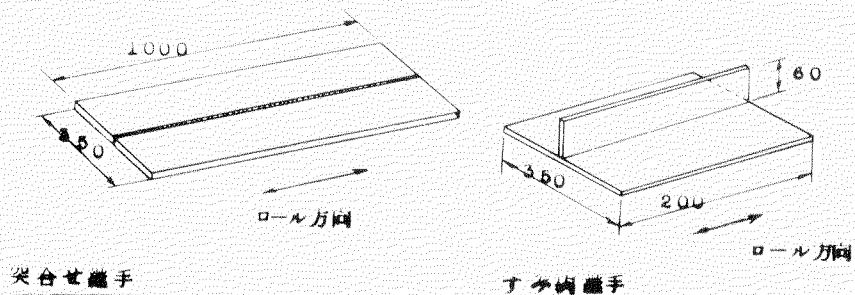


図 3 溶接作業性試験板の形状

表 2 使用溶接材料および開先形状

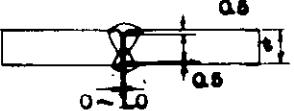
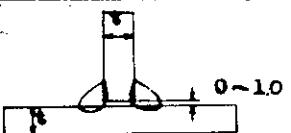
継手の種類	溶接材料			開先形状および累層法
	銘柄	径 (mm)	ガス流量	
突合せ継手	A	1.2	20ℓ/min	
	B	1.2		
	C	1.2		
	D-5016	3.2		
すみ肉継手	A	0.9	20ℓ/min	
	B	1.0		
	C	1.2		

表 3 溶接条件

板厚	溶接棒				溶接材料		溶接条件			
	継手	姿勢	溶接法	運棒	銘柄	径 (mm)	N		O	
							電流 (Amp)	電圧 (Volt)	電流 (Amp)	電圧 (Volt)
3.2mm	突合せ	下向	CO ₂ ガス	—	A	1.2	120	22	190	20
		"	"	—	B	1.2	120	22	190	20
		"	"	—	C	1.2	180	20	190	20
		立向	"	上進	A	1.2	100	18	100	19
		"	"	"	B	1.2	100	16	120	19
		"	"	"	C	1.2	100	18	120	19
		上向	手	—	D5016	3.2	110	22	110	22
4.5mm	すみ内	下向	CO ₂ ガス	—	A	0.9	120	23	195	22
		"	"	—	B	1.0	120	23	185	21
		"	"	—	C	1.2	190	22	185	22
		立向	"	下進	A	0.9	125	25	195	25
		"	"	—	B	1.0	125	25	105	23
		"	"	"	C	1.2	190	21	190	23
		下向	CO ₂ ガス	—	A	1.2	140	24	200	22
4.5mm	すみ内	"	"	—	B	1.2	140	24	195	20
		"	"	—	C	1.2	190	22	195	20
		立向	"	上進	A	1.2	100	20	100	20
		"	"	"	B	1.2	100	22	120	20
		"	"	"	C	1.2	100	20	100	20
		上向	手	—	D5016	3.2	110	22	110	22
		下向	CO ₂ ガス	—	A	0.9	120	25	200	27
4.5mm	すみ内	"	"	—	B	1.0	120	25	185	21
		"	"	—	C	1.2	200	24	190	22
		立向	"	下進	A	0.9	130	28	200	28
		"	"	"	B	1.0	130	28	190	25
		"	"	"	C	1.2	200	23	195	23

6.3 試験条件

表4 IC溶接作業性試験の試験条件をまとめたものを示す。

6.4 試験結果

- (1) 観 檢 査……………表 5 -(a), 5 -(b)に示す。また、写真 4 に試験板外観の1例を示す。
- (2) 放 射 線 檢 査……………表 6 に示す。
- (3) ダイチエク検査……………試験の結果、どの試験板にも欠陥は検出されず良好であつた。なお、写真 5 -(a), 5 -(b)にダイチエック後の試験板の外観を示す。

<参考>

本試験方案の中には含まれていないが、ソリッド型ワイヤ (0.9, 1.2 mmφ) Dについても溶接機Nを用いて作業性試験を行なつたが、AおよびBと同様に良好な結果が得られた。

表 4 試験条件

鋼材 板厚 (mm)	溶接法				試験条件								
	継手	バス	姿勢	溶接法	作業性			継手性能			疲労		
					A	B	C	A	B	C	A	B	C
3.2	突合せ	表	F	CO ₂ ガス	N	N	N	N	N	N	-	-	-
		裏	"	"	O	O	O	N	N	N	-	-	-
		表	V	CO ₂ ガス	N	N	N	N	N	N	-	-	-
		裏	"	"	O	O	O	N	N	N	-	-	-
		表	F	"	N	N	N	N	N	N	-	-	-
		裏	O	手	O	O	O	N	N	N	-	-	-
	すみ肉	-	F	CO ₂ ガス	N	N	N	N	N	N	N	-	-
		-	V	"	O	O	O	N	N	N	N	-	-
4.5	突合せ	表	F	"	N	N	N	O	O	O	-	-	-
		裏	"	"	O	O	O	O	O	O	-	-	-
		表	V	"	N	N	N	O	O	O	-	-	-
		裏	"	"	O	O	O	O	O	O	-	-	-
		表	F	"	N	N	N	O	O	O	-	-	-
		裏	O	手	O	O	O	O	O	O	-	-	-
	すみ肉	-	F	CO ₂ ガス	N	N	N	O	O	O	N	-	-
		-	V	"	O	O	O	O	O	O	N	-	-

記号の説明

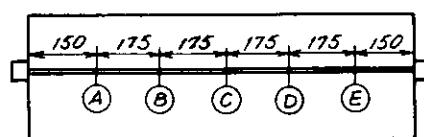
- 1) N, Oは溶接機の種類を示す。
- 2) A, B, Cはワイヤの種類を示す。
- 3) F, V, Oは溶接姿勢を示す (F:下向, V:立向, O:上向)

なお、以後の試験記号は溶接機—ワイヤ—姿勢の組合せを示す。

表 5 - (a) 作業性試験の外観検査結果 - 突合せ継手 -

板厚 (mm)	記号	ビード巾		ビード高さ		プローホール	アンダーカット	備考
		表面	うら面	表面	うら面			
3.2	NAF	6.8	6.8	1.1	1.5			
	NAV	7.0	7.1	1.3	2.1		Max 0.4	
	NAO	7.2	8.0	1.1	1.7			
	NBF	7.3	8.4	1.0	1.5			
	NBV	8.1	7.8	0.9	2.2			
	NBO	7.1	8.7	1.0	1.7			
	NCF	7.6	7.4	1.3	1.1			
	NCV	7.6	7.1	1.5	1.4			
	NCO	7.7	7.8	1.8	1.1			
	OAF	7.2	6.2	1.4	1.2			
	OAV	7.6	7.6	1.2	2.2			
	OAO	7.2	8.8	1.4	1.9			
	OBF	7.7	6.9	0.6	1.1			
	OBV	7.5	7.1	0.7	3.0			
	OBO	7.5	7.9	1.0	1.5			
4.5	OCF	7.7	6.9	1.6	1.4			
	OCV	7.8	6.4	1.7	2.5			
	OCO	7.7	7.8	1.9	1.1		Max 0.6	
	NAF	7.1	6.7	1.4	1.4			
	NAV	7.1	8.3	2.7	1.8			
	NAO	7.3	7.7	1.2	1.2		Max 0.3	
	NBF	7.8	8.1	0.5	1.5			
	NBV	7.9	7.8	2.4	1.5			
	NBO	8.1	7.1	1.0	1.3			
	NCF	7.7	7.8	1.9	0.7			
	NCV	7.1	7.2	2.4	1.4	1 (裏)		
	NCO	7.5	8.3	1.2	1.0		Max 0.4	
	OAF	8.0	7.7	1.8	1.4		Max 0.4	
	OAV	8.7	7.3	2.5	2.6		Max 0.5	
	OAO	8.2	8.4	1.6	1.5			
	OBF	7.3	7.6	1.3	1.6			
	OBV	7.2	7.5	2.4	2.2		Max 0.4	
	OBO	7.5	7.3	1.0	1.5			
	OCF	8.0	7.9	1.9	1.6		Max 0.6	
	OCV	7.4	6.9	2.5	2.4		Max 0.5	
	OCO	8.9	8.0	1.9	1.0		Max 0.6	

(注) (1)計測点は下図のとおりである。



(2) ビード巾、ビード高さは

ⒶⒷⒸⒹⒺ 5点の平均である。

(3) プローホール、アンダーカットで空欄は良好のものを示す。

表5-(b) 作業性試験の外観検査結果 -すみ肉継手-

板厚 (mm)	記号	表面		裏面		プローホール	アンダーカット	オーバラップ	備考
		下脚長	上脚長	下脚長	上脚長				
3.2	NAF	5.7	4.3	5.8	4.2	ナシ	良 好	良 好	
	NAV	3.3	5.5	5.2	5.3	"	"	"	
	NBF	4.8	3.3	5.3	3.3	"	"	"	
	NBV	6.0	4.3	7.3	6.3	"	"	裏面少し	
	NCF	4.7	3.3	5.6	4.3	"	"	良 好	
	NCV	2.3	3.2	6.7	5.3	"	"	裏面少し	
	OAF	3.8	3.1	5.0	3.7	"	"	両面少し	
	OAV	3.1	5.8	3.5	5.3	"	"	良 好	
	OBF	4.8	4.3	5.2	4.1	"	"	両面少し	
	OBV	5.0	4.8	4.5	4.7	"	"	良 好	
4.5	O CF	4.5	3.0	4.2	3.8	"	裏面少し	"	
	O CV	5.0	5.8	3.7	3.5	表面3ヶ 裏面5ヶ	良好	"	
	NAF	5.3	4.7	5.5	3.3	ナシ	"	"	
	NAV	3.7	4.7	4.3	5.0	"	"	"	
	NBF	4.8	2.8	5.2	3.3	"	"	"	
	NBV	5.5	4.6	4.5	3.8	"	"	"	
	NCF	5.7	4.7	6.0	3.8	"	"	裏面少し	
	NCV	4.8	4.8	6.0	5.7	"	"	裏面少し	
	OAF	2.8	2.0	5.5	4.3	"	"	裏面少し	
	OAV	4.7	5.0	2.3	3.7	"	"	良 好	

注) (1) 計測点は下図のとおりである。 (2) 脚長はⒶⒷⒸ 3点の平均である。

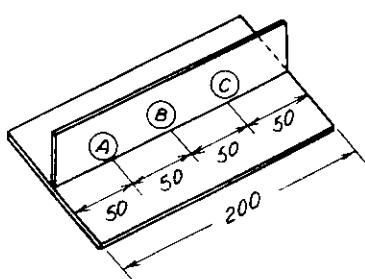


表 6 放射線試験結果

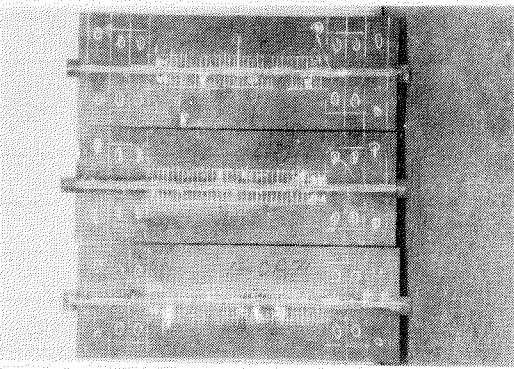
記号 板厚 フィルム No.	3.2 領域				4.5 領域			
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
NAF	1	1	1	1	2 (S1)	1	1	1
NAV	1	2 (S1 P1)	2 (P2)	1	1	2 (S2)	3 (I4)	1
NAO	3 (P4)	2 (P1)	2 (S1)	1	1	2 (P1)	1	1
NBF	2 (S1)	2 (P1)	2 (S1)	1	2 (S1)	1	2 (P1)	1
NBV	2 (P1)	2 (P1)	2 (S1)	1	2 (P1)	2 (P2)	2 (P1)	1
NBO	1	1	2 (P1)	1	1	2 (P1)	3 (S4)	2 (S2)
NCF	2 (P2)	1	1	3 (S3)	2 (P1)	3 (P4)	1	1
NCV	2 (P1)	1	1	1	1	1	1	1
NCO	1	1	2 (P1)	2 (S1 P1)	2 (P1)	2 (P1)	1	1
OAF	1	3 (S2 P1)	3 (S4)	1	2 (S1)	1	1	1
OAV	3 (S4)	2 (S1)	2 (P1)	1	2 (P1)	1	2 (S1)	1
AOA	2 (P1)	2 (S2)	2 (P1)	2 (S1)	1	1	3 (P4)	2 (P1)
OBF	1	1	1	1	1	2 (P1)	1	1
OBV	1	1	2 (S1)	2 (P1)	1	3 (S4)	3 (S4)	1
BOB	1	1	2 (P1)	1	2 (P2)	3 (S2)	1	1
OCF	2 (P1)	1	2 (P1)	1	2 (P1)	2 (P1)	1	1
OCV	1	2 (P1)	1	2 (P1)	2 (P2)	2 (P1)	1	1
OCO	1	1	1	1	3 (S4)	2 (S1 P1)	2 (P2)	2 (S1 P1)

注) ①記号説明

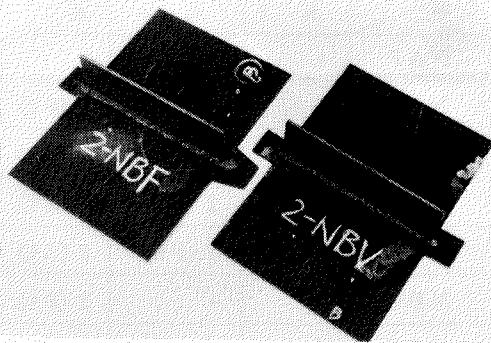
P……プローホール 数字はプローホールの個数を示す。

S……スラグ巻込み 数字は欠陥長(mm)を示す。

②判定は旧 JIS Iによる。



突合せ継手 ($t = 3.2 \text{ mm}$)



すみ肉継手 ($t = 4.5 \text{ mm}$)

写真 4 溶接作業性試験板の外観

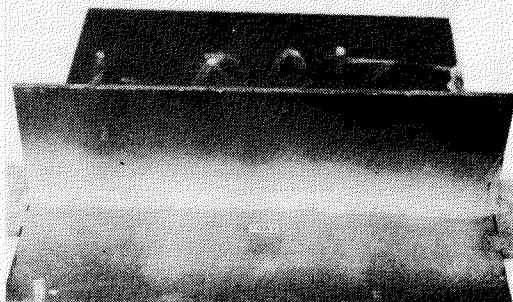
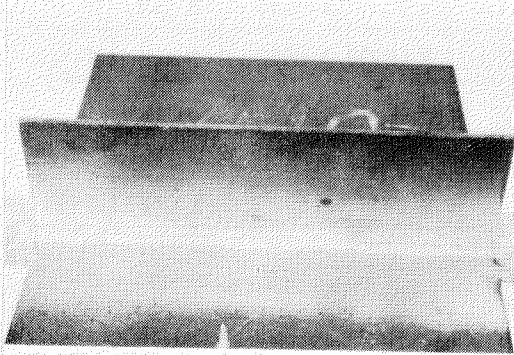


写真 5 - (a) ダイチェック試験後の外観

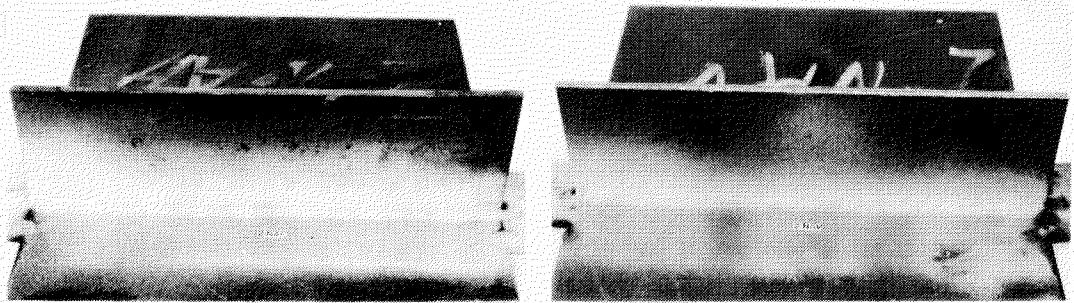


写真 5-(b) ダイチェック試験後の外観

7 溶接継手性能試験

7.1 試験要領

表4に示す溶接条件にて施工された各溶接継手から図4に示す試験片採取要領により引張、曲げ、衝撃、破面ならびに組織などの各試験片を採取して継手性能を比較し、どの供試材がすぐれているかを検討した。

また、あわせて溶着鋼の化学分析を行なつた。

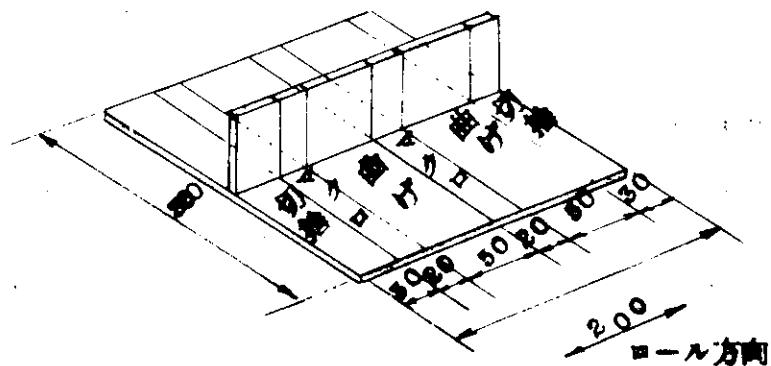
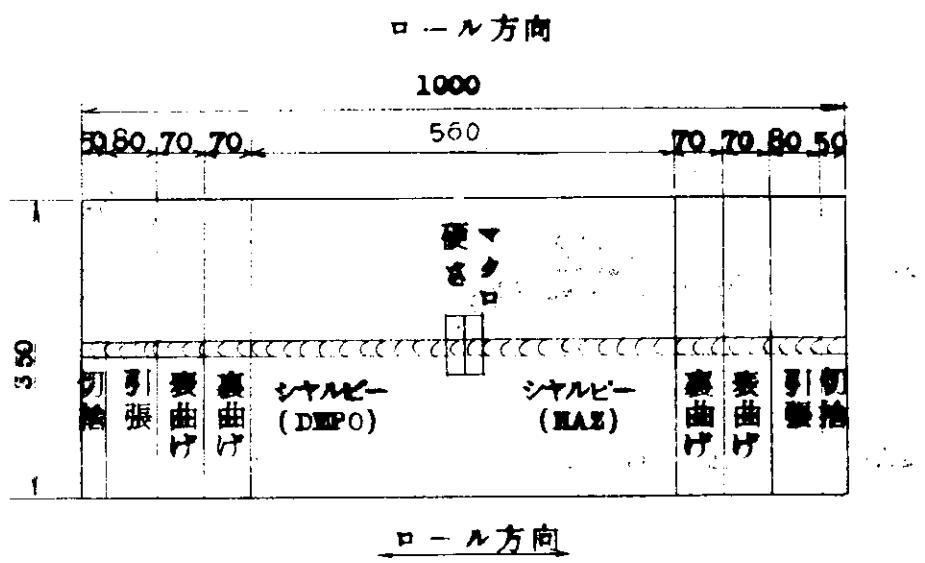


図4 各種試験片の採取要領

7.2 試験片の形状

本試験に用いる試験片の形状は図5-(a)～(b)に示すとおりである。

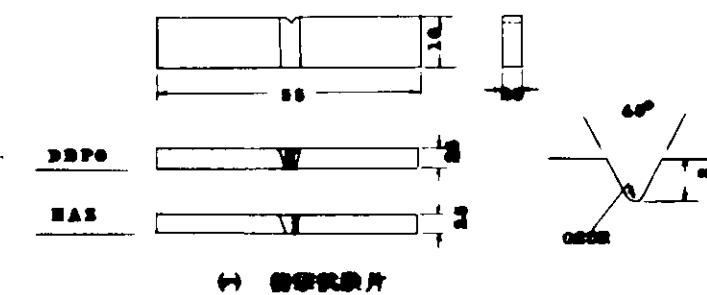
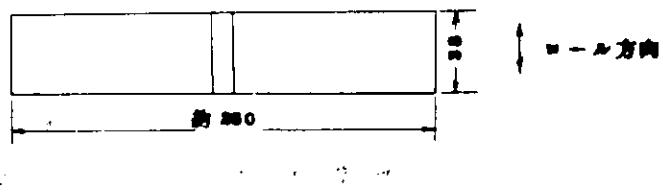
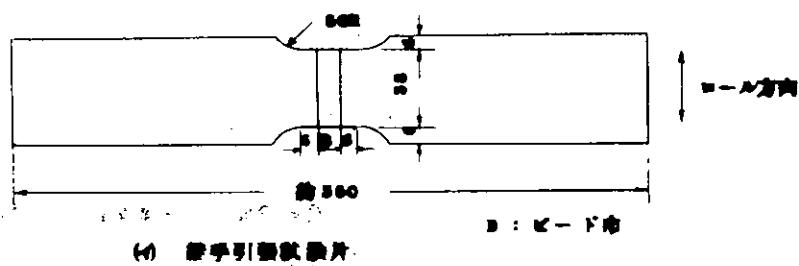


図5-(a) 繋手性能試験片の形状

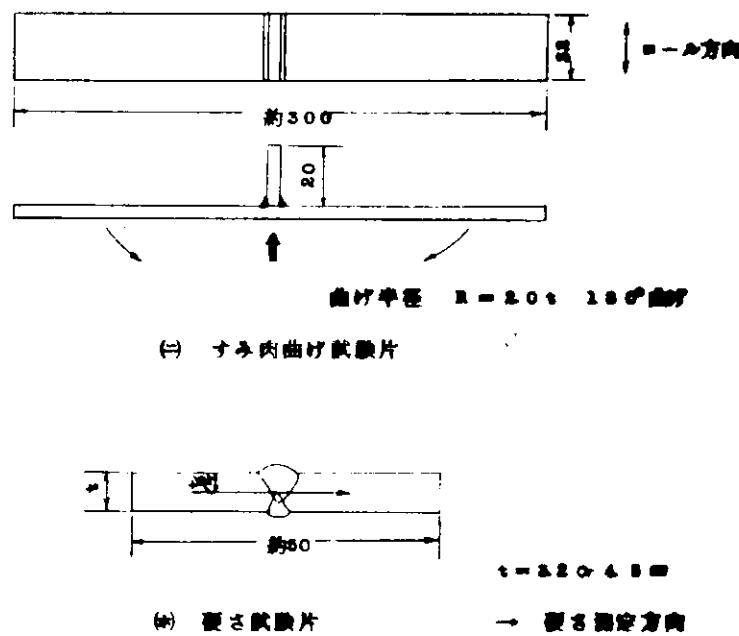


図 5-(b) 繰手性能試験片の形状

7.3 試験結果

化学分析………表7に示す。

引張試験………表8-(a), 8-(b)に示す。また、試験後の外観の1例を写真6, 7に示す。

曲げ試験………表8-(a), 8-(b)に示す。また試験後の外観の1例を写真6, 7および写真8, 9に示す。

衝撃試験………表8-(a), 8-(b)および図6-(a)～(f)に示す。また、同図に-20℃での試験後の外観写真もあわせて示す。

硬さ試験………図7-(a)～(f)に示す。

マクロ試験………写真10, 11にマクロ組織を示す。

表 7 溶着金属の化学分析結果

銘柄	化 学 成 分 (%)									
	S	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ti	Ni	Mo
母材規格値	≤0.16 ～0.55	0.15 ～0.55	≤0.90	≤0.035	≤0.035	0.25 ～0.50	0.40 ～0.65	≤0.15	-	-
A	0.10	0.48	0.82	0.013	0.010	0.21	0.32	0.01	0.02	0.03
B	0.10	0.38	0.82	0.014	0.010	0.24	0.34	0.01	0.02	0.03
C	0.10	0.45	0.83	0.013	0.011	0.23	0.30	0.01	0.02	0.03

注) 3.2 mm の突合せ継手の溶着金属を分析したものである。

表 8 - (a) 継手性能試験結果 - 板厚 3.2 mm -

記号	引張試験			衝撲試験 (Kg-m)					曲げ試験		
	Y.S (kg/mm ²)	T.S (kg/mm ²)	破断位置	-60°C	-40°C	-20°C	0°C	+20°C	突合せ継手		すみ肉 継手
									表曲げ	裏曲げ	
NAF	47.3	58.3	B	1.96	2.14	2.09	2.07	2.01	○○	○○	○○
	47.8	58.3		2.12	2.09	2.10	2.07	2.20			
NAV	46.6	57.8	B	1.42	2.00	2.07	2.19	2.19	○○	○○	○○
	47.8	58.5		1.56	2.14	2.21	2.16	2.12			
NAO	46.4	57.4	B	1.52	2.21	2.18	2.14	2.23	○○	○○	-
	47.3	58.1		0.76	1.62	2.14	2.28	2.24			
NBF	44.5	55.8	B	1.64	2.13	2.19	2.23	2.48	○○	○○	○○
	47.8	58.3		1.58	2.14	2.23	2.23	2.34			
NBV	51.8	60.8	B	2.10	2.16	2.25	2.21	2.39	○○	○○	○○
	51.5	60.1		1.99	1.78	2.05	1.90	1.98			
NBO	50.9	60.0	B	2.09	2.18	2.43	2.43	2.54	○○	○○	-
	47.6	58.3		2.23	2.27	2.41	2.43	2.25			
NCF	45.6	56.5	B	1.21	1.85	2.08	1.92	1.94	○○	○○	○○
	46.9	56.1		1.69	2.01	2.41	2.07	2.08			
NCV	47.3	58.3	B	1.88	2.18	2.21	1.92	2.21	○○	○○	○○
	46.9	58.1		1.90	2.18	2.09	2.23	1.98			
NCO	46.0	57.0	B	1.78	2.25	2.38	2.34	2.47	○○	○○	-
	46.0	56.4		1.12	2.16	2.23	2.09	2.39			

(注) 1) B : 母材破断

D : 溶接金属部破断

2) 衝撃試験の値は3本の平均値を示し、上段はDepo、下段はHAZの値を示す。

表 8-(b) 継手性能試験結果 - 板厚 4.5 mm -

記号	引張試験			衝撃試験 (Kg-m)					曲げ試験		
	Y.S (kg/mm ²)	T.S (kg/mm ²)	破断位置	-60°C	-40°C	-20°C	0°C	+20°C	突合せ継手 表曲げ	すみ肉 裏曲げ	継手
OAF	4.6.9	5.8.6	B	1.81	2.09	2.25	2.21	2.25	○○	○△ (カット材)	○○
	4.7.2	5.8.4	B	2.00	2.12	2.09	2.09	2.00			
OAV	4.5.8	5.7.1	B	2.07	2.29	2.44	2.16	2.34	X○ (われ3mm)	○○	○○
	4.6.2	5.7.4	B	1.90	2.00	2.03	2.10	1.99			
OAO	4.4.2	5.6.3	B	2.32	2.43	2.50	2.34	2.52	○○	○○	-
	4.3.2	5.4.8	B	1.76	2.12	2.14	2.19	2.32			
OBF	4.9.1	6.1.0	B	2.09	2.05	2.27	2.12	2.12	○○	○○	○○
	4.8.6	6.0.7	B	1.90	1.98	2.09	2.00	1.90			
OBV	4.6.2	5.8.2	B	2.21	2.19	2.25	2.30	2.30	○△ (カット材)	○○	○○
	4.4.0	5.5.9	B	1.96	2.10	2.07	2.01	1.81			
OBO	4.5.0	5.6.8	B	2.09	1.94	2.39	2.12	2.21	○○	○○	-
	4.8.0	5.9.6	B	1.74	2.18	2.21	2.03	2.21			
OCF	4.8.6	5.9.7	B	1.83	2.03	2.21	2.19	2.11	○○	○○	○○
	4.7.2	5.8.4	B	1.66	1.72	1.79	1.81	1.74			
OCV	4.7.9	5.9.5	B	2.30	2.41	2.45	2.41	2.36	○○	○○	XX (われ)
	4.6.3	5.6.9	B	3.37	3.48	3.43	3.40	3.46			
OCO	4.7.1	5.9.3	B	2.26	2.27	2.43	2.41	2.34	○○	○○	-
	4.6.8	5.9.6	B	1.51	2.30	2.09	1.96	1.89			

(注) 1) B : 母材破断

D : 溶接金属性部破断

2) 衝撃試験の値は3本の平均値を示し、上段はDepo、下段はHAZの値を示す。

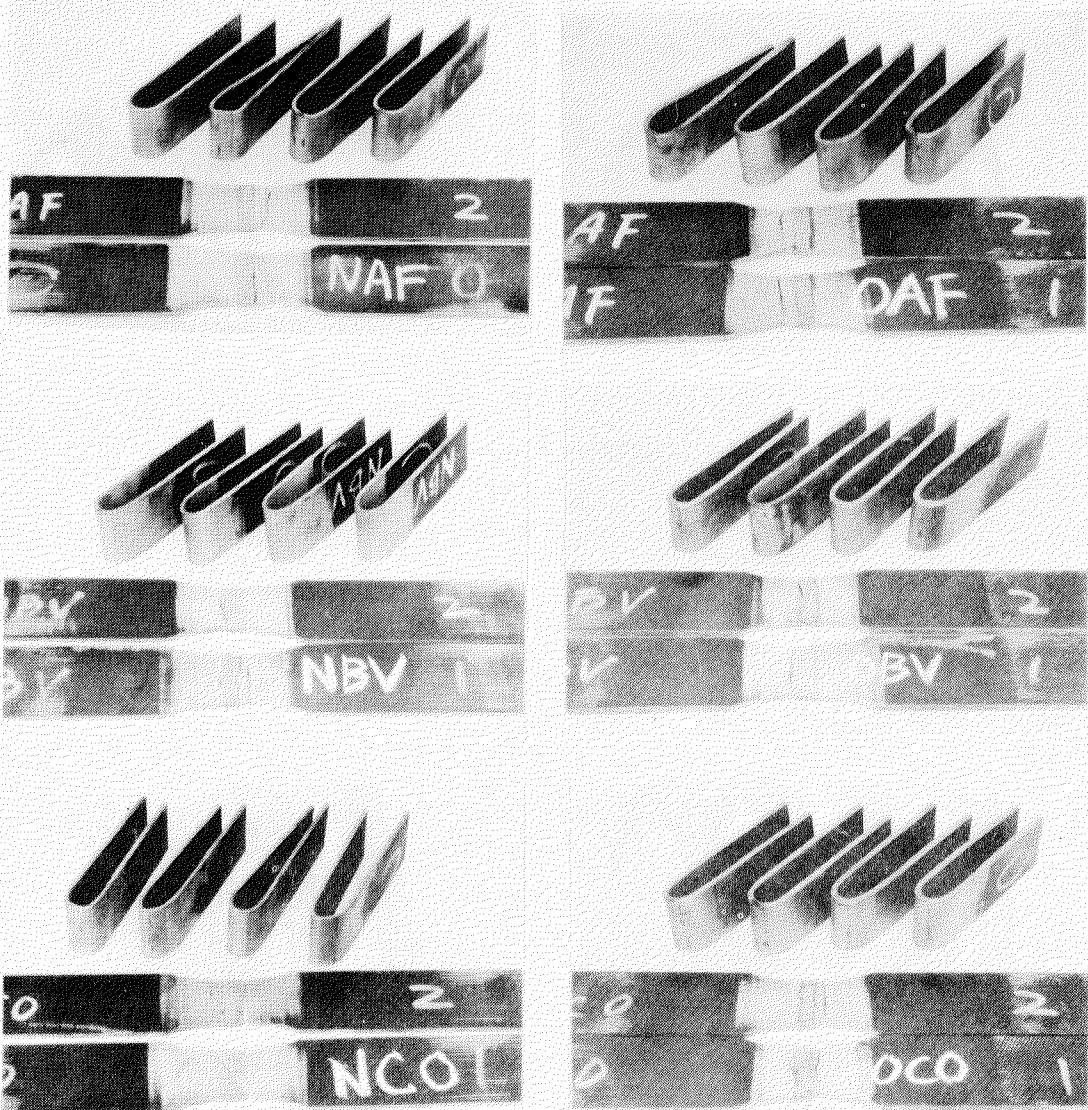


写真 6 機械試験後の外観

$t = 3.2 \text{ mm}$

写真 7 機械試験後の外観

$t = 4.5 \text{ mm}$

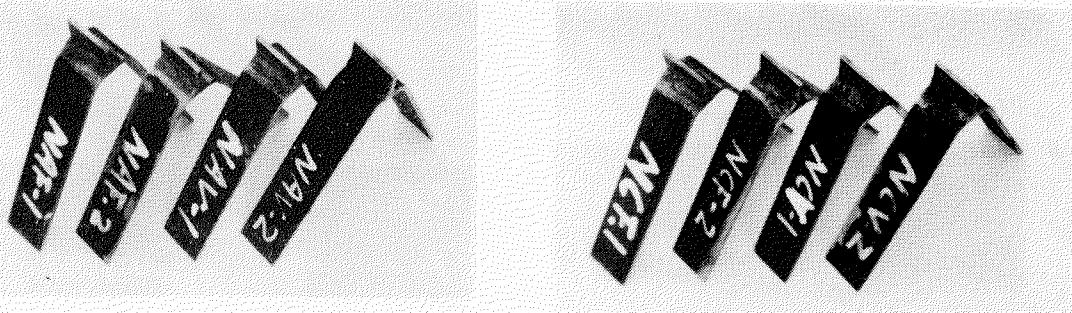


写真 8 すみ肉継手曲げ試験後の外観 $t = 3.2 \text{ mm}$

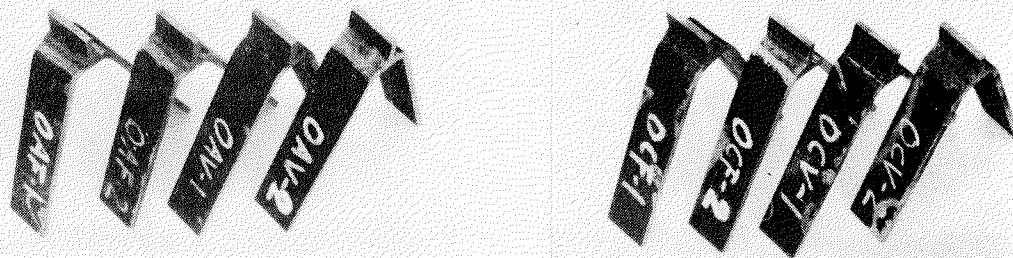


写真 9 すみ肉継手曲げ試験後の外観 $t = 4.5 \text{ mm}$

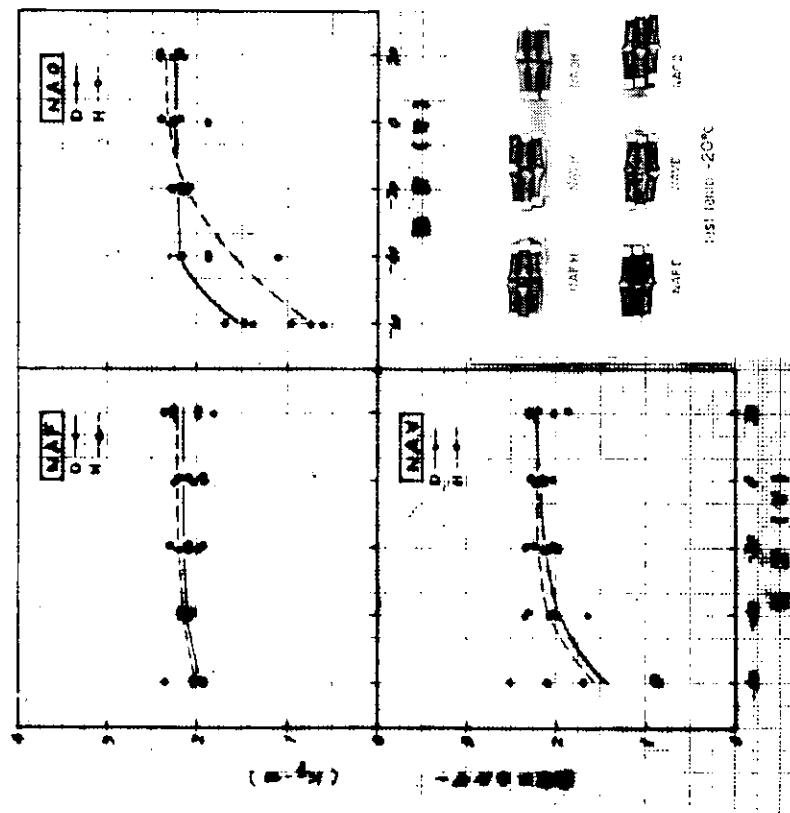


図 6-(a) 溶接継手部の遷移曲線

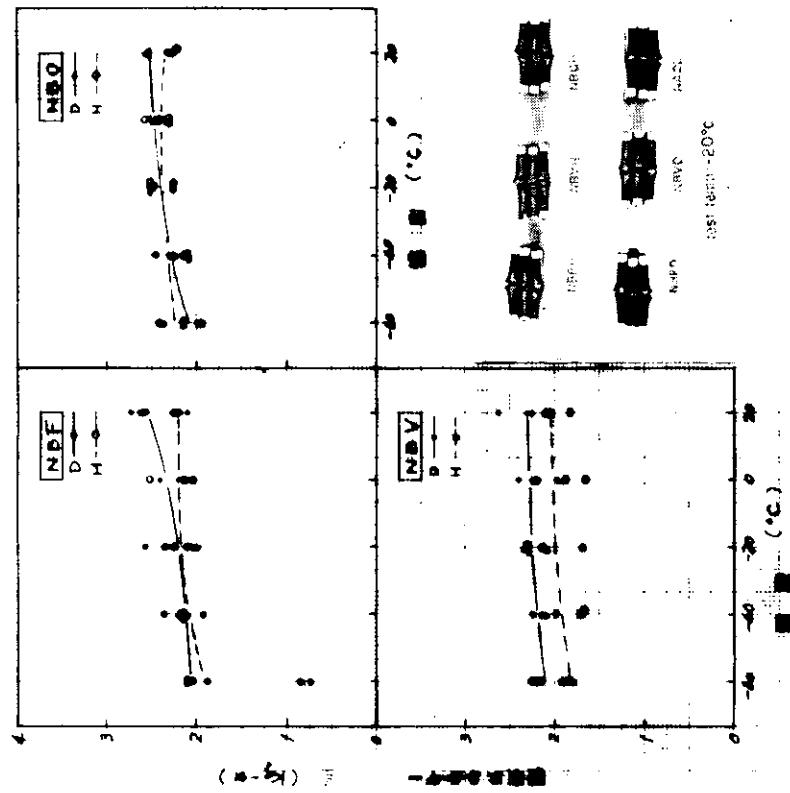


図 6-(b) 溶接継手部の遷移曲線

図 6-(d) 溶接継手部の遷移曲線

test temp -20°C

test temp -20°C

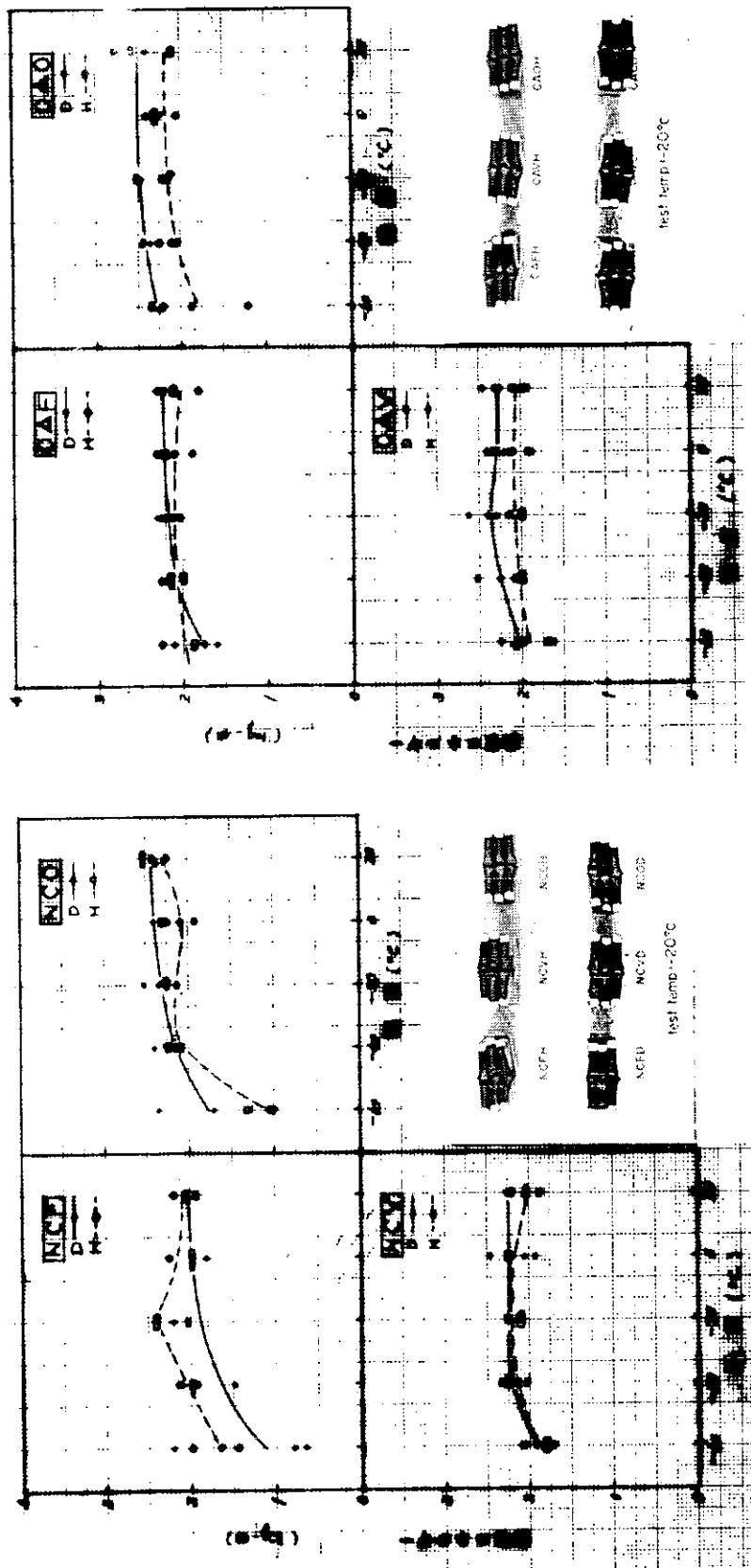


図 6-(c) 溶接継手部の遷移曲線

test temp -20°C

test temp -20°C

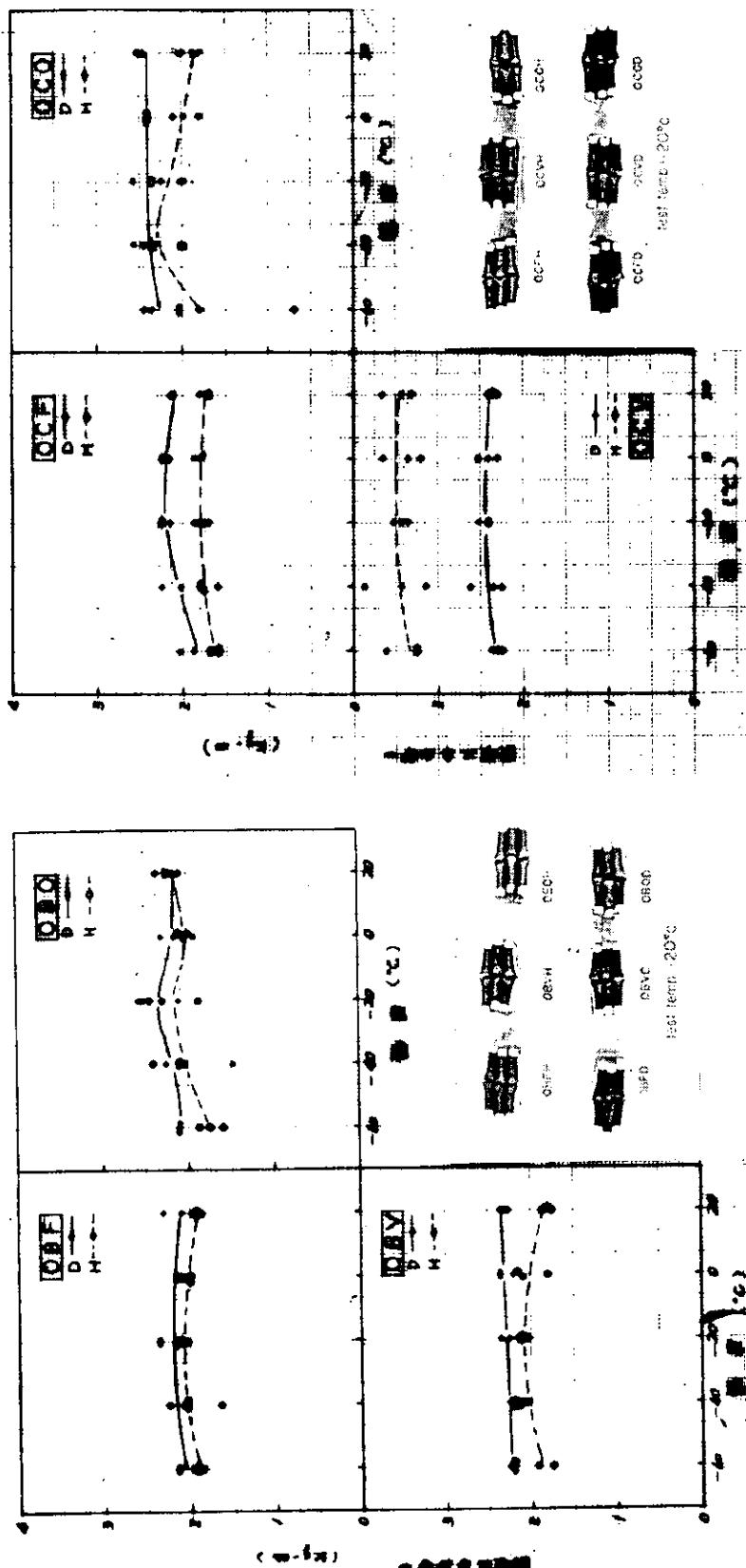


図 6-(e) 溶接継手部の遷移曲線

図 6-(f) 溶接継手部の遷移曲線

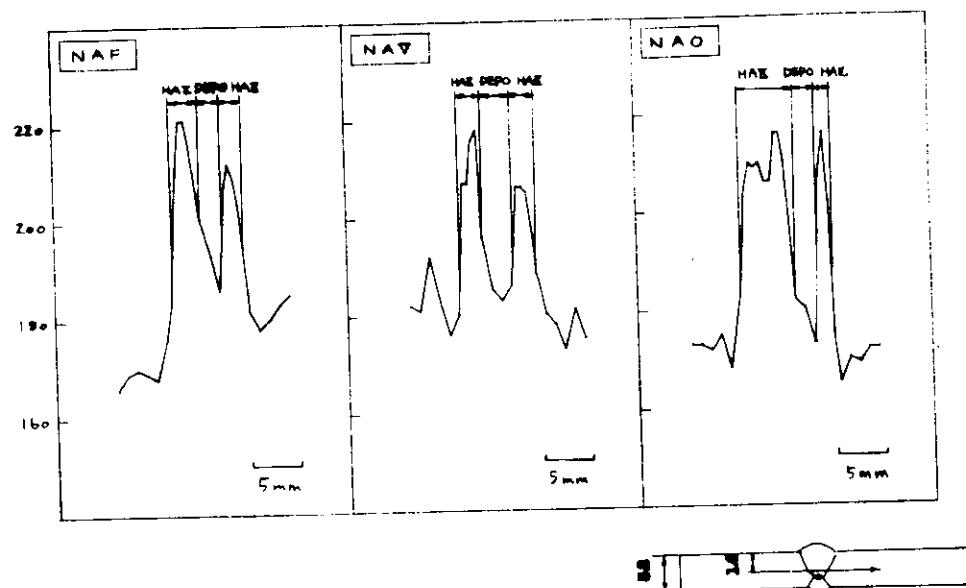


図 7 - (a) 溶接部の硬度分布

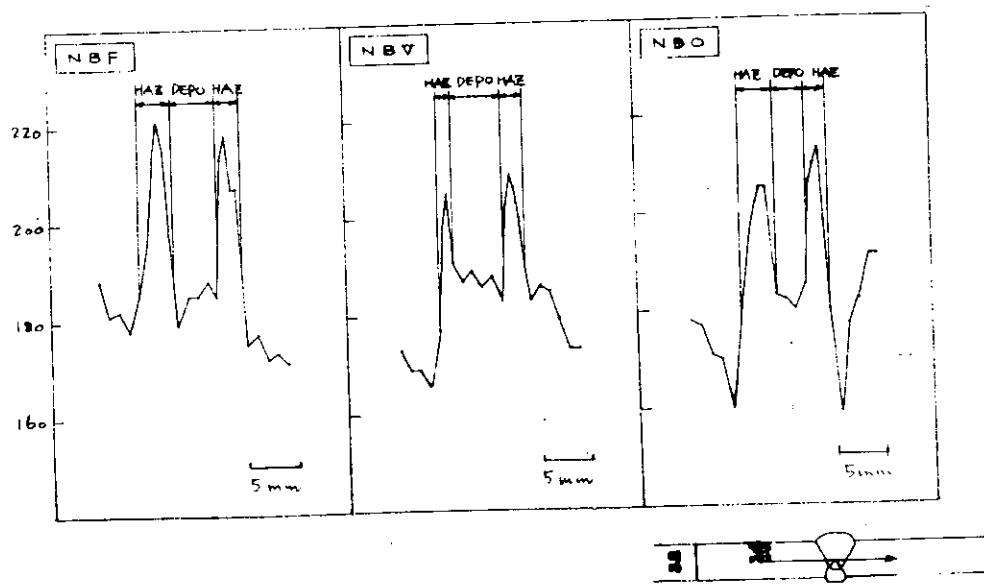


図 7 - (b) 溶接部の硬度分布

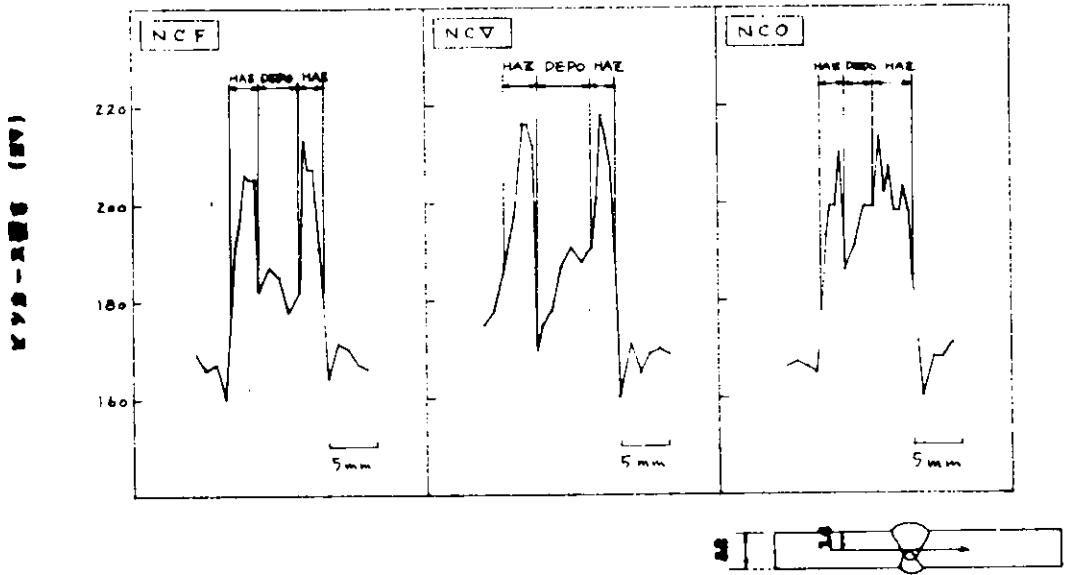


図 7 - (c) 溶接部の硬度分布

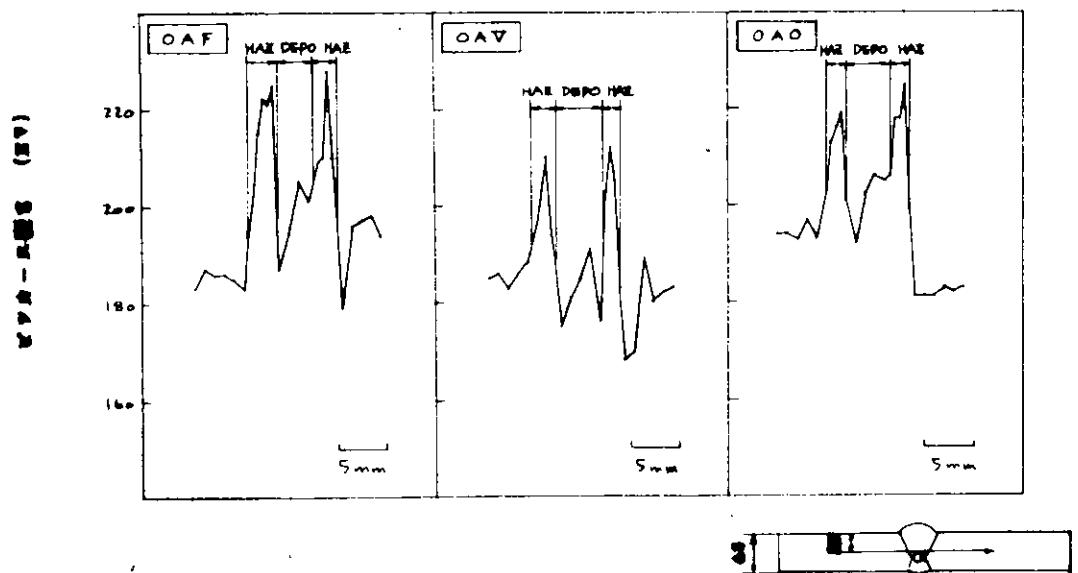


図 7 - (d) 溶接部の硬度分布

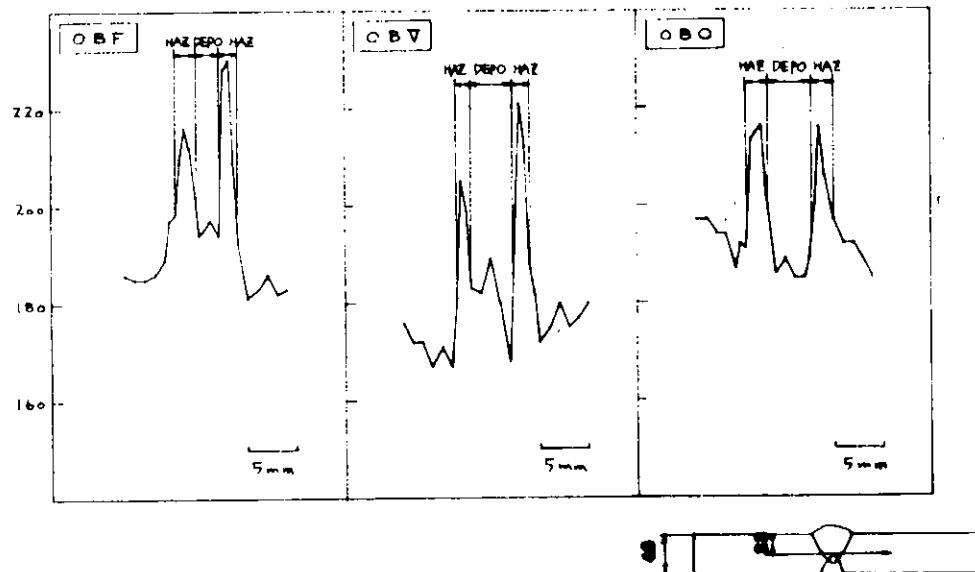


図 7 - (e) 溶接部の硬度分布

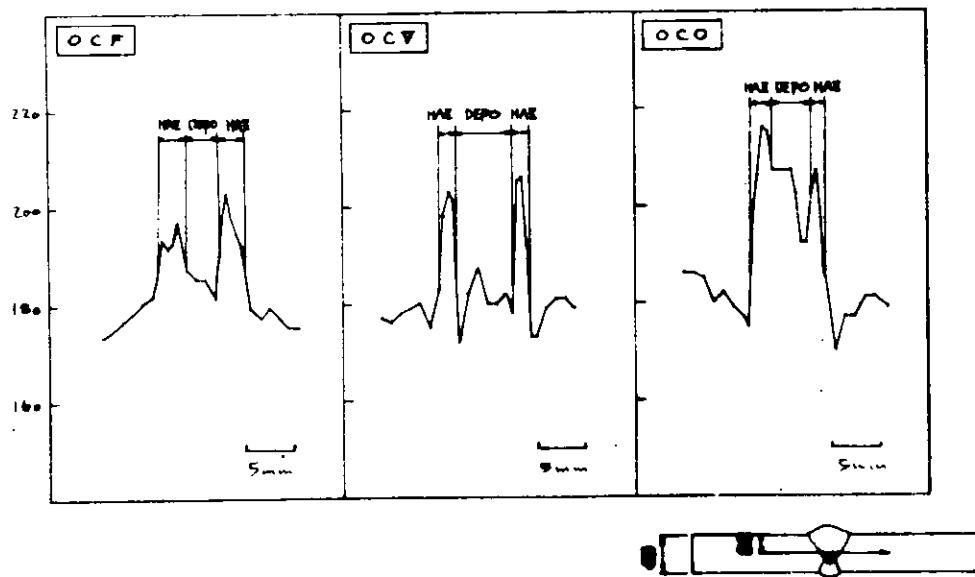


図 7 - (f) 溶接部の硬度分布

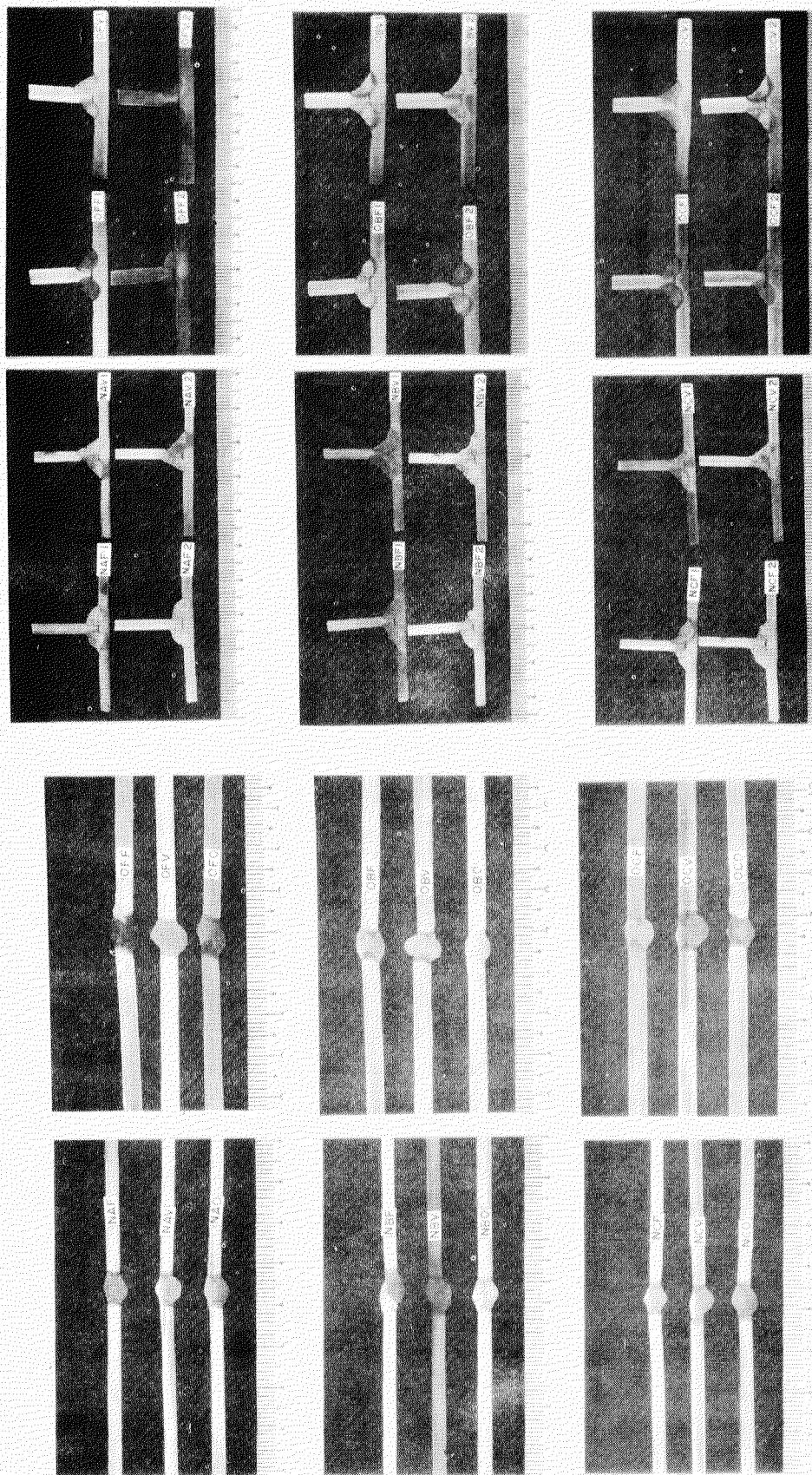


写真10 突合せ継手の断面マクロ組織

$t = 3.2 \text{ mm}$

$t = 4.5 \text{ mm}$

写真11 すみ肉継手の断面マクロ組織

$t = 3.2 \text{ mm}$

$t = 4.5 \text{ mm}$

8 疲 労 試 験

8.1 試 験 要 領

図8に示すT型すみ肉溶接継手から図9に示す試験片を採取し溶接継手の疲労特性について調査した。なお、試験片のピードの余盛りは残したままで試験を行なつた。また、参考までに母材についても、図9に示す試験片を採取し、疲労試験を実施した。

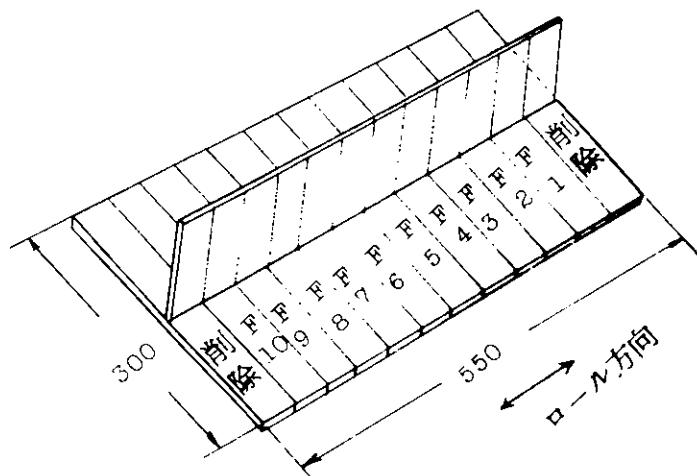


図8 疲 労 試 験 板 の 形 状

8.2 試 験 片 の 形 状

本試験に用いる試験片の形状は図9(a)に示すとおりである。

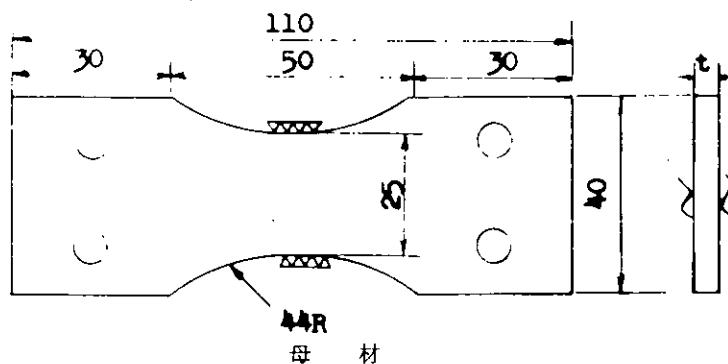


図9 - (a) 疲 労 試 験 片 の 形 状

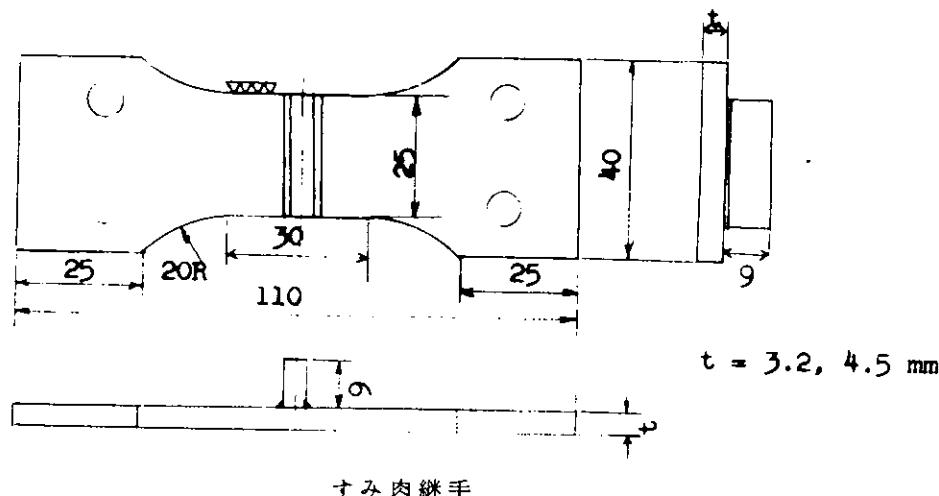


図9 -(b) 疲労試験片の形状

8.3 試験方法

(1) 荷重型式

両振り平面曲げ

(2) 試験機

シエンク型繰返し曲げ疲労試験機

最大容量 $\pm 3 \text{ Kg-m}$ $f = 3,000 \text{ cpm}$

最大容量 $\pm 2 \text{ Kg-m}$ $f = 3,000 \text{ cpm}$

8.4 試験結果

(1) 供試材の機械的性質

本試験に用いた供試鋼材の母材試験および継手試験の結果は表9に示す。

なお、継手試験板は溶接作業性試験で作製したものを用いた。

表9 供試材の機械的性質

	板厚 (mm)	試験板 (記号)	引張試験			曲げ試験
			Y.S.(Kg/mm ²)	T.S.(Kg/mm ²)	E ₁₀ (%)	
突合せ	3.2	母材	39.3	51.0	30	良
		継手(NAF)	47.6	58.3	-	良
	4.5	母材	44.3	53.7	30.5	良
		継手(NAF)	44.8	59.8	-	良
すみ肉	3.2	継手(NAF)	-	-	-	良
	4.5	継手(NAF)	-	-	-	良

(2) 疲れ試験結果

図10には鋼材I ($t = 3.2 \text{ mm}$) の母材およびすみ肉継手の平面曲げ疲れ試験結果を示す。同様

図11には鋼材I ($t = 4.5 \text{ mm}$) の結果を示す。

これらの図に示されている平面曲げ疲れ限度 (σ_{wp}) は速度効果を修正していないものである。

本実験では 3.000 cpm で行なつたため、疲れ限度に及ぼす繰返し速度の影響をしらべ、図12に示す結果を得た。

横軸には設定すべき応力 (stress) およびその場合の試験機のダイヤルゲージの目盛りをとり、縦軸には試験片に発生するひずみ (strain) をとつた。

同図より明らかに $1,500 \text{ cpm}$ では計算値とほとんど一致して修正の必要はない。しかし、 $3,000 \text{ cpm}$ では同一のダイヤルゲージ設定値に対して $1,500 \text{ cpm}$ の場合より約 100×10^{-6} だけひずみが小さくこの分の補正をする必要がある。

今回の実験値に対しては 2 Kg/mm^2 の補正をした。すなわち、

$$\text{補正した疲れ限度} = \text{実験で得られた疲れ限度} - 2 \text{ Kg/mm}^2$$

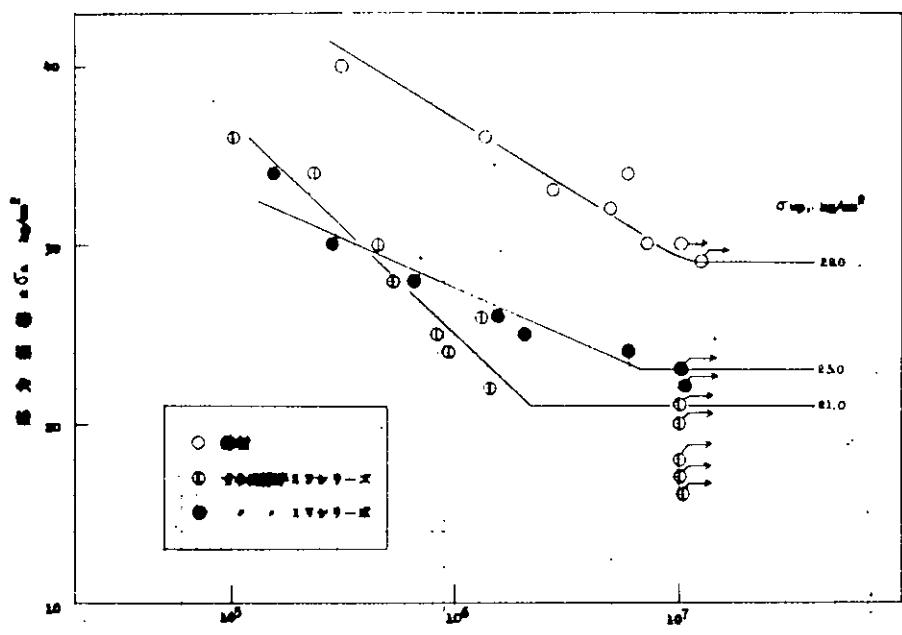
以上のようにして求めた疲れ試験結果を表10に総括して示した。

また、同表にはすみ肉継手疲れ限度の母材の疲れ限度に対する比ものせた。

なお、立向継手が下向継手に比べて若干優れている理由は、今回の試験では立向溶接が下進法で行なつたためピード形状が凹型となり、これが疲れ強度に有利に作用したものと推定される。

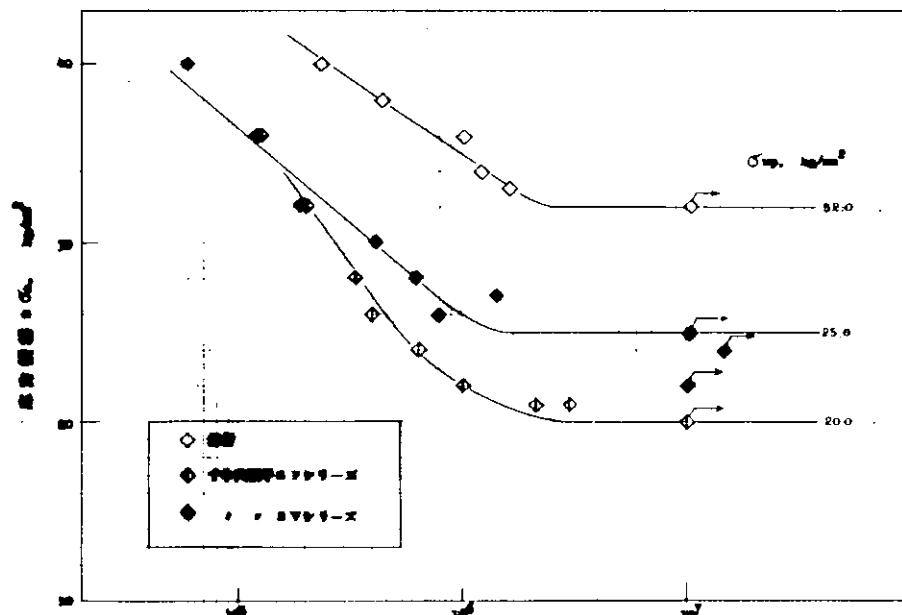
図13には板厚と母材および各種疲れ限度の関係を示した。

なお、写真12に継手の継面マクロ組織を写真13に破面の1例を示す。



破断までの繰返し数 N

図 10 平面曲げ疲れ試験結果（その 1：板厚 3.2 mm, C 方向、鋼材 I）



破断までの繰返し数 N

図 11 平面曲げ疲れ試験結果（その 2：板厚 4.5 mm, C 方向、鋼材 I）

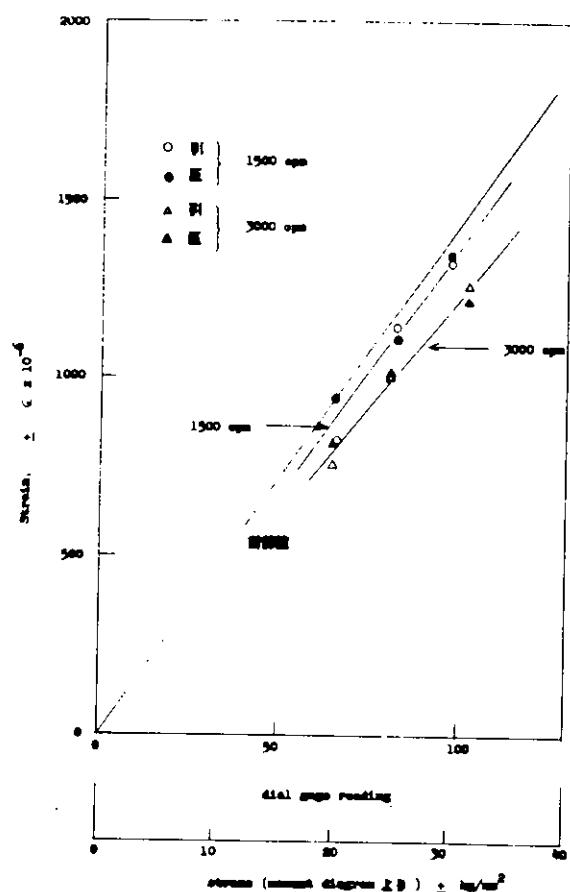


図 1-2 繰返し速度の影響

表 1-0 疲れ試験結果総括

継板厚 手	$t = 3.2 \text{ mm}$		$t = 4.5 \text{ mm}$	
	σ_{wp}	母材に對する比	σ_{wp}	母材に對する比
母材	27.0	1.00	30.0	1.00
	29.0	—	32.0	—
すみ肉継手 立向 (Vシリーズ)	21.0	0.78	23.0	0.77
	23.0	—	25.0	—
すみ肉継手 下向 (Fシリーズ)	19.0	0.70	18.0	0.60
	21.0	—	20.0	—

(下の数字は速度修正をしない値)

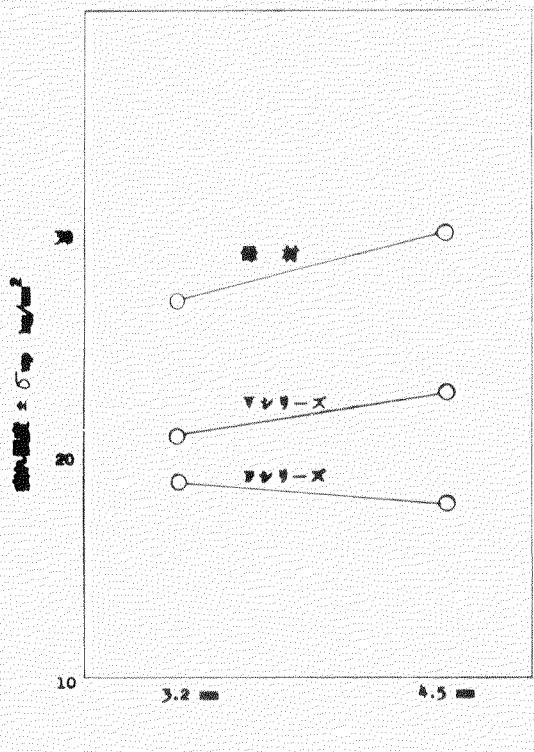


図 1-3 板厚と母材および各種継手の疲れ限度の関係

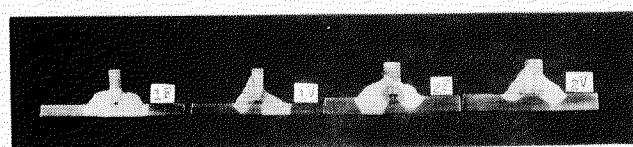


写真 1-2 継手の断面マクロ組織

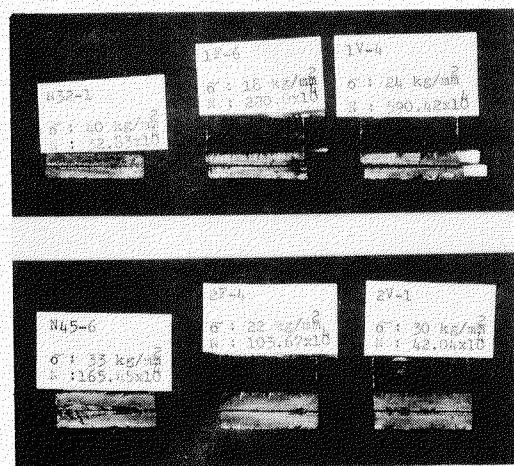


写真 1-3 破面状況の 1 例

9 結果のとりまとめ

9.1 母材試験

試験項目	本研究の概要		手溶接試験結果の概要 ※
	試験要領	結果の概要	
化学分析	3.2, 4.5 mmの板について C, Si, Mn, P, S, Cu, Cr, Tiについて 分析を行なう。	規格値を満足した	同 左
曲げ(表裏曲げ) 試験	曲げ半径2t, 曲げ 角度180°にて表裏曲 げ試験を行なう。	いずれも良好であつた。	表面に微少クラッ クが発生した。
引張試験	母材よりJIS5号 引張試験片を採取し試験 を行なう。	$\sigma_Y = 41 \text{ Kg/mm}^2$, $\sigma_B = 53 \sim 54 \text{ Kg/mm}^2$ を示し、規格を満足 した。	規格を満足した
衝撃試験	2.5 mm Vノツチサブサイ ズ試験片を用いて温度範 囲-60～20°Cで遷移 曲線を求める。	-60～20°Cの温度範 囲ではC方向の平均が約 20 Kg-mで遷移曲線は 認められなかつた。	同 左

※ 海上保安庁のご協力により石原造船、川崎重工、新日本製鐵で実施した「耐候性鋼板
の加工性および溶接性試験」(S 45年度)の報告書から引用した。

9.2 溶接作業性試験

試験項目	本研究の概要		手溶接試験結果の概要
	試験要領	結果の概要	
外観検査	溶接終了後ビード形状について検査を行なう。	4.5mmの突合せ継手でアンダーカットが若干発生する傾向があつた。また、すみ肉継手では3.2, 4.5mmともオーバーラップ気味のビードとなつた。	—
放射線検査	突合せ継手全線に対し放射線検査を行なう。	結果は下記のとおりで良好な結果が得られた。	—
ダイチエック検査	すみ肉継手全線に対してダイチエック検査を行なう。	表面にプローホールが検出された以外欠陥は見られなかつた。	—

9.3 溶接性試験

試験項目	本研究の概要		手溶接試験結果の概要
	試験要領	結果の概要	
引張試験	突合せ継手に対し溶接継手の引張試験を行なう。	いづれも良好な値を示し一部を除いて※1母材から破断した。	いづれも良好であり全て母材から破断した。
曲げ試験	曲げ半径2t、曲げ角度180°にて突合せ継手については表裏曲げ試験を、すみ肉継手については表曲げ試験を行なう。	t=4.5mmの突合せ継手、すみ肉継手で一部の継手にクラックが発生した。※2	いづれも良好な結果を示した。
衝撃試験	2.5mmVノッチサブサイス試験片を用いて温度範囲-60~20°CでDepo.HAZについて遷移曲線を求める。	Depo.HAZとともにほとんどの継手に対し-60~20°Cの間では遷移曲線は見られなかつた。	同左
硬さ試験	溶接部に対して硬さ試験を行なう。	最高値はHAZでHV210~230を示し母材はHV170~190を示した。	最高値はHAZでHV200~220を示し、母材はHV160~180を示した。

※ 1 Depo. 破断したもの………記号 O BV

※ 2 突合せ継手………記号 O AF, O AV, O BV

すみ肉継手………記号 O CV

9.4 疲労試験

試験項目	本研究の概要		手溶接試験結果の概要
	試験要領	結果の概要	
母材	両振り曲げ試験により S-N曲線および疲労 強度を求める。	$t = 3.2 \text{ mm} : \sigma_{wp}$ $= 27 \text{ Kg/mm}^2$ $t = 4.5 \text{ mm} : \sigma_{wp}$ $= 30 \text{ Kg/mm}^2$	$t = 4.5 \text{ mm} : \sigma_{wp}$ $= 31 \text{ Kg/mm}^2$ $(t = 3.2 \text{ mm} \text{について}$ $\text{は実施していない})$
T型すみ肉継手	同上	下向姿勢 $t = 3.2 \text{ mm} : \sigma_{wp}$ $= 19 \text{ Kg/mm}^2$ $t = 4.5 \text{ mm} : \sigma_{wp}$ $= 18 \text{ Kg/mm}^2$ 立向姿勢 $t = 3.2 \text{ mm} : \sigma_{wp}$ $= 21 \text{ Kg/mm}^2$ $t = 4.5 \text{ mm} : \sigma_{wp}$ $= 23 \text{ Kg/mm}^2$	下向姿勢 $t = 4.5 \text{ mm} : \sigma_{wp}$ $= 21 \text{ Kg/mm}^2$ $(\text{下向姿勢の } t = 3.2 \text{ mm および立向姿勢に$ $\text{ついては実施していない})$

図14に従来の薄鋼板の平面曲げ疲れ試験結果と本試験で得られた疲れ試験結果を引張強さを基準に比較して示した。

母材の疲れ限度は図に示したバンドの中に分布しているが、枠囲いして示したように鋼材Iはこのバンドの上部に位置し極めてすぐれていることがわかる。

薄鋼板のすみ肉継手のデータは従来の結果ではなく、比較できないがこれも枠囲いして示したように母材の疲れ限度のバンドの下部に位置し約 20 Kg/mm^2 の疲れ限度を示した。

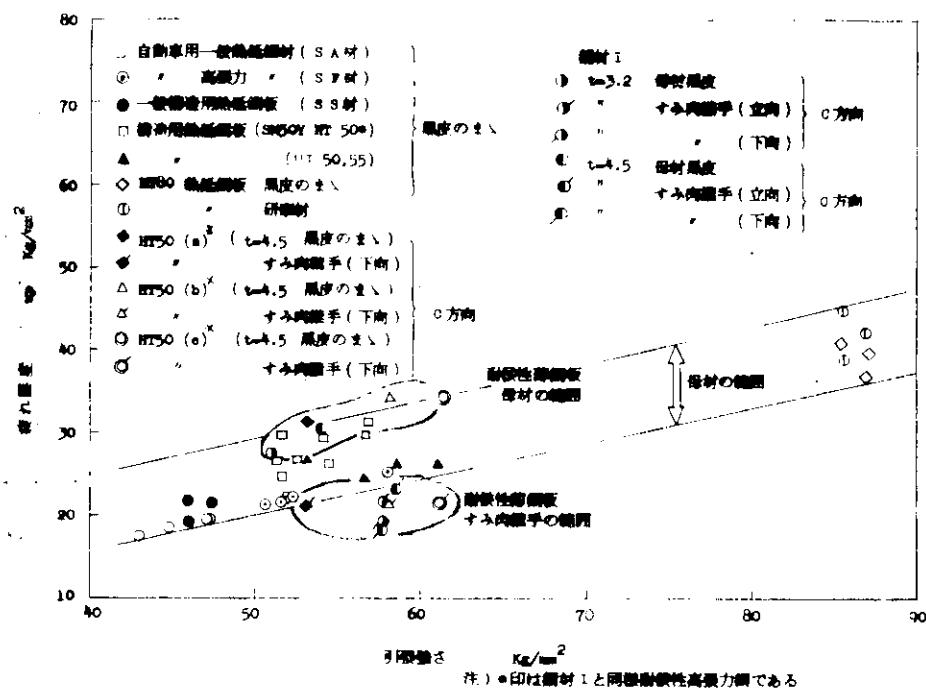


図 14 引張強さと両振り平面曲げ疲れ限度の関係

10 総 括

10.1 溶 接 機

- (1) 本試験に用いた溶接機は300A型半自動溶接機N, Oの2種類である。
- (2) 溶接作業性試験および溶接性試験の結果からは、機種による差は見られずいずれも良好であった。N, Oとも300A用の溶接機を用いたが薄板鋼板では使用電流が低いため500A用の大容量のものでは溶接条件が安定せず小容量のほうが優れていると思われる。

10.2 溶 接 材 料

- (1) 本試験に用いた溶接材料は、下記の3種類であり、ソリッド型とコンポジット型のものを用いた。

A.....ソリッド型 0.9, 1.2mmØ

B.....ソリッド型 1.0, 1.2mmØ

C.....コンポジット型 1.2mmØ

- (2) ソリッド型の心線とコンポジット型の心線の作業性を比較してみると、コンポジット型の心線は1.2mmØ以下の径のものが製作困難なため、使用電流が高く薄板に対しては外観が悪くなる。

しかし、放射線検査および継手試験の結果からはソリッド型、コンポジット型とも差は見られなかつた。

- (3) ソリッド型の心線はAおよびBの2種類使用した差は見られず良好であった。

また、参考までにソリッド型ワイヤDについても同様の試験を行なつたが問題はなかつた。

10.3 溶 接 欠 陥

- (1) 薄板鋼板に炭酸ガス溶接を適用する場合、現在市販されている溶接機、溶接材料を用い適正溶接条件(P8, P90の溶接条件表参照)で溶接すれば、下向、立向姿勢とも問題なく施工できる。
- (2) 溶接欠陥は溶接機、溶接材料、溶接条件などの他に開先形状、裏はつりの有無、ギャップ、ビード継目の処理法、風、目違いなどにより影響を受けやすいため、これらの点についても施工基準を設定しておくことが必要であろう。

(付録2 追加工作法試験結果参照)

注1) 石原造船、川崎重工、新日本製鉄「耐候性鋼板の加工性および溶接性試験報告書」(昭和45年度)

付録 1 追 加 試 験 - そ の 1 -

「 小型鋼船の建造に対する炭酸ガス
半自動溶接工作法に関する研究 」

鋼材 II の 試験結果

目 次

1 試験項目	42
2 供試材および使用溶接機	42
2.1 供試鋼材	42
2.2 溶接材料	42
2.3 使用溶接機	43
3 母材試験	44
3.1 試験要領	44
3.2 試験片の形状	44
3.3 試験結果	45
4 溶接作業性試験	46
4.1 試験要領	46
4.2 溶接条件および開先形状	46
4.3 試験結果	46
5 溶接継手性能試験	52
5.1 試験要領	52
5.2 試験片の形状	53
5.3 試験結果	55
6 疲労試験	64
6.1 試験要領	64
6.2 疲労試験機	64
6.3 試験結果	64
7 結果のとりまとめ	66
7.1 母材試験	66
7.2 溶接作業性試験	66
7.3 溶接性試験	67
7.4 疲労試験	67
8 総括	68

鋼種IIについても本文と同様の試験を行なつた。その結果を以下に記す。

1 試験項目

供試材			II											
溶接機			N						O					
板厚			3.2 mm			4.5 mm			3.2 mm			4.5 mm		
ワイヤ			A	E	C	A	E	C	A	E	C	A	E	C
母材試験	化学成分			○			○			-		-	-	
	引張試験			○			○			-		-	-	
	曲げ試験			○			○			-		-	-	
	衝撃試験			○			○			-		-	-	
溶接作業性試験	溶合せ	外観検査			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		放射線検査			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	すみ肉	外観検査			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		ダイチエック検査			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
溶接性試験	突合せ	化学分析			○	○	○	-	-	-	-	-	○	○
		マクロ試験			○	○	○	-	-	-	-	-	○	○
		硬さ試験			○	○	○	-	-	-	-	-	○	○
		引張試験			○	○	○	-	-	-	-	-	○	○
		曲げ試験			○	○	○	-	-	-	-	-	○	○
		衝撃試験			○	○	○	-	-	-	-	-	○	○
疲労試験	すみ肉	マクロ試験			○	○	○	-	-	-	-	-	○	○
		曲げ試験			○	○	○	-	-	-	-	-	○	○
	母材			○			○			-				
	すみ肉			-	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-

2 供試材および使用溶接機

2.1 供試鋼材

本試験に供試した鋼材の板厚は 3.2 mm と 4.5 mm の 2 種類である。表 1-(a), (b) に供試鋼材の化学成分および機械的性質について示す。

表 1 - (a) 化 学 成 分

鋼材，板厚		化 学 成 分 (%)									
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cv	Nb	SoI Al
II	規 格 値	≤0.15	≤0.55	≤1.50	≤0.030	≤0.030	0.20 ~0.50	≤0.40	0.50 ~0.80	≤0.10	0.15 ~0.55
	3.2mm	ミルシート	0.09	0.50	0.71	0.006	0.003	0.29	0.15	0.61	0.011 0.280
	分析值	0.09	0.51	0.71	0.006	0.003	0.28	0.15	0.60	0.011	0.276
	4.5mm	ミルシート	0.09	0.50	0.71	0.006	0.003	0.29	0.15	0.61	0.011 0.280
	分析值	0.09	0.53	0.71	0.006	0.003	0.29	0.16	0.60	0.011	0.277

表 2 - (b) 機 械 的 性 質

鋼材，板厚		引 張 試 驗			曲 げ (曲げ角度180°)
		Y P (Kg/mm ²)	T S (Kg/mm ²)	E I (%)	
II	規 格 値	2 3 7	5 0 ~ 6 2	2 2 5	良 好
	3.2mm ミルシート	4 5.9	5 8.1	2 9.0	良 好
	母材試験	4 5.7	5 8.3	2 9.5	良 好
	4.5mm ミルシート	4 3.7	5 4.9	3 3.0	良 好
	母材試験	4 4.1	5 6.1	3 0.5	良 好

2.2 溶接材料

(1) 心 線

記 号	型 式	ワイヤ径 (mm)	
		突合せ	すみ肉
A	ソリッド	1.2	0.9
		1.2	0.9
C	フラックス入り	1.2	1.2

(2) シールドガス

炭酸ガス 溶接用炭酸ガス

2.3 使用溶接機

記 号	最大使用電流
N	300 amp
O	300 amp

3 母材試験

3.1 試験要領

本試験に先立ち各板厚に対し、図1に示す試験片採取要領により母材試験を行なつた。

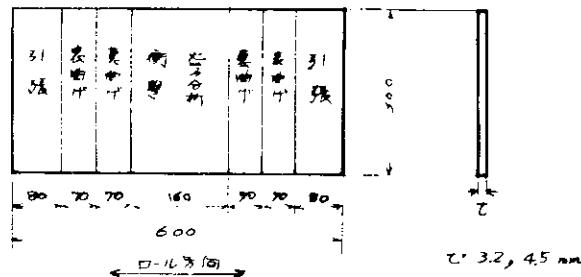
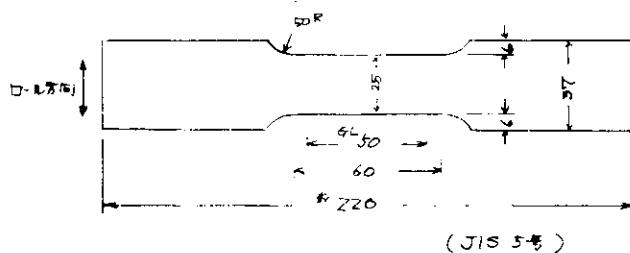


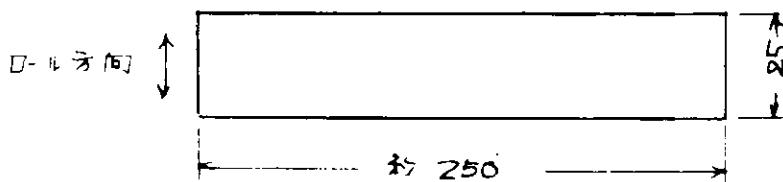
図1 母材試験片採取要領

3.2 試験片の形状

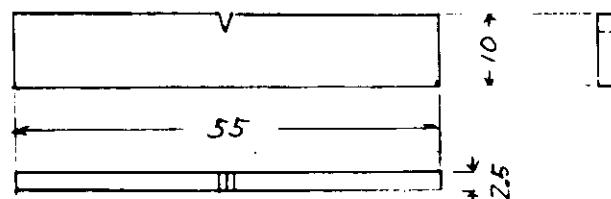
(1) 引張試験片



(2) 曲げ試験片



(3) 衝撃試験片 (2.5 mm Vノツチサブサイズ)



3.3 試験結果

- (1) 化学成分 表1-(a)に示す。
- (2) 引張試験 表1-(b)に示す。また、写真1に試験後の外観を示す。
- (3) 曲げ試験 表1-(b)に示す。また、写真2に試験後の外観を示す。
- (4) 衝撃試験 図2に示す。また、写真3に-20°Cでの試験後の外観を示す。

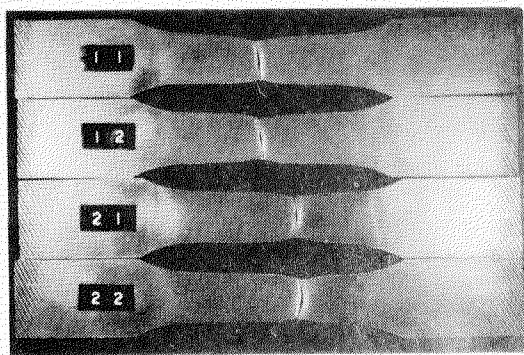


写真1 引張試験後の外観

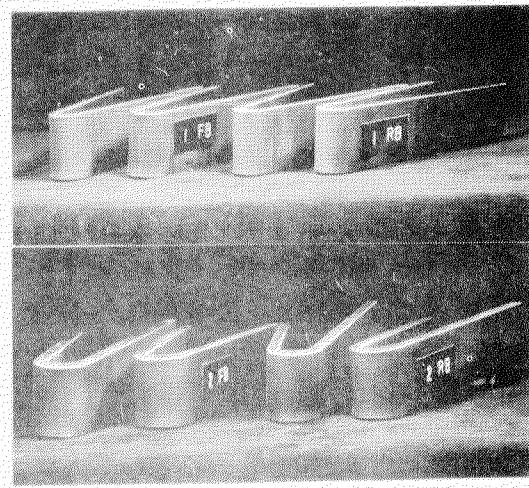


写真2 曲げ試験後の外観

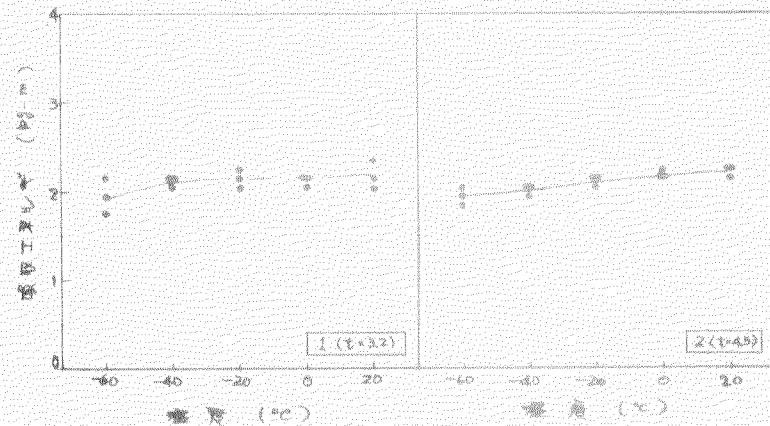


図2 母材の遷移曲線

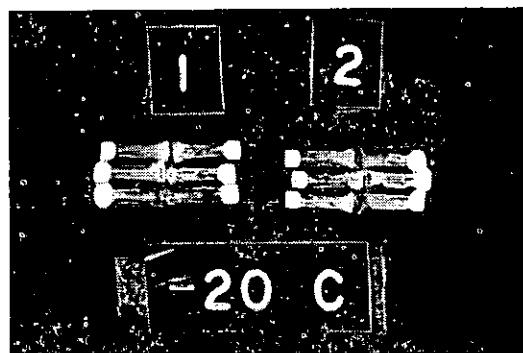


写真3 衝撃試験後の外観

4 溶接作業性試験

4.1 試験要領

図3に示す突合せ継手およびすみ肉継手試験板を用い、表3に示す試験条件により溶接を行ない、突合せ継手に対しては外観検査ならびに放射線検査により、すみ肉継手に対しては外観検査ならびにダイチェック検査により、作業性についての比較検討を行なつた。

4.2 溶接条件および開先形状

表2に使用溶接材料と開先形状および累層法を示す。また、表4に溶接条件をまとめたものを示す。

4.3 試験結果

外観検査………表5-(a), (b)に示す。検査の結果どの試験板も良好な外観を示した。

放射線検査………表6に示す。

ダイチェック検査………試験の結果どの試験板にもわれなどの欠陥は検出されず、良好であつた。

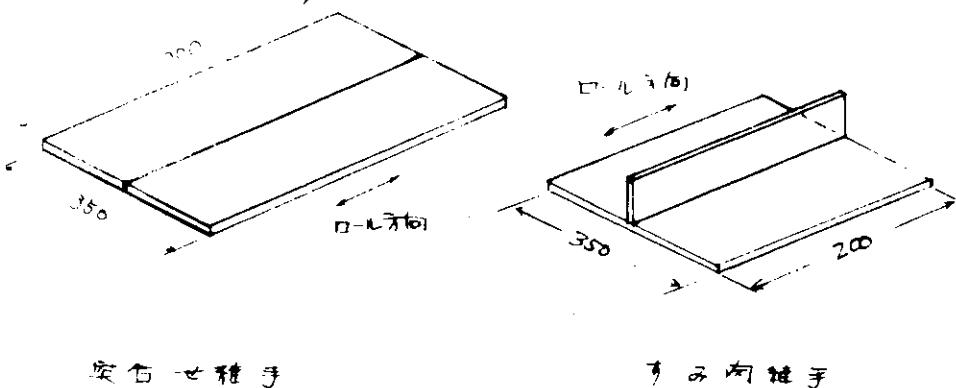


図3 溶接作業性試験板の形状

表2 使用溶接材料および開先形状

継手の種類	溶接材料			開先形状および累層法
	銘柄	径 (mm)	ガス流量	
突合せ継手	A	1.2	20ℓ/min	
	E	1.2		
	C	1.2		
すみ肉継手	A	0.9	20ℓ/min	
	E	0.9		
	C	1.2		

表 3 試験条件

鋼板厚 (mm)	溶接法		試験条件								
	継手	姿勢	作業性			継手性能			疲労		
			A	E	C	A	E	C	A	E	C
3.2	突合せ	下向	N O	N O	N O	N	N	N	-	-	-
		立向	N O	N O	N O	N	N	N	-	-	-
	すみ肉	下向	N O	N O	N O	N	N	N	-	N	-
		立向	N O	N O	N O	N	N	N	-	N	-
4.5	突合せ	下向	N O	N O	N O	O	O	O	-	-	-
		立向	N O	N O	N O	O	O	O	-	-	-
	すみ肉	下向	N O	N O	N O	O	O	O	-	O	-
		立向	N O	N O	N O	O	O	O	-	O	-

記号の説明

- 1) N, O は溶接機の種類を示す。
- 2) A, E, C はワイヤーの種類を示す。
- 3) 以後の試験記号は、溶接機-ワイヤー姿勢の組合せを示す。溶接姿勢の記号は、次のとおりとする。

F : 下向

V : 立向

表 4 溶接条件

板厚	溶接法			溶接材料	溶接条件				
	継手	姿勢	運棒	銘柄	径 (mm)	N		O	
						電流 (amp)	電圧 (volt)	電流 (amp)	電圧 (volt)
3.2mm	突合せ	下向	-	A	1.2	130	19	140	22
				E	1.2	130	20	140	22
				C	1.2	140	21	140	23
		立向	上進	A	1.2	90	19	100	20
				E	1.2	80	19	90	20
				C	1.2	100	19	100	20
	すみ肉	下向	-	A	0.9	130	19	130	20
				E	0.9	130	20	140	22
				C	1.2	120	19	130	21
4.5mm	突合せ	下向	-	A	0.9	130	20	140	23
				E	0.9	130	20	140	23
				C	1.2	140	21	150	24
		立向	上進	A	1.2	120	20	120	20
				E	1.2	120	21	120	22
				C	1.2	120	21	130	22
	すみ肉	下向	-	A	0.9	140	20	140	23
				E	0.9	140	22	140	23
				C	1.2	140	21	140	24
	すみ肉	立向	下進	A	0.9	140	22	150	23
				E	0.9	140	20	150	23
				C	1.2	140	21	140	23

表 5 - (a) 作業性試験の外観検査結果

- 突合せ継手 -

板厚 (mm)	記号	ビード巾		ビード高さ		プローホール	アンダーカット	備考
		表面	裏面	表面	裏面			
3.2	N A F	7.2	6.4	1.8	1.2			
	N A V	6.3	5.6	2.1	1.9			
	N E F	7.2	6.4	2.0	1.6			
	N E V	6.2	7.8	1.9	1.8			
	N C F	7.1	5.7	1.8	1.6			
	N C V	6.8	6.2	1.7	1.2			
	O A F	7.3	6.8	1.4	0.9			
	O A V	7.5	8.0	1.7	1.2		Max 0.3	
	O E F	8.1	7.6	1.6	1.5			
	O E V	7.4	6.4	0.9	1.1			
4.5	O C F	6.9	7.1	1.8	1.4			
	O C V	7.1	6.7	2.1	2.3			
	N A F	8.2	7.1	1.5	1.7			
	N A V	7.8	9.0	1.1	1.3			
	N E F	8.6	8.3	1.7	2.0			
	N E V	7.3	7.1	1.9	1.7			
	N C F	8.4	8.1	1.6	1.9			
	N C V	7.9	8.2	1.3	1.5			
	O A F	8.1	7.2	1.8	1.4			
	O A V	9.0	6.8	2.1	1.7		Max 0.4	
	O E F	7.8	7.4	0.9	1.3			
	O E V	7.1	6.8	2.3	2.5		Max 0.3	
	O C F	8.5	7.4	1.6	1.6			
	O C V	7.9	7.1	1.9	2.4			

- 注 1. 計測点は右図のとおりである。
2. ビード巾、ビード高さはⒶⒷⒸⒹⒺ 5点の平均である。
3. プローホール、アンダーカットで空欄は良好的のものを示す。

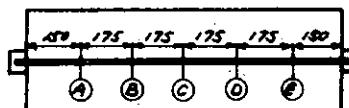


表 5-(b) 作業性試験の外観検査結果

- すみ肉継手 -

板厚 (mm)	記号	表面		裏面		プローホール	アンダーカット	オーバーラップ	備考
		下脚長	上脚長	下脚長	上脚長				
3.2	NAF	3.3	3.5	3.4	3.3				裏面少し
	NAV	3.7	3.4	3.6	3.5				
	NEF	3.6	3.8	3.5	3.6				
	NEV	3.7	3.9	3.3	3.5				
	NCF	3.4	3.4	3.7	3.5				
	NCV	3.5	3.8	3.5	3.6				
	OAF	3.4	3.3	3.7	3.5				
	OAV	3.6	3.7	3.5	3.7				
	OEF	3.7	3.5	3.6	3.4				
	OEV	3.6	3.7	3.6	3.6				
4.5	OCF	3.5	3.6	3.7	3.6				表面少し
	OCV	3.4	3.5	3.6	3.4				
	NAF	4.7	4.6	4.5	4.5				
	NAV	4.8	4.9	4.8	4.7				
	NEF	4.9	4.6	4.7	4.7				
	NEV	4.9	5.1	4.8	4.9				
	NCF	4.9	5.1	4.8	4.6				
	NCV	4.9	5.2	5.0	4.7				
	OAF	4.8	4.6	4.6	4.5				
	OAV	4.7	4.9	4.8	5.0				
	OEF	4.7	4.7	4.7	4.6				表面少し
	OEV	5.0	4.9	4.9	5.1				
	OCF	4.7	4.7	4.6	4.6				表面少し
	OCV	4.5	4.9	4.7	4.6				

注 1 計測点は右図のとおりである。

2 脚長はⒶⒷⒸ 3 点の平均である。

3 プローホール、アンダーカット

オーバーラップで空欄は良好のもの

を示す。

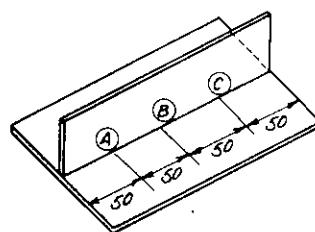


表 6 放射線試験結果

記号 No	3.2 mm				4.5 mm			
	No 1	No 2	No 3	No 4	No 1	No 2	No 3	No 4
N A F	2 (P1)	1	2 (P1)	1	1	1	2 (S1)	1
N A V	3 (S3)	1	2 (S1)	2 (P1)	2 (P2)	2 (P2)	1	2 (P2)
N E F	1	1	1	1	3 (P4)	1	1	2 (P1)
N E V	1	1	1	2 (P1)	1	1	2 (S1)	1
N C F	1	1	1	1	2 (P1)	1	3 (S3)	2 (P1)
N C V	2 (P1)	3 (S3)	1	1	1	2 (P1)	1	2 (P1)
O A F	1	1	2 (S3)	1	1	1	1	1
O A V	1	1	3 (P1)	1	2 (S1)	2 (P1)	1	1
O E F	1	1	3 (P3)	2 (P2)	2 (P1)	3 (S3)	1	1
O E V	1	1	1	1	2 (P1)	1	2 (P1)	1
O C F	2 (P1S1)	1	1	2 (P1)	2 (S1)	2 (P1)	1	1
O C V	1	2 (P1)	2 (P1)	1	2 (S1)	2 (P1)	2 (S1P1)	3 (S3)

注 記号説明

1) 数字は旧 J I S の等級を示す。

2) 括弧中の記号

P プローホール 数字はプローホールの個数を示す。

S スラグ巻込み 数字は欠陥長 (mm) を示す。

5 溶接継手性能試験

5.1 試験要領

表4に示す溶接条件にて施工された各溶接継手から図4に示す試験片採取要領により引張、曲げ、衝撃、破面ならびに組織などの各試験片を採取して継手性能を比較し、どの供試材がすぐれているかを検討した。また、あわせて溶接金属の化学分析を行なつた。

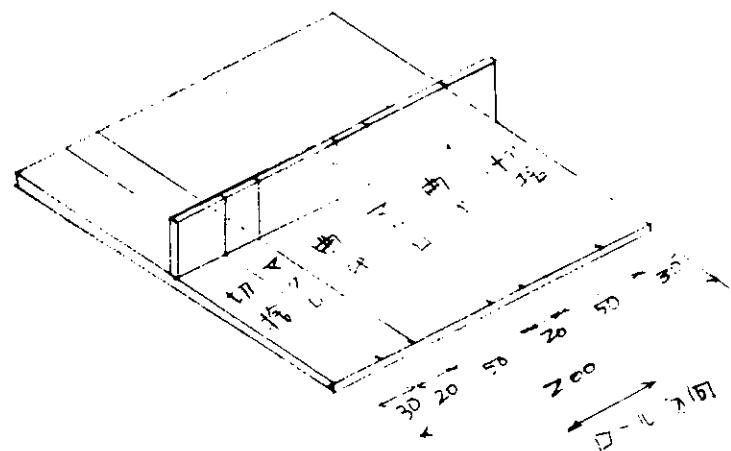
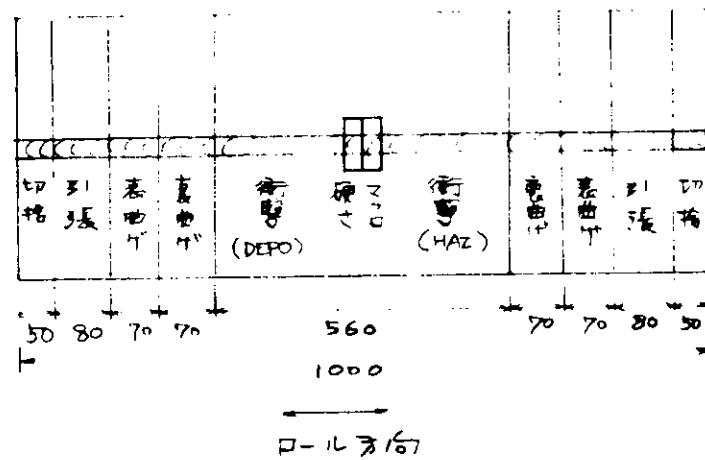
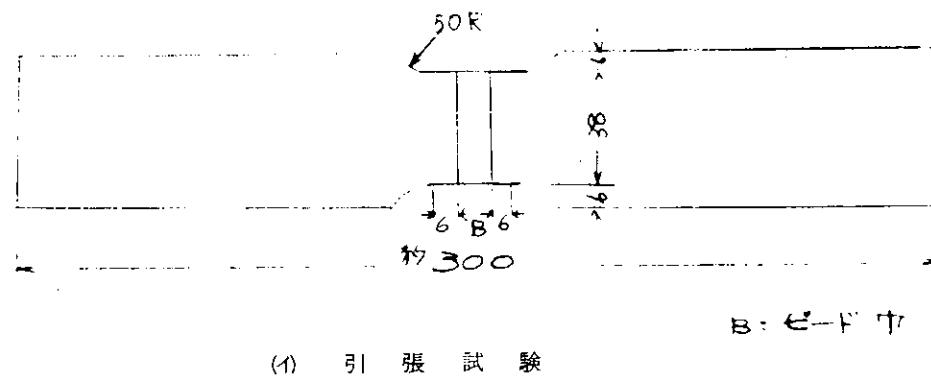
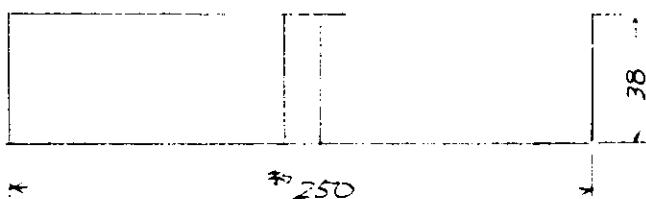


図4 各種試験片の採取要領

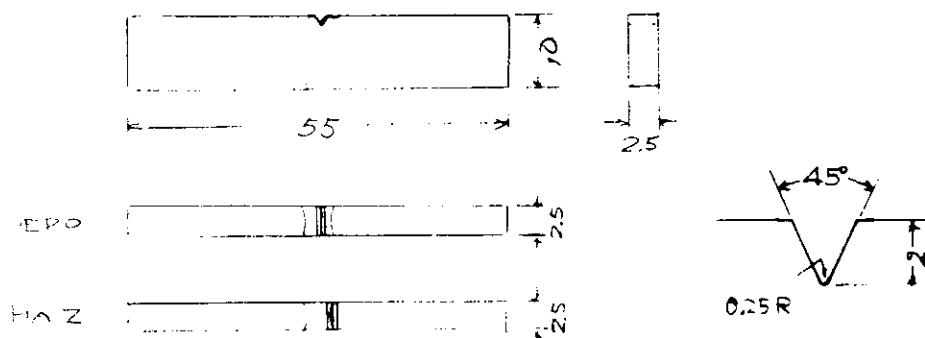
5.2 試験片の形状

本試験に用いる試験片の形状は図5(a), (b)に示すとおりである。



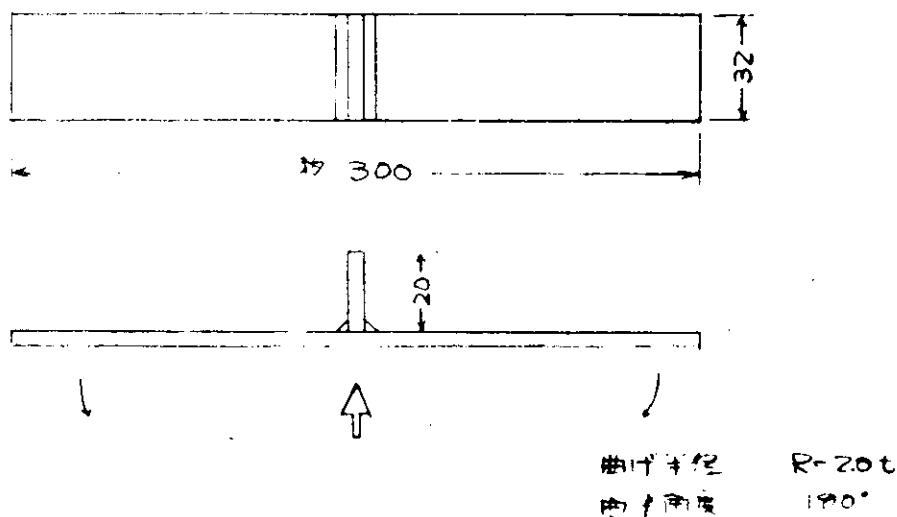


(a) 曲げ試験

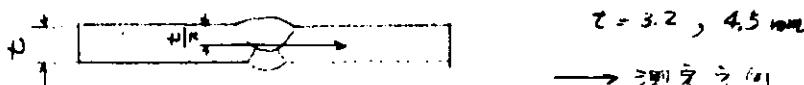


(b) 衝撃試験

図 5 - (a) 繰手性能試験片の形状



(b) すみ肉曲げ試験片



(b) 硬さ試験片

図 5 - (b) 繋手性能試験片の形状

5.3 試験結果

化 学 分 析 表7に示す。

引 張 試 験 表8-(a), (b)に示す。また、試験後の外観の一例を写真4, 5に示す。

曲 げ 試 験 表8に示す。また、試験後の外観の一例を写真4, 5および写真6, 7に示す。

衝 撃 試 験 表8および図6(a)~(f)に示す。また、同時に-20°Cでの試験後の外観写真もあわせて示す。

硬 さ 試 験 図7-(a), (b)に示す。

マ ク ロ 試 験 写真8, 9にマクロ組織を示す。

表7 溶接金属の化学分析結果

銘柄規格	化 学 成 分 (%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	So1Al
母材規格値	≤0.15	≤0.55	≤1.50	≤0.030	≤0.030	0.20~0.50	≤0.40	0.50~0.80	0.15~0.55
A	0.09	0.42	0.93	0.007	0.005	0.16	0.08	0.36	0.388
E	0.09	0.38	0.89	0.007	0.005	0.28	0.25	0.66	0.391
C	0.08	0.41	0.92	0.006	0.007	0.12	0.09	0.30	0.372

表 8 継手性能試験結果

板厚 (mm)	記号	引張試験			衝撃試験 (Kg-m)					曲げ試験		
		Y P (Kg/mm ²)	T S (Kg/mm ²)	破断位置	-60°C	-40°C	-20°C	0°C	+20°C	溶合せ継手		すみ肉 継手
										表曲げ	裏曲げ	
3.2	N A F	4 7.6	6 0.4	B	1.63	1.73	1.70	1.84	1.90	○○	○○	○○
		4 6.8	5 9.8	B	1.73	1.80	2.01	2.25	2.32			
	N A V	4 5.9	5 9.7	B	1.46	1.73	1.73	1.83	1.87	○○	○○	○○
		4 6.3	6 1.2	B	1.66	2.08	2.08	2.39	2.64			
	N E F	4 8.8	6 0.2	B	1.66	1.80	1.87	1.87	2.04	○○	○○	○○
		4 6.4	6 1.4	B	2.18	2.11	2.71	2.75	2.83			
	N E V	4 8.0	5 9.9	B	1.56	1.80	1.84	1.90	2.08	○○	○○	○○
		4 9.0	5 9.9	B	1.97	2.29	2.64	2.89	2.93			
	N C F	4 3.8	6 0.6	B	1.57	1.63	1.67	1.80	2.04	○○	○○	○○
		4 3.0	6 0.2	B	1.70	1.94	2.18	2.53	2.67			
4.5	N C V	4 4.9	6 0.1	B	1.63	1.70	1.70	1.80	1.83	○○	○○	○○
		4 4.1	5 9.7	B	1.90	2.29	2.32	2.39	2.39			
	O A F	4 9.5	6 2.8	B	1.66	1.70	1.77	1.76	1.97	○○	○○	○○
		—	6 2.6	B	2.22	2.39	2.45	2.46	2.67			
	O A V	4 7.2	6 2.9	B	2.11	2.15	2.29	2.43	2.38	○○	○○	○○
		4 9.6	6 2.8	B	2.22	2.32	2.43	2.53	2.60			
	O E F	4 6.1	6 1.4	B	1.56	1.70	1.83	1.90	1.97	○○	○△ (カット丸)	○○
		4 7.7	6 1.6	B	2.15	2.29	2.43	2.39	2.53			
	O E V	4 9.6	6 2.8	B	1.56	1.66	1.97	2.01	1.97	○○	○○	○○
		4 7.8	6 2.8	D	2.04	2.25	2.43	2.39	2.53			
	O C F	4 7.4	6 2.1	B	1.60	1.63	1.77	1.97	1.97	○○	○○	○○
		—	6 3.0	B	2.25	2.32	2.29	2.53	2.46			
	O C V	4 6.8	6 2.0	B	1.50	1.60	1.80	1.94	2.08	○○	○○	○○
		4 9.5	6 2.5	B	2.46	2.60	2.74	2.71	2.75			

注 1 破断位置 B:母材

D:溶接金属

2 衝撃値 3本の平均値を示す。

上段はDEPO, 下段はHAZの値を示す。

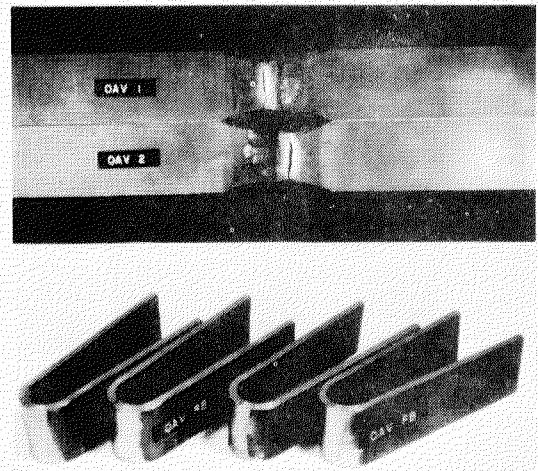
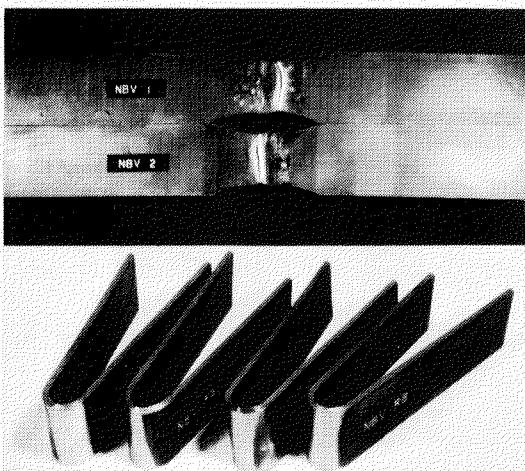
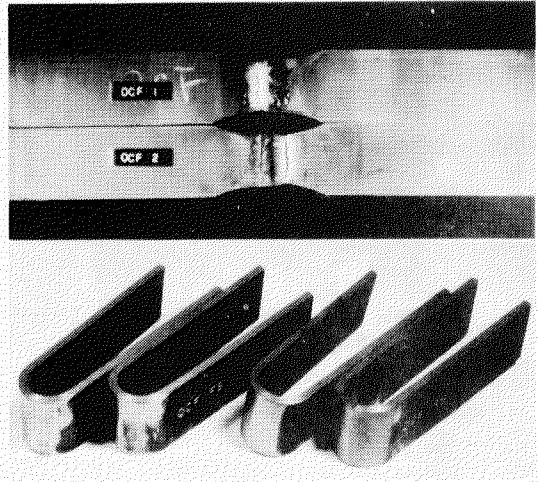
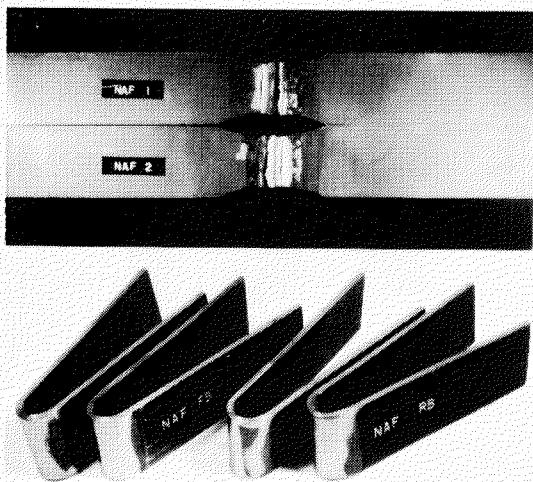


写真 4 機械試験後の外観

$t = 3.2 \text{ mm}$

写真 5 機械試験後の外観

$t = 4.5 \text{ mm}$

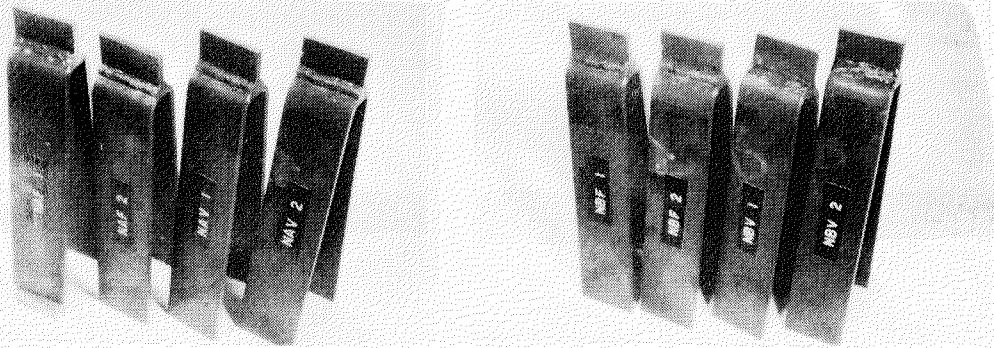


写真6 すみ肉継手曲げ試験後の外観

$t = 3.2 \text{ mm}$

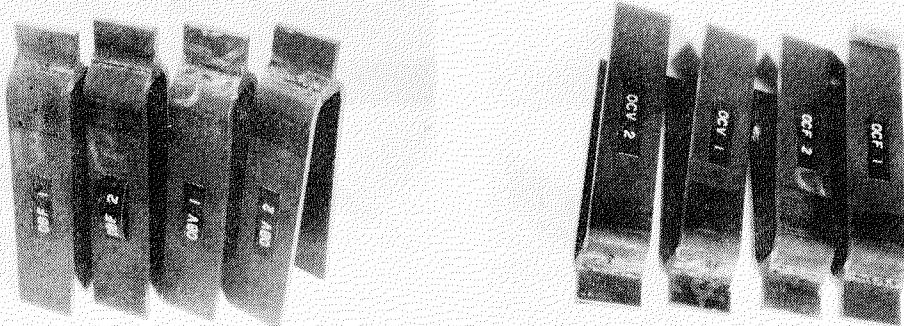


写真7 すみ肉継手曲げ試験後の外観

$t = 4.5 \text{ mm}$

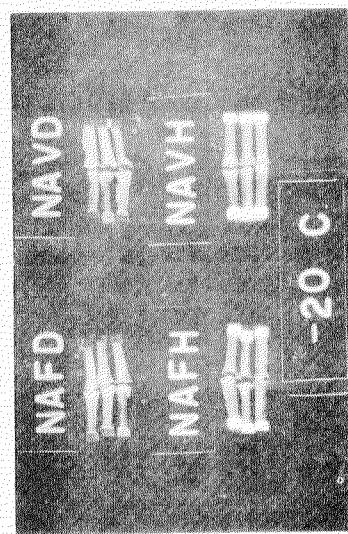
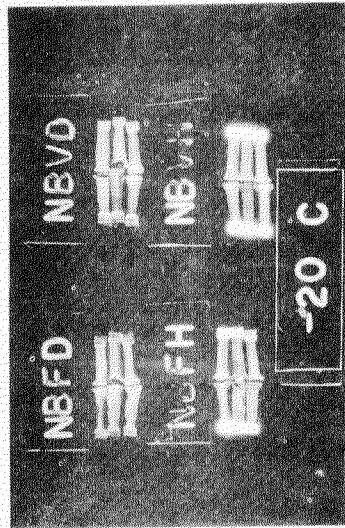
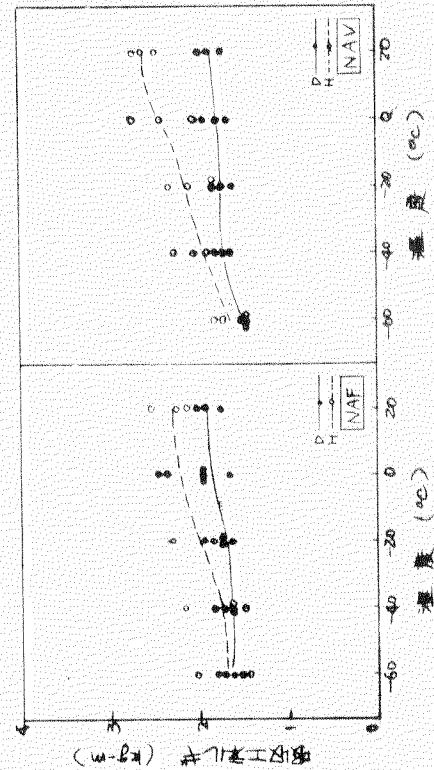
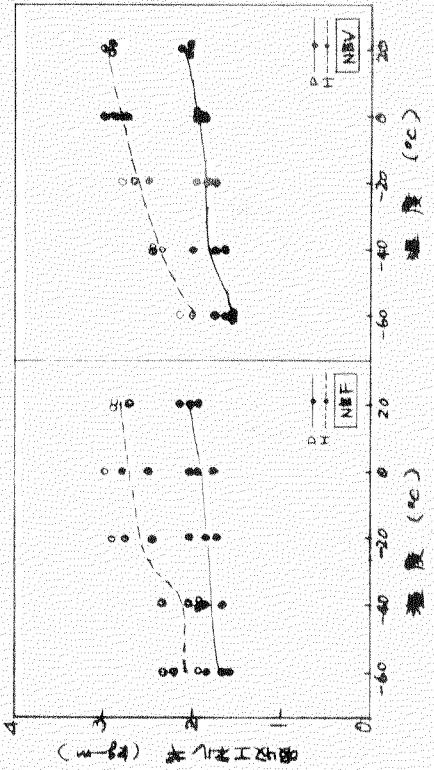


図 6-(a) 溶接継手部の遷移曲線
図 6-(b) 溶接継手部の遷移曲線

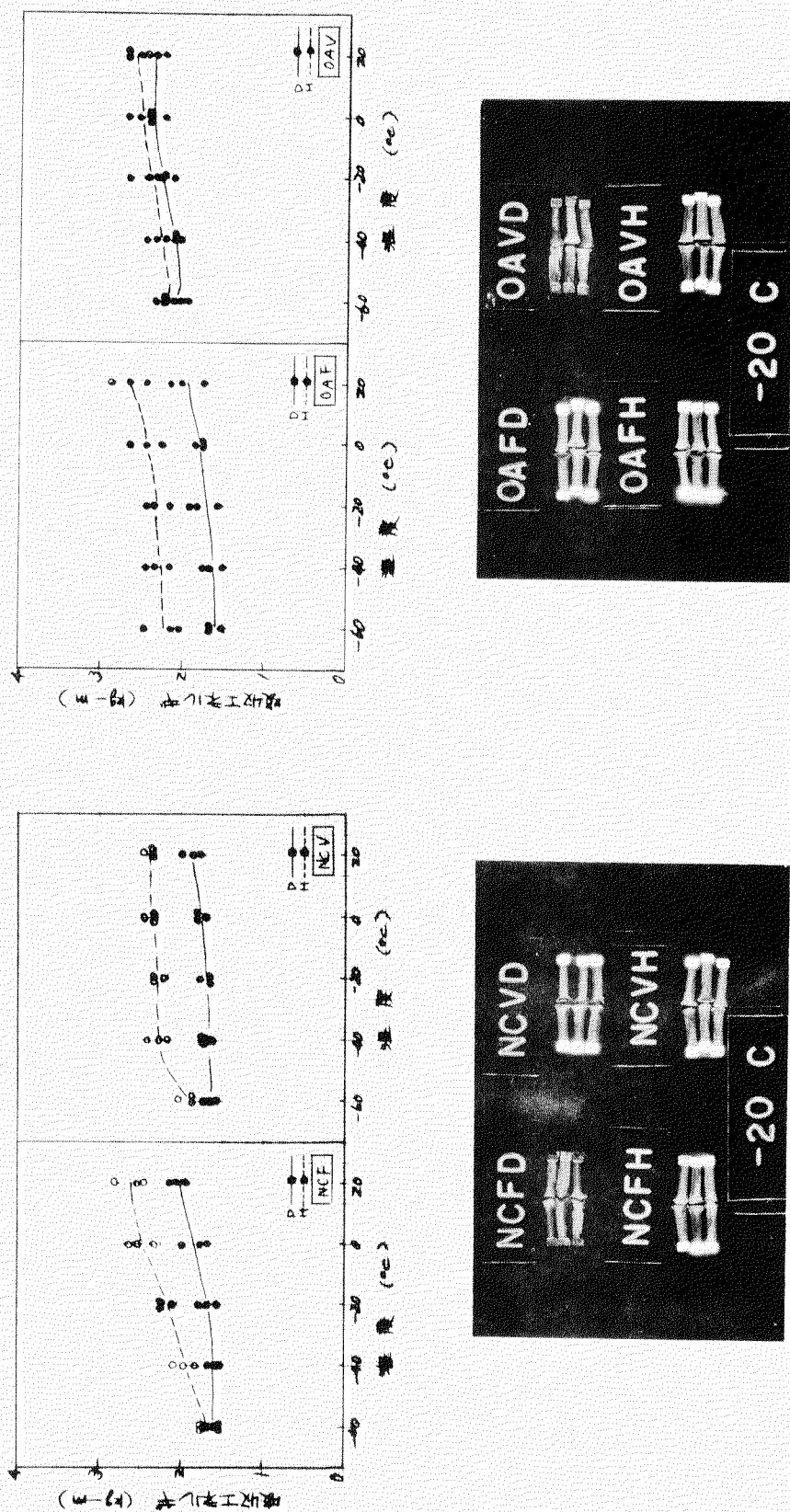


図 6-(c) (d) 溶接継手部の遷移曲線

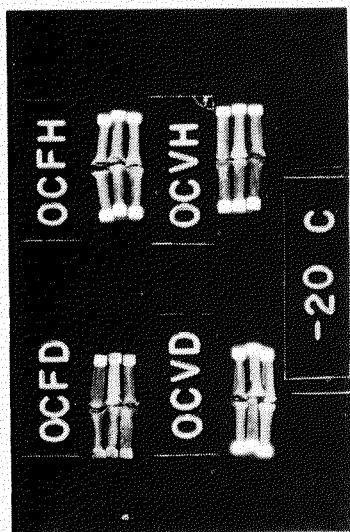
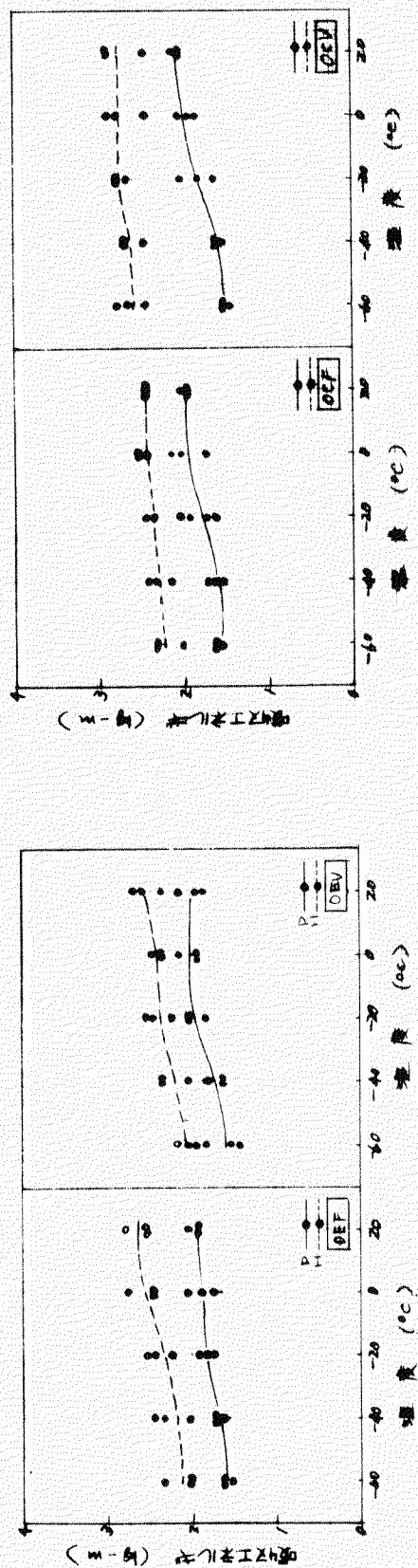


図 6-(e) 溶接継手部の遷移曲線

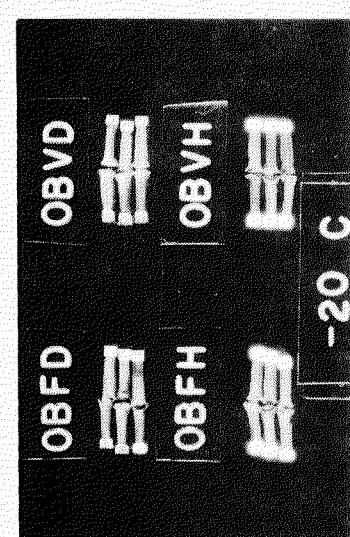


図 6-(f) 溶接継手部の遷移曲線

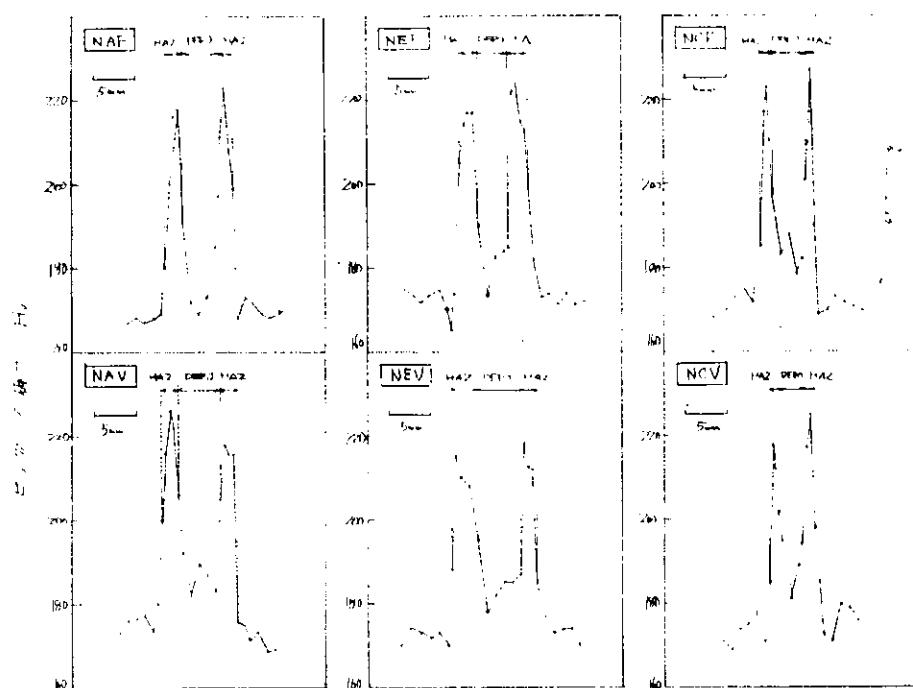


図 7 - (a) 溶接部の硬さ分布 板厚 3.2 mm

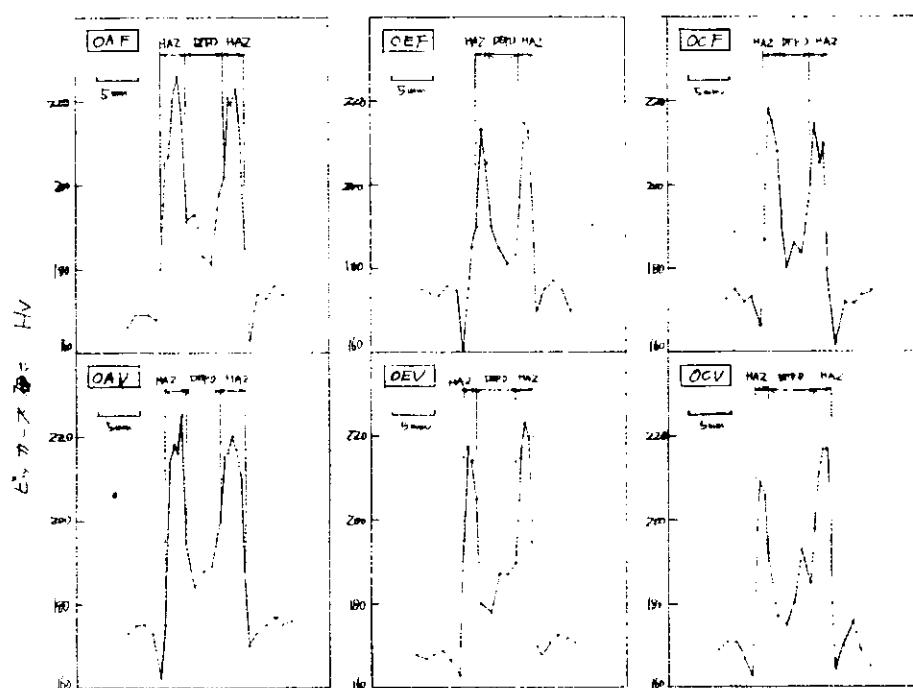


図 7 - (b) 溶接部の硬さ分布 板厚 4.5 mm

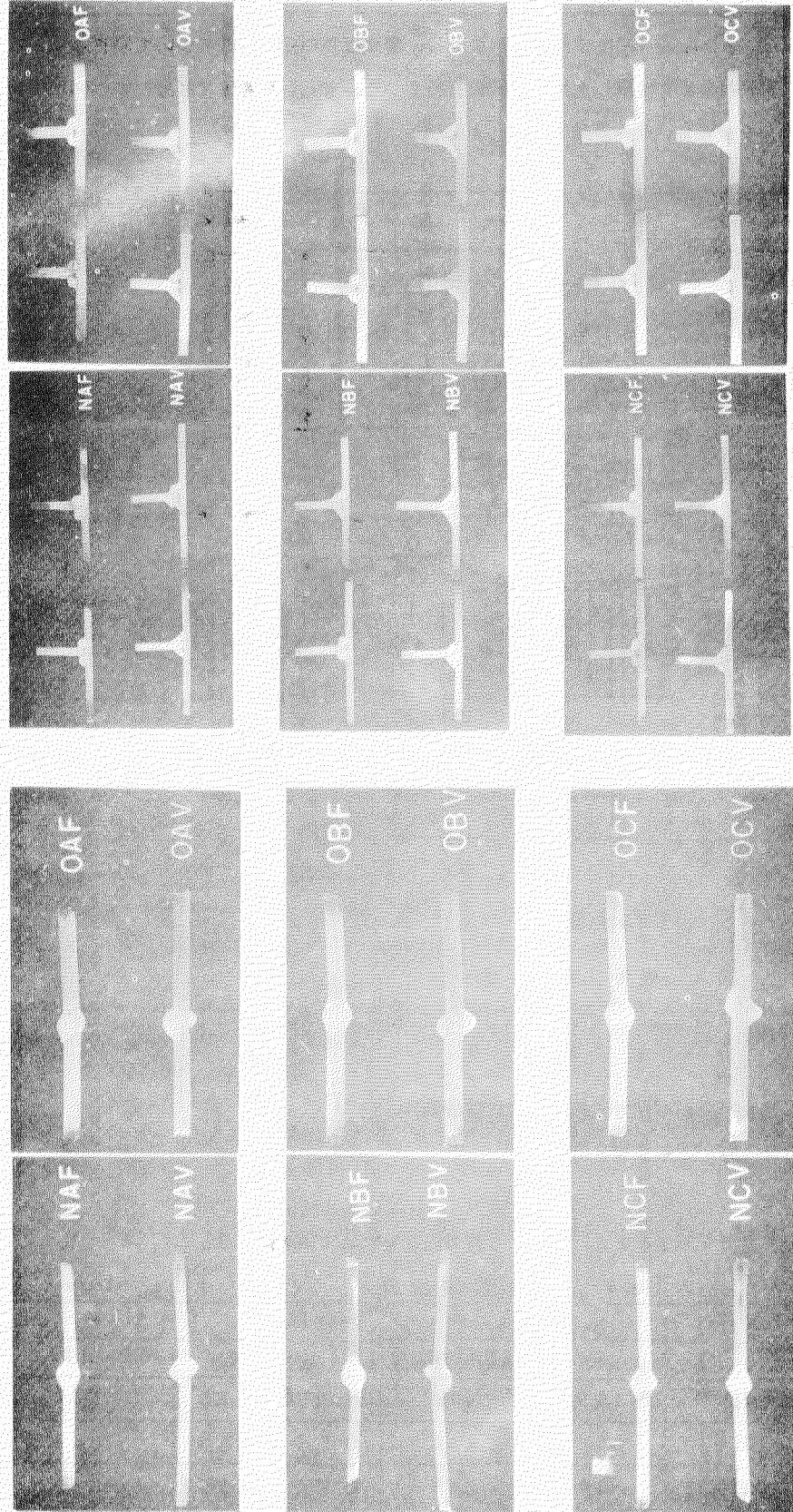


写真 8 突合せ継手の断面マクロ組織
 $t = 3.2 \text{ mm}$ $t = 4.5 \text{ mm}$

$t = 3.2 \text{ mm}$ $t = 4.5 \text{ mm}$
写真 9 すみ肉継手の断面マクロ組織

6 疲労試験

6.1 試験要領

T型すみ肉溶接継手から図8に示す試験片を採取し、溶接継手の疲労特性について調査した。なお、試験片のビードの余盛りは残したまま試験を行なつた。また、参考までに母材についても、図8に示す試験片を採取し、疲労試験を実施した。

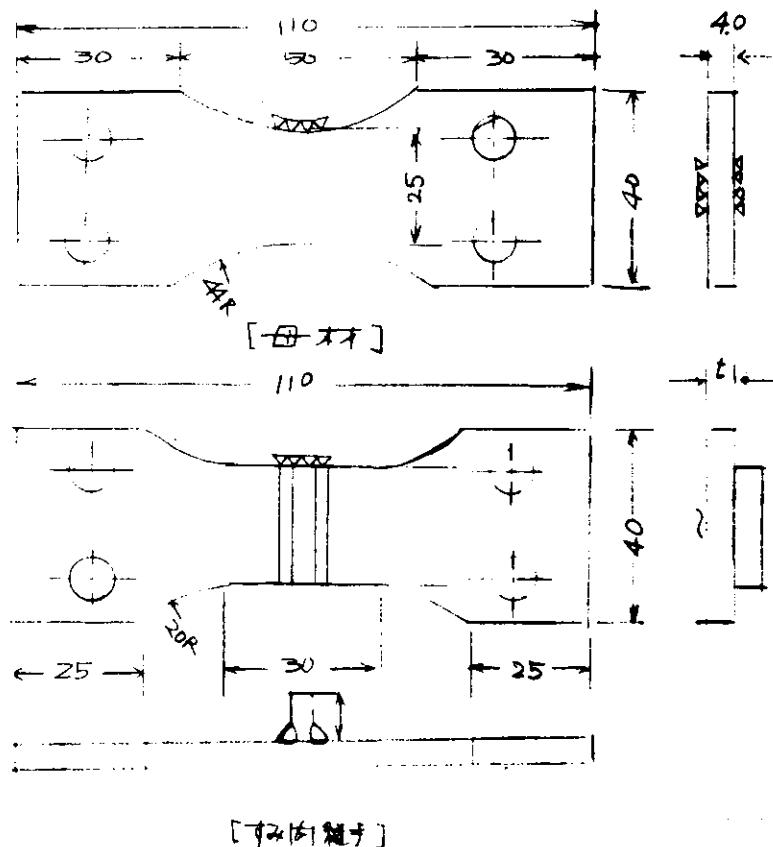


図8 疲労試験片形状

6.2 疲労試験機

Schenck型繰返し曲げ疲労試験機（森試験機製）

容量 4 Kg-m, 1500 cpm

6.3 試験結果

図9-(a), (b)の結果を示す。また、同図より疲労限度を求めて表9に示す。

表9 疲労試験結果

板厚 継手	$t = 3.2 \text{ mm}$		板厚 継手	$t = 4.5 \text{ mm}$	
	σ_w	母材に対する比		σ_w	母材に対する比
母材(研磨)	33.5	1.00	母材(研磨)	33.5	1.00
N E F	20.0	0.60	O E F	21.0	0.63
N E V	23.0	0.69	O E V	25.0	0.75

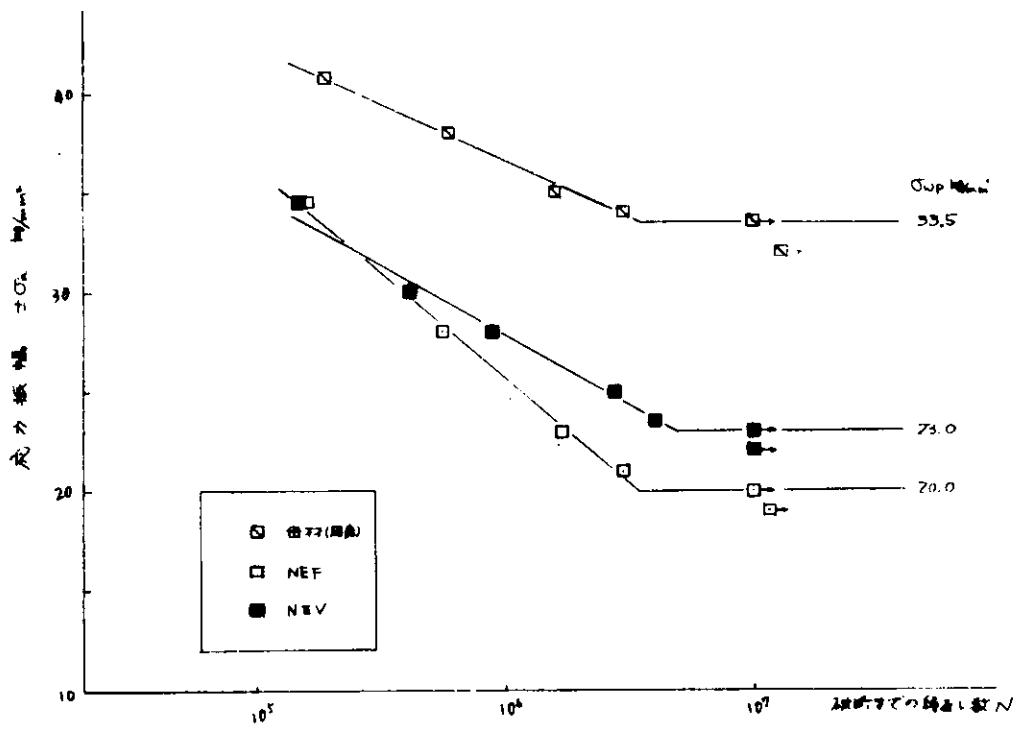


図 9 - (a) 平面曲げ疲労試験結果 ($t = 3.2 \text{ mm}$)

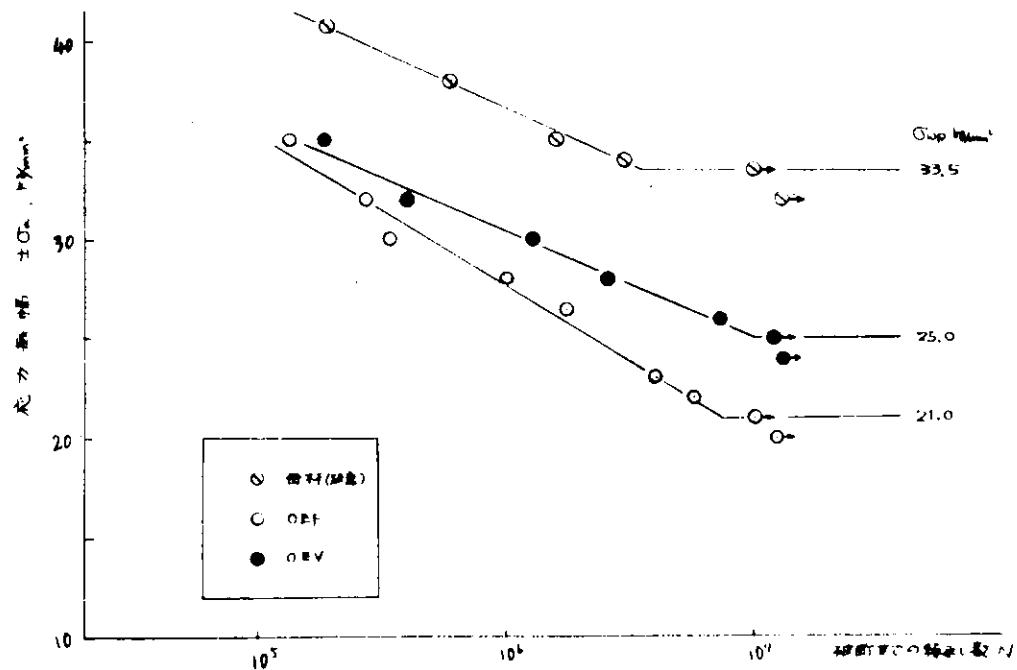


図 9 - (b) 平面曲げ疲労試験結果 ($t = 4.5 \text{ mm}$)

7 結果のとりまとめ

今回行なつた試験結果をとりまとめ、手溶接の結果と比較して示す。なお、手溶接試験には同一チヤージの鋼板を用い、本文の参考文献とほとんど同一の内容で試験を行なつたものである。

7.1 母材試験

試験要領		試験結果の概要	
試験項目	試験内容	炭酸ガス溶接	手溶接
化学分析	3.2, 4.5 mmの板について C, Si, Mn, P, S, Cu, Cr, Ni, Nb について分析を行なう	規格値を満足した	同 左
曲げ(表裏曲げ)試験	曲げ半径 2 t, 曲げ角度 180°にて表裏曲げ試験を行なう	いずれも良好であつた	同 左
引張り試験	JIS 5号試験片を探取し、試験を行なう	$\sigma_y = 45$, $\sigma_B = 57$ を示し、規格を満足した	$\sigma_y = 44$, $\sigma_B = 56$ を示し規格を満足した
衝撃試験	2.5 mm V ノッチサブサイン試験片を用いて温度範囲 -60 ~ 20 °C の温度範囲では平均 2.1 Kgm で遷移曲線は認められなかつた	-60 ~ 20 °C の温度範囲では平均 2.1 Kgm で遷移曲線は認められなかつた	同 左

7.2 溶接作業性試験

試験要領		試験結果の概要													
試験項目	試験内容	炭酸ガス溶接	手溶接												
外観検査	溶接終了後ビード形状について検査を行なう	突合せ継手では立向姿勢でアンターカットが若干発生する傾向があつた すみ肉継手では、下向姿勢でオーバーラップ気味のビードとなつた。	-												
放射線検査	突合せ継手全線に対し放射線検査を行なう	結果は下記のとおりで良好な結果が得られた <table border="1"> <thead> <tr> <th>級</th> <th>枚数</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1級</td> <td>77枚</td> <td>58.3%</td> </tr> <tr> <td>2級</td> <td>54枚</td> <td>33.3%</td> </tr> <tr> <td>3級</td> <td>13枚</td> <td>8.3%</td> </tr> </tbody> </table>	級	枚数	%	1級	77枚	58.3%	2級	54枚	33.3%	3級	13枚	8.3%	-
級	枚数	%													
1級	77枚	58.3%													
2級	54枚	33.3%													
3級	13枚	8.3%													
ダイチエック検査	すみ肉継手全線に対してダイチエック検査を行なう。	欠陥は検出されなかつた	-												

7.3 溶接性試験

試験要領		試験結果の概要	
試験項目	試験内容	炭酸ガス溶接	手溶接
引張り試験	突合せ継手に対し、溶接継手の引張り試験を行なう。	いずれも良好な値を示し、一部を除いて母材から破断した。※1	いずれも良好な値を示し、すべて母材から破断した。
曲げ試験	曲げ半径2t、曲げ角度180°にて曲げ試験を行なう。 突合せ：表裏曲げ すみ肉：表曲げ	突合せ継手の一部にカットわれが発生した以外はすべて良好であつた。※2	突合せ継手、すみ肉継手とも良好であつた。
衝撃試験	2.5mmサブサイズVノッチ試験片を用いて温度範囲-60～20°CについてDEPO, HAZの遷移曲線を求める。	すべての継手に対し、DEPO, HAZとともに-60～20°Cの間では遷移曲線は認められなかつた。	DEPOについては-40°C付近から衝撃値が低下する傾向が見られた。HAZでは-60～20°Cの間では遷移曲線は認められなかつた。
硬さ試験	溶接部に対して板厚の1/2の位置で硬さ試験を行なう。	最高値はHAZでH _v 210～230を示し、母材は170～180を示した。	最高値はHAZでH _v 200～220を示し、母材は160～180を示した。

※1 溶接金属から破断したもの OEV

※2 カットわれの発生したもの OEF

7.4 疲労試験

試験要領		試験結果の概要	
試験項目	試験内容	炭酸ガス溶接	手溶接
母材	両振り曲げ試験によりS-N曲線および疲労強度を求める。	研磨材で $\sigma_{up}=33.5Kg/mm^2$ であつた。	
すみ肉継手	同上	下向姿勢では 3.2mmで $\sigma_{wp}=20.0Kg/mm^2$ 4.5mmで $\sigma_{wp}=21.0Kg/mm^2$ 立向姿勢では 3.2mmで $\sigma_{wp}=23.0Kg/mm^2$ 4.5mmで $\sigma_{wp}=25.0Kg/mm^2$ を示した。	下向姿勢4.5mmで $\sigma_{wp}=21.0Kg/mm^2$ を示した。

8 総 括

- (1) 本試験では、2種類の溶接機、3種類の溶接ワイヤを用いたが、溶接作業性試験および溶接性試験の結果からは差が見られず、いずれも良好であつた。ただ作業性の面から、このような薄板に対しては細径のほうがいくらか良いようであつた。
- (2) 薄板鋼板の炭酸ガス溶接は、市販溶接機、溶接ワイヤを用いて適正溶接条件で適用すれば、問題なく施工できる。

付録 2 追 加 試 験 - そ の 2 -

「 小型鋼船の建造に対する炭酸ガス
半自動溶接工作法に関する研究 」

追 加 工 作 法 試 験 結 果

目 次

1. 開先形状と裏はつりの要否の検討.....	71
2. ギヤップの溶接性に及ぼす影響について.....	73
3. ピード継目の処理法の検討.....	78
4. 風の影響について.....	79
5. 突合せ溶接における目詰いの影響について.....	85
6. 炭酸ガスによる欠陥について.....	88
7. 総 括.....	89

1 開先形状と裏はつりの要否の検討

1.1 試験要領

図1に示す突合せ継手試験板を用い、表1に示す試験条件により両面溶接を行ない外観検査ならびに放射線検査により比較検討を行なつた。

1.2 供試材

- (1) 鋼材……………鋼材I, 3.2 mm 4.5 mm
- (2) 溶接機……………N
- (3) 心線……………A, 1.2 mm Ø

表1 試験条件

板厚・記号		開先形状	裏はつりの有無	裏はつりの深さ
3.2 mm	4.5 mm			
1	A	I	なし	-
2	B	I	あり	板厚の1/2
3	C	X	なし	-
4	D	X	あり	板厚の1/2

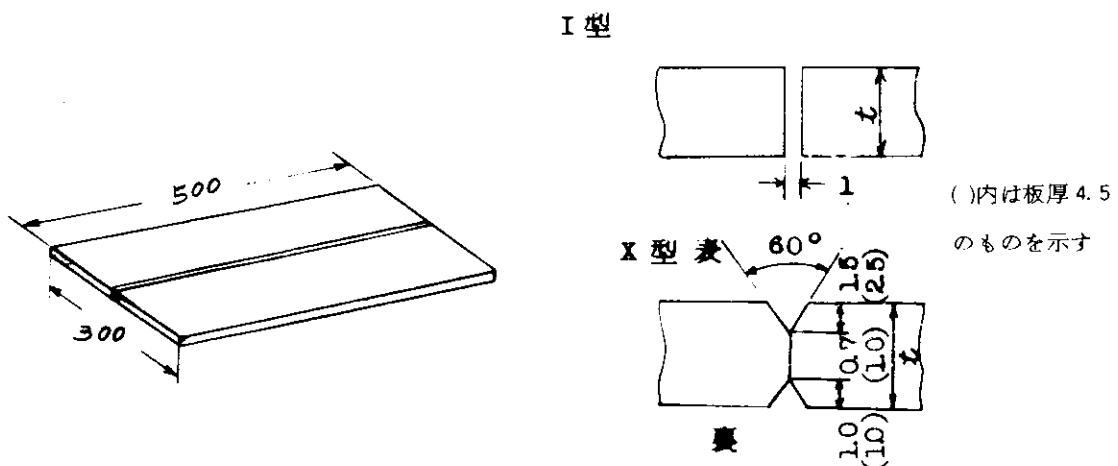


図1 開先形状と試験板の大きさ

1.3 試験結果

表2に示す溶接条件により溶接を行なつた。

溶接後の外観検査の結果、とくに欠陥は発見されず良好であつた。

放射線検査結果は表3に示す。また、溶接後の試験板の外観を写真1に示す。

表 2 溶接条件

試験板番号 項目	3.2 mm							
	1		2		3		4	
表裏	表	裏	表	裏	表	裏	表	裏
電流 (Amp)	160	160	160	160	150	210	160	200
電圧 (Vol)	20	21	20	20	20	20	20	20
炭酸ガス流量 (ℓ/分)	19	19	19	20	19	19	19	185

試験板番号 項目	4.5 mm							
	A		B		C		D	
表裏	表	裏	表	裏	表	裏	表	裏
電流 (Amp)	190	200	200	190	200	200	200	200
電圧 (Vol)	20	20	21	21	21	20	21	20
炭酸ガス流量 (ℓ/分)	19	19	185	19	19	19	19	19

〔備考〕

気温 20.5 °C, 湿度 75% の室内で 3 方開壁を設けて施工した。

表 3 放射線試験結果

試験板番号	1	2	3	4	A	B	C	D
板厚 (mm)	3.2	3.2	3.2	3.2	4.5	4.5	4.5	4.5
開先形状	I	I	X	X	I	I	X	X
JIS判定、級	1	1	2	2	1	1	1	1

判定は旧 JIS による。

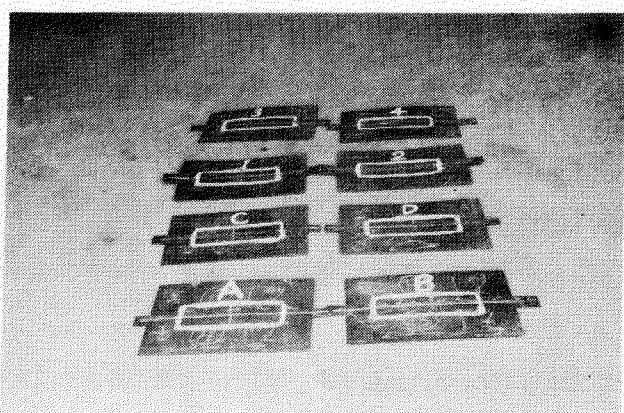


写真 1 試験板の外観写真

1.4 概 評

I型、X型開先とも特に裏はつりを施工しなくても溶け込み不良は見られなかつた。したがつて、上記試験結果からすれば開先条件はI型裏ほりなしを採用しても良い。しかし、作業施工上、溶接中心線の確保が難かしくセンターズレを生じる場合があるため、表裏とも0.5mm程度の面をとるI型を採用することとした。

その開先形状を図2に示す。

なお、溶接作業性試験における突合せ溶接試験板は全てこの開先を採用し裏はつりなしである。

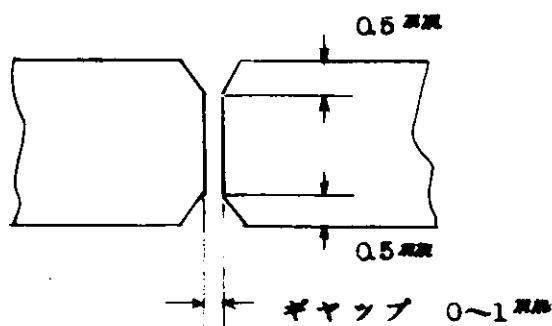


図2 開先形状の詳細

なお、裏はつりの要否については試験板では施工しなかつたが、実船の場合は各種条件を加味し、より確実性を増すために板厚の1/3程度の裏はつりを施工するほうが望ましい。

2 ギヤツプの溶接性に及ぼす影響について

2.1 試験要領

図3に示す突合せ、およびすみ肉継手試験板を用い、表4に示す試験条件により溶接を行ない、作業性を調査するとともに曲げ試験、マクロ試験を施工しギヤツプの影響について調査した。試験片の本数を表5に示す。

2.2 供 試 材

- (1) 鋼 板……… 鋼種I, 3.2 mm
- (2) 溶 接 機……… N
- (3) 心 線……… A, 1.2 mmφ突合せ
0.9 mmφすみ肉

表4 試験条件

継 手	姿 勢	枚 数	備 考
突合せ	下 向	2	上 進
	立 向	2	
すみ肉	下 向	2	下 進
	立 向	2	

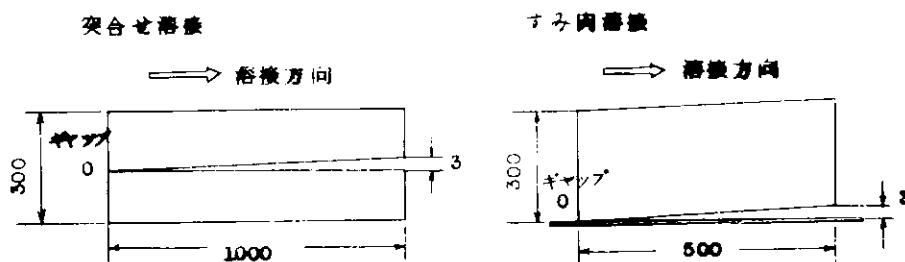


図3 試験板の形状

表5 マクロおよび曲げ試験片数

継手	姿勢	ギャップ1mm	ギャップ2mm	ギャップ3mm
突合せ	下向	5枚	5枚	—
	立向	5	5	—
すみ肉	下向	3	3	3
	立向	3	3	3

- (注) 1. 各試験片のうち1枚はマクロ試験片である。
2. 突合せ継手はF B, R B各2枚ずつ施工する。

2.3 試験結果

表6に示す溶接条件で溶接を施工した結果、突合せ溶接では下向、立向とも2.5mmギャップが最大限でそれ以上は溶接できなかつた。

すみ肉溶接では下向、立向とも3mmのギャップでも溶接可能で、表面溶接完了した時点にて裏側を調査したところでは各試験板とも十分の溶け込み状態が確認された。

溶接後の外観を写真2に示す。

(1) 曲げ試験結果

曲げ試験の結果いずれも良好な結果が得られた。

試験後の外観は写真3-(a)および3-(b)に示す。

(2) マクロ試験結果

各ギャップでの断面マクロを写真4に示す。

表 6 溶接条件

板厚 (mm)	継手	姿勢	溶接方向	心線 (mmφ)	電流 (Amp)	電圧 (Volt)	試験板番号	備考
3.2	突合	下向	ギャップ 0 → 3	1.2	140	21	1	ギャップ 2.5 mm 以上溶接不能
"	"	"	"	"	138	20.5	2	"
"	"	立向	0 → 3 上進	"	100	19	1	"
"	"	"	"	"	98	19	2	"
"	すみ肉	下向	0 → 3	0.9	140	22	1	
"	"	"	"	"	150	24	2	
"	"	立向	0 → 3 下進	"	150	24	1	
"	"	"	"	"	160	26	2	

(注) CO₂ 流量はいずれも 20 ℓ/分

2.4 概評

突合せ継手ではギャップが 2.5 mm 以上では溶接ができなかつた。

一方、すみ肉継手ではギャップ 3.0 mm まで溶接は可能であつた。

また、これらの試験板を用いて各ギャップ位置 (1, 2, 3 mm) で曲げ試験とマクロ試験を行なつたが、いずれも良好な結果を示した。

なお、参考までに実船で計測した結果の一例を示すと、曲面の最も大きい部分でさえ突合せ継手で最大 1.5 mm、すみ肉継手でも 1.0 mm であり、本実験結果で得られた値と比較して問題ないと考えられる。



(a) 突合せ継手



(b) すみ肉継手

写真2 溶接後の試験板の外観

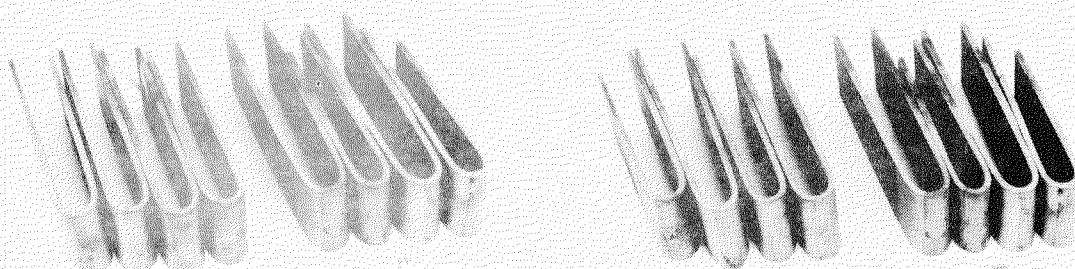


写真3一(a) 曲げ試験後の外観（突合せ継手）



写真3-(b) 曲げ試験後の外観(すみ肉継手)

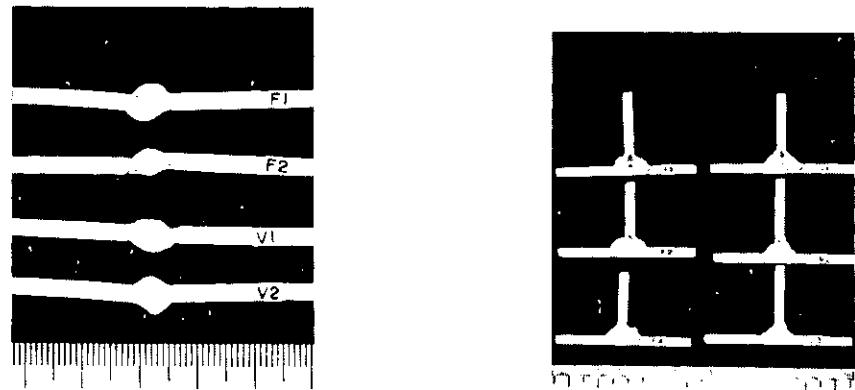


写真4 断面マクロ組織

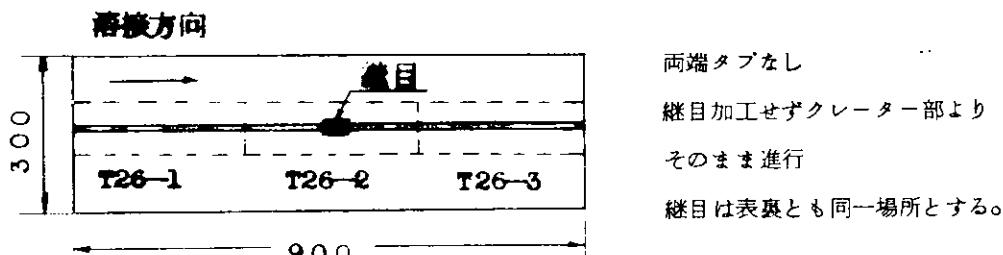
3 ビード継目の処理法の検討

3.1 試験要領

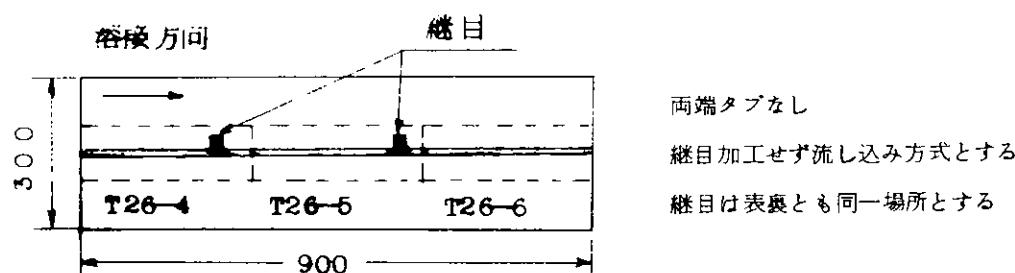
図4に示す下向突合溶接においてビード継目、アーク終始点の状況の調査を放射線検査により行ない、継目については曲げ試験を施工した。

3.2 供試材

- (1) 鋼板…………鋼材I, 3.2mm
- (2) 溶接機…………N
- (3) 心線…………A, 1.2mmφ



(a) クレータ継手方式



(b) 流し込み方式

図4 試験片の形状および継目要領

3.3 試験結果

(1) 放射線試験結果

放射線結果は表7のとおりである。なお、溶接後の試験板の外観は写真5に示す。

表7 放射線結果

フィルム番号	T 26-1	T 26-2	T 26-3	T 26-4	T 26-5	T 26-6
判定	1	2	2	2	1	1
欠陥の種類		P 3	P 2	S 2		

注) 記号説明

P…………プローホール 数字は個数を示す。

S…………スラグ巻込み 数字は欠陥長を示す。

(2) 曲げ試験結果

曲げ試験の結果いずれも良好な結果が得られた。

写真6に曲げ試験後の外観を示す。

3.4 概評

いずれの方法もビード終始端に若干のクレーターホールが見られたが、大きな欠陥は発生していない。また、継目にもプローホールは発見されなかつた。作業性試験の試験板の製作には全て、クレータ継手方式を用いたが外観検査による限り良好であつた。

しかし、実船に採用する場合はクレータ継手方式、流し込み方式の何れの方法を採用するにしても溶接基本通り、タブピースは取付け、ビード接目は重ね盛りを施工したほうが良い。

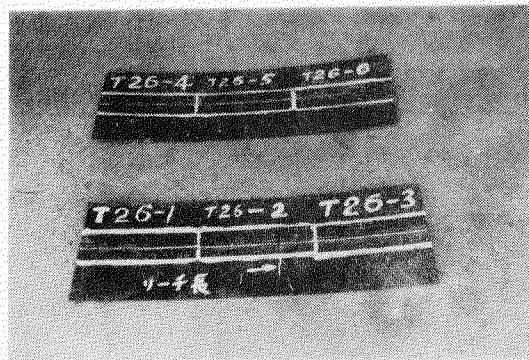


写真5 溶接後の試験板の外観

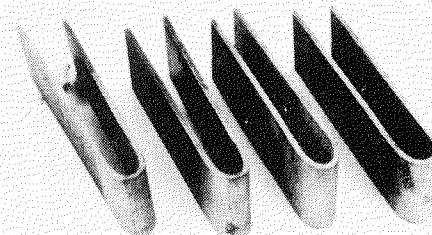


写真6 曲げ試験後の外観

4 風の影響について

4.1 試験要領

図5に示す試験板を用い下記の条件で下向突合せ溶接を施工し、外観検査および放射線検査を行なう。

- (a) 風速 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.5, 5.0 M/S の風速を真正面より受けた場合。
- (b) 距離 1.0, 3.5, 5.0 M にてニューマチックルツールエヤーを真正面から受けた場合。

なお、写真7に溶接施工状況を示す。

4.2 供 試 材

- (1) 鋼 板 鋼材 I 3.2 mm
- (2) 溶 接 機 N
- (3) 心 線 A, 1.2 mm \varnothing

4.3 風速計測器具

風速計測器具として下記の2点を用いた。

- (a) 2.0, 3.5, 5.0 M/Sについては風杯型指示風速計。
- (b) 0.5, 1.0, 1.5 M/Sについては電気式風速計。

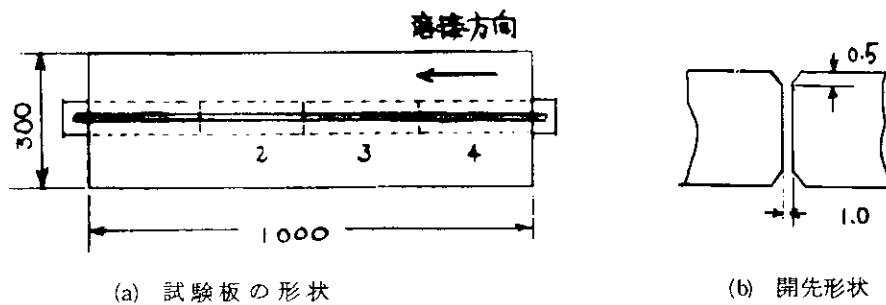


図5 試験板の形状および開先形状

4.4 試験結果

(1) 外観検査結果

外観検査の結果は表8に示す。

表8 外観検査結果

風速(M/S) 距離(M)	試験片番号	表裏	プローホール	ビード巾	ビード高さ	表面	コブ	備考
0.5 M/S	1-4	表	○	○	○	○	○	
		裏	○	○	○	○	○	
1.0 M/S	1-5	表	○	○	○	○	○	
		裏	○	○	○	○	○	
1.5 M/S	1-6	表	○	○	○	○	○	
		裏	○	○	○	○	○	
2.0 M/S	1-1	表	××	○	○	×	○	
		裏	○	○	○	○	○	
3.5 M/S	1-2	表	××	×	×	×	○	谷あり
		裏	××	×	×	×	×	
5.0 M/S	1-3	表	××	×	×	×	○	
		裏	××	×	×	×	×	一部谷あり
1.0 M	2-1	表	○	○	○	○	○	一部谷あり
		裏	××	×	×	×	×	
3.5 M	2-2	表	○	○	○	○	○	
		裏	○	○	○	○	○	
5.0 M	2-3	表	○	○	○	○	○	
		裏	○	○	○	○	○	

(注) CO₂ 流量 20ℓ/min

記号説明

項目	○	×	××
プローホール	なし	あり	特に多い
ビード巾	良い	広い, 狹い	-
ビード高さ	良い	低い, 高い	-
表面	滑らか	凹凸が多い	-
コブ	なし	あり	-

(2) 放射線検査結果

放射線検査の結果は表9に示す。

4.5 横 評

風の影響についてまとめてみると

- ① 風速 1.5 M/S 以下では表面欠陥は発生せず、内部欠陥も風の影響によると考えられるものはほとんどなかつた。
- ② ニューマチックツールの使用距離が 3.5 M 以上であれば表面欠陥は発生せず内部欠陥も風の影響によると考えられるものはほとんどなかつた。

以上のことよりニューマチックツールは約 3.5 m 以上の距離で使用するなら影響はなくなるものと考えても良いが、実船では使用禁止距離を 5 M 程度に押え、できる限り作業者の身体でさえぎるよう考慮するほうが良いと思われる。

また、風速は 2 M/S 以上になると欠陥を発生するため、溶接施工前に周囲についててを立てるなどしてあらかじめ十分考慮を払う必要がある。

表 9 放射線検査結果

風速	フィルム番号	判定	プローホール	スラグ巻込み	備考
0.5 M/S	1-4-1	2	1コ		
	1-4-2	1			
	1-4-3	3	1	2mm	
	1-4-4	1	1		
1.0 M/S	1-5-1	2		2mm	
	1-5-2	6			溶込不良 8mm×1コ
	1-5-3	1	1		
	1-5-4	2			
1.5 M/S	1-6-1	2	1		
	1-6-2	6			溶込不良 3mm×1コ
	1-6-3	1			
	1-6-4	2	1		
	1-6-5	6			溶込不良 4mm×1コ
	1-6-6	2	1		
	1-6-7	2	1		
	1-6-8	6	16		溶込不良 4mm×1コ
2.0 M/S	1-1-1	6			プローホール連続多数
	1-1-2	4	8		
	1-1-3	6			プローホール連続多数
	1-1-4	6			"
	1-1-5	6			"
	1-1-6	6			"
	1-1-7	6			"
	1-1-8	6			"
3.5 M/S	1-2-1	6			"
	1-2-2	6			"
	1-2-3	6			"
	1-2-4	6			"

判定は旧 J I S による。

風速距離	フィルム番号	判定	ブローホール	スラグ巻込	備考
5.0 M/S	1-3-1	6			ブローホール連続多数
	1-3-2	6			"
	1-3-3	6			"
	1-3-4	6			"
1.0 M	2-1-1	6			"
	2-1-2	6			"
	2-1-3	6			"
	2-1-4	6			"
3.5 M	2-2-1	1			
	2-2-2	4		4 mm	
	2-2-3	2	2		
	2-2-4	2		2 mm	
5.0 M	2-3-1	4	1	3 mm	
	2-3-2	3		4 mm	
	2-3-3	2	1		
	2-3-4	1			

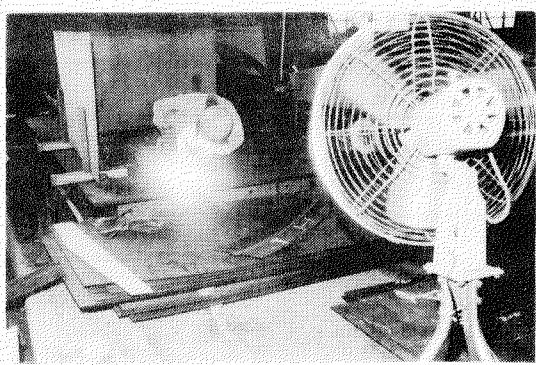


写真7 溶接施工状況

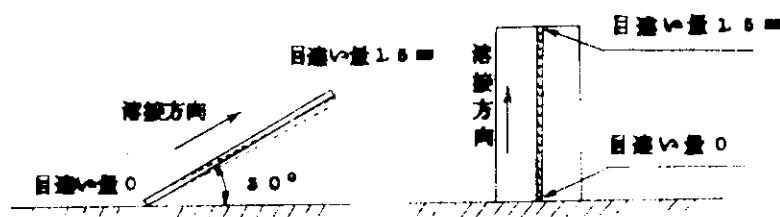
5 突合せ溶接における目違いの影響について

5.1 試験要領

図6に示す試験板を用い下記の条件で突合せ溶接を施工し、外観検査および放射線検査を行なう。

目違い量 姿勢	下 向	立 向 上 進
0.5 mm	1枚	1枚
1.0 mm	1	1
1.5 mm	1	1
スライド※	1	1

※スライド目違いの試験要領は下記のとおりである。



5.2 供 試 材

- (1) 鋼 板 鋼材 I , 3.2 mm
- (2) 溶 接 機 N
- (3) 心 線 A , 1.2 mm Ø

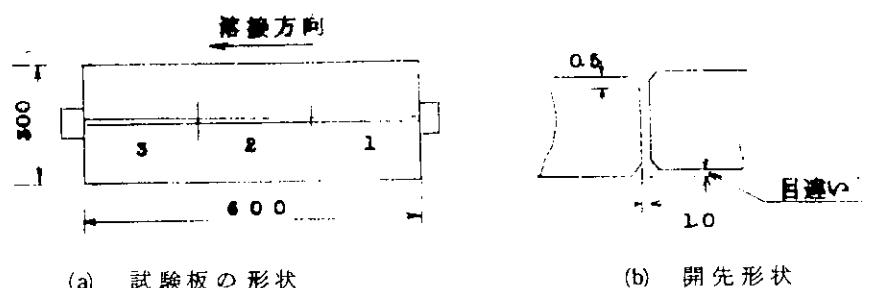


図6 試験板の形状および開先形状

5.3 試験結果

(1) 外観検査結果

外観検査結果は表10に示す。

表 1 0 外観検査結果

目違い量	姿勢	表裏	ブローホール	ビード巾	ビード高さ	表面	備考
0.5 mm	下向	表	ナシ	普通	普通	良	"
		裏	"	"	"	"	
1.0	"	表	"	"	"	"	
		裏	"	"	やゝ高い	"	
1.5	"	表	"	やゝ広い	不揃い	コブあり	
		裏	"	普通	高い	不揃い	心線のセンターズレ
0.5	立向	表	"	"	普通	良	
		裏	"	"	やゝ高い	不揃い	
1.0	"	表	"	"	普通	良	
		裏	"	やゝ広い	高い	不揃い	
1.5	"	表	"	普通	低い	良	心線のセンターズレ
		裏	"	広い	高い	不揃い	"
30°スライド	下向	表	"	"	普通	"	"
		裏	"	"	高い	"	"
立向スライド	立向	表	"	普通	普通	良	
		裏	"	狭い	高い	不揃い	コブが多い

(2) 放射線検査結果

放射線検査の結果は表 1 1 に示す。

表 11 放射線検査結果

目違い量	姿勢	フィルム番号	判定	プローホール	スラグ巻込み	備考
0.5 mm	下 向	T-33-1	2		2 mm	
		T-33-2	2	1コ		
		T-33-3	2	2		
1.0	#	T-33-4	1			
		T-33-5	2	1		
		T-33-6	1			
1.5	#	T-33-7	2	1		
		T-33-8	6			溶込不良 5 mm × 1コ
		T-33-9	2		2 mm	
0.5	立 向	T-33-10	2	1		
		T-33-11	6			溶込不良 4 mm × 1コ
		T-33-12	2	2		
1.0	#	T-33-13	2		2 mm	
		T-33-14	2		2 mm	
		T-33-15	2	1		
1.5	#	T-33-16	1			
		T-33-17	1			
		T-33-18	2		2 mm	
30スライド	下 向	T-33-19	6			溶込不良 3 mm × 1コ
		T-33-20	1			
		T-33-21	2	1		
立向スライド	立 向	T-33-22	2	1		
		T-33-23	1			
		T-33-24	2	2		

判定は旧 J I S による。

5.4 概 評

下向、立向とも 1.0 mm 以下の目違いに対しては問題がないが 1.5 mm 以上の目違いになると、溶接中心線を識別することがむづかしく心線のセンターずれをおこし易い。

現在建造中の実船（船長約 15 m）の外板の目違い量を計測してみると 0.5 mm までの目違いがほとんどで、キールと底外板の曲線継手部に長さ約 30 mm にわたつて局部的に 1.0 mm の目違いが発生していたが、この程度の局部的目違いは溶接施工上から問題にする必要もない。しかし、板厚が 3.2 mm, 4.5 mm の薄板では容易に目違いの修正ができるので、0.5 mm 程度の目違い量におさまるよ

うに修正することが望ましい。

6 炭残ガスによる欠陥について

6.1 現 象

ガスの欠陥の場合はプローホールを発生することが特長で、その原因は大体次の2つの場合である。

第一の場合はガス圧力の低下で、例へばポンベ内ガス圧力の低下やホースが異常な屈曲またはわん曲をしていることによる圧力の低下である。

第二の場合はガスに水分を余分に含んでいる場合である。X線フィルムで見ると風の影響によるプローホールの分布は不規則的であるのに反し、ガスの欠陥の場合は、その分布が割合、規則的であるから、その原因を容易に判定することができる。また、ガス圧力低下の場合はプローホールがビードの外面にまで発生し易いので肉眼で判明できるから作業者は熟練すれば発生当初その原因を容易に知ることができる。しかし、ガスに余分の水分を含んでいる場合は発生の機会も少なく、余分の水分と云つても、その量は微々たるものであるから肉眼ではプローホールを観察し難く、X線判定によつてのみ発見し得るものであるから特に留意する必要がある。

6.2 成分規格と検査基準

JIS K-1106に炭酸ガス成分は規格されている。

種 別	純度(容量%)	水 分(重量%)	臭 気
第一種	99.00<	-	異臭のないこと
第二種	99.50<	0.05>	"
第三種	99.50<	0.005>	"

溶接用炭酸ガスは第3種に属するものであるが通常市販されているものは次の通りである。

純度(容量%)	水 分(重量%)	臭 気
99.95<	0.003>	異臭のないこと

末端ユーザーに使用されている炭酸ガスポンベは、一般に重量30kg入の液化炭酸であり、約50～80kg/cm²で充填されているため外気の水分が入り込む余地はない。あるサービス会社ではポンベ5本を1単位として抜き取り検査を行なつており、純度、水分を測定している。その方法は次の通りである。

溶接用炭酸ガス検査方法

純 度……オルザット法

水 分……露 点 法

臭 気……官 能

使用済のポンベに再充填する場合には、残ガス放出の上真空ポンプにて真空後直ちに充填してい るため、季節、温度差、湿度差により成分変化があつたり、規格外のものが発生する懸念は全くな

いとのことである。

万一装置等の故障で規格外のものができればそのロットは大気中の放出することになつてゐる。

6.3 ガスに余分の水分を含む原因とその対策

前項で述べたようにガス自身は厳重に検査管理されているからポンベ内のガスに余分の水分を含んでいるとは考えられない。しかし、ポンベの出口コックからホースを経てホルダーの間までは夜間に湿気が溜ることがある。特に梅雨季節等大気中の湿度が高い場合にはその可能性が大きいため注意する必要がある。仮りにホースの長さが10Mとしてもそれに含まれる水分は微量なものであるから、朝の就業始めに欠陥を生じ易い。対策としては、毎日朝の就業始および長時間放置後使用する場合には就業始めに2~3分間ガスの空吹きをしてホース内の湿気を吹き飛ばせば良い。また、梅雨時等湿度の高い季節には特に5~10分間程度空吹きするが必要であろう。また、溶接前処理として仮付の継手部を加熱除湿することは当然である。

メーカーでポンベにガスを充填する時は、口金附近は加熱乾燥するなど湿気が混入しないよう注意して施行していることに使用側も留意する必要がある。

7 総 括

7.1 開先形状と裏はつりの要否の検討

試験板製作に当つてはI型裏はりなしで何等の欠陥も生じなかつたが、作業施工上、溶接中心線の確保が難しくセンターズレを生じる恐れがあるので、表裏とも0.5mm程度の面をとるほうが良い。なお、実船に適用するに当つては、試験板と条件が異なるのでより確実性をなすため、板厚1/3程度の裏はりは施工することが望ましい。

7.2 ギヤップの溶接性に及ぼす影響について

突合せ溶接で2.5mmまで、すみ内溶接で3.0mmまでは溶接可能であつた。

実船では局部的ギヤップは突合せ溶接で1.5mm、すみ内溶接では2.0mmを限度とすることが望ましい。

7.3 ビード継目の処理方法

クレーター継手方式、流し込み方式の何れを採用しても良いがビード継目は重ね盛りを施工したほうが良い。

7.4 風の影響について

1.5M/Sの風速のもとでは通常の溶接条件では欠陥が発生し始める境界であり、2M/Sの風速に対しては確実にブローホールが発生する。

したがつて、1.5M/Sを超える風速のもとでの溶接作業には囲壁を設ける必要がある。

ニューマティックツールの使用は3.5M以上離れて行なえば影響はないことを確認した。

7.5 目違いの影響について

1.0mm以下の場合は問題にしなくて良いが1.5mmの場合センターズレを起すことが多いので、実船では1.0mmの目違い量を限度としたほうが良い。

7.6 炭酸ガスによる欠陥についての調査

現在市販されている溶接用炭酸ガス自体の品質については不安はない。ガスによる欠陥はプローホールの規則的な分布が特長でシールド不良、湿気の影響とが主要因である。

したがつて、溶接開始に当つては、ガス圧の調査、器具内の水分の除去等準備作業に注意を払う必要がある。

7.7 コンボジットワイヤとソリッドワイヤの比較

コンボジットワイヤとソリッドワイヤを比べてみると最小径はコンボジットワイヤで1.2mmφ、ソリッドワイヤで0.9mmφである。薄板の場合には細径ワイヤのほうが使い易いように思われる。

7.8 その他の

端末の回し溶接が施工できる最小スカラップの径は、空冷カーブドトーチを使用した場合15Rであつた。

7.9 炭酸ガス半自動溶接条件

溶接条件は溶接機の種類、心線の種類、溶接姿勢、継手形状などにより異なるが、作業性試験、工作法試験の試験板製作から得られたデータをもとに溶接機Nを用いてソリッド型ワイヤを溶接する場合の適正溶接条件を示すと下表のようになる。

板厚 (mm)	継手	姿勢	進行方向	心線 (mmφ)	電流 (Amp)	電圧 (Volt)
3.2	突合	F		1.2	120	22
"	"	V	上進	1.2	100	20
"	すみ肉	F		0.9	120	23
"	"	V	下進	0.9	140	25
4.5	突合	F		1.2	150	24
"	"	V	上進	1.2	100	20
"	すみ肉	F		0.9	130	24
"	"	V	下進	0.9	150	26