

【論文・報告】

調質高張力鋼を用いたトラス弦材の 製作・検討（第一報）

Research on Fabrication of Truss Bridge Chord Member using Quenched and Tempered High Strength Steel (Part I)

今井 謙二郎 *
Kenjiro IMAI
高田 和守 **
Kazumori TAKADA
尾崎 元宜 ***
Motonobu OZAKI
菅野 啓行 ****
Yoshiyuki KANNO
一井 延朗 *****
Nobuaki ICHII

【要旨】 本州四国連絡橋Dルートの道路鉄道併用長大橋の製作において、部材の疲労強度を確保するための対策および処理が問題となっている。特に、主構弦材のかど継手溶接およびダイヤフラムの溶接にこれらの対策、処理が必要となる問題が集中している。

そこで、それらの問題事項を究明し、対策および処置方法を得るために本州四国連絡橋Dルートの中から、適当と考えられる橋梁の一部材に準じたものを試験桁（パイロット・メンバー）として選び、溶接研究室と四国工場が協力して試作、検討をおこない、実施に際しての製作要領を作成する作業をしている。

本作業は大きく分けると2つに分けられる。1つは「基礎実験」と呼ばれる試験桁を作るために必要な諸データを集める作業と、もう一つは「パイロット・メンバーの製作」と呼ばれる実物大の試験桁を試作・検討する作業である。

このたび「基礎実験」がほぼ終了したので、その結果の概要を報告する。なお、本作業は引き続き「パイロット・メンバーの製作」に入っているので、これについては第二報にて報告する予定である。

1. まえがき

本州四国連絡橋の調質高張力鋼を用いた道路・鉄道併用橋の製作では、疲労強度からみた対策および処理が問題となっており、特にこれらのトラス弦材のかど継手およびダイヤフラムの溶接に、その施工上の問題が集中している。そのため、それらの問題に対処すべく本州四国連絡橋Dルートより想定した部材形状および寸法の試験桁（パイロット・メンバー）を試作検討し、実施に際しての製作要領（製作標準）を作成する作業を以下のように行っている。

このたび、「基礎実験」の所期の目的とするところのものをほぼ終えたので、その結果の概要を報告する。

2. 目 的

2-1 かど継手およびダイヤフラムの溶接に要求される品質

種々の報告書等により、疲労強度からみた継手およびダイヤフラムの溶接に要求される品質および対策は、表-1に示すようになる。

2-2 試験桁の形状および寸法

試験桁として想定している弦材の形状および寸法を、

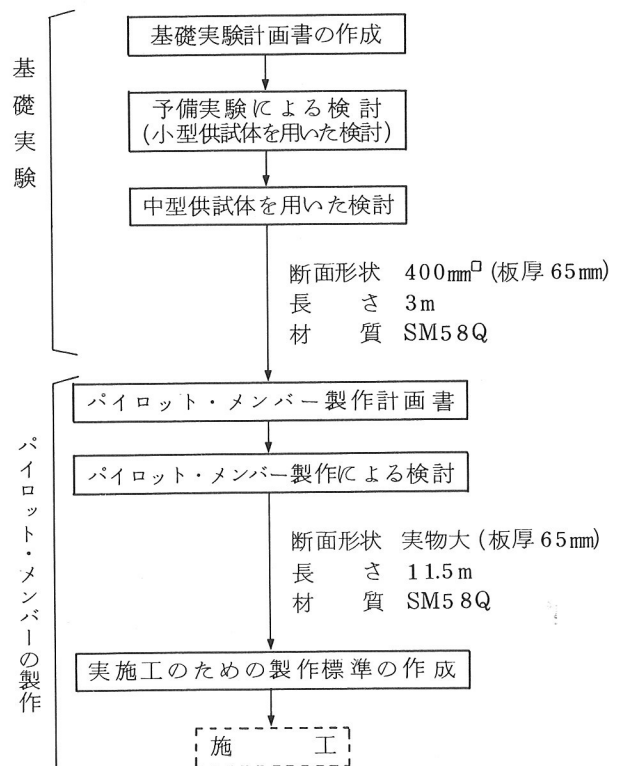


図-1 検討作業工程図

表-1 要求品質及び対策

項目	要求品質	対策
溶接		
かど溶接	ルート部のブローホールの発生を防止すること	継手面の清浄度の確保 (1)ガス切断面の酸化皮膜の完全除去 (2)プライマーの完全除去 (3)シーリング溶接を行う (4)ガス炎による予熱を行わない
	ルート部の溶接金属の溶け落ちを防止すること	継手面を密着させる (1)ルートギャップを0.5mm以下にする
	ルート部の滑らかな溶け込み線を確認すること	(1)シーリング溶接を行う (2)仮付・シーリング溶接を再溶融する (3)溶接電圧の安定のために十分な電源を確保する
ダイヤフラムの溶接	ルート部の溶け込みを確認すること	(1)必要な箇所にはガスシールドアーク溶接の前処理溶接を施す (2)溶接工の訓練をする
	滑らかな止端形状を確認すること	(1)止端形状の良い溶接棒(改良棒)を用いる (2)溶接工の訓練をする

図-2に示す。これは、断面形状がDルートの斜張橋の下弦材とほぼ同じである。なお、板厚については、試験桁の方が10mmほど厚くなっている。

また、上フランジ側のかど継手の開先は、機械加工によるJ型開先とした。

かど継手部の研削面(機械加工を含む)は、図-3に示す箇所としている。

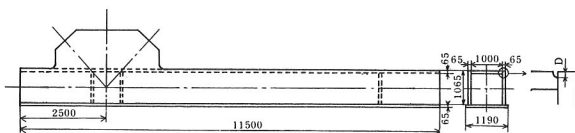


図-2 試験桁

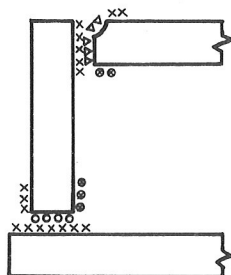


図-3 かど継手部の研削面

- △ 機械加工(フェーシング)
- ドラグライン除去(自走式ベルト研削機)
- × プライマー除去(ペーダーマシン)
- ⊗ プライマー除去(ペーダーマシン)
- ※ 内側に溶接がおこなわれるときのみとする。

2-3 基礎実験の主要検討項目

基礎実験の主要検討項目としては、以下のものを考えた。

(1) かど継手溶接に対して

- 鋼板の平坦度
- 切断面の平坦度、直角度および表面粗さ
- ドラグライン(切断面のガス炎跡)除去面の平坦度、直角度および表面粗さ
- プライマー除去面の清浄度、平坦度および表面粗さ
- 板継ぎ溶接の角変形防止と矯正
- 板継ぎ溶接の余盛り仕上げ
- かど継手の組立精度(特にルート・ギャップ量)
- かど継手の溶接品質(特にルート部の品質)

(2) ダイヤフラム溶接に対して

- 溶け込み
- ビード外観(特に ρ , θ , d)

3. 切断およびドラグライン除去

3-1 切断

板厚が50mmを越える極厚鋼の切断方法としては、ガス切断を用いることにした。この場合に問題となるのは、ガス切断面の直角度、平坦度(切断面の小波)および表面粗さである。(図-4参照)

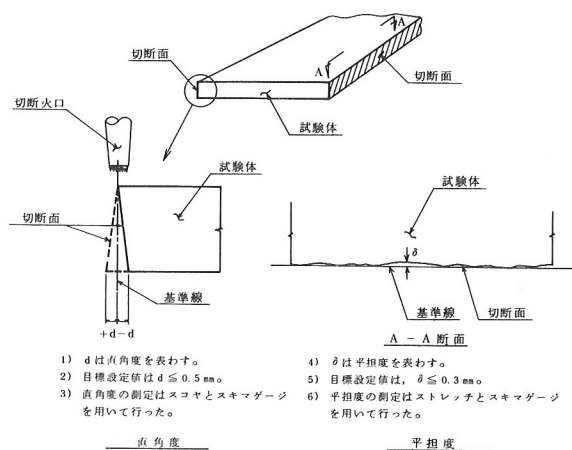


図-4 直角度および平坦度

これらの項目について一定の目標値を設定し、これを満足するような切断条件を選定するために切断火口、酸素圧、ガス(プロパン)圧および切断速度を種々変化さ

せて切断を行い、切断面の品質を調査した。この結果、表-2に示す条件が適切であることがわかった。また、これによる2面切断時の切断面の直角度、平坦度および表面粗さは図-5に示すような値であった。

表-2 極厚鋼のガス切断条件(板厚65mm)

同時切断面の数	切断火口の種類	酸素圧 (kg/cm ²)	プロパン圧 (kg/cm ²)	切断速度 (mm/min)
1面	5キロダイバーゼント火口 火口径φ4	5	0.4	200
2面	同上	8	0.7	200

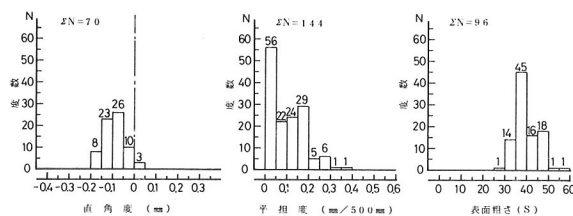


図-5 2面切断の場合の切断面の品質(板厚65mm)

以上のことより、切断面の品質は下記の値をほぼ満足することがわかった。

- (1) 切断面の直角度 …… ±0.3mm以下
組立精度を考慮し、図-6に示す傾向となるよう努める。
- (2) 切断面の平坦度 …… 0.5mm/500mm以下
- (3) 切断面の表面粗さ …… 50S以下

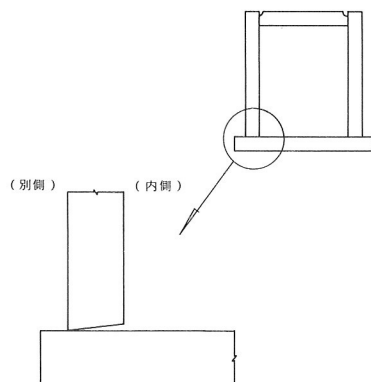


図-6 切断面の傾き方面

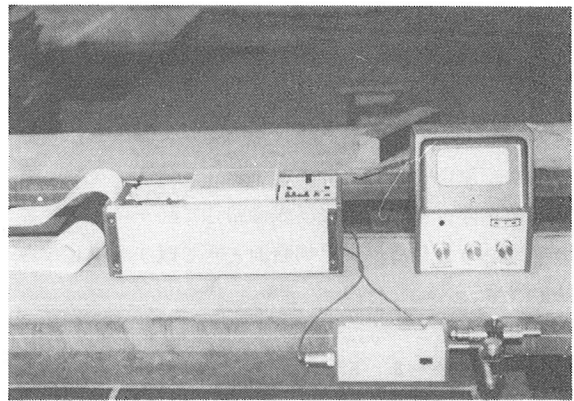


写真-1 表面粗さの測定風景

3-2 ドラグライン除去(酸化皮膜除去を含む)

ガス切断面のドラグライン除去方法としては種々のものが考えられたが

- (1) 被研削面ならい方式を採用できる。
- (2) 長尺および広幅の研削ができる。

等の理由により、ベルト研削方式を採用することにして写真-2に示すような自走式ベルト研削機を試作し、これを用いて実験を進めた。

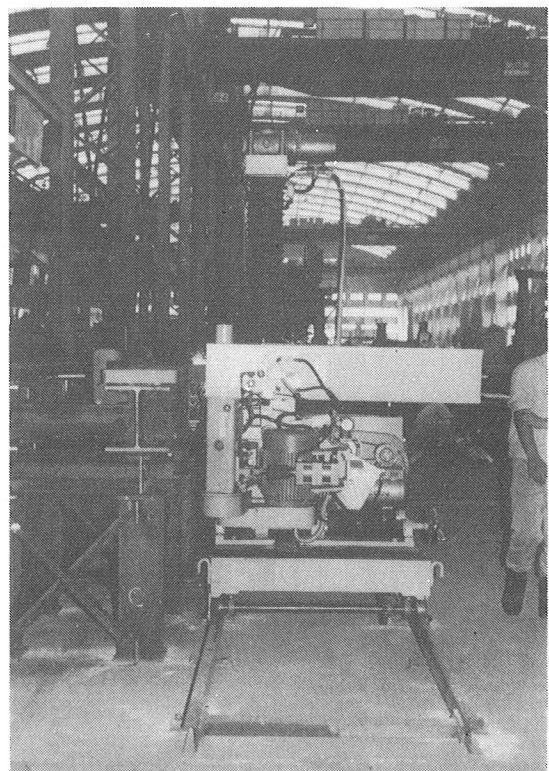


写真-2 自走式ベルト研削機

ドラグライン除去面の品質に影響する因子として研削ベルトの粒度、加圧力、研削速度に着目し、これらを変化させてガス切断面のドラグラインおよび酸化皮膜を完全に除去して除去面の直角度、平坦度および表面粗さを測定した結果より、表-3に示す条件を得た。なお、除去面の直角度、平坦度および表面粗さは図-7に示すような値であり、目標品質（切断面と同じ値）を満足することができた。

表-3 ドラグライン除去条件

研削ベルト 粒度	加 圧 力 (kg/cm ²)	研削速度 (m/min)
＃ 60	1 ～ 1.5	1.8 ～ 2.3

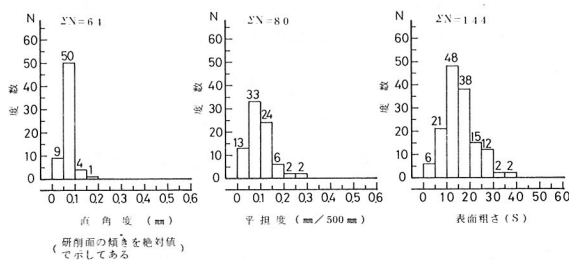


図-7 ドラグライン除去面の品質（板厚65mm）

4. プライマー除去

プライマー除去で重要なことは、除去面の清浄度（プライマーの除去程度）、平坦度、削り込み量および表面粗さである。

プライマー除去は写真-3に示すような手動ペーダーマシン（研削ベルトの加圧力を一定にするガイドローラーを取り付けたもの）を用いて行った。

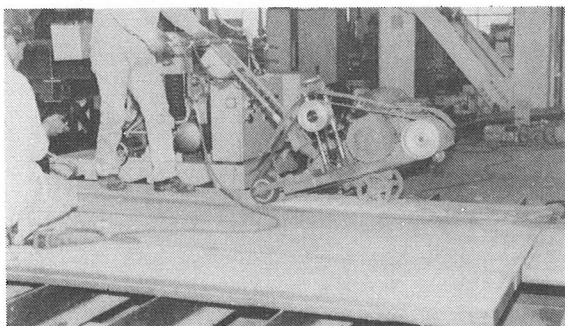


写真-3 プライマー除去状況

4-1 研削ベルトの選定

プライマー除去面の粗さは使用研削ベルトの粒度に左右されるので研削ベルトの粒度を種々変えてプライマー除去を行い、除去面の表面粗さを調査した。この結果60番の研削ベルトによる除去面が目標の50Sを満足することがわかった。

4-2 除去面の清浄度

プライマーを完全に除去し金属光沢面を得ることが出来る研削回数を決定するため、研削回数を1回、2回、3回の3通りの条件で、規定よりやや厚めに塗布されたプライマーの除去を図-8に示す要領で行い、その時のプライマーの残存状態を硫酸銅試験にて調査し、表-4に示す結果を得た。

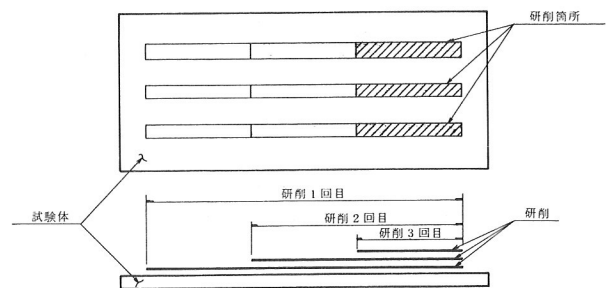
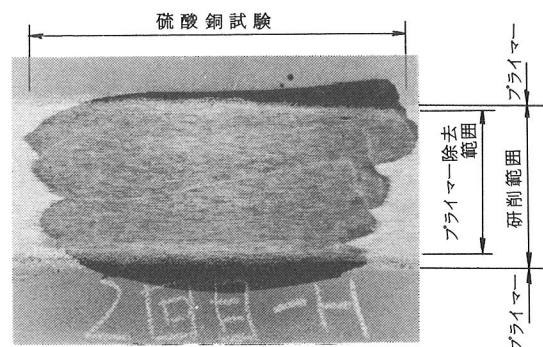


図-8 プライマー除去要領（研削要領）



注) 1) 研削回数は2回

写真-4 硫酸銅試験結果の例

表-4 研削回数とプライマー残存状態

研削回数	プライマー膜厚	プライマーの残存
1 回	平均 35.9 μm	なし
2 回		なし
3 回		なし

以上の結果に対し種々の検討を行い、標準研削回数を2回とした。

4-3 プライマー除去面の平坦度、削り込み量および表面粗さ

無機ジンクリッチプライマーを塗布（膜厚17～20 μm ）した試験体のプライマー除去を60番の研削ベルトを用いて行い、除去面の平坦度、削り込み量および表面粗さを調査して図-9、表-5および下記に述べる結果を得た。

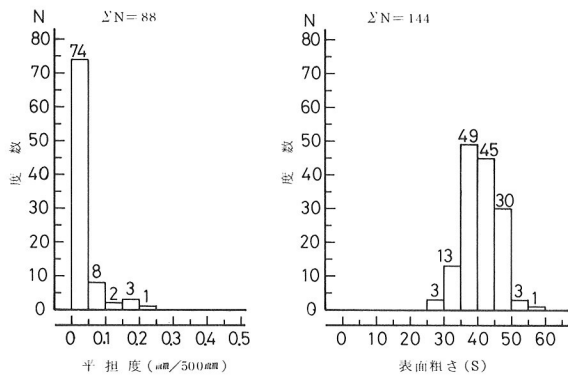


図-9 プライマー除去面の品質

表-5 プライマー除去時の削り込み量

- 1) 研削ベルト
#60×W50
- 2) dは1回当りの削り
込み量を示す。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ave
d (mm)	0.09	0.08	0.09	0.06	0.12	0.06	0.10	0.10	0.05	0.08
W (mm)	38	34.5	34	28	32	31.5	35.5	32.5	35.5	33.5

(1) 平坦度

平坦度はストレッチ（500mm）とスキマゲージ又は、写真-5に示す測定具を用いて測定した。

プライマー除去面の平坦度は図-9に示すように目標とした0.3mm/500mmの値を満足した。

なお、これらのプライマー除去面の平坦度の値は原板

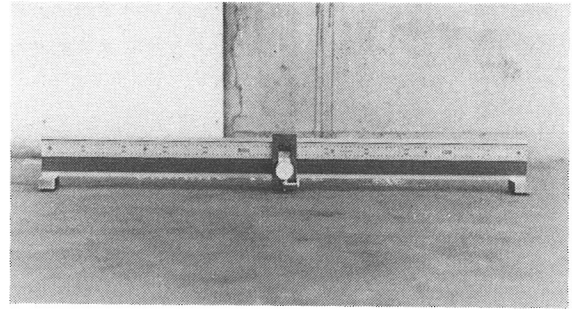


写真-5 平坦度測定具

（プライマー除去前の鋼板面）の平坦度とはほぼ同じ値であった。したがって、プライマー除去面の平坦度に対しては鋼板の平坦度の値が大きく影響するといえる。

(2) 削り込み量

削り込み量はストレッチ（150mm）とスキマゲージを用いて図-10に示すように測定した。

削り込み量は表-5に示すようにベルト巾より15～20mm狭い幅でほぼ均一に0.06～0.10mm/1回程度となっている。

(3) 表面粗さ

表面粗さの測定は表面粗さ計を用いて行った。

表面粗さは目標品質（50S以下）をほぼ満足している。

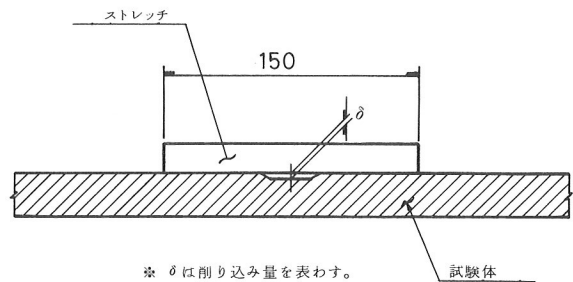


図-10 削り込み量の測定方法

5. 板継ぎ溶接

板継ぎ溶接で特に問題となるのは、溶接後の角変形量（HBSでは10mm/1000mm以下）とその修正方法であり、角変形量が最も少なくなるような開先形状および溶接条件を選定することが重要である。そこで、図-11に示すような2種類の開先形状を有する試験体についてサブマージーク溶接（SAW）を用い、それぞれ表-6に示す4種類の条件で溶接を行い、溶接後、角変形量

を測定した。その後、角変形の修正をプレスで行い、角変形修正後、ビード余盛の仕上げをグラインダーにて行った。

5-1 試験体および積層順序

試験体および積層順序を図-11、表-6に示す。

表-6 積層順序

ステップ	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
1	表 3 パス溶接	表 5 パス溶接	表 7 パス溶接	表溶接完了
2	裏ガウジング	裏ガウジング	裏ガウジング	裏ガウジング
3	裏溶接完了	裏溶接完了	裏溶接完了	裏溶接完了
4	表 4 パス目以後仕上げ	表 6 パス目以後仕上げ	表 8 パス目以後仕上げ	—
5	角変形量の測定			

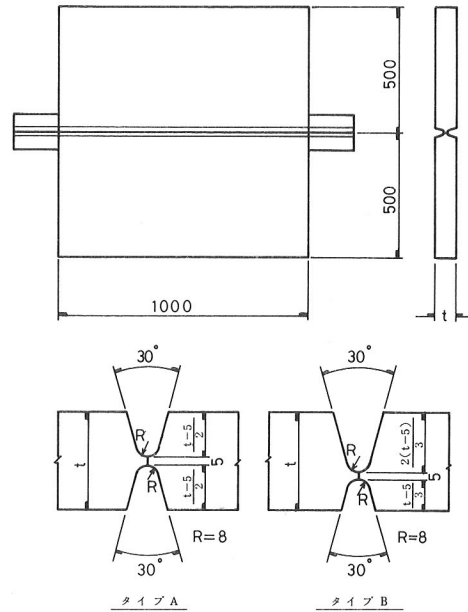
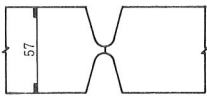
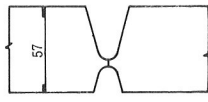


図-11 試験体

5-2 溶接条件

溶接条件を表-7に示す。

表-7 溶接条件

項 目	試 験 体 記 号							
	BA-1 (ケース1)	BA-2 (ケース2)	BA-3 (ケース3)	BA-4 (ケース4)	BB-1 (ケース1)	BB-2 (ケース2)	BB-3 (ケース3)	BB-4 (ケース4)
開 先 形 状	 タイプ A				 タイプ B			
MAG 溶 接 (仮付溶接)	電流(A)	270 ~ 300				270 ~ 300		
	電圧(V)	30 ~ 32				30 ~ 32		
	速度(cm/min)	28 ~ 32				28 ~ 32		
SAW 溶 接 (本溶接)	電流(A)	600 ~ 700				600 ~ 700		
	電圧(V)	30 ~ 31				30 ~ 31		
	速度(cm/min)	60 ~ 80				60 ~ 80		
積 層 順 序 (溶 接 順 序)	BA-1	BA-2	BA-3	BA-4	BB-1	BB-2	BB-3	BB-4
	3パス溶接	5パス溶接	7パス溶接	表完了	3パス溶接	5パス溶接	7パス溶接	表完了
								
								

5-3 角変形量およびビード余盛仕上げの測定方法

(1) 角変形量の測定方法

角変形量はストレッチ(1000mm)とテーパゲージ又は、ストレッチとノギスを用いて図-12に示す要領で測定した。

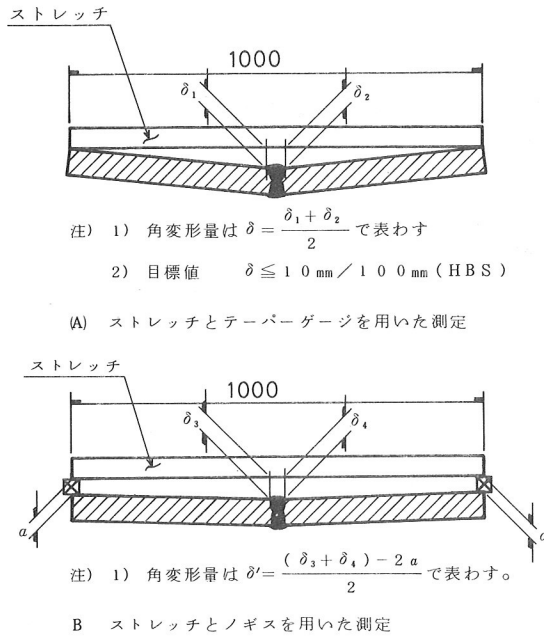


図-12 角変形量の測定要領

(2) ビード余盛仕上げの測定方法

ビード余盛仕上げ時の仕上げ程度および削り込み量の測定はストレッチ(150mm)とスキマゲージを用いて図-13に示す要領で測定した。

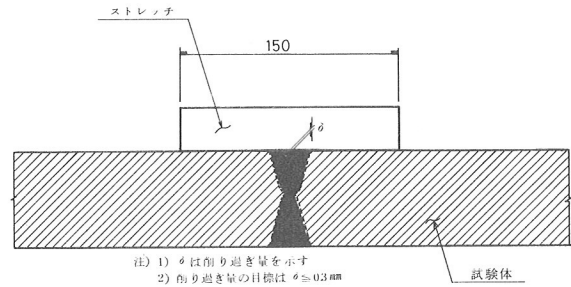


図-13 余盛り仕上げの測定要領

5-4 実験結果およびまとめ

実験結果を表-8に示す。

この結果、角度変形量が最も少なかったのは、タイプAの開先形状でケース4の条件で溶接した場合で、この時の角変形量は0.81~3.95mm/1000mmであった。

角変形の修正はプレスを用いて行い、0.3mm/500mmまで修正できることがわかった。

さらに、ビード余盛の仕上げは手動グラインダーを用いて行うことにより所定の目標品質を満足することがわかった。

表-8 実験結果

項 目	試 験 体 記 号							
	BA-1 ³⁾	BA-2 ³⁾	BA-3	BA-4	BB-1 ³⁾	BB-2	BB-3	BB-4 ³⁾
積層数	表 側	3パス	5パス	7パス	11パス	3パス	5パス	7パス
	裏 側	3パス	5パス	7パス	11パス	3パス	5パス	7パス
	表 側	3パス	5パス	7パス	11パス	3パス	5パス	7パス
	裏 側	3パス	5パス	7パス	11パス	3パス	5パス	7パス
溶接後の1)角変形量 ($\alpha \text{ mm} / 1000 \text{ mm}$)	-16.33	-20.65	-2.65	+1.19	-12.73	-2.52	+6.85	+19.31
歪修正後の1)角変形量 ($\alpha \text{ mm} / 500 \text{ mm}$)	—	—	組立て一般部 面 -0.28 -0.43	組立て一般部 面 +0.22 +0.45	—	組立て一般部 面 -0.18 -0.38	組立て一般部 面 +0.25 +0.39	—
ビード削り込み量 (mm)	—	—	0~0.25	0~0.3	—	0~0.3	0~0.28	—
ビード余盛 ²⁾ 仕上げ面の表面粗さ	—	—	30~40S	35~45S	—	30~40S	30~40S	—
放射線透過試験結果	—	—	1級	1級	—	1級	1級	—

注) 1) マイナスは裏側へのそりを示しプラスは表側へのそりを示す。

2) 表面粗さ計を用いて測定した。

3) 溶接後の角変形量が目標値(10mm/1000mm以下)を超えたので溶接の実験は行わなかった。

6. かど溶接

6-1 かど溶接の条件設定 (SAW初層条件)

種々の溶接条件のもとで、図-14に示す試験片を用いてサブマージアーク溶接のルートパス (初層) の溶接条件を設定した。溶接条件は仮付溶接を再溶融し、かつ高温割れの生じない健全な溶着金属を得る領域を選んだ。仮付溶接の再溶融の検討は、溶接ビードの断面より溶け込み深さを測定して行った。その結果を図-15に示す。

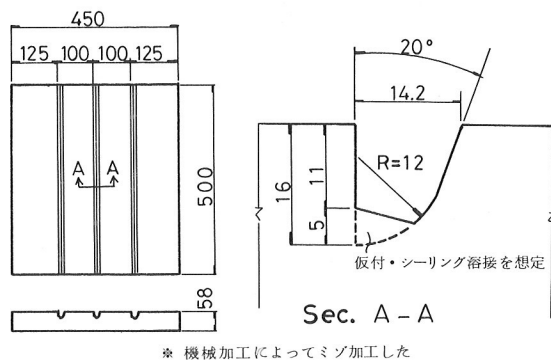
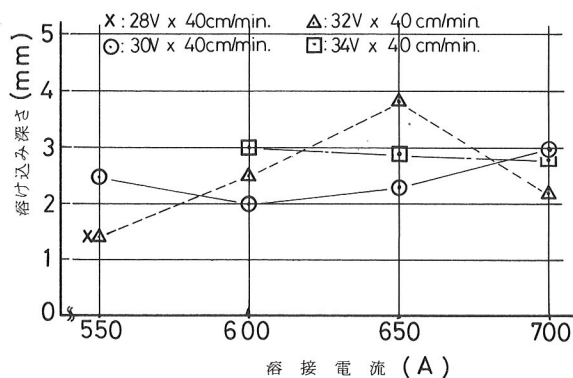
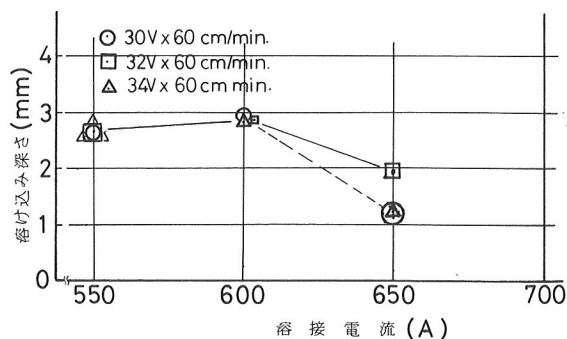


図-14 試験体形状



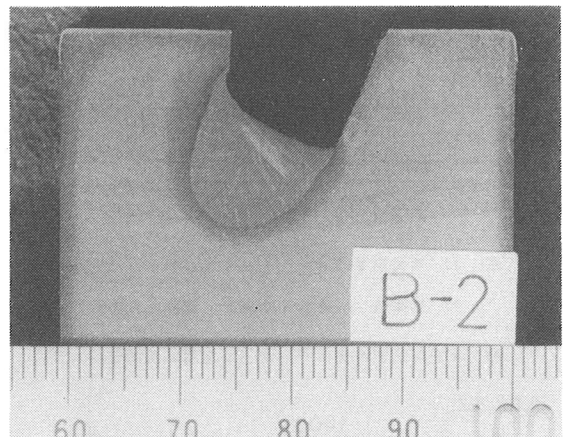
a) 単電極SAWの電流と溶け込み深さ



b) 2電極SAWの後行電流と溶け込み深さ
先行条件 600A x 30V x 60cm/min

図-15 溶接電流と溶け込み深さの関係

高温割れについては、溶接ビード断面形状や溶着金属のデンドライトの成長方向を検討して溶接条件の適否を決めた。一例としてビード断面のマクロ写真およびデンドライトの顕微鏡写真をそれぞれ写真-6, 7に示す。



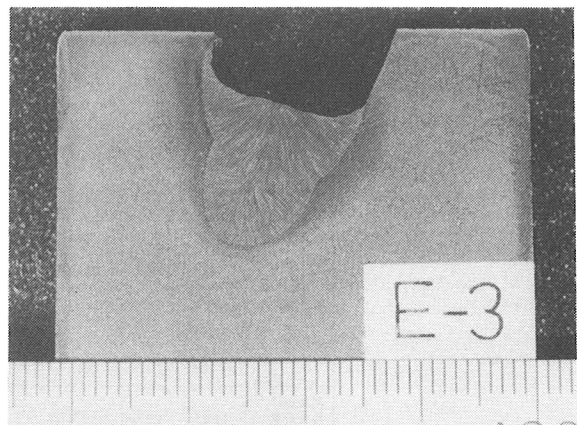
溶接条件

電流 600A

電圧 30V

速度 40 cm/min

a) 単電極 SAW



溶接条件

電流 L: 600A, T: 550A

電圧 L: 30V, T: 34V

速度 60 cm/min

b) 二電極 SAW

写真-6 ビード断面のマクロ写真

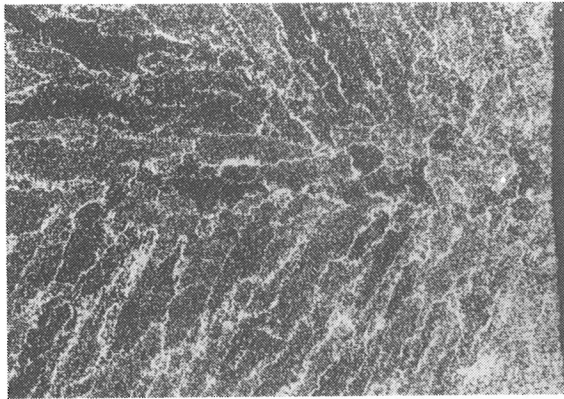


写真-7 サブマージアーク溶接の溶着金属デンドライト会合部の顕微鏡写真(倍率約30倍)

これらの結果より単電極サブマージアーク溶接のルートパス電流条件として600Aの値を得た。さらにこの電流に対して適切な電圧・速度の条件を求めて行き、表-9の条件を設定した。

表-9 サブマージアーク溶接条件(初層)

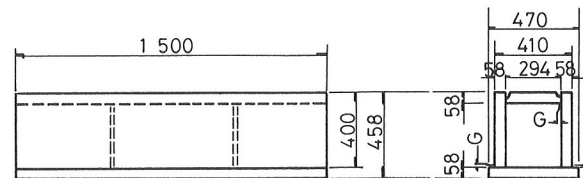
	溶 接 条 件		
	電 流 (A)	電 圧 (V)	速度 (cm/min)
単電極 S A W	600-650	30-34	30-40
二電極 S A W	L 600-650	30-32	45-70
	T 550-600	30-34	
使用溶接材料	Y-DM (4.8 ϕ) x YF-15 (20 x D)		

6-2 仮付およびシーリング溶接条件について

サブマージアーク溶接では、ルートパスで仮付・シーリング溶接を再溶融する事が必要である。そのため仮付溶接およびその間をシール溶接するシーリング溶接の脚長とその溶け込み深さを管理することが重要になってくる。そこで仮付とシーリング溶接の品質を脚長と溶け込み深さで定め、それに合う溶接条件を選んだ。溶接方法はMAG法(ワイヤ径1.2mm)を用いた。脚長は4~5mmとし溶け込み深さは0~1mmを得る溶接条件として、電流190~200A, 電圧2.4~2.6Vおよび速度5.5~6.5cm/min. の値を実験により得た。

6-3 ルートギャップとルート部の欠陥について

種々のルートギャップを有する長さ1.5Mの試験体(J型開先とすみ肉継手)を製作し、サブマージアーク溶接機で溶接した。



* G=0, 0.3, 0.5, 1.0mmの試験体を作成した。

図-16 ルートギャップGを有する試験体形状

溶接後、これらの試験体の溶接継手のルート部より破断し、ルート部の欠陥発生状態を調べた。これらの欠陥をルートギャップ毎に分類し図-17の結果を得た。

これらの結果より、組み立て時のルートギャップを0.5mm以下にすれば、ルート部の欠陥は少なくなる傾向のあることがわかった。特に単電極サブマージアーク溶接を用いた場合に、ルート部の欠陥が少なかった。

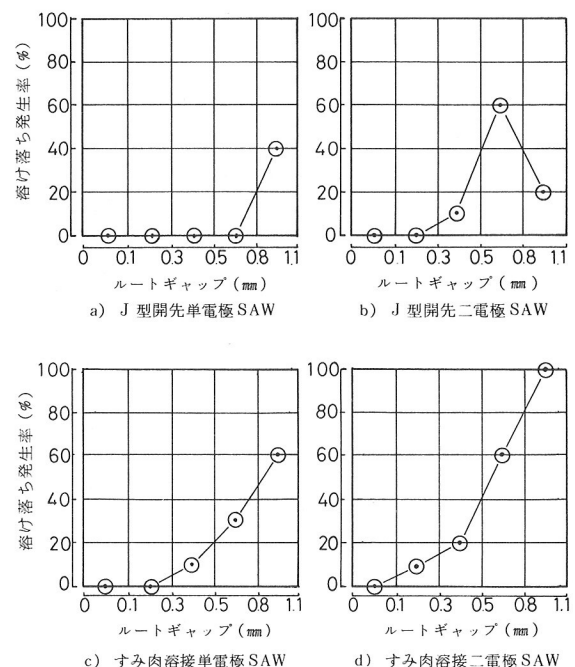


図-17 ルートギャップとルート部の欠陥

6-4 かど溶接実験

長さ3mの試験体を製作し、組立精度とかど溶接の品質について調査した。

6-4-1 試験体形状および溶接条件

試験体の諸元を図-18に示す。

溶接は前項までに述べた結果より、MAG溶接による

仮付・シーリング溶接後，初層および第二層を単電極サブマージ溶接機で（タンデム溶接機の単電極使用）溶接した。スラグ除去が容易になり，ルート部に関係のない第3層以降は二電極サブマージ溶接を用いた。これらの溶接条件を表-10に示す。

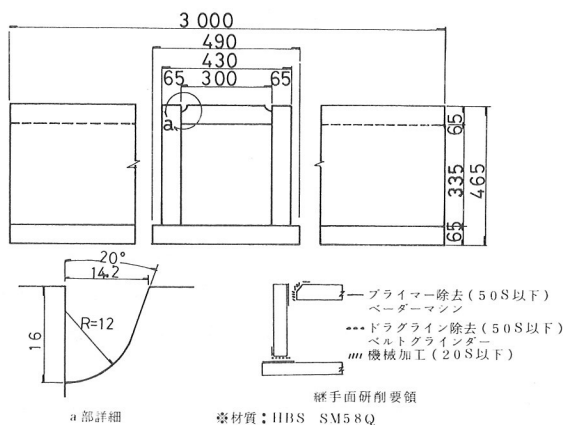


図-18 かど溶接実験試験体

表-10 溶接条件

溶接条件		溶接種別	電流(A)	電圧(V)	速度(cm/min)	備考
溶接条件		仮付 シーリング溶接	190 -200	24 -26	55 -65	MAG 溶接 のど厚4~5mm
		SAW 第一層	600	30	32	シングル SAW
		二層	650	30	32	シングル SAW
		三層	L 650	30	60	タンデム SAW
			T 600	30		
		四層	L 650	30	60	タンデム SAW
			T 610	32-33		
			仮付 シーリング溶接	190 -200	24-26	55-65
	第一層		L 650 T 600	30 33	55-56	タンデム SAW
	溶接材料		Y-DM (4.8 ϕ) x YF-15 (20 x D)			
ねらい位置						

6-4-2 組み立て

所定の品質に加工された部材を25トン・ジャッキで圧着しながら組み立てた結果，全線に渡ってルートギャップ0.5mm以下の品質を得た。部材のスプリングバックによる仮付ビードの割れは認められなかった（表-11，写真-8参照）。

表-11 試験体で得た組み立て精度

	J型開先継手	すみ肉継手
組立完了時の ルートギャップ	0~0.4	0~0.35

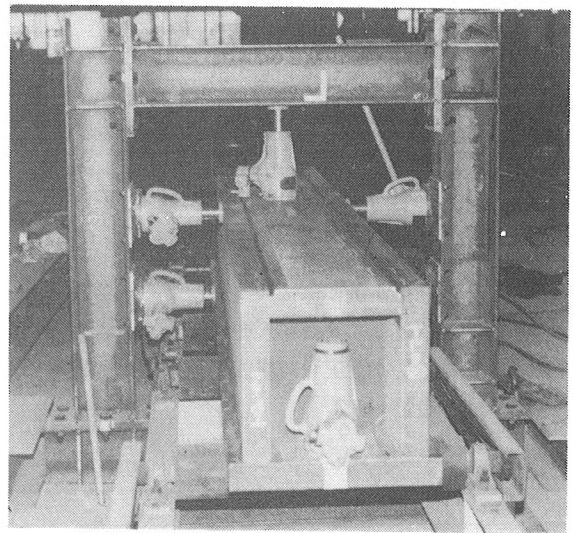


写真-8 試験体組み立て

6-4-3 溶け込み深さの調査結果

各溶接継手の溶け込み深さを調査し，そのヒストグラム（図-19）を作成した。すみ肉溶接では，十分な溶け込み（2.0~5.0mm）が得られた。深さのバラツキは少なく良好であった。

J開先かど溶接では，溶け込みのバラツキがすみ肉溶接より大きかった。溶け込み深さは，初期の開先深さ+1mmの目標溶け込み値を満足できるものであった（図-19，写真-9参照）。

6-4-4 ブローホール発生量について

J型開先継手では，0.5mmを越えるブローホールが，約1.8個/M発生した。その内の大部分は0.5~1.0mmの大きさであった。すみ肉溶接では，1Mあたり約1.9個発生し，その内の大部分はやはり0.5~1.0mmの大きさであった。なお，その後の実験で開先部を更に清浄に保つ等の対策により，0.5mmを越す大きさのブローホールは，0~0.6個/Mに低減できた。その大きさは，0.6mmであった（図-20，21参照）。

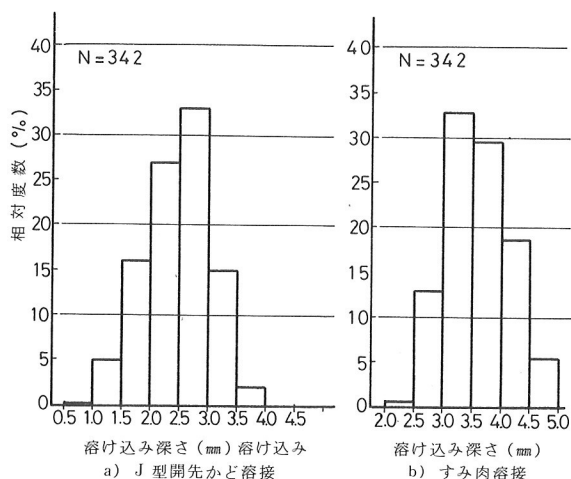


図-19 溶け込み深さ調査結果

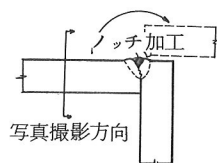
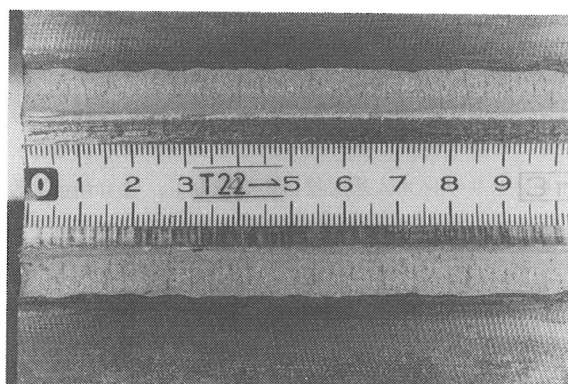
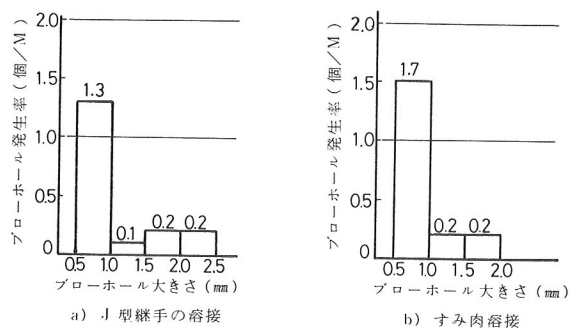


写真-9 ルート部の溶け込み線 (破断面の写真)



※ ブローホールの大きさは長径を示す。

図-20 長さ3Mの試験体でのブローホール発生状況

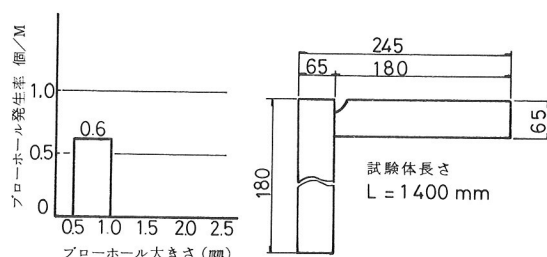


図-21 追加実験でのブローホール発生状況とその試験体形状

6-5 電源の調査

かど溶接に用いる専用電源 (500KVA) を設置し、その安定性を調査した。調査内容は、一次側の6600Vおよび二次側の440Vについて連続した1日の変動を調べることにした。その結果は、下記の通りであり、アーク電圧におよぼす専用電源の電圧変動の影響は少ないといえる (表-12, 写真-10 参照)。

表-12 電圧変動率調査結果

調査箇所	変動率	電圧変動率
一次側 6600V		±3%
二次側 440V		±3% (作業時間帯)

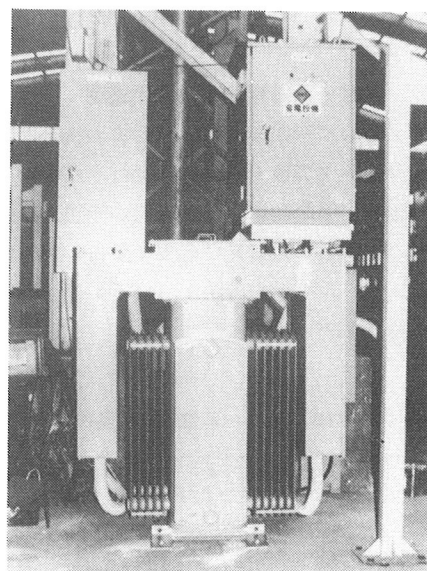


写真-10 かど溶接 (SAW) 専用電源 (500KVA)

6-6 かど溶接基礎実験のまとめ

溶接線方向のくり返し応力に対する疲労強度劣化を防止するという観点より、かど溶接施工についての基礎的な検討を行った。その結果、組み立て時のルートギャップを0.5mm以下にすることがルート部の欠陥および溶け込み線の凹凸を改善する大きな要素であることがわかった。また、開先の清浄度をよくすることが、ブローホール発生を防止するうえで有効であることも確認できた。さらに、かど溶接用のサブマージーク溶接専用電源(440V)として、クレーン等と別系統の専用電源を設置し、電源の安定化を図った。

7. ダイアフラムのすみ肉溶接

7-1 中間ダイアフラム

7-1-1 中間ダイアフラムの形状

中間ダイアフラムの形状を図-22に示す。

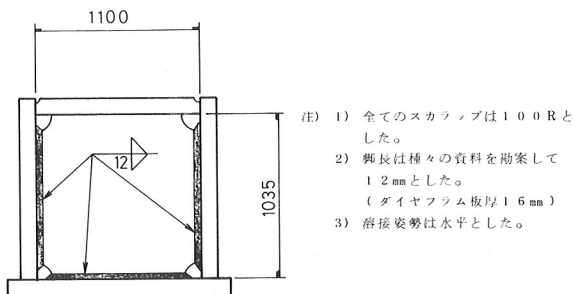


図-22 中間ダイアフラムの形状

7-1-2 仮付・前処理溶接条件の選定

ダイアフラムのすみ肉溶接は外観形状の良好な改善棒を用いた被覆アーク溶接(手溶接)で行うためルート部が完全に溶融しない箇所が生じることが予想される。

そこで溶け込みのよいMHG溶接で仮付・前処理溶接を行うことにし、ルートが溶融する溶接条件の選定を行った。その結果を表-13に示す。

表-13 仮付・前処理溶接条件

溶接方法	溶 接 条 件			溶け込み深さ (mm)
	電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (cm/min)	
MAG溶接 (目標脚長 7~8mm)	260~280	23~28	28~32	0.9~1.3

7-1-3 本溶接条件の選定

中間ダイアフラムのすみ肉ビードは疲労強度向上の観点からその形状は図-23に示すようなものであることが要求されている。

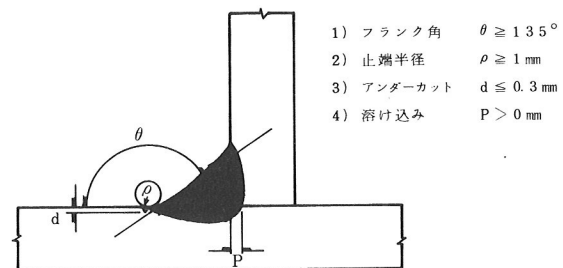
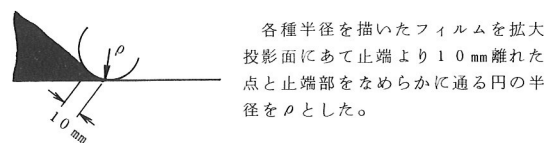
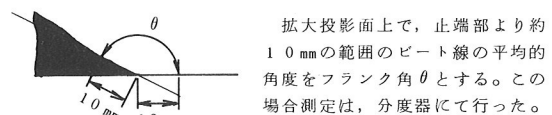


図-23 すみ肉ビード形状への要求値

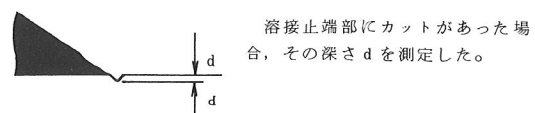
そこで、すみ肉ビード形状、特に止端形状がなめらかになるように改良棒を用いて溶接順序および積層方法を変えて溶接を行い、図-24に示すようにすみ肉溶接ビードをシリコンゴム系印象材で型取りし、20倍拡大投影機でビード止端部の形状を測定した。そして $\rho \geq 1\text{mm}$ 、 $\theta \geq 135^\circ$ 、 $d \leq 0.3\text{mm}$ また、溶け込み深さとして0mm以上の値をほぼ満足する溶接条件として表-14の条件を得た。



(a) ρ の測定



(b) θ の測定



(c) d の測定

図-24 ρ 、 θ 、 d の測定方法

表-14 中間ダイヤフラムの溶接条件

	溶 接 条 件		目標サイズ及びビード形状	溶接線に対する溶接棒の 角度及びねらい位置	溶接方向に対する 溶接棒の角度
前処理溶接 MAG溶接	溶接材料	YM-28 12mmφ			
	電 流 (A)	260~280			
	電 圧 (V)	23~28			
	速度 (cm/min)	28~32			
	シールドガス	Ar80%+ CO2 20%			
	ガス流量 (L/min)	15~20			
本 溶 接 (1パス目) 手 溶 接	溶接材料	LBF-52A 6mmφ			
	電 流 (A)	300~330			
	電 圧 (V)	27~28			
	速度 (cm/min)	22~25			
	—	—			
	—	—			
本 溶 接 (2パス目) 手 溶 接	溶接材料	LBF-52A 6mmφ			
	電 流 (A)	300~330			
	電 圧 (V)	27~28			
	速度 (cm/min)	26~28			
	—	—			
	—	—			
本 溶 接 (最終パス) 手 溶 接	溶接材料	LBF-52A 5mmφ			
	電 流 (A)	190~210			
	電 圧 (V)	26~27			
	速度 (cm/min)	30~33			
	—	—			
	—	—			
溶接順序 及び 溶接方向					

7-2 端ダイヤフラムのすみ肉溶接

7-2-1 端ダイヤフラムの形状

端ダイヤフラムの形状を図-25に示す。

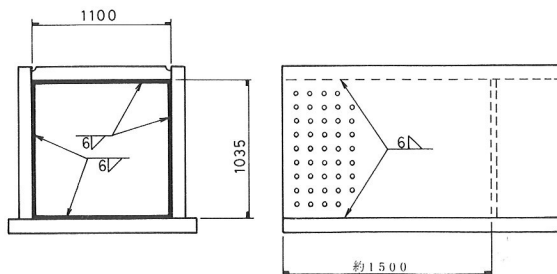


図-25 端ダイヤフラムの形状

7-2-2 仮付・前処理溶接条件の選定

端ダイヤフラムのすみ肉溶接についてもルート部の完全溶融する溶接条件を求めるため仮付・前処理溶接をMAG溶接で溶接電流を種々変化させて溶接を行い、溶け込み深さを調査して表-15に示す溶接条件を得た。

表-15 仮付・前処理溶接条件(端ダイヤフラム)

溶接方法	溶 接 条 件			溶け込み深さ (mm)
	電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (cm/min)	
MAG溶接 (目標脚長 4~5mm)	260~280	23~28	70~80	0.9~1.5

7-2-3 本溶接条件の選定

端ダイヤフラムのすみ肉溶接では三方向からの溶接線が交わるコーナー部の溶接が最も難しく、良好なビード外観を確保しにくい。そこで、図-26に示すような2種類の試験体を用いて溶接方向、溶接順序をいろいろ変えて溶接を行い、すみ肉ビード形状、溶け込み深さを調査し、ビード形状として中間ダイヤフラムの場合と同様に $\rho \geq 1 \text{ mm}$, $\theta \geq 135^\circ$, $d \leq 0.3 \text{ mm}$ また溶け込み深さが 0 mm 以上の値をほぼ満足するような溶接条件として、表-16に示す条件を得た。

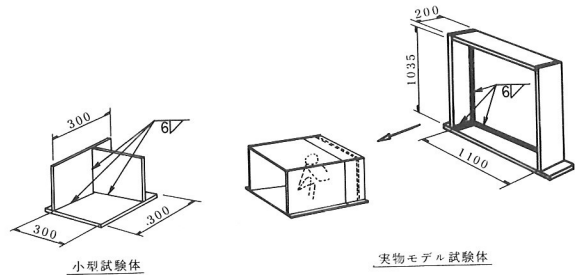


図-26 試験体形状

表-16 端ダイヤフラムの溶接条件

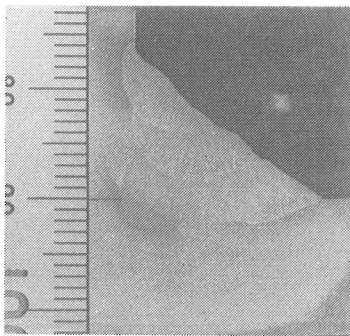
	溶 接 条 件		目 標 サ イ ズ 及 ビ ビード形状	溶 接 順 序 及 ビ 溶 接 方 向
前処理溶接 (MAG溶接)	溶 接 材 料	60キロ銅用ワイヤ 1.2mmφ		
	溶 接 電 流 (A)	260~280		
	溶 接 電 圧 (V)	23~28		
	溶 接 速 度 (cm/min)	70~80		
	シールド ガ ス	Ar80%+ CO2 20%		
	ガ ス 流 量 (ℓ/min)	15~20		
コーナ-処理 溶 接 (MAG溶接)	溶 接 材 料	60キロ銅用ワイヤ 1.2mmφ	右 図 参 照	
	溶 接 電 流 (A)	150~180		
	溶 接 電 圧 (V)	19~21		
	シールド ガ ス	Ar80%+ CO2 20%		
	ガ ス 流 量 (ℓ/min)	15~20		
本 溶 接 (手 溶 接)	溶 接 材 料	LB F-62A 6mmφ		
	溶 接 電 流 (A)	290~320		
	溶 接 電 圧 (V)	27~28		
	溶 接 速 度 (cm/min)	24~27		

7-3 ダイヤフラムのすみ肉溶接実験のまとめ

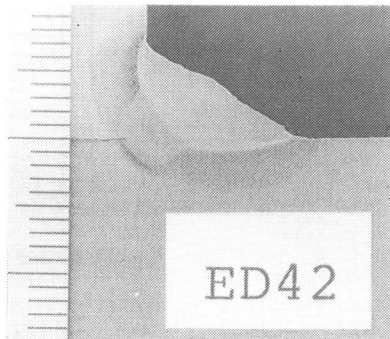
ダイヤフラムのすみ肉溶接は手溶接で行うため、その溶接結果は溶接作業者の技量に大きく左右される。安定したすみ肉溶接ビード形状を確保するためには溶接条件の選定とともに溶接作業者の技量の向上を図ることが重要なポイントである（写真-11, 12 参照）。



写真-11 溶接状況



a. 中間ダイヤフラム (S=1mm)



b. 端ダイヤフラム (S=6mm)

写真-12 ダイヤフラムすみ肉溶接の断面マクロ

8. あとがき

現在作業中の幾つかの追加および確認試験を完了させ、引き続き基礎実験の全結果を基に、パイロット・メンバーの製作およびこれによる検討を行うことにしており、おもな検討項目は以下に示す。

- (1) 鋼板の平坦度
- (2) 溶接継手面の直角度（切断面およびドラグライン除去面）
- (3) プライマー除去面の平坦度
- (4) 板継ぎ溶接の角変形の矯正および余盛り仕上げ
- (5) フランジプレートの平面曲り
- (6) 箱断面形成順序および材片寸法
- (7) 組立方法（圧着方法）
- (8) 予熱方法と予熱による変形に対する処置
- (9) 溶接条件と溶接による変形に対する処置
- (10) 溶接部の品質確認
- (11) ダイヤフラム溶接の習熟

最終的には、これら全ての実験結果を基にして実施工のための作業標準を作り、実施工にそれを活用してゆけるようにすることまでを本製作・検討作業の範囲としている。

なお、本検討を進めていくにあたって、東大名誉教授奥村敏恵先生、埼玉大学教授田島二郎先生、大阪大学助教授堀川浩甫先生の方々に多大の御指導をいただいていることに深く感謝致します。