

中央合同庁舎第5号館建築工事の施工記録

若宮 三郎 * 星 良賢 ****

内原 幸三郎 ** 堀越 洋 *****

後藤 英樹 *** 宮前 馨 *****

嶋村 尚久 *****

1.はじめに

霞ヶ関官庁街の一画、緑豊かな日比谷公園に接した一等地で、旧海軍省の跡地と聞く。

ここに建設大臣官房営繕部が設計及び工事を直轄監理で中央合同庁舎第5号館工事が進められている。

この工事は政府発注で初めての高層建築である。完成後は厚生省、労働省、環境庁、国土庁の各省庁の入居が決まっている。

総合施工は大成建設(株)、戸田建設(株)、西松建設(株)の三者共同企業体であり、鉄骨加工業者は(株)駒井鉄工所、(株)宮地鉄工所が一節から五節までを、六節以降を川岸工業(株)と、日本鋼管(株)が製作より現場工事のそれぞれを施工担当した。現場溶接工事は関係先の要請で、上節の日本鋼管(株)の施工分も当社が担当した。

この工事の特徴として、極厚プレートボックス柱で柱と柱の現場溶接は狭開先自動溶接が採用された。当社としては工場製作精度、現場施工等の、品質管理、及び検査方法の見直しと従業員の教育につとめた結果、満足出来る内容であったのでこれらについて報告する。

2.工事概要

2-1 工事概要

- (1)工事名称 中央合同庁舎第5号館建築工事
- (2)工事場所 東京都千代田区霞ヶ関1-2-2
- (3)構造 地下3階、RC及びSRC造
地上26階、塔屋3階、S造
- (4)建築主 建設大臣官房庁営繕部
- (5)設計監理 建設大臣官房庁営繕部
- (6)請負者 大成、戸田、西松、建設工事共同企業体
- (7)工事範囲 高層棟本体鉄骨の工場製作、工場塗装及び輸送

(8)工期 工場製作昭和54年9月開始

} 昭和56年9月完了
現地搬入昭和55年11月開始
} 昭和56年11月完了

(9)施工範囲

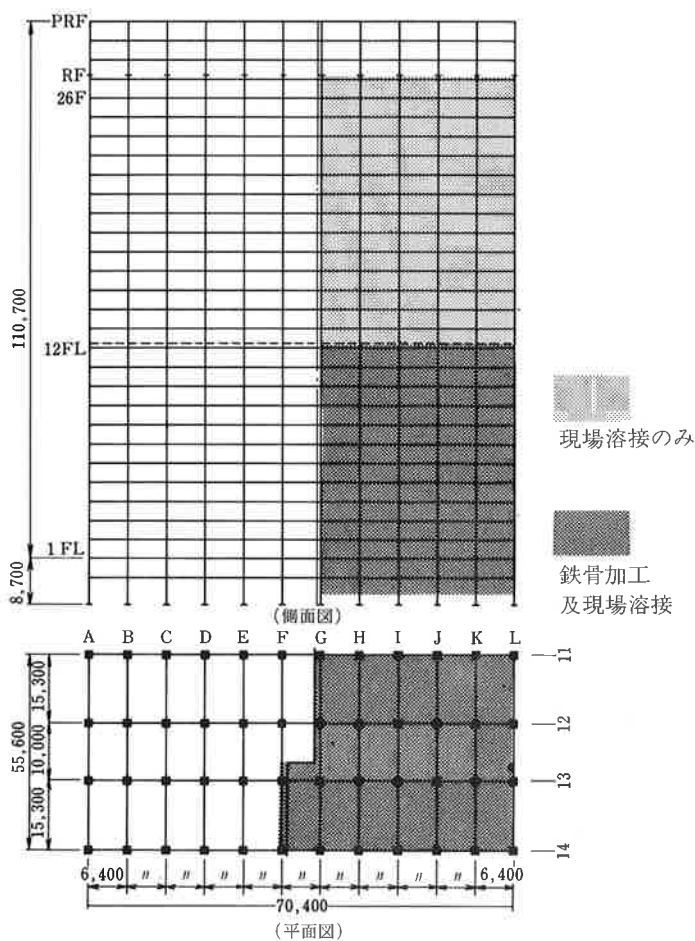


図-1 施工範囲図

技師長 *	技術部品質管理課係長 ****
東京工場鉄構部部长 **	東京工場鉄構部工務課係員 *****
東京工場鉄構部工務課課長 ***	東京工場第3班副主任 *****
	技術部品質管理課係員 *****



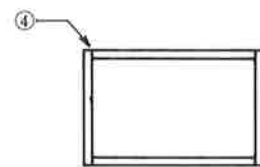
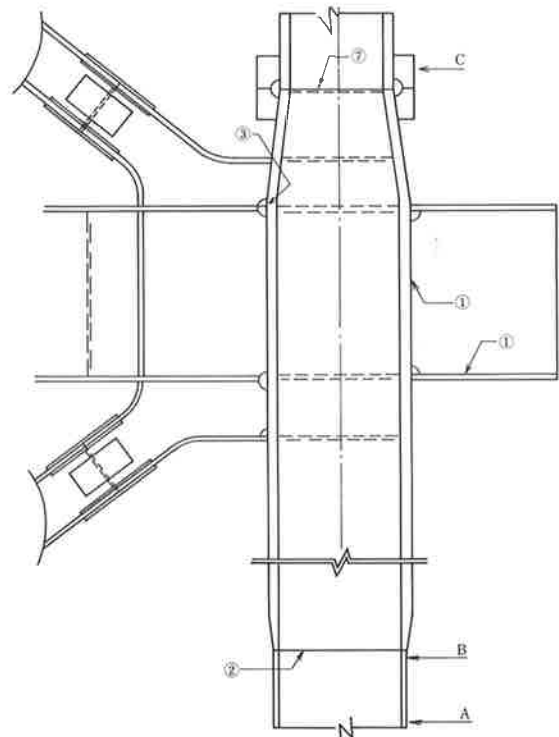
写真-2 鉄骨建方

3. 鉄骨工事仕様

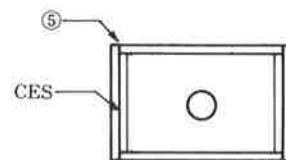
表-1 鉄骨工事仕様

区分	項目	
柱	形式	極厚プレートボックス柱
	寸法	□-800×800×80 □-800×800×70 □-1000×600×70 □-800×600×60 □-700×600×50 □-800×600×50
	材質	50 ≤ t ≤ 80 SM50B 40 ≤ t < 50 SM50A
	接合形式	柱+柱：現場溶接 フランジウェブ：H.T.B.
	現場溶接の種類	t ≥ 32：狭開先自動溶接 t < 32：裏板付レ形溶接
梁	形式	I形組立梁またはH形鋼
	寸法	主要部：成800~1000 幅：500~300 t = 36~12
	接合形式	柱体と仕口ブラケット、梁接合部H.T.B
高力ボルト	種類	特殊ボルト（トルシヤ形） F10T：M24、M22、M20
	摩擦面	摩擦係数0.45、本体はサンダー・スプライス又はショット・ブラスト
超音波受入検査	発注形式	JVより検査会社に発注（メーカー、加工工場の自主検査は規定しない）
	溶接部の検査率	柱体と仕口接合部、ボックス柱のダイヤフラム・シーム接合部は斜角探傷（検査率50~30%）ダイヤフラムは垂直探傷（検査率50~30%）
	現場溶接	斜角探傷（タンデム法を併用）検査率100%

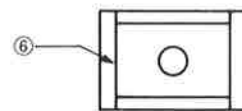
4. 主要鉄骨溶接開先基準図



A-A断面

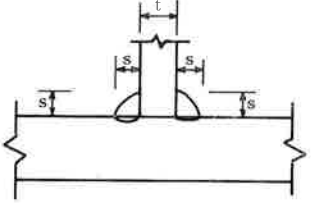
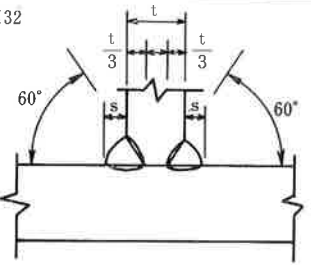
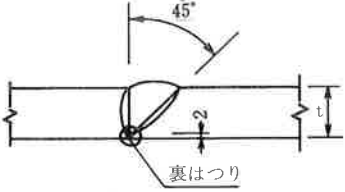
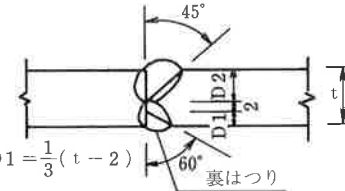
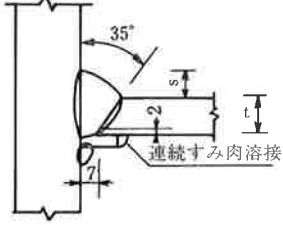
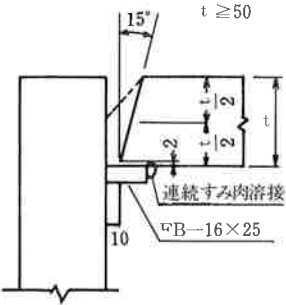
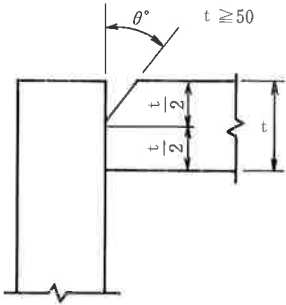
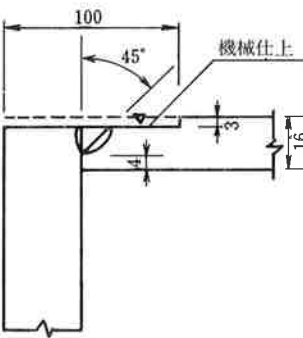
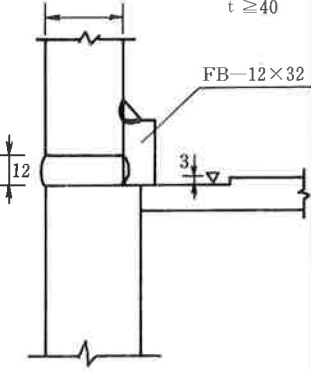
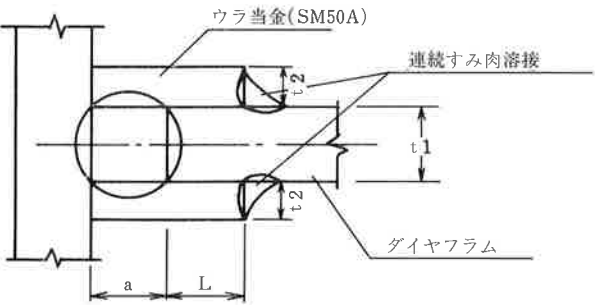
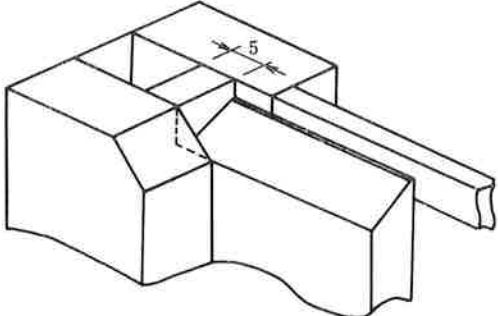


B-B断面



C-C断面

図-2 主要鉄骨溶接開先基準図

1 すみ肉溶接(両面)	2 突合せ溶接(両面)	3 T形突合せ溶接(片面)																				
<p>手・半自動・自動溶接</p> <table border="1" data-bbox="406 320 560 383"> <tr><td>t</td><td>6</td><td>9</td><td>12</td><td>16</td></tr> <tr><td>S</td><td>5</td><td>7</td><td>9</td><td>12</td></tr> </table> <p>$t \leq 16$</p>  <table border="1" data-bbox="406 633 560 696"> <tr><td>t</td><td>19</td><td>22</td><td>25</td><td>28</td></tr> <tr><td>S</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>10</td></tr> </table> <p>$16 < t \leq 32$</p> 	t	6	9	12	16	S	5	7	9	12	t	19	22	25	28	S	6	7	8	10	<p>半自動(手)溶接</p> <p>$6 < t \leq 22$</p>  <p>$22 < t \leq 40$</p>  <p>$D1 = \frac{1}{3}(t - 2)$</p> <p>$D2 = \frac{2}{3}(t - 2)$</p>	<p>半自動(手)溶接</p> 
t	6	9	12	16																		
S	5	7	9	12																		
t	19	22	25	28																		
S	6	7	8	10																		
4 かど継手(片面)	5 かど継手(片面)	6 トッププレートの溶接(片面)	7 現場溶接																			
<p>自動溶接</p> 	<p>自動溶接</p> 	<p>(手・半自動溶接)</p> 	<p>(自動溶接)</p> 																			
CES 消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接	ダイヤフラムの開先(裏当金)とCES溶接部分																					
<p>自動溶接</p> 																						

5. 工場製作

本工事の極厚大型プレートボックス柱は表-1 鉄骨工事仕様に示す設計仕様であった。

これらの構造物、製作上の問題点を以下に述べる。

5-1 ボックス柱かど継手の溶接施工

本工事の極厚大型プレートボックス柱で原設計では完全溶込みの部分の開先角度（裏板付レ形開先、角度35°、ルート間隔7mm）を大きくとった開先形状を用いられているため、板厚が増すに従い開先断面（図-3参照）が急激に大きくなるので溶接作業時間、ワイヤ、

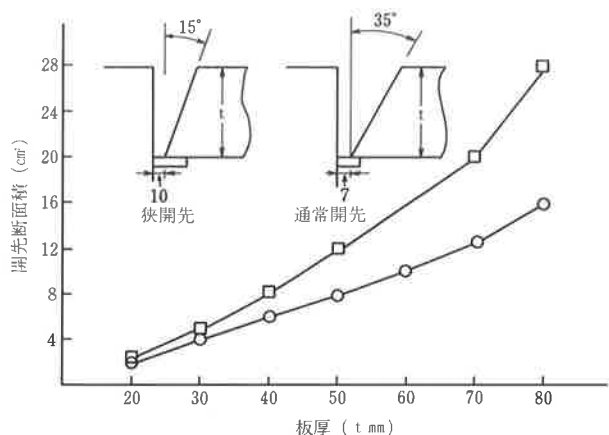


図-3 板厚と開先断面積の関係図

フラックスの消費が増大し、溶接による歪が大きくなる。これに対処するために開先断面の小さいいわゆる狭開先のサブマージアーク溶接法（日溶工）とツイストアーク（神鋼）について検討した。

ツイストアーク溶接法も、改良フラックス(NF-1)を用いたサブマージアーク溶接も溶接施工試験結果では良好であった。

ツイストアーク溶接法は、ランニングコストが高く溶接機、溶接電源の新たな購入等の問題があったので今回は見送り、スラグ剥離性及び、かつ機械的性質が良好で、作業性のすぐれているフラックスを使用により、狭開先サブマージアーク溶接法を採用した。この溶接方法によるボックス柱、溶接工法を以下に述べる。

5-2 開先形状

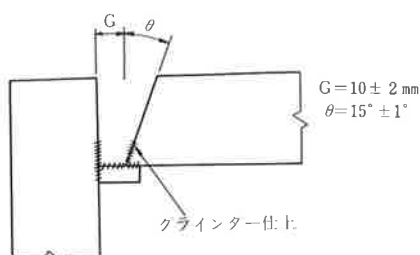


図-4 開先形状

初層に発生し易いプロホール等の溶接欠陥を防止するために開先面のミルスケールを組立前にグラインダーで仕上げた。

5-3 溶接材料

開先内でスラグ剥離性が良いフラックスNF-1を使用した。ワイヤとフラックスの組合せを表-2に示す。

表-2 狭開先サブマージアーク溶接材料

種別	項目	銘柄	サイズ
フラックス		NF-1	4.8×D×ッシュ
ワイヤ		Y-D	3.2φ、4.0φ、4.8φ

5-4 溶接条件

狭開先サブマージアーク溶接ではルート間隔が狭いと高温ワレが起りやすい、あまり広くすると溶込不良の欠陥が発生しやすい。

従ってルート間隔の適正管理するとともに初層溶接条件として、熱間ワレを防止するため低めの電流で1パス溶接を行った。その溶接条件例を表-3に示す。

表-3 適正溶接条件例

溶接法	板厚 (mm)	開先形状 (mm)	溶接条件				
			ワイヤ径 (mmφ)	パス数	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)
シングル	70		4.8	1	600	32	25
				2	650	34	25
				3	700	38	25
				}	}	}	}
				6	700	38	23
				}	}	}	}
				19	750	38	35
20	750	38	40				

5-5 ワイヤの狙い角度

狭開先サブマージアーク溶接では、特に初層のワイヤの狙いは重要である。ワイヤの狙い位置が片寄るとアークが偏心し、反対側に融合不良が発生しやすくなる。

本工事では、開先ルート間隔が10±2mmと広いので、ワイヤ芯がルート間隔の中心に保持するため做い装置を使用した。

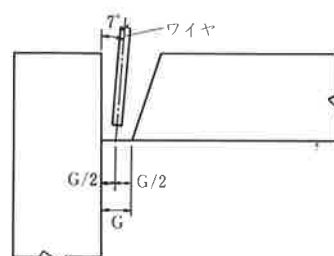
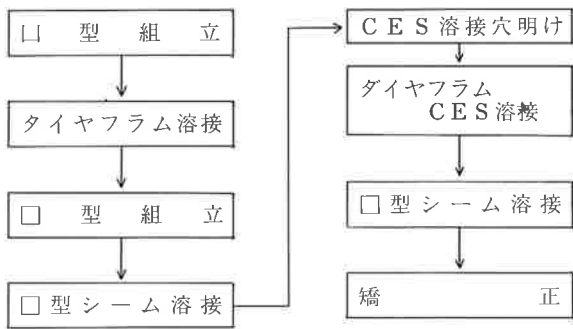


図-5 ワイヤの狙い位置

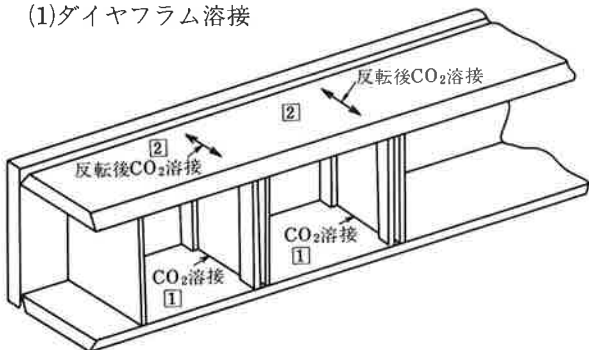
5-6 ボックス柱溶接の概要

ボックス柱溶接のフローチャートを示す。



5-7 ボックス柱溶接要領

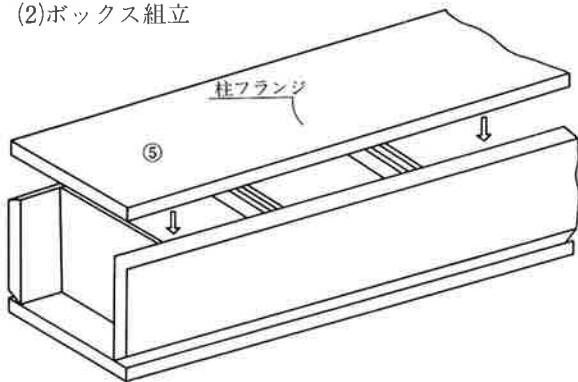
(1)ダイヤフラム溶接



ダイヤフラムの2面のCO₂溶接を水平(又は下向)にて行なう。

図-6 ダイヤフラムのCO₂溶接

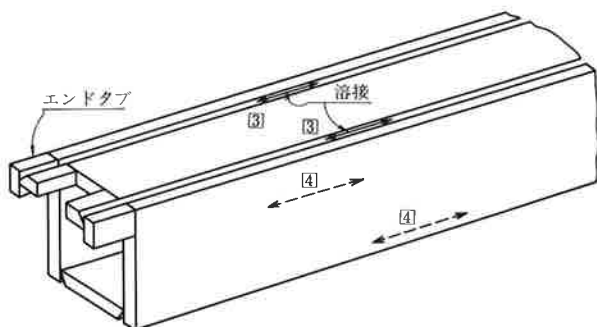
(2)ボックス組立



残り一面の柱フランジを組立て□形にする。

図-7 ボックス組立

(3)ボックス角溶接



左右並行して狭開先サブマージアーク溶接を行なう。
(溶接量は最終ビード前まで行なう)

図-8 ボックス柱の狭開先サブマージアーク溶接

(4)C・E・S 溶接用穴明け

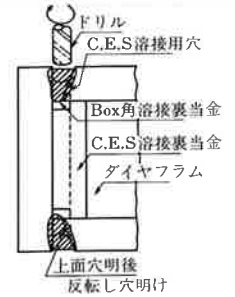
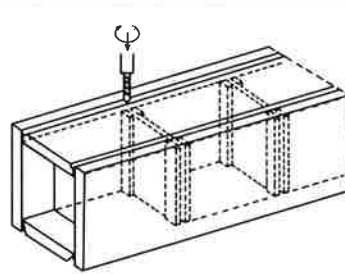


図-9 CES 溶接用穴明け

図-10 CES 溶接用穴明け

角溶接を最終ビード前まで行なった後、ダイヤフラムの四隅C.E.S溶接該当位置の柱ウェブ部にC.E.S溶接ノズル貫通用の穴を明ける。

(5)C・E・S 溶接

各ダイヤフラムのC・E・S 溶接を行う。

(6)ボックス角溶接

C.E.S溶接始末端をガウジングし、角溶接開先部を整形する。角溶接部中間層以後を最後まで溶接する。

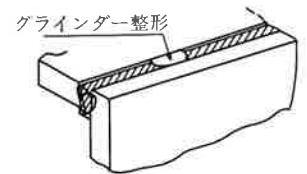
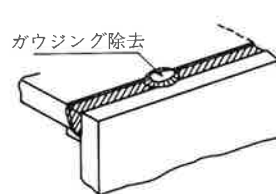


図-11 C.E.S 溶接タプの整形

図-12 C.E.S 溶接の整形

角溶接は(3)ボックス角溶接と同様にサブマージアーク溶接で行なう。

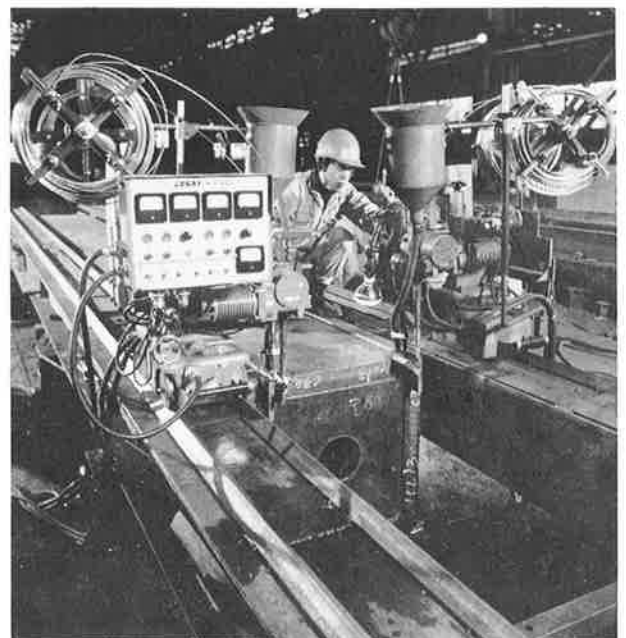


写真-2 ボックス柱角溶接

5-8 現場溶接部ウラ板の取付

狭開先自動溶接の開先精度は、溶接欠陥有無に大きく影響する。

従って、当工事はルート間隔保持のため、柱体溶接完了後歪取を行い全長を決めてから柱体両端部を平行にフェーシング仕上げをした。そこに機械仕上げをしたエンド・タブ付きの裏当金①を2枚先に取付けルート間隔を保持して残り②の裏当金2枚を両側の高さに取付けた。これによってルート間隔の保持が出来た。

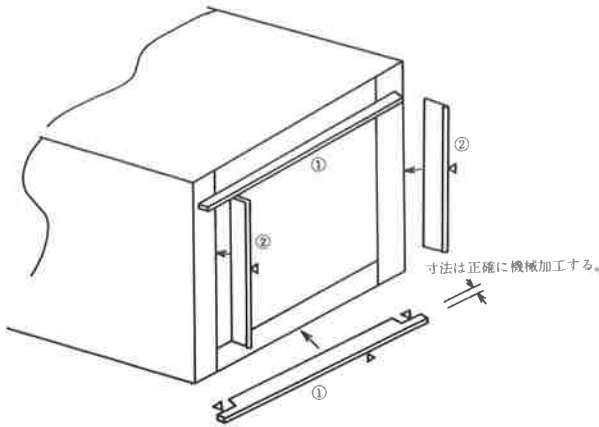


図-13 裏当金取付図

5-9 シーリング溶接

シーリング溶接は現場狭開先自動溶接の初層の溶接欠陥の有無に大きな影響を与えるので特に下記の項目について注意して溶接を行った。

- (1)シーリングビードは低水素系4mmφで下向水平姿勢で行う。
- (2)図-14の脚長寸法で溶接する。
- (3)ビード表面はなめらかに仕上げる。

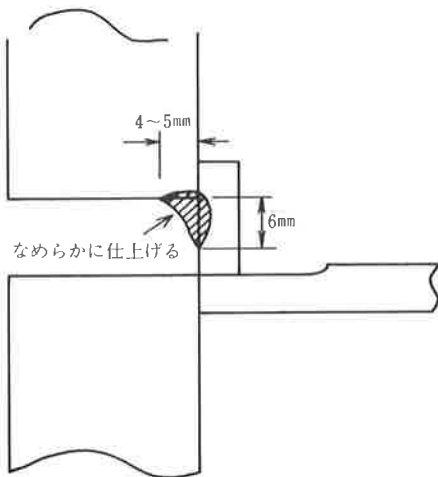


図-14 シーリングビード形状

5-10 柱のエレクションプレート取付

柱のエレクション・プレートの取付方法によって現場開先部の目違いの有無がおこる。

従って、 $e_1 \sim e_3$ の寸法を特にチェックして取付けを行った

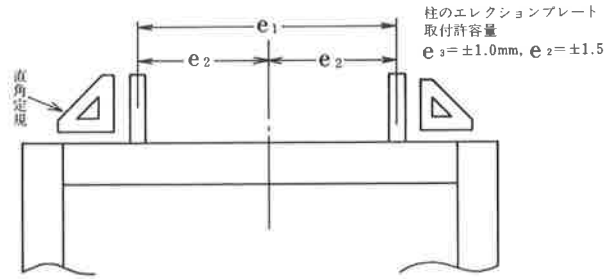


図-15 柱のエレクションプレート取付

柱のエレクションプレート

取付許容値 $e_2 = \pm 1.0\text{mm}$, $e_1 = \pm 1.5$

これによって、現場溶接のルート間隔、目違い量は、現場の建入精度が良ければ、正確に保持されることになる。

6. 品質管理

当工事の品質管理は製作工程中における各工程内での作業者の自己品質管理と社内検査とを合わせて行った。

品質管理の目的は「次工程に迷惑をかけない」「不具合の発生を事前に防止する」という意識のもとに「製作工程に品質の思想をもち込む」事である。

品質管理の推進は、当社の責任者を筆頭に管理体制を作り、品質管理に対する意識の高揚とホローアップの徹底を計った。

社内検査は製品が要求品質を充分満足しているか否かを確認し、不具合を発見された場合は、その補修及びその確認を徹底するとともに、情報をフィードバックして同種の不具合の再発防止につとめた。

6-1 工場製作フロチャート及び品質管理系統

記号説明

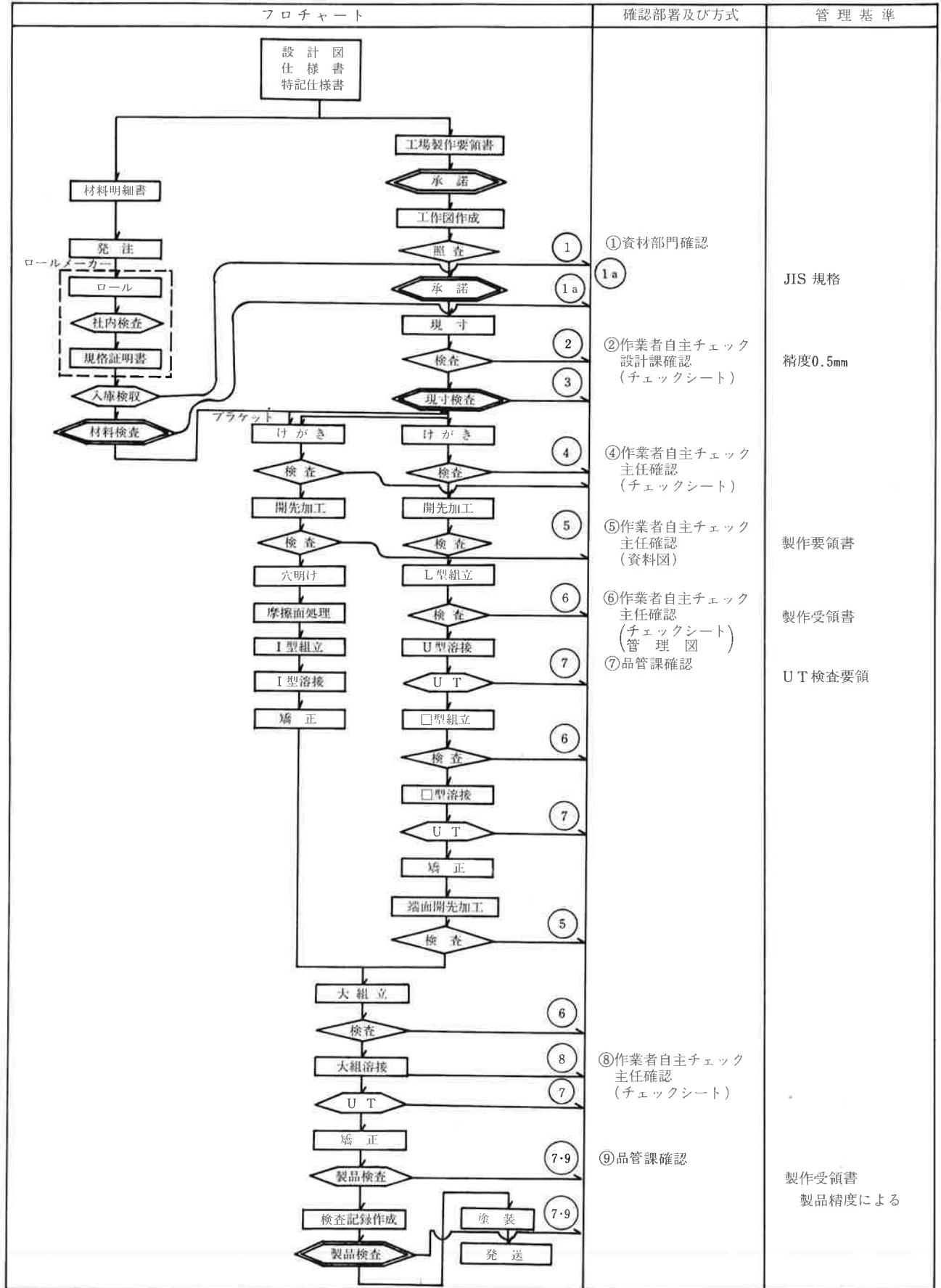


図-16 工場製作フロチャート及び柱の品質管理系統図例

6-2 製品精度

表-4 製品精度の許容値

(a)柱

名称	許容差
ねじれ θ	$\theta = \pm 3 \text{ mm}$
階高 l	$l = \pm 3 \text{ mm}$
仕口の長さD	$D = \pm 3 \text{ mm}$
仕口の成 H	$H = \pm 2 \text{ mm}$
断面 a	$a = \pm 3 \text{ mm}$
大曲り c	$e = \frac{L}{1000}$ 以下
ねじれ θ	a (柱成、長辺) $a \leq 700$ の時 4mm $a < 700$ の時 5mm
仕口の直角度 f	$f = \pm \frac{0}{300} \text{ mm}$
ベースプレートの大きさ d	$d = \pm 3 \text{ mm}$
アンカーボルト穴中心距離 F	$F = \pm 2 \text{ mm}$
アンカーボルト穴対角距離 h	$h = \pm 3 \text{ mm}$

(b)梁およびブレース

表-5 梁およびブレース製品精度

名称	許容差
全長 L	$L = \pm 3$
成 H	$H = \pm 2$
大曲り C	$C = L/1000$
ブレースブラケットの長さ e	$e = \pm 3$

型钢はJIS規格による。

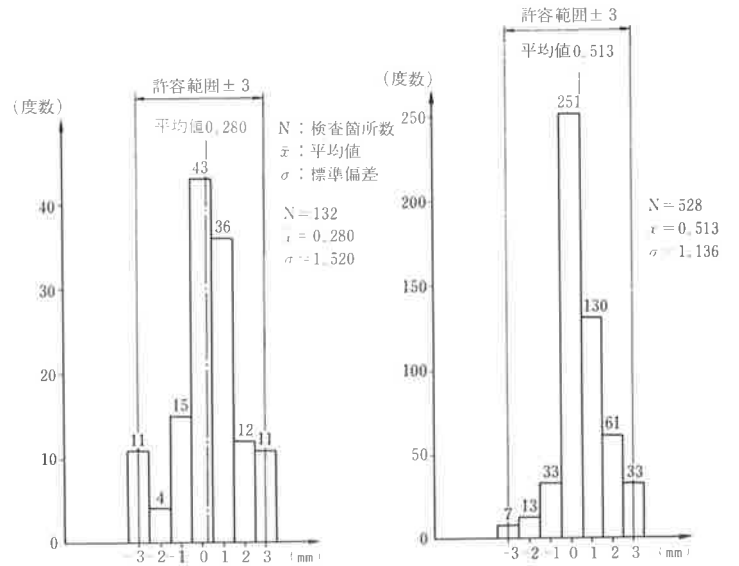


図-18 柱全長実績

図-19 柱成実績

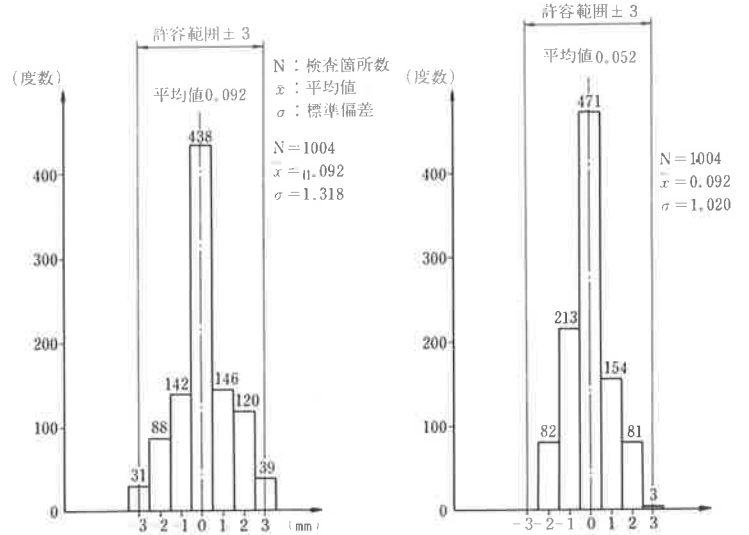


図-20 仕口出

図-21 仕口成

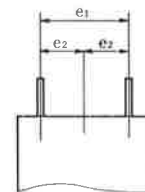


図-22 エレクションプレート間隔

6-3 製品精度結果表

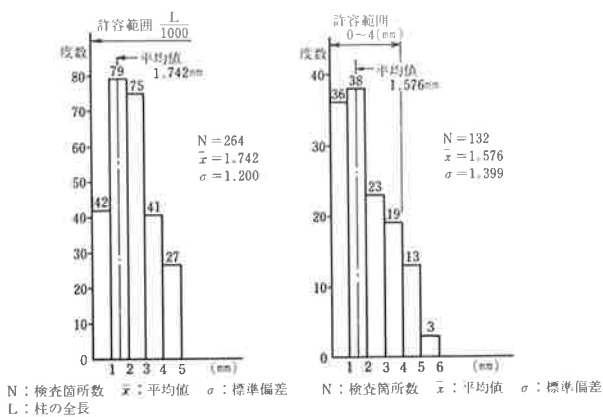


図-16 柱大曲り実績

図-17 柱ねじれ実績

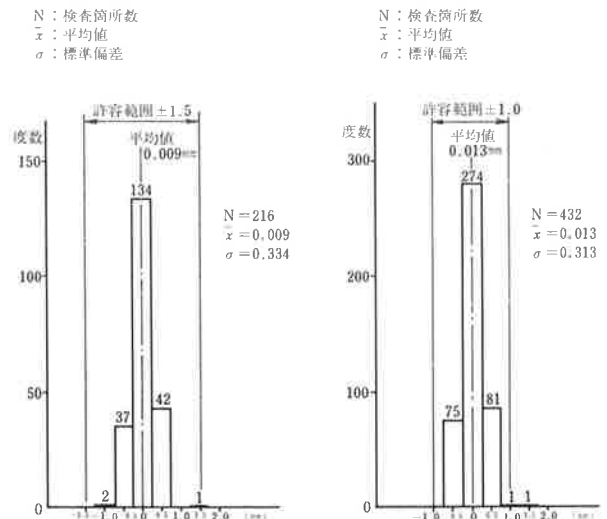


図-23 エレクションプレート間隔 (全幅) e_1

図-24 エレクションプレート間隔 (中心からの距離) e_2

7. 現場溶接施工

7-1 狭開先自動溶接法

使用鋼材の大型化、極厚化にともない、狭開先溶接継手の開先断面積は従来のアーク溶接や、半自動溶接に用いられる開先断面積に比べ極めて小さい。これにともなって、開先加工の省略、溶接材料の低減と、作業時間の短縮などの利点がある。

極厚鋼材の溶接継手に狭開先溶接工法が今後ますます採用されることになるだろう。

狭開先自動溶接法ではNH₃法(神鋼)とPAW法(日溶工)等があるが当社は種々検討の結果NH₃法を採用した。

NH₃法の概要系統を図-21に示す。

NH₃法における標準開先間隔は12mmで累層法は一層を下側パスと上側パス(図-33参照)とに振り分けて溶接を行う。

上側パス溶接と下側パス溶接の場合はチップに角度を持たせることによって、溶込みを大きくして融合不の防止ができた。

チップは板厚が大きい場合には、チップ突出し長さを長くして、開先内に挿入しなければならないので、そのためにチップに絶縁材耐熱テープを巻き付けた。

又狭開先溶接においては、シールドガスを開先内に入れることはむずかしいので、板厚が厚い場合は、特殊な二重シールドを用い、ガス流量を多くして、開先内のシールドを行った。

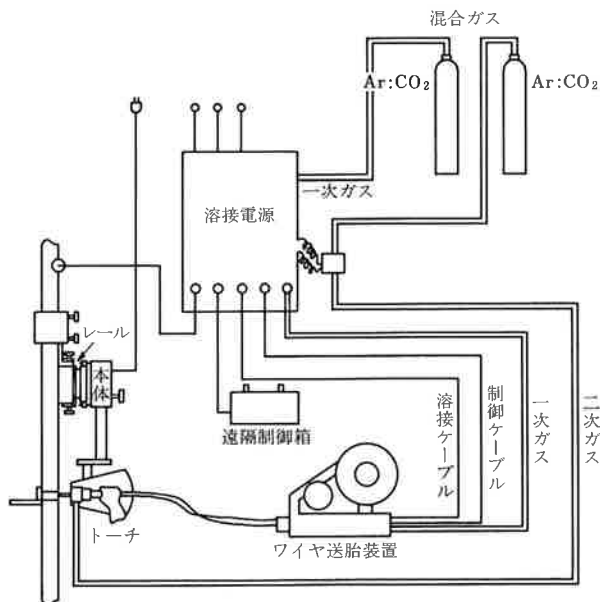
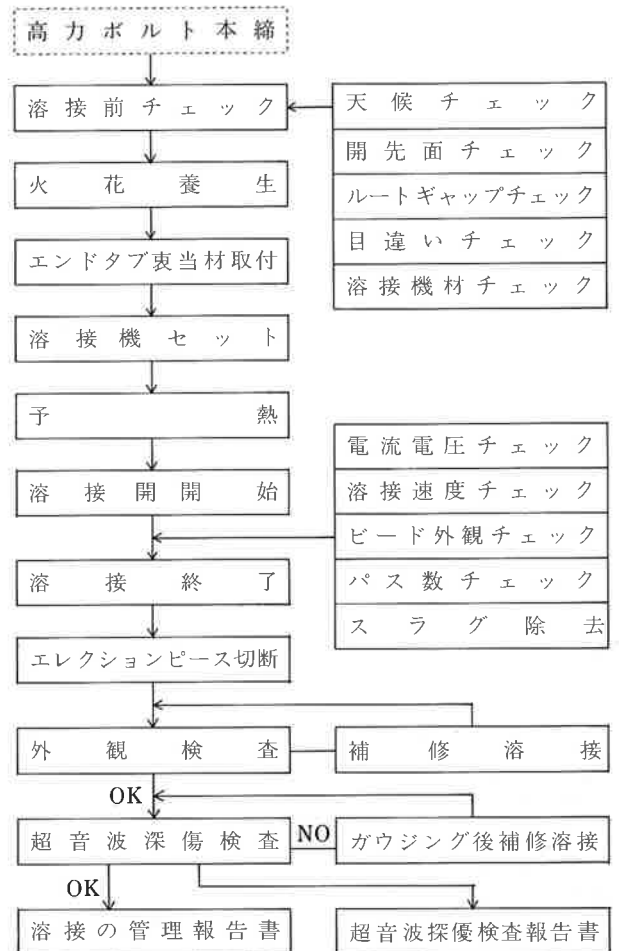


図-25 NH₃法の概要系統図

7-2 現場溶接フロチャート

現場溶接作業フロチャートを図-26に示す。

図-26 現場溶接フロチャート



写-3 現場狭開先自動溶接



7-3 予熱

極厚プレートボックス溶接柱の開先内をガスバーナーで、予熱を行うと、ガスフレームによって裏当金の肌すき間に結露することがあり、このため初層に溶接欠陥（ブローホール等）が発生する恐れがある。これらを解決するための電熱器（以下パネルヒーターと云う）を使用することによって、これらを解決した。

作業前日パネルヒーターを溶接個所にセットし、タイムスイッチ（作業時間2時間前）で作動する。これを使用することによって、ガスバーナーでの予熱作業時間（40～60分）を短縮することも出来た。

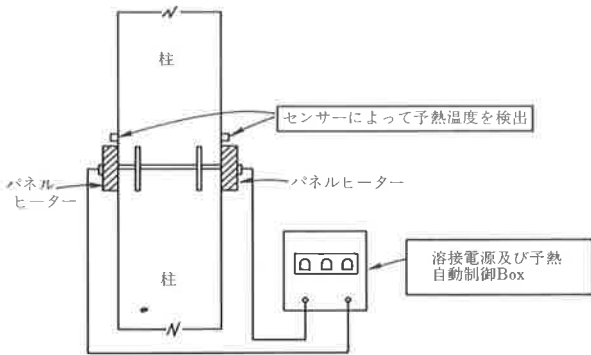


図-27 パネルヒーター取付図

表-5 予熱温度

鋼材の類	気温	板厚 (mm)		
		t ≤ 25	25 < t ≤ 38	38 < t
SM50A	5℃以下	50℃	50℃	100℃
SM50B	5℃以下	なし	50℃	100℃

予熱温度の範囲は溶接部から100mm離れた部分で上記温度を確保し、温度チョークを使用して管理した。

7-4 溶接条件

狭開先自動溶接の溶接条件例を表-6に示す。

表-6 狭開先自動溶接条件例

開先形状	ワイ径 mmφ	層	電流	電圧	速度	ガス流量
	1.2	初	230A	26V	25m/min	80 l/min
		中	〃	〃	〃	〃
		仕上	270A	30V	53m/min	150 l/min

初層の手溶接は低水素系の溶接棒で4mmφを使用した。

7-5 シールド・ガス成分

狭開先溶接のシールドガス成分 Ar (80%) + CO₂ (20%)はアークのスプレー移行の限界で、スパッターも少なく一般的に推奨されていた。

しかし実際に溶接施工性試験を繰返した結果、開先面の上下側ビードの境界部に融合不良が生じやすいことが分かった。ガス成分CO₂ (100%)は溶接ランニングコスト面では安いですが、ビード中央部に発生する熱間ワレの欠陥や、チップ先端にスパッターが付着して、絶縁を悪くしやすく、シールドガス効果を阻害することが判明した。

そこで、ガス成分の適正比率Ar(40%) + CO₂(60%)の組合せを採用した。

表-7 溶接施工試験の結果

ガスシールド	試験片	割れ長さ	可否
CO ₂ (100%)	No. 1	5mm、4mm	否
	No. 2	なし	合
	No. 3	1mm、5mm、3mm	否
Ar (20%) + CO ₂ (80%)	No. 1	なし	合
	No. 2	融合不良	否
	No. 3	なし	合
Ar (40%) + CO ₂ (60%)	No. 1	なし	合
	No. 2	なし	合
	No. 3	なし	合

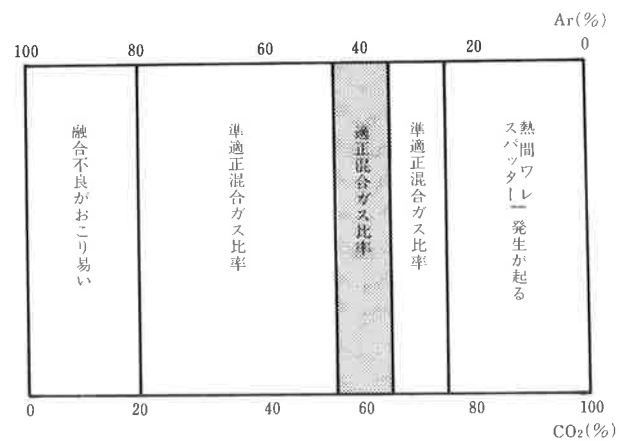


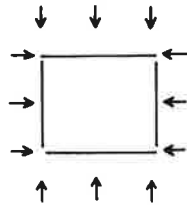
図-28 アルゴンガスに炭酸ガスを入れた、ガス成分の適正混合比率

7-6 現場溶接管理

狭開先自動溶接の開先精度は非常に重要な要素であるため、この工事に関して現場溶接管理シートの他に開先管理シートを作成して、ルート間隔、ハダスキ、目違いの測定を行った。

	確認(立合い)
建設省	
J・V	
現場管理者	

- 1.作業月日 月 日 AM, PM
 2.施工業者
 3.検査箇所



ルート間隔	東	1			
		2			
		3			
	西	1			
		2			
		3			
	南	1			
		2			
		3			
	北	1			
		2			
		3			
ハダスキ	東	1			
		2			
		3			
	西	1			
		2			
		3			
	南	1			
		2			
		3			
	北	1			
		2			
		3			
目違い	東	1			
		2			
		3			
	西	1			
		2			
		3			
	南	1			
		2			
		3			
	北	1			
		2			
		3			

図-29 鉄骨柱開先管理表例

7-7 現場開先精度

表-7 現場溶接開先精度の許容値

名称	図示	許容差
突合せ継手のくい違い (e)		$t \leq 15, e \leq 1.5$ $15 < t < 30$ $e \leq t/10$ $30 \leq t \quad e \leq 3$ tは薄い材片の板厚とする。
ルート間隔の誤差 (e)		$-1 \leq e \leq +2$

7-8 現場開先精度結果表

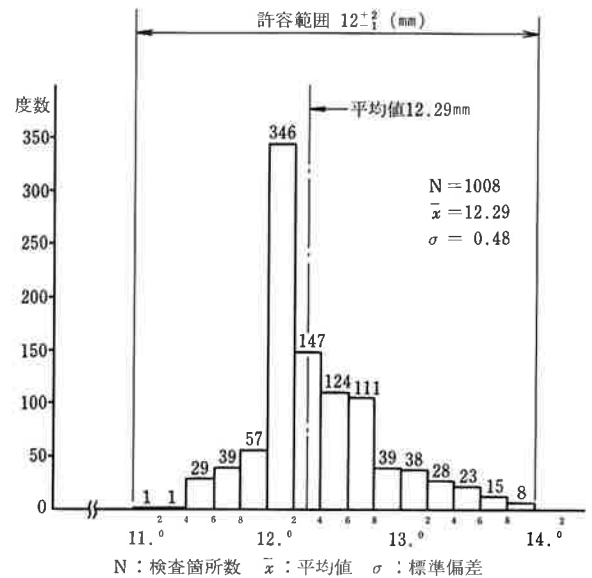


図-30 狭開先自動溶接のルート間隔実績(単位: mm)

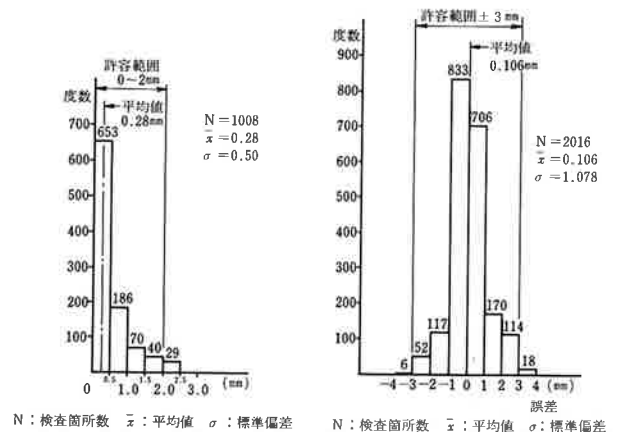


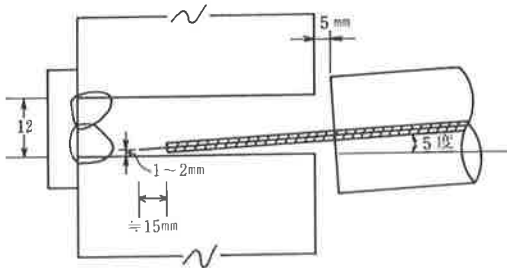
図-31 狭開先自動溶接の肌すき実績

図-32 目違い実績

7-9 ワイヤ狙い角度およびエクステンションの関係

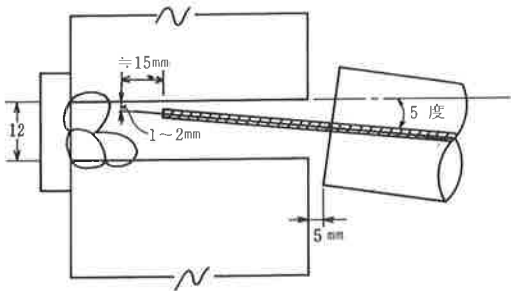
狭開先自動溶接では、ワイヤ狙い角度とワイヤエクステンションの関係が重要である。これらの関係を図-33に示す。

(A)初層～中間層溶接(下側のパス)



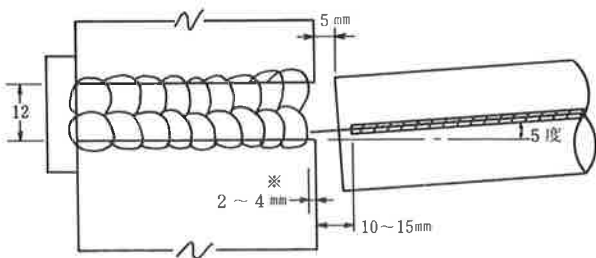
- (a)初層はコーナーより1~2mm上側を狙う。
- (b)ワイヤエクステンション約15mm。
- (c)トーチ角度約5度下側に向ける。

(B)初層～中間層溶接(上側パス)



- (a)コーナーより1~2mm下側を狙う。
- (b)ワイヤエクステンション約15mm。
- (c)トーチ角度約5度上側に向ける。

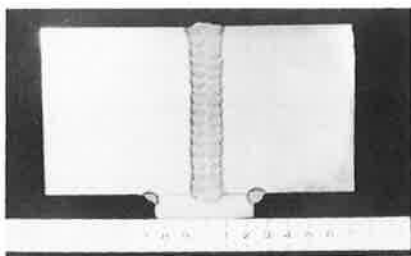
(C)最終層溶接(下側パス)



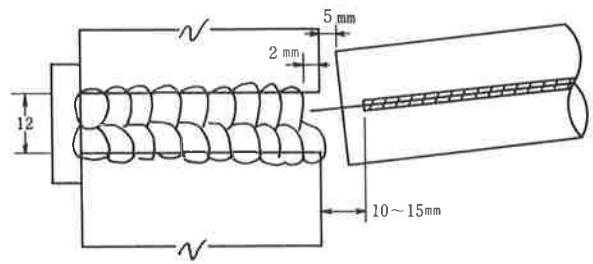
※最終仕上げビードのための残量 2~4mm残して溶接を行う。

写真-4 断面マクロ

図-33 ワイヤ狙い角度およびエクステンションの関係



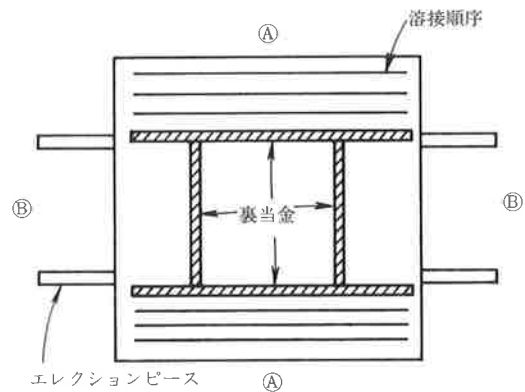
(D)最終層溶接(上側のパス)



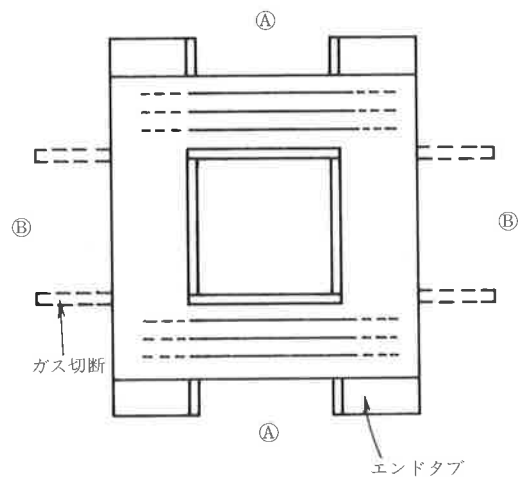
7-10 狭開先自動溶接作業

ボックス柱の狭開先自動溶接作業の手順を図-34に示す。

図-34 狭開先自動溶接作業



- (イ)A面両方の初層を手溶接する。
- (ロ)A面両方を同時に自動溶接する。

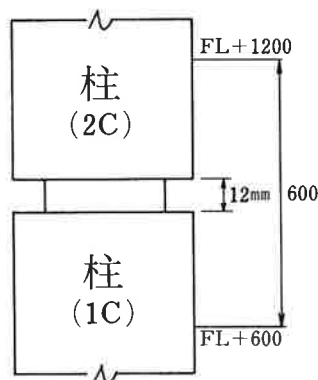
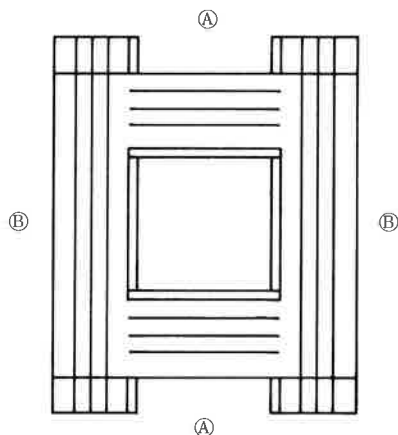


- (イ)エレクションピースを3~5mm残して切断する。
- (ロ)A面の両端をガウジングにて除去して整形する。
- (ハ)B面両端にエンドタブ材を取付ける。

8. 現場(狭開先自動)溶接による、 極厚ボックス柱の収縮量

極厚ボックス柱の自動溶接による収縮量とルート間隔
の関係を調べた。

8-1 柱溶接の収縮測定法



- (i) B面両方の初層を手溶接する。
- (ロ) B面両方を同時に自動溶接する。
- (ハ) 超音波探傷検査後エンドタブ材を切断する。

7-11 現場溶接の検査

柱と柱との現場溶接は全数検査を実施し、合否の判定は、日本建築学会「鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規準」で検査を行った。

(A) 別位不良率表

表-7 別位不良率表

鉄骨部位	溶接数	検査数	不良数	不良率%
1節×2節柱継手	96	96	0	0
2節×3節柱継手	96	96	0	0
3節中継	48	48	0	0
3節×4節柱継手	96	96	0	0
4節×5節柱継手	96	96	0	0
合計	432	432	0	0

(B) 溶接工別不良率

表-8 別位別不良率表

溶接工	検査数	不良数	不良率%
A	39	0	0
B	108	0	0
C	94	0	0
D	100	0	0
E	6	0	0

(C) 検査会社

日本超音波試験株式会社

- (a) 1Cにレベルを出す。
- (b) 2C本締後 FL +600よりテープにて+600を2Cに墨付ちする。
- (c) 溶接する。
- (d) 溶接後600の寸法をスチールテープにて計測。

8-2 溶接による収縮量とルート間隔の関係

表-9 板厚50mmのボックス柱

X \ Y	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5
11			1	3	2	2				
11.5				2		3				
12			3	6	10	6	3	1		
12.5			1	4	5	2	2			
13			2	2	19	6	2	2		
13.5					4	5	7	1		
14			1		4	7	7		1	
14.5				1	2	1				
15										
15.5										

X: ルート間隔(mm) Y: 溶接による収縮量(mm)

表-10 板厚70mmのボックス柱

X \ Y	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5
11					2	3				
11.5				1	4	3	1			
12			2	4	10	6	3	1		
12.5				1		4	2			
13			2		7	5	3			
13.5					2	1	1			
14				2	4	2			1	
14.5										
15					2					
15.5										

表-11 板厚80mmのボックス柱

X \ Y	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5
11						1				
11.5					1	2	1			
12					1	1	2			
12.5										
13					1		1	1		
13.5							2	1		
14					1	2	2			
14.5										
15										
15.5										

既に溶接による縮み量は、ルート間隔・溶接量(板厚)と密接な関係があることが知られている。

そこで、現場溶接のように柱体がエレクトロシールドで拘束されている場合、板厚の違いにより、溶接の縮み量とルート間隔とはどのような関係があるのか調べてみた。その結果、表9・表10・表11が得られた。

ここで、それらの表を基にして、各板厚に於ける溶接の縮み量とルート間隔の相関関係を知る為に、その相関係数を求めることにした。

相関係数の求め方とその性質

X, Y を2つの変数とし、 $\Phi(X, Y)$ を X, Y の関数とする。X, Y のあらゆる出現値 x, y に対する $\Phi(x, y)$ の平均値を $E[\Phi(x, y)]$ で表わすと、これは $\Phi(x, y)$ の期待値を表わすことになる。

2変数(X, Y)の分布においては、特に次の期待値が重要で

$$E(x) = m_x, E(y) = m_y \quad (X, Y \text{の平均値})$$

$$E[(x - m_x)^2] = \sigma_x^2 \quad E[(y - m_y)^2] = \sigma_y^2$$

(X, Yの分散)

$$E[(x - m_x)(y - m_y)] = \gamma_{xy}$$

γ_{xy} は、X, Y の共分散という。これに対して次の公式が成立する

$$\gamma_{xy} = E(xy) - m_x m_y$$

なぜならば

$$\begin{aligned} \gamma_{xy} &= E[xy - m_x y - x m_x + m_x m_y] \\ &= E(xy) - m_x E(y) - E(x) m_x + m_x m_y \\ &= E(xy) - m_x m_y - m_x m_y + m_x m_y \\ &= E(xy) - m_x m_y \end{aligned}$$

そして $\rho_{xy} = \frac{\gamma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$ とおいたとき、

ρ_{xy} を X, Y の相関係数という。

相関係数には次の性質がある。

a. $-1 \leq \rho_{xy} \leq 1$

相関係数は $-1 \sim +1$ で表わされ、 -1 もしくは $+1$ に近いなど2変数の相関関係は強く、 0 に近いほど

相関関係は弱くなることを示す。

b. X, Y が各々独立で相関関係がない時 $\rho_{xy} = 0$

X, Y が他方の変数に影響を受ける事が全くない場合は、相関係数が 0 になる。

注) b の逆が一般には成り立たない。

c. $\rho_{xy} = \pm 1$ ならば、X と Y の間に次の明確な一次関係が成立つ。

$$\frac{x - m_x}{\sigma_x} = \pm \frac{y - m_y}{\sigma_y} \quad (\text{複号同順})$$

相関係数が ± 1 のときは、一方の変数がわかると他方の変数が決まるという事を示す。

各板厚における X と Y の相関係数を求める

(1) で求めた式より各板厚の溶接による縮量とルート間隔の相関係数を求める。

i) 板厚 50×50

$$n \sigma_x^2 = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} = 104.192$$

$$n \sigma_y^2 = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} = 48.469$$

$$n \gamma_{xy} = \sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n} = 23.135$$

$$\rho_{xy} = \frac{\gamma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = 0.326$$

ii) 板厚 70×70

$$n \sigma_x^2 = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} = 67.722$$

$$n \sigma_y^2 = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} = 22.842$$

$$n \gamma_{xy} = \sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n} = -0.822785$$

$$\rho_{xy} = \frac{\gamma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = -0.0209$$

iii) 板厚 80×80

$$n \sigma_x^2 = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} = 21.238$$

$$n \sigma_y^2 = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} = 4.2$$

$$n \gamma_{xy} = \sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n} = 1.1$$

$$\rho_{xy} = \frac{\gamma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = 0.116$$

8-3 板厚の違いと、溶接による縮み量・ルート間隔の関係についての考察

ルート間隔が約11~14(mm)の間と限定され、尚かつ測定値がルート間隔・溶接による縮み量とも0.5(mm)単位であるため線形関係が弱い、表と相関係数から次の傾向を得た。

(A) 板厚 50×50

i) 表-9 は、ルート間隔が大きくなるにつれ、収縮量が大きくなっている。

ii) 相関係数は、0.326 で弱い相関関係が認められる。

(B) 板厚70×70

i) 表-10は、ルート間隔が広範囲に及んでいる割には、同じルート間隔における収縮量の測定数の最多値が2～2.5(mm)に集中している。

ii) 相関係数は、-0.0209でルート間隔と溶接による収縮量は独立変数と考えられる。

(C) 板厚80×80

i) データの数が少なく、全体の傾向は認識できない。

ii) 表-11は、ルート間隔の分布に対して、溶接による収縮量は、2.5～3(mm)に集中している。

iii) 相関係数は、0.116と小さく、2変数に相関関係は認めにくい。

以上のa、b、cを総括すると、

『板厚が薄いときは、溶接による収縮量はルート間隔に影響を受けるが、板厚が厚くなるとルート間隔の影響は認めにくくなり、収縮量は増える。』

すなわち、板厚が薄いときは、ルート間隔が大きくなれば溶接による収縮量も大きくなるが、板厚が厚い場合は、収縮量はルート間隔に関係なくほぼ一定である。そして板厚が増えるにつれ収縮量が大きくなるというように、収縮量は板厚に影響を受ける傾向が見られた。今後、もっと広範囲の板厚のルート間隔を計測する必要があると思われる。

9. おわりに

超高層ビルの極厚ボックス柱の工場製作と現場狭開先自動溶接については、すでに以前より同様のものが製作施工されているが、連続的に施工されるものでもないので、本工事の記録は最新のデータとして意味があると思われる。

さて、本工事現場の柱狭開先自動溶接は無欠陥の良好な結果を得たわけであるが、特にこの溶接には前工程である開先精度の確保が重要であり、溶接工の技量もさることながら工場製作と現場建方施工の総合的な管理の重要性を今さらながら痛感した。

反省と検討を兼ねてまとめてみると、

(1)極厚ボックス柱角溶接に狭開先サブマーシブ溶接法を採用することによって、溶接材料の節約と溶接作業時間の短縮、柱の溶接による変形(ねじれ)防止に役立った。

(2)現場狭開先自動溶接は、開先精度と溶接工の技倆と施工条件が一致して、良好な溶接結果が得られた。

(3)混合ガス成分については、今回、プレミックスガスを採用したためコストアップになった。今後現場で

ミキサーで混合ガスを作って、コストダウンにつとめたい。

(4)溶接による収縮量とルート間隔の関係を、今後広範囲のデータを蓄積して、これらの関係を方向をつけたい。

最後に、とくに本工事で御指導、御協力をいただいた建設省、JV、関係各位に深く謝意を表わしたい。