

# 現場溶接による柱はり仕口の施工試験

山下 文武<sup>1)</sup>      田中 進<sup>3)</sup>  
星 良 賢<sup>2)</sup>

我が国の超高層ビルに於ける現場の接合方式は柱と柱の継目については、主として完全溶込みの溶接方法が一般化され実績も多いが、現場での柱とはりの継目について、はりのフランジ、ウェブとも柱に完全溶込みの溶接方法が採用された場合、当社としても資料の蓄積が少ないので、S2ビル施工に際し、鉄骨建方精度の向上等を目的として、この実験を計画した。

実験にあたり、柱-はり接合部の裏当金の仮付の問題および、柱フランジとダイヤフラムの溶接でCO<sub>2</sub>ガスアーク半自動溶接法とCES溶接との融合部の溶込み状態に関する施工性試験等を合わせて行ったものである。

## はじめに

実験の内容としては

- (1)柱はり仕口に関し、板厚の異なる2種類のはりとおりの溶接順序の組合せについての溶収縮量の計測。
- (2)柱フランジと裏当金の仮付溶接を避ける溶接詳細に関する施工性試験。
- (3)柱フランジとダイヤフラムの溶接で炭酸ガスシールドアーク半自動溶接(CO<sub>2</sub>ガスアーク半自動溶接)と消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接(CES溶接)との融合部の溶込み状態に関する施工性試験。
- (4)柱フランジとダイヤフラムのCES溶接および柱-はりフランジのCO<sub>2</sub>ガスアーク半自動溶接部の機械

的性質の確認

上記各項目を実物大試験体によって実験を行ったものである。

## 1. 試験体

試験体には、当工事下層階の代表的な断面を使用することにし、柱には溶接組立箱形断面□-500×500×25×25を用い、はりには溶接組立H形断面BH-800×300×14×32…(A)およびBH-800×400×32×36…(B)の2形式を採用した。

柱-はり交差部の溶接方法としては、柱とダイヤフラム(φ36)の溶接では対向する2面をCO<sub>2</sub>ガスアーク半自動溶接で施工し、他の2面をCES溶接で施

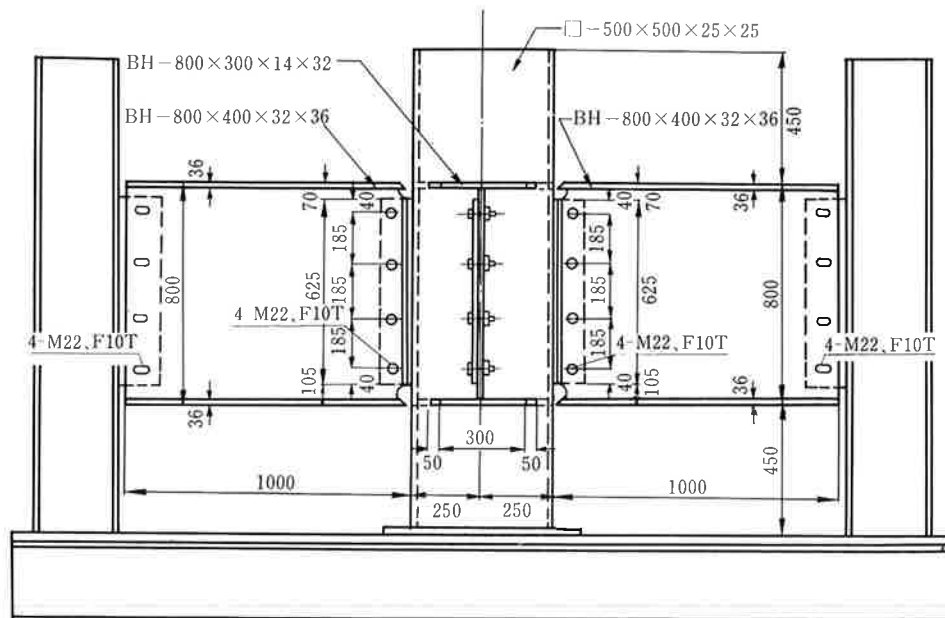


図-1 試験体

1) 技術部技術課長

3) 鉄構部工務課

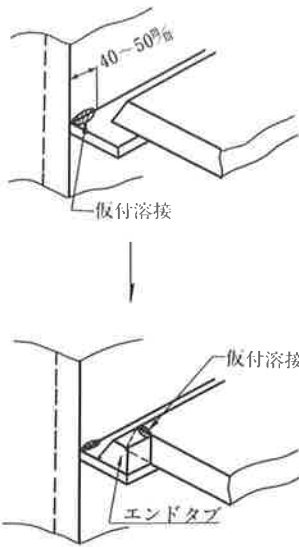
2) 技術部技術課副課長

工した。柱一はりフランジ継目はCO<sub>2</sub>ガスアーク半自動溶接で、柱一はりウェブ継目はアーク手溶接(立向溶接)を用いた。

柱はり仕口の溶接順序としては下記の2種類を考えた。

- (1)柱とはりウェブ、次にはり下フランジ、最後にはり上フランジの順。
- (2)柱とはり下フランジ、次にはり上フランジ、最後にはりウェブの順。

試験体としては、図一1に示すように、中央に箱形断面の柱を建て四方に2種類のサイズのはりを設け、柱に溶接されたコネクションプレートとはりの



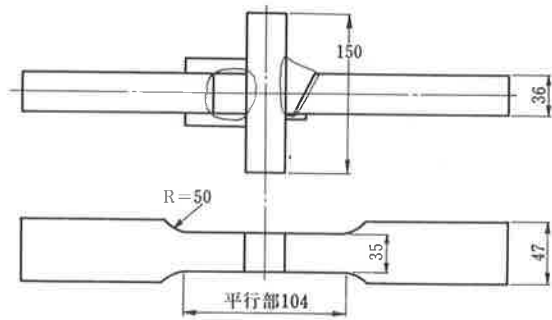
柱と裏当金を仮付溶接を行なう。仮付溶接長さはエンドタブ長さ(約40~50%)とする。

エンドタブを取付け、エンドタブの開先内に仮付けを行なう。

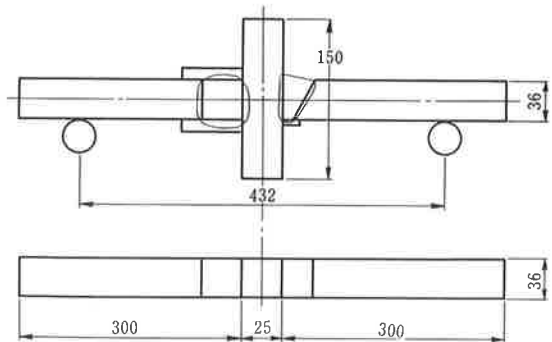
図一2 裏当金とエンドタブ仮付

ウェブを高力ボルト(4-M22、F10T)により仮組しておく。このコネクションプレートは、柱一はりウェブ継目の溶接施工のときの裏当金を兼ねており、はりサイズ(A)にR9、サイズ(B)にはR12を用いた。また、同じサイズのはり2本の溶接順序は変えて、それぞれ上記(1)(2)の溶接順序で施工した。

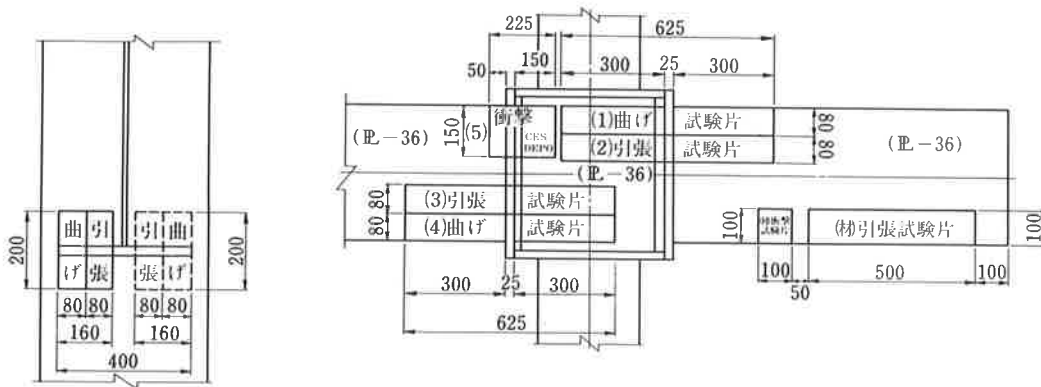
なお、はり端は、実際の鉄骨工事を念頭に入れ、仮想柱に接合されたガセットプレートに高力ボルト



図一4 十字引張試験片

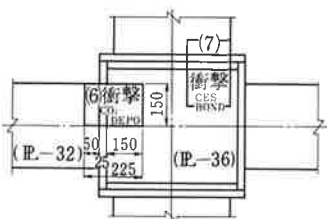


図一5 十字曲げ試験片

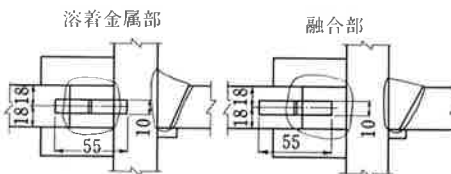


図一3 試験片採取位置(下フランジ側)

試験片採取位置(上フランジ)



ダイヤフラムのCES溶接部



ダイヤフラムのCO<sub>2</sub>溶接部

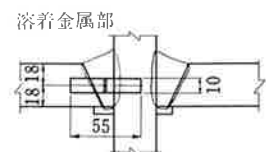


図6 Vノッチシャルピー衝撃試験片

表-1 材料の化学成分と機械的性質

鋼種板厚	化学成分(%)						機械的性質			使用箇所
	C	Si	Mn	P	S	Ni	降伏耐力	引張強さ	伸び	
SM50B(Ⓛ-25)	0.14	0.36	1.45	0.016	0.06	0.10	34(kgf/mm <sup>2</sup> )	52(kgf/mm <sup>2</sup> )	32(%)	ボックス柱フランジ

鋼種板厚	化学成分(%)								機械的性質			使用箇所
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	降伏耐力	引張強さ	伸び		
SM50A(Ⓛ-36)	0.16	0.33	1.40	0.025	0.013	0.16	0.16	35(kgf/mm <sup>2</sup> )	53(kgf/mm <sup>2</sup> )	31(%)	梁フランジダイヤフラム	
SM50A(Ⓛ-32)	0.17	0.35	1.42	0.021	0.012	0.17	0.16	36( " )	53( " )	25(%)	梁フランジ	
SM50A(Ⓛ-25)	0.13	0.34	1.32	0.016	0.006	—	Nb 0.02	39( " )	54( " )	23(%)	CES用裏当材	
SM50A(Ⓛ-16)	0.16	0.35	1.40	0.024	0.018	—	—	39( " )	53( " )	27(%)	角溶接裏当材	
SM50A(Ⓛ-9)	0.16	0.35	1.40	0.024	0.018	—	—	39( " )	53( " )	27(%)	ガセット・プレート	
SM50A(Ⓛ-12)	0.16	0.32	0.43	0.023	0.019	—	—	38( " )	54( " )	27(%)	"	

で接合した。ただし、高力ボルトには張力を導入せず(手締めの状態)に、はりの材軸方向および上下方向の移動を自由にした。

試験体は、たとえば、A1は、はりのサイズが(A)で溶接順序が(1)の試験体というように名付けた。

柱-はりフランジ溶接用の裏当金はエンドタブの開先内(2ヶ所)で図-2に示すように仮付け溶接をした。

溶接部の機械的性質の確認試験のための試験片はB1およびB2の下フランジ側より図-3に示す要領で採取した。図-4、図-5に十字引張り試験片、十字曲げ試験片の形状を示し、図-6に上フランジ側

の溶接部シャルピー衝撃試験片の採取位置を示す。なお、使用鋼板は柱フランジ(Ⓛ25)はSM50B、他はすべてSM50Aでその機械的性質を表-1に示す。

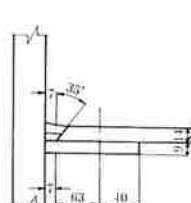
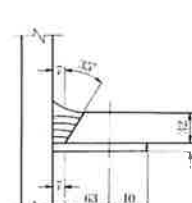
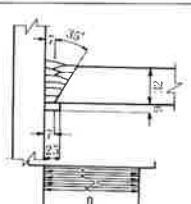
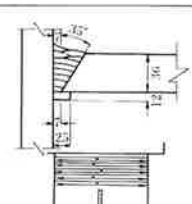
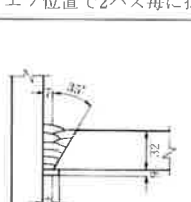
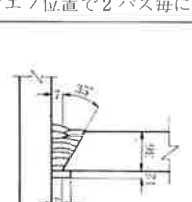
2. 実験結果および考察

各試験体の予熱条件、代表的な溶接条件および運棒方法などを表-2に示す。

(1) 溶接収縮量

溶接時の収縮量の測定は図-7に示す位置に変位計をセットし、上フランジ、下フランジおよびウェブ位置でのはりの材軸方向収縮量、はりの上下方向

表-2 溶接条件および運棒方法

はりサイズ	BH-800×300×14×32		BH-800×400×32×36	
	A 1	A 2	B 1	B 2
記号	A 1		B 1	
溶接順序	Web→LFLg→UFLg		Web→LFLg→UFLg	
Web		<ul style="list-style-type: none"> <li>予熱温度 118℃</li> <li>電流 150~185A (4φ) (5φ)</li> <li>電圧 25V</li> <li>速度 50±10mm/min</li> <li>パス間温度 158℃</li> <li>溶接収縮量測定 1パス毎</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>予熱温度 134℃</li> <li>電流 150~190A (4φ) (5φ)</li> <li>電圧 25V</li> <li>速度 50±10mm/min</li> <li>パス間温度 111~190℃</li> <li>溶接収縮量測定 1パス毎 (初層4φ、他は5φ)</li> </ul>
LFLg		<ul style="list-style-type: none"> <li>予熱温度 121℃</li> <li>電流 310~350A</li> <li>電圧 42~44V</li> <li>速度 200±10mm/min</li> <li>パス間温度 181~315℃</li> <li>溶接収縮量測定 2パス毎 ウェブ位置で2パス毎に振分け溶接</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>予熱温度 113℃</li> <li>電流 320~340A</li> <li>電圧 41~42V</li> <li>速度 200±10mm/min</li> <li>パス間温度 106~220℃</li> <li>溶接収縮量測定 2パス毎 ウェブ位置で2パス毎に振分け溶接</li> </ul>
UFLg		<ul style="list-style-type: none"> <li>予熱温度 163℃</li> <li>電流 320~340A</li> <li>電圧 41~42V</li> <li>速度 200±10mm/min</li> <li>パス間温度 131~268℃</li> <li>溶接収縮量測定 2パス毎</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>予熱温度 116℃</li> <li>電流 330~350A</li> <li>電圧 41~43V</li> <li>速度 200±10mm/min</li> <li>パス間温度 131~269℃</li> <li>溶接収縮量測定 2パス毎</li> </ul>

の移動量およびはりの面外変形量を溶接開始時より終了時（完全に試験体が冷却する時点）まで計測した。各試験体の計測結果を図-8、図-9に示す。

a) はり材軸方向の収縮量について

柱とはりウェブの溶接を先に行う溶接順序(1)の試験では、ウェブ(A1はE.L14、B1はE.L32)の溶接終了時において、はり上下フランジ位置の収縮量はA1で約0.8、0.2mm、B1で約1.6、1.1mmであった、引続き施工した下、上フランジの溶接で下フランジの収縮量はA1(フランジE.L32)で2mm、B1(フランジE.L36)で2.7mm、上フランジの収縮量はA1で1.7mm、B1で2.3mmになった。

柱とはりウェブの溶接を最後に行う溶接順序(2)の試験体では、はり下フランジの溶接で下フランジの収縮量はA2では約2.0mm、B2では約1.8mmで、その時点における上フランジはA2、B2共約0.1~0.2mm伸びている。次の上フランジおよびウェブの溶接では下フランジの収縮量は変化せず、上フランジがA2で約1.6mm、B2で約1.3mm収縮している。またはりウェブ位置(D2)での溶接収縮量は溶接順序(1)のときA1で約0.6mm、B1で約0.5mmに対し、溶接順序(2)ではA2で約1.4mm、B2で約1.8mmと後者が大きく、仮組のための高力ボルトはすべてっている。なお、高力ボルトの表面温度は最高で193℃と焼戻し温度以下であり材質劣化の恐れはない。

上述したとおり、溶接順序(1)は柱とはりウェブの溶接に伴うはりの上、下フランジのはり材軸方向収縮量が比較的大きく、はりの下、上フランジの順に溶接が進めば、はり材軸方向収縮量は、除々に増加し、最終的には溶接順序(2)に比較して大きくなる。

したがって、現場溶接時における柱はり仕口のはりの材軸方向の溶接収縮量を少なくするための溶接順序としては、溶接順序(2)の方が良好で、その収縮量は今回の実験範囲内(はりフランジ厚E.L32~E.L36)では1.8~1.9mmであった。なお溶接順序(2)のはりフランジ材軸方向収縮量1.8~1.9mmは、文献-(2)の実験値1.6~1.8mmより僅かに大きくなっている。ただし、文献-(2)の実験では、はりサイズBH-600×300×9×25で柱-はりフランジ継目は裏当金を柱フランジ側だけに仮付溶接し、ルート間隔7mm、かつ、はりウェブを高力ボルト(6-M22、F11T)により本締めした状態で手溶接したものであり、開先ディテール、溶接入熱量およびはりサイズ(フランジ厚)の相違などが収縮量の差に影響しているものと考えられる。また、同実験によればはりフランジの軸方向収縮量はルート間隔や裏当金の仮付け溶接の状態によって相違し、手溶接の場合でルート間隔が7mmから12mmに変化すると収縮量が約1.4倍になったという結果もあるのでこの点を配慮する必要がある。

b) 他方向の収縮量について

仮想柱との接合位置でのはりの上下方向の移動量(D5)およびはりの面外変形量(D6)は、溶接条件(2)の場合、D5で-0.4mm(A2)、0.6mm(B2)、D6で0.5mm(A2)、0.2mm(B2)であり、施工上特に問題とならないと考えられる。

(2) 施工性試験および溶接部の機械試験

各試験体について、溶接収縮量の測定後に超音波斜角一探触子法により柱-はりフランジ完全溶込み溶接部を検査したところ欠陥は検出されなかった。また、十字引張りおよび曲げ試験片をマクロ試験し

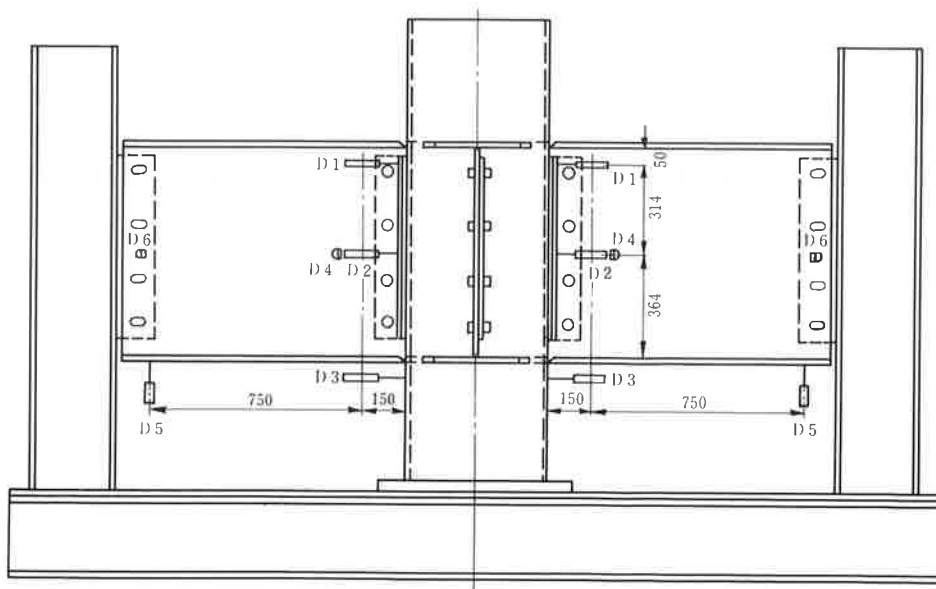
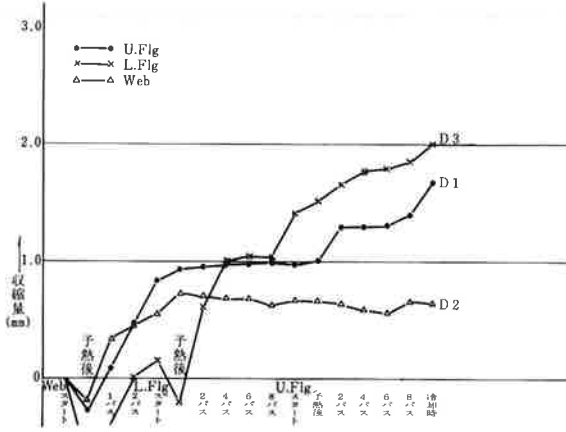
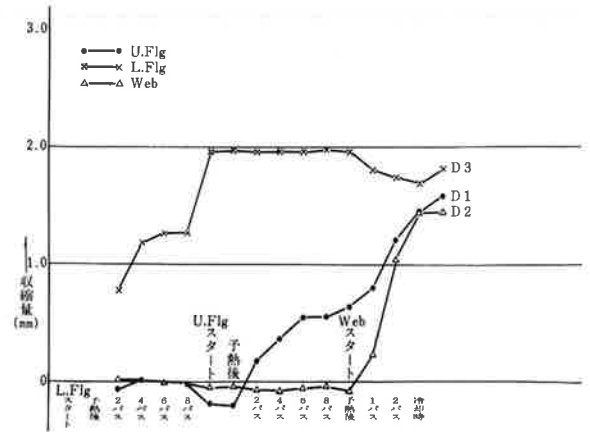


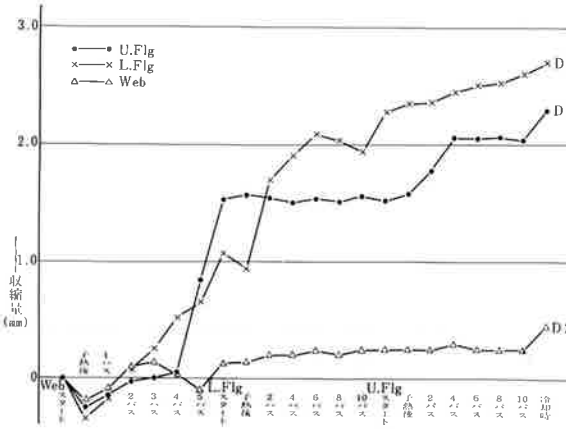
図7 変位計セット図



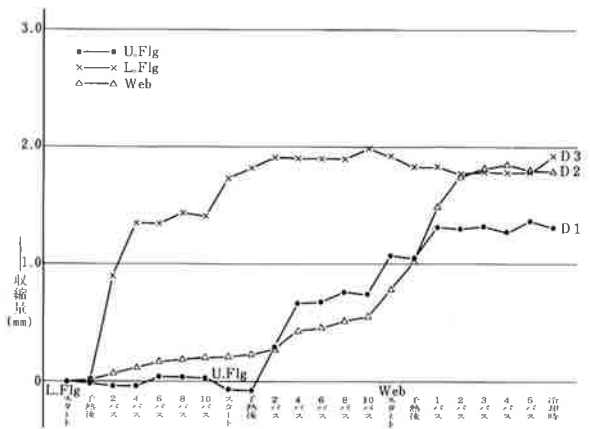
はり材軸方向収縮量 A 1



はり材軸方向収縮量 A 2

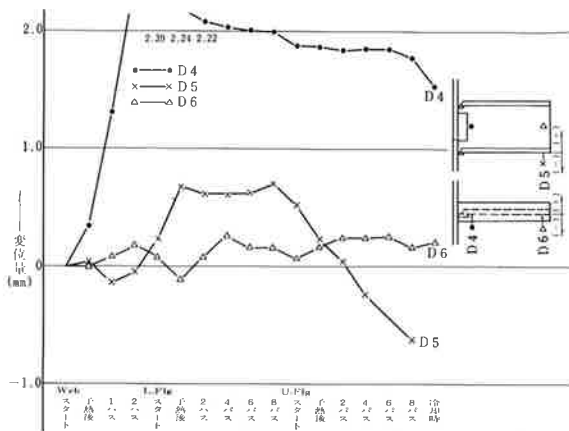


はり材軸方向収縮量 B 1

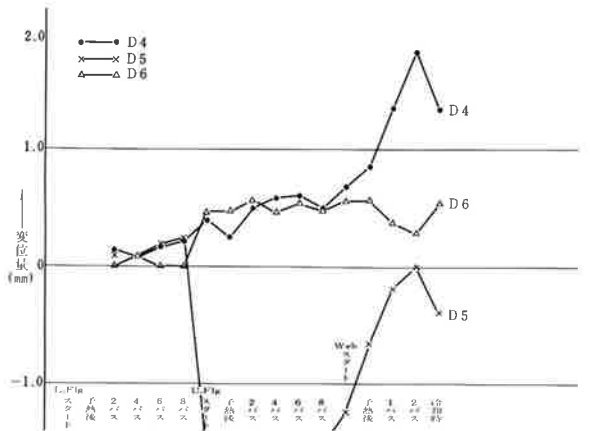


はり材軸方向収縮量 B 2

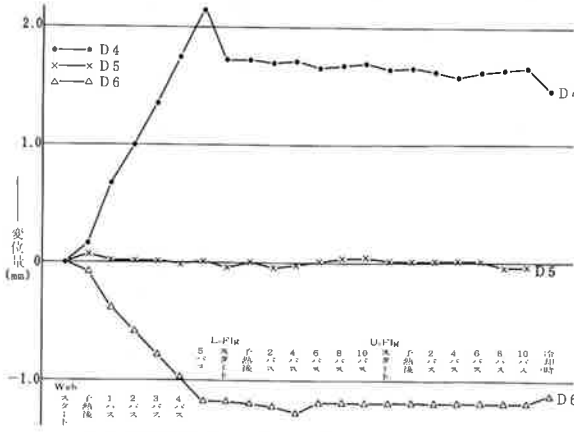
図-8



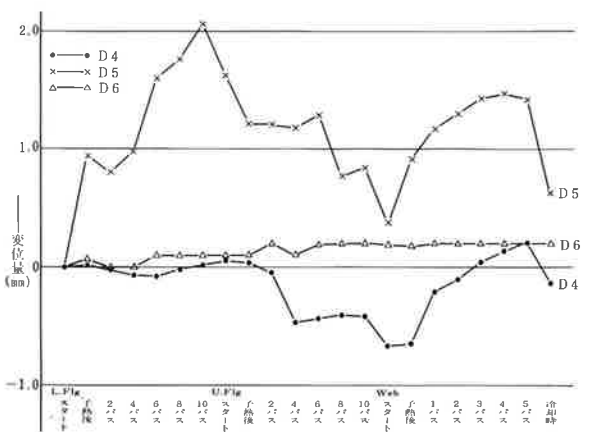
はり上下移動およびウェブ面外変形量 A 1



はり上下移動およびウェブ面外変形量 A 2



はり上下移動およびウェブ面外変形量 B 1



はり上下移動およびウェブ面外変形量 B 2

図-9

表-3 機械試験結果表

(a)十字引張試験

TP-NO	断面 (mm×mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	引張荷重 (kgf)	引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	備考
NO-1	35.2×36.0	1267	75,200	59.3	降伏56.57t
NO-2	35.0×35.9	1256	74,500	59.3	降伏56t300

(b)十字曲げ試験

TP-NO	曲げ角度		結果	備考
	CES	CO <sub>2</sub>		
NO-1	(10°)	60°	Good	
NO-2	58°	63°	Good	

(c)衝撃試験

TP-NO	CO <sub>2</sub> DEPO	CES DEPO	CES BOND	母材 P.36	備考
NO-1	7.3	10.4	16.2	10.6	
NO-2	7.3	11.5	16.2	11.5	
NO-3	6.4	12.1	16.2	15.3	
	7.0	11.3	16.2	12.4	

(d)張試験(鋼板P.36)(参考)

TP-NO	断面 (mm×mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	降伏点耐力 (kgf/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	備考
TP-1	36.0×40.2	1447	35.9	52.9	伸び 31%

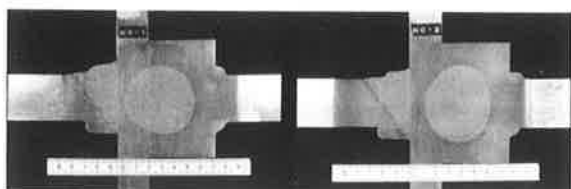
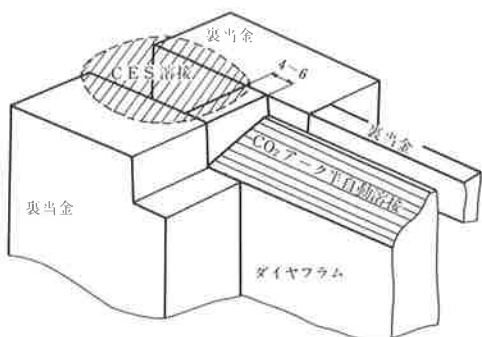


写真-1

開先形状



マクロ試験片の採取図

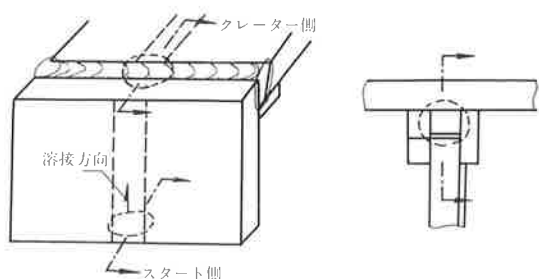


図-10 ダイヤフラムの開先とCES溶接部

たところ、十分な溶込みが得られていた。(写真-1参照)。ただし、裏当金をエンドタブの開先内の2ヶ所だけで仮付け溶接した場合は予熱により裏当金が面外変形したので、はりフランジ中間部でははりフランジと裏当金を仮付け溶接する必要があった。また、柱フランジとダイヤモンドの溶接で、CO<sub>2</sub>ガスアーク半自動溶接とCES溶接との融合部の開先ディテールは図-10に示すとおりである。融合部のマクロ試験結果を写真-2に示すが、溶込み状態は良好であった。

溶接部の機械試験結果を表-3に示す、十字引張り試験の破断位置は母材で最大応力は59.3kgf/mm<sup>2</sup>と多軸応力状態の影響により母材の引張り強さ52.9kgf/mm<sup>2</sup>の1.12倍となっている。CES溶接の溶着金属および融合部のVノッチ、シャルピー衝撃値は11.3および16.2kgf-mであり、CO<sub>2</sub>ガスアーク半自動溶接の溶着金属(7.0kgf-m)および母材(12.4kgf-m)にほぼ匹敵している。また、十字曲げ試験結果は良好であった。

### 3. まとめ

- (1)溶接順序は柱とはり下フランジ、次にはり上フランジ、最後にはりウェブの順序がはり材軸方向の溶接収縮量の観点から望ましい。
- (2)上記の溶接順序によれば、はりサイズBH-800×300×14×32およびBH-800×400×32×36では、はり材軸方向の溶接収縮量は1継目で約2mmである。
- (3)柱フランジと裏当金の仮付け溶接をさける施工が出来る。

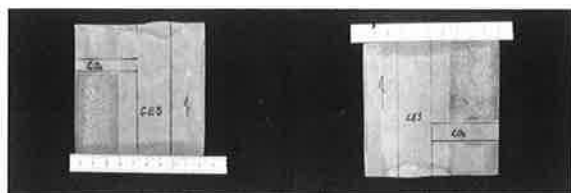


写真-2

(4)施工試験および溶接部の機械的性質は今回の実験範囲内では良好であった。

また、鉄骨建方時の文献(3)の現場実測によれば、

(1)特定層における各溶接部近傍の収縮量の総和の約80%がその層全体の変形に寄与する。

(2)特定層の変形状態は、最初に溶接を終了して剛性が高くなったフレームに向かって変形する。

という結果を得ているので鉄骨建方順序、調整スパンの位置、逆ひずみの量などの決定の参考とした。

## おわりに

本試験の実施にさいしては、千葉大学工学部森田耕次助教授および東京建築研究所山口昭一代表取締役以下関係者の御指導を頂きました、ここに厚く感謝致します。

### 【参考文献】

- (1) 仲威雄他5名：極厚鋼柱はり接合部の耐力実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和48年10月
- (2) 中辻照幸、藤盛紀明：柱一はり接合部の溶接による収縮および変形に関する研究、(その2)柱一はり接合部実物大模型実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和50年10月
- (3) 中辻照幸他2名：鉄骨建方精度の現場実測、現場溶接による鉄骨の変形、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和53年9月