溶接ロボットによる建築鉄骨溶接の狭開先化に関する 初層溶接の施工条件範囲の検討*

松村 浩史**, 中込 忠男***, 高田 篤人**

A study on the welding procedure of the first layer of the narrow groove welding
for steel frames of buildings by welding robots*

by MATSUMURA Hiroshi**, NAKAGOMI Tadao*** and Takada Shigeto**

As for steel frames of buildings, the welding of single bevel T-joints with steel backing is usually used.

Recently, there have been some experimental reports concerning 25 degree groove welding by semi-automatic arc welding. However it is not yet carried out in the actual field. The shortening of welding time leads to a reduction of emissions of greenhouse gas. Therefore, as this is an earth environment improvement, we expect this welding process in the steel frames of buildings to become attractive.

In the same way as semi-automatic arc welding, the welding of the first layer is one of the biggest problems for the narrow groove welding in steel frames of buildings by welding robots. In this study, we researched actual assembling precision of T-joints, and we found the relationship between welding condition and crack occurrence. Our results demonstrated the probability of narrow groove welding of T-joints between square steel tubes and diaphragms where robot welding was used.

Key Words: steel frame, T-joint, narrow groove, Robotic Welding, hot crack, heat input, root gap

1. は じ め に

建築鉄骨の接合にはアーク溶接が広く用いられているが、その溶接作業は多くの時間を要する。ゆえに、工場内溶接ではロボット溶接などによる高能率化が進んでいる¹⁾。ロボット溶接は、従来から用いられている半自動溶接に対してアーク発生率を高めることで製作時間を短縮しており、コラム柱におけるロボット適用率は非常に高い²⁾。現在、これら継手の多くは、半自動溶接／ロボット溶接に関わらず、裏当て金方式の35度レ型開先が適用されているが^{3), 4)}、近年、より一層の高能率化を主な目的として半自動溶接を対象とした25度開先での検討結果が報告されている⁵⁻⁷⁾。

一方、半自動溶接の代替手段であるロボット溶接では、35度レ型開先継手が対象となっており、建築鉄骨の狭開先化に関する研究報告はほとんどない。これは半自動溶接における狭開先化が普及しないことも理由の一つと考えるが、「初層の高温割れ」、「シールドノズルと母材の干渉」、「シールド性能の保持」、「組立溶接の難しさ」といった一般的な狭開先施工における課題に加え、半自動溶接のようにアークおよびトーチ周り状況をリアルタイムにかつ視覚的に判

断しながら溶接できないことや、ノズルを母材に擦り付けながら溶接することもできない状況において、ロボット溶接を行う上で重要なセンシング技術である「アークセンサ」の適用性確保や、ロボット溶接の大きな特長であり効果である「連続運転性能」を確保するといったロボット溶接特有の課題の存在が障害となっていると思われる。

しかし逆に、半自動溶接は突き出し長さなどが意図せずに変わりやすく、溶接速度も作業者の感覚に依存することになり、結果として溶接条件が不安定になりがちであるのに対し、ロボット溶接は施工条件を安定させることができる^{8), 9)}。つまり、施工条件範囲を半自動溶接よりも限定して溶接することができるものとする。また、開先角度を小さくするなどによる溶接時間の短縮は、温室効果ガスの発生量を削減することにも繋がり、昨今、一段と注目されている地球環境改善の面においても期待できる。

狭開先化の大きな課題の一つは初層溶接である。初層溶接に求められる性能は、溶込みの確保と溶接金属の健全性の大きく二つに分けられ、いずれも満足する施工方法が必要となる。狭開先化において最も懸念される溶接欠陥は高温割れであるが、これは一般に冷却過程の凝固温度付近において、結晶粒界に残存する液相あるいは脆弱な不純物の薄い相が凝固進行により発生する収縮応力を支えきれずに開口して発生するとされる。よって、その発生要因には冶金的因子と機械的因子とが挙げられ、凝固形態、化学成分、溶接施工条件のような原因が相互に関係しているものと考えられている。溶接施工条件の観点では、溶接電流、アーク電圧、溶接速度、開先形状、ウィービング条件などの溶

*受付日 平成21年8月24日 受理日 平成22年1月18日 平成21年度春季全国大会で発表

**正 員 ㈱神戸製鋼所 溶接カンパニー Member, KOBE STEEL, LTD., Welding Company

***正 員 信州大学工学部社会開発工学科 Member, SHINSHU UNIVERSITY, Faculty of Engineering, Department of Architecture

Fig. 1 Schematic fabrication process for a steel frame column assembly

接条件のほか、部材の拘束度などがその因子として挙げられる¹⁰⁾。高温割れを実験的に行った研究結果は数多く報告されているものの実際の構造物における拘束度と適正条件という関連付けはあまり検討されておらず、建築鉄骨で用いられている継手を対象とした具体的な検討はなされていない。よって、本検討では、特に建築鉄骨で用いられている裏当て金方式のレ型開先継手のロボット溶接を前提とした狭開先化に向け、実際の組立精度を調査し、その結果を踏まえ、開先の収縮を考慮した場合の溶接条件と割れ発生の関係について実験し、条件範囲の検討を行った。

2. 現在の建築鉄骨向けロボット溶接

Fig. 1 は広く普及しているコラム柱の工場内溶接の一般的な工程を示したものである。一本の柱は Fig. 1 のようにコア溶接、仕口溶接、柱大組立溶接という工程で製作され、完全溶け込みを要求している溶接継手は裏当て金方式の35度レ型開先が用いられている。また、各工程とも鋼材の精度、加工誤差、組立誤差の補正を裏当て金で行うため、ルートギャップには少なからずばらつきが生じる。

一方、溶接ロボットを適用する大きな利点の一つは高い生産効率が挙げられる。しかし、これを実現するためにはロボットが止まることなく動くことと、なお且つ十分な溶接品質が確保される必要があるが、ロボットは教示した通りにしか動作することができないため、ワークの形状や位置が異なれば、狙い位置ずれによる溶接欠陥を生じる。そこで部材の取り付けや組立精度が不十分なことによるワークのずれを補正する手段が必要なる。これがセンシング機能であり、基本的なセンシングはワイヤタッチセンサ¹¹⁾とアークセンサ¹²⁾の二種類で、建築鉄骨のロボット溶接においても重要な機能となっている。

現在、広く適用されている建築鉄骨向け溶接ロボットは、Fig. 2 のように複数のワイヤタッチセンサにより得られる位置情報とインプットされたワーク寸法を演算処理することにより、センシング位置断面におけるルートギャップや溶接線の位置を測定し、それに応じて溶接電流、アーク電圧、溶接速度、ウィービング幅、ウィービング回数、狙い位置などを変えて溶接する⁸⁾。また、これを同一溶接線内で複数箇所行い、その実施区間内を補間することで線形に変化するルートギャップに対応する。さらに、局所的なセンシ

Fig. 2 Sensing of a rootgap

ングでは補正できない湾曲した開先などの非線形な溶接線、組立時に生じる隙間、溶接中に発生する溶接ひずみによる溶接線のずれを補正する手段としてアークセンサが用いられている。アークセンサとは溶接中にウィービングしながら、溶接電流の変化をフィードバックし、ワイヤ突き出し長さと溶接電流が反比例することを利用して溶接線の位置を検出するもので、溶接線の左右方向の位置ずれを補正する左右倣いと上下方向の位置ずれを補正する上下倣いがある。このときウィービング動作は微小距離の移動となることとロボットアームの動作負荷を少なくするため、一般的にトーチ姿勢を変えずに平行移動しながら行っている。溶接ひずみによる母材の変形や開先の収縮などは板厚やワーク形状によっても変化するため予測が困難であり、リアルタイムで補正していくアークセンサの効果は非常に大きく、この点は狭開先化にあたっても同様のことが言えると考えられる。

3. 組立精度の調査

狭開先化の目的は開先断面積の縮小であるが、その手段はルートギャップを狭く管理する方法もある。実験に先立ち、実際に施工されている状況を調査した。調査方法はロボット溶接時に行っているルートギャップのセンシングデータをロボットシステムに付属しているパソコンに蓄積することで行った。

Fig. 3 Histogram of rootgap

Fig. 3はコラム溶接を行っている鉄骨ファブリケータにて取得したルートギャップのばらつきを示したヒストグラムで、この結果からルートギャップは正規分布しているものと推測でき、確率約95%におけるルートギャップのばらつきは5.6mmとなった。狭開先を検討するにあたって開先精度が良くなることは条件選定において有利にはなるが、ルートギャップにより加工精度や組立上の誤差を吸収する目的があることから、広く一般的に使用することを考えた場合、このばらつきを抑えこむことは現実的には困難と推測する。一方でロボット溶接において連続的なルートギャップの変化に追従させるためには同じ積層パターンで溶接する必要がある。よって、調査結果のように変動の大きい継手の溶接に対して半自動溶接における25度開先溶接の検討で推奨されているストレート法で対応することは困難と思われる。ウィービングによりルートギャップの変化に対応し、アークセンサで溶接線を追従できる施工条件が必要と考える。

4. 初層溶接の検討

4.1 実験方法

実際の建築鉄骨のルートギャップ調査結果を踏まえ、初層溶接の実験を行った。実験ではアークセンサの必要性からウィービング法の適用を前提とし、開先角度20度/25度/30度の3種に対し、のど厚と溶接電流を主体として溶接条件を変化させ、1パス目のみを溶接した場合の開先収縮量、溶込み深さ、溶込み形状、高温割れ発生有無を確認した。のど厚は4mm/7mm/10mmの3種、溶接電流は250A/280A/310Aの3種とし、計27種の組合せを各一体ずつとした。ウィービング方法は従来通りトーチ姿勢を固定した平行ウィービングとし、ウィービング幅はルートギャップに対して-2mmとした。これはアークの広がりを見極めるため、開先内において溶接ワイヤ位置はその広がり

Fig. 4 Schematic diagram of weldmetal

を考慮して開先面および立板面から少し離すことで、アークが両壁面をかじることによるスパッタ発生やアークが溶接ワイヤ側面方向に発生することを抑制することができる。また、ウィービング周波数は従来の35度開先での設定と同等の2Hzとした。開先の収縮量は、溶接前後において試験体の幅を測定し、その差を収縮量とした。溶込みおよび溶込み形状はFig. 4に示すように、断面マクロ試験片からビード高さ(H)、ビード幅(W)、立板と裏当て金の交差部を基点として縦方向の溶込み(d)、立板側の水平方向の溶込み(s)を実測した。割れについても同断面マクロ試験片にて確認した。

実験装置は溶接ロボット、インバータ制御式直流電源を用い、シールドノズルは、内径16mm^φに加工したものを使用し、ワイヤ突き出し長さ25mm、ノズル-母材間距離37mmとした。また、シールドガスとして建築鉄骨溶接分野において最も多く用いられている炭酸ガス(流量:25l/min)を使用し、溶接ワイヤはソリッドワイヤ/ワイヤ径1.2mm^φ/YGW18を用いた。

4.2 試験体形状

試験体形状はロボット溶接が多く適用されている角型鋼管と通しダイアフラムの溶接を想定した裏当て金方式のレ

型T継手とした。ただし、この実験においては、拘束度を高く保つことと、T継手の溶接において発生しやすい立板

Fig. 5 Shape of specimen (A)

側の傘折れを極力小さくし、開先の収縮量の影響を確認しやすくするため、Fig. 5 のように突合せ継手のような形態とした上で開先側の板厚に対して立板側の板厚を厚くした T 継手の形状とし、裏面に拘束板を取り付けることで拘束度を高めている。また、ルートギャップはいずれも調査結果における下限値であり、建築鉄骨ロボット溶接型式認証¹²⁾ の下限値でもある 4 mm とした。供試鋼材は、いずれも SN490C 鋼を用い、裏当て金には SN490B を使用した。供試鋼材の化学組成を Table 1 に示す。

4.3 実験結果

各試験条件および実験結果を Table 2 に示す. のど厚 4 mm においては 9 条件のうち 8 条件で割れの発生が確認さ

Table 1 Mechanical property and chemical compositions (wt.%)

	Steel Product	Tensile test			Chemical composition								
		T.S.	Y.P.	EL.	C	Si	Mn	Mo	Ni	Cr	V	P	S
		N/mm ²	N/mm ²	%	× 100%								× 1000%
①	SN490C	552	393	31	16	35	147	0	2	3	6	16	3
②	SN490C	549	411	28	16	37	148	1	2	5	0	12	2
③	SN490B	533	351	22	15	29	118	2	7	17	1	24	12

Table 2 Conditions and results of experiment

Test Condition No.	Groove Angle (deg)	Throat Thickness (mm)	Welding Current (A)	Arc Voltage (V)	Welding Speed (cm/min)	Heat Input (kJ/cm)	Shrinkage (mm)	Penetration Shape Coefficient (H/W)	Penetration(s) (mm)	Penetration (d) (mm)	Crack
1	30	4	250	29.8	54.6	8.2	0.21	0.98	1.95	3.06	—
2	30	4	280	32.0	63.3	8.5	0.19	1.03	1.43	0.42	●
3	30	4	310	34.1	72.8	8.7	0.21	1.03	1.17	2.79	●
4	30	7	250	29.8	26.7	16.7	0.33	1.17	1.29	1.60	—
5	30	7	280	32.0	31.0	17.3	0.32	1.19	1.43	2.39	—
6	30	7	310	34.1	35.6	17.8	0.35	1.14	2.62	3.50	—
7	30	10	250	29.8	16.3	27.4	0.43	1.31	0.30	0.44	—
8	30	10	280	32.0	18.9	28.4	0.53	1.26	1.93	2.26	—
9	30	10	310	34.1	21.8	29.1	0.46	1.45	3.16	3.72	—
10	25	4	250	29.8	57.1	7.8	0.20	0.87	1.17	1.81	●
11	25	4	280	32.0	66.2	8.1	0.19	0.97	0.75	2.54	●
12	25	4	310	34.1	76.1	8.3	0.18	0.97	1.45	3.01	●
13	25	7	250	29.8	28.6	15.6	0.29	1.14	1.38	1.29	—
14	25	7	280	32.0	33.1	16.2	0.35	1.02	1.76	2.62	—
15	25	7	310	34.1	38.1	16.6	0.33	1.18	2.11	2.76	●
16	25	10	250	29.8	17.8	25.1	0.58	1.35	-0.12	-0.12	—
17	25	10	280	32.0	20.6	26.1	0.54	1.28	0.75	0.56	—
18	25	10	310	34.1	23.7	26.8	0.46	1.38	3.35	2.34	—
19	20	4	250	29.8	59.6	7.5	0.16	0.95	1.13	2.09	●
20	20	4	280	32.0	69.1	7.8	0.18	1.02	0.99	2.56	●
21	20	4	310	34.1	79.4	8.0	0.16	1.03	1.80	2.44	●
22	20	7	250	29.8	30.5	14.7	0.30	1.21	1.20	2.09	—
23	20	7	280	32.0	35.4	15.2	0.28	1.15	2.01	2.06	—
24	20	7	310	34.1	40.6	15.6	0.31	1.23	2.59	3.18	●
25	20	10	250	29.8	19.3	23.2	0.50	1.28	0.58	0.65	—
26	20	10	280	32.0	22.4	24.0	0.47	1.31	1.71	1.22	—
27	20	10	310	34.1	25.8	24.6	0.50	1.38	1.90	2.53	—

Fig. 6 Relations of throat thickness and welding current, and influence on hot crack

Fig. 7 Relations of welding current and penetration

れたが、のど厚 7 mm では 2 条件、のど厚 10 mm ではすべての条件で割れは発生しなかった。同じのど厚においては高電流の条件で割れが発生しやすい結果となり、同じ溶接電流に関して見るとのど厚が小さいほど割れが発生しやすい結果となった。Fig. 6 は開先角度毎にのど厚、溶接電流と割れ発生の関係を示したものであるが、310 A においてはのど厚が大きいほど割れは発生しにくく、310 A/ のど厚 7 mm の組合せにおいて割れが発生しなかったのは開先角度 30 度のみであった。

溶込み深さについては、深さ方向/ダイアフラム方向とものど厚が小さいほど溶込みが安定して深くなる傾向が見られ、のど厚 10 mm においては特に電流差による溶込み深さの差が大きく 250 A ではほとんど溶け込まない結果となった。Fig. 7 は溶接電流と溶込み深さの関係を示したもので、このように 3 種の電流値のうち最も高い 310 A についてはいずれの条件の組合せにおいても安定した溶込みが得られたが 250 A と 280 A については条件の組合せによりばらつきが大きくなった。

4.4 考察

Fig. 8 は開先角度、H/W と割れ発生の関係を示したもので、塗りつぶしたマークは割れが確認されたものである。このように H/W が高い値であっても割れは発生しない条件も多くある一方で、H/W が 1.0 近辺でも割れが発生した。割れ発生のパラメータとして溶込み形状係数 (H/W) がよ

Fig. 8 Relations of groove angle and H/W, and influence on hot crack

Fig. 9 Relations of heat input and H/W, and influence on hot crack

く用いられ、開先角度と H/W の関係も示されているが、今回の実験結果においてはその下限値という点では開先角度との相関が認められるものの、適正な施工条件範囲の判断材料として H/W で評価することはできなかった。Fig. 9 は入熱量、H/W と割れ発生の関係を示し、Fig. 10 は入熱量、開先の収縮量と割れ発生の関係を示したものであるが、このように今回の実験範囲においては、入熱量を大きくすると溶着量が増加し、のど厚が大きくなるため H/W は大きくなるが、入熱量の増加とともに開先の収縮が促進されるため、凝固部に生じる応力を軽減でき、結果として割れが発生しなかったものと推測する。

Fig. 11 に開先角度、溶接速度と割れ発生の関係を示す。

入熱量を決める要素として、溶接電流／アーク電圧／溶接速度があるが、同等の入熱量および溶着金属量において割れ発生の有無を比較すると、Fig. 6 および Fig. 11 から高電流／高速の組合せほど割れやすい傾向があることが分かり、この点は既往の報告と一致する¹³⁾。特に溶接速度の影響が大きく、この試験体形状において、割れが発生し始める溶接速度は30度と25度以下の間に大きな差があり、実用化における条件範囲に差があると考え、Fig. 12 は開先角度とどの厚の組合せにより初層溶接後のビード表面に相当する開先幅がどのように変わるかを示したもので、例えば開先角度20度／のど厚7mmの開先幅は開先角度30度／のど厚

Fig. 10 Relations of heat input and shrinkage, and influence on hot crack

Fig. 11 Relations of groove angle and H/W, and influence on hot crack

Fig. 12 Relations of throat thickness and bead width in each groove angle

4.2mm 程度に相当し、これを Fig. 6 に当てはめると30度においても割れが発生しやすい領域であることが分かる。これは開先角度の違いによるビード表面の開先幅の違いが、凝固の進行方向に影響を及ぼしているものと思われ、結果として溶接条件上の差がほとんど無いにも関わらず各開先角度における割れ発生速度に差を生じさせているものと推測する。

5. 振り子状ウィービングの適用と拘束力を変えた場合の初層溶接の検討

5.1 実験方法

先の実験結果を踏まえ、ノズルと母材の物理的な干渉回避と、耐割れ性改善、溶込みの安定性向上を目的として、ウィービング時の運棒方法を Fig. 13 に示したようにウィービング両端におけるトーチ傾斜角度がそれぞれ接近した壁面において各々大きくなるよう Fig. 13 中の θ を 3° 振り子状に動作させて溶接した。

Fig. 14 は開先内におけるアーク発生中の様子を写したもので、Fig. 14 (a) のように正常な狙いにおいては一定のアーク長を保ちながら溶滴が移行するが、Fig. 14 (b) のように溶接ワイヤと壁面のなす角が浅い場合に壁面に接近すると、アークが溶接ワイヤ側面から発生しアーク長が急激に短くなるとともに、溶融プール表面より上の壁面に直接アークが当たることによって母材をえぐるように多量かつ大粒のスパッタが発生する。よって、今回の実験では振り子状ウィービングを適用することにより、ワイヤ側面と壁面との距離を保つことでそういった現象を抑制し、その結果として溶け込み形状においてビード幅 (W) が大きくなることにより耐割れ性改善、溶込みの安定性向上を狙った。

また、実際にロボット溶接を適用している建築鉄骨では、断面形状は類似しているが、各々の継手によってその拘束

Fig. 13 Schematic diagram of Pendulum Weaving

(a) Regular (b) Irregular
Fig. 14 State of Arc of CO₂ arc welding in the groove

状況は異なる。よって、Fig. 5 の試験体 (A) に加えて拘束状況の異なる試験体 (B) での実験を行った。後者の試験体形状は、継手断面は先に使用した試験体同様裏当て金方式のレ型 T 継手としているが、開先の収縮に対する拘束力を緩和するため、Fig. 15 のような形態とした。

5.2 実験結果および考察

先の実験結果と並べたものを Table 3 に示す. ウィービン

Fig. 15 Shape of specimen (B)

グ方法を変更した結果、割れ発生状況は改善された。しかし、H/W および溶込み深さには大きな違いが見られなかった。割れ発生の改善に繋がった要因について、今回の結果からは読み取ることができず、さらに検討の余地を残す結果となった。一方、溶込み、割れ発生の観点においては振り子状のウィーピングを適用したことによって劣化した点が無いことから、開先角度の狭い開先内での溶接において、ノズルと母材の干渉回避手段として振り子状のウィーピングを適用できることが確認できた。

一方、拘束度を緩和した試験体 (B) では、割れ発生が大幅に減少し、開先角度25度、30度ではすべての条件で割れは発生しなかった。Fig. 16に試験体 (B) における入熱量、開先の収縮量と割れ発生との関係を示す。このように割れが発生しない状況においても、Fig. 10に示した試験体 (A) での開先収縮量と試験体 (B) のそれにほとんど違いが見られないことから、部材の拘束力が残留応力として存在していることが割れ発生に繋がっているものと推測する。

この現象を推測するに当たり、二つの試験体の拘束度の相対的な違いについて、三次元 CAD を用いて解析し比較した。解析は試験体中央の断面において溶接により生じる収

Table 3 Results of experiment

Test Condition	Parallel Weaving/Binding: Stronger			Pendulum Weaving/Binding: Stronger			Pendulum Weaving/Binding: Weaker		
	Penetration Shape Coefficient (H/W)	Penetration (d) (mm)	Crack	Penetration Shape Coefficient (H/W)	Penetration (d) (mm)	Crack	Penetration Shape Coefficient (H/W)	Penetration (d) (mm)	Crack
01	0.98	3.06	—	1.06	1.65	—	0.93	1.72	—
02	1.03	0.42	●	1.16	3.06	—	1.00	2.15	—
03	1.03	2.79	●	1.11	2.94	●	1.05	2.53	—
04	1.17	1.60	—	1.32	2.26	—	1.20	1.22	—
05	1.19	2.39	—	1.34	2.86	—	1.29	2.04	—
06	1.14	3.50	—	1.44	4.29	—	1.46	2.61	—
07	1.31	0.44	—	1.28	0.12	—	1.24	0.00	—
08	1.26	2.26	—	1.23	1.07	—	1.33	0.91	—
09	1.45	3.72	—	1.42	2.98	—	1.41	3.18	—
10	0.87	1.81	●	1.07	1.42	—	0.96	1.65	—
11	0.97	2.54	●	0.95	2.71	—	1.11	1.65	—
12	0.97	3.01	●	1.08	2.60	●	0.98	1.83	—
13	1.14	1.29	—	1.29	1.90	—	1.21	0.76	—
14	1.02	2.62	—	1.17	2.12	—	1.33	1.97	—
15	1.18	2.76	●	1.35	3.04	●	1.27	2.41	—
16	1.35	−0.12	—	1.35	0.47	—	1.31	0.25	—
17	1.28	0.56	—	1.30	1.30	—	1.37	0.51	—
18	1.38	2.34	—	1.44	2.22	—	1.63	1.20	—
19	0.95	2.09	●	1.04	1.65	●	1.00	0.84	—
20	1.02	2.56	●	0.97	2.84	—	0.96	1.20	●
21	1.03	2.44	●	1.00	1.65	●	1.11	1.09	—
22	1.21	2.09	—	1.26	1.65	—	1.23	1.14	—
23	1.15	2.06	—	1.24	1.65	—	1.35	2.03	●
24	1.23	3.18	●	1.38	2.31	●	1.27	3.04	—
25	1.28	0.65	—	1.22	0.47	—	1.31	0.13	—
26	1.31	1.22	—	1.26	1.61	—	1.39	1.78	—
27	1.38	2.53	—	1.54	2.38	●	1.49	2.66	—

Fig. 16 Relations of heat input and shrinkage with pendulum weaving and weak binding

Fig. 17 Section model of the stress analysis

Table 4 The Analyses results of the stress in the weld metal

	Case of specimens			Case of T-joints between square steel tubes and diaphragms			
	A	B		The section of the straight		The section of the corner	
	Stress σ (N/mm ²)	Stress σ (N/mm ²)	Ratio for Specimen(A)	Stress σ (N/mm ²)	Ratio for specimen(A)	Stress σ (N/mm ²)	Ratio for specimen(A)
P1	89.3	86.4	97%	77.6	87%	60.3	68%
P2	66.8	61.8	92%	55.0	82%	44.4	66%

縮力が同じと仮定し、仮に溶接時に発生する収縮力を Fig. 17 のようにビード側面方向に加わる圧縮力として静的荷重をかけた場合のビード中央部分に生じる応力を相対的に比較した。加える圧縮力は軟鋼溶接継手の許容応力¹⁴⁾を目安として Fig. 17 の矢印方向に 117 N/mm² (今回用いた試験体において 88.2 kN に相当) とした。また、同様に角形鋼管とダイアフラムの溶接を想定した継手についても合わせて検討を行った。

この結果得られた各試験体の Fig. 17 の P1 点および P2 点の応力と、拘束力を高めた試験体 A に対する応力比を Table 4 に示す。拘束力を高めた試験体 (A) に対し、拘束力を緩和した試験体 (B) では応力が分散しており割れが発生しやすいビード中央部分に生じる応力は表面で 97%、ビード断面中央で 92% に緩和されている。一方、拘束部材の無い角形鋼管と通しダイアフラム接合部の溶接においては、今回用いた試験体よりさらに小さく、試験体 (A) に対して直線部は表面で 87%、ビード断面中央で 82%、コーナ部は表面で 68%、ビード断面中央で 66% と大幅に小さくなる結果が得られた。よって、建築鉄骨の溶接の中でもロボット溶接が最も多く適用されている角形鋼管と通しダイアフラム接合部の溶接は、耐割れ性能の点において優位な継手と言える。

6. 結 言

建築鉄骨で多く用いられている裏当て金方式のレ型開先

の溶接において、ロボット溶接を想定した開先角度の狭開先化に向けた調査および試験体での初層溶接に関する実験で得られた結果は以下の通りである。

- 1) 実際の建築鉄骨の角形鋼管とダイアフラム接合部にはルートギャップ 5 mm 程度のばらつきが存在するため、1 層 1 パスの溶接を行うためにはウィーピング法を用いた溶接が必要となる。
- 2) 溶接による開先の収縮量は入熱量と密接な関係が認められるが、開先角度の影響は少ない。
- 3) 試験体の拘束度を変えても溶接による開先の収縮量に大きな差は見られないが、拘束度が高いほど高温割れが発生しやすく、溶接速度が速いほど高温割れが発生しやすい。また、その限界速度には開先角度によって違いがあり、今回用いた試験体形状においては、開先角度 30 度と 25 度以下の間に大きな違いがあった。
- 4) トーチ角度を一定に保つ平行ウィーピングに比べ、ウィーピング端部で壁に対するトーチ角度を広くできる振り子状のウィーピングを適用することで、高温割れの発生が減少した。ただし、ウィーピング方法の違いにより割れの発生が低減できる理由は明確にできていない。

参 考 文 献

- 1) H. Matsumura: DEVELOPMENT OF THE TWO-JOINT SYNCHRONIZED ROBOTIC ARC WELDING SYSTEM FOR ARCHITECTURAL STEEL STRUCTURE BOX COLUMNS, International Institute of Welding OSAKA 2004 Commission X II, XII-1819-04.

- 2) H. Matsumura, H. Aoki, T. Nakagomi, N. Takeuchi, S. Nakayama: Certification Scheme for Welding Robot Operators and Types for Building Structures in Japan, International Institute of Welding Croatia 2007 Commission XV, XV-1251-07.
 - 3) 鋼構造出版, The Structural Technology, 2006. 11, 26.
 - 4) Architectural Institute of Japan: Japanese Architectural Standard Specification JASS6 Steel Work, 丸善, 2007. 2, 84.
 - 5) (社) 全国鉄構工業協会・技術委員会: 25レ形開先溶接施工マニュアル, 2006. 10.
 - 6) K. Ichinomiya, J. Nagasawa, T. Namikawa, H. Simokawa, K. Morita: Study on Shape of L-Type Groove for CO₂-Gas-Shielded Arc Welding -Welding Procedure Tests (1): PREPRINTS OF THE NATIONAL MEETING OF J.W.S, No.81 (2007), 382-383.
 - 7) S. Takano, Kazumi. Ito, Kiyoshi. Ito, I. Chishiro, H. Aono, K. Morita: Welding Procedure Tests on 25 Degrees Single-Bevel Groove Welding in Building Steel Structures, SUMMARIES OF TECHNICAL PAPERS OF ANNUAL MEETING ARCHITECTURAL INSTITUTE OF JAPAN C-1 STRUCTURES III, 2008. 9, 671-672.
 - 8) M. Soga, K. Sadahiro, M. Yokota, H. Matsumura, H. Wakinaka: Development of the synchronized welding process for 2 joints of a steel column: PREPRINTS OF THE NATIONAL MEETING OF J.W.S, No.74 (2004), 184-185.
 - 9) S. Takada, H. Matsumura, H. Wakinaka: Development of welding robot application technology for "NBFW (Non Brittle Fracture Welding) method" of a steel column: PREPRINTS OF THE NATIONAL MEETING OF J.W.S, No.81 (2007), 380-381.
 - 10) (社) 日本溶接協会溶接棒部会: マグ・ミグ溶接の欠陥と防止対策, 産報出版, 1991. 4, 71-84.
 - 11) (社) 溶接学会, 溶接・接合工学の基礎, 丸善, 2005. 3, 83-89.
 - 12) Japan Robot Association Homepage: <http://www.jara.jp>, 建築鉄骨溶接ロボット型式認証制度.
 - 13) 百合丘, 大北, 鉄鋼材料の溶接, 産報出版, 1999. 11, 160-162.
 - 14) 大西, JIS にもとづく機械設計製図便覧 (第10版), 2003. 12, 13-14.
- ~~~~~