

【2-10-d】

溶接ロボットにより立向溶接で施工された溶接金属の機械的性質に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON THE MECHANICAL PROPERTY OF WELDING METAL WELDED VERTICALLY BY AUTOMATIC WELDING ROBOTS

○北原敏希^{*5}, 中込忠男^{*1}, 榊原正彦^{*5}, 市川祐一^{*2}, 山下達雄^{*3}, 竹内直記^{*4}
KITAHARA Toshiki, NAKAGOMI Tadao, SAKAKIBARA Masahiko, ICHIKAWA Yuichi,
YAMASHITA Tatsuo, and TAKEUCHI Naoki

In this research, we welded vertical and flat welding, and executed the mechanical test. And we investigated the influence that heat input gave to a mechanical property of the welding metal.

As a result, it has been understood that mechanical properties decline, as heat input rise regardless of the welding position. And it was not found that correlation of heat input with percent brittle fracture at 0°C and absorbed energy at 0°C.

Keywords: vertical welding, flat welding, mechanical property, heat input, percent brittle fracture
立向溶接, 下向溶接, 機械的性質, 入熱, 脆性破面率

1. はじめに

近年、建築構造物の大型化・高層化に伴う溶接板厚の極厚化、また溶接作業の省力化のため溶接ロボットの実用性は年々増してきている。また、ロボット溶接において現在では、従来の下向溶接に加え、立向溶接を採用することによる溶接作業の高効率・高品質化が期待されている。

立向溶接の適用継手例を図1に示す。溶接ロボットを用いた立向溶接施工法の利点としては、ワークの反転作業及び層間におけるスラグ除去作業の省略可能による溶接の無人化と稼働率の向上、安定した溶け込みが得られる台形ウィーピングによる溶接品質の向上、また、フラックススタブの適用可能などがあげられる。

しかし、溶接ロボットによる立向溶接は運棒方法に台形ウィーピングを採用しており、溶接速度は低下する。そのため、従来の入熱の計算方法 (2.2 式 (1))

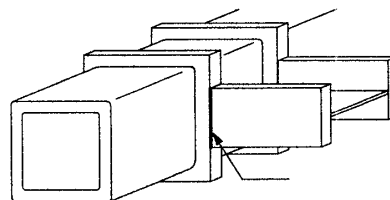


図1 適用継手例 (梁貫通コラム柱)

では入熱は高くなり、JIS Z 3312-1999 に解説として示されている入熱の管理推奨値 40kJ/cm 以下 (YGW18 及び YGW19 において) を満足するのは困難である。よって、立向溶接と下向溶接による入熱が溶接金属に与える影響を検討し、把握する必要がある。

本研究では、溶接ロボットにより下向溶接及び立向溶接を行い、入熱による溶接金属の機械的性質への影響について比較検討をおこなう。

^{*1} 信州大学大学院工学系研究科 教授・工博 (正会員)

^{*2} 信州大学工学部社会開発工学科 助手・博士 (工学)

^{*3} (株) 巴技研 工博

^{*4} コベルコロボットサービス (株)

^{*5} 信州大学大学院工学系研究科 博士前期過程 (正会員)

Prof., Dept. of Architecture and Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shinshu Univ., Dr. Eng
Research Assoc., Dept. of Architecture and Civil Engineering, Shinshu Univ., Dr. Eng.
Tomoe Research & Development LTD, Dr. Eng.
Kobelco Robot Service.
Graduate Student, Faculty of Engineering, Shinshu Univ.

2. 実験概要

2.1 溶接条件

本研究では、溶接ロボットにより立向姿勢及び下向姿勢でガスシールドアーク溶接をおこなった。試験体形状を図2に示す。供試鋼材の化学成分及び機械的性質（ミルシート値）を表1に、溶接ワイヤの化学成分（ミルシート値）を表2に示す。供試鋼材はSN490B（板厚19mm）を使用し、継手形状はレ形開先の突合せ継手とした。溶接ワイヤは、JIS Z 3312 YGW18 及び YGW19、1.2φを使用し、シールドガスには、Ar80%+CO₂20%ガス及びCO₂100%ガスを用いた。

試験体名及び溶接条件一覧を表3に示す。本研究では比較のため溶接姿勢に下向溶接と立向溶接を用いた。台形ウィーピングを用いた立向溶接は溶接速度が遅いためノズル清掃が困難であり、Ar80%+CO₂20%シールドガスのみを使用している。供試鋼材は、ルート間隔、開先角度の異なるものを用い、パス間温度は全て150℃とした。

2.2 溶接方法

溶接ロボットによる立向溶接及び下向溶接時のトーチの運棒方法を図3に示す。

(a) 立向溶接での溶接ロボットは、溶接軸が鉛直な継手に対し、トーチを開先形状にあわせ台形にウィーピングを繰り返し、垂直に下から上に向かって溶接をおこなう。

(b) 溶接ロボットによる下向溶接では、溶接軸が水平な継手に対し、トーチがウィーピングを繰り返して溶接をおこなう。

2.3 パス間温度の測定

入熱は式(1)により算出する。溶接速度は1パス毎のアークタイムと溶接長より求め、溶接電流及びアーク電圧は計測器を用いて1パス毎に平均値を求めた。

$$H = \frac{60 \times E \times I}{v} \dots \text{式 (1)}$$

I : 溶接電流 (A) v : 溶接速度 (cm/min)
H : 入熱 (kJ/cm) E : アーク電圧 (V)

温度計測定位置を図2に示す。パス間温度管理には、試験体幅中央の開先より10mmの位置に取り付けた熱電対を用い、試験体表面にパーカッション溶接で取り付けて管理した。パス間温度の150℃に達するまでは連続で溶接をおこなう。150℃を超えた場合は大気中で150℃まで放冷後、次パスの溶接をおこなった。

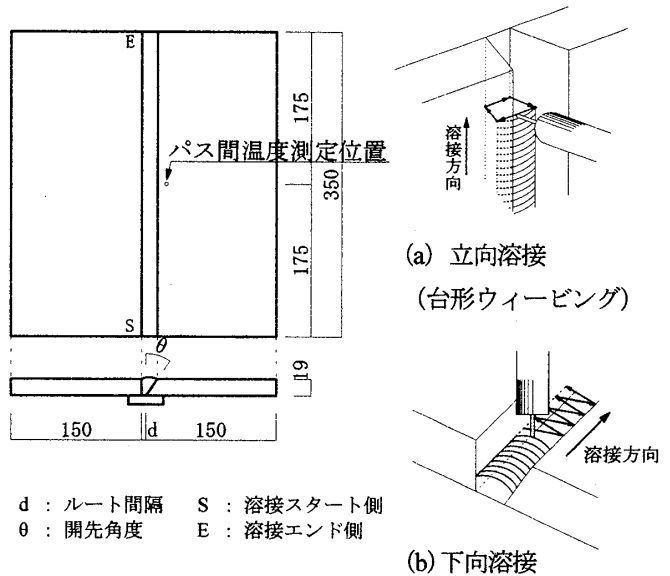


図2 試験体形状 (単位:mm) 図3 トーチの運棒方法

表1 供試鋼材の化学成分及び機械的性質 (ミルシート値)

鋼材	化学成分							機械的性質				
	C	Si	Mn	P	S	Ceq	Pcm	Y.P.	T.S.	EL	Y.R	vEo
	×100(%)							(N/mm ²)	(N/mm ²)	(%)	(%)	(J)
SN490B PL-19	13	24	128	1.7	0.5	39	22	422	538	26	79	207

Ceq: 炭素当量 Y.P.: 降伏点 T.S.: 引張強さ EL: 伸び
Pcm: 溶接割れ感受性指数 Y.R: 降伏比 vEo: 0℃シャルピー吸収エネルギー

表2 溶接ワイヤの化学成分 (ミルシート値)

溶接ワイヤ	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	Al	Ti+Zr
	×100(%)								
YGW18	0.07	0.92	1.72	0.008	0.010	0.24	TR	<0.01	0.18
YGW19	0.08	0.82	1.58	0.015	0.010	0.24	<0.01	<0.01	0.2

表3 試験体名及び溶接条件一覧

試験体名	母材条件			溶接条件														
	ルート 間隔 (mm)	開先 角度 (度)	板厚 (mm)	溶接姿勢	溶接 ワイヤ	シールド ガス	パス数	電圧 (V)	電流 (A)	速度 (cm/min)	入熱 (kJ/cm)							
A	9	35	19	下向	YGW18	CO ₂ 100	3	39	360	17	49.6							
B	6						2			14	60.2							
C	8						2			12	70.2							
D	9						3			16	45.9							
E	6						2			13	56.5							
F	8				YGW19	Ar80 +CO ₂ 20	3	34		11	66.8							
G	9						3			16	45.9							
H	6						13			56.5								
I	8						11			66.8								
J	10						3.3			51								
K	13	立向	17	165	2.8	60.1												
L	17				2.4	70.1												
O2A	6	20	19	立向	YGW18	Ar80 +CO ₂ 20	1	23	200	4.5	61.3							
O2B		15						21		4.5	58.0							
O2C		20						3.3		54.5								
O2D		18						3.3		49.1								
O2E	11	32					20	3.3		54.5								
O2F		18					3.3	49.1										
O2G		7					32	20		4.3	41.9							
O2H		18					4.3	37.7										
O2I	19	32					20	3.4		52.9								
O2J		18					3.4	47.6										
O2K		13					32	20		4.4	40.9							
O2L		18					4.4	38.8										
O2O	6	15					19	下向		YGW18	Ar80 +CO ₂ 20	4	23	200	20.0	13.8		
O2P													21		20.0	12.6		
O2Q													6		20	150	19.8	9.1
O2R													18		19.8		8.2	
O2S	7	32	4	23	200	13.1			21.1									
O2T	6	20	150	13.0	13.8													
O2U	11	32	4	23	200	10.1			27.3									
O2V			6	20	150	10.0			18.0									
O2W			6	15	CO ₂ 100	23			200			20.0	13.8					
O2X						20						20.0	12.0					

3. 機械試験

溶接姿勢及び入熱が溶接金属の機械的性質に与える影響を検討するため、引張試験、シャルピー衝撃試験及びビッカース硬さ試験をおこなった。

引張試験片形状及び採取位置を図4に示す。試験片はJIS Z 2201 14A号試験片を用い、平行部の径を 6ϕ とした。最大荷重100kNの引張試験機を用い、試験をおこなった。

シャルピー衝撃試験片形状及び採取位置を図5に示す。試験片はJIS Z 2242 Vノッチ試験片を用いて行った。試験体の表層2mmの位置よりDEPO部、サイドノッチを採取した。試験温度は全て 0°C とした。

ビッカース硬さ試験片採取位置及び試験打刻位置を図6に示す。マクロ試験片を用い、試験荷重は98N、表層2mmを打刻位置とした。母材部は2mm、溶接金属部(以下、DEPOとする)は1mm、HAZは0.5mmピッチで打刻をおこなった。

4. 考察

4.1 機械試験結果

4.1.1 引張試験

0.2%耐力-入熱関係を図7に、引張強さ-入熱関係を図8に示す。

Ar80%+CO₂ 20%ガスを使用した試験体は溶接姿勢に関わらず、本実験で最も高い入熱 70.1kJ/cm の条件下においてもJISの示す溶接金属の機械的性質の下限値を上回る結果となった。CO₂ 100%ガスを使用した試験体は下限値を下回るという結果も見られた。立向溶接及び下向溶接はともに、入熱の増加に伴い強度が減少する傾向が見られた。立向溶接は下向溶接よりも強度が高い結果を示した。

4.1.2 シャルピー衝撃試験

0°C 吸収エネルギーと入熱関係を図9に、 0°C 脆性破面率と入熱関係を図10に示す。

今回の実験において、 0°C 吸収エネルギー及び 0°C 脆性破面率に関して、立向溶接と下向溶接共に入熱の相違による相関性は見られなかった。Ar80%+CO₂ 20%ガスを使用した試験体において、立向溶接と下向溶接のばらつきに差が見られる。

0°C 吸収エネルギー及び 0°C 脆性破面率は溶接金属内の原質部と再熱部の割合に関係し、入熱のみには依存しないと考えられる。また、立向溶接は台形ウィービングをおこなっており、再熱部の割合が多い。したがって、下向溶接よりもばらつきが大きくなると考えられる。

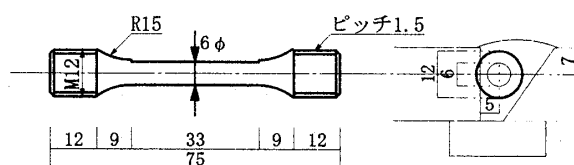


図4 引張試験片形状及び採取位置(単位:mm)

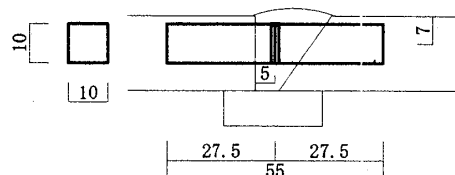


図5 シャルピー衝撃試験片形状及び採取位置(単位:mm)

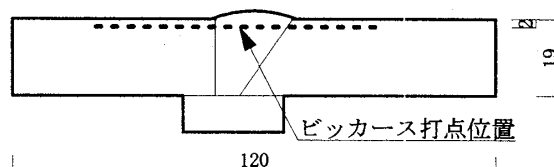


図6 ビッカース硬さ試験片形状及び打刻位置(単位:mm)

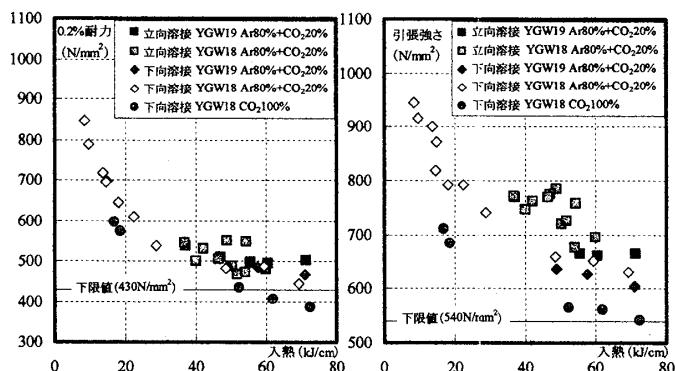


図7 0.2%耐力-入熱関係

図8 引張強さ-入熱関係

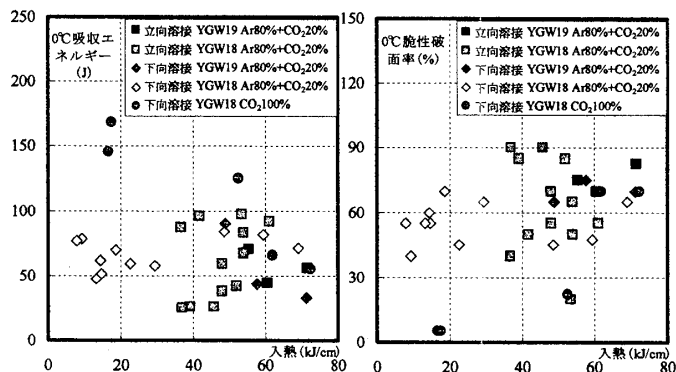


図9 0°C 吸収エネルギー-入熱関係

図10 0°C 脆性破面率-入熱関係

4.1.3 ビッカース硬さ試験 DEPO におけるビッカース硬さ-入熱関係を図 11 に示す。図に用いたビッカース硬さは DEPO のビッカース硬さの平均値とした。シールドガス別によるビッカース硬さの比較を図 12 に示す。

立向溶接は下向溶接よりも強度が高い結果を示した。立向溶接に関してはばらつきがあるものの、立向溶接、下向溶接共に、入熱の増加によりビッカース硬さが減少する傾向が見られた。ビッカース硬さに関しては引張強さと同様な傾向を示したといえる。図 12 には硬さの違いが溶接金属部に強く見られる。これは後に記すシールドガスの違いが要因の一つとして考えられる。

4.2 溶接条件による比較検討

溶接ワイヤ YGW18 と YGW19 の比較として、同じ溶接姿勢及びシールドガスの試験結果(試験体 D~I) より、0.2%耐力及び引張強さ-入熱関係を図 13 に示す。表 2 溶接ワイヤの化学成分より YGW18 が YGW19 に比べてケイ素 (Si) 及びマンガン (Mn) を多く含んでいるため、溶接金属部の強度が上回っていると考えられる。

溶接ワイヤとシールドガスを比較した引張強さ-入熱関係を図 14 に示す。引張強さは CO₂100%ガスを使用した試験体(試験体 A~C) が Ar80%+CO₂20%ガスを使用した試験体(試験体 D~I) を下回る結果を示した。また、シールドガスによる機械的性質の違いは溶接ワイヤの違いに比べ、溶接金属の強度に与える影響が大きい結果を示した。

4.3 シールドガスによる影響

機械試験において、シールドガスに Ar80%+CO₂20%ガスを使用した試験体は CO₂100%ガスを使用した試験体に比べ、溶接金属の強度が高い結果を示した。溶接中のガスの反応を図 15 に示す。溶接中、CO₂100%ガス成分中の CO₂は高温のアーカ熱により解離し、発生した活性な酸素 O₂がワイヤ中の主要脱酸性元素である Si や Mn 等と反応してスラグとなり、溶接金属の強度に影響する Si や Mn を減少させたためと考えられる。

5. まとめ

立向溶接及び下向溶接で施工された溶接金属の機械試験を実施し、試験結果を入熱の相違により比較検討した結果、以下の知見が得られた。

1) Ar80%+CO₂20%ガスを使用した試験体の 0.2%耐力及び引張強さについて、JIS の解説が示す管理推奨値 40kJ/cm 以下を超える入熱条件についても、JIS の示す溶接金属の機械的性質の下限値を上回る結果となった。

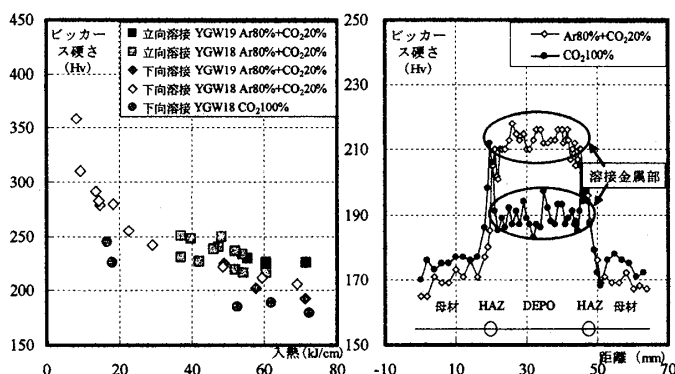


図 11 ビッカース硬さ-入熱関係

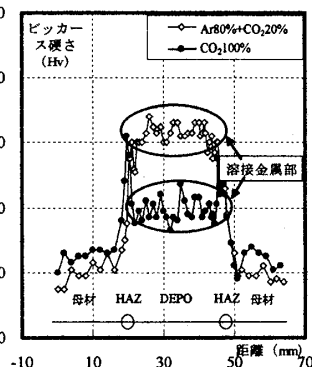


図 12 ビッカース硬さ比較

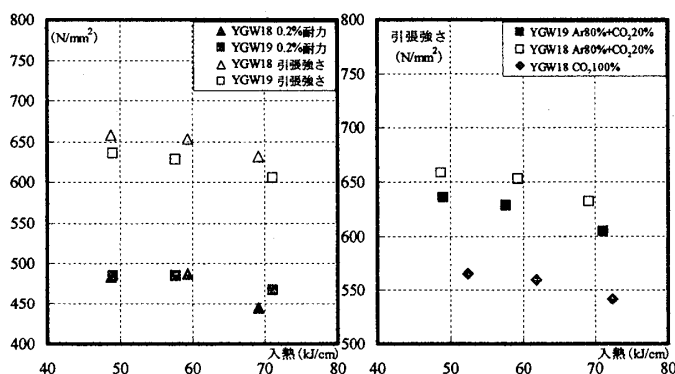


図 13 引張試験結果-入熱関係

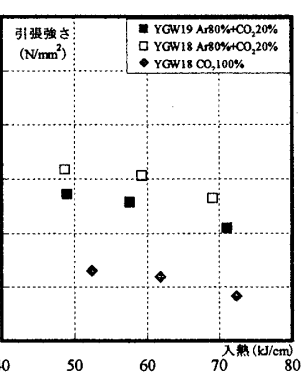


図 14 引張強さ-入熱関係

(溶接ワイヤ比較)

(ワイヤ・ガス比較)

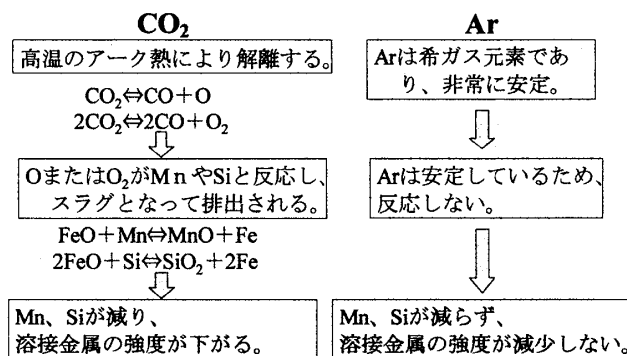


図 15 溶接中のシールドガスの反応

- 立向溶接及び下向溶接により施工された溶接金属は、入熱の増加に伴い強度が減少する傾向を示した。
- シールドガスの違いにより溶接金属の強度に差が生じること、CO₂の解離による溶接金属内のケイ素(Si)及びマンガン(Mn)の減少が要因の一つとして考えられる。

【参考文献】

- 日本建築学会：鉄骨工事技術指針・工場製作編、1996年2月
- 日本規格学会：JISハンドブック 2002年
- 佐藤邦彦 編、溶接強度ハンドブック、1994年10月
- 中込忠男・市川祐一 他：様々な溶接条件で施工された溶接金属の機械的性質に関する実験的研究(その1)(その2)(その3) 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、2000年度