

現場横向ロボット溶接におけるパス間温度管理の合理化

浅井 英 克 鈴 井 康 正

大塚 英 郎 白 井 嘉 行
(東京本店建築事業部) (東京本店建築事業部)

Rationalization of Interpass Temperature Control in Site Horizontal Robot Welding

Hidekatsu Asai Yasumasa Suzui

Hideo Otsuka Yoshiyuki Shirai

Abstract

Because the average heat input of the site horizontal robot welding method is less than 15 kJ/cm, the current interpass temperature regulation of 30–40 kJ/cm is considered unreasonable for this method. Therefore, to rationalize the inter-pass temperature control, we conducted welding operation tests on various square steel pipe columns using 550-590 MPa class solid wire. The following conclusions were drawn: 1) The yield point, tensile strength, and Charpy absorbed energy of the weld satisfies the standard values for welding wires up to the maximum inter-pass temperature of approximately 450 °C. 2) By easing the interpass temperature control from 250 °C to 350 °C or less, the welding time can be shortened by approximately 25% for short weld lines.

概 要

筆者らが推進する角形鋼管柱の現場横向ロボット溶接工法は平均的な入熱が15kJ/cm未満と小さい。そのため、上限入熱を30～40kJ/cmとする現行のパス間温度管理規定に対して、入熱が小さい本工法ではパス間温度の管理値を緩和できると考えられる。そこで、本工法におけるパス間温度管理を合理化するため、550～590MPa級溶接ワイヤを使用し、様々な角形鋼管柱に対してパス間温度をパラメータとする溶接施工試験を行った。得られた結果を以下に示す。1) パス間温度が最高450℃程度まで、溶接部の降伏点、引張強さおよびシャルピー吸収エネルギーは溶接ワイヤの規格値を満足した。2) 250℃以下から350℃以下にパス間温度管理を緩和することで、パス間温度が上昇し易い短い溶接線の溶接時間を25%程度短縮できた。今後は本研究の成果を活かし、現場溶接作業の生産性向上と働き方改革の推進を図る予定である。

1. はじめに

建設業では中長期的に予測される技能労働者の減少や昨今の働き方改革を実現するため、あらゆる工種で生産性の向上が求められている。筆者らは現場溶接作業における省力化・省人化を目指して、多様な溶接継手に対する現場ロボット溶接工法を開発し、Photo 1のように様々な部位に適用してきた^{1),2)}など。現場溶接では溶接部位に応じた姿勢で溶接する必要があるため、本工法では可搬型ロボットを用いた全姿勢対応の溶接技術を確立し、柱・梁のあらゆる現場溶接の自動化を実現した。

ロボット溶接した溶接部の品質は、技能者と同様に溶接施工条件に大きく左右される。特に入熱（単位溶接長さ当たりの溶接で消費される電気エネルギー量）とパス間温度（多層溶接において、次のパスを溶接する直前の溶接パス及び近傍の母材の温度）が溶接部の強度と靱性に大きく影響する。そのため、要求品質を確保するための管理値が定められており、一般に入熱の上限値は30～40kJ/cm、パス間温度の上限値は250～450℃と規定されている^{3)~5)}。

主要な現場溶接箇所である冷間成形角形鋼管柱に着目



(1) 梁下フランジの上向溶接



(2) 梁ウェブの立向溶接



(3) 角形鋼管柱の横向溶接

Photo 1 現場ロボット溶接工法
Site Robot Welding Method

すると、角形鋼管は成形時に加工硬化を受けて角部の強度が上昇するため、角部の入熱・パス間温度には厳しい管理値が設けられている⁵⁾。特にロボット溶接では角部と平板部の区別なく両者を連続的に溶接するため、平板部でも角部と同じ入熱30kJ/cm以下、かつパス間温度250℃以下の管理値が推奨されている⁵⁾。

一方、溶接入熱は溶接姿勢で大きく異なり、Photo 1(3)に示す角形鋼管柱の現場横向ロボット溶接は平均的な入熱が15kJ/cm未満と小さい。これは横向溶接では熔融金属が垂れ易く、基本姿勢である下向溶接に比べて入熱の上限が制限されるためである。入熱・パス間温度は溶接部の強度と靱性に影響を及ぼすが、その影響度は入熱・パス間温度の組合せに依存し、例えば入熱が小さい場合はパス間温度を高くできる。そのため、入熱の小さい角形鋼管柱の現場横向ロボット溶接では、上限入熱を30～40kJ/cmとする現行規定よりもパス間温度を高く設定できると考えられる。文献5)では角形鋼管をロボット溶接する場合は独自の選定条件も適用し得るとされているが、ロボットの特性や溶接法に応じた検討例は少なく、特に小入熱域での検討例は少ない。

そこで、現場横向ロボット溶接のパス間温度管理を合理化するため、様々な角形鋼管柱に対してパス間温度をパラメータとする溶接施工試験を行い、パス間温度と溶接部機械的性質の関係を調べた。溶接部機械試験結果に対する合否判定基準はJASS6 付則8⁶⁾など種々の判定基準が存在するが、本研究では溶接ワイヤの強度・靱性規格値を満足することを合否判定基準とした。

本報では溶接施工試験の概要、合否判定基準を満足するパス間温度およびパス間温度管理緩和に伴う溶接時間の短縮効果について説明する。

2. 溶接施工試験

試験体は角形鋼管柱の継手を模擬した部分試験体であり、Table 1に試験ケース一覧、Fig. 1に試験体形状を示す。試験体は柱断面と溶接ワイヤ種類をパラメータとする計6体とした。柱断面（鋼種）は角形鋼管□-700×25 (BCP325)、□-800×40（建築構造用550N/mm²級冷間プレス成形角形鋼管SBCP385B、以下BCP385）、□-650×50 (BCP385)の3種類、溶接ワイヤは550MPa級、590MPa級溶接ワイヤJIS Z3312 YGW18、G59JA1UC 3M1T (旧YGW21)の2種類とした。角形鋼管および溶接材料の機械的性質（ミルシート値）をTable 2に示す。

筆者らは溶接トーチとエレクションピース (E.P.) の干渉を回避しながら初層から最終層までのすべてをロボットで溶接するため、建方条件に応じて2種類の方法で角形鋼管柱をロボット溶接している。一つは2台のロボットで角形柱の4箇所を順に先行溶接し、E.P.を撤去した後に残りの平板部を溶接する四角先行施工 (Fig. 2 (1)) である。もう一つは2台のロボットで角形鋼管柱の2箇所を先行溶接し、E.P.を撤去した後に角部と平板部

Table 1 試験体および溶接部機械試験の一覧
List of Specimens and Weld Mechanical Tests

柱種類	□-700×25 (BCP325)		□-800×40 (BCP385)		□-650×50 (BCP385)	
	平板部	角部	平板部	角部	平板部	角部
溶接ワイヤ	YGW18, G59JA1UC 3M1T (旧 YGW21)					
パス間温度	250℃以下, 350℃以下, 無管理					
溶接金属引張試験	板中央	—	—	○	○	○
	板表側	○	○	—	—	○
シャルピー衝撃試験	DEPO ^{*1}	○	○	○	○	—
	HAZ ^{*2}	—	○	—	—	—
断面マクロ試験	—	—	○	○	—	—
ビッカース硬さ試験	—	—	—	○	—	—

注) *1: 溶着金属, *2: 熱影響部

[Fig. 1 凡例]

- 溶接金属引張試験 : Tm_板中央, Tf_板表側
- シャルピー衝撃試験 : Id_DEPO, Ih_HAZ, Id5_DEPO (温度-5℃)
- 断面マクロ試験 : M
- ビッカース硬さ試験 : H

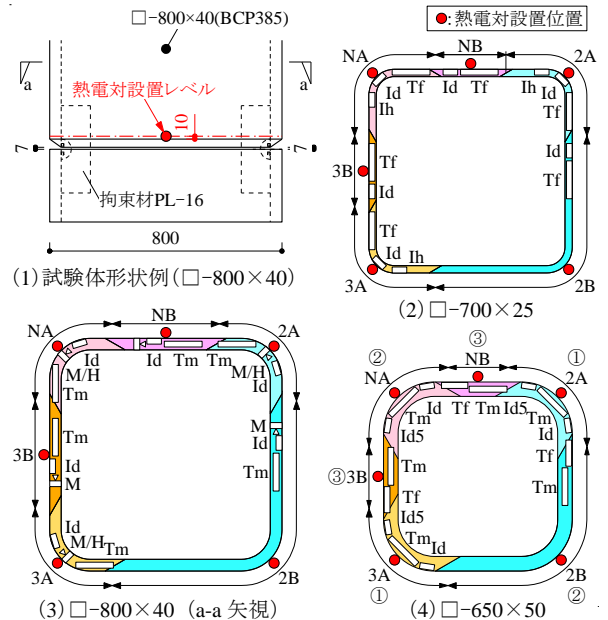


Fig. 1 試験体形状および機械試験片採取位置
Specimen Shape and Mechanical Specimen Sampling Position

Table 2 材料の機械的性質（ミルシート値）
Mechanical Properties of Materials

種類	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	破断伸び (%)	吸収エネルギー (J)
□-700×25 (BCP325)	387	534	28	264[0℃]
□-800×40 (BCP385)	422	578	27	310[0℃]
□-650×50 (BCP385)	419	570	34	316[0℃]
YGW18	515	602	26	162[0℃]
G59JA1UC 3M1T	615	689	23	123[-5℃]

からなる残りのL字部分を後行溶接する二角先行施工 (Fig. 2 (2)) である。試験では四角先行施工と二角先

行施工の溶接手順を再現できるように、角形鋼管柱全周の溶接線をFig. 1 (2) ~ (4) のように6分割して溶接した。代表としてFig. 1 (4) に溶接順序①~③を示し、試験体の溶接手順と温度管理について説明する。

最初にPhoto 2 (1) のように2台のロボットでFig. 1の溶接線2Aと溶接線3Aを先行溶接した (Fig. 1 (4) ①)。次に溶接線NAを先行溶接、溶接線2Bを後行溶接した (Fig. 1 (4) ②)。後行溶接前には先行溶接端部のビード形状を電動工具で整形し、先行溶接の端部を後行溶接で継ぐこととした。最後に溶接線3Bと溶接線NBを後行溶接し、溶接を終了した (Fig. 1 (4) ③)。各溶接線の中央には開先端10mmの位置に熱電対を設置し、この熱電対で計測した温度を用いて溶接線2Aと溶接線2Bに関してはパス間温度250℃以下、溶接線3Aと溶接線3Bに関してはパス間温度350℃以下で管理した。溶接線NAと溶接線NBに関しては温度管理をせず、スラグ除去、先行溶接端部処理および最終層前の表当材の設置作業以外は連続的に溶接した。スラグ除去は溶接線2Aと溶接線2Bでは1層ごと、他の溶接線では2層ごとに行った。Photo 2 (2) に溶接外観を示す。本試験では温度無管理のケースを含め、いずれの試験体においても良好な溶接外観であった。

Fig. 3 に溶接ワイヤYGW18でコラム柱□-800×40 (BCP385) を溶接した際の溶接時温度と入熱の履歴を示す。各図の左軸が溶接時温度、右軸が入熱を、横軸が溶接開始からの時間を表す。入熱は溶接ロボットへの入力値である。溶接長が等しい2A, 3AおよびNAの溶接終了までの時間はそれぞれ90分、67分、64分であり、パス間温度管理値の上昇に伴って溶接時間が短縮することを確認できた。溶接線2Aではパス間温度を表す○印が管理値250℃付近に多く位置しており、すなわちパス間温度が250℃以下まで低下するまでの待機時間が長かった。一方、溶接線3Aでは待機時間が少なく、3Aの溶接時間は2Aの75%程度であった。さらに溶接線3Aと溶接線NAを比較すると溶接時間に顕著な差はなく、この傾向は他のコラ

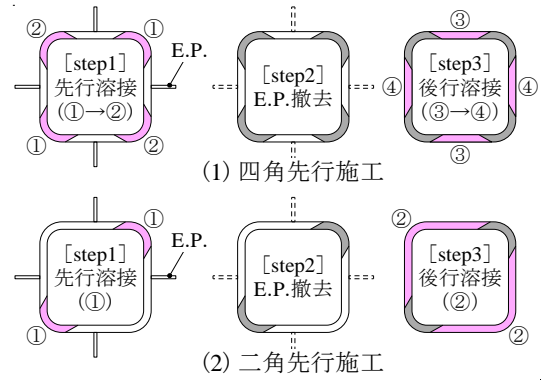
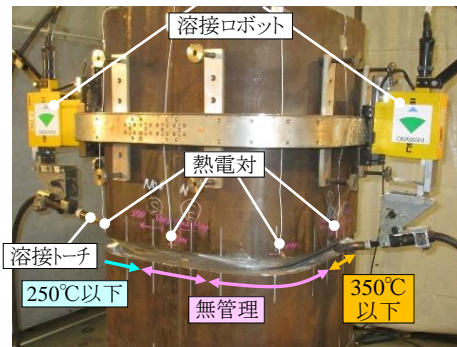


Fig. 2 コラム柱の溶接手順
Welding Procedure for Square Steel Pipe Column



(1) 溶接状況



(2) 溶接外観 (□-800×40)

Photo 2 溶接施工試験状況
Welding Test Status

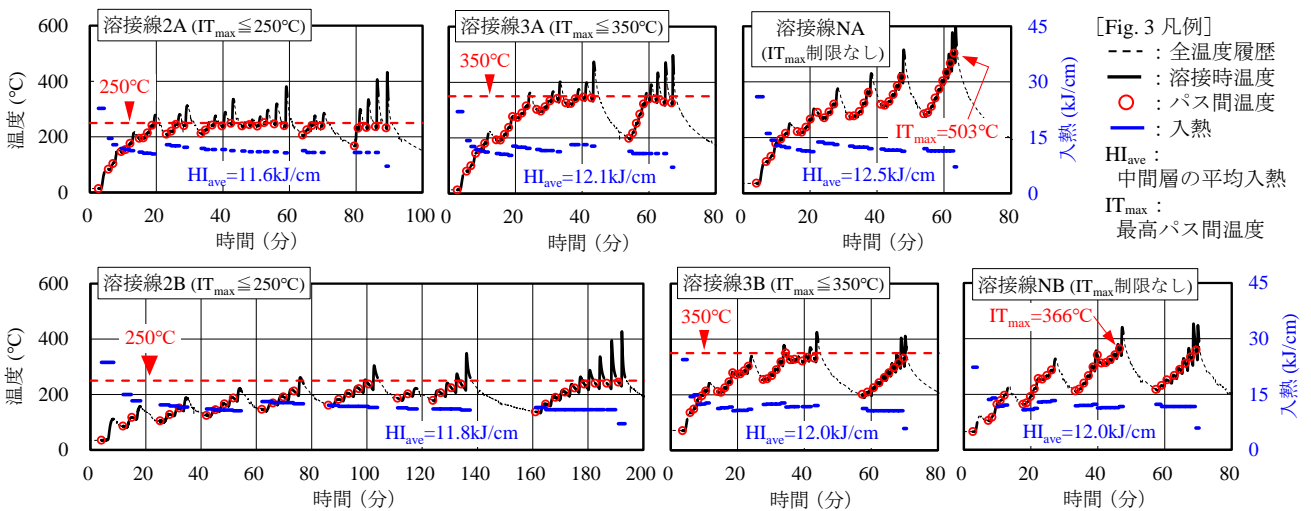


Fig. 3 溶接時温度と入熱の履歴例
Example of Welding Temperature and Heat Input Histories

ム断面や溶接ワイヤでも同様であった。溶接線が短いとパス間温度が上がり易い傾向にあるが、パス間温度を250℃以下から350℃以下とすることで、待機時間を短縮できる。

Table 3に初層と最終層を除いた中間層の平均入熱 HI_{ave} を示す。前述のFig. 3の入熱の履歴を見ると、初層1パス目の入熱は20~25kJ/cm程度、他の過半のパスは15kJ/cm以下であるが、中間層の平均入熱はTable 3のように12kJ/cm程度であった。Table 4にはパス間温度の最高値 IT_{max} を示す。パス間温度は温度無管理のケースで、YGW18が最高503℃、G59JA1UC 3M1Tが最高485℃であった。

上記方法で溶接した6試験体について、Fig. 1 (2)~(4)の平断面位置からTable 1に示す溶接部の機械試験片を採取し、溶接部機械試験を行ってパス間温度と溶接部機械的性質の関係を整理した。

3. 溶接部機械試験

3.1 溶接金属引張試験

JIS Z3111のA1号試験片(φ12.5)とA2号試験片(φ6)を用いて溶接金属引張試験を行った。Table 5に溶接金属引張試験結果一覧、Fig. 4に引張試験片採取位置を示す。Table 5の降伏点 σ_y 、引張強さ σ_u および破断伸びELの各欄では、パス間温度が①250℃以下、②350℃以下、③無管理の順に結果を示す。本試験では温度無管理のケースで最高パス間温度は約450℃前後に達するが、Table 5より全試験片について、降伏点、引張強さおよび破断伸びは各溶接ワイヤの規格値を満足した。

Fig. 5に溶接金属の降伏点 σ_y ・引張強さ σ_u と最高パス間

Table 3 中間層平均入熱のロボット入力値
Robot Input Value for Middle Layer Average Heat Input

溶接ワイヤ	コラム形状	中間層平均入熱 HI_{ave} (kJ/cm)					
		2A	2B	3A	3B	NA	NB
YGW18	□-700×25	11.6	12.8	11.9	11.5	12.4	11.7
	□-800×40	11.6	11.8	12.1	12.0	12.5	12.0
	□-650×50	11.9	12.0	11.9	11.2	11.9	11.0
G59J A1UC 3M1T	□-700×25	11.5	11.7	11.9	11.7	11.9	11.4
	□-800×40	11.8	11.7	11.6	11.7	12.3	11.5
	□-650×50	12.4	12.2	11.5	11.2	11.9	11.3

Table 4 最高パス間温度の測定値
Measured Maximum Interpass Temperature

溶接ワイヤ	コラム形状	最高パス間温度 IT_{max} (℃)					
		2A	2B	3A	3B	NA	NB
YGW18	□-700×25	250	250	350	350	475	419
	□-800×40					503	366
	□-650×50					454	373
G59J A1UC 3M1T	□-700×25	250	250	350	350	485	400
	□-800×40					439	306
	□-650×50					457	368

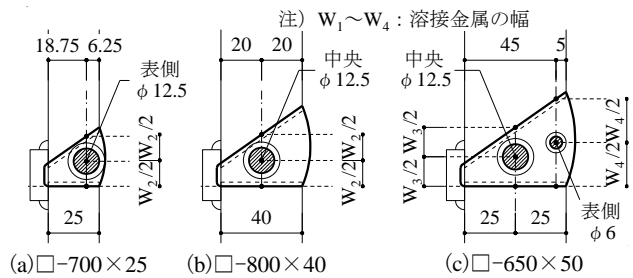


Fig. 4 引張試験片採取位置
Tensile Test Piece Sampling Position

Table 5 溶接金属引張試験結果一覧
List of Weld Metal Tensile Test Results

溶接ワイヤ	コラム形状	採取部位	降伏点 σ_y (N/mm ²)	引張強さ σ_u (N/mm ²)	破断伸び EL (%)
YGW18	□-700×25	(1) 平板部_表側	①546 ②545 ③505	①622 ②612 ③591	①27 ②29 ③32
		(2) 角部_表側	①580 ②533 ③491	①632 ②597 ③574	①30 ②32 ③21
	□-800×40	(3) 平板部_中央	①619 ②576 ③563	①638 ②616 ③611	①28 ②30 ③30
		(4) 角部_中央	①589 ②520 ③533	①635 ②590 ③606	①24 ②25 ③22
	□-650×50	(5) 平板部_中央	①547 ②566 ③559	①614 ②626 ③608	①27 ②27 ③27
		(6) 角部_中央	①519 ②505 ③463	①595 ②590 ③564	①32 ②31 ③34
		(7) 平板部_表側	①535 ②539 ③503	①603 ②609 ③584	①30 ②32 ③36
規格値			460 $\leq\sigma_y$	550 $\leq\sigma_u\leq$ 740	17 \leq EL
G59J A1UC 3M1T	□-700×25	(8) 平板部_表側	①663 ②636 ③647	①696 ②696 ③705	①27 ②27 ③28
		(9) 角部_表側	①661 ②598 ③567	①703 ②664 ③676	①27 ②27 ③28
	□-800×40	(10) 平板部_中央	①712 ②679 ③691	①717 ②697 ③709	①26 ②27 ③26
		(11) 角部_中央	①672 ②670 ③664	①702 ②698 ③700	①25 ②23 ③25
	□-650×50	(12) 平板部_中央	①682 ②701 ③648	①710 ②719 ③694	①26 ②25 ③26
		(13) 角部_中央	①605 ②567 ③544	①663 ②664 ③644	①29 ②27 ③29
(14) 平板部_表側	①681 ②671 ③650	①708 ②697 ③697	①26 ②29 ③29		
規格値			500 $\leq\sigma_y$	590 $\leq\sigma_u\leq$ 790	16 \leq EL

注) ① : $IT_{max} \leq 250^\circ\text{C}$, ② : $IT_{max} \leq 350^\circ\text{C}$, ③ : IT_{max} 制限なし

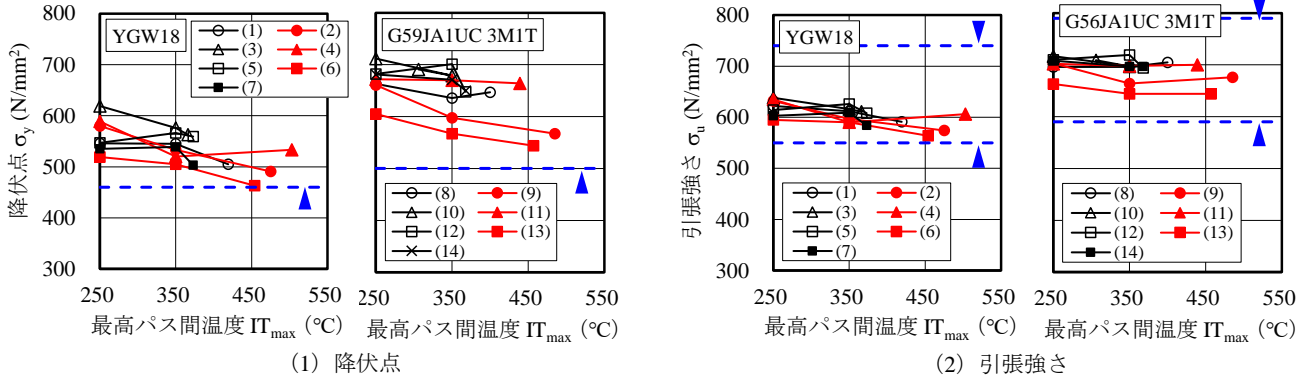


Fig. 5 溶接金属の降伏点 σ_y ・引張強さ σ_u —最高パス間温度 IT_{max} 関係

Relationship between Yield Point σ_y & Tensile Strength of Weld Metal and Maximum Interpass Temperature IT_{max}

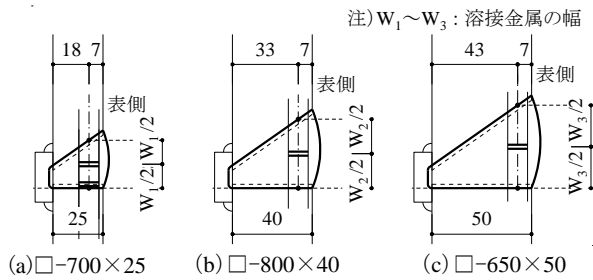


Fig. 6 シャルピー衝撃試験片採取位置
Charpy Impact Test Piece Sampling Position

温度 IT_{max} の関係を示す。Fig. 5 中の▲と▼は規格下限値と上限値を表し、凡例中の(1)~(14)はTable 5の(1)~(14)に対応する。Fig. 5 (1) より、最高パス間温度 IT_{max} が上昇するにつれて降伏点は低下し、G59JA1UC 3MITでは平板部(8)(10)(12)(14)に比べて角部(9)(11)(13)の降伏点は低い傾向が見られた。一方、Fig. 5 (2) に示す引張強さを見ると、 IT_{max} の上昇に伴う強度低下は降伏点に比べて緩やかであった。 $IT_{max}=350^{\circ}C$ における降伏点、引張強さの規格下限値に対する比率 σ_y/σ_{y0} 、 σ_u/σ_{u0} は、溶接ワイヤ YGW18が $\sigma_y/\sigma_{y0}=1.10\sim 1.25$ (平均1.18)、 $\sigma_u/\sigma_{u0}=1.07\sim 1.14$ (平均1.11)、溶接ワイヤG59JA1UC 3MITが $\sigma_y/\sigma_{y0}=1.13\sim 1.40$ (平均 $\sigma_y/\sigma_{y0}=1.29$)、 $\sigma_u/\sigma_{u0}=1.09\sim 1.20$ (平均 $\sigma_u/\sigma_{u0}=1.17$)であった。以上より、パス間温度を $350^{\circ}C$ 以下としても、溶接部の降伏点と引張強さの平均値は規格下限値の約1.1倍以上を確保できることが分かる。

3.2 シャルピー衝撃試験

JIS Z2242のVノッチ試験片を用いてシャルピー衝撃試験を行った。Fig. 6にシャルピー試験片採取位置、Table 6にシャルピー衝撃試験結果一覧を示す。試験温度は一般的な $0^{\circ}C$ を標準とし、G59JA1UC 3MITでは溶接ワイヤ規格に合わせて $-5^{\circ}C$ の試験も行った。Table 6のシャルピー値の各欄では、パス間温度が① $250^{\circ}C$ 以下、② $350^{\circ}C$ 以下、③無管理の順に結果を示す。Table 6に示すYGW18の試験温度 $0^{\circ}C$ の結果、G59JA1UC 3MITの試験温度 $-5^{\circ}C$ の結果を見ると、両溶接ワイヤとも本パス間温度範囲でシャル

Table 6 シャルピー衝撃試験結果一覧
List of Charpy Impact Test Results

溶接ワイヤ	コラム形状	部位	試験温度 ($^{\circ}C$)	シャルピー値, E (J)
YGW18	\square -700×25	(1) 平板部_DEPO_表側	0	①127 ②172 ③167
		(2) 角部_DEPO_表側		①167 ②174 ③147
		(3) 角部_HAZ_表側		①270 ②291 ③312
	\square -800×40	(4) 平板部_DEPO_表側		①164 ②187 ③176
		(5) 角部_DEPO_表側		①179 ②162 ③151
		(6) 角部_DEPO_表側		①161 ②149 ③162
規格値			0	$70 \leq E$
G59JA1UC 3MIT	\square -700×25	(7) 平板部_DEPO_表側	0	①156 ②155 ③138
		(8) 角部_DEPO_表側		①148 ②151 ③103
		(9) 角部_HAZ_表側		①287 ②266 ③264
	\square -800×40	(10) 平板部_DEPO_表側		①147 ②140 ③149
		(11) 角部_DEPO_表側		①127 ②140 ③124
		(12) 角部_DEPO_表側		①154 ②124 ③95
\square -650×50	(13) 角部_DEPO_表側	-5	①134 ②109 ③93	
	規格値			-5

注) ① : $IT_{max} \leq 250^{\circ}C$, ② : $IT_{max} \leq 350^{\circ}C$, ③ : IT_{max} 制限なし

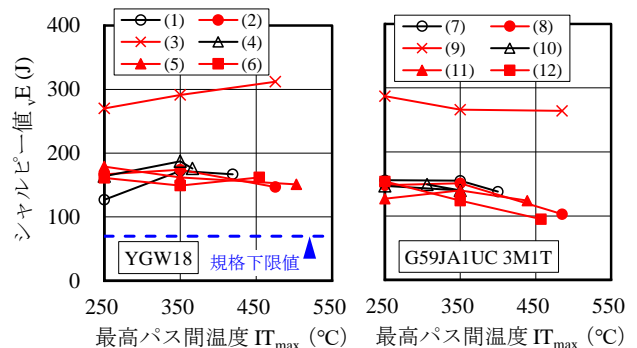
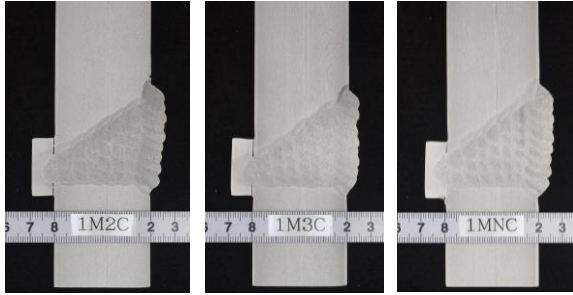


Fig. 7 $0^{\circ}C$ シャルピー値—最高パス間温度 IT_{max} 関係
 $0^{\circ}C$ Charpy Value - Maximum Interpass Temperature Relationship



(1) $IT_{max}=250^{\circ}C$ (2) $IT_{max}=350^{\circ}C$ (3) $IT_{max}=503^{\circ}C$
 Photo 3 角形鋼管角部の断面マクロ (□-800×40)
 Cross-sectional Macro of Square Steel Pipe Corner

ピー値は規格値を満足することが分かる。

Fig. 7に試験温度 $0^{\circ}C$ のシャルピー値と最高パス間温度 IT_{max} の関係を示す。Fig. 7中の(1)~(12)はTable 6の(1)~(12)に対応する。Fig. 7より、溶接ワイヤYGW18では IT_{max} が上昇してもシャルピー値は $IT_{max}=250^{\circ}C$ と同程度の値であるが、溶接ワイヤG59JA1UC 3M1Tでは IT_{max} が $350^{\circ}C$ を超えると、シャルピー値の低下が顕著になった。Fig. 7の(3)(9)はHAZから採取した試験片であるが、Table 2に示す母材のシャルピー値264Jと同等以上の高いシャルピー値を示した。 $IT_{max}=350^{\circ}C$ におけるDEPOの $0^{\circ}C$ シャルピー値は、YGW18・G59JA1UC 3M1Tともに120J以上の高い衝撃靱性であった。また $IT_{max}=450^{\circ}C$ までは、溶接部の脆性的破断を防止できるとされる $0^{\circ}C$ 70J以上⁷⁾のシャルピー値を上回った。

3.3 断面マクロ試験

□-800×40の平板部と角部から12試験片を採取し、断面マクロ試験を行った。溶接ワイヤYGW18を使用した3試験片の観察結果をPhoto 3に示す。最高パス間温度 IT_{max} によらずいずれも無欠陥であり、 IT_{max} の違いが断面マクロに及ぼす影響は見られなかった。また全12試験片について、JASS6 付則8.承認試験の判定値を満足した。

3.4 ビッカース硬さ試験

□-800×40の角部の断面マクロ試験片を利用し、ビッカース硬さ試験を行った。Table 7に硬さ試験結果、Fig. 8に硬さ計測位置を示す。全測定箇所ビッカース硬さは低温割れを防ぐとされる350Hv以下⁶⁾であった。また最高パス間温度 IT_{max} や表側・中央・裏側の測定位置によらず、最高硬さは220~260Hv程度であり、本試験範囲で最高パス間温度による有意な差は見られなかった。

4. まとめ

2種類の溶接ワイヤ (550MPa級YGW18, 590MPa級G59JA1UC 3M1T) を使用して角形鋼管柱に対する現場横向ロボット溶接工法の施工試験を行い、パス間温度と溶接部機械的性質の関係を確認した。得られた結果を以下に示す。

Table 7 ビッカース硬さ試験結果
 Vickers Hardness Test Results

溶接ワイヤ	IT_{max} (°C)	最高硬さ (Hv)		
		裏側	中央	表側
YGW18	250	234	235	240
	350	226	212	234
	503	229	229	219
G59JA1UC 3M1T	250	234	253	264
	350	255	256	260
	439	236	246	230

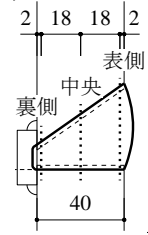


Fig. 8 硬さ測定位置 (□-800×40)

- 1) パス間温度が $450^{\circ}C$ 程度まで、いずれの溶接ワイヤにおいても溶接部の降伏点、引張強さおよびシャルピー吸収エネルギーは規格値を満足した。
- 2) パス間温度を $350^{\circ}C$ 以下とした場合、平板部と角部のいずれにおいても、溶接部の平均的な降伏点と引張強さは規格下限値に対して約1.1倍以上であった。また $0^{\circ}C$ シャルピー吸収エネルギーは120J以上と高い衝撃靱性を示した。
- 3) パス間温度が上がり易い短い溶接線では、パス間温度を $250^{\circ}C$ 以下から $350^{\circ}C$ 以下に緩和することで溶接時間が25%程度短縮した。

現場横向ロボット溶接工法は平均的な入熱が15kJ/cm未満と低く、角形鋼管柱をパス間温度 $350\sim 450^{\circ}C$ 以下で管理しても溶接部の機械的性質は規格値を満足し、現行の $250^{\circ}C$ 以下で管理するよりも溶接時間を短縮できることを確認できた。今後は本研究の成果を活かし、現場溶接作業のさらなる生産性の向上と働き方改革の推進を図っていきたい。

参考文献

- 1) 浅井, 大塚, 白井, 鈴井: ロボットを活用した現場溶接技術の開発, 大林組技術研究所報, No.81, pp.1-6, 2017.12
- 2) 浅井, 大塚, 白井, 鈴井: 高強度・厚肉鉄骨柱への現場ロボット溶接工法の適用, 大林組技術研究所報, No.85, pp.1-6, 2021.12
- 3) 日本工業標準調査会: 軟鋼, 高張力鋼及び低温用鋼用のマグ溶接及びミグ溶接ソリッドワイヤ JIS Z3312: 2009, 2021.2
- 4) 日本建築学会: 鉄骨工事技術指針・工場製作編, 2018.1
- 5) 日本建築センター: 2018年版 冷間成形角形鋼管設計・施工マニュアル, 2018.8
- 6) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事, 2018
- 7) 日本建築センター: 鉄骨梁端溶接接合部の脆性的破断防止ガイドライン・同解説, 2006