

● 技術論文

半自動溶接の品質に影響を及ぼす因子について（第2報）

Factors affecting the quality of semi-automatic welding (Second report)

浜水 聖（技術統括部），桑木 康仁（技術統括部），
稲富 勇太（技術統括部），竹内 聖貴（技術統括部）

Akira HAMAMIZU , Yasuhito KUWAKI , Ryuta INADOMI , Masaki TAKEUCHI
(Technology Control Department)

当社は各工場で実施されたプレファブ溶接の条件・品質に関するデータを収集・整理して、データベース化する取組みを進めている。既報¹⁾では、半自動溶接の溶接品質に影響を及ぼす変動因子として挙げられるワイヤ突出し長さ、トーチ傾斜角度、トーチ位置の影響を確認した。本報では溶接士の癖に着目し、ウィービング条件の影響について検証実験を行い、安定した溶接品質が確保されるウィービング条件の許容範囲を確認した。

We are currently working on creating a database of the conditions and quality of our prefabricated welding work. In our previous report¹⁾, we confirmed the effects of wire extension length, torch tilt angle, and torch position on the welding quality of semi-automatic welding. In this paper, we focused on the habits of welders, conducted experiments to investigate the influence of weaving conditions, and confirmed the allowable range of weaving conditions that ensures stable welding quality.

1. はじめに

当社が施工する配管工事の溶接作業では、プレファブ溶接が大きな割合を占めており、その中でも炭素鋼の配管およびフィッティングの突合せ溶接が多い。そこで、当社では溶接機の品質性能が各段に向上している、溶接能率の高いフルデジタル半自動溶接機の適用を推進している。

この推進活動の一環として、当社の各工場で行われたプレファブ溶接の条件・品質に関するデータを収集・整理して、データベース化する取組みを進めている。

ただし、実機において溶接品質が確認された溶接条件であっても、溶接士の癖によって溶接品質が安定しないことが考えられる。当社では、溶接士の癖を細分化した要素を変動因子として着目し、変動因子が半自動溶接の溶接品質に及ぼす影響を検証している。表1に溶接の品質に影響を及ぼす変動因子を示す。

既報では、最終層溶接前の開先形状（以下、「最終層用供試材」と称する）を模擬し、半自動溶接の溶接品質に影響があると一般的に言われているワイヤ突出し長さ（H、ここでは、コンタクトチップ先端から被溶接部までの距離をいう）、トーチ傾斜角度（ θ ）、トーチ位置（x）の影響について検証実験を行い確認した。本報では、中間層溶接前の開先形状（以下、「中間層用供試材」と称する）を模擬し、ワイヤ突出し長さ（H）、トーチ傾斜角度（ θ ）、トーチ位

置（x）の影響を確認した。併せて、ウィービングによる運棒（進行方向に対してトーチを左右にスイングする）を行い、スイング周期（C）、両端の止め位置（P、開先隅角とワイヤ中心との距離）、両端での止め時間（T）の影響についても確認した。これらの変動因子の模式図を図1に示す。

表1 溶接の品質に影響を及ぼす変動因子

変動因子		決定方法
溶接電流(A)		当社のデータベース
アーク電圧(V)		
溶接速度(cm/min)		
ワイヤ突出し長さH(mm)		検証実験
溶接トーチの傾斜角度 $\theta(^{\circ})$		
溶接トーチの位置x(mm)		
動作 (ウィービング)	スイング周期C (cycle/min)	
	両端の止め位置P (mm)	
	両端での止め時間T (sec)	

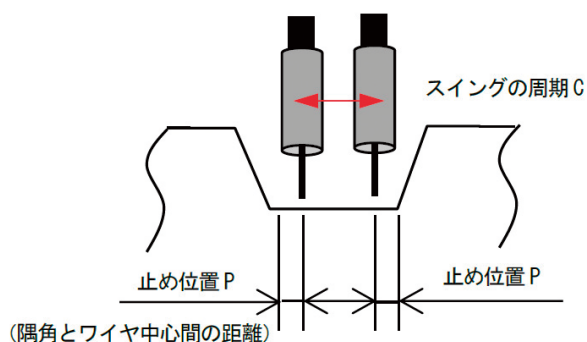
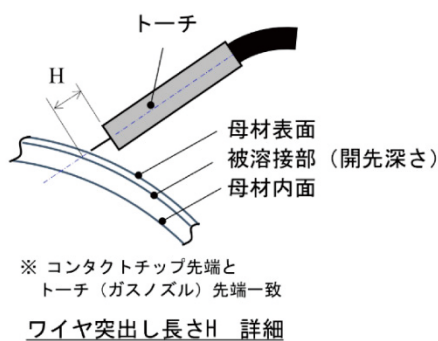
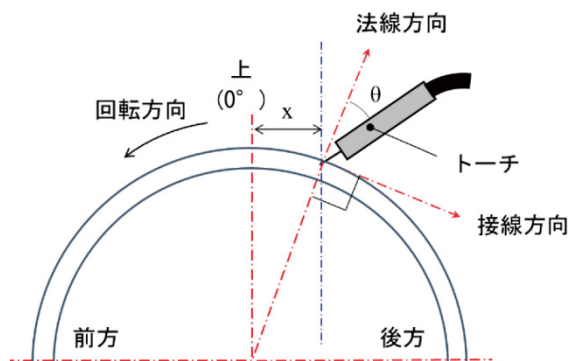


図1 変動因子の模式図

2. 実験方法

2.1 供試材

供試材はSTPG370 14B Sch20 (t7.9mm) および、ティグ溶接での裏波ビードの高さを想定したSTPG370 14B Sch30 (t9.5mm) を用いた。溶接材料は日鉄溶接工業株式会社製のフラックスコアードワイヤSF-1のφ1.2mmを用いた。供試材および溶接材料の化学成分を表2に示す。

2.2 開先形状

開先形状を図2に示す。(a) はルートギャップ (R.G.) を5mmとした最終層溶接前の開先形状を模擬した中間層用供試材であり、ティグ溶接での裏波ビードの高さを想定した肉厚9.5mmのものを用いた。(b) はルートギャップ

(R.G.) を5mmとした最終層溶接前の開先形状を模擬した最終層用供試材であり、肉厚7.9mmのものを用いた。開先深さは、中間層用供試材が4.5mm、最終層用供試材が1.0mmとした。

2.3 溶接電源と装置概要

溶接電源は、ダイヘン株式会社製のWelbee Inverter P350を用いた。溶接電流・アーク電圧は、Welbeeウェルディングモニタのシステムを用いて、0.1sec周期でサンプリングした。その他の主要装置として、トーチをスイングさせるために株式会社神戸製鋼所製の多目的ガスシールド自動溶接装置 (PICOMAX-2Z) と試験材を回転させるためにマツモト機械株式会社製のポジショナー (PS-3A) を用いた。図3にこれらの装置概要を示す。

2.4 溶接条件

本検証実験における溶接の固定条件および変動因子の条件をそれぞれ表3、表4に示す。なお、溶接電流・アーク電圧・溶接速度は、放射線透過試験 (以下、「RT」と称する) の判定結果が1種2類以上²⁾を満足した当社の溶接データベースより参照した。

2.5 溶接品質の評価

溶接電流およびアーク電圧のサンプリング結果、ならびにRT結果、断面マクロ (溶込み深さ、のど厚) を確認して溶接品質を評価した。

表2 供試材および溶接材料の化学成分 [mass%]

材料	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
供試材 (STPG370)	0.20	0.23	0.52	0.016	0.009	0.01	0.01	0.01	<0.01
溶接材料 (SF-1)	0.06	0.45	1.31	0.016	0.011	0.34	—	—	—

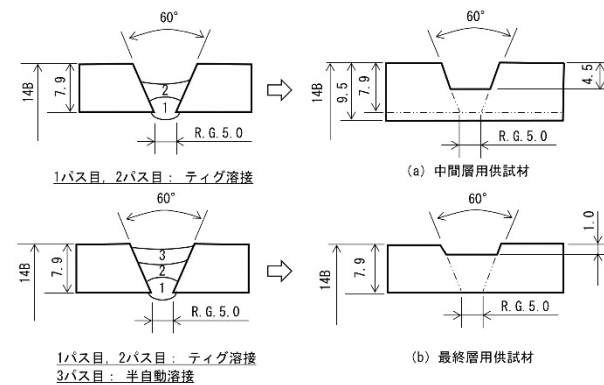


図2 供試材の開先形状

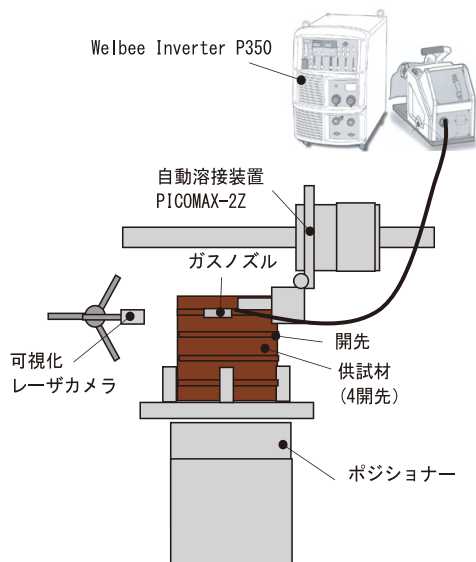


図3 装置概要（上から見た状態）³⁾

表3 溶接の固定条件

	中間層溶接	最終層溶接
溶接電流	215 A	225 A
アーク電圧	33.0 V	34.0 V
溶接速度	32.8 cm/min	25.2 cm/min
ウィーピング	あり	なし
予熱*	なし	100~150°C
溶接法	炭酸ガスアーク溶接	
溶接姿勢	水平回転 (PA)	
開先形状	V形 (60°)	
トーチシールドガス	CO ₂	
トーチシールドガス流量	25 L/min	
動作角 (ワーク角)	0°	

※前層の溶接によって母材温度が上昇することを模擬して予熱を行った

表4 変動因子の条件

変動因子	条件							
	15	20	25	20	25	-	-	
ワイヤ突出し長さH[mm]	15	20	25	20	25	-	-	
トーチ傾斜角度θ[°]	15	30	35	40	45	-	-	
トーチ位置x[mm]	0	10	20	30	50	60	70	
スイング周期C[cycle/min]	30	45	60	-	-	-	-	
両端の止め位置P[mm]	2	3	-	-	-	-	-	
両端での止め時間T[sec]	0	0.2	0.4	-	-	-	-	

3. 実験結果および考察

3.1 溶接電流およびアーク電圧

ワイヤ突出し長さ (H) を変化させたときの溶接電流およびアーク電圧の関係 (一例) を図4に示す。既報の最終層用供試材の結果と同様に中間層用供試材の溶接においても、ワイヤ突出し長さ (H) が長くなると、アーク電圧は

変わらないが、溶接電流は下がることを確認した。これは、溶接電源のアーク長の自己制御 (復元) 作用によるものである。

トーチ傾斜角度 (θ) を、トーチ位置 (x) を変化させたときの溶接電流およびアーク電圧の関係 (一例) をそれぞれ図5、図6に示す。既報の最終層用供試材の結果と同様に中間層用供試材についても、トーチ傾斜角度 (θ) の変動、トーチ位置 (x) の変動は、溶接電流およびアーク電圧の値に大きく影響しないことを確認した。これは、ワイヤ突き出し長さが一定すなわちアーク長が一定のためである。

スイング周期 (C)、両端の止め位置 (P)、両端での止め時間 (T) を変化させたときの溶接電流およびアーク電圧の関係 (一例) をそれぞれ図7、図8、図9に示す。スイング周期 (C) が30~60cycle/minの範囲、両端の止め位置 (P) が隅角から3mm以内、両端での止め時間 (T) が0~0.4secの範囲では、溶接電流およびアーク電圧は大きく変動しないことを確認した。これについても、ワイヤ突出し長さ (H) が一定、すなわちアーク長が一定のためである。

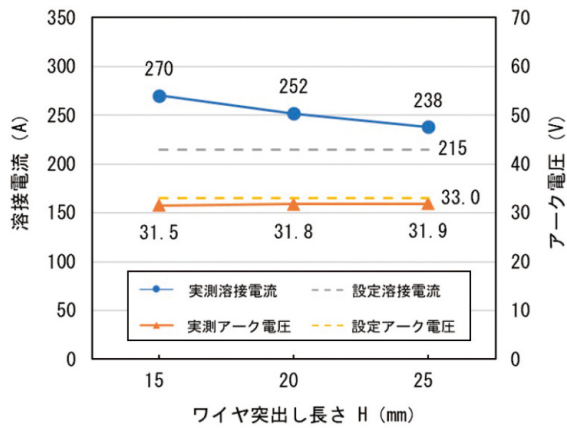
3.2 溶接部のRT結果

トーチ位置 (x) およびトーチ傾斜角度 (θ) を変化させたときのRT結果の一例を表5に示す。トーチ位置 (x) が60mmおよび70mmではRT結果において2種の融合不良が確認された。これは、トーチを後方に配置したことにより、溶接金属の垂れが生じ、溶け込みが浅くなったため、融合不良が発生したと考えられる。

スイング周期 (C) および両端の止め時間 (T) を変化させたときのRT結果の一例を表6に示す。既報の最終層用供試材のRT結果で1種2類以上であった溶接条件に加え、スイング周期 (C) が30~60cycle/min、両端の止め位置 (P) が隅角から2mm、両端での止め時間 (T) が0~0.4secである場合、中間層用供試材のRT結果が1種2類以上を満足することを確認した。これは、RT結果が1種2類以上であった条件範囲では、溶融池の形状が安定していたためといえる。

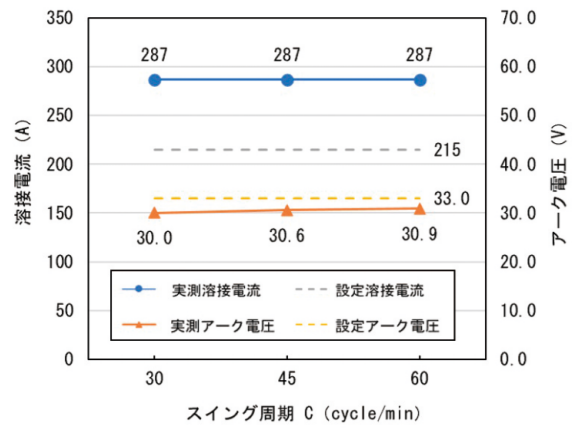
3.3 断面マクロ

断面マクロ (一例) を図10に示す。(a) は2種4類で融合不良が確認されたサンプルである。(b)、(c) はトーチ位置の比較サンプルである。(c)、(d) はスイング周期の比較サンプルである。中間層用供試材の開先深さは4.5mmであることから、断面マクロよりのど厚および溶込み深さを算出した結果を表7に示す。RT1種2類を満足しなかったものは、溶込み形状が開先形状と似た平型の場合が多く、溶込み深さが0.5mm以下の場合が多く確認された。これは、溶接アークの熱が母材に十分に供給されていないことが原因と考える。



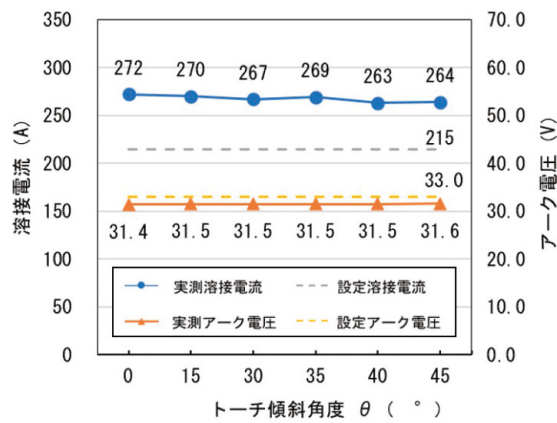
トーチ位置 50mm, トーチ傾斜角度 15°,
スイング周期 60cycle/min, 止め位置 2mm, 止め時間 0sec

図4 ワイヤ突出し長さ (H) を変化させたときの溶接電流およびアーク電圧の関係



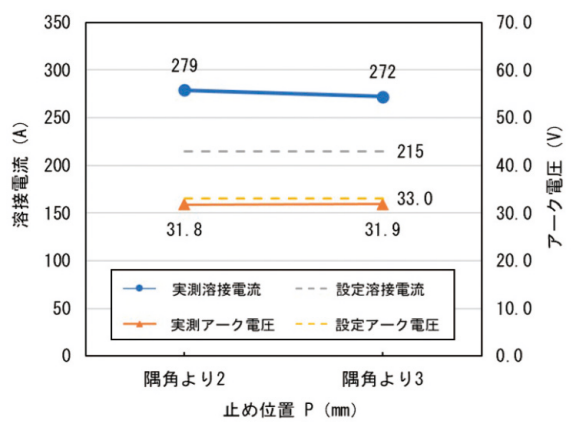
ワイヤ突出し長さ 15mm, トーチ位置 50mm, トーチ傾斜角度 15°,
止め位置 2mm, 止め時間 0sec

図7 スイング周期 (C) を変化させたときの溶接電流およびアーク電圧の関係



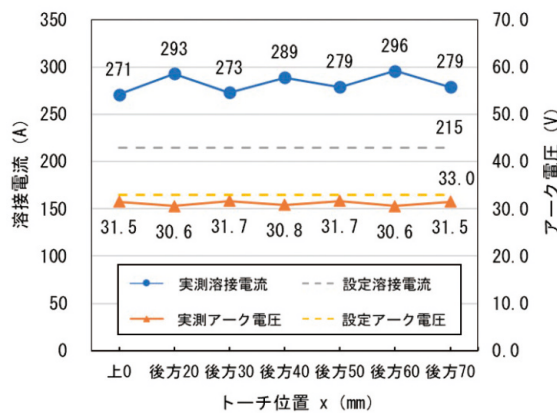
ワイヤ突出し長さ 15mm トーチ位置 50mm,
スイング周期 60cycle/min, 止め位置 2mm, 止め時間 0sec

図5 トーチ傾斜角度 (θ) を変化させたときの溶接電流およびアーク電圧の関係



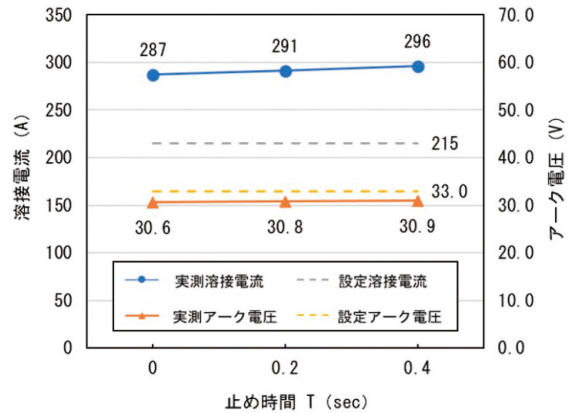
ワイヤ突出し長さ 15mm, トーチ位置 50mm, トーチ傾斜角度 15°,
スイング周期 60cycle/min, 止め位置 0sec

図8 両端の止め位置 (P) を変化させたときの溶接電流およびアーク電圧の関係



ワイヤ突出し長さ 15mm トーチ傾斜角度 15°,
スイング周期 60cycle/min, 止め位置 2mm, 止め時間 0sec

図6 トーチ位置 (x) を変化させたときの溶接電流およびアーク電圧の関係



ワイヤ突出し長さ 15mm, トーチ位置 50mm, トーチ傾斜角度 15°,
スイング周期 45cycle/min, 止め位置 2mm

図9 両端での止め時間 (T) を変化させたときの溶接電流およびアーク電圧の関係図

表5 トーチ位置(x)とトーチ傾斜角度(θ)の組合せによるRTの結果

		トーチの傾斜角度 (θ)		
		0°	15°	30°
トーチの位置 (x)	20 mm	1種2類以上	無欠陥	1種2類以上
	30 mm	1種1類以上	—	1種1類以上
	50 mm	無欠陥	1種1類以上	1種1類以上
	60 mm	2種4類以上	1種1類以上	無欠陥
	70 mm	2種4類以上	2種4類以上	2種2類以上

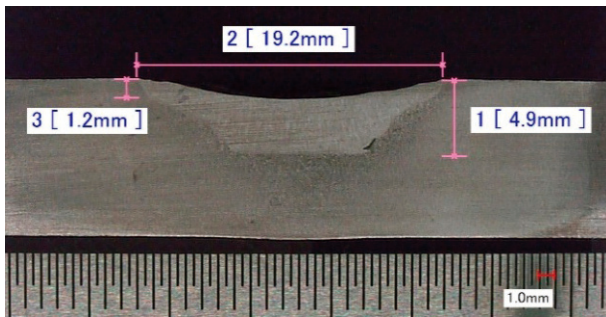
※ワイヤ突き出し長さは15mmと20mm, スイング周期(C)は30cycle/minと60cycle/min, 止め位置(P)は2mmと3mm, 止め時間(T)は0secと0.2secの組合せ

表6 スイング周期(C)と両端での止め時間(T)の組合せによるRTの結果

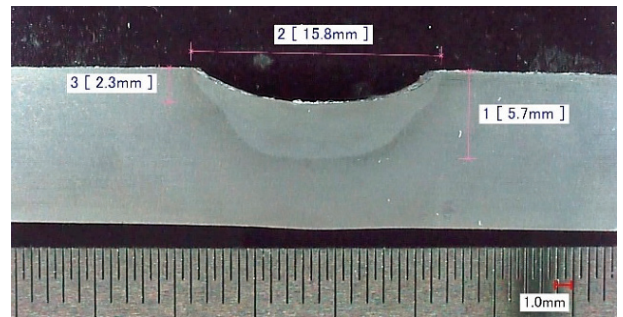
		止め時間 (T)		
		0 sec	0.2 sec	0.4 sec
スイング周期 (C)	30 cycle/min	無欠陥	無欠陥	無欠陥
	45 cycle/min	1種1類以上	無欠陥	1種2類以上
	60 cycle/min	無欠陥	無欠陥	1種2類以上

※表6は他の変動因子を以下の4パターンとし, スイング周期, 両端の止め時間を変動させた場合のRT結果となる。

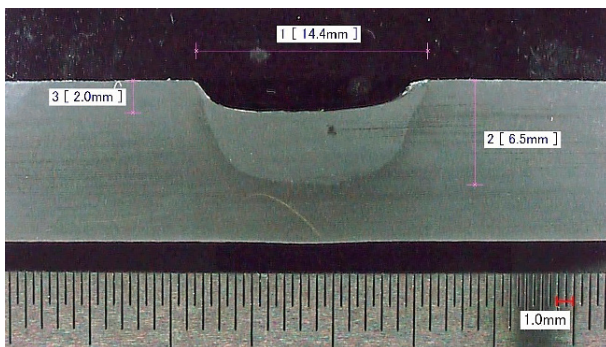
- パターン1: トーチ位置20mm, ワイヤ突き出し長さ15mm, トーチ角度0°, 止め位置2mm
- パターン2: トーチ位置20mm, ワイヤ突き出し長さ15mm, トーチ角度30°, 止め位置2mm
- パターン3: トーチ位置50mm, ワイヤ突き出し長さ15mm, トーチ角度15°, 止め位置2mm
- パターン4: トーチ位置60mm, ワイヤ突き出し長さ15mm, トーチ角度30°, 止め位置2mm



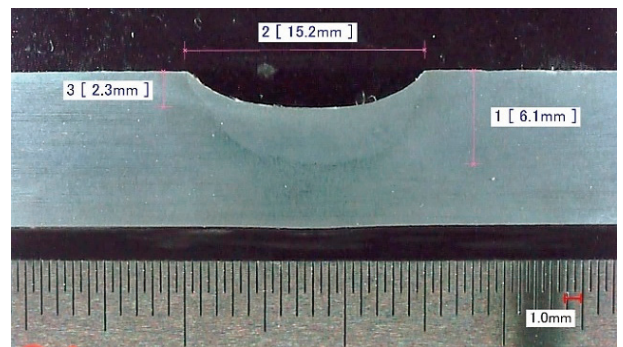
(a) 融合不良が確認されたサンプル



(c) トーチ位置の比較サンプル (後方60mm) およびスイング周期比較サンプル (60cycle/min)



(b) トーチ位置の比較サンプル (後方20mm)



(d) スイング周期比較サンプル (30cycle/min)

図10 断面マクロ (一例)

表7 断面サンプルののど厚および溶込み深さ

No.	変動因子						結果		
	トーチ位置 x	ワイヤ突き出し長さ H	トーチ角度 θ	スイング周期 C	止め位置 P	止め時間 T	のど厚	溶込み深さ	RT品質
(a)	後方 70 mm	20 mm	15°	60 cycle/min	隅 2 mm	0 sec	3.3 mm	0.4 mm	2種4類
(b)	後方 20 mm	20 mm	30°	60 cycle/min	隅 2 mm	0 sec	2.5 mm	2.0 mm	無欠陥
(c)	後方 60 mm	20 mm	30°	60 cycle/min	隅 2 mm	0 sec	2.2 mm	1.6 mm	無欠陥
(d)	後方 60 mm	20 mm	30°	30 cycle/min	隅 2 mm	0 sec	2.2 mm	1.2 mm	無欠陥

4. おわりに

今回の実験では、溶接品質に影響を及ぼす因子として、ウィービング条件（スイング周期、止め位置、止め時間）の許容範囲も確認した。日本の人口は1990年代をピークに減少の一途を辿っており、当社が創立100周年を迎える2040年には全人口の約35%を65歳以上が占めることが予測されている⁴⁾。さらに少子高齢化が進み、労働力人口の減少による生産性の低下が予想される中、本件のような基礎実験による蓄積されたデータが将来的に当社のプレファブ溶接の省人化、自動化に繋がることを期待している。

参考文献

- 1) 浜水聖：半自動溶接の品質に影響を及ぼす因子について、高田技報, 35, pp.4-8 (2025)
- 2) JIS Z 3104:1995 鋼溶接継手の放射線透過試験方法
- 3) ダイヘン株式会社の取扱説明書(形式：WB-P350, CM-7403)より引用
- 4) 厚生労働省「我が国の人口について」,
https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_21481.html
(閲覧日：2026年1月5日)



浜水 聖 Akira HAMAMIZU
技術統括部



桑木 康仁 Yasuhito KUWAKI
技術統括部



稲富 勇太 Ryuta INADOMI
技術統括部



竹内 聖貴 Masaki TAKEUCHI
技術統括部