

鉄骨用横向多層溶接ロボットを用いた柱柱溶接接合部の力学的性能の検討

正会員○丹羽 稔*¹ 同 中込忠男*²

同 軽部正彦*³ 同 日吉 寛*⁴

同 山本 聖*⁵

1. 序

慢性的な人手不足が鉄骨業界に加工プロセスの見直し・合理化を迫る状況の中、溶接作業のロボット化が注目されている。しかし鉄骨建築の施工現場における溶接作業のロボット化は遅々として進んでいない。その原因としては自動車産業・住宅産業等の他業種と比べ多品種・少量生産である、部品精度が比較的悪い、動作環境がとても悪い、比較的自動化しにくい溶接法を用いている等が挙げられる。現在のところ、下向姿勢の溶接ロボットは実用化され鉄骨建築の工場溶接において柱-梁接合部に導入されているが、現場溶接の柱-柱接合部は難易度が高い横向姿勢によって施工されるため溶接工による半自動溶接が行われているのが一般的である。しかし溶接工不足に悩まされている現状ではこの部分の溶接ロボットの開発に大きな期待が寄せられているものの、被溶接体の板厚が厚い、溶接線が短い、要求性能が高い、溶接姿勢が横向きであるという点で、未だ実用的な物は現れていない。

本実験は横向溶接ロボットを用いた現場溶接の実現に向けての基礎資料を提示する事を目的とし、ロボット溶接部の力学的性能試験を行った。

2. システムの概要

本実験では鉄骨建築に最も多く使用されている CO₂ アーク溶接を対象とした図1の様な横向溶接ロボットを使用した。ロボットの動作範囲は溶接線方向 500mm、前後 110mm、上下 130mmである。このロボットはタッチセンサを用いたセンシングシステムによって1パス毎に溶接トーチの制御を行いながら最終層まで自動的に溶接を完了する。

3. 供試鋼材と溶接

供試鋼材の機械的性質を表1に、化学成分を表2に、溶接ワイヤーの化学成分を表3に示す。素材試験には E-25 を、接合部モデル試験には E-25 と E-12をH型に組み立てたものを用いた。溶接は一方を溶接ロボットが横向溶接、自然冷却の後他方を溶接工が横向姿勢で半自動溶接した。表4に溶接条件を示す。半自動溶接は通常の施工に準じた最良の条件を溶接工が設定

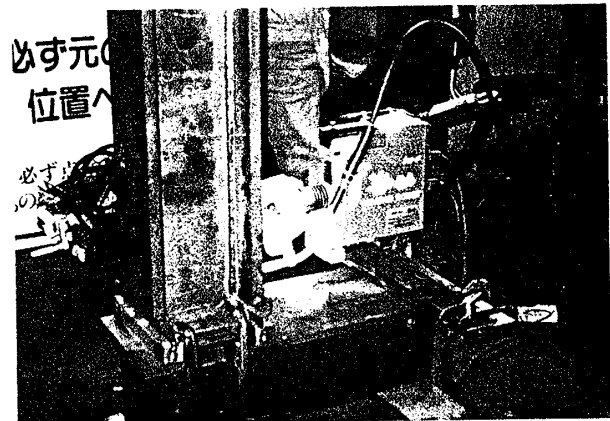


図1 横向溶接ロボット

表1 供試鋼材の機械的性質

SM-490A	降伏応力 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	破断伸び (%)
E-25	36	55	36
E-12	34	56	25

表2 供試鋼材の化学成分

SM-490A	化学成分 (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Sn	Cr
E-25	0.160	0.340	1.340	0.024	0.006	0.060	0.007	0.080
E-12	0.160	0.310	1.580	0.024	0.013	0.070	0.008	0.080

表3 溶接ワイヤーの化学成分

YGW-11	化学成分 (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ti+Zr	Al
YN-26 1.2φ	0.080	0.740	1.590	0.012	0.019	0.190	0.200	0.004
YN-26 1.2φ	0.050	0.710	1.650	0.012	0.016	-	0.200	0.007

表4 溶接条件

	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	時間 (min)
半自動	240~280	35~40	30~40	23.3
Robot	200~250	30~34	40~55	51.8

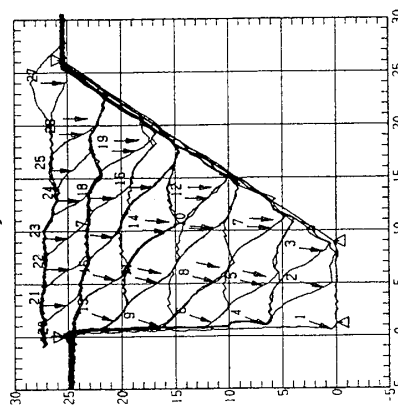


図2 溶接ロボットの積層状態

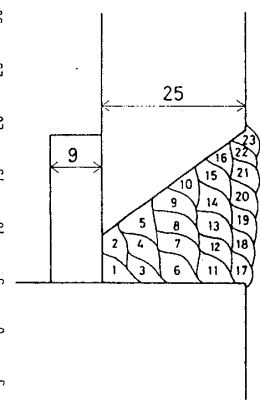


図3 半自動溶接の積層状態

して行った。図2に溶接ロボットによるトーチの狙い位置及びセンシングデータによる積層状態を示す。また図3に半自動溶接の積層状態を示す。溶接ロボットによる溶接は健全な溶接を実現するため通常溶接工が行う横向溶接の平均的な溶接パス数より多くなっている。

4. 溶着金属素材試験

溶接ロボットによって溶接された溶着金属が十分な力学的性能を有していることを確認するため図4に示す試験材に溶接ロボットを用いてレ型突き合わせ溶接を行い、その溶接部から引張試験片・硬度試験片・衝撃試験片を採取した。溶接部開先形状の詳細は図5に示す様にルートギャップ 8mm、開先角度35°で裏当て金を用いている。

4.1. 引張試験

試験片は溶接線方向から図6に示すJIS Z3111 A1号試験片と図7に示す試験片を実際の力が働く溶接線直交方向から採取し引張試験を行った。図8に試験片採取位置を示す。試験結果を表5に示す。溶接線方向試験片については降伏応力が比較的高めだが引張強さも高く強度としては十分で JIS規格を満足する値となっている。強度は全体として母材強度を上回っており、また JIS規格の機械的性質の規準値より高い。溶接線直交方向試験片については規格がないので単純に比較できないが溶接線方向と同様の傾向が見られる。

4.2. 硬度試験

硬度試験は図9に示す溶接部の2箇所について行った。試験結果を図10と図11に示す。溶接熱影響部で最高硬さ 285Hvを示した。溶着金属部は 230Hv程度で良好な溶接が行われている。

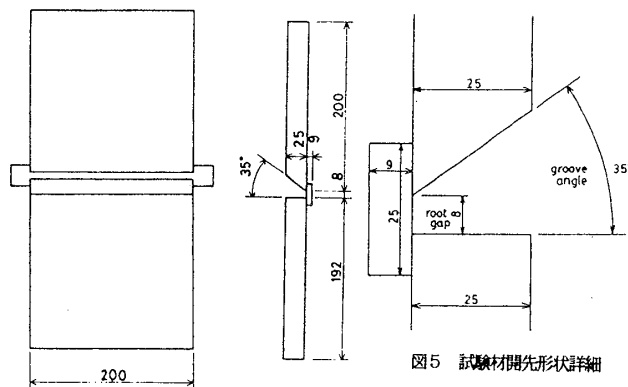


図4 試験材詳細

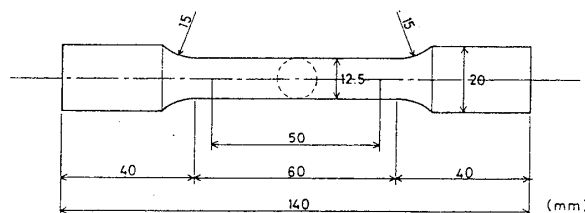


図6 溶接線方向引張試験片

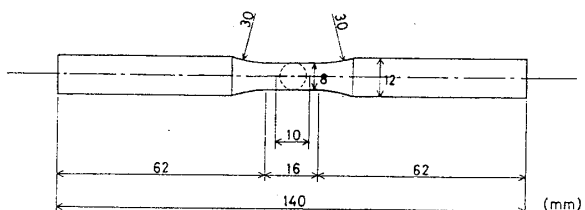


図7 溶接線直交方向引張試験片

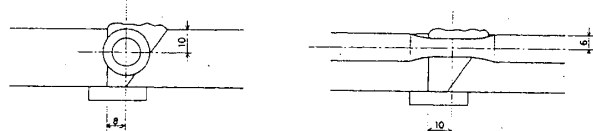


図8 引張試験片採取位置

表5 引張試験結果

試験体採取方向	降伏応力 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	一様伸び (%)	破断伸び (%)	絞り (%)
溶接線方向	60.4	64.9	14.5	26.2	51.1
溶接線直交方向	53.4	62.9	14.1	37.9	45.0

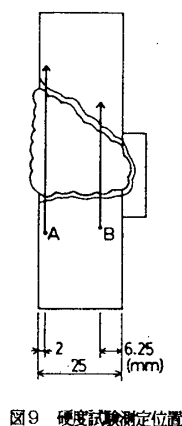


図9 硬度試験測定位置

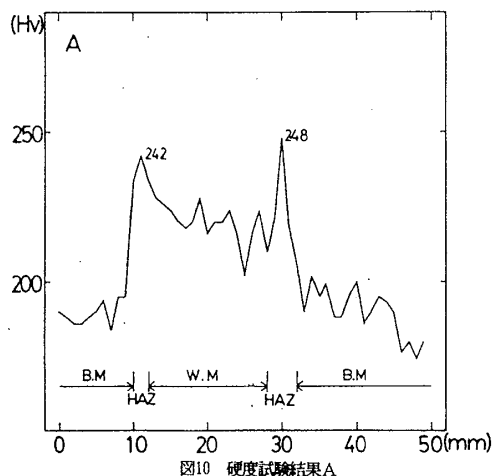


図10 硬度試験結果A

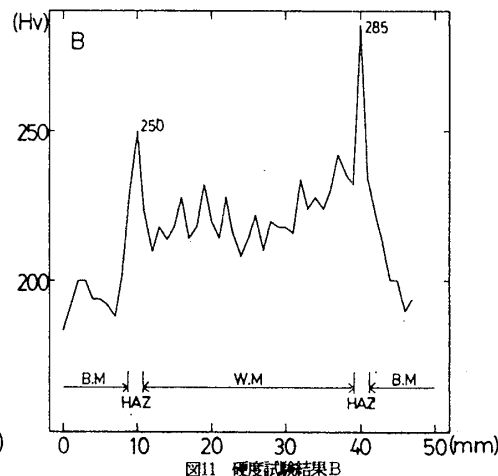


図11 硬度試験結果B

4.3. 衝撃試験

衝撃試験はノッチ部分が溶着金属及び溶接熱影響部内に位置する様にJIS Z3111 4号試験片を採取して、シャルピー衝撃試験を行った。試験結果は以下に示す遷移曲線式に最小自乗近似した。

$$vE = \frac{vE_{shelf}}{2} (1 + \tanh \alpha (T - vT_{re}))$$

$$B = 50 (1 - \tanh \beta (T - vT_{rs}))$$

vE : absorbed energy (kgf·m)
 vE_{shelf} : shelf energy (kgf·m)
 α : energy coefficient
 vT_{re} : energy transition temperature
 B : percent brittle fracture (%)
 β : brittle fracture coefficient
 vT_{rs} : fracture transition temperature

図12と図13に試験結果と近似遷移曲線を、表6にその曲線の係数を示す。近似式から求めた0℃の溶着金属の吸収エネルギーは 11.5kgf·mの十分な値を示し破面遷移温度も -42.6℃と低い。溶接熱影響部では吸収エネルギーは3.7kgf·mと低い。これは多層溶接時の入熱によって靱性が悪くなったためだと考えられる。

5. 柱-柱接合部モデル3点曲げ試験

実際の構造物中での接合部を評価するため柱-柱接合部をモデル化し3点曲げ正負交番繰り返し载荷試験を行った。接合部モデル試験体は図14の様なボックスコラムとH型鋼の接合部をモデル化した角継手を有する試験体Aと図15の様なH型鋼同士の接合部をモデル化した平継手を有する試験体Bの2種類を用意した。試験体A、試験体Bの溶接部開先形状の詳細は図16に示す。ルートギャップ 8mm、開先角度35°でr=20mmの

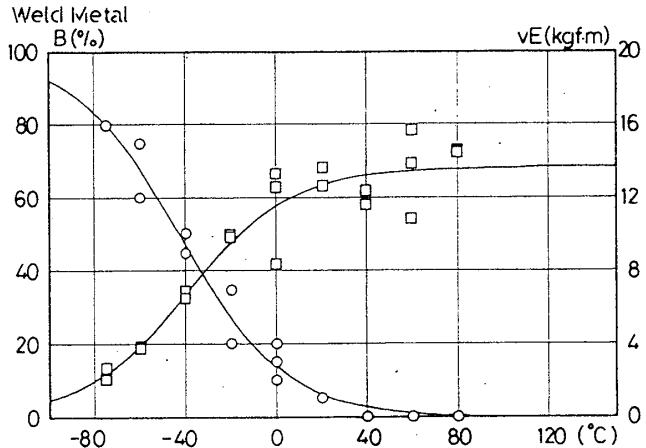


図12 衝撃試験結果と近似曲線 溶着金属

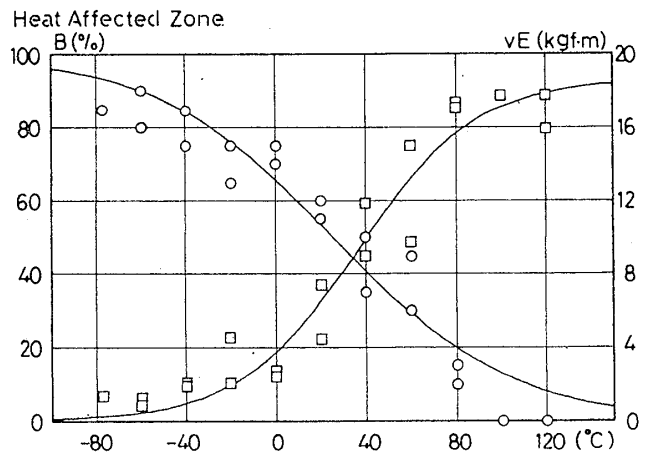


図13 衝撃試験結果と近似曲線 熱影響部

表6 衝撃試験結果近似式の各値と0℃換算値

	I444-			破面			0℃換算値	
	遷移温度 vT_{re} (℃)	係数 α	vE_{shelf} (kgf·m)	遷移温度 vT_{rs} (℃)	係数 β	吸収エネルギー vE (kgf·m)	脆性破面率 B (%)	
溶着金属	-39.1	0.218	13.6	-42.6	0.216	11.5	13.7	
熱影響部	36.5	0.019	18.6	25.2	0.128	3.7	65.6	

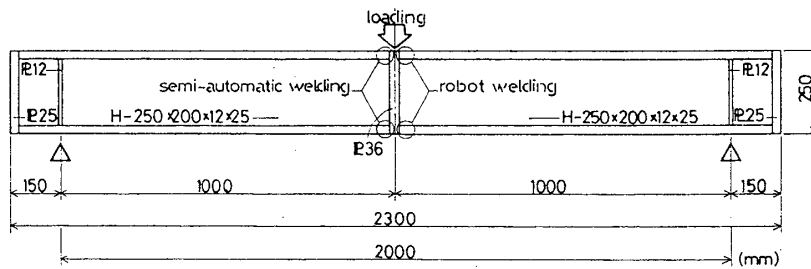


図14 接合部モデル試験体 Type A

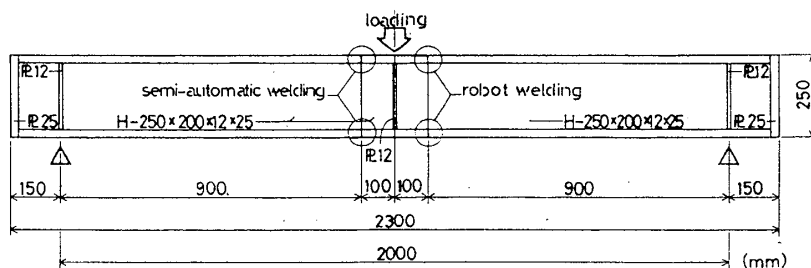


図15 接合部モデル試験体 Type B

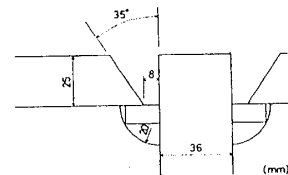
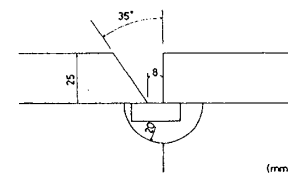


図16 接合部モデル試験体開先形状詳細



スカラップをもうけ裏当て金を用いた。試験体への载荷は、梁全断面が塑性化する荷重時の曲げ変形量 $c\delta_{pm}$ を基準として $2/3c\delta_{pm}$ で1回、 $2c\delta_{pm}$ 、 $3c\delta_{pm}$ 、 $4c\delta_{pm}$ 、 $5c\delta_{pm}$ 、 $6c\delta_{pm}$ でそれぞれ2回行った。载荷計画を図17に示す。図18、図19に荷重-载荷点変位関係を示す。また表7に耐力と変形能力の一覧を示す。試験体Aは11ループ($6c\delta_{pm}$)・-142.2tfで、ロボット溶接側の裏当て金隅肉部分から加力プレートが熱影響部に沿って脆性破壊した。試験体Bは7ループ($4c\delta_{pm}$)・+125.9tfで、ロボット溶接側のスカラップ廻し溶接止端部より梁フランジ母材が脆性破壊した。両試験体とも十分な塑性変形の後、全塑性耐力をこえた高応力状態で破壊しており接合部としての性能は十分であると考えられる。また両試験体とも破壊前後で溶接部・溶着金属自体に亀裂や異常は見られなかった。

6. 結

センシングシステムを備えた横向溶接ロボットの施工した溶接部について力学的性能試験を行った結果、次のことがまとめられる。

1. 素材試験の結果より溶接接合部は十分な強度・変形能力・靱性を有していることが明らかになった。
2. 接合部モデル試験によりロボット溶接接合部は半自動溶接接合部に劣らない十分な強度・変形能力を有していることが明らかになった。また、裏当て金隅肉部分・スカラップ廻し溶接止端部より破断しており溶着金属の性能は十分である。

今回実験に使用した溶接ロボットは溶接工が対応している状況に応じた判断をロボットに取り入れるという考え方を具体化している。これは溶融ビード形状コントロールロボットの開発に向けての糸口として有効であると考えられる。今後、現場溶接の実現に向けよりいっそう研究・開発の努力をしていきたい。

参考文献

- 1) Tadao NAKAGOME et al: Automatic Welding and Their Ability
Document for IIW Annual Assembly 1988 in Vienna. Doc. XV-680-88
- 2) ロボット技術編集委員会：建築鉄骨用アーク溶接ロボット
第1章産業用ロボットの歴史と推移
鉄鋼技術(STRUTEC) 鋼構造出版 1988.11 Vol.2, No.17, p.55-59
- 3) 軽部正彦他：CO₂ アーク溶接ロボットによる横向突合せ溶接部の力学的性能の検討
日本建築学会大会学術講演梗概集 1990.10, p.1571-1572

- *1 矢作建設(株) *2 信州大学教授
*3 信州大学大学院 *4 信州大学大学院
*5 ねじ武精工(株)

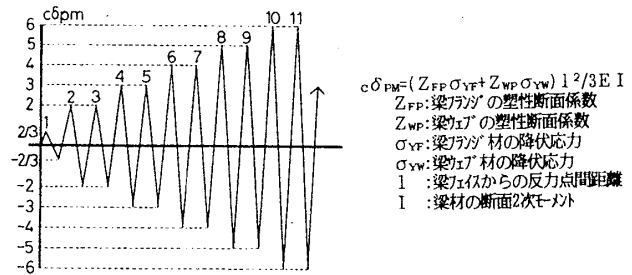


図17 载荷計画

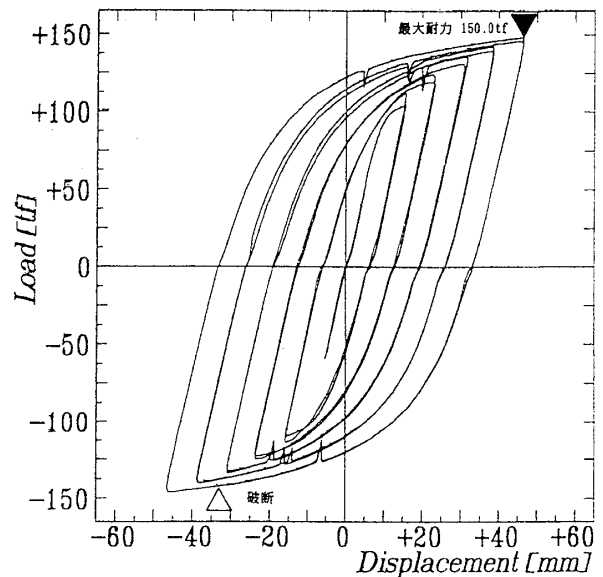


図18 Type A 荷重-载荷点変位関係

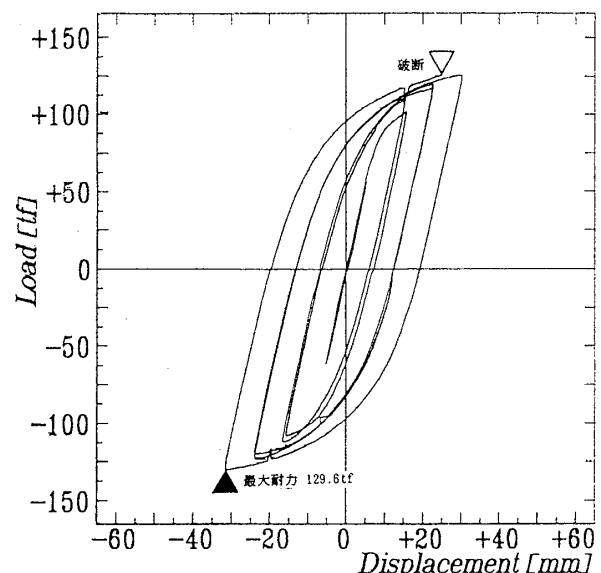


図19 Type B 荷重-载荷点変位関係

表7 耐力と変形

Specimen	W (tf/mm)	cPp (tf)	ePu (tf)	eδu (mm)	α	μ	η
A	81813	90.1	150.0	45.1	1.66	5.01	60.5
B	24845		129.6	30.0	1.44	3.00	18.4

W: 総重量, cPp: 全塑性耐力計算値, ePu: 最大耐力実験値, eδu: 最大変形量
α: 耐力上昇率 = ePu/cPp, μ: 塑性変形率 = eδu/cδpm-1
η: 平均累積塑性変形倍率 = W/(cPp × cδpm)/2