

信州大学審査学位論文

溶接ロボットによる建築鉄骨溶接の  
狭開先化に関する実験的研究

2011年9月

松村 浩史

# 目次

論文要旨	1
第1章 序論	3
1. 1 はじめに	3
1. 2 現在のロボット溶接とその機能	4
1. 3 本研究の目的	5
1. 4 既往の研究とこの継手の開先化における課題	7
1. 5 本論文の構成	8
第2章 開先の組立精度の実態調査	11
2. 1 はじめに	11
2. 2 調査方法	11
2. 3 調査結果	12
2. 4 調査結果の考察	17
2. 5 本章のまとめ	17
第3章 直線継手における開先角度と初層溶接条件に関する検討	19
3. 1 はじめに	19
3. 2 開先角度 35 度での溶接手法を ベースとした初層溶接条件の検討	20
3. 2. 1 実験方法	20
3. 2. 2 実験装置	25
3. 2. 3 実験結果と考察	26
3. 2. 4 開先角度 35 度での溶接手法を ベースとした実験結果のまとめ	39
3. 3 振り子ウィーピングと拘束度を変えた試験体での 初層溶接条件の検討	40
3. 3. 1 本実験の概要と実験方法	40
3. 3. 2 振り子ウィーピングについて	43
3. 3. 3 実験結果および考察	47
3. 3. 4 振り子ウィーピングと拘束度の 異なる試験体を用いた実験結果のまとめ	65
3. 4 ルートギャップが広い場合の初層溶接条件	66
3. 4. 1 本実験の概要と実験方法	66

3. 4. 2	実験結果と考察	67
3. 4. 3	ルートギャップが広い試験体を用いた 実験結果のまとめ	77
3. 5	本章のまとめ	78
<b>第4章 角形鋼管と通しダイアフラム接合部における</b>		
	<b>開先角度と初層溶接条件に関する検討</b>	<b>81</b>
4. 1	はじめに	81
4. 2	本実験の概要	81
4. 3	実験結果	83
4. 4	考察	92
4. 4. 1	のど厚と溶接電流に対する高温割れ発生状況	92
4. 4. 2	角形鋼管と通しダイアフラム接合部の 溶接における溶接条件	94
4. 4. 3	溶込み形状係数と高温割れ発生の関係	100
4. 4. 4	開先の収縮とダイアフラムのかさ折れ変形	102
4. 5	本章のまとめ	108
<b>第5章 角形鋼管と通しダイアフラム接合部の</b>		
	<b>開先角度 30 度および 25 度での全層溶接</b>	<b>109</b>
5. 1	はじめに	109
5. 2	本実験の概要と実験方法	109
5. 3	実験結果	115
5. 3. 1	溶込み深さについて	118
5. 3. 2	軸方向の収縮について	119
5. 3. 3	各試験体の機械的性能と化学成分	120
5. 4	最大ルートギャップにおける全層溶接	123
5. 4. 1	本実験の目的	123
5. 4. 2	実験方法	123
5. 4. 3	実験結果	126
5. 5	本章のまとめ	128
<b>第6章 結論</b>		
6. 1	本論文の総括	129
6. 2	今後の課題	131

参考文献	133
------	-----

<b>&lt;付録&gt; 炭酸ガスを用いたパルス溶接の適用による ガスシールド性および連続運転性向上に向けた検討</b>	137
1. はじめに	137
2. 炭酸ガスを用いたパルス溶接について	137
3. 実験方法	138
4. 実験結果	140
5. まとめ	147
参考文献	147

謝 辞

## 論文要旨

我が国の建築鉄骨構造には角形鋼管と通しダイアフラムを接合する構造を用いたものが非常に多く、この部材接合にはアーク溶接が広く用いられている。しかし、その作業は多くの時間とコストを要する。このため、この溶接の能率と溶接品質の向上を主な目的として、現在、工場内溶接の主に完全溶込み継手を対象とした溶接ロボットが、大手から中小までの数多くの鉄骨ファブリーケータに導入されている。中でも半自動溶接では対応しづらい角形鋼管や円形鋼管と通しダイアフラムの周溶接は、ロボット溶接が主流と言っても過言ではない。

ロボット溶接の特長は、アーク発生率が高く溶接作業時間を短くできることと、溶接条件のばらつきが少ないことによる品質の安定が挙げられる。特に半自動溶接では対応し辛い周溶接においては、円形鋼管だけでなく直線部とコーナ部が混在する角形鋼管においても、常に下向姿勢での連続溶接が行え、高能率で高品質な溶接を実現しやすく、溶接ロボットの導入が進んだ大きな要因となっている。

溶接作業は実際にアークを出している時間と段取りや後処理などアークを出していない時間の合算となるが、前述の高能率化の内容の多くはいずれも後者への対応であり、溶接継手の仕様は長らく裏当金方式の35度レ形開先のままで、前者への対応としてはロボット台数やトーチの本数を増やすなど、いずれも設備面での対応に留まっている。

一般的に施工面における生産性向上のアイテムの一つとして、ルートギャップや開先角度を狭くし開先断面積を小さくすることが挙げられ、溶接ロボットが普及するよりも古い1970年頃から建築鉄骨を含む各業界で狭開先溶接の検討が行われきたが、建築鉄骨の溶接ロボットが対象としている完全溶込み継手に関して言えば、狭開先化の状況は乏しく、SRC構造や仕口溶接のような直線継手の半自動溶接において、25度開先での検討結果がいくつかが報告されているものの実施工での普及には至っていない。これは、「初層の高温割れ」、「シールドノズルと母材の干渉」、「シールド性能の確保」、「組立溶接の難しさ」といった課題がある狭開先施工においては、シビアな組立精度と狙い位置精度が要求されるが、半自動溶接ではトーチの保持や狙い位置、突き出し長さ、溶接速度など、様々な溶接を行う上でのパラメータが作業者の技量に依存するため、繰り返しかつ継続して同じ溶接を実現することが難しく、歩留まりがよくないということが考えられる。また、この溶接継手は柱全体の寸法調整を行う継手であり、ルートギャップの変動が大きいことも施工を困難なものにしている。一方、ロボット溶接の狭開先化については、ロボット溶接が半自動溶接の置換えという形で発展してきた経緯と、ベースとなる半自動溶接での狭開先化が普及しないことからその研究報告はほとんどされていない。しかし、作業員依存の半自動溶接に対し、ワイヤ突き出し長さや狙い位置精度が保ちやすいロボット溶接では、施工条件を安定させることができ、かつ、限定した施工条件範囲で溶接することも可能と思われ、施工上の課題をクリアしやすいと考える。

本研究は上記のように日本の建築鉄骨製作において重要な役割を果たしているロボット溶接施工において、開先角度 35 度のときと同程度の造りやすさで、より一層の低コスト／短時間での製作を実現し、かつ、溶接品質ならびに溶接作業におけるヒューム発生量や炭酸ガス排出量の削減といった環境負荷低減を目的とし、開先角度を狭くすることを実験的に検討し、その施工性という観点において最適な開先角度と施工条件を提案するものである。

以下、本研究で実施したことの概要を述べる。

- (1) 現在、開先角度 35 度の溶接において溶接ロボットを適用している鉄骨ファブリケータにてルートギャップを調査し、その結果から実用性の高い狭開先溶接を検討するにあたってのルートギャップ範囲を 4mm～10mm とした。
- (2) 狭開先溶接において最も重要視すべき初層の高温割れの防止と溶込み深さの確保を主眼として、開先角度を 20 度から 30 度に設定した裏当て金方式レ型開先の直線の試験体を用い、ロボット溶接を想定した初層の施工条件範囲に関し、継手の拘束度と開先の収縮に着目した実験を行い、当該継手の高温割れ発生は継手の拘束度が大きく影響し、溶接ひずみによる開先の収縮および変形度合いにより適切な溶接が行える範囲に違いがあることを確認し、継手形状と開先角度に応じた施工条件範囲を示した。また、狭隘部での溶接を行うにあたり、従来のトーチ姿勢を変えない平行ウィービングから振り子状にトーチを傾けながらウィービングさせることを提案し、開先角度が小さくなった場合でも、トーチと開先の干渉を回避しつつ、適切な溶接が行えることを示した。
- (3) ロボット溶接が最も多く用いられている角形鋼管と通しダイアフラム接合部について前記施工条件の適応性、平行部とコーナ部の違いについて実験にて確認するとともに、実験結果に対応する部材の変形状況を F E M にて検証した。
- (4) 総合的な施工条件の検証として、溶接ロボットが最も多く用いられている角形鋼管と通しダイアフラム接合部の開先角度 30 度と開先角度 25 度について全層溶接を行い、内部欠陥の発生状況、溶接継手の機械的性能、および化学成分分析からその実用性を確認した。