

報 文

太径異形鉄筋自動溶接継手工法の開発

北九州職業訓練短期大学校 奥屋 和彦

Development of Automatic Welding Joint Method for Large Diameter Deformed Bars

Kazuhiko Okuya

要 約 建設工事の高層化ならびに大型化に伴い鉄筋コンクリート構造物に使用される鉄筋に太径異形鉄筋が多く採用される傾向がある。太径異形鉄筋を採用することで施工現場において配筋の簡略化、作業量の軽減といったメリットを生じさせるとともに、施工の全工程にも大きな影響を及ぼすことになる。これに伴い問題とされるのが構造物の健全性・信頼性を確保するために重要となる鉄筋同士の継手性能である。現在までに鉄筋継手工法はガス圧接、溶接継手、機械継手等により実施されてきたが大部分は手作業による工法が多く鉄筋継手性能は技能者の熟練度に左右されている。特に太径異形鉄筋になると力学的に良好な継手性能確保ならびに適正な施工性を得ることが難しい。また施工現場においては熟練技能者の不足・高齢化が問題となっている。このような現状のなか鉄筋工事では要求される鉄筋継手性能の品質維持・向上の確保できる技術開発が必要とされている。

本研究では太径異形鉄筋鉛直継手部を対象に、炭酸ガスアーク溶接法を用いて誰にでも安定した鉄筋継手性能が短期間の職業訓練において習得できる太径異形鉄筋自動溶接継手工法の開発を行った。検討した結果、工事に適合して良好な鉄筋継手性能を確保でき施工の合理化を図るために有効であることを確認した。

I はじめに

進歩の著しい土木・建築現場では建設工事の高層化ならびに大型化に伴い鉄筋コンクリート構造物に使用される鉄筋に太径異形鉄筋が多く採用される傾向がある。太径異形鉄筋を採用することで施工現場において鉄筋量の節減、過密な配筋の簡略化、労務量の軽減などのメリットを生じさせるとともに、施工の全工程に大きな影響を及ぼすことになる。これに伴い問題とされるのが構造物に適合させるために施工現場において鉄筋同士を継ぐ必要性が生じ、信頼できる鉄筋継手性能を確保することである。構造物において鉄筋継手部は弱点部と考えられており継手部の良否は、強度的保証・健全性・信頼性に多

大な影響を与えることになる。現在までに鉄筋継手工法はガス圧接継手、溶接継手、機械継手において約50工法が設計や施工上の種々の条件により実施されてきたが、大部分は手作業による工法が多く、継手部の仕上がり形状、寸法精度、継手品質の維持が難しく、継手性能は技能者の熟練度と経験に左右されバラツキが生じるとともに、長期の職業訓練や経験が必要となり高度熟練技能者でなければ継手検査に合格することが難しい状態にある。特に、太径異形鉄筋では力学的に良好な継手性能確保ならびに適正な施工性を得ることが難しく、更に施工現場においては熟練技能者の不足・高齢化が問題となっている。このようななか鉄筋工事では要求される鉄筋継手性能の品質維持・向上を確保するための継手工法

の技術開発が必要とされている。また鉄筋工事では施工の合理化の要求から鉄筋先組工法の採用も多くなると考えられる。

本研究は上述した課題に鑑み実施したもので太径異形鉄筋鉛直継手部を対象に、炭酸ガスアーク溶接法を用いて誰にでも安定した鉄筋継手性能が短期間の職業訓練において習得できる太径異形鉄筋自動溶接継手工法の開発を行った。実験等により検討した結果、工事に適合して良好な継手性能を確保でき、施工の合理化を図るために有効であることを確認したので報告する。

II 実験概要

1. 実験材料

実験に用いた鉄筋は、JIS Z 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」に規定されるSD295A-D29・D32とした。鉄筋継手開先内の充填金属は、溶接材料JIS G 3312「軟鋼および高張力鋼用マグ溶接用ソリッドワイヤ」に規定されるYGW21を用いた。それぞれの化学成分及び機械的性質を表1、2、3に示す。シールドガスはJIS K 1106「液化炭酸」に規定される炭酸ガスを用いた。

表-1 化学成分(SD295A-D29・D32)

| 品種：SD295A | | | | | |
|-------------|----------|------|------|-------|-------|
| 寸法 (φ/長) | 化学成分 (%) | | | | |
| | C | Si | Mn | P | S |
| D29 | 0.29 | 0.11 | 0.60 | 0.029 | 0.044 |
| D32 | 0.29 | 0.16 | 0.54 | 0.024 | 0.047 |

(ミルシート)

表-2 機械的性質(SD295A-D29・D32)

| 品種：SD295A | | | | |
|-------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------|---------------|
| 寸法 (φ/長) | 引張試験 | | | 重量 (kgf/m) |
| | 降伏点 (kgf/mm ²) | 引張強さ (kgf/mm ²) | 伸び (%) | |
| D29 | 30 | 53 | 22 | 5.03 |
| D32 | 35 | 53 | 20 | 6.23 |

(ミルシート)

表-3 溶着金属の機械的性質

| 0.2%耐力 (kgf/mm ²) | 引張強さ (kgf/mm ²) | 伸び (%) |
|----------------------------------|--------------------------------|-----------|
| 60 | 68 | 28 |

(シールドガス：CO₂) (メーカー値)

2. 太径異形鉄筋自動溶接継手工法の原理ならびに実験方法

太径異形鉄筋自動溶接継手工法の原理は、鉄筋同士の突き合わせ先端部に適正な開先加工を行ない鉄筋固定治具で確実に固定後、鉄筋自動溶接装置を設置し鉛直鉄筋軸に対して溶接トーチを回転させながら適正溶接条件で鉄筋突き合わせ継手開先内を溶接金属で充填することを特徴としている。太径異形鉄筋自動溶接継手工法の構成を図1に示す。主な構成は鉄筋自動溶接装置、炭酸ガスアーク溶接機、鉄筋自動溶接装置の出力・停止ならびに溶接条件の設定・指示を行うスイッチ部、鉛直鉄筋継手部からなる。溶接機は溶接条件の記憶・出力の機能を備えた350Aマイコン制御定速給定電圧特性炭酸ガスアーク溶接機を採用した。

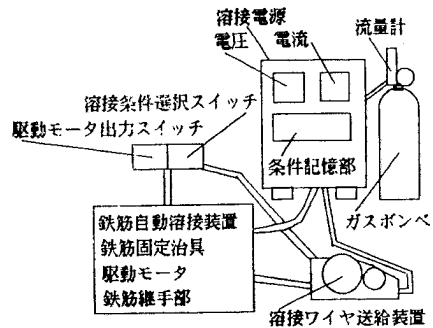


図-1 太径異形鉄筋自動溶接継手工法の構成

鉄筋自動溶接継手工法を開発するため鉄筋自動溶接装置ならびに溶接トーチの位置補正装置、鉄筋固定治具、溶接トーチ回転駆動モータ等を製作した。更に良好な継手部を得るために溶接条件のうち溶接電流、アーク電

圧、溶接速度、ワイヤ突出し長さ、トーチ角度、炭酸ガスシールド流量、溶接ワイヤ径の各項目を変化させ適正溶接条件範囲を求めた。鉄筋開先形状は図2に示すように鉄筋先端部に機械加工を行いルート面、ベベル角度、ルート間隔を設定しI形・X形・K形・円錐といった形状に仕上げ、それぞれについて鉄筋自動溶接装置により継手作業を行ない検討した。なお継手作業において溶融状態を目視検査した後マクロ断面検査により溶け込みの良否、有害欠陥の有無について検討し、適正な溶接金属状態を求めた。

鉄筋継手性能は外観検査、引張試験、マクロ断面検査、かたさ試験により検討した。引張試験はJIS Z 2201「金属材料引張試験片」の3号試験片を用い、JIS Z 2241「金属材料引張試験方法」に従った。表4に引張試験片の形状・寸法を示す。引張試験による判定は外観検査において有害な欠陥がなく、継手部強度 \geq 母材強度もしくは機械的性質がJIS Z 3112の規格最小値(降伏点・引張強さ)を満足した場合、良好な継手部と判断した。また鉄筋径の異なる継手で細い方の鉄筋径がJIS Z 3112規格最小値を満足した場合、良好な継手部と判断した。

硬さ試験はビッカース硬さ試験機を用い荷重10kgfで溶接金属部・熱影響部および母材域までを測定間隔0.5mmピッチで測定し最高硬さの値より溶

表-4 引張試験片寸法

| 品種：SD 295 A | | | |
|-------------|------------------|-------------------|--------------|
| サイズ | 標点間距離(L) (mm) | つかみの間隔(P) (mm) | つかみ部 (mm) |
| D29 | 114.4 | 171.6 | 200 |
| D32 | 127.2 | 190.8 | 200 |

(JIS Z 2201)

接性について判定した。更に施工性について鉄筋継手工法として現在最も多く使用されているガス圧接継手工法と比較検討した。

Ⅲ 結果および考察

1. 鉄筋自動溶接装置の構成

写真1に鉄筋組立用の鉄筋固定治具を示す。確実に固定されることより、鉄筋継手作業前と継手終了後において鉄筋長さに変化のない継手部を得ることができる。写真2に鉄筋自動溶接装置の設置前の状態を示す。写真3に鉄筋自動溶接装置の組立て状態を示す。写真4は、鉛直鉄筋継手部に鉄筋自動溶接装置を設置した状態である。写真2～4に示すように鉄筋自動溶接装置は円盤状銅板の周囲に歯を設け、これを分割した円盤状銅板に溶

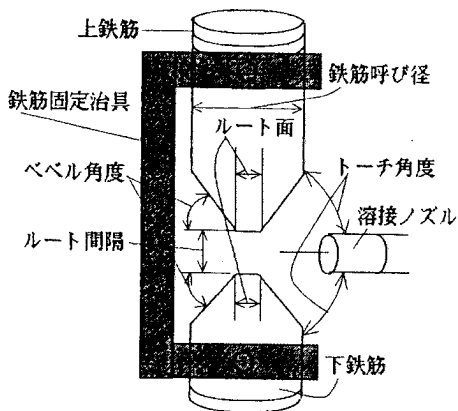


図-2 鉛直鉄筋継手部開先条件

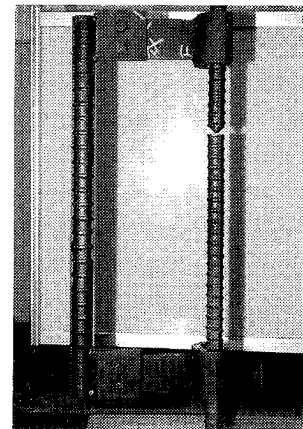


写真1 鉄筋固定治具

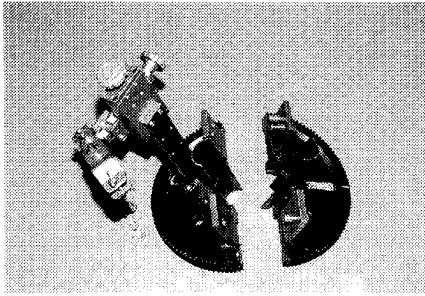


写真2 鉄筋自動溶接装置-設置前の状態

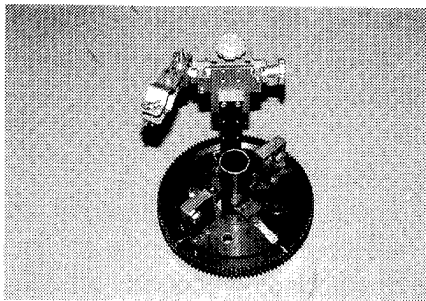


写真3 鉄筋自動溶接装置の組立状態

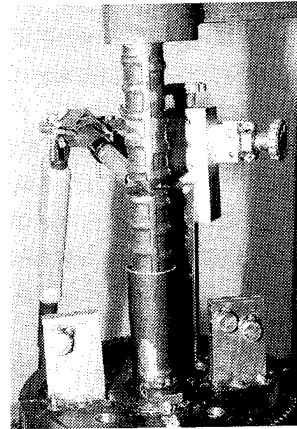


写真4 鉄筋自動溶接装置の設置状態

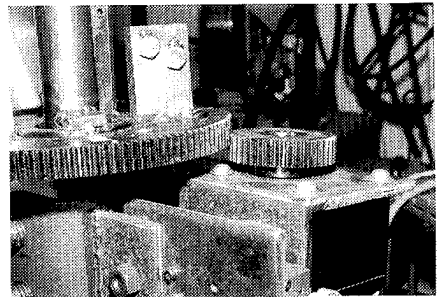


写真5 駆動モータによる回転伝達部

接トーチ・溶接ノズル・位置補正装置を装備し、更に中心に分割円筒状鋼管を接合し鉄筋を内側に抱持している。

位置補正装置は上下移動、左右移動の機能を備え、溶接トーチは微調整を行うためにフレキシブルに動く自在トーチを採用した。写真5は溶接トーチの回動手段とした駆動モータによる回転伝達部を示しており、溶接トーチは駆動モータの出力により駆動モータに設けたピニオンによって同期回転する鉄筋自動溶接装置に設けた歯車を介して鉄筋軸心まわりに回動せしめる機能とした構成である。

駆動モータは、正逆回転、速度微調整、ストッパー機能を備えた機種を採用した。写真6は溶接条件選択スイッチならびに駆動モータ出力スイッチ、写真7は鉄筋自動溶接装置による鉛直太径異形鉄筋自動溶接継手作業の実施状態、写真8は鉄筋継手作業終了後の鉄筋継手部を示している。

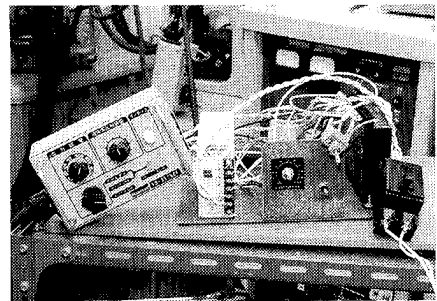


写真6 スイッチ部

(溶接条件選択・駆動モータ出力)

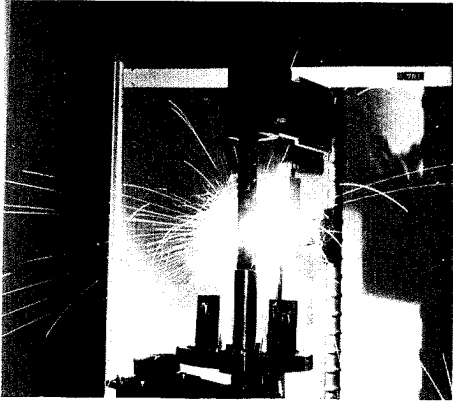


写真7 鉄筋自動溶接装置による鉄筋継手実施状態

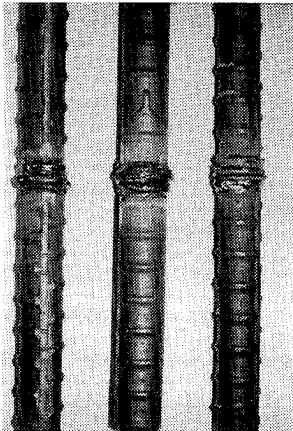


写真8 鉄筋継手作業終了後の太径異形鉄筋継手部
(D32-D32)

2. 溶接条件

実験では、溶接電流、アーク電圧の安定範囲を求め適正条件の参考とした。継手作業では鉄筋開先内を初層・中間層・仕上げ層と溶接を進め、溶融状態の目視検査ならびにマクロ断面検査により溶接電流、溶接速度、開先角度、トーチ角度等について検討した。写真9は適正溶接速度を求めるための溶接速度の変化を示したマクロ断面の一例である。それぞれ同様な方法で検討した。求めた適正溶接条件は溶接機の記憶装置の所属する箇所に登録させワンタッチで設定指示できるようにした。

初層は鉄筋軸心部に融合不良等のない完全溶け込みを得るために高めの溶接電流とした。中間層では各層毎に溶接条件を変えることはしないで同じ溶接条件で実施して満足できるビード形状が得られるような条件範囲を求

め各層ごとの条件変化の制御は行わない方向で実験を行った。仕上層は余盛不足・アンダーカット・ブローホールなどの欠陥の生じないようにした。

また溶接開始点は種々の欠陥が発生しやすいことより各層ごとに溶接接開始点を移動しながらビルトアップ溶着法で実施した。図3にビルトアップ溶着法を断面図で示す。求めた条件範囲により満足できるビード形状ならびに安定な溶融状態が観察された。表5に実験で得た太径異形鉄筋適正溶接条件範囲を示す。

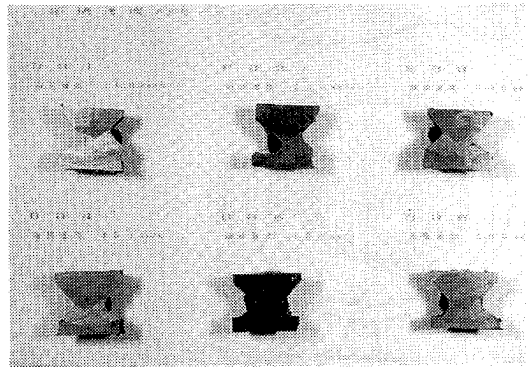


写真9 継手部マクロ断面検査
(溶接速度の変化)

表-5 太径異形鉄筋適正溶接条件範囲

| 条 件 | (初 層) | (中間層) | (仕上層) |
|------------|--------------------------------|---------|---------|
| 溶接電流 | A 190~210 | 160~180 | 150~170 |
| アーク電圧 | V 18~20 | 17~19 | 17~19 |
| 溶接速度 | mm/min 350~450 | 400~500 | 300~350 |
| アークタイム | sec 約40 | 約60 | 約20 |
| ワケ突出し長 | mm 15~20 | 15~20 | 10~15 |
| ガス・シールド流量 | lit/min 40~60 | | |
| トーチ角度 | 度 15~20 | 15~20 | 0~5 |
| ルート面 | mm 0 ~ 2 | | |
| ベベル角度 | 度 35 ~ 50 | | |
| 溶接姿勢 | 横向き後退法 | | |
| 運棒法 | ストレート法 | | |
| 使用鉄筋 / ワイヤ | mm SD295A-D29・D32 / YGW21- 0.9 | | |

図-4 鉄筋自動溶接装置の設置パターン

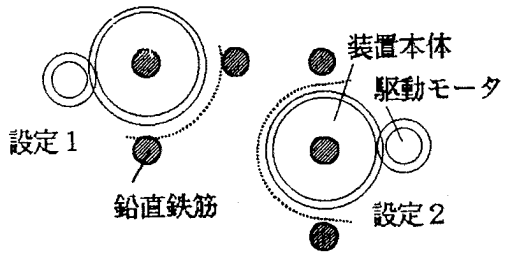
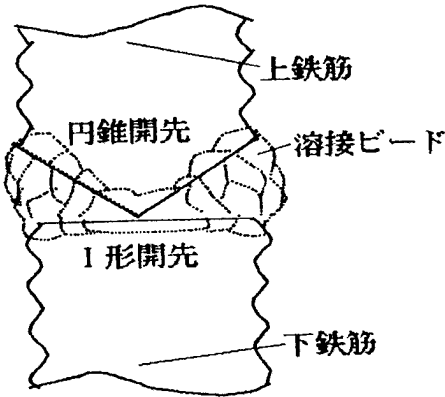


表-6 鉄筋継手作業工程

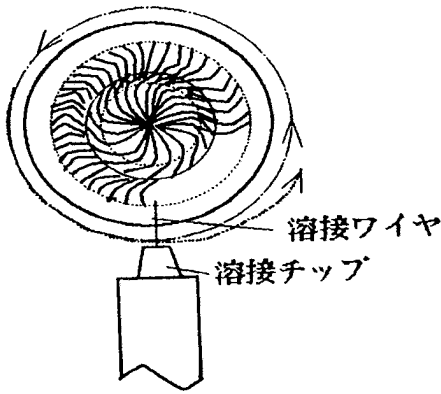


図-3 ビルトアップ溶着法

| 作業名 | | 鉄筋自動溶接継手 | |
|-----|-------------|---------------------------------------|--|
| 番号 | 作業順序 | 要 点 | |
| 1 | 準備する | 鉄筋の端面を機械加工等で仕上げ 上鉄筋は円錐状開先-下鉄筋はI形開先 | |
| 2 | | 溶接前-鉄筋端面の油脂・錆等の除去 | |
| 3 | | 溶接前-対象鉄筋を鉄筋固定治具で固定 | |
| 4 | | 溶接前-鉄筋自動溶接継装置を設置 | |
| 5 | 鉄筋継手作業を実施する | 溶接前-溶接条件の選択・溶接トーチ設定 | |
| 6 | | 初層溶接開始 | |
| 7 | | 溶接トーチ修正-溶接条件選択-中間層 | |
| 8 | | 溶接トーチ修正-溶接条件選択-仕上げ層 | |
| 9 | 装置類を除去する | 溶接後-鉄筋自動溶接装置を除去 | |
| 10 | | 溶接後-鉄筋固定治具の除去 | |
| 11 | 検査する | 目視検査-鉄筋外觀検査 | |

3. 鉛直鉄筋継手作業工程

実験ではガス圧接工法と比較検討を行った。ガス圧接工法では加圧のタイミングならびに加圧力・加熱の条件・ガス炎の状態など高度の技術的判断が要求され、技量のバラツキ・作業環境によって継手性能が左右すると思われる。特に太径鉄筋では軸心まで十分加熱されたかどうかの判断が難しい。アークタイムは鉄筋径によって多少異なってくるが、本工法で行ったD32-D32の継手作業時間は初層のアーク発生から仕上げ層終了まで約3分を要した。ガス圧接工法においても約3分となり溶接時間は同様な時間を要することになる。

また鉄筋の間隔はガス圧接工法では最小寸法が規定され、呼び径の1.5倍以上となっている。本実験では鉄筋の間隔は180mmで行い、鉄筋自動溶接装置の設置方法は図4に示すような設定1、設定2で検討した。鉄筋自動溶接装置による鉄筋継手作業工程を表6に示す。

ガス圧接工法では縮み代が必要とされるが、本工法では鉄筋同士先端を接触させた後、鉄筋固定治具により確実に固定するので縮み代を設定する必要がない。更に鉄筋のくい違いならびに偏心は継手性能に悪影響を及ぼすことになるが鉄筋固定治具により防止できる。ガス圧接ではふくらみは鉄筋径の1.4倍以上、ふくらみ長さは鉄筋径の1.2倍以上、鉄筋中心軸の偏心量は鉄筋径の1/5以下と規定されている。本工法でのふくらみは鉄筋径より2~3mm大きく、ふくらみ長さは鉄筋径の0.9倍となった。これは鉄筋とほぼ同径で仕上がることでより施工において有利になると考えられる。

4. 引張試験

引張強さ(最大応力度)は破断時の最大荷重を用い、各応力度は公称断面積を用いて計算した。表7に引張試

験結果を示す。それぞれの降伏点・引張強さはJIS規格最小値を下回った試験片はなく外観検査においても有害な欠陥は見られなかった。これより継手強度 \geq 母材強度となる継手部の得られることが確認できる。また熱影響部より破断した試験片についても引張強さが母材の規格値を満足している。また、異なる径D32-D29についても規格最小値を満足しており接合可能である。写真10に母材破断した引張試験片を示す。

表-7 引張試験結果

| SD295A | 降伏点 (Kg/mm ²) | 引張強さ (Kg/mm ²) | 破断位置 |
|---------|------------------------------|-------------------------------|------|
| JIS規格 | 30以上 | 45~61 | -- |
| D32 母材 | 35 | 51 | -- |
| D32-D32 | 35 | 52 | 母材 |
| D32-D32 | 35 | 53 | 母材 |
| D32-D32 | 34 | 53 | 母材 |
| D32-D32 | 34 | 53 | 母材 |
| D32-D32 | 35 | 48 | ボンド |
| D29-D29 | 35 | 53 | 母材 |
| D29-D29 | 34 | 49 | ボンド |
| D29-D29 | 35 | 53 | 母材 |
| D29-D29 | 35 | 53 | 母材 |
| D29-D29 | 35 | 49 | ボンド |
| D32-D29 | 34 | 53 | 母材 |

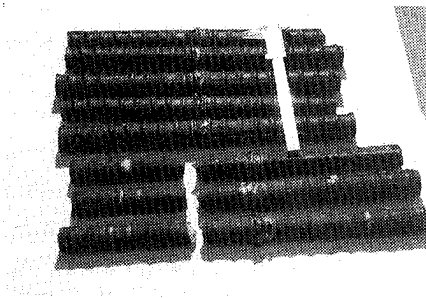


写真10 母材破断した引張試験片

5. 硬さ試験

図5にSD295A (D32-D32) の溶接金属部・熱影響部および母材域までの硬さ測定結果を示す。

般には鉄筋コンクリート用棒鋼のアーク溶接士技量承認試験において溶接性の判断となる硬度試験の合否判定基準は HV₍₁₀₎=300 以下を良好と判定している。本工法においては溶接部の最高硬さが基準値以下を示していることより良好な溶接性であると判定した。

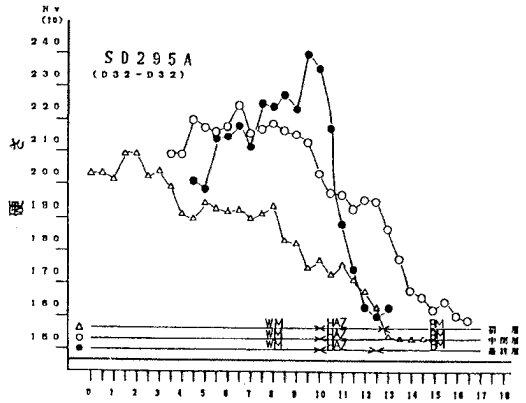


図-5 硬さ分布 (SD295A ~ D32-D32)

6. マクロ断面検査

写真11に鉄筋継手部の初層マクロ断面を示す。初層において鉄筋軸心が十分溶融していることを確認できる。

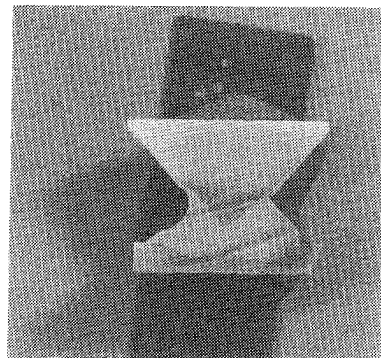


写真11 初層マクロ断面

写真12に中間層マクロ断面、写真13に仕上げ層マクロ断面、写真14、写真15に継手部外観を示す。鉄筋継手性能に影響を与える割れ・融合不良・ブローホール、アンダーカット等の欠陥は認められなかった。

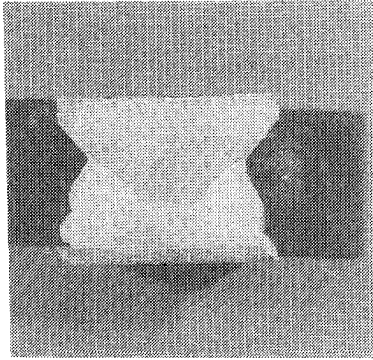


写真12 中間層マクロ断面

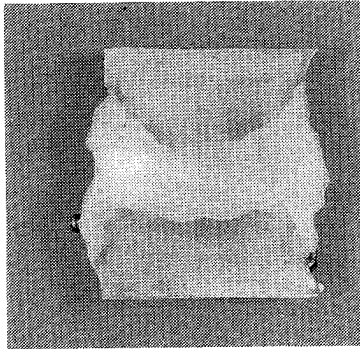


写真13 仕上げ層マクロ断面

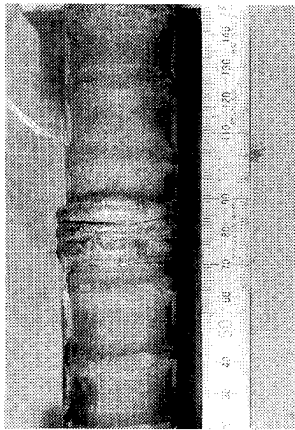


写真14 継手部外観 (D32-D32)



写真15 継手部外観 (D32-D29)

IV まとめ

太径異形鉄筋鉛直継手を対象に、炭酸ガスアーク溶接法を用いて太径異形鉄筋自動溶接継手工法の開発を行った。以下、結果をまとめる。

1. 一体継手の良好な溶接性ならびに鉄筋継手性能が得られたことより、現場施工において十分適用することが可能であると考えられる。
2. 鉄筋固定治具により鉄筋長さの変化、食い違い、偏心のない継手を得ることができる。また、鉄筋先組工法への採用も可能である。
3. 小型、軽量より現場間において運搬・設置が容易である。
4. 短期間の職業訓練で取り扱うことが可能である。
5. 今後さらに装置に改良を加え、鉄筋間隔の狭い配筋においても採用できるよう検討を重ねる予定である。

謝辞：本研究の研究費は平成元年度の指定研究費の援助を受けました。ここに雇用促進事業団ならびに関係各位に深く感謝致します。また実験を進めるにあたり助言頂いた元職業訓練大学校非常勤講師 富田真己氏、職業訓練大学校 森周蔵氏をはじめ駆動モータの製作において御協力を頂いた当短人 有吉正信氏ならびに諸資料、御意見を頂いた関係各位に心よりお礼申し上げます。

[参考文献]

- (1) 日本建築学会編：鉄筋コンクリート造配筋指針案
- (2) 村田二郎他：コンクリート構造配筋
- (3) 杉田美昭編：鉄筋工事の急所
- (4) 日本建築学会編：JASS5鉄筋コンクリート工事
- (5) ビルディングレター' 83. 8：「鉄筋継手性能判定基準（1982）」
- (6) 建築基準通達：「特殊な鉄筋継手の取扱いについて」
- (7) 日本圧接協会：鉄筋のガス圧接工事標準仕様書（1985）
- (8) 日本圧接協会編：圧接工学ハンドブック
- (9) 彰国社：建築の技術・施工NO259「鉄筋のガス圧接継手工法」