先組み鉄筋工法へのガス圧接継手の適用

角陸 純一^{*1}・吉野 次彦^{*2}・笹谷 輝勝^{*3}

概要 鉄筋コンクリート建築物の高層化に伴い、先組み鉄筋工法が増加しつつあるが、この場合の主筋の継手としては機械式継手を使用されることが多い。ガス圧接継手は施工時に鉄筋が縮むことから、先組み鉄筋工法には不向きと考えられてきたが、最近では施工技術が向上し、先組み鉄筋工法においてもガス圧接継手が採用されるようになっている。本報告は、先組み鉄筋工法でのガス圧接継手の採用事例を紹介するとともに、一般的な柱と梁断面を想定して組み立てた先組み鉄筋で基礎実験および実証実験を行った結果を報告する。

キーワード：鉄筋、先組み、継手、ガス圧接

1. はじめに

鉄筋のガス圧接継手は我が国で主流の継手工法であり、重ね継手を除いた全継手工法の中で現在でも80%程度の施工実績がある。この工法は、鉄筋端面同士を突き合わせた後にガス炎で加熱しながら同時に加圧して鉄筋を一体化するメカニズムであり、施工後に鉄筋が縮むという特徴があるため、鉄筋が固定されて動かないプレキャストコンクリート工法や先組み鉄筋工法には向かないと考えられてきた。しかしながら、施工技術の向上により先組み鉄筋においても鉄筋をアプセットできるようになり、日本建築学会の「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事¹⁾」では、2003年版の改定において先組み鉄筋でのガス圧接継手の規定を記述するようになっている。

近年、鉄筋コンクリート建築物は高強度化・高層化しつつあるが、同時に工期短縮による大幅なコスト削減や現場作業員の不足による労務の平準化を図ることが重要となっており、地上で鉄筋を組み立て、揚重機を用いて現場で施工する先組み鉄筋工法が増えつつある。このような状況の中で、先組み鉄筋でのガス圧接継手の施工要領を確認するために実験を行った。

以下に、先組み鉄筋でのガス圧接継手の事例を紹介するとともに、実験の概要について述べる。

2. 先組み鉄筋でのガス圧接の実例

2.1 実例 1

本建物は鉄筋コンクリート造9階建てで、基礎免震構造、用途は病院である。種々の問題から在来工法では工期内に躯体工事を完成させることがむずかしいことがわ

かり、先組み鉄筋工法等の合理化工法を積極的に採用することになった。梁主筋の継手には機械式継手を用いたが、柱主筋の継手にガス圧接継手を採用した。柱主筋は1階から3階までがD 29、SD 390鉄筋であるが、4階以上はD 25、SD 390鉄筋であった。柱本数は1階あたり102本で、圧接箇所数は2 668箇所となった。圧接位置については、JASS5の規定に従い、柱脚から500 mm以上で互いに400 mm以上ずらせて施工した。圧接に際しては、柱の曲りや倒れが生じないように鉄筋のアプセット量を考慮して圧接順序に注意して施工を行った。加圧量はD 29鉄筋の場合、通常30 MPa程度としているが、先組み鉄筋の結束による拘束効果を考慮して35 MPaとした。

圧接部の検査は、全数外観検査の他に通常200箇所を1ロットとし、1ロットあたり30箇所の超音波探傷検査を行うが、今回は先組み鉄筋工法でのガス圧接継手の事例がまだ少ないことを考慮して、1ロットあたり5本の抜き取りによる引張試験を併用した結果、試験結果はすべて合格であり、問題なく施工できた(写真-1～写真-5)。

2.2 実例 2

本建物は鉄筋コンクリート造による31階建て2棟8階建て1棟の集合住宅である。高層棟では工期短縮のために16階から31階までの柱主筋SD 390(D 35、D 32)の

写真-1 圧接端面の処理状況

*1 かどりく・じゅんいち／清水建設(株) 生産技術本部 品質管理部グループ長(正会員)

*2 よしの・つぎひこ／元日本鉄筋継手協会(正会員)

*3 ささや・てるかつ／(株)フジタ 技術センター 土木研究部長(正会員)

先組み鉄筋工法を採用するとともに、低層棟のフロアー階高最大 5.8 m の柱主筋 SD 390 (D 35) に先組み鉄筋工法を採用し、それらの鉄筋継手にガス圧接を採用した。

圧接工事の着手前には施工前試験（引張 5 本、曲げ 5

本）を実施し、ガス圧接の性能および技量資格者の技能確認を行い、その合格者が施工に従事した。

自主検査は、外観検査全数目視検査および 1 ロットあたり超音波探傷試験（エコーレベル -26 db 以下を合格）

写真-2 柱先組み鉄筋の吊込み状況

写真-5 柱筋の圧接完了状況

写真-3 圧接器のセット状況

写真-6 圧接端面の処理

写真-4 柱筋の圧接状況

写真-7 柱先組み鉄筋の吊込み状況

Application of Pressure Welding in Method of Prefabricated Deformed Bars

By J. Kadoriku, T. Yoshino and T. Sasaya

Concrete Journal, Vol.49, No.2, pp.10~17, Feb. 2011

Synopsis High-rise reinforced concrete buildings have increased, and in these construction sites we have used the method of prefabricated deformed bars. We thought pressure welding was not suit in the method of prefabricated deformed bars, but performance of pressure welding machine has improved. Recently we can use pressure welding in the method of prefabricated deformed bars. Several cases of pressure welding in the method of prefabricated deformed bars and demonstrated test of general column and beam are presented in this paper.

Keywords : deformed bars, prefabricated deformed bars, joint, pressure welding, demonstrated test

写真-8 圧接器のセット状況

写真-9 柱筋の圧接状況

写真-10 柱筋の圧接完了状況

を20%以上かつ30箇所行い、受入検査では第三者による外観検査および1ロットあたり30箇所の超音波探傷試験を実施した。

先組み鉄筋による安全・品質・工程・コスト・環境を考慮した施工手順の事前検討を密に行い、作業員への周知を図り施工した(写真-6～写真-10)。

3. 先組み鉄筋での基礎実験

3.1 拘束力測定予備実験

ガス圧接継手の特徴としては、圧接時に鉄筋が約1 d (d =鉄筋径)程度縮むことである。このため、先組み鉄筋の場合に1 d 程度の移動に要する拘束力を確認するために、予備実験を行った。

予備実験は、D 38 鉄筋で組み立てた柱および梁筋の

図-1 実験方法

図-2 定圧装置の概略

写真-11 定圧装置を用いた圧接状況

うち、コーナーの1本のみを50 mm 短く加工し、この部材を基礎部の鉄筋を密着させたのち、短く加工した鉄筋を油圧ジャッキで引張力を与えて、50 mm 移動するために必要な引張力を測定した(図-1)。50 mm 引き寄せるのに必要な引張力は鉄筋断面積あたり最大で、梁筋では17.6 N/mm²、柱筋では8.8 N/mm²であったが、初動時に最大圧力となり、移動が始まるとほぼ、80%以下の引張力で移動できた。

3.2 鉄筋単体の拘束力実験

先組み鉄筋の拘束力は、初動時に大きな拘束力が必要であるが、移動開始後は、拘束力が小さくなることが分かったが、本基礎実験では、H型鋼を口型に作製し、片方の鉄筋を枠に固定、片方の鉄筋には油圧式定圧機構を用いて、圧接完了まで同一の拘束力を維持したままでの圧接作業を行った。使用した圧接機器は現場で使用しているものを用いて行った。実験要因は以下のとおりである。

鉄筋：D 32, SD 390

拘束力：鉄筋断面積当たり 10 MPa, 20 MPa

上限圧：拘束力 10 MPa の時 45 MPa (断面積当たり)

拘束力 20 MPa の時 55 MPa

試験体作製後、すべての試験体について90°曲げ試験を行ったが、折損した試験体はなかった。鉄筋断面積当たり、20 MPa 程度の拘束力があっても、通常の圧接機器で十分な圧接施工が可能であることが分かった。定圧装置の概略を図-2に、圧接状況を写真-11に示す。

4. 先組み鉄筋での実証実験

4.1 試験体

先組み鉄筋の実証実験の対象とした部材は、柱および梁部材である。実験に用いた柱部材の継手位置と柱、梁の断面形状を図-3、図-4に示す。柱、梁とも主筋は径がD 32とD 38の2種類とし、種別はSD 390とし、合計4体について実験を行った。

柱、梁部材とも主筋とせん断補強筋との交点は、全交点を結束線で堅固に結束した。

4.2 測定方法

測定方法の概略を図-5、写真-12に示す。測定は、ポンプ圧、鉄筋のアプセット量、拘束力について行った。ポ

図-3 柱試験体の形状

図-4 梁試験体の形状

図-5 測定方法の概略

ンプ圧は、ポンプの油突出口に圧力計を取り付けて測定した。アプセット量は、圧接を行う鉄筋に変位計を設置し測定した。図-5に示すように、圧接時に先組み鉄筋

写真-12 簡易ロードセルの設置状況

写真-13 柱先組み試験体の建込み状況

写真-14 柱先組み試験体の圧接状況

写真-15 柱先組み試験体の圧接完了状況

B 部に拘束があると、圧接時の反力として、A 部に軸方向力が作用する。拘束力は、A 部にひずみゲージを使用した簡易ロードセルを設置し、A 部に生じた引張力とし

写真-16 梁先組み試験体の建込み状況

写真-17 梁先組み試験体の圧接状況

写真-18 梁先組み試験体の圧接完了状況

図-6 ポンプ圧力とアプセット量の関係 (D 38 柱)

て測定した。簡易ロードセルは柱筋に 8 箇所、梁筋には 6 箇所、基礎部の鉄筋に取り付けた。図-3、図-4 試験体の白抜き部鉄筋が簡易ロードセルを取り付けた鉄筋である。

4.3 圧接状況

写真-13～写真-15 に柱先組み筋の建込み状況、圧接状況、圧接完了状況を示し、写真-16～写真-18 に梁先組み筋の建込み状況、圧接状況、圧接完了状況を示す。圧接は、柱、梁とも、手動ガス圧接で 1 本ずつ施工を行った。

柱筋は倒れや曲がりが生じないようにコーナー筋から圧接を始め、その後対角の鉄筋を圧接する順序で順次施工を行った。梁筋は 2 段筋の鉄筋から圧接し、上端筋、下端筋の順に進め、内側の鉄筋が終了後、外周 1 段筋の鉄筋を圧接した。

4.4 実験結果

(1) ポンプ圧力とアプセット量の関係

ガス圧接施工後に鉄筋が縮む（アプセット）量は、一般的に鉄筋径の 0.8 倍から 1.0 倍必要であるといわれている。実験ではポンプ圧力とアプセット量を計測したが、この関係の事例として D 38 柱先組み筋の事例を図-6 に、D 38 梁先組み筋の事例を図-7 に示す。図からわかるように、ほとんどの鉄筋がほぼ同じ傾向であり、十分に引き寄せることができた。

(2) 柱と梁筋の拘束力

柱、梁筋の圧接時の拘束力の測定結果を図-8 と図-9 に示す。アプセット時に鉄筋に拘束力として引張力が作用するが、柱筋の場合、鉄筋径による拘束力の差はほとんど見られなかった。コーナー筋は、鉄筋断面積当たりで最大で 15 N/mm^2 （引張力換算では、D 32 鉄筋の場合に 11.76 kN 、D 38 鉄筋の場合に 16.66 kN ）であったが、コーナー筋以外は最大で 10 N/mm^2 以下であった。また、圧接時に近傍の鉄筋に圧縮応力が作用しており、先組み鉄筋が一体化されていたことがわかる。すべての鉄筋の圧接完了後には、D 32 鉄筋と D 38 鉄筋とも鉄筋の拘束力はすべて解除されていた。

梁部材は、スパンが 10 m とかなり長スパンを対象として実験を行ったが、D 32 鉄筋の場合に最大で 12 N/mm^2 、

図-7 ポンプ圧力とアブセット量の関係 (D 38 梁)

図-8 固定側の簡易ロードセルに生じた応力変化 (柱)

D 38 鉄筋の場合に最大で 18 N/mm^2 であった。特に、コーナー筋の圧接時の拘束力が大きかった。図-8 の応力曲線でもわかるように、拘束力は圧接開始直後に最大となるが、その後拘束力は低下し、 15 N/mm^2 程度となっている。

なお、拘束力の傾向は予備実験とも一致していた。すべての鉄筋の圧接完了後、一部の鉄筋の応力が残存していたが、これは梁筋を架台に設置していたためであり、クレーンで吊り上げるとすべての応力は解除された。

せん断補強筋との結束は、一部で結束線が破断した箇所があったが、部材形状が損なわれるようなことはなく、特に再結束の必要はなかった。圧接完了後にすべて

の鉄筋を切り取り、半数は引張試験、半数は曲げ試験を行ったが、圧接面および熱影響部での破断は見られず、すべて健全であった。

4.5 結果の考察

(1) 先組み鉄筋の製作

先組み鉄筋は主筋が固定されているため、圧接器の締め付けボルト位置が鉄筋の縦リブ上になることがあるので、製作時に注意して組み立てる必要がある。

(2) 先組み筋のセット

先組み筋をセットする場合には四隅の鉄筋を圧接器で固定し、それ以外の鉄筋は動きを制約しないように簡易

図-9 固定側の簡易ロードセルに生じた応力変化（梁）

具で固定する。

（３）せん断補強筋による柱主筋の拘束

柱筋の場合は、中子筋があってもせん断補強筋による拘束の影響は少ない。ただし、中吊り筋の保持に用いる吊り筋は丸鋼とし、せん断補強筋と中吊り筋との結束箇所数を低減する。

（４）せん断補強筋による梁主筋の拘束

梁筋の場合、せん断補強筋による拘束の影響は少ない。ただし、２段配筋の場合の吊り上げ筋による拘束の恐れがあるので注意する。

（５）全数継手の場合のふくらみの影響

試験体の鉄筋間隔は JASS 5 で規定された最小間隔としたが、２本目以降の鉄筋の施工時にバーナーが隣接鉄筋のふくらみに当たり、挿入が困難となることがあった。鉄筋間隔を考慮するか、ふくらみの形状を考慮したバーナーを選定する必要がある。

（６）隣り合う鉄筋へのガス炎の影響

鉄筋間隔が狭い場合、隣接鉄筋にバーナーの炎が届くことがあり、隣接鉄筋の端面が酸化する恐れがある。防炎シートで隣接鉄筋の端面を保護するか、圧接手順を考慮する、あるいは圧接位置をずらす等の対応が必要となる。

５. おわりに

先組み鉄筋でのガス圧接継手に関し、基礎実験と実証実験を行った結果、結束された先組み鉄筋でも問題なくガス圧接継手が施工できることがわかった。ただし、施工で注意すべき点もあり、施工要領書を作成するうえでは下記の点を考慮する必要がある。

（１）基礎実験上限圧の設定

先組み鉄筋の場合は、せん断補強筋の結束による拘束力を考慮して、初期加圧（上限圧）を鉄筋断面積当たり、10 MPa 程度高めに設定するとよい。

（２）鉄筋の最小間隔

今回の施工実験では、鉄筋間隔として、日本建築学会：鉄筋工事標準仕様書 JASS 5 で規定する最小間隔とした。基本的には、JASS 5 で規定する最小間隔でもバーナーの挿入には支障がなく、圧接可能であったが、作業姿勢によっては、圧接部にふくらみができることにより、バーナーがふくらみに当たり、挿入が困難な部分もあった。ふくらみの外形を考慮したバーナーを選定するなどの注意が必要である。

（３）圧接手順による留意点

同一断面での圧接の場合、バーナーの向きによって、図-10 に示すように、バーナーの先に隣接する鉄筋端面

図-10 隣接鉄筋端面の酸化

に、バーナー炎が隣接する鉄筋端面に届く場合がある。この場合、未圧接鉄筋の端面が酸化することがあるので、火災防止等を行う、または、バーナーの向きとして、奥の鉄筋から圧接を行うような手順を計画する必要がある。また、圧接位置を同一断面ではなく、100 mm 程度ずらす等の処置を行うと好ましい。

(4) 圧接手順について

実験の結果では、先組み鉄筋でも、一人の技量者が順次圧接を行っても、最終的には、すべての鉄筋の拘束力は解除されると同時に、建入れ精度にも影響がないこと

が分かった。

ただし、柱筋、梁筋の圧接に当たっては、対角方向の鉄筋を交互に圧接することが好ましい。また、柱筋の場合は、コーナーの鉄筋から順次圧接を行うと良い。一方、梁筋の場合は、柱筋と比較して拘束力が大きいため、拘束力の少ない内部の鉄筋から圧接を進めて、コーナー筋は最後に行う等の配慮が必要である。

謝 辞 本実験は、全国圧接業協同組合連合会および(公社)日本鉄筋継手協会の共同研究として行った実験である。実験に際してご協力を頂いた関係各位に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，2009