第Ⅱ部 新溶接・接合技術の発展
への期待

④ 建築鉄骨における接合技術*

中 込 忠 男**

Junction Technique of Architectural Steel
Structure*

by Tadao NAKAGOMI**

キーワード：溶接，接合，建築鉄骨，信頼性，構造

1. は じ め に

建築鉄骨の溶接は他の鋼構造物の溶接部と違い、強度のみでなく変形性能が必要とされる接合部に用いられていることが多い。特に建築鉄骨の柱梁接合部付近は塑性化することを前提として、柱梁部材の断面を設計している。そのため、接合部付近が塑性化した時には十分な変形性能を有していなければならない。また、設計者は柱梁接合部の変形性能が十分にあるという仮定の基で設計しており、溶接部近傍は十分な延性があると信じ、大きな塑性変形を伴わない脆性破壊が起こることは念頭になかった。

しかし、阪神・淡路大震災においては、柱梁接合部では脆性破壊した事例が数多く見られたため、柱梁接合部の耐震性が大きく問われるようになってきた。この事実は、柱梁接合部では梁の局部座屈を想定し、塑性延びによる変形能力を期待して設計していることと必ずしも一致しない。

2. 新 接 合 技 術

鉄骨の接合部は現状では溶接接合とボルト接合で行われている場合がほとんどである。さらにそれらに変わる技術の確立があるならば、建築鉄骨の接合に関しては

もっと正確性が確保できるものと考えられる。接着剤のような簡便なもので強度と信頼性が確保できるものがあれば接合に関しては安全性及び施工性も飛躍的に向上すると考えられる。

もう少し近未来での可能性としては、大入熱や施工に伴う不具合などがある場合でも十分に強度・靱性の保たれる鋼材が開発されることが望まれる。素材レベルでは、そのような鋼材も各種開発が現在進められてきているが、まだ、実構造物レベルでは十分に対応されているとはいえない。また、建築鉄骨の分野においてもレーザー溶接や攪拌溶接のような溶接方法も取り入れることができればさらに良好な溶接接合部ができるものと考えられる。経済性と信頼性をかねそなえた強力な溶接法が望まれる。

3. 溶接施工条件の確立

現状建築鉄骨における溶接施工は開先精度のばらつきや目違い等の組立誤差が大きく、熟練溶接技能者の技術にかなりの部分を依存している場合が多い。しかし、溶接技能者はいかに欠陥をださないか、ビード形状を整えているかといった点では優れた技術を有しているが反面、溶接接合部にどれだけの応力が加わるか、どのような部位から破壊するかといった点についてはまだまだ理解が成されていない場合が多いように感じられる。

どのような溶接施工、溶接条件で行われれば、どの程度の力学的性能が確保されるかといった面についても研究分野でも明らかになっているとは言えない部分もあ

*原稿受付 平成12年11月1日

**正 員 信州大学 Member, Shinshu Univ.

る。

最新の施工技術の追求ばかりではなく、そういった基本的な資料の提示とともに溶接管理者、溶接技能者への教育面も重要視していく必要がある。そのためには、様々な分野での専門的な知識を有する技術者による講習会の開催等も必要であろう。

また、そのような点を踏まえた上でロボット化や無人化を行うことによって経済性や信頼性が向上していくことが期待される。

4. 検査方法の確立

溶接欠陥の検出を目的として建築鉄骨では一般に超音波探傷試験と外観検査が行われている。超音波探傷試験が主に溶接部の内部欠陥を調査するのに対して、外観検査は表面的な欠陥や精度を目視によって行う検査方法である。溶接部の外観が良好であっても、溶接部の内部に溶接欠陥が存在する場合も考えられるが、溶接部の外観が不良な場合、内部の溶接状態も不良であることが多いので、溶接部の品質を見極めるためには、重要な検査である。

鉄骨の検査はこのような方法を用いて行われるが、検査はあくまでも溶接欠陥の有無を確認するために行われるものであり、品質を全面的に向上させるものではないと考えるべきである。溶接部の品質は製作工程の中で作り込むものであり、どのような品質管理体制のもとで行われたという過程を重視すべきである。特に、適切な溶接条件（入熱、パス間温度等）によって強度や靱性を確保することが重要になる。特に強度は強すぎても弱すぎてもよくないことに十分注意すべきである。また、フラックスタブ廻りの欠陥寸法についても破壊の起点となりうるため、その検出方法の確立は梁端のフラックスタブ周辺の破壊を防止する上で重要である。

5. 現状の溶接接合部の強度/靱性

梁端接合部での破壊を防止するためには、設計上における耐震要求性能を明確にしておくことはもちろんであるが、それ以前の問題として溶接施工を加味した実性能を把握しておくことも重要である。

設計で意図した骨組及び柱梁接合部の要求性能を確保する上で、ディテール（ノンスカラップ・スカラップ）の問題だけではなく、開先・溶接条件（入熱量・積層法・パス間温度）・施工条件（エンドタブ・裏当て金及びそれを取り付ける組立溶接・アークストライク）など溶接施工上の諸問題が変形性能を大きく左右するため、これらの問題点を解決すべく方策を講じる必要がある。以下に梁端接合部の変形性能に影響を及ぼすと考えられる溶接

施工の要因及び留意点について記述する。

(1) 溶接施工条件が溶接部の力学的性能に及ぼす影響

溶接金属の強度と靱性は、一般的に入熱及びパス間温度の上昇に伴い低下することから、1996年2月の鉄骨工事技術指針工場製作編の改定に際し、溶接部の品質確保のため、溶接施工条件の推奨値（入熱 40kJ/cm 以下、パス間温度 350℃ 以下）が設けられた。しかし、そこでは入熱とパス間温度の上限値を目安として提示したものであり、溶接条件により強度および靱性が変化することについて設計者の啓蒙を目的としていたため、必ずしも合理的な設定値となっていないのが実情である。

JIS Z 3312「軟鋼及び高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤ」の内、建築鉄骨構造物ではCO₂ガスシールドアーク溶接用のワイヤ YGW11（以下、YGW11 と称す）が用いられることが一般的であるが、化学成分の調整によって強度及び靱性の改善を行った溶接ワイヤが近年開発され、JIS Z 3312 YGW18（以下、YGW18 と称す）として1999年12月に規格に盛り込まれた。これにより、接合する鋼種及び溶接施工条件に基づき使用する溶接ワイヤの選択肢が広がり、JIS Z 3312 解説では、新たに開発された YGW18 を含めて、建築鉄骨における溶接ワイヤの使用区分を所定の入熱の範囲内でパス間温度の上限に対して使用する鋼材と溶接材料の組合せが示されている。これは、国内メーカーの溶接ワイヤを用いて溶接金属に及ぼす入熱・パス間温度の影響を調査した実験結果¹⁻⁴⁾を基に、引張強さが被接合母材の規格下限値以上、0℃シャルピー吸収エネルギーが 47J 以上を前提に決められている。ただし、JIS に規定されている強度の確保はパス間温度が 150℃ と比較的良好な溶接条件で御座割れた結果である。

$$H = \frac{60 \times V \times I}{V} \dots\dots\dots (1)$$

H ：入熱量 (J/cm) I ：溶接電流 (A)

V ：アーク電圧 (V) v ：溶接速度 (cm/min)

一方、溶接金属の強度及び靱性は、(1) 式で求められる溶接入熱とパス間温度との組合せで推定が可能であるとのデータも示されている⁵⁾。

このようにして、溶接施工条件による強度・靱性の变化を把握し、適切な溶接条件を選定することできれば、耐震安全性向上とともに、溶接施工の効率化が図れることになる。ここでは、YGW11 及び YGW18 の両溶接ワイヤでのデータを用いて検討した結果を示す。

1) 溶接時の温度履歴

溶接時の温度履歴について行った結果について報告する。試験体及び温度測定位置を図 1 に示す。溶接を行った試験体の溶接時の熱履歴を図 2 に示す。溶接の開始と共に温度は上昇し、2 パス目で熱電対 T2 のパス間温度が設定温度 250℃ を超えた。板幅中央、開先から 50mm

図1 試験体形状

図2 温度-パス間関係

図3 計測器による差異

の位置を測定した熱電対 T2 の測定値は冷却中に開先から 10mm の位置を測定した熱電対の測定値とほぼ等しくなり、開先から 50mm までの試験体の温度分布が一樣になったことがうかがえる。T4 の場合、開先から 10mm で計測した場合と比較しても温度の上昇が顕著に見られない。

計測器の差異による温度測定値の違いを図 3 に示す。熱電対 T1 の測定値に対して放射型温度計 R2 は高く、接触温度計は低い値であったが温度が下がるに従い測定

図4 温度-パス関係 (20KJ/cm)

図5 温度-パス関係 (40KJ/cm)

図6 応力-歪関係

値の差は減少する傾向がみられた。

このようにパス間温度の管理の際には、各計測器の特性を把握し、どのような温度で行われているかについて十分検討する必要がある。

図 4 から図 5 に試験体中央部と端部とのパス間温度の比較を示す。中央部、端部ともに差は顕著には見られず、パス間温度は中央部での温度によって管理することができるといえる。

図 6 に入熱量 30kJ/cm の時のパス間温度を変化させた場合の溶接金属の応力-歪曲線を示す。

YGW11, YGW18 とともにパス間温度が高くなるに従い、強度が低下しているのが分かる。

2) 入熱とパス間温度による溶接金属の力学的性能の変化

入熱及びパス間温度は溶接金属の機械的性質に対して、単独ではなく互に関連して影響を与える因子として位置付けられる。入熱の増加及びパス間温度の上昇が溶接金属の機械的性質に与える影響に関して、既往文献 1)~5) のデータを用いて溶接入熱量とパス間温度を目的変数として式 (2) に示す予測式を構築して重回帰分

析行い，溶接条件について検討を行った。

$$Y_p = a \times P_{\max} + b \times H_{\max} + c$$
$$T_s = a \times P_{\max} + b \times H_{\max} + c$$
$$vE0 = a \times P_{\max} + b \times H_{\max} + c$$

(2)

目的変数 Yp: 降伏点, Ts: 引張強さ, vE0: 0℃吸収エネルギー

説明変数 Hmax: 入熱, Pmax: パス間温度

図7～図9に重回帰分析結果を示す。溶接ワイヤ YGW11では降伏点，引張強さともに相関係数で0.7以上であるのに対して，YGW18では引張強さに関する実験値と予測値の重相関係数が若干低い傾向を示す。溶接金属の0℃吸収エネルギーは YGW11, YGW18ともに相関は低く，溶接入熱量，パス間温度のみでは予測が難しい。

溶接金属の強度とパス間温度の関係を図10と図11に示す。鉄骨工事技術指針工場製作編に示される推奨値（パス間温度 350℃以下）では，平均値で JIS 規格の最低値はほぼ満足している。

図7 推定値－実験値関係 (YGW11)

図8 推定値－実験値関係 (YGW18)

建築鉄骨柱梁溶接接合部の溶接金属に要求される機械的性質は，一般的には溶接接合する鋼材により決定されるが，同一の溶接ワイヤを用いる場合，降伏点，引張強さ及び0℃吸収エネルギーの要求値は接合する鋼材により異なることから，鋼種毎に溶接条件を設定する必要がある。

図12～図14に重回帰分析による予測値と予測下限値との関係を示す。予測下限値は予測値の溶接条件を用い

図9 推定値－実験値 (0℃吸収エネルギー)

図10 引張試験結果－パス間温度関係 (YGW11)

図11 引張試験結果－パス間温度関係 (YGW18)

図 12 平均値—予測値関係

図 13 平均値—予測値関係

図 14 平均値—予測値関係

た場合の95%信頼曲線に相当する強度及び靱性を示している。図より、降伏点で390N/mm²の予測値の溶接条件で行った場合、YGW11では333N/mm²、YGW18では316N/mm²までばらつき可能性があることがわかる。

以上のことから、溶接金属に要求される強度及び靱性に対して、式(2)を用いて溶接入熱とパス間温度の組合せを求めることにより、合理的な溶接施工条件の選定を行うことが可能となる。

ただし、ここで示したようにJIS規格材においても相当のばらつきがあり、これはメーカー毎でワイヤの化学成分

が異なることから生じているものと考えられる。文献5)では、メーカーの銘柄毎に同様の回帰式を求めており、比較的ばらつきの小さい結果が得られていること、さらにその回帰式は銘柄毎で異なっていたことが報告されている。また、溶接金属の化学成分は、接合する鋼材の希釈により変化し、溶接入熱の実効値は下向き溶接と立向き溶接とで異なると言われている。従って、溶接施工条件の設定に際してここで示した手法を適用するには、実際に使用する溶接材料と接合する鋼材の種類、溶接姿勢に基づいて施工確認試験を行い、回帰式(4)を求めておく必要がある。また、強度に比べ靱性はばらつきが大きいことから、施工確認試験データの平均値ではなく、95%信頼値等から溶接施工条件を選択することにより信頼性が向上する。

6. ま と め

現状では不可能なことからちょっと注意すれば可能なことまでとりとめがないことを述べてきた。

また、現状の溶接金属の強度・靱性について検討した結果を示してきた。いずれにしても建築鉄骨は何らかの形で接合をしていかなければならない構造である。接合技術指針に関連する方々のお知恵を拝借して建築鉄骨の接合が進展していくことを期待する。

参 考 文 献

- 1) 向井・中野・岡本・森田：建築構造用マグ溶接ワイヤの検討，日本鋼構造協会鋼構造論文集，第7巻，第26号，2000.6
- 2) 市川・中込・原山・的場・白井：様々な溶接条件で施工された溶接金属の機械的性質に関する実験的研究（その1～その3），日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），C-1，2000年
- 3) 日本溶接協会：溶接の研究，No. 37，1998
- 4) 日本溶接協会：溶接の研究，No. 38，1999
- 5) 倉持・加賀美：建築鉄骨溶接における入熱量とパス間温度の設定と管理について，鉄構技術，1999.12
- 6) 桑村・岡村・村岡：低YR70キログラム高張力鋼の溶接継手強度について，構造工学論文集，Vol. 34B，1988.3
- 7) 藤本・青木・中込・西沢：電炉広幅平鋼及び電炉厚鋼板(SM490A)を用いた柱・梁接合部の破壊性状と素材特性の関係，日本鋼構造協会鋼構造論文集，第1巻第4号，1994.12
- 8) 植森・栗飯原・斎藤・間瀬：建築用HT490鋼の溶接部靱性に及ぼす鋼中窒素および燐の影響，日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿），C-1構造III，1996.9
- 9) 小野・村山・中山・増田：建築構造用電炉厚板の大入熱溶接熱影響部の靱性，日本建築学会構造系論文集，第514号，1998.12
- 10) 古谷・植森・栗飯原・永田・池辺・小嶋・村上・岡本・工藤・久保・渡辺・安藤・塩飽・本間・向井・森田：建築用鋼材のHAZ靱性評価方法の提案と靱性評価結果，鋼構造協会鋼構造論文集2000.6
- 11) 倉持・加賀美：建築鉄骨のMAG溶接に於ける入熱量とパス間温度の設定方法について，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），C-1，2000年