意匠性に優れた小断面極厚肉角形鋼管

長 浜 拓 也¹⁾ 剣 持 一 仁¹⁾
片 桐 忠 夫²⁾ 坂 田 敬³⁾

1. 緒 言

建築鉄骨で使用される角形断面部材の製造方法は、厚鋼板を溶接にて組み立てる溶接四面ボックス、厚鋼板をプレス機にてコの字型あるいは角形に成型した後に溶接するプレスコラム、熱延鋼板を円筒に成形した後に電気抵抗溶接し角形断面に成形するロールコラムに大別される。それぞれの寸法範囲を図1に示す。

一方、建築物の納まりや意匠性・美観上の要因から、断面外径を小さく抑えて肉厚を厚くするニーズがある。この角形鋼管は、建築の意匠性向上の点からニーズが高い。柱の占有面積を減少させれば、壁面のガラス張り面積が増加し、昼間はビル外面の輝きを増し、また夜間は建物内部の照明によりビル全体がライトアップされる。また、ビル内部においても、柱を薄い壁の中に埋め込み目立たなくさせることによって意匠性の向上も図れる。しかし、柱材の小断面化は剛性の低下につながるため、従来のロールコラムにはない厚肉の角形鋼管が必要とされていた。

この小断面極厚肉角形鋼管は、柱材として使用されるため、優れた靱性が要求される。さらに、柱材としての意匠性から、コーナ部形状がシャープでかつ辺部がフラットである必要がある。

極厚肉柱を製造するには、溶接四面ボックスを活用する方法が考えられるが、小断面の場合、内面のスペースが小さく自動溶接が困難なため、製作の手間が著しく膨大になり、実用化には至っていない。

そこで、筆者らは、靱性および形状の良好な極厚肉角形鋼管を新たに開発したので、その詳細を以下に示す。

図1 角形鋼管の製造範囲と種類。

2. 要求される特性

製品の辺長および肉厚の範囲が、図1に示すとおり、辺長150~250 mm、肉厚13~35 mmと、全く新規の小断面かつ厚肉品の開発を目標とした。

コーナ部靱性は、JIS 規定では $vE0 \geq 27J$ であるが、柱を小断面化すると構造的に折れやすくなることを考慮すると、より優れた靱性を有することが望ましい。

コーナ部および辺部の寸法精度は、柱材としての意匠性および仕口としての性能面から、コーナ $R \leq 1.5 \times \text{肉厚}$ (冷間コラムでは $2.5 \sim 3.5 \times \text{肉厚}$)、辺部平坦度 $\leq 0.5\%$ (冷間コラムと同等) を目標とした。

3. 製造技術の開発

(1) コーナ部靱性と均質性の確保

角形鋼管コーナ部材質作りこみの考え方を図2に示す。角形鋼管を厚板の溶接により製造する場合、溶接部となるコーナ部に溶接熱影響部が生じ、靱性が劣化するため、あらかじめ素材の厚板および溶材を高靱性化しておく必要がある。そこで、円形断面の素管をロール成形等により角形に一体成形

* JFE スチール株式会社

スチール研究所鋼管・鋳物研究部: 1) 主任研究員 3) 部長
鋼管セクター部: 2) 主任部員

Development of Small Area and Ultra Heavy Gauged Square Tube for Excellent Designing; Takuya Nagahama, Kazuhiro Kenmochi, Tadao Katagiri, Kei Sakata (JFE Steel Corp.)

2004年10月29日受理

することにより、素材の制約が小さい製造技術を開発した。

一体成形の場合、コーナ部は辺部よりも変形が大きくなり、その程度は肉厚/辺長比が大きいほど顕著である。従って、冷間成形では、コーナ部が著しく加工硬化し、小断面極厚肉の場合、その製造過程においてコーナ割れが生じる原因となる他、上記のようなシャープなコーナ部の形成も難しい。

ここで筆者らは、一体成形時の温度について検討した。まず、仕上げ温度をAr1変態点以下とすると、冷間同様にコーナ部の加工硬化が生じる。Ar1変態点以上Ar3変態点以下の温度の場合も、フェライト部分には転位が蓄積するため、フェライト比率の高い低温側で成形した場合には冷間同様の加工硬化の問題が生じる。また高温側の場合、成形途中でフェライト粒が粗大化し、靱性が劣化しやすい。従って、成形を行う温度はAr3変態点以上とする必要がある。

一方、一般に角形鋼管のコーナ部は辺部よりも厚肉であり、かつ成形時においてもロールとの接触が少ないため、辺部よりも冷却速度が遅くなる。このためコーナ部では結晶粒が粗大化し、靱性が辺部よりも低くなりやすい。これを防止するためには仕上げ温度をできるだけ低くし、Ar3変態点直上の未再結晶オーステナイト域におけるひずみ導入により、変態後のフェライト粒を微細化する必要がある。

以上より、仕上げ温度はAr3変態点の直上とするのが最適であることがわかった。これを実現する方法として、筆者らは、シームレス鋼管製造プロセスを活用し、その最終工程であるサイジングミル(図3)において円形断面の素管を角形に一体成形する技術を開発した。

(2) サイジングミルにおける角形鋼管成形

熱間サイジングミルは、複数の孔型圧延機をタンデムに配置し、太径の素管を圧延して径を小さくし、所定の外径に仕上げるものである。本開発では、既存の2ロール式8スタ

図2 コーナ部材質特性作りこみの考え方。

図3 熱間サイジングミルを用いた角成形の概要。

ンドサイジングミルを活用し、その後半4スタンドにおいて、円形断面の素管を角形断面に成形した。

一般に、ロール成形で円形断面の素管を角形に成形する場合、シャープなコーナ部とフラットな辺部の両立は困難とされている。そこで本開発では、生産設備を用いた実験⁽¹⁾および剛塑性有限要素法⁽²⁾によりロールカリバーおよびパススケジュールを適正化し、双方の両立を可能とする圧延技術を開発した。

4. 本開発品の特長

(1) 材料特性

本開発品の辺部およびコーナ部の00Cにおけるシャルピー試験吸収エネルギーを図4に示す。辺部の靱性は150ないし220Jであり、コーナ部では160ないし230Jである。本開発品は溶接を用いず、Ar3変態点直上の温度での圧延により一体成形した結果、コーナ部と辺部の靱性差が小さくなった。

本開発品の辺部とコーナ部における肉厚方向の硬さ分布を図5に示す。辺部、コーナ部ともに硬さがほぼ均一である。通常、冷間成形で製造された角形鋼管の場合、コーナ部には強い曲げひずみが生じ、コーナの外側および内側が加工硬化する。特に本開発品のような極厚肉角形鋼管となるとその傾向が著しくなるが、本開発品は熱間圧延により成形しているため、このような加工硬化が発生せず、面で均一な硬さを示す。

図4 本開発品の辺部およびコーナ部衝撃吸収エネルギー。

図5 本開発品の硬さの肉厚方向分布。

コーナR: 1.0 x 肉厚
辺部平坦度: 0.2%

図6 本開発品の実測断面形状(辺長 250 mm, 肉厚 35 mm).

図7 コーナRに及ぼす縮径率の影響.

(2) 寸法特性

本開発品の一例として、辺長 250 mm, 肉厚 35 mm の極厚肉角形鋼管の断面形状を図6 辺部平坦度は0.5%以下、コーナRは肉厚×1.5倍以下である。

この良好な寸法特性を得るため、熱間サイジングミルの各スタンドの縮径率を最適化した。コーナRについては、図7に示すように、縮径率が高いほど小さくなり、シャープなコーナ形状となった。一方、辺部形状に関して、図8に示すパターンAでは、6スタンド目から8スタンド目まで6%以上の高い縮径率で加工した結果、辺部の平坦度を示す曲率では最終8スタンド目に辺部が凸形状から凹形状に変化し悪化した。これに対してパターンBは5スタンド目、6スタンド目で7%以上の高い縮径率で加工し、7スタンド目、8スタンド目で4%以下の低い縮径率で加工した結果、最終8スタンド目では辺部平坦度をほぼ0、すなわちフラットにできた。

5. 本開発品の適用事例

本開発品は高意匠性建築用柱材として種々の建築に適用されている。その例として、ハイテク開発センター⁽³⁾の外観を図9に示す。本開発の小断面極厚肉柱を適用し外壁の総ガラス張り面積を増加させてビルの美観を著しく向上している。この他にも、本開発の小断面化した柱材をアーケードに適用し混雑する商店街で買い物客が通りやすく、各商店の陳列を

図8 角成形における辺部の曲率変化に及ぼす各スタンドの縮径率の影響.

図9 ハイテク開発センター外観(本開発品が壁面ガラス張りの柱材に適用).

見映え良くした例⁽⁴⁾、内装用壁面に埋め込み、外壁を総ガラス張りとしたファッションブランドビル⁽⁵⁾、等、本開発品は意匠性を要求される建築柱材として適用されている。今後、上記に加えて、スポーツ競技場の構造部材、デパートのカーテンウォール、マンションの構造部材、さらには建機部材、ブレースやトラス等の構造部材等、多岐な用途への適用拡大が期待されている。

6. 特 許

特許3308848, 特許3353880他, 合計5件出願済み。

文 献

- (1) 長浜拓也, 豊岡高明, 山本健一, 喜多政春, 小野田義富, 長町拓夫: 平成11年度塑性加工春季講演会論文集, 410 (1999), 181.
- (2) 小野田義富, 長町拓夫, 豊岡高明, 長浜拓也, 森岡信彦: 平成11年度塑性加工春季講演会論文集, 104 (1999), 7.
- (3) 日経BP社: 日経アーキテクチャ, (2003.12.5), 10.
- (4) 鉄鋼新聞社: 鉄鋼新聞, 2003.10.24, 4.
- (5) 日経BP社: 日経アーキテクチャ, (2004.2.23), 10.