

(解説)

KOBELCO グループの建築鉄骨向け溶接技術

鈴木 励一^{*1} (博士 (工学))

Kobelco Group's Welding Technologies for Architectural Steel Frames

Dr. Reiichi SUZUKI

要旨

建築鉄骨の製造・組立において、接合は最も重要な生産技術である。KOBELCOグループは、長きにわたって高力ボルトやアーク溶接技術によって建築業界の発展に貢献してきた。近年は人材不足の課題からロボット化による自動化ニーズが強まっており、アーク溶接大型ロボットシステムの鉄骨製作工場への適用拡大、さらに可搬型アーク溶接ロボットの現地への適用の動きが顕著である。また、貴重となりつつある溶接士に対して、実技とバーチャルの両手段の組合せによって、その育成の敷居を下げる取組を行っている。

Abstract

Joining is the most important production technology in the manufacturing and assembly of architectural steel frames. The Kobelco Group has long contributed to advancement of the construction industry through its high-tension bolts and arc welding technologies. Recent labor shortages have increased the need for automation by robotization. This has led to a notable trend toward the expansion of large-scale arc welding robot systems in steel frame manufacturing factories, as well as the adoption of portable arc welding robots on-site. In addition, efforts are being made to lower the barriers to training for welders, who are becoming increasingly rare, by combining practical and virtual training methods.

検索用キーワード

建築, 鉄骨, 構造, 柱, 梁, アーク溶接, ロボット, 自動化, 技量訓練, バーチャル

まえがき = 日本は地震国である。これまで何度も大きな震災が発生し、人的・物的損害を被ってきた。そのため、古代の五重塔に代表される高層木造建築物から現代の超高層鉄骨ビルに至るまで、耐震性向上に関する材料・構造・接合方法といった技術開発が進められてきた。

KOBELCOグループとしても強靱（きょうじん）な建築構造物を構成するための多くの技術を開発・提供し、国土強靱化に貢献している。その中でも鋼のアーク溶接に関する技術や商品に強みを持つことが特徴であり、近年ますますその重要性は高まっている。

本稿では、鉄骨様式と接合法の関係を中心に、KOBELCOグループの特徴ある高品質化・高能率化・自動化ソリューションを広く紹介する。

1. 建築物に適用される素材¹⁾

一般的に建築物の主要構造部に適用される素材は、木、コンクリート、鉄が多数を占め、これらの素材を用いた構造として①鉄筋コンクリート造（RC造）、②鉄骨・鉄筋コンクリート造（SRC造）、③鉄骨造（S造）などがある。また鋼管柱にコンクリートを充填した④コンクリート充填鋼管造（CFT造）や、木と鉄を組み合わせたハイブリッド構造など多岐にわたる（図1）。

近年、構造物の大型化・高層化が進んでいるが、高層

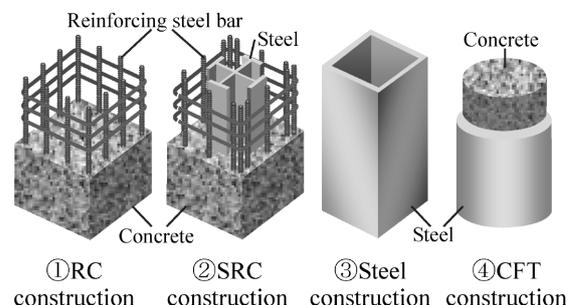


図1 大型建築物における柱の様式
Fig.1 Column styles in large buildings

マンションにおいては居住性を重視しRC造が多く適用され、高層オフィス・ホテルや生産施設についてはS造やCFT造が多く適用されるなど、建築物の用途に応じて最適な構造を選択している。とくにS造やCFT造については建築物の耐震性能などを十分に発揮するため、鋼材には高い強度やじん性が要求され、接合部に対しても高い応力伝達能力が求められる。

2. S造における柱と梁の接合形式

S造には柱と梁を剛接合としたラーメン構造が多く用いられ（図2）、剛接合部分では、梁に対して分割した柱を取り付ける（a）梁（はり）貫通形式、柱に対して

^{*1} 溶接事業部門 技術センター

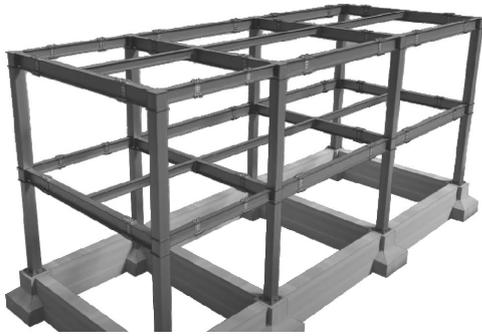


図2 鉄骨ラーメン構造のイメージ
Fig.2 Image of steel rahmen structure

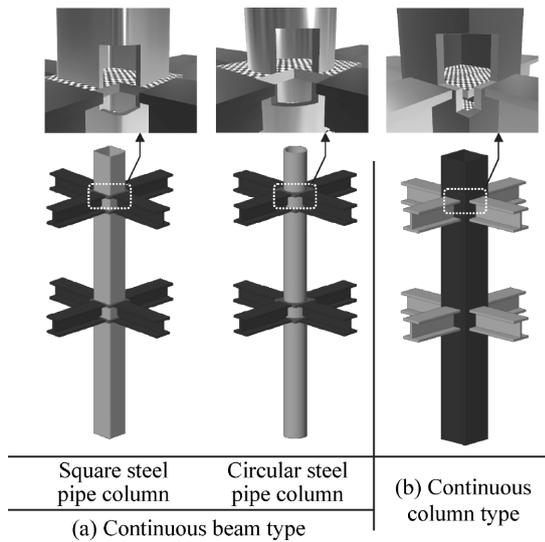


図3 柱と梁の接合形式
Fig.3 Types of column and beams connection

分割した梁を取り付ける (b) 柱貫通形式がある (図3)。

(a) は通しダイヤフラム形式とも呼ばれ、とくに日本で発展している。世界的にみると独特な形式であるが、アーク溶接ロボットとの相性が良く、品質の安定化と省人化に適した大きな利点があり、本形式が普及した要因となっている。(b) は国内で超高層建築物の溶接組立箱形断面柱に多く用いられ、内ダイヤフラム形式が適用される。

3. 接合方法の大分類と当社の取組

金属の接合方法は、(1) 機械的接合、(2) 冶金的接合、(3) 化学的接合に分類される。(1) はボルト・ナット、リベット、釘など、(2) はアーク溶接、抵抗溶接、レーザー溶接、圧接、ガス溶接など、(3) は接着剤が主な種類である。建築鉄骨では、高い接合強度と長期信頼性、耐火性、能率、汎用性などの点から、(1) (2) の代表であるボルト・ナットとアーク溶接が用いられている (図4)。

ボルト・ナットの長所は、(a) 接合部のギャップ対応範囲が大きい (締め潰せる)、(b) 材質劣化が起きにくい、(c) 技量負荷が小さい、(d) 欠陥が発生しにくい、(e) 不良を検出しやすい、(f) 作業の安全性が高いことである。いっぽう短所は、(a) 長期的に緩みが生じる可能性がある、(b) 継手形状や板厚に適用範囲の制限がある、

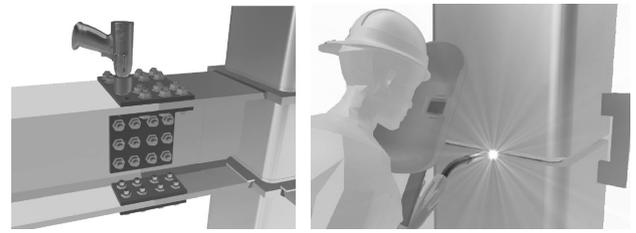


図4 ボルト・ナット接合とアーク溶接 (イメージ)
Fig.4 Images of nuts & bolts joining and arc welding

(c) 自動化に不適、(d) 鋼板に断面欠損が発生する、(e) 部分接合であるといった点が挙げられる。

また、アーク溶接の長所は、(a) 継手形状によらず接合可能、(b) 強度・じん性の信頼性が高い、(c) 自動化しやすい、(d) 高能率、(e) 低コストなどが挙げられる。いっぽう短所としては、(a) 周辺母材も含め材質的な劣化が起きやすい、(b) 高い技量を必要とする、(c) 内部欠陥が起きやすく、かつ検出しにくい、(d) 火花 (スパッタ)、光、煙、高熱といった安全・衛生面の懸念が挙げられる。

このように接合方法にはそれぞれ長所・短所があり、特徴を勘案して適材適所で適用されている。KOBELCOグループでは、ボルト・ナットを神鋼ボルト(株)、アーク溶接を当社溶接事業部門とコベルコ溶接テクノ(株)、コベルコROBOTiX(株)などが各種商品やソリューションを提供している。また、ボルト・ナット用の高性能線材や溶接性に優れた厚鋼板を当社鉄鋼アルミ事業部門が提供している。

4. アーク溶接

アーク溶接は、鋼管や形鋼を用いた建築鉄骨製作における工場溶接に加え、建設現場での鉄骨建方における現場溶接など幅広く適用されている。アーク溶接には、実用化の歴史順に①被覆アーク溶接、②サブマージアーク溶接、③エレクトロスラグ溶接 (※厳密にはアーク溶接ではないが、近縁としてここでは含める)、④ノーガス溶接、⑤ガスシールドアーク溶接、⑥エレクトロガスアーク溶接などの種類がある。当社の溶接事業部門はこれらに必要な溶接材料を市場に提供しており、1940年の事業開始以降、建築インフラの構築、高度化に貢献してきた。

また、高い技量が必要とされるアーク溶接の普及を目指し、1960年代初頭には教習所を備えて溶接士の技能訓練事業も開始し、高品質な溶接を日本各地で実現するための優秀な人材を育成してきた。

さらには、自動化・高能率化・高品質化に有効な溶接装置事業にも力を入れ、1980年代半ばに発展させた鉄骨建築向け溶接ロボットシステムは、鉄骨製作工場や現場建方において、多くご利用いただいている。

4.1 RC造, SRC造の溶接技術

RC造やSRC造では異形鉄筋同士の接合が必須である。当社は1960年代に、これに適した溶接法として当社は「KEN (Kobe Steel's Encluse Narrow-gap) 法」を開発し、市場に広めた²⁾。接合部を銅板で覆い、内部を溶接金属

で充填する方法である。適用する溶接材料は被覆アーク溶接棒であった。さらに1989年には、これを炭酸ガスシールドアーク溶接で実施する発展型の「KEN-SH (Kobe Steel's Enclose Narrow-gap Welding-Semiautomatic High- Performance Process) 法」を開発した³⁾ (図5)。

これらの技術指導は、コベルコ溶接テクノ(株)の前身企業である神鋼溶接サービス(株)で実施していたが、2010年に(公社)日本鉄筋継手協会に事業移管し、名称も「JCe」工法に変更された。現在は協会認定工法として、鉄筋業で実施されている⁴⁾。

4.2 S造一柱貫通形式の溶接技術

柱貫通形式に用いられる柱材には、H形鋼、H形鋼を組み合わせた十字柱、溶接組立箱形断面柱などの種類があるが、ここでは最も代表的な溶接組立箱形断面柱を取り上げる。この柱材は四面BOX柱とも呼ばれる。

構造は、4枚のスキムプレートと呼ばれる鋼板と補強のための複数枚の内ダイアフラムで構成され、それぞれ全線が溶接される。向き転換を除けば、工程は主に2工程で、別種の溶接法が用いられる(図6)。

プレート同士が柱の長手方向に接合される部分は角継手と呼ばれており、鋼板を最小1パスで溶接できる大電流サブマージアーク溶接法が用いられ(図7)、2電極を

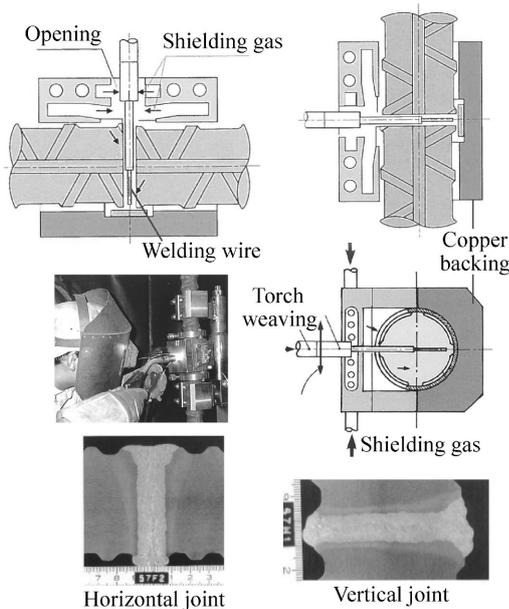


図5 異形鉄筋溶接法「KEN-SH」

Fig.5 Reinforcing steel bar welding method "KEN-SH"

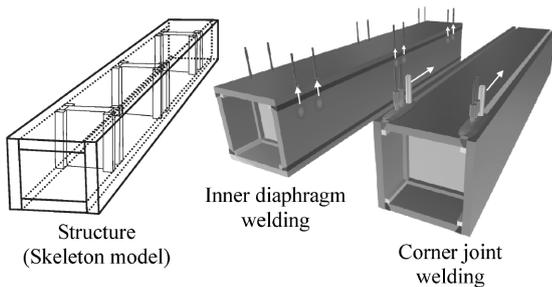


図6 溶接組立箱形断面柱の構造と組立溶接法

Fig.6 Structure and assembly welding methods of built-up box section column

直列に並べたタンデム式となることが多い。板厚約60 mmを超えると1パスでは溶接困難となり、その場合は炭酸ガスアーク溶接で下盛溶接した後、サブマージアーク溶接により全2パス以上で溶接を行う(図8)。最近の超高層ビルでは最大で鋼板の板厚100 mmにも及ぶ物件も登場しており、下盛溶接をすると能率低下が生じるため、サブマージアーク1パス板厚限界の向上、あるいは複数パスサブマージアーク溶接施工が日々研究されている。

当社は、溶接組立箱形断面柱の角継手を高効率で溶接するための多電極サブマージアーク溶接システムをかねてから開発、販売しており^{5), 6)}、最近の溶接システムの外観を図9に示す。

いっぽう、内ダイアフラムの溶接には、エレクトロスラグ溶接法が用いられる。側面スキムプレート、ダイアフラム、裏当て材2枚を使って図10のように閉鎖空間を作り、その中に溶接ワイヤを導入するためのノズルを上面スキムプレートに設けた穴から差し込み、垂直に引

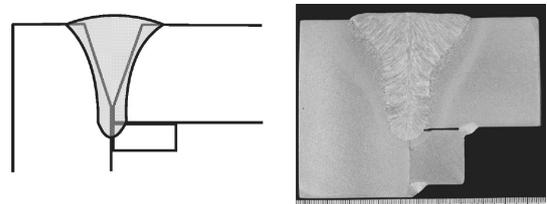


図7 2電極サブマージアーク溶接法による1パス積層角継手の断面の例(板厚50 mm)

Fig.7 Example of cross section of single pass corner welding joint by double electrodes submerged arc welding method (Steel thickness: 50 mm)

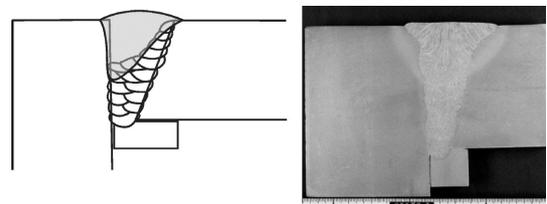


図8 炭酸ガスアーク下盛+2電極サブマージアーク溶接による混用溶接継手の断面の例(板厚80 mm)

Fig.8 Example of cross section of multi-pass corner welding joint by CO₂ arc welding and double electrodes submerged arc welding mixed method (Steel thickness: 80 mm)



図9 当社製溶接組立箱形断面柱の角継手用多電極サブマージアーク溶接システムの例(納入先: (株)オーエーテック様)

Fig.9 Example of Kobe steel's multi electrodes submerged arc welding system for corner joints of built-up box section column (Delivered customer: OATEC corporation)

き揚げながら溶接を行うものである。溶接というよりも
 鋳造といったほうがイメージ的に近い。本溶接法は非常
 に高能率であるが、極めて入熱が大きく、かつ溶接時に
 生じる熱の逃げ道が乏しいことから、溶接部の冷却速度
 が遅く、溶接部周辺の材質劣化が懸念されるケースがあ
 る。そこで、高強度・高じん性を得るためのエレクトロ
 スラグ溶接材料の開発はもちろん、本法に好適な大入熱
 対応鋼板が開発されている。高HAZじん性鋼とも呼ば
 れ、1フロア当たりの柱本数を減らして有効面積を増や
 すために必要となる大断面柱のニーズが高まる中、当社
 でも大入熱対応高強度鋼板を開発している（本号p.11
 「大入熱溶接対応建築構造用780 N/mm²級鋼の開発」
 およびp.16「大入熱溶接対応建築構造用TMCP鋼板」
 を参照）。

4.3 S造—梁貫通形式の溶接技術

近年最も発達し、主流となった接合形式は、厚板を用
 いて角形もしくは円形断面を冷間プレスにより成形し、
 柱の長手方向に1箇所もしくは2箇所を溶接した鋼管柱
 を用いた梁貫通形式である。鋼管製造に用いられる溶接
 法は主にサブマージアーク溶接であり、まれに炭酸ガス
 アーク溶接が組み合わされることがある。狭あい箇所
 である内面の溶接には、ブームウエルダと呼ばれる特殊な
 サブマージアーク溶接システム装置が用いられる⁷⁾
 (図11)。

梁貫通形式は、鋼管メーカーの成形技術と能力の向上に
 より、高強度かつ大きな板厚の鋼管が製造できるよう
 になった。また、溶接組立箱形断面柱よりも製造工程が
 シンプルであり、コスト競争力が高いことから、次第に本
 形式へ置き換わってきている。

鉄骨製作会社における組立工程を図12に示す。鋼管
 柱と梁との接合部に、短尺の鋼管とダイアフラムを周
 溶接したコア部材（通称:サイコロ）が始めに作られる。

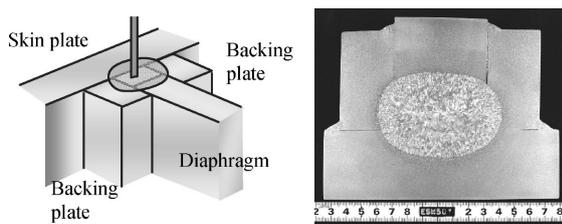


図10 エレクトロスラグ溶接によるダイアフラムとスキンプレート
 継手の構造と溶接部断面の例

Fig.10 Example of cross section and structure of diaphragm with
 skin-plate joint by electroslag welding

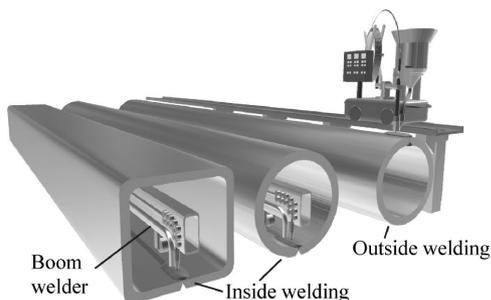


図11 プレス成形鋼管のシーム溶接（イメージ）

Fig.11 Seam welding image of press forming pipes

さらに、そのコア部材に、現場建方でボルト・ナット接
 合させるための短尺H形鋼（通称：仕口またはブラケッ
 ト）をダイアフラムに溶接する。これをさらに長尺の鋼
 管に複数個溶接して、工場製作の最終形態となる。なお、
 現場建方において、梁との接合をボルト・ナットではな
 く、溶接によって接合する場合は、ブラケットの取付は
 省略される。ノンブラケット方式は梁の出っ張りがな
 いため、工場から現場への輸送するためのトラック1台
 当たりの積載本数が増え、高能率かつコストダウンになる
 長所がある。しかしながら、現場建方の溶接工程は工場
 と異なり、溶接姿勢の制限が生じるため、溶接部周辺
 のディテールの違いが発生して、結果的に耐震性能確保
 の点で課題があるとされる。ただし、この現場溶接特有
 の問題も数多くの解決研究と実践適用が図られつつある。
 当社は、耐震性に優れた現場溶接部とするため、アーク
 溶接を利用した応力集中緩和手段による施工開発を行っ
 ているが、本稿では省略する^{8)~10)}。

さて、図12に示した炭酸ガスアーク溶接は従来、人
 手による作業であったが、現在は多関節ロボット、ロボ
 ット平行移動用スライダ、溶接ワークポジショナなどで
 構成される溶接ロボットシステムが担うようになってい
 る。昼夜連続の長時間運転も可能であり、鉄骨製作工場
 の姿を一変させた。ラインナップとしては、図13に示
 すように、①コア溶接を主に行うための省スペース型鉄
 骨コア・仕口兼用溶接システム、②複数のコア溶接を連
 続的に行うための鉄骨コア連結溶接システム、③複数の
 仕口溶接を連続的に行うための鉄骨仕口溶接システム、

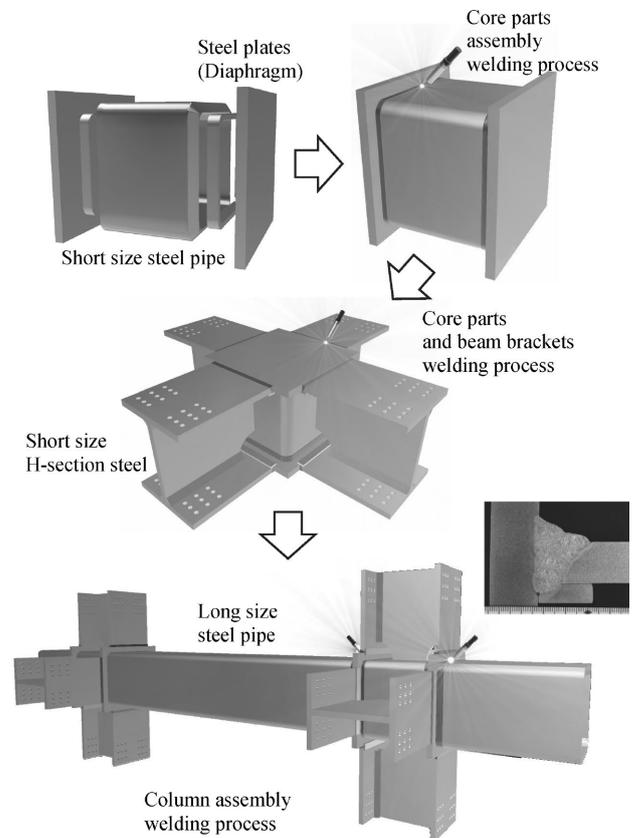


図12 梁貫通形式の代表的な溶接組立工程と溶接部断面の一例
 Fig.12 Welding assembly typical process of continuous beam type
 column and an example of weld joint cross section

④長尺の柱を搭載できる柱大組立溶接システムがある。

また、溶接部の品質改善に貢献した技術として、溶接電源の機能によって電流・電圧の波形制御を行い、炭酸ガスアーク溶接の短所であったスパッタ発生を大幅削減する「REGARC™」プロセスが挙げられる^{11)~14)}。当社のアーク溶接電源「SENSARC™」シリーズ(図14)のみで実現可能な独自技術である。当技術により溶接ワークへのスパッタ付着が削減され、溶接の後工程である超音波探傷試験に必要なスパッタ除去作業の手間と時間が大幅に減り、コストダウンに貢献した(図15)。

REGARC™は2008年に実用化し、2021年にはNew REGARC™としてバージョンアップすることで、さらなる低スパッタ化を図っている。

4.4 梁部材の溶接技術

梁部材の基本素材はH形鋼である。H形鋼には圧延で形状を作り出す通称“ロールH”，溶接で作る通称“ビルドH”の2種があり、大型サイズや規格外形状はビルドHとなる。ビルドHでは、ウェブとフランジの当接部をすみ肉溶接され、溶接法はサブマージアーク溶接法が多く用いられる(図16)。

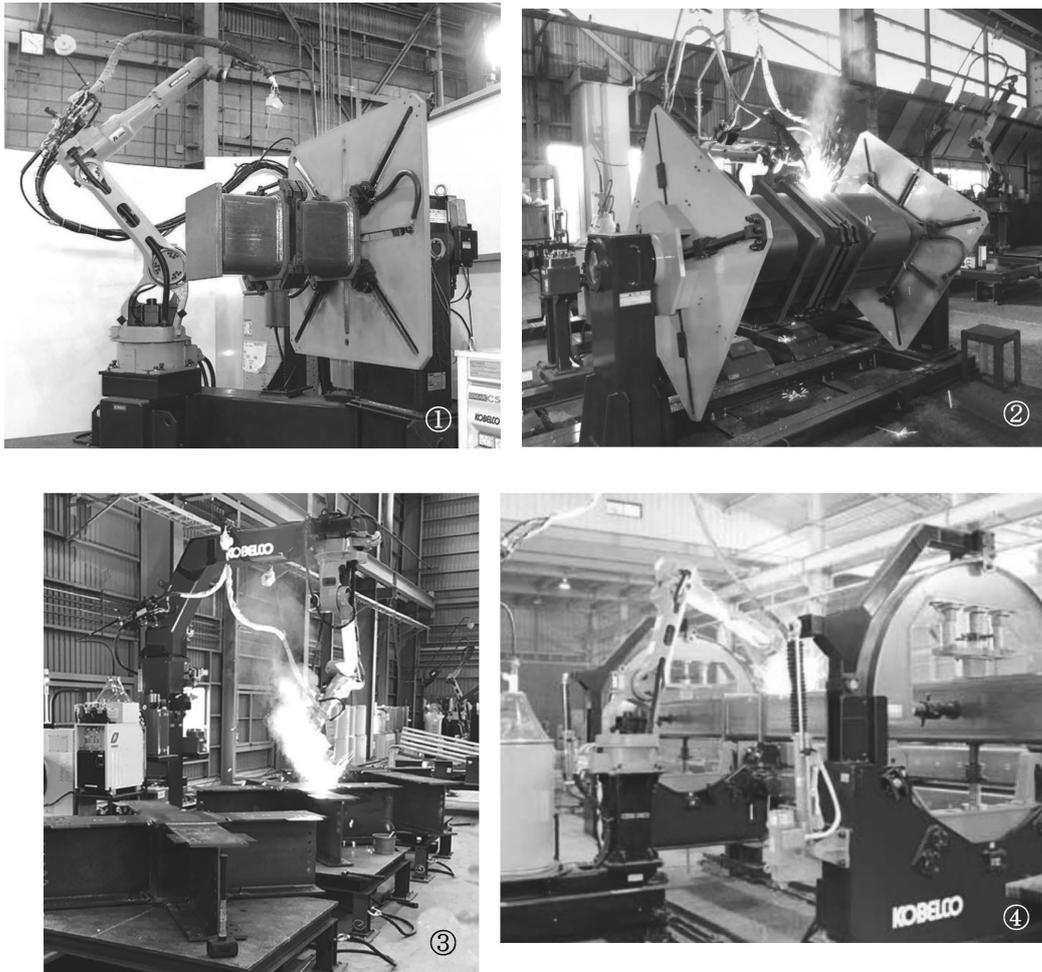


図13 柱部材用 ARCMAN™ 鉄骨溶接ロボットシステム
Fig.13 “ARCMAN™” steel frame welding robot systems for column assembly

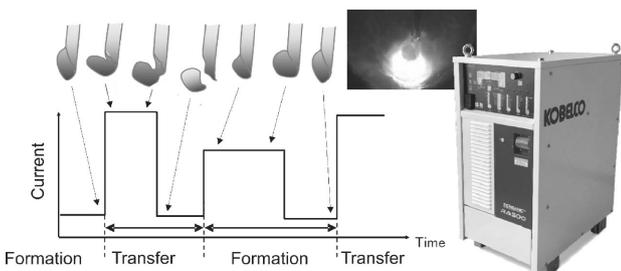


図14 低スパッタCO₂アーク溶接プロセス「REGARC™」の基本電流波形と、当機能を有するアーク溶接電源SENSARC™シリーズの最新機種RA500

Fig.14 Basic current wave form of low spatter CO₂ arc welding process “REGARC™”, and the latest model of “SENSARC™” series generates this function “RA500”



図15 一般的な炭酸ガスアーク溶接とREGARC™プロセスでのスパッタ付着状態の比較

Fig.15 Comparison of spatter adhesion states with conventional CO₂ arc welding and REGARC™ process

梁材に加工するには、穴あけのほか、スティフナと呼ばれる補強材や穴周りの補強材などの溶接取付作業が必要となる。柱用途に続き、近年、梁材溶接用のロボットシステムも本格実用化段階に入った(図17)。

4.5 現場建方の溶接技術

建築現場では、工場で作られた柱と梁などの部材をクレーンにより楊重し、高力ボルト接合とアーク溶接の両方を使い、順次組み立てながら階層を上げていくが、近年、現場建方の熟練溶接士が不足しつつあるとの課題が建設業界などから発せられる。この課題に対して当社では、小型可搬型溶接ロボット「石松™」によって貢献する。石松™は本体重量約6kgという超軽量を最大の特徴とし、安全柵の設置も不要であり、直線状もしくは鋼管に合わせた走行レール上に取り付けることで運用する。ロボット外観と現場適用イメージを図18に示す。石松™は下向、横向、上向と姿勢を選ばず適用できるが、難易度の高い上向姿勢自動溶接の適用イメージと溶接部の断面写真を図19に示す。当技術はロボットだけでなく、当社の特殊フラックス入り溶接ワイヤ「Familiarc

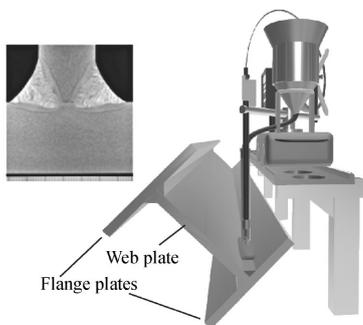


図16 ビルドH形鋼組立用サブマージアーク下向すみ肉溶接のイメージと断面一例

Fig.16 Image of flat position fillet submerged arc welding of build H-shape steel assembly and an example of weld joint cross section

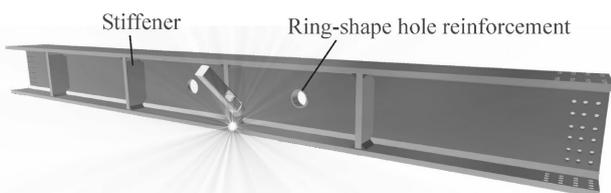


図17 梁部材の溶接イメージと ARCMAN™ 鉄骨天吊梁溶接ロボットシステム

Fig.17 Welding image of beam parts and "ARCMAN™" steel frame welding robot system for H-beam assembly

DW-1ST、-55ST」の特性を活かした工法である¹⁵⁾。溶接士による上向姿勢溶接は労働負荷が極めて高く、時間制約が生じるが、ロボットではその制約がない。いっぽう、最も適用頻度が高い柱同士の横向溶接については、制御の工夫による高品質化が図られている(本号p.97「建築現場における横向柱継自動溶接の新制御方法」参照)。

石松™に類似したロボットは世界的にも少なく、汎用性も高いことから、海外の鉄骨製作会社からも好評を得ている。なお、海外では商品名称を「ARCMAN™ PORTABLE」として展開している。

4.6 その他

各種溶接材料の技術については本号p.51「建築鉄骨向け溶接材料の最新動向とラインナップ紹介」を参照願いたい。阪神淡路大震災の後、耐震性向上を目的として、(一社)日本建築学会を中心に検討が行われて溶接材料の性能向上も要望された。当社は溶接材料のトップメーカーとして、(一社)日本溶接協会の中で高強度・高じん性溶接材料や熱的管理指標などのJIS規格追加の作業を先導した^{16)、17)}。

また、溶接ロボットについても、同協会や(一社)ロボット工業会などでその普及を目指し、ロボット型式認証制度と建築鉄骨ロボットオペレータ制度の整備を先導した。これらの業界活動は現在根付き、今となっては必然のものとなっている。

現在の建築鉄骨の溶接は自動化が最大のニーズであり、トレンドであるが、全てをロボット化することは現実的ではない。人による溶接作業は必ず残るため、その技量向上もまた重要であり続ける。4章冒頭に記載のとおり、当社は溶接士の技能向上にも力を入れている¹⁸⁾(図20)。

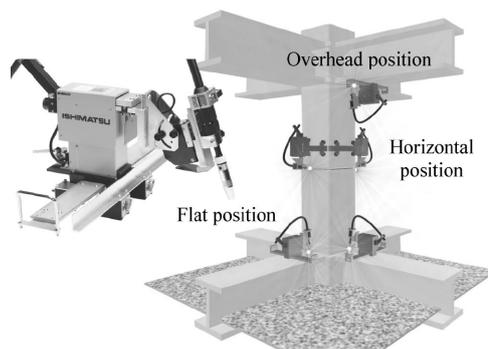


図18 可搬型溶接ロボット「石松™」とその現場適用イメージ
Fig.18 Portable welding robot "ISHIMATSU™" and application image at on-site

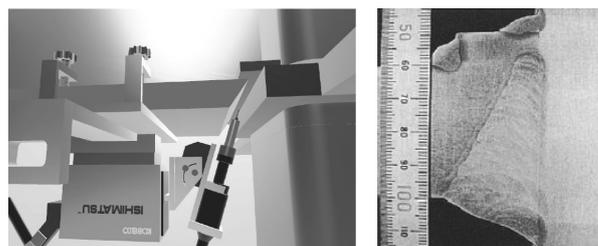


図19 「石松™」を使った現場上向柱/板厚40mm梁継手溶接
Fig.19 Column and 40mm thickness beam joint overhead welding applied "ISHIMATSU™" robot at on-site¹⁷⁾

最近、実技訓練だけでなく、溶接未経験者や初心者を対象とした、バーチャル溶接トレーニングシステム「ナップ溶接トレーニング」^{19), 20)}も事業化した(図21)。

実技訓練を行う溶接研修センターは、神奈川県の本社藤沢事業所で60年以上の長きに渡り運営しているが、この度、建替によるリニューアルを図ることになった。2025年10月7日に開所した(図22)。引き続き溶接士やロボットオペレータの人材育成と業界発展に貢献していく所存である。

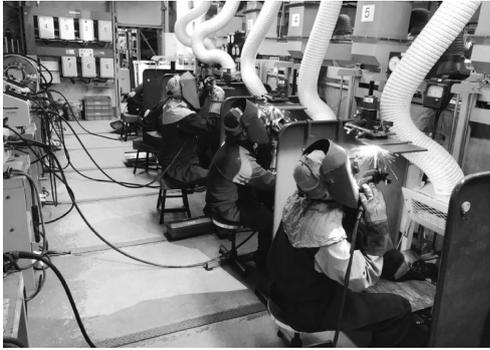


図20 藤沢事業所溶接研修センター内での技能訓練の様子
Fig.20 Skills training at the Welding Training Center in Fujisawa industrial operations



図21 バーチャル溶接トレーニングシステム「ナップ溶接トレーニング」
Fig.21 Virtual welding training system "NAP welding training"



図22 藤沢事業所 新研修センター
Fig.22 New Welding Training Center in Fujisawa industrial operations

むすび= 建築構造物が大変形時に破壊する箇所は接合部となることが多い。日本が地震国である限り、人命と建物を守るために、鉄骨建築物の溶接・接合部の品質は高いレベルで確保されなければならない。いっぽう、建設業の人材不足問題も喫緊の課題である。この両課題の解決のために、KOBELCOグループは溶接を核とした各種技術開発と実用化によって貢献していく。

参考文献

- 1) 鈴木励一. (一社)日本溶接協会 溶接情報センター. 2016. https://www-it.jwes.or.jp/we-com/bn/vol_19/sec_4/4-1.jsp. (参照 2005-05-19).
- 2) 林 邦秋. 神鋼溶接事業部門誌-ほうだより. 1968, Vol.98, No.8, p.5-10.
- 3) 中野俊明. 神鋼溶接事業部門誌-技術がいと. 1989, Vol.29, No.232, p.16-23.
- 4) (公社)日本鉄筋継手協会ホームページ. https://jrji.jp/pdf/certification/kohonintei_ichiran.pdf. (参照 2025-05-19).
- 5) 長谷 薫. 神鋼溶接事業部門誌-技術がいと. 1989, Vol.29, No.231, p.18-23.
- 6) 大久保宜正. 神鋼溶接事業部門誌-技術がいと. 1989, Vol.29, No.232, p.1-5.
- 7) 神鋼溶接事業部門誌-ほうだより. 1974, Vol.176, No.7, p.28-29.
- 8) 河西 龍ほか. R&D神戸製鋼技報. 2015, Vol.65, No.1, p.21-27.
- 9) 鈴木励一ほか. R&D神戸製鋼技報. 2015, Vol.65, No.1, p.28-34.
- 10) 鈴木励一. 信州大学博士(工学)論文. 2015.
- 11) 山崎 圭ほか. 溶接技術. 産報出版. 2010, No.5, p.80-84.
- 12) 横田順弘ほか. R&D神戸製鋼技報. 2013, Vol.63, No.1, p.42-47.
- 13) 戸川貴雄ほか. R&D神戸製鋼技報. 2023, Vol.72, No.1, p.27-32.
- 14) 清水弘之. R&D神戸製鋼技報. 2024, Vol.72, No.2, p.98-104.
- 15) 横田順弘ほか. 鉄構技術. 2003, No.5, p.40-45.
- 16) 向井昭義ほか. (一社)日本鋼構造協会 鋼構造論文集. 2000, Vol.7, No.26, p.13-25.
- 17) (一社)日本溶接協会溶接棒部会技術委員会. 鉄構技術. 2002, No.1, p.32-37.
- 18) 原田和幸. 神鋼溶接事業部門誌-ほうだより技術がいと. 2017, Vol.494, No.4, p.6-10.
- 19) 青山雄一郎. 溶接技術. 産報出版. 2025, No.4, p.34-37.
- 20) 神鋼溶接事業部門誌-ほうだより技術がいと. 2024, Vol.521, No.4, p.7.