

# 建設機械・クレーン 「技術トピックス編」\*

— 移動式クレーンの溶接構造物 —

中山 浩樹\*\*, 山下 俊治\*\*



中山 浩樹



山下 俊治

Construction Equipment, Crane (Technical Topics)\*

— Welding Structure of Mobile Cranes

by NAKAYAMA Hiroki\*\* and YAMASHITA Toshiharu\*\*

**キーワード** クレーン, 鋼構造, 高張力鋼, 溶接継手, 疲労, レーザ溶接

## 1. はじめに

建設機械である移動式クレーンは、全重量の約30%が製罐構造物である。構造物生産のための接合方法には、ほぼ100%の割合で溶接が選ばれており、溶接構造物で出来た製品とも言える。使用される材料としては、鋼板、パイプ、鍛造鋼などがあり、これらを用いた溶接継手部の肉厚は3.2mm～50mmと広範囲にわたる。

## 2. 製品概要

表1にクレーンの分類を示す。このうち当社が主として扱う移動式クレーンであるラチスブーム・クローラ・クレーン（以下LBCC）、及びラフテレン・クレーン（以下RTC）のアタッチメントに絞って、その溶接構造について説明する。

### 2.1 移動式クレーンの構成

LBCC, RTCの構造は、走行するためのアスルとホイールもしくは走行履帯、上部からの荷重を支える下部構造物、下部構造物と360°回転自由に取り付けられる上部旋回体、上部旋回体に設置され荷を吊るためのアタッチメントなどから構成される。

### 2.2 LBCCの概要

図1にLBCCの外観図を示す。LBCCは現場間を移動する際はアタッチメント、上下部本体を分解輸送し、移動先の現場で再組立を行う。組み立ての際にはアタッチメントをその現場に最も適合する構成にする。図1はアタッチメ

表1 クレーンの分類

クレーン	クレーン（移動式、デリックを除く）
	<ul style="list-style-type: none"> <li>└ 天井クレーン</li> <li>└ アンローダ</li> <li>└ テルハ</li> </ul>
	等
	移動式クレーン
	<ul style="list-style-type: none"> <li>└ クローラクレーン</li> <li>└ トラッククレーン</li> <li>└ ラフテレンクレーン</li> <li>└ オールテレンクレーン等</li> </ul>
	デリック
	揚貨装置

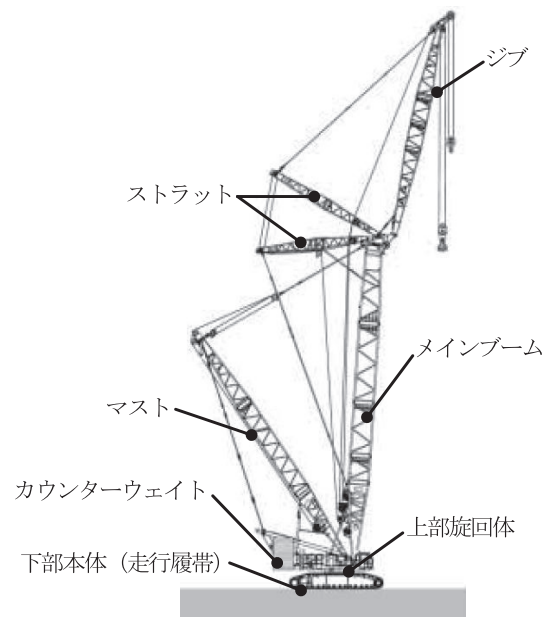


図1 LBCCの外観図

\*原稿受付 平成24年2月13日

\*\* コベルコクレーン(株) 開発本部 Kobelco Cranes Co., Ltd.

\*\* コベルコクレーン(株) ものづくり推進本部 Kobelco Cranes Co., Ltd.

ントの構成が最も複雑な仕様を示している。

メインブーム、ジブ、ストラットからなるアタッチメントはパイプを組み合わせて作るラチス構造である。ラチスブームを構成するのはパイプ材で、4隅に主材である大径、厚肉、高張力パイプを配し、主材を斜材と呼ばれる主材に比して小径、薄肉、低強度のパイプ材で接合する。主材と斜材は傾斜を持って継がれるため、溶接線は鞍型と呼ばれる3次元曲線となる(図2)。

上部旋回体は鋼板を組み合わせて作る製罐構造物である。底部には旋回ベアリングが取り付けられ、旋回ベアリングを下部本体に締結することで上下部本体を一体化する。下部本体はカーボディと呼ばれるフレームとクロラと呼ばれる走行用履帯を備えたフレーム構造を備えている。

### 2.3 RTCの概要

図3にRTCの外観図を示す。RTCはLBCCと同じくアタッチメント、上部旋回体、下部本体からなる。

アタッチメントはメインブームが伸縮可能なテレスコピック式の箱形ブームであり、同じくテレスコピック式箱形構造のジブを備えている。メインブーム、ジブともに鋼板からつくる製罐構造物である。

メインブームには4枚の鋼板を溶接して箱状に形成するブームと、2枚の鋼板をU字状に曲げ加工をして端部を溶接して箱状に形成するブームの2種類の構造が存在する(図4)。

### 2.4 クレーン構造物の特徴

クレーンはアタッチメント前端に吊荷重を受け、後方の重量でバランスを取るヤジロベエである。吊能力を向上させるためには、機械後方にカウンターウェイトと呼ばれる重りを背負い(図1参照)、同時にアタッチメントを軽量化する必要がある。アタッチメントの軽量化には高張力鋼板を大量に使用する。最新の機械ではHT780 MPa級、

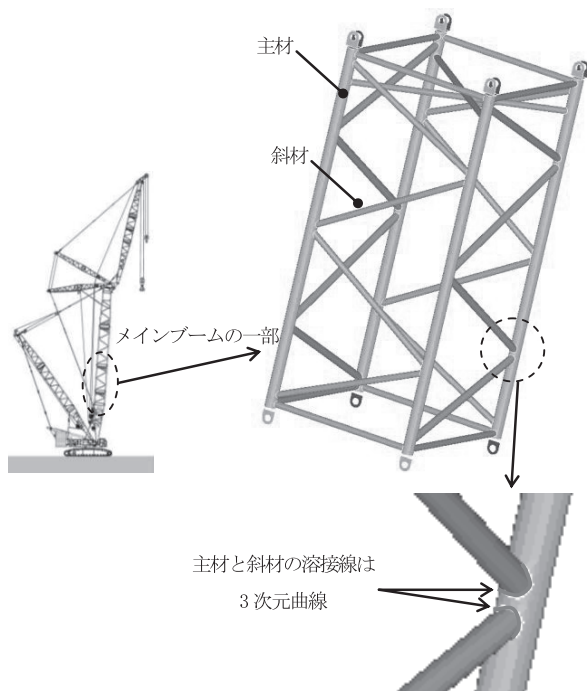


図2 パイプブーム

HT980 MPa級の鋼板、パイプを主として用いている。

また、本体構造物も公道を自走するRTCであれば車両通行制限を受けるため軽量化は必須で、上部旋回体、下部本体には490 MPa~980 MPa級の高張力鋼板が使用される。一方、LBCCの場合、上部旋回体、下部本体の分解後重量を輸送制限に収めるために軽量化が行われる。これらの構造物には490 MPa~780 MPa級高張力鋼板が使用されている。

表2にクレーンで使用されている鋼板の種類をまとめた。表2のとおり、移動式クレーンには全ての構造物に高張力鋼板が使われており、構造物の特徴となっている。

## 3. 溶接継手部の実設計

### 3.1 クレーン構造規格

移動式クレーンは、JISおよび厚生労働省が告示するクレーン構造規格に従って設計を行う。クレーン構造規格には鋼構造部材の強度設計基準が示されている。そのうち最も一般的な設計基準は下記のとおりとなる。

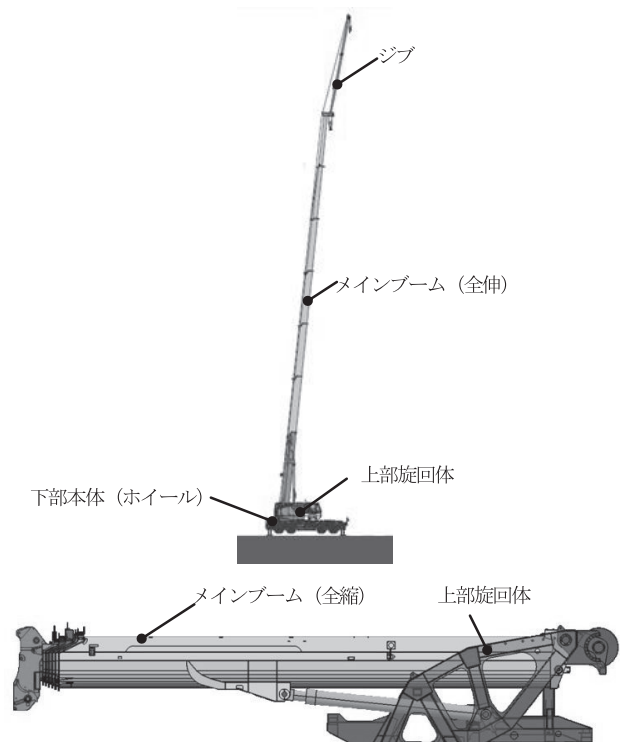


図3 RTCの外観図

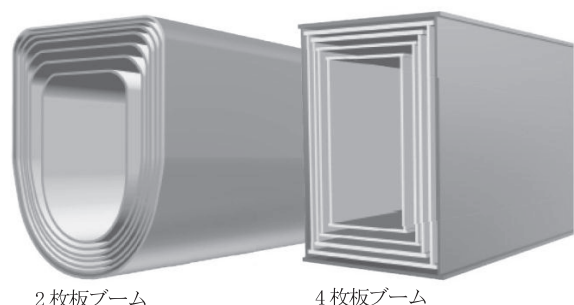


図4 RTCの伸縮ブーム

表2 移動式クレーンにおける使用鋼材

		使用鋼種	使用板厚
LBCC	アタッチメント	HT490~HT780	パイプ7~20mm
	上部本体	HT490~HT780	25~50mm
	下部本体	HT490~HT780	50~75mm
RTC	メインブーム	HT570~HT980	3~12mm
	上部本体	HT570~HT780	4.5~12mm
	下部本体	HT490~HT980	6~16mm

表3 移動式クレーンの溶接部強度基準

溶接加工の方法	鋼材の種類	係数			
		引張応力	圧縮応力	曲げ応力	せん断応力
突合せ溶接	A	0.840	0.945	0.840	0.840
	B	0.800	0.900	0.800	0.800
すみ肉溶接	A	0.840	0.840	—	0.840
	B	0.800	0.800	—	0.800

備考 この表において、Aは日本工業規格に定める SN400B, SN400C, SN490B, SN490C, STK490, 18種又は STKR490 に適合する鋼材を、Bはこれらの鋼材以外の鋼材を表すものとする。

まず、部材応力を求める際の荷重条件は、動荷重係数1.25を乗じた垂直動荷重及び静荷重係数1.10を乗じた垂直静荷重の組合せ、とする。上記条件で計算された部材応力は下記の部材許容応力を超えてはならない。

許容引張応力  $\sigma_{ta} = \sigma_{ca}$

許容圧縮応力  $\sigma_{ta} = \frac{\sigma_a}{1.15}$

許容曲げ応力(引張側)  $\sigma_{bat} = \sigma_a$

許容曲げ応力(圧縮側)  $\sigma_{bac} = \frac{\sigma_a}{1.15}$

許容せん断応力  $\tau = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}}$

これらの式において、 $\sigma_a$ は降伏点又は耐力を1.5で除した値と引張強さを1.8で除した値の小さい方を取る。

また、溶接部に関しては上記の許容応力を基に、表3のとおり各許容応力に乗ずる係数が決められている。

また、疲労設計については、「構造部分は、疲れ強さに対する安全性が確認されたものでなければならない」とされている。疲労に関しては明確な数値規定はなく、詳細な設計方法は各メーカーに委ねられており、各メーカーがそれぞれの実績を基にした基準で設計は行われている。

当社における疲労設計は一般に継手等級法<sup>2)</sup>と呼ばれる照査法を基に、独自に材料の疲労試験を実施し基準を決めている。

一般にクレーンは機械寿命から構造物の溶接部の疲労設計を行うため、作業頻度の高い小型機、RTCのアタッチメントは疲労強度が問題となることが多く、逆に大型機に

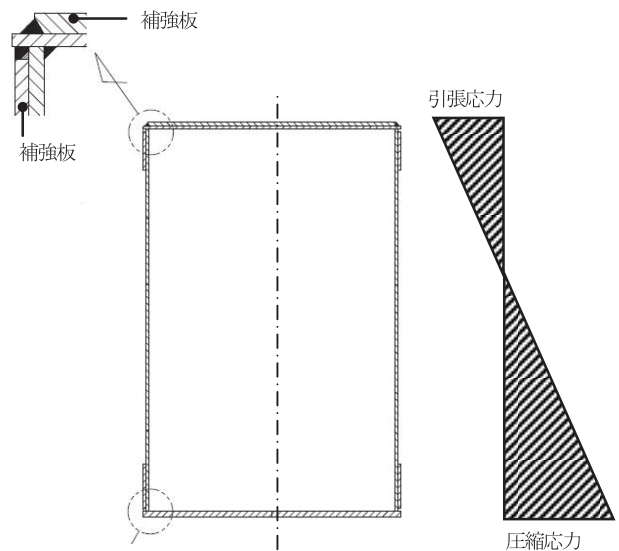


図5 RTCの従来及び小型機のブーム断面構造と吊作業時の応力分布

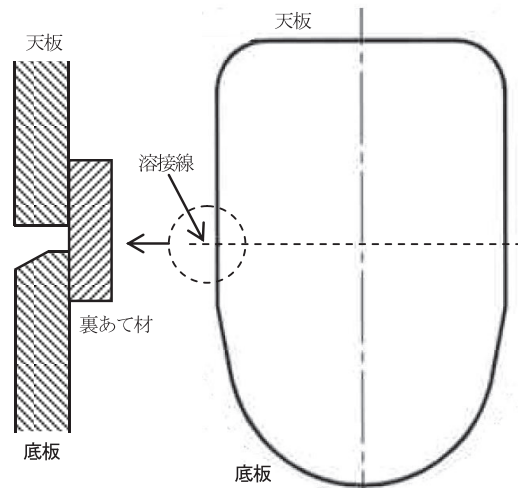


図6 RTCの現在主流のブーム断面構造

なると作業頻度が減るために延性破壊が問題となる。

### 3.2 RTCアタッチメントの構造設計

従来から用いられてきた一般的なRTCのアタッチメント(ブーム)断面形状、および吊荷重時に鋼材に作用するブーム長手方向の応力分布を図5に示す。

ブームは上下左右の4枚の板を4隅で溶接し矩形箱型を形成しており、必要に応じて貼り板補強がされる。ブームには吊荷重により圧縮力と曲げ応力が作用するため、底板には圧縮応力が、天板には引張応力が作用する。本構成では、溶接部がもっとも応力が高い断面上下縁に位置していることから、溶接部の強度でブーム全体の強度が決まってしまうことが多い。そのため、ブーム構成材に高張力鋼板を用いた軽量化の効果が薄い、という欠点を持つ。

上記の問題を解決するため近年、図6に示す上下2枚の鋼板をU字状に曲げ加工して溶接接合して箱型を形成する、プレス曲げブームが主流となりつつある。

プレス曲げブームの特徴は底部が大きなU字となって

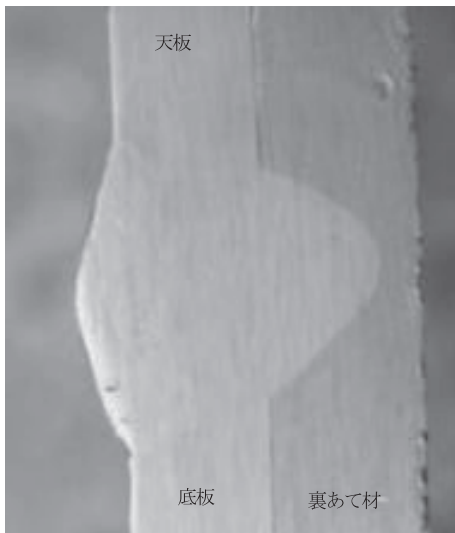


図7 プレス曲げブームの溶接部断面

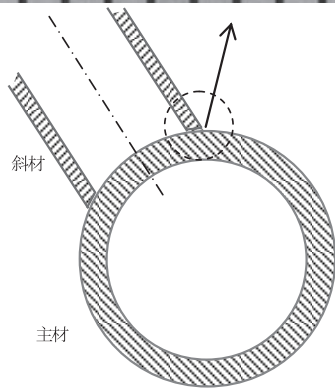
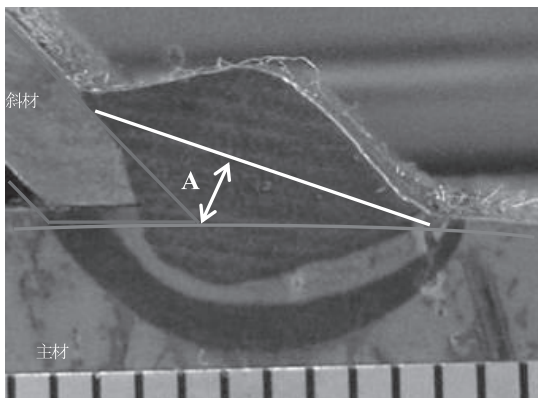


図8 パイプ溶接部の概略(下)と断面写真(上)

いて座屈に強いことと、溶接部が断面中心に位置して低応力部にあり、強度上溶接部が最弱部にならないことにある。この結果、高張力鋼板による軽量化効果が著しく、鋼板の発達とともに主流となってきている。

図7に、上下板に板厚3.8mm、HT780MPa級鋼板を用いたプレス曲げブームの溶接部断面写真を示す。溶接部には溶接品質の安定と、溶接作業性の向上を目的として裏あて材を配している。

RTCのブームは、もともと断面形状が変形しやすい上に、高張力鋼を使用して薄肉化していることもあり、溶接時の入熱により容易に熱変形してしまう点が製造面での

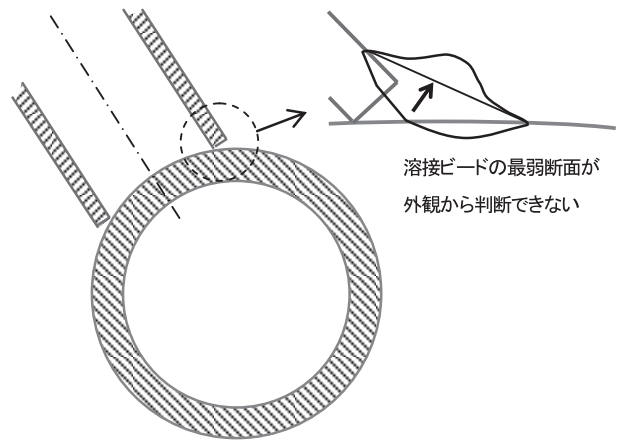


図9 斜材の材端部加工形状による最弱断面の違い

課題である。そのため、当社では入熱量を最小限に抑えるような継手形状や溶接方法を採用している。

上記のようにRTCのアタッチメントは溶接部の(疲労を含む)強度をいかに確保するかという課題から発展してきて、近年は溶接部に応力を発生させない構造へと変遷し、溶接ひずみを抑制する技術開発へとシフトしてきている。

### 3.3 LBCC アタッチメントの溶接施工

LBCCのアタッチメントはパイプ構造で、その溶接線は複雑な3次元曲線となる。

継手の強度設計はRTCブームと同じくクレーン構造規格による。しかし、傾斜したパイプの溶接では溶接止端部からの破断に加え、溶接金属の破断も大きな問題となる。

図8には主材と斜材の溶接部の概略と断面写真を示す。

アタッチメントの破断は重大事故につながるため、この溶接部の品質保証は最重要部となる。当社では、溶接作業者の技量認定に合格した者だけを選抜して溶接施工にあたっている。しかし、溶接内部の溶込み品質を保証するために非破壊検査を適用することは困難であることから、外観で判断ができる継手形状を採用している。

その継手形状は図8に示したとおりである。斜材の端部を主材の外径面に沿うように加工し、斜材を主材に当たった状態で溶接し、図8のAを最弱断面としてその厚みを検査/保証する。

図9に示すように斜材端部を主材に沿わせず、鉛直方向に切断すると、溶込み不足があった場合に最弱断面部を特定できないため、一定品質を確保することが難しい。

## 4. 今後のクレーンにおける溶接技術

前項までにクレーン特有の溶接構造の設計/施工について解説した。本項では今後期待される、もしくは取り組んで行きたいクレーン溶接構造に関する技術開発について解説する。

### 4.1 レーザ溶接

近年、レーザー溶接技術の発展は目覚ましいものがあるが、クレーンのアタッチメントへの流用も期待されている。クレーン構造規格には、溶接の施工は「アーク溶接によること」と規定されているので、ここで期待されるのは

レーザー・アークハイブリッド溶接である。既にHT780鋼で実溶接施工条件を検討した例<sup>2)</sup>もあり、実用化が期待できる。

レーザー・アークハイブリッド溶接をクレーンに流用するメリットは、入熱量の低減による溶接ひずみの抑制、裏あて材廃止による重量軽減、溶接速度の向上などである。

#### 4.2 摩擦攪拌接合

アルミ合金等の低融点材料については、摩擦攪拌接合(FSW, FSJ)等が実用化されている。鋼構造物への適用も検討されているが、レーザー・アークハイブリッド溶接同様に熱変形の低減やコスト低減が期待される。

#### 4.3 熱変形への対策

クレーンの構造物は溶融接合を中心としているため、熱変形は避けられない問題となる。熱変形に対しては、①変形を防止する、②変形を矯正する、③変形を予測する等の手段があり、いずれも経験則に基づくノウハウを蓄積することが重要となる。一方では、シミュレーションによる変形予測をしていく手法も研究されている。ただし、各種の高張力鋼などの変形に対するデータの蓄積が必要となる

ことが、課題となっている。

## 5. おわりに

クレーン特有の溶接構造を中心に解説をさせていただいた。クレーン、特にアタッチメントは吊荷重による高い負荷にたえず曝され、破壊すると大きな事故につながる重要な構造物である。その構造を支えているのは溶接による接合技術であるのは本項で述べたとおりである。したがって、今後もお客様に安全で使いやすいクレーンを提供すべく、溶接設計を含めた技術開発に注力していく所存である。

## 参考文献

- 1) 「鋼構造物の疲労設計指針・同解説」 [社]日本鋼構造協会 編 技報堂出版。
- 2) 「HT780鋼のレーザー・アークハイブリッド溶接の検討」 菅,村井,小橋ほか 溶接構造シンポジウム2011講演論文集。