

連載記事

超高張力鋼と移動式クレーン

High Tensile Strength Steel for Mobile Crane

村山裕二
Yuji Murayama

(株) タダノ LE 技術部
構造・解析ユニット
マネージャー

1 はじめに

1950年代に日本で最初の油圧式クレーンが開発されて以来、移動式クレーンは1960年～1980年代には高度成長政策、東京オリンピック、大阪万国博覧会等の都市開発工事の増大によって需要が伸びるとともに大型化が進んだ。最近では現場での作業効率および機動性を高めるため、コンパクトでありながらより吊上げ能力の大きいクレーンが求められている。

移動式クレーンは道路を走行する車両でもあり、走行車輛としての重量規制の対象となる。車両の大きさにより規定が異なるが、基本は道路法に基づく車両の一般制限値として総重量が20t、軸重が10tと定められている。日本だけでなく欧州でも走行車輛としての重量規制があり、国内外において移動式クレーンは軽量化を迫られている。このため、最先端の大型クレーンにおいては引張強さが1200N/mm²クラスの超高張力鋼を採用し、クレーンの能力向上および軽量化をはかっている。本稿では、これら超高張力鋼を用いた能力向上および軽量化への取り組みについて紹介する。

2 超高張力鋼と移動式クレーン

2.1 移動式クレーンの進化

1955年に油圧シリンダを用いたトラッククレーン(図1)が日本で最初の油圧式クレーンとして開発された¹⁾。その後、多くのクレーンメーカーから数々の移動式クレーンが世の中に出された。その用途から種々の移動式クレーンが考案され、現在の油圧式の移動式クレーンは次の4つに分類される。

- ① 積載型クレーン(図2)
- ② トラッククレーン(図3)
- ③ ラフテレーンクレーン(図4)
- ④ オールテレーンクレーン(図5)

積載型クレーンとトラッククレーンは走行体となるトラック部分は主にトラックメーカーで開発されている。積載型クレーンは汎用のトラックの運転席と荷台の間にクレーンを架装した構造であり、主に吊上げ能力が5t未満のクレーンである。トラッククレーンは専用のトラックシャーシにクレーンを搭載したものである。これらのクレーンではクレーン本体とクレーンを支えるアウトリガと呼ばれる支え足をクレーンメーカーが開発しており、主要構造体には高張力鋼を採用している。主に積載型クレーンは荷役運搬用として、トラッククレーンは建設用として使用され、以前はこの2種類で移動式クレーンの需要を満たしていた。トラッククレーンは走行距離が長く、低コストであることから、海外の経済発展が著しい新興国に販売を展開し、日本国内の販売数量は減少している。日本国内の建設用クレーンは次に述べる2種類のクレーンに移行している。

ラフテレーンクレーンとオールテレーンクレーンは狭所進入性および不整地走行性の向上を目指し開発されたもので前



図1 日本初の油圧式クレーン

輪ステア、後輪ステア、全輪ステア、カニステア等、多彩なステアリング機構に特徴がある。走行体、クレーン部ともにクレーンメーカーが開発する場合がほとんどである。

ラフテレーンクレーンは一つの運転室で走行とクレーン操作ができ吊上げ能力12t～70tが販売されており、大型の移動式クレーンの大半を占めている。オールテレーンクレーンはラフテレーンクレーン以上の吊上げ能力とともに、高速移動能力も高めたクレーンであり、走行用とクレーン操作用の運転席を別に有する。オールテレーンクレーンは大型であり、日本では道路運送法規から、分解搬送が必要な機種が多い。ラフテレーンクレーン、オールテレーンクレーンともに全体に高張力鋼を採用しており積載型トラッククレーンより高張力化が進んでいる。

道路を通行する移動式クレーン車は、車両としての道路通行条件の遵守が義務付けられる。重量、寸法の増加は通行可

能な道路、通行時間帯の制限あるいは先導車の義務付けなどの制約が発生する。道路・橋梁等のインフラ保護の観点から先進国全体で法規運用の厳格化が進んでおり、世界的に軽量化、コンパクト化の要求が一段と強くなっている。このような背景からより高強度な高張力鋼の開発が望まれている。

2.2 構造用材料の高張力化

一般に引張強さが600N/mm² (降伏点450N/mm² クラス) を越える鋼材は高張力鋼、引張強さ1000N/mm² クラス (降伏点900N/mm² クラス) を越える鋼材は超高張力鋼と呼ばれる。1980年以前は移動式クレーンには主として引張強さが600N/mm² クラスの材料が使用されていた。

軽量化は道路運送法規の異なる欧州において大きく進んだ。1980年代後半に欧州鉄鋼メーカーにより引張強さ1000N/mm² クラス (降伏点900N/mm² クラス) の溶接構造用鋼板が開発され、大型クレーンの伸縮ブームに採用された。以降、鋼板仕様は、引張強さ1100N/mm² クラス (降伏点960N/mm² クラス)、引張強さ1200N/mm² クラス (降伏点1100N/mm² クラス) へと進化し、現在では欧州の大型クレー



図2 積載型クレーン



図4 ラフテレーンクレーン



図3 トラッククレーン



図5 オールテレーンクレーン

ンの主用鋼材は引張強さ 1100N/mm^2 、 1200N/mm^2 クラスとなっている。2005年には欧州において引張強さ 1400N/mm^2 クラス（降伏点 1300N/mm^2 クラス）の溶接構造用鋼板が開発されたが、2012年現在ではクレーンへの採用はされていないようである。

日本国内においては吊上げ能力向上の市場ニーズに応えるために1990年代初頭にオールテレーンクレーンにおいて引張強さ 1000N/mm^2 クラス（降伏点 900N/mm^2 クラス）の超高張力鋼を採用した。最新の360t吊オールテレーンクレーンでは引張強さ 1200N/mm^2 クラス（降伏点 1100N/mm^2 クラス）の材料が使われている。

高張力化はクレーンメーカーにとってコストの上昇をとまなうため、販売量の多い積載型クレーン、ラフテレーンクレーンでは引張強さ 700N/mm^2 クラス（降伏点 600N/mm^2 クラス）が上限であった。しかしながら市場からの通行制約の低減ニーズ、排ガス規制にともなうエンジン重量の増加を吸収するため、数年前からラフテレーンクレーンの大型機種において 1000N/mm^2 クラス（降伏点 900N/mm^2 クラス）の鋼材が使用されるようになり始めた。

このように世界的にみると、日本より欧州で高張力化が進んでいるのが実情である。日本メーカーがグローバルにクレーンを販売するには日本国内で欧州と同等以上の高張力鋼をコスト競争力のある価格で調達できる環境が必要になっている。

2.3 ブーム断面形状

ブームの断面形状の進化は鋼板の高張力化と密接な関係がある。初期のブームは図6断面Aに示すように4枚の基本板を溶接で四角形に構成する形状を取っていた。強度の必要な部分には補強板を追加した。補強を使用せずにプレス加工による強度向上で軽量化を図ったものが断面Bである。これらは曲げ応力の高い断面4隅に溶接部が位置し、疲労強度を確保するためにさらに部分的な補強材を溶接付けしていた。

引張強さ 1000N/mm^2 の超高張力鋼の採用に合わせて考案された形状が断面C～Eである。溶接による強度低下を回避するため、コーナー部をプレス加工とした。鋼材強度アップにより薄板で構成することができたが、圧縮応力の発生する部分では座屈強度が低下する。これに対してはフラットな辺をプレスで小区画化することにより必要な座屈強度を確保する手法をとっている。最近ではより軽量化を進めるため、あるいは引張強さ 1200N/mm^2 鋼板の能力を最大限に引き出すため、断面Fに示すような圧縮部の小区画化を極限まで進めたラウンド形状が開発されている。

ブーム断面形状の研究についてはコンピュータによる解析技術の進歩が大きな役割を果たしている。最新のラウンド形

状の正確な強度把握、量産機種への設計展開は優れた非線形解析技術によるところが大きい。

2.4 超ロングブームの挙動

超高張力鋼の採用によりブーム1本当たりの重量を軽減することでブーム段数を増加することが可能になった。現在では新伸縮機構の採用とも相まって、従来に比べ20%から40%の長尺化が可能になった。ブームが長くなるとともに、構成する鋼材は薄くなり、従来よりも変形が大きくなってきた。

この結果、単純な材料力学の計算では全体変形のシミュレーションが困難になり、欧州では曲げ変形による2次モーメントを考慮した強度計算が義務付けられるようになった。ブームの先に継ぎ目を追加すると全長が150mを超える移動式クレーンも出現しており、安全性を確保するため、より現実に即した精度の高いシミュレーション技術が開発されている。

3 超高張力鋼の開発

3.1 製造方法および施工方法

超高張力鋼の開発において、鋼板の製造方法も進化してい

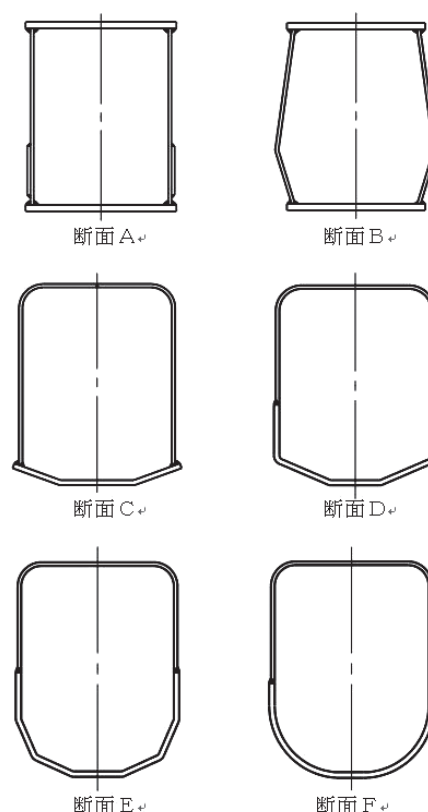


図6 ブーム断面推移

る。圧延後に熱処理を行う調質鋼が主流だったのが、TMCP (Thermo Mechanical Control Process) 技術を活用し制御圧延・制御冷却を組み合わせた製造プロセスによる非調質鋼板も開発され、溶接が容易になる低カーボン化を実現している。このあたりの鋼板製造方法については鉄鋼メーカの範疇となるので、詳細な説明は省略する。

クレーンメーカは、超高張力鋼の採用にあたり鋼材メーカと共同で超高張力鋼のプレス加工および溶接施工技術の開発に取り組んでいる。引張強さが600N/mm²クラスであれば長年加工を続けており、プレス加工時のスプリングバックの予想もできた。しかし、引張強さが1000N/mm²超の超高張力鋼になるとブームのラウンド形状を一定精度の曲げRに収めることは困難を極めた。実現のためには特殊なプレス方法を開発することで量産性を確保することができた。

海外で販売する場合には各国の規格に適合しなければならない。特に注意が必要なものに低温靱性がある。エネルギー需要の拡大でクレーンニーズの高まっているロシアでは使用鋼材について高い低温靱性を要求される。マーケットを限定しないためにもこれらの要求値も満たした鋼材の開発が望まれる。

3.2 超高張力鋼の溶接

溶接継ぎ手は基本的に母材強度以上の強度が要求されるが、引張強さ1000N/mm²クラスを越える超高張力鋼になると、母材と同じ強度を持った溶剤がなく、鋼材開発とともに溶剤の新規開発が必要となる。

引張強さ600N/mm²クラスでは予熱なしでも溶接割れは発生しないが、引張強さ800N/mm²クラス以上の高張力鋼は溶接割れおよび溶接後の熱変形を抑えるため、予熱および後

熱を必要とする。これにより生産性の低下とコストアップを招いている。超高張力鋼については欧州も日本も十分な強度を確保できる溶剤は開発されていない。これに対し現段階では軟質継手により機械的に強度を確保する手法をとっている。

超高張力鋼の母材強度と同等の溶剤および熱影響を低減する溶接技術、例えばアーク溶接とレーザ溶接を組み合わせたレーザアークハイブリッド溶接等の実用化が望まれる。

4 今後の展望

移動式クレーンの進歩は鋼材の高張力化と密接な関係がある。そして販売する地域の道路交通法規により要求される特性が変わる。このような中で経済のボーダレス化により移動式クレーンは世界中で販売されるようになり世界中のクレーンメーカが同じ土俵で戦う状況になりつつある。

現段階では、クレーンの能力に強くかわる超高張力鋼の開発、構造物軽量化技術においては欧州メーカに一日の長がある。しかしながらいずれの分野においても日本の鋼材メーカ、クレーンメーカの努力・協力によりその差は着実に狭まっている。

近い将来、メイド・イン・ジャパンが世界の移動式クレーン業界をリードする日が来ることを信じている。

参考文献

- 1) 創造 タダノ50年のあゆみ、タダノ社史編集委員会編、(1999)

(2012年11月5日受付)