

(技術資料)

大型クレーンの構造物軽量化

Weight Reduction of Large-sized Latticed Boom Crawler Cranes



中山浩樹*
Hiroki Nakayama



黒津仁史**
Hitoshi Kurotsu



木村宙士**
Hiroshi Kimura

Large-sized latticed boom crawler cranes, developed by KOBELCO CRANES CO., LTD., have a maximum lifting capacity of 550 tons and are suitable for the construction of large-scale equipment such as the equipment used in power generation plants. In the development process the main focus was put on the weight reduction of the machine to maximize its transportability. Significant weight reduction was achieved with the new design process when compared to conventional models. As a result these new machines are competitive with overseas models now coming on the market. This report explains the weight reduction technologies applied to the crawler and the car-body.

まえがき = 近年、ラチスブームクローラークレーン(Latticed Boom Crawler Crane, 以下LBCC)の市場は、中国、北米を中心に拡大しており、発電所建設用を主な用途として大型クローラークレーンの需要が高まっている。

国内や欧州の風力発電所における発電機、中国や米国の火力発電所における発電棟主梁、脱硫装置、タービン、熱交換器などの組立には、質量70t以上、揚程50m以上の作業が必要であり、このような発電所建設に大型クレーンは欠かせない機械である。このような大規模工事には、アタッチメントを全装着状態で移動することが可能、接地圧が低く地盤養生が軽度ですむ、大作業半径の工程にも対応できるなどの理由から、最大吊上能力300t、最大モーメント2,000t・m以上のLBCCが好んで用いられる。

コベルコクレーン(株)は、LBCCでは国内最大のシェアを持ち、米国内最大手のManitowoc社に中小型機をOEM供給するなど、グローバル展開を図っている。しかし、450tクラスの超大型クローラークレーンは国内市場隆盛時の20年前に開発された機械であり、海外メーカーに対しては十分な競争力がないため、北米、欧州市場には参入できていない。

そこで、2004年から新たに550t機の開発をスタートさせた。開発のコンセプトは、グローバルスタンダード機であること(規格適合性)、競合他社と同等以上の吊上能力を持つこと、世界中で認められる輸送性の3点である。

開発コンセプトの中で特に重要なのは輸送性である。大型LBCCは、分解され、トレーラに荷積みされて作業現場まで運搬されるが、トレーラに積載可能な重量には国ごとに異なる制限が存在する。また、発電施設建設現場などは山中、狭所に計画されることが多いため、より積載重量が小さいトレーラで搬入可能であることが使用

者にとっては好ましい。そこで、従来機種に対して、構造要素ごとに輸送制限内重量への大幅な軽量化を進める必要が生じた。

本稿では、特に開発の中で注力したクレーン下部構造の軽量化について報告する。

1. 開発目標

表1に既存機種、競合機の輸送性比較を示す。

新たに開発した550t機の分解輸送性目標は下記のとおりである。

- 1 次分解：65.0t 以下
- 2 次分解：40.8t 以下
- 3 次分解：32.0t 以下
- クローラ：40.0t 以下

2. 検討対象構造

LBCCは写真1に示すように、アタッチメント、キャブやエンジンなどの主要部品とそれを積載する旋回フレームを含む上部構造体、および旋回フレームと旋回ベアリングを介して固定されるカーボディと、カーボディに

表1 既存機種、競合機の輸送性比較

Table 1 Mass composition list of conventional model

	KOBELCO		Co. D	Co. M
	7450	CKE4000C		
Maximum lifting capacity (t)	450	350	450	400
Maximum moment capacity (t・m)	2,600	2,250	2,500	2,590
Main body	Total	148.4	Total	85.2
	Upper body front	43.8	Upper body	60.0
	Upper body rear	41.6	Upper body	42.4
	Car body	30.0	Car body	25.2
	Axle	33.0	Car body	20.0
Width of transportation (m)	3.5	3.0	3.0	3.0
Crawler mass (t)	46.8	36.2	30.0	32.7

*技術開発本部 機械研究所 **コベルコクレーン(株) 開発生産本部 開発部



写真1 LBCCの概観写真
Photo 1 General view of LBCC

取付けられ接地するクローラを含む下部構造体とからなる。下部構造体の主たる役割は、上部構造体からの荷重を支持し、移動するための駆動力を発生することにある。

3. カーボディ軽量化

3.1 概要

カーボディは、中央上部に旋回ベアリングを取付ける面をもち、左右にクローラを抱える構造物である。写真2にカーボディの外観を示す。写真はクローラを取付ける前の構造体である。

カーボディに求められる構造要件は、吊荷時の剛性・強度である。本開発では、最初に曲げ・ねじり剛性を最大化するため、与えられた設計空間内で最大限の断面高さを確保した。最終的な形状は、有限要素解析による応力低減や剛性向上などの最適化を経て決定した。重量目標はカーボディフレーム単体で競合機であるD社同型機より1.1t軽い16.0tとした。

3.2 解析モデルと境界条件

図1に示すカーボディ有限要素モデルにおいて、クローラにあたる部分には、クローラの断面2次モーメントと同等のはり要素を配置した。

各クローラの接地面で一番外側に位置する第1ローラ点（クローラ接地点のうち旋回中心から最も遠い点であり、通常クローラが浮かなければ4点存在する）に拘束または荷重を入力した。荷重は図1に示すように、4点の第1ローラ点の内1点をピン支持し、その対角位置に反力R2を、残りの2点に反力R1を入力した。荷重条件は、ブーム長36m、作業半径12.0m、吊上能力500t、吊上方向が旋回中心から第1ローラ点を結ぶ斜め前方などの諸条件とした。この吊上条件時には、4点ある第1ローラ点の内1点に全吊上条件中で最大の反力が発生する。

また、拘束条件として、旋回ベアリングレース固定ボルト点をピン支持した。

上記荷重および拘束条件下では、カーボディは旋回レースを中心に、曲げ・ねじりを受ける構造になっている。図1の解析モデルをベースに軽量化と応力照査を実施した。

3.3 軽量化検討結果

軽量化の検討対象部位は図1の丸囲みA部およびB部であり、検討内容は下記のとおりである。



写真2 カーボディの外観
Photo 2 Appearance of car body

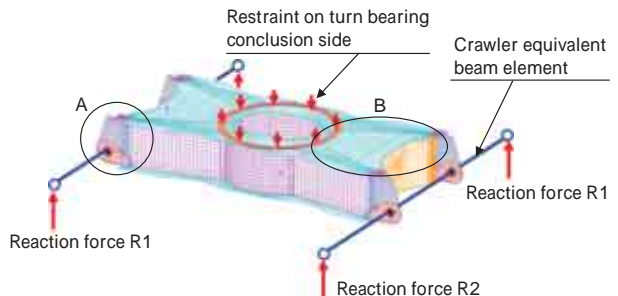


図1 カーボディのFEMモデル
Fig. 1 FEM model of car body

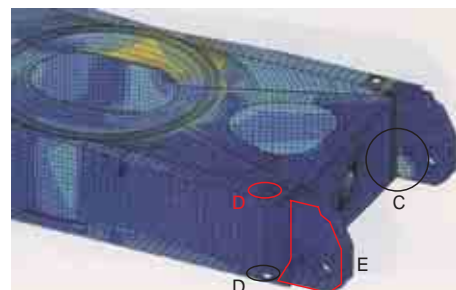


図2 カーボディ応力解析結果例
Fig. 2 Stress distribution in car body

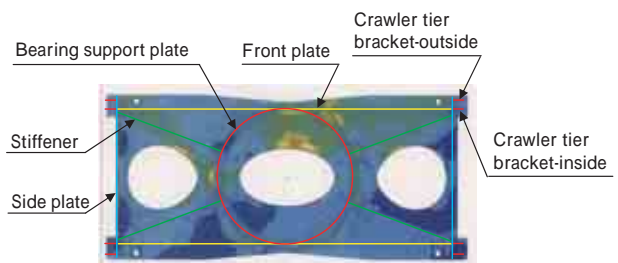


図3 カーボディ応力解析結果例
Fig. 3 Stress distribution in top plate

- A : クローラ結合ブラケット部の構造検討
 - B : クローラ締結 - 旋回ベアリング支持円環荷重伝達形状
- 解析結果例を図2示す。

3.3.1 クローラ結合ブラケット部構造検討

図1のA部クローラ結合ブラケット部は、カーボディ側から2枚のブラケットが突出しており、クローラから突出したブラケットを挟み込み、貫通ピンで固定している。当該部を通して吊荷重はクローラに伝えられる。したがって、ブラケットには応力が集中する傾向が強い（図2のC部）。カーボディ側のブラケット取付位置にはスペースがない上、補強板、部品取付孔（図2のD部）がある。そこで、2枚のブラケットのうち内側ブラケットは、カーボディ本体の前後板に直結し締結剛性を向上した（図3）。内側の締結剛性を向上した理由は、2

枚のブラケットのうち、内側に荷重の多くが作用することによる。外側ブラケットは図2のD部円孔の手前で控え、当該部の応力集中を緩和した。ただし、下側はブラケット自身への応力集中を緩和するため、板下側を円孔側へ伸ばした(図2のE)。以上の結果で、高剛性で許容応力を満たす構造とすることができた。

3.3.2 クローラ締結 - 旋回ベアリング支持円環荷重伝達形状

今回採用した箱構造のカーボディは、吊荷作業時に曲げ荷重とねじり荷重を受けるため、箱の天板と底板が座屈しやすい。そこで、図1のB部や図3緑線で示したように旋回ベアリング支持円環部からクローラ締結ブラケットに向かって、天板と底板を結合する縦板を配した。円環はこの板により、天板、底板の座屈を防止するとともに、旋回ベアリングからクローラへと荷重伝達をスムーズに行うことができ、剛性の向上、応力の低減に大きく寄与した。

3.3.3 構造検討の結果

前述した2項のほか、下記の検討も実施した。

- ・ 旋回ベアリング内側天板孔形状の最適化
- ・ 配管孔、作業孔形状、位置の適正化による高応力部位の応力集中緩和
- ・ 前後板、側板をストレートかつ外側に配し高剛性化することにより、薄肉化を可能にして重量を軽減

以上の構造検討の結果として、各部の発生応力を許容応力以下とし、D社同型機より約0.5t軽い16.53tを達成した。

4. クローラフレームの強度評価

4.1 概要

クローラは分解輸送性を考慮すると、クローラシューを含む1本あたりの重量40t以下が目標である。

クローラの外観を写真3に示す。

クローラの先端にはシューを回転させるモータが付いており、モータには常にシューに緊張を与えるため張出機構を備えている。本開発では、主としてモータを除いたクローラ全体の強度評価を実施したので、以下に紹介する。

4.2 解析モデル

解析に用いたクローラフレームのモデルを図4示す。クローラの解析は、カーボディをモデルに組み込み、カーボディと同様の境界条件にて実施した。

4.3 強度評価結果

応力解析の結果、カーボディ締結ブラケット周辺に高応力が発生することが判明した。高応力発生位置を図5に示す。

構造不連続部では応力集中が発生する(図5のF, G, H部)。そこで、滑らかに部材を締結する対策(F, H部)により、また部材締結による不連続部を応力集中部より遠ざける対策(G, H部)により、応力を低減した。また、ローラピン孔縁周りの高応力発生部(I部)では、孔縁

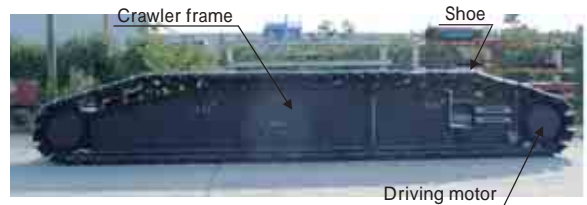


写真3 クローラ外観
Photo 3 Appearance of crawler

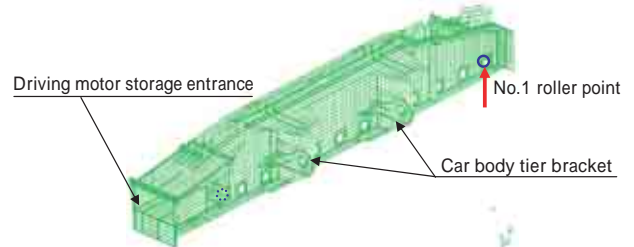


図4 クローラ解析モデル
Fig. 4 FEM model of crawler

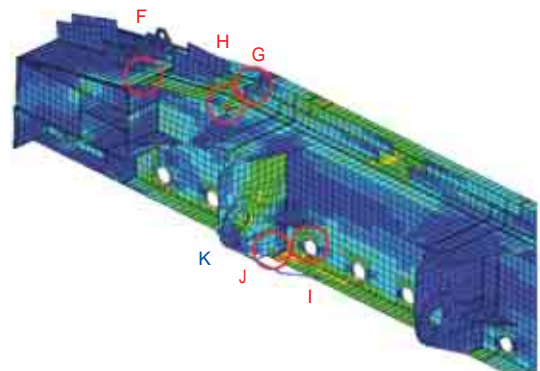


図5 カーボディ締結ブラケット周辺の高応力部
Fig. 5 Stress distribution around car body tier bracket

に補強板を追加することで底力を低減した。さらに、締結ブラケットまわりの応力集中部(J部)では、底板を張出しブラケットを補剛することで大幅に応力を低減した。

以上の変更により、許容応力以下に発生応力を低減することができた。

5. 軽量化のまとめ

LBCCカーボディ、クローラの解析による軽量化検討の結果、カーボディは目標16.0tに対し、16.53tまで軽量化することができた。16.53tは競合製品と比較しても0.5t軽い。

また、クローラフレームも13.3t/本を達成し、シューを含んだ輸送重量も40.0tと目標の40t以下を達成することができた。

むすび=本稿では、LBCCのカーボディ、クローラに絞って軽量化の検討を紹介した。本開発でカーボディに採用した前後板、縦板、天板、締結ブラケットなどの構造は、最適化解析により高剛性かつ高強度になっており、他機種との共通性も高い。今後、同様の取組みにより他機種の軽量化も図っていきたい。