

(技術資料)

クローラクレーンの軽量化による輸送性向上

Weight and Width Reductions of Latticed Boom Crawler Cranes



前藤鉄兵*1
Teppei MAEDO



市川靖生*1
Yasuo ICHIKAWA



小林 豊*1
Yutaka KOBAYASHI



宮 英司*1
Eiji MIYA



山口拓則*2
Takunori YAMAGUCHI



濱口裕充*2
Hiromitsu HAMAGUCHI

Reduction of the transportation width to less than 3m and the transportation weight to less than 32 tonnes in Japan (45 tonnes overseas) has been achieved for latticed boom crawler cranes (LBCCs) of the 110 tonne and 250 tonne classes. The lifting weights of the 110 tonne and 250 tonne class cranes are comparable with those of our cranes already on the market. One of the important factors in this achievement is having reduced the weight of the booms without sacrificing lifting ability. To this end, structural analyses of the booms have been done using finite-element simulations, and their operational ability has been confirmed by a newly produced general-purpose LBCC.

まえがき＝ラチスブームクローラクレーン (Latticed Boom Crawler Crane, 以下LBCCという)は現在、コベルククレーン(株)の主力製品であり、世界トップクラスのシェアを有している。しかし、近年の円高の影響や中国メーカーの台頭により、吊上能力250t以下の汎用LBCCは競合状況が厳しくなっている。そのなかで、圧倒的な差別化でトップランナを目指すため、2011年施行のInterim Tier 4 (北米)やStage III B (欧州)などの排ガス規制対応を機に、新型の汎用LBCC21機種を一斉上市した。

商品コンセプトは、世界中で安全に安心して作業できること (環境・輸送・安全の規制適合)、効率的な作業・安全管理ができること (輸送性改良, 省エネ, 作業履歴管理, 構造最適化), および効率的な整備ができること (作業, メンテナンス履歴を活用したメンテナンスによる予防保全) の3点である。

商品コンセプトのなかで、構造開発に対しては輸送性の改良がとくに重要であった。LBCCを運搬する場合、本体を分解してトレーラに積載するのが一般的であるが、トレーラに積載可能な質量や輸送幅は国によって規制が異なる。また、欧州をはじめとする先進国の市街地などでは建設現場が狭所に計画されることもあり、より小さい輸送幅が望まれる。

そこで、従来機種に対して本体輸送幅の縮小化および輸送規制内への軽量化を進める必要があった。

本稿では、とくに構造開発の中で注力したクレーンの構造物の軽量化について報告する。

1. 開発目標

110t級LBCC (海外用) の既存機種, 他社競合機種および今回開発した新機種 (一例) の輸送性を併せて表1に示す。

新たに開発した汎用LBCCの分解輸送性目標は、下記のとおりである。

- ・輸送幅：2.99m 以下 (図1)
 - ・輸送質量：32t 以下 (日本), 45t 以下 (海外)
- ただし、吊上能力は従来機種同等とした。

表1 110t級(海外用)における従来機種, 新機種, 競合機種の輸送性比較

Table 1 Comparison of transportation abilities among current model, new model and other company's cranes (Overseas model of 110ton class)

	KOBELCO		Company L	Company T
	Current model	New model		
Weight of transportation (t)	40.7	36.4	36.7	37.0
Width of transportation (m)	3.2	2.99	3.5	3.6

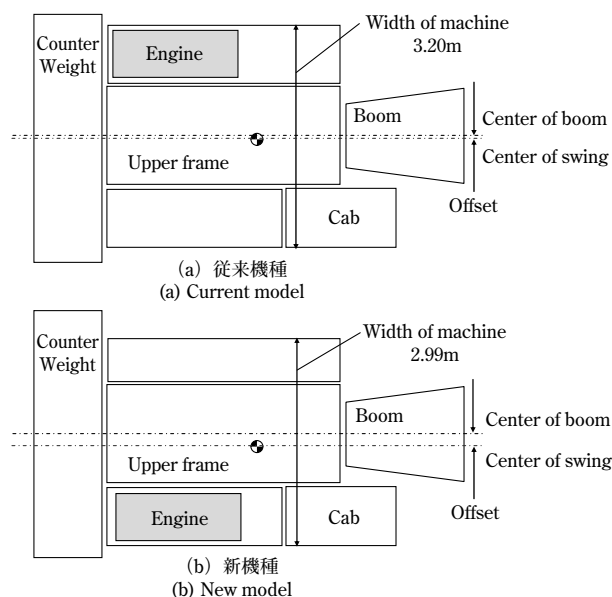


図1 従来機種 (a) と新機種 (b) の本体輸送幅
Fig. 1 Comparison of machine width between current and new models

*1コベルククレーン(株) 開発本部 要素開発部 *2技術開発本部 機械研究所

2. LBCCの構造

LBCCは、ブーム、キャブ、エンジンなどの主要部品を積載する旋回フレームとガントリーを含む上部本体、旋回ベアリングを介して旋回フレームと結合されるカーボデー、およびカーボデーに結合され接地するクローラを含む下部本体からなる(図2)。これらのなかでも、上部本体および下部本体は構造設計における最も重要な構成要素である。

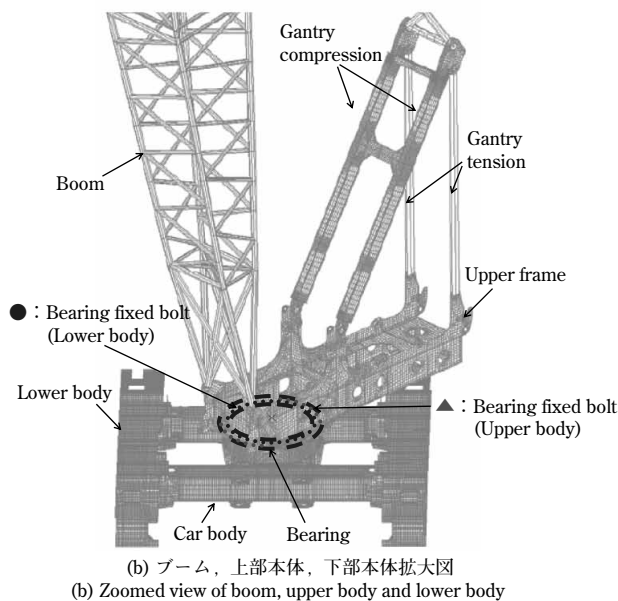
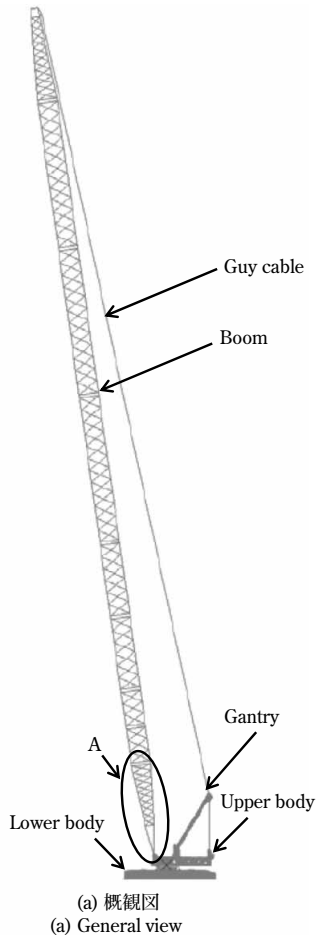


図2 LBCC(110t級)のFEMモデル
Fig. 2 FEM model of LBCC (110t class)

3. 構造物の軽量化

本体の輸送幅を2.99m以下とする構造では、ブーム中心と旋回中心とのオフセット量が従来よりも大きくなる構成となり(図1)、本体に偏荷重が作用する。さらに、各国の輸送規制に適合するための軽量化によって剛性が低下した場合、ブームのたわみ量や旋回ベアリング固定ボルトの軸力が増大するという問題がある。

LBCCに求められる構造の主要件は、吊荷時の強度・剛性である。今回の開発では、開発目標とした輸送性能内で最大の断面を確保し、有限要素解析による構造最適化を経て最終的な構造や形状を決定することとした。例えば、ブームの最大側方たわみ時が強度上の検討要件となる110t級LBCCの場合、輸送性目標を達成するために、下部ブーム、旋回フレームおよびカーボデーの合計の質量は、従来機種に対して約3.1t軽量化することを目標とした。また、本体剛性の不均一性に起因して旋回ベアリング固定ボルトに生じる最大軸力が強度上の確認要件となる250t級LBCCの場合、輸送性目標を達成するために、旋回フレームとカーボデーを合わせた軽量化目標を、従来機種の約0.7t減とした。以下に、110t級と250t級の2つのモデルを対象とした軽量化について紹介する。

3.1 解析モデル

図2に示すLBCCのFEM(有限要素法)モデルにおいて、旋回フレーム、カーボデー、クローラ、ガントリーコンプレッション、ガイケーブルおよび旋回ベアリングは「シェル要素」、アタッチメントは「はり要素」、ガントリーテンションは「トラス要素」を用いてモデル化した。上部本体と下部本体とは、旋回ベアリング固定ボルトの中心位置において「はり要素」あるいは「剛体要素」により連結した。

このように、LBCCの構造全体を解析することにより、各部分構造物を単体で解析評価した場合と比べて、評価対象構造物以外の剛性や変形が評価できる。このため、旋回ベアリング固定ボルトなどの連結部近傍に対しても、実測との乖離(かいり)を少なく評価することができ、より適切な最小限の質量での補剛を検討できる。

110t級LBCCの荷重条件は、側方へのたわみが最大となるときのブーム長さ70.1m(最長)、作業半径12.0m、吊荷重19.6tとした。また、250t級LBCCの荷重条件は、旋回ベアリングに作用するモーメント荷重が最大となるときのブーム長さ15.2m(最短)、作業半径10.0m、吊荷重117tとした。

3.2 軽量化対策

3.2.1 110t級LBCCの軽量化検討

110t級LBCCのFEMモデル(図2)による事前検証を行ったところ、剛性不足によって吊荷時のブームのたわみが許容値近傍まで増大することが明らかとなり、軽量化目標以内での補剛を検討した。本検討の対象部位は、図2(a)の下部ブーム(A部)および図2(b)の旋回フレームのブーム取付部であり、検討内容は下記のとおりである。

1) ブームおよび旋回フレームの補剛検討

パイプ材のラチス構造で構成されるブームは、上部・

中間・下部で分割され、それぞれはピンによって連結されている。ブーム先端に作用する吊荷重は、ブームを支持するガイケーブルを介して旋回フレームや下部本体に伝わる。FEMモデルによる検証の結果、下部本体の補剛は効果が小さく、図2(a)に示すブーム根元部(A部)のメインパイプの外径や肉厚の増加、および図3に示す旋回フレームのブーム取付部近傍の補剛などがブームの側方たわみに対して効果的であることが分った(表2)。事前検証での補剛策を実機に反映し、実機試験にてブー

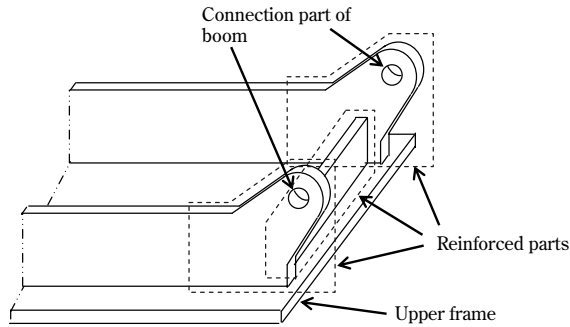


図3 旋回フレームの補剛箇所
Fig. 3 Reinforced parts of upper frame

表2 ブーム、旋回フレーム、下部本体の補剛効果
Table 2 Reinforcement effect of boom, upper body and lower body

Part of reinforcement	Reduction of displacement to mass of reinforcement
Boom	▲ 1.54mm/kg
Upper body	▲ 0.78mm/kg
Lower body	▲ 0.17mm/kg

ム先端のたわみ量を計測したところ、補剛前に対して14%低減し、許容値以下にできることを確認した(図4)。

2) 110t級LBCCの軽量化検討結果

前述の検討により、下部ブーム、旋回フレーム、およびカーボデーの合計質量を、従来機種に対して約3.1t軽量化することができた。

3.2.2 250t級LBCCの軽量化検討

250t級LBCCのFEMモデルを図5(a)に示す。このFEMモデルによる事前検証を行ったところ、本体のオフセット量の増大および軽量化の影響によって吊荷時の旋回ベアリング固定ボルトの軸力が許容値近傍まで増大することが分り、軽量化目標以内での補剛を検討した。本

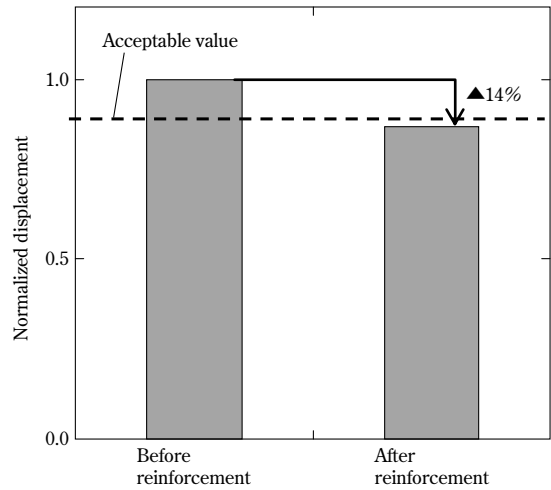
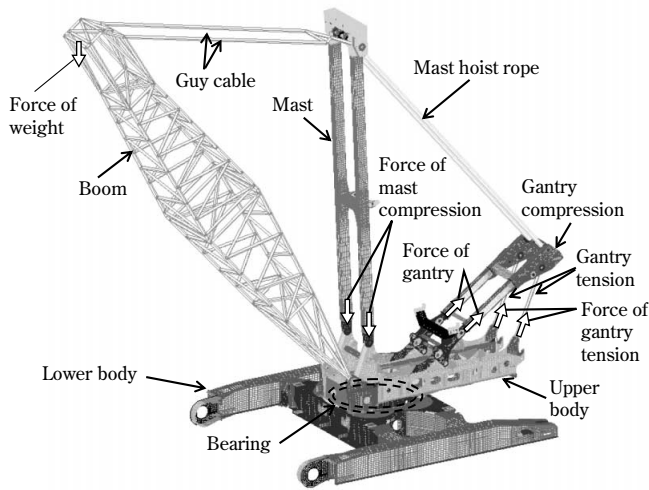
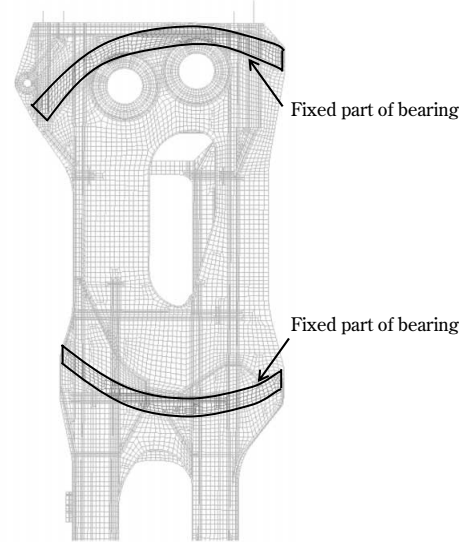


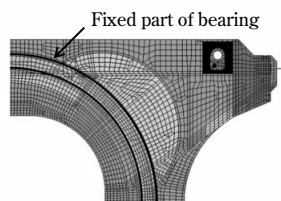
図4 補剛効果
Fig. 4 Effect of reinforcement



(a) 概観図
(a) General view



(b) 上部本体の旋回ベアリング固定部 (B部)
(b) Bearing fixed part of upper body (part B)



(c) 下部本体の旋回ベアリング固定部 (C部)
(c) Bearing fixed part of lower body (part C)

図5 LBCCのFEMモデル (250t級)
Fig. 5 FEM model of LBCC (250t class)

検討の対象部位は、上部本体の回転ベアリング固定部（図5 (b), 以下B部という）および下部本体の回転ベアリング固定部（図5 (c), 以下C部という）であり、それぞれの補剛方法を検討した。

1) B部の補剛検討

B部は回転フレームと回転ベアリングで構成され、それぞれは固定ボルトによって連結されている。吊荷重は、図5 (a) のブームとそれを支持するガイケーブル、マスト、起伏ロープおよびガントリを介して、回転フレーム、回転ベアリングおよび下部本体に伝わる。このとき、回転ベアリング固定部にはガントリテンションからの作用力によるモーメント荷重が作用する。これにより、図6に示すように、本モーメント荷重に対し、ブームおよび回転フレームの中心が回転ベアリング中心に対してオフセットするため、D部のy軸まわりのモーメント荷重がE部より高くなる。D部はまた、ガントリテンション位置からの距離も長くなるため、x軸まわりのモーメントも高くなる。さらに、回転フレームのサイドプレートによって局部的に剛性の高い構造となるため、D部近傍の固定ボルトはより大きな軸力を受ける。

そこで、図5 (a) のFEMモデルを用いてボルト軸力を事前検討した結果、図6のF部を補剛することによってD部近傍の固定ボルトの軸力が低減することが分った。これは、F部の補剛によってD部近傍の剛性の不均一さが緩和されたためと考えられる。

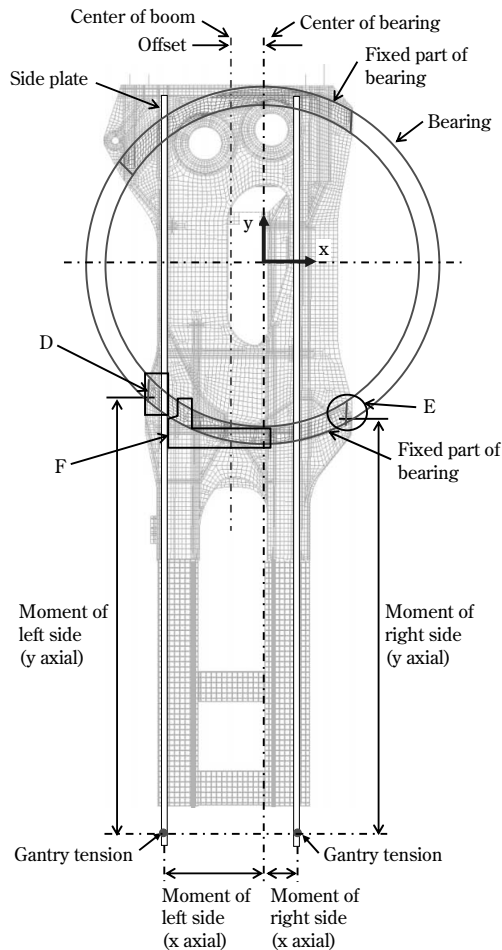


図6 回転ベアリング固定部まわりの補剛
Fig. 6 Reinforcement of the bearing fixed part

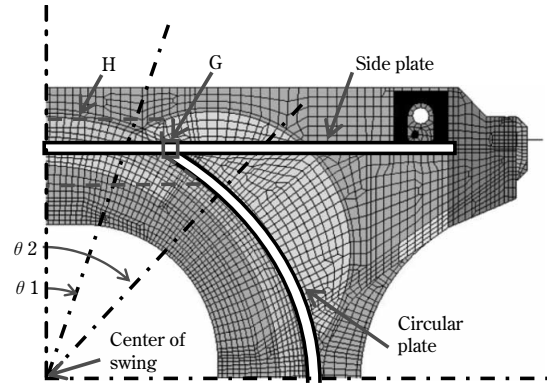


図7 下部本体補剛
Fig. 7 Reinforcement of lower body

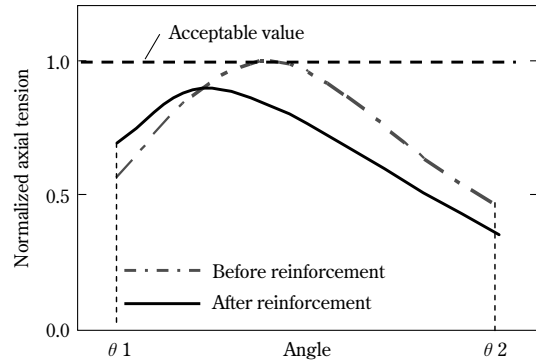


図8 補剛によるボルト軸力の低減効果
Fig. 8 Effect of bolt axial tension reduction by reinforcement

2) C部の補剛検討

図7に示す下部本体においては、円環とサイドプレートによってG部の剛性は局部的に高くなっている。一方でG部は、ブームおよび上部本体から回転ベアリングを介して伝わるモーメントおよびスラスト荷重を受けることにより、G部近傍の回転ベアリング固定ボルトには大きな軸力が生じる。

そこでFEM解析を実施したところ、図7のH部を補剛することによってG部近傍で局部的に剛性が高くなる現象が緩和され、固定ボルトに生じる軸力が低減することが分った。この結果に基づいたH部の補剛と、上記1)で述べたF部の補剛によって、固定ボルトの軸力を許容値以下に低減させることができた（図8）。

3) 250t級LBCCの軽量化検討結果

前述の検討により、250t級LBCCの回転フレームとカーボデーの合計質量を従来機種に対し、約0.7tの軽量化目標を達成した。

むすび＝本稿では、250t級以下の汎用LBCCの軽量化および剛性確保を両立させる検討を紹介した。本稿で紹介した全体解析手法は汎用性が高いため、ブームが長く、上部本体と下部本体のサイズが大きく、変形量も大きくなる250t以上のLBCCにも適用できる。同様の取組により、他機種の軽量化および剛性の最適化も図っていきたい。