

1. 序 論

吉久悦二*, 前田 豊**

1. Introduction

by Etsuji YOSHIHISA*, Yutaka MAEDA**

Abstract; Since various machines used over long terms increased recently, measures to extend the lives of machines were adopted to save resources and to cut costs. The same tendency is also observed in construction machines such as mobile cranes. Fracture accidents sometimes occur due to damages which are generated in stress concentrated parts such as welded joints in mobile cranes, as they are mainly used under severe conditions. To prevent fracture of mobile cranes used over long terms, it is important to conduct appropriate maintenance, in which reliable flaw detection, risk evaluation for the detected flaws are conducted and interval between inspections is based on active load. Cranes operated under fixed working are classified by loading conditions, but it is difficult to classify mobile cranes in similar manner, owing to various kinds of their working. Though a rule to determine the method of inspection and overhaul on the basis of loading conditions, are presented in ISO 12482-1 Crane - Condition Monitoring - Part 1: General, concrete method is not given. Active load measurements for mobile cranes, therefore, are considered to be useful, and the improved inspection methods, in which reliable detection and sizing for flaws are possible, are desired to develop.

For development of maintenance method suitable to mobile cranes, following subjects have been carried out in this specific research.

(1) Load monitoring for mobile cranes

- Active load measurements for lattice jib type mobile cranes
- Stress measurements for wheel crane booms under operating conditions

(2) Improvement of damage detecting technique for mobile crane components

- The improvement of Nondestructive inspections using thermal stress analysis system
- Ultrasonic testing for welded joints of thin plate modeled upon the welded joint on corner of mobile crane boom

(3) Development of fatigue damage monitoring technique for joints

- Development of fatigue damage monitoring technique for bolted joints

Keywords; Construction machines, Mobile cranes, Life extension, Fatigue, Active loads, Nondestructive inspections, Damage monitoring

* 機械システム安全研究グループ Mechanical and Safety Research Group

** 研究企画調整部 Research Planning and Coordinating Division

1. はじめに

経年機械・装置の増加に伴い、我が国でも、省資源、コストダウンを目的として、機械・装置は長期間使用される傾向にある。移動式クレーン等の建設機械もその例外ではない。これらの機械は、使用条件が多様で、かなり過酷に使用されるものが多く、溶接部等の応力が集中する箇所に発生した損傷が原因で構造部材が破損し、大きな災害を引き起こした例が見受けられる。

経年機械では、使用に伴って発生した損傷（経年損傷）が原因で破損が起きる可能性が高いことから、適切な保守管理体制の確立が望まれている。

2. 移動式クレーンに対する保守管理

クレーン、移動式クレーンに対する現行の検査体制を見ると、2年ごとに行われる性能検査をはじめとして、年次、月例等、定期的に行われる検査で、機械の健全性を確認する手法が採られている。

クレーン構造部分の設計基準としては、「クレーン構造規格（厚生労働省告示41号）」があり、一定の係数（作業係数、衝撃係数）を乗じて作用荷重（あるいは荷重の組み合わせ）を求め、疲れ強さについて、安全性を実験、計算、実績により確認することとされている。計算による確認は、JIS B 8821¹⁾の疲れ許容応力等の基準に基づくもので、設計曲線から強度評価を行うことになる。作業係数については、主たる荷重の定格荷重に対する割合、その荷重を受ける回数で分類され、JIS B 8831²⁾に表として与えられている。また、稼働時の負荷計測、損傷検査を行い、クレーン構造部の現状での健全度を診断し、計測した稼働時の負荷に基づいて疲労や腐食等の経年劣化に対する余寿命を予測して、予防保全的な対策を行う構造診断³⁾も実際に行われている。

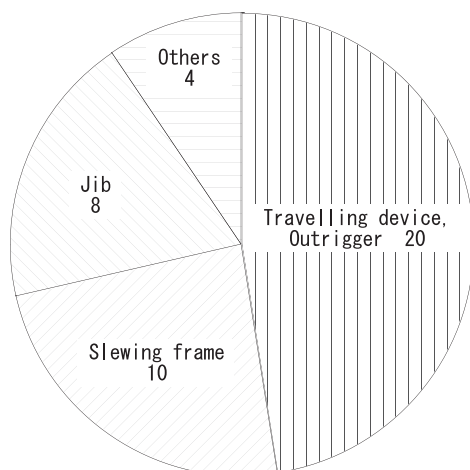


Fig.1 Damaged parts in mobile cranes
移動式クレーンの損傷部位

しかし、移動式クレーンについては、クレーンと異なり、使用形態が多様であるため、負荷レベル等による分類は行われておらず、稼働時負荷の測定結果も公表されたものはない。Condition Monitoring⁴⁾について定めたISO規格⁵⁾において、機械の使用履歴を記録し、それに基づいて、検査、整備を決める方法が規定されているが、具体的方法については示されていない。

3. 研究の目的

移動式クレーンの損傷発生については、日本クレーン協会が実態調査を行っている⁶⁾。Fig.1は、調査で損傷発生が報告された機械について、損傷発生部位を示したものである。下部走行体・アウトリガー、旋回フレーム、ジブの順になっているが、個々の事例について見ると、いずれも溶接部止端等応力集中部に疲労き裂等の損傷が発生していたと報告されている。また、損傷が発生するまでの期間をFig.2に示すが、約1/4の損傷が5年未満で発生しており、10年程度の使用で、約半数が発生している。これを日本機械学会が天井クレーンの損傷について調査して結果⁶⁾と比較すると、かなり短くなっている。

軽量化が強く要求される移動式クレーンでは、一般に裕度を小さく取って設計が行われる。それが過酷な条件下で使用された場合、極短時間で損傷が発生する原因と考えられる。損傷発生から最終破壊に到るまでの期間もまた、負荷に強く影響されること、移動式クレーンでは使用形態が極めて多様であることを考え合わせると、個々の機械によって、損傷発生、破壊までの期間が大きく異なると予想され、クレーンのように負荷区分、負荷回数でグループ分けすることは難しいと言える。過酷に使用されるものでは、現在、性能検査について2年と定められている法定検査間隔では、破損

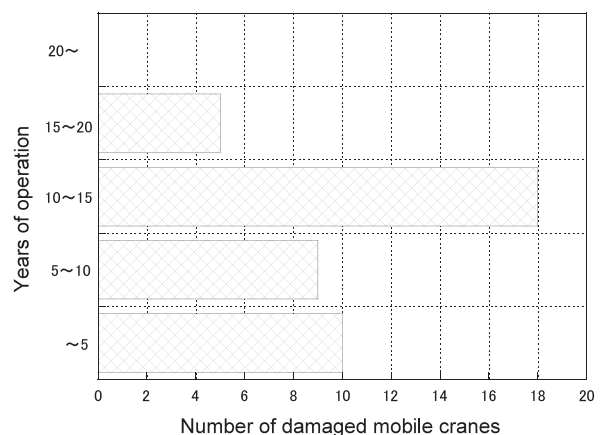


Fig.2 Years of operation till generation of damage
損傷発生までの稼働年数

事故が防げない場合がある反面、使用状況の軽微なものを、過酷なものと同間隔で検査することは、オーバースペックとなっている可能性もある。したがって、移動式クレーンでは、クレーン以上に個々の機械ごとに使用履歴を記録し、それに基づいた間隔で検査を行うことが必要となる。そして、検査時には、発生した損傷を確実に検出し、その危険度評価、余寿命評価に基づき、各々必要な補修、次期検査までの間隔決定を行うのが適切な保守管理法と言える。しかし、現状では、稼働状態下のクレーンに作用する変動負荷の把握、欠陥の確実な検出、サイジングのための非破壊検査手法の開発等、多くの困難な点があり、そのため、保守点検が定期的に行われる現在の管理体制が採られている。

より適切な保守管理体制確立の一助とするため、本研究においては、種々ある建設機械の中で主として移動式クレーンを対象に、機械稼働時の変動負荷の評価、点検時の損傷評価への非破壊検査法の適用、さらには、発生損傷の常時モニタリング手法の開発を試みた。

4. 研究の概要

本研究で実施した研究テーマ、およびその研究概要を以下に述べる。

(1) 移動式クレーンの負荷モニタリング

フルラフティングタワー型クローラクレーン、ラフテレーンクレーンの2つのタイプの移動式クレーンを対象に、動作別に測定したジブ(ブーム)各所の応力は、クレーンの姿勢変化による静的な変化にジブの曲げ振動による変動応力が重畳されたもので、疲労を考えた場合、高速回転時のジブ水平方向の曲げ振動による成分が無視できないことが、明らかになった。

実際の現場での測定では、つり荷が軽量であったため、通常の実作業では、ジブの曲げ振動による変動応力は問題とならないことが分かった。

また、現在クレーンに設置されている過負荷防止装置を援用して、負荷のモニタリングを行う場合、直接ジブの曲げを検出する機構、あるいは回転速度を検出し、それを基にジブの曲げを推定することが、追加措置として必要になる。

(2) 構造部材の損傷検出技術の高度化

赤外線応力測定法に数値計算を援用して、応力拡大係数範囲 ΔK の高精度な評価法を開発すると共に、ラチス構造を模擬した円管溶接試験体等に赤外線応力測定法を適用し、溶接部での応力集中の状況、円管に疲労き裂が発生した場合の特異応力場の検出が可能であることを明らかにした。また、ボックス型ブームを模擬したコーナー部溶接試験体に超音波探傷法を適用し、TOFD法は、溶接欠陥の検出では斜角探傷法に

劣るが、表面疲労き裂のサイジングがある程度可能なことを明らかにした。

(3) 接合部材の疲労損傷モニタリング技術の開発

ボルト接合部の損傷を常時モニタリングする方法として、ひずみゲージ埋め込みボルトの出力変化から、接合部母材やボルト自身の破壊をモニタリングすることを試みた。対象はせん断型、およびフランジ型ボルト継手である。せん断型継手で母材に疲労き裂が発生する場合は、小さなき裂を検出することはできないが、継手全体の破断に先立ち、急激なケージ出力の変化があり、これらの変化を事前に検知すれば、破断を回避することが可能である。また、ボルト自身が破断するフランジ型継手では、ボルトの破断に際し、破断したボルト自身のみならず、残りのボルトの応力も変化するため、一部のボルトにゲージを埋め込めば、フランジの分離を回避できることが明らかになった。

(1)、(2)の結果は、検査時の損傷の危険度評価、その後の稼働時の損傷の進展解析、適切な検査間隔設定に合わせて用いるべきものである。また、(3)は、(1)、(2)を合わせた保守検査法と比べ、破壊防止策として1歩進んだ方法である。

これらの結果は、ダイレクトに保守管理法の高度化につながるものではないが、基礎データ等として、建設機械の保守管理システムの高度化を進める上で、役立てば幸いである。

参考文献

- 1) JIS B 8821-2004 クレーン鋼構造部分の計算基準
- 2) JIS B 8831-2004 クレーン一荷重及び荷重の組み合わせに関する設計原則
- 3) 例えば、梶本 勝也、池田 博、クレーン、42-281, pp.15-20 (2004)、梶本 勝也、池田 博、クレーン、42-282, pp.15-20 (2004)
- 4) ISO 12482-1 Crane - Condition Monitoring - Part 1: General (1995)
- 5) 日本クレーン協会・溶接基準委員、クレーン、26-11, pp.14-25 (1988)
- 6) 日本機械学会、技術資料 機械・構造物の破損事例と解析技術、pp.278-282 (1984)

(平成 16年10月8日 受理)

