

## 2. クレーンの経年損傷状況

橋内 良雄\*, 前田 豊\*

## 2. Survey of Degradation for Overhead Travelling Cranes

by Yoshio KITSUNAI\* and Yutaka MAEDA\*

**Abstract;** In recent years the operation rate of overhead travelling cranes has increased due to economical request, so that the damages mainly associated with fatigue have sometimes been reported near welded area such as a toe of termination of fillet weld which has been subjected to high stresses. Hence survey of damages in connection with fatigue and degradation of the material was performed using existing literatures and based on field search. This survey involves information on damage causes, locations, service term, capacity or hoisting load *etc.* The results of the survey may give us useful information on detection of damage and determination of inspection term for cranes.

The damages of cranes begun to appear after three to four years service, and most of cranes have been damaged after 15 years or more service. The initiation life of the damages tends to decrease with increasing hoisting capacity of crane. This result shows that the margin of design for the cranes with large hoisting loads such as ladle crane and stripper crane is not enough as compared to the cranes with small hoisting capacity such as an overhead travelling crane with crab. The damage causes for overhead travelling cranes are almost occupied by fatigue, and others are by abrasion, corrosion *etc.* The locations of damage in runway girder are classified as follows; the throats of the top flange to the web or to the stiffener, the welded joints between a bottom flange and attached members such as gusset plates, stiffener terminations in web, and auxiliary lattice members and their joints. These damages in runway girders are mainly caused by the partial penetration welds and local stresses due to the concentrated wheel loads. The majority of damages in travelling crane itself was concentrated in main girder. The locations of the damage were essentially the same as those of the runway girder, that is, the weld toe of gusset plate, top flange to the stiffener connection and web at termination of stiffeners. Other damaged locations were hoist gear, travel gear, traverse gear, end carriage *etc.* Among the damage, 42% was related to the structure components including main girder.

**Keywords;** Overhead travelling crane, Survey, Damage, Degradation, Fatigue, Failure, Failure analysis

### 1. 緒 言

クレーンは数十年以上の長期に渡って使用されているが、稼働中は常に繰り返し荷重が負荷されるため特定の高応力集中箇所に疲労が蓄積し、やがてき裂に遷移して定常的な操業の妨げになったり、死傷等の重大災害を招いている場合がある。経済活動の活性化や生

産効率の向上が以前にまして要求される昨今では、クレーンの大型化・高速化が進められており、部材接合方法もリベット結合から溶接へと変遷する中で損傷の形態も異なってきている。特に、溶接技術の進歩に伴い不静定構造のクレーンが増加しているが、このようなクレーンが損傷を受けた場合、補強により断面積を増やしても補強の仕方やディテールによっては大きな応力集中源が作られ、疲労強度を弱める場合もある。一方、クレーンの構造部材は一般に高所にある場合が

\*機械システム安全研究部 Mechanical and System  
Safety Research Division

多く、油や塵埃等の付着、照明の不十分さ等から、定期点検や検査において損傷を見落とすことなく確実に発見することはかなり困難を伴うのが普通である。このような困難を排除するには、これまでの損傷発生箇所や高応力集中部をあらかじめ検査員に教示しておけば、検査時の損傷見逃し率の低減と検査の効率化が図れるものと考えられる。

このような背景から、主に天井クレーンに発生する経年損傷の調査が鋼構造協会<sup>1)</sup>、クレーン協会<sup>2)</sup>、機械学会<sup>3)</sup>等の学協会や、志村ら<sup>4)</sup>および山田<sup>5)</sup>によって行われてきた。これらは主としてランウェイガーダを対象にしている場合が多いが、本章ではこれらの調査結果を参照すると同時に、幾つかの事業場の協力を得てメインガーダ（クレーン本体）の経年損傷の状況を調査した結果並びに損傷事例について紹介する。

## 2. クレーンの経年損傷の実態

天井クレーンの疲労損傷の実態については、これまでにランウェイガーダを対象とした広範な調査<sup>1)4)5)</sup>が行われてきている。それらによれば、疲労損傷はクレーンの用途、構造および使用頻度によって異なっており、とりわけ製鋼や分塊工場に設置されているクレーンのように使用頻度が比較的高く、かつ高応力を受けるガーダに損傷が集中している。ランウェイガーダの疲労損傷部位としては、①上フランジとウェブの接合部、②三角リブ端部のウェブ、③上フランジとリブまたはスティフナの接合部近傍、④ガセットプレート近傍、⑤リベットやボルトの緩みや破損等が挙げられる（Fig.1）。このうち三角リブは、レールの偏心によりウェブが面外曲げを受けるのを軽減する目的とレールからの垂直力をウェブに分散して伝達しようするために、上フランジの下に取り付けられている。ランウェイガーダに取り付けられた三角リブは上フランジと共に変形するために、三角リブ下部近傍のウェブに変形に起因するき裂が発生する。三角リブは、ランウェイガーダのみならずクレーン本体のメインガーダにも多く採用されており、リブの近傍はしばしば疲労き裂の起点となっている。ランウェイの構造によってはトラスを取り付けるために、下フランジにガセットプレートを溶接している場合があるが、ガセットプレート溶接止端部がしばしば疲労き裂の起点となっている。鋼構造協会が調査した製鉄工場を対象としたランウェイガーダの疲労損傷部位とその割合<sup>1)</sup>は、Fig.2に示すとおりである。また、損傷が検出されたクレーンの種類はFig.3のような割合となっており、ストリッパークレーン、モールドクレーン、クロークレーンのように、クレーン自体の剛性が高いクレーンが走行している

ガーダに多くの損傷が見られる。この原因として、使用頻度だけでなく、衝撃荷重がかなり影響していることが指摘されている。Fig.4は製鉄工場のランウェイについて、損傷が発生するまでの年数を示したもので、5年以内に損傷が発生したガーダは約8%、10年以内では40%、15年以内では70%に達しており、ランウェイガーダの大部分が15年以内に何らかの損傷を受けていることがわかる。損傷が発見されるまでの繰り返し回数（メインガーダが通過する回数）について見ると、200万回に達するまでに約半数のランウェイガーダでき裂が発生している。

以上はランウェイガーダに関する損傷であるが、メインガーダの経年損傷を対象にした系統的な調査結果は比較的少ない<sup>3)5)</sup>。メインガーダは単に構造部分だけでなく、走行、横行、巻き上げ等の駆動部の損傷も少なくなく、損傷部位がより広範囲となるために系統的な集計が困難なようである。Fig.5は天井クレーンのメインガーダ関連部位に発生した損傷割合<sup>3)</sup>を示したもので、主あるいは補桁の損傷が最も多く37%に達している。なお、サドルや運転席部も構造と関連する場合が多いことから、構造部分の損傷は40%を越えると推察される。天井クレーンの損傷を原因別に分類した結果<sup>4)</sup>によれば、損傷件数111件のうち20%に当たる22件が疲労であって最も多く、次に溶接不良14.2%、強度不足11.1%等となっている。損傷が発生するまでの稼働年数では、5年程度使用すると疲労による損傷が発生するようになり、疲労損傷のうちの約半数は10年以内に起こっている（Fig.6）。我々が実施したメインガーダの損傷調査結果によれば、構造部分の損傷部位はランウェイのそれらと類似している。すなわち、トラスガーダではガセットプレートやサドルに、プレートあるいはボックスガーダではリブ端部、上あるいは下フランジとウェブ接合部等にき裂の発生が認められ

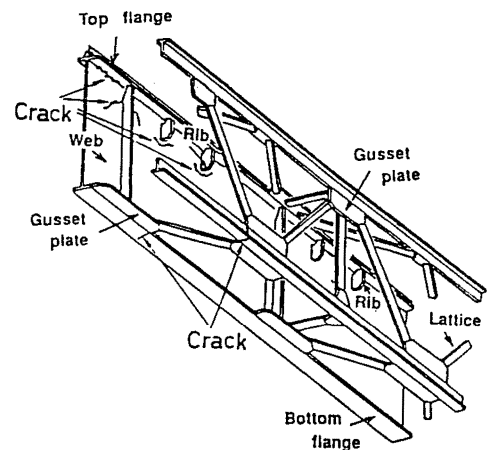


Fig.1 Damage locations of runway girder.  
ランウェイガーダの損傷部位

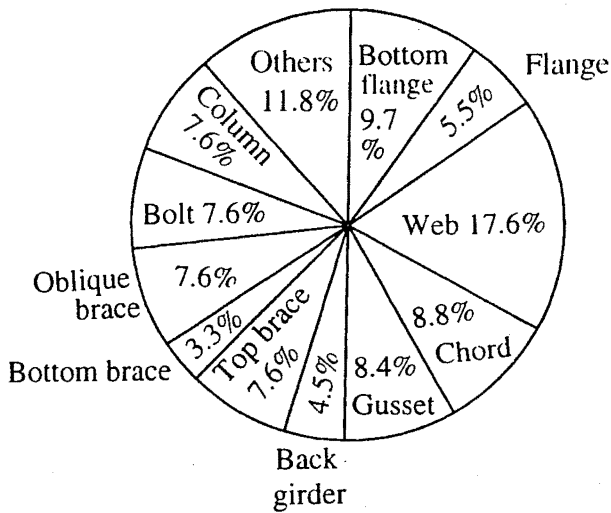


Fig.2 Percentage of damage locations of runway girder<sup>1)</sup>.  
ランウェイガーダの損傷部位の割合<sup>1)</sup>

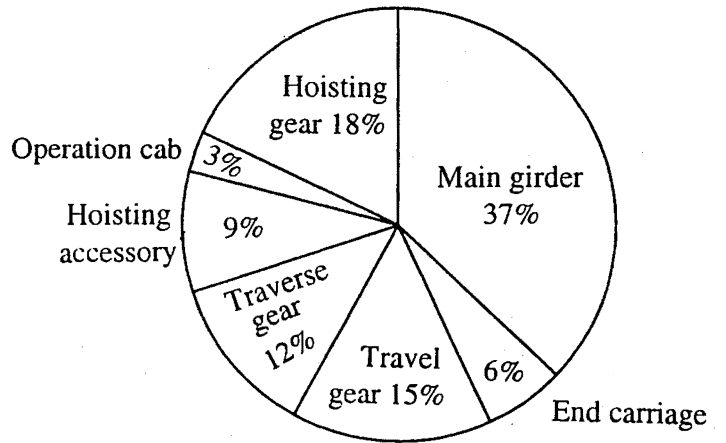


Fig.5 Damage locations of main girder and relative component<sup>3)</sup>.  
天井クレーンメインガーダ関連の損傷部位<sup>3)</sup>

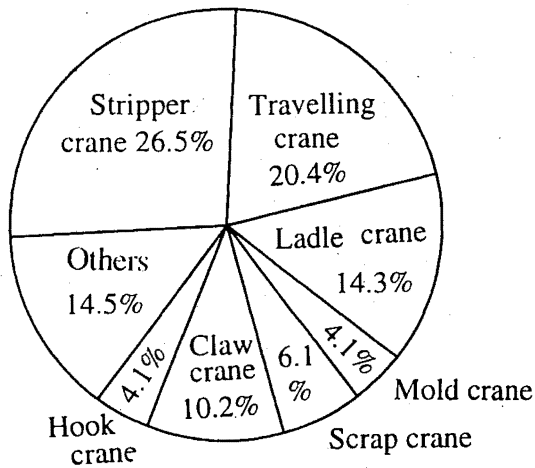


Fig.3 Percentage of types of crane subjected to damage<sup>1)</sup>.  
損傷を起こしたクレーンの内訳<sup>1)</sup>

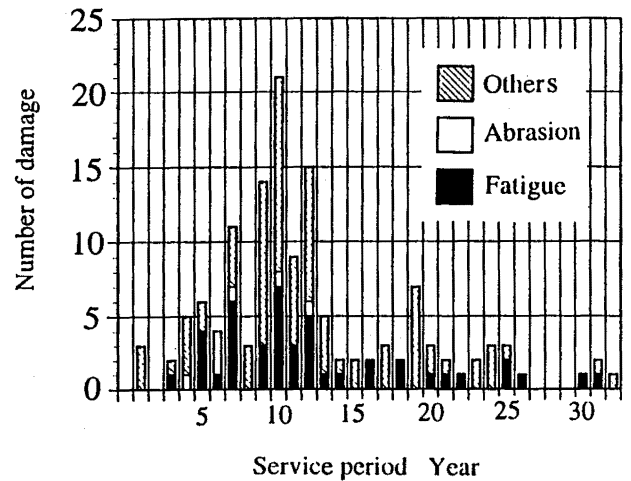


Fig.6 Service period until damage detected in overhead travelling crane<sup>3)</sup>.  
損傷が発生するまでの天井クレーンの使用年数<sup>3)</sup>

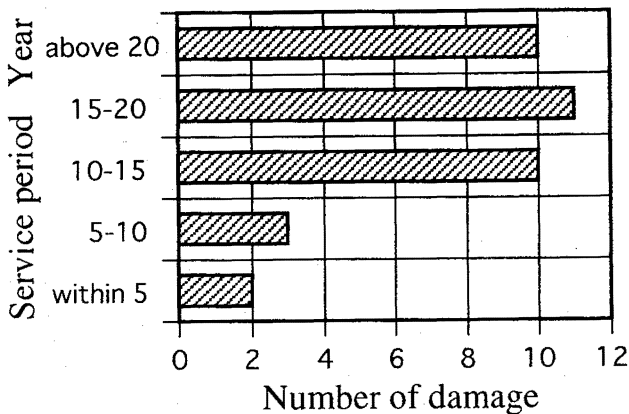


Fig.4 Service period until occurrence of damage of runway girder<sup>1)</sup>.  
ランウェイガーダに損傷が発生するまでの使用期間<sup>1)</sup>

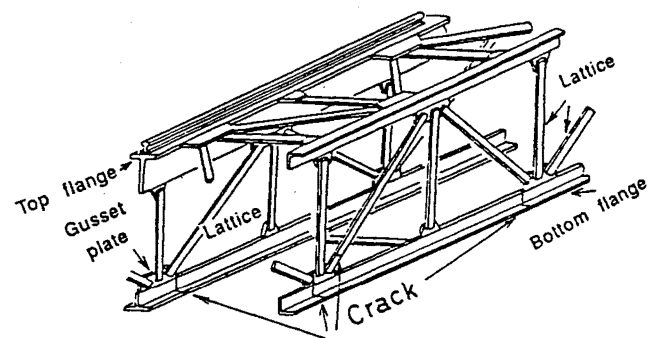


Fig.7 Damage locations of main girder.  
Arrows indicate fatigue cracks.  
メインガーダ構造部分の損傷部位(矢印はき裂を示す)

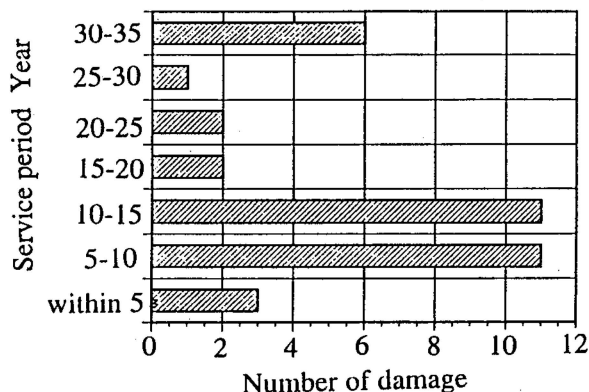
る (Fig.7)。特に使用年数が経過しているメインガーダの多くはトラス構造が採用されており、ガセット、ラチス並びにリベットから溶接への変更箇所に損傷が集中している。これらの結果から推察すると、損傷箇所は構造が複雑で応力の見積もりが容易でない箇所や溶接施工が容易でない箇所と一致しているようである。Fig.8 は日本クレーン協会が天井クレーンの構造部分

の損傷を調査した結果を示したもので、図から明らかなように損傷が見つかったクレーンのうち、約半数は設置後 15 年以内のものであった。また、つり上げ荷重が大きいクレーンほど損傷件数が増加しており、かなり設計裕度が低下していることを示唆している。

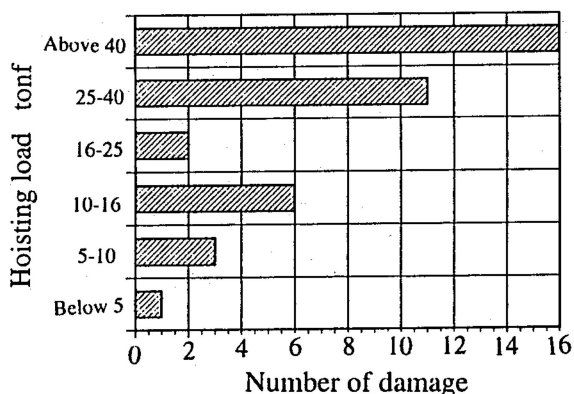
### 3. クレーンの経年損傷事例

#### 3.1 主桁の疲労破壊による天井クレーンの落下

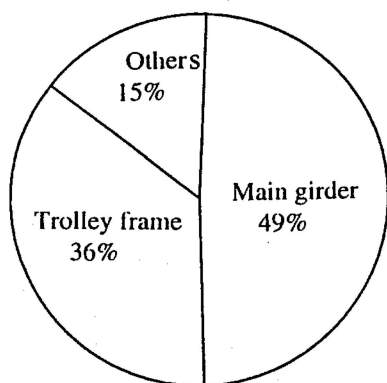
セメント工場において、吊上げ荷重 5tonf、バケット重量 2.5tonf、揚程 16.5m のバケット付き天井クレーンを用いて石灰石を運搬中、メインガーダ主桁下弦材が折損して落下し、運転席がコンクリート壁に激突してオペレータ 2 名が死傷する事故が発生した。被災時の状況を Fig.9 に示す。このクレーンは設置されてから約 25 年間使用されており、被災するまでの繰り返し



(a) Service period 使用期間



(b) Hoisting load 定格荷重



(c) Damage locations 損傷部位

Fig.8 Service period until damage detected, hoisting capacity and damage locations of overhead travelling crane<sup>2)</sup>.  
天井クレーン構造部分の経年損傷が生じるまでの使用年数、定格荷重および損傷部位<sup>2)</sup>



Fig.9 Collapsed overhead travelling crane.  
天井クレーンの損壊状況

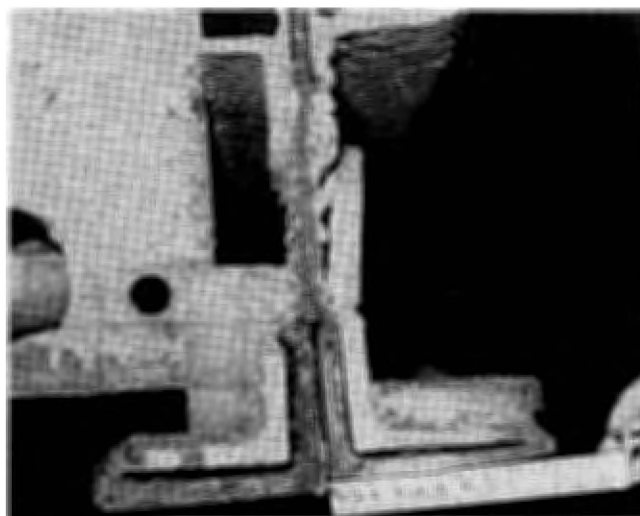


Fig.10 Fracture morphology of collapsed component.  
損傷部位の破面の様相

数は225,000回程度と推定される。このガーダはトラス構造で構成されており、スパンは21mであって、損傷箇所はスパン中央の従動側主桁のガセット取付け部であった。破断箇所はFig.10に示すように、赤く錆びた山形鋼(100×100×10)の上に新しい破面を有する山形鋼が溶接されており、新しい破面には明確なビーチマークが多数残されていて、このガーダが疲労によって損傷したことが確認された。また、Fig.10の破断面の様相から判断すると、このガーダは以前にも疲労損傷が生じており、それを類似寸法の山形鋼で溶接して使用していた結果、補修した山形鋼も疲労して損傷したものと推察される。クラブ、電気箱、運転席等の重量が不明であったが、同規模のクレーンを参照してそれらの重量を推定し、部材力並びに下弦材の応力を算定した。その結果、下弦材の引張り応力は12.4kgf/mm<sup>2</sup>であって、使用材料の許容応力14kgf/mm<sup>2</sup>よりも僅かに低い値となっていた。このクレーンは、バケットで石灰石を運搬していたために吊り上げ荷重一杯の5tonfの荷を常に吊っていたことや、かなりの衝撃荷重が作用する状態で使用されていたために、斜材と下弦材とを接続するガセット近傍の高応力集中部から疲労き裂が発生したと推察される。

### 3.2 溶接欠陥に起因する天井クレーンガーダの疲労損傷

製鉄工場において、吊り上げ能力10tonfの天井クレーンに取り付けられたC型フックでコイルを吊り上げたとき、異常音が発生して運転不能となった。点検の結果、メインガーダが主桁下弦材の溶接箇所から損傷していることが判明した。なお、事故時に吊り上げていた荷(C型フック+コイル)の重量は、約9.9tonfである。被災したクレーンはトラスガーダ構造のもので、スパンは17m、揚程10m、巻き上げ速度10m/min、ガーダ、クラブ、サドルその他メインガーダ関連品の総重量は約20tonfである。このクレーンは被災するまでに約17年使用されており、総繰返し数は153,000回程度と推定される。作業状態から推定される吊り上げ荷重と繰返し数の概要は、定格荷重10tonfに近い荷重、8tonf程度の荷重および6tonf程度の荷重のそれぞれに対して各36,000回程度、5tonf以下の比較的軽荷重の吊り上げ回数は45,000回程度である。

メインガーダの折損は主桁下弦材の水平部材であり(Fig.11)、折損位置はスパンのほぼ中央であった。折損した水平部材は幅200mm、厚さ8mmのフランジに高さ150mm、厚さ8mmのウェブをすみ肉溶接したいわゆるT継手が用いられていたが、このT継手の断面同士を突き合わせ溶接した箇所を起点として疲労破壊が生じていた。破面はフランジ外周部のほぼ全域に

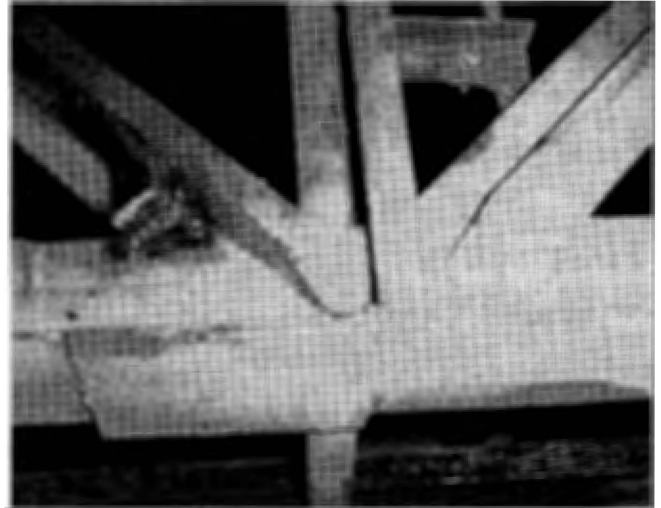


Fig.11 Damage of main girder of overhead travelling crane.  
天井クレーンのガーダの折損状況

2~2.5mmの深さまで錆びた古い破面が残されており、この錆びた破面がフランジ断面に占める割合は約50%に達していた。ウェブにはこのような錆は認められず、フランジの新生面と同様ビーチマークが認められ、溶接未溶着部を起点とした疲労破壊であることが判明した。このクレーンに定格荷重である10tonfが作用したと仮定して、破損箇所の下弦材の部材力を求めた結果、37.5tonfであった。未溶着部が存在しない場合のT断面における引張り応力は13.4kgf/mm<sup>2</sup>であって、部材の許容応力14kgf/mm<sup>2</sup>以下となっていた。未溶着部を除いた真断面に対する応力は18.8kgf/mm<sup>2</sup>であって、許容応力を大きく超えていた。

損傷した下弦材はフランジにウェブをすみ肉溶接してI形鋼と類似の断面を有する部材を突き合わせ溶接していることから、ここではクレーン鋼構造部分の設計基準(JIS B 8821)を用いてI形鋼の突き合わせ溶接継手の疲労強度について検討した結果、12kgf/mm<sup>2</sup>であって欠陥が存在しない場合に溶接部に作用する応力13.4kgf/mm<sup>2</sup>よりも低かった。したがって、欠陥が作られなかったとしても、長期に使用される場合には疲労損傷を受ける可能性が高い。

## 4. 事業場の実地調査

事故に至る前に発見されて補修が実施された損傷の発生については、通常の事故報告書にはあげられず実態が把握できないため、いくつかの事業場について、損傷と補修方法の実態等についての実地調査(一部はアンケート調査のみ)を実施した。得られた事例は必ずしも使用履歴が明らかなものばかりではなく、経年損傷の状況把握には情報不足のものもあるが、以下にその結果からいくつかの例を報告する。

#### 4.1 き裂とダイヤフラムの曲がりの発生

定格荷重 23tonf, スパン 47.2m, クレーン群III群のボックスガーダを有する天井クレーンにおいて, 使用期間 7年を経て (1) 走行装置架台にき裂が発生していることが発見された。このためガーダのボックス内外を詳細に点検したところ, (2) ガーダ (走行装置側補桁) 中央の腹板部に長さ 10m にわたって塗料のはく離が発見された。また, (3) 同じく走行装置側補桁のダイヤフラム 32 本のうち, 中央付近の 10 本が全体的に大きく曲がっていることが発見された。この状況を Fig.12 に示す。

このクレーンのガーダについて行われていた応力計測のまとめを Fig.13 に示す。ひずみゲージをガーダの

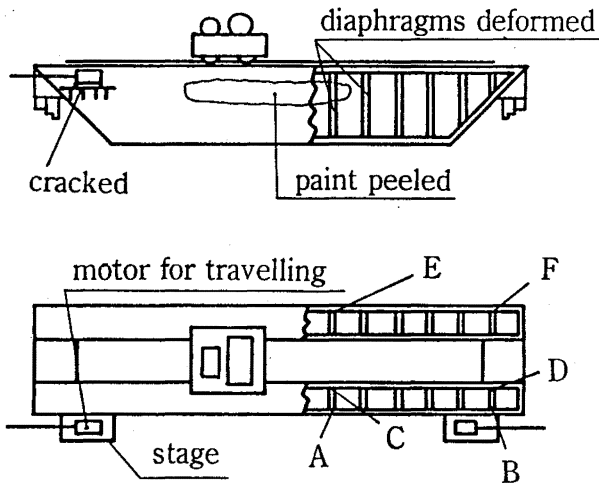


Fig.12 Damage of the girder and locations of strain gages bonded on the girder(A~F).  
ガーダの損傷状況とひずみゲージの張付け箇所(A~F)

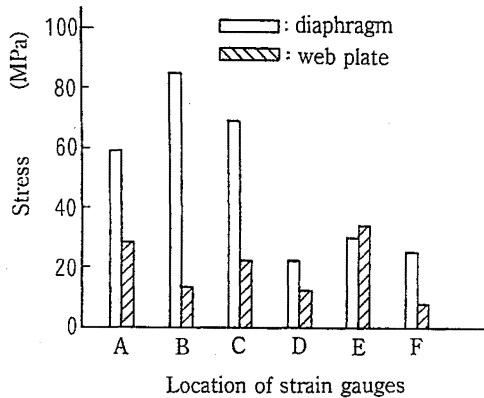


Fig.13 Result of stress measurement.  
応力の測定結果

腹板とダイヤフラム上に貼り, 荷のつり上げ位置を, ガーダ中央, 1/4 点, 最外端の 3 通りとし, 各種の動作を行わせたときの各点の応力の最大値が記録された。つり荷の重量は 0,10,17tonf の 3 通りとし, その結果から定格荷重 (23tonf) をつった場合の応力を外挿により求め, 測定箇所ごとにプロットしたものが Fig.13 である。

これによると全般にダイヤフラムの応力は腹板の応力より大きく, また最大の応力はガーダ端側のダイヤフラムにおいて計測されている。ただし, いずれも疲れ許容応力 (98MPa) より小さい値である。

#### 4.2 ガーダおよびサドルのき裂発生

リベット結合のトラスガーダを有する天井クレーンにおいていくつかの損傷が発見され, 補修された。

(1) クラブのフレーム下部の引張り側溶接部分にき裂が認められた。補強板を当て, ガウジングの後, 溶接補修が施された (Fig.14)。

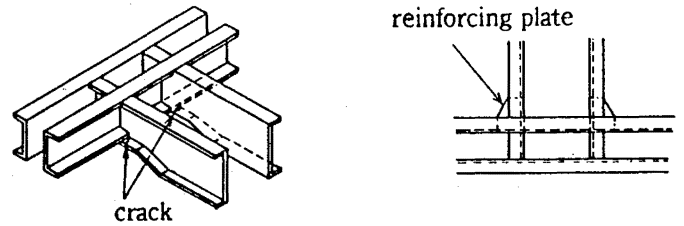


Fig.14 Cracks at the crab frame and repair method.  
クラブフレームのき裂発生と補修方法

(2) 軸受座とサドル本体との溶接部およびコーナー部にき裂が認められた。リブが追加され, き裂部のガウジングの後, 補修溶接が施された (Fig.15)。

(3) 補桁部の下弦材と斜材との溶接部にき裂が認めら

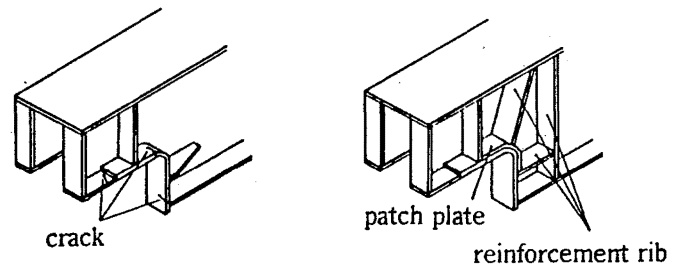


Fig.15 Cracks at the end carriage and repair method.  
サドル部のき裂発生と補修方法

れた。斜材部分は新材に交換され、き裂部はガウジングの後、溶接補修が行われた (Fig.16)。

(4) 主桁部上弦材に能力向上のため補強材が取り付けられていたが、斜材との溶接部分にき裂が認められた。斜材は新材に取り替えられ、リベットはリーマボルトに変更された (Fig.17)。

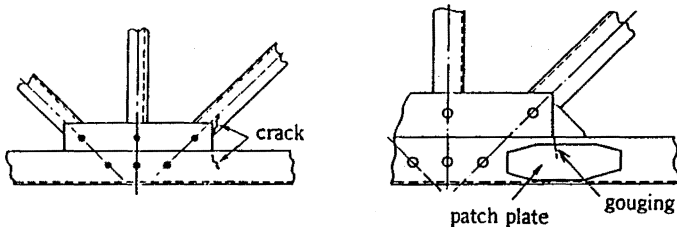


Fig.16 Cracks at the auxiliary girder and repair method.  
補桁部のき裂発生と補修方法

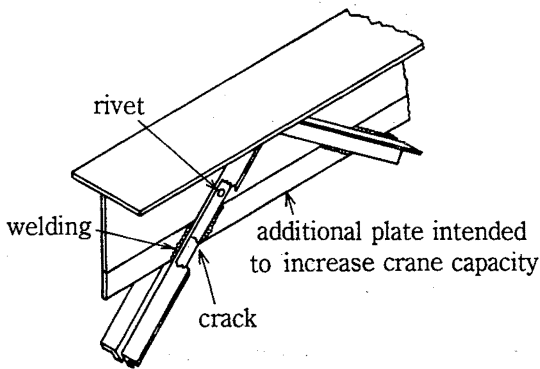


Fig.17 Cracks at the main girder and repair method.  
主桁部のき裂発生と補修方法

#### 4.3 リベットの緩みとき裂の発生

15tonf づくりのリベット結合トラスガーダを有する天井クレーンにおいて、主桁中央付近の上面継ぎ材リベットと上面継ぎ材・斜材リベットに緩みが認められた。(Fig.18) その原因は長年の使用によるものと考えられ、緩みの発生した胴径 20mm のリベットは M18 のリーマボルトに交換された。

また、同じクレーンのクラブフレームの溶接部とチャンネルにき裂が発見された (Fig.19)。

溶接部のき裂については、グラインダで開先加工の後に再溶接が行われ、更に補強リブ (底辺 80mm の直角二等辺三角形、厚さ 9mm) が合計 8 カ所に取り付けられた。補強リブの端部は応力集中の防止のためグラインダで R 加工が行われた。

チャンネル (250×90×9) に生じたき裂に対しては、き裂が取り除かれた後、側面に厚さ 12mm、幅 200mm

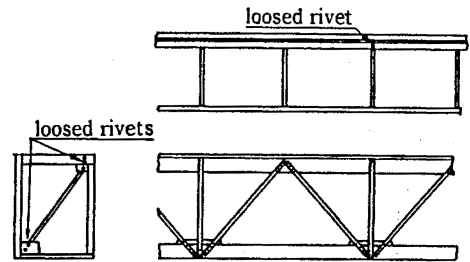


Fig.18 State of rivets loosened at the girder.  
ガーダのリベットの緩み発生

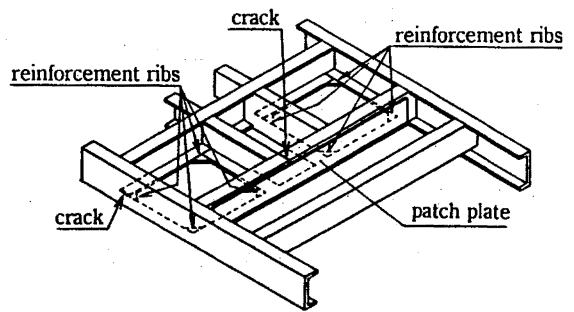


Fig.19 Cracks at the crab frame and repair method.  
クラブフレームのき裂発生とその補修方法

の当て板が取り付けられた。き裂の除去は、(1) ガウジング実施 (2) 肉盛り溶接 (3) 一層目まで裏側をはつる (グラインダ処理) (4) 肉盛り溶接 (5) ビードをグラインダで仕上げる (6) カラーチェックで確認、という手順で行われた。

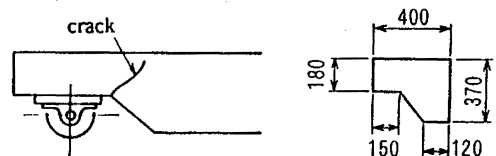


Fig.20 Crack at the crab frame and shape of patch plate for repair.  
クラブフレームのき裂発生、及び補修用当て板の形状

#### 4.4 クラブフレームのき裂

電気保全作業中、クラブトロリのフレーム (板厚 6mm) にき裂が発見された。このためき裂の発生位置に裏板を当てて溶接し、更に表面に鋼板 (板厚 9mm) を当てて溶接する補強処理が行われた (Fig.20)。



#### 4.5 走行減速機取り付けコモンベースのき裂

熱延工場のスラブ挿入用クレーン（定格荷重 100tonf）において、ガーダの目板部（走行減速機取り付けコモンベース）に 20mm の長さのき裂が発見された。このためグラインダで幅 10mm、深さ 6~7mm、長さ 60mm にわたってガウジング処理、両面溶接による補修が施された。

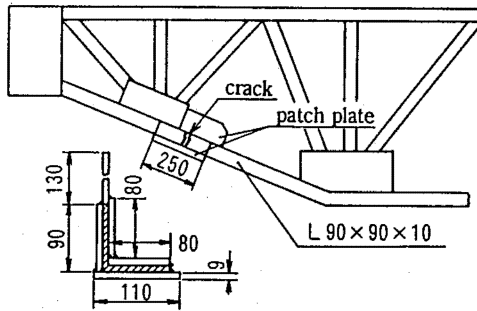


Fig.21 Crack at the auxiliary girder and repair with patch plate.  
補ガーダのき裂と当て金による補修

#### 4.6 補ガーダのき裂

35tonf づりクレーンにおいて補ガーダ下部にき裂が発見され、厚さ 9mm の S S 41 材を当て材としてき裂材の周囲を囲う補修が施された (Fig.21)。

#### 4.7 橋形アンローダのカンチレバーフレームのき裂

橋形アンローダのボックス式カンチレバーの、ピンから海側に 8.8m の位置にき裂が発見された。き裂は下フランジをスティフナとともに貫通し、左右のウェブの約半分ほどまで進行していた (Fig.22)。このため左右のウェブは 1m、下フランジは 1.2m が交換され、スティフナは溶接・グラインダ仕上げの後、目板を当

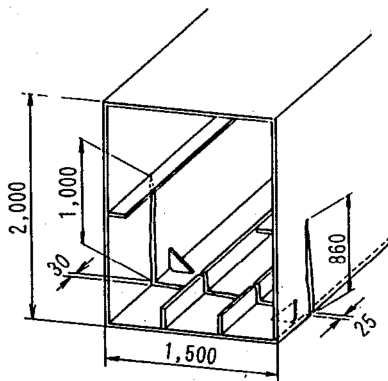


Fig.22 Cracks at the box type cantilever frame.  
カンチレバーフレームのき裂

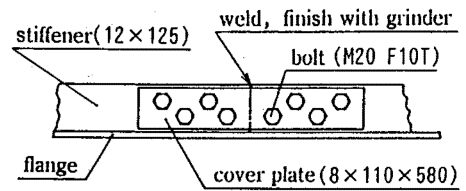


Fig.23 Repair of stiffener of cantilever  
カンチレバーのスティフナの補修方法

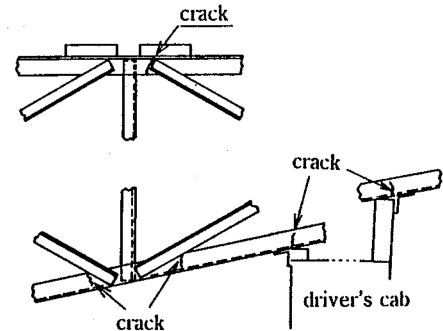


Fig.24 Cracks at truss girder of an overhead travelling crane.  
天井クレーンのトラスガーダのき裂

てボルトで固定された (Fig.23)。き裂発見から補修完了までは 12 日間を要した。

#### 4.8 天井クレーンのトラスガーダのき裂

天井クレーンのトラスガーダに生じたき裂の状況を Fig.24 に示す。補修は (1)9mm 厚の当て板を溶接し、(2)き裂をガウジング、(3)肉盛り溶接、(4)突出したビードをグラインダで仕上げ、(5)カラーチェックで確認、という手順で実施された。

### 5. 結 論

- (1) ランウェイガーダの損傷部は上フランジとウェブの接合部、リブ端部のウェブ、ガセットプレート近傍、上フランジとスティフナ接合部近傍等に発生しやすい。メイガーダの損傷箇所もランウェイのそれと類似している。メインガーダでは構造部分の他に巻き上げ、走行・横行装置のトラブルも多い。
- (2) 損傷が発見されるまでの使用年数を見ると、調査したクレーンの約半数に損傷が発見され、15 年経つと 70% 程度のクレーンに何らかの損傷が生じている。
- (3) 定格荷重と損傷件数との関係を見ると、定格荷重の大きいクレーン程損傷件数が多く、しかも比較的早い時期から損傷が生じる傾向が見られることから、大



型のクレーン程設計裕度が低く押さえられているようである。

(4) 天井クレーンメインガーダの2例の損壊解析の結果、1例はスパン中央で疲労破壊した下弦材を山形鋼を用いて補修溶接した箇所を起点として再び疲労破壊したものであり、他は下弦材スパン中央部に作られた溶接欠陥を起点として疲労破壊したことが判明した。

#### 文 献

- 1) 日本鋼構造協会天井クレーン走行ばり懇談会, クレーンガーダの疲労損傷に関する調査報告, 日本鋼構造協会論文集, Vol.12, No.128, (1976), pp. 9-22.
- 2) 日本クレーン協会溶接基準委員会, クレーン等の

溶接に関する技術基準の確立のための調査・研究, クレーン, Vol.26, No.11, (1988), pp.14-25.

- 3) 日本機械学会, 技術資料・構造物の損傷事例と解析技術, pp.279~282, (1984).
- 4) 志村保美, 宇野暢芳, 新日本製鐵におけるクレーンランウェイガーダの疲労破損対策技術, カラム, No.100, (1986), pp.89-96.
- 5) 山田健太郎, クレーン走行ばりに発生する疲れ亀裂の評価と対策, 第29回構造工学シンポジウム, (1983), pp.1-7.
- 6) JSSC 疲労設計指針(案), 日本鋼構造協会, (1990)

(平成8年3月20日受理)