

産業安全研究所安全資料

SAFETY DOCUMENT

OF

THE NATIONAL INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

NIIS - SD - NO.20 (2005)

コンクリートポンプ車のブーム疲労破壊事故の調査



コンクリートポンプ車のブーム疲労破壊事故の調査

目 次

1. はじめに	(2)
2. 事故の概要	(2)
3. 破断部の詳細解析	(2)
4. 破壊の経過	(7)
5. 破壊原因の推定	(7)
6. 同種の破損事故の再発防止策	(7)
7. おわりに	(8)

参考文献

抄 録

Investigation of a Fatigue Fracture Accident of the Boom on a Concrete Pump Truck

CONTENTS

1. Introduction	(2)
2. Outline of the Accident	(2)
3. Detailed Analysis of a Fracture Section	(2)
4. Sequence of Fracture	(7)
5. Estimation of the Cause of Fracture	(7)
6. Prevention against the Similar Failure Accident	(7)
7. Concluding Remarks	(8)

References

Abstract

Safety Document of the National Institute
of Industrial Safety, NIIS-SD-No.20 (2005)
UDC 331.467:539.422.23:539.422.24:693.546.3

コンクリートポンプ車のブーム疲労破壊事故の調査

佐々木哲也*, 本田 尚*, 吉久悦二*

Investigation of a Fatigue Fracture Accident of the Boom on a Concrete Pump Truck

by Tetsuya SASAKI*, Takashi HONDA*
and Etsuji YOSHIHISA*

Abstract ; In 2002, the placing boom on a truck-mounted concrete pump suddenly broke down at the condominium construction site in Japan. One worker who was engaged in smoothing the concrete surface was killed soon after he was hit by the fallen placing boom. Since this type of an accident has never been reported before, the authors carried out intensive investigation to clarify the cause of the accident.

The broken boom on a truck-mounted concrete pump is 12 years old and it has hydraulic 4-section M-type boom whose maximum length is 21m. At the first stage of investigation, macro-observation of the fracture surface was conducted, and it revealed some important facts: 1) the fracture surface was along the weld line between the boom and the boom supporter, 2) most of the fracture surface was flat and rusted, 3) beach-marks, one of fracture surface patterns with the features observed on fatigue fracture surface, were present on some parts of the flat fracture surface, 4) the shape of the beach-mark patterns indicated that cracks initiated around the boom supporter weld edge where stress concentration might be induced. Considering the broken concrete pump had been used for 12 years, these facts implied that the fracture of the boom might be attributed to fatigue. To confirm this estimation, micro-observation of the fracture surface using a scanning electron microscope (SEM) was carried out at the second investigation stage. Although most of the fracture surface was covered with corrosion products, striation pattern, typical evidence of fatigue crack propagation, was observed. Subsequently, material tests were conducted to ensure material integrity. In this stage, chemical composition and mechanical properties of a boom material were examined. Macro-structure and hardness of the boom supporter weld were also analyzed. These material tests clarified that there were no defects or problems both in the material and the weld.

As a result of these series of investigation, it was revealed that this fracture accident happened as follows:

- (1) Small cracks initiated near the boom supporter weld edge due to fatigue and/or other reasons.
- (2) These cracks propagated by fatigue driven by the cyclic stress induced by pump pressure.
- (3) Finally, the cracked section came to instable fracture by the load arose in the accident day.

Following actions are needed to prevent this type of a fracture accident:

- (1) The shape of weld edge on a boom should be smoothened to reduce stress concentration.
- (2) Nondestructive tests should be carried out to ensure no cracks present near the weld on a boom.
- (3) No one is allowed to step in just under the concrete placing boom.

Keywords ; Concrete boom pump truck, Fracture accident, Fatigue, Fractography

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

1. はじめに

コンクリートポンプ車はビル等のコンクリート構造物の建設現場で一般的に使用される建設機械であるが、コンクリート打設作業の効率化を追求した結果そのほとんどがブーム付きのものとなっている。近年、このブーム付きコンクリートポンプ車のブーム破損による労働災害が立て続けに発生している。我が国では、コンクリート構造物に高い耐久性を持たせるため、粘性の高いコンクリートが使用される傾向にあり、ポンプ吐出圧の増大によってコンクリートポンプ車ブームに作用する荷重が増大している。一方で経済の低成長化に伴って経年コンクリートポンプ車が増加しており、同様な災害が今後も発生することが懸念される。

そこで本資料では、当研究所で調査したコンクリートポンプ車のブーム破損による労働災害事例を紹介し、事故原因を明らかにするとともに、同種の破損事故の再発防止策についても検討した。

2. 事故の概要

2.1 事故の概要

マンション建設現場の地上1階部分のコンクリート打設作業において、ブーム付きコンクリートポンプ車で生コンクリートの圧送作業をしていたところ、コンクリートポンプ車のブームが突然折れた。このとき地上1階付近でコンクリートならしの補助作業を行っていた労働者1名が落下したブーム先端部分に直撃され、死亡した。

2.2 事故機の概要

事故後のコンクリートポンプ車ブーム部の全景をPhoto 1に示す。事故機はFig.1に示すような4段屈折式ブームを搭載したコンクリートポンプ車であり、伸張時のブーム最大長さは約21mである。車体側から2本目の第2ブームが根元（第1ブーム側）に近い部分で折損していることがわかる。なお、事故機は約12年間使用された経年機であった。

2.3 破損部の概要

Photo 2に破断部の様子を示す。第2ブームが全周の3/4に渡って破断し、ブーム下面を残して折れていることがわかる。Photo 2の左側の突起はブーム受けと呼ばれる部分で、ブーム収納時に第3ブームがこのブーム受



Photo 1 Complete view of the broken boom of the concrete pump truck.
折損したコンクリートポンプ車ブームの全景



Photo 2 Broken section of the boom.
ブーム折損部の様子

けに固定される。破断はこのブーム受けの溶接ビードに沿って生じている。破断面の一部が錆びていることから、この部分には事故当日以前からき裂が入っていたことが示唆された。

3. 破断部の詳細解析

3.1 外観観察

Photo 3は切り出した第2ブーム破断部である。事故

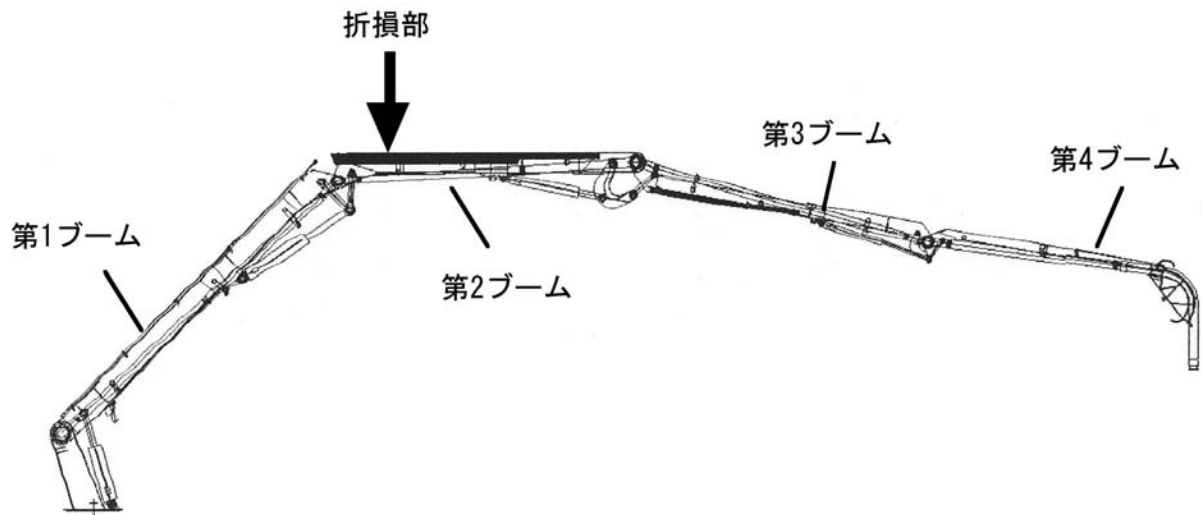


Fig. 1 Overview of the 4 section boom and its broken point.
4段屈折式ブームの概要と折損部

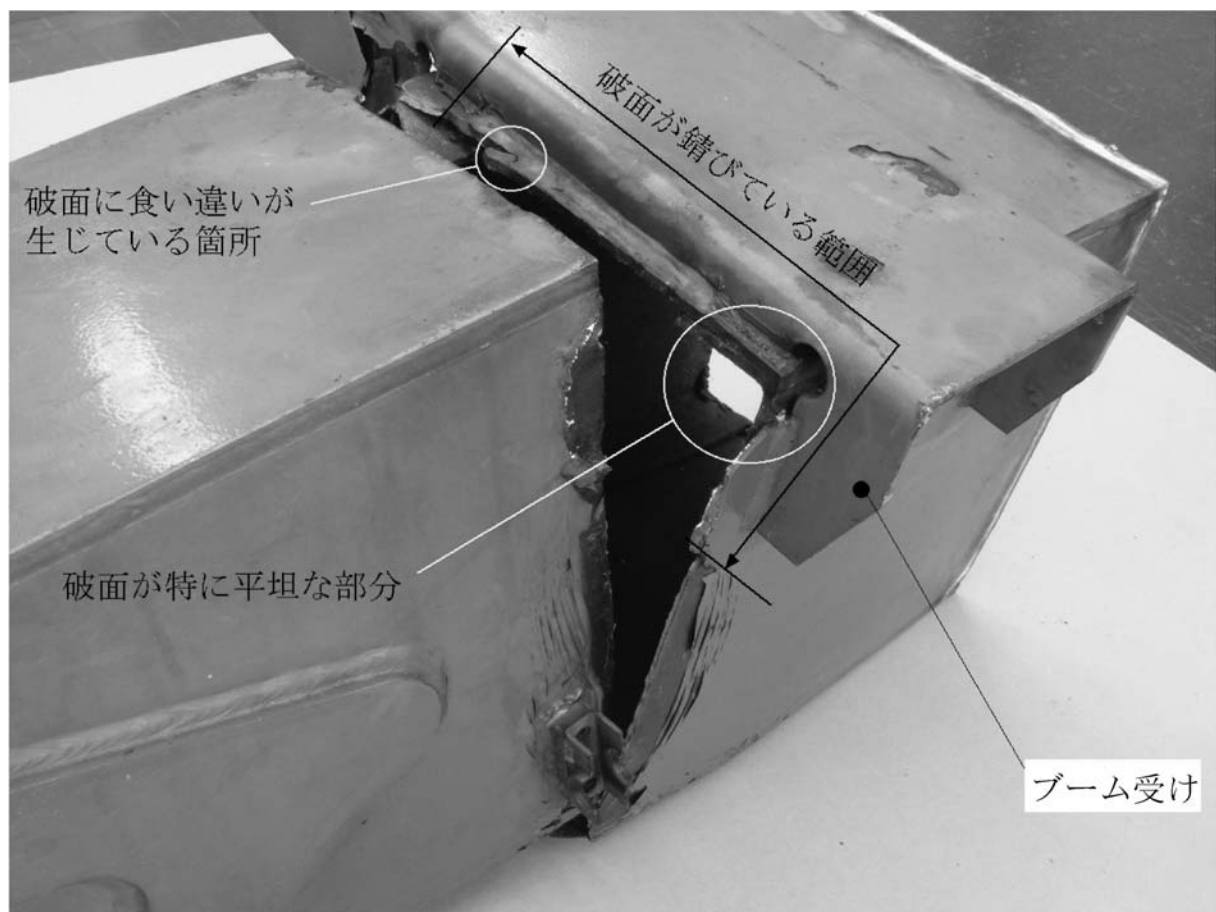


Photo 3 Appearance of the broken section of the cut down boom.
切り出したブーム破断部の外観

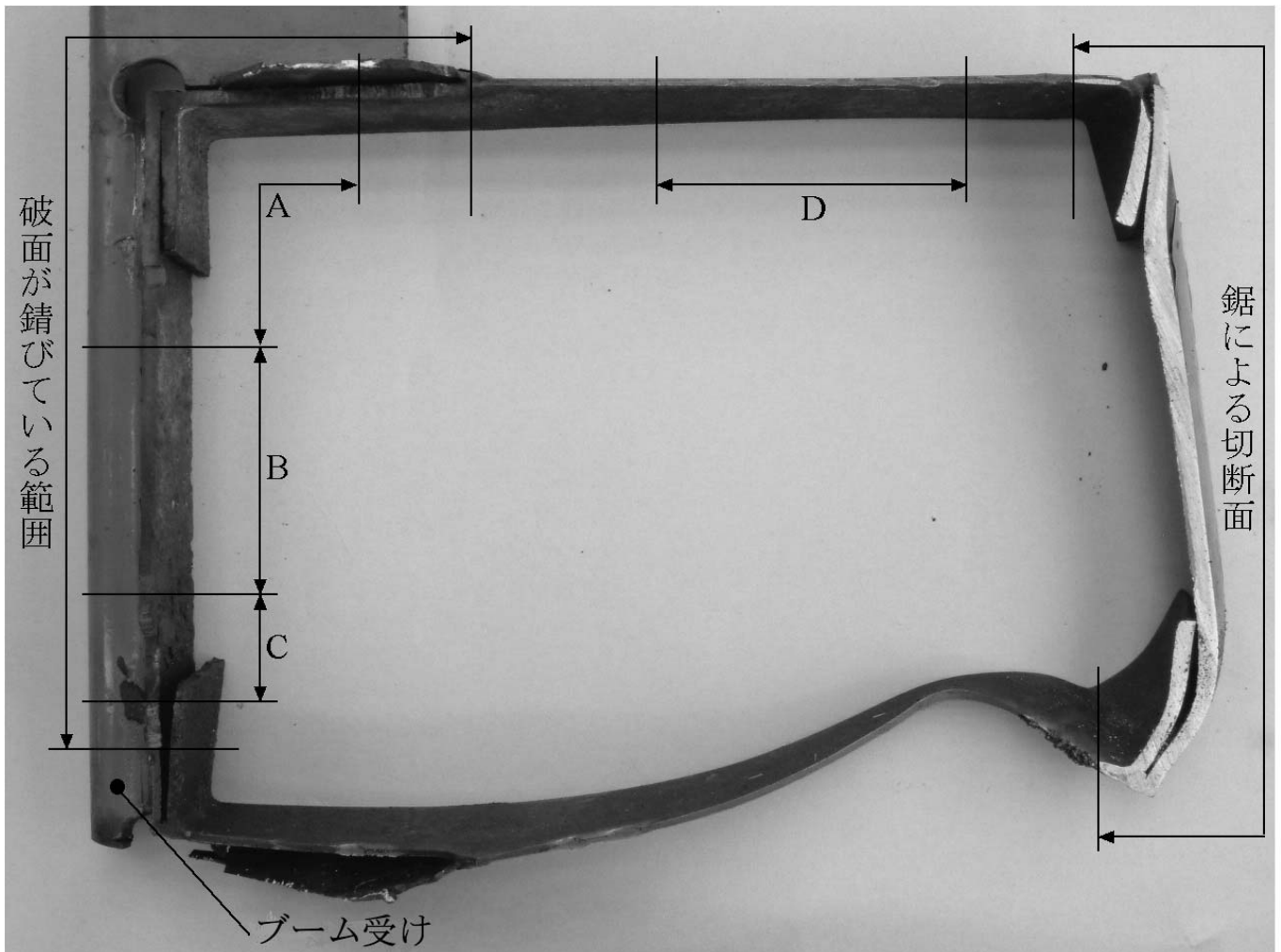


Photo 4 Fracture surface of the separated boom.
分離させた破断面の様子

処理時にブーム先端を吊り上げたため、開口していた破断部が閉じている。試料を切断する前に、目視で外観観察を行った。その結果をまとめると次のようになる。

- (1) 破壊はブーム受けの溶接ビードに沿って生じている。溶接ビード沿いの破面は全面に渡って錆びており、この部分は事故当日以前に破断していたと考えられる。
- (2) 破面が錆びている部分では、破面が全体として平坦であり、ビーチマーク¹⁾が随所に観察される。これらはいずれも疲労破面の特徴である。
- (3) 破面に食い違いが生じている箇所があり、この部分では複数のき裂が同時に進展していたと考えられる。
- (4) 破面に錆が生じていない部分では断面収縮が見ら

れる。これは延性破面の特徴である。

3.2 目視による破面のマクロ観察

破面のマクロ観察を行うために、Photo 3の試料を鋸で切断した。Photo 4に切断後の破断面全体の様子を示す。Photo 4の左側がブーム受けであり、右側が鋸による切断面である。破面が錆びている範囲から、事故当日までに第2ブームが全周の約1/4に渡って破断していたことがわかる。次に、Photo 4中のA～D各部について、更に詳細な観察を行った。

Photo 5はPhoto 4のA部を拡大したものである。写真上部の破面に見られる窪みは事故処理作業中に向かい側の破面がぶつかってできた当たり傷であると思われる。破面形態は全体として平坦であり、随所にビーチマークが観察される。特に右下部のビーチマークは

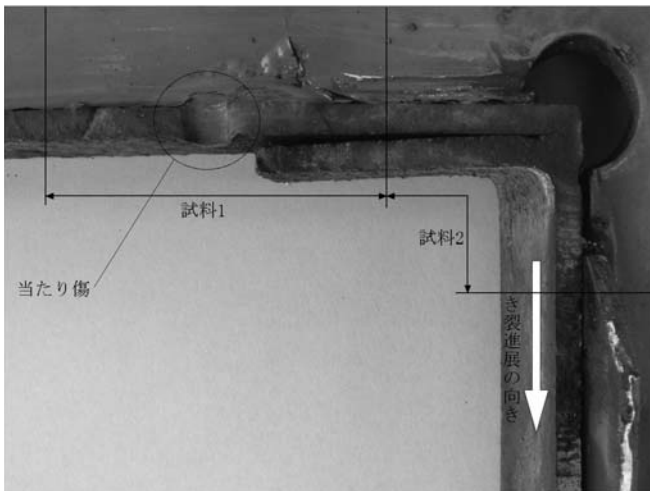


Photo 5 Magnified view of section A of the fracture surface.
破断面A部の拡大

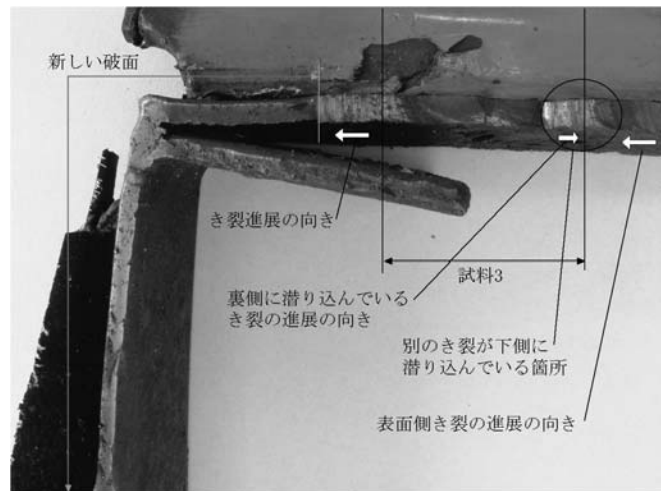


Photo 7 Magnified view of section C of the fracture surface.
破断面C部の拡大

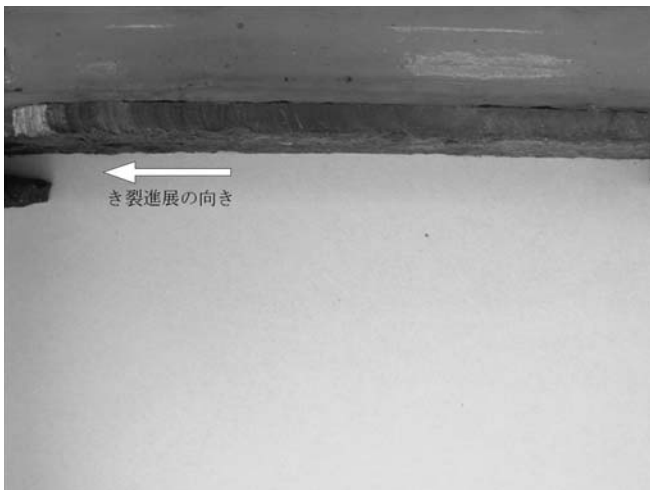


Photo 6 Magnified view of section B of the fracture surface.
破断面B部の拡大

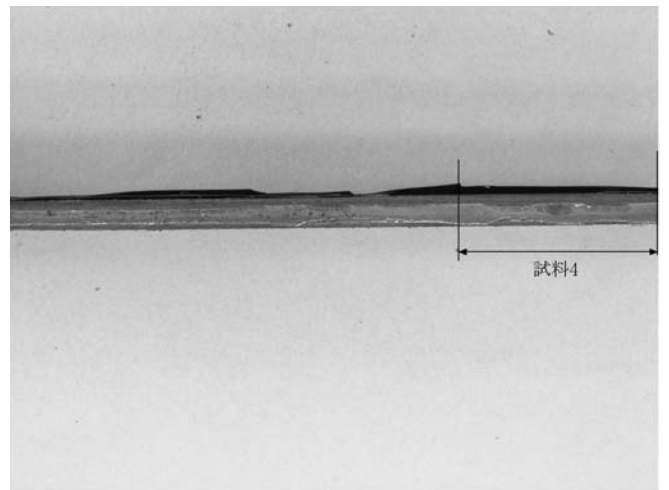


Photo 8 Magnified view of section D of the fracture surface.
破断面D部の拡大

明瞭であり、その形状からき裂が矢印の向きに進展したことがわかる。しかし、それ以外の部分はビーチマークが明瞭ではなく、き裂進展の向きは特定できない。そこで、試料1、試料2の部分を切り出して、破面の除錆処理を行った。その結果、いずれの資料についてもビーチマークが観察できるようになり、その形状からき裂がブーム受けの溶接止端部の2箇所から発生し、第2ブームの角溶接部分を回り込んで、矢印の向きに進展したと推定された。

Photo 6にPhoto 4のB部を拡大した様子を示す。写真左側の破面に明瞭なビーチマークが観察され、その形

状からき裂が左側に進展したことがわかる。

Photo 7にPhoto 4のC部を拡大した様子を示す。写真の右側には、別のき裂が下側に潜り込んでいる部分がある。ブーム受けの溶接ビードに沿った破面で観察されるビーチマークから、き裂が矢印の向きに進展したことがわかる。しかし、ビーチマークが不明瞭な部分があることから、試料3の部分を切り出して、破面の除錆処理を行った。その結果、ビーチマークが観察できるようになり、ブーム受けの溶接止端部の2箇所からき裂が発生したものと推定された。

Photo 8はPhoto 4のD部を拡大したものである。破

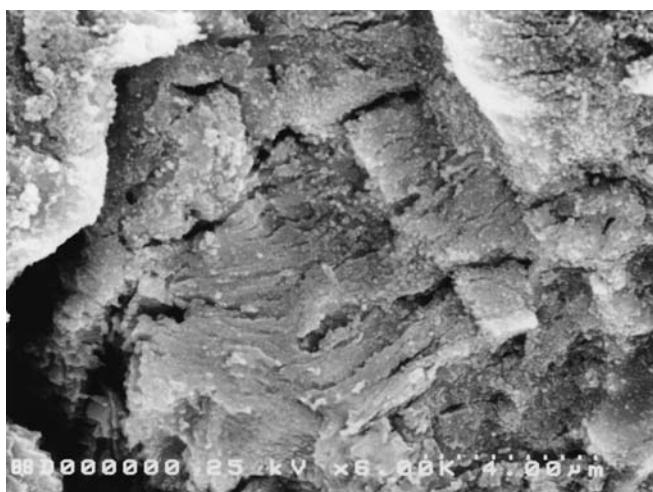


Photo 9 SEM photograph of section B of the fracture surface.
破断面B部のSEM写真

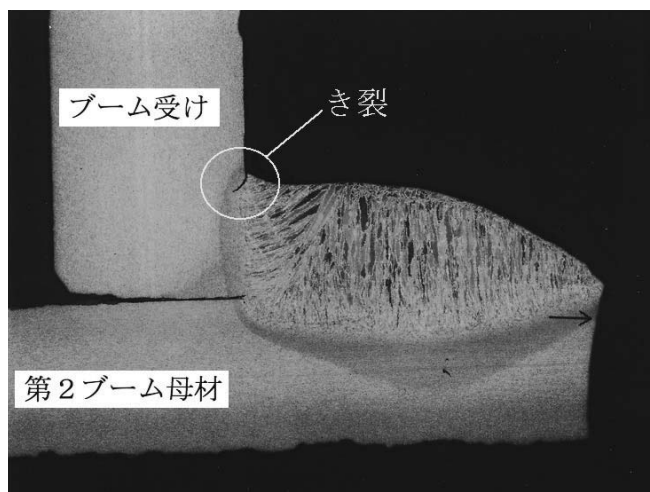


Photo 11 Macro-structure of the cross section of the boom supporter weldment.
ブーム受け溶接部断面のマクロ組織

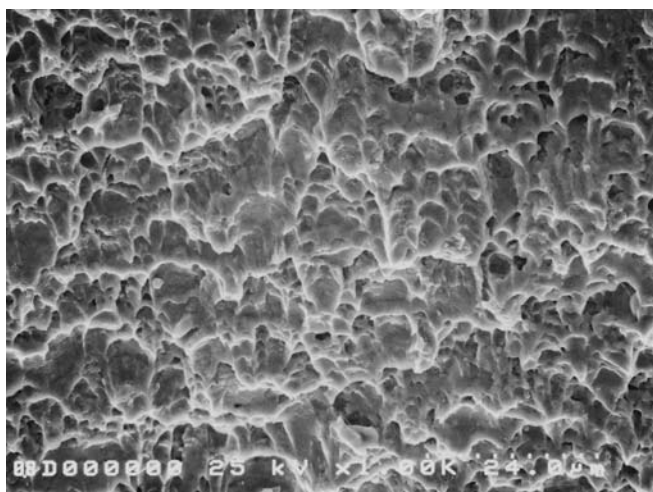


Photo 10 SEM photograph of section D of the fracture surface.
破断面D部のSEM写真

面に錆は見られないことから、新しい破面であることがわかる。更に詳細な観察を行うために、試料4の部分を切り出して拡大観察した。その結果、マクロな破面が鋼板表面に対して約45°傾いたせん断面になっていることと、破面が断面収縮を起こしていることから、延性破壊で生じた破面であることが予想された。

3.3 走査型電子顕微鏡 (SEM) による破面のミクロ観察

次に、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて破面のミクロ観察を行った。

Photo 9は試料2の破面のSEM観察結果であるが、疲

勞破面の特徴であるストライエーション模様²⁾が確認できる。一方、試料1、試料3については、腐食生成物のため、破面形態は不明であった。このため、破壊起点近傍の破壊様式を特定することはできなかった。

また、Photo 10は試料4の破面のSEM観察結果である。延性破面の特徴であるディンプルパターン³⁾が確認できる。この場合は、特に伸長型ディンプルと呼ばれるもので、さらにマクロ破面が約45°傾いていることからせん断的に延性破壊したことがわかる。

3.4 材料の組織観察・引張り試験・化学成分分析

材料の組織観察、引張り試験および化学成分分析の結果によれば、第2ブーム本体、ブーム受けのいずれについても材質上の問題は見受けられなかった。

3.5 溶接部の組織観察と硬さ試験

試料1を切断して断面試料を採取した。Photo 11は断面全体のマクロ組織観察結果である。写真からブーム受け側の溶接止端部にも小さなき裂が存在していることがわかる。一方、溶接部の材料組織には異常はなかった。

次に材料の組織観察を行った試料を用いて、ビッカース硬さ試験を行った。測定間隔はき裂近傍では0.3mm間隔、その他の箇所では0.5mm間隔とした。また、試験力は4.90N (500gf)とした。硬さ測定結果をFig.2に示す。ブーム受け材料の硬さ平均はHV 162、第2ブーム母材の硬さ平均はHV 216、溶接金属の硬さ平

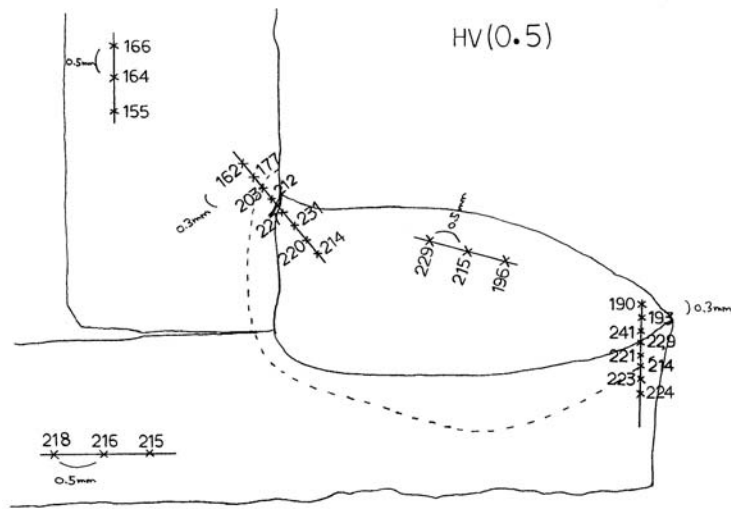


Fig.2 Result of a hardness test on the boom supporter weldment.
ブーム受け溶接部の硬さ試験結果

均はHV 213である。これに対して、割れ発生箇所近傍の硬さはFig.2に示す通りであり、特に異常な値は見られない。

4. 破壊の経過

前項に示した外観観察、破面のマクロ観察、破面のミクロ観察の結果から、第2ブームの破断は次のような順序で生じたものと考えられる。

- i) 破壊の起点は、Fig.3に示す溶接止端部のア、イ、ウ、エの4箇所と考えられる。この部分に何らかの原因で微小なき裂が発生した。
- ii) 破壊の起点に発生した微小なき裂は、合体しながらFig.3の矢印で示すような経路で進展したものと考えられる。破面上にビーチマークが見られることやSEMによるミクロ観察でストライエーションが確認できたことから、このき裂の進展は疲労によるものであると言える。
- iii) 事故当日までに疲労き裂は第2ブーム全周の約1/4に達していた。この疲労き裂進展は、事故当日の作業で発生した応力で延性的な破壊に移行して急速破壊した。

5. 破壊原因の推定

腐食生成物のために、破面観察からは破壊の起点部にき裂が発生した原因について特定することはできな

かった。しかし、き裂の発生位置が溶接止端部であることに加え、材質上の問題が発見されなかったこと、ブーム受け側の溶接止端部にもき裂が発生していること、事故機が12年間に渡り使用されてきた経年機であることなどから、主として溶接止端部の応力集中が原因となって疲労によってき裂が発生したのと考えられる。なお、ブーム付きコンクリートポンプ車のブームやアウトリガには、コンクリート圧送の反力で振動して繰り返し応力が作用するため、疲労破壊を起こす恐れがあることは以前から知られている⁴⁾。

6. 同種の破損事故の再発防止策

本件コンクリートポンプ車のブーム破損事故はブーム受け溶接止端部の応力集中による疲労破壊が原因と考えられるが、応力集中に起因する疲労破壊は他のコンクリートポンプ車のブームにも発生する可能性がある。従って、以下のような破損防止策を取ることが推奨される。

- (1) 始業前点検では、ブームの溶接部等の応力集中部に割れがないことを目視で確認する。一般に閉じた疲労き裂を目視で見つけることは困難であるから、ブームを水平に伸ばした状態で検査をすることが望ましい。
- (2) 定期点検では浸透探傷法などによってブームの溶接部に微小なき裂が存在しないことを確認する。

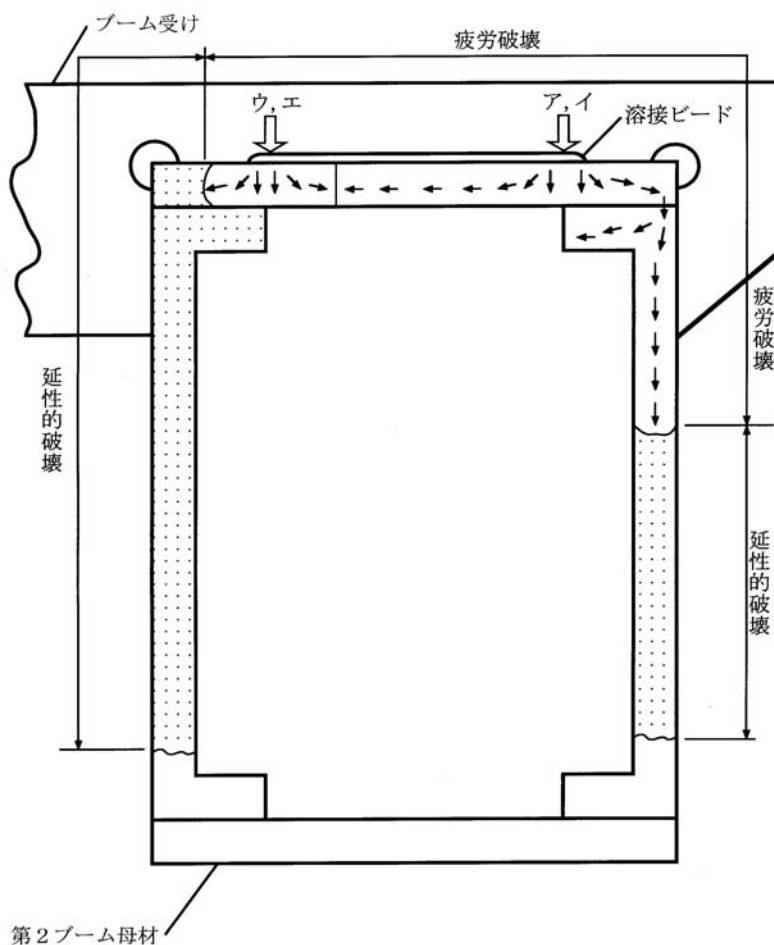


Fig.3 Illustration of the fracture type and crack propagation path.
破壊様式とき裂進展経路の概念図

き裂が発見された場合は、補修等適切な措置を講じる。

- (3) 溶接止端部の形状はグラインダ掛け等によってできるだけ滑らかにし、応力集中が生じにくくする。

7. おわりに

本資料では、コンクリートポンプ車ブームの破損事故を調査し、その原因を明らかにするとともに、同種の破損事故の再発防止策について言及した。

コンクリートポンプ車ブームの折損による労働災害を防止するためには、本資料で述べたような対策を取ることが必要であるが、ブーム付きコンクリートポンプ車によるコンクリート打設に従事する作業者がブーム直下に立ち入ることがないようにすることも必要で

あると考える。

参考文献

- 1) 例えば、日本材料学会フラクトグラフィ部門委員会編、フラクトグラフィ―破面と破壊情報解析、pp.276～277、丸善（2000）。
- 2) 例えば、文献1) の pp.134～147。
- 3) 例えば、文献1) のpp.96～99。
- 4) 労働省労働基準局安全衛生部安全課監修、コンクリートポンプ車運転者必携、pp.68～69、建設業労働災害防止協会（1992）。

（平成17年 3月15日 受理）

Safety Document of the National Institute
of Industrial Safety, NIIS-SD-No.20 (2005)

抄 録

コンクリートポンプ車のブーム疲労破壊事故の調査

佐々木哲也，本田 尚，吉久悦二

ブーム付きコンクリートポンプ車のブーム折損による労働災害を調査した。事故機は約12年間使用された経年機であり，破断面のマクロ，ミクロ観察等を通して，ブーム上面の溶接止端部から発生したき裂がブームに作用する繰返し荷重によって伝播した疲労破壊であることが明らかになった。同種の破損事故を防止するためには，ブームの溶接部の応力集中を低減させるとともに，ブームの溶接部にき裂が存在しないことを定期点検時等に確認することが必要である。また，万一ブームが折損しても労働災害に至らないようにするために，ブーム直下での作業を行わないように徹底することが求められる。

(図3, 写真11, 文献4)

産業安全研究所安全資料 NIIS-SD-NO.20 (2005)

発行日 平成17年3月31日
発行所 独立行政法人 産業安全研究所
 〒204-0024 東京都清瀬市梅園1丁目4番6号
 電話 0424-91-4512 (代)

印刷所 株式会社 アトミ

SAFETY DOCUMENT
OF
THE NATIONAL INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

NIIS - SD - NO.20 (2005)

Investigation of a Fatigue Fracture Accident of the Boom
on a Concrete Pump Truck



THE NATIONAL INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

1-4-6, Umezono, Kiyose, Tokyo 204-0024, JAPAN