

京都府福知山市内エレベーター事故調査報告書

平成29年4月

社会資本整備審議会

本報告書の調査の目的は、本件エレベーターの事故に関し、昇降機等事故調査部会により、再発防止の観点からの事故発生原因の解明、再発防止対策等に係る検討を行うことであり、事故の責任を問うことではない。

昇降機等事故調査部会

部会長 藤田 聡

京都府福知山市内エレベーター事故調査報告書

発生日時：平成27年12月29日（火） 8時30分ごろ

発生場所：京都府福知山市 工場

昇降機等事故調査部会

| | | |
|-----|----|----|
| 部会長 | 藤田 | 聡 |
| 委員 | 深尾 | 精一 |
| 委員 | 飯島 | 淳子 |
| 委員 | 藤田 | 香織 |
| 委員 | 青木 | 義男 |
| 委員 | 鎌田 | 崇義 |
| 委員 | 辻本 | 誠子 |
| 委員 | 中川 | 聡子 |
| 委員 | 稲葉 | 博美 |
| 委員 | 釜池 | 宏 |
| 委員 | 山海 | 敏弘 |
| 委員 | 杉山 | 美樹 |
| 委員 | 高木 | 堯男 |
| 委員 | 高橋 | 儀平 |
| 委員 | 田中 | 淳 |
| 委員 | 谷合 | 周三 |
| 委員 | 寺田 | 祐宏 |
| 委員 | 直井 | 英雄 |
| 委員 | 中里 | 眞朗 |
| 委員 | 松久 | 寛典 |
| 委員 | 宮迫 | 計 |

目次

| | | | |
|---------|-------------------------|----|----|
| 1 | 事故の概要 | …… | 1 |
| 1. 1 | 事故の概要 | | |
| 1. 2 | 調査の概要 | | |
| 2 | 事実情報 | …… | 1 |
| 2. 1 | 建築物に関する情報 | | |
| 2. 2 | エレベーターに関する情報 | | |
| 2. 2. 1 | 事故機の仕様等に関する情報 | | |
| 2. 2. 2 | 事故機の保守に関する情報 | | |
| 2. 3 | 事故発生時の状況に関する情報 | | |
| 2. 4 | 調査により得られた情報 | | |
| 2. 4. 1 | 事故機の制動装置に関する情報 | | |
| 2. 4. 2 | 事故発生直後の昇降路内の状況に関する情報 | | |
| 2. 4. 3 | 制動装置の状況に関する情報 | | |
| 2. 4. 4 | 駆動装置の状況に関する情報 | | |
| 2. 4. 5 | 制御器に関する情報 | | |
| 2. 4. 6 | かご戸の開閉指令に関する情報 | | |
| 2. 5 | 保守点検に関する情報 | | |
| 2. 5. 1 | 制動装置の保守に関する情報 | | |
| 2. 5. 2 | 点検マニュアルに関する情報 | | |
| 2. 5. 3 | 事故機のディスクブレーキの点検方法に関する情報 | | |
| 2. 6 | 巻上機製造者より得られた情報 | | |
| 2. 7 | 再現試験により得られた情報 | | |
| 2. 8 | 破断したシャフトの調査等により得られた情報 | | |
| 2. 8. 1 | 外観に関する情報 | | |
| 2. 8. 2 | シャフトに関する情報 | | |
| 2. 8. 3 | 破面解析結果に関する情報 | | |
| 2. 8. 4 | 動作状況に関する情報 | | |
| 2. 8. 5 | シャフトに発生する曲げ応力に関する情報 | | |
| 2. 9 | 巻上機採用時の評価 | | |
| 2. 10 | 事故後の緊急点検の結果等に関する情報 | | |
| 2. 11 | 三洋輸送機工業製以外のエレベーターの点検 | | |
| 2. 12 | ディスク式ブレーキのキャリパー機構の調査 | | |
| 3 | 分析 | …… | 14 |
| 3. 1 | 事故時の状況に関する分析 | | |

| | | |
|---------|-------------------|-------|
| 3. 2 | 保守点検に関する分析 | |
| 3. 3 | 破断したシャフトに関する分析 | |
| 4 | 原因 | …… 15 |
| 5 | 再発防止策 | …… 16 |
| 5. 1 | 三洋輸送機工業が実施した再発防止策 | |
| 5. 1. 1 | 同型機のブレーキギャップの測定結果 | |
| 5. 1. 2 | 再発防止対策品 | |
| 5. 1. 3 | 再発防止対策品の試験 | |
| 5. 1. 4 | 保守点検時のブレーキギャップの測定 | |
| 6 | 意見 | …… 17 |

《参 考》

本報告書本文中に用いる用語の取扱いについて

本報告書の本文中における記述に用いる用語の使い方は、次のとおりとする。

- ① 断定できる場合
・・・「認められる」
- ② 断定できないが、ほぼ間違いない場合
・・・「推定される」
- ③ 可能性が高い場合
・・・「考えられる」
- ④ 可能性がある場合
・・・「可能性が考えられる」
・・・「可能性があると考えられる」

1 事故の概要

1. 1 事故の概要

発生日時：平成27年12月29日（火） 8時30分ごろ

発生場所：京都府福知山市 工場

被害者：なし

事故概要：3階で利用者が降りた後、かごがゆっくり上昇し始めた後で戸が閉まり、その後も上昇を続け、釣合おもりが緩衝器に突き下げ停止した。

1. 2 調査の概要

平成28年1月12日 昇降機等事故調査部会委員、国土交通省職員及び京都府職員による現地調査を実施。

平成28年8月26日 昇降機等事故調査部会委員、国土交通省職員によるブレーキ動作状態確認試験を実施。

その他、昇降機等事故調査部会委員によるワーキングの開催、ワーキング委員、国土交通省職員による資料調査を実施。

2 事実情報

2. 1 建築物に関する情報

所在地：京都府福知山市

構造：鉄骨造

階数：地上4階

建物用途：製剤工場

確認済証交付年月日：平成15年6月10日

検査済証交付年月日：平成16年3月30日

2. 2 エレベーターに関する情報

2.2.1 事故機の仕様等に関する情報

(1) 事故機的主要仕様に関する情報

製造者：三洋輸送機工業株式会社（以下「三洋輸送機工業」という。）

製造型式：F2000-2S45

用途・構造：荷物用・機械室なし（巻上機ピット置き）

定格積載量：2,000kg

定格速度：45m/分

駆動方式：ロープ式（トラクション式・2：1ローピング）

制御方式：可変電圧可変周波数制御方式

操作方式：単式自動方式

昇降行程：20m

停止階数：5箇所停止（1～4，R階）

出入口の大きさ：間口1，400mm×高さ2，300mm

出入口の戸：2枚戸片開き

かごの大きさ：間口1，900mm×奥行2，300mm

電動機定格容量：11kW

巻上機：ギヤレス・HBV-580-D型（海外製）

巻上機ブレーキ：ディスク式（ブレーキ2個）

戸開走行保護装置：未設置

(2) 確認済証交付年月日：平成15年12月18日

(3) 検査済証交付年月日：平成16年 3月30日

2.2.2 事故機の保守に関する情報

保守業者：三洋輸送機工業

契約内容：フルメンテナンス契約（1ヶ月毎）

直近の性能検査実施日：平成27年 3月18日

直近の保守点検日：平成27年12月21日（指摘なし）

2.3 事故発生時の状況に関する情報

聞き取りにより得られた事故発生時の状況は以下のとおりである。

- (1) 作業員1名が、1階（最下階）から3階へ移動するためにかごに乗り、戸が閉まった後のかごが上昇し始めるタイミングで、かごの外で金属音がするのを聞いた。
- (2) 3階で戸が開き乗場へ降りたが、かごに残った方の足に浮くような感じがしたため、降りてから振り返ったところ、ひざのあたりまでかごが上昇しており、いつもより早めに戸が閉まり始めた。
- (3) 戸が閉まった後も、かごは上昇を続け、釣合おもりが緩衝器に突き下げ停止した。
- (4) かごが上昇する速度はゆっくりであった。
- (5) かごには、約180kgの荷物（パレット2枚と原料）が積まれていた。

2. 4 調査により得られた情報

2.4.1 事故機の制動装置に関する情報

- (1) 巻上機の上部に左右2個のブレーキが設置された構造となっている。
(写真1)
- (2) ディスクを正面と背面のブレーキアームで挟み、正面のみに設置されたスプリング（圧縮コイルばね）のばね力によりパッドをディスクに押し付けて制動する。(図1)
- (3) ばね力は、スプリングシャフト（以下「シャフト」という。）により、背面に伝達される構造となっている。
- (4) ブレーキの作動状態を検出するためのブレーキスイッチ等は設置されていない。

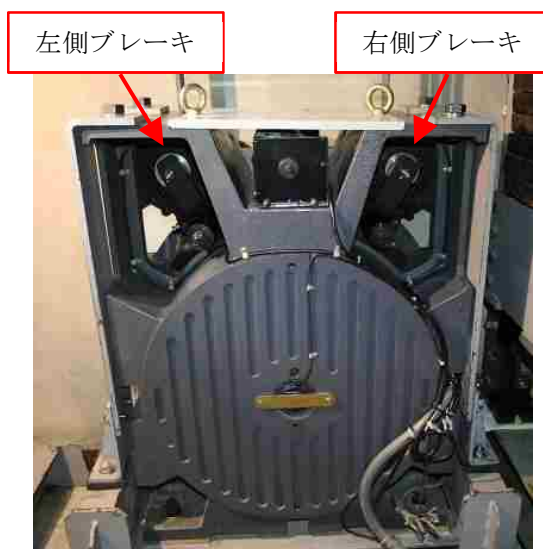


写真1 巻上機

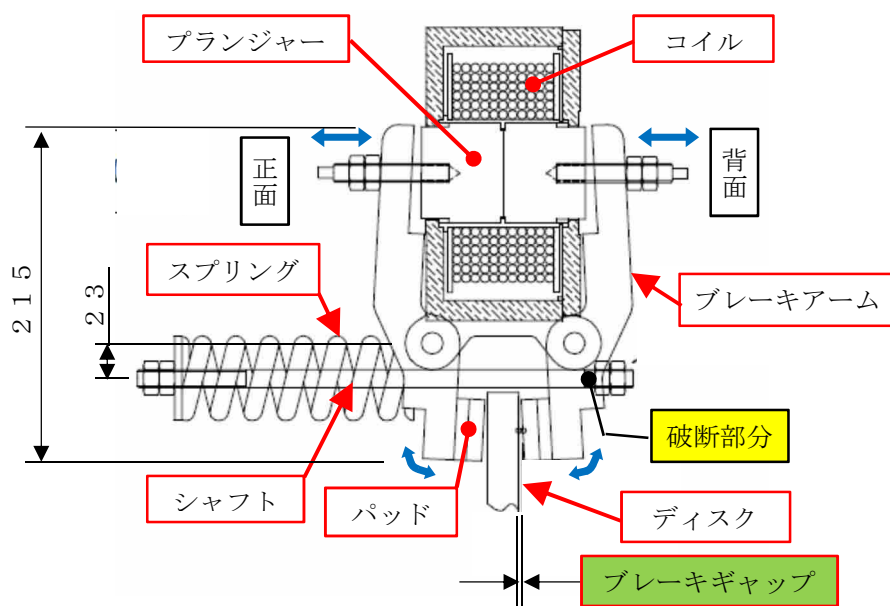


図1 ブレーキ (片側1個の断面図) 単位：mm

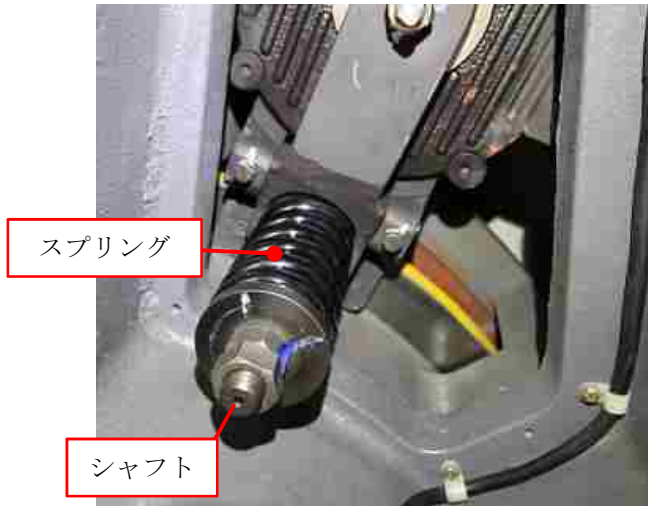


写真2 右側ブレーキ・正面



写真3 右側ブレーキ・背面

2.4.2 事故発生直後の昇降路内の状況に関する情報

- (1) ピット床に右側ブレーキのスプリングと破断したシャフトが落ちていた。
 (破断したシャフトの片側は、巻上機の裏側に落ちていた)

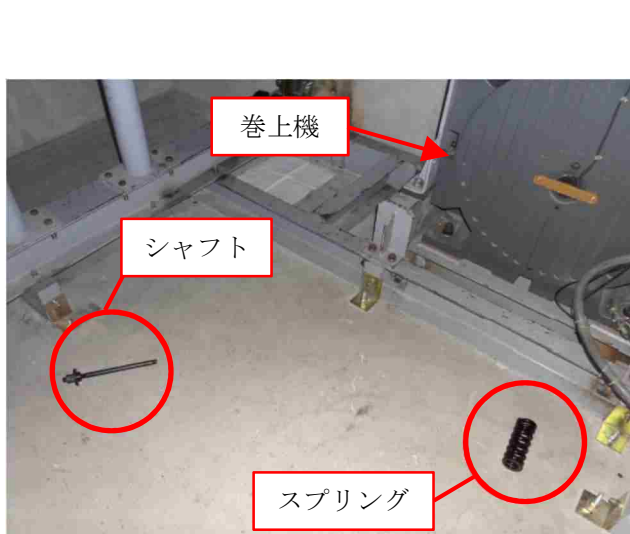


写真4 ピットの落下物

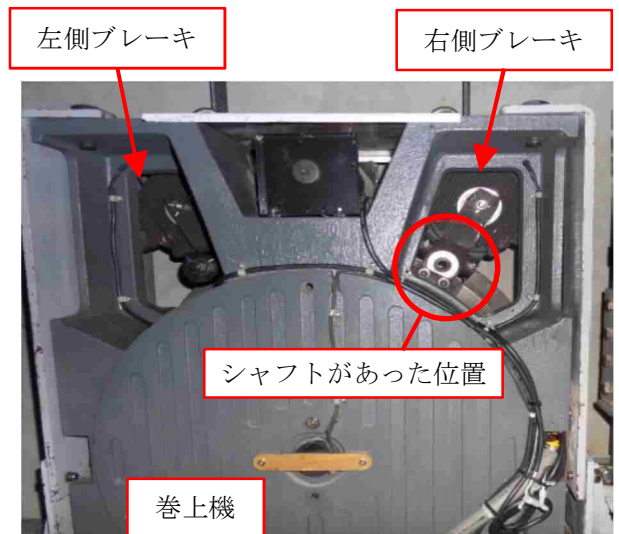


写真5 シャフトが外れた巻上機

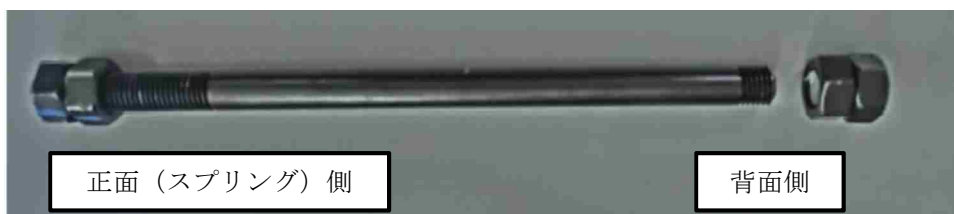


写真6 破断したシャフト

(2) 釣合おもりが突き下げ、かごは最上階のフロアレベルから約100mm上がった位置で停止していた。

また、かご上及び昇降路の頂部に設置された機器に、接触した痕跡は見られなかった。

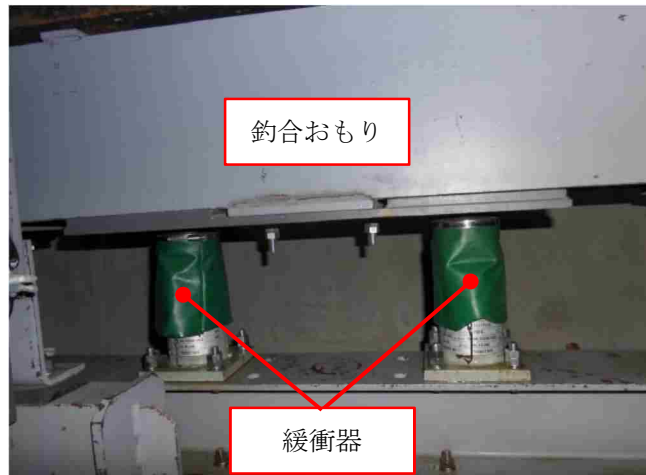


写真7 突き下げた釣合おもり

2.4.3 制動装置の状況に関する情報

(1) ブレーキディスク及びブレーキパッドの摩耗状況に異常は認められず、周囲に摩耗粉等の付着は見られなかった。

(2) ブレーキの引きずりにより、異常過熱した痕跡等は見られなかった。



写真8 ブレーキディスク周辺

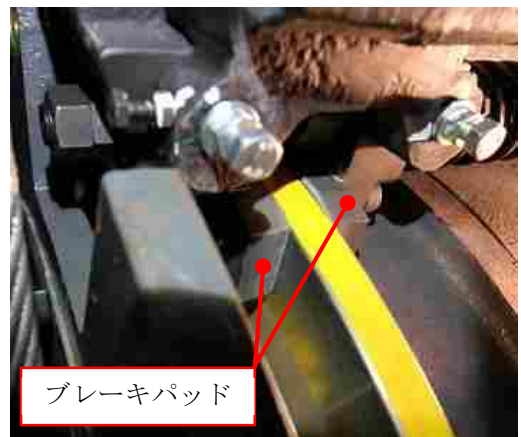


写真9 ブレーキパッド

(3) ブレーキギャップは、左側ブレーキの正背面及び右側ブレーキの正面側は基準値(0.25~0.5mm)内であったが、右側ブレーキ背面側は1.0mmと基準値より大きくなっていた。

- (4) 左側ブレーキのシャフトについて磁粉探傷検査を実施したところ、割れ及び有害な傷は検出されなかった。
- (5) ブレーキのプランジャーに、傷や段差摩耗等の異常は見られなかった。



写真10 プランジャー（右側）

- (6) ブレーキのブレーキコイルに外観上の異常は見られなかった。



写真11 ブレーキコイル（右側）

- (7) 左側のブレーキのみを作動させた状態（事故発生時の状態）のブレーキ保持力は、ブレーキを新品に交換してしまったため測定できていない。

事故発生前のブレーキの保持力は、ブレーキ2個で定格積載の125%荷重を保持できるように調整されていたとのことから、6,125Nとなるが、性能検査において、2個のブレーキが正常に動作している状態で、定格積載の100%荷重が保持できることは確認されているものの、125%荷重の保持力があつたかどうかの確認はされていない。三洋輸送機工業によれば、片側で82%以下とのことである。

また、左右のブレーキ単体の保持力については規定されていなかった。

2.4.4 駆動装置の状況に関する情報

巻上機、綱車ロープ溝及び主索（ワイヤロープ）に、異常は見られなかった。

2.4.5 制御器に関する情報

制御盤に外観上の異常は見られなかった。

また、制御盤に異常（非常停止）発生等の履歴を記録する機能はなかった。

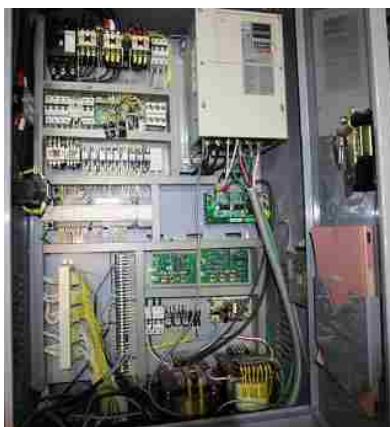


写真 1 2 制御盤

2.4.6 かが戸の開閉指令に関する情報

かが乗場に停止し、戸が開いた状態で、かが床面がフロアレベルより 100 mm以上上昇又は下降すると、かががドアゾーン範囲外に出たと判定され、戸閉指令が出される。

2. 5 保守点検に関する情報

2.5.1 制動装置の保守に関する情報

平成 25 年 4 月にブレーキ一式を交換している。

これはエレベーターの設置から 10 年経過したために実施したものであり、故障等の不具合によるものではないとのことであった。

また、平成 26 年 6 月にブレーキスプリングを交換している。

これは、ブレーキ交換後の翌年、巻上機製造者の別物件のスプリングを調査し、国内のばね業者に技術的な質問をした際に指定線径が J I S にないことが判明したため、国内ばね業者に発注し製作されたものに交換したとのことであった。

2.5.2 点検マニュアルに関する情報

エレベーター点検マニュアルのうち、ブレーキに関する点検項目は以下のとおりである。

- ① スリップの異常の有無を点検する。
- ② ブレーキシュー、アーム及びプランジャーの作動の良否を点検する。
- ③ プランジャーストロークを点検し、その良否を確認する。
- ④ ブレーキリレー接点の脱落、荒損及び摩損の有無を点検する。
- ⑤ ブレーキライニングの摩耗の有無を点検する。

- ⑥ 制動力をチェックし、その良否を確認する。
- ⑦ ドラム又はディスクに汚れ、錆、著しい汚れの有無を点検する。

2.5.3 事故機のディスクブレーキの点検方法に関する情報

事故機のディスクブレーキのマニュアルには、2.5.2 項以外の点検方法も規定されており、その中でブレーキギャップが基準値内であることを確認することになっていた。

しかし、三洋輸送機工業によると、2.5.1 のブレーキ一式交換時及びその後の保守点検において、一度もブレーキギャップは確認していなかった。

なお、ブレーキギャップは調整しない限り変動することはないとのことである。

また、片側ブレーキの保持力を確認することとなっているが、保持力の規定値はなく、ブレーキが滑らないことの確認となっている。

2.6 巻上機製造者より得られた情報

三洋輸送機工業による巻上機製造者へのヒアリングにより得られた情報は、以下のとおりである。

- (1) シャフトが破断するという不具合は初めてで、前例はない。
- (2) 同型巻上機の総出荷台数は50台である。
- (3) (2)のうち、日本向けは三洋輸送機工業に対しての9台と三洋輸送機工業以外の1社に対しての1台の10台である。
- (4) ブレーキギャップが基準値内であれば、シャフトとブレーキアーム開口部との干渉はない。
- (5) 当該巻上機は、片側ブレーキで100%保持を保証する仕様ではなく、両側ブレーキが作動して125%以上の保持力を確保する。

2.7 再現試験により得られた情報

三洋輸送機工業が、事故発生の翌日に事故機を用いて実施した再現試験により得られた情報は以下のとおりである。

ただし、再現試験時には事故発生時にかごに積まれていたものに関する情報がなかったため、積載量ゼロ（事故発生時は約180kg）で実施した。

- (1) 右側ブレーキを解放し、左側ブレーキのみを作動させた状態では、かごを保持することができず、ブレーキを引きずったまま、かごが上昇し始めることが再現された。
- (2) 再現試験を撮影した動画を元に算出した、事故発生時のかごの上昇速度は約2.19m/分であった。

2. 8 破断したシャフトの調査等により得られた情報

2.8.1 外観に関する情報

- (1) 背面側のねじ部が破断していた。(写真6)
- (2) シャフトに曲がりの発生は認められなかった。
- (3) シャフトの中央付近に傷及び正面側のねじ山の一部分につぶれが発生していた。

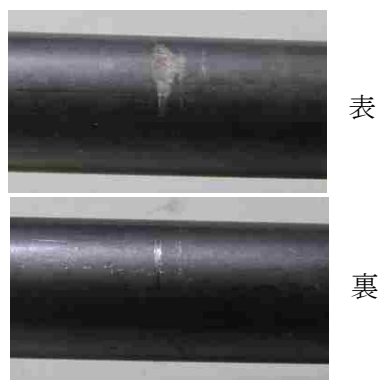


写真13 シャフトの傷
(ほぼ同位置の表裏)



写真14 シャフトのねじ山のつぶれ

2.8.2 シャフトに関する情報

三洋輸送機工業が、分析機関に依頼して得られた結果は次のとおりである。

- (1) シャフトの材料について、破断したシャフトと非破断シャフトの成分分析を行った結果、両方とも J I S G 4 0 5 3 に規定する S N C M 4 3 9 の規格値を満足するものであった。
- (2) 破断したシャフトと非破断シャフトのビッカース硬さ (n = 5) を測定した結果、両方の硬さの値に顕著な差異は認められなかった。
- (3) 破断したシャフトのねじピッチを測定した結果、ピッチは平均 2. 0 0 m m で、J I S B 1 1 8 0 に規定する M 1 6 (並目) ねじのピッチと一致していた。

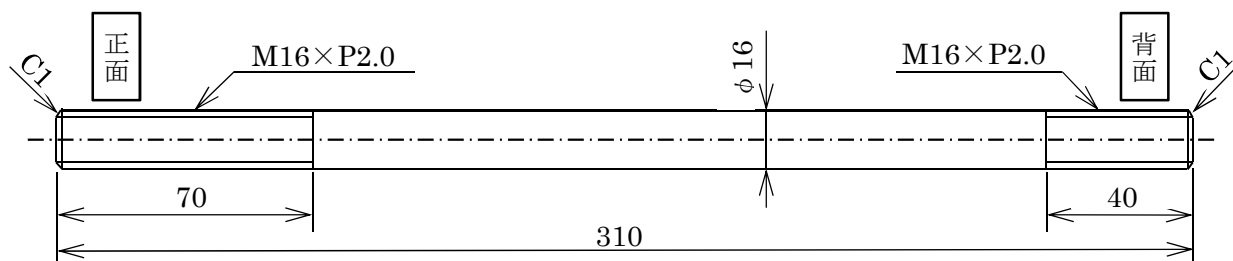


図2 シャフト製作図

2.8.3 破面解析結果に関する情報

三洋輸送機工業が、分析機関に依頼し、破面を解析した結果、破断は疲労破壊によるものと認められる。

以下に、走査型電子顕微鏡によるシャフト破面の観察結果を示す。

- (1) 破断部に巨視的な塑性変形が認められないことから、弾性域内の負荷による破断と推定される。
- (2) 起点側である a 部から c 部に向けてき裂が進展したことによる、疲労破面特有のストライエーションパターンが見られ、き裂の進展状況から、片振り繰り返し曲げモーメントの影響が大きい疲労破壊と推定される。(写真 15～18、図 3)
- (3) c 部では、脆性破壊であることを示すへき開破面と、延性破壊の痕跡であるディンプルパターンが混在した領域が認められることから、この部分が最終破断部位と推定される。(写真 19)

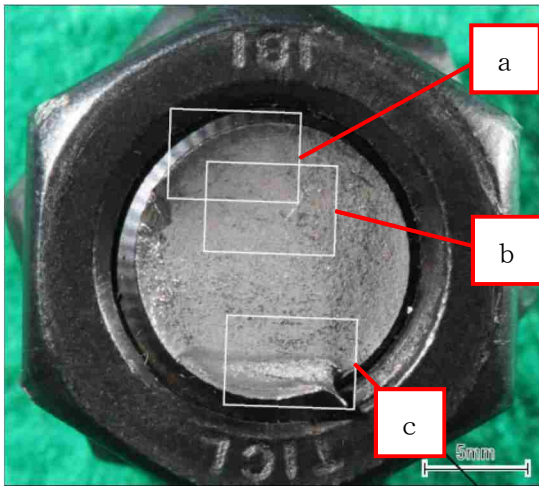


写真 15 破面

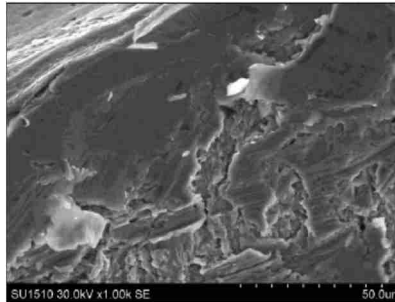


写真 16 写真 15 a 部内拡大 (起点部)

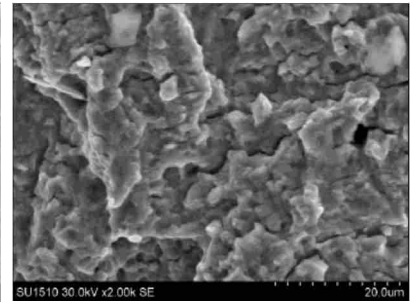


写真 17 写真 15 b 部内拡大 (疲労破面)

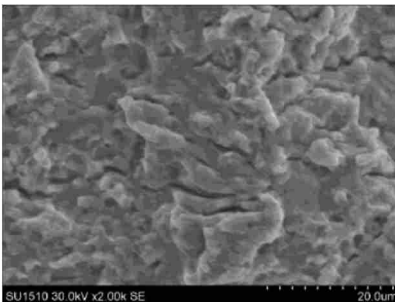


写真 18 写真 15 c 上部拡大 (疲労破面)

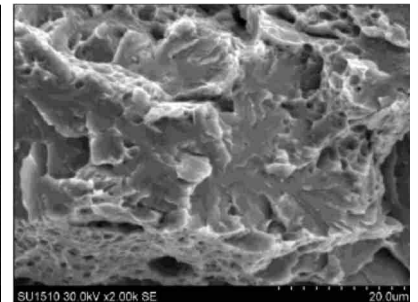
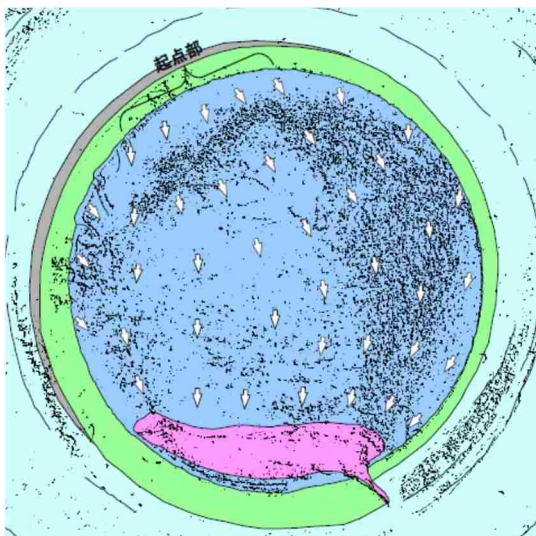


写真 19 写真 15 c 下部拡大 (脆性破面と延性破面が混在)



■ : 疲労破面
■ : 最終破断部
← : き裂進展方向

図 3 破面観察結果模式図

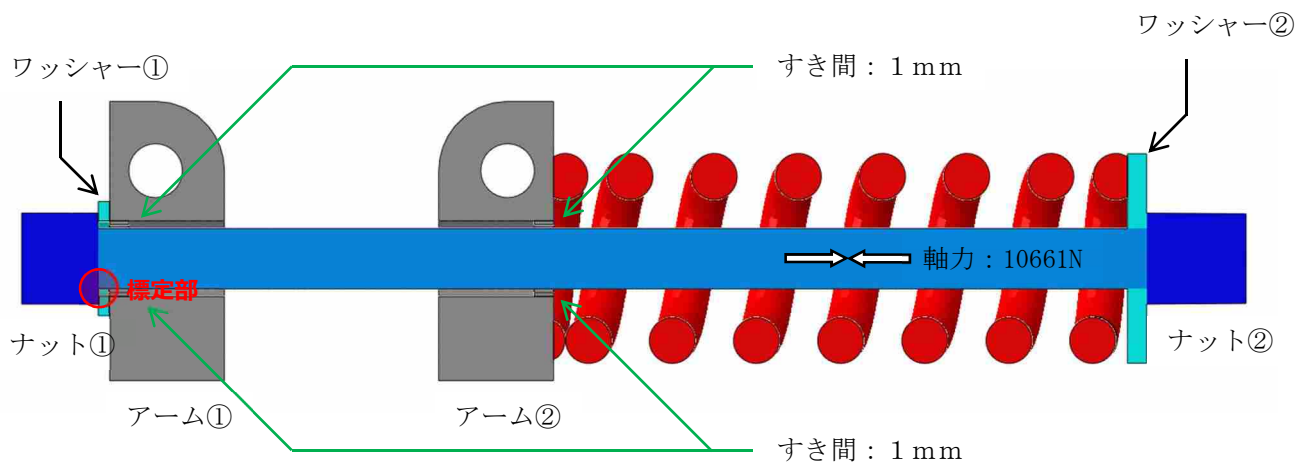
2.8.4 動作状況に関する情報

ブレーキキャリパーの動作状態の確認試験を行ったところ、シャフトはブレーキパッド側に常に寄った状態でブレーキアームと接触しており、シャフト端部の変位量はブレーキギャップが基準値最大の0.5mmの場合は0.468mm、事故発生時の1.0mmの場合は0.822mmであり、ブレーキギャップが大きくなるとシャフト端部の変位量も大きくなる。

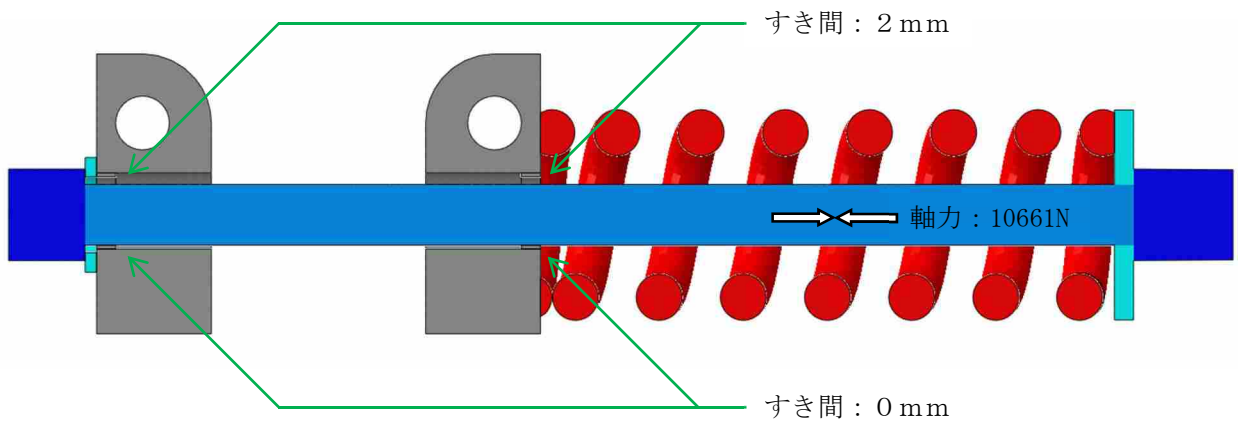
ただし、試験に用いたブレーキは、事故後にブレーキアームのシャフト穴を大きくする加工をしたものである。

2.8.5 シャフトに発生する曲げ応力に関する情報

- (1) 事故機のブレーキキャリパーにおいて、ブレーキアームは支点を中心に回転運動してディスクを保持する構造であり、ブレーキを保持するシャフトには、軸力以外の曲げモーメントによる応力が発生する。シャフトのスプリングの反対側は、ナットでブレーキアームに固定されており、ナットとブレーキアームの接触部はワッシャーを介して平面となっているため、ナットの境でシャフトに最大の曲げ応力が発生する構造となっており、さらにねじの谷部に応力集中する構造となっている。
- (2) 事故機の事故時までの累計起動回数は、三洋輸送機工業によれば、50,000～60,000回と推定されるとのことである。
- (3) 事故機の状況（ブレーキギャップの片方が1.0mm）を前提条件として、ブレーキ動作時の強度評価を行うため、三洋輸送機工業が分析機関に依頼し破断したシャフトのFEM解析を行った。シャフトとブレーキアーム接触部のシャフトの曲げ応力を、シャフトとブレーキアームが接触しない場合と、シャフトとブレーキアームが接触する場合について解析した。
- (4) 上記の曲げ応力により、JIS B 8266から算出した平均許容回数（破壊確率50%）は、事故時までの累計起動回数に対して、シャフトとブレーキアームが接触しない場合は上回っていたが、シャフトとブレーキアームが接触する場合は下回っている。いずれの場合も事故機においてシャフトが破断した位置は、最大応力値が発生する部分となっており、解析結果と一致している。



シャフトとアームが接触しない場合の断面図



シャフトとアームが接触する場合の断面図

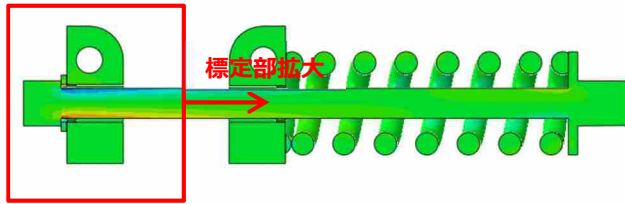
各部材間の関係

| 部材 | ナット① | ワッシャー① | アーム① | シャフト | アーム② | バネ | ワッシャー② | ナット② |
|--------|------|--------|------|------|------|------|--------|------|
| ナット① | - | - | - | - | - | - | - | - |
| ワッシャー① | 接触条件 | - | - | - | - | - | - | - |
| アーム① | - | 固着 | - | - | - | - | - | - |
| シャフト | 固着 | - | 接触条件 | - | - | - | - | - |
| アーム② | - | - | - | 接触条件 | - | - | - | - |
| バネ | - | - | - | - | 接触条件 | - | - | - |
| ワッシャー② | - | - | - | 固着 | - | 接触条件 | - | - |
| ナット② | - | - | - | 固着 | - | - | 固着 | - |

※1 接触条件の摩擦係数は0.3。

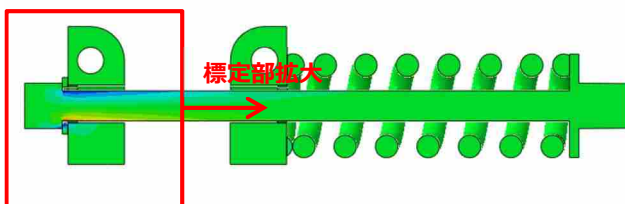
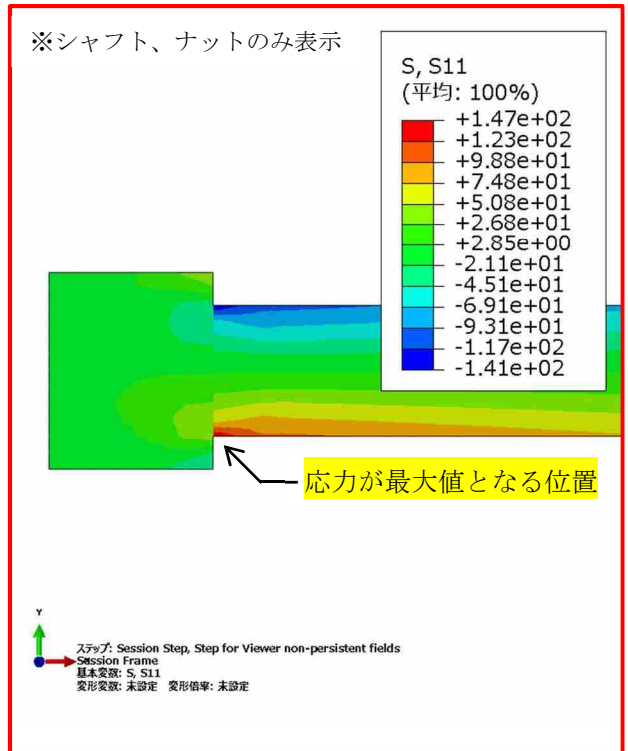
※2 バネには摩擦係数：0.0の自己接触を設定した。

図4 解析モデルと境界条件



シャフトとアームが接触しない場合の断面図

Y ↑
 ステップ: Session Step, Step for Viewer non-persistent fields
 Session Frame
 基本変数: S, S11
 変形変数: 未設定 変形値率: 未設定



シャフトとアームが接触する場合の断面図

Y ↑
 ステップ: Session Step, Step for Viewer non-persistent fields
 Session Frame
 基本変数: S, S11
 変形変数: 未設定 変形値率: 未設定

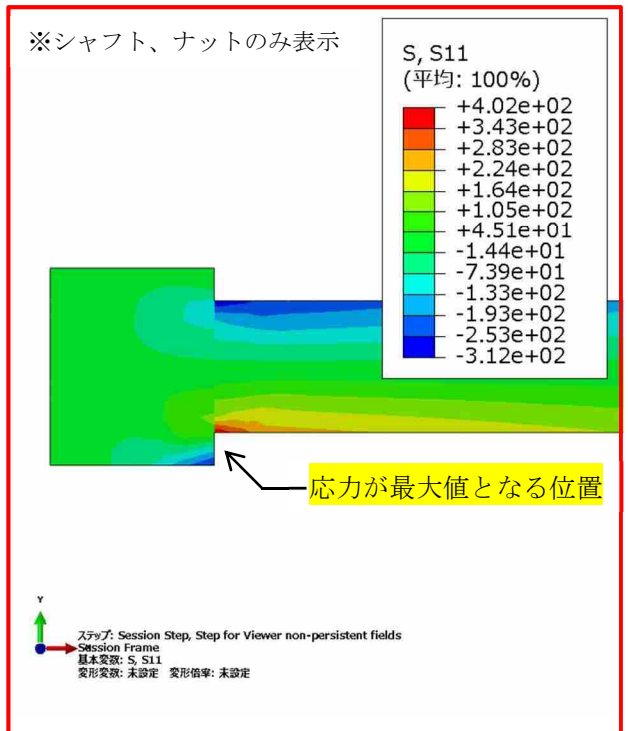


図5 解析結果

軸方向応力: MPa

Step2-Step1

軸力による影響を除いた変動応力

2. 9 巻上機採用時の評価

三洋輸送機工業によれば、当該巻上機を採用する際に独自の強度解析などを行ったかどうかは、当時の担当者が不在のため、残っている資料では確認できなかった。

2. 10 事故後の緊急点検の結果等に関する情報

三洋輸送機工業により、同型機8台の緊急点検を実施し、ブレーキギャップの測定を実施している。点検の結果、4台について基準値を外れたものがあり、これらについては基準値内となるように調整を行っている。

2. 11 三洋輸送機工業製以外のエレベーターの点検

国内で三洋輸送機工業以外に当該巻上機を使用しているエレベーター製造会社が1社あり、当該社に対して注意喚起するとともに、対象となる1台について緊急点検を要請した。結果、当該機においては、不具合は発生していないとのことである。

2. 12 ディスク式ブレーキのキャリパー機構の調査

事故機のブレーキは2.4.1のとおり、ブレーキアームの回転支点に近い位置にシャフトが設置させるキャリパー機構のもので、一般社団法人日本エレベーター協会会員会社に対し調査した結果、事故機と同様な機構（※）のブレーキを製造又は購入した社は、三洋輸送機工業及び2.11の1社以外はなかった。

※ ディスク式ブレーキにブレーキアームが回転する構造で、回転中心とスプリングシャフトの距離が50mm以下（事故機は23mm）

3 分析

3. 1 事故時の状況に関する分析

事故機は、右側ブレーキのシャフトが破断したことにより左側ブレーキのみではかごを保持することができなくなり、かごには約180kgの荷物が積まれていたが、かごよりも釣合おもりの方が重いため、かごが上昇したと認められる。

また、かごが上昇する速度がゆっくりであったのは、左側ブレーキは作動していたが、ブレーキの保持力が82%以下であったためと考えられる。

シャフトが破断した時期の確定はできないが、事故発生時にかごに乗っていた作業員が1階（出発階）でかごが上昇し始めるタイミングで金属音を聞いており、破断した際に生じた音の可能性が考えられる。

3. 2 保守点検に関する分析

2.5.3のとおり、ブレーキギャップについては点検内容で基準値が規定されていたにも関わらず、ブレーキギャップが基準値より広がっていたのは、平成25年4月の現地でのブレーキ一式交換時に組み立て後に測定を行っていないこと及びその後の保守点検時において、一度もブレーキギャップを確認していなかったことから、ブレーキギャップの適切な測定・管理が実施されていなかったと認められる。

3. 3 破断したシャフトに関する分析

シャフトの破断は、2.8.3のとおりき裂の進展状況から、片振り繰り返し曲げモーメントの影響が大きい疲労破壊と認められる。

シャフトは2.8.2のとおり、機械構造用合金鋼鋼材（J I S G 4 0 5 3）のニッケルクロムモリブデン鋼（S N C M 4 3 9）で、化学成分は規格値を満足する値を示している。

事故機はディスク式であるが、ブレーキキャリパーはブレーキアームが支点を中心に回転運動する構造であり、回転中心に近い位置（約20mm）にシャフトが設置され、シャフトをブレーキアームに固定するナットがブレーキアームに平面で接しているため、曲げモーメントが発生する。ブレーキギャップが基準値より大きくなっていったため、ブレーキアームがより大きな回転運動をすることで、ブレーキギャップが基準値内であるときと比較してより大きな曲げモーメントが破断部に生じていたと考えられる。

また、2.8.1のとおり、シャフトの中央付近に傷があったのは、傷の位置は正面側ブレーキアームのボルト穴の直径が異なる部分であったことから、シャフトとブレーキアームが接触していたと考えられる。

4 原因

釣合おもりが緩衝器に突き下げ、かごが最上階のフロアレベルより約100mm上がった位置で停止したのは、右側ブレーキのシャフトが破断し、左側ブレーキのみではかごを保持することができなかったためと認められる。

シャフトが破断したのは、シャフトとブレーキアームの接触部のねじの谷部に片振り繰り返し曲げモーメントが発生したことによる疲労破壊と考えられる。

シャフトとブレーキアームの接触部のねじの谷部に片振り繰り返し曲げモーメントが発生したのは、回転運動をするブレーキアームの支点に近い位置にシャフトが設置されるというディスク式ではあまり見られない構造であるが、回転により曲げモーメントがシャフトに生じ、ブレーキギャップが基準値を超えていたため、シャフトと

ブレーキアームが接触しながら、ブレーキギャップが基準値内にあるときよりも大きな曲げモーメントが発生したためと考えられる。

5 再発防止策

5.1 三洋輸送機工業が実施した再発防止策

5.1.1 同型機のブレーキギャップの測定結果

事故機を含む同型機9台のブレーキギャップの測定を実施したところ、基準値を超えていた同型機は4台あり、それらは基準値以内となるように調整を行った。

5.1.2 再発防止対策品

事故機に対して実施した再発防止対策は、以下のとおりである。

- (1) 両ねじ構造であったシャフトをボルト構造に変更し、破断側のねじ部をなくすことにより断面積を増やす。
- (2) シャフトとブレーキアームの接触部に球面座金（S45C）を使用し、シャフトに作用する曲げ応力を分散させる。



写真20 再発防止対策品

なお、事故機を含む同型機6台については、再発防止対策品に交換済みであり、残りの3台についても、順次交換することとしている。

5.1.3 再発防止対策品の試験

ボルト構造に変更したシャフトにステンレス製（SUS303）の球面座金と機械構造用炭素鋼（S45C）の球面座金を使用した稼働試験（29日間）を実施している。その結果、動作に支障はなく、傷による削れはなかったとのことである。

球面座金の使用にあたっては、耐摩耗性が優れているS45Cを選択することである。

また、FEM解析を行った機関からも、このような構造にすることで、曲げによる応力は発生しなくなるとの評価を得ている。

5.1.4 保守点検時のブレーキギャップの測定

ブレーキギャップを重点点検項目とし、測定結果を記録するための書式（チェックシート）を作成し、検査者、確認者及び承認者が押印し管理することとした。

6 意見

国土交通省は、製造業者に対し、ブレーキの構造上スプリングシャフトが曲げモーメントの影響を受けやすい場合は、曲げモーメントの低減について設計段階にて十分留意するよう周知すること。

国土交通省は、製造業者団体に対し、ブレーキについて購入品も含め、実機供用前に設計についての評価や耐久試験等を行うよう、ルールの設定について指導すること。