

兵庫県神戸市内エレベーター事故調査報告書

平成30年3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

兵庫県神戸市内エレベーター事故調査報告書

発生日時：平成27年3月4日（水）13時6分ごろ

発生場所：兵庫県神戸市 自動車販売店

昇降機等事故調査部会					
部会長	藤田				聡
委員	深尾	精一			
委員	野口	貴公	美		
委員	藤田	香	織		
委員	青木	義	男		
委員	鎌田	崇	義		
委員	辻本		誠		
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	田中		淳		
委員	谷合	周	三		
委員	寺中	祐	宏		
委員	仲里	綾	子		
委員	中里	真	朗		
委員	二瓶	美	里		
委員	松久		寛		
委員	宮迫	計	典		

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	事故発生時の状況等に関する情報		
2.3.1	事故直後のエレベーターの状況に関する情報		
2.3.2	事故機の使用状況に関する情報		
2.3.3	事故機の巻上機（SKE-2000A型）に関する情報		
2. 4	六角ボルトの破断面調査結果に関する情報		
2. 5	事故機と同型の巻上機に関する情報		
2.5.1	SKE-2000A型の緊急点検結果に関する情報		
2.5.2	事故機以外の六角ボルトの破断面調査結果に関する情報		
2. 6	三栄製作所に関する情報		
2.6.1	設計・製造技術に関する情報		
2.6.2	品質管理に関する情報		
2.6.3	六角ボルトの強度計算に関する情報		
2.6.4	点検マニュアルに関する情報		
2. 7	ダイコーに関する情報		
2.7.1	保守点検に関する情報		
2.7.2	性能検査試験に関する情報		
2.7.3	ボルトの点検に関する情報		
3	分析	17
3. 1	六角ボルトの破断に関する分析		
3.1.1	ボルトの仕様等に関する分析		
3.1.2	六角ボルト頭部接触面の加工処理に関する分析		
3.1.3	六角ボルトの締付け力の管理に関する分析		
3.1.4	六角ボルトの強度計算に関する分析		
3. 2	保守点検に関する分析		

3. 3	かご等の破壊に関する分析	
4	原因	…… 2 0
5	再発防止策	…… 2 1
5. 1	緊急点検時に実施した再発防止策	
5. 2	追加の再発防止策	
5.2.1	追加の再発防止策について	
5.2.2	追加の再発防止策の実施について	
5. 3	点検マニュアルについて	
6	意見	…… 2 3

《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3月4日（水）13時6分ごろ

発生場所：兵庫県神戸市 自動車販売店

被害者：なし

概要：5階において荷物用エレベーターのかごから自動車を降ろした後、かごは戸閉後上昇し、最上階（6階）を行き過ぎ、昇降路頂部に衝突した。なお、かご内に利用者はいなかった。

1. 2 調査の概要

平成27年3月16日 昇降機等事故調査部会委員及び国土交通省職員は、エレベーター製造業者のダイコー株式会社（以下「ダイコー」という。）及び巻上機製造業者の株式会社三栄製作所（以下「三栄製作所」という。）に対し、ヒアリング調査を実施。

平成27年3月19日 国土交通省職員、神戸市職員及び関係機関による現地調査を実施。

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及びワーキング委員、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：兵庫県神戸市

構造：鉄筋コンクリート造（地下部）及び鉄骨造（地上部）

階数：地上7階、地下1階

建物用途：自動車販売及び自動車修理工場

確認済証交付年月日：平成 9年7月29日

検査済証交付年月日：平成10年9月24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

製造業者：ダイコー

製品型式：DR-F-4000-2U/3U-7(7)-S

用途・構造：荷物用・機械室あり

定格積載量：4,000kg

定格速度：60m/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：30.2m

停止階数：7箇所停止（地下1階～地上6階）

出入口の大きさ：間口2,500mm×高さ2,800mm

出入口の戸：2枚戸上開き（3、4階以外）

3枚戸上開き（3、4階）

かごの大きさ：間口2,500mm×奥行6,200mm

巻上機製造業者：三栄製作所

巻上機：SKE-2000A型（ウォームギヤ方式）

電動機定格容量：45kW

ブレーキ型式：ドラム式

戸開走行保護装置：未設置

(2) 確認済証交付年月日：平成10年6月23日

(3) 検査済証交付年月日：平成10年9月7日

2.2.2 事故機の保守に関する情報

保守点検業者：ダイコー

契約内容：POG契約（1箇所毎月）

直近の定期検査実施日：平成26年7月22日

（労働安全衛生法による性能検査 指摘事項なし）

直近の保守点検日：平成27年2月10日

（指摘事項あり：主索・停電灯バッテリーの交換が必要）

2. 3 事故発生時の状況等に関する情報

2.3.1 事故直後のエレベーターの状況に関する情報

(1) 5階において荷物用エレベーターのかごから自動車を降ろし終わり、

戸閉後少し経過してから大きな音がした（写真1）。



写真1 5階 エレベーター乗場

- (2) かごは5階から最上階である6階を通過し、昇降路頂部に突き上げ、衝突した。その後、かごは落下したものの非常止め装置が作動し、6階床上約450mmの位置で停止した。なお、かご戸の上枠、かごの天井等が破損した。
- (3) 釣合おもりはピット内のばね緩衝器に衝突し、釣合おもりの下枠が破損した。
- (4) 事故発生当時、エレベーターのかご内に利用者はいなかった。

2.3.2 事故機の使用状況に関する情報

- (1) 事故機が設置されている建物は、地下1階と地上5階は駐車場、地上6階は車のサービス工場、その他の階は事務所等に使用している。荷物用である事故機は、主に自動車を運搬するために使用していた。
- (2) 事故機は設置から16年6箇月使用しており、その間、巻上機の交換は行っていない。
- (3) 運転回数は、上昇運転が725,900回、下降運転が710,600回であった。

2.3.3 事故機の巻上機（SKE-2000A型）に関する情報

- (1) 電動機の駆動トルクがウォームギヤ（ウォームとウォームホイール。）

によりセンターホイールを介して主軸に伝わり、駆動綱車を回転させる構造となっている（図1、写真2）。

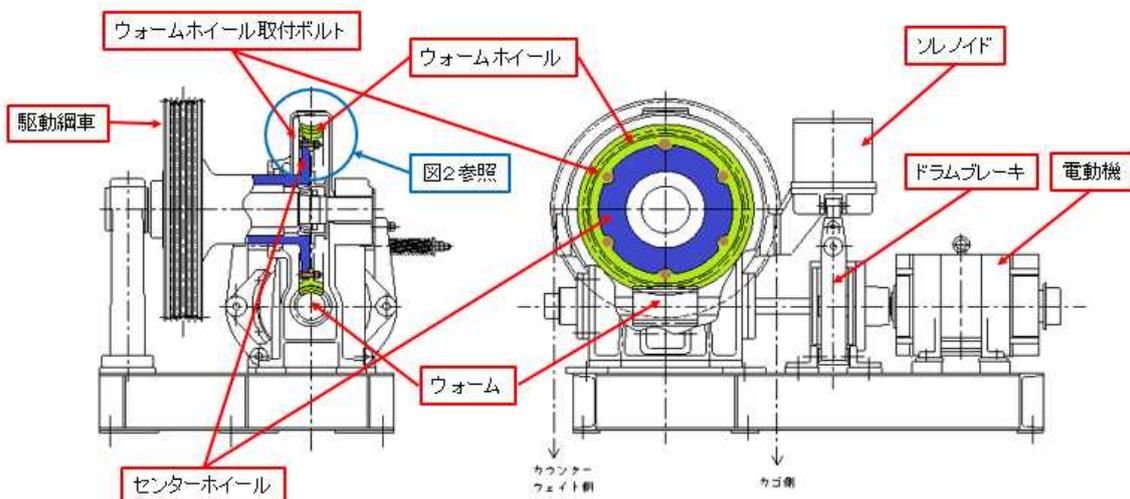


図1 巻上機（SKE-2000A型）

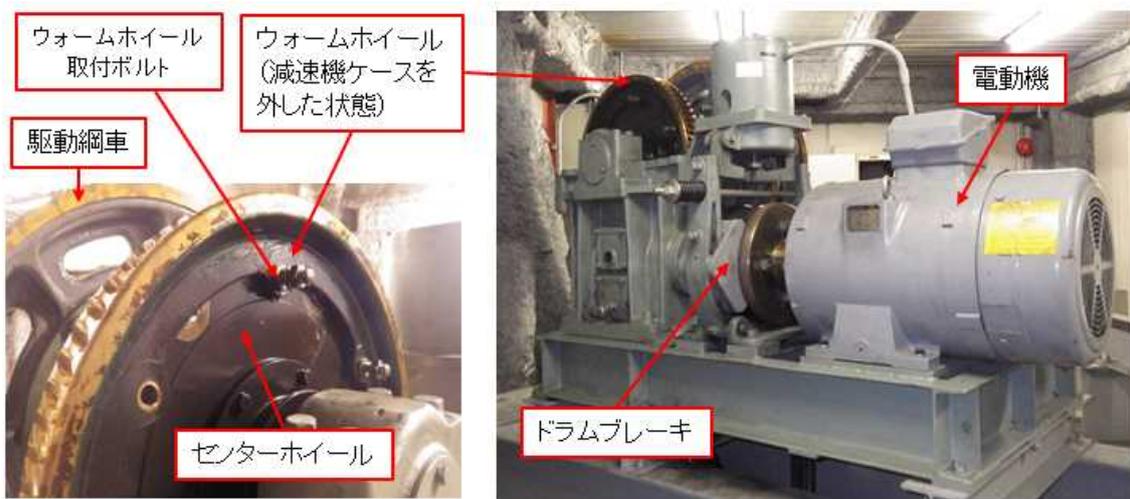


写真2 巻上機（SKE-2000A型）

(2) ウォームホイール（材質は、りん青銅。）とセンターホイール（材質は、ねずみ鉄（FC250）。）を6本の六角ボルト及び六角ナットで締付けて接合する構造となっているが、すべての六角ボルトが破断していた（図2、写真3）。

破断した六角ボルトの頭部5個と六角ボルトに六角ナットが付いている側（以下「ナット側」という。）の3本及びねじ部で破断した六角ボルト1本（六角ボルトの頭部側及びナット側共。）は、減速機ケース

の底に脱落していた。ナット側の2本は、減速機ケースと干渉したため脱落せずウォームホイールの穴に留まっていたがセンターホイールの六角ボルトの穴からは抜けていたため、駆動綱車に制動トルクが伝わらない状態となっていた（写真4、5）。

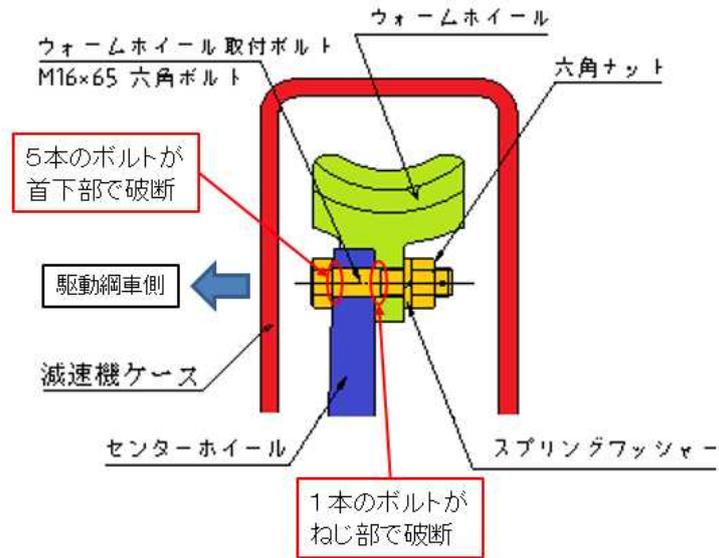


図2 六角ボルトの破断箇所



写真3 破断した6本の六角ボルト

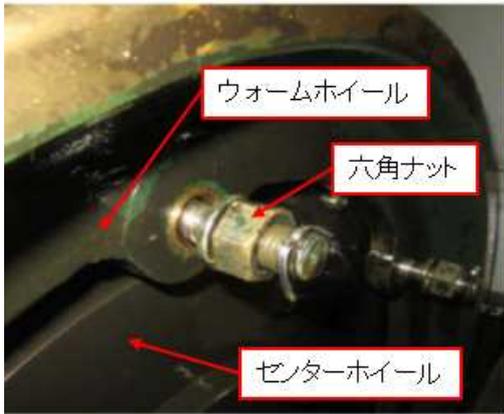


写真4 ナット側

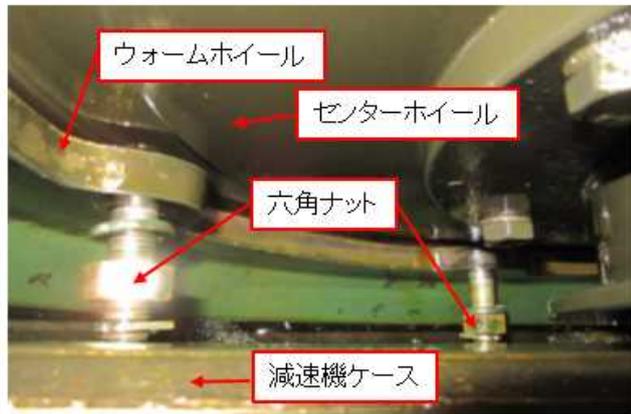


写真5 ナット側が減速機ケースと干渉

- (3) SKE-2000A型の設計は、三栄製作所が別の会社に依頼し、それを三栄製作所が製造を行い、自社製の巻上機として販売したとのことである。
- (4) 破断した箇所のボルトは、設計図ではM16×65のリーマボルトの記載となっていたが、実際は、M16×65の六角ボルトで製造されていた(図3、4)。なお、リーマボルトとは、軸部の公差を厳密に管理したボルトで軸部と穴の隙間がほとんどないことから、ボルト軸部へのせん断荷重を担う用途に使用するものである。

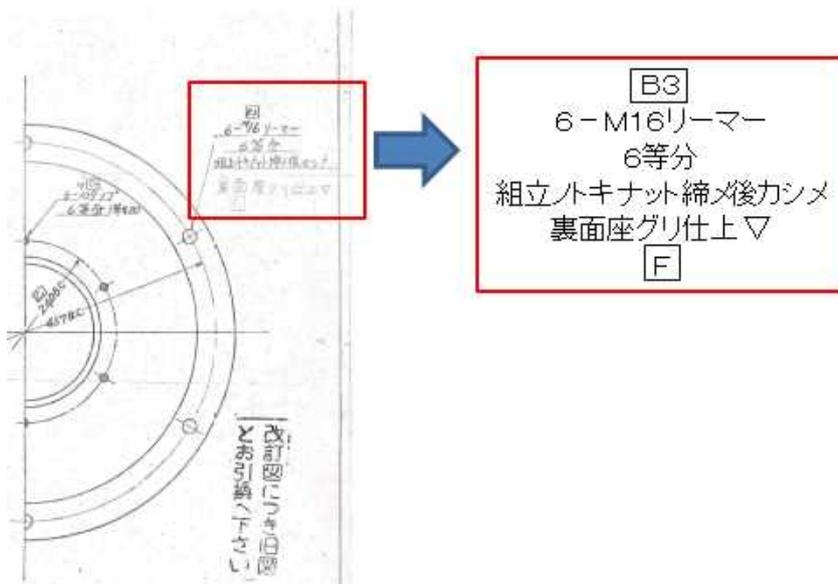


図3 センターホイールの設計図

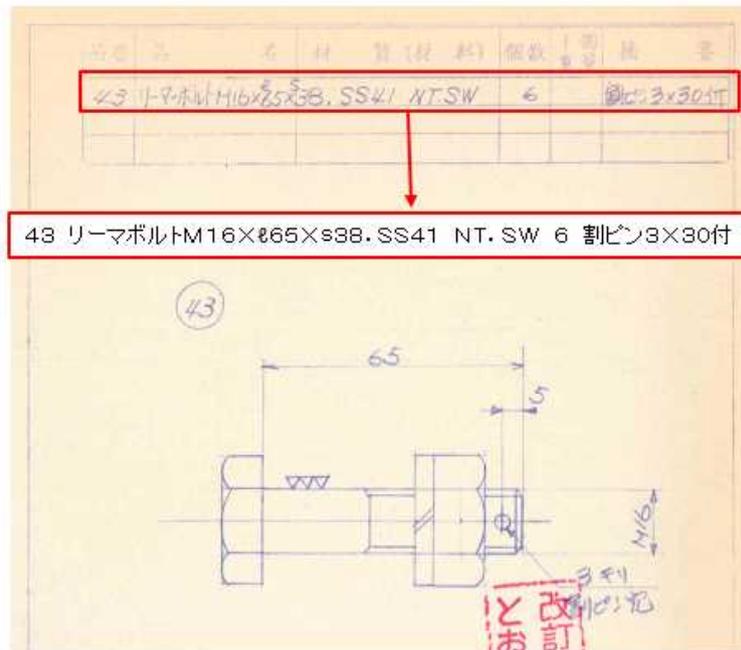


図4 リーマボルトの設計図

- (5) センターホイールの六角ボルト頭部の接触面は、勾配のある鋳肌面のままであったが、設計図ではざぐり加工をするよう記載していた(図3、写真6)。

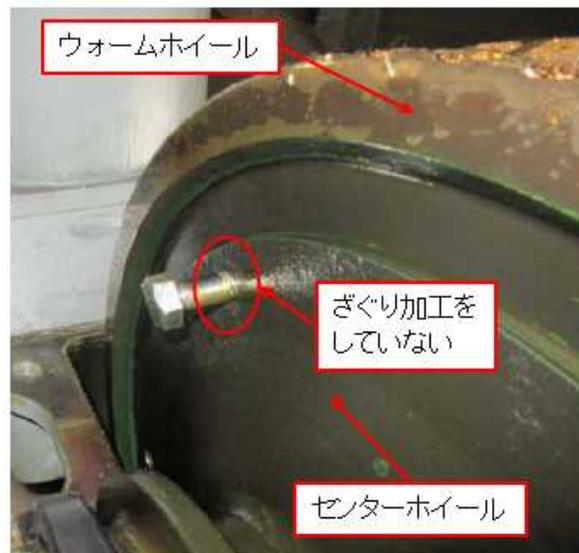


写真6 鋳肌面のざぐり加工が未実施(駆動綱車側より撮影)

なお、ざぐり加工とは、ボルトの頭部をセンターホイール面に密着させるため、接触面を平面に加工することである(図5、6)。

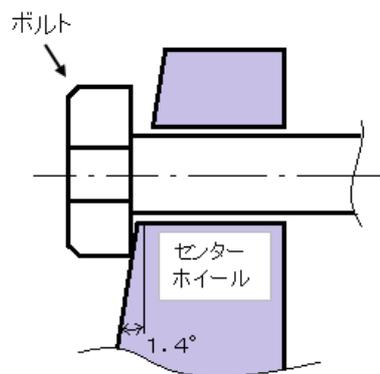


図5 ざぐり加工前

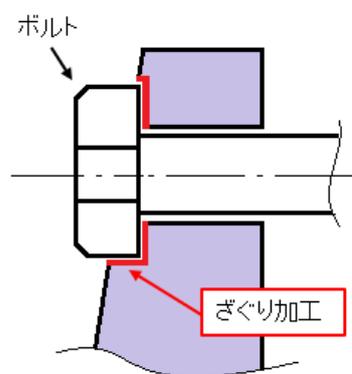


図6 ざぐり加工後

- (6) 設計図において、ウォームホイールとセンターホイールのインロー部（はめ合う部分）は中間ばめで、接合方法は焼きばめとなっており、そのとおり製造していた（図7）。

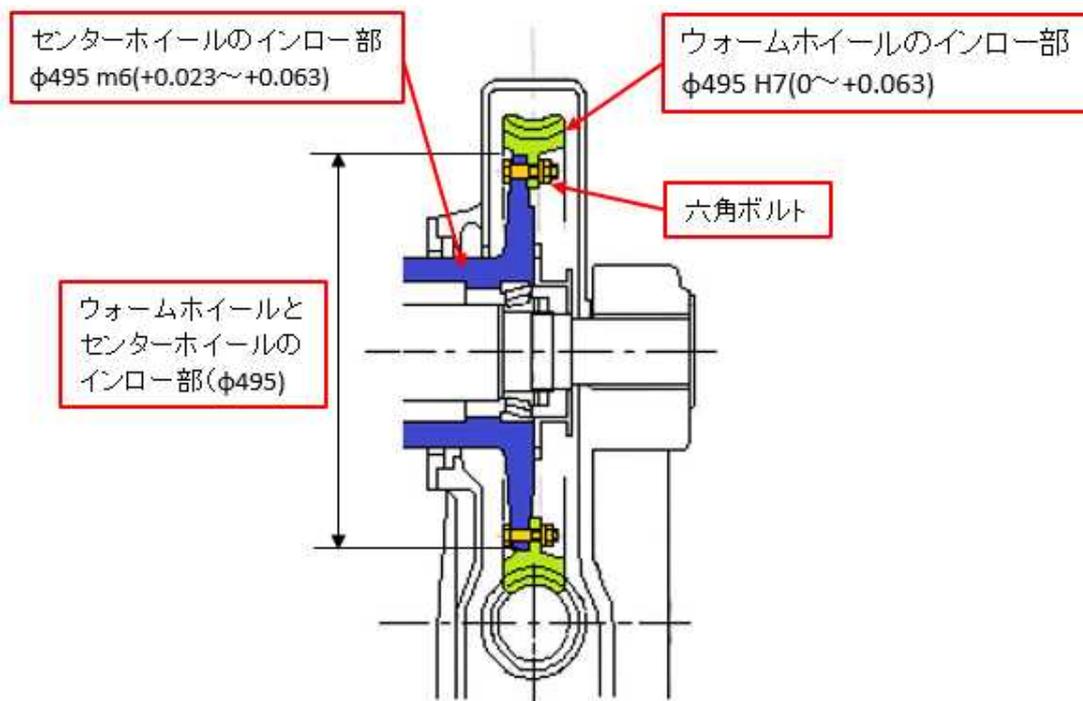


図7 ウォームホイールとセンターホイールの接合部

- (7) 駆動綱車取付けボルトについても、設計図ではリーマボルトを使用するように記載していたが、六角ボルト（M20×120）を使用していた。

- (8) 三栄製作所が作成したSKE-2000A型の点検マニュアルには、減速機ケース内のボルトの点検は含まれておらず、保守点検業者であるダイコーも当該箇所の点検は行っていなかった。

2. 4 六角ボルトの破断面調査結果に関する情報

三栄製作所が分析機関に依頼した6本の六角ボルト破断面の調査結果を以下に示す。

(1) 頭部首下破断六角ボルト（6本中5本）に関する調査結果

- ① 六角ボルト頭部と円筒部の境界で破断していた（写真7）。
- ② 2本のボルトには、ねじ山が擦れ潰れが見られた（写真7）。
- ③ 5本の破断面は比較的滑らかであった。。
- ④ 1本の破断面を走査型電子顕微鏡で観察した結果、a部、c部及びd部には疲労破壊特有のストライエーション状模様が観察され（写真8、9、11、12）、b部は延性破壊破断面（ディンプル）が観察された（写真10）。
- ⑤ 以上の結果、破断原因は繰返し応力が負荷したことにより、ボルト頭部と円筒部の境界からき裂発生・進展した疲労破壊と推察される。また、両端に起点がある両振りの破断面と推察される（写真13）。



写真7 頭部首下で破断した六角ボルト



写真8 六角ボルト頭部の破断面

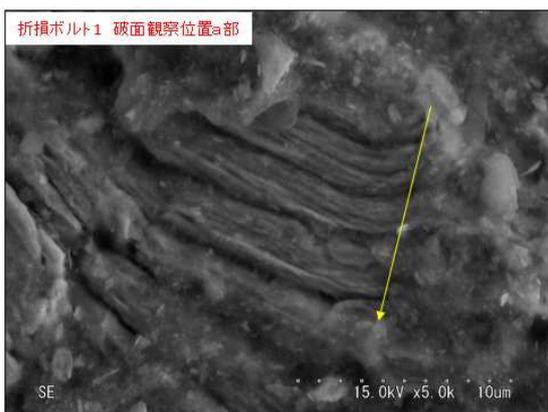


写真9 a部拡大 (疲労破断面)

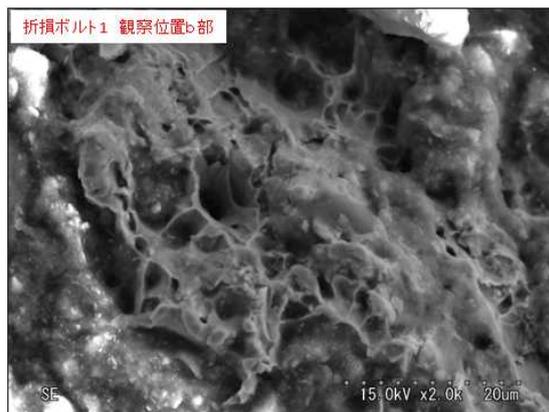


写真10 b部拡大 (延性破断面)

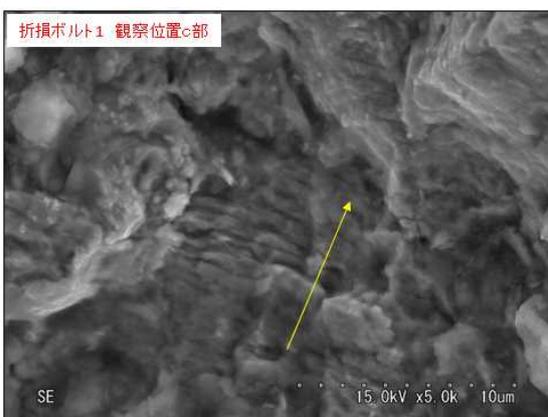


写真11 c部拡大 (疲労破断面)

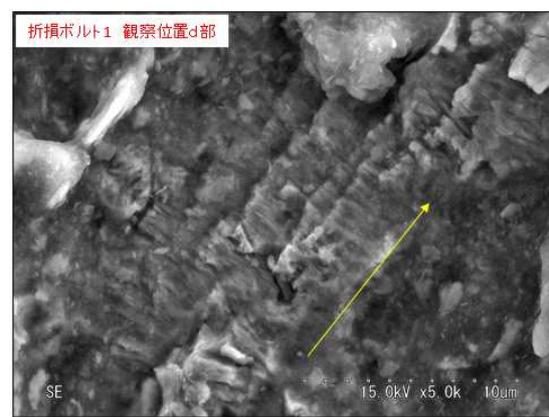


写真12 d部拡大 (疲労破断面)

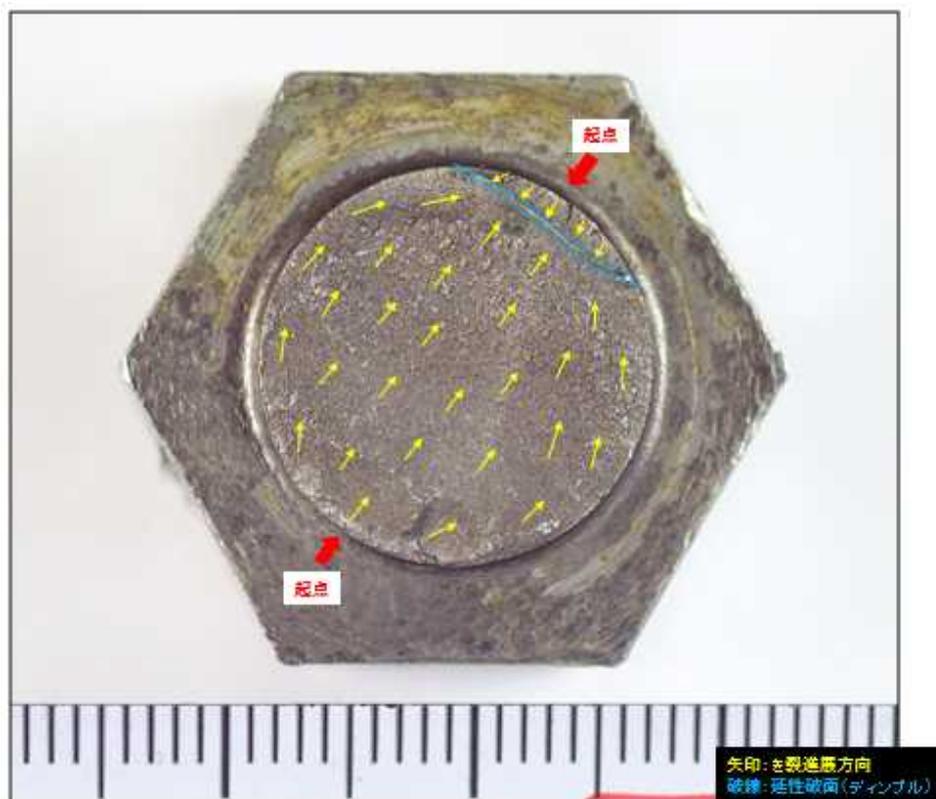


写真 1 3 破断面のき裂進展方向

(2) ねじ部で破断した六角ボルト (残り 1 本) に関する調査結果

- ① ねじ部で破断しており、ねじ山が擦れ潰れが見られた (写真 1 4)。
- ② 破断面が大きく塑性変形した様相が見られることから、六角ボルト 6 本の中で最後に破断したものと推察される (写真 1 5)。



写真 1 4 ねじ部で破断した六角ボルト

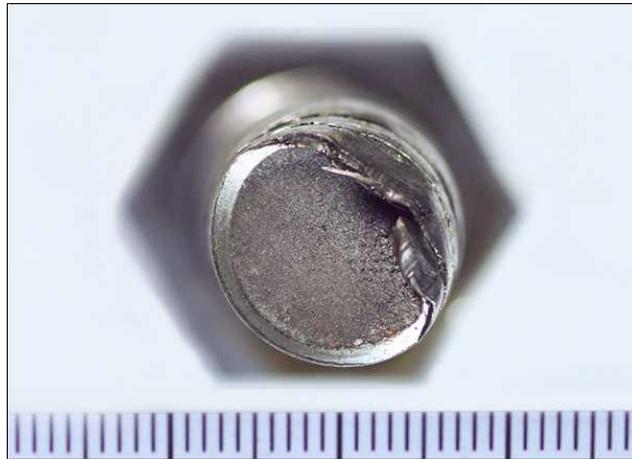


写真15 六角ボルト頭部側の破断面

2. 5 事故機と同型の巻上機に関する情報

2.5.1 SKE-2000A型の緊急点検結果に関する情報

SKE-2000A型を使用したダイコー製エレベーターの巻上機の六角ボルトの状況について点検したところ、先行して点検を実施した5台のうち2台の巻上機の六角ボルトに緩みが生じており、そのうち1台の巻上機の六角ボルト1本が破断していた。

そのため、三栄製作所が製造したSKE-2000A型の全68台のうち、稼働中の58台（事故機は除く。）について、六角ボルトの緊急点検及び六角ボルトの交換を実施することとし、当該機が設置されている所有者に対し、特定行政庁を通じて国土交通省への報告を求めた。緊急点検の結果を表1に示す。

表1 SKE-2000A型の緊急点検結果

内 訳		台数	備 考	
点検台数		58		
ボルトの緩み 又は破断	無し	41		
	有り	17		
		6本	12	
		5本	1	内1本破断
		4本	2	内1台の巻上機で2本破断
		3本	1	内3本破断
		2本	0	
		1本	1	内1本破断

- (1) 点検を実施した58台の巻上機のうち、17台において六角ボルトの緩み又は破断が生じていた。
- (2) 上記17台の巻上機のうち、4台の巻上機において計7本の六角ボルトが破断していた。
- (3) 58台の巻上機の六角ボルトは、強度区分4.8以外に、10.9、12.9、11Tを使用している巻上機もあった。
- (4) M16だけではなく、M20を使用している巻上機が2台あった。

2.5.2 事故機以外の六角ボルトの破断面調査結果に関する情報

三栄製作所が分析機関に調査を依頼した結果、2.5.1(2)に示したとおり、4台の巻上機で計7本の六角ボルトが破断していたが、事故機の疲労破壊により破断したとされる5本の六角ボルトと同様に、六角ボルト頭部と円筒部の境界で破断しており、破断面を解析した結果、いずれも両振りの繰返し応力による疲労破壊によるものであった(写真16、17)。

また、六角ボルト1本が破断した巻上機で、未破断の六角ボルト5本の六角ボルト頭部と円筒部の境界を拡大観察したところ、うち3本に微視き裂が観察された(写真18)。



写真16 頭部首下で破断した六角ボルト



写真17 六角ボルトの頭部



写真 1 8 未破断の六角ボルトの外観（首下部に微視き裂あり）

2. 6 三栄製作所に関する情報

三栄製作所から提出された報告書及びヒアリングにより得られた情報は、以下のとおりである。

2.6.1 設計・製造技術に関する情報

- (1) 三栄製作所は、巻上機的设计・製造の実績を有するが、2.3.3(3)に示したとおり、SKE-2000A型については他社が設計した設計図を基に製造を行っていた。
- (2) 2.3.3(4)に示したとおり、ボルトはリーマボルトを使用する設計になっていたが、自社で設計した巻上機のウォームホイール取付け部には摩擦接合による六角ボルトを使用していたため、同様に六角ボルトを使用したと考えられるとのことであった。また、三栄製作所によれば、当時リーマボルトから六角ボルトに変更するにあたり強度計算及び耐久試験の有無については当該資料が残っていないため、不明とのことであった。
- (3) 三栄製作所は、過去において、リーマボルトを使用した巻上機の製造実績はないが、六角ボルトを使用した巻上機において、ボルトが破断した事例はなかった。
- (4) 三栄製作所によれば、2.3.3(5)に示したとおり、設計図ではセンターホイールの鋳肌面で六角ボルトが接触する部分のみをざぐり加工する設計となっていたが、自社で設計した巻上機はセンターホイールの面全体を機械加工により平面に仕上げしており、ざぐり加工が不要であったことから、SKE-2000A型についてもざぐり加工が不要な機種と混同し、加工を行わなかったと考えられるとのことであった。

- (5) SKE-2000A型のボルトはM16を6本使用していたが、自社で設計したSKE-1000A型及びSKE-1500A型は、積載能力は事故機より低いM20の六角ボルトを6本使用する設計であった。

2.6.2 品質管理に関する情報

- (1) 三栄製作所によれば、六角ボルトの締付けはインパクトレンチで作業を行っていたが、トルク管理については不明であるとのことであった。
- (2) 三栄製作所によれば、2.5.1(3)及び(4)に示したとおり、ボルトの強度区分及び軸径が違うことに対し、確認を行ったか否かについては不明であるとのことであった。

2.6.3 六角ボルトの強度計算に関する情報

三栄製作所が行った事故機の六角ボルト強度計算の結果は以下のとおりである。なお、強度計算は、本来、設計時点で計算されるべきものであるが、当時強度計算を行ったか否かが不明なため、今回、事故後に強度を確認するために行ったものである。

- (1) ウォームホイールとセンターホイールの締結部摩擦接合の強度計算を行ったところ、六角ボルトの摩擦締結伝達限界トルクが事故機では3,570N・mとなり、摩擦接合部許容安全率(社内基準)1.2に対し、0.35の安全率となった。
- (2) 六角ボルト首下部の曲げ応力(動的応力)及び引張応力の計算を行ったところ、事故機は552N/mm²となり、静的強度許容値(社内基準値)1.0に対し、0.4となった。
- (3) 六角ボルト首下部の疲労強度の計算を行ったところ、事故機のボルト首下部疲労限度は68.6N/mm²となり、疲労強度許容安全率(社内基準)1.2に対し、0.17の安全率となった。

2.6.4 点検マニュアルに関する情報

三栄製作所が作成した点検マニュアルには、巻上機のウォームホイールとセンターホイールの取付け六角ボルトについて、緩みや締付けトルクの確認等の記載はなかった。

2.7 ダイコーに関する情報

ダイコーから提出された報告書及びヒアリングにより得られた情報は、以

下のとおりである。

2.7.1 保守点検に関する情報

保守契約はPOG契約により毎月保守点検が実施されており、事故発生以前の1年間分の作業報告書の備考欄に記載されていた内容を表2に示す。

表2 作業報告書（1年間）の備考

点検日	備 考
H26.3.11	各レールに注油しました。 ①メインロープ ②盤内電装品 ③停電灯バッテリー 取替えが必要です。
H26.4.8	各レール注油しました。 ①メインロープ ②盤内電装品 ③停電灯バッテリー 取替が必要です。
H26.5.20	各レールに注油、カゴ蛍光灯40W2本 取替えしました。 ①メインロープ ②盤内電装品 ③停電灯バッテリー 取替え時期です。
H26.6.17	各レールに注油、蛍光灯40W2本 取替えしました。 ①メインロープ ②盤内電装品 ③停電灯バッテリー 取替え時期です。
H26.7.8	各レール注油しました。 ①メインロープ ②盤内電装品 ③停電灯バッテリー 取替時期です。
H26.8.19	各レールに注油しました。 ①メインロープ ②盤内電装品 ③停電灯バッテリー 取替え時期です。
H26.9.16	各レールに注油しました。 ①メインロープ ②盤内電装品 ③停電灯バッテリー 取替え時期です。
H26.10.21	各レール注油しました。 40W蛍光灯2本交換しました。 ①メインロープ ②盤内電装品 ③停電灯バッテリー 取替時期です。
H26.11.18	各レールに注油しました。 ①メインロープ ②盤内電装品 ③停電灯 取替え時期です。
H26.12.9	各レールに注油しました。 ①メインロープ ②停電灯バッテリー 取替え時期です。
H27.1.20	各レールに注油、盤内電装品 取替えしました。 ①メインロープ ②停電灯バッテリー 取替え時期です。
H27.2.10	各レールに注油しました。 ①メインロープ ②停電灯バッテリー 取替えが必要です。

※備考の内容は、原文を記載。

作業報告書には、メインロープ及び停電灯バッテリーの交換についての記載はあるが、巻上機についての記載はなかった。

2.7.2 性能検査試験に関する情報

事故機は、労働安全衛生法のエレベーターに該当しているため、毎年「性能検査」を実施している。そのため、建築基準法の「定期検査」の対象とはなっていない。

事故発生直前から3箇年分の性能検査の内容を確認したところ、指摘事項はなかった。

2.7.3 ボルトの点検に関する情報

ダイコーによれば、ウォームホイール及びセンターホイールは、減速機ケースに覆われており、取付けボルトの点検は、点検項目に入っていないため、通常、減速機ケースを開けることはなく、事故機においても設置から一度も開けてはいないとのことであった。なお、センターホイールと駆動綱車を緊結する6本のボルトは、減速機のケース外にあるため、保守点検時に適宜、緩みの有無等の点検を行っていた。

3 分析

3.1 六角ボルトの破断に関する分析

2.6に示したとおり、三栄製作所はSKE-2000A型を製造するにあたり、他社が設計した設計図に対し、ボルトの種類、ボルト頭部接触面の加工処理について変更して製造を行っていた。

3.1.1 ボルトの仕様等に関する分析

SKE-2000型の設計図に記載してあるボルトと実際製造された事故機のボルトについての比較を表3に示す。

表3 取付けボルトの比較表

ボルトの項目	設計図	事故機	備考
種類	リーマボルト	六角ボルト	
仕様	M16×65	M16×65	事故機以外でM20を使用した巻上機が2台あった。
強度区分	4.8	4.8	事故機以外で高強度のボルトを使用していた巻上機があった。
材質	SS41	SS41	現在の記号は、SS400である。
取付け面の加工	鋳肌面をざぐり加工	ざぐり加工なし	
締付けトルク	————	インパクトレンチを使用していたがトルク管理は不明。	社内基準は、100 N・mである。

表3に示したとおり、ボルトの種類及びボルト取付け面の加工が設計図と異なっている。

リーマボルトの接合はボルト軸部と穴の隙間がほとんどないため、せん断応力のみを考慮すればよい(図8)。それに対し、六角ボルトでの接合は、ボルトの軸力が緩み、摩擦接合の摩擦力が低下すると接合部材が滑り、ボルトの軸部が接合部材から横荷重を受けて曲げモーメントがかかり、ボルト頭部にも曲げ応力が発生する(図9)。

また、リーマボルトによるトルク伝達力は、引張強さの57%($1 \div \sqrt{3}$)まで許容できるのに対し、六角ボルトの摩擦接合によるトルク伝達力は、引張強さの約20%となり、同じ径のボルトを使用した場合、トルク伝達力が半分以下となり、このことを考慮せずにボルトを変更し製造されたと認められる。

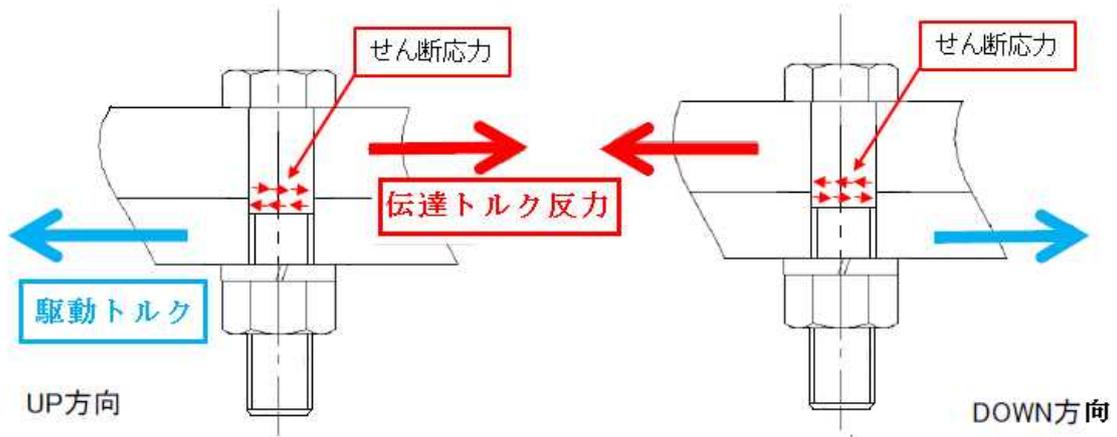


図8 リーマボルトのせん断応力 概念図

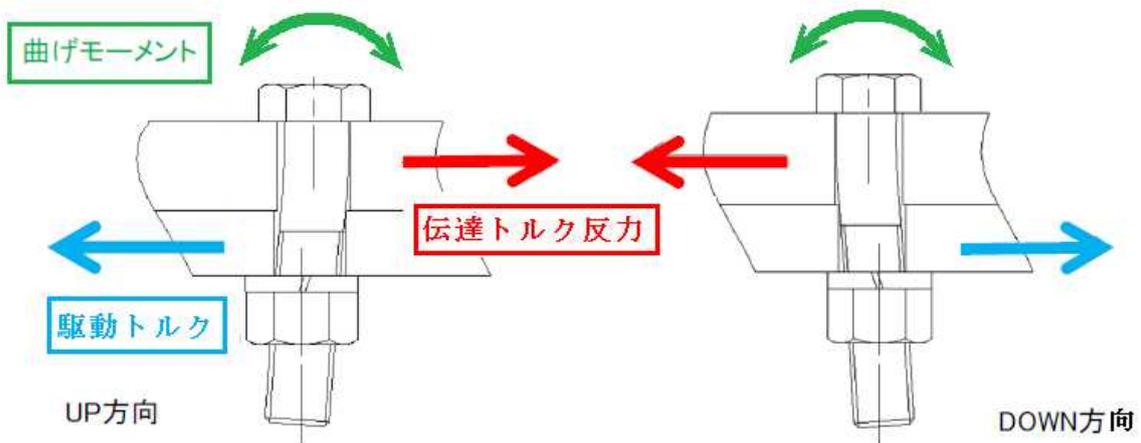


図9 六角ボルトの曲げ応力 概念図

3.1.2 六角ボルト頭部接触面の加工処理に関する分析

センターホイールには鋳物の抜き勾配がついており、六角ボルト頭部の接触面をざぐり加工しなかったため、勾配が残った。その状態で六角ボルトを締付けた結果、六角ボルト頭部に引張応力が均等ではなく部分的にかかったことにより一部が塑性変形して締付け力に緩みが生じ、摩擦接合力を低下させた要因と考えられる。

3.1.3 六角ボルトの締付け力の管理に関する分析

六角ボルトをインパクトレンチで締付けていたが、規定どおりのトルクで締付けられていたかは不明であるため、緩みの要因となることも考えられる。

3.1.4 六角ボルトの強度計算に関する分析

2.6.3 に示したとおり、三栄製作所が行った六角ボルトの強度計算では、ウォームホイール摩擦接合部許容安全率、六角ボルト首下部静的強度許容値及び六角ボルト首下部疲労強度許容安全率が社内基準値を満たしておらず、リーマボルトに指定されたものを、同径の六角ボルトの摩擦接合に変更すると、規定のトルク伝達力が得られなくなることが計算上でも認められる。

3.2 保守点検に関する分析

事故が発生した箇所の六角ボルトの点検は、三栄製作所の点検マニュアルには記載がなく、また、ダイコーによる保守点検時においても確認をしていなかった。なお、定期検査について平成20年国土交通省告示第283号では、頂部綱車の取付けの状況検査で、ナットの緩みの検査を行うよう規定されているが、今回、事故が発生した減速機ケース内のボルト・ナットの点検についての記載はない。

事故機以外のSKE-2000A型の緊急点検を実施したところ、表1のとおり、4台の巻上機において六角ボルトが破断しており、内訳は3本破断していたものが1台、2本破断していたものが1台、1本破断していたものが2台となっていた。

事故機は6本全ての六角ボルトが破断したが、6本が同時期に破断したとは考えづらく、上記の他号機のように順次破断していったものと考えられる。そのため、SKE-2000A型の保守点検時において定期的に六角ボルトの点検を実施していれば、今回の事故は防げた可能性があると考えられる。

3.3 かご等の破壊に関する分析

5階から6階までの1階床行程約5mのかごの移動で、調速機の過速スイッチが作動するほどの高速状態で突き上げた理由は、六角ボルトが破断したことにより、センターホイールとウォームホイールとの締結が外れ、ブレーキが効かなくなり、釣瓶状態となったかごがフリーランで上昇したためであると推定される。

4 原因

本事故は、5階でかごから自動車を降ろし終わり、戸閉後かごが急上昇し、最上階である6階を通過後、昇降路頂部に突き上げ、衝突した。その後、かご

は落下をしたが非常止め装置が作動し、6階床上約450mmの位置で停止したものである。

かごが急上昇し昇降路頂部に衝突したのは、5階で自動車を降ろし、かご側の質量が軽くなり、駆動綱車の上昇方向の回転力が増加したことにより、劣化が進んでいた残り1本の六角ボルトがせん断破壊し、ブレーキとの結合が分断され、ブレーキの保持力が駆動綱車に伝えられなくなったものと推定される。

六角ボルトが破断したのは、三栄製作所が他社の作成した設計図を基に巻上機を製造するにあたり、設計図ではウォームホイールの取付けはリーマボルトを使用するように記載してあったにもかかわらず、六角ボルトを使用し、摩擦接合としたため、トルク伝達能力が半減し、強度計算上でも規定の安全率が確保できなくなった。また、ざぐり加工を行わなかったため、六角ボルト頭部に引張応力が部分的にかかり、一部が塑性変形して締付け力に緩みが生じたことが、摩擦接合を低下させた要因と考えられる。

その結果、巻上機の運転時において六角ボルトに曲げ応力が加わり、それが疲労となり六角ボルトの首下部5本が順次疲労破壊して脱落し、残った1本は常時回転力を保持していたが、残存せん断応力を超える応力がかかり、破断してブレーキ部との機械的結合が失われ、突き上げたと推定される。

5 再発防止策

5.1 緊急点検時に実施した再発防止策

事故機及び2.5.1に示した同型巻上機の緊急点検に併せ、六角ボルトの緩み又は破断の防止を目的として、以下の再発防止策を実施した(表4)。

表4 緊急点検実施時の再発防止策

対象	対策前	対策後
ボルトの種類	六角ボルト	六角ボルト
ボルトの仕様	M16×65	M16×75
ボルトの強度区分	4.8	8.8
座金	ばね座金	平座金
ナット	六角ナット	緩み止めナット
締付けトルク	不明(社内基準は100N・m)	200N・m

※59台の巻上機のうち2台については、M20を使用して

いたため、同サイズとし、締付けトルクは300N・mとした。

主な対策としては、ボルトの強度を上げ、ナットについては緩み止めナットを使用し、さらに締付けトルクを100N・mから200N・mにした。

5.2 追加の再発防止策

5.2.1 追加の再発防止策について

SKE-2000A型の59台(事故機を含む。)に対し、本来であれば、設計図どおりの構造(ボルトはリーマボルトとし、勾配のある鋳肌面にざぐり加工を施す。)に改修すべきであるが、リーマ加工は非常に困難であることから、5.1に示した対策の他にざぐり加工を実施することとした(図10)。なお、三栄製作所は、この対策での強度計算及び耐久試験を行い、強度的に問題がないことを確認した。

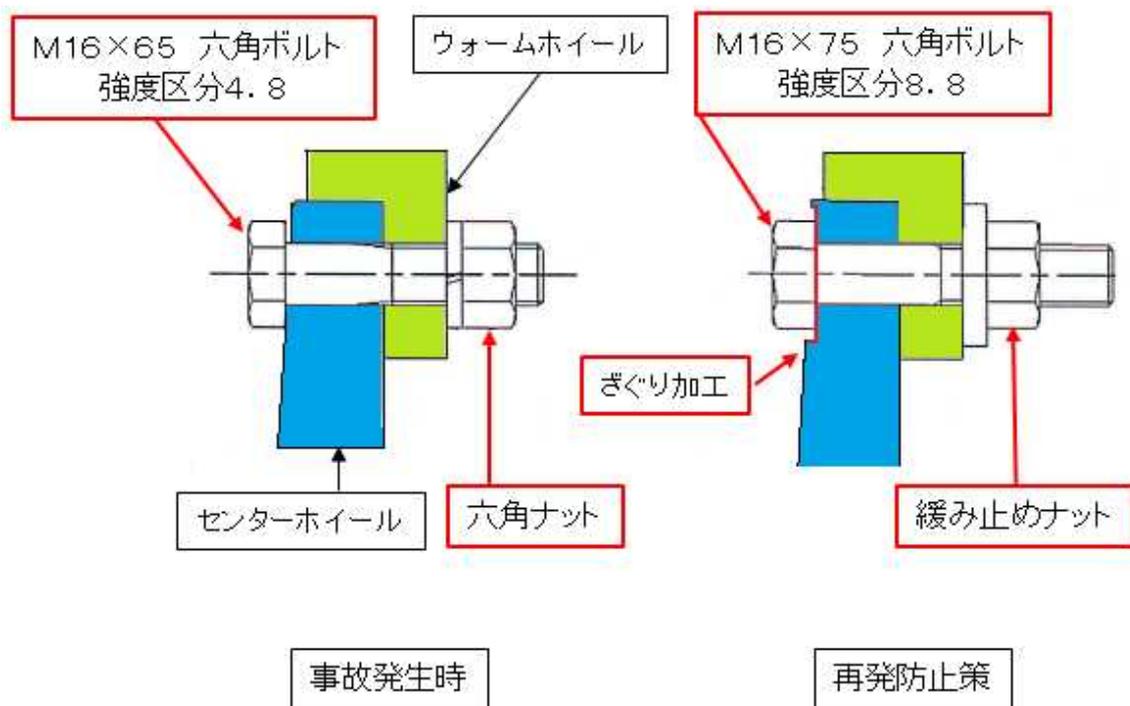


図10 既設エレベーターの追加再発防止策

5.2.2 追加の再発防止策の実施について

事故機を含む59台のSKE-2000A型に対し、追加の再発防止策を実施するにあたり、先行して5台の巻上機において対策を実施し、後日、六角ボルトの点検を行った。点検内容は、六角ボルト・ナットの緩み、六

角ボルトの破断・曲がりの確認及び六角ボルトの締付けトルクの測定を実施したところ、異常はなかった。そのため、残り54台の巻上機に対して対策を実施することとしている。

5. 3 点検マニュアルについて

三栄製作所は、SKE-2000A型の点検マニュアルに事故が発生した箇所の六角ボルトについて5年毎に点検を行う旨を追記することとしている。

6 意見

国土交通省は、製造業者に対し、巻上機の動力伝達機構に係るボルトの設計でボルト及びナットの仕様、ボルト接触面の加工方法、締付けトルク値等が指定されているものについて、安全性が確認された仕様どおりに適切に製造を行い、仕様の変更を行う際には再度強度計算や実証試験を行い、安全性を確認する必要がある旨指導すること。