

神奈川県横浜市内エレベーター事故調査報告書(概要)

事故の概要等

社会資本整備審議会 昇降機等事故調査部会

【事故の概要】

- 発生日時: 令和4年10月11日(火)6時頃
- 発生場所: 神奈川県横浜市 横浜市立みなと赤十字病院
- 概要: エレベーター走行中に巻上機綱車軸が折損した。当該エレベーターに地下1階から乗り込んだ警備員が、かご内で異常な揺れを感じ、2階で降りた直後に通報したことで発覚した。負傷者はいなかった。

【調査の概要】

- 部会委員、国土交通省職員及び特定行政庁(横浜市)職員による現地調査を実施(令和5年3月30日)。
- 部会委員によるワーキングの開催、ワーキング委員及び国土交通省職員による資料調査を実施。

【エレベーターに関する情報】

- 製造業者: 横浜エレベーター株式会社(減速機製造業者: 住友重機械ギヤボックス株式会社)
- 用途: 人荷共用
- 定格積載量: 2,000kg(定員: 30名)
- 定格速度: 105m/分
- 昇降行程・停止階数: 38.4m・8箇所停止
(地下1階、1~3階、5~8階)
- 駆動方式: ロープ式(トラクション式)
- 制御方式: 交流可変電圧可変周波数制御方式
(インバーター方式)
- 確認済証交付年月日: 平成15年2月27日
- 検査済証交付年月日: 平成15年11月13日

【エレベーターの保守に関する情報】

- 保守点検業者: エス・イー・シーエレベーター株式会社
- 契約内容: フルメンテナンス契約(1か月ごと)
- 直近の定期検査実施日: 令和3年10月13日(指摘事項なし、既存不適格あり)
- 直近の保守点検日: 令和4年9月13日(指摘事項なし)

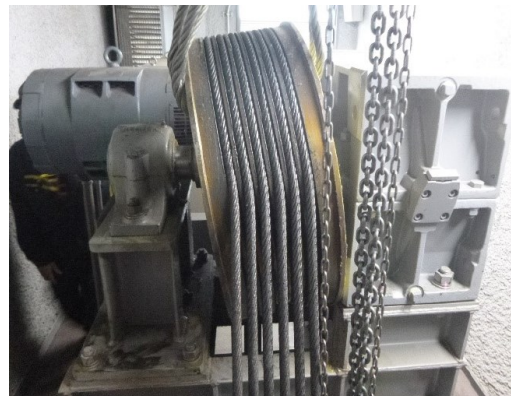


写真1 巻上機外観
(事故発生時(事故機))

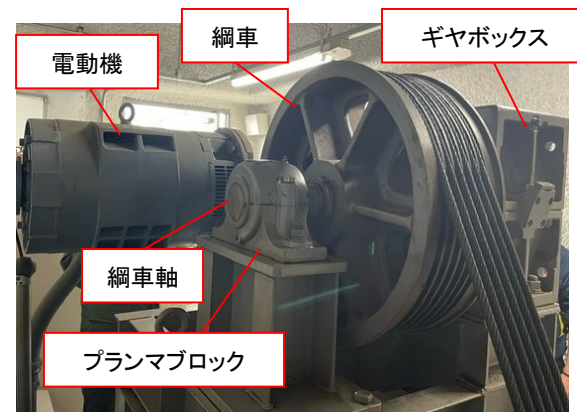


写真2 巻上機外観
(通常時(隣接号機))

【事故機の巻上機について】

- 住友重機械ギヤボックスが製作した減速機に、横浜エレベータが製作した綱車と電動機を組み込み、巻上機を製造している。
- 綱車軸は3点にて支持されており、一方の端部はベアリングが入ったプランマブロックで、反対側の端部と中央部はベアリングの入ったギヤボックスの筐体で支持されている。
- 綱車軸にはキー溝加工、段付き加工及びねじ加工(M90)が施されており、ねじ加工は綱車取付端部でキー溝加工と重なる位置で施されていた。

【巻上機綱車軸の折損箇所について】

- 綱車軸は2箇所折損していた(図1 A、B)。

【綱車軸について】

- 材質はクロムモリブデン鋼(SCM440H)であり、調質熱処理(焼入れ焼戻し、全体焼入れ)された素材(機械加工前の円柱上の原材料(φ120mm))を住友重機械ギヤボックスで軸の形状に機械加工している。
- 住友重機械ギヤボックスでは、熱処理後の素材(φ120mm)の材料特性を確認するために、抜き取り検査(抜き取り数は製造のロット数による)により表面硬さの確認をしている。事故機のロットの表面硬さはHB285であり、管理値(HB269~302)を満足している。
- 熱処理後の素材の材料特性を確認するために確性試験を実施しており、断面硬さは中心に向かうにつれ硬さの値が小さくなる傾向となっている。
- 住友重機械ギヤボックスは、熱処理後の素材の管理値を平成15年に緩和される側へ変更している。
- 事故後に実施した事故機の綱車軸の第三者機関による調査結果は下表のとおり。

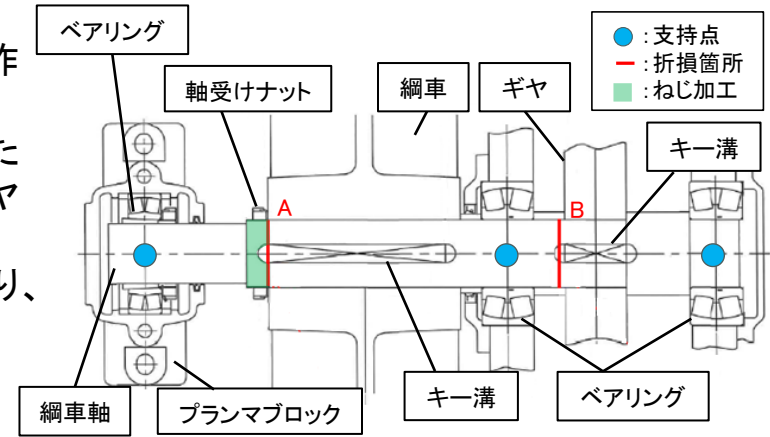


図1 綱車軸まわりの構造

調査内容	調査結果
成分分析	SCM440Hの規格値を満足していた。
破面の外観観察、SEM観察	【綱車取付端部(A部)】ねじ谷部の底に破壊の起点が認められた。破面にはストライエーションが観察された。 【ギヤ取付端部(B部)】綱車取付端部よりも金属光沢を呈し、比較的新しい破面であった。
引張試験 【SCM440のJIS参考値(JIS G 4105:1979)】 引張強度980MPa以上、降伏点:835MPa以上	引張強度は822MPa、降伏点は631MPaであり、JIS参考値を下回っていた。 新品軸の場合、引張強度は815MPa、降伏点は620MPaであった。
硬さ試験	・折損軸表層の硬さ試験を実施したところ、HB263であり、引張強度に換算した値は880MPaであった。 ・断面部の硬さはHB220~295であり、傾向なくばらついていた。

【綱車の取付向きについて】

- 綱車には綱車軸との取付端部に面取り加工が施されており、横浜エレベータによると正規の向きはプランマブロック側が1mmの面取り、ギヤボックス側が3mmの面取りである(図2)。
- しかし、事故機は綱車の取付向きが逆になっていた。

【巻上機綱車軸の疲労強度評価について】

- 過去の巻上機綱車軸の折損事故を受け、綱車軸の疲労破壊による折損防止を目的に、平成25年5月に「JEAS-714(標13-05)巻上機綱車軸の強度設計標準」が策定されている。
- 事故機の折損A部はキー溝断面とねじ加工断面の組合せであるが、JEASではその組合せの切欠係数が規定されていない。住友重機械ギヤボックスでは、文献値を参考に独自に算出した切欠係数を疲労強度評価に用いていた。
- JEASでは疲労安全率の判定基準について、安全率1.2以上としており、住友重機械ギヤボックスも同様であった。

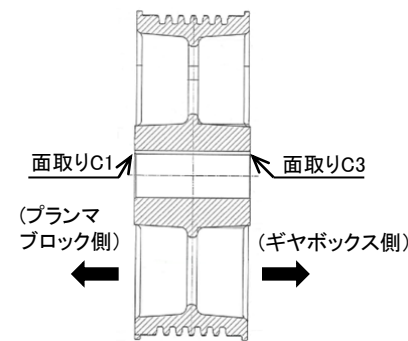


図2 綱車断面図

分 析

【綱車軸が折損に至った経緯についての分析】

- 事故機の綱車軸の破面の観察結果から、A部は疲労破壊によって折損したことが認められる。
- 事故発生時、かご内で異常な揺れを感じた後もエレベーターが動いていたこと、B部の破面が比較的新しくなったことから、最初に疲労破壊によりA部が折損し、その後ギヤから綱車へ動力を伝達していたB部が折損したと推定される。
- B部が折損したのは、A部が折損したことにより、軸に作用する荷重を片持ち状態で支持することになったためであると考えられる。

【綱車軸の材料特性についての分析】

- 事故機の綱車軸の引張強度、降伏点がSCM440のJIS G 4105の機械的性質の参考値よりも低いこと、及び事故機の表面硬さが管理値よりも低く、断面部の硬さもばらつきが大きいことから、全体焼入れを指定しているが均一な熱処理がされていない可能性が考えられる。
- 住友重機械ギヤボックスでは、熱処理後の素材(φ120mm)を綱車軸の形状に機械加工しており、特にA部はφ90mmまで切削していることから、熱処理されていない組織の割合が増加してしまっていた可能性が考えられる。
- 住友重機械ギヤボックスでは、熱処理事業者との取引開始前に素材の断面硬さを確認しているが、芯部になるほど硬さが低下している。表面と芯部で硬さが異なるのは冷却速度が異なるためであり、適切な熱処理条件の設定ができていなかった可能性が考えられる。
- 平成15年に断面硬さの管理値を緩和したことも、強度低下の要因となった可能性が考えられる。

【FEM解析による疲労強度評価に関する分析】

- 綱車軸に作用する最大主応力をFEM解析により確認した。解析モデルは図3、解析結果は下表のとおりである。
- 基本設計因子【A】【B】より、キー溝＋圧入の条件にねじ加工部が重なることで最大主応力が大きくなり、その発生箇所は事故機と同様にねじの谷部であると推定される。
- 基本設計因子【B】の最大主応力を基に切欠係数を逆算すると3.84であり、設計時の疲労強度評価に使用されていた切欠係数2.2に対して1.75倍となり、切欠係数を小さく見積もっていたため実際の最大主応力が大きくなったと考えられる。
- 組立て因子【C】より、綱車取付向きが逆の場合の最大主応力は324MPaであり、基本設計因子【B】の最大主応力の289MPaに対して1.12倍となった。これは、綱車が逆向きになることでA部側が3mmの面取りとなり、折損箇所が生じるモーメントが大きくなるためであると考えられる。取付向きが逆となってしまったのは、横浜エレベータから住友重機械ギヤボックスへ提供された図面に、綱車の取付向きが明示されておらず、取付け向きがあることを認識せず組み立てを行っていたためであると考えられる。
- 折損軸の表面硬さより換算した引張強度から算出した疲労限度308MPa、及び組立て因子【C】の最大主応力324MPaから算出される安全率は0.95となり、1.0を下回る結果となった。このことから、疲労破壊により折損した可能性があると考えられる。

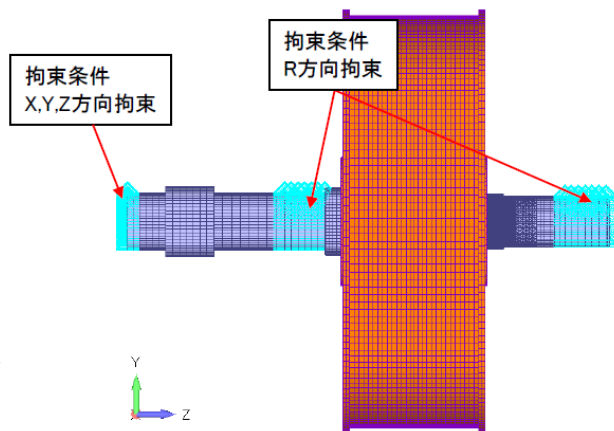


図3 解析モデル

	基本設計因子		組立て因子
	【A】 (キー溝＋圧入)	【B】 (【A】＋ねじ)	【C】 (【B】＋綱車逆取付)
最大主応力発生箇所	キー溝底部	第1ねじ谷部	第1ねじ谷部
最大主応力(①)	180MPa (第1ねじ谷部は108MPa)	289MPa	324MPa
疲労限(②)	343.4MPa(疲労強度評価時の疲労限度)		
疲労限(③)	308MPa(事故機の表面硬さから換算した引張強度(880MPa) × 0.35)		
安全率(②/①)	1.91	1.19	1.06
安全率(③/①)	1.71	1.06	0.95

分 析

【綱車軸への作用荷重の影響について】

○綱車軸の折損に至った要因は、切欠係数の見込み不足が最も影響が大きく、次いで綱車取付の向き、疲労限度の順に影響があったと考えられる。

原 因

本事故は、以下の事象が重なったことにより、疲労限度を超えた繰り返し荷重がかかり続け、疲労破壊が生じたものと考えられる。

・【材料管理】

綱車軸の材料管理が適切でなく、事故機においては均一な熱処理がされていなかったことにより綱車軸の強度が設計値と比べて低下していたと考えられること。

・【構造設計】

事故機の綱車軸折損箇所(A部)はねじ加工とキー溝加工が重なっており、当該箇所は軸全体の中で最大主応力が発生する箇所であったと考えられること。

・【疲労強度計算】

綱車軸の疲労強度評価における切欠係数を実態よりも小さく見積もっていたと考えられること。

・【情報伝達】

事故機は、計画設計時より実施設計時の方が、かご質量と釣合おもり質量が重くなっていたこと、綱車が逆向きに取り付けられていたことによって、折損箇所(A部)に作用するモーメントが大きくなってしまったと考えられること。

なお、ギヤ取付端部(B部)は、A部が折損したことにより、綱車軸に作用する荷重を片持ち状態で支持することになったため、副次的に折損したと考えられる。

国土交通省は、同様の事故の再発防止のため、

- (1) エレベーターの製造業者に対して、減速機の製造・発注に際し、綱車軸の疲労強度評価において使用する材料強度（設計値）、切欠係数について次のことを指導すること。
 - ・材料強度（設計値）については、熱処理の影響を考慮した値とすること。
 - ・切欠係数については、事故機のように綱車軸の危険断面の形状がJEASで規定されていない形状の場合、解析などで検討し設定すること。
- (2) 事故機の製造業者に対して、減速機製造業者へは設計上必要な情報を過不足なく伝え、適切に共有するよう指導すること。同様に事故機の減速機製造業者に対しては、共有された情報を作業要領書内に漏れなく盛り込むよう指導すること。

(参考)当該事故機の関係者による対応

住友重機械ギヤボックスによる同型機への対応は以下の通りである。

- ・同型機はこれまで事故機を含み28台出荷しており、ねじ加工とキー溝加工が重なった構造を有しているのはこの28台のみである。これら全ての減速機綱車軸に対して疲労強度評価を再度行い、安全率1.2を満たしていることを確認した。
- ・同型機の内、事故機と同等以上の負荷条件であるのは、同施設内の同型機3台のみであったため調査を行った。折損要因の1つであると考えられる綱車取付向きを確認したところ問題はなく、綱車軸表面にもき裂は確認されなかった。
- ・同型機を含め、今後はキー溝とねじ加工が重なるような軸の設計をやめ、ねじ加工が必要な場合は十分にキー溝と離す設計とすることにした。そのうえで、設計レイアウト上やむを得ない場合は個別にFEM解析で切欠係数を評価することにした。