

特集論文

明石海峡大橋向け エレベーター リニューアル工事

松本誠司*
Seiji Matsumoto

Elevator Renewal Work for Akashi Kaikyo Bridge

*三菱電機ビルソリューションズ(株)

要 旨

明石海峡大橋向けのエレベーター リニューアルプロジェクトでは、高揚程^(注1)・特殊環境の課題に対して開発から据付・保守までの一連のプロセスを経て、安全かつ信頼性の高いエレベーターの運行を実現した。このプロジェクトは、事前検討の段階で特殊環境性能の要件を決定し、高揚程及び傾斜昇降路に対応する機器の開発及び特殊環境用の制御ケーブルや主ロープ振れ止め装置の設計を行い、据付・保守時には実環境下で制御ケーブルの調査を実施して機器性能を確認した。このプロセスを通して、特殊環境下でのエレベーターの安全性と信頼性を確保する基盤を築いた。

(注1) エレベーターの移動距離が非常に長いタイプ

1. まえがき

明石海峡大橋(図1)は、1998年4月に供用開始されて国内最長の吊(つり)橋として現在も親しまれている。この橋の道路部分を支える補剛桁は、メインロープを介してメインケーブルに接続されて、4本の塔がそのメインケーブルを支えている。塔は高さ約300mで、各塔には高速エレベーターが1台ずつ、計4台設置されている。雨・風・塩害などの厳しい気候条件にさらされるため、これらのエレベーターの機器開発には高度な技術力が求められて、特殊環境や高揚程の課題に対応する必要がある。今回のプロジェクトでは、その課題に対して三菱電機ビルソリューションズ(株)(MEBS)稲沢ビルシステム製作所、本社、支社が一丸となって取り組んで、リニューアル提案と実施に至った。

本稿では、事前検討、機器開発、据付・保守調整のプロセスでの検討・設計内容について詳述する。エレベーターの信頼性と安全性を実現することで、橋の保守・運用を支える重要な役割を果たしたことを見た。



出典：本州四国連絡高速道路(株)ホームページ
<https://www.jb-honsho.co.jp/bridgeworld/index.html>

図1-明石海峡大橋(全景・塔から)

2. 海上設置に伴う特殊環境への対応

リニューアルプロジェクトの第一段階として、リニューアルの前に事前調査業務を請け負って詳細な検討業務を実施した。この段階では、1995年明石海峡大橋竣工(しゅんこう)のエレベーター納入設計時(以下“初回設計時”という。)の対策事例や現在の現地状況を分析し、特殊環境性能の要件を明確にすることが重要であった。明石海峡大橋の塔に設置されるエレベーターは海上に位置するため、地上環境よりも温度変化が激しく、湿度も高くなる。このため、適切な温度・湿度管理や風雨対策を重点的に実施する必要がある。また、塩分の影響を受けやすいため、耐塩害性の材料やコーティングの使用が重要である。初回設計時に実施した主な対策には、機械室機器の密閉化、昇降路機器の防食・防滴化、特殊環境対応の制御ケーブルが含まれる。リニューアル時に同等の対策を実施する場合、特に機械室に設置する密閉型制御盤の新規開発や特殊環境用超多芯制御ケーブルの開発には、長い開発期間と大きな費用がかかることが確認された。

2.1 事前検討(特殊環境性能の要件の決定)

今回の開発に当たって、環境調査を実施し、特殊環境性能の要件の決定を行った。

2.1.1 環境調査

初回設計時の防食仕様(ステンレス鋼の採用など)によって、盤面に対する明らかな腐食は確認されなかった。標準的な特殊環境対策に基づいた盤構成でも製品品質に問題がないことを確認して適切な防食仕様を決定するため、環境調査を行った。この調査は、図2に示すような環境評価方法に基づいて1年間にわたり実施された。金属の錆(さび)の発生を確認するため、4種類の金属を空中の酸素に触れさせて、錆の発生有無を確認した。また、腐食ガスによる生成物の確認には、ガラス片に金属の薄膜を構成し、腐食ガスの影響を評価した。さらに、塩分による汚染度の確認として、ガーゼを空中の酸素に触れさせて、塩分による汚染の程度を測定した。

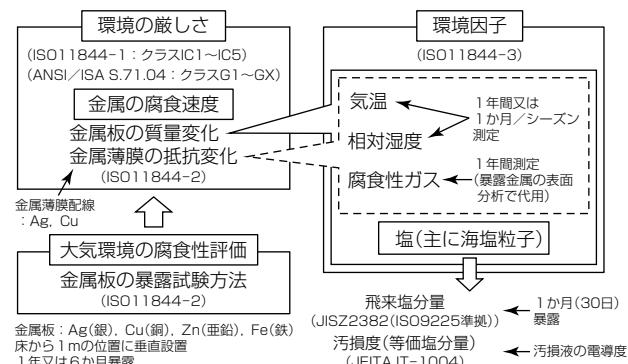
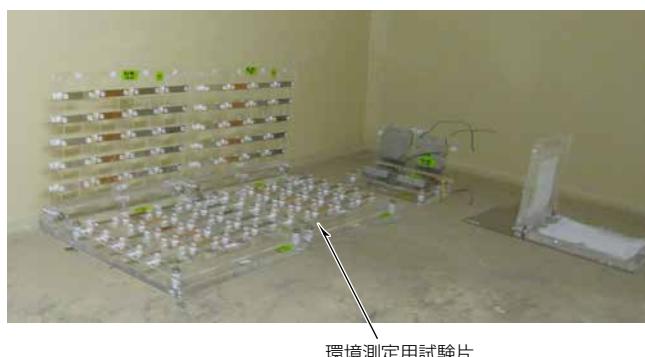


図2-環境調査の様子(機械室)と評価方法

2.1.2 環境調査結果

調査の結果、塔内エレベーター機器への飛来塩分量は瀬戸内沿岸部のほかの橋脚よりも少なく、海上設置のこのエレベーターに対しても標準的な沿岸部対策で対応可能と判断された(表1)。しかし、湿度は日平均で99%に達することが

表1-明石海峡大橋の環境調査結果

調査項目	調査結果	環境の評価方法と結果
飛来塩分量 (1か月間測定)	0.001mg/dm ² /day	JIS Z 2382 瀬戸内海沿岸部の年平均飛来塩分量は、10~1mg/dm ² /day未満であり、昇降機への海塩粒子の飛来は2桁以上低減されている。 塔内換気システム(塩害防止フィルター付き)の効果と考えられる。
湿度	日平均 月平均	MEBS推奨基準値(日平均95%を超えない、月平均90%以下)に対して機械室で基準を超える日がある。機械室及び昇降路中間部で95%RHを超える日が多数あり、結露が生じていたものと考えられる。

RH : Relative Humidity

あり、製品の環境基準を満たしていなかったため、設置環境の改善を目的とした機械室のエアコン設置と壁の設置を提案し、顧客承認を得た。この提案によって開発期間や費用の懸念が解消されて、明石海峡大橋塔内エレベーターの特殊な設置環境を考慮した上で、信頼性と経済性を両立させた対策を講じることができた。

2.2 特殊環境対策

海上設置での適用機器の開発設計では、特に錆対策と湿気対策に焦点を当てた。まず、錆対策として昇降路機器の耐久性を向上させるため、筐体(きょうたい)の材質をSUS(ステンレス鋼)に変更し、塩害や湿気による腐食を効果的に防止した。さらに、ねじやそのほかの小物類もSUS製に変更し、全体の防錆性能を向上させることで、昇降路機器の耐久性を強化し、長期的な使用に耐える性能を確保した。次に湿気対策として、昇降路内機器のボックス内にスペースヒーターを設置し、内部温度を一定に保つことで結露を防止した。また、電線の貫通部分には適切な金物を選定し、湿気の侵入を防ぐ工夫を施した。ケースと蓋の間にはゴムシートを貼り付けて密閉性を高めて、水分が内部にたまらないよう排水孔を設けて、排水ができる構成にした。これらの対策によって、特殊環境下でも信頼性の高い機器の運用を実現した。

3. 高揚程の傾斜昇降路への対応

塔内の昇降行程は267.5mで、昇降路は約1度の傾斜を持つ。このため、エレベーターの主ロープや制御ケーブルといった懸垂機器や長尺物の振れ、干渉への対策が必要であり、傾斜による動きの影響を考慮した設計が求められる。また、制御ケーブルのダクト収納が必要で、傾斜に伴うケーブルの干渉を防ぐ工夫も重要である。

この章では、高揚程・傾斜昇降路という課題に対して、主ロープ振れ止め装置、秤(はかり)装置、制御ケーブルでの対策を示す。

3.1 主ロープ振れ止め装置

主ロープ振れ止め装置と関係する運転動作フローについて述べる。海風によって塔が揺れると主ロープが昇降路機器に接触する危険があるため、接触を防ぐ対策が必要である。この装置は、かごの上部に設置され、かごの昇降に伴ってドッキング及び分離が行える構造になっている(図3、図4)。具体的には、塔の中央付近である52階より下にある場合は昇降路固定位置にあり、かごが52階より上にある場合はかごとドッキングして動く。振れ止めのドッキングと分離時には衝撃を考慮し、昇降路中間階でのかごの停止措置動作を追加している。また、主ロープ振れ止め装置には位置スイッチが設置されており、エンコーダーからの位置情報との整合性を確認する。万一の脱落時にはエレベーターを機械的に停止させる機能も備えており、主ロープの揺れによるリスクを軽減し、安全な運用を確保している。これによって、昇降路機器の安全性と信頼性を向上させる。

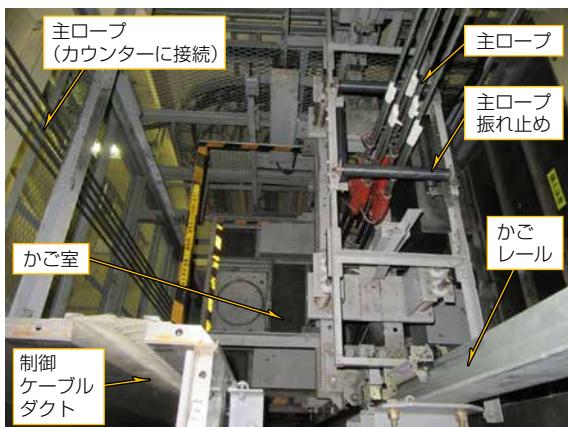


図3-かごとドッキングしている状態(昇降路見下げ)



図4-昇降路固定位置に設置されている状態(昇降路見上げ)

3.2 秤 装 置

傾斜昇降路では、かごとおもりの質量のアンバランスを低減する釣合いロープが適用できないため、かご位置による制御ケーブルの荷重影響が大きくなる。制御ケーブルの偏荷重による秤ずれによって、昇降路底部と頂部での検出誤差の影響が大きくなり、エレベーターへの乗り過ぎ検出(質量超過)を誤検出するリスクがあるため、秤装置には専用の補正機能を追加した。この補正機能は制御ケーブルの偏荷重による影響を考慮しており、秤の出力変化を抑えることでかご内の質量検出精度を向上させた。これによって、誤検出リスクを抑えてエレベーター運行の信頼性を確保できた。

3.3 特殊環境用超多芯制御ケーブルの開発

特殊環境用超多芯制御ケーブルの開発は、初回設計時と異なる通信方式に対応するために行われた。リニューアル機種に適用可能な制御ケーブルが存在しなかったため、新規開発が必要になった。開発に当たっては、幾つかの要件があった。まず、シールド付きツイストペアケーブルを使用し、銅芯入りの多芯ケーブルであることが必須であり、銅芯はSUS製、さらにはすくめつき電線を適用することが求められた。また、ケーブルの自由曲げ径は既設ケーブルダクトに収まるものでなければならず、質量軽減も重要な適用要件であった。

さらに、制御ケーブルの線芯断線対策として、構造を同心撚(よ)りからユニット撚りに変更した(図5)。この変更によって、昇降を繰り返す中で芯線の移動が抑えられて、隙間ができにくくなり、断線しにくい構造が期待できる。これらの内容を基に、メーカーと協業し、試作と検証を重ねて特殊環境用超多芯制御ケーブルを開発した。

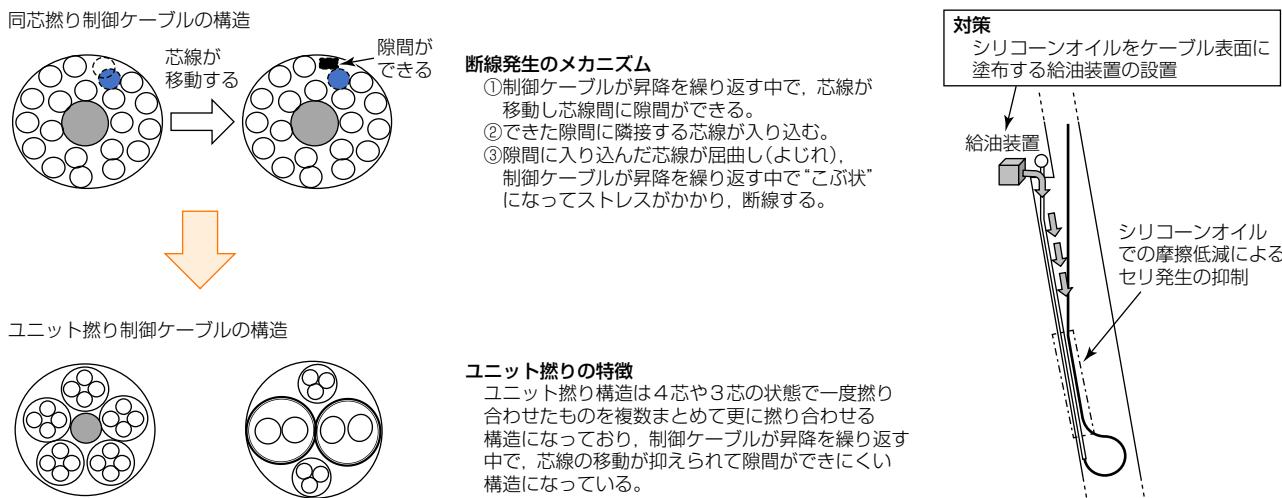


図5-制御ケーブルの検討と開発

新規開発された制御ケーブルについては、自由曲げ寸法や単位質量などの検証が行われたが、高揚程や傾斜昇降路では事前検証が難しいため、工事完了後も定期的に外観チェック、異音確認を実施することにした。さらに、かご上にカメラを設置し、走行時の異音の有無を確認するほか、断線の早期発見を目的として線芯抵抗値の測定も行っている。また、ケーブル同士やダクトとの摩擦を軽減するために、シリコーンオイルの定期的な塗布も実施している。

4. む す び

明石海峡大橋向けに開発した高揚程・特殊環境対策エレベーターのリニューアルプロセスを詳述した。事前検討から適用機器の開発、据付・調整に至るまでの一連のプロセスを経て、安全かつ信頼性の高いエレベーターの運行を実現した。特に、海上設置に伴う温度・湿度管理や塩害対策、傾斜昇降路での懸垂機器の振れ干渉対策、制御ケーブルの新規開発に注力し、エレベーターの耐久性・運行の安全性を向上させた。

今後も継続的な技術革新と改善を重ねて、今回のような特殊・技術難易度の高い案件の実現を通して、世の中のインフラを支えて、社会に貢献していく。