特集論文

櫃石島橋向け エレベーターリニューアル工事

大塚俊輝*
Toshiki Ohtsuka
松本誠司*
Seiji Matsumoto

*三菱電機ビルソリューションズ㈱

Elevator Renewal Work for Hitsuishijima Bridge

要　旨

櫃石島(ひついしじま)橋の主塔に設置されているエレベーター(1)は，供用開始から長期間が経過していることから，制御更新計画を策定し，リニューアル工事を実施するに至った。この橋梁(きょうりょう)の主塔は屈曲構造を持っており，これに伴って昇降路も屈曲している。今回の工事は，屈曲走行エレベーターとして三菱電機ビルソリューションズ㈱(MEBS)初のリニューアル工事になった。

このリニューアル工事では，既設のリレー制御を静止形制御に更新し，制御装置の信頼性向上及び保守部品の安定供給性向上を図った。併せて，屈曲する昇降路構造に対応したローピング方式や低速走行速度を踏襲しつつ，検出方式及び駆動制御方式を最新技術に更新した。さらに，巻上機・ブレーキ・戸閉装置等の安全機能を強化し，かごの乗り心地向上や制御方式の更新を図ることで，特殊な構造及び海上環境下でのエレベーターの安全性・信頼性・保守性を向上させるとともに，橋梁設備の保守性向上にも貢献した。

1. ま え が き

櫃石島橋(**図1**)は，1988年に供用開始された道路・鉄道併用橋であり，瀬戸内海に架かる長大橋として知られている。

櫃石島橋には2基の主塔があり，各主塔には橋梁保全作業の効率化及び安全確保を目的としてエレベーターが2台ずつ設置されている。主塔の昇降路は2回屈曲しており，その屈曲経路をエレベーターが走行する。一般的なエレベーターとは異なる特殊な構造になっており，リニューアル対応には高度な技術的考慮が求められる。今回のリニューアル工事に向けたプロジェクトでは，MEBSの本社・支社及び稲沢ビルシステム製作所が連携し，工事計画の提案から実施までを一貫して推進した。

本稿では，既設エレベーターの概要を述べた上で，リニューアル工事での機器検討・設計内容について詳述する。



本州四国連絡高速道路㈱提供

図1－櫃石島橋(全景)

2. 既設エレベーターの概要

この橋梁の既設エレベーターを構成する主な特徴を，(1)～(6)に示す。

(1) 昇降路形状及びロープピング方式

エレベーターの昇降路は主塔形状に沿って配置されており，全長約130mの区間内に２か所の屈曲部を持っている。昇降路の傾斜角は鉛直方向に対して，**図２**のとおり，昇降路下部で約－９度，中間部で約＋５度，上部で０度へと段階的に変化する構成になっている。また，主塔内の昇降路平面スペースは下部と比較し上部が狭小になっているため，かご側１：１ローピング，釣合いおもり側２：１ローピングという変則的なローピングを採用している(**図３**)。これによって，釣合いおもりの走行区間を設置スペースが確保できる昇降路下部だけに限定し，２：１ローピングによって，かごが昇降路全長を走行する間の釣合いおもりの走行距離を約半分に抑えている。

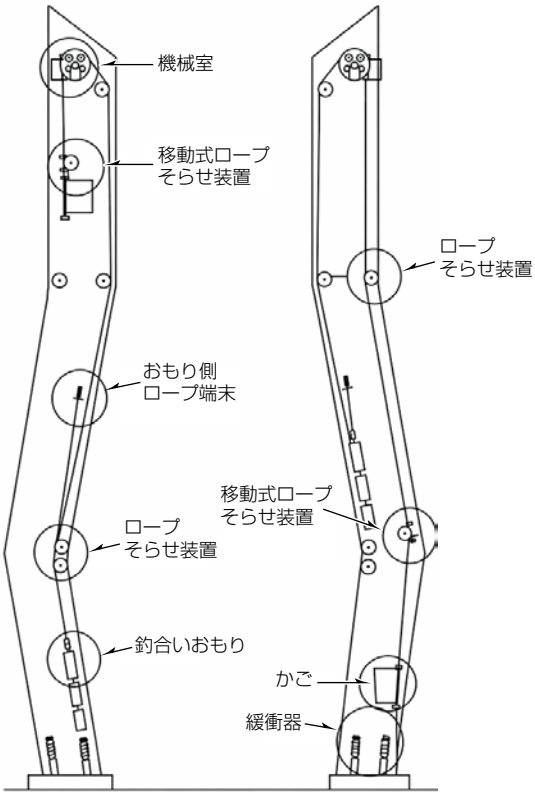


図２-昇降路の全体構造図

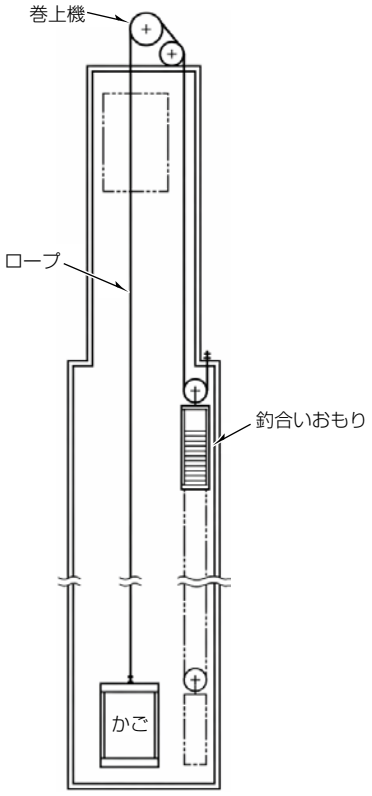


図３-ローピング方式[2]

(2) ロープそらせ装置

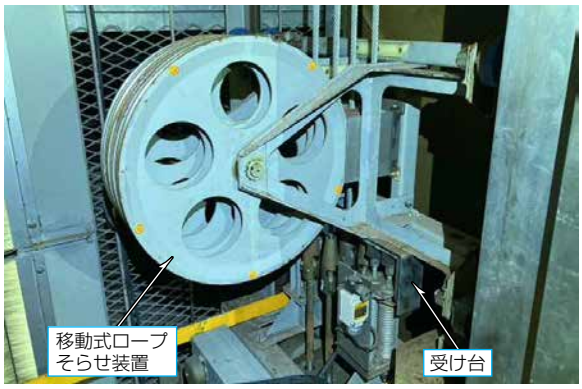
昇降路の屈曲部で，かご側と釣合いおもり側のロープの懸垂方向を変えるため，ロープそらせ装置を配置している。また，昇降路下部屈曲部に設置した移動式ロープそらせ装置は，かごが屈曲部を上昇通過する際にかご上に設けた受け台(**図４**左)と連結し，かごと一体となって移動することによって，巻上機から懸垂したロープが昇降路壁や昇降路内機器に接触することを防止している。

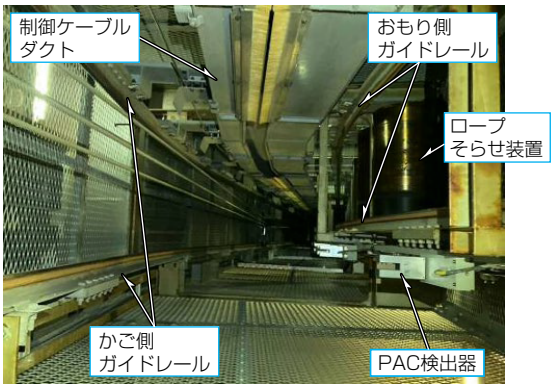
(3) かご床の水平姿勢制御及びかご速度制御

昇降路の傾斜角変化に対応するため，かご床を水平に保持する電動式の可動床構造を採用している。また，かごが屈曲部を通過する際には，定格速度から減速させている。これによって，昇降路屈曲部通過時のかご内乗客の不安感や違和感の低減，及び先に述べた移動式ロープそらせ装置がかごと連結する際の衝撃力・衝撃音の低減，それらに加えて屈曲部の湾曲したレールへの荷重低減を図っている(**図４**左)。

(4) 制御ケーブル

昇降路機器との接触による制御ケーブル自体の損傷や昇降路機器の損傷を防止するため，制御ケーブルは限られた昇降路平面スペース内で昇降路全長にわたるダクト(**図４**右)に収納されている。





PAC：Position Approach switch, ver.C

図４−かご上及び屈曲部の昇降路内（昇降路見上げ）

⑸　戸閉装置

手動戸閉方式を採用しており，かご戸及び乗場戸は手動で開閉する構造である。さらに，かご走行中にかご戸が開かないようにするとともに，かごが乗場に到着したときだけ乗場戸を開くことができるよう，安全装置を設けている。

⑹　特殊環境

各機器には防湿・防錆塗装やステンレス製材料を適用するなど，海上環境下での湿気及び塩害対策を実施している。

3. リニューアル工事の概要

今回の工事では，全てのエレベーター機器を一括して取り替えることなく，取替え機器を最小限に抑えて制御リニューアルを行った。そのため，既存機器の状態や既設構造との取り合い，施工条件などに留意し，新規機器への取替えを行う必要があった。そこで，既設エレベーターの特殊性を踏まえた上で，流用する機器と取り替える機器を精査し，既設設備の構成に配慮した計画・開発・設計・施工を行った。この章では工事概要の一部を取り上げて，その内容について述べる。

3.1　屈曲走行での安全性及び乗り心地への配慮

この節では，屈曲走行での安全性及び乗り心地への配慮について述べる。

3.1.1　屈曲走行制御の対応

リニューアル工事では，**２章**⑵で述べたロープそらせ装置及び屈曲部の湾曲レールを継続使用する方針とした。湾曲レール区間では既設と同様に，移動式ロープそらせ装置の連結時に発生する衝撃や摺動（しゅうどう）抵抗を抑制し，湾曲レールへの荷重を低減させるため，低速走行制御が必須になる。

リニューアルに当たって，次のような見直しを行った。

⑴　屈曲部進入の検出方式

既設ではPAC検出器と検出プレートによる速度切換え方式を採用していたが，機器レイアウト上成立が困難であったため，リニューアル後は新たな構成として，着床装置と仮想階プレートを用いる方式に変更した。それによって，このエレベーター特有のかごが屈曲部に進入する前に低速まで減速を完了させ，屈曲部通過後に加速を開始する制御を実現可能とした。

⑵　駆動制御方式

既設では交流２段制御による極数切換え方式によって屈曲部の低速走行を実現していたが，リニューアルでは最新のインバーター制御によるきめ細かな速度制御を採用し，よりスムーズな加減速を実現した。さらに，屈曲部の異常速度監視についても，既設の機械式スイッチによる検出から，制御プログラムによる監視方式に変更し，安全性の向上を図った。

3.1.2　かごの乗り心地への対応

既設かご床は**２章**⑶に記載のとおり可動床であったが，制御更新に当たって可動床の制御に必要な制御ケーブルの芯線数が確保できない問題があった。制御ケーブルの芯線数増設には関連する機器の設置スペースの確保が必要になるが，限

られた既設昇降路内での既存機器との取り合いを考慮すると工事規模が過大になるため，代案として次のように提案した。

⑴　最適なかご床傾斜角度の設定及び傾斜床の追加

既設のかご床の可動機能を廃止するため，３段階で変化する昇降路の傾斜角度に対して最適なかご床角度を検討する必要があった。そこで，昇降行程が長く，利用頻度が高い昇降路中間部で，かご床が水平になるようかご床を固定した。

また，先に述べた角度に設定した際に，昇降路下部でかご床の傾斜角度が最も大きくなるため，乗客の立ち姿勢による身体への負担を軽減するように床の一部に傾斜床を設置した(**図５**)。

⑵　かご内への手すりの追加

先に述べた⑴の対策に加えて，乗客の立ち姿勢を補助するため，かご内上部に手すりを設置した(**図５**)。

これらの⑴及び⑵の対策について，提案内容を実際のエレベーターで再現し，櫃石島橋の管理会社や橋梁の点検関係者等の参加を得て，立ち姿勢や使用性の検証を行った上で，製品へと反映させた。

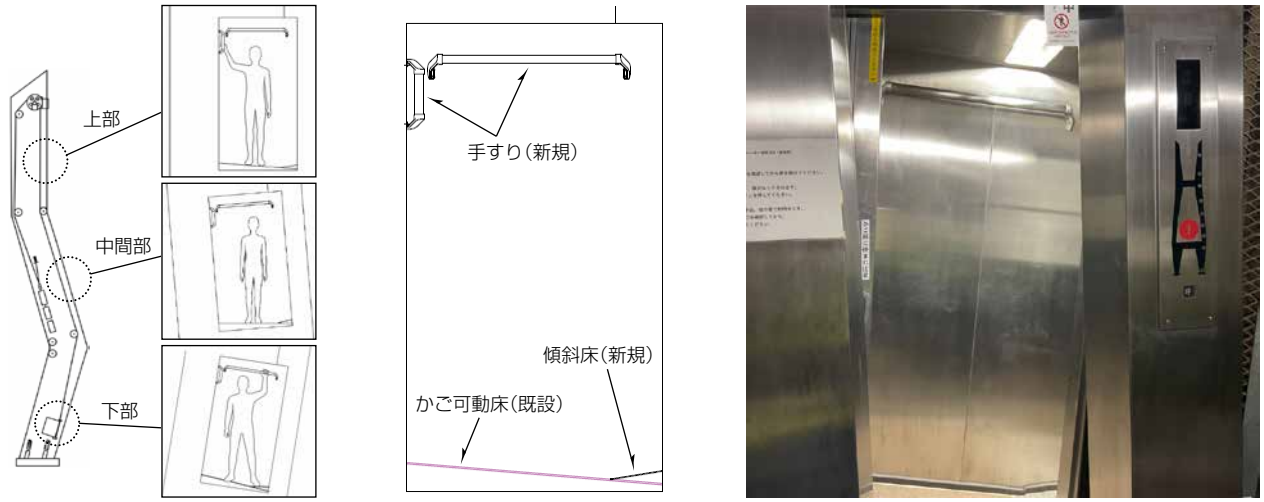


図５−かご床の固定及び新規傾斜床・手すりのイメージ，及び乗場から見たかご室の外観

3.2　安全機能の向上

この節では，安全機能の向上について述べる。

3.2.1　巻上機への対応

巻上機はエレベーターのかごを昇降させる駆動装置であり，減速機・巻上モーター・ブレーキ・綱車などで構成される。

リニューアル仕様として巻上機の取替えを検討したが，巻上機本体を取り替えるための搬入経路の確保が困難という問題があった。

そこでまず，取替え・改造対象を巻上機の主要部品である巻上モーターとブレーキに絞って，その他部品の流用について製品品質上問題がないことを確認した。さらに，安全機能の向上を目的に，意図しないかごの戸開走行を防止する機能を付加した。

⑴　巻上モーターの取替え

制御更新を行うに当たって，**２章**⑹で述べた特殊環境に対応する全閉自冷型インバーター制御用モーターを新規開発し，適用した。また，今後予定される他の屈曲走行エレベーターのリニューアルへの展開も見据えて，仕様の共通化を図った。

⑵　ブレーキ機構の改造

既設巻上機の流用に際して，意図しないエレベーターの戸開走行を防止する安全機能の付加を目的とし，単一ブレーキシステムであった既設巻上機に対して，新規２重系のブレーキシステムを採用した。具体的には，常時作動する機械的に独立した二つのブレーキ構成に変更するとともに，巻上機周辺で使用される潤滑油などがブレーキ部に付着しないよう油切りカバーなどを追加し，ブレーキの信頼性を向上させた。また，乗場床とかご床の位置関係を所定の設定距離で電気的に検知し，さらにかご戸開状態を検知してかごを停止させる制御と組み合わせることで，戸開状態でのかご走行を防止する機能を付加し，エレベーターの安全性を向上させた。

3.2.2　手動戸閉装置流用での対応

リニューアルに当たって，既設手動戸閉装置(**図６**)の流用が製品品質上問題ないことを確認し，更なる安全機能の向上を目的として，意図しないかごの戸開走行を防止する機能の追加を検討した。この機能を実現するに当たって，戸の閉鎖状態を検知する機構についても見直した。具体的には，ゲートスイッチは**２章**(6)で述べた特殊環境に対応し，かつスイッチの誤作動防止を目的とした強制開離構造を持つものを採用した。強制開離構造によって，接点溶着時でも接点を機械的に開離させ，戸開状態を確実に検出できる。



図６-既設手動戸閉(かご戸)

また，既設の乗場インターロック機構による機械的施錠・電気的検出の仕組みを流用しつつ，制御方式については，リレー制御から静止形制御(無接点のスイッチング素子による制御方式)へ移行し，既設と同等の励磁ロジック(電磁コイルへの通電・遮断の動作順序)をソフトウエアによって再現した。さらに，FMEA(故障モード影響解析)によるリスク分析を実施し，異常発生時にも安全側に働く故障形態(フェールセーフ)になることを確認した。物理的制約下でも十分な安全性を確保できる設計とすることで，安全性の向上を図った。

3.3　操作表示器具の視認性・耐久性の向上

かご操作盤・乗場インジケーターでは，この橋梁特有の専用意匠を踏襲した上でデジタル表示に更新することで，階床表示灯・運行表示灯の視認性を向上させた(**図７**)。また，**２章**(6)で述べた特殊環境下での耐久性向上のため，内部基板コーティングや呼びボタンの防滴構造化を実施している。



図７-新規かご操作盤・乗場インジケーター

4. む　す　び

櫃石島橋向けに実施したエレベーターリニューアル工事の機器設計プロセスでの検討・設計内容について述べた。事前検討から適用機器の開発・設計・据付け・調整に至る一連の工程を通じて，特殊な屈曲昇降路を持つエレベーターの安全かつ安定した運行を実現した。今後も継続的な技術革新と改善を重ねて，今回のような特殊かつ技術的難易度の高い案件への対応を通じて，社会インフラの安全性向上と安定的な維持に貢献していく。

参 考 文 献

(1) 池田　弘：本四架橋のエレベーター，クレーン，**26**，No.8，9563～9569 (1988)
(2) 寺園成宏，ほか：エレベーターハイテク技術 世界最高速度への挑戦，オーム社，51 (1994)