

既設吊橋の長寿命化への取組み

Rehabilitation Project of Existing Suspension Bridges for Long Lifespan

杉 村 誠	株式会社 IHI インフラシステム	海外プロジェクト室トルコプロジェクト部	部長
中 山 真 明	株式会社 IHI インフラシステム	海外プロジェクト室トルコプロジェクト部	主査
牟田口 拓 泉	株式会社 IHI インフラシステム	建設部	主査
杉 山 直 也	株式会社 IHI インフラシステム	橋梁技術室設計部	
井 谷 達 哉	株式会社 IHI インフラシステム	海外プロジェクト室トルコプロジェクト部	

長大吊橋は、国の経済活動を支える重要な社会インフラであるが、近年、建設から 30 年以上経過した吊橋において、老朽化が原因で各部位に生じた損傷による耐力低下が懸念されている。吊橋の架替えには膨大な費用が掛かるため、通常は損傷箇所の補修や補強によって吊橋の延命を図るのが合理的である。このような状況を背景として、長寿命化を目的とした吊橋の補修・補強工事が増加しつつある。本稿では、近年株式会社 IHI インフラシステムで実施した国内外の吊橋の大規模な補修・補強工事を 3 例紹介する。

Large scale suspension bridges are very important infrastructures for supporting national economic activities. However, recently regarding suspension bridges that were built more than 30 years ago, the decline in durability due to local damage from aging is a concern. Since replacing suspension bridges is very costly, it is common and reasonable to try prolonging bridge lifespans by repairing and reinforcing the damaged portion of the bridge. Against this backdrop, projects involving existing suspension bridges for the purpose of increasing the lifespan have been increasing. This report describes three major projects carried out by IHI Infrastructure Systems Co., Ltd. worldwide.

1. 緒 言

建設から 30 年以上経過した吊橋に生じている損傷の原因としては、日常のメンテナンスが十分に実施されていないことや、建設当時には想定していなかった交通量や環境の変化、または単に使用材料の寿命によるものなどさまざまである。しかし、そのまま放置すればあと数年で寿命を迎えるケースでも、適切に損傷を補修し補強を行うことによってさらに数十年寿命を延ばすことが可能である。したがって、老朽化した吊橋の補修・補強工事は必要は今後も大きくなると思われる。

吊橋の補修・補強工事の内容は、対象となる部位や目的によってさまざまであるが、本稿では福岡県北九州市の「若戸大橋」、トルコ共和国（以下、トルコ）の「第 1 ポスボラス橋」、コンゴ民主共和国（以下、コンゴ民）の「マタディ橋」において、株式会社 IHI インフラシステム（以下、IIS）が実施した補修・補強工事についてその内容を報告する。

2. 「若戸大橋」の鋼床版連続化

「若戸大橋」は我が国最初の長大吊橋で、1962 年の完

成から 55 年が経過した。この吊橋は北九州工業地帯の基幹インフラとして、また若松区と戸畑区を結ぶ市民の生活道路としても大きな役割を果たしている。その交通量は 1 日約 3 万台、55 年間で累計 6 億台超で、交通の要衝となっている。第 1 図に「若戸大橋」全景、第 2 図に一般図を示す。

主な仕様を次に示す。

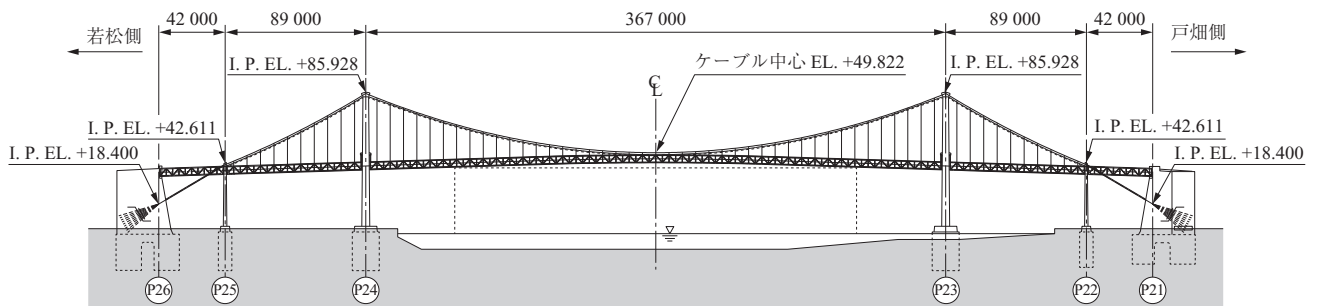
橋 長	629 m
支間長	42 m + 89 m + 367 m + 89 m + 42 m
幅 員	16.2 m（片側：2 車線）
完 成	1962 年

本橋では 2012 年に吊橋ケーブル関係の大規模修繕工事が IIS によって実施されており、今回は吊橋補剛桁の鋼床版を対象とした改修工事が実施された。「若戸大橋」の床版は 1987 年に歩道を廃止し、車線を 4 車線に拡幅するとともに死荷重低減を目的として、建設時のコンクリート床版から鋼床版に取り替えられた。第 3 図に連続化前の鋼床版の構造を示す。

鋼床版の 1 ブロックは図に示すように 25 m を基本長とした 6 径間連続の床組構造であり、床トラス上弦材上の支承に支持されていた。吊橋全体は合計 25 ブロックの

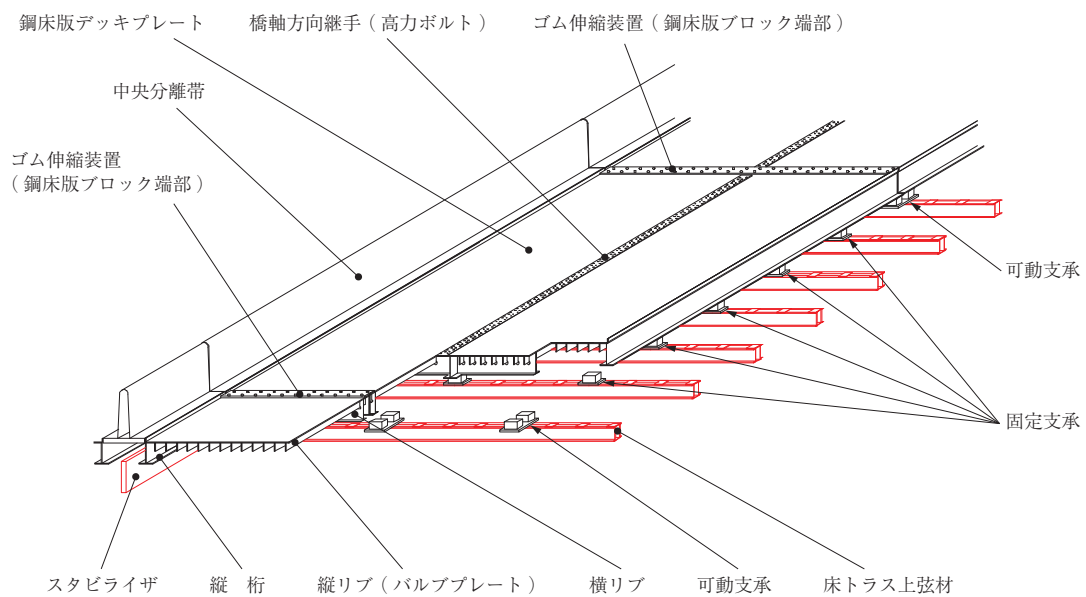


第 1 図 「若戸大橋」全景
 Fig. 1 Panoramic view of "Wakato Bridge"



(注) P** : 橋脚
 EL. : 標高 (単位: m)
 I. P. EL. : ケーブル理論標高 (単位: m)

第 2 図 「若戸大橋」一般図 (単位: mm)
 Fig. 2 General arrangement of "Wakato Bridge" (unit: mm)



第 3 図 連続化前の鋼床版の構造
 Fig. 3 Detail of orthotropic steel deck before project

鋼床版で構成されており、ブロック間にはゴム伸縮装置が配置されていたが、このゴム伸縮装置は重交通のため損傷頻度が高かった。このため、損傷した伸縮装置からの漏水によって床トラス上弦材の腐食を進行させるとともに、アスファルト舗装の早期劣化の一因となり、およそ 20 年周期でのアスファルト舗装の打換えを必要としていた。第 4 図に床トラス上弦材の腐食の状況を示す。

さらに、ゴム伸縮装置の損傷は吊橋近隣への騒音、振動の発生原因にもなっており、維持管理上の課題であった。これらを解消するため、本工事では、① 鋼床版の連続化 ② 床トラス上弦材の補強 ③ 鋼床版の固定支承のアンカーボルト取替え ④ アスファルト舗装の打換え、などの工事を実施した。本稿では、実施した工事のなかから鋼床版の連続化について報告する。



第 4 図 床トラス上弦材の腐食の状況
Fig. 4 Corrosion condition at upper chord of floor truss

2.1 鋼床版の連続化

前述したゴム伸縮装置の損傷に伴う漏水による腐食の発生環境を改善するため、漏水の原因であるゴム伸縮装置を撤去し、鋼床版を連続化することにした。本工事の鋼床版連続化は、隣り合うブロックの縦桁や縦リブを連続させるのではなく、既設鋼床版ブロック間の鋼床版デッキプレートのみを連結板によって連結する構造とした。第 5 図に連続化後の鋼床版の構造、第 6 図に鋼床版ブロック端部の側面図を示す。

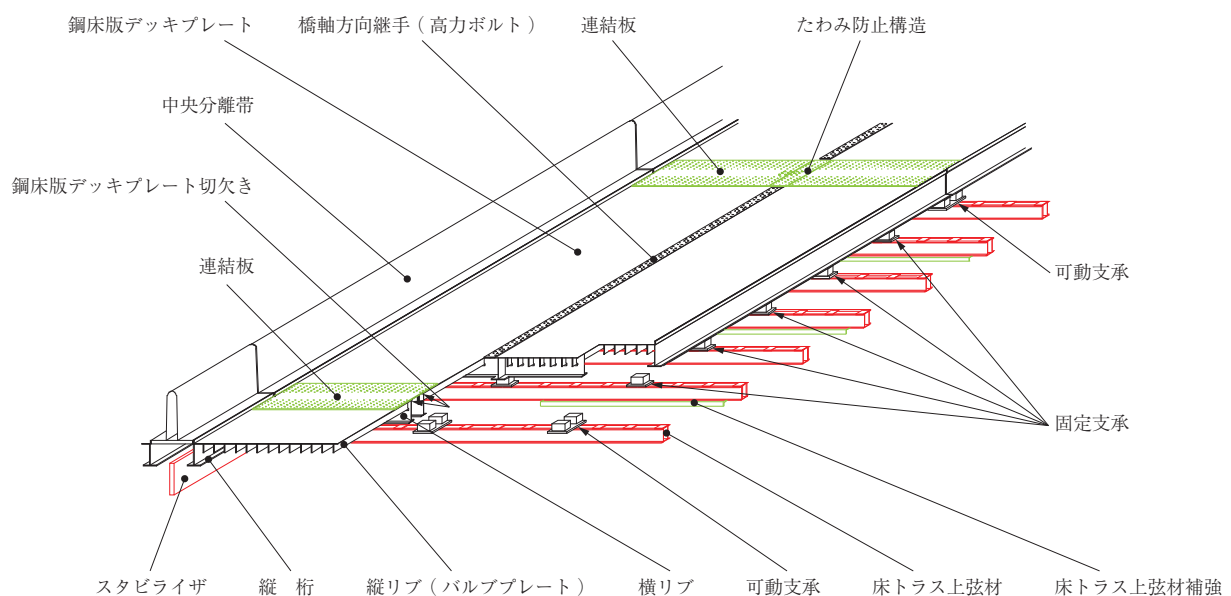
今回の鋼床版連続化工事によって連続径間長は最長 84 径間連続の 367 m となるが、この構造の変更が吊橋全体の挙動には影響を与えないことを構造解析によって確認した。

2.2 鋼床版連続化の施工

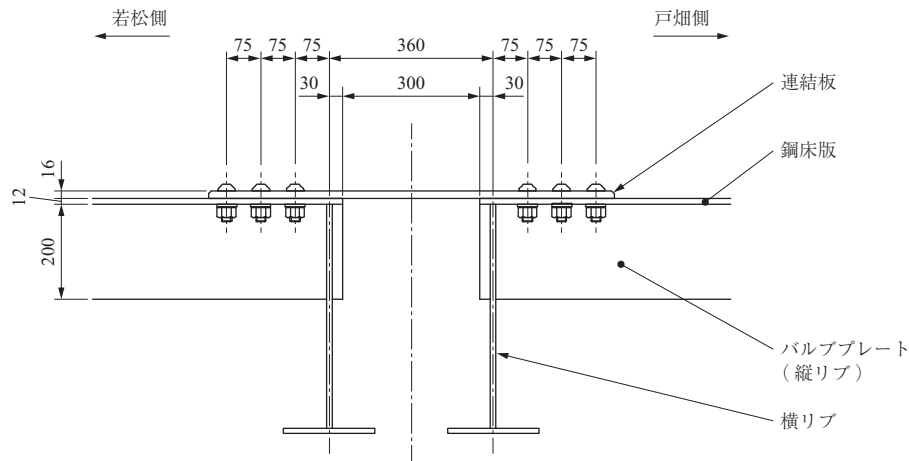
鋼床版の連続化は供用中である吊橋の 1 日約 3 万台の交通量を確保するため、4 車線中、2 車線ごとに 24 時間連続固定規制帯を上下線の全長 1 700 m に設置し、その交通規制帯内において施工した。

まず、既設アスファルト舗装を破砕撤去した後に、既設ゴム伸縮装置を撤去した。鋼床版ブロックの端部は、人の腕も入らないほど狭あいであるため、鋼床版デッキプレート上面から鋼床版のリブごと切断撤去し、防錆作業のスペースを確保したうえで塗替え塗装を実施した。第 7 図に鋼床版ブロック端部の塗替え塗装の作業状況を示す。

鋼床版連続化の施工は上下線のおおのの走行車線、追い越し車線の順に実施した。新連結板の設置は、供用中の補



第 5 図 連続化後の鋼床版の構造
Fig. 5 Detail of orthotropic steel deck after project



第 6 図 鋼床版ブロック端部の側面図 (単位: mm)
 Fig. 6 Side view of orthotropic steel deck joint (unit: mm)



第 7 図 鋼床版ブロック端部の塗替え塗装の作業状況
 Fig. 7 Painting situation for joint of orthotropic steel deck



第 8 図 新連結板による鋼床版連続化の状況
 Fig. 8 Orthotropic steel deck continuation situation by new connection plates

剛桁および鋼床版に温度変化による影響や活荷重による過大なねじりや応力を生じさせないように、中央径間の中央部からアンカレッジに向かって上下線かつ戸畑側・若松側の 4 格点同時に実施した。そして、新連結板によって鋼床版を逐次、高力ボルトで連結し鋼床版を連続化した。第 8 図に新連結板による鋼床版連続化の状況を示す。

3. 「第 1 ボスポラス橋」の大規模補修工事

「第 1 ボスポラス橋」はトルコのイスタンブールを東西に分断するボスポラス海峡に架かる吊橋で、1973 年の完成から 44 年が経過している。第 9 図に「第 1 ボスポ



第 9 図 「第 1 ボスポラス橋」全景
 Fig. 9 Panoramic view of "Bosphorus Bridge"

ラス橋」全景を示す。

主な仕様を次に示す。

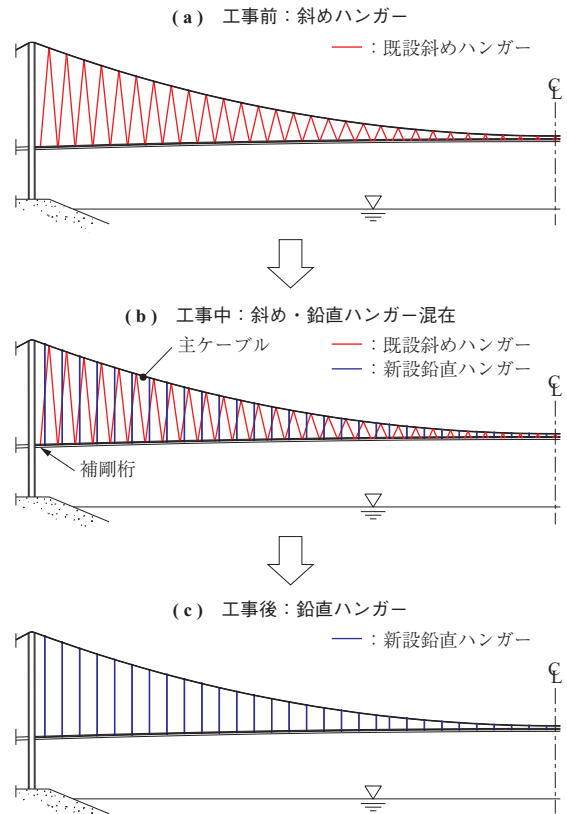
橋長 1 560 m
支間長 231 m + 1 074 m + 255 m
幅員 33.4 m (片側：3 車線)
完成 1973 年

この吊橋はイスタンブールの主要幹線道路上に位置し、1 日約 20 万台の交通量があり、老朽化による局部的な損傷が度々生じていた。このような状況下で 2012 年、橋梁管理者である KGM (トルコ運輸省道路庁) は PARSONS 社 (アメリカのコンサルタント会社) に「第 1 ボスポラス橋」の健全度調査を依頼した。この結果、吊橋のハンガー取替えをはじめ、鋼床版のき裂補修や主ケーブル送気乾燥システム設置などの補修工事が行われることになった。斜めハンガーを有する長大吊橋は世界に数橋しか存在しないため、「第 1 ボスポラス橋」の斜めハンガー形式を鉛直ハンガー形式へ取り替える工事は世界でも例のない試みとなった。第 10 図に「第 1 ボスポラス橋」の一般図および補修項目を示す。

2013 年、IIS は MAKYOL 社 (トルコの大手ゼネコン) との共同企業体 (JV) で本工事を受注、2014 年 4 月から着手し、2 年後の 2016 年 3 月に工事を完了した。本稿では実施した工事のなかからハンガー取替えについて報告する。

3.1 ハンガー取替え工法

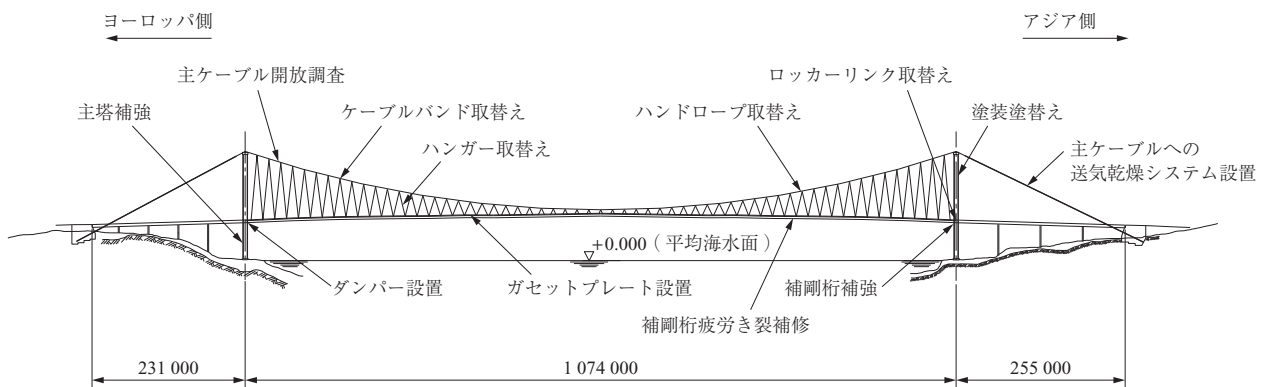
斜めハンガー形式から鉛直ハンガー形式への取替え手順を第 11 図に示す。本工法の採用に当たり、PARSONS 社は斜めハンガー形式から斜めハンガー形式へ取り替える別工法についても検討を行った。本工法の必要工期は 20 か月であるが、別工法の場合は第 11 図に示す手順④の後さらに新設斜めハンガーを設置して、鉛直ハンガーを撤去す



- (注) ハンガー取替え手順
- ① 鉛直ハンガー定着部を主ケーブルおよび補剛桁へ設置
 - ② 鉛直ハンガー設置
 - ③ 鉛直ハンガー張力導入
 - ④ 斜めハンガー撤去
 - ⑤ 鉛直ハンガーに対して張力調整

第 11 図 斜めハンガーから鉛直ハンガーへの取替え手順
Fig. 11 Replacement sequence from inclined hanger to vertical hanger

る必要があるため、工期が 42 か月となる。検討の結果、経済的かつ短期間での施工が可能であるという理由で、鉛直ハンガー形式への取替え工法が採用された。特に交通量の多い本橋の場合、交通規制が最短であるということが重要な決定要因であった。第 12 図に斜めハンガー撤去前と撤去後の状況を示す。



第 10 図 「第 1 ボスポラス橋」一般図および補修項目 (単位：mm)
Fig. 10 General arrangement of "Bosphorus Bridge" and reinforcement item (unit : mm)

(a) 工事中：斜め・鉛直ハンガー混在



(b) 工事後：鉛直ハンガー

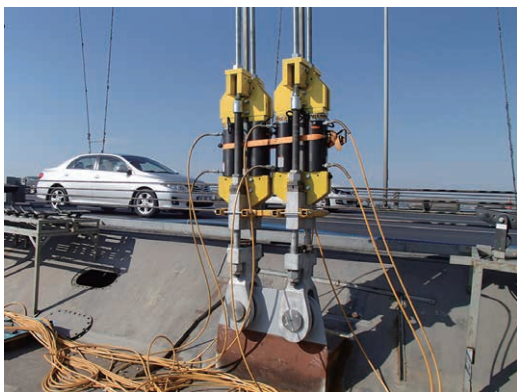


第 12 図 斜めハンガー撤去前と撤去後の状況
Fig. 12 Situation before and after dismantling inclined hanger

3.2 ハンガーへの張力導入

新鉛直ハンガーへの設計導入張力は約 500 kN で、各ハンガーにこの張力を導入することによって、既設斜めハンガーの張力が解放されることを構造解析で確認した。現場では第 13 図に示す張力導入設備を使用して鉛直ハンガーに設計張力を導入し、すべてのハンガーへの張力導入完了後に斜めハンガーの張力がほぼ抜けていることを確認した

後で斜めハンガーを撤去した。斜めハンガー撤去後に再度新設ハンガーの張力測定を行い、設計張力 ± 5% の許容値を超える格点については張力調整を行った。調整を行った場合は、その影響が及ぶ両隣のハンガー張力も再計測し、これらが許容値以内に収まっていることを確認し、すべてのハンガー取替えを完了した。



第 13 図 張力導入設備
Fig. 13 Jacking equipment of hanger

4. 「マタディ橋」の保全計画

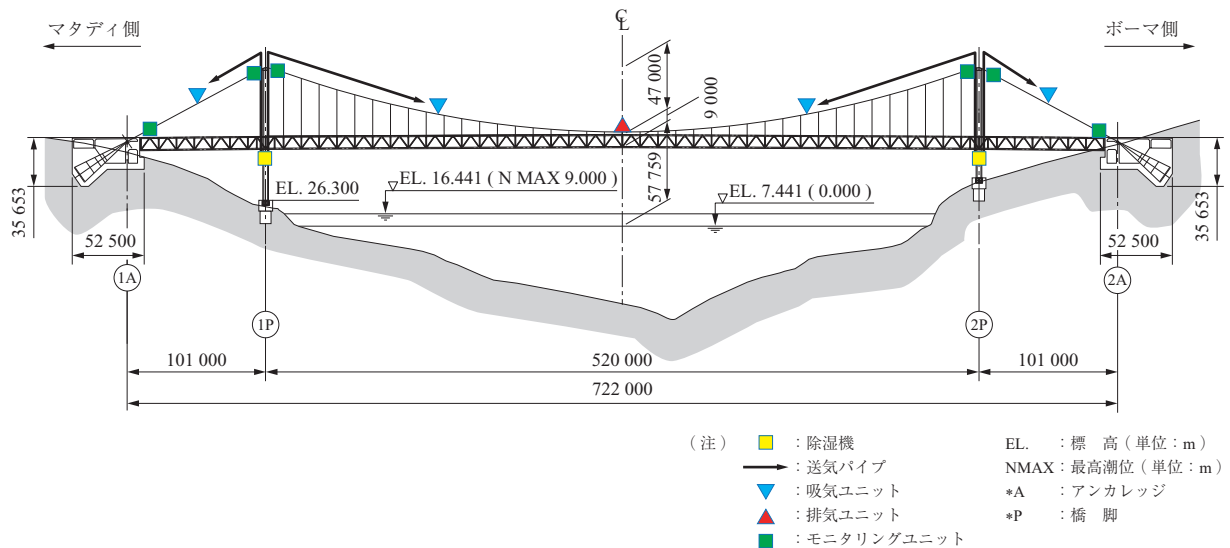
「マタディ橋」はコンゴ民の西部、コンゴ中央州マタディ市に位置し、日本の有償資金協力で石川島播磨重工業株式会社（現、株式会社 IHI）を主体とする JV の施工で 1983 年に完成した橋長 722 m の 3 区間連続補剛吊橋である。第 14 図に「マタディ橋」全景、第 15 図に一般図を示す。

主な仕様を次に示す。

橋 長	722 m
支間長	101 m + 520 m + 101 m
幅 員	11.5 m (片側：1 車線)
完 成	1983 年



第 14 図 「マタディ橋」全景
Fig. 14 Panoramic view of “Matadi Bridge”



第 15 図 「マタディ橋」一般図 (単位: mm)
 Fig. 15 General arrangement of "Matadi Bridge" (unit : mm)

橋梁の管理組織である OEBK (Organization for Equipment of Banana-Kinshasa) によって定期的なメンテナンスが行われてきた。しかし、完成から 34 年が経過し、老朽化による橋梁の耐力低下、特に主ケーブル内部の腐食の進行が懸念されていた。このため、2012 年に主ケーブルの開放調査を行った結果、現状のままではケーブル内の相対湿度が素線への腐食に影響を与え、将来的に素線破断の危険性があると判断された。そこで、「コンゴ民主共和国マタディ橋保全計画」として、吊橋の長寿命化を目的とした補修工事が実施された。

本補修工事は日本の JICA (独立行政法人国際協力機構) の無償資金協力で実施され、工事内容は、① 主ケーブルおよびアンカレッジの送気乾燥システムの設置 ② 電力設備の更新 ③ ケーブルバンドボルトの再締付けおよびコーキング施工 ④ アンカレッジ躯体コンクリートのき裂補修 ⑤ 主ケーブルの再塗装、であった。

本工事の施主は OEBK で、施工管理を株式会社オリエンタルコンサルタンツグローバルと大日本コンサルタント株式会社の JV が行い、IIS は施工請負者としてこの工事に参画し、2016 年 1 月から 2017 年 3 月まで設備の調達および現地据付け工事を行った。

本稿では、実施した工事のなかから送気乾燥システムの設置について報告する。

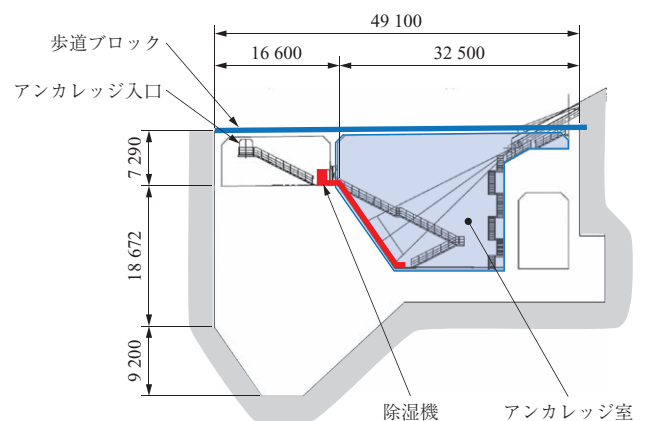
4.1 送気乾燥システムの設置

送気乾燥システムの目的は、乾燥空気を吸気口から送気し、主ケーブルまたはその定着部であるアンカレッジ室内全体の相対湿度を下げることによって、主ケーブル素線の

腐食の進行を防止することである。

アンカレッジ室内の設備は、室外機、除湿機およびダクトで構成されており、除湿した乾燥空気をダクトを通してアンカレッジ室最下部に送り込み、室内の下側から上部へ押し上げていく方法を採用した。第 16 図にアンカレッジ室内の設備配置図を示す。本システムの設置前にはアンカレッジの主ケーブルの貫通部、換気口および出入口を閉鎖し、躯体コンクリート表面のき裂を閉そくすることによって、アンカレッジ室内の気密性の向上を図った。本システムでは、腐食の進行を防止するために室内の相対湿度を 60% 以下で管理し、日々の点検でアンカレッジ室の下層部、中層部、上層部それぞれの相対湿度を計測、記録することにした。

主ケーブルについては、設備設置前に塗装 (増塗り) およびケーブルバンドのシールを行ってケーブル表面の気



第 16 図 アンカレッジ室内の設備配置図 (単位: mm)
 Fig. 16 Layout of dehumidification system in anchorage (unit : mm)

密性の向上を図った。本システムは、1P 側（南側アンカレッジ～1P 主塔～中央）と 2P 側（中央～2P 主塔～北側アンカレッジ）に分かれている。第 15 図に示すように乾燥空気は、1P と 2P それぞれの主塔下部水平材内部に設置された除湿機からパイプを通して主塔上部へ送られ、さらに、塔頂部の分岐管でそれぞれ中央径間および側径間へ送られている。パイプ内を送られてきた乾燥空気は、吸気ユニットから主ケーブル内部へ送気され、塔頂サドル部、アンカレッジ部、あるいは中央径間中央に設置された排気ユニットから排出される。主ケーブルの目標相対湿度はアンカレッジ室と同じく 60%以下とし、ケーブルバンドのシール耐力を考慮して送気圧力を 3.0 kPa 以下に設定した。相対湿度のデータ取得は、アンカレッジ手前および塔頂部両側に設置されたモニタリングユニットと中央径間中央部に設置された排気ユニットで行うことにした。

4.2 送気乾燥システムのモニタリング

本送気乾燥システムは、システムの始動、運転調整、相対湿度や温度などのデータ取得はマニュアルで行うことを前提として計画された。温度湿度計をもった OEBK スタッフによってアンカレッジ 12 か所、主ケーブル 14 か所の各計測箇所について毎日モニタリングが行われている。取得されたデータは現地でグラフ化され、1 週間分のデータが日本へ送られている。本システムの設置から約半年が経過したが、システムの効果は徐々に発揮されつつあり、日本へのデータ送信は各相対湿度の結果が安定したことが確認されるまで続けられる予定である。

5. 結 言

今後、供用開始から 30 年を経過する吊橋の数は国内外で増加していき、それに伴い長寿命化を目的とした大規模吊橋の補修工事も増加するものと思われる。

伸縮装置は橋梁の動きを吸収するために必要な部材であるが、損傷しやすくメンテナンスの面では欠点となる部材

であり、一般の橋梁においても極力継手を増やさないノージョイント化が橋梁の長寿命化対策の一つとされている。今回の「若戸大橋」の鋼床版連続化工事も、ノージョイント化を目的として実施されたものである。工事の結果、ゴム伸縮装置そのもののメンテナンスから解放されると同時に、補剛桁の腐食環境が改善された。また路面の平坦性も向上し、副次的に通行車両の走行性の改善や道路騒音の低減にも貢献しており、非常に有意義な改修工事であったといえる。

「第 1 ボスポラス橋」の大規模補修工事では、吊橋のハンガー形式を斜めハンガーから鉛直ハンガーへ取り替えるという世界的にも例のない工事を行ったが、技術的な問題を克服し無事に施工を終えることができた。斜めハンガーの吊橋は希少なため、今後斜めハンガーの取替え工事自体は計画されないかもしれないが、一般的な吊橋の鉛直ハンガーの取替えにおいても本工事の実績は非常に参考になると思われる。

主ケーブルは吊橋の生命線であり、主ケーブル自体を取り替えることはできない。したがって、吊橋の長寿命化を図るには、主ケーブルの耐久性を上げることが効果的である。「マタディ橋」の保全計画で導入した送気乾燥システムは、主ケーブルの腐食環境を改善する手段として非常に有効であり、新設橋、既設橋のどちらにでも適用できる。特に既設の吊橋で、長寿命化を目的とした同種の工事は今後増加すると予想され、間違いなくこの経験を役立てる機会も多くなるであろう。

— 謝 辞 —

本稿で紹介した工事の施工に当たっては北九州市道路公社、KGM、OEBK、JICA をはじめとした工事関係各位から多大なご協力をいただき、無事に完遂することができました。ここに記し、深く感謝いたします。