

## 橋梁管理に関する国際会議出席と欧州の長大橋調査に参加して

秋山 寿行<sup>1)</sup>

橋梁構造物の損傷・劣化の問題は、わが国のみならず世界的な問題となっている。これに対して、第2回目の橋梁管理に関する国際会議がイギリスのサリー大学で開催された。この国際会議に出席するとともに、イギリスでの歴史的橋梁の維持管理に関する現地調査、およびデンマークで現在建設中のグレートベルトリンクに用いられている最新技術について調査するという企画がなされ、筆者はこの調査団に参加する機会が与えられた。本文は、第2回橋梁管理に関する国際会議および欧州での橋梁の維持管理に関する現地調査の概要について報告するものである。

### まえがき

今日、橋梁構造物の損傷・劣化の問題は、土木技術者にとって重要な問題である。この損傷・劣化の問題はわが国のみならず世界的な問題であり、特に社会基盤の安定した欧米諸国においては、自然環境に加え自動車交通などわが国と同様に多くの問題を抱えている。これらの損傷・劣化の原因や発生機構の解明、既存橋梁の合理的維持管理手法の確立などについては、まだ試行錯誤の段階のようであり、今後の重要な課題となっている。

このような情勢下において、第2回橋梁管理に

関する国際会議がイギリスのサリー大学で開催されることになった。この国際会議に参加し、それを機に欧州の長大橋の維持管理を調査するという

表-1 旅程

月/日	都 市 名	訪問先・視察場所
平成5年 4/17 (土)	成 田 発 (パリ経由) ロンドン着	新東京国際空港出発 ロンドン到着
4/18 (日)	ロンドン発 ギルドフォード着	ロンドン市内の橋梁 移動
4/19 (月)	ギルドフォード	第2回橋梁管理国際会議 —第1日目—
4/20 (火)	ギルドフォード	第2回橋梁管理国際会議 —第2日目—
4/21 (水)	ギルドフォード発 バーミンガム着	第2回橋梁管理国際会議 —第3日目— 移動
4/22 (木)	バーミンガム発 エディンバラ着	IRON BRIDGE 移動
4/23 (金)	エディンバラ	FORTH RAILWAY BRIDGE FORTH ROAD BRIDGE
4/24 (土)	エディンバラ発 (ロンドン経由) コペンハーゲン着	移動
4/25 (日)	コペンハーゲン	自由行動
4/26 (月)	コペンハーゲン	GREAT BELT LINK
4/27 (火)	コペンハーゲン発 フランクフルト着	COWI consultant 移動
4/28 (水)	マインツ ザクトゴアハウゼン ケルン デュッセルドルフ	ライン川橋梁群 RHEINBRÜCKE KÖLN-RODENKIRCHEN
4/29 (木)	デュッセルドルフ発 (パリ経由)	帰国の途へ
4/30 (金)	成 田 着	帰国・解散



図-1 訪問地

1) 橋梁技術部技術課課長

企画のもとに調査団が結成され、筆者もこの調査団に参加する機会が与えられた。

調査の内容は、まず本国際会議に参加して橋梁の維持管理に関する多くの技術を得た。その後、イギリスの歴史的橋梁であるアイアンブリッジおよびフォース鉄道橋、また、比較的新しいフォース道路橋等の維持管理状況について現地調査を行った。次に、デンマークで現在建設中であるグレートベルトリンクの建設現場において長大橋の設計・製作・架設の最新技術についての調査を行った。そして、ドイツのケルンに入り、吊橋であるケルン・ローデンキルヘン橋の拡幅工事を視察した。これらの訪問地および旅程を図-1および表-1に示す。

調査団は大阪大学松井教授を団長とし、総勢22名であった。団員は建設業、鉄構業、設計コンサルタント、その他の幅広い分野から構成された。

ここでは今回の調査内容の概要について報告し、また、各訪問先での印象を述べる。

## 1. 第2回橋梁管理に関する国際会議

イギリスのロンドンの南西約45kmのギルドフォードにあるサリー大学(写真-1)において、第2回橋梁管理に関する国際会議(Second International Conference on Bridge Management)が、平成5年4月18日から21日の4日間にわたって開催された。ちなみに、第1回目の国際会議は平成2年3月に開催された。今回の国際会議の焦点は、実務経験をふまえた上での橋梁の保護方法や補修方法を提案することにより、新しい橋梁のライフサイクルコストを低減し、また、古い橋梁の余寿命を延ばすことにあった。会議は18日夜のレセプションから始まった。そして、19日からの3日間が論文発表および討議であり、その内容は既存橋梁の検査、管理、維持、補修の技術に関するものであった。参加者は日本からの30数名を含め、世

界各国から約350名ほどであった。

本論文集に掲載されている論文は世界21ヶ国からの105編である。その内訳はイギリスの47編、ドイツの10編、イタリアの9編、アメリカの7編、日本の6編、その他の国の各1ないし3編である。その内の94編が本会議の16のセッションにおいて発表された。その内容は、鋼橋およびコンクリート橋の上部構造や下部構造など多岐にわたっており、研究的な論文よりもむしろ現場における対策事例など実務レベルの論文が多いようであった。また、発表者は官公庁や大学、民間など多方面にわたっていた。本調査団の団員のうち、松井教授が「斜張橋のセメントグラウトされたケーブルの腐食再現に関する環境試験」を、武藤氏〔(株)酒井鉄工所〕が「道路橋の劣化した鉄筋コンクリート床版の評価」を発表された(写真-2)。

発表はOHPやスライドを用いて行われたが、各自持ち時間内におさめており、非常にスマートであった。OHPやスライドについてもカラフルであり、印象に残り易いものであった。また、漫画のようなイラスト(重量車に大きなじゃが芋を1個積んでいる絵)も描かれており、ユーモアが見られた。発表後の討議も白熱したものであったが、ただ残念なことは、日本人の発表に対する質疑がなぜか相対的に少なく思われたことである。一方、ポスターセッションでも多くの参加者が集まり、質疑応答も非常に熱心に行われていた。全般的にコンクリート関係の補修・補強に関するものが多く、メタル関係のものは少なかった。

今回の国際会議に参加し活発な討議を見て、橋梁の維持管理に関する研究・技術開発が世界各国の多方面で行われていることや、技術者の関心が高いということがわかった。現在、日本でもこの研究・技術開発が各分野で行われているが、橋梁の維持管理が今後においても重要な課題であり、研究・技術開発をさらに推し進めていく必要があるということ強く感じた。



写真-1 サリー大学の構内



写真-2 国際会議の情景

## 2. アイアンブリッジ

世界最古の鉄橋の維持管理という見地からアイアンブリッジの現地調査を行った(写真-3)。アイアンブリッジは、イギリスのセバーン河上流のコールブルックデール(本橋を建設した会社名でもある)にあり、1777年に着工され1781年に完成した鑄鉄製の橋である。そして、産業革命のシンボルとして200年以上も前に建設された、世界初の「鉄の橋」として世界的に有名な橋でもある。

本橋は支間長約31m、5主構のアーチ橋であり、使用された鑄鉄の重量は約380tonである。部材の組立はリベットやボルトを用いず、はめ込み式でクサビで固定されている。現在では、補強のために一部でボルトが用いられている(写真-4、5)。

アイアンブリッジは、地滑りや地盤沈下など極めて難しい地盤条件の位置に建設されている。そのため、地盤不安定による影響を受け、完成以後、補修・補強を繰り返してきている。19世紀初めに補修が行われ、1900年代にはブレースや補強材が設けられ、橋がさらに老化するのを防止する対策が講じられている。その後もいくつかの補修工事が行われており(写真-6)、建設200年祭を間近にひかえた1973年には、兩岸の橋台を水平地中梁で繋ぐ大規模な補修工事が行われている。このよ



写真-3 アイアンブリッジ

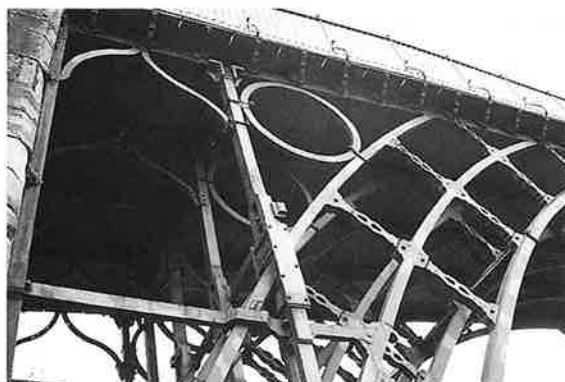


写真-4 アーチリブ(上方部)

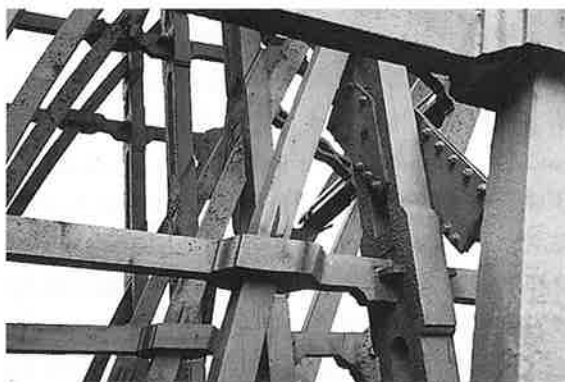


写真-5 アーチリブ(下方部)



写真-6 アーチリブ支点部



写真-7 高欄の模様(支間中央部)

うにアイアンブリッジの歴史は、維持補修の歴史ともいえるであろう。1934年に本橋は国の記念物に指定されている。それと同時に、車両の通行が禁止され、歩行者のみの交通となっている。現在は、サロップ州によって大切に管理されている。

本橋は鉄製の部材の組み込みであり、高欄も鉄製でその模様が芸術的である(写真-7)。まさに橋全体がアイアンレース(鉄の編み物)であり、非常にきれいである。そして、のどかなセバーン峡谷の風景に溶け込んで、美しい景観を作っていると思った。

近くにはアイアンブリッジの博物館があり、産業革命から現在までのイギリスにおける鉄製品や、アイアンブリッジを始めとする鉄製橋梁の資料が展示されていた。また、アイアンブリッジをかた

どったマークが、路上のごみ箱や公衆トイレの壁など町の至る所に描かれていた。このことから、アイアンブリッジがその地域のシンボルとして、いかに大切にされているかがうかがえた。

### 3. フォース鉄道橋, フォース道路橋

鉄道橋では世界で最大かつ最古のフォース鉄道橋, それから吊橋のフォース道路橋の維持管理のようすを現地調査した。これらの橋は、イギリスのエディンバラ郊外のフォース入り江にあって、隣り合うように架けられている。(写真-8)。



写真-8 フォース橋  
(手前側：鉄道橋, 向こう側：道路橋)

#### (1) フォース鉄道橋

今から100年ほど前の1890年に建設されたフォース鉄道橋(複線)は、パイプ構造のキャンチレバートラス橋である。主径間長は521mあり、同形式の主径間長としては、カナダのケベック橋(549m)に次いで世界2位である。また、キャンチレバートラスの全長は1,630mあり、建設後すでに1世紀を過ぎて、今なお同形式では世界一の規模を誇っている(写真-9)。

4月22日の夕方、本調査団はMcBeth氏(Ken-chington Ford plc)よりフォース鉄道橋の歴史についての講演を受けた。その中で感心したのは、



写真-9 フォース鉄道橋

パイプ部材を製作するための機械や設備が開発され、その結果、製作が効率よく進められたということである。フォース鉄道橋の建設において、機械屋の貢献度も特筆すべきことだと思われた。

翌23日朝、本橋の現場を訪れた。この日は今行程中で唯一雨の日であった。クイーンズフェリー側にあるフォース橋事務所において注意事項の説明の後、Weir氏(ScotRail, Forth & Tay Assistant)の案内により、軌道のすぐ横の歩廊を歩いて視察した。

アプローチ部のトラス高架橋では、チーク材の笠木が付いた高欄が歩廊に設置されている。この笠木は、橋軸方向移動作業足場の移動用レールとしても使われている(写真-10)。現在、この高欄について新しい構造を検討中ということである。視察の最中に列車が頻繁に通過した。通過の際、振動はあるが、それほど大きなものではなかった。

主橋については、橋体が非常に大きく、各種部材が複雑にからみあっていた。また、格点部における各部材の連結構造は複雑であり、維持管理の面で望ましいとは思えなかった(写真-11, 12)。部材の表面は、塗膜が傷んでいる箇所が多くあり、特に、多くの部材が集まっている格点部では塗膜がはげ落ちて、腐食が進んでいるようであった。

本橋の維持管理は、年間約100万ポンドの費用がかかるということである。維持管理スタッフは

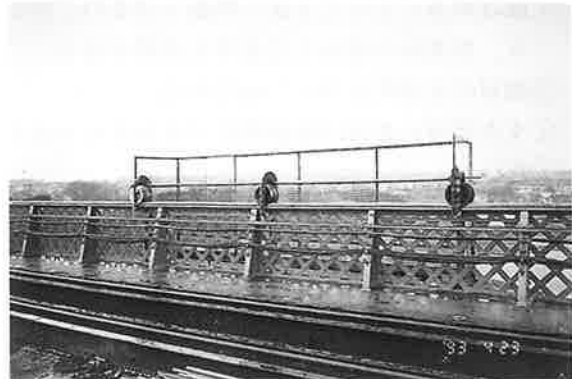


写真-10 トラス高架橋の高欄



写真-11 フォース鉄道橋の内部



写真-12 格点部

40数名おり、そのうちの25名の作業員によって塗装塗り替えが行われている。塗り替えの1サイクルは14年間であり、1サイクルが終わると同時に次のサイクルに移るということである。現在は、クイーンズフェリー側の支点塔部横の斜材の塗り替えが行われていた（写真-13）。

主橋の各支点塔部には、作業員のための休憩所が設置されている。休憩所の内部はこごっぱりしており、台所や水洗式トイレの設備が備わっている（写真-14）。

視察の後、質疑応答が行われ、Weir氏の回答の主な内容は以下のとおりであった。

- ①疲労による被害は見られず、そのための補修・補強をした箇所はない。
- ②風のために列車を止めたということはない。  
風は列車にとってあまり問題ではない。むしろ、作業員の安全上注意する必要がある。
- ③鋼材のさび代は5～7mmである。
- ④支点塔部の基部は最高潮位でも海水をかぶらない。

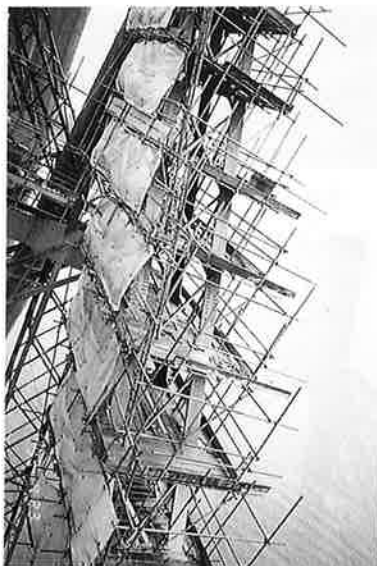


写真-13 塗装塗り替え



写真-14 作業員の休憩所（支点塔部）

⑤塩害の影響は少ない。しかし、支点塔部の海面に近い基部においては、波しぶきがかかることによる塩害の影響がある。

⑥建設当時は維持管理面で何もしていなかった。それでも、あまり損傷はなかった。

など

本橋は建設後100年経って部分的にリベットを取り替えており、その100年間使用したリベットを見せてもらった。リベットの表面は錆びてはいるが、損傷はそれほど見られず、とても100年以上も経っているものとは思えなかった。本橋には現在毎日200本もの列車が通っており、100年以上も前に建設された鉄道橋が今なお現役で活躍していることに感動した。

## （2）フォース道路橋

フォース道路橋の吊橋部は中央径間1,006m、全長1,823mの3径間2ヒンジ補剛トラス吊橋（1964年完成）である（図-2）。フォース道路橋を隣のフォース鉄道橋から見て、プロポーシヨンのきれいな吊橋だと感じた。

本調査団はフォース鉄道橋視察の後、フォース道路橋の視察に向かった。まず、管理事務所を訪問し、そこで本橋の現状と維持管理についての説明を受けた。それによると、自動車荷重の増大や交通量の増加のため、設計活荷重を大きくし、主塔を補強することである。その他に疲労の問題について、鋼床版のU形トラフリブとクロスビームとの交差部で疲労クラックが発生し、溶接補修を行っていることや、アスファルトの疲労損傷などの報告があった。

維持管理についての説明や質疑応答が、つぎのようであった。

- ①塗装塗り替えサイクルは8年に1回である。
- ②アスファルトは薄くても防水効果が期待できるものを使用している（舗装厚38mm）。

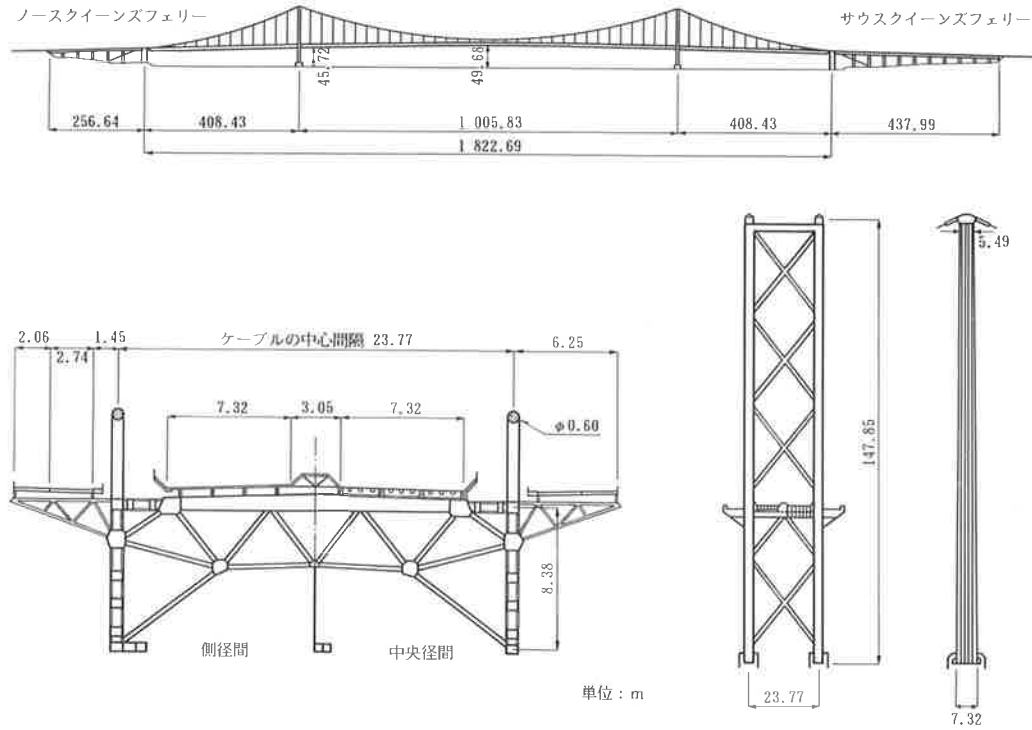


図-2 フォース道路橋一般図

- ③春から秋にかけて渡り鳥が2,000羽ほど飛来する。この鳥害対策として、音を出す機械を3週間ほど使用している。
- ④高力ボルトはカドミュウムのコーティングを施している。
- ⑤塩害については、3年ごとに水洗いを行っており、問題はない。
- ⑥風による影響は、構造物に対しては特にない。むしろ、交通に対する影響があり、風速110マイル/時になると交通規制を行う。
- ⑦維持管理について本橋特有の項目はなく、一般的なことしか行っていない。

管理事務所での説明の後、主ケーブルの外側に張り出した歩道を通して本橋の視察を行った。構造面で意外であったのは、主横トラスにおいて下弦材がないことや、下横構を上から吊材で支えて

いることである(写真-15)。細部において特に目立ったのは、排水柵が路面から張り出しており、構造がシンプルであったことである(写真-16)。

橋面からの視察の後、アンカレイジを見学した。一般的に、アンカレイジはコンクリートの打ちっぱなしが多いようであるが、このアンカレイジの表面はタイル貼りのようであり、美観的配慮が感じられた(写真-17)。アンカレイジの中に入って、スプレーサドルを見たが、一本の柱という単純な構造であり、意外な感じがした(写真-18)。

今回の視察で、100年以上の風雪に耐えて重厚な感じのフォース鉄道橋と比較的新しくスレンダーなフォース道路橋の新旧の橋梁を同時に見ることができ、非常に感動した。また、長大橋の歴史をかいま見るようであった。



写真-15 下横構



写真-16 上面の様子

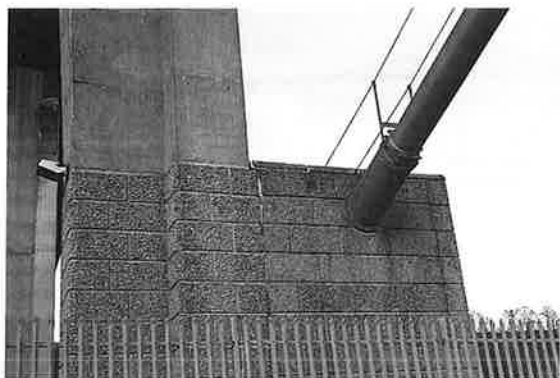


写真-17 アンカレイジ



写真-18 スプレーサドル

#### 4. グレートベルトリンク

イギリスからデンマークへ移動し、グレートベルトリンクの建設現場を視察した。

グレートベルトリンク (Great Belt Link : 大海峡連絡道) は、首都コペンハーゲンがあるシェラン島と対岸のフン島とを結ぶ全長17.5kmの海峡横断連絡路である (図-3, 写真-19)。この事業はデンマークの国家的ビッグプロジェクトの1つであり、現在急ピッチで進められている。連絡路の西部分はフン島とスプロウ島を結んで西橋と呼ばれ、PC箱桁の道路と鉄道の並列橋である。一方、東部分はスプロウ島とシェラン島を結んでおり、PC箱桁橋と吊橋からなる道路用の東橋と、鉄道用の海底トンネル (全長8 km) に分かれている。現在、西部分の工事はすでに最終段階に入っており、東部分も1997年には完成する見通しである。

これまでの海峡横断の所要時間はフェリーで1時間であるが、このプロジェクトが完成すれば自動車ですら15分に、鉄道で7分に短縮される。そして、フン島はすでにユトランド半島と橋で結ばれて

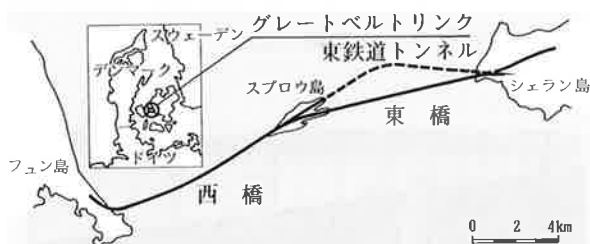


図-3 グレートベルトリンクの位置



写真-19 グレートベルトリンク (予想図)

おり、コペンハーゲンと欧州大陸が陸路で結ばれることになる。

##### (1) 東橋

東橋は中央径間1,624m、全長2,694mの3径間連続吊橋とその両側のPC箱桁橋で構成され、全長6,790mである (写真-20)。

吊橋の補剛桁は鋼箱桁で、耐風安定性を考慮した偏平な形状 (幅31m×高さ4m) を採用している。補剛桁の内面は無塗装とし、空調システムによって桁内部の除湿を行うものとしている。また、補剛桁の橋軸方向移動を制御するために、アンカーブロックと補剛桁との間に緩衝工を設置することになっている。これにより、補剛桁全体の剛性や安定性を改善し、維持費を抑えることにしている。

主ケーブルは2面で、直径82cmである。そして、1本あたりの強度は600MN (61,000tf) である。主塔はコンクリート製の中空矩形断面で、高さは海上254mである。そして、下方の海面近くは、400MN (41,000tf) の衝撃にも耐える重補強の厚壁構造となっている。主塔基礎のコンクリート製ケーソンは幅35m×長さ78m×高さ20mで、重さが30,000tonである。また、吊橋の中央径間は国際航路を跨いでおり、年間約2万隻の船が航行し

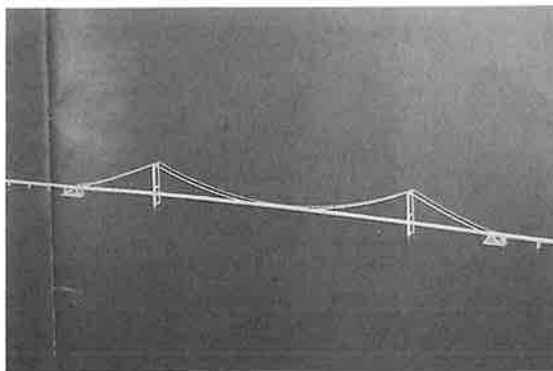


写真-20 東橋の吊橋 (予想図)



写真-21 東橋の吊橋（模型）

ている。そのため、ケーブルアンカーブロックは船舶操縦者の視界を妨げないように、トラス組みのような形状とし、軽快なイメージとなっている（写真-21）。

我々調査団はシェラン島にあるドライドックを訪問した。そこでは主塔、ケーブルアンカーブロック、アプローチ橋の脚などのケーソンブロックの製作が行われていた。主塔のケーソンは製作が終わり、1基はすでに曳航され、残る1基は曳航を待っている状態であった（写真-22、23）。

本橋の吊橋が完成すると、世界最長の吊橋ということになる。しかし、「完成した時点では世界一であるが、しばらくするとこれよりも300mも長い吊橋（明石海峡大橋）が誕生し、世界一でな

くなる」と、現場技術者が残念そうに語っていた。短い期間でもよいから世界一の記録を残したいという意気込みが感じられた。

## （2）西橋

本橋は10ないし11径間連続PC箱桁橋の6連で、全長6,611mである（写真-24）。そして、道路と鉄道の並列橋で、ケーソン基礎は両者一体構造となっている。

本工事の特徴は、コンクリートブロック製作ヤードにおいてケーソン基礎、橋脚、主桁の全てを製作し、これら全324個の大ブロックを大型クレーン船（スワン号）によって架設することである（写真-25、26）。このような大規模な施工は世界最大のものである。



写真-24 西橋



写真-22 ドライドック



写真-25 コンクリートブロック製作ヤード



写真-23 主塔基礎のケーソン



写真-26 大型クレーン船スワン号（模型）



我々調査団はシェラン島～フュン島間のフェリーから建設現場を見学し、フュン島にあるコンクリートブロックの製作ヤードを訪問した。その時は、63径間のうち57径間の桁架設が完了していた。また、製作ヤードではケーソン基礎1基と残りのPC桁ブロックの製作中であり、最終段階であった。

### 5. ケルン・ローデンキルヘン橋

デンマークからドイツに入り、フランクフルトを經由してケルンに行った。そこでケルン・ローデンキルヘン橋の拡幅工事を視察した。

本橋は中央径間378m、全長567mの吊橋で、ケルン大聖堂を臨んでライン河に架けられている(写真-27)。1940年の完成であるが、第2次世界大戦時に主塔のみを残して破壊され、戦後復旧されて今日に至っている。そして、近年の交通量の増加に伴い、車線の拡幅工事が必要とされた。

拡幅工事の内容は、吊構造部に関しては現在の吊構造に新規の吊構造を連結して一体化するものである。主塔に関しては現在の2本柱のラーメンに柱と梁を追加し、3本柱のラーメンにする。そして、ケーブルは2面から3面にするものである(図-4、写真-28)。このような例は日本では見られなかったと思われる。

本工事の概略手順は次のとおりである。

- ①現存のアンカレイジ、橋台、橋脚の拡幅
- ②新しい塔柱および塔頂水平梁の架設
- ③新ケーブルの架設
- ④新ケーブルを利用して、拡幅部の主桁、横桁、鋼床版の架設
- ⑤現橋のRC床版を鋼床版に交換
- ⑥新横桁を現橋の主桁に剛結
- ⑦新ケーブルの張力調整



写真-27 ケルン・ローデンキルヘン橋



写真-28 主塔 (左側：拡幅部、右側：現橋部)



写真-29 鋼床版 (拡幅部)

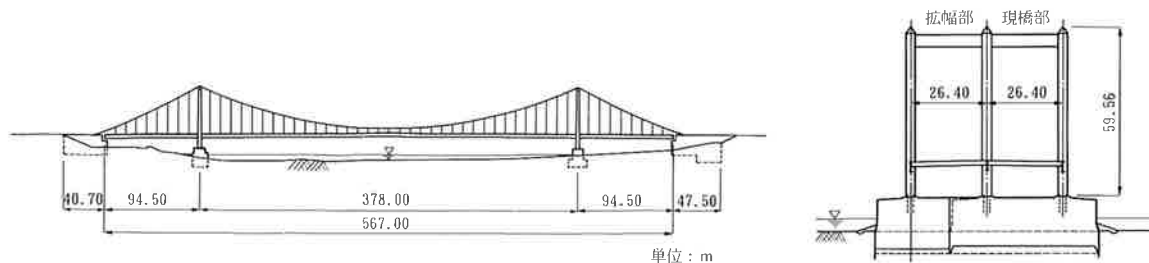


図-4 ケルン・ローデンキルヘン橋一般図

この拡幅工事では、工事期間中も自動車交通を通しながら、なおかつ既設構造物に応力超過が発生しないようにしている。そのため、次のような手順で各施工段階毎に交通規制を行いながら、新横桁を接合している(図-5)。

- ①現橋の車線幅を制限し、拡幅部の桁を架設して新横桁を現橋のB主桁にピン結合
- ②車線を拡幅部に移動し、現橋のRC床版を鋼床版に交換
- ③車線を拡幅部2線および現橋改造部2線とし、新横桁をB主桁に剛結

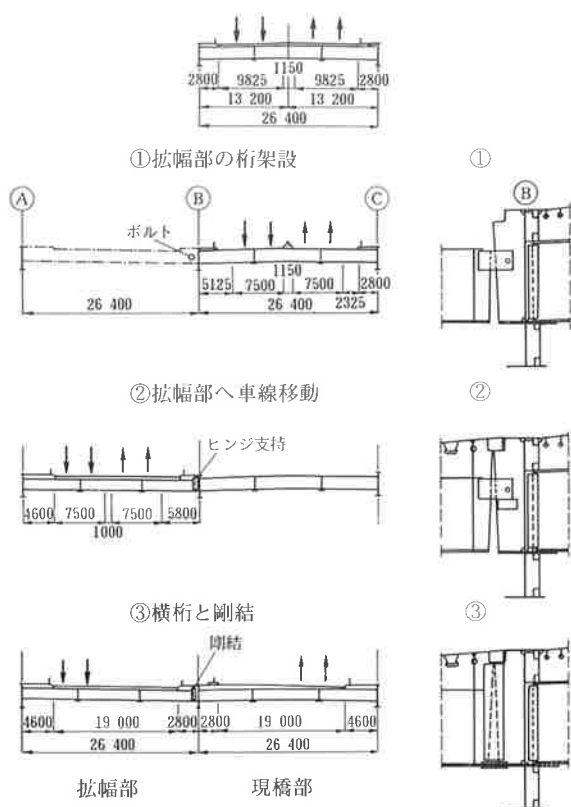


図-5 新横桁の接合手順

視察時の現場の状況は、拡幅部の桁架設が完了し、鋼床版の現場溶接の段階であった(写真-29)。ここで意外であったのは、自動車の通行止めをすることなく、鋼床版の現場溶接を行うということである。現場責任者も「自動車を通しながら現場溶接を行っても大丈夫である」と自信を持って話していた。

また、現場の作業員を見て驚いたことがある。それは上半身が裸であったり、ヘルメットをかぶっていなかったり、また、現場責任者でさえも半ズボン姿であったりということである。安全面や技術面で、日本の技術者との感覚の違いを強く感じた。

## あとがき

今回の視察で、国際会議に出席し活発な討議を聞き、橋梁の維持管理に関する研究の状況および動向を知った。このことは今後の業務に大いに役立つものと思われる。また、現場視察では、世界最古の鉄の橋から現代の技術の粋を集めた長大橋の建設や拡幅工事まで多種多様の橋を調査し、まさに橋の歴史を見てきたような気がする。特に感動したことは、歴史的かつ世界的に著名なアイアンブリッジやフォース鉄道橋を目の当たりにし、実際に歩いて渡ったことである。また、人々が補修・補強を繰り返すなど先人の遺産をいかに大切に保存しようとしているかにも深い感銘を覚えた。

日本においても、橋梁の建設が多く行われている一方で、既存橋梁の老朽化が進んでいる。そのため、橋梁の維持補修の技術開発が行われているが、世界各国における橋梁の維持補修の実例や研究は非常に参考になるものと思われる。

この二週間のうち半日だけ雨が降ったが、それ以外は天候にも恵まれた。大きなトラブルもなく、全員が無事帰国できたことはなによりであった。また、訪問先での技術者との意見交換や団員どうしの交流により、視野を広めることができた。

最後に大変お世話になった松井教授をはじめ、団員および外国の訪問先の皆様に感謝致します。そして、このように大変有意義な視察に参加させて頂いたことを関係者の皆様や職場の皆様に感謝致します。