

「オードボン橋」(ルイジアナ州)の製作・輸送工事

Fabrication and Transportation for “Audubon Bridge” (Louisiana) Project

中 島 洋 一 株式会社 IHI インフラシステム 技術本部プロジェクト部 主査

オードボン橋は、ルイジアナ州を流れるミシシッピ川に建設中の橋梁であり、完成すれば北米一の長さを誇る斜張橋となる。当社は、アメリカ元請企業体より発注された鋼製桁、コンクリートタワー内のアンカーボックスおよび付属品の製作・輸送工事を受注し、現地へ納入した。アメリカ向け輸出橋梁の製作は、厳しい品質検査と提出書類の多さが特徴的であるが、厳しい品質要求を満足した製品を愛知工場で作成することができた。

The Audubon Bridge, which spans the Mississippi River that flows through the State of Louisiana, will become the longest cable-stayed bridge in North America upon completion. The American main contractor of the bridge project has placed an order with IHI to fabricate and transport steel girders, anchor boxes for the concrete tower, and accessories. Fabrication of bridge components had required the quality based on the strict inspection together with a volume of proof papers. IHI has successfully completed the fabrication order at its Aichi Works, meeting the strict quality requirements.

1. 緒 言

オードボン橋は、ルイジアナ州の 1 号線と 10 号線を結ぶ新設道路の一部をなし、ミシシッピ川をまたぐ橋梁として計画され、現在架設中である。

橋梁形式は、中央径間 482 m の斜張橋、主塔が鉄筋コンクリート製、主桁が鋼製で構成される。完成すれば北米で一番中央径間の長い斜張橋となる。

本橋は、ルイジアナ州交通局が発注元であり、Flatiron, Granite, Persons JV (JV 名 = Audubon Bridge Constructors : 以下、ABC と呼ぶ) が工事全体を受注し、当社は、主塔内のアンカーボックス (以下、A/B と呼ぶ) および鋼桁の製作・輸送を ABC より受注した。

本稿では、当社の担当した A/B、鋼桁の製作・輸送工事全般について報告する。

第 1 図に、「オードボン橋」完成予想図を示す。



第 1 図 「オードボン橋」完成予想図
Fig. 1 An image of the completed “Audubon Bridge”

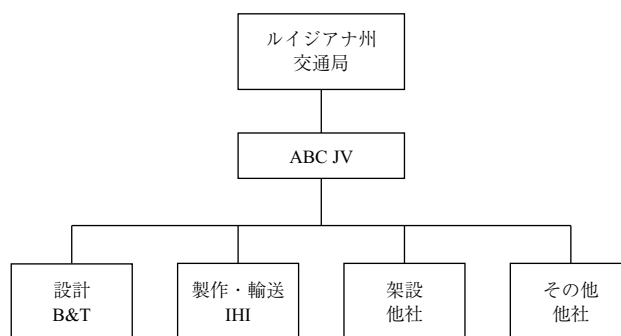
2. 工事概要

2.1 発注形態

本橋梁は、ルイジアナ州初のデザインビルドプロジェクトとして ABC へ発注された。デザインビルドとは、請負者に、設計・建設の両方の責任を負わせるプロジェクトである。この発注形態では、請負者は、コストを下げるための方策を設計段階より行えるため、従来の設計と建設工事を別々に発注する形態に比べ、建設コストの削減と工期短縮が期待できるメリットがある。本橋梁の設計は、ABC よりカナダのコンサルタント、Backland & Taylor 社 (以下、B&T と呼ぶ) に発注され、A/B、鋼桁の製作・輸送が当社へ発注された。

第 2 図に、オードボン橋梁工事契約体系図を示す。

当社と ABC 間の契約の概要は以下のとおりである。



第 2 図 オードボン橋梁工事契約体系図
Fig. 2 Chart of relationship between contractors

客 先	ルイジアナ州交通局
元 請	ABC JV (JV 構 成 会 社 : Flatiron, Granite, Persons)
契約範囲	A/B, 鋼桁の製作, 輸送
引渡条件	CIF Job Site (運賃保険料込みで現地渡し)
契約方式	Lump Sum (工事一式契約)
工 程	第 1 表に, 工程表を示す.

2.2 設 計

設計図面, および特記仕様書の作成は B&T が行い, ルイジアナ州が承認する方式で整理された. 当社は, ABC の作成する建設用図面の作成段階において, 製作・輸送の観点よりブロック割, 詳細構造, 製作許容値, 仮組立の管理方法について, B&T, ABC と協議を行った. 協議の結果は, 図面, 特記仕様書に反映され, 最終的にはルイジアナ州交通局で承認された.

本橋梁の諸元は以下のとおりである.

主 塔 高	152.4 m (コンクリート製)
支 間 長	195.5 m + 482.5 m + 195.5 m (鋼製)
幅 員	22 m
鋼 材 質	AASHTO M270 Gr50 耐候性鋼板

第 3 図に, オードボン橋梁一般図を示す.

2.3 施工範囲

本橋梁における当社の施工範囲は, 以下のとおりである.

- (1) A/B の製作・輸送 : 219 t
- (2) 鋼桁の製作・輸送 : 4 231 t
- (3) 検査車レールの製作・輸送 : 125 t
- (4) ウインドフェアリングの製作・輸送 : 114 t
- (5) ハイテンションボルトの購入・輸送 : 50 t

これらの作業は, アメリカの鉄構協会 (AISC) の認定工場である愛知工場で行った.

2.4 承認提出書類

以下に承認に提出した書類を列記する. 承認は, ジ・エンジニアが行う.

- (1) ショップドローイング (製作図) (以下, S/D)
- (2) ファブリケーションプロシージャ (製作要領書) (以下, F/P)
- (3) クオリティコントロールプラン (品質管理要領書) (以下, QCP)
- (4) ウェルディングプロシージャスペシフィケーション (溶接施工管理要領書) (以下, WPS)
- (5) プロシージャクオリフィケーションレコード (溶接施工試験記録) (以下, PQR)
- (6) シッピングプロシージャ (輸送要領書) (以下, S/P)

第 4 図に, アンカーボックス (A/B) を示す. 第 5 図に, 鋼桁を示す.

2.4.1 S/D

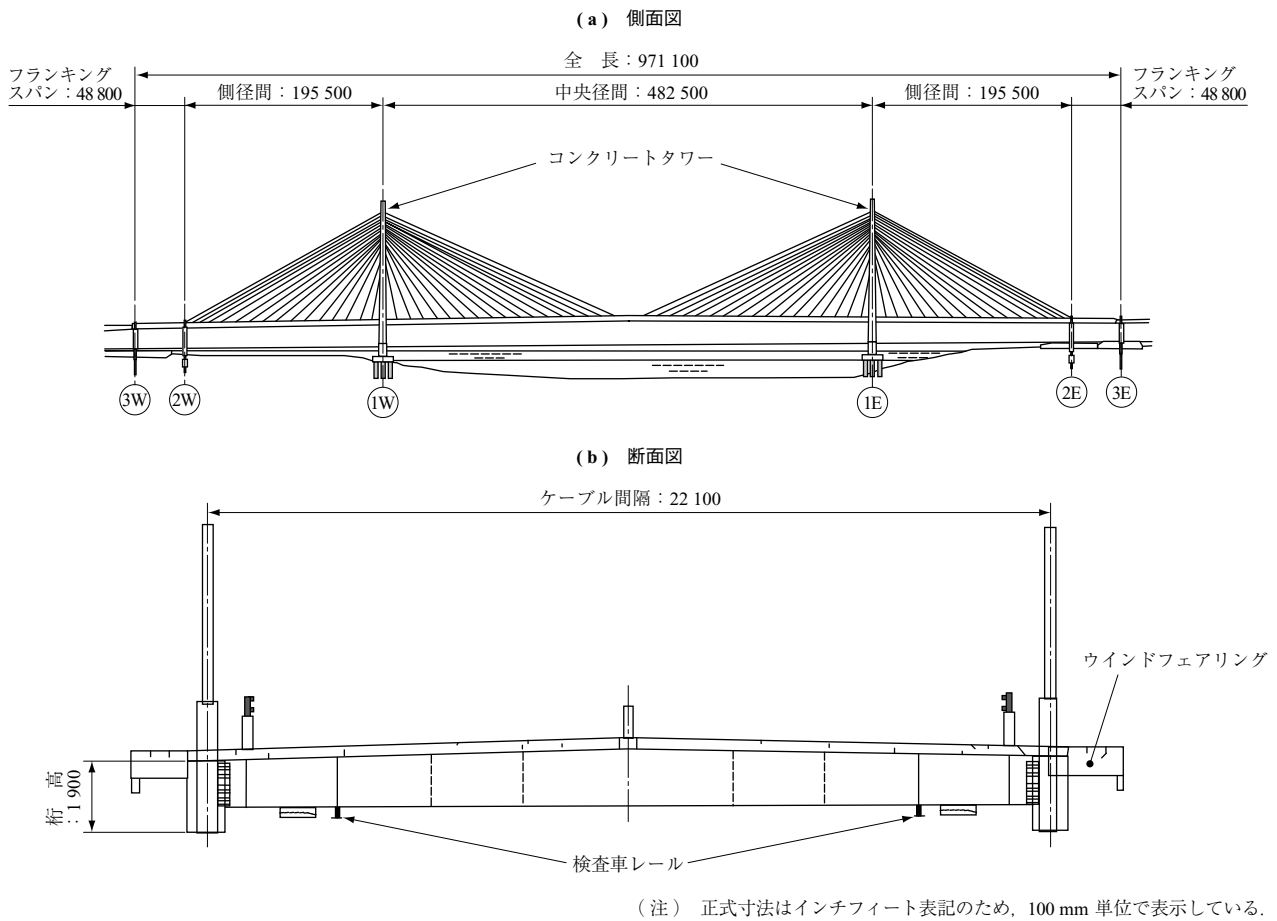
アメリカのプロジェクトでは, 日本の工事における詳細設計図面と原寸を合せたような S/D の承認が要求される. これは, アメリカ独特のシステムであるが, 鋼橋の製作工場は, 発注者から支給される建設用図面から S/D を作成するルールになっている. アメリカにはこれを専門に手がけるディテラと呼ばれる職種の技術者達があり, 当社も従来はディテラに作図, 承認行為を発注していた. 本工事においては, 過去の経験および承認者が ABC 指揮下の B&T であることから, 作図前に国内でサンプル S/D を作成し, B&T に提示して, 協議を行い国内での作図とした. これによって, 作図費を削減することができた.

2.4.2 F/P

F/P とは, 製作要領書である. 鋼材の入荷から始まり, 切断方法, 部材の取付方法, 溶接方法などを示すものであ

第 1 表 工程表
Table 1 Work schedule

項 目	年 月	2007 (H19)												2008 (H20)												2009 (H21)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	2	4	6	8	10	12										
A/B	S/D																																								
	材料調達																																								
	製 作																																								
	輸 送																																								
主 桁	S/D																																								
	材料調達																																								
	製 作																																								
	輸 送																																								



第3図 オードボン橋梁一般図(単位: mm)
Fig. 3 General view of the Audubon Bridge (unit : mm)



(注) コンクリートタワー内のケーブル定着点となる。

第4図 アンカーボックス(A/B)
Fig. 4 Anchor box (A/B)

る。本工事においては、書類の簡略化と、製作側の自由代を多く取る目的で、F/P は製作フローを図化したものとして承認提出することとした。



第5図 鋼桁
Fig. 5 Steel girders

製作側の意見は、すでに特記仕様書の策定に当たり議論済であったことから、F/P の承認取得は容易に進められた。

2.4.3 QCP

QCP とは、品質管理要領書のことである。特に客先にとって関心事の一つは、工事のトレーサビリティである。製作終了後の部材から工程をさかのぼり入荷した鋼板にたどり着くまで、どのように管理されていたかを示せるよう

な品質記録が要求された。ABC は、トレーサビリティ管理を発注者であるルイジアナ州交通局に示すことで、すべての工程において正しく作業がなされたことを証明できる。

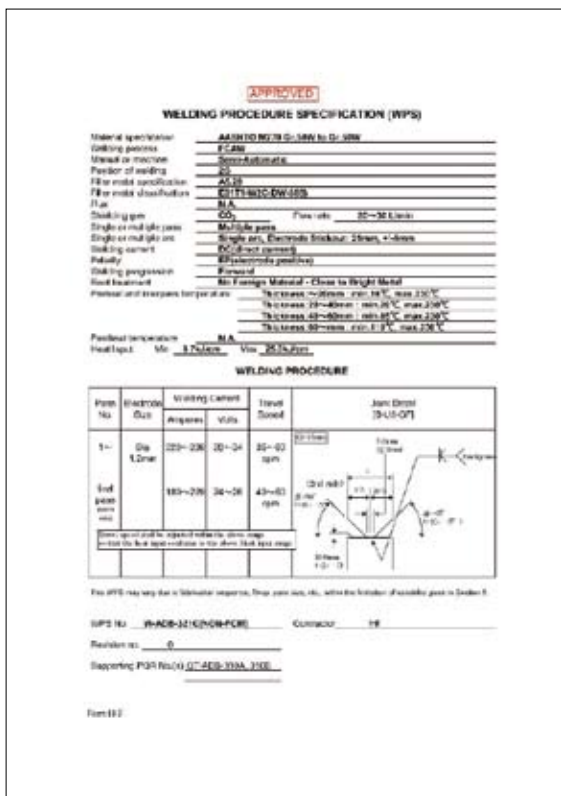
2.4.4 WPS, PQR

WPS と QCP はアメリカの溶接規格 AWS D1.5 (Bridge Welding Code) に則って作成、承認を受けた。AWS D1.5 であらかじめ認められている溶接方法においては、使用する継手番号を WPS に明記し、それ以外の溶接継手においては、溶接施工試験を行い PQR を作成、承認を得て初めて WPS に記載することができる仕組みになっている。

なお、S/D において、各溶接部に適用させる WPS を明記させる必要があることから、S/D 作成と同時に WPS を完成させることが要求される。第 6 図に、WPS サンプルを示す。

2.4.5 S/P

S/P とは、輸送計画書である。本プロジェクトで使用されている耐候性鋼材に塩分が付着すると、期待されている安定錆の生成が妨げられ、鋼材の腐食が進むという特性をもつ。よって、輸送中に塩分が付かない方法で現地まで搬入するか、輸送中の塩分の付着を許し、現地で付着した塩分を除去するかのどちらかを行う必要がある。本プロジェクトにおいては、塩分を付着させない方法を選択し、船腹内に格納し輸送した。



第 6 図 WPS サンプル
Fig. 6 WPS sample

2.5 製作

本橋梁の側径間端部は、フランキングスパンと呼ばれる(第 3 図 オードボン橋梁一般図の 2W-3W, 2E-3E 間)、FCM (フラクチュア・クリティカル・メンバ) と定義された。また、ケーブル定着部の上フランジとの付け根部分の溶接部(第 7 図)は FCM と同じ溶接管理をすることが求められた。

FCM とは、この部材が破壊されることによって橋梁全体が破壊に至る部材に適用される規定であり、一般部より厳しい基準が設けられている。

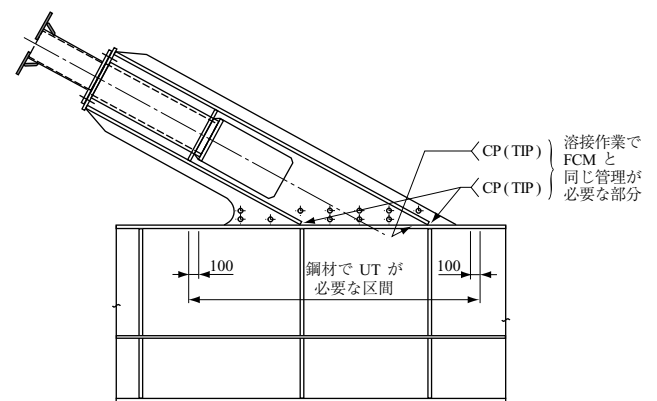
2.5.1 鋼材手配

鋼板は、AASHTO (ASTM) 規格の耐候性鋼材を JFE スチール株式会社でロールした。図面表記がインチ表記であったため、ロール厚は 0.1 mm 単位で行い、ミルシートも 0.1 mm 単位まで記載した。FCM 部材については、AASHTO 規格に従いシャルピー値(衝撃試験の要求値)を厳しく設定した。また、ケーブル定着部の付け根にあたる上フランジは、鋼材の状態 UT (超音波探傷試験)を行い有害な欠陥のないことを確認した。

型鋼については日本で製造されていないためアメリカからの輸入とした。検査については、鋼板はミルメーカーで、型鋼は愛知工場内で行った。

2.5.2 原寸作業

アメリカの工事には、原寸作業という概念が存在しない。S/D が、すべての工事情報の基になる。よって、本プロジェクトのような国内製作を行う場合も、客先に原寸作業の意義を説明しても、理解が得られない。一方、工場側に立ってみれば、原寸作業なしで、S/D を基に作業を行うことは、既存工場システムからの逸脱であり、能率の低下、ミスの誘発へつながる懸念がある。客先承認用に S/D を作成し、工場製作用に原寸を行うというスタイ



第 7 図 ケーブル定着点 (単位: mm)
Fig. 7 Deck anchorage (unit: mm)

ルが、今まで取られている方法であったが、本プロジェクトでは、客先から支給された建設用図面を基に原寸を行い、原寸で作成したデータを S/D に反映するという方法を用いた。この作業の順番の入れ替えによって、工場は従来のシステムをそのまま使うことができ、工場のデータは S/D と整合性の取れたものとなった。

2.5.3 内業

工場建屋内（内業）で、切断、加工、取付け、溶接までを行い、ほぼ輸送時の姿にまで完成させる。内業で行った品質管理項目は、以下のとおりである。

(1) 切断

切断前に、鋼板の刻印をカッティングプランシートに擦り取り、どの切断ピースがどの鋼板から切断されたか分かるようにした。この作業によって、一枚一枚のピースは、ミルシートと整合させることができるようになり、鋼材不良に起因する不適合品が発生した場合、ミルにまでさかのぼることができる。

(2) 取付け、溶接

この作業に従事するには、AWS D1.5 に規定されている溶接技量試験に合格することが求められる。技量試験に合格した作業者の安全帽には資格者番号を貼り、現場で有資格者のみが作業をしていることが容易に確認できるようにした。FCM の溶接を行う技能者は、一般の技能試験が溶接後の曲げ試験だけで合格するのに対し、RT（放射線透過試験）による非破壊検査が追加が必要であった。

溶接のトレーサビリティ管理には、ウェルディングチェックシートを作成し、いつ誰が溶接したか記録する仕組みにした。シート自体には名前を入れるのではなく、溶接資格者の番号を記入し、作業の品質記録とした。また、溶接前の部材温度も同じシートに書き加え予熱の要、不要の別、予熱を行った場合は、予熱後の温度記録を残した。

使用する溶接機材についても、点検済みのステッカーを貼り、機材台帳で点検の履歴が分かるようにした。

この作業によって、溶接部から発生した不適合が生じた場合、誰がどんな機械でどのような作業条件で溶接したかまでさかのぼることができ、不適合の発生原因を突き詰められるようになる。第 8 図に、溶接チェックシートを示す。

(3) 溶接後自主検査

溶接作業後、職長、班長、品質保証部による自主

ブロック番号

Welding Check List 溶接チェックシート

Project Name / 工事名称: AUKUBON BRIDGE CONSTRUCTION
 Manufacturer's Order No. / 工番: 4811-005
 Date of Weld / 溶接実施日: 2019/9/8, 2019/9/10
 Inspection Object / 検査対象: EDGE CHORDER
 Name / 名前: 不明
 Block No. / ブロック番号: 4811N
 Approved by AWS-DWI: [Signature]

Schematic View / 概略図

In Side: [Diagram showing bridge chord with dimensions 5, 5, 5, 5, 5, 5]

Out Side: [Diagram showing bridge chord with dimensions 2, 8]

Marking No. 箇中番号	Date Time 実施日時	Welding Process 溶接法種類	TEMP. 温度	Welder's ID No. 溶接士登録番号
①	9/6	SAW	130℃	QT-04
②	↓	↓	↓	↓
③	9/6	↓	↓	↓
④	↓	↓	↓	↓
⑤	9/10	FCAW	290℃	40584 RJ.W.033
⑥	↓	↓	↓	↓
⑦	9/10	↓	↓	↓
⑧	↓	↓	↓	↓
⑨	9/10	FCAW (FC)	150℃	9c-01
⑩	↓	↓	↓	9c-08

Others / その他

IHI Corporation ACHI Works
1-1-1 Hihara-cho, Oka-cho, Aichi Prefecture 418-0031 Japan

溶接部の番号 施行日 溶接方法 予熱温度 溶接資格者番号

第 8 図 溶接チェックシート

Fig. 8 Check sheet for welding quality

検査を行い、記録に残した。また、不具合が発見された場合には、不具合の詳細を記録し、ルールに則って処理を行わなければならない。ここで最も行ってはならないことは、自分の判断で良かれと思って補修してしまうことである。これが発覚すると、客先からは、「不具合を隠し、^{だま}騙そうとしている」と取られ、取るに足らない補修が、大きな騒動のきっかけになってしまう。

アメリカの工事における補修には、エンジニアの承認が必要なクリティカルリペアと、作業前にあらかじめ起こりそうな不具合と補修方法を提示し承認を受けることで、自主的に補修できるノン・クリティカルリペアがある。クリティカルリペア、ノン・クリティカルリペアの判別は、QCP にあらかじめ判別方法を記載し、承認を得た。ただし、補修の記録は、クリティカルリペア、ノン・クリティカルリペアを問わず必要である。

(4) ひずみ取り

AWS によると、ひずみ取りはクリティカルリペアに当たる。つまり、作業前にはほかの補修と同じよ

うに、エンジニアの承認を取る必要があった。本プロジェクトには、一部 Gr70 という高強度鋼が使用されたが、この鋼材を使用している部材のひずみ取りについては、CWI（AWS で認定された溶接技術者）が作業中立会いをすることを求められた。また、作業自体も、AWS に明記されている方法で行わなければならない。

(5) 非破壊検査

溶接検査は、5 クラスに分けられ、クラスごとに非破壊検査の要求が定められた。

- | | |
|-------|---|
| クラス 1 | 目視検査，溶接部全長に適応 |
| クラス 2 | 3 フィート（約 900 mm）ごとに 1 フィート（約 300 mm）の割合で磁粉探傷試験，ケーブル定着部を除くすべての隅肉溶接部に適応 |
| クラス 3 | 全長磁粉探傷試験，ケーブル定着部の隅肉溶接と部分溶込み溶接に適応 |
| クラス 4 | 桁ウェブの板継溶接に適応，全長の 25% を放射線透過試験もしくは超音波探傷試験 |
| クラス 5 | 全長放射線透過試験か超音波探傷試験，クラス 4 に含まれない全断面溶込み溶接部に適応 |

非破壊検査で欠陥が発見された場合は、ルールに従って補修作業に入るが、クリティカルリペア、ノン・クリティカルリペアに関わらず、欠陥の記録は残し報告することを求められた。よって、欠陥の発見された部分の非破壊検査記録には、いつの検査でどのように不合格になり、再検査でどうなったかがすべて記録されている。

また、構造的に重要な溶接部の検査はすべて、ABC が依頼した検査会社立会いのもとで行わなければならない。

(6) 部材検査

上述の検査会社立会いのもと、溶接線の目視検査と寸法精度検査を行った。検査記録は、当社の品質管理部と検査会社の双方から ABC へ提出された。

第 9 図に、客先立会い検査の様子を示す。

2.5.4 外 業

完成した部材のうち主桁部分については、仮組立を行った。仮組立の目的の一つは、全体座標系の中におけるケーブル定着部の座標の確認（保証）である。よって、本来



第 9 図 客先立会い検査
Fig. 9 Inspection by the client

は、主桁と横桁を同時に仮組する必要があるが、今回は、2 主桁の間に本来取り付けべき横桁（長さ約 22 m）の代わりに幅の狭い仮組用横桁を作成し、仮組スペースを狭くし、2 本の主桁間隔を保持した状態で、定着部の座標確認を三次元測定器で計測した。橋軸方向には 3 主桁ごとの重複仮組とした。温度による影響を避けるため、桁表面の温度差が 5℃ 以内に入る状態でを行った。5℃ という数値は、温度差における桁のたわみの影響を事前に計測した結果決めた数値である。

計測後のデータは、電算処理による机上組立を行い、全橋梁区間における座標データを作成し、ABC へ提出した。

第 10 図に、鋼桁の仮組検査状況を示す。

2.5.5 塗 装

本来、本橋は耐候性鋼材であるため塗装は必要としない



第 10 図 鋼桁の仮組検査状況
Fig. 10 Trial assembly of steel girders

が、桁端部、塔部の主桁、横桁は、ほかの部分より雨水による滞水が多いことから塗装が求められ、主桁のケーブル定着部は、車道から見えるために塗装仕様に変更となった。塗装仕様は、ルイジアナ州の標準仕様書に指定されているポリウレタン系を使用した。また、主桁外面の共用後に外から見える部分については、まだら錆を防ぐために製品ブラスト仕様となった。

塔内に設置される A/B については、錆止めの目的から全面無機ジンクリッチペイントとなった。

第 11 図に、鋼桁アンカー定着部の塗装状況を示す。

2.6 輸 送

本プロジェクトで使用されている耐候性鋼材は、塩分が付着すると期待されている安定錆の形成ができない。ルイジアナ州および ABC も、塩分付着に関してはシビアであった。現地到着後のブロックは、ルイジアナ州によって、塩分付着の計測が行われた。

輸送は 3 回に分けて行われ、主な作業は以下のとおりである。

- (1) 台船への積み込み
- (2) 待 船
- (3) 本船積み込み
- (4) 海上輸送
- (5) 本船荷降ろし
- (6) 陸上輸送

2.6.1 台船への積み込み

愛知工場から本船の着く名古屋港までは、台船での海上輸送とトレーラによる陸上輸送を行った。台船には、主桁、横桁の大型構造物を載せ、トレーラには台船に配置しきれない A/B 等比較的小型の構造物を載せた。



第 11 図 鋼桁アンカー定着部の塗装状況
Fig. 11 Coating applied to a fixing part of steel girder anchor

台船、トレーラへ積み込み前には、第三者機関である日本海事検定協会 (NKKK) の立会いのもと、塩分測定を行い工場出荷時の塩害が問題のないレベルであることを確認した。

第 12 図に、台船への積み込み状況を示す。

2.6.2 待 船

台船への積み込みのスケジュールは、本船動向と工場の山積みによって決定したが、予定日が近づくにつれ、本船の遅れが連絡され、当初予定以上の台船上の待船が発生した。

2.6.3 海上輸送

本船積み込み前に、NKKK 立会いのもと、再度塩分測定を行い本船船腹に積み込みを行った。台船からの積み込みには、本船に装備されているデッキクレーンを使用した。第 13 図に、ハッチ内積み込み状況を示す。

2.6.4 本船荷降ろし

ニューオーリンズ港で荷降ろしを行った。荷降ろし後 1 か月間は、港湾使用料の追加費用なしで仮置きできるた



第 12 図 台船への積み込み状況
Fig. 12 Loading onto barge



第 13 図 ハッチ内積み込み状況
Fig. 13 Loading on a hatch

(a) 現地陸上輸送-1



(b) 現地陸上輸送-2



第 14 図 現地陸上輸送
Fig. 14 Road transport to the site

め、この期間を利用して現地までのトレーラ輸送を行った。

2.6.5 陸上輸送

橋梁の架設現場は、河川の両側に準備される。桁をどちらの岸に運搬するかは、発送する前の工場で仕分けを行った。また、ABCの希望順序でニューオーリンズ港からトレーラ発送できるように並べ替えを行った。第 14 図に、現地陸上輸送の様子を示す。

3. おわりに

現地では、やっと桁の架設が始まった状態である。当社の製作輸送を行った部材が無事架設され、開通することを願うと同時に、愛知工場をはじめ、本工事に携わった方々にお礼を申し上げます。