

1. 環境に配慮した 徳島東環状線 阿波しらさぎ大橋の工事報告

— ケーブルイグレット形式橋梁の設計と架設 —

技術委員会 設計小委員会・架設小委員会

1. はじめに

徳島市内では、国道11号、55号および192号が市街地で交差するため、都市内や通過交通が周辺に集中し、慢性的な交通渋滞が発生している。

このため、交通の分散を図る必要性から外環状道路の建設事業が進められており、国道11号と55号の東側部分を結ぶ路線が徳島東環状線として平成7年に都市計画決定された（図-1）。このうち、吉野川を跨ぐ「阿波しらさぎ大橋」は、橋長1,291mに及ぶ大規模な橋梁であり、河川に架かる道路橋としては国内有数の長さとなる。

吉野川大橋から下流の吉野川河口域は、「東アジア・オーストラリア地域シギ・チドリ類重要生息ネットワーク」参加地域であり、また、シオマネキ等の希少種が生息する広大な干潟が存在している。この貴重な干潟への負荷を極力少なくするため、干潟部を跨ぐ部分に長大支間を採用し、干潟に橋脚を設置しない、周辺環境に配慮した構造形式となっている。以下に「阿波しらさぎ大橋」の工事報告を行う。

上部工のケーブル形式は、極力、鳥類の飛行の障害とならないような配慮から、主塔高さが低く、ケーブル段数が少ない、世界でも類を見ない「ケーブルイグレット形式」を採用した。また、照明には、橋の外に光を漏らさないように高欄内照明を採用し、周辺生態系への影響に配慮している。

2. 工事概要

2. 1 構造的な特徴

ケーブルイグレット構造は、「斜張橋形式」と「ケーブルトラス形式」の両方を組み合わせた形式である。ケーブルを張った外観が徳島県の県鳥でもある白鷺（イグレット）の羽ばたきに似ていることから、「ケーブルイグレット」と命名された。桁下に水平ケーブルを配置し、ケーブルトラス構造により桁を引き上げつつ、斜ケーブルの定着点を下げることで、ケーブルに角度を持たせて鉛直分力を大きくして斜張橋に比べ主塔の高さを低く抑えることができるという特徴がある（図-2）。

ケーブルイグレット部の中央径間長は260m、高さ29.6mの鋼製主塔を有し、中間支点のコンクリート橋脚と鋼桁は剛結構造となっている。少主鈹桁、サンドイッチ床版を採用した合成桁である。本形式は、斜張橋に比べて桁剛性が高いため、ケーブルの応力変動や桁たわみが小さく、耐疲労性に優れている。桁の耐風対策としては、フラップ、フェアリング、抑流板を設置している。



図-1 橋梁位置図

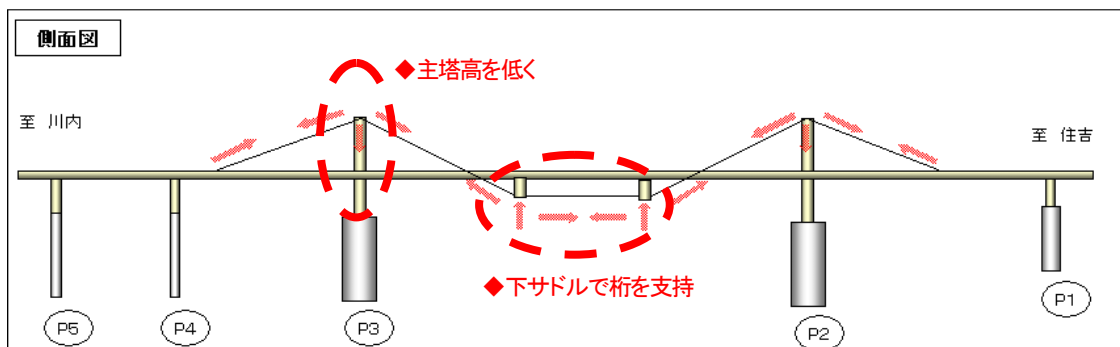


図-2 構造的な特徴

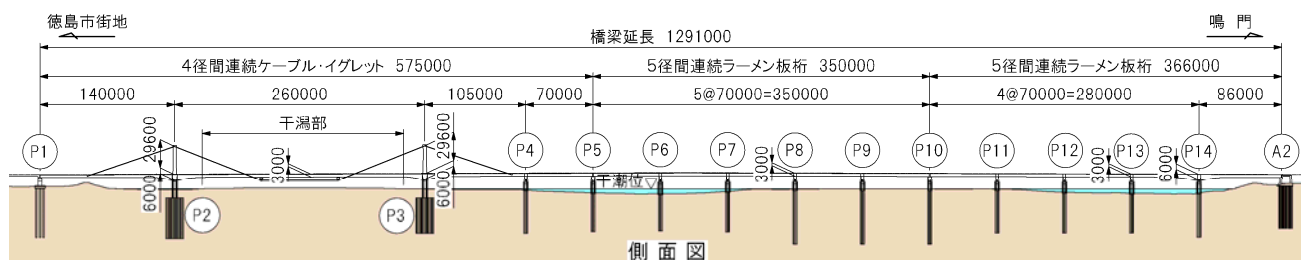


図-3 橋梁一般図

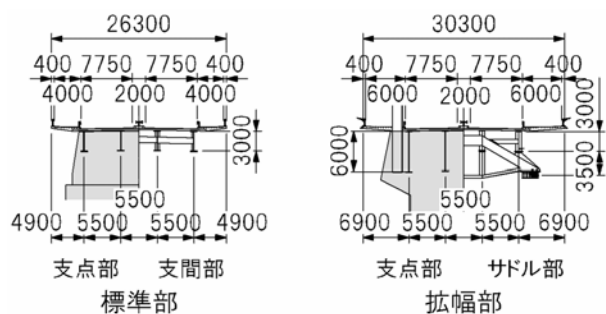


図-4 主桁断面図

2. 2 工事概要・橋梁諸元

干潟部の工事概要を以下に示す。図-3は、橋梁一般図である。

工事名：東環状大橋（仮称）上部工（第6分割）
 発注者：徳島県 県土整備部
 請負者：横河・川田・アルスJV
 工期：2008年3月～2012年3月
 施工場所：徳島県徳島市住吉6丁目～川内町鶴島
 構造形式：4径間連続ケーブルイグレット鋼鈑桁橋
 施工数量：10,054 t（内ケーブル重量500 t）
 道路規格：第4種 第1級
 荷重：B活荷重
 橋長：ケーブルイグレット部 575m
 （全長 1,291m）

支間長：140m+260m+105m+70m

主塔高：29.6m

幅員：26.3m（拡幅部 30.3m），

床版：車道部 サンドイッチ型合成床版
 歩道部 鋼床版

橋梁諸元を以下に示す。図-4は、主桁断面図である。

1) 少数鈑桁（4主桁）

＜サンドイッチ床版をもつ合成桁＞

- ・桁高 一般部 3m，主塔剛結部 6m（水平継手あり）
- ・上フランジ 幅 800mm×板厚 25～78mm
- ・下フランジ 幅 800～1600mm×板厚 25～100mm

- ・ウェブ 高さ 3000～6000mm×板厚 16～28mm
 - ・主桁主部材の材質はすべて SM570
 - ・フランジ部材継手はすべて現場溶接
 - ・ウェブはボルト継手
- 2) 主塔・脚・主桁は剛構造（一般部でも剛構造）
- 3) LP鋼板使用
- ・最大寸法 幅 1080×板厚 80/56×13000（SM570）
- 4) 横桁
- ・中間横桁 H-900×300×16×28
 - ・ケーブル定着横桁 ＜最大重量 46 t ブロック＞
 - ・横桁取付部 V.Stiff ＜レ形部分溶込み溶接＞
- 5) サンドイッチ床版（鋼コンクリート合成床版）
- ・サンドイッチ床版敷設後は、工事用車両の通行が可能である

3. 下サドルの組立・溶接性検討

3. 1 検討概要

本橋の下サドルは、斜ケーブル（3本）と水平ケーブル（4本）が交差してソケットに定着された構造である。そのため、ソケット反力を受けるためのウェブが多数配置された狭隘構造となっている。

下サドルの構造概要を図-5に示す。本サドルは、発生応力レベルが高く、SM570材相当の応力レベルが作用するため、鋳物での製作が不可能であり、溶接構造で設計を行った。

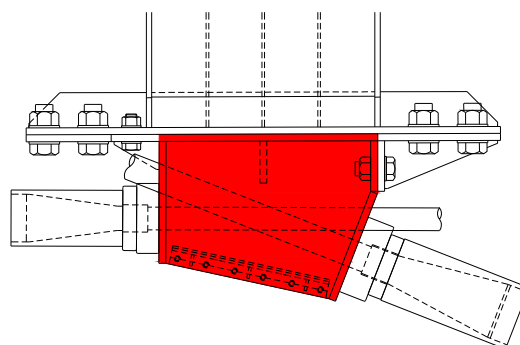


図-5 下サドル概要図

図-6は、下サドル寸法図、図-7は、下サドルパース図である。狭隘部を有する溶接構造であり、溶接困難部が多く、溶接性の確保および確実な非破壊検査の実施が課題となった。そこで、これらの確認のため、

Technical drawing of a window frame showing side and front views with dimensions.

Side View (Left):

- Top width: 1910
- Left height: 869
- Top flange thickness: 50
- Right height: 361
- Bottom width: 823

Front View (Right):

- Overall width: 1566
- Side flange thickness: 50
- Internal width: 1466
- Vertical dimensions (from top to bottom):
 - 265 (top flange)
 - 265 (first pane height)
 - 265 (second pane height)
 - 265 (third pane height)
 - 265 (fourth pane height)
 - 265 (fifth pane height)
 - 265 (sixth pane height)
 - 265 (seventh pane height)
 - 265 (eighth pane height)
 - 265 (bottom flange)
- Horizontal dimensions (from left to right):
 - 162.5 (left side flange)
 - 5 (gap)
 - 270 (pane width)
 - 5 (gap)
 - 162.5 (right side flange)
- Vertical pane heights (from top to bottom):
 - 100
 - 60
 - 60
 - 60
 - 60
 - 60
 - 60
 - 60
 - 100
- Total height: 2750

A 3D visualization of a periodic structure. It features a light blue base with a series of rectangular indentations. Inside each indentation, there is a green vertical element that tapers towards the top. The entire structure is set against a dark blue background.

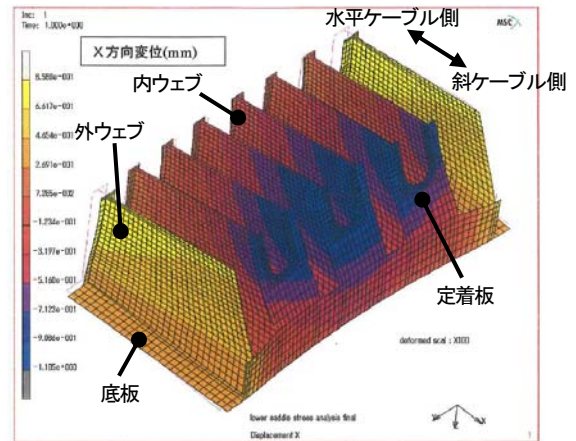
3. 2 FEM 解析結果の考察

(1) 変形挙動の特徴

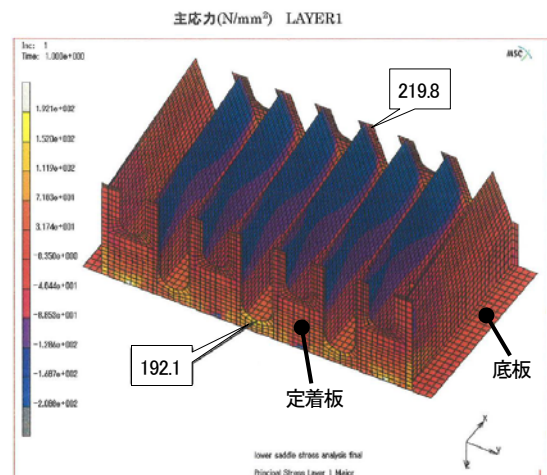
② 水平ケーブル定着側を直角方向に見ると、4本のうち両端のケーブルは、外ウェブに近接して配置されているため、内側2本のケーブルによる変位量は軽減されている。外側ケーブルの反力は、直接外ウェブに伝達されるため、外ウェブに局所的な橋軸方向変位を生じている。変位量は、外ウェブで橋軸方向に最大で約0.86mmである（黄色着色部）。

下サドル全体としての応力性状は、図－５を参照した場合に両端のソケットが下側に配置される構造のため、ウェブが偏心曲げを受けて下側で圧縮応力が作用し、上側では引張り応力が作用している。

・ウェブの上側（サドル横桁との取合い側）では、曲げによる引張応力が作用し、応力度は 192N/mm^2 である。



(1) 変形コンター図



(2) 応力コンター図

図-8 FEM 解析コントラ図

3. 3 ケーブル張力と下サドルへの作用力

(1) 内ウェブへの作用力

常時状態では、内ウェブでは斜ケーブル張力の水平成分と水平ケーブル張力がつり合っている。したがって、内ウェブへの作用力は、このつり合いが失われるケーブル交換時に最大になり、水平ケーブル交換時（死荷重状態）が水平力最大となる。

(2) 外ウェブへの作用力

外ウェブは、常時状態でも水平ケーブルのソケット反力のみが直接的に作用する。そのため、ケーブル張力が最大となる常時状態（死荷重+活荷重）が最大応力状態となる。

表－１ ケーブル張力表

内ウェブ作用力		水平ケーブル交換時					単位：k N	
	ケーブル張力		ウェブ作用力			設計力 (常時換算値)		
	解析値	ケーブル1本当り	1枚当り	水平成分	鉛直成分	水平力	鉛直力	
水平ケーブル	31,000	10,333	—	—	—	4,090	1,623	
斜ケーブル	33,000	11,000	5,500	5,112	2,029			

外ウェブ作用力		常時 (ケーブル張力最大時)					単位：k N	
	ケーブル張力		ウェブ作用力			設計力		
	解析値	ケーブル1本当り	1枚当り	水平成分	鉛直成分	水平力	鉛直力	
水平ケーブル	36,663	9,166	4,583	4,583	—	4,583	—	
斜ケーブル	39,446	13,149	6,574	6,110	2,426			

3. 4 溶接サイズの検討

(1) 底板と定着板の溶接 (完全溶込み溶接)

定着板は定着部全体の曲げ変形による引張力が作用するため、完全溶込み溶接とする。

(2) 底板と内側ウェブの溶接 (レ形部分溶込み溶接)

常時は、両側ケーブルの水平力がつり合うためせん断力は小さく、ケーブル交換時もレ形部分溶込み溶接で十分耐力が確保できる。

(3) 底板と外側ウェブの溶接 (部分溶込み溶接 (ルートフェイス 2mm 残し))

外側ウェブは、常時でも水平ケーブルソケット反力による局所変形が大きく、サドル構造の剛性確保の観点から、部分溶込み溶接 (2mm 残し) とする。

(4) ウェブと定着板の溶接 (部分溶込み溶接 (2mm 残し))

- ・ソケット支圧部分になるため部分溶込み溶接 (2mm 残し) とする。
- ・水平ケーブル側もこの溶接を確実にするため、上下板に分割して板継ぎする。
- ・ソケット支圧面は平坦度を確保するため、削り加工する。

(5) 疲労強度

ウェブと底板の溶接をすみ肉溶接とし、縦方向溶接継手とにしました場合、疲労等級はD等級となる。変動応力振幅に対する直応力の打ち切り限界は $\Delta \sigma_{ve}=39\text{N/mm}^2$ である。

本橋では、活荷重応力が全体応力度の約 1/6 であるので、活荷重によるせん断応力度は

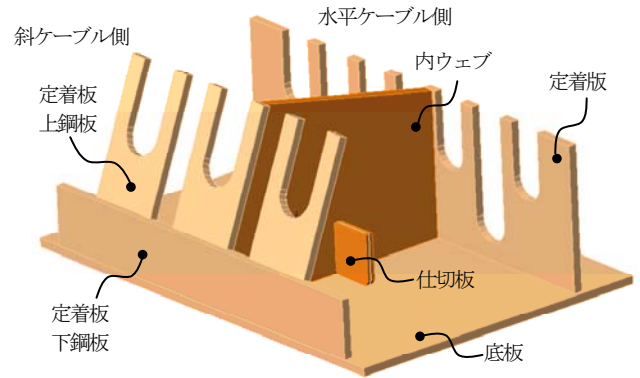
$$\tau_1=145\text{N/mm}^2 \times 1/6=24\text{N/mm}^2 \text{ となる。}$$

したがって、この溶接部に関しても、変動応力振幅に対しても打ち切り限界以下の応力変動となっていることが確認できた。

3. 5 組立・溶接順序の検討

図－9 は、下サドル組立順序検討図である。組立、溶接順序は以下とした。

- ①斜ケーブル側定着板の上下鋼板を完全溶込み溶接する。
 - ②底板に中央ウェブ (1 枚：位置決め用) を立てる。
 - ③両側の定着板を立込む。
 - ④底板と定着板を完全溶込み溶接する。
 - ⑤底板とウェブをレ形部分溶込み溶接する。
 - ⑥定着版とウェブを部分溶込み溶接 (2mm 残し) する。
 - ⑦ウェブの残り板を順次立込み、仕切り板を取り付ける。
 - ⑧支圧板ソケット支圧面を削り加工する。
- ・内ウェブはレ形部分溶込み溶接
 - ・外ウェブは部分溶込み溶接 (2mm 残し)
 - ・直角方向仕切り板はすみ肉溶接



図－9 下サドル組立順序検討図

4. 上部工架設

4. 1 架設概要

本橋の架設は、まず P2,P3 剛結部の桁架設とコンクリートの施工, P1～P2 側径間の施工, P3～P5 側径間の施工を並行して行った。次に、P2,P3 主塔の架設を行い、主塔架設後、P2,P3 主塔よりそれぞれ中央径間の主桁をトラベラクレーンにより張出し架設した。

張出し架設は、架設用の側径間のバックステイケーブルを張った後、中央径間の主桁と架設ケーブルの設置を繰り返すサイクル架設を行い、中央部で閉合した。

中央径間の主桁閉合後、架設ケーブルの撤去と本ケーブルの架設・調整を行った。その後トラベラクレーン、軌条設備等の仮設備を解体し、サンドイッチ床版鋼殻の敷設と歩道部鋼床版の架設を行った。最後にサンドイッチ床版のコンクリート充填および高欄・舗装等の橋面工の施工を行った。図－10 に架設フロー、図－11 に架設要領図を、表－2 に架設工程表を示す。

4. 2 剛結部桁架設

中間橋脚は、鋼桁とコンクリート橋脚の剛結構造であり、まず、250t 吊起重機船を用いて剛結部の主桁を架設した（写真－1）。主塔基部の主桁は、桁高さが6m、重量は最大48tである。また、1橋脚あたりのコンクリート打設量が1,050m³でありマスコンクリートとなることから、打設前に温度応力解析を行い、最適なリフトを検討し、剛結部のコンクリートを打設した。

コンクリートの打設は、P2 橋脚は陸上部より配管栈橋を利用したポンプ打ち、P3 橋脚は河川内に位置するためコンクリートプラント船により打設した（写真－2）。



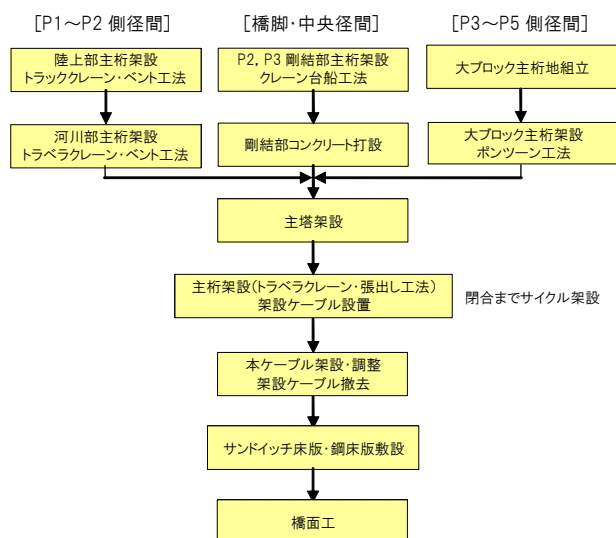
写真－1 主塔基部架設



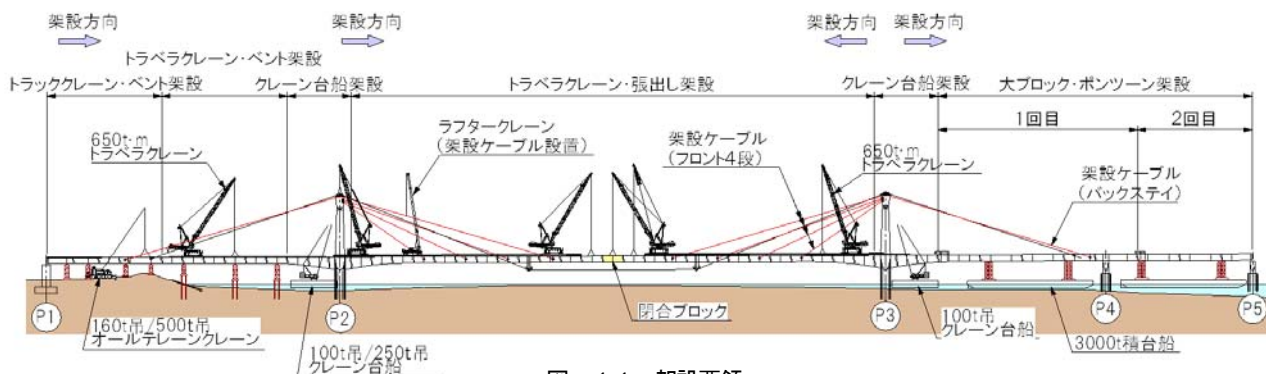
写真－2 コンクリートプラント船による打設

表－2 架設工程表

	平成21年		平成22年				平成23年				平成24年	
	8	10	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10
準備工												
P1～P2 側径間架設工												
P3～P5 側径間架設工												
橋脚工												
主塔架設工												
中央径間架設工												
本ケーブル架設工												
床版工												
橋面工												



図－10 架設フロー



図－11 架設要領

4. 3 P1～P2 側径間架設

P1～P2 間は、陸上部と河川部に跨っている。県道を跨ぐ陸上部は、県道を終日規制しながら 160t 吊および 550t 吊油圧式トラッククレーンを用いてベント架設した。

河川部の桁は、桁上にトラベラクレーンを搭載し、河川内にベント設備を設け P2 橋脚に向けベント架設した（写真－3）。また、橋脚手前2ブロックは、河川阻害率の関係でベント設備の設置が不可であったため、100t 吊起重機船により落とし込み架設した。



写真－3 P1～P2 側径間架設



写真－5 主塔架設

4. 4 P3～P5 側径写真－5 主塔架設間架設

P3～P5 区間は、河川のほぼ中央に位置し、水深が確保できることから、3,000t 積台船によるポンツーン架設を行った（写真－4）。現地より約 10km 離れた小松島市公共岸壁において 2 つの大ブロックに分けて地組立を行い、2,050t 吊起重機船により浜出し、3,000t 積台船に搭載・現地まで海上輸送後、ジャッキ操作と台船のバラスト調整により架設した。架設重量は第 1 ブロックが 910t、第 2 ブロックが 530t であった。

2 回目の架設は、両側各々 300mm のクリアランスの既設桁間に台船を差し込むという難易度の高い架設であったが、台船のウィンチ操作を駆使し、無事に完了した。



写真－4 台船架設状況

4. 5 主塔架設

側径間の架設完了後、トラベラクレーンにより主塔の架設を行った（写真－5）。当初案では 200t 吊油圧トラッククレーンによる架設を予定していたが、通常の斜張橋と比較して主塔高さが 29.6m と低いため、主桁の架設に使用したトラベラクレーンにより主塔の架設が可能であった。

主塔は、基部から塔頂まで架設後、ストラット架設用ベント設備を組立て、ストラットを架設して門型にした。その後、本ケーブル用塔頂サドルの架設と架設ケーブル定着用の塔頂設備の設置を行った。

4. 6 中央径間主桁架設

中央径間の主桁の架設は、P2,P3 側よりそれぞれ同時に 650t・m 吊トラベラクレーンにより中央に向け張出し架設を行った。主塔から中央に 5 ブロックを張出し架設後、側径間側の架設ケーブル（バックステイクケーブル $\phi 120$ 、1 段）を架設し、中央径間主桁と架設ケーブル（ $\phi 85 \sim \phi 115$ 、4 段）の架設を繰り返すサイクル架設を行った（写真－6）。

閉合ブロックの架設は、橋脚部が剛構造であるため通常の架設のようにセットバックができない。このため、主桁の出来形実測を 3 日間にわたって行い、最終のブロックの形状と長さを決定した。当日は早朝から架設を開始し、温度上昇を待って、ほぼ設計温度となる時間帯に閉合した。写真－7 に閉合桁架設状況を示す。



写真－6 中央径間張出し架設



写真－7 閉合桁架設

4. 7 サンドイッチ床版架設

側径間のサンドイッチ床版は、50t 吊ラフタークレーンにより P1 および P5 側より順次架設を行い、パネル本体設置後、戻りながら上鋼板を設置した。

一方、中央径間の床版架設では、架設時の耐風安定性を確保するため、サンドイッチ床版と歩道部鋼床版の架設を同時に行う必要があった。このため上下線同時に 60t 吊ラフテレーンクレーンにより架設し、P2,P3 より中央に向け架設を行い閉合した。

床版設置後、充填性を考慮し、高流動コンクリートの打設を行った。総打設数量は $2,650\text{m}^3$ であり、日打設量約 200m^3 で13日間を要した。

5. ケーブル架設

5. 1 架設ケーブル

架設ケーブルは、中央径間張出し架設時に主桁を支持する斜吊り索の役目を果たす。ケーブルの総数は28本である。主塔側は主塔ストラット上に設置した架設ケーブル用定着設備に定着される。バックステイおよび中央第4段ケーブルは通常のソケット前面支圧板方式で定着するが、中央側第1段～第3段は主塔側ソケット先端にフォークボルトを取付け、定着設備とピン形式で定着する構造とした。

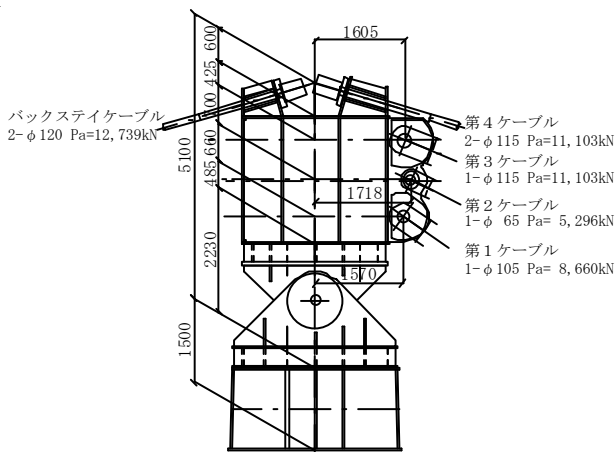


図-12 架設ケーブル主塔側定着設備

また、主塔定着設備の支承部にはピン構造を採用し、主桁の変形による主塔への曲げの影響を少なくする構造とした。そのため、架設時は塔頂設備自体が回転し、バランスを保つ構造となっている（図-12）。主桁側は、主桁間に架設ケーブル定着用の横梁を設置し、一般的な斜張橋ケーブルと同様な形で主桁に定着した（写真-8）。架設ケーブルの精度管理は、全箇所センターホールジャッキを架設完了まで残置し、ジャッキにデジタル荷重計をセットしケーブル張力を管理した。



写真-8 バックステイケーブル定着

5. 2 本ケーブル

中央径間主桁閉合後、架設ケーブルの第1段および第2段を撤去し、本ケーブルを架設した。本ケーブルの総数は32本である。まず、水平ケーブルを先行して架設し、中央径間斜ケーブル→側径間斜ケーブルの順に架設した。

また、ケーブル架設時は各ケーブルを最終定着まで行わず、1次定着から最終定着までの3段階に分け、それぞれのケーブルの引込みを行った。これは、引き込み順序や引き込み量を変えて、詳細なステップ計算を行い、下サドル部のアンバランス水平力や架設時の引込み力が最小となるように決定したものである。図-13に、本ケーブル詳細図、図-14に、ケーブル諸元を示す。

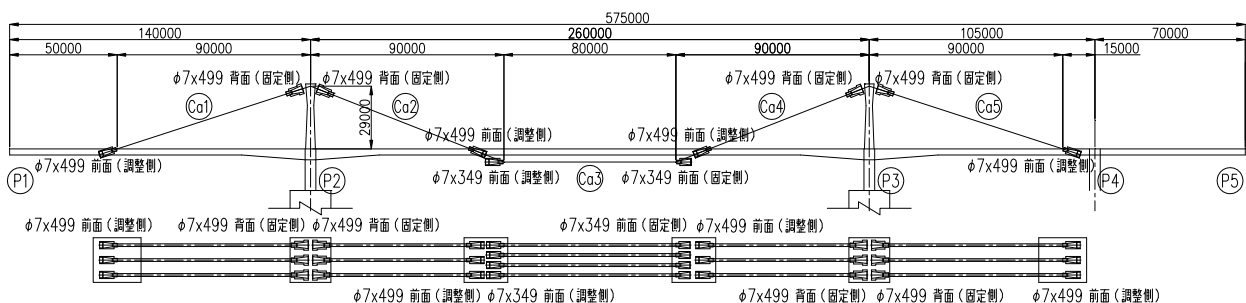
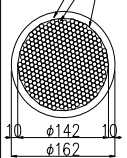
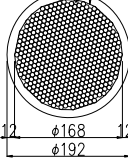


図-13 本ケーブル詳細図

ケーブル構成	φ7 x 349	φ7 x 499
断面図		
ケーブルNo.	Ca3	Ca1, Ca2, Ca4, Ca5
標準重量	109.7 kg/m	156.8 kg/m
切断荷重	23,770 kN	33,990 kN
弾性係数	19,600 N/mm ²	19,600 N/mm ²

図－14 本ケーブル諸元

5. 2. 1 水平ケーブル

水平ケーブルの架設は、下サドル間に架設用の展開設備を設置し、橋面上で展開したケーブルを桁下の展開設備上に仮置き、ケーブルラインまで展開設備を横取り後、固定側、調整側の順にソケットを定着した(写真－9)。この作業を水平ケーブル本数8回繰り返した。



写真－9 水平ケーブル展開・架設

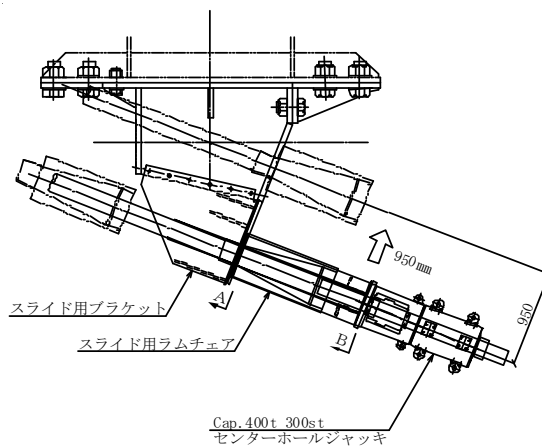
下サドルは、水平ケーブルおよび斜ケーブルを交差させて定着させる狭隘な構造であり、通常の斜張橋ケーブルのように最終のケーブルラインでソケットを引込み、そのまま定着するスペースが確保されていない。そのため、一旦、調整側下サドル下端に1次引込み用ブラケットを取り付け、ソケット前面が定着位置に来るまで引き込んだ後、押し上げ用ジャッキを用いて正規位置までスライドアップさせて定着を行った(写真－10)。



写真－10 スライドアップ

5. 2. 2 中央側斜ケーブル

中央側斜ケーブルは、主塔側サドルと主桁側下サドルに定着させる。下サドル側は、水平ケーブル同様に1次引込み用ブラケットを取り付け、調整側ソケットをスライドアップさせて定着させた(図－15)。



図－15 斜ケーブル引込み要領

主塔側は、塔頂に設置された上サドルに固定側ソケットをクレーンにより落とし込み、支圧板を挿入して定着させた(写真－11)。主塔側すべてのケーブル架設後に上サドル用ケーブルカバーを設置した。



写真－11 斜ケーブル主塔側定

斜ケーブル架設時は、断面中心側に架設ケーブルが設置されているため、架設ケーブルを山越しての架設となる。そのため、50t～120t 吊トラッククレーン5台での相吊り作業で架設を行った(写真－12)。



写真－12 本ケーブル架設

5. 2. 3 側径間斜ケーブル

側径間斜ケーブルは、中央径間斜ケーブルと異なり、通常の定着横梁にケーブルを定着させる構造である。しかし、並列された3本のケーブル間隔が650mmと狭いために支圧板が一体構造となっており、3本同時引込み後、支圧板を挿入し定着させた。このため、ケーブル引込み用ラムチェアーやセンターホールジャッキの設置に工夫が必要であった（写真－13）。



写真－13 側径間斜ケーブル架設

5. 2. 4 ケーブル調整

すべての本ケーブルの架設完了後、トラベラクレーン他の仮設備の解体を行い、ケーブル調整作業を行った。調整の結果、主桁キャンバー、ケーブル張力ともに規格値を十分満足するものであった（表－3、図－16）。なお、調整はサンドイッチ床版などの後死荷重の占める割合が比較的大きく、床版コンクリート打設後に調整することが望ましいが、ケーブル定着部が歩道部鋼床版下に位置するため、床版架設後の引込み設備の解体が困難であった。そのため、本ケーブル架設完了時点を最終調整とした（写真－14）。



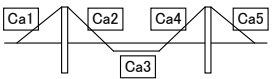
写真－14 本ケーブル架設完了

表－3 ケーブル張力

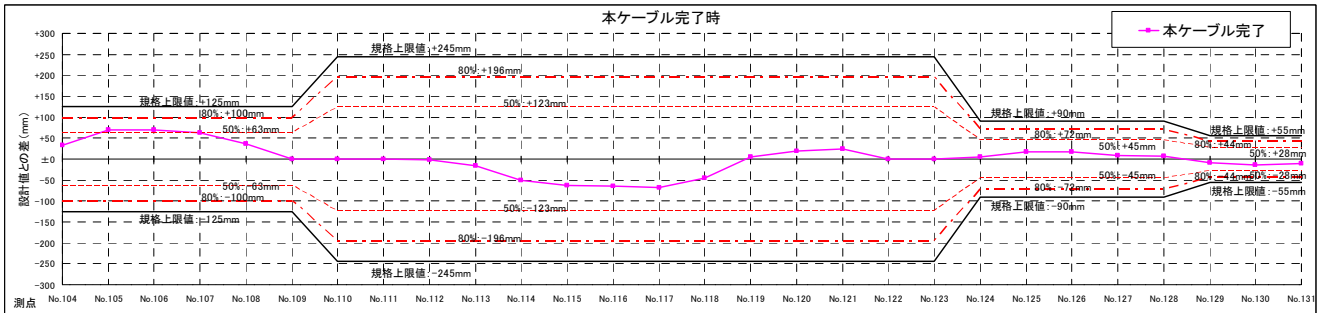
(単位 t)

		Ca1			Ca2		
		設計値	計測値	差	設計値	計測値	差
G1側 上流	上流 (外)	582	565	-17	563	586	+23
	中間 (中)		583	+1		565	+2
	下流 (内)		583	+1		567	+4
	平均		577	-5		573	+10
G4側 下流	上流 (内)	592	568	-24	567	561	-6
	中間 (中)		568	-24		561	-6
	下流 (外)		567	-25		550	-17
	平均		568	-24		557	-10

		Ca3		
		設計値	計測値	差
G1側 上流 P2側	上流 (外)	365	397	+32
	中間1 (中)		386	+21
	中間2 (中)		403	+38
	下流 (内)		393	+28
	平均		394	+29
G4側 下流 P3側	上流 (外)	369	380	+11
	中間1 (中)		385	+16
	中間2 (中)		385	+16
	下流 (内)		379	+10
	平均		383	+14



		Ca4			Ca5		
		設計値	計測値	差	設計値	計測値	差
G1側 上流	上流 (外)	549	577	+28	575	614	+39
	中間 (中)		559	+10		621	+46
	下流 (内)		560	+11		623	+48
	平均		565	+16		619	+44
G4側 下流	上流 (内)	556	542	-14	580	618	+38
	中間 (中)		543	-13		591	+11
	下流 (外)		544	-12		604	+24
	平均		543	-13		604	+24



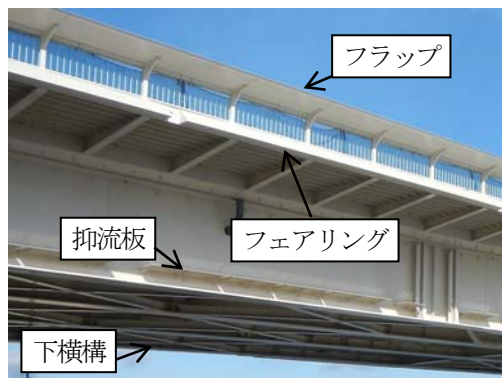
図－16 主桁キャンバー

6. 耐風対策

前述の通り、干潟部はケーブルイグレット構造という新しい橋梁形式が採用されているが、桁断面がねじり剛性の小さな鋼I桁構造であること、斜ケーブルと水平ケーブルは並列ケーブルでありウェイクギャロッピング（以下、WGという）が懸念されたことから、桁およびケーブルの耐風安定性を確認するための各種検討を行った。ここでは、桁本体の振動性状を確認するために実施した実橋振動実験と、並列ケーブルの制振対策を決定するために実施した風洞実験について報告する。

6. 1 桁の耐風対策と実橋振動実験

桁については、高欄に取り付けられたフラップ、歩道端部に取り付けられたフェアリング、主桁ウェブに取り付けられた抑流板、全長に配置された下横構により、必要な耐風安定性を確保できることが風洞実験により確認されていた（写真－15）。ただし、本橋は他に類のない構造形式であることから、風洞実験時に仮定した対数減衰率(0.02)、FEM解析で求めた固有振動数や振動モードの妥当性を確認する必要がある。そのため、実橋において起振機を用いた振動実験を実施した¹⁾。



写真－15 桁の耐風対策

橋体の加振には、重錘移動式の大型起振機（写真－16）を1台使用した。中央径間の中央付近の床版上に起振機を設置し、鉛直たわみ1次モードおよびねじれ1次モードを対象とした振動実験を実施した。

自由振動実験から得られた自由振動波形を図－17に示す。振動実験により、FEM解析値と実験値との固有振動数の相違は、鉛直たわみ1次で1%未満、ねじれ1次で約6%であり、振動モードはFEM解析値と実験値でほぼ一致することが確認できた。また、対数減

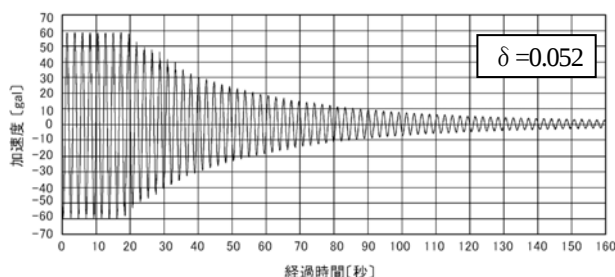
衰率の平均値は鉛直たわみ1次で0.052、ねじれ1次で0.032であり、風洞実験時の仮定値の0.02を両振動モードとも満足する値であった。



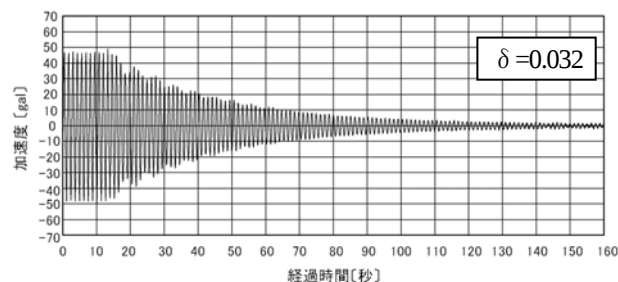
写真－16 大型起振機設

6. 2 ケーブルの耐風対策と実橋振動実験

並列ケーブルでは、風上側ケーブルの後流により風下側ケーブルが上下方向に振動するWGが問題となる。WGはケーブル中心間隔Lとケーブル径Dとの比が1.5～6.0の場合に発生しやすいと言われて²⁾いるが、本橋のL/Dは3.39（斜ケーブル）、4.01（水平ケーブル）であり、WGの発生が懸念された。そこで、本橋のケーブルにおけるWGの発生の有無の確認と、その制振対策を決定するため、実物大ケーブル模型を用いた風洞実験を実施した³⁾。



(1) 鉛直1次モード



(2) ねじれ1次モード

図－17 振動実験結果

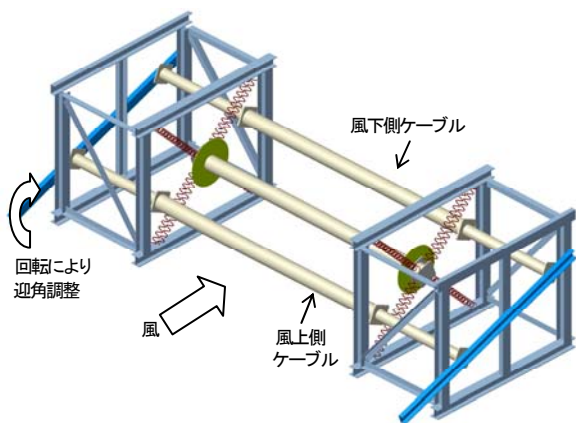


図-18 ケーブル風洞実験装置

風洞実験装置を図-18に示す。風洞実験は剛体模型を用いたバネ支持模型試験とし、風上から2番目のケーブルを2自由度でバネ支持し、その他のケーブルは固定とした。並列ケーブル本数の影響を確認するため、振動ケーブルの風下側にケーブルがない場合（ケーブル2本）とある場合（ケーブル3本）の試験を実施した。実橋の制振対策を決定するため、ヘリカルワイヤの有無、諸元とケーブルの減衰を風洞実験のパラメータとした。

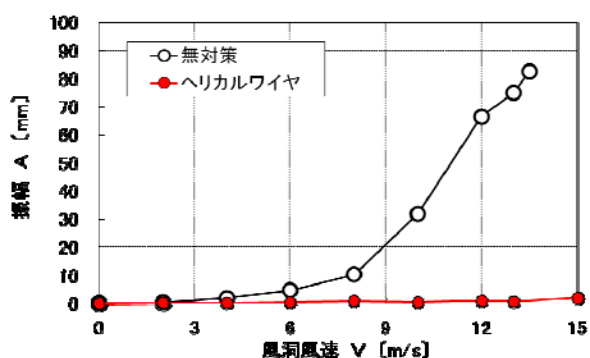


図-19 ヘリカルワイヤの効果

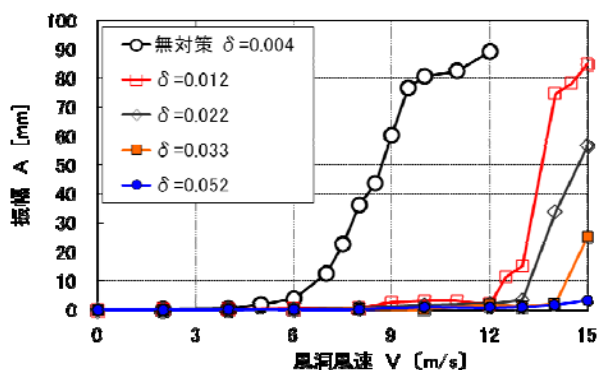


図-20 ダンパーの効果



写真-17 斜ケーブルの制振対策



写真-18 水平ケーブルの制振対策

風洞実験の結果、①斜ケーブル、水平ケーブルともに無対策では風速6m/s付近からWGが発生すること、②ヘリカルワイヤを2本、適切なピッチ、ワイヤ径とすること、またはケーブルに減衰を付加させることで、実験最大風速である風速15m/s以下の範囲でWGを抑制できることが確認できた（図-19、20）。

斜ケーブルはケーブルが歩道を貫通する位置に桁付ダンパーを設置することが可能で、効率よく大きな減衰を付加できるため、制振対策は桁付の高減衰ゴムダンパーとした（写真-17）。一方、水平ケーブルは、桁付ダンパーを設置できる場所がないことから、制振対策はヘリカルワイヤを基本とし、さらに隣り合う4本のケーブルを連結する金具を3か所設けた（写真-18）。

現在、供用開始から1年間の予定で動態観測を実施しており、桁の耐風対策およびケーブル制振対策の妥当性を検証する予定である。

おわりに

本橋は世界に類を見ない「ケーブルイグレット形式」を採用した橋梁であり、架設ケーブルで主桁閉合後に本ケーブルに張り替えるという過去に例のない工法により施工を行ったが、平成24年3月末に無事に完了し、平成24年4月25日に晴天のもと多数の関係者が出席し開通式を迎えることが出来た。本橋の開通および関連事業の更なる工事進捗により、徳島市内の交通渋滞の緩和が今後期待されるところである。

最後に、設計・施工に関して数々のご助言、ご指導を頂きました関係者の皆様に対し、深く感謝の意を表します。また、本報告が今後の同種の工事の参考となれば幸いです。

参考文献

- 1) 結城洋一他：阿波しらさぎ大橋の起振機を用いた振動実験，土木学会第65回年次学術講演会，平成24年9月
- 2) 建設省土木研究所他：斜張橋並列ケーブルのウェイクギャロッピング制振対策検討マニュアル（案），共同研究報告書第134号，1995.9
- 3) 久保義人他：実物大模型を用いた並列ケーブルのウェイクギャロッピング特性，構造工学論文集，Vol. 58A，2012. 3，pp. 518-527
- 4) 久保・樺野・松原・福嶋・山崎・結城：阿波しらさぎ大橋の施工，橋梁と基礎，Vol. 46，No. 7，pp. 2-12，2012. 7.



写真－１９ 阿波しらさぎ大橋完成写真