平 羅 橋 の 施 工

——PC斜張橋ブロック張出工法——

胡 信 弘*¹・南 山 剛*²

概 要 平羅橋は、大崎下島地区農道整備事業の一環として、大崎下島と平羅島とを結ぶ単径間の1室箱げたPC斜張橋である。プレキャストブロックよりなる主げたは張り出し工法によって架設されたが、これは日本で初めてのことである。PC斜張橋は、塩害対策面を考慮して選ばれ、また、単径間の斜張構造は橋体下の漁場の確保と平面線形での見通しの面を考慮して選ばれた。プレキャストブロック工法は、工期短縮と高強度コンクリートの品質管理上の理由に加え、ブロックの製作とストックのためのヤードが近隣に確保できたことから適用された。

キーワード：PC斜張橋、プレキャストブロック、基準ブロック、ケーシングパイプ、DINA アンカー、日本初の適用

1. はじめに

大崎下島地区広域農道整備事業は、豊島、大崎下島、平羅島、中ノ島および岡村島を結ぶ長さ5 017 mの基幹農道の整備を対象としている(図-1)。平羅橋は、大崎下島と平羅島を結ぶ橋である。本橋にPC斜張橋を採用した理由は以下のとおりである。①けた下高が海面より近い、塩害に対して耐久性の高いコンクリート橋とする。②漁場の支障となる海中中部への橋脚は設置しない、スパンが100 m 近くなる。つり構造以外の橋

は、支点付近のけた高が大きくなり、けた下空間が確保できないためつり構造とする。通行船舶から判断するとけた下空間は4.5 m 必要であり、けた高は2 m 程度となる。③起点部(A1部)が一般県道と平面交差となるため、見通しをよくする。

ニールセンローゼと比較した結果、斜張橋のほうが、平面的な見通しが良好であった。また、主げたをプレキャストブロック工法にした理由は、①工期短縮(平羅橋が場所打の場合工期上ネックとなる)、②高強度コンクリートの品質確保、③主げたをつり上げ、海上運搬可

図-1 位 置 図

*1 えびす・のぶひろ／オリエンタル建設(株)大阪支店 工事部工事チーム 係長

*2 みなみやま・つよし／(株)鴻池組 工事事務所 所長

写真-1 PC斜張橋によるプレキャストブロック張出工法

能な製作ヤードが架設地点近くに確保できる、の3点である。

PC斜張橋によるプレキャストブロック張出し工法の採用は、本橋が日本で最初である（写真-1）。

2. 工事概要

本橋は、大崎下島と平羅島を結ぶ単径間一室箱げたPC斜張橋である。橋格は一等橋で、橋体概要は次のとおりである。橋長 98.5 m、支間 97.9 m、有効幅員 8.0 m（車道 6.5 m、歩道 1.5 m）、斜角 90°、縦断勾配 $i=2.5\%$ 。主塔は H 型で、高さは 45 m である。主げたは、プレキャストブロック工法区間が $L=84$ m、場所打区間が $L=14.4$ m である。施工方法は、A 2 橋台（平羅島側）をカウンターブロックにして、A 2 側より張り出す方法とした。斜材は、DINA アンカーケーブルである。斜材のつり方法は、ファン形二面づりであり、フォアステイ（主げた側）が 7 段 1 列、バックステイ（A 2

表-1 主げた、主塔の工事数量

種 別	仕 様	主 げ た		主 塔
		プレキャスト部	場 所 打 部	
コンクリート	$\sigma_{ck}=500$ kgf/cm ²	551 m ³	—	—
	$\sigma_{ck}=400$ "	—	236 m ³	907 m ³
鉄 筋 (SD 295)	普 通 (注)	10 t	4 t	81 t
	塗 装 (注)	57 t	16 t	—
PC 鋼 材	$\phi 32$ (SBPR 930/1 180)	23.1 t	—	—
	12 T 12.7	5.5 t	—	—
	12 T 15.2	—	—	5.6 t
	1 T 21.8	5.4 t	—	—
鉄 骨		—	—	47 t
斜 材	DINA 109~253	91 t		—

注) 主塔は純かぶりが 70 mm のため、普通鉄筋を使用。
主げたは純かぶりが 35 mm のため、外気に当たる面に配置する鉄筋を塗装鉄筋とする。

橋台側) が 7 段 2 列の配置である。全体一般図および主げた、主塔の工事数量を、それぞれ図-2、表-1 に示す。

3. 施工方法

3.1 施工順序

図-3 に本工事の施工順序図を示す。以下に主げた製作、主塔製作、主げた切り離しおよび台船積み込み、主げた架設、斜材展開および緊張の施工方法を述べる。

3.2 主げた製作

Construction of the Heira Bridge

By Nobuhiro Ebisu and Tsuyoshi Minamiyama

Concrete Journal, Vol. 33, No. 5, pp. 34~42, May 1995

Synopsis Heira-Bridge is a prestressed concrete cable-stayed single span bridge with one box girder, connecting Osaki-shimo island and Heira island, whose construction is situated as a part of agricultural-road constructing project in Osaki-shimo island area. Precast segmental main girder was erected by free cantilever method, that is the first application in Japan. Prestressed concrete cable-stayed system was selected for this bridge in consideration that prestressed concrete structure was effective to obtain larger fishing space under the bridge and better plain visibility.

Precast segmental method was applied because of shortening of construction period and quality control of high-strength concrete, in addition to the fact that it was able to obtain yard near the bridge to manufacture and stock segments.

Keywords : Prestressed concrete cable-stayed bridge, precast segment, basical segment, casing pipe, DINA-anchor, first application in Japan

主げたは、架設地点より約 500 m 離れた小長港で製作した。主げたブロック数は、基準ブロック含めて 29 ブロックであり、総長 L は 3.0 m (基準ブロック)+3.0 m×21 ブロック(標準ブロック)+2.5 m×7 ブロック(斜

①主塔足場用支保工組立および施工
3 ロットまで施工

②主塔足場用支保工組立および施工
①の足場解体後4~9ロット施工

③柱頭部(基準ブロック)の施工
A2橋台にブラケット支保工設置、海上クレーンにて、基準ブロック据え付け後場所打コンクリート打設

④主げたブロックの架設
柱頭部にエレクションノーズ組立後、台船にて主げたブロックを搬入、架設

⑤主げたブロックの架設、斜材の定着、緊張

⑥側径間支保工施工
エレクションノーズ解体後、斜材調整をして支保工施工

⑦側径間の施工

⑧斜材の調整、橋面工の施工

図-3 施工順序図

材定着ブロック)=83.5 m である。製作方法は、全数を施工するロングライン方式で、各々のブロック目地は、旧ブロックの端面を型枠がわりとするマッチキャスト方式とした。製作ブロックは、まず基準ブロック (0 ブロック) を製作し、以後各々のブロック端面にはく離剤を塗布し、次ブロックのコンクリートを打設した (写真-2)。

標準ブロックの外枠および内枠は、移動式の鋼製型枠を使用、斜材定着ブロックは、外枠を鋼製型枠、内枠は木製とした。また標準ブロックのうち、0~3 ブロック、26~28 ブロックは、ウェーブ幅、床版厚が変化するため、内枠は木製とした。ブロック製作順序は、基本的に 0 ブロックより順に 28 ブロックまでの片押しであるが、斜材定着ブロックの製作が、標準ブロックを先行しても可能であること、また標準ブロックより製作日数がかかることより標準ブロックを先行させ、主げた鋼棒用シースの保護パイプもジョイントできるように加工した (図-4)。1 ブロックの製作のフローチャートを表-2 に示す。斜張橋のブロック工法において、特に検討が必要なことは、斜材のケーシングパイプのセットである。ケーシングパイプ (定着板付き) の据付けは、斜材長および方向性の決定に影響が大きいので、正確に施工する必要があった。またケーシングパイプの配置には、以下の 3 点を考慮した。①主げた製作は水平面で製作するため、縦断勾配 $i=2.5\%$ を考慮、②主げた上げ越し量、③サグによる偏心。

注) 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28 ブロックは斜材定着ブロック

コンクリート 0 → 1 → 2 → 3 → 5 → 6 → 4 → 7 → 9 → 10 → 8 →
打設順 11 → 13 → 14 → 12 → 15 → 17 → 18 → 16 → 19 → 21 → 20 →
22 → 23 → 25 → 24 → 26 → 27 → 28

図-4 ブロック製作順序

写真-2 主げた製作

表-2 主げたブロック製作のフローチャート

①～③は、あらかじめ計算しておき、光波測器(3次元対応型)を使用して、定着板中心、ケーシングパイプ先端中心を測量し、所定の位置に固定した(写真-3)。

3.2 主塔製作

主塔の形状は、2か所の中間横ばりを設けた変形H型構造である。最初の2ロットが内側に傾斜しているため、変形防止対策として下段中間横ばりまでは、鉄骨を先行して組立て、それ以後はブロック施工に合わせて鉄骨、ケーシングパイプ、鉄筋および型枠を順次組立てた。1ロットの高さは、5mとし、9回のコンクリート打設とした。主塔足場用支保工は、エレクションノーズ組立の關係上2段階とした。1段階目は、1～3ロット用の足場用支保工、2段階目は、1段階目を解体後、下段中間横ばりを利用して、4～9ロット用の足場用支保工

写真-3 主げたケーシングパイプのセット

とした。主塔は生コンプラントのない平羅島(A2側)で施工するためコンクリートの運搬および打設方法を検討する必要があった。主塔コンクリートは、A2橋台仮栈橋に係留した500t台船にポンプ車を載せ、配管により打設した。コンクリートの供給はフェリーにより小長港より生コン車を運搬し、台船上のコンクリートポンプ車に直接供給した(写真-4)。コンクリートは、夏季の打設および配管長を考慮して流動化コンクリートとした(スランプ8cm→12cm程度)。また、ケーシングパイプの配置は、主げた同様正確に施工する必要があったため、鉄骨にケーシングパイプが上下左右調整できる取り付け治具を設置した。測量は、光波測器によりA1側およびA2側より繰返し行い、3次元において誤差を±10mm以下とした(写真-5)。

3.3 主げた切り離し台船積み込み

主げたは上床版および下床版のA4継手部(アンカーブロックとPC鋼棒をカップラーで接続する継手部)の切欠にジャーナルジャッキ4台(上床版2台、下床版2台)により切り離し、その後主げたに埋め込んだゲビンデ鋼棒(φ26)4本に接続したけたつり治具を80

写真-4 主塔コンクリート打設

写真-5 主塔鉄骨およびケーシングパイプのセット

写真-6 主げた切り離し(80 t海上クレーンにて)

写真-8 基準ブロックの架設

写真-7 主げた切り離しジャーナルジャッキによる水平移動

写真-9 基準ブロックの据付け完了

t海上クレーンでつり上げながらせん断キーをかわす位置まで水平移動させた(写真-6, 7)。次に80 t海上クレーンでつり上げ、800 t台船に積み込んだ。

ブロックの重量は、標準ブロックが38~50 t、斜材定着ブロックが62~76 tである。主げた切り離しおよび台船積み込みの回数は計4回とした。

1 回目積み込み…0ブロック(基準ブロック)1~8ブロック, 2 回目積み込み…9~16ブロック, 3 回目積み込み…17~24ブロック, 4 回目積み込み…25~28ブロック

3.4 基準ブロック(0ブロック)の据付け

基準ブロックの据付けは、A2橋台に取り付けたブラケットに支保工を組立て、80 t海上クレーン船にて据え付けた(写真-8)。

後続の主げたが、マッチキャストブロックげたであり架設途中での方向調整が困難であるため、基準ブロックの据付けは、以下の点を留意して検討した。

- 1) 基準ブロックとA2橋台間の場所打コンクリートを打設した時点で、基準ブロックが移動しないこと。
- 2) 基準ブロックの架設は、80 t海上クレーンで架設

するため、架設後調整可能な支保工にすること。

- 3) 基準ブロックにより方向性および高さが決定されるため、基準ブロックはできるだけ大きくすること。

以上を検討した結果、基準ブロック長を $L=3.0$ mとし、場所打部を0.5 mとした。また基準ブロックの調整は、ブラケット上に水平方向移動用として横送り台を、鉛直方向移動用としてジャーナルジャッキを各々4台設置して行った。また、けた据付け時は、キリンジャッキ4台と山留材およびアングルを使用してけた受け台とした(写真-9)。位置の測定は、けた製作時に埋め込んだ測定ピンと横軸方向および直角墨を利用して、橋台上の測量墨と一致させ、トランシットおよびレベル測量を行い決定した。位置決定後橋台と基準ブロックの差し筋、および主鋼棒を接続し、コンクリート打設による基準ブロックのズレを無くした。

3.5 主げたの架設

当初の計画では、柱頭部(基準ブロック)施工および主塔施工完了後、エレクションノーズを柱頭部上に1基組立て、主げたブロック架設を行う予定であったが、主

写真-10 主げた架設

写真-11 主げた架設

塔の施工が遅れたため、同時施工となった。主げたブロックはけた製作ヤードより台船に載せ、架設地点まで運搬して架設した。台船(800 t)は仮栈橋までタグボートで運搬して係留し、架設地点までは台船に取り付けたウインチで移動させた(写真-10、11)。

エレクションノーズは、次の5点を考慮してワーゲンを改造した。

- 1) 主げた最大重量76 tがつり上げられる構造であること。
- 2) 主げたをつり上げた後、30 cm程度水平移動できること。
- 3) 主げたをつり上げた後、作業足場に開口部が無いこと。
- 4) 架設終了後、主げたにPC鋼棒 $\phi 32$ ($L=9$ M)を前方(A1側)より挿入できる足場を確保すること。
- 5) 斜材が緊張できる足場の確保とラムチェアおよび緊張ジャッキ(合計重量2 t)をつり上げセットできる構造とすること。

以上の5点を検討した結果を次に示す。

- 1) 電動チェーンブロック30 tを4台使用した。

表-3 主げた架設のフローチャート

- 2) つり治具部分に滑り面を設け、つり治具が水平移動できる構造とした。水平移動は、上、下床版に3 tレバーブロックを2台(計4台)設置して引き寄せ、ジャーナルジャッキにより切り離しを行った。
 - 3) 足場を前方後方に分割し、前方足場はエレクションノーズにレールおよび10 tトロリーを設置し、前後に移動できる構造とした。
 - 4) 前方足場を大きくして前方6 m程度の足場を確保した。
 - 5) 斜材が緊張できる足場を確保し、エレクションノーズにレールおよび2 tトロリーを設置した。
- 主げた架設のフローチャートを表-3に示す。

3.6 斜材展開および緊張

斜材はDINA アンカーケーブルを使用し、総重量は91 tである。斜材の運搬は仮置場所の関係上、2回に分けた。陸路はトレーラーを使用し、海路はフェリーバージ(1回目)500 t台船とタグボート(2回目)で運搬した。

斜材は、すべて主塔側(斜材の固定側は主塔であり、緊張側はフォアステイは主げた側、バックステイはA2橋台である)より取り出せる巻き方として展開を行い、固定側を先行して取り付け、次に緊張側を取り付けた。斜材展開および取付けに使用した機材は、アンリーラ、展開台車、つり治具、ナイロンスチール、レバーブロック、チルホールを使用した。重機は、20 tトラックレーン1台、タワークレーン(4.5 t)1基を使用した。

写真-12 斜材展開（主げた側）

写真-14 アンカレッジ部緊張台車

写真-13 斜材展開（A2側）

斜材緊張ジャッキ等の移動は、主げた側は前述したようにエレクションノーズを改造して対処し、A2側アンカレッジ部は、ジャッキ移動台車を2基製作して対処した。斜材展開および緊張は工程上クリティカルな部分であるため、斜材展開は主げた架設と平行して行った（写真-12～14）。

4. 計測管理

斜張橋は、主げたたわみと斜材緊張力とが相互に影響し合うため、一義的に斜材緊張力を管理するのではなく、主げたたわみ量および主げたの応力状態を把握しつつ管理していく必要がある。また、施工時と完成時では構造系が異なる上、各施工段階でも逐次構造系が変化していく、斜材張力、主げた応力状態、主げたたわみ量も各施工段階ごとに变化していく。そのため、各断面の主げた応力状態を把握する上で、各段階での各斜材の緊張力を管理し、計算値と対比検討し、主げたたわみ状態も含め必要により斜材張力の調整を行う必要がある。本橋はそれらの管理を効率的に行うため、パソコンを用いた計測管理システムを導入した。計測器の配置図を図-5に示す。図中にも示しているが、斜材の張力管理は加速度計を用いて、固有周期で管理している。加速度計は転用して基本的に全ケーブル測定している。

5. 工程

表-4に主げた製作から主げた架設までの工程表を示す。1サイクルの平均は、主げた製作1ブロックにつき

表-4 実 施 工 程 表

注) 主げた製作 134日は、0ブロック底版張りより、28ブロックコンクリート打設までの日数を示す。134/29=4.6日/1ブロック
 主塔製作 135日は、1ロット支保工組立てより、9ロットコンクリート打設までの日数を示す。135/9=15日/1ロット
 柱頭部製作 15日は、ブラケット支保工組みより、場所打ちコンクリート打設までの日数を示す。
 主げた架設 46日は、1ブロック架設より、28ブロックおよび斜材緊張までの日数を示す。46/28=1.6日/1ブロック

平羅橋計測計画図

	用 途	数 量
● 埋込み型 ひずみ計	ひずみ測定用 (荷重・温度・クリープ・乾燥収縮すべてを含む)	8個
○ 熱電対	温度測定用	981.0m
◎ 有効応力計	主げた応力測定用、クリープ測定用	2個
⊕ 無応力計	乾燥収縮測定用	2個
■ 加速度計	張力測定用	12個
□ 傾斜計	主塔傾斜測定用	1個
▲ 圧力計	張力測定用	4個
△ ロードセル	張力測定用	2個

注) 圧力計とロードセルの併用はジャッキ・ポンプの内部損失測定。
圧力計と加速度計の併用はキャリブレーション用以降の管理は加速度計による。
加速度計は3組分を転用する。

図-5 計測器の配置図

4.6日、主塔製作1ロットにつき15日、主げた架設(斜材展開含めて)1ブロック1.6日であった。

主げた架設の工程が短縮できた要素として、①主げた架設と斜材展開が同時施工できたこと、②主げたつり上げ長が短く(海面よりけた下まで平均4.5m)また電動チェーンブロックによりつり上げ時間が短縮できたこと、③エレクトリションノーズの改造により作業効率が上がったこと、④緊張作業台車の製作により作業効率が上がったこと、の4点が考えられる。

6. おわりに

斜張橋におけるプレキャストブロック張出し工法は、日本で最初ということで特に注意を払った点は、ケーシ

ングパイプの据付けの正確さおよび基準ブロックの据付けの正確さであったが、いずれも精度よく施工できた。特に架設ブロックの直線性の誤差は、ほとんどゼロに近く(29ブロックで2mm程度)、主げた製作から架設まで精度よく施工できたものと思われる。

また、無人島(平羅島)に、A2橋台および主塔を施工することより、材料および機器運搬において、瀬戸内特有の潮の干満および潮流に悩まされたが、主げたブロック架設まで現在施工完了し、側径間の施工中である。

なお、本工事の工期は、平成4年10月3日～平成7年8月31日である。