

境港・江島大橋の整備における 工程短縮の取り組みについて

MEASURES OF SHORTENING CONSTRUCTION PERIOD IN CONSTRUCTION OF THE ESHIMA BRIDGE

松本英雄¹・大村武史²・仙崎達治³

Hideo MATSUMOTO, Takeshi OOMURA and Tatsuji SENZAKI

¹正会員 国土交通省中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所 所長 (〒730-0029 広島市中区三川町 2-10)

²正会員 国土交通省中国地方整備局境港湾・空港整備事務所 前任建設管理官 (〒684-0034 鳥取県境港市昭和町 9)
現) 国土交通省中国地方整備局港湾空港部港湾事業課 課長 (〒730-0004 広島市中区東白島町 14-15)

³国土交通省中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所 前任建設管理官 (〒730-0029 広島市中区三川町 2-10)

In construction of the Eshima Bridge, a variety of measures have been taken to shorten the construction period. Especially, integration of construction method for foundation of main pier was efficient to reduce construction labor for arrangement of steel frames and reinforcing bars, resulting in reduction of construction period by 4 months. In the integrated construction method, a set of steel structure embedded in foundation and a part of column of main pier was fabricated on land, and installed in a circular wall made of steel pipe-piles by a large-scale floating crane. This method was first adopted in Japan so that detailed investigation was conducted on stable connection method of steel members, accurate displacement control of circular pipe-piled wall without struts, appropriate type of floating crane, and so on.

Key Words : *prestressed concrete rigid frame bridge, shortening of construction period, marine bridge pier foundation*

1. はじめに

鳥取県と島根県にまたがる重要港湾である境港は、平成15年には428万トンの貨物を取り扱っている。境港を出入りする貨物は、鳥取・島根両県にわたる山陰地方全域へと輸送される。境港から松江市方面への最短ルートの途中には鳥取県境港市渡町と対岸の島根県八束町江島との間には中浦水門管理橋があるが、14トン以上の大型車が通行できないほか、船舶通航時には閘門の跳ね橋が上がって交通遮断が生じるなどの問題がある。これらの問題を解決するため、中浦水門の北側300mの位置に臨港道路が計画された¹⁾。この臨港道路の橋梁部が江島大橋である。

江島大橋は、平成9年に平成18年頃の完成を目指し現地着工した。しかし、平成12年8月に中海をめぐる公共事業見直しの中で江島大橋の早期完成が強く要望された。このため工法の見直しをはじめ種々の工程短縮方策を講じた結果、当初完成予定を約1.5年短縮して平成16年秋頃に完成する見通しである。

本文は、江島大橋主橋脚基礎の工程短縮を目的に国内で初めて採用された“大組鉄筋・鉄骨一括据付工法”について述べるものである。

2. 江島大橋の概要

(1) 計画条件

江島大橋は、主橋脚2本が1級河川斐伊川の河道内に立ち、橋梁下に中浦航路が設定され多くの船舶が通過し、中浦閘門にも近接している。これらの条件から表-1に示すとおり計画条件を設定した²⁾。

表-1 江島大橋の計画条件

航路条件	桁下通過対象船舶	5,000DWT (2,000DWT)
	所要桁下空間	D.L. +33.0m (D.L. +28.0m)
	桁下幅	W=130m (W=200m)
河川条件	河川幅	約500m
	河積阻害率	3% (完成時)

(2) 地盤条件

建設場所の地盤は、基層上を大きく3層に分けられる。最下層に鮮新世（第三紀末期）の火山活動・陸域拡大時に形成された岩盤層、その上層に洪積世の大山・三瓶火山活動の噴煙土によって段丘として形成されたローム層及び下部砂質土層、最上層に沖積世に斐伊川等により沖積平野・砂丘として形成された上部砂質土層と海成シルト層が堆積している。

江島大橋の支持層となる岩盤は、約25万年前に中海にある大根島を中心に起こった噴火活動により流出した溶岩で、支持層上面は概ね江島側主橋脚付近でD.L. -30m、渡町側主橋脚付近でD.L. -35mである。

(3) 構造形式

構造形式は、航路条件、河川条件から決定された最大スパン長(250m)と橋梁の幅員(11m)を条件に、斜張橋、トラス橋、ラーメン箱桁を、経済性、施工性、耐久性及び維持管理性、美観等について相対比較し、PCラーメン橋に決定した。表-2にPCラーメン橋の中央径間長ランキングを示す。江島大橋の中央径間250mは国内最大の浜名大橋を抜いて、PCラーメン橋として世界3位、東洋一の大きさとなる。

表-2 PCラーメン橋の中央径間ランキング

橋名	国名	中央径間長
PARAGUAI-Riv	パラグアイ	270m
GATE-WAY	オーストラリア	260m
江島大橋	日本（島根県・鳥取県）	250m
Skye,mainbridge	イギリス	250m
浜名大橋	日本（静岡県）	240m

(4) 橋梁諸元

江島大橋の橋梁諸元を表-3に、一般図を図-1に、主橋梁部一般図を図-2に示す。

表-3 江島大橋の諸元

事業者	国土交通省中国地方整備局	
工事期間	平成9年～平成16年	
道路規格	第3種第2級	
橋長	全長	1446.2m
	主橋梁部	660.0m
	江島側取付高架橋部	152m+139.2m+60m
	渡町側取付高架橋部	120m+120m+105m+90m
活荷重	B活荷重	
幅員	標準部	11.3m (3.25+0.5+1.5+0.4)×2
	非常駐車帯部	上下線各1ヶ所 15.3m
縦断勾配	江島側	6.1°
	渡町側	5.1°
斜角	90°	
上部工形式	主橋梁部	5径間連続有ヒンジラーメンPC箱桁橋
	陸上取付高架橋部	PC3～4径間ポストテンション箱桁橋
		PC3径間ポストテンションホロースラブ桁橋
下部工形式	主橋脚基礎	仮締切兼用鋼管矢板井筒
	主橋脚	SRC構造中空小判型
	陸上基礎	場所打ち杭
	陸上橋脚	RC構造中空型、充実小判型
	橋台	RC構造逆T型

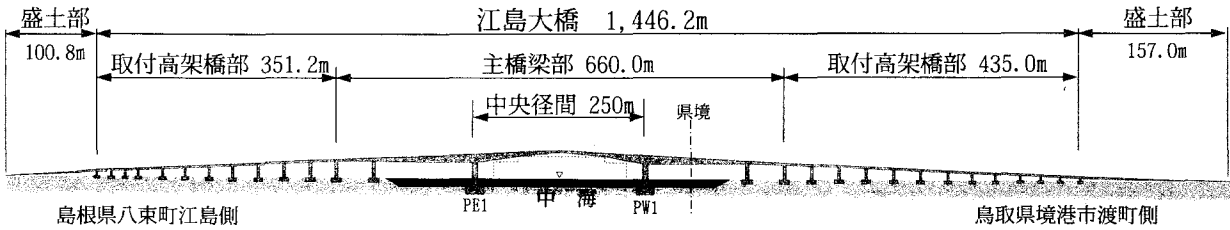


図-1 江島大橋（全体）一般図

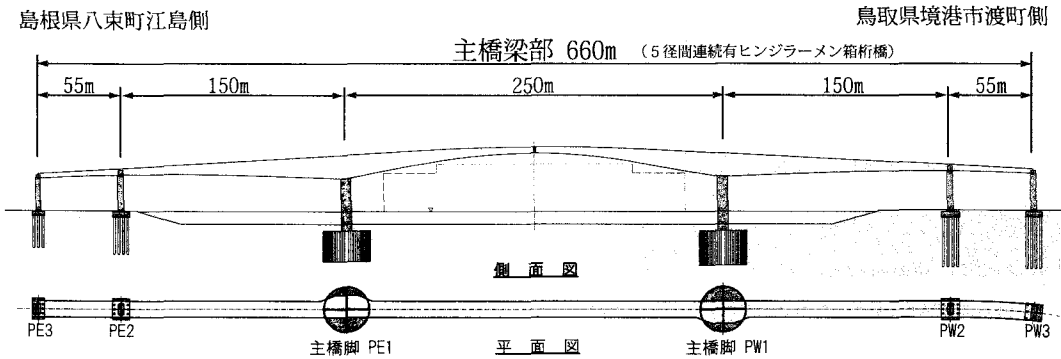


図-2 江島大橋（主橋梁部）一般図

3. 工程短縮方策の検討

江島大橋の工程短縮方策について検討した結果、主橋梁部のうち渡町側主橋脚基礎（以下「PW1」）の施工がボトルネックであることが判明した。このため、PW1 の工程短縮方策について検討を行い、橋脚基礎の工程短縮を図るため、大組鉄筋・鉄骨一括据付工法を採用することとした。

なお、この他に上部工張出架設で施工ブロック数を減らすため、ワーゲンを大型化する等の対策を講じることとした。

表-4 に原工程と短縮後の工程を示す。

表-4 主橋梁部工程表

年度	9	10	11	12	13	14	15	16	17
江島側	仮設工	■■■■■							
	基礎工		■■■■■	■■■■■					
	橋脚工				■■■■■	■■■■■			
	上部工					■■■■■	■■■■■	■■■■■	
	橋面工							■■■	
渡町側	仮設工			■■■■■					
	基礎工				■■■■■				
	橋脚工				■■■■■	■■■■■			
	上部工					■■■■■	■■■■■	■■■■■	
	橋面工							■■■	

■■■■■ 原工程 ■■■■■ 短縮工程

4. 大組鉄筋・鉄骨一括据付工法の概要

PW1よりも先行して工事に着手していた江島側主橋脚基礎（以下「PE1」）の施工において、井筒構築後の井筒内の鉄筋組み立てに時間を要していたことから、PW1の工程短縮を図るため井筒内の部材のプレキャスト化について検討を行った。

検討の結果、事前に別の場所で組み立てた橋脚基礎の鉄筋・鉄骨部材を台船で運搬し、大型起重機船で井筒内に据え付ける工法（大組鉄筋・鉄骨一括据付工法）を採用することにより工程短縮を図ることとした。

大組鉄筋・鉄骨一括据付工法の流れは以下のとおりである。

- ①鋼管矢板井筒基礎の施工
- ②井筒内排水、土砂掘削後、底版コンクリート打設
- ③井筒の施工と並行して、別の場所で鉄筋・鉄骨・鋼殻を大組みし、それを大型輸送台船で運搬して大型起重機船で井筒内に一括据付する

①および②の施工は PE1 と同様の流れであるが、③で大組みした鉄筋・鉄骨を井筒内に吊り込む際に井筒内の切梁が支障となるため、鋼管矢板の増厚等により井筒のみで基本的に自立する構造に変更が必要となる。

大組鉄筋・鉄骨は、頂版の鉄筋とそれに接続される橋脚躯体下部の鉄筋・鉄骨及び型枠代わりの鋼殻、

さらに大組鉄筋・鉄骨を支える吊り架台、吊りピースで構成されており、直径約 30m、高さ約 15m、質量約 1200 トンである（写真-1）。

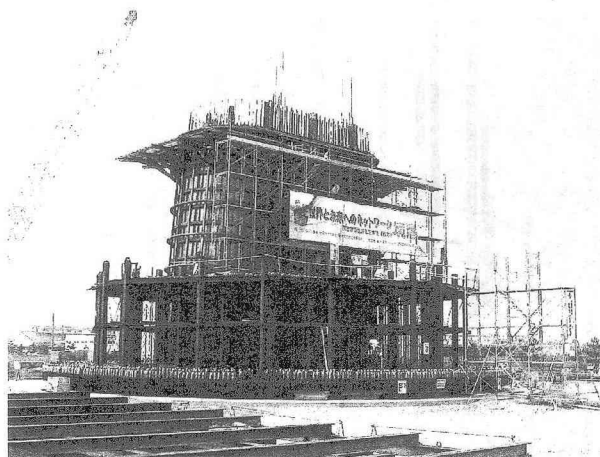


写真-1 大組鉄筋・鉄骨（製作状況）

5. 大組鉄筋・鉄骨一括据付工法の実施にあたっての課題

国内でも事例のない大組鉄筋・鉄骨一括据付工法の実施にあたり、次の3つの課題が想定された。

- ①鉄筋・鉄骨のプレキャスト化
- ②井筒の変位抑制と据付精度の確保
- ③大型起重機船の選定と航行安全対策

コンクリート構造物の鉄筋は通常番線等で結束されているだけである。1つ目の課題は、この番線等で大組した鉄筋を安全に吊り上げて据え付けられるように、いかにプレキャスト化するかである。

次に、大組鉄筋・鉄骨を井筒内に吊り込むためには、井筒内の切梁が障害となる。2つ目の課題は、安全に大組鉄筋・鉄骨を井筒内に据え付けるため井筒と大組鉄筋・鉄骨との間のクリアランスを確保することが重要であり、切梁がない状態で井筒の変位をいかに抑制するか、更に水上施工で起重機船の動揺等も想定される中、いかに据付精度を確保するかである。

3つ目の課題は、1200 トンの大組鉄筋・鉄骨を吊上可能で、航行経路に存在する境水道大橋（桁下高さ 39m）を通過できる大型起重機船を選定し、狭隘な境水道を安全に航行させることである。

(1) 鉄筋・鉄骨のプレキャスト化に係る検討

a) 吊り架台

組み上げた鉄筋・鉄骨はそのままでは吊り上げられないため、H鋼の吊り架台に載せそのまま井筒内に据え付けることとした。吊り架台は、大組鉄筋・鉄骨全体を支える水平部材と鉛直の吊り部材から構成される。図-3 に吊り架台の構造図を示す。吊り架台は三次元骨組み計算により設計した。吊り点数は

大型起重機船の吊りフックの数を考慮して、最も安定する 32 点吊りとした。実際に吊り上げた結果、偏心することもなく安定して吊り上げることができた。

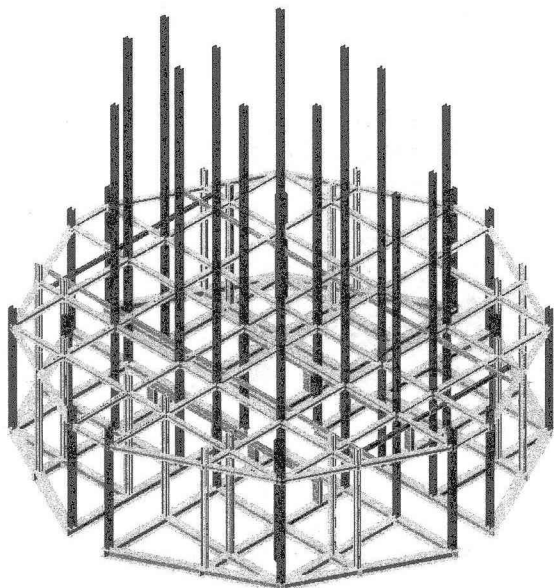


図-3 吊り架台構造図（三次元で表示）

b) 頂版

PW1 井筒の頂版は、直径約 30m、高さ 6m である。頂版の主要鉄筋は、D51 の下筋が 3 段、D41 の上筋が 2 段、上下を繋ぐ D51 の鉛直連結筋が円周上に 2 列で配置されている。当初計画では、鉛直連結筋を大組の段階で組んでおく予定であったが、頂版結合のスタッドジベルが井筒内で設置できないことから、鉛直連結筋は井筒内据付後に設置するよう変更した。

c) 橋脚下部

頂版に繋がる橋脚には主筋に D51 を使用しているが、圧接継ぎ手箇所を減らすために出荷最大長（ $l=12\text{m}$ ）の鉄筋を使用している。そのため、頂版から立ち上がる鉄筋 1 段目（ $h=9\text{m}$ ）までを大組することにした。頂版部は井筒に結合するため型枠が不要であるが、橋脚部は型枠が必要となるため、この型枠代わりの鋼殻も合わせて設置し、コンクリート打設に必要な日数を短縮することにした。なお、鋼殻は型枠代わりであることから 6mm 鉄板を使用したため、橋脚の強度計算には加味していない。

(2) 井筒の変位抑制と据付精度の確保に係る検討

a) 井筒の構造等の見直し

大組鉄筋・鉄骨の据付に際し切梁の存在が支障となるため、鋼管矢板のみで自立させる必要がある。このため、外周鋼管矢板の肉厚を PE1 が 12mm～14mm であったのに対し PW1 では 19mm～25mm に増厚した。また、井筒の内径と大組鉄筋・鉄骨の直径のクリアランスが設計上 220mm しかなく腹起こしも設置できないため、腹起こしの代わりに鋼管矢板上面を開削

して補強リングを設置した（写真-2）。補強リングの設置により、井筒頂部の直径の変位を 2mm に抑えることが出来た。

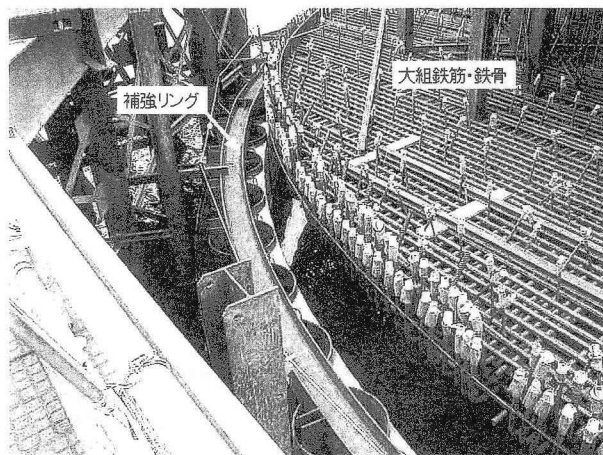


写真-2 渡町側井筒上面の補強

b) 鋼管矢板井筒変位の予測と計測施工

底版コンクリートの仕上げ時と隔壁鋼管矢板の切断時には井筒内を一時ドライにする必要がある。この時井筒には、底版コンクリート高-19m と原地盤高-7m の差の土圧及び水圧が外力として作用する。この外力で井筒が変形すると大組鉄筋・鉄骨とのクリアランスがさらに小さくなるばかりか、継ぎ手の止水が破断する恐れもある。そこで、弾塑性解析により各施工段階における井筒の変位量を計算し、計算上部材等に問題がないことを確認した。

また、実際の施工はデジタル写真計測により変位量を動態観測³⁾し事前の計算結果と照合しながら行った。このデジタル写真計測は、鋼管矢板内面にターゲットを取り付け、デジタル写真撮影してパソコン上で三次元座標を計算するものである。計測の結果、最大約 25cm の変位が計測されたものの、井筒全体では平均して約 12cm の変位となり、弾塑性解析の変位量約 11cm とほぼ等しい値となった。なお、ターゲットは光波測距儀の光波も反射するため観測結果との誤差を調べたところ 1～2mm の誤差であり、デジタル写真計測による手法が精度の高い手法であることが検証された。

c) 中間杭

大組鉄筋・鉄骨の据付にあたっては、切梁を支える 400H の中間杭をガイド杭として使用し、大組鉄筋・鉄骨に設置した $\phi 700$ の鋼管をガイド杭に差し込んで据付を行うこととした。差し込鋼管とガイド杭のクリアランスは設計上 76mm しかなく、しかも水中で打設した中間杭の精度は必ずしも良いものではない。そこで、中間杭と併せて補助杭 4 本を打設し、切梁を一旦補助杭で受け、井筒の排水時に中間杭を台直しし所定の位置に付け直した。

また、据付にあたってはガイド杭の高さにそれぞ

れ50cmの標高差を付けて差込を1本ずつ確実に行うとともに、先端にくさび加工を施してスムーズに差込を行えるよう工夫した。

d) 据付

据付手順は次のとおりである。大型起重機船で台船から吊り上げ、井筒の直上まで移動させる。2方向からの誘導により大組鉄筋・鉄骨を設計位置に誘導し、チルホールでガイド杭の位置を微修正しつつ大組鉄筋・鉄骨を徐々に下げていく。井筒の変位に組立精度も加わって、井筒とのクリアランスは更に減少し100mm以下であったが、最終的な据付精度は設計に対し2cm以内であった。

写真-3 に大組鉄筋・鉄骨の据付状況を示す。



写真-3 大組鉄筋・鉄骨の据付状況

(3) 起重機船の選定と航行安全対策に係る検討

a) 航行経路の条件

大組鉄筋・鉄骨の製作場所が竹内ヤードとなったため、起重機船と大組鉄筋・鉄骨を積載した輸送台船を、図-4 に示す経路に沿って竹内ヤードから施工現場まで航行することとなった。経路の途中には、最小航路幅 160m の狭隘な境水道と、桁下高 39m の境水道大橋があり、これらが航行安全上の制約条件となった。

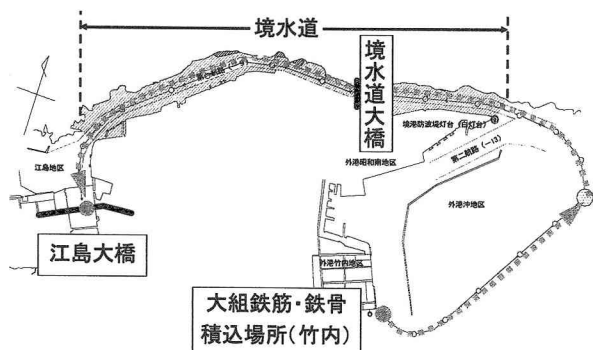


図-4 航行経路図

b) 起重機船の選定

1200 トンの大組鉄筋・鉄骨を吊上可能で、境水道大橋を安全に通過するためにジブを 35m 以下に倒すことができる起重機船として、写真-4 に示す 3700 トン吊り大型起重機船を選定した。この大型起重機船は船長 110m、船幅 50m、ジブを最大 11° まで倒すと全長 311m にもなる。

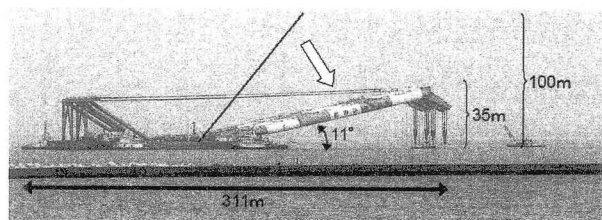


写真-4 3700 トン吊り大型起重機船

c) 航行安全対策⁴⁾

この大型起重機船は自力で航行できないため、曳船が必要となる。

大型起重機船の全長が 311m、船幅が 50m であるのに対し、境水道の最小幅は 160m であるため、境水道の航行時に風荷重による起重機船の回転を制御するための検討を行った。

風荷重による回頭モーメントを求めると 3770tf・m(36970kN・m)となる。補助曳船 2 隻を対角に配置して抵抗すると、そのモーメントは 3000ps2 隻で 4140tf・m(40600kN・m)となる。回頭モーメントは、左右 2 方向に働くため、写真-5 に示すように各対角に 4 隻の補助曳船を配置した。

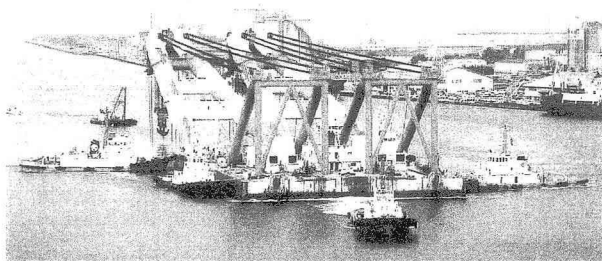


写真-5 大型起重機船団の航行状況

6. 大組鉄筋・鉄骨一括据付工法の経済評価

今回の工事では強い社会的要請から工程短縮の優先順位が高くなったため、大組鉄筋・鉄骨一括据付工法の採用にあたり工法の経済性については特に支障とはならなかった。

しかしながら、昨今公共事業のコスト縮減要請が高まる中、今回採用された工法を今後活用するためにも経済性について検証を行っておく必要がある。このため、一般的な施工方法で実施した PE1 と大組鉄筋・鉄骨一括据付工法で実施した PW1 のコストの比較を行った。

PE1 と PW1 では鋼管矢板の根入れ長や施工時期の違いによる単価差等の差異があり必ずしも厳密な比較ではないが、PE1 の約 19.0 億円に対し PW1 が約 20.1 億円と約 1 億円(約 6%) 高くなる結果となった。なお、今回の工事は大型起重機船を大阪湾(堺泉北港)から日本海(境港)まで回航し、狭隘な境水道を航行させるなど厳しい制約の中の工事であり、これら回航費や安全対策費がコストに反映された面もあると考えられる。しかしながら、逆にこれらの制約が少ない工事であれば、工程短縮による社会経済効果を勘案すると、十分な費用対効果が得られる工法であると考えられる(参考までに江島大橋の整備による発生便益は年間約 23 億円と推定⁵⁾される)。

7. おわりに

境港江島大橋の工事において、国内でも事例のない橋脚基礎の鉄筋・鉄骨をプレキャスト化し大型起重機船で吊り込む“大組鉄筋・鉄骨一括据付工法”を採用した結果、4ヶ月の工程短縮が図られた。

今回の現場条件において大組鉄筋・鉄骨一括据付工法と従来工法とのコストの比較を行った結果、従

来工法に比べ若干コストが増加することを確認した。しかしながら、早期供用による経済効果が期待されることから、起重機船の回航距離や近隣の施工ヤードの有無といった本工法が成立する条件を満足する現場であれば、社会経済的観点から導入検討に値する工法であると考えられる。

謝辞：工程短縮にあたり、工事関係者はもとより地元の方々の協力をいただきました。この場を借りて、事業に関わった全ての方々に感謝します。

参考文献

- 1) 運輸省第三港湾建設局：境港江島臨港道路計画調査報告書，1987.3
- 2) 運輸省第三港湾建設局：境港江島地区臨港道路江島幹線技術計画調査報告書，1989.3
- 3) 片岡誠一：東洋建設(株)第32回施工技術研究発表会論文集，2003.6
- 4) 国土交通省中国地方整備局：境港・江島間架橋建設に伴う船舶航行安全対策調査報告書，2002.3
- 5) 国土交通省中国地方整備局：平成15年度第2回中国地方整備局事業評価監視委員会，資料8(1)，2003.9