

# 九島大橋橋脚のプレキャスト化について

清水 康弘

宇和島市 建設部 建設課 (〒798-8601 愛媛県宇和島市曙町1番地)

通常、海中での橋脚の構築は、鋼管矢板基礎等の工法により、施工箇所周辺を締切り、橋脚躯体を構築することが多くみられるが、本架橋地点は水深が約30mと深く、本橋が2車線で幅員が狭い状況の中、高強度鉄筋等の使用による橋脚断面のコンパクト化、また、現存する起重機船での据付を可能とする内空構造により、陸上でのプレキャスト化が可能となった。

本稿では橋脚のプレキャスト化における設計時および施工時の工夫について報告する。

キーワード プレキャスト化, エポキシ樹脂塗装鉄筋, 水中不分離性コンクリート

## 1. はじめに

九島大橋は、愛媛県宇和島市の坂下津と九島を結ぶ、全長 468m の 3 径間連続鋼床版箱桁橋である (図-1)。

本事業は、平成 20 年度から本格的な調査が開始され、平成 24 年度に、愛媛県へ橋梁本体工事を委託、建設工事に着手し、平成 28 年 3 月に完成、同年 4 月に供用を開始した。なお、本橋の橋梁諸元を表-1 に示す。

本橋の施工箇所は、水深が約 30m、主桁は海上約 25m の高さに計画され、道路幅員は 8.25m という桁幅の狭い、正方形に近い断面構造となっている (図-2)。

また、本橋は海上に位置することから、厳しい塩害環境に架設されている。

特に、赤潮が発生しやすい夏場 (7 月~9 月) は、床掘等の海底部の工事を行わないよう要望があり、

海上施工については、施工箇所周辺の海域で行われている魚類養殖に配慮し、海上部橋脚の現地施工の短縮化を図ることが求められた。

さらに、水深が深いため鋼管杭と橋脚本体との結合部の検証が必要であった。

表-1 橋梁諸元

路線名	市道坂下津1号線	
道路規格	3種4級	
設計速度	30km/h	
橋長	468m	
支間長	140.25m+185.00m+140.25m	
構造形式	上部工	3径間連続鋼床版箱桁
	下部工	張出式橋脚(鋼管杭基礎) 逆T式橋台(深礎杭基礎)
幅員構成	車道 7.25m (2車線)	
地盤種別	II種地盤	
設計荷重	A活荷重	
塩害の影響地域	C-S (愛媛県-海上)	

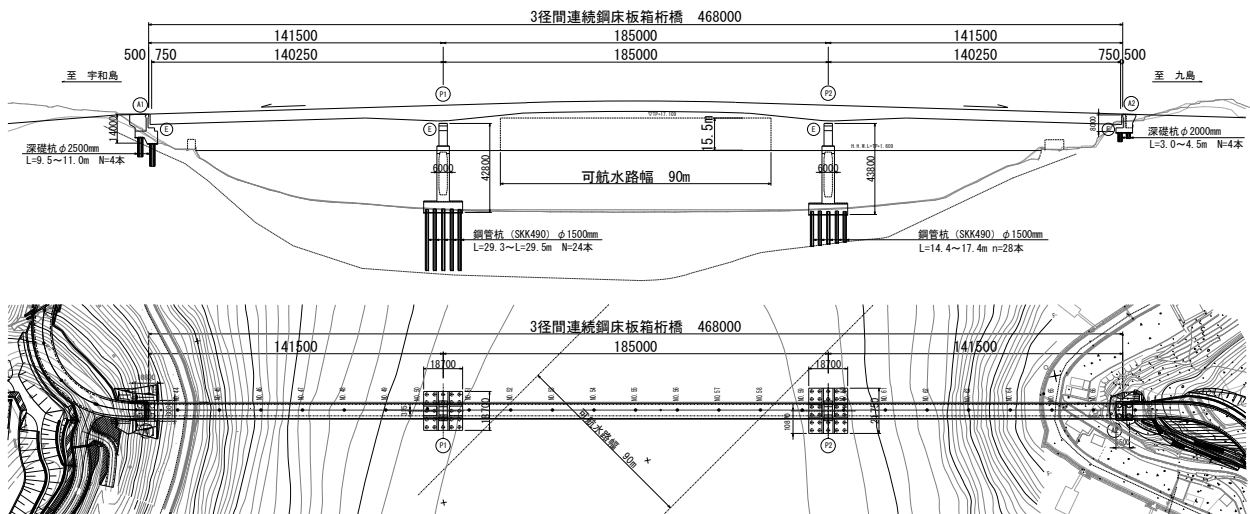


図-1 橋梁全体一般図

本橋の主桁断面は図-2に示すように張出式箱桁断面であり、桁高は標準部が5m、支点部が7.5mである。標準部の幅員B(8.25m)と桁高D(5.0m)の比B/Dは「1.65」と極めて小さいことから、耐風安定性を確保するため、部分模型(縮尺1/50)および全橋模型(縮尺1/100)による風洞実験を行い、桁の上下側面には水平プレートを、防護柵には抑流板を設置している。

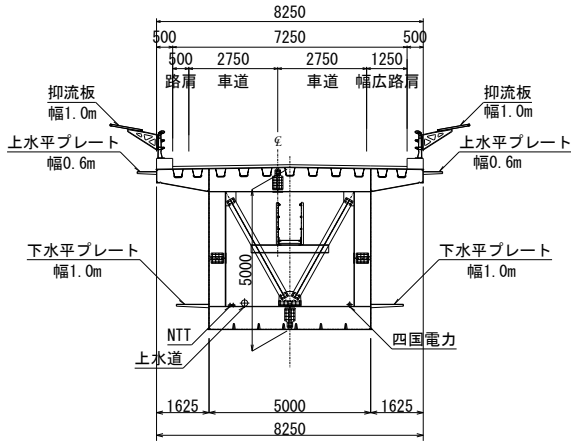


図-2 桁断面図(標準部)

## 2. 橋脚形式の選定について

海峡部の橋脚形式は、水深が深く、支持層が海底から深く中間層に玉石を有するという厳しい条件であった。このため、基礎形式は杭基礎および柱状体基礎のうち、橋脚材料(鋼、RC)との組合せも考慮して一次比較にて抽出し、鋼管杭基礎(打撃工法)およびニューマチックケーソン基礎を選定した(図-3)。

次に一次比較抽出案にて施工性・維持管理性・経済性にて詳細検討を実施した結果、基礎工は海上施工(杭打船)および短期施工が可能である鋼管杭基礎(打撃工法)を選定し(表-2)、海中部の橋脚とフーチングの骨組みを陸上で製作(プレキャスト)したRC橋脚を大型起重機船(4,100t吊)で基礎上に据付け、コンクリートプラント船を用いて水中不分離性コンクリートでフーチングと鋼管杭を結合する構造とした。

特に、本橋におけるRC橋脚は、鋼製橋脚と比べ重量は大きくなるが、防食が不要であり、耐久性に優れるエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用することで、長期間にわたって品質が確保されるとともに維持管理も容易となる特徴を有す。

なお、結合方法については、海中での配筋作業やそれに伴う締切設備が不要となる「方法A」を採用した(図-4)。また、本橋下部工の施工手順を図-5に示す。

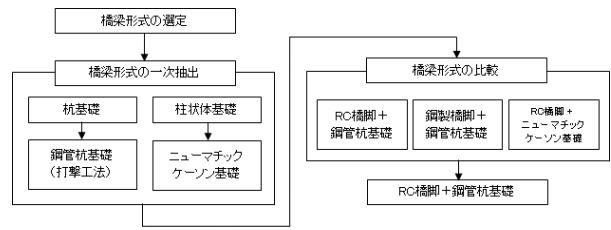


図-3 橋脚形式の選定フロー

表-2 橋脚形式比較表

	RC橋脚 鋼管杭基礎	鋼製橋脚 鋼管杭基礎	RC橋脚 ニューマチックケーソン基礎
基礎形状 (P1橋脚)			
経済性	○ (1.00)	○ (1.22)	△ (1.64)
施工工期	○	○	△
維持管理性	○	△	○
評 価	◎	○	△

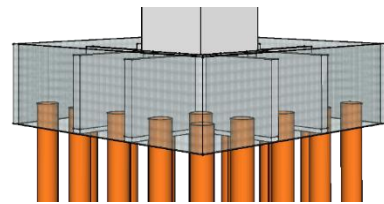


図-4 フーチングと鋼管杭の結合(方法A)

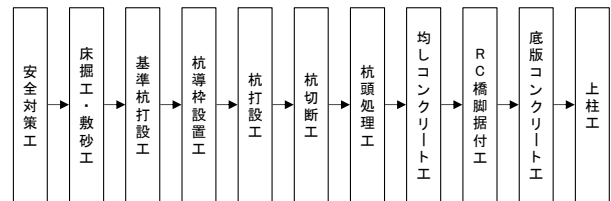


図-5 橋脚施工手順

## 3. 橋脚のプレキャスト化

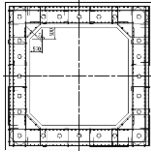
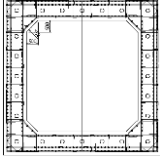
### (1) 橋脚の耐久性向上と断面の最適化

海中に設置される本プレキャスト橋脚は、本地点が塩害の影響が激しい地域に区分されることから、耐久性の観点より「エポキシ樹脂塗装鉄筋」を使用した。さらに、大型起重機船によるプレキャストRC橋脚の架設を可能とするために、下部構造本体の重量軽減を目的に、躯体断面は中空とし、また、鉄筋に高強度材料(SD490)を使用することで、海中橋脚の軽量化を図った(表-3)。

なお、躯体内部を中空のままにした場合、海中への据付後には、外水圧により躯体が変形し、断面に

引張力が発生することから、断面厚を増加させなければならない。よって、据付後は、中空断面内への海水注入を行った。

表-3 高強度材料による断面比較 (P2橋脚)

	SD490	SD345
断面図		
断面諸元	6.00m×6.00m	6.75m×6.75m
吊重量	3,500t	3,750t
評価	プレキャスト化による起重機船吊上げが可能 (◎)	既往の起重機船では吊上げが不可能 (×)

### (2) 温度応力ひび割れ照査

本工事では、構造物の安全性、水密性、気密性、耐久性等を確保することを目的に、温度応力ひび割れ照査を行った。なお、温度解析および応力解析は三次元有限要素法(FEM)により実施した。

ひび割れ制御の目標値は、補修が必要となるひび割れ幅の限界値が一般的に0.20mmとされているが、エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いた場合の鋼材腐食に対する許容ひび割れ幅は、無塗装鉄筋を用いた一般の値より10%割増してよいとしているため、1割増しの0.22mmと設定した。

解析の結果、ひび割れ幅が0.22mmを上回るリフトについては、ひび割れ制御鉄筋を配置することで、ひび割れ幅が許容値内となるよう抑制した。

### (3) 橋脚製作ヤードの軟弱地盤改良

本橋脚は、宇和島港内の港湾施設(野積場)にて製作を行った。当該箇所は埋め立てにより築造された施設であり、試掘の結果、表層埋土の弱層が傾斜し、また中間層には礫が堆積しており、同時に、試掘内の水位と岸壁前面の潮位を測定した結果、地下水位は潮位と連動して動くことが判明した。

また、簡易貫入試験により、埋土部分のN値は3~14であることが判明した。

以上の結果を用いてFEM解析を行ったところ、橋脚完成時には製作架台左端で182mm、右端で37mm、の沈下が生じることが判明したため、転倒を防止するため、軟弱地盤対策として、場所打ち杭基礎(全周回転式)による地盤改良を行った。

### (4) 大型起重機船による橋脚吊上げ・据付時の対策

プレキャスト部となる橋脚下柱およびフーチングの隔壁部については、32本のPC鋼材(横締め)により補助的に軸力の追加を行った(図-6)。

これは、本橋脚は製作場所から架設位置までの1.8kmを大型機起重機船により吊曳航を行う必要があり、この時、橋脚上端から吊上げるため、フーチ

ングの隔壁部が常に片持ち状態となる。そのため、鉄筋の応力を低減させる目的で横締めを行った。

また、下柱橋脚においては、躯体内に、橋脚の自重(最大重量約3,500t)による引張応力の発生に伴うひび割れが発生し、供用後の耐久性の低下が懸念されること、吊上げ用の金具を橋脚躯体に直接アンカー材により設置することは困難であることから、吊上げ用の24本の仮設PC鋼材(縦締め)と、吊上げピースの付いた架設用のフレームを設けることとした(写真-1)。

据付の規格値は、平面位置「±150mm以内」、高さ「±100mm以内」であり、高い精度が求められ、正確かつスムーズな据付が可能となるよう、あらかじめフーチング側面部の鋼製枠の2か所に導杭を通すためのガイド枠を設けた(写真-2)。

なお、本橋脚の製作は2基同時に行い、期間は約9ヵ月を要した(写真-3)。

据付は、平成25年5月15日(P1橋脚)と5月20日(P2橋脚)に行われ、1m/minの降下速度で8時間かけて行われた(写真-4)。

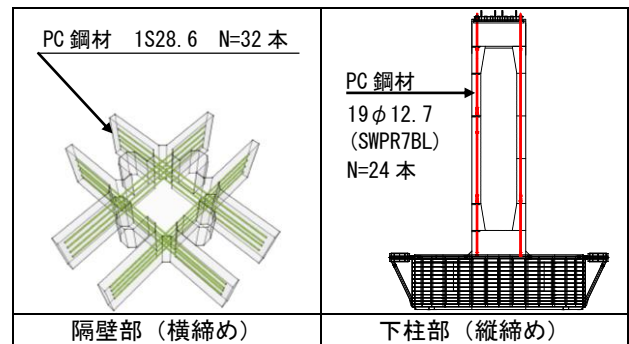


図-6 架設PC鋼材



写真-1 架設用フレーム(玉掛け後)

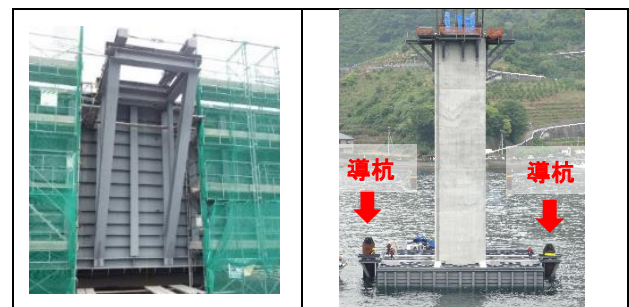


写真-2 ガイド枠と沈設状況



写真-3 完成したプレキャストRC橋脚



写真-4 起重機船による据付状況（P2橋脚）

#### (5) 水中でのフーチングと鋼管杭との結合

フーチングと鋼管杭の結合は、海中でのコンクリート打設となり、コンクリート材料の分離および施工時の汚濁発生による養殖魚への影響が懸念されたことから、成分の不分離性に優れ、高い流動性を有する水中不分離性コンクリート（P1橋脚：約1,300、P2橋脚：1,500m<sup>3</sup>）を使用した。また、フーチング部は、セルに分割した骨組み構造とすることで、杭との結合を可能とした（写真-5）。

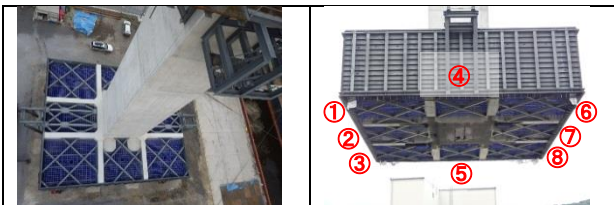


写真-5 フーチング部の骨組み構造

#### (6) 水中不分離性コンクリートの試験施工

同コンクリートは、道路橋示方書には記されていない材料であること、水中での施工となり施工の難易度が高いこと等より、実寸法の約1/8モデル（写真-6）による試験施工を行い、設計計画における要求性能を満足できること、および施工の確実性の確認を行った。

試験施工において確認した事項を下記に示す。

- a) 施工に対する確認事項
  - ・流動性および充填性の確認（目視による確認）
  - ・打ち込み時の管理筒先高さの確認
- b) 設計に対する確認事項
  - ・強度確認（圧縮、引張、せん断）
  - ・プレキャスト部と水中不分離性コンクリートおよびエポキシ樹脂塗装鉄筋の付着強度の確認

試験の結果、コンクリート標準示方書で規定され

ている「水中落下高さ 50cm 以下」に則って打ち込むことで、設計計画における要求性能を満足し、施工の確実性についても確認できた（表-4）。

水中不分離性コンクリートによるフーチングと鋼管杭の結合後、海上で上柱を構築し、大型起重機船（2,200t吊）による3ブロックに分割した橋桁の大規模一括架設を行い、平成28年3月、九島大橋が完成した（写真-7）。



写真-6 1/8モデル供試体による試験状況

表-4 試験施工における設計に対する確認結果例

	判定基準 (N/mm <sup>2</sup> )	試験結果 (N/mm <sup>2</sup> )	備考
圧縮強度	30 以上	41.6	$\sigma_{11}$
引張強度	2.22 以上	3.74	
せん断強度	5.53 以上	6.03	
付着強度	1.53 以上	12.33	



写真-7 九島大橋全景

## 4. まとめ

本架橋地点は、水深が約 30m あるものの、今回、橋脚をプレキャスト化することにより、締切設備等の大規模な仮設備の省略に伴うコスト縮減や、維持管理を含めた橋脚そのものの品質の確保が可能となったことは大きな成果であった。

また、本施工箇所のように、船舶の航行に影響を与えるような箇所や、水質汚濁による養殖魚への影響が懸念されるような箇所においては、海上での工事期間も短くて済むことから、プレキャスト化は非常に有効な工法であるといえる。

そして、水中不分離性コンクリートの試験施工により、施工の確実性について確認できたことは、本橋梁の信頼を高めることになったといえる。