

## 活線下における長大 PC 橋の支承取替工事

藤ノ木 勉\*1・大野 俊平\*2・今井 麻祐子\*3

## 概 要

JR 瀬戸大橋線（本四備讃線）北浦港橋りょうの耐震補強工事では、中間の海上部橋脚を補強して地震の影響を負担させると橋脚基礎も補強が必要となった。また、海上橋脚は海上作業を最小限とするため、橋脚自体の補強を不要とするように橋梁を免震化する補強方法が採用された。具体的な免震化の方法は、中間橋脚では鋼製ローラー支承から鉛プラグ入りゴム支承に交換した。また、端部橋脚は支承部の構造をすべり支承と円筒形の制震ダンパーの併用とすることとした。

施工は、設計反力に応じた支承交換用ジャッキを橋脚もしくは仮設ベント上に配置して、一時的に上部構造と列車の荷重を受け替えて支承の交換を行った。

キーワード：鉄道橋梁，耐震補強，免震化，支承交換

REPLACEMENT OF BEARINGS FOR A LONG-SPAN RAILWAY BRIDGE,  
WHILE TRAINS ARE OPERATING

Tsutomu FUJINOKI \*1, Shunpei OHNO \*2, Mayuko IMAI \*3

## Abstract

For the project of seismic reinforcement of the piers of the Kitaura Port Bridge on the JR Seto-Ohashi Line (Hoshi Bisan Line), it was found that it was necessary to replace the foundations of the piers themselves in order to achieve the objective of the project. For work on the intermediate piers at sea, we adopted a method to isolate the bridge seismically, considering it is possible to produce the desired resistance on the piers, and to minimize work at sea. Specifically, steel roller bearings used on the intermediate piers at sea were replaced by lead plug built-in rubber bearings. For the shore side piers, the structure of the pier was designed to consist of a sliding bearing and a cylindrical vibration control damper.

To proceed with construction, a specially designed reaction resistant jack was put on the pier or the provisional bent to temporarily support the weight of the upper structure and train load, and during this time, the bearing was replaced by a new one.

Keywords: railway bridge, seismic reinforcement, seismic isolation, replacement of bearings

---

\*1 Manager, Concrete and PC Group, Bridge Technology Department, Civil Engineering Division

\*2 Concrete and PC Group, Bridge Technology Department, Civil Engineering Division

\*3 Foundation / Ground / Earthwork Group, Underground / Foundation Department, Civil Engineering Division

## 活線下における長大 PC 橋の支承取替工事

藤ノ木 勉\*1・大野 俊平\*2・今井 麻祐子\*3

### 1. はじめに

一般的な橋梁の耐震補強は、補強の目的に応じて橋脚部材の全体、もしくは一部を鉄筋コンクリートや鋼板・鋼棒、炭素繊維・アラミド繊維等の合成繊維で巻き立てるものである。

JR 瀬戸大橋線（本四備讃線）北浦港橋りょうの場合、海上部の橋脚を補強して地震の影響を負担させると基礎も補強が必要となる。本橋の海上橋脚は連続地中壁基礎で基礎の長さが 50m を超える。本橋の基礎は曲げ補強になるため、太径鉄筋を深さ方向に 20m 程度まで配置しなければならず、海面汚染のリスクが高い。そのため、地元の同意が得られにくいこと、また、工事費用が多大となることから、橋脚自体は補強せずかつ海上作業が最小限となる方法が採られることとなった。

### 2. 本橋梁の概要

JR 瀬戸大橋線北浦港橋りょうは、5 径間の PC 連続箱桁と 6 基の壁式橋脚から成り、中間橋脚のうち 3 基が北浦漁港内に位置している。昭和 60～62 年にかけて道路鉄道併用の本四連絡橋瀬戸大橋ルートに接続するため当時の本州四国連絡橋公団で建設されたものである。

橋長は 450m で起点方（岡山側）より支間長が 85+2@120+85+40m と国内の PC 鉄道橋として最大級の支間を有している。

支承部は、鉄道橋りょうでは一般的な鋼製ローラー構造である。支承構造として水平力に抵抗する鋼角ストッパーは、可動域に粘性体を封入したダンパータイプとして各橋脚に地震時の水平力を分散支持させている。

下部構造は、海上橋脚部が連続地中壁基礎、陸上橋脚部が杭基礎で、いずれも基礎長が 50m 前後になる。

なお、本橋の設計検討は JR 四国からの委託を受けて鉄道総合技術研究所が実施したもので、当社は検討の途中から施工者の立場で係わってきた。

### 3. 補強方法

#### 3. 1 耐震設計

本橋が支承の免震化を主とする耐震補強となった経緯として、設計委託業務の成果である「本四備讃線北浦港橋りょう耐震補強設計業務」<sup>1)</sup>の概要を示す。

まず過年度の検討結果より、通常の耐震補強方法では基礎の補強を伴うことと、移動制限装置の構造が大規模になり、施工性・経済性に大きな問題が生じるとの判断から、海上部橋脚の耐震補強を最小限とするため、支承免震化を主とする再検討を行うこととなった。

免震化の検討は、以下を前提条件としている。

- ・海上部橋脚は弾性範囲内となるよう応答値を低減する。
- ・地震時に桁受け部および隣接桁との衝突を避けるため、端部支承の変位量を 100mm 以内に抑える。
- ・地震時の走行安全性を満足させるため、走行性解析により挙動を確認する。

以上から、全体構造を非線形 1 自由度モデルとして各種パラメータによる動的解析を行い、免震装置を選定した。その結果、中間橋脚を免震ゴム支承に、端部の支承をすべり支承に交換し、さら

\*1 土木本部 橋梁技術部 コンクリート・PC グループ グループリーダー

\*2 土木本部 橋梁技術部 コンクリート・PC グループ

\*3 土木本部 地下・基礎技術部 基礎・地盤・土工グループ

に桁端部に制震ダンパーを設けることで、上部構造の変位を抑制して隣接桁との衝突を避けることとした。

さらに全体系フレームモデルによる時刻歴動的解析を実施し、上記の耐震補強方法（免震化）の妥当性を検討した。その結果、1P 橋脚躯体のせん断耐力が不足するため、1P 橋脚躯体のみせん断補強を行うこととした。

また、鉄道標準（変位制限）に基づき、補強後の地震時列車走行性に係わる影響検討を実施した。

### 3. 2 補強設計

耐震補強設計では、上記した全体系フレームモデルによる時刻歴動的解析結果から 1P 橋脚の周方向に巻き立てる炭素繊維シートを補強量を算定した。また、端部をすべり支承としたことで、走行安全性確保のため移動制限工として橋軸直角方向に対する RC 構造のサイドブロックを設けることとした。

以上から、各橋脚の補強方法は以下の通りとなった（図-1 参照）。

- ・1P 橋脚部・・・すべり支承への交換・ダンパー設置・サイドブロック設置・躯体繊維補強
- ・2P～5P 橋脚部・・・免震支承への交換
- ・6P 橋脚部・・・すべり支承への交換・ダンパー設置・サイドブロック設置

## 4. 施工概要

### 4. 1 支承交換

#### (1) 施工方法

基本的に支承の交換は、支承位置の近傍に設計反力に応じた能力のジャッキを据え、その間隙を使って、既設支承を撤去し、新設支承を設置する方法とした。

また、使用するジャッキは、交換作業を行う 5 ヶ月程度（海上橋脚の場合）の間、鉛直反力をジャッキのみで受けるため、ロック機構を有する大容量の補修用ジャッキを用いた。本橋の設計反力は極めて大きいため、ジャッキ反力により上下部構造に作用する支圧応力、橋脚縁端のせん断（欠落ち）による影響を考慮してジャッキの受圧面積、受圧高さや位置を検討した。この検討結果からジャッキ配置と転用を考慮して、表-1 に示すよう

表-1 既設支承重量、設計反力と使用ジャッキ

	既設支承 総重量 (tf)	設計反力 (死荷重+列車) (kN)	仮受けジャッキ	
			能力 (kN)	基数
1P	2.8	8,750.0	10,000	2
2P	29.3	40,296.0	15,000	4
3P	29.1	40,296.0	15,000	4
4P	28.9	40,296.0	15,000 ※	4
5P	5.0	18,132.0	10,000	4
6P	1.4	6,188.0	10,000	1

※ 4Pが固定点

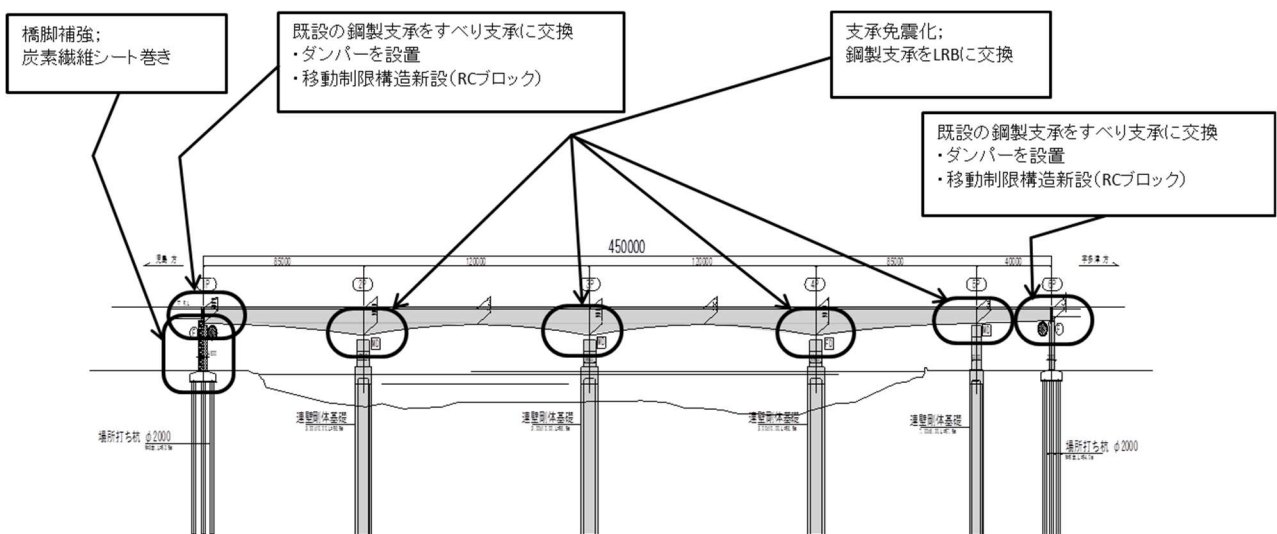


図-1 北浦港橋りょう 耐震補強概要図

にジャッキの能力と台数を設定した。

また、既設の鋼角ストッパーは支承交換後も移動制限装置として存置するが、支承交換中も落橋防止構造として機能を保持させた。

支承は、海上1橋脚、陸上1橋脚を1組として同時期に交換することとして、2P+5P ⇒ 3P+6P ⇒ 1P+4Pの施工順で2橋脚を挟む組み合わせとした。

(2) 中間橋脚

海上橋脚は橋脚外の施工制約が大きく、重量の大きい物は橋脚で支持する必要がある、また、上部構造と下部構造が平面的に重複する範囲にジャッキを据えなければならない。また、国内にある最大能力のジャッキでも設計反力に対する能力が小さく、支承1基あたり4台のジャッキが必要となったことから、ジャッキ位置は橋脚線路方向の縁端となった(図-2参照)。

また、橋脚の両側面に張出し式の仮設構台を設け、資機材の送り込みと既設物の撤去を側面方向から行うこととした。支承材料、仮設資機材の搬入は隣の丸亀市から台船で、支承台座のコンクリートは打設時間の制約があり、現場に隣接する北浦港から連絡船を使用して搬入した。

施工順序は図-3のフローにあるとおり、上沓の一部は桁内の既設アンカーが撤去できないことと新支承のアンカーは上面の空きに施工できることから、既設の上沓を存置した。それでも既設支承の撤去重量が約22tあることから、ローラー、下沓等を部位ごとに解体して撤去した。

既設支承の高さは、海上部の2P~4Pで約1.85m、陸上部の5Pで約0.8mであり、新支承の高さは約0.4mと小さくなるため、高さ調整と支承反力を伝達するための台座コンクリートを新支承の上下部に施工した。なお、コンクリートは既設構造および支承の間隙に打設するため逆打ちとなる。基本的に高密度配筋の部位で十分な締固めができないため、高流動コンクリートを使用し、最上部は無収縮モルタルを充填した。

なお陸上の5P橋脚は、支障物がないため橋脚

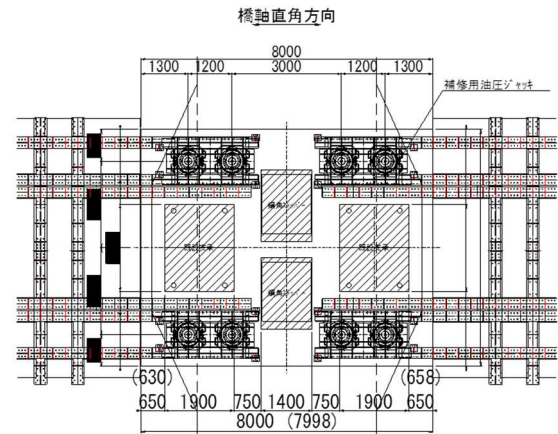
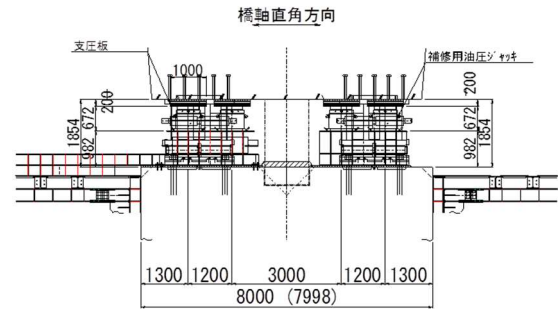


図-2 2P~4P 海上橋脚ジャッキ配置

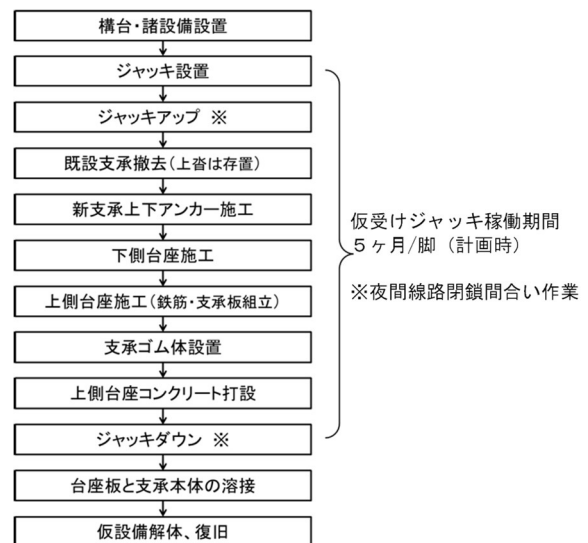


図-3 2P~4P 支承交換作業フロー

の周囲にベントを立てて交換作業を行った。

(3) 端部橋脚

端部の1Pおよび6P橋脚については、橋脚上に所定の反力を受ける能力のジャッキを据えるスペースがなく、また、橋脚上面にもジャッキ反力に耐える受圧面が確保できないことから、図-4に示すように橋脚の支間中央側前面の基礎上にベン

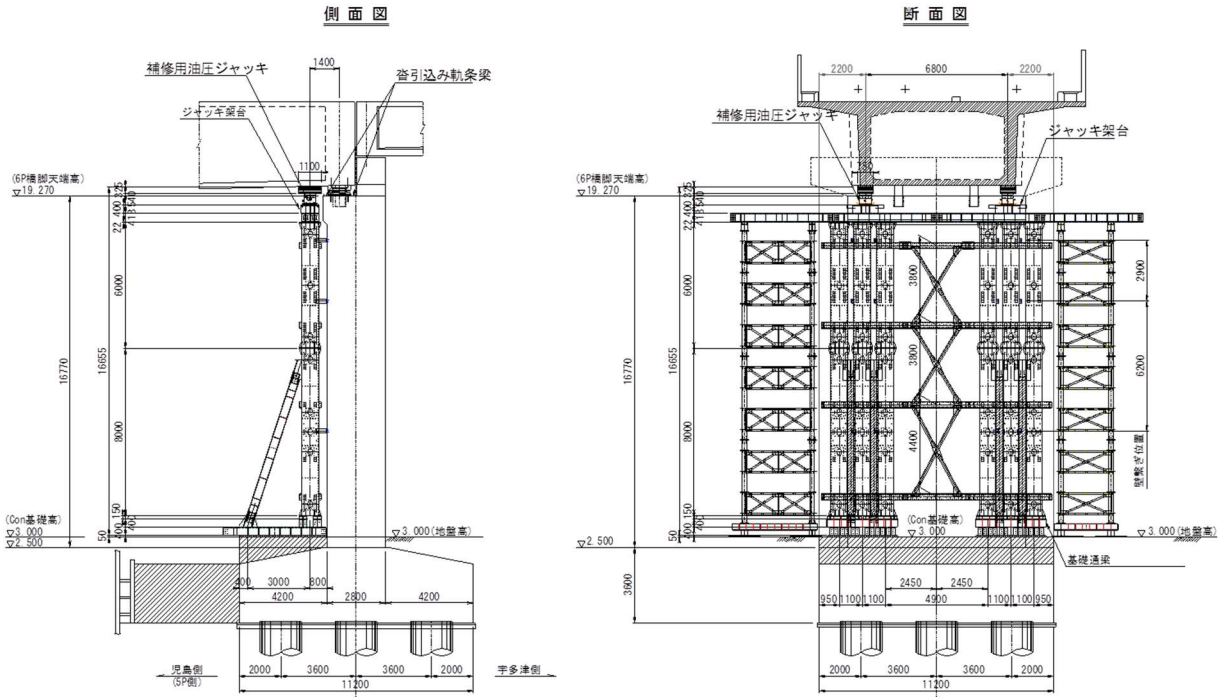


図-4 6P 仮ベント

トを設置し、そのベント上にジャッキを据えて仮受けすることとした。

#### 4.2 ダンパー設置

制震ダンパーは油圧減衰機構による円筒構造として桁と橋脚を連結する。端部橋脚の免震機構を担い、変位制限として線路方向・線路直角方向の両方に機能するよう、斜角を付けて配置した。

#### 5. 施工時の課題

本工事の特徴を以下に示す。

- ・長大鉄道橋りょうで震災復旧時以外に支承を全面的に交換した事例がない。
- ・橋りょうの規模が国内在来線最長支間クラスの複線 PC 桁のため、支承反力が大きい。
- ・支承交換は活線下での作業となり、ジャッキでの仮受け状態で列車を通すこととなる。
- ・支承交換の平面配置は、上下間隔が狭隘で施工スペースの確保が厳しい。

これらを踏まえて、上記の耐震設計とは別に、施工時における影響検討を行った。

施工時検討のうち特徴的な事項として、仮受け時の影響検討と対策を次章に示す。

#### 6. 施工検討

##### 6.1 海上橋脚：ジャッキ反力による局部応力の影響

中間橋脚は天端上の施工スペースが限定され、ジャッキを縁端側に設置すると押抜きせん断に似た圧縮せん断破壊（欠落ち）の可能性が生じるが（図-5 参照）、検討事例が少ないことから、道路橋示方書<sup>2)</sup>や既往の研究事例<sup>3)</sup>を用いてせん断耐力を算定し、ジャッキ反力に対する安全性を確保できるように、ジャッキ架台の平面形状、上下高さおよび橋脚内のジャッキ配置を決定した。

その結果、海上橋脚については、橋脚天端の配

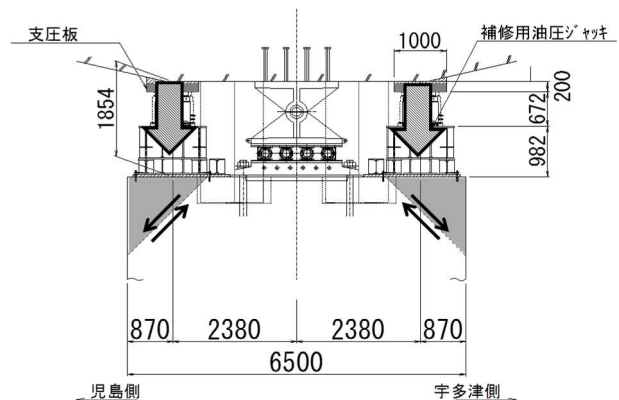


図-5 ジャッキ配置によるせん断破壊



置鉄筋をせん断耐力に考慮する必要があるため、既設支承の切断解体と新支承のアンカー削孔において、橋脚鉄筋を切断しない慎重な施工が求められることとなった。

## 6. 2 端部橋脚：仮ベント設置による橋脚偏心荷重の影響

端部橋脚は仮ベントで上部構造を支持することになるが、仮ベントは橋脚中心に対して偏心配置となることから、偏心荷重の作用で基礎に回転変位が生じ、軌道への影響が懸念された。実際に偏心荷重による橋脚天端の変位を試算すると鉛直変位が約 20mm 生じる結果となり、軌道管理値を超えることがわかった。

これに対し、施工に影響しない橋脚からベント位置の最小離隔（1P 橋脚：現支点から 2.8m、6P：現支点から 1.4m）を定め、軌道の鉛直変位が許容（管理）値以内に収まるようにコンクリートブロックをフーチング前面に設置して変位を抑制する対策を採ることとした。

なお、このコンクリートブロックは、免震設計において考慮されていないため、支承交換後に撤去する。

また、桁端部は、桁支持位置から 6P で 2.2m、1P で 3.5m 張り出す状態となるため、列車通過時の曲げに対する桁の安全性を確認した。

## 6. 3 施工

仮受けにあたっての各橋脚のジャッキアップ量は、設計反力による支承ゴム体の変形量を考慮して設定した。

4 基の中間橋脚ジャッキアップにおける実績では、ジャッキ圧から推定される最大荷重（支点反力）が耐震設計の設計値の 90%前後であった。一方、端部橋脚 1P では 103%、6P では 110%を超え中間橋脚とは異なる傾向を示した（表-2 参照）。設計反力の実績との違いについては、PC 連続桁のクリープ・収縮や橋脚の不等沈下により、中間橋脚の反力が端部橋脚に移行したことが主因と考えられる。

なお、6P については、ジャッキ能力を設計反力の 1.5 倍で設定しており、支圧等の局部応力もジャッキ能力を基本としているため、問題ない範囲であった。

## 7. まとめ

支承交換は、海上橋脚と陸上橋脚各 1 基を同時期に施工しているが、本稿作成時の平成 31 年 1 月時点でほぼ完了しており、残るは 4P のジャッキダウンと制震ダンパー・変位制限構造の設置である。

海上橋脚の施工においては、新支承のアンカーと上下部の既設鉄筋が干渉し、最初の 2P は新支承のアンカー配置を精査しながらの施工となったことから予定より 2 ヶ月程度遅れたが、施工を進める中で構造物の状況が掴めるようになり、施工の判断が早くなったこと、また、施工方法の改善が図られたことで、概ね予定通りの工程となった。

最後に施工時の状況を写真-1～写真-4 に示す。

表-2 支承反力・変位（設計と実績）

			1P	2P	3P	4P	5P	6P
鉛直反力 (支承1基)	死荷重	Dd (kN)	5639.0	31872.0	31872.0	31872.0	12013.0	4168.0
	列車荷重	Ld (kN)	5639.0	8424.0	8424.0	8424.0	6119.0	2020.0
	計	Dd+Ld (kN)	11278.0	40296.0	40296.0	40296.0	18132.0	6188.0
鉛直剛性	沓ゴム体	Kv (kN/m)	—	8430627.0	8430627.0	8430627.0	9059225.0	—
設計鉛直変位 (ゴム1体 =支承1基)	死荷重	$\delta$ Dd (mm)	—	1.9	1.9	1.9	1.3	—
	列車荷重	$\delta$ Ld (mm)	—	0.5	0.5	0.5	0.7	—
	計	$\delta$ Dd+Ld (mm)	—	2.4	2.4	2.4	2.0	—
鉛直反力 (支承1基)	死荷重	Dc (kN)	5820.5	28665.9	29381.8	29121.9	10459.2	4869.2
	実績/設計	Dc/Dd	1.03	0.90	0.92	0.91	0.87	1.17
鉛直変位 実績	ジャッキ アップ後	$\delta$ ju (mm)	1.24	1.94	2.45	2.72	2.41	0.60

**謝辞**

本報告の作成にあたり、大阪支店四国耐震作業所には施工写真と施工時の計測データを随時提供していただいた。作業所および支店の関係各位に感謝の意を表します。

**参考文献**

- 1) (公財) 鉄道総合技術研究所：「本四備讃線北浦港橋りょう耐震補強設計業務」受託業務報告書，2016.3
- 2) (公社) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説 IV下部構造編，pp.229-236，2012.3
- 3) 余田善紀，宮原みか子，幸左賢二，萩原隆朗：支承取替えに伴う RC 梁端部の押抜きせん断照査法，橋梁と基礎，pp.21-26，2003.11



写真-1 既設支承（海上橋脚）

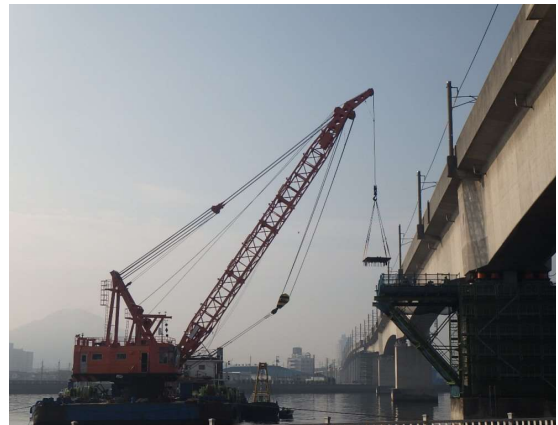


写真-2 海上橋脚台船施工状況



写真-3 免震支承部設置状況



写真-4 免震支承交換状況（海上橋脚）