

本四備讃線橋りょうを耐震補強する



宇野 匡和
Masakazu Uno
四国旅客鉄道株式会社
工務部工事課
担当課長



菊地 佳誉
Yoshitaka Kikuchi
四国旅客鉄道株式会社
徳島保線区
区長



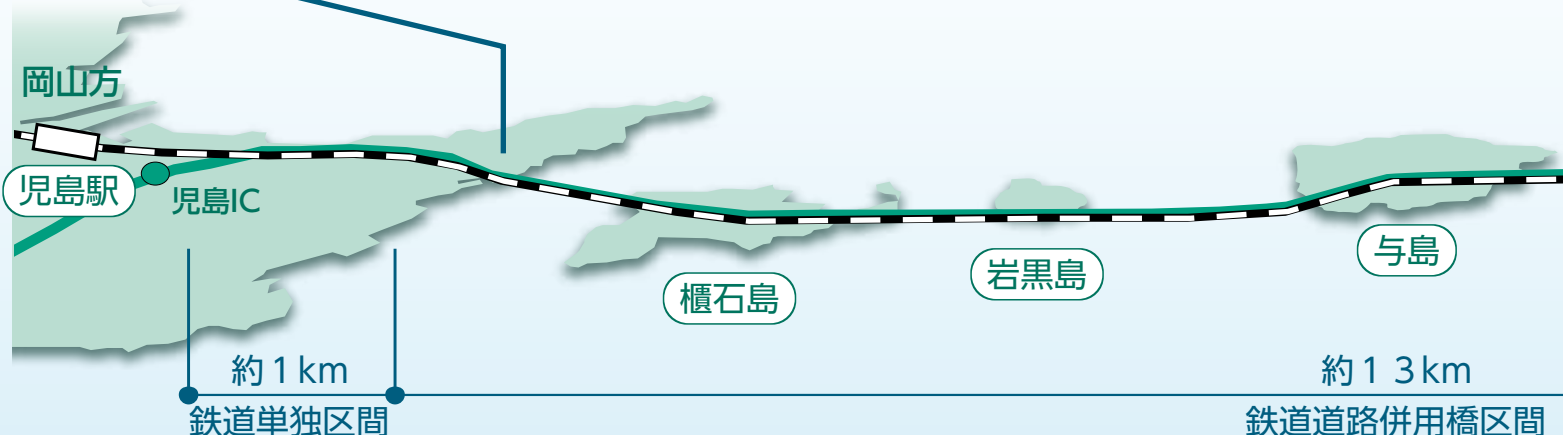
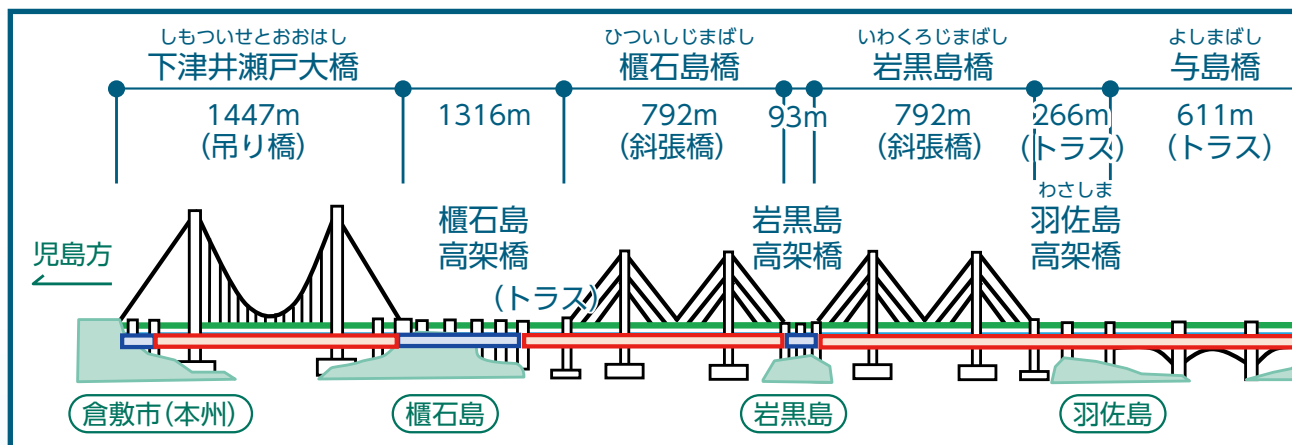
坂井 公俊
Kimitoshi Sakai
鉄道地震工学研究センター
地震応答制御研究室長

はじめに

JR四国では、国土交通省の「特定鉄道等施設に係る耐震補強に関する省令」（平成25年4月1日施行。以下、耐震省令）に基づいて、本四備讃線（瀬戸大橋線）の児島・宇多津間、予讃線の高松・多度津間の線区などを対象に耐震補強を実施しています。

ここでは、JR四国の最重要線区である本四備讃線（瀬戸大橋線）のうち、瀬戸内海に位置する鉄道道路併用橋である瀬戸大橋と、その瀬戸大橋と隣接駅を接続する高架橋、橋りょうなどの耐震補強に関する方針、全体計画および設計地震動の概要について紹介します。

図1 本四備讃線（瀬戸大橋線）の概要と瀬戸大橋を構成する橋りょう



(a) 海上部 (鋼構造物：吊り橋)



(b) 陸上部 (コンクリート構造物)

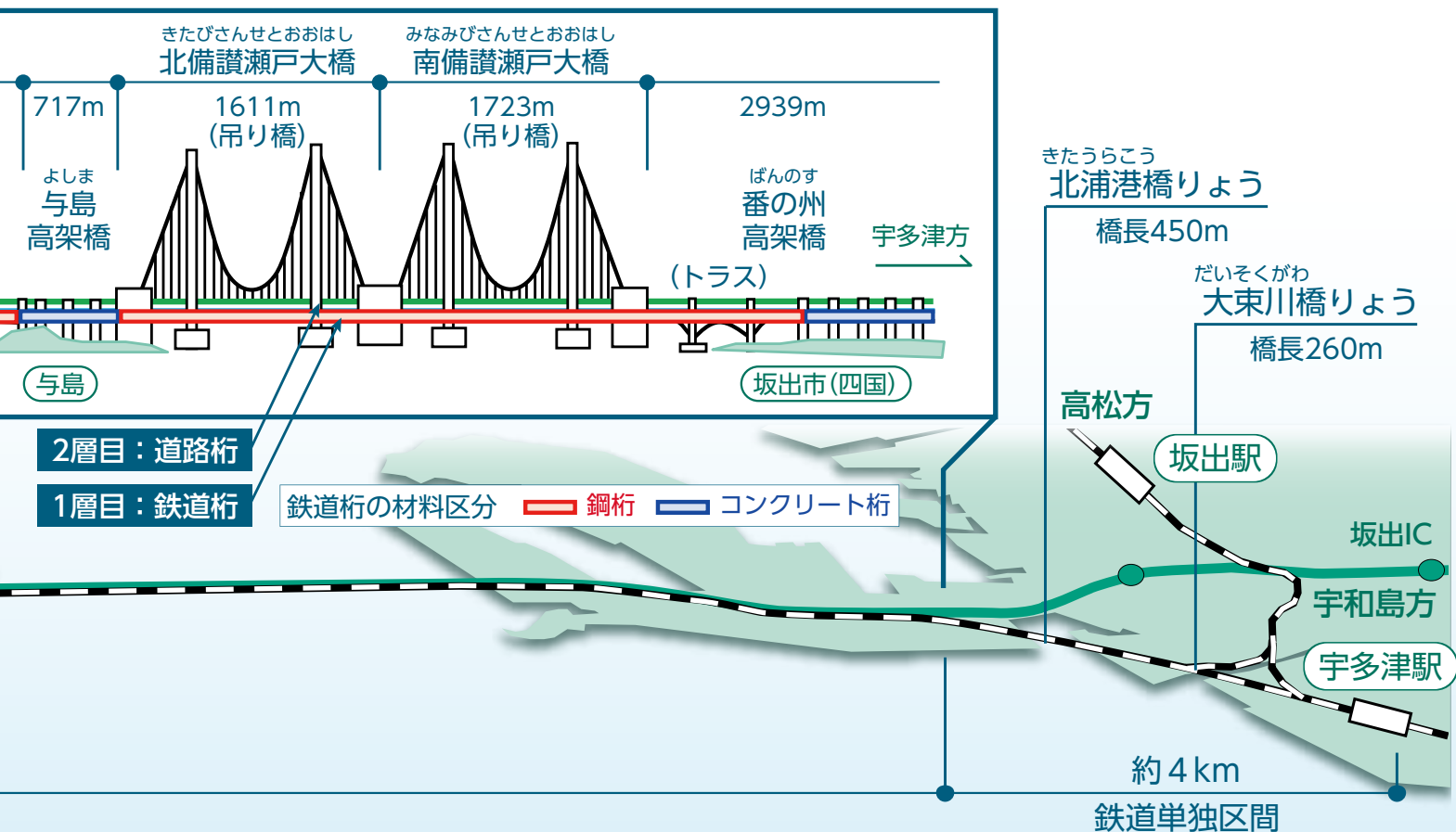


図2 鉄道道路併用橋の構造概要

本四備讃線 (瀬戸大橋線) の概要

本四備讃線 (瀬戸大橋線) は、茶屋町駅 (本州側) から宇多津駅 (四国側) を結ぶ線区です。そのうち、図1の児島駅・宇多津駅間は、JR四国が維持管理を行っています。この本四備讃線 (瀬戸大橋線) の児島・宇多津間の大部分は、瀬戸大橋であり吊り橋、斜張橋およびトラス橋などの鉄道道路併用橋で構成され、本州と四国を結んでいます。この長大橋りょう群は、本州四国

連絡橋公団により9年6か月の歳月をかけて建設され、昭和63年4月10日に供用を開始しました¹⁾。瀬戸大橋の完成によって、それまで海上輸送のみであった本州・四国間の交通輸送に道路・鉄道が加わることになり、輸送の安定性向上、輸送時間の短縮が実現されました。これによって生活利便性の向上や、生活圏が拡大するなど、瀬戸大橋は今日の本州・四国の重要な輸送手段になっています。



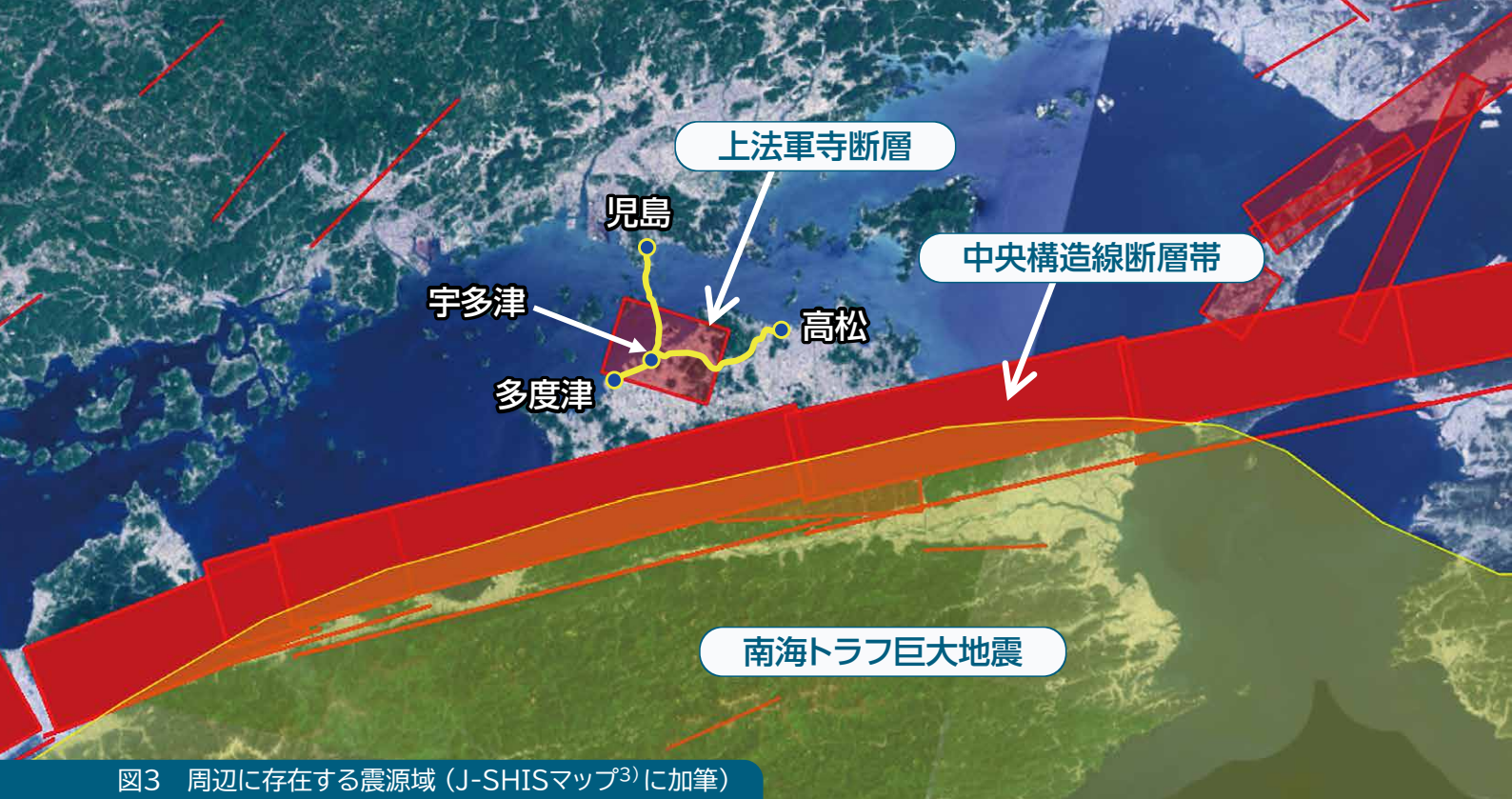


図3 周辺に存在する震源域 (J-SHISマップ³⁾に加筆)

鉄道道路併用橋区間(延長約13km)は、図2のように海上部の吊り橋などの鋼構造物、陸上部の桁式高架橋などのコンクリート構造物ともに2層構造(上層:道路,下層:鉄道)となっています。

瀬戸大橋と児島駅、宇多津駅を接続する鉄道単独区間(本州側:延長約1km, 四国側:延長約4km)は、おもにラーメン高架橋や桁式高架橋などにより構成されていますが、四国側には港湾をまたぐ長大橋りょうも存在します。

本四備讃線(瀬戸大橋線)橋りょうの耐震診断・耐震補強の全体方針

平成25年の耐震省令によって、南海トラフ地震関係では、震度6強以上が想定される地域において、一日平均片道断面輸送量が一万人以上の線区などに該当する線区における耐震補強が努力義務化されました。

表1 設計地震動と要求性能

設計地震動	要求性能	性能項目
L2地震動	安全性	破壊 ●せん断破壊 ●落橋
L1地震動		走行安全性に係る変位 ●列車の脱線, 転覆

これをふまえて、JR四国では、関係各所とも協議のうえ、本四備讃線(瀬戸大橋線)の橋りょうの耐震診断、耐震補強を実施することになりました。このときには、最新の鉄道構造物の耐震設計基準²⁾(以下、耐震標準)を参考としつつ、現地の状況なども勘案しながら適切な手法を選択することとしました。

ここで、耐震診断を行う際には、「どのような地震(設計地震動)を想定して、その地震に対して構造物をどのような性能(要求性能)に留めるのか」ということを決める必要があります。本検討では耐震標準に基づいて、設計地震動としてL1地震動、L2地震動[☞]を想定し、それぞれの地震動に対して表1のような性能を設定しました。このうちL1地震動は、耐震標準で設定されている標準的な地震動を用いる一方で、L2地震動については地域の特殊性を考慮して個別に算定することにしました。

☞ L1地震動, L2地震動

いずれも耐震標準で規定されている設計地震動で、それぞれ以下のような定義になっています。L1地震動は、構造物の建設地点で設計耐用期間内に数回程度発生する確率を有する地震動。L2地震動は、構造物の建設地点で考えられる最大級の地震動。

設計地震動および要求性能の個別評価

耐震標準において、L2地震動は「震源となる活断層と建設地点を特定して地点ごとに個別に算定する必要がある」とされています。ただし「周辺にマグニチュード7.0よりも大きな震源域が存在しない」「地盤による地震動の増幅が著しく大きな地点に該当しない」という2つの条件に当てはまる場合には、あらかじめ設定されている標準的なL2地震動を用いることができます。

対象路線の周辺には、[図3](#)に示すように複数の規模の大きな地震の発生が想定されているため、標準的なL2地震動の適用範囲外であると判断し、個別に設計地震動を算定することにしました。このときの地震としては、[図3](#)にある中央構造線による地震、南海トラフ巨大地震を対象とするだけでなく、現時点で存在が確認されていない断層（伏在断層）にも配慮して、マグニチュード6.5程度の地震が直下で発生することも想定して、それぞれの地震動の計算を行うこととしました。

最終的には、これら複数の地震のなかで各構造物にもっとも影響の大きな地震動を選択し、これに対して[表1](#)で整理した要求性能を確保することを目標としました。一例として、鉄道単

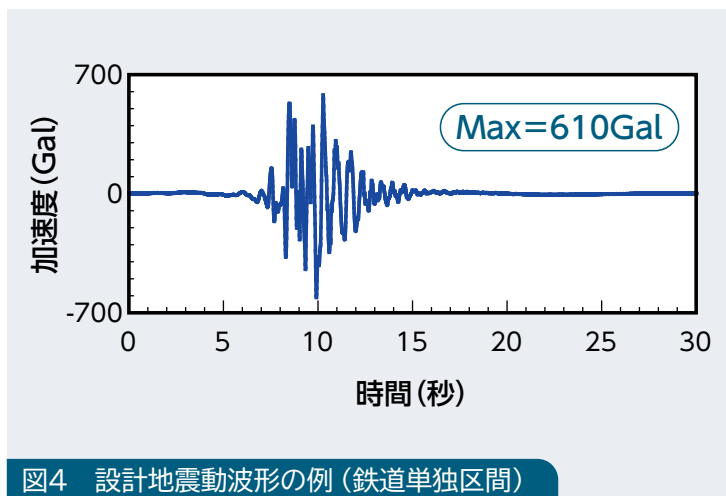


図4 設計地震動波形の例（鉄道単独区間）

独部では[図4](#)のような地震動をL2地震動として選択しています。これは上述した標準的なL2地震動の加速度レベル（おおむね900Gal程度）よりも小さくなっており、当該地点の地盤の揺れやすさや震源の影響を個別に考慮したうえで詳細に設計地震動の計算を実施することで、結果として補強範囲、補強レベルの合理化にもつながりました。

構造物ごとの耐震補強計画の設定

耐震診断、耐震補強を行う際の基本的な方針を[表1](#)のように設定しましたが、対象区間には特殊な橋りょうも複数存在するため、工事の際の施工性、経済性なども考慮しつつ、構造物が地震を受けた後にできるだけ早期に運転再開が

図5 一般箇所の耐震補強の様子



(a) 鋼板巻立て補強

(b) 炭素繊維シート巻立て補強



図6 北浦港橋りょうの全景

可能となるように、個別に耐震補強計画を定めました。以下の特集では、これら補強計画および工事の詳細について紹介します。

まず、特集記事2(鉄道道路併用橋の鉄道桁を耐震補強する)では、鉄道道路併用橋区間の構造物において鉄道を直接支えている鉄道桁(鋼桁、コンクリート桁)を対象とした耐震診

せん断破壊

柱が地震の影響などで横方向(水平方向)に力を受けたときに柱の斜め方向にひび割れが発生し、その後柱の崩壊に至ってしまうものを「せん断破壊」とよびます。せん断破壊は、斜めひび割れが拡大するにたがって急激に耐荷力が低下するため、脆い破壊となるのが特徴です。

段落し部

橋脚の地震による力は橋脚の下端に集中することから、橋脚中間部から上方の鉄筋本数を減じることがあり、これを「段落し」とよんでいます。

支承部

桁と橋脚を接続する部品のことです。支承の材料としてはゴムやコンクリート、金属などが使われています。詳細はRRR 2022年1月号を参照ください。

断および耐震補強について紹介しています。

鉄道単独区間のうち、一般的なラーメン高架橋や桁式高架橋を対象として耐震診断を実施した結果、柱のせん断破壊^⑤、橋脚段落し部^⑥の破壊、落橋などの発生が危惧され、これらに対する補強が必要となりました。これら箇所への対策は、柱のせん断破壊に対して鋼板巻立て補強を標準としました(図5(a))。背の高い橋脚に対しては、施工性などを勘案して炭素繊維シート巻立てによる補強を標準としました(図5(b))。

また、長大橋りょうである北浦港橋りょう(図6)や大東川橋りょう(図7)においても同様の手順で耐震診断を実施した結果、橋脚のせん断破壊や橋脚基礎の損傷などが発生するという結果が得られたため、これに対応する補強を実施することになりました。このうち大東川橋りょうについては、施工性・経済性および工期の制約の観点から、河川内橋脚(3P)に対して補強を行うことは困難であると判断し、陸上部の橋脚に集中した耐震補強を行うことで、河川

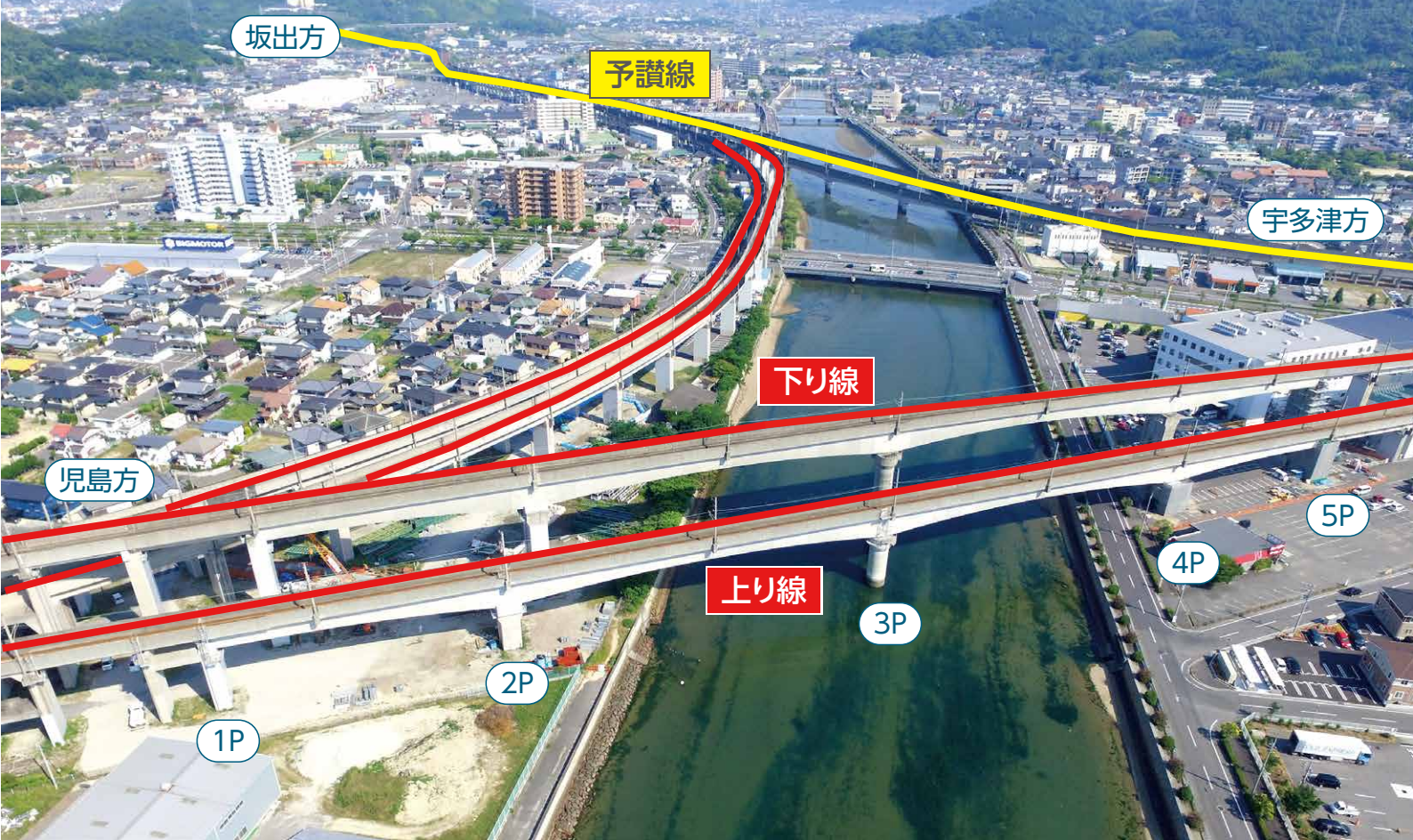


図7 大東川橋りょうの全景

内の橋脚の安全性も確保するような対策を行いました。大東川橋りょうの耐震診断・耐震補強の詳細については、本号の特集記事3(液状化地盤の鉄道橋りょうの基礎を耐震補強する)を参照ください。

さらに、北浦港橋りょうでは、橋脚く体や支承部の損傷に加え、港湾内の橋脚基礎に大きな変形、損傷が生じる結果となりました。そのため、支承を特殊な装置に交換することで、基礎の損傷を防ぎ、基礎部の補強が不要となるような対策を行いました。北浦港橋りょうの耐震診断・耐震補強の詳細については、本号の特集記事4(免震・制震装置で鉄道橋りょうを耐震補強する)、特集記事5(免震・制震装置で補強された鉄道橋りょうの地震時走行性を確保する)を参照ください。

おわりに

ここでは、長大橋りょうを有する本四備讃線(瀬戸大橋線)の橋りょうを対象とした耐震補強の方針、耐震補強計画の全体概要について紹介しました。

今回紹介した一連の耐震補強は、関係各所のご協力により大きなトラブルもなく2020年2月に完了しました。今後は、近い将来に発生が想定されている南海トラフ地震に備え、JR四国管内の耐震補強を早期に完了するよう計画的に工事を進めていく予定です。また今回の耐震補強の実施により得られた知見を念頭に、より合理的で効果的な耐震補強を行うことを考えています。 **RRR**

文献

- 1) 本州四国連絡橋公団：本州四国連絡橋 瀬戸大橋技術誌，1989.3
- 2) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善出版，2012
- 3) 防災科学技術研究所：J-SHIS 地震ハザードステーション，<https://www.j-shis.bosai.go.jp/> (入手日：2022/6/30)