

# 液状化しやすい地盤の鉄道橋りょうの基礎を耐震補強する



笠原 康平  
Kohei Kasahara

構造物技術研究部  
基礎・土構造研究室  
副主任研究員



笹岡 良治  
Ryoji Sasaoka

四国旅客鉄道株式会社  
工務部工事課  
主席



小川 拓矢  
Takuya Ogawa

四国旅客鉄道株式会社  
高松保線区  
施設係



佐名川 太亮  
Taisuke Sanagawa

構造物技術研究部  
基礎・土構造研究室  
主任研究員

## はじめに

発生の確率が高まっているとされる南海トラフ巨大地震などの地震災害に備えるため、構造物の耐震補強工事が各地で実施されています。ここでは、特集記事1(本四備讃線橋りょうを耐震補強する)で示した耐震補強工事のうち、大東川橋りょう(図1)で実施した大規模な基礎補強工事の設計・施工について紹介します。

なお、基礎補強の代わりに支承部の免震化を行い、支承部で地震時のエネルギー吸収を図ることで橋脚く体(柱部分)や基礎に作用する力を低減させる方法もありますが、本橋りょう

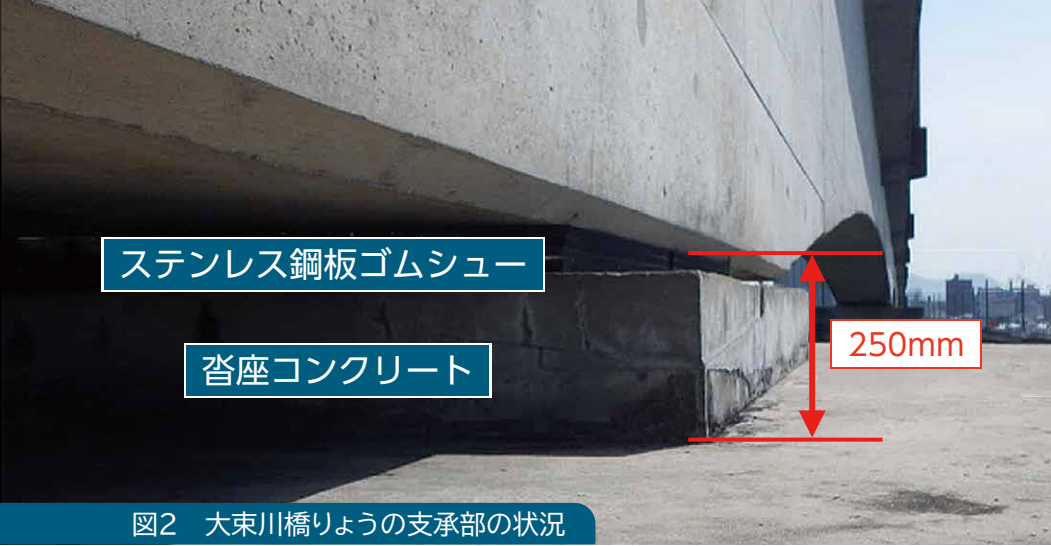
は橋脚の上面と桁の下端の空間が250mmしかなく(図2)、免震支承への交換は施工が困難であったことから、基礎補強で対策を行う方針としました。支承部を免震化する場合の具体的な考え方については、特集記事5(免震・制震装置で補強された鉄道橋りょうの地震時走行性を確保する)を参照ください。

## 大東川橋りょうの概要および耐震診断

大東川橋りょうは、埋立地に建設された液状化地盤上の長大橋りょうです。本橋りょうは、上下線で分離した構造をしており、桁はPC(プ

図1 大東川橋りょうの全景





ステンレス鋼板ゴムシュー

沓座コンクリート

250mm

図2 大束川橋りょうの支承部の状況

### ☞ プレストレスト・コンクリート

コンクリートは圧縮方向の力に強く、引張方向の力に弱いという性質があります。これに対して、引張力を打ち消すためにあらかじめ圧縮力を与えたものがプレストレスト・コンクリートであり、より大きい荷重に抵抗できるようになります。

### ☞ 場所打ち杭

現場で造成するRC製の杭を言います。地盤を掘削し、掘削後の孔の中にあらかじめ組み上げた鉄筋を入れ、コンクリートを打設することで杭を構築します。

プレストレスト・コンクリート<sup>☞</sup>構造の連続桁、橋脚はRC（鉄筋で補強したコンクリート）橋脚、基礎は場所打ち杭<sup>☞</sup>で構成されています。また、橋長が260mで、上下線とも中間橋脚（3P橋脚）が河川内に建設されています。本橋りょうに対して、南海トラフ巨大地震などを想定した耐震診断を行ったところ、2P～5P橋脚の支承部の補強と、全橋脚のく体補強および基礎補強が必要という診断結果になりました。しかしながら、河川内に建設されている3P橋脚を補強することは、施工性や経済性、工期の制約などの観点から困難でした。

そこで、地震時に河川内の3P橋脚が負担する水平力を陸上部橋脚に分散させること（図3）

で、河川内橋脚の補強を不要にできないか検討を行いました<sup>1)</sup>。検討にあたり、一般に支承部の耐力（損傷するときの力）を超える力は橋脚には伝達しないことをふまえて、陸上部橋脚の支承部を補強したうえで、河川内橋脚の支承部の損傷を許容することとしました。これにより、陸上部橋脚が負担する水平力が大きくなる一方で、河川内橋脚が負担する水平力は小さくなり、河川内橋脚のく体や基礎の補強が不要になる可能性があります。

検討は、橋りょう全体を3次元でモデル化した解析により行いました。検討の結果、河川内橋脚の支承部の損傷を許容することで、河川内橋脚の補強を不要にできることが示されました。

図3 河川内橋脚が負担する力の分散イメージ

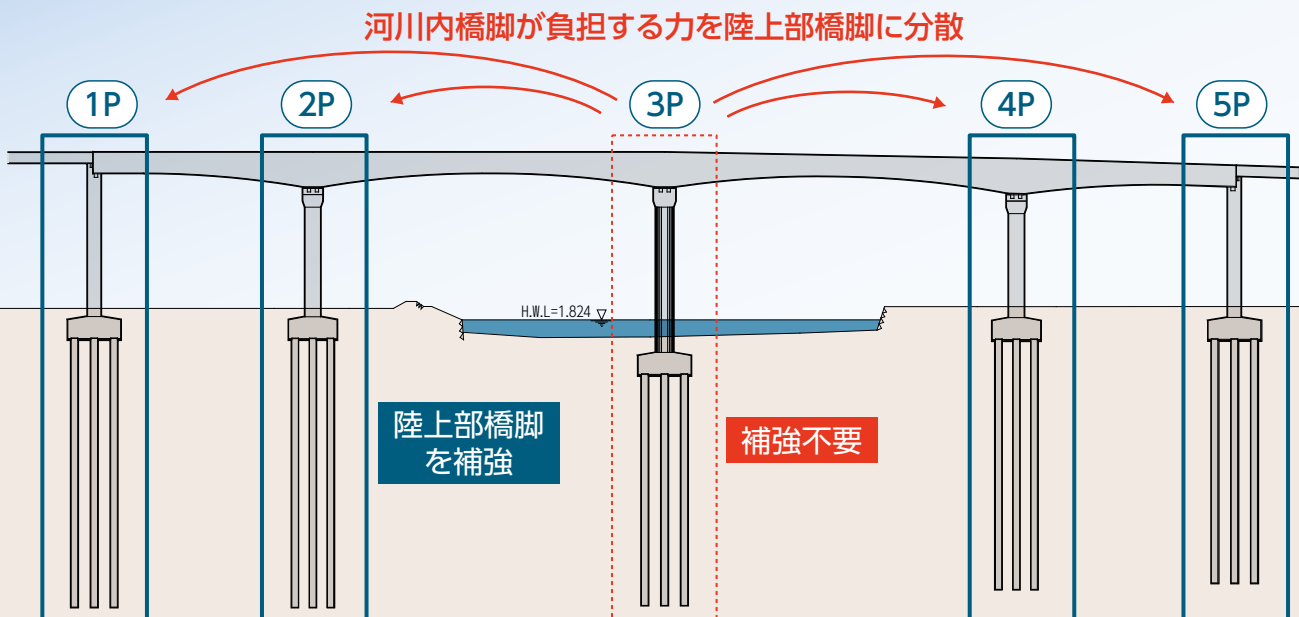
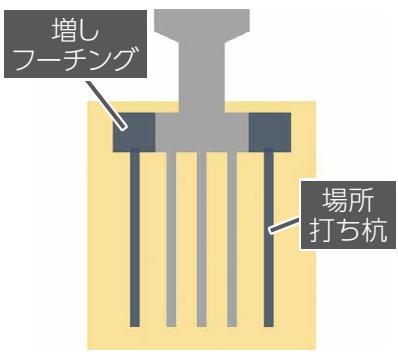
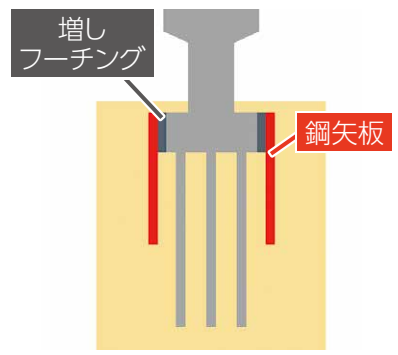
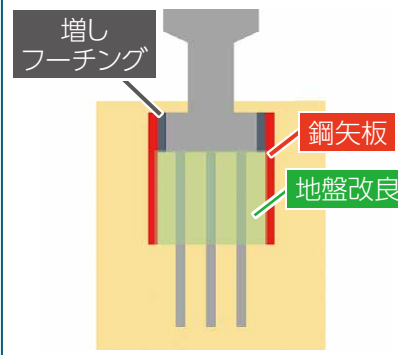


表1 各基礎補強工法の比較

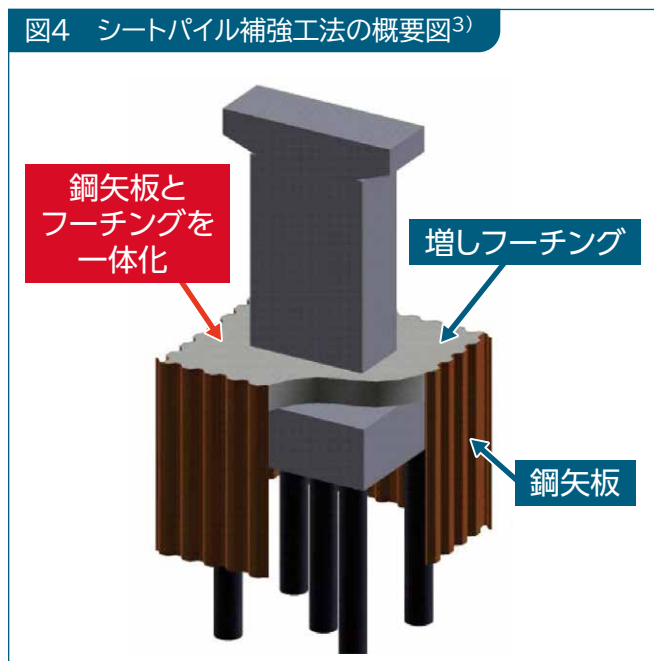
工法名	増し杭工法	シートパイル補強工法	地盤改良併用シートパイル補強工法
概要図			
概要	場所打ち杭を増設する工法	鋼矢板と既設基礎を一体化する工法	シートパイル補強工法と地盤改良を併用した工法
フーチングの拡幅量	△ 大幅な拡幅が必要です。	○ 最小 1m 程度の拡幅量に抑えることが可能です。	
液状化地盤への対応	○ 非液状化層まで杭を伸ばすことで十分な補強効果が得られます。	△ 液状化程度が著しい地盤では、十分な補強効果が得られない場合があります。	○ 液状化程度が著しい地盤でも、地盤改良により十分な補強効果が得られます。

しかしながら、陸上部の橋脚が負担する水平力が大きくなるとともに、液状化の影響により、陸上部の支承部の損傷や橋脚のく体と基礎のせん断破壊が生じるという診断結果となりました。そこで、陸上部の支承部の補強と繊維シートを用いた橋脚のく体補強、および基礎補強を実施することとしました。

### 基礎の耐震補強設計

基礎の耐震補強は、増し杭工法（場所打ち杭を増設する工法）とシートパイル補強工法、地盤改良併用シートパイル補強工法（シートパイル補強工法と地盤改良を併用した補強法<sup>2)</sup>）の3工法（表1）を比較し、経済性ならびに用地制約の観点から工法選定を行いました。ここで、シートパイル補強工法とは、既設フーチングを取り囲むように鋼矢板（シートパイル）を地中に打ち込み、鋼矢板と既設基礎を一体化する耐震補強工法です（図4）。鋼矢板の長さは設計計算によって決まりますが、一般的な条件ではフーチングの幅と同程度の長さで済むため、打設に大きな機械が不要という利点があります。さらに、フーチングの拡幅量は最小1m程度で済むため、用地の制約が厳しい狭隘地<sup>きょうあい</sup>での施工に適しています。従来、本工法は比較的良好な地盤条件上の中小規模の橋脚の基礎構造物に対して多く用いられていましたが、近年は液状化地盤上の構造物を対象とした補強効果の検討も実施されています<sup>3)</sup>。大東川橋りょうは液状化地盤上に位

図4 シートパイル補強工法の概要図<sup>3)</sup>



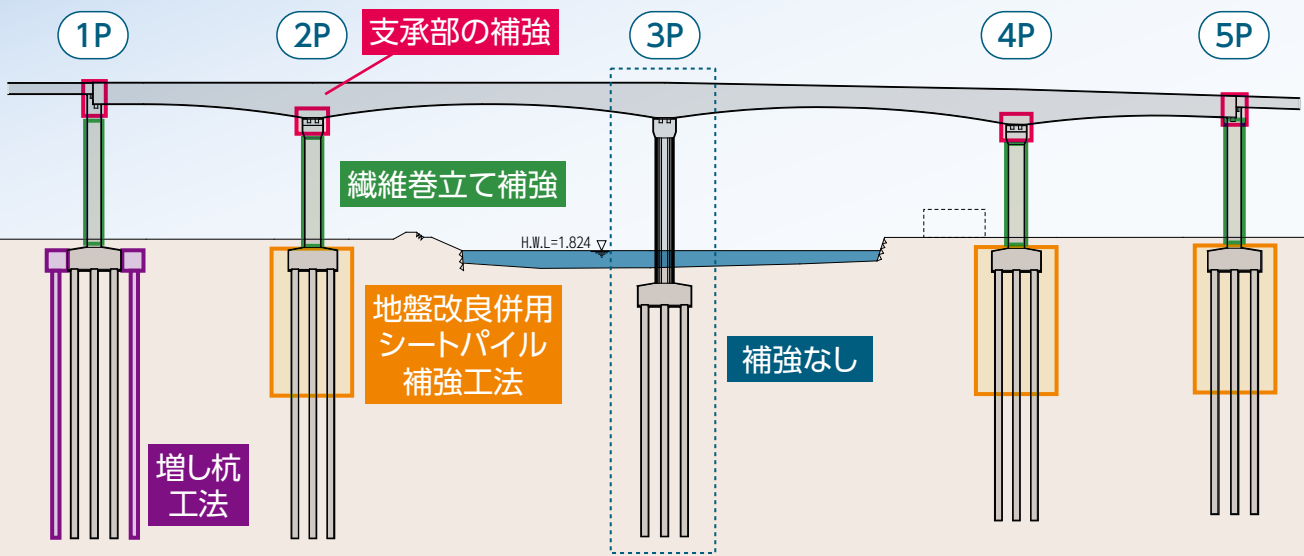


図5 大東川橋りょうの補強概要

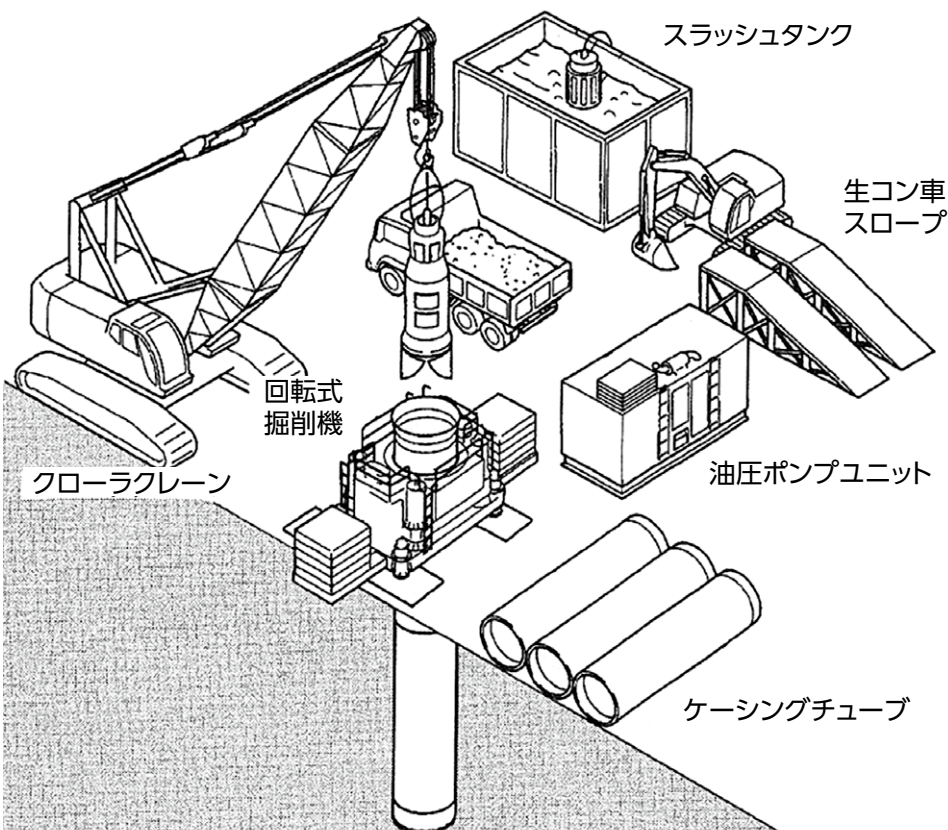
置するため、これらの知見を基に補強工法の適用可否を検討しました。

最終的に採用した補強の仕様を図5に示します。1P橋脚は、道路などが近接しておらず、用地の制約が比較的少なかったため、一般的な基礎補強工法である増し杭工法（場所打ち杭を増設する工法）を採用しました。一方で、2P、

4P、5P橋脚は、道路が近接しているなど用地の制約が厳しい条件であったため、地盤改良併用シートパイル補強工法を採用しました。本橋りょうは、大東川橋りょうが長大橋であるために桁の重量が大きいことに加えて、液状化によって杭頭部（杭の頂部）に非常に大きなせん断力が発生することで、杭の破壊を防止できない結果となったため、シートパイル補強工法に併用してシートパイル補強内を地盤改良することとしました。地盤改良併用シートパイル補強工法は、地盤改良により杭に発生するせん断力を抑制することが可能となります。

4P、5P橋脚は、道路が近接しているなど用地の制約が厳しい条件であったため、地盤改良併用シートパイル補強工法を採用しました。本橋りょうは、大東川橋りょうが長大橋であるために桁の重量が大きいことに加えて、液状化によって杭頭部（杭の頂部）に非常に大きなせん断力が発生することで、杭の破壊を防止できない結果となったため、シートパイル補強工法に併用してシートパイル補強内を地盤改良することとしました。地盤改良併用シートパイル補強工法は、地盤改良により杭に発生するせん断力を抑制することが可能となります。

図6 オールケーシング工法の概要<sup>4)</sup>



(出典：場所打ちコンクリート杭の施工と管理、日本基礎建設協会)

### 基礎補強の施工

増し杭工法の施工は、地盤内に層厚約15mの砂礫層（砂や小石で構成された硬い層）があったことから、硬質地盤にも対応が可能であり、かつ確実に孔壁崩壊（地盤掘削後の孔が崩れること）を防止できる、全旋回オールケーシング工法<sup>4)</sup>（図6）で実施しました。



図7 ハット型鋼矢板

地盤改良併用シートパイル補強工法の施工では、一般的な鋼矢板と比べて**継手効率**<sup>㊦</sup>が高く経済性に優れたハット型鋼矢板(図7)を採用しました。図8、図9は、鋼矢板の施工状況および補強完了状況です。鋼矢板は、オーガとよば

#### ㊦ 継手効率

地震が発生したときに、鋼矢板同士の継手(接続部)にずれが生じると、十分に抵抗力を発揮できない場合があります。この継手のずれの度合いに応じた抵抗力の低減率を継手効率といい、継手効率の高い方が抵抗力の低減率が低いことになります。

#### ㊦ 圧入工法

すでに地中に打ち込んである杭をつかみ、その力を反力として次の杭を地中に押し込んでいく工法です。従来の杭打ち機で課題であった振動や騒音が発生しないことや、杭を反力として利用するため、圧入機本体の軽量化が図れるという利点があります。

れる掘削機で地盤を掘削した後に、**圧入工法**<sup>㊦</sup>(図10)を用いて打設しました。また、液状化に対応するため、鋼矢板で囲まれた範囲に対して地盤改良を行いました。

本工事は営業線での施工であったため、測量

図8 基礎補強施工状況

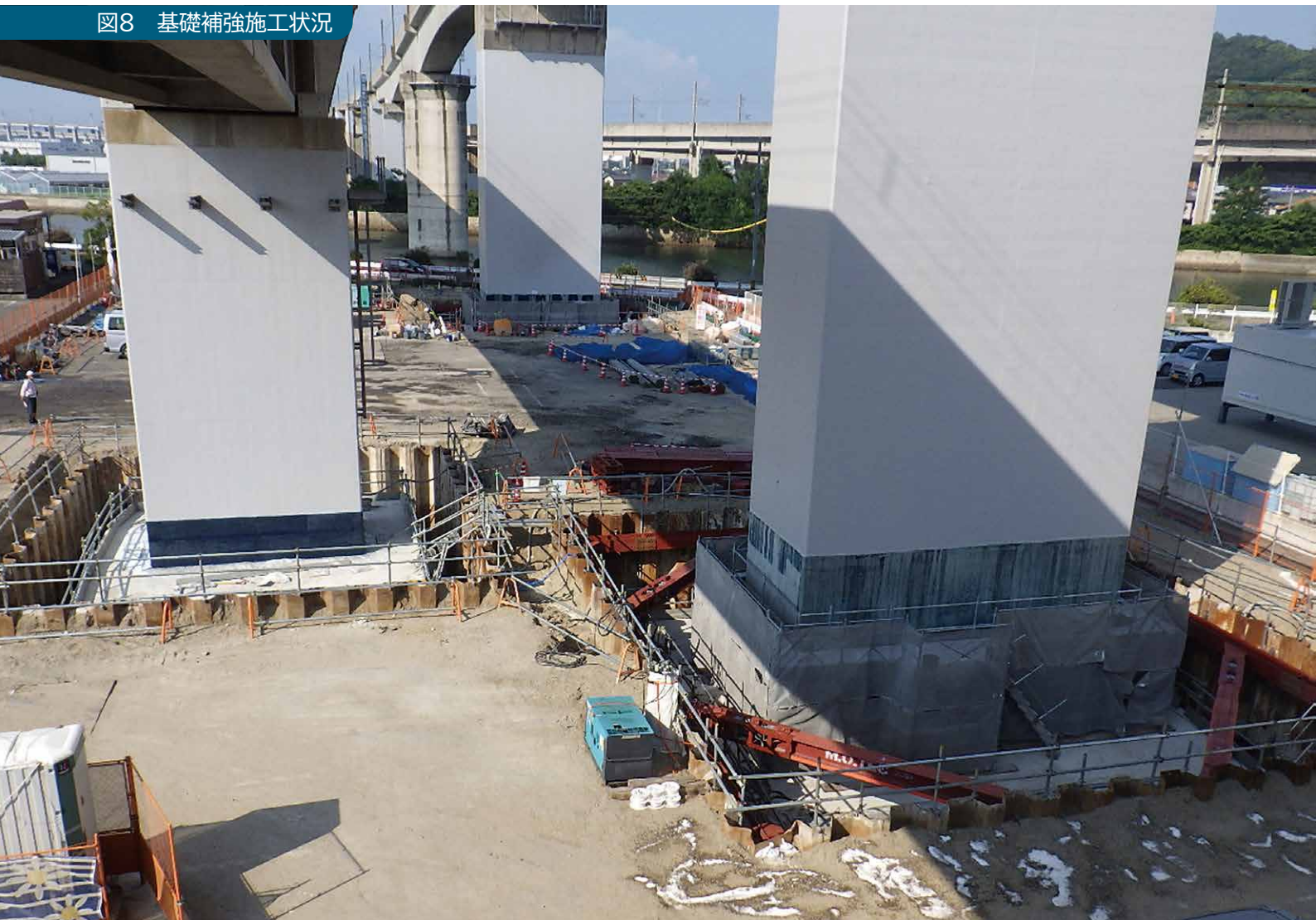




図9 補強完了状況

を随時実施して施工の影響による橋脚変位が生じていないことを確認しながら施工を実施し、2019年2月に施工が完了しました。

### おわりに

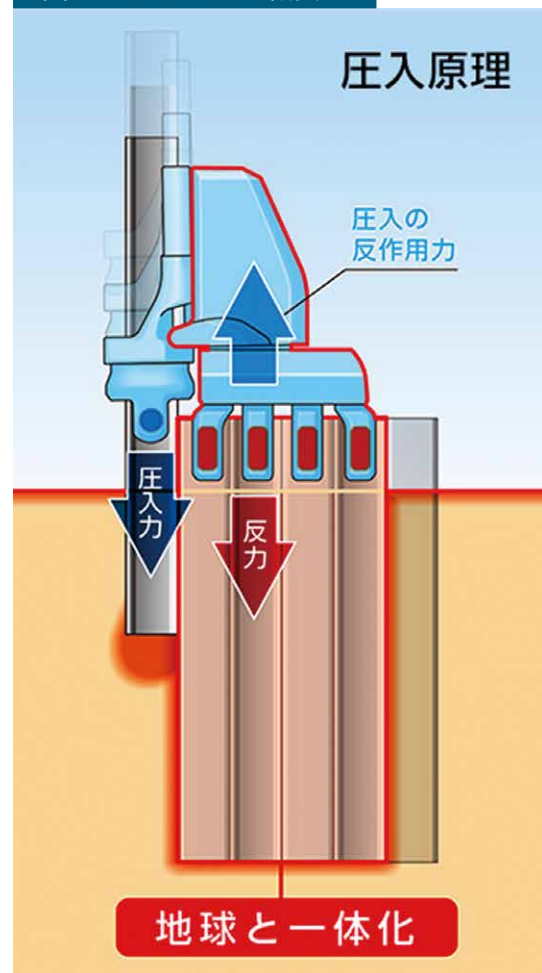
液状化地盤上に位置する本四備讃線大東川橋りょうで実施した基礎補強工事の設計・施工について紹介しました。大規模な補強となりましたが、入念な検討の元で耐震補強設計を行うとともに、計測管理などを行いながら慎重に施工を行ったことで、無事工事が完遂されました。

### RRR

### 文献

- 1) 笠原康平, 佐名川太亮, 笹岡良治, 中田裕喜: 大東川橋梁における耐震補強, 基礎工, Vol.45, No.12, pp.79-81, 2017
- 2) 塩井幸武, 瀬川信弘, 稲川浩一, 加藤康司: 地盤改良を併用した杭基礎構造物の耐震補強工法 (In-Cap工法) の開発, 第7回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 2004
- 3) 佐名川太亮, 西岡英俊, 松浦光佑, 樋口俊一, 戸田和秀, 妙中真治: 液状化地盤におけるシートパイル補強杭基礎の地震時挙動に関する実験および数値解析的検討, 地盤工学ジャーナル, Vol.12, No.2, pp.197-210, 2017
- 4) 日本基礎建設協会: 場所打ちコンクリート杭の施工と管理, p.165, 2014
- 5) 技研製作所: 圧入原理と優位性, <https://www.giken.com/ja/technology/principle/> (入手日: 2022/6/1)

図10 圧入工法の概要<sup>5)</sup>



(出典: 技研製作所 HP: 圧入原理と優位性)