

# 外ケーブルを合理化配置した 有ヒンジ橋の多径間連続化技術

## 涇徳橋上部工連続化工事

安藤直文

涇徳橋は、1980年に建設されたPC5径間連続有ヒンジラーメン橋である。施工後30年以上が経過し、走行性・耐震性・維持管理性の改善のため、主桁の補強および3箇所の中央ヒンジについて連続化する工事を行った。本工事の課題として以下の項目が挙げられる。

- ・外ケーブル補強において、横桁横締めが多数配置された柱頭部横桁を貫通させる必要があった。
- ・本橋は地域の重要な幹線道路であり、全面通行止めによる施工は不可能であった。

これらに対して設計時点から細やかな具体的配慮がなされていたが、工事着手前の発注者、設計者を交えた連絡会議を行い、構造性能・品質の低下をもたらすことなく経済性、施工性を向上させる手法を検討した。本稿では、課題を解決するために契約後VEとして採用された外ケーブルの合理的な配置とそれを実現するための施工の工夫を中心に報告する。

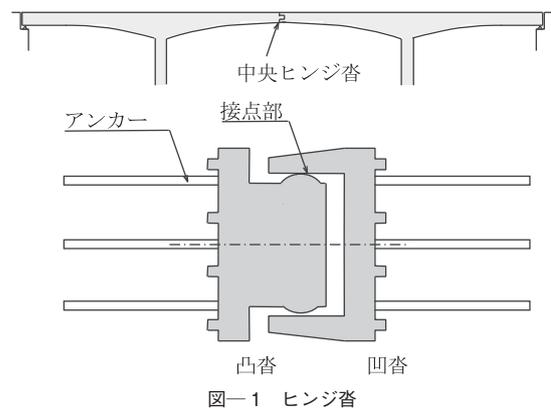
キーワード：有ヒンジラーメン橋、連続化、耐震補強、外ケーブル、炭素繊維シート、通行止め回避

### 1. はじめに

我が国において本格的にプレストレストコンクリート(PC)橋が建設され始めてから既に50年余りが経過し、そのストックは膨大な量になっている。近年では橋の老朽化対策や通行車両の大型化、交通量の増大への対応、耐震性能の向上対策等、様々な社会的ニーズがあり、今後これらの橋梁を適切に維持管理していくことが社会的な使命となっている。

有ヒンジラーメン橋とはPC橋の構造形式の一つである。これは1960年代から1980年代にかけて建設されたPC長大橋に多く採用された。この構造形式は中央径間に中央ヒンジを設けていることが特徴である。中央ヒンジは、上部工の軸力、面内曲げを伝えず、面内せん断力のみを伝えるヒンジ沓と、橋軸直角方向地震時の水平方向のせん断力のみを伝える水平沓で構成される(図-1)。ヒンジ沓は箱桁ウェブに、水平沓は下床版に取り付けられる。ヒンジ沓は金属製で、凸沓と凹沓で構成され、上下の接点で線支承の状態となっていることが多い。

この構造は、全体構造を静定構造とするもので、架設系と完成系の断面力状態が類似し、張出し架設に適していること、中央径間の連続鋼材が不要なため経済性に優れていること、各橋脚の地震時負担力が明快であること、構造解析が比較的簡便であることなどの特



徴を有する優れた構造形式である。

ところが、本構造を長期間供用していくなかで幾つかの問題が生じた。コンクリートのクリープたわみの誤差による中央径間の垂れ下がり現象、中央ヒンジ部の角折れによる走行性の悪化、中央ヒンジの接点部が摩耗し隙間が生じ車両通行時に路面に段差が生じること、特に大型車が通行する際には大きな打撃音が生じることがある。これに対して、現在では橋梁の構造解析技術が発達したこと、維持管理面のニーズが重視されるようになったことから、徐々に採用事例が減っている。このような中央ヒンジ橋の問題を解消するための対策のひとつが連続化工法である。外ケーブル工法を用いて中央ヒンジを連続化することにより、走行性・耐荷性・耐久性・耐震性を改善するものである(図-2)。

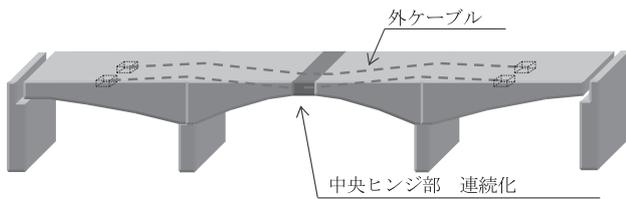


図-2 連続化の概念

## 2. 橋梁概要

国道 362 号は愛知県豊川市から静岡県中西部の山村地域を抜けて静岡市に至る山岳道路である。南アルプスに源を発する大井川は急流として知られている。そのため危険地域を避け交通の安全を図り生活道路を確保するため徳山バイパスが整備され、その一部として涇徳橋が建設された。本橋は、茶どころ川根本町の地場産業の発展はもとより、南アルプスへ通じる奥大井県立自然公園への幹線として、SL を動態保存する大井川鉄道とともに観光開発にも大きな役割を果たしてきた。

涇徳橋は橋長 243 m (支間割り 40 + 54 + 54 + 54 + 40 m)、全幅 13.3 m、3 箇所の中央径間に中央ヒンジ

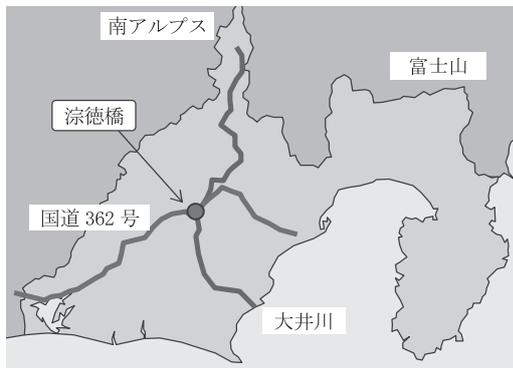


図-3 涇徳橋 位置



写真-1 涇徳橋全景

表-1 涇徳橋諸元

位置	静岡県川根本町徳山
構造形式	補強前：PC5 径間連続有ヒンジラーメン箱桁橋 補強後：PC5 径間連続ラーメン箱桁橋
橋長	243 m (40 + 3 × 54 + 40 m)
荷重	補強前：TL20 補強後：B 活荷重
建設	1980 年 (昭和 55 年)

ジを有する PC 橋である。本橋の位置図を図-3、全景を写真-1、構造諸元を表-1 に示す。

## 3. 工事概要

工事概要を表-2、施工フローを図-4、補強構造図を図-5 に示す。3 箇所の中央径間に外ケーブルを配置して中央ヒンジ部を連続化し、耐震補強として上部工の曲げ補強として鋼板あるいは炭素繊維シート、せん断補強としてウェブ内面に炭素繊維シートを施した。鋼板と炭素繊維シートは、施工性および必要補強量で使い分けた。

## 4. 外ケーブルに関する課題

本橋の設計における外ケーブル配置の基本的な考え方を述べる。上部工の支間中央断面で外ケーブルが配置可能な偏心位置を踏まえた構造解析より、各中央径間に必要な補強外ケーブルの総容量は総有効緊張力として 12000 kN 程度が必要である。また、主桁断面内での外ケーブルの配置本数は、主桁断面形状から最大 6 本程度に制限される。外ケーブルの定着位置は、解

表-2 工事概要

工事名	平成 24 年度 (国) 362 号社会資本整備総合交付金 (全国防災) 国道橋梁補修工事 (涇徳橋上部工補強工)
発注者	静岡県 島田土木事務所
工事内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>PC5 径間連続有ヒンジラーメン箱桁橋の連続化</li> <li>外ケーブル F200TS (L = 58.5 m 18 組)</li> <li>主桁側面・下面 炭素繊維シート 1,006 m<sup>2</sup></li> <li>主桁下面 鋼板接着 470 m<sup>2</sup></li> <li>落橋防止システム</li> </ul>

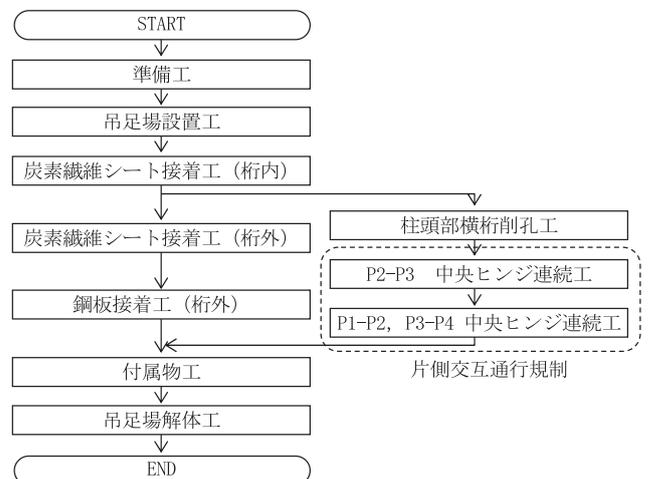


図-4 施工フロー

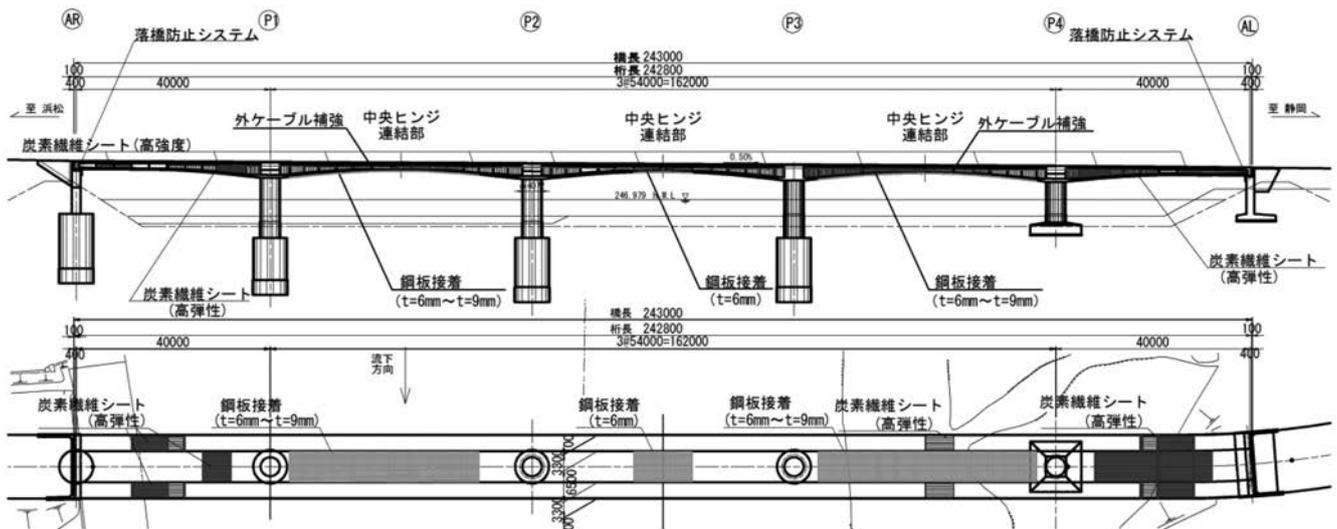


図-5 補強構造図

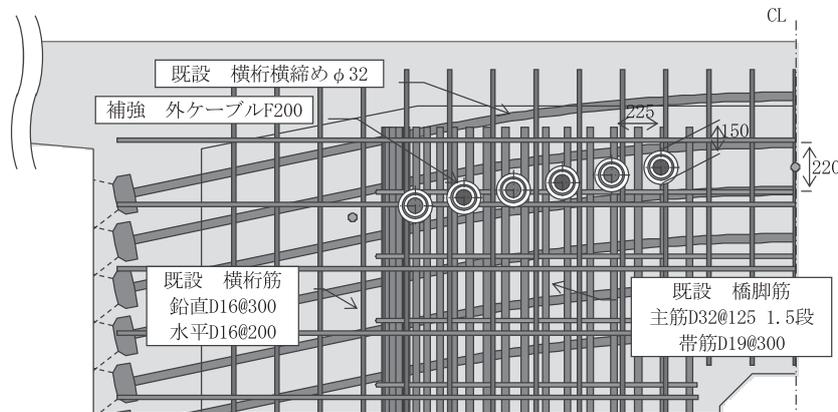


図-6 柱頭部横桁における外ケーブルと横桁横締めの取り合い

析上補強が必要な範囲を満足すること、大きな局部応力が生じる定着部付近の既設部材の耐荷性、定着部を固定するアンカーと内部鋼材の干渉の程度、外ケーブルの緊張作業に必要な空間、緊張ジャッキの搬入経路などを比較し決定された。これらの結果、本橋では1本あたりの引張強度が2000 kN級の外ケーブルを各径間6本、中間支点部の柱頭部横桁に擽がけ定着する計画とされた。擽がけ定着のため、P2およびP3の柱頭部横桁には12箇所もの削孔が必要となる。なお、狭隘な箱桁内での施工性を考慮し、工場で緊張材と定着具が一体化され、緊張材の表面はPE被覆が施されたプレハブケーブル（SEEE F200TS）が選定された。

工事着手前に発注者、設計者を交えた連絡会議を行い、外ケーブル施工における課題を再検討した。外ケーブルが定着される柱頭部横桁には横桁横締めとして曲線形状のPC鋼棒φ32mm（シース径38mm）が鉛直方向に220mm間隔で6段配置されており、これが横桁部材厚4mに750mm間隔で5列配置されている。外ケーブル配置のための削孔径は、外ケーブルの形状

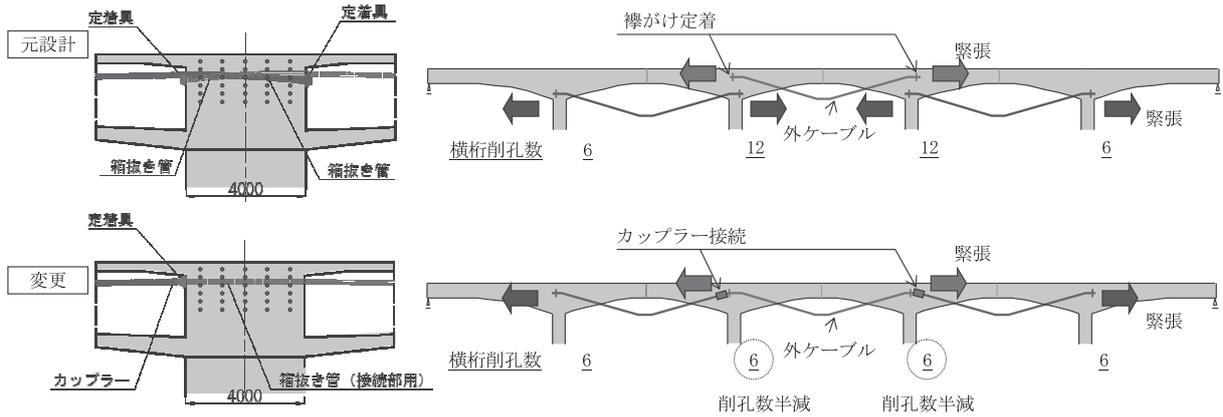
（マンション部の外径φ82、標準部の外径φ63mm、外ケーブルの偏向具を設ける鞘管の外径φ110）から150mmが必要である（図-6）。横桁横締めと削孔の鉛直方向の余裕が少ないこと、曲線形状・多列配置の横桁横締めの位置誤差が懸念されること、削孔同士の横方向間隔が少ないこと、横桁部材が厚いため削孔方向の誤差があることが懸念された。

このような技術的難度の高い削孔を実現するため、既設鋼材の損傷リスクを回避し、品質を確保したうえで確実に削孔する方法を検討、提案した。具体的には、既設鋼材の確実な位置探査の方法、削孔精度を確保する方法、既設鋼材を損傷しない削孔方法、削孔数の減少方法である。

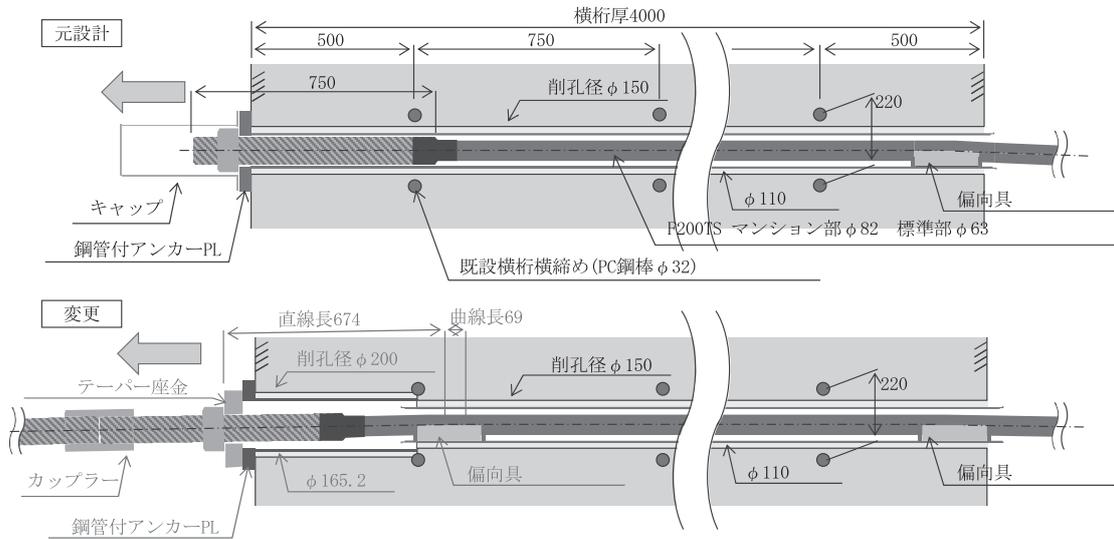
### 5. 外ケーブルの施工

#### (1) 外ケーブルの合理的な配置

補強外ケーブルの配置は、柱頭部前面でカップラーにより接続するように変更した（図-7）。これはカッ



図一七 外ケーブルの配置変更



図一八 横桁内の外ケーブルの配置

プラーによる接続が容易であるプレハブケーブルの特性を生かした変更である。この結果、P2、P3の柱頭部横桁の削孔を12箇所から6箇所に半減することができ、削孔による既設鋼材の損傷リスクの低減、削孔の横方向間隔を十分に確保することができた。

外ケーブルのカップラー接続に伴い、外ケーブル偏向具の設置位置が横桁内部に650mm奥まった（図一8）。これに対して実橋を再現した施工性試験を行い、外ケーブル偏向具取付けの手順を考案し、確実な施工ができることを確認した。

本変更により、中央径間の連続化施工は、P2～P3を先行し、その後P1～P2およびP3～P4を施工する順序とし、外ケーブルの緊張方法は、P2～P3間は両引き、P1～P2間とP3～P4間は片引きとした。なお、緊張方向を変更しても外ケーブルの導入緊張力は当初計画と大差ないことを確認している。

この外ケーブルの配置変更は、品質を低下させることなくコスト縮減につながる契約後VEとして提案し、経済的な効果が認められて採用に至った。

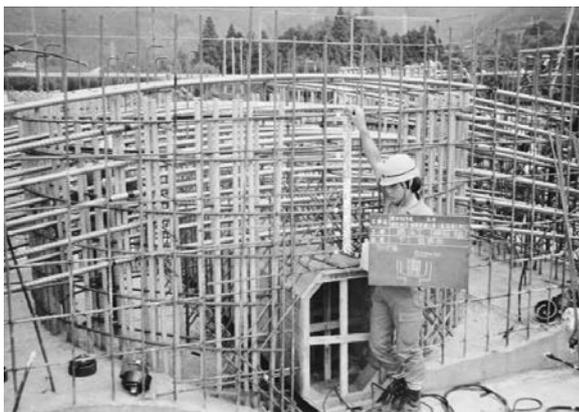
## (2) 既設鋼材の探査

本橋の横桁横締めは曲線加工されたPC鋼材φ32mmであるため、横桁内部では位置誤差が懸念される。また、横桁表面から深く配置されているため、通常のRCレーダーでは探査が不可能である。そのため、主桁外面から横桁横締め定着端の位置測量を行い、横桁内部での配置形状を立体的に把握し、外ケーブル位置との関係を調査した。これにより、既設横桁横締めと干渉しないように、外ケーブルの削孔位置を決定した。

また、幸いにも本橋の建設当時の資料が保管されており、横桁横締めの建設時の支持方法が明確に判明し、位置推定の大きな参考となった（写真一2）。削孔後に判明した横桁横締めの位置誤差は微小であり、外ケーブルの配置位置の調整には至らなかった。

## (3) 外ケーブルの貫通削孔

外ケーブルの配置位置は橋梁全体の構造的なことから決定されているため、削孔位置を大きく変更することは

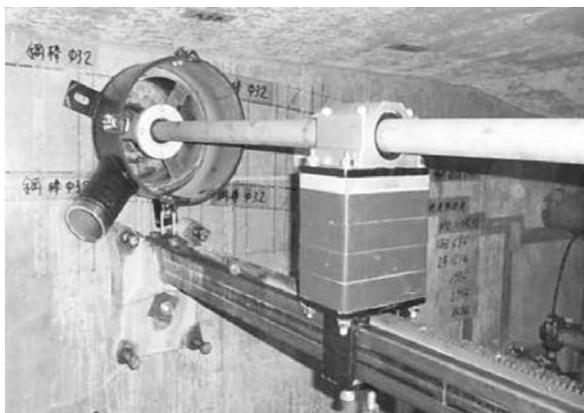


写真一2 柱頭部横桁の施工状況 (建設時資料より)

きない。本工事では横桁横締めを損傷させることなく所定の位置に削孔するウォータージェット工法（以下WJ）を用いた。

① WJ 長尺削孔の施工性試験と WJ 固定方法

WJで長尺削孔を行う場合、削孔が進むにつれランスがたわみ、方向誤差が生じる傾向がある。そこで、事前に施工性確認試験を行い、WJの長尺削孔における方向誤差を確認した。これを踏まえて、厚さ4.0mの既設横桁に対する実施工でのWJ機器の固定方法や作業標準を決定した。機器の固定状況を写真一三に示す。



写真一3 WJの固定

② WJによる一次はつり出し

WJ削孔に先立ち、柱頭部横桁の表面鉄筋をWJではつり出し、表面鉄筋が所定の位置に配置されていることを確認した。横桁表面から深さ500mmに位置されている1列目の横桁横締めをWJではつり出し、目視による確認を行った。さらに、2～5列目に配置されている横桁横締めについてもWJの到達直前で停止し、削孔位置と干渉がないことを確認し、慎重な確認作業を実施した。

③ WJによるWJ小径先行削孔と拡径削孔

削孔は、小径のWJ削孔を先行して行った。削孔径

はWJ工法として4.0mの貫通精度の確保が可能と考えられたφ75mmとし、横桁横締めとの純間隔を確認しながら、横桁の片側より行った。WJの方向性は施工性確認試験の結果を反映させ、孔の方向、直線性、削孔角度など、削孔機械が削孔中に振動しないよう固定した。削孔径の拡大は先端ノズルを取り替え、45°角で高圧水を噴射し、最終的にφ150に拡径した（写真一四）。こうした改善により、横桁横締めを損傷させることなく、予定の削孔位置に外ケーブルの貫通削孔（φ150 L=4.0m）を実現した。写真一五にWJ小径先行削孔、写真一六にWJ拡径削孔完了状況を示す。



写真一4 WJ拡径ノズル



写真一5 WJ小径先行削孔



写真一6 WJ拡径削孔

## 6. その他の工種

施工において技術的検討を行ったその他の工種について述べる。

### (1) 吊足場における工夫

吊足場はパネル式システム吊足場を採用した。従来の吊足場が①吊チェーン、②根太パイプ、③コロバシパイプ、④足場板、⑤安全ネットにより構成されているのに対し、パネル式システム吊足場は、②～⑤がパネルとして構成され、組立解体時の施工性・安全性に優れたものである。PC橋の補修補強工事では、劣化したコンクリート部材へ設置するアンカーの信頼性、吊足場撤去後の残アンカーの処理が課題となる。アンカーの信頼性については入念なたき調査、残アンカーについては、ネジ固定式アンカーを用いることで撤去後にアンカー本体を躯体に残さない方法とした

また、吊足場と桁下面の曲線形状を合わせて、作業空間が約 1.8m で一定間隔となるようにした。足場の



写真一七 吊足場

段差や隙間、施工箇所までの高さの変化を無くすことにより、作業性・安全性の向上および炭素繊維シート接着工および鋼板接着工の施工性を向上させることができた（写真一七）。

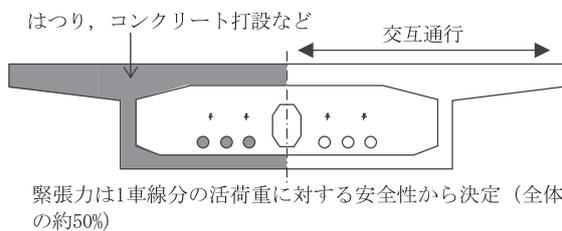
### (2) 中央ヒンジ部の連続化における工夫

中央ヒンジ部の連続化は既設伸縮継手を撤去し、コンクリート部材のはつり、連続化部の鉄筋組立およびコンクリート打設の後、外ケーブルの緊張を行った。連続化工事においては、迂回路を確保したうえで道路を一時通行止めにして工事を行うことが一般的である。しかし、本工事は近隣に迂回路がなく、地域住民の生活道路として利用されていたため、通行止めを実施することが困難であった。このため、主桁を半断面ずつ施工することとし、1車線を昼夜片側交互通行で対応することにした。まず、連続化構造に対する応力検討結果を踏まえ、半断面のコンクリートを打設し外ケーブルを部分的に緊張した（図一9 STEP1）。次に交通規制を入れ替え反対側の半断面を施工した（STEP2）。その後、連続化断面に均等に緊張力を導入するため外ケーブルの張力調整を行い1箇所の中央ヒンジの連続化を完了した（STEP3）。これを3箇所の中央ヒンジ部分について繰り返した（STEP4）。張力調整は再緊張が容易なプレハブケーブルの特性を活用したものである。

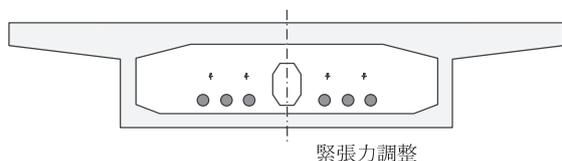
## 7. おわりに

本工事は、狭隘な空間での主桁連続化工事であり、多くの検討を行い施工を進めた。当時としては煩雑な柱頭部横桁横締めを高い精度で建設した技術に敬意を

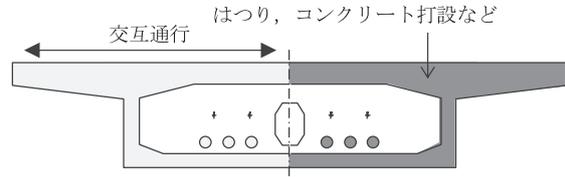
STEP1 車線規制，半断面の施工



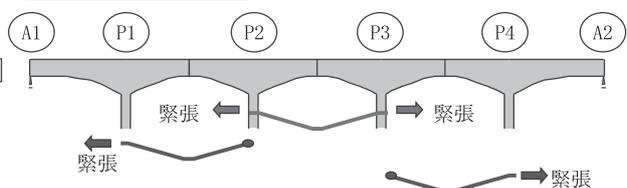
STEP3 張力調整



STEP2 反対側の半断面を施工



STEP4 3箇所を繰り返す



図一9 施工ステップ

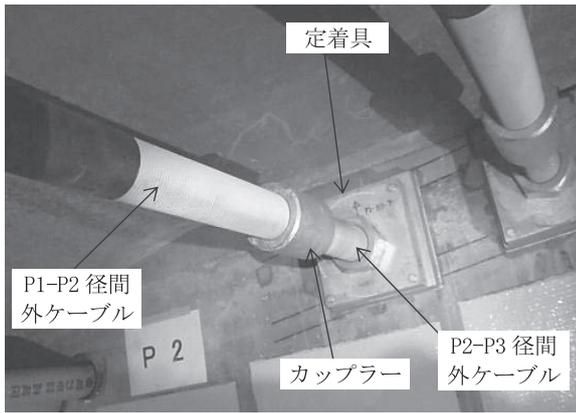


写真-8 外ケーブル接続完了（防食被覆前）

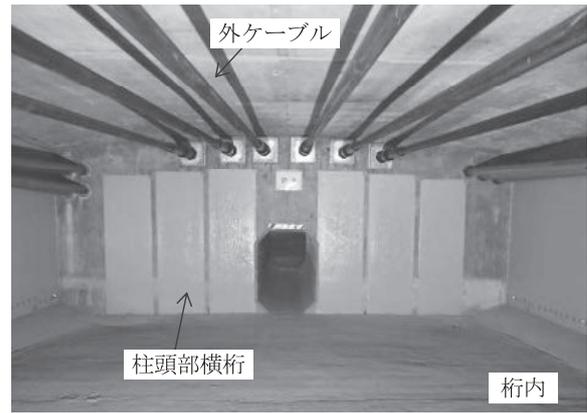


写真-10 完成（桁内）



写真-9 完成全景

表するとともに、維持管理業務における資料保管の重要性を再認識した。外ケーブルのカップラーによる接続完了状況を写真-8、完成全景を写真-9、10に示す。本工事に関して多大なるご指導、ご協力を賜った関係者各位に深く御礼申し上げますとともに、本報告が類似工事の一助となれば幸いである。

JCMMA

## 【筆者紹介】

安藤 直文（あんど う なおふみ）  
三井住友建設  
土木本部土木リニューアル推進室

