

論文・報告

高知自動車道 新宮 IC～大豊 IC 間耐震補強 I 工事報告

～水平力分担構造工の施工について～

松本 卓夫 *1
MATSUMOTO Takuo

保坂 和人 *2
HOSAKA Kazuhito

宮元 潔 *3
MIYAMOTO Kiyoshi

明神 優貴 *4
MYOJIN Yuki

松井 信武 *5
MATSUI Nobutake

大久保 孝 *6
OKUBO Takashi

南海トラフ地震は、マグニチュード 8～9 クラス地震の 30 年以内の発生確率が 70～80 %とされており、四国地方における耐震補強は急務である。阪神大震災以降、橋梁の耐震補強における落橋防止構造は見直しが必要とされてきた。そのうちの 1 つに水平力分担構造がある。橋梁を支える橋台、橋脚の複数の地震で発生する水平力を分担させて受け持たせるものである。本工事の水平力分担構造は『せん断ストッパー』と『PRF 緩衝ピン BT』のタイプがある。いずれの構造もセットで 1t～4t 程度の重量があり、橋台や橋脚の頂部付近に設置される。

今回、大型ブラケットの形状を現場の状況に合わせて縮小化したこと、また急斜面に橋脚が林立し仮設道路が無く、クレーンも使用できない条件でどのように水平力分担構造を設置したかを報告する。

キーワード：水平力分担構造工、あと施工アンカー、PC 鋼棒、上部エブラケット、下部エブラケット、モノレール

1. はじめに

高知自動車道では、様々な橋梁形式に対して耐震補強工事を行っている。その工種の 1 つに水平力分担構造工がある。最初に『水平力分担構造工』について説明する。つぎに、本工事で下部エブラケット形状が最大であった松久保橋下り線のケースで、現場の状況に合わせてどのようにその形状を縮小化したかについて、最後に、クレーンが橋梁奥地まで入り込めない新宮橋において、重量物である『水平力分担構造』を、如何に設置したのかを報告する。



写真 1 水平力分担構造工（せん断ストッパー）

2. 水平力分担構造工の比較

(1) せん断ストッパーと PRF 緩衝ピン BT

『せん断ストッパー』（写真 1、図 1）は、レベル 2 地震動の水平力に対し、既存の支承を補完する水平力分担構造として使用できる。1 基設置するだけで、2 方向の水平力（橋軸方向、橋軸直角方向）に抵抗することができる。また、浮き上がり防止機能を内蔵していることから、支承部に要求されるレベル 2 地震動の上向き設計鉛直地震力に対しても抵抗する。

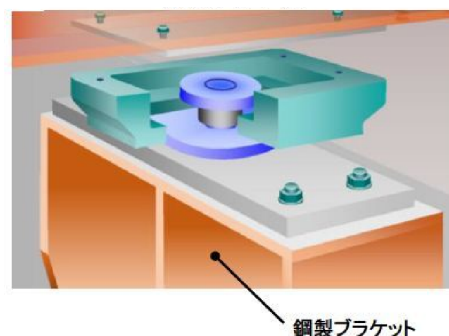


図 1 せん断ストッパー

*1 川田建設㈱大阪支店工事事務課 係長

*2 川田建設㈱大阪支店工事事務課 係長

*3 川田建設㈱大阪支店工事事務課 次長

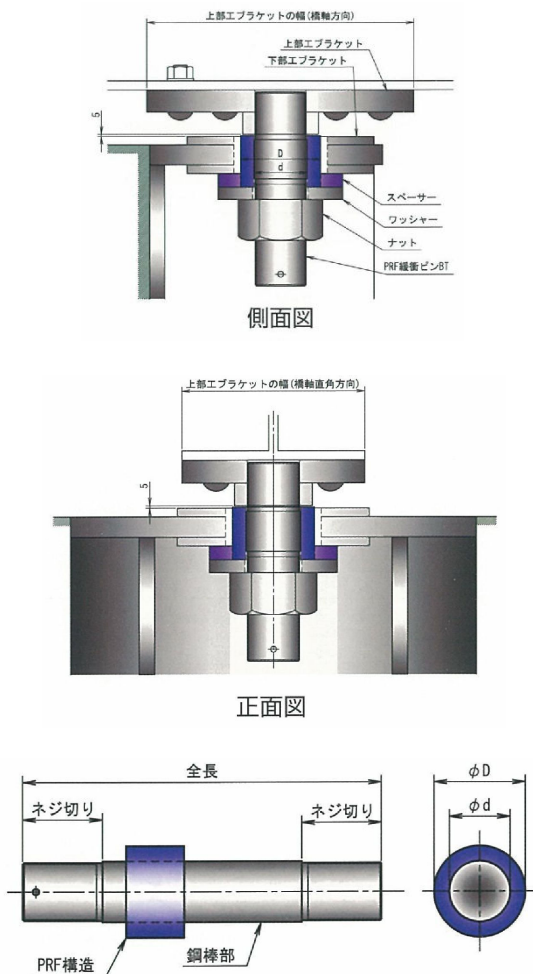
*4 川田建設㈱大阪支店技術部技術課

*5 川田建設㈱大阪支店技術部技術課 主幹

*6 川田建設㈱大阪支店技術部 担当部長



写真 2 水平力分担構造工 (PRF 緩衝ピン BT) (中央)



緩衝ピン詳細
図 2 PRF 緩衝ピン

また、『PRF 緩衝ピン BT (Beam Type)』(写真 2, 図 2) は上部エブラケットから下部エブラケットへ、ピンを介して地震力を伝達する構造である。ピンの周りは PRF (Poly Rubber Fiber) 緩衝材で被覆されており、地震による衝撃荷重を低減させる効果がある。PRF 緩衝材はゴムの中にシート状の繊維を積層埋設一体化したゴムと繊維の複合体である。『PRF 緩衝ピン BT』は『せん断ストッパー』と同じように水平力は 2 方向に抵抗するが、上向きの設計鉛直地震力に対しては抵抗しない。本工事では上部構造がメタル橋に『せん断ストッパー』をコン

クリート橋に『PRF 緩衝ピン BT』を採用している。

(2) ブラケット

ここでは、RC 中空床版橋に採用した『PRF 緩衝ピン BT』のブラケットについて説明する。

a) 上部エブラケット

RC 中空床版橋に取付く上部エブラケットは床版下面に設置され、床版にブラケットのアンカーボルトを鉛直に定着させる。床版内には円筒型枠がありアンカーボルトの取り付けられる箇所は、円筒型枠同士に挟まれたコンクリートが充填されているところと限定される (図 3)。

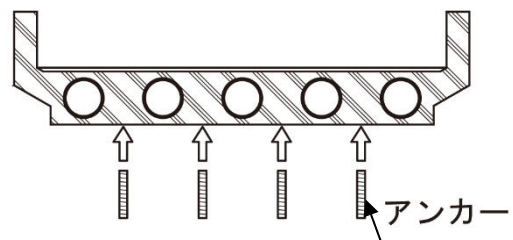


図 3 上部エブラケットアンカー位置

b) 下部エブラケット

下部エブラケットのアンカーボルトは、下部工の壁面に水平方向に定着する。下部エブラケットは、上部エブラケットと『PRF 緩衝ピン』で連結されている。したがって、下部エブラケットは上部エブラケットが取り付け直下に配置されることとなる。また、両者のブラケットの取合は数ミリ程度しか隙間を確保できないので、取付けは慎重に行わなければならない。しかし、下部エブラケットが取り付け橋座前面は支承のアンカーボルト、橋脚横梁の鉄筋、橋脚本体の鉄筋など既設構造物の鉄筋等の輻輳や、橋脚上面は横断勾配を有しているため、計画通りのアンカー削孔を行うには、非常に難易度が高い。

(3) アンカーボルト材料の検討

本工事では、ブラケット固定用アンカーボルトとして、異形棒鋼と PC 鋼棒を適用した。当初計画では異形棒鋼で計画されていたが、現場の状況でブラケットを小さくするため、アンカー本数を削減する必要があった。特に上部工や橋脚の過密鉄筋となっている箇所では削孔径を小さくするため、アンカー径を小さくする必要があったことから、高強度な PC 鋼棒を採用する必要が出てきた。

西日本高速道路㈱では、アンカーボルトとして PC 鋼棒の使用実績は少ないため、本工事で後述する PC 鋼棒のせん断耐力試験¹⁾を行い、採用を認められた。詳細は、“3.松久保橋 (下り線) ブラケットの縮小化検討”を参照のこと。

(4) アンカー削孔 (写真 3)

アンカー削孔径は、定着するアンカーボルトの直径 + 10 mm とする。アンカー削孔に際して、既設の鉄筋を切断しないことは大原則である。削孔前に鉄筋探査を行い、

縦筋、横筋ともその配置をマーキングする。実際、下部工ブラケットが設置される場所は橋脚の横梁部であり、その鉄筋はもちろんのこと柱部の鉄筋や支承アンカーなどが輻輳している。また鉄筋は手前の鉄筋だけでなく奥側にも配置されている。それらを回避しアンカー削孔することは難しく、1つの孔を開けるために複数の不達孔をつくりかねない。また、アンカー削孔は所定の位置で開けられない場合はアンカー間隔が広がる方向で逃がしていくと、ブラケットは拡大してしまう。

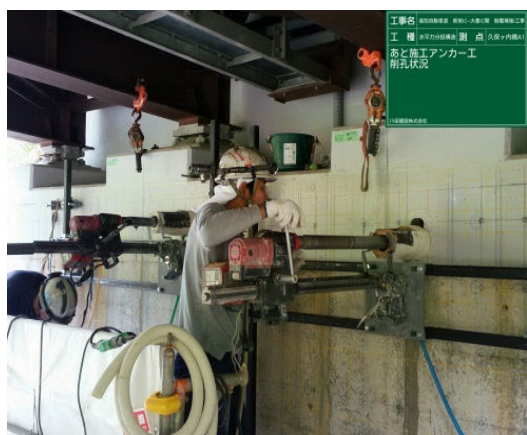


写真3 アンカー削孔状況

3. 松久保橋（下り線）ブラケットの縮小化検討

(1) 工事概要

松久保橋（下り線）（写真4）は橋長96mの鋼3径間連続合成鈹桁橋、A1、A2橋台とP1、P2橋脚から構成されている。P1を除く橋台、橋脚に水平力分担構造が計画されている。主桁は4本あり、それぞれに1つつつ水平力分担構造が設置される（写真5）。

当初の計画ではA2橋台に取り付くブラケットが最大であり、橋座前面の桁下に下部工ブラケット（奥行1850mm×幅780mm×高さ2380mm、重量4.2t/個）が4個取り付く。これを高速道路の橋面よりクレーンで部材を荷下ろしし、桁下を横取りする。その後、あらかじめ橋台コンクリート面に準備しておいたアンカーボルトに合わせて下部工ブラケットをセットする。

(2) 問題点

部材重量は4tを超えるため、10t車での運搬が必要となるが、4t車に比べ小回りが利かないため、右折やUターンに時間やスペースを要し、作業効率の低下が懸念された。また、橋面上のクレーンのアウトリガー反力が過大となるため、床版張出し部の応力度が許容値を超過する恐れがあった。さらにブラケット形状として1辺が2mを超えており、足場上で部材を立て起こす際、ブラケットの転倒や、挟まれ事故の恐れがあった。

(3) 解決方法

上記問題を解決する方法としてブラケットの小型化が課題であった。ブラケットの形状を小さくするためには

ベースプレートの大きさを小さくする必要がある。ベースプレートの大きさはアンカーボルトの本数や配置で決



写真4 松久保橋（左側が下り線）



写真5 下部工ブラケット設置状況

定される。アンカーボルトの本数を少なくする方法が有効だが、当初設計で既に最大径である鉄筋D51を使用する計画であった。そこで、鉄筋に替わるせん断耐力の高い材料特性値を有するアンカーボルトを採用できないかと思い、鉄筋に比べて降伏点強度が3倍程度のPC鋼棒ならばこの課題を解決できると考えた。

(4) アンカーボルトへのPC鋼棒採用に対する課題

アンカーボルトの設計ではコンクリート許容支圧耐力とアンカー許容せん断耐力の両方に着目する必要がある。従来使用している鉄筋ではアンカーの許容せん断耐力はコンクリート許容支圧耐力を下回る。このためアンカーボルトの設計ではアンカーの許容せん断耐力まで考慮できる。一方、PC鋼棒をアンカーボルトに採用する場合は、上述の2つの許容耐力の関係が逆になる。したがって、PC鋼棒を使用すると、コンクリートの方が早く破壊する恐れがあり、コンクリートのせん断耐力を確認する必要がある。

(5) 課題解決のために実施した内容¹⁾

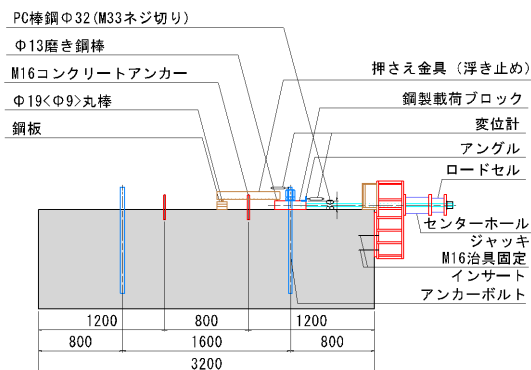
PC鋼棒のアンカーボルトの埋込長とせん断耐力の関係を実験的に検証するために、アンカー鋼材種類、埋込長、定着材種別を変えて、せん断耐力試験を実施した¹⁾。

試験体(写真6)は、既設構造物相当の鉄筋量を考慮し、設計基準強度 $\sigma_{ck}=24\text{ N/mm}^2$ のコンクリート製とした。アンカーボルトには、 $\phi 23$ と $\phi 40$ の2種類のPC鋼棒C種1号(SBPR1080/1230)の全ネジ鋼棒を用い、埋込長を5D, 10D, 15D, 20Dとした。また、PC鋼棒との比較のため、埋込長を10D, 15Dの2種類とした異形鉄筋(SD345 D38)の試験体も製作した。アンカー定着材には、有機系と無機系の2種類の材料を使用した。

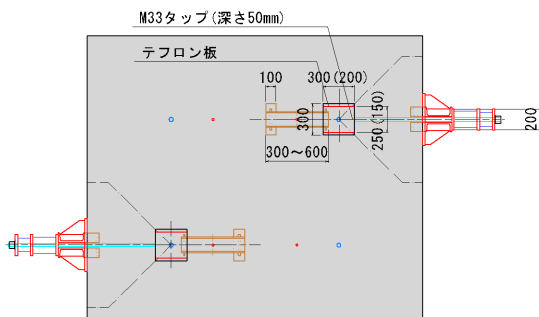
試験装置は、鋼製の荷重ブロックにセンターホールジャッキにより引張力を作用させ、アンカーボルトに水平せん断力を作用させる構造とした(図4)。荷重はロードセルにより計測し、水平変位は荷重ブロック前面とアンカーボルト頂部に設置した変位計により計測した。



写真6 試験体全景



側面図



平面図

図4 試験装置

(6) 実験結果

PC鋼棒を使用したあと施工アンカーは、埋込長5D以上とすることで、ベースのコンクリートが支圧で破壊することなく、アンカー鋼材のせん断耐力まで作用せん断力に抵抗できることを確認した。試験結果(表1)を踏

まえ、主としてせん断力が作用するあと施工アンカーとしてのPC鋼棒の埋込長は15Dとした。定着材の違いによる明確な最終変位の差は見られなかった。本試験結果から、PC鋼棒を使用したあと施工アンカーは十分な埋込長の条件下において、せん断力が主として作用する範囲での適用には、設計上、問題ないことが確認できた。

表1 せん断耐力試験結果(グループ平均値)

| 試験体No. | アンカー種別 | 径 | アンカー埋込長 | | アンカー定着材 | GR-No. | 最大荷重 P_{max} (kN) | 変位 δ_{max} (mm) | コンクリート許容支圧耐力(KN) |
|--------|-----------|-----------|---------|--------|---------|------------------|---------------------|------------------------|------------------|
| | | | 5D | 10D | | | | | |
| A-1 | PC鋼棒C種 | $\phi 23$ | 5D | 115 mm | 無機系 | 5D-i- $\phi 23$ | 159.8 | 6.6 | 72.4 |
| | | | | | 有機系 | 5D-o- $\phi 23$ | 159.7 | 8.3 | |
| | | | 10D | 230 mm | 無機系 | 10D-i- $\phi 23$ | 160.1 | 5.9 | |
| | | | | | 有機系 | 10D-o- $\phi 23$ | 160.1 | 8.5 | |
| A-2 | PC鋼棒C種 | $\phi 23$ | 15D | 345 mm | 無機系 | 15D-i- $\phi 23$ | 160.4 | 6.6 | |
| | | | | | 有機系 | 15D-o- $\phi 23$ | 159.7 | 7.2 | |
| | | | 20D | 460 mm | 無機系 | 20D-i- $\phi 23$ | 160.3 | 6.2 | |
| | | | | | 有機系 | 20D-o- $\phi 23$ | 160.7 | 5.1 | |
| B-1 | PC鋼棒C種 | $\phi 40$ | 5D | 200 mm | 無機系 | 5D-i- $\phi 40$ | 507.2 | 11.9 | 228.3 |
| | | | | | 有機系 | 5D-o- $\phi 40$ | 510.6 | 11.8 | |
| | | | 10D | 400 mm | 無機系 | 10D-i- $\phi 40$ | 512.1 | 9.2 | |
| | | | | | 有機系 | 10D-o- $\phi 40$ | 510.9 | 9.5 | |
| B-2 | PC鋼棒C種 | $\phi 40$ | 15D | 600 mm | 無機系 | 15D-i- $\phi 40$ | 511.6 | 10.7 | |
| | | | | | 有機系 | 15D-o- $\phi 40$ | 511.6 | 9.8 | |
| | | | 20D | 800 mm | 無機系 | 20D-i- $\phi 40$ | 511.3 | 8.5 | |
| | | | | | 有機系 | 20D-o- $\phi 40$ | 512.2 | 8.2 | |
| C-1 | 異形鉄筋SD345 | D38 | 10D | 380 mm | 無機系 | 10D-i-D38 | 110.2 | 1.2 | 158.2 |
| | | | | | 有機系 | 10D-o-D38 | 111.3 | 2.2 | |
| | | | 15D | 570 mm | 無機系 | 15D-i-D38 | 110.1 | 1.4 | |
| | | | | | 有機系 | 15D-o-D38 | 111.4 | 3.0 | |

(7) PC鋼棒を採用することによる効果

a) 当初計画のブラケット形状と重量

L 1 850 mm×B 780 mm×H 2 380 mm W=4.2 t

b) 変更後のブラケット形状と重量

L 1 850 mm×B 780 mm×H 1 480 mm W=2.6 t

アンカーボルトの材質を変更することでブラケット重量は4.2 tから2.6 tの62%に軽減できた。

4. 新宮橋 重力物搬入方法の検討

(1) 工事概要

新宮橋は、橋長138.8 mのRC2径間連続中空床版橋4連と途中から2股に分岐する橋長14.0 mのRC単純中空床版橋で構成するランプ橋である。

橋脚は、急峻な斜面に位置し、橋脚下の用地には竹林や雑木林があり開けたところが少ない(写真7)。また、ランプ橋であるため、曲線桁で縦断4.5%、横断10%程度



写真7 新宮橋

の勾配を有する。本橋にも松久保橋と同様に水平力分担構造のブラケットが取り付けく。

(2) ブラケット搬入と設置方法の課題

橋脚周りには工事用の道路が無く、用地が狭く仮設の工事道路も作れないため、橋脚にクレーンや部材運搬車が近づけない。また、一般的には規制帯（1車線）の他、一般車や緊急車両を通行させる車線が別に必要であるが、本橋はランプ橋で幅員が1車線しかなく規制できない。したがって、ブラケットの重量物を如何に橋脚周りまでもっていき、足場の最上段にあげ、所定の位置まで横移動するかが課題であった。

(3) 解決方法

本工事では、この条件下でも部材を運搬できる方法として『モノレール』を使用した（図5、表2）。

モノレールは、最大積載3t、登坂角45°、分速40～50m運搬可能である。さらに、天候の影響を受けにくく、平均風速10m/s以上でも運搬でき、いつでも安定して安全に利用できる。モノレールは曲線施工や、設置範囲内での搬入・搬出が可能である。設置に必要なスペースは軌道幅2～2.5mで林間を走行できるので、間伐程度の伐採で地形改変・コンクリート基礎工事は不要となり、環境負荷を抑制できる。今回の設置延長は150mで、設置・撤去にそれぞれ7日を要した。

表2 モノレール仕様（3t 運搬用）

動力車 DH-3000 仕様

| | |
|---------|---------------|
| 形式 | DH-3000 |
| 全長、全幅 | 2100L × 1200W |
| 自重 | 1050kg |
| エンジン出力 | 50ps/2600rpm |
| 走行速度 | 40m/min |
| 燃料 | ディーゼル軽油25L |
| 駆動方式 | ラック&ピニオン |
| 燃費（参考値） | 3.5L/h |

基本台車 仕様

| | |
|-------|---------------|
| 全長、全幅 | 3000L × 1200W |
| 自重 | 750kg |
| 最大積載量 | 3000kg |

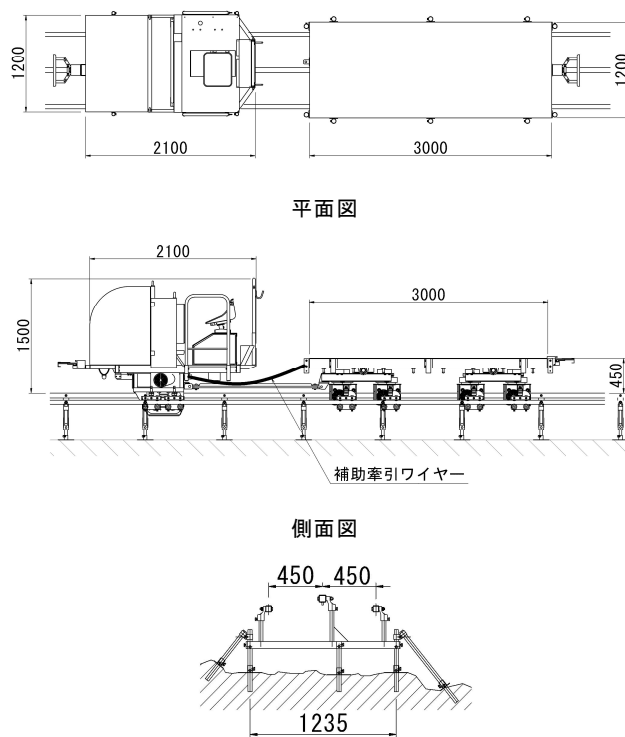


図5 モノレール概要図



写真8 モノレールによる部材運搬状況



写真9 電動チェーンブロックによる部材荷上げ状況

モノレールで足場付近まで運搬した(写真8)部材を荷上げる際には、電動チェーンブロックを使用する(写真9)。揚程は20 mで吊り上げ能力2 tである。部材荷上げ時は、足場の床部分や手すりを一時外すため、作業員が墜落しないように注意が必要である。

部材横取りは、ブラケットを架設する上で最も気を遣う場面で、その方法は大きく2つ考えられる。一つは天井にH鋼を固定し、トロリーをつけ、部材を吊り下げ横移動する方法である。もう一つは足場上にレール設備を配置し、チルトタンクで転がしながら部材を横移動させる方法である。前者では、天井に16 m程度の長さのH鋼を水平に固定しなければならないため、トロリーでは部材が勾配の影響で逸走しないように水平に配置する必要がある。しかし、天井は上部工の床版下面で横断勾配が10%程度あるため、勾配を調整するための吊り支材の長さは徐々に変化しながら最長1.6 mになる。よって、吊り支材は2 t弱の部材を横移動するのに強度を持たせることが難しく現実的ではない。そこで、今回は後者の(レール設備+チルトタンク)案を採用した(写真10, 11)。写真9ではトロリーの設備も確認できるが、モノレールから横取り設備までの1.5 m程度の部材移動に使用した。横取り設備は足場の柱頂部に大引き受けジャッキを設け、枕梁となる角鋼管を渡し、その上にレールを2条設けた。部材とレールの間には、コロとしてチルトタンクを設置する。部材は電動ホイストでけん引することで無事施工できた(写真12)。



写真10 部材横取り状況

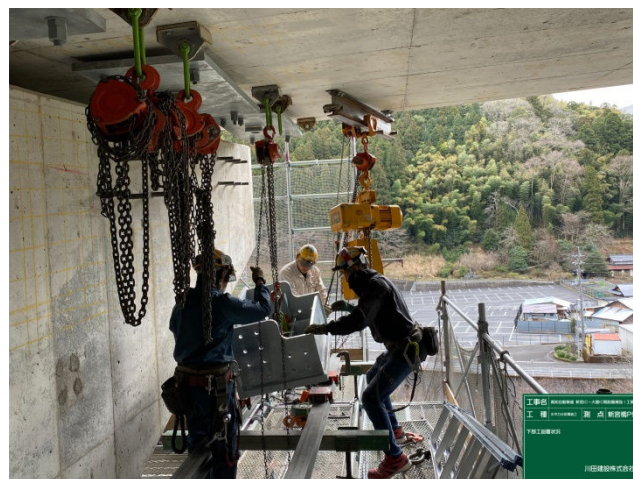


写真11 部材取付け状況



写真12 部材取付け完了

5. まとめ

今回、あと施工アンカーボルトにPC鋼棒を採用することで、アンカー径を細径にでき、ブラケットを縮小化することができた。さらに、アンカー径を細径にすることで、埋設鉄筋の格子の隙間に挿入しやすくなり、不達孔の発生を抑制できた。現場はクレーンが進入できない条件の地形では、モノレールを採用することで施工を可能とした。水平力分担構造工の施工は今後も長く続くと思われるため、本稿が今後の類似工事の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 明神優貴, 大久保 孝, 松井信武, 富永裕紀; あと施工アンカーへのPC鋼棒適用に関するせん断耐力試験報告第29回シンポジウム論文集, プレストレストコンクリート工学会, pp.85-88, 2020.10.