

論文・報告

南風原高架橋他 2 橋耐震補強工事報告

～現場条件を考慮した設計と施工について～

Seismic Retrofitting in HAEBARU-Viaduct

伊佐 康一 *1
Koichi ISA

寶金 孝弘 *2
Takahiro HOUKIN

虻田 寿人 *2
Hisato ABUTA

関 勝史 *2
Masafumi SEKI

藤原 敏晃 *3
Toshiaki FUJIWARA

大久保 孝 *4
Takashi OKUBO

本工事は、沖縄自動車道（那覇～石川間）の対象橋梁 3 橋（南風原高架橋、屋宜原橋、カニカラン橋）の橋脚耐震補強および落橋防止構造設置工事である。南風原高架橋は PC 連結合成桁で、主桁と橋脚を制振ダンパーで連結する制振装置工が採用された。屋宜原橋は PC 連続ラーメン箱桁橋で、橋脚の耐震補強として RC 巻立工法、上部工の耐力向上として下床版増厚が採用された。落橋防止装置工としては、支承を有する P3 橋脚では現場条件および工程短縮の観点から再照査の上、PC ケーブルの変位制限を省略しコンクリート壁による段差防止工へ変更した。カニカラン橋は、P1 橋脚近傍の構造物掘削に制約が生じたことから、RC 巻立工法から制振ダンパーの設置に変更した。本稿では、全体工事概要と現場条件を考慮し変更した耐震補強の設計・施工について報告する。

キーワード：橋脚耐震補強、RC 巻立工法、制振ダンパー、段差防止工、落橋防止構造

1. はじめに

本工事は、沖縄自動車道（那覇～石川間）の対象橋梁 3 橋（南風原高架橋、屋宜原橋、カニカラン橋）の橋脚耐震補強および落橋防止構造設置工事である。

対象橋梁の竣工年度は、1986～87 年度であった。本工事は、既存資料を参考に、現行耐震基準を満足するように、橋梁全体系として耐震性向上を目的とするものであった。

2. 橋梁概要

対象橋梁の一般図を図 1～3 に示し、概要を以下に記す。

(1) 南風原高架橋

南風原高架橋下り線（P14 橋脚～A2 橋台）は、橋長 142m で 2 橋梁からなり、P14 橋脚および P17 橋脚は掛違い橋脚である。上部工形式は、PC3 径間連結合成桁橋と PC2 径間連結合成桁橋を有する。また、橋脚形式は、張出式橋脚であり、径間数は 5 径間である。基礎形式は直接基礎である。

橋脚部は橋脚高さの 60～80% がゴミ混じりの土砂により埋め立てられている。したがって、本橋の耐震補強検討では、盛土材が産業廃棄物相当のゴミ混じり土砂であることから、構造物掘削の必要な橋脚本体の補強ではなく、構造物掘削の必要の無い制振装置設置工が採用さ

れた。

(2) 屋宜原橋

屋宜原橋は、橋長 322m で 2 橋梁からなり、P4 橋脚は掛違い橋脚である。上部工形式は、張出し架設工法による PC4 径間連続ラーメン箱桁橋（A1 橋台～P4 橋脚）と RC4 径間連続中空床版橋（P4 橋脚～A2 橋台）を有する。また、橋脚形式は、PC 部は単柱式矩形橋脚、RC 部は 2 柱式矩形橋脚である。基礎形式は直接基礎である。

単柱式橋脚の耐震補強として RC 巻立工法、PC 箱桁上部工の耐力向上として下床版増厚が採用された。落橋防止装置工は当初 P3 橋脚における中間支点到 PC ケーブルを用いた変位制限構造が計画されていた。当該施工箇所の P2～P4 径間橋梁下には発注者である西日本高速道路株式会社（NEXCO）と市町村の占用協議による地元地区住民のためのゲートボール場および運動場があり、工事に伴う閉鎖期間の短縮が課題となった。

(3) カニカラン橋

カニカラン橋下り線は、橋長 71.7m で 2 橋梁からなり、P3 橋脚は掛違い橋脚である。上部工形式は、RC3 径間連続中空床版橋（A1 橋台～P3 橋脚）と PC 単純箱桁橋（P3 橋脚～A2 橋台）を有する。また、橋脚形式は、RC 部は 2 柱式矩形橋脚、PC 部は単柱式矩形橋脚である。橋脚の基礎形式は、直接基礎である。

*1 川田建設(株)西日本統括支店（大阪支店）事業推進部 次長
*2 川田建設(株)西日本統括支店（大阪支店）事業推進部工事課 係長
*3 川田建設(株)西日本統括支店（大阪支店）事業推進部技術課 係長

*4 川田建設(株)西日本統括支店（大阪支店）事業推進部技術課 課長

P1橋脚の耐震補強は、当初RC巻立法が計画されていた。しかし、A1~P1径間には市道が交差しており、市道から約6mの深さにフーチングがあるため、巻立法

法に際して構造物掘削による、市道の終日規制、大掛かりな仮設工および迂回路の設置が必要となった。このため、RC巻立法の代替工法の検討が課題となった。

側面図

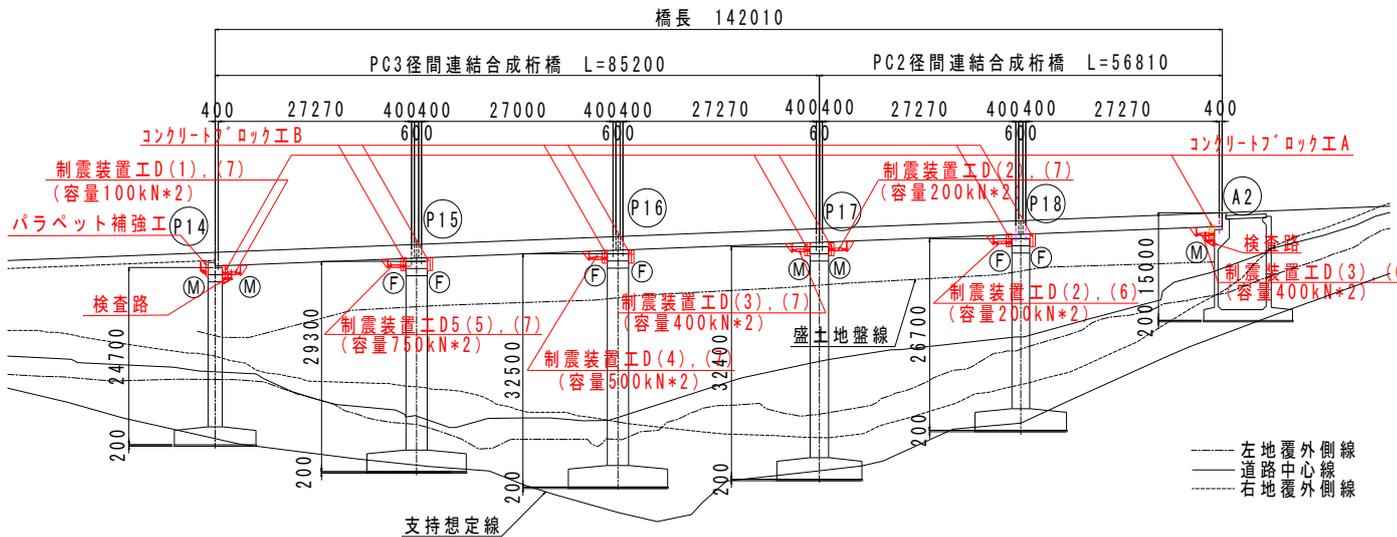


図1 南風原高架橋 一般図

下り線

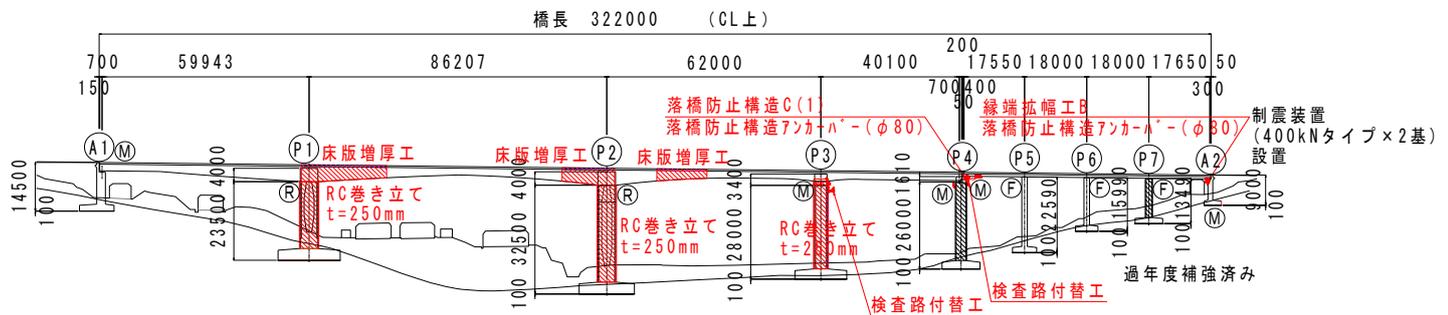


図2 屋宜原橋 一般図

側面図(下り線)

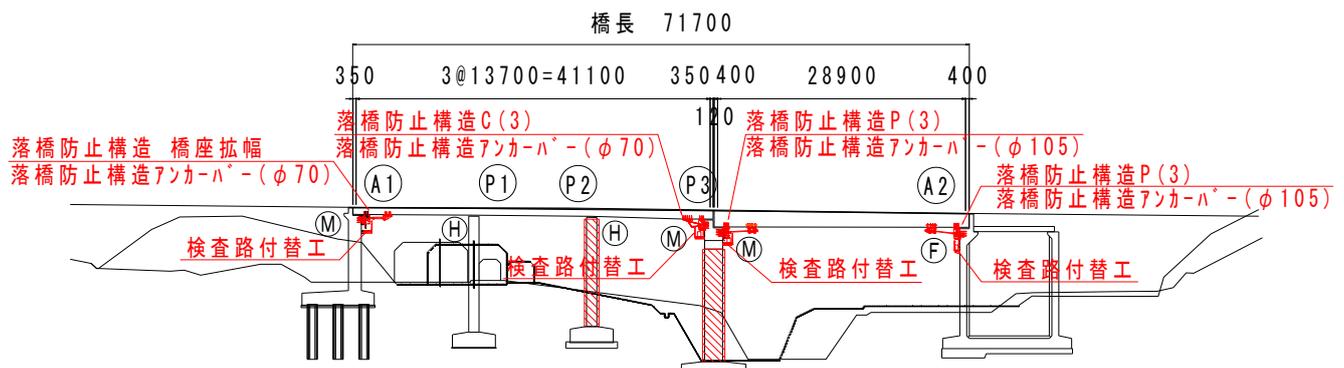


図3 カニラン橋 一般図

3. 南風原高架橋の施工

南風原高架橋の耐震補強は、ダンパーを用いた制振装置設置工であった。PC 上部工の主桁および下部工の橋脚にダンパー取り付け用ブラケットを設置した後、ダンパーが取り付けられる。したがって、PC 桁への削孔が伴うことから、ここでは、PC 桁への削孔に着目した品質管理において、留意すべき事項とその対応策について述べる。

(1) 品質管理に関する留意事項

①削孔時における既設構造物の鉄筋損傷防止

PC 桁のダイヤモンドコア削孔では事前に RC レーダーによって鉄筋探査を行う（写真 1）が、かぶり厚が大きくなると探査誤差が大きくなる。その結果、ダイヤモンドコア削孔の際、既設鉄筋を削孔機の刃先で損傷する可能性があるため、施工方法に留意する必要があった。



写真 1 RC レーダー調査

②PC 鋼材位置の確実な確認と削孔時の損傷防止

PC 鋼材配置箇所は、かぶり厚が大きく RC レーダーでは PC 鋼材探査を行うことは不可能である。そのため、ダイヤモンドコア削孔の際、PC 鋼材を削孔機の刃先により損傷する可能性が鉄筋よりも高いため、その位置の確実な確認が必要であった。

(2) 留意事項に対する対応

①削孔時における既設構造物の鉄筋損傷防止

具体策として、ダイヤモンドコア削孔施工時には、メタルセンサーリールを使用した（写真 2）。



写真 2 メタルセンサーリール

メタルセンサー（金属感知器）の原理は、電源アース→ダイヤモンドコア刃先→コンクリート内部鉄筋間に微弱電流が流れたことを感知して、0.1 秒以内に電源を遮断するものである。これにより、削孔時のダイヤモンドコア刃先による鉄筋の損傷を防止できる。一般的に、ダイヤモンドコア刃先が鉄筋に接触したかどうかは、削孔抵抗の変化によってコア削孔機のオペレータが判断している。しかしながら、この場合オペレータによる個人差が生じ人為的な判断の差違によっては鉄筋損傷の可能性がある。本メタルセンサーリールを使用することで、人の感覚に頼ることなく、電氣的にダイヤモンドコア削孔作業を停止することができた。

②PC 鋼材位置の確実な確認と削孔時の損傷防止

具体策として、PC 鋼材位置の先行削孔（ $\phi 20\text{mm}$ 程度）を行い（図 4）、この削孔内に CCD カメラを挿入し目視確認を実施した（写真 3）。

竣工図を元にコンクリート表面に PC 鋼材位置をプロットし、その PC 鋼材位置において前述のメタルセンサーを使用したハンマードリルにて先行削孔を行う。これにより、PC 鋼材と刃先が接触した場合でも PC 鋼材に損傷を与えることなく作業が行える。削孔完了後、削孔深さの計測を行い、CCD カメラを孔内に挿入することで、PC 鋼材位置を確実に目視確認できた。PC 鋼材配置位置を直接目視確認することにより、削孔作業において PC 鋼材に損傷を与えることなく施工することができた。また、不達孔発生の確率を大幅低減でき、既設構造物の健全性を確保できた。

制震装置設置箇所 PC 鋼材 1 本に対し両端と中央の 3 箇所調査孔を設ける。

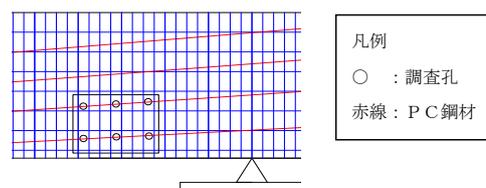


図 4 PC 鋼材位置調査孔



写真 3 CCD カメラによる調査

4. 屋宜原橋の設計・施工

(1) RC 巻立工法

屋宜原橋の橋脚耐震補強は、RC 巻立工法であった。RC 巻立工法は、既存橋脚躯体の周囲を鉄筋コンクリートで巻き立て、橋脚の耐力や変形性能を向上させる工法である。巻立て部の施工に際しては、既設コンクリート部に表面処理を施すとともに、巻立てコンクリートが乾燥収縮によってひび割れが発生する可能性があるため、コンクリートの配合、打設および養生の各段階において、有害な乾燥収縮ひび割れが発生しないような配慮をする必要があった。

既設コンクリートの下地処理にはバキュームブラスト工法(写真4)を採用した。バキュームブラスト工法は、コンクリート表面をノズルより噴射する研磨材にて研削する工法で、ブラストガンは噴射ノズルと回収ホースが一体となっており、加工と同時に研磨材、コンクリート粉塵を飛散させることなく集塵回収できる。また、騒音、振動が少なくシステムがコンパクトで人力による作業であり、狭隘部にも使用可能で施工性が良い工法であった。



写真4 バキュームブラスト工法

巻立てコンクリートの乾燥収縮対策としては、水和熱抑制型膨張材「ハイパーエクспанM」を 20kg/m^3 添加した収縮低減型コンクリートを使用した。膨張材の使用により乾燥収縮による引張力を相殺できるとともに、水和熱抑制型膨張材であることから、温度ひび割れ発生のリスク低減にも効果があった。これにより、巻立てコンクリートの乾燥収縮が既設コンクリートによって拘束されて発生するひび割れを抑制できた。さらに、巻立てコンクリート鉄筋の最外面に耐アルカリ性ひび割れ防止ネット「ハイパーネット60」を鉛直方向に50cm間隔で躯体全体を水平方向に囲うように配置した(写真5)。これにより、巻立てコンクリートの乾燥収縮が既設コンクリートにより拘束されて発生する引張応力をネットにも負担させ、ひび割れ発生抑制に効果があった。



写真5 ハイパーネットの設置

(2) 現場条件を考慮した落橋防止システムの変更提案

屋宜原橋のP3橋脚は、連続桁の中間支点である。発注時は、P3橋脚の落橋防止システムとしては、P3橋脚の鋼製支承の変位制限構造として橋脚と主桁とをPCケーブルで連結する耐震連結方式の変位制限装置が計画されていた。P3橋脚位置の橋梁下は、地域住民のためのゲートボール場ならびに運動場があり、当初計画通りの工事を実施した場合、仮設備の大型化や公園の閉鎖期間が長期化することが考えられた。そのため、工程上クリティカルとなる変位制限構造の設計を見直すこととした。

実工事に臨むに際して、建設当時の設計移動量と鋼製支承図面および発注設計の非線形動的解析の移動量を再度精査した結果、計算移動量は鋼製支承の全移動可能量の範囲内であり、鋼製ローラー支承は下査プレートから逸脱することはないことが分かった。中間支点の変位制限構造は、基本的には鋼製支承において過大な移動量が生じ、逸脱することを抑制する目的で設置されるものであるが、照査の結果、省略が可能であることから、支承部に過大な装置が取り付け煩雑さを軽減するとともに工期短縮にも寄与できる、変位制限構造の省略を提案した(図5)。しかしながら、想定外の地震時移動量が生じた場合に対するフェイルセーフとして、段差防止工を設置(図6)することとした。

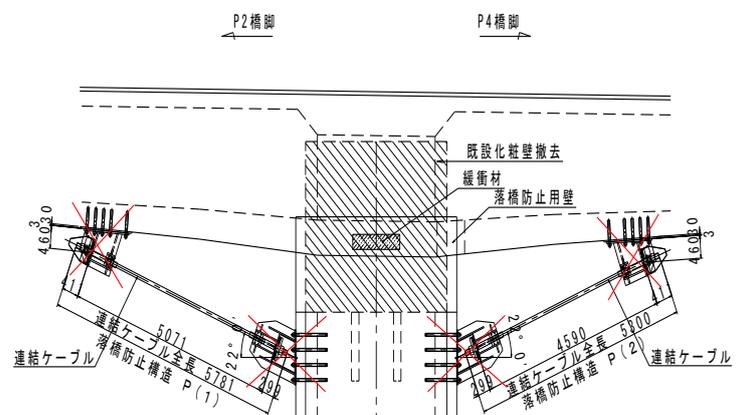


図5 変位制限装置(PCケーブル)の省略

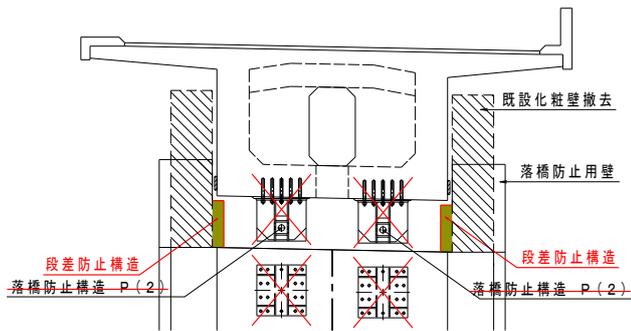


図6 段差防止装置の設置

5. カニカラン橋の設計・施工

(1) 現場条件を考慮した耐震補強工の変更提案

カニカラン橋の P1 橋脚（下り線）については当初、RC 巻立工による耐震補強が計画されていたが、A1～P1 径間には市道が交差（写真 6）しており、市道から深さ 6m にフーチングがあるため、RC 巻立工法を実施した場合、構造物掘削の影響で、市道の終日規制、大規模な仮設工および迂回路の設置が避けられないことが分かった。

上記の問題点に対して、耐震設計の見直しが指示され、P1 橋脚の RC 巻立工の省略または代替案を検討した。

P1 橋脚の RC 巻立工は、橋脚段落とし部の曲げ耐力向上と橋脚天端変位の抑制を目的として設計されていた（図 7）。これを省略することの影響を、非線形動的解析



写真 6 A1-P1 径間部の市道交差状況

を用いて全体系の挙動として検討した。結果、P1 橋脚の RC 巻立工を省略した場合には、P1 だけでなく P2 橋脚ならび P3 橋脚にも影響し、全体系としての耐震性能を満足しない結果となった。P1 の RC 巻立工は、全体系としての耐震性能にも寄与していることから、代替案には、P1 橋脚段落とし部の曲げ耐力および天端変位を満足させかつ、全体系の耐震性能を満足させる方法を見出す必要があった。

検討の結果、A1 橋台にダンパー規格 400kN のダンパーを設置すれば、P1 橋脚の RC 巻立工を省略することが可能となった（図 8）。

(2) A1 橋台落橋防止システムの見直し

カニカラン橋の A1 橋台には、落橋防止システムとして、チェーンタイプの落橋防止装置と縦型緩衝ピンを用いた変位制限装置が計画されていた。先に述べたとおり、A1 橋台にダンパーが追加設置となると、設置スペースが確保できない問題点が生じたため、A1 橋台における落橋防止システムの考え方を見直すこととした。

ダンパーを用いた橋では、支承の橋軸方向変位が大きく抑制されるため、支承の変形性能に余裕があるならば、ダンパー自体が落橋防止構造の設計耐力を満足しなくても落橋防止構造を省略することが可能である。しかしながら、本橋の支承は A タイプ支承であり、検討の結果、支承のせん断ひずみは許容値を満足しないことから、落橋防止構造の省略は不可能であった。

また、ダンパーにより落橋防止構造を兼用する案も別途検討したが、落橋防止構造の設計耐力は 1 650kN であり、A1 橋台に設置するダンパー規格 400kN では満足できなかった。

以上のことから、本橋では落橋防止構造の追加配置が困難な場合に属するため、桁かかり長 SE に余裕を持たせることで確実に落橋を防止するものとし、桁かかり長 SE の 1.5 倍を確保するように、橋座面をコンクリートで縁端拡幅することとした（写真 7）。

当初補強動解結果及び補強計画図（ケース 1）

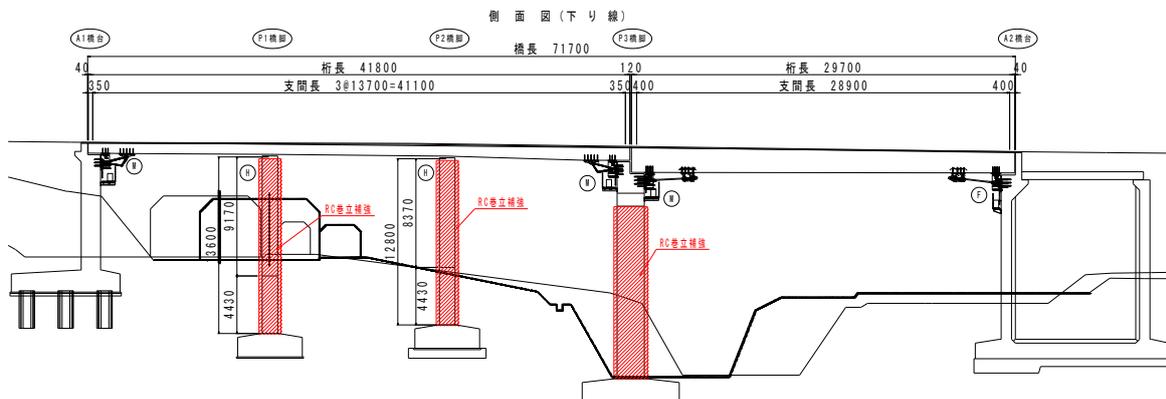


図7 カニカラン橋 当初補強計画図

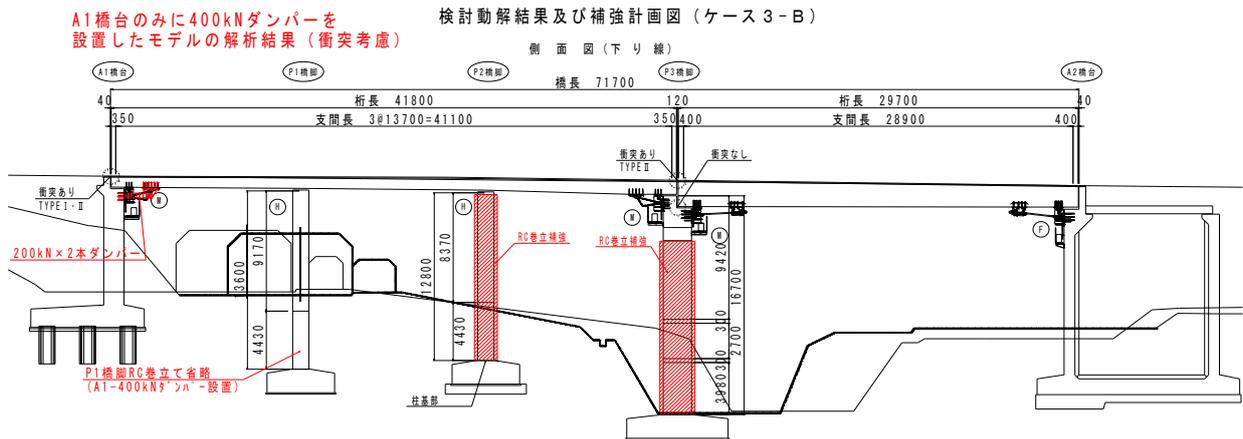


写真 7 カニカラン橋 (下り線) A1 橋台橋座縁端拡幅



写真 8 南風原高架橋 完成写真

6. おわりに

既設橋の耐震補強は、上部構造、下部・基礎構造、落橋防止システムなど、橋梁全体構造系として計画が立案されている。本工事では、ダンパー設置工法、RC 巻立工法および落橋防止システム取り付けなど、工事種別も多く、それぞれについて設計思想を十分確認して工事に臨んだ。

既設橋の工事においては、路下条件や地域条件、作業時間など制約のある場合も多く、計画段階からの変更を余儀なくされることもある。本工事では、屋宜原橋およびカニカラン橋において、現場条件を考慮した変更を実施し、それぞれの課題を解決するために、橋梁全体系で再考することにより、目的の耐震補強工事を成し得た。

本報告が類似工事の参考となれば幸いである。

最後に、無事故無災害で無事竣工を迎えた本工事 (写真 8~10) の関係各位に謝意を表して結びとする。

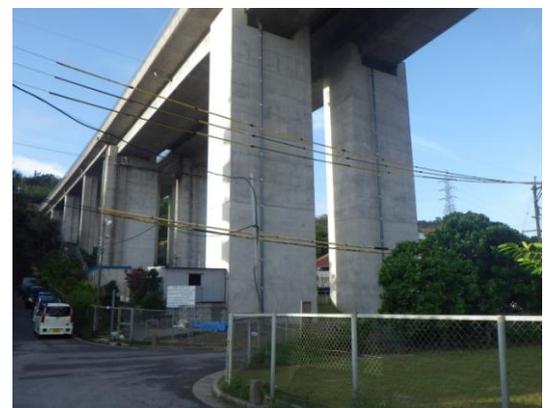


写真 9 屋宜原橋 P3 完成写真



写真 10 カニカラン橋 (下り線) A1 完成写真