技報 た き か に よ

TAKIGAMI TECHNICAL REPORT

VOL.40 2023

技報たきがみ

TAKIGAMI TECHNICAL REPORT VOL.40

目 次

40号特別寄稿「DX時代にものづくりを担う若手技術者へ」 ※	度辺	孝一	
キーワード一覧			
ニールセンローゼ鉄道橋のケーブル張力管理 大森 健広、﨑野 雄仁、岡 加木屋架道橋の一括架設時及び完成形の張力・・・・・ダニエル アペンヨ、木			1
ニールセンローゼ桁の一括架設における工夫について 﨑野 雄仁、多利 加木屋架道橋・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 岡本 道雄、カ			9
国内最大級の斜張橋における耐震補強設計 名港中央耐震補強工事・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	J\\	健二	15
「柔よく剛を制す」しなやかな耐震補強工事の工夫 裘 明、木 名港中央大橋耐震補強工事・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・			21
仮設ブラケットの性能試験と現場実証 トポロジー最適化を用いた鋳物ブラケットの開発・・・・・・中村 将章、枚	<u>\</u>	寿男	35
トポロジー最適化理論に基づいた仮設ブラケットの設計法に関する一考察フレーム構造による簡易計算・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・松村 寿男、「	中村	将章	41
新技術を活用した現場施工 菊川1号橋上部工・・・・・・・・・・・・・・・・・岡本 道雄、川久保 浩、「	中村	訓大	45
鉄筋コンクリート床版上面の表層透気係数の調査 櫻井 勇太、振動機付きフィニッシャーによる緻密性向上効果の検証・・・・松村 寿男、同様			49
FEMを用いたコンクリート要素の非線形解析例 FEMの理論と活用例(その 2)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	公村	寿男	53
縦取り工法を採用した鋼製梁の架設 庵原高架橋東鋼製梁工事・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	齋藤	雅俊	59
橋梁メンテナンス技術者育成プロジェクト 実務家教員育成プロジェクトへの参加・・・・・・・・・・・松村 寿男、F	内田	義光	65
跨線橋に近接した鋼橋の施工の工夫 上尾道路JR跨線橋・・・・・・・・・・・・・・・森永 大介、川久保 浩、坎	反本	祐子	69
中間支点上巻立コンクリート部に採用する太径ねじ付きスタッド溶接施工試験 高槻高架橋東(鋼上部工)工事・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・		尋斗	73

構造力学演習と実例を通した技術伝承の試み 社外講師と連携した若手技術者向け社内講習・・・・松村 寿男、櫻井 勇太、藤原 史	75
高速鉄道橋の支承取替工における工夫 堀川通架道橋・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	79
工事写真の振り分けにおけるAIの活用事例 画像処理による生産性向上の試み・・・・・・・・・・・・・・・・鳥羽 亮良	83
kintoneによる現寸情報の一元管理の試み 生産情報の集約と活用・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	87
高摩擦有機ジンクリッチペイントの実用記録 すべり耐力試験の実施手順及び実用時の注意事項について・・・・・・山下 真史	89
鋼構造溶接部における非破壊検査 超音波探傷試験及び検査の紹介・・・・・・・・・・・・・・・・・・浅井 史良	93
550N/mが級角形鋼管のロボット溶接施工試験 REGARCTMの活用と余盛高さの調整について・・・・・・・・・・・前田 顕徹	95
工場製作における遠隔臨場の課題と改善策・・・・・・・・・・内山 尋斗、加藤 正幸	97
溶接ヒュームの特定化学物質への追加と対応 呼吸用保護具の選定とフィットテスト・・・・・・・・・・・松村 昌平	101
1500tプレスのリプレース 加圧力増強、ラム移動式へ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	105
本社棟3階リノベーション工事 天井脱落対策の紹介・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	109
営業拠点の沿革と旧橋への旅 大阪支店の歴史を辿る・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・岡野 敦、津岡 靖宏	113
工事紹介 R4圏央道上郷高架橋上部その2工事・・・・・ドォ ゴック トゥアン、加藤 正幸	120
工事紹介 青川高架橋・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	121
工事紹介 瑞浪1号橋・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	122
工事紹介 佐世保高架橋南・・・・・・・・・・・・・・・・・・山崎 寛人	123
工事紹介 六甲アイランド第3高架橋・・・・・・・・・・・山崎 寛人、加藤 正幸	124
工事紹介 令和4年度木曽川大橋橋梁補修補強工事・・・・・・・・・・・上田 将行	125

名 称 上尾道路JR跨線橋

施 主 国土交通省関東地方整備局 大宮国道事務所

形 式 鋼3径間連続鈑桁橋

施 工 長 104.0m

支 間 割 27.0+43.0+32.0m

幅 員 12.3m 質 量 272t

所 在 地 埼玉県鴻巣市箕田地先

備 考 架設工法:トラッククレーン工法(側径間)







【諸元】

名 称 一宮跨線橋

施 主 愛知県

形 式 鋼3径間連続合成合理化箱桁橋

施 エ 長 152.0m

支 間 割 46.0+58.5+46.0m

幅 員 23.2m 質 量 1,092t

所 在 地 愛知県豊川市大木新町通地内始め



名 称 常滑JCT Fランプ橋

施 主 愛知県知多建設事務所

形 式 鋼単純箱桁橋

施 工 長 51.0m 支 間 割 49.0m 幅 員 8.3m

質 量 165t

所 在 地 愛知県常滑市字耳切地内



【諸元】

名 称 西知多7号橋

施 主 愛知県知多建設事務所

形 式 鋼単純合成箱桁橋

施 工 長 65.0m支 間 割 62.8m幅 員 11.8m質 346t

所 在 地 愛知県常滑市金山地内



名 称 名港中央大橋

. 中日本高速道路株式会社名古屋支社

所 在 地 愛知県名古屋市港区潮見町〜金城ふ頭

形 式 3径間連続鋼斜張橋

橋 長 1170.0m

支 間 割 289.0+590.0+289.0m

幅 員 13.8+13.8m 備 考 耐震補強工事

(制震ダンパー設置、支承取替、

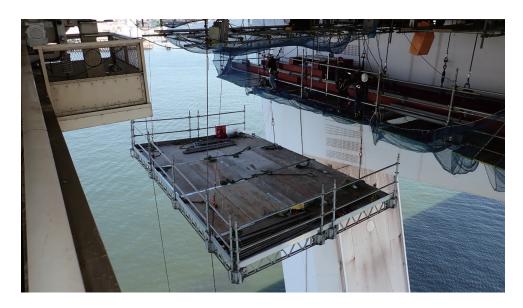
弾性拘束ケーブル撤去、塗替塗装など)



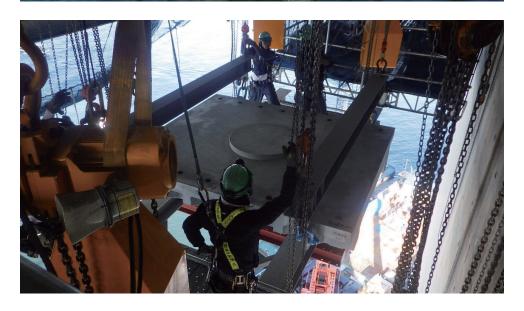












施 工 長 165.0m

支 間 割 47.0+65.0+47.0m

幅 員 1.2+3.0+7.0+3.0+1.2m

質 量 1217t

所 在 地 大阪市平野区喜連西~瓜破西付近





【諸元】

名 称 庵原高架橋東鋼製梁

施 主 国土交通省中部地方整備局形 式 張出式複合橋脚(鋼製梁)

質 量 (P14)108t、(P15)101t、(P16)98t

所 在 地 静岡県静岡市清水区庵原町

備 考 架設工法:トラッククレーン工法







橋りょう名	場所	掲載ページ
1 上尾道路JR跨線橋	埼玉県	PP. 69-72
2 一宮跨線橋	愛知県	_
3 常滑JCT Fランプ橋	愛知県	_
4 西知多7号橋	愛知県	_
5 名港中央大橋	愛知県	PP. 15—34
6 喜連瓜破橋仮設桁	大阪府	_
7 庵原高架橋東鋼製梁	静岡県	PP. 59—63

40号特別寄稿

「DX時代にものづくりを担う若手技術者へ」

名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科 教授

渡辺孝一



経済産業省が2018年に発表した、通称「DXレポート」の公表を契機に、デジタルトランスフォーメーション (DX) という概念が広く受け入れられるようになりました。経済産業省が示すガイドラインでは、「企業がビジネス環境の激しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して、顧客や社会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するとともに、業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革し、競争上の優位性を確立すること」と明確に定義されています。

土木業界においてDXが効果を発揮する場面は、作業効率の向上、安全性の向上、ノウハウの継承、内業の効率化など多岐にわたります。現場のものづくりにおいてもDXの導入が進んでいますが、若手技術者には、まずもって、「データとデジタル技術だけでは、ものは作れない」という基本的な理解が求められます。経験豊かなベテラン世代の知恵を謙虚に受け入れ、仮想の経験ではなく、現場でのものづくりの実践を通じて成長してほしいと思います。

私の生まれ育った世代は、団塊ジュニア世代です。さらに上の先輩たちは「団塊世代、しらけ世代、新人類世代、バブル世代」と呼ばれています。若い世代は「ミレニアル世代、さとり世代、ゆとり世代」を経て、今の若者は「Z世代」と呼ばれています。この区分は「X、Y(ミレニアル)、Z、 α 」といった分類もあり、共通するZ世代は1990年代後半から2010年の間に生まれた方々を指し、今の大学生がその中心となります。2010年以降の新生児は既に「Z世代」ではなく、「 α 世代」と呼ばれるそうです。

団塊ジュニア世代はX世代(1965年から1980年)に属し、40代後半から60代前半に位置します。多くの企業でベテラン技術者として活躍している世代で、幼少期にはブラウン管テレビが一般的であり、成人する頃にはインターネットが登場し、それに触れてきました。高度経済成長期の影響もあり、高価なパソコンが身近なツールとなり、テレビの電波はデジタル化し、携帯電話からスマートフォンへ、レコードからCDへなど、物的な進化を見て育った世代です。

次の「Y世代(1981年から1995年)」は20代後半から40代前半を指します。この世代は子供の頃からインターネットが一般的で、スマートフォンやSNSなどの情報ツールを使いこなすことができるようになりました。2000年代に成人・社会人になったY世代は「ミレニアル世代」と呼ばれ、Twitter(X)やSmart Newsから最新の情報を得ることが得意です。

その後、Z世代(1995年から2010年)は生まれた時からインターネットに囲まれて成長しました。小学校からはスマートフォンを持ち、パソコンやタブレット端末を使いこなす「デジタルネイティブ」です。働き方改革の影響もあり、就職活動では企業の評判をオンラインで調べ、GoogleやFacebookを日常のツールとして活用します。なお、「α世代」は2010年前半以降に生まれた0歳から12歳の子供たちを指し、義務教育課程からプログラミング教育を受け、オンライン授業が日常的です。こうした情報ツールに対する感度が非常に高い世代と言えます。

こうして団塊ジュニア世代からZ世代、そしてα世代へと時代が変わる中で、データやデジタル技術に対する捉え方も大きく異なることは理解されるべきです。

X世代の自身の記憶では、小学生の頃には課題解決のために図書館や本屋に足を運び、見学や体験を通じて学ぶ姿勢が一般的でした。先生や親から道具の使い方を教わり、少しの怪我や失敗を経て夏休みの工作を完成させる過程で、ものづくりの苦労を経験して成長しました。ものづくりは、何よりも経験を積み重ねること、体験することが大切であると考えています。

一方で、例えばZ世代の若手(学生)の「ものづくり」を観察すると、彼らはわからないことがあればまず手元のスマートフォンを頼りにします。他者に尋ねることなく、自ら考えようとせず、疑問に直面するとすぐに検索し、裏付けのない情報を即答する傾向が見られます。事実として、スマートフォン(パソコン)を通じてどこでも情報にアクセスでき、動画や画像を録画して手元で再生・復元できることは、慣れた学生にとって当たり前の技術となりました。3D情報をスキャンして取り込み、仮想空間で加工や構造解析を行い、実物と見分けがつかないほどのクオリティで試行錯誤できる技術を手に入れています。

しかし、実際の「もの」や「ものづくり」には異なる形や重さ、質感を持つ材料が組み合わさり、理解しながら加工し完成させる必要があります。データやデジタル技術の活用には作業効率の向上や安全性の向上といった大きなメリットがありますが、各作業において目で見る、音を聞く、手を動かすといった人間の五感に勝るものはありません。ものづくりの経験を積み重ねたベテランたちは、データやデジタル技術のない時代でも五感と経験を頼りに優れたものづくりを成し遂げてきました。DXを活用することには多くのメリットが存在しますが、ものづくりの本質は変わらないと認識しています。

時代は変遷していきますが、「ものづくりを担う技術」は後世に受け継がれなければなりません。X世代が培ってきた技術や経験は色あせないものであり、Z世代の若手技術者はそうした先輩たちの知恵を上手に取り入れ、「更なる高み」を目指してほしいと切に願っております。Z世代や α 世代が担う新しい時代の「ものづくり」を期待し、ワクワクしています。

結びに、本稿で紹介した「世代分け」に関しては、インターネットで検索可能な「それらしいサイト」から集約したものですから、不確実性を含むものとして寛容に解釈ください。

キーワード一覧

題目	要旨	キーワード
ニールセンローゼ鉄道橋のケーブル張力管理 加木屋架道橋の一括架設時及び完成形の張力 P.1	鉄道中路式ニールセンローゼ橋の一括架設及び 架設補強材撤去を考慮したケーブル張力管理と完成形での張力調整報告	鉄道橋、耐候性鋼材、中路式、ニールセンローゼ橋、 ケーブル、張力調整、振動法、キャリブレーション、一 括架設、多軸台車
ニールセンローゼ桁の一括架設における 工夫について 加木屋架道橋 P.9	中路ニールセンローゼ桁地組計画および自走式多軸台車を用いた一括架設における工夫について報告	中路ニールセンローゼ橋、多軸台車一括架設、地耐力、ベント基礎、アーチリブ閉合
国内最大級の斜張橋における耐震補強設計 名港中央耐震補強工事 P.15	長大斜張橋における架橋条件を考慮した動的解 析の実施、最適な制震デバイスの設置検討及び詳 細設計に関する報告	地盤応答解析、材料非線形性および幾何学的非線 形を考慮した動的複合非線形解析、制震設計、点期 データとCIMの重ね合せ、異種摩擦接合面のすべり 試験
「柔よく剛を制す」 しなやかな耐震補強工事の工夫 名港中央大橋耐震補強工事 P.21	制震・免震技術を駆使し大きな構造系の変更を伴う耐震補強工事において、供用中の重交通や海上交通への影響を最小限にするとともに、高所かつ狭隘部での施工時の安全確保への工夫内容に関する報告	施工中耐震性能保持・代替、挙動計測、高次振動法によるMCDの張力計測、主塔倒れ・主塔支間計測、全体形状解析、有限要素解析、海上施工、同調吊装置、部材移動の効率化、検査車撤去、支承取替、主桁補強、制震ダンパー、規制回数低減、MCD撤去
仮設ブラケットの性能試験と現場実証 トポロジー最適化を用いた 鋳物ブラケットの開発 P.35	トポロジー最適化手法および3Dプリンティング技 術を用いた鋳物ブラケットの製作および性能試 験、現場実証計測に関する報告	トポロジー最適化、3Dプリンティング技術、仮設プラケット、鋳物プラケット、性能試験、現場実証
トポロジー最適化理論に基づいた 仮設ブラケットの設計法に関する一考察 フレーム構造による簡易計算 P.41	トポロジー最適化手法により導出した仮設プラケットのフレーム構造による簡易計算および設計法の提案に関する報告	トポロジー最適化、鋳物プラケット、簡易計算、設計法
新技術を活用した現場施工 菊川1号橋上部工 P.45	工程上課題に対する架設計画、床版施工時におけるコンクリート品質向上、及び作業ヤード安全対策 の為に工夫した報告	大型クレーン、地盤改良、2次振動締固め、小型強力 バイブレーター、振動機付きフィニッシャー、コンク リート打設管理システム、表層透気試験、伸縮装置 型枠、WEBカメラ
鉄筋コンクリート床版上面の表層透気係数の調査 振動機付きフィニッシャーによる 緻密性向上効果の検証 P.49	振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げを施 したRC床版上面のコンクリート打設10ケ月後の表 層透気係数計測による緻密性向上効果の検証	コンクリート、振動機付きフィニッシャー、緻密性、 表層透気係数、トレント法
FEMを用いたコンクリート要素の非線形解析例 FEMの理論と活用例その2) P.53	コンクリート要素に着目した構成モデルの定式化 の理論ならびに解析例についての紹介	FEM、コンクリート要素、非線形解析、構成モデル、塑性論
縦取り工法を採用した鋼製梁の架設 庵原高架橋東鋼製梁工事 P.59	歩道橋と橋脚に挟れた狭隘なヤード内での架設 計画と夜間の限られた時間内で作業を円滑に進め るための架設計画に関する報告	夜間規制、縦取り工法、歩道橋、架設工程、テンプレート
橋梁メンテナンス技術者育成プロジェクト 実務家教員育成プロジェクトへの参加 P.65	実務家教員を目指す社内受講生が参加した、イン フラメンテナンスの開発講座における鋼橋の教育 実習および検証についての報告	実務家教員、橋梁メンテナンス技術者育成プロジェクト、開発講座、教育実習、開発実証
跨線橋における施工報告 上尾道路JR跨線橋 P.69	鉄道跨線橋の現地施工における、地盤対策、連結 方法の報告および、本工事で採用した、I型鋼格子 床版、高炉セメントB種に関する報告	跨線橋、軟弱地盤、I型鋼格子床版、高炉セメントB 種、
中間支点上巻立コンクリート部に採用する 太径ねじ付きスタッド溶接施工試験 高槻高架橋東鋼上部工)工事 P.73	中間支点上横桁巻き立てコンクリート部に採用された太径ねじ付きスタッド溶接の施工試験について報告	φ36太径ねじ付きスタッド、スタッド溶接施工試験、 太径サブマージアーク溶接
構造力学演習と実例を通した技術伝承の試み 社外講師と連携した若手技術者向け社内講習 P.75	社外講師による若手技術者への社内講習を企画 開発について、実証・検証をした報告	構造力学演習、実例を通した技術伝承、社外講師、 若手技術者講習、開発実証
高速鉄道橋の支承取替工における工夫 堀川通架道橋 P.79	近鉄線と国道を跨ぐ鉄道橋の支承取替工事における、近鉄架線と商業施設の近接条件下の工夫と、 ゲルバー部の仮受け工の施工検討に関する報告	離隔距離、点群データ、部材荷上げ、ゲルバー、貫通 アンカー
工事写真の振り分けにおけるAIの活用事例 画像処理による生産性向上の試み P.83	AIを活用して工事写真の振り分け作業を自動化することで、生産性を向上させる取り組みに関する報告	AI、工事写真、機械学習、OCR、画像処理、Python
高摩擦有機ジンクリッチペイントの実用記録 すべり耐力試験の実施手順及び 実用時の注意事項について P.89	鉄骨工事において採用した高摩擦有機ジンクリッチペイントに関連する概要、すべり耐力試験の準備過程及び結果報告の他、製品への塗布における施工時の工夫・注意事項の紹介	高摩擦有機ジンク、すべり耐力試験、封孔処理
550N/m㎡級角型鋼管のロボット溶接施工試験 REGARCTMの活用と余盛高さの調整について P.95	550N/mi級冷間プレス成型角型鋼管の溶接をロボット溶接で行うにあたり、溶接部の性能確認を行うために施工試験を実施した。また、溶接外観検査において、余盛高さの不足が課題となったことにおける社内調整方法の紹介	ロボット溶接、TMCP385、REGARC™

ニールセンローゼ鉄道橋のケーブル張力管理 加木屋架道橋の一括架設時及び完成形の張力

大森 健広 *1 崎野 雄仁 *2 岡本 道雄 *3 ダニエル アペンヨ *4 松村 寿男 *5

1. はじめに

本橋梁は、名鉄河和線高横須賀~南加木屋駅間の 養父森岡線立体交差及び新駅設置事業において、県 道55号名古屋半田線の交差点上に架かる中路式ニ ールセンローゼ橋であり、鉄道橋では国内初となる 中路式である。当社が製作・架設する名古屋鉄道株 式会社のニールセンローゼ橋は、2003年に竣工した 同県内の常滑駅前に架かる下路式ニールセンローゼ 橋(向山架道橋)に次いで2橋目となる。外面塗装 も同じ青系であり、名古屋鉄道のニールセンローゼ 橋をより強く印象付ける外観となっている。

ここでは、本橋における多軸台車による一括架設 時から完成形までのケーブル張力管理について報告 する。

2. 工事概要

工 事 名:河和線 高横須賀~南加木屋駅間(都)

養父森岡線立体交差及び新駅設置事業に

伴う本線土木 (その3) 工事

発 注 者:名古屋鉄道株式会社

工事場所:愛知県東海市加木屋町鈴井田

工 期:自) 令和3年10月26日

: 至) 令和6年 5月31日

橋梁形式:鉄道橋鋼中路式ニールセンローゼ橋

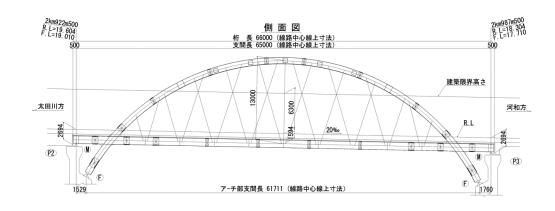
橋 長:66.0m 縦断勾配:20.0‰

斜 角:87°40′20″

軌道曲線:R=800m

カント:75mm

軌道形式:バラスト軌道 鋼材仕様:耐候性鋼材 (P種) 鋼材質量:680t(付属物含む)



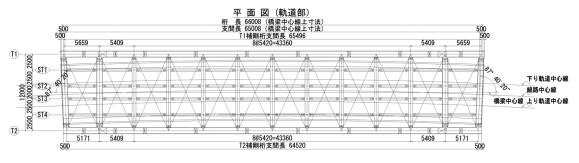


図-1 側面図及び平面図

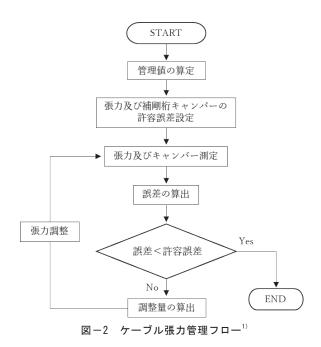
^{*1} 設計開発グループ 設計開発チーム 担当 *2 工事グループ 工事チーム 係長

^{*3} 工事グループ 工事チーム 係長 *4 技術企画グループ 技術企画チーム 担当 *5 技術企画グループ グループリーダー

3. ケーブル張力の管理方法

3. 1 管理方法

ケーブル張力管理のフローを図-2に示す。

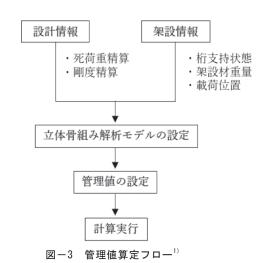


床版打設前及び軌道敷設前に補剛桁キャンバーを 設計値に調整するため、ケーブル調整は合計3回実 施し、第1回を桁架設後の床版打設前(2月)、第2 回を床版打設後(4月)、第3回を軌道敷設後(7月) とした。

3.2 管理値の算定

3. 2. 1 管理値算定フロー

ケーブル張力管理を実施する架設ステップごとに 張力の管理目標値を算定する。管理値算定フローを 図-3に示し、立体骨組み解析モデルを図-4に示す。



3.2.2 支持状態及び荷重条件

1. 第1回ケーブル調整

- (1) 1回目~2回目
 - ・F1、F1'ベント支点支持
 - ·鋼重+足場+床版支保工

(2) 3回目~

- ・完成形支点支持(以降、完成形支点支持)
- 鋼重+足場+床版支保工

2. 第2回ケーブル調整

- ·鋼重+床版+足場
- 3. 第3回ケーブル調整
 - ・鋼重+床版+バラスト等の軌道類+電柱+足場

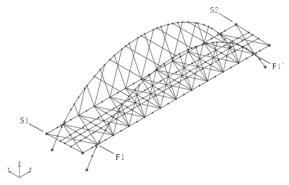


図-4 立体骨組み解析モデル図

3.3 許容誤差の設定

ナット回転角によるケーブル調整量は、現場での作業性を考慮し1mm単位で調整する。ケーブル長を1mm変化させた際の張力変化は最大5tで、調整量算出時の値の四捨五入により、調整量の最大誤差量は2.5tとなる。そのため、許容誤差は2.5t以上で定める必要がある。なお、ケーブルの許容誤差について、文献 1^{1} ~ 4^{1} 0では20%程度としている場合が多く、また、過去の自社実績 1^{1} 0では許容誤差を一律 ± 5 tとして張力調整を行っていた。

本橋梁は各架設ステップの死荷重によるケーブル 張力が最大46t、最小5tであるため、張力管理誤差 を割合で定めた場合、最大誤差量の2.5tを下回る箇 所がある。そのため、最大誤差量に張力の測定誤差 や調整誤差を考慮するのに加え、過去実績等を踏ま え張力の許容誤差を一律±5t(50kN)で設定するこ ととした。なお、補剛桁のキャンバー管理値は、現 場出来形基準が一6~+12mm以内であることを考慮し、 ±5mmとした。

3. 4 ケーブル張力測定

ケーブル張力の測定方法は大別して「直接測定¹¹」と「間接測定¹¹」がある。直接測定はロードセルやジャッキの油圧変換器などにより直接的に張力を測定する方法であり、間接測定は「振動法⁵¹」に代表されるものである。本橋の張力測定においては、計測時間を短縮するため振動法を用いることを基本とした。ただし、端部のケーブル長は短く、かつ高張力で振動法による測定が困難であるため、ジャッキの油圧変換器による測定(以降、ジャッキ法)を用いることとした。なお、張力測定は温度が安定する夜間に行う。

(1)振動法による張力測定

振動法によるケーブル張力測定には、新家らの提案した算定式⁵⁾を用いる。以下に算定式(1)~(4) を示す。

・対称1次振動により張力計測を行う場合(サグの小さい場合)

$$T = \frac{4w}{g} (f_1 l)^2 \left\{ 1 - 2.2 \frac{C}{f_1} - 2 \left(\frac{C}{f_1} \right)^2 \right\} \quad (17 \le \varepsilon)$$
 (1)

$$T = \frac{4w}{g} (f_1 l)^2 \left\{ 0.857 - 10.89 \left(\frac{C}{f_1} \right)^2 \right\} \quad (3 \le \epsilon \le 17) \quad (2)$$

・逆対称1次振動により張力計測を行う場合(サグの大きい場合)

$$T = \frac{w}{g} (f_2 l)^2 \left\{ 1.02 - 6.26 \frac{C}{f_2} \right\} \quad (\varepsilon \ge 10)$$
 (3)

f1、f2:計測した1次、2次の固有振動数

$$C = \sqrt{\frac{EIg}{wl^4}}$$
 , $\varepsilon = \sqrt{\frac{T}{EI}} \cdot l$ (4)

w:ケーブルの単位重量 (=19.8kg/m)

g : 重力加速度 (=9.8m/sec2)

1:ケーブル長

EI:ケーブルの曲げ剛性

(2) ジャッキ法による張力測定

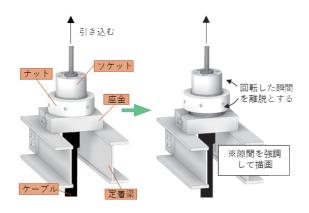
端部のケーブル張力測定は、ジャッキによりケーブルを徐々に引き込み、定着ナットが支圧板から離脱した時点の油圧変換器の読み値とした。定着ナットの離脱判定は、引き込み時にナットが回転し始め

た時点とした。

3.5 キャリブレーション

振動法による張力測定における算定式の見かけの 曲げ剛性を決定するためのキャリブレーションを行 う。キャリブレーションの手順を以下に示す。

- (1) センターホールジャッキによりナットが座金 から離脱するまで引き込む。
- (2) ナットが回転した瞬間を離脱とみなし、ジャッキをホールドする。



- (3) ジャッキをホールドした状態で油圧変換器の 値を記録する。
- (4) ジャッキホールド状態でケーブルを加振し、固 有振動数1次・2次を測定する。
- (5) 精度向上と張力の傾向を確認するため、張力を 5tずつ変化させ同様に測定する。
- (6) 計測した張力と振動数の関係から、平均的に整合する見かけの曲げ剛性を算出する。

過去実績¹⁾から曲げ剛性はケーブル長に応じてグルーピングすることを予定していた。しかし、キャリブレーション時に長さがほぼ同じであるC8・C9ケーブル(図-5)をキャリブレーションしたところ、振動数に差が生じた(C8・C9ケーブル長の差は246mm)。この現象について原因を特定することはできなかったが、架設中のアーチの剛性がケーブルの振動数に影響を与えている可能性があると思われる。

以上の結果から曲げ剛性はグルーピングせず、ケーブル長ごとに曲げ剛性を設定した。表-1に実測した振動数と、振動数と張力から算出した曲げ剛性を示す。代表としてC9、C5、C3ケーブルについて図ー6に算定式による理論値と実測値の関係を示す。各ケーブルの理論値は表-1に示す見かけ曲げ剛性の場合の値である。なお、ケーブル長が短いC1、C2

ケーブル (図-5) は振動計測ができなかったためジャッキ法で管理する。

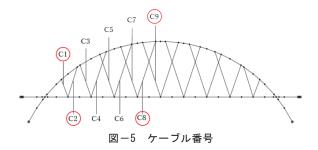


表-1 キャリブレーション結果

	ケーブル		張力				
	番号	5t	10t	15t	20t	曲げ剛性	
	C 9	2.856	3.436	3.992	4.498	17	
	C 8	2.466	2.908	3.341	3.784	5	
	C 7	ĺ	3.900	4.000	4.350	6	
振動数	C 6	2.770	3.230	3.770	4.300	9	
	C 5	Ī	3.436	3.992	4.498	9	
	C 4	3.570	3.720	4.240	4.760	5	
	C3	6.000	6.200	6.590	7.740	5	

◆:各ケーブルの理論値、
■:C9実測値、

▲:C5実測値、×:C3実測値

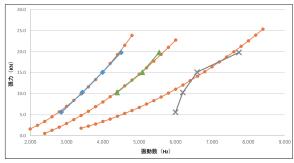


図-6 算定式による理論値と実測値の比較

3.6 ケーブル調整量の最適化計算

測定張力が許容値を超えた場合の調整量の計算は、GRG非線形エンジンを用いて算出する。なお、ケーブルの引込み量とケーブル張力変動量の影響値解析を立体骨組解析により行い、事前に影響値行列を作成しておく。最適化計算における目的関数及び制約条件は以下とした。

・目的関数: Σ (ケーブルの引込み量) 2 → 最小化

・制約条件: (ケーブル張力誤差) < (誤差許容値) max (ケーブルの引込み量) < 50mm

制約条件としてケーブルの引込み量の最大値に着 目した理由は、張力調整により主構の形状 (キャン バー)を大きく変化させないためである。

(1) ナット回転量

最適化計算によって算出したケーブルの調整量を ナット回転角に換算し、回転角45°で1mmの引込み 量として指示し、現地にて昼間調整作業を行う。回 転角はテンプレートを作成し管理を行う。

(2) 形状管理

張力調整の前後に補剛桁のキャンバー計測を行い、 形状管理値との差異・変動を確認する。

【 4. ケーブル設置と張力導入治具 】

4. 1 ケーブル設置

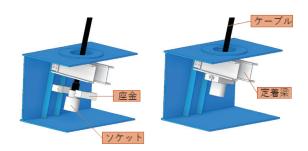
ケーブルの設置はクレーンを用いて吊りワイヤー 2本を使用して行った。ケーブル設置の手順を以下 に示し、設置イメージを図-7に示す。

- ① ケーブルはソケット背面に取り付けた治具から 吊りワイヤー2本で吊り上げ、アーチリブのケ ーブル定着部付近まで運ぶ。
- ② 先に補剛桁のケーブル貫通部に人力又はチェーンブロックで介錯して挿入し、座金を定着梁に取り付ける。
- ③ 補剛桁の作業完了後、2本の吊りワイヤーのうち1本をアーチリブ及びナットを通し、ソケット背面治具に取り付ける。
- ④ クレーンから直接吊っていた側の吊りワイヤーを外し、アーチリブ内を通した吊りワイヤーで桁内にケーブルを引き込む。この時、アーチリブとケーブルの角度を合わせるため、チェーンブロックでケーブルの角度を調整する。
- ⑤ ケーブルを桁内に引き込み後、ナットをネジソ ケットに取り付け、座金を定着梁に固定し、ソ ケットを座金に定着させクレーンを開放する。

4. 2 張力導入治具

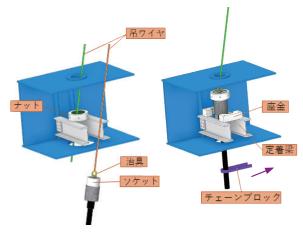
ケーブルの緊張は、アーチリブ上フランジに張力 導入治具を高力ボルトで固定し、その上にジャッキ を据え付けて行う。写真-1に張力導入作業状況を 示す。PC鋼棒とケーブルは、ねじ切りを施したPC 鋼棒をソケット背面のネジ切り孔に取り付けること で接続している。アーチリブ上フランジに対するケ ーブル角度は場所ごとに異なるため、各ケーブル角 度に合わせ9通りの治具を製作した。なお、アーチ リブ上フランジの治具固定用ボルト孔は断面欠損を 考慮した照査で確認している。 補剛桁手順①

補剛桁手順②



アーチリブ手順①

アーチリブ手順②



アーチリブ手順③



図-7 ケーブル設置手順

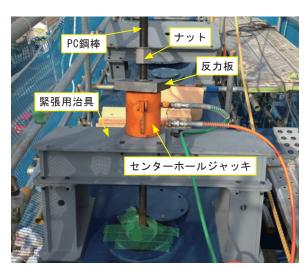


写真-1 ケーブル緊張治具

5. 架設概要

架設地点から約130m離れた地組ヤードでアーチリブUJ1~UJ10及び補剛桁LJ1~LJ10間(図-8)を地組立てする。一括架設はケーブルを設置した状態で、夜間に交通規制を実施し多軸台車にて所定位置まで地組した桁を移動する。

地組立て完了後、多軸台車を設置するため、F1・F1'ベント以外の全てのベントを撤去し、支点支持状態にする。この時、補剛桁の中央部分はケーブルで支持し、端部は架設補強材で支持する。また、架設補強材は夜間一括架設完了後の交通開放までに撤去しなければならないため、一括架設時及び架設補強材撤去を考慮した張力の導入が必要である。なお、工程上全てのケーブルに張力を導入してから一括架設を行うことが困難であるため、張力の導入は補剛桁を支持するのに必要最低限の本数のみ行う。なお、架設に関する詳細は別途報告がする。

(6. 架設時の張力管理)

6. 1 ベント撤去時のケーブル張力

地組立て完了後のF1・F1'ベントでの支点支持状態は、中央のケーブル8本で補剛桁を支持する方針とし、図-8に示すとおり、先に張力5tを導入してからベントを開放する。この張力はケーブルの「たるみ」が無く、桁の変位又はナット回転量に応じて張力が導入される張力ゼロの状態であり、キャリブレーション時に張力とナット回転量の関係及びケーブルの自重や各部材の馴染みなどを考慮し設定した。また、キャンバーは多点支持状態で全てのケーブルを張力ゼロの状態で設置してから支点支持状態にし、各死荷重が作用するステップで設定している。そのため、中央のケーブル8本についても張力ゼロの状態にしてから支点支持状態にすることで、キャンバーのステップに合わせるようにしている。

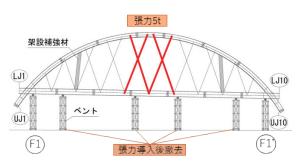


図-8 ベント開放前張力導入

6.2 架設補強材撤去を考慮したケーブル張力

架設補強撤去時にアーチリブ及び補剛桁に急激な変位を生じさせないよう、一括架設前に架設補強材両側のケーブルに桁端部側10t、桁中央側に3tの張力を導入した。この張力は、補剛桁の変位を最小にすること、多軸台車で支持した際の架設補強材に生じる圧縮応力及び導入張力による応力増加を見込んでも架設補強材の許容応力を超過しないこと、撤去時に架設補強材に引張力が作用することを条件に設定した。図ー9に示すとおり、ケーブル全36本のうち、16本で補剛桁を支持した状態で一括架設を行い、架設補強材の撤去時は桁の急激な変位及び大きな変位を起こすことなく予定通り施工することができた。

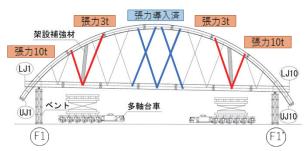


図-9 架設補強材撤去を考慮した張力導入

【 7. ケーブル張力管理結果

7. 1 張力管理方針

ケーブル全36本のうち、一括架設前に張力を導入した16本以外のケーブル張力をゼロ状態にするため、ジャッキで3tの張力を導入した。一括架設前に中央の8本のケーブルは5tに設定していたが、残りのケーブルは長さが比較的短いため3tに設定した。この状態から最適化計算で求めた調整量で各ケーブルの張力を調整する。なお、C2・C3とC16・C17ケーブルは緊張治具同士が干渉するため(図ー10)、C2とC17ケーブルの調整は各調整の最後に行うこととし、それ以外のケーブルは、C2とC17ケーブルを最後に調整した際に設計値となるよう張力管理を行う。

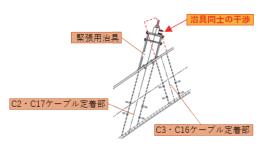


図-10 ケーブル定着部の緊張治具干渉箇所

7. 2 第1回張力調整 (床版打設前)

7. 2. 1 調整1回目

図-11で張力ゼロ状態のケーブルに、図-12では 張力が導入されていることが確認できる。なお、図-12でT1のC1、C12、C18が張力ゼロである理由は、 施工手順による誤差で張力ロスが生じたためである。 床版打設後はキャンバーの調整が困難になるため、 床版打設前の調整ではキャンバー優先で調整を行う。 図-13及び図-15、17、19、22に示すキャンバーは 隅角部F1・F1'を基準とした時の設計値と実測値の補 剛桁T1・T2(図-1)のキャンバーを示している。



図-11 調整前張力



図-12 1回目調整後張力



図-13 1回目調整後キャンバー

7. 2. 2 調整2回目 (F1・F1'ベント開放)

張力及びキャンバーの実測結果を図-14、15に示す。張力が概ね設計値に近づいたため、以降ではケーブル張力の図に設計値との誤差量を示している。ベント支持を開放したことで完成形と同じ支持状態となった。ベント開放前にアーチリブ支承にも荷重を分担していたため、開放によるキャンバーへの影響は無いと想定していた。しかし、ベントで支持している荷重が大きくアーチリブ支承部が完全に馴染んでいなかったこともあり、キャンバーが変化した。



図-14 2回目調整後張力

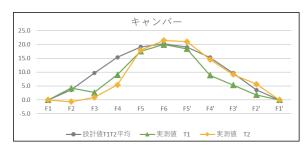


図-15 2回目調整後キャンバー

7. 2. 3 調整4回目

キャンバーが下がり傾向のため、図-16に示すとおり、全てのケーブル張力を許容誤差内に収めたうえで、許容誤差上限値付近まで張力を増加させキャンバーを上げる調整を行った。図-17でキャンバー管理値が現場出来形基準内で、かつ誤差が平均的な状態となったため、以上で床版打設前の張力調整を最後とし、C2・C17ケーブルを調整し終了した。



図-16 4回目調整後張力

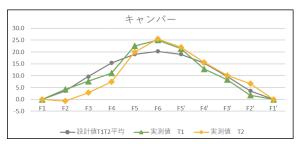


図-17 4回目調整後キャンバー

7. 3 第2回張力調整 (床版打設後)

調整前の張力及びキャンバーの実測結果を図-18、図-19に示す。床版打設によって張力が大きく乱れることはなく、概ね許容値内に収まっている。張力が許容誤差を超えた箇所と上下限値に近い箇所のみ調整を行い、図-20に示すとおり、2回目で全ての張力が許容値以内となったため床版打設後の調整を終了とした。なおキャンバーについては調整することができなかったため、張力のみ調整した。

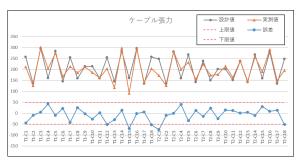
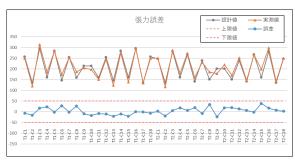


図-18 調整前張力



図-19 調整前キャンバー



※キャンバーは調整前と同じ。

図-20 2回目調整後張力

7. 4 第3回張力調整(軌道敷設後(完成形))

床版打設後にトラフ、バラスト、PC枕木、軌道、電柱などの荷重が載荷された状態で最後のケーブル調整を実施した。調整前の張力及びキャンバーの実測結果を図-21、22に示す。バラストの荷重が不均一であり張力が乱れると想定していたが、端部のケーブルが許容値を超えたのみで端部以外は許容値以

内に収まった。そのため、端部のケーブルのみ調整を行い、図-23に示すとおり全ての張力を許容値以内に収めた。キャンバーも現場出来形基準を満たしているため、以上で全ての張力調整作業を終了とした。

なお、張力誤差の平均は約5%であり、高精度に 管理することができた。

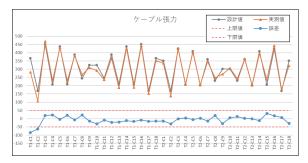


図-21 調整前張力

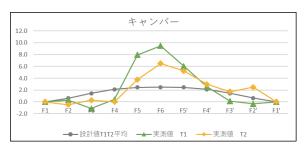
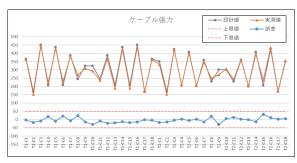


図-22 調整前キャンバー



※キャンバーは調整前と同じ

図-23 1回目調整後張力

(5. おわりに ⁽

工程による制限が厳しい中での本橋の架設は、一括架設時のケーブル張力や張力調整の方法について多くの検討が求められた。当社がニールセンローゼ橋のケーブル調整を行うのは、2003年の向山架道橋以来の19年ぶりであるが、無事工期内に作業を完了することができた。

最後に、本工事において多くのご指導を賜りました名古屋鉄道株式会社の皆様に対しここに謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 小山研造、中川賢治、松村寿男:ニールセンロー ゼ鉄道橋の架設とケーブル張力管理―北条向山架 道橋―、技報たきがみvol.20、pp.1-9、2004
- 2) 小野昌二、古畑晃、齋藤徹、古田土功: ニールセンローゼ橋(野田城大橋)の形状管理、トピー鉄構技報 No. 21、2005
- 3) 高田孝史朗、垰博道:ニールセンローゼ桁橋のケーブル張力調整方法について、第22回土木施工管理技術論文報告集pp. 50-53
- 4) 小林誠、山越信也:厳しい自然環境におけるニールセンローゼ橋の急速施工、第18回土木施工管理技術論文報告集pp. 159-161
- 5) 新家徹、広中邦汎、頭井洋、西村晴久:振動法に よるケーブル張力の実用算定式について、土木学 会論文集、1980.2
- 6) 崎野雄仁、多和田彩人、岡本道雄、大森健広:ニールセンローゼ桁の一括架設における工夫について、技報たきがみvol.40、pp.9-14、2023

ニールセンローゼ桁の一括架設における工夫について 加木屋架道橋

﨑野 雄仁 *1 多和田 彩人 *2 岡本 道雄 *3 大森 健広 *4

1. はじめに

本工事は、河和線・高横須賀~南加木屋駅間(都) 養父盛岡線立体交差及び新駅設置事業¹⁾ に伴う本線 土木工事のうち、加木屋架道橋(中路ニールセンロ ーゼ橋)の製作・輸送・架設工事である。

本稿では、本工事での地組立と自走式多軸台車を 用いた一括架設における工夫について報告する。な お、工事概要は前稿と同様であるため省略する。

(2. 工事の特徴)

本橋は、主要地方道である旧県道55号線上と市道 元浜加木屋線の四叉路となる交差点を跨ぐ鉄道架道 橋である。架設地点外に地組ヤードを設けて橋桁を 組立し、交通量の少ない夜間に自走式多軸台車(以 下、「多軸台車」という)を用いて一括架設を行う工 事である。

(3. 現場条件と課題)

本工事は、橋長66mのうち、両端の補剛桁及びアーチリブ基部の1ブロックを除く58mを地組し、多軸台車にて一括架設を行う。アーチリブ基部はあらかじめアーチリブを橋脚に設置したうえで、架設地点にベント設備を設け、桁受けした後に地組桁と接合する。その後、クレーンにて両端の補剛桁ブロックを単材架設する計画である。多軸台車による一括架設は、主要地方道である旧県道55号線を交通量の少ない休日の夜間に通行止め規制を行い、限られた時間内で架設を完了させなければならない。加えて、橋面上の軌道引渡し時期が決まっているため、現地条件を考慮した綿密な施工計画が重要となる。

施工条件に基づき、架設に伴う課題を次に示す。

- ① 地耐力を考慮した地組計画
- ② 地組時アーチリブの閉合計画
- ③ 多軸台車一括架設
- ④ 架設ベント基礎計画
- ⑤ 多軸台車走行路埋設物養生計画

【 4. 地耐力を考慮した地組計画

4. 1 地組ヤードベント設備計画

図-1に示す桁地組ヤードのベント設備は、地組用ベント8基、ベント多軸台車受け替え兼用ベント4基の計画である。架設用ベントは、架設用補強材箇所に多軸台車設備を設置するためにF1,F1'を支点支持箇所として設置する。地組完了後は、地組用ベントを解体する。これにより、支点支持状態において、架設用ベントに最大の反力が載荷される。アーチ橋は重心位置が高いため、架設用ベント基礎の沈下により転倒することが懸念された。そのため、現地の地盤状態を確認し、次の対策を行った。

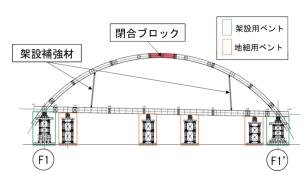


図-1 地組立て計画図

4. 2 ベント基礎地耐力測定

支点支持時には架設用ベント1基あたり約140tの反力が作用する。よって、ベント基礎の地耐力は170kN/m2以上が必要であった。

現状地盤が必要地耐力を満たしているか確認するため、スクリューウェイト貫入試験²⁾ を実施し、地盤の短期許容支持力を計測した。その結果、表層が粘性土、次層が砂質土で構成されており、架設用ベント基礎はF1側が深度2.3m以下、F1'側は深度1.4m以下の地盤が地耐力170kN/m2を下回ることがわかった。

^{*1} 工事グループ 工事チーム 係長 *2 工事グループ 工事チーム 担当 *3 工事グループ 計画チーム 係長

^{*4} 設計グループ 設計チーム 担当

4. 3 ベント基礎施工

必要地耐力を下回る深度が1.4~2.3m程度であり、 短期施工が可能という点から表層混合処理工法を採 用した。地盤改良材の添加量は、現地試料を用いて 安定処理配合試験により決定した。固化材を粉体、 現地盤を軟弱土、施工機械はバックホウを条件とし、 地下水を考慮して一軸圧縮強度の室内目標強度(現 場/室内)強さ比²⁾を最小値の0.3に設定した。写真 -1に施工状況を示す。



写真-1 ベント基礎表層混合処理施工状況

写真-2に地組ベントを示す。万一に備え、施工 段階ごとに各ベント基礎の沈下量の計測を行った。 多点支持から支点支持となる際にベント基礎が平均 4mm沈下したため、経過観察を行ったが、それ以上 沈下することはなく、施工することができた。

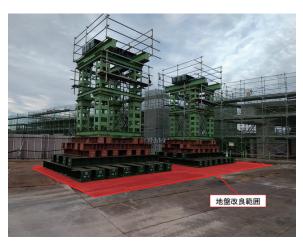


写真-2 地組用ベント組立完了 (F1)

4. 4 アーチ地組架設方法

図-2にアーチリブの地組架設順序を示す。220t オールテレーンクレーンを用いて地組架設を行った。 補剛桁は、一般的な箱桁架設と同様の地組架設方法 である。写真-3にアーチリブの地組架設状況を示す。アーチリブ地組架設は、地組長さ16mであることに加え桁構造が円弧であるため、25tラフタークレーンを補助クレーンとしてジョイントの仕口を計画角度まで建て起こし、架設を行った。

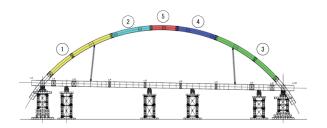


図-2 アーチリブ地組架設順序



写真-3 アーチリブ地組架設状況

(5. 地組時アーチリブの閉合計画)

アーチリブ閉合は、工程上のクリティカルパスであり、全体工程に大きな影響を及ぼすため入念な準備を行う必要があった。アーチリブ閉合前に以下の項目を測定して落とし込み架設を行った。

- ・アーチリブジョイント間距離
- アーチリブ閉合ブロック長さ
- アーチリブ高さ
- ・補剛桁のキャンバー

閉合ブロックの設計構造では、ジョイントの片側隙間10mm、ボルト孔26.5mmの拡大孔である。隙間10mmを考慮したジョイント間の計測を行い、閉合ブロックと比較した。その結果、片側隙間3mmであり、設計値に比べて7mm狭く、アーチリブ仕口が下向きに垂れ下がっている状態であった。図-3に閉合計画図を示す。アーチリブ仕口位置を合わせるため、アーチリブベント及び架設用ベントに油圧ジャッキを設置した。端支点の補剛桁の高さを下げ、アーチリブ先端をジャッキアップすることで、閉合ブロッ

ク間の隙間を大きくした。写真-4に落とし込み架設状況を示す。架設当日は、提案対策により円滑に落とし込み架設を行うことができた。

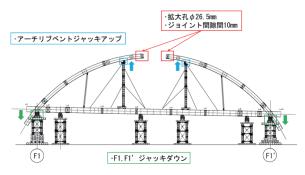


図-3 閉合計画図



写真-4 閉合ブロック地組架設状況

6. 多軸台車一括架設

多軸台車一括架設では、地組ヤードから架設位置 まで一般道を走行する。通行止め規制のため、警察 署と協議を行った結果、下記の条件のうえで道路使 用許可を得た。

・鈴井田3号線(市道):9:00~翌6:00

・旧県道55号線:20:00~翌6:00

6. 1 多軸台車本工事仕様

写真-5に多軸台車の構成写真を示す。

① 多軸台車編成·諸元

・8軸台車パラレル連結 前方、後方配置 全32軸使用

・移動速度:1.0m/min~1.0km/h

・最大積載能力:60t/1車軸あたり

② ユニットジャッキ諸元

・ユニットジャッキ:4台使用

・最大せり上げ能力:270t/1台あたり



写真-5 多軸台車構成

6. 2 多軸台車移動

次のStepにて多軸台車の移動計画を行った。

Step1 地組ヤード内移動

図-4に地組ヤード内走行計画図を示す。9:00 市道通行止め後、地組ヤード内を多軸台車36.6m前 進、市道を跨ぐ形で20:00まで待機する。写真-6 に待機状況を示す。



図-4 地組ヤード内走行計画図



写真-6 多軸台車待機状況

Step2 敷鉄板敷設

図-5に敷鉄板敷設計画図を示す。20:00に旧県 道55号線を全面通行止め後、道路上の多軸台車走行 路となる埋設物箇所に敷鉄板敷設及び走行路マーキ ングを行った。埋設物の養生方法については、後述 のとおり事前に検討を行った。

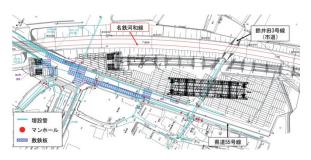


図-5 敷鉄板敷設計画図

Step3 交差点前まで移動

図-6に県道上走行計画図を示す。交差点付近まで35.8m移動を行う。交差点進入前にP3橋脚と電柱との離隔が狭いため、既設物との干渉がないか目視及び無線を取り合い、慎重に交差点内に進入を行う。

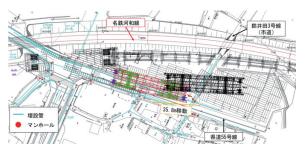


図-6 県道上走行計画図

Step4 交差点内への進入

図-7に交差点内進入計画図、写真-7に交差点内進入状況を示す。架設地点は丁字路の交差点と鉄道の営業路線があり、狭隘かつ複雑な地形である。そこで61.2m移動し、交差点内まで進入を行う。

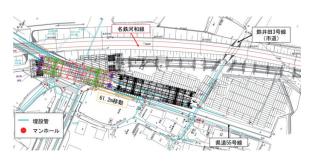


図-7 交差点内進入計画図



写真-7 交差点内進入状況

Step5 回転、定位置調整、多軸台車走行完了

図-8に架設地点到達計画図、写真-8に架設地点 到達状況を示す。架設地点に到達後、回転を行い定 位置に架設を行う。架設地点に設ける桁受け用ベン ト設備は、交差点内で多軸台車が回転する際に地組 桁に干渉するため設置することが不可能であった。 そのため、地組桁に桁受け用ベントを吊り下げ、移 動することとした。

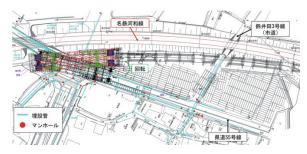


図-8 架設地点到達計画図



写真-8 架設地点到達状況

6. 3 多軸台車走行管理

多軸台車の走行は、マーキングラインを確認しながら、リモコン操作を行い、変化する道路の縦横断勾配に合わせるように多軸台車を調整した。また、多軸台車によるアーチ橋の架設は重心位置が高いため、多軸台車の水平度が重要である。移動中は水平度を確認しながら、台車勾配が1%以下を条件として走行を行った。水平度に異常があった場合は、走行を中断し、油圧アクスルストロークにより調整を行い、走行を再開することとした。規制を伴う、多軸台車の架設作業は時間に制限があるため、事前準備にて平板測量を行い、走行路となる箇所の不陸及び段差を把握し、不陸整正、既設物一時撤去、養生等の対策を講じることが必要であった。

6. 4 多軸台車の退出空頭の確保

多軸台車設備の最小全高は5.4mである。架設後の 桁下空間は、補剛桁下面から5.9mであるため、十分 に退出空頭を確保することができる。当初計画では 一括架設後に日を改めて交通規制を行い、下面防護 足場を組立する計画であった。しかし、軌道引渡し 日が決まっており、工程に余裕がないため、下面防 護足場を吊り下げた状態で一括架設を行う方法を検 討した。

下面防護足場は、架設後の作業である塗装工及び 床版工を行うために必要であり、最低でも高さ900mm の作業空間を必要とする。そのため、下面防護足場 を吊り下げた状態で一括架設を行い、アーチ基部と 架設桁を連結した場合、多軸台車の退出は不可能と なる。そこで、当初はユニットジャッキの降下によって、アーチリブの仕口を合わせる手順であったが、 退出空頭を確保するため、図ー9の桁受け計画図に 示すとおり、桁受けベント設備にてアーチリブの仕 口より起点側290mm、終点側500mm上げ越した状態 で桁受けを行い、多軸台車退出後、100t油圧ジャッ キで上げ越し分をジャッキダウンして桁降下を行う 計画に変更した。

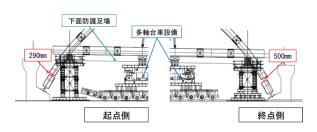


図-9 桁受け計画図

6.5 架設時平面位置の調整方法

多軸台車退出後に架設桁とアーチリブ基部を連結するためには、架設桁と一体にした桁受けベント設備を定位置に精度よく据え付ける必要がある。時間の制約がある中で位置調整に多くの時間を費やすことができない。そこで、事前にベント基礎部と架設桁裏面のそれぞれに据え付け基準点を設けた。架設桁にレーザポインタを設置し、鉛直下向きにレーザ光線を照射することで、基準点を合わせて平面位置の調整を行った。

(7. 架設ベント基礎計画)

7. 1 架設ベント位置の課題

地組ベント設備と同様に、架設ベント基礎の地耐力を確認した結果、対策が必要であった。また、基礎面積がヤード条件により、地組時より狭いため、より深く改良が必要となった。表層地盤改良工法のような掘り起こし作業の場合、道路の崩壊や路線の沈下が懸念された。そのため、周辺地盤に影響を与えない工法の選定が課題となった。

7.2 解決策と施工

上記課題を解決するため、掘削が不要であるスラリー攪拌工法を採用することで、小さい範囲で混合処理をしながらセメントを注入及び撹拌し、地盤改良²⁾を行った。

写真-9に施工状況を示す。スラリー攪拌工法を採用したことで、地盤改良時に県道の崩落及び路線が沈下することがなく施工ができた。また、一括架設完了後の経過観察でも沈下することはなく、安全に作業することができた。



写真-9 スラリー攪拌工法施工状況

8. 多軸台車走行路埋設物養生

多軸台車の走行に伴い、県道55号線の埋設管及びマンホールの強度について関係各所に確認し、対策を行った。該当した埋設物はガス管、通信ケーブル管、電力管、水道管である。

関係各所と現地打合わせを行い、多軸台車の輪荷 重及び静荷重に対して下記のとおり養生対策を検討 し、施工に対して了承をいただいた。対策方法は、 敷鉄板による荷重分散を行った。

マンホールについては、マンホールの設計荷重区 分がT-25であり多軸台車の輪荷重を上回ってい るため、構造上問題はないが、万一に備えて敷鉄板 の養生とした。

埋設管については、埋設管の深さ及び種類によっては、敷鉄板を2枚重ねで養生を行った。架設当日に敷鉄板敷設位置に間違いがないように関係各所に埋設位置の道路上へのマーキングを依頼し、埋設物位置を目視で確認できるようにした。加えて、異常発生時に目視での確認が難しいガスについては、多軸台車走行後直ちにガス漏れがないかの確認を行った。写真-10に埋設物養生状況を示す。関係各所と協議を行い、対策を行った結果、埋設管やマンホールに影響を与えることなく無事に架設することができた。

また、古く劣化したマンホールや図面上に記載がない埋設物がある可能性を考慮し、関係各所に確認を行う重要性を再認識することができた。



写真-10 埋設物養生状況

9. おわりに

一括架設は、県道や民家に隣接した中での作業であったが、地元住民や近隣工区の方々のご協力により、トラブル無く施工を終えることができた。なお、施工の動画を当社動画³⁾ にアップしているため、参考にされたい。

最後に、本工事において非常に厳しい工程の中、 ご指導賜りました名古屋鉄道株式会社並びに東海市 の方々に御礼申し上げます。



写真-11 完成写真



写真-12 完成写真

【参考文献】

 東海市:新駅周辺等整備事業 (最終閲覧日:2023.8.18)

https://www.city.tokai.aichi.jp/shisei/ 1003593/1003594/1003637.html

- 2) (社) 日本建設機械化協会:移動式クレーン、杭 打機等の支持地盤養生マニュアル、平成12年3月
- YouTube: たきがみちゃんねる
 (瀧上工業株式会社)

https://www.youtube.com/channel/UCc-xwTCQ-039WVQHUli9Ehg/featured

国内最大級の斜張橋における耐震補強設計 名港中央耐震補強工事

小田 健二 *1

1. はじめに

名港中央大橋(以降、本橋)は1998年に完成した 3径間連続鋼斜張橋である。本橋は最大支間590m、 橋長1170mを有する国内最大級の斜張橋で、物流の 動脈として機能している伊勢湾岸自動車道の一部で あり、災害時には緊急交通路としての役割も担って いる。

建設時は当時考えられる大規模地震を考慮して設計されたが、架橋位置付近で発生が予想される最大規模の地震動に対して耐震性能の照査を行った結果、各部位で制限値を超過する結果であった。

そこで、本橋の耐震補強では主塔部支承を免震化し、固有周期を長周期化することで各部位に作用する応答値を低減することに加え、隣接桁と衝突しないよう移動量を制限することを設計の基本方針とした。本稿では、これらの耐震補強設計や詳細設計時に工夫した点の概要について報告する。本工事の補強一般図を図ー1に示す。

2. 工事概要

工 事 名:伊勢湾岸自動車道 名港中央大橋

耐震補強工事

発 注 者:中日本高速道路株式会社 名古屋支社

豊田保全・サービスセンター

工事場所:名古屋市港区潮見町~

愛知県名古屋市港区金城ふ頭

工 期:自)令和元年 7月20日

至) 令和 5年 6月28日

橋梁形式:3径間連続鋼斜張橋

支 間 割:290+590+290m

主な工種:

・制震ダンパーエ(橋軸方向1500KN):12基(P1,P4)

・制震ダンパーエ(橋軸方向1000KN):16基(P2,P3)

・制震ダンパー工(直角方向 500KN):8基(P2,P3)

・ウィンド支承取替工:2基 (P1, P4)

·鉛直支承取替工:4基(P2,P3)

·水平支承取替工:4基(P2, P3)

·水平支承設置工:4基(P2, P3)

· 主桁補強工: 359ton (P1~P4)

・検査路設置工 (アルミ検査路):1301m² (P1~P4)

· MCD撤去工: 2基 (P2, P3)

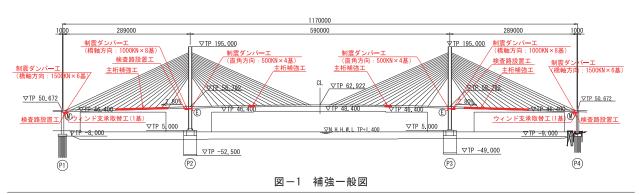
(3. 耐震補強設計の検討内容

3. 1 目標とする耐震性能

本橋は災害時に緊急輸送道路としての機能が求められることを考慮し、大規模地震時の目標耐震性能は、安全性だけではなく地震後の供用性や修復性の観点から設定した。具体的には、基本的な部位(端橋脚、支承部、ケーブル)は、平成24年道路橋示方書に示す耐震性能2に設定したが、損傷後の修復が困難な部位(主桁、主塔、主塔アンカー部)は、弾性域を超えないことを原則とした。

3. 2 入力地震動

入力地震動は名港中央大橋が有する特徴や架橋地 点の地盤状況を踏まえ設定した。具体的には将来架 橋地点に発生が予想される地域特性を考慮した地震 動¹⁾ (サイト波)や、最新の知見で示される南海トラ



*1 設計開発グループ 設計開発チーム 課長代理

フ長周期地震動²⁾を工学的基盤面 (Vs=500m/s) における地震動とし、地盤応答解析 (SHAKE) にてケーソン基礎重心位置の地震動に変換した。以下に入力地震動を示す。

【直下型地震動】

- 想定猿投一高浜断層地震動
- · 想定養老-桑名-四日市断層地震動
- 想定加木屋断層地震動

【海溝型地震動】

・南海トラフ長周期動(EW成分、NS成分)

図-2に地盤応答解析の概念図を、図-3に動的解析に使用する入力地震動の加速度応答スペクトルを示す。

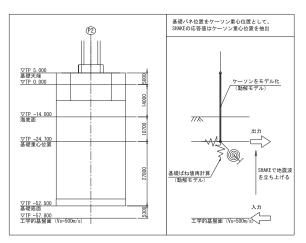


図-2 地盤応答解析概念図

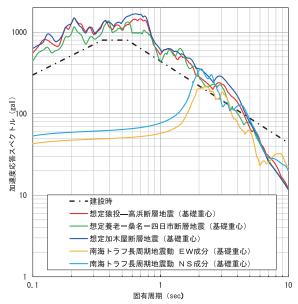


図-3 入力地震動の加速度応答スペクトル

3. 3 解析モデル

解析モデルは、隣接高架橋との衝突状況を確認するため、隣接高架橋を含む全体系立体モデルとした。 表-1にモデル化に用いた要素の概要を示す。

(1) 主桁、主塔、端橋脚、主塔アンカー部

主桁、主塔、端橋脚、主塔アンカー部は、地震時に おける軸力変動の影響と、2軸方向の曲げモーメント と軸力の相対関係を考慮できるファイバー要素でモ デル化した。

(2) ケーブル

ケーブルは幾何学的非線形性が表現できるように 要素分割(10分割)し、ケーブル要素(線形梁要素) でモデル化した。

(3) 支承部

ペンデル支承はトラス要素でモデル化し、鉛直支 承および水平支承は支承条件を考慮した線形バネ要 素でモデル化した。

(4) 弾性拘束ケーブル (MCD) ³⁾

プレストレスを与えた両端ピンの非抗圧非線形弾 性トリリニアモデルとした。

(5) 基礎地盤

基礎地盤はS-Rばねでモデル化した。杭基礎はフーチング底面、主塔部のケーソン基礎はケーソン重心位置にばねを設定した。

(6) 隣接高架橋

上部構造は床版および主桁の剛性を、下部構造は RC橋脚の柱断面剛性を考慮した線形梁要素でモデル 化した。

(7) 材料構成モデル

鋼材の材料構成モデルは、2次勾配がE/100のバイリニアモデルとし、局部座屈による降伏荷重低減の影響を考慮して応力-ひずみ曲線を設定した。コンクリートおよび鉄筋の材料構成モデルは、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編4.2.4の応力-ひずみ曲線を設定した。

(8) 減衰の設定

隣接高架橋を含む複数の振動単位を含んだ複雑な解析対象の場合、道路橋示方書VにあるLayleigh型減衰モデルを採用すると、主要モードで決定した減衰定数が解析モデル全体に掛かってしまい各部材個別の減衰効果が正確に評価できない。そのため、部材レベルで個別に減衰を設定でき、減衰効果がより正確に評価できる部材別剛性比例型減衰モデルを採用した。

ただし、飛び移り現象⁴⁾の危険性がある剛度差の 大きい個所(支承部など)や、部材結合に利用してい る剛部材には減衰定義を外した。

公 · / / /					
部 材	材質	モデル化		減衰定数	
主桁 (多室箱桁)	鋼 (非線形)	ファイ	バー要素	0.01	
主塔	鋼 (非線形)	ファイ	バー要素	0.01	
主ケーブル	鋼 (線形)	ケーブル要素		0.01	
弾性拘束ケーブル	鋼 (非線形)	非抗圧非	線形要素	0.00	
端橋脚(RC 橋脚)	コンクリート (非線形)	ファイバー要素		0.02	
	_	ペンデル沓	トラス要素	0.00	
支 承	_	鉛直沓	線形ばね要素	0.00	
	_	ウインド沓	線形ばね要素	0.00	
隣接上部工	鋼 (線形)	線形梁要素		0.02	
隣接下部工	コンクリート (線形)	線形梁要素		0.05	
Hirtisk Luberry	ケーソン基礎	S-Rモデル	S-Rモデル 線形ばね要素		
基礎-地盤系		線形ばね要素	0.20		

表-1 モデル化に用いた要素の概要

3. 4 解析手法

解析手法は、材料非線形性および幾何学的非線形 を考慮した動的複合非線形解析を採用した。表-2に 解析手法の概要を示す。

ソフト名	SeanFEM ver1.2.2
要素	FEM 梁要素(ティモシェンコ梁理論)
材料非線形性	ファイバーモデル
材料構成則	バイリニア (鋼材)
幾何学的非線形の種類	有限変位・微小ひずみ・有限回転
幾何学的非線形の計算法	updated Lagrange 法
時間積分法	直接積分法 (ニューマークβ法)
時間増分	0.01sec 以下
減衰	要素別剛性比例型減衰
反復計算	Newton-Raphson 法

表-2 解析手法の概要

3. 5 耐震補強照査(補強前)

耐震補強前の現況の構造を対象として死荷重解析 を行い、解析モデルの妥当性の検証を行った。

妥当性の検証は、本工事で作成した解析モデルに 死荷重およびケーブルプレストレスを導入した死荷 重解析(静的解析)結果と、建設時(補強前)の死荷 重解析結果を比較することで行った。着目する力学 量はケーブル張力、支承反力、主桁断面力(曲げモー メント、せん断力)、主桁たわみ、主塔断面力(曲げ モーメント、軸力)とした。ケーブルプレストレスを 微調整することで、これらすべての力学量の誤差を 建設時の3%以内に収めることができ、解析モデル精 度を向上させた。

解析モデルの妥当性を確認した後、動的解析を行い補強前の耐震補強照査を実施した。図-4にクリティカルとなる想定加木屋断層地震動を入力した補強前の耐震補強照査結果を示す。

地震動を橋軸方向に入力した照査では弾性拘束ケーブル (MCD) が、地震動を橋軸直角方向に入力した 照査では主桁、主塔、ウィンド支承、水平支承がそれ

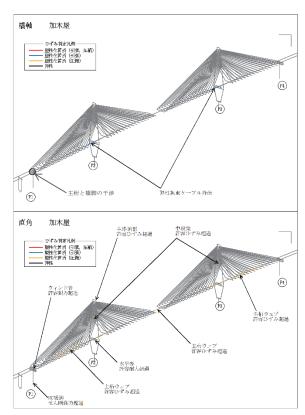


図-4 補強前の耐震補強照査結果

ぞれ制限値を超過する結果となった。

また、遊間照査では、端橋脚において隣接橋梁側の橋台コンクリートが嵩上げされており、P1橋脚側で主桁と橋脚が衝突する結果となった。図-5にP1橋脚の遊間照査を示す。

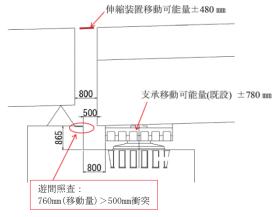


図-5 P1橋脚の遊間照査

3.6 耐震補強工法の検討

補強方法としては、先行施工事実績(名港西大橋 (上り線))、基本設計時の解析検討結果より、免震・ 制震デバイスを用い、エネルギー吸収や地震時移動 量の抑制を図ることで主桁・主塔の断面補強量を最 小化した補強設計を実施するのが効果的かつ効率的 な補強が行えると考えた。そこで、表-3に示すよう

	案 1 (採用案)	案 2	案3			
耐震補強	免震化+ダンパー	弾性化(免震化)+ダンパー	鋼製支承+ダンパー			
方法	MCD 解放を行う	・MCD 解放は行わない.	・MCD 解放は行わない.			
		水平沓(主塔)が橋軸直角	水平沓(主塔)が橋軸直角			
		方向地震時に許容耐力を超	方向地震時に許容耐力を超			
		過するため、支承取替えを	過するため,支承取替えを			
		行う (免震支承に取替え).	行う(鋼製支承に取替え).			
補強効果	・免震化により長周期化と減	・MCD ケーブルが効くため	・長周期化しないため、地震			
	衰効果が図れる(○)	免震化による減衰効果は期	応答が低減しない(△)			
		待できない (△)				
	・ダンパー設置により地震時	・ダンパー設置により地震時	・ダンパー設置により地震時			
	エネルギー吸収と変位抑制	エネルギー吸収と変位抑制	エネルギー吸収と変位抑制			
	が図れる (○)	が図れる (○)	が図れる (○)			
地震時応答	©		_			
低減効果						

表-3 耐震補強の比較検討案

に、MCD撤去の有無、制震デバイス(免震支承、制震 ダンパー)の設置など組み合わせて比較検討し、耐 震補強効果が最も高い「案1」を採用した。

つぎに、最適な制震デバイス配置を決定するため、 免震支承の諸元、制震ダンパーの種別、設置本数を 検討した。検討は主に橋軸方向における桁端移動量 の抑制および橋軸直角方向地震に対する応答値の低 減を目的に行った。比較検討の結果、表-4に示す諸 元の制震デバイス配置が最も効果的なことがわかり、 本工事で採用した。

図-6に端橋脚部 (P1、P4) の制震デバイス配置を、図-7、図-8に主塔部 (P2、P3) の制震デバイス配置を示す。

表-4 制震デバイス配置

制震デバイス	橋脚	諸元
	P1	$1500 \mathrm{kN} \times 6$
制震ダンパー	P2	$1000 \mathrm{kN} \times 8$
(橋軸方向)	Р3	$1000 \mathrm{kN} \times 8$
	P4	$1500 \mathrm{kN} \times 6$
制震ダンパー	P2	$500 \mathrm{kN} \times 4$
(橋直方向)	Р3	$500 \mathrm{kN} \times 4$
支承	P2, P3	水平支承 4 基 サイズ:□ 1270x1270 すべり支承 2 基
弾性拘束ケーブル (MCD)	P2, P3	無効化(撤去)

なお、制震デバイス配置後(免震化後)も塑性ひず みが解消できない部位は以下の補強を行った。

① ウィンド支承

ウィンド支承は、応答値が耐力を超過するため、 取替えを行った。

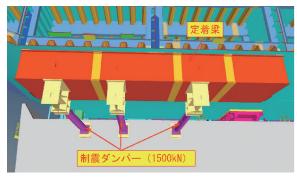


図-6 端橋脚部 (P1、P4) の制震デバイス配置

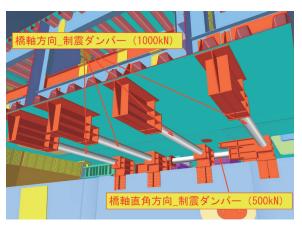


図-7 主塔部 (P2、P3) の制震デバイス配置 (1)

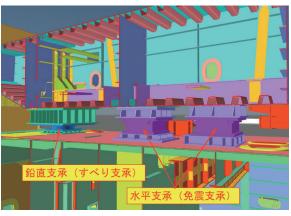
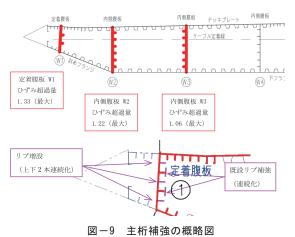


図-8 主塔部 (P2、P3) の制震デバイス配置 (2)

② 主桁腹板(主桁補強)

免震化後も主桁腹板において許容ひずみの超過が 解消していないことから補強を行った。主桁補強は、 免震化後も許容ひずみが超過している部位(塑性化 箇所)に対し、座屈パラメータ改善を目的にリブ増 設を行った。更に、リブ増設を施しても許容ひずみ の超過が解消できないW1 (定着腹板) の一部に対し ては、リブ増設(リブ連続化)による補強を行った。 主桁補強の概略図を図-9に示す。



4. 本工事で工夫した技術

4. 1 3D点群データとCIMモデルの活用

補修・補強工事は、過年度工事の図面修正忘れや 設備の追加など、現地状況が図面と一致しない場合 が多い。現場測量や写真撮影など現地調査を行い、 現地状況を事前に確認しているが、写真や計測資料 など二次元的な情報では現地状況の把握に限界があ る。そのため、本工事では現地を3Dスキャンで取得 した点群データと、設計図から作成したCIMモデル を組み合わることで、パソコン上で現地状況を把握 できるよう工夫した。図-10に点群データとCIMモ デルの組合せ事例を示す。

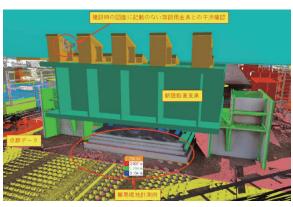


図-10 点群データとCIMモデルの組み合わせ事例

以上の工夫で得られた具体的な効果を以下に示す。

- ・詳細設計で設計した部材をCIMデータに反映する ことで、既設図面で再現されていない部材との干 渉を確認することができた。
- ・点群データの精度を向上させることで、構造検討 で必要な点群データ上で簡易計測を行うことがで きた。
- ・現地に直接赴く必要がないため移動時間が短縮で き、効率的に業務を進めることができた。

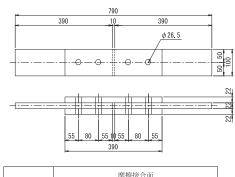
4. 2新設部材と既設部材のすべり係数の確認

4. 2. 1 すべり試験の概要

本工事では新設部材の防錆性能向上のため、高力 ボルト摩擦接合面に無機ジンクリッチペイント (75 μm)を塗布する仕様とした。一方、既設部材の素地 調整は2種ケレンで施工するため、新設部材と既設 部材の高力ボルト摩擦接合面は、異種摩擦接合面と なる。既設部材と新設部材を接合する高力ボルト継 手部のすべり係数が、平成24年道路橋示方書に示さ れるすべり係数(接触面を塗装しない場合:0.4)を 満足するか確認する必要があった。

異種摩擦接合面のすべり係数に関する文献3),4) を調査したところ、試験で得られた知見が異なり、 本工事の設計にどのすべり係数を適用するか判断に 窮した。そのため、実施工する条件で試験を行うこ とで、採用するすべり係数を決定した。

試験体の摩擦接合面は母材側を2種ケレン、連結 板側を無機ジンクリッチペイント(75 µm)とする2 面摩擦継手とした。試験体に使用する鋼材は、板厚 を補強工事で使用頻度の高い22mmとし、材質は SS400とした。高力ボルトはトルシア型高力ボルト (M22:S10T)とし、孔径は拡大孔(φ26.5)とした。 図-11に試験体概要図を示す。



	摩擦接合面		
	母材 連結板		
表面処理	2種ケレン	無機ジンク (75μm)	

図-11 試験体概要図

4. 2. 2 既設部材の摩擦接合面の処理

(1) 素地調整に使用する機材の選定

すべり試験に先立ち、試験体の素地調整を行う機材を 選定した。使用機材は一般的に素地調整に使用している 機材 (マクトル、ディスクグラインダー) と1種ケレン相当の 素地調整が可能な機材 (ブリストルブラスター) を用意し た。写真-1に試験で使用した機材を示す。







ディスクグラインダー (#36) マクトル

ブリストルブラスター

写真-1 使用機材

選定機材で素地調整を行ったところ、マクトルおよび ディスクグラインダー施工の素地調整面は、表面粗さの バラつきが大きく、作業員の技量に左右されることがわ かった。一方、ブリストルブラスター施工の素地調整面 は、上記と比較してバラつきを抑えることできた。よって、 試験に使用する機材は施工性を考慮してマクトルで塗装 剥離後、ブリストルブラスターで目荒らしする「マクトル+ ブリストルブラスター」を採用した。

(2) 摩擦接合面の表面粗さ

既往の文献3),4)より、すべり係数は、既設部材側 素地調整の表面粗さと高い相関関係を示すことが知 られている。そのため、素地調整の表面粗さに着目 し、母材側の目標表面粗さ (RzJIS) を30 µm、40 µm、 $50 \mu \text{ m}$ とした試験体をそれぞれ3体試験を行った。

4. 2. 3 すべり試験結果

すべり係数が0.4以上となるものを合格とした。 表面粗さごとに表-5に示す結果となった。

・試験体A (30 μ m 目標) : 全て不合格

・試験体B(40μm目標):3体中1体が不合格

・試験体B (50 μ m 目標):全て合格

表-5 すべり試験結果

	すべり荷重	ボルト軸力	すべり係数	合否	表面粗さ:RzJIS
	kN	kN	タ・ヘツ 1ボ 女		μm
A-1	310	227	0. 34	不合格	29.5
A-2	325	225	0. 36	不合格	33.4
A-3	320	227	0. 35	不合格	33.5
B-1	381	232	0.41	合格	42.0
B-2	361	232	0.39	不合格	40.6
B-3	398	228	0. 44	合格	42.9
C-1	452	228	0. 50	合格	53.6
C-2	414	232	0. 45	合格	57. 2
C-3	404	228	0.44	合格	65.6

A: RzJIS平均30 μ mを目標 (最小: 20 μ m以上)

B:RzJIS平均40μmを目標(最小:30μm以上)

C: RzJIS平均50 µ mを目標(最小:40 µ m以上)

※表面処理は全て「マクトル+ブリストルブラスター」

4. 2. 4 詳細設計で使用するすべり係数と現場で管理 する表面粗さ

試験結果より、表面粗さを適切に管理することで 道路橋示方書に規定されるすべり係数(0.4)を満足 できることが確認できた。そのため、詳細設計で使 用するすべり係数は0.4を採用した。

また、現場で管理する表面粗さはRzJISを50μm 以上確保することとした。

5. おわりに

本稿では、国内最大級の斜張橋である名港中央大 橋の耐震補強において取り組んだ詳細設計の内容に ついて報告した。長大斜張橋の耐震補強工事の事例 は近年いくつか報告があるがまだまだ少なく、今後 の類似工事の参考となれば幸いである。

本工事で詳細設計作業をするにあたり、中日本高 速道路株式会社をはじめ共同企業体の構成会社であ るエム・エムブリッジ株式会社、日立造船株式会社 を含む多くの関係者に、多大なご指導およびご協力 をいただきました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 中日本高速道路株式会社名古屋支社、中日本ハイウェ イ・エンジニアリング名古屋株式会社:平成24年度 名 古屋管内橋梁保全検討委員会報告書、2013.
- 2) 内閣府:「南海トラフ沿いの巨大地震による長周 期地震動に関する報告」について https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/ nankaitrough_report.html、最終閲覧日 2023. 12. 1.
- 3) 日本道路公団名古屋建設局伊勢湾岸工事事務所: 伊勢湾岸道路 工事誌、1988.
- 4) 吉川博, 並川賢治, 溝口孝夫, 山口宏樹, 矢部正 明:短リンクを有する斜張橋の複合非線形地震応 答解析に現れる飛び移り現象とその解決、土木学 会地震工学論文集Vol. 27、2003.
- 5) 丹波寛夫、木村聡、杉山祐樹、山口隆司:無機ジンク リッチペイント面とそれと異なる接合面処理がなされ た高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力試験、土木学 会構造工学論文集Vol.56A,803-813、2012.
- 6) 丹波寬夫、行藤晋也、木村聡、山口隆司、杉浦邦征: 接合面が鋼材粗面と無機ジンクリッチペイント面の高 力ボルト摩擦接合継手のすべり係数の提案、土木 学会論文A1(構造·地震工学), Vol. 70, No. 1, 137-149, 2014.

「柔よく剛を制す」しなやかな耐震補強工事の工夫 名港中央大橋耐震補強工事

 裘
 明 *1 柿下 祐亮 *2

 細田 雅之 *3 柘植 孝之 *4

1. はじめに

名港中央大橋は1998年に完成した、国内斜長橋ランキング2位の橋長1,170m、有効幅員27.5mの3径間連続鋼斜張橋である。本橋は伊勢湾岸道路の一部で物流の大動脈として機能しており、災害時には緊急交通路としての役割を担っている。本橋の全景を写真-1に示す。

完成当初、当時として最大級の大規模地震を考慮 した設計であったが、近年発生確率が極めて高いと される東海・東南海地震の連動を新たに考慮した地 震動を入力した耐震性能の照査が実施された。その 結果、耐震補強が必要となった。

本編では、耐震補強構造を「剛」から「柔」にする 場合の施工時の留意点や工夫ならびに供用中の重交 通、名古屋港の海上交通へ配慮した工夫などについ て報告する。

(2. 耐震補強工事の特徴)

斜張橋の耐震を考えた場合、地震時に主桁を揺らしてしまえば主塔への作用力を低減できる構造となるが、変位量が大きくなることで隣接橋や主塔と主桁が衝突してしまうため「橋」として機能しなくなるおそれがある。斜張橋では、損傷を与えないように地震力に対して主塔と主桁を連結して揺れを制御する必要がある。

建設当時に採用された連結方法は、主塔と主桁を 橋軸方向に弾性拘束ケーブルで連結する方法(以下 MCD: Meiko-Cable-Damper-Systemと称す)であった。



写真-1 全景写真

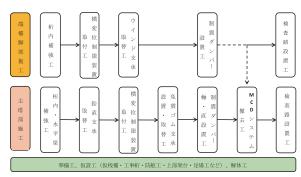


図-1 施工フローチャート

本工事の発注当初の設計はMCDを存置し、免震支承・制震ダンパーによりエネルギー吸収を行う、いわゆる、「剛」な設計方針であったが、長周期化と減衰効果を高めるため、設計方針を変更した。すなわち、MCDを撤去し揺れを許容しながら制御する「柔」な設計方針となり、それを実現する施工方法を検討した。以下に検討内容の概要と特徴を示す。

① 安定性を確保した施工順序:構造系が大きく変 化するMCD撤去前に、免震支承の取替・新設、

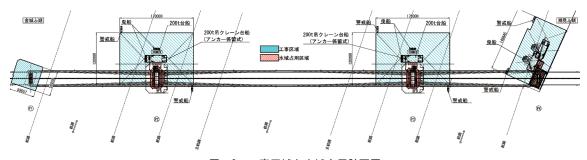


図-2 工事区域と水域占用計画図

- *1 計画設計グループ 計画チーム 主任 *2 保全グループ 保全1チーム 担当 *3 工事本部 本部長
- *4 工事グループ 工事チーム 担当課長

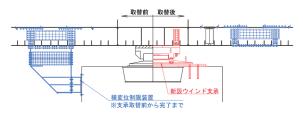


図-3 ウインド支承の取替前後

制震ダンパーの設置を完了し、耐震性能が保持された状態を保つ。

- ② 代替設備となる仮設構造物の設計条件:重要な 供用中路線であること、上下線一体構造である こと、工事が長期間に及ぶことなどを考慮し、建 設当時の本体構造と同等以上の機能を有するも のとする。
- ③ 耐震補強デバイスの精度管理:補強前の挙動計 測と分析、構造系変更による全体形状の変化の 分析を行い、支承や制震ダンパーの精度管理(出 来形管理)に反映する。
- ④ 現場施工の安全確保と合理化:高所かつ狭隘部 における施工の安全確保と合理化を図る。

図-1に施工フローチャート、図-2に工事区域と 水域占用計画図を示す。主に3章で上記の①、②、 ③について、4章で④について述べる。

3. 安全性と出来形・品質確保への取り込み

3.1 供用下での安全性確保

安全性を確保するため、既設部材を撤去しても機能を失わないように仮設材を設置し、その機能を補填する必要がある。また、施工期間や施工環境を踏まえ、既設部材と同等以上の機能を有する仮設備計画を実施した。

3.1.1 端橋脚部ウインド支承取替え時の配慮 端部ウインド支承は、風・地震等による上部工か





(a) 施工中

(b) 施工後

写真-2 横変位制限装置の支承取替え前後の状況

らの水平力を円滑に下部工に伝達する構造物である。 取替えの施工期間に関しては、アンカー削孔、橋脚 躯体にある既設ペデスタルフレームとの現場溶接な どの工種が含まれるため、施工期間が1ヵ月以上必 要と想定された。さらに、既設の部材の一つとして 水平力を負担する支承以外に、両端部にピンを使用 したペンデル支承が存在した。しかし、ペンデル支 承は橋軸直角方向の水平力に抵抗できる構造になっ ていない。そのため、ペンデル支承に水平力及び水 平変位を与えないようにする必要がある。よって、 横変位制限装置の設計方針として、取替前のウイン ド支承と同等レベルの機能となるよう計画した。図 -3にウインド支承の取替え前後の構造図を示す。

長大斜長橋であるため、温度変化、活荷重からなる影響で端部の橋軸方向移動量が大きい。このため、横変位制限装置及び橋脚躯体に設置された横方向の水平力を受ける面にすべり材とゴム材を用いるなどにより橋軸方向に移動しやすく、回転にも追随できるように配慮した。写真-2に横変位制限装置の支承取替え前後の状況を示す。

3.1.2 主塔部鉛直支承の取替

(1) ジャッキアップ作業における配慮

主塔部には、既設鉛直支承が2基あり、1基に対して、500tジャッキ設備を4台設置した。主桁の回転により、橋軸方向に複数台のジャッキ設備を配置すると、荷重が偏心するため、ジャッキの油圧を同

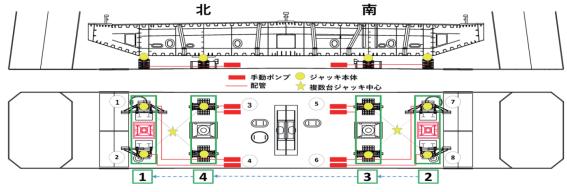


図-4 ジャッキ作業の平面配置図

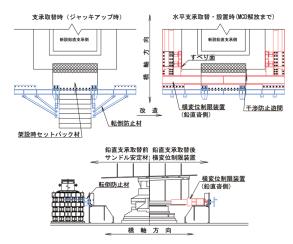


図-5 横変位制限装置の構造詳細(鉛直支承側)

調し、反力を一定にする対策が必要である。しかし、 常に反力を一定にするための管理が必要で、長期間 施工で管理が困難と考えられる。このため、ジャッ キアップ補強設計における不均等係数10%を20% とし、最も危険な状態である2点支持の場合でも、 桁側補強材が降伏しないように設計した。

また、ジャッキ設備4台の平面配置の中心位置が 鉛直支承中心からずれることや、静定な載荷状態か ら不静定な状態に移行する場合を見込み、全体の荷 重載荷のバランスを確保するため、図-4に示すよ うに、外側から内側への順序で変位量及び反力値を 管理値として段階的にジャッキアップ施工を行った。

片側のジャッキ設備4台に関して、鉛直支承及び 既設水平支承の橋軸方向前後にそれぞれ2台のジャ ッキを配置した。鉛直支承側の2箇所は、サンドル 受台設備の高さが1m程度必要となることに加え、温 度変化及び活荷重による移動量が常時最大±5mm程 度移動していることを確認した。そこで、建設当時 に使用された架設用セットバック装置とサンドル受 台の間に別途、写真-3(a)に示すように転倒防止 設備を追加、設置した。水平支承側ジャッキ2台の受 台は、高力ボルトで主塔側に取り付けたダンパーブ ラケットであるため、転倒する可能性は低いものの、 橋軸方向の幅が狭く、主桁と主塔の初期ずれなどで 偏心による影響が想定された。そのため、ダンパー ブラケットと同程度の高さで橋軸方向の前後に追加 でサンドル設備を組み立て、写真-3(b)に示すよう に反力分担する構造形式で施工した。

3.1.3 主塔部水平支承の設置・取替

既設の主塔部における支承は、端部と同様に、鉛 直方向を支持する機能と、水平方向を支持する機能





(a) 転倒防止対策

(b) 反力分担構造 写真-3 ジャッキ設備への安全対策





(a) 突起と桁の支圧構造

(b) 桁内補強材

写真-4 横変位制限装置の構造詳細 (突起側)

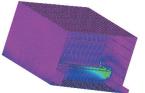
を分離させた機能分離型支承であった。建設時の水 平機能に対して、約1,000tの水平力で設計された鋼 製支承からゴム支承に取り替えることで、水平変位 の抵抗能力が下がるため、主塔に設置したMCD用突 起と桁下フランジが干渉する。さらに、干渉するま での変位量が発生した場合に、新設のゴム沓の抵抗 力は、建設時の設計水平力の1割にも達していない ため、施工中の代替設備として別途、建設時水平力 と同等レベル以上の横変位制限装置を設計し、設置 した。施工ステップに応じて、段階的に撤去が可能 となるように鉛直支承の南北の2箇所とMCD突起側 1箇所の合計3箇所に横移動制限装置を設置する計画 とした。

(1) 鉛直支承部の横変位制限装置

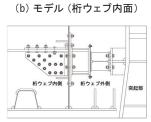
図-5に示す鉛直支承側の横変位制限装置は以下 のように設計計画した。

- ・2箇所合計能力は、目的構造物の上層台座と桁との 連結ボルトのせん断破壊が先行しないように、建 設時設計水平力の50%程度で設計した。
- ・新設鉛直支承を設置完了後、横変位制限装置を設 置する計画とし、さらに、横変位制限装置と上層 台座の下フランジ部の接触面に薄いステンレス板 及びすべり材を用いることで、橋軸方向に移動し やすくなるように配慮した。
- ・橋軸方向移動への抵抗がないように、横変位制限 装置と鉛直支承の間にレベル2地震動による移動 量以上の遊間を確保するように配慮した。
- ・架設用セットバックに対応する横変位制限装置は サンドル転倒防止設備の一部を利用することで、 仮設材および作業工数の低減に配慮した。





(a) モデル (桁ウェブ外面)



(c) 桁ウェブ内面応力分布

(d) 横変位制限装置の 構造詳細(突起側)

図-6 有限要素解析により構造設計への配慮

(2) MCD突起部の横変位制限装置

写真-4に示すMCD突起側の横変位制限装置を以 下のように計画した。

- ・抵抗能力は、建設時設計水平力の2/3程度にて計 画した。そのため、前述の鉛直支承側の横変位制 限装置と併せて、建設時水平力と同等レベル以上 を確保した設計となる。
- ・フェールセーフとして機能する部材のため、桁側 と突起側の補強材同士に2mm程度のすき間を確保 した。そのため、MCDを撤去する際に抵抗がない状 態で簡単に撤去可能となるように配慮した。
- ・桁側の補強材は、一般的な構造計算の他に、有限 要素解析にて応力分布と座屈の発生リスクをシミ ュレーションし、安全で合理的な補剛材の設計を 行った。図-6に解析モデル、応力分布および構造 詳細を示す。

3. 1. 4 MCD撤去工

(1) 課題と対策

MCDは主桁(上部構造)と主塔(下部構造)を橋 軸方向に連結(ばね連結)するケーブルであり、 水平力を両主塔に分散し、主塔基部に作用する断 面力を低減する目的で設置されている。大規模な ゴム支承が普及する以前に考えられた、分散挙動 を期待した耐震デバイスである。アンバランスな 補正機能を有し、本橋では舗装など後死荷重分の 調整にも使用されている。

課題①一安定性を考慮したMCD撤去時期

施工中はMCDで温度変化による水平力を両主塔 に分散することにより、桁の移動に対して、主塔

が追随できるようになり、相対変位量を小さく抑え ることが可能である。このため、橋軸方向の変動が 小さく施工精度を確保することができる。一方で、MCD の撤去から耐震補強完了までの主桁と主塔の連結方 法を検討する必要があった。

対策①:MCD撤去は、新設耐震デバイスを設置完了 した後に実施し、橋軸方向の連結を常に有効に保つ ようにした。

課題②-MCD撤去による出来形影響

伊勢湾岸道路工事誌¹⁾におけるMCD導入張力(計 画値・実測値) は舗装などの後死荷重のない状態の 値であるため、最終張力値および左右均等かなどは 不明な状態であった。そのため、MCDの撤去による構 造変化を考慮した数値解析結果を各耐震デバイスの 施工方針に反映する必要があった。

対策②:数値解析に用いるMCDの張力を明確にする ため、耐震補強を実施する前にMCDの標準温度20℃ 近辺の張力を計測した。

課題③-MCD撤去に伴う主塔倒れ量の変化

工事報告書(架設編)2)によると、建設時において 主塔高 (190m) の1/1500を基準に倒れ誤差が管理さ れた。MCDを撤去することにより、主塔の塔頂変位が 変動すると想定され、建設時の上限値130mmに収ま っているかどうかを耐震補強前後の健全度確認の目 途として確認する必要がある。また、耐震補強前の 初期値の確認も必要である。

対策③:耐震補強工事前後の解析による検証に加え、 主塔倒れ量と主塔同士の距離を計測にて確認した。 課題④-MCDの撤去による橋梁全体の移動

供用中の重交通へ影響を与えないこと、弾性拘束 ケーブルの張力解放により橋梁全体が急激に移動し ないことを踏まえ、施工手順を検討する必要があっ た。

案(1) 片側張力完全開放後、反対側の張力解放

利点:張力解放設備の盛替え作業が少ない。

作業がシンプルで、管理しやすい。

欠点:橋桁が解放していない反対側へ移動し、一時 的に新設ゴム支承にせん断ひずみを与えてし まう施工リスクが想定される。

案(2) 両側同時に、段階的に張力解放

利点:供用中の橋桁の安定性を確保できる。

欠点:張力解放設備の盛替え作業が多い。

作業が煩雑で、全体のバランスを確保するう えで、構造物への影響度を定量的な判断が必 要である。





(a) 加速度計設置状況

(b) 加速度計

写真-5 加速度計と設置状況



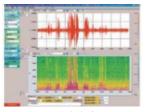


(a) 加振状況

(b) 支持装置状況

写真-6 現地作業状況





(a) 記録計

(b) 周波数解析ソフト

写真-7 使用機器

建設時の初期張力導入誤差および作業時温度が標準温度20℃であるとは限らない。このため、左右不均等張力状態から張力解放した後、全体的にリバランスするとともに、橋桁が大きく移動すると考えられる。不均等張力解放が避けられないため、それに伴う移動量を事前に把握し、移動量を段階的に分散することにより施工品質に対するリスクの低減が必要である。

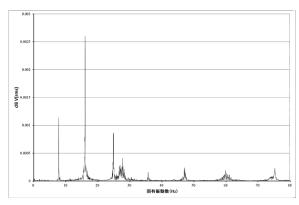
対策④:供用中の安定性を優先し案(2)を採用した。 左右均等状態になるまでの不均等張力解放は、左右 張力解放の差が最大100tを目途として、解放作業を 実施した。詳細な手順を4章で述べる。

(2) 計測と解析

1) 弾性拘束ケーブルの張力計測

ケーブル張力を計測する方法は調査段階では大型ジャッキでは困難なため、高次振動法によるケーブル張力計測を実施した。高次振動法とは、加速度計を用いてケーブルの振動測定を行い、ケーブルの固有振動数と張力の関係から導入張力を間接的に推定する手法である。加速度計を写真-5(b)に示す。

写真-5(a)に示すように加速度計を専用の治具で



固有振動数(Hz)								
1次	1次 2次 3次 4次 5次 6次 7次							
7.7734 16.0156 24.8828 35.7031 47.1094 59.8438 75.1953								

図-7 固有振動数(例)

ケーブルに固定して測定を行った。写真-6(a)に示すようにプラスチックハンマで打撃を与えてケーブルを加振し、記録計にて振動を計測した。得られた振動波形を用いてFFT解析(高速フーリエ解析)し、固有振動数を得る。記録計を写真-7(a)、固有振動数を得るための周波数解析ソフトを写真-7(b)に示す。精度を高めるため、計測した計測波形より得られた低次から高次までの複数の固有振動数とモード次数の関係より最小二乗法で係数を同定し、式-1から張力を算出できる。図-7に示すように今回は1~7次の固有振動数を用いて張力を算出した。

$$f_i^2 = \frac{\pi^2 EI}{4\rho A L^4} i^4 + \frac{T}{4\rho A L^2} i^2$$
 \(\frac{\pi}{2} - 1\)

ここで、EI は曲げ剛性、Tは張力、 ρ は密度、A は断面積、L はケーブル長、 f_i は固有振動数、i はモード次数を示す。

MCDの主塔と主桁との定着長は37.5mであり、2.5m間隔で支持装置により固定されている。このうち、アンカーから15m間の支持装置を取り外し、ケーブル張力を計測することとした。ケーブル張力を精度良く計測するには、支持装置でケーブルが確実に固定されていることが必要である。それを確認するため、図-8に示すように支持装置よりも外側5m区間についても計測を行った。結果、支持装置よりも外側のケーブルにも振動が伝わっていることが観察された。支持装置による固定を強固にするため、写真-6(b)に示すように支持装置に加え、ナイロンスリングを用いてケーブルを固定した。ナイロンスリングを用いてケーブルを固定した。ナイロンスリングの固定により、隣接する5.0m区間(ch.3,4)には振動が伝わらないことを確認できたため、15m区間

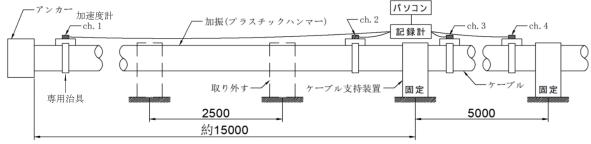


図-8 測定位置概要

(ch. 1, 2) の測定結果を用いて張力を推定した。

2) 主塔部倒れ・支間間隔の計測

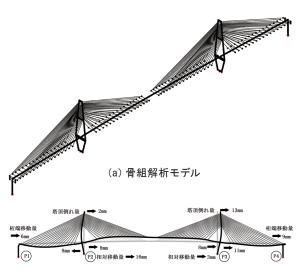
同一主塔部に設置したレーザートランシットから プリズムを視準する計測により、倒れ量を確認した。 結果、鉛直視準距離が約200mで誤差が生じやすいと 考えられた。そのため、図-9に示すように測量機器 を配置し、対面主塔の塔頂におけるプリズムを視準 する方法から、得られた塔頂座標をもとに塔頂間隔 を算出した。その結果と設計値とを比較し、倒れ量 を確認した。

3) 全体モデル化と施工時シミュレーション解析 3.1.4(2)1)で述べた高次振動法によるケーブル 張力計測にて得られた張力から温度補正による標準 温度 20° Cの張力を算出し、骨組解析モデルに反映し計算を行った。計算結果を、図-10に示す。

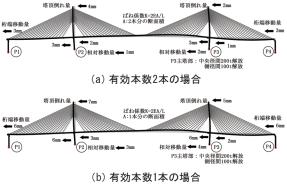
左右4本のケーブル張力解放作業をするにあたって、避けられない不均等張力解放に関しては、主塔水平梁上の定着用突起部への荷重分担を踏まえて、左右張力解放の差が100tを基準に、片側が先行して解放した場合に生じた移動量を確認した。弾性拘束ケーブルのばね係数K=2EA/L(E:ヤング係数、A:ケーブル断面積、L:ケーブル長さ)は、緊張力を有

図-9 計測要領の概要

する有効本数に左右される。不均等張力解放により、施工中に想定される有効本数2本、1本の場合からの影響をそれぞれ解析した。結果、図-11に示すように、有効本数1本時のばね係数が半分程度に低下して、張力解放による橋桁移動量が有効本数2本と比較し、概ね3倍程度増加することがわかった。解析値を基に各施工段階における異常発生の判断基準として採用した。



(b) 標準温度20°CのMCD完全開放による移動量 図-10 出来形に反映するMCD解放移動量



(b) 有効本数1本の場合図-11 100t不均等解放による移動量

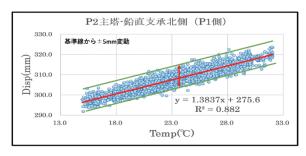


図-12 P2主塔既設鉛直支承と主桁の相対変位量分布

3. 2 新設耐震デバイスの出来形確保

支点構造変更により橋軸方向変位量が変化することを考慮し、施工前にあらかじめ設計標準温度 (20℃) での形状を確認し、その形状を基準に取替・新規設置部材の出来形精度を管理する方針とした。

高次不静定構造である長大斜張橋の挙動は複雑であり、線膨張係数による計算値のみで温度変化による移動量を把握できない。そのため、補強前に温度変化による移動量計測で、得られたデータの相関分析により実橋の挙動を把握した。 相関分析の一例を、図-12に示す。

3. 2. 1 温度変化に伴う挙動計測

標準温度20℃における既設支承の上・下沓中心のずれ量を把握する目的で計測を実施した。主桁の橋軸方向の支持条件は、端橋脚部で可動、主塔部で塔と弾性固定している。そのため、温度変化による橋軸方向移動量を鋼材の線膨張係数から単純に算定した概算値を橋脚に対して近似値、主塔部に対して上限値と仮定した。概算値を以下のように示す。

端橋脚: $585m\times1.2\times10^{-5}\times1^{\circ}=7mm/^{\circ}$ 主塔部: $295m\times1.2\times10^{-5}\times1^{\circ}=3.54mm/^{\circ}$

MCDにより主桁と主塔を弾性固定していることから、温度変化による主桁の橋軸方向の移動に伴い、主塔も一部の反力を分担し倒れる形状となる。このため、上・下沓の中心の相対ずれ量は3.54mm/℃を下回ると想定できる。

標準温度20±15℃の5~6月中に計測を実施した。 P4端橋脚で100mm、P3主塔部で50mm程度の移動量 が発生すると想定し、大きな変位を測定可能な巻込 型変位計を採用した。写真-8(a)に巻込変位計を 示す。

ステンレス製のワイヤーの張力は、変形量にかか わらず一定であるため、計測精度に影響しないこと、



(a) 巻込変位計

位計 (b) 熱電対写真-8 測量用機器





(a) ウインド支承部

(b) 鉛直支承部

写真-9 巻込変位計の設置状況 (例)





(a) 鋼床版下面

b) 下フランジ上面

写真-10 熱電対の設置状況

海上作業のような厳しい環境でも計測期間中に錆が 発生しないメリットがある。

変位計の設置方法は、桁の移動方向とほぼ平行となるよう上・下沓の間にワイヤーを設置する計画とした。写真-9にワイヤー設置状況を示す。

設置期間は5月上旬から約1ヶ月とし、10分毎のデータ採取に伴い、鋼床版下面および下フランジ上面に設置する熱電対による温度データの採取も行った。写真-8(b)に熱電対、写真-10に熱電対の設置状況を示す。

幅員が広い橋体の温度を正確に評価するため、図 -13に示すように同一断面において建設時と同様に 熱電対を合計6個貼付け、計測を実施した。橋体の 挙動を常時モニタリングできるように熱電対を工事 竣工まで残置する計画とした。長期間温度計測を行うことから、作業頻度の少ない場所に設置することで、熱電対の破損リスクを低減することに配慮した。

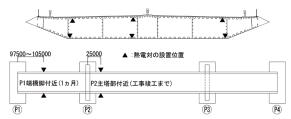


図-13 熱電対の断面・平面の設置詳細

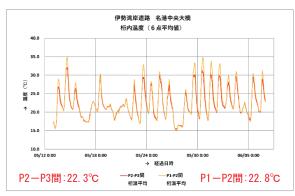


図-14 橋体温度の比較

さらに、普段データを採取しやすいようにP2主塔部から25m程度離れた位置に設置した。P2主塔部付近の温度データを橋体温度とすることの妥当性を確認するため、P1端橋脚から100m程度の位置にもP2主塔部付近と同様に設置し1ヵ月程度の温度計測を実施した。それらの比較結果は図-14に示すように、設置期間の平均温度はP2主塔側とP1端橋脚側がそれぞれ22.3 $^{\circ}$ 、22.8 $^{\circ}$ となった。温度差が僅か0.5 $^{\circ}$ であるため、P2主塔部の温度データは橋体の基準温度として取り扱えると評価した。移動量計測の相関分析した結果は、温度と移動量を1次関数で示し、既設支承の上・下沓のずれ量を把握することができた。これらより、精度よく出来形を確保できると判断した。

3. 2. 2 新設支承設置位置への工夫

端橋脚において取替えの支承は1基である。一方、 主塔部は、既設支承4基の取替えに加え2基を新設 する。同一面内で複数の支承取替・設置を行う場合、 それらの相対位置を管理する必要があることから、 主塔梁天端の小座標系管理により面内精度管理を実 施した。この方法により建設時の主桁と主塔の僅か

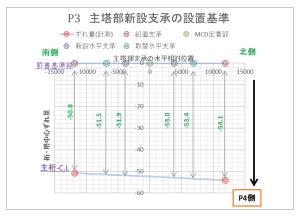


図-15 主塔横梁と主桁のずれ及び斜角

な斜角にも精度よく管理できた。

現場管理を容易にできるとともに、計測機材の経済化も図られるように、最縁端の北・南側鉛直沓のみで計測を実施した。主塔横梁側に橋軸直角方向の中心線をレーザー墨出し機などで表示した。計測から得られた桁中心と沓中心の差であるずれ量は、主塔横梁中心線との関係から、桁中心と横梁中心の差に置き換えた。図ー15に示すように、北・南側のずれ量が異なるため、斜角の影響を図として明確にできた。中央側の水平支承の設置位置も主塔横梁の中央線より推定できる。

3.3 出来形計測とMCDの張力計測の評価

耐震補強後の出来形を確保するために実施した「挙動計測」および「MCD張力計測」について、以下に評価点を述べる。

(1) 弾性拘束ケーブル張力計測の評価

事前張力計測結果と施工時のジャッキによる実施結果の比較で、事前計測が全体的に50t大きい傾向となった。原因は、基本的に2点支持のケーブルに加振し、得られた周波数をもとに解析にて張力を推定した。一方で、事前計測時は支間が短めで、振動が発生しにくくなる条件で、結果が少し「硬め」と考えられた。しかし、MCD解放前後で、「主塔と主桁の相対移動量」、「主桁の全体移動量」の計測結果では、想定内の挙動であることを数値的に確認した。

(2) 主塔部倒れ・支間長計測の評価

「塔頂部の傾き」に関して、想定した主塔同士の離れ量より大きく移動したことが判明したが、建設時に定めた許容倒れ量に収まっている。また、主塔が隣接橋側への倒れたことにより、主桁が隣接側に僅かに近づいたことが判明した。出来形への影響は軽微ではあるが、将来伸縮装置の取替え時などに考慮すべき項目と考える。

ここで、塔頂部の傾きの評価について補足する。 当初完成時は死荷重のみでの計測に対し、補強前後 は活荷重が載荷された状態で計測している。よって、 当初と補強前後での厳密な比較は難しい。

(3) 温度変化に伴う挙動計測の評価

温度と変位の相関性を反映したグラフによると、 端橋脚部、主塔部の計測結果のバラツキがそれぞれ 15mm、5mmであった。出来形精度を検証する際に、桁





(a) 台船の停泊位置 (北側)

(b) 部材の取卸し

写真-11 海上作業

の安定時、及び複数回の計測による結果の分析を実施した。結果的に調整可能となるようなフィラープレートを設けて再製作などの手戻りがなく、精度よく施工できた。

(4. 現場施工の安全確保と合理化

4. 1 海上施工の安全性確保

(1) 海上施工の概要

P2・P3主塔及びP4橋脚は、海上部であるため、本工事では、アンカー係留式クレーン付台船及び運搬台船により部材を運搬し、耐震補強を行った。

(2) 海上船舶交通に配慮した計画

海上施工箇所が管制航路(北航路)付近であり、 航路への影響を低減するため、写真-11(a)に示す ように、クレーン付台船の停泊位置を主塔基部の北 側に計画した。

なお、クレーン付き台船の係留方法は水深を考慮 して、一般的なワイヤー方式を採用している。

海上航路横断回数を削減できるように努め、一般 軽量部材と重量部材は、それぞれ別の運航経路とし、 1日1~2往復程度に計画した。

さらに、写真-11(b)に示すように塔基部に張出構台を設置し水切りクレーン(25t RRC)により運搬台船から直接部材を取り卸す方法を採用し、航路への影響軽減を図った。

(3) 海上の安全監視システム

海上作業時に、工事区域を挟み込む形で警戒船を 2隻配備し警戒要員による目視監視を一般的な施工 方法として実施した。その他にVHF無線・船舶自動 識別装置(以下AIS: Automatic Identification Systemと示す)を搭載したことで、一般船舶に対し て工事区域内の進入及び工事作業船への異常接近防 止の注意喚起、問い合わせに対する情報提供などが 実現できた。

台船を曳航する引船にもVHF無線を配備したこと により、航行経路の時間を調整し、大型船舶が多数



写真-12 上部架台上で部材を運搬する状況





(a) 吊上げ状況

(b) 盛替え状況

写真-13 端部ウインド支承の施工状況

航行する管制航路の混雑を回避できた。

4. 2 高所かつ狭隘部での安全性確保

本工事では、主要部材で8.0t程度(最大14.0t)の重量物を取り扱い、40m以上の高さを有する端橋脚と主塔部で耐震補強工事を実施する。そのため、高所作業における安全を最優先とし、以下を着目点として検討し施工した。

(1) 作業スペースの確保

主塔横梁上での作業スペースを確保するため、常設上部架台及び吊チェーンの間隔が広いクイックデッキ足場を設置した。写真-12に上部架台での施工状況を示す。

(2) 部材吊上げ・吊下げの合理化

電動・手動チェーンブロックを使用した吊上げ架台兼足場を使用する計画とした。2~4台の電動チェーンブロックを同調するシステムを構築したことで、より安定的に吊り上げることが実現できた。最大部材14tの新設ウインド支承を吊り上げている状況を写真-13に示す。

(3) 部材移動の効率化

狭隘なスペースで、大きな部材の移動の効率を向





(a) 吊上げ状況

(b) 横移動状況

写真-14 桁付き横梁の施工状況





(a) 地組·吊設備

(b) 吊り上げ状況

写真-15 足場材の施工状況

上させるため、吊り上げ後、円滑に運搬レール設備 に盛り替えられるように運搬経路を工夫した。端部 制震ダンパー工における桁付き箱桁を運搬する状況 を写真-14に示す。

(4) 空中作業の軽減

使用したクイックデッキ足場は、積載可能な荷重 が大きい反面、重量が他の足場と比較して重い。橋 体の幅員が広く、必要となる足場の範囲も広いため、 全体一括吊上げが困難である。そのため、写真-15 に示すように2~3回に分割し、チルクライマー2~ 4台にて吊上・撤去工を行った。

(5) 監視カメラの導入

支承取替中の常時監視による安全確保などを目的 とし、各施工橋脚に1~2箇所の監視カメラを設置し た。

4.3 現場施工管理の要点

「供用路線の機能の維持」、「耐震補強部材の品質 確保」、「安全」、「効率」などの目標で、施工管理の要 点を、以下のように整理した。

(1) 工程管理:設計・製作・現場の連携強化

保全工事では、既存の桁に補強材の取付けまたは 取替えなどが行われるため、当時の製作誤差及び施 工誤差の把握が不可欠であるため、実測を基に各部 材の製作が基本である。よって、工程への影響を抑 えるよう現場計測責任者を定め、設計図面の作成・ 製作に要する期間などの情報を明確するために、月 1回の頻度で関係者全員の生産調整会議を実施した。

(2) 品質管理:耐震補強デバイスの機能保証

複雑な挙動を示す斜張橋に耐震補強デバイスを設 置するにあたり、その機能を確実に発揮できるよう、 事前調査で分析した全体挙動を品質及び出来形規格 に反映した。また、各施工段階では想定した範囲の 挙動であるか計測するとともに、施工後にも異常が ないことを確認した。

- (3) 安全管理:作業環境の整備と手順の周知管理 制約が厳しい作業条件で、次の安全管理を徹底し、 リスク軽減を図った。
- ① 作業環境整備:作業スペースを確保する架台、足 場等の仮設備計画を行うとともに、空中作業軽 減のため、機械化施工による足場材の吊上げ・下 げを実施した。
- ② 作業手順の周知徹底:各施工段階での詳細計画 をもとに工種・作業班毎に手順会議を全員参加 で行った。さらに主要工種では発注者と施工者 の店社技術者を加えて実施し、手順の周知、注意 喚起、意見集約による改良・改善で安全性向上と 効率化を図った。

4. 4 施工内容

- 4. 4. 1 端橋脚部 (P1 · P4)
- (1) ウインド支承改良工

橋軸直角方向への抵抗力を向上する目的で、既設 ウインド支承を新設ウインド支承に取り替えるもの である。施工手順を以下に列記する。

- ・橋軸直角方向の横変位制限装置の設置
- ・既設支承撤去:下沓をはつり撤去した後、セット ボルトを撤去し上沓を撤去した。
- ・ 桁内補強材の設置
- ・新設支承設置:橋脚天端より削孔し、新設アンカ ーボルトを定着し、既設ペデスタルフレームを流 用しながら、沓ベースプレートを溶接で固定した。 施工時の留意事項は、ウインド支承の機能を損な うことがないように上沓と下沓の隙間について高 さ方向55mm、左右方向2mmのすき間を適切に確保 することであった。

また、事前計測結果および撤去した既設ウインド 支承のガタツキや回転状況が確認されたことから、 桁の移動あるいは回転を妨げないように新設支承の 平面位置の設置に配慮した。

写真-16に移動レールを設置した施工状況を示す。





(a) 既設ウインド支承の撤去

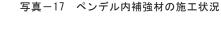
(b) 新設ウインド支承の取込 写真-16 ウインド支承の移動レール施工





(a) 斜めレールにて運搬

(b) 盛替え・回転作業







(a) 荷揚げ

(b) 横移動





(c) 回転作業

(d) 設置完了

写真-18 端部制震ダンパーの施工状況

(2) 制震ダンパー設置工

地震時に発生する移動量を抑制するための耐震化を図る工種となる。端橋脚部においては、ストローク長が650mmとなる日本最大級の規模となり、橋軸方向6本/脚を設置した。施工手順を以下に列記する。

- 桁内補強材の設置
- ・上部工定着横梁の設置:横梁本体が大きいため、 吊上げ架台2台を組み合わせた状態で吊り上げ、 橋軸直角方向移動用のレール設備に盛替え、移動 作業を行った。桁下フランジまで持ち上げる際に、 ボルト孔を利用して盛替えながら吊る場合、桁内 設備の設置が多く発生し、危険をもたらすなども 考えられるため、重心バランスの確保を踏まえた 移動架台に嵩上げ用の仮設材を設置し、対応した。
- ・コンクリート躯体のペンデル側補強材の設置:桁下空間が狭く、部材を横持ちの状態で取り込むことに加え、新設ウインド支承との干渉がないように平面的に斜めのレール構造にて対応した。また、コンクリート躯体と連結するため、上記の作業を行う前にアンカーボルト削孔および定着を行った。写真-17に狭隘部へ移動・回転の作業状態を示す。
- ・下部エブラケットの設置:ペンデル側補強材との 取り合いを確認のうえ、設置した。
- ・制震ダンパーの設置:精密であり、標準温度時に 5m程度の長いダンパーを確実に設置できるように 架台による吊り上げ、レール設備による運搬、所

定位置での作業などを施工した。写真-18にダンパーの施工状況を示す。

・温度変化による移動量確認:温度変化移動量が端 橋脚部で約7mm/℃と比較的大きいことから、実際 の温度変化に追随しているかを目視にて確認した。 異音がなく、シリンダーが円滑に移動できるもの と判断した。

施工中の留意点は、以下のように挙げられる。

- a) 施工時の桁温度変化により、桁側横梁と下部エブラケットの間隔が設計値より常時変動している。 特に間隔が短い場合は、事前にダンパーを工場か現場かで短くする必要がある。
- b) クレビスとダンパー本体との連結部に関して、傾 斜角度が大きい場合、常時移動するときに干渉し、 パッキン材の破壊などが想定される。さらに、活 荷重による回転影響も含めて、製品メーカー推奨 の傾斜角度±3°に対して、±2°以内で管理した。
- c) ダンパー本体において、シリンダーを保護するカバーがあるが、肉厚が薄いため、吊点として使用できない。また、回転作業を容易に行うため、1点吊りとして、回転するに伴い、吊足場のチェーンを一時的に外す時の安全性の検討が必要である。

4. 4. 2 主塔部 (P2·P3)

(1) 下段梁検査車の撤去工

建設時に維持管理用として、設置された下段水平 梁検査車は検査用階段の設置による維持管理へ変更 する方針が決定されたため、撤去を実施した。

吊設備の設置関係で、桁の中心部より吊下げることとした。直下の基部側には、照明設備への防護として、山留材にて下部架台を組み、一時的な仮置き台とした。写真-19に下段水平梁検査車の施工状況を示す。





(a) 中央に移動後

(b) ガイドワイヤ設置





(c) 降下中

(d) 下部架台に仮置き

写真-19 下段水平梁検査車の施工状況





(a) 既設鉛直沓の撤去





(b) 移動中の新設沓



(c) 新設沓の横移動

(d) 新設支承の設置完了

写真-20 鉛直支承取替えの施工状況

(2) 鉛直・水平支承の取替・設置工

主塔部の既設ピボットローラー支承をすべり支承 に、鋼製水平支承を免震ゴム支承に取り替え、耐震 化を図る工種となる。施工手順を以下に列記する。

- ・ジャッキアップ補強材の取付け
- ・ジャッキ設備の設置:不均等20%を考慮した支点 反力が14400kNとなるため、公称能力の80%を踏 まえ、5000kN補修用ジャッキ4台/1支承を選定し た。
- ・鉛直支承の取替: 既設鉛直支承を撤去し、新設鉛 直支承を設置する。ここでの留意点として、すべ り支承における上層台座が大きく(2.6mx2.5m)、 鉛直力を負担した後、ジャッキ作業によるたわみ のリバウンドにより、桁下高さが撤去前の状態士 3mmを確保できるかの課題があった。施工中に一 時的にジャッキダウンし、鉛直力の影響を吸収し た上で再度ジャッキアップし計測を行った。高さ、 テーパー加工は、計測結果を分析し、下層台座に て調整するように対応した。写真-20に鉛直沓撤 去・設置の状況を示す。
- ・横変位制限装置の設置
- ・新設免震ゴム支承の設置および既設鋼製水平支承 を免震ゴム支承に取替え:上層台座とゴム沓を一 体として設置した後に、下層台座を設置する。最 後にゴム支承台座を下層台座に溶接にて固定する 施工順序とした。写真-21(a)、(b)、(d)に水平支 承撤去・設置の状況を示す。施工中の留意点は、 以下のように挙げられる。
- ① 鉛直力を負担しないように設計値のクリアラ ンス20mmに対し、下限12mmとして管理した。
- ② 上層台座とゴム沓を設置後、主塔天端までの 距離を計測し、高さとテーパー加工を下層台座 に反映し水平度を確保した。



(a) 既設水平沓の撤去

(b) 既設水平沓の撤去移動





(c) 強制変位を与える

(d) 新設支承の設置完了

写真-21 水平支承取替えの施工状況

③ 溶接前に、温度変化でゴム沓と下層台座がず れていることが多いことから、中心位置を合致 させるため、仮設材により強制変位を与え、所 定位置にボルトにて仮固定したうえで、溶接を 実施した。写真-21(c)に新設ゴム沓設置時の強 制変位を与える状況を示す。

(3) 主桁断面補強工

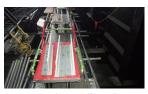
大規模地震時に主桁腹板の局部座屈が発生する範 囲に座屈防止の補強材を設置した。設置範囲は主に 側径間に集中し、アングル型補強材をボルト連結す る構造である。

施工区間が長いため、主塔付近及び端橋脚に設置 した1~2箇所のマンホールから桁内に部材を取り 込み、足場材にて組んだ運搬経路にそって、所定位 置まで移動し、設置した。

本工事では、合計約800tの部材(1部材最大95kg) を運び、施工した。比較的工期が長い工種であるた め、押し型電動三輪車を運搬設備としたことで、大 幅に作業者の負担を低減することが実現できた。写 真-22に補強材の施工・設置の状況を示す。

(4) 制震ダンパー設置工

主塔部では1塔当たり橋軸方向8本、橋軸直角方 向4本のダンパーを設置した。ダンパーは上部架台 上で横移動運搬を行った。





(a) 桁内運搬設備

(b) 桁内補強材設置完了

写真-22 桁内補強材の施工状況





(a) ダンパー (橋軸)

(b) ダンパー (橋直)

写真-23 主塔部制震ダンパーの設置状況

建設時の出来形に対応するため、P3主塔と主桁の標準温度における橋軸方向が50mm程度のずれに対し、上部エブラケット側の偏心に対応する改造を行った。写真-23に2方向のダンパー設置状況を示す。

(5) MCD撤去工

弾性拘束ケーブルを免震ゴム支承と一体とし地震に抵抗する名港西大橋上り線の耐震方針^{3) 4)} と異なり、本工事では、将来のメンテナンスなどを考慮し、完全に撤去する方針とした。施工手順を以下に列記する。

1) 防護柵改造と既設反力梁の補強

計測から得られたケーブル張力及び撤去時点の温度による張力増減を踏まえると、650t程度が必要となる。よって、800tのセンターホールジャッキを選定した。ジャッキ設備が大きく、桁内運搬が不可能であったため、建設時に使用された橋面の既設マンホールよりアクセスするように計画した。しかし、中央分離帯の中段防護柵がジャッキ取込に支障となるため、一時的に撤去・復旧を容易に行えるように、ボルト連結の構造に変更した。

建設時に設置された張力導入用反力梁は、後死荷重の影響を考慮しておらず、設計反力が400tで今回のケーブル解放の張力を負担できないため、事前に当て板などで補強した。写真-24に防護柵の改造と反力梁の補強完了状態を示す。

2) ジャッキ設備の取込

追越し線の規制で、路面よりジャッキ本体、ラム





(a) 防護柵の改造

(b) 反力梁の補強

写真-24 MCD解放の準備工



Tital Control of the Control of the

(a) ジャッキ本体取込

(b) 3mテンションロッド





(c) 張力解放設備の設置

(d) 電動ポンプ操作

写真-25 MCD張力解放設備の施工状況

チェア、テンションロッド及び緊張カプラーなどの 張力解放用設備の取入れ作業を行った。写真-25に ジャッキ設備の取込・設置及び操作の施工状況を示 す。

3) 緊張力解放

各主塔部における中央径間側ケーブル張力は側径間より約500t高い状態であり、撤去時の温度を考慮した予想値と近似した。各主塔部で張力均等な状態に戻すため、段階的に2本のケーブルを交互に張力解放した。橋梁全体でのバランスを確保できるよう張力解放手順を決定し、作業時に生じる主塔水平梁上のケーブル定着用突起部の「ねじり抵抗力」を事前に照査し、作業時の安全性を確保した。上記の手順の繰返しで、8本のうち、4本を完全開放させるとし、残置の4本の解放手順に関しては、張力の低い側径間に合わせるまで中央径間の張力を先行して解放したうえで、4本を同時に50tずつ、完全開放まで実施した。図-16に張力解放イメージを示す。

4) 弾性拘束ケーブル及び定着の突起部の撤去 ケーブルは、1.5~2m程度に切断し、水平梁上の突 起部は、吊下げ設備能力を踏まえて細かく切断した。 撤去部材は主塔部の吊下げ設備により運搬した。写 真-26にMCDの撤去状況を示す。

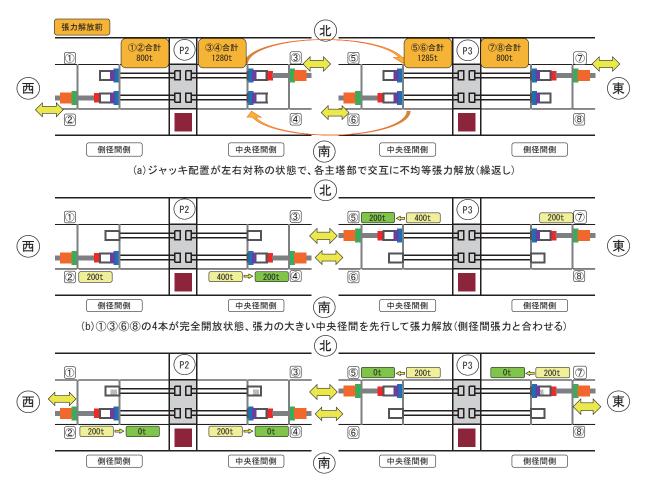




(a) ケーブル切断

(b) 定着の突起部切断

写真-26 MCD撤去に伴う施工状況



(c) 張力均等となる状態から4台同調張力解放

図-16 MCD解放手順の3段階

5) 開口部の改造工

撤去部の開口箇所は、鳥の侵入防止及び桁内への アプローチ確保のため、補強材などで開閉可能な構造として開口処理を行った。

4. 4. 3 その他

電気施設撤去設置工・検査路等の付属物設置工等 を施工したが、書面の関係で割愛する。鋼床版き裂 補修についてTRSボルトを使用した新工法を採用し ており、機会をみて成果を整理したいと考えている。

5. おわりに

本稿では、供用中の長大斜張橋における施工時の 安全確保、出来形を精度良く管理するための施工方 法を具体的に表現できるよう努めた。

筆者が初めて経験した補修・補強工事のため、手探りの部分が多く、施工途中に様々な制約条件や解決すべき課題が多く発生していることが印象的であったが、現場管理者および協力会社の協力で、工期を延期させることなく無事故で工事を完成させることができた。

これら工事を無事完了することができたのは、中

日本高速道路(株)名古屋支社の強いリーダシップの もと、安全第一・品質確保を基本とし、JV組織であ る瀧上工業・MMB・日立造船3社が一心一体とな って取り組んだ結果であると考える。

世界中で、老朽化によるインフラの補修・補強な どへの注目度が高まっている。本工事の取り組みを 今後の保全工事に生かし、社会インフラへの貢献が できるよう研鑽していく所存である。

最後に中日本高速道路株式会社をはじめとする関係者の皆様に御礼を申し上げるとともに、引き続きのご指導を宜しくお願い致します。

【参考文献】

- 1) 日本道路公団:伊勢湾岸道路工事誌、H10.3
- 2) 日本道路公団:伊勢湾岸道路 名港中央大橋(鋼上 部工)東主桁工事 工事報告書(架設編·2/2)、H9.4
- 3) 安藤博文、細川浩一、宮崎重行、畠山智行、畑中栄太、 亀山誠司:伊勢湾岸道路 名港西大橋(上り線)の耐 震補強工事、橋梁と基礎、pp.13-19、2018.11
- 4) 畠山智行、畑中栄太:斜張橋の耐震補強に関する工夫 (施工編) -名港西大橋(上り線)耐震補強工事-、 技報たきがみ VOL.35、pp.11-22、2018.

仮設ブラケットの性能試験と現場実証 トポロジー最適化を用いた鋳物ブラケットの開発

中村 将章 *1 松村 寿男 *2

1. はじめに

高度経済成長期に建設された橋梁の老朽化が進行し、橋梁の損傷が増加している。橋梁の定期点検1 巡目では、全国の約72万橋のうち10%で早期修繕が必要であるとの結果が報告されている¹⁾。修繕の必要な橋梁が急増する一方で、予算等は限られているため、合理的かつ効率的な修繕を実施していく必要がある。近年では、従来型の事後保全ではなく予防保全の重要性が高まっており、橋梁の大規模な改築や更新工事等の保全工事が多く発注され、橋梁の保全市場が急速に拡大している。

橋梁の更新工事においては、その路線が担う機能や交通量などの社会的影響が大きいため、多くの制約条件のもと、供用中の路線への影響を最小限に施工する必要がある。また、最新の技術的知見や技術基準を適用して長期耐久性を確保しつつ、工期短縮の実現が求められるため、現場実証を通して新技術の開発や導入を積極的に実現することが重要である²⁾。

保全工事の施工にあたっては、現地の状況を踏まえたローカルルールの適用など、明確な設計基準が整備されていないのが現状であり、施工方法は施工者のノウハウによるところが大きい。一方、保全工事は、施工の自由度が高く、新設工事と比べて仮設部材や施工設備が多いため、様々な開発技術を採用しやすい環境であるとも言える。

鋼構造の仮設部材は鋼板同士を溶接で組み立てて

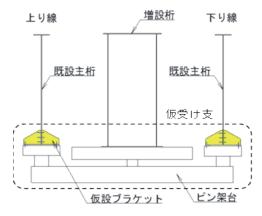


図-1 仮設ブラケットの適用計画図

構成されるが、基本的には鋼板の組み合わせによる 単純な構造となるため、実現できる形状には限りが ある。また、作用荷重に対して部材断面が溶接部で 決定される場合は、部材断面に余裕が発生し効率的 とは限らない構造となる。

一方、近年ではデジタル技術としてトポロジー最適化や3Dプリンティング技術が急速に進歩しており、複雑な形状でも一体製造が可能となってきている。加えて、大型化も進み橋梁の付属物などに適用できる大きさの部材製作も可能となってきた3)。

筆者らは、一連の研究開発において、本設構造である落橋防止ブラケットの新構造の開発を試みている³)。本稿では、本設構造での適用に先がけて、まずは仮設構造での適用のために、橋梁の保全工事に用いられる仮設ブラケットを対象として、溶接による接合を必要としない鋳物製品による軽量かつ高剛性な形状をトポロジー最適化手法にて導出し、新しい仮設ブラケット形状を提案する。その後、三次元砂型積層造型機を使用して提案形状の実物大試験体を製作し、荷重実験による性能評価を行う。さらに、提案形状の仮設ブラケットを保全工事にて実際に使用し、現場実証計測結果および現場での実際の使用感について報告する。なお、本稿は文献5)に加筆、編集を施したものである。

(2. 仮設ブラケットの設計

2. 1 仮設ブラケットの適用目的

本稿で対象とする仮設ブラケットは、橋梁の保全工事の支材としての適用を想定している。具体的には、工事期間中に供用路線の車線数を減少させないよう既設の上り線と下り線の間に架設する増設桁を一時的に仮受けする支材の一部として使用する。図ー1のように、既設主桁下部のウェブ両側に仮設ブラケットを設置し、上り線と下り線の間に架台を渡して、架設時に増設桁を一時的に支持する。仮設ブラケットは、橋軸方向にわたって、増設桁1ブロックあたり8基配置され、適用数は比較的多くなる。

^{*1} 設計開発グループ 設計開発チーム 主任 *2 技術企画グループ グループリーダー

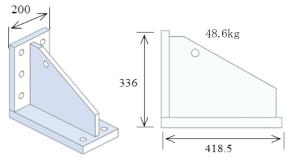


図-2 現行の仮設ブラケット形状

表-1 トポロジー最適化解析に用いる材料特性

ヤング率 (GPa)	170
ポアソン比	0. 28
0.2%耐力 (MPa)	360
伸び (%)	2
密度 (g/cm³)	7. 2

なお、仮設ブラケットは、他の橋梁への転用も可能 だが、本工事の荷重条件(設計荷重144kN)にて設 計しており、他工事では設計条件が変わることから、 工事完了後にはスクラップとなる。

2. 2 従来構造

現行の仮設ブラケットは、図-2に示すとおり、 鋼板SM490Yを溶接で組み立てたL形の形状である。 L形の鉛直部(背面)の孔で既設主桁とボルト接合 され、水平部先端の孔で下フランジ下部の梁部材と 連結される。

仮設ブラケットの設計荷重は、上下線の桁に作用する不均等荷重を考慮した値である。仮設ブラケットのボルトに作用するせん断力と引張力の照査により、ボルト本数を6本とし、背面はボルトが配置できる高さに設定した。仮設ブラケットは片持ち梁として設計し、曲げモーメントに対する照査を行った。また、曲げにより上部2本のボルトに引張力が作用するため、引張力に対する照査も行った。設計断面はL形の水平部とリブからなる逆T形とした。現行形状は、最小板厚が22mmであることやボルト配置でリブ高が大きくなることなどにより、曲げモーメントによって生じる応力に対しては、断面は比較的余裕がある形状となっている。

2. 3 トポロジー最適化の解析条件

トポロジー最適化の設計を行うにあたり、一体化で自由形状が可能な鋳物製とし、使用材料は強度や 剛性の観点から、鋳鉄の中では弾性範囲が比較的広

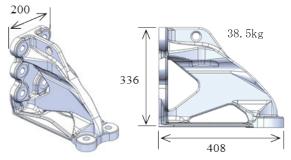


図-3 提案する最適形状

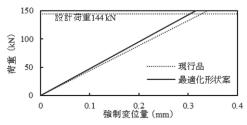


図-4 提案形状の剛性(荷重-変位図)

く耐力に余裕があるFCD600 (球状黒鉛鋳鉄)とした。 その材料特性は表-1のとおりで、応力-ひずみ関 係はバイリニア型とした。また、現行形状と同様に、 二次勾配は降伏点と、引張強度と伸びの交点を結ぶ 直線とした。ブラケットの基本性能の一つは、載荷 時の変形量が小さいことである。現行形状よりも剛 性が高く、かつ設計荷重において弾性領域であれば、 現行形状よりも変形量を小さく抑えることができる。 よって、これらを設計条件とした。つまり、剛性は 「現行形状と同等以上であること」、応力は「設計荷 重において弾性領域であること」を条件に設計を行 った。拘束条件は、背面のボルト締結部6カ所の座 面部を完全固定とした。また荷重条件は、先端のボ ルト締結部2ヶ所の座面部に、Z方向に10mmの強制 変位を与えた。トポロジー最適化の目的は剛性最大 化、制約条件は質量として、密度法を用いて解析を 行った。トポロジー最適化解析ソフトは、くいんと 社製のHiramekiWorksを使用した。

2. 4 トポロジー最適化による新構造

トポロジー最適化の解析結果として導出形状を図-3に、剛性(荷重-変位図)を図-4に示す。これらの結果より、提案形状は現行形状よりもやや剛性が高く、設計荷重範囲において直線性を保っており、弾性とみなせることが確認できた。また、提案形状の質量は38.5kgであり、現行形状48.6kgに対し、約20%の軽量化を達成できた。

この提案形状の設計荷重載荷時(144kN)のミー

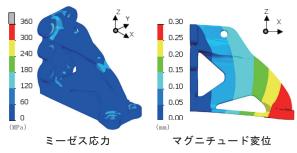


図-5 提案形状の解析結果





写真-1 三次元砂型積層造型機と砂型 (イメージ)





写真-2 鋳造の様子と鋳造された試験体

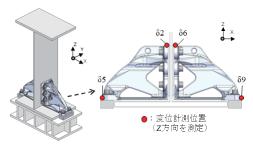


図-6 実験状態イメージと変位計測位置

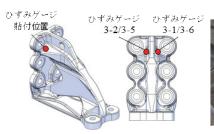




図-7 ひずみ計測位置

ゼス応力、マグニチュード変位を図-5に示す。使用材料であるFCD600の0.2%耐力は360MPaであり、ミーゼス応力の最大値(150MPa程度)はこれを十分に下回っている。以上より、導出した提案形状は現行形状に対して、同等以上の性能を確保した上で軽量化が図れているといえる。

(3. 新構造の性能試験)

トポロジー最適化技術を用いた提案形状の性能を 評価するために、実物大の試験体を製作し載荷実験 を行った。

3. 1 実験方法

新構造の性能試験は図-6に示すように現行品の 使用環境を再現するために2体1セットとした。仮 設ブラケット以外の箇所での破壊を避けるために、 実験治具は高強度化したが、仮設ブラケットの固定 用高力ボルト (F10T) のみ現場で適用するものを使 用した。図-6には変位計測位置を示す。変位は荷 重方向 (Z方向) を測定した。図中では省略してい るが、実験を確認できるように、変位計は図中で示 した箇所以外にも適宜配置している。

試験体の組立にはレーザ水準器を使用し、試験機に対して、軸のズレが無いように組み立てた。また、 無負荷状態で極力ひずみが発生しないように、ひず み値を測定し、その数値を監視しながら位置調整、 締結調整などを行った。

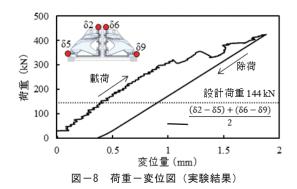
ひずみの計測位置を図-7に示す。解析の結果より、大きな応力の発生が見込まれる箇所に対しては、 1体当たり2ヶ所の合計4ヵ所に3軸ゲージを貼付した。また、2体の仮設ブラケットの荷重に対する 負荷のずれ確認や主要部分での応力状態の確認のために、図中で示した箇所以外にもひずみゲージを貼 付している。

試験機や計測機器は信頼性が高く校正されたものを使用した。また、載荷サイクルは現行品の設計荷重144kNを基準に段階的に載荷し、最終的には設計荷重の3倍である430kN付近まで載荷した。

3.2 実験結果と考察

仮設ブラケットの荷重-変位図を図-8に示す。 これは、変位計測位置 δ 2 と δ 5 の Z 方向差分、 δ 6 と δ 9 の Z 方向差分を 平均 したものである。

試験機のストローク変位は、300kNを超えたあたりで、高力ボルトの滑りが原因とみられる剛性の変化が現れた。仮設ブラケットの変位は、上部と先端



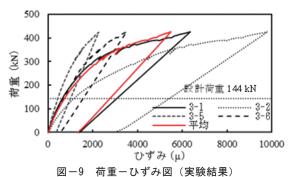






写真-3 浸透探傷試験の結果



写真-4 実験後の高力ボルト

部の差分としているため、大きな影響は除外されると考えられたが、それでもデータのブレは発生した。このデータのブレについて考えられる原因としては、6本のボルトにおけるそれぞれの部分的な滑りやその滑るタイミング、それぞれのボルトとボルト孔との接触やその接触するタイミングなどにより、ブラケットの変形状態が複雑に変化したことが挙げられる。

荷重-ひずみ図を図-9に示す。図中のひずみは 図-7のひずみゲージ3-1、3-2、3-5、3-6の3 軸ゲージの計測結果から算出した最大主ひずみであ る。また、この4ヵ所を平均した値も重ねて示す。 ひずみゲージは対称位置に貼付したため、均等荷重 の場合、これら4つのひずみ値は等しくなるが、実際にはひずみゲージ3-2の位置に偏って荷重が載 荷されている結果となった。250kN付近までは、ひずみゲージ3-1と3-6はほぼ同じ剛性を示しているが、ひずみゲージ3-2や3-5は低荷重時から異なる剛性を示している。このことから、設計荷重144kN以下の早い段階で荷重の偏りが発生していたと考えられる。

実験で最も高いひずみを示した、ひずみゲージ 3-2の貼付箇所の損傷を確認するために、浸透探傷 試験を実施した。その結果、写真-3に示すとおり、 ひび割れなどは確認されなかったため、設計荷重の 3倍の荷重を載荷しても当該箇所の損傷は発生して いないと考えられる。

仮設ブラケットの取り付けに使用した高力ボルトの実験後の外観を写真-4に示す。この写真より、高力ボルトが塑性変形していることが確認できる。摩擦接合面ですべりが生じ、支圧状態となったボルトに大きなせん断力が作用したことで変形したと考えられる。高力ボルトの材料 (F10T) は、引張強さに対して降伏点が非常に高く塑性領域が小さい材料であるため、破壊直前の状態であったことが想像される。

以上の結果より、実験を行った提案形状の仮設ブラケットは、設計荷重に対して十分な強度を有しているといえる。また、仮に実際の施工環境で想定を超える過度な載荷の偏りが生じた際には、仮設ブラケットよりも先に高力ボルトの破壊が起きる可能性が高いといえる。

このように、鋳物ブラケット自体は非常に高強度であることが証明されたが、ボルトが先行して破壊することが予想されるこの結果は、必ずしも望ましい終局状態とはいえない。そのため、本手法で設計を行う場合には、終局状態の十分な検討が必要である。なお、今回提案の鋳物ブラケットについては、仮設であることと、鋳物ブラケットも高力ボルトも設計荷重に対して3倍程度まで耐え得ることから、大きな耐荷力を有しており、現場での適用にあたって問題はないと考える。

(4. 新構造の現場実証計測)

別紙で報告しているとおり、新構造は将来的には トポロジー最適化により形状を導出した部材を本設

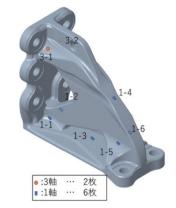


図-10 ひずみゲージ貼付位置



写真-5 仮設ブラケット設置状況

構造で適用することを考えている⁴⁾。まずは仮設構造での適用および評価を実施するために、橋梁の保全工事の増設桁架設で新構造のブラケットを適用し現場実証計測を行った。

4. 1 計測方法

現場実証計測における試験体は全部で4体である。 増設桁の支持箇所は1径間で複数箇所あるが、鋳物 ブラケットは同一箇所に4体設置する。第2章で前 述したとおり、図-1に示すように既設桁のウェブ 下部両側にブラケットを設置し、ブラケット先端で ボルト接合することで下フランジ直下に梁部材を設 置した。梁部材と支材を連結し既設桁間で増設桁を 仮受けする。支材に増設桁が載ることで、梁部材を 通してボルト接合部から仮設ブラケットへ荷重が載 荷される機構である。図-10に示すとおり、仮設ブ ラケットに1軸のひずみゲージおよび3軸のひずみ ゲージを貼付し、ひずみを計測した。ひずみは30 分ごとに自動計測するよう設定し、増設桁架設前か ら計測を開始して、増設桁を仮受けしてから仮受け を開放した後で計測を終了しデータを取得した。現 場における仮設ブラケットの設置状況を写真-5に 示す。

4. 2 計測結果

計測結果についての具体的な考察は今後の報告に委ねる予定であるが、増設桁の仮受け時に材料の規格の降伏ひずみを超える高いひずみがリブの付け根R部(ひずみゲージ:3-1、3-2)で計測された。応力集中などによって局所的にブラケットが塑性化した可能性があるため、残留ひずみが生じていないか確認する必要がある。また、1軸ゲージを貼った箇所のひずみは小さく、弾性範囲にとどまっており、実験と概ね近い値であった。

4. 3 新構造の使用感

新構造の鋳物ブラケットは、増設桁の架設で問題なく使用することができた。従来構造の溶接ブラケットに比べた新構造の鋳物ブラケットの使用感を現場作業員にヒアリングすると下記のとおりであった。

- ・当初のブラケットより軽くなっているため取り付けが楽だった。
- ・持ちやすい形状で取り付けするのが簡単だった。
- ・鋳物ブラケットのようにほかの部材も軽量化でき れば運搬などが楽になるので助かる。
- ・特殊な形状なので座屈しないか不安だった。

ヒアリング結果より、新しい形状の部材の使用は、はじめは多少の抵抗があるようだが、実際に使用してみると軽量化されたことで現場作業が楽であったと好評であった。持ちやすい形状になったことで取付け作業が楽になったことは予想外であった。今回の現場実証より、トポロジー最適化技術によって架設用部材の形状を最適化し軽量化することで、現場作業の負担低減や安全性を向上させることが期待できる。

(5. おわりに

橋梁の保全工事に用いられる仮設ブラケットを対象として、溶接による接合がない鋳物製による軽量かつ高剛性な新しい形状を、トポロジー最適化手法により提案した。現行形状と比較して約20%の軽量化を実現でき、剛性および弾性範囲ともに現行形状を上回ることができた。また、載荷実験にて性能評価を行い、製品として想定する荷重条件で適用できることを確認した。耐力としては問題無いが、設計上ブラケットもしくはボルトのどちらが先に破壊にいたるか、終局状態について十分な検討が必要である。さらに、橋梁の保全工事の支材の一部として仮設ブラケットを適用し、増設桁載荷時のひずみデー

タを取得した。データの考察は今後の報告に委ねるが、仮設ブラケットが適用でき、軽量化されたことで現場の作業負担を減らすことができた。

【謝辞】

本研究は国土交通省の建設技術研究開発助成制度 JPJ000094の助成 (研究代表者:日之出水道機器株式会 社 野村和孝) の研究助成金を用いて実施した。ここに記 して、感謝の意を表する。また、本研究の実施に際しては、 名古屋大学の関係者、日之出水道機器株式会社の関係者、 ヒノデホールディングス株式会社の関係者、特に解析・設 計サポートチーム、当社の関係者、特に織田上席技術顧 問、内田義光グループリーダー、高須英輔氏、ダニエル・ アペンヨ氏に多大なるご協力をいただいた。ここに記して、 感謝の意を表する。

【参考文献】

- 国土交通省:橋梁等の平成30年度点検結果をとりまとめ~道路メンテナンス年報(一巡目)の公表~、https://www.mlit.go.jp/common/001302572.pdf、2019.
- 2) 土木学会鋼構造委員会:鋼構造シリーズ26鋼橋の 大規模修繕・大規模更新-解説と事例-、pp.47-48、土木学会、2016.

- 3) 土手一朗、北田幸夫、甲斐信博、野村和孝、酒井成史、松村寿男、中村将章、加藤準治:トポロジー最適化手法を用いた非溶接橋梁用ブラケットの開発、第77回年次学術講演会講演概要集、p. CS11-05、土木学会、2022.
- 4) 北田幸夫、土手一朗、松村寿男、中村将章、加藤 準治:トポロジー最適化技術を用いた落橋防止ブ ラケットの形状導出、土木構造・材料論文集、第 38号、2022年12月
- 5) 北田幸夫、黒川貴大、長崎怜、松村寿男、中村将章、加藤準治:トポロジー最適化技術を用いた仮設ブラケットの設計及び評価、構造工学論文集、 Vol.69A、2023年3月
- 6) 西野崇行、加藤準治、京谷孝史:幾何学的非線形性と荷重条件の不確かさを考慮したトポロジー最適化、日本計算工学会論文集、日本計算工学会、Paper No. 20190004、2019.
- 7) 鎌田浩基、加藤準治、京谷孝史:トポロジー最適 化による構造強度向上を目的とした主応力方向分 散制約の提案、日本計算工学会論文集、日本計算 工学会、Paper No. 20200006、2020.

トポロジー最適化理論に基づいた 仮設ブラケットの設計法に関する一考察 フレーム構造による簡易計算

松村 寿男 *1 中村 将章 *2

1. はじめに

近年、トポロジー最適化(数理的な最適化理論に基づいたコンピュータ上での構造物の最適化形状の導出)および3Dプリンティング技術の急速な進歩により、鋼構造部材の複雑な形状の実現が可能となってきている。専用ソフトを使用することで、与えられた条件をもとに、コンピュータが自動で最適な形状を導出することが可能だが、その形状に対する力学的な評価については設計者が行う必要がある。筆者らは、トポロジー最適化および鋳造用砂型の3Dプリンティング技術を応用した橋梁用落橋防止ブラケットの新構造の開発を試みている」。

落橋防止ブラケットは本設構造となるが、まず仮設構造での適用および評価ができないか模索した。本稿では、橋梁の保全工事で施工時の仮設支材として適用を想定している仮設ブラケットを対象として、トポロジー最適化²⁾により導かれた形状(以下、最適化形状)に対する力学的考察を試みる。なお、本稿は文献³⁾に加筆、編集を施したものである。

2. 仮設ブラケットの適用箇所

対象とする仮設ブラケットは、工事期間中の車線 数減少を避けるために、図-1のとおり上下線の間に 架設する増設桁を施工中に一時的に仮受けする支材 の一部である。この支材は2つのブラケットを既設 主桁のウェブの両側に設置して、ブラケットとピン 架台を連結する構造である。

現行形状の仮設ブラケットは、図-2に示すとおり 鋼板SM490Yを溶接で組み立てたL形の形状である。 十分な剛性を確保するために、最低板厚は22mmとし、 形状保持材としてリブを設置した。L形の水平部を片 端完全固定の梁として設計し、設計断面は水平部と リブを組み合わせた逆T形の形状をしている。L形 の鉛直部に明けたボルト孔のうち、上部ボルト2本 については引張力が作用するため、引張ボルトの照 査を行った。

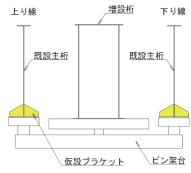


図-1 仮設ブラケットの適用箇所

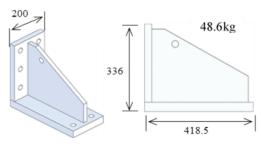


図-2 現行形状の仮設ブラケット

また、ブラケットを吊るための孔をリブに明けて おり、後述の最適化形状の導出時にも、孔は必要形 状として考慮している。

【 3. 仮設ブラケットの最適化形状の導出

仮設ブラケットの最適化形状の導出は、トポロジー最適化解析ソフトHiramekiWorks(くいんと社製)を使用した。最適化条件は、剛性は現行形状と同等以上、応力は設計荷重にて弾性領域とした。L形の鉛直部(背面)のボルト位置を固定とし、水平部先端のボルト位置に設計荷重144kNを与え、制約条件は質量として密度法による解析を行った。

トポロジー最適化理論による解析の結果、図-3に示すような約20%軽量化された形状が導かれた。形状から分かるように、力の伝達性状に基づき、強度上重要な部分は肉厚が大きく、力を負担しない部分では材料が削ぎ落とされ、空洞を有している。従来構

^{*1} 技術企画グループ グループリーダー *2 設計開発グループ 設計開発チーム 主任

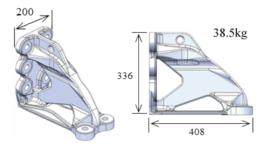


図-3 最適化形状の仮設ブラケット

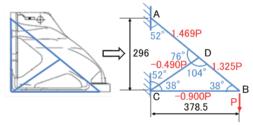


図-4 計算モデル (フレーム構造)

造は水平部を片持ち梁として設計した。一方、最適 化形状では、水平部の板厚が小さくなっている。ま た、荷重作用点から上部ボルト2本に向かう主要部 材が力を伝達しているようであり、その部材を斜材 が支えているような形状をしている。

(4. フレーム構造による計算モデルの仮定)

最適化形状について力学的に考察を試みる。図−4 のように最適化形状の計算モデルをフレーム構造と 仮定し、簡易設計が可能な構造として設定した。フレーム構造の長さおよび角度は、仮設ブラケット製作時の側面図から測り、主要構造の部材ADBと斜材 CDがD点で剛に結合していると仮定した。(ピン結合で仮定したフレームモデルの場合、軸力の発生状況が実験結果と大きく異なることを事前に確認した。)下弦材CBと斜材CDおよび部材ADBの角度は、∠DBC ≒∠DCBであり最適化形状は2つの二等辺三角形で構成される。A点とC点は完全固定とし、B点に対して鉛直下向きに144kNを与えた。

2次元はり要素によるフレーム構造の簡易計算で 求めた各部材に発生する軸力は、解析結果より、鉛 直載荷荷重Pを用いて図ー4のように表すことができ る。部材ADBが引張部材、斜材CDおよび下弦材CB が圧縮部材となっており、最適化形状で導出された 形状のとおり主要構造の部材ADBには大きな軸力が 生じている。部材ADと部材DBに生じる軸力の大き さが異なるのは、部材DBの軸力の一部を斜材CDが 負担していることによるものと考えられ、斜材CD は部材ADBの形状保持の役割を担っていると言える。



写真-1 試験体の設置状況

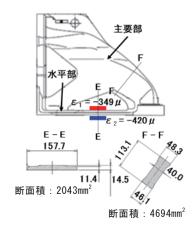


図-5 ひずみ計測位置と断面

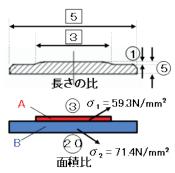


図-6 E-E断面の領域設定

5. 実験と仮定したフレーム計算の考察

仮設ブラケットの最適化形状を3Dプリンティング技術により製作し、荷重載荷試験を実施した。試験詳細は別報で報告するが、試験体は三次元砂型積層造型機により製作した砂型(鋳型)に熱で溶かした金属を流し込むことで製造した。材質はFCD600(球状黒鉛鋳鉄)(ヤング係数:E=170GPa、0.2%耐力: σ 0.2%=360 N/mm²)とした。試験状況を写真-1に示す。ウェブの両側に仮設ブラケットを設置し、下部をボルトで固定してウェブを鉛直方向へ引っ張ることで荷重を与えた。ブラケット水平部の上下面にひずみゲージを貼付し荷重載荷時のひずみを計測した。

設計荷重時 (ブラケット-体あたり144.7kN) の発生 ひずみを用いて、第4章で仮定したフレーム構造の 計算結果と比較する。L形の水平部に生じる軸力に着 目すると、設計荷重時の発生ひずみは水平部の上面 $\tau_{\epsilon_1} = -349 \mu$ 、下面で $\epsilon_2 = -420 \mu$ であることから、 $\sigma = E \varepsilon$ より上面には $\sigma_1 = 59.3 \text{N/mm}^2$ 、下面には $\sigma_2 =$ 71.4N/mm²の圧縮応力が作用している。上下面ともに 圧縮応力が作用しており、応力差が比較的小さい ことから、水平部は圧縮の軸力部材と言える。次に、 算出した圧縮応力をもとに、水平部に生じる軸力を 計算する。図-6に示すとおり、水平部のE-E断面の 形状をA、Bの2つの領域に分割した。領域Aに上面 の圧縮応力、領域Bに下面の圧縮応力が作用する仮 定で計算すると、E-E断面に作用する軸力は 142.6kNとなる。すなわち、実験結果より、水平部に 作用する軸力PBCは設計荷重Pを用いてPBC=0.99P と表される。第4章でフレーム構造と仮定し計算し た場合はP_{BC}=0.90Pであり、簡易計算とは概ね近い 値と考察できる。このことから、最適化形状をフレ ーム構造と仮定して簡易計算することで、部材に生 じる断面力を算出できる。筆者らが検討をしている落 橋防止ブラケットの新構造¹¹においても同様の計算を することで、断面力を導くことができると考えられる。

6. 解析と仮定したフレーム計算の考察

仮設ブラケットの最適化形状のFEM解析を実施し、フレーム構造の簡易計算結果との比較を行う。FEM解析で入力した鋳鉄のバイリニア型の非線形材料特性を図ー7に示す。解析の境界条件は鉛直部のボルト部を固定とし、水平部先端のボルト部に強制変位を与えることで載荷した。

図-8に最大主応力のコンター図、図-9に最小主応力のコンター図、図-10にFEM解析の荷重-変位関係を示す。図-8のとおり、強制変位を作用した水平部先端と鉛直部の上段のボルト部を力が伝達するように、フレームの主要構造の軸力部材(以下、主要部)に大きな応力が生じている。また図-9より、斜材には第4章の簡易計算と同様に圧縮応力が生じている。

最適化形状は第3章のトポロジー最適化により、不要な部分は削ぎ落とされているが、斜材と主要部は仮設ブラケット全体の形状を保持する剛な結合部材として機能していると考察する。すなわち、主要部と斜材の曲げが本機構の重要な機能を果たしていると考えられる。

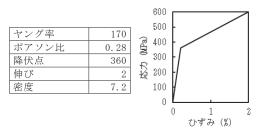


図-7 材料特性

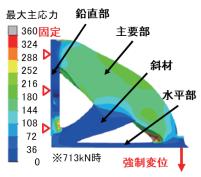


図-8 最大主応力のコンター図

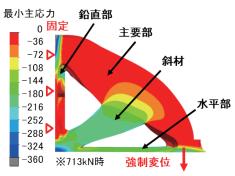


図-9 最小主応力のコンター図

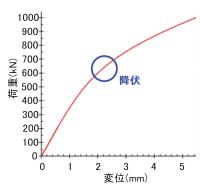


図-10 荷重-変位関係

次に、主要部の最小断面であるF-F断面に着目して降伏時の載荷荷重を計算する。FCD600材料の0.2%耐力は360MPaであることから、断面積を乗ずると、降伏時に主要部に作用する軸力は P_{DB} =1689.8kNと計算できる。図-4のフレーム計算より降伏時に生じる軸力を算出すると、 P_{DB} =1.325Pなので、載荷荷重はP=1275.3kNとなる。図-10に示すFEM解析の荷重-変位関係より最適化形状の降伏荷重は、勾配の変曲

点より約1000kNである。以上より、降伏時の載荷荷 重はフレーム構造の簡易計算では1275.3kN、FEM解 析では約1000kNであり、フレーム構造の簡易計算は FEM解析結果と概ね近い値である。

(7. 道路橋示方書に準じた設計照査

第4章のフレーム構造の簡易計算結果をもとに、 道路橋示方書(平成29年)がに準じて限界状態設計 法による設計照査を行う。今回は主要部の軸方向引 張力に対する照査のみを示す。部材等の耐荷性能は、 次式により確かめることを標準としている。

(作用側)≦(抵抗側)

今回は詳細を省略するが、作用側、抵抗側ともに部分係数を考慮して照査を行う。落橋防止ブラケットについては、「その他性能の照査」に位置づけられており、作用側の係数を考慮する必要はないとされている。

まず抵抗側について、軸方向引張応力度の制限値 σydは次式で示される。

 $\sigma_{yd} = \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \Phi_R \cdot \sigma_{yk}$ …(1) ここに、調査・解析係数: $\xi_1 = 1.00$ 、部材・構造係数: $\xi_2 = 1.00$ 、抵抗係数: $\Phi_R = 0.90$ 、降伏強度の特性値: $\sigma_{yk} = 360 \text{N/mm}^2$ であるので、(1) 式より、

 $\sigma_{\rm yd}$ =1.00×1.00×0.90×365=324N/mm² である。次に作用側について、軸方向引張応力度 $\sigma_{\rm t}$ は次式で表される。

$$\sigma_t = P'/A \qquad \cdots (2)$$

ここに、図-4より軸力: P'=1.469P、設計荷重: P=144kN、図-6より断面積: $A=4694mm^2$ であるので、(2)式より、

 σ t=1.469×144000/4694=45.1N/mm² となる。よって、

(作用側) 45.1N/mm² (抵抗側) 324N/mm² より、限界状態3を満たす。

(8. 今後の展望 `

仮設ブラケットの最適化形状をフレーム構造と仮定して簡易計算することで、実験およびFEM解析と概ね近い値となることが分かった。このことから、現在検討を進めている落橋防止ブラケットの新構造の設計計算においても、同様に計算することで部材の断面力を導くことができると考えられるため、同様の計算で評価を行う予定である。簡易計算で算出した断面力は、実際の値と多少乖離があるため、この乖離を補正する係数を設定することが課題となる。

また、今回は2次元フレーム構造を仮定したが、落 橋防止ブラケットは3次元フレーム構造となるため、 3次元の場合でも簡易計算で近い値を導出できるか 確認する。

(9. おわりに

本稿では、トポロジー最適化理論により導かれた 形状に対して簡易計算をもとに力学的考察を試みた。 板組みの溶接で構成される従来構造は、力の作用方 向が明確であるため、手計算による設計照査が可能 だが、最適化形状は複雑であり手計算による設計照 査は困難である。そこで、フレーム構造の簡易解析 により断面力を取得できれば、設計照査における作 用側の荷重(断面力)に対して抵抗側が満足するこ とを示すことで、複雑形状についても設計照査が可 能となる。今回の考察で、簡易計算結果が実験およ びFEM解析と概ね近い値を示したことで、簡易計算 により複雑形状の設計照査ができる可能性を示すこ とができた。

【謝辞】

本研究は国土交通省の建設技術研究開発助成制度 JPJ000094の助成(研究代表者:日之出水道機器株式会社 野村和孝)の研究助成金を用いて実施した。 ここに記して、感謝の意を表する。また、本研究の実施に際しては、名古屋大学の関係者、日之出水道機器株式会社の関係者、ヒノデホールディングス株式会社の関係者、特に解析・設計サポートチーム、当社の関係者、特に織田上席技術顧問、内田義光グループリーダー、ダニエル・アペンヨ氏に多大なるご協力を頂いた。ここに記して、感謝の意を表する。

【参考文献】

- 1) 土木学会: トポロジー最適化手法を用いた非溶接橋 梁用ブラケットの開発、CS11-05 土木学会全国大会、 2022.
- 2) 西野崇行、加藤準治、京谷孝史、日本計算工学会論文 集 Paper No. 20190004、2019.
- 3) 松村寿男、中村将章、北田幸夫、長崎怜、加藤準治:トポロジー最適化理論で導かれた仮設ブラケット形状の力学的考察の試み、令和4年度土木学会中部支部研究発表、I-29、2023.3.
- 4) 日本道路協会:道路橋示方書·同解説Ⅱ鋼橋·鋼部材編、平成29年11月

新技術を活用した現場施工 菊川1号橋上部工

岡本 道雄 *1 川久保 浩 *2 中村 訓大 *3

1. はじめに

本工事は、地域高規格道路「金谷御前崎連絡道路」 のうち、国道1号菊川IC~国道473号倉沢ICの間に 架かる菊川1号橋(菊石橋)の製作・架設工事である。

「金谷御前崎連絡道路」は、新東名高速道路の島田 金谷ICから国道1号を経由し、富士山静岡空港、東 名相良牧之原IC、御前崎港の間を連絡する全長約 30kmの地域高規格道路である。

これにより静岡県内にある『陸』『海』『空』の 交通ネットワークの拠点を結ぶことが可能とな り、静岡県内外との交流の拡大や産業の振興に大 きな期待を寄せられる道路の一部である。¹⁾

本稿では、河川内架設における工程上の課題に対する架設計画の工夫と、床版コンクリートの品質確保を目的として行った新技術の紹介、伸縮装置工での工夫、ICTを用いた安全管理について述べる。

2. 工事概要 `

工 事 名:令和2年度[第32-D6860-01号](国)473

号橋梁改築工事(菊川1号橋上部工)

発 注 者:静岡県 島田土木事務所

工事場所:島田市菊川地内

工 期:自)令和3年2月23日

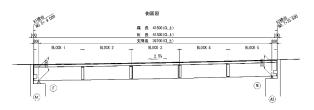
至) 令和4年6月30日

橋梁形式:鋼単純非合成2主箱桁橋(耐候性鋼材)

橋 長:41.5m(道路中心線上) 支間割:39.7m(道路中心線上)

有効幅員:15.0m

図-1に本橋の一般図を示す。

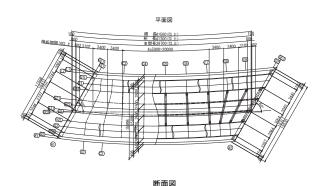


〔3. 現場条件と課題〕

本工事は河川内における作業であり、非出水期で の施工が前提条件であるが、当初の工程では困難で あった。

当初案では、A1側河川内に大型土のうを並べ地盤を造成した箇所に、ベントを設置し、200tトラッククレーンにて桁を架設するものであったが、非出水期内での施工が困難であり、工期短縮が課題であった。

変更した実施計画では、ヤード内の一部を地盤改良することで地耐力を確保し、550tオールテレーンクレーンにて桁を架設する計画とした。当初案の大型土のうの設置、撤去を省略することで、工期短縮が可能となり、非出水期内での施工が可能となった。さらに、大型クレーンの採用により、ブロック架設が可能となり、桁架設を3日間で完了することができた。



15996 498 15000 498 9623 6373 アスファルト舗装 t=80mm (CL) 8 鉄筋コンクリート床版 t=250mm (CL) 8 5 18% 5 18% 5 18% 5 18% 5 18% 5 18% 5 18% 5 18% 5 18% 5 1 250 2500 2500 2500 2800 1448 2848 10300 2848

図-1 一般図

^{*1} 工事グループ 計画チーム 係長 *2 工事グループ 工事チーム 係長 *3 工事グループ 計画チーム 主任

(4. コンクリート品質向上に関する工夫)

4. 1 S式貫入試験

本工事はプロクター貫入抵抗値を事前に調べ2次 振動締固め²⁾ を行った。

2次振動締固めの時期を判断するために、S式貫入 試験を用いて、プロクター貫入抵抗値を算出した。 プロクター貫入抵抗値が0.07~1.05N/miの範囲では、 コールドジョイントの発生3)が懸念されることから、 プロクター貫入抵抗値0.01N/miを2次振動時期の目 安として、事前試験を行った。

図-2に示すように、S式貫入試験の貫入量が100mmとなる状態が、プロクター貫入抵抗値 $0.01\ N/$ mm²となる。

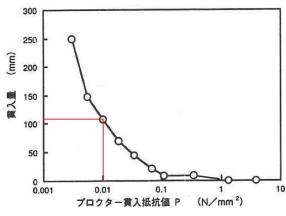


図-2 D13異形鉄筋貫入試験結果⁴⁾

表-1に示す事前試験結果より、打込み後35分で S式貫入試験の貫入量が100mmとなることがわかっ た。そこで実施工では、コンクリートの仕上げの時間を考慮した15~35分以内に2次振動を行うことと した。

表-1 S式貫入試験結果

時間	貫入量 ①	貫入量 ②	貫入量 ③	貫入量 (平均)
15分	200mm	90mm	230mm	173mm
30分	90mm	130mm	150mm	123mm
45分	130mm	70mm	75mm	92mm
60分	140mm	40mm	60mm	80mm
90分	60mm	20mm	70mm	50mm
120分	10mm	10mm	20mm	13mm

2次振動締固めには、空気だまりや余剰水の除去を 促進し、充てん性や品質の向上が期待できる特殊内 部振動機を採用した。その他、排水ます周辺は鉄筋 が密集し締固め不足が生じやすく、空気だまりや余 剰水による沈下ひび割れが懸念される。そのため、 高密度配筋部に挿入可能な小径強力バイブレータで 締固めを行った。その様子を写真-1に示す。



写真-1 小径強力バイブレータによる締固め状況

4. 2 振動機付きフィニッシャー

床版表面の仕上げは、高さのばらつきが生じやすく、技術を要する作業である。高さのばらつきは平坦性に影響を及ぼし、コンクリートの耐久性低下の要因となる。そのため、写真-2に示す振動機付きフィニッシャー「ブリッツスクリード」⁵⁾ による表面仕上げで、床版表面の平坦性を確保した。

施工に際し、あらかじめ桁にねじ付きスタッドを設け、そこに高ナットと寸切りボルトを取付け、溝形鋼で軌条設備を設けた。ブリッツスクリードはこの軌条設備の上を移動し、振動を加えながら床版表面を一定の高さで仕上げる機械である。表面の仕上げ面は木ゴテ仕上げと同等の仕上げが可能である。振動追加も同時にできることから、コンクリート中の空隙を除去し、コンクリート中の硬化組織を緻密にする。さらに表面の緻密化を図ることで、中性化の遅延効果や耐摩擦性、耐衝撃性の向上効果が得られる。



写真-2 ブリッツスクリードによる表面仕上げ状況

4. 3 コンクリート打設管理システム

本工事ではコンクリートの品質を高めるため、コンクリート打設管理システム「コンクリートナビ」⁶⁾を採用し、床版の高さ管理を行った。写真-3に本システムによる床版の高さ管理状況を示す。

コンクリートナビはトータルステーションを用いて遠隔から計測できるため、作業に支障を及ぼすことがない効率的なシステムである。計測前に床版仕上げ高さのデータをタブレットに取り込み、設計値と打込み高さの差で管理を行う。本工事では、直接床版仕上げ面を視準することで計測を行った。本システムにより床版高さの精度向上に加え、平坦性向上にも寄与する結果となった。



写真-3 コンクリートナビによる床版高さ管理状況

4. 4 コンクリート養生

床版コンクリートの養生シートは勾配面でも保水、保温、遮光性に優れて水密性が確保できるアクアマットSPタイプを使用した。また、養生管理には写真ー4に示す「おんどロイド」がを使用し、湿度が85%を下回った場合は、スマートフォンにメールが届き、リアルタイムでの養生管理を可能にした。アクアマットSPタイプの効果もあり、散水後3日間は85%を下回らないことを確認できた。



写真-4 おんどロイド

4.5 デジタル透気試験機

本工事で実施した工夫により、コンクリートの品質確保効果を確認する目的で、表層透気試験を行った。本工事では透気試験機として写真-5に示す「パーマトール」®を使用した。

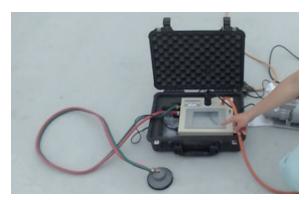


写真-5 パーマトールによる表層透気試験状況

表層透気試験はダブルチャンバーの吸引によって、コンクリート表層を真空状態にし、吸引を停止後、チャンバー内の気圧が回復するまでの時間から表層コンクリートの透気性を評価する手法⁹⁾である。表層透気係数(kT)で表す数値が低いほどコンクリートが緻密だと判断できる。使用上の注意点として、同じ場所を計測する場合はインターバルが必要である。コンクリート内の圧力が通常に戻るまで、10分ほどかかり、連続で計測すると透気係数が低くなる傾向があり、正しい判定ができない。

本工事では床版上16箇所を計測し、透気係数が 0.1×10^{-16} ㎡未満だったため、表-2より「良」と評価ができた。

表-2 表層透気係数によるグレーティングの目安10)

活层层料 1	優	良	一般	劣	極劣
透気係数kt (×10 ⁻¹⁶ m²)	0.001~ 0.01	0.01~ 0.1	0.1~1	1~10	10~100

5. 伸縮装置

伸縮装置は、耐用年数、取替補修及びリサイクル 性能の観点からKMAジョイントを採用した。KMAジョイントの特徴を以下に示す。

- ・耐候性が良く腐食に強いため、長寿命である。
- ・軽量のため、取扱いが簡単である。
- ・1mごとに補修が可能である。
- ・本体はリサイクル可能で、環境に優しい。 施工上、遊間部が100mmと狭く、遊間型枠の解体

が困難なことから、メッキ処理した埋設型枠を使用した。I型の内型枠では、伸縮装置と型枠との間からコンクリートが漏れる可能性があったため、写真-6に示す内型枠をL型に加工し、隙間テープでコンクリートの漏れを抑えることにした。

内型枠設置時は、内型枠に鉄筋を溶接し、丸セパ連結金具で既設の鉄筋と固定した。また、メッキ処理された鋼板の溶接は、ポンデ鋼板を使用することで、メッキ被膜による影響を解消できた。

伸縮装置の設置では、床版上に配置したカニクレーンにより、2分割された伸縮装置の架設を行い、高さ調整はジャッキベースを使用した。



写真-6 伸縮装置内型枠

6. 安全対策 `

6. 1 現場作業ヤードの安全対策

本工事ではウェブカメラ (G-cam) を導入し、写真 -7に示すように現場の状況をリアルタイムに店社 で確認できる環境を構築した。これにより、安全管 理者や、ベテラン社員による現場視察が遠隔でできるようになり、安全性向上を図ることができた。また、発注者とウェブカメラを共有することで、現場の進捗を随時確認することが可能となり、工程の見える化を実現した。



写真-7 ウェブカメラ映像

(7. おわりに ⁽

本工事を無事故無災害で納めることができたのは 島田土木事務所をはじめとした、各関係者並びに協 力業者、近隣住民のご協力によるものと思っており ます。深く感謝するとともにお礼を申し上げます。



写真-8 完成写真

【参考文献】

- ふじのくに 静岡県公式ホームページ 大規模な道路改良(新設)
 https://shimada.doboku.pref.shizuoka.jp/projects/shuyou/(最終閲覧日:2022.8.19)
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書2012年制定 [施工編]、p. 119
- 3) 土木学会: コンクリートライブラリー103、p. 57
- 4) 土木学会: コンクリートライブラリー103、p. 64
- 5) 株式会社シーアールティー・ワールド ブリッ ツスクリード
 - https://crt-shitaji.com/selling/ blitzscreed/ (最終閲覧日:2022.8.19)
- 6) 千代田測器 コンクリートナビ https://chiyodasokki.com/products/204/ (最終閲覧日:2022.8.19)
- 7) エコモット株式会社 おんどロイド https://www.gembaroid.jp/product/ondroid base.html (最終閲覧日:2022.8.19)
- 8) エフティーエス株式会社 パーマトール https://www.ftsweb.jp/product/?id=1603248 747-309438 (最終閲覧日:2022.8.19)
- 9) R. Torrent and G. Frenzer: A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of the "covercrete", International Symposium Non—Destructive Testing in Civil Engineering (NDT—CE), pp. 985—992, 1995.
- 10) 国土交通省東北地方整備局:コンクリート構造物の品質確保の手引き(案)(橋脚、橋台、函渠、擁壁編) 2022年改訂版 p.39

鉄筋コンクリート床版上面の表層透気係数の調査 振動機付きフィニッシャーによる緻密性向上効果の検証

櫻井 勇太 *¹ 藤原 史 *²松村 寿男 *³ 岡本 道雄 *⁴

(1. はじめに

鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版)の劣化は、水分や塩化物イオンなどの劣化因子がコンクリート表面から浸入することにより進行する¹⁾ため、耐久性向上にはコンクリート表層の緻密性の確保が重要となる。

コンクリート表層の緻密性向上対策に振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げがある。振動機付きフィニッシャーは振動機を搭載したトラスビーム型の均し装置であり、コンクリート表面に沿って手動式のウィンチを用いて水平移動させることで均し作業とタンピング作業を同時に行うことができる。振動機付きフィニッシャーを用いた一次仕上げにより、床版上面の平坦性の確保に加え、コンクリート表層では再振動効果が得られるためコンクリート中の余分な水分や空気を除去することが可能であり、コンクリート表層の緻密化を図ることができる。

本稿では、コンクリート打設10ケ月後のRC床版 上面を対象に、コンクリート表層の緻密性の指標で ある表層透気係数を計測し、振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げの有無を比較することで、緻 密性の向上効果を検証した結果を報告する。

なお、本稿は文献2)の内容について、図及び文章の一部を再編集・加筆したものである

【 2. 対象橋梁の概要

図-1に対象橋梁の平面図を示す。対象橋梁は令和4年6月に完成した主桁間に2本の縦桁を有する鋼単純非合成2主箱桁である。支間長は39.7mであり、幅員約16m、縦断勾配2.5%、横断勾配2 \sim 6%(片勾配)のRC床版を有する。平面線形はR=160 \sim \sim (A=90)である。RC床版のコンクリートは水セメント比50%以下、設計基準強度30N/mm2、空気量4.5±1.5%、スランプ12±2.5cm、普通ポルトランドセメントである。

(3.振動機付きフィニッシャーの概要)

図-2に振動機付きフィニッシャーの配置、写真-1に振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げ 状況を示す。本橋では長さ5.4m、高さ約400mmのトラスビームを使用した。フィニッシャー装置を支持 するため、2主桁の外側ウェブ($G1L \cdot G2R$)上及び 縦桁($ST1 \cdot ST2$)上に設けたコンクリート打設時の 高さ管理の目安とする検測棒上にレール(CH鋼材: $75 \times 40 \times 5 \times 7$)を配置し、レール上にトラスビーム を設置した。

作業手順はS1側からS2側に向かってコンクリートを打設しながら棒状バイブレーターで締固めを行い、コテによる粗仕上げ後、振動機付きフィニッシ

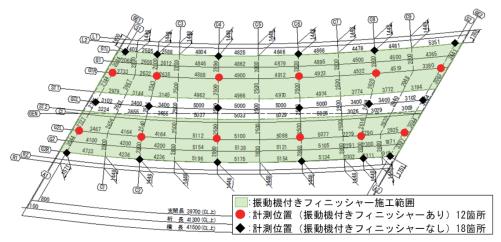


図-1 対象橋梁の平面図及び計測位置

- *1 技術企画グループ 技術企画チーム 係長 *2 技術企画グループ 技術企画チーム 主任
- *3 技術企画グループ グループリーダー *4 工事グループ 計画チーム 係長

ャーによる一次仕上げを実施した。その後、トロウェルを用いて最終仕上げを行った。

振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げは床 版上面のうち、供用後に輪荷重が直接載荷される走 行車線の範囲を包括するG1L~ST1、ST2~G2Rの範囲 (図-1の着色部)を対象とした。

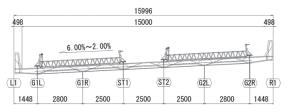


図-2 振動機付きフィニッシャーの配置



写真-1 RC床版上面の一次仕上げ状況

4. 表層透気係数の計測方法

写真-2に床版コンクリート打設後、約10ケ月におけるトレント法³による表層透気係数の計測状況を示す。トレント法は、ダブルチャンバーの吸引によりコンクリート表層を一定圧力まで減圧した後、真空ポンプによる吸引を停止してチャンバー内の気圧が回復するまでの時間から透気性を評価する手法である。本調査では100 である。本調査では100 で表層透気係数を計測した。表層透気係数100 に示すとおり、

kT値が小さいほどコンクリート表層が緻密であり、 高い品質であると評価される。

本橋では図-1に示す振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げを実施したG1R、G2Lと一次仕上げを実施していないG1L、GCL、G2Rの横桁位置S1、C2、C4、C6、C8、S2との交差部近傍を計測した。



写真-2 表層透気係数計測状況

表-1 表層透気係数のグレーディング4)

	n of the quality covercrete"	kT (×10 ⁻¹⁶ m ²)
1	very good (優)	kT < 0.01
2	good (良)	0. 01 < kT < 0. 1
3	normal (一般)	0.1 < kT < 1.0
4	bad (劣)	1.0 < kT < 10
5	very bad (極劣)	kT > 10

(5. 表層透気係数の計測結果)

表-2、図-2に計測位置ごとの表層透気係数の計測結果を示す。なお、表中の「評価」は文献4)に示される表層透気係数に基づくコンクリート品質のグレーディングである。表層透気係数の計測結果より、振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げの有無によらず、表層透気係数による評価は「良」以上であり、RC床版表層全面で緻密性を有する良好な

表一2 表層透気係数KI(×IO)m)の計測結果													
計測位置		S1		C2×		С	C4 C		6	C8		S2	
計測型	上自	kT値	評価	kT値	評価	kT値	評価	kT値	評価	kT値	評価	kT値	評価
仕上げ	G1R	0. 015	良	0. 059	良	0.006	優	0.004	優	0. 005	優	0.001	優
あり	G2L	0. 002	優	0. 016	良	0.008	優	0. 001	優	0. 002	優	0.002	優
	G1L	0.003	優	0. 013	良	0. 010	良	0.006	優	0. 032	良	0.003	優
仕上げなし	GCL	0. 001	優	0. 018	良	0.006	優	0.008	優	0.002	優	0.050	良
, & C	G2R	0.003	優	0. 026	良	0.003	優	0. 005	優	0.004	優	0.003	優

表-2 表層透気係数kT (×10⁻¹⁶m²)の計測結果

※C2はコンクリート表面を一部除去したため、考察の対象から除外

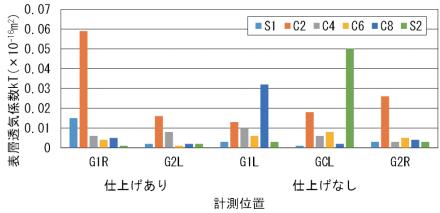


図-2 計測位置ごとの表層透気係数



写真-3 計測点C8-G1R (一次仕上げあり) の表面性状

コンクリートといえる。一方、横桁位置C2のkT値が全て0.01~0.1 (×10⁻¹⁶ m²) に該当する「良」の評価であり、他の横桁位置と比較してkT値が大きい、すなわち緻密性が低い結果である。これは、施工時の床版上面の汚れ除去のため、当該範囲のコンクリート表面を一部除去したことが要因であり、考察の対象から除外する。

振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げを実施したG1R、G2LのkT値はS1-G1Rの0.015(×10⁻¹⁶㎡)が最大であり、表層透気係数による評価は考察対象外のC2を除き、「優」が9箇所、「良」が1箇所であった。一次仕上げを実施していないG1L、GCL、G2RのkT値はS2-GCLの0.050(×10⁻¹⁶㎡)が最大であり、C2を除き「優」が12箇所、「良」が3箇所であった。一次仕上げの有無による「優」評価の割合を比較すると、一次仕上げを実施した範囲の90.0%に対して、実施していない範囲では66.7%と低い傾向であった。これより、今回の調査結果では振動機付きフィニッシャーを用いた一次仕上げにより、RC床版上面の広い範囲で緻密性の高いコンクリート品質が得られたといえる。



写真-4 計測点C8-G1L (一次仕上げなし) の表面性状

表層透気係数の平均値を比較すると、一次仕上げを実施した範囲では0.005($\times 10^{-16}$ m^2)、実施していない範囲では0.009($\times 10^{-16}$ m^2)であった。これより、振動機付きフィニッシャーを用いた一次仕上げにより、コンクリート表層の緻密性が1.8倍程度向上する効果があったといえる。

これらの差異は床版上面の表面性状にも表れていた。写真-3に一次仕上げを実施したC8-G1R(kT値: 0.005(×10⁻¹⁶㎡)、評価:優)、写真-4に一次仕上げを実施していないC8-G1L(kT値:0.032(×10⁻¹⁶㎡)、評価:良)の写真を示す。床版上面の表面性状の違いが特に顕著な写真を抜粋したが、一次仕上げを実施したC8-G1Rの表面性状はC8-G1Lと比較して表面が滑らかであることがわかる。全ての範囲でコテ及びトロウェルを用いた最終仕上げは実施したが、最終仕上げ前の振動付きフィニッシャーを用いた一次仕上げにおいて、コンクリート表層のタンピングによる再振動効果で、写真-5に示すようにコンクリート中の余分な水分や空気が除去され、コンクリート表層の緻密性が向上したと考えられる。

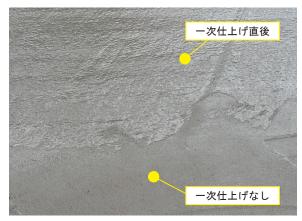


写真-5 表層透気係数計測状況

6. 基準高に対するばらつき

直接的に床版上面の平坦性を示す指標ではないが、表-3に床版上面の基準高に対する計測値の差を示す。計測位置は一次仕上げを実施したG1R、G2Lと一次仕上げを実施していないL2、R2(壁高欄内側ライン)と横桁位置S1、C5、S2との交差部を計測した。

基準高に対する差の平均値は一次仕上げの有無による差は僅かだが、データのばらつきを示す標準偏差は一次仕上げを実施した範囲では13.3mm、一次仕上げを実施していない範囲では60.2mmであった。

これらの結果により、振動機付きフィニッシャー を用いた一次仕上げは床版上面の高さを精度よく施工することが可能な工法であるといえる。

表 — 3	床版上面の基準高に対する計測値の差
14 一 0	体版工画の室竿向に対する可規値の左

計測位置		基準高	高に対す (mm)	する差	差の平均値	標準偏差	
		S1	C5	S2	(mm)	(mm)	
仕上げ	G1R	-1	+2	-2	-1.0	13.3	
あり	G2L	-6	+5	-4	-1.0	13.3	
仕上げ	げ L2 +5 +1		+13	-3	-0.7	60.0	
なし	R2	-6	-11	-2	-0.7	60.2	

7. おわりに

実橋のRC床版の施工において、振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げを実施したコンクリート 打設10ケ月後の床版コンクリート表層の緻密性を 調査した。

振動機付きフィニッシャーを用いた一次仕上げにより、コンクリート表層のタンピングによる再振動効果で約1.8倍の緻密性向上効果が確認された。加えて、この緻密性向上効果がRC床版上面の広い範囲で得られることがわかった。

床版上面の基準高に対する計測結果より、振動機

付きフィニッシャーを用いた一次仕上げにより設計値との差のばらつきを抑制することが可能であり、 コンクリート表面の平坦性確保につながると考えられる。

【謝辞】

本調査にあたり、工事完成後の表層透気係数の計 測にご理解とご協力いただきました静岡県島田土木 事務所 井上様及び表層透気係数の計測機器の提供 及び計測作業にご指導・ご協力いただきました岐阜 大学 国枝稔教授及び研究室の留学生各位に深く感 謝と御礼を申し上げます。

【参考文献】

- 1) 田中良樹、村越潤:道路橋鉄筋コンクリート床版 の劣化形態の多様化と防水対策、第八回道路橋床 版シンポジウム論文報告集、pp. 281-284、2014.
- 2) 櫻井勇太、藤原史、鈴木智之、松村寿男、国枝稔、 井上達史:振動機付きフィニッシャーにより仕上 げたRC床版上面の施工10ケ月後の緻密性の調査、 土木学会全国大会78回年次学術講演会、VI-441、 2023.
- 3) Torrent, R. J.: A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of the permeability to air of the concrete cover on site, Materials and Structures, V. 25, No. 6, pp. 358-365, 1992.
- 4) R. Torrent and G. Frenzer: A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of the "covercrete", International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), pp. 985-992, 1995.

FEMを用いたコンクリート要素の非線形解析例 FEMの理論と活用例(その2)

松村 寿男 *1

1. はじめに

近年、有限要素法(以下、FEMと称す)による非線形解析が実務でも用いられてきているが、既往の報告¹⁾においては、鋼構造に関する非線形解析例²⁾について述べた。本稿では、コンクリート要素に着目した構成モデルの定式化の理論ならびに解析例の一部について紹介したい。なお、本稿は、文献3)のAPPENDIX A(付録A)を引用し、文献4)と5)の一部の結果について編集、加筆したものである。

(2. コンクリートの構成モデル

既報1)で述べた鋼構造の非線形解析では、鋼部材の座屈現象など特徴的な損傷を再現するのに、材料構成モデルと幾何学的非線形でモデル化することが重要であった。鋼部材は破断するまで連続体として挙動するため、解析は安定している場合が多い。

一方、コンクリート要素の非線形解析は、圧縮破壊や引張でひび割れが発生するなど、非線形性が強く、不安定な解析となる場合が多い。このようなことから、既往の研究では材料構成モデルやパラメータなどは、さまざまな検討が行われている。このため、本稿ではコンクリート要素の一般的な圧縮構成モデルについて定式化の理論を取り扱うこととする。本稿では、鉄筋コンクリート構造やコンクリート充填鋼管構造の圧縮や曲げ問題のコンクリート充っいて扱う。

例えば、コンクリート充填鋼管柱(以下CFT柱と略す)は、鋼管とコンクリートの合成作用により、各々の材料の強度を累加したものよりも大きな耐力が期待でき、ポストピーク領域においても変形能に優れる。コンクリート充填鋼管柱の有限要素解析に関する研究は、Stephen、Saadeghvaziriら^{6)、7)}により一軸圧縮を受けるものについて検討されてきた。

しかし、曲げ挙動を扱う解析は、コンクリートの 圧縮側の圧縮軟化挙動に加えて、引張側のひび割れ 挙動を三次元解析で表現しなければならないこと、鋼 とコンクリート境界部に付着などを考慮した境界要 素を用いることなどから、材料非線形と幾何学的非 線形が混在した複雑な解析となる。そのため、収束性の課題が生じ、解を得ることが困難なことが生じ得る。このような課題を克服するには、非線形解析の試行錯誤の経験なども影響する。鉄筋コンクリートの三次元非線形解析は文献^{8)、9)}など、既往より多くの解析事例がある。

コンクリート要素が3軸圧縮状態になると、拘束効果10を受けることで、コンクリートの強度が増すことが分かっている。このためコンクリートの材料モデルは、Drucker-Prager構成モデルなど3軸応力状態を表現できる構成モデルを用いることが3次元有限要素解析では必要になってくる。

(3. Drucker-Pragerの破壊基準)

本章では材料構成モデルであるDrucker-Prager 型構成モデルの定式化¹¹⁾について述べる。

3. 1 Drucker-Prager型構成モデルの理論

コンクリート構成モデルであるDrucker-Prager の破壊基準は、図-1に示すように主応力空間においてコーン状の形をしたものである。本節では概要を説明し、3.2節より支配方程式の誘導を示すことで構成モデルの理論について述べる。

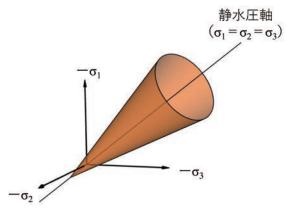


図-1 Drucker-Prager型構成モデル

なお、図-2に示すように、Drucker-Pragerの破壊 基準はMohr-Coulombの破壊曲面をスムーズな形に したものである。

^{*1} 技術企画グループ グループリーダー

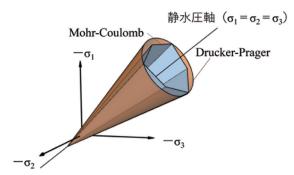


図-2 Mohr-Coulomb とDrucker-Pragerの破壊基準

本構成モデルの破壊曲面は式(1)の関数を用いている。

$$f(\sigma, \kappa) = \sqrt{\frac{1}{2}\sigma^T P \sigma} + \alpha_f \pi^T \sigma - \beta \bar{c}(\kappa) \quad (1)$$

ここに、 $\overline{c}(k)$: 粘着力 (k: 内部状態変数)。 また、転置ベクトル π は式(2)のように表される。

$$\pi = \begin{cases} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{cases}$$
 (2)

スカラー量の α_f と β は式(3)のように表される。

$$\alpha_f = \frac{2\sin\phi(\kappa)}{3 - \sin\phi(\kappa)}, \quad \beta = \frac{6\cos\phi_0}{3 - \sin\phi_0}$$
 (3)

内部摩擦角 ϕ は、内部状態変数の関数でもある。初期内部摩擦角は ϕ_0 で表され、流れ則は一般関連流れ則を用い、塑性ポテンシャルは式(4)で表される。

$$\dot{\varepsilon}^{p} = \dot{\lambda} \begin{cases} \frac{1}{2} (1 + \sin \psi) \\ 0 \\ -\frac{1}{2} (1 - \sin \psi) \end{cases}$$
 (4)

3. 2 Drucker-Prager型構成モデルの支配方程式

本節では、解析で使用するDrucker-Prager型構成モデルの支配方程式を誘導する。

まず、圧縮応力状態を考えると図-3のようになる。

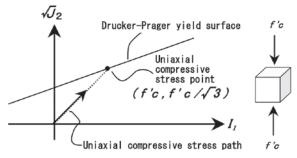


図-3 Drucker-Pragerモデルにおける一軸圧縮応力状態³⁾

応力空間における一軸応力状態を式(5)~(7)より算出する。

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} f'_C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$
 (5)

$$I_1 = \sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33} = f_c' + 0 + 0 = f_c'$$
 (6)

$$J_{2} = \frac{1}{6} \left[(\sigma_{11} - \sigma_{22})^{2} + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^{2} + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^{2} + 6(\sigma_{12}^{2} + \sigma_{23}^{2} + \sigma_{31}^{2}) \right]$$

$$= \frac{1}{6} \left[(\sigma_{11} - 0)^{2} + (0 - 0)^{2} + (0 - \sigma_{11})^{2} + 6(0^{2} + 0^{2} + 0^{2}) \right]$$

$$= \frac{1}{6} \left[(2\sigma_{11})^{2} \right] = \frac{1}{3}\sigma_{11}^{2}$$
(7)

両辺の平方根を計算すると、式(8)で表される。

$$\sqrt{J_2} = \frac{\sigma_{11}}{\sqrt{3}} = \frac{\left|f_c'\right|}{\sqrt{3}} \tag{8}$$

これが一軸応力状態の応力空間における破壊点である $\sqrt{J_2}$ の値である。

次に図-4の引張応力状態を考える。

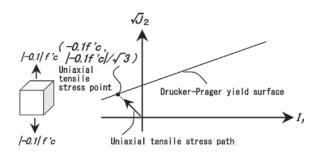


図-4 Drucker-Pragerモデルにおける一軸引張応力状態³⁾

ここに、圧縮強度の1/10で引張破壊すると仮定して応力空間上の破壊点を求める。式 (9) \sim (10) の応力不変量を仮定する。

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} -0.1f'c & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{9}$$

$$I_1 = \sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33} = -0.1 f_c' + 0 + 0 = -0.1 f_c'$$
 (10)

ここで、式 (6) \sim (8) と同様に計算すると、一軸 応力状態の応力空間における $\sqrt{J_2}$ の値が式 (11) にて求められる。

$$\sqrt{J_2} = \frac{\sigma_{11}}{\sqrt{3}} = \frac{\left| -0.1 f_c' \right|}{\sqrt{3}} \tag{11}$$

以上を踏まえ、破壊曲面の支配方程式の算出を試みる。 ここでは、破壊曲面の支配方程式を図-5に示すように、 式 (12) を仮定し、 α^* 、 β^* を導くこととする。

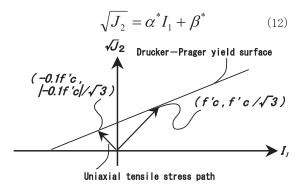


図-5 Drucker-Pragerモデルにおける破壊曲面³⁾

応力空間における $\sqrt{J_2}$ $-I_1$ 破壊曲面において、傾き α^* は、一軸応力点2点を通る傾きを式(13)で表せることから、

$$\alpha^* = \frac{\frac{f_c'}{\sqrt{3}} - \left(\frac{|-0.1f_c'|}{\sqrt{3}}\right)}{f_c' - \left(-0.1f_c'\right)} = \frac{0.9}{1.1\sqrt{3}}$$
(13)

これを式(12)に代入することにより、式(14)を 得る。

$$\sqrt{J_2} = \frac{0.9}{1.1\sqrt{3}} I_1 + \beta^* \tag{14}$$

式 (13) は、座標 $(I_1, \sqrt{J_2}) = (f_c', \frac{f_c'}{\sqrt{3}})$ を通ることから、 β *について解くと、式 (15) を得る。

$$\beta^* = \frac{f_c^{'}}{\sqrt{3}} - \frac{0.9}{1.1\sqrt{3}} f_c^{'} = \frac{0.2}{1.1\sqrt{3}} f_c^{'}$$
 (15)

よって、Drucker-Prager破壊曲線の支配方程式は、式 (16) となる。

$$\sqrt{J_2} = \frac{0.9}{1.1\sqrt{3}} I_1 + \frac{0.2}{1.1\sqrt{3}} f_c' \tag{16}$$

ここでは、式(1)から逆に式(16)の支配方程式を 導くことにより、粘着力と内部摩擦角の関係を求めるこ とにする。転置行列を式(17)のように設定する。

$$P = \begin{cases} 2 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \end{cases}$$
 (17)

式 (17) を用いて、一般応力状態の転置行列との積 を求めると式 (18) が導ける。

$$\sigma^T P \sigma = 6J_2 \tag{18}$$

ここに、3.1節の式 (1) に式 (18) を代入して式 (2) の転置ベクトル π を用いると、式 (19) を得る。

$$f(\sigma, \kappa) = \sqrt{\frac{1}{2}6J_2} + \sigma_f \pi \sigma - \beta \bar{c}(\kappa) = \sqrt{3J_2} + \sigma_f I_1 - \beta \bar{c}(\kappa)$$
(19)

破壊曲面上では、支配方程式 $f(\sigma,\kappa)=0$ から、式(20)を得る。

$$\sqrt{J_2} = -\frac{\alpha_f}{\sqrt{3}} I_1 + \frac{\beta \, \bar{c} \left(\kappa\right)}{\sqrt{3}} \tag{20}$$

これは引張が正の式であり、圧縮の正の式は式(21)となる。

$$\sqrt{J_2} = \frac{\alpha_f}{\sqrt{3}} I_1 + \frac{\beta \, \overline{c} \left(\kappa\right)}{\sqrt{3}} \tag{21}$$

ここに、式 (12) の係数項について比較し、式 (22) を得る。

$$\alpha^* = \frac{\alpha_f}{\sqrt{3}}, \quad \beta^* = \frac{\beta \, \bar{c} \left(\kappa \right)}{\sqrt{3}} \tag{22}$$

ここで、式(16)より、

$$\alpha^* = \frac{0.9}{1.1\sqrt{3}}, \quad \beta^* = \frac{0.2}{1.1\sqrt{3}}f_c' \quad \text{The So}.$$

$$\frac{\alpha_f}{\sqrt{3}} = \frac{0.9}{1.1\sqrt{3}}$$
 すなわち、 $\alpha_f = \frac{0.9}{1.1}$ を式 (3)

に代入して、式(23)を得る。

$$\alpha_f = \frac{2\sin\phi(\kappa)}{3-\sin\phi(\kappa)} \tag{23}$$

式(23)を展開して、式(24)を得る。

$$22\sin\phi(\kappa) + 9\sin\phi(\kappa) = 27 \tag{24}$$

$$\sin\phi(\kappa) = \frac{27}{31} \tag{25}$$

式(25)より内部摩擦角は下記となる。

$$\phi(\kappa) = \sin^{-1}\frac{27}{31} = 1.057168[rad] = 60.573 \,\mathrm{g}$$
 (26)

これが弾性域における破壊曲面の角度となる。また、 粘着力c(k)は破壊曲面上の切片であるから、式 (16)について、式 (21)を用いて係数項を比較する と、式 (27)を得る。

$$c(\kappa) = \frac{2}{11} \beta_f f_c^{\prime} \tag{27}$$

また、式(3)より式(28)を得る。

$$\beta = \frac{6\cos\phi_0}{3-\sin\phi_0} \tag{28}$$

よって、これを式(27)に代入すると式(29)を得る。

$$c(\kappa) = \frac{2}{11} \cdot \frac{6\cos\varphi_0}{3 - \sin\phi_0} f_c' \tag{29}$$

ここに、 ϕ_0 、 $f_c^{'}$ は内部摩擦角と一軸圧縮強度(既知量)を示す。

3.3 圧縮軟化域の設定

第4章の解析例で用いるコンクリート構成材料を 用いた解析における圧縮軟化域の設定は、既往の研 究を参考にして、内部摩擦角を軟化域で33°に設定 している。さらにピークひずみを合わせることで、 図-6に示す軟化曲線を設定した。

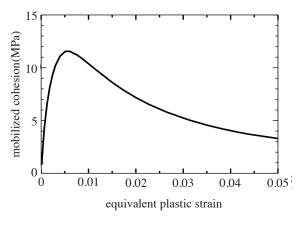


図-6 圧縮軟化特性を考慮した等価塑性ひずみ-粘着力 の関係³⁾

ここに、粘着力 $c(\varkappa)=11.429$ (MPa)、一軸圧縮強度

 f_c '=42.73MPa、 $\sin\phi_0$ =0.555、 $\cos\phi_0$ =0.832、内部摩擦 角 ϕ_0 =33°、勾配 α_f =0.262、 β =0.315を仮定している。

せん断弾性係数:

$$G = \frac{E}{2(1-\nu)} = \frac{29,498}{2(1-0.2)} = 12,291 \tag{30}$$

ピークひずみ:

$$\varepsilon_{cop} = \frac{2 \times \sigma_{ck}}{E_C} = \frac{2 \times 42.73}{29,498} = 0.0029$$
 (31)

となる。

4. コンクリート要素の解析例

筆者らが過去に検討した軸圧縮下で曲げ変形を受ける円形CFT柱の三次元FEM解析40の一部を用いて解析例を述べる。なお、事例では鋼管と内部コンクリート境界部との合成作用を再現するために、境界要素の導入に際し付着の有無に着目したモデル化を行っている。

4.1 コンクリート充填鋼管柱の解析事例

既往の実験による供試体 12 のコンクリート充填柱を対象モデルする。なお、コンクリートの諸元は先述の一軸圧縮強度 f_e '=42.73MPa、鋼管には、SM490Yの鋼材を用いている。図-7に示すように、地震を想定した供試体は、軸方向に上部工荷重を想定した一定軸力6,860kN (軸力比P/Py=0.3)を載荷後、横方向変位により単調載荷している。

供試体形状は、高さ L=2,920mm、外径 D=700mm である。

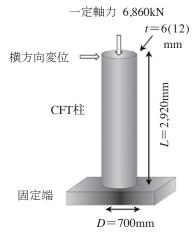


図-7 供試体概念図4)

4. 2 解析モデルの仮定

解析には有限要素法コードDIANAを使用している。 内部コンクリートには20節点 (CHX60) 6面体ソリッド要素と15節点 (CTP45) 5面体ソリッド要素、 鋼管と内部コンクリートの境界面には8節点 (CQ48I) 境界要素を用いている。これらは曲げを受ける複雑な変形挙動を表現するのに適している二次要素である。二次要素を用いたソリッド要素は、通常6面体要素では27積分点(以下ガウス点)を有するが、柱基部要素内での応力変動が小さいことから、本研究では8ガウス点に低減させて評価した。

軸力を鋼管および内部コンクリートに同時に載荷した後に、横方向に強制変位載荷する単調載荷とし、柱基部内部コンクリートの応力不変量を評価する。コンクリートの構成モデルは、第3章で述べたDrucker-Pragerモデルを採用している。

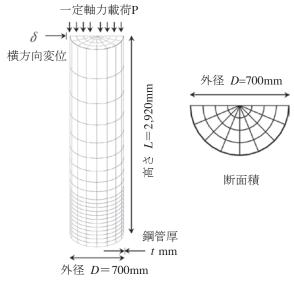
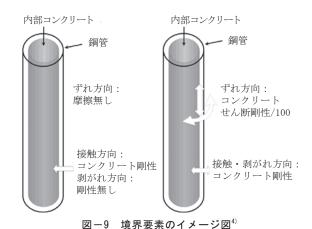


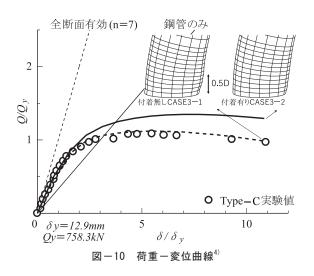
図-8 解析モデルの仮定4)



なお、詳細は省略するが、文献4)においては、 鋼管と内部コンクリートの合成作用を考察するため、図-9に示すように「付着の有無」について の比較解析を行っている。これにより、応力不変 量空間での応力点の挙動が変わることを4.3節で 述べる。

4.3 解析結果の評価

荷重載荷点における荷重-変位曲線を図-10に示す。横軸は載荷変位δを降伏変位δy、縦軸は載荷荷重Qを降伏荷重Qy(図に表示)にてそれぞれ無次元化している。CFT柱の全断面有効ならびに鋼管のみの理論線(点線)も併記する。図中の荷重-変位曲線において、○印は実験値、実線は「付着有りのモデル」の解析値、破線は「付着無しのモデル」の解析値を示す。また、最終変位における柱基部の鋼管の座屈形状も示す。解析と実験との比較では、「付着無しのモデル」は概ね実験値の荷重-変位関係を再現している。



このような条件下で、 $\sqrt{J_2}$ $-I_1$ 破壊曲面内での応力不変量空間の応力点の挙動について評価した事例を示す。

図-11~図-12に柱基部 (1~5層目を0.1D~0.5D で表示) の内部コンクリート要素の応力点 (ガウス積分点) の挙動を示す。

図-11から分かるように、1層目(〇印)の応力点がDrucker-Pragerの破壊曲面に沿って応力不変量が上層(2層目 \sim 5層目)に比べて、-番大きくなる挙動(I_1/f_c '=6.5程度)を示している。さらに、図-12から、1層目(〇印)の応力点が付着による鋼管の内部コンクリートへの拘束力を増加させた影響で横軸の値(I_1/f_c '=8.2程度)が大きくなっている。上層(2層目 \sim 5層目)の応力点についても、同様の拘束力により横軸の値が大きくなっている現象が分かる。このような現象は、2次元要素による解析では再現できないため、3次元要素による応力状態のFEMを実施しないと評価できないといえる。

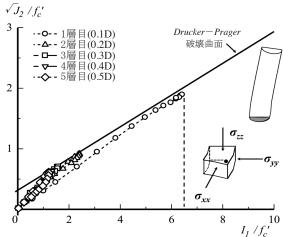


図-11 応力不変量空間での応力点挙動 (付着なし)³⁾

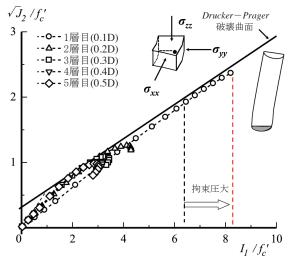


図-12 応力不変量空間での応力点挙動(付着あり)3

5. おわりに

本稿では、コンクリート要素に着目した構成モデルの定式化の理論ならびに解析例の一部について紹介した。FEMを用いたコンクリート要素の非線形解析は、今後も設計やメンテナンスなどの実務で扱うケースがさらに増えると思われるが、FEM、特に材料モデルの定式化理論を理解していないと、実現象を正しく評価することができないことがあるため、本稿が少しでも参考になれば幸いである。

【謝辞】

本報告で引用した既往の論文投稿には、共同著者 の中部大学 工学部都市建設工学科 水野英二教授に 貴重な指導を得た。深甚なる謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 松村寿男: FEMを用いた鋼構造の非線形解析事例、技報たきがみvol. 39、pp. 85-91、2023. 2
- 2) 松村寿男、藤山知加子:橋梁メンテナンスのための 構造工学【実践編】第12回 実務における鋼とコン クリートの有限要素解析の活用と留意点、橋梁と 基礎、pp. 45-52、2022. 4
- 3) 松村寿男: 拘束効果を考慮したコンクリート構造 部材のポストピーク挙動に関する解析的研究、学位 論文、2006.3
- 4) 松村寿男、水野英二:曲げ変形を受けるコンクリート 充填鋼管柱の合成作用の有無を考慮した 内部性状に関する三次元有限要素解析、 pp.307-318、土木学会応用力学論文集、Vol.11、 2008.8
- 5) 松村寿男、水野英二:軸圧縮下で曲げ変形を受けるコンクリート充填鋼管柱の内部性状に関する三次元FEM解析、pp. 1057-1068、土木学会構造工学論文集、 Vol. 53A、2007.3
- 6) Stephen P. Schneider: Axially loaded concrete filled steel tubes, Journal of Structural Engineering, pp. 1125—1138, 1998.
- M. Shames, M.A. Saadeghvaziri: Nonlinear Response of Concrete—Filled Steel Tubular Columns under Axial Loading, ACI Structural Journal, pp. 1009—1017, 1999.
- 8) 土屋智史、津野和宏、前川宏一:常時偏心軸力と交番ねじり・曲げ/せん断力を複合したRC柱の非線形三次元有限要素立体解析、土木学会論文集、No. 683/V-52、pp. 131-143、2001.8
- 9) 堀田久人、曹昌根:コンクリートの三軸応カーひずみ特性を考慮した鉄筋コンクリート部材の三次元有限要素曲げ解析、日本建築学会構造系論文集、 No.530、pp.115-121、2000.4
- 10) 水野英二、森本康介、畑中重光:中心圧縮力を受けるコンファインドコンクリートの拘束効果に関する三次元FEM解析、コンクリート工学年次論文報告集、vol. 21、No. 3、1999.
- 11) 例えば、Wai-Fah Chen and Atef F. Saleeb: Constitutive Equations for Engineering Materials, Vol. 1, pp. 251—347, Elsevier, 1994.
- 12) 佐伯彰一、箕作光一、滝沢晃:コンクリート充填円管 の耐荷力(その3;はり一柱部材)、日米天然会議、 耐風耐震構造専門部会第16回合同部会ワシントン (米国) 5.14~5.17、pp.1-17、1984.

縦取り工法を採用した鋼製梁の架設

庵原高架橋東鋼製梁工事

柿木 建二 *1 齋藤 雅俊 *2

1. はじめに

国道1号静清バイパス清水立体は、バイパスの起点に位置し、静岡市清水区横砂東町〜八坂西町を結ぶ全長2.4kmを高架構造にする事業で、交通渋滞及び交通安全、環境保全を目的とした事業である。1)

本工事は庵原交差点を跨いだ3基の複合式張出橋脚の鋼製梁工事であり、主な施工範囲は工場製作工・地組工・現場溶接工・現場塗装工・架設工・中詰めコンクリート工である。

本稿では、本工事の架設工に関する工夫について 報告する。着手前を写真-1に示す。

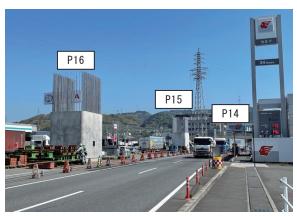


写真-1 着手前

2. 工事概要

工 事 名: 令和3年度1号清水立体庵原高架橋東 鋼製梁工事

発 注 者:中部地方整備局 静岡国道事務所

工事場所:静岡県静岡市清水区庵原町地先

工 期:自) 令和4年 2月 4日

至) 令和5年11月10日

橋梁形式:張出式複合橋脚(鋼製梁)

工事内容:鋼製梁3基(P14、P15、P16橋脚)

鋼 重: (P14) 105t、(P15) 100t

(P16) 97t

図-1にP14橋脚の概要図を示す。

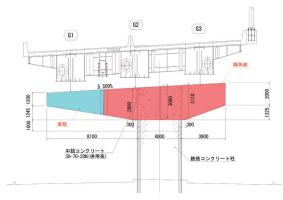


図-1 P14橋脚鋼製梁部概要図

(3. 複合橋脚の特徴(隅角部)

複合橋脚とは一般的なコンクリート橋脚や鋼製橋脚とは異なる。すなわち、支柱部が鉄筋コンクリート構造、隅角部と梁部が鋼構造で構成され、鉄筋コンクリート支柱と隅角部を後打ちコンクリートにより接合させた鋼ーコンクリート複合構造のことである。

4. 現場条件に伴う課題

本工事は国道1号線の上下線に挟まれた中央分離 帯において、隅角部を架設する。部材の地組立及び 架設作業は大型クレーンにより行う。

そのため、本工事は下記の2点について検討する 必要があった。

4.1 時間制約と期間制約

両側の車線が施工作業の俯角75度の影響範囲内に入るため、架設作業時は交通規制が必要となる。 国道1号線は交通量が多く、交通規制を伴う作業は 21時から翌朝6時の時間帯となる。このため、大型 クレーンを使用する地組立や架設作業は、全て時間 制約を受けることとなった。

工事期間の制約として、隣接工区とのヤード調整に伴い、使用するP13-P14ヤードは対面通行規制の分岐点となる。このため、令和5年6月までにP14橋脚の架設を完了し、機材の搬出を完了させなければならなかった。

4.2 歩道橋のある現場条件

写真-2に示すように、P14橋脚は歩道橋が近接しており、架設計画の支障となった。隅角部の地組立計画と隅角部架設用クレーン組立解体計画の双方について検討しなければならなかった。



写真-2 P14橋脚ヤード状況

① 隅角部の地組立計画

地組立を行うヤード内の幅は約9m、歩道橋から隣接するP13橋脚までの長さは約39mである。

地組立を行う隅角部の部材幅は4mであり、現場溶接・塗装用の風防設備を組み立てた場合、ヤード幅の大部分を使用する。長さ方向については架設時の作業半径を確保する20mが必要である。現場溶接の風防設備の総延長は14m程度のため、地組立を行う事は可能であることが分かった。図-2にヤード配置図、写真-3に風防設備設置完了時の状況写真を示す。



写真-3 風防設備設置完了

② 隅角部架設用クレーン組立解体計画

地組立計画において、クレーンの組立解体が実施できるか検討したが、夜間車線規制での組立解体となるため、大型クレーン組立用のリフターが使用不可能であった。架設に使用する550t吊クレーンは、写真-4に示すように、ブーム及び旋回体の設置作業は70t吊クレーンを2台使用することとした。



写真-4 550t吊クレーン組立状況

2台のクレーンを設置する場合、風防設備と歩道橋との離隔が25m必要であった。クレーンの組立を最優先として、地組位置をP13橋脚側へ5m移動させる計画とした。この結果、架設時の作業半径が5m増加するため、クレーン据付後に地組立を行った隅角部を作業半径内に移動する方法を検討した。

【 5. 夜間架設時の時間制約に対する工夫

4. 1節で述べたとおり、大型クレーンによる作業は全て夜間作業となる。時間制約を受けるなかでの隅角部の架設作業では、既設鉄筋コンクリート支柱の鉄筋を隅角部下フランジに設けた鉄筋貫通孔に全て同時挿入する必要があった。このため、精度の高い施工とスピードの両方が要求された。

挿入する鉄筋径は最大太径でD51であり、架設当日に人力作業による位置調整は不可能であった。

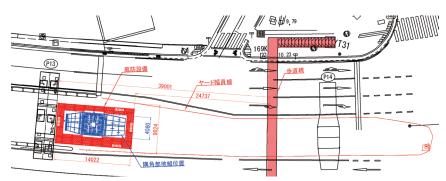


図-2 ヤード配置図

制約時間内に架設を行うように、現地調査・計画から現場施工にかけて以下の2つの対策を行った。

- ① 現況の鉄筋配置を工場製作に反映
- ② テンプレートによる施工試験

5. 1 現況の鉄筋配置を製作に反映

工場製作前に既設橋脚の基準測量を実施し、既設 橋脚の設計座標に対する変位を確認した。その際、 既設鉄筋コンクリート支柱の主鉄筋の平面位置も測 量し、工場製作に反映した。

5. 2 テンプレートによる施工試験

テンプレートとは、写真-5に示すとおり工場製作に反映された鉄筋貫通孔の平面位置を再現した鋼板のことを示す。

架設本番前に、既設鉄筋が鉄筋貫通孔に干渉することなく挿入できるように、全ての橋脚でテンプレートを用いた施工試験を実施し、主鉄筋は単管パイプと被覆番線により固定した。固定完了後、テンプレートを上げ下げし、干渉しなくなるまで何度も試験した。この試験施工の結果、写真-6に示すように鉄筋と隅角部下フランジの干渉を回避でき、高い精度かつ短時間で次の施工ステップに移行した。

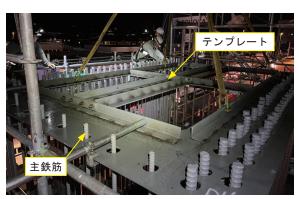


写真-5 テンプレート設置状況

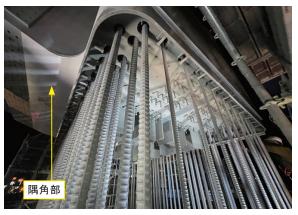


写真-6 架設時下フランジ鉄筋通過状況

(6. 現場条件に合わせた移動方法)

本工事は部材を550t吊クレーンの架設可能な作業半径内に移動する方法として、スライドベースと水平ジャッキを使用した縦取り工法を採用した。そのため、地組架台の構造は図-3に示すように軌条設備を兼ね備え、クレーン据付後に地組架台の増設が可能となるようにした。縦取り前の状況を写真-7に示す。



写真-7 縦取り前

縦取り作業において、次の点に留意しながら施工 した。写真-8に縦取り状況を示す。

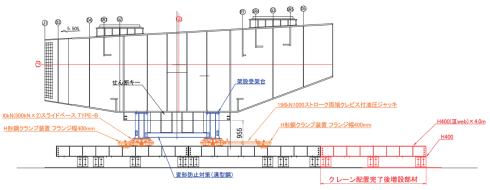


図-3 縦取り設備図



写真-8 隅角部縦取り状況

6. 1 ジャッキ反力の確認

ジャッキの受け点は架設受け架台と同一箇所に製作した架台材をスライドベース上に設置した。重心の位置は受点の中央より400mmG3側(R側)であるため、反力がL側とR側で異なる。反力変化、固定クランプの緩みによる隅角部の逸走、目視確認及びジャッキ操作者との合図の確認を密に行った。

6.2 受架台の変形防止対策

隅角部の下フランジにはせん断キーが750mm突出しているため、ジャッキ用の受架台を高くする必要があった。受点の高さが大きくなると縦取り時に各受点が変形する懸念があったので、写真-8に示すとおり、架設受架台下部の橋軸方向よび橋軸直角方向に溝形鋼を取り付け、変形防止対策を行った。

縦取り工法の採用により、大型クレーンの組立に 支障のない隅角部の地組立作業を実施でき、クレー ン据付後の縦取設備の増設作業から縦取り、架設ま での工程をスムーズに実施できた。この結果、当初 予定していた令和5年6月末のヤード引渡し日を遅 延することなく完了できた。

7. 夜間架設時の出来形管理方法

隅角部の架設は橋脚上に設置した架設受架台上に 荷重を預けた後、隅角部の位置調整を行う。その際 に確認する項目を以下に示す。

- ① 橋軸方向の通り
- ② 橋軸直角方向の通り
- ③ 隅角部天端高さ

7. 1 橋軸方向の通り

写真-9に示すように歩道上に光波測距儀を設置 し、事前に既設橋脚に墨出しした基準墨を視準し、 梁部の添接部に設けた視準点を計測し、橋軸方向の 「通り」を目視確認した。



写真-9 通り計測状況

7.2 橋軸直角方向の通り

橋軸直角方向側には脚廻足場が設置されており、 光波測距儀による計測は実施できなかった。そこで、 写真-10のように橋脚天端の基準墨と隅角部の中 心線との変位を確認する鉛直レーザー墨出し器を設 置し、「通り」の確認を行った。



写真-10 通り計測状況

7.3 隅角部天端高さ

隅角部の架設において、高さ管理は最も重要な管理項目といえる。橋脚架設工の基準高の規格値²⁾ は ±20mmである。しかし、上部工業者が施工する調整プレートの板厚は支承からの反力を均等に伝えるために22mm以上確保³⁾ しなければならない。本工事の調整プレート厚さは32mmで、沓座上の高さの上限値は+10mmとなり、非常に厳しい管理基準であった。架設受架台の天端高さを-5mmとなるように全ての橋脚で測量し、架設受架台の設置を行った。(仮組時の部材高さの実測値を考慮し、-5mmと設定した。)写真-11に架設受架台計測状況を示す。



写真-11 架設受架台下端高さ計測状況

隅角部の高さ確認は、写真-12に示すように夜間 架設時の荷重解放後かつクレーンの玉掛け解放前に 隅角部の四隅を計測した。架設前に実施した高さ調整の成果もあり、全ての沓座上の測点で+10mmを超える値は確認できなかった。



写真-12 夜間架設時天端高さ計測状況

(8. 施工上の工夫)

本工事の周辺環境は交通量が非常に多いため、隅角部の風防設備は板張構造ではなく、防音性の優れた防音パネルを使用し、材料飛散のしにくい堅固な構造とした。しかし、防音パネルのみの場合、風防設備内は暗く施工業者はヘッドライト等を装着しなければならない。写真-13に示すように照度の確保に、採光型の防音パネルを採用した。



写真-13 採光パネルの採用

9. おわりに

本工事は、時間制約に加えて、ヤード条件が非常に厳しかったが、試験施工による高い精度で早く実施でき、遅延することなく交通規制の開放をできた。また、限られたヤード条件下での細かな検討結果が令和5年6月までのヤード引渡しを無事に実施できた要因である。写真-14は完成写真である。

最後に、本工事の施工にあたり静岡国道事務所を はじめとする関係者各位に多くのご指導を賜りまし た。心より御礼申し上げます。

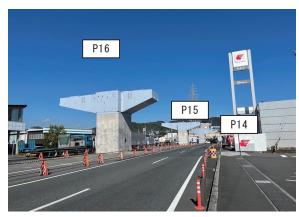


写真-14 完成写真

【参考文献】

1) 国土交通省中部地方整備局静岡国道事務所 (最終閲覧日:2023.9.25) https://www.cbr.mlit.go.jp/shizukoku/

torikumi/seishin shimizu/index.html

- 2) 土木工事施工管理基準及び規格値(案) 道路編 10.3.8.10.1 橋脚架設工
- 3) 道路橋標準示方書 I 10.1.7 支承と上下部構造 の取付部の設計

ちょっとひといき。



みんな 興味津々でした

○ 浜名湖橋支承取替工事 地元小学生の現場見学会

浜名湖橋支承取替工事現場にて、地元小学生の現場見学会を行いました。

当日は、浜名湖SAから遊覧船に乗り、浜名湖橋工事の様子を見学しました。現場見学後 は、小学校へ戻り、実際のボルト締付け作業の体験をしました。当日の様子は、小学校 のブログや地元新聞へ掲載されました。

参加した小学生の皆さんの建設業への関心が高まり、建設業を広く知ってもらう良い 機会となりました。



遊覧船乗船時の小学生



ボルト締付け作業の体験

から50年以上経過し 担当者から、橋が完成 共同企業体(JV)の 村建設特定建設工事 を担う瀧上工業・中 浜名湖サービスエリ の三ケ日東小6年生31 船から見学支承取り換え で移動して見学。工事 から橋の下まで船 児童は、東名高速道 ら見学 三ケ日東小 畑 (5007) 215009> △中川(523)1177>

金指(542)1030> 北区細江町一原品商会

と感想を述べた。 体験も行われた。中村 いて関心を持って生き ていきたいと思った」 健君(12)は「建設につ 水道工事

える工事の方法など を持ち上げて取り換 について説明を受け

浜名湖橋の支承取り換え工事の現場を見学した児童 =浜松市北区

静岡新聞に掲載

橋梁メンテナンス技術者育成プロジェクト 実務家教員育成プロジェクトへの参加

松村 寿男 *1 内田 義光 *2

1. はじめに

文部科学省「持続的な産学共同人材育成システム構築事業」の一環として舞鶴高専社会基盤メンテナンス教育センター(iMec)が開設した『KOSEN型産学共同インフラメンテナンス人材育成システムの構築』(KOSEN-REIM)の取組である、実務家教員育成研修プログラム(2021年度実証講座)において、実務家教員を目指す受講生で、建設系高専生向けインフラメンテナンス導入講座の開発」が行われた。

2021年度に実務家教員育成研修プログラム¹⁾ が開講されている。1年目の2021年度は15名、2年目の2022年度は6名の実務家が研修プログラムに参加している。当社からは、筆者ら2名が2021~2022年度に参加し、専門教士(建設部門)を取得している。

本稿では筆者らが受講した講座の開発、建設系高 専生を対象とした鋼橋の教育実習および検証につい て報告する。なお、本稿は文献2)、3)について一部 加筆ならびに編集を加えたものである。

2. 実務家教員育成研修プログラム概要

文献1)によると、プログラムで育成する人材像として、『実務家教員』を【技術士または技術士に相当する資格を有し、インフラメンテナンスに関する高度な実務能力と相当の実務経験を有する人材であり、かつ、教育者としての教養と資質を兼ね備え、教えるための技術を修得し、リカレント教育プログラムの講師として自らの実務経験と技術力を受講者に伝えることができる人材】と定義している。7講座で構成されるプログラム開発をもとに、インフラメンテナンス分野の高度な実務能力と相当の実務経験を有する者を対象とし、合計90時間(eラーニング30時間、講習会60時間)の学修時間で、『教える』ための技術の修得を目指している。

当社では、以前より '若手技術者教育'、'技術 伝承'を掲げて社内教育の試みをしてきたが、管理 職以上の'教える'側の教員育成に限りがあった。 このため、2021年度の本講座開講に伴い現在まで当 社から3期連続で実務家教員候補者を派遣している。

(3. カリキュラムの開発

実務家の研修プログラムは全6回の講習会と事前学習としてのeラーニング講座および事後課題の提出からなり、第5回講習会が高専生を対象とした教育実習である。ここでは、筆者らが実証した、2021年度「〜鋼橋の料理人〜」と2022年度「〜鋼橋のメンテナンス〜」のそれぞれについてカリキュラムの開発の一部を概説する。

3. 1 「鋼橋の料理人」の開発(2021年度)

日常利用している鋼橋は静かに損傷が進行しており、安心して利用するためにはメンテナンスが不可欠である。本講座では、鋼橋のメンテナンスの基礎、主な損傷事例や改築計画の事例から維持管理の重要性を理解し、メンテナンスの流れを説明できることを目的とする導入講座として開発した。本講座の対象は、橋梁メンテナンスのプロを目指す高専生や土木技術者を目指す高専生とした。

本講座は、鋼橋の設計・施工・維持管理の経験豊富な実務家教員を目指す4名が、鋼の美味しさ(魅力)を伝えるため"鋼橋の料理人(開発チーム名)"として、自らの経験を活かした講義および参加・体験型授業の開発に取り組んだ。講座の形式は「eラーニング学修(4コマ)+0.5日間の講習会」とした。講習会カリキュラムを図ー1に示す。講座の受講者は、講義に対応した事前学修用のeラーニングを全て学修して講習会に参加することとした。

時間	分	内容	講師
08:30-08:35	5	ガイダンス	杉山
08:35-09:15	40	【講義1】鋼橋のメンテナンスとは ~橋が危ない!~	杉山
09:15-09:55	40	【講義2】 "床版"を知る, 見る, 測る 〜近づいて, 見て, 触れてみよう〜	掛
09:55-10:05	10	休憩	
10:05-10:45	40	【講義3】鋼橋の特殊な腐食と診断 ~吊橋とトラス橋の事例~	松村
10:45-10:50	5	移動(大会議室→ i M e c 講義棟)	
10:50-11:35	45	【参加・体験型授業】鋼橋の料理人 〜現場でおいしく堪能するために〜	全員
11:35-11:45	10	休憩	
11:45-12:25	40	【講義4】此花大橋の床版拡幅工事法 ~工事方法を知ると眠れなくなる!~	田中
12:25-12:35	10	まとめ(アンケート等)	杉山

図-1 講習会カリキュラム(鋼橋の料理人)2)

^{*1} 技術企画グループ グループリーダー *2 計画設計グループ グループリーダー

なお、2021年度のコロナ禍の社会情勢を鑑み、受講者は事前学修のeラーニングおよび座学をオンライン聴講する形式となり、実習フィールドでの参加と体験型授業は実施を見送っている。

3.2 「鋼橋のメンテナンス」の開発(2022年度)

鋼橋チームの実務家3名の経験を取り込むことで、 図-2に示す講習会のカリキュラムを作成した。午 前中に3人の講師が講義を担当し、午後に参加・体 験型授業としてiMecの実習フィールドにある実物 劣化部材を用いる内容である。なお、教育実習に先 立ち、事前学習用eラーニング教材および講習会テ キストの作成を行った。

時刻	時間	内容
9:15~ 9:25	10分	ガイダンス(講師自己紹介)
9:25~10:10	45分	講義1:これからの道路管理について
10:10~10:20	10分	休憩
10:20~11:05	45分	講義2:鋼橋の名医を目指して
11:05~11:15	10分	休憩
11:15~12:00	45分	講義3:鋼床版の疲労損傷と対策
12:00~13:00	60分	お昼休み
13:00~14:30	90分	参加・体験型授業: 実物劣化部材の観察
14:30~14:45	15分	学修到達度チェックテスト
14:45~15:00	15分	まとめ&アンケート

図-2 講習会のカリキュラム(鋼橋のメンテナンス)3)

参加・体験型授業のスケジュールを図-3に示す。 課題説明は舞鶴工業高等専門学校内(以下、舞鶴高 専と称す)の本館4Fの大会議室を使用し、実習フィ ールド施設まで移動して30分間の実習活動、後に大 会議室にてワークシート作成と成果発表を行うこと とした。

時刻	時間	内容	場所
13:00-13:10	10分	学習課題の説明	大会議室
13:10-13:20	10分	移動	1
13:20-13:50	30分	実習活動	実習フィールド
13:50-14:00	10分	移動	1
14:00-14:25	25分	成果の作成・発表	大会議室
14:25-14:30	5分	学習の振返り	大会議室

図-3 参加・体験型授業(鋼橋のメンテナンス) 3)

(4. 到達目標の設定)

学習到達度目標の設定は、受講生に学んでほしいことを具現化するため、実務家教員として講義

を設計するのに重要な指標となる。これは、講師が経験して重要と感じたことを受講生に理解してもらえるかを具体化するものであり、伝えるべきことが伝わっているかの評価にもつながる。業務で生かすためには、自身の経験したことが受講者に分かり、再現できて技術伝承となる。ここでは、筆者らが実証に参加した、2021年度「鋼橋の料理人」と2022年度「鋼橋のメンテナンス」のそれぞれについて学習到達度の設定を概説する。

4.1 「鋼橋の料理人」の学習到達目標(2021年度)

「鋼橋の料理人」講座で修得を目指す知識(到達目標)は表-1に示すとおりである。講義1で鋼橋の概要、講義2では床版、講義3では特殊な腐食(筆者の1人が担当)、講義4では特殊な鋼橋の改築計画についてそれぞれ修得をめざす知識(学習到達目標)を設定している。

表-1 修得を目指す知識(鋼橋の料理人)

講義1	鋼橋の主な損傷と維持管理の重要性を理解し、 メンテナンスの流れを説明できる
講義2	学習者が橋梁点検(床版)の着目点を説明できる
講義3	鋼橋の特殊な腐食の損傷部位の事例が説明でき る
講義4	世界初の斜めハンガー自碇式吊橋の拡幅計画を 理解し、説明できる

【参加・体験型授業】鋼橋の実物劣化部材の観察を通して、「床版」及び「桁」の代表的な「損傷の事例」を説明できる

4. 2 鋼橋のメンテナンス」の学習到達目標 (2022年度)

「鋼橋のメンテナンス」講座の講義内容と到達目標を表-2に示す。

表-2 修得を目指す知識 (鋼橋のメンテナンス)

講義1 (松下先生)	「これからの道路管理について」 鋼橋の老朽化対策の考え方及び課題と方向性を 説明できる。
講義2 (筆者)	「鋼橋の名医を目指して」 鋼プレートガーダー橋の代表的な損傷と補修方 法を説明できる。
講義3 (夏秋先生)	「鋼床版の疲労損傷と対策」 Uリブ鋼床版の疲労損傷の要因とその対策を説 明できる。

【参加·体験型授業】(全員)

「実物劣化(鋼橋)部材の観察」最もダメージが大きいと考える損傷を見つけ、その理由を説明できる。

講義1は道路管理における維持管理の重要性を担当、 講義2では鋼桁橋の損傷事例と補修要領を担当、講 義3では鋼床版の疲労損傷要因と対策の講義を担当 した。

参加・体験型授業では、劣化部材を選定・準備、 実際に損傷を調査・計測・記録してまとめた。

(5. カリキュラムの実証・検証 `

筆者らが実証した、2021年度「鋼橋の料理人」 と2022年度「鋼橋のメンテナンス」のそれぞれに ついてのカリキュラムの実証・検証を概説する。

5. 1 「鋼橋の料理人」の実証・検証(2021年度)

「鋼橋の料理人」講座にて、建設系高専生を対象 とした教育実習を、令和4年1月に舞鶴市内で開催 した(写真-1)。受講者は、舞鶴高専および明石高 専の学生3名であった。

オンライン講義では、鋼の特性を踏まえたガイダンスを行い、受講者の興味と学修意欲を惹きつけた。 その後、4名の講師が講義内容に合う教授法(発問法、アクティブラーニング)の活用により、受講者と双方向のコミュニケーションを図った。

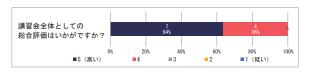


写真-1 教育実習状況(鋼橋の料理人)²⁾

教育実習の検証は、①受講者のミニットペーパーと試験成績、②開発者自身による評価、③受講者と同じ内容を聴講した開発者以外の実務家教員実証講座受講生による評価、④高専教員および技術者による評価、により多角的に行った。

①受講者の感想として"適切なメンテナンスが重要である"、"失敗経験を活かすことが大切"に加えて、"4名の講師が自分の仕事が好きでプライドを持っていると感じた"という回答が見られた。高専生以外の、開発者・高専教員・技術者による検証では、"4つの講座のテーマが明確で良い"、

"鋼橋に特化した興味深い学修内容である"、"講座 全体の流れ(メンテナンスの基本→橋梁構造の理解 →点検→損傷→技術者の経験)が良かった"、"受 講者(建設系高専生)の理解を意識した良いプログ ラムであった"、"学生との対話が工夫されており 良かった"という回答(図−4)が見られた。



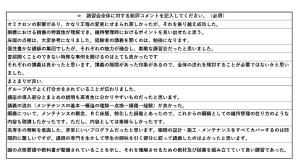


図-4 検証結果(全体評価)の例(鋼橋の料理人)2)

以上の回答は、いずれもチームとして、"講義組み立て時のチームワークと4つの講座のストーリー"と"受講者の能動的な参加を促すためのコミュニケーション"を大切にした成果であり、開発講習会後に実施した学修到達度チェックテスト(全8間)では、全ての受講者が正答率8割以上の高得点であったことにも表れている。一方、"4つの講義の関連性の強化"、"テキストおよびスライドの完成度向上"、"質疑時間の確保"など、改善に繋がる指摘があった。

5. 2 「鋼橋のメンテナンス」の実証・検証 (2022年度)

「鋼橋のメンテナンス」講座の実証について述べる。 講習会(教育実習)前日に準備を行った。受講生は 事前申し込み時点では13名の予定だったため、4名 もしくは5名×3グループ編成でアイランド型の座 席配置を準備した。準備の最終段階で新型コロナ濃 厚接触等により5名の欠席連絡があり、当日は8名 を3グループに変更した。

写真-2に講義状況を示す。教育実習2日間の初日でもあり、時間配分に苦慮した。午前中の3講義は何とか乗り切ったが、実務家教員としての講習で学んだ教授法等が十分に活用できたとは言えない状況であった。 準備と実践の繰返しが必要であると感じた。



写真-2 教育実習状況(鋼橋のメンテナンス)3)

午後からの参加・体験型授業は、各グループがそれぞれ10分間で劣化した3部材を観察し、記録した。10分ごとに回ってくる学生3グループに対応した。写真-3に実習フィールドでの学習状況を示す。実習フィールドでの作業終了後、会議室に戻りワークシートの作成および成果発表をグループごとに行った。写真-4に成果発表状況を示す。



写真-3 フィールド実習状況(鋼橋のメンテナンス)3)



写真-4 成果発表状況(鋼橋のメンテナンス)³⁾

受講者の到達度確認試験結果の平均点は42.5/70 点であり、講義1と3の正答率が45%を下回っていた。参加・体験型での発表に対するルーブリック評価は良好であった。講師が意図した維持管理における予防保全の重要性は、十分伝わったと感じた。

6. おわりに

KOSEN-REIMは、文部科学省「持続可能な産学共同人材育成システム構築事業」の取組みである。実務家教員育成研修プログラム(2021~2022年度)の参加を通して、土木建設業界の多様な経験を持つベテラン技術者とともに、"教えるための知識・技術"の修得に取り組んだ。橋梁メンテナンスに特化した実務家教員として、技術やノウハウの伝承に留まらず、土木技術者としての誇りを後進に伝えたい。加えて、社内外に実務家教員として運営・時間管理を含む講義力の向上に努めるつもりである。

【謝辞】

実務家教員育成プログラムの実施について、舞鶴工業高等専門学校 社会基盤メンテナンス教育センター (iMec) センター長 玉田和也教授、副センター長 毛利聡准教授、嶋田知子特命准教授ならびに事務局各位の貴重な指導を得た。

「鋼橋の料理人」の講座開発(2021年度)では、 I期生の掛園恵氏、杉山裕樹氏、田中洋氏とともに、 「鋼橋のメンテナンス」の講座開発(2022年度)では、II期生の夏秋義広氏、松下幸男氏とともに開発 を進めた。関係各位に深甚なる謝意を表します。 なお、2023年度のIII期生は当社からも派遣中である。 iMec事務局で立ち上げられたJP-REIMラボを含め 研修プログラム修了生と交流を続けたい。

【参考文献】

- 1) 嶋田知子、玉田和也、毛利聡: インフラメンテ ナンス分野の実務家教員の育成、令和4年度土木 全国大会第77回学術講演会、CS1-11、2022.
- 2) 松村寿男、掛園恵、杉山裕樹、田中洋:実務家 教員による建設系高専生向けインフラメンテナ ンス導入講座の開発と実践(その1)、令和4 年度土木全国大会第77回学術講演会、CS1-07、 2023.
- 3) 夏秋義広、松下幸男、内田義光:実務家に学ぶ インフラメンテナンス講座の開発と実践(その 1)、令和5年度土木全国大会第78回学術講会、 CS1-09、2023.

跨線橋における施工報告 上尾道路JR跨線橋

森永 大介 *1 川久保 浩 *2 坂本 祐子 *3

1. はじめに

本工事は、国道17号の埼玉県上尾市から鴻巣市間の交通混雑の緩和と沿線環境の改善を図るとともに、圏央道(桶川北本IC)に接続し、さいたま新都心へのアクセス強化など幹線道路網の形成を目的とした延長20.1kmのバイパス事業である。位置図を図-1に示す。

本稿ではバイパス事業の内、鴻巣市箕田地先に 新設した3径間連続鈑桁橋の施工について述べる。

(2. 工事概要

工 事 名:R3国道17号上尾道路

JR跨線橋上部工事

発 注 者: 関東地方整備局 大宮国道事務所

工事場所:埼玉県鴻巣市箕田地先

工 期:自)令和3年10月14日

至) 令和5年 5月31日

橋梁形式:鋼3径間連続鈑桁橋

I型鋼格子床版

橋 長:104.0m

支 間 割:27.0+43.0 (JR施工) +32.0m

※JR施工部との詳細は図-2を参照

幅 員:0.400+3.00+0.500+8.00+0.445m

3. 本現場の特徴および課題

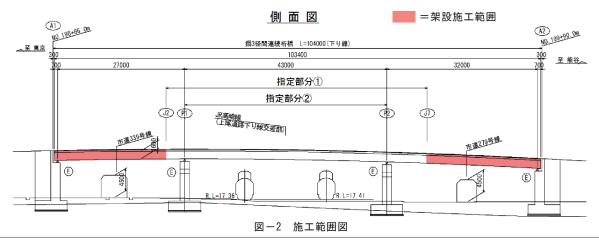
本橋は全径間工場製作範囲であったが、現地施工は3径間の内、両側径間が当社の施工範囲であり、JR高崎線を跨ぐ中央径間はJRの施工範囲であった。そのため、1つの橋梁を他社と調整しながら施工を進めていく必要があった。

本工事における特徴および課題は次のとおりである。

- ① 部材引渡し検査
- ② 施工時荷重に対する地耐力の確保
- ③ 中央径間架設後のモーメント連結
- ④ I形鋼格子床版
- ⑤ 高炉セメントを用いた床版施工
- ⑥ 立会検査における遠隔臨場の実施



図-1 施工位置図



*1 工事グループ 工事チーム 担当 *2 工事グループ 工事チーム 係長 *3 工事グループ 計画チーム 担当

(4. 特徴および課題に対する対策)

4. 1 部分引渡検査について

本工事の中央径間はJRの施工範囲であるが、橋梁部材や防護柵、鋼製排水溝の製作・手配は当社が行った。それらを現地に輸送したのち、部材引渡し検査を実施した。本工事における部材引渡し検査は、現地への輸送完了時に部材寸法・数量・塗膜厚・溶接の外観確認検査を行い、その後、JRの確認検査を行う手順であった。仮組立検査で確認済みであったが、現地にて再度確認を行った。部材の他に高力ボルト等の材料についても全数確認を行い、確認後、JRおよびJR側施工業者へ引き渡した。計測項目の中には、腹板の曲がりや、フランジの直角度なども含まれた。検査状況を写真一1に示す。



写真-1 部材引渡し検査状況

4. 2 施工時荷重に対する地耐力の確保について

本工事の鋼橋架設は、120t吊トラッククレーンを使用する計画であった。しかしクレーンヤードは地盤表層がローム層からなる軟弱地盤であったことから、クレーンの転倒を防止するために地耐力の確保および、施工中の安全管理を行った。

まずクレーン据付箇所において、スクリューウェイト貫入試験を実施し、基礎地盤の支持力を確認した。その結果からA1側クレーン据付位置は敷鉄板の設置、A2側クレーン据付位置においては、砕石置換および敷鉄板敷設を行う計画とした。

クレーンアウトリガーの反力を計画とおり有効に 分散させるため、アウトリガーの設置位置が敷鉄板 の中心になるように端部からの管理値を定めた。 クレーン設置後、アウトリガーの沈下状態を点検す るために架設前と架設中にレベルで計測を行った。

上記対策を行った結果、アウトリガーの沈下量は

規格値内であり、アウトリガー接地圧が計画とおり 分散され、適切に地耐力が確保されていることが確 認できた。

鋼橋架設時の計測状況を写真-2に示す。



写真-2 鋼橋架設時の計測状況

4. 3 中央径間架設後のモーメント連結について

本橋の上部工架設は、JR高崎線を跨ぐ中央径間を一括架設し、その後、側径間を架設する計画である。側径間架設時は中央径間が多点支持状態ではないため、架設時の支持状態を考慮した対策が必要であった。その対策として、本工事では桁をジャッキアップダウンすることでモーメントを導入する方法を採用した。また、モーメント連結は桁1本ごとに行うのではなく、下記の理由により全ての桁の架設完了後に行うことにした。

- ① 架設時における端支点反力確保のため
- ② 横倒れ座屈に対する安全性を担保するため 支点上のジャッキアップダウン設備を写真-3 に示す。



写真-3 支承上サンドルセット完了 (A2側)

先行して架設した中央径間のたわみは約32mmであり、A1支点上で150mm、A2支点上で120mm上げ越して架設を行った。

桁降下で使用したジャッキは500kN_100st (複動型油圧ジャッキ)で各桁下にセットした。ジャッキは油圧ホースでつなぎ手動ポンプにてジャッキ操作を行った。降下作業はA2橋台側から行った。約75mmずつ降下を行い、A2の降下作業終了後A1橋台側へ設備の盛替えを行い、A2同様降下作業を行った。作業は降下作業後の高さ調整を含め1日で完了した。上記手順でモーメント連結を行った結果、桁の出来形を満足することができ次工程に影響が発生することがなく、工事を進めることができた。

4. 4 【型鋼格子床版について

本橋は跨線橋であり、線路上での作業短縮を目的とし、I型鋼格子床版 (グレーチング床版) が採用されていた。構造概要を図-3に示す。

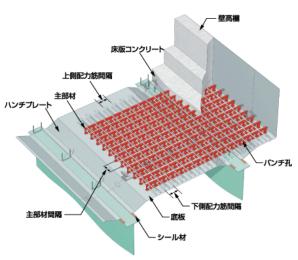


図-3 構造概要1)

I型鋼格子床版の特徴は次のとおりである。

- ① 工期短縮が可能
- ② 床版厚が薄く軽量
- ③ 施工管理が容易
- ④ 剛性が高い

実際の施工手順は次のとおりである。

Step1 桁長計測・マーキング

光波にて桁長の計測を行った。床版パネルは定尺であり、実測した桁長に合わせ設置する必要があった。橋軸方向の設置誤差の許容範囲は±5mm以下であり、正確に設置するために、実測寸法をCADに反映させ、各パネルの調整幅を決め主桁フランジ上に

マーキングを行った。

Step2 部材搬入・荷下ろし

床版パネルの架設方法として、先に設置したパネルに重ねて設置する構造になっており、架設する順番が決められている。そのため、事前に荷下ろし場所及び荷姿(1枚ごとの荷下ろしする順番)を確実に決めておく必要があった。その他に、床版パネル架設からコンクリート打設まで約1ヵ月あり、I型鋼と鉄筋への発錆を防ぐため、「サビラーズ」²⁾ によって防錆処理を行った。

Step3 継手筋挿入

先行して継手筋 (下主筋・下配力筋) を挿入する。 架設時に落下させないよう、I型鋼に番線にて固定 をする。

Step4 クレーンによる架設

床版架設状況を写真-4に示す。



写真-4 グレーチング床版架設状況

Step5 パネル位置調整・側鋼板取付け

Step6 鉄筋結束・シーリング

Step3で挿入した継手筋を所定の位置で結束する。シーリングに関しては、現場継手箇所のスプライスと底板との隙間や、床版パネルと側鋼板の継ぎ目を塞ぐ目的で行った。

本工事ではI型鋼格子床版を使用により、型枠・ 鉄筋の組立時間が大幅に削減された。

4. 5 高炉セメントを用いた床版施工について

本橋の床版コンクリートでは、通常とは違い高炉セメントB種を使用した。当初は普通コンクリートで打設する予定であったが、中央径間はJRの仕様で、高炉セメントB種で打設することになって

いた。そこで各検討を行った結果、下記理由により 高炉セメントB種を採用した。

- ① 普通セメントと高炉セメントでは、強度の発現 速度や、水和熱が異なる。そのため、中央径間 施工部との打ち継ぎ目で強度の違いや水和収縮 が異なることによりクラックが発生する恐れが ある。
- ② 普通セメントと高炉セメントでは、材齢による ヤング係数推定式が異なり、混在して使用した 場合床版打設におけるひび割れ照査が困難であ る。

高炉セメントは普通セメントと比べ初期強度が低いため、若材齢時の養生が特に重要となる。また、床版コンクリートの施工時期が1月下旬のため、保温エコシート、および桁下にジェットヒーターを使用し寒中養生の工夫を行った。保温エコシート、ジェットヒーターの使用状況を写真-5、6に示す。



写真-5 保温エコシート使用状況

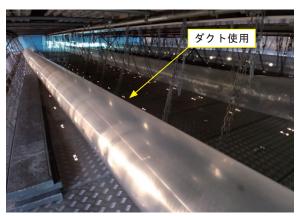


写真-6 桁下保温状況

当初は、初期のひび割れが懸念されていたが、有害なひび割れは発生することなく施工を完了した。

4.6 立会検査における遠隔臨場の実施

本工事では、ほぼ全ての立会検査で「Site Live」というシステムを用いた遠隔臨場を実施し た。

採用理由として、以下があげられる。

- ① 発注者用にカメラやパソコン、タブレットの貸与が不要であった。クラウド上で全て管理されており、発注者側では簡単な初期登録を行うことですぐに遠隔臨場が実施できる。
- ② 検査予約はクラウド上のカレンダーから検査する日付を選択し、検査内容を入力すると、登録されている発注者側に検査予約のURLが貼られたメールが届き、クリックすると検査に参加できるという仕組みである。(zoomやteamsの会議予約や参加に似ている)
- ③ 検査予約時に資料も任意の書式で一緒に送ることができ、発注者側は現地の映像を見ながら同じ画面内で資料の確認も可能となるため、立会いが非常にスムーズである。また、検査予約はスマホの専用アプリからも可能である。
- ④ ヘルメットに装着するカメラと違いスマホを使用しているため、自分自身で画像を確認しながら立会を進めることができる。
- ⑤ 立会した動画は録画されクラウド上に保存されるため、後からでも視聴可能である。

注意が必要な点は、パネル足場内や線路付近では 電波が伝わりにくい。また、検査に要するデータ通 信量が膨大なため、ポケットWi-Fiの利用が有効 である。総合的に使いやすく他現場での使用を推奨 できる。

5. おわりに

本工事の施工において随所に適切なご指導を賜りました大宮国道事務所 上尾道路監督官詰所をは じめ、関係者各位に御礼申し上げます。

【参考文献】

1) JFEエンジニアリング (株): I型鋼格子床版 (最終閲覧日2023.11.22)

https://www.jfe eng.co.jp/products/brige/br14.html

 (株) ノックス: サビラーズカタログ (最終閲覧日2023.11.22)

https://www.nox-c.co.jp/catalog/

中間支点上巻立コンクリート部に採用する 太径ねじ付きスタッド溶接施工試験

高槻高架橋東(鋼上部工)工事

加藤 正幸 *1 内山 尋斗 *2

1. はじめに

本工事は、新名神高速道路(八幡~高槻)における 高槻高架橋P1~P8橋脚区間(上下線)の鋼橋上部工 工事である。本橋梁はJR線や国道等のインフラが密 集した位置に架橋される橋梁である。図-1に位置 図を示す。

本稿では、中間支点上横桁巻き立てコンクリート 部に採用された太径ねじ付きスタッド溶接の施工試 験について述べる。

2. 工事概要 `

本工事の工事概要及び諸元は、次の通りである。 図-2に構造一般図を示す。

工 事 名:新名神高速道路

高槻高架橋東(鋼上部工)工事

発 注 者:西日本高速道路株式会社 関西支社

工事場所:自)大阪府高槻市上牧町4丁目

至)大阪府高槻市梶原4丁目

工 期:自) 令和 2年6月30日

至) 令和10年6月 7日

橋梁形式:鋼7径間連続合成少数鈑桁橋

橋 長:385.1m

支間割:53.9m+3@54.9m+2@58.9m+46.2m

施工範囲:詳細設計~工場製作工~塗装工~架設工

~PC床版工~橋梁付属物工

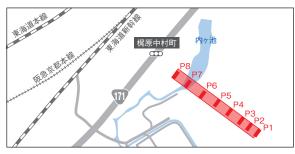


図-1 位置図

3. 試験機器と材料

中間支点上横桁はコンクリートを巻き立てる構造を採用し、鉄筋定着用にφ36の太径ねじ付きスタッドを使用している。

φ36スタッド溶接の施工実績がないことから、引 張試験はJIS B1051のねじ強度区分4.8¹⁾、曲げ試験 は廃止されたJIS B1197¹⁾ に準拠し、スタッド溶接 施工試験を施工に先立ち実施した。また溶接の外観検 査は、日本スタッドウェルディング(㈱の社内規格²⁾ に準拠した。

本試験に使用した機器、材料を下記に示す。

(全て日本スタッドウェルディング製)

溶 接 電 源:NTT-2400ACS

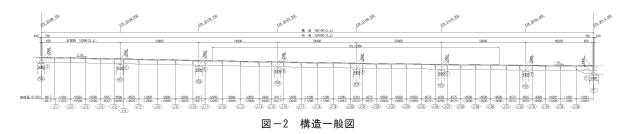
溶 接 ガ ン:ACS-21

使用材料:ねじ付きスタッド ACSMP

(有効径スタッドねじ切り長50mm)

スタッド寸法: M36×150

本試験では、スタッドウェルディング㈱製品のねじ付きスタッドを使用した。スタッド溶接機器を写真-1に示す。



^{*1} 管理グループ 橋梁生産設計チーム チームリーダー *2 管理グループ 橋梁生産設計チーム 担当



写真-1 スタッド溶接機器

4. 溶接条件

溶接条件を以下に、溶接状況を写真-2、3に示す。

溶 接 方 法:サブマージアーク溶接

溶接姿勢:下向き

溶 接 電 流:940A (±10%) アークタイム:18.0S (±10%)

突き出し長さ:23.0mm



写真-2 スタッド溶接状況



写真-3 スタッド溶接状況

溶接電流の設定が1700~1900Aの頭付き φ22のスタッド溶接と比較すると、低い電流で長く溶接するのが太径サブマージアーク溶接の特徴である。

5. 試験方法・試験結果

試験方法として、溶接の外観検査および引張試験 を実施した。外観検査記録を表-1、引張試験結果を 表-2に示す。

表-1 溶接ビードの外観、形状検査結果

		溶接後 の高さ	最小余 盛幅	溶接後の 垂直度	最小余 盛高さ	アンダーカ ットの有無	
項目		設計値 ±5.0mm 以内	0.5mm 以上	θ ≦3° 以内	1. 0mm 以上	あるものは 全て不合格	判定
試	T1-1	152	良	良	良	無	合格
験片	T1-2	150	良	良	良	#	合格
ス	T1-3	150	良	良	良	無	合格
タ	T1-4	151	良	良	良	無	合格
ッド	T1-5	150	良	良	良	無	合格
No	T1-6	150	良	良	良	無	合格

表-2 引張試験結果

試験片 スタッド	降伏点又は 0.2%耐久力 N/mm ※	最大荷重 kN(N/ mm)	引張強さ N/mm	破断位置	伸び ※	総合判定
No.	315 以上	326.8~	400~	溶接部 以外	14以上	TILE
T1-4	484	472. 6	578	軸部	18.0	合格
T1-5	484	469. 2	574	軸部	18. 0	合格
T1-6	484	463. 6	567	軸部	18.0	合格

(6. 試験結果のまとめ)

溶接部の寸法検査、外観検査では、試験片全数において欠陥がみられず、仕上がり高さも±5mmの基準値を満足した結果であった。引張試験では、引張強さ 400 N/mm以上、降伏点または0.2%耐力 315 N/mm 以上であること、溶接部以外の軸部で破断しており、基準値を満足していた。曲げ試験のハンマーによる打撃では、15°まで曲げることが出来ないため、スタッド溶接の外観検査を行い確認した。

上記により ϕ 36スタッド溶接施工試験が合格であることを確認した。

(7. おわりに)

本報告においてご指導を賜りました西日本高速道 路株式会社 関西支社 新名神大阪西事務所の方々な らびに試験協力いただいた一般社団法人 日本品質保 証機構の関係者の方々に感謝御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 日本産業規格(JIS)
- 2) 日本スタッドウェルディング(株) 製品カタログ引用

構造力学演習と実例を通した技術伝承の試み 社外講師と連携した若手技術者向け社内講習

松村 寿男 *1 櫻井 勇太 *2 藤原 史 *3

1. はじめに

近年、若手技術者育成による技術伝承が重要視さ れており、実務家教員育成立などを含め技術者教育 の試みが盛んにおこなわれている。鋼橋を専門とす る会社内においても数年前から、課長・部長クラス を社内講師として、各セクションにおける技術業務 をメインに新入社員から10年目までの若手を対象 として教育を試みてきた。一方で、中堅的な役割を 担う若手技術者は、業務優先の環境下にて、回を追 うごとに参加者が少なくなり、最終的にはわずかな 新入社員の参加に偏ってしまう現象が生じていた。 加えて、社内講師では教材を開発するなど意欲的な 者には限りがあり、技術業務の紹介に留まる講義の 内容も少なくない、教える側の力量の限界とマンネ リ化の課題も抱えていた。これらの課題を克服する ために、2022年度より社外講師による若手技術者の 社内講習の企画・開発し、実証・検証をしたので報 告する。なお、本稿は文献2)について一部加筆なら びに編集を加えたものである。

(2. 社内講習カリキュラムの設計

社外講師による社内講習のカリキュラム(表-1)の開発を行った。開発では、鋼橋の設計や施工計画のベースとなる、構造力学の初歩的な復習に加え、

- ① 構造物を見て「危ない」という感覚が現場で把握できる。
- ② 過去にニュースで報じられた施工中の事故の事 例などを通じて、構造力学の視点からその原因 を考える。
- ③ 小さな模型製作を通して、載荷実験によりたわ みや応力の感覚を養う。
- ④ 過去の技術雑誌に掲載されるような緊急補修工 事など、社内で対応した技術を伝承する(少な くとも自社実績の情報を具体的に継承する)。 についての内容を加えることとした。

講義スケジュールは、講義資料や演習問題、学習 到達度テストの作成期間に配慮した。すなわち、1 から2ヶ月間隔で講義予定を立て、参加者が多くな るように、週末や祝日で出勤日などに配慮した。

講義時間は、社外講師による構造力学講義と演習をセットにした120分に加え、休憩を挟んで社内講師による実績工事や保全診断などの経験、学修到達度テストの演習を60分程度に設計した。さらに、将来の講師育成も踏まえ、入社5~10年目程度の若手技術系課員と連携して、現場で役立つセンサー計測の実習、模型製作演習や動画の作成などの講師を経験してもらうことを企画した。

表-1 社内講義のカリキュラムの開発

年月日	実施時間/講義概要
2022年6月10日(金) 社外講師(特別講演 60分+講義60分)	14:00~17:00 対面講義/ ・特別講演 (講師・研究紹介) ・実施内容の説明と静力学から構造力学
2022年7月1日(金) 社外講師(120分) +社内講師(60分)	14:00~17:00 対面講義/ ・構造部材に働く力(N,Q,M)と求め方及び図化(講義と演習) ・送り出し架設中の断面力のイメージ図作成(写真・動画)
2022年9月23日(金·祝) 社外講師(120分) +社内講師(60分)	14:00~17:00 対面講義/ ・トラス構造と部材力の求め方(講義と演習) ・構造材料の力学的性質(応力とひずみ) ・過去の橋梁事故例のメカニズム予測演習(吊り橋やアーチの破断事故など)
2022年11月4日(金) 社外講師(120分) +社内講師(60分)	14:00~17:00 対面講義/ ・はりの内部に働く力(曲げ応力とせん断応力) を求める(講義と演習) ・鋼材ひずみゲージ貼付による曲げ応力測定演習
2023年1月9日(月·祝) 社外講師(120分) +社内講師(60分)	14:00~17:00 対面講義/ ・はりのたわみを求める方法 (微分方程式と弾性荷重法) (講義と演習) ・橋梁模型製作(紙等)と載荷試験による演習
2023年2月24日(金) 社外講師(120分) +社内講師(60分)	14:00~17:00 対面講義/ ・部材の座屈、板の座屈 ・架設中の品質事故例のメカニズム予測演習
備考	・会場、オンライン講義併用 ・構造力学の参考教科書「構造力学」崎元達郎著 (第2版) 静定編と不静定編

^{*1} 技術企画グループ グループリーダー *2 技術企画グループ 技術企画チーム 係長

^{*3} 技術企画グループ 技術企画チーム 主任

3. 講習対象者と到達目標の設計

社内講習は、難易度を若手技術者1年目から3年 目に設定し、主な受講対象とした。ただし、大学の 土木系専攻で学ぶ初歩的な静力学の内容を含むため、 当社で施工している鋼橋を大学で学んでいない者 (CADオペレータなど) にも参加を促した。さらに、 若手に限らず復習を目的としたベテラン技術者など も受講対象者とした。これは、社外講師による初歩 的な構造力学の講義(写真-1)と演習(写真-2) を通じて、実務で扱っている身近な鋼橋の接点を感 じてもらい、設計や施工計画で構造力学を使ってい ることを理解してもらうことを優先したためである。 第4章のアンケート結果を踏まえ、社外講師と協議 の上、聞くばかりの講義ではなく、自分の手を動か して演習する内容を取り入れる工夫をしている。講 義の後半60分は、社内外の設計や施工、過去の事故 を踏まえた実例の紹介と社内講師の想いを入れた内 容を取り込むことにした。テキスト作成に加え、技 術系の資格試験の受験意欲を増す試みとして、講義 の最後に、講義内容に近い技術資格試験問題、すな わち、土木施工管理技士1級、技術士1次試験、土 木鋼構造診断士(補)の過去問題を社内講師が選定 して、学修到達度確認テストとして解いてもらうこ とで、満点に近い点数を取得できることを到達目標 として設計した。

(4. WEBツールを用いた到達度確認テスト

社内講習は、当日の会場での対面講義に加え、WEB ツールによるオンライン中継を併用した。

業務都合で欠席したり、復習をしたい参加希望者が該当する講義のビデオが見られるように、限定YouTube機能を利用した。この期限付きのURLを社内配信することで、一定期間講義が見られるよう、社内掲示板などで宣伝するよう工夫した。

学修到達度確認テストはQRコードを利用した Microsoft FORMSで4~5問の選択問題を設計する ことで、採点結果をリアルタイムで確認できる工夫 を施した。これにより、講義中に解答結果の人数分 布や答え合わせの講義をするときの受講者の反応が リアルタイムで確認できること、さらに講義の感想 アンケートもリアルタイムで確認することで、受講 者と講師の共通理解を強める効果が見込めた。

加えて、QRコードによる配信で、講義内容の YouTube動画中においてもスキャンしてテストが受 験できるようにしたことから、当日参加できない受 講者の後日の出席とテスト結果についても主催者側 が確認できるようになった。



写真-1 社外講師による講義

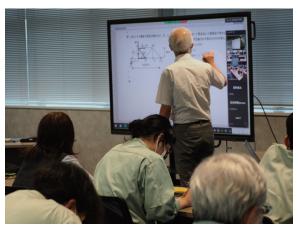


写真-2 演習問題の解説

5. 受講者アンケート結果の検証

社内講習では、講義修了後毎のアンケートを実施した。図-1~図-8に、2022年度実施した講義の第1回から第6回のアンケートの集計結果の一部を示す。まず、図-1に「講義参加者の職務の経験年数」を示す。

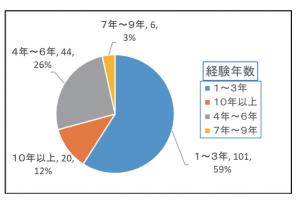


図-1 講義参加者の職務の経験年数

図-1から分かるように、若手3年目までの割合が59%、4~6年目が26%であり、ターゲットの参加者を捉えているといえる。10年以上の中堅、ベテラン社員の参加も12%確認できた。

図-2に「講義参加者の参加形態」を示す。図から分かるように、会場参加が73%である一方、WEB参加は25%となった。これは会場席をコロナ禍で30名に限定した要因もある。なお、YouTubeによるオンデマンドでの後日の参加は2%に留まった。

図-3に「社外講師の講義についての参加意欲」を示す。図から分かるように、参加に前向き(「新しい内容を含めば参加する」20%、「是非参加したい」45%)が多くを占めたが、「同じ内容なら参加しない」が15%と厳しい意見もあった。

図-4に「講義の理解度」を示す。図から分かるように、90%が理解できている旨の回答である一方、9%が「理解できなかった」との回答であり、おおよそ構造力学を学んだことのない、専門外の受講者には理解度が得られていない状況も推察できる。

図-5に「講義の進め方の要望」を示す。図から 分かるように、「演習」35%、「説明のみ」33%が多い 一方で、「対話形式」19%、「読ませて理解」11%など、 講義の進め方に対する貴重な意見があった。

図-6に「講義の印象に残った内容」を示す。図 から分かるように、「例題演習」25%、「当社での実工 事での体験談」18%、「動画の説明」20%であった。演 習で時間を取って、実際に手を動かすことの重要性 と動画説明による効果が検証できた。

図-7に「講義内の当社の対応工事に対する知見」を示す。図から分かるように、「先輩、上司などから聞いたことがある」40%の一方で、「まったく知らなかった」30%という結果も筆者の想像以上であった。これは、講師にとっては「最近の話題」と思っていても、若手技術者には「知られていない」という現状をデータから検証できた。

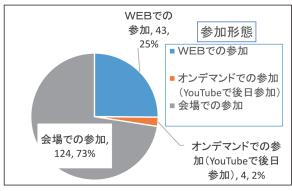


図-2 講義参加者の参加形態

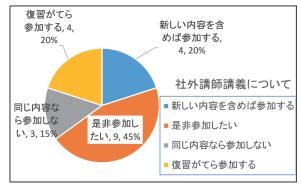


図-3 社外講師の講義への参加意欲

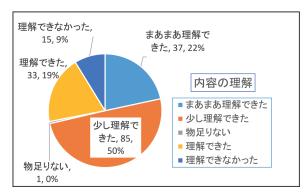


図-4 講義の理解度

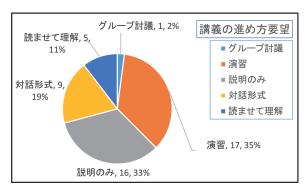


図-5 講義の進め方の要望

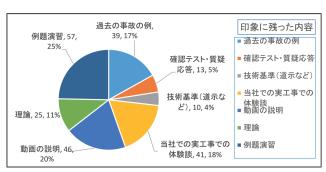


図-6 講義の印象に残った内容

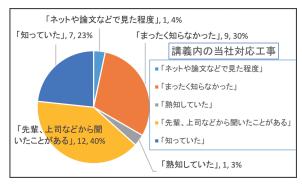


図-7 講義内の当社の対応工事に関する知見

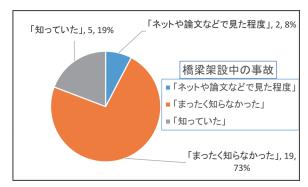


図-8 橋梁架設中の事故に関する知見

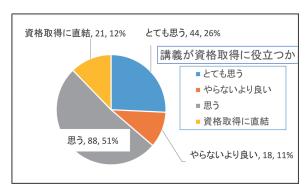


図-9 講義内容の資格取得との関連性

図-8に過去にメディアなどで取り上げられた「橋梁架設中の事故に関する知見」を示す。図から、「知っていた」19%に対して、「まったく知らなかった」73%であることから、失敗事例の技術伝承が十分ではないことを痛感できた。

図-9に「講義内容の技術資格取得との関連性」を示す。図から、89%が役に立つ旨の回答の受講生が多い一方、「やらないより良い」11%の意見があり、資格取得への動機づけの講義内容に改善の余地があることが分かった。

6. おわりに

本稿では、社外講師を招いた社内講習の開発・実 証の試みについて記述した。以下に要点を示す。

- ① 鋼橋の設計や施工計画のベースとなる、構造力 学の初歩的な復習に加え、構造物を見て「危な い」という感覚が現場で把握できる講義を企画 した。
- ② 将来の講師育成も踏まえ、入社10年目程度 までの若手技術系課員と連携し、現場で役立つ 計測の実習、模型製作演習など「部分的に講師 を経験してもらう」講義を設計した。
- ③ 初歩的な構造力学の講義と実務で扱う身近 な鋼橋の接点を感じてもらうこと、技術資格試 験例による確認テストで資格取得意欲を促す試 みをした。
- ④ WEBツールの使用で、講義中に解答結果の分布や答え合わせ、講義の感想アンケートで受講者の反応がリアルタイムに確認できた。
- ⑤ アンケート結果から、演習時間で実際に手を動かす重要さと動画説明による効果、講師にとっては「最近の話題」でも、若手には「知られていない」現状などを数値的に検証できた。本稿の2022年度の検証結果を踏まえ、2023年度はレベルアップした内容にチャレンジしている。

【謝辞】

本稿で実施した講義を企画・開発・設計するにあたり、社外講師として、熊本大学 山尾敏孝名誉教授に多大なるご指導をいただいた。講義開催に際しては、技術本部各位に会場設営、動画録音、WEBアンケート処理に至るまで多大なご助力を得た。講義参加者を含め、関係各位に深甚なる謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 例えば、嶋田知子、玉田和也、毛利聡: インフラメンテナンス分野の実務家教員の育成、令和4年度 土木全国大会第77回学術講演会、CS1-11、2022.
- 2) 松村寿男、山尾敏孝:構造力学演習と実務の技術 伝承をめざした若手技術者への社内講習の試み、令和 5年度土木全国大会第78 回学術講演会、CS1-18、 2023.

高速鉄道橋の支承取替工における工夫 堀川通架道橋

小酒井 健斗 *1 平野 観人 *2

(1. はじめに

本工事は、東海道新幹線のうち、京都駅に隣接する堀川通架道橋(東京起点476km828m)において鋼橋の支承取替えを行うものである。本橋は、写真-1に示す近鉄京都線及び国道1号を跨ぐ鉄道橋であり、近鉄架線が橋脚に近接している。さらに、1Pにおいて写真-2に示すように橋脚前面に商業ビルがせり出しているため、橋脚足場に直接クレーンで荷揚げすることは困難である。また、図-1に示す2連目はゲルバー桁(吊桁)であり、ゲルバー部の支承も施工対象となっている。

本稿では、近鉄架線の近接かつ商業施設のせり出 しの条件下での設計・現場施工上の工夫、並びにゲ ルバー部における仮受け工の施工検討について報告 する。

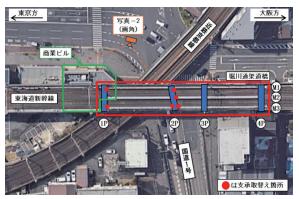


写真-1 平面図



写真-2 1Pと商業施設の位置関係

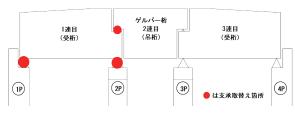


図-1 模式図

2. 工事概要

工 事 名:東海道新幹線 堀川通架道橋

支承取替工事

発 注 者: 東海旅客鉄道株式会社新幹線鉄道事業本部

工事場所:京都府京都市南区西九条北ノ内町

五 期:自)令和4年11月 1日 至)令和5年 8月31日

橋梁形式:3径間道床式下路プレートガーター

(3主桁ゲルバー構造)

施工範囲:支承取替

1P (橋脚上2基)

2P (橋脚上1基+ゲルバー部3基)

(3. 近鉄架線との施工上安全な離隔確保)

3.1 離隔距離の協議

橋脚と近鉄架線の平面位置図を図-2に示す。下部エブラケットの形状及び検査路の復旧範囲を決定する際、近鉄架線との離隔距離を考慮する必要があった。ここでは、近鉄架線に最も近接している1P(M3)について、離隔距離を施工検討した。

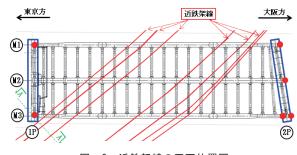


図-2 近鉄架線の平面位置図

3. 2 3Dスキャナーを用いた点群データの取得

近鉄架線の既設位置をCAD上で再現する。近鉄架線~橋脚間の距離を直接手計測することはできないため、レーザースキャナーによる三次元測量の手法を採用した。使用した測定機はFARO Focus $^{1)}$ である。本機器で取得した点群は (X,Y,Z) の三次元座標データを保持できるため、パソコン上で距離の測定が可能である。測定の際には、図-2のA-A断面図をオルソ画像に変換し、CAD上で距離を測定した。図-3に取得した点群データを示し、図-4に三次元オルソ画像より計測した結果を示す。



図-3 現地(左)と点群データ(右)の比較

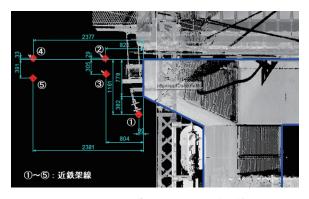


図-4 オルソ画像より取得した計測結果

3. 3 下部エブラケットの検討

下部エブラケットは、T型橋脚の張り出し部に設置する。矩形の標準ブラケットを採用すると橋脚内に収まらず、近鉄架線に接近する。そのため、図-5に示すように張出し部の形状に沿ったブラケット形状に改善した。

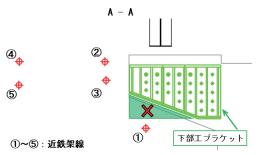


図-5 下部エブラケットの形状(正面図)

さらに、下部エブラケット設置後の近鉄架線~下部エブラケット間距離は、3.2で計測した離隔距離より小さくなる。図-4の計測結果を反映した近鉄架線の平面位置図に、図-5で施工検討した下部エブラケットを重ね合わせて離隔距離を計測した。その結果を図-6に示す。以上で近鉄架線との離隔距離を確保した下部エブラケットの形状を決定できた。

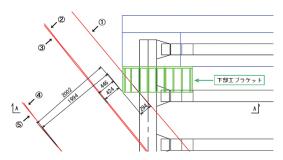


図-6 近鉄架線と下部エブラケットの離隔距離

3. 4 新設検査路の検討

本工事の付帯工として、施工前に全撤去されていた既設検査路(1P)の復旧があった。既設検査路の橋軸方向の幅は765mmであった。新たに取り付ける下部エブラケットの幅が600mmであり、点検員が通行可能な幅(300mm程度)を確保するため、新設検査路では幅を拡張しなければならない。それに伴い、近鉄架線〜新設検査路の最短距離が既設検査路よりも小さくなるため、近鉄架線との離隔距離を施工検討する必要があった。図ー7に既設検査路と新設検査路の近鉄架線までの離隔距離を比較した結果を示す。既設検査路の離隔距離が315mmに対し、新設検査路は198mmであった。離隔距離が小さく、近鉄レール上での作業となり施工が困難であるため、検査路の復旧範囲は図ー7に示すX-Xの位置までに変更した。

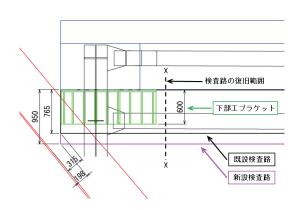


図-7 近鉄架線と検査路(既設・新設)の離隔距離 (平面図)

(4. 施工箇所に応じた部材荷上げ方法)

本橋は、歩道と商業施設の直上(1P)及び、交差点 と国道の直上(2P)にあり、本工事における部材の荷 上げは道路規制を行う必要があった。

4. 1 歩道・商業施設上での方法

当初案では、歩道にラフタークレーンを設置し、 部材を荷上げする予定であった。夜間での作業、か つ商業施設の営業終了時間が23:30であるため、作 業可能時間が短い。そのため、設置時間が短く、積 載型移動式クレーン(通称:ユニック)での施工検討 をした。積載型移動式クレーンを使用するにあたっ て以下の課題があった。

- ① 商業施設の高さが8.5m
- ② 商業施設上から足場への取り込み方法

これらの課題を解決するため、使用する積載型移動式クレーンの選定、商業施設上での部材取込方法 について施工検討した。

4. 2 使用クレーンの選定

クレーンを選定するにあたり、歩道上で部材の荷上げを行うため、大きい車両を設置することができない。荷揚げ高さと部材重量を考慮し、4t車かつブームが10m以上伸びる車両の選定が必要であったため、4t車でブームが最大12.3m(5段ブーム)に伸びる積載型移動式クレーンを採用した。さらに、使用する歩道上で1t近くの部材を荷上げするとアウトリガー設置部分が沈下する恐れがあるため、敷板としてプラシキを使用し、沈下防止措置を施した。また、ブーム等が接触しないように、商業施設の端部には赤色の合図灯を設置した。部材取込図を図-8に示す。

4.3 商業施設上から足場上への取込

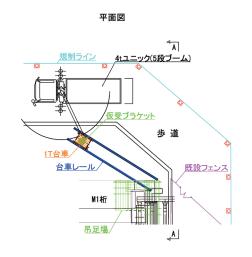
商業施設上が防水層で覆われているため、バンギの上に一時仮置きはできるが足場上に部材を取り込む際に防水層が傷つかない部材運搬装置を検討する必要があった。部材運搬装置を吊足場下まで設置し、直接取り込めるよう行った。部材荷上げ、取り込みを写真-3、4に示す。



写真-3 部材荷上げ状況



写真-4 運搬装置仮置き状況



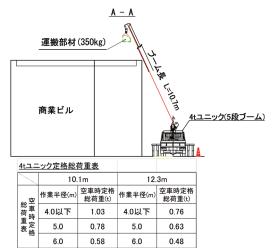
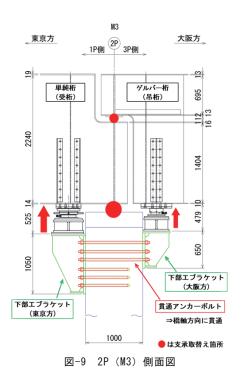


図-8 部材取込図 (1P)

(5. ゲルバー部の仮受工の検討)

5.1 貫通アンカーボルトの採用

2Pにおいて、M3は単純桁(受桁)側とゲルバー桁(吊桁)側の両方の支承取替えを行うため、橋脚の両側に下部エブラケットを設置しなければならない。一方で、橋脚幅が小さく(幅1000mm)、片側ずつ単独のアンカーボルトを配置することは難しい。さらに、東京方の下部エブラケットには単純桁とゲルバー桁を合わせた反力が作用するため、途中定着アンカーボルトでは本数が多くなり、下部エブラケットが大型化し、施工性が悪くなる。よって、図ー9に示すようにアンカーボルトは橋軸方向に貫通させ、東京方と大阪方の下部エブラケットを共締めとした。



5.2 現場施工の工夫

貫通アンカーボルトの削孔にあたり、東京方・大阪方の下部エブラケットのリブ間隔が決まっているため、東京方と大阪方とで削孔を正確な位置に行う必要があった。そこで、設計削孔位置を橋脚前面に野書き、罫書位置を橋脚天端(東京方と大阪方)に映し、レーザー墨出器にて橋側歩道を支持している既設溝形鋼に映した。既設溝形鋼から設計削孔位置には距離を要するため、写した基準線に下げ振りを二箇所設置し、削孔機械との距離を計測して貫通アンカーの削孔を行った。

また、アンカーボルトの定着を施工するにあたって既設橋脚前面の鉛直度を計測した結果最大30mm

の誤差があった。貫通アンカー定着時の定着深さの 決定は、ナットからねじ山が出るように東京方と大 阪方で調整する必要があった。下部エブラケットの 取付中心で東京方と大阪方の鉛直度を計測し、計測 データをCADに写し、アンカーボルトの定着長が確 保できる位置でアンカーボルトを定着した。写真-5 に設置完了後の下部エブラケットを示す。

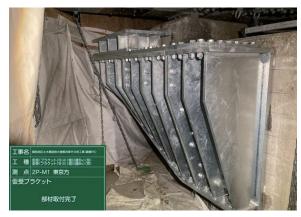


写真-5 下部エブラケット設置完了

9. おわりに

本工事は、近鉄架線の近接かつ交通量の多い国道の交差点、商業施設近傍という数多くの制約条件のある中、JR及び近鉄列車の運行への支障・事故を起こすことなく完工することができた。レーザースキャナーを用いた三次元測量は、立入りが困難又は不可の場所にある対象物の位置関係、及び橋脚等の寸法が大きく、直接手で測定することが困難な対象物を計測する際に有意義な手法である。さらに、計測したデータは客先や協力会社への説明資料として使用することで、円滑に合意形成を進めることが可能となる。今後は、下部エブラケット等の取付け部材を3Dモデル化し、取得した点群データ上に当てはめることで、あらかじめ施工後の現場状況を視覚的に知ることができるようにする等の活用方法を模索していく。

最後に、本工事においてご指導を賜りました東海 旅客鉄道株式会社新幹線鉄道事業本部、京都保線所 の方々に御礼を申し上げます。

【参考文献】

 山口茜、村上寛幸、阿部碧流:高精度三次元測 定による既設部材計測の工夫、技報たきがみ VOL. 39、pp. 57-60、2022.

工事写真の振り分けにおけるAIの活用事例 画像処理による生産性向上の試み

鳥羽 亮良 *1

1. はじめに

近年、土木業界においてAI技術への取り組みが盛んに行われている。本報告では、書類作成、電子納品等の生産性の向上を目指して、AI技術を活用した工事写真の振り分けの実験例を紹介する。

【 2. 土木業界のAI活用の現状

近年、土木業界において、AIは画像処理分野で活 用されている。例として三次元測量は、センサーと 画像解析を組み合わせることで点群データを取得し ている。また、コンクリートのクラックなどの損傷 を画像で学習させることで、ドローンに搭載したカ メラとAIで自動点検を可能とする研究が行われて いる。画像処理技術は、工事で撮影する写真の振り 分け作業の時間短縮に活用可能である。土木業界に おいて、写真は記録・証拠的側面が大きく、施工途中 の作業状況を撮影し、記録として提出することが実 施されている。撮影媒体として、スマートフォンが 普及した昨今では、各担当者が一定の基準を満たす 写真を手軽に撮影することが可能となった。その一 方で、撮影枚数の増大により写真整理に時間を要す る。そこで、本稿ではAIを活用して写真の振り分け 作業を自動化することで生産性の向上を図る試みに ついて記述する。

(3. AIのアルゴリズムおよび学習方法

AIとはArtificial Intelligenceの略であり、「人工知能」を意味する。AIを活用するためには、アルゴリズム、使用目的、判断方法などを明確にし、そのためにどのように学習させるかを人間が決める必要がある。AIのアルゴリズムは、条件式や計算式により構成され、様々なルールにしたがって処理が行われる。アルゴリズムはAIのひな形であり、そのままでも使用することは可能であるが、ひな形に学習させることで、能力の向上を図ることができる。AIは生徒と例えることができる。生徒にある特定の分野のワークブックを与えて、生徒の基準で判断させ学習していくことで、その分野を得意にしていくというイメージである。

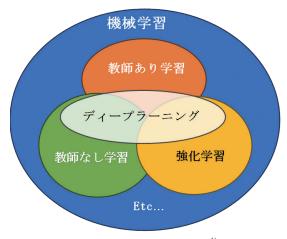


図-1アルゴリズムの概要図1)

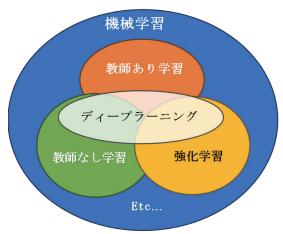


図-2機械学習の概要図2)

AIを適切に学習させるには、膨大な量のデータと 事前の準備が必要であり、ワークブックをいかに生 徒に勉強させるかがAIの学習方法で重要となる。そ のため、各アルゴリズムで学習方法が異なる。学習 方法は大まかに分けて3つ存在する。

1つ目は、「教師あり学習」と呼ばれる方法である。これは、AIにデータを使って学習させる際に、答えを用意しておくものである。例えば、ある画像がリンゴか否かを判断させる場合、AIにリンゴの写真とリンゴ以外の写真を見せる。リンゴの写真にはリンゴであると教え、リンゴ以外の写真にはリンゴではないと教える。この学習過程で、AIはリンゴとリン

ゴ以外の写真から何らかの差異を得て、判断材料を 構築する。この方法は、答えをあらかじめ教えるた め、精度が高く学習速度も速いが、明確な答えがな いものに対しては有効ではない。また、誤った答え を持つデータを与えてしまった場合には、正しい判 断ができなくなるおそれがある。

2つ目は、「教師なし学習」と呼ばれる方法である。これは「教師あり学習」と異なり、データに答えを用意せず学習させるものである。例えば、リンゴなどの様々な果物の写真を見せて学習させる。この際、先ほどと異なり明確な答えが与えられないため、AIは独自の判断で、ある特徴に注目した差異に従ってデータを分類する。そうすると似通った特徴や傾向を持つものに分類することができ、分類されたデータから欲しい特徴を選別していくことで学習の方向性を定めることができる。この学習方法は、明確な答えがないものであっても、ある程度の分類や答えを出すことができるが、明確な答えを教えないため、結果の信頼性を保証できない。また、欲しいデータ群が返ってこない、答えの精度が低いなどの懸念がある。

3つ目は、「強化学習」と呼ばれる方法である。これは、先述の2つの方法と異なり、AIにある状況を与え、目標達成のために試行錯誤させて、結果を評価させる方法である。要するに、答えを先に見せて、どのように解くのが最適か考えさせる方法である。例えば、AIにゴール(目標)と道のり(状況)を与える。AIはゴールにたどり着くために、様々な方法で道のりを試し、ある方法でゴールへたどり着く。そして、その方法がどの程度良いかを伝える。この学習方法は、AIが自分で方法を考えて実行し、より良く目標を達成する方法を模索するものである。構築の途中で状況を変更することもできるが、様々な方法を試すため、学習には時間がかかる。

近年耳にするディープラーニングやニューラルネットワークは、特殊な生徒(ニューラルネットワーク)が特殊な学習方法(ディープラーニング)を行うもので、基本的には3つの学習法の内の一種である。ニューラルネットワークとは、図ー1のように生徒(アルゴリズム)のうち人間の脳の神経構造を模したものを示し、ディープラーニングとは、図ー2のように先の3つの学習方法に含まれるものであり、更に複雑な事象を扱うことができる。例えば、入力データをもとに、様々な値を考慮して細かな判断ができ、過去にAI自身が行った判断を思い出して判断する

ことが可能となる。

(4. 写真振り分けAI)

4. 1 実験概要

今回、実験的に図-3に示す写真の振り分けを試みた。手順の概要は以下である。①黒板内容の認識、②振り分け先フォルダの作成、③写真のファイル名変更、④振り分け先フォルダへ写真を移動



図-3 振り分けに用いた写真

4.2 黒板文字の認識

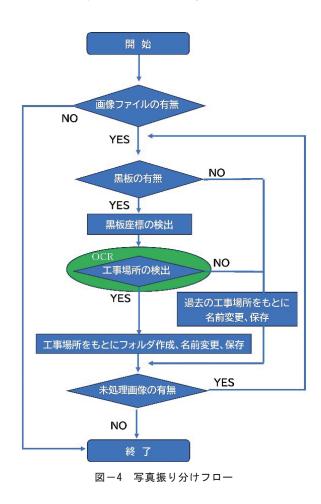
工事における黒板の主な内容は、工事名、工事場所、部材名などで構成される。黒板内の文字認識は、文字という正解が存在するため「教師あり学習」を行ったAIが必要であった。学習を0から行うと、膨大な量のデータと時間をかけて学習させる必要があるため、今回はあらかじめ他者が構築したオープンソースソフトウェアのEasyOCR2)を活用し、プログラム開発の時間短縮を図った。

OCRとは、Optical Character Reader (Recognition)

の略で光学的に文字を読み取りデータへと変換する 技術である。あらかじめ用意されている文字データ の形と照らし合わせ、類似性の高いものをその文字 として認識させる。EasyOCRはAI OCRの一種であり 処理は文字列ごとに区切って行い、その文字列に応 じたデータを格納することができる。

4. 3 アルゴリズム

写真振り分けフローを図-4に示す。プログラミン グ言語はPython3)を使用した。OCRは、今回EasyOCR を使用することにより、アルゴリズムのモデル選定 や作成、学習は必要ないが、EasyOCRを活かすための 前処理を構築する必要があった。



今回実験で使用する写真を分類すると、表-2のよ うになる。AIにより黒板画像から工事現場及び作業 項目を認識して、図-5の工事場所フォルダを生成す る。各写真は図-6のように時系列管理を目的とした 日付時間をファイル名に追加して各フォルダに振り 分ける。黒板無しの写真は、1つ前の処理でフォル ダ分けした際に残した文字分析データを読み取って、 同じフォルダに入れることとした。

表-1 AI実験使用写真分類

写真 No	1	2	3	4	5	6	7	8
黒板 有無	0	0	0	0	×	0	0	×
工事場所	瀧上 建設	瀧上 建設	瀧上 建設 3F	瀧上 建設 3F	瀧上 建設 3F	瀧上 建設 4F	瀧上 建設 4F	瀧上 建設 4F







瀧上建設

瀧上建設3F

瀧上建設4F

図-5 写真振り分け先フォルダ



図-6 ファイル名の変更処理

工夫した点は、黒板の位置や大きさが異なってい ても処理が可能であることと、処理速度と文字認識 精度向上のため、文字認識範囲を黒板のみに絞り込 むアルゴリズムとした。図-7に絞り込み手順を示 す。

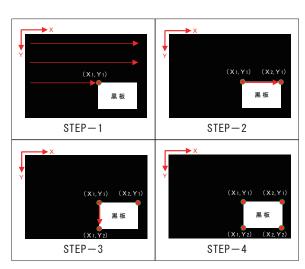


図-7 0CR範囲(黒板)の絞り込み手順

STEP-1:写真の左上端から右下端に向かって、黒板の 左上端の座標(X1, Y1)を色により検出する。

STEP-2: 黒板の左上端座標 (X1, Y1) を起点として 右上端座標 (X2, Y1) を検出する。

STEP-3: 左上端座標 (X1, Y1) を起点として左下端座標 (X1, Y2) を検出する。

STEP-4: 黒板は長方形のため上記3点より右下端座標 (X2, Y2) となる。

STEP1~4の算出座標より文字認識範囲の絞り込みを行うことができた。

ただし、左上端の座標の検出精度が低く、文字認識範囲が狭くなるケースが複数回発生した。図-8に左上端の座標の検出精度が低かった事例の画像認識範囲を示す。そのため、左上端の座標(X1, Y1)の認識時のしきい値を微調整して対応を行った。

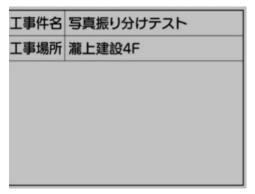


図-8 文字認識範囲の失敗例

4. 4 実験方法

実験環境は、DellノートPC Latiude3520、OSはWindows10、プロセッサは11th Coreーi5-113567、メモリは、8GBで行った。撮影はiPhoneSEで行った。

4. 5 実験結果

AIによる振り分け処理は1画像あたり10秒ほどの時間を要した。AIによる読み取りは全ての写真において成功し、振り分けも名前変更も良好であった。写真1~2は、読み取りおよびフォルダ「瀧上建設」が生成され格納された。写真3~4は、読み取りおよびフォルダ「瀧上建設3F」が生成され格納された。写真5は、黒板がついていないが前回処理した黒板データを読んで「瀧上建設3F」に格納された。写真6~8も同様にフォルダ「瀧上建設4F」が生成され格納された。移動した写真はいずれも名前も撮

影日時が反映することができた。

5. 今後の課題

実験結果を踏まえ、課題と対策を下記に示す。

課題1:黒板範囲の座標検出精度の向上。

対策1:黒板とそれ以外の境界を明確にするため、 輪郭強調処理を付加する。

課題2:0CRの文字認識精度と速度の向上。

対策2:工事場所参照方式の採用。文字認識に加え Excelであらかじめ工事場所一覧を作成し ておいて読み込ませ、読み込んだ工事場所 とAIで読み込んだ文字列との適合率から Excelの工事場所を採用することで精度と 速度の向上を図る。

課題3:工事では複数の担当者が写真撮影を行い、 振り分け作業を行っているため、複数同時 作業が課題である。

対策3:exeファイル化やGUIなどを追加して誰に でも扱いやすく、クラウド化でネットワー ク上で複数同時に実行可能なシステムの構 築を図る。

5. おわりに

本稿は、AIを活用して画像認識を行い写真の振り分けを試みた。結果は、AIが自動で判断して写真を振り分けることができた。自動化により作業時間を短縮でき生産性を向上させることができた。AIには様々な業務を自動化し時間短縮を行うことが可能である。AIに少しでも関心を持っていただき、業務の時間短縮の一助となれば幸いである。

【参考文献】

1) AINOW 機械学習とは?定義から学習手法・5つの アルゴリズム・活用事例までわかりやすく解説 (最終閲覧日:2023.11.28)

https://ainow.ai/2019/11/26/180809/

総務省統計局 データサイエンス (機械学習のアルゴリズム) によるデータ解析が社会にもたらす変化 (最終閲覧日: 2023.11.28)
 https://www.stat.go.jp/teacher/dl/pdf/

c4learn/materials/fourth/dai1.pdf

- 3) Jaided AI produces EasyOCR. (最終閲覧日:2023.11.28) https://www.jaided.ai/
- 4) Python Software Foundation produces Python. (最終閲覧日:2023.11.28) https://www.python.org/

kintoneによる現寸情報の一元管理の試み 生産情報の集約と活用

天野 貴文 *1

1. はじめに

2022年の技報ではkintoneを使用した部材リストの活用を報告¹⁾した。本稿では、現寸作業へのkintone活用内容を報告する。

2. 現寸作業とは

現寸作業とは、工作図の内容から、一つひとつの 部品を抽出し、発注するための明細書の作成、製作 するための図面(加工リスト、マーク図)の作成を 行う作業を示す。現寸作業の内容は多岐に渡るが、 大別すると次のようになる。

- ① 現寸明細(板)(以下①から③を、明細と示す。)
- ② 現寸明細 (形鋼)
- ③ 現寸明細 (購入品)
- ④ 加工リスト
- ⑤ マーク図
- ⑥ 変更通知書

明細は各部品を購入するための明細書であり、購入する①②③の内容ごとに仕分けされる。④加工リストは、各部品の孔明位置や加工情報が書かれている。⑤マーク図は、各部品の組み立て寸法や組み立てる箇所が書かれている。⑥変更通知書は一度発行した書類に変更があった際に、変更内容を伝える資料である。

現寸作業は、明細書を取り扱うことから工場製作するための部品管理作業とも言える。そのため、工場製作時の問い合わせが集中するので、情報管理が重要な要素となる。

3. 従来の情報管理手法

従来の明細作成作業では、社内様式が表計算ソフトで作成されているため、その中に情報を打ち込み、紙に印刷して発行する手順となっていた。紙で発行した明細はファイルに綴じており、用意された表紙に発行番号を記載して管理を行っていた。

発行された明細に対する納期は、次工程の製造部 門で決めることになっているため、製造部門に渡っ た紙の明細に対して直接納期が書き込まれていた。 さらに、次工程の調達部門では、表計算ソフトで 作成された内容を、別のソフトに取り込むためにデータ形式の変換を行っていた。納期の情報は紙で受 領するため、2つのデータを検収する必要があった。

(4. 従来作業の課題点

鉄骨製作では、「鉄骨専用CAD」と呼ばれるBIMソフトから現寸情報を出力することができる。しかし、社内様式との整合性が悪く、コピー&ペーストが行いにくい。また、現寸作業を外注することもあるが、他社で社内様式に入力してもらうことができず、成果品の受領後に、社内様式に転記する追加作業もあった。図-1に示す社内様式に拘ることで、転記する手間、転記内容の確認といった、生産性の低い作業を行う必要があった。

	材質		寸		法	箱	あ代	数量	
		×	×	×	×	(+)		
		×	×	×	×	(+)		
		×	×	×	×	(+)		
		×	×	×	×	(+)		
		×	×	×	×	(+)		

図-1 社内様式(表計算ソフト)

工場製作時には、明細や加工リスト等の問い合わせが多数発生する。その際にはファイルに綴じられた紙の資料から、表紙の情報をもとに検索することになる。しかし、担当者の記憶や、曖昧な問い合わせ内容から探すことになるため、検索に多くの時間を使っていた。

精算時などの任意の時期に、明細の重量を集計したい場合は、明細ごとの表計算ソフトのデータとなっているため、集計が行いづらく、別の表計算ソフトに転記する必要があった。

納期情報も次工程で直接紙に書かれているため、 調べるためには別の部署に問い合わせを行うことに なり、非効率であった。

これまでの内容を整理すると、「現寸作業で作成したデータや付加された情報が分散されていること」が大きな課題点として考えられる。

^{*1} 鉄構管理グループ 生産設計チーム 課長代理

5. kintoneの活用による解決策

解決方法として一か所にデータをまとめることが 重要と考えた。その方法を考えた結果、kintoneの アプリを活用し、各部門で作成されたデータや情報 を集約することにした。kintoneのアプリ構成は、 従来行っている作業からの移行のしやすさを考え、 現寸作業の内容と同様に、①②③の内容ごとにその ままとした。④と⑤は統合して管理できることから、 次に示すアプリ構成にした。

- 1. 現寸明細(板) アプリ(①から③、明細アプリ)
- 2. 現寸明細 (形鋼) アプリ
- 3. 現寸明細 (購入品) アプリ
- 4. 現寸リストアプリ

kintoneにデータを入力する際は、CSVデータで取り込むことにより、鉄骨専用CADや外注先からのデータ形式に依存しにくくなった。コピー&ペーストする際も、部分的に行わないようにすることで、確認手間の作業を減らすようにした。

明細の社内様式での運用は、各部署との調整の結果、kintoneと併用して運用することになった。そのためkintone上のデータを社内様式に出力する必要が生じてきたが、社内様式の微修正及び表計算ソフトへの出力機能を追加することで、最小限の作業で出力できるようにした。出力結果を図ー2に示す。kintone上のデータを表計算ソフトに出力するため、出力後の入力内容の確認は不要とした。

明細アプリから現寸リストアプリを作成する際には、明細アプリのデータから、図-3に示す「現寸リストへの移行」ボタンを押すことで、工事番号や明細番号等の重複する内容は自動的に転記できるようにした。

											-		+		
符号	名称	材質			-	t		法			á	宿み代		数量	重
DL325	FB	SS400	6	×	65	×	×		×	325	(+)		3	3
DL300	FB	SS400	6	×	65	×	×		×	300	(+)	ī	3	2.
DL220	FB	SS400	6	×	65	×	×		×	220	(+)	ı	2	1.
				×		×	×	+	×		l.		+		-

図-2 社内様式への移行

kintoneの活用により、現寸作業時の情報を転記する手間が削減できた。問い合わせがあった際は、図-4に示す検索欄に必要内容を打ち込むことで、該当する(又は関連がありそうな)データが表示され、検索に要する時間も大幅に削減できた。担当者や部署が異なっていても、必要な情報を見つけることが容易となった。



図-3 アプリ間のデータ移行



図-4 検索結果

6. おわりに

現在、⑥変更通知書はまだアプリ化できていない。 工場製作では、客先の都合や指示間違い等のあらゆる理由で変更が発生する。そのため、変更通知書には5W1Hを記載することが重要になる。しかし担当者により記入内容のばらつきが発生するため、結果的に検索しづらい状況になる。データを所定の場所に記入し内容を統一することで、検索時間を短縮することが可能になると考える。また、変更作業にかかった時間を集計することで、どれだけ余分な作業を行っているかを分析するのにも役に立つ。

現在の明細アプリの中には、注文明細に関する情報のみ集約されているが、購入金額や納入状況を加えることで、購入時期などによる金額の推移や、納入物の確認を担当部門以外でも知ることができるため、各部門での情報共有、実績値による分析が行いやすくなると考える。

このように一つの情報に付加価値を加えることで、 情報活用しやすい環境を作りたい。

【参考文献】

 天野貴文: kintoneによる情報の一元管理 鉄骨 部材リストの作成と活用 技報たきがみVOL. 39、 pp67-68、2022.

高摩擦有機ジンクリッチペイントの実用記録 すべり耐力試験の実施手順及び実用時の注意事項について

山下 真史 *1

1. はじめに

本稿は、鉄骨工事において採用した高摩擦有機ジンクリッチペイントに関連する概要、すべり耐力試験の準備過程及び結果報告の他、製品への塗布における施工時の工夫・注意事項をとりまとめたものである。

はじめに、亜鉛末塗料の概要、橋梁と鉄骨における摩擦接合面の差異、鉄骨部材における摩擦接合面の防錆処理について述べる。

1.1 亜鉛末塗料の概要

亜鉛末塗料とは、塗料の中に亜鉛粉末が含有された塗料を指し、塗布された母材と亜鉛末の間で、素材の電位差を利用した犠牲防食作用が働くことにより、発錆を抑制する効果が得られる塗料である。

上記塗料の使用用途は、めっき損傷部の補修に用いられることが多く、鋼材からの発錆を抑制することを目的に塗装仕様の第1層に採用される。

新設の橋梁では、亜鉛末塗料の一種である無機ジンクリッチペイントが採用されていることが多い。 しかし、建築鉄骨では、屋外向けの塗装仕様である 耐候性塗料塗り(DP塗装)の場合に、ジンクリッチプライマー(鋼材購入時の錆止め防止塗料)が採用される程度に留まっている。

無機ジンクリッチペイントと無機ジンクリッチプライマーの主な違いは、塗膜厚と摩擦接合面へ塗布した際のすべり係数である。

1. 2 橋梁と鉄骨における摩擦接合面の差異

無機ジンクリッチペイントを採用した橋梁部材では、高力ボルト接合面に対しても高い犠牲防食性を有する亜鉛末塗料が塗布されている。

しかし、建築鉄骨の摩擦接合面は、すべり係数を 確保するため、接合面に赤サビを発錆させた状態(無 塗装)が標準である。赤サビの発錆した摩擦接合面は、 現場で動力工具によるケレン作業(2種ケレン)を行 うが、ブラスト処理と比べ除錆度が低下し、作業者 のスキルに依存することとなる。

1. 3 鉄骨部材における摩擦接合面の防錆処理

建築鉄骨においても、工場で摩擦接合面を含む製品全体の1種ケレン (ブラスト処理) の実施とすべり 係数を確保できる亜鉛末塗料の塗布による、素地調整の品質向上を図る提案を行った。

標準的に使用される亜鉛末塗料である無機ジンク リッチペイントは、図-1¹⁾に示すように空隙が多い。 この表面に対して、そのまま次工程の塗料を塗布す ると塗料が沈降することにより、塗膜表面に発泡が 生じる。そのため、封孔処理と呼ばれる作業が1工 程増える。

そのため、作業工数を増加させることなく、摩擦面に塗布可能な亜鉛末塗料を検討した結果、高摩擦 有機ジンクリッチペイントを採用するに至った。

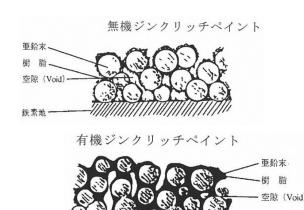


図-1 ジンクリッチペイントの模式図1)

2. 塗料の概要

高摩擦有機ジンクリッチペイントの製品カタログに明記された注意事項は、下記のとおりである。1)

- ・はけ塗装ではすべり係数0.45が発現しない。そ のため、摩擦接合部へ適用する場合は、スプレー 塗装を行う必要がある。
- ・ 塗料の撹拌はディスパーで行い、使用中も撹拌す る必要がある。
- ・乾燥膜厚が $60\sim150\,\mu\,\mathrm{m}$ の範囲になるように塗装する必要がある。

^{*1} 鉄構管理グループ 管理チーム 主任

・ 塗り重ねる次層の塗料が規定膜厚の倍以上、塗付されると発泡の恐れがある。

本塗料は、塗膜表面のすべり係数を高めるために、 粒径の異なる亜鉛末などを配合させることで、表面 粗度を高める工夫がなされている。そのため、すべ り係数が必要な部位は、粒径の異なる亜鉛末を同時 に塗膜表面に吹き付けるスプレー塗装による作業が 必要になる。また、塗料内の亜鉛末は比重が重く、 粒径が大きいものほど沈殿しやすいため、沈殿防止 のために、常に塗装作業中のディスパーによる攪拌 作業が必要になる。なお、ディスパーとは攪拌機の 一種であり、粘度の高い材料を均一に混ぜ合わせ、 ダマの発生や粒子の沈殿を防止するのに適した機械 である。

その他の注意事項として、標準的な有機ジンクリッチペイントは、展色材としてエポキシ樹脂が用いられ、塗膜内部の空隙が殆どない塗料である。一方で、本塗料は亜鉛含有量が高い塗料のため、亜鉛末同士の間に空隙が生じた場合に、次層の塗材の塗膜厚(重み)によっては、空隙内の空気と塗料の置換による塗料の沈降(ピンホールの発生)に注意が必要になる。そのため、JIS規格で定められた標準的な有機ジンクリッチペイントと比べ、作業時の注意事項が各種設けられている特徴がある。

3. すべり耐力試験

摩擦接合面である高力ボルト継手部の仕様変更に あたり、基準値であるすべり係数0.45以上を満たす ことが可能か確認する施工試験を実施した。

施工試験について、試験体の準備記録及びすべり 耐力試験の実施結果について述べる。

3.1 試験体の準備

準備した試験体の仕様を表-1に示す。今回のすべり耐力試験では、建方時に多く使用する柱-大梁取合いの軸径M22のトルシア形高力ボルトで施工試験を実施した。

試験体のブラスト処理方法は、グリッドブラストを採用した。理由は、本柱などの主構造体のブラスト処理と仕様を揃えるためである。

ブラスト処理後の表面粗度を粗さ計 (Mitutoyo: SJ-210) で確認したところ、写真-1に示すとおり Rz: 約98.8 μ mの値を確認できた。この結果から、十分なブラスト処理が行われていると判断し、次工程の塗装作業を実施した。乾燥後の塗膜厚を確認し

た結果、約90~105 μ mとカタログ規定値の範囲内で 塗布ができていることを確認した。

表-1 試験体の寸法(材質: SN490B、寸法単位:mm)

部品名	孔径	板厚	板幅	はしあき	ピッチ
中板	24	22	95	55	80
側板	24	12	90	ออ	00



写真-1 試験体の表面粗さ

その他、ブラスト処理後の粗さ確認に関して、橋 梁と鉄骨で差異を述べる。

橋梁の場合は、無機ジンクリッチベイント塗布前の表面粗さに対して基準が定められている。基準値は、表-2に示すように道路管理を行う各社で異なるが、RzJIS (10点平均粗さ)で管理されている。

一方で、鉄骨の場合はブラスト処理による摩擦接合面の表面粗さが定められており、粗さの値は $50\,\mu$ mRz以上と、Rz (最大高さ粗さ)により管理されている。

既往文献 2)の結果より、RzとRzJISは計算式 Rz=1.324×RzJISで置き換えることができることが 述べられている。試験体の計測記録をRzJISに置き換えたところ、RzJIS:約74.6 μ mという値が得られ、日本道路協会におけるジンクリッチベイント塗布前の表面粗さを満たす結果になった。

表-2 試験体の表面粗さ及び各団体の基準(単位: μ m)

項目	Rz	RzJIS
試験体	98. 8	74.6(換算値)
鉄骨基準	50以上	規定なし
橋梁基準	規定なし	80以下(日本道路協会等) 70以下(阪神高速道路等)

3. 2 すべり試験の実施

すべり試験は、社外機関(日鉄ボルテン 大阪工場)の引張試験機で実施した。施工試験は、すべり係数の最低値が $0.476\,\mu\,\mathrm{m}$ 、平均値が $0.479\,\mu\,\mathrm{m}$ と品質にばらつきがほぼ見られない形で、基準値である $0.45\,\mu\,\mathrm{m}$ を超えたため、合格という結果が得られた。試験記録を表-3に示す。

+ 0		」耐力試験結果
表 一 3	すへい) 耐力試嫌結果

試験体	ボルト サイズ	締付け 軸力	すべり 荷重	すべり 係数値
No1-1			437kN	0. 477
No1-2	M22×80	229kN	436kN	0. 476
No1-3			443kN	0. 484
		すべり係数平均値		0. 479

試験後の試験体を写真-2に示す。高力ボルト周囲の塗膜を確認したところ、軸力が作用した範囲は、亜鉛末塗料を擦った際に見られる特有の光沢が見られたことから、試験体のすべりが生じた主要因として塗膜表面のすべりが原因と推定される。但し、軸力が特に作用したと考えられるボルト孔周囲は、僅かに塗膜の剥離が見られた。

この結果から、高摩擦有機ジンクリッチペイントを用いた摩擦面の形成により、所定のすべり係数を確保できることがわかった。

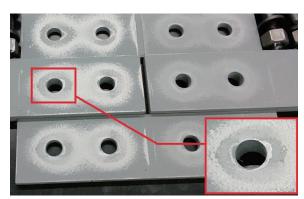


写真-2 すべり試験後の試験体状況(赤枠内:拡大図)

4. 実施工における工夫と注意点

施工試験により、すべり係数0.45を得られる塗料であることを確認後、実製品へ塗布を実施した。高摩擦有機ジンクリッチペイントを大型構造物へ塗布する際に、施工において工夫を施した点を下記に記す。

ディスパーによる撹拌を常に行う必要がある課題は、既存設備だけでは、撹拌作業で1人工増加する問題があった。これに対応するため、撹拌機専用のスタンドを導入した。その結果、既存のディスパーを連続運転させることが可能になり、従来通りの人数で塗装することができた。

塗布作業において最も検討を行った内容は、発泡 現象の対策である。前述のとおり、本塗料は亜鉛末 の含有量が高く、粒径も大小混在していることから、 施工条件によるが塗膜表面の凹凸が生じやすい他、 発泡の恐れがある塗料である。

無機ジンクリッチベイントの場合、発泡対策が必須となるため、上塗材を活用したミストコート処理、または、同一塗料によるWET ON WET処理など封孔処理を実施することで、発泡の防止を図る。一方、高摩擦有機ジンクリッチペイントの採用理由が、これらの工程増加の抑制であることから、従来の手法と異なる発泡の抑制を行う検討を実施した。

高摩擦有機ジンクリッチペイントの塗布時の工夫 として、シンナーの配合量を規定値の最大限まで高 める他、塗料の飛散を一定範囲に抑えるため、塗布 範囲の狭いエアレスチップの選択など塗膜内部の空 隙を抑制する調整を行った。

その結果、写真-3に示すような発泡置換は、実製品への塗布において梁せいまたは部材幅が1mを超える大断面部材などで、局所的な発生までに留めることができた。しかし、発泡現象は、第1層の外観が平滑な状態、または表面が粗い状態のどちらにおいても発生し、塗装面の向き(水平面、鉛直面)に関係なく、発生するものであった。

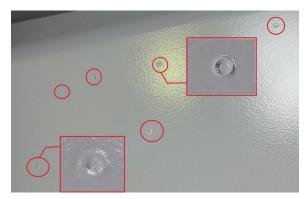


写真-3 局所的に生じる発泡置換(赤枠内:マクロ写真)

その他の問題として、H鋼のウェブ直下のフィレット部及びリブ・ガセットの周囲などの高摩擦有機ジンクリッチペイントの塗布作業が多くなる箇所は、

後述するダストの発生が影響を及ぼし、稀に写真-4 に示す平滑性が得られない塗膜表面になる部位が生 じた。このような局所的に生じる平滑性がない塗装 面をマクロカメラで確認したところ、空隙が多く発 生しているように思われた。

施工当初に、上記の平滑性がない箇所へ、そのまま上塗り塗料による塗り重ねを行った結果、平滑性がない部分は、第1層(ジンク層)に上塗り塗料が浸透してしまい、写真-5、6に示すとおり、上塗り完了後もジンク層の表面が見える状況が発生した。

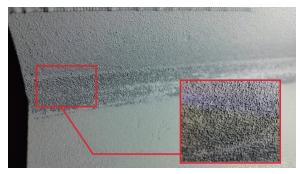


写真-4 平滑性がない塗膜表面(赤枠内:マクロ写真)



写真-5 ジンク層に上塗り塗料が浸透した事例



写真-6 ジンク層に上塗り塗料が浸透した事例(拡大図)

当初は、ダストの除去による空隙の抑制を試みた が、エポキシ樹脂によりダストと塗膜が固着してお り、ダストのみを剥離することは非常に困難であった。そのため、先行刷毛塗り作業の対象に、平滑性がない塗装面の生じた部位を加えることで、部分的にミストコートを実施する改善方法を検討した。なお、先行刷毛塗り作業とは、スカラップ周囲や一部のコバ面など、エアレススプレーによる塗布作業では、十分に膜厚が付きにくい箇所へ、事前に刷毛塗りすることで、規定の膜厚を確保するために実施する作業である。

しかし、大断面部材に生じる発泡が未だ課題として残っており、完全な解決に至らなかった。そのため、上塗り塗料が浸透する問題と発泡現象の問題の2点を同時に解決するため、ミストコート処理の追加実施を行うことにした。そのため、上塗りの塗装をミストコート及び本塗装の2回に分けて施工した。また、ミストコートの仕様を各種条件で検討した結果、上塗り塗料の希釈率を20~30%に定めた。以上の検討結果を反映することで、発泡現象を発生防止することができた他、タレなど生じされることなく、塗膜厚が過度につくことを制御することができた。

5. おわりに

高摩擦有機ジンクリッチペイントを塗布することで、部材全体に1種ケレンを採用できた他、継手部からのサビによる汚損を防止できた。また、すべり耐力試験の実施結果から、鉄骨部材に必要なすべり係数を確保できることが明らかになった。

しかし、採用時点でメリットと考えていたミストコート不要とする塗装作業には至らなかった。原因は、高摩擦有機ジンクリッチペイント塗布時点の施工条件と次層の上塗り塗料との相性(標準塗膜厚、粘度など)が最適化できなかったと考えられる。

適切な環境下、条件下であれば、優位性の高い塗料であることから、次回使用する際に今回の検証結果を活用して、より良い施工条件を確立したいと考える。

【参考文献】

- 1) 一般社団法人 日本塗料工業会: 重防食塗料ガイド ブック 第5版、p. 29、2020.
- 2) 丹波 寛夫、行藤 晋也、木村 聡、山口 隆司、杉浦 邦征:接合面が鋼材粗面と無機ジンクリッチペイン ト面の高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数の提 案、土木学会論文集A1、70巻、pp. 137-149、 2014.

鋼構造溶接部における非破壊検査 超音波探傷試験及び検査の紹介

浅井 史良 *1

1. はじめに

鋼構造物において、溶接部の品質管理や橋梁など の点検・調査等で超音波探傷試験を用いて確認され ている。

専門的かつ有資格者による試験で一般的に知られていない。

本稿では超音波探傷試験及び検査に関する基本的 な事項を記述する。

2. 検査時に使用する機器等の紹介

2. 1 超音波探傷器

超音波探傷器は物質中を伝わる超音波の反射波を 検出して物質内部の異常部位を検出するための計測 器のことをいう。なお、探傷器そのものは超音波を 送受信するのではなく、高周波電圧を探触子に送信 し、また探触子からの高周波電圧を受信し、検査結 果を表示する機器である。アナログ探傷器とデジタ ル探傷器がある。…写真1に超音波探傷器を示す

2. 2 探触子

探触子は超音波を発生する振動子を組み込んだセンサーのことをいう。探傷器から受信した高周波電圧を振動子の圧電効果で超音波を発生させ試験対象物内に超音波を入射する。また試験対象物から反射した超音波を振動子の逆圧電効果で高周波電圧を発生して探傷器に送信する。振動子には人工の水晶、ジルコンチタン酸鉛系磁器、セラミック等がある。…写真1に探触子を示す

2. 3 探触子ケーブル

探触子ケーブルは探傷器と探触子をつなぐケーブルのことをいう。高周波の電流を電波として外に放射して損失しないように、外来ノイズから影響を受けないようにするため同軸ケーブルが用いられる。 …写真1に探触子ケーブルを示す

2. 4 接触媒質

接触媒質は探触子から発生した超音波を検査対象

物に効率よく伝達させるために用いる液体のことをいう。超音波は空気中を伝搬しないため、探触子と 検査対象物の間の空気を遮断するため使用している。 以下に接触媒質を伝達効率の良い順に示す。

- ・グリセリン ・油 (マシンオイル等)
- ・濃度75%以上のグリセリン水溶液 ・水
- ・音響インピーダンス (超音波の伝搬しやすさを 数値で表したもの) の明らかな液体

2. 5 試験片

探傷器及び探触子の調整や校正を行う際に用いられるものをいう。大きくは2種類に分かれる。

- ・標準試験片 JIS規格により規定された試験片で あり、自作した試験片は使用できない。接触媒質 は油を使用する。
- ・対比試験片 特定の試験体の感度調整を行うための試験片で、自作した試験片を使用する。斜角探傷の場合、試験体の板厚が75mm以上又はSTB音速比の測定結果から探傷屈折角を選定する場合に使用する。接触媒質は実際に検査する際に使用するものが望ましい。

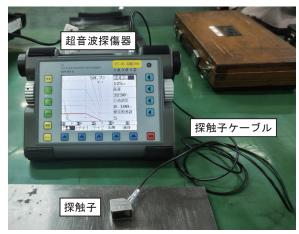


写真-1 超音波探傷器・探触子・探触子ケーブル

3. 検査条件

超音波探傷検査を行う前に必要な書類と検査条件 について説明する。

*1 品質管理室 係長

3. 1 仕様書

発注者から発行される検査箇所に求められる内容 を提示する文書のことをいう。判定基準や適用書籍 等が記載されている。

3. 2 手順書

仕様書に基づいて具体的な検査方法を纏めた文書 のことをいう。発注者に提出して了解を得る。

3. 3 指示書

手順書に基づき、実施する検査の概要・設備・条件・手法・結果の評価などを明確にした文書を指す。

3. 4 探傷感度

評価の対象として検出しようとするエコー高さが 探傷器の表示上容易に観察できるよう調整したゲイン値のことをいう。

3.5 距離振幅特性曲線 (エコー高さ区分線)

ビーム路程によるエコー高さの変化を示す標準的な曲線のことをいう。探傷器の画面に表示されていて、検出されるエコーの位置・領域・長さを求めることができる。…写真2に距離振幅特性曲線示す

3.6 検出レベル

きず長さの終始点となるしきい値のことをいう。L 検出レベルとM検出レベルがある。発注者によっては1/2L検出レベルを適用する場合がある。

3. 7 感度補正量

検査対象部材の探傷面によって超音波の伝達損失 が生じる為、探傷感度を調整することをいう。

3. 8 探傷範囲

検査を行う際に探触子を動かす距離(範囲)のこと。尚、ビーム路程とは探触子の入射点からきずまでの片道の距離である。この距離からきずの深さと位置を算出する。

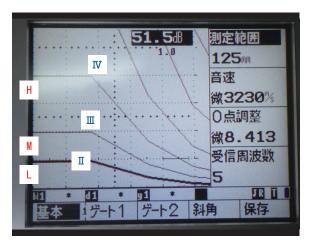


写真-2 距離振幅特性曲線

【 4. 検査時における留意点

超音波探傷試験を行う時の留意点を記す。

- ・仕様書の内容を熟知した上で、箇所を確認し、適 正な検査条件を選定する。試験対象部材の合否判 定は仕様書によって異なるので注意する。
- ・検査箇所の形状や大きさによって探傷範囲が確保できない場合があるので、事前に図面等から探触子の移動距離を算出し、試験可能なSTB屈折角の探触子を選定する。また隣接する他部材の影響でどの角度の探触子を用いても必要な移動距離が確保できない場合は、超音波探傷試験完了後に加工・組立作業を行うよう事前に作業者と調整しておく。探傷範囲が確保できない場合は発注者と調整する。
- ・板厚によって適応できる周波数が異なるため、図 面等で試験対象の板厚を確認し、対応可能な周波 数を選定しておく。
- ・試験対象部材の探傷面にスパッタ等が付いていた 場合は検査前に清掃を行い完全に取り除く必要が ある。スパッタ等が除去さていない場合は作業員 に溶接後の清掃を指示する。
- ・接触媒質は、種類により馴染むまでに時間を要する物もあるので、使用する接触媒質の特性を事前 に確認し適切に使用する。
- ・斜角探傷においては検査部材の温度によって探傷 屈折角および探傷感度が変化するため、試験対象 物の温度に注意する。
- ・鉄骨工事においては第三者検査会社による「第三 者溶接検査」が行われる。探傷条件が異なると検 査結果に差異が発生することがあるので事前に試 験内容について協議する。
- ・探傷範囲は、板厚によって変わるので作業前に板厚と移動する範囲を確認する。最大エコー高さを求める時は前後・左右・首振り等を入念に行うと共に、探触子の位置を物差しで確認する。

(5. おわりに)

本稿で、超音波探傷試験及び検査の基本的な部分 について述べた。興味を持って頂ける方がいれば幸 いです。

今後もきずの評価を適切に実施できるようさらに 研鑽を重ねていきます。

【参考文献】

- 1) (一社)日本非破壊検査協会:超音波探傷試験 I 2017
- 2) (一社)日本非破壊検査協会:超音波探傷試験Ⅱ2019

550N/mmが級角形鋼管のロボット溶接施工試験 REGARCTMの活用と余盛高さの調整について

前田 顕徹 *1

1. はじめに

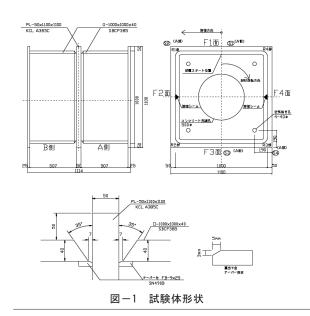
近年、建築鉄骨の高層化と大型化に伴い、550N/㎡級鋼材を使用した設計の普及が進んでいる。冷間プレス成形角形鋼管および円形鋼管を使用した柱等は、一般的に、ロボット溶接で施工されているが、(一社)日本ロボット工業会による建築鉄骨溶接ロボット型式認証の範囲は490N/㎡級迄となっており、550N/㎡級の鋼材については適用範囲外の強度区分となっている。また、各鋼材メーカーは個別に大臣認定を取得し商品化されているが、大臣認定時に付帯された溶接施工指針は、メーカー毎に予熱温度、溶接管理上限などの内容が異なる1)ため、メーカー毎での施工試験を設計者から要求される事が多い。

本稿では、佐々木製鑵工業(株)の550N/mi級冷間プレス成型角型鋼管の溶接をロボット溶接で行うにあたり、溶接部の性能確認を行うために施工試験を実施した。

2. 試験要領

2. 1 試験体形状

試験体形状は実施工時の最大板厚となる部位を選定し、試験体形状を決定した。試験体形状を図-1に示す。



2. 2 使用ロボット及び溶接材料

試験に使用する溶接ロボットはアークマンMP(神戸製鋼所製)を使用した。また、ロボットのプログラムは、実施工時の生産性を踏まえ、パルスアーク溶接法を用いたREGARCTM(メーカ呼称)での溶接方法を採用した。REGARCTMでの溶接は、従来の定電圧溶接に比べ、スパッタの発生量が少なく、除去作業やロボットのノズル交換頻度が減る事で生産効率化にもつながる。使用した溶接ロボットの概要を表一1に示す。また、使用する溶接材料は表ー2に示す。ロボット溶接用のワイヤは、REGARCTMプロセス専用ワイヤとなっているMG-60R(N)を使用し、開先面内溶接用の溶接材料は同一メーカーのものを採用した。

表-1 使用する溶接ロボット

ロボット名称	型式認証記号	メーカー
アークマンMP	R100730N03SDFN072	㈱神戸製鋼所

表-2 使用溶接材料

適用	溶接材料規格	銘柄	メーカー
組立て溶接	JIS Z3312 YGW18	MG-56	神戸製鋼所
開先内溶接 (本溶接)	JIS Z3312 G59JA1UC3M1T	MG-60	神戸製鋼所
本溶接	JIS Z3312 G59JA1UC3M1T	MG-60R (N)	神戸製鋼所

2. 3 試験項目

非破壊試験、及び破壊試験の試験項目は、AW検定 (建築鉄骨技量検定)の試験をベースとした内容で試 験項目を設定した。各試験は主に、ロボット溶接前 に行う組立て検査、ロボット溶接後に行う外観検査 及び超音波探傷検査、試験体を機械加工して行うマ クロ試験、引張試験、0°シャルピー衝撃試験、曲げ 試験、硬さ試験の3構成で試験工程を行う事とした。 試験項目一覧を表-3に示す。また、破壊試験の試験 片は図-2に示す位置から採取した。

表 -	-3	試験項目	一覧

試験の工程	検査の種類	試験対象及び試験部位	
溶接前	組立て検査	組立て溶接の寸法、 及び裏当て金の隙間	
溶接後	外観検査	溶接線全線(A,B側全線)	
份1女1女	超音波探傷検査	溶接線全線(A,B側全線)	
	マクロ試験	平板部	
	引張試験	平板部 (Weld Metal, 十字継手)	
溶接後(機械試験)	0°シャルピー 衝撃試験	Weld Metal ダイアフラム側(BOND,HAZ) 柱側 BOND & HAZ	
	曲げ試験	溶接始終端,裏面	
	硬さ試験	十字継手	

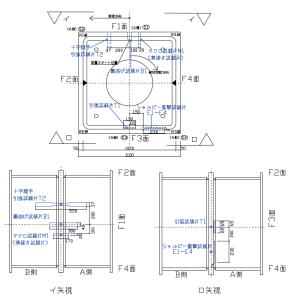


図-2 試験片採取位置

3. 試験の評価

下記の2検査以外は全て合格となった。

外観検査は、R部の余盛高さが板厚40mmに対して必要な下限値10mmより0.5mm低かったため、不合格となった。但し、機械試験に影響する部位では無かったため、溶接品質確保に対する確認試験を別途行う事で次工程に進める事とした。

曲げ試験は、曲げ位置がズレたため、正確に合否 判定を出すことが出来なかったため参考値とした。

(4. 課題と対策)

外観検査で余盛高さ不足となったR部について写真-1に示す試験施工を行い、事前調整を行った。

試験施工では、裏当て金とダイアフラムの隙間から垂れ込みが無かったか、溶接ワイヤの送給に不良が無かったかなど、いくつかの原因を想定し確認を

行った。また、直接的な対策についてはプログラム側で、余盛高さの設定値を調整する事にした。その結果、確認試験では余盛高さが不足になる箇所はなく、適正な余盛高さを確保出来ることが確認された。しかしながら、写真-2のとおり余盛高さが不足となる事は無くなったが、全体的な余盛高さは低い傾向にある。裏当て金とダイアフラムの隙間から溶着金属の垂れ込みも多少確認されているが、平坦部とR部で明確な違いが無くR部特有の現象とは考えにくい。メーカーの標準設定において、40mmの板厚の場合にもともと溶接高さが低い設定になっていると考えられる。今後の施工においては、社内データの蓄積を基に、設定値の調整が必要か施工計画時に反映させることが重要と考える。

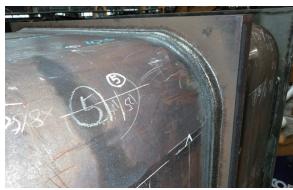


写真-1 確認試験の溶接外観



写真-2 確認試験のコーナー部の余盛高さ(余盛11mm)

5. おわりに

本試験に際して多大なるご指導を頂きました関係 者の皆様に深くお礼を申し上げます。

【参考文献】

1) 日本鉄鋼連盟:建築構造用TMCP鋼材溶接施工指針 第2版、2021.

工場製作における遠隔臨場の課題と改善策

内山 尋斗 *1 加藤 正幸 *2

1. はじめに

令和4年度以降の入札手続きに着手する工事を対象に契約の適正な履行と品質確保、ならびに受発注者間の円滑な意思疎通と技術力向上等を目的として、「建設工事の遠隔臨場に関する試行要領(案)」¹⁾に基づいて遠隔臨場の実施に関する通達が発行された。

本稿では令和4年度発注の鋼箱桁橋の工場製作時 に実施した遠隔臨場の取組みについて述べる。

(2. 遠隔臨場の概要)

本工事の遠隔臨場は、発注者の事務所と製作工場、遠隔臨場のシステムの拠点となる室内の3箇所をWEBで繋いで実施した。遠隔臨場では通常の部材検査や仮組検査と異なり、組立溶接部の外観なども対象となる。表-1に遠隔臨場検査項目を示す。

遠隔臨場の人員は進行係として室内に1人、製作工場に検査対応係、遠隔臨場用カメラ係、工事写真撮影係、指示伝達係などの8人を配置した。

(3. シミュレーションと事前の改善)

遠隔臨場実施前に全ての確認項目についてシミュレーションを実施した。写真-1にシミュレーション状況を示す。シミュレーションは製作工場とシステムの拠点となる室内の2箇所を繋いで実施した。シミュレーションの結果、いくつか課題を事前に把握することができた。遠隔臨場当日に向けて実施した各課題に対する改善点を述べる。



写真-1 遠隔臨場前のシミュレーション状況

表-1 遠隔臨場の確認項目1)

衣⁻□	湿
鋼橋上	二部工における溶接(工場内)
確認内容	確認項目
溶接材料使用区分	母材の規格値と同等以上の溶接材料
作業員の	(検定試験合格)溶接従事者の配置
資格•技量	溶接管理技術者(認定基準満足)の配置
予熱	溶接温度の管理
фп Д	組立溶接の脚長・長さ
組立	組立溶接の割れの有無等
	鋼材に適した入熱量
	パス間温度の管理 同箇所に溶接を各層行っており350℃以 下に下げてから溶接するか確認をする
溶接	エンドタブの温度・仕上げ管理 溶接始終端部に生じやすい溶接欠陥を逃 すために溶接戦の終始端部に取り付ける 補強板
	回し溶接の形状・端部処理
	(裏ハツリを行う際)幅・深さ・長さ形状の 管理
※ひずみ取り	方法(機械矯正方法、ガス炎加熱方法)
孔あけ部の処理	まくれ処理後の形状 孔あけによって出る尖った部分を除くた めに行う加工方法
※外部欠陥の補修	外部欠陥の補修方法の確認
※内部欠陥の補修	欠陥箇所の除去方法と再発防止処置
ハンマー打撃試験	割れなどの欠陥を生じない
(開先溶接)非破壊 検査	道路橋示方書・同解説18.4.7内部傷検査 の規定による
割れ(形状)	あってはならない
ビード表面ピット (外観形状)	ビート表面にピットがあってはならない 金属溶接の表面に穴となり固まること
ビード表面の凹凸	ビート長さ25mm以下の範囲で3mm以下
アンダーカット	道示8.4.6外部きず検査の規定による
オーバーラップ	あってはならない ネジ山高さを低くするため通常のタップ より大きな径のタップを使用すること
すみ肉溶接サイズ	指定すみ肉サイズ及びのど厚を下回って はならない
余盛高さ	設計図書による
アークスタッド	全周にわたり包囲
, 一ク	余盛高さ1mm、幅0.5mm以上

※欠陥は立会時にない場合があるため、発見次第修 正・写真撮影を行うこととした。

^{*1} 管理グループ 橋梁生産設計チーム 担当 *2 管理グループ 橋梁生産設計チーム チームリーダー

3. 1 Bluetooth対応スピーカーとワイヤレスイヤ ホンの使用

シミュレーションにおいて、室内の進行係と製作工場内の人員は撮影用スマートフォンのスピーカーのみで指示の伝達を行っていたが、工場内の騒音の影響で指示が聞こえづらいという課題があった。そこで、写真-2に示すBluetooth対応スピーカーを確認箇所の近傍に置くこととした。さらに、スマートフォンで確認項目を撮影する担当者は、写真-3に示すワイヤレスイヤホンを使用することとした。これにより、進行係からの指示を確実に製作工場対応者全員に伝達することができた。



写真-2 Bluetooth対応スピーカー



写真-3 ワイヤレスイヤホン

3. 2 LEDライトの使用

本工事は箱桁であるため、箱桁内の確認項目は対象箇所が暗く、スマートフォンの映像で確認しづらいという課題があった。そこで、対象箇所を明るくするため、写真-4に示すLEDライトを使用することとした。これにより、溶接部の外観などの確認項目を容易に確認することができた。



写真-4 LEDライトの使用状況

3.3 寸法計測の表示方法

遠隔臨場では通常、立会検査を行わない組立溶接の寸法が確認項目となる。組立溶接は断続的であるため、スマートフォンの映像では延長と間隔を容易に把握できないという課題があった。そこで、写真-5に示すように確認箇所近傍の部材に組立溶接の延長と間隔の計測結果を記載・記録することとした。この際、社内計測時と遠隔臨場時の計測値を並記することで相違の有無をわかりやすく表示した。これにより、組立溶接の確認項目をスマートフォンの映像で容易に確認することができた。



写真-5 寸法記録の記入状況

以上の改善により、遠隔臨場当日は以下に示す機 器を用いることとした。

- ・パーソナルコンピューター 1台(室内): Microsoft Teamsにて主任監督員と繋げるために 使用した。
- ・モニター40インチ 1台(室内):パーソナルコン ピューターの画面を共有するために使用した。

- ・スマートフォン 2台(工場):工場にて確認項目 を撮影するために使用した。
- ・Bluetooth対応スピーカー 1台(工場):進行係の 指示を関係者に伝達するために使用した。
- ・ワイヤレスイヤホン 1台(工場):主任監督員の 指示をカメラオペレーターに確実に伝達するため に使用した。
- ・LEDライト 1個 (工場): 暗い箇所を確認しやすく するために使用した。

4. 今後の課題と対策案

遠隔臨場当日は前述の改善を行うことにより、シミュレーション時に比べてスムーズに遠隔臨場を実施することができた。一方、遠隔臨場を実施した際、以下に示す2点の課題が新たに生じた。

- ① Bluetooth対応スピーカーとワイヤレスイヤホンを使用しても、近くの溶接作業などにより、 発注者の音声が聞き取りづらいことがあった。
- ② スマートフォンはカメラの手振れが大きく、計 測値の読み取りが困難であった。

①の改善策として、今後は遠隔臨場を行う際は周辺で作業を行わないことを周知することとした。一方、②はスマートフォンを利用したが、画質が悪かったため、遠隔臨場ではより高画質のカメラの導入が必要と考えた。本章ではカメラの機種選定の概要を述べる。

4. 1 カメラの機種選定の要求性能

カメラの選定にあたり、最低限の要求性能は以下の2点とした。

- 手振れ補正機能で、映像の振れを抑制し、確認したい箇所を明確に見せることができること。
- ・プレビュー表示で発注者からどのように見えているかを確認することができること。

上記の要求性能を満足するカメラを調査したところ、NETIS登録技術でクラウド録画型ウェアラブルカメラ「SafiePocketシリーズ (KT-220006-A)」が候補となった。このうち、遠隔臨場で効果的な付加価値を有する写真ー6に示すSafie Pocket2 Plus²⁾を選定した。Safie Pocket2 Plusの機能を以下に示す。

- ・この機材のみで発注者や拠点などの複数の離れた ところと映像の共有と通話が可能である。
- ・防水・防塵、耐熱のため、製作工場内の厳しい環境でも耐久性が高い。
- ・動画の保存が可能で、映像を後から確認できる。

・写真-7に示す専用のクリップで胸ポケットに装着でき、ハンズフリーで遠隔臨場ができる。



写真-6 Safie Pocket2 Plus²⁾



写真-7 Safie Pocket2 Plus装着時

今後の遠隔臨場では、Safie Pocket2 Plusを使用することで、さらなる効率化および省人化、精度向上を実現できることを期待する。

5. おわりに **(**

建設業業界では人手不足が進んでおり、働き方改革を改善しなければならない。遠隔臨場を行うことにより遠隔臨場者の移動時間の削減やCO₂排出削減効果が期待できる。

今後、より遠隔臨場による効果を最大限発揮する ため、今後も継続的な改善を進める予定である。

【参考文献】

- 1) 国土交通省 大臣官房技術調査課:建設現場の遠 隔臨場に関する試行要領(案)、2021.3
- 2) Safie Pocket シリーズ 現場用ウェアラブルクラウドカメラ | クラウド録画サービスSafie (セーフィー) https://safie.jp/pocket2/

(最終閲覧日:2023.2.7)

ちょっとひといき • •

「当社における留学生インターンシップ」について

近年の留学生インターンシップですが、様々な国籍の方々をお迎えし、設計・CIM研修、現場研修、DX研修、溶接体験研修など経験していただいております。社員も国籍の違う方々に触れ合えるとても貴重な経験になっていると思います。

ダイバーシティに向け、国籍・性別問わず沢山の方々に来社していただけることを 期待します。



写真1:2020年(3ヶ月) モザンビーク出身(JICA)



写真2:2022年(1週間) パプアニューギニア出身(MEXT)



写真3:2022年(2週間) パキスタン出身(JICA)



写真 4:2023年 (2週間) 左から アフガニスタン出身 (JICA) バグラディッシュ出身 (MEXT) インド出身 (MEXT)

溶接ヒュームの特定化学物質への追加と対応 呼吸用保護具の選定とフィットテスト

松村 昌平 *1

(1. はじめに)

従来、特定化学物質の対象外とされてきた溶接ヒュームに発がん性が認められたことにより、労働安全衛生法令が改正された。これにより溶接ヒュームが新たに規制の対象となり、溶接作業時には従来の粉じん作業のばく露防止措置に加えて、新たに特定化学物質に対するばく露防止措置が義務付けられることとなった。

本稿ではそれに伴う保護具の選定および、フィットテストへの対応について述べる。

2. 法令改正による変更

金属アーク溶接等作業を**継続して屋内作業場で**行う皆さまへ 金属アーク溶接等作業について 健康障害防止措置が義務付けられます 厚生労働省では、「溶接ビューム」について、労働者に神経障害等の健康障害を及ぼすおそれがあることが明らかになったことから、労働安全衛生法施行令、特定化学物質障害予防規則(特化則)等を改正し、新たな告示 改正政省令・告示は、**令和3年4月1日から施行・適用**します。 一部経過措置があります(令和4年4月1日施行、フィットテストの実施については 令和5年4月1日施行) ■ このリーフレットは、金属アーク溶接等作業を継続して屋内作業場で行う事業者向けの **屋外作業場や、毎回異なる屋内作業場**で金属アーク溶接等作業を行う方は、リーフレッ ト「屋外作業場等において金属アーク溶接等作業を行う皆さまへ」をご覧ください。 「**屋内作業場**」とは、以下のいずれかに該当する作業場をいいます。 作業場の建屋の側面の半分以上にわたって壁、羽目板その他のしゃへい物が設けられている場所 ガス、蒸気または粉じんがその内部に滞留するおそれがある場所 ※「継続して行う屋内作業場」には、建築中の建物内部等で金属アーク溶接等作業を同じ場所で繰り返し行わないものは含まれません。 1. 新たに規制の対象となった物質 溶接ヒューム(金属アーク溶接等作業(※)において加熱により発生する粒子状物質) について、新たに特化則の特定化学物質(管理第2類物質)として位置付けました。 ※金属アーク溶接等作業 画教と一ジ指接を作業。 定職をアージ接接する作業。 アークを用いて金属を影解し、またはガウジングする作業 その他の溶接とユームを製造し、または取り扱う作業 (燃焼ガス、レザービーム等を誘張とする溶接、溶脈、 ガウジングは含まれません) 発がん性:国際がん研究機関 (IARC) グループ 1 **ヒトに対する発がん性** 溶接により生じた蒸気が空 気中で凝固した固体の粒子 その他 : 溶接ヒュームに含まれる酸化マンガン(M n O) について神経機能障害 三酸化ニマンガン (Mn:Os)について 神経機能障害、呼吸器系障害

令和2年4月22日に厚生労働省より公布された 労働安全衛生法施行令と特定化学物質障害予防規則 (以下特化則という)及び作業環境測定法施行規則の 改正で、図-1に示すように、金属アーク溶接作業 時に発生する溶接ヒュームに発がん性が認められ、 新たに特化則において第2類物質に追加された。¹⁾

溶接ヒュームとは溶接作業時にアーク放電で発生する高熱によって、母材・溶接材料とその表面を覆う被覆材などが溶解し、蒸気となり放出された物が空気中で冷却されることで凝固した微細な酸化金属の粒子である。発生したヒュームは煙状となり、溶接作業の熱に巻き上げられて周囲に飛散する。

今回の規制により屋内での継続的な金属アーク溶接作業は、従来の粉じん作業の規制である粉じん障害防止規則に加えて、特定化学物質を扱う作業として特化則による規制の対象となった。このため溶接作業を行う場合には、新たに事業者の措置義務として特定化学物質健康診断の実施、特定化学物質作業主任者の選任、溶接ヒューム濃度の測定と測定結果に応じた有効な呼吸用保護具の選定のほか、実際に使用している呼吸用保護具を用いた「フィットテスト」を毎年実施して、その記録を3年間保存することが義務化された。

(3. ばく露測定と保護具の選定

3.1 個人ばく露測定

今回の法令改正により、溶接作業を行う職場では、 作業者に直接試料採取機器を装着させたうえで作業 を行い、採取された溶接ヒュームに含有するマンガン濃度を測定することで、作業環境中に飛散してい る溶接ヒュームに身体が曝されているかを測定する 個人ばく露測定が必要となった。

同測定においては、測定の結果から得られたマンガン濃度を数値化したものを要求防護係数とし、保護具の選定を行う際には、呼吸用保護具の持つ防護性能値を表す指定防護係数が、要求防護係数を上回ることが求められるようになった。

3.2 使い捨て防じんマスクの選定

個人ばく露測定の結果、金属アーク溶接作業を行う職場において、従来から使用している2種類の使い捨て防じんマスクの指定防護係数は10であり、こ

の規格は当社での継続的に金属アーク溶接作業を行 わない工作職場、組立職場の作業場においては、要 求防護係数の3を上回っている。

一方で、継続的に金属アーク溶接作業を行う職場 (以下溶接職場という)では、計測結果から最大で 32.5の要求防護係数が算出されており、同職場では 使い捨て防じんマスク以外で、この値を上回る指定 防護係数を持つ呼吸用保護具の選定が必要となった。

3. 3 電動ファン付き呼吸用保護具の選定

溶接職場では、新たに指定防護係数32.5を超える呼吸用保護具の選定が求められる。これに対応できる半面形面体(鼻と口のみ覆う面体)の規格として、電動ファン付き呼吸用保護具を3社4種の候補の中から選定を行った。最終的に作業者の使用感から指定防護係数が33である写真-1に示した、興研製サカヰ式 BL-7005に決定し、令和3年末より導入した。



写真-1 興研製 サカヰ式 BL-7005

4. 呼吸用保護具のフィットテスト

4. 1 フィットテストの概要

フィットテストとは、作業者の顔面と使用している呼吸用保護具が、顔に密着しているか測定装置等を用いて評価する試験である。測定方法についてはJIS T8150:2021呼吸用保護具の選択、使用及び保守管理方法に規定されている。顔面への密着の程度を示す係数を「フィットファクタ値」として表わされ、その計算方法は、呼吸用保護具の外側の測定物質の濃度を呼吸用保護具の内側の測定物質の濃度で除したものとなる。保護具の型式ごとに定められた必要な値が要求フィットファクタ値となる。当社で選定している呼吸用保護具は、全て半面形面体で要求フィットファクタ値は100以上とされ、フィットテストではこれを上回る結果が求められる。このように金属アーク溶接作業者には、1年以内に1度フィッ

トテストを実施し、呼吸用保護具を適切に使用しているかを確認することが義務付けられた。

フィットテストは、図ー2²⁾のように大別して定性的と定量的の2種類に分類される。「定性的フィットテスト」とは、被験者が対象となる呼吸用保護具を着用した状態でフードを被り、内部にサッカリン等の甘味又は苦味のする液体を噴霧し、所定の動作を行なった際に被験者が嗅覚又は味覚を感じなければ要求フィットファクタ値100相当とする方式である。

一方、「定量的フィットテスト」とは、専用の測定機器と呼吸用保護具を接続し、内と外の物質の濃度を測定することでフィットファクタ値を算出する方式である。更に定量的フィットテストには、通常の7動作で約7分間の測定方法に加え、凝縮核計数法方式を備えた測定機器を使用する場合に限り、4動作で測定時間を3分以下に短縮できる「短縮定量的フィットテスト方式(以下短縮型という)」がある。

定性的フィットテスト

定量的フィットテスト





図-2 定性的・定量的フィットテスト2)

4.2 フィットテスト実施者の養成

作業者に対してフィットテストを行う場合の実施者には、法令上の制約はないが、精度等を確保するため十分な知識及び経験を有する者が望ましいとされている。そのため、公益社団法人愛知労働基準協会の主催で、1.5時間の学科講習(フィットテストに関する知識、方法に対する知識)と3.5時間の実技講習(フィットテストの準備方法、実施方法)からなる、計5時間のフィットテスト実施者養成研修が実施されている。この研修を10名が受講し、社内でフィットテストを実施できる体制を目指している。

4.3 フィットテストの実施

令和5年8月8日に、組立職場の作業者13名に対するフィットテストを一般社団法人半田市医師会健康管理センターに依頼し、安全環境管理室の社員が

補助を行う形で他の職場に先行して実施した。

フィットテストにおいては、定性的フィットテストは個人の感覚による計測方法のため結果に差が生じやすいこと、通常の定量的フィットテストは被験者の負担が大きいことから、写真-2のとおり短縮型にて実施した。

短縮型に対応した測定器3台を2名の測定者で操作し、作業者1名につき使い捨て防じんマスク、電動ファン付き呼吸用保護具の2種類のフィットテストを実施した。所要時間は1.5時間ほどで終了したが、この際いくつかの課題が生じた。



写真-2 短縮型定量的フィットテストの実施

5. 課題

5. 1 使い捨て防じんマスクフィットファクタ値

電動ファン付き呼吸用保護具のフィットファクタクタ値は、4種の測定動作で算出した値の総合評価で、全員が一度で200を記録して終了した。

一方で使い捨て防じんマスクについては、現在工場で一般的に使用している写真-3で示した使い捨て防じんマスクにて測定を実施したが、最初の1名が要求フィットファクタ値100を大きく下回る総合評価26という数値に留まった。そのため他の作業者は現行の使い捨て防じんマスクでの測定を省略し、後述する第6章の別途用意した使い捨て防じんマスクで計測したところ、総合評価135~200と必要な値を満たすことができた。

このため個人ばく露測定の結果から、要求防護係数が10未満の工作職場や組立職場のような、電動ファン付き呼吸用保護具の着用が不要な職場で金属アーク溶接作業を行う際は、現在使用している使い捨て防じんマスクを見直し、作業者にフィットファクタ値100を満たす使い捨て防じんマスクを改めて選定することが必要となった。



写真-3 現在使用している使い捨て防じんマスク

5.2 拘束時間の短縮

広く換気の良い空間では、計測に用いる粒子が拡散し、フィットファクタ値を正しく測定できない。そのため測定環境中に粒子を散布する粒子発生器を正常に機能させるためには、20㎡未満で開放的でない部屋が望ましいとされている。このため適切な広さを確保でき、空気の流れが穏やかな工場事務所食堂を選択しフィットテストを実施した。しかしながら測定対象となる組立職場から遠く、全員を一度に集めたため、集合から合わせて当初の想定より長い2時間弱の拘束となり、工場内の作業に影響を与えることとなった。

そのため、今後は測定を行う場所と人の流れを改善し、対象となる職場の作業に空白時間が発生しないよう改善していかなければならない。

5.3 測定動作の周知方法の改善

今回の短縮型フィットテストを実施するにあたり、必要な測定動作の写真を用いて事前に周知した。しかし、電動ファン付き呼吸用保護具と使い捨て防じんマスクでは測定動作が一部異なることもあり、滞りなく全ての動作を行うのは難しく、事前の説明会の実施と作業者が視覚的に解りやすい資料が必要であった。

5. 4 他言語への対応

今回のフィットテスト被験者は全員日本人を選出したが、本社工場ではベトナム関連会社Universal Steel Fabrication Via-Japan(USF)からの研修生をはじめ外国人作業者が増加しており、測定動作の説明の際に、日本語が読めない、平仮名が読めても漢字が読めないことが予想される。そのため、今後は日本語以外の言語への対応が求められるが、2023年現在、行政機関などのホームページ等においても、フィットテストに関連する外国語資料は掲載されて

おらず、独自の対応が必要となる。

(6. 対策・工夫)

6. 1 適切な使い捨て防じんマスクの選定

2023年現在、工場内で使用している使い捨て防じんマスクでは、フィルターの能力上捕集効率の規格は満たしても、顔面への密着性が悪く隙間から粒子が入り込み要求フィットファクタ値100を満たせなかった。この課題については、マスクフィット実施者養成研修を受講した際に現行の使い捨て防じんマスクを持ち込み測定し、事前に把握していた。

また、この点に関して研修を主催する保護具メーカーに意見を求めたところ、「顔面に密着し粒子の流入を防ぐ機能を持つマスクであれば高いフィットファクタ値を測定しやすい」というアドバイスを得ていた。このため、フィットテストの実施にあたり、現在使用している使い捨て防じんマスクとは別のマスクを検討していた。その結果、マスク内面に顔面と密着するクッションを持つ写真-4に示すシゲマツ製DD11-S2-5を今回のフィットテストで試用した。

当該マスクでフィットテストを実施した結果、最も低い者で総合フィットファクタ値135、それ以外は全員200という高い数値を記録し、全員が要求フィットファクタ値100を満たすことができた。

なお、本結果をもとに8月度安全衛生委員会において、今後も個人毎の顔のサイズの違いや価格などに対応するために同等の使い捨て防じんマスクの選定を続けながらも、要求防護係数10以下の工作職場、組立職場で金属アーク溶接作業を行う際には、DD11-S2-5を新たに使用することを決定した。



写真-4 シゲマツ製DD11-S2-5

6.2 拘束時間の短縮

フィットテストを工場事務所食堂で実施したため、 終了まで作業者を長時間拘束したことに関しては、 職場ごとで対象者を分散させる等、測定によって作 業に影響が出ないよう配慮する必要がある。実施す る場所についても作業場に近い工場食堂内で集合と 説明を行い、測定は工場食堂建屋内のミーティング ルームで実施し、終了次第作業に戻れるよう改善す る必要がある。

6.3 測定動作の周知と多言語への対応

フィットテストにおける測定動作を周知するため、2種類のマスクで行う各4動作を動画にまとめるとともに、開始前に実施する測定動作を一覧で表示しスムーズに次の動作へ移ることができるようにした。さらに、写真-5に示すとおり、ベトナム語版を作成し、各職場に在籍しているベトナム人研修生にも解りやすいものとした。今後はフィットテストの際にこの教材を用いることで、効率よく実施できるものと思料する。

ベトナム語以外の多言語版の動画作成については、 今後の工場内での外国人作業員の動向を考慮して検 討することとした。今回作成した動画は社外利用を 念頭に会社ホームページへの掲載なども検討するこ ととした。



写真-5 ベトナム語版周知動画

(7. おわりに

金属アーク溶接作業者が使用する呼吸用保護具のフィットテストは、今後毎年の実施が義務化されている。今回の先行実施から得られた知見を基に、早期に社内で実施できる体制を確立したい。

【参考文献】

- 厚生労働省:金属アーク溶接等作業を継続して 屋内作業場で行う皆さまへ
 - (最終閲覧日2023.10.12)
 - https://www.mhlw.go.jp/content/11305000/00 0654441.pdf
- 2) 厚生労働省、令和5年度フィットテスト測定機器 等購入補助金リーフレット、2023

1500 t プレスのリプレース

加圧力増強、ラム移動式へ

杉本 順 *1

1. はじめに

油圧プレスは、電気モーターによってポンプが駆動され、液体(通常は油)が高圧に加圧される仕組みである。この高圧な油がシリンダーに送られ、シリンダー内のピストンによって力が加えられる。その結果、プレス機の上に載せた素材に対して非常に強力な力が加わり曲げることができる。

【 2. プレス概要 】

本装置は主として、鋼板などの冷間曲げ加工を目的として作成された1500tラム移動式油圧矯正機であり、仕様は次のとおりである。

形 式: KSOP-1500R型

加 圧 能 力:1500t シリンダー径:φ950mm

引 上 げ ラ ム 径: φ125mm×φ70mm (2本)

ガ イ ド ポ ス ト: φ100mm (4本)

ス ト ロ ー ク:1000mm デ ー タ イ ト:2000mm

テ ー ブ ル 寸 法:(有効) 3000mm×5000mm

下 降 速 度:0~100mm/sec

加 圧 速 度:5mm/sec上 昇 速 度:100mm/secラ ム 移 動 速 度:2.4mmm/min

ラム移動用電動機: 2.2kw-4P (1/377)

クランプシリンダー径: φ100mm (4本)

使 用 圧 力:21Mpa タ ン ク 容 量:約1500L

ポンプ用モーター: $90 \text{kw} \times 4 \text{p}$ (200V)

本 体 総 重 量:約150t

(3. 加圧力

現在使用している1000tプレスは経年劣化により 加圧力が650t程度しか出せず、厚い鋼板で幅が広い 部材の曲げ加工では加圧力が足りず曲げることがで きない。そのため、当社の1000tプレス以上の能力 を所有しているプレス業者へ委託していた。

ここで、650tはどの程度の鋼板がV曲げできるの

かは、次の計算式(式-1)で推定することができる。

 $P = (C \times L \times t \times t \times \sigma) / V$ $\stackrel{}{\text{}}$ $\stackrel{}{\text{}}$ $\stackrel{}{\text{}}$

P: 必要な加圧力(kN)

C: 補正係数

L: 曲げ長さ (m)

t: 板厚 (mm)

σ: 材料の引張強さ (N/mm2)

V: 金型Vの幅 (mm)

例-1、例-2のように、650tプレスの場合、板厚55mmの場合は幅755mmまで、板厚70mmの場合は幅466mmまでの鋼板がV曲げ可能と想定される。一方、例-3、例-4のように、1500tプレスは、板厚55mmの場合は、幅2060mmまで、板厚70mmの場合は幅1271mmまでのV曲げが可能と想定される。

例 -1 P = $(1.5 \times 755 \times 55 \times 55 \times 610)$ /380 = 650KN 例 -2 P = $(1.5 \times 466 \times 70 \times 70 \times 610)$ /380 = 650KN 例 -3 P = $(1.5 \times 2060 \times 55 \times 55 \times 610)$ /380 = 1500KN 例 -4 P = $(1.5 \times 1271 \times 70 \times 70 \times 610)$ /380 = 1500KN

補正係数Cの値はV/tにより異なり、Cの真の値が完全に把握できていないため、この計算式の信頼性は不確実である。作業のたびに加圧力を計算することは効率的ではない。ただし、曲げ圧力計算式により以下の4つの関係は理解しておく必要がある。

- ① 圧力はV幅に反比例する。
- ② 圧力は曲げ長さに比例する。
- ③ 圧力は板厚の2乗に比例する。
- ④ 圧力は引張強さに比例する。

この計算値はあくまでも加圧シリンダー直下の値であり、加圧治具の幅の遠い場所では加圧力は低下する。

^{*1} 製造グループ 製造チーム 係長

4. 工夫/対策/留意点

既存のプレスは、加圧する際にプレス治具を取り付けて中央を加圧すると、加圧治具の精度や加圧バランスにより曲げ部材に対して左右均等な加圧ができないため、加圧の弱い側に薄い鉄板を挿入して微調整していた。この薄い鉄板の板厚選定も熟練工の経験則によるものが多く、高度な技能が必要となる。

加圧中心となるシリンダーを図-1のように左右 に各1000mm移動させることで、加圧バランスが悪い 場合でも適度にストロークを与えて均等に曲げるこ とが可能となる。また、鈑桁のフランジなど、溶接に よる歪みを事前に反対側に曲げておく逆反り曲げで は、シリンダー中心からズレた場合でも、シリンダ ーがフランジ中心に移動して逆反り曲げを可能にす る。

また、薄い鉄板を挿入する際にはプレスの下に作業者が入り、薄い鉄板を挿入する必要があった。 1500tプレスを使用することで近づく作業はシリンダー降下前の位置確認時とシリンダー上昇後の曲がり角度確認時のみとなり薄い鉄板を挿入する作業の必要性がなくなる。

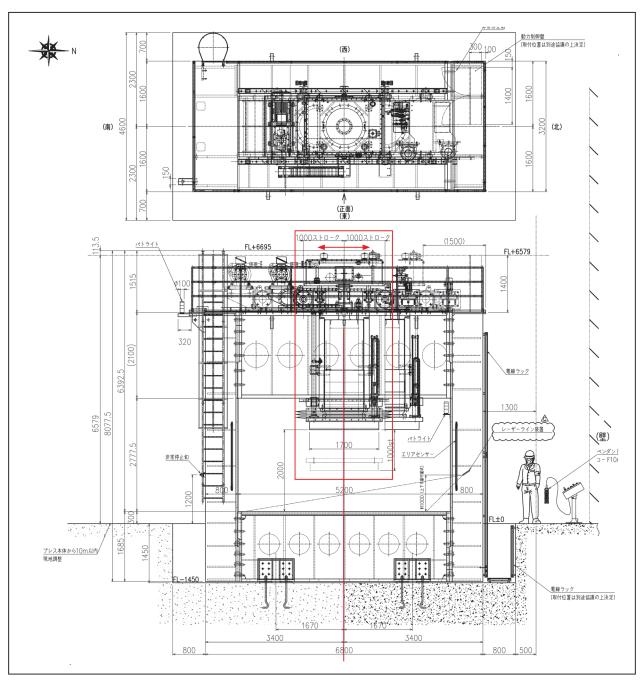


図-1 全体配置図

5. 安全

事故や災害には誤った操作、注意力の欠如、言語や記号の理解不足、疲労やストレス、訓練不足、慣れによる過信、作業環境の問題などさまざまな要因があるが、油圧プレス作業は非常に危険な場合がある。油圧プレスは高い圧力をかけて金属や他の素材を加工する機械であり、誤った操作や不注意な行動によって重大な事故や災害を引き起こす可能性がある。以下は油圧プレス作業が危険な時の一般的な状況である。

- ① 適切なトレーニングがない場合 油圧プレスの操作に対する適切な訓練を受けて いない作業者は、誤った手順を取る可能性が高ま る。
- ② 不適切な保守と点検 油圧プレスの定期的な点検や保守が行われてい ないと、機械の不具合や故障が起こりやすくなる。
- ③ プレスの過荷重 油圧プレスに設定された能力以上の荷重をかける と、機械の破損や事故が発生するリスクが高まる。

④ 素材の誤った配置

作業者が素材を正しくセットアップせずにプレスを作動させると、素材が正確に加工されず、事故の原因になることがある。

⑤ 手の位置の誤り

手をプレスの作業スペースに誤って置いたり、 適切な保護装置を使用しない場合、手や指の挟ま れなどの災害が起こるリスクが高まる。

⑥ 油漏れ

油圧システムの漏れや破損により、滑りやすい 床面ができることで、作業者が転倒するリスクが 高まる。

⑦ 連続作業時の疲労

長時間の連続作業によって作業者の注意力や判 断力が低下し、事故や災害が発生しやすくなる。

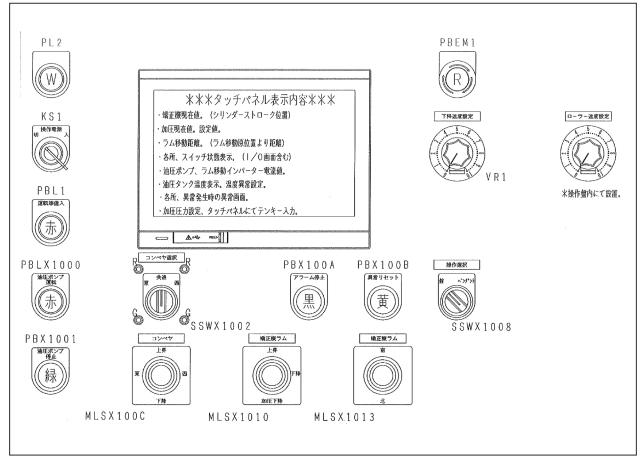


図-2 操作盤面詳細図

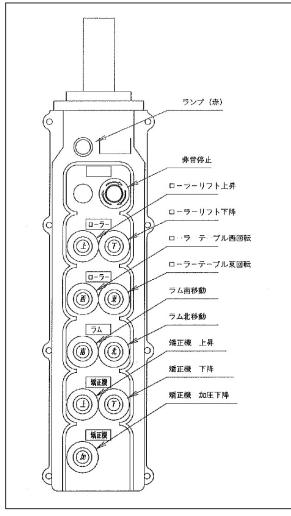


図-3 ペンダントスイッチ

これらの事故や災害のリスクを低減するために、 誤った操作を減らす取り組みとして、現在の1000t プレスを参考に、新しい1500tプレスの操作盤のボ タン配置を図ー2のように、ペンダントスイッチの操 作ボタン配置を図ー3のように決定した。これによ り、ヒューマンエラーの低減を可能にした。

操作盤でラムをストロークさせるレバースイッチでは、操作盤正面に立った時の方角を基準とし、ラムを下降させるレバースイッチでは高速下降する方向を右に配置し、低速下降する方向を下に配置することで、誤って高速下降で下に衝突させる事故への対策を取っている。

6. おわりに

既存の1000tプレスは昭和38年から稼働している設備で60年経過しており油漏れなどのプレスの故障や年次点検などが毎年必要となり、また熟練工の経験則によるところが多く、次世代の社員への技術伝承が難しい。そのため、1500tプレスをリプレースすることで、維持管理費を削減し、次世代の社員に作業手順を早期に習得させ、生産性を向上させることを目指したい。

【参考文献】

- 1) 確定仕様書
- KEYENCE Japan なるほど機械加工入門 プレス 加工の計算式

https://www.keyence.co.jp/ss/products/measure-sys/machining/formula/press.jsp

本社棟3階リノベーション工事 天井脱落対策の紹介

鈴木 良和 *1

1. はじめに

本稿は、当社敷地内における本社棟3階の内装一 式をリノベーションする工事を紹介する。

リノベーション工事発注初期の設計では、天井を スケルトン仕様のデザイン計画とし、折板屋根(鉄 板を成形加工した折板を用いる金属屋根工法)裏面 天井側に直付けされたフラットバーに吊りボルトを 取付け、空調機 (パッケージエアコン)・全熱交換器・ ダクト (給排気管)を天井から直吊りする工法(以 下天吊り工法とする)としていた。

しかし、新たに改定された建築基準法の天井脱落 に係る規定により、「天井について、風圧並びに地震 その他の震動及び衝撃によって脱落しないようにし なければならない」【建築基準法施行令第39条第1 項】、また「脱落によって重大な危害を生ずるおそれがあるものとして国土交通大臣が定める天井をいう」【建築基準法施行令第39条第3項】によれば、本社棟3階の天井は図-1に示すとおり「特定天井」に該当する。そのため、当初計画していた折板屋根からの天吊り工法が法令違反に該当する恐れがあるため、脱落対策を講じた天井に構造変更する必要が生じた。対策としては、国土交通大臣が定める構造形式を用いて構造耐力上安全な構造とするか、国土交通大臣の認定を受けた施工方法とするのか2つのいずれかである。本工事では、構造耐力上安全な構造・を採用した。

天井脱落対策の対象となる天井と検証ルート 既存建築物 新 築 建 築 物 等 寺定天井(脱落によって重大な危害を生ずるおそれがある天井) 6m超の高さにある、面積200m超、質量2kg/m超の吊り天井で 既存の天井 人が日常利用する場所に設置されているもの 〇以下のいずれかのルートを適用し検証。 ※その他の天井 ○新築時の基準 中地震で天井が損傷しないことを検証 または 〇吊り天井以外の (これにより、中地震を超える一定の地震においても脱落の低減を図る。) 天井 落下防止措置 〇人に重大な危害 計算ルート 大臣認定ルート を与えるおそれ の低いもの。 高さ6m以下 構造躯体の特性を 面積200㎡以下 耐震性等を考慮し 〇天井が損傷 天井の質量が た天井の仕様に適 天井の耐震性等を 時刻歴応答解析で しても落下し 2kg/m^常以下 合することで検証 検証する建築物に ないような措 告示で定める計算 〇人に危害を与え で検証 (天井の質量2kg/ ついて天井の耐震 置がなされて るおそれがない 性等を検証 m²超20kg/m²以下) いるもの 場所に設置され ネットの設置 ているもの。 居室、廊下その 天井をワイ 他の人が日常利 ヤー等で吊 水平方向の地震力に対し斜め部材等を配置し 複雑な天井等仕様 用する場所に設 る構造 ルート及び計算 けられるもの以 ルートに適合しない 外の天井 天井の耐震性等を、 その他の方法によるもの 実験及び数値計算 ・仕様ルート・計算ルートの追加(告示)により対応を ※増改築時に適 で検証 検討 用できる基準と (設計者の判断に して位置付け より安全を確保)

図-1 天井脱落対策の対象となる天井と検証ルート

*1 総務人事グループ 総務人事チーム 係長

2. 工事概要

工事名:瀧上工業㈱本社棟3階リノベーション

発 注 者:瀧上工業株式会社

工事場所:愛知県半田市神明町一丁目1番地

瀧上工業株式会社 本社棟3階

工 期:自)令和3年12月21日

至) 令和4年 3月31日

形 式:事務所、鉄骨造、地上3階

建築面積930.65㎡ 延べ面積930.65㎡

内装:プラスターボード下地クロス貼り

床 : アクセスフロアー930㎡ 天井: ジプトーン貼り567㎡

プラスターボード貼り169㎡

他 : 天井補強工事、造作工事、

パーテーション工事等々

3. 天井脱落対策に至る経緯

東日本大震災では2千カ所以上で天井が落下し、多くの死傷者が出た。東日本大震災以降も、宮城、福島両県で震度6強を観測した地震の影響で、音楽ホールや体育館など大型施設で天井板の落下が相次いだ。落下した天井は、いずれも「吊り天井」の構造で、屋根から長さ1~2メートルの吊りボルトに、石膏ボードを固定した構造である。地震による揺れの影響で吊りボルトが破断したり、屋根の鉄骨との溶接部や天井板をはさむ金具部分が外れた²⁾。

その後、地震時における天井脱落による被害を防止すべく、平成25年7月に建築基準法施行令の一部改正ならびに同年8月「天井脱落対策に係る一連の技術基準告示(平成25年国土交通省告示第771号他)」が公布(平成26年4月1日から施行)された。

本天井は、【建築基準法施行令第39条第1項】が公布される以前(平成24年4月)に施工された旧建築基準の建築屋根であり、かつ、折板屋根にはソーラーパネル364枚(1㎡あたり12~16kg)が設置されている。当初は天吊り仕様で問題のない構造ではあるが、法が施工された後では、脱落の危険が伴う特定天井として認定された。そのため、天井脱落を防止する建築基準法に準じた工法にする必要があった。

4. 折板屋根の強度や剛性について

構造耐力上主要な部分ではなく、支持構造部に吊り材を取付ける場合には、吊り材の上端に生ずる力を構造耐力上主要な部分(躯体)に確実に伝達するため、支持部材は十分な剛性及び強度を有し構造耐力上主要な部分に緊結しなければならない。

一般的な折板屋根は、十分な強度や剛性を有していないので直接吊り材を設けて天井面鋼製部材等を吊り下げてはならない。また、母屋材には、想定内の鉛直荷重のみを負担する吊り材を設けても差し支えないが、斜め部材が取りつく吊り材を設ける場合は、地震力も考慮した上で、十分な剛性及び強度を有していることを確かめる必要がある。

なお、支持構造部が十分な剛性及び強度を有しているか否かについては、吊り材の上端に生ずる力を 考慮して、構造耐力上主要な部分と同様に、長期荷 重及び、短期荷重に対する安全性を構造計算によっ て確かめなければならない。

また、仕様ルート(耐震性等を考慮した天井の仕様に適合することで検証)では支持構造部として認められない。材料メーカーからの資料等から、十分な剛性及び強度を有すると判断される場合は、吊り元の接合金具等も含めて計算ルート(天井の耐震性等を告示で定める計算で検証)により確認する方法がある。

(5. 天井脱落対策に係る基準変更)

- ・クリップ、ハンガー等の接合金物 引っ掛け式等⇒ねじ留め等により緊結 (地震時に滑ったり外れるおそれ)
- ・吊りボルト、斜め部材等の配置 設計により様々⇒密に配置 (吊りボルト1本/㎡基準に従って算定される組数)
- ・吊り長さ 設計により様々⇒3m以下で、概ね均一
- ・設計用地震力(水平方向) 実態上、16程度⇒最大2.2G
- ・クリアランス 実態上、明確に設けられていない⇒原則、 6cm以上

(6. 施工方法)

従来の吊り天井と異なり、準構造化天井(構造躯体と一体になった部分に仕上げ材等を取り付けた天井)とすべく耐震補強計算を基準とし施工した。

躯体となる天井梁(H鋼)に天井補強取付材($C-100\times50\times20$)を隅肉溶接し、天井梁に直角に900mmピッチで天井補強材($C-125\times50\times20\times3.2$)をボルト締めし天井からの受材とした。

全数ボルト締め確認後、外部機関による部分溶け 込み溶接部外観目視検査(664ヶ所)を行った。 表-1に溶接検査結果を示す。

表-1 溶接検査結果

給杏率及び合格率

	_	検査対象 箇所数	検査 箇所数	抜取率	不合格 箇所数	合格率		
部分溶け み溶接音		664	664	100%	0	100%		

天井補強材に900mmピッチで吊りボルトを直角に配置し、吊りボルト下部に野縁受け吊り金具をネジ止めした。野縁受け吊り金具に野縁受けを取付け、これに野縁クリップを用いて野縁を留め付けた。クリップの留め付けは、外れ防止のため、つめの向きを交互に配置した。

天井ボードへの留め付け方法は、天井材質により野縁の配置方法が変わるため、3階を南北に横断する面本棚の中心部で縁を切り、全く異なる天井構造とした。本棚より西側の執務室側はジプトーン(石膏ボードが素材となっているボード)仕上げとし、19型のシングル野縁(25×19×0.5)を225mmピッチで配置した。本棚より東側のカフェテリアは天井着色木毛セメント板仕上げとし、ボードとボードの継ぎ目はダブル野縁(50×19×0.5)を配置し303mmピッチで設置した(木毛セメント板とは木材をリボン上に細長く削り出し、セメントペーストで圧縮成形した建材、間伐材や製造時の端材・残材などを有効利用して作られた耐火性のあるエコなボード)。写真一1に耐震性等を考慮した天井骨組みを示す。



写真-1 耐震性等を考慮した天井骨組み

空調機と全熱交換器本体の固定は受材となる天井 補強材から直吊り下したボルト4本に堅固に固定。 高さを天井高に調整し脱落の無い構造とした。また、 吸排気ダクトは天井補強材上に格納し屋根と準構造 化天井との空間に収めた。

周辺部の野縁は6cm以上のクリアランスを設け、 天井ボードを張り付けた。その結果、天井面を含む すべてが「耐震構造」となり、建物が構造的に倒壊 する以前には決して脱落、落下することがない「準 構造耐震天井」として脱落しない天井構造となる。 写真-2・写真-3に竣工写真を示す。



写真-2 竣工写真(執務室側)



写真-3 竣工写真(カフェテリア側)

7. 工程管理

新型コロナウイルスの蔓延防止等重点措置により 緊急事態宣言が発令され、半導体・衛生機器が入手 困難な事態となり施工開始前から全熱交換器・便 座・照明機器・便器等が納期までに3~4カ月かかる と想定された。当初の工程では納品の遅れを吸収し きれない工程表であり、工期を少しでも短縮する必 要に迫られた。天井梁を全面溶接するため、足場を 床前面に組立てる計画としたが、天井高の違いや、 足場の組立解体期間の短縮を考慮して、高さの違う 移動式足場(ローリングタワー)を4基配置し、天 井の勾配に合わせ効率よく使い分け、大幅に工期を 短縮した。

8. あとがき

日々激変する社会情勢で、明日の予定も立てられ ない状況での工程管理を行うため工事関係者と垣根 が無くなるほど密に情報交換をした。納品が確定し た設備から都度工程に組み込むフレキシブルな工程 管理を敢行した。多難な工事ではあった。最後に施 工にご協力いただきました皆様に御礼を申し上げま す。

【参考文献】

- 1) 建築物における天井脱落対策の全体像-国土交通 省(最終閲覧日:2023年9月29日) www.mlit.go.jp/common/001009501.pdf
- 2) 地震で相次いだ天井落下 東日本大震災後、なぜ 「既存適格」のまま

(最終閲覧日:2023年9月29日)

https://www.asahi.com/articles/

ASQ486SQNQ45UNHB00Z.html

朝日新聞デジタル

営業拠点の沿革と旧橋への旅 大阪支店の歴史を辿る

岡野 敦 *1 津岡 靖宏 *2

1. はじめに

当社の大阪支店は広島営業所、福岡営業所、沖縄営業所を統括している西日本の拠点である。

大阪支店の前身である大阪営業所は昭和35年 (1960年)5月に当時、名古屋営業管轄だった関西地 区を独立、先に開設していた広島営業所を吸収して 近畿・中国・四国エリアの広範囲を管轄する形で大 阪市福島区堂島浜通(堂浜ビル)に開設された。

この度、当社の大阪支店が写真-1に示す西区北堀江(西大橋)から、写真-2に示す中区南船場(長堀橋)に移転することになったため、この機会に大阪支店の来歴を紹介する。

2. 移転履歴

大阪営業所・大阪支店は開設から西区北堀江の自 社ビルに落ち着くまでに、3度移転している。以下 に移転履歴を示す。

1972年 福島区上福島(長岡ビル)JR福島駅近く 1980年 北区芝田町(和光ビル)JR大阪駅北側 1984年 西区北堀江(自社ビル)地下鉄四ツ橋駅 堀江界隈は江戸時代から明治時代にかけて、日本 有数の材木問屋街として知られた。現在でも名残の 家具通りがあり、材木屋もちらほら見受けられる。 2023年現在では新しい店舗が増え、若者に人気のスポットとなっている。

北堀江への移転当時、最寄り駅は大阪市営地下鉄四つ橋線「四ツ橋駅」で徒歩約10分を要していた。 後に長堀鶴見緑地線が開通し、「西大橋駅」3番出口より徒歩約30秒の好立地となった。

1994年の大阪支店に昇格時以来、30年近く北堀江の地で西日本の拠点としての役割を果たしてきた。

3. 初期の受注実績

大阪営業所開設当時 (1960年~) の主な受注工事 を以下に示す。古い順に列記する。

1960年 7月 すさみ大橋 (近畿地方建設局) ランガー橋



写真-1 大阪支店(北堀江自社ビル 1984~2023年)



写真-2 新大阪支店 (堺筋ベストビル7F 2023年~)

1961年10月 蟻之腰橋 (奈良県) ワーレントラス橋

1963年 1月 洞尾橋 (和歌山県) ワーレントラス橋

1965年12月 11号池田線西淀川第3工区

(阪神公団) 鈑桁・箱桁(1,728t)

11号池田線西淀川第3工区は阪神高速道路公団からの受注第1号である。以降、現在まで受注実績は 大小様々な工事で約60件に至る。

(4. 施工実績の紹介

大阪営業所管内の工事経歴で確認できる最古の実績は昭和27年(1952年)の奈良県吉野町の桜橋である。建設当時、桜橋は鈑桁だったが、昭和34年(1959年)の伊勢湾台風によって落橋した部分をワーレントラス橋で復旧され、2023年現在は鈑桁とワーレントラス橋の構成となっている。続いて、昭和28年(1953年)の奈良県十津川村の大塔橋、昭和29年(1954年)の川津橋が記録に残っている。

ここで、川津橋について紹介する。写真-3に示す川津橋は瀧上工業五十年史¹⁾ にも登場する昭和29年 (1954年)11月に完成した吊橋である。図-1に示すように当時の青焼きの設計図が残っており、歴史が感じられる。昭和35年(1960年)に電源開発事業で別の吊橋に架け替えられ、当時の吊橋は残っていない。さらに、川津橋は平成3年(1992年)3月に架橋位置を変え、写真-4~6に示すニールセンローゼ橋の新川津大橋として新たに建設され、美しい自然環境に囲まれた十津川村に映える橋梁として現存している。



写真-3 建設当時の川津橋1)

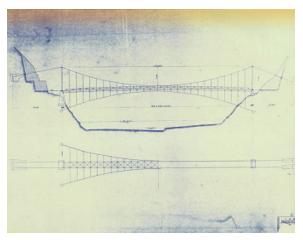


図-1 川津橋の設計図



写真-4 新川津大橋(橋台橋面から撮影)



写真-5 新川津大橋 (橋梁上から撮影)



写真-6 新川津大橋(遠望)

奈良県十津川村には川津橋をはじめ、当社が架設 した橋梁が数多くある。五条から国道168号を南下 していくと高津橋や風屋大橋、湯の原橋がある。

昭和32年(1957年)に完成した高津橋はこの路線ではよくみられるワーレントラス橋である。昭和58年(1983年)に増設桁工事が施工されたが、その後のバイパス工事により、平成12年(2000年)に鈑桁形式に架け替えられた。

昭和48年(1973年)4月に完成した風屋大橋は、写真-7に示すワーレントラス橋である。風屋大橋は写真-8に示すように風屋ダムの近くに位置する。昭和33年(1958年)に完成した十津川大橋が流出したため架け替えられたと当時の営業担当だった大先輩から聞いている。

昭和55年(1980年)9月に完成した湯の原橋は、 写真-9に示す2径間箱桁橋であり、小井工区、湯 之原バイパス工事区間に架設された。写真-10に示 す通り、昭和57年(1982年)11月の湯之原バイパ スの開通式典の様子が当時の記録に残っている。



写真-7 風屋大橋



写真-8 風屋大橋上から望む風屋ダム



写真-9 湯の原橋



一般国道湯之原バイバスが開通

写真-10 湯之原バイパス開通式典の記事

本線から外れると片谷橋や蟻之腰橋がある。

昭和33年(1958年)7月に完成した片谷橋は、写真-11に示す上路アーチ+鈑桁形式である。国道168号が和歌山方面へ分岐した国道425号に架設されている。写真-12に示す橋歴板が縦書きであった

り、図-2に示す設計図が英語表記となっている点に歴史を感じる。

昭和37年(1962年)8月に完成した蟻之腰橋は、写真-13、14に示すワーレントラス橋である。現在は湯之原バイパスが開通して旧道となったため、交通量も少なくひっそりとたたずんでいる。これを先に進めば、温泉街にたどり着く。



写真-11 片谷橋



写真-12 片谷橋の橋歴板

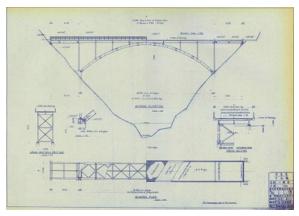


図-2 片谷橋の設計図



写真-13 蟻之腰橋



写真-14 蟻之腰橋の橋歴板

奈良県十津川村では、近年も当社施工の橋梁がある。平成27年(2015年)に完成した、写真-15、16に示す方杖ラーメン箱桁橋の沼田原(ぬたのはら)橋である。主桁と橋脚の作用応力が集中する隅角部には、高強度と加工性・溶接性に優れる橋梁用高降伏点鋼板(SBHS)鋼のSBHS400WとSBHS500Wを採用した。特にSBHS500WはJIS規格材に制定以降、初の採用であったため、事前に溶接施工試験を行い、品質・溶接施工性を確認して製作しており、現在でも最先端の橋梁といえる。



写真-15 沼田原橋



写真-16 沼田原橋の橋名板 揮毫: 更谷村長(当時)

当時の近畿地方建設局で当社が施工した最古の実績として現存する、新すさみ橋(すさみ大橋)を紹介する。

当時の紀南工事事務所管内で昭和36年(1961年) 3月に完成した新すさみ橋は、写真-17~19に示す ランガー橋である。和歌山県西牟婁郡すさみ町の周 参見川河口に位置しており、青空と海に調和した配 色でアーチが景観に溶け込んでいる。

写真-20に示すように、昭和58年(1983年)にはアーチ部・補剛桁の補強工事が施工され、平成24年(2012年)には補修補強工事が施工されており、完成から62年が経過した現在も地域の生活道路として、現役で活躍していることがわかる。



写真-17 新すさみ橋(すさみ大橋)



写真-18 新すさみ橋と周参見川河口



写真-19 新すさみ橋(すさみ大橋)の橋歴板



写真-20 補強後のアーチ部・補剛桁

本稿では大阪支店の移転に際し、来歴として移転 履歴や管轄する施工実績を紹介した。これまでの記述のとおり関西地区には多数の施工実績があり、特 に昭和30年代の橋梁が完成から約70年経過した現 在も現役で活躍していることを橋梁ファブリケータ ーとして誇りに感じる。

(5. おわりに)

令和5年(2023年)10月、長年住み慣れた北堀江 から長堀橋へと4回目の事務所移転をした。

大阪メトロの堺筋線と長堀鶴見緑地線の交差する 地が長堀橋となる。現在は埋め立てられたが、かつ ては長堀(川)があり、写真-21、22に示す記念碑 が残っているように「長堀橋」が架かっていたとい う。「長堀橋」は大阪でも数少ない公儀橋と呼ばれる 幕府直轄の橋梁で、それだけ重要な橋梁だったとあ る。

引き続き新天地にて西の拠点としての役割を果たす所存である。

【参考文献】

1) 瀧上工業(株):瀧上工業五十年史、1987.



写真-21 長堀橋跡記念碑(表面)



写真-22 長堀橋跡記念碑(裏面)

ちょっとひといき。

2023新入社員プロジェクト

今年度の新入社員プロジェクトは "プロギング"です。これはスウェーデン語の plocka upp (地面から拾う) と jogging (ジョギング) を組み合わせた造語で、ジョギングを楽しみながらゴミを拾うというSDGsスポーツです。

私たちはこれまでに久屋大通プロギングに2回、武豊プロギングに1回参加しました。その経験から「次は自分たちで企画して開催したい」と考え、11月15日(水)に成岩地区介護予防・生活支援協議会主催のプロギングに協賛として参加することになりました。『ならわプロギング』と名付けた今回の企画には、約50名(参加者28名、スタッフ25名)が参加してくれました。参加者は60歳以上がほとんどでしたが、「普段話すことのない世代と交流ができて楽しかった」という声が多く、幅広い交流ができたと感じています。



ならわプロギング



久屋大通プロギング



武豊プロギング

工事紹介 R4圏央道上郷高架橋上部その2工事 建設現場における遠隔臨場

ドォ ゴック トゥアン *1 加藤 正幸 *2

〔1. 概 要

首都圏中央連絡自動車道(圏央道)は、都心から約40~60kmの位置を環状に結ぶ延長約300kmの高規格幹線道路で、横浜、厚木、八王子、川越、つくば、成田、木更津などの都市を連絡し、東京湾アクアライン、東京外かく環状道路(外環道)などと一体となって首都圏の広域的な幹線道路網を形成するとともに、首都圏の道路交通の円滑化、環境改善、沿線都市間の連絡強化、地域づくり支援、災害時の代替路としての機能など多くの役割を担う環状道路である。

本工事は、埼玉県久喜市(久喜白岡JCT(東北道)) から千葉県成田市(大栄JCT(東関道))までの延長約92.2kmの4車線化事業のうち、常総IC~つくば中央IC間にある上郷第2高架橋上部の下り線2車線の製作・架設工事である。

2. 主要諸元

工 事 名:R4圏央道上郷高架橋上部その2工事

発 注 者:関東地方整備局

工事場所:茨城県つくば市高須賀地先

工 期:自) 令和4年 8月 2日

至) 令和6年10月31日

橋梁形式:6径間連続合成少数鈑桁橋

橋 長:258.000m (道路中心線)

支 間 割:41.000m+4@45.000m+35.200m

平面線形:R=∞

縦断線形:i=0.400%(右上り)~i=0.770%(右

下り) VCL=300



図-1 位置図

3. 特 徴

本工事は、工事着手にあたり臨時の遠隔臨場の実施に関する機器、体制等について、発注者に確認のうえ施工計画書に記載することとし、監督職員より臨時の遠隔臨場の実施が連絡された場合はこれに応じなければならない。

「建設現場の遠隔臨場に関する試行工事は、受注者における「段階確認に伴う手待ち時間の削減や確認書類の簡素化」や発注者(監督員)における「現場臨場の削減による効率的な時間の活用」等を目指し、動画撮影用のカメラ(ウェアラブルカメラ等)と配信システムを使用して「段階確認」、「材料確認」と「立会」の遠隔臨場を行うものである。

【参考文献】

 クラウド録画「Safie」、遠隔業務を変革する ウェアラブルカメラの提供開始(最終閲覧日 2023.12.19) http://safie.co.jp/news/689







図-2 Safie Pocket¹⁾



図-3 WEB検査状況写真

*1 管理グループ 橋梁生産設計チーム 担当 *2 管理グループ 橋梁生産設計チーム チームリーダー

工事紹介 青川高架橋 大安ICから北勢ICへ向かう2主箱桁橋の製作

内山 尋斗 *1

〔1. 概 要

本工事は、三重県いなべ市で設備を進めている自動車専用道路である(図一1)。滋賀県では、産業や日常生活を支える揮発油の約6割を四日市市から輸送しており、東海環状自動車道の全線開通により輸送ルートが形成され、安定輸送の実現や長距離ドライバーの労働環境改善や東海自動車道の開通を見据え、新たな企業が立地するなど更なる企業進出や生産拡張に期待される1)。

2. 工事概要

工 事 名:令和4年度東海環状青川高架橋鋼上部

工事

発 注 者:国土交通省 中部地方整備局

北勢国道事務所

工事場所:三重県いなべ市大安町~三重県いなべ

北勢町

工 期:自)2022年9月3日

至) 2024年6月28日

橋梁形式:鋼6径間連続非合成箱桁橋

橋 長:276,600mm 長:275,900mm

支間長:35.6m+36.5m+2@61.0m+37.0+43.4m

有効幅員:標準部 10,750mm

非常駐車帯部 13,000mm

縦断勾配:1.664%~0.5%

横断勾配:2.5%



図-1 位置図

3. 特 徴

以下に本工事の特徴を示す。

- ・橋梁下に河川が走っており、橋梁の支点部に湿気が滞留し、結露による帯水が生じやすい厳しい環境であるため防食性の耐久性向上が可能なCORSPACE用高力TCボルトを使用した。対象箇所は支点ブロック周辺部とする。CORSPACE用高力TCボルトを図—2に示す。
- ・塗装色については主要区間毎に塗装色を設定して おり、いなべ市や東員町の小市街地景観と田園景 観の混在をイメージとして肌色(塗装色: K19-70A) としている。塗装色を図-3に示す。

製品表示

<外観写真>



高力ボルトの頭部に浮き出し で、機械的性質による等級を 表すマークを表示してます。



図-2 CORSPACE用高力TCボルト

K 版			J版		H 版		マンセル	調色品	記号
色 色票番号		Ħ	色票番号	Ħ	色票番号	記号	区分	10.4	
		K 1 9 - 9 0 A	21	J 19-90A	21	II 1 9 – 9 0 A	10Y R 9/0.5	淡彩色	
		K 1 9 - 8 5 A	21	J 19-85A	21	H 1 9 - 8 5 A	10Y R 8.5/0.5	淡彩色	景
		K 1 9 - 8 0 A	21	J 1 9 - 8 0 A	21	H 1 9 - 8 0 A	10Y R 8/0.5	淡彩色	
		K 1 9 - 7 5 A	21	J 19-75A	21	H 1 9 - 7 5 A	10Y R 7.5/0.5	淡彩色	
10 Y R		K 1 9 - 7 0 A	21	J 1 9 - 7 0 A	21	II 1 9 - 7 0 A	10Y R 7/0.5	淡彩色	
		K 1 9 - 6 5 A	21	J 19 - 65 A	21	H 1 9 - 6 5 A	10Y R 6.5/0.5	淡彩色	
		K 1 9 - 6 0 A	21	J 1 9 - 6 0 A			10Y R 6/0.5	中彩色	
		K 1 9 - 5 0 A	21	J 1 9 - 5 0 A			10Y R 5/0.5	中彩色	
		K 1 9 - 3 0 A	26	J 19-30A	20	H 1 9 - 3 0 A	10Y R 3/0.5	濃彩色	景・虚

図-3 塗装色

【参考文献】

1) 国土交通省中部地方整備局

(https://www.cbr.mlit.go.jp/hokusei/kouji/ toukan_03)

工事紹介 瑞浪1号橋

JR中央線を跨ぐ鋼5径間連続非合成箱桁橋

宮武 雅人 *1

1. 概 要

瑞浪恵那道路整備事業は、国道19号線の渋滞や事故等の交通課題解消や、リニア中央新幹線の波及効果を支える道路として整備する、瑞浪市と恵那市を結ぶ延長12.5kmのバイパス事業である。

国道19号沿線は、工業団地の物流交通が集中しているため、交通渋滞や大型車が絡む事故が多発している。また、リニア開業に伴う交通需要の増大、混雑が懸念されている。瑞浪恵那道路の整備により、国道19号の安全性・物流の安定性の確保及び、交通渋滞の緩和を図るものである。

2. 工事諸元

工 事 名:令和4年度 瑞浪恵那道路瑞浪1号橋

鋼上部工事

発 注 者:国土交通省中部地方整備局

多治見砂防国道事務所

工事場所:岐阜県瑞浪市土岐町

工 期:自)令和4年9月27日

至) 令和7年2月28日

橋梁形式:鋼5径間連続非合成箱桁橋

橋 長:262.000m

支 間 割:35.0+64.0+53.0+69.0+39.0m

横断勾配:5.000~-6.000%

縦断勾配:2.500~ (VCL=50m) ~1.049%

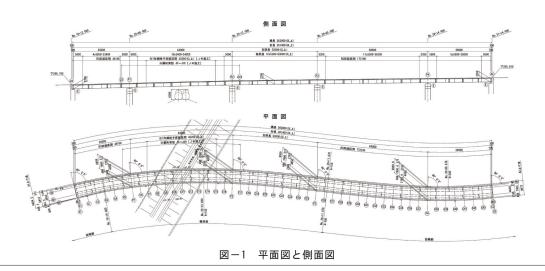
3. 特 徴

本工事はJR上に架かるため、JR区間内にはベントを組むことができない。そのため、電車が止まった夜間に、J3~J10間の主桁と検査路を一体に組み立てておき、1000t吊クローラークレーンで一括架設を行う。JR区間以外の主桁は、ベントを組んでトラッククレーンを使用するが、途中川幅30mの川があることにより、架設出来ない箇所があった。この区間は、渇水期に川の半分ほどを土のうと盛土で埋め立て、トラッククレーンベント工法で架設を行う。

床版は鉄筋コンクリート床版とグレーチング床版の2種類が使用されており、JR区間にグレーチング床版を、JR区間以外には鉄筋コンクリート床版を使用することとしている。使い分ける理由は、鉄筋コンクリート床版に比べ、グレーチング床版の方が工期の短縮が図れるためである。

【参考文献】

- 1) 国道19号瑞浪恵那道路 | 多治見砂防国道事務所 (https://www.cbr.mlit.go.jp/tajimi/road/progress/r19/mizunamiena/gaiyou.html) (最終閲覧日 令和5年8月25日)
- 2) 日本橋梁建設協会 I型格子床版設計・施工の手 引き (平成26年12月)



*1 設計開発グループ 設計開発チーム 担当

工事紹介 佐世保高架橋南 多様な架設工法による施工

山崎 寛人 *1

1. 概 要

本工事は、一般国道497号西九州自動車道(佐世 保道路)で共用する佐世保高架橋を、現状の2車線 から4車線に拡幅する事業である。交通安全の向上・ 機能強化・渋滞解消が期待される。

市内の幹線道路である県道の上空および海上に位置する複雑な地理的条件下での架設が必要となる。 安全性、経済性を考慮し複数の架設工法を用いる。 図-1に本工事の位置図を示す。

(2. 主要諸元)

工 事 名:令和4年度 佐世保道路

佐世保高架橋南 (鋼上部工) 工事

発 注 者:西日本高速道路株式会社 九州支社

受 注 者:瀧上工業・日本鉄塔工業

特定建設工事共同企業体

工事場所:長崎県佐世保市干尽町

工 期:自)令和4年11月16日

至) 令和8年10月25日

橋梁形式: (A1-P4) 鋼4径間連続合成少数鈑桁橋

(P4-P12) 鋼6径間連続合成箱桁橋

橋 長: (A1-P4) 148.200m

(P4-P12) 485.300m

総 幅 員: (A1-P4) 10.500m

(P4-P12) 9.650m \sim 10.900m

縦断勾配: (A1-P4) 1.100%♪

(P4-P12) 0.560% → 1.100%

横断勾配: (A1-P4) 7.0%↓

 $(P4-P12) -2.0\% \sim -7.0\% \sim 7.0\%$

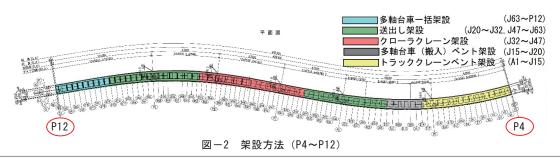


図-1 位置図

3. 特 徴

本工事の特徴としては、多様な架設工法を用いる 点があげられる。

- ① A1~J15は隣接している駐車場をヤードとし、経済性に優れるトラッククレーンベント工法で架設をする。
- ② 海上のJ32~J47はクローラクレーンを用いて 仮桟橋からベント工法で架設をする。
- ③ 海上のJ20~J32は仮桟橋で桁を組立て、送出 し工法で架設をする。
- ④ J47~J63は同じく仮桟橋で桁を組立て、送出 し工法で架設をする。
- ⑤ J15~J20は作業ヤードを設けることができないため、佐世保みなとICにて地組立後多軸台車で運搬し、県道上からトラッククレーンで一括架設をする。
- ⑥ 県道上J63~P12は佐世保みなとICにて地組立 後、多軸台車による一括架設をする。



*1 管理グループ 橋梁生産設計チーム 担当

工事紹介 六甲アイランド第3高架橋

横取り工法による交通規制期間の削減

山崎 寛人 *1 加藤 正幸 *2

1. 概 要

本工事は大阪湾岸道路西伸部の一端を担う工事で あり整備効果は主に2点ある。

1つ目に移動時間の短縮である。神戸の海沿いを通る都市高速は現状神戸線のみであり、慢性的な交通 渋滞が発生している。

2つ目に代替路の確保である。西伸部が神戸線の代替路となることにより、神戸線の大規模改修も可能になる。加えて災害発生時に機能不全とならないようにリダンダンシー確保の役割を果たす。

図-1に本工事の位置図を示す。

2. 主要諸元

工 事 名:大阪湾岸道路西伸部六甲アイランド

第三高架橋鋼上部工事

発 注 者:国土交通省 近畿地方整備局

受注者:IHIインフラシステム・瀧上工業

特定建設工事共同企業体

工事場所:兵庫県神戸市東灘区向洋町地先

工 期:自)令和5年3月7日

至) 令和9年2月16日

橋梁形式:鋼8径間連続合成細幅箱桁橋

橋 長:504.000m

幅 員: (標準部) 26.400m

(非常駐車帯部) 31.700m

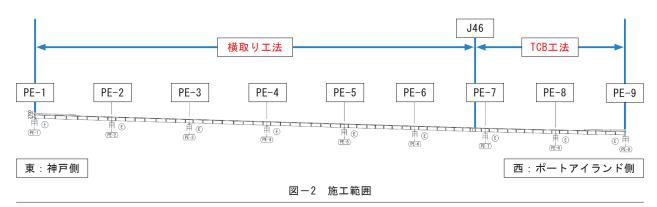
縦断勾配: 3.000% (↘) ~4.000% (✓) 横断勾配: 2.000% (∧) ~3.915% (✓)



図-1 位置図

3. 特 徴

- ・本工事はPE-9~J46間のトラッククレーンベント 工法とJ46~PE-1間の横取り工法を用いる。先行 してPE-9~J46間を橋脚周辺のヤードを使用し、 合成床版架設までの施工を終える。J46~PE-1間 は六甲アイランドと神戸市をつなぐ六甲大橋の入 口となるため、G3,G4側の交通規制を可能な限り 避ける必要がある。そのためG1,G2側にG3,G4桁 及び合成床版を架設後、横取り工法による夜間架 設を行う。これにより交通規制を最小限に抑える ことが可能となる。
- ・中間支点上はすべて横梁構造となっており、支承 は機能分離型を採用している。主桁下に鉛直力に 作用する金属支承、横梁下に水平力に作用するゴ ム支承を配置しており、計90基の支承を使用す る。



*1 管理グループ 橋梁生産設計チーム 担当 *2 管理グループ 橋梁生産設計チーム チームリーダー

工事紹介 令和4年度木曽川大橋橋梁補修補強工事 支承取替工と補修・補強工に伴う事前調査

上田 将行 *1

1. 概 要

木曽川大橋は、一級河川木曽川水系木曽川に架かる一般国道23号の一部で、橋長約860mの下路式単純ワーレントラス橋(上下線別の12連)である。1日に6万台を超える交通量がある大動脈で、地域の生活と経済活動に重要な役割を果たしている¹⁾。これまでに上下線それぞれに対し、補修・補強工事が繰り返し行われている。今回の工事では主に、下り線の支承取替(ゴム支承への切り替え)および橋台の落橋防止構造(緩衝チェーン)の設置による、耐震補強工事を行う。図一1に支承取替工図を示す。また、橋梁点検結果に基づく既設構造物の補修・補強工事も行う。

【 2. 主要諸元

工 事 名:令和4年度 木曽川大橋橋梁補修補強 工事(橋梁補修)

発 注 者:中部地方整備局 三重河川国道事務所 工事場所:三重県桑名郡木曽岬町~桑名市長島町

五 期:自)令和5年3月3日 至)令和7年3月28日

橋梁形式:下路式単純ワーレントラス橋

橋 長:858.46m 支間割:12@70.63m

幅員構成:2@3.75=7.50m(車道)、2.50m(歩道)

床版形式: RC床版(t=180mm)

平面線形: R=∞

縦断線形:i=0.4%(右上り)~i=0.4%(右下り)

3. 特 徴

支承取替に伴う端横桁補強

支承取替に伴うジャッキアップ位置は、現場の制 約条件に留意して、端横桁位置にて行った。これに 伴い端横桁の補強の必要があった。過去に設置済み の補強板を取り換えるため、現地実測による既設ボ ルト位置を反映した補強計画を行った。

・3Dスキャナーを使用した現地調査

今回、出水期間中(6月~9月)に補強箇所の確認を行う 必要があった。出水期の足場設置個所を減らすため、特 殊高所作業と新技術を活用した事前調査を実施した。 具体的には、特殊高所作業により、橋脚天端より4m程下 げた位置にブラケットを設置し、その上に3Dスキャナー を固定させ、支間中央側へ向けてスキャンを実施した。 これにより、補修対象箇所へ近接することなく、部材の 詳細形状(勾配や取付高さ)を把握することができた。図 -2に事前調査要領図を示す。

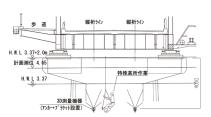
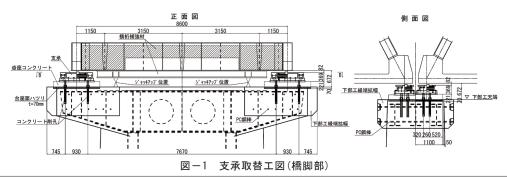


図-2 事前調査要領図

【参考文献】

 道路の老朽化対策-国土交通省中部地方整備局 (https://www.cbr.mlit.go.jp/road/taisaku/ current/cur01.html)

(最終閲覧日 令和6年1月27日)



^{*1} 設計開発グループ 設計開発チーム 担当

令和4・5年度 主要工事実績 (2024.1現在) 【完成工事】

工 事 名	受 注 先	数量	完成年月	県名
川越火力発電所4-3号調整力用計量器設置のうち建築工事【3期】	大成建設株式会社	0	2023/01	三重県
道路改良事業 一般国道151号 一宮跨線橋上部工事	愛知県	1,092	2023/02	愛知県
道路改良工事(常-17)(R3国補正)	愛知県 知多建設事務所	166	2023/03	愛知県
道路改良工事(常-15)(R3国補正)	愛知県 知多建設事務所	347	2023/03	愛知県
東関東自動車道 塔ヶ崎高架橋(鋼上部工)工事	川田工業株式会社	625	2023/03	茨城県
川崎港臨港道路扇島水江町線主橋りょう部上部工事(その4) のうちピロン柱製作	鹿島建設株式会社	457	2023/03	神奈川
名古屋線津・江戸橋間上津架道橋改築工事の内工事桁製作輸送 工事	株式会社奥村組	100	2023/05	三重県
名鉄明治用水工事桁製作輸送工事	株式会社三浦工務店	4	2023/05	愛知県
R3国道17号上尾道路JR跨線橋上部工事	関東地方整備局	323	2023/05	埼玉県
川越火力発電所4-6号調整力用計量器設置のうち建築工事	大成建設株式会社	0	2023/07	三重県
イビデン河間事業場新築工事	大成建設株式会社	3,583	2023/08	岐阜県
道路改良工事(常-45)(週休2日・環境整備・R4国補正)	愛知県 知多建設事務所	0	2023/09	愛知県
JR出馬・上市場間県道架道橋橋桁防護工新設工事	東海旅客鉄道株式会社	9	2023/10	静岡県
令和3年度 1号清水立体庵原高架橋東鋼製梁工事	中部地方整備局 静岡国道事務所	307	2023/11	静岡県
川越火力発電所4-2号調整力計量器設置工事の内建築工事	大成建設株式会社	0	2023/11	三重県
松阪・徳和間大津橋りょう製作・輸送工事	東海旅客鉄道株式会社	5	2023/12	三重県
喜連瓜破橋大規模更新工事の内、仮設桁製作輸送工	大成建設株式会社	1,400	2023/12	大阪市
伊勢湾岸自動車道 名港中央大橋耐震補強工事	中日本高速道路(株) 名古屋支社	330	2023/06	愛知県
元町 細谷橋改修工事 本体工事・撤去工事	株式会社大林組	1	2023/07	愛知県
伊勢湾岸自動車道 名港中央大橋(下り線)P4伸縮装置緊急 補修作業	中日本高速道路(株) 名古屋支社	1	2023/08	愛知県

【未成工事】

(小)从上, 于]				
工 事 名	受 注 先	数量	完成年月	県名
(仮称)うめきた2期地区開発事業新築工事の内南街区賃貸棟 工事鉄骨製作	株式会社駒井ハルテック	276	施工中	大阪府
東清水変電所FC増設の内建築工事	大成建設株式会社	2,739	施工中	静岡県
(仮称)赤坂2丁目計画	株式会社駒井ハルテック	3,778	施工中	東京都
品川再開発プロジェクト(第1期)4街区屋上鉄骨加工製作	株式会社大林組	1,375	施工中	東京都
中部電力パワーグリッド三重支社ビル新築工事	清水建設株式会社	1,796	施工中	三重県
名古屋/次世代熱延新設 熱延棟・HCY棟	株式会社大林組	3,267	施工中	愛知県
(仮称) 虎ノ門一丁目東地区第一種市街地再開発事業に係る施 設建築物新築工事	戸田建設株式会社	4,787	施工中	東京都
みなとみらい中央地区52街区開発事業計画	日鉄物産株式会社	3,470	施工中	神奈川

工 事 名	受 注 先	数量	完成年月	県名
新名神高速道路 高槻高架橋東(鋼上部工)工事	西日本高速道路(株) 関西支社	3,378	施工中	大阪府
小牧ハイウェイオアシス建設事業(土木造成工事)の内、橋梁 上部工の製作・架設工事	日本国土開発株式会社	485	施工中	愛知県
新名神高速道路 田上枝工事のうち天神川橋下層アーチの内、 メラン材製作輸送工事	鹿島建設株式会社	1,789	施工中	滋賀県
令和2年度 佐世保道路 佐世保高架橋(拡幅)工事(その1)・(その2)	西日本高速道路(株) 九州支社	2,454	施工中	長崎県
大阪モノレール 鋼軌道桁建設工事 (B968工区)	大阪府	400	施工中	大阪府
河和線 高横須賀〜南加木屋駅間(都)養父森岡線立体交差及 び新駅設置事業に伴う本線土木(その3)工事	名古屋鉄道株式会社	655	施工中	愛知県
東海環状自動車道 柿田高架橋(鋼上部工)工事	中日本高速道路(株) 名古屋支社	791	施工中	岐阜県
令和3年度 東海環状北勢第一高架橋2鋼上部工事	中部地方整備局	939	施工中	三重県
令和3年度 1号清水立体横砂跨道橋鋼上部工事	中部地方整備局	708	施工中	静岡県
市道岡崎阿知和スマートインター線 井ノ口橋新設工事	鹿島建設株式会社	82	施工中	愛知県
R4圏央道上郷高架橋上部その2工事	関東地方整備局	549	施工中	茨城県
令和4年度 東海環状青川高架橋鋼上部工事	中部地方整備局	1,117	施工中	三重県
令和4年度 瑞浪恵那道路瑞浪1号橋鋼上部工事	中部地方整備局	899	施工中	岐阜県
令和4年度 佐世保道路 佐世保高架橋南(鋼上部工)工事	西日本高速道路(株) 九州支社	1,680	施工中	長崎県
令和4年度 一般国道松原芋島線川島大橋鋼上部工事	中部地方整備局	1,279	施工中	岐阜県
大阪湾岸道路西伸部六甲アイランド第三高架橋鋼上部工事	近畿地方整備局 浪速国道事務所	2,033	施工中	兵庫県
道路改良事業県道名古屋岡崎線境川橋上部工事(環境整備・週 休2日)	愛知県	365	施工中	愛知県
令和5年度 東海環状海津高架橋鋼上部工事	中部地方整備局	827	施工中	岐阜県
令和5年度(債務負担行為工事)道路施設長寿命化対策事業 (補助・橋梁更新)一般県道余目松山線庄内橋桁製作架設工事	山形県	803	施工中	山形県
道路改良工事(常-50)(週休2日・R4国補正)	愛知県 知多建設事務所	0	施工中	愛知県
道路改良事業一般国道419号蛇抜高架橋上部工事(週休2日・ 環境整備)	愛知県	276	施工中	愛知県
公共 地域連携推進事業 (地方道路改築分) (一) 扶桑各務原線 (仮称)新愛岐大橋 (P9—A2間) 橋梁上部工事	岐阜県	507	施工中	岐阜県
名鉄瀬戸線喜多山駅鉄道高架化工事の内H型鋼埋込桁製作	株式会社鴻池組	239	施工中	愛知県
名鉄知立(その5)製作架設工事	株式会社大林組	950	施工中	愛知県
名鉄知立駅付近連続立体交差事業本線土木6	鹿島建設株式会社	518	施工中	愛知県
東名高速道路(特定更新等) 浜名湖橋支承取替工事	中日本高速道路(株) 東京支社	854	施工中	静岡県
令和4年度 木曽川大橋橋梁補修補強工事(橋梁補修)	中部地方整備局	344	施工中	三重県
東名阪自動車道 高座高架橋他5橋鋼橋緊急補修工事	中日本高速道路(株) 名古屋支社	0	施工中	愛知県
名神高速道路(特定更新等)長良川橋床版取替工事	中日本高速道路(株) 名古屋支社	1,221	施工中	岐阜県
	I.	L	l .	

- ▽今回初めて技報編集委員に参加しました。今までは仕上がった技報を配布することがメインでしたが改めて、1つのものを作り上げる工程が色々あることを感じました。自分の生まれ年に発刊されたものを読んでみると、当時のビッグプロジェクトの記事があり、きっと当時の技術者の方も「これは残すべき!」と意気込んで執筆したのだろうと想像しながら読むとワクワクしました。白黒印刷からカラー印刷に変わり、2次元図からCIMなどを使った3次元図に変わるなどの変化はありますが、いつの時代も読んでもらう人に分かりやすく執筆しようという姿勢を感じる記事を目にすると嬉しく思います。
- ▽今年度初めて技報編集委員になりました。これまで社内で回覧される技術論文をいくつか見たことはありましたが、この機会に査読の参考にしようと橋梁の研究論文も探してみました。私は橋梁の設計担当として、道路橋示方書や設計の手引きなどのルールブックばかり見てきました。しかし正直なところ、なぜそのルールなのか理解できていない部分がほとんどでした。研究論文にはその「なぜ」を追求したものがたくさん残されていることを改めて知りました。これまでただのルールだと認識していたことを、その根拠まで理解する必要性を感じました。今後は研究論文も参考資料として探してみるなど、自分の知識を深める行動をしていきたいと思いました。
- ▽ルービックキューブを手にしたことがない人はいますか?いませんよね!ルービックキューブは各面が3×3×3の正方形からなるキューブ(立方体)で、キューブを列・行ごとに自由に回転させることで各面の色をそろえる色合わせパズルです。新型コロナウイルス感染症の拡大にともない、外出自粛要請が続く日々の中、在宅での遊びを模索されたでしょう。発売から40年以上が経過するがコロナの影響があると言うものの絶大な人気で今や世界大会まで開催される。デジタルをメインとしたウェブ上でのつながりを楽しむゲームもいいですが、その時間の一部をデジタルデトックスの時間としてアナログ遊びのパズルゲーム(ルービック

キューブ)に捧げてみるというのは如何でしょうか?子供がいる家庭なら家族と一緒に楽しめますし、久しぶりにと言う大人の方なら無心になって手をガチャガチャと動かすのもいいでし

ょう。アナログとデジタルのいいところを再認識させるゲームです。

▽技報編集委員として自社・他社における過去の技報を数多く読み返してみました。自社の技術動向はある程度把握しているつもりでしたが、最近では改めて土木分野においてDXの分野で異業種が専門技術を生かした活躍が目立っています。今までは、専門分野に特化した経験により、他分野への関心が低かったですが、そんな中でも技術の要点を絞ってみると多様な製品への応用につながることが分かりました。これからの時代は一人ひとりがDXリテラシーを高めて、積極的にDXに取り組む姿勢が必要であると感じています。本技報もその読者のヒントや発想につながることを期待しています。

定瀧上工業株式会社

http://www.takigami.co.jp/

本	社	∓ 475−0826	愛知県半田市神明町1-1	TEL 0569-89-2101(代)
東京支	店	〒104−0033	中央区新川2-31-1(八丁堀トーセイビル9F)	TEL 03-3552-6681(代)
大阪支	店	〒 542−0081	大阪市中央区南船場1-16-13(堺筋ベストビル7F)	TEL 06-6755-8220代)
札幌営業		〒060-0061	札幌市中央区南1条西10丁目4-143(第2タイムビル5F)	TEL 011-222-2311
仙台営業		〒980-0811	仙台市青葉区一番町2-8-15(太陽生命仙台ビル9F)	TEL 022-267-3791
静岡営業		= 420−0858	静岡市葵区伝馬町11-6	TEL 054-252-1807
岐阜営業		〒 500−8842	岐阜市金町8-26 (AZMOND2F)	TEL 058-212-3556
広島営業		= 730−0029	広島市中区三川町2-10(愛媛ビル・広島8F)	TEL 082-545-2567
福岡営業		₹810-0001	福岡市中央区天神3丁目10-1(天神源氏ビル7F)	TEL 092-741-1253
沖縄営業		〒 901−2221	宜野湾市伊佐2丁目22-2(EL DULCE ISA 702号室)	TEL 098-901-3705
本社工	場	= 475−0826	愛知県半田市神明町1-1	TEL 0569-21-4111(代)
第二工	場	= 475−0033	愛知県半田市日東町2-1	
保全本	部	₹466-0064	名古屋市昭和区鶴舞2-19-22(5F)	TEL 052-882-5510

定 瀧上建設興業株式会社

https://takigami-kk.co.jp/

本 社 〒466-0064 愛知県名古屋市昭和区鶴舞2-19-22 TEL 052-882-7100 岐阜営業所 〒501-6334 羽島市堀津町前谷8(レジデンスバン102号室) TEL 058-397-2070

編集委員会

設計開発グループ

設計開発グループ 上田 将行

伊豫田 葵

委	員	長	技術企画グループ	飯田	哲也	技報たきがみVOL.40 2023 【非売品】
幹	事	長	工事グループ	有冨	哲弘	
查	読	長	技術企画グループ	織田	博孝	
委		員	管理グループ	西	幸二	令和6年3月 発 行
委		員	製造グループ	小林	智治	
委		員	品質管理室	川田	倫靖	発行人 取締役 執行役員 武 藤 英 司
委		員	計画設計グループ	内田	義 光	発行所 瀧上工業株式会社 本社
委		員	設計開発グループ	種岡	慎二	〒475-0826 愛知県半田市神明町1-1
委		員	鉄構管理グループ	山下	真 史	
委		員	名古屋営業部	三田	彩花	TEL 0569-89-2101
委		員	安全環境管理室	高津	昌明	印刷所 日本アート株式会社
委		員	瀧上建設興業	坂 部	泰樹	
重 🤅	務 局	長	技術企画グループ	想 井	重 大	

- 定 瀧上工業株式会社 The Takigami Steel Construction Co., Ltd.
- 定 瀧上建設與業株式会社 TAKIGAMI Construction Industry Co., Ltd.

「技報たきがみvol.40」お詫びと訂正のお知らせ

拝啓

時下ますますご清栄のこととお慶び申し上げます。平素は格別のご高配を賜り、厚く御礼申し上げます。 過日、送付させていただきました「技報たきがみvol.40」におきまして、掲載内容に誤りがございました。 深くお詫び申し上げますとともに、以下の通り訂正させていただきます。

> こちらから本誌pdfが ご覧いただけます



1 目 次 目次 1p箇所

- 誤) 大森 健広、﨑野 雄二、岡本 道雄 ・・・・・・ダニエル アペンヨ、松村 寿男
- 正) 大森 健広、﨑野 雄仁、岡本 道雄 ……ダニエル アペンヨ、松村 寿男

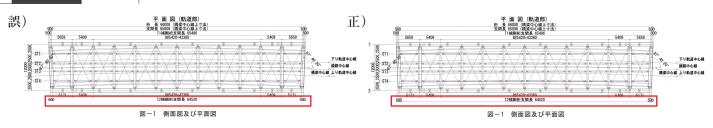
2 **国 次** 目次 69p箇所

- 誤)……森永 大介、川久保 浩、坂本 裕子
- 正) · · · · · · 森永 大介、川久保 浩、坂本 祐子

3 1ページ 右部 氏名

- 誤) 大森 健広 *1 崎野 雄<u>二</u> *2 岡本 道雄 *3ダニエル アペンヨ *4 松村 寿男 *5
- 正) 大森 健広 *1 崎野 雄<u>仁</u> *2 岡本 道雄 *3 ダニエル アペンヨ *4 松村 寿男 *5

4 1ページ 下部 図-1 ※下部寸法線の見切れ



5 1ページ 右部 2.工事概要 2行目テキスト

- 誤) 工 事 名:河和線 高横須賀~南加木屋駅間(都) 父森岡線立体交差及び新駅設置事業に
- 正) 工 事 名:河和線 高横須賀~南加木屋駅間(都) 養父森岡線立体交差及び新駅設置事業に

6 1ページ 右部 2.工事概要 7行目テキスト

誤) 工 期:自) 令和3年10月26日

: 至) 令和6年15月31日

正) 工 期:自)令和3年10月26日

: 至) 令和6年 5月31日

7 2ページ 左部 図-2 キャプション

誤) 図-2 ケーブル張力管理フロ-1

正) 図-2 ケーブル張力管理フロー1)

8 4ページ 左部 図-5 キャプション

誤) 図-5 敷鉄板敷設計画図

正) 図-5 ケーブル番号

9 4ページ 左部 図-6 キャプション

誤) 図-5 敷鉄板敷設計画図

正) 図-6 算定式による理論値と実測値の比較

10 5ページ 左部 写真-1 左上文字

誤)

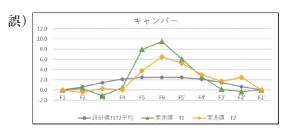


写真-1 ケーブル緊張治具



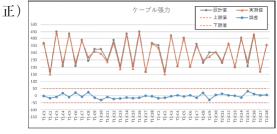
写真-1 ケーブル緊張治具

11 8ページ 左部 図-23



※キャンバーは調整前と同じ

図-23 1回目調整後張力



※キャンバーは調整前と同じ

図-23 1回目調整後張力

12 8ページ 右部 参考文献 6)

- 誤) 6) 崎野雄二、多和田彩人、岡本道雄、大森健広: ニールセンローゼ桁の一括架設における工夫について、技報たきがみvol.40、pp.9-14、2023
- 正) 6) 崎野雄<u>仁、</u>多和田彩人、岡本道雄、大森健広:ニ ールセンローゼ桁の一括架設における工夫につい て、技報たきがみvol.40、pp.9-14、2023

13 15ページ 右部 2.工事概要 1行目テキスト

誤) 支間割:39.7m(道路中心線上)

正) 支間割:290+590+290m

14 21ページ 下部 注釈

- 誤) *1 計画設計グループ 設計チーム 主任
- 正)*1 計画設計グループ 計画チーム 主任

15 28ページ 左部 本文8行目

- 誤) さらに、普段データを採取しやすいようにP2主塔 部から25m程度離れた位置に設置した。P2主塔部付 近の温度データを橋体温度とすることの妥当性を確 認するため、P1端橋脚から100m程度の位置にもP2主 塔部付近と同様に設置し1ヵ月程度の温度計測を実 施した。それらの比較結果は図−14に示すように、 設置期間の平均温度はP2主塔側とP1端橋脚側がそれぞれ23.3℃、23.8℃となった。温度差が僅か0.5℃
- 正) さらに、普段データを採取しやすいようにP2主塔 部から25m程度離れた位置に設置した。P2主塔部付 近の温度データを橋体温度とすることの妥当性を確 認するため、P1端橋脚から100m程度の位置にもP2主 塔部付近と同様に設置し1ヵ月程度の温度計測を実 施した。それらの比較結果は図−14に示すように、 設置期間の平均温度はP2主塔側とP1端橋脚側がそれぞれ22.3℃、22.8℃となった。温度差が僅か0.5℃

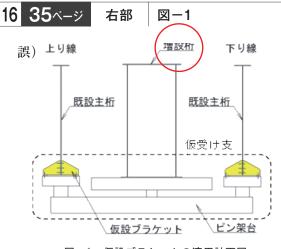


図-1 仮設ブラケットの適用計画図

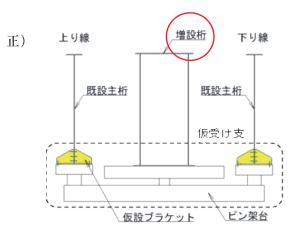


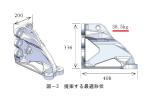
図-1 仮設ブラケットの適用計画図

17 36ページ 上部 図-2 文字 / 図-3 文字

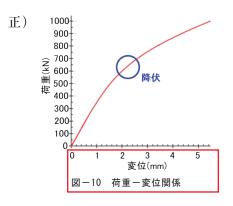
記り 200 336 336 (本4185) 第22 親行の仮設プラケット形状



正) 200 48.6kg 48.6kg 418.5 NB 2-2 現行の最影プラケット影響



18 43ページ 右部 図-10・グラフ下部の見切れ



19 48ページ 左部 6.安全対策 本文2行目

誤) 6. 安全対策

6. 1 現場作業ヤードの安全対策

本工事ではウェブカメラ (G-Cam²) を導入し、写真

正) 6. 安全対策

6. 1 現場作業ヤードの安全対策

本工事ではウェブカメラ (G-cam) を導入し、写真

20 49ページ 下部 注釈

- 誤) *1 設計企画グループ 設計企画チーム 係長 *2 設計企画グループ 設計企画チーム 主任
 - *3 設計企画グループ グループリーダー *
- *4 工事グループ 計画チーム 係長
- 正) *1 技術企画グループ 技術企画チーム 係長 *2 技術企画グループ 技術企画チーム 主任
 - *3 技術企画グループ グループリーダー
- *4 工事グループ 計画チーム 係長

21 69ページ 右部 氏名

- 誤) 森永 大介 *1 川久保 浩 *2 坂本 裕子 *3
- 正) 森永 大介 *1 川久保 浩 *2 坂本 祐子 *3

22 123ページ 右部 3.特徴 3行目テキスト

誤) (3. 特 徴

本工事の特徴としては、多様な架設工法を用いる 点があげられる。

① A1~J15は隣接<u>する</u>駐車場をヤードとし、経済性 に優れるトラッククレーンベント工法で架設をする。

正) (3. 特 徴

本工事の特徴としては、多様な架設工法を用いる 点があげられる。

① A1~J15は隣接している駐車場をヤードとし、経済性に優れるトラッククレーンベント工法で架設をする。

23 124ページ 右部 3.特徴 1段落目テキスト

誤) (3. 特 徴

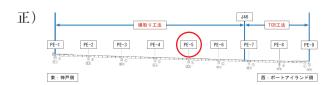
・本工事はPE-9~J46間のトラッククレーンベント 工法とJ46~PE-1間の横取り工法を用いる。先行 してPE-9~J46間を橋脚周辺のヤードを使用し架 設したのち、床版工までの施工を終える。J46~ PE-1間は六甲アイランドと神戸市をつなぐ六甲 大橋の入口となるため、G3,G4側の交通規制を可 能な限り避ける必要がある。そのためG1,G2側に G3,G4桁を架設し、床版工まで施工したのちに横 取り工法による夜間架設を行う。これにより交通 規制を最小限に抑えることが可能となる。

正) 3. 特 徴

・本工事はPE-9~J46間のトラッククレーンベント 工法とJ46~PE-1間の横取り工法を用いる。先行 してPE-9~J46間を橋脚周辺のヤードを使用し、 合成床版架設までの施工を終える。J46~PE-1間 は六甲アイランドと神戸市をつなぐ六甲大橋の入 口となるため、G3,G4側の交通規制を可能な限り 避ける必要がある。そのためG1,G2側にG3,G4桁 及び合成床版を架設後、横取り工法による夜間架 設を行う。これにより交通規制を最小限に抑える ことが可能となる。

24 124ページ 下部 図-2





皆様に多大なるご迷惑をお掛けしましたこと深くお詫びします。何卒よろしくお願い申し上げます。

敬具