PC4 径間連続ラーメン箱桁橋の施工における省力化・品質向上の取組み

（株）大林組　　正会員　○宮城　嶺
正会員　　佐々木　健史郎
楠田　和斗
梅本　尚仁

１．はじめに

すさみ串本道路は，和歌山県西牟婁郡すさみ町江住から同県東牟婁郡串本町サンゴ台までを結ぶ延長19.2km の高規格道路である．当該地域では，一般国道 42 号が唯一の幹線道路となっており，急カーブ等の線形条件に加え，津波，法面崩落，台風越波等により交通機能が阻害されるリスクを有している．したがって，本路線には異常気象時の通行規制区間の解消および防災・災害時の代替路としての機能が期待され，早期開通が求められていた(**図-1**)．

本稿は，サンゴ台高架橋上部工事において実施された施工の省力化ならびに品質向上の取組みについて報告するものである．



図-1　工事位置図

２．工事概要

工事概要を**表-１**に示す．本橋の構造は，最大支間長 72.5m を有する PC4 径間連続ラーメン箱桁橋である．**図-２**に主桁断面図を，**図-３**に橋梁一般図を示す．上部工の施工は，脚頭部の構築後，柱頭部～張出し架設～側径間閉合～中央径間閉合の順序で進め，最後に地覆や壁高欄等の付属物の施工を行った．

表-1　工事概要

工事名称	すさみ串本道路　サンゴ台高架橋上部工事
発 注 者	国土交通省　近畿地方整備局
工　　期	2023年12月20日～2025年8月29日
橋梁形式	PC４径間連続ラーメン箱桁橋
橋　　長	237m
支 間 長	44.450m+2@72.500m+44.450m
有効幅員	12.010m
平面線形	R=2000m
勾　　配	縦断勾配:1.0% 横断勾配:2.0%
主要鋼材	内ケーブル:SWPR7BL 12S15.2 外ケーブル:SWPR7BN 19S15.2 (内部充填型エポキシ樹脂被覆PC鋼より線) 床版・横桁横締めケーブル:SWPR19L 1S28.6
定着工法	縦締め:ディビダーク工法　横締め:SM工法

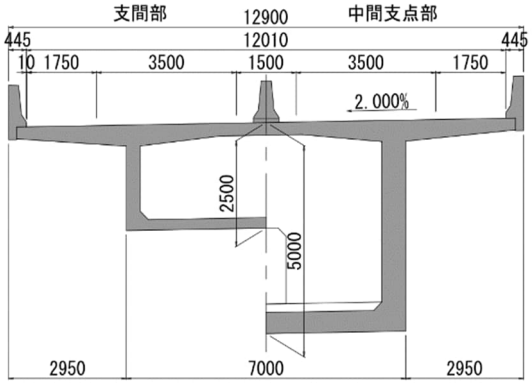


図-2　主桁断面図

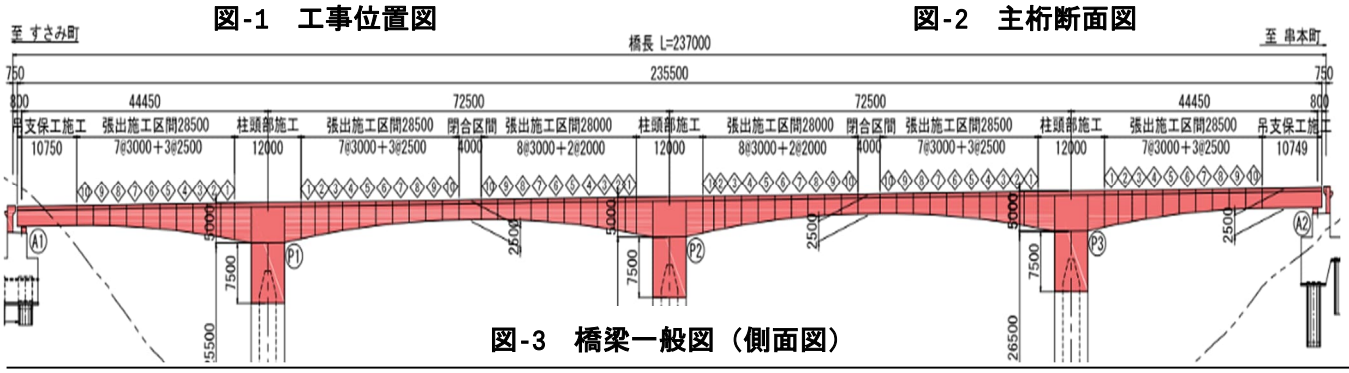


図-3　橋梁一般図（側面図）

キーワード　PC 橋　張出し架設　省力化　ICT
連絡先　　〒108-8502　東京都港区港南 2-15-2　（株）大林組　生産技術本部橋梁技術部　TEL050-3828-2544

３．省力化の取組み

(1)上床版コンクリートの仕上り高さ管理

コンクリート仕上り高さにおいては，ICT を活用した天端仕上り高さ管理システムを導入した．本技術は，コンクリート打込み時の仕上げ高さを自動追尾トータルステーション(TS)とスマートグラスにより，技能労働者が直接確認及び調整できるシステムである（**写真-１**）．使用前の準備として，TS 周辺に 2 箇所の基準点を設けることと，計測面の座標値(X, Y，Z)を TS に取り込み仮想の面データを作成することが必要である．

従来の天端仕上げ時には，天端目印治具や，技能労働者の目視により仕上り高さの確認を実施していた．本システムを用いることで，仕上り高さの計画値との誤差をリアルタイムに把握でき，技能労働者の目測に左右されずに，効率よく適切な高さへ調整することが可能となった．そのため，省力化を図ることができた．

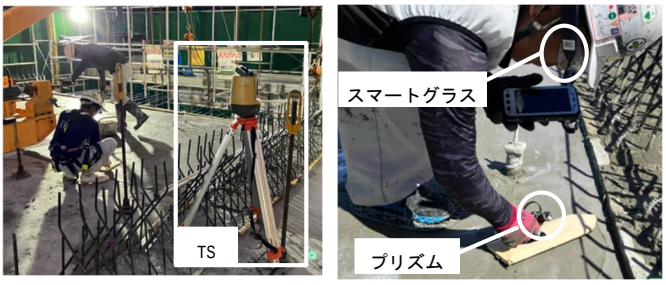


写真-１　天端仕上り高さ管理システム使用状況

(2)上床版コンクリートの自動養生

コンクリートの湿潤養生は，品質・耐久性を確保するうえで重要な管理項目であるが，常時変化する環境条件の下で，適切な湿潤状態を一定期間保つためには多くの労力が必要となる．そこで，日射の影響をとくに受けやすい上床版コンクリートに自動養生システムを採用し，職員ならびに技能労働者の省力化を図った．

本システムの概要を**図-４**に示す．コンクリート表面に設置した湿度センサーの値が，自主管理値（本工事では90%に設定）以下になった時点で，自動で給水ポンプが作動して散水を行う．また，湿度が一定以下になると同時に職員のスマートフォンに警告通知が自動送信される．なお，散水ホースは，上床版全面が均等な湿潤状態となるように，上床版の勾配を考慮して配置した．本システムの採用により，散水に伴う作業が大幅に削減され，省力化につながった．さらに，コンクリートの養生中の湿潤状態を確実に保持できることから，日中の湿潤状態の確認に要する時間も削減することができた．

また，養生完了後のひび割れ点検では，ひび割れ自動検出システムを採用し，省力化を図った．このシステムは，コンクリート表面を特殊な高性能カメラで撮影し，AIを利用した画像解析を行うことでひび割れの幅・長さを高精度で自動検出できる．これにより，従来の目視点検と比べて，点検時間を大幅に短縮でき，かつ正確な点検が可能となった．

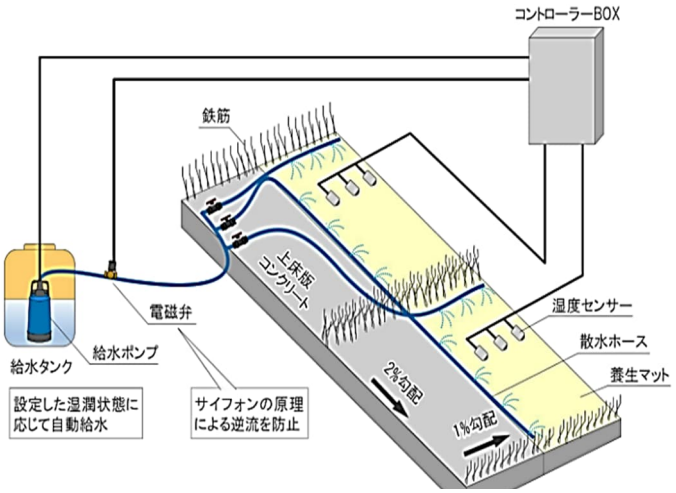


図-４　自動養生システム概要図

(3)橋面高さ測量の自動化

張出し架設では，施工ステップごとに橋面高さを実測し，上越し計算結果（計画高さ）と照合することで橋面高さの出来形管理を行う．このため，橋面高さの測量作業は，施工ステップが多岐に渡ることから，回数が多くなり，多大な労力と時間を要する．そこで本工事では，橋面高さ自動測量システムを採用し，測量の自動化による省力化と上越し管理の効率化を図った．

本システムでは，柱頭部上に設置した自動追尾型トータルステーションにより，各施工ブロック先端のプリズムを視準し，高さ測量を行う(**写真-２**)．プリズムは，施工ブロックの上床版天端にセラミックインサートを設置し，全ねじ型特殊金具を用いて固定した．

本システムの概要を**図-５**に示す．測量の時間間隔は任意に設定でき，測量データはクラウド上に自動保存される．さらに，システム内で各施工ブロックの計画高さとの差異が自動算出され，管理図として表

示される．これにより，出来形管理者はリアルタイムで橋梁の挙動を正確に把握し，上越し管理状況の良否を即座に確認できる．

図-６に本システムによる管理図の一例を示す．本図は，張出し第9ブロックの移動式作業車移動完了時の測量結果であり，各施工ブロックの実測高さと計画値との差異が表示されている．管理者は，システム内で自動表示される管理図上で出来形精度を逐次確認し，次ブロックの型枠セット時に考慮する上越し量の設定に反映していくことで，橋梁全体の出来形精度を確保した．

本システムの適用により，測量作業が自動化されるとともに，出来形管理の効率化も可能になった．なお，省力化の効果は**表-２**に示すとおりであり，従来手法（職員2人による測量）に比べ，大幅な省力化効果が確認された．

一方で，プリズムの向きにずれが生じた場合や，視準線上に資機材等がある場合には計測ができなくなるという課題がある．このため，安定した自動計測を継続するためには，本システムの運用を考慮した資材配置計画や施工計画の事前立案が重要である．また，近年では，プリズムを用いずに高精度な測量が可能なトータルステーションやレーザースキャナ等の計測技術の開発が進んでおり，これらの最新技術を本システムと組み合わせることで，計測の信頼性や運用性のさらなる向上が期待される．

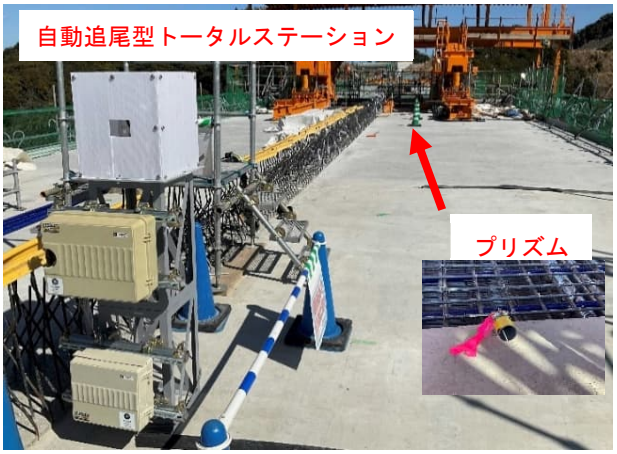


写真-２　橋面高さ自動測量状況

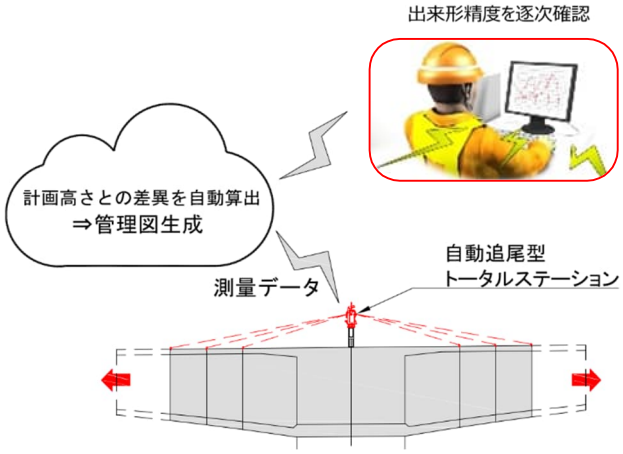


図-５　橋面高さ自動測量システム概要図

表-２　測量時間の比較

項目	1ブロックあたりの測量延べ時間	比率
従来測量	2.5時間	1.00
自動測量	0.3時間	0.12

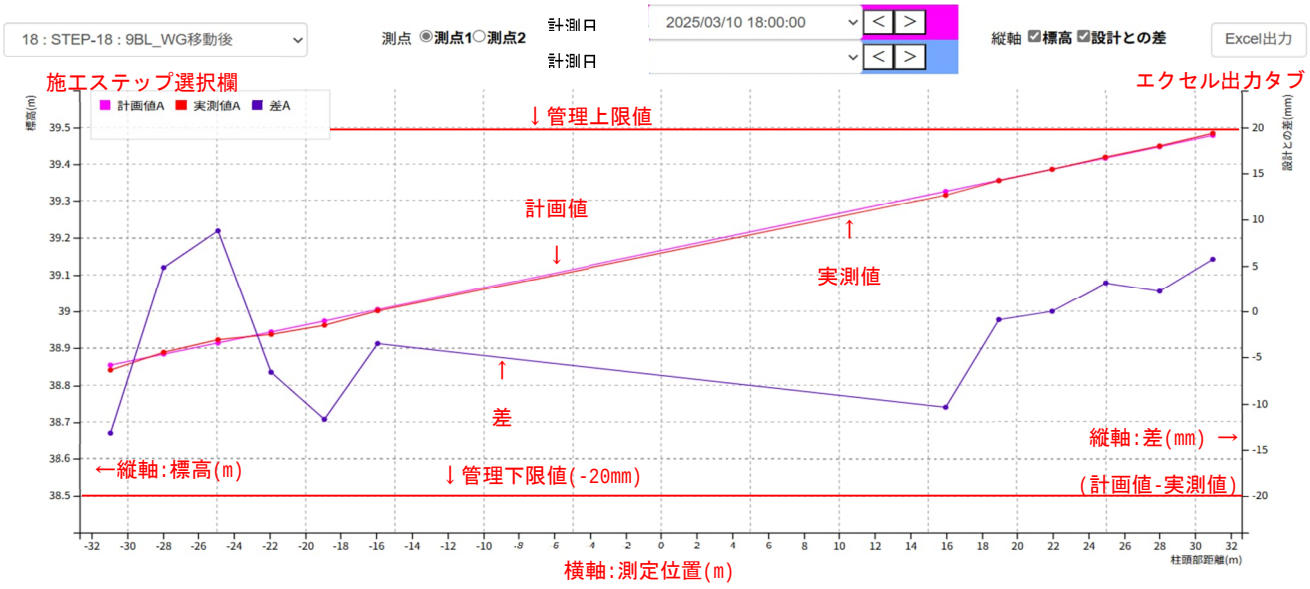


図-６　橋面高さの出来形管理図（張出し第9ブロック施工時の例）

(4) 鉄筋結束の自動化

鉄筋組立の省人化を目的として，上床版鉄筋の組立時に自動結束ロボットを採用した（**写真-３**）．

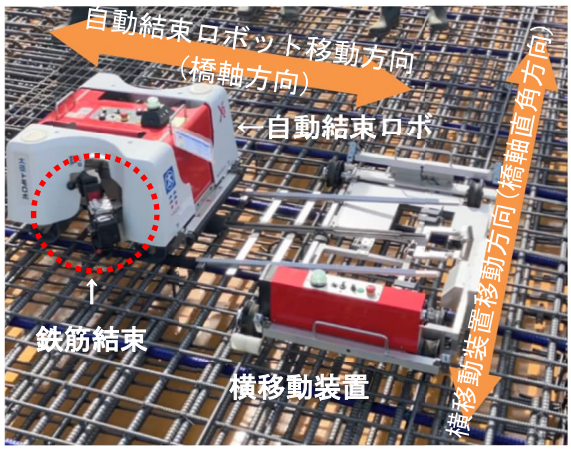


写真-３　自動結束ロボットによる作業状況

本ロボットは，鉄筋結束機が本体の左右に装備されており，橋軸直角方向鉄筋をレール替わりに自走しながら，鉄筋交差部を自動感知して結束を行う．このため，現場へ導入する際の事前準備が殆ど必要ない．なお，ロボットは1方向にしか進むことができないが，専用の横移動装置を使用することで床版全面の結束が可能となる．また，橋軸直角方向鉄筋をレールとするため，結束箇所をロボットの自重で潰しながら走行するため，結束線の端部がかぶり内に入ることもない．

本工事では，鉄筋組立作業が多くなる側径間部の上床版施工時に使用した．D25（橋軸方向鉄筋）とD13（橋軸直角方向鉄筋）の結束に使用した結果，組立作業に従来必要だった総人工数の約10%を省くことができ，本技術の有効性を確認できた．ただし，ウェブのスターラップ筋が定着される箇所や床版横締めPC鋼材が鉄筋に近接して配置される箇所では，スターラップ筋の曲げフックでロボットの移動が阻害されるという事象や，PC鋼材との干渉により鉄筋結束機が挿入できない事象が生じた．このため，本ロボットを採用する際は，施工箇所の配筋やPC鋼材配置などを事前に確認することが必要である．

(5) 配筋検査の効率化と省人化

張出し架設では，施工ブロックごとに配筋検査を行う必要があり，さらに作業工程の都合から，下床版・ウェブと上床版に分けて段階確認を行う．このため，配筋検査の立会や調書作成などの作業が多くなり，負担となっている．そこで，デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測技術として開発された配筋検査システムを試行した．

本システムでは，まず汎用的なLiDAR機能付きタブレット端末を用いて検査対象箇所の点群データを取得する（**図-７，写真-４**）．そして，得られた点群データから3次元モデルを自動生成し，鉄筋ピッチや本数の抽出とそれらの帳票作成までを自動で行う．また，点群データ内に型枠面や既設コンクリート面があれば，かぶり厚さの確認も可能である．

本工事では，張出し施工ブロックと側径間部の鉄筋を対象に本システムの現場適用性を検証した．張出し施工ブロックでは，鋼製型枠を用いていたが，反射の影響もなく，点群データを問題なく取得することができた．また，取得した点群データから鉄筋の3次元モデルを自動生成でき，そこから抽出された鉄筋ピッチや本数，かぶり厚さを自動帳票化することができた．なお，これらデータの精度を検証するため，従来手法による検測と比較したが，誤差がほぼ無いことを確認した．

本システムは，WEB上で配筋状態を確認できることから，遠隔臨場検査にも活用できる．以上より，配筋検査の効率化・省人化にとって有効な技術として今後活用を図っていきたいと考える．

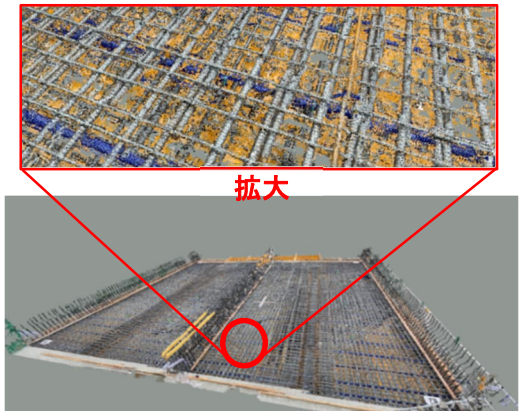


図-7　点群データ（側径間部上床版の例）



写真-４　点群撮影状況（側径間部）

４．品質向上の取組み

上部工の施工では，部材の長寿命化を目的に，以下に示す品質向上対策を実施した．

(1)柱頭部の施工計画における3次元CIMモデルの活用

柱頭部には鉄筋やPC鋼材といった多くの鋼材が過密に配置されるため，施工時に鋼材間隔が極度に狭くなる恐れや，鋼材同士が干渉する恐れがあった．このため，**図-８**に示す3次元CIMモデルを作成して，鋼材の間隔や干渉の有無を事前に確認した．そして，この結果を鉄筋・PC鋼材の組立やコンクリート打込みの施工計画に反映した．**写真-５**に柱頭部の配筋状況を示すが，鉄筋が干渉することなく，所要の間隔を確保した状態での組立が可能になった．これにより，施工時の手戻り防止とコンクリート打込み時の充填性向上に寄与した．

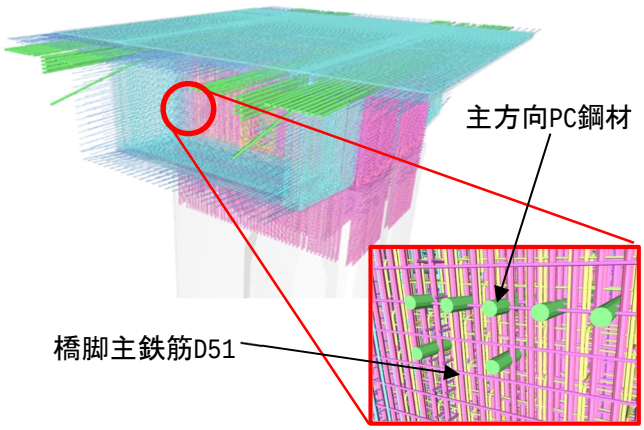


図-８　柱頭部の3次CIMモデル



写真-５　柱頭部の配筋状況

(2)真空脱水工法による上床版コンクリートの緻密化

コンクリートの品質・耐久性を確保するためには，塩化物イオンなどの劣化因子が部材内に侵入しないようにコンクリートを緻密化することが重要である．そこで本工事では，上床版コンクリートの仕上げ時に，真空脱水工法を適用して表面の緻密化を図った．

本工法は，コンクリートの打込み後，振動スクリードにより再振動を与えてブリーディングを促進させ，真空脱水・圧密を行うことで表面の緻密化を図る工法である（**図-９**）．作業状況を**写真-６**に示す．

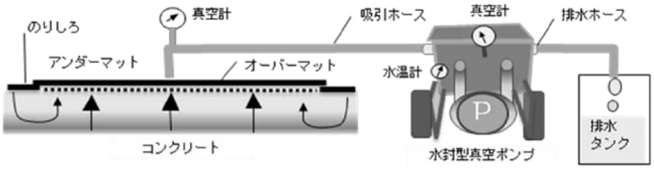


図-９　真空脱水工法概要図



写真-６　真空脱水の作業状況

真空脱水は，専用貫入計による実測値が200～400Nになった時点で行った．養生完了後，コンクリート表面の緻密性を確認するため，表層透気試験（トレント法）を実施した（**写真-７**）．



写真-７　表層透気試験機

試験の結果，各計測地点で透気係数kTは0.1×10^{-16}m^{2}以下を示し，「良」評価以上の緻密性が確保できていることを確認した（**表-３**）．

表-３　表層透気係数によるグレーディング

透気係数 kT（×10^{-16}m^2）	優	良	一般	劣	極劣
	0.001～0.01	0.01～0.1	0.1～1	1～10	10～100

(3)張出し第１ブロックの温度ひび割れの抑制

張出し第1ブロックは，部材厚が大きいことに加え（ウェブ：600mm，下床版：444mm），柱頭部コンクリートとの材齢差が大きくなるため，外部拘束による温度ひび割れの発生が懸念された．標準の配合（設計基準強度40N/mm^2，早強セメント使用，膨張材なし）と養生方法を条件に3次元温度応力解析を実施したところ，最小ひび割れ指数は0.49となり，ひび割れ発生確率が極めて高いことが判明した．そこで，膨張材を添加した配合に変更し，再度解析を実施した結果，ひび割れ指数を0.67に改善することができた（**図-１０**）．指数として依然小さい値ではあったが，最大ひび割れ幅の推定値が0.2mm未満であったことから実施工を行った．その結果，温度ひび割れの発生はなかった．

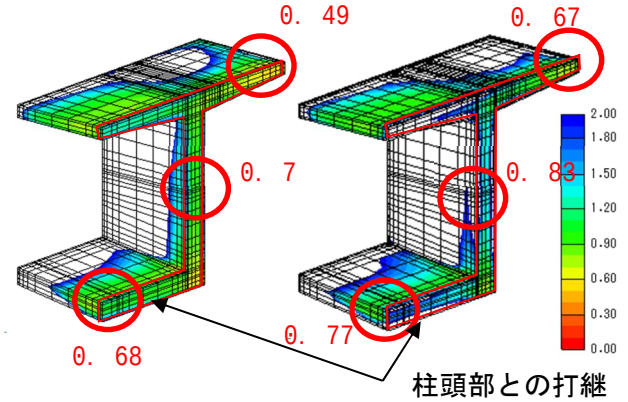


図-１０　温度応力解析結果(ひび割れ指数)

５．おわりに

本工事では，各施工段階においてICT技術を適用し，測量や養生，施工計画の各作業における省力化と品質向上を図った．今後は，これらの技術を個別に適用するだけでなく，施工時に取得したデータを継続的に蓄積・活用し，次工程の施工判断や維持管理段階への情報引継ぎに活用することが重要である．特に，張出し架設のように施工ステップが多く，出来形管理の頻度が高い工種では，計測データを活用した施工管理の高度化により，更なる生産性向上が期待される．

最後に，本橋の施工にあたりご指導・ご支援を賜わりました関係各位に深く感謝いたします．

【参考文献】

1) 佐々木ほか：すさみ串本道路 サンゴ台高架橋上部工事の施工―施工の効率化・省力化への取組み―，ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄ，Vol. 67 No. 5，2025
2) 宮城ほか：PC4 径間連続ラーメン箱桁橋の施工における省力化事例，土木学会第 81 回年次学術講演会講演概要集，VI-582，2026