

論文・報告

まきちょうてんくうおおはし

牧町天空大橋の施工および技術検討

～非対称張出し架設される曲線橋の上下部一体施工～

Construction and Technical Study of MakichoTenku Ohashi

安部 誠一郎 *1
Seiichiro ABE好田 武史 *2
Takeshi KOUDA藤原 敏晃 *3
Toshiaki FUJIWARA大久保 孝 *4
Takashi OKUBO大野 貴裕 *5
Takahiro ONO小松 将大 *5
Masahiro KOMATSU

牧町天空大橋は、県道大津信楽線のうち大津市上田上牧町から上田上桐生町の間に建設される橋梁である。本橋は、大津市を流れる一級河川大戸川をはさんだ急しゅんな山間部に位置しており、河川崖錐層に大口径深礎杭および円柱中空橋脚を構築し、曲線を描いて渡河する橋長 267 m、最大支間 127 m の PC3 径間連続ラーメン箱桁橋である。橋梁上部工は、平面線形 R=200 m を有した不等径間の曲線橋であり、非対称となる張出し架設時は、施工ステップが進むにつれ、逐次構造系が変化するため、ねじりやアンバランスモーメントによって、複雑な挙動が予想された。

本稿では、大口径深礎杭を含めた下部工事と非対称張出し架設される曲線橋の施工および技術検討を報告する。

キーワード：大口径深礎杭、円柱中空橋脚、非対称張出し架設、曲線橋

1. はじめに

県道大津信楽線は、滋賀県南部から甲賀市信楽町を結ぶ重要な道路（6 000 台/日）であり、国道 307 号とともに広域的なネットワークを形成している。本路線のうち大戸川沿いの区間は、三上・田上・信楽県立自然公園に指定された景勝地となっており、地形が急しゅんで落石の危険があり、道路幅が狭く交通量も多いため、朝夕は交通混雑が発生している。本事業は、大戸川ダム建設に伴い、県道を高架橋化（一部土工区間）して整備することで、安全な通行の確保と交通混雑の解消を進めている。

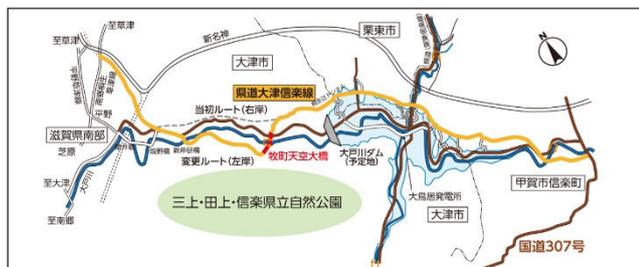


図 1 工事箇所位置図

牧町天空大橋¹⁾²⁾は、本整備区間の中央部に位置（図 1）する。大戸川の左岸側から右岸側へ大きくルートを切り替える場所となる、大戸川および現道近傍に基礎を構築し、曲線を描きながら渡河する大規模橋梁である。

2. 工事概要

当工事の橋梁概要は以下のとおりであり、橋梁諸元を表 1、橋梁一般図を（図 2）に示す。

工事名：大津信楽線新 3 号橋工事（牧町天空大橋）

施工場所：自）滋賀県大津市上田上牧町地先

至）滋賀県大津市上田上桐生町地先

事業主：国土交通省近畿地方整備局

構造形式：PC3 径間連続ラーメン箱桁橋

工事内容：

下部工－RC 橋脚 2 基

（大口径深礎杭 ϕ 10.0 m D=18.0 m）

（円柱中空橋脚 ϕ 7.0 m H=26.5 m, 30.0 m）

上部工－橋長 267.0 m（最大支間長 127.0 m）幅員 7.7 m

張出し架設工法

表 1 橋梁諸元

構造形式	PC3径間連続ラーメン箱桁橋
橋長	267.000m
桁長	266.591m
支間長	91.000m+127.000m+47.000m
有効幅員	6.925m
設計荷重	B活荷重
平面線形	A100～R=200～A=100～R=∞
縦断勾配	4.00%∟
横断勾配	1.50%∟～6.00%∟～1.50%∟\1.50%
斜角	$\theta=90^{\circ} 0' 0''$ （道路中心に対して）

*1 川田建設㈱大阪支店技術企画室 次長

*2 川田建設㈱大阪支店事業推進部工事課 工事長

*3 川田建設㈱大阪支店事業推進部技術課 課長

*4 川田建設㈱大阪支店事業推進部 次長

*5 川田建設㈱大阪支店事業推進部工事課

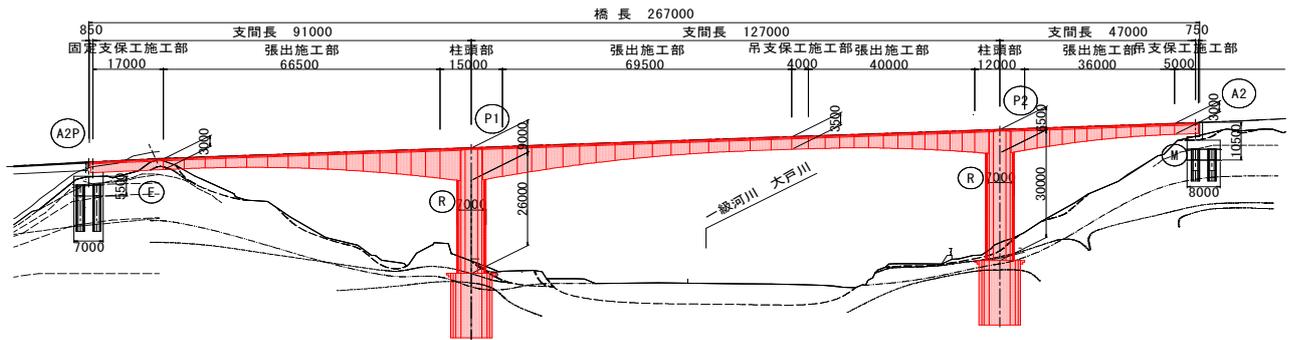


図 2 橋梁一般図

3. 大口径深礎杭施工の技術検討

(1) 周辺地盤および施設に対する対策

a) 概要

本橋の大口径深礎杭は、崖錐層と呼ばれる不安定な地層に位置している。また、水力発電用水路やコンクリート擁壁が近接しているため、周辺地盤や施設に対する対策が必要となった。

b) 崖錐層に対する対策

坑口付近のライナープレート部では、河川へのモルタル流出および湧水による充填不足を防止するため、裏込めモルタルをエアモルタルから高強度モルタル (C:500 kg) に変更した。

c) 発破工法における対策

岩盤掘削時の発破施工は、周辺施設への影響評価に基づいて段あたりの爆薬量を低減した段数発破 (写真 1) を実施し、最外面に制御発破プレスプリッティング (PS) 工法 (写真 2) を採用することで、振動抑制と周辺岩盤のゆるみや余掘りを防止した。

(2) 高密度配筋における品質および安全確保

a) 概要

深礎杭は、主筋 (D51, D29) が 5 段配置された高密度配筋であり、外周部は施工空間が確保できない地山である。このため、狭隘部における施工方法の工夫が課題となった。

b) 品質確保に対する対策

中間帯鉄筋にプレートが圧接結合されたヘッドバーを採用した。これにより、配筋時の作業性を高めることに加えて、不可視部分となる外周部のコンクリート充填性を高めることができた。

c) 鉄筋組立時における安全対策

組立用鋼材として、等辺山形鋼材 (L75×75) を 2.5 m 間隔で設置 (写真 3) し、組立用足場に高所作業車を使用 (写真 4) することで、偏心荷重による鉄筋の崩落事故等を防止した。



写真 1 段数発破実施状況



写真 2 PS 工法 (PS 爆薬装薬)



写真 3 組立用鋼材設置



写真 4 高所作業車による組立状況

(3) マスコンクリート対策

a) 概要

深礎杭は、直径 10.0 m、深さ 18.0 m を有したマスコンクリートであるため、温度応力ひび割れに対する対策が必要となった。

b) 対策

3次元温度応力解析を行い、施工時期を勘案したリフト割を検討し、打設ブロックを5リフトに分割することにより、温度応力ひび割れの発生を抑制した。

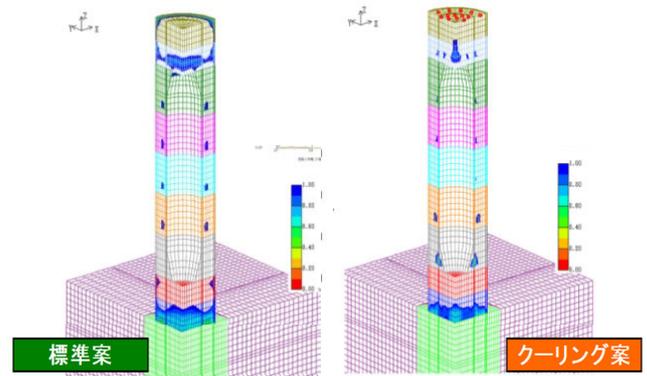


図3 ひび割れ指数 1.0 以下の表面領域比較

4. 円柱中空橋脚施工の技術検討

(1) 高橋脚における品質確保

a) 概要

本橋の RC 橋脚は、高さ 26.5 m および 30.0 m、直径 7.0 m の円柱中空橋脚であり、コンクリートポンプ車による圧送打設となるため、コンクリートの品質確保が課題となった。

b) 対策

コンクリートの材料分離や強度のばらつきを低減するため、コンクリート製造時の練混ぜ水を分割投入する SEC コンクリート工法を採用した。本工法により、ブリーディング水を低減し、圧送時の材料分離を抑制した。また、コンクリート材齢 28 日までの保温・保湿シート (LHT シート) による延長養生を実施した。

(2) マスコンクリート対策

a) 概要

RC 橋脚は、橋脚基部および脚頭部が充実断面となっており、標準部 (中空断面) も部材厚さ 1.5 m を有したマスコンクリートである。このため、温度応力ひび割れに対する対策が必要となった。

b) 対策

施工ステップに基づいた 3次元温度応力解析 (パイプの配置・コンクリート配合・施工時の外気温・施工工程・養生条件を考慮) を行い、解析結果に基づいて、 $\phi 75$ mm のシース管内に直径 $\phi 4$ mm の通水管を設置して冷却水を循環させる水冷式パイプクーリングを実施した (写真 5)。



写真 5 水冷式パイプクーリング実施状況

水冷式パイプクーリングにより部材中心の最高温度を緩やかに低減させたことで、初期材齢における内外温度差を小さくし、ひび割れ指数 1.0 以下の領域を縮減 (図 3) することができた。

5. 上部工施工の技術検討

(1) 架設時ねじり挙動に対する対策

a) 概要

曲線の張出し架設橋では、橋脚が曲率中心方向に傾き、さらに主桁のねじり変形により、大きなねじりモーメントが生じる (図 4)。架設系で生じるねじりモーメントと完成系で作用する後荷重によるねじりモーメントは、向きが逆になるが、張出し架設橋では、架設時の自重によるねじりモーメントが卓越し完成系にも残留する。また、平面曲率に起因する腹圧力も作用する。このため、架設時のねじりや、腹圧で生じる断面変形に起因するひび割れ発生の抑制が課題となった。

b) 対策

3次元 FEM 解析を用いた逐次解析を行い、架設時のねじり挙動と発生応力度を求めた。ひび割れの抑制対策としては、主桁断面の変形を拘束することが有効であることから、ねじりや、腹圧作用による引張応力度が最大となる付近に、コンクリートによる中間隔壁を追加配置した (図 5)。対策結果を表 2 に示す。

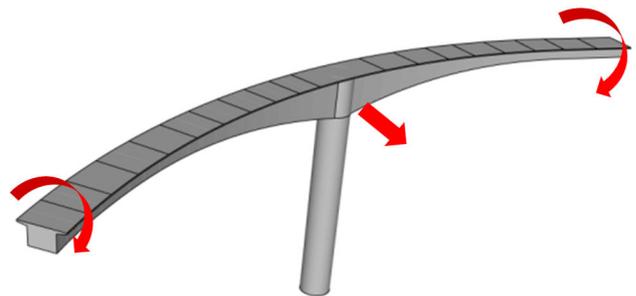


図 4 曲線張出し施工時の挙動

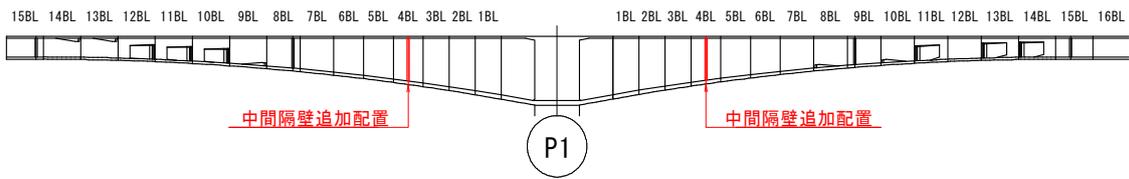


図5 中間隔壁追加配置

表2 中間隔壁配置による変形抑制対策結果

対応策	概要図 および コンター図 (直角方向応力)
対応策なし	
中間隔壁 (4BL) を増設	



写真6 張出し架設状況

c) 結果

張出し架設時のねじり挙動の把握と、FEM解析の妥当性を確認することを目的に、上床版(7BL)に鉄筋計を配置し、7BL張出し架設時から中央閉合時(構造系完成時)まで応力計測を行った(図6)。この結果、鉄筋計の値は、張出し架設が進むにつれ最大張出し時(非対称張出し時)を頂点に引張応力が増大し、閉合後の構造系変化後では、断面変形に伴う応力が緩和するという、解析同様の挙動をしていることが確認でき、逐次FEM解析によるねじり挙動検討の妥当性が検証できた。

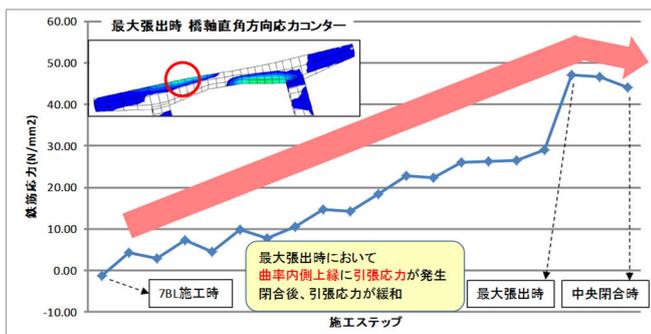


図6 計測結果

(2) 架設時アンバランスモーメントに対する対策

a) 概要

上下部接合部となる柱頭部には、非対称張出し(P1: 左15BL-右16BL, P2: 左12BL-右11BL)施工によりアンバランスモーメントに起因する引張応力が生じる(図7)。このため、構造上重要な部位となる上下部接合部に生じる引張応力の抑制が課題となった。

b) 対策

脚頭部から柱頭部にかけて鉛直PC鋼棒を配置した(図8)。アンバランスモーメントの性状に合わせて脚断面に非対称配置とし、施工時はその鉛直プレストレスにより引張応力を抑制した。なお、構造系完成後は緊張力を解放し、鉛直PC鋼棒を撤去した。

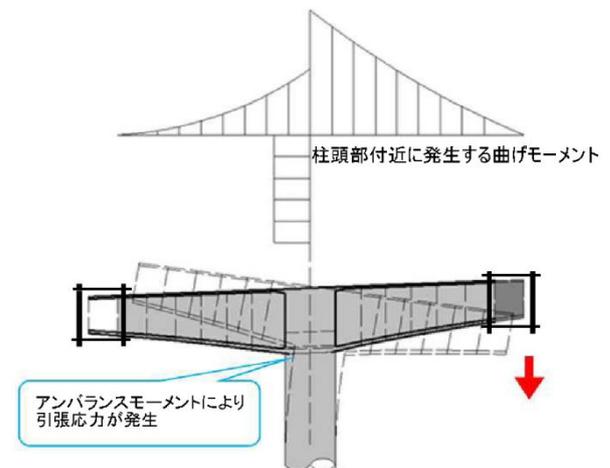


図7 アンバランスモーメント

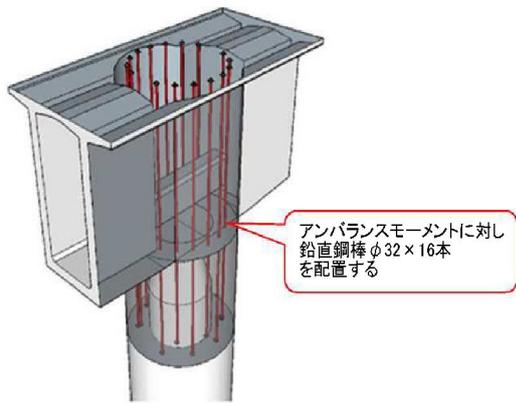


図8 上下部接合部の鉛直 PC 鋼棒

(3) 柱頭部マスコンクリート対策

a) 概要

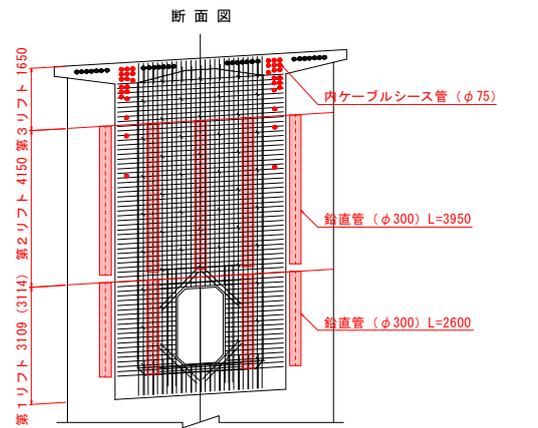
本橋の柱頭部は、マスコンクリート（直径 7.0 m×高さ 9.0 m 475 m³）であり、水和反応による内部の温度上昇量が大きいいため、部材内部と外表面との温度差による引張応力が生じ、温度応力ひび割れが発生するおそれがあった。このため、温度応力によるひび割れに対する対策が必要となった。

b) 対策

現場条件（コンクリート配合・施工時の外気温・施工工程・養生条件）を考慮した3次元温度応力解析を行い、解析結果に基づいて、エアパイプクーリングを実施した。クーリングは、追加配置した鉛直管（Φ300 mm）および内ケーブルシース（Φ75 mm）に送風（7.5 m/s）した（写真7）（図9）。解析結果に基づく最高温度発生位置とコンクリート外表面に温度計（熱電対）を設置し、内外温度差の測定を行い、測定結果により内外温度差が20℃以下になるまでクーリングを継続し、15℃以下になってから脱型した。



写真7 エアパイプクーリング実施状況



平面図

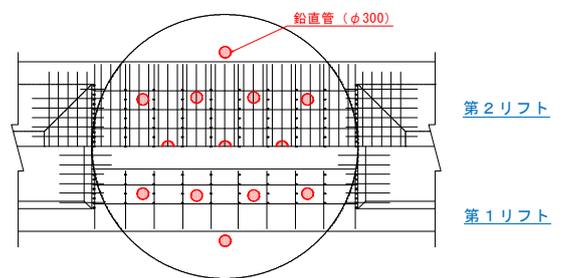


図9 エアパイプクーリング配置

c) 結果

エアパイプクーリングにより部材中心の最高温度を緩やかに低減させたことで、初期材齢における内外温度差を小さくし、ひび割れ指数1.0以下の領域を縮減することができた（図10）。さらに、脱型時期を内外温度差15℃以下とすることで、外表面の急冷による内外温度差を緩和し、温度応力ひび割れを抑制することができた。

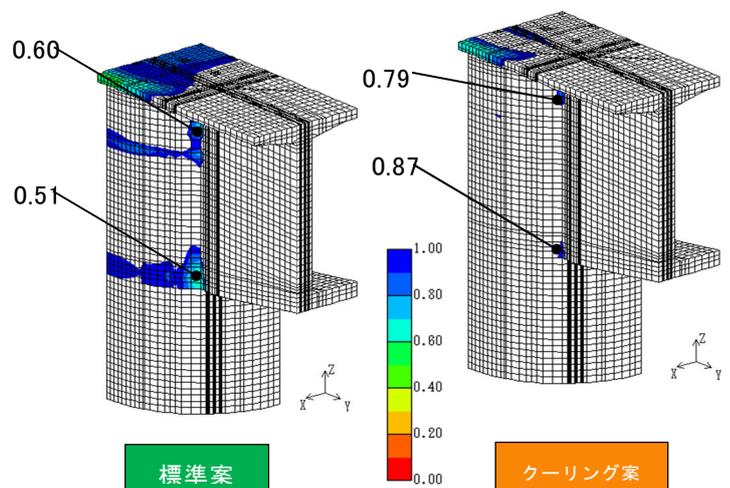


図10 ひび割れ指数 1.0 以下の表面領域比較

(4) 主桁の耐久性向上

a) 概要

本橋は、山間部の寒冷地に位置しており、冬期は凍結防止剤の散布が行われる。このため、主桁の耐久性を向上する工夫が課題となった。

b) 対策

主桁コンクリートを緻密化するため、材齢 28 日以上の延長養生を実施(写真 8)した。主桁上面は、標準養生後、気泡緩衝シート、主桁側面は、コンクリート保水養生テープによる封かん養生を実施した。



写真 8 延長養生実施状況

c) 結果

コンクリート保水養生テープ貼付け部の湿度は、外気平均湿度 85 %RH に対して、平均湿度 99 %RH (図 11) となっており、高い保湿効果を有していることが確認できた。これにより、長期的に水和反応を促進することで、コンクリートを緻密化することができた。

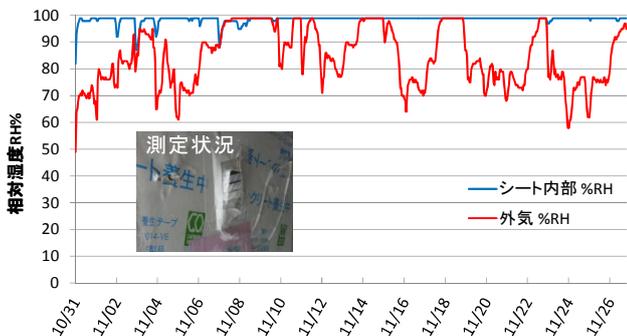


図 11 相対湿度測定および結果

(5) PC緊張力の確実な導入と維持・管理

a) 概要

本橋は、最大支間 127 m を有する曲線橋となるため、PC 緊張力を確実に導入し、長期的に緊張力を維持・管理する工夫が重要となった。

b) 対策

緊張端部における「摩擦係数をパラメータとした荷重計示度と伸びによる管理」に加えて、パルス式磁歪測定器 EM センサーをコンクリート内部に設置し、導入緊張力を直接測定した。ケーブル種別ごとに最初に緊張する

ケーブルに設置・測定(写真 9)し、緊張管理の導入力と比較を行い、緊張管理の妥当性を確認した。また、EM センサーを工事完了後も存置することで、供用後の緊張力維持を定期的に確認することができる。

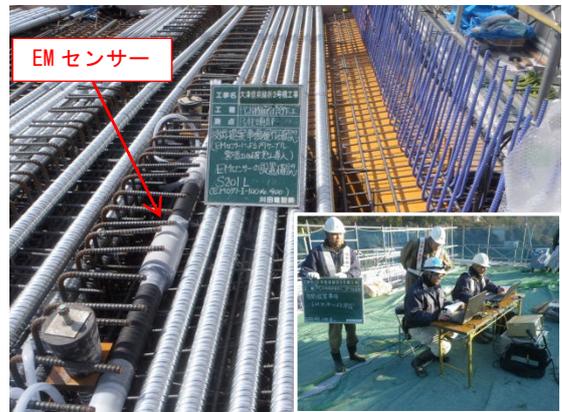


写真 9 EM センサー設置および測定状況

c) 結果

EM センサーの測定では、設計断面にて所定の導入張力が確認でき、一般的な管理手法とも整合がとれ、過不足なくプレストレスが導入されていることが確認できた。



写真 10 完成写真

6. おわりに

本橋のような曲線橋で非対称張出し架設の構造では、施工時品質確保の観点から構造特性に留意した検討が重要である。本稿が類似工事の参考となれば幸いである。

最後に、本橋は深礎工および下部工を含む上下部一式工事で、約 3 年 3 ヶ月の工期を経て、2018 年 3 月、無事に竣工した。関係各位に謝意を表して結びとする。

参考文献

- 1) 安部誠一郎・神後雅文・藤原敏晃・大久保孝：非対称張出し架設される曲線 PC 箱桁橋における施工品質確保の対策事例，土木学会第 73 回年次学術講演会，V-583 2018. 8.
- 2) 好田武史・藤原敏晃・安部誠一郎・大久保孝：牧町天空大橋の施工における技術検討，プレストレスコンクリート工学会，第 27 回シンポジウム論文集，2018. 11.