

# 深戸橋（鋼上路式アーチ橋）の報告

## CONSTRUCTION OF FUKADO BRIDGE

小板橋 誠<sup>1)</sup> 山中 晶裕<sup>2)</sup>  
 Makoto Koitabashi Akihiro Yamanaka

### 1. まえがき

東海北陸自動車道は、平成20年7月に岐阜県飛騨清美IC～白川郷ICが開通し、計画路線の全線が開通（愛知県一宮市～富山県小矢部市）した。本工事は、全線開通後に予想される交通量の増大に備えた岐阜県美並IC～郡上八幡IC間の4車線化工事（平成20年度7月完成）の一環として位置づけられる。

本橋は、日本三大清流の一つである長良川と、長良川鉄道、国道156号線を跨いでいる。これらの周辺条件より、橋梁形式は鋼上路式アーチ橋が採用された。暫定2車線道路（一期線）と同橋梁形式の採用により景観の統一も図られている。架設工法は、橋梁形式と下記の条件により、ケーブルエレクション斜吊り工法を採用した。

- ① 長良川流域内および道路・鉄道上の使用制限
- ② 鉄塔・ケーブル設備に適した地盤の存在

本稿では、本橋の構造概要を従来形式のそれと比較した上で紹介する。また、現場施工を通じて得られた、架設工法、架設時アーチリブの精度管理、床版コンクリートに関する知見を報告する。

### 2. 工事概要

工事名：東海北陸自動車道 深戸橋（鋼上部工）工事  
 工事箇所：岐阜県郡上市美並町  
 構造形式：鋼上路式アーチ橋  
 橋長：168.0m  
 支間長：18.6m + 148.0m（アーチ支間138.0m）  
 架設工法：ケーブルエレクション斜吊り工法  
 補剛桁間隔：3.8m + 3.8m（3主桁）  
 縦断勾配： $\searrow$  2.90%  $\nearrow$  1.188%  
 平面線形：R=6,000m  
 鋼材重量：1048.589 t  
 コンクリート：596.0m<sup>3</sup>（上部工）391.5m<sup>3</sup>（下部工）  
 床版：場所打ちPC床版（t=250mm） $\sigma_{ck}$ =40N/mm<sup>2</sup>  
 舗装：アスファルト舗装（t=80mm）  
 工期：平成18年8月～平成20年11月  
 施工主：中日本高速道路株式会社 名古屋支社

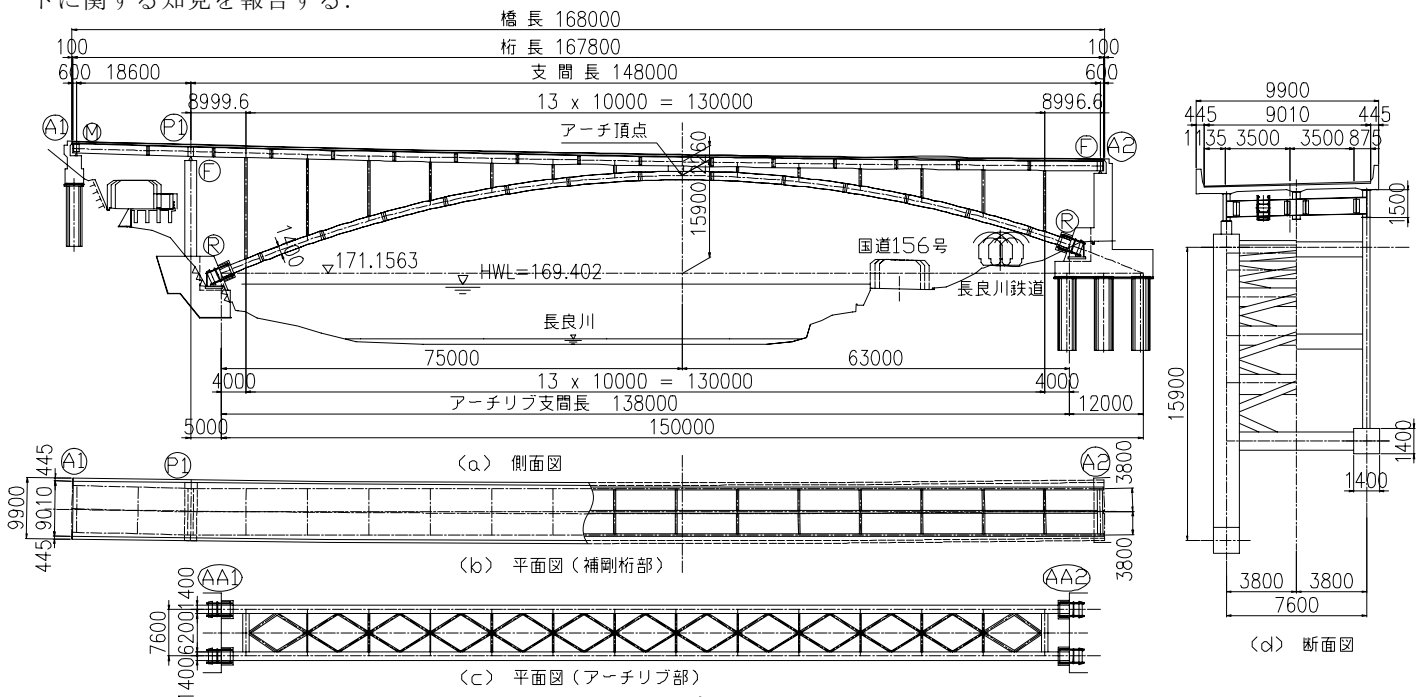


図-1 一般図

1) 技術グループ 設計部 和歌山チーム  
 2) 工事グループ 工事部 大阪チーム

3. 構造概要

近年、設計基準の改定などにより、下記の要求性能が注目され、従来の構造詳細に対する見直し・改良が必要となっている。

- ①耐震性能…兵庫県南部地震以降、従来の静的照査法に加え動的解析による耐震性能の照査が必要となる。  
(平成 8, 14 年 道路橋示方書の改定)
- ②耐疲労性能…既設橋梁の疲労損傷報告の増加により、輪荷重の繰り返し载荷に対する照査が必要となる。  
(平成 14 年 鋼道路橋の疲労設計指針の発刊)

3.1 耐震性能向上

(1) アーチリブと下部工の固定構造

従来、アーチリブと下部工の結合部は、架設時にアーチリブ形状の精度管理が容易になることから、ヒンジ構造（ピン支承）が多く採用されてきた。

本橋では、大規模（L2）地震動で発生する水平力により、ピン支承の大型化、または設計不能となることが予想されたため、剛構造を採用している。定着構造は、鋼製橋脚に多く採用実績のあるアンカーボルト形式とし、アンカーフレームは RC 方式とした。

架設時アーチリブ形状の精度管理の施工性を確保するため、アーチリブ基部には仮支承（ピボット支承）を配置した。アーチリブ閉合後に、アーチリブ基部底板下面の無収縮モルタルの充填、アンカーボルトのナットの締付けにより固定を行った（図-2）。

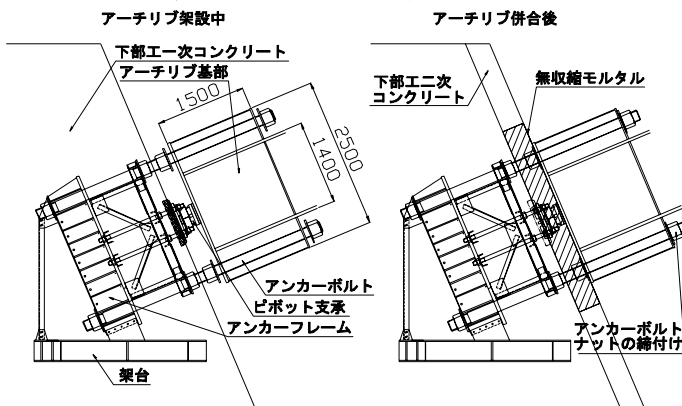


図-2 アーチリブ基部概要図

(2) 補剛桁の機能分離型支承構造

本橋の補剛桁の P1 橋脚上と A2 橋台上の支承には、大規模（L2）地震動に対し橋軸・橋軸直角方向共に固定する構造を採用した。補剛桁の支承を可動支承とした場合には、補剛桁の移動により支柱部材に曲げモーメントが卓越することから、固定支承の採用は橋梁全体系としての耐久性向上に効果的であると考えている。

支承配置については、作用荷重に効率的に抵抗するため、鉛直荷重に抵抗するゴム支承を外桁に、水平荷重に抵抗する鋼製支承を内桁に配置した、機能分離型支承構造を採用した。また、鋼製支承からの水平力に抵抗するため、支点上横桁には鋼箱桁形式を採用した（図-3）。

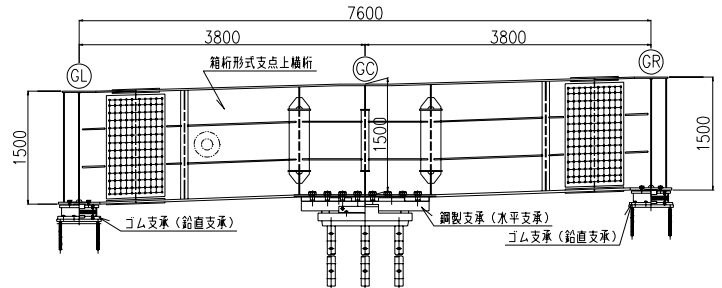


図-3 支点上横桁（P1 橋脚，A2 橋台）

(3) アーチリブ横構のダンパー構造

本橋では、動的解析による耐震性能照査の結果、アーチリブ横構の断面が大きくなり不経済となったため、アーチリブとアーチ横構の格点部にせん断パネルダンパーを採用している（写真-1）。せん断パネルダンパーには、低降伏強度（225N/mm<sup>2</sup>程度）と優れた延性（伸び 40%以上）を有した低降伏点鋼（LY225 材）を採用し、下記性能を期待している<sup>1)</sup>。

- ① 大規模（L2）地震動作用時に、せん断パネルダンパーが初期にせん断降伏（塑性変形）することにより、地震時のエネルギーを吸収（減衰）する。
- ② せん断パネルダンパーがせん断降伏することにより、アーチリブ横構に作用する軸力が制御され、アーチリブ横構の座屈、および損傷を防止する。
- ③ 大規模（L2）地震動作用時に、せん断パネルダンパー部材に損傷が集中するため、ダンパー部材を取り替えるだけで復旧が可能である。取替え作業時の施工性に配慮して、高力ボルトにてダンパー部材を接合している。

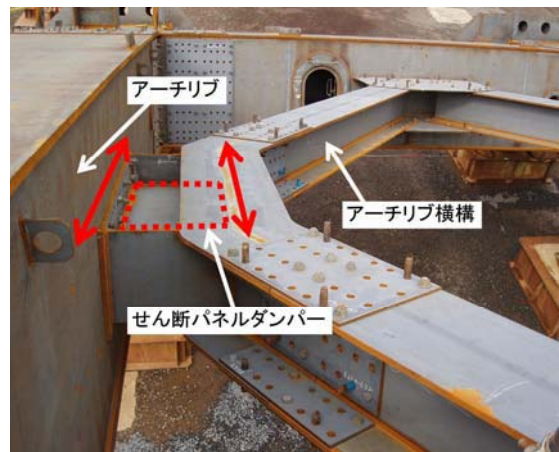


写真-1 せん断パネルダンパー（せん断変形方向）

3.2 疲労耐久性向上

近年、従来形式の鋼上路式アーチ橋において、疲労による損傷の発生が報告されている。その発生状況と特徴は以下のとおりである<sup>2)</sup>。

- ① 損傷は、支柱と補剛桁もしくはアーチリブとの結合部に見られる。
- ② 損傷（きれつ）の発生箇所は、支柱のガセットプレートと補剛桁もしくはアーチリブとの溶接部であり、そのほとんどはすみ肉溶接部である。図-4にきれつの発生位置を示す。
- ③ 損傷の発生原因は、設計での仮定と実構造との差異（設計ではピン結合と仮定するが、実際には曲げモーメントを伝達している）、構造詳細の不適切（力の伝達が円滑に行われない構造詳細の採用）、継手の疲労強度不足（すみ肉溶接の適用）が挙げられる。

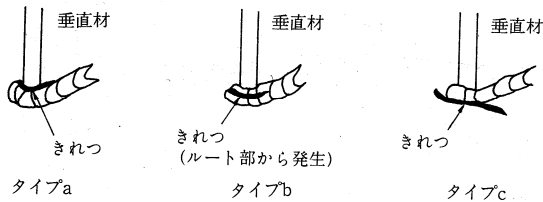


図-4 疲労きれつの発生位置  
(鋼橋の疲労 H9.5 (社) 日本道路協会 P.141 より引用)

疲労損傷に対する本橋での対策を表-1、図-5に示す。  
表-1 支柱結合部の疲労対策

損傷のタイプ、発生原因	対策
溶接止端部のきれつ (タイプ a,c)	溶接止端部に仕上げ加工を適用
溶接ビード上のきれつ (タイプ b)	完全溶け込み溶接を適用
設計仮定と実構造との差異	支柱フランジの控え材を設置 (断面力の円滑な伝達に配慮)
構造詳細の不適切	
継手の疲労強度不足	完全溶け込み溶接を適用

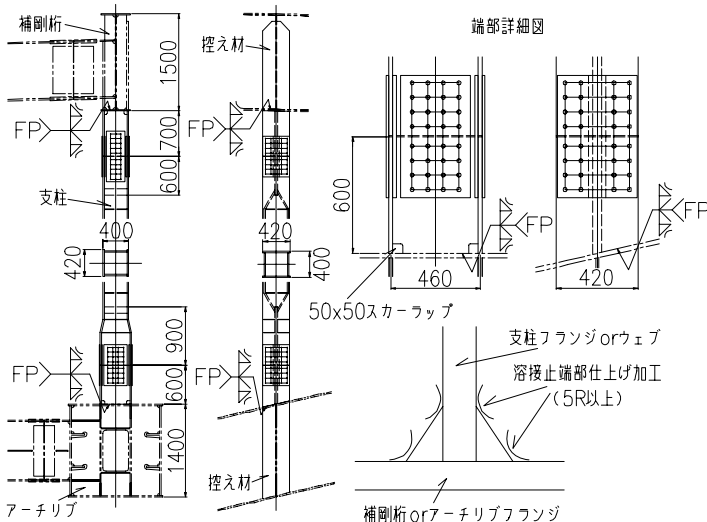


図-5 支柱結合部の溶接仕上げ

4. 現場施工

4.1 架設工法・手順

架設方法は、P1-A2間のアーチ部はケーブルエレクション斜吊り工法、側径間となるA1-P1間の補剛桁はトラッククレーン架設工法とした。

架設手順は、P1-A2間のアーチリブ部材を斜吊り索で支持しながら中央に向かって順次架設し閉合を行った。アーチリブ閉合後、アーチリブ基部の固定および斜吊り索の解体を行い、支柱および補剛桁部材をケーブルクレーンにて架設した。

ケーブルクレーン設備の解体後、側径間 A1-P1間の補剛桁をトラッククレーンにて架設した。

図-6に架設ステップ図を示す。

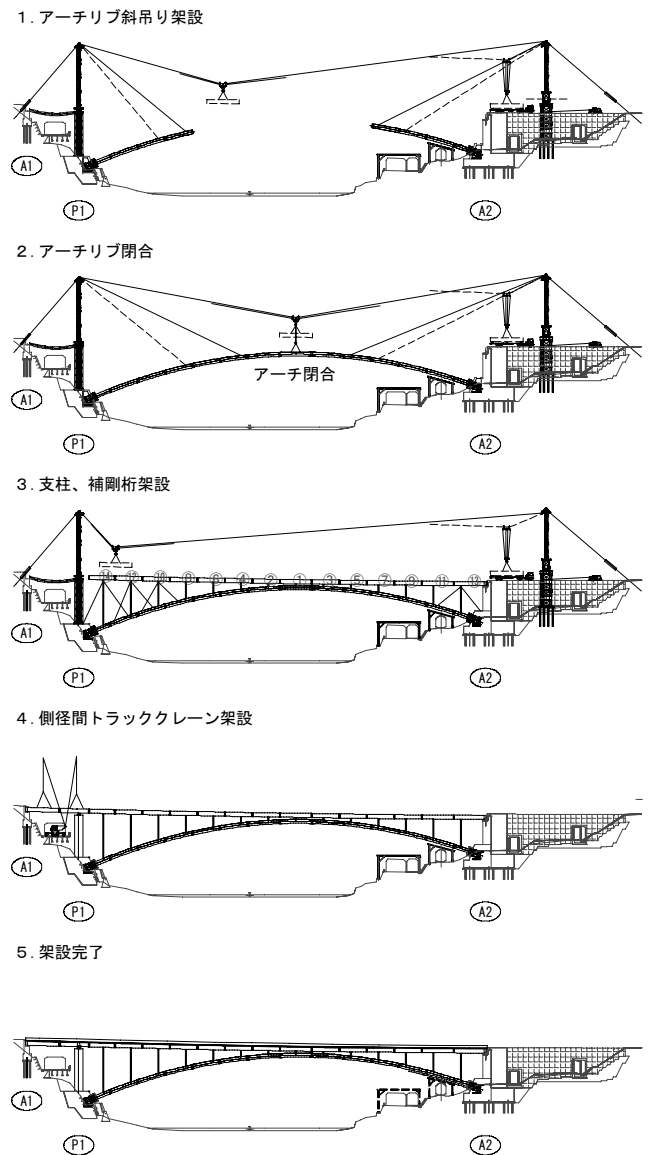


図-6 架設ステップ図

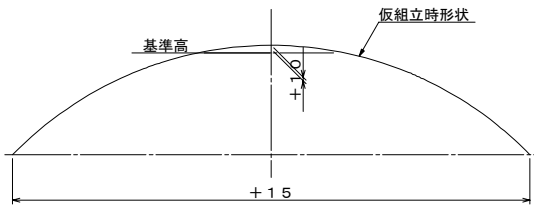
### 4.2 アーチリブの架設精度の向上

#### (1) アーチリブ支間の調整

仮組立時のアーチリブ出来形は、支間長+15mm・基準高+10mmであった。鋼桁架設後の床版出来形管理として床版厚（0～+20mm）、床版基準高（-45～+5mm）を満足させるため、仮組立結果を施工に反映させてアンカープレート位置を20mmセットバックさせることとした。

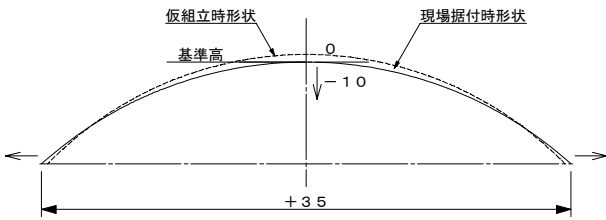
その結果、施工は鋼桁架設および床版施工の各段階における異なる許容値を満足し精度よく施工することができた。図-7にアーチリブ支間調整図を示す。

- 支間長+15mm, アーチリブ基準高+10mm



a) 仮組立結果

- 支間長+20mm, アーチリブ基準高±0mm



b) 仮組立結果反映

図-7 アーチリブ支間長調整要領図

#### (2) アーチリブ基部の構造

アーチリブ閉合時は、中央ブロック落とし込み架設の余裕量確保のためアーチリブの上げ越しが必要である。

従来のアーチリブ基部は、ヒンジ構造（ピン支承）であり上げ越しが容易であるが、本橋ではアンカーボルト形式の剛結構造のため上げ越しが不可であった。

そのため、アーチリブ基部のアンカーボルト孔径をφ190からφ210（鉛直方向の長孔）へ変更とし、仮支承の回転機能を利用してアーチリブの上げ越しを可能とした。

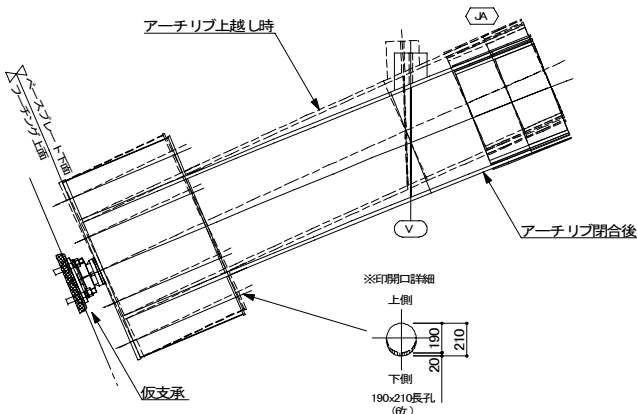


図-8 アーチリブ架設時上げ越し要領

### 4.3 床版施工

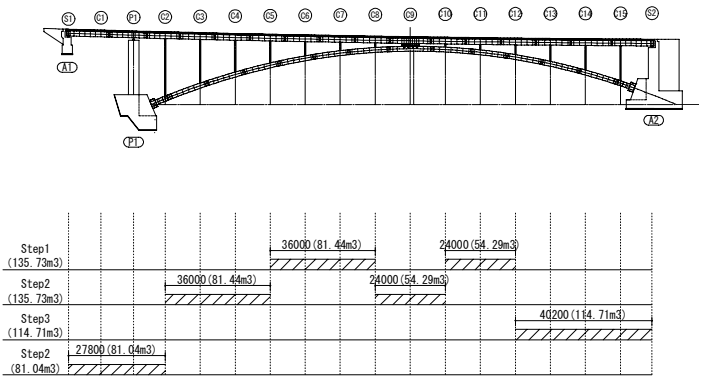
#### (1) 床版打設順序の検討

床版打設順序の検討過程で、後施工コンクリートの荷重によるアーチリブ変形モードの影響から、先行打設コンクリート部に負の曲げモーメントが発生（引張力が作用）してひび割れが生じることが確認できた。

よって、影響線を考慮した打設順序の検討を行い、図-9に示すように床版打設 Step1 および Step2 については2ブロックを同日に施工する床版打設順序を採用した。

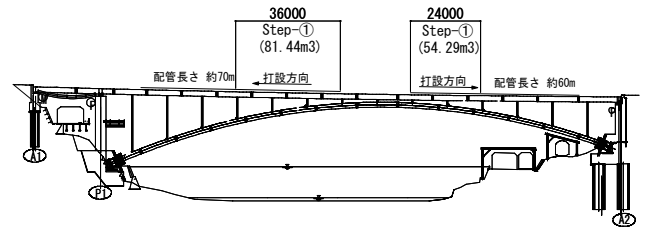
また、PC ケーブルにおける緊張順序およびコンクリート強度発現のため Step 毎の打設タイミング（材齢）は、Step1 から 8 日目・29 日目・35 日目として打設を行うこととした。

その結果、床版コンクリートはひび割れを発生することなく施工できた。



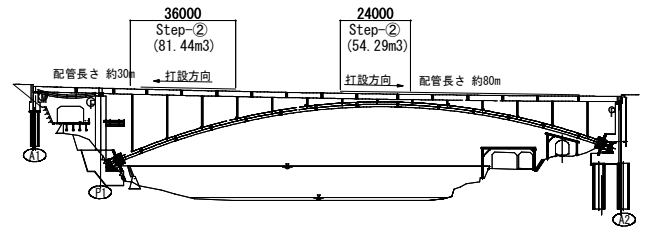
a) 全体ステップ図

#### 床版コンクリート打設Step1



b) Step 1 詳細図

#### 床版コンクリート打設Step2



c) Step 2 詳細図

図-9 床版コンクリート打設ステップ図

**(2) 寒中コンクリート養生方法，温度管理**

本橋の床版及び壁高欄コンクリートの施工時期は，12月から2月にかけての冬期であったため，養生温度を4日間にわたり5℃以上を保つ必要があった。

コンクリートの養生方法としては，床版上面部はコンクリートの保温性・保湿性を目的として養生シート+気泡シート+ブルーシートを設置し，さらに給熱対策として床版下面に練炭を配置する方法を採用した。

図-10に床版コンクリートの養生図を示す。

養生期間中のコンクリート温度管理は，ボタン電池型の温度データロガーを使用して温度計測を行った。

その結果，今回の養生方法で打込み後のコンクリート内部温度が5日間5℃を下回らなかった事が確認できた。

図-11に寒中コンクリート温度管理記録を示す。

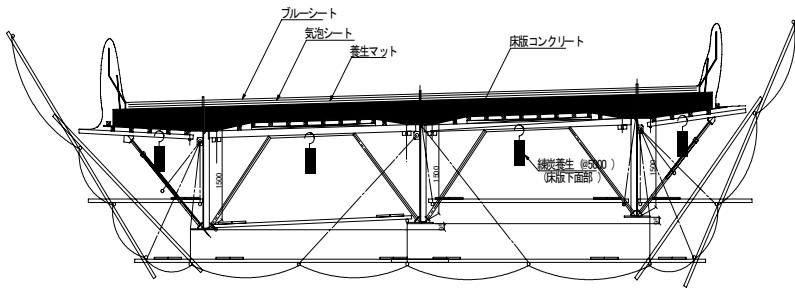


図-10 床版コンクリート養生図

**5. あとがき**

本稿では，深戸橋の構造概要と，現場施工により得られた知見について報告した．今後の類似工事の参考になれば幸いである．

最後に，本工事の製作，架設に対し，多大なるご指導をいただいた中日本高速道路株式会社関係各位に深謝する次第である．

**参考文献**

- 1) (財)鉄道総合技術研究所：ダンパー・ブレースを用いた鉄道高架橋の設計指針，2004.9.
- 2) (財)日本道路協会：鋼橋の疲労，1997.5.

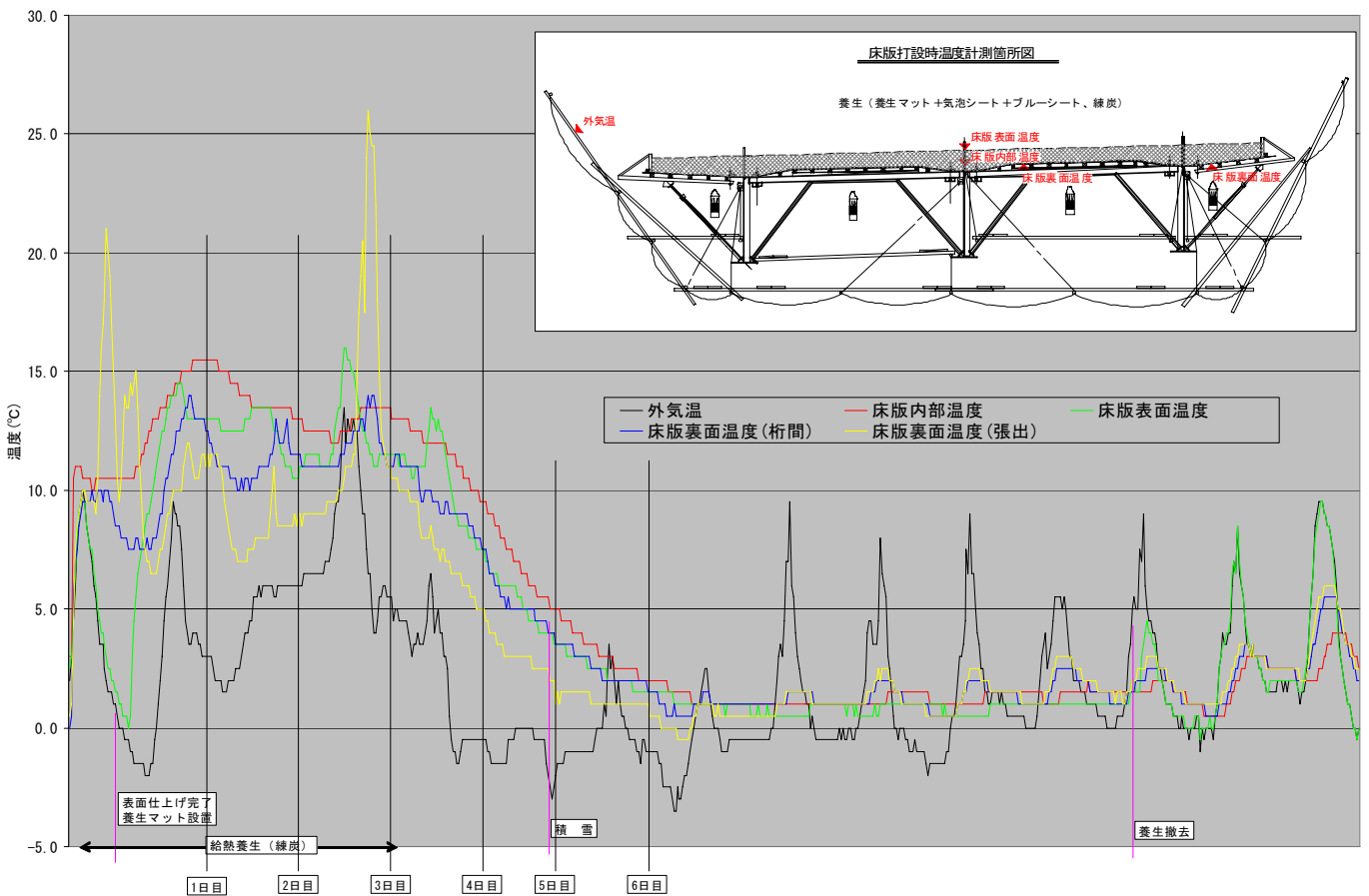


図-11 寒中コンクリート温度管理記録 (床版コンクリート)



写真-2 アーチリブ分割仮組立



写真-5 アーチリブ基部



写真-3 アーチリブ分割仮組立



写真-6 床版コンクリート養生



写真-4 アーチリブ斜吊り架設



写真-7 完成写真（手前が本橋，後方が一期線）