

# 固定式型枠支保工を用いた場所打ちPC床版の施工 — 第二東名高速道路 中ノ郷第一高架橋（下り線）—

## Construction of Cast-in-Place PC Slab Using Fixed Form Support -Second Tomei Expressway, Nakanogo First Viaduct(Down Lane)-

坂根 秀和\*<sup>1</sup> 永山 弘久\*<sup>2</sup> 生駒 元\*<sup>3</sup> 河西 龍彦\*<sup>4</sup>  
Hidekazu SAKANE Hirohisa NAGAYAMA Motoshi IKOMA Tatsuhiko KASAI

### Summary

At the low lane of Nakanogoh first viaduct is made of steel 3-main-girders with long span cast-in-place PC slab which has span length of 6.050 ~ 7.800m. The construction of which is executed with the fixed form support. For the sake of the rationalization and quality control of the cast-in-place PC slab is marvelously devised. The shut-out-light sheet was adopted for the curing of cast-in-place PC slab and for the purpose of confirming effect, the temperature measurement and nonlinear temperature analysis assumption results are also reported.

キーワード：場所打ちPC床版、固定式型枠支保工、温度応力、輻射熱、膨張材、養生、遮光シート

### 1. はじめに

日本道路公団静岡建設局が建設を進める第二東名高速道路中ノ郷第一高架橋は、上り線が10径間連続2主鉄桁橋、下り線が11径間連続3主鉄桁橋であり、ともに橋軸

直角方向にポストテンション方式でプレストレスを導入する場所打ちPC床版を有する。

場所打ちPC床版の施工にあたり、上り線（2主鉄桁橋）においては施工の合理化・省力化・安全性の向上に有効とされる大型の移動式型枠支保工を複数基用いて床版施

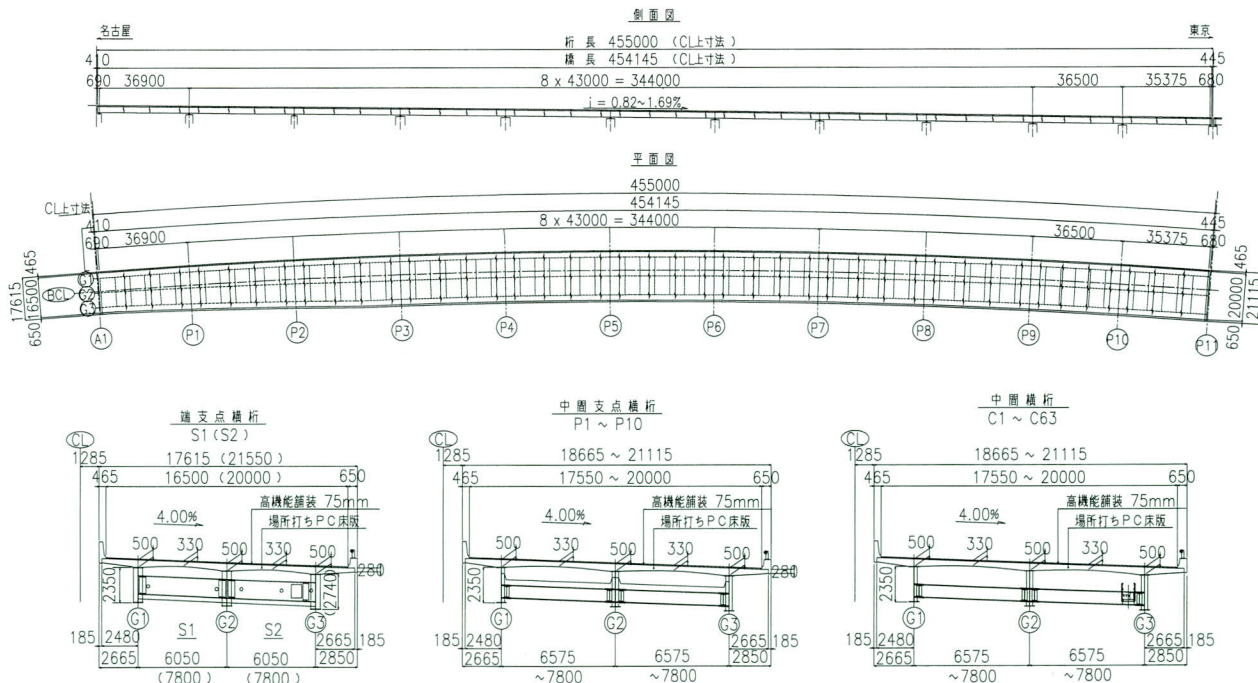


図-1 下り線構造一般図

\*<sup>1</sup>技術本部設計部設計一課  
\*<sup>2</sup>技術本部設計部設計一課課長

\*<sup>3</sup>技術本部設計部設計一課課長代理  
\*<sup>4</sup>橋梁営業本部橋梁営業部第三橋梁営業グループ課長

工を行ったが、下り線（3主桁橋）は主桁間隔と幅員が変化するため、移動式型枠支保工を用いることが非常に困難と考えられた。そこで、下り線の場所打ちPC床版施工には固定式型枠支保工を用いることとした。下り線の構造一般図を図-1に示す。

移動式型枠支保工を用いた場所打ちPC床版の施工については、社団法人日本橋梁建設協会で実施された検証実験<sup>1)</sup>や場所打ちPC床版を有する工事の施工事例報告<sup>2)</sup>などがあり、また弊社においても第二東名高速道路薬科川橋<sup>3)</sup>において施工実績があったが、施工事例報告の少ない固定式型枠支保工を用いた長支間場所打ちPC床版の施工にあたっては、施工段階で以下の工夫を行った。

- ① 固定式型枠支保工の構造上の工夫
- ② 床版コンクリートの配合
- ③ 床版コンクリートの養生方法

本報告は、上記①～③について報告するものである。また、上記と合わせて実橋での床版コンクリート施工時に温度計測も行ったのでそれも合わせて報告する。

## 2. 固定式型枠支保工の構造上の工夫

### (1) 型枠支保工の構造

本橋の床版支間は、前述したように7.800mと長いため、一般的な鋼製ビーム（ペコビーム）1本だけでは床版コンクリートおよび型枠自重による支保工のたわみが過大となり所定の品質を確保することが困難であると考えられた。そこで本工事では第二東名高速道路駒瀬川橋での施工事例<sup>4)</sup>を参考にし、横桁上にH鋼（400×400×13）を橋軸方向に配置し、それを利用して鋼製ビームを置き支保工を形成する構造とした。また、床版張出長も2.665mと長いことから床版受け大引き材を主桁下フランジから直接パイプサポートを二本使用して斜めに支持する構造とし、床版コンクリート打設時の支保工

たわみが過大とならないよう留意した。その構造図を図-2に、型枠設置状況を写真-1, 2に示す。

### (2) 吊金具の省略

床版の施工用として一般的に用いられている吊ボルト受け金具や作業足場用吊金具は、鋼桁等に溶接されるのが一般的であるが、本橋では疲労強度の向上、材片数の削減を目指し、第二東名高速道路駒瀬川橋での施工事



写真-1 支保工設置状況（床版張出部）

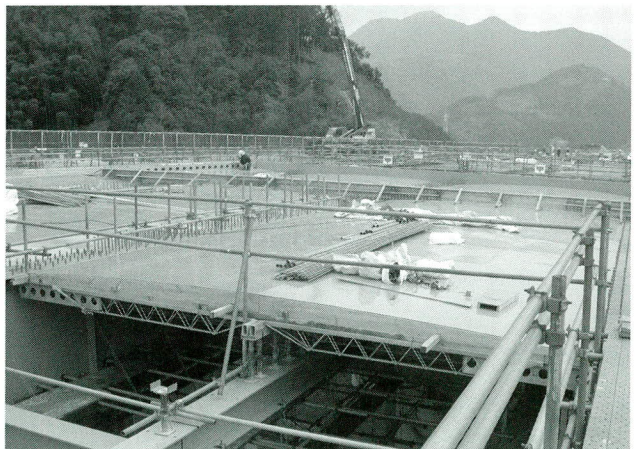


写真-2 支保工設置状況（床版支間部）

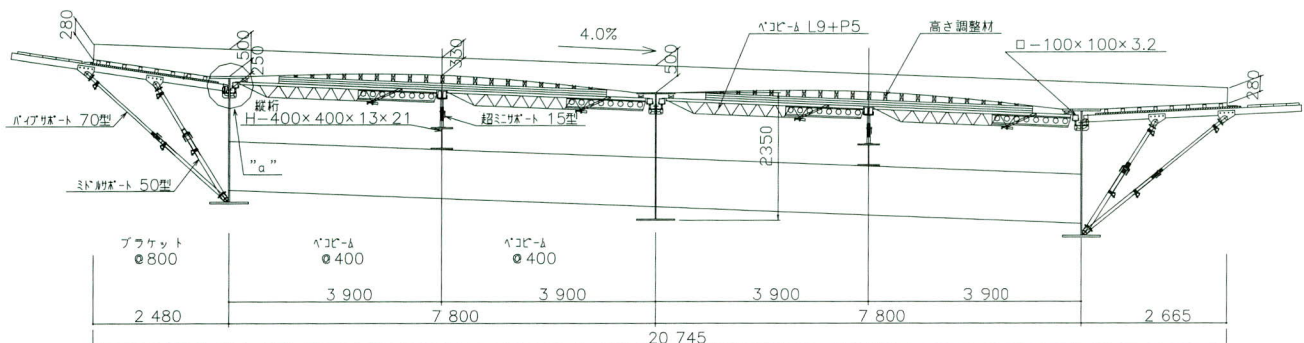


図-2 固定式型枠支保工の構造

例を参考にして、主桁腹板に約800mmピッチで孔明(24.5Φ)した孔を利用して型枠支保工や吊足場を設置する方法を採用した。その状況を写真-3に示す。

支保工解体後の腹板の孔は、将来の維持管理時には図-3のようにアイボルトなどで足場を構築することが可能である。

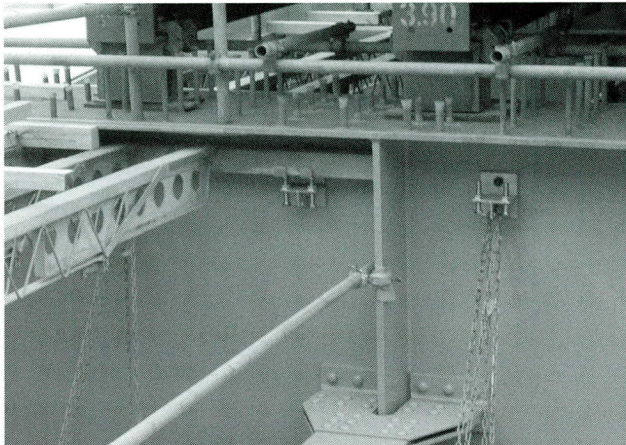


写真-3 吊金具の設置状況

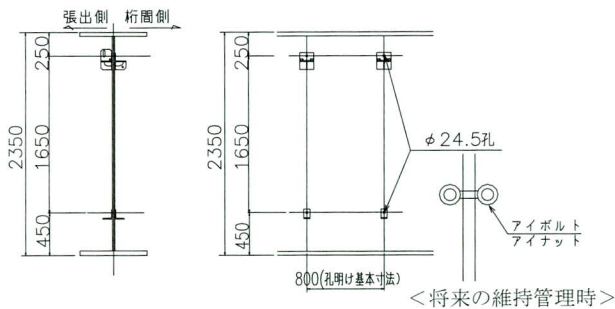


図-3 維持管理用孔詳細

### 3. 床版コンクリートの配合と養生方法

#### (1) 床版コンクリートの温度応力

床版厚の厚い床版コンクリートにおいて施工時に有害なひび割れを発生させる要因の一つとして、コンクリートの水和発熱による温度応力が挙げられる。これについては、近年多くの研究発表や施工事例<sup>5)</sup>が報告されており、長支間場所打ちPC床版の施工ではこの温度応力を考慮した設計、施工を行う必要がある。また、温度応力への対処方法としては、床版内部と床版表面の温度差をなるべく小さくし、かつゆっくりと温度を低下させることが重要とされている。

以上のような背景から、上り線の移動式型枠施工と異なり下り線の固定式型枠施工では、日照を遮る屋根や防

風用のカーテンなどの養生設備が無いため、これに代わる具体的な養生方法についての対策が必要と考えた。また、養生方法の対策と合せて、コンクリートの配合に着目した検討も行った。コンクリートの配合と養生方法に着目した検討を行った。

#### (2) 床版コンクリートの配合

移動型枠施工を採用した上り線では、作業の効率化を図るため床版コンクリート打込み後3日目にPC緊張を行う必要があることから、セメントには早強ポルトランドセメントを使用した。しかし、道路線形や桁配置などの理由から固定式型枠施工を採用した下り線ではその必要は無いため、コンクリートの水和発熱を低く抑え、発生する温度応力をできるだけ小さくする目的で普通ポルトランドセメントを使用した。また、膨張材は収縮補償として30kg/m<sup>3</sup>添加した。下り線の床版施工で用いたコンクリート配合を表-1に示す。

表-1 床版コンクリート配合

水結合材比 W/(C+F) (%)	細骨材率 S/a (%)	単用量(kg/m <sup>3</sup> )					
		水 W	セメント C	混和材 F	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 A
41.8	44.0	154	338	30	783	1003	3.680

#### (3) セメントの種類をパラメータとした温度応力の比較

前述のように、下り線の床版施工には温度応力の低減を図るため普通ポルトランドセメントを用いることとしたが、その効果を確認するために非線形温度応力解析を行った。解析ソフトには「ASTEAMACS Ver.3」を使用した。解析モデルを図-4に、解析パラメータを表-2

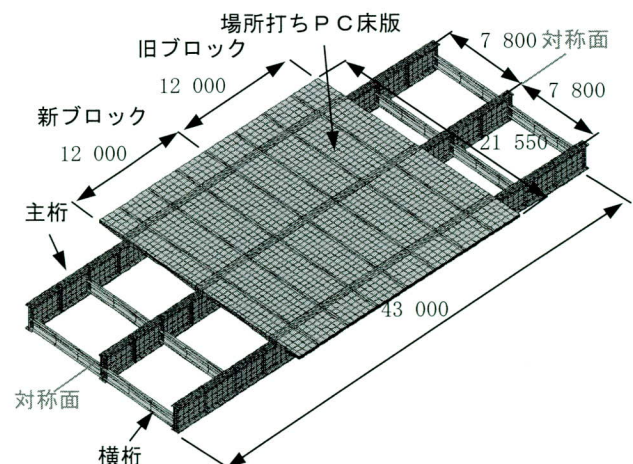


図-4 解析モデル (全橋モデル)

表-2 解析パラメータ

解析モデル種類	セメント種類	乾燥収縮・膨張材(80 $\mu$ )の効果		解析ケース
		乾燥収縮のみ考慮	両方考慮	
全橋モデル	早強セメント	○	—	CASE1
		—	○	CASE2
		○	—	CASE3
半橋モデル	早強セメント	—	○	CASE4
		○	—	CASE5
	普通セメント	—	○	CASE6

に示す。解析モデルは、図-4に示す全幅モデルと、計算時間省略のため図中の対称面でモデルを半分にした解析モデルの2種類にて解析を行った。解析パラメータは、表に示すようにセメント種類(早強・普通)および乾燥収縮のみを考慮した場合と膨張材添加の有無をパラメータとして計6ケース解析を行った。

上記解析の結果を代表して、新ブロック側の材齢3日における床版上面の橋軸直角方向応力に着目し、その応力コンター図を図-5~8に示す。早強ポルトランドセメントを用いたCASE3およびCASE4に比べ、普通ポルトランドセメントを用いたCASE5およびCASE6の方が、新ブロック側の打継目近傍に発生する引張応力度は小さくなる事が確認できた。さらに普通ポルトランドセメントを用いたCASE5およびCASE6について、膨張材を添加した場合(CASE5)としない場合(CASE6)に着目した場合、膨張材を添加すれば引張応力を約0.4N/mm<sup>2</sup>軽減することが確認できた。

これらの解析結果も考慮して、表-1に示す床版コンクリートの配合を決定した。

#### (4) 養生方法の検討

前述のとおり若材齢時の温度応力への対処方法としては、床版内部と表面の温度差を出来る限り小さくするこ

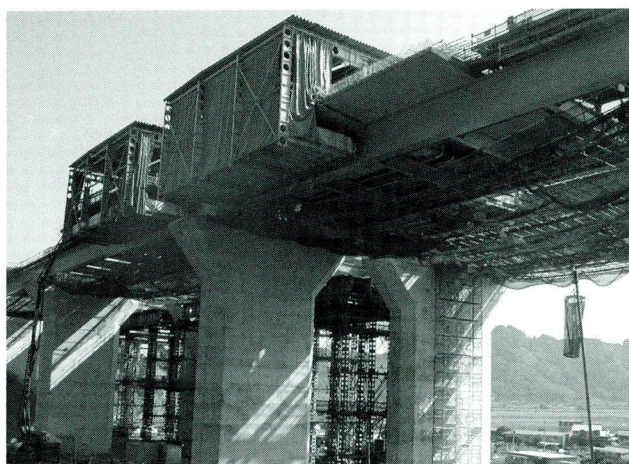


写真-4 移動型枠支保工を用いた床版施工

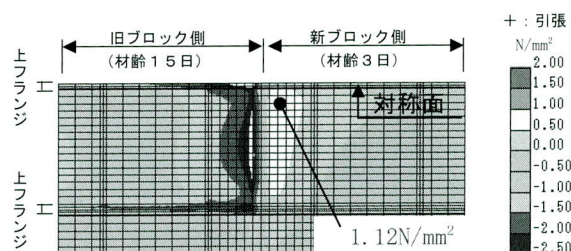


図-5 橋軸直角方向応力コンター図 (CASE3:半橋モデル)

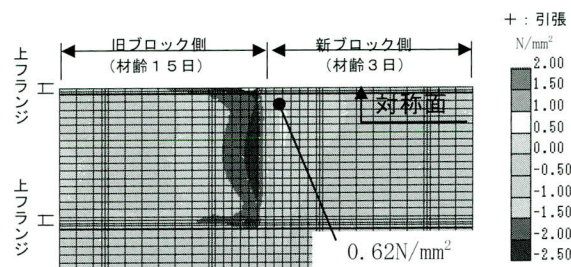


図-6 橋軸直角方向応力コンター図 (CASE4:半橋モデル)

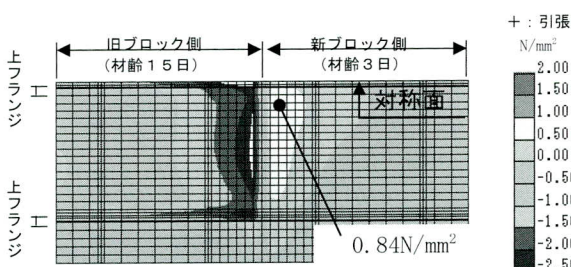


図-7 橋軸直角方向応力コンター図 (CASE5:半橋モデル)

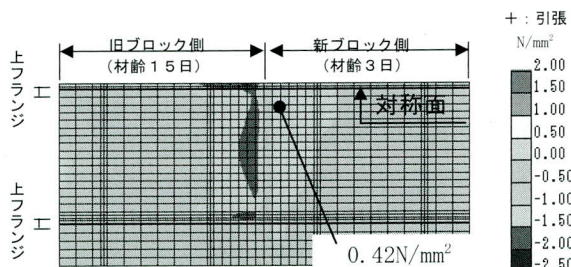


図-8 橋軸直角方向応力コンター図 (CASE6:半橋モデル)

と、水和発熱により上昇したコンクリート温度をゆっくり低下させることが重要である。移動式型枠支保工を採用した場合は、写真-4に示すように日照を遮る屋根や防風用のカーテンなどの養生設備があり、良好な床版を施工できることが確認できている。我が社では藁科川橋において施工実績がある。

しかし、固定式型枠支保工を用いた場所打ちPC床版の施工では、移動式型枠支保工とは異なり、屋根や防風用のカーテンを設置することが極めて困難であることから、養生方法に留意する必要がある。さらには、直射

日光の影響（輻射熱の影響）も無視できないとの最近の研究<sup>6)</sup>もあり、下り線の固定式型枠施工では、移動式型枠支保工で用いた床版施工の養生方法で一般的である「養生マット+散水+シート」の上に、日射の影響を軽減するための「遮光シート」を採用することとした。この「遮光シート」は塩化ビニールシートの片面にアルミ加工を施したもの（商品名：テクミラー、日本ウェーブブロック（株））を使用した。実橋での遮光シート敷設状況を写真-7に示す。実橋においては遮光シート（テクミラー）の規格として、幅185cm/厚さ0.38cmのものをシート自体が痛むまで転用しながら使用した。

この「遮光シート」がどの程度効果があるかについて確認するため、実橋での計測を行う前に簡易的な実験を千葉工場内で行った。その状況を写真-5に示す。

この簡易実験では、既設のコンクリート面に従来の養生方法（養生マット+散水+シート）とこれに遮光シートを重ねた養生方法を再現し、各シート間に熱伝対（温度計測センサー）を設置してその温度を計測した。これと合わせ養生を行わないコンクリート表面も温度を計測し、それぞれ比較した。（図-9）

計測期間は、日照の影響（1日の気温上下動）を考慮

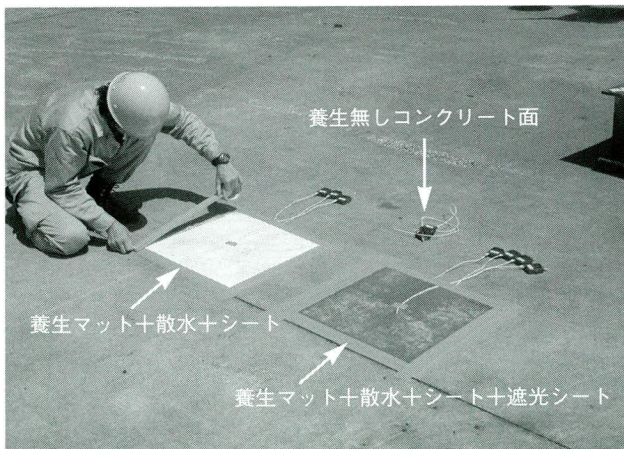


写真-5 簡易実験の状況

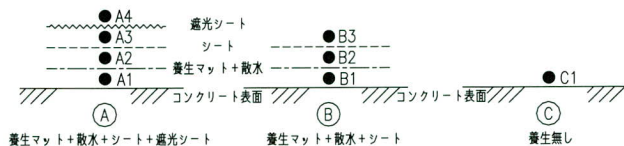


図-9 計測位置図

するため、晴天日の朝の8時から24時間計測を行った。その結果を図-10に示す。

図-10より、養生をしないコンクリート表面（C1）と遮光シートが有る場合（A1）、遮光シートが無い場合

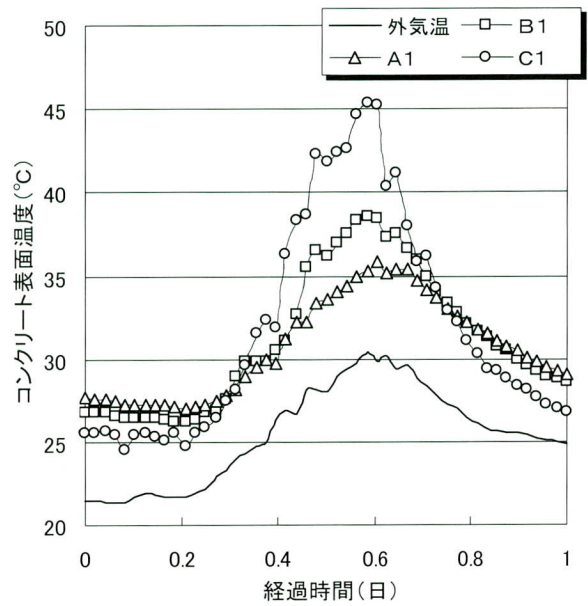


図-10 計測結果（コンクリート表面）

（B1）の結果を比較すると、養生を行なった方が最高到達温度も小さくなっていることから、直射日光の影響を軽減していると考えられる。この効果は、遮光シート有最高到達温度からの温度下降勾配も遮光シート有りの方が小さいことから、シート内部の温度が外に逃げにくくコンクリート表面と内部の温度差を小さくできるものと推測される。以上の結果から遮光シートを用いた養生方法は有効であると判断した。

この遮光シートに加え、さらに床版施工時の風による水和熱の急激な熱の逸脱と水分の蒸発を防ぐため、床版上面ではコンクリート打込みを行う床版ブロックの周りをシート囲み、養生シートを敷設する前のコンクリート上面に直接風が当たらないよう留意した。さらに、床版下面（床版支間部・張出部とも）についても型枠に直接風が当たらないようにシートを配置した。これらの状況

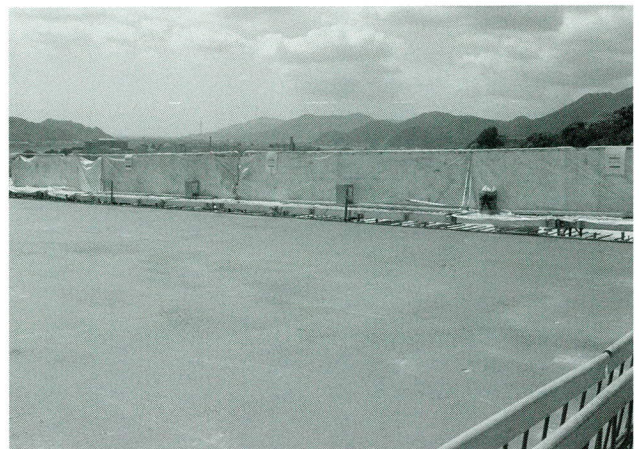


写真-6 床版上面状況



写真-7 遮光シート敷設状況

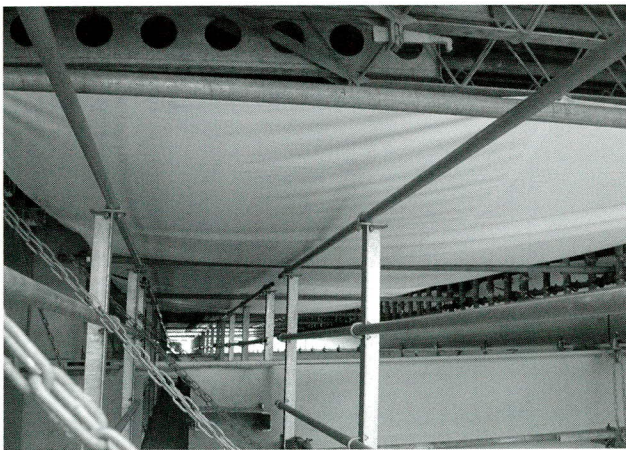


写真-8 床版下面状況

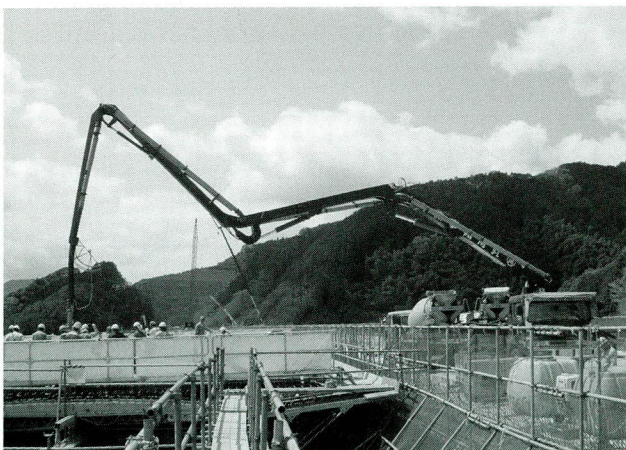


写真-9 床版施工状況 (左:下り線 右:上り線)

を写真-6～8に示す。

なお、本橋（下り線）の床版コンクリート施工においては、先行して施工した上り線床版の橋面上に、アジテータ車やポンプ車を配置して床版施工を行った。その状況を、写真-9に示す。

#### 4. 実橋での温度計測

##### (1) 温度計測の概要

床版コンクリート施工時におけるコンクリート内部の温度履歴を確認し、設計時に考慮した温度応力の妥当性を検証するために、実橋において床版施工時の温度計測を行った。

今回の計測したブロックは図-11に示すように平成16年4月5日に打込んだBL30と平成16年5月24日に打込んだBL23のそれぞれブロック中央断面を測定した。BL23、BL30ともG2、G3主桁ウェブ直上の床版断面内3点と、G3主桁上については養生シート各間の温度計測を行った。その計測位置を図-12に示す。

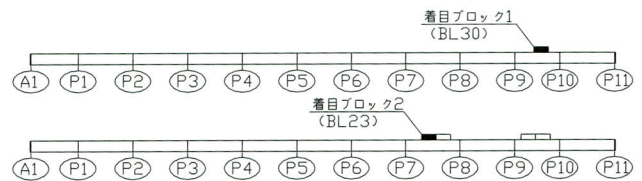


図-11 温度計測ブロック

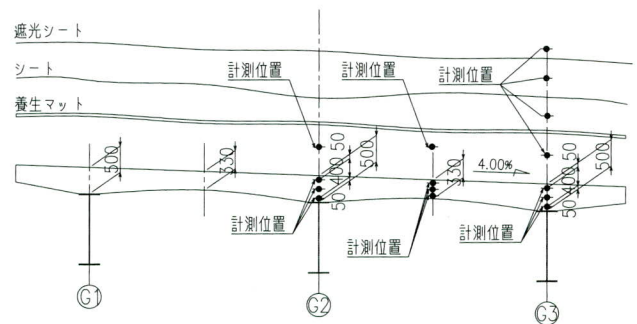


図-12 計測位置図

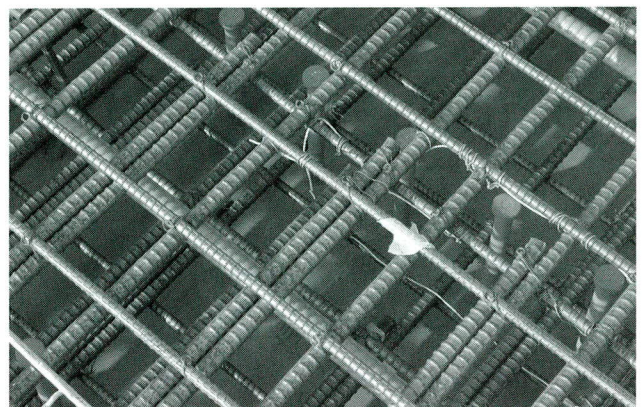


写真-10 計測機器設置状況

床版温度の計測は、コンクリート打込みから1ヶ月間連続して計測を行った。また、外気温の計測も行っている。計測機器の設置状況を、写真-10に示す。

## (2) 温度計測結果

BL30とBL23の主桁直上における上段・中段・下段の温度計測結果を図-13および図-14に示す。

床版内部の最高到達温度は、BL23およびBL30ともG3主桁上（床版厚500mm）の床版厚中央において、BL23がコンクリート打込みから14時間後に56.0℃、BL30は16時間後に46.9℃を記録した。同位置で計測したBL23とBL30で最高到達温度が10℃程度異なっているが、これは打込み時のコンクリートの温度差（打込みからの経過時間0時間の時のコンクリート温度）および外気温差が約10℃あることが原因と考えられる。

## (3) 非線形温度応力解析による計測結果の再現

非線形温度応力解析ソフト「ASTEAMACS Ver.3」を用いて、床版内部温度の再現解析を行った。解析モデルは、図-4に示す解析モデルを用いている。

コンクリートの水和発熱量履歴を解析で推定するためには、断熱温度上昇特性の設定が重要である。この設定によって初期材齢時の発熱過程が異なってくることは各種論文等で報告されており、土木学会コンクリート標準示方書[施工編]<sup>7)</sup>に示される断熱温度上昇特性の推定式では、初期材齢時の発熱過程に差が生じることが合わせて報告されている。そこで、文献<sup>8)</sup>に提案されている初期材齢時のS字曲線を再現できる式を用いて解析を行った。外気温については、1日の気温変動を考慮するため実橋計測で得られた外気温を直接与えた。コンクリート打込み時の温度についても実橋計測で得られた値を用いた。熱伝達率の設定にあたっては、床版コンクリート打込み時の環境条件や養生方法（養生マット+散水+シート+遮光シート）等の条件に合わせるため、既往の文献等を参考に設定した。これら以外の物性値については、土木学会コンクリート標準示方書[施工編]に示される値を用いた。

解析結果として、図-15にBL30の主桁直上の床版厚中央部における実測値と解析値の比較結果を示す。図-15からも分かるように、解析値と実測値は材齢初期の発熱課程および最高到達温度ならびに温度下降履歴とも良好に再現できている。温度解析の結果が再現できていれば、温度応力も適切に再現できることが別途検討で分

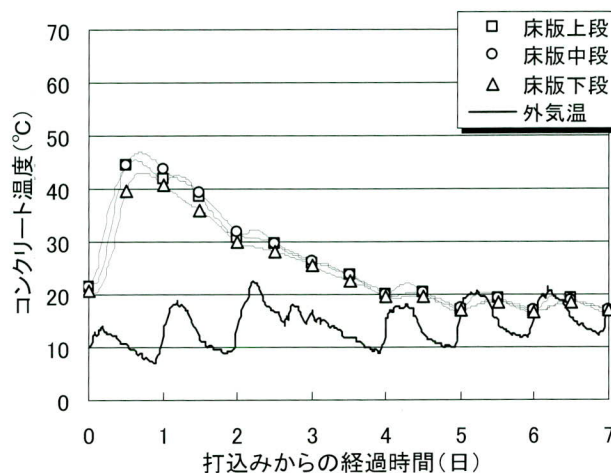


図-13 温度計測結果 (BL30)

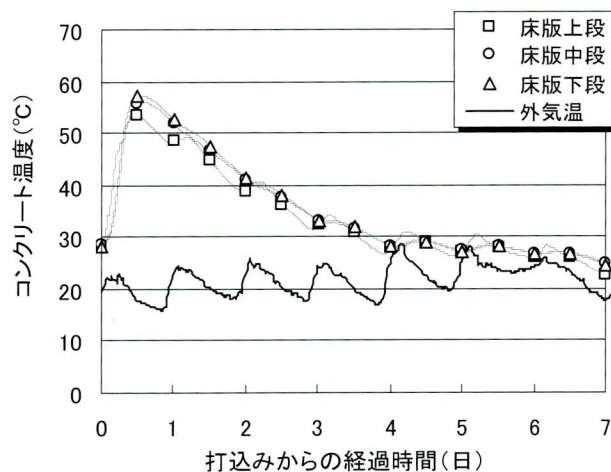


図-14 温度計測結果 (BL23)

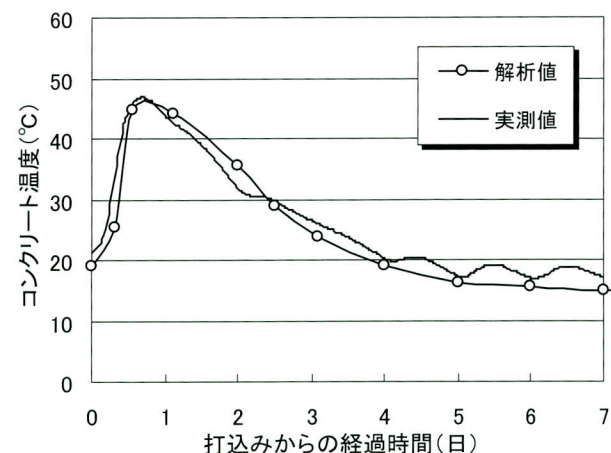


図-15 解析値と実測値の比較 (BL30床版厚中央部)

かっているの<sup>9)</sup>、本工事で設計時に考慮した温度応力についても適切であったことが推定できる。

## 5. まとめ

中ノ郷第一高架橋下り線の場所打ちPC床版の固定式型枠施工にあたりその品質を確保するための方策として、支保工の構造上の工夫およびコンクリートの配合、養生方法のグレードアップ等について検討を行った結果を以下にまとめる。

- ① 床版支間長が7.800mと長いことから、横桁上にH鋼を橋軸方向に配置し、それを利用して型枠支保工を形成した。
- ② 疲労強度向上および材片数削減、景観への配慮などから通常の溶接付き吊り金具ではなく、主桁に明けた孔を利用して吊り金具を設置し、型枠支保工や吊り足場を設置した。
- ③ 温度応力の低減策として、床版コンクリートには普通ポルトランドセメントを使用した。また、収縮補償として膨張材を30kg/m<sup>3</sup>を使用した。
- ④ また、固定式型枠施工の養生方法のグレードアップとして通常の「散水+養生マット+シート」に加え「遮光シート」を採用した。また、簡易実験によりこの「遮光シート」の有効性をある程度確認できた。
- ⑤ さらに、風による急激な熱の逸脱や水分の蒸発を防止するために、打込まれた床版コンクリートの周囲および下面にシートを設置し養生した。
- ⑥ 実橋での床版内部の温度計測結果と解析値を比較した結果、実測を良好に再現できたことから、設計時に考慮した温度応力が適切であることが確認できた。

## 6. 最後に

平成17年1月現在の現場状況写真を、写真-11に示す。本報告にて示した検討結果を反映させた結果、現時点で床版コンクリートに有害なひび割れは発生しておらず、良好な床版を施工することができた。

本橋の設計・施工にあたり多大なご指導を賜りました日本道路公団静岡建設局および静岡工事事務所の方々をはじめ、関係各位の方々に対し深く感謝の意を表します。

### <参考文献>

- 1) 八部順一，小林潔，竹中裕文，河西龍彦：移動式型枠を用いた場所打ちPC床版の施工検証実験，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，共通セッション

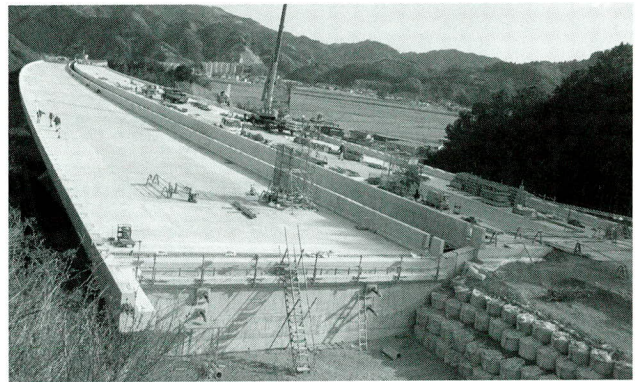


写真-11 現場状況 (左：上り線 右：下り線)

- ン，CS4-010，2002.9
- 2) 高瀬和男，福永靖雄，本間淳史，神原康樹：長支間場所打ちPC床版（中之沢橋）における温度応力に関する考察，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，共通セッション，CS4-009，2002.9
- 3) 上原正，松本博樹，藤井一成，河西龍彦：第二東名高速道路藁科川橋における鋼桁および長支間場所打ちPC床版の施工，宮地技報No.18，pp.18-43，2002.12
- 4) 軀一，清水健介，庄司志津男，須藤聡，松本達生，石田照明：腹板孔明け工法による固定型枠支保工の駒瀬川橋床版工への適用，第三回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp.307-312，2003.6
- 5) 河西龍彦，本間淳史，長谷俊彦，坂根秀和，松井繁之：場所打ちPC床版の温度応力に関する解析的研究，第三回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp133-138，2003.6
- 6) 倉田幸広，河西龍彦，師山裕，雪田憲子，丸山久一：鋼2主桁橋PC床版の輻射熱による変形挙動について，構造工学論文集，Vol.50A，pp.1183-1189，2004.3
- 7) 土木学会：コンクリート標準示方書，施工編，2002.3
- 8) 柳田：マスコンクリートにおける上昇温度の実用的推定方法，土木技術資料，Vol.11，No.4，pp.3-9，1969
- 9) 本間淳史，榊原和成，河西龍彦，林暢彦，坂根秀和：非線形温度応力解析を用いた実橋計測結果の再現（第二東名高速道路 藁科川橋），土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，共通セッション，CS4-029，2002.9
- 10) 坂根秀和，生駒元，亀子学，西岡浩一，河西龍彦：固定型枠を用いた長支間場所打ちPC床版の設計と施工－第二東名高速道路中ノ郷第一高架橋－，第4回道橋床版シンポジウム，2004.9

2005.1.18 受付