

## 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（下り線） —

Design and construction of a long-span cast-in-place PC slabs with fixing support form

坂根 秀和\*, 生駒 元\*\*, 亀子 学\*\*\*, 西岡 浩一\*\*\*\*, 河西 龍彦\*\*\*\*\*  
Hidekazu Sakane, Motoshi Ikoma, Manabu Kameko, Kouichi Nishioka, Tatsuhiko Kasai

\* (株)宮地鐵工所 設計部 設計一課 (〒290-8580 千葉県市原市八幡海岸通3)

\*\* (株)宮地鐵工所 設計部 設計一課課長代理 (〒290-8580 千葉県市原市八幡海岸通3)

\*\*\* 瀧上工業(株) 技術部 設計課 (〒454-8517 愛知県名古屋市中川区清川町2-1)

\*\*\*\* 日本道路公団 静岡建設局 静岡工事事務所 静岡中工事長 (〒420-0804 静岡県静岡市竜南1-26-20)

\*\*\*\*\* (株)宮地鐵工所 橋梁営業部 第三橋梁営業グループ課長 (〒103-0011 東京都中央区日本橋大伝馬町7-5)

At the Nakanogoh No.1 viaduct heading is made of steel 3-main-gider which spans 6.050~7.800m with long-span cast-in-place PC slab. The construction of which is executed with the fixing support form. For the sake of the rationalization and quality control of the cast-in-place PC slab, the fixing support form of structure itself, mix proportion and curing method of the slab are marvelously devised.

The shut-out-light sheet was adopted in 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.

**Key Words :** long-span cast-in-place PC slabs, fixing support form, mix proportion, curing method, heat of hydration

#### 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下り線は、橋長455m床版支間長6.050~7.800mの長支間場所打ちPC床版を有する11径間連続鋼3主桁橋であり、床版厚は床版支間中央部で33cm、主桁直上で50cmである。床版は橋軸直角方向のみポストテンション方式でプレストレスを導入するPC床版である。構造一般図を図-1に、断面図を図-2に、現場状況(平成16年5月現在)を写真-1に示す。

本橋の規模から考えると、経済性等の観点から複数基の移動式型枠支保工を用いて場所打ちPC床版の施工を行ないたいところであるが、中ノ郷第一高架橋の下り線は幅員と主桁間隔が変化するため、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床版施工は固定式型枠支保工を用いることとなった。

この施工検討を行なうにあたり、固定式型枠支保工を用いた場所打ちPC床版施工の合理化と、床版の品

質を確保するために施工検討段階で以下の工夫を行なった。

- ①固定式型枠支保工の構造上の工夫
- ②吊金具の工夫
- ③床版コンクリートの配合
- ④床版コンクリートの養生方法

本論文では、上記①~④の施工検討内容の概要について報告するものである。

また、実橋での床版施工を行なうにあたり日射による輻射熱の影響を緩和するために、移動式型枠支保工の上屋の代わりに、「遮光シート」を採用した。この養生方法の妥当性検証と今後の床版施工を円滑に進めるためのデータの蓄積等を目的として、実橋での床版コンクリート施工時にコンクリート内部温度の計測も行なっている。

また、この温度計測と合わせて非線形温度解析によりコンクリート内部温度の再現も行なっているため、その結果についても合わせて報告する。

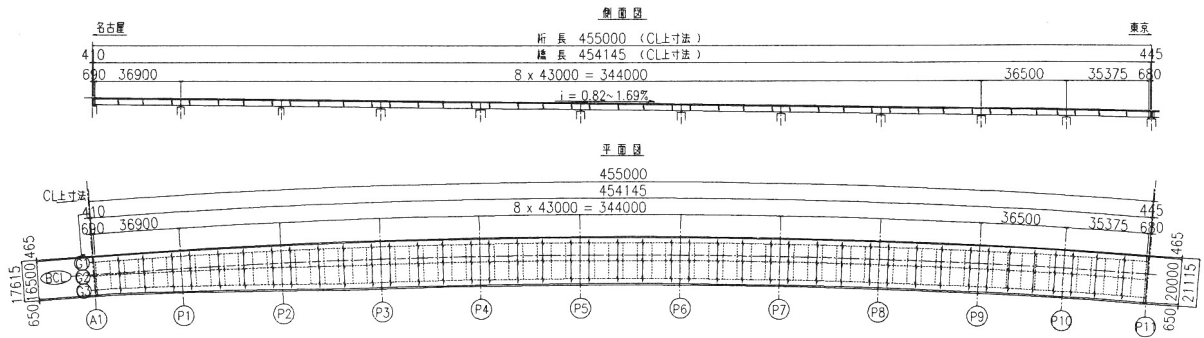


図-1 中ノ郷第一高架橋（下り線）

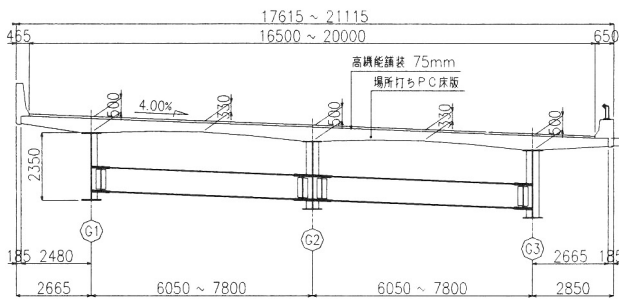


図-2 中ノ郷第一高架橋下り線 断面図

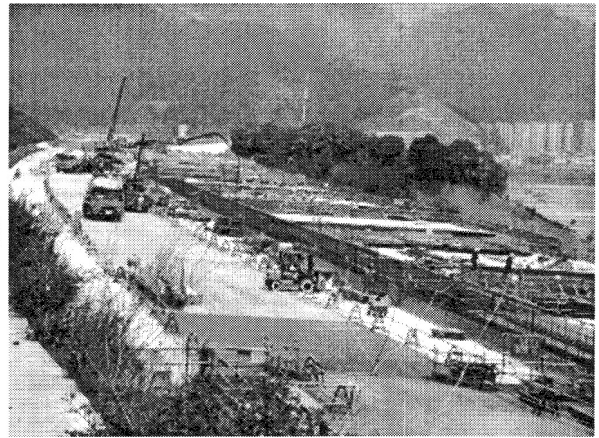


写真-1 現場状況（左：上り線 右：下り線）

## 2. 固定式型枠支保工の構造上の工夫

### 2.1 型枠支保工

本橋の床版コンクリート施工に用いた固定式型枠支保工の構造を図-3に示す。下り線は床版支間長が最大7.800mと長いとため、一般的に用いられている橋軸方向の鋼製ビーム（ペコビーム）を直接使用することが困難であった。そこで、本橋では第二東名高速道路駒瀬川橋での施工事例<sup>2)</sup>を参考に横桁上にH鋼（400×400×13）を配置しそれを利用してペコビームをおき、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た。

### 2.2 吊金具の工夫

PC床版および鋼桁の疲労耐久性や周囲の景観に配慮して、これも第二東名高速道路駒瀬川橋での施工事例を参考に、固定式型枠支保工を用いた床版施工時に一般的に使用される吊ボルト受け金具や作業足場用吊金具の鋼桁本体への溶接を避け、主桁腹板に約800mmピッチで明けた維持管理用の孔（φ24.5孔）を利用して型枠支保工や吊足場を設置する方法（写真-2）をとった。

将来の維持管理時には図-4に示すように、アイボルト等を利用して維持管理用吊足場が再度構築できる構造となっている。

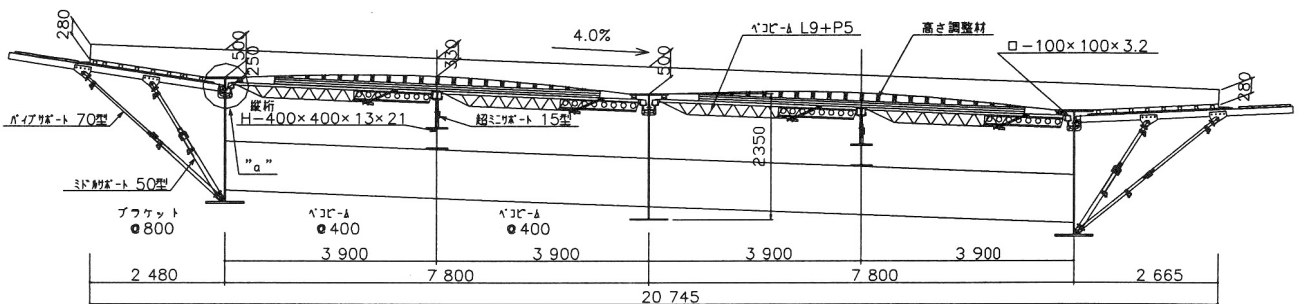


図-3 固定式型枠支保工の構造

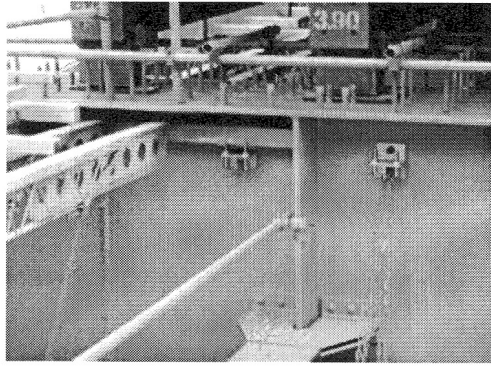


写真-2 支間側支保工受け金具

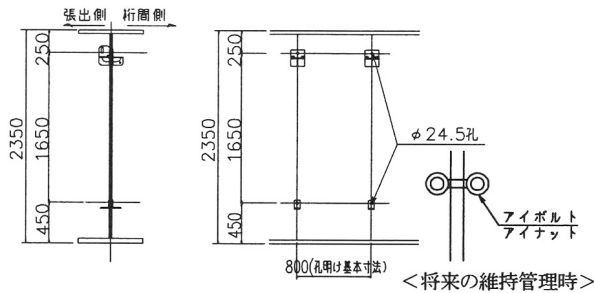


図-4 維持管理用孔詳細

### 3. 床版コンクリートの配合と養生方法

#### 3.1 床版コンクリートの配合

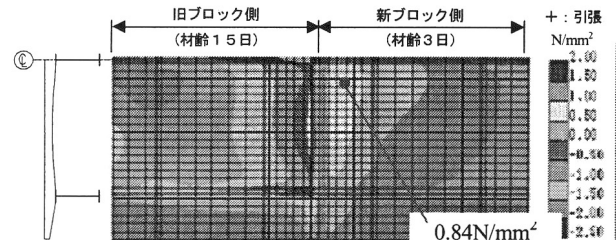
少数主桁を有する場所打ちPC床版において、床版厚の増大および床版コンクリートの高強度化によるセメント量の増加でコンクリート硬化時の水和発熱量が大きくなるため、水和発熱により床版コンクリートに発生する若材齢時の温度応力の影響が無視できないことは、これまで様々な論文や施工事例報告<sup>3)</sup>等で述べられている。

移動式型枠支保工を採用した下り線の場所打ちPC床版施工では、コンクリート材齢3日目にPC緊張を行なうサイクル施工を行うため、材齢3日目に所定のコンクリート強度を得る必要があることから、早強ポルトランドセメントを使用した。しかし、固定式型枠支保工を用いる下り線の場所打ちPC床版施工では、PC緊張を材齢7日に行なうこととしたため、コンクリートの水和発熱を抑え、若材齢時に発生する温度応力を小さくしたいという考えから、普通ポルトランドセメントを使用した。また、若材齢時に床版に生じる引張応力を低減させるのに有効とされている膨張材を収縮補償として $30\text{kg/m}^3$ 添加した。その配合を表-1に示す。

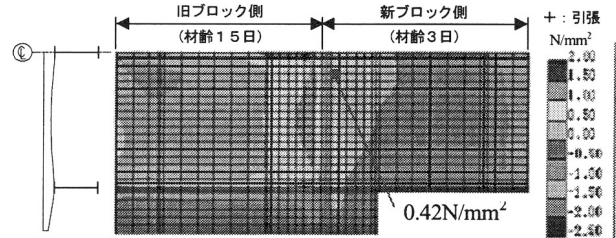
なお、配合決定にあたっては解析ソフト「ASTEA-MACS Ver.2」を用いた非線形温度応力解析によるセメント種類（早強セメント・普通セメント）および膨張材の有無をパラメータとした解析を行なっている<sup>4)</sup>。その結果として床版下面の橋軸直角方向応力コンター図を図-5に示す。図からわかるように普通セメントを使用した場合、床版打継目近傍の橋軸直角方向応力が、膨張材無しに比べて膨張材有りの方が約 $0.4\text{N/mm}^2$ 軽減することが確認されている。

表-1 床版コンクリートの配合

水結合材比 W/(C+F) (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量 ( $\text{kg/m}^3$ )					
		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



(a) 膨張材無しの場合



(b) 膨張材有りの場合

図-5 床版下面橋軸直角方向応力コンター図  
(普通ポルトランドセメント, 3主桁)

#### 3.2 養生方法の検討

若材齢時の温度応力への対処として、床版内部と表面の温度差をできるだけ小さくすること、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となる。しかし、固定式型枠を用いた下り線床版施工では移動式型枠を用いた床版施工と異なり、日照を遮る上屋や防風用のカーテンが無い場合、これに替わる対策が必要と考えられた。

そこで本橋では、これまで移動式型枠を用いた床版施工の養生方法で一般的な養生方法である「養生マット+散水+シート」の上に床版上面に日照による輻射熱の影響を低減させるため、「遮光シート」を追加することとした。「遮光シート」とは、シートの片面に光を反射する加工を施したものである。

この「遮光シート」が輻射熱に対してどの程度効果がある

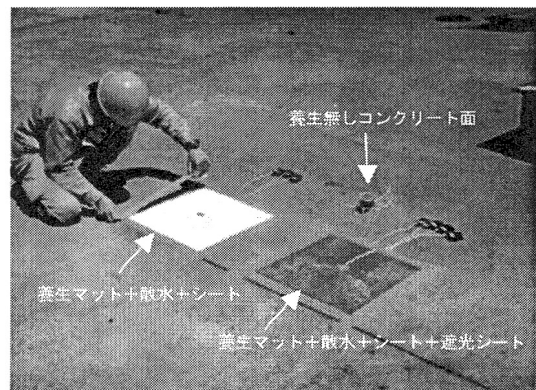


写真-3 シート比較実験状況

かについて確認するため、実橋での床版施工を行なう前に簡易的な温度計測を行なった。その状況を写真-3に示す。

このシート比較実験では、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を設置して温度を計測した。これと合わせて、養生を行なわないコンクリート表面を計測し、その差を比較した。計測位置を図-6に示す。この計測は日照の影響（1日の気温上下動）を考慮するため、24時間計測を行なった。その計測結果を図-7に示す。

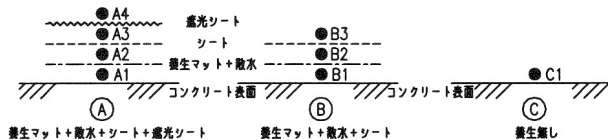


図-6 計測位置図

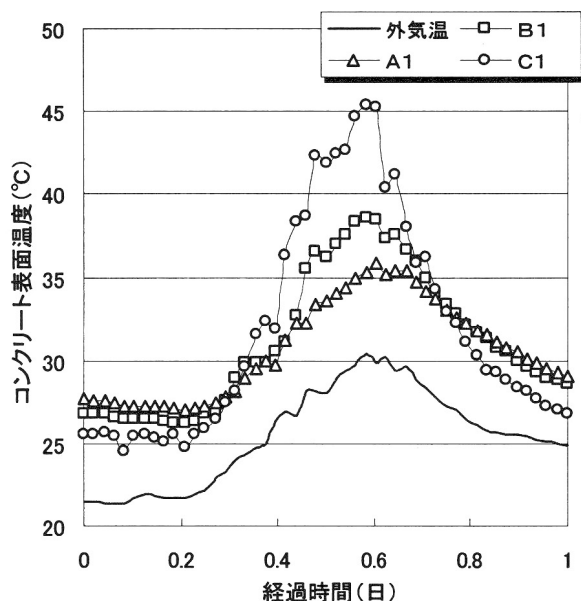


図-7 計測結果（コンクリート表面）

図-7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（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、輻射熱の影響を軽減していると考えられる。この効果は、遮光シート有り（A1）のほうが遮光シート無し（B1）より大きい。また、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できるので、移動式型枠支保工の上屋および防風カーテンに替わる養生方法として「遮光シート」が有効であると考えた。以上より、床版コンクリートの上面は「遮光シート」により養生を行なった。その敷設状況を写真-4に示す。

一方、床版施工時の風による水と熱の急激な逸脱を防ぐため、床版上面ではコンクリート打込みを行なう床版ブロックの周りをシートを使った壁で囲み、養生前のコンクリート上



写真-4 遮光シート敷設状況

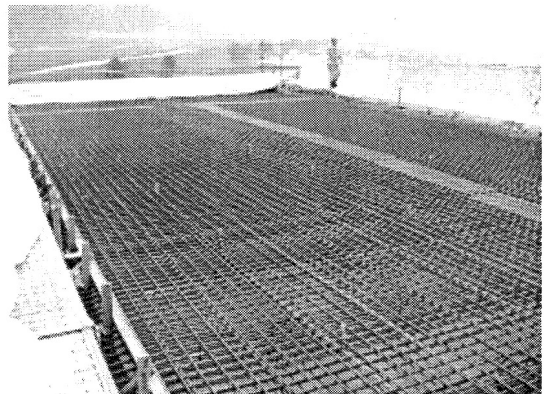


写真-5 床版上面状況



写真-6 床版下面状況

面に直接風が当たらないよう留意した。また、床版下面についても直接風が当たらないようにシートを配置している。その状況を写真-5、写真-6に示す。

#### 4. 実橋温度計測

##### 4.1 実橋温度計測概要

下り線床版コンクリート打込み時に、床版内に埋め込んだ熱伝対を用いて温度計測を行なった。その目的を以下に示す。

- ①床版コンクリート施工時におけるコンクリート内部温度履歴の確認
- ②床版施工時の環境条件、施工状況がコンクリート温度に与える影響を分析し、今後の床版施工を円滑に進め

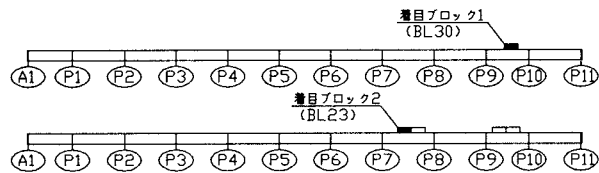


図-8 温度計測ブロック

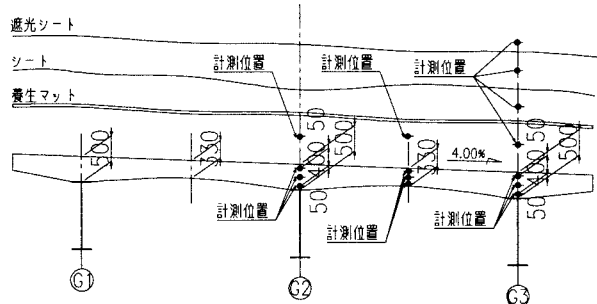


図-9 計測位置図

るためのデータを蓄積する

- ③床版の設計に用いた非線形温度解析ソフト「ASTEAMACS Ver.2」の妥当性確認
- ④養生方法（養生マット+シート+遮光シート）の妥当性確認

今回の計測ブロックは、図-8に示すように平成16年4月5日コンクリート打込みのBL30と平成16年5月24日コンクリート打込みのBL23のそれぞれブロック中央断面を計測した。

BL30、BL23とも、G2・G3主桁のウェブ直上の床版内3点と、G3主桁上についてはシート各間の温度の計測も行なった。その計測位置を図-9に示す。

床版温度の計測は、両ブロックともコンクリート打込みから1ヶ月間計測を行なった。また、床版内部およびシート間の計測以外に外気温も計測している。

#### 4.2 実橋温度計測結果

計測結果として、BL30、BL23の桁上の計測結果を図-10および図-11に示す。

床版内部の最高到達温度は、BL30、BL23ともG3主桁上（床版厚500mm）の床版厚保中央において、BL30がコンクリート打込みから16時間後に46.9℃、BL23が14時間後に56.0℃であった。断面内の同位置で計測したBL30とBL23で最高到達温度に差が出た理由として考えられるのは、BL30とBL23の床版コンクリート打込み時の外気温およびコンクリート打込み温度の差が約10℃あったためと考えられる。

#### 4.3 非線形温度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.2」を用いて、床版内部温度の推定を行なった。解析モデルを図-12に示す。

また、温度解析に用いた熱物性値を表-2に示す。熱伝導率、比熱、コンクリート密度についてはコン

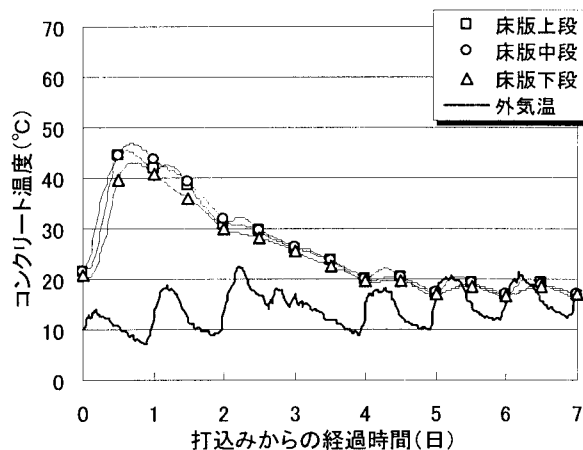


図-10 温度計測結果 (BL30)

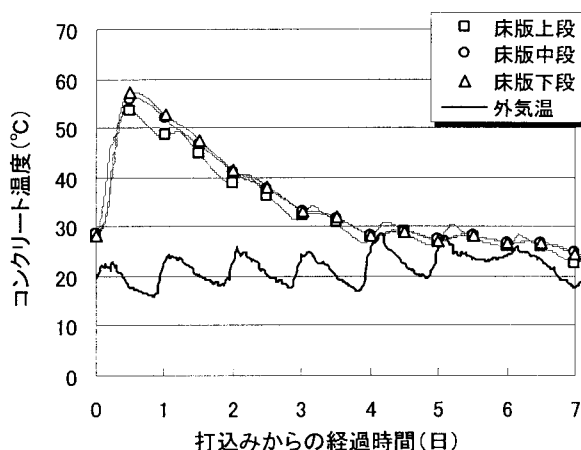


図-11 温度計測結果 (BL23)

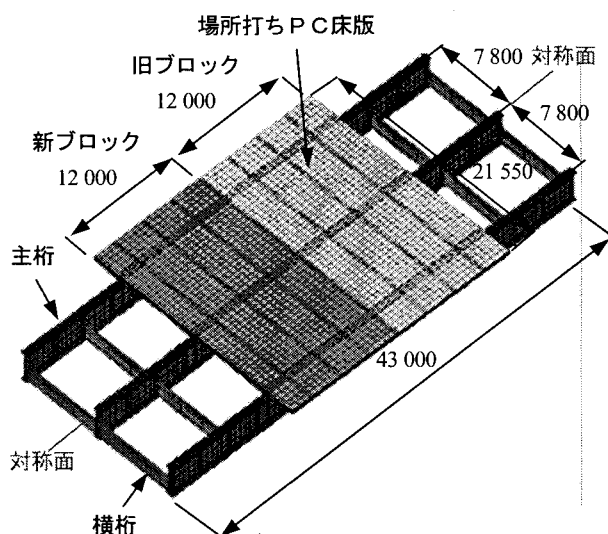


図-12 解析モデル

リート標準示方書[施工編]<sup>5)</sup>に示される参考値を用いている。一方、コンクリートの水和発熱特性に大きく影響する断熱温度上昇特性は、今回対象とした床版のような薄肉構造の場合、材齢初期の温度発熱課程の設定が重要であると考えられている。そこで、本解析で

表-2 熱物性入力値

項目	単位	コンクリート部	鋼桁部
熱伝導率	W/m°C	2.7	51.3
密度	kg/m <sup>3</sup>	2300	7850
比熱	kJ/kg°C	1.31	0.40
断熱温度上昇	°C	文献より	考慮しない
初期温度	°C	計測結果より	外気温と同じ
外気温	°C	計測結果より	

は初期材齢時のS字曲線を示す水和発熱特性を再現するため、文献6)に示される推定式を参考に設定した。

外気温については、1日の温度変動を考慮するため実橋計測で得られた外気温を与えた。コンクリート打込み温度についても、実橋計測で得られた値を用いた。養生中の熱伝達率については、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7)等を参考に設定した。

結果として、平成16年4月5日コンクリート打込みのBL30G3桁直上の床版厚中央位置における実測値と解析値を比較した結果を図-13に示す。

図-13からもわかるように、解析値と実測値は材齢初期の発熱過程および温度降下履歴ともほぼ一致しており、解析によって実測値を精度良くシミュレートできることが確認できた。

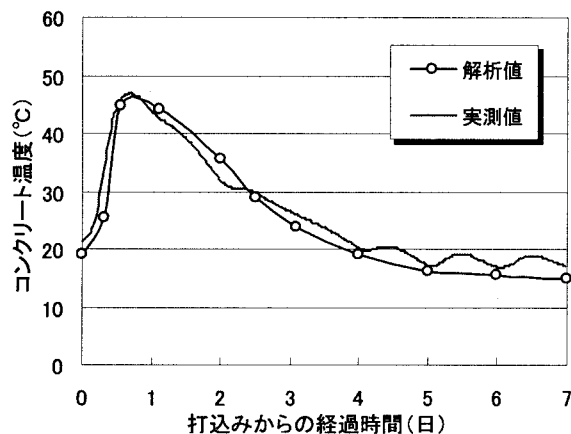


図-13 解析値と実測値の比較  
(BL30 床版厚中央部)

## 5. まとめ

中ノ郷第一高架橋の下り線床版施工にあたり、施工検討段階での工夫、実橋での温度計測および解析の再現を行った結果について以下にまとめる。

①中ノ郷下り線は、幅員と主桁間隔が変化する3主桁橋であり、移動型枠支保工の適用が困難であったので固定型枠支保工による床版コンクリート施工を選択した。また、床版支間長が7.800mと長いことから、第二東名高速道路駒瀬川橋での施工事例を

参考に、横桁上にH鋼を配置しそれを利用して型枠支保工を形成し、主桁腹板に孔明した孔を利用して型枠支保工や吊足場を設置する方法とした。

②水和発熱を抑えるために床版コンクリートに普通ポルトランドセメントを使用し、また、材齢初期の水和熱により発生する引張応力を低減させるのに有効とされる膨張材を30kg/m<sup>3</sup>使用した。

③床版コンクリートの養生方法を決定するにあたり簡易的な比較実験を行なった。その効果を確認した上で床版上面の養生には「遮光シート」を採用した。また、床版側面および床版下面にもシートを用いた壁を配置し、床版コンクリートに直接風が当たらないよう留意した。

④実橋での床版内部温度の計測結果と解析結果を比較した結果、実測値を良好にシミュレートできており、断熱温度上昇量や外気温等を適切に設定できれば事前の解析である程度実測値を予測できることが確認できた。

平成16年8月31日現在、中ノ郷第一高架橋下り線の床版コンクリート施工はほぼ終了したが、今回の検討結果を反映したこともあって、床版に有害なひび割れを発生させることなく順調に施工が進んでいることを付記する。

## 参考文献

- 1) 寺田・本間・河西・松井：長支間場所打ちPC床版の設計・施工マニュアル(下)－施工編－，橋梁と基礎，2002.12
- 2) 梶・清水・庄司・須藤・松村・石田：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，2003.6
- 3) 河西・本間・長谷・坂根・松井：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，2003.6
- 4) 長谷・坂根・河西・永山・小塚：3主桁における場所打ちPC床版の温度応力解析（第二東名高速道路 中ノ郷第一高架橋），土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，CS6-061，2003.9
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書[施工編]，2002.3
- 6) 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
- 7) 塩永・内田・中本・栖原・玉置：膨張コンクリートを用いた場所打ちPC床版の温度応力解析，日本コンクリート工学協会，膨張コンクリートによる構造物の高機能化／高耐久化に関するシンポジウム委員会報告書，2003.9