

ポータルラーメン橋の端横桁部におけるひび割れ抑制対策

(株) 富士ピー・エス 正会員 ○春田 健作  
 奈良県五條土木事務所 山本 博昭  
 (株) 富士ピー・エス 正会員 鈴木 真  
 (株) 富士ピー・エス 正会員 鴨川 勉

1. はじめに

本橋は、奈良県五條市に架設されたPC中空床版ポータルラーメン橋である。構造の特徴として、下部工と上部工の結合部である端横桁部がマスコンクリートとなること、また、広幅員かつ線形(斜角:56°)の影響で横桁延長が40mにもなる点が挙げられる。そのため、マスコンクリート施工で懸念されるセメントの水和熱に起因する温度ひび割れ、施工継目で旧コンクリート側が拘束することによるひび割れ<sup>1)</sup>に留意する必要があった。ひび割れ対策方法を検討するため、3次元温度応力解析等により事前検討を行った。本稿では、本橋で実施したひび割れ抑制対策および現場計測結果について報告する。

2. 橋梁概要

本橋の橋梁概要を表-1に、橋梁の一般図を図-1に示す。

表-1 橋梁概要

道路規格	第3種 第2級
構造形式	PC中空床版型ポータルラーメン橋
橋長	L=37.500m
幅員	一般部 W=23.80m, 拡幅部 W=34.05m
線形	R=∞, 斜角 左 56° 0' 00" 縦断勾配 i=0.263%, 横断勾配 i=2.000%
活荷重	B 活荷重
設計基準強度	36 N/mm <sup>2</sup>

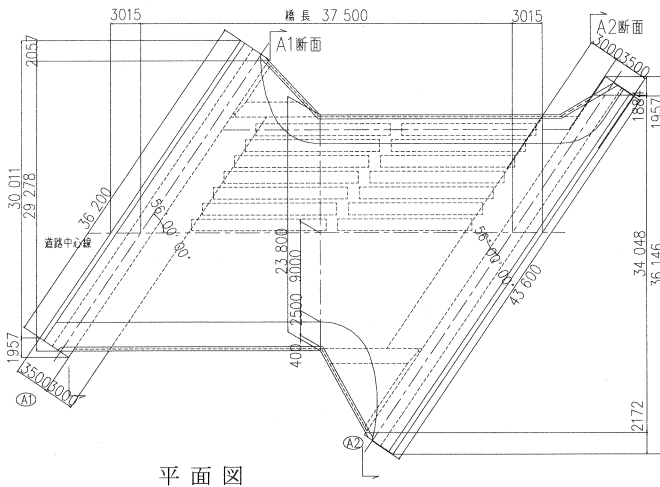
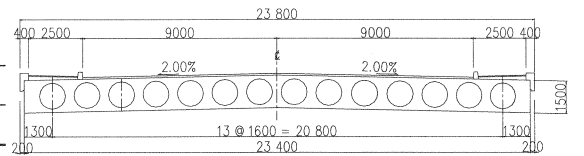
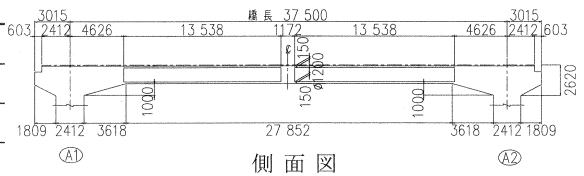
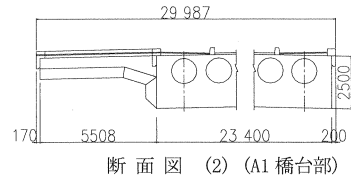
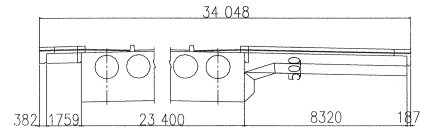


図-1 構造一般図

断面図 (1) (一般部)



断面図 (2) (A1橋台部)



断面図 (3) (A2橋台部)

断面図 (一般部, 橋台部)

### 3. ひび割れに対する検討

構造的特徴として、端部横桁部（以降、横桁と記載する）は高さ2.5mの無垢断面となる。マスコンクリートに対する施工の配慮が必要となる。さらに、その横桁延長（A1:36.2m, A2:43.6m）が長く、既設下部工による外部拘束により、ひび割れの発生が懸念された。発熱温度特性および発生引張応力を3次元温度応力解析により算出し、施工方法、コンクリートの配合、ひび割れ防止鋼材の配置等のひび割れ防止策を検討した。

#### 3. 1 温度応力解析

##### 1) 解析モデル

解析に用いたプログラムは、3次元温度応力解析専用プログラムであるASTEAMACSを用いた。解析モデルは、脚部（縦壁）、張出床版部を含む全橋モデルとする。図-2は、モデル側面および橋台部分を示す。

##### 2) 解析条件

解析に用いる諸数値（断熱温度上昇式、圧縮強度、引張強度、弾性係数）は、「コンクリート標準示方書」（構造性能照査編 2002年）<sup>2)</sup> に準じた。下部工は、非発熱体とし脚部下端の拘束条件は、比較検討により、上部工部材に発生する応力が最も大きく作用する全方向固定とした。設定した打設時期は、実際の施工に合わせて冬場とし、施工サイクル日数は、以下の施工ステップ[1]~[3]とした。

- ・ [1] 横桁部 1/2 打設 : 0 日
- ・ [2] 横桁部打設完了 : 10 日
- ・ [3] 橋体打設時 : 30 日

解析ケースとしては、当初計画である Case (1)、外部拘束低減を目的とし、横桁部を2回に分けて打設する Case (2)、セメントの種類を早強セメントから普通セメントとし、発熱温度の低減を図る Case (3) および、横桁部をパイプクーリング（以降クーリングと称す）により強制的に温度を下げる Case (4) を行った。図-3 に施工ステップ、解析ケースおよびクーリングの解析条件を表-2、表-3 に示す。

##### 3) 解析結果

Case (1)~(4)の横桁中心部の温度履歴、主応力度、橋軸直角方向の応力度  $\sigma_x$  を図-4 に示す。早強コンクリートを用いた Case (1) および Case (2) は、材齢1日でそれぞれ同程度のピーク温度 [Case (1) 79°C, (2) 75°C] に達した。Case (2) の主応力は、Case (1) と比べて2割程度 (1.7N/mm<sup>2</sup>) が低減された。Case (1) の場合、主応力は10N/mm<sup>2</sup> 以上発生する、これは、温度のピークが高いこと、下部工による拘束による影響が主要因であると考えられる。

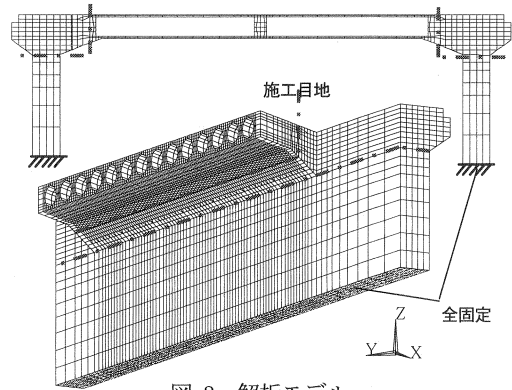


図-2 解析モデル

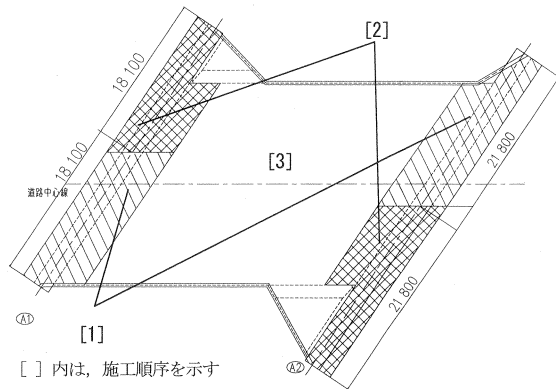


図-3 施工ステップ図

表-2 解析ケース

Case	横桁部 施工方法	セメント 種類	単位 セメント量	施工ステップ
(1)	一括施工	H	448kg/m <sup>3</sup>	[1][2]同時 →[3]
(2)	分割施工	H		
(3)	分割施工	N	382kg/m <sup>3</sup>	[1]→[2] →[3]
(4)	分割施工+ パイプクーリング*	N		

H : 早強セメント, N : 普通セメント

施工ステップ材齢[1]:0日, [2]:10日, [3]:30日

表-3 Case (4) パイプクーリング解析条件

パイプ*本数	水温	流速	パイプ径
11本	15°C	5cm/sec	5.3cm

\*パイプ: 横桁方向に補強として配置するPC鋼材 12S12.7のシース

Case(3)はCase(1)およびCase(2)に比べ、発熱温度 [ピーク値: 63°C] は減少し、温度勾配が緩やかになる傾向となった。Case(4) では、クーリングの効果が顕著に現れ、ピーク温度・主応力ともに大きく低減した。Case(1) およびCase(3)のコンターを図-5に示す。Case(1)に比べ一回の打設延長を小さくした Case(3)で、横桁部中央部に発生していた引張応力が低減され、分割施工(拘束力の低減)およびセメント種類(発熱量の低減)の影響が確認できた。よって、引張応力の発現が最も小さくなるCase(4)により施工することとした。

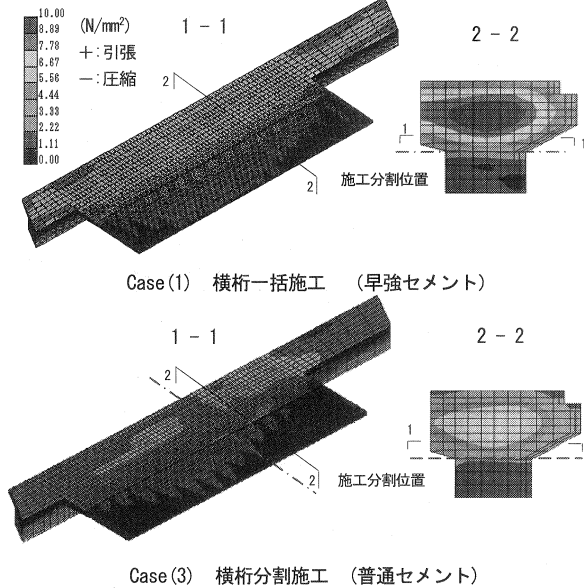


図-5 最大主応力  $\sigma$  (N/mm<sup>2</sup>) コンター図

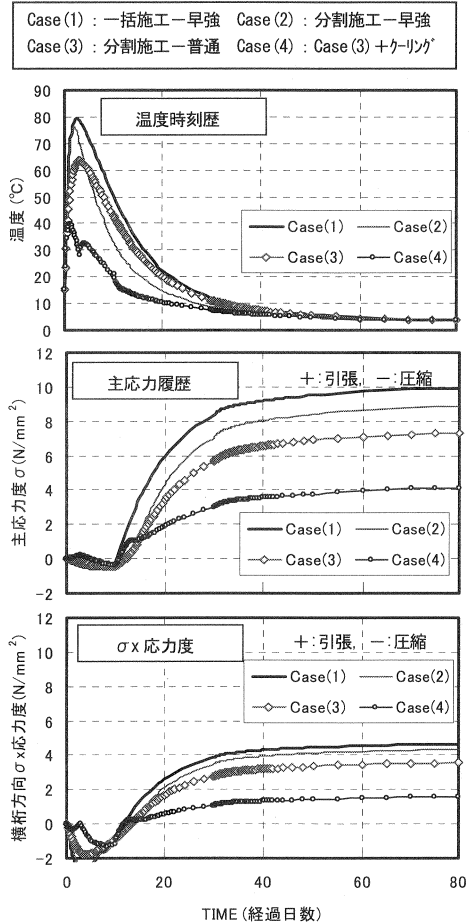


図-4 温度, 主応力度, 橋軸直角方向  $\sigma_x$  応力度の履歴グラフ

### 3. 2 ひび割れ対策

ひび割れ対策の数量, 概要図を表-4 および, 図-6 に示す。ひび割れの抑制を確実にするため, Case(3)の横桁方向  $\sigma_x$  応力度に対して鋼材を配置し, 実橋ではクーリングを行うこととした。コンクリートの引張強度 (2.5N/mm<sup>2</sup>) で負担できない引張応力分を, 鉄筋およびP C鋼材のプレストレスで補う。引張応力は, 分割施工の影響を考慮するため, 別途FEM解析から算出した応力 (乾燥収縮ひずみを与え偶各部に発生する引張応力) を温度解析によるものと合成し算出した。結果, 横桁部の無垢断面にD22 鉄筋とP C鋼材 (1S15.2 × 11 本) を配置した。

表-4 ひび割れ対策 数量

項目	単位	数量
補強鉄筋(D22)	tf	6.9
横締めPC鋼材 12S15.2	tf	11.5
パイプクーリング	m	1307

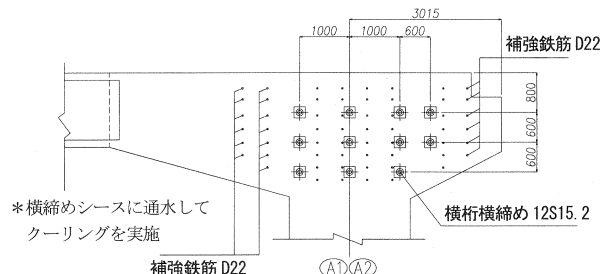


図-6 ひび割れ対策 概要図

#### 4. 現場計測

実橋施工におけるコンクリートの発熱温度およびひずみを計測し、ひび割れ発生がないか、また、対策の効果を確認するため、熱伝対、ひずみ計を設置した。断面方向の設置概要図を図-7に示す。熱伝対は、施工ステップ [1], [2] の各々の範囲に 2m 間隔で 3 列配置し合計 18 箇所、ひずみ計は各 1 箇所合計 2 箇所設置した。計測は、横桁延長の長い A2 側とし打設後 2 ヶ月間継続的に行った。温度履歴の計測結果およびコンクリートのひずみ計測結果を図-8、図-9 に示す。

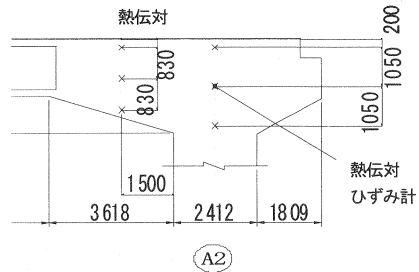


図-7 横桁部計測位置図

##### 1) 温度履歴

温度の計測は、部材の上側、中心部、下側による特性は顕著に現れたが、横桁延長方向 (2m 間隔) には、ほとんど相違が確認できなかった。また、横桁内部の温度が解析結果から得られている温度よりも上昇することが確認された。Case (3) の解析結果の温度ピークが 63℃であることから、それよりも 10℃程度高い温度となる。クーリングの効果は装置の容量不足から、解析結果ほど大幅に横桁温度を低減できなかった。しかしながら、ステップ [1] 施工の際、打設後 2 日を経過しても熱湯水が排出され効果が顕著でなかったため、ステップ [2] 施工では、冷却装置 (クーリングタワー) を設置した。その影響が若干ではあるが、ステップ [1] よりもステップ [2] で温度のピーク値を下げている要因となっていると考えられる。

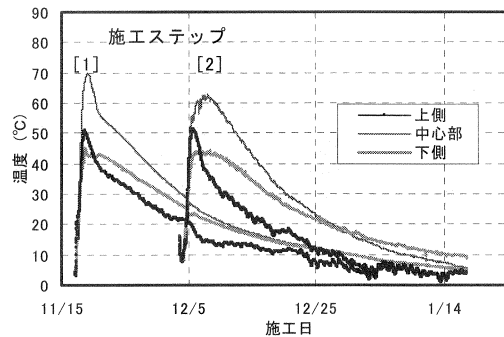


図-8 温度履歴測定結果

##### 2) コンクリートのひずみ

コンクリートひずみ計測結果は、コンクリートの温度変化に伴う体積変化を示している。いずれも、打設後 3 週間程度で横桁中心部の引張域のひずみが圧縮域に移行している。プレストレスによる圧縮力が横桁に伝わり、ひずみが増加しているのが確認できる。また、その間、施工継ぎ目付近にクラックは確認されていない。

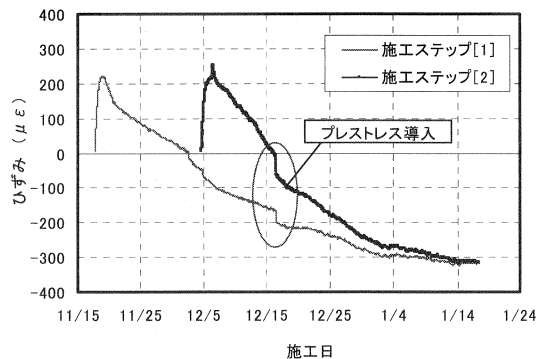


図-9 横桁中心部のひずみ計測結果

#### 5. まとめ

本橋の場合、横桁部を一括に施工すると横桁中心部には主応力最大で 10N/mm<sup>2</sup> を超える応力が発生することが事前検討で確認された。クーリングの効果は、小型で簡易的な装置であったため顕著ではなかったが、冷却装置、容量を適切に用いれば効果的な温度抑制策である。今回、横桁部の分割施工、コンクリートの配合、鋼材の配置等の工夫によりひび割れの発生を抑制でき、有効な対策方法であったと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 本間, 中村, 長谷, 上原ら: 長支間場所打ち PC 床版の設計と施工, 橋梁と基礎, 2002. 9
- 2) 土木学会 : コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] 2002.