

生野大橋における張出し架設を模擬した3次元FEM解析による温度応力解析

西日本高速道路(株)	正会員	○芦塚憲一郎
西日本高速道路(株)		前原 直樹
大成建設(株)	正会員 博(工)	細谷 学
大成・ピーエス三菱JV	正会員 工修	大熊 光

1. はじめに

本橋は、橋長606mのPRC7径間連続波形鋼板ウェブエクストラードロード橋であり(図-1)。図-2に示すように上下線一体断面の広幅員構造である(全幅員は暫定形:25.150m,完成形:35.400m)。起点側(A1~P4)はコンクリートウェブ(以下,Conウェブ)の2室箱桁構造,終点側(P4~A2)は波形鋼板ウェブ(以下,波板ウェブ)の3室箱桁構造となっており,P1,P5およびP6の各柱頭部から,移動作業車による張出し架設を行う。張出し架設を行う場合,乾燥収縮や水和熱低下による収縮が新旧コンクリートの材齢差によって拘束されることにより,各ブロック(以下,BL)の打継目にはこれに沿った方向に,張出床版先端部には橋軸方向に引張応力が発生することが知られている。とくに本橋のような広幅員の場合,その影響が大きくなることが懸念される。そこで,詳細設計では暫定形を対象として,張出し架設を模擬した3次元FEM解析による温度応力解析を行い,主桁に発生する引張応力を把握し,ひび割れ対策を検討することとした。本橋は2つの異なる主桁構造を有しているため,Conウェブ構造(P1からの張出し区間)と波板ウェブ構造(P6からの張出し区間)の両者について検討した。

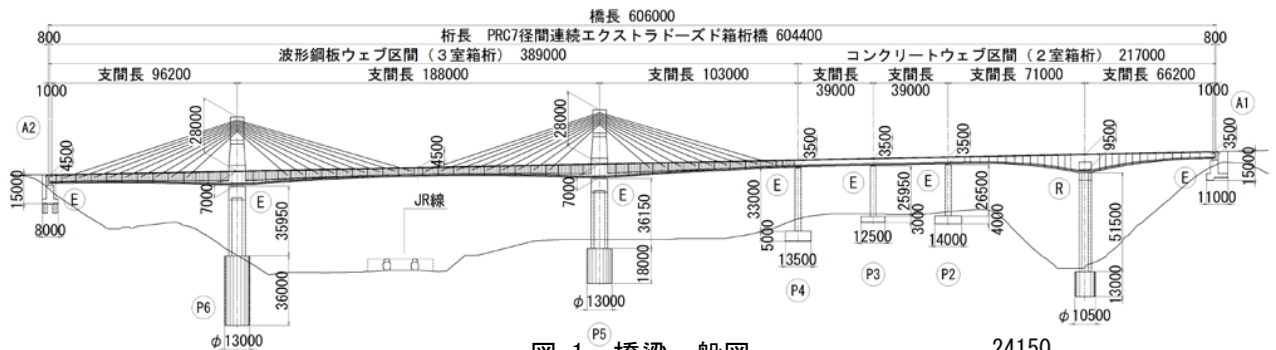


図-1 橋梁一般図

2. 解析概要

2.1 Conウェブ構造(P1からの張出し区間)の検討

図-3に解析モデルを示す。P1は剛結構造のため既設の脚頭部を含めた柱頭部から閉合BLまでを,橋軸および橋軸直角方向の対称性を考慮して1/4モデルとした。表-1にコンクリートの配合を示す。コンクリートの物性値は,熱伝達率:2.7W/m°C,比熱:1.15KJ/kg°C,ポアソン比:0.2,熱膨張係数:10μ/°Cである。事前の検討により,柱頭部や張出し架設部には,普通セメント,低熱セメント,膨張材,収縮低減材などを採用している。表-2に,各BLの打設日,外気温,打設温度を示す。外

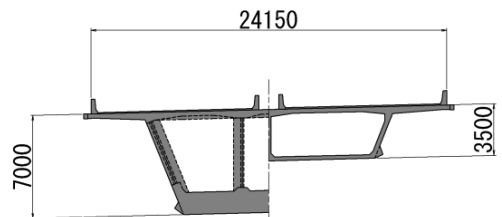


図-2 主桁断面構造【暫定形】
(左:波板ウェブ,右:Conウェブ)

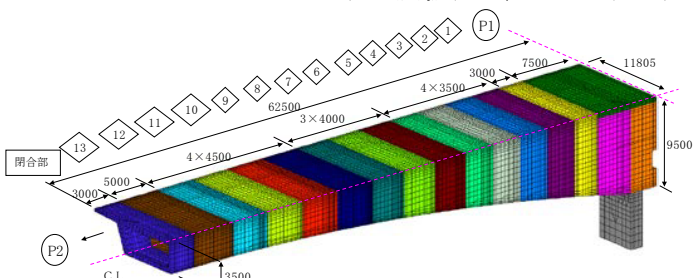


図-3 Conウェブ構造の解析モデル

気温は兵庫県三田の2011～2013年の旬平均気温 (気象庁ホームページデータ) を参考とし、コンクリートの打設温度はこれに+5℃とした。コンクリート強度と有効ヤング係数は「2012年制定のコンクリート標準示方書 (土木学会)」, 断熱温度上昇特性, 自己収縮ひずみと膨張ひずみは「マスコンクリートのひび割れ制御指針2008 (日本コンクリート工学協会)」, 乾燥収縮ひずみは「2007年制定コンクリート標準示方書 (土木学会)」に準拠して設定した。収縮低減材による効果は, メーカーのカタログより収縮低減が通常より10%改善されると判断し, 最終的な乾燥収縮ひずみの値に0.9を乗じることで評価した。熱伝達境界は, 施工段階ごとに実施工で使用する型枠および養生方法に応じて設定した。

2.2 波板ウェブ構造 (P6からの張出し区間) の検討

図-4に解析モデルを示す。P5およびP6は二線支承構造であり, 張出し架設時は仮支承は設けず本設の支承を用いて仮固定を行う。そのため柱頭部から閉合BLまでを, 橋軸および橋軸直角方向の対称性を考慮して1/4モデルとした。表-3にコンクリートの配合, 表-4に各BLの打設日, 外気温, 打設温度を示す。そのほかの解析条件は, Conウェブ構造の場合と同様に設定した。波形鋼板の物性値は, 熱伝達率:67.5W/m²℃, 比熱:0.46KJ/kg℃, ポアソン比:0.3, 熱膨張係数:10μ/°Cとした。

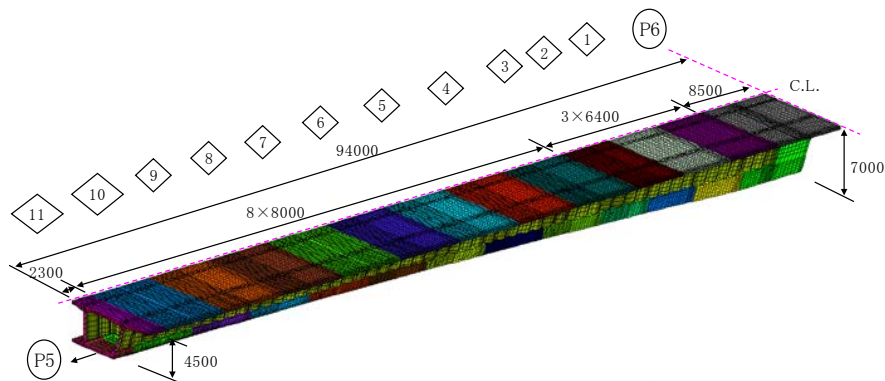


図-4 波板ウェブ構造の解析モデル

表-3 コンクリートの配合 (波板ウェブ構造)

打設位置	柱頭部			張出施工部		
	上床版	裏打ちコン	下床版+横桁	1-4BL, 閉合部	5~11BL上床版	5~11BL下床版
セメント種	普通+膨張材	普通	低熱	早強+膨張材	早強+収縮低減	早強
設計基準強度 (N/mm ²)	50	50	50	50	50	50
単位セメント量 (kg/m ³)	359	359	347	378	378	378
単位水量 (kg/m ³)	165	165	163	170	170	170
膨張材 (kg/m ³)	20	-	-	20	-	-

表-4 打設時コンクリート温度 (波板ウェブ構造)

	日数	打設日	外気温	打設温度
柱頭部	0	2015/4/20	11.3℃	16.3℃
1BL	130	2015/8/28	26.3℃	31.3℃
2BL	160	2015/9/27	20.0℃	25.0℃
3BL	190	2015/10/27	14.8℃	19.8℃
4BL+裏打コン	220	2015/11/26	7.2℃	12.2℃
5BL	250	2015/12/26	2.4℃	7.4℃
6BL	280	2016/1/25	1.3℃	6.3℃
7BL	310	2016/2/24	4.8℃	9.8℃
8BL	340	2016/3/25	6.5℃	11.5℃
9BL	370	2016/4/24	11.3℃	16.3℃
10BL	400	2016/5/24	17.1℃	22.1℃
11BL	430	2016/6/23	22.2℃	27.2℃
閉合部	480	2016/8/12	27.2℃	32.2℃
解析終了	844	2017/8/11	27.2℃	-

3. 解析結果

3.1 Conウェブ構造 (P1からの張出し区間) の検討

図-5に経験最大主応力の分布を示す。張出床版先端には橋軸方向に, 各BLの打継目にはこれに沿った方向に引張応力が生じる。とくに張出床版先端の橋軸方向に大きな引張応力が発生しており, 柱頭部先端では7N/mm²程度となる。これに対して打継目に発生する引張応力は, 1BLの上床版では4.5N/mm²程度であるが, それ以外は最大でも3N/mm²程度と比較的小さい。図-6に経験最小ひび割れ指数 (Icr) の分布を示す。Icrが1.0を下

回る範囲のみ着色しており、この部分にはひび割れ対策として補強鉄筋を配置する。張出床版先端は柱頭部から10BLまでが補強範囲となり、中でも柱頭部先端の I_{cr} は0.54と低い。打継目は柱頭部と1BLの上床版が補強範囲となり、 I_{cr} の最小値は0.74である。

3.2 波板ウェブ構造 (P6からの張出し区間) の検討

図-7に経験最大主応力の分布を示す。Conウェブ構造と同様に、張出床版先端には橋軸方向に、打継目にはこれに沿った方向に引張応力が生じる。張出床版先端は7~9BLで $5N/mm^2$ を超える橋軸方向の引張応力が生じる。打継目は1BLと6BL~閉合BLの上下床版に $5N/mm^2$ を超える橋軸直角方向の引張応力が発生し、中でも7~11BLの引張応力度は $6N/mm^2$ を超えている。図-8に I_{cr} の分布を示す。張出床版先端の I_{cr} は、5~10BLの先端で0.74~0.88である。打継目では柱頭部と1BL間の上床版、6BL~閉合BLの上下床版が補強範囲となり、 I_{cr} の最小値は0.62 (上床版), 0.54 (下床版) である。

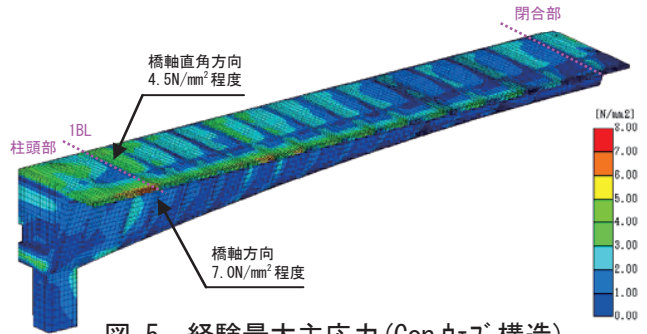


図-5 経験最大主応力 (Conウェブ構造)

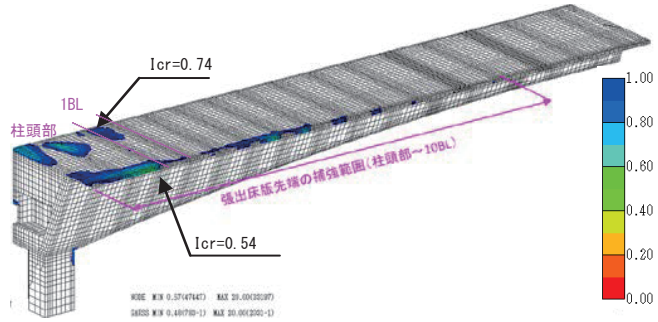


図-6 経験最小ひび割れ指数 (Conウェブ構造)

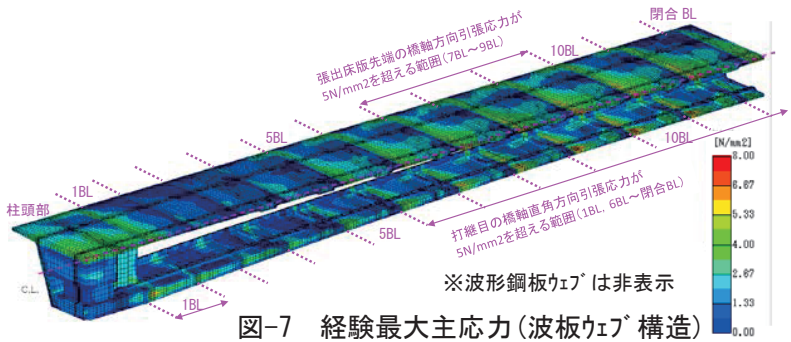


図-7 経験最大主応力 (波板ウェブ構造)

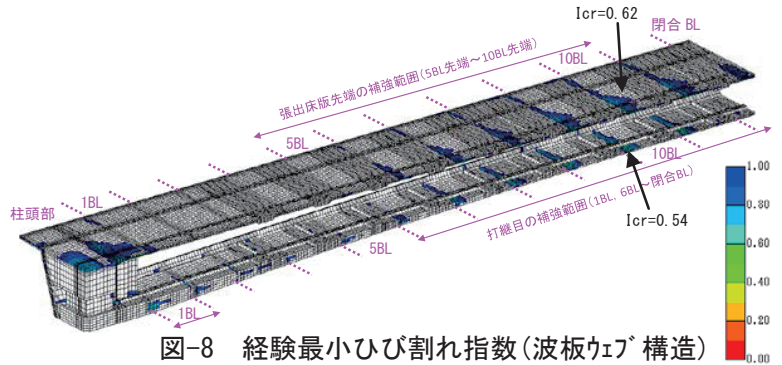


図-8 経験最小ひび割れ指数 (波板ウェブ構造)

4. 主桁構造による違い

今回の検討では、張出し架設に伴って生じる引張応力は、Conウェブ構造の場合は張出床版先端の橋軸方向応力が、波板ウェブ構造の場合は打継目に沿った応力が卓越している。これは、波板ウェブ構造の場合はアコーディオン効果によりConウェブ構造に比べて橋軸方向の拘束が小さい

こと、本橋ではConウェブ構造は3ウェブ、波板ウェブ構造は4ウェブであり、後者の方が橋軸直角方向の拘束が大きいことが要因と考えられる。また、張出床版先端の橋軸方向引張応力に対する I_{cr} が1.0を下回る範囲は、Conウェブ構造の場合は各BLのほぼ全長におよぶが、波板ウェブ構造の場合は各BLの半分程度である。これは前者のBL長は4.0mであるのに対して、後者のBL長は8.0mと長いためであり、本橋の場合は、橋軸方向の引張応力に影響をおよぼす範囲は4.0m程度であると推定される。

5. 施工時期が温度応力解析に与える影響

前述の検討ののち、工程が2~3か月ずれる可能性が示唆されたため、再検討を実施したところ、ひ

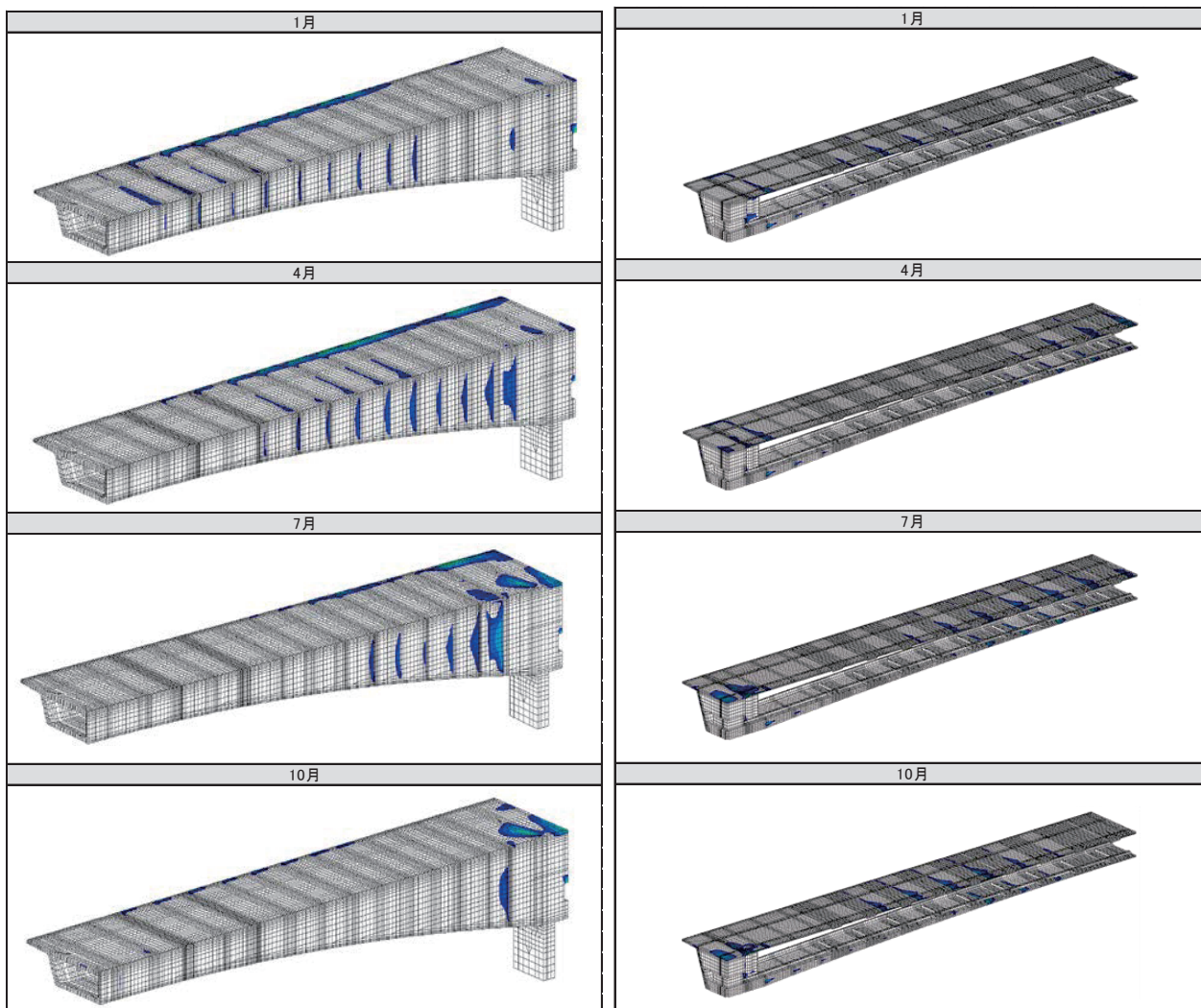


図-9 Conウェブ構造の場合の Icr の分布

図-10 波板ウェブ構造の場合の Icr の分布

び割れ対策を施す範囲および補強鉄筋量の見直しが必要となった。つまり、想定した工程と実際とが異なると、結果として適切な対策が取れていない恐れがある。そこで施工時期が変わることによる影響を把握するため、施工時期を1か月ずつずらした12ケース（12か月分）の解析を行った。コンクリートの打設日は、前述の表-2と表-4を1月ずつずらして設定した。なお、図-10に示した波板ウェブ構造の場合のIcrの分布は、改めて補強鉄筋を検討して、表-3に示すコンクリートの配合に、5～8BLの下床版に膨張材を追加して解析した結果である。図-9にConウェブ構造の場合、図-10に波板ウェブ構造の場合について、12ケースのうち施工開始が1月、4月、7月、10月の4ケースのIcrの分布を示す。これより施工時期によってIcrが1.0を下回る範囲が異なることが分かる。よって、温度応力解析では適切に工程を設定することが重要である。本橋の検討時点では、2～3か月程度の工程変更の可能性があったため、12ケースの結果から、各BLで安全側の評価となるケースを選定してひび割れ対策を検討した。

6. まとめ

本検討においては、2室箱桁のConウェブ構造では張出床版先端の橋軸方向に、3室箱桁の波板ウェブ構造では打継目に沿った方向に引張応力が卓越して発生する。施工時期の設定によってひび割れ対策の範囲が大きく異なる可能性があり、温度応力解析では適切に工程を設定することが重要である。