長大エクストラドーズド橋の大断面柱頭部における温度ひび割れ対策について

大成建設(株)　正会員　○金田貴洋,　正会員　細谷　学
西日本高速道路(株)　正会員　福田雅人,　黒川秀樹
大成建設・ピーエス三菱ＪＶ　正会員　利波宗典,　正会員　水谷正樹

１．はじめに

新名神高速道路生野大橋は，橋長 606 m の PRC7 径間連続波形鋼板ウェブエクストラドーズド橋であり，上下線一体の広幅員断面を有する．P5，P6 柱頭部の充実部は幅 16.8 m，高さ 7.0 m，厚さ 8.5 m の大断面のマスコンクリートであり，設計当初から温度ひび割れの発生が懸念された．そこで，温度ひび割れを抑制するために，種々の対策を行い，その効果を温度応力解析により確認した．本稿では，P5 柱頭部を例として述べることとする．

２．温度ひび割れ対策とその効果の確認

２．１　温度ひび割れ対策

具体的なひび割れ対策として，①水和発熱量を低減するための低熱ポルトランドセメントの使用，②打設したコンクリートの温度を低下させるためのエアクーリングの実施，③耐久性が特に求められる上床版には，打設後の急激な乾燥や温度低下を防ぐための養生期間の延長を施すこととした．

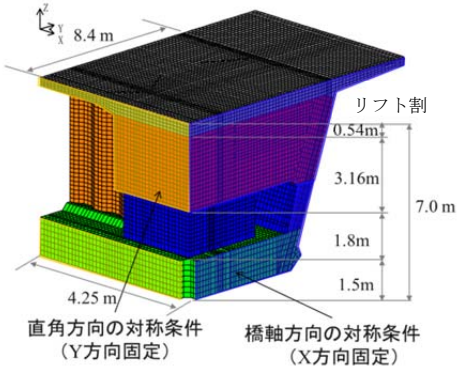


図-1　P5 柱頭部(1/4 モデル)

P5 柱頭部の形状および打設リフト割を図-1 に示す．リフト割は，現場での施工性を考慮して 1 リフトあたりの打設量，上床版のハンチおよびマンホール等を考慮して決定した．

表-1　コンクリートの配合

打設リフト	セメントの種類	強度の保証材齢(日)	コンクリートの強度(N/mm²)	配合			膨張材(kg/m³)
				単位セメント量(kg/m³)	単位水量(kg/m³)	水セメント比(%)	
1,2,3リフト	低熱	56	50	347	163	47	---
4リフト	普通+膨張材	56	50	359	165	46	20
裏打ちコン	普通	56	50	359	165	46	---

1～3 リフトには低熱ポルトランドセメントを用いた．また，4 リフトには，PC 鋼材の緊張作業工程から普通ポルトランドセメントとしたが，リフト高が 0.54 m と小さく既設リフトによる外部拘束の影響を大きく受けると考えられたため，膨張材 20 kg/m³ を添加することとした．また，強度の保証材齢を 56 日とすることで，単位セメント量が減り、温度ひび割れの発生リスクの低減を図っている(表-1)．エアクーリングは，図-2 に示すように多数配置されている外ケーブルの偏向管を利用して実施することとし，その期間は，打設開始からリフト中心部の温度が最高温度に達して低下し始めるまでの 7 日間とした．また，上床版の養生期間は，標準日数[1]に 7 日を加えることとした．

表-2　各リフトの打設時期と外気温

リフト名	打設量(m³)	施工開始2月		施工開始5月	
		打設時期	外気温(℃)	打設時期	外気温(℃)
1リフト	316.3	2015/2/1	2.93	2015/5/1	15.47
2リフト	141.5	2015/2/20	4.77	2015/5/20	18.70
3リフト	406.9	2015/3/20	6.83	2015/6/20	23.30
4リフト	190.8	2015/4/20	13.53	2015/7/20	26.27
裏打ちコン	99.1	2015/12/26	2.37	2016/3/26	6.83

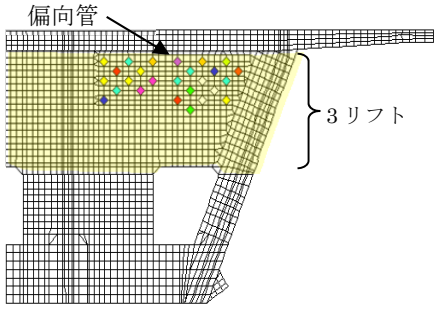


図-2　エアクーリングの実施位置

２．２　温度応力解析によるひび割れ対策の効果の確認

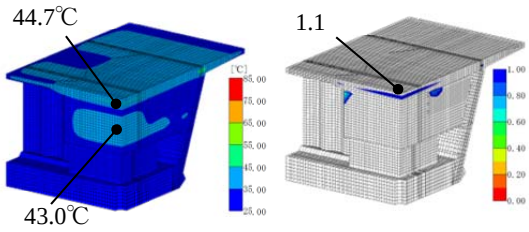
上記の対策の効果を確認するために，温度応力解析を実施した．解析モデルは，対称性を考慮して 1/4 モデルとした(図-1)．施工開始時期は現場工程に合わせて 2 月とし，外気温は，気象庁データをもとに架橋地点における過去 3 年間の旬ごとの平均気温を用い(表-2)，打込み温度は外気温にプラス 5 ℃とした．熱伝達境界は，施工段階ごとに，実施工の使用型枠および養生方法に応じて設定した．また，エアクーリングの熱伝達率は，マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008[2]を参考に，25 W/m²℃とした．

本橋では，コンクリート表面のひび割れ指数 I_{cr}(=引張強度/最大主引張応力)が，1.0 を下回る範囲についてはひび

キーワード　温度応力解析,マスコンクリート,温度ひび割れ,エアクーリング,エクストラドーズド橋,柱頭部
連絡先　〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1　大成建設(株)　土木技術部　ＴＥＬ03-5381-5297

割れ幅の照査を行い(許容ひび割れ幅として，桁内部で 0.005c，箱桁外部で 0.0035c[c：かぶり]と設定)，許容値を満足しない場合は補強鉄筋を追加することとした．

温度応力解析の結果として，温度分布図およびひび割れ指数分布図を図-3 に示す．ひび割れ指数分布図は，I_{cr} が 1.0 以上の範囲を，白く表示している．3 リフト中心および 4 リフト中心の温度はそれぞれ 43.0 ℃および 44.7 ℃，上床版表面の最大主応力は 3.34 N/mm^2，I_{cr} は 1.1 以上であった．これより，横桁の一部を除いてほとんど補強鉄筋は不要であり，温度ひび割れ対策の効果を確認できた．



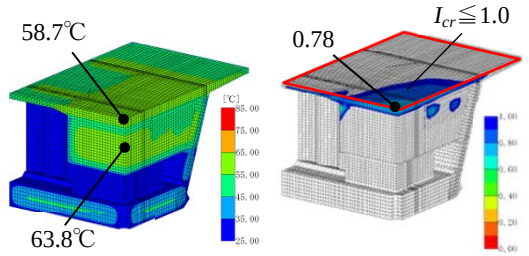
(a) 温度　　(b) Icr

図-3　コンター図
(打設時期 2 月，4 リフト高 540mm)

3．打設時期の変更に対する検討

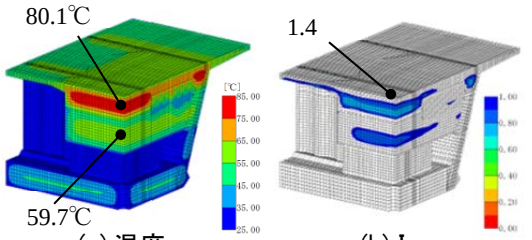
現場工程の見直しにより，コンクリート打設を 3 か月程度遅らせる可能性が生じたため，表-1 のように打設時期に合わせて外気温を変更して解析を見直した．

外気温の変更に伴い，1～4 リフト打設時の打込み温度も 15℃程度上昇するため，変更前と比べて，4 リフト中心の最高温度は 58.7 ℃と 14.0 ℃上昇し，上床版表面の最大主応力は 4.37 N/mm^2 と 1.03 N/mm^2 大きくなった(図-4)．また，上床版表面に I_{cr} が 1.0 以下となる範囲が現れた(最小値 0.78)．補強鉄筋を算出したところ，上床版直角方向に D29@150 と多量の補強が必要となった．この原因として，4 リフトが薄いため，4 リフト下面に作用する拘束応力が上面まで影響していることが考えられた．そこで，4 リフトの高さを見直すこととし，他の柱頭部の検討結果や，打ち継ぎ目と外ケーブルとの干渉を避ける位置を考慮して，1,425 mm とした．



(a) 温度　　(b) Icr

図-4　コンター図
(打設時期 5 月，4 リフト高 540mm)



(a) 温度　　(b) Icr

図-5　コンター図
(打設時期 5 月，4 リフト高 1,425mm)

4 リフトの打設量が増えたことにより 4 リフト中心の温度が 80.1℃と 21.4℃上昇している(図-5)．また，リフト高を変更する前後で 4 リフトの上下面に発生する橋軸直角方向の引張応力度の履歴(図-6)より，4 リフト下面に発生する引張応力度は大きくなったが，上面に発生する引張応力度は大幅に減少していることがわかる．これは，4 リフトが厚くなったことにより，下面に生じる拘束応力が上面に与える影響が小さくなった効果と考えられる．これにより，上床版上面の I_{cr} はすべて 1.0 を上回ることができ，上床版に補強鉄筋を追加する必要がなくなった．なお，横桁表面には一部 I_{cr} が 1.0 を下回る箇所があり，これに対しては適宜，補強鉄筋を追加することで対応している．

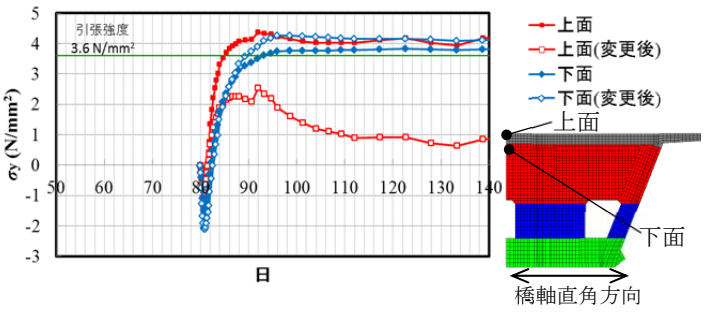


図-6　引張応力度の履歴(橋軸直角方向)

4．まとめ

大断面を有する柱頭部の温度ひび割れを抑制する対策について検討し，温度応力解析によりその効果を確認した．

(1) 低熱ポルトランドセメント，エアクーリング、養生期間の延長による対策を検討し，良好な効果が得られた．

(2) 最終のリフト高さ(4 リフト)が薄い場合，そのリフト下面に生じる拘束応力の影響をリフト上面が受けることがある．この場合には，ある程度リフト高を大きくすると，上面への拘束応力の影響を小さくすることができる．

参考文献

1) 公益社団法人 土木学会：コンクリート標準示方書[施工編]，2012 年制定

2) 社団法人 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008