

V-297

長大PC斜張橋主塔部における温度ひび割れ制御鉄筋の検討

北海道開発局帯広開発建設部 正会員 神山 繁
同 上 桜田昌之
北海道開発コンサルタント 正会員 井上雅弘
鹿島技術研究所 正会員 高田和法
十勝大橋上部その1工事JV 山村正人

1. はじめに

十勝大橋は橋長501m, 国内最大級の3径間連続PC斜張橋で, 独立一本柱の主塔寸法は高さ68m×橋軸方向8~4m×橋軸直角方向4.5mである。主塔のコンクリート打設は1ロット毎のコンクリート量等を勘案してリフト高2~4mで計画されたが, 設計基準強度500kgf/cm²の富配合が使用されることにより, 当然のことながら温度ひび割れの発生が懸念され, これに対してひび割れ制御鉄筋を配置する対策がとられた。一方, 耐震補強等の構造用鉄筋が別途多量に配置されることから, ひび割れ制御鉄筋を事前に検討した予定量付加するとコンクリート打設が実用上困難となる事態が生じた。ここでは, 計測や解析を通して, ひび割れ制御鉄筋の量を耐久性から許容できるひび割れ幅に納められる範囲で極力削減する方法を検討し, 実施した結果について報告する。

2. 検討の概要

コンクリートの配合は, 粗骨材最大寸法25mm, 普通ポルトランドセメント380kg/m³, 単位水量123kg/m³, 水セメント比32.4%で, 高性能AE減水剤の使用により単位水量を抑えている。

検討は, まず, 主塔下部のロットで打設後のコンクリート温度及び応力等の計測を行い, その結果を逆解析することによりひび割れ幅解析に必要な定数を求めた。次に, CP(コンペンセーション・プレーン)ひび割れ幅法を用いてひび割れ制御鉄筋の量とひび割れ幅の関係について解析を行い, ひび割れ制御鉄筋の配筋を選定した。

3. 施工時温度応力の計測

(1)計測項目

主塔下部の1ロット(第2-2ロット, 高さ2.9m×幅4.5m×奥行約7.6m)において, コンクリート温度, 橋軸方向の応力及びひずみ, 線膨張係数を算出するための無応力計ひずみの計測を行った。

(2)計測結果

温度及び応力計測結果の一例を図-1, 2に示す。図-2から, 計測対象ロットには上部ロット打設直後に大きな引張応力が発生することが確かめられた。

4. 逆解析による解析定数の同定

計測結果を逆解析することにより, 検討に必要な解析定数を求めた。逆解析は温度及び応力の両方について行った。温度解析には2次元有限要素法を, 応力解析にはコンペンセーション・プレーン(CP)法を用いた。温度解析では, コンクリートの断熱温度上昇量, 上昇速度及び表面熱伝達率を逆解析要因とし, コンクリートの比熱, 熱伝導率及び密度は, 土木学会「コンクリート標準示方書・施工編」に示される一般的な値を用いた¹⁾。応力解析では, クリーブを考慮した弾性係数の低減率と, 既設ロットによる拘束係数を逆解析要因とし, コンクリートの積算温度から圧縮強度を推定する式には実験式を, 圧縮強度から引張強度及び弾性係数を推定する式には土木学会「コンクリート標準示方書・施工編」に示される式を用いた¹⁾。

解析の結果, 表-1~3に示す定数を用いれば, 解析結果は計測結果に良く合致することが分かった(図-1, 2参照)。

5. ひび割れ制御鉄筋量の検討

リフト高3mと4mの両ケースについて, ひび割れ制御鉄筋の量とひび割れ幅の

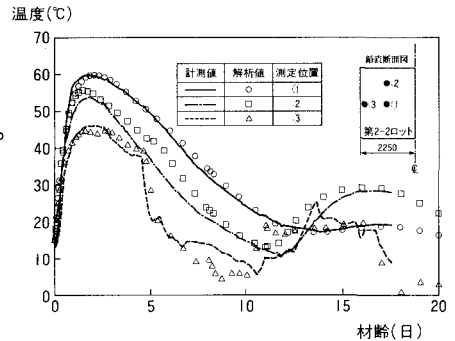


図-1 温度計測と逆解析の結果

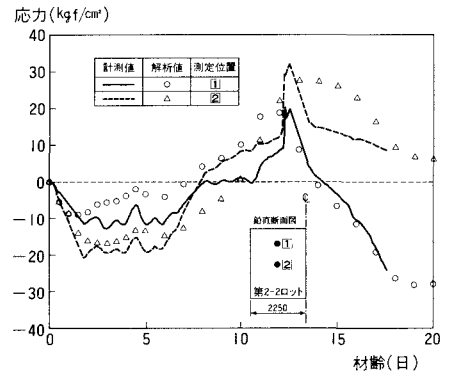


図-2 応力計測と逆解析の結果

表-1 コンクリートの熱定数

比熱 (kcal/kg・°C)	単位容積 重量 (kg/m ³)	熱伝導率 (kcal/m・hr・°C)	終局断熱温度 上昇量 (°C)	温度上昇 速度 (/日)
0.2	2300	2.0	51.5*	1.2*

*コンクリート打設温度15℃

表-2 表面熱伝達率

	表面熱伝達率 (kcal/m ² ・hr・°C)
打込み面	8.0
型枠面	7.0
管理用通路面	3.0

関係について検討した。ここでは、リフト高3mの結果について述べる。

検討対象は第7ロットである（図-3参照）。温度及び応力解析に用いた定数及び打設条件は表-1～4に示すとおりで、このうち、断熱温度上昇量及び上昇速度については、打ち込み温度による補正を行った²⁾。ひび割れ幅の計算にはCPひび割れ幅法を用い、応力解放領域1cには、実際に観測された最大ひび割れ間隔の1/2として60cmを³⁾、付着損失領域1sには委員会提案されている20cmを適用した³⁾。

解析ケースは鉄筋量を変化させた4ケースである（表-5参照）。解析にはひび割れ制御に寄与すると思われる水平方向スターラップも考慮した。

ひび割れ幅の計算結果を表-5に示す。

この結果、鉄筋量の低減に伴い、当然のことながらひび割れ幅は大きくなる傾向が認められたが、本検討ケースの範囲では大きな差がないことが分かった。第7ロットは当初設計通りの配筋で施工が行われたが、表-5に示した算定ひび割れ幅0.22mmに対し、打設から今日までに観測されたひび割れの幅は0.1mm以下である。したがって、本検討の範囲内でひび割れ制御鉄筋量を削減しても、耐久上の許容ひび割れ幅0.2mm⁴⁾を超えるひび割れが発生する可能性は小さいと評価された。さらに、応力解析結果は、ロットの上方1/2の範囲に比較的大きな引張応力が発生することを示しており、最も鉄筋量の少ないケースCではこの範囲を十分にカバーする配筋が施せないため、配筋案としてケースBが最も妥当であると判断された。

6. 実施工への適用と施工結果

以上の検討に基づき、第9ロット以降のひび割れ制御鉄筋には図-4に示すケースBの配筋が採用され、平成6年3月末現在で第16ロット（高さ約53m）までのコンクリート打設が終了した。ひび割れ調査は、解析前後を通じて定期的に行っているが、幅0.2mmを超えるひび割れは発生していない。

近年、施工時温度応力に対してひび割れの幅を鉄筋で制御する方法が試みられているが、温度応力を正面から推算すると今回の例のように構造物によってはひび割れ制御鉄筋量が構造筋以上になって、コンクリート打設が実用上困難となる場合も多いと思われる。本工事では実測ひび割れ幅は推定ひび割れ幅の5割以下程度であったように、構造物の形状等によっては解析が安全側に偏ることもあり、ひび割れ幅の推定に関する解析及び実例の両面からの技術の蓄積が待たれる。今後の同種工事の参考となれば幸いである。

最後に、本検討にあたり貴重なご助言を賜りました、北海道開発局開発土木研究所材料研究室・堺室長に感謝の意を表します。

〈参考文献〉

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書・平成3年版〔施工編〕，pp136～140
- 2) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひびわれ制御指針 1986, pp58～59
- 3) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートの温度応力研究委員会報告書「温度応力ひび割れ幅算定方法に関する提案」 1992.9, pp120～122
- 4) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひびわれ調査，補修・補強指針 1987, pp65

表-3 コンクリートの力学定数

圧縮強度の発現(kgf/cm ²) 積算温度M(t)hr℃との関係	$f'_c(t)=290.1 \times \log M(t) - 662$
引張強度の発現(kgf/cm ²)	$f_t(t)=1.4 \times (f'_c(t))^{0.5}$
弾性係数 (kgf/cm ²)	$E(t)=\phi \cdot 1.5 \times 10^4 \cdot (f'_c(t))^{0.5}$ 低減係数 ϕ =温度上昇時: 0.6 温度降下時: 0.8
線膨張係数 (1/℃)	10.5×10^{-6}
拘束係数	$R_N: 0.2 \quad R_{M1}: 0.4 \quad R_{M2}: 0.6$

表-4 解析に用いた打設条件

打設時期	第6ロット: 5月中旬 第7ロット: 6月中旬 第8ロット: 7月中旬
コンクリートの打込み温度	第6ロット: 12.7℃ 第7ロット: 16.5℃ 第8ロット: 20.4℃
外気温	5月: 10.7℃ 6月: 14.5℃ 7月: 18.4℃ 8月: 19.6℃
管理用通路内温度	外気温+1.0℃

表-5 ひび割れ幅計算結果

検討ケース				推定ひび割れ幅 (mm)
ケース名	水平間隔 (mm)	鉛直間隔 (mm)	段数	
原設計	250	250	8	0.22
A	250	250	6	0.24
B	300	300	6	0.24
C	300	300	4	0.26

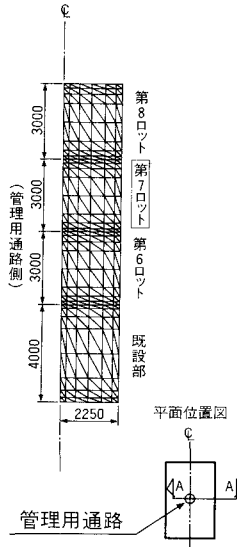


図-3 解析モデル

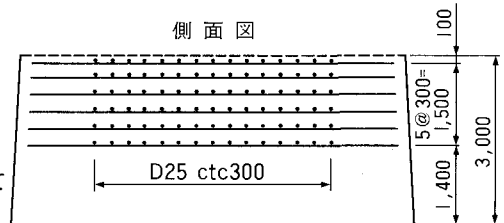


図-4 ひび割れ制御鉄筋の配筋