

中空床版橋の施工目地における温度解析

大阪支店 土木工事統括部技術部 杉浦 一毅

概要: 中空床版橋は、部材断面内に円筒型枠を配置し自重を軽減することで、桁高を抑えたスレンダーな景観を実現でき、施工実績が豊富である。また、コンクリートを場所打ちにて打設し、連続構造や連続ラーメン構造に採用されることが多い橋梁形式であり、多径間にわたる連続構造の場合、施工目地を設けて分割施工を行うこととなる。この施工目地付近に発生しやすい温度応力ひび割れに着目し、温度解析を基に応力発生の挙動および補強鉄筋によるひび割れ幅の抑制について検証する。

Key Words: 中空床版橋, 施工目地, 温度応力ひび割れ

1. はじめに

分割施工を行う中空床版橋では、施工目地付近にひび割れが発生する可能性が高い。ひび割れの発生には多種の要因が複雑に関係しているが、施工目地付近においては温度応力によるひび割れがその多くを占める。

本稿では、特に広幅員を有する中空床版橋を対象に行った温度解析と実施工における計測との比較結果を考察する。また、温度応力に対する事前対策としてはセメント種類の変更やパイプクーリングなどがあるが、ここではひび割れ幅の制御を目的とし、補強鉄筋の効果を検証した。

2. 温度解析

(1) 解析モデル

既設および新設コンクリートの拘束条件を実構造に近いモデルとするために、橋軸方向は2径間の構造寸法をモデル化し、橋軸直角方向は1/2モデルにて解析を行った。図-1に解析モデルと計測ポイントを示す。

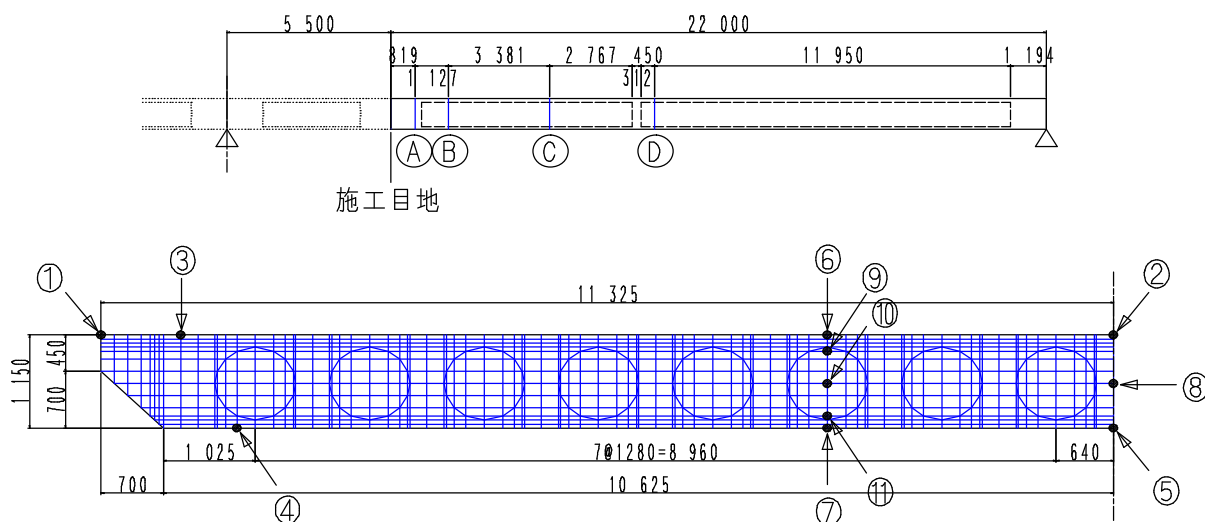


図-1 解析モデルと計測ポイント



杉浦 一毅

なお、計測ポイントは、以下の理由により決定した。

・ 断面内位置

〔解析結果より決定〕

最小ひび割れ指数・軸方向最大応力を示す

直角方向最大応力を示す

コンクリート表面の最高温度を示す

下面側の軸方向最大応力を示す

下面側の直角方向最大応力を示す

コンクリート内部の最高温度を示す

〔実施工のひび割れ発生状況(施工済み径間)より決定〕

ひび割れ発生の頻度が高い位置

に対する比較

発泡ボイド内部の温度調査(上縁)

発泡ボイド内部の温度調査(中心)

発泡ボイド内部の温度調査(下縁)

・ 側面位置

〔解析結果より決定〕

A ~ の解析値を示した位置

B 補強鉄筋を配置する位置

〔実施工のひび割れ発生状況(施工済み径間)より決定〕

C ひび割れ発生の頻度が高い位置

D 発泡ボイドの端部位置

(2) 解析条件

温度解析に用いた条件を以下に示す。

a) 環境条件

・ 外気温 : 平成 14 年の理科年表より月別平均気温を使用。

b) 材料条件

・ セメントの種類 : 早強ポルトランドセメント

・ 単位セメント量 : 400kg/m³

・ 比熱 : 1.30kJ/kg

・ 熱伝導率 : 2.7W/m

・ 線膨張係数 : 10 μ /

・ ポアソン比 : 0.1667

・ コンクリートの打設温度 : 外気温+5

・ 断熱温度上昇特性 : JSCE 温度補正

・ ヤング率 : JSCE 圧縮強度より

・ 圧縮強度 : JSCE 実験式

・ 引張強度 : JSCE 圧縮強度より

・ クリープ構成則 : 有効弾性係数法

c) 拘束条件(図-2 参照)

・ 橋軸方向 : 既設側の部材端を固定

・ 橋軸直角方向 : 構造中心を固定

・ 鉛直方向 : 実支承位置を固定

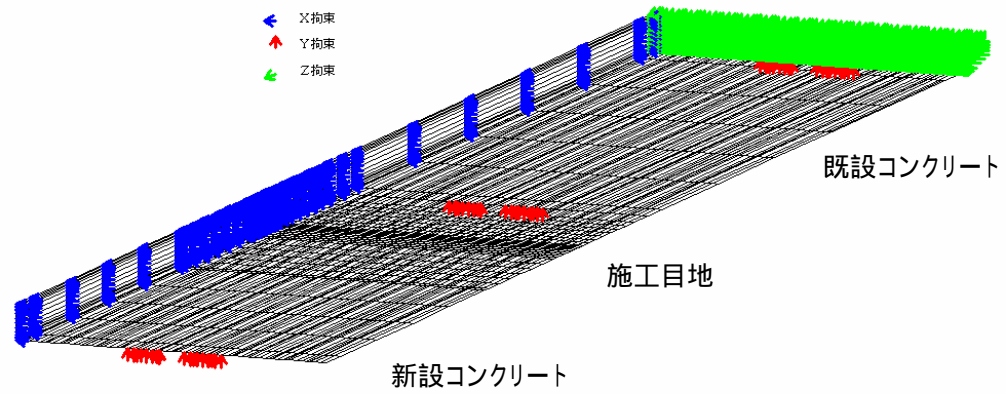


図-2 拘束条件

d)熱伝達境界条件(図-3 参照)

・ 熱伝達率

	外気 : 12W/mm^2
	養生マット : 5W/mm^2
	型枠 : 8W/mm^2 (5日脱枠)

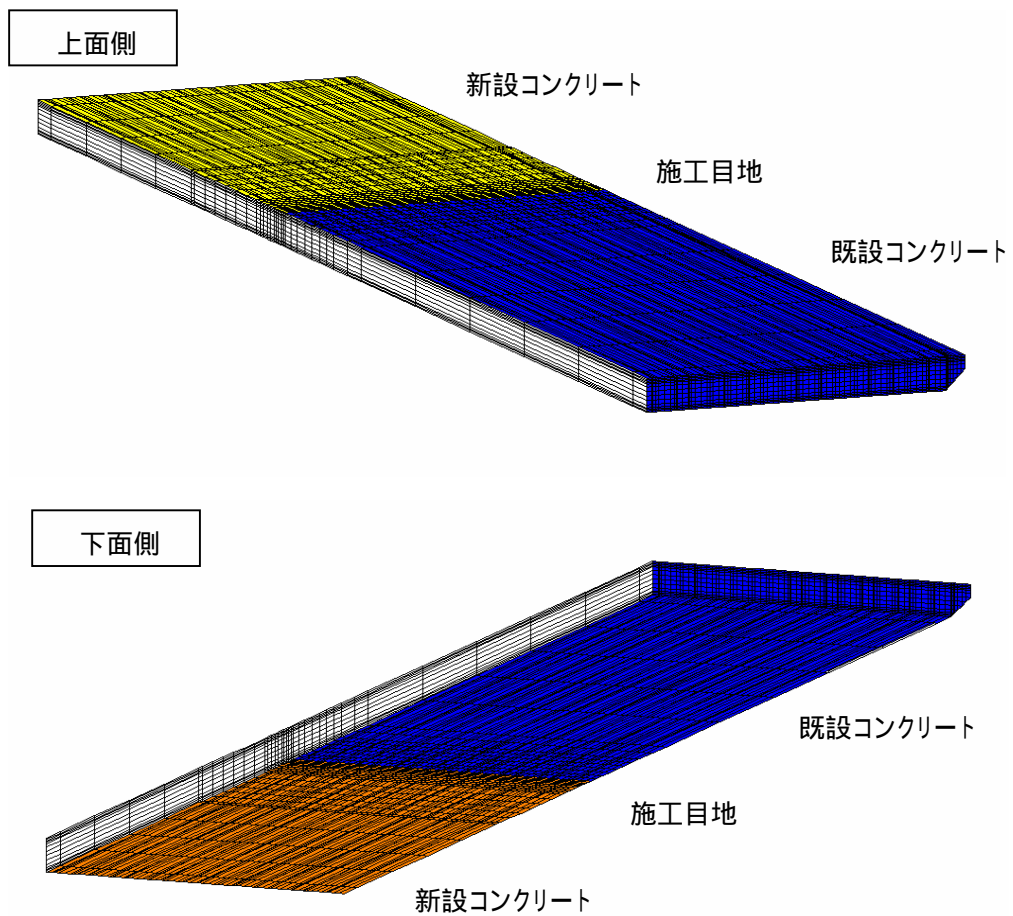


図-3 熱伝達境界条件

e) 施工条件

- ・ 新設コンクリート打設日：既設コンクリート打設より20日後

(3) 解析結果

図-4 から図-7に解析結果を示す。なお、応力値は圧縮をプラス、引張をマイナスとしてグラフ化している。

橋軸方向については、コンクリート温度の上昇が打設後1日にピークを迎え、引張応力のピークもほぼ一致している。このことから、コンクリートの内部拘束による応力が発生し、若材令のコンクリートの引張強度に対してひび割れが発生しやすくなると推察できる。そして、この引張応力は打設後4日程度で消滅する。

また、橋軸直角方向については、コンクリート温度がピークを越えて下降し始めると引張応力が増加する。これは、新設コンクリートの収縮を既設コンクリートが拘束する外部拘束による応力であり、発生以降、引張応力は残存する。

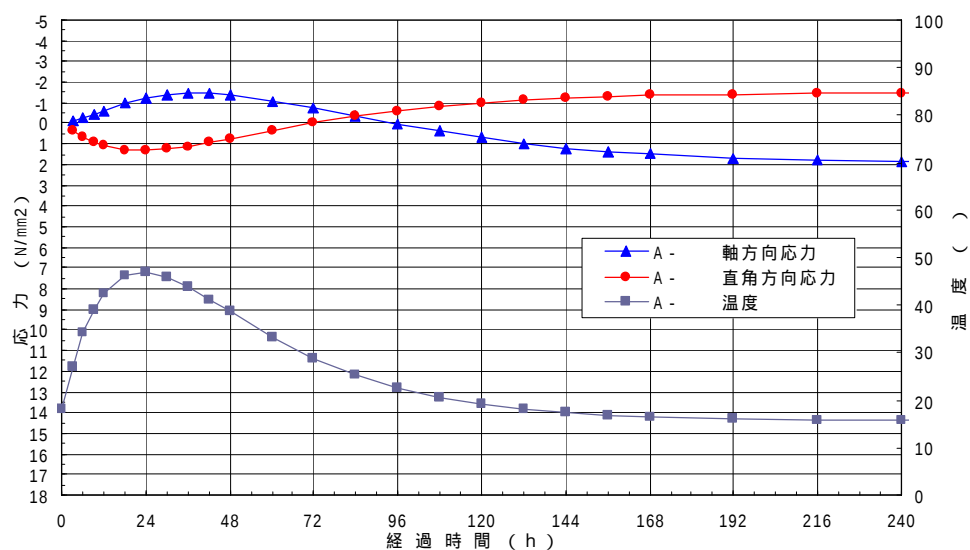


図-4 時刻歴図(応力, 温度)

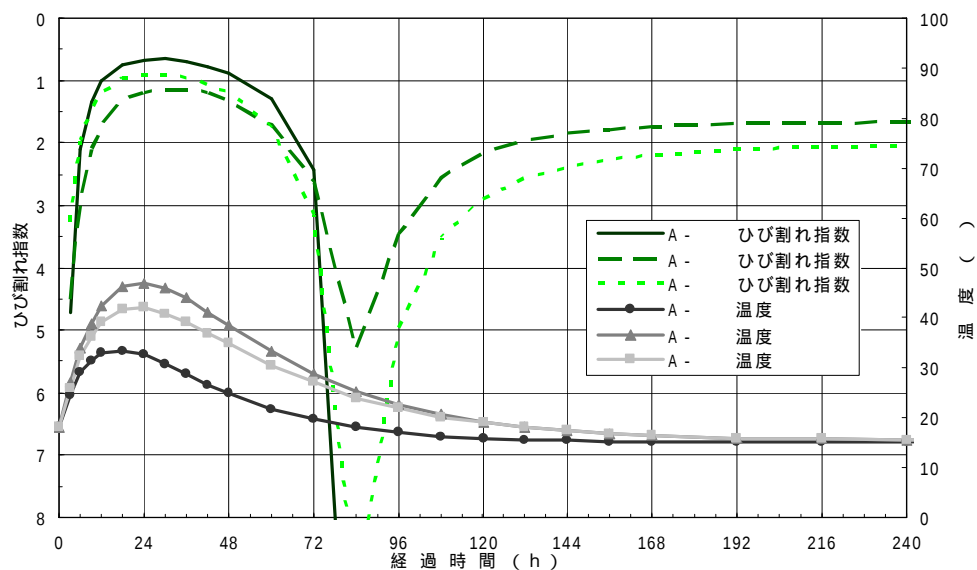


図-5 時刻歴図(ひび割れ指数, 温度)

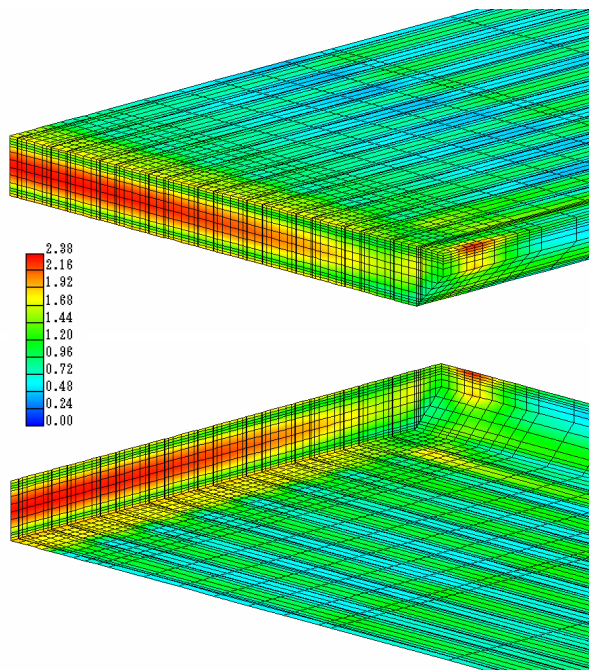


図-6 等高図(最大主応力:経験値)

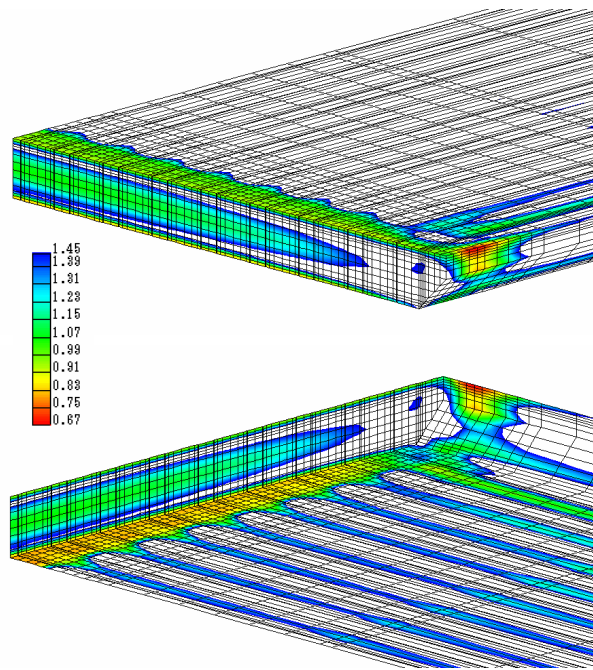


図-7 等高図(最小ひび割れ指数:経験値)

(4) 補強鉄筋の検討

ひび割れに対する評価は、コンクリートの引張強度と主引張応力の比より求まる温度ひび割れ指数を用い、補強鉄筋量を算出した。補強方針は、ひび割れ幅が補修を必要としない 0.2mm 以下におさまる事を目標とし、必要鉄筋量の算出にあたってはひび割れ幅を 0.1mm 以内に制御することとした。(参考文献-1)

補強鉄筋量は、図-8(参考文献-2, 3)より算出し、解析結果から得られたひび割れ指数より、断面に配置する補強鉄筋量は D16ctc100 とした。実施工において配置した補強鉄筋を図-9 に示す。

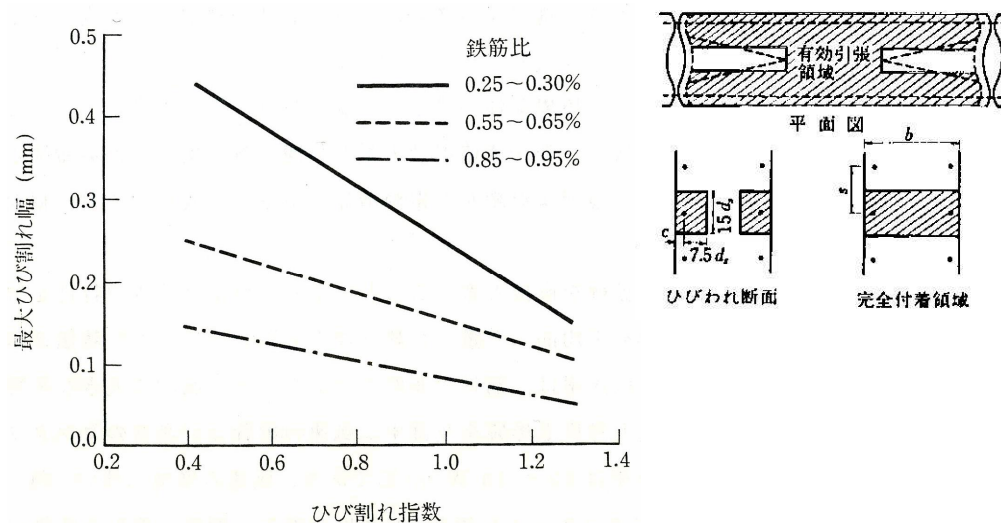


図-8 必要鉄筋量の算出

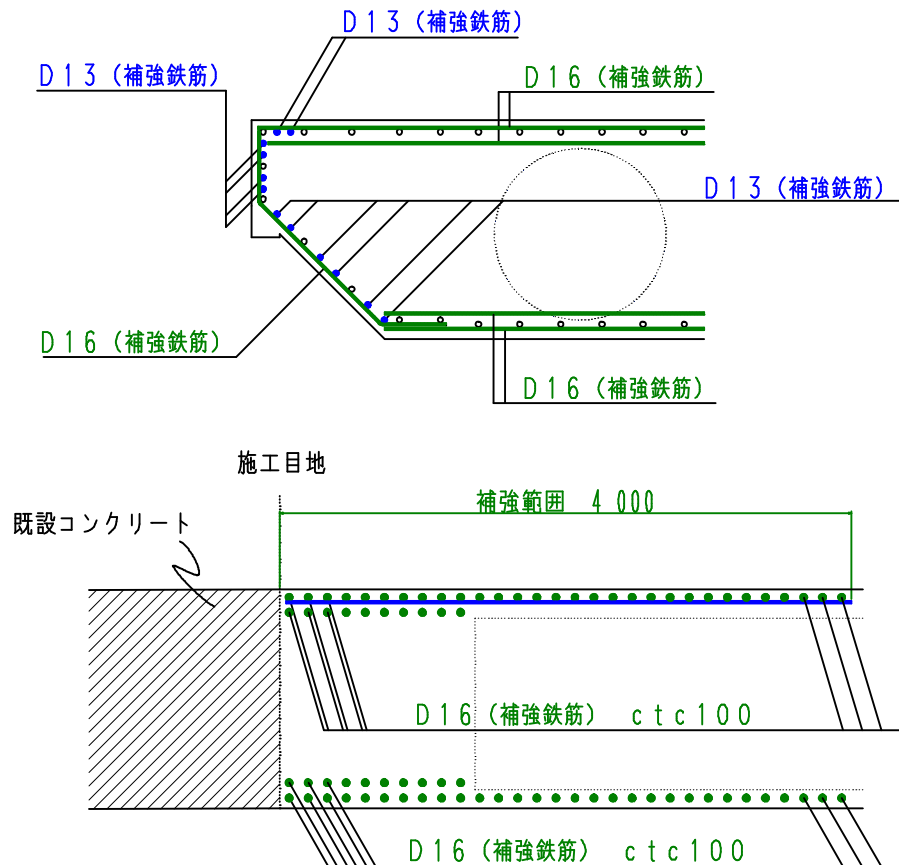


図-9 補強鉄筋の配置

3. 解析結果と実施工との比較

実施工の温度測定については、熱電対を用いて測定した。応力測定については、鉄筋計によりひずみを測定し、コンクリートのヤング係数を乗じることで算出した(写真-1)。なお、コンクリートのヤング係数は、静弾性係数試験により得られた結果を基に、ヤング係数の推定式(参考文献-2)を用いて算出した。測定結果を図-10に示す。



写真-1 計測器(鉄筋計)

(1) 温度

実施工と解析結果とでは、最大温度を示す時期はほぼ一致するものの、コンクリートの上面、下面および内部において実コンクリート温度が解析値を上回る結果となった。これは、解析値と比較して外気温が 10 程度高かったためである。

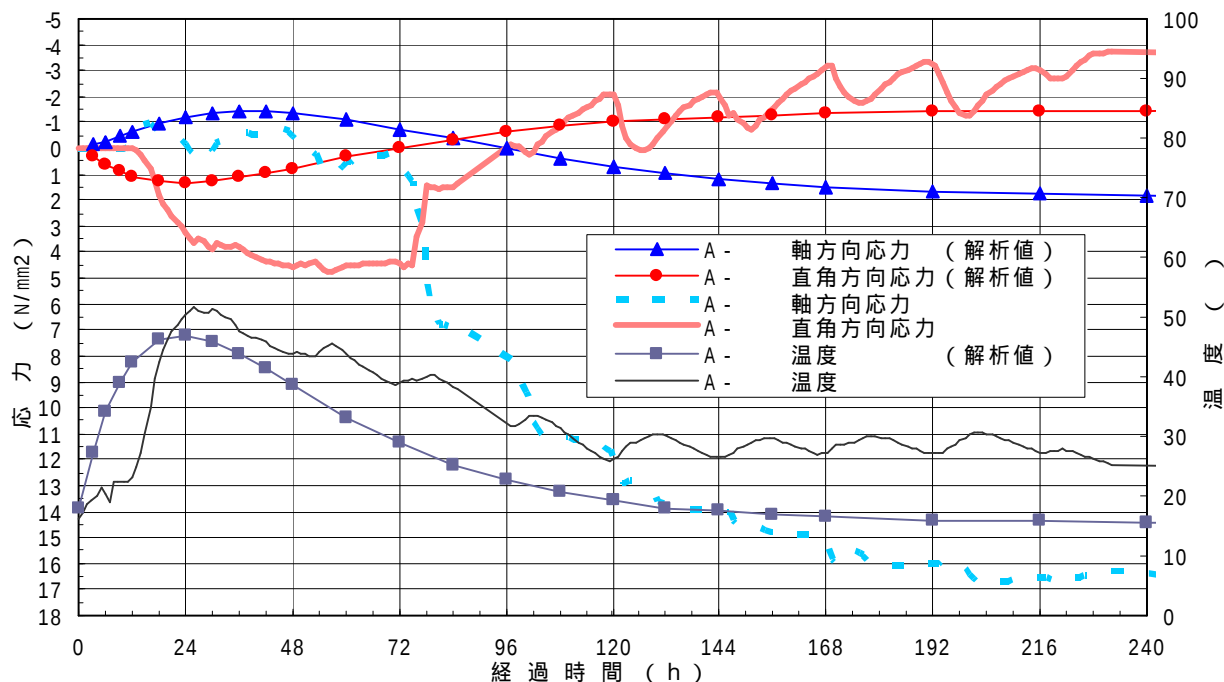


図-10 解析値と測定結果の比較(温度、応力)

(2) 応力

実施工での橋軸方向応力は、材令 1~2 日までコンクリート温度の上昇とともに引張応力が作用し、温度の下降に応じて圧縮応力が発生している。この傾向は、解析結果とほぼ一致している。材令 3 日(72h)から急激に圧縮力が作用しているのは、主ケーブルの緊張によるものであり、設計計算でのプレストレスによる導入直後のコンクリート応力度は 4.3N/mm^2 であるため、その圧縮力が導入されたと判断できる。

橋軸直角方向応力については、コンクリート温度の上昇とともに圧縮応力が作用し、温度が下降し始めると応力変化が緩やかになる。材令 3~4 日頃よりコンクリート温度と対応するように引張応力が発生している。初期の圧縮応力は解析結果値とは大きく違っているが、応力の変化傾向はほぼ解析通りである。また、橋軸方向とは逆に材令 3 日の主ケーブル緊張に伴って、ポアソン効果により急激に引張力が発生する。ただし、緊張による引張力は部材にひび割れを発生させるほどではなく、問題とはならない。

(3) ひび割れ発生状況

ひび割れの調査を材令 6 日に行った結果、下面には目視確認できるひび割れは発生していない。上面のひび割れの発生状況を図-11 に示す。

発生したひび割れは、補強鉄筋を配置した区間には少なく、幅も 0.05mm 未満の微細なひび割れ程度である。これより、解析を基に補強鉄筋を配置した効果が得られたと判断できる。

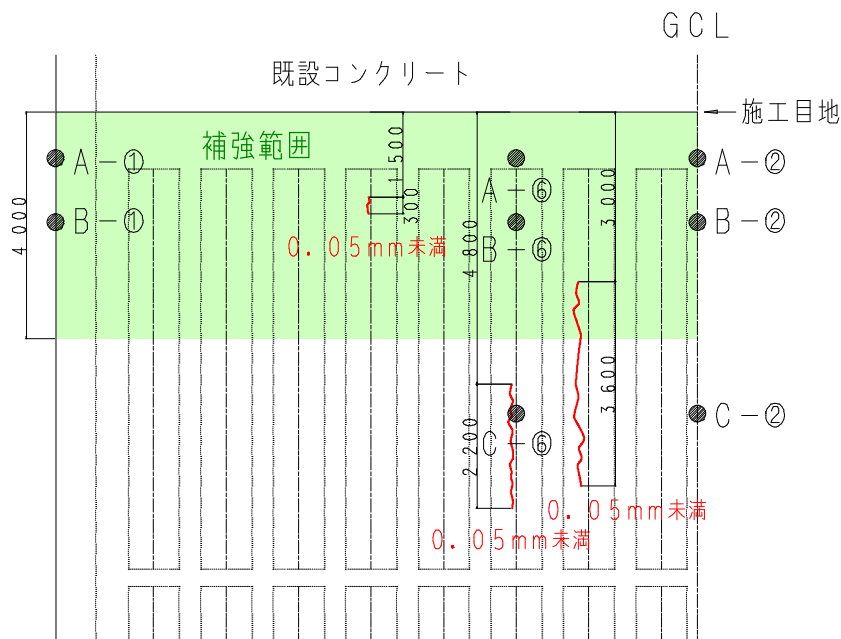


図-11 ひび割れ発生状況(上面)

しかし、補強範囲を超えて支間中央側に解析では予想できなかったひび割れが発生している。これについて、ひび割れの発生箇所が全て発泡スチロール製ボイド(以下発泡ボイド)の直上であることから、コンクリートと発泡ボイドの温度差によるひび割れと予想する。コンクリート温度および発泡ボイド温度を見てみると、発泡ボイド内部の温度は外周のコンクリートよりも高い温度を保持したまま緩やかに下降していくが、コンクリート温度は材令3日(72h)あたりから外気温の変化と呼応し始め、材令5日になるとほぼ外気と等しい温度変化を示す。そして、直角方向に引張応力が発生し始める時期は、材令3日である。このときには、主ケーブルの緊張による引張応力を確認できるが、それ以降については、発泡ボイド内部とコンクリートとの内外温度差による引張応力が発生している可能性がある。(図-12 参照)

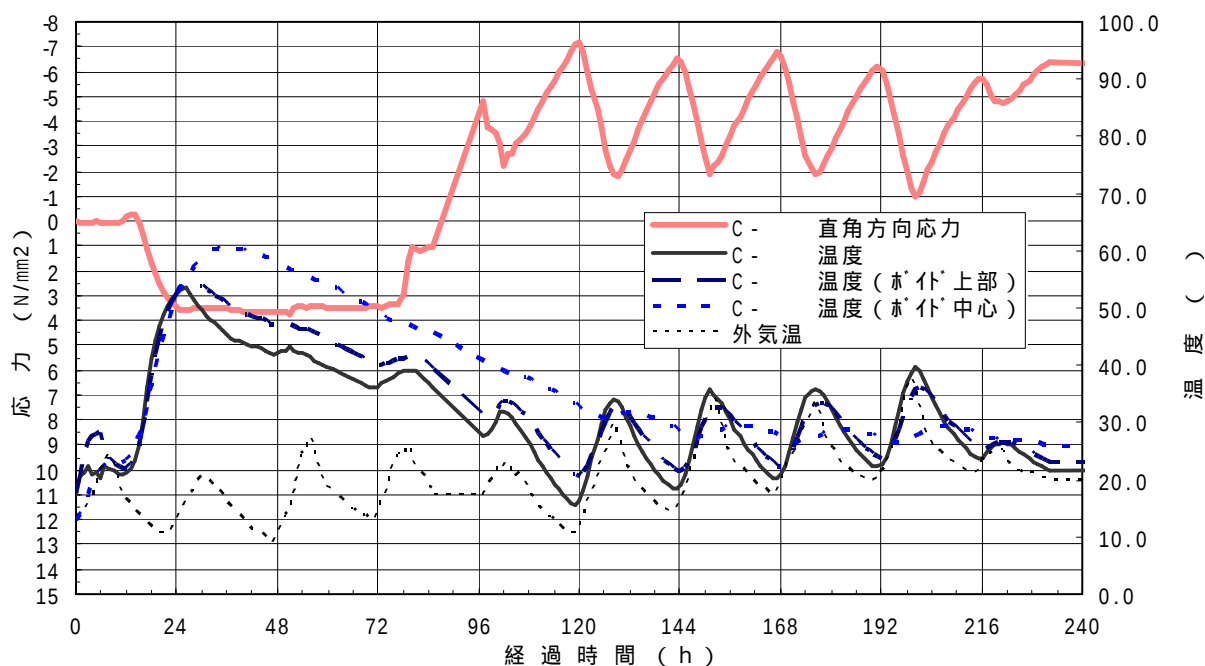


図-12 発泡ボイド温度と直角方向応力の挙動

4. まとめ

施工目地部の温度解析結果によると、コンクリート温度に応じて内部拘束による軸方向の引張応力と外部拘束による直角方向の引張応力が発生する。実施工による計測結果は鉄筋計によるひずみにコンクリートのヤング係数を乗じた値であるため、実際に発生したコンクリート応力とは言えず、また、主ケーブルの緊張による応力も作用することから解析結果とは相違点も見られるが、温度応力の発生する挙動についてはほぼ一致すると判断できる。

解析値によって算出した補強鉄筋については、実施工でのひび割れ発生状況を見ても、配置範囲にはほとんど発生していないことから効果があったと判断でき、算出方法も妥当であったと考えられる。

しかし、補強範囲を超えた箇所でのひび割れについては、温度解析では想定外であり、発生する原因は不明な点が多い。一つの理由として、発泡スチロール製のボイドとコンクリートとの内外温度差による引張応力を挙げたが、ひび割れが部分的にしか発生していない点などから、その他の要因が重なってひび割れ発生につながっていることと予想する。

広幅員を有する中空床版橋では、本稿で取り上げたひび割れが発生する可能性が高いことから、今後、さらにひび割れ発生メカニズムについて検証する必要がある。

謝辞

本稿に記載した温度解析モデルおよび実施工での計測については、大阪支店 大和川高架橋を対象に行ったため、工事作業所長をはじめ現場担当者の方々には多忙な業務の中、多大なご支援をいただきました。心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 社団法人 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針-2003-
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書〔施工編〕，2002 制定
- 3) 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