

上林川橋橋脚の温度応力解析

増永 寿彦^{※1}, 三浦 智一^{※2}, 高瀬 和男^{※3}, 橋 肇^{※4}

丹波綾部道路上林川橋は、鋼4径間連続非合成箱桁ラーメン橋梁である。中間橋脚となる、P1・P2橋脚は方杖とV脚構造となっており、橋脚躯体工のRC部についても施工範囲に含まれていた。橋脚躯体工のRC部はマスコンクリート構造物であり、セメントの水和熱による温度変化に伴って発生する温度応力の内部拘束によるひび割れが発生する可能性があるため、温度応力解析を行い、リフト分けによるひび割れ発生について検証を行った。温度応力解析結果とともに、この解析をもとにして行った現場施工について報告する。

キーワード：RC躯体工，温度応力解析，内部拘束

まえがき

丹波綾部道路は、京都縦貫自動車道（宮津市～久世郡久御山町）の一部で、近畿自動車道敦賀線や国道9号、国道27号を結ぶ道路であり、丹波ICから綾部JCTまでの自動車専用道路である。

上林川橋は、上林川を横断する地点に位置し、方杖とV脚構造からなる鋼4径間連続非合成箱桁ラーメン橋梁である。本工事では、中間橋脚となるP1・P2橋脚の橋脚躯体工RC部についても施工範囲に含まれていた。橋脚躯体工のRC部はマスコンクリート構造物であり、セメントの水和熱による温度変化に伴って発生する温度応力の内部拘束によりひび割れが生じる可能性がある。

本報告は、マスコンクリート構造物であるP1橋脚躯体工のRC部における、リフト分けによる温度応力解析結果とともに、この解析をもとにして行った現場施工について報告する。

1. 工事概要

本工事の工事概要と一般図を図1に示す。
 工事名：丹波綾部道路上林川橋上部工事
 工事箇所：京都府綾部市橋上町地先
 発注者名：国土交通省近畿地方整備局
 橋梁形式：鋼4径間連続ラーメン箱桁橋
 橋長：139.0m
 支間長：33.3m+51.5m+25.0m+27.8m

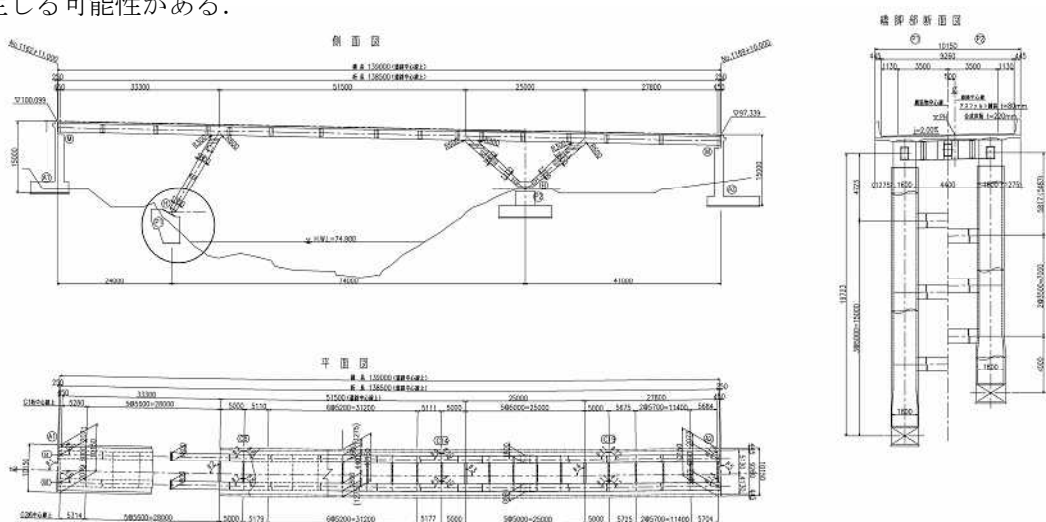


図1 一般図

- ※1 橋梁技術部設計課 修士（工学）
- ※2 橋梁工事部工事2課係長
- ※3 橋梁工事本部橋梁工事管理部長 博士（工学）
- ※4 橋梁技術部技術課長

2. 温度応力解析

(1) 解析目的

本橋のP1橋脚躯体工RC部の構造図を図2に示す。P1橋脚は幅5.0m・高さ6.5m・奥行き10.5mであり、コンクリートの断面が大きい。このようなマスコンクリート構造物の場合、コンクリートの硬化時の水和熱による温度変化に伴って発生する温度応力の内部拘束によるひび割れが生じる恐れがある。

そこで、橋脚躯体工RC部における温度応力の分布性状を把握し、温度応力によるひび割れに対するリフト割りの検討をする目的で、温度応力解析を実施した。

解析は、施工面から3回に分けて打設する場合(ケース1)とコンクリートの温度上昇を低減させるため、コンクリート体積が最も大きいリフトを再分割し打設する場合(ケース2)について比較する(図3参照)。

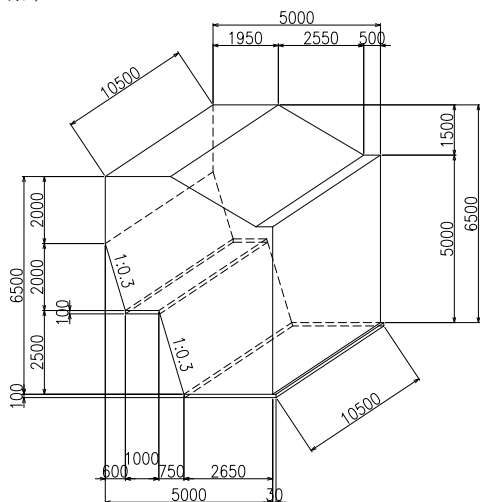


図2 P1橋脚躯体工構造図

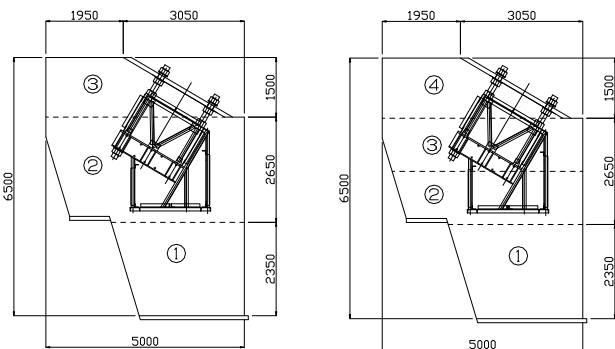


図3 P1橋脚躯体工打設計画図

(2) 解析手法

解析は、コンクリートの非線形温度応力解析プログラム「ASTEAMACS」を用いて行った。岩盤・橋脚コンクリート部を、3次元ソリッド要素にてモデル化した。岩盤は、周囲・深さとも10mまでモデル化し解析に考慮した。また、構造物の対称性を考慮し、橋軸直角方向に1/2でモデル化を行った。図4に解析モデル(ケース1)を示し、表1にコンクリートの基本配合条件を示す。

熱伝達境界条件は、施工状況に合わせてリフト上面は散水養生、側面は木製型枠とした。外気温は、夏場の施工のため、最高気温30度・最低気温15度と設定した。表2に外気温と熱伝達率を示す。

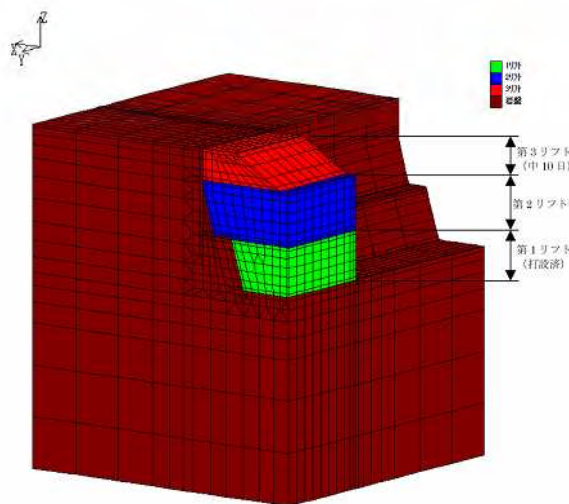


図4 温度応力解析モデル(ケース1)

表1 基本配合条件

コンクリート種類	設計基準強度 σ_{ck} (N/mm ²)	スランプ (cm)	粗骨材の最大寸法 (mm)	セメント種類
普通	24	8	20	高炉セメントB種

表2 外気温と熱伝達率

外気温 (°C)	熱伝達率 (W/m ² °C)		
	木製型枠	リフト上面 (散水)	岩盤面・露出面
15~30	8*	14	14

※木製型枠の熱伝達率はコンクリートの材齢7日まで8、7日以降は14とした。

(3) 解析結果

リフト分けによる2ケースの解析結果を図5~12に示す。図5・6の温度応力分布図、図7・8の応力履歴図より、2ケース共に、コンクリートの若材齢時にコンクリート表面に引張強度を越える引張

応力が発生し、材齢の経過とともに小さくなっていることが分かる。また、図7～10の応力履歴図、温度履歴図より、ケース1の場合、コンクリート表面の引張応力度が最大値を示した時間（打設後82時間後）の前後で、コンクリート内部の温度が最高温度（67.7℃）を示している。同様に、ケース2においても、最大引張応力度を示した時間（打設後65時間後）の前後でコンクリート内部の温度が最高温度（57.0℃）を示している。これは、構造物表面のコンクリートが硬化完了した後に、構造物内部のコンクリートの温度上昇に伴う体積膨張により、構造物表面に内部拘束による引張強度以上の引張応力が発生しP1橋脚コンクリートにひび割れが生じると予測される。

しかし、図11・12のひび割れ指数履歴図より、コンクリートの材齢の経過とともにひび割れ指数が1.0以上となっていることから、P1橋脚コンクリートには、コンクリート構造物の表面のみにひび割れが発生し、材齢の経過とともにひび割れ幅が小さくなっていくことが予測される。

①温度応力による比較

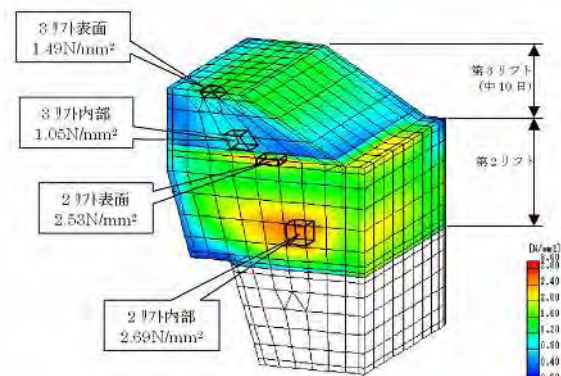


図5 温度応力分布図（ケース1）

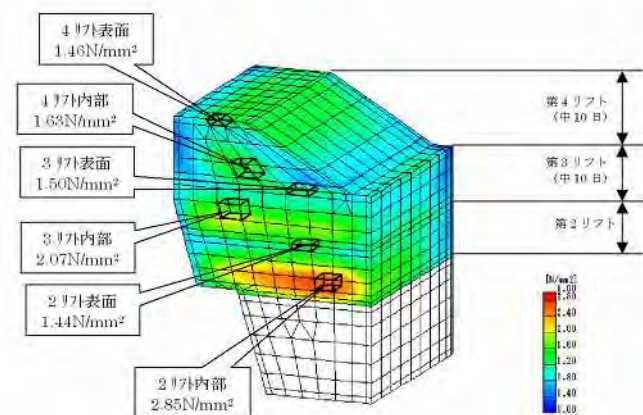


図6 温度応力分布図（ケース2）

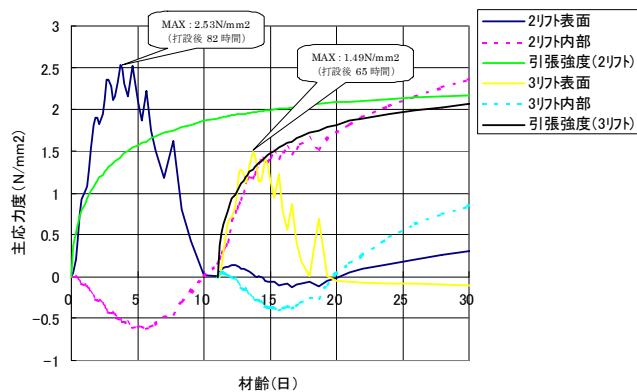


図7 応力履歴図（ケース1）

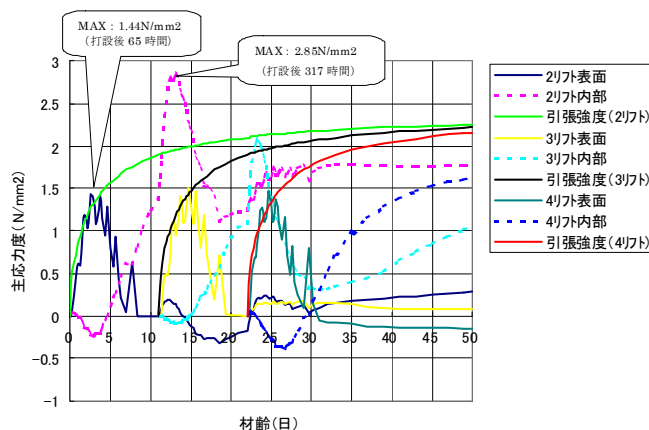


図8 応力履歴図（ケース2）

②最高温度の比較

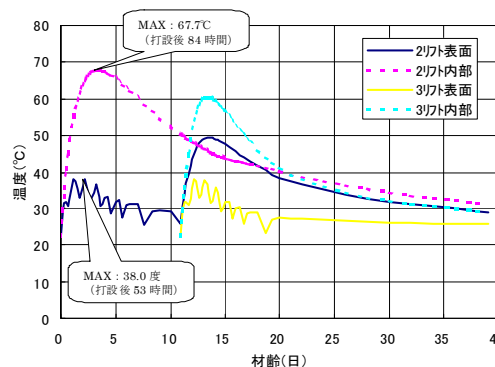


図9 温度履歴図（ケース1）

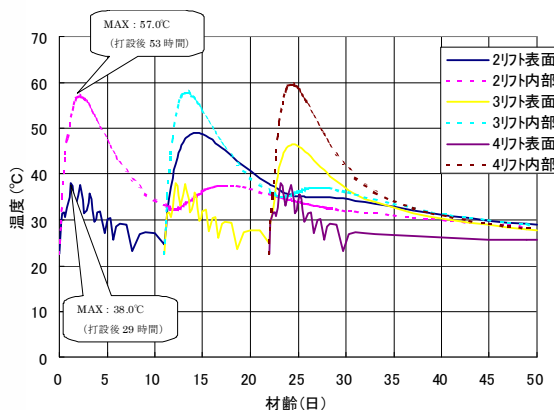


図10 温度履歴図（ケース2）

③ひび割れ指数の比較

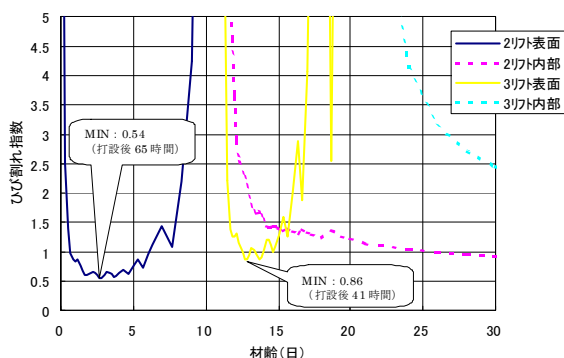


図 1.1 ひび割れ指数履歴図 (ケース 1)

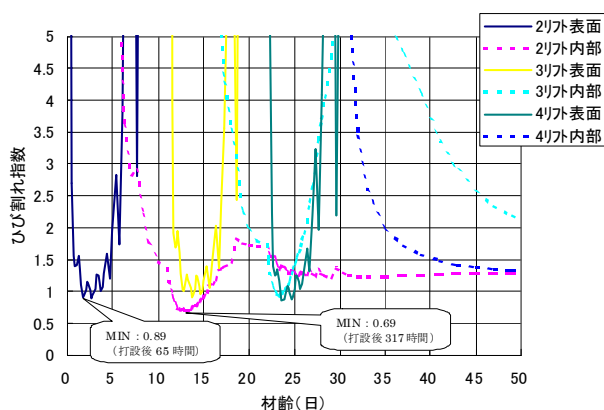


図 1.2 ひび割れ指数履歴図 (ケース 2)

ここに、マスコンクリートの温度ひび割れ指数は、セメントの水和発熱によってコンクリートに発生する引張応力に対する引張強度の比と定義されており、下記の式 (式 1) で表されている。温度ひび割れ指数は、その値が大きいほどひび割れが発生しにくく、小さいほどひび割れが発生しやすい。

$$I_{cr}(t) = f_{tk}(t) / \sigma_t(t) \quad \text{(式 1)}$$

ここに

$I_{cr}(t)$: ひび割れ指数

$f_{tk}(t)$: 材齢 t 日におけるコンクリート引張強度

$\sigma_t(t)$: 材齢 t 日におけるコンクリートの最大主引張応力度

3. 解析結果からの施工方法への反映

解析結果より、2 ケースとも若材齢時にコンクリート表面に引張強度を超える引張応力が発生し、材齢の経過とともに引張応力が小さくなっている。このことから、P1 橋脚躯体工には、表面のみのひび割れで、材齢の経過とともにひび割れ幅が小さくなっ

ていくことが予想される。そこで、P1 橋脚躯体工の施工は、コンクリートの弱点となりやすい打ち継目を少なくした、ケース 1 で施工を行うこととした。

あとがき

P1 橋脚躯体工は、本解析結果から、リフト分けを少なくした施工で実施施工を行った。しかし、解析結果より、ひび割れが発生することが予測されたため、コンクリートの打設を 1 日の気温が低い早朝から行い、打設後の養生を入念に行うことでひび割れを発生することなく施工することが出来た。

今回のように、上部工業者に橋脚躯体工が施工範囲として含まれるケースが少ないため、このようなマスコンクリート構造物の施工は注意を払って施工する必要がある。そのため、事前に温度応力解析を行い、施工方法の検討を行い、検討結果を実施工に反映することが出来た。

また、本工事はその後上部工架設、橋面工の施工も終わり、平成 20 年 2 月に無事竣工を迎えることが出来た。

最後に本工事の施工にあたりご指導いただいた国土交通省近畿地方整備局福知山河川国道事務所、綾部監督官詰所の方々ならびに関係各位に感謝の意を表します。さらに、橋脚躯体工の施工にあたり貴重なご意見を賜った長岡技術科学大学の丸山久一教授ならびに下村匠洵教授にはこの場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 施工編 2002.3