

## PC箱桁橋柱頭部における温度ひび割れ対策

大成建設株式会社 正会員 ○大嶋 雄  
宮崎県宮崎土木事務所 小倉弘康

### 1. はじめに

(仮称)天満橋は、天満バイパス区間内の大淀川に架かる、幅員：25.8mを有する8径間連続2室のPC箱桁橋である。

本橋の柱頭部は、形状、打設量からマスコンクリートに該当し、セメントの水和発熱に起因する温度ひび割れの発生が予想される。そのため、実施前に非定常3次元FEMによる温度応力解析を実施した。解析結果から、ひび割れ対策として、パイプクーリングを実施し、断熱型枠を設置することとした。

本報は、打設時の温度ひび割れを検討するために実施した温度応力解析および実施の結果から、パイプクーリングおよび断熱型枠の有用性について報告するものである。

### 2. 工事概要

(仮称)天満橋の概要を以下に示す。

主桁柱頭部断面図を図-1に全体一般図を図-2にそれぞれ示す。

道路規格：第4種1級 (設計速度 V=60 km/h)

活荷重：B活荷重

構造形式：8径間連続PC変形断面箱桁橋

橋長：607.000 m

支間：50.0m+4@87.0m+90.0m+68.0m+51.0m

有効幅員：25.000 m

斜角： $\theta=84^{\circ} 0' 0''$  (河川法線に対して)

平面線形：R=2500~R=∞~R=900, A=300

施工方法：片持架設工法

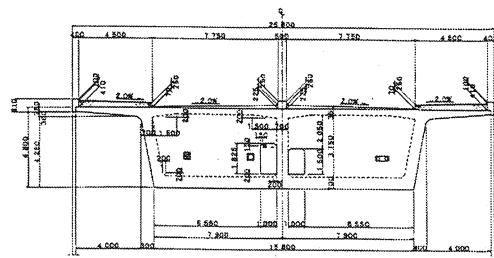


図-1 主桁柱頭部断面図

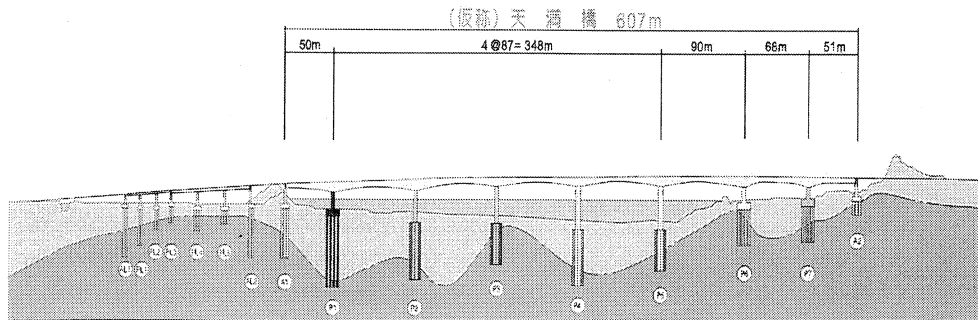


図-2 全体一般図

### 3. 温度応力解析

#### 3.1 解析モデル

本橋においては、水和熱による発熱量が大きく、温度ひび割れの危険性が高いと思われる柱頭部を解析対象とした。

解析モデルは、図-3に示すように、柱頭部構造の対称性を考慮し1/4モデルとする。柱頭部は、2リフトに分割して施工を行うため、この打設リフトも考慮した3次元温度応力解析を行った。

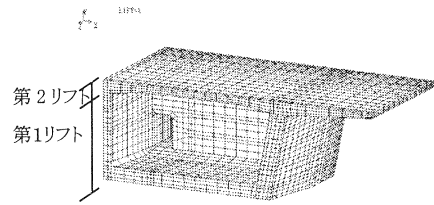
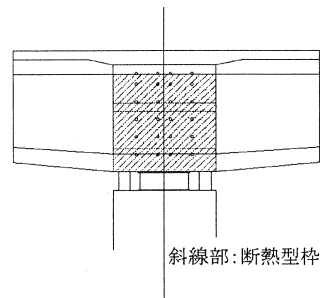


図-3 解析モデル

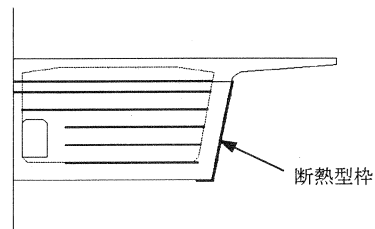
#### 3.2 解析条件

##### 3.2.1 物性データ

- (1) 断熱温度上昇特性は、セメントメーカーの技術データを用い使用するコンクリートは普通コンクリート（設計基準強度：40 N/mm<sup>2</sup>）とした。
- (2) 圧縮強度の発現性状については、セメントメーカーの技術データを用いた。
- (3) クリープは弾性係数を材令によって変化させることで評価し、弾性係数の補正係数は日本コンクリート工学協会の「マスコンクリートのひび割れ制御指針」に準拠した。
- (4) パイプクーリングは、直径50 mmのパイプを用いて、図-4に示すように、横桁部の第1リフトに5段、第2リフトに1段配置した。  
通水条件は流速：0.4 m/s 流水温度：15.5℃と仮定し、通水期間は第1リフト打設後6日間、第2リフト打設後4日間とした。



斜線部：断熱型枠



断熱型枠

図-4 パイプおよび断熱型枠配置図

- (5) 断熱型枠は、図-4に示すように、横桁部の側面型枠（外側）および下床版底面型枠の一部に配置した。
- (6) 使用する生コンプラントの実績データより、コンクリートの打込み温度は2リフトとも17.0℃、外気温は第1リフト打設時を12.5℃、第2リフト打設時を14.9℃とした。

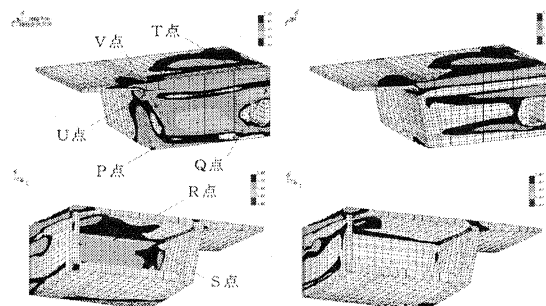
##### 3.2.2 境界条件

- (1) 熱伝達境界は土木学会の「コンクリート標準示方書（施工編、2002年制定）」に準拠した。
- (2) 拘束条件は、対称面に垂直方向の変位成分を拘束した。

#### 3.3 解析結果

コンクリートの引張強度と最大主引張応力の比から求まるひび割れ指数を用いて、解析結果を評価する。

具体的には、図-5に示す、最小ひび割れ指数経験値のコンター図から、ひび割れ発生確率が高いと予測される7点（P～V点）を抽出する。また、抽出した7点におけるひび割れ指数の時刻履歴を図-6に示す。



(1) ひび割れ対策無し (2) ひび割れ対策有り

図-5 最小ひび割れ指数経験値

各点におけるパイプクーリングおよび断熱型枠設置の有無により、最小ひび割れ指数を比較し表-1に示す。

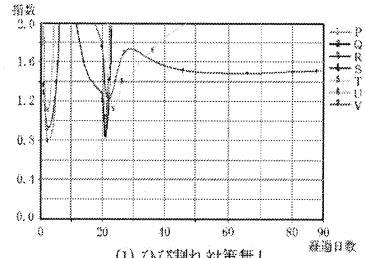
表-1 最小ひび割れ指数の比較

	ひび割れ指数	
	ひび割れ対策無し	ひび割れ対策有り
P(外ウェブ外面+下床版下面)	0.8	1.9
Q(開口部上部)	0.8	1.1
R(打継部)	0.9	2.4
S(外ウェブ内面)	0.9	1.5
T(上床版上面)	1.1	1.2
U(外ウェブ外面)	1.1	1.4
V(横桁部)	1.2	2.0

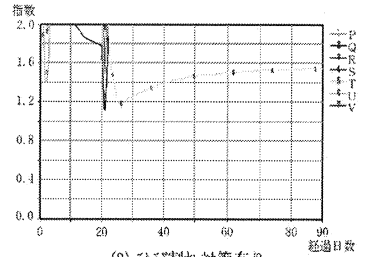
3.4 考察

抽出した7点全てにおいて、パイプクーリングおよび断熱型枠を設置することにより、ひび割れ指数が大きくなり、ひび割れ発生確率が低減された。

ひび割れが、コンクリート内部と外部の温度差によって生じる内外部の膨張量の差により発生する内部拘束応力に起因する範囲 (P, R, S, V 点) に対する低減効果は大きい。また、一部複雑な躯体形状から応力が集中する範囲 (Q 点) や収縮変形が第2リフト打設時に第1リフトに拘束されて生じる応力に起因する範囲 (T 点) に対する低減効果は小さいことが考察できる。



(1) ひび割れ対策無し



(2) ひび割れ対策有り

図-6 ひび割れ指数の時刻歴

4. 施工

4.1 パイプおよび断熱型枠の設置

解析結果から、クーリングによる影響範囲を R=500mm と仮定し、熱伝導率の良い薄肉電線管 (φ: 25mm) を配置した。横桁部の第1リフトに縦5段、第2リフトに1段を打継ぎ部に配置し、全体にクーリングの効果を作作用させた。

また、コンクリート温度と外気温との差を少なくするため、主桁側枠部分に断熱型枠 (合板: 12mm+発砲スチロール: 55mm) を使用した。

配置図を図-7に示す。

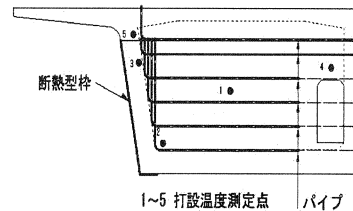


図-7 パイプ、断熱型枠および温度測定点配置図

4.2 クーリング

コンクリート打設終了後、即座にクーリングを開始した。図-7に示す測点で、クーリング水を出し入れすることにより、温度管理を行った。中心温度 (測点 1) とそれ以外の測点との温度差を 20℃ に保持することを心掛けた。図-8に示すコンクリートの温度履歴図から解るように、温度クーリングによる影響が顕著に現れたのは横桁中心部 (測点 1) であった。

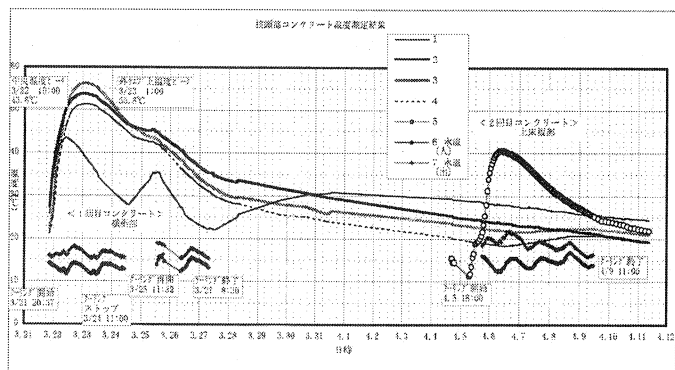


図-8 コンクリートの温度履歴図

全体のコンクリート温度が 30℃以下となることを見計らって、クーリングを終了した。また、断熱型枠はコンクリートと外気の温度差が 10℃以下となった時点で解体した。

#### 4.3 解析上の仮定値と実施工の比較

解析上の仮定値と実施工の違いを以下にまとめる。

- (1) 解析上は第1・第2リフト共に使用するコンクリートを普通コンクリート（設計基準強度：40 N/mm<sup>2</sup>）としているが、実施工では第2リフトに早強コンクリートを使用した。
- (2) パイプクーリングに用いるパイプは、直径 50 mm の電線管から直径 25 mm に変更した。また、温度管理を行いながら、クーリング水を出し入れした。
- (3) 断熱型枠に用いる発砲スチロールの厚さを、5 mm から 55 mm に変更した。
- (4) 打設時の現場実測データより、コンクリートの打込み温度は2リフトともに 17.0℃、外気温は第1リフト打設時が 11.0℃、第2リフト打設時が 17.2℃であった。

#### 4.4 ひび割れ状況

当初、解析結果からひび割れ発生確率が特に高いと予想された、断熱型枠設置部、開口部上部、上床版部を含めて、柱頭部全体にわたり温度ひび割れは確認されなかった。

#### 5. まとめ

ひび割れの要因となる温度応力は、コンクリートの硬化時の発熱による温度上昇と外気冷却による温度降下により体積変化が生じ、それが拘束されると発生する。

温度ひび割れの対策としては、発熱量の低減、応力発生に寄与する温度差の低減、外部拘束度の低減、膨張材やプレストレスによる引張応力の低減が考えられる。

今回の解析は、パイプクーリングにより強制的にコンクリート内部の温度を低下させ、断熱型枠により保温養生を行い内部拘束応力を低減することをひび割れの対策としている。解析結果から、パイプクーリングおよび断熱型枠の有用性を確認することができた。

また、温度ひび割れの発生が確認されなかった実施工の結果から、打設時の気象条件にも影響するが、本橋のような広幅員を有する柱頭部のマスコンクリートであったとしても、以下の点に留意することで、十分に温度応力によるひび割れを防止することができると考えられる。

- ・施工可能な範囲でパイプクーリングを設置する。
- ・局部的に発砲スチロールを用いた断熱型枠を使用する。
- ・コンクリートの温度管理を行い、クーリング水を出し入れすることにより、打設後の急激な温度変化を抑える。

以上より、解析結果からも実施工のひび割れていない状況からも、温度ひび割れ対策として、パイプクーリングおよび断熱型枠の設置が有用であることが確認された。

#### 参考文献

- 1) 田辺忠顕、山川秀次、渡辺朗：パイプクーリングにおける管壁面の熱伝達率の決定ならびに冷却効果の解析，土木学会論文報告集 第343号・1984年3月
- 2) 溝淵利明、二塚保之、村尾義則：パイプクーリングによるひび割れ抑制対策効果に関する研究，土木学会論文集 No. 665/VI-49, 147-163, 2000. 12