

I - 42 少数主桁橋梁 PC 床版の温度応力に関する検討

高松高専専攻科 学生員 ○角南 有紀
(独) 水資源機構 谷中 祐輔
高松高専 正会員 太田 貞次

1. はじめに

鋼橋のコスト削減方法のひとつとして、少数主桁橋梁が近年、多く採用されている。これは、鋼・コンクリート合成桁の一つで、コストに及ぼす影響の大きい、主桁の本数を減らし、PC 床版を使用したものである。少数主桁橋梁の一例を写真-1 に示す。

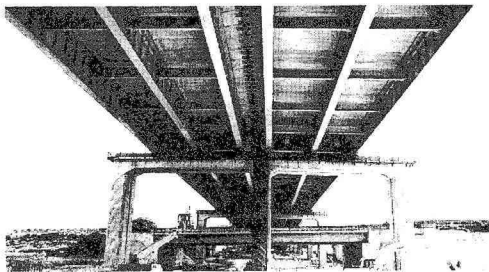


写真-1 3主桁橋 (東海大府高架橋)

少数主桁を採用した橋梁で、建設後早期の床版ハンチ部におけるひび割れ発生が報告されている。その原因のひとつとして水和反応が考えられる。そこで本研究では、PC 床版に発生する引張応力のうち、水和反応によるものがどの程度であるか FEM 解析によって検証する。

2. 研究概要

水和反応で、温度上昇時は床版内部は表面より温度が高くなり、表面にひび割れが発生しやすくなる。温度下降時は内部の温度降下に伴う体積収縮が表面に拘束され、内部でひび割れが発生しやすくなる。この発熱過程を伝熱解析によって再現し、得られた温度分布・温度履歴を構造解析に温度荷重として作用させて水和反応に伴う応力を算出した。解析対象とした橋梁 (場所打ち PC 床版を有する 3 主桁橋) の概要を表-1 に示す。

3. FEM 解析

3.1 解析モデル

解析では、3 径間連続プレートガーダーの中央径間 1/4 に対象条件を適用した。解析に使用したモデルを図-1 に、熱物性値および材料特性値をそれぞれ表-2 と表-3 に示す。

3.2 温度分布の解析 (非定常伝熱解析)

本解析では、発熱量を以下に示す断熱温度上昇特性の式を用いて算出し、プログラムに入力した。

$$Q(t) = Q_{\infty} \{1 - \exp(-\gamma \cdot t^{\delta})\} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

表-1 解析対象橋梁の概要

橋梁形式	3径間連続プレートガーダー	
主桁	支間	6.000 m
	桁高	3.000 m
床版厚	一般部	310 mm
	ハンチ部	410 mm

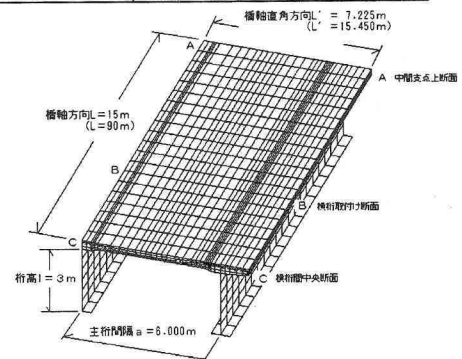


図-1 解析モデル

表-2 熱物性値

	項目	数値	単位
コンクリート	熱伝導率	2.7	W/m ² ℃
	密度	2300	kg/m ³
	比熱	1.32	kJ/kg℃
	打ち込み温度	10or30	℃
鋼桁	熱伝導率	25.0	W/m ² ℃
	密度	7850	kg/m ³
	比熱	0.4	kJ/kg℃
	初期温度	10or30	℃
	外気温	10or30	℃

表-3 材料特性値

	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	線膨張係数 (1/℃)	
			打ち込み～ 最高温度時	最高温度時 ～材齢4日
コンクリート	有効ヤング係数	0.167	6.6×10^{-6}	9.0×10^{-6}
鋼桁	2.00×10^5	0.300	12.0×10^{-6}	

ここに、 $Q(t)$: 材齢 t 日における断熱温度上昇量、 t : 材齢 (日)、 Q_{∞} : 終局温度上昇量 (℃)、 γ, δ : 近似式の係数 (単位結合材料の関数) である。

この断熱温度上昇式は、日本橋梁建設協会が提案している式であり、土木学会コンクリート標準示方書 (以下、コン示.) で示された式よりも初期の温度履歴を忠実に再現できることからこの式を採用した。

また、打ち込み温度の違いによる影響をみるため、解析は打ち込み温度 10℃ および 30℃ の場合を想定した。なお、外気温の変化は考慮していない。熱伝達係数は、コンクリート、鋼桁それぞれ 14.0、12.0 [W/m²・℃] である。

3.3 発生応力の解析（構造解析）

3.2 で求めた温度分布を構造解析で温度荷重として作用させる。構造解析は、①温度上昇時、床版内部と表面との温度差が最大になったときの応力、②温度下降時、内部コンクリートの収縮に伴って発生する応力について行う。①および②ではコンクリート床版内部と表面との温度差による拘束と、鋼桁による外部拘束によって応力が発生する。

コンクリートの有効ヤング係数は次式で算出される。

$$Ec(t) = \Phi(t) \times 4700 \times \sqrt{f'_c(t)} \quad [\text{N/mm}^2]$$

ここに、 $Ec(t)$ ：材齢 t 日における有効ヤング係数

$\Phi(t)$ ：低減係数

t ：有効材齢

一般に温度応力解析で扱うコンクリートのヤング係数は、コンシ[施工編]に示される材齢 t 日における圧縮強度 $f'_c(t)$ を算出し、これをもとに有効ヤング係数として求められる。しかし、本研究においてはヤング係数の温度依存性を考慮し、温度履歴に基づいた材齢（有効材齢）を使用した。ここで使用する有効材齢は、日本橋梁建設協会と膨張材協会が行った実験的検証に基づき、提案しているものである。

4. 解析結果および考察

4.1 温度分布の解析結果

断熱上昇特性を再現した結果、コンクリート内・外部の温度差が最大となったときの温度分布を図-2に示す。

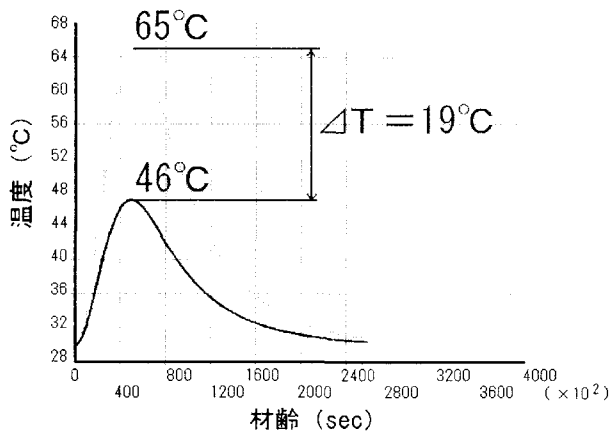


図-2 温度差が最大の時の温度分布（打込み温度：30℃）

打込み温度 10℃のときの最大温度は、外側ハンチ上の内部で約 40℃、その表面で約 23℃となっている。また、打込み温度 30℃の時は、同じくハンチ上で、内部 65℃、表面 46℃という結果になった。温度差は、打込み温度 10℃および 30℃のとき、それぞれ 17℃、19℃となってお

り打込み温度が高い方がコンクリート内外部の温度差は大きく出ている。よって応力解析において打込み温度 30℃の方がコンクリート表面の引張応力は大きくなると予想される。

4.2 応力解析の結果

支点上の床版断面に発生した応力度を示す。

① 水和発熱によるコンクリート内部と表面との温度差最大時に発生する応力（表-3）

表-3 温度差最大時の応力

打込み温度	部位						
		a	a'	b	c	d	e
10℃	上 面	0.32	0.09	0.18	0.74	0.85	0.79
	下 面	0.14	0.77	0.16	-0.64	-0.38	-0.62
30℃	上 面	0.38	0.04	-0.16	0.70	0.90	1.27
	下 面	0.18	1.19	0.77	-0.65	-0.15	-1.48

[N/mm²]

水和反応時、少数主桁橋の支点上断面ハンチ部が内部拘束および外部拘束によって受ける引張応力は、打込み温度 30℃の時最大 1.19N/mm² となった。この値はコンクリートの許容応力度 1.89N/mm² の 63%である。

② 水和発熱による温度下降後の応力（表-4）

表-4 温度下降後の応力

打込み温度	部位	a	a'	b	c	d	e
10℃	上 面	-0.42	-0.17	-0.23	-0.83	-1.04	-0.92
	下 面	-0.16	-0.85	-0.19	0.54	0.35	0.67
30℃	上 面	-0.74	-0.38	-0.80	-1.61	-1.92	-1.24
	下 面	-0.26	-1.18	0.19	0.94	0.85	0.36

[N/mm²]

内部の温度下降に伴って発生する応力（内部コンクリートの収縮によって発生する応力）は、支点上断面ハンチ部で最大値 0.94N/mm² となった。また、床版内部では 0.20N/mm² と表面に比べ小さい値となった。なお、ここで発生した応力は以後残るもので、設計上、加味しなければならない。

5. まとめ

- 1) コンクリート内部と表面との温度差が最大になった時ハンチ部に発生する引張応力は、最大で 1.19N/mm²（許容引張応力の 63%）となった。
- 2) 水和発熱終了後、ハンチ部では 0.94N/mm² の引張応力が残留した。これは以後残る応力であり、他の引張応力発生要因と足し合わせて設計上考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 場所打ち PC 床版における膨張材の有効性評価検討報告書、社団法人日本橋梁建設協会、膨張材協会、2004 年 10 月。
- 2) 長支間場所打ち PC 床版の温度応力に関する施工確認試験、神原他、駒井技報 VOL.22、2002 年 7 月。