

V-9

橋脚マスコンクリート工事における温度ひびわれ対策の計画および施工

—— 花 畔 大 橋 の 例 ——

清水建設(株) 松浦 勝
清水建設(株) 菊川 平三
清水建設(株) 小西 幹雄

1. ま え が き

花畔大橋は一般国道231号の整備事業の一環として、茨戸川に架橋される2径間連続鋼斜張橋である。下部工(P1橋脚)の基礎形式としては、仮締切兼用鋼管矢板井筒基礎が採用されている。P1橋脚の頂版コンクリートは底面積430㎡(約28径×20径の小判形)で、部材厚が6.5径のマスコンクリートであるとともに、コンクリート打設時期が12月という厳しい気象条件下での寒中コンクリートである。頂版コンクリートを施工するにあたり、セメントの水和熱によるひびわれに対する事前検討を行ない、エアバックを用いた保温養生による対策を実施した。

本報告は、橋脚工事の重要品質管理項目の一つとして取り上げたマスコンクリートの温度ひびわれ対策の計画および施工について取りまとめたものである。

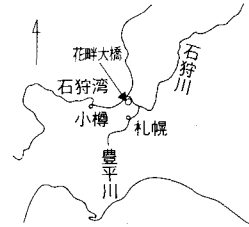


図-1 位置図

2. 工 事 概 要

- 1) 発注者 札幌開発建設部
- 2) 工事名 花畔大橋下部工事
- 3) 工事場所 石狩郡石狩町花畔
- 4) 工 期 昭和62年1月31日～昭和63年3月18日
- 5) 施工業者 清水・大豊共同企業体
- 6) 工事内容 P1橋脚工

井筒内掘削土量	6300 m ³
底版水中コンクリート量	800 m ³
頂版コンクリート量	2800 m ³
軀体コンクリート量	600 m ³

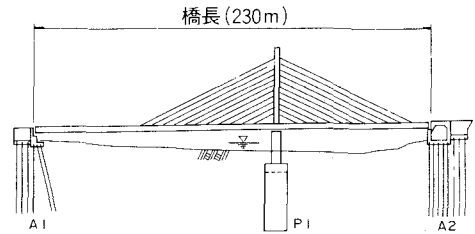
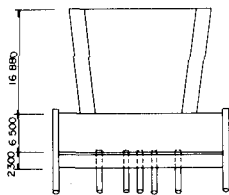
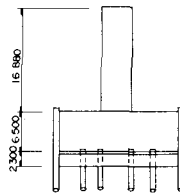


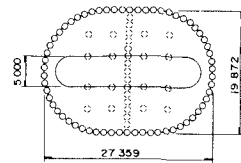
図-2 花畔大橋一般図



(正面図)



(側面図)



(平面図)

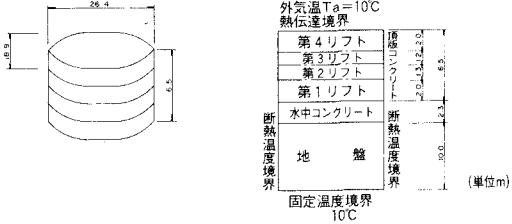
図-3 P1橋脚一般構造図

3. 温度ひびわれ対策の計画

3-1 特別な対策を講じない場合の問題点

特に対策を講じないで施工した場合の問題点については、温度ひびわれ解析を行なうことにより検討した。なお、温度解析には有限要素法（FEM）¹⁾を使用した。

(イ) 温度解析に使用したモデルおよび諸定数
解析モデルを図-4に、コンクリートの配合を表-1に、温度解析に使用した諸定数を表-2にそれぞれ示す。



(ロ) 温度解析結果
コンクリート打込み後の部材内コンクリート温度の経時変化を図-5に示す。

図-4 温度解析モデル図

表-1 コンクリート配合表

設計基準強度 (kg/cm ²)	呼び強度 (kg/cm ²)	使用 セメント	G max (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
								水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材
210	225	FB	40	8	4.5	48.2	37.2	141	293	713	1237	0.0586

FB：フライアッシュセメントB種

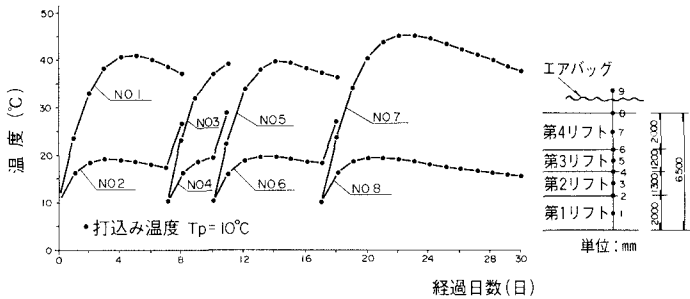


図-5 未対策時のコンクリート温度予測

表-2 温度解析条件

項目	定数
打込み温度 T_p	$T_p = 10^\circ\text{C}$
断熱温度上昇特性	$Q(t) = 46.3(1 - e^{-0.002t})$ t : 材令 (日)
コンクリート比熱 C_c	$C_c = 0.315 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
コンクリート熱伝導率 λ_c	$\lambda_c = 2.424 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$
コンクリート単位体積重量 ρ_c	$\rho_c = 2300 \text{ kg/m}^3$
地盤の比熱 C_g	$C_g = 0.35 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
地盤の熱伝導率 λ_g	$\lambda_g = 1.06 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$
地盤の単位体積重量 ρ_g	$\rho_g = 1500 \text{ kg/m}^3$
熱伝導係数 η	$\eta = 12 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$
外気温 T_a	$T_a = 10^\circ\text{C}$

(ハ) 温度ひびわれ解析結果

温度ひびわれの解析には「温度ひびわれ指数法」²⁾を用いた。解析に使用した諸定数を表-3に、温度ひびわれ発生確率の計算結果を表-4にそれぞれ示す。表-4によると、部材を貫通する温度ひびわれの発生確率(CRACK・B)が第4リフトで82%、また、部材の表面部に発生するひびわれの確率(CRACK・A)が各リフトで46~65%程度になることが予測された。

表-3 温度ひびわれ解析条件

項目	定数
熱膨張率 α_c	$\alpha_c = 10 \times 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$
ポアソン比 ν_c	$\nu_c = 0.167$
コンクリート圧縮強度 $\sigma_c(t)$	$\sigma_c(t) = \frac{t}{0.0197 + 0.0029t} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ t : 材令 (日)
コンクリートヤング係数 $E_c(t)$	$E_c(t) = \frac{10000t}{0.0602 + 0.0298t} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
コンクリートクリープ係数 $\phi(t)$	$\phi(t) = \frac{t}{3.447 + 1.088t}$
外部拘束度R	リフト 第1リフト 第2リフト 第3リフト 第4リフト
	短期 0.75 0.89 0.88 0.72
	中期 0.44 0.30 0.18 0.06
	長期 0.44 0.30 0.18 0.06

表-4 温度ひびわれ発生確率

	CRACK・A	CRACK・B		
		短期	中期	長期
第1リフト	54%	6%	5%	5%
第2リフト	51%	12%	5%	5%
第3リフト	46%	7%	5%	5%
第4リフト	65%	82%	5%	5%

3-2 温度ひびわれ対策の必要性

特別な対策を講じない場合、温度ひびわれが発生する確率の高いことが予測された。このような温度ひびわれが発生し、ひびわれ幅が大きい場合には、将来的に温度ひびわれが構造物の耐久性に有害な影響を及ぼすことが考えられるので、温度ひびわれを制御する対策が必要であると判断した。

3-3 温度ひびわれ対策の検討

(イ) ひびわれ制御の目標値

対策検討の目安とするひびわれ制御の目標値は、温度ひびわれの発生確率が30%以下 ($ITCI \geq 1.09$) とした。また、最大ひびわれ幅を0.3mm以下に制御することにした。

(ロ) 対策の検討

温度ひびわれ制御対策には設計・施工上各種の方法³⁾が考えられるが、本工事では温度ひびわれを制御する対策として、次の2点で検討した。

① 表面ひびわれ発生確率を30%以下に抑えるために、部材表面の保温養生を施す。

② 貫通ひびわれ発生の制御のために、設計で配筋されている鉄筋を検討する。

①の保温養生の方法としては、断熱材(エアバック)をコンクリート打込み完了後部材表面部に設置することにした。エアバック使用による保温養生を施した場合のコンクリートの温度解析を一次元有限差分法(FDM)⁴⁾で行なった。図-6にその結果を示す。

②の貫通ひびわれ制御に関しては、設計で配筋されている鉄筋等でひびわれ幅を予測⁵⁾したところ、鉄筋量が多く、計算上ひびわれ幅を0.1mm以下に制御できるため問題ないと判断された。

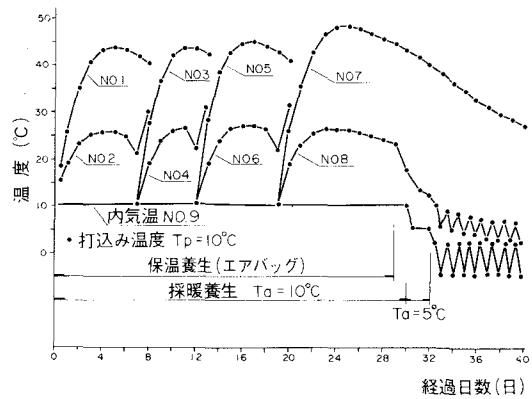


図-6 保温養生対策時のコンクリート温度予測

4. 対策の効果

頂版コンクリートは、鉛直方向に4つのリフトに分けて施工した。実測値のコンクリート温度経時変化を図-7に、実測値による温度ひびわれ解析結果を表-5にそれぞれ示す。

コンクリートの打込み温度は各リフトで10℃～13℃であり、計画よりも0℃～3℃高かった。井筒内温度は打設日等で部分的に計画値(10℃)を下回っているが、平均値で14℃程度であった。中心部の最高温度は各リフトで予測値よりも0℃～2℃高い程度であり、ほぼ予測値と一致していた。コンクリート表面部の温度は、井筒内温度と養生中の熱伝達率の影響により、第1リフトを除いて各リフトで予測値よりも5℃～10℃程度高くなった。これは保温養生材であるエアバックの種類の変更および枚数の増加による処置をしたためで、保温養生の効果が顕著に表れた結果といえる。保温養生材の撤去は計画よりも1週間程度遅くしているため、それ以後の第4リフトの表面温度は予測値よりも10℃～17℃程度高くなっている。

ひびわれ発生の有無については、各リフトの打設前後で調査したが、各リフトともにひびわれ発生は認められなかった。

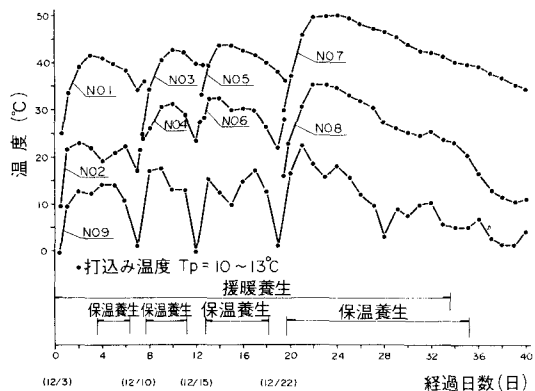


図-7 コンクリート温度の実測値

表-5 温度ひびわれ解析結果（実測値による）

	第1リフト		第2リフト		第3リフト		第4リフト		頂版コンクリート全体	
	CRACK・A	CRACK・B	CRACK・A	CRACK・B	CRACK・A	CRACK・B	CRACK・A	CRACK・B	CRACK・B	
		短期		短期		短期		短期	中期	長期
材 令(日)	2.5	7	5	5	2.5	7	2.5	30	180	360
温度ひびわれ指数 ITCI ETCI	0.89	1.35	1.32	1.28	1.26	1.23	1.16	1.06	2.10	2.14
温度ひびわれ 発生確率(%)	55%	9%	10%	15%	15%	19%	27%	40%	5% 以下	5% 以下

CRACK・A：内部拘束による温度ひびわれ

CRACK・B：外部拘束による温度ひびわれ

※) 第4リフトのCRACK・Bについては、設計で配筋されている鉄筋等でひびわれ幅を制御されている。

5. あ と が き

部材厚6.5cmの頂版コンクリートの温度ひびわれ対策の計画および施工について報告した。本工事では、前述の保温養生によるひびわれ制御対策により、温度ひびわれの発生を防止することができ当初の目標を達成することができた。また、寒中コンクリート対策として、井筒天端に鋼製の屋根を設置し、コンクリートファーンレスを2台稼働させて井筒内温度を確保するとともに、散水養生として瞬間湯沸器を利用して温水による散水を行なった。本報告が、今後の同種工事の参考になれば幸いである。

最後に、本工事を進めるにあたって、札幌開発建設部（札幌新道建設事務所）および工事関係者の御協力を頂き、さらに本報告をまとめるにあたって、清水建設㈱北海道支店土木技術課および本社土木技術部 小野 定 氏の御指導を受けました。ここに深く感謝いたします。

（参考文献）

- 1) 小野 定, 江渡正満ほか: 非線形性を考慮したマスコンクリートの温度および温度応力解析システム, RC構造の有限要素解析に関するワークショップ, 論文集, 1984.12
- 2) 小野 定ほか: マスコンクリートの温度ひびわれ制御対策, セメント・コンクリート, 昭和63年5月
- 3) 小野 定: ひびわれ被害の実態(マスコンクリート), コンクリート工学, VOL.21, NO.11, 1982
- 4) 小野 定: マスコンクリート打込み後の温度上昇に関する二, 三の考察, コンクリート工学, VOL.15, NO.1, 1977
- 5) 小野 定ほか: マスコンクリートの温度ひびわれ幅の予測について, 土木学会, 第40回年次学術講演会, 1985.9