

V-10 PC連続箱橋の温度実測と断面の温度差による反力変動について

北海道工業大学 正負 猪又 稔
札幌市 “ 立花 邦雄
“ “ 佐藤 徹

7. まえがき

豊平川に架かる一条大橋はPC径間連続箱橋(図-1)であるが、たまたま右岸側橋台上の可動支承が破損しているのが発見され、その原因究明のため昭和55年6月から1年余にわたって行われた調査の一環として橋断面の温度を実測し、これに基づいて断面の温度差による鉛直方向および横方向の反力変動について検討を行ったので報告する。

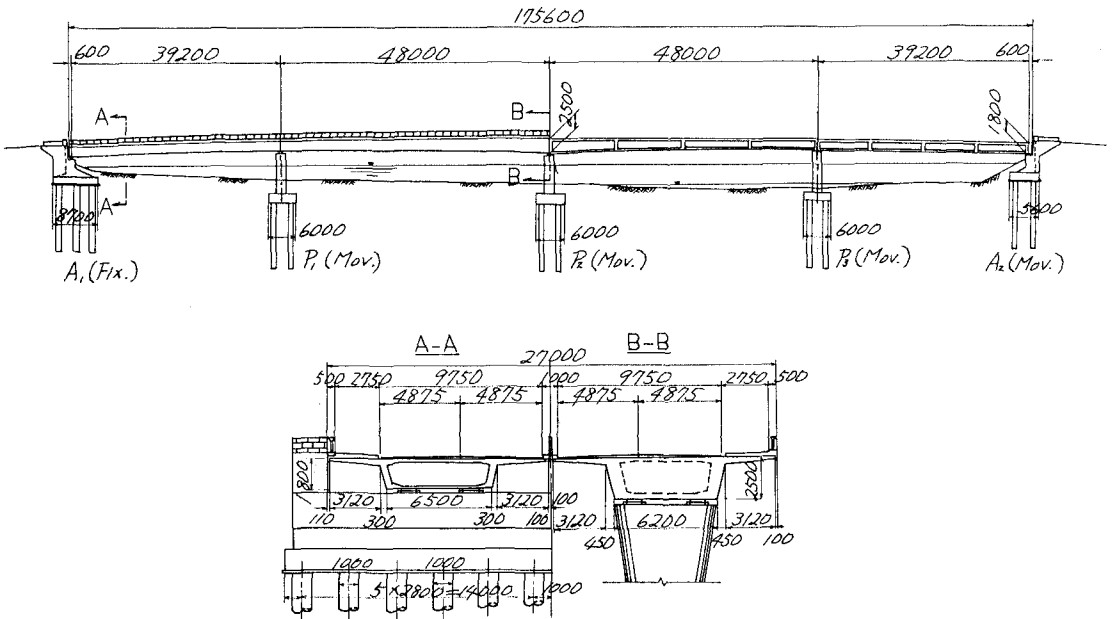


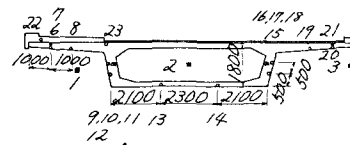
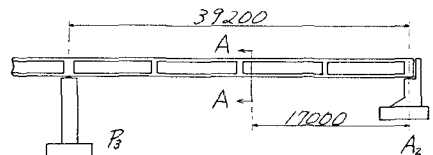
図-1 一条大橋一般図

2. 断面内の上下方向および横方向の温度差

温度は熱電対線をコンクリート断面に穿孔してうめこみ昭和55年6月中旬から1年余にわたって2時間間隔で測定した。測定は主として上流側橋桁で行い、測定位置および箇所は図-2に示すとおりである。

(1) 上下方向温度差

図-3は上下方向温度差の大きい温度分布の経時変化の一例を示したものである。温度差のもっとも大きくなる時間帯での温度分布は床版において三角形、ウェブにおいてほぼ一定値となる。



表面からの深さ
・ 5 cm
・ 20
・ 15
・ 25
・ 気温用

図-2 温度測定位置

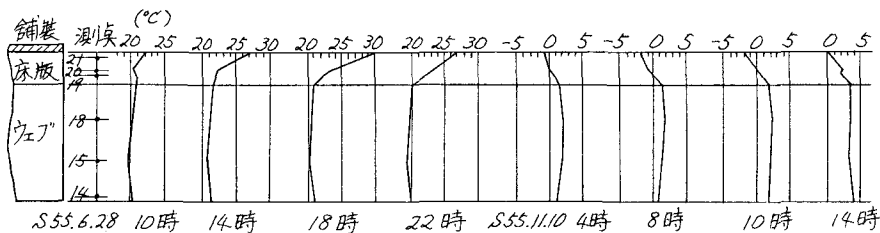


図-3 温度分布の経時変化

図-4, 5は年間(S55.7.1~S56.6.30)および四季別の測点21と14との日最大温度差とその発生時間帯を示したものである。日最大温度差 Δt_d :($t_{d1}-t_{d2}$)の発生時間帯は春夏秋には18時, 20時に多く発生し, 特に夏の晴天日でのこの時間帯の発生確率は95%であった。また雨天日では0時に多く発生した。 Δt_d の年間を通じての最大値は7.3°Cであった。つぎに日最大温度差 Δt_n :(t_n-t_{d2})の発生時間帯は春夏秋では8時, 10時に多いが冬季は14時に多く発生した。 Δt_n の年間最大値は3.4°Cであった。

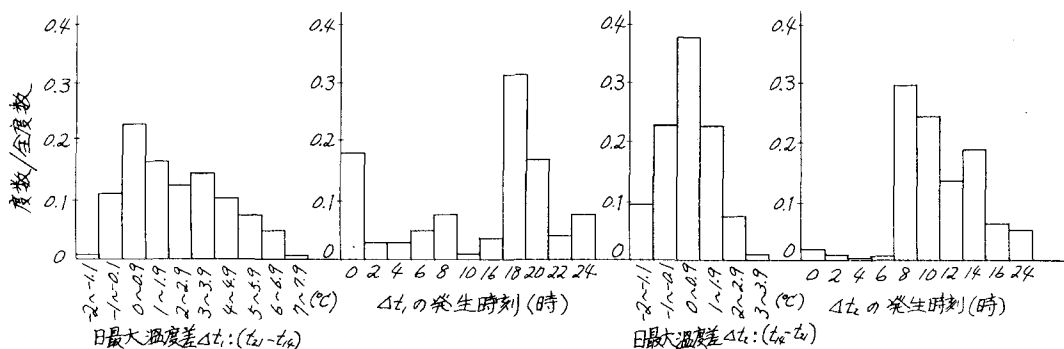


図-4 断面上下方向日最大温度差とその発生時刻(S55.7.1~56.6.30)

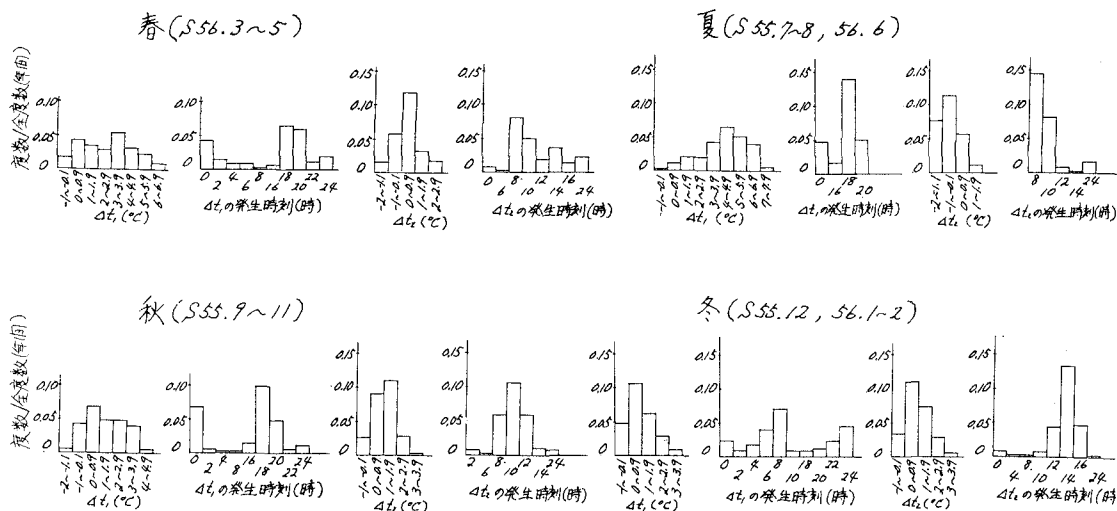


図-5 四季別日最大温度差とその発生時刻

(2) 横方向温度差

図-6は年間の測点6と20との日最大温度差とその発生時間帯を示したものである。日最大温度差 $\Delta t_h: (t_h - t_{20})$ の発生は測点6が南向きであることからほとんど12時、14時に集中している。四季別においてもほぼ同様の傾向を示した。 Δt_h の年間最大値は 6.8°C であった。つぎに日最大温度差 $\Delta t_h: (t_h - t_{20})$ の発生時間帯は0時、24時に多いが冬季は6時、8時に多く発生した。 Δt_h の年間最大値は 2.6°C であった。

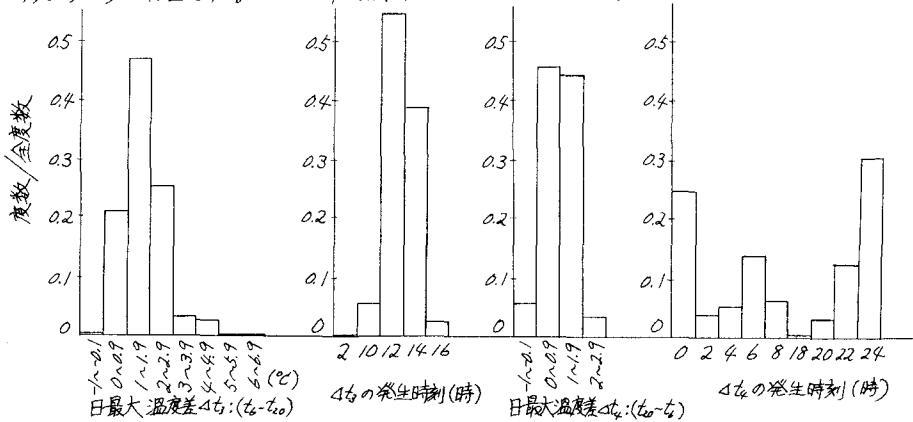


図-6 断面横方向日最大温度差とその発生時刻 (55.7.1~56.6.30)

3. 断面の温度差による反力

前述のように断面の温度差は上下方向のみならず横方向にも生じるので連続桁の支え反力も鉛直方向および横方向に発生することになる。これらの反力は図-7に示す断面のブロック温度を用いて算定するものとする。

まず温度による伸縮を完全に拘束すると各ブロックに軸力が発生する。ブロック i の温度 t_i における拘束軸力 N_i は 0°C を基準とすればつぎのようになる。

$$N_i = \alpha \cdot t_i \cdot E \cdot A_i \quad (1)$$

ここに

α : コンクリートの線膨張係数 $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$

t_i : ブロック i の温度

E : コンクリートのヤング係数 $3.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$

A_i : ブロック i の断面積 ($A_{A'} = 0.813 \text{ m}^2$, $A_A = 0.920$)

$A_B = 0.920$, $A_C = 0.613$, $A_D = 0.613$, $A_E = 1.775$

$A_F = 1.157$)

軸力 N_i を解放すれば主桁に変形が生じるのでこれを計算し不静定力を求めれば断面の温度差による反力 R は求まることになる。

$$R = \sum f_i t_i \quad (2)$$

ここに f_i はブロック i の 1°C の温度変化による反力でありその値を表-1に示す。鉛直方向の反力は上向、横方向反力は左向(図-7)を正にとる。

鉛直方向反力については前述の $\Delta t_h \geq 6^\circ\text{C}$, $\Delta t_h \geq 2.5^\circ\text{C}$ また横方向については $\Delta t_h \geq 3^\circ\text{C}$, $\Delta t_h \geq 2^\circ\text{C}$ の日時を選び式(2)によって反力を求めた。表-2にそれぞれの反力の最大値、発生日時、気象条件等を示した。ブロック温度は測点温度から近似的につぎのように求めた。

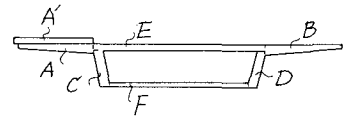


図-7 断面分割ブロック

表-1 f_i 値 ($\text{t}/^\circ\text{C}$)

块位置	鉛直方向			横方向		
	A_i	P_i	R_i	A_i	P_i	R_i
$f_{A'}$	0.60	-0.75	0.30	4.18	-5.23	2.12
f_A	0.39	-0.49	0.20	4.47	-5.60	2.26
f_B	0.39	-0.49	0.20	-5.75	7.21	-2.91
f_C	-0.34	0.43	-0.17	1.79	-2.25	0.91
f_D	-0.34	0.43	-0.17	-2.64	3.31	-1.34
f_E	0.81	-1.02	0.41	-1.24	1.55	-0.63
f_F	-1.52	1.90	-0.77	-0.81	1.01	-0.41

$$\left. \begin{aligned} t_A' &= (t_7 + t_{10})/2, \quad t_4 = (t_6 + t_9)/2, \quad t_8 = (t_{10} + t_{11})/2, \quad t_c = (t_2 + t_9 + t_{11})/3 \\ t_D &= (t_2 + t_{10} + t_{12})/3, \quad t_E = (t_2 + t_{11})/2, \quad t_F = (t_2 + t_{12})/2 \end{aligned} \right\} (3)$$

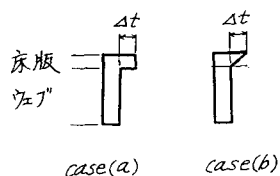
表～2 鉛直方向および横方向反力

温度分布	ブロッグ別温度 (°C)							反力 (t)			発生 日時	気象条件							
												天気	気温 (°C)		平均 湿度 (%)	平均 風速 (m)	日照 時間 (h)	全天 日量 (mm)	
	t _A '	t _A	t _B	t _C	t _D	t _E	t _F		A ₁	P ₁	P ₂		最高	最低					
(1) 断面上側温度 (t _上) が大きい場合	25.8	23.6	26.3	22.2	21.2	25.2	22.2	鉛直	6.9	-8.6	3.5	55.3.27 20時	晴	25.9	15.3	73	2.3	11.1	27.7
(2) 。下 (t _下)	0.1	2.1	0.2	2.7	2.6	0.9	2.7	方向	-4.2	5.3	-2.1	55.11.10 12時	"	8.5	-1.7	47	1.1	8.7	10.5
(3) 。左 (t _左)	-2.0	1.1	-3.2	-0.6	-3.9	-3.3	-2.4	横	30.2	-37.9	15.3	56.3.9 14時	"	-2.0	-11.4	70	1.0	9.4	17.1
(4) 。右 (t _右)	-6.2	-7.2	-4.5	-5.6	-5.9	-4.7	-6.2	方向	-15.8	19.8	-8.0	56.1.14 8時	"	-0.8	-9.9	75	0.9	7.1	8.1

図～8 のような温度分布によって表～2 (1), (2) と同一の鉛直反力となる Δt を求めるとつぎのようになる。

(1) の場合 : case (a) $\Delta t = 5.3^\circ\text{C}$, case (b) $\Delta t = 7.6^\circ\text{C}$

(2) の場合 : case (a) $\Delta t = -3.2^\circ\text{C}$, case (b) $\Delta t = -5.8^\circ\text{C}$



図～8 温度分布形状

4. おすい

(1) 断面の上下方向温度差による鉛直反力は表～2 に示すように正負共に発生する。温度差による断面力を求める場合の温度分布は道路橋示方書 (コンクリート橋編)⁷⁾ によれば床版において一様分布 (図～8 case (a)) とし床版とウェブ部の温度差 $\Delta t = 5^\circ\text{C}$ としているがこれは上記の計算結果と比較して妥当な値と思われる。しかしながら実測によれば床版がウェブより低温となる温度分布が発生するので設計上注意を要する。また温度分布は一般に図～3 に示すように床版において三角形、ウェブ部において一様分布となる。したがって温度応力および不静定力算定における温度分布は床版において三角形 (図～8 case (b)) とし温度差 Δt は $-6^\circ\text{C} \sim 10^\circ\text{C}$ の範囲を考慮するのが妥当と思われる。

(2) 断面の横方向温度差による横方向反力は表～2 のとおりであるが橋桁の方位によっては非常に大きな横方向反力を発生させることを示している。したがってこのような場合、PC 連続新橋の支承の設計においては地震による横方向力のみならず断面の温度差による横方向力についても考慮が必要となる。

参考文献

1) 道路橋示方書 (コンクリート橋編) 日本道路協会 , PP 58～60