

南大橋応力測定について

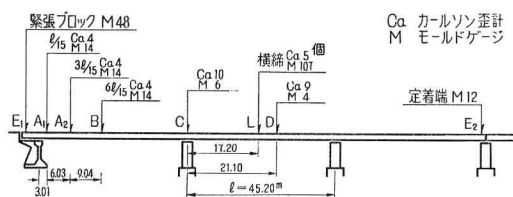
札幌市建設局 ○ 折 筭 七 郎
大成建設(株) 桜 田 充 郎
只 野 直 典

1. 測定内容

南大橋(工事名南九条橋)は、札幌市豊平川に架設された1等道路橋で、レオンハルト・レオパ工法を用いた3径間連続PCモノボックス橋である。橋長は283.8m、有効巾員は18.0mである。昭和36年9月下部工に着工し、37年に1連目を完成、38年に2連目と取付道路を施工し竣工した。上部工施工に際し応力測定を行なったが、38年度の結果はまだまとまっていないので、37年度の測定概要を報告する。37年に応力測定として

- (1) 鋼線の歪度
- (2) コンクリートの硬化温度
- (3) 橋軸方向の主桁の歪度
- (4) 定着部のコンクリート歪度
- (5) 横締時の主桁横断面歪度

を測定し、他に工事に伴うコンクリートの品質、支保工、主桁の反り、緊張力の導入状態等を調べた。応力測定計器配置は図-1の通りである。



図一1 計器配置図



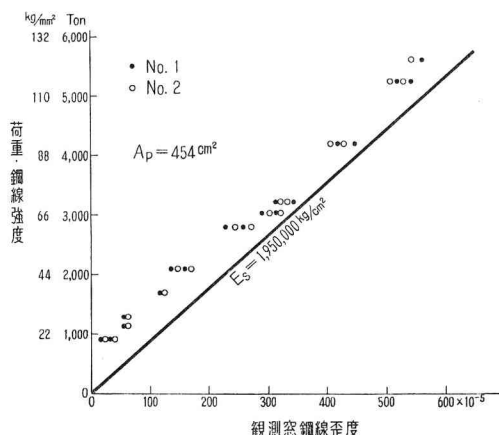
写真—1 南大橋全景

2. 鋼線の歪度測定

レオンハルトケーブルには、各橋脚上の観測窓に測長 80 mm のクリップゲージ 1 個、測長 100 mm のコンタクトストレンメーター 2 個設けて緊張時の鋼線歪度を測定した。

鋼線歪度の測定値を整理した結果は、ばらつきが大きくその値より鋼線の引張力を算定することに対しては充分な資料ではなかった。レオンハルトケーブル1本当たり3/8吋ワイヤーストランド440本が収められ、総断面積は227 cm²になる。2本のケーブルを使用しているので緊張力1000 tでは鋼線強度は約22 kg/mm²となる。

設計計算に用いる鋼線の弾性係数は 1950 t/cm^2 であり、
図-2 よりこの数値はほぼ妥当であることが分かる。



圖—2 鋼線—歪度圖

ただし鋼線歪度は緊張力 560 t 時を原点とし荷重は緊張目地の緊張力をとる。

3. 主桁橋軸方向の歪度

カールソン型歪計 21, モールドゲージ 52 個を配置し、主桁コンクリート打設後からの歪度の測定を行なった。 A_1 、 A_2 、 B 断面に於ける配置は 図-3 の通りである。

- ### (1) 緊張前の主桁歪度

緊張力導入の8月25日以前の歪度変化は支保工の沈下、コンクリートの硬化収縮、温度差による歪等のため非常に

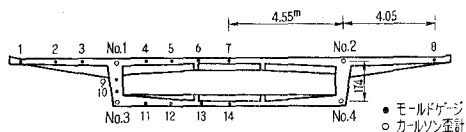


図-3 A₁, A₂, B 断面配置図

複雑であった。コンクリート打設は下床版を7月29日第3径間より行ない、8月2日第2径間を打設後8月3日台風9号により支保工に相当の被害を受けた。その影響とみられる歪度変化量は、D点腹部下縁で圧縮側 40×10^{-6} 、下床版中央で引張側に 40×10^{-6} の歪度の変化があった。8月12日、13日第1、第2径間に上床版コンクリートが打設された。すでに硬化した腹部下縁の歪度の変化は図-4に示すように約 $10 \sim 40 \times 10^{-6}$ の引張歪度が生じたと見られた。

気温は13日までは 20°C 前後であったが、13日より16日までは $26^{\circ} \sim 30^{\circ}\text{C}$ という最高値を示した。それによる歪度は変化は認められたが、一定の傾向を示さなかった。総体的に見て危険視するほどの施工に伴う応力は発生しなかった。

(2) 緊張後の主桁腹部歪度

緊張力導入前に生じた歪度を無視し、測定値と計算値を比較すると表-1 のようになる。比較にあたって緊張期間中のコンクリート乾燥収縮量として設計計算に用いた値 (150×10^{-6}) の50%をみた。表より測定値の平均値と計算値の比率をみると A₁ を除いてはほぼ計算値に近い応力度が導入されたとみてよいだろう。A₁ 断面は変断面をなし、計算値は標準断面を用いた点および、緊張端に近い点で計算値との違いが生じたと考えられる。

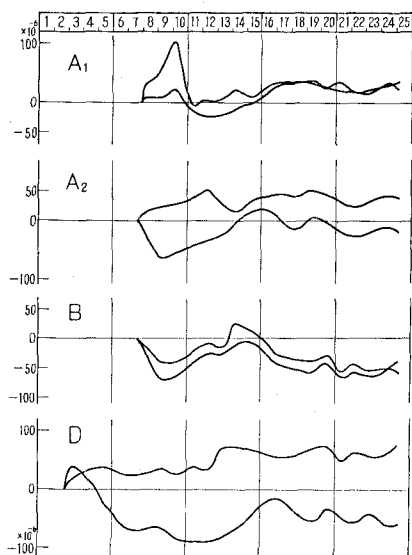


図-4 腹部下縁の歪度 (8月)

(3) モールドゲージによる歪度測定結果

モールドゲージについては、緊張直前から測定を行なった。図-5はその一例であるが、測定結果にはカルソン歪計による値も使用した。総体的にみると緊張段階に従い歪度は増加して行くが、その変化曲線中大きな変動をしている時期は9月7~8日、9月14~15日である。7~8日は主桁自重と緊張力が釣合うことになっており、この時支保工の弾性戻りが大きいと上縁に引張側の歪が生ずることになるが、各断面上下床版共 $30 \sim 250 \times 10^{-6}$ の引張歪が生じておりその原因については支保工の影響だけでは不十分で解析は困難である。14~15日の変化は、その時期にパイプ足場

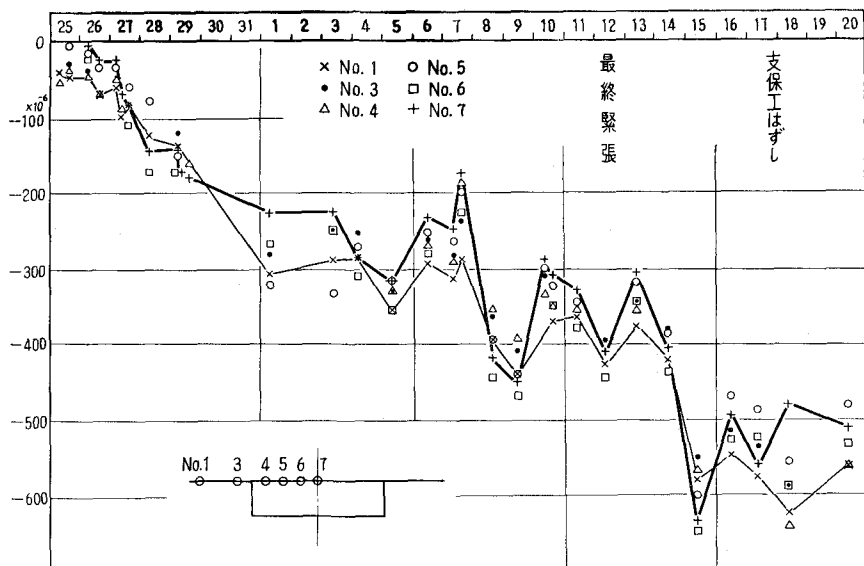


図-5 B断面上床版における歪度変化

表-1 プレストレス導入応力度と計算値の比較

ε^* = 測定値
 $\varepsilon = \varepsilon^* - \varepsilon_s$ = 修正された測定値
 σ_M = 換算応力度平均値 (t/m²)
 ε_s = 推定された乾燥収縮歪 (75×10⁻⁶)
 σ = 換算応力度 (t/m²)
 σ_T = 計算値 (t/m²)

		ε^*	ε	σ	σ_M	σ_T	$\sigma_M/\sigma_T \times 100$ (%)
A ₁	σ_0	139.9 231.4	64.9 156.4	205.7 495.8	350.8	478.3	73.5 (103.5)
		133.6 152.3	58.6 77.3	185.8 245.0	215.4	317.6	68.0
A ₂	σ_0	279.9 341.1	204.9 266.1	649.5 843.5	746.5	668.1	112.0
		257.2 393.2	182.2 318.2	577.6 1,008.7	793.2	661.2	120.0
B	σ_0	278.2 216.8	203.2 141.8	644.1 449.5	546.8	730.7	(88.4) 74.9
		326.0 327.0	251.0 252.0	795.7 793.8	797.5	740.3	107.5
C	σ_0	399.2* 369.2 119.0 102.6 30.5	234.2 294.2 44.0 27.6 44.5	1,027.7* 932.6 139.5 87.5 141.1	396.5	392.5	101.0
		290.1	215.1	681.9			
		203.1	128.1	406.1			
		114.2	39.2	124.3			
		127.2	52.2	165.5			
	σ_u	275.1	200.1	634.3	332.6	282.0	118.0
D	σ_0	231.6 194.2 251.4 277.8 136.0*	156.6 119.2 176.4 202.8 61.0	496.4 377.9 559.2 642.9 193.4	519.1	522.1	99.5
	σ_u	506.6 348.7 278.1 40.9*	431.6 273.7 203.1 24.1	1,368.2 867.6 643.8 76.4*	959.9	881.2	109.0

を解体しており、その影響と考えられる。全支保工の解体完了は9月18日である。

次に桁の断面の歪度分布の一例を図-6に示す。AC変断面の部分を除く他の断面も局所的に大きな変化は見られ

ない。計算値の応力度を図に記入すると、設計計算時の有効巾として全フランジ(持送り部先端の一部を除く)有効という仮定が妥当であることが判断される。

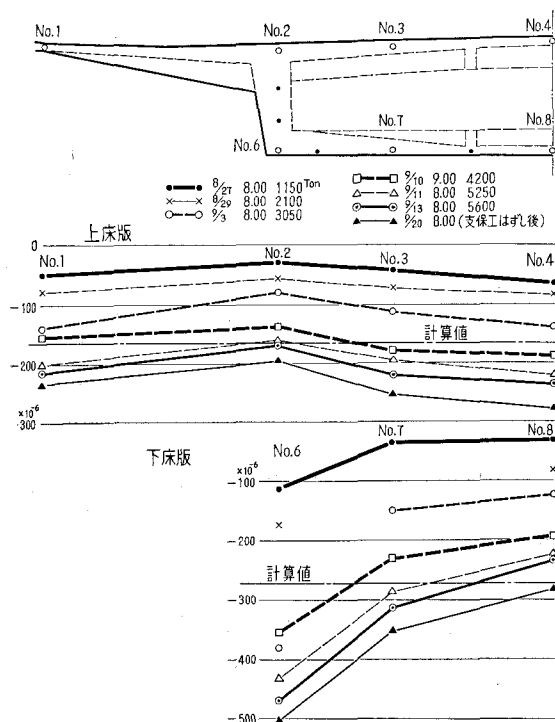


図-6 D断面歪度分布 (カールソン歪計による)

(4) 緊張後の全歪量について

緊張後の全歪量に対する応力度の平均値と計算値との比較を表-2にまとめた。変断面部のAと橋脚上横桁部のC断面を除いてはほぼ計算値に近似している。設計荷重時の推定応力度は表-3であり、許容応力度部材圧縮部 130 kg/cm^2 (1300 t/m^2) 引張部 170 kg/cm^2 (1700 t/m^2) の範囲内である。

4. 横締時の横方向歪度

横締として上床版には 0.8 m 間隔にレオバ S 24 シース ($12 \phi 5 \text{ mm}$) を配置し 25 t のプレストレスを導入、下床版には 2.4 m 間隔に PC 鋼棒 ($\phi 16 \text{ mm}$) で 28 t のプレストレスを導入した。測定箇所は第二径間のほぼ中央に橋軸直角方向にゲージを配置した。測定断面は図-7のように $L_1 \sim L_5$ とし、モールドゲージ 107 個、カールソン歪計 5 本を取

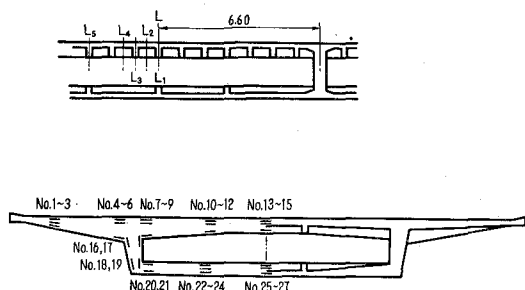


図-7 モールドゲージ配置図 (横締関係)

表-2 緊張後の全歪量に対する応力度と計算値の比較

σ_0 上縁応力度 σ_u 下縁応力度 t/m^2

		第一径間 (A ₁)	第一径間 (A ₂)	第一径間 (B)	支点上 横桁 (C)	中央径間 (D)
① 計算値	σ_0	478.3	668.1	730.7	392.4	522.1
	σ_u	317.6	661.2	740.3	282.0	881.2
② 測定値	σ_0	532.5	688.5	767.5	852.0	620.4
	σ_u	242.4	796.5	861.0	369.0	857.9
②/① %	σ_0	111.0	103.0	105.0	217.0	118.8
	σ_u	77.0	121.0	116.0	140.0	97.4

表-3 設計荷重時の推定応力度 (t/m^2)

No.	上縁 下縁	第2死荷 重載荷後	活荷重 (最大) 載荷時	活荷重 (最小) 載荷時	活荷重 雪載	活荷重 重載
A ₁	σ_0	529.0	607.1	473.1	573.0	
	σ_u	159.1	65.0	226.3	106.2	
A ₂	σ_0	757.9	1,014.8	683.0	905.2	
	σ_u	528.8	178.7	630.8	328.0	
B	σ_0	873.8	1,236.9	843.2	1,081.7	
	σ_u	704.3	200.6	816.1	415.8	
C	σ_0	622.2	668.6	327.7	447.8	
	σ_u	573.1	517.9	924.0	781.0	
D	σ_0	597.8	848.8	461.0	730.1	
	σ_u	517.7	169.7	671.4	334.2	

付けた。持送り部 (No. 1~No. 6) の変化をみると図-8にその一例を示したように4日に各断面で圧縮側に増加している。この部分には下床版緊張及び支保工の影響は考えられ

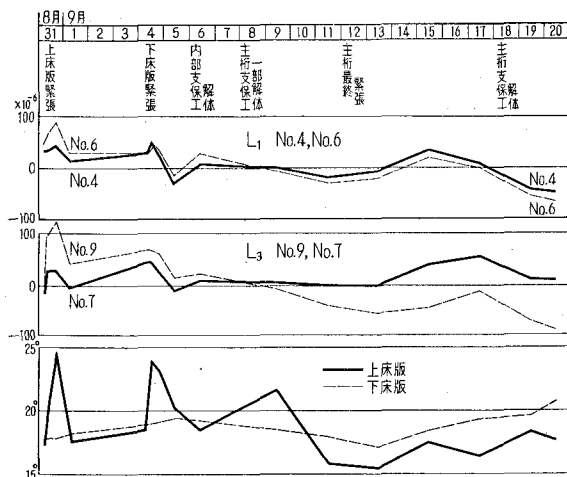


図-8 持送り部上床版部歪, 床版温度図

なく、図の下段に示してある温度変化からみて、この影響と思われる。測定時刻にもよるが、測定値によると表-4のようになる。温度の降下によって歪度が圧縮側に増加する傾向があるとも見られ、上床版のように温度変化の激しい部分は温度による影響が大きいと見られる。

函断面内上床版部についても図-8中段のように温度の影響を受けるとみられる。下床版の歪度には大きい変化はない。

床版のプレストレス導入後の応力は、圧縮応力で40/kg/cm²(下床版60kg/cm²)引張応力-12kg/cm²程度でモールド

表-4 上床版のコンクリートの温度と歪度の変化量

測定時刻 (月日時)	変 化 量			
	コンクリート 温度変化量 No. 4 (°C)	歪度変化量 L モールド		
		No. 1	No. 2	No. 3
8. 31. 16:00~ 9. 1. 7:40	24.6~17.6=7	-10	-35	-70
9. 4. 16:20~ 9. 5. 8:10	23.1~20.2=2.9	-15	-40	-75
9. 5. 8:10~ 9. 6. 8:10	20.2~18.4=1.6	35	60	50
9. 9. 9:00~ 9. 11. 9:40	21.5~17.7=3.8	-15	-40	-50
9. 13. 9:00~ 9. 15. 8:00	15.5~17.5=-2.0	75	80	45
9. 17. 8:30~ 9. 19. 8:00	16.4~18.4=-2.0	5	-75	-45

(註) 歪度の単位×10⁻⁶で-の符号は圧縮側への増加
+の符号は引張側への変化を示す。

表-5 測定値と計算値の比較
(プレストレス+死荷重)

	計 算 値 (kg/cm ²)	断 面	測 定 値 (kg/cm ²)	断 面	測 定 値 (kg/cm ²)
持 送 り 部 端	σ_0 15.9	L_1	6.3	L_5	26.8
	σ_u -3.8		50.5		66.0
持 送 り 部 腹 部 取 付 部	σ_0 7.7	L_1	15.9	L_3	12.7
	σ_u 5.6		20.6		7.9
箱断面上床版 腹 部 取 付 部	σ_0 11.9	L_3	-3.2	L_2	17.4
	σ_u -1.0		28.2		
箱断面上床版 中 央 部	σ_0 3.4	L_3	12.7	L_2	14.3
	σ_u 37.8		20.6		
下 床 版 腹 部 取 付 部	σ_0 -7.8	L_3	12.7		
	σ_u 12.2		-1.6		
下 中 床 央 部	σ_0 60.8	L_3	0		
	σ_u -11.9		7.9		

ドゲージの精度からみても正確な測定はむずかしいが、緊張以前をOとして応力に換算し測定値と計算値を代表断面で比較すると表-5のようになる。

持送り部端の下縁で応力が大きいのはその個所が緊張ないし碇着端に近いためと思われる。下床版部は絶縁状態が悪くはっきりした結果は得られなかった。

5. 定着部の歪度

緊張端、碇着端の扇状定着部コンクリートにモールドゲージを夫々48本、12本を配置し緊張時のコンクリート歪度を測定した(図-9参照)。コンクリート打設時構造が複雑なため(写真2)パイプレーターにより相当数破損し、測定したものも絶縁不良が多く良い結果とはならなかった。碇着端の測定点は3点だけ測定出来たが、それも緊張力導入後4日目には絶縁不良となり測定出来なかった。

扇状碇着部先端の垂直方向歪度測点 No. 7, 8, 9 を図-10でみると、緊張力の増加に伴い歪の割合は少なくなる傾向

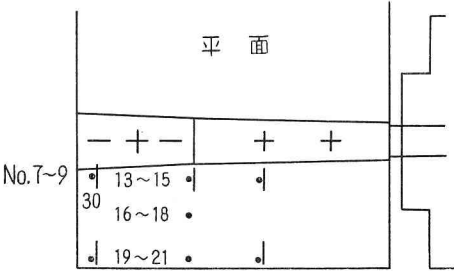
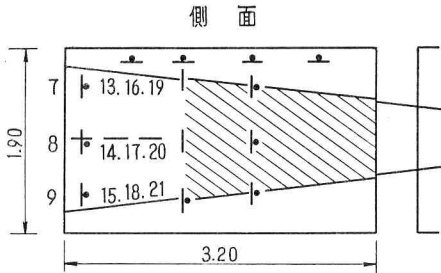


図-9 ゲージ配置図

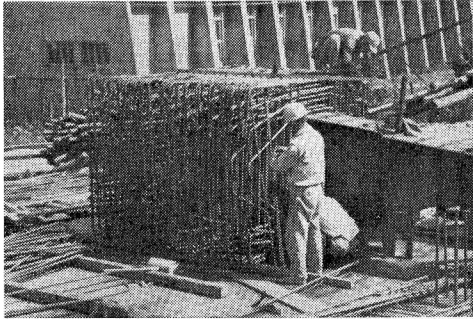


写真-2 扇状碇着部鉄筋

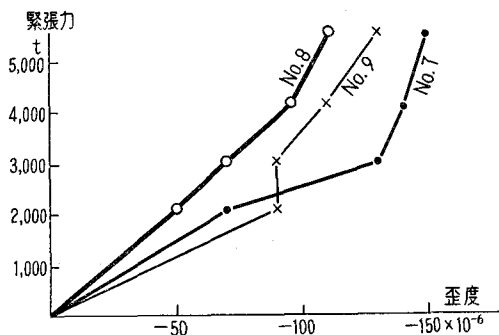


図-10 緊張力-歪度

がある。最終緊張後の歪度をみると圧縮歪度 $-40 \sim -150 \times 10^{-6}$ となっているが計算値は引張歪 80×10^{-6} となっている。

また No. 7, No. 9, No. 21 の歪度をみると全体的には圧縮側の傾向を示しながら各緊張の段階では $15 \sim 25 \times 10^{-6}$ の引張歪が生じている。(図-11, 緊張力は 8 月 27 日 2100 t, 8/29 2800 t, 9/3 3050 t, 9/7 4200 t, 9/10 5250 t) 緊張段階毎に比較すれば緊張力 5600 t 当りでは約 120×10^{-6} の歪が生じたことになり, 計算値は 80×10^{-6} であるから妥当ともみられる。これらの相違はダミーゲージを上床版においたために起る不確定値, あるいはブロック自体の硬化収縮によ

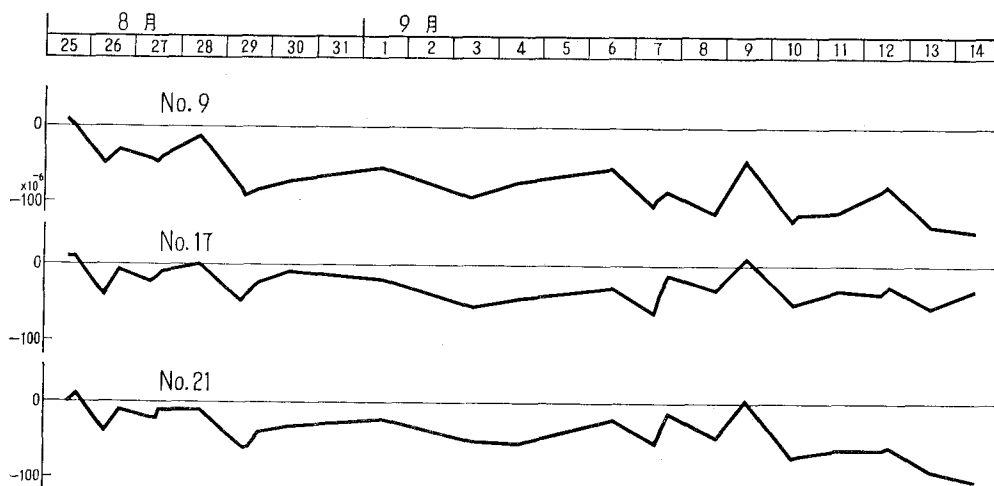


図-11 扇状定着部緊張側測定値

る値等の問題の他, 設計が鉄筋コンクリートとしての計算から成りたっている点からも起り得るとも考えられる。

6. 主桁コンクリートの温度

主桁コンクリートは 7 月 29 日より打設を開始し約 20 日間にわたった。その間の気温の平均は 20°C で 8 月 13~16 日に $27^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{C}$ の暑い日があった。コンクリートの硬化熱による最高温度は打設後 20~48 時間で生じ $33^{\circ}\sim 65^{\circ}\text{C}$ に

なった。上床版コンクリート打設後気温の影響で 17 時間で最高になった個所と硬化が進んで 100 時間後に腹部の温度が最高になった場所もある。温度差が大きいのは下床版腹部と打ち上り, 上床版コンクリート打継ぎにより約 3 日後に $16^{\circ}\sim 18^{\circ}\text{C}$ の温度差が上下縁に生じている (表-6, 図-12 参照)。

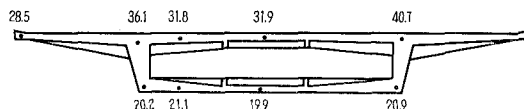


図-12 D断面の温度(8/14)

表-6 主桁コンクリートの硬化熱による温度

	測点	コンクリート温度		最高温度を測定した		備考
		打設時 ($^{\circ}\text{C}$)	最高 ($^{\circ}\text{C}$)	経過時 (時間)	場所	
8/12	A ₁	22.3	45.9	103	腹部下縁	桁端腹部コンクリート打継ぎによる 気温上昇による
8/9	A ₂	17.4	43.0	40	"	
8/14	B	26.0	39.6	17	腹部上縁	
8/9	C	26.3	64.6	48	横桁下縁	
8/14	D	23.7	40.7	43	腹部上縁	
8/12	L	27.4	33.4	20	上床版上縁	

7. あとがき

以上 37 年度の測定についてその概要を述べたが, ゲージ選定が悪く測定不能の個所もあり, 満足すべき結果とは言えなかった。本年度補足の意を含めて測定をした。その結果は現在整理中である。

また本測定の御指導にあられた北海道大学横道教授並びに測定, 解析に終始御協力をいただいた大成建設株式会社研究部の方々に感謝致します。