

(88) PC箱桁の温度および伸縮量計測

京都大学 工学部 土木工学科	正会員	藤井 学
阪神高速道路公団 工務部 設計課		前川 義男
同 上	正会員	幸左 賢二
プレストレストコンクリート建設業協会 関西支部	正会員	○ 森田 修司

1. はじめに

コンクリート構造物の設計において温度変化の影響を考慮する場合、構造物全体の温度変化の範囲は一般に基準温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ とすること、床版と他部材との相対温度差 5°C を考慮することおよびコンクリートの線膨張係数は 10×10^{-6} とすることが道路橋示方書(以下「道示」と表す)に規定されている。これまでに温度変化による影響を実測調査した例は鋼橋の鈹桁や鋼製橋脚については数例報告されており、道示の温度変化、線膨張係数の妥当性が照査されている。¹⁾²⁾一方、コンクリート橋については2, 3のRCラーメン橋を対象とした実測例が報告されている程度で定量的な把握には至っていない。³⁾そこで、阪神高速道路公団ではPC桁の温度および伸縮量を測定し、特に関西地区における温度荷重の実態を調査することとした。

本報告は阪神高速道路 湾岸線二色の浜地区における3径間連続箱桁橋(46.5m × 3)を対象として行った測定・解析の結果について報告するものである。また、この結果と平成元年度に行われた阪神高速道路 北神戸線 布施畑東地区における3径間連続箱桁橋(36.45m + 52.70m + 35.45m)を対象として行った測定・解析の結果との比較検討結果についても合わせて報告する。

測定位置図を図-1に示す。

2. 測定方法

外気温度とコンクリート内部温度の関係、外気温度とPC桁の伸縮量の関係およびPC桁の線膨張係数の各項目を検討するため、①コンクリートの内部温度、②PC桁の伸縮量、③外気温度、④橋脚の傾きを短期、長期にわたり測定した。測定方法は以下に述べる方法によった。

2-1. コンクリート内部温度測定

センサーとして熱電対を用いてコンクリート内部の温度測定を行う。測定は図-2に示すようにP-242~P

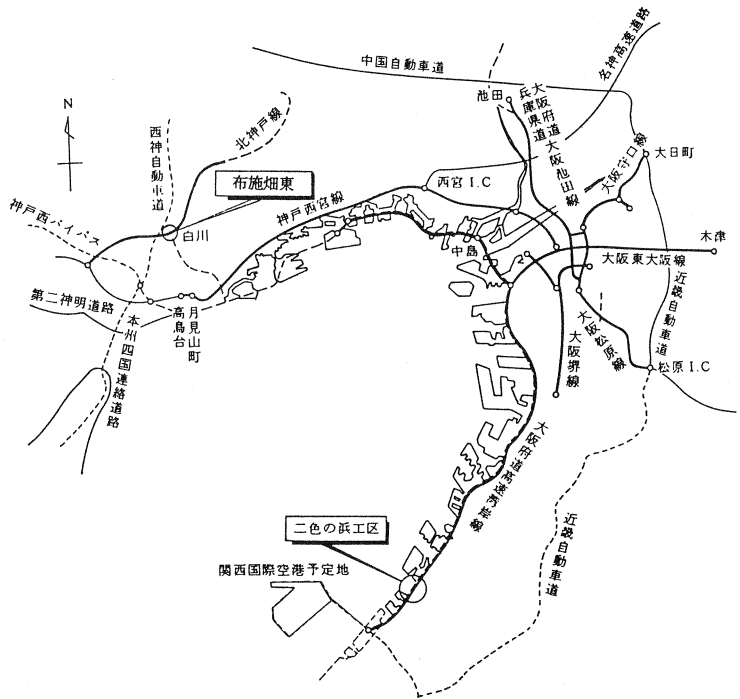


図-1 阪神高速道路図

-243の支保工施工部で行った。

2-2. 主桁-橋脚の相対変位測定

主桁と橋脚の相対変位は差動トランス式変位計を使用して測定する。測定はP-242~P-245の各橋脚上で箱桁の左右2点ずつ合計8点で行った。

2-3. 橋脚の傾斜測定

橋脚の傾斜量は差動トランス式傾斜計を用い、P-242~P-245の各橋脚について測定した。なお、同傾斜計は測定範囲が±1度で1/2500度の分解能を有している。

2-4. 外気温度測定

外気温は当該橋梁に近接した地点において地上1.5mに設置した百葉箱内にセンサー(温湿度交換器)を取り付け測定した。

2-5. 鋼棒による主桁の伸縮量測定

主桁内に鋼棒を取り付け鋼棒端と躯体との変化距離を測定することにより桁の伸縮量を測定した。図-3に鋼棒取り付け要領および配置概要を示す。

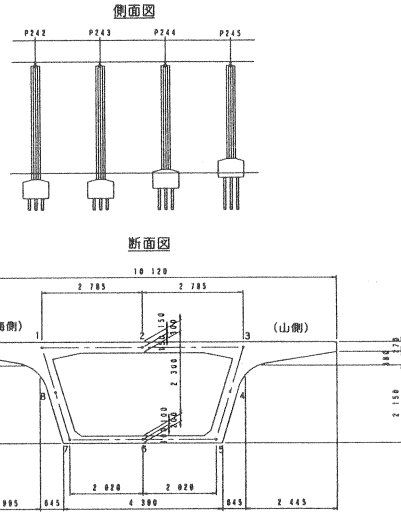


図-2 測定位置図

3. 計測結果とその解析

3-1 外気温度とコンクリート内部温度との関係について

平成3年8月から平成4年9月までの外気温度とコンクリート温度の1ヶ月間の最高、最低温度をグラフにした月変化グラフを図-4に示す。また、各季節の代表的な一日の経時温度変化をグラフにした日変化グラフを図-5に示す。

1) 月変化

図-4に示す月変化グラフより以下の結果が得られた。

- ① 外気温度とコンクリート温度との関係は最高気温はほぼ同じであるが、最低気温はコンクリート温度の方が5~10℃高い気温を示している。
- ② 表-1より荷重としての温度変化の範囲は±15℃程度となり道示の規定が妥当であると考えられる。基準温度についても約21℃となり道示の基準値20℃とほぼ一致している。

2) 日変化

図-5に示す日変化グラフより以下の結果が得られた。

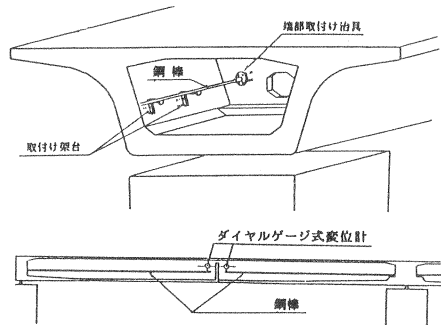


図-3 棒鋼取り付け要領および配置概要図

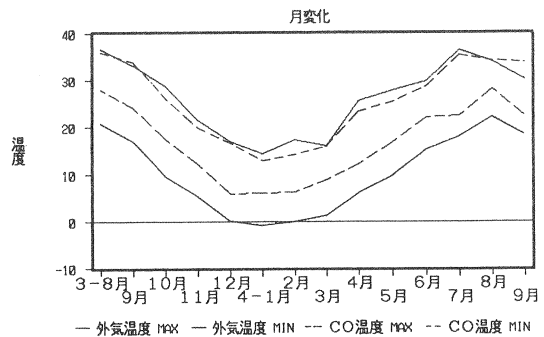


図-4 月変化グラフ

① 外気温度日変化量に比べコンクリート温度の日変化量は小さい。

② 床版部の日最高温度は他の測点部の最高温度に比べ冬季を除き高い値を示している。

夏の温度差 3.0 ~ 5.0 °C
 秋の温度差 1.0 °C
 冬の温度差 -1.0 °C
 春の温度差 2.0 ~ 3.0 °C

表-1 基準温度及び温度範囲

		最高	最低	温度差	平均値
コンクリート	山側	35.9	5.8	30.1	20.9 ± 15.0
	海側	37.5	6.2	31.3	22.3 ± 15.2
外気温度		36.7	-0.7	37.4	18.0 ± 18.7
鋼棒温度		35.4	4.0	31.4	19.7 ± 15.7

③ 外気温度と床版部温度のタイムラグは冬季を除き1~5時間あるが、冬期においては時間的なズレが大きい。

④ コンクリート内部温度の変化の割合は外気温に比べ緩やかである。

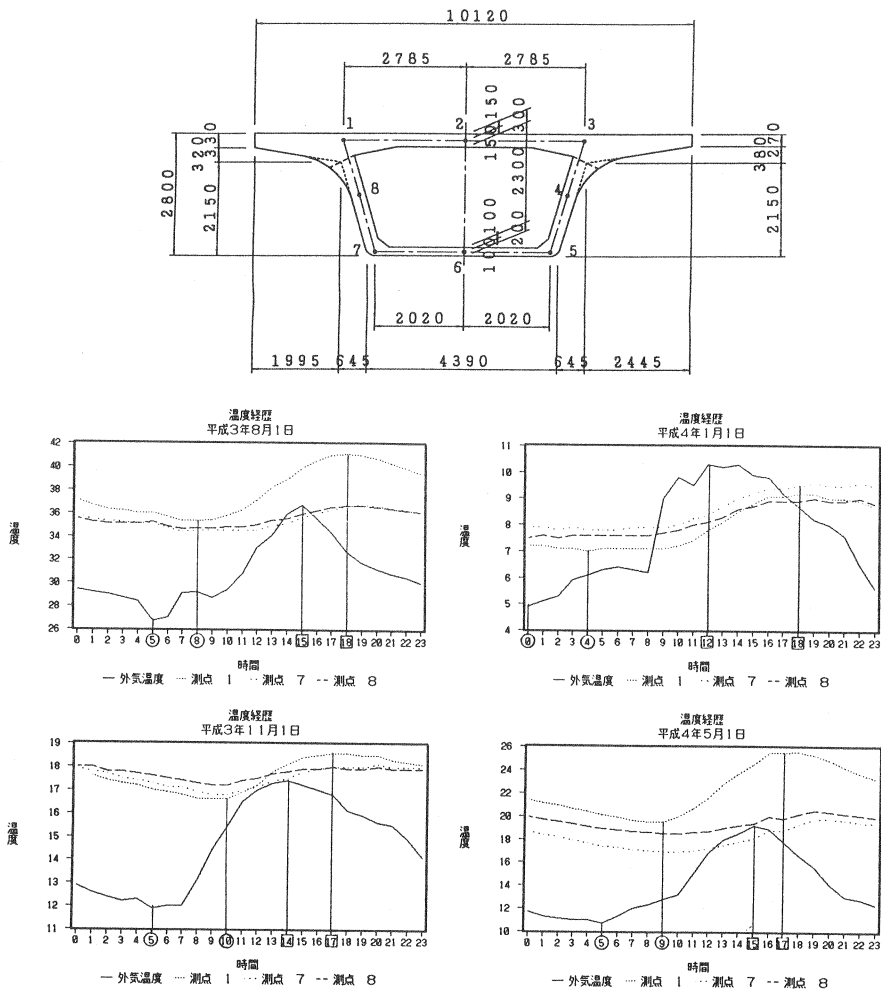


図-5 日変化グラフ

3-2 断面温度分布について

山側、海側のウェブ3点の上床版部とその他2点の温度差を調べた結果、各月の1日の最大温度差は表-

2のとおりとなった。本結果より、温度差は 1.2 ~ 5.8 °Cであり道示において設計上考慮する温度差の 5 °Cは適当であると考えられる。

3-3 外気温度と桁伸縮量の関係について

1) 解析法

外気温度と桁の伸縮量が線形関係にあるとの仮定に基づいて解析を行った。

解析を行うに当たり採用する外気温度については、午前10時に測定した値を用いることとし、桁移動量については以下の2つの方法により補正した値を用いた。

- ・変位計測定値はP242, P245の計測値を加え全体の桁移動量とした。橋脚の倒れによる変位計の移動が考えられるため、橋脚頭部に図-6に示すように固定傾斜計を取り付け、下記式に示すθ、Lの数値を読み取り不動点補正を行った。

$$y = \frac{2 \cdot \theta \cdot L}{3}$$

- ここに y = 補正值
- θ = 傾斜計の読み
- L = 橋脚高さ

- ・鋼棒による測定値は各径間の鋼棒による計測値を加え全体の桁移動量とし、鋼棒本体の設置時温度を基準に温度補正を行った。

解析は3ヶ月間を対象期間として行い、スタートを1ヶ月ずつずらしながら外気温度と桁伸縮量の関係式を求め、全体の平均を求めた。

以上により解析を行い外気温度と桁移動量の関係式から線膨張係数を求めた。

2) 線膨張係数

外気温度と桁伸縮量の関係は次の直線式により表される。

$$(\text{桁伸縮量}) = A_0 (\text{定数項}) + A_1 (\text{線膨張率}) \times (\text{外気温度})$$

3ヶ月間ごとの解析結果を表-3に示し、また、この表中の代表的な関係を図-7に示す。

これらの結果から外気温度による線膨張係数を以下の式により求めた。

$$K_K = K_C \div L$$

- ここに K_K: 線膨張係数
- K_C: 外気温度による線膨張率 (mm/°C)
- L : 測定長

表-2 1日の最大温度差 (°C)

	山 側			海 側		
	上床版	他部材	差	上床版	他部材	差
H 3- 8	41.0	36.3	4.7	40.9	35.1	5.8
9	36.0	31.7	4.3	35.1	30.7	4.4
10	25.4	24.2	1.2	24.9	23.5	1.4
11	18.6	17.0	1.6	18.3	16.7	1.6
12	15.2	14.0	1.2	15.2	13.9	1.3
H 4- 1	9.6	7.3	2.3	9.4	7.3	2.1
2	9.4	8.0	1.4	9.0	7.8	1.2
3	15.0	13.2	1.8	15.0	13.5	1.5
4	23.8	20.8	3.0	22.3	20.2	2.1
5	25.5	21.8	3.7	22.8	20.5	2.3
6	31.0	26.6	4.4	28.5	24.3	4.2
7	37.2	32.8	4.4	35.9	32.5	3.4
8	38.6	33.7	4.9	36.4	32.7	3.7
9	36.4	32.8	3.6	35.8	32.3	3.5

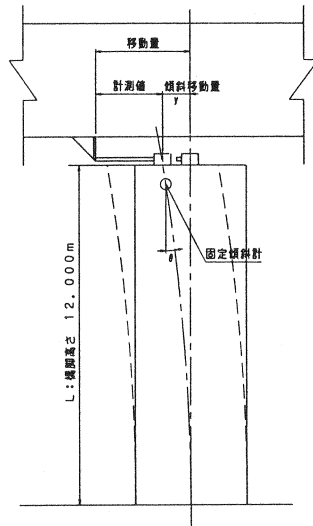


図-6 橋脚の倒れ

表-3 線膨張率解析結果 (mm/°C)

	補正変位による線膨張率		鋼材変位による膨張率
	山側	海側	
H3-08~H3-10	-1.6785	-1.7424	-1.8926
H3-09~H3-11	-1.3193	-1.0961	-1.5198
H3-10~H3-12	-1.0961	-1.0364	-1.2581
H3-11~H4-01	-1.2042	-1.2020	-1.1760
H4-12~H4-02	-1.0822	-1.1150	-1.0051
H4-01~H4-03	-0.9148	-0.9410	-0.8824
H4-02~H4-04	-0.7024	-0.7314	-1.2133
H4-03~H4-05	-1.2982	-1.3141	-1.1198
H4-04~H4-06	-1.0456	-1.0053	-0.8322
H4-05~H4-07	-1.2756	-1.1985	-1.0748
H4-06~H4-08	-1.3302	-1.2688	-1.1595
H4-07~H4-09	-0.7459	-0.7511	-1.9240
平均値 Kc	-1.1411	-1.1168	-1.0970

補正移動量によるグラフ

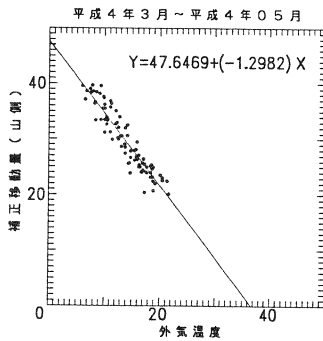


図-7 外気温-桁移動量関係グラフ

表-4 線膨張係数

		Kc	L (m)	線膨張係数	備考
補正変位量	山側	-1.1411	137.900	8.275×10^{-6}	8.2×10^{-6}
	海側	-1.1168		8.099×10^{-6}	
鋼材変位量		-1.0970	129.960	8.441×10^{-6}	8.4×10^{-6}

この結果、線膨張係数は表-4に示すとおり 8.2×10^{-6} となり設計上の規定値 10×10^{-6} よりやや小さめの値となったが誤差等を考えるとほぼ妥当な値を示している。

3-4 外気温と鋼材温度の関係について

桁伸縮量測定時に利用したPC鋼棒の温度測定値に着目し、今後増加と思われる外ケーブル工法の温度荷重について考察を行った。

鋼棒の各月の最高、最低温度を表-5に示す。

鋼棒の基準温度および温度範囲は前述の表-1に示すとおり $19.7^\circ\text{C} \pm 15.7^\circ\text{C}$ となり、コンクリート内部温度とほぼ同じ挙動を示している。したがって、箱桁内に設置する外ケーブルに作用する温度荷重等についてはコンクリートと同様の考え方が適用できると考えられる。

4. 布施畑東工区測定結果との対比

丘陵地に位置し、標高約 100 m の布施畑東

表-5 最高、最低温度表 (°C)

	鋼材温度		外気温度	
	最高	最低	最高	最低
3-8	33.8	26.1	36.7	20.8
9	34.3	23.4	33.1	17.0
10	23.8	16.1	28.8	9.6
11	19.0	12.9	21.6	5.3
12	17.3	4.0	17.0	0.1
4-1	14.6	5.0	14.3	-0.7
2	14.4	4.2	17.3	0.0
3	16.6	7.8	16.1	1.3
4	22.9	11.2	25.7	6.1
5	23.9	16.7	27.8	9.7
6	27.6	17.9	29.9	15.2
7	35.3	20.1	36.5	18.1
8	35.4	25.9	34.1	22.3
9	31.7	16.2	30.3	18.5

地区における測定結果と湾岸線の一般的な地区と考えられる二色の浜における測定結果とを比較した対比表を表-6に示す。両地区を比較した結果、外気温度の差は基準温度で3℃、最大最小温度で5℃程度であり阪神高速道路については地域差が温度荷重に及ぼす影響は小さいことがわかった。

5. おわりに

今回の測定・解析結果によりコンクリート構造物の温度荷重に関して次の結論が得られた。

- ① 構造物の温度変化の範囲は21.0~22.0℃ ±15℃となり、道示の規定値とほぼ一致する。
- ② 床版と他の部材との温度差は最大6.0℃程度であり、道示の規定値とほぼ一致する。
- ③ 見かけの線膨張係数は 8.2×10^{-6} となり、道示の規定値より若干小さいがほぼ妥当な値となる。
- ④ 丘陵地域での測定結果と一般的な平地部での測定結果との差は小さく、阪神高速道路については、地域差が温度荷重に及ぼす影響は小さい。

最後に、解析にあたりご尽力、ご指導を頂いたP C構造物検討委員会の関係各位に心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 南荘・足立・久保・小塚：多径間連続板桁における構造物温度と支承移動量の実測調査，橋梁と基礎，(1993.4)
- 2) 北沢・川北・中島・久保・石田：鋼製橋脚における構造物温度の実測と温度荷重の検討(上，下)，橋梁と基礎，(1986.11.12)
- 3) 石橋・吉野・斉藤：RCラーメン高架橋の温度・乾燥収縮の影響に関する調査，コンクリート工学 Vol.24, No.12, Dec 1986

表-6 対比表

	布施畑東	二色の浜
温度の範囲(℃)	± 15.0	± 15.0
基準温度(℃)	17.0 (20.0)	20.9 ~ 22.3 (20.0)
断面内の温度差(℃)	2.5 ~ 5.6 (5.0)	1.2 ~ 5.8 (5.0)
線膨張係数	9.0×10^{-6} (10.0×10^{-6})	8.2×10^{-6} (10.0×10^{-6})
外気温度の変動範囲(℃)	-4.9 ~ 31.6 (-5.0~35.0)	-0.7 ~ 36.7 (-5.0~35.0)

() は設計基準値