

# [108] 気象変化によるコンクリート橋温度差の簡易推定法

正会員 猪又 稔 (北海道工業大学工学部)

## 1. まえがき

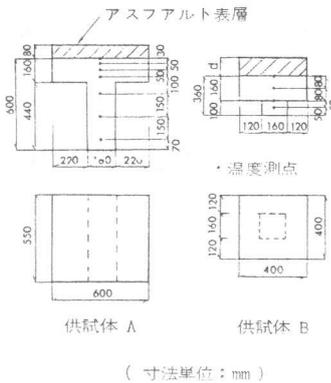
コンクリート橋の温度分布は気象環境によって複雑に変化する。部材に温度差が生じると温度応力が発生することになるが不静定構造にあっては、温度差による固有応力のほかに部材の変形拘束によって二次応力が生ずることになる。温度応力の大きさは、温度勾配によってきまるものであり、したがってコンクリート橋の二次応力を含めた温度応力を解析する上で温度差ならびに温度分布形状は非常に重要な問題となる。コンクリート部材の上下方向温度分布については既往の研究によってかなり精度良く解析することが可能となったが、一方実験式により簡便に温度差を推測できるならば温度応力の設計に際して大いに有用なものと考えられる。

本研究は、このような観点から温度差を実験的に求め、日射量および舗装厚の影響を考慮したコンクリート橋温度差の簡易推定式を提案し、更に設計用の温度分布形状についても検討するものである。

## 2. 温度分布と温度差に関する実験

### 2.1 実験方法

供試体寸法および温度測点は図-1に示すとおりである。供試体Aには80mmの、3個の供試体Bには40, 80, 120mmのアスファルト表層を施した。温度は熱電対により、また日射量は全天日射計により測定した。なお太陽光線による直接の影響が供試体側面に及ばないようにその周辺にベニヤ板のおおいをかけ、また供試体の下側は風通しのよい状態に保った。供試体Aにより主として温度分布形状を検討し、供試体Bにより温度差に及ぼす日射量と舗装厚の影響についての検討を行った。



### 2.2 温度分布形状

供試体Aの夏の晴天時における代表的な温度差分布形状の経時変化を図-2に示す。このように温度差分布形状は時刻によって変化するものであるが、いま温度差の大きくなる時間帯の実験値と既往の研究

、規準等の値を比較したものが図-3である。実験値は昭和59年夏において、供試体Aの温度差が8℃以上となった14時および15時の測定値のそれぞれの平均値を図示したものである。ここで Priestley<sup>1)</sup>とChurchward<sup>2)</sup>による温度差分布は部材下縁の値が0となるように修正して用いた。実験値は Priestley の値とは差があるもののその他の分布形とは近似していることがうかがえる。

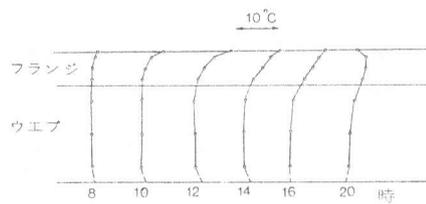


図-2 温度分布の経時変化

図-1 温度測定用供試体

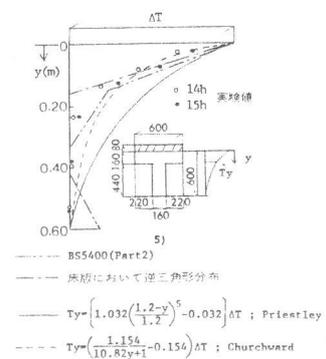


図-3 温度分布形状の比較

### 2.3 温度差と日射量との関係

図-4は昭和58年6月末から同年9月末までの、上部の温度が下

部より大きくなる正の温度差日最大値  $\Delta T$  と全天日射量  $I$  との関係を示したもので両者にはよい相関のあることが分かる。図に回帰直線式のほか 95% 予測線式 (線の下に含まれる発生確率が 95%) も併せて示した。全天日射量は気象資料として容易にえられるものであり、表-1 に日本各地の全天日射量の過去 10 年間の年最大値の平均と、過去 10 年間の最大値とを示す。

#### 2. 4 温度差に及ぼす桁高と舗装厚の影響

Emerson<sup>3)</sup>の研究によれば、桁高が大きくなるにしたがって温度差も大きくなり、その増加の割合は舗装厚によって異なる。また同一舗装厚に対して桁高が約 0.8 m 以上では温度差は一定となる。いま供試体 B による温度差の実験値から通常の桁高 (0.8 m 以上) のコンクリート橋の温度差を推定するための増加率は Emerson の研究を参考とすれば図-5 のようになる。なお図には昭和 59 年夏において、正の温度差が 8℃ 以上となった供試体 A ( $h = 0.6$  m) と供試体 B ( $h = 0.26$  m) の同時に測定した温度差の比の平均値も示してある。以上の結果を整理して、コンクリート橋の温度差  $\Delta T$  と舗装厚  $d$  の関係を示せば図-6 のようになる。図中の (a) は 95% 予測線式より基準日射量  $I = 29 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$  として求めた温度差の実験値であり、(b) は (a) の値に図-5 に示す比率を乗じて求めたコンクリート橋への適用値である。図より明らかなように温度差と舗装厚の対数値はほぼ直線的な関係にあることが分かり、これを直線式で表せば式 (1) のようになる。

$$\Delta T(I_0) / \Delta T_0 = -0.574 \log_{10} D + 1.0 \quad (1)$$

ここに

$\Delta T(I_0)$  : 基準日射量, 任意の舗装厚に対するコンクリート橋の温度差

$\Delta T_0$  : 基準日射量 ( $I_0 = 29 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ ), 基準舗装厚 ( $d_0 = 80 \text{ mm}$ ) に対するコンクリート橋の温度差 ( $\Delta T_0 = 12.5^\circ\text{C}$ )

$D$  :  $d/d_0$

$d$  : 任意の舗装厚

#### 2. 5 日射量と舗装厚の影響を考慮したコンクリート橋温度差の推定式

式 (1) において、任意の日射量に対しても適用できる式とするために、図-4 に示す 95% 予測線式を、基準日射量のときの温度差  $\Delta T(I_0)$  を用いて表せば舗装厚によって多少の差はあるものの、ほぼ近似した式がえられる。いま平均的な値を示す舗装厚 80 mm の場合をコンクリート橋の温度差に適用するものとするれば、任意の日射量による温度差  $\Delta T$  と基準日射量による温度差との関係は次式のようになる。

$$\Delta T / \Delta T(I_0) = 0.84 K + 0.16 \quad (2)$$

ただし

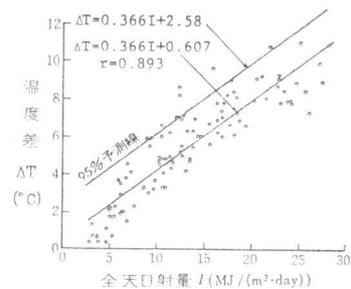
$$K = I / I_0, \quad I : \text{任意の日射量}, \quad I_0 : \text{基準日射量}$$

したがって任意の日射量および舗装厚を考慮したコンクリート橋の温度差は次式のようになる。

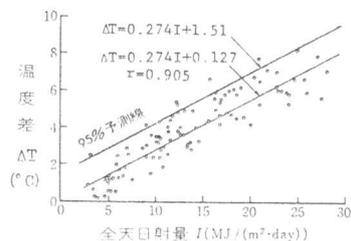
$$\Delta T = k_1 \cdot k_2 \Delta T_0 \quad (3)$$

ここに

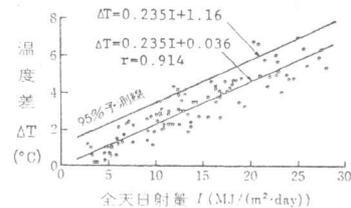
$k_1$  : 日射量の影響係数,  $k_1 = 0.84 K + 0.16$ ,  $K = I / I_0$



(a) 表層厚 40mm



(b) 表層厚 80mm



(c) 表層厚 120mm

図-4 温度差と日射量との関係

表-1 日本各地の全天日射量

地名	過去10年間の年最大値の平均 (MJ/m²·day)	過去10年間の最大値 (MJ/m²·day)
稚内	28.8	30.1
旭川	29.0	30.8
札幌	29.4	33.0
秋田	28.4	29.5
仙台	28.6	30.6
新潟	27.5	29.1
宇都宮	27.8	29.3
東京	26.9	28.9
松本	28.6	30.6
福井	28.5	29.9
静岡	28.5	30.6
名古屋	29.1	30.5
大阪	26.8	28.4
広島	28.2	30.0
高知	28.7	29.4
福岡	27.6	29.3
鹿児島	28.8	30.9
那覇	26.7	29.4
(平均)	(28.2)	

$k_2$ : 舗装厚の影響係数,  $k_2 = -0.574 \log_{10} D + 1.0$ ,

$$D = d / d_0$$

式(3)より, 表-1の日射量年最大値の平均値を用いて代表的地区における温度差を示せば表-2のようである。なお各地の最大日射量には大きな差はないので通常的设计に際しては  $k_1 = 1$  として温度差を求めても差支えないものと思われる。

### 3. 実橋による温度差測定

札幌市豊平川に架かる一条大橋(4径間PC連続箱桁橋, 側径間39.2m, 中央部径間48.0m)において, 1年余にわたって温度の実測を行った<sup>4)</sup>。図-7は測定期間中に観測されたもつとも大きい正負の温度差分布を示したものである。正の温度差分布において式(3)により, 当日の全日射量  $I = 27.7 \text{ MJ} / (\text{m}^2 \cdot \text{day})$  および舗装厚  $d = 100 \text{ mm}$  から温度差を求めれば  $11.3^\circ\text{C}$  となる。これをChurchwardならびに床版において逆三角形の温度分布として示したものと実測値はほぼ近似することがうかがえる。また負の温度差分布においては, Churchwardおよび逆三角形分布を正の場合の50%の大きさとして示してあるが, 実測値もほぼ同様な傾向にあることが分かる。

### 4. コンクリート橋の設計用温度分布形状と温度差

図-8は4種類の温度差分布形状による固有応力度の計算結果を示したものである。case(1)は道路橋示方書(Ⅲ)による温度分布, case(2)はイギリスのBS5400(Part 2)<sup>5)</sup>による温度分布, case(3)は床版において逆三角形の温度分布, case(4)はChurchwardによる温度分布である。道示(Ⅲ)では舗装厚に関係なく温度差を  $5^\circ\text{C}$  としているが, BS5400では舗装厚によって温度差は変化する。このようなことからcase(2)~(4)に対しては,  $10^\circ\text{C}$  を基準温度として応力の算定を行ったものである。図から明らかのように応力形状に関しては, ウェブ部において各caseとも多少の差はあるものの, おおよそ近似していることが認められるが, 一方フランジ部においてはcase(1)は他に比して異質であり, かつその値も小さくなるので危険側の値を与えることになる。また前述のように温度差は正負共に発生するものであり, 負の温度差の場合にはフランジ部は引張応力となり, 連続桁橋のような場合にはさらに二次的な引張応力が付加されることになる。このように温度分布形状は非常に重要なものであり, したがって道示(Ⅲ)による規定にはやや問題があるといえよう。これに対してフランジ部において逆三角形の温度分布は, 実際の温度分

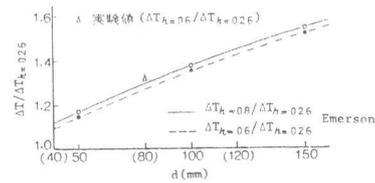


図-5 桁高が異なる場合の温度差比率

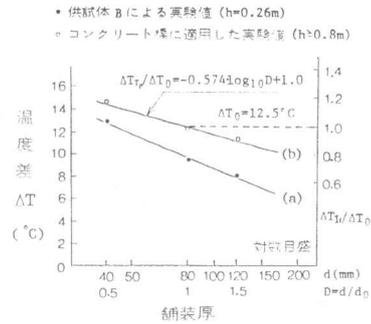


図-6 コンクリート橋の温度差に及ぼす舗装厚の影響

表-2 推定式より求めた各地区のコンクリート橋温度差

地域	温度差 ( $^\circ\text{C}$ )		
	$d=50\text{mm}$	$d=100\text{mm}$	$d=150\text{mm}$
札幌	14.1	11.9	10.7
新潟	13.4	11.3	10.1
東京	13.1	11.1	9.9
大阪	13.1	11.0	9.9
広島	13.6	11.5	10.3
那覇	13.0	11.0	9.8
全国平均	13.6	11.5	10.3
$k_1=1$	14.0	11.8	10.5

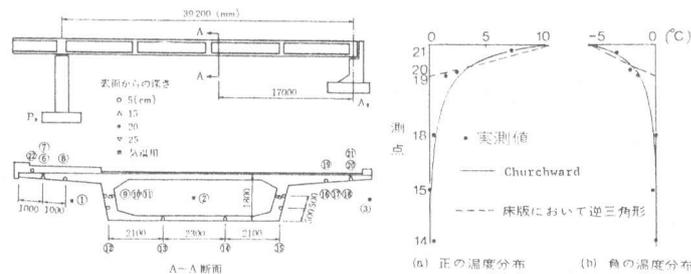


図-7 温度測点と温度実測結果

布とも近似しており、かつ形状も単純で計算に便利であることから設計用温度分布形状として適しており実用的でもある。この場合の温度差は式(3)から容易に求めることができる。

次に温度差による不静定構造の二次応力について検討する。温度差およびその分布形状は固有応力度検討の場合と同様の4種類とする。二次応力は温度差による部材の曲率の大きさによってきまるが、いまその計算結果を表-3に示す。case(2)~(4)は10°Cの温度差(舗装厚150mmの場合に相当)に対するものであるから100mm程度の標準的な舗装厚に対しては温度差および曲率とも約10%増加することになりこの場合case(1)は他に比して小さな値を与えることになる。

### 5. 結論

結論を要約すると以下のようなものである。

(1) 温度分布形状については、Churchwardによる分布あるいは床版において逆三角形の分布が実験・実測による分布と近似することが認められた。

(2) 実験によれば部材上下方向温度差と日射量とはよい相関を示した。また温度差 $\Delta T$ は舗装厚 $d$ の増加とともに減少するが、この場合 $\Delta T$ と $\log d$ の関係はほぼ直線的な傾向を示す。したがってコンクリート橋の温度差は日射量と舗装厚をパラメーターとした実験式で表わすことができる。

(3) 実橋による温度測定の結果は、実験の場合とほぼ同様な傾向を示し、また温度差についても推定式より求めた値と近似することが確かめられた。

(4) 不静定コンクリート構造に関する二次応力は温度差による部材の曲率の大きさによってきまるが、道路橋示方書(Ⅲ)による温度差分布から求めた曲率は、標準的な舗装厚に対するBS5400(Part.2)による温度差あるいは推定式による温度差から求めた曲率に比して小さな値を与える。

(5) 道路橋示方書(Ⅲ)による温度分布形状と温度差は、舗装厚の影響が考慮されておらず、またフランジ部の温度差形状ならびにそれによる固有応力度の形状と大きさが実情に合わない等の問題点がある。これに対しフランジ部において逆三角形分布は実際の温度分布とも近似しており、かつ形状も単純で計算にも便利であることから設計用の温度分布として適している。この場合の温度差は式(3)の推定式から求めることができる。また負の温度差についても設計の際に考慮する必要がある。このときの温度分布形状もフランジ部において逆三角形とし、その大きさは正の温度差の50%とするのが適当と思われる。

〔謝辞〕本研究をまとめるにあたり種々有益なご助言をいただいた北海道大学藤田嘉夫教授に深謝する次第である。また本研究の一部は北海道工業大学研究奨励費によって行ったものであることを付記する。

### 参考文献

- 1) Priestley, M. J. N.: Design of Concrete Bridges for Temperature Gradients, ACI JOURNAL, May, 1978.
- 2) Churchward, A.; and Sokal, Y. J.: Prediction of Temperatures in Concrete Bridges, Proceedings, ASCE, Vol. 107, No. ST 11, November, 1981.
- 3) Emerson, M.: Temperature Differences in Bridges: Basis of Design Requirements, TRRL Laboratory Report 765, 1977.
- 4) 猪又稔, 立花邦雄, 佐藤巖: PC連続箱桁橋 - 一条大橋の支承破損調査, 土木学会誌, Vol. 68, No. 9, 1983-8.
- 5) BS5400, Part 2, Specification for loads, 1978.

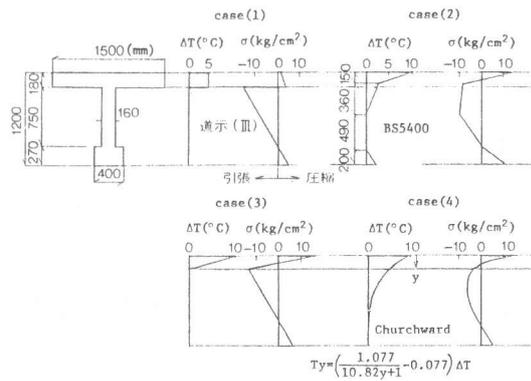


図-8 温度分布形状と固有応力度

表-3 曲率の計算結果

温度分布	曲率 $\phi/h$
case(1)	$62.76 \times 10^{-6}$
case(2)	$70.99 \times 10^{-6}$
case(3)	$68.57 \times 10^{-6}$
case(4)	$68.15 \times 10^{-6}$