

## 外気温、日射量の統計値、構造体温度実測例

久木章江

文化女子大学造形学部住環境学科 助教授

### § 1 はじめに

温度荷重の簡易予測法を実施するための基礎データとして、外気温、日射量の統計値、構造体温度実測例等について整理した。なお、これらの概要の一部は2005年度以降の大会等<sup>1, 2)</sup>でも報告している。

### § 2 全国12地点の外気温

#### 2.1 データの抽出

建物の温度応力を算定するには日射の影響や方位をはじめ、様々な影響要因とその時系列変化を考える必要があるが、第一段階としては、基本となる外気温データの整理が必要となる。ここでは日本国内における地域差を配慮し、建築物荷重指針<sup>3)</sup>と同様の全国12地点である札幌、仙台、前橋、東京、長野、新潟、名古屋、大阪、広島、高松、福岡、那覇を対象とした。

外気温の観測データは、気象庁の観測データ<sup>4)</sup>、拡張アメダスデータ<sup>5)</sup>など、いくつか存在しており、それぞれ観測時間やデータの整理方法が異なる。また気象庁保管のデータも、地域によって観測開始時期が異なる場合や、統計方法の変更等も行われている。そこで、比較的観測内容のデータが得られる期間として1961年1月以降のデータを使用することし、2005年12月までの45年間をデータの対象とした。

#### 2.2 再現期間100年に対する値

温度荷重は自然現象である気象データに影響されるため、設計用の荷重値設定の際には、風荷重や地震荷重と

同様、再現期間による評価が望ましい。しかし温度荷重は、瞬間的な極値温度も対象とするのか、日平均などのある時間内で均した値で評価するかなど、設計条件によるため、何が適合するか、一律に定めることは難しい。そこで、文献6の概念を取り入れて、日平均気温データを基本として年最高、年最低となる気温データを整理した。文献3と同様、再現期間100年に対する値を算出し、他のデータと比較した結果を表1に示す。また45年間の地域別外気温データの推移を図1~12に示す。

ここでは再現期間100年に対する値の算出は、日平均気温の年最大値、年最小値の分布がグンベル分布に適合すると仮定し、グンベルの積率法を用いている。

近年地球温暖化の影響が指摘されているが、データからもその傾向はみられる。1961年以前の観測データがある地点で比較すると、過去最低気温の大部分は1961年以前のデータであり、1961年以降の最低気温と10度程度異なる地域もある。最高気温は1994年が漸並み大きい値となっている。また45年間の推移を比較しても、徐々に気温が上がっている。よって、現時点での観測データを元に再現期間100年に対する値を算出したが、今後は最低・最高気温が、高い方に推移する可能性もある。

なお、表1には同じ気象庁データにおける最高・最低気温とその再現期間100年の値、アメダスデータによる15年間の年最高・最低データより算出した非超過確率99%の値も併記した。これらの値は瞬間的な極値温度に対応するが、短時間の最高・最低気温が建物に影響を及

表1 12地点における外気温データ

観測地点	再現期間100年に対する値(°C) 日平均データより算出		再現期間100年に対する値(°C) 年最高、年最低気温データより算出		過去の最高気温、最低気温(°C) ( )内は該当年		非超過確率99%の値(°C) 年最高・年最低データより算出		
	高温側	低温側	高温側	低温側	過去最高	過去最低	高温側 (正規分布)	低温側 (正規分布)	
札幌	31.7	-15.6	37.8	-21.9	36.2 (1994年)	-19.4 (1978年)	37.3	-19.1	
仙台	32.3	-7.2	38.8	-11.5	36.6 (1961年)	-10.2 (1967年)	38.6	-11.0	
前橋	33.6	-4.8	41.7	-10.7	40.0 (2001年)	-9.0 (1981年)	44.2	-9.5	
東京	34.0	-1.8	41.1	-6.6	39.5 (2004年)	-5.5 (1963年)	40.8	-6.4	
長野	31.0	-8.9	39.0	-15.4	38.7 (1994年)	-15.0 (1967年)	40.0	-15.6	
新潟	33.3	-5.2	39.8	-11.7	38.5 (1978年)	-10.6 (1978年)	39.2	-10.0	
名古屋	33.3	-1.3	40.6	-8.5	39.8 (1994年)	-7.0 (1963&67年)	43.5	-9.3	
大阪	33.1	-2.8	40.0	-6.4	39.1 (1994年)	-5.5 (1981年)	40.9	-7.0	
広島	33.1	-5.8	39.8	-8.7	38.7 (1994年)	-8.5 (1963年)	38.7	-8.8	
高松	33.7	-3.7	39.4	-7.2	38.2 (1994年)	-6.0 (1977年)	40.0	-8.1	
福岡	32.8	-3.9	38.4	-6.4	37.7 (1994年)	-5.2 (1977年)	39.7	-7.0	
那覇	31.7	8.1	36.1	6.0	35.6 (2001年)	6.6 (1967年)	36.6	6.3	
データの 出典	気象庁データ 1961年~2005年						アメダスデータ 1981年~1995年 文献3より 引用		

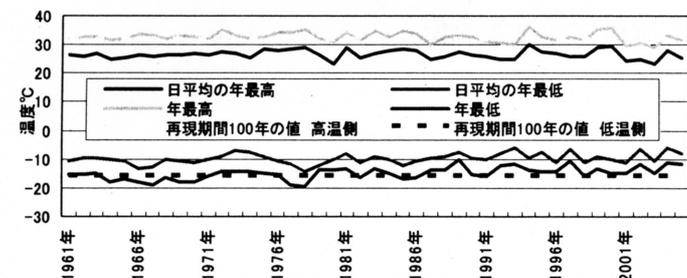


図1 札幌の外気温データ

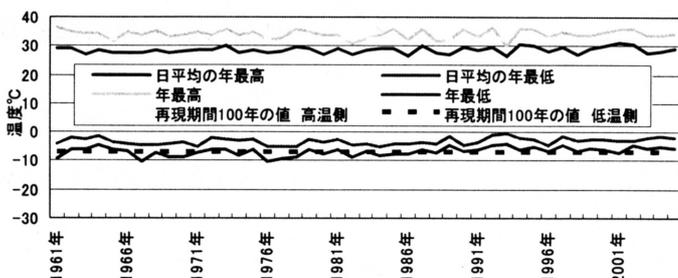


図2 仙台の外気温データ

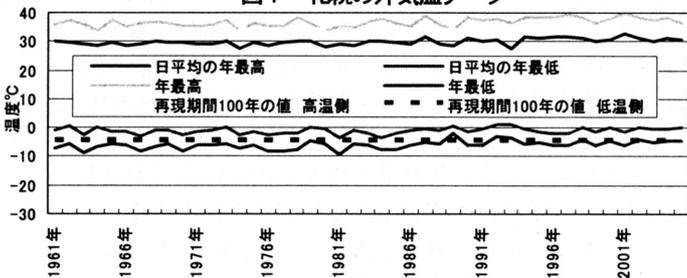


図3 前橋の外気温データ

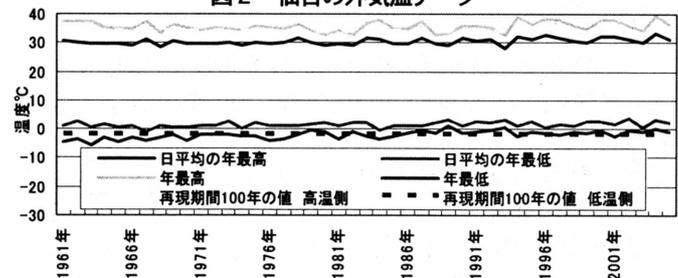


図4 東京の外気温データ

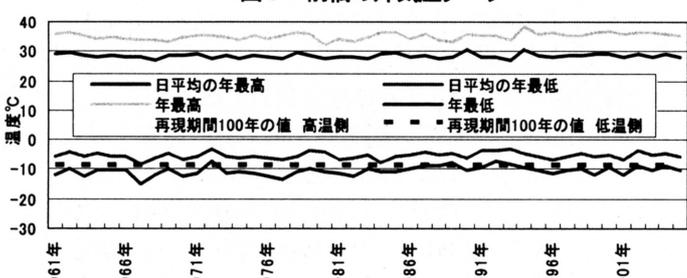


図5 長野の外気温データ

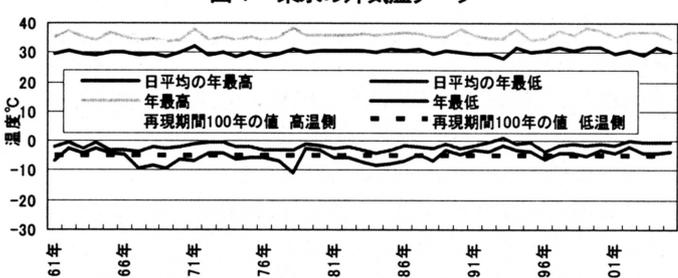


図6 新潟の外気温データ



図7 名古屋の外気温データ

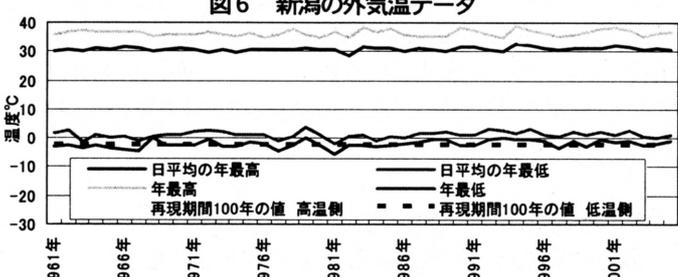


図8 大阪の外気温データ



図9 広島の外気温データ

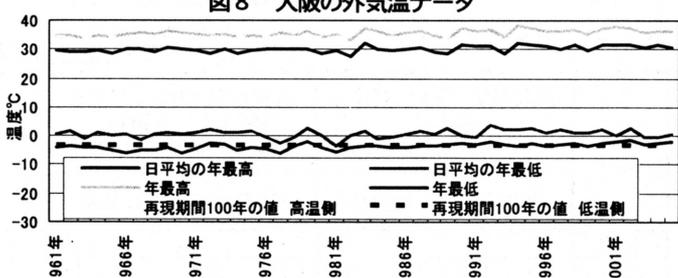


図10 高松の外気温データ

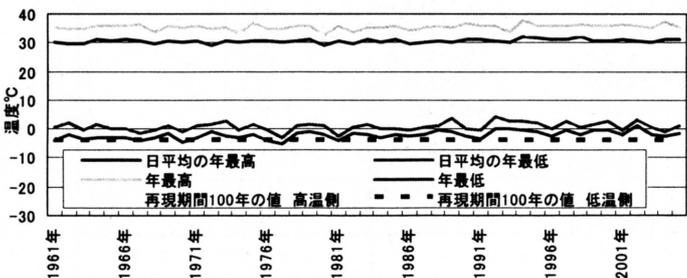


図11 福岡の外気温データ

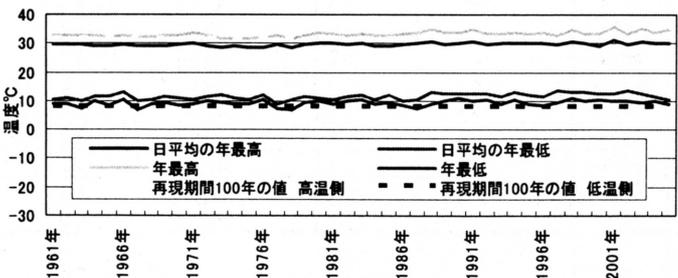


図12 那覇の外気温データ

ばす場合もあるため、これらのデータも参考にして、適切に判断する必要がある。

なお個々のデータを見ると、年最高気温も年最低気温もわずかではあるものの年々高くなっており、過去最高気温の大部分は1990年以降であり、過去最低気温の大部分は1980年以前のデータになっている。よって、ここで示した温度の値は徐々に高く推移する可能性もある。

また最高気温、最低気温を対象にした再現期間100年に対する値については、東京の場合、41.1℃(最高気温)、-6.6℃(最低気温)となる。

なお、評価値のみから比較すると再現期間100年に対する値は、地域差が小さいが、バラツキは異なっている。温度荷重のバラツキについては、一日、一年、観測データ全体など、様々な段階で発生しており、設計用温度荷重を設定するにはこのようなバラツキも判断材料になる。そこで、表1で示した気温データの変動係数を算出した結果を表2に示す。

表2 気温データの変動係数

	日平均による再現期間100年に対する値の変動係数(%)		年最高気温の変動係数(%)	年最低気温の変動係数(%)
	高温側	低温側		
札幌	6.08	19.19	4.97	14.94
仙台	4.14	39.01	4.33	22.73
前橋	3.90	105.87	4.32	24.54
東京	3.76	70.86	4.79	70.73
長野	2.83	21.81	3.47	14.93
新潟	3.21	64.81	3.46	41.54
名古屋	3.32	239.69	3.53	30.41
大阪	2.33	109.45	3.09	62.21
広島	3.51	245.17	4.47	39.53
高松	3.78	202.21	3.35	30.65
福岡	2.31	191.33	2.64	63.11
那覇	2.13	9.66	2.76	11.18

全体的に高温側の変動が小さく、低温側の変動が大きい。また地域によって変動の大きさにはバラツキがみられる。なお外気温データにおいて、変動が大きいということは、最高値・最低値となる確率が低いことを示し、変動が小さい場合は、毎年の最高値・最低値データがほぼ同様の値のデータの集合になっていることを意味する。よって高温側の温度は再現期間100年に対する値として算定しているものの、比較的頻度が高いデータであることを意味している。

### §3 鋼構造部材の部材温度の設定

#### 3.1 部材厚さと部材温度の関係

構造体温度の簡易予測法では外気温を日平均温度(一定)と日変動(一日を周期とする正弦波)に分けて考え、それぞれの温度に対する応答値を足し合わせることで構

造体温度を算定する。簡単な例として板状の単一の材料(鋼材、コンクリート)が外気中にある(日射はない)場合を考えると、構造体の平均気温は外気温の平均気温に等しくなる。一方、構造体の日変動振幅は部材の熱特性、部材厚さによって変化する(図13)。一般的に部材厚さが厚くなるほど部材温度の日変動振幅は小さくなる(図14)。鉄筋コンクリート構造で使用されている部材の厚さは概ね120mm以上であり、この影響が無視できないため、簡易算定法(日変化を周期定常と考えて応答値を計算する方法)によって部材温度を算定することが望ましい。一方、鋼構造では部材を構成する鋼板の厚さは概ね80mm以下であり、100mmを超えることはほとんどない。この範囲では部材温度はほぼ外気温と近い温度となるため、鋼材温度=接している外気温と考えると安全側の値となる。

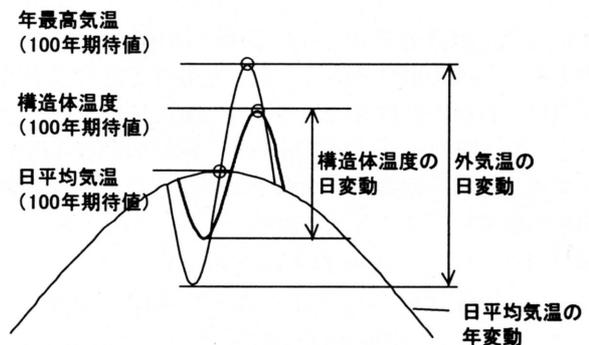


図13 外気温と部材温度の変動

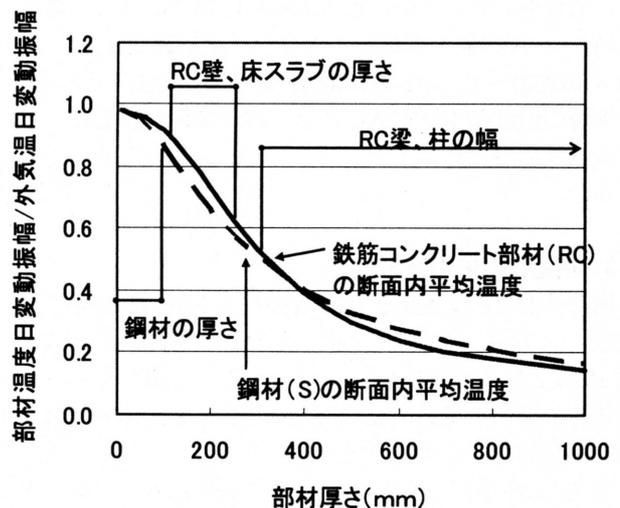


図14 部材厚さと部材日変動振幅の関係

#### 3.2 日射を受ける鋼構造部材の部材温度

日射を受ける鋼構造部材の例として外気中に水平に保たれた鋼板を考える。上面は日射を受けており、日射の影響を等価な外気温に置き換えた「相当外気温」に接し、下面は「外気温」に接していると考えられる。相当外気温  $T_{SAT}$  は下式で与えられる。ここで  $a/\alpha_0 \times J$  が日射の影響に

相当する。

$$T_{SAT} = T_0 + a/\alpha_0 \times J$$

ここに  $T_{SAT}$  : 相当外気温  
 $T_0$  : 外気温  
 $a$  : 日射吸収率  
 $\alpha_0$  : 外表総合熱伝達率  
 $J$  : 全天日射量

鋼材温度（断面の平均）は、上面と下面の熱伝達率が等しい場合、上面と下面の相当外気温、外気温の平均であると考えられる。下式は日射の影響が1/2になっていることを示している。

$$\begin{aligned} \text{鋼材温度} &= (T_{SAT} + T_0)/2 \\ &= (T_0 + a/\alpha_0 \times J + T_0)/2 \\ &= T_0 + 1/2 \times (a/\alpha_0 \times J) \end{aligned}$$

次に実際に鋼構造で用いられるH鋼や鋼管などについて考える。平板の場合と同様に日射を受ける部分は相当外気温に、日射を受けない部分は外気温に接していると考えられる。鋼材断面水平投影面積を  $Ar$ 、鋼材の全表面積を  $A$  とする。鋼材の厚さは断面内では同じとした場合、鋼材の平均温度は下式で与えられる。

$$\begin{aligned} \text{鋼材温度} &= (T_{SAT} \times Ar + T_0 \times (A - Ar))/A \\ &= ((T_0 + a/\alpha_0 \times J) \times Ar + T_0 \times (A - Ar))/A \\ &= T_0 + Ar/A \times (a/\alpha_0 \times J) \end{aligned}$$

上式は日射の影響が  $Ar/A$  倍されていることを示す。ここで夏季の東京を想定して太陽の仰角 74 度の場合について  $Ar/A$  の値を算定してみると、H型鋼で 0.186 (H-600x200)~0.214(H-400x400)、鋼管では 0.331 となる。鋼構造の温度荷重算定例においては安全側の値として

$$Ar/A = 1/3$$

とした。

### 3.3 構造体温度の実測例

構造体温度の実測例として阪神高速道路の鋼製箱型梁 (2.5m×3m) 上面の1年間にわたる実測結果を示す。図15は文献7の図8から(d),(e)を転記し加筆したものである。右図(e)は日射を受けない部分の鋼材温度(日最高)が日最高外気温とほぼ一致することを示している。左図(d)は日射を受ける部分の鉄骨表面温度の日最大値(晴れの日)と外気温との関係を示しており、外気温25℃以上の範囲で下式のような回帰式が得られている。

$$\begin{aligned} \text{日照部鉄骨表面温度} &= 0.98 \times \text{日陰部外気温} + 18.63, \\ &\sigma = 2.62^\circ\text{C} \end{aligned}$$

ここでは簡易予測法として、上フランジの上面(日射を受ける)は相当外気温を考え、上フランジ下面(箱型梁内部)は外気温と等しいと考えて鋼材温度を推定する。全天日射量は文献4に示す東京の値として  $1000\text{W/m}^2$  と

し、下面(箱型断面内)の熱伝達率は「室内」の値として  $9\text{W/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$  とした。また、日照部と日陰部の温度差の実測値の平均  $1.58^\circ\text{C}$  を加えた<sup>1)</sup>。

$$\begin{aligned} \text{鋼材温度} &= (T_{SAT} \times 25 + T_0 \times 9)/(25+9) + 1.58 \\ &= ((T_0 + a/\alpha_0 \times J) \times 25 + T_0 \times 9)/(25+9) + 1.58 \\ &= T_0 + 25/(25+9) \times (a/\alpha_0 \times J) + 1.58 \\ &= T_0 + 25.11 \end{aligned}$$

図15に鋼材温度の予測値を追記した。図より予測値は実測値のほぼ上限を与える結果となることがわかった。

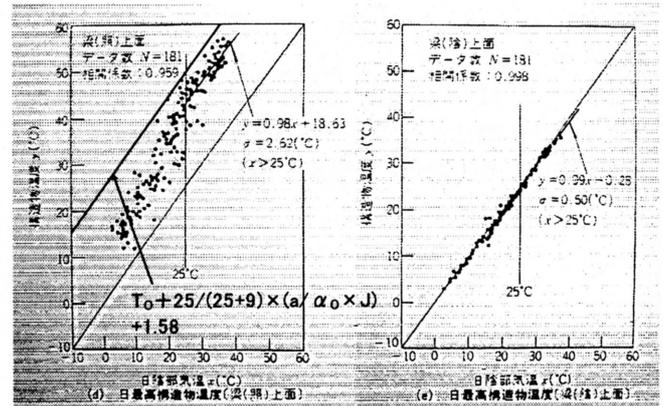


図15 鋼製橋脚における鋼材温度の実測例

(北沢正彦他：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)、橋梁と基礎、1986-11の図8より転記、加筆した)

## § 4 おわりに

温度荷重の評価を行うための外気温データとその統計量を整理した。また、鋼構造部材の温度は周辺の外気温とほぼ等しくなることから、外気温、日射の最大値のみから鋼構造部材の温度を推定する簡易算定法を示した。

これらの結果は設計用の温度荷重を算定する基本的なデータであり、設計者が温度効果をふまえた設計を行うときの判断用資料として位置づけられる。

### 【引用文献】

- 1) 林幸雄, 永田明寛, 石川孝重, 中島秀雄: 温度荷重の簡易予測法に関する研究-その1 研究の目的と既往の実測結果の分析-; -その2 簡易予測法と気象データ, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造I), pp. 41~44, 2005年9月.
- 2) 石川孝重, 久木章江: 温度荷重の簡易予測法に関する研究-その3 気象庁データに基づく全国12地点における外気温-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造I), pp. 91~92, 2006年9月.
- 3) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説(2004), 日本建築学会, 2004年9月15日.
- 4) 気象庁HP: <http://www.data.kishou.go.jp/etrn/index.html>.
- 5) 日本建築学会: 拡張アメダス気象データ1981-1995, 丸善, 2000年1月25日.
- 6) ISO/TR9492: 1987, Based for design structures- Temperature climatic actions, 1987.
- 7) 北沢正彦他: 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)、橋梁と基礎、1986-11.