

二重折板屋根に作用する繰返し温度荷重の評価

浅井 英 克

Evaluation of Cyclic Temperature Load Acting on Double Folded Plate Roof

Hidekatsu Asai

Abstract

Although double folded plate roofs are widely used mainly in production and distribution facilities, they may scatter owing to the fatigue failure of the joints under the temperature expansion and contraction. Moreover, even today, no rational verification method is verified. In this study, to evaluate the cyclic temperature load acting on a double folded plate roof, the corresponding plate roof temperature for three buildings was measured over a one-year period. The results obtained are as follows: 1) The temperature amplitude and frequency of occurrence of the double folded roofs did not differ much in the three buildings. 2) As an evaluation of the cyclic temperature load, the author has proposed a measurement formula to obtain the relationship the between temperature and amplitude-occurrence frequency. 3) Temperature amplitudes equal to the measurement data are proposed.

概 要

二重折板屋根は経済性や施工性に優れるため、生産・物流施設を中心に広く使用されている。しかし、上折板の温度伸縮の繰返しによって上折板と下折板を繋ぐ接合部が疲労破壊し、屋根が飛散する被害事例が問題となっており、現在でも温度伸縮の繰返しに対する合理的な検証法が一般化されていない。そこで本研究では、二重折板屋根に作用する繰返し温度荷重を評価するため、3建物の二重折板屋根温度を1年間実測した。得られた結果は次の通りである。1) 1年間で二重折板屋根に生じる温度振幅と発生頻度は3建物で大きな違いはなかった。2) 0℃～約60℃までの様々な温度振幅の大きさと発生頻度の関係を求める実測式を提案した。3) 繰返し温度荷重の影響を一定の温度振幅で簡便に評価するため、2)の温度振幅－発生頻度関係と等価な荷重効果を考慮できる「等価温度振幅」を提案した。

1. はじめに

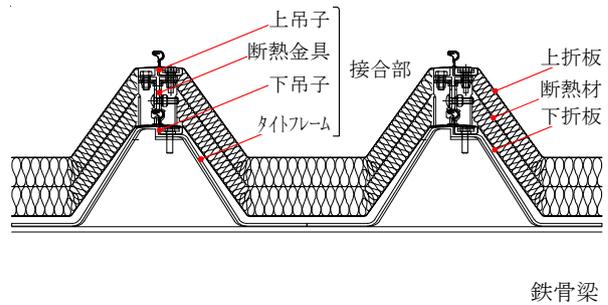
二重折板屋根は経済性や施工性に優れるため、生産・物流施設を中心に広く使用されている。Fig. 1のように、二重折板屋根は上折板、下折板という2枚の折板の間に断熱材を挟むことで、断熱性や水密性を確保する。また、上折板と下折板は上吊子、断熱金具、下吊子、タイトフレームと呼ばれる各構成部品(以下、接合部と総称する、Fig. 1(2)参照)で構造体に取り付けられ、風や雪などの鉛直荷重に抵抗する。

このように、二重折板屋根は軽量の金属部品で比較的簡便に耐風圧性等を確保できる。一方、日射を受ける上折板と外気から断熱される下折板には温度差が生じるため、上折板と下折板を繋ぐ接合部には水平方向の強制変形が繰返される。その結果、接合部が疲労破壊して屋根が飛散する被害事例が問題となっており^{1),2)}、現在でも温度伸縮に対する合理的な検証法が一般化されていない。

一般に建築物の温度荷重に対する検討は、想定される温度の最高値、最低値に対して行われる^{3),4)}。一方、温度伸縮などの繰返し荷重に対する検討では、金属疲労を考慮し、様々な大きさの荷重とその頻度を考慮した損傷度で安全性を評価する必要がある^{例えば5)}。二重折板屋根の現状を見ると、技術標準といえる「日本金属屋根協会：鋼



(1) 太陽光パネルが設置された二重折板屋根



(2) 二重折板屋根の断面図

Fig. 1 二重折板屋根の例
Example of Double Folded Plate Roof

板製屋根構法標準「SSR2007」⁶⁾には、温度伸縮を想定した接合部の水平変位繰返し疲労試験法が提示されている。しかし、想定される温度振幅は実況に応じて定めるとされており、実務上の課題は少なくない。特に近年は生産・物流施設などが大型化して折板長さの大きな屋根が増加しているため、温度伸縮に対する一層の配慮が求められている。

本研究は、温度伸縮に対する二重折板屋根の健全性確保を目的に、二重折板屋根に作用する繰返し温度荷重を評価したものである。最初に3建物の二重折板屋根温度を実測し、1年間に生じる様々な温度振幅の大きさと発生頻度の関係を明らかにした。次に、この関係を回帰分析した実測式を提案した。さらに、繰返し温度荷重の影響を簡便に一定値の温度振幅で評価するため、実測で得られた温度振幅-発生頻度関係と等価な荷重効果を考慮できる「等価温度振幅」を提案した。これらにより、水平変位繰返し試験などの温度伸縮に対する諸検討において、現在は根拠が希薄である温度振幅や発生頻度の設定に、合理性を与えることが可能となった。

2. 二重折板屋根の温度実測

2.1 実測方法

二重折板屋根に作用する温度荷重を把握するため、3建物の二重折板屋根温度を1年間実測した。Table 1に実測建物の概要を示す。実測建物は埼玉県川越市、大阪府枚方市、宮城県黒川郡に立地するA～Cの3建物であり、最高高さや折板長さはTable 1の通りである。建物Bの外観を前述のFig. 1(1)に示す。いずれの建物においても周囲に日射や風を遮るものはなく、外気温度や日射等の天候の影響が二重折板屋根に直接作用する。

Table 2に計測方法を示す。各建物の計測開始は2017年6月1日～7月20日であり、計測期間は1年間、計測間隔はいずれも15分毎とした。計測項目は屋根温度、屋根上の外気温度、日射量の3項目である。それぞれの計測状況をPhoto 1に示す。

屋根温度は折板長さ方向の中央付近に設置した熱電対で計測した(Photo 1(1)参照)。建物A, Bでは、Fig. 2に示す上折板の上底1箇所、斜面2箇所、下底1箇所の計4箇所、建物Cでは上底を除く3箇所を上折板の温度を計測した。建物A, Bでは計4箇所、建物Cでは計3箇所の計測値の平均を屋根温度 T_r とした。

一方、屋根上の外気温度について、建物A, BではPhoto 1(2)に示す温度計で計測し、建物Cでは屋根上に日陰を設けて熱電対で雰囲気温度を計測した。これら各1箇所の計測値を屋根上外気温度 T_0 (以下、外気温度 T_0 という)とした。さらに建物A, Bにおいては、Photo 1(3)に示す日射計で日射量 J を計測した。

2.2 実測結果

2.2.1 年最高・年最低温度 Table 3に外気温度 T_0 と

Table 1 実測建物・屋根の概要
Outline of Measured Building and Roof

	建物 A	建物 B	建物 C
建設地	埼玉県川越市	大阪府枚方市	宮城県黒川郡
構造種別	鉄骨造	鉄骨造	鉄骨造
建物用途	工場	工場	工場
階数	地上1階	地上2階	地上1階
最高高さ	地盤面+18.3m	地盤面+16.0m	地盤面+14.6m
竣工年月	2015年9月	2016年9月	2010年8月
折板長さ	約73m	約74m	約80m
折板カラー	グレー	ダークブラウン	シルバー

Table 2 計測方法
Measurement Method

	建物 A	建物 B	建物 C
計測開始	2017年6月1日	2017年7月1日	2017年7月20日
計測期間	1年間	1年間	1年間
計測間隔	15分/回	15分/回	15分/回
屋根温度	熱電対：4箇所	熱電対：4箇所	熱電対：3箇所
外気温度	温度計：1箇所	温度計：1箇所	熱電対：1箇所
日射量	日射計：1箇所	日射計：1箇所	—

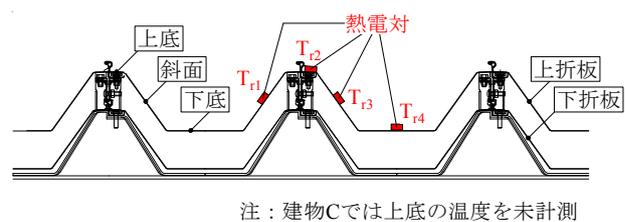


(1) 熱電対による上折板の温度計測



(2) 温度計による外気温度計測 (3) 日射計による日射量計測

Photo 1 計測状況例
Example of Measurement Situation



注：建物Cでは上底の温度を未計測

Fig. 2 上折板の温度計測位置
Temperature Measurement Position of Upper Folded Plate

屋根温度 T_r の実測結果一覧を示す。外気温度と屋根温度の年較差 $\Delta_y T_{0,max}$ と $\Delta_y T_{r,max}$ は、建物ごとに求めた年最高値と年最低値の差であり、平均日較差 $\Delta_d T_{0,max}$ と $\Delta_d T_{r,max}$ は日較差の1年間の平均値である。Table 3より3建物の平均値と比較すると、屋根温度 T_r は外気温度 T_0 に比べて年最高、年較差、平均日較差が大きい。日射による温度上昇効果で、上折板には大きな温度差が生じることを確認できる。

2.2.2 1年間の日最高・日最低温度の推移 Fig. 3に建物Aにおける日最高・日最低温度の1年間の推移を示す。Fig. 3(1)(2)より、外気温度 T_0 と屋根温度 T_r の日最高・日最低値は1年の間で正弦波のような履歴を描いて増減すること、一方、外気温度 T_0 と屋根温度 T_r の日較差はTable 3に示す平均日較差を中心として、それぞれ $\pm 10^\circ\text{C}$ 、 $\pm 20^\circ\text{C}$ 程度の範囲で変動することを確認できる。

Fig. 3(3)に屋根温度 T_r と相当外気温度 T_{sat} の比較を示す。相当外気温度 T_{sat} は文献3)より、外気温度 $T_0(^\circ\text{C})$ と日射量 $J(\text{W}/\text{m}^2)$ の実測値を用いて式(1)で算出した。

$$T_{sat} = T_0 + (a/\alpha_0) \times J \quad (1)$$

ここで

a : 日射吸収率であり、折板カラー(グレー)を考慮して、 $a=0.6$ とする。

α_0 : 外表面の総合熱伝達率であり、 $\alpha_0=25\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ とする。

Fig. 3(3)より、日最高温度については、屋根温度の実測値 $d T_{r,max}$ と相当外気温度 T_{sat} は良好に対応しており、相当外気温によって日最高温度を推定し得ることが分かる。一方、日最低温度については、相当外気温度 T_{sat} は屋根温度の実測値を高温度側に評価する傾向が見られ、特に10月上旬から4月上旬にかけてその傾向が顕著である。これは夜間放射³⁾の影響と考えられ、本実測データでは屋根温度の実測値は相当外気温度から最大で 10°C 程度低い結果となっている。

2.2.3 1日間の屋根温度の推移 Fig. 4に建物Aの屋根温度 $T_{r1} \sim T_{r4}$ と日射量の1日間の推移を示す。ここでは計測期間中の屋根温度 T_r の①最暑日(2017年8月9日)と②最寒日(2018年2月7日)、さらに③春期として2018年5月1日の実測結果を示す。屋根温度 $T_{r1} \sim T_{r4}$ の計測位置はFig. 2に示す通りである。Fig. 4より、夏期にあたる①の日射量が大きく、逆に冬期にあたる②の日射量が小さいこと、Fig. 4(1)で顕著なように、日射量の小刻みな増減に応じて屋根温度も小刻みに増減することを確認できる。また、折板屋根は凹凸を有することから日射面との角度によって折板各部の温度は異なり、11時~13時の間では部位によって最大 20°C 程度の温度差が生じている。

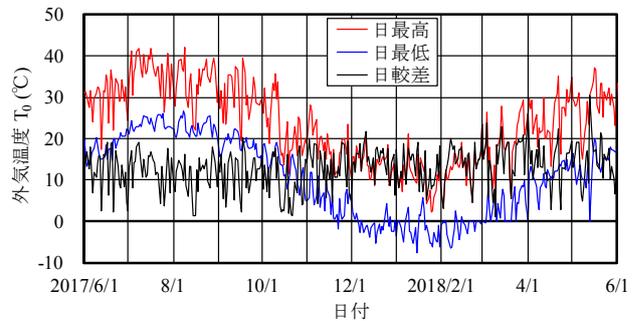
3. 温度振幅と発生頻度

3.1 1年間に生じる温度振幅と発生頻度

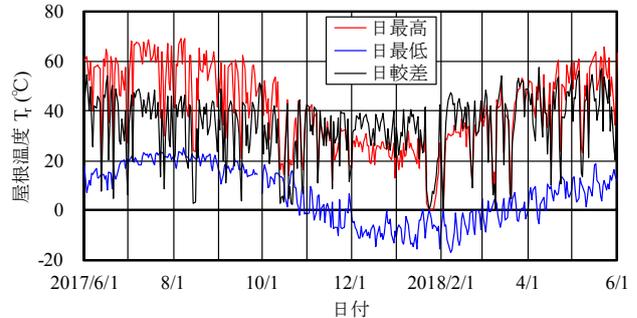
二重折板屋根に生じる温度変化は、①Fig. 3に示す1年を単位とする大きな温度変化、②Fig. 4に示す1日を単位とする温度変化、③Fig. 4(1)で顕著なように、日中の日射

Table 3 温度実測結果一覧
List of Temperature Measurement Results

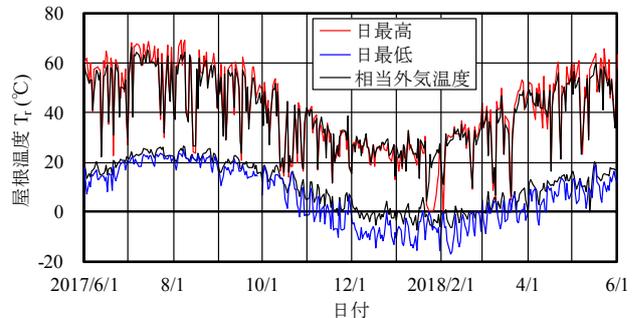
(1) 外気温度 T_0				
	年最高 $y T_{0,max} (^\circ\text{C})$	年最低 $y T_{0,min} (^\circ\text{C})$	年較差 $\Delta_y T_{0,max} (^\circ\text{C})$	平均日較差 $\Delta_d T_{0,m} (^\circ\text{C})$
建物 A	42.0	-7.7	49.7	13.0
建物 B	40.4	-4.7	45.1	10.4
建物 C	38.0	-11.4	49.4	13.7
平均	40.1	-7.9	48.1	12.4
(2) 屋根温度 T_r				
	年最高 $y T_{r,max} (^\circ\text{C})$	年最低 $y T_{r,min} (^\circ\text{C})$	年較差 $\Delta_y T_{r,max} (^\circ\text{C})$	平均日較差 $\Delta_d T_{r,m} (^\circ\text{C})$
建物 A	69.4	-17.1	86.5	34.1
建物 B	70.6	-15.3	85.9	30.5
建物 C	73.8	-16.9	90.7	32.6
平均	71.3	-16.4	87.7	32.4



(1) 外気温度 T_0 の日最高・日最低温度と日較差



(2) 屋根温度 T_r の日最高・日最低温度と日較差



(3) 屋根温度 T_r と相当外気温度 T_{sat} の比較

Fig. 3 日最高・日最低温度の1年間の推移(建物 A)
One-year Transition of Daily Maximum and Minimum Temperatures (Building A)

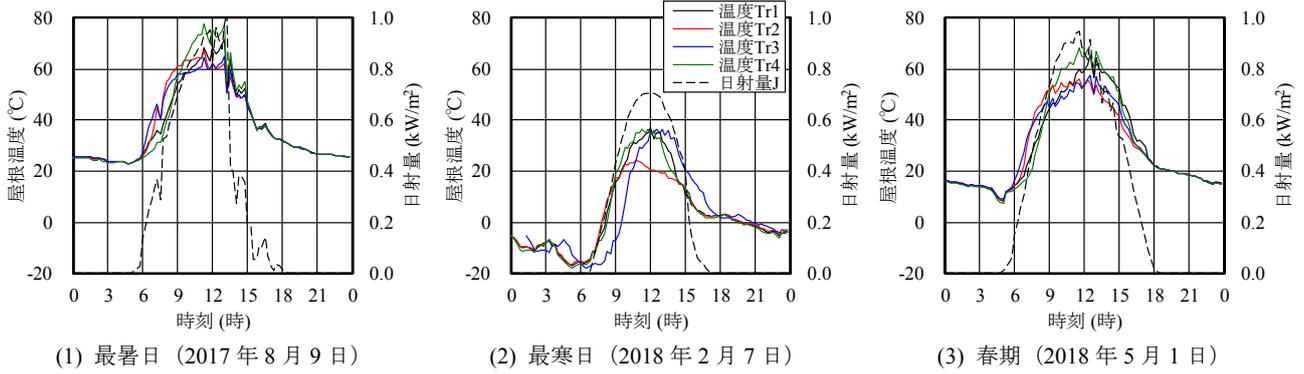


Fig. 4 屋根温度と日射量の1日間の推移(建物 A)
One-day Transition of Folded Plate Temperature and Solar Radiation (Building A)

量の増減により変化する小刻みな温度変化、に分類できる。温度伸縮の繰返しなどのいわゆる疲労に対する検討では、①～③のすべての温度変化と発生頻度を考慮して、累積損傷値を指標に安全性を判断する(例えば5)。そこで、本節では2章の実測データを活用して、1年間で二重折板屋根に生じる温度変化と発生頻度を明らかにする。

2章に示す15分間隔で1年間計測した約35,000の温度時刻歴データから、レインフロー法(例えば7)で計数した外気温度の振幅 ΔT_0 と1年間の繰返し数 yN_0 の関係をFig. 5(1)、屋根温度の振幅 ΔT_r と1年間の繰返し数 yN_r の関係をFig. 5(2)に示す。本報ではレインフロー法で「a°C→b°C→a°C」と計数された1サイクルの温度変化の絶対値|a-b|を温度振幅とした。Fig. 5の横軸の温度振幅は1°C間隔で計数を行い、例えば19.5°C以上20.5°C未満の温度振幅を20°Cの温度振幅とした。

Fig. 5(1)(2)より、3建物の外気温度振幅 ΔT_0 、屋根温度振幅 ΔT_r の分布に有意な差は見られず、本実測データからは建設場所の影響は小さいことが分かる。両図の凡例に各温度振幅の繰返し数を累積した総繰返し数 ΣyN_0 、 ΣyN_r を示す。屋根温度の1年間の総繰返し数 ΣyN_r は6,000前後であるが、外気温度の ΣyN_0 は約6,000～10,000と3建物でばらつきが大きく、また ΣyN_0 と ΣyN_r に有意な相関は見られない。

同じ温度振幅の繰返し数 yN_0 、 yN_r を3建物で平均した値をそれぞれ $yN_{0,m}$ 、 $yN_{r,m}$ とし、これらと温度振幅 ΔT_0 、 ΔT_r の関係をFig. 5(3)に示す。Fig. 5(3)から、日射や夜間放射などの影響により、屋根温度は外気温度よりも全体的に振幅が大きいことが分かる。また屋根温度について見ると、 $\Delta T_r < 20^\circ\text{C}$ および $45^\circ\text{C} < \Delta T_r$ の範囲では ΔT_r が増加するほど繰返し数 $yN_{r,m}$ は減少するが、 $20^\circ\text{C} \leq \Delta T_r \leq 45^\circ\text{C}$ の範囲では、 ΔT_r によらず繰返し数は $yN_{r,m} = 9$ 前後の値である。

本研究の目的である二重折板屋根に作用する繰返し温度荷重の評価として、Fig. 5(3)を回帰分析した式(2)を提案する。

$$\left. \begin{aligned} 1 \leq \Delta T_r \leq 19 & : yN_r = 2140 \times \Delta T_r^{1.84} \\ 20 \leq \Delta T_r \leq 45 & : yN_r = 9 \\ 46 \leq \Delta T_r & : yN_r = 19319 \times e^{-0.167 \Delta T_r} \end{aligned} \right\} (2)$$

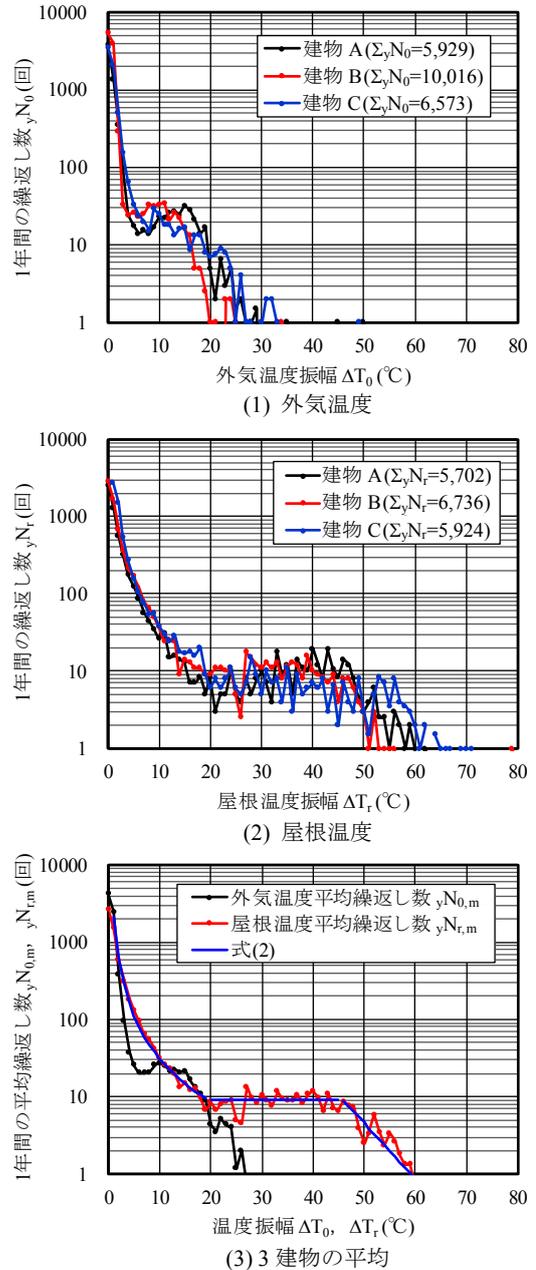


Fig. 5 1年間の繰返し数－温度振幅関係
Repeat Count - Temperature Amplitude Relationship in One-year

ここで、

ΔT_r : 二重折板屋根の温度振幅で、1以上の整数とする

y_{Nr} : 各 ΔT_r に対応する1年間の繰返し数

Fig. 5(3)の破線で示すように、式(2)と屋根温度実測値との相関は良好であり、実際に作用する繰返し温度荷重と同等の荷重効果を考慮することが出来ると考えられる。

3.2 等価温度振幅による検討

3.2.1 等価温度振幅の定式化

前述の式(2)は二重折板屋根に生じる様々な温度振幅と発生頻度の関係を明らかにしたものである。一方、温度伸縮に対する様々な検討の場面においては、温度振幅を一定値として扱った方が取扱いは容易である。また、例えば温度伸縮を想定した接合部の水平変位繰返し試験⁸⁾などの疲労試験では、小さな振幅を実回数に合わせて繰返し載荷するのは実用的でない場合も多い。そこで、二重折板屋根に生じる累積損傷値を指標として、実測データと等価な荷重効果を考慮できる一定値の温度振幅「等価温度振幅」について検討する。

一般に、荷重(応力)や変位(ひずみ)の一定振幅(ここでは変位振幅 $\Delta\delta$ で代表する)と疲労寿命 N_f の関係は、式(3)で表される^{例えば7)}。

$$\Delta\delta^m \times N_f = C \quad (3)$$

定数 C , m は材料特性や部材形状、荷重の種類(引張、せん断、曲げ等)によって決定される値である。特に定数 m は、Fig. 6に示す両軸を対数表示したいわゆる疲労曲線の傾きを表し、例えば m が大きくなるほど疲労曲線の傾きは緩やかになる。

任意の変位振幅を $\Delta\delta_i$ 、その頻度を n_i とし、 $\Delta\delta_i$ だけが繰返し作用したときの疲労寿命を N_{fi} とする。さらに式(4)の累積損傷値 D が1に達したときを疲労破壊とする線形累積損傷則を適用する。

$$D = \sum (n_i / N_{fi}) = 1 \quad (4)$$

式(3)は任意の変位振幅 $\Delta\delta_i$ と N_{fi} の間でも成立するので

$$\Delta\delta_i^m \times N_{fi} = C \quad (5)$$

式(5)を式(4)に代入すれば

$$D = \sum (\Delta\delta_i^m \times n_i) / C = 1 \quad (6)$$

式(6)では累積損傷値を一般形で表現しているが、次に二重折板屋根の温度伸縮に対応した累積損傷値を導く。温度伸縮で二重折板屋根接合部に生じる水平変位振幅 $\Delta\delta_i$ は、上折板の温度振幅 ΔT_{ri} を用いて式(7)で表される。

$$\Delta\delta_i = (L/2) \times k \times \Delta T_{ri} \times \beta \quad (7)$$

ここで

L : 折板長さ

k : 折板の線膨張係数

β : 接合部の水平剛性に応じて定める拘束率

式(7)のうち、「 $(L/2) \times k \times \Delta T_{ri}$ 」は折板長さの中央を不動点とした軒先の上折板自由伸縮量である。温度伸縮は柱や梁などの構造体と二重折板屋根の接合部で分担する。式(7)では接合部が温度伸縮を負担する割合を定数 β とし

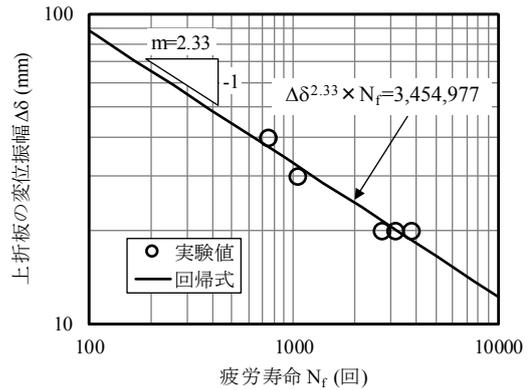


Fig. 6 二重折板屋根接合部の水平変位疲労試験例⁸⁾
Example of Horizontal Displacement Fatigue Test on Double Folded Plate Roof Joint

て、自由伸縮量に β を乗じて接合部の変位振幅を算出している。式(7)を式(6)に代入すると、任意の温度振幅 ΔT_{ri} に対する累積損傷値が導かれる。

$$D = \sum (\Delta T_{ri}^m \times n_i) \times (L/2 \times k \times \beta)^m / C \quad (8)$$

一方、一定値の温度振幅 ΔT_{eq} が N_{eq} 回作用したときの累積損傷値は式(8)より式(9)となる。

$$D = \Delta T_{eq}^m \times N_{eq} \times (L/2 \times k \times \beta)^m / C \quad (9)$$

式(8)と式(9)で与えられる累積損傷値 D が等しい場合、式(10)で求められる N_{eq} を等価繰返し数、式(11)で求められる ΔT_{eq} を等価温度振幅と呼ぶ。

$$N_{eq} = \sum (\Delta T_{ri}^m \times n_i) / \Delta T_{eq}^m \quad (10)$$

$$\Delta T_{eq} = \{ \sum (\Delta T_{ri}^m \times n_i) / N_{eq} \}^{1/m} \quad (11)$$

式(10)、式(11)中の「 $\sum (\Delta T_{ri}^m \times n_i)$ 」はFig. 5(2)の実測データや式(2)の実測式を用いて算出することができる。その結果、右辺の ΔT_{eq} や N_{eq} を指定することで、実測データと累積損傷値が等しい等価繰返し数 N_{eq} や等価温度振幅 ΔT_{eq} を算出できる。また、式(7)右辺の L , k , β は式(10)、式(11)で消去できることから、接合部の水平変位振幅以外でも、温度振幅と線形関係にある諸量は式(10)、式(11)で評価できる。以下、式(11)についてさらに検討する。

一般に疲労現象はばらつきが大きいので、実測データで算出した損傷値 $\sum (\Delta T_{ri}^m \times n_i)$ をそのまま用いると、実用的に危険な場合が多い。そこで、累積損傷値に対する安全率 α を設定し、実用上は $D/\alpha \leq 1$ の範囲で使用するものとすれば、式(11)は式(12)に改められる。なお、式(10)も同様である。

$$\Delta T_{eq} = \{ \alpha \times \sum (\Delta T_{ri}^m \times n_i) / N_{eq} \}^{1/m} \quad (12)$$

3.2.2 等価温度振幅の検討例

式(12)を用いて、具体的な等価温度振幅 ΔT_{eq} について検討する。Fig. 6に示す文献⁸⁾より、二重折板屋根接合部の疲労定数の一例は $m=2.33$ である。一方、この値は前述のように材料特性や部材形状で変動するため、ここでは $m=1.5, 2, 3$ の3種類について検討する。また、安全率は $\alpha=1, 2, 3$ の3種類とする。さらに、1日当りの等価温度振幅を求めることとし、Fig. 5(2)の縦軸を365で除して、損傷度 $\sum (\Delta T_{ri}^m \times n_i)$ を算

出する。建設場所、疲労定数 m 、安全率 α をパラメータとした1日当りの等価温度振幅 ΔT_{eq} —等価繰返し数 N_{eq} 関係をFig. 7に示す。Fig. 7より、疲労定数 m が大きくなると建設場所による違いが大きくなるものの、全体的に ΔT_{eq} — N_{eq} 関係に及ぼす建設場所の影響は小さいことが分かる。一例として、Fig. 7(2)の疲労定数 $m=2$ 、安全率 $\alpha=2$ の場合を検討すると、等価繰返し数を $N_{eq}=1$ 回/日とした等価温度振幅は ΔT_{eq} ≈約51℃であるが、等価繰返し数を $N_{eq}=0.5$ 回/日と少なくした場合は ΔT_{eq} ≈約72℃となり、より大きな等価温度振幅を見込む必要がある。

Table 4に温度伸縮の等価繰返し数(発生頻度)を1日1回とし、3建物の等価温度振幅を平均した平均温度振幅を示す。一般に二重折板屋根の接合部の強度には2以上の安全率を見込むこととされる⁶⁾。Table 4の下線部より、1日当りの温度振幅を60℃以上と設定すれば、温度伸縮による累積損傷値に対しても、概ね2以上の安全率を確保することができる。

4. まとめ

二重折板屋根に作用する繰返し温度荷重を評価するため、埼玉県、大阪府、宮城県に立地する3建物の二重折板屋根温度を1年間に亘って実測した。得られた結果を以下に示す。

- ・1年間で二重折板屋根に生じる温度振幅と発生頻度について、3建物で大きな違いは見られなかった。また、繰返し温度荷重の評価として、温度振幅と発生頻度の関係を求める実測式を提案した。
- ・さらに温度振幅と発生頻度の関係を整理して、実測データと等価な荷重効果を考慮できる一定値の温度振幅「等価温度振幅」を提案した。

これらにより、繰返し温度荷重の影響を簡便に評価することができ、また水平変位繰返し疲労試験などの温度伸縮に対する諸検討を合理的に行えるようになった。

参考文献

- 1) 日本建築学会：最近の風被害とその対策、2007年度日本建築学会大会(九州) 構造部門(荷重) パネルディスカッション資料、2007.8
- 2) 日本建築学会：非構造部材の地震・風荷重の軽減に向けて、2007年度日本建築学会大会(九州) 特別研究部門 研究協議会資料、2007.8
- 3) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説(2015)、2015.2
- 4) 日本建築学会：建築物荷重指針を活かす設計資料1、2016.2
- 5) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説一付・設計例—2012年改定版、2012.6
- 6) 日本屋根協会、他：鋼板製屋根構法標準 SSR2007、2008.1
- 7) 疲労設計便覧 日本材料学会編、1995.1
- 8) 浅井英克、時野谷浩良：二重折板屋根の熱伸縮に対する疲労損傷評価、大林組技術研究所報、No. 72、2008.12

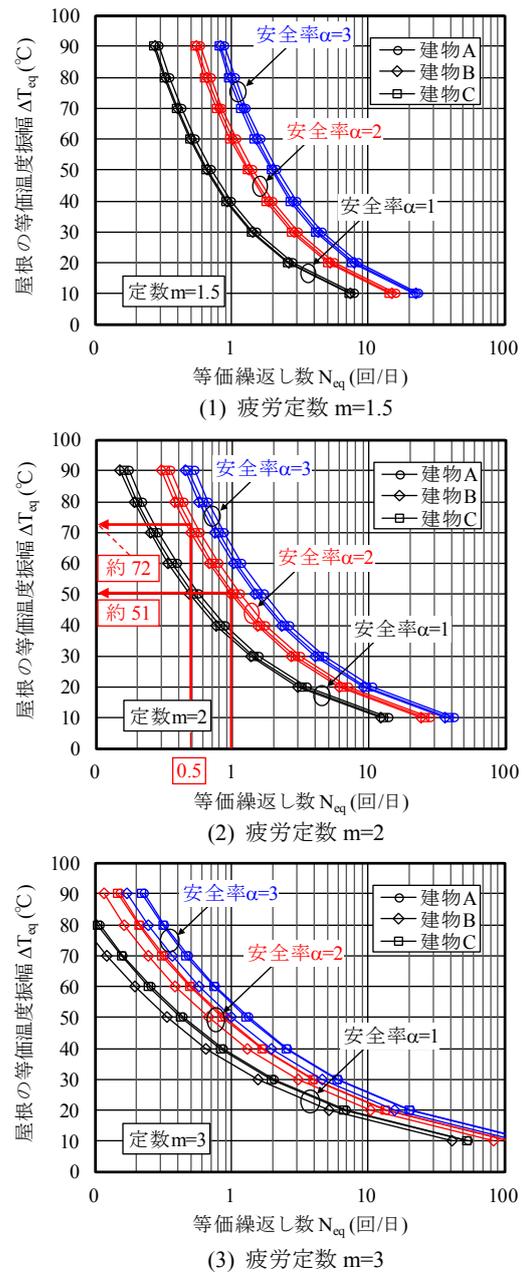


Fig. 7 1日当りの等価温度振幅—等価繰返し数関係
Equivalent Temperature Amplitude-Equivalent Cycle number
Relationship in Per-day

Table 4 発生頻度を1日1回とした平均等価温度振幅
Average Equivalent Temperature Amplitude with Frequency
of Occurrence once A Day

		疲労定数		
		m=1.5	m=2	m=3
安全率	α=1	39.4℃	36.1℃	36.8℃
	α=2	<u>60.9℃</u>	<u>51.0℃</u>	<u>46.3℃</u>
	α=3	79.9℃	62.4℃	53.0℃