

大新合板工業（株）製品倉庫 様邸

積雪による屋根トラスの荷重変形の測定 報告書

2024年 4月

岐阜県立森林文化アカデミー

木造建築スタジオ

教授 小原 勝彦

目 次

1. 測定概要	P 1
1. 1 測定一般事項	
1. 2 測定目的	
1. 3 測定の方法	
2. 構造設計における屋根トラスの変形	P6
2. 1 設計荷重	
2. 2 構造解析による屋根トラスの変形	
2. 3 構造解析による屋根トラスの荷重－変形	
3. 参考とする気象データ	P9
3. 1 気象台の位置	
3. 2 気象台のデータ	
3. 3 気象台の積雪深データの処理	
4. 測定結果	P12
4. 1 荷重測定結果	
4. 2 変位測定結果	
4. 3 気温による計測値への影響	
4. 3 まとめ	

1. 測定概要

1. 1 測定一般事項

本測定の概要について表 1.1.1 に示す。

表 1.1.1 測定概要

測定の名称	大新合板工業（株）製品倉庫 様邸 積雪による屋根トラスの荷重変形の測定
測定対象の名称及び住所	大新合板工業（株）製品倉庫 様邸 〒950-0886 新潟県新潟市東区中木戸167番地
測定担当者の名称及び住所 担当者	大新合板工業（株）製品倉庫 様 〒950-0886 新潟県新潟市東区中木戸167番地 榎田 恒太 様
測定報告書作成者	岐阜県立森林文化アカデミー 木造建築スタジオ 岐阜県美濃市曾代88 教授 小原 勝彦
測定実施期間	2021年1月21日(木)～2024年3月31日(日)

1. 2 測定目的

CLT パネル構造建物の積雪による屋根トラスの荷重変形の測定を行い、その測定結果による検証を行うことが、本測定の目的である。

1. 3 測定の方法

携帯用測定機（ハンドヘルドデータロガーTC-32K：（株）東京測器研究所 製）を用い、圧縮型荷重計（CLG-50KNB：（株）東京測器研究所 製）にて荷重を計測し、高感度変位計（CDP-25：（株）東京測器研究所 製）にて変位を計測する。測定機、荷重計、変位計を図 1.3.1 に示す。



図 1.3.1 測定機、荷重計、変位計（東京測器研究所カタログより）

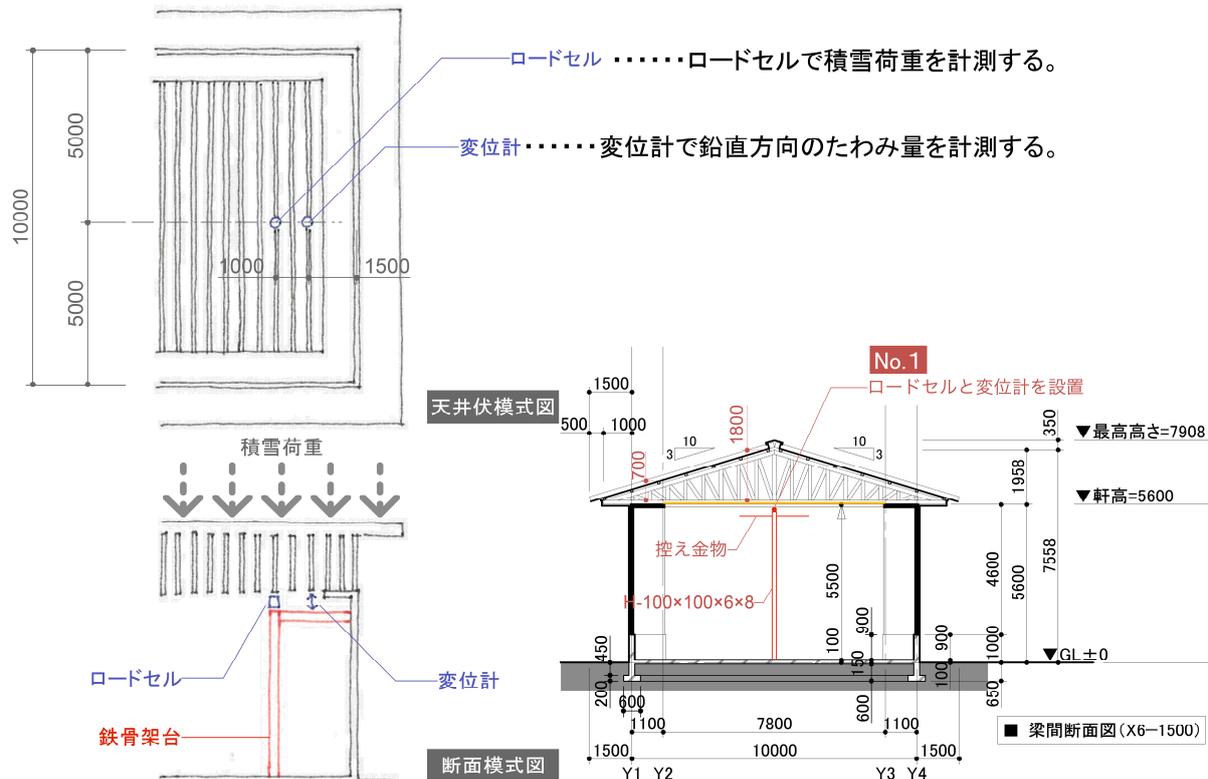


図 1.3.2 積雪による屋根トラスの荷重変形の測定イメージ（1）

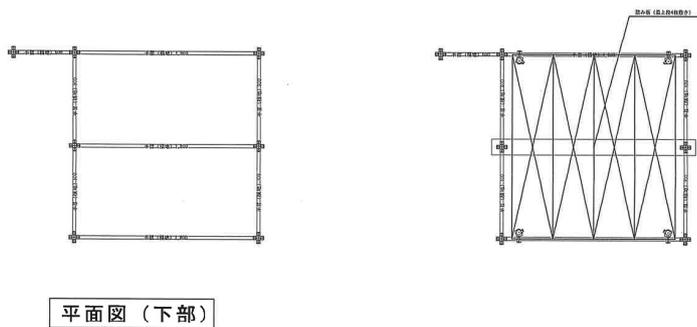
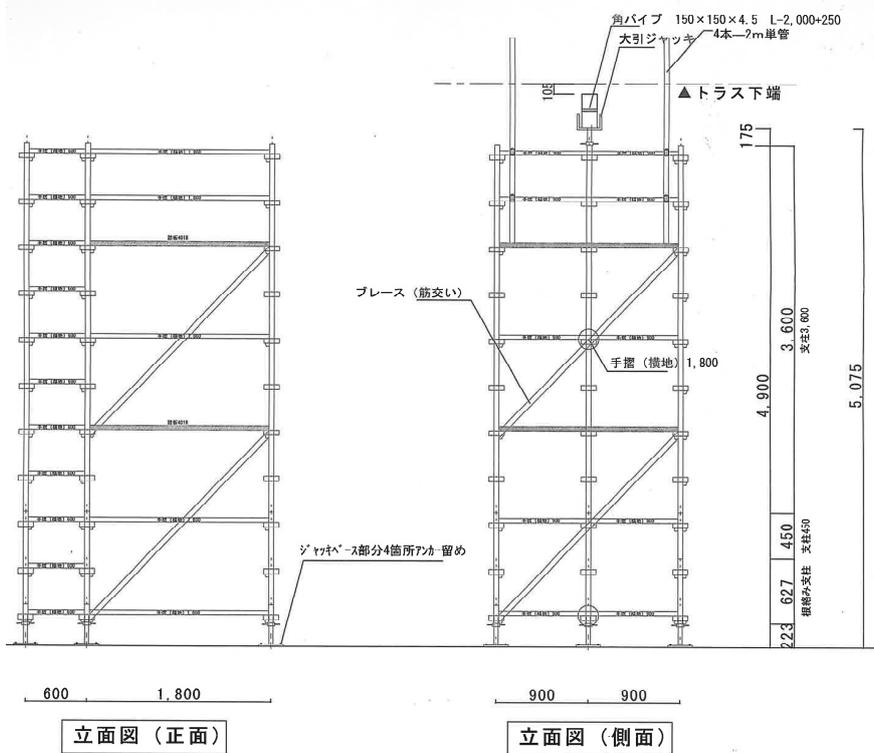
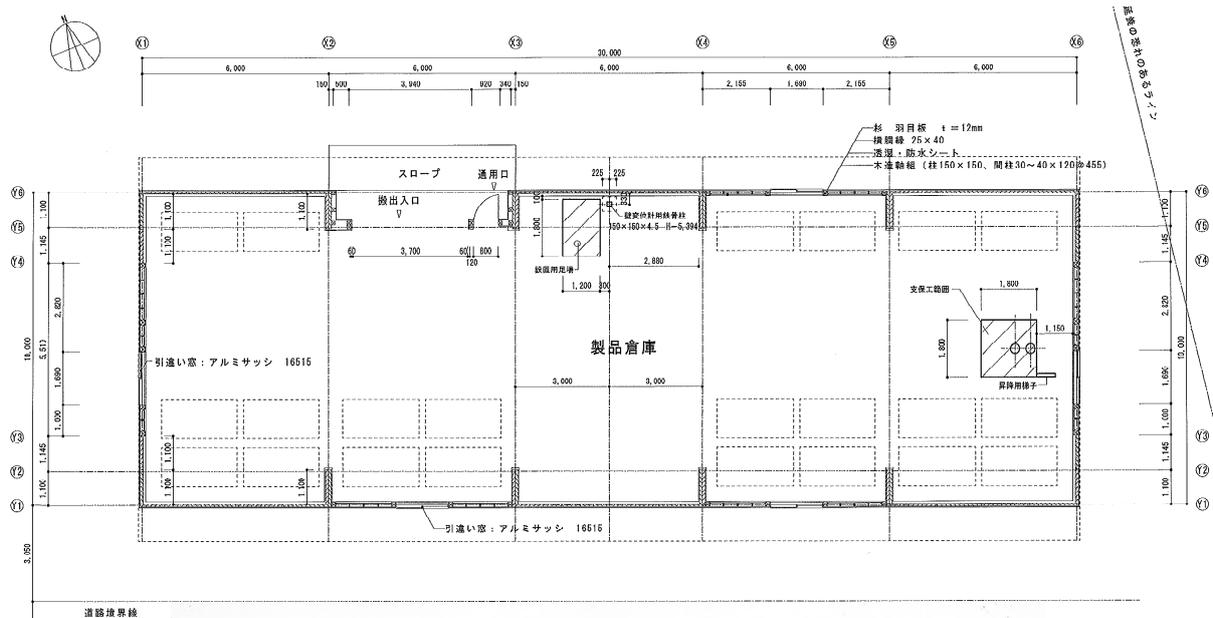


図 1.3.4 架台 (足場) の位置



写真 1.3.1 足場の設置



写真 1.3.2 計測機器の設置



写真 1.3.3 荷重計の設置



写真 1.3.4 変位計の設置

2. 構造設計における屋根トラスの変形

2. 1 設計荷重

構造設計における固定荷重を表 2.1.1 に、設計荷重を表 2.1.2 に示す。この敷地は多雪区域であり、最新積雪量 100cm である。設計では最深積雪量 120cm を想定し、積雪荷重は $120\text{cm} \times 30\text{N/m}^2/\text{cm} = 3,600\text{N/m}^2$ としている。尚、屋根勾配 (3.0/10) による積雪量の低減を考慮していない。

従って、長期荷重は 760N/m^2 、短期積雪荷重は $4,360\text{N/m}^2$ 、長期積雪荷重は $3,280\text{N/m}^2$ である。

屋根トラスの間隔は@500mm であるため、屋根トラスにかかる等分布荷重の大きさは、長期荷重は 380N/m 、短期積雪荷重は $2,180\text{N/m}$ 、長期積雪荷重は $1,640\text{N/m}$ である。

表 2.1.1 固定荷重

部位	仕様	厚さ [mm]	単位重量	重量 [N/m ²]
屋根 (天井なし)	金属屋根			50
	母屋			100
	構造用合板	12	5.9 N/m ² /mm	71
	コネクトラス			220
	CLT板 (t= 90 mm)	90	4.9 kN/m ²	235
	天井下地			0
	天井仕上げ材			0
	その他(配管・器具等)			50
	合計			726

$= (1.0 \times 32.0 \times 0.09 \times 4,900) \div (6.0 \times 10.0)$
 勾配割増含む
 $\Rightarrow 760 \text{ N/m}^2$

表 2.1.2 設計荷重

種類	種別	床用		架構用		地震用 [N/m ²]
		常時	積雪	常時	積雪	
		[N/m ²]		[N/m ²]		
屋根+天井無し	DL	760	760	760	760	760
	LL	0	0	0	0	0
	SL	2,520	3,600	2,520	3,600	1,260
	TL	3,280	4,360	3,280	4,360	2,020
外壁(CLT)	DL	—	—	610	610	610
外壁(軸組)	DL	—	—	340	340	340
内壁(CLT)	DL	—	—	890	890	890

DL: 固定荷重、LL: 積載荷重、SL: 積雪荷重、TL: 設計荷重

2. 2 構造解析による屋根トラスの変形

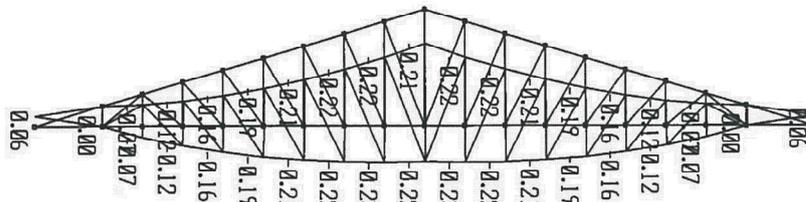
構造設計における構造解析時の支持点は、下部に耐力壁面がある部分としている。しかし、実際は下部の耐力壁面から内側に幅 1m の CLT 耐風梁があり、その上に屋根トラスが設置されている。CLT 耐風梁の曲げ剛性があるため、実際の変形は解析結果よりも小さいことが推測される。

(1) 長期荷重時の屋根トラスの変形

構造設計における長期荷重時の屋根トラスの構造解析結果を図 2.1.1 に示す。荷重は固定荷重のみでの結果である。屋根トラス中央部付近における最大鉛直変位量は 0.227cm である。

■ 長期(固定荷重)

荷重組合せケース名 : D 変形図



最大水平変位量 0.081 cm 最大鉛直変位量 0.227 cm

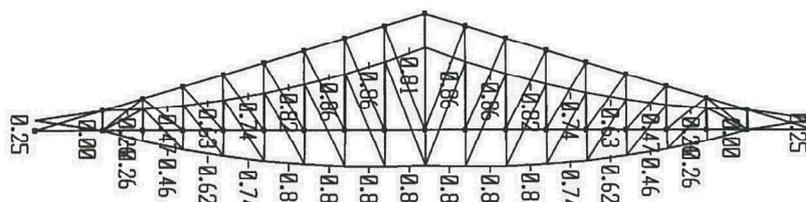
図 2.2.1 長期荷重時の屋根トラスの構造解析

(2) 短期積雪荷重時の屋根トラスの変形

構造設計における短期積雪荷重時の屋根トラスの構造解析結果を図 2.2.1 に示す。荷重は固定荷重および積雪荷重での結果である。屋根トラス中央部付近における最大鉛直変位量は 0.875cm (1/1136 rad) である。

■ 短期(固定荷重 + 積雪荷重100%)

荷重組合せケース名 : D+S. S 変形図



最大水平変位量 0.312 cm 最大鉛直変位量 0.875 cm

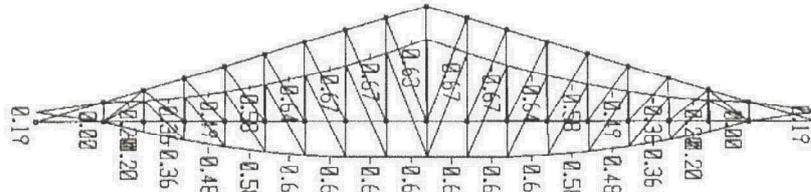
図 2.2.2 短期積雪荷重時の屋根トラスの構造解析

(3) 長期積雪荷重時の屋根トラスの変形

構造設計における長期積雪荷重時の屋根トラスの構造解析結果を図 2.3.1 に示す。荷重は固定荷重および積雪荷重(70%)での結果である。屋根トラス中央部付近における最大鉛直変位量は 0.680cm (1/1471 rad) である。

■ 長期(固定荷重 + 積雪荷重70%)

荷重組合せケース名 : D+WLD+0.35 変形図



最大水平変位量 0.243 cm 最大鉛直変位量 0.680 cm

図 2.2.3 長期積雪荷重時の屋根トラスの構造解析

2.3 構造解析による屋根トラスの荷重—変形

構造解析は線形解析によるものであると推測できるため、長期、長期積雪、短期積雪の荷重と変位の関係をグラフにまとめた。これを図 2.3.1 に示す。また、この直線の式を下式に示す。

$$\text{等分布荷重 (N/m)} = 2778.4 \times \text{鉛直変位 (cm)} - 250.39 \quad \dots \text{式 2.3.1}$$

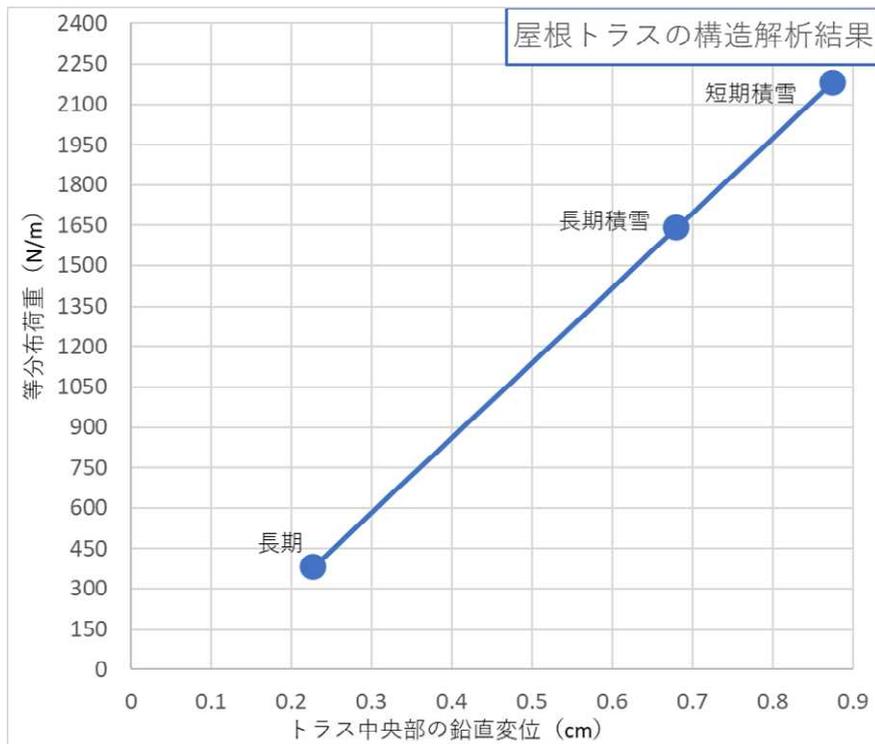


図 2.3.1 屋根トラスの荷重—変形 (屋根トラスの構造解析結果)

3. 参考とする気象データ

3. 1 気象台の位置

当該敷地（新潟県新潟市東区中木戸 167 番地）より、西南西に約 9km の位置にある新潟地方気象台（新潟県新潟市中央区 2 新潟県新潟市中央区美咲町 1 丁目 2-1）で公表されている気象データ（http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=54&block_no=47604&year=&month=&day=&vicw=）を参考とする。

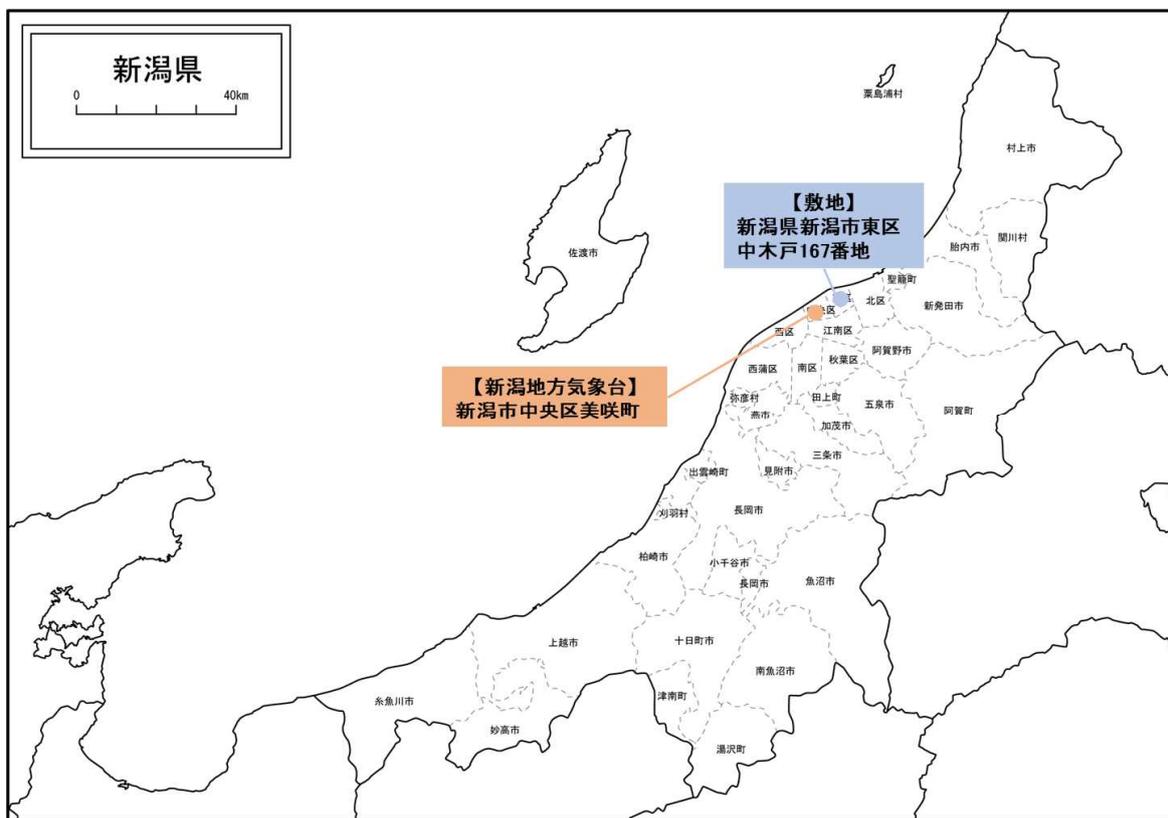


図 3.1.1 敷地と気象台の位置

3.2 気象台のデータ

新潟地方気象台の積雪に関するデータとして、2000年度（2000年12月1日）から2020年度（2021年3月31日）の期間のうち、冬期として各年度の12月1日～3月31日において、最大積雪深と積雪日数を図3.2.1に示す。この21年間の最大積雪深の平均は33.71cm、積雪日数の平均は39.09日である。最大積雪深さは2009年度に81cmを2017年度に80cmを記録している。

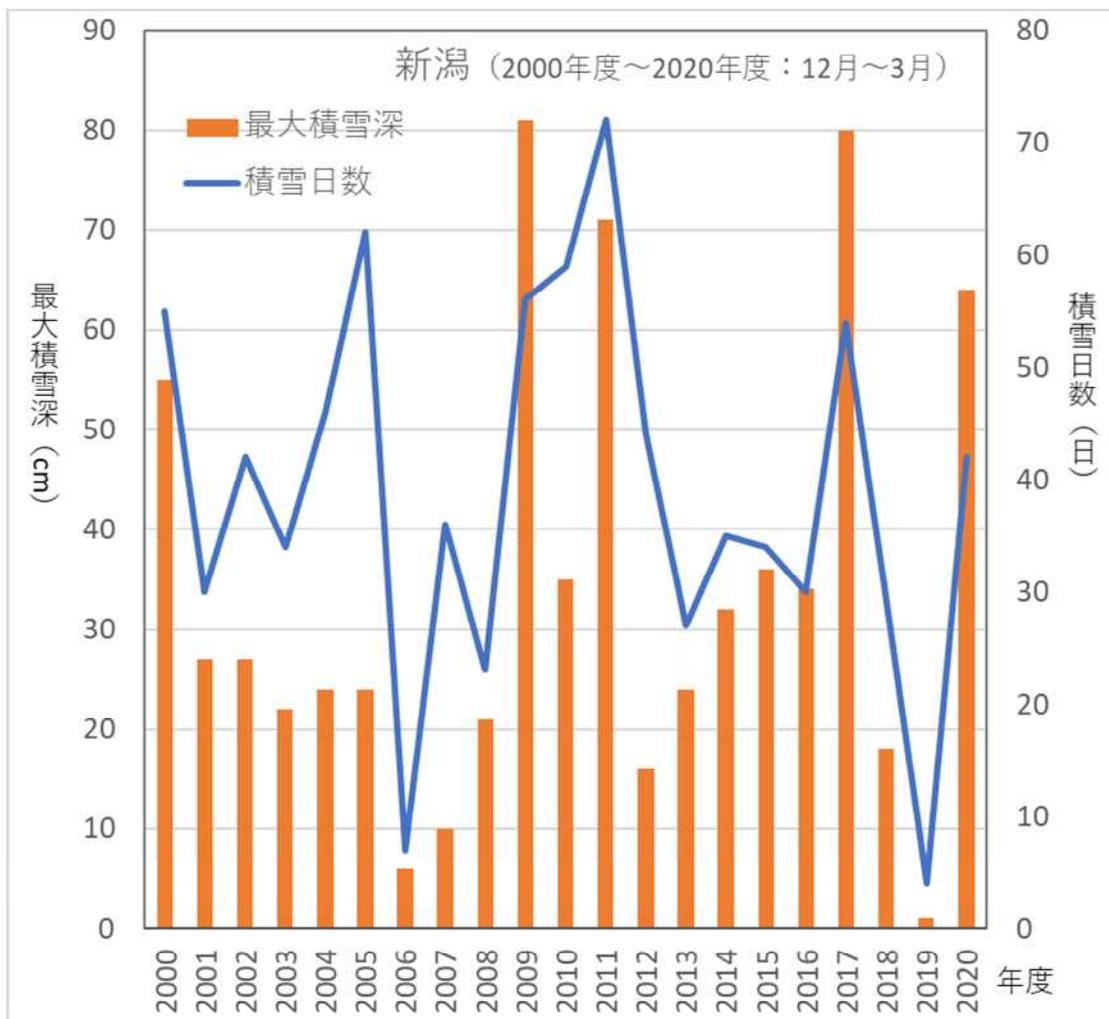


図 3.2.1 各年度の最大積雪深および積雪日数

3.3 気象台の積雪深データの処理

積雪深の毎時データを用い、固定荷重 760N/m^2 、積雪単位荷重 $30\text{N/m}^2/\text{cm}$ 、屋根トラス間隔 500mm として、短期等分布荷重 N/m^2 を下式により算出する。

$$\text{短期等分布荷重 (N/m}^2\text{)} = \text{固定荷重 (760N/m}^2\text{)} + \text{積雪深さ (cm)} \times \text{積雪単位荷重 (30N/m}^2\text{/cm)}$$

・・・式 3.2.1

屋根トラスの荷重－変形 (図 2.3.1) から算出した式 2.3.1 を用いて、短期等分布荷重から屋根トラスの下弦材スパン中央部の変形を下式により算出する。

$$\text{屋根トラスの下弦材スパン中央部の変形 (cm)} = \{ \text{短期等分布荷重 (N/m}^2\text{)} + 250.39 \} / 2778.4$$

・・・式 3.2.2

クリープ係数を下式により考慮する。

$$C_{cp} = \delta(t) / \delta_0 = 1 + a \cdot t^N$$

・・・式 3.2.3

- ここで、 C_{cp} : クリープ変形係数
 $\delta(t)$: クリープ変形を含む全変位量
 δ_0 : 初期変位量 (クリープ荷重載荷直後の変位量)
 a, N : 定数 (ここでは、 $a=0.2$ 、 $N=0.2$ を採用)
 t : 荷重継続期間 (ここでは、竣工日 (2018 年 1 月 19 日) からの日数)

4. 測定結果

4.1 荷重測定結果

固定荷重および積雪荷重から構造計算で算出した「荷重推定値」と、ロードセルにより計測して算出した「荷重計測値処理」を図4.1.1に示す。ただし、ロードセル計測値を計測初期の荷重（固定荷重と積雪深26cmの荷重）と同値として補正したものを「荷重計測値処理」の値とした。

気温による計測値への影響が想定されるため、必ずしも計測値（「荷重計測値処理」）と構造計算で算出した値（「荷重推定値」）は近い値ではない。

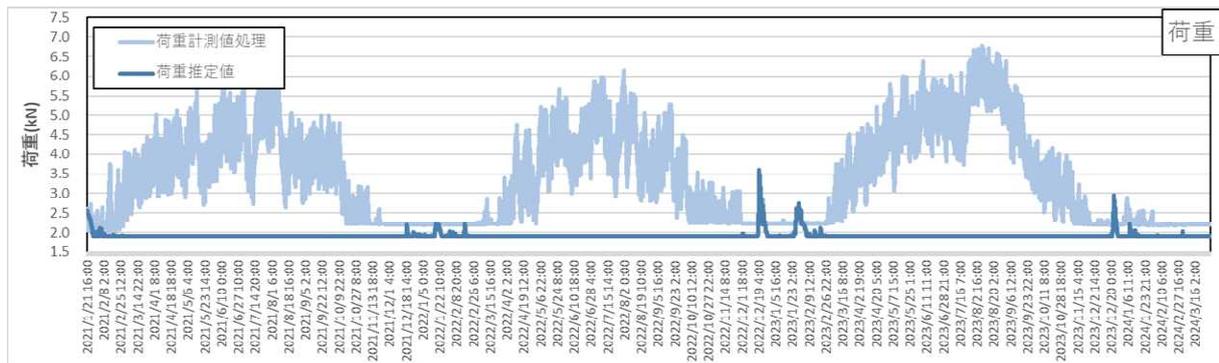


図 4.1.1 荷重推定値と荷重計測値処理（2021年1月21日～2024年3月31日）

また、1年間の計測期間ごとに区分けた「荷重推定値」と「荷重計測値処理」を図4.1.2～図4.1.4に示す。

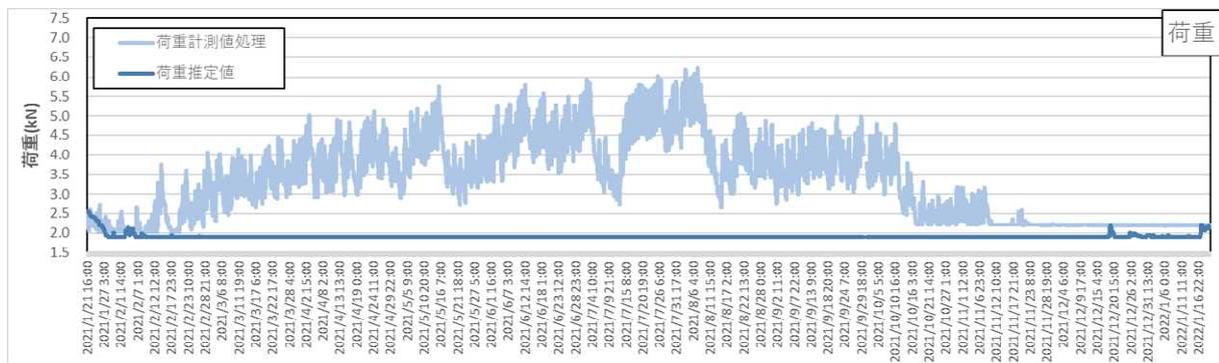


図 4.1.2 荷重推定値と荷重計測値処理（2021年1月21日～2022年1月20日）

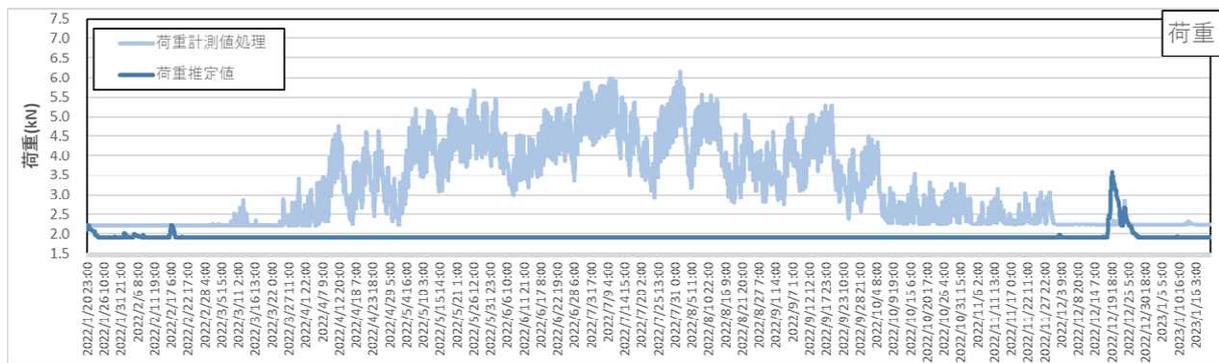


図 4.1.3 荷重推定値と荷重計測値処理（2022年1月21日～2023年1月20日）

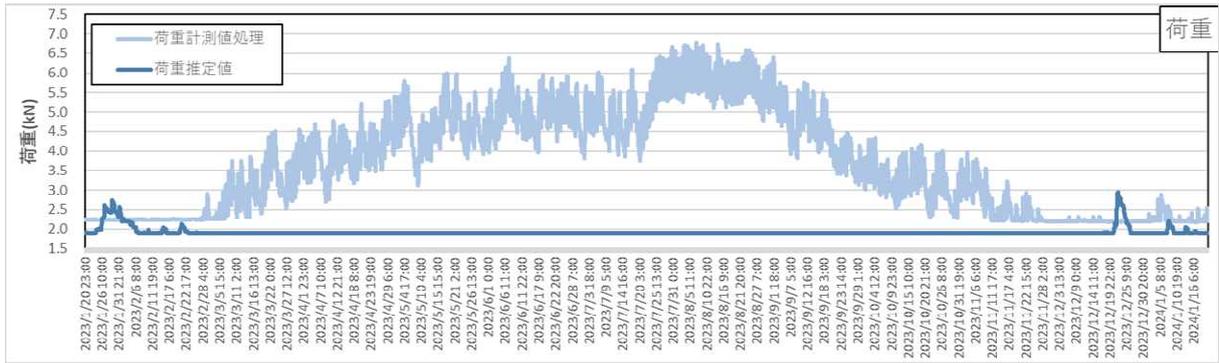


図 4.1.4 荷重推定値と荷重計測値処理 (2023 年 1 月 21 日～2024 年 1 月 20 日)

4. 2 変位測定結果

前項の「荷重計測処理」の荷重値から算出したたわみを「荷重計測による変位」と、固定荷重および積雪荷重から構造計算で算出した「変位推定値」、変位計により計測して算出した「変位計測値処理」を図 4.2.1 に示す。ただし、変位計の計測値を計測初期の変位推定値と同値として補正したものを「変位計測値処理」の値とした。また、固定荷重から構造計算で算出した「初期たわみ」と、「初期たわみ」に竣工日（2018 年 1 月 19 日）からの日数によるクリープ変形を考慮した「クリープ考慮たわみ」を図 4.2.1 に示す。

また、トラス中央部の鉛直たわみ量は構造設計上、長期積雪荷重時（固定荷重＋積雪荷重 70%）では $\delta = 0.68 \text{ cm}$ (1/1471 rad) であり、短期積雪荷重時（固定荷重＋積雪荷重 100%）では $\delta = 0.88 \text{ cm}$ (1/1136 rad) である。計測期間（2021 年 1 月 21 日～2023 年 3 月 25 日）においてこれらの値よりも計測値は小さい値であった。

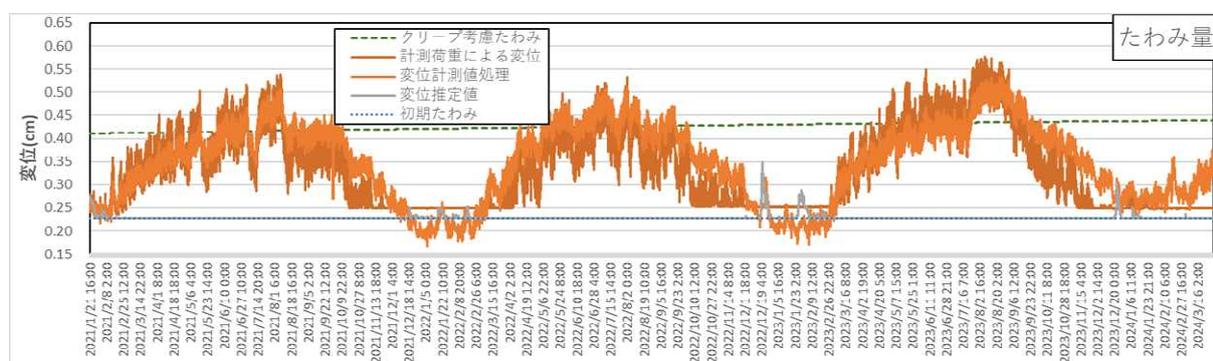


図 4.2.1 たわみ量（2021 年 1 月 21 日～2024 年 3 月 31 日）

気温による計測値への影響が想定されるため、必ずしも計測値（「荷重計測による変位」および「変位計測値処理」と構造計算で算出した値（「変位推定値」）は近い値ではない。

また、「荷重計測による変位」が 2021 年 10 月 18 日以降、0.2492mm を下限値として表示されている。これは、夏季に屋根トラスが長期間たわんだこと（計測変位で最大 0.5cm 強程度）により荷重計が下弦材の木部へめり込んでしまい（写真 1.3.3 再掲 参照）、下弦材の木部に非線形のめり込み破壊が生じ木部の復元ができていないためと推察される。



写真 1.3.3 再掲 荷重計の設置

また、1年間の計測期間ごとに区分けした「荷重計測による変位」と「変位推定値」、「変位計測値処理」、「初期たわみ」、「クリープ考慮たわみ」を図4.2.2～図4.2.4に示す。

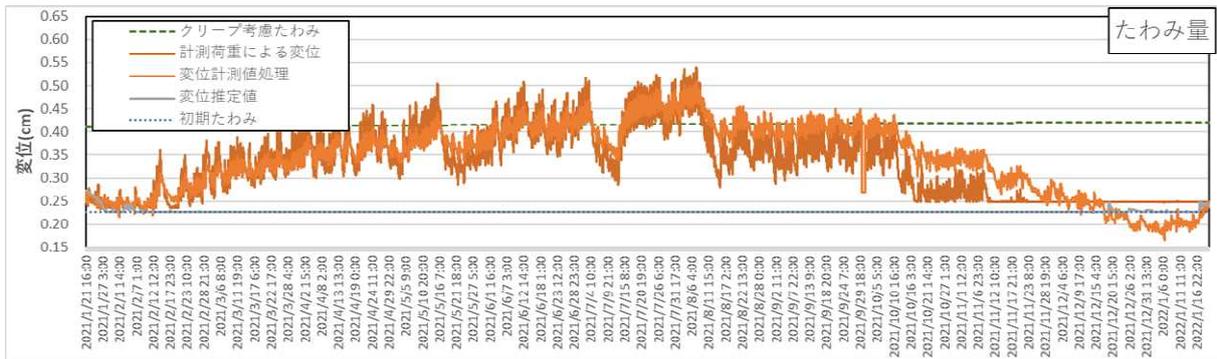


図 4.2.2 たわみ量 (2021年1月21日～2022年1月20日)

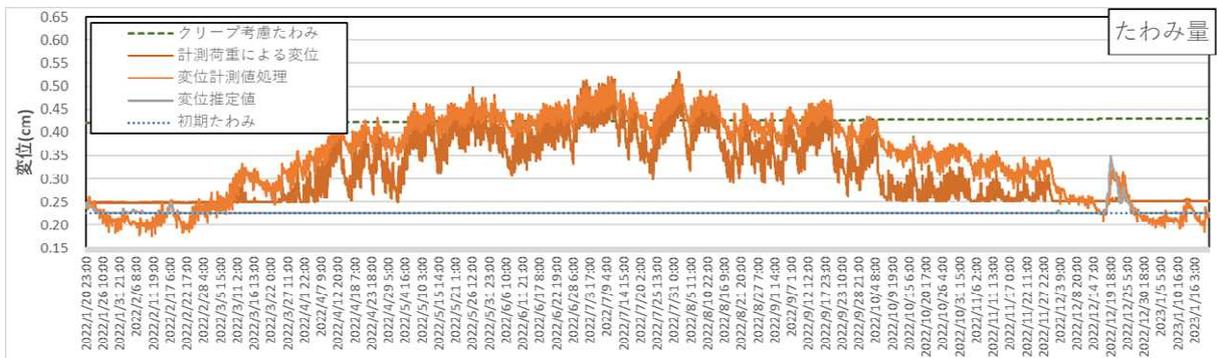


図 4.2.3 たわみ量 (2022年1月21日～2023年1月20日)

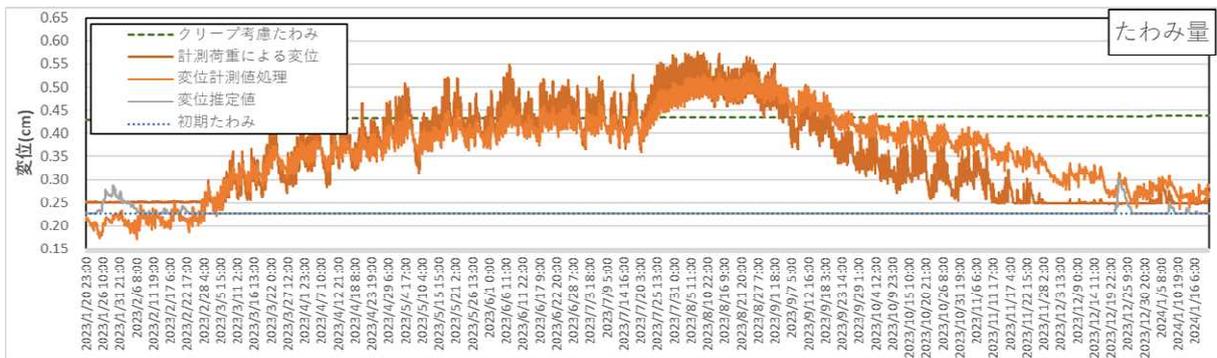


図 4.2.4 たわみ量 (2023年1月21日～2024年1月20日)

4. 3 気温による計測値への影響

気温による計測値への影響をみるため、2021年3月10日より計測値付近に温度計を設置して「計測気温」を測定した。「計測荷重による変位」と、「変位計測値処理」、気象台データの「気温」、そして「計測気温」を図4.3.1に示す。

気象台データの「気温」と「計測気温」は測定地点が離れているため、異なる値を示して、多少の差異があるが、気象台データの「気温」に比較して、「計測気温」はやや高めで温度変化を示している。

「計測荷重による変位」や「変位計測値処理」の値は、気温変化に応じて変化している。しかし、気温が高くなるとトラスのたわみが大きくなる現象が生じる機構は現時点では不明である。

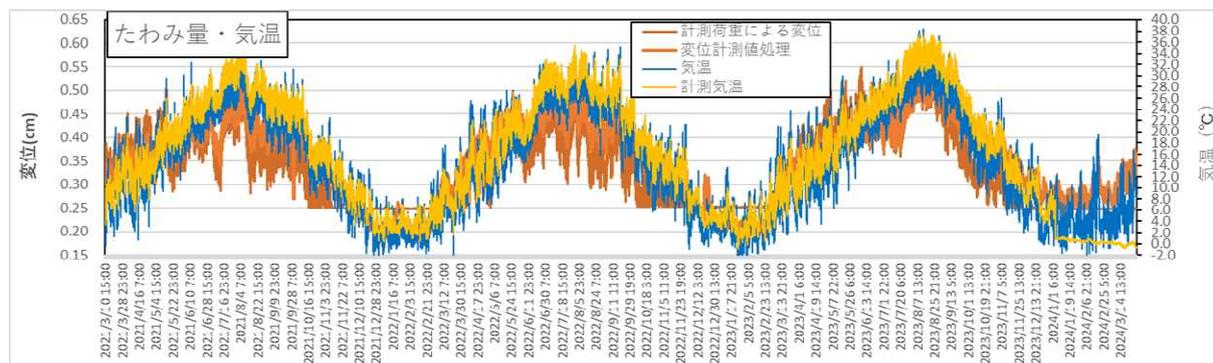


図 4.3.1 たわみ量と気温 (2021年3月10日～2024年3月31日)

また、1年間の計測期間ごとに区分けした「計測気温」と「計測荷重による変位」、「変位計測値処理」、「気温」、「計測気温」を図4.3.2～図4.3.4に示す。

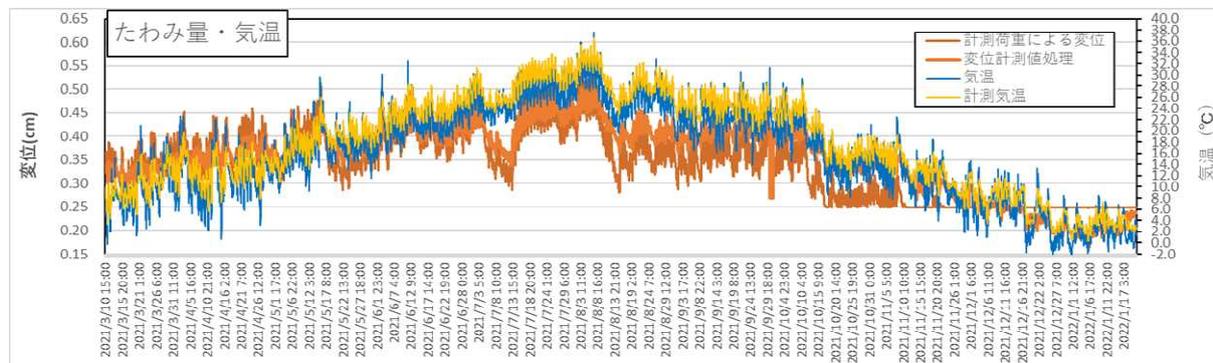


図 4.3.2 たわみ量と気温 (2021年3月10日～2022年1月20日)

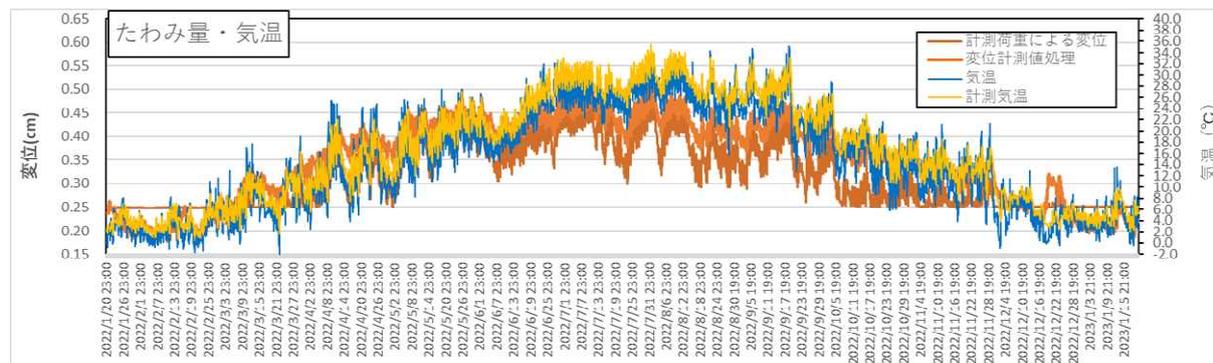


図 4.3.3 たわみ量と気温 (2022年3月10日～2023年1月20日)

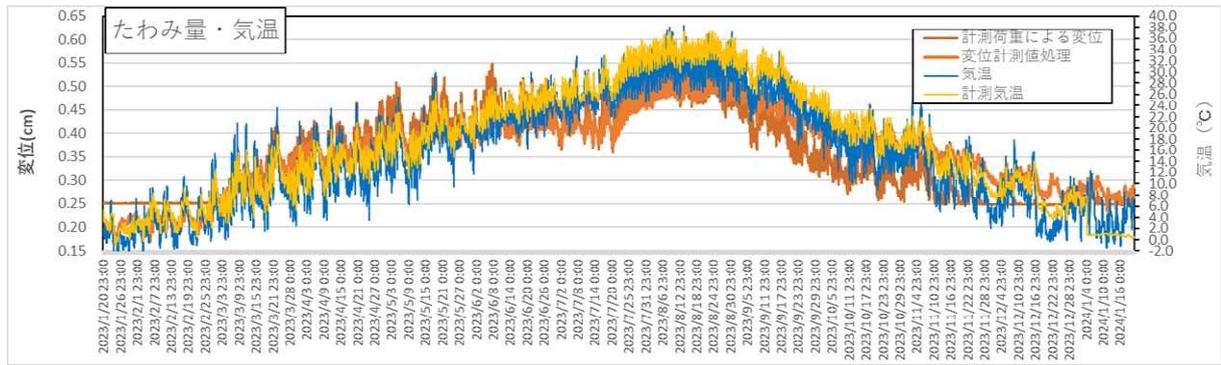


図 4.3.4 たわみ量と気温 (2023 年 3 月 10 日～2022 年 1 月 20 日)

4.3 まとめ

(1) 積雪深さについて

積雪深さについて、当該敷地（新潟県新潟市東区中木戸 167 番地）より、西南西に約 9km の位置にある新潟地方気象台（新潟県新潟市中央区 2 新潟県新潟市中央区美咲町 1 丁目 2-1）で公表されている気象データを使用して、屋根トラスの積雪荷重とみなして本報告を作成した。積雪深さについては、新潟地方気象台における積雪深さと当該敷地の積雪深さは概ね近いようであるが、実際は屋根トラスの積雪深さとは異なる値である。

当該敷地の屋根トラスの積雪深さを正確に計測できた方がよいと考える。

(2) 初期値について

計測初期値が不明確であったため、構造計算による値を初期値とした。すなわち、荷重計測値について、初期の値を構造計算で算出した値（「荷重推定値」）と同値として補正したものとした。そして、変位計測値について、初期の値を構造計算で算出した値（「変位推定値」）と同値として補正したものとした。

屋根トラスの変形の状態を調査（例えば、①屋根トラス下弦材の両端の支持部分に水糸を渡して、屋根トラス下弦材中央部のたわみがどのような状態なのかを把握してから計測を始める、②レーザー墨出し機やレーザー水平器等を用いて、屋根トラス下弦材中央部のたわみがどのような状態なのかを把握してから計測を始める、など）することにより、計測初期値についてより正確な情報を把握できると考えられる。

(3) 気温による影響などについて

屋根トラスの変形は気温による影響など（もしくは湿度による影響）が見受けられ、屋根トラス下弦材の中央部の鉛直たわみおよび荷重について、それぞれ計測値は構造計算で算出した値とは近い値ではなかった。前報告では、気温による影響など（もしくは湿度による影響）が少なくなるように初期値から比較的短い期間で計測値を考察することも試みたが、それらの要因となっているものについては不明である。

本報告では3年間の計測を実施することができた。計測当初では夏季へ向けてたわみが大きくなり、冬季へ向けてたわみが小さくなった。屋根トラス変形の気温による影響や湿度による影響などと考えられる。

(4) 計測値の変化について

年間を通じて、計測値は上下に変化しながら、夏期にはたわみが大きくなり、冬期にはたわみが小さくなる傾向がある。気温による影響など（もしくは湿度による影響）によるものであると想定されるが、それらの要因となっているものについては不明である。

計測治具など計測側の不具合については見受けられないが、足場の伸び縮みや計測治具（鉄骨治具）が変形していないことを確認するために、計測治具の変形などについても計測する必要があると考える。

3年間の計測を実施でき、3年間の計測値はおおむね似たような変化（計測値の周期的な変化）の傾向がみられた。

上記いくつかの点に関して、現地で確認できるものについては視認できる機会があるといいと考える。