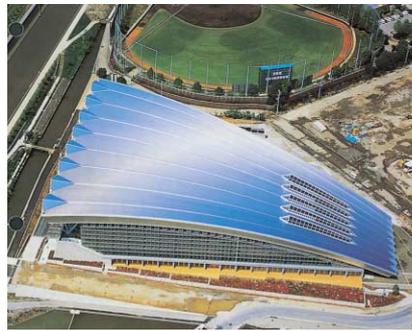


# ステンレスシート防水・熱伸縮考

長～いステンレス屋根は熱伸縮で問題ないのでしょうか??

ステンレス防水研究会メンバー 住友金属建材(株) 大八木 亮太郎

ステンレスシート防水工法が採用され始めたのは、昭和55年（1980）頃なので、ほぼ20数年の実績を積んできたことになります。とくに大型で三次元形状ともなるとステンレスシート防水の出番となります。大きな屋根では、材料も数十mを超えることがあり、連続した一本の材料で葺くケースも出てきます。しかしながら設計に際しては、「熱伸縮で問題を起こさないですか?」という質問をよく受けます。要するに創業以来熱伸縮問題は課題のままでした。何となく熱伸縮挙動に懸念を抱きながら20数年過ごしてきたのが実態のようです。この間、長くても問題が起こらなかったケースや長くはないのに問題が起こってしまったケースなどいくつか経験してきました。



## 1. 屋根長さの制約

現在、金属屋根の長さに関する制約はどのようになっているのでしょうか?いくつか調べて見ました。

- (1) 日本建築学会 断熱勾配屋根防水（設計・施工）  
技術指針・同解説 1993制定  
この中の解説（p.155）の中で、
  - ・防水層の熱伸縮吸収機構の項では“スライド吊子”と“固定吊子”に分けて、それぞれ下記のように書いてあります。
  - スライド吊子：ステンレスシート成形材1本の最大流れ方向の長さ 30m
  - 固定吊子：〃 25m
 固定吊子の方が、長さを小さくしている理由として「固定吊子はスライド吊子に比較して拘束力は大きいですが動ける量が小さいためステンレスシート成形材1本の最大流れ方向の長さは25mまでに制約しておりそれ以上はスライド吊子を併用している」
- (2) 日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説  
JASS8 防水工事 2000改定  
2節 ステンレスシート防水工事 解説（p.290）  
2.6 施工管理 a. (2)（平面図） ②防水層用材料の割付けの中で

「シートの最大長さはオーステナイト系ステンレスシートで35m、フェライト系ステンレスシートで60m、チタンシートで72mとする」

となっています。

また、今年2004年に改定された、JASS12 屋根工事では、“目標性能”が新たに規定され、

- 2節 屋根工事の目標性能
- 2.3.k. 耐熱伸縮性能（p.8）

### (1) 適用範囲

金属板葺、折板葺、銅板葺のうち、長尺屋根に適用する。

### (2) 目標性能の要件とレベル

熱による膨張収縮の繰り返しなどに際して、不具合が発生しないこと。

## 10節 金属板葺

### 10.2 e. 対熱伸縮性能（p.163）で、

「ただし、「2.3.k (2)」で対象とする熱膨張、収縮の繰り返しにより生ずる不具合は、葺材の防水上有害な変形とする。」と盛り込んでいます。

- (3) 銅板製屋根構法標準 SSR 92 亜鉛鉄板会（p.18）  
第Ⅱ編 折板屋根の設計 第一章 対象 iii. (C)  
に「最大流れ寸法 折板屋根の最大流れ寸法は、水勾配、及び温度伸縮によってきまるものである。これま

での実績では100m以上とした例があるが、通常の場合は50m程度以下としておくのが無難であると思われる。防水性の観点からは流れ寸法を100m以上とすることは十分可能であるが、その場合温度伸縮の影響がきわめて大きくなり、これによる支障を生じないようにするには豊富な設計経験が必要である。温度伸縮が折板屋根に与える障害には、流れ方向の折板の伸縮による水上及び水下部分の固定ボルトあるいはタイトフレームの破壊がある。流れ寸法が大きい場合は、これらの部分の設計を入念に行うことが必要である。」

となっています。

しかしながら、瓦棒ぶき、立平ぶきでは、長さについて何ら書かれていません。

なお、亜鉛鉄板会は、鉄鋼連盟に吸収合併しています。

(4) 金属屋根の施工と管理 - 専門編 - (社) 日本金属屋根協会 では、

1.4 折板 (p.117) に、「・・・折板の長さについても100m以上の実績もあるが、温度差による伸縮の影響等を考慮して50m以下とするのが無難である。・・・」としています。

瓦棒ぶき、立平ぶきについて記述がないのは、前述の鋼板製屋根構法標準 SSR 92 と同様です。

以上の様に熱伸縮 (温度伸縮) に関する、規定や説明はじつに曖昧です。実際には、ステンレスシート防水屋根でも100mを超える屋根が施工されています。

## 2. 最近の考え方

さて話は変わりますが、昨年11月から「ステンレス防水研究会」を始めました。ステンレス防水工法を行っている主な会社のメンバーが集まり、「課題を整理し、対策を検討し、良い仕事に繋がる仕様を確立しよう」というものです。権威の先生方にも加わっていただき、ご指導を仰いでおります。

「ステンレス防水研究会」

主査：田中 享二 (東京工業大学 教授・工博)

副主査：飛田 春雄 (明治大学 兼任講師・工博)

メンバー：井上 勝彦 (日建板)、井上 雅司 (日本冶金工業)、大八木 亮太郎 (住友金属建材)、柿島 孝男 (三晃金属工業)、武内 隆 (淀川製鋼所)、宮内

博之 (東京工業大学)

課題の一つである熱伸縮問題についてもデータを持ち寄り検討を行いました。

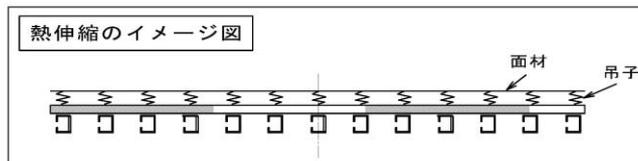
その成果を「ステンレスシート防水工法の熱挙動に関する一考察」として建築学会2004年度大会へ報告しました。

結論から言いますと「屋根が温度変化によって伸び縮みする量は、屋根の長さには比例しない」

ということです。

以下、できるだけわかり易く解説してみたいと思います。

図-1 施工時の状態説明図



ステンレスシート防水屋根も他の金属屋根と同様、下地に固定した吊子により面材 (屋根材) を支持するかたちになっています。吊子は風圧のように垂直方向 (Z方向) の荷重を支えるのはもちろん、流れ方向 (X方向) の荷重も支えます。この図では、 のように表現しています。下地はS造を想定しています。野地板を介して母屋のCチャン (リップ溝形鋼) に吊子が固定されます。Cチャンの下には、H型鋼などの梁がありますが、ここでは省略しています。下地がコンクリートの場合は、コンクリート用ファスナー (例: オールアンカーなど) で、吊子を固定することになります。

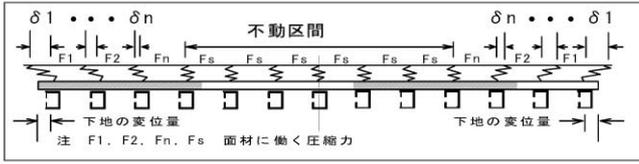
面材の熱伸縮が問題となるのは、あくまでも面材と下地との間に相対的な変位が生ずるからです。図-1は、施工時のイメージで、面材と下地の位置関係が揃っている状態です。

例えば、冬の寒い日に施工した面材が、夏場に至り流れ方向に伸びたとします。下地もある程度伸びます。相対的な変位が生じたこととなります。図-2は、この状態をイメージした図です。吊子も変形しているので、 な形で表しています。端に行くほど変形が大きいことも表現してみました。

さて、相対変位が生ずれば、それに応じた力が働きます。面材には、伸びたいところを吊子によって中央に引

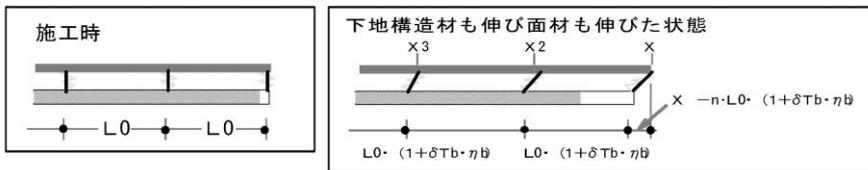
張られるため圧縮力が働き、吊子には、それを各位置で支えるための力が働き、ある位置で釣り合うことになります。

図-2 温度変化により熱伸び後の状態説明図



さて、ここから面材に働く力と吊子位置の関係を求めて行きます。少しややこしくなるかも知れませんが、ご勘弁下さい。

図-3 端部の変形と座標など



・最端部の状態（吊子子の個数をnとして）

$$\{L_0 (\Delta T_m \cdot \eta_m + 1) - (X_1 - X_2)\} \cdot G / L_0 (\Delta T_m \cdot \eta_m + 1) = K \cdot \{X_1 - n \cdot L_0 \cdot (\Delta T_b \cdot \eta_b + 1)\}$$

・端部から2番目の状態

$$\{L_0 (\Delta T_m \cdot \eta_m + 1) - (X_2 - X_3)\} \cdot G / L_0 (\Delta T_m \cdot \eta_m + 1) = K \cdot \{X_1 - n \cdot L_0 \cdot (\Delta T_b \cdot \eta_b + 1)\} + K \cdot \{X_2 - (n-1) \cdot L_0 \cdot (\Delta T_b \cdot \eta_b + 1)\}$$

・端部からm番目の状態

$$\{L_0 (\Delta T_m \cdot \eta_m + 1) - (X_m - X_{m+1})\} \cdot G / L_0 (\Delta T_m \cdot \eta_m + 1) = K \cdot \{X_1 - n \cdot L_0 \cdot (\Delta T_b \cdot \eta_b + 1)\} + K \cdot \{X_2 - (n-1) \cdot L_0 \cdot (\Delta T_b \cdot \eta_b + 1)\} + \dots + K \cdot \{X_m - (n - (m-1)) \cdot L_0 \cdot (\Delta T_b \cdot \eta_b + 1)\}$$

以上の式を  $L_0 (\Delta T_m \cdot \eta_m + 1) = L_m$ 、 $L_0 \cdot (\Delta T_b \cdot \eta_b + 1) = L_b$  と略して

$X_1, X_2, \dots, X_m$  の項で整理すると

$$\begin{aligned} (L_m \cdot K + G) \cdot X_1 - G \cdot X_2 &= K \cdot n \cdot L_b \cdot L_m + G \cdot L_m \\ L_m \cdot K \cdot X_1 + (L_m \cdot K + G) \cdot X_2 - G \cdot X_3 &= K \cdot n \cdot L_b \cdot L_m + K \cdot (n-1) \cdot L_b \cdot L_m + G \cdot L_m \\ L_m \cdot K \cdot X_1 + L_m \cdot K \cdot X_2 + L_m \cdot K \cdot X_3 + \dots + (L_m \cdot K + G) \cdot X_m - G \cdot X_{m-1} &= K \cdot n \cdot L_b \cdot L_m + K \cdot (n-1) \cdot L_b \cdot L_m + \dots + K \cdot (n - (m-1)) \cdot L_b \cdot L_m + G \cdot L_m \end{aligned}$$

以上の計算式は夏期施工→冬期へ移行する場合（面材が縮むケース）も同じになります。

上の式は、吊子の数だけの連立方程式を解けば  $X_1, X_2, \dots, X_m$  の座標が求まります。

さて、次に各記号のうち、KとGについて説明します。まずKですが、吊子の流れ方向のバネ定数的なもので、下図のように荷重をかけ変位との関係から求めることができます。

計算式をたてるために、各種の記号を下記のように決めます。

面材の温度変化： $\Delta T_m$  (°C)

面材の熱膨張係数： $\eta_m$  (°C<sup>-1</sup>)

下地構造の温度変化： $\Delta T_b$  (°C)

下地の熱膨張係数： $\eta_b$  (°C<sup>-1</sup>)

施工時の下地、面材の母屋ピッチ

および吊子ピッチ： $L_0$  (mm)

面材の剛性（力に有効な断面積あたり）： $G$  (N)

吊子子のばね定数： $K$  (N/mm)

変位後の面材側の吊子固定位置、 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$

と力の釣り合い式は下記のように表すことができます。

図-4 K値の求め方

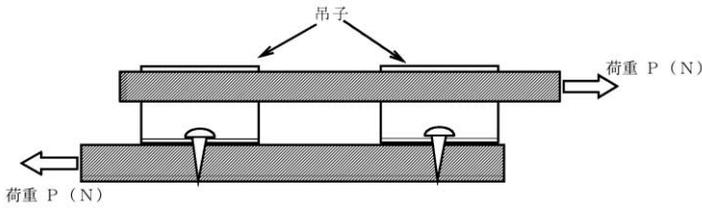
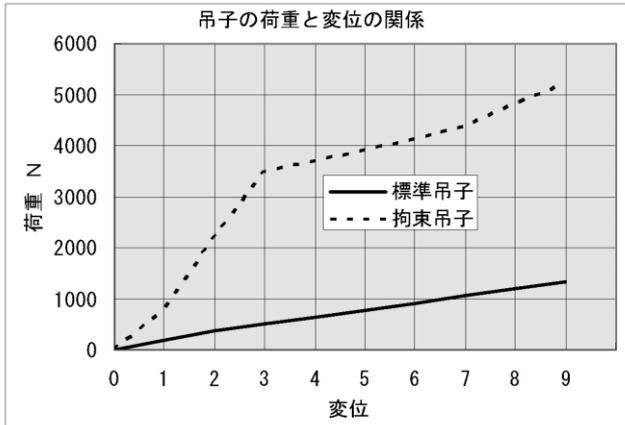


図-5 吊子の荷重と変位の関係 (一例)

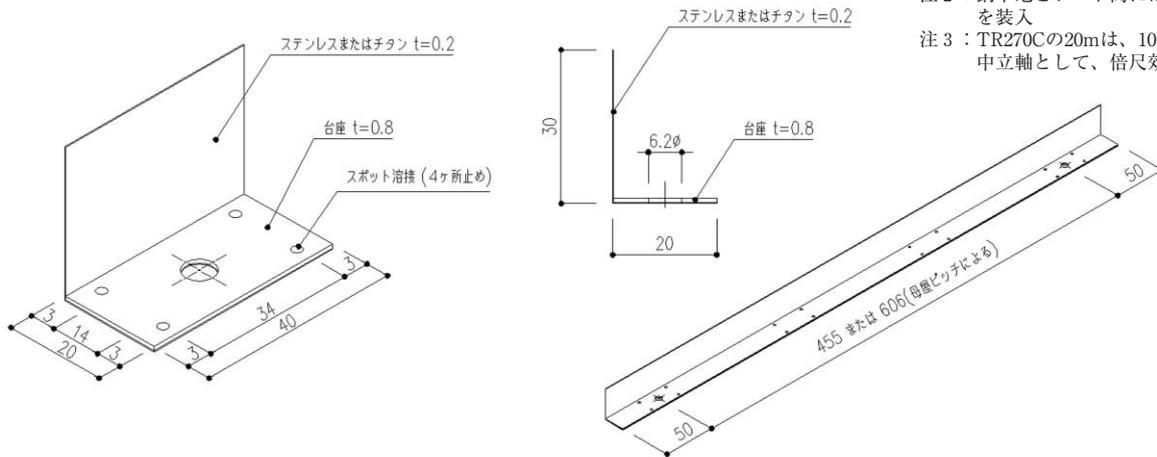


この図からK値は、例えば標準吊子でおおよそ100N/mm (1ヶ当り)、拘束吊子でおおよそ1170N/mmと読み取れます。

ここでの拘束吊子は、長さが200mmの結果です。

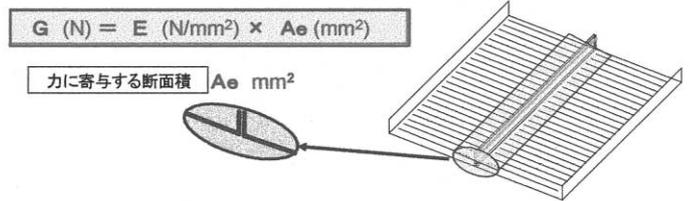
図-6に標準的な固定吊子と拘束吊子の一例を示します。

図-6 固定吊子 および 拘束吊子の一例



次にGの値ですが、Gはヤング率 Eと面材の断面積の中で力に寄与する有効断面積Aeとの積を意味する係数と仮定しています。下図に示すようなイメージです。面材の板厚が、0.4mmと薄いため断面積のうち力に寄与してくる部分は、溶接ハゼ部の近傍わずかな範囲になります。Ae (mm<sup>2</sup>) と、材料のヤング率 E (N/mm<sup>2</sup>) をかけたものを、G (N) としています。

図-7 面材の剛性 G (N) のイメージ



### 3. いろいろな実験との対比

長年にわたり、各社は実験を繰り返し実施してきました。いくつかの結果と解析結果を対比してみたいと思います。表-1に実大試験体の種類と構成を示します。

表-1 実大試験体の構成

No	シート材質	長さm	吊子	下地	条件・試験時期
1	SUS304	42	部分	軽量形鋼+角管	屋外自然 '85.8月~'86.1月
2	TR270C	20	部分	軽量形鋼+角管	屋内、人工条件 '87.12月
3	SUS304	100	部分	軽量形鋼	// '97.7月~'98.2月
4	SUS304	30	通し	コンクリート	// '97.8月~'98.2月

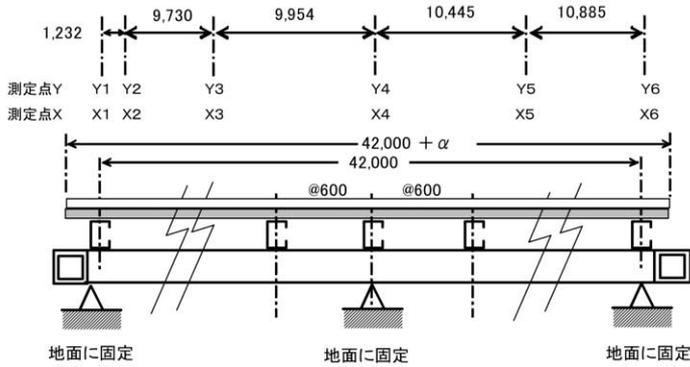
注1：シートは、すべて0.4mm厚

TR270CはJIS H4600 チタン帯 1種

注2：鋼下地とシート間には毛木板またはコンパネを装入

注3：TR270Cの20mは、10m試験体の片側を固定し中立軸として、倍尺効果を活かし実験した。

3-1. 実験1 42m実験 装置は下図に示します。



温度変化の状況と各位置での変位測定結果を下の表に示します。

表一2 面材の温度変化 (°C)

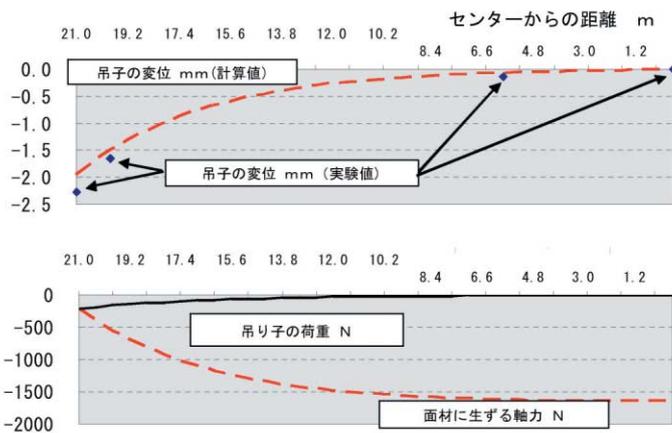
		初期温度	温度 1	温度 2	温度 3	温度 4	温度 5
部材温度	面材	'85.8.8	'85.9.2	'85.10.7	'85.11.22	'85.12.4	'86.1.21
	下地角パイプ	39.0	28.3	19.3	6.3	3.4	-2.2
温度変化	$\Delta T_m$	0	23.1	31.1	46	49.8	54.7
	$\Delta T_b$	0	10.7	19.7	32.7	35.6	41.2

表一3 面材の変位測定結果 (mm)

中立軸からの位置	測定 1	測定 2	測定 3	測定 4	測定 5
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9900	0.3	-0.2	0.0	0.3	0.1
19800	1.4	1.2	1.6	1.2	1.7
21000	2.2	1.7	2.2	2.1	2.3

変位測定結果は下地鉄骨との相対変位を示しています。

図一9



上図は変化の最も大きい測定5について測定値と計算値を図示しています。試験体のセンターとそこからほぼ10m辺りまでは、殆ど変位しないことがわかります。面材に生ずる軸力については、変位しないセンターとそこからほぼ10m辺りまでが最も大きく、約1600Nになっています。変位が生ずるにつれ面材の軸力は低下し、端部で吊子の支持荷重、約200Nとつり合っています。

3-2. 実験2

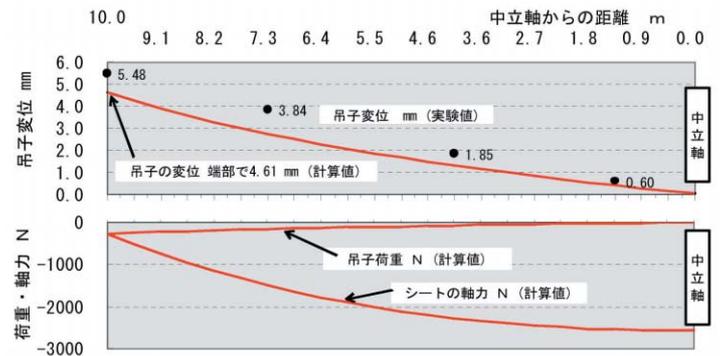
表一3 面材の温度変化 (°C)

	初期	測定時
シート	16.8	-23.5
下地	16.1	61.6

表一4 面材の変位測定結果 (mm)

中立軸からの距離	計測値	鉄骨変位	相対変位
1365	0.10	0.70	0.60
4095	0.25	2.10	1.85
7280	-0.10	3.74	3.84
10010	-0.34	5.14	5.48

図一10



この実験は、チタンが採用された川崎市民ミュージアムの建設に際し、実証試験としてなされたものです。温度変化を大きくするために面材をドライアイスで冷却し、下地の角パイプに温水を通すなど変化を大きくした仮想条件で実施しております。実験状況を写真一1に示します。

写真一1 チタン20mの実験



この実験は、屋内で実施したもので、上記の通り、人工条件であり、変位測定についてもダイヤルゲージを用いているなど精度の高い実験となっています。

面材の長さは、十分には確保できておりませんが、計算値との対比も傾向が良く一致していると言えます。

### 3-3. 実験3 100mの実験

表-5 面材の温度変化

	温度変化 (単位 °C)			変位量 (単位 mm)		
	'97.07.29 13:30	'98.01.27 7:00	温度差	'97.07.29 13:30	'98.01.27 7:00	相対変位
シート	59.6	-0.9	60.5	--	-18.9	1.7
Cチャン	34.2	1.4	32.8	--	-17.2	

表-6 面材の変位測定結果

図-11 100m実験

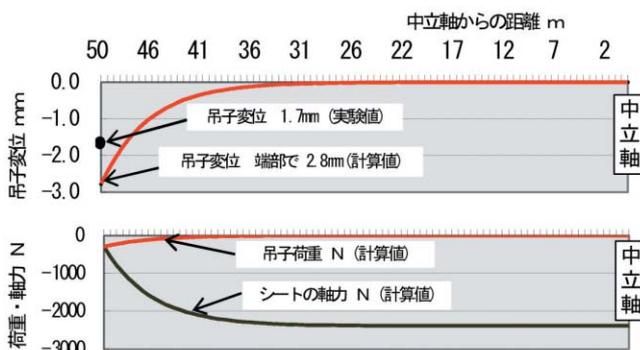


写真-2 100m実験の装置



変位の測定は、標点を定め、トランシットで面材の変位を読み取る方法となっています。

相対変位は1.7mmとごく僅かです。100mという長さであつてもほとんど動かないといえます。

ただし、この実験では、軒先に相当する両端部を標準的に溶接部を倒して掴むかたちとしています。これによって変位が多少拘束されております。この実験をした頃

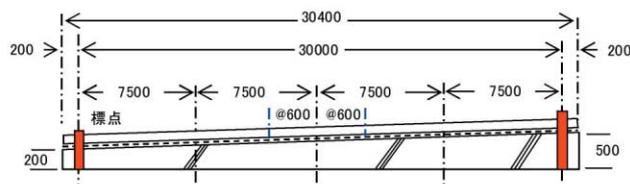
は、まだ理論と結びついていなかったことによります。

### 3-4. 実験4 拘束吊子による30mの実験

表-7 面材の温度変化と変位量

日付	温度変化 (単位 °C)			変位量 (単位 mm)		
	8月12日	9月12日	2月10日	8月12日	9月12日	2月10日
シート	67.6	68.8	-4	+0.2	+0.5	0
コンクリート	32	31.2	4.4	0	--	-7.5

図-12 30m実験の装置



コンクリートの下地に固定した標点に水糸を張りシートに設置した目盛りを目視で読み取っています。したがって、シートの変位量はコンクリートに対する相対変位量でありコンクリートの変位は標点間の変位量を測定しています。拘束吊子では、面材と下地の緊結が強固になるため、相対変位がほとんど生じないことがわかります。

写真-3 30m実験の装置



標点

## 4. 結果についての考察

以上の様に多くの実験が各社によって、長い期間にまたがって実施されているため、実験の条件もまちまちです。そして測定すべき変位量はとても小さい量ですので、

実験精度が十分でない部分もあります。例えば実験3、4では、軒先を倒して水切りを掴み込むという実際面に則した納まりをしたために変位を拘束してしまい正確な結果を得る妨げとなっています。しかしながら最初に紹介した解析結果と実験による測定結果は傾向がよく一致していると言えます。

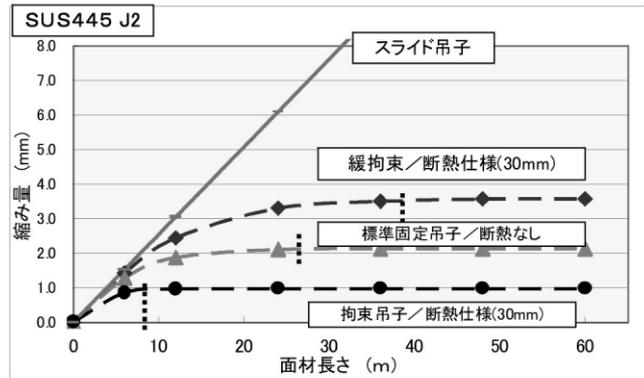
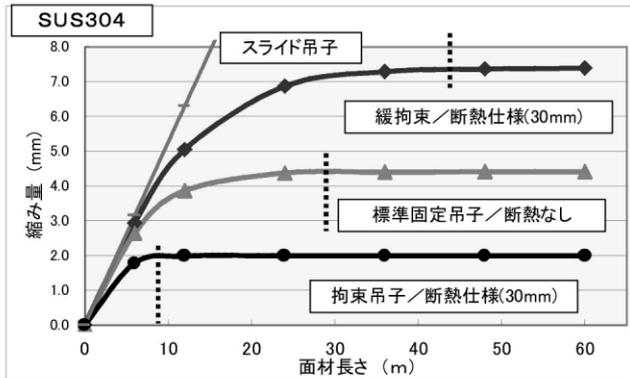
結論として、“屋根の材料がいくら長くなっても端部の変位量は、長さに比例して大きくなるのではなく、ある

量で飽和してしまう”ということが言えそうです。したがってある長さを超えれば、100mでも200mでも変位量は一定になるわけです。

さて、このイメージをわかり易くするために下記のような図を作ってみました。

夏期に施工された屋根が冬期に至り縮む量をいろいろな条件で想定し計算したものです。

図-13



注、材質の違い：熱膨張係数

SUS304は、 $17.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

SUS445 J2 は、 $10.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

下地をコンクリートとして、 $10.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

温度条件

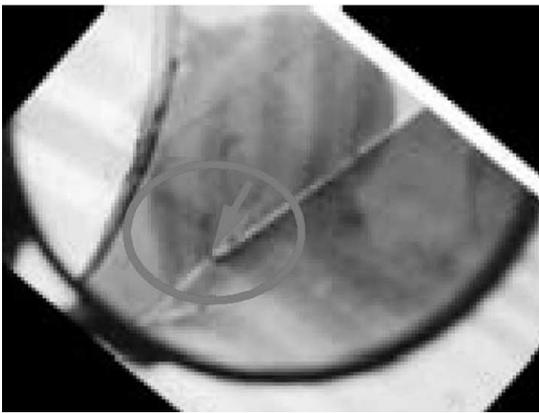
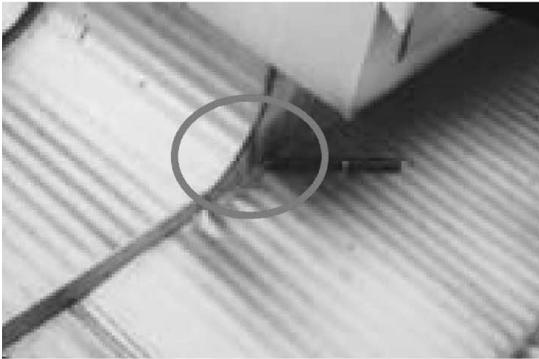
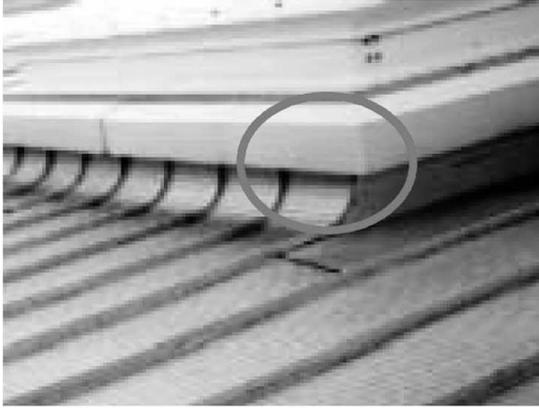
	屋根(°C)	下地(°C)
夏期施工	70	30
冬期	-5	5

断熱仕様と吊子の拘束度による違い：断熱仕様では、用いる吊子の種類で最大縮み量は大きく変わります。なお、当然のことですが、拘束度が大きければ、最大長さが飽和する面材長さも短くなります。例えばSUS304で緩拘束のとき飽和点は約44mですが、拘束吊子では9m程度で飽和することになります。縦の点線がその位置を示しています。

## 5. まとめ

いろいろと説明してまいりましたが、肝心なのは設計において熱伸縮挙動を考慮しないと問題を起こす場合があるということです。一例を見てみましょう。

突出部がある納まりの例ですが、突出部で動きが抑えられる面材とそのとなりで動く面材では、相対的に動きの差が生じ、繰り返により材料が割れてしまうことがあります。



材質がSUS304、SUS316、YUS270などの熱膨張の大きいオーステナイト系ステンレスで、断熱仕様の場合では、上記のような不連続な部分や弱い部分は拘束吊子を適宜用いて変位を拘束してやる必要があります。

スライド吊子では、この現象がより顕著に表れます。下の写真がその一例ですが、トップライトの間を通過している連続した面材がこの部分で動きが不連続となり面材に歪が生じ、繰り返しの繰り返しによって割れに至ったケースです。

なお、スライド吊子の場合には変位が直線的に出ますので、屋根の形状や長さだけでなくさらなる注意を必要とするということになります。できることならスライド吊子の使用は避けることが望ましいと考えます

「ステンレス防水研究会」の皆様には深く謝意を表し、この稿を閉じたいと思います。

