

問合せにこたえて…その3

## 計算ソフト『屋根を調べる』にまつわるあれこれ

一般社団法人 日本金属屋根協会 技術委員会 / 事務局

協会事務局には、様々なお問合せが寄せられますが、皆様の参考になりそうなケースを掲載していきます。掲載は随時となります。



写真1 計算ソフト『屋根を調べる』

本稿で採り上げるテーマ		
野地板の強度確認	タイトフレームの溶接強度	熱貫流率の計算

### 1. はじめに

計算ソフト『屋根を調べる』（以下、本ソフト）は日本金属屋根協会から販売されており、また金属屋根工事技師の資格更新講習会「金属屋根講座」の受講者に対しては受講資料とともに配布しています。

※上記の「金属屋根講座」は上記資格者以外にも一般の方においても受講可能な講座となっていますので、ご興味のある方は日本金属屋根協会のWeb Site をぜひご参照ください。

本ソフトは写真1に示すCD-ROM媒体にて販売、配布されており、その中身はMicrosoft Excelを利用した各種の計算シートを保存したものとなっています。

今回は、本ソフトの内容に関し、しばしば事務局にお問合せをいただく項目をピックアップし、解説します。

### 2. 野地板の強度確認

「野地板強度計算書」のシートは、「耐風強度算定シート」および「耐積雪強度計算シート」の双方に含まれる計算シートです。

この「野地板強度計算書」シートには図1の右の表が掲載されており、ここにはそれぞれ野地板種類ごとおよび厚みごとの「最大曲げ応力度（ $\times 10^6 \text{ N/m}^2$ ）」が示されています。

一方、「JIS A5404 木質系セメント板」内の「曲げ破壊荷重(N)」を図1の左に示します。このJISの曲げ破壊荷重を曲げ応力度に換算した数値が、先ほどの最大曲げ応力度の値となります。ここでは、この換算の手法について解説していきます。

JIS A5404 木質系セメント板 表5-性能 (抜粋)

種類	厚さ mm	かさ密度 g/cm <sup>3</sup>	曲げ破壊荷重 N
硬質木毛セメント板	15	1.0以上	800以上
	20		1 300以上
	25		1 800以上
	30		2 000以上
中質木毛セメント板	15	0.7以上 1.0未満	500以上
	20		700以上
	25		1 000以上
	30		1 300以上
	40		2 000以上
普通木毛セメント板	15	0.4以上 0.7未満	350以上
	20		500以上
	25		650以上
	30		800以上
	40		1 200以上
硬質木片セメント板	15	0.9以上	690以上
	18		920以上
	21		1 270以上
	25		1 800以上
	25		2 530以上

計算ソフト「屋根を調べる」「野地板強度計算書」シートの表

材 料	板厚 (mm)	最大曲げ応力度 ( $\times 10^6 \text{N/m}^2$ )
硬質木毛セメント板	15	5.333
	20	4.875
	25	4.320
中質木毛セメント板	20	2.625
	25	2.400
	30	2.167
普通木毛セメント板	30	1.333
	40	1.125
硬質木片セメント板	15	6.133
	18	5.880
	21	6.122
	25	6.072

参考値: 主にJIS A1408三号試験片による

⇨ 換算 ⇨

図1 JIS A5404 の表5と「野地板強度計算」シートの表

表1-試験体の形状・寸法

形状	単位 mm					
	曲げ試験用			衝撃試験用		
長方形	記号	長さ	幅	記号	長さ	幅
	1号	1 200	1 000	1号	1 000	900
	2号	700	600	2号	550	450
	3号	500	400	3号	500	400
	3b号	400	300	4号	400	300
4号	300	250	5号	300	300	
5号	200	150	-	-	-	
短冊形	-	スパンa)+50	50	-	-	-

注a) 製品表示厚さの15倍とする。

表2-スパン

形状	試験体	スパンL (mm)
長方形	1号	1 000
	2号	600
	3号	400
	3b号	350
	4号	250
5号	150	
短冊形	-	製品表示厚さの15倍

「JIS A1408 建築用ボード類の曲げ及び衝撃試験方法」の「3号試験片」の寸法を青枠で囲み、試験体図に記載

注記 L: スパン, l: 試験体の長さ, b: 試験体の幅, P: 荷重, t: 厚さ

図2-試験体の設置

図2 JIS A1408 の試験方法と3号試験片のサイズ

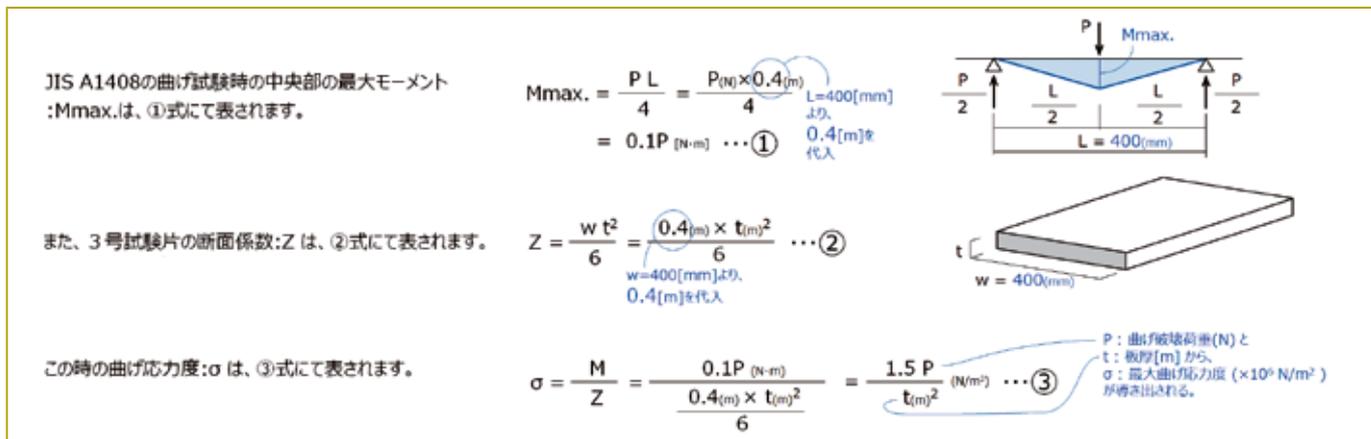


図3 換算・基準化の式展開および図解

「JIS A5404 木質系セメント板」における曲げ試験には、「JIS A1408 建築用ボード類の曲げ及び衝撃試験方法」の「3号試験片」を用いることが規定されています。

「JIS A1408」の試験方法と「3号試験片」のサイズを図2に示します。

この時の破壊時の中央載荷荷重(N)がJIS A5404の「曲げ破壊荷重(N)」となるわけですが、実際の設計においては野地板のサイズおよび載荷条件(集中荷重 or 等分布荷重)がこの試験時の条件とは異なるため、設計時に該当するサイズや載荷条件に換算する必要が生じます。

そこで『屋根を調べる』の「野地板強度計算書」では、この「曲げ破壊荷重(N)」を「最大曲げ応力度(×10<sup>6</sup> N/m<sup>2</sup>)」にあらかじめ換算し、基準化しているというわけです。この換算・基準化の式展開および図解を図3に示します。

まず JIS A1408 の曲げ試験時の中央部の最大モーメント :Mmax. は、①式にて表されます。

また3号試験片の断面性能:Zは②式にて表され、ここでt(m)は試験片の厚み、w(m)は試験片の幅となります。

この時の曲げ応力度:σ(N/m<sup>2</sup>)は③式にて表されます。

この③式に試験片の厚み:t(m)および「JIS A5404」の「曲げ破壊荷重»:P(N)を代入した値が、本ソフトの「野地板強度計算書」の「最大曲げ応力度(×10<sup>6</sup> N/m<sup>2</sup>)」となります。

さて、このように「最大曲げ応力度(×10<sup>6</sup> N/m<sup>2</sup>)」に換算・基準化した上で、改めて木質系セメント板の各種類、厚みごとの数値を概観すると、板厚の厚いほうが最大曲げ応力度が小さくなる傾向(一部逆転しているケースもありますが)が観察されることがわかります。

例えば一般構造用鋼材においても比較的板厚が厚い場合では、製造工程における圧延後の冷却過程において板内部の冷却が表面より遅れることによる材質変化や残留応力などの影響を考慮し、降伏強度を低く見積もることが一般に行われています。

木質セメント板の場合においても何らかの製造工程上の要因によりこのような現象が観察されるものかと想像されはするものの、その詳細について筆者は寡聞にして知りません。どなたか木質系セメント板のこの現象に関し詳しい方がいらっしゃいましたら、日本金属屋根協会事務局までご一報、ご教示いただけると幸甚に存じます。

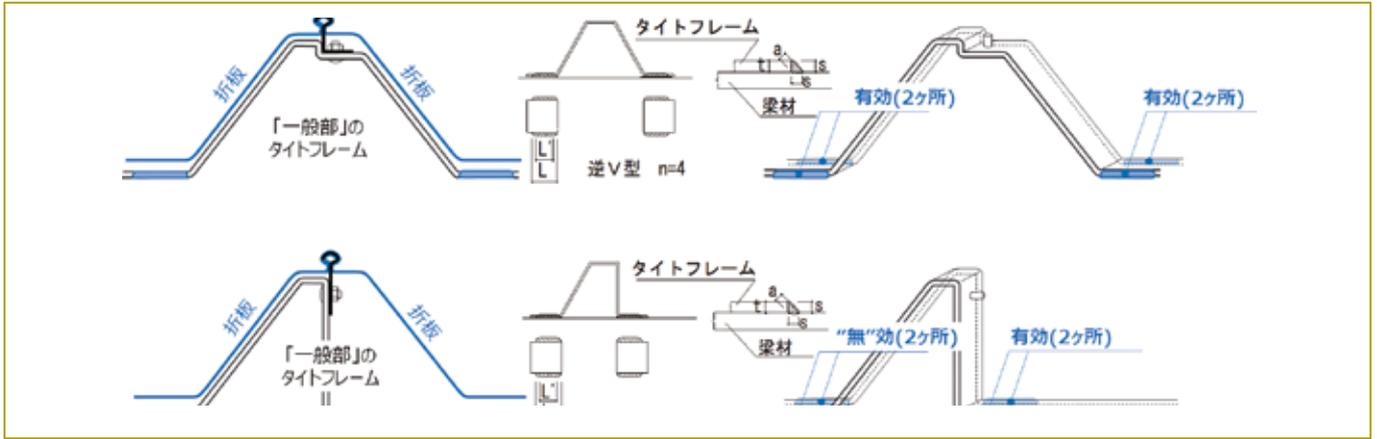


図4 「有効溶接箇所:n」の概念

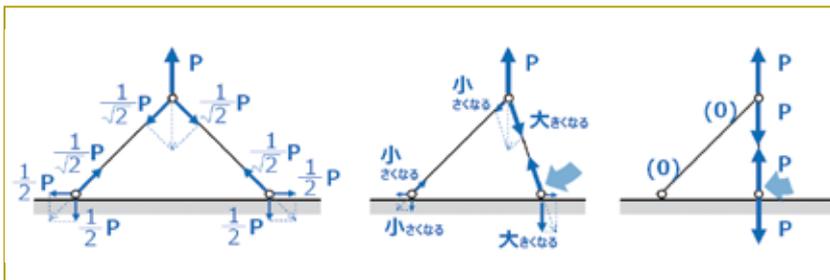


図5 形状の変化による荷重分担の変化

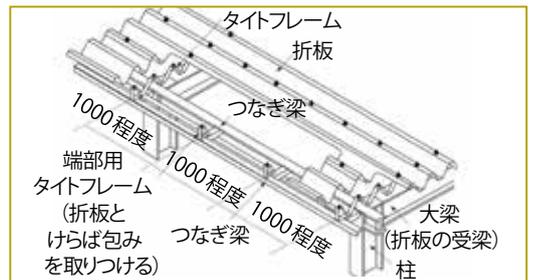


図6 端部用タイトフレームの配置

### 3. タイトフレームの溶接強度

本ソフトの「タイトフレーム溶接計算書」シートではタイトフレームの形状タイプを2つの種類に区別しています。「逆V(アルファベットの”V”)型」および「逆レ(カタカナの”レ”)型」の2つです。

ここで、この「逆レ型」はケラバ端部用タイトフレームを指しているわけではありません。特に折板に不慣れな方では、広く普及している一般的な「逆V型」に比べると見慣れない形状と感じられる「逆レ型」については、「これは端部タイトのことだな」と誤解される方もしばしばいらっしゃいますが、本ソフトではあくまで一般部のタイトフレームとして、この「逆レ型」の形状を取り扱っています。

ここで、「有効溶接箇所:n」という数字が出てきます。この数字は「逆V型」では $n=4$ 、また「逆レ型」では $n=2$ 、となっています。「有効溶接箇所:n」の概念を図4に示します。

図4に示すように、「逆V型」および「逆レ型」の溶接箇所は双方ともに4ヶ所です。しかしながら「有効溶接箇所」を考えると、ほぼ左右対称形状の「逆V型」は全箇所(4箇所)有効となりますが、少々特殊な形状の「逆レ型」では斜辺側の2箇所は無効として取り扱います。

この扱いはなんとなく感覚的にも腑に落ちるかとは思いますが、あえて理屈で説明しようとするとう図5のようになります。

図5に示すように仮に各頂点をピン接合モデルとするトラス構造として捉えた場合、左右対称形状では均等に荷重

が分散されていき、結果的に各部分が均等に荷重を負担することとなります。

一方、このトラスの右側斜辺を急角度に変形させるにつれ、右側斜辺の分担率が大きくなり、左側の分担率は小さくなっていきます。さらに右側斜辺を垂直にすると、トラス理論上はもはや右側のみで100%負担し、左側の負担は“0”となってしまいます。もちろん実際には载荷に伴うわずかな形状変化による応力の再配分もありますし、またそもそもタイトフレームの各点はピンではなく剛接であるため、現実に“0”となるわけではありませんが、このような荷重分担の傾向を配慮した上で「逆レ型」の場合では有効溶接箇所: $n=2$ としているわけです。

なお、冒頭で出てきた「ケラバ端部用タイトフレーム」については、本ソフトでは検討対象としていません。SSR2007の60ページには、「けらば包みによる納めの場合、端部用タイトフレームを1000mm間隔程度に配置する。」との文言とともに図6に示す構造図が記載されています。

通常的设计においては、このように端部用タイトフレームは一般部のタイトフレームに比べはるかに細かい間隔で取り付けられます。そのため一般部のタイトフレームの検討が十分になされていれば、端部用タイトフレームの検討は通常は省略されます。

もちろん通常とは異なる特殊な荷重条件、つまり端部用タイトフレームになんらかの大きな荷重が想定されるような特殊な場合においては、端部用タイトフレームにおいても別途検討が要求されることとなります。

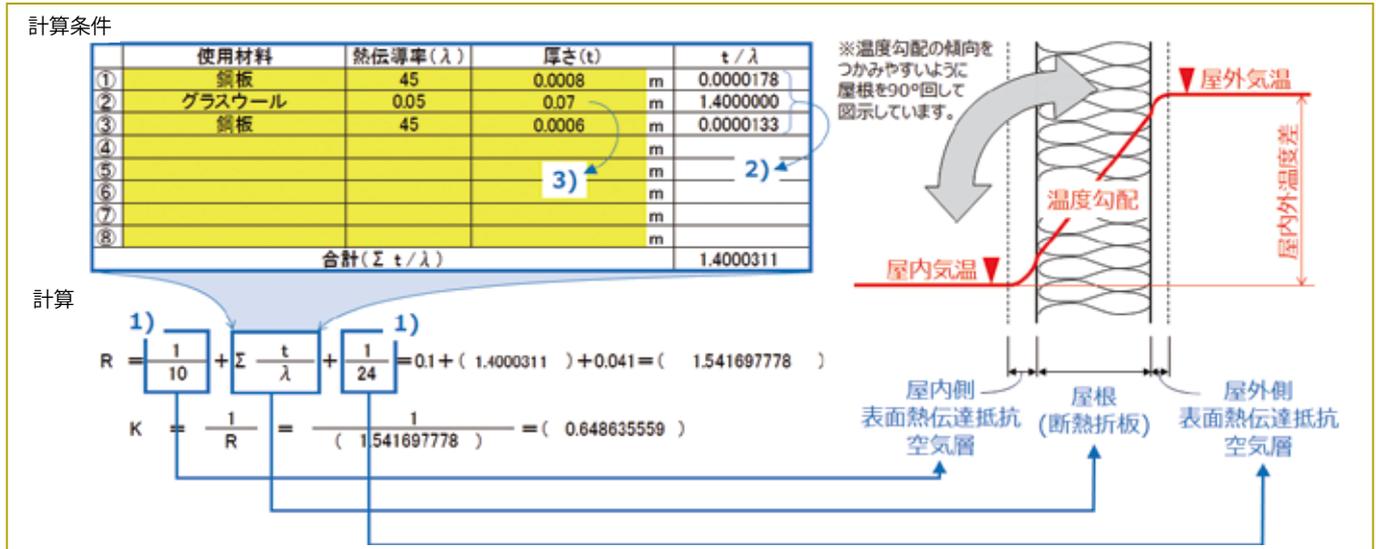


図7 断熱二重折板における熱貫流率計算書シートの入力事例およびその概念

## 4. 熱貫流率の計算

本ソフトの「熱貫流率計算書」シートでは様々な屋根および壁の熱還流率:K 値や熱還流抵抗値:R 値(=1/K)を計算できます。ここではこれらの計算における留意点について解説します。断熱二重折板における熱貫流率計算書シートの入力事例およびその概念を図7に示し、図中の片カッコ数字順に解説を進めます。

### 1) 表面熱伝達率:αについて

物体と周囲の空気との間において、熱伝達によって移動する熱量の率を表面熱伝達率といい、その逆数を表面熱伝達抵抗といいます。屋内側・屋外側ともに物体の表面の薄い空気層が断熱機能を持っています。

「初めて学ぶ もう一度学ぶ 金属の屋根と外壁 LLM2017」

の205ページには、

- ・室内側熱伝達率:  $\alpha_i = 9.5 \sim 11.5$   
⇒ 一般的に10として計算
- ・室外側熱伝達率:  $\alpha_o = 23.5 \sim 29$   
⇒ 一般的に24として計算

との記載があります。

本来これらの数値は、温度差、風速、物体表面の粗滑など環境条件により変動する数値です。

たとえば屋外側の空気は風などにより流動しやすいため、熱伝達率は屋内側と比べ大きな値となっています。これは逆数としての熱伝達抵抗は小さい、つまり空気層の断熱機能が小さいことを意味しています。

実際の屋根・壁の断熱性能においては、物体(鋼板や断熱材)そのものの熱貫流抵抗値にこれらの表面空気層の表面熱伝達抵抗値が加算されることに留意ください。

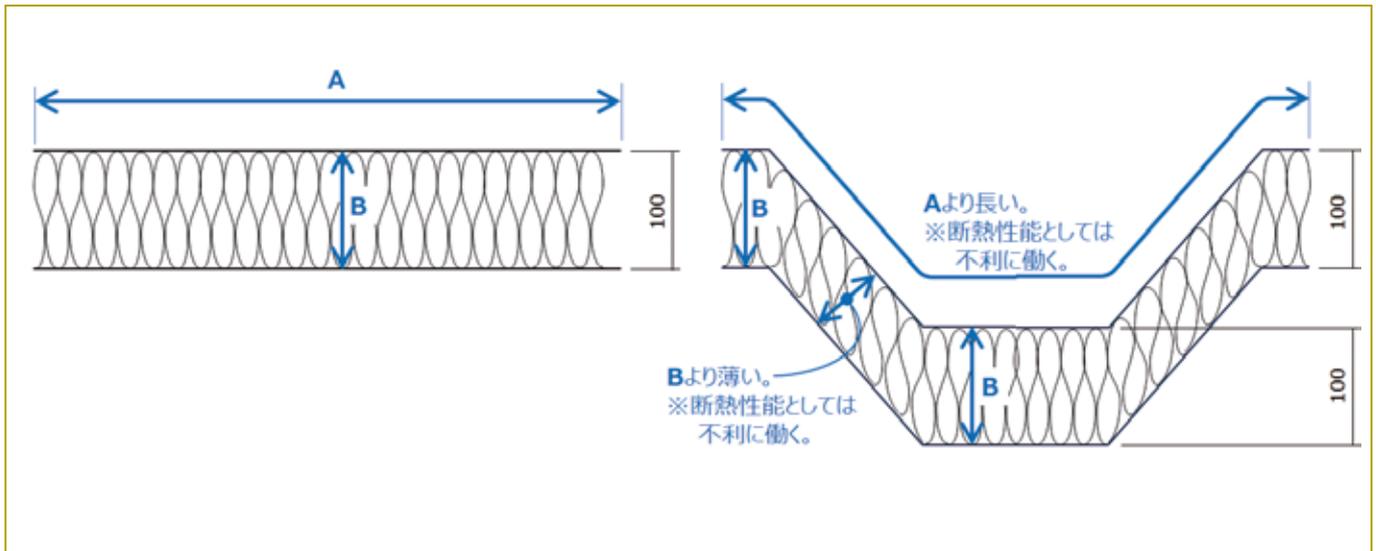


図8 平坦な 100mm 厚のグラスウールと断熱二重折板に挟み込まれたグラスウールとの差異

## 2) 鋼板とグラスウールの熱貫流抵抗値 ( $t/\lambda$ ) の差異

図7における鋼板とグラスウールの熱貫流抵抗値 ( $t/\lambda$ ) を見ると5桁に及ぶ差異があることがわかります。

鋼板は極めて熱を伝導しやすい物質であるばかりか厚みも極めて薄いため、このような大きな差が出ます。金属屋根壁の熱貫流率計算においては、鋼板はほぼ無視しうる程度の存在であることがわかります。

## 3) グラスウールの厚み設定について

断熱二重折板は通常 100mm の厚みのグラスウールを折板でサンドイッチした構造となります。

しかしながら、「初めて学ぶ もう一度学ぶ 金属の屋根と外壁 LLM2017」の 335 ページの計算例には「グラスウールの厚さは、施工後の圧縮、二重折板の斜辺部の厚みを考慮して 70mm とします。」との記述があります。

平坦な 100mm 厚のグラスウールと断熱二重折板に挟み込まれたグラスウールとの差異を図8に示します。

まず A の長さについては平坦な形状よりも断熱二重折板のほうが長くなります。この長さが長いと結果的に空気に触れる面積が大きくなりますので、より貫流熱量は増加し、つまり断熱性能としては不利に働きます。

また次に B の厚みについても折板の斜辺の部分ではグラスウールが潰されてしまい、結果的に厚みが薄くなり、これも断熱性能としては不利に働きます。この斜辺部の厚みは斜辺の角度によって決定されます。

これらの断熱性能の低下要素を考慮し、グラスウールの厚みを 70mm 程度とみなす、とのことなので実際に比較のために断熱二重折板のグラスウール形状での熱伝導解析を試みました。

解析結果を図9に示します。

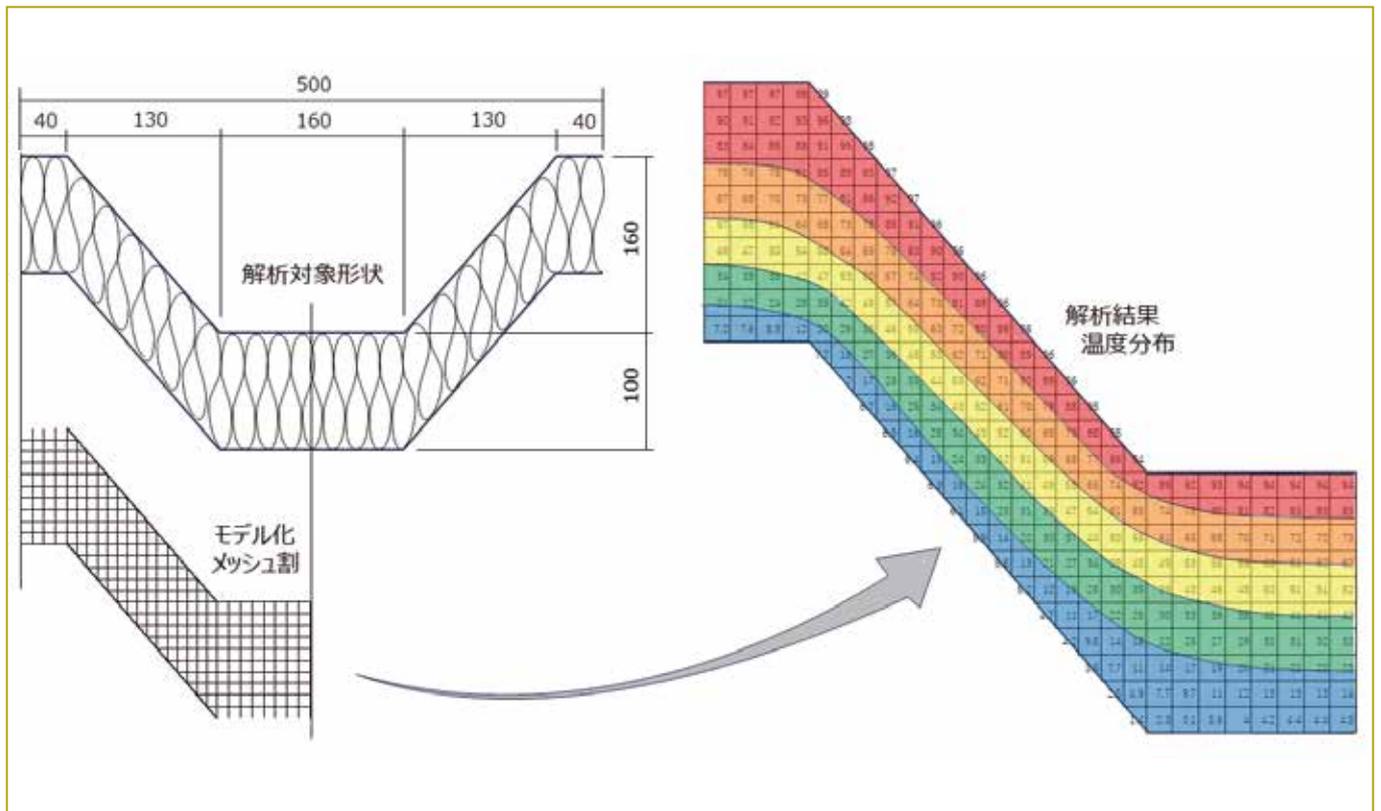


図9 断熱二重折板のグラスウール形状での熱伝導解析

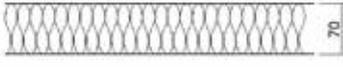
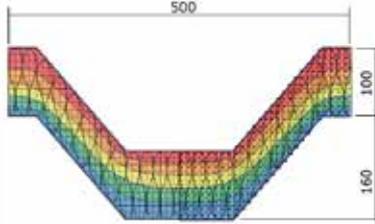
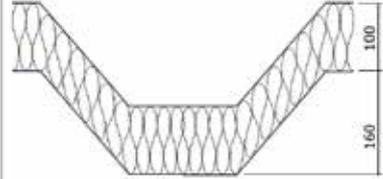
解析対象形状を一般的なH1750タイプとし、左右対称形状を考慮し幅250mmの解析、基本を $10 \times 10\text{mm}$ 要素のメッシュ割としています。グラスウール $10\text{kg/m}^3$ の物性は、「熱貫流率計算書」シートと同様に熱伝導率 $0.05\text{W/m}\cdot\text{C}$ としています。熱貫流率値の解析結果を某社

某社による実験値は日本建築総合試験所にて計測され

たH1750タイプの値です。実験は屋内外表面空気層とともに実施されますので、「材料単体」の計測値はありません。

結果、実験値および解析値ともに平坦なグラスウール70mmの計算値とおおむね一致しており、計算上は平坦なグラスウール70mm程度とみなしておけば良いことがわかります。

表1 熱貫流率値の解析結果と某社による H1750 タイプの実験値

		計算値 (解析値)		実験値
				
熱貫流率 [W/m <sup>2</sup> ·°C]	材料 単体	0.71	0.73	-
	屋内外表面 空気層 (表面熱伝達率) 考慮	0.65	0.66	0.64

また、解析値と実験値との差は、おそらく計算誤差や測定誤差もあるのですが、押し潰されたグラスウールの物性の変化に起因している可能性も考えられます。

一般に 10kg/m<sup>3</sup> 程度のグラスウールは比重の上昇とともにわずかに熱貫流抵抗値が上昇する傾向が見られますので、押し潰されたことによるグラスウールの比重上昇の影響が実験値では作用しているかもしれません。

## 5. おわりに

日本金属屋根協会で販売している計算ソフト『屋根を調べる』の一部の計算シートについて紹介および解説しました。ここで紹介および解説した計算シート以外にも様々な計算シートが用意されていますので、ぜひ活用してみてください。