

7. 参考資料

7-1 たわみの計算と板厚設計

7-1-1. 平板の場合

1. たわみの計算方法

表115を用いてたわみを計算します。

表115 ポリカエースのたわみ (δ/t)

a/b	(Pb ⁴ /Et ⁴)・(a/b)										
	20	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	20000	50000
1.00	0.82	1.52	2.32	3.40	5.47	7.77	10.96	17.18	24.10	33.75	52.64
1.10	0.96	1.75	2.60	3.77	6.02	8.49	11.91	18.57	25.92	36.15	56.07
1.20	1.09	1.94	2.85	4.10	6.50	9.12	12.74	19.75	27.47	38.17	58.90
1.30	1.21	2.11	3.08	4.39	6.91	9.66	13.45	20.76	28.77	39.84	61.22
1.40	1.31	2.26	3.28	4.65	7.28	10.14	14.07	21.61	29.86	41.24	63.12
1.50	1.41	2.40	3.45	4.88	7.60	10.55	14.60	22.34	30.79	42.40	64.69
1.60	1.50	2.52	3.61	5.09	7.89	10.91	15.06	22.97	31.58	43.39	65.98
1.70	1.58	2.63	3.76	5.27	8.14	11.24	15.46	23.52	32.26	44.22	67.05
1.80	1.65	2.74	3.89	5.44	8.36	11.52	15.82	24.00	32.85	44.93	67.95
1.90	1.72	2.83	4.00	5.59	8.57	11.78	16.14	24.42	33.36	45.55	68.72
2.00	1.78	2.91	4.11	5.72	8.75	12.01	16.42	24.79	33.81	46.09	69.37
2.20	1.89	3.07	4.30	5.97	9.08	12.41	16.92	25.43	34.57	46.67	70.42
2.50	2.03	3.26	4.55	6.27	9.48	12.90	17.51	26.18	35.45	47.98	71.50
3.00	2.22	3.51	4.86	6.66	9.99	13.52	18.26	27.10	36.50	49.14	72.78

中間値は線形補間します。

ここで、

P：建築基準法施行令第3章第8節に規定する長期または短期荷重 (kgf/cm²)

a：ポリカエースの平面への投影面積の長辺の長さ (cm)

b：ポリカエースの平面への投影面積の短辺の長さ (cm)

t：ポリカエースの厚さ (cm) ただし、12mmを超える厚さについては12mmとして計算します。

E：ポリカエースの弾性係数 (kgf/cm²)

δ ：ポリカエースのたわみ (cm)

2. たわみの計算例

次のような条件でたわみを計算します。

- 風 圧 力 ……200kgf/m²
- 施 工 サ イ ズ……100cm×200cm (a/b=2.0)
- ポリカエース……板厚8mm (0.8cm)
- ポリカエース……弾性率24,000kgf/cm²

(表115から線形補間で求めます。)

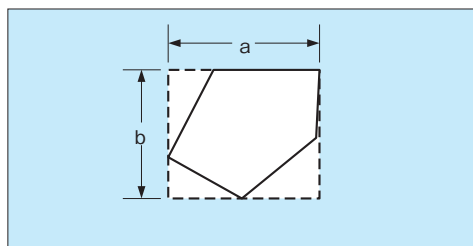
- (手順—1) $(P \cdot b^4 / E \cdot t^4) \cdot (a/b)$ の計算
 $(P \cdot b^4 / E \cdot t^4) \cdot (a/b) = 0.02 \times 100^4 / (24000 \times (0.8)^4) \times (200/100) = 407.0$
- (手順—2) δ/t の計算 (表115から線形補間で求めます。)
表より $a/b = 2.0$ で、
 $(P \cdot b^4 / E \cdot t^4) \cdot (a/b) = 200$ のとき $\delta/t = 5.72$
 $(P \cdot b^4 / E \cdot t^4) \cdot (a/b) = 500$ のとき $\delta/t = 8.75$
 $\delta/t = 5.72 + \frac{8.75 - 5.72}{500 - 200} \times (407.0 - 200) = 7.81$
- (手順—3) たわみ δ の計算
 $\delta = 7.81 \times t = 7.81 \times 0.8 \text{ cm} = 6.25 \text{ cm}$
- (手順—4) 施工可否判定 (許容たわみ = 短辺/15以下)
発生たわみ $\delta = 6.25 \text{ cm} < \text{許容たわみ} = \text{短辺}/15 = 6.67 \text{ cm}$
従って、短辺の1/15以下のたわみであり、施工可能です。

3. 設計計算上の特例〈平板施工における特例〉

①形状が長方形でない場合の設計

その形状に外接する最も小さい長方形に置き換えて計算します。

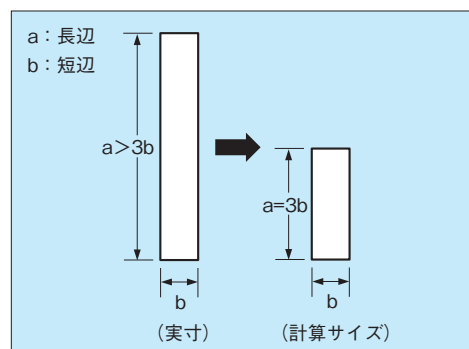
図 51



②長辺／短辺＞3の場合の設計

長辺の長さを短辺の長さの3倍として計算します。

図 52



7-1-2. 曲面板の場合

1. たわみの計算方法

図53～56を用いてたわみを計算します。

$$(\text{たわみ}) = (\text{縦軸の数値}) \times \left(\frac{b}{E} \cdot P \times 10^4 \right)$$

図53 ポリカエース曲面板のたわみ(a/b=0.5)

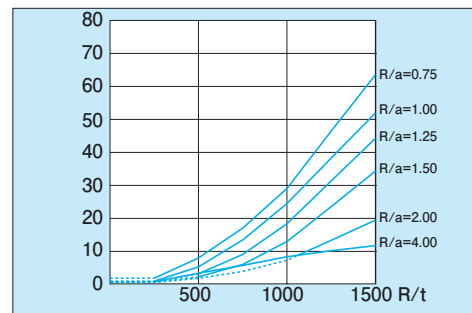


図54 ポリカエース曲面板のたわみ(a/b=1.0)

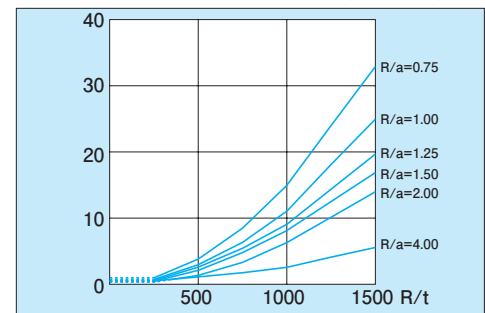


図55 ポリカエース曲面板のたわみ(a/b=2.0)

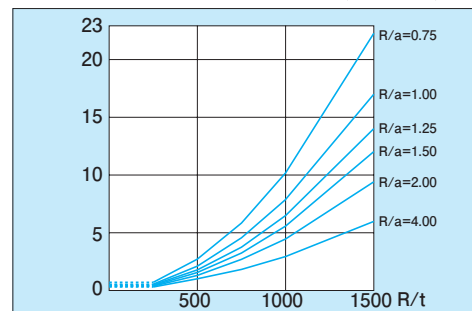
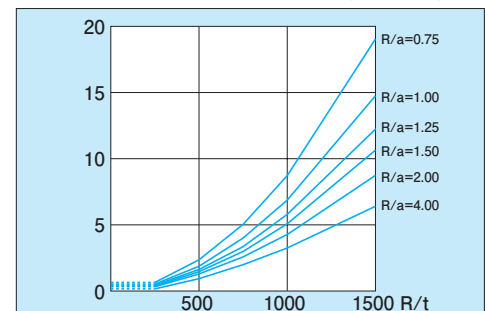


図56 ポリカエース曲面板のたわみ(a/b=3.0)



- ・各図のR/aにおいて、中間値は、線形補間します。
- ・各図のR/aにおいて、点線で示す領域は、計算には考慮しないこととします。
- ・a/bの値が、2つの対応する図のa/b値の中間値になる場合は、該当する2つの図から計算されたたわみを線形補間します。

ここで、

p：建築基準法施行例第3章第8節に規定する長期または短期荷重 (kgf/cm²)。なお、長期荷重時のたわみの算定に際しては、荷重を1.5倍します。

a：ポリカエースの弦を含む平面への投影面の円弧方向の長さ (cm)

b：ポリカエースの弦を含む平面への投影面の母線方向の長さ (cm)

R：円筒ポリカエースの曲率半径 (cm)

t：ポリカエースの厚さ (cm) ただし、12mmを超える厚さについては12mmとして計算します。

E：ポリカエースの曲げ弾性率 (kgf/cm²)

δ：ポリカエースのたわみ (cm)

板厚の決定に際しては、たわみの検討だけでなく、現実的なサッシ深さになるように留意してください。

現実的なサッシ深さで許容されるたわみ量については、図57～60を参照ください。

図57 サッシ深さ=4.0cmでの許容たわみ
($\Delta t=50^{\circ}\text{C}$ とした時)

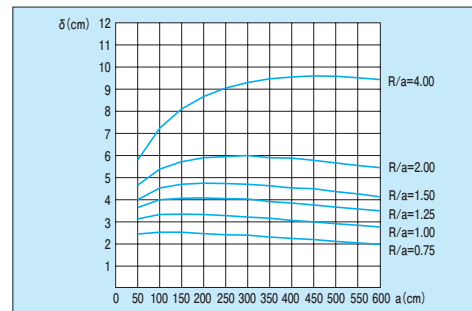


図58 サッシ深さ=2.0cmでの許容たわみ
($\Delta t=50^{\circ}\text{C}$ とした時)

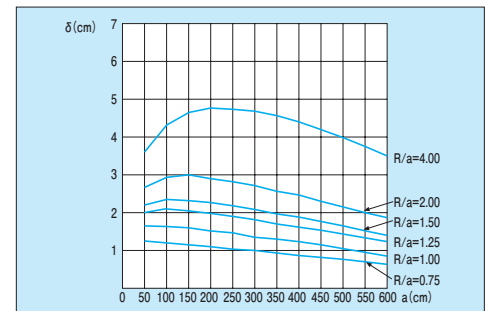


図59 サッシ深さ=1.5cmでの許容たわみ
($\Delta t=50^{\circ}\text{C}$ とした時)

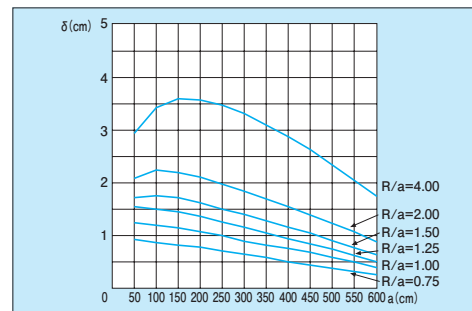
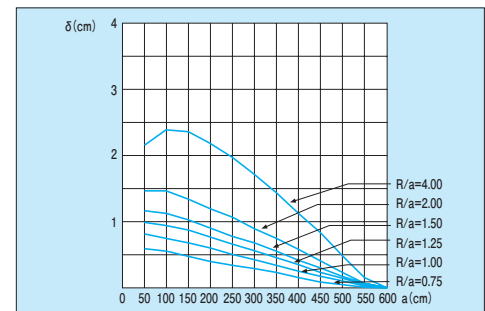


図60 サッシ深さ=1.0cmでの許容たわみ
($\Delta t=50^{\circ}\text{C}$ とした時)



2. たわみの計算例

次のような条件でたわみを計算します。

- 積雪荷重……………180kgf/m²
- 施工サイズ……………円筒板の弦の長さ：300cm、梁間隔：100cm (a/b=3.0)
- 曲率半径……………600cm
- 曲げ施工方法……………強制曲げ施工
- ポリカエース……………板厚6mm (0.6cm)
- ポリカエース……………弾性率24,000kgf/cm²

(手順—1)

設計荷重の計算

積雪荷重は長期荷重とみなせるため

$$p=180 \times 1.5=270\text{kgf/m}^2=0.027\text{ kgf/cm}^2$$

- (手順—2) 計算に使用する板厚の算定
 ここでの板厚0.6cmは、強制曲げ施工時に使用される板厚であり、構造基準で計算された板厚を、最終的に15%増した板厚に相当します。
 したがって、計算には、これを15%減じた板厚を使用する必要があります。
 (以下の計算に使用する板厚) = $0.6 / 1.15 = 0.522\text{cm}$
- (手順—3) 図の(縦軸の数値)の算定
 $a/b = 3.0$ であるので、図56の $R/a = 600/300 = 2.0$ のカーブにおいて、
 横軸： $R/t = 600/0.522 = 1150$ に対する、縦軸の数値を読み取ります。
 (縦軸の数値) = 5.4
- (手順—4) たわみ δ の計算

$$\delta = (\text{縦軸の数値}) \times \left(\frac{b}{E} \cdot p \times 10^4 \right)$$

$$= 5.4 \times \frac{100}{24000} \times 0.027 \times 10^4 = 6.075\text{cm}$$
- (手順—5) 施工可否判定(許容たわみ=短辺/15以下)
 発生たわみ： $\delta = 6.075\text{cm} < \text{許容たわみ} = \text{短辺}/15 = 6.67\text{cm}$
 したがって、短辺の1/15以下のたわみであり、全周ボルト固定では、施工可能です。ただし、全周サッシのみ込み固定の場合は、参考資料7-2-2の計算例に示されるように、4.09cmという非現実的なサッシ深さが必要となります。
- 以下に、現実的なサッシ深さの全周サッシのみ込み固定で使用する場合の、たわみ計算の方法を示します。
- 現実的なサッシ深さ……………2.0cm
 - ポリカエース……………板厚10mm (1.0cm)
- (手順—6) のみ込み代2.0cmでの許容たわみの算定
 図58の $R/a = 2.0$ のカーブにおいて、横軸： $a = 300$ に対する、縦軸の許容たわみ δ を読み取ります。
 $\delta = 2.7\text{cm}$
- (手順—7) 計算に使用する板厚の算定
 ここでの板厚1.0cmは、強制曲げ施工時に使用される板厚ですが、この板厚は、(手順—1)～(手順—5)で計算した、使用限度ぎりぎりの許容たわみ条件(短辺/15以下)で、最終的に15%増した板厚である、0.6cmよりも、十分大きく安全側になっています。そのため、計算にあたっては、これを15%減じた板厚を使用する必要はありません。
 (以下の計算に使用する板厚) = 1.0cm
- (手順—8) 図の(縦軸の数値)の算定
 $a/b = 3.0$ であるので、図56の $R/a = 600/300 = 2.0$ のカーブにおいて、横軸： $R/t = 600/1.0 = 600$ に対する、縦軸の数値を読み取ります。
 (縦軸の数値) = 1.75

(手順—9)

たわみ δ の計算

$$\begin{aligned}\delta &= (\text{縦軸の数値}) \times \left(\frac{b}{E} \cdot p \times 10^4 \right) \\ &= 1.75 \times \frac{100}{24000} \times 0.027 \times 10^4 = 1.969 \text{ cm}\end{aligned}$$

(手順—10)

施工可否判定 (許容たわみ=2.7cm サッシ深さ2.0cmでの許容値)

発生たわみ: $\delta = 1.969 \text{ cm} < \text{許容たわみ} = 2.7 \text{ cm}$

したがって、現実的なサッシ深さ2.0cmにおいては、板厚10mmで全周サッシのみ込み固定で、施工可能です。

3. 設計計算上の特例〈曲面板施工における特例〉

板寸法

原則として、辺長比(a/b)は

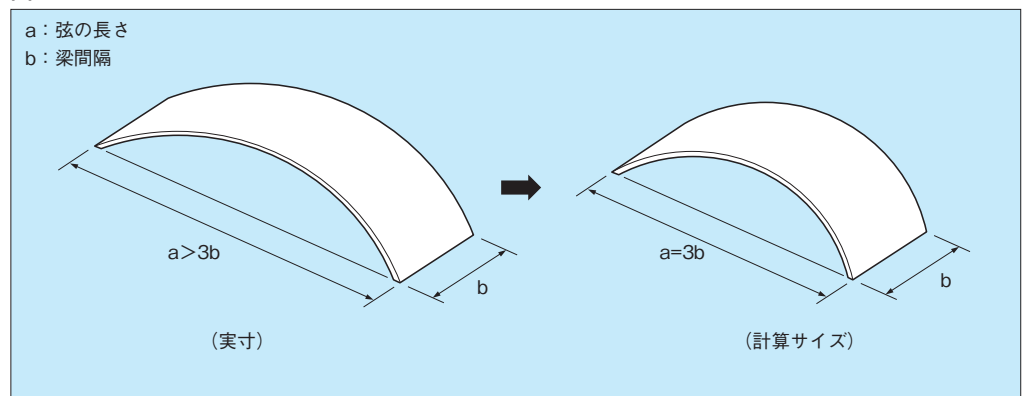
$$0.5 \leq a/b \leq 3.0$$

($a/b < 0.5$ は、設計不可)

$a/b > 3.0$ の場合の設計

円筒板の弦の長さ a は、梁間隔 b の3倍として計算します。

図61



7-2 サッシ深さの計算方法

サッシまたはフレームに取付ける場合は、荷重たわみによるずれ量と熱膨張を十分に考慮し、脱落しないようにサッシ深さを決定しなければなりません。

なお、ポリカーボネート板構造設計基準では、ポリカーボネート板の線膨張係数を 7×10^{-5} と規定されているため、ここでは線膨張係数を 7×10^{-5} として計算します。

7-2-1. 平板の場合

1. サッシ深さの計算

必要サッシ深さを ΔL (cm)とすると、

$$\Delta L = \Delta X \times SF + \Delta 1$$

($\Delta X \times SF$ = のみ込み代を示す。)

ΔX : たわみによる短辺のズレ量 (cm)

SF : 安全係数 (3以上に設定する。)

$\Delta 1$: 温度差による伸縮量 (cm)

〈 ΔX の計算〉

①角度にラジアンを用いた場合

$$\Delta X = r \cdot \sin^{-1}(b/2r) - (b/2)$$

②角度に度(°)を用いた場合

$$\Delta X = r \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \sin^{-1}(b/2r) - (b/2)$$

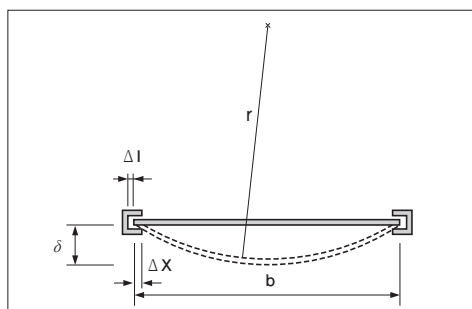
δ : ポリカエースのたわみ (cm)

b : 短辺の長さ (cm)

r : たわんだときの曲率半径 (cm)

$$r = \frac{b^2 + 4\delta^2}{8 \cdot \delta}$$

図62



〈 $\Delta 1$ の計算〉

$$\Delta 1 = 7 \times 10^{-5} \times \Delta t \times b/2$$

7×10^{-5} : ポリカエースの線膨張係数
(1/°C)

Δt : 温度差 (50°C以上)

長辺の場合においても、短辺と同様の計算を行ってください。

2. サッシ深さの計算例

次のような条件で、サッシ深さの計算例を以下に示します。

●ポリカエースの条件および荷重条件は、**参考資料7-1-1**で示した、平板でのたわみの計算例と同じとする。

したがって、 $\delta = 6.25$ cm

$$b = 100$$
cm

●SF (安全係数) は3とする。

● Δt は50°Cとする。

(手順—1)

たわんだときの曲率半径 r を求めます。

$$r = \frac{(100)^2 + 4 \times (6.25)^2}{8 \times 6.25} = 203.1 \text{ (cm)}$$

よって、たわみによる短辺のずれ量 ΔX は

$$\begin{aligned} \Delta X &= 203.1 \times \sin^{-1}\left(\frac{100}{2 \times 203.1}\right) - \frac{100}{2} \\ &= 0.519 \text{ (cm)} \end{aligned}$$

(注) $\sin^{-1}\left(\frac{100}{2 \times 203.1}\right)$ の角度の単位は、ラジアン。

(手順—2)

温度差による伸縮量 $\Delta 1$ を計算します。

温度差50°C、線膨張係数 7×10^{-5} として、
 $\Delta 1 = 7 \times 10^{-5} \times 50 \times 100/2 = 0.175$ (cm)

(手順—3)

故に、必要サッシ深さ ΔL は、

$$\begin{aligned} \Delta L &= \Delta X \times 3 + \Delta 1 \\ &= 0.519 \times 3 + 0.175 \\ &= 1.73 \text{ (cm)} \end{aligned}$$

7-2-2. 曲面板の場合

1. サッシ深さの計算

必要サッシ深さを ΔL (cm) とすると、

$$\Delta L = \Delta X \times SF + \Delta 1$$

($\Delta X \times SF$ = のみ込み代を示す。)

ΔX : たわみによる短辺のズレ量 (cm)

SF : 安全係数 (3以上に設定する。)

$\Delta 1$: 温度差による伸縮量 (cm)

〈 ΔX の計算〉

$$\Delta X = (\ell_x - \ell'_x) / 2$$

①角度にラジアンを用いた場合

$$\ell'_x = 2 \cdot R \cdot \sin^{-1}(a/2R)$$

$$\ell_x = 2 \cdot r \cdot \sin^{-1}(a/2r)$$

②角度に度(°)を用いた場合

$$\ell'_x = 2 \cdot R \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \sin^{-1}(a/2R)$$

$$\ell_x = 2 \cdot r \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \sin^{-1}(a/2r)$$

δ : ポリカエースのたわみ (cm)

a : 円筒板の弦の長さ (cm)

R : 元の曲率半径 (cm)

r : たわんだときの曲率半径 (cm)

$$r = \frac{a^2 + 4(\Delta + \delta)^2}{8(\Delta + \delta)}$$

$$\Delta = R - \sqrt{R^2 - a^2/4}$$

〈 $\Delta 1$ の計算〉

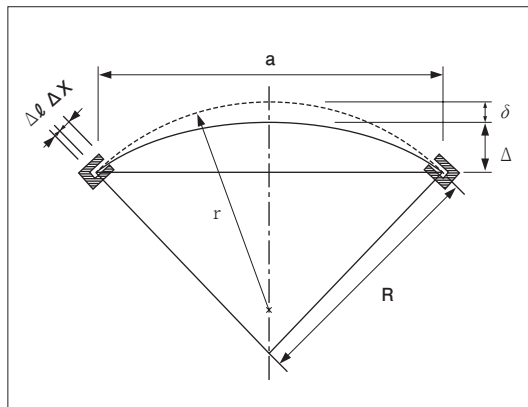
$$\Delta 1 = 7 \times 10^{-5} \times \Delta t \times \ell'_x / 2$$

7×10^{-5} : ポリカエースの線膨張係数
($1/^\circ\text{C}$)

Δt : 温度差 (50°C 以上)

なお、曲面板の円弧にそった境界のサッシ深さについては、平板におけるサッシ深さの計算式(7-2-1を参照)を用いて計算を行ってください。

図63



2. サッシ深さの計算例

次のような条件で、サッシ深さの計算例を以下に示します。

- ポリカエースの条件および荷重条件は、参考資料7-1-2で示した、曲面板でのたわみの計算例と同じとする。

したがって、 $\delta = 6.075\text{cm}$

$$a = 300\text{cm}$$

$$R = 600\text{cm}$$

- SF (安全係数) は3とする。
- Δt は 50°C とする。

(手順—1)

元の弧の長さ ℓ'_x と、元のたわみ Δ を求めます。

$$\ell'_x = 2 \times 600 \times \sin^{-1} \left(\frac{300}{2 \times 600} \right) = 303.06(\text{cm})$$

(注) $\sin^{-1} \left(\frac{300}{2 \times 600} \right)$ の角度の単位は、ラジアン。

$$\Delta = 600 - \sqrt{600^2 - 300^2} / 4 = 19.05(\text{cm})$$

次に、たわんだ時の曲率半径 r と、たわんだ時の弧の長さ ℓ_x を求めます。

$$r = \frac{300^2 + 4(19.05 + 6.075)^2}{8(19.05 + 6.075)} = 460.32(\text{cm})$$

$$\ell_x = 2 \times 460.32 \times \sin^{-1} \left(\frac{300}{2 \times 460.32} \right) = 305.43(\text{cm})$$

(注) $\sin^{-1} \left(\frac{300}{2 \times 460.32} \right)$ の角度の単位は、ラジアン。

よって、たわみによる辺のずれ量 ΔX は、

$$\Delta X = (305.43 - 303.06) / 2 = 1.185(\text{cm})$$

(手順—2)

温度差による伸縮量 $\Delta 1$ を計算します。

温度差 50°C 、線膨張係数 7×10^{-5} として、

$$\Delta 1 = 7 \times 10^{-5} \times 50 \times 303.06 / 2 = 0.530(\text{cm})$$

(手順—3)

故に、必要サッシ深さ ΔL は、

$$\begin{aligned} \Delta L &= \Delta X \times 3 + \Delta 1 \\ &= 1.185 \times 3 + 0.530 \\ &= 4.09(\text{cm}) \end{aligned}$$

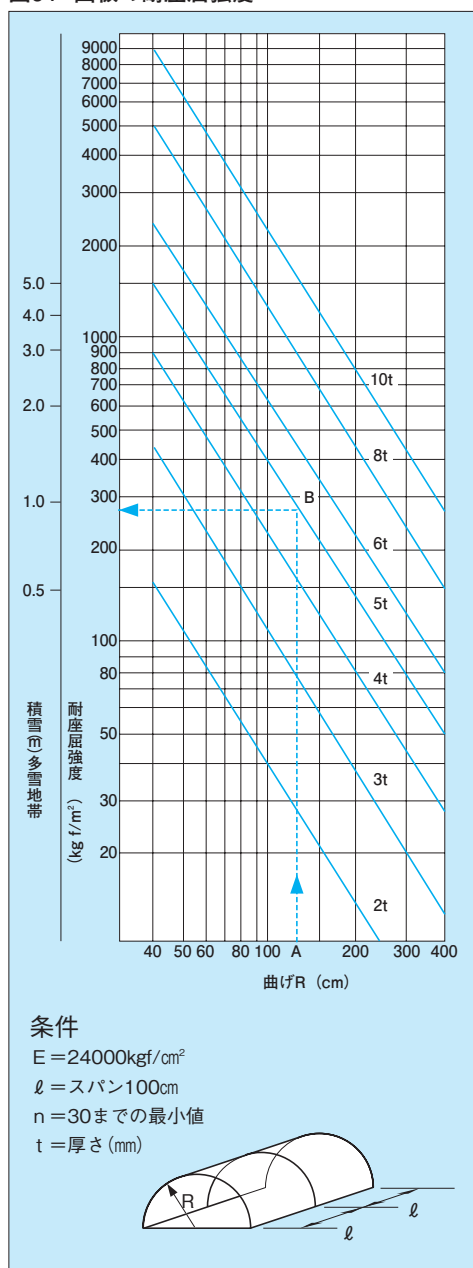
7-3 中心角が90°を超える熱曲げ施工の設計

中心角が90°を超え180°以下の場合の熱曲げ施工は、7-1-2で示した曲面板での計算方法に加え、耐座屈強度により設計を行ないます。

1. 耐座屈強度

ポリカエースを半円形にした場合の強度の目安を図64に示します。

図64 曲板の耐座屈強度



表の見方

板厚と曲げRとから、耐座屈強度を求めるものです。

例

Q: 厚さ5.0mmのポリカエースを125cmRにした場合の耐座屈強度は？

A: 図64より、
 1. 曲げRが125cmRなので、A点より上方へ破線を伸ばすと厚み5.0mmとB点で交わる。
 2. B点より左方向へ破線を伸ばすと、約270kgf/m²を示している。これが求める耐座屈強度である。

※すなわち、板厚5.0mm、曲げR125cmRの曲板は、270kgf/m²未満の設計外圧としなければならぬことがわかります。
 このときの値を積雪量(多雪地帯)に換算すると約90cmに相当します。

参 考 座屈強度の計算式

図64は次式から求めたものです。

$$P=A\frac{r^3t}{l^4}+B\left(\frac{t}{r}\right)^3 \cdots \cdots \textcircled{1}$$

$$A=\frac{E\pi^4}{n^4(n^2-1)}$$

$$B=\frac{E(n^2-1)m^2}{12(m^2-1)}$$

P=耐座屈強度 (限界つぶれ圧力) (kgf/cm²)
 E=曲げ弾性率 (kgf/cm²)
 n=へこみの定数
 γ=半径 (cm)
 l=半円のスパン間隔 (cm)
 m=ポアソン数 (≒2.6)
 t=板厚 (cm)

へこみ定数(n)を、n=2,3,4……と入れたとき、耐座屈強度(P)が設計外圧より常に大きくなるように、板厚(t)及び補強間隔(l)に適当な値を入れて計算します。試行錯誤のくり返しで、板厚(t)と補強間隔(l)が求められます。