

特殊な条件下における板ガラスの強度

板ガラスの強度計算においては、板ガラス周辺の支持方法や荷重条件などから、それらに適した計算式を選び、それによって求めた発生曲げ応力が板ガラスの許容曲げ応力(面内またはエッジ)以下になるように品種・呼び厚さ・面積を決定します。窓ガラスにおいて対象となる荷重は主に風圧荷重であり短期荷重と考えることができますが、積雪荷重などは長期荷重と考える必要があります。そこで、強度計算に用いる板ガラスの許容曲げ応力は、表1に示すように短期と長期を定めていますので、荷重の種類によって選択します。

また、板ガラスに発生するたわみが大きくなると、居住者に不安感を与えたり、外観上問題となることがありますので、たわみについても応力と同様に計算しておく必要があります。

板ガラスの曲げ強度について

金属は弾性変形から塑性変形を経て破壊に至りますが板ガラスは金属と異なり、破壊に至るまではほとんど弾性体に近い挙動を示しながら塑性変形を起こさず、いわゆる脆性破壊を起こす物質です。また、その強度には相当なバラツキがあり、使用条件によっては強度が変化します。したがって、板ガラスの強度検討に際しましては、これらを考慮した安全率を含む許容曲げ応力を用いる必要があります。

なお表2の安全率と破損確率の関係は、P.47表19の風圧荷重の場合とは異なります。例えば、風圧荷重については、安全率2.5での破損確率は1/1,000であるのに対し、ここでいう曲げ応力については、安全率2.0で破損確率は1/1,000となります。

表1 板ガラスの許容曲げ応力

単位：MPa(kgf/cm²)

ガラス品種	呼び厚さ	短期許容応力		長期許容応力	
		面内(σ _{ac})	エッジ(σ _{ae})	面内(σ _{ac})	エッジ(σ _{ae})
フロート板ガラス 熱線吸収板ガラス 熱線反射ガラス	8ミリ以下	24.5 {25}	17.7 {18}	9.8 {10}	6.9 {7}
	8ミリを超え12ミリ以下	22.1 {22}	17.7 {18}	8.8 {9}	6.9 {7}
	12ミリを超え20ミリ以下	19.6 {20}	17.7 {18}	7.8 {8}	6.9 {7}
	20ミリを超えるもの	18.6 {19}	17.7 {18}	7.4 {7}	6.9 {7}
網入、線入磨板ガラス		19.6 {20}	9.8 {10}	7.8 {8}	3.9 {4}
網入、線入型板ガラス		14.7 {15}	9.8 {10}	5.9 {6}	3.9 {4}
強化ガラス		88.3 {90}	79.4 {81}	73.5 {75}	68.6 {70}
倍強度ガラス		44.1 {45}	35.3 {36}	29.4 {30}	24.5 {25}

注1)許容曲げ応力は、安全率を考慮したものです。絶対に割れないという保証値ではありません。

注2)ガラスエッジはクリーンカットとします。但し、強化ガラス及び倍強度ガラスは、湿式#120以上でエッジ処理された場合の値です。

注3)強化ガラスは水平強化炉で強化された製品の数値です。強化方法が異なる場合には、強度が異なる場合があります。

表2 安全率と破損確率(曲げ破壊試験)

安全率 (F)	1.0	1.7	2.0	2.3	2.6
破損確率	0.5	0.01	0.001	0.0001	0.00001

特殊な条件下における板ガラスの強度

板ガラスの応力とたわみ計算について

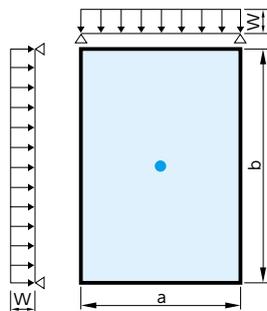
板ガラスに荷重が作用した場合に発生する応力およびたわみの計算式は、発生するたわみが比較的大きい場合を除き、板厚程度ならば平板における微小たわみ理論式によります。板ガラスの支持辺および支持点は十分剛性のあるもので支持されなければなりません。また、支持方法や荷重条件によって応力およびたわみの最大値の発生位置が異なりますので、以下の計算式で求めます。

ここで、計算した最大発生曲げ応力は表1に示す面内またはエッジ許容曲げ応力に対応させて判定します。なお、長い間雪が積もっている屋根ガラスあるいは、長期に荷重をかけておく棚板ガラスなどは、疲労によって強度低下をきたしますので、この場合は長期の許容曲げ応力と対応させて判定しなければなりません。

記号説明

- σ_c, σ_e : 板ガラスの面中央および辺中央の最大発生曲げ応力 (MPa)
- δ_c, δ_e : 板ガラスの面中央および辺中央の最大発生たわみ (mm)
- a : 矩形の短辺の長さまたは円の半径または、2辺、3辺支持においてはフリー辺の長さ (mm)
- b : 矩形の長辺の長さまたは2辺、3辺支持においては支持辺の長さ (mm)
- t : 板ガラスの板厚 (mm)
- W : 等分布荷重 (MPa)
- P : 集中荷重 (N)
- $\beta_1 \sim \beta_4$: 辺長比 b/a によって定まる係数
- $\alpha_1 \sim \alpha_4$: 辺長比 b/a によって定まる係数
- E : 板ガラスのヤング率 7.16×10^4 (MPa)

4辺支持・矩形板の等分布荷重の場合



$$\sigma_c = \beta_1 \frac{W \cdot a^2}{t^2}$$

$$\delta_c = \alpha_1 \frac{W \cdot a^4}{E \cdot t^3}$$

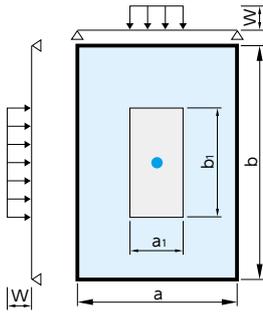
●印は最大曲げ応力、最大たわみの発生点

荷重が水平方向に作用する時を除き、WおよびPは板ガラスの自重を算入すること。係数値は表3をご参照ください。

表3 係数値： β_1, α_1

b/a	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	3.0	4.0	5.0	∞
β_1	0.272	0.318	0.362	0.403	0.441	0.475	0.507	0.535	0.560	0.583	0.603	0.711	0.740	0.748	0.750
α_1	0.046	0.055	0.064	0.073	0.081	0.088	0.094	0.100	0.106	0.111	0.115	0.139	0.146	0.147	0.148

4辺支持・矩形板の中央に部分等分布荷重の場合



$$\sigma_c = \beta_2 \frac{W \cdot a_1 \cdot b_1}{t^2}$$

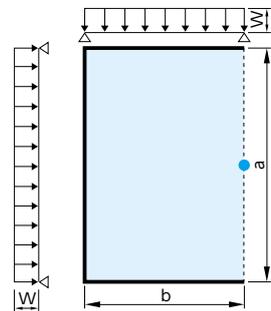
$$\delta_c = \alpha_2 \frac{W \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot a^2}{E \cdot t^3}$$

●印は最大曲げ応力の発生点
係数値は表4をご参照ください。

表4 係数値：β₂、α₂

b/a		1.0						1.4				2.0					
a ₁ /a	b ₁ /a	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	0	0.4	0.8	1.2	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2
0	β ₂	2.14	1.74	1.37	1.08	0.89	0.73	—	1.55	1.08	0.83	—	1.60	1.23	0.95	0.77	0.63
	α ₂	0.130	0.127	0.118	0.105	0.092	0.077	0.169	0.156	0.133	0.107	0.188	0.175	0.155	0.133	0.112	0.093
0.2	β ₂	1.44	1.21	1.03	0.87	0.73	0.60	1.70	1.21	0.92	0.71	1.66	1.29	1.04	0.83	0.68	0.56
	α ₂	0.126	0.123	0.115	0.103	0.089	0.075	0.164	0.152	0.130	0.104	0.182	0.171	0.152	0.130	0.109	0.091
0.4	β ₂	1.18	1.03	0.82	0.70	0.60	0.50	1.33	0.99	0.78	0.61	1.29	1.06	0.89	0.73	0.60	0.49
	α ₂	0.117	0.115	0.107	0.096	0.084	0.070	0.153	0.143	0.122	0.098	0.170	0.161	0.143	0.123	0.103	0.086
0.6	β ₂	0.97	0.87	0.70	0.56	0.48	0.40	1.05	0.80	0.65	0.52	1.02	0.87	0.74	0.62	0.52	0.43
	α ₂	0.105	0.103	0.096	0.087	0.075	0.063	0.137	0.129	0.111	0.089	0.154	0.146	0.130	0.112	0.094	0.078
0.8	β ₂	0.81	0.73	0.60	0.48	0.40	0.33	0.86	0.66	0.54	0.43	0.83	0.72	0.62	0.52	0.44	0.36
	α ₂	0.091	0.089	0.084	0.075	0.066	0.055	0.120	0.112	0.097	0.078	0.134	0.127	0.114	0.098	0.083	0.069
1.0	β ₂	0.67	0.60	0.50	0.40	0.33	0.27	0.71	0.54	0.45	0.36	0.69	0.60	0.52	0.44	0.36	0.30
	α ₂	0.076	0.075	0.070	0.063	0.055	0.046	0.100	0.094	0.081	0.066	0.112	0.107	0.095	0.082	0.069	0.058

3辺支持・矩形板の等分布荷重の場合



$$\sigma_e = \beta_3 \frac{W \cdot a^2}{t^2}$$

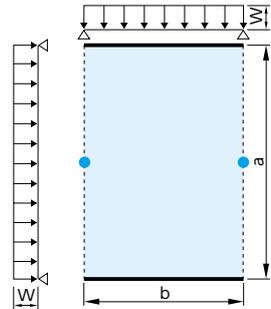
$$\delta_e = \alpha_3 \frac{W \cdot a^4}{E \cdot t^3}$$

●印は最大曲げ応力、最大たわみの発生点
(aはフリー辺の長さを示します)
係数値は表5をご参照ください。

表5 係数値：β₃、α₃

b/a	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	2.00	2.50	∞
β ₃	0.350	0.437	0.511	0.573	0.621	0.660	0.690	0.713	0.732	0.750	0.757	0.784	0.791	0.791
α ₃	0.075	0.093	0.108	0.120	0.130	0.138	0.145	0.149	0.153	0.156	0.158	0.163	0.164	0.165

2辺支持・矩形板の等分布荷重の場合



$$\sigma_e = \beta_4 \frac{W \cdot a^2}{t^2}$$

$$\delta_e = \alpha_4 \frac{W \cdot a^4}{E \cdot t^3}$$

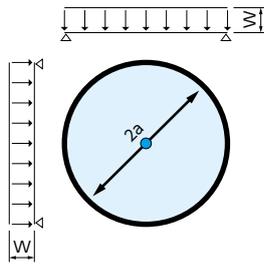
●印は最大曲げ応力、最大たわみの発生点
(aはフリー辺の長さを示します)
係数値は表6をご参照ください。

表6 係数値：β₄、α₄

b/a	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	∞
β ₄	0.750	0.753	0.756	0.760	0.765	0.769	0.773	0.776	0.779	0.781	0.785	0.787	0.789	0.790	0.790	0.791
α ₄	0.156	0.157	0.158	0.159	0.159	0.160	0.161	0.162	0.162	0.163	0.164	0.164	0.164	0.165	0.165	0.165

特殊な条件下における板ガラスの強度

全周支持・円形板の等分布荷重の場合

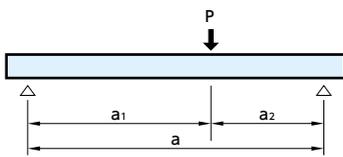


$$\sigma_c = 1.22 \frac{W \cdot a^2}{t^2}$$

$$\delta_c = 0.74 \frac{W \cdot a^4}{E \cdot t^3}$$

●印は最大曲げ応力、最大たわみの発生点

2辺支持・矩形ばりの集中荷重の場合



$$\sigma_c = \sigma_e = \frac{6a_1 \cdot a_2 \cdot P}{a \cdot b \cdot t^2}$$

$$\delta_c = \delta_e = \frac{4P \cdot a_2}{9E \cdot a \cdot b \cdot t^3} \sqrt{3 [a^2 - a_2^2]^3}$$

$a_1 \geq a_2$
b: 板ガラスの幅(mm)