

I-71

圧縮荷重を受けるサンドイッチ板の座屈強度に関する実験的研究

早稲田大学理工学部 学生員 ○森山 卓郎

早稲田大学理工学部 学生員 川口 喜史

早稲田大学理工学部 正員 依田 照彦

1. はじめに 構造物の大型化に伴い、構造材料の低コスト化・軽量化が図られており、その一つの手段としてサンドイッチ構造が考えられている。サンドイッチ構造は、航空機やスポーツ用品等で数多く利用されているが、近年、土木・建築分野における複合材料の使用という観点から、座屈耐荷力に着目した研究がなされるようになりつつある。そこで、本研究では、座屈実験の結果から、一枚板とサンドイッチ板の座屈荷重を比較することにより、サンドイッチ板の座屈挙動について検討した。

2. 実験方法 実験用供試体としては、表面材にアルミ板、心材に表面材と比較してヤング率の無視出来るゴム、および無視出来ない樹脂を用いた。供試体の寸法は $270 \times 70(\text{mm})$ であり、その断面図を Fig.1 に、表面材の板厚および心材の板厚、材質を Table 1 に示す。さらに、表面材と心材は接着剤により一様に接着させた。これらの供試体を、上下両端を固定し、側面的一方が単純支持、もう一方が自由の支持条件になるように治具に取り付けた後、アムスラー圧縮試験機により座屈試験を行った。このとき、試験中の各荷重レベルにおいて、鉛直方向のひずみを供試体表面の表裏8ヶ所に貼り付けたひずみゲージから、鉛直変位を試験機に取り付けたダイヤルゲージによりそれぞれ測定した。

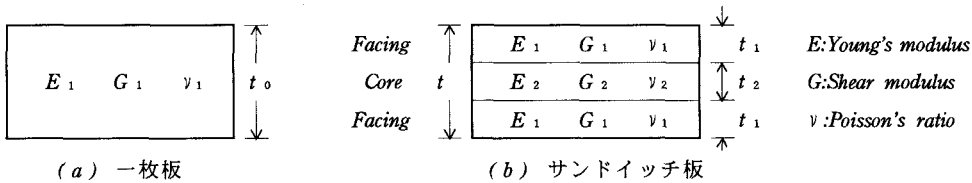


Fig.1 供試体断面

Table 1 供試体特性

E_2/E_1		-	0.00				0.04			PE:polyethylene
Facing	$2t_1(\text{mm})$	1.0	0.8	0.8	0.6	0.4	0.8	0.6	0.4	CR:chloroprene rubber
Core	$t_2(\text{mm})$	0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.2	0.3	0.5	NR:natural rubber
	Material	-	PE	PE	CR	NR	PVC	PVC	PVC	PVC:polyvinylchloride

3. 実験結果および考察

Fig.1 に示す材料定数を有する一枚板およびサンドイッチ板の曲げ剛性 D_0 、 D は次式で与えられる¹⁾。

$$D_0 = \frac{E_1 t_0^3}{12(1-\nu_1^2)}, \quad D = \frac{E_2 t_2^3}{12(1-\nu_2^2)} + \frac{E_1(t^3 - t_2^3)}{12(1-\nu_1^2)} \quad (1 a, b)$$

また、一枚板の座屈荷重 P_{c0} に対するサンドイッチ板の座屈荷重 P_{cr} の比 P_{cr}/P_{c0} は同一支持条件および同一板幅であれば D/D_0 に他ならない。ゆえに、

$$\frac{P_{cr}}{P_{c0}} = \frac{D}{D_0} = 1 - \left(1 - \frac{E_2}{E_1}\right) \left(1 - \frac{2t_1}{t}\right)^3 \quad (2)$$

ただし、(1 a, b) において $\nu_1 = \nu_2$ 、 $t = t_0$ とした。この (2) 式を種々のヤング率の比 E_2/E_1 について計算した結果を Fig.2(a) に示す。この図より、表面材の割合、すなわち $2t_1/t$ が小さい場合、 E_2/E_1 の影響が顕著となるが、ある程度大きい 0.8 以上では E_2/E_1 によらず P_{cr}/P_{c0} はほぼ 1 であることがわかる。次に、

荷重と鉛直変位、および荷重とひずみの測定結果から各供試体の座屈荷重を求め、 P_{cr}/P_{cro} を計算した結果をFig.2(b)に示す。ここで、 P_{cro} は一枚板の座屈荷重130kgfとした。図中の曲線は本実験と同様、 E_2/E_1 が0および0.04について、(2)式を用いて計算したものである。この図より、いずれの場合も P_{cr}/P_{cro} の実験値はこの曲線よりも著しく低下していることがわかる。これは、心材として用いたゴムおよび樹脂のせん断弾性係数が極めて小さいために、心材が载荷中、容易にせん断変形してしまうことにより、表面材と一体となって座屈に抵抗しないためと考えられる。

次に、心材のせん断弾性係数の影響を考慮した場合を考えると、座屈荷重は以下の式で表される¹⁾²⁾。

$$P_{cr} = \frac{P_{11}}{P_{11} + G_2} \left[P_{12} + G_2 \left(1 + \frac{P_{12}}{P_{11}} \right) \right] + P_2 \quad (3)$$

ここで、

$$P_{11} = \frac{k\pi^2}{b^2} \cdot \frac{E_1 t_1 (t_1 + t_2)^2}{2(1 - \nu_1^2)}, \quad P_{12} = \frac{k\pi^2}{b^2} \cdot \frac{2E_1 t_1^3}{12(1 - \nu_1^2)}$$

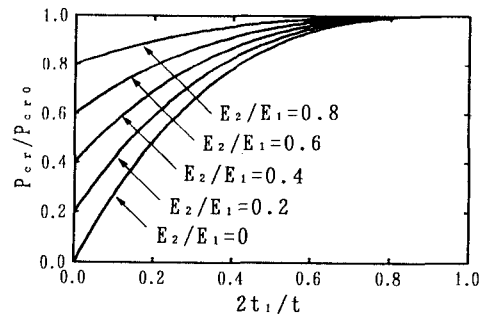
$$P_2 = \frac{k\pi^2}{b^2} \cdot \frac{E_2 t_2^3}{12(1 - \nu_2^2)} \quad b: \text{板幅}, k: \text{座屈係数}$$

である。(3)式から計算した、各板厚構成における P_{cr}/P_{cro} と、表面材のヤング率に対する心材のせん断弾性係数の比、 G_2/E_1 の関係および実験結果をFig.3に示す。この図から、心材としてゴムを用いた場合、表面材の厚さの割合が大きいほど、心材が無い、表面材2枚だけの挙動に近いことがわかる。一方、樹脂を用いた場合、表面材の厚さの割合が大きいときは、(3)式から求めた座屈荷重に近くなるが、小さいときは、心材が無い表面材2枚だけの場合に似た挙動を示すことがわかる。したがって、心材のせん断弾性係数が小さい場合、特に、表面材の厚さの割合が小さいときは、表面材2枚が単に独立した板として挙動し、心材は圧縮荷重を分担しないことを示唆している。

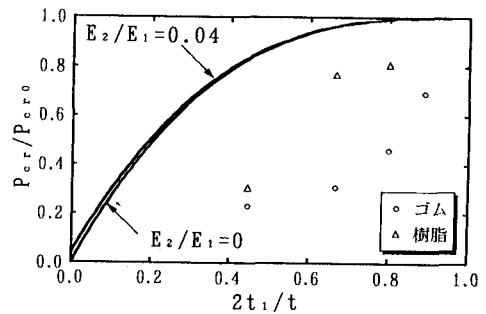
4. 結論 サンドイッチ板の座屈挙動について、以下のことが明らかになった。1) 表面材の割合がある程度高い場合には、 P_{cr}/P_{cro} は E_2/E_1 によらずほぼ1であり、逆に表面材の割合が低い場合には E_2/E_1 の大小の影響が顕著になる。2) 心材のせん断弾性係数が小さい場合、心材のせん断変形により、表面材のみが単独に座屈してしまうため、式(2)の計算値よりも座屈荷重は低下する。3) サンドイッチ板の座屈荷重を向上させるためには、表面材と心材のヤング率がより近く、かつ表面材の厚さの割合が大きい方が望ましい。

5. 参考文献

- 1) 植村：サンドイッチ構造の安定強度、日本機械学会誌、Vol.71 No.593、pp.10-18、1968。
- 2) 林：軽構造の理論とその応用(下)、日科技連出版社、1966



(a) 計算結果の例



(b) 実験結果

Fig.2 P_{cr}/P_{cro} と $2t_1/t$ の関係

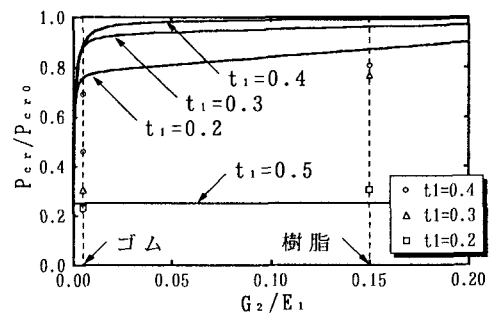


Fig.3 P_{cr}/P_{cro} と G_2/E_1 の関係