

愛媛大学工学部

正員

見沢繁光

県工業高等専門学校

正員

〇重松恒美

愛媛大学大学院

学生員

大賀水田生

1. まえがき

前報⁽¹⁾に引きつづき、建設構造用として、集中荷重にも耐え、相当程度の強度を得る必要上、1枚のサンドイッチ板に数枚の薄い板を挿入した層状サンドイッチ板を製作し、実験によりその理論的妥当性を把握し、又従来の1枚のサンドイッチ板と比較し、耐久性、タフミ等の検討を行ったものである。

2. 実験概要

コア厚を変化させ、1層、2層、3層の450 mm × 450 mmの正方形、450 mm × 850 mmの長方形サンドイッチ板を製作した。それぞれの断面図は図-1の(a), (b), (c)に示す。面板は鉄板(厚さ $t_f = 0.25$ mm, $E_f = 1.85 \times 10^4$ kg/cm², ポアソン比 $\nu_f = 0.3$)を使用した。コア材はペーパーハニカム(商品名PAPICORE)を使用した。コア材は3点曲げ試験により、せん断弾性係数を求めた。表-1はそれぞれのコア厚のせん断弾性係数を示している。ハニカム材は直交異方性で方向によりせん断弾性係数が異なっている。面板とコアの接着にはジョーボンドPBAを使用した。載荷試験は四辺単純支持で、サンドイッチ板中央に集中荷重を載荷し、たわみ、歪、破壊強度を測定した。写真-1は実験装置を示している。

3. 理論解析

サンドイッチ構造の基本仮定、つまり曲げは面板が受け持ち、せん断はコア材が受け持つという仮定は成立するものとして理論解析を行っていく。

サンドイッチ板の解析において、面板は等方性で、ハニカムコアは直交異方性として、面板自身の曲げ剛性を無視することにより基礎方程式⁽²⁾は(図-1(a)参照)

$$(1 - D_y \frac{\partial^2}{\partial x^2} - D_x \frac{\partial^2}{\partial y^2}) \nabla^4 w = \frac{1}{D_0} \left\{ 1 - (D_y + \frac{2D_x}{1-\nu_f}) \frac{\partial^2}{\partial x^2} - (D_x + \frac{2D_y}{1-\nu_f}) \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right\} q + \frac{2D_x D_y}{1-\nu_f} \nabla^4 q \quad (1)$$

ここで、

$$D_0 = \frac{E_f t_f (t_{c1} + t_f)^2}{2(1-\nu_f^2)}, \quad D_x = \frac{D_0(1-\nu_f)}{2G_{cx} t_{c1}}, \quad D_y = \frac{D_0(1-\nu_f)}{2G_{cy} t_{c1}}$$

$$\nabla^4 = \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4}{\partial y^4}$$

と導かれる。四辺単純支持の場合のタフミ w を、

図-1 1層, 2層, 3層サンドイッチ板の断面図

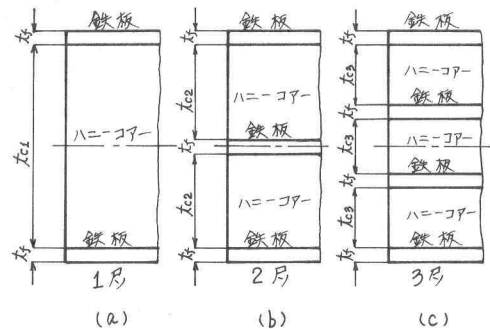
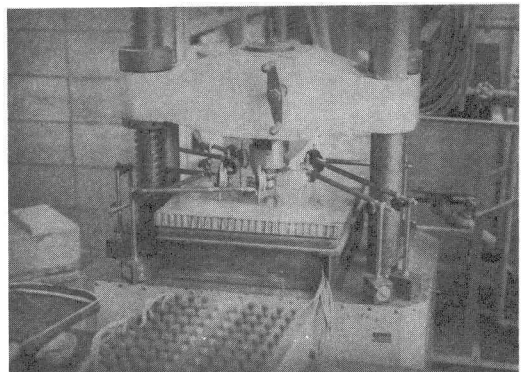


表-1 3点曲げ試験によるハニ-コアのせん断弾性係数

コア厚 (mm)	10	15	20	30	
せん断弾性係数 (kg/cm ²)	G _{CX}	600	600	490	435
	G _{CY}	300	300	245	216

写真-1 実験装置



$$W = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} A_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (2)$$

と2重フーリエ級数で表わせば、 W についての境界条件は満足される。又分布荷重 q も同じく、2重フーリエ級数に展開する。この場合荷重は集中荷重なので

$$q = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4P}{a \cdot b} (-1)^{1+\frac{m+n}{2}} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (3)$$

となる。式(2)、(3)を(1)に代入して解くと

$$A_{mn} = \frac{4P(-1)^{1+\frac{m+n}{2}} \left[1 + (D_y + \frac{2D_x}{1-V_f}) \frac{m^2\pi^2}{a^2} + (D_x + \frac{2D_y}{1-V_f}) \frac{n^2\pi^2}{b^2} + \frac{2D_x D_y}{1-V_f} \pi^4 \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) \right]}{D_0 \cdot a \cdot b \cdot \pi^4 \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)^2 \cdot (1 + D_x \frac{m^2\pi^2}{b^2} + D_y \frac{n^2\pi^2}{a^2})} \quad (4)$$

となり、式(4)を(2)に代入すればタワミ W が求まる。又サンドイッチ板に生ずる歪 ϵ_x, ϵ_y は式(1)において $G_{cx} \rightarrow \infty, G_{cy} \rightarrow \infty$ として考えられるので式(1)は、均質平板の基礎方程式 $\nabla^4 w_0 = 1/D_0$ となる。従って求める歪 ϵ_x, ϵ_y は、

$$\epsilon_x = \left(\frac{t_{cs}}{2} + t_s \right) \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} = \left(\frac{t_{cs}}{2} + t_s \right) \frac{4P}{D_0 a b \pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{1+\frac{m+n}{2}} \cdot m^2}{\left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)^2} \cdot \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (5)$$

$$\epsilon_y = \left(\frac{t_{cs}}{2} + t_s \right) \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} = \left(\frac{t_{cs}}{2} + t_s \right) \frac{4P}{D_0 a b \pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{1+\frac{m+n}{2}} \cdot n^2}{\left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)^2} \cdot \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (6)$$

となる。ここで D_0, D_x, D_y は1層について表わしたものである。2層、3層の場合についても図-1(b), (c)を参照して計算することができる。

4. 結果及び検討

4辺単純支持で支間 $40\text{cm} \times 40\text{cm}, 40 \times 80\text{cm}$ の正方形板、矩形板の図-1に示している1層、2層、3層について実験を行った。表-1に示しているように、せん断弾性係数は3点曲げ試験より求めた値を理論式に代入し計算を行った。図-3及び図-4はそれぞれ図-2のa点、b点での1層、3層の理論及び実験タワミを示している。図-3、図-4で左の方の理論線は $G_{cx}, G_{cy} \rightarrow \infty$ としたとき、すなわち普通の平板理論から求めた値である。タワミは両図とも比較的理論値と実験値が合っていることがわかる。又両図より曲げよりせん断のタワミが大きいので、せん断弾性係数の大きいコア-すなわちコア-厚の小さいコア-を用いて層状にすれば、全体のタワミを減少させることが可能で、同時に破壊荷重の増大にも有効であることが確認された。図-5はc点での1層、3層の歪を表わしたものである。理論と実験値は比較的良く合っている。しかし、曲げ剛性があまり変化しないので歪に關しては層状の効果は少ないように思える。

(参考文献) (1) 見沢重松 著: 多層サンドイッチ梁の二・三の性質について、林学会第28回年次学術講演会。

(2) 林毅: 輕構造の理論とその応用(下)、日科技連。(3) Friedrich J. Plantema: Sandwich Construction, John Wiley.

