スマートシートとスマートコアパネルの曲げ剛性*

高橋 昌也^{*1}, 松田 公一^{*1}, 橋本 一真^{*1}

Bending Stiffness of the SMART SHEET and the SMART CORE Panel

Masaya TAKAHASHI^{*1}, Koichi MATSUDA and Kazuma HASHIMOTO^{*1} Sumitomo Light Metal Industries, Ltd.
Chitose 3-1-12, Minato-ku, Nagoya, 455-8670 Japan

Honeycomb sandwich panels are used as lightweight panels when a high bending stiffness is required, such as aircraft, train and architectural materials. Aluminum honeycomb cores have been used as the core materials of sandwich panels, however, there is a problem that the manufacturing cost of sandwich panels using aluminum honeycomb cores is very high. By the way, we have developed the SMART SHEET[®] which has a large second moment of area in arbitrary cross sectional dimensions in order to increase the bending stiffness in all directions. The SMART CORE[®] panel, which uses the SMART SHEET as the core material instead of the honeycomb core, can be used as an alternative sandwich panel. In this study, the bending stiffness of the SMART SHEET, the SMART CORE and the honeycomb panel have been investigated using the three point bending test. The results showed that the bending stiffness of the SMART SHEET and the SMART CORE are higher than that of the honeycomb panel.

Key Words : Laminated Construction, Honeycomb, Bending, Rigidity, Stiffness, Lightweight, Sheet

1. 結 言

省資源、省エネルギーという観点から、軽量化を考慮して各種機器を設計する必要がある。また、自動車や鉄道、航空機等の輸送機器の場合、運動性能の向上という目的を達成する為にも軽量化が必要である。構造物の軽量化に寄与する高剛性パネルとしては、ハニカムパネルが数十年前から実用化されている。鉄道や航空機にはハニカムパネルが適用されているが、安価に大量生産される自動車に適用された事例は少ない。ハニカムコアの作製や、ハニカムコアと面板との接着といった製造工程を完全に自動化するには至っておらず、ハニカムパネルの製造コストが高いことが普及の妨げの一つの要因となっている。これまでにハニカムパネルの代替となるサンドイッチパネルの研究がなされており⁽¹⁾⁽²⁾, 加工コストの低いプレス成形で板材に凹凸形状を付与したコア材が適用されている。筆者らも板材の面外曲げ剛性を面内等方的に高めるシェル構造の補剛模様を創成し⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾, その凹凸形状を板材にプレス成形で付与した高剛性アルミニウム合金板スマートシート[®]を開発している。スマートシートは、単体での使用を想定して開発したが、スマートシートをサンドイッチパネルのコア材として適用すれば、面内等方的な面外曲げ剛性を有するサンドイッチパネルが作製できると予想される。本研究では、スマートシートをサンドイッチパネルのコア材として適用したスマートコア[®]パネルの曲げ特性について評価する。

* 原稿受付 2012 年 10 月 24 日

^{*1} 正員, 住友軽金属工業(株) 研究開発センター (〒455-8670 愛知県名古屋港区千代 3-1-12)
E-mail: masaya_takahashi@mail.sumitomo-lm.co.jp

2. スマートシート

スマートシートとは板材に特殊な凹凸形状を付与し、元の平板と比較して面外曲げ剛性を向上させたものである。スマートシートの形状は数十種類を開発しているが、本研究では開発した形状の中でも面外曲げ剛性が高いH形状⁽³⁾を用いる（図1）。H形状の基本形状を凸部を黒、凹部を白として模式的に示したのが図2、立体図を示したのが図3である。図2に示すように、スマートシートのH形状はZ軸回りの任意断面が、高い断面二次モーメントとなる形状である。

本研究では凹凸高さ $h=3\text{mm}$ と 6mm の二種類のスマートシートを用いるが、 $h=3\text{mm}$ のスマートシートは図2において $A=4\text{mm}$ 、図3において $L=48\text{mm}$ であり、 $h=6\text{mm}$ のスマートシートは図2において $A=8\text{mm}$ 、図3において $L=96\text{mm}$ である。側壁の斜度は共に $\theta = 30^\circ$ である。

Fig.1 The SMART SHEET(H-shape) Fig.2 Basic shape of the SMART SHEET Fig.3 3D diagram of the SMART SHEET

3. 実験条件

スマートシートをサンドイッチパネルのコア材としたスマートコアパネルの曲げ剛性に加えて、ハニカムパネルとスマートシート単体の曲げ剛性も比較として評価する。スマートコアパネルとハニカムパネルの仕様を表1に示す。厚さ 7.2mm のスマートコアパネルは、A1050-O の 0.3mm 平板をプレス成形して 6mm の凹凸高さのスマートシートを作製し、その上下面にシリコン系弾性接着剤を塗布し、A3004-H32 の 0.6mm 平板を面板として貼り付けた。

比較として作製した厚さ 7.2mm のハニカムパネルは、面板はスマートコアパネルと同様に A3004-H32 の 0.6mm 平板とし、ハニカムコアのセルサイズは 12.7mm であり、コア材は厚さ $76\mu\text{m}$ の A3003-H19 アルミニウム箔を用いた。通常の製法に従って面板にシリコン系接着剤を塗布した。

縦横 100mm 角のサンプルの質量は、スマートコアパネルが 43g 、ハニカムパネルが 44g であった。1 平米あたりの質量に換算すると、それぞれ 4.3kg 、 4.4kg となる。ハニカムパネルでは接着剤を面板全面に塗布する必要があるが、スマートコアパネルでは、コア材の頂面だけに接着剤を塗布できるため、接着剤の使用量を減らすことが可能である。

スマートコアパネルは、 0.6mm の面板 2 枚と 0.3mm のコア材 1 枚からなり、合計の板厚は 1.5mm となる。そこで表2に示すように、厚さ 1.5mm の A1050-O 平板を張出し成形して凹凸高さ 3mm および 6mm のスマートシートを作製し、スマートコアパネルとの曲げ剛性の差を比較することにした。厚さ 1.5mm の平板から作製したスマートシートの 1 平米あたりの質量は 4.1kg である。接着剤を使用していないため、スマートコアパネルやハニカムパネルよりも軽くなっている。なお、三点曲げ試験により得られた荷重—変位線図において、立ち上がり傾きを曲げ剛性と定義する。本稿では、荷重が 50N から 100N に増加した時の変位の増加量が d となる場合の曲げ剛性を $S=(100-50)/d$ とする。

Table 1 Specification of the SMART CORE and honeycomb panel

	The SMART CORE	Honeycomb panel
Face sheet material	A3004-H32	
Face sheet thickness(mm)	0.6	
Core material	A1050-O	A3003-H19
Core thickness(mm)	0.3	0.0076
Basic shape size of smart sheet L (mm)	96	-
Cell size of honeycomb core(mm)	-	12.7 (1/2 inch)
Core height h (mm)	6	
Panel height (mm)	7.2	
Mass (kg/m ²)	4.3	4.4

Table 2 Specification of the SMART SHEET

	The SMART SHEET(3H)	The SMART SHEET(6H)
Material	A1050-O	
Thickness(mm)	1.5	
Boss height h (mm)	3	6
Basic shape size L (mm)	48	96
Mass (kg/m ²)	4.1	

ハニカムパネルのコア材は、厚さ 76 μ m の A3003-H19 アルミニウム箔の波板を図 4 のように貼り合わせて作製する。貼り合わせ部分の厚みは 2 倍の 152 μ m となるため、ハニカムコアの曲げ剛性に異方性が生じる可能性がある。そこで、図 5 に示すように、貼り合せ面と水平方向 (0°方向) と直角方向 (90°方向) の二方向の 3 点曲げ試験を行う。100mm 角の試験片を用いて支持スパン 90mm の 3 点曲げ試験を実施した。各支点の半径は 5mm、荷重点変位速度は 10mm/min である。

スマートシート、スマートコアパネルも同様の条件で 3 点曲げ試験を実施した。スマートシートは図 2 に示すように H 形状のリブの方向を 0°方向と定義する。スマートシートは、0°方向と 90°方向が同一形状となるため、0°方向と 45°方向の 2 種類で 3 点曲げ試験を実施した。図 6 に深さ 3mm の H 形状スマートシートの 45°方向の 3 点曲げ試験状況を示す。スマートコアパネルについても、コア材のスマートシートが 0°方向と 45°方向になるようにして 3 点曲げ試験を実施した。

Fig.4 Honeycomb core

Fig.5 Three point bending test of honeycomb panel

Fig.6 Situation of three point bending test of the SMART SHEET (45deg.)

4. 実験結果および考察

ハニカムパネル、スマートコアパネル、スマートシートの3点曲げ試験で得られた荷重-変位線図を図7に示す。荷重が50Nから100Nに上昇する際の変位量から求めた各パネルの曲げ剛性の比較を図8に示す。ハニカムパネルの曲げ剛性を基準とすると、スマートコアパネルの曲げ剛性は約6.6倍、凹凸高さ3mmのスマートシートの曲げ剛性は約1.8倍、凹凸高さ6mmのスマートシートの曲げ剛性は約3倍となる。

スマートコアパネルもハニカムパネルも面板は同じ板厚であり、断面二次モーメントには大差がないが、スマートコアパネルの場合、コア材であるスマートシートがハニカムコアよりも高い曲げ剛性を有していることに加え、スマートシートの方がハニカムコアよりも面板との接着面積が広い。その結果、スマートコアパネルの方がハニカムパネルよりもせん断剛性が高く、3点曲げ試験で得られた荷重-変位線図における弾性変形範囲内の立ち上がり傾きに差が出たと考えられる。

3点曲げ試験の支持スパンを長くすれば、せん断剛性の影響が少なくなるため、スマートコアパネルとハニカムパネルの曲げ剛性の差は縮小すると考える。ハニカムコアのセルサイズを小さくすれば、ハニカムパネルの曲げ剛性をさらに高めることも可能である。

また、スマートシート単体の方が、ハニカムパネルよりも曲げ剛性が高いことから、パネルの厚みや支持スパンの条件によっては、製造コストの高いハニカムパネルを使わなくとも、厚肉のスマートシート単体で設計要件を満足できる可能性がある。

ハニカムコアは図4に示すように異方性があるが、図7の3点曲げ試験の結果をみると、0°方向と90°方向で最大荷重には差があるが、曲げ剛性は同等であった。

Fig.7 Load-Displacement diagrams of three point bending tests (support span 90mm, specimen width 100mm)

また図8において、凹凸高さ6mmのスマートシートは0°方向の曲げ剛性が45°方向の1.33倍であり、凹凸深さ3mmのスマートシートは1.38倍であり、一般的な波板と比較すると等方的な面外曲げ剛性を有している。

Fig.8 Comparison of bending stiffness

Fig.9 Comparison of maximum load

つぎに、各パネルの最大荷重の比較を図9に示す。スマートコアパネルもハニカムパネルも同じ板厚の面板を用いているが、最大荷重についてはスマートコアパネルよりもハニカムパネルが高い。ハニカムパネルの90°方向の最大荷重を基準とすると、スマートコアパネルの最大荷重は約0.7倍、凹凸高さ3mmのスマートシートの最大荷重は約0.6倍、凹凸高さ6mmのスマートシートの最大荷重は約0.5倍となった。

5. 結 言

等価質量のスマートコアパネルとハニカムパネルとスマートシートの三点曲げ試験を実施したところ以下の結果を得た。

(1) ハニカムパネルの曲げ剛性を基準とすると、スマートコアパネルの曲げ剛性は約6.6倍、凹凸高さ3mmのスマートシートの曲げ剛性は約1.8倍、凹凸高さ6mmのスマートシートの曲げ剛性は約3倍となった。

(2) ハニカムパネルの最大荷重を基準とすると、スマートコアパネルの最大荷重は約0.7倍、凹凸高さ3mmのスマートシートの最大荷重は約0.6倍、凹凸高さ6mmのスマートシートの最大荷重は約0.5倍となった。

謝 辞

ハニカムパネルおよびスマートコアパネルの作製には、住軽エンジニアリング株式会社 大滝信行氏、山内政紀氏、梶原勇弥氏の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

文 献

- (1) 酒巻正守, 三浦公亮, 小野緑, “ZETA 補強板の設計”, 東京大学宇宙航空研究所報告, Vol. 16, No. 1 (1980), pp. 639-647.
- (2) 斉藤一哉, 野島武敏, 森村浩明, 萩原一郎, “新しく開発した軽量コアパネルの曲げ剛性の評価”, 日本機械学会論文集中 A 編, Vol. 75, No. 750 (2009), pp. 259-265.
- (3) 高橋昌也, “シェル構造の補剛模様の開発”, 日本機械学会第 20 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, No.10-27 (2010), pp. 102-107.
- (4) 高橋昌也, “等方的なシェル構造の補剛模様の開発”, 日本機械学会論文集中 A 編, Vol. 77, No. 781 (2011), pp. 1410-1416.
- (5) 高橋昌也, “シェル構造の補剛模様の設計手法”, 日本機械学会第 21 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, No.11-23 (2011), pp. 56-61.