

1013 サンドイッチ板のディンプルによる剛性低下について

○小松敬治, 梶川隆史, 宮下直樹, 神谷友裕, 宇都宮真 (JAXA)

Bending Rigidity Reduction by the Dimples of Sandwich Plate

Keiji Komatsu, Takafumi Kajikawa, Naoki Miyashita, Tomohiro Kamiya, and Shin Utsunomiya (JAXA)

Key Words: Composite Materials, Honeycomb Sandwich, Dimple, Plate Bending

Abstract

Dimpling is well-known in honeycomb-cored sandwich panels with very thin faces, and it has been feared that the flexural rigidity may be reduced due to the dimples. In this report, modal vibration test was conducted using ultra-light weight sandwich panels with dimples, and the flexural rigidity of them are found to be about one quarter comparing with no dimple plates.

1. 諸言

サンドイッチ板の表皮がディンプルを生じると、表皮の引張り剛性の効きが悪くなり、曲げ剛性が劣化して、固有振動数の低下や板としての座屈値が低下することが懸念されている。今回、ディンプルの発生が激しい供試体を製作して剛性試験を行い、実際に曲げ剛性が 1/4 程度になることを実測したので報告する。

2. 供試体

試作したパネルは S S P S（太陽光発電衛星）での使用を目的とした、超軽量化をめざした試作パネルである。寸法は、80cm×80cm の正方形で厚さ 3cm のサンドイッチ板で、表皮は 0.1mm 厚さ (0/90° , クロス 1 プライ) の CFRP 表皮, コア部はアルミハニカムコア (セルサイズ 25.4mm) である。供試体 A の接着は液状接着剤コア端面塗布で軽量化のため工夫した。供試体 B ではフィルム接着剤で、この接着剤のフィレットがディンプルに大きな影響を与えたと思われる。

表 1. 使用したパネル一覧

供試体	A	B-1	B-2
ディンプル (凹みの底まで)	小 (0.06mm 程度)	大(0.6mm 程度)	大(0.6mm 程度,目視)
質量	541gram	573gram	576gram
面密度	0.845 kg/m ³	0.895 kg/m ³	0.900 kg/m ³
密度	28.2 kg/m ³	29.8 kg/m ³	29.8 kg/m ³

3. ディンプル計測

供試体 A および供試体 B-1 について、パネル中央部の 10cm×10cm 部分の表面形状を、レーザー変位計による走査型の三次元形状測定機を用いて計測した。測定間隔は 1mm であり、101×101 点の計測を行った。接合についての検査はパルスサーモグラフィ（日本クラウトクレーマ製）による温度画像により実施した。図 2 はパルス加熱後 0.7 秒後の画像で、アルミハニカムの熱伝導によりコア壁の温度が低く観察されている。接合不良があればコア壁の欠如が見られる筈であるが、欠如は観察されない。計測されたディンプルの深さ（コア壁からディンプルの凹みの底までの高低差）は、供試体 A は 0.06mm 程度、

供試体 B-1 は 0.6mm 程度であった。また、ディンプル形状はほとんどが凹形状であったが、供試体 B-1 においては、凹形状のディンプルだけでなく、コア全体が凸形状のディンプルや、1つのコアの中に凹形状と凸形状とが両方存在する部分があることが確認された。

4. 剛性試験

剛性を計測する試験としては、境界条件の影響を受けにくい、自由-自由の振動試験とした。試験のセティングを図 3 と図 4 とに示す。表 2 に計測された共振振動数（共振点を固有振動数とした）を示す。

参考のため、計算値と括弧の中に(n 次の固有振動数)/(最低固有振動数)の比 (f_n/f_1) を記した。表の中

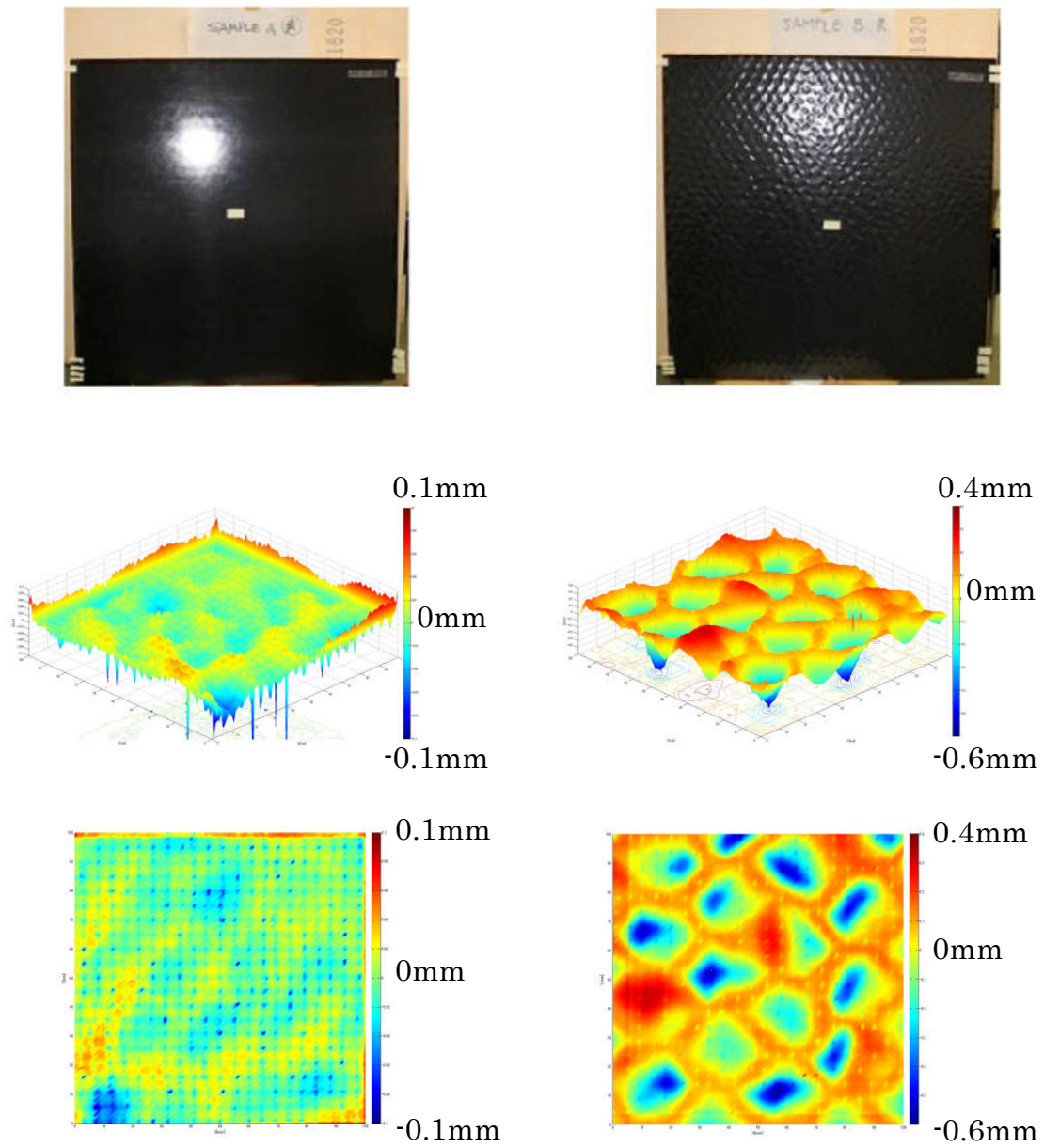


図1. 供試体A (左側) と供試体B-1 (右側)

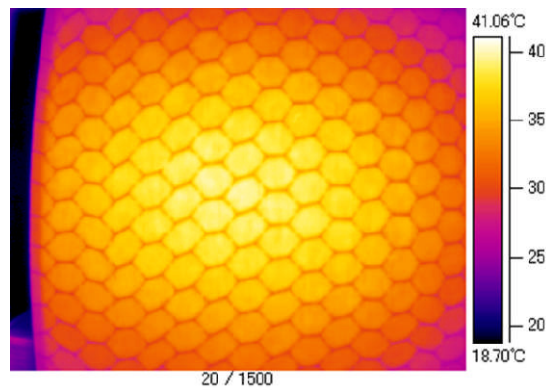


図2 B-1 のパルスサーモグラフィ画像 (接合異常なし)

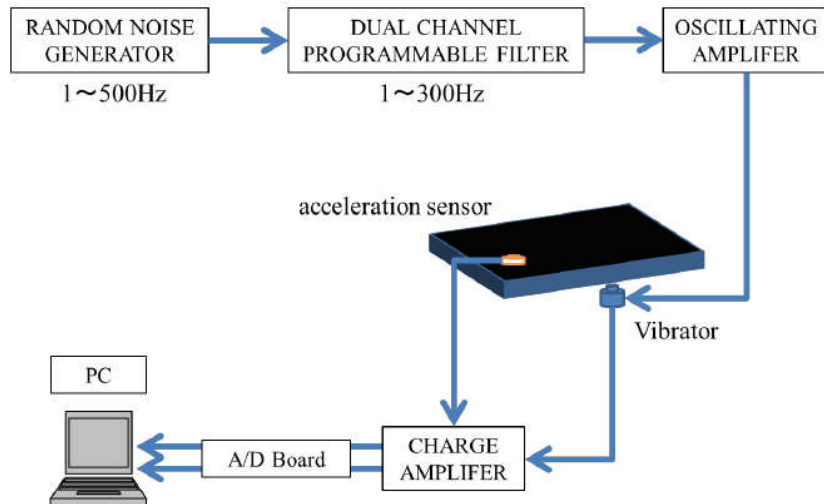


図3. 試験ダイアグラム

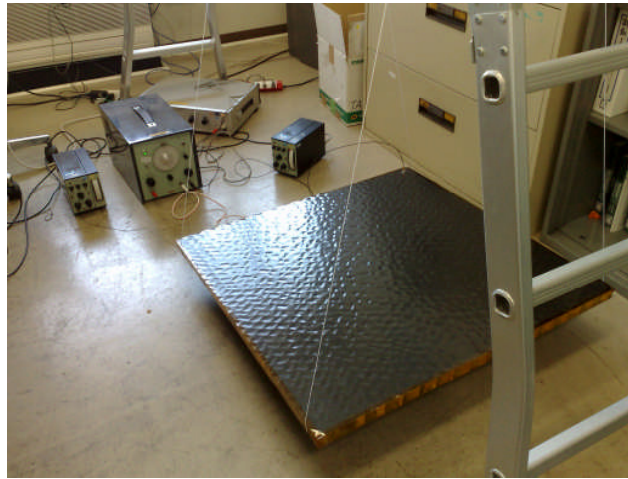


図4. 試験のセッティング

の理論値の計算に用いた曲げ剛性 EI は、コア部は無視して、表皮の引張りによる曲げのみを考えた

$$EI = \frac{Eth^2}{2(1-\nu^2)}$$

を使っている。質量については実測しているので、この振動計測結果からいえることは、固有振動数が1/2近く低下しているということは、曲げ剛性値が1/4程度に落ちているということである。この供試体からは

$$\left(\frac{120}{232}\right)^2 = \frac{1}{3.73}, \quad \left(\frac{129}{232}\right)^2 = \frac{1}{3.23}$$

と3.2-3.7分の1に低下している。ということは、表皮の引張り剛性が1/3-1/4程度しか効いていないということになり、ディンプルを生じている表皮は、実質的に座屈しているディンプル部は剛性に寄与せず、コア部との接着部分しか曲げ剛性に寄与していないということになる。

5. 結言

サンドイッチ板において表皮がディンプルを生じると曲げ剛性に大きな剛性低下を示すことを実測して明らかにした。

試験片使用の便宜を図っていただいたJAXA高度ミッション研究グループの藤田辰人氏、上土井大助氏、サーモグラフィー観察に協力いただいた総研大院生の石川真志氏（現理科大）、日本クラウトクレーマー羽深嘉郎氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) 宮下直樹：ハニカムサンドイッチ板のCFRP表皮におけるディンプル発生に関する研究，東京大学工学研究科修士論文，2012.3.

表 2. 計測された固有振動数 (Hz)

供試体	理論値 (f_n/f_1)	A	B-1	B-2
1次	207 (1.00)	232 (1.00)	120 (1.00)	129 (1.00)
2次	296 (1.43)		165 (1.37)	178 (1.38)
3次	371 (1.79)		198 (1.65)	
4次	502 (2.42)			311 (2.41)

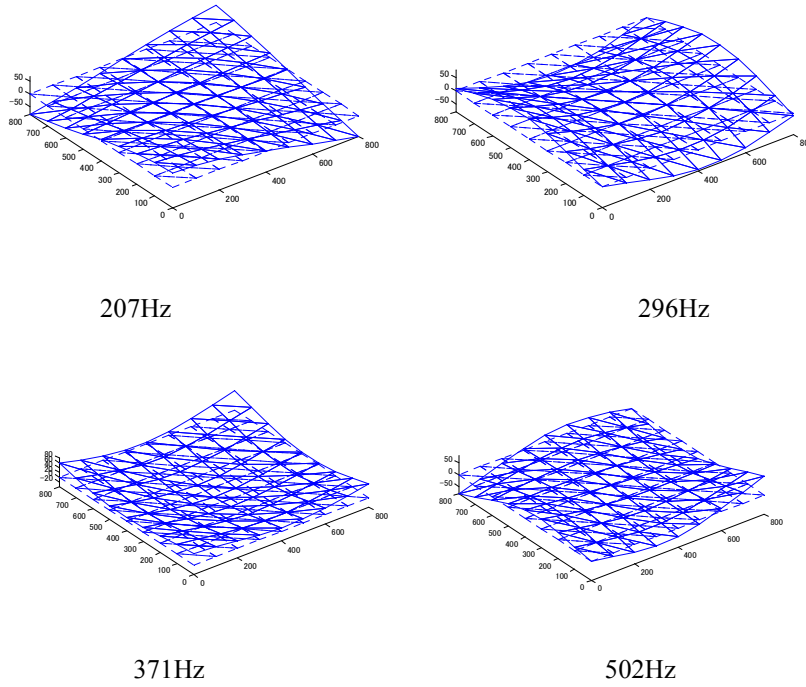
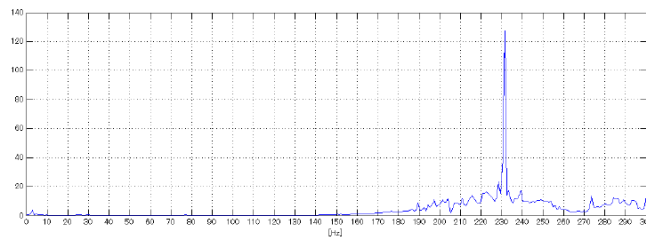
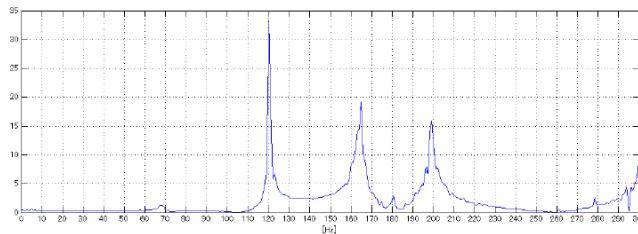


図 5. 計算による固有振動モード



(a) 試験片 A



(b) 試験片 B

図 6. 周波数応答関数の一例 (力：中央点，加速度応答：隅点)