

## &lt;研究論文&gt;

(受理：平成 23 年 1 月 28 日)

ハニカムサンドイッチパネルにおける接着剤の  
ストライプ状塗布による使用量削減効果

上山 幸嗣\*・原賀 康介\*

## 要 旨

ハニカムサンドイッチパネルは、軽量でかつ剛性が高いことから航空機をはじめ、宇宙用機器、鉄道車両、建築材など様々な用途で用いられている。さらなる適用拡大を図るために、製造コストの低減が求められており、その一環として接着剤の使用量削減や加熱レス接着が要望されている。

本研究では、加熱設備が不要な 2 液室温硬化型アクリル系接着剤を用いて、櫛目ごてにてストライプ状に塗布した場合の接着剤塗布量の削減効果を、クライミングドラムの剥離トルクを接着強度の指標として評価した。

その結果、ストライプ状塗布は、全面均一塗布よりも約 40% の接着剤量の削減ができること、およびクライミングドラム剥離トルクに及ぼす櫛目ごてでの接着剤塗布方向の影響は小さいことが明らかになった。

また、接着剤の分布状態を調べたところ、櫛目ごてで塗布した場合は塗布時にできるストライプ状の接着剤高さは、全体に均一塗布した場合より高くなりやすく、加えてハニカムと接触する箇所では接着剤がハニカムの表面張力によってハニカムの辺方向に沿って流動するため、ストライプ状塗布においてもハニカムの大部分に接着剤を行渡らせることができることがわかった。ハニカム接着におけるこのような接着剤の流動現象が接着剤の削減と密接に関係していると考えられる。

## 1. 緒 言

ハニカムサンドイッチパネルは、軽量でかつ剛性が高いことから航空機をはじめ、宇宙用機器、鉄道車両、建築材など様々な用途で用いられてきたが、機器の軽量化による省エネが求められている昨今、ハニカムパネルのコストダウンにより、新たな汎用機器用途への適用拡大が期待されている。ハニカムサンドイッチパネルは、ハニカム、表裏の表面板、接着剤、フレーム材が主要な構成部材であるが、接着剤自体の価格や加熱硬化に伴う接着加工費用がパネル価格の大きな割合を占めており、接着剤の塗布量削減と加熱レス化が重要な課題である。

接着剤塗布量を削減するためにはハニカムサンドイッチパネルの接着形態に沿った対策を実施する必要がある。ハニカムサンドイッチパネルの接着箇所は、接着剤のフィレット部以外は接着強度にほとんど寄与しないため、接着剤の

有効利用が難しい構造である<sup>1)</sup>。そのため、できるだけフィレット部に接着剤を集中させて強度に寄与しない接着剤を減らすことが重要な要素技術となる。サンドイッチパネルの接着では、表面板に対する接着剤の塗布方法としてスプレー、ローラー、刷毛、こてなどによる全面塗布が一般的な手法であるが、我々は接着強度に寄与しない接着剤を減らすために、全面塗布ではなく櫛目ごてによってストライプ状に塗布する手法に着目した<sup>2)</sup>。一方、加熱レス化による接着加工費用の低減に対しては、主剤と硬化剤の混合から貼り合わせまでの可使時間がサンドイッチパネルの作製に対して十分に確保でき、かつ貼り合わせ後の室温の初期固着時間が短い 2 液変性アクリル系接着剤を用いることにより対策できると考えた。

本研究では、櫛目ごてでのストライプ状塗布による接着剤の塗布量削減を目的として、ストライプ状の接着剤の高さとストライプのピッチを変化させた時のクライミングドラム剥離トルクの変化を、次の 6 つの観点から検討した。

①ストライプ状に塗布したときの塗布量と塗布形状、②塗布量と剥離トルクの関係、③全面均一塗布とストライプ状塗布の差、④ストライプ状の接着剤の向きを水平方向と垂

\* 三菱電機 (株) 先端技術総合研究所  
兵庫県尼崎市塚口本町 8-1-1 〒661-8661  
(原稿受付日：平成 22 年 11 月 19 日)

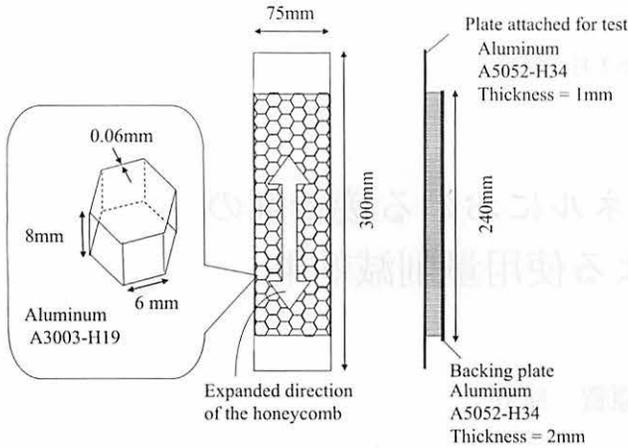


Fig. 1 Shape and dimensions of honeycomb and specimens for peeling test.

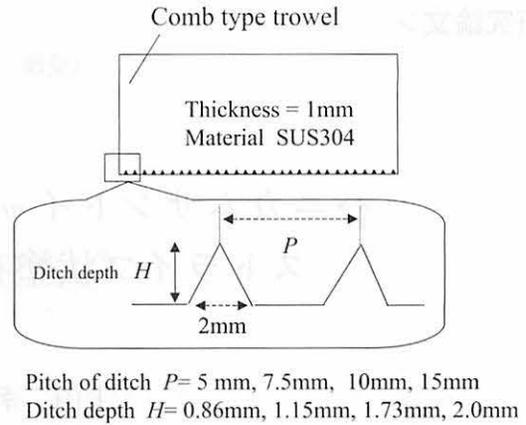


Fig. 2 Shape and dimensions of comb type trowel.

直方向に変化させたときの剥離トルクへの影響, ⑤接着剤のフィレット形成時の形状, ⑥接着剤が載っていない領域の比率。

## 2. 実験方法

### 2.1 試験片の形状, 寸法と使用材料

ハニカムサンドイッチパネル試験片とハニカムコアの形状と寸法を Fig. 1 に示した。

表面板の材質はアルミニウム A5052-H34 で, 厚さは測定板を 1.0mm, 当板を 2.0mm とした。ハニカムの材質はアルミニウム A3003-H19 で, 箔厚さ 0.06mm, セルサイズ一辺 6mm, 高さ 8mm のものを用いた。

ハニカムと表面板の接着には室温硬化型の 2 液変性アクリル系接着剤 NS770S-25A/B (電気化学工業製) を用いた。23°C における粘度は 26000~30000mPa・s, チキソ指数は 1.8~1.9, 液比重は 1.0, 可使時間は 25 分, 初期固着時間は 50 分である。

### 2.2 接着剤の塗布方法

次の 2 種類の塗布方法を実施した。

#### 2.2.1 櫛目ごてによるストライプ状塗布

Fig. 2 に, ストライプ状塗布に用いた櫛目ごての形状と寸法を示した。櫛目ごての溝の形状は底辺が 2mm の三角形であり, 溝形状の三角形の高さを溝深さ  $H$  とし, これを 0.86mm から 2.0mm までの 4 条件変化させた。溝のピッチ  $P$  は 5mm から 15mm までの 4 条件変化させた。

櫛目ごてにより形成されるストライプの方向は, 試験片の長さ方向を標準とし, 比較として試験片の幅方向も評価した。

#### 2.2.2 全面均一塗布

ドクターブレードを用いて接着剤を均一に広げた。塗布後の接着剤層の厚さは 0.17mm から 0.35mm までの 4 条件変化させた。

### 2.3 サンドイッチパネルの作製方法

クライミングドラム剥離強度を測定する測定板は, 接着剤がハニカムに沿って上に這い上がるように, 接着時に下側に置いて, その上にハニカムと当板を乗せた。接着作業は次のように行った。

- (1) 作業環境は  $22 \pm 2^\circ\text{C}$  で行った。
- (2) 表面板および当板をアセトン脱脂後, 接着剤を測定板および当板に塗布した。接着剤の混合は, 内径 4mm の 12 コマスタティックミキサーで行った。
- (3) 測定板には, 櫛目ごておよびドクターブレードで接着剤を広げた。
- (4) 当板には, 測定板側以上の塗布量となる  $360\text{g}/\text{m}^2$  (接着層厚さ 0.4mm) の接着剤をドクターブレードで全体に均一塗布した。
- (5) 測定板が下側に, 当板が上側になるようにハニカムコアを挟んで重石を載せて定盤上で静置し, 平均荷重  $22\text{g}/\text{cm}^2$  を印加して保持した。
- (6) 室温で 24 時間以上養生後, 硬化ばらつきを減らすために  $60^\circ\text{C}$ , 2 時間の追加の加熱を行った。

### 2.4 接着強度試験

接着強度は, Fig. 3 に示すクライミングドラム剥離試験方法 (ASTM D1781) に準じて, クロスヘッド速度  $25\text{mm}/\text{min}$ , 測定温度  $23^\circ\text{C}$  で測定した。測定サンプル数は  $n=3$  とした。平均剥離荷重  $P_b$  から, (1) 式より平均剥離トルク  $M$  を算出した。

$$M = \frac{(P_b - P_0) \times (D - d)}{2b} \quad (1)$$

$M$ : 平均剥離トルク (N・mm/mm)

$P_b$ : 平均剥離荷重 (N)

$P_0$ : 抵抗荷重 (N)

(1.0mm 厚さのアルミ板のみの巻き取り荷重: 実測値 255.8N)

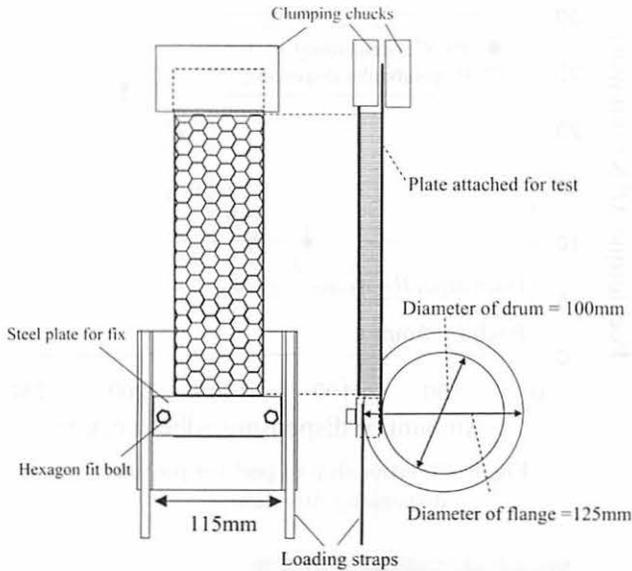


Fig. 3 The climbing drum peeling test.

- D: ベルトの巻上げ直径 (125mm)
- d: 測定板の巻取り直径 (100mm)
- b: 測定板の幅 (75mm)

3. 実験結果と考察

3.1 ストライプ状塗布における接着剤塗布量とビード寸法

Table 1 に、接着剤をストライプ状塗布した場合の塗布重量 ( $W_{dis}$ ) と櫛目寸法からの理論塗布量に対する実際の塗布量の割合  $R(e/t)$  を示した。また、ストライプ状塗布での塗布量を全面均一塗布に換算した場合の接着剤層厚さ ( $h_{con}$ ) も示した。この結果より、ストライプ状塗布で塗布される接着剤重量は、理論量の 50~70% 程度であり、溝深さ  $H$  が小さいほど、溝ピッチ  $P$  が広いほど割合が高くなることわかる。櫛目ごての種類によって  $R(e/t)$  に差が生じる理由は、溝の開口面積が変わると接着剤が溝か

ら押し出される圧力の差が発生するためと考えられる。櫛目ごてを移動させる速度はほぼ一定であるので、開口面積が小さいと接着剤が櫛目ごての開口部に出入りする際に接着剤が高い圧力を持つ状態になっていると推定される。今回評価した接着剤はチクソ指数が 1.8~1.9 を有する材料であり、高い圧力が生じたときに流れやすい傾向を示すことも影響すると考えられる。

Table 2 には、接着剤をストライプ状塗布した場合の硬化後のストライプ部の最大高さや幅と溝高さに対する割合を示した。塗布後に形成されたストライプ状の接着剤の形に注目すると、その最大高さは櫛目ごての 40~65% 程度である。一方、ストライプ部の幅の広がりには 130~191% と溝の寸法より大きく広がっている。溝の高さ  $H$  が高いと、ストライプ状の樹脂量が増えるので、液体の自重の影響が大きくなり、そのため広がった接着剤の幅が広がる。幅が広がるため、結果としてストライプ状の接着剤の高さが低くなるという結果になる。

3.2 櫛目ごての寸法、接着剤塗布量と剥離トルクの関係

Fig. 4 に、櫛目ごての溝深さ  $H$ 、溝ピッチ  $P$  と剥離トルク  $M$  の関係を示した。溝ピッチ  $P$  と剥離トルク  $M$  の関係を示した。溝深さ  $H$  が深いほど、溝ピッチ  $P$  が小さいほど剥離トルクは増加している。Fig. 5 には、接着剤塗布量と剥離トルク  $M$  の関係を示した。剥離トルクは、概ね塗布量の増加に比例して増加しているが、同じ塗布量で比較すると、櫛目ごての溝深さ  $H$  が深いほど、剥離トルクが高くなる傾向にあることがわかる。

Fig. 5 には、全面均一塗布の場合の塗布量と剥離トルクの関係も併せて示した。この結果より、櫛目ごてによるストライプ状塗布では、全面均一塗布の場合より、少ない塗布量で高い剥離トルクが得られており、ストライプ状塗布

Table 1 Amount of dispensing adhesive ( $W_{dis}$ ), The thickness calculated in the case of dispensing flatly ( $h_{con}$ ), The ratio of the experimental amount to the theoretical dispensing ( $R(e/t)$ ).

	$H = 0.86\text{mm}$			$H = 1.15\text{mm}$			$H = 1.73\text{mm}$			$H = 2.0\text{mm}$			
	$W_{dis}$ ( $\text{g/m}^2$ )	$h_{con}$ (mm)	$R(e/t)$ (%)										
Pitch of Ditch $P$ (mm)	5	110.7	0.111	64.4	134.8	0.135	58.6	172.6	0.173	49.9	199.6	0.200	49.9
	7.5	76.7	0.077	66.9	94.3	0.094	61.5	118.5	0.119	51.4	130.0	0.130	48.8
	10	57.6	0.058	67.0	69.3	0.069	60.2	102.8	0.103	59.4	111.5	0.111	55.7
	15	38.9	0.039	67.8	54.8	0.055	71.5	64.8	0.065	56.2	71.1	0.071	53.3

Table 2 Dimensions of adhesive bead before contacting honeycomb.

	Height of adhesive bead and ratio for ditch depth $H$			Width of adhesive bead and ratio for ditch width (2mm)	
	mm	mm	%	mm	%
Ditch depth $H$	0.86	0.56	65	2.60	130
	1.15	0.61	53	3.08	154
	1.73	0.74	43	3.14	157
	2.00	0.80	40	3.82	191

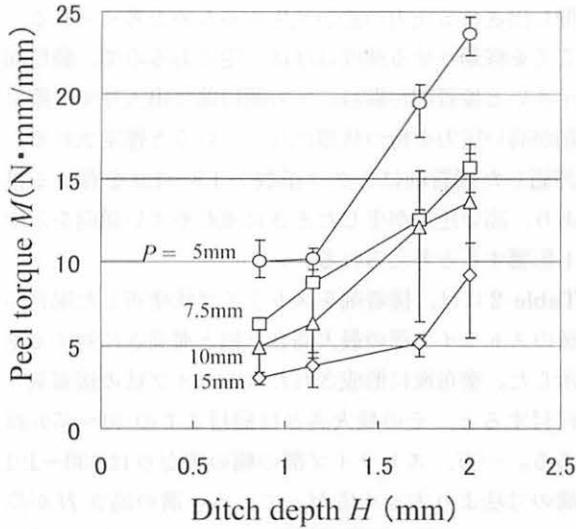


Fig. 4 Relationship between ditch depth  $H$ , ditch pitch  $P$  and the peel torque  $M$ .

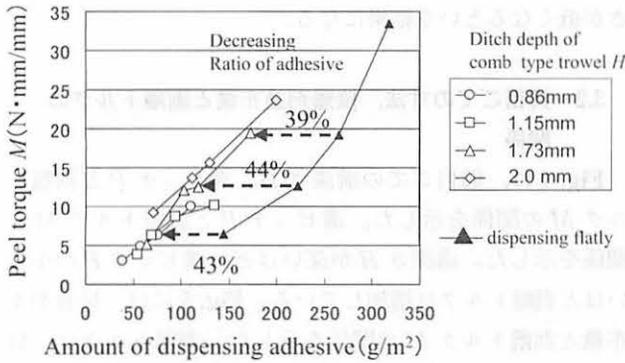


Fig. 5 Relationship between the amount of dispensing adhesive and the peel torque.

では、全面均一塗布に比べて、約 40%程度少ない塗布量で同一の剥離トルクが得られることがわかる。

### 3.3 櫛目ごて塗布でのストライプの方向の影響

Fig. 6 に、櫛目ごて塗布でのストライプの方向を測定板の長手方向に対して平行と直角にした場合の、接着剤塗布量と剥離トルクの関係の比較を示した。櫛目ごての溝ピッチ  $P$  は 5mm で比較した。その結果、平行と直角方向での剥離トルクはほぼ同等であり、剥離トルクへの塗布方向の異方性の影響は小さいといえる。

### 3.4 接着剤のフィレット形成状態

Fig. 7 に、ストライプ状塗布した試験片の剥離試験後の表面板側の状態を示した。ハニカムと接着剤が多く接触している部分 (A 部) と接触が少ない部分 (B 部) があることがわかる。接着部の破壊モードは接着剤の凝集破壊が支配的である。B 部においては、接着剤はハニカムの辺方向に広がって、ストライプの幅より広がっていることがわかる。これは、接着剤とアルミハニカムの接触により、

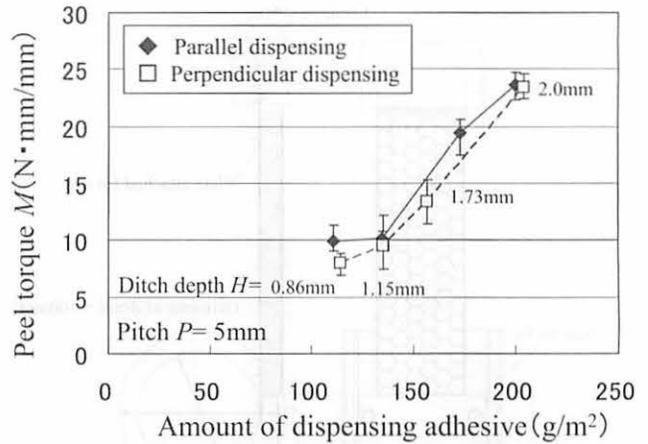


Fig. 6 Relationship of peel torque and dispensing direction.

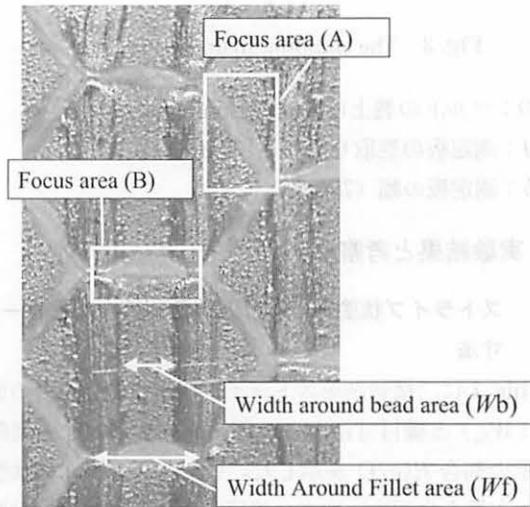


Fig. 7 Surface states of the aluminum plate after peeling test. (dispensing with comb type trowel)

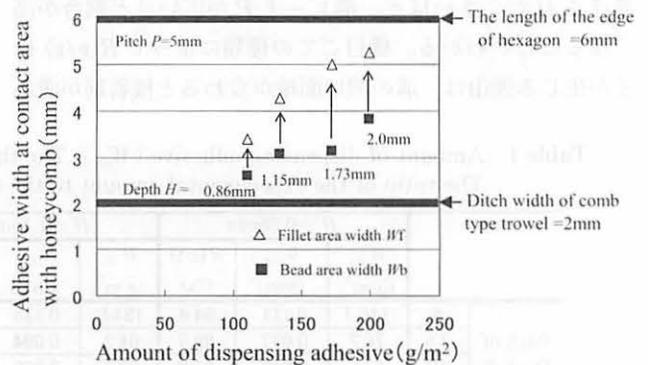


Fig. 8 Width variation of adhesive line.

ハニカムのアルミニウムの表面張力によって接着剤が広がったものと考えられる。Fig. 8 に、ストライプの幅  $W_b$  とハニカムの辺方向への接着剤の広がり幅  $W_f$  を示した。溝深さ  $H$  が深くて塗布量が多いほど接着剤の広がり大きくなり、塗布量  $199\text{g/m}^2$  の場合は  $5.3\text{mm}$  (ハニカム辺長さ  $6\text{mm}$  の  $88\%$ ) まで広がっている。

アルミハニカムの表面張力によって接着剤が辺方向に広

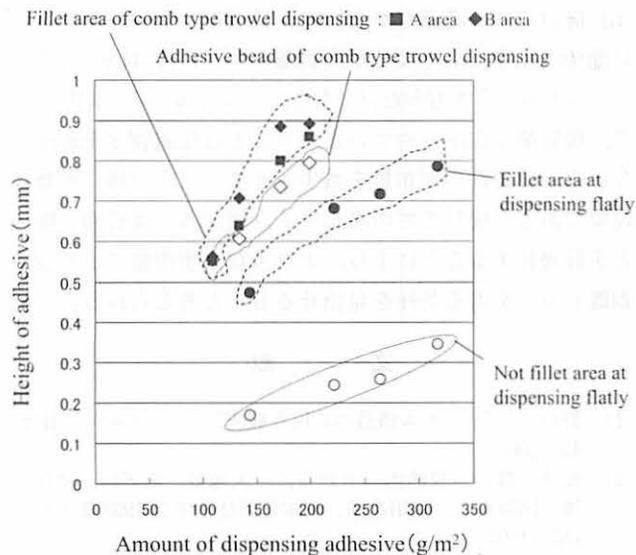


Fig. 9 Height of adhesive bead and fillet on the honeycomb surface.

がるのであれば、同様に高さ方向にも広がると考えられる。そこで、Fig. 9に、ストライプ状塗布において形成されるストライプの高さとハニカム接触部の接着剤の高さを示した。Fig. 9には、全面均一塗布の場合も同様に示した。この結果より、ストライプ状塗布、全面均一塗布のいずれの場合も、接着剤がアルミハニカムに這い上がっているが、ストライプ状塗布における這い上がりの割合は1.0~1.1倍で、全面均一塗布の2.3~2.8倍に比べてかなり小さいことがわかる。これは、全面均一塗布の場合はハニカムの辺方向へは広がらないため高さ方向のみに這い上がるが、ストライプ状塗布の場合は、Fig. 7のB部に示したように、ハニカムの辺方向にも広がるためと考えられる。ストライプ状塗布の最大高さと同様に全面均一塗布におけるハニカム部の這い上がり後の接着剤高さを比べると、いずれの塗布量においても、ストライプ状塗布の方が高いことがわかる。Fig. 5において、塗布量が同じであればストライプ状塗布の方が全面均一塗布に比べて高い剥離トルクが得られる一因としてハニカム部の接着剤高さが考えられる。

### 3.5 接着剤が載っていない領域

接着剤の塗布量を低減するためには、フィレット形成に寄与しない部分には接着剤が塗布されていないことが理想的である。

Fig. 10に、ストライプ状塗布において接着剤が殆ど存在しない領域を示した。この面積を  $W_n$  としたとき、接着剤塗布量とハニカムの六角形の面積に対する  $W_n$  の比率を Fig. 11に示した。Fig. 11には、塗布量と剥離トルク  $M$  の関係も示した。櫛目ごての溝ピッチが一定の場合、溝深さ  $H$  が浅いほど  $W_n$  の比率は高くなるが、剥離トルク  $M$  は  $W_n$  の比率が高いほど低くなる。ハニカムに接触

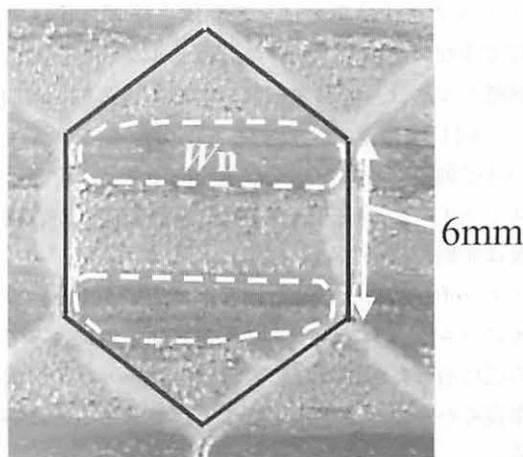


Fig. 10 Ratio of the not dispensing adhesive area.

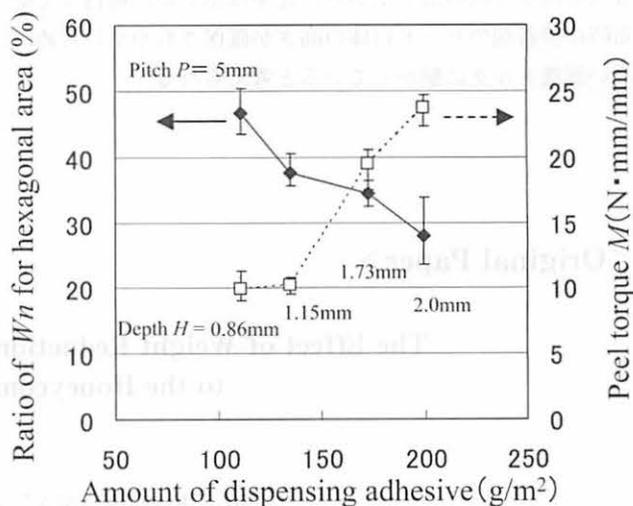


Fig. 11 Ratio of the not dispensing adhesive area.

しない部分での接着剤の広がりには接着剤の自重の影響が大きいと考えられる。

今回の検討では接着剤の粘度は室温で26000~30000mPa・s、チキソ指数は1.8~1.9のものを用いている。接着剤は室温硬化型であり、硬化時における最低粘度も上記の数値とほとんど変わらない。仮に塗布から硬化までの最低粘度が50000mPa・s以上の接着剤を用いたのであれば流動性は不足しアルミハニカムの表面張力により接着剤が引っ張られてフィレットを形成する現象は起きにくくと推定される。一方、粘度が10000mPa・s以下のものでは、流動性がありすぎて本報告で述べたようなものとは異なった現象が起こると推定される。接着剤種を変更した検証は別途行う必要がある。

### 4. 結 言

ハニカムサンドイッチパネル製造における接着剤の塗布量削減を目的として、櫛目ごての溝寸法を変化させた場合のクライミングドラム剥離トルクの評価を行った。その結果、次のことがわかった。

(1) ストライプ状塗布では、全面均一塗布に比べて、約40%程度少ない塗布量で同一の剥離トルクが得られる。  
 (2) 剥離トルクは、概ね塗布量の増加に比例して増加しているが、同じ塗布量で比較すると、櫛目ごての溝深さ  $H$  が深いほど剥離トルクが高くなる傾向にある。  
 (3) ストライプの形成方向(平行と直角方向)が剥離トルクに及ぼす影響は小さい。  
 (4) ストライプ状に塗布した接着剤は、アルミハニカムと接触後にハニカムのアルミニウムの表面張力によってハニカムの辺に沿って広がる。この現象も、ストライプ状塗布が効率良くハニカムを接着することができることに寄与している。  
 (5) ストライプ状塗布は全面均一塗布よりハニカムとの接触後の高さ方向の這い上がりの比率は低いが、櫛目ごて塗布時に接着剤のビード自体の高さが確保されやすいため、高い剥離トルクに繋がっていると考えられる。

(6) 櫛目ごての溝深さが浅いほど接着剤が塗布されていない面積の比率は高くなるが、剥離トルク自体は低くなる。  
 ハニカムの高さ方向だけでなく、ハニカムの辺方向に沿って、接着剤が広がりやすいということは接着強度を確保しながら、接着剤の塗布量を減少させていく上で特に重要な現象である。櫛目ごての溝ピッチ、溝深さ、溝底面の幅などを最適化することにより、より少ない塗布量でより高い剥離トルクを得る条件を見出せるものと考えられる。

#### 文 献

- 1) 野口元, “ハニカム構造の応用と機能”, シーエムシー出版, 42 (2008).
  - 2) 松浦信輝, 今泉勝吉, 天野晋武, 大塚毅, 喜多惇, 伊藤保雄, 国原安彦, 和田高清, 日本建築仕上学会 1993 年大会, 157 (1993).
- (本研究の主要部分は、第 48 回日本接着学会年次大会にて発表 (2010 年 6 月 25 日))

#### <Original Paper>

### The Effect of Weight Reduction by Dispensing Striped Adhesive to the Honeycomb Sandwich Panel

Koji KAMIYAMA\* and Kosuke HARAGA\*

\* Advanced Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corp.,  
 8-1-1, Tsukaguchi-Honmachi, Amagasaki, Hyogo, 661-8661 Japan  
 (Accepted for publication : January 28, 2011)

#### Abstract

Honeycomb sandwich panel has the advantage of being light and rigid. By utilizing this advantage, the panel has been applied to various kind of industrial products such as aerospace, airplane, railway and building. For further expansion of the application area, the panel production cost is required to reduce. It is indispensable for the realization of the lower production cost to reduce in amount adhesives used in the panel. To fulfill the requirement, thus, we have attempted to make a sandwich panel with adhesives dispensed in striped pattern. In this work, the sandwich panel specimens were fabricated by striped dispensing of acrylic adhesives onto an aluminum plate and an aluminum honeycomb pallet using comb-type trowel. The adhesive strength was also estimated by Peel torque test. It was found then that the striped dispensing provided a large reduction of the adhesive in amount of ca. 40% compared to the conventional whole dispensing with the same adhesive strength. The adhesive strength was little influenced by difference in the dispensing direction. It was also found that the adhesive successfully covered a honeycomb pallet, which is considered to be attributed to the adhesive dispensed in high height on the plate and to the widely spreading of the adhesive on the honeycomb pallet. It has been demonstrated that the striped dispensing is a useful way to reduce in amount adhesives for production of the panel.

**Key words :** Aluminum honeycomb, Sandwich panel, Acrylic adhesive, Reduction of adhesive, Dispensing striped adhesive

(Received : November 19, 2010)