

ハニカム構造板の曲げ変形と接着剤の弾性率との関係

瀬藤 和芳^{*1}, 佐藤千明^{*2}, 須藤洋^{*3}, 宮崎隼人^{*3}, 原賀康介^{*4}

Relationship between Bending Deformation of Honeycomb Sandwich Panels and Modulus of Adhesive

Kazuyoshi SETO^{*1}, Chiaki SATO^{*2}, Hiroshi SUTO^{*3}, Hayato MIYAZAKI^{*3}, and Kosuke HARAGA^{*4}

^{*1}Graduate School, Tokyo Institute of Technology
Nagatsuda 4259, Midori-ku, Yokohama, Kanagawa, 226-8503, Japan

^{*2}Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology
Nagatsuda 4259, Midori-ku, Yokohama, Kanagawa, 226-8503, Japan

^{*3}Denki Kagaku Kogyo Kabushiki Kaisha
Nihonbashi Mitsui Tower, 1-1, Nihonbashi Muromachi 2-Chome, Chuouku, Tokyo, 103-8338, Japan

^{*4}HARAGA Adhesion Technology Consulting Co., Ltd.
1-9-301, Midori-cho, Ashiya, Hyogo, 659-0042, Japan

Key Words: Adhesive, Honeycomb sandwich panel, Three point bending test, Finite element analysis

1. 緒 言

ハニカムサンドイッチ構造板(以下, ハニカム板)は, コア材であるハニカムと面板を貼り合わせたもので高剛性かつ軽量であり, 航空機等に使用されている. 従来は高強度が得られるエポキシ接着剤が利用されてきたが, オートクレーブが接合工程に必要なので, 生産性の向上が課題となっている.

近年, 第2世代アクリル系接着剤(SGA)が開発され, 利用が期待されている. 速硬化出来, オートクレーブが不要なことから, SGAをハニカム板の接合に適用する事により, 生産性の向上や価格の抑止等に貢献する事が期待される. 従って, SGAによるハニカム材の接合はエレベータや自動車などより広範な領域におけるハニカム板の使用へとつながる.

しかし, SGAの耐熱性はエポキシ系接着剤に及ばない為⁽¹⁾, 従来のハニカム板に比べSGA接合によるハニカム板はその曲げ剛性が高温下において低下する可能性がある. よって, 温度変化がSGA接合によるハニカム板の曲げ剛性特性に及ぼす影響を知ることは製品化の観点で必要不可欠である. 本研究では, 室温及び高温下でハニカム板の3点曲げ試験を行い, その中央の荷重と変位を計測し, 温度変化が曲げ剛性に及ぼす影響を実験的に調べた. また, ハニカム板の3点曲げ試験の有限要素解析自体は既に行われているが⁽²⁾, 接着剤の弾性率には触れられてこなかった. 弾性率変化がハニカム板の曲げ剛性に及ぼす影響を調べるため, 接着接合部を含むハニカム板の3点曲げ試験を有限要素解析し, 実験結果と比較した.

2. 試験片及び実験方法

第2世代アクリル系接着剤(SGA)のヤング率を高温炉付引張試験機(図1)により, 室温下と高温下で5 mm/min

^{*1} 学生員, 東京工業大学大学院(〒226-8503 神奈川県横浜市長津田4259)

^{*2} 正会員, 東京工業大学 精密工学研究所

E-mail: csato@pi.titech.ac.jp

の変位速度で測定した。図2にSGAのバルク試験片(JISK6251)を、図3に各温度での応力ひずみ線図を示す。

ハニカム板試験片として、図4に示すハニカム板を用いた。ハニカムセル及び面板からなり、材質は両方共A5052-H32だった。試験片の曲げ剛性を求めるため、図5aに示す3点曲げ試験を行った。ハニカム板両端を回転支持し、板中央に荷重を1 mm/minで負荷した。この後、荷重が100 Nに達してから、除荷した。ハニカム板中央での変位は変位センサにより測定した。本研究では、室温下(24 °C, 図5b)及び高温下(80 °C, 図5c)で試験を行った。高温では3点曲げ試験機と試験片を炉で覆い、炉内を80 °Cに保った。

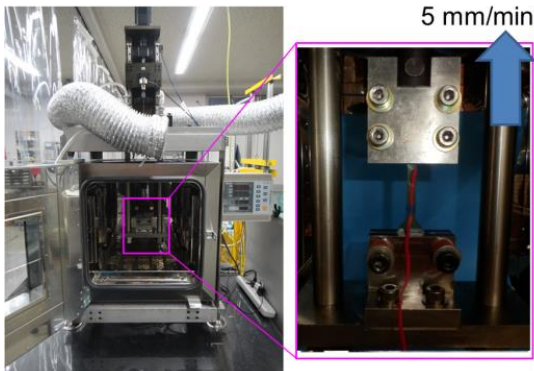


Fig.1 Tensile test machine with furnace

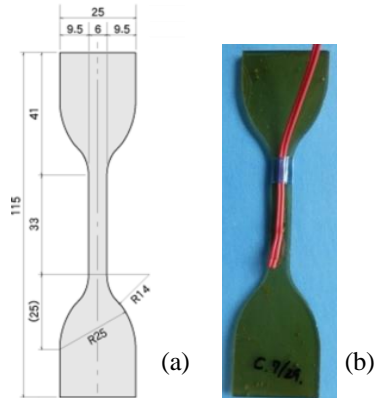


Fig.2 Bulk specimen

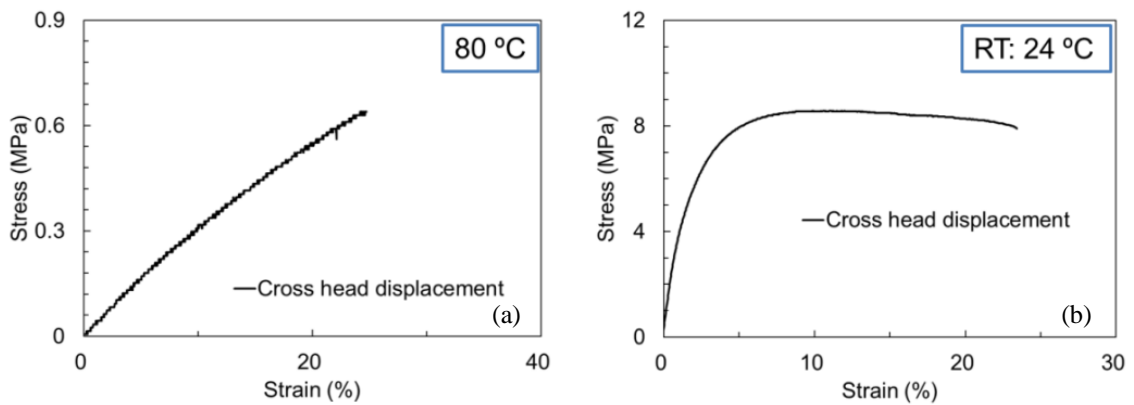


Fig.3 Results of tensile tests

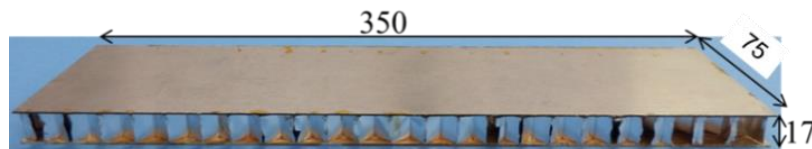


Fig.4 Aluminium Sandwich panel (specimen)

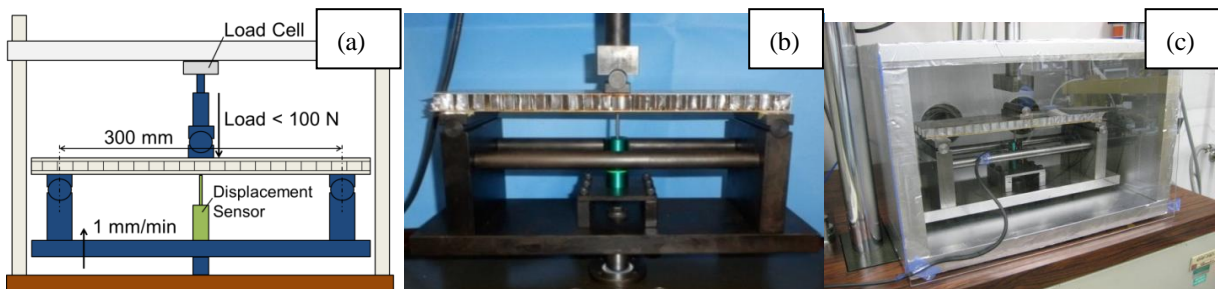


Fig.5 Three point bending test machine

3. 実験結果

室温及び高温において、SGAの変形は非線形領域を有す(図3)。ヤング率が750 MPa(室温, ひずみ0~0.2%)及び5.89 MPa(高温, 0~5%)であることから、温度上昇によるヤング率の低下が確認できる。

3点曲げ試験においてハニカム板中央部に負荷する荷重と中央部の変位量の関係を調べた。室温ではハニカム板の曲げ変形が線形であったのに対し、高温では非線形だった。又、高温時のハニカム板の曲げ剛性が室温時に比べ低下していた。よって、アクリル接合によるハニカム板の曲げ剛性は温度変化による接着剤の弾性率変化に依存すると言える。

4. 有限要素解析

接着剤の弾性率の変化がハニカム構造板の曲げ剛性に及ぼす影響を解析的に調べるため、3点曲げ試験の有限要素解析をAbaqus ver6.12を用い、行った。ハニカム板の3点曲げ試験の解析モデルを図6に示す。

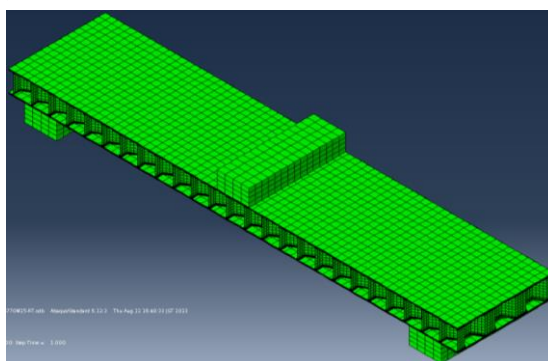


Fig.6 Cross section of adhesive

5. 解析結果

図7に弾性解析及び弾塑性解析の結果を示す。ハニカム板の曲げ特性は室温時線形となり、高温時非線形となる事が弾塑性解析により示された。なお、アルミニウムの降伏応力を考慮しても解析結果は変わらなかった。従って、接着剤の軟化と非線形挙動がハニカム板の曲げ変形に影響を及ぼすといえる。故に、高温下での実験結果と同様な傾向を示した弾塑性解析がハニカム板曲げ試験を分析する上で重要である。

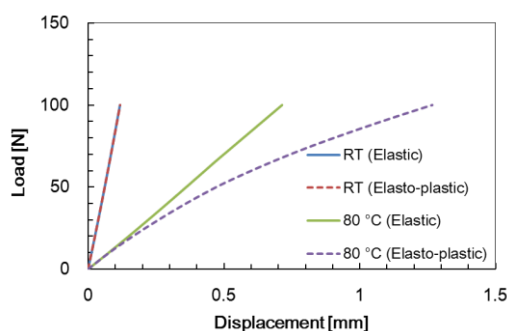


Fig.7 Results of analyses

6. 結論

- [1] SGA 接合によるハニカム構造板の曲げ剛性はSGAの温度変化に大きく依存し、それが温度によるヤング率変化によるものであった。
- [2] 高温時のハニカム構造板の曲げ変形が実験において非線形であったのは、接着剤の軟化と非線形挙動に起因する事が解析から明らかにされた。

参考文献

- (1) Sato C. et al, “Debonding Process of Adhesively Bonded Joints Having Adherends of Different Curvatures During Heat Treatment”, AB 2011, pp. 71.
- (2) 小笠原永久等, ” 簡易モデルを用いたハニカムサンドウィッチ構造材料の弾塑性解析”, 日本機械学会論文集 64 卷 624 号, 1988