ビニルエステルとポリエステルをマトリックスとする アラミド短繊維シート複合材料の機械的特性

Mechanical properties of Aramid short fiber sheet reinforced vinylester and polyester composite

○学 伊藤 慎吾 (三重大院) 正 牧 清二郎 (三重大工) 正 中西 栄徳 (三重大工)

Shingo ITO, Seijiro MAKI, Eitoku NAKANISHI

Mie Univ. Kamihama-cho 1515, Tsu, Mie 514-8507, Japan

Key Words : Aramid short fiber sheet, Vinylester, Polyester, Mechanical properties

1. 緒言

アラミド短繊維積層板 FRP はその軽量さのために基板などの精密機器への利用が注目されている。そのためアラミド短繊維積層 FRP 板の力学的性質を知っておくことが必要である。その FRP の強度において繊維・マトリックスの接着性は重要であると考えられる。そこで本実験では異なるマトリックスを用いたアラミド短繊維シート積層 FRP(AsFRP)板の引張り・圧縮試験を行うことにより力学特性の解明を行った。

2. 引張り試験

2.1 試験方法

As シート積層板 FRP に関する規格がまだ制定されていないため、ASTM 規格の Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics (ASTM D 638-98)⁽¹⁾を参考にした。図 1 に試験片形状と寸法を示す。強化繊維にはアラミド短繊維シート、マトリックスにビニルエステル樹脂、不飽和ポリエステル樹脂を用いた。また試験片は図 2 に示すジグを用いて固定した。試験速度は 5mm/min の一定で行い、データは試験機からデータアキュジション装置に出力し、電圧-時間曲線として記録して、応力-ひずみ曲線に換算することにより弾性率を算出した。

Fig.1 Dimension of tensile specimen

Fig.2 Set up of jig for tensile test

2.2 試験結果

図 3 引張り強さ、図 4 に引張り弾性率の測定結果を示す。全てのマトリックスにおいて、引張り強さ、弾性率とも繊維体積含有率増加に伴い増大する結果が得られた。

引張り強さに関してはビニルエステル、ポリエステル間に大きな違いは見られなかったが、弾性率は含有率が低い場合においてビニルエステルのほうが高くなった。ビニルエステルはアラミド繊維との接着性が良く、伸び率も高いのでシートマトリックスが接着された状態で荷重を受ける場合、つまり比例限度まではシートとの相性のよさが現れているが、比例限度を超えるとシート、マトリックス界面は剥離しシートのみが荷重を受け持つためマトリックス

の影響が無くなったと考えられる。

また、図 5 に試験片の破壊過程写真を示す。試験開始から比例限度まで試験片表面には変化が見られない(図左)。すなわち亀裂は発生しておらず、繊維の抜けや破断も起こっていないと考えられる。比例限度を超えると表面全体に白化現象が起こり始める。さらに荷重が増加し、ポリエステルの破断荷重を超えると表面のマトリックスにも亀裂が発生する(図中)。この時、試験片内部でも繊維の破断、抜け、剥離が起こり始めていると考えられる。そしてこの亀裂により繊維は分断もしくはマトリックスから引き抜かれながら荷重を受け持ち、最終的に試験片が破断する(図右)。

Fig.3 Tensile strength

Fig.4 Young's modulus for tensile test

Fig.5 Specimen at different load levels during tensile test

2.3 引張り強さの理論解析

単位面積あたりに存在する各繊維に作用する荷重の和とマトリックスの強さが AsFRP 全体の強さ σ_c となる。

$$\sigma_c = \sum_{i=1}^{N_f} P_i^* + \frac{1-V_f}{1+AV_f} \sigma_m \quad (1)$$

i 番目の繊維一本にかけられる荷重 P_i^* は埋め込み長さ x 、角度 ϕ に依存するので、次のように仮定する。

$$P_i^* = P_i^*(x, \phi) = f(x)g(\phi) \quad (2)$$

式(2)で $f(x)$ は埋め込み長さ x に依存する関数である。埋め込み長さが臨界埋め込み長さ l_c より長ければ繊維の破壊、短ければ繊維とマトリックスとの界面のせん断破壊によって生じる場合があるので $f(x)$ は次のようになる。

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x}{2r} A_f & (x \leq l_c) \\ \left(1 - \frac{l_c}{2x}\right) \sigma_f A_f & (x > l_c) \end{cases} \quad (3)$$

$g(\phi)$ は作用荷重の軸方向成分と考えて次のように仮定した。

$$g(\phi) = \cos(\phi) \quad (4)$$

これらに繊維の存在確立、埋め込み角度の違いによる影響係数、埋め込み長さの違いによる影響係数を乗じて積分することで(1)式の第一項が得られ、次のようになる。

$$\sigma_c = \frac{V_f}{2l_f} \left(\frac{\tau l_c^2}{4r} + \sigma_f \left(\frac{l_f}{2} - 0.8l_c \right) \right) + \frac{1-V_f}{1+AV_f} \sigma_m \quad (5)$$

上式は亀裂が発生する時点の値で、引張り強さは亀裂が進展し、繊維に直接荷重が掛かっている時の値なので、

$$g(\phi) = 1 \quad (6)$$

と仮定し、(5)式に $4/\pi$ をかけたものを引張り強さとした。その理論式から得られたポリエステル製の引張り強さの値を図3に実線で示す。

3. 圧縮試験

3.1 試験方法

圧縮試験は、Standard Test for Compressive Properties of Rigid Plastics (ASTM D 695-96)⁽¹⁾を参考に、図6に示す試験片を図7に示す両端支持のジグで挟んで行った。試験速度は1mm/min一定で、引張り試験と同様の方法で値を得た。

Fig.6 Dimension of tensile specimen

Fig.7 Set up of jig for tensile test

3.2 試験結果

図8圧縮強さ、図9に圧縮弾性率の測定結果を示す。圧縮強さに関してポリエステルは含有率が極端に低いときマトリックスのみの時よりも強度が上がったが、それより含有率が上がると強度は下がった。ビニルエステルは含有率が上がるとマトリックスのみの時より強度が上がるか同じとなった。これはビニルエステルのアラミド繊維との接着性が良い、伸び率が高いという特徴から、より高い荷重までシートと一体となって荷重を受け持つことができたためであると考えられる。

図10に試験中の試験片を観察した破壊様相を示す。弾性率の異なる2つの材料に生じるひずみの大きさが異なるために材料間に亀裂が発生し、亀裂が繊維に沿って成長して剥離現象を引き起こし、その剥離が起点となり座屈に至っている様子が観察できた。

Fig.8 Compressive strength

Fig.9 Young's modulus for compressive test

Fig.10 Specimen at different load levels during compression test

4. 結言

本研究より以下のことが確認された。

- (1)引張り強さは繊維体積含有率に依存し、引張り弾性率は低含有率ではマトリックスの違いによる影響を受ける。
- (2)圧縮強さにおいて、含有率が上がるとポリエステルでは強度が下がるが、ビニルエステルでは強度が向上する。
- (3)AsFRPは剥離が原因となり破壊する。
- (4)引張り強さは確率的な近似理論式によってその特徴を表すことができる。

参考文献

- (1) Annual book of ASTM standards Volume 08.01 Plastics p45-57, p77-83