

ミスト法を用いた FRP 強化繊維の界面処理法に関する研究

Study on interfacial treatment of reinforcements of FRP using mist methods

知能機械システム工学コース

機能性材料工学研究室 1205051 野崎 裕平

1. 諸言

様々な分野で活躍している繊維強化プラスチック FRP に用いられる強化繊維には、シランカップリング剤による繊維／樹脂界面強度を向上させる処理が行われている。⁽¹⁾ 従来の界面処理法には、浸漬法とスプレー法の2つが挙げられ、中小の織物メーカーで独自に界面処理を行いたい場合など、低コストで大量処理が可能な新たな処理方法が求められている。

筆者らはこれまで、マイクロミスト法⁽²⁾による繊維界面処理法を提案してきた。マイクロミスト法とは、界面処理剤を含むマイクロサイズミストを発生させ、不活性ガスで対象物に運ぶものであり、広い面に均等に処理を行うことが期待でき、また繊維束への処理剤の良好な含浸性も期待できる。筆者らは、マイクロミストをガラスクロスに垂直に噴射して処理を行う垂直噴霧方式⁽³⁾による界面処理方法を開発し、浸漬法と同等の界面処理効果が得られることを示した。しかし、垂直噴霧方式では処理面に対して2次元走査を行う必要があり、効率の良い処理方法とは言えない。そこで本研究では、マイクロミストをガラスクロスに平行に噴射することにより、一度で全体を処理する平行噴霧方式を提案する。その界面処理効果を調査するために、同時に処理する枚数を変えて処理を行い、GFRP 積層板を成形し、引張試験によって生じるクラックを観察した。

2. 実験方法

2.1 試験片作製

まず、購入時に付着しているガラス織物繊維の界面処理剤を除去するために、350℃まで加熱した。その後、アセトン、イソプロパノール、精製水の順に超音波洗浄を行い、繊維に付いている汚れ等を落とした。次に、浸漬法(DIP)と平行噴霧方式(PM)により界面処理を行った。処理剤には1%濃度のエポキシシランカップリング剤(KBM-403)を用いた。

図1に、本研究で用いた平行噴霧方式の概略図を示す。縦320mm、横110mm、幅4mmのチャンバーに繊維クロスを設置しクリップで挟み固定した。実験時にはミスト噴射器の先端にあるノズル部に取り付け、片側からミストを噴射し、反対側から排出した。ミスト法で用いるキャリアガス流量を2.5l/min、希釈ガス流量を7.5l/minとし、平行噴霧方式での散布時間を30秒、同時処理積層枚数は1、2、3、4、6、12枚とした。その後繊維を110℃で1時間乾燥させ、12枚積層し、VaRTM法を用いてエポキシ樹脂を含浸させ、80℃で2時間炉に入れ完全硬化させた。試験片の厚さは成形時に天板を用いて、1.3mm±5%以内に収めた。その後FRPを幅20mm、高さ140mmの試験片に切り出した。側面の損傷観察を行うために研磨を行い、20mm×20mmのアルミタブを付けた。比較対象として界面処理を行っていない繊維を用いた試験片も作製した。

2.2 引張試験と損傷観察

荷重は1kずつ増加させ、その後除荷する負荷除荷試験を試験片が破断するまで行った浸漬法と平行噴霧方式で作製

した試験片では位置毎の処理ムラを詳しく調べるために、1k~3kの間では0.25kずつ荷重を上げた。図2に示すように、ミスト噴出側から30、60、90mmの位置から20mmの範囲のレプリカを採取し、1層同時処理のみ顕微鏡で観察を行った。2層同時処理と3層同時処理、4層同時処理、6層同時処理、12層同時処理ではマクロスコブを用いて観察面を写真撮影した。その後、それぞれの地点の10mm幅以内でのクラックの数をカウントした。本研究では、それぞれの観察エリアをSection 1, 2, 3と呼ぶ。なお、界面処理なし(NON)、浸漬法(DIP)による処理の試験については、中央部(Section2)のみ損傷観察を行った。

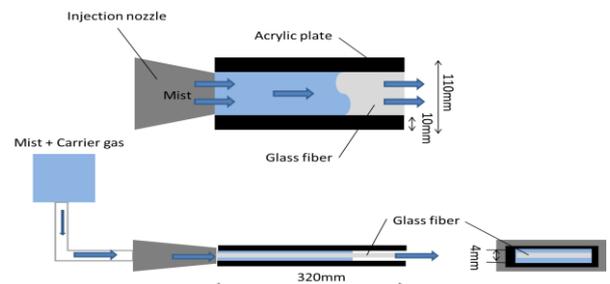


Fig.1 Schematic view of experimental interfacial treatment device by parallel misting method

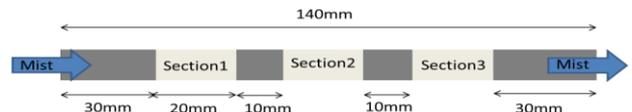


Fig.2 Observation area of specimens

3. 実験結果及び考察

図4.5に2層同時処理試験片の、section 3の5kNでの側面観察写真を示す。図より、クラックが繊維と樹脂の界面に沿って、繊維束を貫通するように発生していることが分かる。これは、クラックの発生と進展が、繊維-樹脂の界面強度に強く影響されることを意味する。

図4.6.1に、section1の観察から得られたクラック密度と負荷応力の関係を、1層同時処理、2層同時処理、3層同時処理、4層同時処理、6層同時処理、12層同時処理、処理なし(NON)および浸漬法(DIP)の各試験片について示す。界面未処理の試験片については、40MPa付近でクラックの発生が始まり、115MPaでクラックの飽和が始まり、最終的には200MPaでクラック密度が20(本/mm²)を超えた。これに対して他の界面処理試験片では、クラックの発生応力とクラック数が大きく抑えられていることが分かる。負荷応力150MPa付近では、クラック密度が処理なしが22.2(本/mm²)、NMが15.4(本/mm²)なのに対し同時処理の6条件では5~17(本/mm²)に抑えられている。これより、Section 1では、同時処理枚数12層までの平行噴霧方式による界面処理は、垂直噴霧方式と同

等かそれより良好なクラック抑制効果を示すことが分かった。

図 4.6.2 および図 4.6.3 に、section2 および 3 の観察から得られたクラック数と負荷応力の関係をそれぞれ示す。図 4.6.2 より、同時多層処理は、クラックの発生応力は、浸漬法と同じく抑えられているが、150MPa を超えた辺りから浸漬法と比べるとクラック密度が大きく増加していることが分かる。これは、距離が離れたため処理液が繊維に十分に含浸し無かった為、150MPa 以前から試験片内部に小さなクラックが発生しており、これが、150MPa を超えた辺りから繋がり、観察面に一気に現れたと考えられる。以上より、section2 では、平行噴霧方式によるクラック抑制効果は、同時処理枚数に関わらず、効果は確認できるが浸漬法と比較すると効果が薄くなっているということが分かった。一方、図 4.6.3 より、section3 では、同時多層処理は、処理なしに比べ、クラックの発生応力は抑えられているが、150MPa 以降のクラック密度は、処理なしと比較しても大きくなっているため界面処理の効果が確認できなかった。

以上より、section3 では効果が確認出来なかったことから、section3 で安定して効果を確認するためには、散布時間を今回の 30 秒より長くするか、流量を増やすかあると考える。今後は、1, 2, 3, 4, 6, 12 層同時処理での各 section での再現性の確認や流量や処理時間を変化させ、section3 でも安定して十分な効果の確認できる条件を探っていく必要がある。

4. 結言

本研究では、マイクロミストを用いた平行噴霧方式による複数クロス同時界面処理手法を提案し、その強化効果を定量的に調べた。成形した GFRP 材の引張試験を行い、負荷応力とクラック数の関係からクラック抑制効果を調べた。その結果、section1 では浸漬法と比較しても同等かそれより良好なクラック抑制効果が確認できた。しかし、section2 では、効果の確認は出来たが、浸漬法と比較しても効果が薄く、section3 においては効果が確認できなかった。以上より、ノズル部より距離が離れすぎなければ、複数枚の同時処理が可能であることにより、処理効率の向上が見込めるだけでなく、予備成形された型内部のプリフォームにも表面処理を行うことが出来ると考えられる。今後は同時処理積層枚数と流量や時間を変化させ同時処理枚数の最適な条件を調べていきたい。

文献

- (1) “シランカップリング剤”、東レ・ダウコーニング株、(2008).
- (2) 川原村敏幸、”ミスト CVD 法とその酸化亜鉛薄膜成長への応用に関する研究” 京都大学学位論文(2008), pp.21-37.
- (3) 野崎裕平ほか、”ミスト法による界面処理を行った GFRP の損傷特性”、中国四国学生会 第 46 回学生員卒業研究発表講演会(2016).

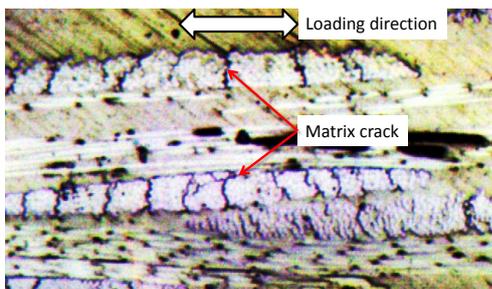


Fig.3 Photograph of side view of textile GFRP laminates under tensile load of 5kN

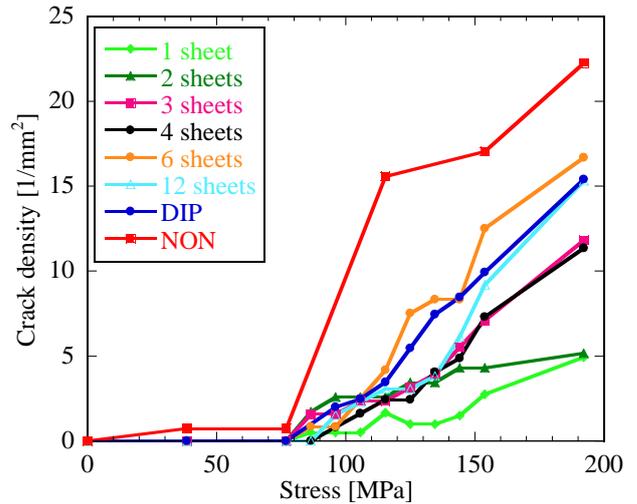


Fig.4 Relationship between stress and number of cracks of GFRP specimen (section 1)

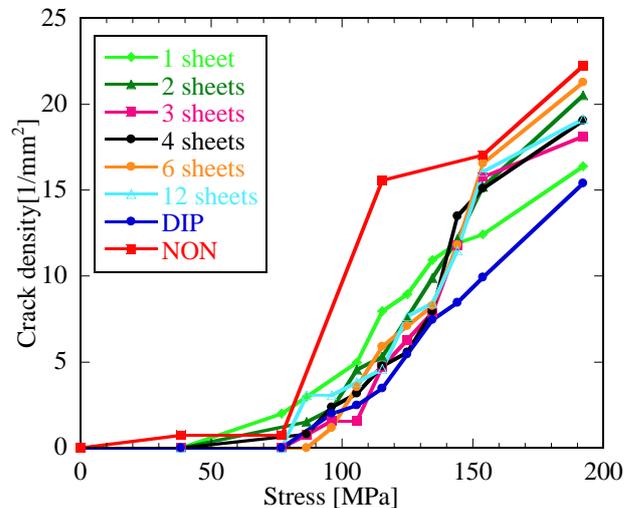


Fig.5 Relationship between load and number of cracks of GFRP specimen (section 2)

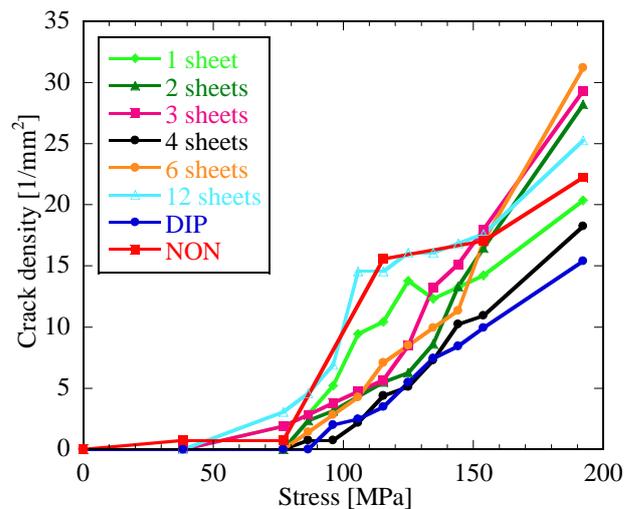


Fig.6 Relationship between stress and number of cracks of GFRP specimen (section 3)