

二粒子径の難燃剤を添加した GFRP の破壊挙動

Fracture behavior of GFRP with flame retardant of two particle sizes.

菅井 美柚¹⁾

指導教員 小山 昌志²⁾

1) 明星大学大学院 理工学研究科 機械工学専攻

2) 明星大学 理工学部 総合理工学科 機械工学系

キーワード: 不燃性 GFRP 水酸化アルミニウム 二粒子径粒子 曲げ強度 破壊挙動

1. 緒言

ガラス繊維強化プラスチック(以下 GFRP)は母材樹脂をガラス繊維で強化した複合材料であり、比強度、比剛性に優れているが不燃性の点で劣るため建築構造体等の難燃、不燃性が求められる適用分野においては、母材樹脂へ難燃剤を添加した不燃性 GFRP が求められる。一般的に不燃性 GFRP に使用されている難燃剤の一つとして水酸化アルミニウム(以下 $\text{Al}(\text{OH})_3$)粒子が挙げられる。 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 粒子は粒子径が小さいほど難燃特性が上昇するため小粒子径 $\text{Al}(\text{OH})_3$ を多く含有することが望ましいが樹脂への粒子の添加において小粒子は大粒子と比較し顕著な粒子含有樹脂の顕著な粘度増加を引き起こす。この粘度増加は GFRP の成形の際に繊維間への樹脂の含浸不良をまねき GFRP の機械特性へ影響をおよぼす。そこで粘度増加抑制のため大小二つの粒子径を持つ二粒子径粒子に着目した。二粒子径は樹脂混練時に大粒子間に小粒子が入り込むことで凝集構造中の不動液体を解放し液体の粘度増加を抑制する性質が報告されている。この性質を利用した二粒子径 $\text{Al}(\text{OH})_3$ を使用すると粘度増加を抑制しさらに小粒子を多く含有することが可能となり GFRP の不燃性の向上が見込める。しかし先行研究において粒子径の違いは樹脂の機械特性に与える影響に相違をおよぼすことが確認されている。このため二粒子径 $\text{Al}(\text{OH})_3$ を添加した GFRP においては母材樹脂内の大粒子径 $\text{Al}(\text{OH})_3$ と

小粒子 $\text{Al}(\text{OH})_3$ の粒子の分布が強度へ影響する可能性がある。しかしながら二粒子径 $\text{Al}(\text{OH})_3$ を添加した不燃性 GFRP の粒子径や粒子含有割合、含有分布と機械特性の関係を明確にした研究は少ない。そこで我々は過去の研究において粒子含有割合が GFRP の機械特性へ与える影響を明らかにするため粒子含有割合と GFRP の曲げ強度の関係を調査した。その結果 Fig. 1 に示すような粒子含有割合と曲げ特性の関係を得た。その中で Fig. 2 に示すように試験片の試験引張側を樹脂塗布面側(Top 側)と成形型面側(Bottom 側)とした場合、条件によっては樹脂塗布面側と成形型面側の強度に顕著な差異が生じることが確認された。そこで本研究ではこの強度の差異の発現要因を明確にするために破壊メカニズムの観点から粒子含有割合および含有分布が曲げ特性に与える影響を調べた。

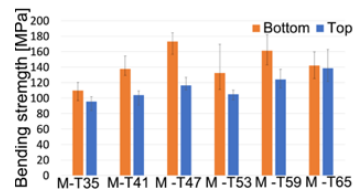


Fig. 1 Relationship between particle mixing ratio and bending strength.

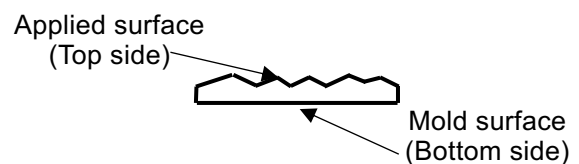


Fig. 2 Schematic of cross section of GFRP.

2. 実験方法

本実験にて用いた粒子と不飽和ポリエステル樹脂の配合割合を Table 1 に示す. 本稿での配合割合としては Fig. 1 のうち Top 側と Bottom 側の曲げ強度に顕著な差異が確認された M-T41 および差異が見られなかった M-T65 とした. ガラス繊維に任意の配合割合で配合した樹脂を含浸させ, ローラによる脱泡を行い, その後 90°C, 1hr の条件で硬化し成形体を得た. 成形体の Top 側は Bottom 側と比較して凹凸が多数存在するため, Top 側表面を研磨したのち JIS7017 に準拠し三点曲げ試験を実施した. 本試験では材料厚さ方向の粒子含有分布が曲げ強度へ与える影響を確認するため Top 側を引張面にした場合と, Bottom 側を引張面にした場合の 2 条件で三点曲げ試験を行なった. さらに試験後の試験片の破断部周辺を樹脂埋めし鏡面研磨のちデジタルスコープ (KEYENCE VHX-7000) を用いて観察を行なった.

Table 1 Mixing ratio of resin and Al(OH)₃.

Name	Percentage of Resin (wt%)	Percentage of Al(OH) ₃ (wt%)
M-T41	59	41
M-T65	35	65

3. 実験結果

3.1 三点曲げ試験

Fig. 3 に応力-たわみ曲線をそれぞれ示す. M-T41 においては Bottom 側は延性的な破壊挙動を示したが Top 側は脆性的な破壊が確認された. 一方 M-T65 においては Top, Bottom 側ともに脆性的な破壊が確認された. これにより破壊挙動の違いと曲げ強度の差異の関係性が示唆された.

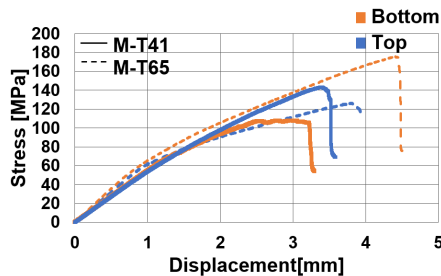


Fig. 3 Stress Displacement curves.

3.2 断面観察

M-T41, M-T65 の破断部とその周辺の断面観察写真を Fig. 4 に示す. M-T41 において高い曲げ強度を示した Bottom 側の破壊起点は表面付近の大粒子と樹脂の界面付近にあり, その後, 粒子に沿って面内方向への亀裂進展が確認された. 一方で Top 側においては粒子および繊維の含有量が少なく破壊起点は Bottom 側と異なり表面付近の樹脂部にあり, 面外方向への樹脂中の亀裂進展が支配的であった. 一方, M-T65 の Top, Bottom 側においては破壊起点および亀裂進展状況に顕著な相違は確認されなかった. これは M-T65 では Top, Bottom 側の粒子含有分布に相違がないことが要因であると考えられる. これらの結果から粒子の含有分布による破壊挙動の相違, Top, Bottom 側の曲げ強度の差異の発現に影響を与えると推測された.

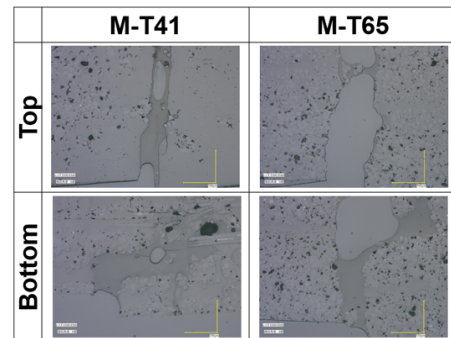


Fig. 4 Cross sectional views.

4. 結言

本研究では GFRP の Top, Bottom 側の曲げ強度に差異が生じた要因の明確化のため, 著者らの過去の研究において Top 側と Bottom 側の曲げ強度に顕著な差異が確認された M-T41 および, 差異が見られなかった M-T65 において三点曲げ試験を行い, 破壊メカニズムと粒子含有分布の相関性を明らかにした. その結果, 粒子含有分布が GFRP の破壊の起点, および亀裂進展に大きく作用し, 破壊挙動並びに曲げ強度に影響することが示唆された.

5. 参考文献略