
長繊維強化樹脂の高速衝撃特性

Impact Resistance Property of Long-Fiber-Reinforced Thermoplastic

尾野 友重(Tomoshige Ono) 久保 秀穂(Hideho Kubo) 副田 直彦(Naohiko Soeda)

要旨：

長繊維強化ポリプロピレンの高速衝撃特性を検討した。衝撃試験はホプキンソン棒法衝撃引張試験により行い、比較として、静的な引張試験を行った。最大引張応力、および衝撃吸収エネルギーはガラス繊維含有率、繊維長の増加に伴い、増加した。また、相溶化剤の添加は、最大応力を増加させるが、材料の脆性化をもたらすことが明らかになった。これら結果は、耐衝撃用途の部品設計、材料設計に反映される。

Synopsis：

The tensile fracture behavior of long glass fiber reinforced polypropylene (GFPP) under a high strain rate in a range from 500 to 1 000 s⁻¹ was investigated by means of tensile impact tests of Hopkinson pressure bar system and was compared with that obtained by pseudo-static tensile tests. The maximum stress and the impact absorption energy increased as glass fiber (GF) length or GF content increased. An addition of compatibilizer increased the maximum stress but made the materials brittle. These results are reflected on designs of parts or materials which should withstand crash impact.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

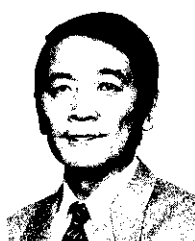
本文は次のページから閲覧できます。

Impact Resistance Property of Long-Fiber-Reinforced Thermoplastic



尾野 友重
Tomoshige Ono

技術研究所 化学研究
部門 主任研究員(掛
長)



久保 秀穂
Hideho Kubo

ケーブラシート(株)
営業開発部長



副田 直彦
Naohiko Soeda

ケーブラシート(株)
社長

要旨

長繊維強化ポリプロピレンの高速衝撃特性を検討した。衝撃試験はホプキンソン棒法衝撃引張試験により行い、比較として、静的な引張試験を行った。最大引張応力、および衝撃吸収エネルギーはガラス繊維含有率、繊維長の増加に伴い、増加した。また、相溶化剤の添加は、最大応力を増加させるが、材料の脆性化をもたらすことが明らかになった。これら結果は、耐衝撃用途の部品設計、材料設計に反映される。

Synopsis:

The tensile fracture behavior of long glass fiber reinforced polypropylene (GFPP) under a high strain rate in a range from 500 to 1 000 s⁻¹ was investigated by means of tensile impact tests of Hopkinson pressure bar system and was compared with that obtained by pseudo-static tensile tests. The maximum stress and the impact absorption energy increased as glass fiber (GF) length or GF content increased. An addition of compatibilizer increased the maximum stress but made the materials brittle. These results are reflected on designs of parts or materials which should withstand crash impact.

1 緒 言

ガラス繊維強化樹脂は、その高い機械特性、比較的容易な成形加工性から、金属部品、木材の代替が進んでいる。特にマトリックスにポリプロピレンを用いたものは、リサイクル面、コスト面からも注目されており、当社からは、「パートン」[®]、「KP シート」といった形で上市されている。

一般的に、ガラス繊維強化樹脂は衝撃特性に優れている。特に繊維長が大きくなった場合に、衝撃特性は向上し、その効果は、高歪み速度下で顕著に現れる¹⁻³⁾。繊維強化樹脂には多くの種類があり、その素材種類、製造方法の違いなどで特性にも差異が見られ、パートンや、KP シートのように特異な方法で製造されるものでは、その特性に及ぼす因子を検討しておく必要がある。

一方、耐衝撃特性が重視される自動車構造部材の設計には、高速下、高歪み速度下で測定された材料物性を考慮に入れることも重要になっている。衝撃特性の計測には、種々の方法が知られているが⁴⁾、いずれの方法も材料物性の測定方法として確立されているとはいえない。特に樹脂の衝撃特性として用いられている Izod 衝撃試験や、シャルピー衝撃試験では、材料間の衝撃特性の比較はできるが、部材設計に必要な強度や、弾性率などの基礎物性を知ることとはできない。我々は、これらガラス繊維強化樹脂の高歪み速度下での物性値を測定することを目的とし、ホプキンソン棒法衝撃引張

試験を行った^{5,6)}。高速試験によって得られる変形を確認するために、高速度ビデオカメラを用い、破壊挙動のその場観察を行った。さらに、「パートン」や「KP シート」の衝撃特性に影響を及ぼす素材因子、すなわち繊維長やマトリックス樹脂の検討を行い、材料設計の方向性を示した。

2 実 験

高速引張試験および静的引張試験には、それぞれホプキンソン棒法衝撃引張試験、オートグラフを用いた。ホプキンソン棒法衝撃引張試験、装置の模式図、および試験片形状を Fig. 1 に示す。圧縮空気によって発射された打撃棒が入力棒に応力波を与え、入力棒と出力棒に固定された試験片が引張力を受け破壊される。入力棒、出力棒に貼った歪みゲージにより、試験中のこれらの棒の弾性歪みを

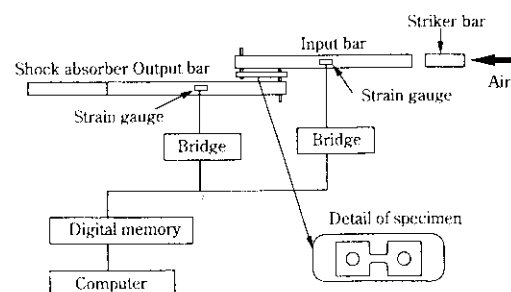


Fig. 1 Schematic diagram of apparatus

* 平成9年8月29日原稿受付

Table 1 Materials for impact and pseudo-static tensile tests (PP Verton MFX7008)

	Fiber length (mm)	Melt index of PP	Contents of compatibilizer	Remarks
1	0.79	Low ¹⁾	More ²⁾	Plates molded by an injection machine with a screw for long fiber
2	1.42	Low	More	
3	3.13	Low	More	
4	5.29	Low	More	
5	0.29			Short fiber reinforced PP
6	4-7	Low	More	Plates molded by an injection machine with a screw for long fiber
7		Low	Less	
8		Low	More	
9		High	None	
10		High	Less	

¹⁾High > Low in melt index²⁾More > Less > None = 0 in compatibilizer contents

測定する。測定値は、コンピューターで処理され、応力、歪みの時間依存性、さらには応力-歪み曲線 (S-S カーブ) として出力される⁶⁾。

引張時の変形挙動を、高速度ビデオカメラを用いて撮影した。シャッタースピードは $40\,500\text{ s}^{-1}$ とした。入力棒、出力棒および試験片に標線を入れ、この変位を観察した。得られた画像を画像処理して、これらの変位を定量化した。

静的引張試験は、オートグラフにより、試験速度 1 mm/min で行った。

供試材として、短繊維強化ポリプロピレン (ガラス繊維 (GF) 含有率 40 mass%), 「KP シート」(ケーブラシート(株)製スタンプブルシート, GF 含有率 30~40 mass%), 長繊維強化ポリプロピレン (「PP パートン」MFX7008, GF 含有率 40 mass%) を用いた。試験片は、プレス成形によって得られた板状の成形品より切り出した。その際、異方性を考慮し、1枚の板より、繊維の主配向方向と、直交方向からそれぞれ試験片を切り出した。繊維長の影響、マトリックス樹脂の影響を検討するために、Table 1 に示す組成の「パートン」成形品を調整し、これを供試材とした。

試験後の状態観察は、破断面の SEM 観察によった。

3 結果と考察

3.1 高速引張試験結果

「PP パートン」における応力の時間依存性を、Fig. 2 および 3 に示す。また、スタンプブルシートの結果を Fig. 4 に示す。いずれの場合も歪みは、時間に対しほぼ直線的に増加する。Fig. 2~4 において、曲線と時間軸に囲まれた面積は、吸収エネルギーに対応する。いま、応力が 0 まで落ちたところまでの面積を全吸収エネルギーとすると、Fig. 2 より、衝撃の全吸収エネルギー、および最大引張応力は、繊維長が増加するにしたがい増加することがわかる。また、Fig. 3 より、最大引張応力は、相溶化剤量が多くなるに従い増加するが、最大応力に達した後、応力は急激に降下する。なお、今回の実験では、PP の MI の影響は、ほとんど見られなかった。この結果から、GF と PP の界面強度は、材料の強度を増加させるが、一方で脆性化させることが示唆される。本結果は、山崎ら³⁾の報告と一致する。また、Fig. 4 に示されるように、「KP シート」においても同様なことが言える。ただし、「KP シート」、「パートン」、短繊維強化 PP では、製造および成形の工程が異なるため、GF 表

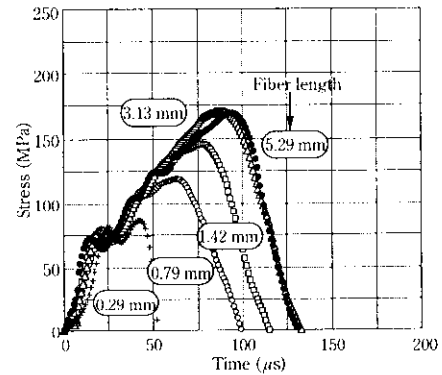


Fig. 2 Fiber length effect on impact tensile test

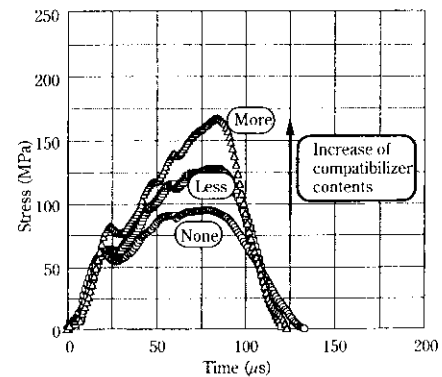


Fig. 3 Effect of compatibilizer contents on impact tensile test

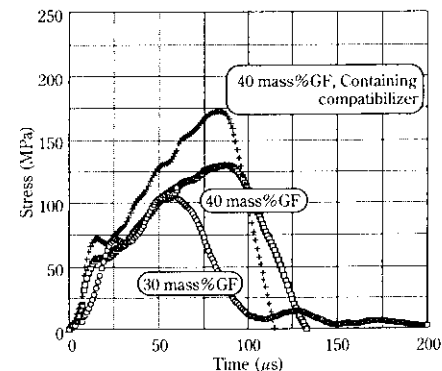


Fig. 4 Time dependence of stress for stampable sheet

面の濡れに関して、相溶化材量だけで比較することは困難である。

GF と PP の界面接着の状態は、試験後の破断面における個々の GF 表面を SEM で観察することにより推察できる。Photo 1 に、代表的な材料の SEM 写真を示す。GF 表面上に付着している PP 量が材料により明らかに異なる。すなわち、界面接着のよいものは、GF 上の PP 付着量が多く、悪いものでは付着量が少ない。これら材料間の差異は、相溶化剤量の違いだけでなく、繊維長の影響、製造および成形過程に起因すると考えられる。

3.2 高速試験と静的試験の比較

静的引張試験の S-S カーブを Fig. 5 に示す。いずれの場合にも、応力はほぼ直線的に増加し、最大応力到達後、すぐに低下する。ここで、見かけの破壊歪みは、通常知られている歪みよりはるかに大きい。ビデオによる観察では、固定部が大きく変形しているのが確

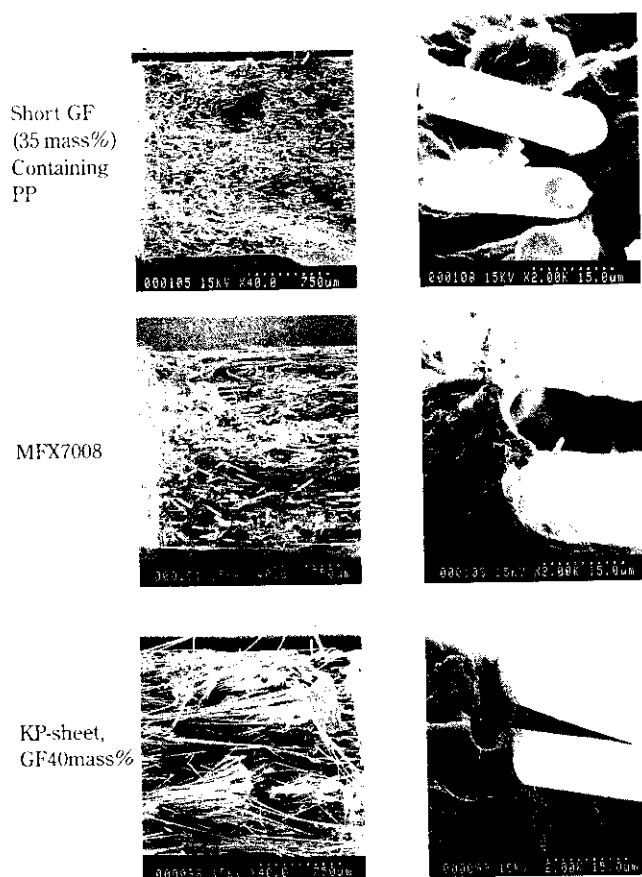


Photo 1 Photographs of the fracture region of specimen after impact tensile test

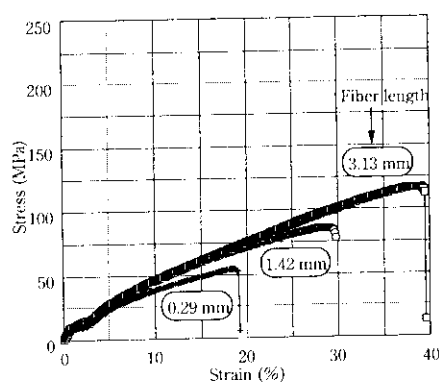


Fig. 5 Stress-strain curves for GFPP under pseudo-static tensile test

認められており、固定部の変形により、見かけの歪みが大きくなったものと考えられる。引張強度は、繊維長の増加に伴い大きくなる。また、マトリックスの性状も、引張強度に影響を及ぼし、相溶化剤量が増大するに従い、強度は増加する。

静的引張試験においては、最大応力（引張強度）は、高速引張の場合の最大応力よりも低く、静的試験においては、最大応力到達後の応力低下が、高速引張の場合に比べて速い。

3.3 ビデオ撮影による歪み測定

ガラス繊維強化 PP では、ホプキンソン棒法によって直接得られた歪みは、通常知られている値に比較して大きい値であった。また、応力-時間曲線上に 2 段の応力変化が見られた。本試験では、他材

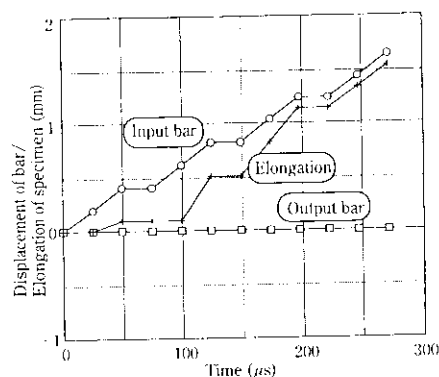


Fig. 6 Bar displacement and specimen elongation obtained from VIR observation analysis

料においてもこの 3 段の応力変化がみられるが、その原因は、応力波の拡散や機械系の振動などによる外乱因子による影響と考えられている。ただし、鋼のような材料では、歪みが大きくでることはいない。

これらの現象を解明するために、高速度ビデオカメラによる変形・破壊挙動のその場観察を行い、画像処理により入力棒、出力棒の変位、試験片の伸びの測定を行った。高速ビデオ撮影による変位および伸び測定結果の一例を Fig. 6 に示す。Fig. 6 において、各点の間隔は $1/40500$ s (約 $25 \mu\text{s}$) である。ホプキンソン棒衝撃引張試験から得られた、1 段目の応力変化は約 $20 \mu\text{s}$ で起こっており、本実験におけるビデオでもこの挙動を明らかにすることはできなかった。試験片形状や試験片の応力棒への固定の問題などと考えられる。

出力棒は、Fig. 6 からわかるように、試験片の破壊が終わるまで動かない。また、試験片の伸びの変化は、入力棒の動きに比べ遅いことがわかる。入力棒の移動速度は、応力棒に貼付された歪みゲージから得られた移動速度とほぼ一致した。これにより、ホプキンソン棒法により直接得られる歪み、もしくは、歪み速度は、入力棒の移動速度を基にしたものであり、試験片そのものの歪みや歪み速度ではないことが判明した。鋼のような材料では、入力棒の移動速度と伸びの速度が一致し、したがって、ホプキンソン棒法により直接得られる歪み、歪み速度と試験片そのものの歪み、歪み速度はそれぞれ一致する。本報の結果は、本実験で用いたような材料をこの試験に適用する場合には、試験片形状や試験条件の適正化が必要であることを示唆する。入力棒の移動速度は約 8000 mm/s で、試料の伸び速度は、その約 $1/2 \sim 1/3$ の値であった。歪みに関しては、高速度ビデオで得られた結果を用いて補正する必要がある。

4 結 言

ホプキンソン棒法によって、長繊維強化樹脂の高速引張挙動を観測し、以下のことが明らかになった。

- (1) 衝撃の全吸収エネルギーおよび最大応力は、繊維長が大きくなるに従い増加する。
- (2) 相溶化剤の増加に伴い、最大応力は増加する。一方、最大応力到達後の応力は、相溶化剤量が多くなると急激に降下する。

以上より、長繊維強化樹脂は、その繊維長が大きいがために、衝撃破壊に対して有効な材料であり、また、その破壊挙動を、繊維長や、相溶化剤量の調整で、制御できる可能性が見出された。「KPシート」、「パートン」はその製造方法にも特徴があり、今後、個々の製造方法を工夫することによって様々な用途展開が期待される。

参 考 文 献

- 1) J. Karger-Kocsis: *Compos. Sci. Technol.*, **48**(1993)1/4,273
- 2) J. L. Sajna: "Effects of Reinforcing Fiber Length on the Properties of Injection Molded Polypropylene", Int. Congress and Exposition, SAE, Detroit (USA), (1993)
- 3) 山崎康宣, 野崎 学: 第4回ポリマー材料フォーラム, (1995)
- 4) 林 卓夫, 田中吉之助: 「衝撃工学」, (1988), 169, [日刊工業新聞社]
- 5) K. Miura, S. Takagi, O. Furukimi, T. Obara, and S. Taninura: "Dynamic Deformation Behavior of Steel Sheet for Automobile", International Congress and Exposition, SAE, (1996)
- 6) S. Tanimura: "Mechanical Properties of Sheet Steel at High Strain Rates", The Japan Society of Mechanical Engineer 2nd Symposium for Machine Material and Material Forming Technique, (1994) 940-36, 17