

ガラスクロス／軟質 PVC 複合シートにおける 引張り特性のひずみ速度依存性

Strain Rate Dependence of Tensile Properties for Glass-Cloth/Soft-PVC Composite Sheet

西村 正樹* 四宮 徳章** 津田 和城***
Masaki Nishimura Naruaki Shinomiya Kazuki Tsuda

(2015 年 6 月 24 日 受理)

Glass-fiber cloth (GC)/ Soft-PVC (SPVC) composite sheet (GC/SPVC) is used as an architectural material. Recently, this sheet's application to suspended ceiling membranes is anticipated. They can replace traditional suspended ceilings made of gypsum, wood, or metallic panels. Using a high-speed tensile testing machine, tensile tests were conducted for this study under different strain rates for GC/SPVC and PET-fiber cloth (PET-C)/SPVC composite sheets (PET-C/SPVC). Particularly, we examined the strain-rate dependence of tensile strength and tensile strain at tensile strength. Results showed that GC/SPVC and PET-C/SPVC exhibits a distinct difference not only of tensile characteristics but also of their strain rate dependences, which suggests that the tensile characteristics and strain rate dependences of sheets were affected by those of GC and PET-C.

Key Words: composite sheet, tensile property, strain rate dependence, high-speed tensile testing machine

1. はじめに

ガラスクロス (GC) に軟質のポリ塩化ビニル (SPVC) がコーティングされた複合シート (以下、GC/SPVC と称す) は、SPVC の柔軟性に由来する施工性や意匠性、および GC に由来する耐熱性から、主に建築分野で使用される複合材料である。

一方、体育館や屋内プール、空港等の公共施設においては、東北地方太平洋沖地震や兵庫県南部地震などの大規模地震発生時に、吊り天井が落下する事故が多数発生した¹⁾。そのため、一般社団法人日本建築学会において、落下事故防止のためのガイドライン¹⁾が策定されるに至った。その中でも、吊り天井の落下への対策は極めて重要な課題となっており、補強金具による吊り天井の耐震性付与や、従来の吊り天井から他の天井部材への転換など、種々の改善が要請されている。

このような背景の下、GC/SPVC は、石膏ボード、木、または金属製の板材に代替する吊り天井部材としての利用 (Fig. 1) が図られている²⁾。本シートは、従来材料より軽量かつ柔軟性を有することから、大規模地震発生時に落下した場合でも、対人危険性を低減する効

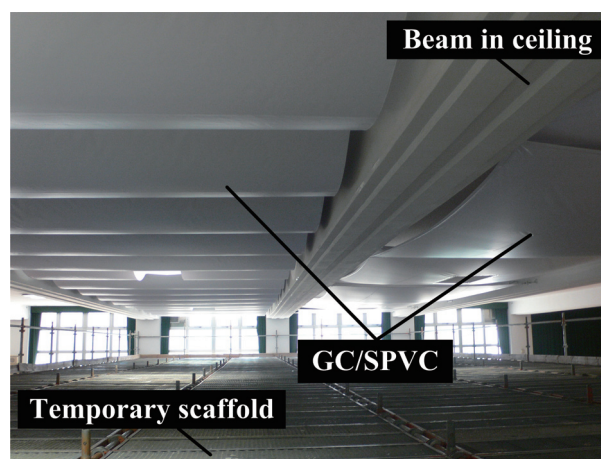


Fig. 1 Test construction of GC/SPVC for suspended ceiling membrane.

* 繊維・高分子科

** 加工成形科

*** 製品信頼性科

果が期待される。しかし、地震発生時には、シートの上方に設置された空調機器や照明器具等がシート面に落下する可能性があるため、シートには落下物に対する耐衝撃性が要求される。したがって、シートの力学特性、とりわけ耐衝撃性に直結する高速変形時の力学特性を評価することは極めて重要である。

筆者らは、GC/SPVC およびポリエステルクロス (PET-C) に SPVC がコーティングされた複合シート (以下、PET-C/SPVC と称す) について、各シートを使用した吊り天井部材を予め作製し、そのシートに鉄球および砂袋を落下させる落錘モデル実験を行うことで、耐衝撃性について検討を行った。また、落錘モデル実験に対応した落錘解析を実施し、シートを使用した吊り天井部材に対し、その上方 1 m から 3 kg の鉄球が落下した場合に、シートに加わるひずみ速度が最大 1 s^{-1} 程度であることを明らかにした。

ここでは、落錘解析の結果に準じたひずみ速度 (1 s^{-1}) およびその 10%、1% のひずみ速度 (0.1 , 0.01 s^{-1}) で引張り実験を行い、両シートの引張り特性のひずみ速度依存性を比較した結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 シートの物理特性

本研究で用いた GC/SPVC および PET-C/SPVC の厚さ、単位面積あたりの質量を Table 1 に示す。なお、Table 1 に示した各シートの厚さは、マイクロメーター (株式会社ミットヨ製 MDC-25MJ) による 15 箇所 (20 cm 角の試験片 3 枚 × 各 5 箇所) の計測値の平均である。また、単位面積あたりの質量に関しては、上記の 3 枚の試験片の質量を電子天秤 (株式会社エー・アンド・デイ製 FA-2000) で計測し、その平均値に $25 (=10000 \text{ cm}^2 / 400 \text{ cm}^2)$ を乗じて 1 m^2 あたりに換算した。

2.2 引張り実験

各シートの原反から、たて方向 (原反の長手方向: 以下、MD と称す) およびよこ方向 (原反の幅方向: 以下、TD と称す) を長辺とする試験片を切り出した。これらの試験片について、高速引張り試験機 (株式会社島津製作所製 HITS-T10-S)³⁾ を用い、 0.01 、 0.1 および 1 s^{-1} の 3 種類のひずみ速度で 3 回ずつ引張り実験を行った。高速引張り試験機の外観および高速引張り試験機への試験片の取り付け状況を、それぞれ Fig. 2 および Fig. 3 に示す。また、試験片の形状および実験条件を Table 2 に示す。なお、実験は室温 ($20 \sim 25 \text{ }^\circ\text{C}$) で行った。

Table 1 Physical properties of the sheets.

Sheet	Thickness (mm)	Mass per unit area (g/m^2)
GC/SPVC	0.26	4.0×10^2
PET-C/SPVC	0.32	4.2×10^2

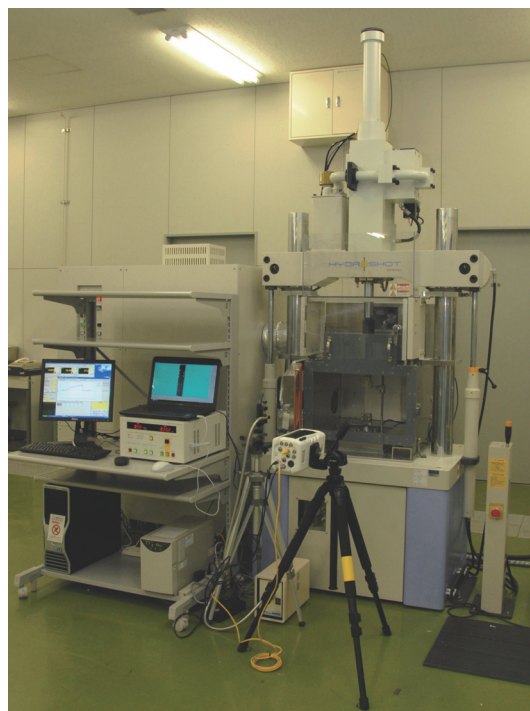


Fig. 2 High-speed tensile testing machine.

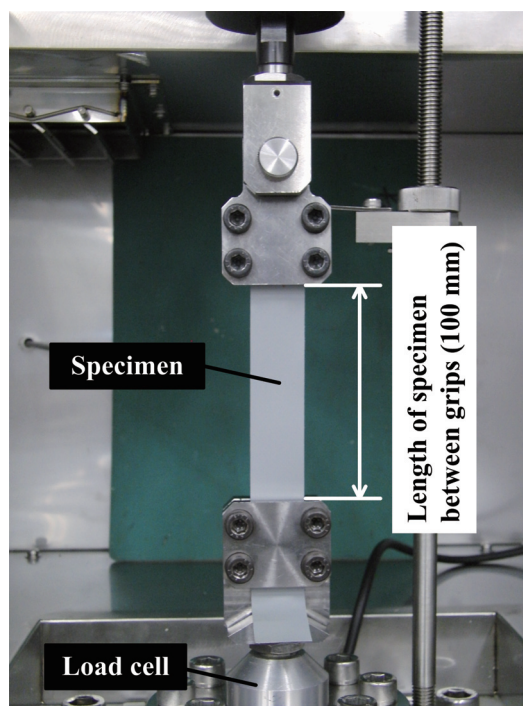


Fig. 3 Specimen installed in high-speed tensile testing machine.

Table 2 Specimen configurations and experimental conditions.

Specimen configurations	Width : Narrow side (w)	(mm)	25		
	Length : Long side (L)	(mm)	200		
Experimental conditions	Length of specimen between grips (L_0)	(mm)	100		
	Speed of testing (v)	(mm/s)	1	10	100
	Strain rate ($\dot{\epsilon} = v/L_0$)	(s^{-1})	0.01	0.1	1

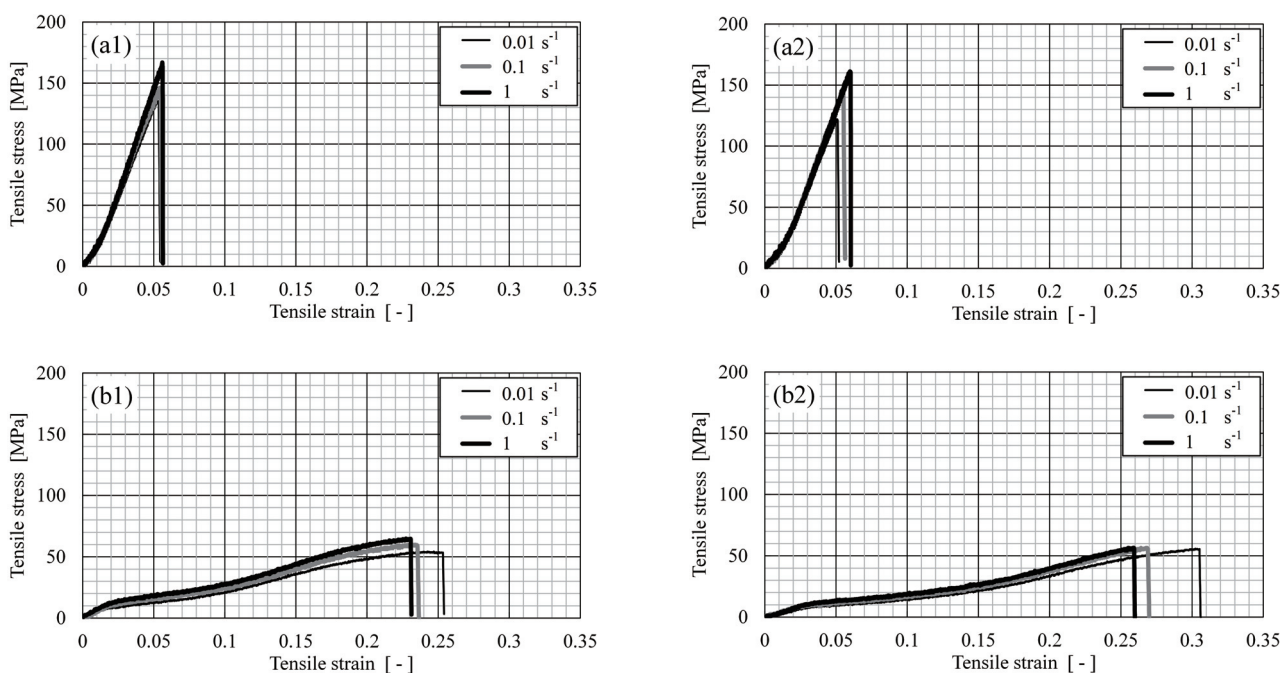


Fig. 4 Typical relationship between tensile stress and tensile strain at different strain rates for (a1) GC/SPVC-MD, (a2) GC/SPVC-TD, (b1) PET-C/SPVC-MD, and (b2) PET-C/SPVC TD.

3. 結果と考察

GC/SPVC および PET-C/SPVC について、MD または TD の各ひずみ速度 (0.01, 0.1 および $1 s^{-1}$) における引張り実験で得られた引張りひずみ (公称ひずみ) と引張り応力 (公称応力) の関係を Fig. 4 に示す。また、各実験における引張りひずみと引張り応力の関係から、「引張り強さ」および「引張り強さ時ひずみ」の2種類の引張り特性値を求めた。ただし、引張り応力の最大値を「引張り強さ」とし、引張り応力が最大値を示した時の引張りひずみを「引張り強さ時ひずみ」とした。それぞれのシートの MD および TD における各特性値とひずみ速度との関係を Fig. 5 に示す。

Fig. 4 より、GC/SPVC および PET-C/SPVC の引張り特性は明確に異なり、GC/SPVC は引張り強さが著しく大きく、かつ引張り強さ時ひずみが顕著に小さいことが確認された。また、引張り強さについては、両シートとも、TD より MD で大きな値を示した。引張り強さ時ひずみに関しては、GC/SPVC では方向によ

る差異は認められなかったが、PET-C/SPVC では MD よりも TD で引張り強さ時ひずみが大きくなった。これらの結果には、GC と PET-C の引張り特性が大きく影響していると考えられる。

また、Fig. 5 (a1), (a2) より、GC/SPVC では、ひずみ速度の増大に伴い、引張り強さおよび引張り強さ時ひずみがともに増加することがわかった。一方、PET-C/SPVC においては、ひずみ速度が大きくなると、引張り強さは大きくなり、引張り強さ時ひずみは小さくなることが確認された (Fig. 5 (b1), (b2))。

GC/SPVC は、ガラス繊維製のクロス (GC) と高分子材料である SPVC から構成され、PET-C/SPVC は、2つの高分子材料 (PET 繊維製クロス (PET-C) および SPVC) から成る。これらのうち、ガラス繊維は、ひずみ速度の増大に伴い、引張り強さおよび引張り強さ時ひずみが増加することが報告されている^{4,5)}。一方、高分子材料は、粘性と弾性とを併せ持つ粘弾性体であり、一般的には、ひずみ速度の増大に伴い、引張り強さは増加するが、引張り強さ時ひずみは低下す

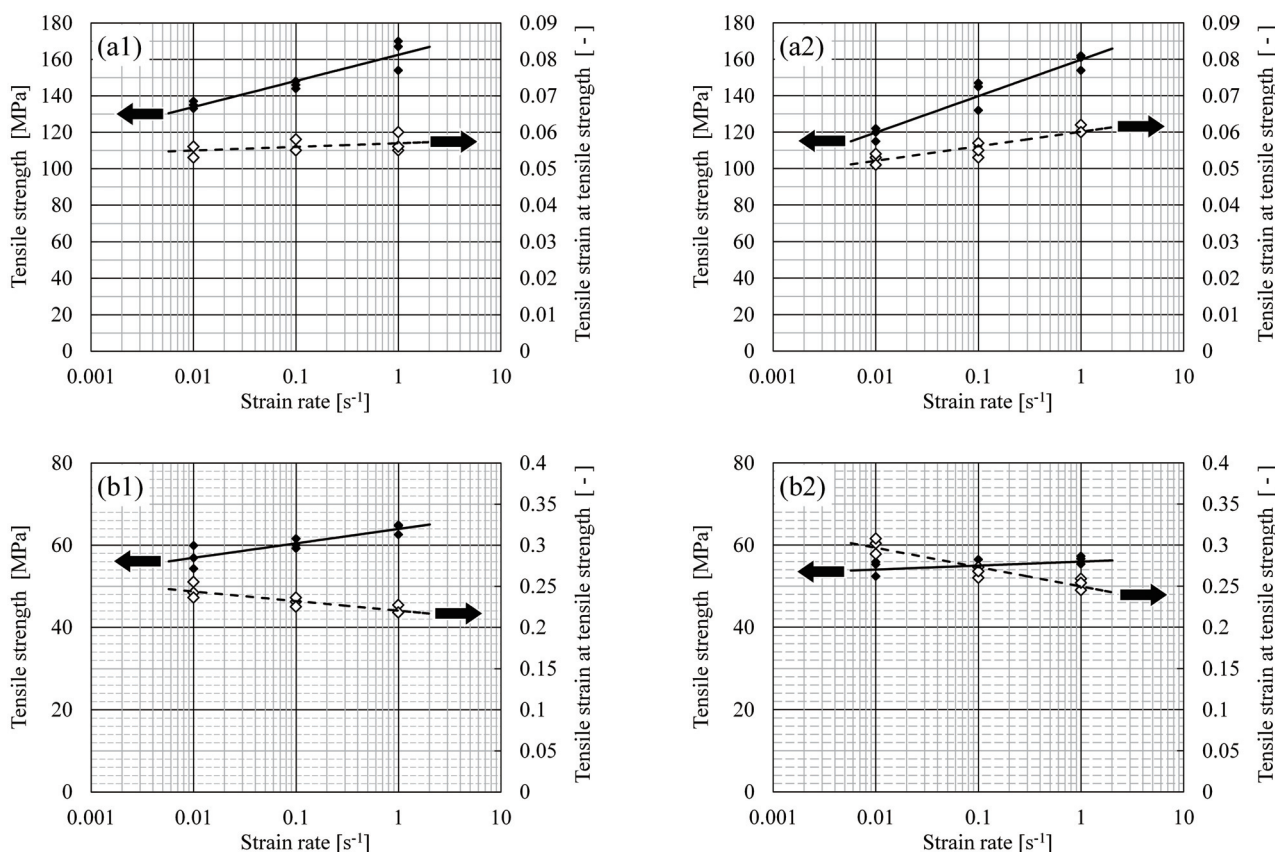


Fig. 5 Strain rate dependence of tensile strength and tensile strain at tensile strength for (a1) GC/SPVC-MD, (a2) GC/SPVC-TD, (b1) PET-C/SPVC-MD, and (b2) PET-C/SPVC-TD.

る^{6,7)}。SPVCの引張り特性がシートの引張り特性に与える影響や、シート間での影響の違いは不明であるが、Fig. 5に示したひずみ速度依存性は、上記のガラス繊維および高分子材料における引張り特性のひずみ速度依存性と合致している。このことから、各シートにおける引張り特性のひずみ速度依存性には、GCおよびPET-Cのひずみ速度依存性が大きく寄与していると考えられる。

4. まとめ

GC/SPVCおよびPET-C/SPVCについて、0.01, 0.1および 1 s^{-1} の3種類のひずみ速度で引張り実験を行い、両シートの引張り特性のひずみ速度依存性を比較した。その結果、両シートの引張り特性およびそのひずみ速度依存性は大きく異なることがわかった。両シートの引張り特性およびそのひずみ速度依存性には、GCおよびPET-Cの引張り特性およびそのひずみ速度依存性が大きく寄与していると考えられる。

建築・土木分野において、建造物に対し、地震発生時を想定した安全性が要求されることは言うまでもない。さらに、建造物の耐震性に直結する構造部材のみ

ならず、本研究で対象とした吊り天井部材のような非構造部材においても、地震発生時のさまざまな状況を想定した製品の設計・評価が必要である。今後、建築・土木用資材を含め、高速で衝撃的な変形が加わりうる状況で使用される各種の製品においては、実際に高速変形時の力学特性を評価することが、ますます重要になると考えられる。

謝辞

本研究は、平成25年度ものづくり中小企業・小規模事業者試作開発等支援補助金制度の下、大阪府テントシート工業組合からの委託を受け、実施したものである。本研究にご協力いただいた関係各位に深謝の意を表す。

参考文献

- 1) 一般社団法人日本建築学会 非構造材の安全評価及び落下事故防止に関する特別調査委員会：天井等の非構造材の落下事故防止ガイドライン，(2013) 7.
- 2) 大阪府テントシート工業組合ウェブサイト：組合紹介．<<http://www.tent.or.jp/userhtml/usertop.html>>

- 3) 西村正樹：地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所 Technical Sheet, No.13005 (2013).
< <http://tri-osaka.jp/technicalsheet/13005.PDF> >
- 4) 谷口憲彦, 荒尾与史彦, 西脇剛史, 平山紀夫, 中村幸一, 川田宏之：日本複合材料学会誌, 38, 4 (2012) 137.
- 5) Y. Arao, N. Taniguchi, T. Nishiwaki, N. Hirayama and H. Kawada: J. Mater. Sci., 47 (2012) 4895.
- 6) 西村正樹：地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所 Technical Sheet, No.09009 (2010).
< <http://tri-osaka.jp/technicalsheet/09009.PDF> >
- 7) 西村正樹, 赤井智幸：地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所報告, No.26 (2012) 49.
< [http://tri-osaka.jp/densi_kannkoubutu/syoho/TR126\(2012\)49.pdf](http://tri-osaka.jp/densi_kannkoubutu/syoho/TR126(2012)49.pdf) >