

エアバッグの高速展開による衝撃力の測定* (エアバッグの高速展開による衝撃力 I)

鮑 力 民^{*1}, 桜井正幸^{*1}, 剣持 潔^{*1}

Measurement of Impact Force when Airbag Inflates at High Speed (Impact Force when Airbag Inflates at High Speed I)

Limin BAO^{*2}, Masayuki SAKURAI and Kiyoshi KEMMOCHI

^{*2} Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University,
3-15-1 Tokida, Ueda shi, Nagano, 386-8567 Japan

Occupant protection systems for automobiles are currently highly publicized. An airbag inflating at high speed impacts occupant with great force. Airbag safety relies on their construction with primarily woven fabrics. We have referred to a typical pressure time history of an airbag, and developed a device to measure impact load when the fabric airbag inflates at high speed. When interior pressure in the airbag increases, impact load increases. Also, the impact load on a body increases as the distance between the body and airbag decreases. The relation between indenting ratio and pressure ratio gives a common parameter for different samples and different experimental conditions.

Key Words: Impact Load, Fabrics, Airbag, Evaluation, Inflation, Visco elasticity of Polymeric Materials

1. 緒 言

近年、市販されている自動車へのエアバッグの装着率はほぼ100%になって、衝突事故による乗員の死亡率が減っている。一方、布で構成されるエアバッグが高速展開するとき、接触する人間の体に大きな衝撃を与え、打撲傷、かすり傷などを受ける割合が大きいことも指摘されている⁽¹⁾。そこで、衝撃力を低減するため、衝撃力の発生メカニズムの究明が要求されている。

エアバッグの研究について、Keshavaraj⁽²⁾はエアバッグ用の織物の透気性を測定するために、準動的透気性測定器を提案した。Wang⁽³⁾は、衝撃波反射理論を利用して、インフレータのガスが膨らむ同じ条件で衝撃波管を使って、エアバッグ材の織物における衝撃波の透気性を測定した。衝撃波を受けた際の織物の透気性は、織物の粘弾性の特性によって静的、準動的な透気性より小さく、ノンコートエアバッグの可能性を実証した。

エアバッグの展開によるかすり傷について、著者ら⁽⁴⁾⁽⁵⁾はかすり傷を左右する織物の衝撃摩擦特性に注

目して、その特性を測定できる装置を作製し、いくつかの織物について測定し、その特性を検討した。

エアバッグの膨張による人間の体への衝撃については、メーカ⁽⁶⁾⁽⁷⁾は、実機エアバッグとダミーを利用して、いろいろエアバッグのたたみ方式、展開タイムの影響を調べて、最適なエアバッグシステムを検討している。しかし、その基礎的なデータ(膨張圧力、織物の力学特性による影響など)の報告は見当たらず、未知なことがまだ多い。

本研究では、布で構成されるエアバッグが高速展開するとき、接触する人間の体に与える衝撃力を調べるために、いろいろな条件で布の高速展開による衝撃力を測定できる装置を考案し、試作する。実機に使用されているエアバッグの織物の衝撃力を試作した装置を用いて測定し、その衝撃力への影響因子を検討する。

2. 実験および試料

2・1 実験装置と方法 布の高速展開による衝撃力と変位を測定するために、図1の装置を試作した。

エアコンプレッサで圧縮した空気を、レギュレータで圧力を一定の大きさに調整しエアタンクに貯蔵する。高速電磁弁の開閉により、ヘッドにしっかり固定された布を膨らませ、荷重センサディスクと衝突させ

* 原稿受付 2005年9月2日。

^{*1} 正員, 信州大学繊維学部 (☎ 386-8567 上田市常田 3-15-1).
E-mail: baolimi@giptc.Shinshu-u.ac.jp

る。圧力の測定は圧力変換器 [共和電業(株)PGM-10 KC] を用いた。荷重センサと圧力変換器により計測された信号は、アンプ [共和電業(株)CDV-700 A]、高速 A-D ボードを通して、パーソナルコンピュータに出力される。また、装置の上部にレーザ変位計 (KEYENCE LB 1000) を設置し、布が高速展開する際の中心部の変位も圧力と同時に測定する。

実車のインフレータのガスが膨らむ際、短い時間で相当高い圧力が発生している。実験の圧力範囲について、Keshavaraj⁽²⁾ による実車のエアバッグが膨らむ際の圧力範囲をテストできるように、試料を M 8 ボルトで 8 本以上固定する。また、測定装置の試料固定部ではゴム O リングを二重に設け、空気の漏れを防ぐ。空気入口のパイプの内径は試料を展開する速度に大きく影響しているため、Keshavaraj⁽²⁾ による実車のエアバッグが膨らむ際の時間を参考にし、高速電磁弁の

開閉特性を考慮して、 $\phi 12$ mm を採用した。

衝突ディスクの径と織物サンプルの径の関係は、人間の顔と運転席エアバッグの大きさとの比および高速電磁弁の性能を総合考慮し、織物のサンプルの直径を 110 mm、衝突ディスクの直径を 30 mm とした。衝突ディスクとサンプルの距離のわずかな変化で衝撃荷重が大きく変化することより、荷重センサと衝突ディスクの部分にねじ付きスライドを装着し、0.1 mm ずつ上下移動できるように衝突ディスクとサンプルの距離を調節する。

実験を以下の手順で行う。

(1) エアコンプレッサで圧縮した設定圧力の空気を、エアタンクに貯蔵する。サンプルの織物を固定ヘッドに装着する。高速電磁弁により、織物を膨らます。

(2) レーザ変位計と圧力センサを用い、展開時の織物の中央点における変位と織物内の圧力を測定し、A-D ボードを通して、パーソナルコンピュータに記録する。

(3) サンプルを交換し、衝撃荷重センサを設置し、高速電磁弁により織物を膨らます。衝撃荷重センサと圧力センサを利用して、展開時の衝撃荷重と織物内の圧力を測定し、パーソナルコンピュータに記録する。(2)と同様に、サンプリング間隔は $2 \mu\text{s}$ である。

以上の手順で、設定した圧力および衝突ディスクとサンプルの距離を変化させて行う。同じ条件で 3 回繰返し測定を行う。

2.2 試料 今回実験に用いた試料は豊田紡織(株)から提供され、表 1 に示す。すべて自動車に使用されているエアバッグ用のノンコート平織り織物である。繊維の原料は沸水処理済ナイロン 66 である。

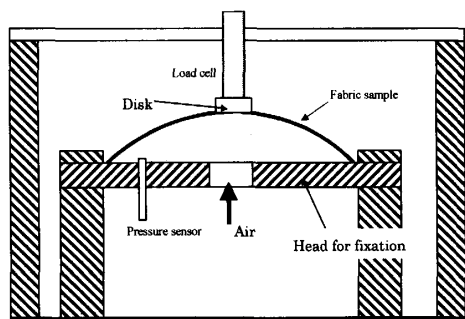
3. 実験結果および考察

3.1 織物の高速展開による衝撃力 周囲を固定した織物を圧縮した空気によって膨らませ、その衝撃荷重を 2.1 節で提案した装置で測定する。図 2 と図 4 はその結果の一例である。

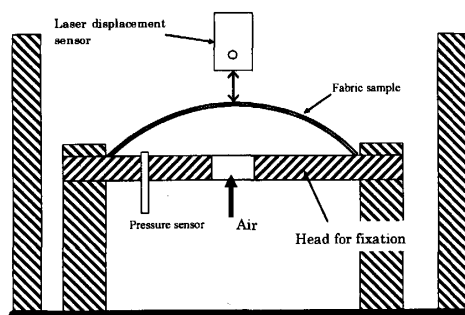
図 2(a) はエアタンクの圧力が 0.3 MPa を設定した際、測定したエアバッグ内圧力変化 (Pre.)、布中心部の変位 (Dis.) と時間の関係である。図 2(b) は図 2(a) の曲線の立上り部分の拡大図である。サンプルは N 4256 で、2 回実験 (No. 132 と No. 133) で得られたデータがほぼ重なり、ばらつきが少ないことがわかった。電磁弁が ON になって、布が速やかに展開した。図 2 に示したように、エアバッグのサイズは実車に搭載したものと異なるが、膨らみ大きさとエアバツ

Table 1 Physical characteristics of airbag fabric samples

Type No.	Material	dtex/Filaments	Ends and Picks/inch	Weave
N4256	Nylon 66	470/72	55.0×55.0	Plain
N3562	Nylon 66	350/73	63.5×60.5	Plain



(a)



(b)

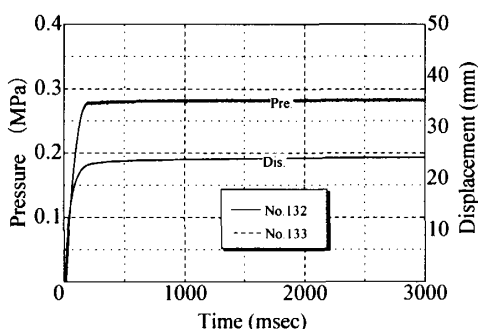
Fig. 1 Experimental Apparatus for measuring impact forces and displacement when an air bag is inflating at high speed

グとの比例を考慮して、その展開時間は Keshavaraj⁽²⁾ が報告しているエアバッグが膨らみ、人間の体と衝突する時間と同じくらいである。

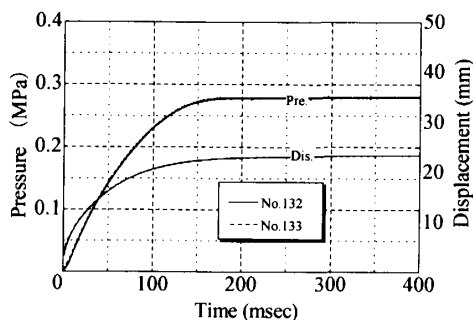
図2の織物中心部の変位曲線で300~400 msの値を平均して最大変位とし、織物内で測定した圧力曲線で300~400 msの値を平均して圧力値とする。図3は圧力を変化させたときの織物中心部の最大変位と圧力の関係である。圧力を高くすると、織物中心部の最大変位は大きくなる。

図4(a)は荷重センサディスクの直径が30 mmで、荷重センサディスクと固定用ヘッドの垂直距離が $h=$

15.8 mm とした際、荷重センサディスクにかかる衝撃力、エアバッグ内圧力変化と時間の関係である。左軸は測定した織物内の空気圧で、右軸は測定した衝撃力である。布が展開してからしばらく経つと、荷重センサディスクに衝突する。2回の実験で得られたデータがほぼ重なり、ばらつきが少ないことを示している。図4(b)は図4(a)の曲線の立上り部分の拡大図である。図4に示したように、エアバッグがディスクに完全接触しているところ(150 ms)の荷重センサにかかる力は、400 ms 後と比べて小さいことがわかった。これは一般的な材料の衝撃と違って、織物が高速



(a)



(b)

Fig. 2 Time dependence of pressure and displacement when an air bag is inflating at high speed (sample: N 4256)

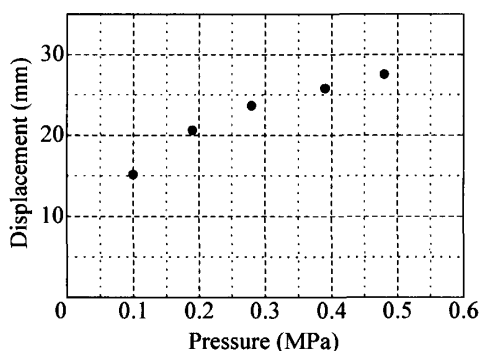
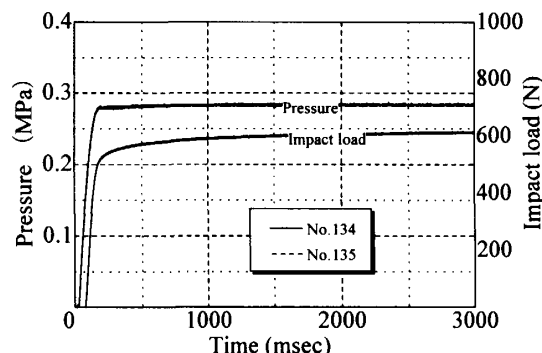
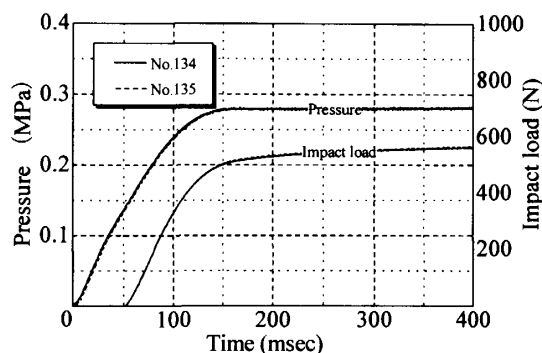


Fig. 3 Relationship between pressure of air and displacement of center point for fabric (sample: N 4256)



(a)



(b)

Fig. 4 Time dependence of pressure and impact load when an air bag is inflating at high speed (sample: N 4256, $h=15.8$ mm)

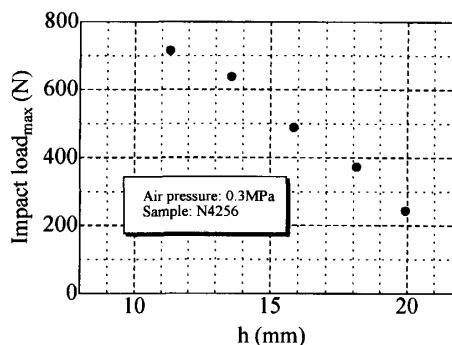


Fig. 5 Relationship between h and maximum impact load (sample: N 4256, air pressure: 0.3 MPa)

膨張する際の衝撃荷重は静的荷重より小さい。また図4に示したように荷重センサにかかる力はディスクに接触してからだんだん大きくなり、約200 ms以後では変化が小さくなる。

図4の衝撃力曲線で、300~400 msの値を平均して最大衝撃荷重とする。図5は荷重センサディスクと固定用ヘッドの垂直距離を変化させたときの、最大衝撃荷重と織物内の空気圧との関係である。ただし、エアタンクの圧力は0.3 MPaに設定した。最大衝撃荷重は、荷重センサディスクと固定用ヘッドの垂直距離が小さいほど大きくなるのがわかった。

3.2 ディスクの押し込み比(*i*) 最大衝撃荷重は織物内の空気圧、荷重センサディスクと固定用ヘッドとの垂直距離に関係している。ここで、荷重センサ

ディスクと固定用ヘッドとの垂直距離(*h*)を次のように無次元化する。

図6に示したように、ディスクの押し込み比(Indenting ratio, *i*)は

$$i = (L - h) / L \dots\dots\dots (1)$$

とする。ただし、*L*は同じ圧力を設定するとき荷重センサディスクがなかった際の織物中央点における最大変位である。図2の布中心部の変位と時間の曲線で、300~400 msの変位値を平均して最大変位(*L*)とする。

図7はディスクの押し込み比(*i*)と最大衝撃荷重の一例である。エアタンクの圧力は0.3 MPaと0.5 MPaに設定した。サンプルはN 4256で、3回実験の平均値である。図7に示したように、ディスクの押し込み比が大きくなるに従って最大衝撃荷重が大きくなり、ほぼ線形な関係を示している。また、織物内の空気圧を大きくすると最大衝撃荷重も大きくなるが、両直線の傾斜は違う。

図8は織物内の空気圧と最大衝撃荷重との関係である。サンプルはN 4256で、3回実験の平均値である。ディスクの押し込み比を0.3と0.5に設定した。ディスクの押し込み比を一定とする際、最大衝撃荷重は織物内の空気圧が大きいほど大きくなる。ディス

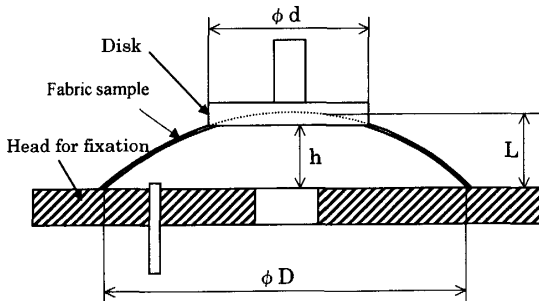


Fig. 6 The contact point of fabric with disk

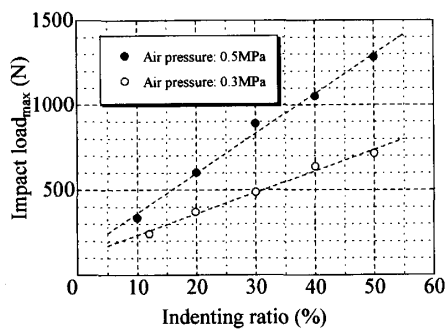


Fig. 7 Relationship between indenting ratio (*i*) and maximum impact load (sample: N 4256)

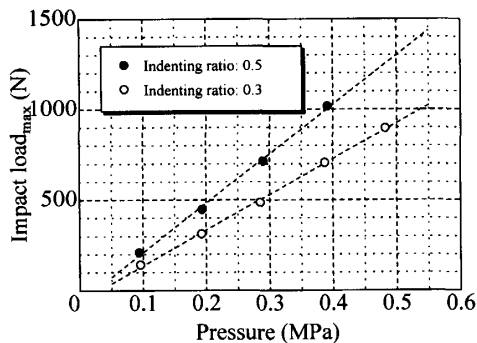


Fig. 8 Relationship between air pressure and maximum impact load (sample: N 4256)

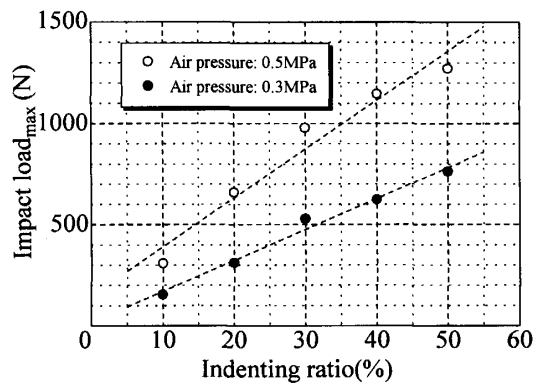


Fig. 9 Relationship between indenting ratio (*i*) and maximum impact load (sample: N 3562)

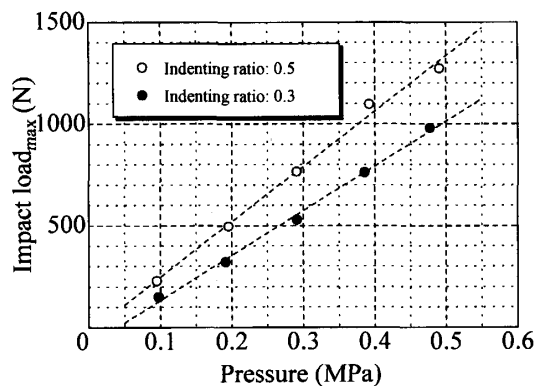


Fig. 10 Relationship between air pressure and maximum impact load (sample: N 3562)

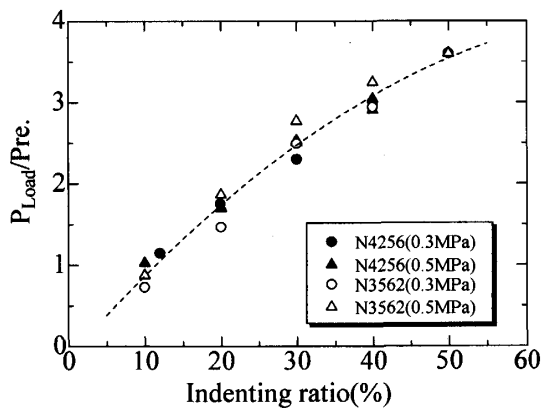


Fig. 11 Relationship between indenting ratio (i) and pressure ratio ($P_{Load}/Pre.$) (all sample)

クの押し込み比が大きくなると、直線の傾きが大きくなる。

図9はサンプル N 3562 のディスクの押し込み比(i)と最大衝撃荷重との関係である。図10はサンプル N 3562 の織物内の空気圧力と最大衝撃荷重との関係である。グラフの形状は N 4256 と似て、織物内の空気圧力を大きくすると最大衝撃荷重は大きくなるが、その最大衝撃荷重の大きさと直線の傾きが違っている。

そして、3・2節での荷重センサにかかる力は、織物内の空気圧力がほぼ一定であるにもかかわらず大きくなっていくことも、押し込み比の変化によるものである。すなわち、高分子材料の織物の特有な粘弾性特性により、織物内の空気圧力が一定でも、図2の織物中央点における変位曲線(180 ms 以後)に示したように、変位がだんだん大きくなっていく。一定な圧力を受けた織物が伸張し、少しずつ膨らんでいく。荷重センサディスクと固定用ヘッドとの垂直距離(h)を一定とすると、ディスクの押し込み比(i)が大きくなるので、荷重センサにかかる力が大きくなる。すなわち、織物が高速膨張する際の衝撃荷重は静的荷重より小さいことがわかった。

3・3 圧力比($P_{Load}/Pre.$)とディスクの押し込み比(i)の関係 最大衝撃荷重($Impact\ load_{max}$)は次のように無次元化することができる。

$$P_{Load}/Pre. = Impact\ load_{max} / (A \times Pressure) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 $P_{Load}/Pre.$ は圧力比、 A は荷重センサディスクの面積、 $Pressure$ は織物内の空気圧力である。

図7~10の最大衝撃荷重を式(2)の圧力比に無次元化してまとめると、図11になる。

図11に示したように、織物内の空気圧力、荷重センサディスクと固定用ヘッドとの垂直距離および織物の

種類に関係なく、ほぼ1本の曲線で表すことができる。この曲線より、荷重センサディスクにかかる最大衝撃荷重を予測できることがわかった。

4. ま と め

エアバッグの膨張による人間の体への衝撃に関する基礎データを収集するために、いろいろな条件での布の高速展開による衝撃力を測定できる装置を考案し、試作した。2種類のエアバッグ用の織物を用いて、織物内の空気圧力などいろいろな条件を変化させ、衝撃力への影響を調べた。

(1) 織物を圧縮空気で高速膨張する際、織物内の圧力を高くすると、織物中心部の最大変位は大きくなる。また織物内の圧力、荷重センサディスクと固定用ヘッドとの垂直距離と織物の種類などが衝撃荷重に影響する。

(2) 一般的な材料の衝撃荷重と違って、織物の粘弾性により、織物が高速膨張する際の衝撃荷重は静的荷重より小さい。

(3) 最大衝撃荷重は織物内の空気圧力で無次元化し、荷重センサディスクと固定用ヘッドとの垂直距離を織物中心部の最大変位で無次元化すると、両者の関係は織物内の空気圧力、荷重センサディスクと固定用ヘッドとの垂直距離と織物の種類などに関係なく、ほぼ1本の曲線でまとめることができ、最大衝撃荷重への予測が可能である。

本研究で協力をいただいた豊田紡織(株)にお礼を申し上げる。

本研究は文部科学省科学研究費補助金(COE形成基礎研究費; 10 CE 2003)と [(C)(2)11555070-00] の補助を受けて行った。

文 献

- (1) Simamura, M. et al., Injuries of car drivers depending on with or without Srs airbag In-depth accident study, *Spring meeting of the Society of Automotive Engineers of Japan*, 20005270 (2000).
- (2) Keshavaraj, R. et al., *J. Text. Inst.*, Vol. 87, Part 1, No. 3 (1996), pp. 554-571.
- (3) Wang, X. et al., *Textile Res. J.* 76, 1, 66-70 (2006).
- (4) Bao, L. et al., *Proceedings of the Hokuriku-shinetsu Branch Regular Meeting of the Japan Society of Mechanical Engineers*, (2001-3), pp. 381-382.
- (5) Bao, L. et al., *Proceedings of the Hokuriku-shinetsu Branch Regular Meeting of the Japan Society of Mechanical Engineers*, (2002-3), pp. 167-168.
- (6) Seo, K., *Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers*, Vol. 102, No. 926 (1999), pp. 35-38.
- (7) Sugawara, T., *Function materials*, Vol. 17, No. 3 (1997), pp. 38-44.