

109 ゴムチップ成形体の衝撃特性と構成方程式

Impact Characteristics and Constitutive Equation of Recycled Rubber-chip Boards

○上村 義彰 (室蘭工大院)
藤木 裕行 (室蘭工大)

臺丸谷 政志 (室蘭工大)
塩崎 修 (室蘭工大)

Yoshiaki UEMURA, Masashi DAIMARUYA, Hiroyuki FUJIKI, Osamu SHIOZAKI, Muroran Inst. of Tech.

1. 緒言

2004年度の車輛廃タイヤの発生量は、タイヤ本数で1億300万本、重量で104万3千トンとなっている⁽¹⁾。廃タイヤのリサイクル率は、約90%を占めているが、その半分以上が熱利用であり、マテリアルリサイクルに分類される廃タイヤの再利用は全体の10%程度でしかない。廃タイヤを粒状に粉碎して作られたゴムチップ材と固結用バインダーとを攪拌混合成形したゴムチップ成形体を用いて、ガードレール支持端クッションポストや車道設置クッションドラム等の衝撃緩和特性を生かした新製品の開発が進められている。しかし、ゴムチップ成形体のような材料や製品の衝撃緩和特性評価に関しては、評価法が確立されておらず、基礎的資料もないのが現状である。そこで本研究では、ゴムチップ成形体に関して、スプリット・ホプキンソン棒法による衝撃試験を実施し、衝撃変形特性の検討を行った。

2. ゴムチップ成形体

ゴムチップ成形体を試作して静的および動的な機械的特性を調べた。廃タイヤから作られたゴムチップ材(メッシュ1~3)とウレタンバインダー(熱プレス用ラバスターH6V-18A)とを100:10の重量混合比で攪拌混合成形したゴムチップ成形体から円板試験片を作成した。3種類の厚さのゴムチップ板から、それぞれ直径40mmの円板に切出した。ゴムチップ板は、部位によって多少密度のばらつきが見られたので、任意の数箇所から試験片を採取した。

各ゴムチップ板から採取した試験片について、万能材料試験機(INSTRON 5586)を使用して静的圧縮試験を行い、それぞれの試験片の応力-ひずみ曲線を求めた。なお、試験片の板厚は、10, 20, 30mmの3種類で、以降T10, T20, T30試験片とする。各試験片ともに質量密度 ρ は約900kg/m³で、縦弾性係数 E はひずみが約10%における平均値で、3.2~4.2MPaであった。静的応力-ひずみ曲線をFig. 1に示す。

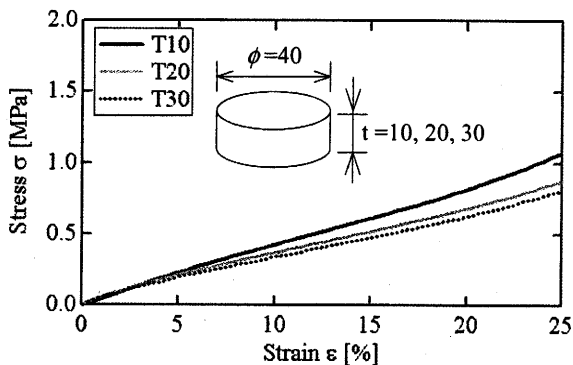


Fig. 1 Stress and strain curves for rubber-chip board with different thickness in static compression test.

3. 衝撃圧縮試験

3.1 落錘式衝撃試験装置 本研究で使用した落錘型のスプリット・ホプキンソン棒法(SHB)試験装置の寸法と概観をFig. 2に示す⁽²⁾。ここで、ゴムチップ成形体の低強度・大変形特性を考慮して、入・出力伝達棒との機械的インピーダンス差を低減し、かつ長い衝撃持続時間を実現するために、衝撃棒、入・出力伝達棒とともに、直径45mm、長さ2000mmのPMMA製丸棒を使用した⁽³⁾。入力伝達棒には試験片との接触面から1000mmにGage 0、450mmの位置にGage 1、出力伝達棒には同様に450mmの位置にGage 2の線ひずみゲージをそれぞれ軸対称に2枚ずつ貼付して応力波の伝播挙動を測定しスプリット・ホプキンソン棒法の理論に基づいて、応力、ひずみ、ひずみ速度を算定した。

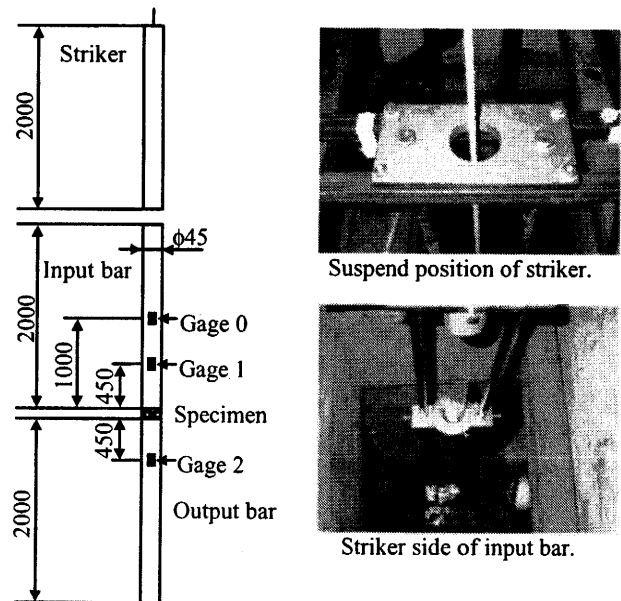


Fig. 2 Setup of split Hopkinson bar.

3.2 PMMA丸棒の波動特性 本試験装置に用いた入・出力伝達PMMA丸棒の波動伝播特性を調べるための実験を先ず行った。衝撃棒と入力伝達棒の衝突試験によって得られたGage 0, Gage 1における応力波形をFig. 3に示す。ゲージ間の距離、所要伝播時間を知ることで、応力波伝播速度が調べられる。PMMA丸棒中の応力波の伝播速度は、 $c_0 = 2200\text{m/s}$ と求められた。また、質量密度との関係より、入・出力伝達棒の縦弾性係数 $E = 5.12\text{GPa}$ と算定された。なお、入・出力PMMA棒の材料特性に基づく波動分散が認められ、Gage 0とGage 1の間(550mm)で約4%の減衰があった。試験片の応力算定には、この減衰率を考慮した。

3.3 SHB 衝撃圧縮試験と測定結果 3種類のゴムチップ成形体試験片についてSHB 衝撃試験を行った。衝撃棒の落下高さ($h=0.2\sim 3.2\text{m}$)を変えることにより、数種類の入射応力で試

験を行った。試験片 T10 に関して、衝撃棒の落下高さ 1.4m(衝撃速度 5.2m/s)の場合の入・出力伝達棒から測定された応力波形の一例を Fig. 4 に示す。測定時間が 1800~3000 μ s で Gage 1 と Gage 2 の波形が近接しており、試験片両端面で力が釣り合っていることがわかる。

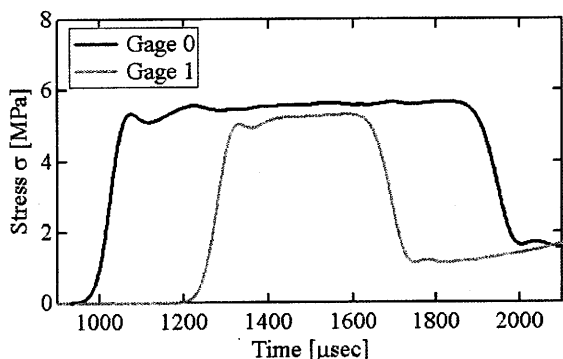


Fig. 3. Stress responses at gage location 0 and 1.

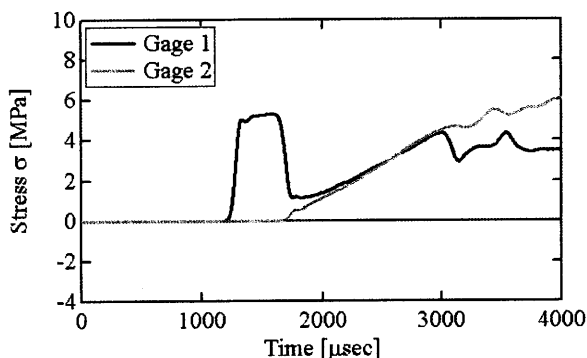


Fig. 4. Variation of stress with time measured on SHB.

4. ひずみ速度依存性

Fig. 5 に衝撃試験結果より得られた試験片 T20 の応力-ひずみ曲線を示す。ひずみ速度が高くなるに従って、各ひずみ量に対する応力値が大きくなることわかる。また、静的応力($\dot{\epsilon}=10^{-3}s^{-1}$)に比べ、動的応力($\dot{\epsilon}=260s^{-1}$)はひずみ 10% において 2.7 倍となっている。ゴムチップ成形体の応力とひずみの関係はひずみ速度に大きく依存することがわかる。

Fig. 6 に、試験片 T20 についての試験結果より算出された、各ひずみ量に対する応力-ひずみ速度の関係を示す。ひずみ速度 $10^{-1}s^{-1}$ までの範囲では、ほぼ同一の応力値を示しているが、ひずみ速度 $10^2\sim 10^3s^{-1}$ の範囲では、ひずみ速度の増加に伴い、応力値が著しく増加しており、大きなひずみ速度依存性を示すことがわかる。

Fig. 6 の実験値を結ぶ回帰線は、Malvern 型の構成式を基に考え、次式で近似した。

$$\sigma = \sigma_s + R\dot{\epsilon}^n$$

ここで、 σ_s は静的応力、 R はひずみ速度依存を示す係数、 $\dot{\epsilon}$ はひずみ速度、 n は定数。一定ひずみに対して得られた応力-ひずみ速度の関係の実験値から最小二乗法を用い $n=0.50$ として、 R を算定した。 R は、ひずみの増加に伴い変化しており、次式で近似した。

$$R = C\epsilon^m$$

ここで、 C 、 m は定数で、 $C=0.12$ 、 $m=0.53$ とした。 R と ϵ の関係を Fig. 7 に示す。ここで近似した構成方程式の妥当性およびそれをを用いた数値解析について現在検討中である。

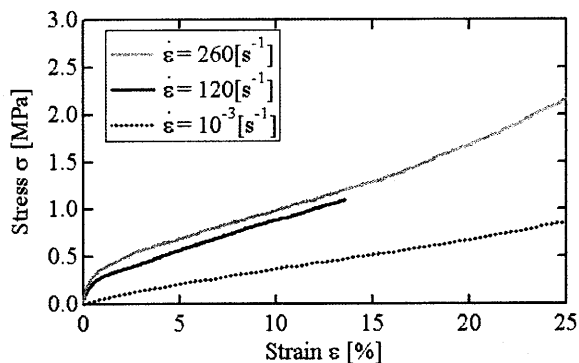


Fig. 5. Stress and strain curves for T20 specimen in dynamic compression test.

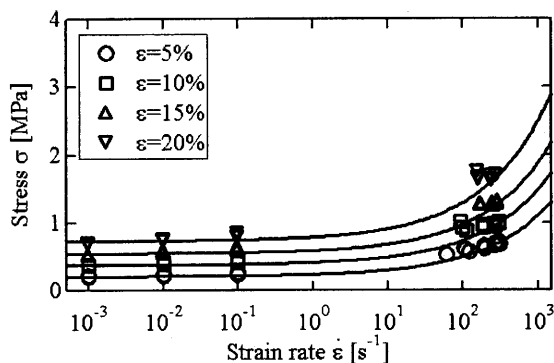


Fig. 6. Relation between stress and strain rate for each strain.

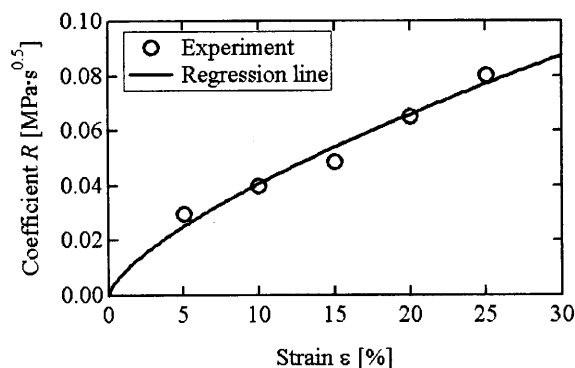


Fig. 7. Relation of coefficient R and strain ϵ .

5. 結 言

本研究では、ゴムチップ成形体の衝撃変形挙動を調べるため、スプリット・ホプキンソン棒法試験装置を用いて衝撃圧縮試験を行った。ひずみ速度 $10^{-1}s^{-1}$ までの範囲では、大きなひずみ速度効果は見られないが、ひずみ速度 $10^2\sim 10^3s^{-1}$ の範囲では、ひずみ速度の増加に伴い、応力値が著しく増加し、ひずみ速度効果が大きい結果が得られた。この結果に基づき、ひずみ速度を含む形式でゴムチップ成形体の構成式を表示した。

参 考 文 献

- (1)株式会社ブリヂストン:社会・環境報告書 2005
- (2)臺丸谷, 小林, 上村:リサイクル・ゴムチップ成形体の衝撃特性, M&M2003 材料力学部門講演会講演論文集(2003), pp.95-96
- (3)上村, 臺丸谷, 藤木, 小林, 塩崎:ゴムチップ成形体の衝撃変形とひずみ速度効果, 日本機械学会 2004 年度年次大会講演論文集 Vol.1 (2004), pp.217-218