

高速衝突まで対応した軽乗用車前面のエネルギー吸収特性

High Speed Frontal Crash Energy Absorption Characteristics of Mini Passenger Cars

福山 慶介*1
Keisuke FUKUYAMA

三上 耕司*2
Koji MIKAMI

鮎川 佳弘*2
Yoshihiro SUKEGAWA

山口 伊織*2
Iori YAMAGUCHI

1. はじめに

交通事故時の速度鑑定手法のひとつとして、運動量保存則とエネルギー保存則を連立して速度推定する方法がある。この手法では、エネルギー吸収分布図を用いて車両の永久変形量から変形に消費されるエネルギーを算出する。これまでに剛体壁へのフルラップ前面衝突試験により、様々な前面エネルギー吸収分布図が報告されている^{1)~3)}。高速衝突における軽乗用車のエネルギー吸収分布図については、1998年にMogamiらにより提案⁴⁾されているが、高速域と低速域でエネルギー吸収分布図を使い分ける必要があり、速度域の判断が非常に難しい部分があった。また、軽乗用車の規格が変更となる以前の車両であるため、現在の車体剛性とは異なると考えられる。他方、2007年に大賀らにより、現在の軽乗用車規格に対応したエネルギー吸収分布図は提案されたが⁵⁾（以下、「エネルギー吸収分布図(2007)」）、55 km/h（中速度）で剛体壁へ衝突させた実験データを元に作成されたものであり、高速衝突まででは対応していない状況にあった。

以上の背景から、本稿では、軽乗用車において高速衝突で車体変形が大きい場合でも対応可能なエネルギー吸収分布図を提案するために、軽乗用車の高速衝突試験を実施し、軽乗用車のエネルギー吸収分布図を検討した結果について報告する。

2. 実験方法および実験条件

本検討では、高速衝突での軽乗用車前面の特性を把握するために、Fig. 1に示す衝突実験を行った。

実験条件については、Table 1に示す条件である。車両タイプは、フロントエンジン・フロント

ドライブ方式（FF車）の軽乗用車で排気量が660 cc、車両質量が約800 kgのボンネット型車両を使用した。車両の衝突速度は80 km/hと100 km/hの2つのパターン（TEST1・TEST2）で実施した。なお、乗員ダミーは搭載無しとした。

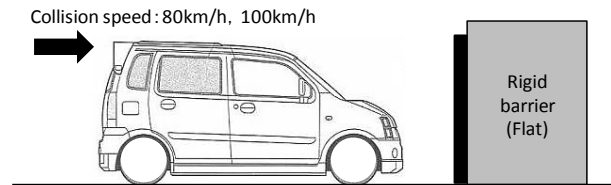


Fig. 1 Test method

Table 1 Test condition

Test No.	TEST1	TEST2	
Barrier	Rigid barrier (Flat)		
Vehicle	Category		
	Mini passenger		
	Drive system		
	Front engine & Front wheel drive		
	Displacement [cc]		
	660		
Shape			
Bonnet type			
Mass [kg]		809	800
Dummy		No dummy	
Collision speed [km/h]		80	100

3. 実験結果

実験前後の三次元寸法測定から得られた車体の永久変形量をFig. 2に示す。なお、この計測での永久変形量としては、バンパ地上高での変形量を測定している。

寸法測定の結果、80 km/h衝突（TEST1）の永久変形量は0.60 m、100 km/h衝突（TEST2）の永久変形量は0.83 mであった。なお、80 km/h衝突の場合はフロントピラー（Aピラー）手前までの変形であったが、100 km/h衝突の場合ではAピラー周辺まで変形が生じており、車室内でも変形が計器板周りやフロアにまで達していた。

*1 一般財団法人 日本自動車研究所 安全研究部 博士(工学)

*2 一般財団法人 日本自動車研究所 安全研究部

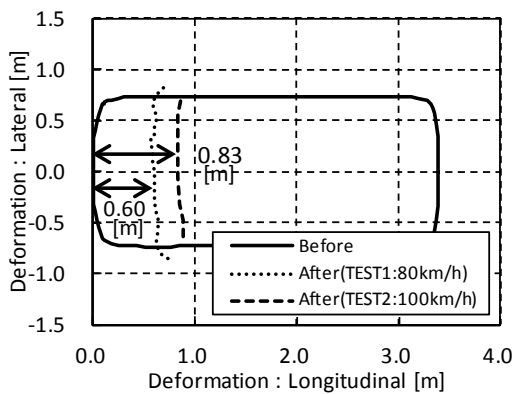


Fig. 2 Permanent deformation of the vehicles

4. 車体のエネルギー吸収と永久変形量の関係

従来、車体のエネルギー吸収特性を求める際にはバリア荷重と画像解析から求められる車体変形量から車体のエネルギー吸収特性を算出する。しかし高速衝突においては、車体後輪が上方に持ちあがる等の挙動により、正確に吸収エネルギーと車体変形量の関係を算出することは困難な場合がある。著者らによる高速域まで対応した小型乗用車のエネルギー吸収特性の報告⁶⁾では、衝突直前の車体の運動エネルギーと永久変形量の関係を用いて「エネルギー吸収分布図(2007)」⁵⁾にある小型乗用車のエネルギー吸収を1.4 mの永久変形量まで延長した結果を報告した(文献⁶⁾参照)。今回の軽乗用車に対しても同様の方法を用いることとした。

Fig. 3に、「エネルギー吸収分布図(2007)」⁵⁾にある軽乗用車のエネルギー吸収と今回実施した2実験のデータを用いて軽乗用車のエネルギー吸収特性を二次曲線で近似した近似曲線(原点を通過)を示す。

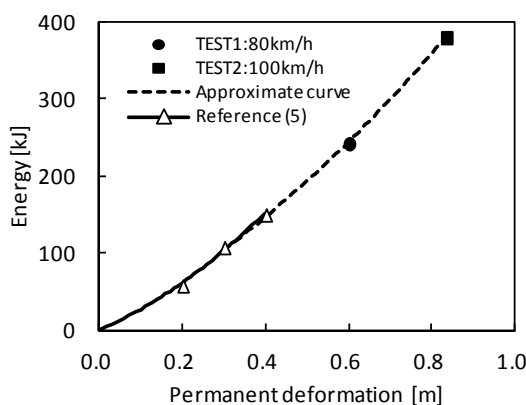


Fig. 3 Approximate curve by 80, 100 km/h

す。今回の実験結果から求めた近似曲線は、0.4 mまでは「エネルギー吸収分布図(2007)」⁵⁾の同一曲線上にあり、低速域から高速域までをひとつのエネルギー吸収特性で示せると考えられる。この近似曲線の結果を利用して、エネルギー吸収分布図を作成する。

5. 高速衝突に対応したエネルギー吸収分布図

「エネルギー吸収分布図(2007)」⁵⁾のデータ、およびFig. 3を基に作成した軽乗用車(排気量660 cc, FF車)前面のエネルギー吸収分布図をFig. 4に示す。

Permanent deformation (m)	Left		Front Center				Right	
	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
0.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
0.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
0.4	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
0.5	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
0.6	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
0.7	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
0.8	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4

Fig. 4 Energy absorption diagram

同図の作成にあたっては、永久変形量0.4 mまでは、Fig. 3の「エネルギー吸収分布図(2007)」⁵⁾のデータを参照している。なお、「エネルギー吸収分布図(2007)」⁵⁾のエネルギー吸収分布図では変形量0.4 mまでの車幅方向の分割数は16分割となっていたが、取り扱いを簡便にするために、変形量0.4 m以上と同様に8分割とし、エネルギーも8等分とした。

永久変形量0.4 m以上については、近似曲線を用いて永久変形量0.1 m毎に吸収エネルギーを算出し、これを車幅方向に8等分することで、分布図の数値を算出した。作成したエネルギー吸収分布図は、フルラップ衝突で100 km/h相当まで対応する分布図であり、永久変形量が最大で0.8 mまで対応したものとなる。

このエネルギー吸収分布図を用いて、軽乗用車の前面衝突における低中速衝突から高速衝突までの車体の吸収エネルギーを1つのエネルギー吸収分布図で求めることができる。実際にこのエネルギー吸収分布図を用いて、事故車両の吸収エネルギー(E)を求めるための方法は以下の通りである。

- ① 車両の変形した部分に相当する分布図の数値の総和 (E') を求める.
- ② 式(1)に E' と車両質量 kg を代入する.

$$E = E' \times \text{車両質量} [kg] / 1000 [kg] \dots (1)$$

7. 実際の車両相互事故への適用

エネルギー吸収分布図は実際の車両相互事故に使用されることから、その精度を検証するため、軽自動車において変形量が多い場合の車両相互の実験結果に適用して、精度の確認を行った。

Fig. 5に衝突形態をTable 2に実験条件を示す。本実験では、A車とB車を走行速度50 km/hで出合頭衝突させた。なお、A車とB車の衝突角度は、B車をA車進行方向に対して左側に30° 傾かせている。車両のタイプはA車は普通乗用車（フロントエンジン・リアドライブ：FR）であり、B車は軽乗用車（フロントエンジン・フロントドライブ：FF）である。

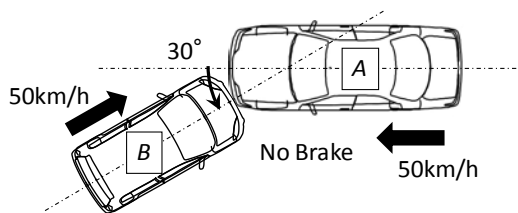


Fig. 5 Test configuration

Table 2 Test vehicle

	A	B
Category	Passenger	Mini passenger
Drive system	Front engine & Rear wheel drive	Front engine & Front wheel drive
Displacement [cc]	2000	660
Shape	Bonnet type	
Mass [kg]	1442	977
Dummy	2bodies	
Collision speed [km/h]	50	

Fig. 6は衝突後の現場状況および車両の損傷状況を示したものである。衝突後の車両は、衝突地点から少し離れた場所で停止していた。

Fig. 7は衝突後のB車（軽乗用車）の永久変形量を示したものである。B車の車両前部では、最大で0.45 mの永久変形量が生じていた。「エネルギー

吸収分布図(2007)」⁵⁾では永久変形量が0.4 mまでのエネルギー吸収分布図であり、適用が難しい。このため、新たに作成した軽乗用車のエネルギー吸収分布図を用いた。なお、A車（普通乗用車）については文献⁶⁾にあるボンネット車（FR）のエネルギー吸収分布図を用いた。

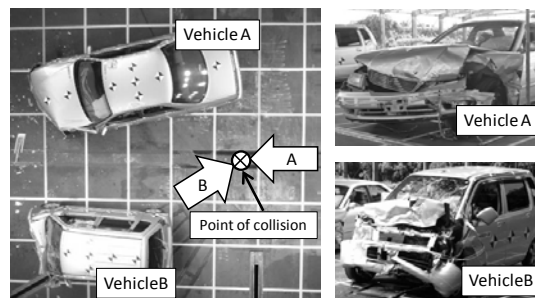


Fig. 6 Situation after collision

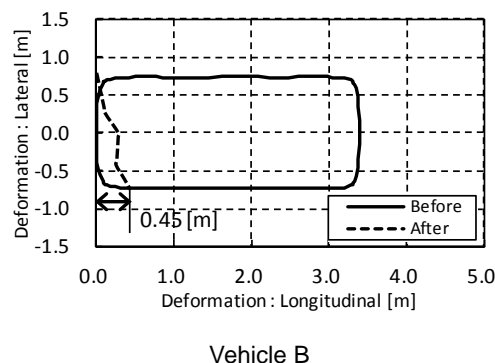


Fig. 7 Permanent deformation of the vehicle

Table 3はFig. 7の変形量を基に衝突後のエネルギー吸収量とバリア換算速度を求めたものである。計算の結果、A車（普通乗用車）は115 kJ、B車（軽乗用車）は75 kJのエネルギー吸収があったと推定され、バリア換算速度では、A車・B車ともに45 km/h前後と算出された。

Table 3 Energy and Equivalent Barrier Speed

	Test vehicle	
	A	B
Energy absorption [kJ] ($E_{barrierA}, E_{barrierB}$)	115.6	75.4
Equivalent barrier speed [km/h] ($V_{barrierA}, V_{barrierB}$)	45.7	44.7

この他に、タイヤ痕跡と車両の変形状況より、衝突直後の速度や衝突直後の角度を推定し、Table 4の結果を得た。

算出方法については、式(2)に示す運動量保存則と式(3)に示すエネルギー保存則の連立方程式にTable 4の値を代入することにより両車の衝突速度を求めることができる。

■ 運動量保存則 (X軸方向)

$$m_A u_A \cos \beta_A + m_B u_B \cos \beta_B = m_A V_A \cos \alpha_A + m_B V_B \cos \alpha_B \quad \dots (2)$$

■ エネルギー保存則

$$\frac{1}{2} m_A u_A^2 + \frac{1}{2} m_B u_B^2 = E_{barrierA} + E_{barrierB} + \frac{1}{2} m_A V_A^2 + \frac{1}{2} m_B V_B^2 \quad \dots (3)$$

- m_A, m_B : A車とB車の質量[kg]
- u_A, u_B : 衝突速度[m/s]
- $E_{barrierA}, E_{barrierB}$: エネルギー吸収量[J]
- V_A, V_B : 衝突直後の速度[m/s]
- β_A, β_B : 衝突角度[deg]
- α_A, α_B : 衝突直後の角度[deg]

Table 4 Basic data obtained from the field

	Symbol	Test vehicle	
		A	B
Mass [kg]	m_A, m_B	1442	977
Collision angle [deg]	β_A, β_B	0	210
Angle after collision [deg]	α_A, α_B	306	30
Velocity after collision [km/h]	V_A, V_B	19.4	14.4

衝突速度 u_A と u_B を算出した結果と実測した衝突速度をTable 5に示す。連立方程式から算出されたA車の衝突速度 u_A は48.6 km/hとなった。また、B車の衝突速度 u_B は49.0 km/hとなった。実計測していた衝突速度と比較するとA車は-5.1%でB車は-4.3%の差であった。B車の軽乗用車は5%以下の速度誤差であり、作成したエネルギー吸収分布図が速度の推定に有効であることが実証された。

Table 5 Collision speed

	Test vehicle	
	A	B
Calucurate : Collision speed [km/h]	48.6	49.0
Experiment : Collision speed [km/h]	51.2	51.2
Difference of speed [%]	-5.1	-4.3

7. まとめ

本検討より得られた成果は以下のとおりである。

- 1) 軽乗用車を平均化した特性「エネルギー吸収分布図(2007)」⁵⁾と実施した2実験の近似曲線(運動エネルギーと永久変形量の関係)は、0.4mまでは同一曲線上にある。
- 2) 変形量0.4 mまでを従来のエネルギー吸収特性を用い、変形量0.4 m~0.8 mのエネルギー吸収特性については今回の実験から得られた近似曲線を基に高速衝突まで対応した軽乗用車のエネルギー吸収分布図を作成した。
- 3) 作成したエネルギー吸収分布図を用いて実際の車両同士の衝突に適用し、衝突速度算出の際に有効であることが実証された。

今後は、小型・軽乗用車以外の車種についても、高速度のフルラップ前面衝突実験データを蓄積することにより、高速衝突までに対応したエネルギー吸収分布図を作成していきたい。

参考文献

- 1) Kenneth L. Campbell : Energy Basis for Collision Severity. SAE paper No.740565
- 2) 松川不二夫, 石川博敏 : 事故解析における固定壁換算速度推定の一手法について, 自動車研究 第2巻第1号 No.80001 (1980)
- 3) 久保田正美, 国分善晴 : 前面形状別の車体エネルギー吸収特性. 自動車研究 第17巻第2号No.95003 (1995)
- 4) Mogami, K. et al. : Frontal Crash Characteristics of Compact Car at High Speed Collision. SAE paper No.980553
- 5) 大賀涼ほか : 自動車アセスメントの試験データを用いた変形エネルギー吸収分布図の作製. 社団法人自動車技術会学術講演会前刷集 No.49-07 No.20075257 (2007)
- 6) 福山慶介ほか : 高速衝突まで対応した小型乗用車前面のエネルギー吸収特性, JARI Research Journal 2015年12月