

# シミュレーションによる歩行者事故の解析

## —SUV 型車両における車両の衝突速度と歩行者の飛翔距離の関係—

### Analysis of Car-Pedestrian Accident Using a Computer Simulation Model

#### —Relation Between Collision Speed of Vehicle and Throw Distance of Pedestrian in SUV Type—

福山 慶介\*1

Keisuke FUKUYAMA

山崎 邦夫\*2

Kunio YAMAZAKI

### 1. はじめに

交通事故解析における走行速度と衝突速度の算出は非常に重要であり、これまでの歩行者事故における車両の走行速度および衝突速度の推定には、路面に印象された制動痕跡を元に推定する方法が使用されてきた。しかしながら、近年の車両はABS(Antilock Brake System)が標準装備されているため、車両の制動痕跡が付き難い傾向にあり、制動痕跡のみにより走行速度および衝突速度を推定するには厳しい場合もある。現在では、ダミーを用いた衝突実験によって車両の衝突速度( $V$ :衝突速度)と歩行者の飛翔距離( $X$ :飛翔距離)の関係( $v = \sqrt{10X}$ )が示されており、制動痕跡が確認出来ない場合には、歩行者の飛翔距離から車両の衝突速度を推定する場合もある。 $v = \sqrt{10X}$ の関係式では車両前面形状がボンネット型のみ限定しており、車両前面形状の違いによる検討は実施されていない。また、実際の事故調査によるデータなどを用いて、歩行者の飛翔距離と車両の衝突速度の関係を示して<sup>2)3)</sup>はいるが、制動レベル・制動タイミングの違いによる歩行者の飛翔距離と衝突速度の関係などは示されていない。これまでに、著者らにより、ボンネット型と1BOX型において、制動レベル・制動タイミングの違いによる検討を実施<sup>4)</sup>しているが、SUV型の検討は行っていない。そこで、本研究では、ボンネット型や1BOX型とは異なるSUV型に焦点を当てた解析を行い、ボンネット型とSUV型の衝突速度と飛翔距離の関係を比較し、更にはSUV型における算出式の適用範囲を明確化した。

### 2. シミュレーションモデル

シミュレーションにはMADYMO剛体解析ソフトウェアのVer7.0の解析ソルバーを使用した。車両および歩行者モデルをFig. 1に示す。

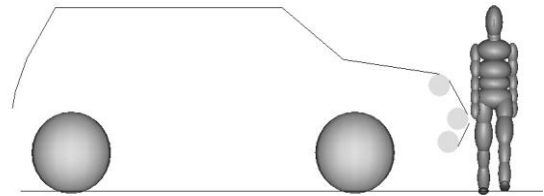


Fig. 1 JARI Pedestrian model and Vehicle model

歩行者モデルには身長が175cm、体重が75kgのAM50%ileのJARI歩行者モデル<sup>6)</sup>を使用した。なお、使用した歩行者モデルの各身体部位の形状は楕円体で形成される。歩行姿勢はJARI歩行者モデルで選択可能な歩行姿勢の中から両足に荷重がかかった姿勢を採用した。

車両モデルでは形状を表現するため、バンパー上下およびボンネット先端には円柱体を適用し、バンパーカバー、フロントグリル、ボンネット、前面窓ガラス、ルーフにはそれぞれ板を適用している。また、それらの剛性には、部位毎に平均的な車両の特性を使用している。

車両の前面形状はIHRA WG 調査<sup>7)</sup>による平均的な形状を参考にSUV型の車両モデルを作成した。また、車両前面の左右方向の歩行者の衝突位置については、車両中央に歩行者が衝突するように設定した。

なお、近年はボンネット・バンパーの変形により衝撃を緩和する衝撃吸収機構を備えた車両が存在するが、本研究のシミュレーションはそのような衝撃吸収機構は加味せず検討を行った。

\*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

### 3. シミュレーション条件

Table1にシミュレーションの条件一覧を示す。歩行者の飛翔距離に及ぼす車両の制動レベルの影響を考察するために、減速度は1.0G, 0.7G, 0.5Gの3パターンを設定した。1.0Gは急制動, 0.5Gは通常より多少高めの制動, 0.7Gはこれらの制動の中間的な制動である。また、制動タイミングの影響、すなわち歩行者の存在に気付かず、制動が遅れる場合も想定し、衝突瞬間から0.0s, 0.5s, 1.0s後に制動を開始する場合についても検討した。衝突速度は10~60km/hの範囲とした。

Table 1 Condition of analysis  
After collision(0~1.0s)

Braking Condition	Braking time [s]	Deceleration [G]	Initial Speed [km/h]	Collision Speed [km/h]	
After Collision	+0.0	0.5	10	10	
			20	20	
			30	30	
			40	40	
			50	50	
			60	60	
		0.7	↑		
		1.0	↑		
		+0.5		↑	
		+1.0		↑	

### 4. 解析結果および検討

#### 4.1 シミュレーションと実験の比較

解析に先立ち、シミュレーションと過去に実施したSUV型の車両による実験データ<sup>8)</sup>との比較を行なった。

Fig. 2は衝突と同時に制動した場合の歩行者の飛翔距離について、実験とシミュレーションを比較した結果である。車両の衝突速度は40km/hの場合である。同図よりシミュレーションと実験との差は7.6%と少ないことから、シミュレーションモデルによる推定が可能であることを確認できた。

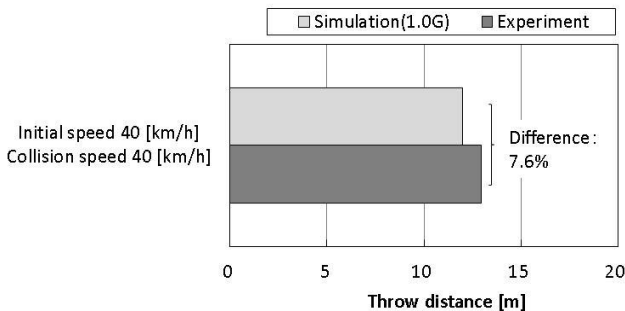


Fig. 2 Throw distance of experiment and simulation

### 4.2 車両前面形状が飛翔距離に及ぼす影響

#### (1) 衝突速度と飛翔距離の関係

Fig. 3は衝突と同時に制動した場合(0.0s)について、制動レベルをパラメータとして車両の衝突速度と歩行者(ダミー)の飛翔距離の関係を示したものである。同図(a)は著者らが過去に実施したボンネット型車両の結果であり、同図(b)は、シミュレーションから得られたSUV型車両による衝突速度と飛翔距離の関係である。これらの図から、(a)のボンネット型の場合には制動レベルが下がると同じ衝突速度でも飛翔距離が大きくなる傾向がある。一方、(b)のSUV型の場合には制動レベルによる差は見られない結果となった。ボンネット型では歩行者の重心位置より低い位置に車両のグリルが接触するため、歩行者のボンネットへの倒れ込みが発生しSUV型よりも歩行者との接触時間が長くなることから、車両の減速度の影響を受け易いと推定される。

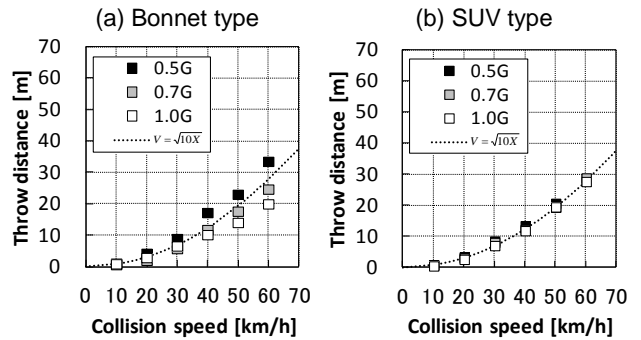


Fig. 3 Influence on throw distance by braking level

#### (2) 飛翔距離による衝突速度の算出方法

Fig. 3(b)のグラフより、衝突と同時に制動した場合(0.0s)のSUV型車両による実際の歩行者事故の解析において、歩行者の飛翔距離から衝突速度を算出する際には制動レベルに関わらず、 $V = \sqrt{10X}$ の関係式が利用可能であると言える。

### 4.3 飛翔距離に及ぼす制動タイミングの影響

#### (1) 衝突速度と飛翔距離の関係

Fig. 4は衝突してから0.5s後に制動した場合であり、左図がボンネット型で右図がSUV型である。同図からボンネット型は、衝突速度が50km/h以上(制動レベルが0.7G以下)では歩行者がルーフを越えるため、衝突速度が増しても飛翔距離

は長くならないが、SUV型車両は衝突速度が増すと二次曲線の関係で飛翔距離が長くなり、 $V = \sqrt{8X}$  の関係となり、制動レベルの影響はSUV型の場合ではみられないことがわかる。また、Fig. 5は衝突後1.0sに制動した場合である。同図から、ボンネット型は、衝突速度が30km/h以下では衝突後0.5sよりも、制動レベルの影響は少ないこと、また衝突速度が増しても飛翔距離が長くない速度は40km/h付近からはじまることわかる。一方で、SUV型の場合にはどの速度域においても $V = \sqrt{6X}$  の関係式で表されることがわかる。

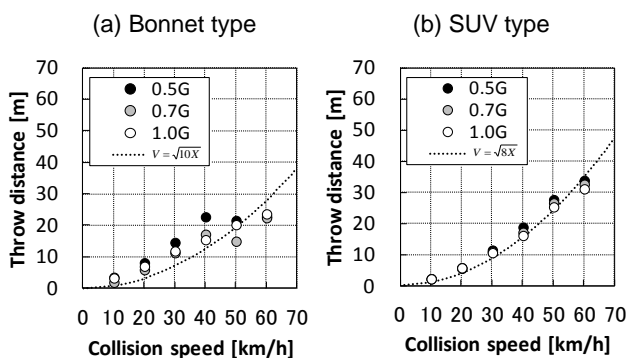


Fig. 4 Influence on throw distance by braking time (+0.5s)

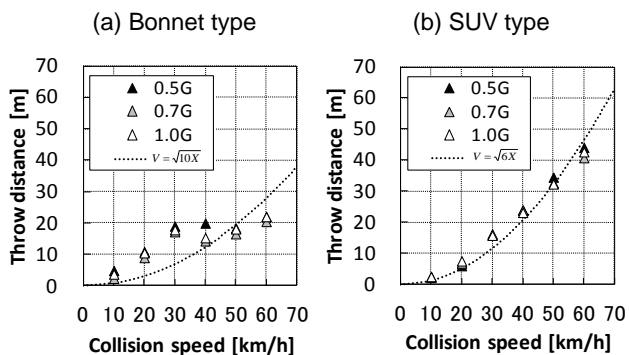
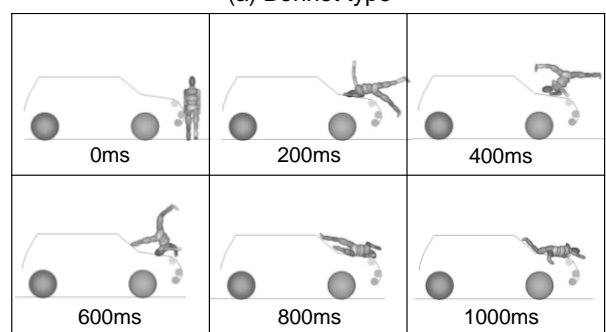
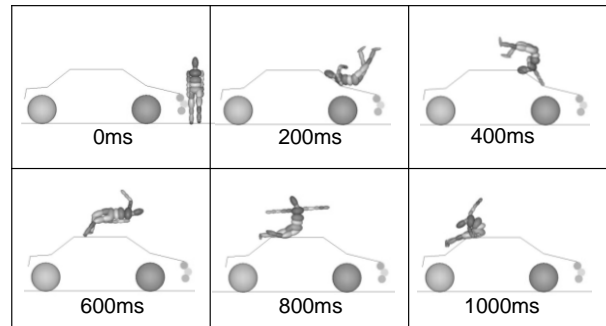


Fig. 5 Influence on throw distance by braking time (+1.0s)

## (2) 歩行者の挙動

Fig. 6は減速度0.5G、制動タイミング1.0sの場合のボンネット型とSUV型における歩行者の挙動である。ボンネット型では歩行者の重心位置より低い位置に車両のグリルが接触するため、歩行者に回転挙動が生じボンネットに倒れ込むが、衝突速度が高くなるにしたがい、ボンネットによる上方へのリバウンドが強くなり、歩行者は車両から離れた状態となることから、車両前方へ投げ出される速度は上昇しなくなる。一方、SUV型では歩行者の重心位置が車両のグリル付近に接触す

るため、歩行者を前方へ押し出す挙動となることから、二次曲線関係を維持しているものと推定される。



(a) Bonnet type

(b) SUV type

Fig. 6 Behavior of pedestrian (0.5G, +1.0s, Simulation)

## (3) 歩行者の飛翔方向

Table2はボンネット型とSUV型において、衝突後に制動を行なった場合の衝突速度と歩行者の飛翔方向を整理した結果である。ボンネット型の同表から、衝突後0.5sで制動を開始した場合には、減速度が0.7G以下で、なおかつ50km/h以上では歩行者は、車両前方ではなく、車両のルーフを越える現象が発生することがわかる。また衝突後1.0sで制動を開始した場合には、制動レベル(減速度)に関わらず、衝突速度が40km/h以上で車両のルーフを越えるため、制動タイミングが飛翔方向に大きく影響を及ぼすことがわかる。一方、SUV型では、衝突後0.5sで制動を開始した場合には、全ての減速度および衝突速度において、前方へ飛翔しており、衝突と同時に制動した場合と同じ現象となっている。しかしながら、衝突後1.0sで制動を開始した場合には、制動レベルに関わらず、衝突速度が20km/h以下では、車両前方ではなく、車両下側(バンパー下端より下側)へ潜り込む現象となっている。

Table 2 Influence on behavior by delayed braking

Vehicle type	Initial Speed [km/h]	Collision Speed [km/h]	Braking time [s]								
			+0.0			+0.5			+1.0		
			Deceleration [G]								
			1.0	0.7	0.5	1.0	0.7	0.5	1.0	0.7	0.5
Bonnet type	10	←	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	20	←	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	30	←	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	40	←	●	●	●	●	●	●	○	○	○
	50	←	●	●	●	●	○	○	○	○	○
	60	←	●	●	●	●	○	○	○	○	○
SUV type	10	←	●	●	●	●	●	●	◎	◎	◎
	20	←	●	●	●	●	●	●	◎	◎	◎
	30	←	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	40	←	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	50	←	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	60	←	●	●	●	●	●	●	●	●	●

●: Foward, ○: Over the roof, ◎: Under vehicle

参考文献

- 1) 対歩行者安全対策研究委員会：自動車の安全性向上に関する研究補助事業報告書(その2)対歩行者安全車の研究, (財)日本自動車研究所, p.60-71, (1972)
- 2) D.Otte : Use of Throw Distances of Pedestrians and Bicyclists as Part of a Scientific Accident Reconstruction Method, SAE Technical Paper, 2004-01-1216, (2004)
- 3) D.Otte : Pedestrian and Cyclist Real World Crash Data, IRCOBI 2012 Preconference Workshop on Pedestrian & Cyclist Impact Mechanisms and Injury Prevention Strategies, pp1-15, (2012)
- 4) 福山慶介ほか：シミュレーションによる歩行者事故の解析 (第1報), 第47回日本交通科学協議会総会・学術講演会, 交通科学研究資料, 第52集, pp.76-78, (2011)
- 5) 福山慶介ほか：シミュレーションによる歩行者事故の解析, 自動車研究, 第33巻, 第9号, pp.5-8, (2011).
- 6) Konosu, A. : Reconstruction Analysis for Car-Pedestrian Accidents Using A Computer Simulation Model, JSAE Review 23, p.357-363, (2002)
- 7) Yoshiyuki Mizuno, et al : Summary of IHRA Pedestrian Safety WG Activities (2005) - Proposed test methods to evaluate pedestrian protection afforded by passenger car, (2005)
- 8) 警察庁受託事業, 交通事故鑑定専科教養, (2002)

5. おわりに

本研究では、事故解析において一般的に使われている実験式の適用範囲を検証するために、シミュレーションモデルを用いて、車両前面形状と制動条件の違いによる歩行者の飛翔距離と車両の衝突速度の関係を検討し、以下の知見が得られた。

- (1) 車両の制動が衝突時あるいは衝突以前である場合、歩行者の飛翔距離から車両の衝突速度を算出する際には、車両形状がSUV型では制動レベルに関わらず  $v = \sqrt{10X}$  の関係式を利用するのが望ましい。
- (2) 一方、SUV型においては制動が衝突後である場合は、制動タイミングによって衝突速度と歩行者の飛翔距離の関係は変化する。制動タイミングが0.5sである場合は  $v = \sqrt{8X}$  , 1.0sである場合には  $v = \sqrt{6X}$  の関係式を利用するのが望ましい。
- (3) SUV型で衝突時に制動する場合には歩行者の飛翔方向は前方方向であるが、制動が衝突後1.0sに開始する場合には、制動レベルに関わらず衝突速度が20km/h以下で、車両下側へ歩行者が潜り込む現象となる。

今後は、高速域の場合および衝突後1.0sより制動タイミングが遅れた場合の歩行者の挙動を実験によって検証する予定である。

最後に、本研究における実験データの一部は警察庁受託事業である「交通事故鑑識官養成委託研修」で行なった結果を使用した。関係各位に謝意を表す。