

## 205-20115595 交通事故再現のための実験・分析\*

藤田 光伸<sup>1)</sup>

## Experiments and Analyses for Traffic Accident Reconstruction

Mitsunobu Fujita

A large number of precedent experiments, including collision tests, and theoretical analyses have been conducted and reported in order to properly reconstruct traffic accidents. Such reports, however, are not always sufficient, because there is a wide diversity of traffic accidents in real worlds. This paper reports several results of experiments and analyses, which have been newly conducted for the purpose of utilizing them in traffic accident reconstruction. This includes those of eccentric pole impact tests, eccentric right-angle impact tests, apparent reduced ratio of slip distance, contact duration and creep speed.

**KEY WORDS: (Standardized) safety, crash test, accident reconstruction (Free) Pole, Side, Contact Duration, Creep [C1]**

## 1. 緒言

交通事故は多種多様な衝突形態が存在し、自動車の車種(重量・構造)も非常に多く存在する。つまり、完全に同一の交通事故(衝突)は存在しないと断言しても過言ではない。よって、交通事故の原因調査および再現を適切に実施するためには、理論的な物理法則およびケーススタディ的な実験結果の双方を活用することが効果的である場合が多い。過去に多くの検討・実験結果が報告されているが、そのような意味では必ずしも十分とはいえない。

本報は、事故再現に活用することを目的として実施した実験および分析の結果を報告する。

## 2. 衝突形態・速度と損傷の関係

株式会社自研センターの衝突バリア実験装置を使用し、ポール衝突実験および側面直角衝突実験を実施した。以下、衝突態様ごとに、衝突条件および結果・考察を示す。

## 2.1. ポール衝突

## 2.1.1. 衝突条件

ポールの中心に対して右フロントサイドメンバ前端部が衝突する偏心ポール衝突実験を実施した。直径 260mm および 360mm の 2 種類のポールバリアを使用し、前者には 20km/h、後者は 20km/h および 30km/h の衝突速度で計 3 回の実験を実施した(実験 P1~P3)。各実験条件を表 1 に示す。

## 2.1.2. 結果と考察

図 1 に各実験における車体前部の変形量(線図)および損傷状態の外観(写真)を示し、表 2 に実験 P1, P2 における主な損傷部品を示す。この結果により、以下の知見が得られた。

- (1) 衝突速度 20km/h において、ポール直径が 260, 360mm と異なっても、変形量はほぼ同じであった。(図 1 の P1, P2 の比較より)
- (2) ポール直径以外は同条件である P1, P2 間で、エアバッグ展開有無の相違点が認められた。原因としては、ポール直径差の影響、またはテスト時の車両質量の差(46kg)による影響が考え得る。ただし、衝突による加速度波形

を計測していないため、この点については今後より詳細に調査する必要がある。

- (3) 衝突速度が 20km/h から 30km/h へと約 1.5 倍になると、損傷状態は極端に酷くなった。つまり、当該車両が同様

Table.1 Test Conditions of Eccentric Pole Impact Tests

Experiment number	P1	P2	P3	
Bullet car	Model/Year	AK12/2005	AK12/2003	AK12/2006
	Test Weight	940 kg	894 kg	951 kg
Diameter of pole	φ 260mm	φ 360mm	φ 360mm	
Actual impact speed	20.1 km/h	20.2 km/h	30.2 km/h	
Schematic diagram of test condition				

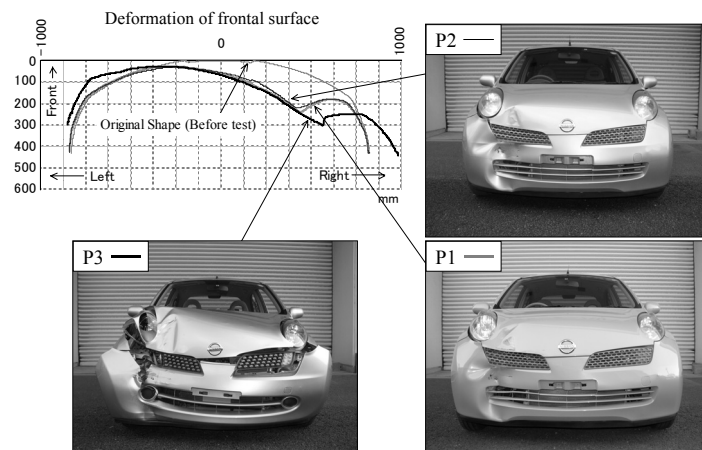


Fig.1 Deformations (Lines) and Damage Conditions (Pictures) of Eccentric Pole Impact Tests (P1 - P3)

Table.2 Main Damaged Parts Resulted in Eccentric Pole Impact Tests

Experiment number	P1	P2
Main damaged parts	Front bumper cover & reinforcement, Front bumper stay (R), Radiator grill (R), Head lamp (R), Hood, Front fender (R), Radiator support, Add-on frame bracket (R), Front hoodledge (R), Front side member (R), Cooler condenser, Radiator, Alternator, Airbag & seat-belt pretensioner deployed	Front bumper cover & reinforcement, Front bumper stay (R), Radiator grill (R), Head lamp (R), Hood, Radiator support, Add-on frame bracket (R), Front strut housing (R), Front side member (R), Hoodledge reinforcement (L), Dash panel, Cooler condenser, Radiator, Alternator

\* L and R stand for "Left side" and "Right side"

\*2011 年 10 月 14 日自動車技術会秋季学術講演会において発表。

1) (株) 自研センター(272-0001 千葉県市川市二俣 678-28)

の姿勢でポール衝突した場合、その損傷状態を確認することができれば、衝突速度が 20, 30km/h のどちらに近いかを比較的容易に判断することができると思われる。

## 2. 2. 側面直角衝突

### 2. 2. 1. 衝突条件

停止車両（パーキングブレーキ ON, シフトギヤ P レンジ）の車両前端部に対して側面から直角に、フルラップ、およびオーバラップ率 50%となるような直角偏心衝突をそれぞれ 2 回（衝突速度 30, 40km/h）, 計 4 回実施した。フルラップ条件（C1, C2）では、衝突車両（Bullet car）の前部中央が被衝突車両の右前輪側面に衝突し、オーバラップ率 50%（C3, C4）では、衝突車両の左前輪が被衝突車両（Impacted car）の右前輪側面に衝突する位置関係である。実験条件を表 3 に示す。

### 2. 2. 2. 結果と考察

表 4 に各車両の主な損傷部品を示す。主にフロントサスペンションの損傷に注目したところ、以下の知見が得られた。

- (1) 衝突車両については、フルラップ条件（C1, C2）の場合、車両前部の中央部およびフロントサイドメンバ部にて主に衝撃を吸収し、サスペンションの損傷は認められなかった。一方、オーバラップ率 50%の場合には、衝突速度 30km/h（C3）ではサスペンションに損傷は認められなかったが、40km/h（C4）では左トランスバースリンク（ロワアーム）、左フロントサスペンションストラットなどのサスペンション部品に損傷が認められた。
- (2) 被衝突車両については、フルラップ・オーバラップ率 50%のいずれも衝突速度 30km/h（C1, C3）では左フロントショックアブソーバの損傷が認められた。40km/h（C2, C4）では、左フロントショックアブソーバに加えて左ステアリングナックルに損傷が認められた。

- (3) 車種によって骨格およびサスペンションなど、各構成部品の強度は異なると考えられる。よって、この結果はあくまでケーススタディに過ぎない。しかし、衝突速度の増加によってフロントサスペンション構成部品の損傷が増えるという確かな傾向が認められる。たとえば、二輪車では前輪後退量から衝突速度を推定する手法<sup>(1)</sup>が提案されているように、四輪車でもサスペンションなどのメカニカル部品の損傷状態が事故再現に役立つ可能性は十分にある。今回の結果はその可能性を示唆していると考えられ、衝突速度（または有効衝突速度、 $\Delta V$  など）とサスペンションの損傷状態との関係を明らかにしていくことは、適切な事故再現のためには今後重要な課題であると思われる。

## 3. すべり距離のみかけ減少率

### 3. 1. 分析内容

制動をかけない状態で車両がスピン運動すると、タイヤは断続的に横滑りする。よって、同条件で常時制動がかかっていると仮定すると、すべり距離のみかけ上減少すると考える必要がある。江守<sup>(2)</sup>はこの考えを理論的に解き、その減少率として図 2(a)の関係があることを報告している。しかし、前提と

Table.3 Test Conditions of Eccentric Right-angle Impact Tests

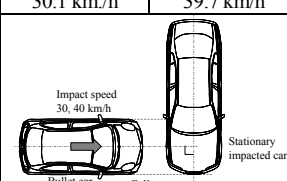
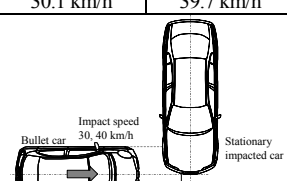
Experiment number		C1	C2	C3	C4
Bullet car	Model/Year	AK12/2002	AK12/2006	AK12/2006	AK12/2006
	Test weight	936 kg	954 kg	950kg	957 kg
Impacted car	Model/Year	NZE121/2001	NZE121/2004	NZE121/2001	NZE121/2002
	Test weight	1,036 kg	1,080 kg	1,041 kg	1,036 kg
	Parking brake	ON	ON	ON	ON
	Transmission	4AT	4AT	4AT	4AT
	Shift range	P	P	P	P
Overlap ratio		Full wrap (100%)		50%	
Actual impact speed		30.1 km/h	39.7 km/h	30.1 km/h	39.7 km/h
Schematic diagram of test condition					

Table.4 Main Damaged Parts Resulted in Eccentric Right-angle Impact Tests

Experiment number	C1	C2	C3	C4
Main damaged parts of bullet car	Front bumper cover & reinforcement, Front bumper stay (LR), Radiator grill (LR), Head lamp (L), Hood, Front fender (L), Radiator support, Add-on frame bracket (L), Cooler condenser, Radiator	Front bumper cover & reinforcement, Front bumper stay (LR), Radiator grill (LR), Head lamp (L), Hood, Front Fender (L), Radiator support, Add-on frame bracket (L), Front side member (L), Cooler condenser, Radiator, Airbag & seat-belt pretensioner deployed	Front bumper cover & reinforcement, Front bumper stay (LR), Radiator grill (L), Hood, Front Fender (L), Radiator upper support, Radiator side support (L), Cooler condenser, Radiator, Front tire (L)	Front bumper cover & reinforcement, Front bumper stay (LR), Radiator grill (L), Hood, Front Fender (L), Radiator support, Hoodledge (L), Cooler condenser, Radiator, Transverse link (L), Front suspension strut (L), Stabilizer connecting rod (L)
Main damaged parts of impacted car	Front bumper cover, Front fender (R), Front fender apron front (R), Front pillar (R), Front door (R), Rocker panel (R), Front shock absorber (R), Instrument lower panel	Front bumper cover, Front fender (R), Front fender apron front (R), Cowl top side panel (R), Front pillar (R), Front door (R), Rocker panel (R), Front shock absorber (R), Steering knuckle (R), Instrument lower panel	Front bumper cover, Radiator grill, Head lamp (R), Front fender (R), Radiator support, Front fender apron front (R), Front shock absorber (R), ABS actuator	Front bumper cover, Radiator grill, Head lamp (R), Front fender (R), Radiator support, Front fender apron front (R), Front side member (LR), Cowl top side panel (R), Cowl panel, Cooler condenser, Front shock absorber (R), Steering knuckle (R)

\* L and R stand for "Left side" and "Right side"

して車両の縦軸が進行方向と一致している状態（たとえば、直進走行の状態）が初期状態であるため、停止車両の側方から偏心衝突されスピンするような状況には適用できない。

よって、初期状態での車両の縦軸方向が初期の車両の進行方向と直角な場合のみかけ減少率を、次式により算出した。

$$\eta = \frac{1}{\alpha_0} \int_0^{\alpha_0} \frac{\mu}{\mu_0} |\cos \alpha| d\alpha \quad \dots (2)$$

( $\eta$  : すべり距離のみかけ減少率,  $\alpha_0$  : 車両がスピンした角度[rad],  $\mu$  : 横すべり抵抗係数,  $\mu_0$  : 横すべり角が大きい場合の横滑り抵抗係数 (最大値) )

$\mu$  は、横すべり角が 16 度以上で一定値  $\mu_0$  をとり、16 度以下は横すべり角に比例するとして計算を実施した。

### 3.2. 結果

図 2(b) に、得られた結果を示す。この曲線を使用することで、偏心直角衝突されるなどにより、停止車両が制動をかけずにスピンしながら横方向に移動を開始した場合の衝突直後の速度を、次式によって算出可能となる。

$$v_0 = \sqrt{v^2 + 2\mu_0 g \eta s_0} \quad \dots (3)$$

( $v_0$  : 衝突直後の速度[m/s],  $v$  : 距離  $s_0$  [m] すべてたときの速度,  $g$  : 重力加速度(=9.8)[m/s<sup>2</sup>])

なお、このみかけ減少率はあくまでスピン状態でのすべり距離にのみ適用しなければならない。スピン後に惰行（惰性走行）した場合、惰行中はころがり抵抗しか受けていないため、除外して（分けて）考えなければならず、注意を要する。

## 4. 衝突時間

### 4.1. 調査内容

(株) 自研センターの衝突バリア実験装置において 2009～2010 年に実施した「対固定バリア衝突 (RCAR 衝突テスト<sup>(3, 4)</sup>を含む)」および「停止車両への追突 (車対車追突)」を対象に、計 70 件の衝突実験の高速度映像を解析し、衝突時間 (衝突による加速度が車両に発生している時間の長さ) を計測した。車対車追突では、1 件 (オーバーラップ率 55%) を除きすべてフルラップ追突であった。ただし、映像だけで衝突時間を正確に判断することは困難な場合が多い。よって、衝突開始から衝突物 (の重心位置) 同士の距離が離れはじめるまでの時間を「最短時間 (Minimum)」、目視で明らかに衝突物同士が離れるまでの時間を「最長時間 (Maximum)」として記録した。つまり、真の衝突時間はその間にあることになる。

### 2.2. 結果

結果を図 3 に示す。縦軸は衝突時間を示し、各データは最長時間から最短時間の範囲を表している。横軸は衝突車両の有効衝突速度を示し、一方が停止の一次元衝突では以下のように算出できる<sup>(5)</sup>。

$$V_{eff1} = m_2 \cdot V_{10} / (m_1 + m_2) \quad \dots (1)$$

( $V_{eff1}$  : 衝突車両の有効衝突速度[m/s],  $V_{10}$  : 衝突車両の衝突 (直前) 速度[m/s],  $m_1$  : 衝突車両の質量[kg],  $m_2$  : 被衝突車

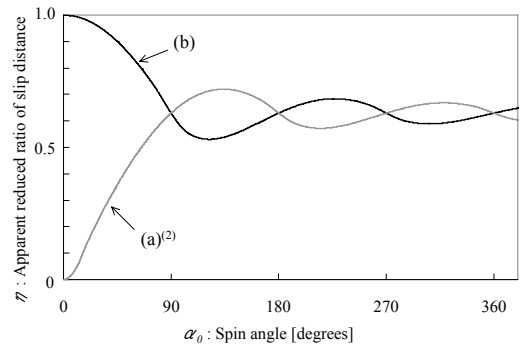


Fig.2 Apparent Reduced Ratio of Slip Distance (Lines (a) and (b) are respectively applicable to cases where the initial heading directions of cars are "parallel" and "at right angle" to the initial translational motion of their spin.)

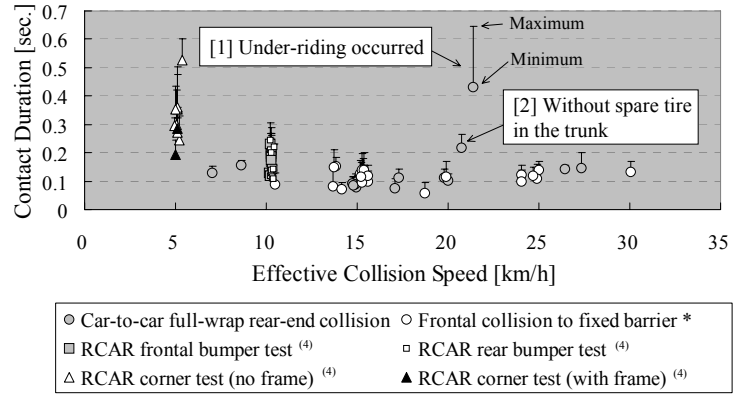


Fig.3 Contact Duration by Effective Collision Speed

両の質量[kg])

一般に、車対車衝突よりも固定バリア衝突の方が衝突時間は短くなる傾向がある<sup>(6)</sup>。図 3 はそれらが混在しているため、あくまで参考データとして捉えるべきではあるが、以下の見解が得られたと考える。

- (1) 有効衝突速度 15km/h 以上での衝突時間はおおむね 0.1～0.2 秒に分布するが、有効衝突速度 10km/h 以下の衝突時間はそれよりも長くなる傾向が認められた。
- (2) フロントコーナ部に骨格の無い車両でのコーナテスト (RCAR corner test (no frame)) では、骨格がある場合 (with frame) よりも衝突時間が長くなる傾向があった。これは、骨格の無い方が押込みによる変形が大きく、衝突相手物との相対速度が 0 になるまでに時間を要するためと考えられる。
- (3) 車対車追突において、アンダライド (追突車両が被追突車両のリヤバンパ下にもぐり込む場合) では、0.4 秒以上と非常に長い衝突時間が認められた。 ([1])
- (4) 車対車追突において、被追突車のトランクルーム内のスペアタイヤを取り外した場合には、他と比べて長い衝突時間 (0.2 秒超) が認められた。 ([2])

## 5. クリーブ速度

### 5.1. 調査内容

(株) 自研センターの衝突バリア実験施設内にて、CVT 車 2 車種 (小型自動車 1 台, 軽自動車 1 台), AT 車 1 車種 (軽自動車), およびハイブリッド車 3 車種の計 6 車種についての、

クリープによる発進時の速度推移を調査した。各車両の右前輪側面にターゲットマークを45度ずつ計8箇所貼付し、側面から映像を撮影した。加えて、発進から10m地点での速度を計測した。それら映像の画像解析および10m地点での速度を基に、発進からの速度推移を算出した。乗員は1名(体重63kg)、タイヤ空気圧は規定とし、十分な暖気後にエアコンのON/OFFそれぞれの状態についての計測を実施した。1車種(DBA-NZE141)のみ、タイヤ空気圧を規定から30%減らした状態での計測も実施した。

## 5.2. 結果

テスト時の気温は25.9~26.3度、湿度は65.9~68.0%、タイヤ溝の高さはすべて5mm以上であった。すべての実験において、エアコンのON/OFFの状態は結果的にファンのON/OFF状態に一致した。前進距離に対する速度推移を図4に示す。この結果により、以下の知見が得られたと考える。

- (1) クリープによって発進した際の走行速度は、おおむね5~8km/hに収束した。
- (2) タイヤ空気圧を規定値より30%減らしても、クリープ発進速度推移には影響が認められなかった(DBA-NZE141)。
- (3) CVT、AT車では、エアコンON(ファンON)の状態の方がOFFの状態よりも最高速度が高かった。
- (4) ハイブリッド車はエアコンON/OFFおよび駆動方法の状態に関係なく、同一モデルであれば発進後の速度推移はほぼ同一であった。

## 6. 結言

事故再現への活用を目的として実施した実験および分析の結果、以下の知見が得られた。

- [1] 偏心ボール衝突実験を、速度(20, 30km/h)およびボール直径( $\phi$ 260, 360mm)の異なる条件で3回実施した。ボール直径が異なっても、変形量に相違は認められないこと、および衝突速度が20km/hから30km/hへと高くなると、損傷状態は極端に酷くなることが確認できた。
- [2] 停止車両の車両前部端部に対して側面から直角に、フルラップ、およびオーバラップ率50%となるような直角偏心衝突を計4回実施した。その結果、衝突速度の増加(30km/hから40km/h)によって、フロントサスペンション構成部品の損傷が増えるという確かな傾向が認められた。つまり、サスペンションなどのメカニカル部品の損傷状態が事故再現に役立つ可能性は十分にあると考えられ、今後の課題といえる。
- [3] 車両縦軸の初期方向が衝突直後の初期の進行方向に直角な場合の、すべり距離のみかけ減少率を算出し、図2(b)の関係が得られた。
- [4] 70件の衝突実験の高速度映像を基に、衝突時間を解析した。車対車衝突と固定バリア衝突が混在しているため、あくまで参考データとして捉えるべきであるが、有効衝

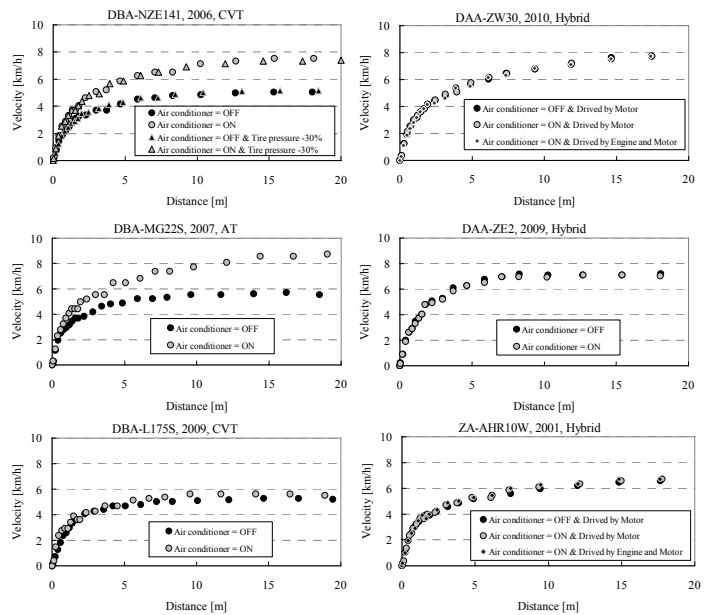


Fig.4 Changes in Speed after Creep-Starting (Each title shows model, model year and transmission type.)

突速度が10km/h以下の衝突時間は、15km/h以上よりも長くなる傾向が認められた。また、アンダライドの発生やトランクルーム内のスペアタイヤの取り外しにより、衝突時間が長くなる結果が得られた。

- [5] CVT、AT、およびハイブリッド計6車種について、クリープ発進時の速度推移を調査した。その結果、クリープ発進後の走行速度はおおむね5~8km/hに収束し、タイヤ空気圧の減少(30%減)による影響は認められなかった。CVT、AT車はエアコンON/OFF(ファンON/OFF)の影響が認められたが、ハイブリッド車には認められなかった。

## 参考文献

- (1) 中谷有, 西本哲也: 二輪車事故の鑑定手法—二輪車対四輪車の衝突ケース—, 自動車研究, Vol. 26, No. 11, p. 633-640 (2004).
- (2) 江守一郎: “3.3 制動をかけない車のスピンによる減速”, 新版自動車事故工学, 東京, 技術書院, 1993, p. 52-54.
- (3) RCAR Low-speed structural crash test protocol, Issue 2.2, 15p., 2011, Research Council for Automobile Repairs, [http://www.rcar.org/Papers/Procedures/rcar\\_LowSpeedCrashTest2\\_2.pdf](http://www.rcar.org/Papers/Procedures/rcar_LowSpeedCrashTest2_2.pdf), (accessed 2011-07-27).
- (4) RCAR Bumper Test, Issue 2.0, 32p., 2010, Research Council for Automobile Repairs, <http://www.rcar.org/Papers/Procedures/BumperTestProcedure.pdf>, (accessed 2011-07-27).
- (5) 藤田光伸: 衝突速度の推定—停止車両への直角偏心衝突における有効衝突速度の導入—, 自動車技術会論文集, Vol. 42, No. 2, p. 373-378 (2011).
- (6) 林洋: “9 衝突時間”, 実用自動車事故鑑定工学, 東京, 技術書院, 1996, p. 37-44.