

交通事故解析のための低速度斜め固定壁衝突実験

一車両の衝突挙動と変形一

上山 勝* 大橋 真* 斉藤修二*

矢野和良** 榎並敏昭***

軽自動車を、低速度（5～23km/h）で固定壁に25°および30°の斜め方向から衝突させる実験を行った。高速度カメラによって車両の衝突前後の挙動を記録するとともに、車両の変形形状を実体写真測量法（ステレオカメラ）を用いて測定した。本実験によって、低速度における斜め衝突での速度変化の特性や衝突速度と変形量との関係を求めた。さらに、これらデータを事故解析に応用した例を示し、法科学分野への一つの試みを述べた。

Automobile Angle Barrier Collision Test at Low Speed for Analysis of Traffic Accidents

—The Collision Dynamics and Deformation of Vehicle—

Masaru UEYAMA* Makoto OHASHI* Shuji SAITO*

Kazuyoshi YANO** Toshiaki ENAMI***

The mini-compact cars were impacted against a barrier (at angles of 25° and 30°) at low speed (5 to 23 km/h). The movements of vehicle a before and after the collision were photographed by 16 mm high speed cameras and the films were analyzed to elucidate the collision dynamics for angle barrier collisions. Also the permanent deformations of damaged vehicles were measured by means of photogrammetry; stereo-camera method. The relationship between permanent deformations and impact speeds was analyzed concerning impact angles. In addition, an example of used some of the data from the collision experiments for road accident analysis is shown as one of the applications in the forensic science field.

1. はじめに

実際路上事故において正面衝突事故として分類された事例中、乗員が傷害を受けた事故形態をみると、一次元的な衝突形態（Symmetrical impact）に属するものは欧米において30～45%にすぎないという報告がある¹⁾。わが国ではこの種の統計はみられないが、昭和55～56年中に交通捜査側が鑑定を囑託した正面衝突事例の一部を調査したところ、それらのいずれもが非一次元的な衝突形態（Nonsymmetrical impact）であった。このことから交通事故解析の基礎データには、固定壁正面実験^{2),3),4)}など

に加えて、オフセット衝突^{****}や斜め固定壁衝突実験、および車対車の各種形態での各実験データ^{5),6),7)}を整備することが必要であると考えられる。そのような観点から、著者らは実際事故でみられる形態を想定した実車実験を行っている。

今回、低速度領域（30km/h以下）での斜め固定壁衝突実験を実施したので報告する。低速度領域での衝突実験は、交差点内における一時停止の有無あるいは発進の状況（急発進かどうか）などの争点から事故捜査側には重要な項目であるが、車の安全面からは問題とされないため基礎データが欠けている。

本報告は、法科学^{*****}の一分野として行われている事故解析に役立たせるため、斜め固定壁衝突実験について、車両の衝突挙動および車両の変形とその記録方法（証拠化の方法）について検討したもの

**** 車体の一部が衝突する形態

***** 法科学とは Forensic Science の和訳であり、裁判等の訴訟上の問題に対して、物理、化学、工学などの広い意味での応用科学である。法医学、裁判化学をも含むと考えられる。

* 科学警察研究所機械第一研究室主任研究員
First Machinery Section, National Research Institute of Police Science

** 神奈川県警察本部交通指導課凶化技術員
Traffic Investigation Section, Kanagawa Prefecture Police Headquarter

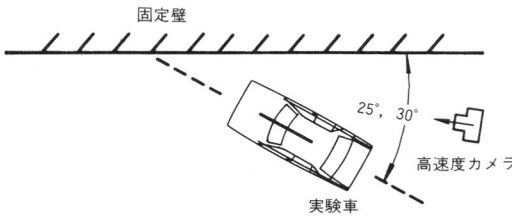
*** 香川県警察本部科学捜査研究室技術員
Criminal Laboratory, Kagawa Prefecture Police Head-Quarter
原稿受理 昭和58年10月26日

Table 1 実験車の諸元
The data of test cars '79 Suzuki ALTO', mini-compact size

車長	車幅	車高	軸距	輪距		重量
				前部	後部	
3195mm	1395mm	1335mm	1215mm	1215mm	1170mm	545kg



(a)



(b)



Fig. 1 衝突実験の状況
Port side of the vehicle pre-test, the impact configuration in relation to barrier and car

である。

2. 実験方法

i) 実験場

実験は Fig. 1 に示すようなブロック壁のある広場を使用した。路面は比較的平坦なコンクリートである。車を衝突させる固定壁として、この広場のブロック壁を使用した。この壁は Fig. 1 に見られるように、その表面はかなりざらざらしているが全体の平面性は良好であった。

ii) 実験車両

実験に使用した車は、軽貨物自動車（スズキアルト、54年式）2台である。2台の車両は、一般路上で走行可能な程度に整備された状態であった。Table 1 に主要寸法を示す。

Table 2 実験結果概要
Impact speeds and impact angles in experiments

実験 No.	衝突速度	衝突角度
No. 1	1.2m/s (4 km/h)	30°
No. 2	2.5 // (9 //)	30°
No. 3	4.5 // (16 //)	25°
No. 4	5.9 // (21 //)	25°
No. 5	6.4 // (23 //)	25°

iii) 実験方法

実験車を固定壁に対し25°および30°の角度で衝突させるため、路面に Fig. 1 に示すように白線を引き、これに沿って進行させ、衝突させた。車は実験員が運転し、助走によって所定の手速を得た後、クラッチ、ブレーキ、ハンドルおよびアクセル等の操作を衝突直前後には行わないで壁面に斜めに衝突させた。

Table 2 に本実験で実施した衝突速度および衝突角度等を示す。実験車の左右の前フェンダーを衝突させたが、実験車が2台しか準備できなかったため、速度の低い4 km/h、9 km/h では同一部位を2回衝突させた。

なお、以下において各実験は Table 2 の実験番号で記述する。

iv) 車両の衝突挙動の記録

衝突時の状況を記録するために、16mm 高速度カメラによる撮影を行った。カメラの配置は Fig. 1 (b) に示すように、実験車の進行方向に対し直角方向および斜め後方から約速度100fps、200fps で撮影した。車両の衝突挙動は、これらのフィルムをフィルム・モーションアナライザーによって解析することにより、求めた。

v) 衝突による変形状況の測定

低速度斜め衝突では車両の変形量が少なく、かつ変形状況が複雑であることが予想されたため、変形状況を立体的に把握するために、実体写真測量法⁸⁾ (ステレオカメラによる) を利用した。使用したステレオカメラは基線長20cm のもので、一般交通処理に警察関係で使用しているものよりはるかに短焦点で、局所的な車の変形を記録するのに適したもので

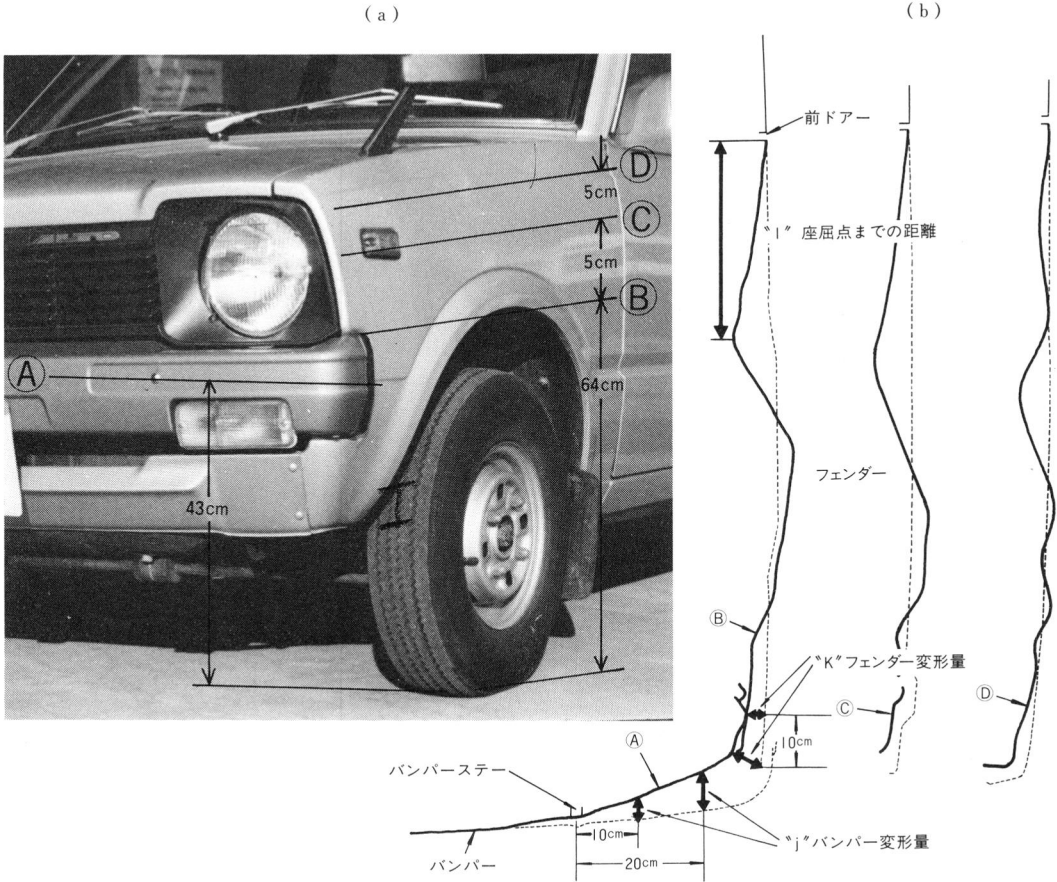


Fig. 2 実体写真測量法(ステレオカメラ)によって図化された車両の変形部位の説明図(a)と水平断面図の一例と変形量の測定箇所を示す(b)

The locale of car diagrammed by means of stereo-camera horizontal cross sections were drawn for four height levels of bumper and fender of car (a). An example of horizontal section were shown with locations of deformations measured

ある。

実験車の実験前の状態をステレオカメラで撮影したのち、衝突変形後に再び撮影した。このようにして撮影した乾板から、図化機によって車の衝突前後の変形状況を表す水平断面図を作成した。水平断面図は Fig. 2-(a)に示すように車のフロントではバンパールの中心の高さ(地上高さ43cm)、フェンダーでは3か所(地上高さ62、67および73cm)において車を輪切りにしたものである。Fig. 2-(b)に水平断面図の一例を示すが、変形前を点線で、変形後を実線で示した(Fig. 2-(a)のA、B、C、Dの記号は Fig. 2-(b)のA、B、C、Dに対応している)。なお、図中の“j”はバンパールの変形量、“k”はフェンダーの変形量、“l”は前ドアからフェンダーの座屈点まで

の距離を測定した部位である。

3. 衝突実験

i) 車の衝突挙動

Fig.3に衝突前後の車の挙動の一例(実験 No. 3、衝突速度4.5m/sec、衝突角度25°)を示す。以下、その主な挙動は次のとおりであった。

(1)左前バンパー下部が壁面に衝突した時点を衝突開始時間 (Fig. 3-①) とする。

(2)時間の経過に伴ってバンパーが後退、ウィンカーが破損した。次いでフェンダーの変形が始まり、以後変形が時間の経過に従って大きくなった (Fig. 3-②~③)。

(3)90msec後に、車体の後部を壁面に近づけるよ

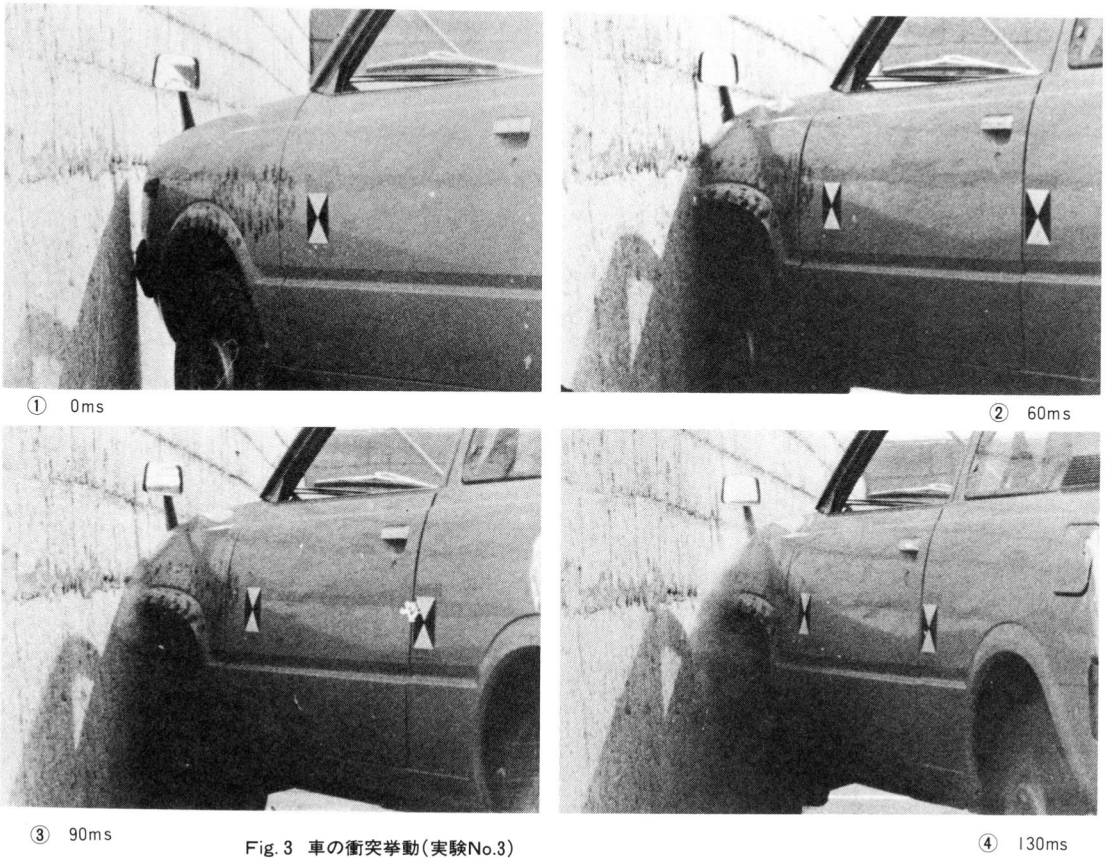


Fig. 3 車の衝突挙動(実験No.3)
 Collision sequence at impact speed of 4.5m/s(16km/h),
 impacting angle of 25 degree(experiment No.3)

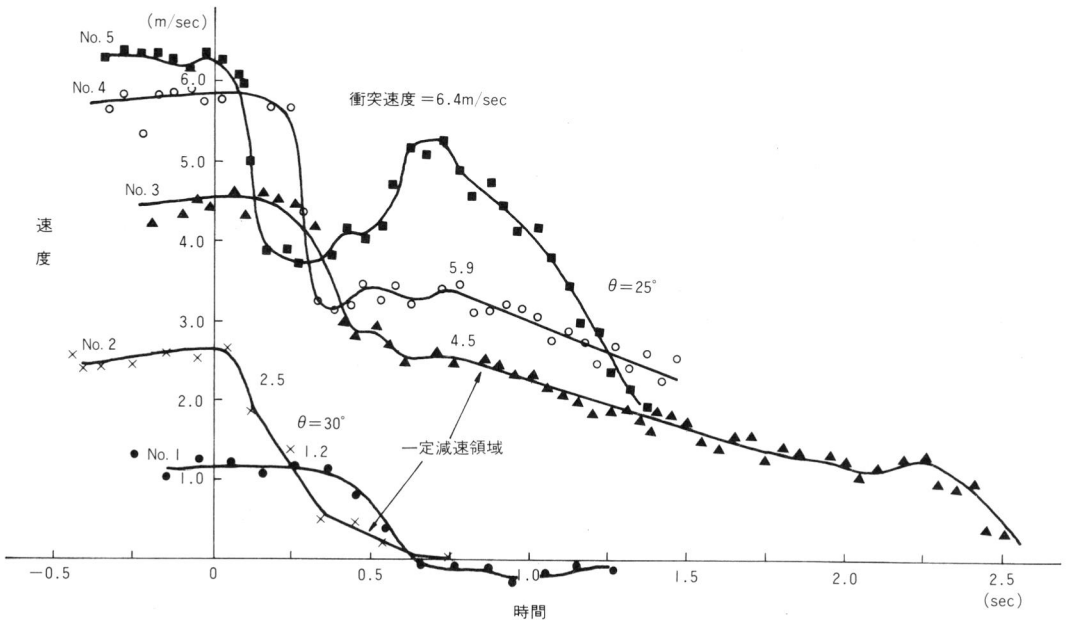


Fig. 4 速度変化
 Velocity changes in angle barrier test

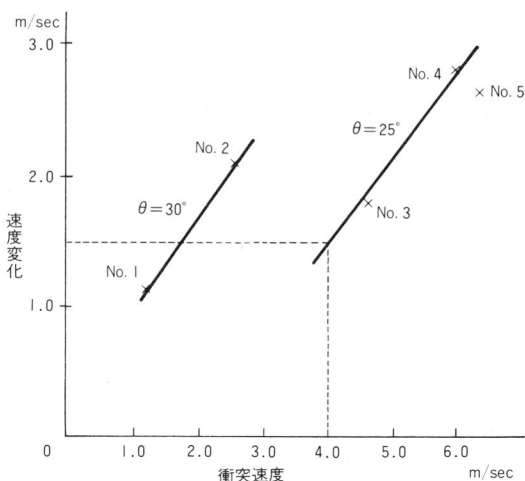


Fig. 5 衝突速度と速度変化の関係
Reduction of velocity vs impact speed

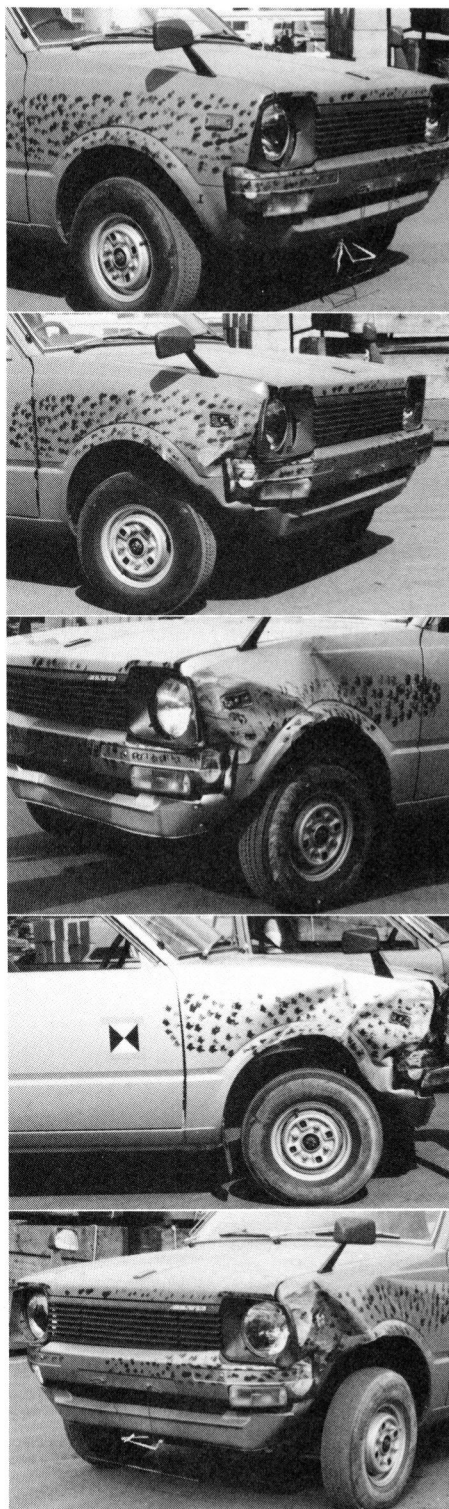


Fig.6 衝突後の車両の変形状況
Front-end damage sustained in angle barrier test

うに時計方向に回転しながら前進し、100msec後にフェンダーの変形は最大に達した(Fig. 3-④)。衝突時間は、車体が壁面に接触してから変形が終了するまでと見ると約0.07sec~0.1secであった。

(4)車体の回転によって、車はフェンダー変形部の一部および前輪(タイヤのショルダーおよびサイドウォール)が壁面と浅く接触した状態で、これを擦過させながら進行した。

(5)車体は約0.25sec後、わずかに左に傾き、以後はほとんどその姿勢で前進して停止した。

ii) 衝突前後の速度変化

各衝突実験における衝突前後の時間経過に対する速度の変化を高速フィルムから解析し、その結果をFig. 4に示す。なお、速度は車の前ドア付近(ほぼ重心)で測定したもので、その方向は車の長手方向に一致させたスカラー量である。

実験No. 1では衝突後約0.6secで速度がマイナスを示しているが、これは車が後退したことを示している。これは衝突時にクラッチを切ったために発生したもので、壁面との反発係数は0.07となった。また、実験No. 5は衝突時に急ブレーキを作用させたため、車体が大きくゆれ急速に停止した。このため変形形状が他の実験と異なる結果となった。

速度変化の状況は次のようにまとめられる。衝突速度は、フロント・バンパーの一端を壁面に接触させてから約0.1~0.3sec遅れて急激な減速を示した。次いで、速度変化は比較的大きな脈動を示し、以後、ほぼ一定の割合での減速がみられた。この急激な速度変化を示す時点は、車の変形が終了し、車体が傾

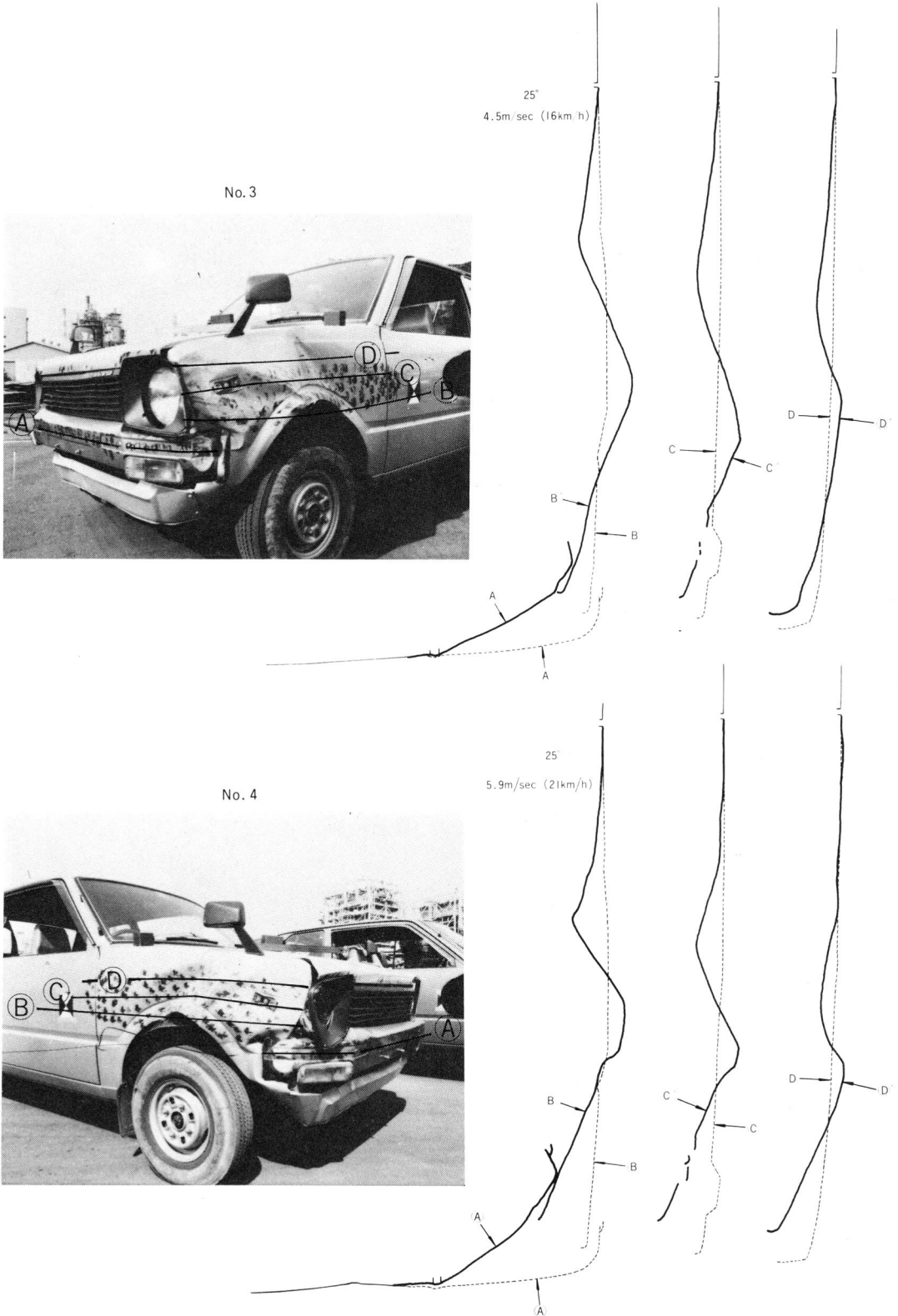


Fig. 7 ステレオカメラによる車の変形を示す水平断面図 (実験No. 3 およびNo. 4)
Deformations on horizontal sections by stereo-camera in angle barrier test

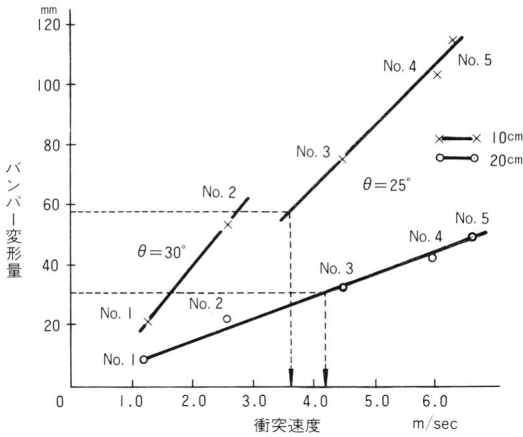


Fig. 8 衝突速度とバンパーの変形量との関係
Deformation of bumper vs impact speed

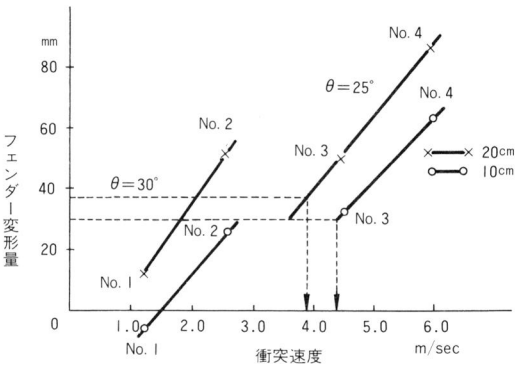


Fig. 9 衝突速度とフェンダーの変形量との関係
Deformation of fender vs impact speed

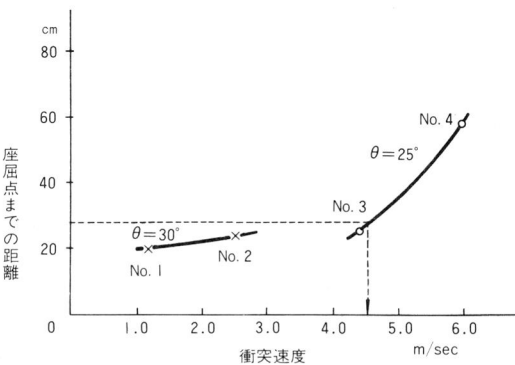


Fig.10 衝突速度とフェンダー座屈点のフロントドアからの距離との関係
Distance of buckling point from front door vs impact speed

き始める時点に対応している。また、一定の減速を示す区間は、車の一部が壁面とほぼ安定した状態で擦過しながら進行している時点に相当する。

iii) 衝突速度と衝突による速度変化

Fig. 5に衝突速度と衝突による速度変化（衝突直後の速度減少）の関係を示した。速度変化は衝突角度に大きく依存することが明らかとなった。

iv) 車と壁面との摩擦減速

車の一部が壁面を擦過しながら進行する際のみかけの減速度を、Fig. 4に示した速度変化図の中の一定の割合で減速している区間の勾配として求めた。これを仮に摩擦減速度とすると、衝突角度25°では約1 m/sec²、30°では壁面との擦過時間が非常に短い、停止直前で約3 m/sec²と考えられた。

v) 衝突による車の変形状況

壁面の衝突による各実験車の変形状況を Fig. 6に示す。実験 No. 1と No. 2では同一部を衝突させた。それぞれの変形は、バンパーおよびフェンダーの一部が曲がる程度の小さいものであった。ステレオカメラによる実体写真測量法によって作成した変形状況を示す、水平断面図 (No. 3, 4) を Fig. 7に例示した。Fig. 7の原図の縮尺は1/4とした。図中の記号は Fig. 2で説明したように、各地上高さに対応している。点線は変形前、実線は変形後の車体のバンパーおよびフェンダーの形状を示している。車体の変形の特徴は、バンパーではそのステーの位置から後方に曲がっていること、フェンダーでは先端部が内側に曲がり、次いでふくらみ、そして凹んでフロント・ドアの取り付け部に至る。変形はこのように局部に限定し、しかもその程度は小さいものであるが、衝突速度が大きくなるに従って、変形程度も大きくなっていることが認められる (実験 No. 2の変形は実験 No. 1の変形を図上で差し引いて測定した。)

バンパーとフェンダーの局所的な変形量 (Fig. 2に示した各測定箇所) と衝突速度との関係を求め、Fig. 8~10に示した。Fig. 8は、バンパー・ステーの位置から外側10cm、20cmの点でバンパーの後退量 mm (Fig. 2 “j”)、Fig. 9は、フェンダー先端と先端から10cmの点でのフェンダーの内側への移動量 mm (Fig. 2 “k”) と、衝突速度との関係をそれぞれ示す。

Fig.10は、フェンダーの座屈点とドアとの距離 cm (Fig. 2 “l”) と衝突速度との関係を示す。Fig. 8~10に示すように、変形量と衝突速度との関係は、バ

ンパーの20cm点を除けばほぼ直線的であり、衝突角度の影響が前述した速度変化に比して小さかった。

4. 考察

低速度斜め衝突実験の特徴は、衝突後の車の挙動にあると考えられる。今回の実験では、実験回数が少なく、衝突特性をまとめるにはデータ不足であるが、次の点が明らかとなった。

1) 斜め衝突では、衝突による速度の変化や衝突後の車の挙動などは衝突角度のわずかな違いが大きく影響を与える。これに対して、車の変形状況は衝突角度の差が 5° 程度では衝突角度に比較的左右されず、衝突速度が大きくなるに従って変形量も直線的に増加する傾向がみられた。

2) 低速度領域での斜め衝突においては、衝突後、車体と壁面との接触はごく局部において発生し、壁面には1~2条の細い擦過痕が印象される程度であった。このときのみかけの摩擦減速度は $1\sim 3\text{ m/sec}^2$ 程度であった。

3) 車両の変形が少なく、かつ複雑な場合の測定法として、ステレオカメラによる実体写真測量⁸⁾が撮影乾板により立体像として保存できるので、証拠保全上からも有益であることが明らかとなった。基線長の短い(たとえば今回使用した20cm)ステレオカメラは測定精度および搬用性(10kg)の点からも有効である。

5. 実際事故事例への応用

Fig.11に示す幅員2.5mの道路で、一時停止ののちに発進した車が、路側の民家のブロック壁(2~3m発進点から離れた)に斜めに衝突し、5m程度壁面を擦過しながら前進して停止した、という事故が発生した。事故車はFig.12-(a)に示すようにバンパーおよびフェンダーが変形していた。

この事故車の事故時の発進状況(普通発進か急発進か)について、次の手順で推定を行った。

1) ステレオカメラによりFig.12-(b)に示す変形状況図を作成した。

2) この図から各部の変形量を求めた。すなわち、事故車の変形量はそれぞれバンパー10cm点で32mm、20cm点で59mm、フェンダー10cm点で30mm、20cm点で36mm、座屈点までのドア端からの距離は27.5cmであった。これらの値をFig.8~Fig.10の縦軸に内挿し、これに対応する衝突速度を横軸から読みとった。各図には、これらの値を点線



Fig.11 実際事故による事故車とブロック壁と状況
An actual accident of mini car collisioned against wall and the stopped location of the car after collision

で図示した。すなわち、衝突速度は $3.6\sim 4.6\text{ m/sec}$ となり、約 4 m/sec と推定された。

3) 次いで、この衝突速度が実際事故に対して妥当性があるかを判断するため、次の手順に従った。すなわち、衝突速度 4 m/sec で壁面に衝突したときに生ずる速度の減少を、Fig.5から 1.6 m/sec 程度と推定した。なお、衝突角度は事故車の変形図が実験No.3に類似していることから 25° 程度と考えた。

4) 車と壁面とのみかけの摩擦減速度を $1\sim 1.5\text{ m/sec}^2$ 程度としてFig.13に示す速度変化曲線を作成した。なお、摩擦減速度は衝突角度 25° の実験によって壁面に生じた擦過痕と事故現場のものが類似していることから、ほぼ同程度と考えられた。これによると、車は壁面に衝突し、これを擦過しながら $4\sim 5\text{ m}$ 進行して停止することとなり、ほぼ事故の状況と一致した。

5) 同型車のローギヤでの発進特性を求めた。すなわち、アクセルの踏込みを加減し、そのときの最大加速度 G をパラメーターとして到達距離と速度の関係を求めた。

その結果、到達距離 $2\sim 3\text{ m}$ では、速度は普通発進($0.2G$ 程度)で約 2 m/sec 以下、強め発進($0.4G$ 程度)で約 3.5 m/sec 、さらに強い発進($0.5\sim 0.6G$ 程度)で約 4 m/sec となった。

以上の手順によって得られた結果を総合的に検討し、事故車は当時かなり急速な発進を行ったものと推定した。

6. まとめ

法科学の一分野として行われている工学的事故解析は、事故車等の衝突前後の挙動を明らかにするこ

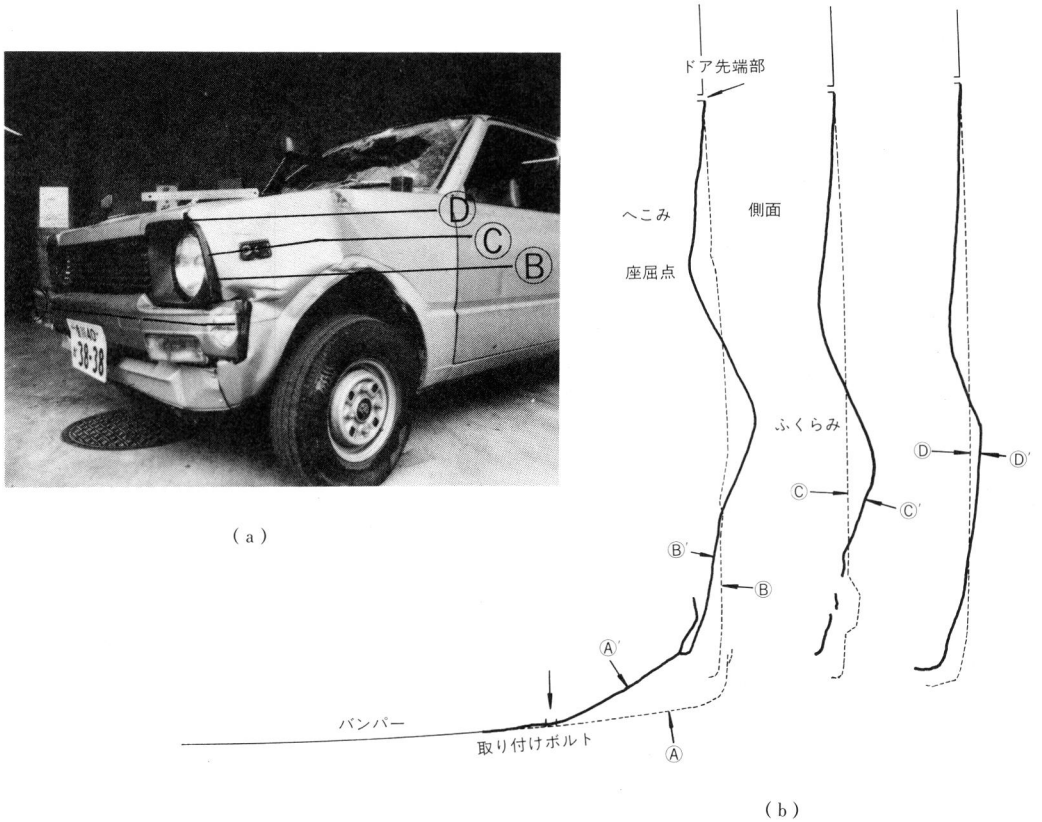


Fig.12 事故車の変形状況とステレオカメラによる変形図
The collision damage of the accident car and deformation diagram by stereo-camera

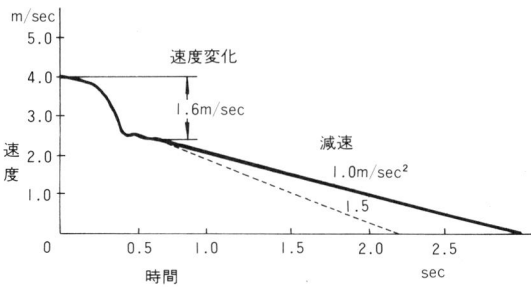


Fig.13 事故車の推定される衝突後の速度変化
Estimated velocity change for the accident

とを目的とすることが多い。従って、事故車の衝突速度や走行軌跡が問題となる。事故車は衝突によって大きく破損、変形し、その破損、変形に費されるエネルギー損失は事故解析のキーポイントでもある。

これは速度変化としてとらえることができる。たとえば、固定壁正面衝突ではほぼ100%の速度を衝突によって消費する。斜め固定壁衝突実験は、換言すれば、この衝突による速度変化の程度が、固定壁正

面衝突に対してどの程度であるかを検討することであると云える。本実験においては、例数は少ないがこの比率が衝突角度によって大きく影響を受けることを示唆している。すなわち、衝突角度25°では40%程度に対し、衝突角度30°では約80%にも達している。これらの点に関して定量的に考察するためには系統的な実験が行われることが必要である。

また、実際の路上事故に対して行われている、法科学の一分野としての解析例を示した。本件のような比較的単純な事故においても、これを法科学という観点から解析を行うことを試みると、非常に多くのデータが必要であることが理解される。そのような意味からも、事故解析を目的とした多くの実験が今後企画され、データの収集整理が行われることが切望される。

本稿を終るにあたり、実験に御協力を頂いた香川県警察本部長柳館栄氏をはじめ各係官の方々に心から感謝します。

参考文献

- 1) Rossini, L. R. : Nonsymmetrical Front Impact against Barrier, 6th International Technical ESV, conference, pp. 292-301, 1977
- 2) 佐藤武 : 自動車の衝突の力学(正面衝突), 自動車技術, Vol.21, No. 9, pp.906~909, 1967
- 3) Severy, D. M. et al : Technical Finding from Automobile Impact Studies, SAE Transactions, Vol. 65, pp. 70~83, 1957
- 4) 大滝英征ほか : 自動車の衝突実験—固定壁への正面衝突実験, 機技研報告, No.104, pp.6~29, 1980
- 5) Severy, D. M. et al : Automobile Side-impact Collision, Series II, SAE, sp-232, pp.1~43, 1962
- 6) 大前晴雄ほか : 側面衝突時の車両の挙動解析, 自動車研究, Vol. 1, No.10, pp.353~356, 1979
- 7) 清水正己ほか : 車対車正面衝突実験, 機技研報告, No.104, pp.38~44, 1980
- 8) 写真による三次元測定, 日本写真測量学会編, 共立出版, 1983