

セダン型乗用車とオフロード車の
衝突相互安全性

2008 年度

関根 康史

目次

1	緒 言	1
1.1	研究の背景	1
1.2	研究の目的	3
1.3	本論文の構成	6
1.4	記号	9
1.4.1	交通事故統計分析に係る記号	9
1.4.2	模型車両による衝突試験に係る記号	9
1.5	本論文の用語	11
1.5.1	分析対象とした車種の定義	11
1.5.2	人身損傷程度の定義	11
2	交通事故統合データによるSUVとセダンの前面对前面衝突事故の分析	12
2.1	交通事故統合データについて	12
2.2	セダンとSUVの新たな分類手法	14
2.3	車両重量が同程度のセダンとSUVの衝突事故の分析	21
2.3.1	分析対象の決定	21
2.3.2	衝突速度による運転者の死亡重傷者率	21
2.3.3	死亡または重傷運転者の傷害部位の構成	23
2.3.4	傷害種別の詳細について	25
2.4	車両重量の差が大きいセダンとSUVの衝突との比較	30

2.4.1	比較対象の選定	30
2.4.2	衝突速度による運転者の死亡重傷者率	30
2.4.3	死亡または重傷運転者の傷害部位の構成	31
2.5	考 察	32
2.6	事故例との照合	34
2.7	第2章の結論	36
3	セダンとSUVの衝突全般におけるセダン運転者の傷害の分析	38
3.1	分析対象の検討	38
3.2	対SUV衝突におけるセダン運転者の傷害分析	40
3.2.1	本章における分析	40
3.2.2	SUV-MとSdn-Sの衝突	42
3.2.3	SUV-MとSdn-Lの衝突	42
3.2.4	SUV-LとSdn-Mの衝突	45
3.2.5	SUV-LとSdn-Sの衝突	45
3.3	考 察	47
3.4	事故例との照合	48
3.5	バリア換算速度を指標に用いた車体の潰れ程度の分析	50
3.5.1	車体の潰れ程度の分析	50
3.5.2	バリア換算速度計算値と実際の実測値の比較	54
3.6	衝突速度と乗員傷害の関係についての分析	58
3.6.1	衝突相手による運転者の人身損傷度の実態	58
3.6.2	危険認知相対速度と死亡重傷者率の関係式の推定	62
3.6.3	乗員傷害に影響をおよぼす重量比以外の要因について	66
3.7	軽SUVと軽セダン前対前面衝突事故の分析	68
3.7.1	本節における分析対象車種	68
3.7.2	衝突速度による運転者の死亡重傷者率	69
3.7.3	死亡または重傷運転者の傷害部位の構成	70

3.7.4	軽セダンと軽SUVの衝突についての考察	72
3.8	第3章の結論	74
4	セダン模型を用いた衝突試験によるSUVとの衝突時の客室入力の検討	75
4.1	コンパティビリティ性能の評価手法の検討	75
4.2	客室入力の評価	77
4.3	衝突実験用模型	79
4.3.1	相似則の適用	79
4.3.2	模型用材料	81
4.3.3	セダン模型の製作	83
4.3.4	衝突実験用バリア	94
4.3.5	模型車両の衝突実験条件	94
4.4	衝突実験結果	97
4.4.1	模型車両の衝突特性	97
4.4.2	衝突による車体骨格部への入力荷重と車体変形	98
4.5	衝突実験結果	99
4.5.1	客室入力分布による防護性の評価	99
4.5.2	客室入力の2次元等高線表示	104
4.6	第4章の結論	104
5	セダン模型とSUV模型のCar-to-Car衝突試験による客室入力の検討	106
5.1	セダン模型とSUV模型のCar-to-Car衝突試験の意義	106
5.2	衝突実験用模型	108
5.2.1	模型の製作	108
5.2.2	衝突試験装置の製作	109
5.3	衝突実験結果	112
5.4	客室入力分布による防護性の評価	115
5.4.1	客室入力の垂直分布	115

5.4.2	客室入力の2次元等高線表示	117
5.5	第5章の結論	119
6	結 言	120
6.1	本研究の結論	120
6.1.1	セダンとSUVの前面对前面衝突の事故統計分析について	120
6.1.2	モデルによる衝突試験について	121
6.2	本研究の今後の展開	122
	謝 辞	124
	参考文献	125
追補 1	従来のコンパティビリティ対策および評価法について	138
A1.1	荷重伝達部材の取り付けによる対策	138
A1.2	AHOFについて	139
A1.3	AHOFの問題点	140
追補 2	衝突試験の結果について	141
A2.1	バリア衝突試験の荷重-変位曲線について	141
A2.2	セダン対SUVのCar-to-Car衝突試験の荷重-時間曲線について	143
追補 3	国内における交通事故の統計分析についての補足	146
A3.1	車両の衝突部位について	146
A3.2	自動車乗員の損傷主部位について	148
A3.3	自動車の各部位の名称について	149

追補 4	大型乗用車同士 (SUV-LとSdn-L) の衝突事故の分析	151
A4.1	分析対象について	151
A4.2	衝突速度と死亡重傷者率の関係	152
A4.3	死亡または重傷運転者の傷害部位の構成	152
追補 5	交通事故統計の分析結果の有意性について	155
A5.1	重量が同じ程度のSUVとセダンの衝突	155
A5.2	重量の異なるSUVとセダンの衝突	160
追補 6	荷重の垂直分布図D_{CF}および客室荷重中心C_{CF}	165
A6.1	荷重の垂直分布図 D_{CF} およびその導出について	165
A6.2	客室荷重中心 C_{CF} の導出について	168

第 1 章

緒 言

1.1 研究の背景

道路上を走行している自動車には、軽自動車から大型トラックに至るまで様々な大きさや形状の車両が存在する。したがって、実際の衝突事故では、必ずしも自車両と同じ大きさ、同じ形状の車両との衝突のみが起きるとは限らない。国内の自動車事故についても、四輪車乗車中の死亡事故の約 4 割が車両重量の異なる相手との衝突であることが報告されている⁽¹⁾。すなわち、自動車の衝突安全性をより向上させ、衝突事故による乗員の被害低減を進めていくためには、車両重量が軽い車両と重い車両の衝突、あるいはボンネット付き車両とキャブオーバ型の車両との衝突等のような、サイズや形状の異なる車両による衝突に対しての相互安全性（コンパティビリティ）について考慮することが重要である。

大人数で乗車しても広い居住空間がとれる SUV(Sport Utility Vehicle, スポーツ用多目的車)は、使い勝手の良さから、1990 年代以降、国内や欧米で台数が増加した。例えば、国内における世帯が保有する乗用車のうち、SUV の占める割合は、1995 年では僅か 6.5% にすぎなかったが、2005 年になると 26.2% と 10 年間に約 4 倍も増加している⁽²⁾。このような SUV の急増に伴って、SUV が従来の乗用車（セダン・タイプの乗用車、以下セダンと略記する）と衝突した際の攻撃性(aggressiveness)が問題視されるようになった⁽³⁾⁻⁽⁵⁾。これに伴い、米国の

道路交通安全局（National Highway Traffic Safety Administration, 以下 NHTSA と略記する）では，SUV とセダンの衝突時におけるそれぞれの乗員の死亡率を比較し，数値によって SUV の攻撃性を示した⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾．SUV はバンパ高さやサイドメンバ高さ等といった車体構造がセダンと異なる場合が多い．このため，SUV がセダンと衝突した場合には，上述のような車体構造の違いが，攻撃性をもたらす要因となり，SUV がセダンの車体の潰れ量や乗員の傷害値を悪化させる等の影響をおよぼすと考えられる．なお，SUV とオフロード車あるいは 4 輪駆動車は，いずれも厳密には同義ではないが，ここでは，SUV に対して検討を行った．一般的にはオフロード車の語の方が分かり易いが，本論文中では SUV はオフロード車のことを指した語として使った．

重量や車体の形状が異なる車両の衝突に着目した研究は，以前より行われてきた．重量の重い乗用車と軽い乗用車の衝突や大型トラックと乗用車の衝突については，今までにも多くの研究が報告されている⁽⁹⁾⁻⁽²⁸⁾．なお，SUV とセダンの衝突についても，SUV の攻撃性が問題視されるようになった 1990 年代以降から，事故実態の調査・分析，衝突時における乗員の被害軽減対策および SUV のコンパティビリティ性能を評価するための試験法等，詳細な検討が行われるようになってきており⁽²⁹⁾⁻⁽⁴⁰⁾，例えば，SUV のサイドメンバの下にサブフレーム等といった部材を装着することによって，セダンへの攻撃性を緩和させるといった対策も提案されるようになってきた⁽⁴¹⁾⁻⁽⁴⁴⁾．

上述の通り，SUV とセダンの衝突におけるコンパティビリティについて取り組んだ研究は，近年になってから取り組まれるようになってきたものが多い．そして，これらの多くが着目しているのは，SUV の攻撃性であり，その評価法や低減については，今までにも多く論じられてきている．

しかしながら，衝突に係わる 2 台の車両のうち片方だけの対策を論ずるだけでは，コンパティビリティは成り立たない．すなわち，SUV とセダンの衝突におけるコンパティビリティを考えていくためには，SUV のセダンへの攻撃性について論ずるだけでなく，セダンの SUV に対する防護性に着目した検討を行うことも重要である．このためには，SUV に衝突されたセダン乗員の傷害程度の実態や車体損壊のメカニズムを明らかにすることが重要となってくるが，

これらについては、今まで詳細な検討は行われてこなかった．そこで、本研究ではセダンの防護性の観点から、SUVとセダンの前面衝突に関するコンパティビリティについて検討を行うべく、詳細な統計データに基づく事故実態の分析および精密な模型を用いた衝突実験が必須と考えられる．

1.2 研究の目的

本研究の目的は、前節で述べた通り、SUVとセダンの前面衝突に関するコンパティビリティをセダンの防護性の観点から検討していくことである．衝突事故による被害軽減の対策を考えていくためには、事故の実態をよく把握した上で、実験もしくはコンピュータによるシミュレーションによって適切に事故を再現し、車両の損壊や乗員傷害のメカニズムを明らかにしていくことが重要である．したがって、本研究においても、セダンの防護性の観点からコンパティビリティを検討するため、第1段階として交通事故の統計データからSUVとセダンの衝突事故を分析し、セダン乗員が被る傷害の特徴を明らかにした上で、第2段階として精密な模型を用いた衝突試験を行い、セダンの防護性を評価する手法を見出すことによって、車両損壊のメカニズムの解明を試みた．

まず、第1段階について述べる．

自動車の衝突時における乗員保護性能の良し悪しは、乗員の傷害程度や損傷部位に映し出される．すなわち、衝突事故によって死亡や重傷になる率が高ければ、その車両の乗員保護性能は芳しくないものと評価できる．また、衝突時の車体変形は、乗員の損傷部位に影響を与える．例えば、車体上部が変形することが多ければ、頭部や胸部等、上半身の傷害が多くなり、車体下部が変形することが多ければ、脚部等、下半身の傷害が多くなる．したがって、SUVとセダンの衝突におけるセダン乗員の傷害程度や損傷部位の傾向を把握することで、セダンのSUVに対する防護性が評価できる．

衝突時における乗員傷害の傾向を把握するためには、衝突事故の統計データを分析する必要がある．しかしながら、我が国における従来の交通事故統計⁽⁴⁵⁾では、車両形状がボンネット付き車両とキャブオーバ型車両の分類までは可能

であったが、どちらも同じくボンネット付き乗用車である SUV とセダンについては、事故データ中にこれらの区分が存在しないため、両者を区別して統計的に分析することができなかった。すなわち、従来の交通事故統計⁽⁴⁵⁾は、SUV とセダンの衝突事故の統計的な分析が不可能なので、これだけでは、セダンの防護性の評価は行えない。

国内で唯一の公的な交通事故分析機関である財団法人交通事故総合分析センター（Institute for Traffic Accident Research and Data Analysis, 以下 ITARDA と略記する）では、交通事故統計データに車両のデータ（全長，全幅，全高および車両総重量）を組み合わせて事故統計分析を行うことができる交通事故統合データを保有している。そこで、この交通事故統合データを利用することによって SUV とセダンを分離した，全国統計的な分析を可能とするよう，新たな分析手法を試みた⁽⁴⁶⁾⁻⁽⁵¹⁾。

この分析手法によって，セダンの防護性を統計的に評価できるようになる。すなわち，SUV とセダンの衝突における乗員傷害と，セダン同士での衝突における乗員傷害を比較することによって，これまで推測によって語られてきた，SUV とセダンの衝突事故の実状が統計的な側面から明らかになる。このようにして，セダンの乗員防護性を評価し，コンパティビリティについて検討を行うことが，第1段階での本研究の目的である。

次に，第2段階について述べる。

SUV とセダンの衝突におけるコンパティビリティの議論では，上述した通り，しばしば SUV の攻撃性という概念が使用される。しかしながら衝突の直後において，2 台の車両が接触を開始した瞬間から，両車のフロントエンドは一体となってエネルギーを吸収する。また，どちらの客室にも等しく荷重が加わることに注意しなくてはならない。むしろバンパ高さやサイドメンバ高さの違い等といった，SUV とセダン両車における車体前面構造のジオメトリーの違いから，衝突時の荷重入力を予期していない部分に力が加わることで，セダンの客室強度が不足することを避けるべきである。

したがって、SUVとセダンの衝突のコンパティビリティを検討する上では、セダン客室部に加わる荷重分布の変化を把握し、客室変形のメカニズムを理解することによってコンパティビリティを検討しようとする客室入力の評価、すなわちセダンの客室防護性を評価することが重要となるであろう。

本研究では、衝突が開始されてから終了するまでの間に、客室に加わる荷重の分布状況の変化を把握することによって、SUVと衝突したセダンについて、新たに客室入力の観点からコンパティビリティの検討を行った。すなわち、客室内部に加わる荷重の分布をコンパティビリティ性能の指標と捉え、その新たな表現方法を提案することを試みた。

客室内部に加わる荷重の分布は、実車による衝突試験から計測することは難しい。なぜならば、客室内部に加わる荷重を測定するためには、実車をセンターピラーの部分で前後に切り離すような大掛かりな加工をしなければロードセル等荷重を計測する機器を取り付けることが不可能であるからである。そこで、本研究では、客室内部に加わる荷重を実測するために、精密な模型を用いた衝突実験を行った。模型ならば、実車とは異なり、大掛かりな加工をすること無く客室内部に加わる荷重を実測できる。本研究では模型のセンターピラー部にロードセルを装着、衝突による車体骨格部（フロアメンバ、フロアトンネル、サイドシル、ドアベルトラインメンバ、ルーフレール）への入力を計測することによって、客室内部に加わる荷重の分布を明らかにした。なお、模型実験は、以前より乗員の挙動や人体傷害発生メカニズムを解明するための研究に用いられており⁽⁵²⁾⁻⁽⁶⁷⁾、樹脂製模型を用いた衝突実験が、衝突時の車体変形を把握するために有効であることが報告されている⁽⁶⁸⁾⁻⁽⁷³⁾。なお、シミュレーション計算によっても同様な検討が可能であるが、計算値と実験値との精密な合わせ込みが完了していない場合に関しては、模型実験の利用が効果的であると言える。

したがって、本研究における第2段階の目的は、SUVに見立てた突起バリアに樹脂製のセダンの1/10スケール精密模型を衝突させる試験を実施することによって、セダン客室内部に加わる荷重の分布を測定、これによりコンパティビリティ性能の新たな評価方法を求めると共に、SUVと衝突したセダンの乗

員防護性を検討することである．

1.3 本論文の構成

本研究では，第 1 段階にて SUV とセダンの前面对前面衝突時におけるセダンの乗員傷害の特徴を事故統計分析によって，SUV と衝突したセダン乗員防護性能の実態の把握を行い，第 2 段階にて精密な相似模型による衝突試験を行うことによって，客室内部に加わる荷重の分布を明らかにすることを試みた．すなわち，これら二つの段階を経ることによって，SUV とセダンの衝突におけるコンパティビリティの検討を行った．

なお，本論文における以下の各章の構成は次の通りである．第 1 段階に相当する事故統計分析は，第 2 章と第 3 章にて論じ，第 2 段階に相当する模型による衝突実験は第 4 章にて論ずる．

第 2 章では，ITARDA の交通事故統合データによる SUV とセダンの前面对前面衝突事故の全国統計による分析の試み，および重量が同じ程度の SUV とセダンの衝突事故の分析について論ずる．車高と車両総重量の二つの条件による SUV とセダンの区分の可能性について検討を行い，セダンを排気量が 1500cc 以下の車種を Sdn-S，排気量が 1500cc 超 2000cc 以下の車種を Sdn-M，排気量が 2000cc 超の車種を Sdn-L の 3 クラスに区分，SUV をオフロードでの走行を目的としないミニバンや軽快な車種を SUV-M，従来からの本格的なオフロード車種を SUV-L の 2 クラスに区分の上，ITARDA の交通事故統合データを利用することによって重量が同じ程度の SUV とセダンである SUV-M と Sdn-M の前面对前面衝突事故の全国統計分析を行った．そして，車両重量に大きな差がない場合であっても，SUV 運転者の死亡重傷者率の方がセダン運転者よりも低くなっていること．また，その差は衝突速度の増大と共に広がっていくこと．さらに，SUV，セダン共に衝突相手によって死亡あるいは重傷となった運転者の傷害部位の構成や症状の度合い等が異なるなど，コンパティビリティを論ずる上での特徴があることを明らかにした．

第 3 章では、事故統計分析の対象を車両重量の異なる SUV とセダンの衝突に
拡げ、SUV とセダンの衝突の全般的な状況について論ずる。まず、第 2 章で分
類した SUV とセダン全 5 車種を対象に、本章では SUV とセダンの衝突全般に
おけるセダン運転者の傷害の特徴を明らかにすべく、対象を車両重量の異なる
SUV とセダンの衝突、すなわち、軽い SUV と重いセダンの衝突あるいは重い
SUV と軽いセダンの衝突等に拡げて事故統計分析を行った。そして、衝突相手
となる SUV が自車よりも軽ければ上半身の傷害の構成率が多く、反対に自車よ
りも重くなるほど、脚部傷害が多くなる傾向があることを確認、その理由が、
SUV との前部サイドメンバの上下のすれ違いにより、セダンは弱点のある車両
上部に変形が生じ易くなるためと推測した。

次に、自動車が剛壁に衝突した際の速度を示すバリア換算速度を衝突による
車体変形の程度を示す指標とみなし、衝突現象を 1 次元衝突・質量、ばねモデ
ルと仮定した場合のバリア換算速度計算値と衝突による車体の損壊量から実測
したバリア換算速度事故値を比較、セダン同士衝突では計算値と実測値がほぼ
同じとなるのに対し、SUV とセダンの衝突では、バリア換算速度の計算値と実
測値が異なることを確認、上述前部サイドメンバの上下のすれ違いなど車両重
量以外の影響をバリア換算速度の計算値と実測値の差として定量的な数値とし
て示した。また、乗員の傷害程度と衝突速度の関係を分析することによって、
SUV や 1BOX 車などとセダンの衝突をセダン同士の衝突に換算し、乗員が被る
傷害について比較を行った。更に、軽乗用車である軽 SUV と軽セダンの衝突に
おいても、乗員傷害の特徴において、普通乗用車である SUV とセダンの衝突と
同様な傾向が表れることを確認した。

第 4 章では、精密な模型による衝突実験の結果から SUV と衝突時したセダン
客室の乗員防護性について論ずる。本章では、衝突が開始されてから最大変形
に達するまでの間に、客室に加わる荷重の分布状況の変化を把握することによ
って、SUV と衝突したセダンについて、新たに客室入力の観点からコンパティ
ビリティの検討を行った。特に客室内部に加わる力の分布をコンパティビリ
ティ性能の指標と捉え、2 種類の新たな表現方法を提案した。第 1 の表現方
法として、客室に入る荷重の垂直方向分布およびその荷重中心の推移を示す手

法を導入した．荷重の垂直方向分布やその荷重中心の車両変形のストローク量毎での変化を示すことにより，客室入力の評価を試みた．第 2 の表現方法として，センターピラー部での車体断面を 2 次元表示し，客室へ入る荷重の分布を等高線で表示し，客室入力を表現する手法を導入した．車両変形のストローク量毎で客室へ入る荷重分布の変化の評価を試みた．これらの表現法を用いることによって，客室入力を検討した結果，平面バリア衝突では，荷重を客室下部で受けているが，SUV を模したバリアとの衝突では，荷重を主としてドアベルトライン部で受け持つことを明らかにした．

第 5 章では，SUV を模した模型とセダン模型を衝突させる Car-to-Car 衝突試験について述べた．なお，本章における SUV 模型は，車体構造および質量はセダンと全く同じとし，車高だけを変えて衝突時にサイドメンバが上下にオフセットする高さに設計した．SUV，セダンそれぞれの客室への荷重の分布を計測した結果，SUV 客室では，荷重を主として客室下部で受け持ち，セダン客室では，荷重を主としてドアベルトライン部で受け持つことを確認した．したがって，SUV とセダンの衝突における相互安全性を検討し，乗員傷害を軽減していくためには，平面バリア衝突の場合とは異なり，それぞれの客室における衝突時の入力大きい領域を補強することの重要性を示した．

第 6 章では，各章で論じた内容をまとめ，本研究の成果を要約した．

1.4 記号

1.4.1 交通事故統計分析に係る記号

R : 運転者の死亡重傷者率

N_f : 死亡者数と重傷者数の和

N_0 : 軽傷者数と無傷者数の和

ΔV : 前面对前面衝突における相対衝突速度

$|V_{SUV}|$: SUV側の危険認知速度の絶対値

$|V_{Sdn}|$: セダン側の危険認知速度の絶対値

$|V_{SUV-M}|$: SUV-M側の危険認知速度の絶対値

$|V_{Sdn-M}|$: Sdn-M側の危険認知速度の絶対値

1.4.2 模型車両による衝突試験に係る記号

e : 単位体積あたりの吸収エネルギー

ρ : 密度

l : 長さ

P : 荷重

σ : 応力

δ : 衝突による車体変形量

m : 質量

t : 時間

v : 速さ

α : 加速度

E : 運動エネルギー

I : 慣性モーメント

ν : ポアソン比

ε : ひずみ

P_1 : ダミー接触時内圧

P_2 : 大気圧

ν_1 : ダミー接触時のガスの比重量

q_1 : エアバッグ内の初期比体積

κ : 比熱比

w : 排気穴出口速度

g : 重力加速度

R : ガス定数

T : エアバッグ内の絶対温度

1.5 本論文の用語

1.5.1 分析対象とした車種の定義

Sdn-S : 排気量が 1500cc 以下のセダン

Sdn-M : 排気量が 1500cc 超 2000cc 以下のセダン

Sdn-L : 排気量が 2000cc 超のセダン

SUV-M : オフロードでの走行を目的としない軽快な SUV やミニバン
と呼ばれるクラスの SUV

SUV-L : 本格的なオフロード用 SUV

1.5.2 人身損傷程度の定義

死亡 : 事故発生後 24 時間以内の死亡

重傷 : 全治 30 日以上の治療を要する損傷

軽傷 : 全治 30 日未満の治療を要する損傷

無傷 : 治療を必要としない場合

第 2 章

交通事故統合データによる SUV とセダンの 前面对前面衝突事故の分析

2.1 交通事故統合データについて

第 1 章で述べた通り，自動車の衝突安全性をより向上させ，衝突事故による乗員の被害低減を進めていくためには，大きさや形状の異なる車両による衝突に対しての相互安全性（コンパティビリティ）について考慮することが重要である．本章および次章では，SUV とセダンの前面衝突に関するコンパティビリティについて検討を行うため，その第 1 段階として詳細な統計データに基づく事故実態の分析を行った．

国内における従来の交通事故統計⁽⁴⁵⁾では，車両形状がボンネット付き車両とキャブオーバ型車両の分類までは可能であった．しかし，どちらも同じくボンネット付き乗用車である SUV とセダンについては，事故統計データ中にこれらの区分が存在しないため，両者を区別して統計的に分析することは不可能であった．

警察庁が定めた交通事故統計原票（本票）中の車種分類を表 2.1 に示す．死傷事故を起こした四輪自動車は，当事者種別と車両形状の組合せによって分類された状態で，警察庁の交通事故統計データベースに記録される．

例えば、1BOX タイプの軽乗用車の場合は、当事者種別の欄で「軽サイズの乗用車」、車両形状の欄で「1BOX タイプの乗用車」に分類されることになる。しかしながら、この事故統計ではボンネットタイプの乗用車は、すべて「セダンタイプ」に一括されて記録されてしまうので、SUV とセダンを分離して分析することは不可能である。

Table 2.1 Vehicle Classifications (Japanese National Police Agency)

Speciation														
Passenger Vehicle							Commercial Vehicle							
Specific Heavy Sized Vehicle		Heavy Sized Vehicle	Standard Sized Vehicle		Light Motor Vehicle	Special Light Motor Vehicle		Specific Heavy Sized Vehicle		Heavy Sized Vehicle	Standard Sized Vehicle		Light Motor Vehicle	
Vehicle Shape														
Passenger Vehicle					Commercial Vehicle									
Bus	Micro Bus	1BOX	Trailer	Sedan Type	Refrigerator Van	Dump Truck	Cement Mixer Truck	Tank Truck	Dust Cart	Panel Van, Container Carrier	1BOX	Light Van	Trailer	Other Trucks

交通事故発生時に際して、事故の処理を担当する警察官は、事故に関与した自動車に関する情報を前節にて述べた交通事故統計原票に記入するが、このとき、車両の登録番号も記入することになっている。

ITARDA の交通事故統合データは、この登録番号を車検の登録データにリンクさせることによって、事故に関与した車両の製造メーカーや型式、通称名などといった登録上の情報を検索することが可能なシステムとしてつくられている。すなわち、ITARDA の交通事故統合データを利用することで、事故に関与した車両の登録番号から、その製造メーカーや型式、通称名が照会されるため、車高や車両総重量が明らかになるので、車高や車両総重量毎にクラス区分した状態で事故データを抽出することが可能となる。したがって、通常の交通事故統計では分析することが困難であった SUV とセダンの衝突事故も、車高や車両総重量でクラス区分する定義さえ決めることができれば、統計的な分析ができるようになる。

すなわち、交通事故統合データでは、同じくボンネット付き乗用車であ

っても、自動車の全高や車両総重量によって、事故統計データをクラス区分して抽出することが可能となる。そこで、この交通事故統合データを利用し、ボンネット付き乗用車の事故統計データを全高や車両総重量でクラス区分することによって、SUV とセダンを分離し、全国統計的な分析を可能とするよう、新たな分析手法を試みた。

この比較データに基づき、SUV とセダンの衝突における人体傷害程度と、セダン同士での衝突における人体傷害程度の比較が可能となる。これにより、これまで推測によって語られてきた、SUV とセダンの衝突事故の実状を統計的な側面から明らかにし、コンパティビリティについて検討を行うことができるようになった。

2.2 セダンと SUV の新たな分類手法

前述したように、これまでは事故統計データから SUV とセダンを分離することは困難であった。オフロードを走行する目的で開発された SUV の車体構造は強固であり、セダンに比べて重量は重く、車高は高い。そこで、交通事故統合データを用いて事故統計の分析を行うに当たって、車高と車両総重量の 2 種類の条件による SUV とセダンの区分の可能性について、検討を行った。

本研究では、車高や車両総重量で SUV とセダンのクラス区分を定義することを試み、1991 年から 1998 年にかけて国内で登録された、軽自動車を除く主なボンネット付き乗用車の車高および車両総重量での車種毎の分布状況を調べることとし、次のような検討を行った。

セダンについては、排気量が 1500cc 以下の車種 (Sdn-S)、排気量が 1500cc 超 2000cc 以下の車種 (Sdn-M)、排気量が 2000cc 超の車種 (Sdn-L) の 3 クラスに、SUV については、オフロードでの走行を目的としないミニバンや軽快な車種 (SUV-M)、従来からの本格的なオフロード用車種 (SUV-L) の 2 クラスに区分することを試み、それぞれを構成する車種の寸法(車長、

車幅, 車高) および車両総重量について一覧表にまとめた (表 2.2-2.6).

Table 2.2 Specifications of Sdn-S Class Vehicles

Manufacturer	Model Code	Vehicle size			Gross Vehicle Weight	Model Name
		Length	Width	Height		
NISSAN	E-FN15	4140	1690	1385	1335	LUCINO
	E-JN15	4140	1690	1385	1080	PULSAR
	E-K10	3735	1590	1395	945	MARCH
	E-HK11	3720	1585	1425	1105	MARCH
	E-FB13	4220	1670	1375	1225	SUNNY
	E-B14	4295	1690	1385	1265	SUNNY
	E-JB14	4285	1690	1375	1385	LUCINO
	E-FN14	4243	1670	1385	1285	PULSAR
	E-FN15	4340	1690	1385	1355	PULSAR
MAZDA	E-BHA3S	4035	1695	1405	1225	FAMILIA
	E-EC5SA	4215	1695	1310	1270	AZ-3
	E-EC5S	4215	1695	1310	1270	EUNOS
	E-BHA5PSF	4410	1695	1420	1385	FORD LAZER
	E-D23PF	3825	1655	1440	1115	FORD FESTIVA
	E-BG5P	4250	1690	1385	1315	FAMILIA
	E-BHA3P	4335	1695	1420	1295	FAMILIA
	E-BHA6R	4400	1695	1440	1465	FAMILIA
	E-DB3PA	3800	1655	1470	1115	REVUE
E-BHALPF	4420	1695	1420	1355	FORD LAZER	
SUBARU	E-KA7	3695	1535	1420	1045	JUSTY
	E-AA2	4370	1660	1385	1225	REONE
SUZUKI	E-AA44S	3745	1575	1350	1035	CULTUS
	E-GA11S	3870	1680	1395	1175	CULTUS
	E-GS21S	4195	1690	1380	1225	CULTUS
TOYOTA	HK-NHW10	4275	1695	1490	1515	PRIUS
	E-AE101	4270	1685	1380	1255	COROLLA
	E-AE111	4315	1690	1385	1275	COROLLA
	E-AE100	4385	1695	1315	1285	COROLLA
	E-AE101	4275	1695	1305	1330	COROLLA LEVIN
	E-AE110	4305	1695	1305	1210	COROLLA LEVIN
	E-AE100	4290	1685	1375	1265	SPRINTER
	E-AE110	4315	1690	1385	1335	SPRINTER
	E-AE110	4305	1695	1305	1210	SPRINTER
	E-EL55	4125	1660	1385	1295	TERCEL
	E-EL53	4125	1660	1370	1225	CORSA
	F-EL41	3930	1645	1365	1095	TERCEL
	E-EL51	3915	1600	1370	1175	TERCEL
	E-EL53	3915	1660	1370	1205	CORSA
	E-EL45	3930	1645	1365	1195	COROLLA II
	E-EL53	3915	1660	1370	1165	COROLLA II
	E-EL51	3915	1660	1370	1115	COROLLA II
	E-EP82	3800	1600	1380	1025	STARLET
E-EP91	3790	1625	1400	1085	STARLET	
MITSUBISHI	E-CJ1A	3890	1680	1365	1225	MIRAGE
	E-CM5A	4290	1690	1405	1515	MIRAGE
	E-CK2A	4290	1690	1395	1265	MIRAGE
	E-CJ4J	4230	1690	1365	1245	MIRAGE
	E-CM5A	4290	1690	1405	1535	LANCER
	E-CB3A	4270	1690	1385	1265	LANCER
	E-CK1A	4290	1690	1395	1265	LANCER
	HONDA	E-MB3	4480	1695	1390	1305
E-MB5		4480	1695	1405	1425	DMANI
E-EK2		4450	1695	1390	1255	CIVIC
E-EK5		4450	1695	1405	1405	CIVIC 4WD
E-EK2		4180	1695	1375	1245	CIVIC
ISUZU	E-JT151F	4195	1680	1390	1285	GEMINI
	E-MJ4	4480	1695	1390	1305	GEMINI
	E-MJ6	4480	1695	1405	1425	GEMINI 4WD
	E-GC1E43G	4340	1690	1405	1335	IMPREZA
DAIHATSU	E-A101S	4340	1660	1375	1325	APPLAUSE
	E-G203S	4085	1620	1385	1195	CHARADE
	E-G200S	3750	1620	1385	1095	CHARADE
	E-G201S	3750	1620	1420	1195	CHARADE

Table 2.3 Specifications of Sdn-M Class Vehicles

Manufacturer	Model Code	Vehicle size			Gross Vehicle Weight	Model Name
		Length	Width	Height		
TOYOTA	E-SV30	4670	1695	1395	1425	CAMRY
	E-SV40	4625	1695	1410	1465	CAMRY
	E-CX81	4690	1695	1375	1635	MARK II
	E-SV40	4650	1695	1390	1485	VISTA
	E-AT212	4455	1695	1410	1405	CARINA
	E-AT170	4480	1690	1370	1295	CORONA
	E-AT210	4520	1695	1410	1385	CORONA
	E-TJG00	4600	1740	1355	1585	CAVALIER
	E-TJG00	4595	1735	1395	1575	CAVALIER
NISSAN	E-HK30	4595	1695	1460	1565	CREW
	E-UF31	4805	1695	1370	1735	LEOPARD
	E-A31	4690	1695	1375	1565	CEFIRO
	E-FC33	4690	1695	1365	1475	LAUREL
	E-HR32	4580	1695	1340	1535	SKYLINE
	E-EU13	4585	1695	1370	1435	BLUEBIRD
	E-EU14	4565	1695	1395	1465	BLUEBIRD
	E-P11	4430	1695	1400	1465	PRIMERA
	E-R11	4490	1695	1325	1335	PRESEA
	E-HC35	4745	1730	1400	1625	LAUREL
	E-HR33	4640	1720	1340	1555	SKYLINE
	E-HR33	4720	1720	1360	1595	SKYLINE
	MITSUBISHI	E-S11A	4690	1695	1440	1755
E-DA2A		4450	1695	1405	1425	CHARISMA
E-E32A		4560	1695	1430	1375	GALLANT
E-E39A		4560	1695	1440	1685	GALLANT VR4
E-E33A		4560	1695	1405	1585	ETERNA
E-E39A		4560	1695	1415	1755	ETERNA ZR4
E-E35A		4560	1695	1405	1455	ETERNA SAVA
E-EC5A		4680	1740	1420	1755	GALLANT VR-4
E-EC1A		4620	1740	1420	1515	GALLANT VR-G
E-E52A		4625	1730	1400	1435	GALLANT
E-E53A		4610	1730	1370	1525	EMERAUDE
MAZDA		E-GF8P	4575	1695	1440	1455
	E-GFER	4575	1695	1455	1300	CAPELLA 4WD
	E-MAEP	4550	1695	1335	1535	PERSONA
	E-MAEPE	4550	1695	1335	1555	EUNOS 300
	GF-GF8OF	4575	1695	1440	1455	FORD TELSTER
	E-MBEP	4695	1750	1340	1555	ENFINI MS-8
HONDA	E-CF3	4635	1695	1420	1535	ACCORD
	E-CF5	4635	1695	1440	1645	ACCORD 4WD
	E-CB5	4690	1695	1355	1585	ACCORD
	E-DC1	4380	1695	1335	1270	INTEGRA
	E-EK3	4525	1695	1370	1285	INTEGRA
	E-BB5	4520	1750	1315	1470	PRELUDE
ISUZU	E-CJ2	4635	1695	1420	1535	ASKA
SUBARU	E-BC3	4545	1690	1395	1485	LEGACY
	E-BD5C43R	4605	1695	1405	1565	LEGACY

Table 2.4 Specifications of Sdn-L Class Vehicles

Manufacturer	Model Code	Vehicle size			Gross Vehicle Weight	Model Name
		Length	Width	Height		
TOYOTA	E-JZS155	4900	1795	1420	1885	CROWN
	E-JZS155	4820	1760	1425	1805	CROWN
	E-JZS160	4805	1800	1435	1875	ARIST
	E-MCV21	4845	1790	1395	1745	WINDOM
	E-MCX10	4845	1785	1435	1745	AVALON
	E-SXV20	4760	1785	1420	1390	CAMRY
	E-JZX100	4760	1755	1400	1410	MARK II
	E-GZG50	5270	1890	1475	2265	CENTURY
	E-VG45	5770	1890	1460	2365	CENTURY
NISSAN	E-Y33	4870	1765	1425	1825	CEDRIC
	E-ENY33	4875	1765	1445	1975	GLORIA
	E-JMY33	4895	1765	1425	1825	LEOPARD
	E-BCNR32	4675	1780	1360	1760	SKYLINE GT-R
	E-PA32	4760	1770	1410	1585	CEFIRO
MITSUBISHI	E-F36A	4805	1785	1435	1785	DIAMANTE
	E-F13A	4740	1775	1435	1715	SIGMA
	E-S22A	4975	1815	1440	1875	DEVONAIR
MAZDA	E-TA5P	4825	1770	1395	1705	MILLENNIA
	E-HEEP	4895	1805	1420	1815	SENTIA
HONDA	E-UA1	4840	1785	1405	1655	INSPIRE
	E-UA1	4840	1785	1405	1655	SABER
	E-KA9	4955	1810	1435	1905	LEGEND
TOYATA	E-UCF21	4995	1830	1415	2045	CELSIOR
	E-JZZ30	4900	1805	1350	1835	SOARER
NISSAN	E-JHG50	5225	1830	1425	2265	PRESIDENT
	E-PHG50	5075	1830	1425	2215	PRESIDENT
	E-FHY33	4970	1820	1445	1915	CIMA

Table 2.5 Specifications of SUV-M Class Vehicles

Manufacturer	Model Code	Vehicle size			Gross Vehicle Weight	Model Name
		Length	Width	Height		
MITSUBISHI	E-N23WG	4460	1740	1730	1760	RVR
	E-N23WG	4375	1740	1690	1710	RVR
	E-N23W	4360	1695	1680	1600	RVR
	E-N23W	4360	1695	1680	1595	RVR
	E-N84W	4585	1775	1650	1895	CHARIOT GRANDIS
	E-N84W	4585	1775	1650	1840	CHARIOT GRANDIS
	E-H57A	3500	1545	1660	1200	PAJERO Jr.
NISSAN	E-N30	4680	1765	1675	1725	RNESSA
	E-NN30	4680	1765	1690	1915	RNESSA 4WD
	E-PM11	4545	1690	1680	1795	PRAIRIE
	E-PM11	4545	1690	1680	1805	PRAIRIE
	E-N30	4680	1765	1675	1735	RNESSA
HONDA	E-RA4	4765	1790	1690	1985	ODYSSEY
	E-RA4	4765	1770	1660	1975	ODYSSEY
	E-RH1	3950	1695	1750	1560	S-MX
	E-RD1	4470	1750	1705	1665	CR-V
TOYOTA	E-AE111	4135	1690	1660	1550	COROLLA SPACIO
	E-AE111	4135	1690	1660	1415	COROLLA SPACIO
MAZDA	E-TJ51W	4100	1695	1720	1585	PROCEED
	E-TF51W	3720	1695	1700	1470	PROCEED
DAIHATSU	Q-F71G	3715	1670	1840	1775	RAGAR
	E-J100G	3865	1555	1760	1335	TERIOS
	E-J100G	3785	1555	1715	1325	TERIOS
	E-F300S	3705	1635	1725	1470	ROCKY
	E-F300S	3705	1580	1725	1450	ROCKY
SUZUKI	E-TD61W	4100	1695	1720	1625	ESCUDO
	E-TA51W	3720	1695	1700	1430	ESCUDO
	E-TA01W	3570	1635	1705	1330	ESCUDO
	E-JB32W	3510	1545	1670	1200	JIMNY SIERRA
	E-TA01R	3560	1635	1665	1260	ESCUDO
	E-TA01R	3560	1635	1695	1290	ESCUDO
	E-TD01W	3975	1635	1700	1465	ESCUDO

Table 2.6 Specifications of SUV-L Class Vehicles

Manufacturer	Model Code	Vehicle size			Gross Vehicle Weight	Model Name
		Length	Width	Height		
TOYOTA	KD-KZJ90W	4240	1730	1865	2025	LANDCRUISER PRADO
	KD-KZJ95W	4815	1790	1935	2860	LANDCRUISER
	Q-LJ78W	4585	1790	1900	2400	LANDCRUISER PRADO
	KD-KZN185W	4850	1800	1805	2125	HILUXSURF
	E-RZN185W	4540	1800	1765	2005	HILUXSURF
	KD-KZJ95W	4675	1820	1880	2235	LANDCRUISER PRADO
	E-FJ80G	4970	1900	1900	2660	LANDCRUISER
	KC-BXD20V	5090	2170	2075	3395	MEGA CRUISER
	KC-HDJ81V	4980	1930	1860	2770	LANDCRUISER
	E-FZJ80G	4970	1930	1860	2670	LANDCRUISER
NISSAN	MIKD-R20	4580	1755	1805	2305	MISTRAL
	MIKD-KR20	4105	1755	1805	2055	MISTRAL
	KD-WYY61	4340	1840	1855	2315	SAFARI
	E-LR50	4530	1840	1730	2095	TERRANO V6
	KD-PR50	4530	1840	1790	2175	TERRANO
	KD-JRR50	4670	1840	1750	2185	TERRANO
	E-JLR50	4670	1840	1730	2105	TERRANO
	E-WGY61	4910	1930	1865	2635	SAFARI
MITSUBISHI	KD-V26C	4030	1695	1880	2080	PAJERO
	E-V23C	4030	1695	1850	1920	PAJERO
	KB-J55FF	3455	1665	1910	1730	JEEP
	E-H57A	3500	1545	1660	1200	PAJERO Jr.
	Q-V24W	4030	1695	1825	2005	PAJERO
	Q-V44W	4650	1695	1945	2325	PAJERO
	KD-V46W	4650	1695	1975	2525	PAJERO
	E-V25W	4060	1785	1890	2175	PAJERO
	KD-V26WG	4060	1785	1845	2225	PAJERO
	E-V21W	4060	1785	1860	2035	PAJERO
	KD-V46WG	4680	1775	1900	2485	PAJERO
E-K99W	4530	1775	1730	2185	CHALLENGER	
MAZDA	E-UV66R	4950	1720	1800	2145	PROCEED
	KD-UVL6R	4990	1810	1815	2215	PROCEED
HONDA	KD-UBS69GWH	4660	1745	1840	2315	HORISON
SUBARU	Q-UBS55FWS	4550	1650	1820	2075	BIGHORN
ISUZU	Q-UBS55FW4KLT	4470	1650	1815	2075	BIGHORN
	Q-UBS55CWK1	4120	1650	1820	1910	BIGHORN
	E-UBS25GW	4660	1745	1840	2355	BIGHORN
	KD-UCS69GW	4585	1765	1750	2175	MU
	KD-UCS69DWM	4165	1780	1670	1980	MU
	E-UGS25DW	4130	1790	1710	1970	VEHICROSS
	E-UBS25DW	4230	1835	1835	2115	BIGHORN
KD-UBS69GW	4660	1835	1840	2475	BIGHORN	

この結果に基づき，図 2.1 に示したように，SUV とセダンを車高および車両総重量でクラス区分する定義を決定し，事故統計分析を行った．

図 2.1 をみると，細線で区分したように，Sdn-S の多くは車両総重量 1.4ton 以下に，Sdn-M の多くは車両総重量 1.4ton から 1.7ton の間に，Sdn-L の多くは車両総重量 1.7ton 超に分布しており，いずれも車高 1500mm 以下である．また，SUV-M の多くが車両総重量 2.0ton 未満に，SUV-L の多くが車両総重量 2.0ton 以上に分布しており，いずれも車高 1650mm 以上である．

以上のことから，同じくボンネット付き乗用車である SUV とセダンは，車両総重量と車高を組み合わせることで判別することにより，交通事故統合データベース上での区分が可能であると言える．このようにして，従来の事故統計上では区分が不可能であった SUV とセダンを，初めて区分することが可能となった．さらに本研究では，図 2.1 中に示した細線で区切った範囲でセダンを 3 種類，SUV を 2 種類に分類し，それぞれの種類を交通事故統合データ中から区分した上で，全国統計的な視点から事故分析を行った．

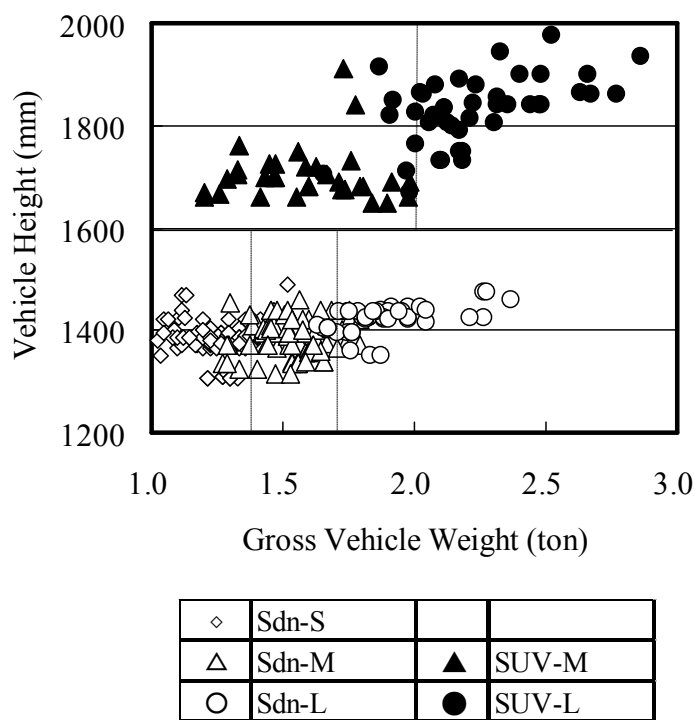


Fig.2.1 Gross Vehicle Weight and Height (1991 – 1998, Japan)

2.3 車両重量が同程度のセダンと SUV の衝突事故の分析

2.3.1 分析対象の決定

図 2.1 で分類した車種のうち，SUV-M と Sdn-M の前面对前面衝突に着目した交通事故統合データを用いた事故統計分析を行った．図 2.1 の車種別分布状態の通り，SUV-M と Sdn-M の車両総重量自体には，大きな差異は存在しない．したがって，衝突における乗員の傷害程度や傷害部位に異なる特徴があるとすれば，バンパ高さやサイドメンバ高さの違い等の重量以外の要因，すなわち前面形状や車体構造の相違が影響をおよぼしたものと考えることができる．そこで，以下のように，運転者の死亡重傷者率および運転者の傷害部位の構成について両車種同士の衝突事故を抜き出し，解析を行った．

2.3.2 衝突速度による運転者の死亡重傷者率

まず，前面对前面衝突事故における SUV-M および Sdn-M の運転者の衝突速度別死亡重傷者率についての分析を行った．運転者の死亡重傷者率 R は，式(2.1)によって定義した．

$$R = \frac{N_f}{N_f + N_0} \times 100 \quad (2.1)$$

N_f ：死亡者数と重傷者数の和

N_0 ：軽傷者数と無傷者数の和

また，前面对前面衝突における相対衝突速度 ΔV は，車両速度の絶対値の和（図 2.2）であり，式(2.2)のように表される．

$$\Delta V = |V_{\text{SUV-M}}| + |V_{\text{Sdn-M}}| \quad (2.2)$$

$|V_{\text{SUV-M}}|$ ：SUV-M 側の危険認知速度

$|V_{\text{Sdn-M}}|$ ：Sdn-M 側の危険認知速度

ITARDA が保有する危険認知速度のデータを，衝突速度に近似したものとみなし，その和を相対衝突速度として式(2.2)に従い算出した．なお，危険認知速度とは，運転者が衝突相手の存在を認識し，危険を認知した時の速度のことであり，厳密には実際の衝突速度ではない．ただし，危険認知速度と実際の衝突速度には相関性があり，近似できるものであるという報告がなされており⁽⁷⁴⁾⁽⁷⁵⁾，本研究では，危険認知速度を衝突速度とみなして扱うこととする．

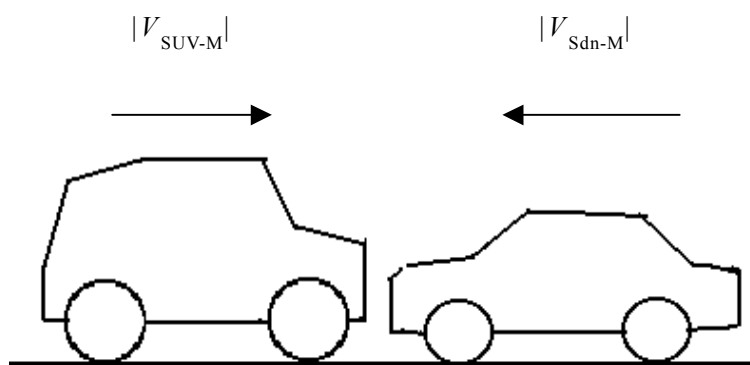
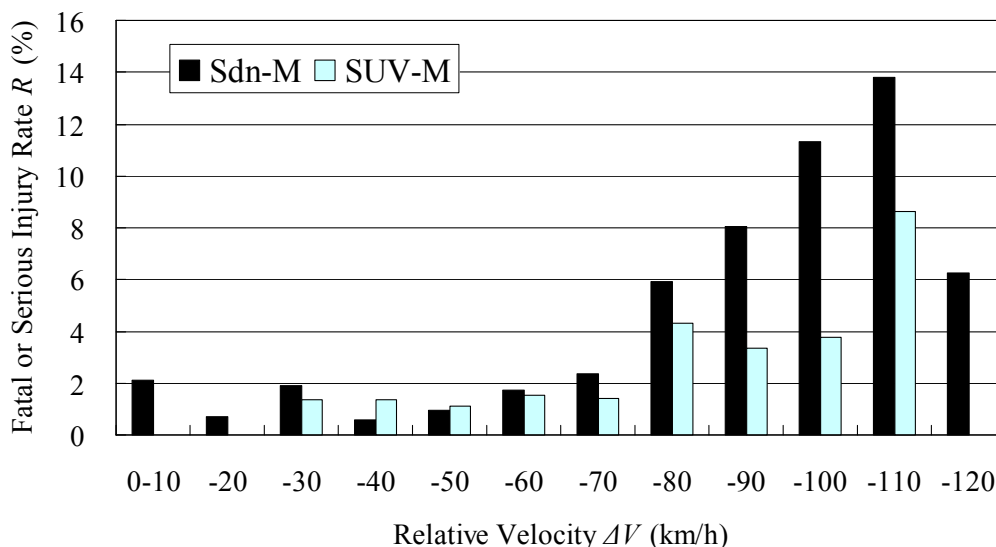


Fig.2.2 Front-to-Front Collision (SUV-M to Sdn-M)

図 2.3 に 1995 年から 1999 年の死傷事故を対象として求めた危険認知相対速度 ΔV と運転者の死亡重傷者率 R の関係を示す．相対速度 ΔV が 60km/h 以下の速度域については，SUV-M 運転者の死亡重傷者率と Sdn-M 運転者の死亡重傷者率にあまり大きな差はみられないが，相対速度 ΔV が 70km/h 以上になると，SUV-M 運転者の死亡重傷者率と Sdn-M 運転者の死亡重傷者率の差は開いていく．この傾向は重量が同程度の車両同士に関して得られたものであり，注目すべき結果と考えられる．この理由は，図 2.1 で示した通り，SUV-M の車高が Sdn-M に比して高く，バンパ高さやサイドメンバ高さに上下のオフセットが存在するためと考えられる．したがって，衝突エネルギーの大きい速度域になると，後述するように，この上下方向のオフセットが車両重量以外の要因として効いてくるため，運転者の死亡重傷者率の差が大きくなっていくと推測することができる．

Fig.2.3 Fatal or Serious Injury Rate R and Relative Velocity ΔV

2.3.3 死亡または重傷運転者の傷害部位の構成

次に、1995年から1999年の死傷事故を対象に、死亡または重傷となった運転者の傷害部位の構成について分析を行った。SUV-MとSdn-Mの衝突におけるSdn-Mの運転者（死亡重傷者数81人）の損傷主部位の構成を図2.4に、SUV-Mの運転者（死亡重傷者数57人）の損傷主部位の構成を図2.5に示す。

頸部および胸部損傷の構成率に関しては、Sdn-M運転者（図2.4）の方が、SUV-Mの運転者（図2.5）より若干高い。反対にSUV-M運転者は脚部損傷の構成率が高い。このように運転者の損傷主部位の構成についてもSUV-MとSdn-Mの間に異なる傾向がみられる。以上のように、傷害部位の構成が異なる理由として、衝突時における車両の潰れ方に相違のあることが推測される。すなわち、車高の低いSdn-M側では乗員空間のうち比較的上の部分が主に潰されることとなるので、運転者の頸部や胸部が傷害部位となる割合が高くなり、一方、車高の高いSUV-M側では乗員空間のうち下の部分が主に潰されることとなるので、運転者の脚部が傷害部位となる割

合が高くなっていると考えられる．

比較のため Sdn-M 同士の衝突による運転者（死亡重傷者数 807 人）の傷害部位別構成を図 2.6 に，SUV-M 同士の衝突による運転者（死亡重傷者数 13 人）の傷害部位別構成を図 2.7 に示す．Sdn-M 同士での衝突（図 2.6）は図 2.4 に比べ頸部あるいは胸部損傷の構成率が少なくなっている．また，SUV-M 同士での衝突（図 2.7）では，図 2.5 に比べ頸部あるいは胸部損傷の構成率が多くなっている．このことから車両重量自体には差が少ない車両同士の衝突であっても，車体構造が異なる車両との衝突では乗員の傷害部位の構成に相違のあることが，このことから明らかである．なお，上述の事故統計分析結果を有意水準 0.05 で検定（片側検定）し，Sdn-M 運転者の頸部傷害について有意であることを確認した．

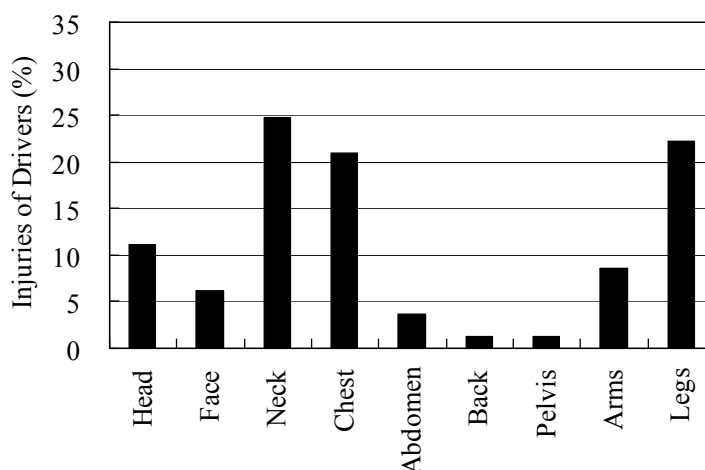


Fig.2.4 Injuries of Sdn-M Drivers (SUV-M to Sdn-M)

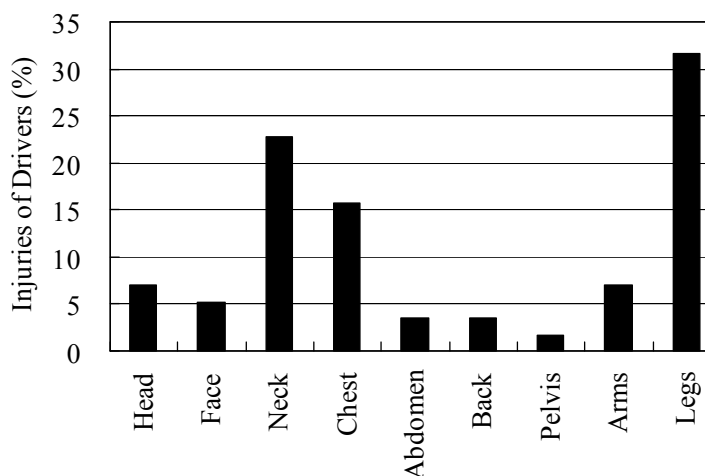


Fig.2.5 Injuries of SUV-M Drivers (SUV-M to Sdn-M)

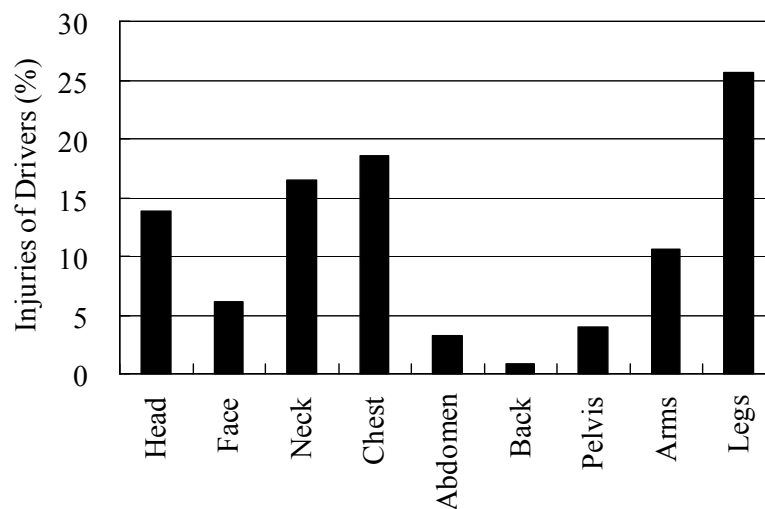


Fig. 2.6 Injuries of Sdn-M Drivers (Sdn-M to Sdn-M)

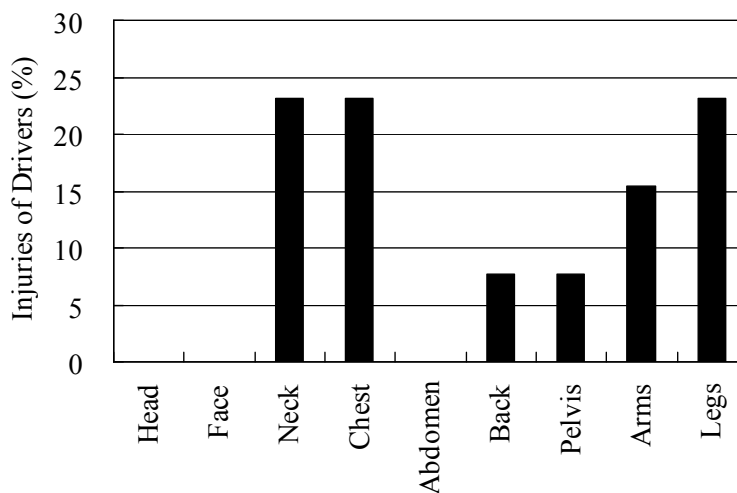


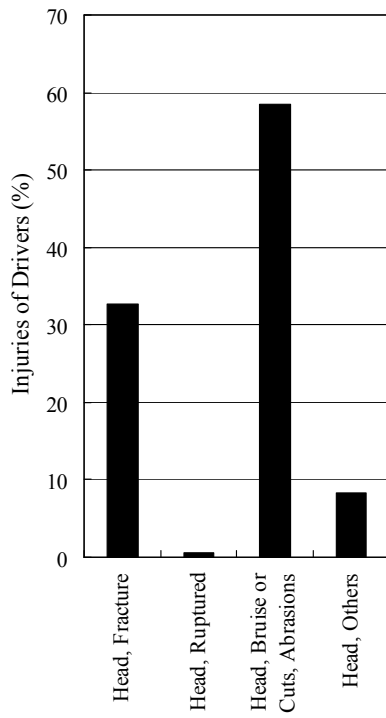
Fig.2.7 Injuries of SUV-M Drivers (SUV-M to SUV-M)

2.3.4 傷害種別の詳細について

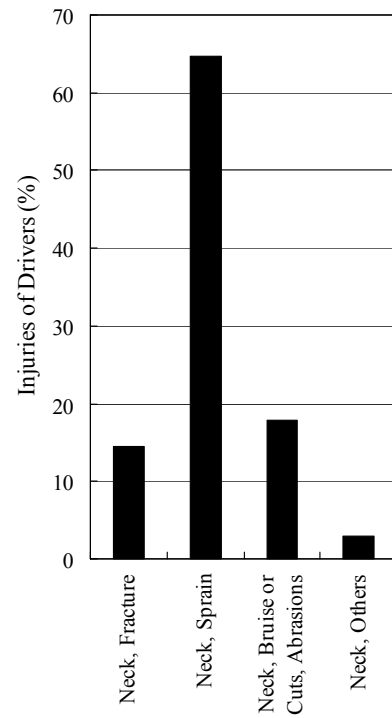
次に、死亡もしくは重傷を負った運転者の各損傷主部位の傷害種別の構成についても分析を行った。

図 2.8 に、Sdn-M 同士の前面对前面衝突で死亡もしくは重傷を負った運転者の各損傷主部位の傷害内容の構成を示す。

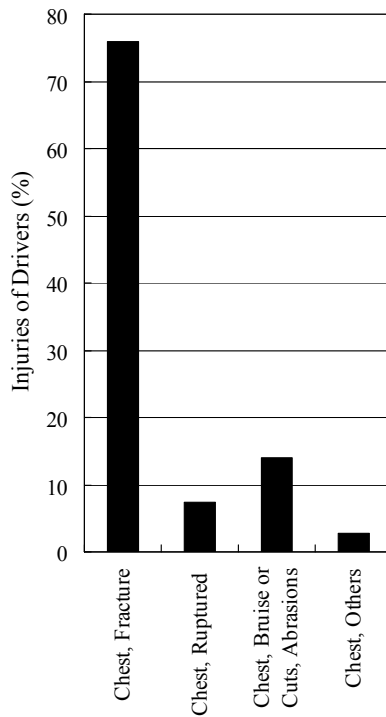
- ・ 頭部：裂擦過および打撲傷が約 60%を，骨折が約 30%を占める。
- ・ 頸部：頸椎捻挫が約 65%を占める。
- ・ 胸部：骨折が約 75%。



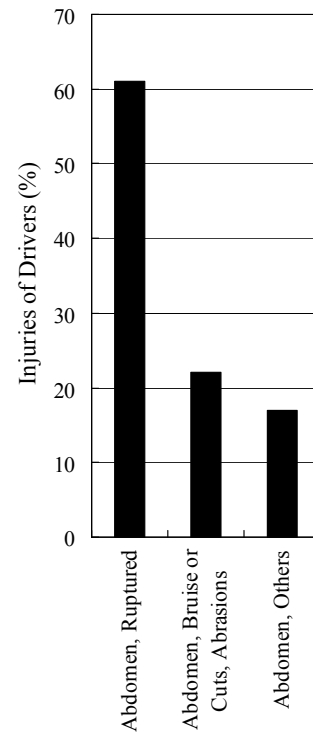
(a) Head



(b) Neck



(c) Chest



(d) Abdomen

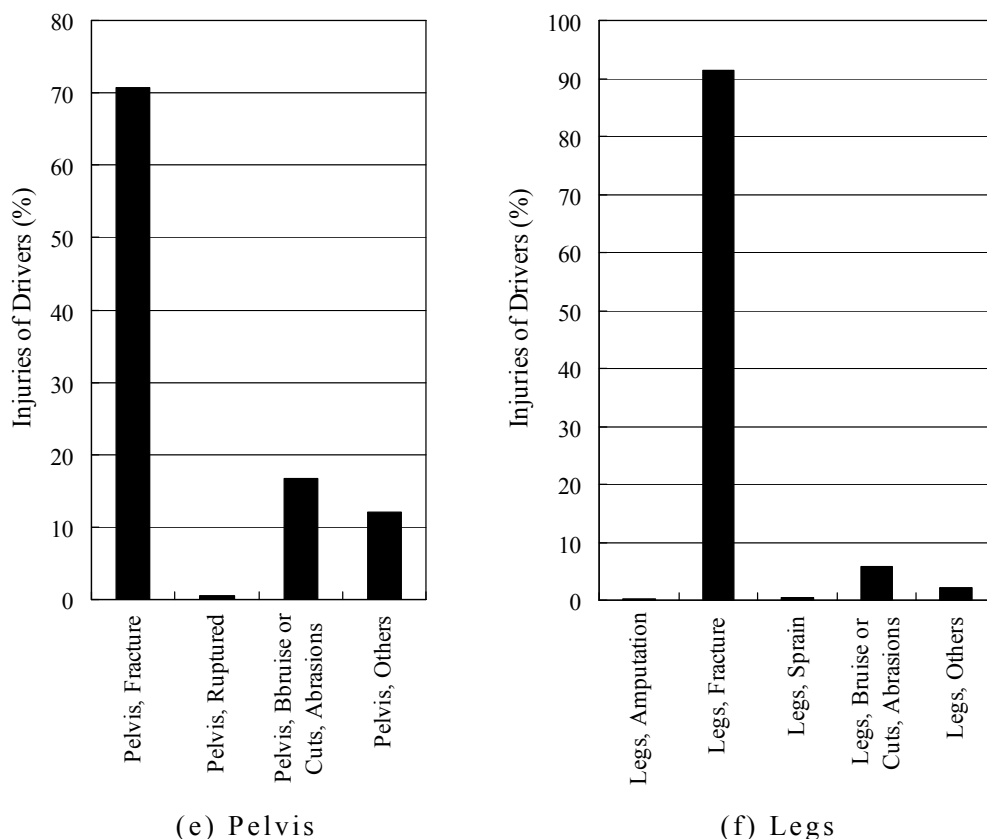
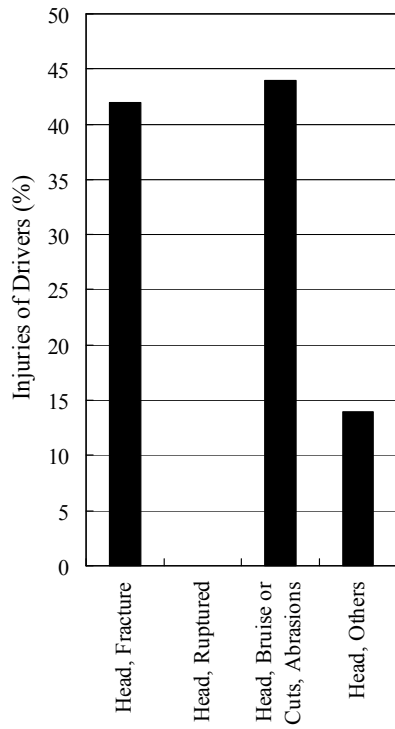


Fig.2.8 Injuries of Sdn-M Drivers (Sdn-M to Sdn-M)

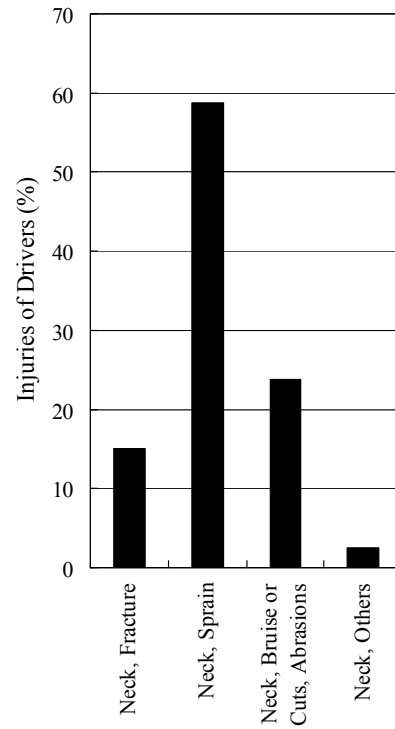
- ・ 腹部：内臓破裂が約 60%.
- ・ 腰部：骨折が約 70%.
- ・ 脚部：骨折が約 90%.

図 2.9 に，SUV-M と Sdn-M の前対前衝突において，死亡もしくは重傷を負った Sdn-M 側運転者の各損傷主部位の傷害内容の構成を示す．

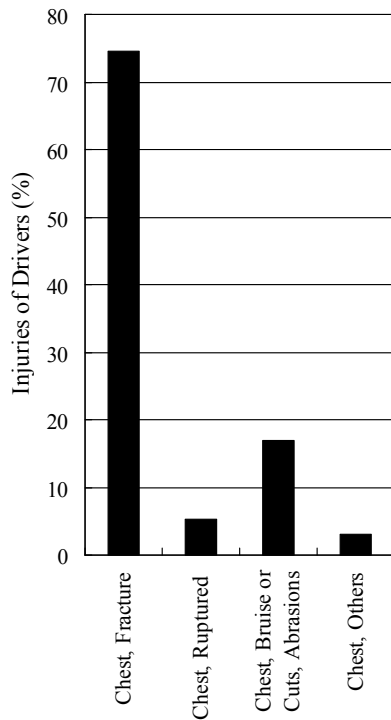
- ・ 頭部：裂擦過および打撲傷は約 45%，骨折は約 40%．Sdn-M 同士での衝突に比べ，裂擦過および打撲傷の構成率が減少し，骨折が増加している．
- ・ 頸部：頸椎捻挫が約 60%弱と Sdn-M 同士での衝突に比べ，やや減少している．その代わりに裂擦過および打撲傷がやや増加している．
- ・ 胸部：骨折が約 75%．Sdn-M 同士での衝突と同じ程度．



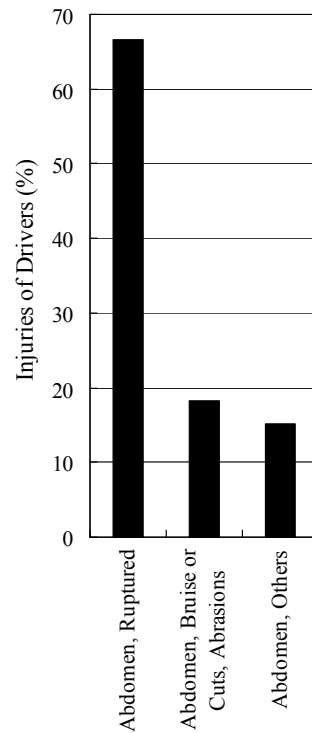
(a) Head



(b) Neck



(c) Chest



(d) Abdomen

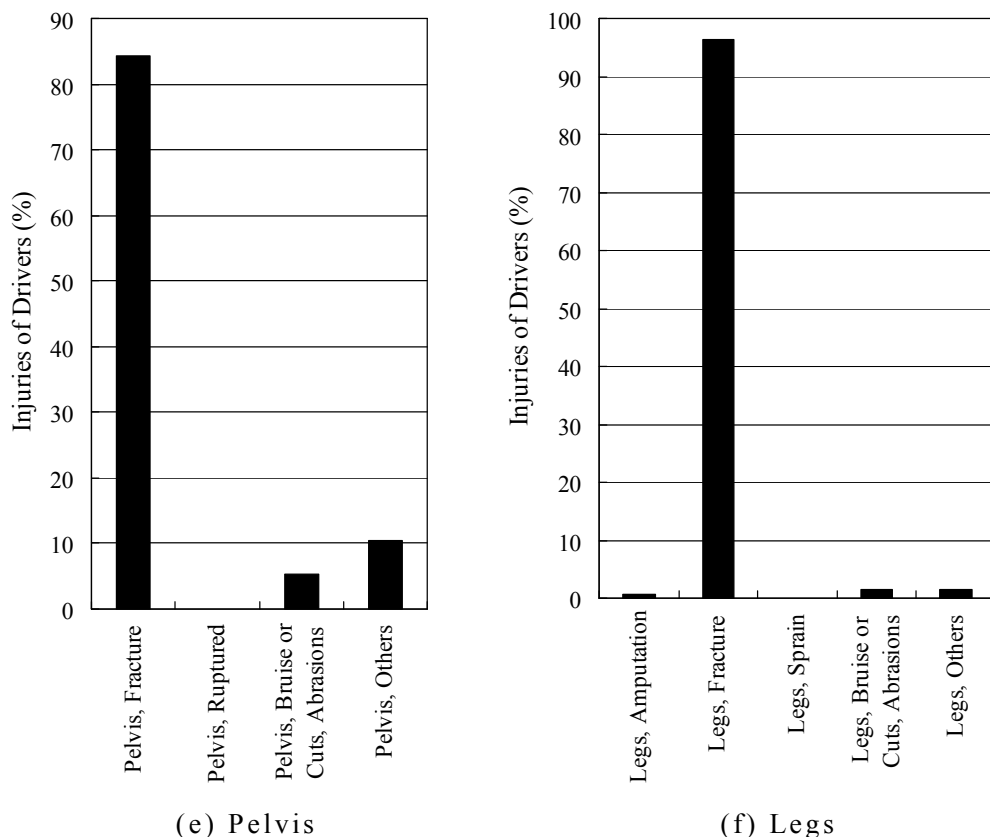


Fig.2.9 Injuries of Sdn-M Drivers (SUV-M to Sdn-M)

- ・腹部：内臓破裂が約 65%。Sdn-M 同士での衝突に比べ、やや増加している。
- ・腰部：骨折が約 85%。Sdn-M 同士での衝突に比べ、増加している。その代わりに裂擦過および打撲傷が減少している。
- ・脚部：骨折が約 95%。Sdn-M 同士での衝突に比べ、やや増加している。

前節にて、SUV と衝突したセダンの運転者は、セダン同士の衝突の場合に比べ、頭部や胸部といった上半身の傷害の構成率が多くなっていることを確認した。しかしながら、傷害の内容について分析したところ、同じく頭部傷害といっても、SUV と衝突したセダンの運転者とセダン同士では、傷害種別の構成が異なっていることを確認した。すなわち、セダン同士の衝突での頭部傷害では、裂擦過および打撲傷の構成率が多かったのが、SUV と衝突したセダンでは、骨折が裂擦過および打撲傷よりも多くなっている。また、頸部傷害についても、SUV と衝突したセダン運転者の方が、セダン

同士の衝突に比べ、捻挫が少なくなり、代わりに裂擦過および打撲傷の構成率が増えている。その他の損傷主部位についても、それぞれ SUV と衝突したセダン運転者の傷害の方が、重い被害を負う傾向である。

2.4 車両重量の差が大きいセダンと SUV の衝突との比較

2.4.1 比較対象の選定

2.3 節では、車両重量がほぼ同程度の SUV-M と Sdn-M の衝突に着目した事故統計分析を行い、乗員の人体損傷程度や傷害部位の構成に違いがみられることを確認した。このことから、SUV とセダンの車両重量に極めて大きな差異が存在する場合については、乗員の人体傷害程度や傷害部位の構成に、前述の SUV-M と Sdn-M の衝突以上の極端な違いが表れると考える。そこで本節では、図 2.1 に示した車種別分布にて車両重量に最も大きな差異が存在する SUV-L と Sdn-S の衝突を比較対象に選定、両車の衝突における衝突速度と運転者の死亡重傷者率の関係、運転者の傷害部位の構成について考察する。

2.4.2 衝突速度による運転者の死亡重傷者率

前面对前面衝突事故における SUV-L および Sdn-S の運転者の衝突速度別死亡重傷者率についての分析を行った。1995 年から 1999 年の死傷事故を対象として求めた危険認知相対速度 ΔV と運転者の死亡重傷者率 R の関係を図 2.10 に示す。SUV-L の運転者と Sdn-S の運転者における死亡重傷者率の差は、図 2.3 に示した SUV-M と Sdn-M に対する同様な比較図よりも特徴が極端に強く出ている。すなわち、圧倒的に SUV-L の死亡重傷者数が少なくなっている。これは、車体構造の差に加えて、車両重量が異なるためであることは明らかではあるが、定量的なデータとして注目すべきことと考える。

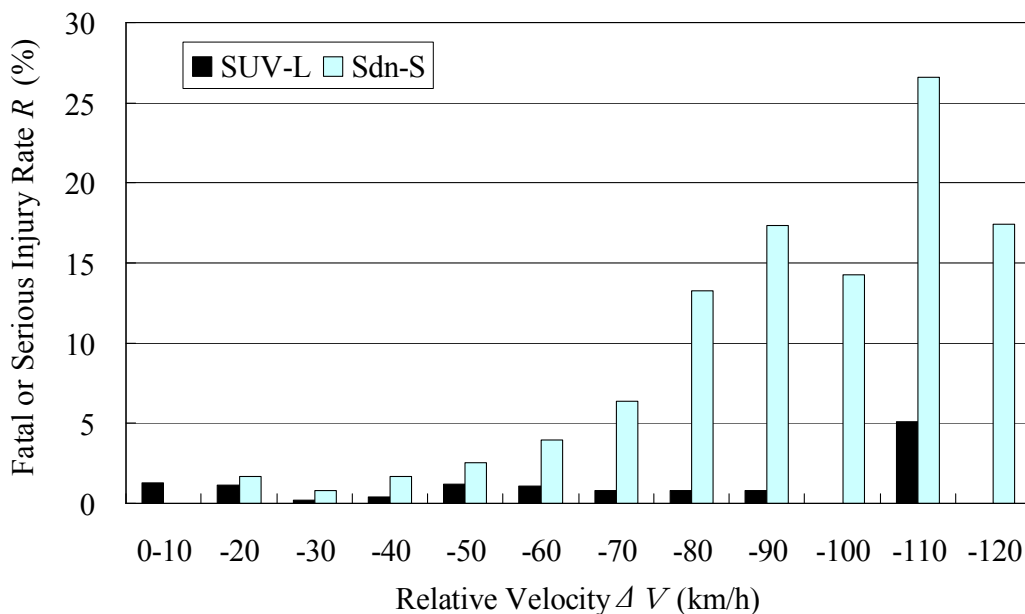


Fig.2.10 Fatal or Serious Rate R and Relative Velocity ΔV

2.4.3 死亡または重傷運転者の傷害部位の構成

死亡または重傷となった Sdn-S と SUV-L に関する運転者の傷害部位の構成について 1995 年から 1999 年に発生した死傷事故を対象として分析を行った。図 2.11 に SUV-L と衝突した Sdn-S の運転者（死亡重傷者数 234 人）についての損傷主部位別構成率を示す。Sdn-S の運転者については、胸部および脚部が傷害部位となっている割合が多い。この傾向は前節の結果（図 2.4）と類似している。

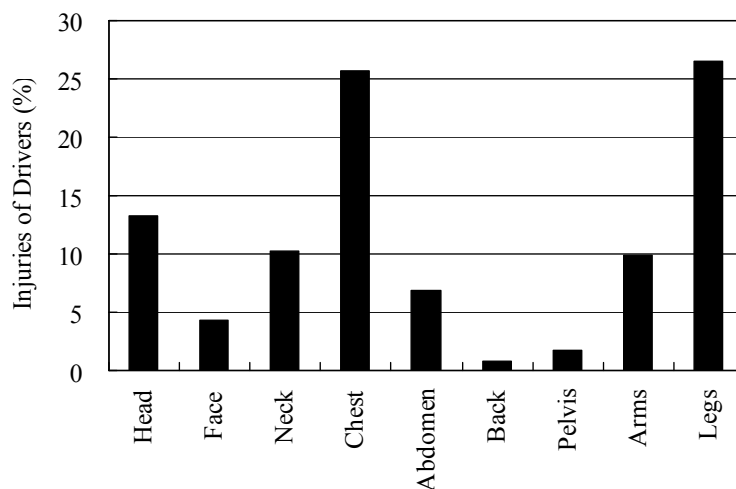


Fig.2.11 Injuries of Sdn-S Drivers (SUV-L to Sdn-S)

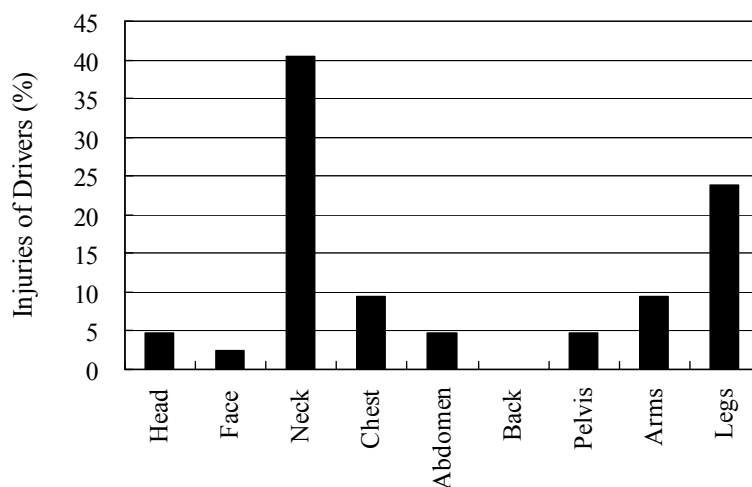


Fig.2.12 Injuries of SUV-L Drivers (SUV-L to Sdn-S)

一方，SUV-L の運転者（死亡重傷者数 42 人）についての損傷主部位部位別死傷者の構成率を図 2.12 に示す．SUV-L の運転者については，頸部が傷害部位となっている割合が多い．このことは前節の図 2.5 の傾向とはやや異なっている．重量が軽く，車高も低い Sdn-S の車両前面と衝突した場合，SUV-L の車両は前面部分が破損するものの，乗員空間はほとんど潰れることはないので，このケースでの死亡重傷者は少なく，通常，死亡あるいは重傷に至る損傷は脚部より頸部の方に多いという一般的特徴がそのまま比率として表れたためではないかと推測される．

この点については，2 次衝突の有無に関する裏付けが本来は必要と思われるが，ITARDA が保有する交通事故統合データだけからは，2 次衝突の有無を判別することは出来ない．この観点からの詳細な分析は今後の課題である．

2.5 考察

セダンと SUV の前面对前面衝突について，第 2.3 節では車両重量の差が少ない SUV-M と Sdn-M の衝突，第 2.4 節では車両重量の差が大きい SUV-L と Sdn-S の衝突の事故統計分析を行い，以下のことを確認した．すなわち，

全般的に SUV 側運転者の死亡重傷者率の方がセダン側運転者よりも低くなっていること．そして，その差が衝突速度の増大と共に広がっていくこと．また，SUV，セダン共に衝突相手によって死亡あるいは重傷となった運転者の傷害部位の構成が異なっていることが明らかになった．本節ではその理由について以下のような考察を行う．

SUV とセダンは通常バンパ高さやサイドメンバの高さが異なっている（図 2.13）．このため，SUV とセダンの衝突においては，両車のサイドメンバは上下方向にオフセットした状態で衝突するものと考えられる．

衝突による荷重の考察に，荷重の伝達経路の考え方^{(76)・(81)}を用いれば，セダン同士の前面对前面衝突において，衝突による入力は，車両前部については主としてサイドメンバを通じて伝達され，客室部への入力はフロア下部のフロアメンバを伝わる経路とサイドシルおよびトンネル部に伝わる経路とに分かれて後方に伝えられる（図 2.14）．一方，エンジンの客室への侵入は，フロア部のトンネルが主として反力を受け持っている．客室保護対策を考慮して設計されたセダンでは，このような客室に加わる力の伝達経路に沿った客室の補強がなされている⁽⁷⁶⁾．そのため，客室を保護するために，衝突によるサイドメンバの付け根部分（トーボード周り）を力の受け手としてうまく利用し，衝突による入力を力の伝達経路に沿わせ，効果的に後方に伝達させていく構造法が採られている．

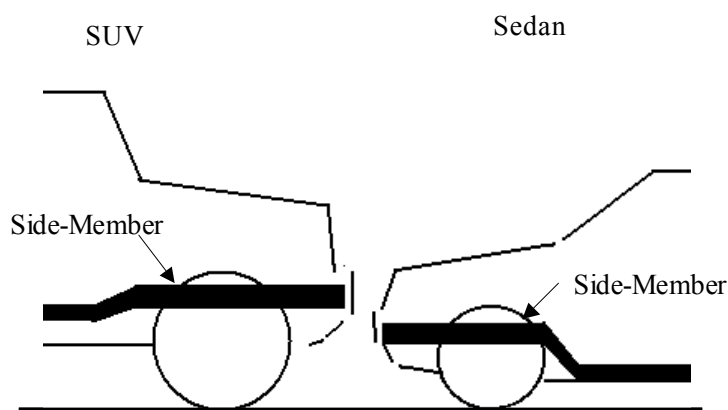


Fig. 2.13 Heights of Side-Members

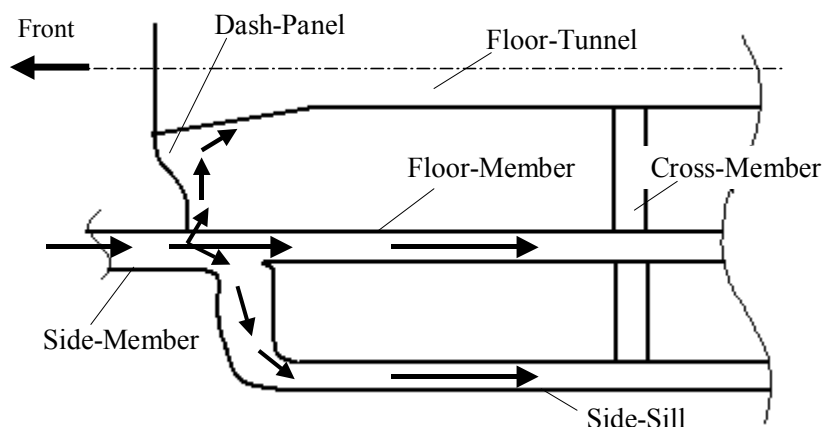


Fig.2.14 Load Transfer Courses in Plain View (Sedan)

しかしながら，SUV とセダンの衝突の場合においては，先述の通り，SUV のサイドメンバがセダンのサイドメンバと上下にオフセットしているため，セダン側は衝突の力の受け手である客室下部を有効に利用することができない．したがって，セダン客室には，補強されている荷重の伝達経路以外の部位に大きな入力加わることになる．衝突時に SUV，セダン両車に加わる衝撃力自体は等しいのであるが，セダン側では効果的な荷重の受け方ができないことから，セダンの客室構造の方が強度面で不利となる．特に，高い速度域での衝突においては，客室が入力に耐えきれず変形は大きくなる．それに伴って運転者の死亡重傷者率も高くなってしまっているものと考えられる．このことは図 2.4 および図 2.5 の傷害部位の相違とも符合している．

2.6 事故例との照合

本章では，以上の分析に関する具体例を参考のため記載しておきたい．上記分析に対応する具体的事故例は多く存在するが⁽⁸²⁾⁽⁸³⁾，ここでは 2.4 節で述べた SUV-L と Sdn-S に関し，公表し得る一例を示す．なお，ここで紹介する事故例での事故車両それぞれの重量，衝突速度，最大変形量およびサイドメンバの地上高は表 2.7 に示した通りである．

Table 2.7 Collision of SUV-L to Sdn-S

	Total Vehicle Weight with Occupants (ton)	Collision Relative Velocity (km/h)	Side-Member Lower Height (mm)	Crash Stroke (mm)
SUV-L	1.90	100	460	400
Sdn-S	0.88		340	1000



(a) SUV-L



(b) Sdn-S

Fig.2.15 Deformation of SUV-L and Sdn-S

この事故例における SUV-L 車両と Sdn-S 車両のサイドメンバ地上高の差は 120mm あることから、衝突時においてサイドメンバがオーバーラップしている部分はかなり少ないとみなすことができる。車両の潰れ状況を図 2.15 に示す。Sdn-S の車両についてはフェンダー部分も含めたボンネット部分だけでなく、前席部分の乗員空間も大きく潰れており、それによってステアリング部分や計器盤は後退し、運転席シート背面部との距離が狭まっている。この事故例は重量の差が大きく、必ずしも同重量の場合と同一視はできないが、上下のオフセットにより客室変形が問題となる場合の、より強調されたケースと見ることができる。

2.7 第 2 章の結論

- (1) どちらも同じくボンネット付き乗用車であるため、SUV とセダンの衝突事故については、従来の交通事故統計では分析することが不可能であった。そこで、ITARDA が保有する交通事故統合データ上で、SUV とセダンを分類する手法を開発した。この手法を用いることにより、SUV とセダンのコンパティビリティを全国統計的に論ずることが可能となった。
- (2) セダンと SUV の前面对前面衝突では、車両重量に大きな差がない場合であっても、SUV 運転者の死亡重傷者率の方がセダン運転者よりも低くなっている。また、その差は衝突速度の増大と共に広がっていく。さらに、SUV、セダン共に衝突相手によって死亡あるいは重傷となった運転者の傷害部位の構成が異なるなど、コンパティビリティを論ずる上での特徴が明らかとなった。
- (3) 上記のコンパティビリティ上の特徴は、SUV のサイドメンバがセダンのサイドメンバと上下にオフセットして衝突するためと考えられる。このため、セダンはサイドメンバ取付部を衝突の力の受け手として有効に利用することができない。したがって、客室変形が増大する傾向

にあり，それに伴って運転者の死亡重傷者率も高くなっていると考え
ることができる．

第 3 章

セダンと SUV の衝突全般における セダン運転者の傷害の分析

3.1 分析対象の検討

前章では，ITARDA が保有する交通事故統合データを活用することによって，重量が同じ程度の SUV とセダンの前面衝突における事故統計分析を行った．そして，車両重量に大きな差がない場合であっても，乗員傷害の程度や部位に差異のあること等，コンパティビリティを論ずる上での特徴を明らかにした．

本章では，SUV とセダンの衝突全般におけるコンパティビリティを検討するため，重量の異なる SUV とセダンの衝突における乗員傷害の特徴についての分析を試みた．

セダンと SUV の衝突全般におけるコンパティビリティの検討を行うに当たって，ボンネット付き乗用車の分類は，前章と同様に，セダンについては，Sdn-S，Sdn-M，Sdn-L の 3 クラスに，SUV については，SUV-M，SUV-L の 2 クラスの計 5 車種に分類した．

これらは，車高と車両総重量によって区分することができる（図 2.1）．ITARDA が保有する交通事故統合データは，車高および車両総重量毎に区

分されたデータを抽出できるので、これを利用することにより車高と車両総重量によって区分された車種の全国統計的な事故データの抽出を行うことが可能となる。

次に、本章における分析対象の選定を行った。前章では、車両総重量自体には大きな差異が存在しない SUV-M と Sdn-M の衝突分析を行い、バンパ高さやサイドメンバ高さの違い等、前面形状や車体構造の相違といった重量以外の要因が、衝突における乗員の傷害程度や傷害部位に影響をおよぼしていることを確認したが、SUV とセダンの衝突におけるコンパティビリティを検討するためには、車両重量の異なる SUV とセダンの衝突の全般的な状況も把握しておく必要がある。

そこで上述 5 車種を対象に、図 3.1 中に矢印で示した衝突した組み合わせについて事故統計分析を行った。

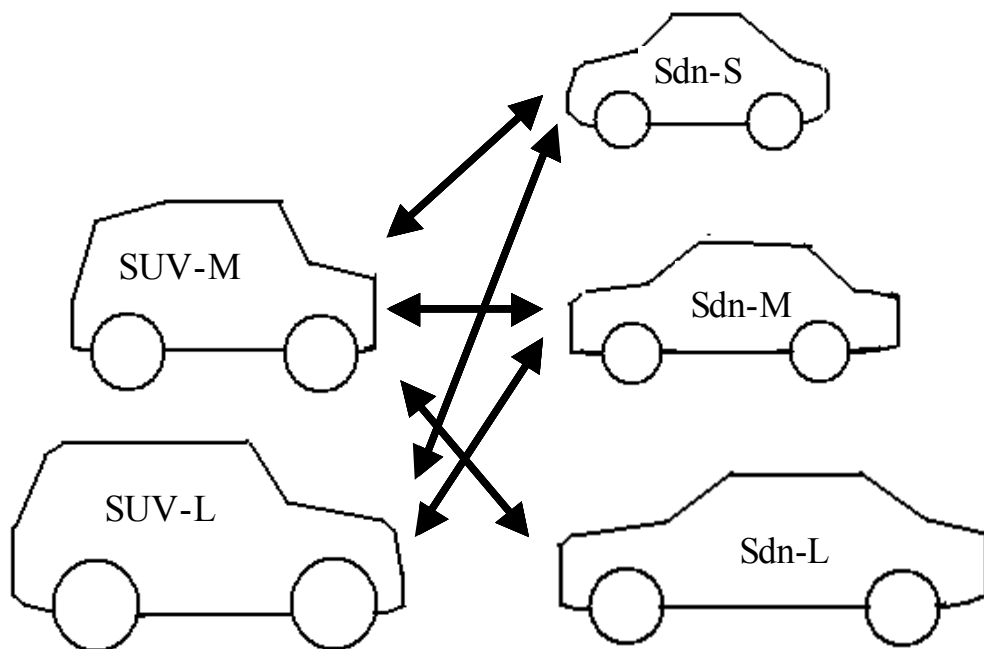


Fig.3.1 Car-to-Car Collisions

3.2 対SUV衝突におけるセダン運転者の傷害分析

3.2.1 本章における分析

自動車同士の衝突事故において、乗員の安全は最優先に保護すべきものである。したがって、効果的な衝突安全対策を考えていくためには、乗員傷害の傾向や特徴をよく捉えておくことが重要である。そこで、SUVと衝突したセダン運転者の傷害程度および損傷主部位の構成について、傾向や特徴の分析を行うこととした。

前章で述べたSUV-MとSdn-Mの衝突では、重量が同じ程度であっても衝突速度が高くなるとSdn-M運転者の死亡重傷者率とSUV-M運転者の死亡重傷者率の差が増えていくこと(図2.3)、および死亡重傷を負ったSdn-M運転者の損傷主部位の構成(図2.4)はSdn-M同士の衝突における損傷主部位の構成(図2.6)に比べ、胸部や頸部といった上半身の傷害が多い、といった特徴を確認した。そして、これらの特徴は、SUVとセダンの車両前面構造の違いからもたらされるものと推測した。

そこで、SUVとセダンの衝突全般におけるコンパティビリティの検討を試みるため、運転者の傷害程度や損傷主部位の構成についての事故統計分析を実施することとした。本章における分析対象も前章と同じく、1995年から1999年の死傷事故とした。また、本章での衝突速度 ΔV は、ITARDAが保有する危険認知速度の絶対値の和であり、式(3.1)のように表される(図3.2)。危険認知速度は、実際の衝突速度に近似できる⁽⁷⁴⁾⁽⁷⁵⁾ことから、本章においても危険認知速度を衝突速度とみなして扱った。なお、セダンの死亡重傷運転者数の詳細は表3.1に示した通りである。

本章では、SUVとセダンの衝突全般におけるセダン運転者の乗員傷害の特徴を明らかにすべく、対象を車両重量の異なるSUVとセダンの衝突、すなわち、軽いSUVと重いセダンの衝突あるいは重いSUVと軽いセダンの衝突等に拡げて事故統計分析を行った。

$$\Delta V = |V_{SUV}| + |V_{Sdn}| \tag{3.1}$$

$|V_{SUV}|$: SUV 側の危険認知速度

$|V_{Sdn}|$: セダン側の危険認知速度

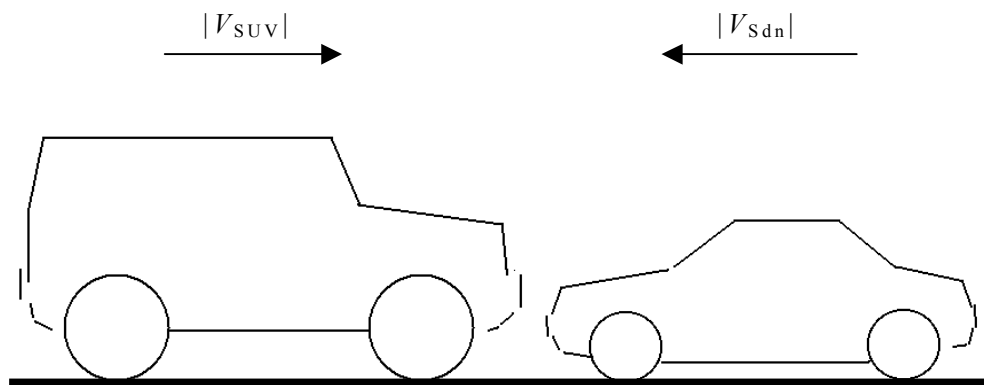


Fig.3.2 Front-to-Front Collision (SUV to Sedan)

Table 3.1 Number of Fatal or Serious Drivers

	Number of Fatal or Serious Drivers		
	Sdn-S	Sdn-M	Sdn-L
Sdn-S	1079	655	243
Sdn-M	1156	807	292
Sdn-L	631	460	186
SUV-M	124	81	32
SUV-L	234	170	65

3.2.2 SUV-M と Sdn-S の衝突

図 3.3 に SUV-M と Sdn-S の衝突におけるそれぞれの運転者の危険認知相対速度別死亡重傷者率を示す。なお、本章における運転者の死亡重傷者率 R も、前章の式(2.1)によって算出したものである。これは車両重量が重い SUV と軽いセダンの衝突である。SUV-M 運転者と Sdn-S 運転者の死亡重傷者率の差は速度の増加と共に拡大している。Sdn-S 同士の衝突および SUV-M と衝突した Sdn-S 運転者それぞれにおける死亡重傷者の損傷主部位の構成を図 3.4, 図 3.5 に示す。SUV-M と衝突した Sdn-S 運転者の損傷主部位は、Sdn-S 同士の衝突の場合に比べ頭部や腹部, 脚部の傷害が多い。

SUV-M と Sdn-S の衝突における Sdn-S 運転者の傷害は SUV-M と Sdn-M の衝突における Sdn-M 運転者の傷害 (図 2.4) と全般的な傾向は似ているが、次のような特徴がみられる。

- ・ Sdn-S 運転者の方が Sdn-M よりも死亡重傷者率が高い。
- ・ 運転者の損傷主部位の構成率についてみると、Sdn-S 運転者は Sdn-M 運転者に比べ脚部傷害が多い。

これは、車両重量が重い SUV-M と軽い Sdn-S の衝突において、セダン側の車体の損壊量は、車両重量が同じ程度の SUV-M と Sdn-M の衝突の場合と比べて大きくなるためと考える。

3.2.3 SUV-M と Sdn-L の衝突

図 3.6 に SUV-M と Sdn-L の衝突におけるそれぞれの運転者の危険認知相対速度別死亡重傷者率を示す。これは車両重量が軽い SUV と重いセダンの衝突である。速度が 90km/h 以下では Sdn-L 運転者の方が SUV-M 運転者よりも死亡重傷者率が高い。Sdn-L 同士の衝突および SUV-M と衝突した Sdn-L 運転者それぞれについての死亡重傷者の損傷主部位構成を図 3.7, 図 3.8 に示す。SUV-M と衝突した Sdn-L 運転者は、Sdn-L 同士の衝突に比べ、頭部や頸部, 胸部といった上半身の傷害が多い。

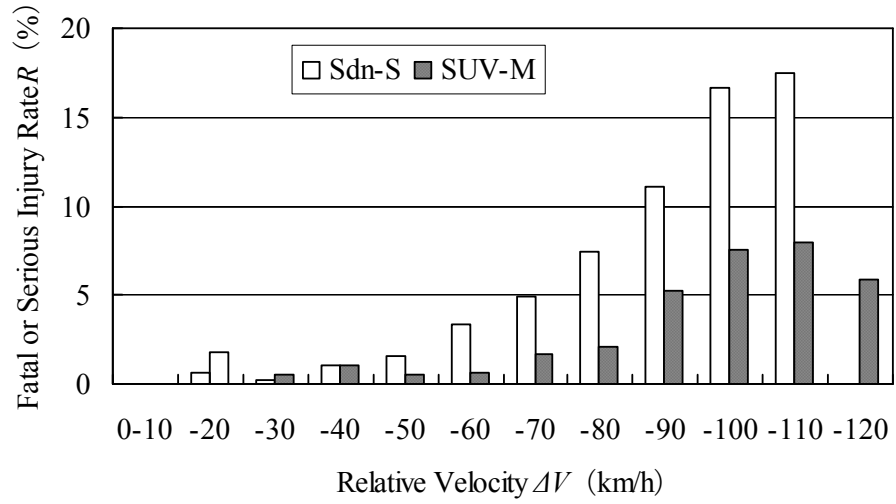


Fig.3.3 Fatal or Serious Injury rate R and Relative Velocity ΔV , SUV-M to Sdn-S Collision

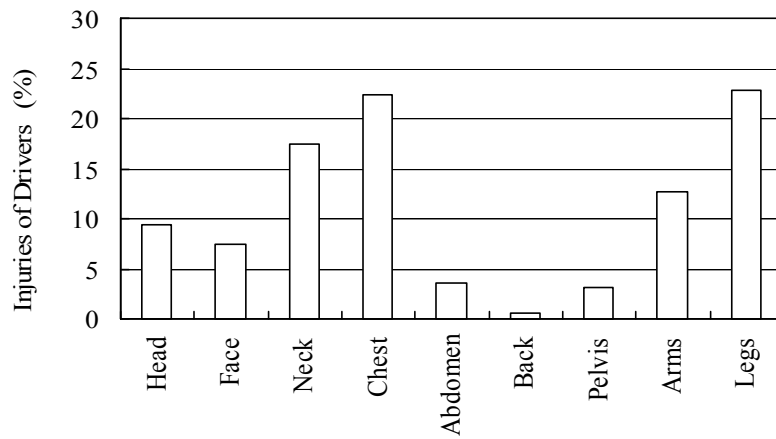


Fig.3.4 Injuries of Sdn-S Drivers (Sdn-S to Sdn-S)

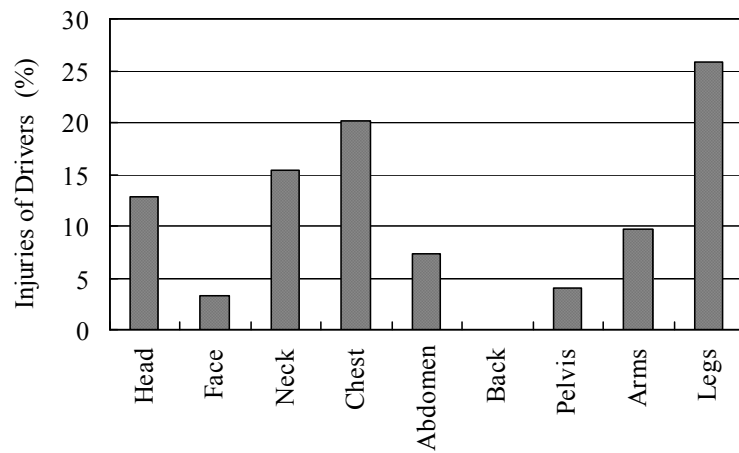


Fig.3.5 Injuries of Sdn-S Drivers (SUV-M to Sdn-S)

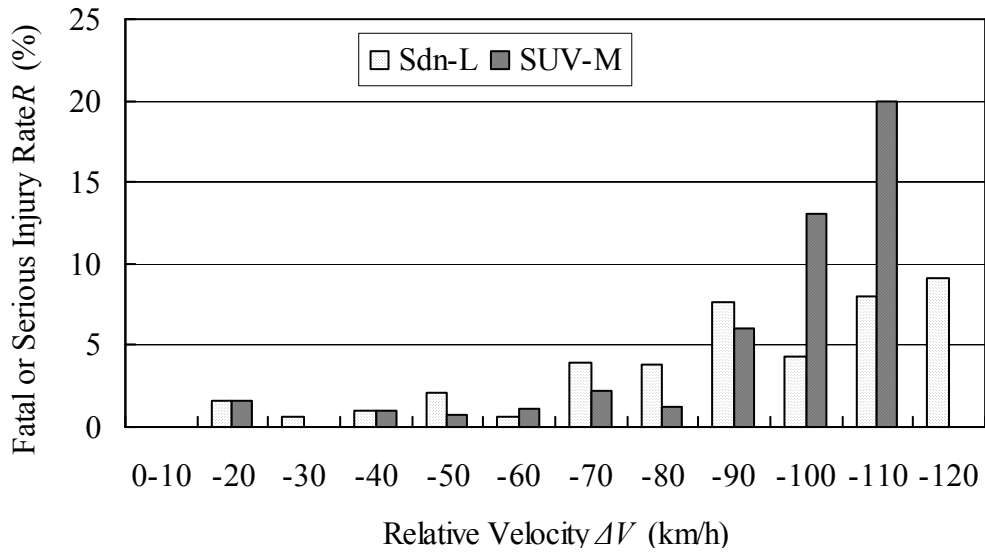


Fig.3.6 Fatal or Serious Injury Rate R and Relative Velocity ΔV , SUV-M to Sdn -L Collision

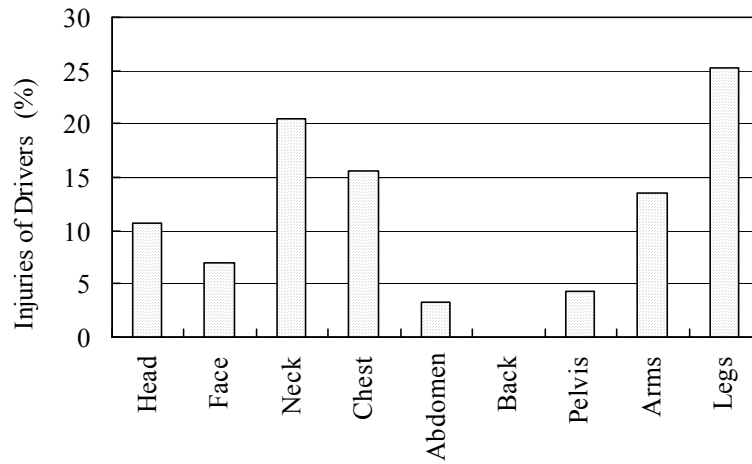


Fig.3.7 Injuries of Sdn-L Drivers (Sdn-L to Sdn- L)

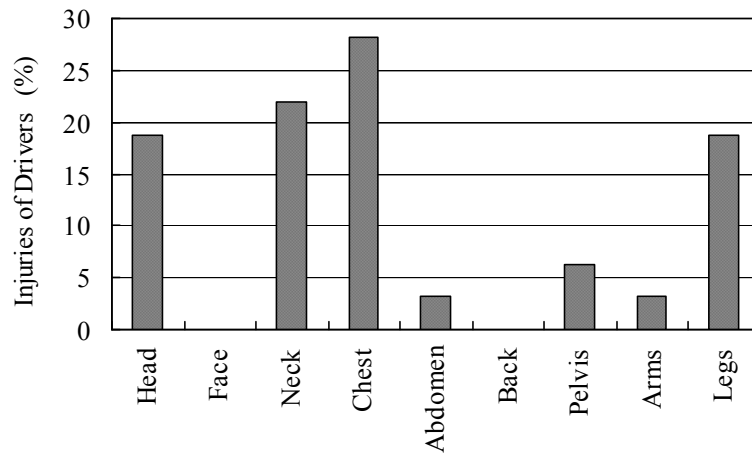


Fig.3.8 Injuries of Sdn-L Drivers (SUV-M to Sdn-L)

以上のことから、SUVとセダンの衝突において、SUVは自車よりも車両重量が重いセダンに対しても攻撃性を有していると考えられる。そして、その攻撃性は、セダン運転者の上半身の傷害が多くなるという特徴をもっている。これは、SUVとセダンの衝突では、車両重量の差以外の要因、例えば車両前面構造の違い等からもたらされる攻撃性が効いているためと考える。

3.2.4 SUV-LとSdn-Mの衝突

図3.9にSUV-LとSdn-Mの衝突におけるそれぞれの運転者の危険認知相対速度別死亡重傷者率を示す。この衝突は、3.2.2節で述べたSUV-MとSdn-Sの衝突と同様、車両重量の重いSUVと軽いセダンの衝突である。SUV-L運転者とSdn-M運転者の死亡重傷者率の差は、速度の増加と共に拡大している。SUV-Lと衝突したSdn-Mで死亡もしくは重傷となった運転者の損傷主部位の構成はSdn-M同士の衝突（図2.6）の場合に比べ、胸部の傷害が多く（図3.10）、全般的にSUV-MとSdn-Sの衝突（図3.5）と似た傾向となった。

3.2.5 SUV-LとSdn-Sの衝突

前節のSUV-LとSdn-Mの衝突よりも車両重量の差が大きいSUVとセダンの衝突であるSUV-LとSdn-Sの衝突における、それぞれの運転者の危険認知相対速度別死亡重傷者率は、図2.10に示した通りである。SUV-L運転者とSdn-S運転者の死亡重傷者率の差は、SUV-LとSdn-Mの衝突でのそれぞれの運転者の死亡重傷者率の差（図3.9）以上に著しい。SUV-Lと衝突したSdn-Sで死亡もしくは重傷となった運転者の損傷主部位の構成は、図2.11に示した通りである。SUV-Lと衝突したSdn-S運転者の損傷主部位は、胸部と脚部の傷害が目立っている。

なお、前述したSUV-MとSdn-Sの衝突（図3.5）やSUV-LとSdn-Mの

衝突の衝突（図 3.10）でも，共通して脚部の傷害が多くなっていることから，重量が自車よりも重い SUV と衝突したセダン運転者は，車両前面形状の違いと車両重量の差の両方からもたらされる攻撃性によって，上半身だけでなく，脚部にも傷害を負うケースが多くなるのではないかと推測する。

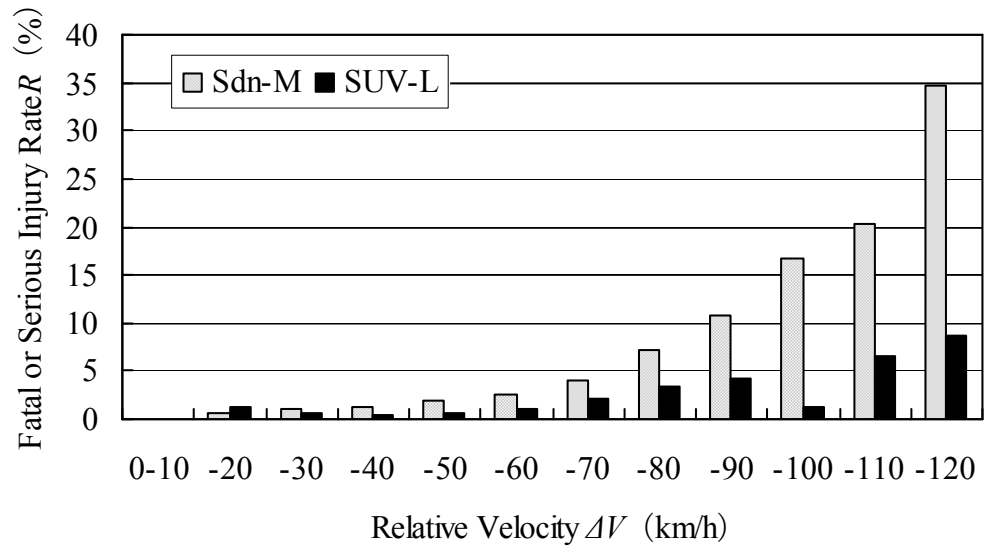


Fig.3.9 Fatal or Serious Injury Rate R and Relative Velocity ΔV , SUV-L to Sdn-M Collision

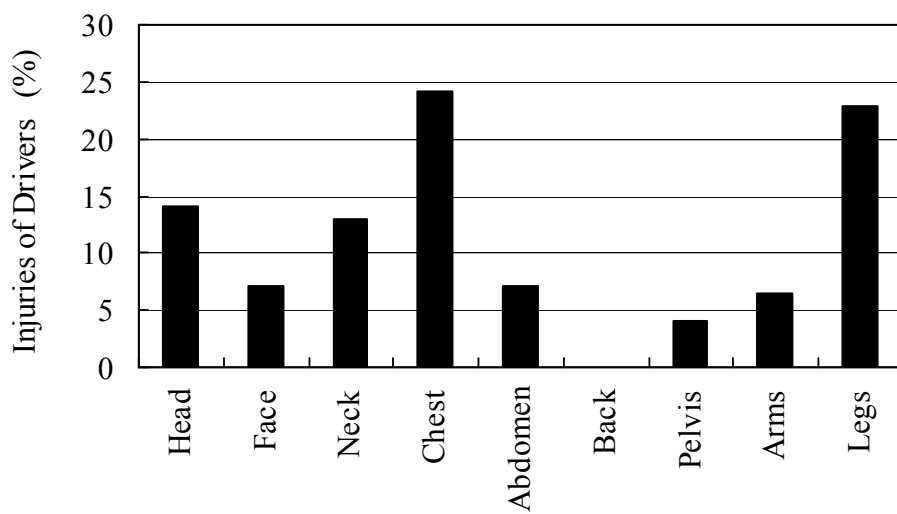


Fig.3.10 Injuries of Sdn-M Drivers (SUV-L to Sdn-M)

3.3 考察

第2章にて、重量が同じ程度のSUVとセダンの衝突事故データを統計的に分析することによって、SUVと衝突したセダン運転者は、セダン同士の衝突の場合に比べ、頭部や胸部といった上半身の傷害が多くなることを確認した⁽⁸⁴⁾。本章において、分析対象を拡げ、重量の異なるSUVとセダンの衝突事故についての事故統計データを分析し、セダン運転者の傷害に次のような特徴が見られることを確認した。なお、前節で述べた事故統計分析結果を有意水準0.05で検定(片側検定)し、複数の損傷主部位について有意であることを確認した。

- ・ 衝突相手のSUVの重量が、自車よりも重い場合でも軽い場合でも、セダン運転者の胸部傷害は20%以上である。
- ・ セダンよりSUVの方が重い場合、セダン運転者の傷害は頭部や胸部等上半身だけでなく、脚部の傷害も多い。
- ・ セダンよりSUVの方が軽い場合も、セダン運転者の傷害は上半身に多いが、これは重量が同じ程度のSUVとの衝突でセダン運転者が被る上半身の傷害よりも多い。

これらの特徴は、次のような理由のため生じるものと考えられる。

- ・ セダンのサイドメンバとSUVのサイドメンバは、上下にオフセットしている(図2.13)。このため、SUVとセダンの衝突においては、セダンは効果的な荷重の受け方ができないことから、車体上部に大きな荷重が入力される。したがって、SUVと衝突したセダン運転者では胸部の傷害が多くなる。
- ・ セダンよりもSUVの方が車両重量が重い場合には、重量の差も効いてくるので、セダンは客室全体が潰れるかたちとなり、セダン運転者は胸

部等上半身の傷害が多くなるばかりでなく、脚部の傷害も多くなる。

- ・ 反対に、セダンよりもSUVの方が車両重量が軽い場合には、SUVの攻撃性を決定する要因はサイドメンバのオフセット等の車両前面構造の違いである。したがって、この種の衝突では、同重量のSUVとセダンの衝突以上に、セダン運転者の上半身の傷害が多くなる。

以上、重量の異なるSUVとセダンの衝突でも、セダン乗員を効果的に保護するためには、車体上部への荷重入力を受け止めるための対策が有効と考える。

3.4 事故例との照合

セダンとSUVの衝突に関する具体的事故例は多く存在する⁽⁸²⁾⁽⁸³⁾。ここではSUV-LとSdn-Mの衝突のうち公表し得る例を紹介する。

図3.11は、SUV-LとSdn-Mの衝突の事例である。これは、車両重量の重いSUVと軽いセダンの衝突であり、セダン車体上部の損壊が著しいことから、第2章で述べたサイドメンバのオフセットによるSUVの攻撃性の存在を確認できる。また、SUVとセダンの重量に差があることから、セダンの客室は全体的に大きく変形している。すなわち、これらの事例におけるセダンの損壊状況からは、セダン運転者に上半身と脚部双方の傷害が生じていることを容易に推測することができる。したがって、この事例は、第2章での車両重量の重いSUVと軽いセダンの衝突についての考察を裏付けている。



(a) SUV-L



(b) Sdn-M

Fig. 3.11 Deformation of SUV-L and Sdn-M

Table 3.2 Collision of SUV-L to Sdn-M

	Total Vehicle Weight with Occupants (ton)	Collision Relative Velocity (km/h)	Side-Member Lower Height (mm)	Crash Stroke (mm)
SUV-L	2.16	90	455	500
Sdn-M	1.64		300	1200

3.5 バリア換算速度を指標に用いた車体の潰れ程度の分析

3.5.1 車体の潰れ程度の分析

バリア換算速度とは、当該車両の変形量が等価となるバリア（剛体壁）に衝突させたときの衝突速度のことであり、本研究では車両の損壊程度の大小を示す指標として用いることとした。すなわち、SUVとセダンの車体構造上の違いが、前面衝突事故における車両損壊程度や乗員傷害程度におよぼす影響をみるため、衝突を1次元衝突・質量、線形ばねモデルとみなして計算したバリア換算速度計算値と事故例データから求めた実測値の差を求めることにより車体構造の違いが車体の損壊程度におよぼす影響を定量的に明らかにした。

まず、SUVとセダンの衝突における、車体構造の違いが、車両の損壊程度におよぼす影響の寄与度を確認するため、セダン同士の衝突事故およびSUV対セダンの衝突事故におけるバリア換算速度の比較を行った。

自動車の衝突安全性を論ずるために従来から用いられてきたバリア換算速度を導出する手法には、以下の2種類の方法がある。ひとつは、自動車の衝突を1次元衝突・質量、線形ばねモデルとみなし、車体構造の違いによる影響は全く考慮しないで導出したバリア換算速度計算値である。そしてもうひとつは、衝突により潰れた車体各部の変形量から衝突エネルギーを導くことによって導出したバリア換算速度実測値である。そこで、バリア換算速度計算値と実測値の差を求めることによって、車体構造の違いが車両の損壊におよぼす影響の寄与度の確認を行った。

まず、バリア換算速度計算値の概要を述べる。自動車の衝突を図3.12に示すような1次元・衝突質量、線形ばねモデルとみなした場合、この系全体のエネルギー吸収 ΔE は式(3.2)のように表すことができる。

$$\Delta E = \frac{1}{2} \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (V_1 + V_2)^2 \quad (3.2)$$

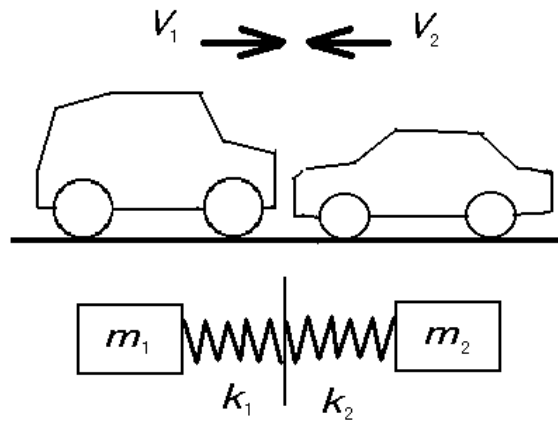


Fig. 3.12 Simple Mass-Spring Model for Front-to-Front Collision

なお、この系における衝突時の反発係数は $e=0$ とする。また、式(3.2)における m_1, V_1 は車両 1 の重量および速度、 m_2, V_2 は車両 2 の重量および速度である。

この衝突において、それぞれの車両の剛性を k_1, k_2 、最大車体変形量を δ_1, δ_2 、エネルギー損失を $\Delta E_1, \Delta E_2$ とすると、 ΔE は式(3.3)のように表すことができる。

$$\Delta E = \frac{1}{2}k_1\delta_1^2 + \frac{1}{2}k_2\delta_2^2 = \Delta E_1 + \Delta E_2 \quad (3.3)$$

式(3.2)および式(3.3)より、車両 2 の衝突によるエネルギー損失 ΔE_2 は式(3.4)のように表すことができる。

$$\Delta E_2 = \frac{1}{2} \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \frac{k_1}{k_1 + k_2} (V_1 + V_2)^2 \quad (3.4)$$

一方、車両 2 がバリアに衝突したとき(図 3.13)のエネルギー損失 ΔE_B は、式(3.5)のように表すことができる。

$$\Delta E_B = \frac{1}{2} m_2 V_B^2 \quad (3.5)$$

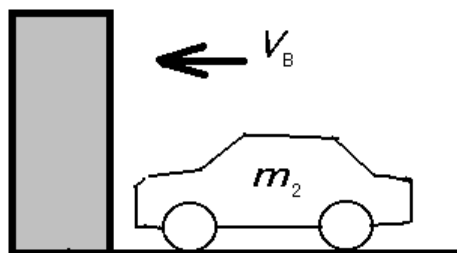


Fig. 3.13 Vehicle for Rigid Barrier Crash

バリア換算速度は，車両 1 と車両 2 の衝突における車両 2 のエネルギー損失 ΔE_2 と，車両 2 がバリアに衝突したときのエネルギー ΔE_B が等しくなる速度であるので，式(3.4)および式(3.5)より式(3.6)を得る．ここで，車両 1 と車両 2 の車体構造が全く同じものであれば，車両 1 と車両 2 の車体の剛性は等しく， $k_1=k_2$ となるので，車両 2 のバリア換算速度は，式(3.7)のように導くことができる．

$$V_{B1} = (V_1 + V_2) \sqrt{\frac{m_1 k_1}{(m_1 + m_2)(k_1 + k_2)}} \quad (3.6)$$

$$V_{B1} = (V_1 + V_2) \sqrt{\frac{m_1}{2(m_1 + m_2)}} \quad (3.7)$$

式(3.7)において，バリア換算速度を決定する要因は，車両の重量比だけである．すなわち，この式によって導かれたバリア換算速度計算値 V_{B1} は，車体構造の違いによる影響を考慮していない値とみなすことができる．

式(3.7)のバリア換算速度計算値と車速の和の比 ($V_{B1}/(V_1 + V_2)$) をバリア換算速度係数 (E_{B1}) とおいて (式(3.8))，衝突する 2 台の車両の重量比 (m_1/m_2) との関係を求めると，図 3.14 のようになる．すなわち，車体構造の違いによる影響を考慮していない衝突においては，バリア換算速度は，衝突する 2 台の車両の重量比に反比例して変化することがわかる．

$$E_{B1} = \sqrt{\frac{m_1}{2(m_1 + m_2)}} \quad (3.8)$$

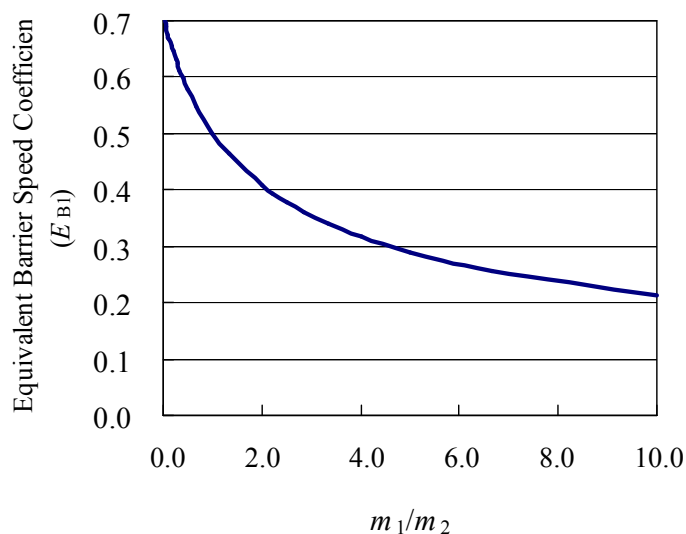


Fig. 3.14 Equivalent Barrier Speed

次に、バリア換算速度実測値の概要を述べる。バリア換算速度実測値は、衝突により損壊した事故車両の車体変形量（図 3.15）を測定することによって得られた衝突時における車体のエネルギー吸収量から導出される⁽⁸⁵⁾。すなわち、車体の変形量には衝突時における車体の変形は車両の重量比だけでなく、サイドメンバ高さの違いのような構造部材の配置の差や車体剛性の差等といった、車体構造の違いによる影響も含んでいるので、バリア換算速度実測値は車両の重量差による影響と車体構造の違いによる影響の両方の要因を含んだ値であると考えられる。

そこで、バリア換算速度計算値と実測値の差を求めることによって、車体構造の違いが衝突時における車両の損壊程度におよぼす影響の寄与度について検討を行った。すなわち、車体構造と剛性が同じ車両同士の衝突ならば、車体の変形に影響を与える要因は車両の重量の差だけであるので、バリア換算速度実測値と計算値の間に差は存在しない。反対に、車体構造が異なる車両による衝突ならば、車両重量比だけでなく車体構造の違いも車体の変形に影響をおよぼすので、バリア換算速度実測値と計算値の差は大きくなるはずである。そこで、バリア換算速度計算値と実測値の差の大きさが車体構造の違いが車体損壊におよぼす影響の寄与度を示す指標となると考えた。

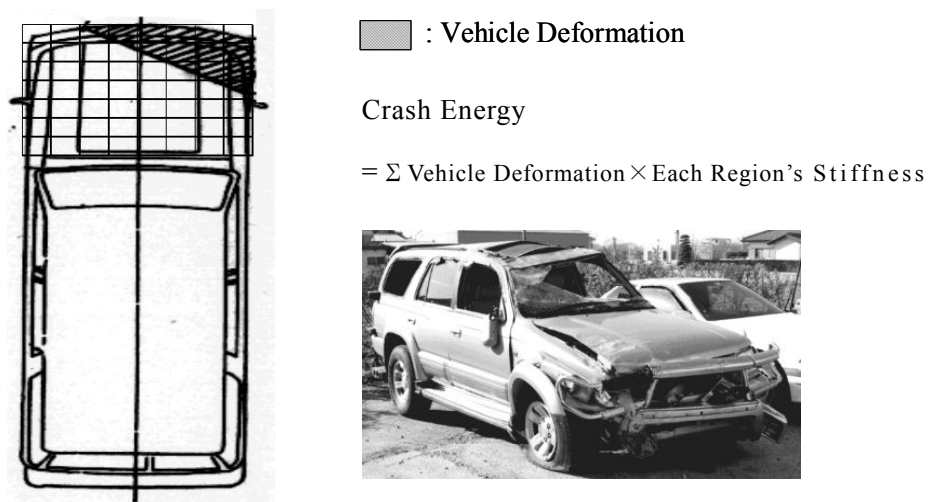


Fig. 3.15 Vehicle Deformation

Table 3.3 Equivalent Barrier Speed (Accident Case 1-4)

	Vehicle Type		Vehicle Weight with Occupants (kg)	Velocity (km/h)	Equivalent Barrier Speed (km/h)		
					Caluculation (1)	Practice (2)	$((1)-(2)) / (2) * 100(\%)$
Case 1	A	Sedan	1150	45	40	40	0
	B	Sedan	1145	35	40	40	0
Case 2	A	SUV	1905	75	40	30	33
	B	Sedan	875	25	59	70	-16
Case 3	A	Sedan	1635	50	53	60	-12
	B	SUV	2155	50	47	30	57
Case 4	A	Middle Sized Truck	6005	50	16	15	7
	B	Light Class Truck	745	20	47	45	4

3.5.2 バリア換算速度計算値と実際の実測値の比較

式(3.7)において，バリア換算速度を決定する要因は車両の重量差だけであり，車両形状や構造など他の要因は含まれていない．そこで式(3.7)から

求めた計算値と事故車の車体潰れ量から求めた実測値の比較を行い、重量以外の要因の寄与度についての確認を行った。なお、表 3.3 中に今回比較を行った4つの事例についての実車両総重量、事故時の衝突速度、バリア換算速度の計算値、実測値および計算値と実測値の差の率を示す。また、各事例における車両の損壊状況については、事例(1)は図 3.16、事例(2)は図 2.15 (p.35)、事例(3)は図 3.11 (p.49)、事例(4)は図 3.17 に示した通りである。

(1)セダン同士の正面衝突 (事例(1))

事例(1)での計算値と実測値は同じであった(図 3.16)。これは同じセダン同士の衝突であるので車体変形によるエネルギー吸収特性が同等な上、実車両重量も同等であったためである。したがって、この事例では重量以外の要因は寄与していないと考えられる。



Fig. 3.16 Sedan Collision (Case 1)

(2)セダンとSUVの正面衝突(事例(2), 事例(3))

事例(2), 事例(3)共にSUVでは計算値の方が実測値よりも高くなり, セダンでは計算値の方が事故値よりも低くなっており, SUVに比べてセダンの潰れ量が非常に大きい(図2.15, 図3.11). したがって, これらの事例では重量以外の要因, 例えば, 車体構造の違いがバリア換算速度を決定する要因として寄与していると考えられる.

すなわち, 第2章で述べた通り, SUVのサイドメンバがセダンのサイドメンバと上下にオフセットして衝突するためと考えられる(図2.13). このため, セダンはサイドメンバの取付け部を衝突の力の受け手として有効に利用することができない. したがって, セダン側は, セダン同士の衝突において客室入力を想定して補強されている荷重の伝達経路(図2.14)以外の部位に大きな入力加わることになる. 衝突時には, SUV, セダン両車共に衝撃力が加わるが, セダン側では効果的な荷重の受け方ができないため, セダン側の客室構造の方が強度面において不利となる.

以上のような理由から, この組み合わせの衝突を1次元衝突・質量, 線形ばねモデルで表す場合, $k_1 \neq k_2$ となるため式(3.7)を適用することはできない. すなわち, 車両の剛性比 (k_1/k_2) を考慮しなければならない.

なお, 事例(2)および事例(3)の車両の剛性比 ($k_{\text{Sedan}}/k_{\text{SUV}}$) について, 表3.3に示したバリア換算速度実測値および衝突速度を式(3.6)に代入して求めると以下の通りとなる.

- ・ 事例(2)の剛性比 ($k_{\text{Sedan}}/k_{\text{SUV}}$) = 0.4

- ・ 事例(3)の剛性比 ($K_{\text{Sedan}}/k_{\text{SUV}}$) = 0.6

(3)軽トラックと中型トラックの正面衝突(事例(4))

この事例(4)では, 軽トラックのキャブ全体が大きく潰れ, 中型トラックはバンパやフロントパネルの部分が車体変形しており(図3.17), バリア換算速度の計算値と実測値の差は小さい.



Fig. 3.17 Truck Collision (Case 4)

これは、軽トラックと中型トラックの車両重量比が非常に大きく ($m_2/m_1 = 0.12$), そして、どちらもキャブオーバ型車両であり、中型トラックについてみると、バンパやフロントパネルが損傷しているところから、損傷した領域では、車両の剛性が同等になっていた ($k_1 = k_2$) のではないかと考えられる。したがって、この事例については、重量以外の要因は寄与していないと考えられる。この事例のように車両重量の比が非常に大きく ($m_1 \ll m_2$), 車両の剛性比の影響をあまり受けない正面衝突を想定した場合、式(3.7)は式(3.9)のように示すことができる。

$$V_{Bl} = (V_1 + V_2) \sqrt{\frac{1}{2}} \quad (3.9)$$

以上、バリア換算速度計算値と実測値の比較をすることにより、次の結論を得た。

- (1) セダン同士の衝突については、車両重量比から求めたバリア換算速度計算値と事故車両の車体損壊量から求めた実測値の差がみられなかった。これは、プラットフォームや部品の共用化が進んでいることから、セダン同士の衝突のように、車両形状や車体構造が同じ車両同士の衝突では、車体剛性が同じ車両の衝突であるとみなすことができるので、車両の重量差が、衝突時のバリア換算速度に影響を与える主な要因となり、重量差以外の要因はあまり働かないためと考えられる。
- (2) セダンとSUVの衝突については、バリア換算速度計算値と実測値の間に明らかな差がみられた。これは、SUVとセダンの衝突のように、車両形状や車体構造が異なる車両同士の衝突では、バンパ高さやサイドメンバ高さの違いなどといった、車両の重量差以外の要因（剛性等）がバリア換算速度に影響をおよぼしているためと考えられる。
- (3) 軽トラックと中型トラックの衝突については、バリア換算速度計算値と実測値の間にあまり大きな差はみられなかった。これは、同じくキャブオーバ型の車両同士の衝突であるため、事例(4)のようにバンパやフロントパネル部分に限れば、重量差以外の要因はあまり働かないものと推測する。

3.6 衝突速度と乗員傷害の関係についての分析

3.6.1 衝突相手による運転者の人身損傷度の実態

本節では、乗員の傷害程度と衝突速度の関係を分析することによって、SUVや1BOX車などとセダンの衝突をセダン同士の衝突に換算し、乗員が被る傷害について比較を行った。

図3.18はSdn-Sの乗員に関して、衝突相手の相違による運転者の死亡重

傷者率について示したものである. なお, 図 3.18 における衝突相手のクラス名称は, 第 2 章でのクラス分類名称を踏襲したが, 上述で定義しなかったクラス名称については, 軽セダンを CPT-Sdn, 軽 SUV を CPT-SUV, 軽 1BOX 車を CPT-1BOX, 軽トラックを CPT-Truck, スポーティ系自動車を Sporty, 1BOX 車を 1BOX とそれぞれの名称を定め表記した. なお, 上述クラス名称中の軽自動車を示す CPT は Compact の略である. 衝突相手が自車両よりも重量が軽く小さい車種の場合では, 運転者の死亡重傷者率は低く, その反対に衝突相手が自車両よりも重量が重く大きい車種の場合では, 運転者の死亡重傷者率は高くなっている. 特に, 衝突相手が Sdn-L, SUV-M および 1BOX 車である場合の運転者の死亡重傷者率は, Sdn-S 同士での衝突における運転者の死亡重傷者率の約 1.7 から 2.0 倍と高い. なお, 本論における運転者の死亡重傷者率 R は式(2.1)により求めたものである.

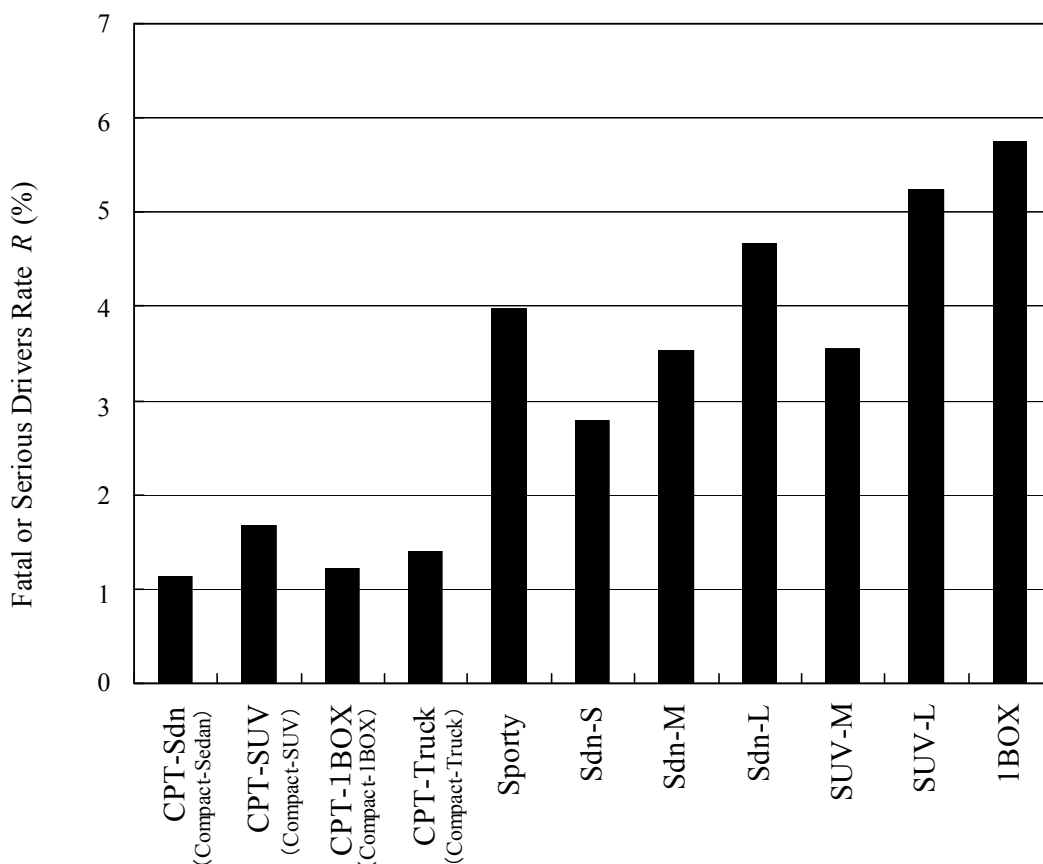


Fig. 3.18 Fatal or Serious Injury Rate R for Sdn-S

衝突事故による乗員の被害軽減を効果的に考えていくためには、事故が多い衝突速度領域を明らかにしておくことが大切である。そこで、図 3.18 で Sdn-S 運転者の他同運転者の死亡重傷者率の高い衝突相手である Sdn-L, SUV-M および 1BOX 車について、危険認知速度と死傷者数の関係についての分析を行った。なお、ここで扱う速度は、前面对前面衝突における相対速度となるので、危険認知速度についても衝突に関与した 2 台の車両の危険認知速度の和を基にした分析、すなわち、危険認知速度 V_{10} と V_{20} の前面对前面衝突での危険認知相対速度の和 ΔV_{dg} (式(3.10)) について分析をすすめた。

$$\Delta V_{dg} = |V_{10}| + |V_{20}| \tag{3.10}$$

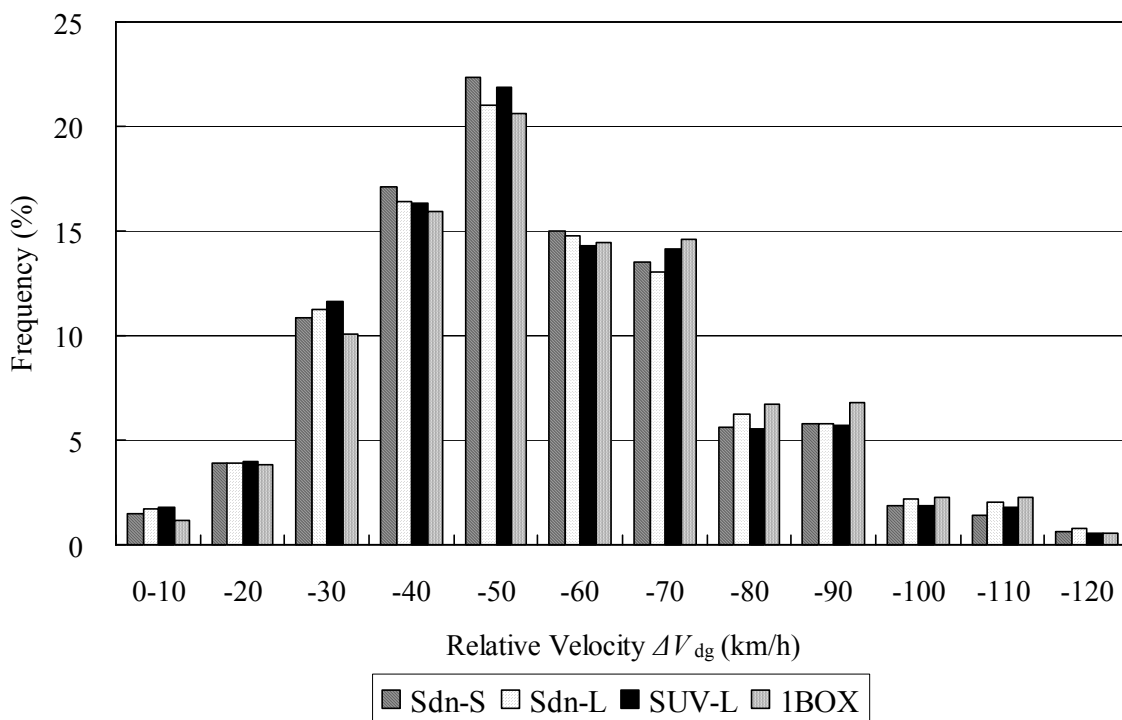


Fig.3.19 Relative Velocity and Frequency

4 車種運転者の危険認知相対速度と死傷事故の頻度との関係を図 3.19 に示す。どの衝突相手についても、 $\Delta V_{dg}=50\text{km/h}$ での頻度が高くなっている。

次に、危険認知相対速度と死傷事故の累積頻度の関係を図3.20に示す。累積頻度の50%が、 $\Delta V_{dg}=50\text{km/h}$ 、累積頻度の90%が $\Delta V_{dg}=80\text{km/h}$ で発生しており、衝突相手の種別による違いはほとんどみられない。このことから、乗員の被害軽減のためには、上述の速度領域での衝突安全対策を考えていくことが効果的といえる。

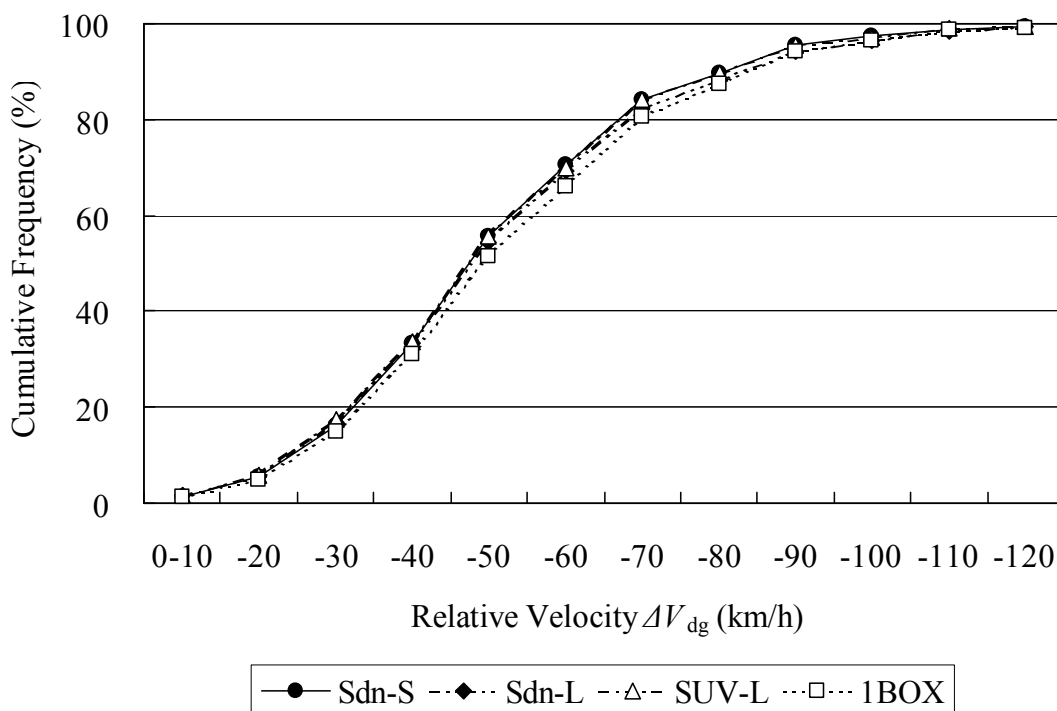


Fig.3.20 Cumulative Frequency of Relative Velocity ΔV_{dg}

しかしながら、同じ衝突速度であっても、衝突相手となる車両の種別によって、運転者の死亡重傷者率は異なってくると考えられる。そこで、Sdn-S 運転者の危険認知相対速度別死亡重傷者率を衝突相手毎について分析した。

衝突相手毎での危険認知相対速度別死亡重傷者率を図3.21に示す。 ΔV_{dg} が30km/h以下の速度領域については、衝突相手車種による死亡重傷者率の差は、あまり顕著には表れていない。しかしながら、 ΔV_{dg} が40km/h以上110km以下の速度域では、衝突相手が重量の大きい車種である場合の死亡重傷者率と、Sdn-S 同士での衝突における死亡重傷者率との差は、速度

が速くなるにしたがって、大きく広がる。なお、 $\Delta V_{dg} = 120\text{km/h}$ の速度における Sdn-S 同士での衝突以外の死亡重傷者率は、 $\Delta V_{dg} = 110\text{km/h}$ のときの死亡重傷者率よりも低くなってしまっているが、これは $\Delta V_{dg} = 120\text{km/h}$ 以上の高い速度域では死傷者数自体の構成率が極端に少なくなるため、ばらつきが大きく表れてしまっていると考えられる。

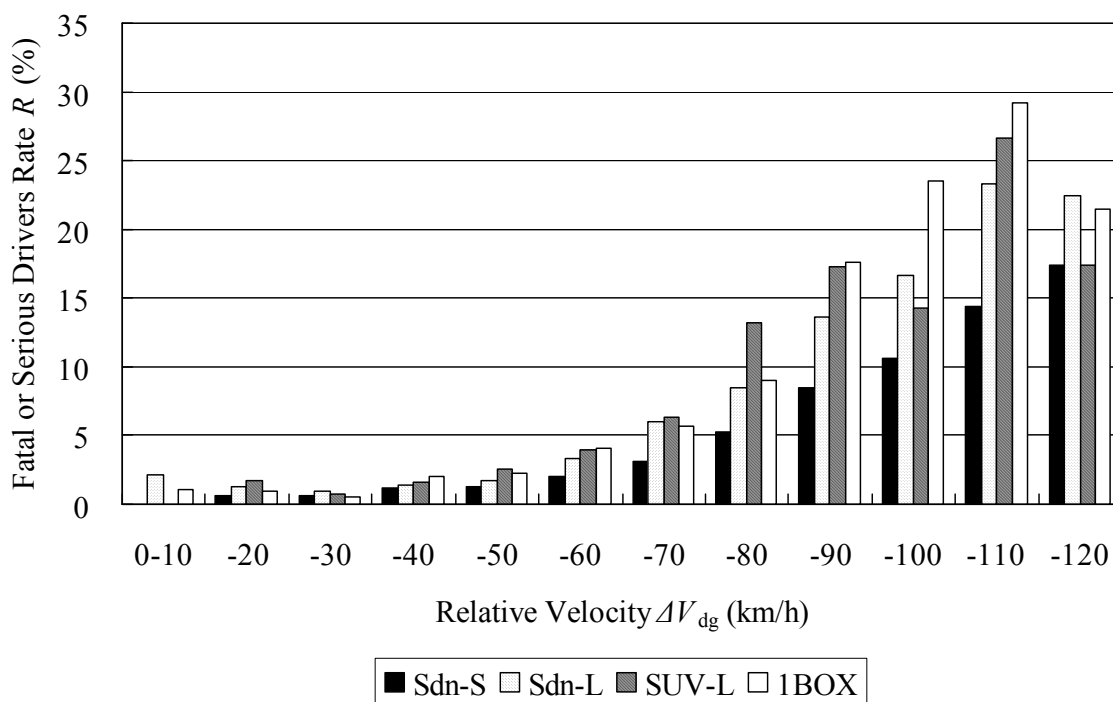


Fig.3.21 Relative Velocity and Fatal or Serious Injury Rate

3.6.2 危険認知相対速度と死亡重傷者率の関係式の推定

前節で述べた通り、危険認知相対速度が $40 \leq \Delta V_{dg} \leq 110\text{km/h}$ の速度領域では、重量の大きい衝突相手車種に関して、速度が速くなるに従い、Sdn-S 運転者の死亡重傷者率は、正比例的に高くなる傾向がある。そこで、衝突相手車種毎について、速度領域 $40 \leq \Delta V_{dg} \leq 110\text{km/h}$ における危険認知相対速度と死亡重傷者率の関係を 1 次式にて近似することを試みた。

図 3.22 から図 3.25 は衝突相手それぞれについての危険認知速度 ΔV_{dg} と死亡重傷者率 R の関係を示したものである。いずれの場合についても、危

危険認知相対速度に対する死亡重傷者率の増加は、危険認知相対速度が $\Delta V_{dg} = 40$ (km/h) の場合の死亡重傷者率 R を「0」とおいて導出した 1 次式に近似することができる (式(3.11)から式(3.14)). なお、衝突速度と車体変形量に正比例的な関係があることが以前に報告されている⁽⁸⁵⁾ことから、1 次式で近似することを試みた.

- ・ 衝突相手が Sdn-S の場合 :

$$R = 0.17 \Delta V_{dg} - 7.00 \tag{3.11}$$

- ・ 衝突相手が Sdn-L の場合 :

$$R = 0.28 \Delta V_{dg} - 12.00 \tag{3.12}$$

- ・ 衝突相手が SUV-L の場合 :

$$R = 0.30 \Delta V_{dg} - 12.00 \tag{3.13}$$

- ・ 衝突相手が 1BOX の場合 :

$$R = 0.36 \Delta V_{dg} - 15.00 \tag{3.14}$$

また、それぞれについての相関の強さを示す決定係数も高いことから、その相関性は強いものと考えることができる.

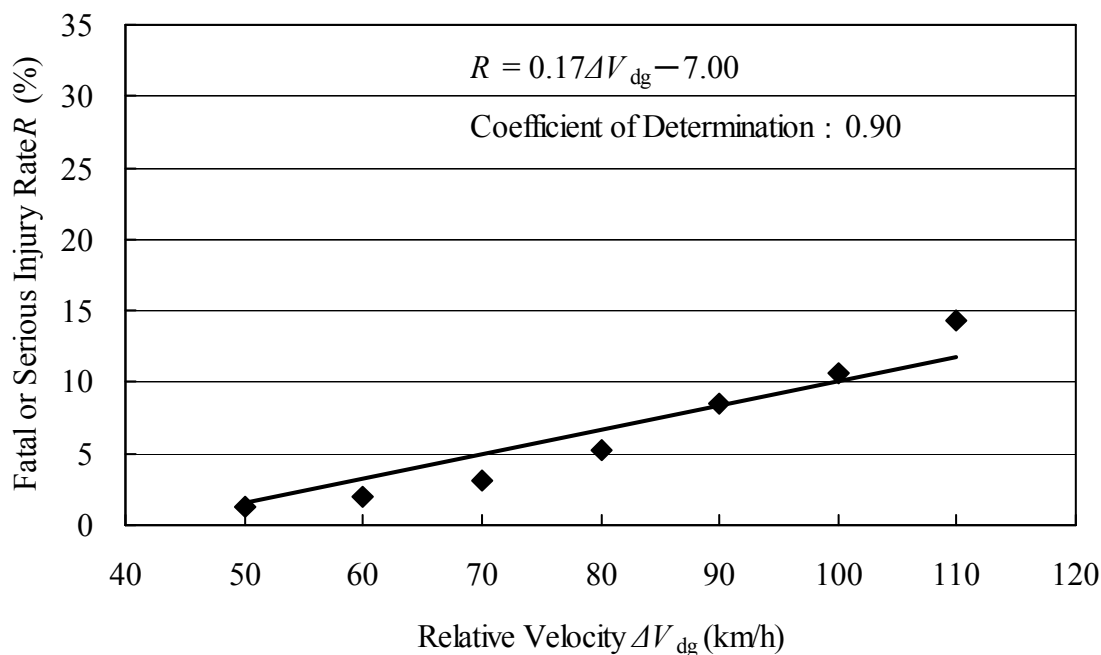


Fig. 3.22 Relationship between ΔV_{dg} and Fatal or Serious Injury Rate R , Sdn-S to Sdn-S

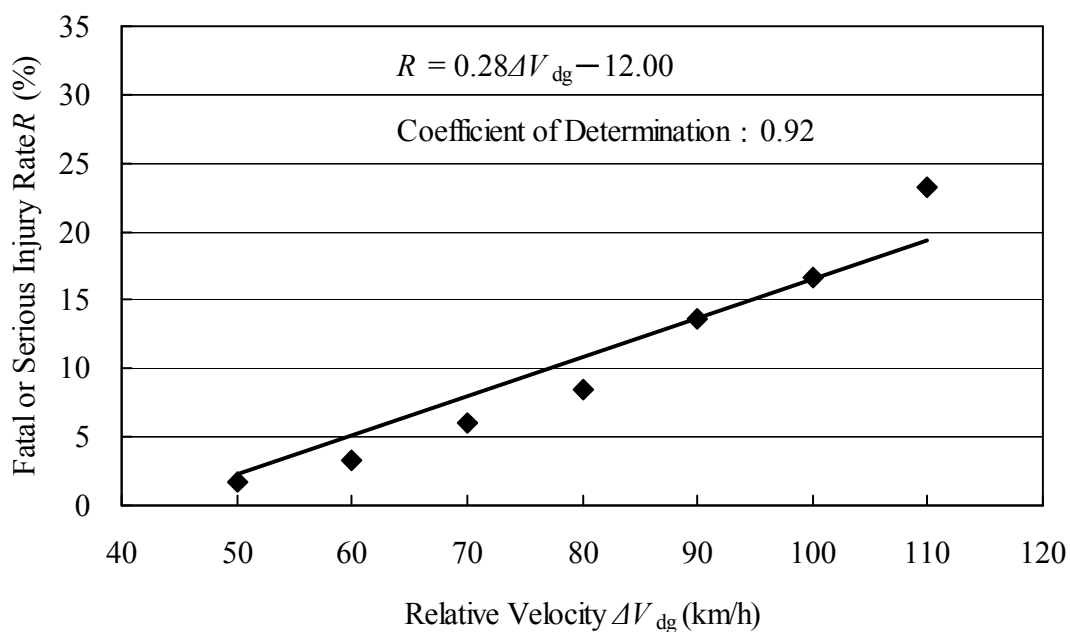


Fig. 3.23 Relationship between ΔV_{dg} and Fatal or Serious Injury Rate R , Sdn-S to Sdn-L

式(3.11)から式(3.14)を用いることによって、自車と異なる車種との衝突を式(3.15)から式(3.17)のように自車と同じ車種同士の衝突速度に換算して評価する式を導くことができる。

- ・ 衝突相手が Sdn-L の場合 :

$$\Delta V_{dgSdn-S} = 1.65 \Delta V_{dgSdn-L} - 29.41 \tag{3.15}$$

- ・ 衝突相手が SUV-L の場合 :

$$\Delta V_{dgSdn-S} = 1.76 \Delta V_{dgSUV-L} - 29.41 \tag{3.16}$$

- ・ 衝突相手が 1BOX の場合 :

$$\Delta V_{dgSdn-S} = 2.12 \Delta V_{dg1BOX} - 47.06 \tag{3.17}$$

先述した通り、死傷事故の累積頻度の 90%が危険認知相対速度 $\Delta V_{dg} = 80\text{km/h}$ までに発生している。Sdn-S 側にとって、自車と異なる衝突相手との $\Delta V_{dg} = 80\text{km/h}$ での衝突を Sdn-S 同士の衝突に換算した。

- ・ Sdn-L との衝突を Sdn-S 同士の衝突に換算した速度 :

$$\Delta V_{dgSdn-S} = 102\text{km/h} \tag{3.18}$$

- ・ SUV-L との衝突を Sdn-S 同士の衝突に換算した速度 :

$$\Delta V_{dgSdn-S} = 112\text{km/h} \tag{3.19}$$

- ・ 1BOX との衝突を Sdn-S 同士の衝突に換算した速度 :

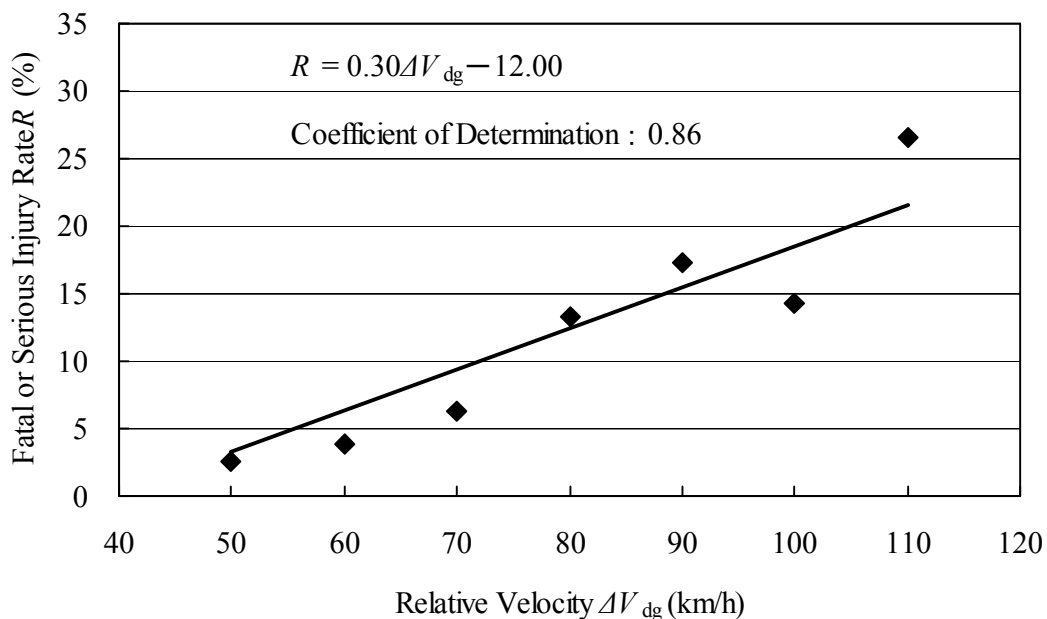


Fig. 3.24 Relationship between ΔV_{dg} and Fatal or Serious Injury Rate R , Sdn-S to SUV-L

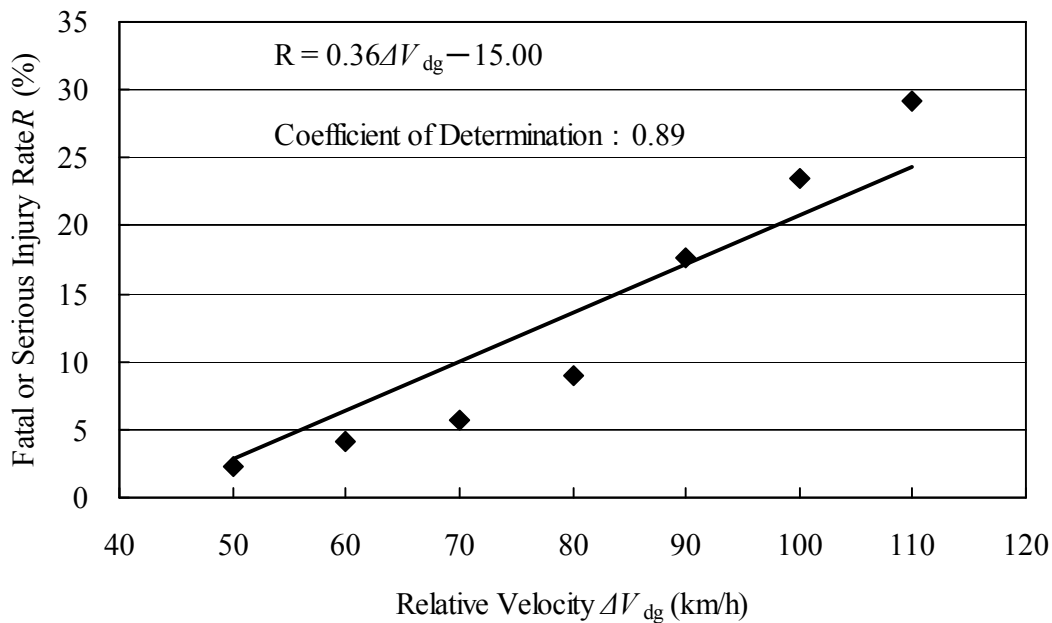


Fig. 3.25 Relationship between ΔV_{dg} and Fatal or Serious Injury Rate R , Sdn-S to 1BOX

これら式(3.18)から式(3.20)の衝突換算速度は、車両の重量比から求めたものではなく、乗員の傷害程度に合わせるように換算されていることに注意することが必要である。

本節において分析対象とした各クラスについての車高と車両総重量の車種毎の分布状況を図 3.26 に示す。車両総重量の分布については、Sdn-L と SUV-L、1BOX 車の間に大きな差は無い。しかしながら、SUV-L や 1BOX 車との衝突での衝突換算速度の方が Sdn-L との衝突の場合より高くなっている。このことから、自車と異なる車両との衝突では、車両の重量比以外の要因が乗員の傷害程度に影響を与えていると推測することができる。

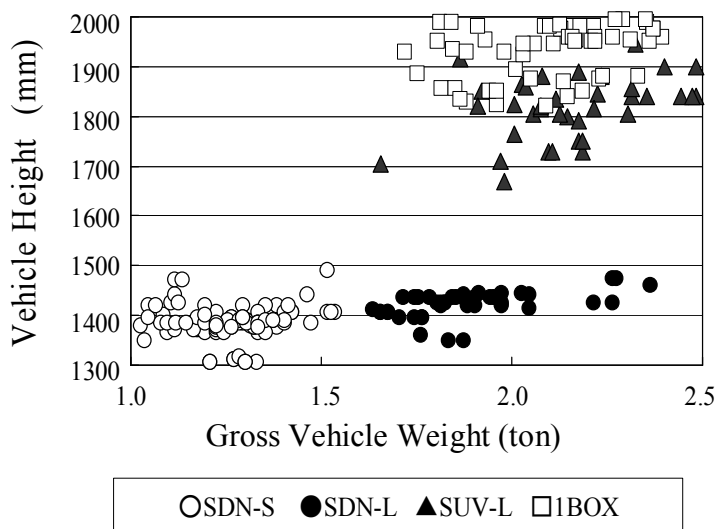


Fig. 3.26 Gross Vehicle Weight and Height (1991 – 1998, Japan)

3.6.3 乗員傷害に影響をおよぼす重量比以外の要因について

上述のように、自車と異なる車両との衝突では車両の重量比以外の要因も乗員の傷害程度に影響をおよぼしていると考えられる。そこで、その理由について考察した。

図 3.26 より、Sdn-L の車高は Sdn-S の車高と大差ないことがわかる。このことから両クラスのサイドメンバ高さもほぼ同じ程度と推測することができる。さらに、両クラス共セダンであることから車両前面を構成する車

体構造も類似しているとみなすことができるので、Sdn-S と Sdn-L の衝突（図 3.27）では、主に車両重量比が Sdn-S 側乗員の死亡重傷者率に影響をおよぼしていると考えることができる。

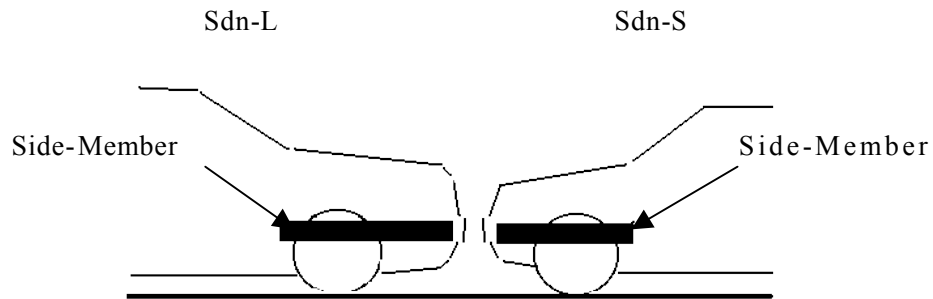


Fig. 3.27 Sdn-L to Sdn-S Collision

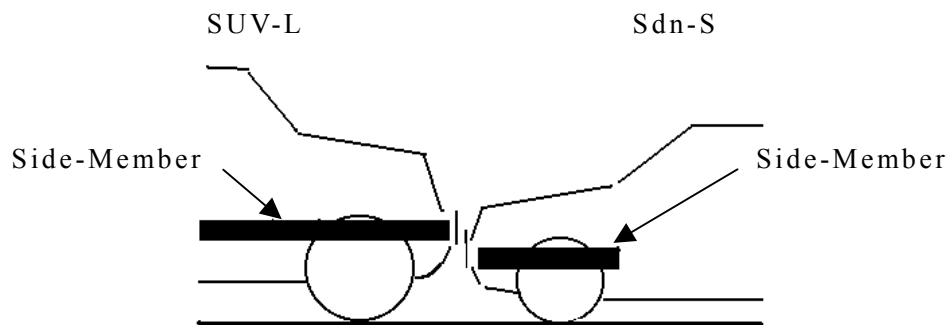


Fig. 3.28 SUV-L to Sdn-S Collision

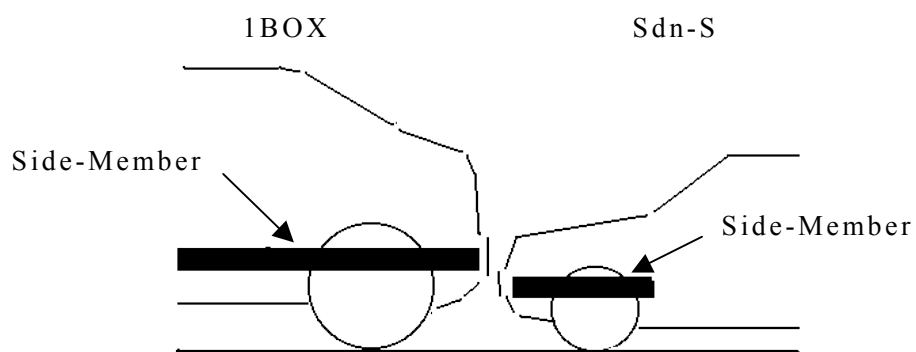


Fig. 3.29 Sdn-S to 1BOX Collision

一方、Sdn-Lや1BOX車の車高は、Sdn-Sの車高に比べ高い(図3.26)。また、衝突時に主にエネルギーを吸収するサイドメンバ高さが異なる(図3.28, 図3.29)ため、Sdn-S側に入る荷重が主要部材であるサイドメンバに入力されない。その結果、Sdn-Sの客室がサイドメンバ以外からの入力に耐えきれなくなる。これにより、Sdn-S側運転者の死亡重傷者率は高くなる。すなわち、車両総重量に大きな差はなくても、Sdn-Lや1BOX車の衝突換算速度は、Sdn-Lよりも高くなると考えられる。

以上、自車両と異なる大きさ、形状の車両との前面对前面衝突事故を分析し、以下のことを明らかにした。

- (1)危険認知相対速度 $40 \leq \Delta V_{dg} \leq 110 \text{km/h}$ の速度域での衝突における運転者の死亡重傷者率と危険認知速度の関係は、1次式で近似することができる。
- (2)自車量と異なる車両との衝突を、従来のように車両の重量比から評価するのではなく、乗員の傷害程度と衝突速度の関係から、自車両と同じ車種同士での衝突に換算して評価する手法を見出した。
- (3)車体構造の異なる車両との衝突では、車両の重量比以外の要因が乗員の傷害程度に影響をおよぼしている。

3.7 軽SUVと軽セダン前面对前面衝突事故の分析

3.7.1 本節における分析対象車種

近年における軽自動車の増加は著しく、これを無視するわけにはいかない。そこで、軽自動車の前面对前面衝突事故の分析も試みた。なお、国内における軽自動車についても、同じくボンネット付き乗用車でありながら、軽セダン、と軽SUVの2車種が存在する。したがって、両車の衝突についても事故統計分析を試みた。なお、本節においては、軽セダンをCPT-Sdn、軽SUVをCPT-SUVと表記する。

国内で登録された1991年から1998年にかけてのボンネット付き軽乗用車の車高および車両総重量の車種毎の分布状況を図3.30に示す。図3.30をみると、どちらも車両重量は同じ程度でありながらも、CPT-Sdnの車高は1600mm未満に、CPT-SUVの車高は1600mm以上に分布している。

以上のことから、同じくボンネット付き軽乗用車であるCPT-SUVとCPT-Sdnは、車高によって判別することにより、交通事故統合データベース上での区分が可能であるので、それぞれの種類を交通事故統合データ中から区分した上で、これら2車種の衝突について、全国統計的な視点から事故分析を行った。

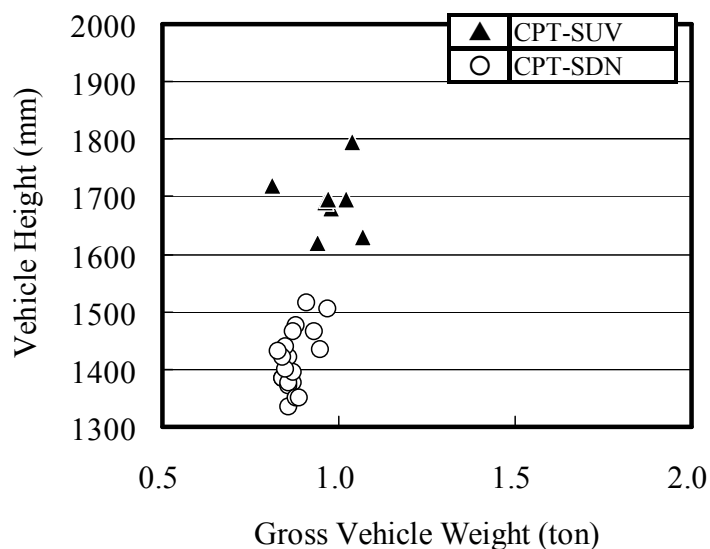


Fig.3.30 Gross Vehicle Weight and Height (1991 – 1998, Japan)

3.7.2 衝突速度による運転者の死亡重傷者率

まず、前面对前面衝突事故におけるSUV-MおよびSdn-Mの運転者の衝突速度別死亡重傷者率についての分析を行った。運転者の死亡重傷者率 R は、式(2.1)にて定義した通り。また、前面对前面衝突における相対衝突速度 ΔV は、式(2.2)に示した通り。

1995年から1999年の死傷事故を対象として求めた危険認知相対速度 ΔV

と運転者の死亡重傷者率 R の関係を図 3.31 に示す. 全般的に CPT-SUV 運転者の死亡重傷者率よりも CPT-Sdn 運転者の死亡重傷者率の方が高く, 相対速度 ΔV が高くなるほど, CPT-SUV 運転者の死亡重傷者率と CPT-Sdn 運転者の死亡重傷者率の差は開いていく. なお, この傾向は重量が同程度の車両同士に関して得られたものであり, 注目すべき結果と考えられる.

この理由は, 図 3.30 で示した通り, CPT-SUV の車高が CPT-Sdn に比して高く, 第2章で述べた SUV-M と Sdn-M の衝突と同様に, バンパ高さやサイドメンバ高さに上下のオフセットが存在するためと考えられる. したがって, 衝突エネルギーの大きい速度域になると, この上下方向のオフセットオフセットが車両重量以外の要因として効いてくるため, 運転者の死亡重傷者率の差が大きくなっていくと推測する. すなわち, CPT-SUV と CPT-Sdn の衝突でも, SUV-M と Sdn-M の衝突と同様な現象が起きているものと推測することができる.

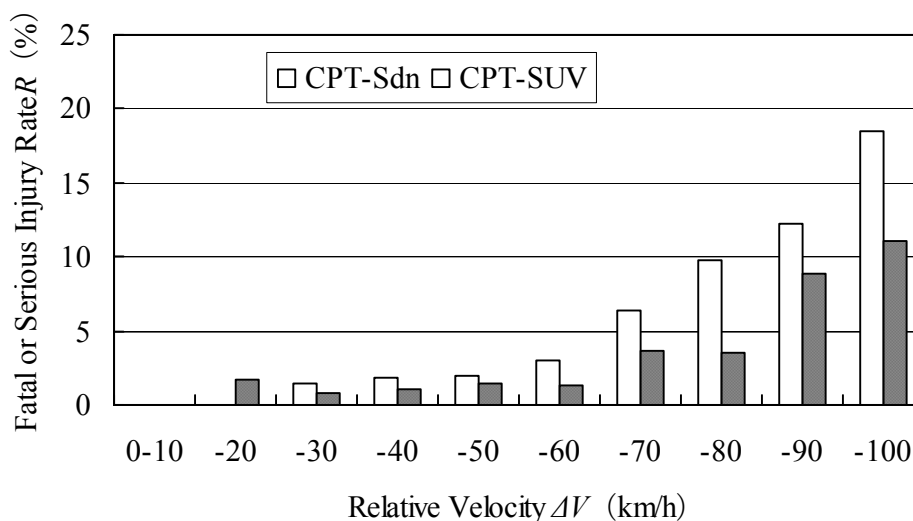


Fig.3.31 Fatal or Serious Injury Rate R and Relative Velocity ΔV

3.7.3 死亡または重傷運転者の傷害部位の構成

我が国における 1995 年から 1999 年の死傷事故を対象に, 死亡または重傷となった運転者の傷害部位の構成について分析を行った. CPT-Sdn 同士

の衝突における運転者(死亡重傷者数 389 人)の損傷主部位の構成を図 3.32 に, CPT-SUV と CPT-Sdn の衝突における CPT-Sdn の運転者(死亡重傷者数 90 人)の損傷主部位の構成を図 3.33 に示す. CPT-SUV と CPT-Sdn の衝突における CPT-Sdn の運転者は, CPT-Sdn 同士での衝突の場合比べ, 頭部や顔部, 腰部損傷の構成率が増加している. すなわち, 軽乗用車についても車両重量自体に差が少ない車両同士の衝突であっても, 車体構造が異なる車両との衝突では乗員の傷害部位の構成に相違のあることを確認した.

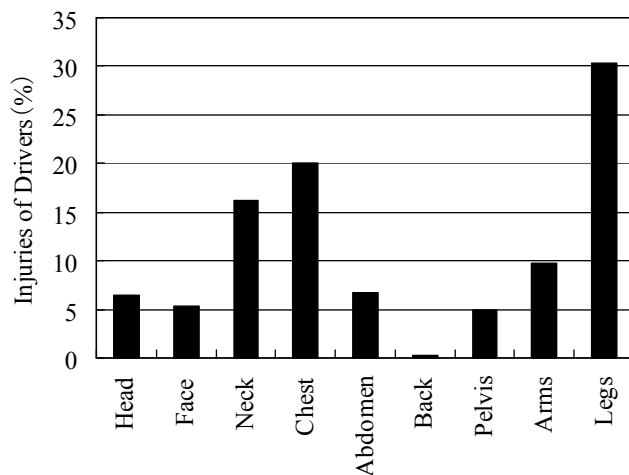


Fig. 3.32 Injuries of CPT-Sdn Drivers (CPT-Sdn to CPT-Sdn)

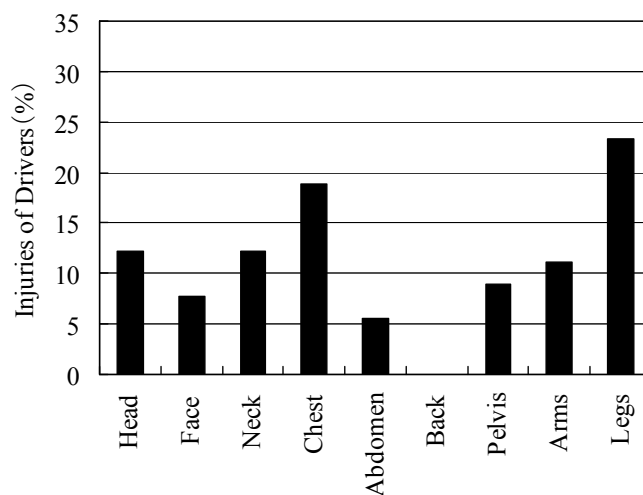


Fig. 3.33 Injuries of CPT-Sdn Drivers (CPT-SUV to CPT-Sdn)

3.7.4 軽セダンと軽SUVの衝突についての考察

軽SUVと軽セダンの前面对前面衝突について、事故統計分析を行い、以下のことを確認した。すなわち、全般的に軽SUV側運転者の死亡重傷者率の方が軽セダン側運転者よりも低くなっていること。そして、その差が衝突速度の増大と共に広がっていくこと。また、衝突相手が軽SUVである場合と軽セダン同士の衝突では、死亡あるいは重傷となった軽セダン運転者の傷害部位の構成が異なっていることを明らかにした。本節では、その理由について以下の考察を行う。

軽SUVと軽セダンも、SUVとセダンの関係（図2.13）と同様に、バンパ高さやサイドメンバの高さが異なっているものと考えられる。このため、軽SUVと軽セダンの衝突においても、両車のサイドメンバは上下方向にオフセットした状態で衝突するものと推測する。

軽セダン同士の前面对前面衝突においても、セダン同士の衝突と同様に、衝突による入力、車両前部については主としてサイドメンバを通じて伝達され、客室部への入力はフロア下部のフロアメンバを伝わる経路とサイドシルおよびトンネル部に伝わる経路とに分かれて後方に伝えられる（図2.14）。一方、エンジンの客室への侵入は、フロア部のトンネルが主として反力を受け持っている。客室保護対策を考慮して設計された軽セダンにおいても、このような客室に加わる力の伝達経路に沿った客室の補強がなされている⁽⁷⁶⁾。このため、客室を保護するために、衝突によるサイドメンバの付け根部分（トーボード周り）を力の受け手としてうまく利用し、衝突による入力を力の伝達経路に沿わせ、効果的に後方に伝達させていく構造法が採られている。

しかしながら、軽SUVと軽セダンの衝突の場合においては、先述の通り、軽SUVのサイドメンバが軽セダンのサイドメンバと上下にオフセットしているため、軽セダン側は衝突の力の受け手である客室下部を有効に利用することができない。したがって、軽セダンの客室には、補強されている

荷重の伝達経路以外の部位に大きな入力加わることになる．衝突時に軽 SUV，軽セダン両車に加わる衝撃力自体は等しいのであるが，軽セダン側では効果的な荷重の受け方ができないことから，軽セダンの客室構造の方が強度面で不利となる．特に，高い速度域での衝突においては，客室が入力に耐えきれず変形は大きくなる．それに伴って運転者の死亡重傷者率も高くなってしまっているものと考えられる．このことは図 3.32 および図 3.33 の傷害部位の相違とも符合している．

以上のことから，次の結論を得た．

- (1) 軽 SUV と軽セダンの前対前衝突では，車両重量に大きな差がない場合であっても，軽 SUV 運転者の死亡重傷者率の方が軽セダン運転者よりも低くなっている．衝突相手が軽 SUV である場合と軽セダン同士の衝突では，死亡あるいは重傷となった軽セダン運転者の傷害部位の構成が異なっているなど，コンパティビリティを論ずる上での特徴を確認した．
- (2) 上記のコンパティビリティ上の特徴は，軽 SUV のサイドメンバが軽セダンのサイドメンバと上下にオフセットして衝突するためと考えられる．このため，軽セダンはサイドメンバ取付部を衝突の力の受け手として有効に利用することができない．したがって，客室変形が増大する傾向にあり，それに伴って運転者の死亡重傷者率も高くなっていると考えることができる．
- (3) すなわち，車両重量が同じ程度の SUV とセダンの衝突と同じことが，軽 SUV と軽セダンの衝突においても，交通事故統計データ中に表れていることが明らかになった．

3.8 第3章の結論

重量の異なるSUVとセダンの衝突事故において、全国統計的な分析を行うことにより、SUVと衝突したセダン運転者の損傷主部位の構成率に次の特徴が見られることを確認した。

- ・ 衝突相手のSUVの重量が、自車よりも重い場合でも軽い場合でも、セダン運転者の損傷主部位のうち、頭部もしくは胸部といった上半身の傷害の構成率は、セダン同士の衝突での上半身の傷害の構成率よりも多くなる。
- ・ 軽いSUVと重いセダンの衝突におけるセダン運転者の上半身の傷害は、重量が同じ程度のSUVと衝突したセダン運転者の傷害の構成率よりも多くなる。
- ・ 重いSUVと軽いセダンの衝突の場合、セダン運転者の傷害は、頭部や胸部といった上半身の傷害だけでなく、脚部傷害の構成率も多く、傷害が全身におよぶ。

以上のことから、衝突相手となるSUVが自車よりも軽ければ上半身の傷害の構成率が多く、反対に自車よりも重くなるほど、脚部傷害が多くなる傾向があると言える。その理由は、SUVとの前部サイドメンバの上下のすれ違いにより、セダンは弱点のある車体上部に変形が生じ易くなるためと推測することができる。

第 4 章

セダン模型を用いた衝突試験による SUV との衝突時の客室入力の検討

4.1 コンパティビリティ性能の評価手法の検討

第 2 章および第 3 章にて、セダンと SUV の前面衝突のように、バンパ高さやサイドメンバ高さ等といった、構造部材の配置の違いを有する衝突においては、同じ質量の車両同士であっても、衝突時の車両変形状況や乗員の傷害状況等、衝突により引き起こされる現象に相違の存在することを述べた⁽⁸⁴⁾⁽⁸⁶⁾。

客室保護対策を考慮して設計されたセダンでは、衝突時に客室に加わる力の伝達経路に沿った客室の補強がなされている⁽⁷⁶⁾。しかしながら、SUV とセダンの衝突においては、それぞれのサイドメンバが上下にオフセットしているため、セダン側はサイドメンバ入力の受け手である客室下部を有効に利用することができない（図 2.13）。すなわち、SUV と衝突したセダン客室には、想定された荷重伝達経路（図 2.14）以外の部位に大きな力が加わることになる。この場合、セダン客室は入力に耐え切れず変形量が大きくなり、乗員傷害も高くなる。

しばしばコンパティビリティの議論においては攻撃性(aggressiveness)という概念が使用される。しかしながら衝突の直後において、両車が接触を開始した瞬間から、両方のフロントエンドは一体となってエネルギーを吸収する。また、どちらの客室にも等しい荷重が加わることに注意しなくてはならない。むしろ両車の構造部材の配置の違いから、予期していない客室部分に力が加わり、客室強度が不足することを避けるべきである。

したがって、SUVとセダンの衝突のコンパティビリティを検討する上では、セダン客室部に加わる荷重分布の変化を把握し、客室変形のメカニズムを理解することによってコンパティビリティを検討しようとする客室入力の評価も重要となるであろう。

本章では、衝突が開始されてから最大変形に達するまでの間に、客室に加わる荷重の分布状況の変化を把握することによって、SUVと衝突したセダンについて、新たに客室入力の観点からコンパティビリティの検討を行った。特に客室内部に加わる力の分布をコンパティビリティ性能の指標と捉え、その新たな表現方法を提案することを試みた。

客室入力を実測するために、精密な模型を用いた衝突実験を行った。模型実験は、以前より乗員の挙動や人体傷害発生のメカニズムを解明するための研究に用いられており⁽⁵²⁾⁻⁽⁶⁷⁾、樹脂製の模型を用いた衝突実験が、衝突時の車体変形を把握するために有効であることが報告されている⁽⁶⁸⁾⁻⁽⁷³⁾。なお、シミュレーション計算によっても同様な検討が可能であるが、計算値と実験値との精密な合わせ込みが完了していない場合に関しては、模型実験の利用が効果的であると言える。

なお、本模型実験においては、セダンとSUVの衝突における大局的な傾向が、事故統計から得られた結果と整合性があるか否かを確認することを目的としている。そのため、測定した数値自体に対しての詳細な統計処理は行っていない。ただし、追補において詳細を記した通り、本章で述べるバリア衝突については13回、次章で述べる車対車(Car-to-Car)衝突については5回、計18回の衝突実験を実施し、いずれの結果からも、上記の目

的に対して肯定的な結論を確認することができた。

本章では、平面バリアおよび SUVに見立てた突起バリアそれぞれに対して樹脂製のセダン 1/10 精密模型を衝突させる試験を実施し、上記の評価方法を適用し検討を行った。

4.2 客室入力の評価

前節にて述べたように、SUVとセダンのフロントエンドの構造部材の配置の相違により、予期していない客室部分に力が加わることを検討する必要がある。この理由から、セダンにおいては、SUVとの衝突で客室変形が大きくなると考えられるため、乗員空間の確保が重要となる。すなわち、乗員空間を確保するために必要な客室強度は、SUVと衝突したセダン客室に加わる荷重の入力状況を把握するによって、初めて明らかになることから、コンパティビリティを検討する上では、客室入力の評価、すなわちセダンの客室の防護性 (defensiveness) の評価が重要となる。防護性の概念は本研究において新たに導入した概念である。

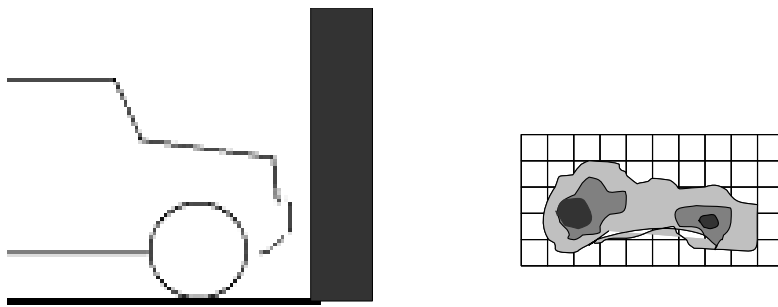
以前より、SUVの攻撃性 (aggressiveness) を表現するため、固定壁バリアに多数のロードセルを配置し、入力荷重を等高線によって示す方法⁽⁸⁷⁾⁻⁽⁹⁷⁾、COF⁽⁹⁸⁾ (Centre of Force)あるいは AHOF⁽⁹⁹⁾⁻⁽¹⁰⁶⁾ (Average Height of Force)といった表現法が報告されてきた (図 4.1 および式 (4.1), 式 (4.2))。しかしながら、これら従来からの手法は、車両の前面部分の荷重分布からコンパティビリティ性を評価するので、車両前面まで伸びてきていない部材の効果や影響を適正に評価しづらい等、必ずしも正確な評価が行なえないケースも発生する。例えば、SUVがセダンへの攻撃性を緩和するため SEAS (Secondary Energy Absorbing Structure) のような対策部材 (図 4.2) を装着していたとしても、AHOFのように、車両の前面部分の荷重分布からコンパティビリティ性を評価する方法では、その効果を正確に評価することは困難である。これに対し、本研究が提案する客室入力の評価、つ

まり客室入力の垂直分布表示あるいは車体断面における荷重分布の等高線表示による評価は、客室に入るすべての荷重から車体の衝突安全性を評価するので、従来の手法よりも正確な評価をすることができる。なお、この概念の詳細は 4.5 節に示す。また、AHOF および SEAS についての詳細は追補 1 を参照のこと。

$$F_{AH} = \frac{\int_0^t F(t) F_{centre}(t) dt}{\int_0^t F(t) dt} \tag{4.1}$$

$$F_{centre}(t) = \frac{\sum H_i F_i(t)}{\sum F_i(t)} \tag{4.2}$$

F_{AH} : AHOF
 F_{centre} : COF
 F_i : Force of Load Cell(i)
 H_i : Height of Load Cell(i)
 i : Number of Load Cell



(a) Barrier Crush with Load Cells (b) Distribution of Load Cell Force

Fig. 4.1 Concept of AHOF

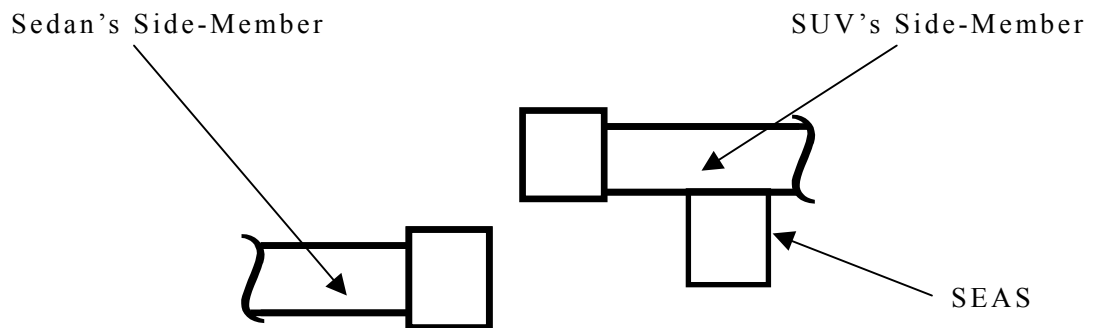


Fig. 4.2 Structures for Compatibility SUV to Sedan Collision, SEAS

そこで本研究では、次の新たな表現手法を用いることによって、客室入力の評価を試みた。

- ・ 客室に入る荷重の垂直方向分布表示およびその荷重中心の推移を示すことによる客室入力の評価。
- ・ センターピラー部での車体断面における荷重分布の等高線表示。

なお、客室入力を評価するために実車にロードセルを埋め込むことは、現在の技術では困難な場合が多い。これに対し、模型では客室断面にロードセルを配置することが比較的容易である。

4.3 衝突実験用模型

4.3.1 相似則の適用

衝突における車体変形状況を再現するために、セダンの1/10樹脂製精密模型の製作に関して、相似則を適用した。なお、本研究における模型は、車体全体を一つの材料として見ることとし、降伏点とか応力-ひずみ曲線などといった詳細な検討は一切省き、車体全体で合えば良いという考え方で相似が成り立つようにした。なぜならば、車体を構成するひとつひとつの部材の材料特性を明らかにすることによって数理的に相似が成り立つようにすることは、実際には不可能なためである。すなわち、降伏点、弾性係数、応力-ひずみ曲線等のすべてを鋼板に相似則に従って合わせた材料は存在しないからである。このため、本研究の模型では、衝突したときに実車と同様の車体変形が起こるようにすることによって、実車と同じような減速度および荷重を測れるように設計することとした。従って、単位体積当たりの吸収エネルギー e についての実車と模型の比を求めることによって、衝突したときに実車と同様の車体変形を起こすことを狙った。

ここで、単位体積あたりの吸収エネルギーとは、模型の車体全体を一つ

の材料として見ることにし、車体全体としての吸収エネルギーについて相似の関係が成り立つように定めた量である。これと類似の概念は単体の構造部材に関しては既に提案されているが⁽⁷¹⁾⁽⁷²⁾、本研究ではこれをフロントエンド構造全体に拡張して適用した。本研究では、新たにこの量を「単位体積あたりの吸収エネルギー」と呼ぶことにしたい。

衝突現象に関する諸量について、BuckinghamのΠ定理に基づいた次元解析から得られたΠナンバを模型と実物で等しくする必要がある。本研究では衝突現象に関する基本的物理量として、上述の単位体積あたりの吸収エネルギー e および密度 ρ 、長さ l を選択した。次元解析から得られたΠグループを式(4.3)に示す。式(4.3)では次のようにおいた。すなわち、 P ：荷重、 σ ：応力、 δ ：衝突による車体変形量、 m ：質量、 t ：時間、 v ：速さ、 α ：加速度、 E ：運動エネルギー、 I ：慣性モーメント、 ν ：ポアソン比、 ε ：ひずみである。

$$\left\{ \begin{array}{l} \Pi_1 = \frac{P}{el^2}, \quad \Pi_2 = \frac{\sigma}{e}, \quad \Pi_3 = \frac{\delta}{l}, \quad \Pi_4 = \frac{m}{\rho l^3}, \\ \Pi_5 = \frac{t}{l} \sqrt{\frac{e}{\rho}}, \quad \Pi_6 = v \sqrt{\frac{\rho}{e}}, \quad \Pi_7 = \frac{\alpha \rho l}{e}, \quad \Pi_8 = \frac{E}{el^3}, \\ \Pi_9 = \frac{I}{\rho l^5}, \quad \Pi_{10} = \nu, \quad \Pi_{11} = \varepsilon \end{array} \right. \quad (4.3)$$

また、車体変形を再現する上で乗員および拘束装置の存在を無視することはできない。シートベルトについては先述のBuckinghamのΠ定理に基づき荷重-変位特性の相似則を導き模型化した。

エアバッグについては、衝突による気体流出量の熱力学的な式を無次元化することにより、排気孔の面積についての相似則を導いた(式(4.4))。この過程は4.3.3の(4)に示す。なお、式(4.4)では次のようにおいた。 P_1 ：ダミー接触時内圧、 P_2 ：大気圧、 ν_1 ：ダミー接触時のガスの比重量、 κ ：比熱比、 w ：排気穴出口速度。

$$\Pi_{12} = \frac{P_1 v_1}{w^2} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right] \quad (4.4)$$

式 (4.3) の Π_5 および次節の表 4.1 より, 模型では時間が 5.59 倍だけ加速されることになる.

4.3.2 模型用材料

(1) 材料の選定

衝突実験用模型車体に使用する樹脂には, 応力-ひずみ曲線の弾塑性域における応力-ひずみ曲線の形が鋼材と似ていること, ポアソン比が鋼材に近いこと, さらには真空成形性が良いことが求められる. これらの条件を満足する樹脂には, ポリ塩化ビニル (Polyvinylchloride, 以下 PVC と略記する) とポリカーボネート (Polycarbonate, 以下 PC と略記する) が存在する. 鋼材, PVC, PC それぞれの材料特性を表 4.1 に示す.

本研究においては, 複雑な形状を有する自動車の部品を成形しなければならないことから, 成形性の良い材料を選定する必要がある. PVC は PC に比べ軟化温度が低く, 真空成形性の面で優れている. したがって, 本研究では, PVC を選定することとした.

なお, PVC のスプリングバックは実車で全く異なる. ただし, 車体に大きな力が加わるのは, 車体に変形していく過程に存在するので, スプリングバックしていく過程, すなわち車体がバリアから後退していく過程では客室への大きな入力は発生しない. このため, 客室に加わる力を論ずる際には, 変形が進んでいく過程だけを観察すれば十分であるので, スプリングバック量が実車と異なることは, 大きな問題とはならないと考える.

実際, 後述の図 4.17 を見ると, いずれのバリアに対する衝突においても, 最大変形に達した後は, 荷重は急激に減衰し, スプリングバック時の客室入力はほとんどゼロとなることを見ることができる.

Table 4.1 Material Property

	PVC	PC	Steel
Poisson's Ratio	0.36	0.37	0.30
Young's Modulus (GPa)	2.5-4.2	2.1-2.5	210.0
Ultimate Strength (MPa)	35.3-63.3	56.0-67.0	280.0
Linear Expansion Coefficient	5.00-18.50	6.60	1.04-1.15
Density (g/cm ³)	1.40	1.20	7.86

(2) 鋼材と PVC の基本量に関する比較

鋼材と PVC の基本量に関する比較を表 4.2 に示す. ここで単位体積あたりの吸収エネルギー比の値に関して, 文献⁽¹⁰⁷⁾では静的条件下で 14 : 1 という数値を与えているが, 本研究では次のようにして, 動的条件下での吸収エネルギー比の値を求めた.

実車においては, 車体変形量を少しでも多くとるように開発がなされており, 一概に絶対値を規定することはできないが, 現在ではバリア換算速度 55km/h での最大変形量はおおよそ 850mm であると言われているであろう. 本研究では, 図 4.11 に示した平面バリアに対して模型を衝突させる予備実験を行い, 模型の最大変形量が実車換算で 850mm (模型で 85mm) となる模型の速度を求めた. その結果, 模型を 31km/h で平面バリアに衝突させた場合に最大変形量が 85mm となることを確認した. そして, 相似則に整合させるため, この模型速度が実車換算で 55km/h に相当することを逆に条件として与え, 式(4.3)の Π_6 を用いて動的条件下での吸収エネルギー e の比の値を求めた. その結果, e の値の比として 18 : 1 が妥当であると判断した.

Table 4.2 Fundamental Quantities

	Steel:PVC
Absorbed Energy Density e	18:1
Mass Density ρ	5.6:1
Length l	10:1

4.3.3 セダン模型の製作

(1) 車両本体部分

前節で設定した相似則に従い，衝突実験用セダン模型の車両本体部分の設計を行った．プロトタイプとなる車種は，標準的なセダンを想定した．表 4.3 に模型の諸元およびこれらを実車換算した値を示す．

Table 4.3 Vehicle Specifications

		Model	Actual
Length (mm)		430	4300
Height (mm)		140	1400
Width (mm)		176	1760
Weight* (kg)	Fr.	0.172	966
	Rr.	0.113	634
	Total	0.285	1600
Side-Member Height (mm)		45	450

* Including Occupant Dummies and Restraint Systems

模型を図 4.3 に示す．セダン模型は，SUV と衝突した際の車体の変形状況をみるために，車両本体部分の前半分は実車を忠実に再現した構造となるように製作した．車両本体部分のうち，ボディー部分については，メインボディー，フロアパネル，ダッシュパネル，サイドメンバ，フロアメンバ，クロスメンバ等の板材によって作られている部品を PVC の板材から成形し，これらの部材を高周波スポット溶接によって組み立てた．上述部品の中でも，厚さ 0.8mm から厚さ 1.0mm 程度の比較的薄い板材で組み立てられることの多いメインボディーやフロアパネル等のようなボディー外板を構成する部品については厚さ 0.1mm の薄い板材で，サイドメンバやフロアメンバ等のようなボディー骨格を構成する部品については厚さ 0.2mm の厚い板材で製作することによって，実車のボディー構造を再現するようにした．また，ドアについては剛性の高い棒材をドアベルトライン部分に装着しているが（図 4.3(d)），前部にスライド機構を設け，空走するように工夫

した（図 4.3(e)）．この機構により，実際のドアの変形および，ドアと車体との隙間を模擬した．なお，これら板材による部品数の合計は 47 点である．

実車の前面对前面衝突において，エンジンルーム内の部品類の存在は，車体の変形や乗員傷害に対して大きな影響をおよぼす．したがって，エンジンルーム内についても，実車を忠実に再現するよう，エンジンおよび補機類，トランスミッション等といったドライブトレイン系部品やフロントサスペンション等の走行装置系部品，合計 24 点を製作し，上述のボディー部分に組み付けた．これらドライブトレイン系部品や走行装置系部品の多くは，実車においては鋳物や厚肉材等，剛体とみなしても構わないほど，剛性の高い材料によって構成されていることから，模型についても，これを再現するようにした．なお，近年においては，セダンの多くがエンジンを車両進行方向に対して横方向に配置して，前輪を駆動する方式としていることから，模型でも横置きエンジン，前輪駆動方式の乗用車のエンジンルームレイアウトを再現するようにした．

車両本体部分のうち後半部分については，衝突による車体骨格部への入力を計測するセンサー類を搭載する装置として製作した．フロアメンバ，フロアトンネル，サイドシル，ドアベルトラインメンバ，ルーフレールのそれぞれにロードセルを装着し，各骨格部材に入る荷重を個別に計測できるようにした．また，この部分には加速度計も装着した（図 4.4）．なお，車両の後半分については，前面对前面衝突の影響をほとんど受けることが無い部分であることから，模型では計測装置としての機能だけをもたせるようにした．したがって，この部分については実車と異なる形状になっているが，衝突試験の際に各骨格部材への入力を測定するに当たっては，車体後部の慣性力がロードセルに加わることから，ロードセルや加速度計を搭載した状態において，実車の重心高さを十分に考慮した．実車セダンの平均値は 550mm であるので，模型の重心高さは 55mm とした．

(2) 乗員ダミー

車体変形を正確に再現する上で、乗員の質量は無視できない。なぜならば、平均的な成人男性の体重は 70kg から 75kg 程度であるが、これが 2 名乗車した場合には、140kg から 150kg となり、車両総重量の約 1 割程度に相当する重量となるからである。このため、新設計の乗員ダミーを製作し、運転席および助手席それぞれに搭載した。4.3.1 節で述べた相似則を乗員ダミーに適用した場合、標準的な成人男性の体重を 73kg とすると、模型における乗員ダミーの体重は 13g となる。本研究における乗員ダミーは、体重をこれに合わせるため、模型車両本体部分と同じく PVC を成形することによって身体を構成する各部位を製作して組み立てた（図 4.5）。

なお、本研究ではダミーによる乗員傷害値の計測は考えていないので、関節挙動など、生体的な特性については簡略化している。

(3) シートベルト

本研究では、相似則に従って製作した乗員拘束装置を装着することにより、衝突時に乗員が車体におよぼす影響についても考慮した衝突条件を整えた（図 4.5）。図 4.6(a)に実車のシートベルトの荷重-伸び特性を示す。したがって、模型のシートベルトの荷重-伸び特性は相似則により図 4.6(b)のようにする必要がある。模型では、これを再現するために、鋼線の塑性曲げを利用したフレーム構造の装置を相似則に基づいて製作し、ベルトに装着した。具体的には「く」の字型に曲げた鋼線に引張荷重を与え、伸長させることによって、シートベルトの荷重-伸び特性を模した性質を得ることとした。

すなわち、シートベルトの特性を再現する鋼線は、変位 20mm で塑性域に達するように直径を定めなければならない。そこで、次の手順にて鋼線の直径を求めた。図 4.6(b)より、模型のシートベルトの最大伸長量が L の場合、「く」の字に曲げた鋼線の一辺の長さは L である。また、鋼線の初

期角度は ($\pi/3\text{rad}$) とした (図 4.7(a)). 「く」の字に曲げた鋼線に荷重 F_i が加わった時の変位を x_i とすると, F_i と x_i の関係は式(4.5)のように表される.

$$F_i = k \left(x_i - \frac{L}{2} \right) \quad (4.5)$$

また, このとき鋼線に加わるモーメントは

$$M_i = F_i y_i \quad (4.6)$$

と表される.

したがって変位が x_i から x_{i+1} となった場合 (図 4.7(b)), 幾何学的に

$$\left(\frac{x_i}{2} \right)^2 + y_i^2 = \left(\frac{x_{i+1}}{2} \right)^2 + y_{i+1}^2 \quad (4.7)$$

となり, 式(4.7)より y_{i+1} が求まる. なお, 本研究の模型のシートベルトの最大伸長量については, $L=60\text{mm}$ である.

$x_i=50\text{mm}$ までこの繰り返し計算を行った結果, 鋼線が塑性域に達するときの $y_i=44\text{mm}$ を得た.

式(4.4)より, このときの $F_i=2.2\text{N}$ であるので, モーメントは $M_i=97\text{Nmm}$.

M_i と塑性断面係数 Z_p , 降伏応力 σ_p の関係は, 式(4.8)のようになる.

$$\sigma_p = \frac{M_p}{Z_p} \quad (4.8)$$

鋼線の断面形状は円形であるので, 塑性断面係数は円の半径 r とすると

$$Z_p = \frac{4}{3} r^3 \quad (4.9)$$

と表される.

軟鋼の降伏応力 $\sigma_p=280\text{Mpa}$, 弾性限界モーメント $M_p=97\text{Nmm}$ を式(4.9)

に代入すると $r=0.6\text{mm}$ となる. したがって, 鋼線の太さは直径 1.2mm となるが, この径の鋼線は存在しないので, 直径 0.9mm の鋼線を2本使用した.

腰用シートベルトについても, 同様の計算を行い, 鋼線の直径を求めた. 腰用シートベルトの最大伸長量 L は 30mm であるので, 「く」の字に曲げた鋼線の一辺の長さは 30mm , 鋼線の太さは直径 1.2mm となるが, この径の鋼線は存在しないので直径 0.9mm と直径 0.8mm の鋼線の2本を使用した.

(4) エアバッグ

本研究においては, 衝突時にダミーがエアバッグから受ける反力をエアバッグの排気口の大きさで調節することによって, 模型におけるエアバッグの能力の再現を試みた. すなわち, 衝突時に乗員の頭部がエアバッグに接触した際に, 圧力 P_1 の一定内圧が速度 w で大気圧内に噴出するものとみなし, 模型はこれを相似則に則って再現するものと考えた. ノズル内の流れと摩擦の影響は次の式で表現される⁽¹⁰⁸⁾.

$$\frac{w}{2g} = \frac{\kappa}{\kappa-1} P_1 q_1 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \right] \quad (4.10)$$

ここで P_1 はエアバッグ内の圧力, P_2 は大気圧, q_1 はエアバッグ内の初期比体積, g は重力加速度である.

なお, 式(4.10)の右辺の P_1 , q_1 については, 空気を理想気体と考えると

$$P_1 q_1 = RT \quad (4.11)$$

である. R および T はそれぞれガス定数, エアバッグ内の絶対温度であるので一定とみなし, 変化量を見捨てるものとする.

実車, 模型それぞれの衝突直後のエアバッグ内の圧力を P_{1p} , P_{1m} , 衝突

現象が終了したときのエアバッグ内の圧力を P_{2p} , P_{2m} とおくと, 自動車メーカーの実車のエアバッグ展開試験時のデータによれば,

$$P_{1p}=0.156\text{MPa} \quad (4.12)$$

また, 衝突現象終了時のエアバッグ内の圧力は大気圧と等しくなっているとみなせるので,

$$P_{2p}=P_{2m}=0.101\text{MPa} \quad (4.13)$$

ここで, ダミーがエアバッグから受ける荷重の比が, 単位体積当たりの吸収エネルギーの比に等しいことから,

$$\frac{P_{1m}-P_{2m}}{P_{1p}-P_{2p}} = \frac{e_m}{e_p} \quad (4.14)$$

式(4.12), (4.13), (4.14)から,

$$P_{1m}=0.104\text{MPa} \quad (4.15)$$

が得られる. したがって, 式(4.10)についての実車と模型の比は,

$$\frac{1-\left(\frac{P_{2m}}{P_{1m}}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}}{1-\left(\frac{P_{2p}}{P_{1p}}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}} = \frac{w_m^2}{w_p^2} \quad (4.16)$$

で表される. したがって,

$$\frac{w_m^2}{w_p^2} = 0.073 \quad (4.17)$$

となることから,

$$\frac{w_m}{w_p} = 0.270 \quad (4.18)$$

が得られる.

噴出速度 w と排気口の面積 F の積が排出体積となるので、4.3.1 節で述べた相似則により、排気口の面積 F については、実車と模型の間で次の関係が成り立つ。

$$\frac{1}{5.585} \frac{w_m}{w_p} \frac{F_m}{F_p} = \frac{1}{1000} \quad (4.19)$$

この式(4.19)に式(4.18)を代入することにより、排気口の面積の比は次のようになる。

$$\frac{F_m}{F_p} = 0.021 \quad (4.20)$$

実車の運転席エアバッグには、直径 45.0mm の排気口が 2 箇所空いているので、模型では直径 6.5mm の排気口を 2 箇所空けることとした。なお、模型のエアバッグの排気口は、穴あけパンチによって打ち抜いた。

以上の理論的な考察は、新たに行なった検討であり、今後のエアバッグの模型実験のひとつの基礎を与えられられる。

(5) タイヤについて

実車のタイヤの荷重-変位曲線を図 4.8(a)に示す。実車のタイヤでは、荷重は変位が 70mm に達するまでは線形的に増加している。本研究の模型では、タイヤについても、実車タイヤの荷重-変位曲線を忠実に再現するように設計した。相似則に則って模型に装着するタイヤの荷重-変位曲線を求めると図 4.8(b)に示した通りになる。したがって、模型のタイヤでは、この荷重-変位曲線を再現できる材料を選択するようにした。具体的には、防水テープが、図 4.8(b)に示した荷重-変位曲線を再現する性質を示したことから、これを模型のタイヤとして使用することとした。

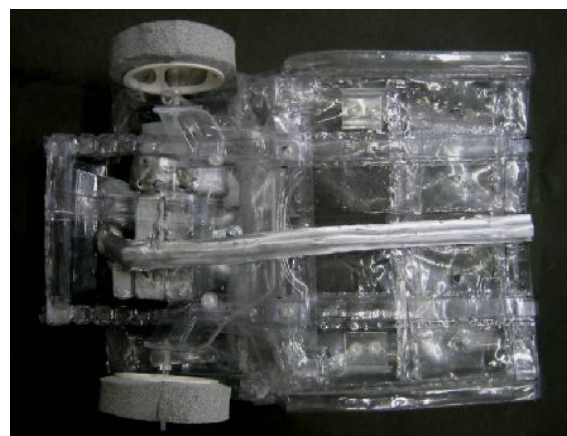
以上、本研究における模型車両を構成する全部品の総数は、前述の車両本体部分からダミーおよび拘束装置を含めると、総数 103 点におよんだ。



(a) Overview



(b) Engine Compartment



(c) Chassis and Under-Body



(d) Door Beltline-Member



(e) Acral-Part of Door Beltline-Member

Fig. 4.3 Scale Model (1:10)

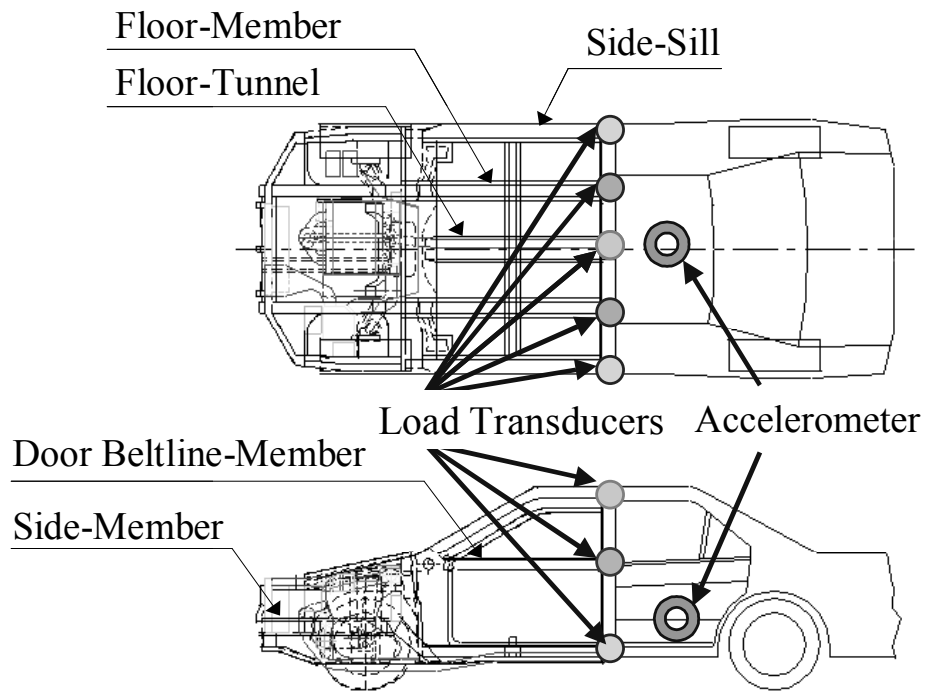


Fig. 4.4 Load Transducers and Accelerometer

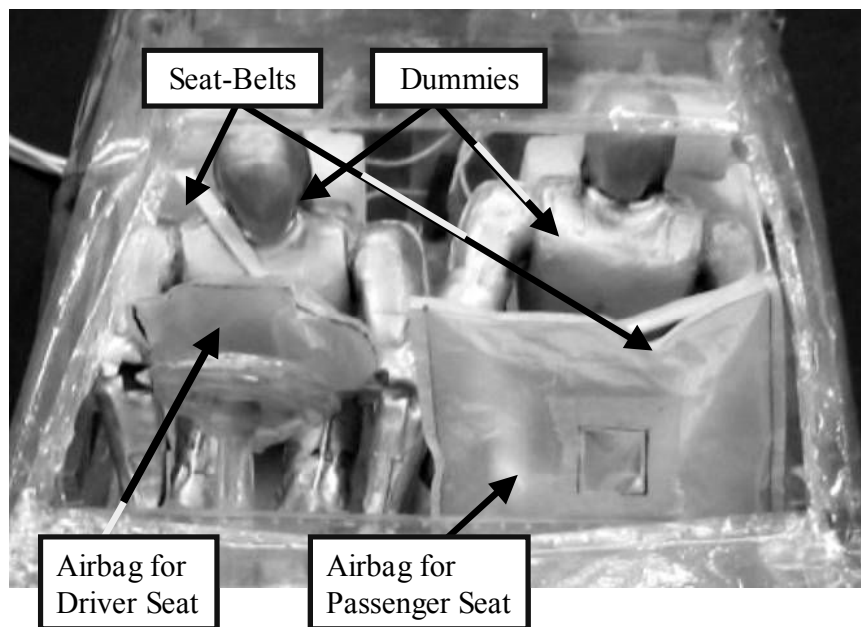
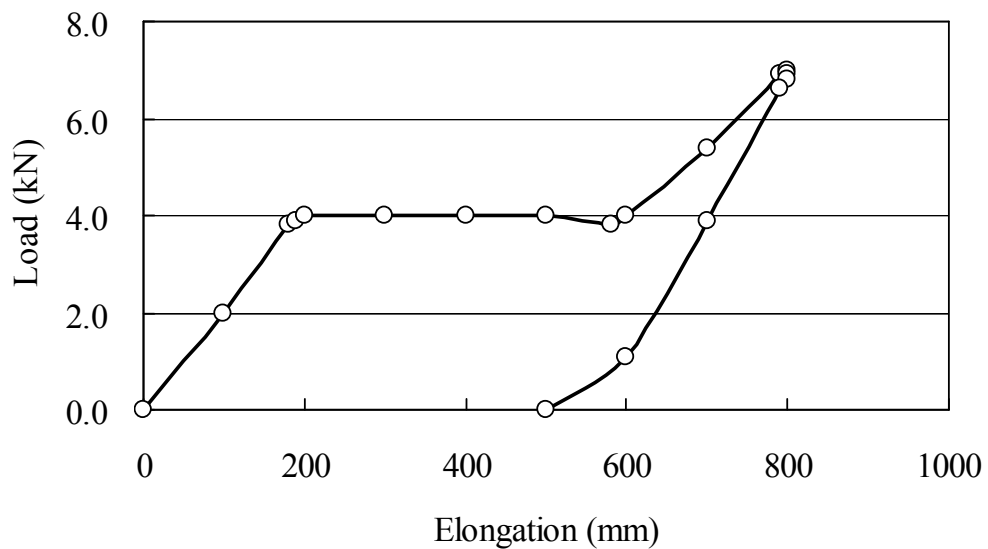
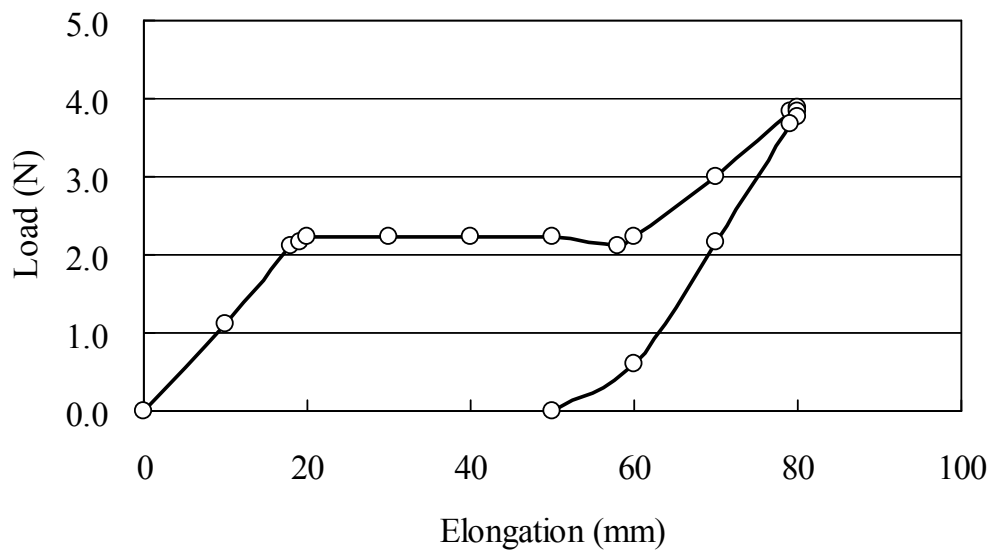


Fig. 4.5 Dummies and Restraint Systems



(a) Actual Vehicle



(b) Scale Model

Fig. 4.6 Load Elongation Curve of Seatbelt

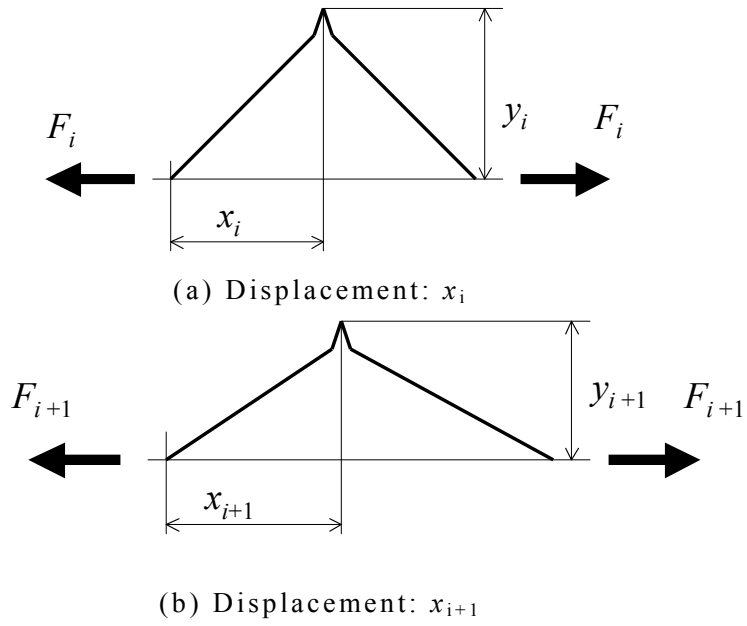
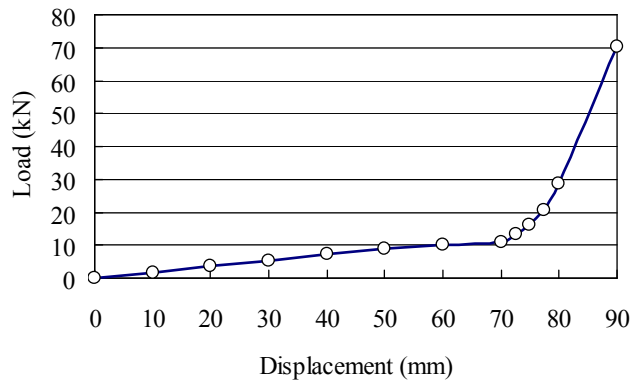
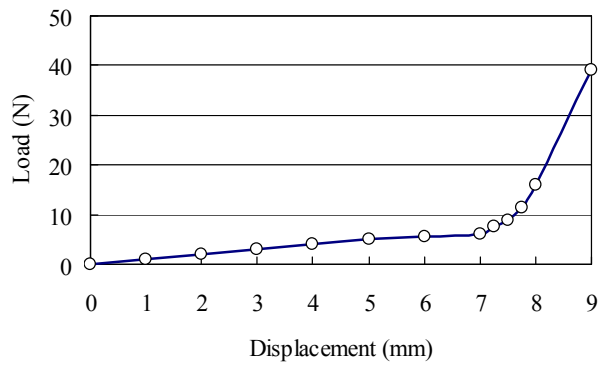


Fig. 4.7 Plastic Hinge



(a) Actual Vehicle



(b) Scale Model

Fig. 4.8 Load Displacement Curve of Tire

(6) 模型の検証

模型の衝突特性が実車の衝突特性に合致していることを確認するため、55km/h での固定壁バリアへの衝突について実車との比較を行った (図 4.9). この図に示した実車の減速度-時間曲線の通り、模型の衝突特性は、実車の衝突特性⁽¹⁰⁹⁾⁽¹¹⁰⁾と大きな違いが無いことがわかる. 従って、模型の衝突特性は、実車の衝突特性をよく再現できていると判断した.

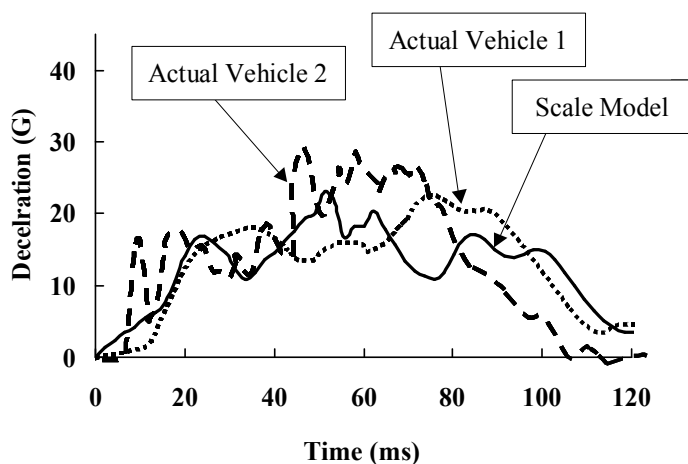


Fig. 4.9 Deceleration Curves

4.3.4 衝突実験用バリア

本研究では、セダン同士の衝突を平面バリア衝突 (図 4.10)、SUV とセダンの衝突を突起バリア衝突 (図 4.11) で表現し、これらの実験結果を比較することにより、SUV に衝突したセダンの車体とセダン同士の衝突での車体の変形状況の違いを観察した.

4.3.5 模型車両の衝突実験条件

セダンと SUV の前面衝突事故の累積頻度 99%は、相対速度 110km/h 以下で発生している⁽⁴⁶⁾⁽¹¹¹⁾、質量が同じ車両同士の衝突では、相対速度の 1/2 がバリア衝突速度と等価であるから、本研究における衝突速度は、この事

故統計を参照し、55km/h（実車換算）とした。

模型は、三相誘導モータによりタイミングベルトを用いてレール上を牽引する衝突試験装置（図 4.12）によって、バリアに衝突させるようにした。突起バリアの設置高さは、SUV とセダンそれぞれのサイドメンバが完全に上下オフセットしている衝突を想定し、図 4.11 に示すように 55mm（実車換算 550mm）とした。なお、実車の SUV もサイドメンバ地上高は 450-550mm 程度であるので、本研究における突起バリアの設置高さは妥当なものと考えられる。また、測定には高速度カメラによる撮影結果を併用した。

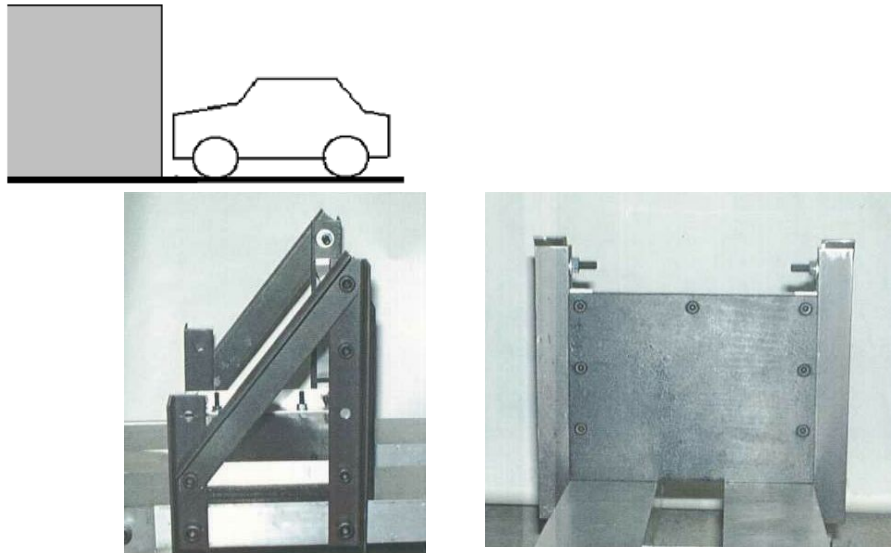


Fig. 4.10 Flat Barrier

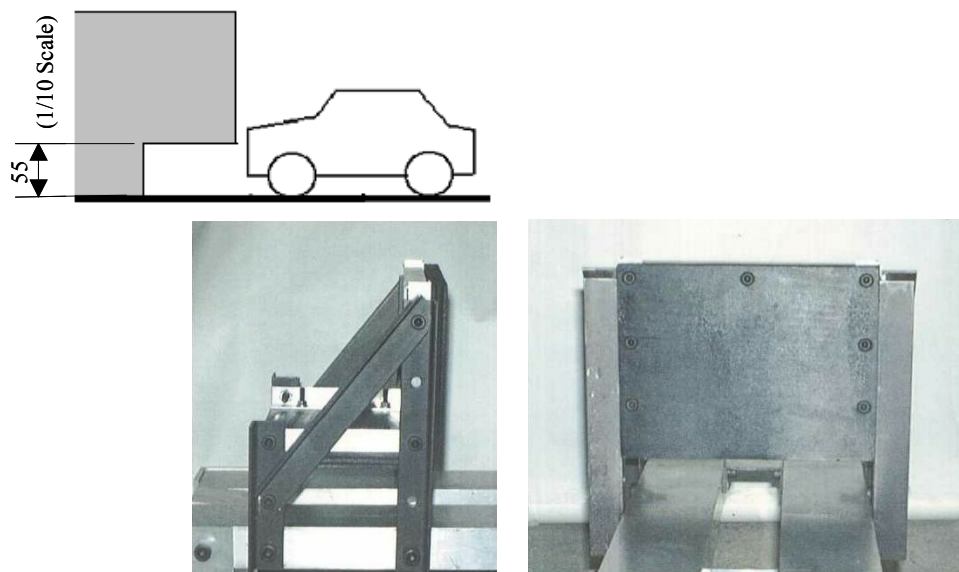


Fig. 4.11 SUV Barrier

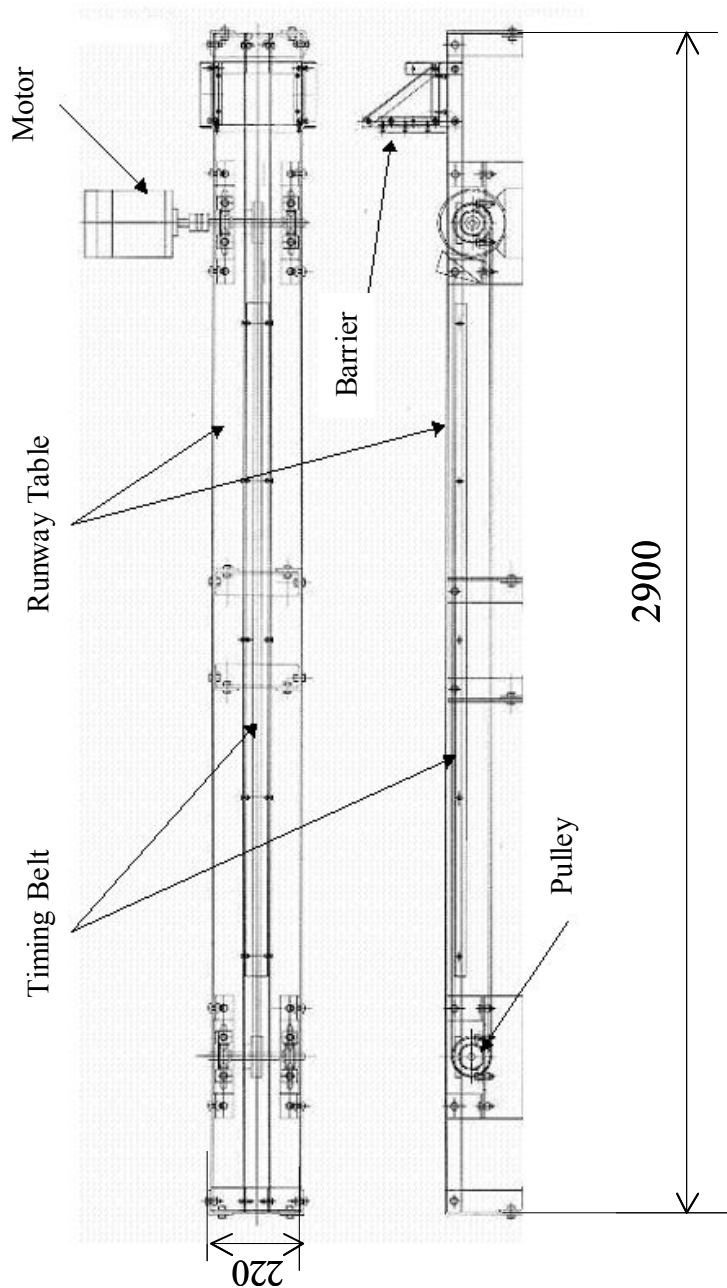


Fig.4.12 Car-to-Barrier Crash Test System

4.4 衝突実験結果

4.4.1 模型車両の衝突特性

変位と時間の関係を図 4.13 に、減速度と変位の関係を図 4.14 に示す。なお、本章で図中に示した値はすべて実車に換算した値である。現実の車体における減速度-変位曲線は各車各様であるが、図 4.14 の実線で示した平面バリア衝突の曲線は、多くの車体の一般的な傾向に合致している。ただし、最初の立ち上がりは現実の車体に比して遅い。これは樹脂の弾性率が相似則で与えられる値より低いためである。なお、本節に示した図は、いずれも実車のスケールに換算して示してある。

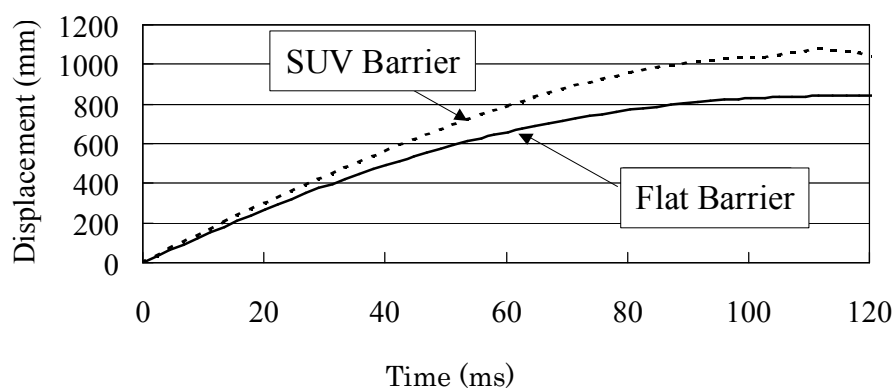


Fig. 4.13 Vehicle Deformation

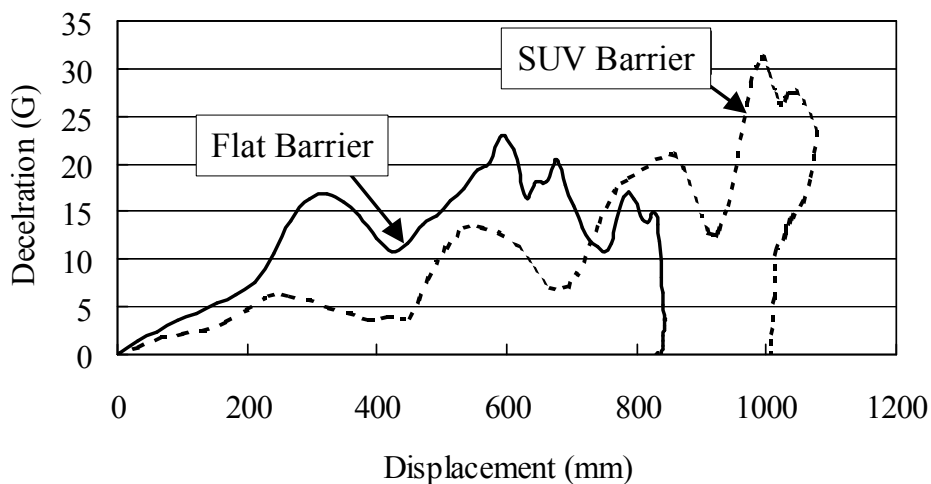


Fig. 4.14 Deceleration Curve

図 4.14 の破線は突起バリア衝突の曲線である。サイドメンバの圧壊荷重が発生すべき 200-300mm ではほとんど荷重が出ていない。主要な衝撃吸収部材であるサイドメンバが突起バリアの下にもぐり込み、エネルギーをほとんど吸収していないためと思われる。500-800mm 付近のピークはエンジンのダッシュパネルへの侵入によるものである。突起バリア衝突では、衝突エネルギーをサイドメンバで吸収できない分、全体変形量は大きくなっている。平面バリア衝突における最大変形量は 843mm であるが、突起バリア衝突では 1078mm 変形しており、約 30%も増加している（図 4.13, 図 4.14）。この変形量の増大は、エンジンがダッシュパネルへ侵入する量の増加に結びつく。これらの値は代表的な実験の結果であるが、実際には平面バリア 7 回、突起バリア 6 回、計 13 回の衝突実験を行っており、いずれも類似の結果を得ている。その一部を追補 2 に示した。

4.4.2 衝突による車体骨格部への入力荷重と車体変形

高速度カメラによって撮影した模型の潰れ状況を図 4.15 および図 4.16 に示す。客室に埋め込んだロードセル（図 4.4）によって測定した平面バリア、突起バリアそれぞれへの衝突についての荷重-変位曲線を、図 4.17 に示す。図 4.14 より、平面バリアと突起バリアでは客室への入力に対して車体骨格部が全く異なる力の受け方をしていることが確認できる。

平面バリア衝突（図 4.17(a)）では、フロアメンバ、フロアトンネル、サイドシル等の客室下部構造が受け持つ荷重配分は大きい。通常の客室構造においては、衝突時の荷重は、主としてサイドメンバ付け根で受け持たれている。平面バリアの場合には、客室構造はこれら下部骨格部材で効率よく力を受けていることが理解できる。

一方、突起バリア衝突（図 4.17(b)）では、ドアベルトライン部が受け持つ荷重配分が他の骨格部材に比べて大きい。突起バリア衝突では、サイドメンバがバリアの下にもぐり込むため、本来の荷重導入部位として想定されている客室下部構造への入力が少なく、その代わりにドアベルトライン部が受け持つ荷重配分が大きくなることを示している。

4.5 客室入力分布による防護性の評価

4.5.1 客室入力の垂直分布

本研究では、客室入力を評価する方法として、客室（左右方向断面上）に入る荷重の垂直方向分布およびその荷重中心の推移を示す手法を導入した。車両変形のスโตรーク量毎での、荷重の垂直方向分布（ D_{CF} (Diagram of Compartment Force)）および客室荷重中心の変化（ C_{CF} (Centre of Compartment Force)）を図4.18のように示すことによって、客室入力を評価することとした。

図4.19は、図4.17に示した客室入力荷重から垂直位置別の平均入力荷重をスโตรーク量毎に導出した、衝突過程における荷重の垂直分布および客室荷重中心の変化を示した図である。なお、本節に示した図は、いずれも実車のスケールに換算して示したものである。

平面バリアへの衝突では、衝突による車体変形が進行するほど、車体下部の受ける荷重は大きくなり、荷重中心は全変形過程を通じて車体下部を通っている。セダン同士の衝突においては、フロアメンバ等、車体下部が衝突時の荷重を受けていることを示している。なお、図4.19の曲線は、図4.4に示したロードセルで計測した荷重を設置高さ別にプロットしたものをスโตรーク量毎に結んだものである。

一方、突起バリアへの衝突では、衝突直後は車体下部が荷重を受けているが、車体変形が進行していくほど、ドア部の受ける荷重が増大していく。また、荷重中心位置は、車体下部からドアベルトライン部への荷重中心へ移動している。セダンはSUVとの衝突において、初期段階で本来の衝突安全対策がなされた車体下部構造で荷重を受け止めようとするものの、サイドメンバが上下にオフセットしているため、ドアベルトライン部で荷重を受け止めることを示している。



Fig. 4.15 Crash Test (Flat Barrier, Max Body Deformation)

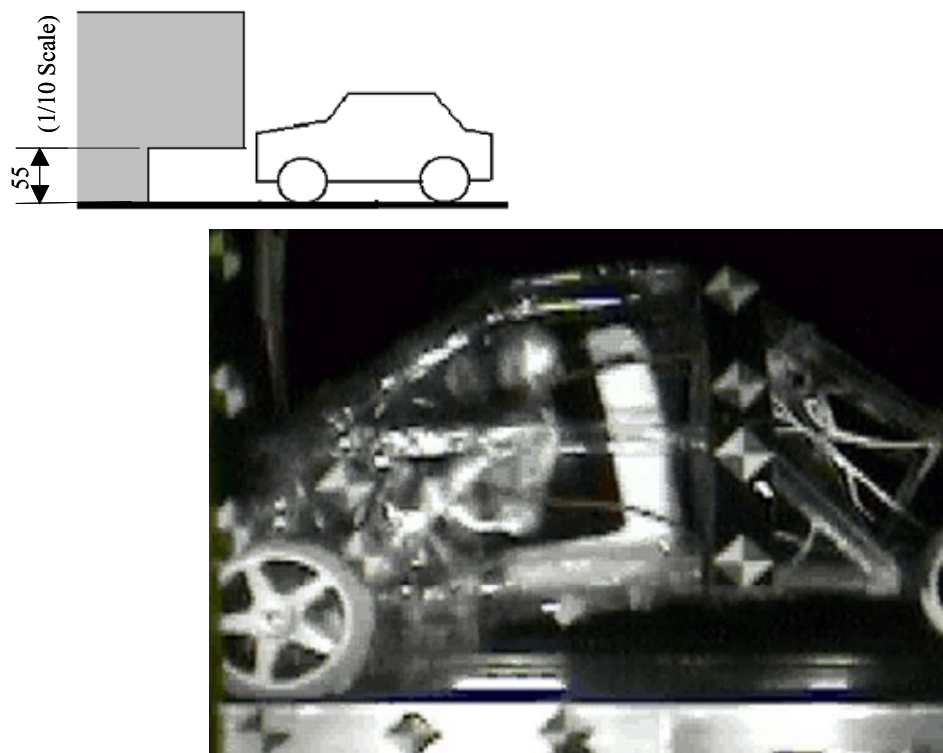
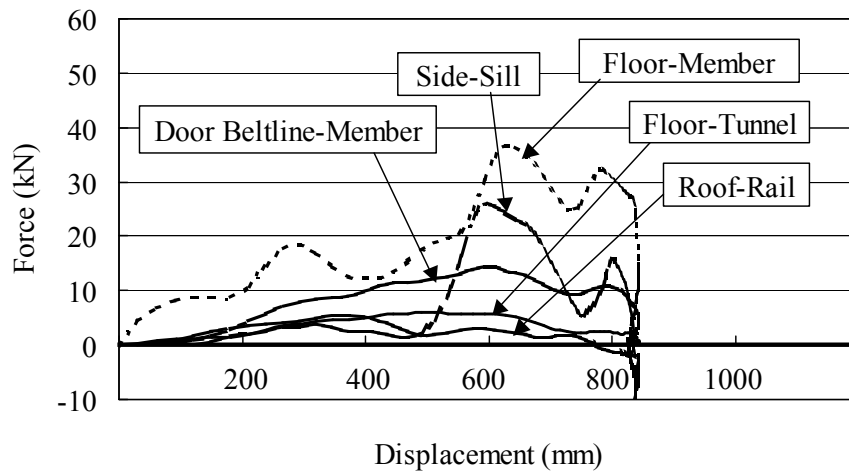
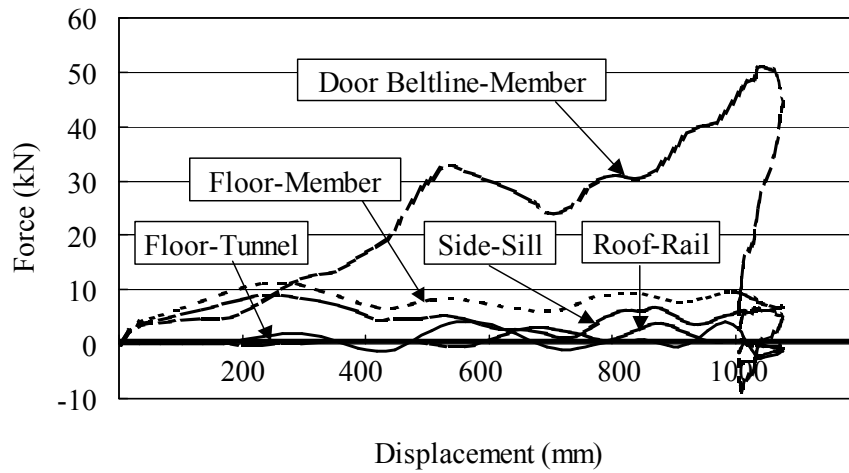


Fig. 4.16 Crash Test (SUV Barrier, Max Body Deformation)



(a) Flat Barrier



(b) SUV Barrier

Fig. 4.17 Force Displacement Curve

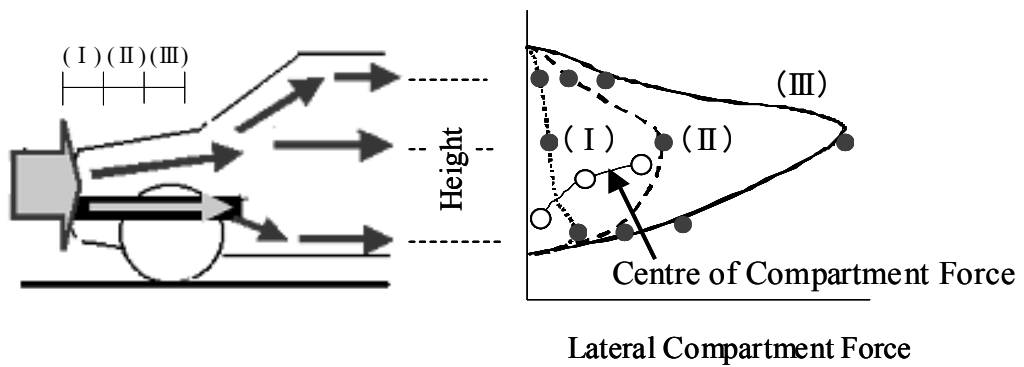
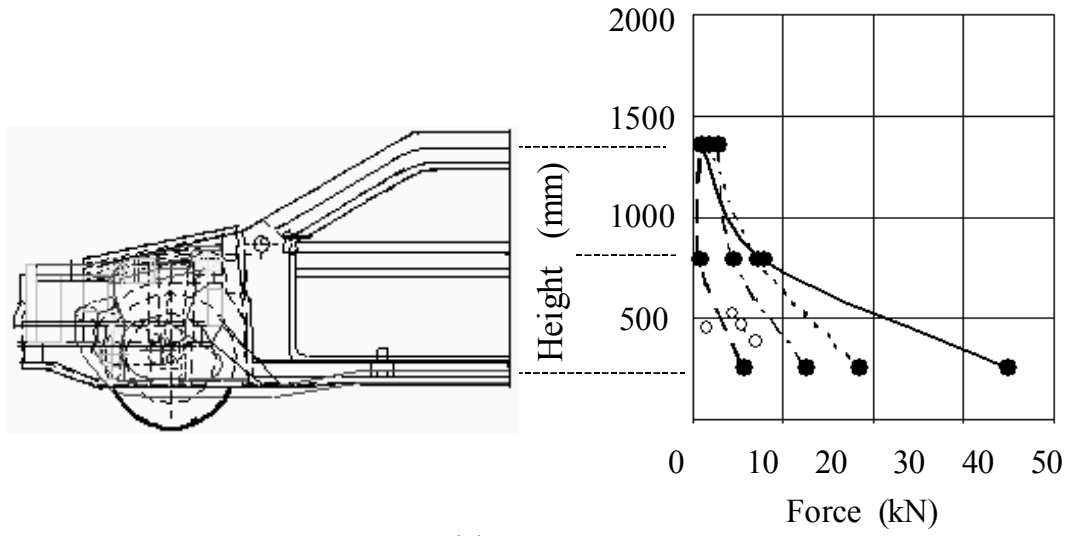
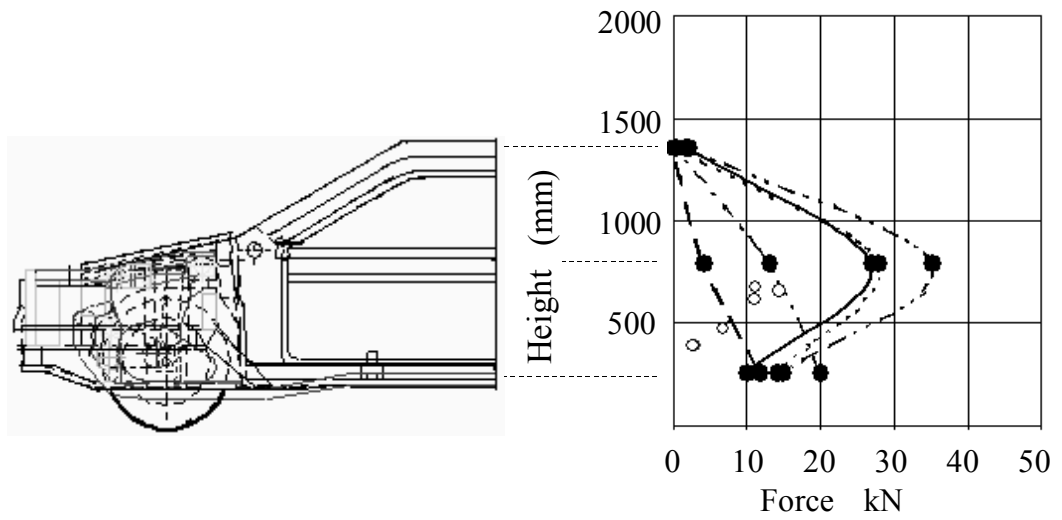


Fig. 4.18 Expression of Defensiveness (D_{CF} (Diagram of Compartment Force))



(a) Flat Barrier



(b) SUV Barrier

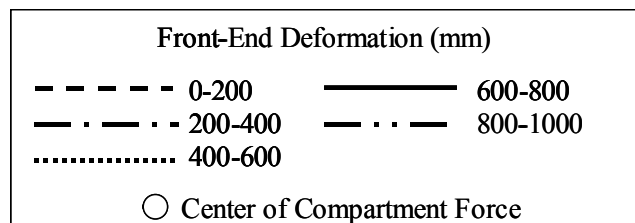
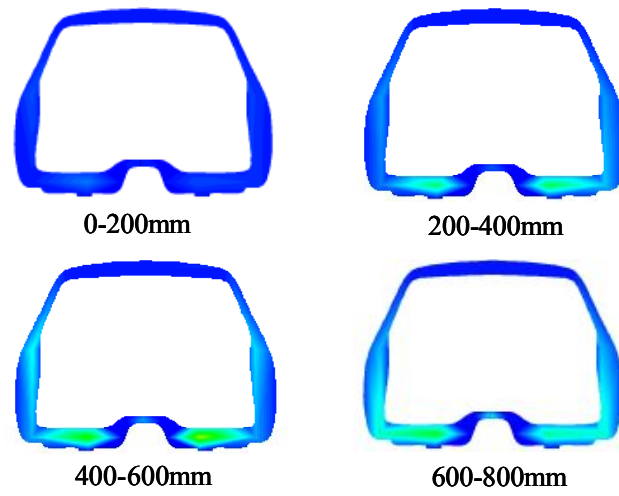
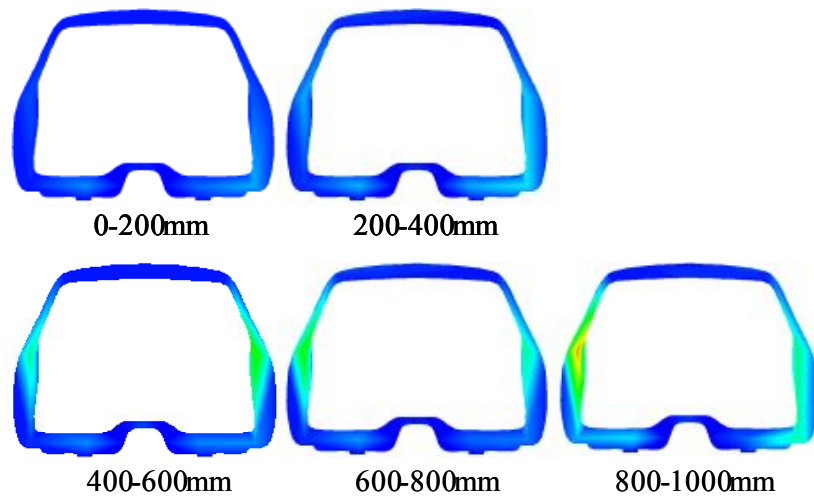


Fig. 4.19 D_{CF} (Diagram of Compartment Force)



(a) Flat Barrier



(b) SUV Barrier



Fig. 4.20 Transition of 2-D Compartment Force Distribution

今回の実験では、模型車両には極めて剛性の高い部材をドアベルトライン部分に装着している。もし、実車に近い強度で模型のドアを製作した場合には、突起バリア衝突ではドアベルトライン部が座屈していた可能性がある。この場合には、生存空間は大きく減少することになる。ドアベルトライン構造に関しては、前後荷重に対して他から共同して抵抗すべき部材がほとんどなく、この意味からも対 SUV の衝突ではドア強度の検討が重要である。なお、ルーフサイドレールに余力が入っていないことにも注目すべきであるが、ドア剛性が現実に近いと、より大きな力がルーフレールに入ると思われる。

4.5.2 客室入力の 2 次元等高線表示

上述の客室入力荷重の垂直方向分布による評価法と併せ、センターピラー一部での車体断面を 2 次元表示し、客室へ入る荷重の分布を等高線で表示することによる客室入力の評価も実施した。その分布の変化を図 4.20 に示す。この評価手法からも平面バリア衝突では車体下部、突起バリアではドアベルトライン部で荷重を受けていることを把握できる。

すなわち、図 4.19 と図 4.20 を併用することによって、セダン客室強度を表現できるであろう。

4.6 第 4 章の結論

- (1) セダンと SUV の衝突コンパティビリティの検討のためには、フロントエンドから客室への入力経路が、セダン同士の衝突の場合とは異なることを把握しておく必要がある。
- (2) 樹脂製 1/10 精密模型の客室部に設置したロードセルによって客室入力を測定した。このデータから客室入力の垂直方向分布図、および 2 次元等高線分布図を作成した。これらの表現法は、客室入力の表現に有用である。

- (3) 新たな表現法を用いて客室入力を検討した結果、平面バリアとの衝突では、荷重を客室下部で受けているが、SUVを模した突起バリアとの衝突では、荷重を主としてドアベルトライン部で受け持つことが明らかとなった。
- (4) なお、突起バリアとの衝突で荷重が車体上部に多く加わることが、SUVと衝突したセダン乗員の上半身に傷害が多く発生することに直ちに結び付くと結論づけるわけにはいかない。ただし、現在の衝突安全対策においては、車体上部に力が加わる場合についての対策は、それほど広く施されていないので、車体上部に力が加わると、車体の上部の変形が設計時の予想外に大きくなることが考えられる。その結果、乗員の上半身に傷害が多くみられるようになると考える。

第 5 章

セダン模型と SUV 模型の Car-to-Car 衝突試験による客室入力の検討

5.1 セダン模型と SUV 模型の Car-to-Car 衝突試験の意義

第 4 章において、筆者らは 1/10 スケールのセダンを模した精密な模型を製作し、平面バリアおよび SUV を模した突起バリアと衝突させる実験を行い、両実験から得られた結果を比較することによって、客室への荷重分布の変化の違いを明らかにした。しかしながら、第 4 章での実験は、衝突形態を理想化した条件での実験であり、必ずしも実際の衝突事故における衝突を完璧に再現した訳ではない。それは、実車の衝突においては、衝突相手の車体に食い込む現象が発生するからである。そこで本章では、SUV を模した模型と第 4 章と同じセダン模型を衝突させる Car-to-Car 衝突試験を行い、それぞれの車両の客室への荷重分布の変化を求め、SUV、セダンそれぞれの車両にとってのコンパティビリティの検討を試みることにした。

第 2 章において、車両重量が同じ程度の SUV とセダンの衝突で死亡もしくは重傷を負った SUV 運転者およびセダン運転者それぞれの損傷種部位の構成について分析を行い、次の特徴があることを明らかにした（図 2.4，図 2.5）。

(1) SUV-M 運転者は Sdn-M 運転者に比べ脚部傷害の割合が多い．

(2) これに対し，Sdn-M 運転者は頸部や胸部の傷害が多い．

第 2 章でも述べた通り，SUV とセダンの衝突の場合においては，両車のサイドメンバが上下方向にオフセットした状態でぶつかることになるため，セダン側は衝突の力の受け手である客室下部を有効に利用することができない．このため，セダン客室には，従来セダン同士の衝突安全のために設けられている荷重の伝達経路以外の部位に大きな入力加わることになる．衝突時に SUV，セダン両車に加わる衝撃力自体は等しいのであるが，セダン側では効果的な荷重の受け方ができないことから，セダンの客室構造の方が強度面で不利となる．客室が入力に耐え切れずに大きな変形をすることから，乗員の傷害度も高くなる．特に，フードリッジリネフォースメントなど車体上部で荷重を受けるので，セダン運転者は頸部や胸部など上半身の傷害が多くなる．

これに対し，SUV では入力はサイドメンバを介して車体下部に伝達される．そして，SUV 同士の衝突安全のために設けられている荷重の伝達経路に沿って入力が伝達されることから，客室変形はセダンに比べ小さくて済み，また，入力が車体下部に伝達されることから，乗員の傷害も脚部傷害の割合が多くなる．

この事故統計分析に関する具体例としての SUV-L クラスの SUV と Sdn-M クラスのセダンの衝突は，第 3 章の 3.4 節にて紹介したが，ここでは，より詳細について述べる．この事故例における SUV-L 車両と Sdn-M 車両のサイドメンバ地上高の差は 155mm あることから（表 3.2），衝突時においてサイドメンバがオーバーラップしている部分は少ないとみなすことができる．車両の潰れ状況は，図 3.11 に示した通り，両車助手席側がオーバーラップしたかたちの衝突である．

Sdn-M の車両についてはフェンダー部分も含めたボンネット部分だけでなく，助手席側の前席部分の乗員空間も大きく潰れており，それによってインストルメントパネルは後退し，助手席シート背面部との距離が狭まっ

ている．このため，助手席の乗員は上半身に胸部血管損傷，肺損傷および頭蓋骨骨折を負って死亡した．一方，SUV-L の車両についてはグリルより下の部分が損壊，セダンのフロントエンドが衝突した助手席側のグリルとバンパ部分が後退している．SUV-L では助手席側に乗員が乗車していなかったため，この車両損壊による乗員傷害について確認することはできないが，位置的關係か，もし助手席に乗員が乗車していれば，脚部になんらかの傷害を負った可能性も推測できる．なお，車両の損壊度合いが少ない運転席側の乗員については，シートベルト非着用により顔面打撲を負ったものの軽傷であった．

この事故例は重量の差が大きく，必ずしも同重量の場合と同一視はできないが，車両の損壊状況と乗員の傷害程度から，衝突事故では乗員空間を確保できない場合に乗員が大きな傷害を受けることを確認した．したがって，衝突時における自動車乗員の傷害程度を軽減するためには，衝突時における乗員空間の確保が重要となる．すなわち，SUV とセダンの衝突におけるコンパティビリティについては，両車の客室入力を明らかにし，乗員空間を確保するのに必要な客室強度を求めることが重要となる．そこで，本章では SUV，セダン両車の Car-to-Car 衝突試験を実施し，それぞれの客室への荷重の分布を計測することとした．

5.2 衝突実験用模型

5.2.1 模型の製作

第 4 章の 4.3.1 節で設定した相似則に従い，衝突実験用の SUV 模型とセダン模型の設計を行った．表 5.1 に模型の諸元およびこれらを実車換算した値を示す．SUV 模型およびセダン模型を図 5.1 に示す．セダン模型については，第 4 章で使用したものと全く同じ材料にて同じ諸元のものを製作した．また，SUV 模型については，車体構造および質量はセダンと全く同じとし，車高だけを変えて衝突時にサイドメンバが上下にオフセットする

高さに設計した。車体に搭載する計測装置はセダン模型と全く同じとした。これにより、車体構造、質量は同じでサイドメンバ高さのみが異なる SUV とセダンの衝突試験を実施することとした。

また、車体変形を正確に再現する上で乗員の質量は無視できないため、第 4 章と同じくダミーを製作、運転席および助手席それぞれに搭載した(図 4.5)。また、相似則に従って製作した乗員拘束装置により、衝突時に乗員が車体におよぼす影響についても考慮した衝突条件を整えた。シートベルトの荷重-伸び特性については、前章と同じとした。なお、本章においても、ダミーによる乗員傷害値の計測は考えていないので、関節挙動など、ダミー細部の生体的な特性については簡略化している。

Table 5.1 Vehicle Specifications

		SUV (Model)	Sedan (Model)	SUV (Actual)	Sedan (Actual)
Length (mm)		430	430	4300	4300
Height (mm)		155	140	1550	1400
Width (mm)		176	176	1760	1760
Weight* (kg)	Fr.	0.172	0.172	966	966
	Rr.	0.113	0.113	634	634
	Total	0.285	0.285	1600	1600
Side-Member Height (mm)		60	45	600	450

* Including Occupant Dummies and Restraint Systems

5.2.2 衝突試験装置の製作

本章では、SUV 模型とセダン模型の Car-to-Car 衝突試験をするための専用の衝突試験装置を製作した(図 5.2)。この衝突試験装置で、SUV 模型およびセダン模型は、それぞれ三相誘導モータによって駆動されるタイミングベルトによりレール上を牽引され、本装置の中央部で Car-to-Car 衝突するようにした。

セダンと SUV の前面衝突事故の累積頻度 99%は、危険認知相対速度 110km/h 以下で発生している⁽⁴⁶⁾⁽¹¹¹⁾、本研究における相対衝突速度は、この事故統計を参照し、110km/h (実車換算)とした。

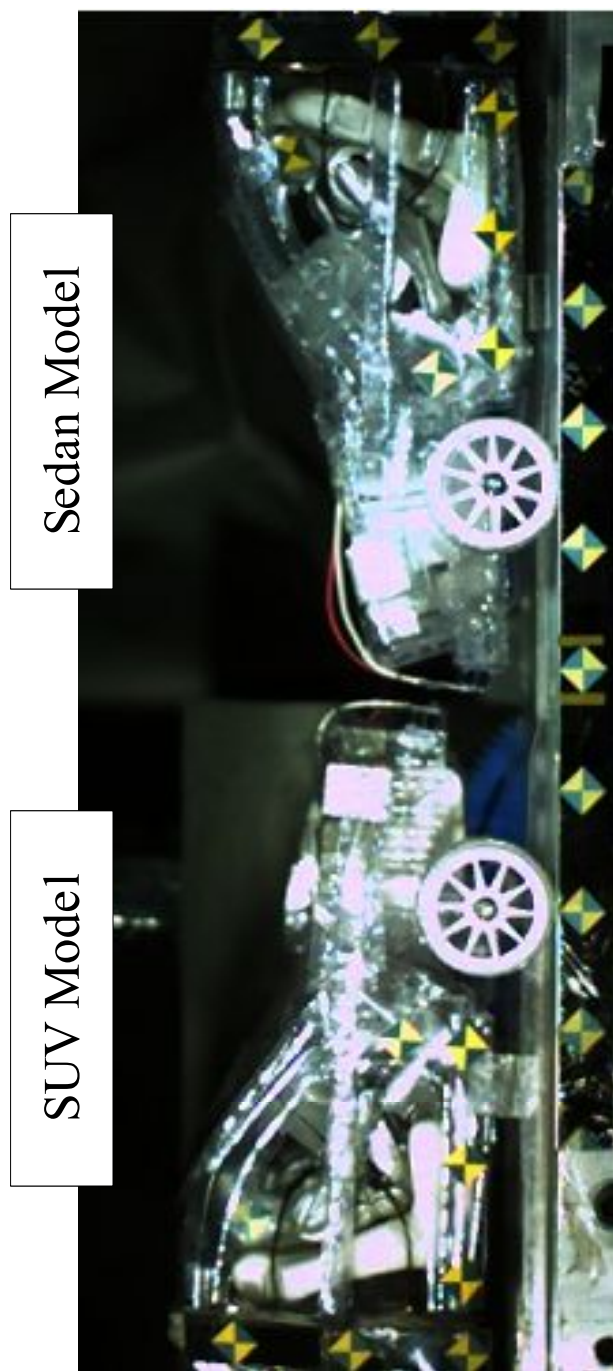


Fig. 5.1 Scale Models of SUV and Sedan (1:10), (Photographing by Photron Ltd.)

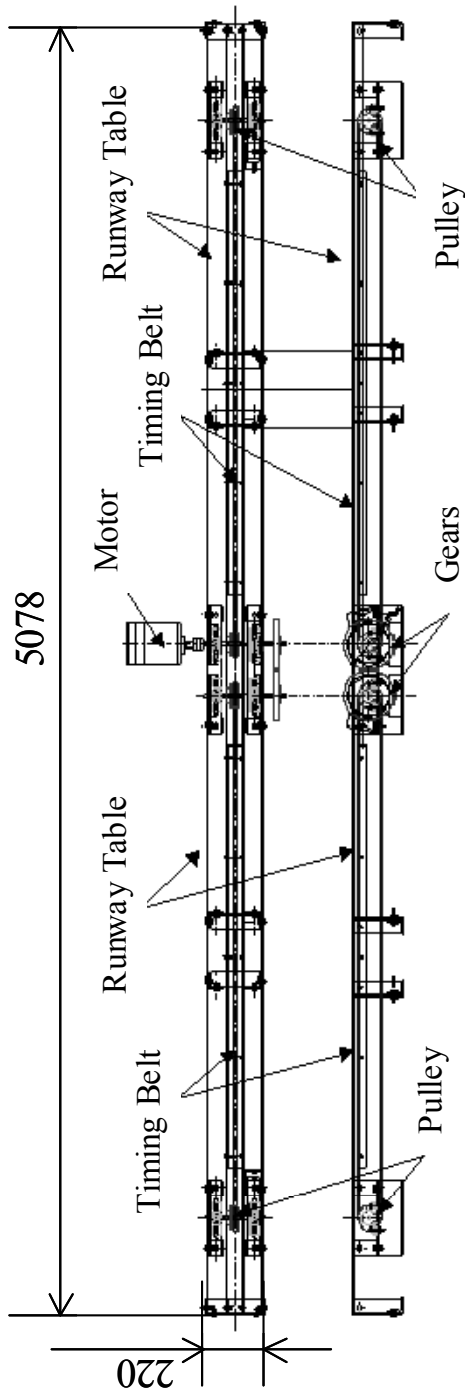


Fig. 5.2 Car-to-Car Crash Test System

5.3 衝突実験結果

客室に埋め込んだロードセル（図 4.4）によって測定した各骨格部材への入力の合計についての荷重-時間曲線を，図 5.3 に示す．前節で述べた通り，本章における SUV 模型とセダン模型は，サイドメンバ高さ以外については，車両質量も車両前面構造も全く同じである．しかしながら，両車の荷重-時間曲線には明らかな差異がみられる．

衝突の前半，0-100ms では，セダンの荷重の増加率は SUV に比べて高い．SUV とセダンのサイドメンバはオフセットしているため，セダン側は SUV の剛性の高い部位，例えばサイドメンバ等，と衝突するのに対し，SUV 側はセダンの剛性の低い部位，例えばフェンダー等，と衝突する．このため，車両質量も車両前面構造も全く同じであるにも係らず，セダン模型の荷重の上がり方は SUV 模型に比べて高い．SUV 模型の荷重は 100ms 付近になってから急激に増加するが，これは，セダンのエンジンがダッシュパネルに底付きしたため，その反力を SUV が受けるかたちとなったものと考えられる．以上のことから，衝突の前半においては，セダンが一方的に荷重を受けることになっているとみなすことができる．

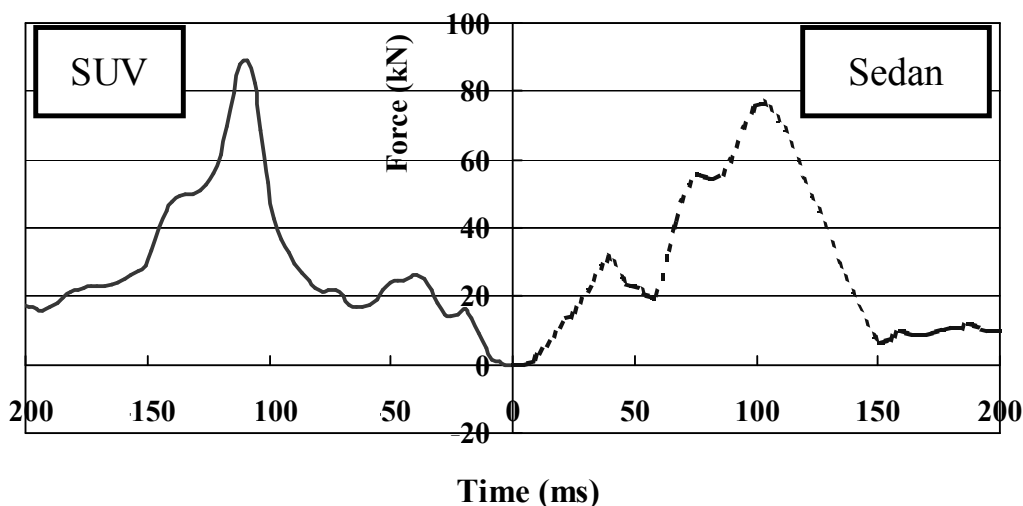


Fig. 5.3 Force Time Curve, SUV to Sedan Collision

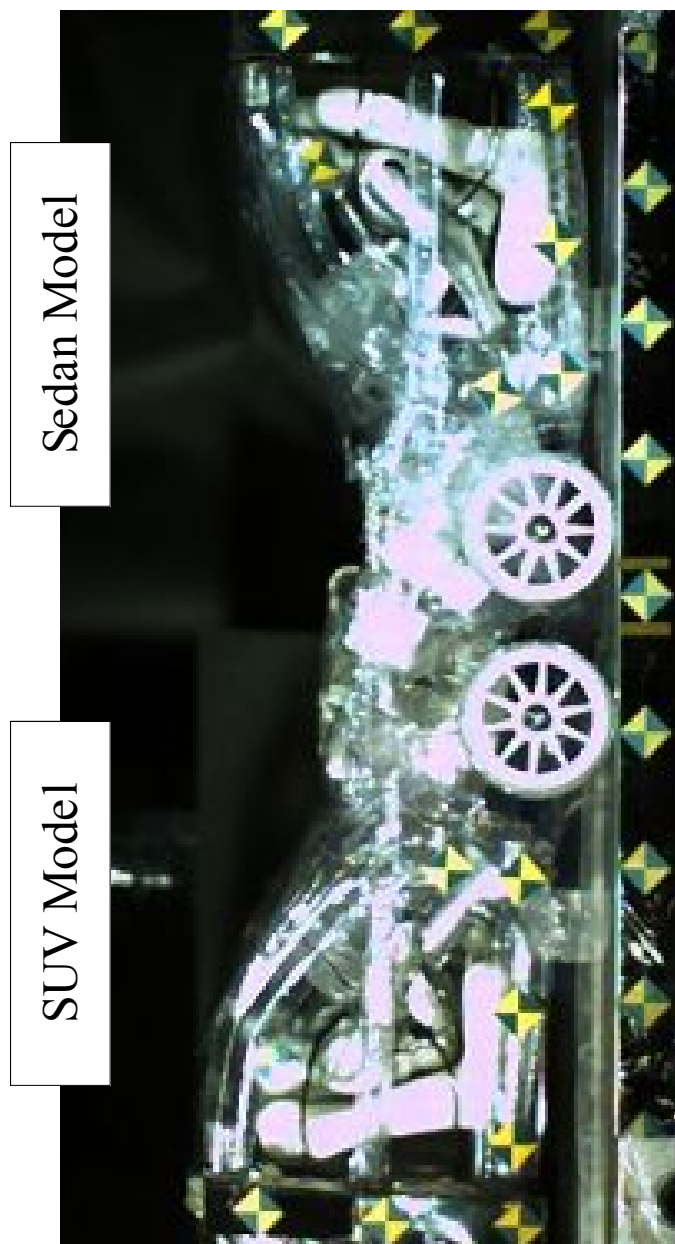
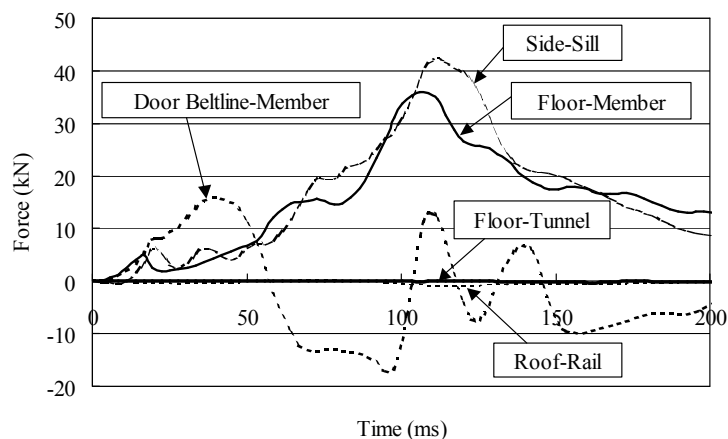


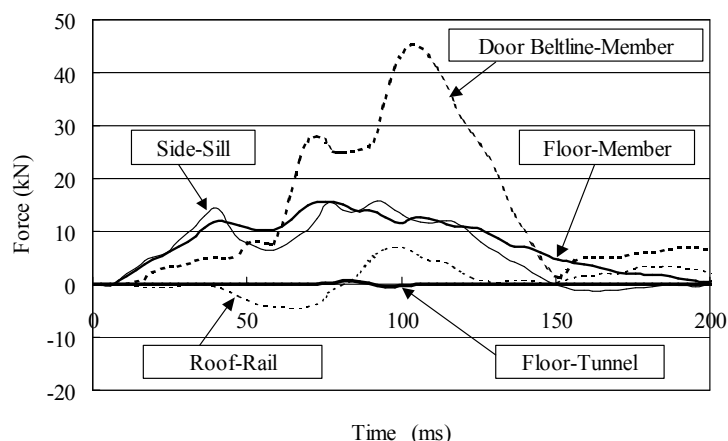
Fig. 5.4 Car-to-Car Crash Test (Photographing by Photron Ltd.)

高速度カメラによって撮影した SUV 模型およびセダン模型両車が衝突している様子を図 5.4 に、SUV 模型、セダン模型それぞれの客室骨格部材の荷重-時間曲線を図 5.5 に示す。これらの図から、SUV とセダンでは客室への入力に対して車体骨格部が全く異なる力の受け方をしていることがわかる。

まず、SUV では、フロアメンバ、サイドシルといった客室下部構造が受け持つ荷重配分は大きい。通常の客室構造においては、衝突時の荷重は、主としてサイドメンバ付け根で受け持たれている。このことから、SUV については、客室構造はこれら下部骨格部材で効率よく力を受けていることが理解できる。



(a) SUV



(b) Sedan

Fig. 5.5 Force Time Curve

一方，セダンでは，ドアベルトライン部が受け持つ荷重配分が他の骨格部材に比べて大きい．SUV とセダンの衝突において，セダンのサイドメンバは SUV のサイドメンバの下にもぐり込むため，本来の荷重導入部位として想定されている客室下部構造への入力が少なく，その代わりにドアベルトライン部が受け持つ荷重配分が大きくなることを図 5.5(b)は示している．

なお，これらの値は代表的な実験の結果であるが，実際には 5 回の衝突実験を行っており，いずれも類似の結果を得ている．その一部を追補 2 に示した．

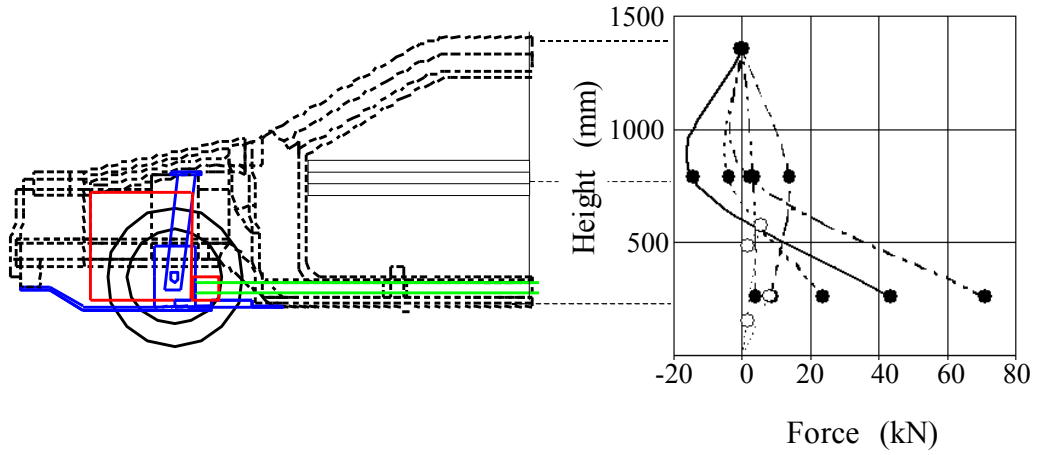
5.4 客室入力分布による防護性の評価

5.4.1 客室入力の垂直分布

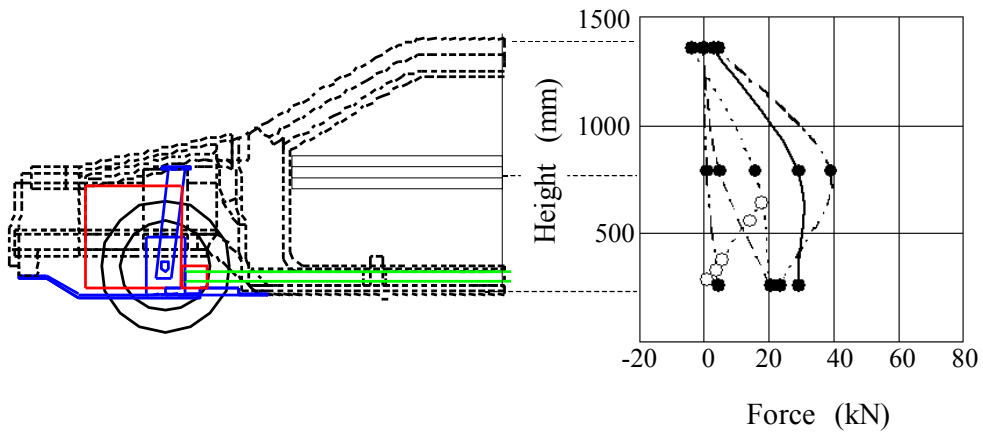
5.2 節で述べたように，SUV とセダンの衝突コンパティビリティを考える上では両車の乗員空間の確保を検討する必要がある．両車の乗員空間を確保するために必要な客室強度は，SUV とセダンそれぞれの客室に加わる荷重の入力状況を把握するによって，初めて明らかになることから，客室入力の評価が重要となる．

本章でも，客室入力を評価する方法として，客室に入る荷重の垂直方向分布およびその荷重中心の推移を示す手法を導入した．なお，第 4 章とは異なり，衝突現象の進行時間毎での客室（左右方向断面上）に入る荷重の垂直方向分布（ D_{CF} (Diagram of Compartment Force)）と客室荷重中心の変化（ C_{CF} (Centre of Compartment Force)）を示すことによって，客室入力を評価することとした．

図 5.6 に衝突過程における客室入力の垂直分布図を示す．SUV では，衝突による車体変形が進行するほど，車体下部の受ける荷重が大きくなっていく．荷重中心は全変形過程を通じて車体下部を通っている．衝突直後ドアベルトライン部にマイナス荷重が発生しているが，これは，セダンの衝突の際に SUV の車体が前のめりになったため（図 5.4），ドアベルトライン部に引張力が働くのでマイナス荷重が発生すると考える．



(a) SUV



(b) Sedan

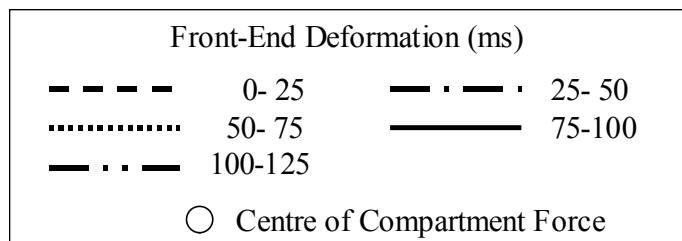


Fig. 5.6 D_{CF} (Diagram of Compartment Force)

一方、セダンでは、衝突直後は車体下部が荷重を受けるが、車体変形が進行していくほど、ドアベルトライン部の受ける荷重が増大していく。また、荷重中心位置は、車体下部からドアベルトライン部への荷重中心へ移動している。これは、セダンが SUV との衝突において、初期段階で本来の衝突安全対策がなされた車体下部構造で荷重を受け止めようとするものの、サイドメンバが上下にオフセットしているため、衝突の進行と共にドアベルトライン部で荷重を受け止めようとすることを示している。

以上の通り、SUV 模型とセダン模型の Car-to-Car 衝突より得られた客室入力の垂直分布は、第 2 章にて述べた SUV 対セダンの衝突事故統計データ分析による乗員傷害の特徴や事故例で紹介した車両の損壊の特徴を裏付ける傾向を示すものとなった。すなわち、次のことが言える。SUV 客室においては、客室下部への入力が多いことから、客室下部に位置する脚部傷害が多くなる。また、セダン客室においては、ドアベルトライン部への入力が多いことから、客室上部に位置する頸部や胸部の傷害が多くなる。したがって、SUV とセダンの衝突におけるコンパティビリティを検討し、乗員傷害を軽減していくためには、客室内における衝突時の入力が多い領域を補強しておくことが重要となる。

5.4.2 客室入力の 2 次元等高線表示

衝突時に客室にかかる荷重分布は、センターピラー部での車体断面を等高線で表示することによっても表現することができる。その分布の変化を図 5.7 に示す。これらは図 5.5 に示したロードセル荷重を基に、数式処理で補間して示している。前節に示した客室入力荷重の分布と同様、SUV では車体下部、セダンではドアベルトライン部で荷重を受けていることが把握できる。図 5.7 に示した荷重分布表示によって、SUV とセダンの衝突における、それぞれの客室への入力の分布がより一層明らかになった。

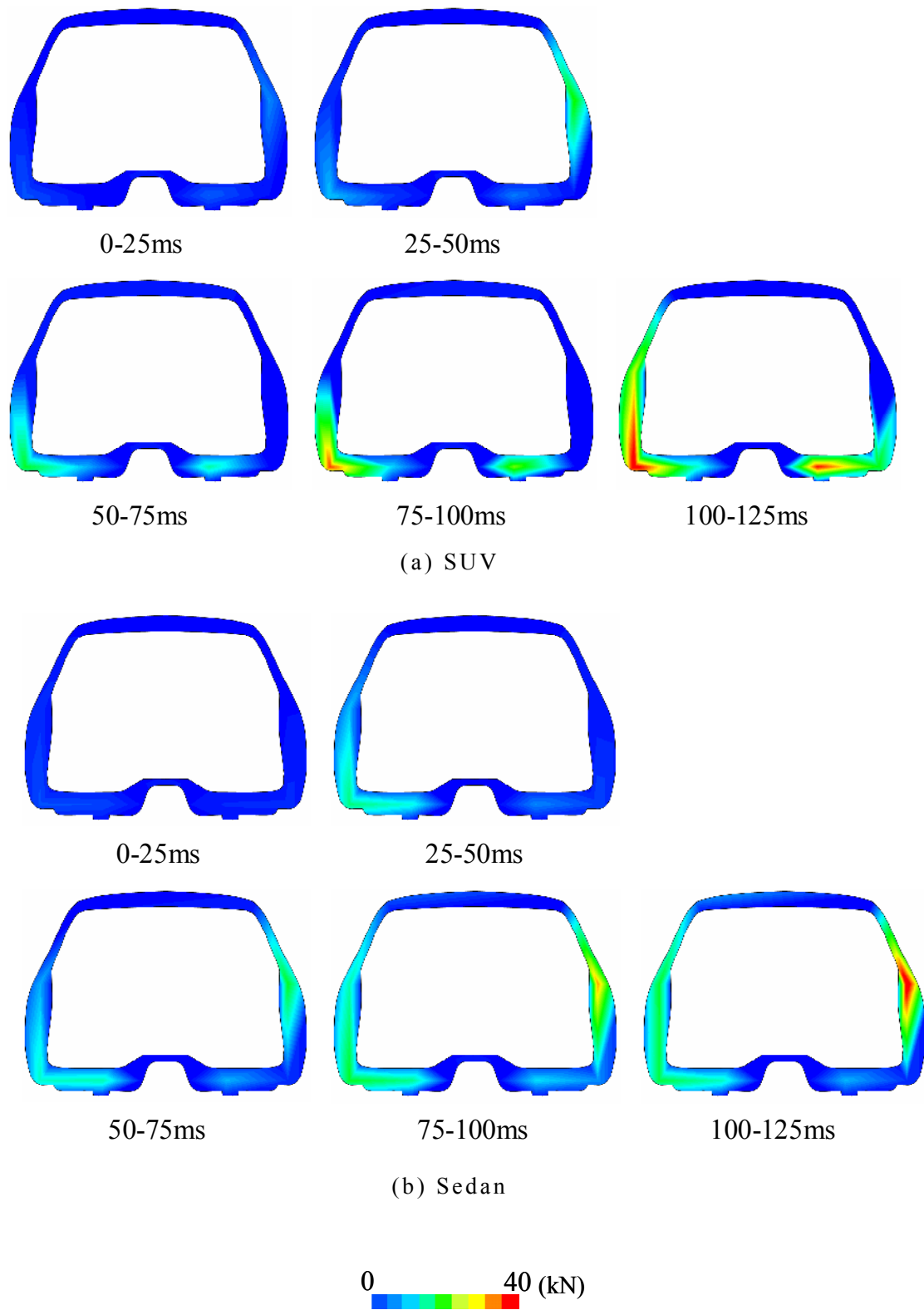


Fig. 5.7 Transition of 2-D Compartment Force Distribution

5.5 第 5 章の結論

- (1) 第 4 章での実験は、衝突形態を理想化した条件での実験であり、衝突相手に車体が食い込む現象を省いて検討した。第 5 章では、衝突相手への食い込みも含めて同じ結論が得られるかどうかを検討した。その結果、SUV では衝突による車体変形が進行するほど、車体下部の受ける荷重が増加し、一方、セダンでは車体変形が進行していくほど、ドアベルトライン部の受ける荷重が増大していくことを確認した。
- (2) また、SUV、セダン両車の荷重分布を比較することにより、これが衝突時における乗員傷害の特徴に影響を与えていることを確認した。すなわち、SUV 客室では、客室下部への入力が大きいため脚部傷害が多くなり、セダン客室では、ドアベルトライン部への入力が大きいため、頸部や胸部の傷害が多くなると考えられる。
- (3) したがって、SUV とセダンの衝突におけるコンパティビリティを検討し、乗員傷害を軽減していくためには、それぞれの客室内における衝突時の入力大きい領域の補強が重要である。

第 6 章

結 言

6.1 本研究の結論

本研究では，第 1 段階で ITARDA の交通事故統合データを利用した統計的な分析を行うことによって SUV とセダンの前面对前面衝突時における乗員傷害の実態を明らかにし，第 2 段階で精密な模型を用いた衝突試験により客室内部に加わる荷重の分布を明らかにした．これら 2 段階の検討により，次の結論を得た．

6.1.1 セダンと SUV の前面对前面衝突の事故統計分析について

(1) 車両重量が同じ程度の SUV とセダンの衝突

- ・ セダンと SUV の前面对前面衝突では，車両重量に大きな差がない場合であっても，SUV 運転者の死亡重傷者率の方がセダン運転者よりも低い．そして，SUV 運転者とセダン運転者の死亡重傷者率の差は衝突速度の増大と共に広がっていく．また，SUV，セダン共に衝突相手によって死亡もしくは重傷となった運転者の損傷主部位の構成が異なる．
- ・ 上記の特徴は，SUV のサイドメンバとセダンのサイドメンバの高さが異なるので，両車のサイドメンバが上下方向にオフセットした状

態で衝突するためと考えられる。このため、セダンはサイドメンバ取付け部を衝突の力の受け手として有効に利用することができず、客室変形が増大する傾向にあり、これに伴って運転者の死亡重傷者率も高くなると推測する。

(2)重量の異なる SUV とセダンの衝突

- ・ 軽い SUV と重いセダンの衝突の場合でも、重い SUV と軽いセダンの衝突の場合でも、SUV と衝突したセダン運転者の損傷主部位のうち、頭部や胸部といった上半身の傷害の構成率は、セダン同士の衝突での上半身の傷害の構成率に比べると多い。
- ・ 軽い SUV と重いセダンの衝突におけるセダン運転者の上半身の傷害は、重量が同じ程度の SUV とセダンの衝突におけるセダン運転者上半身の傷害の構成率よりも多くなる。
- ・ 重い SUV と軽いセダンの衝突の場合、セダン運転者の傷害は、頭部や胸部といった上半身の傷害だけでなく、脚部傷害の構成率も多く、傷害が全身におよぶ。
- ・ 以上のことから、衝突相手となる SUV が自車よりも軽ければ上半身の傷害の構成率が多く、反対に自車よりも重くなるほど、脚部傷害も多くなる傾向があると言える。その理由は、SUV との前部サイドメンバの上下のすれ違いにより、セダンは弱点のある車両上部に変形が生じ易くなるためと推測する。

6.1.2 模型による衝突試験について

- (1) セダンと SUV の衝突コンパティビリティを検討するためには、フロントエンドから客室への入力経路が、セダン同士の衝突の場合とは異なっていることを把握しておく必要がある。
- (2) 樹脂製 1/10 相似精密模型の客室部に設置したロードセルによって客室

入力を測定し、得られたデータから客室（左右方向断面上）入力の垂直方向分布図、および2次元等高線分布図を作成した。これらの表現法を用いることは、客室入力を明確にする上で有用である。

- (3) 上述の表現法を用いて客室入力を検討した結果、セダン同士の衝突では、荷重を客室下部で受けているが、SUVとの衝突では、荷重を主としてドアベルトライン部で受け持つことを明らかにした。
- (4) なお、SUVとセダンの衝突におけるコンパティビリティを検討していくためには、両車の客室入力を明らかにし、乗員空間を確保するのに必要な客室強度を求めることが重要であることから、SUVおよびセダンそれぞれの1/10相似精密模型を製作し、これらを衝突させるCar-to-Car衝突試験を行い、それぞれの客室への荷重の分布の計測を行った。
- (5) セダンとSUVの衝突において、SUV客室では、客室下部への入力が大きいため脚部傷害が多くなり、セダン客室では、ドアベルトライン部への入力が大きいため、頸部や胸部の傷害が多くなる。したがって、SUVとセダンの衝突のコンパティビリティを検討し、乗員傷害を軽減していくためには、客室内における衝突時の入力大きい領域の補強が重要である。

6.2 本研究の今後の展開

本研究における模型による衝突試験は、車両重量が同程度のSUVとセダンの衝突に着目したものであったが、今後は重量の異なるSUVとセダンの衝突を模したCar-to-Car衝突試験を実施し、SUV、セダン両車の客室部に加わる荷重分布の変化を明らかにすることが必要と考えている。これにより、重量の異なるSUVとセダンの衝突におけるコンパティビリティについても、検討を進め、現実の交通における衝突を再現し、車体の改善を講じていくことが重要な課題である。

なお，本研究の成果を設計に反映するにあたっては，ドアおよびルーフレールに対する巨大な負荷を考慮していくべきである．このことは従来の車体設計の考え方を根本から変更する必要がある．例えば，ドアのインナーに補強を入れる，あるいは A ピラーをより傾斜させる等といった検討を行うことが重要と考える．

また，本研究で明らかになった各部位への荷重分布を基に，新たな衝突安全対策，例えば，側面衝突や前部衝突におけるエネルギー吸収に関して検討していくことも重要であろう．更に，車両フロント部分の荷重分布についても今後の課題である．

謝 辞

本研究は、筆者が慶應義塾大学大学院理工学研究科に在籍中、本塾理工学部 高橋邦弘教授のもとで行ったものであり、同教授には懇切丁寧なる御指導、御鞭撻、御助言を賜りました。ここに心より感謝の意を表すと共に、厚く御礼申し上げます。

また、本論文を作成するにあたり、本塾理工学部 志澤一之教授、本塾理工学部 大宮正毅専任講師、本塾理工学部 小檜山雅之専任講師ならびに武蔵工業大学理工学部 森澤正旭名誉教授には、御査読いただき、大変有益な御討論、御助言を賜りました。ここに深く感謝の意を表し、厚く御礼申し上げます。

三菱自動車工業株式会社 桜井俊明氏、景山恒朗氏、藤井修氏、宇佐美明氏、小笠原淳氏、上野克己氏、五井美博氏、宇野春美氏には、本研究遂行の機会および貴重な御助言をいただき、深く感謝致します。

交通事故総合分析センター 佐々木滋氏、辺見竹男氏、村松吉彦氏、金丸和行氏、山本哲也氏、海老原正義氏、山崎幸浩氏、松井恵子氏、山本俊雄氏および森健二氏には、本研究のきっかけとなる機会と多大なご支援をいただき、ここに深く感謝の意を表します。

交通事故予防センター 久保田邦夫理事長には、本研究を遂行する上での深い理解と助力をいただき、深く感謝致します。

また、本論文を作成するにあたり、ご協力いただいた当時高橋研究室の桜井俊彰氏、速水晴規氏、河本太輔氏、中川大輔氏、佐藤竜也氏、藤村明彦氏、伊藤沙耶佳氏、梶澤優介氏、菅澤敏明氏、前田健人氏をはじめその他学生諸君に御礼申し上げます。

筆者

参 考 文 献

- (1) 齋藤孟, 山中旭, 衝突安全性能評価, 自動車の基本計画とデザイン, 東京, 山海堂 (2002), pp.205-208.
- (2) 保有する乗用車の傾向, 乗用車市場の変化と保有に関する意識 (平成17年度 乗用車市場動向調査より), JAMA レポート, No. 100, 日本自動車工業会(2006), pp.3-4.
- (3) Gabler, H. C., Hollowell, W.T., NHTSA's Vehicle Aggressivity and Compatibility Research Program, Sixteenth International Conference on Enhanced Safety of Vehicles, Paper No. 98-S3-O-01, Windsor, Canada. (1998).
- (4) Hollowell, W.T. and Gabler, H.C, NHTSA's Vehicle Aggressivity and Compatibility Research Program, Proceedings of the Fifteenth International Conference on Enhanced Safety of Vehicles, Paper No. 96-S4-O-01. Melbourne, Australia. (1996).
- (5) Gabler, H. C, Hollowell, W. T., The Aggressivity of Light Trucks and Vans in Traffic Crashes, Society of Automotive Engineers Paper No. 980908 (1998).
- (6) Kahne, C. J., Vehicle Weight Fatality Risk and Crash Compatibility of Model Year 1991-99 Passenger Cars and Light Trucks, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), NHTSA Technical Report, DOH HS 809 662 (2003).
- (7) Initiative to Address Vehicle Compatibility, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) (2003).
- (8) Summers, S., Prasad, A., Hollowell, W. T., NHTSA's Vehicle Compatibility Research Program, SAE1999-01-0071 (1999).
- (9) 丸茂長幸, 高橋邦弘, 綾紀元, 納所弘, 大型・小型車間の衝突安全性 (コンパティビリティ), 日産技報, No. 10 (1975), pp.83-92.
- (10) Wood, D. P. : SAFETY AND THE CAR SIZE EFFECT, A FUNDAMENTAL EXPLANATION, ACCIDENT ANALYSIS & PREVENTION, Vol. 29,

- No. 2(1997), pp.139-151.
- (11) Mizuno,K., Kajzer,J., Harada,Y. , CAN AN OFFICIAL FRONTAL BARRIER CRASH WITH MINI CAR REPLACE THE CAR TO CAR OFFSET COLLISION?, TOYOTA Human Life Support Biomechanics Symposium II (1998), pp.9-14.
- (12) Kallina,I., Asking again “What is car crash safety?” Challenges of automotive engineering oriented toward compatibility, The 5th Daimler - Benz Seminar (1998), pp.1-5.
- (13) Elmarakbi, A. M., Zu. J. W., Numerial Analysis and Optimization of Vehicle Compatibility Using a Smart Vehicle Structure, IBEC2003, JSAE20037079/SAE2003-01-2802 (2003), pp.699-704.
- (14) 水野幸治, 立石一正, オーバーロード試験による衝突時の客室強度の評価, 自動車技術会論文集, Vol. 32, No. 4(2001), pp.121-126.
- (15) 水野幸治, コンパティビリティ試験に関する研究, 自動車技術会論文集, Vol. 31, No. 4(2000), pp. 79-84.
- (16) 'O Reilly, P. ,”Status Report of IHRA Compatibility Working Group,” Paper number 05-365, 20th ESV(2005).
- (17) 'O Reilly, P. ,”Status Report of IHRA Compatibility and Frontal Impact Working Group,” Paper number 03-402, 18th ESV(2003).
- (18) 斎藤益弘, 五味哲也, 田口義徳, 吉本毅, 杉本富史, 小型車のカーツーカー衝突性能向上のためのボディ構造, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 22-03(2003), pp.13-16.
- (19) 牧田匡史, 北川裕一, チンモイ・パル, カーツーカー衝突における車体強度の評価方法に関する検討, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 18-02(2002), pp.7-10.
- (20) 'O Reilly, P. ,”Status Report of IHRA Compatibility Working Group,” Paper number 05-365, 20th ESV (2005)
- (21) 'O Reilly, P. ,”Status Report of IHRA Compatibility and Frontal Impact

- Working Group,” Paper number 03-402, 18th ESV (2003)
- (22) 岡本和之, 干強, 藤沼慎太郎, 白鳥正樹, 衝突対象を考慮した車体構造の最適設計, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 80-02(2002), pp.9-12.
- (23) 込山順子, 干強, 白鳥正樹, 藤沼慎太郎, Car-to-Car 衝突におけるバリア換算速度の検討, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 80-02(2002), pp.13-16.
- (24) 米澤英樹, 細川成之, 木内信二, 水野幸治, 車対車衝突におけるコンパティビリティの評価, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 64-06(2006), pp.13-16.
- (25) NHTSA, Vehicle compatibility in crashes, Status Report Vol. 34, No.9(1999), pp.1-11.
- (26) 永池直文, 林田興明, 水野進: 商用車と乗用車の衝突時共存性向上の研究, MAEテクニカルレポート, No. 11(2002), pp.31-40.
- (27) Nagaike, N., Mizuno, S., Hayashida, T., A STUDY OF IMPROVEMENT IN COMPATIBILITY BETWEEN COMMERCIAL VEHICLES AND PASSENGER CARS IN COLLISIONS, FISITA, F02I265 (2002).
- (28) Breitling, U., Crash Simulation and Tests to Improve Occupant and Partner Safety, 2nd DEKRA Symposium “ Passive Safety of Commercial Vehicles” (2002).
- (29) Summers, S., Prasad, A., Hollowell, W. T., NHTSA's Compatibility Research Program Update, Society of Automotive Engineers Paper No. 2001-01-1167 (2001).
- (30) Gabler, H. C, Fildes, B. N., Car Crash Compatibility, The Prospects for International Harmonization, SAE1999-01-0069 (1999).
- (31) Insurance Institute for Highway Safety (IIHS), Crash Compatibility: How Vehicle Type, Weight Affect Outcomes, Status Report Vol. 33, No. 1 (1998).

- (32) Sluis, J., Vehicle Compatibility in car-to-car collisions: Literature review in the framework of European research project “Improvement of crash compatibility between cars”, D-2000-1, SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam (2000).
- (33) Kampen, B., Compatibility of cars in the Netherlands: Statistical analysis of frontal collisions in the framework of the European research project “Improvement of crash compatibility between cars”, Workpackage 2a, D-2000-8, SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam (2000).
- (34) 鷹取収, 車両タイプ別の前面潰れ特性と衝突相手車両への影響, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 7-00(2000), pp.1-4.
- (35) Kallan, M. J., Arbogast, K. B., Durbin, D. R., Effect of Vehicle Incompatibility on Child Injury Risk, 49th Annual Proceedings Association for the Advancement of Automotive Medicine (2005) pp.12-14.
- (36) Belly, J., Accident analysis, A Study to Improve the Crash Compatibility between Cars in Frontal Impact, E3-3 B2702/S12. 318663/2001 TRL, TRL, BAST, UTAC, FIAT Auto (2002), pp.11-51.
- (37) O’Neill, B., Potential Benefits from Enhancing Crash Compatibility between Car and Light Trucks in Front-to-Front Crashes, Insurance Institute For Highway Safety (2003).
- (38) Elmarakbi, A. M., Zu. J. W., Numerical Analysis and Optimization of Vehicle Compatibility Using a Smart Vehicle Structure, IBEC2003, JSAE20037079/SAE2003-01-2802(2003), pp.699-704.
- (39) 福島正信, 藤井信司, 安部晶子, 尾川茂, 藤田英治, 砂川孝之, 田中由紀子, コンパティビリティ性能の車両構造解析, マツダ技報, No. 21 (2003), pp.146-152.
- (40) 水野幸治, コンパティビリティ試験に関する研究, 自動車技術会論文

- 集, Vol. 31, No. 4(2000), pp.79-84.
- (41) Sunakawa, T., Fujita, H., Tanaka, Y., Takehara, S., Fujii, S., Fukushima, M., Abe, A., Ogawa, S., Effect of subframe structure on compatibility performance, IBEC2003, JSAE20037021/SAE2003-01-2748 (2003), pp.693-698.
- (42) Mizuno, K., Arai, Y., Yamazaki, K., Kubota, H., Yonezawa, H., Hosokawa, N., Effectiveness and Evaluation of SEAS of SUV in Frontal Impact, ICRASH2006, International Crashworthiness Conference (2006).
- (43) 新井勇司, 水野幸治, 山崎邦夫, 久保田秀暢, SUVの構造インタラクション改善のための評価試験に関する研究, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 64-06(2006), pp.1-6.
- (44) 斉藤益弘, 五味哲也, 田口義徳, 吉本毅, 杉本富史: 小型車のカーツーカー衝突性能向上のためのボディ構造, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 22-03(2003), pp.13-16.
- (45) 前面衝突事故の概要, 交通事故例調査・分析報告書(平成9年度報告書), 東京, 交通事故総合分析センター(1998), pp.177-182.
- (46) 関根康史, 大きさの異なる車両相互事故の分析, 東京, 交通事故総合分析センター(2001), pp.216-389.
- (47) 関根康史, 車長・車幅・車高及び車両総重量を組合せる分類手法を用いた四輪自動車の交通事故の分析, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 34-00, pp.1-4 (2000).
- (48) 関根康史, 自動車の大きさクラス別分析, 第3回交通事故総合分析センター研究発表会前刷集(2000), pp.8-19.
- (49) Sekine, Y., Commercial Vehicle Accidents in Japan, Analyzed using Vehicle Classification Method by Size, Shape or Use, 2nd DEKRA Symposium "Passive Safety of Commercial Vehicles" (2000).
- (50) 関根康史, 大きさが異なる車両同士の正面衝突における衝突速度と乗員傷害の関係, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 78-02(2002),

- pp.11-14.
- (51) 関根康史, SUV とセダンの前面衝突における乗員傷害値からのバリア換算速度の推定, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 7-03(2003), pp.5-8.
- (52) 大前晴雄, 狼嘉郎, 森沢正旭, 佐藤武, 模型車による自動車衝突のシミュレーション (正面および側面衝突時の車両の挙動解析), 日本自動車研究所報告, No.60(1980), pp.1-39.
- (53) Sakai, H., Yoshino, T., Morisawa, M, Sato, T., Inuzuka, F., A Study on Safety of Very Small FRP Commuter Car and its Driver in Collision Using Scale Models Made of FRP, 29th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMOTIVE TECHNOLOGY AND AUTOMATION, 1996-6(1996), pp.369-376.
- (54) 森沢正旭, 佐藤武, 模型による自動車正面衝突時の乗員の挙動一車の衝突特性とシートベルト特性の適合性について一, 自動車技術会論文集, Vol. 23, No. 1(1992), pp.100-105.
- (55) 堺英男, 森沢正旭, 吉野利男, 太田晴巳, 模型による FRP 製超軽量車のオフセットバリア正面衝突時における車と乗員の挙動に関する研究, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 80-02(2002), pp.1-4.
- (56) 内堀佳, 渡辺俊輔, 田淵豊人, 堺英男, 森沢正旭, 模型による歩行者の自動車衝突時における挙動に関する研究, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 119-04(2004), pp.25-30.
- (57) 堺英男, 森沢正旭, 吉野利男, 丸山智正, 佐藤武: FRP 製模型による FRP 製超軽量実車衝突時の乗員の安全性に関する研究, 自動車技術会論文集, Vol. 23, No. 3(1992), pp.103-108.
- (58) 森沢正旭, 佐藤武, 模型による自動車衝突時の乗員の挙動一正面衝突時の軽量車乗員へのシートベルト特性の影響一, 自動車技術会論文集, No. 25(1982), pp.103-110.
- (59) 堺英男, 森沢正旭, 吉野利男, 佐藤武, FRP 製模型による FRP 製超軽

- 量実車衝突時の車と乗員の安全性に関する研究—エアバッグとシートベルト特性の適合性について—, 自動車技術会論文集, Vol. 27, No. 3(1996), pp.95-100.
- (60) 小林義仁, 森沢正旭, 堺英男, 吉野利男, 佐藤武, 八木下剛雄, 模型による FRP 製自動車の衝突特性に関する研究—車体の大きさを変化させた場合—, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 33-01(2001), pp.5-8.
- (61) 深井乙由, 森沢正旭, 須崎直, 佐藤武, 模型による自動車斜め側面衝突時の被衝突車乗員の挙動に関する研究—サイドエアバッグ特性変化による影響—, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 33-01(2001), pp.1-4.
- (62) 高木英夫, 森沢正旭, 模型による自動車衝突時の乗員の挙動—普通車と等速正面衝突した小型車の場合—, 自動車技術会学術講演会前刷集 964(1996), pp.313-316.
- (63) 堺英男, 森沢正旭, 吉野利男, 佐藤武, 橋本和幸, FRP 製模型による FRP 製超軽量実車衝突時の車と乗員の安全性に関する研究, 自動車技術会論文集, Vol. 26, No. 1(1992), pp.45-50.
- (64) 福富輝, 田近勇輝, 山田裕康, 堺英男, 森沢正旭, 模型による自動車側面衝突時の被衝突車乗員の挙動に関する研究(第一報)—自動車と乗員の模型—, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 74-03(2003), pp.1-6.
- (65) 山田裕康, 田近勇輝, 福富輝, 堺英男, 森沢正旭, 模型による自動車側面衝突時の被衝突車乗員の挙動に関する研究(第二報)—拘束条件の影響—, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 74-03(2003), pp.7-12.
- (66) 佐伯秀司, 榎徹雄, 尾崎龍哉, 森沢正旭, 本多悠記, 斜めオフセット衝突時における乗員下肢挙動に関する研究, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 59-04(2004), pp.17-22.
- (67) 本多悠記, 福田正浩, 相内佑介, 山本隆志, 堺英男, 森沢正旭, 模型

- によるオフセット正面衝突時の乗員足部の三次元挙動に関する研究，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 74-03(2003)，pp.13-18.
- (68) 永島博通，浜野啓一，高井良子久，薄板構造物へのプラスチック模型試験の応用，三菱重工技報，Vol. 18，No. 5(1981)，pp.56-60.
- (69) 永島博通，小野裕行，自動車車体の構造解析，三菱重工技報，Vol. 17，No. 5(1980)，pp.63-67.
- (70) 浜野啓一，富永秀和，杉浦清重，プラスチック模型試験による車体の軽量化，三菱自動車テクニカルレビュー，No. 2 (1989)，pp. 3-11.
- (71) Lobkovich, T., Malen, E., Whittaker, D., Dynamic Barrier Modeling Using Plastic Scale Models, SAE Paper 871957 (1987).
- (72) Malen, E. , Whittaker, D. , Modeling Large Deformations Using Polycarbonate Scale Models, SAE Paper 790701 (1979).
- (73) Corteg W. V., Brines R. S., Georg R. J., Designing More Durable Automotive Body Structures Using Plastic Models and Damage Analysis, SAE Paper 790701 (1979).
- (74) 危険認知速度と衝突速度の相関性，交通事故例調査・分析報告書（平成 10 年度報告書），東京，交通事故総合分析センター(1999)，pp.290-296.
- (75) 嶋村宗正，山崎稔，藤田悟郎，前面衝突時の前席乗員傷害に対する後席乗員ベルト着用の効果評価，自動車技術会論文集，Vol.33，No.2 (2002)，pp.107-112.
- (76) 田中潤一，古賀義徳，竹内新，宮崎太郎，古家崇志，高橋邦弘，乗用車前面衝突における客室強度評価および構造最適化，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 64-00(2000)，pp.1-4.
- (77) 高橋邦弘，構造物における力の伝達経路と剛性の評価，設計工学，Vol. 30，No.4(1995)，pp.121-126.
- (78) Shinobu, M., Okamoto, D., Ito, S., Kawakami, H., Takahashi, K., Transferred Load and Its Course in Passenger Car Bodies, JSAE Review,

- Vol.16, No.2(1995), pp.145-150.
- (79) 信夫学, 岡本大地, 伊東周太, 川上博史, 高橋邦弘, 乗用車車体構造における荷重伝達とその経路, 自動車技術会論文集, Vol. 26, No. 3 (1995), pp.126-131.
- (80) Sakurai, T., Tanaka, J., Otani, A., Zhang, C., Takahashi, K., Load Path Optimization and U* Structural Analysis for Passenger Car Compartments under Frontal Collision, IBEC2003, JSAE20037007/SAE2003-01-2734 (2003), pp.181-186.
- (81) 松田育麿, 櫻井俊彰, 大谷彰徳, 張成軍, 高橋邦弘, 衝突中の車体客室構造における荷重伝達経路の変動と U*解析, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 22-03(2003), pp.1-4.
- (82) 前面衝突に関する分析, 交通事故例調査・分析報告書(平成10年度報告書), 東京, 交通事故総合分析センター(1999), pp.207-254.
- (83) 前面衝突に関する分析, 交通事故例調査・分析報告書(平成11年度報告書), 東京, 交通事故総合分析センター(2000), pp.225-265.
- (84) 関根康史, 高橋邦弘, 交通事故統計分析による SUV とセダンの衝突に関するコンパティビリティの検討, 自動車技術会論文集, Vol. 34, No. 2 (2003), pp.137-142.
- (85) 久保田正美, 國分善晴, 前面形状別の車体エネルギー吸収特性, 自動車研究, 茨城, 日本自動車研究所, Vol. 17, No. 1, p. 19-22 (1995).
- (86) 関根康史・高橋邦弘, 乗員傷害の分析による SUV とセダンの前面衝突におけるコンパティビリティの検討, 自動車技術会論文集, Vol. 39, No. 4 (2008), pp.165-170.
- (87) Makita, M., Kitagawa, Y., Pal, C., Evaluation and Research of Structural Interaction between of two cars in Car to Car Compatibility, IBEC2003, JSAE20037097/SAE2003-01-2819 (2003), pp.703-705.
- (88) 樋口英生, 滝沢敏, 岩部竜男, 木濟貴之, 鈴木孝之, 正面衝突コンパティビリティの実験的評価, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 119-04 (2004), p.9-14.

- (89) Summers, S., Prasad, Y., Hollowell, W. T., NHTSA's Compatibility Research Program Update, SAE01B-257 (2000).
- (90) 鷹取収, 車両タイプ別の前面潰れ特性と衝突相手車両への影響, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 7-00 (2000), pp.1-4.
- (91) 馬越貴大, 平山茂, 大林和弘, 岡部友三朗, 乗用車と SUV の前面衝突コンパティビリティについての研究, 自動車技術会論文集, Vol. 36, No. 2(2005), pp.135-140.
- (92) 水野幸治, 前突時の衝突荷重分布の解析, 平成 14 年度 (第 2 回) 交通安全環境研究所研究発表会講演概要(2000), pp.57-62.
- (93) 牧田匡史, チンモイ・パル, カーツーカーコンパティビリティのための車両間インタラクションの分析・評価手法の検討: 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 59-04(2004), pp.11-16.
- (94) 新井勇司, 水野幸治, 山崎邦夫, 久保田秀暢, SUV の構造インタラクション改善のための評価試験に関する研究, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 64-06 (2006), pp.1-6.
- (95) Mizuno, K., Arai, Y., Kubota, H., Yonezawa, H., Hosikawa, N. , Effectiveness and Evaluation of SEAS of SUV in Frontal Impact, ICRASH2006, International Crashworthiness Conference (2006).
- (96) Thomson, R., Edwards, M., Mortin, T., Zeep, C., Damm, R., Valle, G. , Car-Car Crash Compatibility, Development of Crash Test Procedures in the VC-Compact Project, ICRASH2006, International Crashworthiness Conference (2006).
- (97) Jerinsky, M. B., Hollowell, W. T, NHTSA's Review of High-Resolution Load Cell Walls' Role in Designing for Compatibility, Proceedings of the Eighteenth International Conference on Enhanced Safety of Vehicles, Paper No. 393, Nagoya, Japan. (2003).
- (98) Digges, K., Eigen, A., Harrison, J., Application of Load Cell Barrier Data to Assess Vehicle Crash Performance and Compatibility, Society of

- Automotive Engineers Paper No. 1999-01-0720 (1999).
- (99) Summers, S., Hollowell, W., Prasad, A., Design Considerations for a Compatibility Test Procedure, Society of Automotive Engineers Paper No. 2002-01-1022 (2002).
- (100) 米澤英樹, 細川成之, 木内信二, 水野幸治, 車対車衝突試験によるコンパティビリティの評価, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 64-06 (2006), pp.13-16.
- (101) 新井勇司, 水野幸治, 山崎邦夫, 久保田秀暢, SUVのコンパティビリティに関する研究, 自動車研究, Vol. 28, No. 4(2006), pp.7-10.
- (102) Kahane, C. J., "Vehicle Weight, Fatality Risk and Crash Compatibility of Model Year 1991-99 Passenger Cars and Light Trucks," DOT HS 809 662, NHTSA (2003).
- (103) Mizuno, K., Arai, Y., Notsu, M., Full-Width Test and Overload Test to Evaluate Compatibility, Society of Automotive Engineers, Paper No. 2005-01-1373 (2005)
- (104) Faerber, E., EEVC Approach to Develop Test Procedure(s) for the Improvement of Crash Compatibility Between Passenger Cars, European Enhanced Vehicle-safety Committee, EEVC WG15, ESV2007, Paper No. 07-331 (2007).
- (105) Faerber, E., EEVC Research in the Field of Improvement of Crash Compatibility Between Passenger Cars, European Enhanced Vehicle-safety Committee, EEVC WG15, ESV 2001, Paper No. 444 (2001).
- (106) Jerinsky, M, Hollowell, W. T., NHTSA's Review of a Vehicle Compatibility Performance Metric Through Computer Simulation, 2003 ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Washington, D.C., November 16-21 (2003).
- (107) Lobkovich, T., Malen, E., Whittaker, D., Dynamic Barrier Modeling Using Plastic Scale Models, SAE Paper 871957 (1987).

- (108)谷下市松, 気体の流れとノズルの理論, 基礎熱力学, 東京, 裳華房 (1991), pp.286-301.
- (109)Clifford C. Chu, Fundamental Principles for Vehicle/Occupant Systems Analysis, Vehicle Crashworthiness and Occupant Protection, American Iron and Steel Institute/Automotive Applications Committee (2004), pp.159-226
- (110)Terry D. Day, Allen R. York, Validation of DyMESH for Vehicle vs Barrier Collisions, Society of Automotive Engineers Paper No. 2000-01-0844 (2000).
- (111)Sekine, Y., Accidents Involving and Passenger Cars some Results from a New Study Describing the Current Crash Accident Situation Between Different Sized Vehicles in Japan, 3rd DEKRA Symposium “ Passive Safety of Commercial Vehicles” (2003) .
- (112)前面衝突に関する分析, 交通事故例調査・分析報告書 (平成 13 年度報告書), 東京, 交通事故総合分析センター(2002), pp.157-204.

追補 1 従来のコンパティビリティ対策 および評価法について

A1.1 荷重伝達部材の取り付けによる対策

本追補では，従来から提案されているコンパティビリティへの対策および評価法について紹介する．

従来から提案されている対策に，SUV のサイドメンバに荷重伝達ができる部材を取り付けることによって，セダンへの攻撃性を緩和しようとする SEAS (Secondary Energy Absorbing Structure) というものがある．SEAS は，SUV のサイドメンバ下部にセダンのサイドメンバに荷重を伝達するための部材を取り付けるという対策（図 A1.1）であり，衝突時における SUV 側，セダン側それぞれのサイドメンバとのオーバーラップ量をコンパティビリティ性能の評価に使おうとする動きもある．

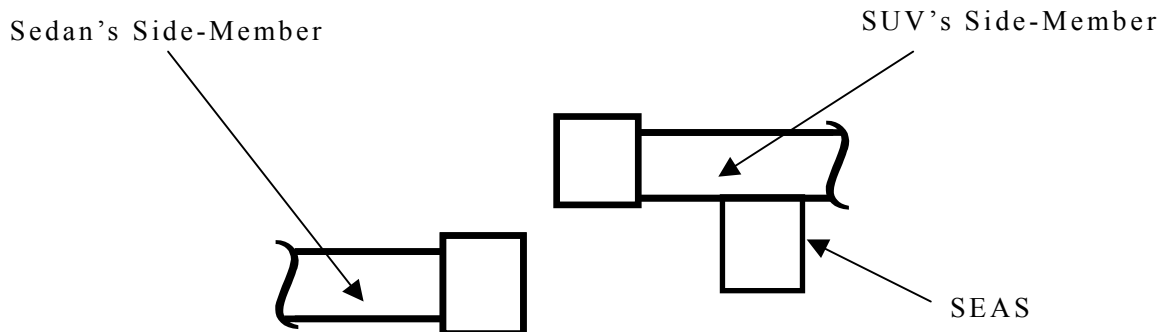


Fig.A1.1 Structures for Compatibility SUV to Sedan Collision, SEAS

A1.2 AHOF について

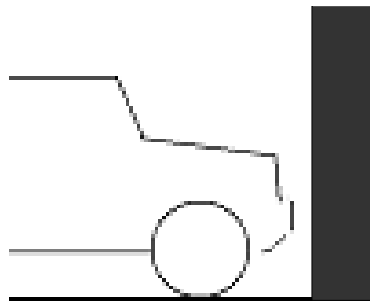
SUV とセダンの衝突におけるコンパティビリティ性能の評価については、車両前面部をバリアに衝突させ、多分割ロードセルにて測定したバリア荷重分布によって様々な指標を導出する評価法が提案されている。本節では、このような評価法のうち代表的な AHOF (Average Height of Force) を紹介する (図 A1.2)。

AHOF は、高さ方向の構造的相互作用性 (Structural Interaction) を定量的に評価する指標として提案されているもののひとつであり、フルラップバリア前面衝突試験を行い、多分割ロードセルで測定したバリア荷重 $F_i(t)$ およびロードセルの地上高 H_i から式(A1.1)および式(A1.2)によって導出される。

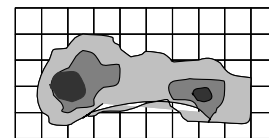
$$F_{AH} = \frac{\int_0^t F(t)F_{centre}(t)dt}{\int_0^t F(t)dt} \tag{A1.1}$$

$$F_{centre}(t) = \frac{\sum H_i F_i(t)}{\sum F_i(t)} \tag{A1.2}$$

F_{AH} : AHOF
 F_{centre} : COF
 F_i : Force of Load Cell(i)
 H_i : Height of Load Cell(i)
 i : Number of Load Cell



(a) Crush with Load Cell Barrier



(b) Load Cell Force Distribution

Fig.A2.2 Concept of AHOF

A1.3 AHOF の問題点

車両前部の荷重分布からコンパティビリティ性を評価する AHOF のような方法については、次のような問題点が考えられる。

- ・エンジン前スペースによって、エンジン類の慣性力の影響が異なる。
- ・また、車両前面まで伸びてきていない部材の効果や影響を適正に評価しづらい（図 A1.3）。

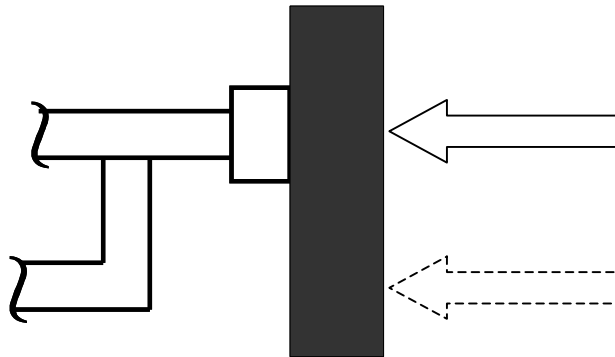


Fig.A1.3 Issue from Load Distribution Measurement of Front-End Load

すなわち、AHOFのように、車両の前面部分の荷重分布からコンパティビリティ性を評価する方法だけでは、必ずしも正確な評価が行えないケースが発生する。

これに対して、本研究のように、客室への荷重分布からコンパティビリティ性を評価する方法では、上述のような影響は受けにくい。また、乗員空間を確保するために必要な強度も明らかにし易いといった長所がある。したがって、今後は本研究の手法を実車衝突やFEMによる解析等へも適用できるようにしていくことが大切と考える。

追補 2 衝突試験の結果について

A2.1 バリア衝突試験の荷重-変位曲線について

第 4 章で述べた通り，本研究においては，平面バリア衝突試験を 7 回，突起バリア衝突試験を 6 回，計 13 回行っており，いずれも類似の結果を得ている．ここでは，平面バリア，突起バリア各 2 回の試験結果について紹介する．

図 A2.1 に試験番号 041210 の平面バリア試験と試験番号 050112 の平面バリア試験における各骨格部材荷重の合計値の荷重-変位曲線を，図 A2.2 に試験番号 041221 の突起バリア試験と試験番号 050116 の突起バリア試験における各骨格部材荷重の合計値の荷重-変位曲線を示す．それぞれ類似の結果が得られていることがわかる．

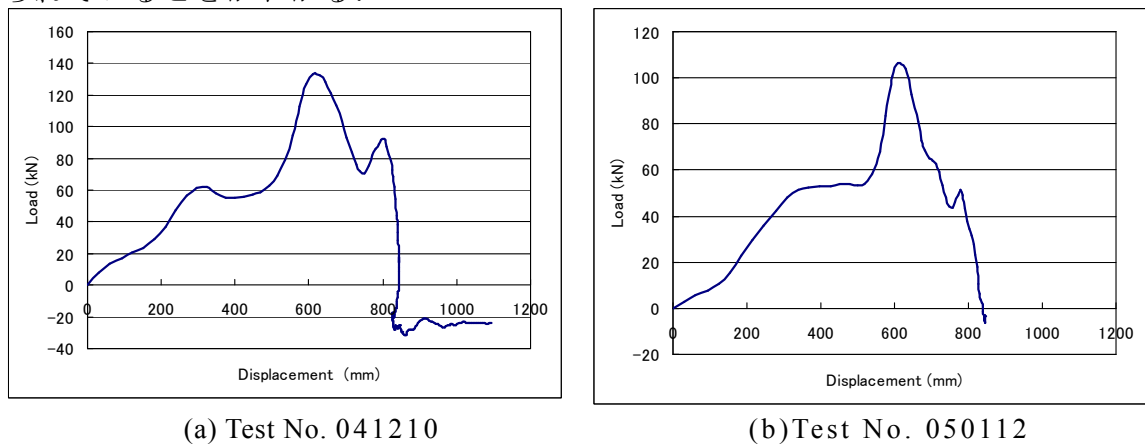
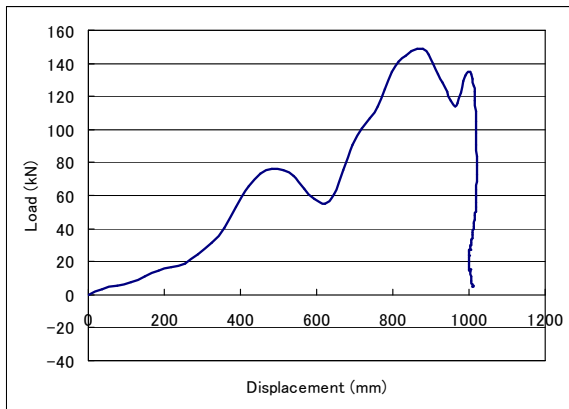
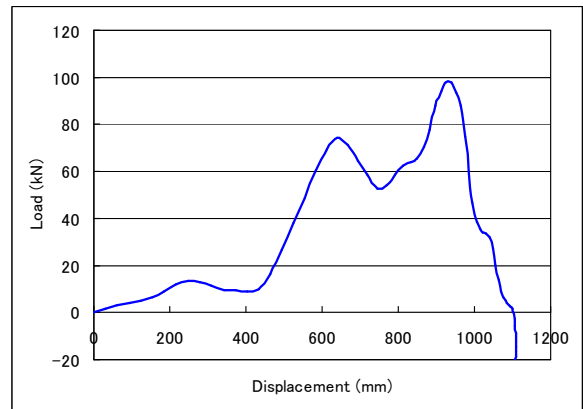


Fig.A2.1 Flat Barrier Tests



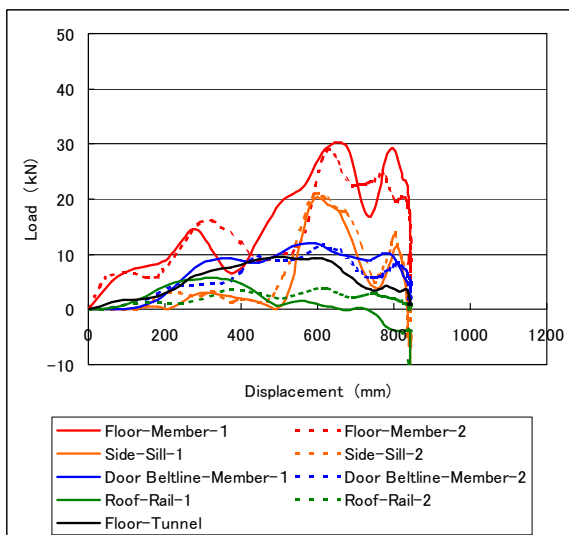
(a) Test No. 041221



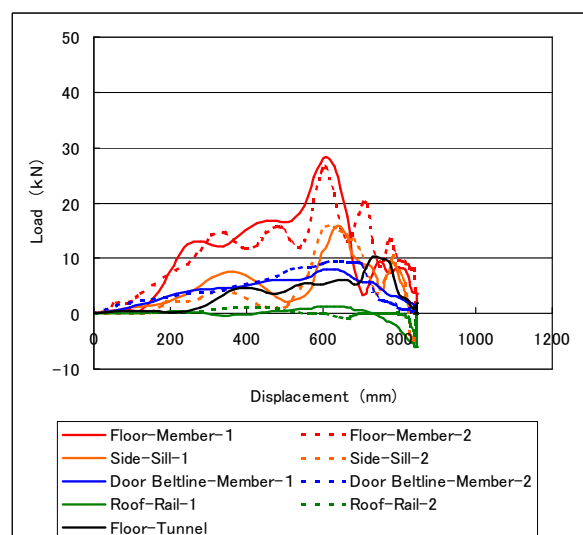
(b) Test No. 050116

Fig.A2.2 SUV Barrier Tests

図 A2.3 に試験番号 041210 の平面バリア試験と試験番号 050112 の平面バリア試験における各骨格部材毎の荷重，変位曲線を，図 A2.4 に試験番号 041221 の突起バリア試験と試験番号 050116 の突起バリア試験における各骨格部材毎の荷重-変位曲線を示す．各部材毎についても，それぞれ類似の結果が得られている．

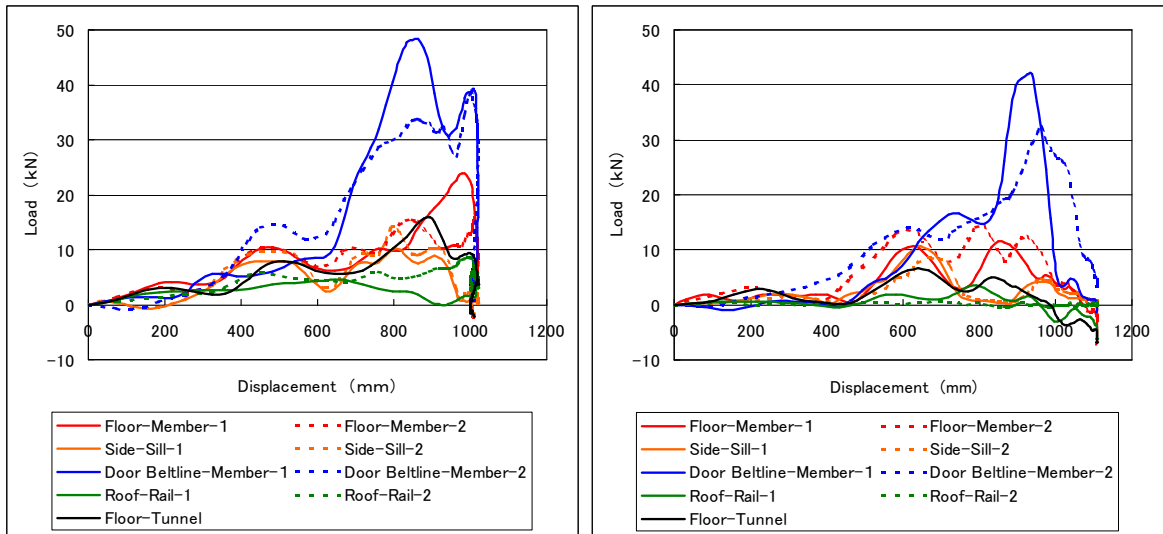


(a) Test No. 041210



(b) Test No. 050112

Fig.A2.3 Flat Barrier Tests



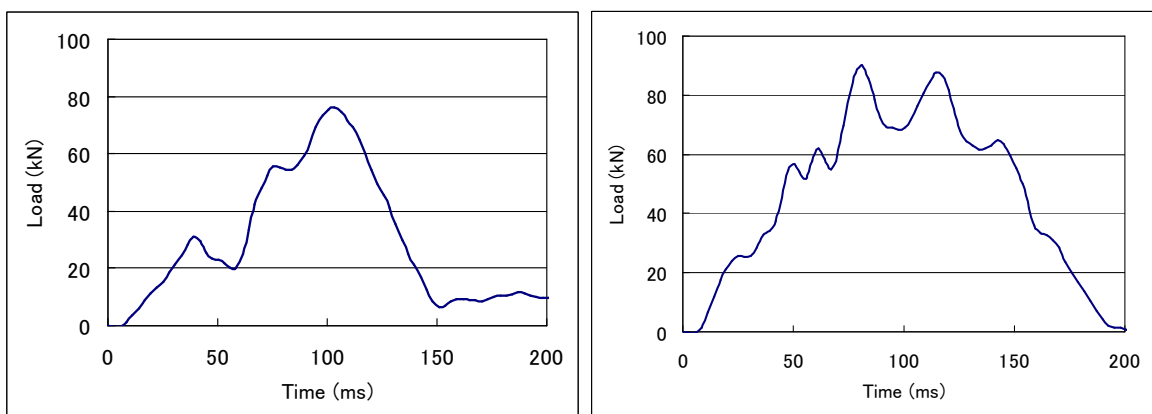
(a) Test No. 041221

(b) Test No. 050116

Fig.A2.4 SUV Barrier Tests

A2.2 セダンとSUVのCar-to-Car衝突試験の荷重-時間曲線について

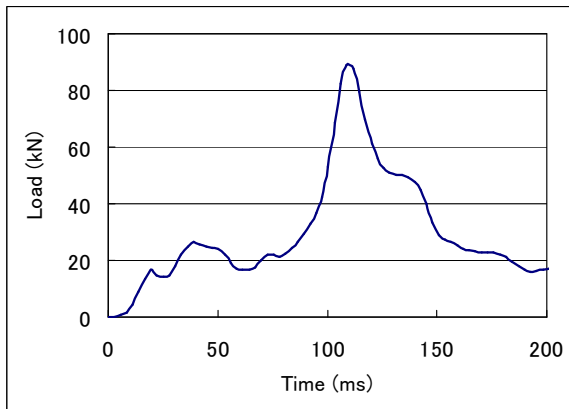
本研究においては、Car-to-Car 衝突試験の結果についても、第 5 章で述べた通り、5 回行っており、いずれも類似の結果を得ている。ここでは、SUV、セダン各 2 回の試験結果について紹介する。



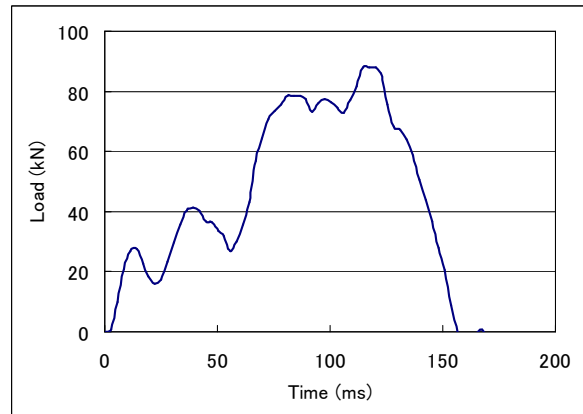
(a) Test No. 070726

(b) Test No. 071218

Fig.A2.5 Car-to-Car Tests (Sedan)



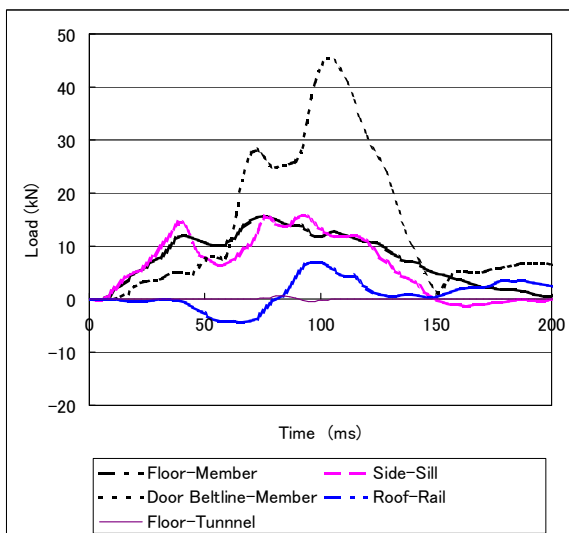
(a) Test No. 070726



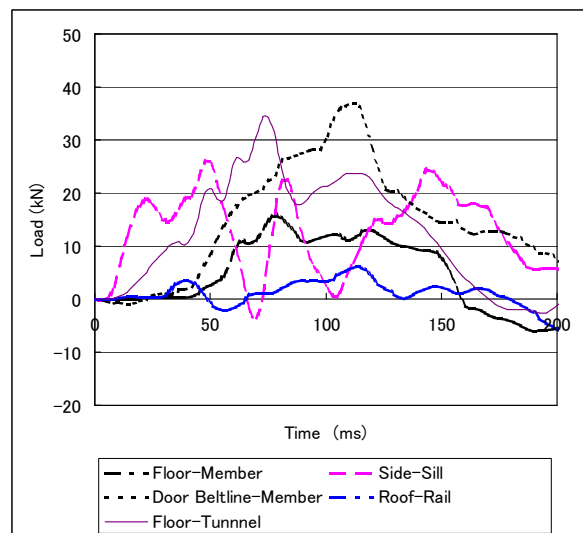
(b) Test No. 071218

Fig.A2.6 Car-to-Car Tests (SUV)

図 A2.5 に試験番号 070726 の Car-to-Car 衝突試験と試験番号 071218 の Car-to-car 衝突試験におけるセダンの各骨格部材荷重の合計値の荷重-時間曲線を，図 A2.6 に試験番号 070726 の Car-to-Car 衝突試験と試験番号 071218 の Car-to-Car 衝突試験における SUV の各骨格部材荷重の合計値の荷重-時間曲線を示す．Car-to-Car 衝突試験についても，それぞれ類似の結果が得られていることがわかる．

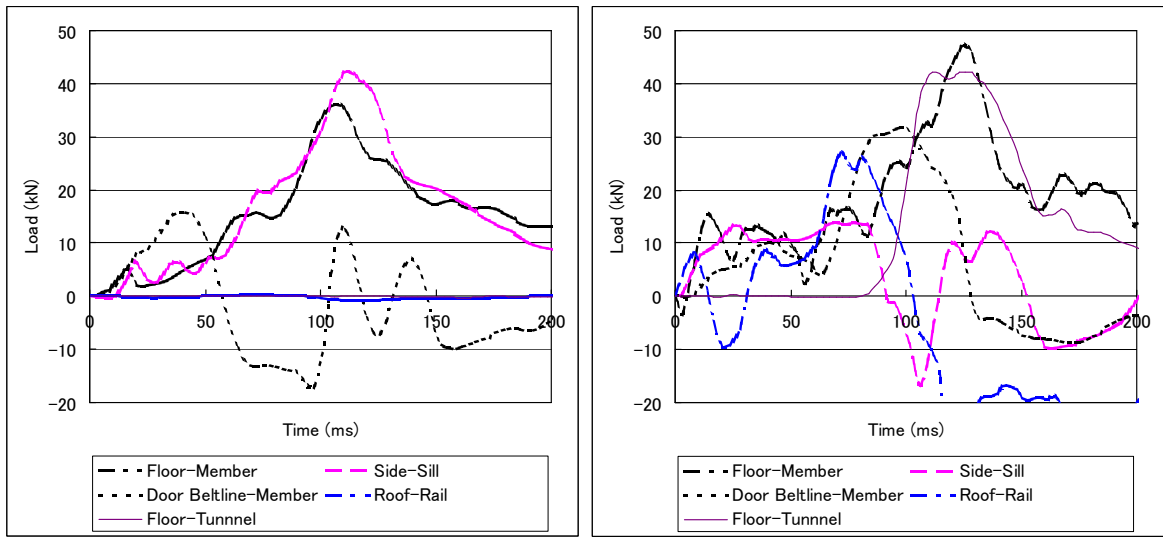


(a) Test No. 070726



(b) Test No. 071218

Fig.A2.7 Car-to-Car Tests (Sedan)



(a) Test No. 070726

(b) Test No. 071218

Fig.A2.8 Car-to-Car Tests (SUV)

図 A2.7 に試験番号 070726 の Car-to-Car 衝突試験と試験番号 071218 の Car-to-Car 衝突試験におけるセダンの各骨格部材毎の荷重-時間曲線を，図 S2.8 に試験番号 070726 の Car-to-Car 衝突試験と試験番号 071218 の Car-to-Car 衝突試験における SUV の各骨格部材毎の荷重-時間曲線を示す．各部材毎についても，それぞれ類似の結果が得られている．

追補 3 国内における交通事故の統計分析 についての補足

A3.1 車両の衝突部位について

国内の交通事故のうち、警察庁の交通事故統計データや ITARDA の交通事故統合データに蓄えられる分については、A1.1 節で述べた交通事故統計原票の記載定義に則ったかたちで蓄えられる。

車両の衝突部位については、図 A3.1 に示された番号で蓄えられている。例えば、第 1 当事者（加害側）の車両の右前部が第 2 当事者（被害側）の車両の右後部に衝突した事故では、第 1 当事車両の衝突部位が⑤で第 2 当事車両の衝突部位が⑥の衝突事故と記録される（図 A3.2）。これは、同じ事故類型に分類される衝突であっても、衝突車両と被衝突車両の衝突部位の組合せが複数存在するためである。上述の側面衝突についても、図 A3.3

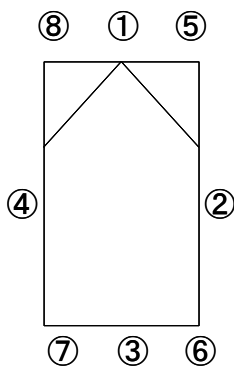


Fig.A3.1 Crash Region Number in the Traffic Accident Statistics Vote by Japanese National Police Agency

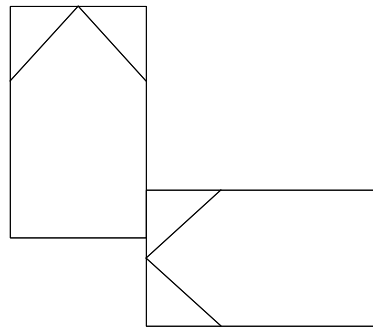


Fig.A3.2 Collision Case of Crash Region Number ⑥ and ⑤

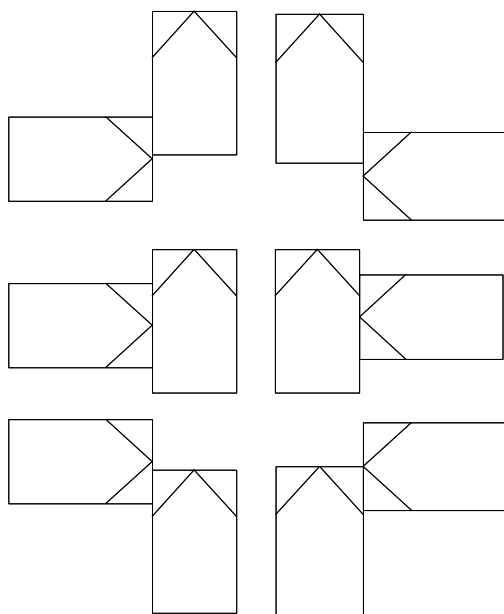


Fig.A3.3 Variation of Side Collision

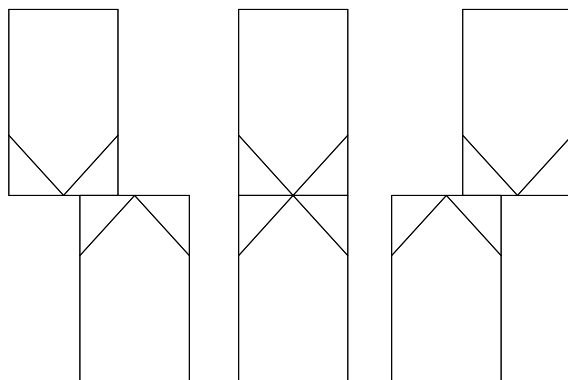


Fig.A3.4 Variation of Front to Front Collision

に示したように 6 種類の組合せが存在する。同様にして，前面对前面衝突についても，3 種類の組合せが存在する（図 A3.4）。なお，実際の衝突ではオフセット衝突が多いと報告されていることから⁽¹¹²⁾，本研究では，衝突の現状を把握する目的で，図 A3.4 に示した 3 種類すべてを分析の対象とした。

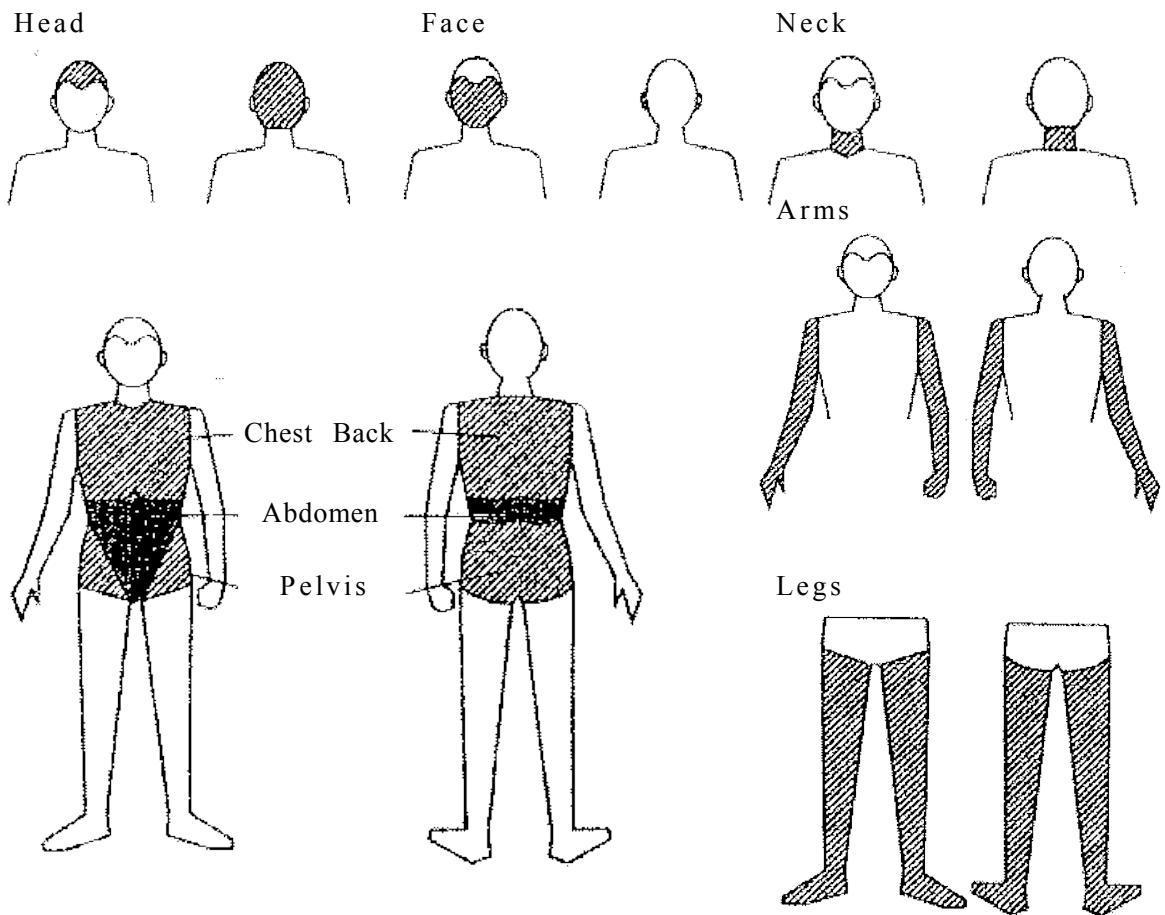


Fig.A3.5 Definition of Main Injury Region

A3.2 自動車乗員の損傷主部位について

国内の交通事故統計における負傷者の傷害部位は，最も傷害の程度が重い部位（死亡の場合は致命傷となった部位）が，損傷主部位として記録さ

れるようになっている。各損傷主部位の定義については、図 A3.5 に示した範囲が基準とされる。なお、死亡者について、損傷箇所が多数ある上に、致命傷も多数あって損傷主部位を特定できない場合は、全損という用語で記録される。

A3.3 自動車の各部位の名称について

本研究における模型車両を設計する際に参考にした標準的なセダンの車体の各部位毎についての名称を図 A3.6 から図 A3.8 に示す。標準的なセダンは、前面衝突事故の際に乗員の安全を確保するため、車体の前方から順番に潰すことで衝突エネルギーを吸収し、乗員空間の変形を最小限に抑えるように設計されている。すなわち、衝突エネルギーはその多くをフロントサイドメンバの塑性変形により吸収され、エンジンルームが完全に潰れた後は、残りの衝突エネルギーをダッシュパネルの変形とこれを囲む主要骨格部材とこれを支えるフロントピラー、トルクボックス、サイドシル、フロアトンネルへ分散、エンジンの乗員空間への侵入が防御されるように設計されている。

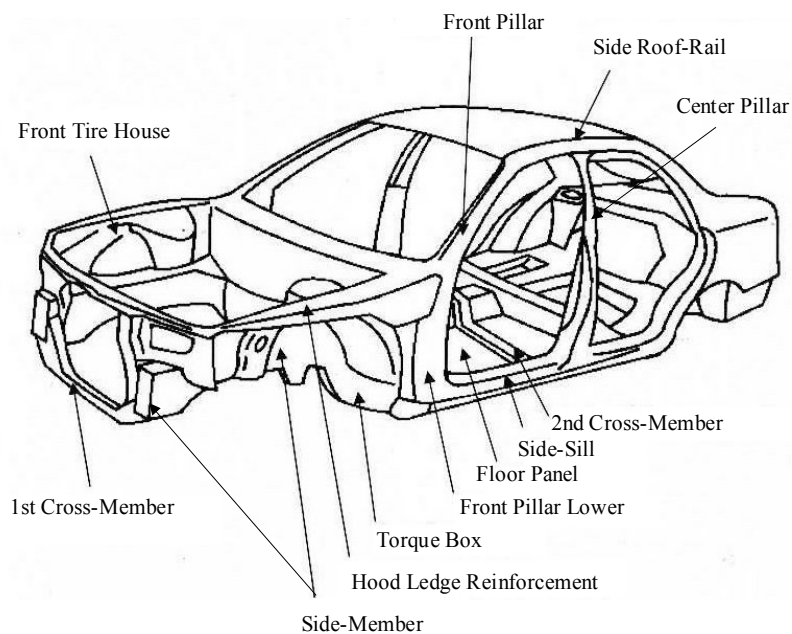


Fig.A3.6 Members and Structures (Over View)

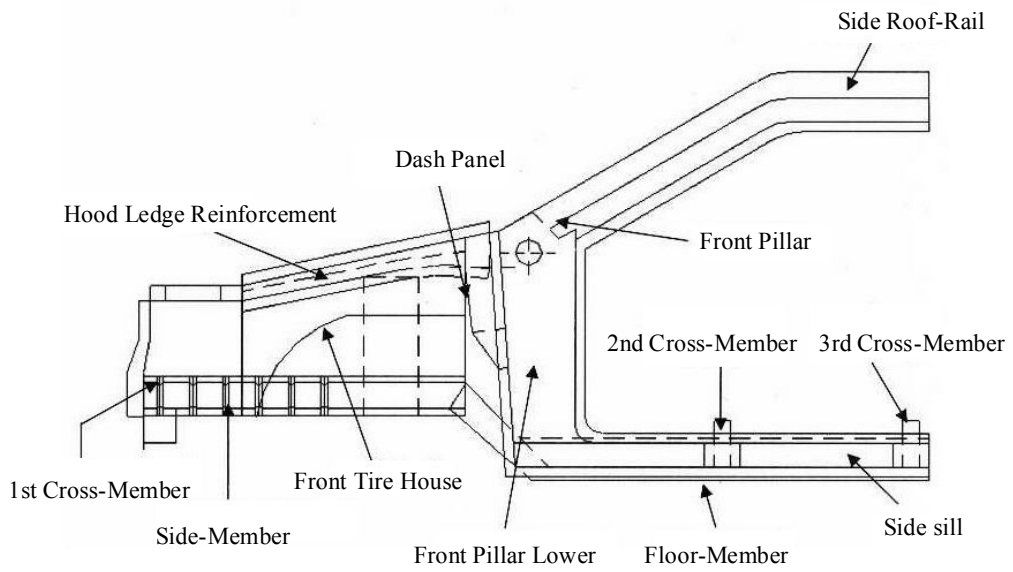


Fig.A3.7 Members and Structures (Side View)

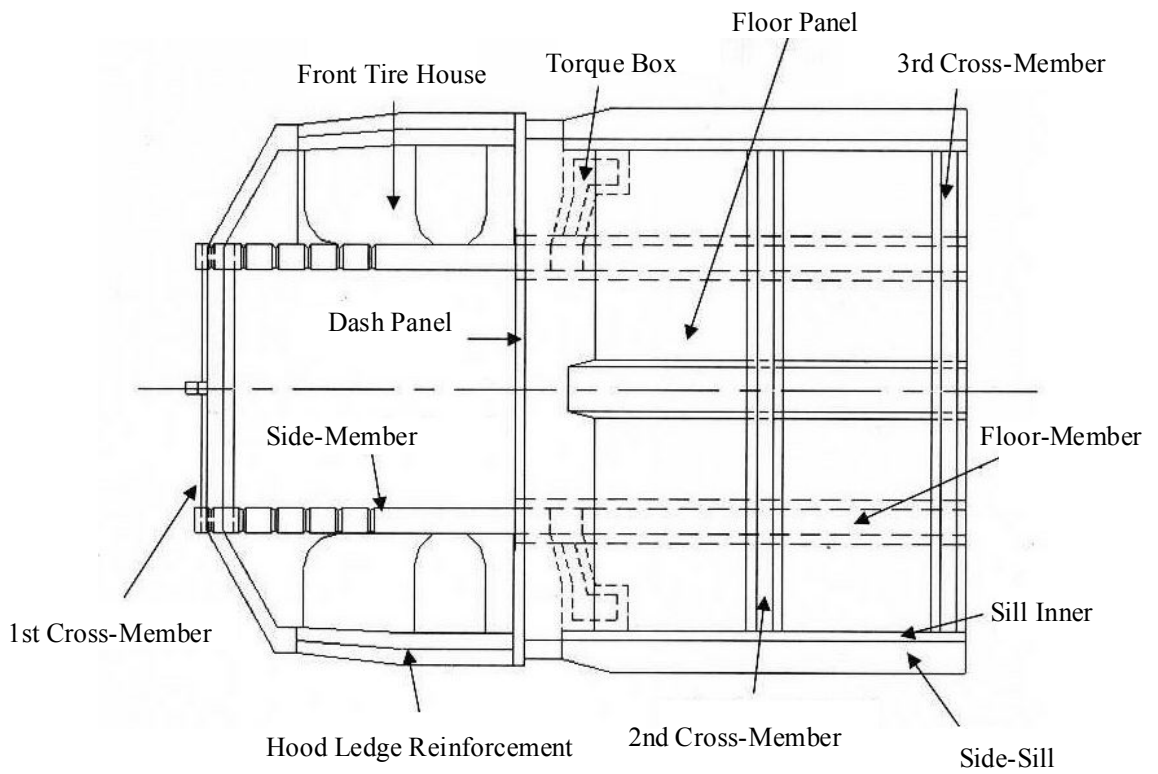


Fig.A3.8 Members and Structures (Under View)

追補 4 大型乗用車同士の（SUV-L と Sdn-L）の衝突事故の分析

A4.1 分析対象について

第 2 章では，車両重量が同程度の SUV とセダンの衝突である SUV-M と Sdn-M の衝突の事故統計分析について述べた．なお，車両重量が同程度の SUV とセダンの衝突としては，SUV-L と Sdn-L の衝突も存在する．本付録では，SUV-L と Sdn-L の衝突の事故統計分析について述べる．

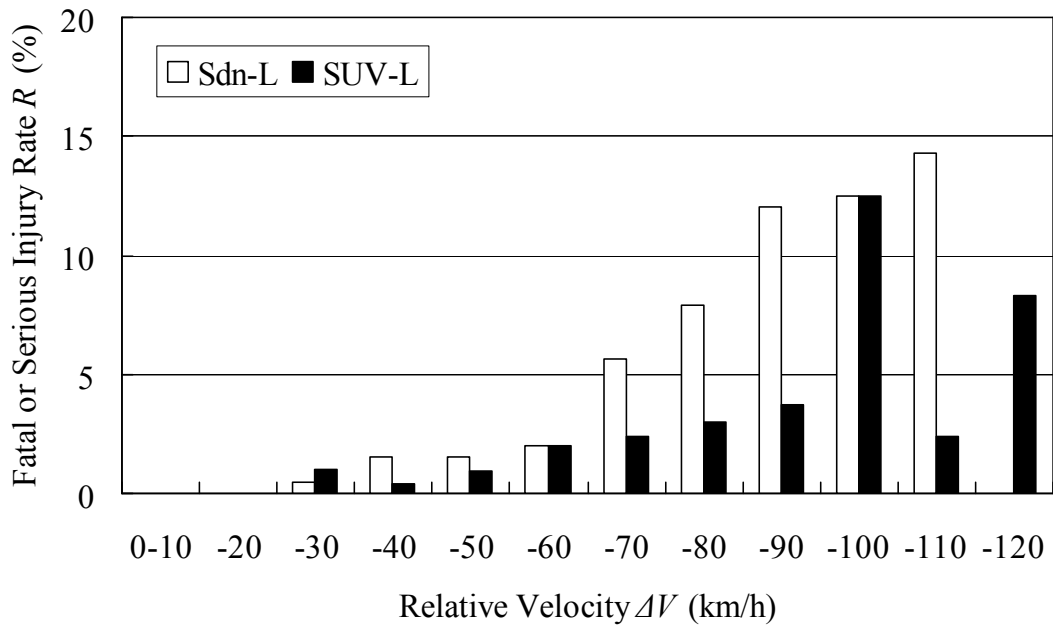


Fig.A4.1 Fatal or Serious Injury rate R and Relative Velocity ΔV , SUV-L to Sdn-L Collision

A4.2 衝突速度と死亡重傷者率の関係

図 A4.1 に SUV-L と Sdn-L の衝突における衝突速度と死亡重傷者率の関係を示す。Sdn-L の方が SUV-L に比べ死亡重傷者率が高く、第 2 章で述べた車両重量が同程度の SUV とセダンの衝突である SUV-M と Sdn-M の衝突の場合と同様に、相対速度 ΔV が高くなる程、SUV-L 運転者の死亡重傷者率と Sdn-L 運転者の死亡重傷者率の差は開いていく。なお、SUV-L と Sdn-L の衝突における死亡重傷者数は、SUV-L 運転者が 34 人、Sdn-L 運転者が 65 人。

A4.3 死亡または重傷運転者の傷害部位の構成

死亡または重傷となった運転者の傷害部位の構成について、1995 年から 1999 年の死傷事故を対象に分析を行った。SUV-L と Sdn-L の衝突における Sdn-L の運転者（死亡重傷者数 65 人）の損傷主部位の構成を図 A4.2 に、SUV-L の運転者（死亡重傷者数 34 人）の損傷主部位の構成を図 A4.3 に示す。

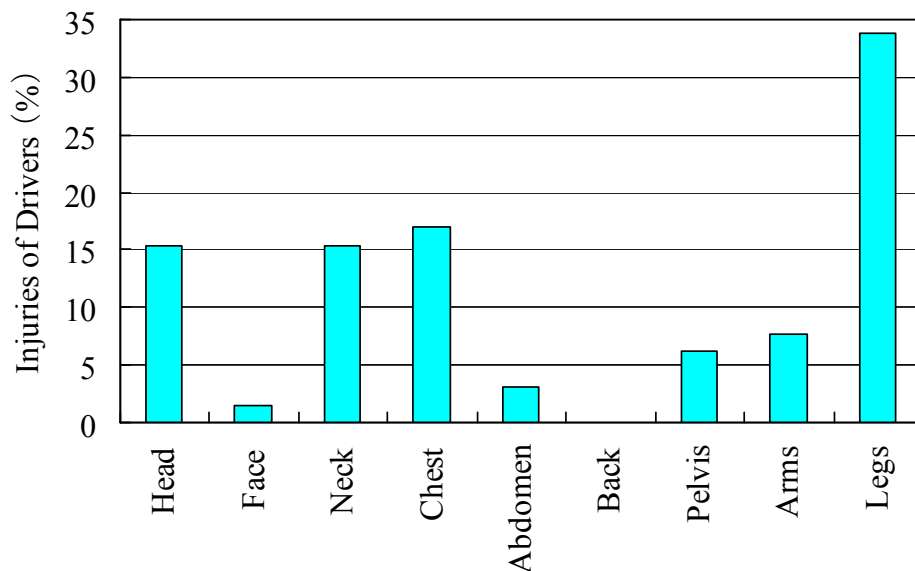


Fig.A4.2 Injuries of Sdn-L Drivers (SUV-L to Sdn-L)

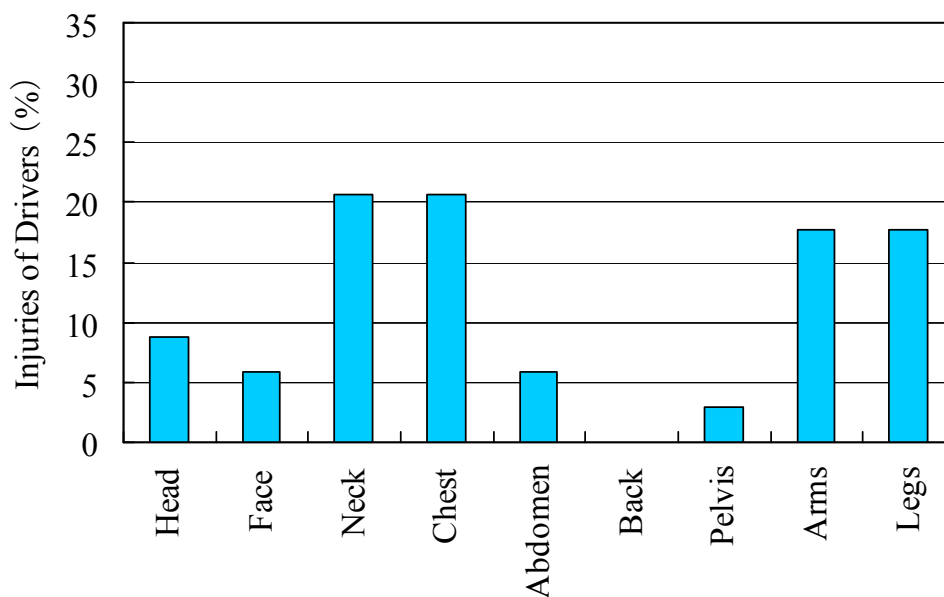


Fig.A4.3 Injuries of SUV-L Drivers (SUV-L to Sdn-L)

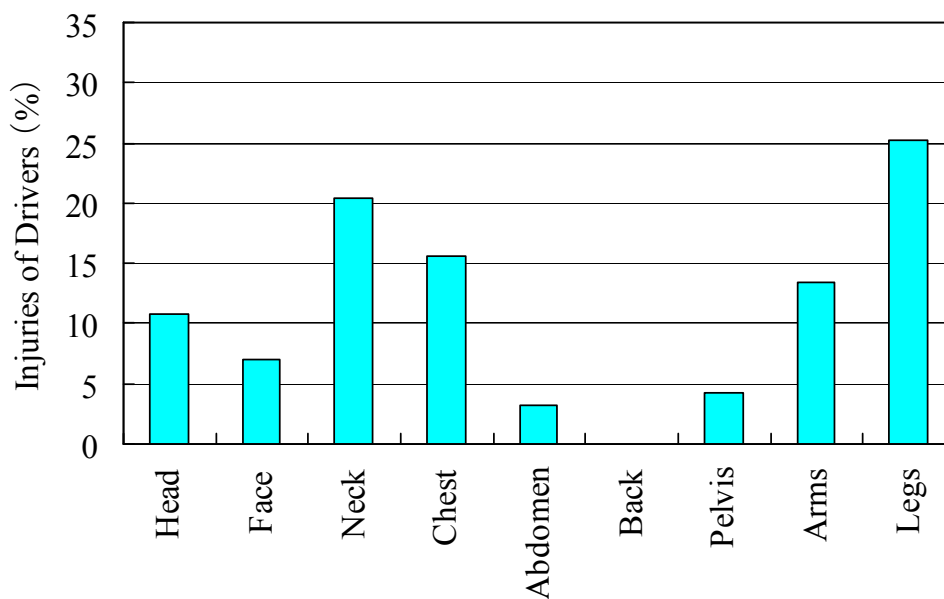


Fig. A4.4 Injuries of Sdn-L Drivers (Sdn-L to Sdn-L)

頭部および脚部損傷の構成率に関しては、Sdn-L運転者（図 A4.2）の方が、SUV-Lの運転者（図 A4.3）より高い。反対に SUV-L 運転者は頸部および胸部、腕部損傷の構成率が高い。

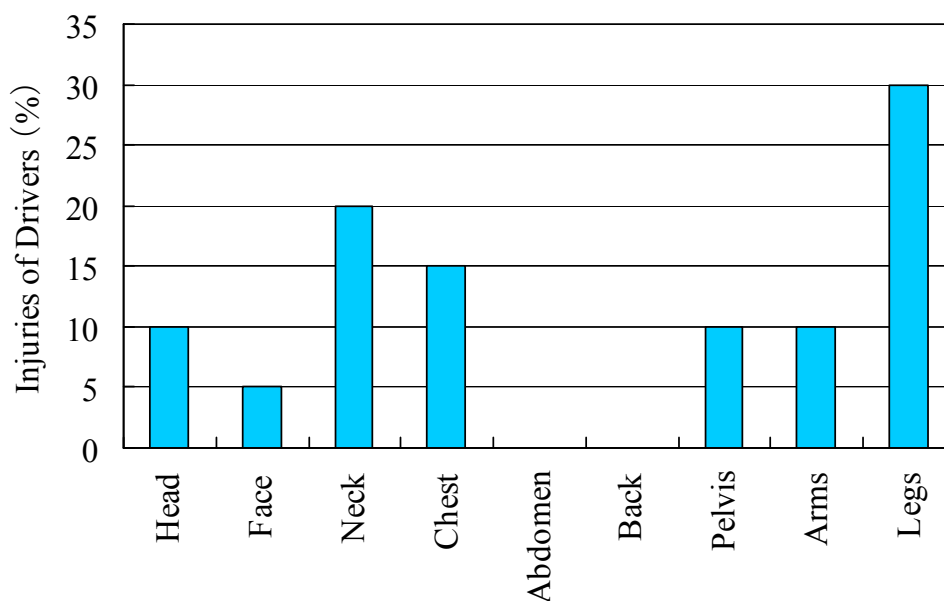


Fig. A4.5 Injuries of SUV-L Drivers (SUV-L to SUV-L)

比較のため Sdn-L 同士の衝突による運転者（死亡重傷者数 186 人）の傷害部位別構成を図 A4.4 に，SUV-L 同士の衝突による運転者（死亡重傷者数 20 人）の傷害部位別構成を図 A4.5 に示す．SUV-L と衝突した Sdn-L 運転者（図 A4.2）は Sdn-L 同士での衝突（図 A4.4）に比べ頭部あるいは脚部損傷の構成率が多い．なお，頭部損傷が増えたのは，第 2 章でも述べたようなサイドメンバの上下方向のオフセット（図 2.13）のためと考えるが，SUV-L，Sdn-L 共に重量が重いことから，衝突における客室変形が SUV-M と Sdn-M の衝突に比して大きくなるため脚部の損傷も増えたのではないかと推測する．また，Sdn-L と衝突した SUV-L 運転者（図 A4.3）は SUV-L 同士での衝突（図 A4.5）に比べ脚部損傷の構成率が少ないが，これについても，SUV-L にとっては，Sdn-L との衝突の場合より SUV-L 同士での衝突の方が客室変形が大きくなるためと推測する．

追補 5 交通事故統計の分析結果の有意性について

A5.1 重量が同じ程度の SUV とセダンの衝突

(1) SUV-M と Sdn-M 衝突について

- ・表 A5.1 に SUV-M と Sdn-M の衝突と Sdn-M 同士の衝突での Sdn-M 運転者の損傷主部位構成率の比較を示す。表 A5.1 において、頸部傷害の構成率は、SUV-M との衝突に比べ Sdn-M 同士の衝突の方が、有意に小さい（有意水準 0.05 で片側検定）。
- ・表 A5.2 に SUV-M と Sdn-M の衝突と SUV-M 同士の衝突での SUV-M 運転者の損傷主部位構成率の比較を示す。表 A5.2 において、有意と認められるものはない（有意水準 0.05 で片側検定）。

(2) SUV-L と Sdn-L の衝突について

- ・表 A5.3 に SUV-L と Sdn-L の衝突と Sdn-L 同士の衝突での Sdn-L 運転者の損傷主部位構成率の比較を示す。表 A5.3 において、顔部傷害の構成率は、SUV-L との衝突に比べ Sdn-L 同士の衝突の方が、有意に大きい（有意水準 0.05 で片側検定）。
- ・表 A5.4 に SUV-L と Sdn-L の衝突と SUV-L 同士の衝突での SUV-L 運転者の損傷主部位構成率の比較を示す。表 A5.4 において、有意と認められるものはない（有意水準 0.05 で片側検定）。

Table A5.1 Significance Level of Drivers' Injuries (Sdn-M Drivers)

	(1) Number of Fatal or Serious (Total)	(2) Number of Fatal or Serious for Injured Region	(3) =(2)/(1)	(4) $\hat{p} := \frac{\sum_{i=1}^{n_1} X_{1i} + \sum_{i=1}^{n_2} X_{2i}}{n_1 + n_2}$	(5) $\hat{p}_1 - \hat{p}_2$ (*)	(6) $z := \frac{(\hat{p}_1 - \hat{p}_2)}{\sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$	(7) z(0.05)	$\alpha := \phi(z)$ $= \int_z^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$
Sdn-M to Sdn-M SUV-M to Sdn-M	$n_1: 807$ $n_2: 81$	Head $x_1: 112$ $x_2: 9$	0.14 0.11	0.14	0.03	0.69	1.64	0.25
Sdn-M to Sdn-M SUV-M to Sdn-M	$n_1: 807$ $n_2: 81$	Face $x_1: 50$ $x_2: 5$	0.06 0.06	0.06	0.00	0.01	1.64	0.50
Sdn-M to Sdn-M SUV-M to Sdn-M	$n_1: 807$ $n_2: 81$	Neck $x_1: 133$ $x_2: 20$	0.16 0.25	0.17	-0.08	-1.87	1.64	0.03
Sdn-M to Sdn-M SUV-M to Sdn-M	$n_1: 807$ $n_2: 81$	Chest $x_1: 150$ $x_2: 17$	0.19 0.21	0.19	-0.02	-0.53	1.64	0.30
Sdn-M to Sdn-M SUV-M to Sdn-M	$n_1: 807$ $n_2: 81$	Abdomen $x_1: 26$ $x_2: 3$	0.03 0.04	0.03	0.00	-0.23	1.64	0.41
Sdn-M to Sdn-M SUV-M to Sdn-M	$n_1: 807$ $n_2: 81$	Back $x_1: 7$ $x_2: 1$	0.01 0.01	0.01	0.00	-0.33	1.64	0.37
Sdn-M to Sdn-M SUV-M to Sdn-M	$n_1: 807$ $n_2: 81$	Pelvis $x_1: 32$ $x_2: 1$	0.04 0.01	0.04	0.03	1.24	1.64	0.11
Sdn-M to Sdn-M SUV-M to Sdn-M	$n_1: 807$ $n_2: 81$	Arms $x_1: 86$ $x_2: 7$	0.11 0.09	0.10	0.02	0.56	1.64	0.29
Sdn-M to Sdn-M SUV-M to Sdn-M	$n_1: 807$ $n_2: 81$	Legs $x_1: 207$ $x_2: 18$	0.26 0.22	0.25	0.03	0.68	1.64	0.25

*: $\hat{p}_1 - \hat{p}_2 = x_1/n_1 - x_2/n_2$

Table A5.2 Significance Level of Drivers' Injuries (SUV-M Drivers)

	(1) Number of Fatal or Serious (Total)	(2) Number of Fatal or Serious for Injured Region	(3) =(2)/(1)	(4) $\hat{p} := \frac{\sum_{i=1}^{n_1} X_{1i} + \sum_{i=1}^{n_2} X_{2i}}{n_1 + n_2}$	(5) $\hat{p}_1 - \hat{p}_2$ (*)	(6) $z := \frac{(\hat{p}_1 - \hat{p}_2)}{\sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$	(7) $z(0.05)$	$\alpha := \phi(z)$ $= \int_z^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$
SUV-M to SUV-M SUV-M to Sdn-M	$n_1: 13$ $n_2: 57$	Head $x_1: 0$ $x_2: 4$	0.00 0.07	0.06	-0.07	-0.98	1.64	0.16
SUV-M to SUV-M SUV-M to Sdn-M	$n_1: 13$ $n_2: 57$	Face $x_1: 0$ $x_2: 3$	0.00 0.05	0.04	-0.05	-0.85	1.64	0.20
SUV-M to SUV-M SUV-M to Sdn-M	$n_1: 13$ $n_2: 57$	Neck $x_1: 3$ $x_2: 13$	0.23 0.23	0.23	0.00	0.02	1.64	0.49
SUV-M to SUV-M SUV-M to Sdn-M	$n_1: 13$ $n_2: 57$	Chest $x_1: 3$ $x_2: 9$	0.23 0.16	0.17	0.07	0.63	1.64	0.26
SUV-M to SUV-M SUV-M to Sdn-M	$n_1: 13$ $n_2: 57$	Abdomen $x_1: 0$ $x_2: 2$	0.00 0.04	0.03	-0.04	-0.69	1.64	0.25
SUV-M to SUV-M SUV-M to Sdn-M	$n_1: 13$ $n_2: 57$	Back $x_1: 1$ $x_2: 2$	0.08 0.04	0.04	0.04	0.67	1.64	0.25
SUV-M to SUV-M SUV-M to Sdn-M	$n_1: 13$ $n_2: 57$	Pelvis $x_1: 1$ $x_2: 1$	0.08 0.02	0.03	0.06	1.16	1.64	0.12
SUV-M to SUV-M SUV-M to Sdn-M	$n_1: 13$ $n_2: 57$	Arms $x_1: 2$ $x_2: 4$	0.15 0.07	0.09	0.08	0.97	1.64	0.17
SUV-M to SUV-M SUV-M to Sdn-M	$n_1: 13$ $n_2: 57$	Legs $x_1: 3$ $x_2: 18$	0.23 0.32	0.30	-0.09	-0.60	1.64	0.27

*: $\hat{p}_1 - \hat{p}_2 = x_1/n_1 - x_2/n_2$

Table A5.3 Significance Level of Drivers' Injuries (Sdn-L Drivers)

	(1) Number of Fatal or Serious (Total)	(2) Number of Fatal or Serious for Injured Region	(3) =(2)/(1)	(4) $\hat{p} := \frac{\sum_{i=1}^{n_1} X_{1i} + \sum_{i=1}^{n_2} X_{2i}}{n_1 + n_2}$	(5) $\hat{p}_1 - \hat{p}_2$ (*)	(6) $z := \frac{(\hat{p}_1 - \hat{p}_2)}{\sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$	(7) $z(0.05)$	$\alpha := \phi(z)$ $= \int_z^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$
Sdn-L to Sdn-L SUV-L to Sdn-L	$n_1: 186$ $n_2: 65$	Head $x_1: 20$ $x_2: 10$	0.11 0.15	0.12	-0.05	-0.99	1.64	0.16
Sdn-L to Sdn-L SUV-L to Sdn-L	$n_1: 186$ $n_2: 65$	Face $x_1: 13$ $x_2: 1$	0.07 0.02	0.06	0.05	1.65	1.64	0.05
Sdn-L to Sdn-L SUV-L to Sdn-L	$n_1: 186$ $n_2: 65$	Neck $x_1: 38$ $x_2: 10$	0.20 0.15	0.19	0.05	0.89	1.64	0.19
Sdn-L to Sdn-L SUV-L to Sdn-L	$n_1: 186$ $n_2: 65$	Chest $x_1: 29$ $x_2: 11$	0.16 0.17	0.16	-0.01	-0.25	1.64	0.40
Sdn-L to Sdn-L SUV-L to Sdn-L	$n_1: 186$ $n_2: 65$	Abdomen $x_1: 6$ $x_2: 2$	0.03 0.03	0.03	0.00	0.06	1.64	0.48
Sdn-L to Sdn-L SUV-L to Sdn-L	$n_1: 186$ $n_2: 65$	Back $x_1: 0$ $x_2: 0$	0.00 0.00	0.00	0.00	—	1.64	—
Sdn-L to Sdn-L SUV-L to Sdn-L	$n_1: 186$ $n_2: 65$	Pelvis $x_1: 8$ $x_2: 4$	0.04 0.06	0.05	-0.02	-0.60	1.64	0.27
Sdn-L to Sdn-L SUV-L to Sdn-L	$n_1: 186$ $n_2: 65$	Arms $x_1: 25$ $x_2: 5$	0.13 0.08	0.12	0.06	1.23	1.64	0.11
Sdn-L to Sdn-L SUV-L to Sdn-L	$n_1: 186$ $n_2: 65$	Legs $x_1: 47$ $x_2: 22$	0.25 0.34	0.27	-0.09	-1.33	1.64	0.09

*: $\hat{p}_1 - \hat{p}_2 = x_1/n_1 - x_2/n_2$

Table A5.4 Significance Level of Drivers' Injuries (SUV-L Drivers)

	(1) Number of Fatal or Serious (Total)	(2) Number of Fatal or Serious for Injured Region	(3) =(2)/(1)	(4) $\hat{p} := \frac{\sum_{i=1}^{n_1} X_{1i} + \sum_{i=1}^{n_2} X_{2i}}{n_1 + n_2}$	(5) $\hat{p}_1 - \hat{p}_2$ (*)	(6) $z := \frac{(\hat{p}_1 - \hat{p}_2)}{\sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$	(7) $z(0.05)$	$\alpha := \phi(z)$ $= \int_z^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$
SUV-L to Sdn-L SUV-L to SUV-L	$n_1: 34$ $n_2: 20$	Head $x_1: 3$ $x_2: 2$	0.09 0.10	0.09	-0.01	-0.14	1.64	0.44
SUV-L to Sdn-L SUV-L to SUV-L	$n_1: 34$ $n_2: 20$	Face $x_1: 2$ $x_2: 1$	0.06 0.05	0.06	0.01	0.14	1.64	0.44
SUV-L to Sdn-L SUV-L to SUV-L	$n_1: 34$ $n_2: 20$	Neck $x_1: 7$ $x_2: 4$	0.21 0.20	0.20	0.01	0.05	1.64	0.48
SUV-L to Sdn-L SUV-L to SUV-L	$n_1: 34$ $n_2: 20$	Chest $x_1: 7$ $x_2: 3$	0.21 0.15	0.19	0.06	0.51	1.64	0.31
SUV-L to Sdn-L SUV-L to SUV-L	$n_1: 34$ $n_2: 20$	Abdomen $x_1: 2$ $x_2: 0$	0.06 0.00	0.04	0.06	1.11	1.64	0.13
SUV-L to Sdn-L SUV-L to SUV-L	$n_1: 34$ $n_2: 20$	Back $x_1: 0$ $x_2: 0$	0.00 0.00	0.00	0.00	—	1.64	—
SUV-L to Sdn-L SUV-L to SUV-L	$n_1: 34$ $n_2: 20$	Pelvis $x_1: 1$ $x_2: 2$	0.03 0.10	0.06	-0.07	-1.09	1.64	0.14
SUV-L to Sdn-L SUV-L to SUV-L	$n_1: 34$ $n_2: 20$	Arms $x_1: 6$ $x_2: 2$	0.18 0.10	0.15	0.08	0.76	1.64	0.22
SUV-L to Sdn-L SUV-L to SUV-L	$n_1: 34$ $n_2: 20$	Legs $x_1: 6$ $x_2: 6$	0.18 0.30	0.22	-0.12	-1.05	1.64	0.15

*: $\hat{p}_1 - \hat{p}_2 = x_1/n_1 - x_2/n_2$

A5.2 重量の異なる SUV とセダンの衝突

(1) SUV-M と Sdn-S の衝突について

- ・表 A5.5 に SUV-M と Sdn-S の衝突と Sdn-S 同士の衝突での Sdn-S 運転者の損傷主部位構成率の比較を示す。表 A5.5 において、顔部傷害の構成率は、SUV-M との衝突に比べ Sdn-M 同士の衝突の方が有意に大きく、反対に腹部傷害の構成率は、Sdn-M 同士の衝突の方が SUV-M との衝突に比べ有意に小さい（有意水準 0.05 で片側検定）。

(2) SUV-L と Sdn-S の衝突について

- ・表 A5.6 に SUV-L と Sdn-S の衝突と Sdn-S 同士の衝突での Sdn-S 運転者の損傷主部位構成率の比較を示す。表 A5.6 において、頭部および腹部傷害の構成率は、SUV-L との衝突に比べ Sdn-S 同士の衝突の方が有意に小さく、反対に顔部および頸部傷害の構成率は、Sdn-S 同士の衝突の方が SUV-L との衝突に比べ有意に大きい（有意水準 0.05 で片側検定）。

(3) SUV-L と Sdn-M の衝突について

- ・表 A5.7 に SUV-L と Sdn-M の衝突と Sdn-M 同士の衝突での Sdn-M 運転者の損傷主部位構成率の比較を示す。表 A5.7 において、胸部および腹部傷害の構成率は、SUV-L との衝突に比べ Sdn-M 同士の衝突の方が有意に小さく、反対に腕部傷害の構成率は、Sdn-M 同士の衝突の方が SUV-L との衝突に比べ有意に大きい（有意水準 0.05 で片側検定）。

(4) SUV-M と Sdn-L の衝突について

- ・表 A5.8 に SUV-M と Sdn-L の衝突と Sdn-L 同士の衝突での Sdn-L 運転者の損傷主部位構成率の比較を示す。表 A5.8 において、胸部傷害の構成率は、SUV-M との衝突に比べ Sdn-L 同士の衝突の方が有意に小さく、反対に腕部傷害の構成率は、Sdn-L 同士の衝突の方が SUV-M との衝突に比べ有意に大きい（有意水準 0.05 で片側検定）。

Table A5.5 Significance Level of Drivers' Injuries (Sdn-S Drivers)

	(1) Number of Fatal or Serious (Total)	(2) Number of Fatal or Serious for Injured Region	(3) =(2)/(1)	(4) $\hat{p} := \frac{\sum_{i=1}^{n_1} X_{1i} + \sum_{i=1}^{n_2} X_{2i}}{n_1 + n_2}$	(5) $\hat{p}_1 - \hat{p}_2$ (*)	(6) $z := \frac{(\hat{p}_1 - \hat{p}_2)}{\sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$	(7) $z(0.05)$	$\alpha := \phi(z)$ $= \int_z^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$
Sdn-S to Sdn-S SUV-M to Sdn-S	$n_1: 1079$ $n_2: 124$	Head $x_1: 101$ $x_2: 16$	0.09 0.13	0.10	-0.04	-1.26	1.64	0.10
Sdn-S to Sdn-S SUV-M to Sdn-S	$n_1: 1079$ $n_2: 124$	Face $x_1: 81$ $x_2: 4$	0.08 0.03	0.07	0.04	1.76	1.64	0.04
Sdn-S to Sdn-S SUV-M to Sdn-S	$n_1: 1079$ $n_2: 124$	Neck $x_1: 188$ $x_2: 19$	0.17 0.15	0.17	0.02	0.59	1.64	0.28
Sdn-S to Sdn-S SUV-M to Sdn-S	$n_1: 1079$ $n_2: 124$	Chest $x_1: 242$ $x_2: 25$	0.22 0.20	0.22	0.02	0.58	1.64	0.28
Sdn-S to Sdn-S SUV-M to Sdn-S	$n_1: 1079$ $n_2: 124$	Abdomen $x_1: 38$ $x_2: 9$	0.04 0.07	0.04	-0.04	-2.03	1.64	0.02
Sdn-S to Sdn-S SUV-M to Sdn-S	$n_1: 1079$ $n_2: 124$	Back $x_1: 7$ $x_2: 0$	0.01 0.00	0.01	0.01	0.90	1.64	0.18
Sdn-S to Sdn-S SUV-M to Sdn-S	$n_1: 1079$ $n_2: 124$	Pelvis $x_1: 34$ $x_2: 5$	0.03 0.04	0.03	-0.01	-0.52	1.64	0.30
Sdn-S to Sdn-S SUV-M to Sdn-S	$n_1: 1079$ $n_2: 124$	Arms $x_1: 137$ $x_2: 12$	0.13 0.10	0.12	0.03	0.97	1.64	0.17
Sdn-S to Sdn-S SUV-M to Sdn-S	$n_1: 1079$ $n_2: 124$	Legs $x_1: 246$ $x_2: 32$	0.23 0.26	0.23	-0.03	-0.75	1.64	0.23

*: $\hat{p}_1 - \hat{p}_2 = x_1/n_1 - x_2/n_2$

Table A5.6 Significance Level of Drivers' Injuries (Sdn-S Drivers)

	(1) Number of Fatal or Serious (Total)	(2) Number of Fatal or Serious for Injured Region	(3) =(2)/(1)	(4) $\hat{p} := \frac{\sum_{i=1}^{n_1} X_{1i} + \sum_{i=1}^{n_2} X_{2i}}{n_1 + n_2}$	(5) $\hat{p}_1 - \hat{p}_2$ (*)	(6) $z := \frac{(\hat{p}_1 - \hat{p}_2)}{\sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$	(7) $z(0.05)$	$\alpha := \phi(z)$ $= \int_z^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$
Sdn-S to Sdn-S SUV-L to Sdn-S	$n_1: 1079$ $n_2: 234$	Head $x_1: 101$ $x_2: 31$	0.09 0.13	0.10	-0.04	-1.79	1.64	0.04
Sdn-S to Sdn-S SUV-L to Sdn-S	$n_1: 1079$ $n_2: 234$	Face $x_1: 81$ $x_2: 10$	0.08 0.04	0.07	0.03	1.77	1.64	0.50
Sdn-S to Sdn-S SUV-L to Sdn-S	$n_1: 1079$ $n_2: 234$	Neck $x_1: 188$ $x_2: 24$	0.17 0.10	0.16	0.07	2.70	1.64	0.04
Sdn-S to Sdn-S SUV-L to Sdn-S	$n_1: 1079$ $n_2: 234$	Chest $x_1: 242$ $x_2: 60$	0.22 0.26	0.23	-0.03	-1.06	1.64	0.14
Sdn-S to Sdn-S SUV-L to Sdn-S	$n_1: 1079$ $n_2: 234$	Abdomen $x_1: 38$ $x_2: 16$	0.04 0.07	0.04	-0.03	-2.32	1.64	0.01
Sdn-S to Sdn-S SUV-L to Sdn-S	$n_1: 1079$ $n_2: 234$	Back $x_1: 7$ $x_2: 2$	0.01 0.01	0.01	0.00	-0.35	1.64	0.36
Sdn-S to Sdn-S SUV-L to Sdn-S	$n_1: 1079$ $n_2: 234$	Pelvis $x_1: 34$ $x_2: 4$	0.03 0.02	0.03	0.01	1.19	1.64	0.12
Sdn-S to Sdn-S SUV-L to Sdn-S	$n_1: 1079$ $n_2: 234$	Arms $x_1: 137$ $x_2: 23$	0.13 0.10	0.12	0.03	1.22	1.64	0.11
Sdn-S to Sdn-S SUV-L to Sdn-S	$n_1: 1079$ $n_2: 234$	Legs $x_1: 246$ $x_2: 62$	0.23 0.26	0.23	-0.04	-1.21	1.64	0.11

*: $\hat{p}_1 - \hat{p}_2 = x_1/n_1 - x_2/n_2$

Table A5.7 Significance Level of Drivers' Injuries (Sdn-M Drivers)

	(1) Number of Fatal or Serious (Total)	(2) Number of Fatal or Serious for Injured Region	(3) =(2)/(1)	(4) $\hat{p} := \frac{\sum_{i=1}^{n_1} X_{1i} + \sum_{i=1}^{n_2} X_{2i}}{n_1 + n_2}$	(5) $\hat{p}_1 - \hat{p}_2$ (*)	(6) $z := \frac{(\hat{p}_1 - \hat{p}_2)}{\sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$	(7) $z(0.05)$	$\alpha := \phi(z)$ $= \int_z^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$
Sdn-M to Sdn-M SUV-L to Sdn-M	$n_1: 807$ $n_2: 170$	Head $x_1: 112$ $x_2: 24$	0.14 0.14	0.14	0.00	-0.08	1.64	0.47
Sdn-M to Sdn-M SUV-L to Sdn-M	$n_1: 807$ $n_2: 170$	Face $x_1: 50$ $x_2: 12$	0.06 0.07	0.06	-0.01	-0.42	1.64	0.34
Sdn-M to Sdn-M SUV-L to Sdn-M	$n_1: 807$ $n_2: 170$	Neck $x_1: 133$ $x_2: 22$	0.16 0.13	0.16	0.04	1.15	1.64	0.13
Sdn-M to Sdn-M SUV-L to Sdn-M	$n_1: 807$ $n_2: 170$	Chest $x_1: 150$ $x_2: 41$	0.19 0.24	0.20	-0.06	-1.65	1.64	0.05
Sdn-M to Sdn-M SUV-L to Sdn-M	$n_1: 807$ $n_2: 170$	Abdomen $x_1: 26$ $x_2: 12$	0.03 0.07	0.04	-0.04	-2.35	1.64	0.01
Sdn-M to Sdn-M SUV-L to Sdn-M	$n_1: 807$ $n_2: 170$	Back $x_1: 7$ $x_2: 0$	0.01 0.00	0.01	0.01	1.22	1.64	0.11
Sdn-M to Sdn-M SUV-L to Sdn-M	$n_1: 807$ $n_2: 170$	Pelvis $x_1: 32$ $x_2: 7$	0.04 0.04	0.04	0.00	-0.09	1.64	0.46
Sdn-M to Sdn-M SUV-L to Sdn-M	$n_1: 807$ $n_2: 170$	Arms $x_1: 86$ $x_2: 11$	0.11 0.06	0.10	0.04	1.66	1.64	0.05
Sdn-M to Sdn-M SUV-L to Sdn-M	$n_1: 807$ $n_2: 170$	Legs $x_1: 207$ $x_2: 39$	0.26 0.23	0.25	0.03	0.74	1.64	0.23

*: $\hat{p}_1 - \hat{p}_2 = x_1/n_1 - x_2/n_2$

Table A5.8 Significance Level of Drivers' Injuries (Sdn-L Drivers)

	(1) Number of Fatal or Serious (Total)	(2) Number of Fatal or Serious for Injured Region	(3) =(2)/(1)	(4) $\hat{p} := \frac{\sum_{i=1}^{n_1} X_{1i} + \sum_{i=1}^{n_2} X_{2i}}{n_1 + n_2}$	(5) $\hat{p}_1 - \hat{p}_2$ (*)	(6) $z := \frac{(\hat{p}_1 - \hat{p}_2)}{\sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$	(7) $z(0.05)$	$\alpha := \phi(z)$ $= \int_z^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$
Sdn-L to Sdn-L SUV-M to Sdn-L	$n_1: 186$ $n_2: 32$	Head $x_1: 20$ $x_2: 6$	0.11 0.19	0.12	-0.08	-1.29	1.64	0.10
Sdn-L to Sdn-L SUV-M to Sdn-L	$n_1: 186$ $n_2: 32$	Face $x_1: 13$ $x_2: 0$	0.07 0.00	0.06	0.07	1.54	1.64	0.06
Sdn-L to Sdn-L SUV-M to Sdn-L	$n_1: 186$ $n_2: 32$	Neck $x_1: 38$ $x_2: 7$	0.20 0.22	0.21	-0.01	-0.19	1.64	0.42
Sdn-L to Sdn-L SUV-M to Sdn-L	$n_1: 186$ $n_2: 32$	Chest $x_1: 29$ $x_2: 9$	0.16 0.28	0.17	-0.13	-1.73	1.64	0.04
Sdn-L to Sdn-L SUV-M to Sdn-L	$n_1: 186$ $n_2: 32$	Abdomen $x_1: 6$ $x_2: 1$	0.03 0.03	0.03	0.00	0.03	1.64	0.49
Sdn-L to Sdn-L SUV-M to Sdn-L	$n_1: 186$ $n_2: 32$	Back $x_1: 0$ $x_2: 0$	0.00 0.00	0.00	0.00	—	1.64	—
Sdn-L to Sdn-L SUV-M to Sdn-L	$n_1: 186$ $n_2: 32$	Pelvis $x_1: 8$ $x_2: 2$	0.04 0.06	0.05	-0.02	-0.49	1.64	0.31
Sdn-L to Sdn-L SUV-M to Sdn-L	$n_1: 186$ $n_2: 32$	Arms $x_1: 25$ $x_2: 1$	0.13 0.03	0.12	0.10	1.66	1.64	0.05
Sdn-L to Sdn-L SUV-M to Sdn-L	$n_1: 186$ $n_2: 32$	Legs $x_1: 47$ $x_2: 6$	0.25 0.19	0.24	0.07	0.79	1.64	0.21

*: $\hat{p}_1 - \hat{p}_2 = x_1/n_1 - x_2/n_2$

追補 6

荷重の垂直分布図 D_{CF} および客室荷重中心 C_{CF}

A6.1 荷重の垂直分布図 D_{CF} およびその導出について

荷重の垂直分布図 D_{CF} (Diagram of Compartment Force) は、衝突時の客室への入力を垂直方向毎に示したもので、衝突の進行毎について「どの高さへの入力が大きいか」を示す図である。本研究のセダン模型については、図 A6.1 中の(1)から(3)に示した高さに取り付けたロードセルで測定した荷重から求めた。なお、(1)はサイドシル、フロアメンバおよびフロアトンネル、(2)はドアベルトライン、(3)はルーフに取り付けたそれぞれのロードセルの地上高である。従って、

(1)の荷重 : Side-Sill (Left) + Side-Sill (Right) + Floor-Member (Left)
+ Floor-Member (Right) + Floor-Tunnel

(2)の荷重 : Door Beltline-Member (Left) + Door Beltline-Member (Right)

(3)の荷重 : Roof-Rail (Left) + Roof-Rail (Right)

である。それぞれの高さに設置したロードセルに入力した荷重の和を各高さ毎の荷重とした。なお、図 A6.2 および図 A6.3 にロードセルの取り付け位置を示す。

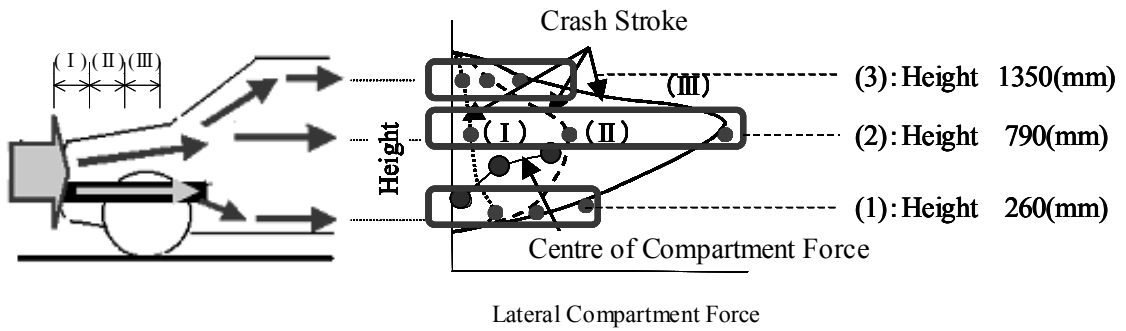


Fig. A6.1 Expression of Defensiveness (D_{CF} (Diagram of Compartment Force))



Fig. A6.2 Load Transducer Frame

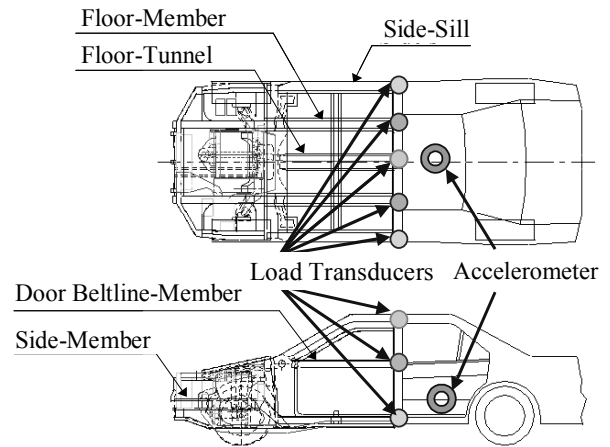


Fig. A6.3 Location of Load Transducers

高さ H_1 から H_j までの各入力について、それぞれ衝突の進行（変位あるいは時間）毎に平均荷重 (L_{Aij}) を求めた（図 A6.4, 式(A6.1)）。これら各高さ毎の平均荷重 L_{Aij} を衝突の進行毎に結んだものが D_{CF} である。これにより、衝突の進行毎について「どの高さへの入力が大きいか」を確認することができる。

$$L_{Aij} = \frac{\int_{d_{i-1}}^{d_i} f(x_j)}{(d_i - d_{i-1})} \tag{A6.1}$$

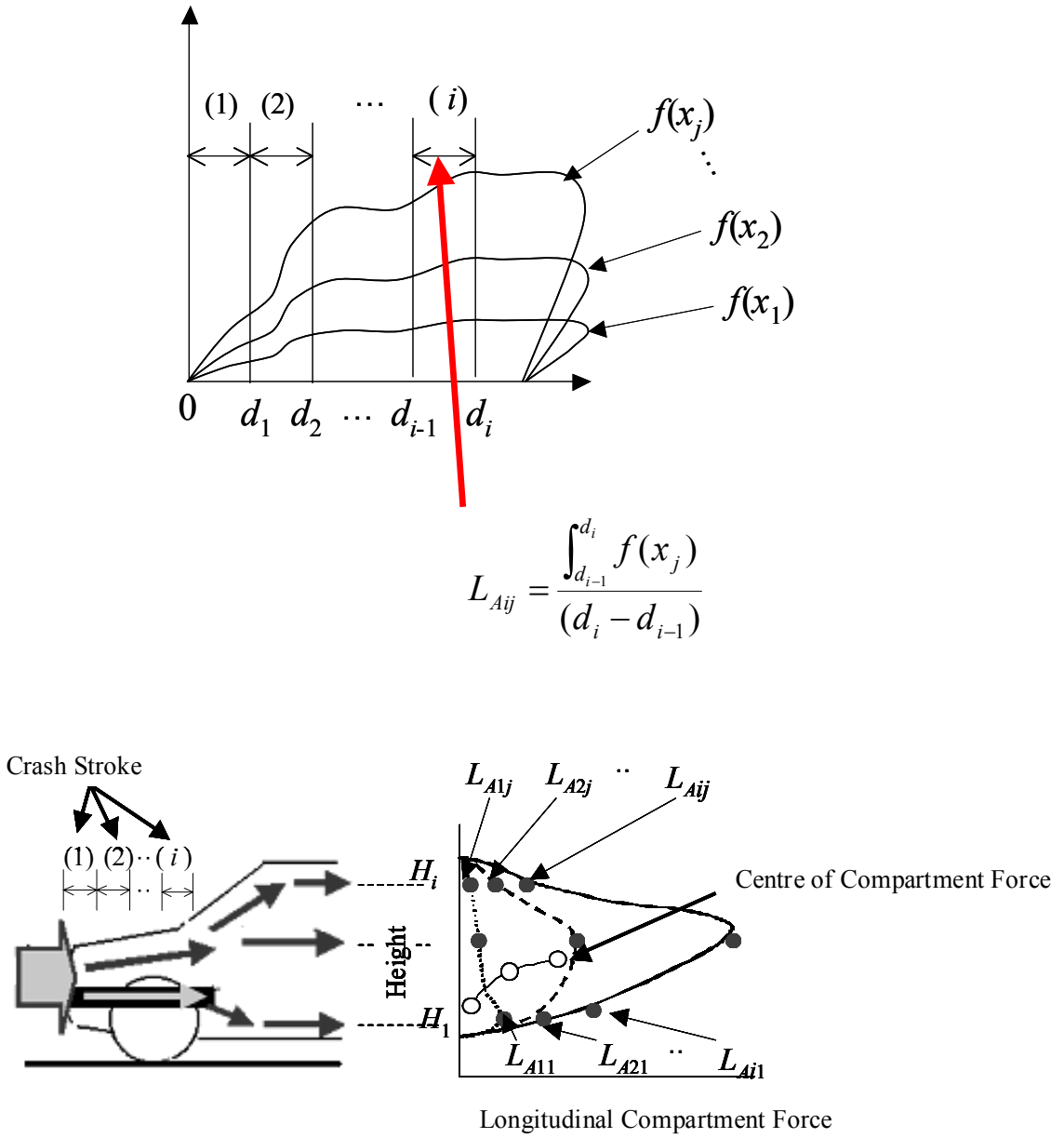


Fig. A6.4 Concept of L_{Aij} (Average Load)

A6.2 客室荷重中心 C_{CF} の導出について

衝突の進行状態毎についての各高さ別の平均荷重 L_{Aij} の重心位置を C_{CFi} とした。例えば，図 A6.5 に示した衝突の進行(1)，(2)， \dots (i)それぞれについての C_{CFi} は，式(A6.2)の通りとなる。

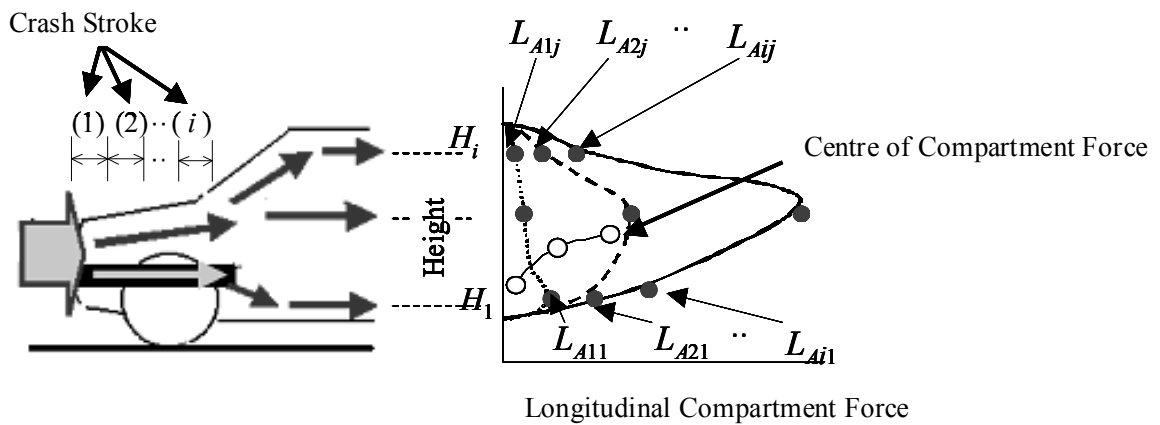


Fig. A6.5 C_{CF} (Centre of Compartment Force) and L_{Aij} (Average Load)

$$C_{CFi} = \frac{\sum_{j=1}^j H_j L_{Aij}}{\sum_{j=1}^j L_{Aij}} \tag{A6.2}$$

なお，式(A6.2)中の H_j は，ロードセルの地上高（本研究の模型の場合， $H_1 : 260\text{mm}$ ， $H_2 : 790\text{mm}$ ， $H_3 : 1350\text{mm}$ ）． L_{Aij} はロードセルの地上高別・衝突の進行毎の平均荷重である。