

4. 車両衝突時の歩行者被害について

自動車安全研究領域 ※松井 靖浩
 名古屋大学 水野 幸治
 自動車安全研究領域 細川 成之 田中 良知 山口 大助

1. はじめに

国内の年間の交通事故における負傷者数 854,493 人 (2011年) の中で歩行者の占める割合は8%である¹⁾ (図1左図)。一方、死亡者数 4,612 人 (2011年) の中で歩行者の占める割合は、約37%と最も高い¹⁾ (図1右図)。死傷者 (軽傷・重傷・死亡) 数の中で死亡者数の占める割合を死亡率とすると、歩行者は、車両乗車中を含む他の状態と比べ最も死亡率が高い¹⁾。

車両側の衝突安全対策として、現在我が国では、歩行者頭部の被害軽減を目的とした歩行者頭部保護規制が施行されている。他方、車両の衝突速度を低くすることで、歩行者の傷害程度を軽減できると考えられる。最近では車両に搭載されたセンサが前方の歩行者を検知し、警報やブレーキ制御をかける歩行者検知型被害軽減装置の普及も有望と考えられる。

最近我が国ではステレオカメラによる歩行者検知型被害軽減装置が開発され、既に一部実用化^{2) 3)}されている。同装置は、歩行者を検知し自動ブレーキが正しく作動した場合、衝突速度を減少させるシステムとなる。本研究では、車両の衝突速度が変化したときの歩行者の被害軽減度合いを明確化することにより、歩行者検知型被害軽減装置の技術要件を提案するための基礎資料作成を目的とする。

ここでは、衝突速度が変化したときの歩行者の被害状況を、有限要素解析に基づき詳細に調査した。我が国の歩行者事故における損傷主部位に着目すると、図2に示すように死亡者については頭部の占める割合が最も高く (56%)、次いで胸部の割合が高い (16%)¹⁾。そこで、日本人体型の一例として歩行者モデルを 50 歳代の男性平均身長とし、セダン、軽乗用車、SUV の車両モデルについて、衝突速度を 20, 30, 40, 50 km/h と変化させた場合の歩行者頭部、胸部における傷害リスクを調査した。

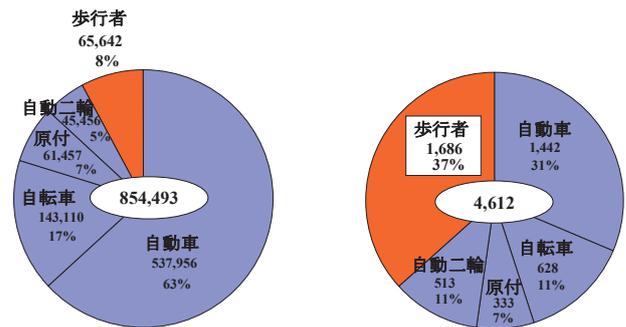


図1 交通事故による負傷者数(左), 死亡者数(右)

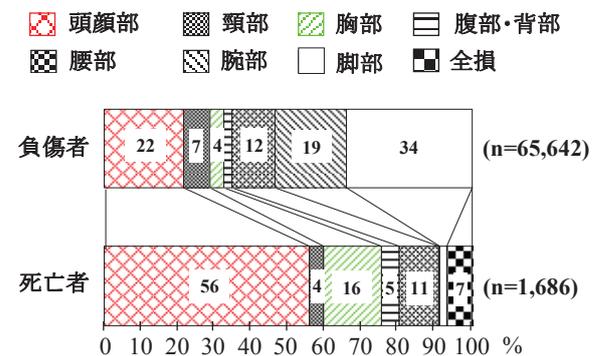


図2 歩行者事故における損傷主部位

2. 方法

供試車両はセダン、軽乗用車、SUV の標準的なものについて図3に示す各1車種とした。セダン、SUV の有限要素モデルについては、National Crash Analysis Center (NCAC) が提供しているモデル⁴⁾の車両前部を抽出した。この抽出モデルのボンネット、バンパ、カウル、ウィンドシールドの各要素を再分割した。

軽乗用車の有限要素モデルについては、実車を3次元測定装置により寸法測定し、車両形状データを取得し要素を分割した。車両の構造材料の特性については、ボンネット、フェンダおよびバンパの部材から取り出した試験片を用いて引張試験を実施し、各部材の材料特性をモ

デルに組み込んだ。軽乗用車モデルの妥当性は、頭部インパクトを用いた衝撃試験にて検証した。

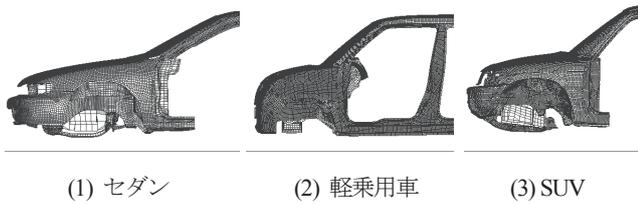


図3 車両モデル

歩行者の有限要素モデルについては Total Human Model for Safety (THUMS)⁹⁾を使用した。歩行者モデルは成人男性 50 パーセントイル (AM50:身長 175 cm, 体重 77 kg)⁹⁾からのスケーリングに基づき日本人の男性 50 歳の体格⁶⁾(身長 165 cm, 体重 60 kg)を作成した(図4)。

本研究では歩行者の側方に対しセダン, 軽乗用車, SUV をそれぞれ 20, 30, 40, 50 km/h で衝突させた。頭部重心位置の 3 軸合成加速度より計測される Head Injury Criterion (HIC), 胸椎 T8 位置 (胸椎 12 個のうち 8 番目, 背中中央に相当する歪曲部の頂点) の胸郭変形量より傷害リスク曲線⁸⁾⁹⁾を使用して, 頭部傷害リスク, 胸部傷害リスクをそれぞれ算出した。

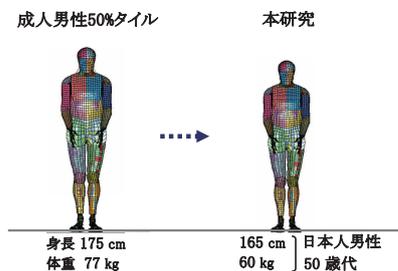


図4 人モデル

3. 結果

セダン, 軽乗用車, SUV が, 歩行者と 40 km/h で衝突する際の歩行者の挙動を図 5 に示す。セダン, SUV では最初に下肢がバンパと接触し, 大腿部がボンネット先端と接触した。その後, 歩行者の胴部は車両の前端まわりに回転し, 胸部, 頭部はボンネット上に衝突する。また, 軽乗用車との衝突では腰がボンネット先端と接触し頭はウィンドシールドと衝突する。

車両衝突速度と HIC の関係を図 6(1) に示す。車両衝突速度の増加に伴い HIC は増加した。車両衝突速度 30, 40 km/h においては, セダンとの衝突による HIC が最も高く, 軽乗用車との衝突による HIC が最も低かった。

また, 50 km/h での SUV との衝突では特に高い HIC を示すことが判明した。

車両衝突速度と胸部変位の関係を図 6(2) に示す。セダンおよび SUV との衝突においては, 車両衝突速度の増加に伴い胸部変位量は増加した。軽乗用車との衝突においては, 車両衝突速度が 20~40 km/h では胸部変位量にほとんど変化はなく, 50 km/h で増加の傾向を示すことが判明した。

Mertz⁸⁾および Pinter⁹⁾が開発した HIC を用いた頭蓋骨骨折リスク曲線, 胸部変位量を用いた AIS4 以上の胸部傷害リスク曲線を図 7 に示す。図 7 のリスク曲線により, 本シミュレーションより導出された HIC, 胸部変位量を用いて算出された頭蓋骨骨折率, AIS4 以上の胸部傷害率を図 8(1)(2) に示す。衝突速度の増加に伴い頭蓋骨骨折率は増加し, 特に SUV が衝突速度 50 km/h で衝突する場合は顕著に高かった(図 8(1))。一方, いずれの車種も胸部傷害率は低く, 車種間においてほぼ同様の値を示すことが判明した(図 8(2))。

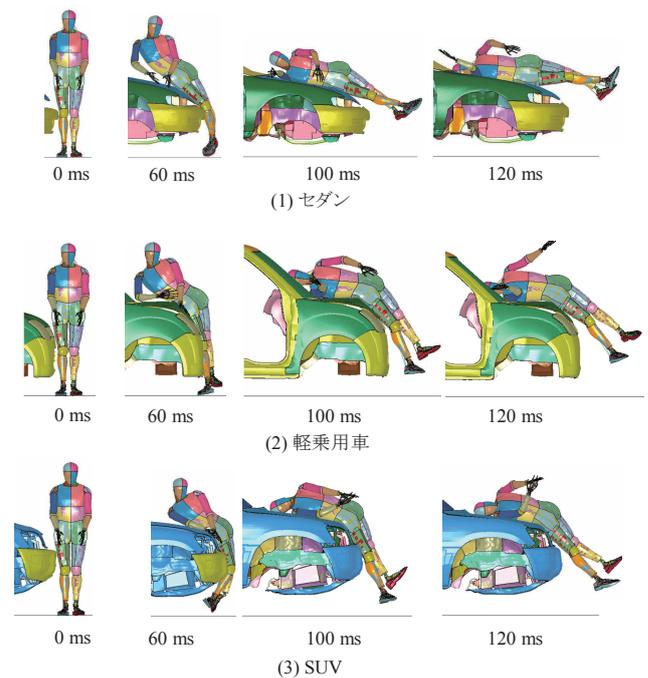


図5 衝突速度 40 km/h の時の歩行者の挙動

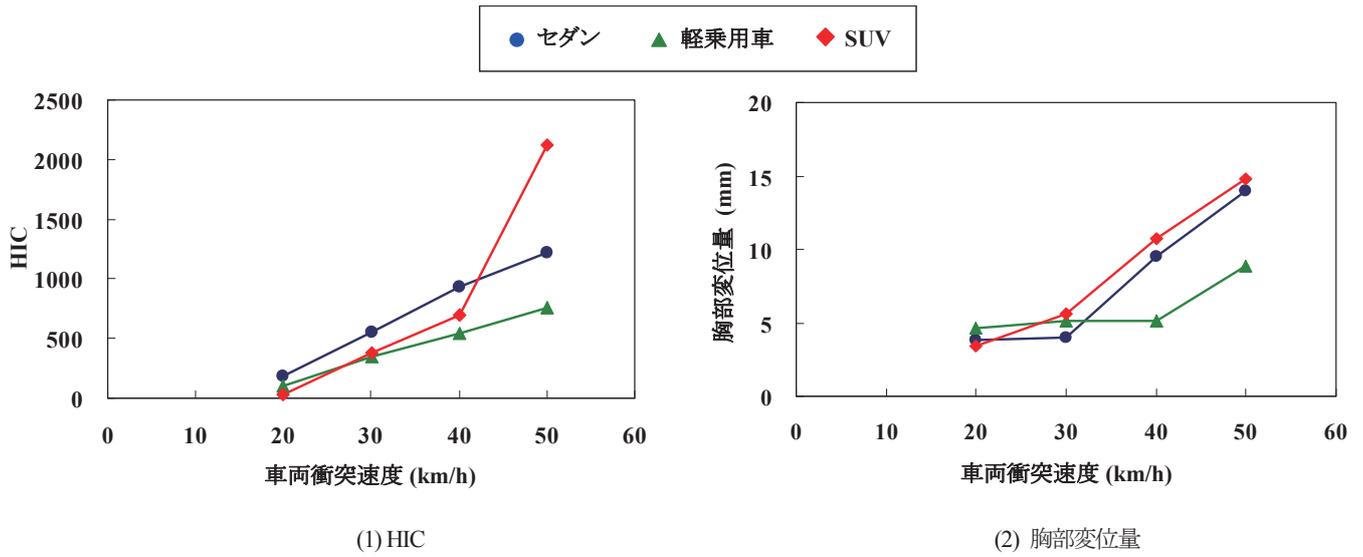


図6 HIC および胸部変位量

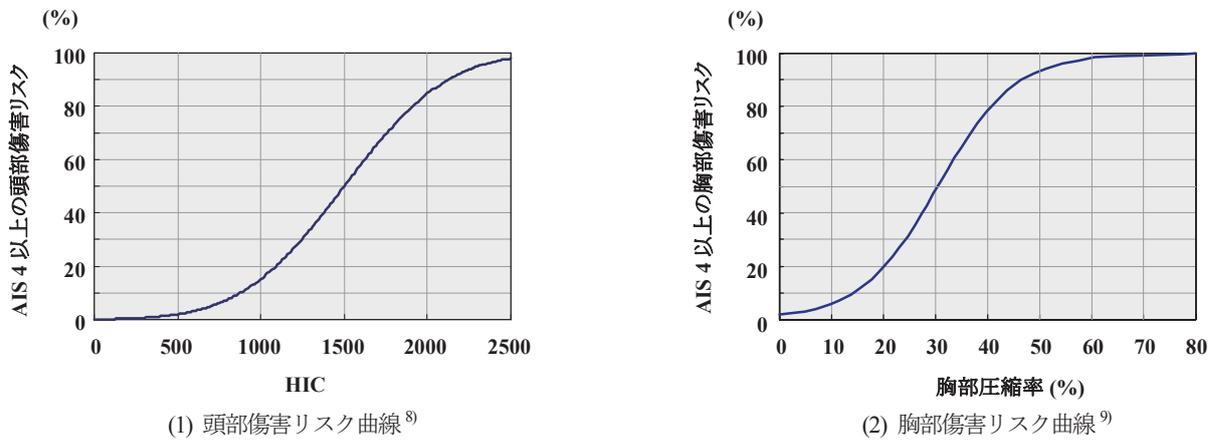


図7 頭部および胸部における傷害リスク曲線

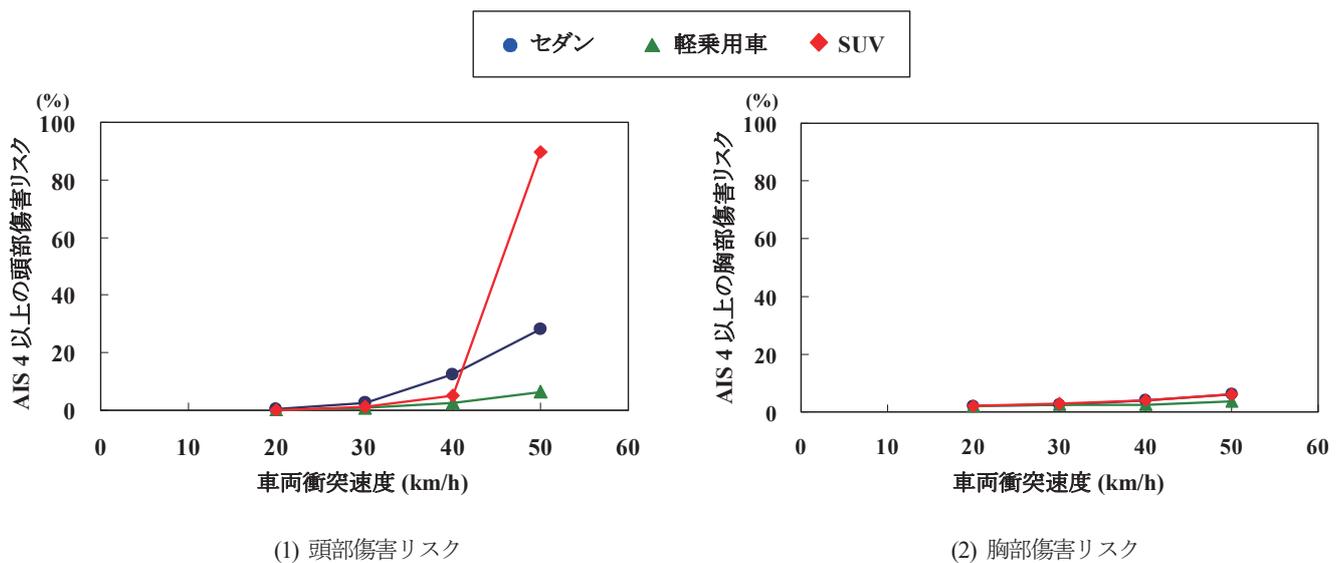


図8 頭部および胸部における推定傷害リスク

表1 頭部および胸部の重傷発生リスク

衝突速度	20 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h
(1) セダン	2%	5%	16%	35%
(2) 軽乗用車	2%	4%	5%	9%
(3) SUV	2%	4%	8%	95%

4. 考察

歩行者の頭部、胸部の重傷発生率 (p: Probability) について、頭蓋骨骨折率 p(頭部)と AIS4 以上の胸部傷害率 p(胸部)を用いて NHTSA 提案式¹⁰⁾に則し、次式(1)より求めた結果を表2に示す。

$$p(\text{頭部 and/or 胸部}) = p(\text{頭部}) + p(\text{胸部}) - p(\text{頭部}) \times p(\text{胸部}) \quad (1)$$

セダン、軽乗用車、SUV のいずれの車種と衝突した場合でも、衝突速度が 30 km/h 以下では、歩行者の重傷発生率は 5%以下であった。一方、衝突速度が 30 km/h を超えると車種により違いが生じるが、いずれの車種においても 10 km/h の速度低減により重傷発生率が低下することが示された。例えば、セダンの場合、衝突速度が 40 km/h 以上では重傷発生率が 16%以上となるが、30 km/h 以下では重傷発生率が 5%以下となる。軽乗用車の場合、衝突速度が 50 km/h では重傷発生率が 9%となるが、40 km/h 以下になると重傷発生率は 5%以下となる。SUV の場合、衝突速度が 50 km/h では重傷発生率が 95%であるが、40 km/h 以下では重傷発生率が 8%以下となる。

5. おわりに

有限要素解析による衝突速度が変化したときの歩行者被害の予測結果から、セダン、軽乗用車、SUV のいずれの車種と衝突した場合でも、衝突速度が 30 km/h 以下になると歩行者の重傷発生率が 5%以下になることが判明した。既に市場では、前方物体をセンサで検知し、警報やブレーキ制御の機能を保持した歩行者検知型被害軽減装置を搭載した車両が販売されている。本研究の結果から、こうした歩行者検知型被害軽減装置に求められる要件として、今回のモデルでの結果より、歩行者の重傷発生率を 5%以下に抑えるためには車両が歩行者を検知し歩行者位置における車両速度を「30 km/h 以下」に減速することが望まれる。今後、供試車種を増やし本結論を一般化していく予定である。

参考文献

1. 財団法人交通事故総合分析センター：交通統計 平成 23 年版 (2012)
2. 柴田英司：新開発ステレオカメラによる運転支援システム「EyeSight」の開発 自動車技術 Vol.63, No.2 pp.93-98 (2009)
3. 葛巻清吾：安全への取り組み 自動車技術, Vol.63 No.12 pp.11-16 (2009)
4. <http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html>
5. Maeno T., Hasegawa, J. Development of a finite element model of the total human model for safety (THUMS) and application to car-pedestrian impacts, 17th ESV conference, Paper No. 494. (2001)
6. 社団法人 人間生活工学センター, 日本人の人体計測データ (1997)
7. 財団法人交通事故総合分析センター：ITARDA インフォメーション, 2004 ; No53 : pp.2-3 (2004)
8. Mertz H.J. Injury risk assessments based on dummy responses, Accidental Injury, Springer-Verlag, pp.89-102 (2000)
9. Pintar F., Yoganandan N., Hines M., McFadden J., Saul R., Eppinger R., Khaewpong N., Kleinberger M. Chestband analysis of human tolerance to side impact, 41st STAPP Car Crash Conference, pp. 63-74, paper number 973320. Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA. (1997)
10. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Department of Transportation (DOT) Consumer information; New car assessment program, Docket No. NHTSA-2006-26555-0114 (2008)