

歩行者の頭部傷害に関する研究

自動車安全部
元自動車技術評価部
元成蹊大学

民田 博子
水野 幸治
中村 英大

山口 知宏 米澤 英樹

1. はじめに

我が国における全交通事故の全死者数のうち歩行者の死者は、約 27%を占めており、歩行者保護は重要な課題と考えられている。交通弱者の死者数を低減するために多様な交通事故における交通弱者の人体傷害の発生状況を明らかにする必要がある。本研究では、最も死亡率の高い歩行者の頭部の傷害発生の危険度を明らかにすることを目的とし、歩行者事故分析、マルチボディ解析プログラム MADYMO による車対歩行者衝突のシミュレーション、大人の頭部インパクト実験を行い、車による頭部傷害の発生状況、傷害の危険度について検討した。

2. 事故分析データ

全国事故統計を用いて歩行者の傷害を年齢別、車体形状別に検討した。さらに、頭部傷害については交通事故総合分析センターの事故調査データにより、衝突位置、傷害程度を調べた。

2.1. 歩行者事故分析データ

歩行者の年齢別・死傷者数を図 1 に示す。死者数では、就学年齢に達する 5 歳から 6 歳にひとつのピークが見られる。その後、40 歳ほどから死者数が増大している。負傷者数においても 5 歳から 6 歳にピークが見られる。これは道路への飛び出し等による所が大きいと考えられる。死亡率を見ると子供の死亡率は全体的に低くなっているが、6 歳以下では高くなる傾向があることがわかる。また、1988 年と 1997 年のデータを比較すると子供の死者数、負傷者数が減少している。これは、子供の人口の減少によると考えられる。

歩行者が事故に遭ったときの死亡率を車の形状別、歩行者の年齢別に分けて図 2 に示す。6 歳以下、7 歳から 12 歳の子供について見るとセダンでは死亡率がそれほど高くはないが、1BOX、特に SUV では

死亡率が高くなっていることがわかる。これは、子供の身長が低いため、バンパーなどの位置関係が大人と異なることが一因と考えられる。したがって、子供の歩行者の傷害には、車両前面形状が大きく関係していると考えられる。また、大人については歩行者の加齢により死亡率が上がる傾向を示し、65 歳以上では死亡率が急激に増加している。この要因と

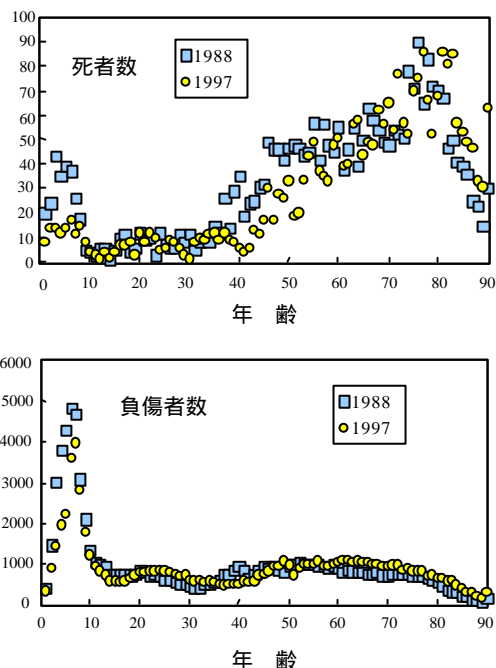


図 1 歩行者の年齢別・死傷者数

して高齢者の衝撃耐性が低いことが考えられる。また、車のクラス別では、SUV や 1BOX による死亡率が高い。これは、車体形状や剛性によるものと考えられる。

歩行者の受傷部位を図 3 に示す。速度の差の影響を少なくするために、危険認知速度を 40km/h 以下に限定した。また、歩行者の身長の影響を小さくす

るため13歳以上とした。この図より、どの車種においても死亡では、頭部が最も頻度の高いことがわかり、1BOX車では、他のクラスの車に比べて、死者、重傷者ともに頭部、胸部が加害部位となる割合が高

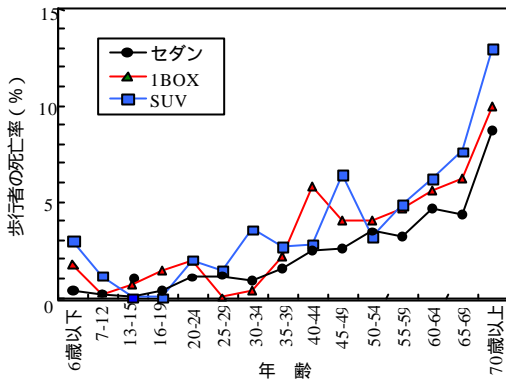


図2 車のクラス別の歩行者の死亡率

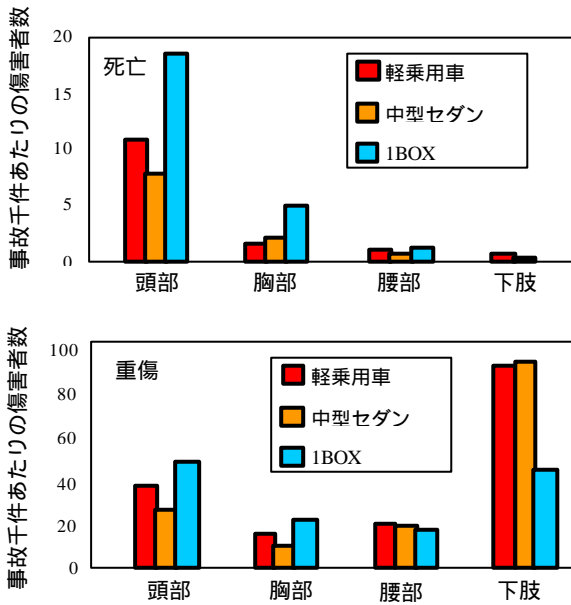


図3 歩行者の受傷部位 (全国データ)

いことがわかる。したがって、頭部傷害は、歩行者の死亡、重傷につながる確率が高いため歩行者の被害軽減をするためには、頭部傷害を分析することが重要であると考えられる。

2.2 頭部傷害内容

AIS 3以上と AIS 1, 2について頭部への加害部位および傷害の内容について図4に示す。AIS 3以上では、頭部傷害のうち脳損傷が主な原因になってお

り、ウィンドシールド、ウィンドシールドフレーム、Aピラーなどウィンドシールド周りの件数が多くなっている。このうちウィンドシールドはフレーム近くのものである。また、1BOX車によるフロントパネルも加害部位として大きな割合を占めている。一方、AIS 1, 2の軽傷では、挫傷や裂傷の占める割合が高くなっており、ウィンドシールドの占める割合が多くなっていることがわかる。歩行者の頭部がAピラーやウィンドフレーム、路面等の剛性の高い部位に衝突する場合には、頭蓋骨折が発生することがある。最近の車では短いフード長、ウェッジシェイプ等、車体前部形状が変わっている。このため、歩行者の頭部衝突位置も過去にはフードが多かったが、事故分析により国内の最近の車ではウィンドシールド、Aピラー等の車体後方部位の衝突頻度が多くなってきている。

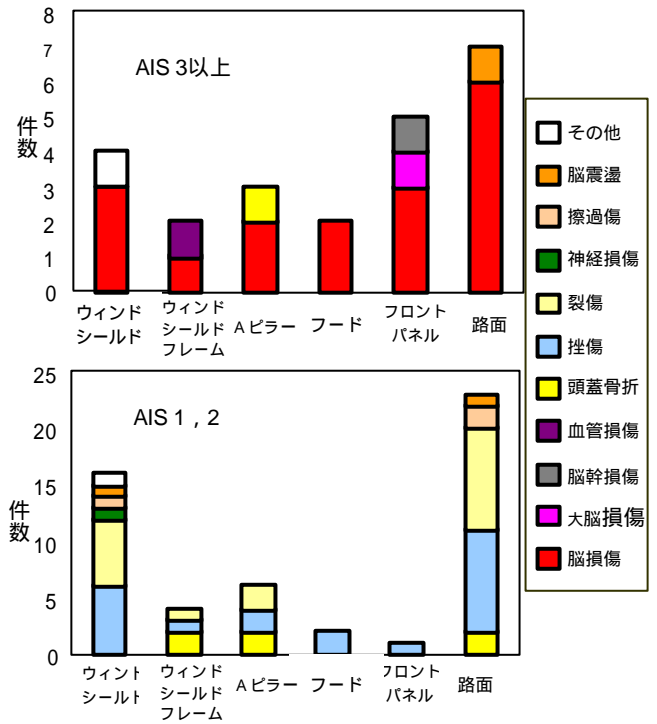


図4 頭部傷害

3 計算機シミュレーション

車と衝突時の歩行者の挙動、頭部の衝突状況を明らかにするためには、計算機シミュレーションが有効である。そこで、マルチボディより歩行者のモデルを作成し、歩行者衝突シミュレーションをおこなった。

3.1. 歩行者モデル

図5は歩行者モデルである。歩行者事故では高齢者の死者数が多くなっているため65歳の日本人男性の平均身長、体重に基づいてモデルを作成した。楕円体によって、接触力、各部の形状を表しており、各ジョイントには、死体及びボランティア実験から得られた人体特性に基づいて、モーメント、回転角関数を与えたこれにより人体に近い挙動を示すと考えられる。

3.2. 車体形状と歩行者の挙動

大きく形状の異なるボンネット車と1BOX車で歩行者衝突シミュレーションを行なった。図6に車体形状と歩行者の挙動を示す。ボンネット車では、下肢がバンパーとフードエッジによって大きな力を受けるため、下肢の傷害の危険性が高くなる。上体が回転して、頭部が高い速度でウィンドシールド下部と衝突するので、頭部傷害の危険性が高くなる。1BOX車では、歩行者全身がほぼ同時に車体に衝突する。胸部と腰部が直接車の進行方向に衝突するため、これら部位の傷害の危険性が大きくなることわかる。

3.3. 傷害値

シミュレーションより求めた歩行者の傷害値を図7に示す。傷害値として頭部傷害基準値 HIC (Head Injury Criteria), 胸部, 腰部, 大腿部の加速度 (3ms)

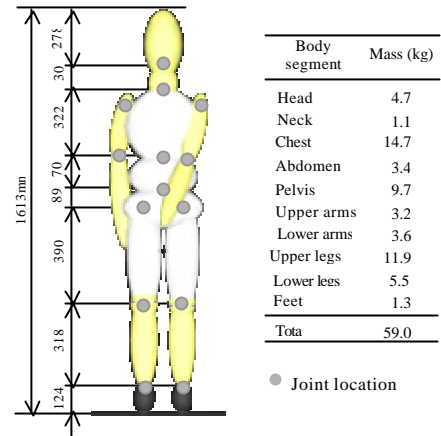


図5 歩行者モデル

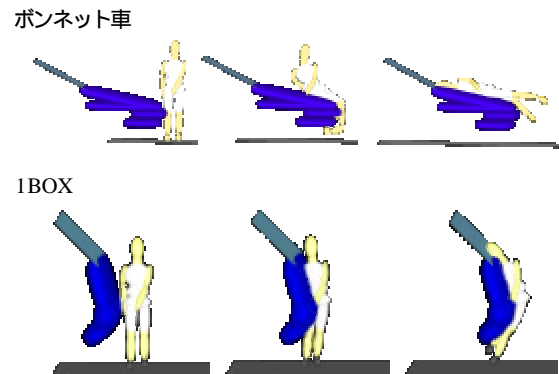


図6 車体形状と歩行者の挙動

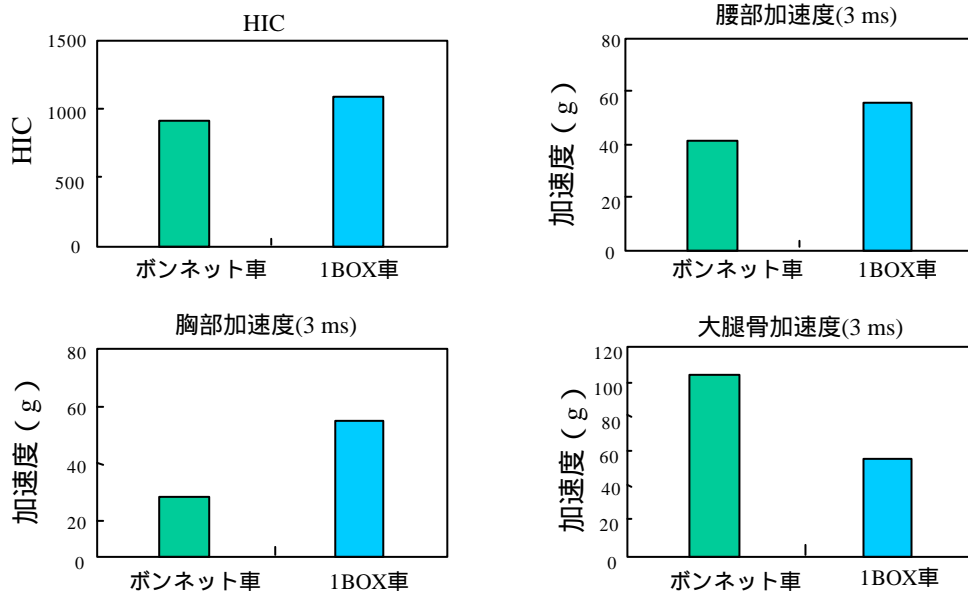


図7 シミュレーションより求めた傷害値

を用いた。加速度(3ms)は、持続時間3msにわたる最大加速度である。1BOX車と歩行者の衝突では、HICの値がボンネット車より高くなっている。これは頭部が剛性の高いウィンドシールドフレームと衝突したためである。しかし、HICについては頭部が衝突する部位に強く関連すること、また、路面との衝突もあることから、車体形状による頭部傷害の危険性についてはさらに検討が必要であると考えられる。また、胸部、腰部加速度については1BOX車の方がボンネット車よりも高くなり、大腿部加速度についてはボンネット車の方が高くなっている。したがって、ボンネット車の方が1BOX車よりも下肢傷害の危険性が高いが、胸部や腰部傷害の危険性は低いという結果が得られた。

4. 頭部インパクト実験

事故分析と計算機シミュレーションから、歩行者の頭部はウィンドシールドおよびその回りに衝突することがわかった。しかし、欧州の歩行者保護試験法(案)では頭部衝突位置はボンネットトップに限定されている。そこで、ウィンドシールドを含み頭部インパクト試験をおこなった。特にウィンドシールドに関してはウィンドシールド内の位置で頭部の衝突危険度が異なることを考慮して、ウィンドシールド内でフレームからの距離を変えて、HICの分布を調べた。

4.1. 実験方法

歩行者の頭部に対する車体各部の傷害発生の危険度を明らかにすることを目的として、頭部インパクト試験を行った。頭部インパクト実験の状況を図8に示す。この試験は頭部を模擬したインパクトを静止させた車にフリーフライト状態で衝突させ、頭部傷害基準値HICを測定するものである。実験に使用した頭部インパクトは、欧州歩行者保護試験法(案)によるもので、表皮と本体からなり、インパクト重心位置で加速度を測定する。衝突角度は、欧州歩行者保護試験法(案)に基づき水平面から65°とした。衝突速度は、40km/hである。頭部インパクトの質量は4.8kgである。打撃位置はウィンドシールド下部(中央)、フード/フェンダー境界、フードヒンジ、ルーフエッジ(中央)、Aピラー(上端、中央、ベルトライン)で車種は、1990年モデルの乗用車Aと1999年モデルの軽乗用車B、乗用車C、1BOX車Dである。なお、軽乗用車Bは、メーカー



図8 頭部インパクト実験状況

が歩行者対策をした車である。

4.2. 実験結果

試験結果より求めたウィンドシールド内のHIC値の等高線を図9に示す(なお、ウィンドシールドのうち上半分は文献(3)による)。ウィンドシールドではHICが1000以下の領域が多くなっている。したがって、頭部がウィンドシールドと衝突したときは、全体的に頭部の危険性は低いということがいえる。しかし、ウィンドシールドでもフレーム、Aピラー近くでは、頭部がこれらの部位とも接触し、これらの剛性の影響を受けるため、HICが高い値となっている。特に、ウィンドシールドフレームのコーナー部ではHICが5000を超える値となっている。

実験結果より求めた車体各部のHICを図10に示す。ウィンドシールドフレーム下部中央、ルーフエッジ中央、フード/フェンダー境界では、軽乗用車Bを除くと、乗用車Aと乗用車C及び1BOX車DではそれほどHICが変わっていないことがわかる。Aピラーは、どのモデルでもHICが4000を超えて

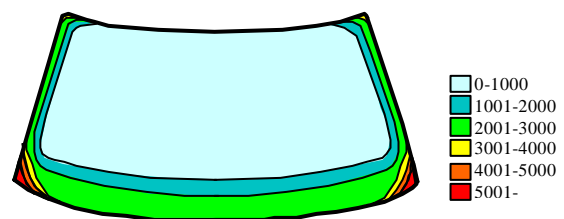


図9 ウィンドシールド内のHICの分布

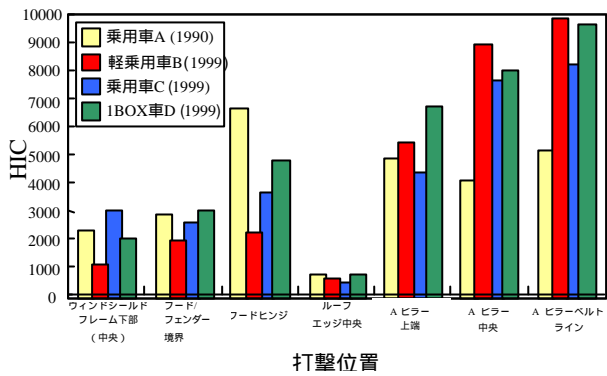
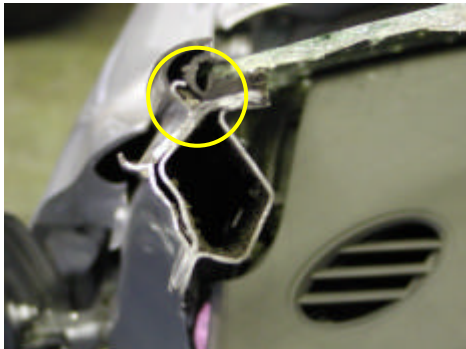


図 10 車体各部の HIC



乗用車 A (1990 モデル)



乗用車 C (1999 モデル)

図 11 Aピラー断面

おり、非常に高い値となっている。1990年モデルの乗用車 A と 1999 年モデルの車を比較すると 1999 年モデルの A ピラーでは、HIC 8000, 9000 といった値が出ていることがわかる。これは、図 11 に示すように A ピラー の構造が乗用車 A (1990) では、A ピラーが 1 枚の板からなっているが、乗用車 C (1999) では、A ピラーが 2 層、3 層へと変わったことで A ピ

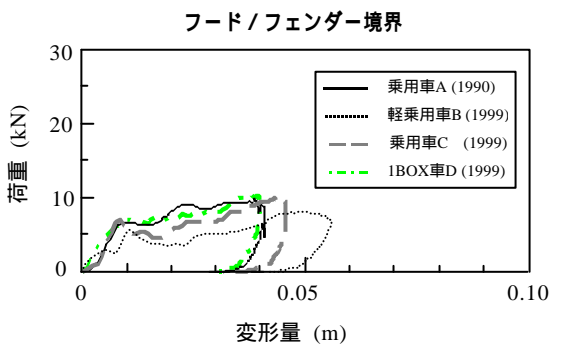
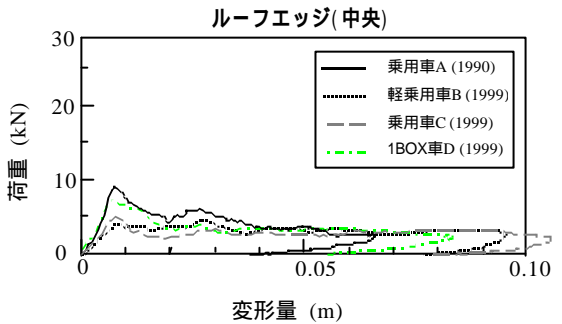
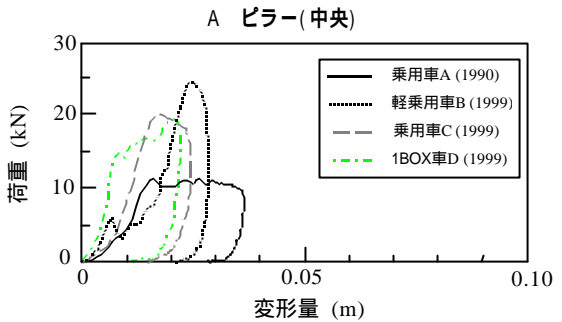
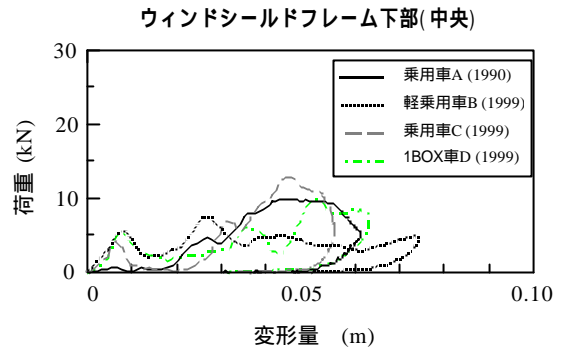


図 12 荷重変形量曲線

ラーによる HIC の値が高くなり頭部に重度の傷害を受ける確率は増加していると考えられる。次に、図 12 にフロントシールドフレーム下部(中央)、A ピラー(中央)、ルーフエッジ(中央)、フード/フェンダー境界の 4 つの打撃位置の荷重変形特性を示す。

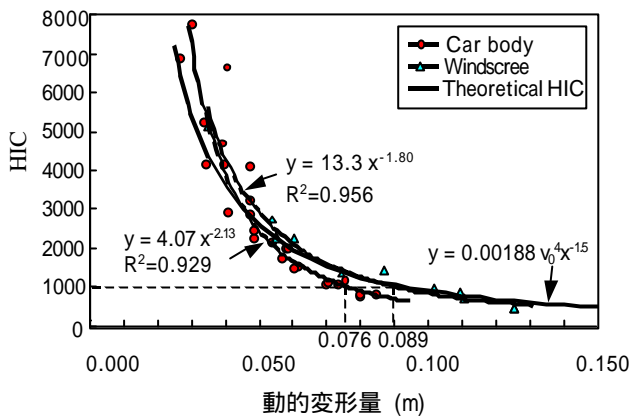


図 13 HIC と動的変形量の関係

ウィンドシールド下部(中央)では、軽乗用車 B が他の車種に比べて小さい荷重であり変形量も大きい。A ピラーでは、どの車においても変形量が小さくなっているが、特に 1999 年モデルにおいて最大荷重が大きくなっていることがわかる。ルーフエッジでは、ルーフエッジが曲がったため変形量が大きくなっている。

HIC と動的変形量 (40km/h) を図 13 に示す。図より HIC と動的変形量には強い関係があることがわかる。HIC は動的変形量が増加するほど減少している。すなわち、変形スペースが大きいほど、HIC は下がることになる。

HIC1000 が重傷の閾値になっているためこれ以下とするには、動的変形量が 76mm 必要であると考えられる。この変形量を A ピラーで確保することは、現時点では困難である。したがって、今後さらに研究が必要となると考えられる。

5. まとめ

数値シミュレーションと事故データより最近の車は、車体前部形状の変化により頭部の衝突位置がウィンドシールドおよびその周りに衝突する頻度が高いことを確認した。また、ボンネット車では下肢、1BOX 車では頭部や胸部に重度の傷害を受ける頻度が高いことが確認された。

HIC はウィンドシールドでは低い、ウィンドシールドフレームでは高く、最近の車では特に A ピラーの構造変化のため HIC が高くなっている。歩行者保護対策が行われている車では、ボンネットトップの HIC のレベルが下がっている。

変形スペースが大きいほど、HIC が下がるため重

傷の閾値である HIC1000 以下とするためには、動的変形量が 76mm 必要である。

6. 参考文献

- 1) 交通事故総合分析センター，交通安全公害研究所，名古屋大学，共同研究報告書，歩行者事故と歩行者傷害のための研究，平成 10 年度共同研究，平成 11 年 3 月，1998
- 2) 交通事故総合分析センター，交通安全公害研究所，名古屋大学，共同研究報告書，歩行者及び自転車事故における傷害低減のための研究，平成 11 年度共同研究，平成 12 年 3 月，1999
- 3) 乗用車前面窓ガラスおよびその周辺部の衝撃耐性と頭部傷害値，自動車研究，Vol.22, No.4, pp.179-182, 2000