

フルラップ前面衝突実験による 後席シートベルト着用の有効性の検討

松井靖浩*

水野幸治**

碓 孝浩***

富田賢一****

前面衝突時の後席乗員におけるシートベルト着用の有効性を明確にすることを目的とした。シートベルト着用/非着用の条件下で、後席乗員として女性ダミーと子どもダミーを搭載し、フルラップ前面衝突実験を遂行した。その結果、女性ダミーにシートベルトを着用させた場合、傷害の発生確率は低くなるが、シートベルト非着用の場合には、車室内構造物との衝突により特に頭部と大腿部の傷害発生確率は高くなることが判明した。子どもダミーにシートベルトを着用させない場合、前席を飛び越え車室内との衝突により、傷害が発生する可能性のあることが判明した。

Effectiveness of Wearing Seatbelt for Rear Seat Occupants in Full Frontal Rigid Barrier Impact Tests

Yasuhiro MATSUI*

Koji MIZUNO**

Takahiro IKARI***

Kenichi TOMITA****

The purpose of the present study is to clarify the effectiveness of seatbelt for rear seat occupants in frontal crashes. The Hybrid III AF05 and 3YO dummies were seated in the rear seat with belted or unbelted condition, and full frontal rigid barrier impact tests were carried out. For the belted AF05 dummy in the rear seat, the injury risk was low, on the other hand, when the AF05 was not belted, risks to head injury and femur fracture were particularly high due to contact with several locations in car interior. When the 3YO dummy was not restrained by the child restraint systems, the unbelted 3YO dummy was flied over the front seat, which resulted in the possibility of high injury risk due to contact with several locations in car interior.

* 交通安全環境研究所首席研究員

Senior Chief Researcher, Vehicle Safety Research Dept.
National Traffic Safety and Environment Laboratory

** 名古屋大学大学院工学研究科准教授

Associate Professor, Graduate School of Engineering,
Nagoya University

*** 自動車事故対策機構企画部部长

Director of Planning Dept., National Agency for
Automobile Safety and Victim's Aid (NASVA)

**** 国土交通省自動車交通局審査課課長補佐

Deputy Director of Vehicle and Component
Approvals Division, Road Transport Bureau,
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and
Tourism

原稿受理 2009年1月8日

1. はじめに

交通事故において後席乗員がシートベルトを非着用とした時の死亡率は、着用時の死亡率と比べ3.8倍高いことが報告されている¹⁾。後席乗員がシートベルトを非着用とした場合、車室内各部位や前席乗員等に衝突し、車両が回転挙動（スピンやロールオーバー）を示すと車外放出される可能性もあるため、死亡や重傷に至る可能性が高くなることが考えられる。交通政策審議会自動車交通部会では、後席シートベルトの着用促進および後席シートベルトをより着用し易いものとなるよう促進化を図ることを提言している²⁾。

改正道路交通法では、すでに義務化されている運転席・助手席と同様に2008年6月より後部座席のシートベルト着用が義務化された。米欧日豪韓中ではそれぞれ自動車アセスメント(New Car Assessment

Program: NCAPと呼称)により、新型乗用車の安全性評価を実施している。そこでは、前席乗員の被害軽減や歩行者保護を目的とした評価が実施されているが、わが国のJapan-NCAP(J-NCAP)では2009年より後席乗員の安全性評価も開始予定である。

本研究では、減速度が高く、拘束装置の評価に適するフルラップ前面衝突実験を実施することにより、後席シートベルトの有効性を明確にすることを目的とした。なお、一般的に乗用車助手席エアバッグの容量は大きいため、子どもは後席に搭乗させることが推奨されている。また一般家庭では、母親は子どもと一緒に後席に搭乗する機会の多いことが考えられる。そこで、本研究では、シートベルト着用/非着用の条件下で後席乗員として女性ダミーと子どもダミーを搭載し、フルラップ前面衝突実験を遂行することで、後席シートベルトの有効性を技術的に調査した。

2. 実験方法

2-1 衝撃方法

供試車両を固定壁へ前面フルラップ状態で衝撃させる実験状況をFig.1に示す。J-NCAPフルラップ前面衝突試験³⁾に則し、固定壁に対する車両の衝突速度は55km/hである。また同試験に則し、前席には成人男性の50パーセントの体格に相当するHybrid III AM50ダミー(男性ダミーと呼称)を運転席および助手席にシートベルトを着用した状態でそれぞれ搭載した。一方、後席には成人女性の5パー

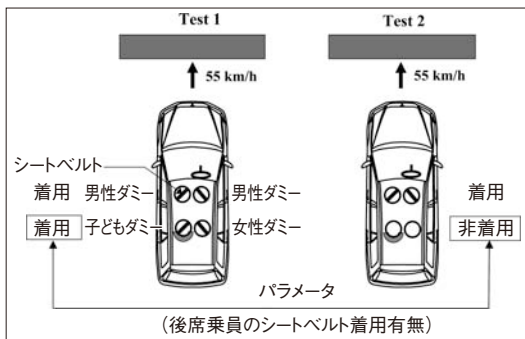


Fig. 1 実験セットアップ



Fig. 2 後席搭載ダミー

Table 1 供試車両の仕様

車両重量	1,220kg
ホイールベース	2,535mm
排気量	1,498cc
乗車定員	5

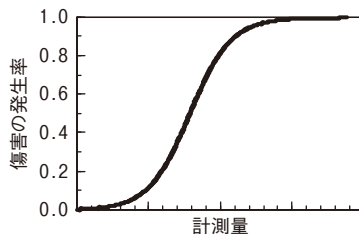


Fig. 3 傷害リスク曲線の概念図

セントイルの体格に相当するHybrid III AF05ダミー(女性ダミーと呼称)を運転席側の後方に搭載し、3歳児の体格に相当するHybrid III 3YOダミー(子どもダミーと呼称)を助手席側の後方に搭載した。

本研究の目的はシートベルトの有効性を調査することであるため、[Test 1]では後席に搭載したダミーにはシートベルトを着用させ、[Test 2]では非着用とした(Fig.2)。助手席側の後方には、チャイルドシートを後席に予め前向きに固定し、その上に子どもダミーを搭載した。[Test 1]では3点式シートベルトを女性ダミーに着用させ、5点式チャイルドシートハーネスを子どもダミーに装着させた。

なお、後席ダミーの設置に関しては、後席ヘッドレスト中心にダミー体幹の中心を合わせることで、

後席ダミーのヒップポイント位置を2実験形態ではほぼ一致させた。

2-2 供試車両

供試車両はボンネット型小型4ドアワゴン1車種とし、実験では2台使用した。車両諸元をTable 1に示す。

2-3 ダミー計測項目

男性ダミーおよび女性ダミーでは、頭部合成加速度、胸部たわみ量、胸部加速度、左右の大腿骨荷重を計測した。頭部合成加速度は、頭部重心位置近傍に装着された3軸方向の加速度計より計測される値より算出した。大腿骨荷重は、大腿骨の長手軸圧縮方向に作用する荷重計測値である。子どもダミーでは、頭部合成加速度および胸部たわみ量を計測した。

傷害リスク(傷害の発生確率)は傷害リスク曲線(傷害基準における計測量の大小と傷害の発生確率との関係)より求めた。参考までに傷害リスク曲線の概念図をFig.3に示す。横軸を計測量(例えば胸部たわみ量)、縦軸を傷害の発生確率としている。傷害リスク曲線は、頭部傷害についてはMertz⁴⁾が提案したHIC(Head Injury Criteria)を傷害基準とした曲線、胸部傷害および大腿部傷害についてはViano⁵⁾が提案した胸部たわみ量および大腿骨荷重

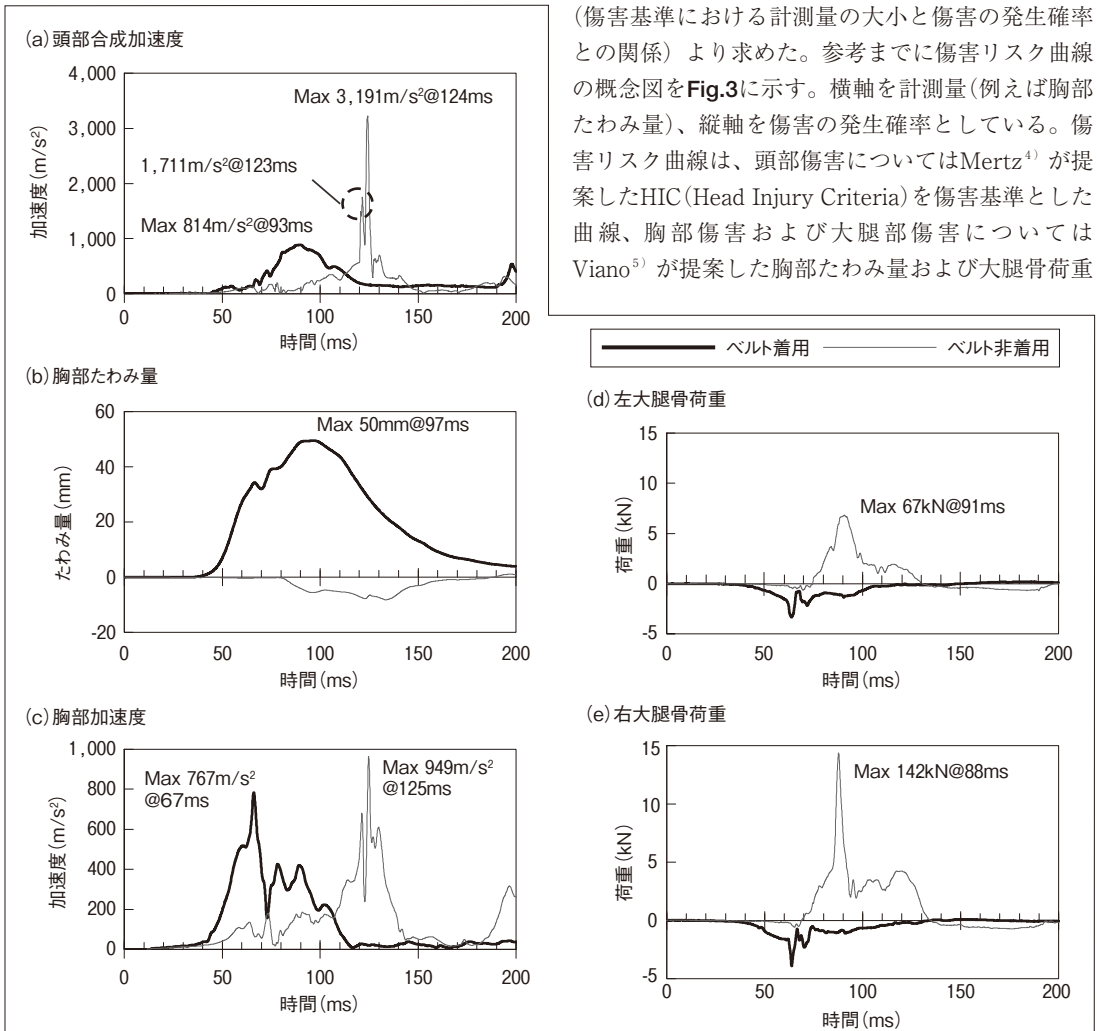


Fig. 4 女性ダミー計測値

を傷害基準とした曲線をそれぞれ用いた。これらの傷害リスク曲線は、男性ダミーを対象としたものである。本研究では男性ダミーのリスク曲線から女性と子どもへのスケーリングを行った。スケーリングでは、体格差を示すスケールファクター⁴⁾を考慮した。

3. 実験結果

3-1 ダミー計測値

1) 後席女性ダミー

女性ダミーに作用した頭部合成加速度、胸部たわみ



Fig. 5 123msにおける女性ダミーの挙動

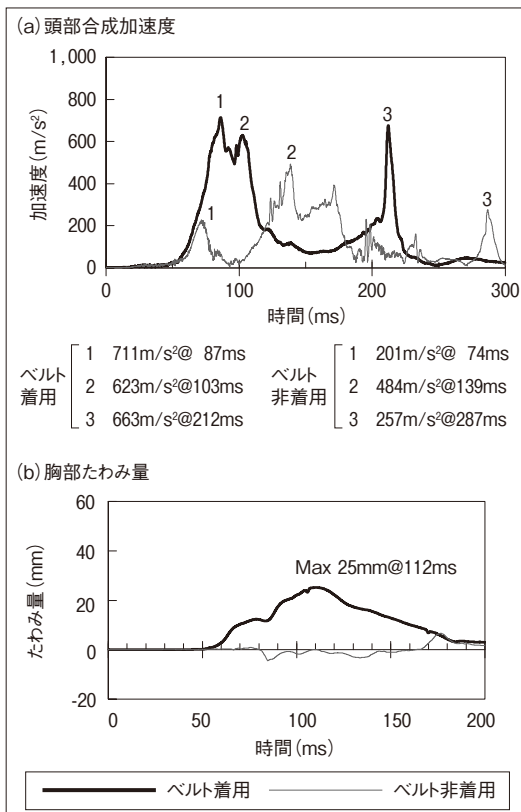


Fig. 6 子どもダミー計測値

み量、胸部加速度、左・右大腿骨荷重の各計測値時間履歴をFig.4に示す。車両バンパが固定壁に接触する時刻を0msとした。

シートベルト着用の場合、体幹部分はシートに固定されるため、頭部が慣性により前屈（空振）する。その際、頭部には加速度が約30msの時間を要し最大814m/s²作用した（Fig.4(a)）。体幹部分はショルダベルトで拘束され、胸部は最大50mm変位した（Fig.4(b)）。胸部加速度は、最大値（767m/s²）に到達した67ms以降に急落した。これは衝突初期では腰部がラップベルトで拘束されていたが、67msの時刻においてラップベルトが腰部より外れたことが原因であるものと考えられる。

シートベルト非着用の場合、女性ダミーは前方へ移動し、両膝が運転席シートバックに衝突する。車両が固定壁へ接触後約90msには、左側大腿部に6.7kN（Fig.4(c)）、右側大腿部に約14.2kN（Fig.4(d)）の最大衝撃荷重がそれぞれ作用した。123msでは、頭部は前席シートのヘッドレスト支柱に衝突し（Fig.5）、1711m/s²の加速度が作用した。さらに124msでは、頭部は運転席に着座させた男性ダミーの後頭部に衝突し、3191m/s²の加速度が作用した。

2) 後席子どもダミー

子どもダミーに作用した頭部合成加速度、胸部たわみ量の各計測値時間履歴をFig.6に示す。チャイルドシートハーネス着用の場合、体幹部分はシートに固定されるため、頭部が慣性により前屈（空振）

(a) 170ms



(b) 287ms



Fig. 7 子どもダミーの挙動

する。その際、頭部には加速度が約50msの時間を要し最大711m/s²作用した (Fig.6(a))。103msでは、顎と胸部との接触に伴い頭部に623m/s²の加速度が作用した。その後、頭部は212msでチャイルドシートバックに接触し、その際663m/s²の加速度が作用した。体幹部分は5点式チャイルドシートハーネスで拘束され、胸部は最大25mm変位した (Fig.6(b))。

チャイルドシートハーネス非着用の場合、子どもダミーは前方へ移動し、両膝が助手席シートバックに衝突する。その後、子どもダミーは助手席シートを飛び越え、139msで頭部がルーフに衝突し、その際484m/s²の加速度が作用した。170msで腰がルーフに衝突した (Fig.7(a))。287msで頭部が助手席インストルメントパネル上に衝突し (Fig.7(b))、その際257m/s²の加速度が作用した。

3) 前席男性ダミー

前席には、運転席、助手席にそれぞれ男性ダミーを搭載した。本研究では特に、後席ダミーの挙動により影響を受ける運転席に搭載した男性ダミーに着目した。男性ダミーに作用した頭部合成加速度、胸部たわみ量、左・右大腿骨荷重の各計測値時間履歴を Fig.8 に示す。運転席のエアバッグは、展開後、約100msで男性ダミー頭部のエネルギーを吸収し、その後しぼむ。後席に搭載した女性ダミーがシートベルトを非着用とした場合、エアバッグ展開終了後、124msで後席女性ダミーの顔部が運転席男性ダミーの後頭部に衝突するため、約2,729m/s²のピーク加速度が作用した (Fig.8(a))。その際、後席女性ダミーの上体部が運転席シートバックを前方へ押し出すため、男性ダミーの胸部は圧迫され胸部たわみ量はシートベルトを着用した場合と比べ最大13mm高い値を示していた (Fig.8(b))。大腿骨荷重については、後席AF05のシートベルト着用/非着用の条件による違いは無かった (Fig.8(c), (d))。

3-2 傷害リスク

1) 後席女性ダミー

後席女性ダミーについて傷害値からリスク曲線を用いて求めた頭部傷害、胸部傷害、大腿骨骨折のリスクを Fig.9(a) に示す。後席女性ダミーがシートベルト着用の場合には車室内との衝突が防止され、全体として傷害リスクは低かったが、ショルダーベルトからの負荷により重傷以上の胸部傷害リスク (AIS 3+) は73.3%を示した。なお、AISとはAbbreviated Injury Scale (簡易傷害度スケール) の略であり、事故直後の傷害程度を表すスケールである⁷⁾。主に

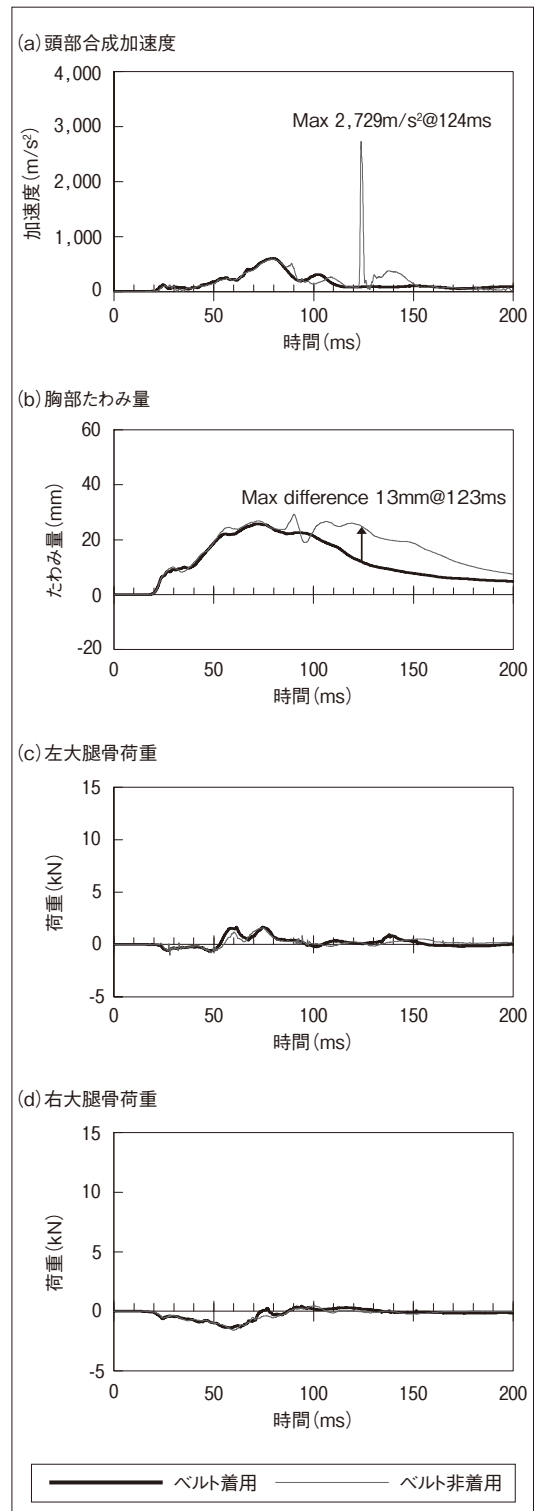


Fig. 8 前席搭載のシートベルトを装着した男性ダミー計測値

AIS 1(軽症)、AIS 2(中等症)、AIS 3(重症)、AIS 4(重篤)、AIS 5(瀕死)、AIS 6(救命不能)に分類されている。

これに対して、後席女性ダミーがシートベルト非着用の場合は、後席女性ダミー頭部が運転席男性ダミー頭部と衝突したため重篤以上の頭部傷害リスク(AIS 4+)は95.4%となった。また、後席女性ダミー膝部が前席シートバックに衝突することにより、大腿骨骨折のリスクが高くなった(右大腿骨骨折リスク 99.8%)。

2) 後席子どもダミー

後席子どもダミーについての頭部重篤、胸部重篤リスクをFig.9(b)に示す。後席子どもダミーにチャ

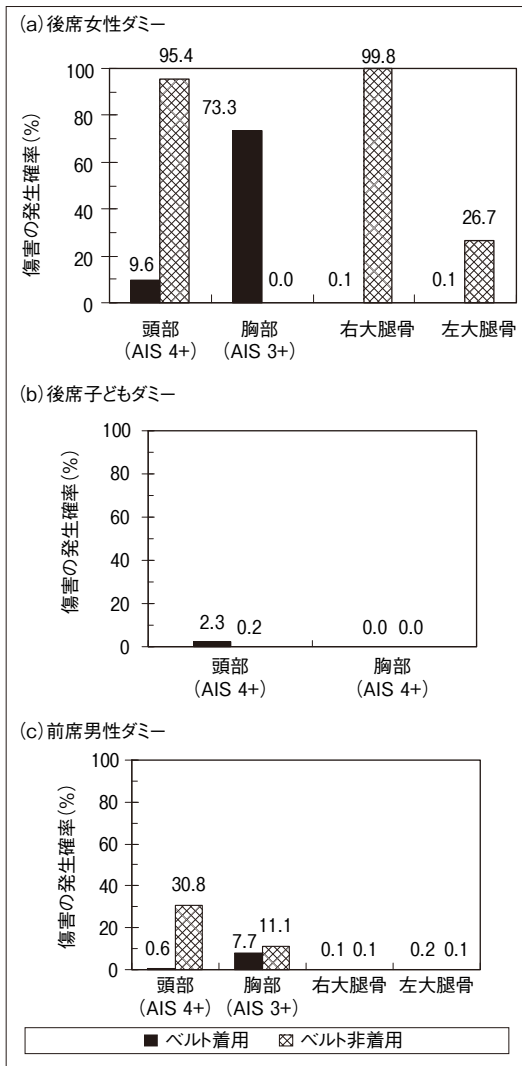


Fig. 9 傷害の発生確率

イルドシートハーネスを着用させた場合、頭部および胸部の傷害リスクは低かった。ハーネス非着用の場合には頭部、胸部で計測された傷害値は低かったが、下肢とシートバックの衝突や腰部とルーフとの衝突など、ダミーでは計測できない部位が車室内と衝突していた。

3) 前席男性ダミー

ここでは、3-1の3)節同様に後席ダミーの挙動により影響を受ける運転席男性ダミーに着目した。運転席男性ダミーについての頭部重篤、胸部重傷、大腿骨骨折のリスクをFig.9(c)に示す。後席女性ダミーがシートベルト着用した場合は運転席ダミーの頭部傷害リスク(AIS 4+)は低い値(0.6%)であった。一方、シートベルト非着用の場合には、後席ダミー頭部が運転席ダミー頭部に衝突したため、運転席ダミーの頭部傷害リスクは高い値(30.8%)となった。後席女性ダミーが運転席シートバックに衝突したことにより、シートバックを通して運転席ダミーが圧迫を受け、胸部傷害リスク(AIS 3+)も後席ダミーがベルト着用の場合(7.7%)に比べて大きな値(11.1%)となった。

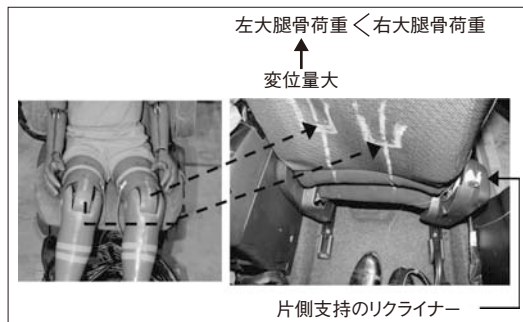


Fig. 10 左右の大腿骨荷重計測値が非対称となる要因

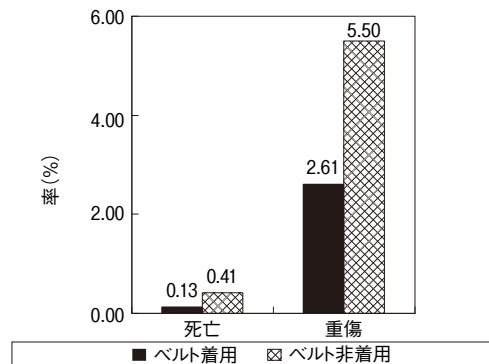


Fig. 11 わが国の車両相互前面衝突事故における後席乗員の重傷率、死亡率

4. 考察

シートベルト非着用の場合、後席に搭載した女性ダミーは前方へ移動し、両膝が運転席シートバックに衝突する。車両が固定壁へ接触後約90msには、左側大腿部に6.7kN(Fig.4(d))、右側大腿部に約14.2kN(Fig.4(e))の最大衝撃荷重がそれぞれ作用した。ここで左大腿骨荷重が右大腿骨荷重と比べ小さいのは、衝撃対象となる前席シートは右側を片持ちとしたリクライニング機構を有しているため(Fig.10)、前席シートでは左側の変位量が大きくなり、その結果、左大腿骨荷重が小さくなったものと考えられる。

本実験解析では、シートベルト非着用時の女性ダミー頭部が前席に搭載した男性ダミーの頭部へ衝突したため、直接接触時の頭部傷害指標として使用されているHICを基に頭部傷害リスクを求めた。シートベルト着用時の女性ダミー頭部は、体幹部分がシヨルダーベルトで固定されるため、頭部が前屈(空振)したが、本解析では比較のため、HICを用いた。ただし現時点で頭部傷害評価として確立されている指標は直衝撃条件下のHICのみであり、回転時の脳における傷害評価も含めた他の評価指標としての選択肢はない状況にある。

本実験で得られた後席乗員の傷害リスクと、わが国の車両相互前面衝突事故における後席乗員の死亡率・重傷率(平成9年から平成18年の全国交通事故統計データを用いたマクロ事故解析⁶⁾)とを比較する。Fig.9(a)に示す本実験結果の重篤以上の可能性を示す頭部傷害(AIS 4+)リスクに着目すると、後席女性ダミーにおいてシートベルト非着用時の頭部傷害リスク(95.4%)は、着用時の頭部傷害リスク(9.6%)と比べ大幅に高い傾向にあった。事故における後席乗員のシートベルト非着用時の死亡率(0.41%)は、着用時の死亡率(0.13%)と比べ3.2倍高

い傾向にある(Fig.11)。

重傷となる可能性を示す大腿骨骨折(AIS 3+)リスクに着目すると、後席女性ダミーにおいてシートベルト非着用時の右大腿骨の骨折リスク(99.8%)は、着用時の大腿骨骨折リスク(0.1%)と比べ大幅に高い傾向にある。事故における後席乗員のシートベルト非着用時の重傷率(5.50%)は、着用時の重傷率(2.61%)と比べ2.1倍高い傾向にある(Fig.11)。したがって、重傷率は、実際の事故においても実験結果と同様の傾向にあることが推定できる。ただしマクロ事故事例を用いた解析には限界もあるため、今後マイクロも含め、より詳細な事故調査を行っていく必要がある。

シートベルトを着用しない場合、後席乗員は慣性で移動し、前面衝突事故の場合には前方へ投げ出される。Shimamuraらは、わが国の交通事故(マイクロ事故事例)において、シートベルトを着用しない場合の後席乗員の挙動を三つのモードに分類している⁸⁾(Table 2)。モード1では、前席シートバックに衝突し、乗員の運動が停止する。モード2では、前席シートを飛び越える。モード3では、前席シート間(車両の中央部)を移動する。本実験では、右側後席に着座させた女性ダミーは、前席シートバックに衝突し、運動が停止しており(Fig.12)、モード1に分類される。モード1は実事故では最も頻度が高く、本実験結果は実事故に近いモードであることが推定される。

5. おわりに

本研究では、後席シートベルトの有効性を明確にすることを目的とし、シートベルト着用/非着用の条件下で後席に女性ダミーと子どもダミーを搭載し、J-NCAPフルラップ前面衝突と同条件の衝撃実験を遂行した。得られた知見を以下に示す。

(1)後席女性ダミーがベルト非着用の場合、前席男性

Table 2 わが国の交通事故におけるシートベルト非着用時の後席乗員挙動の分類モード分布

モード		後席乗員の着座位置			
		左	中央	右	合計
I	フロントシートにぶつかって止まる	42	6	34	82
II	フロントシートを越えて投げ出される	6	0	0	6
III	フロントシートの間を通過して移動	5	5	3	13



Fig. 12 本研究におけるシートベルト非着用の場合の後席女性ダミーの実験後の挙動

ダミー頭部との衝突により、頭部に $3,191\text{m/s}^2$ の加速度が作用した。同加速度値より、重篤以上の頭部傷害リスクは95%と推定された。さらに前席シートバックとの衝突により、大腿骨に 14.2kN の荷重が作用した。同荷重値より、大腿骨骨折リスクは99%と推定された。前席ダミーの頭部については、後席女性ダミーの顔部が前席ダミーの後頭部に衝突することで、頭部に $2,729\text{m/s}^2$ の加速度が作用した。同加速度値より、重篤以上の頭部傷害リスクは31%と推定された。

- (2)後席女性ダミーがベルト着用の場合、胸部最大変位は 50mm に達した。同値より、重傷以上の胸部傷害リスクは73%と推定された。
- (3)後席子どもダミーがベルト非着用の場合、車室内を広範囲に移動し、子どもダミーの腰はルーフに衝突した。ただしダミーの計測は限定(頭、胸部のみ)されているため、腰に関する傷害値は計測できなかった。
- (4)後席子どもダミーがベルト着用の場合、ほぼ無傷害となった。

本研究より、前面衝突時の後席乗員においてシートベルト着用の有効性が技術的に示された。なお、ここでは後席乗員にシートベルトを着用させた場合でも、胸部傷害が発生する可能性の高いことが示された。

改正道路交通法では、2008年6月より後席乗員のシートベルト着用が義務化された。ただし後席においては、シートベルトのバックル部がシート中に潜り込み、装着が困難な車両も見受けられる。今後は後席乗員の安全性向上とシートベルトの使いやすさの両面からの改良が必要と考える。

参考文献

- 1) 警察庁『シートベルトの着用状況について』2007年
- 2) 交通政策審議会陸上交通分科会自動車交通部会『交通事故のない社会を目指した今後の車両安全対策のあり方について』2006年
- 3) 自動車事故対策機構・国土交通省『自動車アセスメント詳細版 車種別安全性能比較評価一覧』2007年
- 4) Mertz H., Irwin A., Prasad P.:Biomechanical and scaling bases for frontal and side impact injury assessment reference values, 47th Stapp Car Crash Conference, 2003-22-0009, 2003
- 5) Viano D.C., Arepally S.:Assessing the Safety Performance of Occupant Restraint Systems, SAE Paper 902328, 1990
- 6) 交通事故総合分析センター『交通事故例調査・分析報告書,平成19年度報告書』2008年
- 7) 日本外傷学会、(財)日本自動車研究所『AIS90 日本語対訳版』2003年
- 8) Shimamura M., Yamazaki M., Fujita G.:Method to evaluate the effect of safety belt use by rear seat passengers on the injury severity of front seat occupants, Accident Analysis and Prevention, Volume 37, Issue 1, pp. 5-17, 2005