

講演 1. 前面衝突試験の胸部傷害指標に関する調査

自動車安全研究領域

※田中 良知 細川 成之 山口 大助

松井 靖浩

自動車審査部

澤村 崇

名古屋大学

水野 幸治 (客員研究員)

1. はじめに

日本では、前面衝突安全基準としてフルラップ衝突とオフセット衝突の二種類の衝突試験が義務化されている。オフセット衝突の試験基準については、車両等の型式認定相互承認協定（いわゆる 1958 年協定、以下 58 協定）により欧州と同じ基準を採択している。

2008 年より、58 協定の前面衝突基準の改正を検討するために、国際連合の自動車基準調和世界フォーラム（以下 WP29）の衝撃吸収分科会（以下 GRSP）の下で、インフォーマル会議が開催されてきた。同会議ではオフセット衝突試験に加え、新たにフルラップ衝突試験を導入することが提案された。日本は、前面衝突基準について 58 協定を採択していることから、この基準改正の内容を取り入れることが求められるため、インフォーマル会議に参加して、改正内容が日本の交通状況において安全向上につながるものとなるように働きかける必要があった。

日本における前面衝突事故での死傷者低減に有効な対策を検討するためには、日本での前面衝突事故の実態を把握する必要がある。そこで、まず近年の日本における前面衝突事故について調査を行った。

また、日本では既にフルラップ衝突とオフセット衝突の二種類の前面衝突基準が義務化されているが、乗員の安全を評価する傷害指標のうち胸部の指標が、導入時期の違いにより、二つの前面衝突基準で異なっている。58 協定にフルラップ衝突基準を新たに導入する検討において、その傷害指標はオフセット衝突と同じものが提案された。そのため、フルラップ衝突で採用されている胸部加速度と、オフセット衝突で採用されている胸たわみのどちらの胸部傷害指標が胸部傷害を評価するのに適切であるか、調査が必要となった。シートベルトは乗員の安全性向上に寄与しており、必要不可欠な保護装置であるが、衝突事故時に、シート

ベルトが乗員を拘束することから、前面衝突事故において乗員が胸部を受傷する場合の加害原因として、シートベルトの占める割合が高いことが、過去の事故調査で報告されている¹⁾。そこで、シートベルトから乗員にかかる荷重が異なる条件で実車衝突実験を実施して、ダミーの胸部傷害値の比較を行い、前面衝突試験に適切な胸部傷害指標について調査を行った。

さらに、現在の前面衝突試験では、乗員の傷害を評価するためのツールとして、Hybrid III AM50 ダミーを使用している。このダミーは、オフセット衝突の胸部傷害指標である胸たわみを、一ヶ所の変位計で計測している。シートベルトから乗員に入る荷重は、シートベルトの経路に沿っていると考えられるため、シートベルト経路と変位計の位置の違いにより、胸たわみの計測値に影響がある可能性が考えられる。しかしながら、現在の基準ではシートベルト経路についての規定は定められていない。そこで、シートベルト経路の異なる条件で、スレッド衝突実験及びコンピューターシミュレーションを実施して、ダミーの胸たわみについて比較を行い、シートベルト経路の違いがダミーの胸たわみの計測値に与える影響について調査を行った。

2. 事故調査

2. 1. マクロ事故調査

日本における前面衝突事故の実態を把握するために、エアバッグを搭載した 2.5t 以下の乗用車の前面衝突事故のうち、シートベルトを着用した前席乗員の死傷事故について、2007 年から 2011 年の 5 年分のマクロ事故調査を実施した。2.5t 以下の乗用車に限定したのは、オフセット衝突試験基準の対象となる車両の事故を調査対象としたためである。また、現在販売されている乗用車の多くにエアバッグが搭載されていることから、エアバッグ搭載車両に限定して調査を行った。

図1に運転席及び助手席の死亡・重傷・軽傷事故における「男性18～64歳」、「男性65歳以上」、「女性18～64歳」及び「女性65歳以上」の割合を示す。65歳以上の高齢者の死亡者の割合は軽傷者数の割合に比べ、男性の場合は運転席で約4倍、助手席で約3.3倍、女性の場合は運転席で約1.5倍、助手席で約3.3倍と高くなっている。高齢者の人体耐性が低く、事故が起きた場合に死亡事故につながりやすいためと考えられる。交通事故死亡者数低減のためには、高齢者の対策が必要と考えられる。性別について、死亡者数で運転席の約28%、助手席の約77%が女性であり、助手席の女性の割合が高かった。日本において、助手席に女性が乗車する割合が高く、助手席の女性乗員保護対策が必要と考えられる。

■ 男 18～64歳 ■ 男 65歳以上 ■ 女 18～64歳 ■ 女 65歳以上

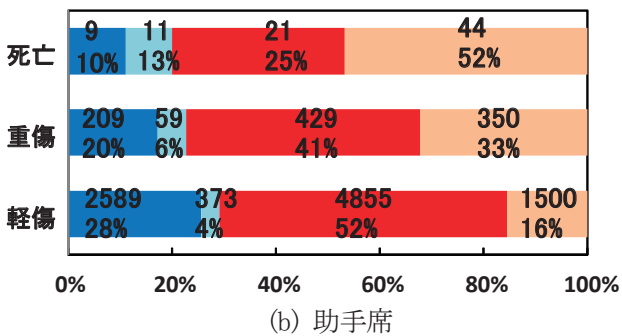
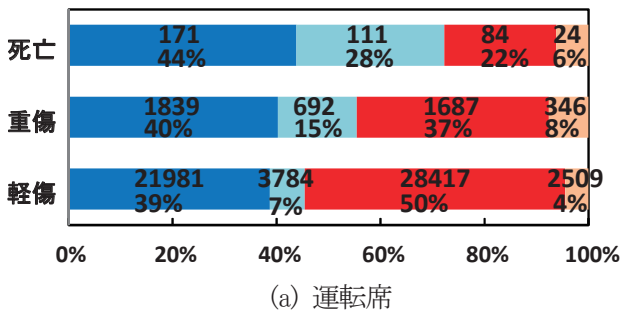


図1 性別・年齢別死傷者割合

図2に、死亡事故における前席乗員の損傷主部位の割合を示す。運転席、助手席ともに「胸部」が占める割合が最も高く、次いで運転席では「頭・顔部」が、助手席では「腹部」が高かった。

衝突事故時のエネルギー量を評価するための指標として、衝突前後での速度変化量（以下 ΔV ）がある。車両の持っている運動エネルギー量が車両の質量と速度で決まることから、衝突前後での ΔV が衝突前後でのエネルギー変化量を表すと考えられるためである。他方、日本のマクロ事故調査においては、車両が衝突したとき速度のデータが無い場合、 ΔV の算出が

出来ない。そのため、危険認知速度（衝突の危険を認知したときの走行速度）から算出する擬似的な速度変化量（以下擬似 ΔV ）が ΔV の代わりに用いられている。図3に、衝突時の擬似 ΔV 毎の「頭・顔部」、「胸部」及び「腹部」が損傷主部位の前面衝突事故の死亡重傷率を示す。死亡重傷率は、分子を死亡者数と重傷者数の和、分母を死亡者数と重傷者数と軽傷者数の和で算出した。過去の調査において、前面衝突事故での衝突時の実際の ΔV は擬似 ΔV の約80%と推定できることが報告されている²⁾。前面衝突基準の衝突速度である50km/hと推定できる擬似 ΔV は約62.5km/hであり、図において60km/h以下の範囲の死亡重傷率は、「胸部」が他の部位に比べて特に高くなっている。死亡者数で「胸部」が損傷主部位の事故が多く、「胸部」の死亡重傷率が高いことから、日本において「胸部」の保護性能の向上が必要と考えられる。

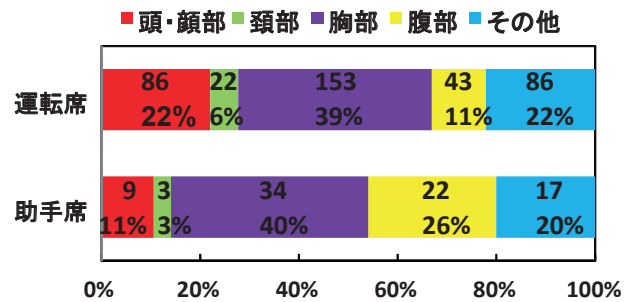


図2 死亡事故損傷主部位割合

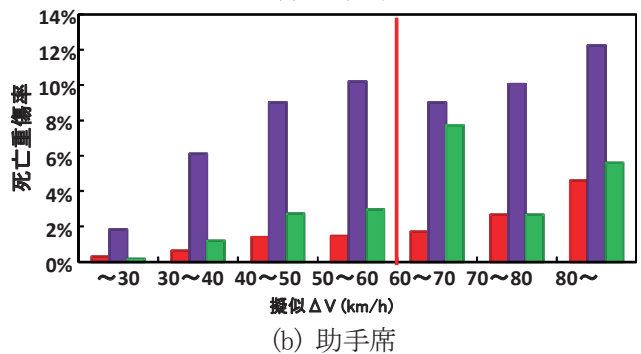
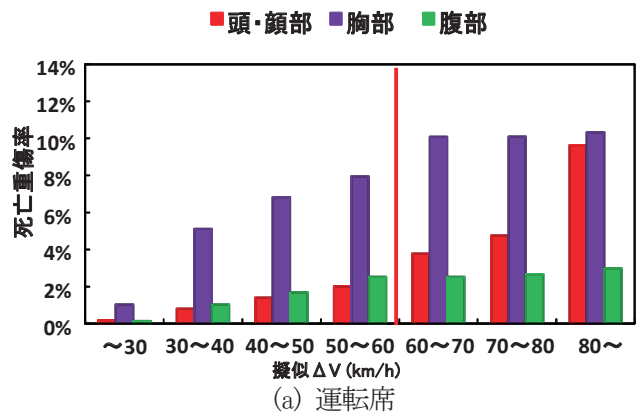


図3 擬似 ΔV 毎損傷主部位別死亡重傷率

3. シートベルトから乗員にかかる荷重違いに関する調査

3. 1. 実車衝突実験条件

前面衝突時の乗員保護装置として、一般にシートベルトとエアバッグが多く使用されている。これらの装置の普及は乗員の安全性向上に寄与し、交通事故死者数の削減に大きく貢献している。ただし、これらの保護装置は乗員を拘束するときに、保護装置を通して乗員に荷重がかかることから、衝突時の乗員安全のために必要な装置でありながら、乗員に対する加害部位にもなっている¹⁾。今回、シートベルトフォースリミッター及びエアバッグ有無の条件で、フルラップ衝突基準の試験方法に従って衝突実験を行いダミーの胸部傷害値について比較、それぞれの拘束装置が胸部傷害値に与える影響について調査を実施した。シートベルトフォースリミッターは、シートベルト張力を一定に保ち、シートベルトから乗員に過大な荷重がかかることを防ぐ装置である。

図4に前面衝突実験の状況を示す。基準の試験方法に従い、運転席及び助手席に Hybrid III AM50 ダミーを搭載して、50km/h の速度で固定壁に衝突させた。

図5に実験に用いた車両の写真を示す。2001年に生産が開始された小型乗用車を用いて実験を行った。

表1に実験条件を示す。エアバッグの有無、シートベルトフォースリミッターの有無の計四条件で実車衝突実験を実施した。

表1 実験条件

		エアバッグ	
		有り	無し
シートベルト フォースリミッター	有り	テスト1	テスト3
	無し	テスト2	テスト4

3. 2. 実車衝突実験結果

図6に、運転席及び助手席のシートベルト肩部張力の計測値の時間履歴を示す。図の値は、衝撃の加わる実験で得られた計測値の不要な高周波ノイズを取り除くために、米国自動車技術会規格 SAE J211 で定義される CFC (Channel Frequency Class) フィルタのうち、CFC60 のフィルタを適用している。シートベルトが乗員の胸部を拘束することから、シートベルト張力のうち車両の前後方向に働く成分が、シートベルトから乗員の胸部の前後方向 (胸部を圧迫する方向) にかかる荷重となる³⁾。運転席と助手席のどちらも、フォースリミッター有りのテスト1と3の波形、フォースリミッター無しのテスト2と4の波形は、張力が上昇しているときの波形及び最大値がほぼ同等であった。シートベルト張力の最大値は、フォースリミッター無しの場合は運転席と助手席のどちらも約9kNであり、フォースリミッター有りの場合は運転席で約6kN、助手席で約5kNと運転席の方が大きかった。これは、運転席にはステアリングがあり、乗員の前方移動量を助手席より小さくする必要があるので、運転席のベルト張力の方が高く設定されているためと考えられる。

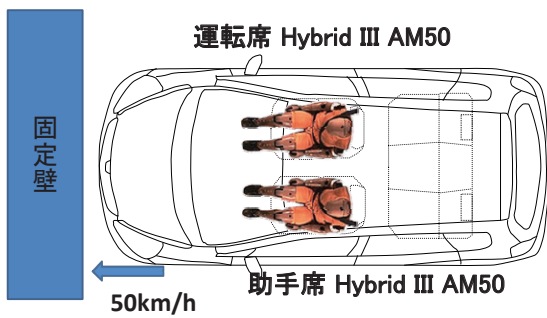
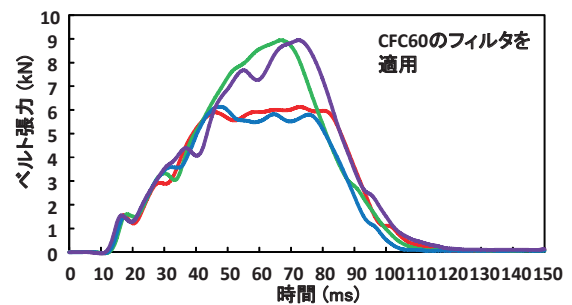


図4 前面衝突実験

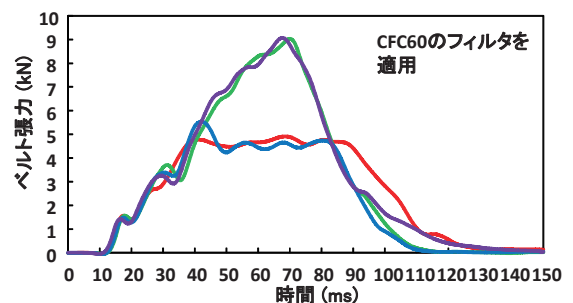


図5 衝突実験車両

— テスト1 — テスト2 — テスト3 — テスト4



(a) 運転席

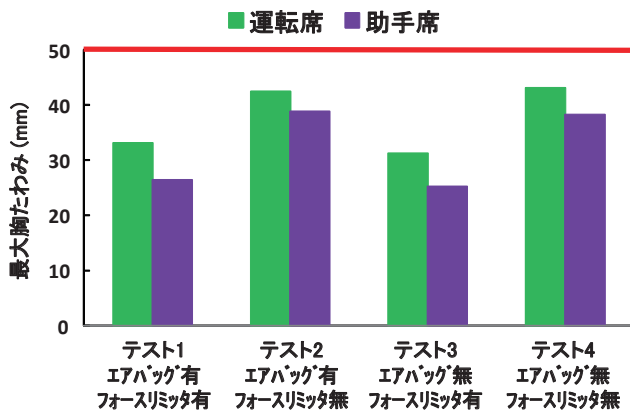


(b) 助手席

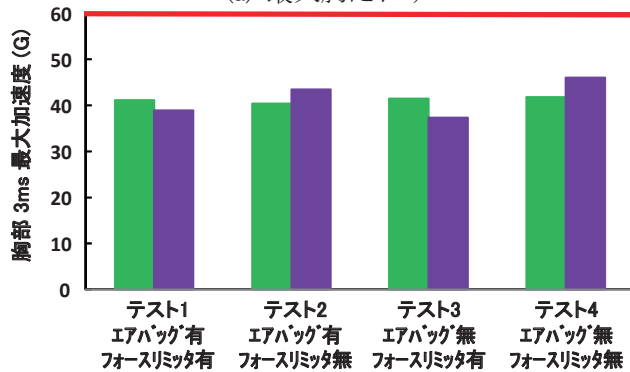
図6 シートベルト張力の時間履歴

胸部傷害値は、胸たわみでは最大値、胸部加速度では3ms最大加速度(3ms以上保持した加速度の最大値)で基準値が定められている。図7に最大胸たわみ及び胸部3ms最大加速度の運転席及び助手席の計測値を示す。赤線が基準値を示す。全ての実験で胸部傷害値は基準を満足していた。どちらの傷害値も、フォースリミッタ有りの場合のテスト1と3、フォースリミッタ無し場合のテスト2と4の計測値がほぼ同等であった。フォースリミッタの有無による傷害値の差に着目すると、3ms最大加速度は運転席では大きな差が見られないものの助手席では差が認められた。一方、最大胸たわみでは明確な差が認められた。この結果から、シートベルトから乗員の胸部へかかる荷重を評価する指標として、胸たわみの方がより適切に評価できると考えられる。

エアバッグ有無による胸たわみ最大値及び胸部3ms最大加速度の差に着目すると、フォースリミッタ有りの条件であるテスト1と3及びフォースリミッタ無しの条件であるテスト2と4で、最大胸たわみと3ms最大加速度のどちらも差は見られなかった。今回の実験において、エアバッグの胸部傷害値への寄与は小さいと考えられる。



(a) 最大胸たわみ



(b) 胸部3ms最大加速度

図7 胸部傷害値

4. シートベルト経路違いに関する調査

4. 1スレッド実験条件

基準の前面衝突試験に使用されている Hybrid III AM50 ダミーでは、胸たわみを一ヶ所の変位計で計測している。シートベルトから乗員にかかる荷重はシートベルトに沿っているため、シートベルト経路の違いにより、胸たわみの計測値に影響がある可能性が考えられる。そこで、スレッド実験によりシートベルトの経路の違いが胸たわみの計測値に与える影響について調査を実施した。

図8にダミーの胸部変位計の位置を示す。ダミーの顎から約240mm下側の位置に変位計の計測点がある。

図9に、スレッド実験の状況を示す。スレッド試験機に搭載できるように改造した車体に、運転席シート、インストルメントパネル、ステアリング及びシートベルトを取り付け、運転席に Hybrid III AM50 ダミーを搭載して、衝突速度 50km/h のフルラップ前面衝突試験を模擬した加速度波形でスレッド試験機を作動させる前面衝突模擬スレッド実験を実施した。

図10にシートベルト経路条件を示す。肩部アンカー位置が最上端の設定で、シートベルトが肩部中心付近を通り、ダミー中心で顎とベルトの距離が 150mm の経路を標準 (図10(b)) とし、ベルトが肩部で首に接触し、ダミー中心で顎とベルトの距離が 100mm の経路を上側 (図10(a))、ベルトが肩部外側を通り、ダミー中心で顎からベルトの距離が 230mm の経路を下側 (図10(c)) とする三種類のシートベルト経路で実験を実施した。(c)の下側のベルトの経路が、胸部変位計の計測点付近の上を通っている。

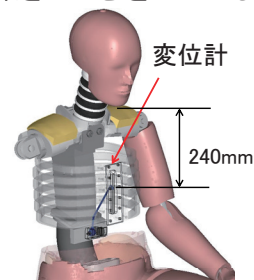


図8 ダミー胸部変位計位置

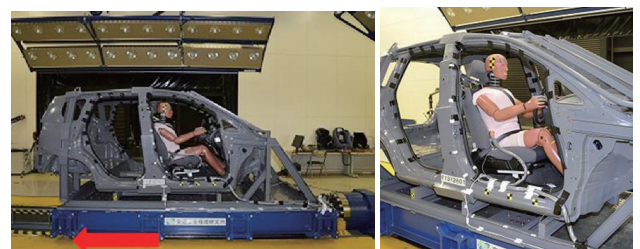
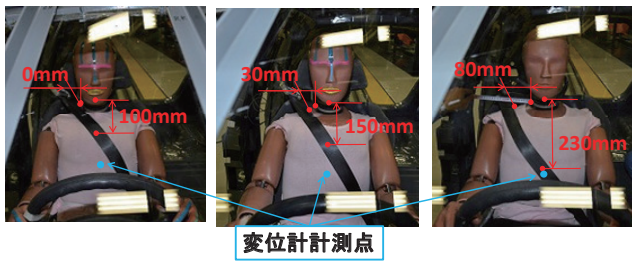


図9 スレッド実験状況



(a) 上側 (b) 標準 (c) 下側

図10 シートベルト経路条件

4. 2. 実験結果

図11に、胸たわみの計測値の時間履歴の比較を示す。シートベルトが胸部変位計の計測点の上を通る(c)の下側の条件が最もたわみ量が大きく、(b)の標準の条件が二番目、(a)の上側の条件が最も小さかった。

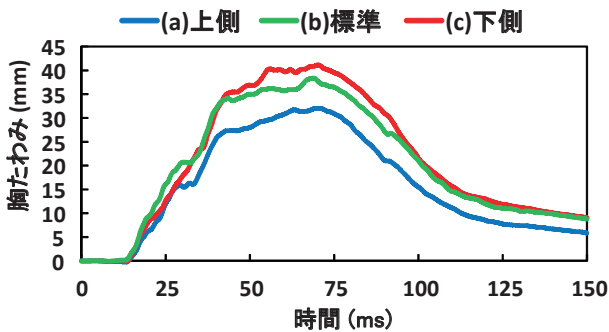


図11 胸たわみ計測値時間履歴

今回の実験において、シートベルト経路の違いにより、前面衝突基準の傷害指標である胸たわみが小さく計測される可能性のあることが確認できた。試験において乗員の安全性を正しく評価するために、シートベルト経路の要件を基準に規定する必要があると考えられる。

4. 3. シミュレーション条件

シミュレーションは、ダミーモデルを用いて行い、シートベルト経路の違いが胸たわみの計測値に与える影響について調査した。

図12に、シミュレーションにおけるシートベルト経路条件を示す。エアバッグの無い後席乗員をモデルとして、シートベルトフォースリミッタ無しの条件で50km/hのフルラップ前面衝突試験を模擬したシミュレーションを実施した。シートベルト経路は、肩の中心を通る経路を標準とし、ベルトが肩部で首に接触する経路を上側、左腕上部を通る経路を下側とした。実験では、シートベルトは肩部の上を通るようにしたが、シミュレーションではシートベルト経路の違いを明確にするため、ダミー中心部を通るシートベルト中心位置の間隔を、より広く設定した。そのため、シ-

ートベルト経路が下側の条件では、シミュレーションの場合の方が実験の場合より下側の経路を通っている。

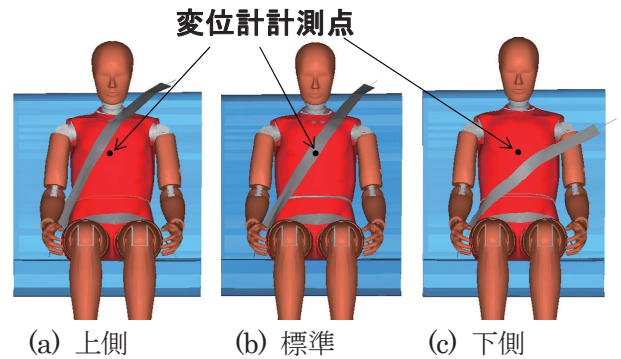


図12 シミュレーションにおけるシートベルト経路条件

4. 4. シミュレーション結果

図13に、胸たわみのシミュレーション結果の時間履歴を示す。胸たわみの最大値はシートベルト経路が(b)の標準の条件が最も大きく、(a)の上側及び(c)の下側の条件のどちらも胸たわみの最大値は小さくなった。その差は大きく、シートベルト経路の違いが胸たわみの計測値に影響を与えることがシミュレーションによっても確認できた。

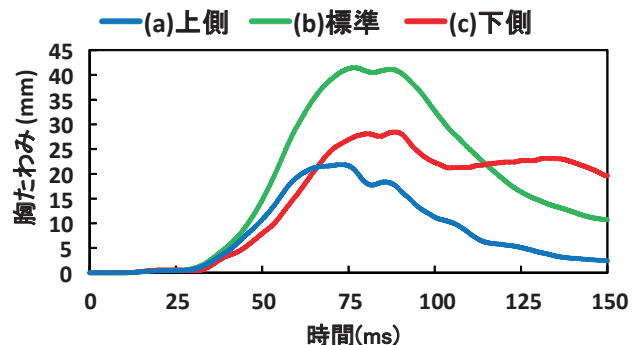


図13 胸たわみのシミュレーション結果の時間履歴

胸たわみがほぼ最大となる80msでの、シートベルト経路違いによる胸部の歪みの違いについて図14に示す。シートベルトの経路に沿って大きな歪みが発生しており、最大歪みの発生する場所はシートベルトの経路の違いにより異なった場所になる。

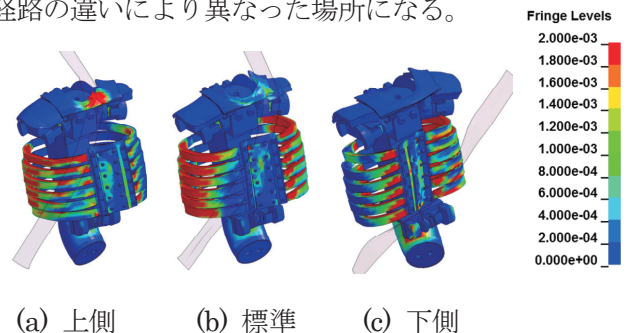


図14 ダミーモデル胸部歪み

5. まとめ

今回の調査で、日本での前面衝突死亡事故において、運転席では男性乗員が、助手席では女性乗員が多いこと、高齢死亡者数の占める割合が高いこと、「胸部」が損傷主部位の死亡事故が最も多いこと、衝突基準の速度以下の事故では「胸部」の死亡重傷率が他の部位に比べ特に高いことが確認できた。高齢者の保護対策及び胸部受傷の低減対策として、胸部傷害指標である胸たわみの傷害基準値をより厳しくすることが考えられる。現在の基準では、全年齢乗員で胸部傷害が発生する確率から傷害値が定められている（肋骨が三本以上折れる程度の傷害が発生する確率が 50%、Hybrid III AM50 ダミーの場合最大胸たわみ 50mm）が、これを 65 歳以上の高齢者乗員で胸部傷害が発生する確率から定まる値（上記と同じ傷害が発生する確率、Hybrid III AM50 ダミーの場合最大胸たわみ 42mm）に変更する案がインフォーマル会議で提案された。

また、前面衝突試験の胸部傷害指標について、胸たわみと胸部加速度を比較すると、シートベルトから乗員にかかる荷重の違いに対して、3ms 最大加速度より最大胸たわみの方がその差を明確に判断できた。このことから、胸部加速度より胸たわみの方が、乗員の胸部受傷の可能性をより適切に評価できる指標であると考えられる。

他方、シートベルト経路の違いにより、ダミーによる胸たわみの計測値に差が生じる可能性があることが確認できた。現在の前面衝突基準ではダミー搭載方法にシートベルト経路は規定されていないため、乗員の安全性について正しく評価するためにはシートベルト経路を規定する必要がある。そのため、当研究所が中心となって、シートベルト経路が定まるように前面衝突試験のシートベルト装着方法を作成した。装着方法を検討したときの様子を図 15 に示す。



図 15 シートベルト装着方法検討の様子

これらの調査結果から、前面衝突基準の改正で導入されるフルラップ衝突の試験法において、運転席では男性ダミーを、助手席では女性ダミーを使用して助手席での女性乗員の安全性向上を図ること、胸たわみの傷害値について、高齢者の耐性値から定められる値に変更して胸部保護性能の向上と高齢者の安全性向上を図ること、胸部傷害指標を胸たわみとするにあたりダミーのシートベルト装着方法を基準に規定することを日本から提案した。これらの提案を織り込んだフルラップ衝突新基準が 2015 年 5 月の GRSP 会議で合意され、2015 年 11 月の WP29 会議で採択される予定である。それに伴い、日本のフルラップ前面衝突試験も新たに導入される試験方法と同じ内容に変更される予定である。

参考文献

- 1)国土交通省、平成 24 年度車両安全に資するための医工連携による交通事故の詳細調査分析結果報告書、(2013)
- 2) (公財)交通事故総合分析センター、前面及び後面衝突事故の衝突速度 ΔV の推定精度向上に関する研究、(2012)
- 3)岩中泰樹ほか、自動車前面衝突における乗員の胸部傷害指標の検討、自動車技術会学術講演会 2014 秋季大会 前刷集、No.145-14, pp13-18(2014)