

③ チャイルドシート乗員の側面衝突試験法の検討

自動車安全研究領域

※山口 大助

田中 良知

細川 成之

松井 靖浩

1. はじめに

日本国内では2000年（平成12年）から6歳未満の子供に対してチャイルドシート（Child Restraint Systems：年少者用補助乗車装置、以下 CRS）の着用が義務化され、CRS の使用率が増加して子供乗員の安全性は向上している。他方、CRS に着座した子供乗員が死亡や重傷に至る衝突事故も時折発生しており、その衝突形態は前面衝突と側面衝突が多い。

現在の CRS の乗員保護性能に関する基準（UN Regulation No. 44）では、CRS 乗員の安全性能確認として前面衝突試験は行われているが、側面衝突試験は行われていない。これに対して、欧州の消費者団体から側面衝突事故対策を織り込むよう要望が出され、国連欧州経済委員会傘下の自動車基準調和世界フォーラム（UN/ECE/WP29）衝突安全分科会（GRSP）の場において議論が行われ、側面衝突試験を採り入れた CRS の新しい基準 UN Regulation No. 129（以下新基準）が合意、WP29 で採択された。日本でも新基準の導入作業が進められている。

前報¹⁾では新基準における側面衝突試験方法について解説した。この側面衝突試験ではドア部の車両内側を模擬するため、ドアパッド材と呼ばれる部材を使用することが規定されている。このドアパッド材の性能要件も併せて規定されており、これを満たすために2種類の素材を組み合わせることが知られている。本研究では特性の異なる複数の素材を組み合わせたドアパッド材を用いて側面衝突試験を行い、ドアパッド材の違いによる乗員の傷害値への影響を調べた。

新基準は CRS の種類によって Phase 1 から Phase 3 の3段階に分けて導入される。2013年7月に公布された Phase 1 は子供乗員を CRS に備えられたハーネス²⁾によって拘束するインテグラルタイプの ISOFIX 固定方式 CRS（以下 ISOFIX CRS）を対象としている。新基準の側面衝突試験方法では、ISOFIX CRS を固定する ISOFIX アンカレッジが試験時に破損することがない

よう、衝突後はドア部から遠ざかる方向（横方向）に可動する構造となっている。一方、実際の車両では ISOFIX アンカレッジは固定されている。そこで、本研究では加速式スレッド試験機¹⁾において、ISOFIX アンカレッジを固定にした条件と、ISOFIX アンカレッジを可動にした条件でそれぞれ側面衝突実験を行い、乗員の傷害値の違いを調べた。

本稿では、ドアパッド材による乗員の傷害値の違い及び ISOFIX アンカレッジの固定／可動による乗員の傷害値の違いについて検討した結果を報告する。

2. ドアパッド材の違いによる比較調査

2. 1. 調査に用いたドアパッド材

新基準で定められたドアパッド材の条件を満たすため、2種類の素材を組み合わせたドアパッド材を対象に検討する。本稿では2種類の素材のうち、スレッド（台車）¹⁾のドア模擬部に直接貼り付ける素材を第1層、乗員に直接衝突（車内側に相当）する素材を第2層と呼ぶことにする。

今回ドアパッド材の組み合わせに用いた素材の仕様を表1に示す。第1層は1種類（素材 A）、第2層は4種類（素材 C、D、E、F）あり、第1層の素材 A と第2層の4種類のうちの一つを組み合わせることで4つのドアパッド材を作ることができる。以下、ドアパッド材を A+C、A+D、A+E、A+F と記す。この4種類のドアパッド材を側面衝突実験に用い、第2層の素材による乗員の傷害値の違いを調べた。図1にドアパッド材 A+C をスレッドに貼付した様子を示す。

2. 2. 半球体インパクト落下実験

新基準ではドアパッド材の性能要件について、直径150mm、重さ6kgの半球体インパクト（以下インパクト）を速度4m/sで落下させ、ドアパッド材に衝突させたときのインパクトの鉛直方向加速度で規定している。ドアパッド材 A+C、A+D、A+E、A+F の4種類について性能要件を満たしているか否かを調べるため、

表1 ドアパッド材の仕様

第1層	第2層			
素材A	素材C	素材D	素材E	素材F
ゴム・セル式発泡材 厚さ35mm	ポリスチレン発泡材 厚さ20mm	ポリスチレン発泡材 厚さ20mm	ポリスチレン発泡材 厚さ20mm	ポリスチレン発泡材 厚さ20mm
新基準の検討に際し、欧州 の研究機関で使われている 素材	新基準の検討に際し、欧州 の研究機関で使われている 素材	素材Cと同じ材料で密度が 小さい	素材Cと同じ材料で、密度 は素材DとFの間	素材Cと同じ材料で、密度 は素材Cに次いで大きい

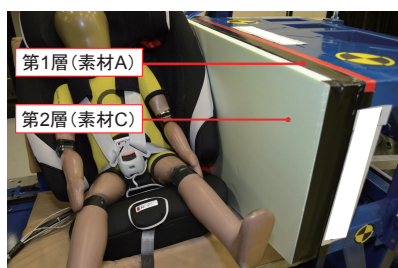


図1 ドアパッド材の一例

図2のようにインパクトを高さ816mmから落下させ、ドアパッド材（第2層が上側、第1層が下側）に衝突させてインパクトの鉛直方向加速度を測定した。

4種類のドアパッド材にインパクトを衝突させたときのインパクトの鉛直方向加速度を図3に示す。本図の横軸は時間、縦軸は加速度である。新基準ではインパクトの鉛直方向加速度が図中の灰色で示すコリドー（許容値の範囲）に収まっているとドアパッド材は性能要件を満たしていることになる。図3よりいずれのドアパッド材も性能要件を満たしていない。性能要件に最も近いものはドアパッド材A+Fで、欧州の試験機関で使用されているドアパッド材A+Cも性能要件を満たしていない。この理由として、ドアパッド材A+EとA+Fの場合は衝突によって第2層の素材が割れ、第1層での衝撃吸収量が増えたために10ms付近のコリドー上限を超え、かつ20ms付近のコリドー下限を下回ったと考えられる。また、第1層の素材Aは長期にわたって使用したものであったことから、経年劣化によって特性が変化し、ドアパッド材の性能に影響を及ぼしたものと考えられる。素材C、D、E、Fは各々の仕様から判断して実験に用いたものの、性能要件を満たさなかった。ドアパッド材の素材の選定方法は引き続き検討すべき課題であるが、本研究では4種類のドアパッド材を用いて実験することにした。

2. 3. 側面衝突実験

4種類のドアパッド材を使用して側面衝突実験を行い、ドアパッド材による乗員の傷害値の違いを調べる。この実験には加速式スレッド試験機¹⁾を用い、スレッド上のシートにはISOFIX CRS及び3歳児を模擬

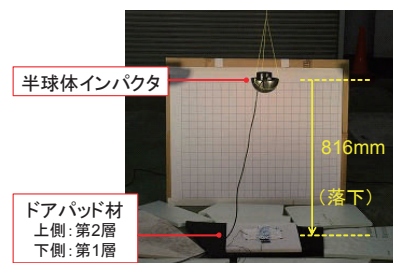


図2 半球体インパクト落下実験の様子

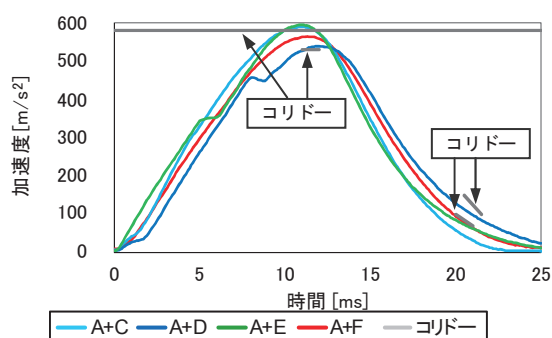


図3 半球体インパクトの鉛直方向加速度（ドアパッド材の種類）

したQ3ダミーを搭載する。

表2に4種類のドアパッド材を側面衝突実験に使用したときのダミーの各部位の最大傷害値を示す。

頭部傷害指標であるHPC15²⁾、3ms最大加速度はともにドアパッド材A+Eが最も傷害値が高く、次いでA+F、A+Dの順でA+Cが最も低い。HPC15では最大値と最小値の差は82であり、傷害基準値800の約10%であることから同等に近いレベルであるといえる。3ms最大加速度の差は49m/s²であり、傷害基準値784m/s²の約6.3%であることからほぼ同等といえる。また、4種類のドアパッド材ともに頭部3ms最大加速度は基準値784m/s²を超えている。

胸部傷害指標のうち胸たわみ²⁾でドアパッド材A+Cが最も大きく、次いでA+F、A+Eの順でA+Dが最も小さく、最大と最小の差は2.8mmである。胸部3ms最大加速度はドアパッド材A+Cが最も高く、次いでA+F、A+Dの順でA+Eが最も低い。二つの指標で値の大小をとるドアパッド材の順が異なるが、胸部3ms最大加速度の最大と最小の差は19.6m/s²と小さく、すべてのドアパッド材がほぼ同等のレベルにあることから、胸部

表2 ダミー最大傷害値（ドアパッド材の種類）

部位	傷害値	単位	ドアパッド材			
			A+C	A+D	A+E	A+F
頭部	HPC15	—	523	537	605	561
	3ms 加速度	m/s ²	798.7	802.6	847.7	818.3
胸部	胸たわみ	mm	18.9	16.1	16.9	18.3
	3ms 加速度	m/s ²	461.6	446.9	442.0	448.8
腰部	3ms 加速度	m/s ²	818.3	972.2	975.1	982.0

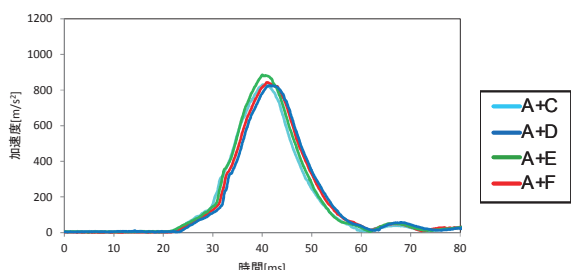


図4 頭部合成加速度（ドアパッド材の種類）

傷害の程度はドアパッド材 A+C が最も大きく、次いで A+F で、A+E と A+D はほぼ同等といえる。

腰部傷害指標である腰部3ms 最大加速度はドアパッド材 A+F が最も高く、A+D と A+E はほぼ同等で、A+C が最も低い。最大と最小の差は 163.7 m/s² であるが、ドアパッド材 A+D と A+F の差は 9.8 m/s² であり、ドアパッド材 A+C と他のドアパッド材の間に差があるといえる。半球体インパクト落下実験の結果よりドアパッド材 A+C と A+E は半球体インパクトの鉛直方向加速度がほぼ同等であることから、この腰部 3ms 加速度の差はドアパッド材の特性以外の影響によるものと考えられる。なお、腰部の傷害指標は新基準では規定されておらず、新基準による試験の結果に影響はないが、将来、腰部の傷害指標を基準に新たに導入する議論が始まれば、腰部の傷害について詳細に調査、検討する必要がある。

ダミーの頭部の合成加速度の時間履歴を図 4 に示す。本図よりダミー各部の加速度は第 2 層の素材によらずほぼ同様の波形となっていることが分かる。なお、ダミーの胸部、腰部の各合成加速度についてもほぼ同様の波形となっていることを確認している。

3. 異なる組成のドアパッド材による比較調査

4 種類のドアパッド材のうち A+C を対象に、素材 A と C を入れ替え、第 1 層を素材 C、第 2 層を素材 A としたドアパッド材（以下ドアパッド材 C+A）による乗員の傷害値の違いを調べる。

初めに、2.2 節の半球体インパクト落下実験で計測

表3 ダミー最大傷害値（組み合わせ順変更）

部位	傷害値	単位	第 1 層 A 第 2 層 C	第 1 層 C 第 2 層 A
頭部	HPC15	—	410	430
	3ms 加速度	m/s ²	718.3	741.9
胸部	胸たわみ	mm	21.3	20.0
	3ms 加速度	m/s ²	496.9	543.9
腰部	3ms 加速度	m/s ²	729.1	798.7

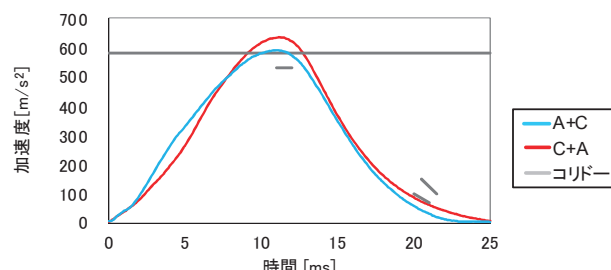


図5 半球体インパクトの鉛直方向加速度（組み合わせ順変更）

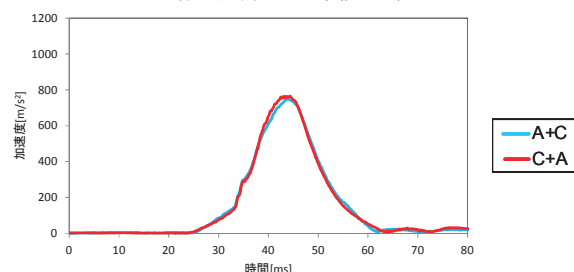


図6 頭部合成加速度（組み合わせ順変更）

したインパクトの鉛直方向加速度を図 5 に示す。加速度の最大値はドアパッド材 C+A がドアパッド材 A+C よりも高くなっているが、両者の差は小さいことが分かる。また両者ともにコリドーには収まっておらず、ドアパッド材の性能要件を満たしていない。

次に、2.3 節と同様に側面衝突実験を行ったときのダミーの各部位の最大傷害値を表 3、ダミーの頭部の合成加速度の時間履歴を図 6 にそれぞれ示す。

表 3 より最大傷害値はドアパッド材 A+C と C+A で組み合わせの順序によらずほぼ同等であることが分かる。図 6 よりダミーの頭部加速度もドアパッド材の組み合わせの順序によらずほぼ同様の波形となっていることが分かる。なお、ダミーの胸部、腰部の各合成加速度についてもほぼ同様の波形となっていることを確認している。

ドア部が CRS を介してダミーに衝突するとき、ドア部とダミーの間には素材 A、C 及び CRS のサイドシェル（乗員の頭部付近両脇のクッション）が存在する。この三つの剛性を一つの合成ばね定数に置き換えて考えると、素材 A と C の位置によらず合成ばね定数は同一となる。ドアパッド材 A+C、C+A とともに素材 A に

永久変形は見られず、Cの永久変形量はA+Cでは小さく、C+Aでは見られなかったことを観察している。よって、ドアパッド材の変形を弾性域で捉えることができ、ドアパッド材の組み合わせ順序によらず乗員の傷害値は両者でほぼ同等になったものと考えられる。

このとき、ドアパッド材C+Aでは素材Cに永久変形が見られなかったことから、同一のドアパッド材を繰り返し使える可能性があると考えられる。

4. ISOFIX アンカレッジの状態による比較調査

新基準の側面衝突試験では ISOFIX CRS をスレッド上のシートに ISOFIX アンカレッジに固定し、その ISOFIX アンカレッジは可動する構造となっており、実際の車両とは異なっている。そこで、ISOFIX アンカレッジを固定にした条件と、ISOFIX アンカレッジを可動にした条件でそれぞれ側面衝突実験を行い、ISOFIX アンカレッジの固定／可動による乗員の傷害値の違いを調べた。

2.3 節と同様、ISOFIX アンカレッジ固定／可動で側面衝突実験を行ったときのダミーの各部位の最大傷害値を表4、ダミーの頭部の合成加速度の時間履歴を図7にそれぞれ示す。表4より各傷害指標の最大傷害値は ISOFIX アンカレッジ可動／固定にかかわらず同等であることが分かる。同様に、図7よりダミーの頭部加速度は ISOFIX アンカレッジの可動／固定によらずほぼ同様の波形となっていることが分かる。なお、ダミーの胸部、腰部の各合成加速度についても両者でほぼ同様の波形となっていることを確認した。このことから、新基準の側面衝突試験で ISOFIX アンカレッジを可動とすることは実際の車両での状態とは異なるが、乗員の傷害評価には問題ないと考えられる。

また、ISOFIX アンカレッジが可動の場合は CRS が大きく移動するため、CRS 側の ISOFIX 固定部に損傷は見られず、実験後の CRS の取り外しが容易であったが、ISOFIX アンカレッジ固定の場合は CRS 側の ISOFIX 固定部に損傷が見られ、実験後の取り外しが困難であった。ISOFIX アンカレッジ可動／固定での傷害値が同等であることから、ISOFIX アンカレッジを可動とする方が側面衝突試験を効率的に実施できると考えられる。

5. おわりに

本研究では新基準による側面衝突試験法に沿って、ドアパッド材による乗員の傷害値の違い及び ISOFIX

表4 ダミー最大傷害値
(ISOFIX アンカレッジ可動／固定)

部位	傷害値	単位	ISOFIX アンカレッジ	
			可動	固定
頭部	HPC15	—	523	533
	3ms 加速度	m/s ²	798.7	809.5
胸部	胸たわみ	mm	18.9	16.1
	3ms 加速度	m/s ²	461.6	469.4
腰部	3ms 加速度	m/s ²	818.3	877.1

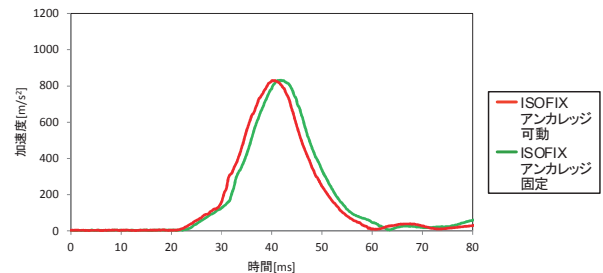


図7 頭部合成加速度
(ISOFIX アンカレッジ可動／固定)

アンカレッジの固定／可動による乗員の傷害値の違いについて調べた。以下に結果をまとめる。

- (1) 4種類のドアパッド材は、素材Aの長期使用による特性の変化などにより、いずれも性能要件を満たさなかった。また、半球体インパクト落下実験の結果には差が見られたものの、側面衝突実験でのダミーの傷害値には差は見られず、ドアパッド材の選定方法は引き続き検討すべき課題となった。
- (2) 2種類の素材の組み合わせの順序を入れ替えて同様の実験を行ったところ、結果に差は見られず、同一のドアパッド材を繰り返し使える可能性を示したが、繰り返し使えるか否かの判定については今後検討すべき課題である。
- (3) ISOFIX アンカレッジを可動状態と固定状態にして側面衝突実験を行ったところ、ダミーの傷害値に差は見られず、ISOFIX アンカレッジの状態が傷害値に与える影響は小さい。

参考文献

- 1) 田中・細川・山口・松井、“チャイルドシートの子供の側面衝突試験方法に関する調査”、交通安全環境研究所フォーラム2012講演概要、pp.119-122、(2012)
- 2) 水野幸治、“自動車の衝突安全”、名古屋大学出版会、(2012)