

講演 1 1. 運転席と助手席に乗車した状態での側面衝突における乗員挙動に関する調査

自動車安全研究部

※田中 良知

細川 成之

松井 靖浩

薄井 雅俊

1. はじめに

一般に側面衝突事故では、衝突側に着座した乗員が最も受傷しやすいため、側面衝突基準は衝突側に着座する乗員の安全性を規定している。しかし、現実の側面衝突事故において、反衝突側に着座した乗員の死亡者の割合が低いことが報告されている。上野ら^①は、2000 年から 2004 年の日本の事故調査より、側面衝突事故による死亡者のうち約 35%が反衝突側に着座した乗員であることを報告している。著者ら^②は、2013 年から 2022 年の日本の事故調査より、側面衝突事故による死亡者のうち約 30%が反衝突側に着座した乗員であり、頭部と胸部を受傷する事例が多いことを確認した。したがって、今後、一層の交通事故死亡者数を削減するには、側面衝突時における反衝突側乗員の保護が必要と考える。

反衝突側乗員の受傷原因について、Brian ら^③は、米国の事故調査より、反衝突側乗員が車両内装材、座席、ハンドル、同乗者等に衝突して受傷することを報告している。櫻井ら^④は、シミュレーションにより WorldSID モデルを軽乗用車の前席に 2 体搭載した場合、反衝突側乗員の頭部が衝突側乗員の肩部と衝突していることを示した。車種により、乗員同士の挙動や衝突位置は異なることが考えられる。そこで、本調査では、異なる車種の前席に 2 名乗車した場合の側面衝突事故における乗員同士の挙動をより詳細に把握することを目的として、特に側面衝突時に乗員の被害が大きくなると考えられる日本特有の質量が軽く幅の狭い軽乗用車と、日本で多く普及している小型乗用車を対象として、運転席と助手席にダミーを搭載した条件で側面衝突実験を実施した。

2. 実験方法

実験は、ダミーを前席に 2 体搭載した以外は側面衝突基準である UN Regulation No. 95 (以下「UNR95」

という) に定められた試験方法に準じて実施した。

供試車両として、日本で販売台数の多い軽乗用車と小型乗用車を各 1 台用いた。図 1 に供試車両の外観を示す。



(a) 軽乗用車 (b) 小型乗用車

図 1 供試車両

UNR95 に定められている試験方法では、成人男性を模擬した AM50 パーセントイル側面衝突評価用ダミーである ES-2 ダミーを衝突側の前席にのみ搭載して試験を実施するが、本実験では反衝突側にも ES-2 ダミーを搭載した。ダミーの搭載方法は UNR95 に準じ、供試車両に標準装備されている 3 点式シートベルトで拘束した。反衝突側の座席前後位置は、衝突側の座席前後位置と同じ位置とした。

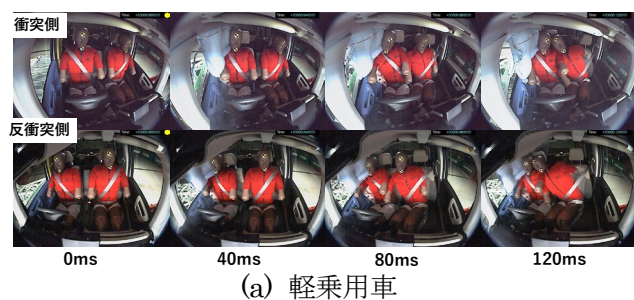
3. 実験結果

3. 1. ダミーの挙動

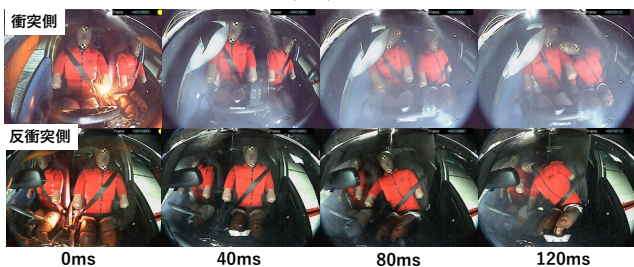
図 2 に各供試車両の衝突側(運転席)と反衝突側(助手席)におけるダミー挙動を示す。軽乗用車では、40 ms で衝突側のカーテンエアバッグとサイドエアバッグは展開が終了し、衝突側ダミーの頭部と胸部がそれらエアバッグと衝突していた。反衝突側ダミーは衝突側方向へ平行移動し、腰部がシートベルトのバックル部まで達していた。80 ms では、衝突側ダミーの頭部が反衝突側へ大きく傾き、胸部は衝突側へ傾いていた。反衝突側ダミーは腰部がシートベルトのバックル部により拘束され、腰部を中心に上体が回転運動を開

始してショルダーベルトが肩から外れ、右腕部が衝突側ダミーの胸部と衝突していた。120 ms では、反衝突側ダミーの頭部が衝突側ダミーの頭部と衝突していた。

小型乗用車では、40 ms で衝突側のカーテンエアバッグとサイドエアバッグは展開が終了し、衝突側ダミーの頭部と胸部がそれらエアバッグと衝突していた。反衝突側ダミーは衝突側方向へ平行移動して、腰部がコンソールボックス付近まで達していた。80 ms では、衝突側ダミーの頭部が反衝突側へ大きく傾き、胸部は衝突側へ傾いていた。衝突側ダミーの頭部の反衝突側への傾きは小型乗用車の方が軽乗用車より大きかった。反衝突側ダミーは腰部を中心に上体が回転運動を開始してショルダーベルトが肩から外れていた。120 ms では、反衝突側ダミーの頭部が衝突側ダミーの肩部と衝突していた。



(a) 軽乗用車



(b) 小型乗用車

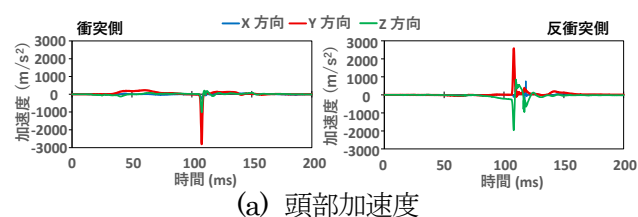
図2 ダミー挙動

3. 2. ダミーの計測値

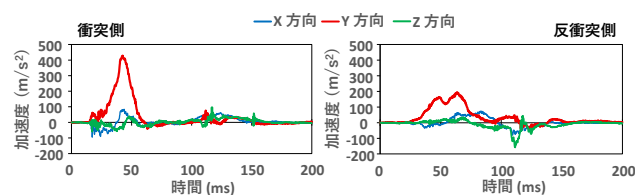
図3に軽乗用車の衝突側と反衝突側に搭載したダミーの頭部と胸部のX方向(ダミーの前後方向、前方向が正)、Y方向(ダミーの左右方向、左方向が正)及びZ方向(ダミーの上下方向、上方向が正)の加速度の時間履歴を示す。衝突側ダミーの頭部に関しては、Y方向加速度が30 ms 付近から増加を開始し、40 ms 付近から60 ms 付近まで約230 m/s²前後の加速度を維持し、105 ms 付近で急減して最小値 -2813 m/s² となった。30 ms 付近のY方向加速度の増加は、頭部が

カーテンエアバッグと衝突したため、105 ms 付近のZ方向加速度の急減は、頭部が反衝突側ダミーの頭部と衝突したためと考える。反衝突側ダミーの頭部に関しては、Z方向加速度が80 ms 付近から減少を開始し、105 ms 付近で急減して最小値 -1963 m/s² となった。Y方向加速度は105 ms 付近で急増し、最大値2581 m/s² となった。80 ms 付近のZ方向加速度の減少は、腰がシートベルトのバックルにより拘束されて上体が回転運動をしたため、105 ms 付近のY方向加速度の急増とZ方向加速度の急減は、頭部が衝突側ダミーの頭部と衝突したためと考える。

衝突側ダミーの胸部に関しては、Y方向加速度が20 ms 付近から増加を開始し、42 ms 付近で最大値428 m/s² となった。この20 ms 付近の増加は、胸部がサイドエアバッグと衝突したためと考える。反衝突側ダミーの胸部に関しては、Y方向加速度が30 ms 付近から増加を開始し、45 ms 付近から70 ms 付近まで約170 m/s² 前後の加速度を維持した。この30 ms 付近の増加は、座席の背もたれから胸部に荷重が入力されたためと考える。



(a) 頭部加速度



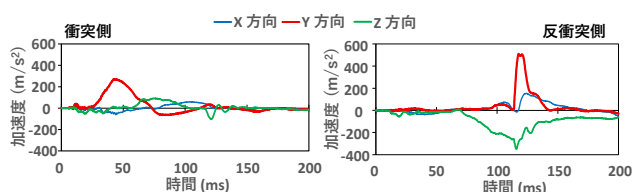
(b) 胸部加速度

図3 軽乗用車ダミー加速度の時間履歴

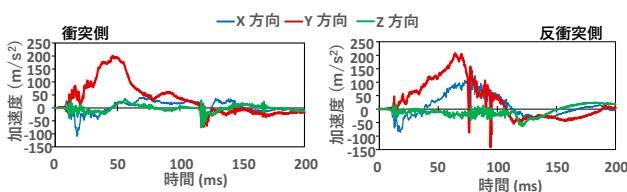
図4に小型乗用車の衝突側と反衝突側に搭載したダミーの頭部と胸部のX方向、Y方向及びZ方向の加速度の時間履歴を示す。衝突側ダミーの頭部に関しては、Y方向加速度が20 ms 付近から増加を開始し、44 ms 付近で最大値276 m/s² となった。この20 ms 付近の増加は、頭部がカーテンエアバッグと衝突したためと考える。反衝突側ダミーの頭部に関しては、Z方向加速度は70 ms 付近から減少を開始して115 ms

付近で最小値 -345 m/s^2 となった。Y 方向加速度は 113 ms 付近で急増し 115 ms 付近で最大値 586 m/s^2 となり、約 5 ms 維持した。70 ms 付近の Z 方向加速度の減少は、腰がコンソールボックスと衝突して拘束されて上体が回転運動をしたため、115 ms 付近の Y 方向加速度の急増は、頭部が衝突側ダミーの肩部と衝突したためと考える。

衝突側ダミーの胸部に関しては、Y 方向加速度が 20 ms 付近から増加を開始し、46 ms 付近で最大値 200 m/s^2 となった。その後、80 ms 付近から 110 ms 付近まで加速度 30 m/s^2 付近を維持した後 110 ms 付近で急減して最小値 -75 m/s^2 となった。Z 方向加速度は 110 ms 付近で急減して最小値 -75 m/s^2 となった。Y 方向加速度の 20 ms 付近の増加は、胸部がサイドエアバッグと衝突したため、Y 方向と Z 方向加速度の 110 ms 付近の減少は、肩部が反衝突側ダミーの頭部と衝突したためと考える。反衝突側ダミーの胸部に関しては、X 方向加速度が 10 ms 付近で急減して最小値 -85 m/s^2 となり、80 ms 付近で最大値 126 m/s^2 となった。Y 方向加速度は 20 ms 付近から増加を開始し、64 ms 付近で最大値 208 m/s^2 となった。X 方向加速度の 10 ms 付近の急減は、シートベルトプリテンショナーが作動してシートベルトから胸部に荷重が入力したため、その後の増加は座席の背もたれから胸部に荷重が入力したためと考える。Y 方向加速度の 20 ms 付近の増加は、座席の背もたれから胸部に荷重が入力したためと考える。



(a) 頭部加速度



(b) 胸部加速度

図4 小型乗用車ダミー加速度の時間履歴

3. 3. ダミー傷害値の閾値との比較

表1に、軽乗用車と小型乗用車の衝突側及び反衝突側ダミーの傷害値と UNR95 の閾値を示す。軽乗用車の衝突側ダミーと反衝突側ダミーの頭部評価指標 (Head Performance Criterion、以下「HPC」という) を除く全ての傷害値は UNR95 の閾値を下回っていた。衝突側と反衝突側のダミーの頭部同士が衝突した軽乗用車の場合の HPC は基準の閾値を超えていた。小型乗用車では、反衝突側ダミーの HPC と胸部変位が、衝突側ダミーより高かった。

表1 ダミー傷害値と閾値

傷害指標	傷害値				閾値 (UNR95)
	軽乗用車		小型乗用車		
	衝突側	反衝突側	衝突側	反衝突側	
HPC	1267	1579	58	222	1000
胸部変位 (mm)	15	5	12	26	42
腹部荷重 (kN)	0.5	0.4	0.4	0.5	2.5
恥骨荷重 (kN)	2.3	1.4	1.7	1.4	6

4. 考察

本調査で使用した軽乗用車では、前席にダミーを2体搭載した側面衝突実験において、反衝突側ダミーの頭部は衝突側ダミーの頭部と衝突し、どちらの頭部傷害値も UNR95 の閾値を超えた。HPC が 1,000 を超えた場合に頭蓋骨骨折の可能性が高くなり、1,500 を超えると頭蓋骨陥没骨折の可能性が生じてくる。前席に2名乗車した状況の側面衝突事故において、乗員の頭部同士が衝突した場合、頭部を受傷して死亡もしくは重傷事故となる可能性のあることが示唆された。そのため、側面衝突時の乗員の頭部同士の衝突に対し防止策を検討していく必要がある。

過去に報告されたシミュレーションによる調査⁽⁴⁾では、軽乗用車の側面衝突において前席に2体搭載したダミーの頭部同士は衝突せず、今回の調査と異なる結果が示されている。先行研究⁽⁴⁾において検討された乗用車はカーテンエアバッグを装備しておらず、側突時のダミーの頭部は、衝突側、反衝突側のどちらも同様の挙動をして衝突側に移動するため、頭部同士は衝突しないことが示されている。しかし、本実験では図2で示すように、衝突側ダミーの頭部がカーテンエアバッグに拘束された反動で反衝突側に移動したため、

反衝突側の頭部と衝突する現象が生じている。現在、市場に販売されているほぼすべての車両ではカーテンエアバッグが装備されている。このため、軽乗用車で前席に 2 名乗車した状態で側面衝突事故が発生した場合に、乗員同士の頭部が衝突する可能性があると考えられる。

本調査で使用した小型乗用車の前席にダミーを 2 体搭載した側面衝突実験において、反衝突側ダミーの頭部は衝突側ダミーの肩部と衝突したものの、頭部傷害値は UNR95 の閾値を下回っていた。肩部と衝突したのは、ダミー間の初期距離が小型乗用車の方が軽乗用車より広いことが、頭部傷害値が低いのはダミーの肩部が頭部と比べて加害性が低いことが要因と考える。ただし、実際の人間で頭部が同乗者の肩部に衝突した場合に乗員が受傷する可能性については、更なる調査が必要と考える。

軽乗用車、小型乗用車のどちらの場合も、側突直後の反衝突側ダミーは平行移動し、腰部がシートベルトもしくはコンソールボックスに拘束された後に上体が回転運動して、衝突側のダミーと衝突した。そして、ダミー間の初期距離が異なる軽乗用車と小型乗用車で、反衝突側ダミーの頭部が衝突する衝突側ダミーの身体部位が異なっていた。衝突する身体部位については、乗員間の初期距離以外にも、乗員の身長、乗車姿勢の影響を受けると推定される。今後、乗員同士の衝突位置と、身長差、初期距離及び姿勢の関係について、より詳細な調査を実施することで、側面衝突時の乗員同士の衝突に起因した受傷状況を確認していく必要がある。

反衝突側乗員 1 人で乗車している場合の側面衝突事故についても、乗員が車室内部品と衝突して死亡重傷事故が発生していることが報告されている³⁾。乗員が車室内部品と衝突する状況は、乗員の体格、乗車姿勢、座席位置の違い等により変化すると考えられることから、乗員が受傷する可能性の高い乗車状況と加害部位に関する調査を進める必要がある。

5. まとめ

本調査では、前席に 2 名乗車した場合の側面衝突事故における乗員同士の挙動を調査して以下の知見を得た。

- ・ 反衝突側ダミーは、衝突直後（30～40 ms 後）衝突側に平行移動し、腰部がシートベルトもし

くはコンソールボックスに拘束された。その後、腰部を中心に上体が回転運動して、頭部が衝突側ダミーと衝突した。

- ・ カーテンエアバッグの装備された条件で、反衝突側ダミーの頭部は、軽乗用車の場合は衝突側ダミーの頭部と、小型乗用車の場合は衝突側ダミーの肩部と衝突した。
- ・ 軽乗用車の実験では、衝突側と反衝突側のどちらのダミーも頭部傷害値が UNR95 の閾値より高かった。乗員の頭部同士が衝突した場合、どちらも死亡もしくは重傷となる可能性が高いことから、頭部同士の衝突防止策を検討していく必要がある。
- ・ 反衝突側ダミーの頭部が衝突側ダミーの肩部と衝突した小型乗用車の実験では、反衝突側ダミーの方が衝突側ダミーより頭部傷害値が高かったが、UNR95 の閾値に比べて十分低い値であった。

参考文献

- 1) 上野 昌範ほか, “日本における側面衝突事故の分析”, JARI research journal vol.30 No.9 p.509-514 (2008)
- 2) 田中 良知ほか, “前面衝突事故および側面衝突事故における日本の交通事故の特徴”, 自動車技術会 2024 秋季大会 学術講演会 予稿集, 文献番号 20246265 (2024)
- 3) Brian Fildes, et.al, “OCCUPANT PROTECTION IN FAR-SIDE CRASHES”, THE NATIONAL CRASH ANALYSIS CENTER and MONASH University Accident Research Centre (2009)
- 4) 櫻井 俊彰ほか, “軽自動車の側面衝突事故における Far-side 乗員の傷害発生メカニズムの検討”, 日本交通科学学会誌 第 14 巻 第 3 号 p.15-24 平成 26 年 (2014)