

3. 幼児専用車の安全に関する研究

—幼稚園バスのシートベルトについて—

自動車安全研究領域 ※田中 良知 細川 成之 松井 靖浩
名古屋大学 水野 幸治 (客員研究員)

1. はじめに

現在の国内基準では、幼稚園や保育園への幼児の送迎用に使用されている幼児専用車について、幼児の体型にあったシートベルトが存在しないことや緊急時の脱出性を考慮し、シートベルト等の拘束装置の設置の義務付けは行っていない。

一方、乗用車の後席乗員のシートベルトが義務付けられて、自動車ユーザーのシートベルト着用に対する意識が向上してきている。そして、幼児専用車にもシートベルトの装着を義務化してほしいという要望が出てきている。

現在、幼児専用車に乗車する6歳以下の子供が乗用車に乗車する際、チャイルドシートやジュニアシートを使用して体格に適した拘束を行うことにより、安全性を高めている。しかしながら、直接大人用のシートベルトを装着することは、逆に危険な場合があると言われている。

今回、幼児専用車に拘束装置の義務付けを検討するためのデータを取得することを目的として、幼児専用車が事故を起こした状況を模擬して、シートベルトがある場合とない場合のそれぞれについて、コンピュータシミュレーションと実験を実施し、シートベルトの有無によるダミーの挙動の違いについて比較調査を行った。

2. コンピュータシミュレーション

2. 1. 解析条件

2. 1. 1. 有限要素モデル

コンピュータシミュレーションは、有限要素法により行った。シートモデルは、チャイルドシートの基準の動的試験で使用される ECE/R44 シートをベースに、幼児バスの寸法を考慮して作成した。このシートにシートベルトを固定し、Hybrid

III 3 歳児ダミーと Hybrid III 6 歳児ダミーを着座させ、シミュレーションを行った。

図1に計算を行ったモデルを示す。計算は、ベルトによる拘束なし、2点式シートベルト、5点式シートベルトの3条件について実施した。上体を拘束するベルトとしては、3点式シートベルトがあるが、シミュレーションにおいてモデル化する際に、チャイルドシートのモデルで5点式シートベルトのモデルが流用可能であったことと、上体を拘束することが目的であり、それが出来た場合の効果は同等と考えられることから、シミュレーションでは5点式シートベルトでモデル化した。



(a)ベルト拘束なし (b)2点式シートベルト

(c)5点式シートベルト

図1 有限要素モデル (前席3歳児, 後席6歳児)

2. 1. 2. 衝突条件

今回のシミュレーションは、前面衝突事故を模擬したスレッド前面衝突模擬試験をモデル化した。スレッド試験において、前面衝突模擬は静止状態から動かすため、速度は増加している。図2に今回の解析で模擬したスレッドの加速度時間履歴図を、図3に速度時間履歴図を示す。バスの前面事故の加速度波形のデータが無いため、幼児の衝突安全基準である、チャイルドシートの基準 (ECE/R44) での前面衝突模擬試験 (速度変化

50km/h) で規定された台車の加速度を基に、持続時間と波形形状はそのまま、速度変化が 30km/h となるようにレベルを下げて与えた。速度変化は、幼児専用車が走ることの多い道路の最高速度を想定した。

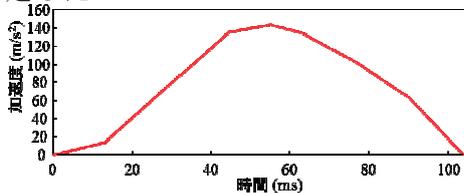


図2 加速度時間履歴図

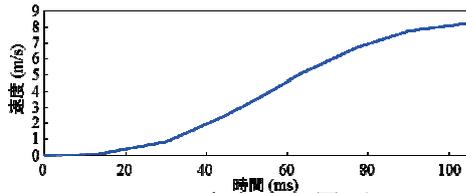


図3 速度時間履歴図

2. 2. シミュレーション結果

2. 2. 1. ダミー挙動

3歳児ダミーの頭部加速度が最大に近い90msのダミー状態を図4に、6歳児ダミーの頭部加速度が最大に近い110msでのダミーの状態を示す。

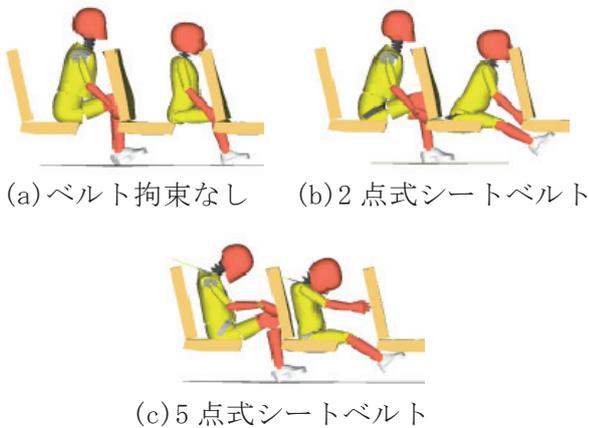


図4 90ms時ダミー状態

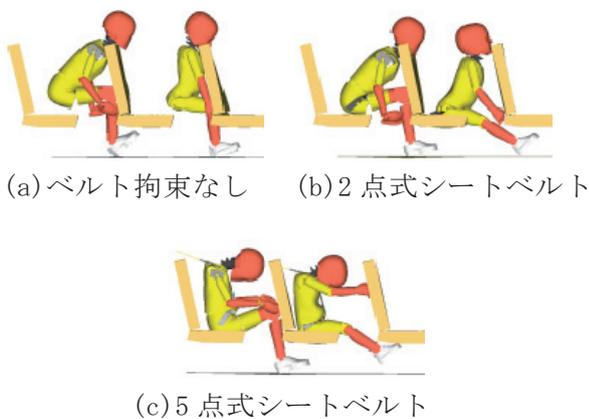


図5 110ms時ダミー状態

90ms時、ベルト拘束なしと2点式シートベルトの場合、3歳児ダミーの頭部が前席シート上部と衝突していた。5点式シートベルトではダミーの上部が拘束されて、ダミー頭部は前席と衝突していなかった。

110ms時、ベルト拘束なしの場合で3歳児ダミーの胸部が前席シートと衝突していた。また、ベルト拘束なしと2点式シートベルトの場合、6歳児ダミーの頸部が前席シート上端と衝突していた。5点式シートベルトではダミーの上部が拘束されて、ダミー頭部は前席と衝突していなかった。

2. 2. 2. ダミー計測値

3歳児ダミーと6歳児ダミーについて、図6に頭部の3軸合成加速度時間履歴図を示す。

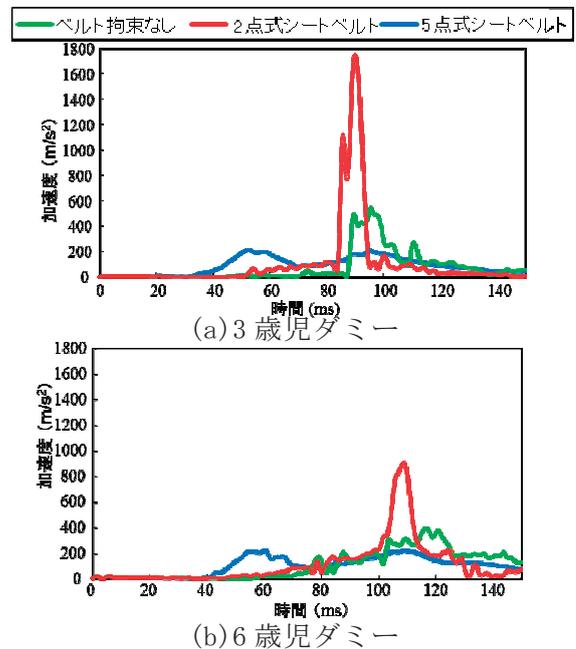


図6 頭部加速度時間履歴図

どちらのダミーでも2点式シートベルトの場合の最大加速度が特に大きく、次いでベルト拘束なしで、5点式シートベルトが最も小さかったが、ベルト拘束なしと5点式シートベルトの差は小さかった。これは、図4、5で示したように、2点式シートベルトの場合、シートベルトでダミーの腰部が拘束されて、腰部を中心に上部が回転して、頭部が前席に衝突することで、頭部の加速度が大きくなったと考えられる。また、3歳児ダミーと6歳児ダミーで6歳児ダミーの方の最大加速度が小さくなったが、これは、ダミーの大きさの違いから、6歳児ダミーの場合、ダミーの頸部が

前席シート上面に衝突したことから、頭部加速度が小さくなったと考えられる。ただし、衝突の形態から、首の上下方向に力が入ることとなり、危険な衝突形態と考えられる。

3歳児ダミーと6歳児ダミーについて、図7に胸部の3軸合成加速度時間履歴図を示す。

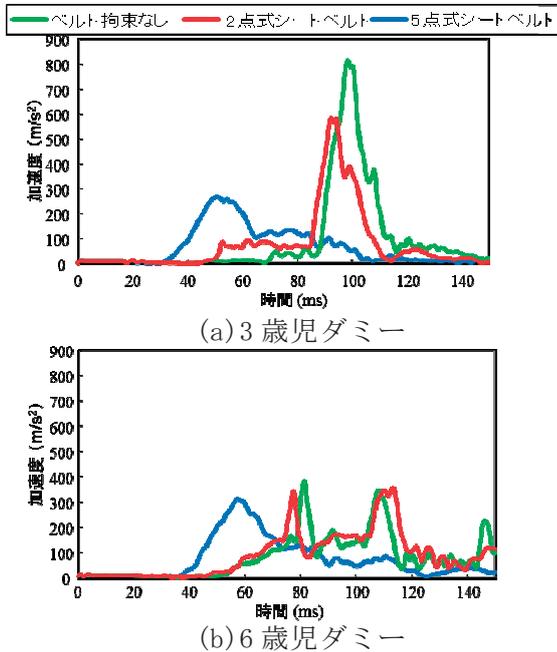


図7 胸部加速度時間履歴図

3歳児ダミーで、ベルト拘束なしの場合の最大加速度が大きく、次いで2点式シートベルトで、5点式シートベルトが最も小さかった。6歳児ダミーでは、すべての場合でほぼ同等の最大加速度で、3歳児ダミーの5点式シートベルトの場合とほぼ同等であった。また、3歳児ダミーの最大加速度は6歳児ダミーの最大加速度より大きかった。これは、図4、5で示したように、3歳児ダミーのベルト拘束なしは、ダミーの上部が前方に移動して、前席背もたれと衝突するのに対して、6歳児ダミーでは膝が前席背もたれに衝突し、そこを中心として上部が回転するため、胸部が衝突しないためと考えられる。

3. スレッド実験

3. 1. 実験方法

3. 1. 1. 幼児専用車シート

幼児専用車が前面衝突事故を起こした場合に、シートベルトのある場合とない場合のそれぞれで乗員がどのような状況になるか調査するために、速度変化が30 km/hの前面衝突事故を模擬して本研究所熊谷試験場にある加速式スレッド試

験機を用いて実験を実施した。

図8に、実験に使用した幼児専用車に使用されているシートを示す。シートは幼児2名が一度に座れる右列用のシートであり、肘掛は左側にのみついている。また、このシートには、2人まとめて拘束するシートベルトが取り付けられていた。

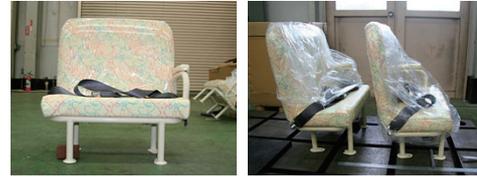


図8 幼児専用車シート

3. 1. 2. 子供ダミー

実験に使用した子供ダミーを図9に示す。子供ダミーは3歳児ダミーと6歳児ダミーの2種類のダミーを使用した。3歳児ダミーはHybrid IIIダミーを、6歳児ダミーにはHybrid IIダミーを使用した。シミュレーションではHybrid IIIダミーを使用しており、また、計測項目も多いことから、本来Hybrid IIIダミーの使用が望ましかったが、ダミーの手配の関係から、6歳児ダミーに関しては、シミュレーションとダミーが異なっている。ただし、構造的に差異は小さく、挙動に関して大きな差はないと考える。



(a) 3歳児ダミー (b) 6歳児ダミー

図9 子供ダミー写真

3. 1. 3. 実験条件

実験は、幼児専用車シートを、前席背もたれ裏面と後席シートの座面先端の距離が170 mmとなる様に前後2列に配置して、3歳児ダミーを左側に、6歳児ダミーを右側に座らせて、実施した。また、シートの肘掛を外した状態で行った。図10に実験の状況を示す。

スレッド試験機の目標加速度を図11に示す。シミュレーションと同じで、チャイルドシートの基準(ECE/R44)における動的試験での加速度条件を元に、速度変化が30km/hとなる様にレベルを下げたものである。



図 10 実験状況

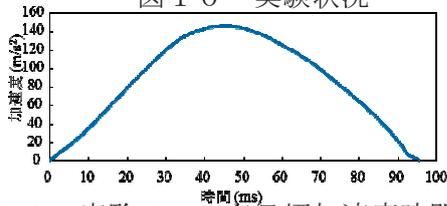


図 11 実験スレッド目標加速度時間履歴図

表 1 に今回行った実験の条件を示す. シートベルトなし, 2 点式シートベルト, 2 点式シートベルト+前席プロテクタあり, 3 点式シートベルトの 4 条件で実験を実施した. シミュレーションの結果から, 2 点式シートベルトの場合, 前席に乗員の頭部が衝突して, 頭部に傷害を受ける可能性があるため, その保護のために, プロテクタを設置する場合の実験も実施した. プロテクタには, 歩行者保護脚部試験の TRL 脚部インパクターのレッグフォームに使用されている低反発保護部材を用いた. 図 1 2 にプロテクタを設置したシートの状態を示す.

表 1 実験拘束条件

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
シートベルト	なし	2点式シートベルト	3点式シートベルト	2点式シートベルト
前席プロテクタ	なし	なし	なし	あり



図 1 2 プロテクタ

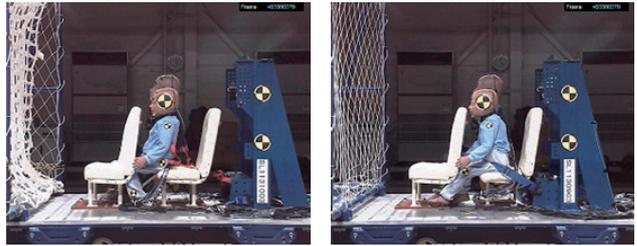
3. 2. 実験結果

3. 2. 1. ダミー挙動

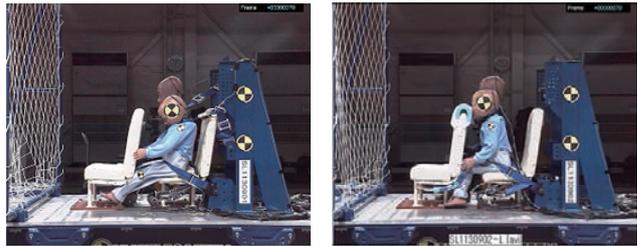
3 歳児ダミーの 70ms 及び 90ms 時のダミー状態を図 1 3, 1 4 に, 6 歳児ダミーの 90ms と 110ms 時のダミーの状態を図 1 5, 1 6 に示す.

3 歳児ダミーについて, 70ms 時, 2 点式シートベルトの場合, ダミーの頭部が前席シート上部と衝突していた. 3 点式シートベルトではダミーの上体が拘束されて, ダミー頭部は前席と衝突していなかった. ベルト拘束なしの場合は, ダミーが平行運動をしているが, まだ前席とは衝突していなかった. また, 2 点式シートベルトでプロテクタの有無に関わらず, ダミーの挙動はほぼ同等であった.

90ms 時, ベルト拘束なしの場合でダミーの頭部と胸部が前席シートと衝突していた. 3 点式シートベルトでは前席との衝突はなかった.

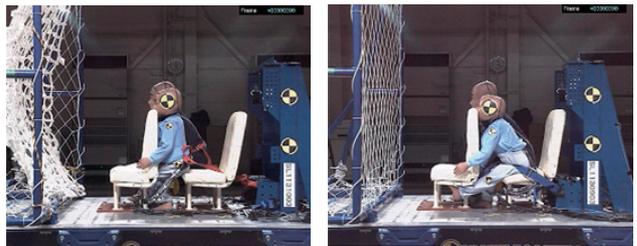


(a)ベルト拘束なし (b)2 点式シートベルト

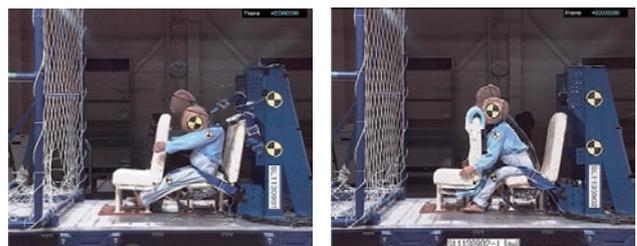


(c)3 点式シートベルト (d)2 点式シートベルト +プロテクタ

図 1 3 3 歳児ダミー70ms 時状態



(a)ベルト拘束なし (b)2 点式シートベルト



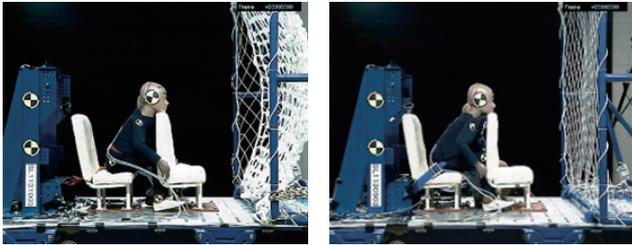
(c)3 点式シートベルト (d)2 点式シートベルト +プロテクタ

図 1 4 3 歳児ダミー90ms 時状態

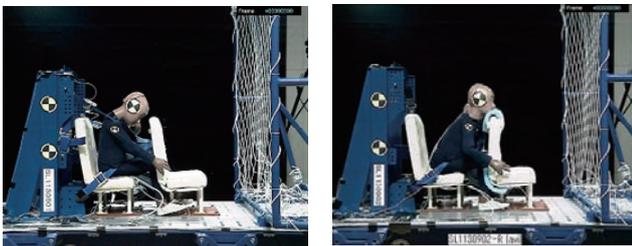
6 歳児ダミーについて, 90ms 時, ベルト拘束なしと 2 点式シートベルトの場合, ダミーの顎部が前席シート上面と衝突していた. 3 点式シートベルトではダミーの上体が拘束されて, ダミー頭部は前席と衝突していなかったが, 前席との距離が小さいことから, ダミーの頭部が前席上面と衝突しそうになっていた. また, 2 点式シートベルト

でプロテクタの有無に関わらず、ダミーの状態はほぼ同等であった。

110ms 時、ベルト拘束なしの場合、膝が前席背面と衝突することで、ダミー胸部が前席と衝突しなかった。3点式シートベルトで頭部上端と前席上面が衝突した。

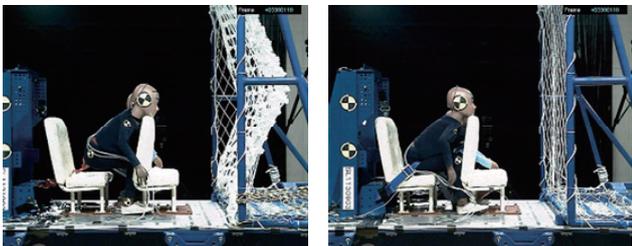


(a)ベルト拘束なし (b)2点式シートベルト

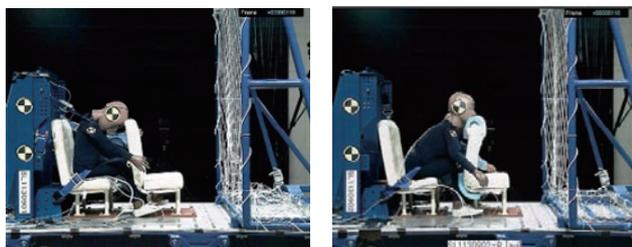


(c)3点式シートベルト (d)2点式シートベルト
+プロテクタ

図 15 6 歳児ダミー90ms 時状態



(a)ベルト拘束なし (b)2点式シートベルト



(c)3点式シートベルト (d)2点式シートベルト
+プロテクタ

図 16 6 歳児ダミー110ms 時状態

また、ダミーの挙動について実験とシミュレーションでほぼ同等の状態であった。前席シートと衝突する時間が異なるのは、前席シートとの距離が実験の方が短いためである。

3. 2. 2. スレッド計測値

図 17 に各実験でのスレッドの加速度と目標の加速度の時間履歴図を示す。すべての実験で加速度はほぼ同等であった。

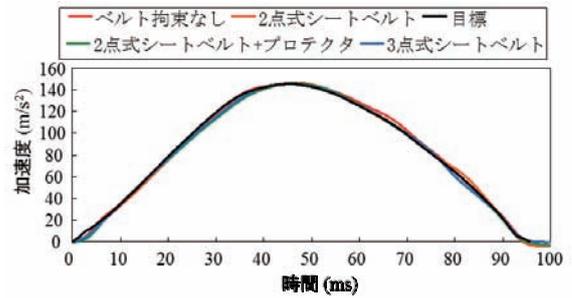
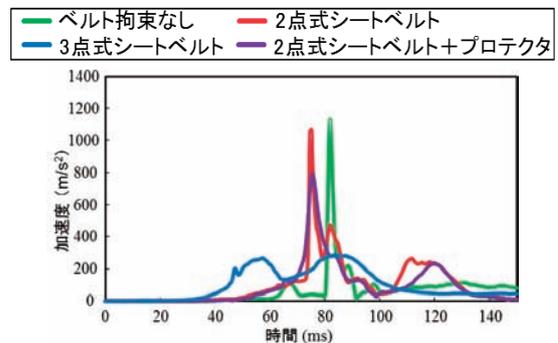


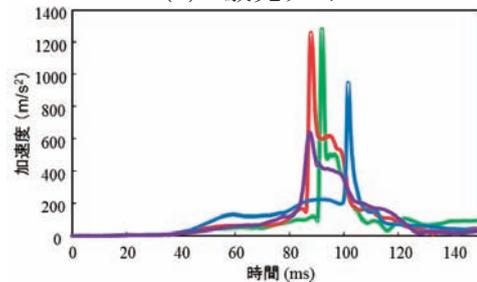
図 17 スレッド加速度時間履歴図

3. 2. 2. ダミー計測値

3 歳児ダミーと 6 歳児ダミーについて、図 18 に頭部の 3 軸合成加速度時間履歴図を示す。



(a)3 歳児ダミー



(b)6 歳児ダミー

図 18 頭部加速度時間履歴図

どちらのダミーでもベルト拘束なしと 2 点式シートベルトの場合の最大加速度が特に大きかった。3 歳児ダミーの場合、次いで 2 点式シートベルト+プロテクタで 3 点式シートベルトが最も小さかった。6 歳児ダミーの場合、次いで 3 点式シートベルトで、2 点式シートベルト+プロテクタの場合が最も小さかった。これは、図 16 で示したように、シート間距離が小さいことから、6 歳児ダミーの場合、3 点式シートベルトでもダミー頭部が前席シートと衝突したため、加速度が大きくなったためと考えられる。プロテクタありの場合、どちらも最大加速度が小さくなっていること

から、乗員保護の効果はあると考えられる。

胸部加速度については、Hybrid II ダミーに加速度計の設定が無いため測定できなかった、

なお、加速度波形については、シミュレーションと実験で差異がみられた。これは、現在のシミュレーション技術で、ダミーの計測値についての再現が難しいためと考えられる。

ダミーの頭部傷害値について、加速度から算出する HIC15 (Head Injury Criteria : 頭部傷害指標 (15ms 区間)) を表 2 に示す。どちらのダミーでも、2 点式シートベルトが最も大きく、次いでベルト拘束なし、2 点式シートベルト+プロテクタで 3 点式シートベルトが最も小さかった。また、3 歳児ダミーより 6 歳児ダミーの方が大きな値を示した。

表 2 HIC15 傷害値

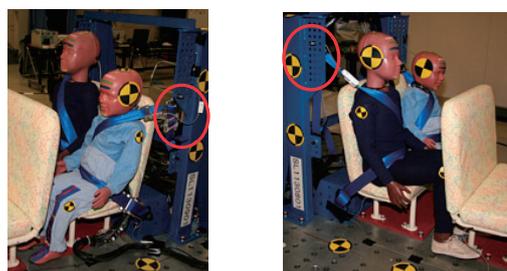
	3歳児ダミー	6歳児ダミー
ベルト拘束なし	178	258
2点式シートベルト	191	527
3点式シートベルト	60	115
2点式シートベルト+プロテクタ有り	175	210

4. 考察

今回のシミュレーション及び実験で、ダミーの挙動はほぼ同等であり、ダミーの挙動に関してはシミュレーションで模擬できたと考えられる。

今回の調査で行った拘束条件の中において、上体を拘束する条件である 3 点式もしくは 5 点式シートベルトが乗員の安全性が最も高くなった。しかしながら、使用性の観点で、3 点式シートベルトに関して懸念点が考えられる。図 19 に 3 点式シートベルト条件でのダミーの試験前状況を示す。今回の実験において、3 歳児ダミーと 6 歳児ダミーでショルダーアンカの位置が異なっていた。今回、シートベルトは胸部中心から鎖骨中心を通る様に設定し、その調整のためショルダーアンカ位置を稼働できるようにしている。そして、3 歳児ダミーが低くなり、6 歳児ダミーが高くなった。しかしながら、実際の幼児専用車では、ベルトアンカ位置の変更は構造的に難しく、また、実際の使用において、使用者 (幼児) がショルダーアンカ位置の変更をすることも難しいと考えられる。さらに、3 歳児ダミーではシートベルトが頸部の近くを通っていて、実事故において、ベルトが頸部にかかり危険が生じる可能性が考え

られる。これらのことから、幼児専用車において 3 点式シートベルトを使用することは難しいと考えられる。2 点式のシートベルトは、大人の監督があれば幼児でも使用が可能と考えられる。



(a) 3 歳児ダミー (b) 6 歳児ダミー

図 19 3 点式シートベルト試験前状況

今回の実験において、2 点式シートベルトで 6 歳児ダミーの場合、ダミーの顎が前席上面と衝突して、頸部の上下方向に力が入り、頭部だけでなく頸部も危険であることが考えられる。このことから、シートの高さを高くするか、シート間距離を広げて、乗員の頸部への入力や、頭部への上下方向の入力を避ける要件が必要と考えられる。

5. まとめ

幼児専用車の前面衝突事故を模擬したシミュレーションと実験を実施し、幼児専用車の拘束装置の要件について、調査を実施した結果を以下にまとめる。

1. 現在のベルト拘束なしでは、前席に乗員の頭部及び胸部が衝突して、乗員が傷害を受けることがある。
2. 2 点式シートベルトで拘束した場合、乗員の腰部が拘束され、腰部を中心に上体が回転運動をして、頭部が前席に衝突して、ベルト拘束なしと同等かそれ以上の頭部傷害を受けることがある。
3. 前席に保護部材を設置することで、頭部傷害の程度を小さくできる可能性がある。
4. 3 点式シートベルトを適正に使用すれば、乗員傷害を小さくすることが可能である。しかし、適正に使用することが現実的に難しいと考えられる。

以上より、今回の実験条件の中では、2 点式シートベルト+前席保護部材設置が、頭部と胸部の両方を保護できて望ましいと考える。そして、さらに、シートの高さ要件と保護部材の性能要件の調査が必要であると考えられる。