車両前面衝突時の乗員胸部傷害値を低減する 腰部拘束装置の開発*

田 岡 義 文^{*1}

Development of Pelvis Anti Submarine Device to Reduce Chest Injury for Frontal Impact of Vehicle

Yoshifumi TAOKA^{*2}

^{*2} Daihatsu Motor Co., Ltd. Vehicle Research & Development Div,
2-1-1 Momozono, Ikeda-shi, Osaka, 563-8651 Japan

It is a very important subject to reduce chest deceleration when frontal crash impact of vehicle occurs. One of the most efficient methods of reducing chest deceleration is to optimize pelvis deceleration of vertical direction. The purpose of this development is to design a new concept of anti submarine device, which is more efficient, economical, and no partial injury of human body. This developmental new device can lift up the anti submarine pipe toward pelvis direction by utilizing inertial force, which occurs in frontal crash impact of vehicle instead of using pyrotechnical explosion power that acts by the signal of electronic crash sensor. Through this investigation, we also obtained that it became possible to reduce chest maximum deceleration of horizontal direction by increasing pelvis deceleration of vertical direction in the first period of vehicle crash and by decreasing pelvis deceleration of vertical direction in the middle and the latter period of vehicle crash.

Key Words: Automobile, Safety Engineering, Bio-Motion, Dynamics of Machinery, Motion Control

1. 結 論

近年の自動車開発において、車両前面衝突時の乗員挙動や乗員傷害値の計算に関しては MADYMO などの CAE 解析ソフトが存在しており、これらを用いた解析⁽¹⁾や、多質点系バネマスモデルを用いた解析^{(2)~(4)}が多く行われている。一方で前面衝突を模擬したスレッド試験による傷害値の解析も広く実施されているが、これまでの弊社での試験結果解析により、重要な乗員傷害値の一つである胸部減速度は、腰の上下方向減速度の変化に大きな影響を受けていると著者は考えている。しかし現状においてここに的を絞った理論、実験解析や、それに基づく商品の開発はさほどなされていない。

本研究では腰の拘束方法として、現在一部車両で市販されている衝突時の減速度の電気信号をセンサで感知した後、火薬類で腰部拘束装置を作動させるような方法⁽⁵⁾をとらず、車両衝突時の車体減速度によりシートに発生する慣性力を有効に利用して、衝突後の時間ごとの腰上下減速度をコントロールし、胸部傷害値低減

に効果があり、かつ乗員の局部的部位への攻撃性も少ない腰部拘束装置を開発した。本装置を用いた前面衝突模擬スレッド試験により、胸部減速度の最大値を下げるためには腰上下減速度をいかに変化させればよいのかについての知見も導出したので紹介する。

2. 現 状 分 析

図 1 に実際の衝突試験で用いられている計測用ダミー (Hybrid III) を示す。腰部と胸部の連結は人体の腰椎を擬似しており、内部にワイヤの入った硬質ゴムで構成されたランバースパインと称する部品で連結されている。したがって腰から前後方向、上下方向の減速度が加わった場合、ランバースパインに曲げモーメントが伝ばし、胸部の減速度に影響を与える。

この影響を確認するために、図 2 に示すように Hybrid III ダミーをシートに着座させて、シートベルトでダミーを拘束させた状態での前面衝突模擬スレッド試験を 3 ショット行った。シートおよびシートベルトは表 1 のような仕様とし、外乱要素を取り除くため、ステアリングおよびステアリング内蔵エアバッグは取り外した状態としている。試験結果を図 3 に示す。グラフは横軸を時間とした場合の、上から胸部合成減速度、胸部前後 (X) 方向減速度、腰部上下 (Z) 方向減速

* 原稿受付 2005 年 5 月 2 日。

^{*1} 正員、ダイハツ工業(株) (〒563-8651 池田市桃園 2-1-1)。

E-mail: Yoshifumi_Taoka@mail.daihatsu.co.jp

度、腰部前後(X)方向減速度を示す。時間歴で見ると、特に前突時に問題となる0~80 ms間においては、胸部合成減速度に支配的な前後方向の胸部減速度は腰部前後(X)方向減速度よりも腰部上下(Z)方向減速度にグラフの形状が擬似(山部が対応)しており、影響度合いが大きいといえる。特にType3においては、42 ms付近にてダブルブリテンの影響により腰がシートのボトムパネルに押付けられ、高い腰上下減速度が胸の減速度に伝わったことがグラフより読み取れる。なお本スレッド試験時、入力値として用いた車体側減速度波形を図4に示す。

Table 1 Parameters of seat and seat belt structure

	Structure of Seat Cushion Frame	Structure of Seat Belt
Type1	With S-Shaped Spring Suspension	With ELR Pretensioner
Type2	Bottom Panel	↑
Type3	↑	With ELR and Lap Outer Pretensioner

Fig. 1 Structure of Hybrid III Dummy

Fig. 2 Sled test apparatus of seat, seatbelt, and Hybrid III dummy

3. 新規腰部拘束装置の開発

3.1 開発の狙い 2章での試験結果により、胸減速度の最大値を下げるためには、衝突初期に腰上下減速度を高めてやることにより胸の初期拘束性能を向上させて、衝突エネルギーの吸収を効率良く行い、衝突中期~後期においては腰への入力を低下させることに

Fig. 3 Result of occupant deceleration curve

Fig. 4 Vehicle deceleration curve

より、胸への減速度上乘せを排除してやればよいと考えられる。腰への上下減速度入力を得るためには、シート着座時大腿部の下方に前突時の尻部を受ける部材を設定する方法があるが、通常着座状態で異物感が発生し、商品性も低下してしまう。これを防止するために現在製品化されている商品としては、通常状態では大腿部や尻部に対し異物感のない位置にまで部材を下げて設定しておき、衝突時のみ検知した衝突信号からインフレータを着火させ、部材を上方に持ち上げる機構があるが、原価面で高価なことや、インフレータにより高速度で動く部材が人体へ与える影響に懸念がある。これらを防止するため、通常着座状態では大腿部より遠い位置にある部材を、インフレータを用いず、車両前突時車体に加わる慣性力を利用して持ち上げる ASD (Anti Submarine Device) 機構を考案した。またこの部材は衝突中期～後期には変形させるか、または下方に落とし込むことにより、腰から胸への過度な荷重伝ばを阻止することを狙った。

3・2 ASD 開発品の設計仕様 考案した ASD のシートへの組み込み状態図、部品構成図、作動原理図をそれぞれ図 5～7 に示す。図 5～7 のように、車両前突時は車体に発生した慣性力により、装置に設定された

慣性マスとパイプが回転中心にて反時計回りに回転することによりパイプが乗員側に持ち上がる。また車体の慣性力が減少するとパイプは衝突前の初期位置の方向に時計回りに回転する。ASD の設計に当たっては、図 4 に示す車体側減速度が加わったときに確実に ASD が作動するようスペックを定めていった。ここで図 8 に基づき、記号を下記のように定義する。

m_1 : ASD パイプ側質量(アームの一部も含む)

m_2 : ASD 慣性マス側質量(アームの一部も含む)

F_0 : Hybrid III ダミーから m_1 重心に下方向に加わる力(シートに Hybrid III ダミーを着座させ、パイプ挿入位置直上のダミー左右大腿部を負荷して、大腿部が左右とも持ち上がる最小荷重を測定)

F_1 : m_1 重心に下方向に加わる力の合計

F_2 : m_1 重心に前方向に加わる力

F_3 : m_1 重心に回転方向に加わる力

f_1 : m_2 重心に下方向に加わる力

f_2 : m_2 重心に前方向に加わる力

g : 重力加速度

Fig. 5 Principle of ASD acting system

Fig. 6 Dissolved view of ASD

Fig. 7 Side view of ASD

Fig. 8 Definition of physical elements

a_0 : 車体側減速度

a_1 : m_1 重心に回転方向に加わる減速度

K : トーションスプリングの復元モーメント

S_1 : ASD 回転中心から m_1 重心までの前後寸法

S_2 : ASD 回転中心から m_1 重心までの上下寸法

S_3 : ASD 回転中心から m_1 重心までの実寸法

T_1 : ASD 回転中心から m_2 重心までの前後寸法

T_2 : ASD 回転中心から m_2 重心までの上下寸法

衝突時に発生する力は、

$$F_1 = m_1 g + F_0 \quad (1)$$

$$F_2 = m_1 a_0 \quad (2)$$

$$f_1 = m_2 g \quad (3)$$

$$f_2 = m_2 a_0 \quad (4)$$

反時計回りに発生するモーメントを M とすると

$$M = F_2 S_2 + f_2 T_2 + f_1 T_1 + K - F_1 S_1$$

$$= F_3 S_3 = m_1 a_1 S_3 \quad (5)$$

$$\therefore a_1 = M / m_1 S_3 \quad (6)$$

一方、ASD のパイプが通常着座位置より最上段に持ち上がった位置に達するまでの時間を t_1 、そのときの m_1 重心における回転方向の移動距離を L_1 とすると

$$a_1 = 2L_1 / t_1^2 \quad (7)$$

作動に必要な L_1 値、 t_1 値はシートとしての乗り心地性能要件と 2 章によるスレッド試験結果より目標値を定めることができるため、これらの条件を基にして a_1 を求めた後、 a_1 を満足するための各部品形状と寸法、質量、トーションスプリング仕様などを定めていった。

4. ASD 組込み試験結果と考察

4・1 ASD 組込みスレッド試験結果 3 章の設計計算に基づき ASD を試作し、2 章でのスレッド試験と同条件で新たにスレッド試験を行った。ASD は Type 1 のシートに組込み、シートベルト仕様も Type 1 に合わせ、これを Type 4 とした(表 2 参照)。スレッド試験結果(Type 1 と Type 4 の比較)を図 9 に示す。各グラフの並び方は図 3 と同じである。なお試験の際は、シート裏面にマイクロカメラを設置し、ASD

Table 2 Parameters of seat and seat belt structure

	Structure of Seat Cushion Frame	Structure of Seat Belt
Type 1	With S-Shaped Spring Suspension	With ELR Pretensioner
Type 4	With S-Shaped Spring Suspension Plus ASD	↑

挙動をコマ取り撮影することにより、ASD が狙い通りに作動しているかどうか確認した(図 10 参照)。

コマ撮り撮影の結果、ASD のパイプは車体減速度の増加に伴って発生する慣性力により、ダミーがパイプを押付ける力 F_0 に打勝って上昇を開始し、32 ms 付近にてパイプが最上端位置に達し、しばらくこの状態を維持するが、車体減速度の減少とともにパイプは落ち込み始め、86 ms 付近ではほぼ初期位置まで戻る。この間でパイプ自体も変形し、衝突エネルギーを吸収する。このような ASD の挙動結果は図 9 のグラフにもよく反映されており、30 ms 付近での腰上下減速度上昇による胸前後減速度上昇に結びついている。

Fig. 9 Result of occupant deceleration curve

また 40~60 ms ではパイプの変形とパイプの下降開始により腰上下減速度が低下し、胸前後減速度のピーク値低減に貢献している。図 11 に試験後のシートクッションフレーム状態を示す。試験前にはストレートだったパイプが試験後にはエネルギーを吸収してわん曲していることがわかる。

4.2 衝突エネルギー消費の面から見た考察 本スレッド試験結果をエネルギーの観点でグラフ化したものを図 12 に示す。このグラフは縦軸に胸部前後減速度、横軸に地上基準で見た胸部移動量を示す。グラフで囲まれた面積は胸部の運動エネルギーを胸部質量で割り算したものになり、同一の車体減速度を与えた場合は Type 1 も Type 4 も同じ値となる。したがっ

て胸の許容移動量を同一としたときは、初期のグラフの傾きを大きくし、初期エネルギーを高くしてグラフで囲まれた面積を大きくすることによりエネルギーの消費を多くし、衝突中期～後期のピーク減速度が下がりやすくなるようコントロールしていくことが望ましい。その点今回設計、評価した ASD は、通常のシート (Type 1) に対し、胸部合成減速度の最大値で比較すると 32 m/s^2 の低減効果が得られており、図 12 のエネルギー特性比較でも狙いに合ったグラフ形状が得られたため、本 ASD は 3・1 節の狙いにうまく適合した乗員拘束システムになっていると考える。

5. 結 言

車両前面衝突時乗員が受ける重大な傷害値の一つである胸部減速度を下げるために、腰の上下減速度に着目し、衝突時の車体減速による慣性力を有効活用した乗員拘束システムを設計、試作評価し、効果を得ることができた。これによれば、衝突初期段階 (図 4 に示す車体減速度条件では 0~39 ms 付近) では、極力腰への上方向荷重を与えることにより、胸部への初期減速度立上りを増加させて衝突エネルギーを消化させ、衝突中期～後期段階 (図 4 に示す車体減速度条件では 40

Fig. 10 Motion of ASD by sled test

Fig. 11 Seat cushion frame with ASD (after the sled test)

Fig. 12 Result of occupant deceleration curve

ms以降)では、極力腰への上方向荷重を弱めてやり、胸部に伝わる減速度を下げることで胸部のピーク減速度を下げることに貢献することが確認できた。本システムは商品化に向けて開発を続行中である。

終わりに、本研究開発において部品製作や実験に協力していただいた富士シート(株)のご担当者の方々に感謝の意を表す。

文 献

- (1) 伊藤秀樹・橋本大一・清水信行, MADYMO による衝突

時の乗員挙動解析(エアバッグの適用に関するフィジビリティ・スタディ), 機論, 57-539, C(1991), 2205-2210.

- (2) 近藤正直・高橋邦弘, 衝突時の車体減速度波形と乗員減速度, 自動車技術会論文集, No. 35 (1987), 154-161.
- (3) 大村英夫, 正面衝突時における乗員挙動解析について, 自動車技術, 42-10 (1988), 1336-1342, 自動車技術会.
- (4) 鈴木直幸・園田義晴・高橋邦弘・鈴木健弘・俵山崇・独古泰裕, 車体減速度波形の乗員傷害値に対する最適化, 自動車技術会論文集, 24-4 (1993), 109-112.
- (5) 速水則行, MADYMO によるシート性能評価—CRD (Cushion Restraint Device) シートの効果検討, (2000), 豊田中央研究所・業務報告書, 200001103.