

K6-85

自動車前面衝突時におけるシートベルト拘束を受ける乗員挙動シミュレーションモデルの作成

Construction of Occupant Behavior Simulation Model by Seat Belt Restrained in The Car Frontal Collision

○大杉 景二¹, 飛田 一貴¹, 山本 優², 富永 茂³, 岡野 道治³
Keiji Osugi¹, *Kazuki Tobita¹, Masaru Yamamoto², Shigeru Tominaga³, Michiharu Okano³

Abstract: Submarining phenomenon ,be the cause of abdominal injury due to motor vehicle collisions. Factor that submarining phenomenon occurs, sinking of the pelvic ,but it is not well known so far about the conditions that occur. This study tries to reproduce the submarining phenomenon by occupant that is restrained the chest and the abdomen by seat belt simulation of frontal collision.

1. はじめに

自動車の衝突による腹部の傷害の主な原因として、乗員に発生するサブマリン現象が挙げられる。サブマリン現象とは、衝突時に乗員が沈み込み、シート座面から滑り落ちてしまうことである。この現象によりシートベルトが骨盤から外れて腹部にずれ込み、腹部に大きな圧力がかかることで内臓に傷害をもたらすと考えられている。サブマリン現象の発生には様々な要因が挙げられるが、それら要因の条件については明確でないため、自動車前面衝突時の乗員の挙動を再現するモデルが必要である。

そこで本研究では、佐藤らの乗員挙動モデル^[1]を用いて、胸腹部にシートベルト拘束を受けた乗員の衝突時における挙動シミュレーションを行い、サブマリン現象の再現を試みる。

2. 乗員モデル

佐藤らの乗員モデルを図 1 に示す。

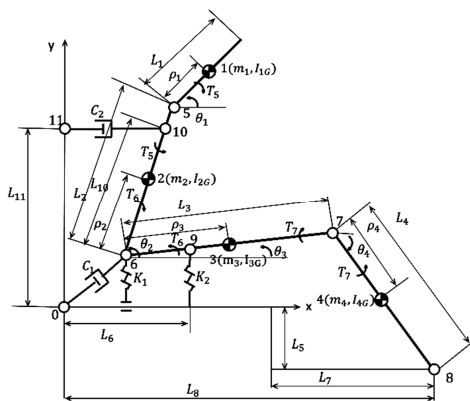


Figure1. Occupant model

このモデルは人体を頭と首、胴、大腿部、下脚部の 4

つに分け、4 質点として考える。シートのモデルは垂直方向に変位するバネを座面部分に 2 つ考慮した。シートベルトについては、腰ベルトと肩ベルトを 2 つのダンパとして考慮した。

図 1 について、ラグランジェの運動方程式を用いて各関節部の角度 $\theta(\text{rad})$ についての運動方程式を求めた。ここで、運動方程式が非線形の連立微分方程式となり、処理が煩雑になる。そこで、数値解析を行うにあたり角度が非常に小さい($\theta \ll 1$)として線形化を行った。

以上より求めた運動方程式を式(1)に示す。

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = F \tag{1}$$

ここで、式(1)の各マトリクスは次の通りである。

$$X = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix}, \quad M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{21} & M_{22} & 0 & M_{24} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & M_{34} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & M_{44} \end{bmatrix},$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ 0 & C_{32} & C_{33} & C_{34} \\ 0 & C_{42} & C_{43} & C_{44} \end{bmatrix}, \quad F = \begin{bmatrix} F_{11} \\ F_{21} \\ F_{31} \\ F_{41} \end{bmatrix},$$

$$K = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_{33} & K_{34} \\ 0 & 0 & K_{43} & K_{44} \end{bmatrix}$$

また、上記マトリクスの各要素は次の通りである。

$$M_{11} = m_1\rho_1^2 + I_{1G}, \quad M_{12} = m_1\rho_1L_2, \quad M_{13} = -m_1\rho_1L_3, \\ M_{14} = -m_1\rho_1L_4, \quad M_{21} = m_1\rho_1L_2, \quad M_{22} = m_1L_2^2 + m_2\rho_2^2 + I_{2G}, \\ M_{24} = -m_1L_2L_4 - m_2\rho_2L_4, \quad M_{31} = -m_1\rho_1L_3, \\ M_{32} = -m_1L_2L_3 - m_2\rho_2L_3, \\ M_{33} = m_1L_3^2 + m_2L_3^2 + m_3(\rho_3 - L_3)^2 + I_{3G}, \\ M_{34} = m_1L_3L_4 + m_2L_3L_4 - m_3(\rho_3 - L_3)L_4, \\ M_{41} = -m_1\rho_1L_4, \quad M_{42} = -m_1L_2L_4 - m_2\rho_2L_4, \\ M_{43} = m_1L_3L_4 + m_2L_3L_4 - m_3(\rho_3 - L_3)L_4, \\ M_{44} = m_1L_4^2 + m_2L_4^2 + m_3L_4^2 + m_4(\rho_4 - L_4)^2 + I_{4G},$$

$$\begin{aligned}
 C_{22} &= C_2 L_{10}^2, & C_{23} &= -C_2 L_3 L_{10}, & C_{24} &= -C_2 L_4 L_{10}, \\
 C_{32} &= -C_2 L_3 L_{10}, & C_{33} &= (C_1 + C_2) L_3^2, & C_{34} &= (C_1 + C_2) L_3 L_4, \\
 C_{42} &= -C_2 L_4 L_{10}, & C_{43} &= (C_1 + C_2) L_3 L_4, & C_{44} &= (C_1 + C_2) L_4^2, \\
 K_{22} &= -(m_1 L_2 + m_2 \rho_2) \ddot{x}_0, \\
 K_{33} &= (m_1 L_3 + m_2 L_3 - m_3 (\rho_3 - L_3)) \ddot{x}_0 \\
 &\quad + K_1 L_3 (L_8 - L_4) + K_2 (L_3^2 - 2L_3 x_0 + x_0^2), \\
 K_{34} &= K_1 L_3 L_4 + K_2 (L_3 L_4 - x_0 L_4), \\
 K_{43} &= L_4 (K_1 L_3 + K_2 (L_3 - x_0)), \\
 K_{44} &= (m_1 L_4 + m_2 L_4 + m_3 L_4 - m_4 (\rho_4 - L_4)) \ddot{x}_0 \\
 &\quad + L_4 (-K_1 L_3 + K_1 L_8 + K_2 L_4), \\
 F_{11} &= T_5, & F_{21} &= T_6 - T_5 + m_1 L_2 L_3 + m_2 \rho_2 L_3, \\
 F_{31} &= -(T_6 + T_7) - K_1 L_3 L_5 - K_2 (L_3 L_5 - x_0 L_5), \\
 F_{41} &= T_7 - L_4 L_5 (K_1 + K_2)
 \end{aligned}$$

3. 乗員挙動シミュレーション

本研究は Scilab の常微分方程式ソルバ ode を用いて解く。シミュレーション時間 $t=0\sim 0.03$ sec, 計算刻み幅 0.001 sec とする。

自動車は剛体壁に前面衝突するとし、シートには次に示す入力を与える。

$$x_0 = a \left(t_1 t - \frac{t^2}{2} \right) \quad (2)$$

ここで, x_0 : シートの変位(m), a : 最大減速度(m/s^2), t_1 : 減速度持続時間(sec), t : 時間(sec) である。

低速条件: $a = -84 \text{ m/s}^2$ (30 km/h 相当), 高速条件: $a = -140 \text{ m/s}^2$ (50 km/h 相当) でシミュレーションを行った。それぞれの最大減速度における乗員挙動の様子を図 2, 図 3 に示す。また, シート座面と腰位置の関係を図 4 に示す。

図 2, 図 3 から, 高速条件の方が各関節の変位が大きくなる。特に, 腰部の角度に大きな変位が生じている。図 4 では衝突時に乗員腰部の浮き上がりがみられた。

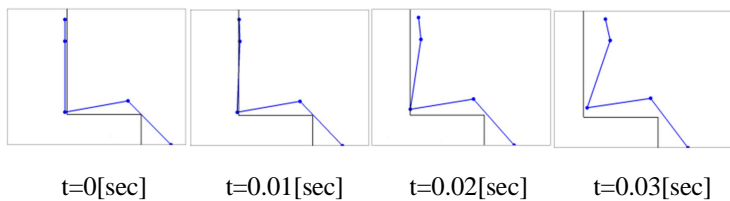


Figure2. Displacement of occupant($a = -84[m/s^2]$)

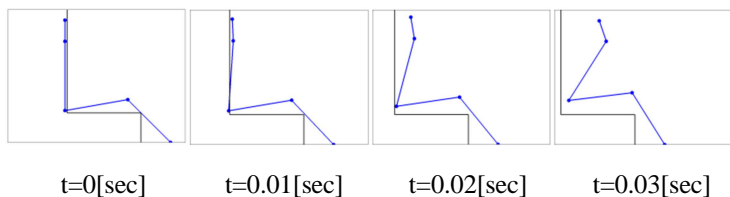


Figure3. Displacement of occupant($a = -140[m/s^2]$)

低・高速条件間では, 最大で 0.03 m 程度の差が生じ, 高速条件が大きな変位をとる。

4. 考察

今回の乗員挙動シミュレーションでは速度のみを変えて行った。低・高速条件ともに乗員腰部の浮き上がりが生じ, それぞれの関節部でも似たような挙動の傾向がみられた。このことから, サブマリン現象の原因に挙げられるシートへの沈み込み発生の有無は, 速度のみに依存するものではないと考えられる。

今後, サブマリン現象を再現するためには, 速度のほかに, シートベルトとして考慮したダンパ, シートとして考慮したバネ, 乗員の各関節の可動域およびそれに伴い作用する反モーメントの再検討を行う必要がある。

5. 結論

自動車衝突による腹部傷害の原因として, 乗員の沈み込みによって発生するサブマリン現象が挙げられる。

本研究では, 佐藤らの乗員モデルを用いて自動車前面衝突時の乗員挙動シミュレーションを行い, サブマリン現象の再現を試みた。

乗員挙動シミュレーションの結果には乗員腰部の浮き上がりがみられ, 沈み込みは再現できなかった。

今後, シートのダンパとバネ, 乗員の可動域および反モーメントの再考が必要である。

6. 参考文献

[1]佐藤武ら:「自動車用安全ベルトについて-第 3 報- デジタル計算機による乗員挙動のシミュレーション」, 自動車技術会学術講演会前刷集 43 年春, pp.167-176, 1968

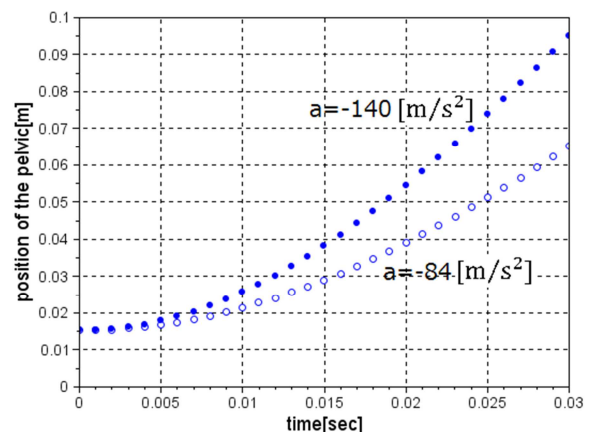


Figure4. Relationship of seat and position of the pelvic