336 3歳児人体有限要素モデルによるCRSの解析

Analysis of CRS Using 3-year-old Child Finite Element Model

伊神 崇 (名古屋大学)
 水野 幸治 (名古屋大学)
 古川 一憲 (豊田中央研究所)

岩田 和也 (名古屋大学)
 三木 一生 (豊田中央研究所)

Takashi IKAMI, Kazuya IWATA, Koji MIZUNO, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Japan
 Kazunori FURUKAWA, Kazuo MIKI, Toyota Central R&D Labs., Inc. 41-1 Yokomichi, Nagakute-cho, Aichi-gun, Aichi, Japan

Key Words: Car crash, Finite element method, CRS, Injury biomechanics, Impact biomechanics

1. はじめに

チャイルドシート (Child Restraint System; 以下 CRS) には様々な拘束方法があり、衝撃時には腹部、頸部等への圧迫荷重とその分布が異なる可能性がある。現在、CRS の安全性評価試験では、子供衝突ダミーが用いられている。しかし、衝突ダミーは人体と形状や力学的特性が異なるため、CRS の拘束方法に起因する挙動や圧迫の詳細を検討することは難しいと考えられる。

これまで、本研究では、CRS 使用時の子供の詳細な傷害の解析を目的として、人体有限要素 (FE) モデル THUMS (Total HUMAN Model for Safety) 成人男性 AM50 に対してスケーリングを行い、3 歳児人体 FE モデルの開発を行ってきた。今回、このモデルに対し、3 歳児ダミーの校正試験である腰部静的曲げ特性、頸部屈曲・伸展特性について検証を行った。また、小児ボランティアとの比較から腹部シートベルト負荷時の特性評価を行った。これらの検証を行った上で、このモデルを用い、シールドタイプ CRS、5 点式ハーネスタイプ CRS の衝撃解析を行い、人体に加わる負荷について比較を行った。

2. 腰部静的曲げ特性

CRS 拘束の衝撃時において、子供乗員の屈曲挙動は重要であり、この特性に大きな影響を及ぼす腰椎の曲げ特性について、ダミー校正試験に従い、3 歳児 FE モデルを用いて検証を行った (図 1)。

解析では、ダミー校正試験と同様に、胸椎をワイヤで引っ張ることにより体幹を屈曲させ、発生する引張荷重値と体幹の屈曲角を求めた。計算の結果、屈曲角が 45° のとき荷重値が 160 N となっており、ダミー校正要件を満たしていることが分かった (図 2)。

Fig. 1 Simulation condition of torso bending test

Fig. 2 Tensile force - torso angle curve of FE model

3. 腹部シートベルト負荷特性

子供ダミー腹部インサート設計のため、小児ボランティアと子供ダミーの腹部にシートベルトによる静的な負荷を与える実験が行われている⁽²⁾。実験では、腹部に当てたシートベルトに引張力を加え、シートベルト引張力と腹部貫入量の関係について調べている (図 4)。そこで、この実験を模擬し、FE モデルの腹部負荷特性について検証を行った (図 3)。

計算の結果、シートベルト引張力と腹部貫入量の関係は、実験で改良された腹部 (New Abdomen) と近い関係を示した (図 4)。また軟部組織の変形段階では、小児ボランティアの実験から求められたコリドーともよく一致した。このことから、3 歳児 FE モデルの腹部は、実際の人体により近い特性であると考えられる。

Fig. 3 Simulation condition for abdomen compression test

Fig. 4 Comparison of 3YO THUMS and dummies abdomen stiffness with volunteer corridor

4. 頸部曲げ特性

3歳児FEモデルの頸部屈曲・伸展特性の妥当性を検討するために、FEモデルに対して校正試験と同様の条件で解析を行った(図5)。胸部に加速度場を与え、頸部に加わるトルクと頸部屈曲角の関係を検討した。解析の結果、屈曲・伸展共に3歳児にスケリングされたコリドー内に入ることが分かった。

Fig. 5 Neck flexion and extension corridor

5. CRSスレッド試験シミュレーション

代表的な CRS としてインパクトシールドタイプ CRS, 5点式ハーネスタイプ CRS について、それぞれ FE モデルを作成し、3歳児 FE モデルによる ECE R44 スレッド試験のシミュレーションを実施した。モデルの挙動を衝突ダミーと比較し、さらに CRS 拘束による各部の応力分布について検討した。

5. 1. インパクトシールドタイプ CRS

全身の挙動について、衝突ダミーでは、体幹のうち腰椎のみが屈曲し、シールドに沿って前方に回転しつつ上方に移動する挙動を示した。これに対し FE モデルでは、胸部を中心に体幹が屈曲し続けた。これは死体実験により報告されている挙動に近く⁽³⁾⁽⁴⁾、3歳児 FE モデルは衝突ダミーに比べ、実際の人体に近い特性を示したと考えられる。シールドは職説胸部と接触するため、その形状や特性は、胸郭の変形や傷害部位に影響を及ぼす。胸郭の変形にともない、胸部内臓では、大きな圧縮応力が確認され、傷害の可能性が考えられる。

Fig. 6 Simulation condition for the CRS (Shield Type) sled impact test

Fig.7 Comparison of the kinematics of FE model and dummy

5. 2. 5点式ハーネスCRS

5点式ハーネスCRSについて、本体をシェル要素で作成し、ハーネスのうち人体と接触する部位についてはファブリック要素、他のハーネス部分はシートベルト要素で作成した。3歳児FEモデルに加わる荷重は、ハーネスからの拘束によって鎖骨と骨盤に集中していることが確認できた。これらは、シールドタイプのCRSでは胸部のみに荷重が集中していたことと対照的であり、拘束方法によって応力が集中する部位、可能性のある受傷部位が異なることが確認された。また、5点式ハーネスタイプCRSでは、座席ベルトのストラップが大きく、サブマリンが起きた際にはクロッチベルトから股間、恥骨に高い応力がみられた。

Fig. 8 Simulation for the CRS (5-point harness type) sled impact test

7. 結論

本研究では、3歳児人体FEモデルの開発を行い、その妥当性を検証した。結論は次のとおりである。

- (1) 3歳児人体FEモデルは、頸部屈曲・伸展、腰部静的屈曲に関して衝突ダミーの要件を満たすとともに、腹部シートベルト負荷に対してはボランティア実験から得られたコリドーに一致した。
- (2) 3歳児人体FEモデルを用いた CRS による衝撃解析の結果、本モデルが人体の挙動と実際の子供の傷害を再現していることが確認された。
- (3) インパクトシールドタイプ CRS と 5点式ハーネスタイプ CRS について比較した結果、拘束方法によって人体部位の応力分布が大きく異なることが確認された。

参考文献

- (1) F. Chamouard, et al : Protection of children on board vehicles influence of pelvis design and thigh and abdomen stiffness on the submarining risk for dummies installed on a booster, ESV 1996, 96-S7-O-03, pp.1063-1073, 1996
- (2) Viano,D.C., Lau,I.V. : Viscous Tolerance Criterion for Soft Tissue Injury Assessment, J. Biomechanics 21 (5): 387-399, 1988.
- (3) Kallieris, D et al : Comparison between Child Cadavers and Child Dummy by Using Child Restraint Systems in Simulated Collisions, SAE Paper 76815, 1976.
- (4) Wismans, J.: Maltha, J. et al., Child Restraint Evaluation by Experimental and Mathematical Simulation, SAE 791017, 1979.