414 3 歳児有限要素人体モデルの生体忠実性向上

Biofidelity Advancement of 3-Year-Old Child FE Human Model

正 小泉孝之 (同志社大) 正 辻内伸好 (同志社大)

○学 瀧 宣博 (同志社大院)

Takayuki KOIZUMI, Nobutaka TSUJIUCHI, Doshisha University, Kyotanabe-City, Kyoto

Nobuhiro TAKI, Doshisha University Graduate School, Kyotanabe-City, Kyoto

Key Words: Finite Element Method, HUMOS-2, Impact Response Test, Scaling, Child

1. 結言

近年, コンピューター技術の発達に伴い, 人体のモデル化に関する研究が盛んに行われている. その結果, 自動車衝突時における人体の詳細な傷害評価が可能となってきた. しかし, これらのモデルの多くは成人を対象としたモデルであり, 幼児を対象としたモデルはほとんど存在しない. そこで, これまでの研究により, 3 歳児有限要素人体モデルが開発された¹⁾. このモデルは, MADYMO 内に存在する成人有限要素人体モデル(HUMOS モデル)をスケールダウンすることにより開発された. しかし, 開発されたモデルは多くの改善を必要とする. その一つとして, 生体忠実性の向上が挙げられる.

そこで本研究では, 3 歳児有限要素人体モデルの生体忠実性の向上を目的とし, 新たに HUMOS-2 モデルを用いて 3 歳児有限要素人体モデルの再構築を行った. また, 再構築したモデルの生態忠実性を評価するため, 衝撃応答試験を行った.

2. HUMOS-2 モデル概要

HUMOS(HUman MOdeling for Safety)モデルは, ヨーロッパの人体モデル化プロジェクトで開発された人体モデルである. モデルは, 皮膚, 骨格, 臓器等から再現されており, PMHS やボランティアによる実験との比較によって, モデルの妥当性が検証されている. HUMOS-2 モデルはこの HUMOS モデルの生体忠実性, ロバスト性を向上させることを目的に開発され, メッシュクオリティや材料特性等が改善されている²⁾. Fig. 1 に HUMOS-2 モデルを示す.

Fig.1 50%ile Adult FE Human Model (HUMOS-2 model)

本研究では, この HUMOS-2 モデルを用いて 3 歳児有限要素人体モデルを再構築した. また, 以下の文中にある 3 歳児有限要素人体モデルは HUMOS-2 から再構築した 3 歳児有限要素人体モデルを指す.

3. 3 歳児有限要素人体モデルの作成

成人有限要素人体モデルから 3 歳児有限要素人体モデルにスケールリングする際のスケールリング項目は, 人体形状, 関節特性, 材料特性の 3 点である. ここでは人体形状のスケールリングについて述べる.

本研究では 3 歳児の人体測定値として, CANDAT データベースを参考にし, 欧米の平均的な 3 歳児の体型を目標とした. また, メッシュスケールリング及び関節位置のスケールリングには, 成人と 3 歳児の形状の違いを精度・効率良く再現するために, 地球統計学で広く用いられている通常型 Kriging 法を用いた. スケールリング方法として, まず成人有限要素人体モデルより, CANDAT データベースに対応する節点を抽出する. この時の成人モデルにおける各節点座標を $\mathbf{X}_a$, スケールリング係数を $\lambda(\mathbf{X}_a)$ とし, 重み係数 ω_a を用いると, 任意の位置 $\mathbf{X}$ におけるスケールリング係数 $\lambda^*(\mathbf{X})$ は次式で表される.

$$\lambda^*(X) = \sum_{\alpha=1}^n \omega_{\alpha} \lambda(X_{\alpha}) \quad (1)$$

既知のスケーリング係数は一定値をとるので、重み係数の総和は1となる。この時、推定分散 σ_E^2 は、

$$\sigma_E^2 = E \left[\left(\lambda^*(X) - \lambda(X) \right)^2 \right] \quad (2)$$

と表される。この推定分散を最小化すると、次式の通常型 Kriging システムが得られる。

$$\sum_{\beta=1}^n \omega_{\beta} \gamma(X_{\alpha} - X_{\beta}) + \mu = \gamma(X_{\alpha} - X) \quad (\alpha=1,2,\dots,n) \quad (3)$$

$$\sum_{\beta=1}^n \omega_{\beta} = 1 \quad (4)$$

ここで、 μ をラグランジュ乗数、 μ を理論バリオグラムとする。この Kriging 推定システムを用いることにより、スケーリング係数が既知である座標から、未知の座標におけるスケーリング係数が算出可能となる。Fig.2 に頭頸部におけるZ軸方向のスケーリング係数の分布図を示す。

Fig.2 Z-Coordinate Scaling Factor Map for Head-Neck Part

このような分布図を人体各部位、各軸方向に対して作成することによって、メッシュスケーリング及び関節位置のスケーリングを行った。

4. 衝撃応答試験

再構築した3歳児有限要素人体モデルの生体忠実性を評価するために、衝撃応答試験を行った。試験要件として、本研究ではこれまでと同様に、Q3 ダミーの性能要件³⁾を用いた。また、衝撃応答試験の一例として、ここでは前面胸部衝撃試験について述べる。

シミュレーション条件として、人体モデルを剛体面に着座させ、インパクターを胸骨中心に衝突するように配置した。インパクターの直径は82[mm]、質量は3.8[kg]となるようにモデル化を行った。そして、初速度4.3[m/s]および

6.7[m/s]で衝突させた。Fig.3 に前面胸部衝撃試験の概観を示す。

Fig.3 Setup of Frontal Thoracic Impact Test

5. 結言

本研究では、3歳児有限要素人体モデルの生体忠実性の向上を目的とし、HUMOS-2モデルを用いて3歳児有限要素人体モデルの再構築を行った。その結果、以下の結論が得られた。

- (1) HUMOS-2モデルを用いて、3歳児有限要素人体モデルを再構築した。
- (2) Kriging法を用いることにより、成人と3歳児の人体形状の違いを考慮した3歳児の人体形状を再現した。
- (3) 構築したモデルの生体忠実性を評価するため、前面胸部衝撃試験を行った。

今後、再構築した3歳児有限要素人体モデルを用いて、前面胸部衝撃試験以外の衝撃応答試験を行っていく予定である。

謝辞

なお本研究は、文部科学省からの補助を受けた同志社大学の学術フロンティア研究プロジェクト「知能情報科学とその応用」における研究の一環として行った。

参考文献

- 1) 内田泰裕 他, 3歳児有限要素人体モデルを用いた衝突傷害予測, 2004 自動車技術会秋季学術講演会論文, 2004
- 2) TNO Automotive, MADYMO Human Models Manuals 6.3, pp.55-76, 2005
- 3) M.R.van Ratingen, *et al.*, Based Design and Performance Targets for a 3-Year Old Child Crash Dummy for Frontal and Side Impact, SAE Technical Paper Series, 973316, 1997