

高齢者頭部コンピュータモデルによる外傷解析

西本哲也¹⁾

1) 日大工・機械

1. 緒言

高齢化社会の進行に伴い交通事故における高齢者の死亡率は増加傾向にある。高齢者は加齢によって脳実質が萎縮することで、頭部外傷時に傷害が重傷化しやすい傾向があるとされているが、その発生メカニズムは明らかになっていない。頭部をはじめとする人体の衝撃解析には、人体の平均体格を再現したダミーや計算モデルが用いられることが多い。これまでに著者らは体格寸法ではなく加齢による変化が衝撃耐性に及ぼす影響を明らかにすべく、若年者の頭部CT画像を基に、高齢者の頭蓋内構造を再現した高齢者頭部モデルを構築した⁽¹⁾。そこで本報では構築した高齢者頭部モデルの検証として Nahum ら⁽²⁾の PMHS による頭部の衝撃実験を再現した。

2. 高齢者頭部モデル

高齢者頭部モデルは20歳代若年健常者の頭部CT画像データ433枚を基にモデル構築をおこなった⁽¹⁾。構築はCT画像に着色処理を施し、ボクセル法によって積層した画像を3次元化させることで若年者の頭部組織の形状を再現した。恒屋ら⁽³⁾の研究報告を基に、断層面において脳実質の面積率BAI(Brain Atrophy Index)を4.9%縮小させ、脳室の面積率VAI(Ventricular Area Index)を6.7%拡大させることで79.5歳の脳萎縮率を再現した。このとき脳実質は外縁部から一様に縮小させ、脳脊髄液で満たされた頭蓋内腔を相対的に拡大させた。図1に構築した高齢者頭部有限要素モデルを示す。頭部モデルは頭頂部から55.2mmの高さで断面をとっており、頭部の組織を皮膚、脂肪、筋肉、眼球、頭蓋骨、硬膜、大脳鎌、小脳テント、硬膜下腔、脳室、脳実質、延髄の12種類に分類をおこなっている。図2に若年者と高齢

者の頭部モデルの断面図を示す。筋骨格の形状を維持したまま脳実質が一様に縮小し、髄液層が拡大していることが確認できる。このことから本モデルは脳実質の萎縮による構造変化の影響のみを考慮して解析を行うことが可能である。表1に若年者と高齢者の頭部モデルの体積変化率を示す。モデルは1ボクセルの寸法が $0.27 \times 0.27 \times 0.6$ [mm]、総ボクセル数が約1億800万個に及ぶ。その要素数から体積を求めると高齢者の脳実質は若年者に比べ93.13%の大きさに縮小し、脳室は170.65%、硬膜下腔は141.71%に拡大した。

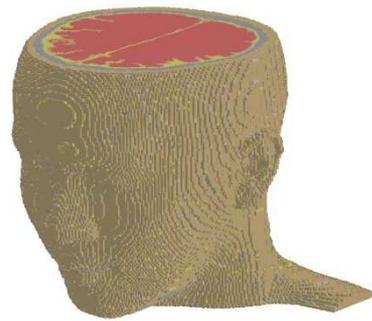


図1 高齢者頭部有限要素モデル

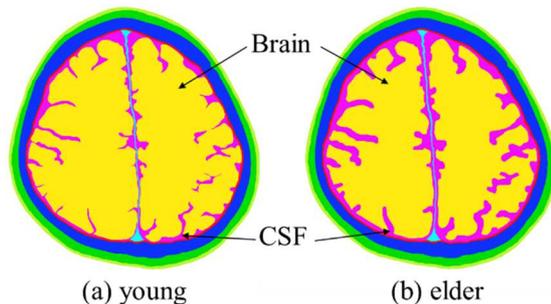


図2 頭部モデルの断面図

表1 頭部モデルの体積比較

	Volume of head model [$\times 10^5$ mm ³]		Elderly volume rate based on Young model [%]
	Young model	Elderly model	
Brain	14.69	13.68	93.13
Ventricle	0.28	0.48	170.65
CSF	1.94	2.75	141.71
All model	47.38	47.38	0

3. 頭部衝撃シミュレーション

構築した高齢者頭部モデルの検証として、Nahum ら⁽²⁾が行なった頭部の衝撃実験の再現シミュレーションを行なった。図 3 に頭部の衝撃解析の概略図を示す。実験は 42 歳男性の屍体を用いたもので、頭部の眼窩下縁と外耳上縁を結んだフランクフルト水平面に対し 45 度の角度で前額部に衝撃を与えるという条件である。インパクトの質量は 5.59kg, 速度は 9.94m/s で正面方向から衝突させている。実験では頭蓋骨の 4 箇所を開け、頭蓋内壁に沿う形で圧力計を埋め込むことで頭蓋内の圧力を測定している。再現シミュレーションでは剛体設定したインパクトに強制速度を与えることで頭部衝撃を再現した。以上の条件を構築した高齢者と若年者の頭部モデルを用いてシミュレーションを行い、加齢による構造の変化が及ぼす影響を比較した。圧力計の埋め込み位置を図 4 に示す。前頭骨、側頭骨、後頭骨、後頭蓋窩の 4 箇所で頭蓋内圧を計測した。

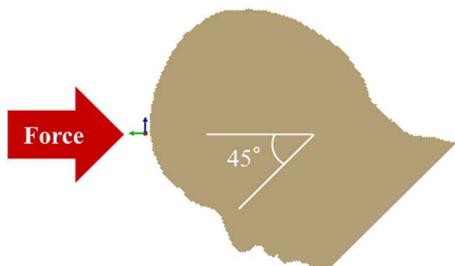


図 3 Nahum らの実験を再現した衝撃解析

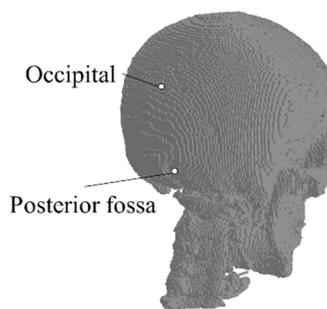
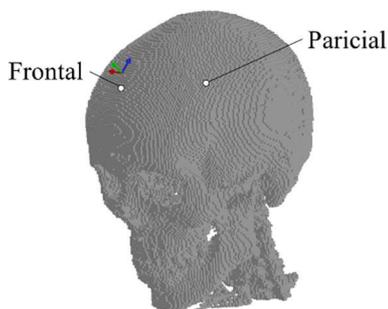


図 4 Nahum らの実験を基にした測定位置

4. 高齢者モデルと若年者モデルによる衝撃シミュレーションの比較

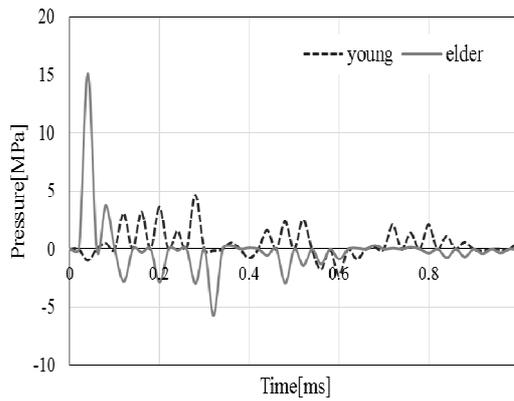
図 5 に高齢者と若年者の頭部モデルにおける頭蓋内の各位置での圧力の時刻歴を示す。グラフは横軸に時間[ms]、縦軸に圧力[MPa]をとり、(a)より前頭骨では高齢者モデルでは衝撃負荷直後に最大 15.2MPa の圧力が生じており、若年者モデルの最大値 4.7MPa の約 3.2 倍の圧力を示した。(b)より側頭骨では高齢者頭部モデル、若年者頭部モデルともに約 29MPa の圧力が生じており、その後、正圧と負圧を交互に示した。(c)より後頭骨では高齢者頭部モデル、若年者頭部モデルともに衝撃負荷直後に前頭骨と反対の負圧が生じており、高齢者頭部モデルで-7.4MPa、若年者頭部モデルで-11.0MPa と若年者頭部モデルが約 1.5 倍高い値を示した。(d)より後頭蓋窩では高齢者頭部モデルが負圧で-12.7MPa に対し、若年者頭部モデルでは反対に正圧で 25.0MPa の圧力が生じた。Nahum ら^[2]の実験では、前頭骨と側頭骨で正圧、後頭骨と後頭蓋窩で負圧が測定されたことから本モデルにおいては後頭蓋窩を除いて同じ結果を示したが、衝撃の現象時間が実験である約 10ms の約十分の一となった。高齢者は頭部傷害が重傷化しやすいとされていることから衝撃時の頭蓋内圧も若年者に比べ高くなることが予想され、本解析では衝撃負荷した前頭骨において高齢者頭部モデルが若年者頭部モデルに比べ高い圧力を示す結果となった。

5. 結 言

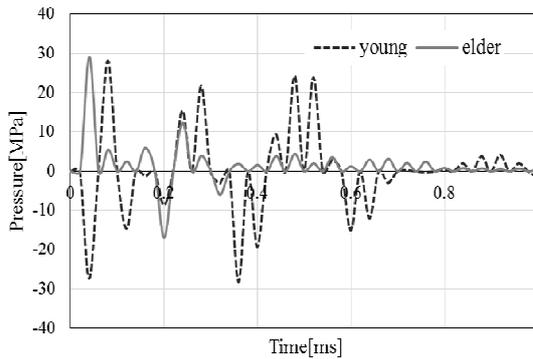
頭部 CT 画像を基に衝撃解析のための高齢者頭部有限要素モデルの構築をおこなった。衝撃シミュレーションによる検証の結果、前頭骨の最大圧力のみ高齢者頭部モデルが若年者頭部モデルに比べ高い結果となった。今後は回転衝撃が加わった場合の解析を実施する予定である。

文 献

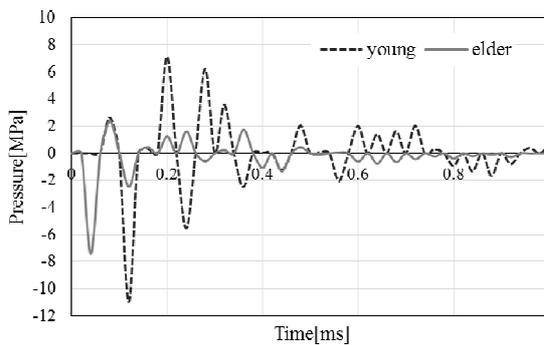
- (1) 鈴木光, 杉浦隆次, 西本哲也, 渡邊大, “高齢者を想定した頭部有限要素モデルの開発”, 日本機械学会 2015 年度年次大会, (2015)
- (2) Alan M. Nahum, Randall Smith, and Carley C. Ward, “Intracranial Pressure Dynamics During Head Impact”, SAE Technical Paper 770922, (1977), pp. 339-366.
- (3) 恒屋昌一, 市村真由美, 金沢稔, 高橋進, 臼井永男, “高齢者の頭部 CT の二次元計測による脳に加齢変化と直立時重心動揺”, 埼玉理学療法会誌, Vol. 4, (1996), pp. 14-19.



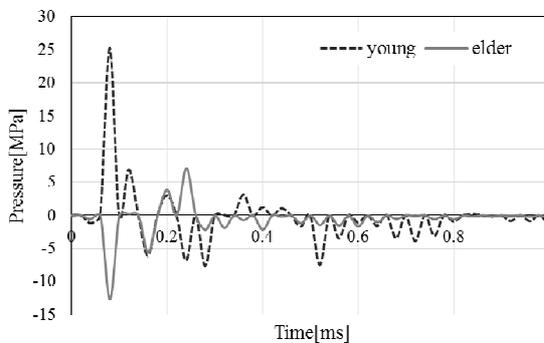
(a) 前頭骨における頭蓋内圧



(b) 側頭骨における頭蓋内圧



(c) 後頭骨における頭蓋内圧



(d) 後頭蓋窩における頭蓋内圧

図 5 Nahum らの実験を再現した衝撃解析による頭蓋内圧