

高齢者頭部モデルによる外傷のコンピュータシミュレーション

西本哲也¹⁾

1) 日大工・機械

【緒論】

高齢化に伴い交通事故における高齢者の死亡率が増加傾向にある。高齢者は加齢と共に脳実質が萎縮することが確認されており⁽¹⁾、高齢者特有の頭部構造を考慮した衝撃解析が望まれる。本研究では若年者の頭部CT画像を基に若年者頭部モデルを構築し、脳実質の形状を修正することで高齢者の頭部構造を再現した⁽²⁾。この手法により高齢者頭部有限要素モデルを構築し、頭部衝撃時における頭蓋内応答の解析をおこなった。

【高齢者頭部モデル】

高齢者頭部モデルはボクセル要素で構築されており、ボクセル寸法は $0.27 \times 0.27 \times 0.6$ [mm]、ボクセル数は約1億個に及ぶ。図1に高齢者頭部モデルを示す。組織は力学特性の異なる12種類に分類を行った。図2に高齢者頭部モデルと、基になった若年者頭部モデルの断面図を示す。外形状と骨格形状は同一であり、頭蓋内部の脳実質を縮小させ、脳室と硬膜下腔を拡大させたモデルとなっている。表1に高齢者モデルと若年者モデルの頭蓋内組織の体積比較を示す。高齢者モデルは若年者モデルに比べ、脳実質が6.87%減少し、脳室が70.65%、硬膜下腔が41.71%それぞれ拡大した。



図1. 高齢者の頭部構造を再現した頭部モデル

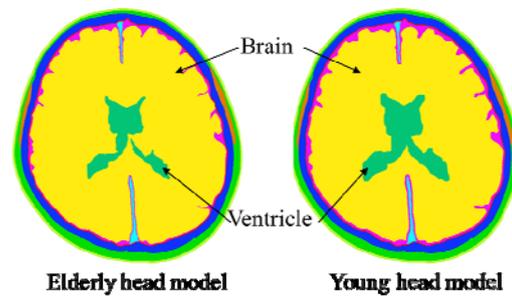


図2. 高齢者と若年者の冠状断面の比較

【頭部衝撃解析】

構築した高齢者頭部モデルを用いて Nahum⁽³⁾による屍体実験を再現した衝撃解析をおこなった。図3に頭部衝撃解析の概略図を示す。頭部モデルの正面方向から前頭部に45度の角度で剛体設定した質量5.59kgのインパクトを速度9.94m/sで衝突させた。また若年者頭部モデルでも同条件で解析をおこない、加齢による変化が及ぼす影響の比較をおこなった。頭部モデルは要素数100万の簡略化したものを使用した。

表1. 高齢者と若年者の頭蓋内体積の比較

	Volume of head model [$\times 10^5$ mm ³]		Elderly volume rate changes based on young model [%]
	Young model	Elderly model	
Brain	14.69	13.68	-6.87
Ventricle	0.28	0.48	70.65
CSF	1.94	2.75	41.71
Intracranial	47.38	47.38	0.00

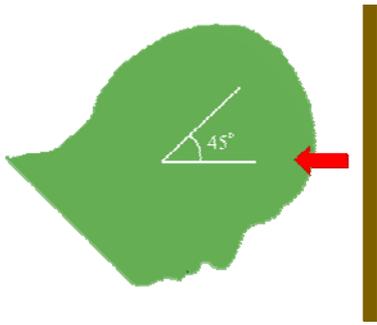


図3. 屍体実験を再現した頭部衝撃の解析

【結果】

頭部衝撃解析の結果、図4に高齢者、若年者の両頭部モデルによるミーゼス応力の比較を示し、図5に高齢者頭部モデルの矢状断面における応力分布を示す。図4のミーゼス応力の波形は前頭葉の要素から得られたものである。両モデルともに同様の応答がみられたが、最大ミーゼス応力値は約1ms時に若年者モデルが15.3kPa、高齢者モデルが18.1kPaを示した。高齢者モデルが若年者モデルに比べ約30%高い値を示したことから、高齢者は若年者に比べ頭部衝撃時における脳の受ける衝撃が大きいことがわかる。図5から約1.0ms時に脳の前頭葉に高い応力分布がみられた。時間経過とともに衝撃が後方へと伝播していき、約2.0ms時には衝撃を受けた部分と反対側の後頭部に高い応力がみられた。頭部外傷においても対側損傷が生じることもあり、頭部構造の特徴を再現できていると考えている。

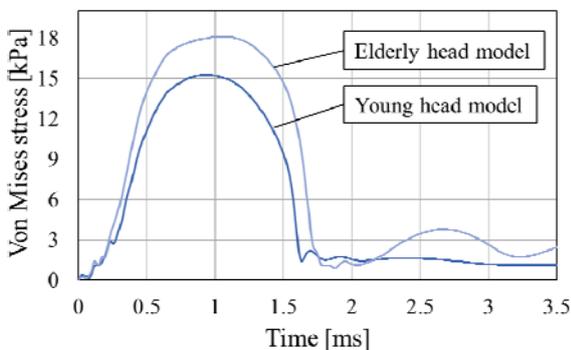


図4. 高齢者と若年者の頭部モデルによる前頭部衝撃時の応力比較

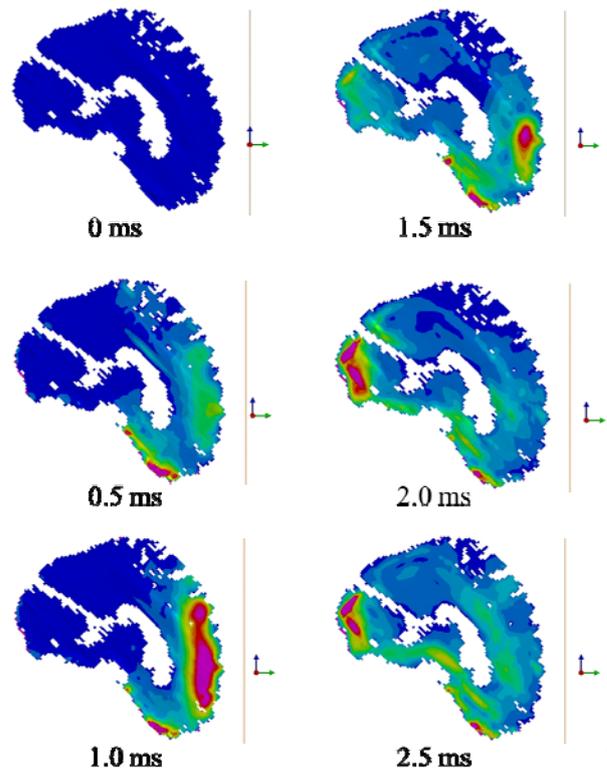


図5. 前頭部衝撃時の脳矢状断面の応力分布

【結論】

脳萎縮を再現した高齢者頭部モデルによる衝撃解析を実施した。解析の結果、衝撃が脳の後部へと伝播し、頭部外傷の特徴である対側損傷との関係性もある。高齢者頭部モデルが若年者頭部モデルに比べ約30%高い応力値を示したことから、頭部は加齢により傷害を被る可能性が高くなるものとする。

参考文献

- 1) 恒屋昌一, 市村真由美, 金沢稔, “高齢者の頭部CTの二次元計測による脳の加齢変化と直立時重心動揺”, 埼玉理学療法, Vol.4, (1996)
- 2) 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)
- 3) Nahum, A.M., Smith, R., and Ward, C.C., “Intracranial Pressure Dynamics During Head Impact”, 21st STAPP CAR CRASH CONFERENCE, (1977)