マルチスケール有限要素法による頭部衝突事故における脳血管および神経細胞損傷解析

Damage Evaluation for Brain Blood Vessel and Nerve Cell in Head Crash Accidents by Multi-Scale Finite Element Method

学 ○神前 幸明 (同志社大) 正 倉前 宏行 (阪工大)

正 片山 傳生 (同志社大) 正 仲町 英治 (同志社大)

Yoshiaki KAMIMAE, Doshisha University, 1-3 Tatara-Miyakodani, Kyotanabe, Kyoto

Hiroyuki KURAMAE, Osaka Institute of Technology

Tutao KATAYAMA, Eiji NAKAMACHI, Doshisha University

1 緒 言

これまで著者らはびまん性軸索損傷 (DAI: Diffuse Axonal Injury) および頭蓋内血腫 (ICH: Intracranial Hematoma)を対象に、脳血管および神経細胞有限要素モデルを用いて、新規頭部損傷評価手法の開発を行ってきた¹⁾。しかし、粗分割な脳組織有限要素モデルを用いたため、微視スケールでの高精度の応力集中を把握できず、脳組織の損傷評価および損傷メカニズムの解明は不十分と考える。

そこで本研究では、高精細の微視有限要素モデルを作成し、マルチスケール有限要素法により、並進衝突および回転衝撃におけるICHおよびDAIの発生メカニズムの解明と損傷予測を試みる。

2 解析モデルおよび解析条件

頭部有限要素モデル(BIO-HEAD モデル:ESI 社提供)を用いて並進衝突および回転衝撃の解析を行った。並進衝突では頭部有限要素モデルを初速度 9.73 m/s (14.4 km/h) で周辺支持の鋼板 (350 mm×350 mm) に衝突させた。回転衝撃では頭部の重心から 270 mm 離れた点を回転中心とし、初速度 15 rad/s の回転運動を頭部全体に与えた。解析結果より図 1 に示す頭部巨視有限要素モデルにおける 3 要素を取り出し各 8 節点の変位をスケールダウンした後、形状関数を用いて 3 次元脳血管および神経細胞微視有限要素モデルの境界に強制変位として与え、動的解析を行った。

3 脳血管および神経細胞有限要素モデルを用いた変形挙動解析結果

図 2 に並進衝突および回転衝撃時の巨視有限要素 A における脳血管有限要素モデルの主ひずみが最大値を示した時刻における相当応力分布図を示す。衝突および回転開始時において脳組織と頭蓋骨の間に発生する相対速度によって、脳実質と血管が圧縮および膨張変形を繰り返すことにより、脳実質と血管の間に相対変位が発生し、脳実質が大きく波状に変形した。その際に脳実質が血管を圧迫することによって血管に相当応力の応力集中が発生した。

図 3 に並進衝突および回転衝撃時の巨視有限要素 A における神経細胞有限要素モデルの主ひずみが最大値を示した時刻における相当応力分布図を示す。並進衝突においては主に圧縮および膨張変形が生じた。回転衝撃においては回転開始時の角加速度によって脳組織全体にせん断変形が発生した。その際に脳実質におけるせん断変形が神経細胞に伝播し、神経細胞において相当応力の応力集中が発生した。

4 結 言

(1) 並進衝突および回転衝撃では、脳実質と血管の間の相対変位によって、脳組織が血管を圧迫し脳血管の損傷が発生することが示唆された。

(2) 回転衝撃では、回転による角加速度によって脳組織に発生したせん断変形が神経細胞に伝播し神経軸索の損傷が発生することが示唆された。

Fig. 1. Finite element model of the macro head

Fig. 2. Micro FEA results of the equivalent stress distributions (Blood vessel FE model).

Fig. 3. Micro FEA results of the equivalent stress distributions (Nerve cell FE model).

参考文献

(1) 倉前宏行, 伊藤優一, 藤原一也, 上辻靖智, 仲町英治, 実験計測に基づく 3 次元微視神経細胞有限要素モデルによるマルチスケール頭部衝突解析, 日本機械学論文集 A 編, vol. 74, (2008), pp. 757-762.