



三木一生

Kazuo Miki

要 旨

近年のコンピュータ性能の飛躍的向上に伴い急速に発展しつつある“衝撃傷害シミュレーション技術”について、基本的な考え方や現状の課題を述べる。さらに、自動車の衝突安全分野を例にとり、最近の3年間の研究動向を紹介する。

キーワード 衝撃, 傷害, シミュレーション, 人・人体

Abstract

Along with the rapid progress in the cpu and memories capability of computers, research about impact injury simulation is recently taking long strides. In this paper, the basic thinking and the subject of impact injury simulation are briefly stated. Also, using the car crash safety field as an example, the research movement of the past 3 years is introduced.

Keywords Impact, Injury, Simulation, Human, Human body

1. はじめに

11月中旬の朝刊に次の趣旨の見出しがある。“13階から3歳児転落、枝がクッションとなり土に落ちて軽傷”記事の内容には、“約37メートル下の地面に落下したが首のねんざや背中への打撲など軽傷”とある。この3歳児が着地した際に、体のどの部分にどの程度の衝撃力が加わり、どのようなメカニズムで致命的な傷害が発生するのをまぬがれたのであろうか？転落したのが3歳児ではなく、成人や高齢者であった場合も同じように軽傷ですんだのであろうか？

また、ボクサーや力士が想像を超えた衝撃力を受けてもけがをしないのはどのようなメカニズムによるのであろうか？逆に、柔らかな新雪の上で転倒したスノーボードが頭部に傷害を負ったり、高齢者が畳の上で転倒して大腿部の骨頭部を骨折するようなことがまれにあるが、これらは体のどの部位にどのような衝撃力が発生したことに起因するのであろうか？

このような疑問に対して、主として欧米において、死体や動物を用いた実験や、志願者による生体実験が数多くなされている。しかしながら、志願者による生体での実験は傷害が発生しない範囲に限定されているとか、死体を用いた実験では筋肉や内臓等の活性化状況が実際の生体とは異なる等の実験上の限界が存在する。

このような背景を基に、近年コンピュータ能力の飛躍的な向上に伴って急速に発展してきたのが計算バイオメカニクスと呼ばれる、計算機を用いて力学的、数学的に生体の機能、構造を解析しようとする試みである。本特集のタイトルに掲げた“衝撃傷害シミュレーション技術”もその試みの一つである。以下にその基本的な考え方や、世の中の動向について紹介する。

2. 生体を機械と見なす技術

衝撃傷害シミュレーションを実施する際の出発点は、“生体を機械と見なし、必要な機能のみをモデル化すること”にある。

生体の構造が機械と大幅に異なるのは、その構造の複雑さにある。生体は部品点数がやたらに多いのである。近年のコンピュータ能力の進歩により、計算バイオメカニクス分野は大幅に進展したが、残念ながら生体の構造のすべてを忠実にモデル化し解析できるほどの能力には至っていない。したがって、解析の目的に応じて必要な生体の機能のみを選択する必要がある。ここに“生体を機械と見なす”難しさがあり、計算バイオメカニクスの技術、ノウハウが集約される。換言すれば、“解析の目的に応じて必要な機能のみをモデル化”するには、生体の機能、構造を十分に理解することが必要不可欠である。

次に、“生体を機械と見なす”ためには、生体を構成する骨、筋肉、靭帯等の力学的特性を、機械材料の特性表現であるヤング率やポアソン比、降伏応力といった値で表現する必要がある。人間を始め自然界に存在する生き物は多様に化する環境に適応して生きるために、柔軟なしなやかな力学特性を有しており、ほとんどの特性が線形のばね定数や一意的な破断特性では表現が困難である。また、多機能性を有する筋肉などはいまだに力学特性が不明なものも多い。したがって、生体のモデル化に際しては、本来非線形特性を有する生体材料をシミュレーションに適した形に線形化して表現する技術や、いまだ特性が明確でない生体材料に関しては妥当な範囲内で特性を推定する技術が必要である。ここに“生体を機械と見なす”技術の難しさが存在するとともに、生体に関するシミュレーションには常にある種のう散臭さが付きまとう。

これら以外にも，“生体を機械と見なす”技術には，得られた計算結果の妥当性をどのように検証するか？とか，性別，年齢，人種等の個体差の問題をどう克服するか？等の多くの課題が存在し，いまだ発展途上の技術分野であると言える。

3. 世の中の動向

本章では自動車での衝突安全分野を例にとり，衝撃傷害シミュレーション技術の最近の研究動向を概括する。以下に欧州のIRCOBI (International Research Council On the Biomechanics of Impact) と，米国のSTAPP (The Stapp Car Crash Conference) 国際学会で過去3年間 (1998-2000) に発表された人体モデルを用いた傷害解析の発表から最近の研究動向を探る。

人体のモデル化に際しては，(1) 人体を大まかに幾つかの集中質量系に分割して，衝撃入力時の人体の挙動や分割した集中質量に生じる力や加速度を算出するMultibodyの考え方を用いたアプローチと，(2) 生体の形状を解剖学に忠実に細かな有限要素を用いて表現し，有限要素の各接点に生じる応力や歪みを算出するFEM (Finite Element Method) を用いたアプローチに大別される。

3.1 Multibodyによる人体のモデル化

最近の3年間に，Multibodyの手法に基づく人体モデルに関する発表は，上記の二つの国際学会では7件存在する。その内訳は足，足首，下肢に関する発表が3件¹⁻³⁾，脊椎や全身に関して2件⁴⁻⁵⁾である。この発表の数から，人体モデル開発の主流はMultibodyではなく，次節で述べるFEMによるアプローチであることがわかる。また，この手法を用いると比較的簡便に設定条件の変更ができる利点を生かして，交通事故の再現，再構築技術と組み合わせた解析が発表されている⁶⁾。さらに，MultibodyとFEMの手法を比較検討した発表もなされており⁷⁾，最近では両者を組み合わせた計算手法も開発されている。

3.2 FEMによる人体のモデル化

FEMを用いた人体モデル開発に関する研究は大変盛んであり，最近3年間に上記の二つの国際学会で21件も発表されている。その内訳は体の部位毎に整理すると，足，足首に関する研究3件⁸⁻¹⁰⁾，下肢，膝4件¹¹⁻¹⁴⁾，骨盤1件¹⁵⁾，胸部2件^{16,17)}，上半身 (骨盤，胸，脊椎) 2件^{18,19)}，肩1件²⁰⁾，腕1件²¹⁾，首3件²²⁻²⁴⁾，頭部，脳4件²⁵⁻²⁸⁾である。いずれの研究もモデル化は目的に応じた特定の体の部位のみに限定されている。近い将来には，これらの部位のモデルを統合して全身を統一的にモデル化，解析するような動きにつながるものと予想される。

4. まとめ

以上，コンピュータ能力の飛躍的向上に伴い急速に発展しつつある衝撃傷害シミュレーション技術の基本的な考え方および自動車の衝突安全分野を例にとり，最近の3年間の研究動向を紹介した。

衝撃傷害シミュレーション技術に関しては自動車の衝突安全分野のみならず，スポーツ傷害の分野や，義足や

人工関節部が受ける衝撃力の解析等の医療分野にも応用可能な技術である。その研究の進化には，力学，数学といった工学分野での基礎知識と，解剖学に基づく人体の構造や機能といった医学分野での基礎知識が必要不可欠であり，今後両分野の研究者がさらに密接に交流する必要がある。

衝撃傷害シミュレーション技術の進化のために，今後も更なる努力を続けたい。

参考文献

- 1) Rosemary, D., et al. : Proc. 43rd Stapp Car Crash Conf., San Diego, CA., (1999), 185, The Stapp Association
- 2) Hall, G. W., et al. : Proc. IRCOBI Conf., Sweden, (1998), 117
- 3) Cappon, H. J., et al. : Proc. IRCOBI Conf., Sitges, Spain, (1999), 499
- 4) Happe, R., et al. : Proc. 42nd Stapp Car Crash Conf., Tempe, AZ., (1998), 75, SAE
- 5) Happe, R., et al. : Proc. IRCOBI Conf., France, (2000), 67
- 6) Canaple, B., et al. : Proc. IRCOBI Conf., Sitges, Spain, (1999), 37
- 7) Linder, A., et al. : Proc. IRCOBI Conf., (2000), 491
- 8) Kitagawa, Y., et al. : Proc. 42nd Stapp Car Crash Conf., Tempe, AZ., (1998), 1, SAE
- 9) Beillas, P., et al. : Proc. 43rd Stapp Car Crash Conf., San Diego, CA., (1999), 171, The Stapp Association
- 10) Masson, C., et al. : Proc. IRCOBI Conf., Sitges, Spain, (1999), 469
- 11) Wykowski, E., et al. : Proc. IRCOBI Conf., (1998), 101
- 12) Bedewi, P. B., et al. : Proc. 43rd Stapp Car Crash Conf., San Diego, CA., (1999), 217, The Stapp Association
- 13) Schuster, P. J., et al. : Stapp Car Crash J., 44-11, (2000), 315
- 14) Takahashi, Y., et al. : Stapp Car Crash J., 44-11(2000), 335
- 15) Besnaut, B., et al. : Proc. 42nd Stapp Car Crash Conf., Tempe, AZ., (1998), 33, SAE
- 16) Lizee, E., et al. : Proc. IRCOBI Conf., Sweden, (1998), 527
- 17) Plank, G. R., et al. : Proc. 42nd Stapp Car Crash Conf., Tempe, AZ., (1998), 317, SAE
- 18) Baudrit, P., et al. : Proc. 43rd Stapp Car Crash Conf., San Diego, CA., (1999), 55, The Stapp Association
- 19) Lizee, E., et al. : Proc. 42nd Stapp Car Crash Conf., Tempe, AZ., (1998), 115, SAE
- 20) Iwamoto, M., et al. : Stapp Car Crash J., 44-11(2000), 281
- 21) Palaniappan, P. Jr., et al. : Proc. 43rd Stapp Car Crash Conf., San Diego, CA., (1999), 351, The Stapp Association
- 22) Biston, L. E. : Proc. IRCOBI Conf., Goteborg, Sweden, (1998), 365
- 23) Yang, K. H., et al. : Proc. 42nd Stapp Car Crash Conf., Tempe, AZ., (1998), 195, SAE
- 24) Halldin, P. H., et al. : Stapp Car Crash J., 44-11(2000), 127
- 25) Anderson, R. W. G., et al. : Proc. IRCOBI Conf., Sitges, Spain, (1999), 107
- 26) Willinger, R., et al. : Proc. IRCOBI Conf., (2000), 209
- 27) Miller, R. T., et al. : Proc. 43rd Stapp Car Crash Conf., San Diego, CA., (1999), 303, The Stapp Association
- 28) Al-Bsharat, A. S., et al. : Proc., 43rd Stapp Car Crash Conf., San Diego, CA., (1999), 303, The Stapp Association

著者紹介 (2000年12月14日原稿受付)



三木一生 Kazuo Miki

生年：1953年。

所属：人体モデリング学研究室。

分野：生体力学。

学会等：日本機械学会，自動車技術会会員。