

防災用サイバー・ダミーの有限要素 モデル生成手法に関する検討

尾崎 潤¹·長嶋 文雄²

¹首都大学東京大学院都市環境科学研究科元大学院生(〒192-0397東京都八王子市南大沢1-1) junjun55@xj8.so-net.ne.jp ²首都大学東京大学院都市環境科学研究科(〒192-0397東京都八王子市南大沢1-1) E-mail:fumio-n@ecomp.metro-u.ac.jp

地震などの自然災害や,車両・船舶の衝突,群集事故などの人為的な災害による人的被害軽減策を検討 する上で,被災メカニズムの解明は重要な課題である.本研究は,自動車安全工学におけるクラッシュダ ミーよりも精度が良く,防災用に特化した生体力学的FEモデル(サイバー・ダミー)の開発を最終的な目 標としている.人体のFEモデル化は,倫理上の問題があること,人体の形状が非常に複雑であることなど により,従来から困難な問題であった.本論文は,市販の人体形状データ(dxf形式)からデータ変換し, スプライン曲線フィッテイングと閉曲面内部の自動メッシュ分割機能による有限要素再生成過程を通して, 衝撃解析で使用可能なデータに変換する一連の有限要素生成・データ変換手法を提案したものである.

Key Words : *Cyber dummy, Biomechanics, FE-model, Element generating method, Kinesiology, Anatomy geometric data, Disaster mitigation*

1. はじめに

地震などの災害による人体の被災メカニズムの解明を 行うための一つの手段として、人体のダミー人形(物理 的な人形)を用いて実験を行う方法が考えられる.文献 1)では、試みに自動車前面衝突用人体ダミー(Hybrid-Ⅱ)を用いて実物大の木造2階建家屋の倒壊実験を行い、 その適用性についての検証を行っている.しかし、(1) 既存の自動車衝突用ダミーでは、荷重を受けたある部位 が破壊することによって、他の部位が荷重を受けるよう な場合において、精密な計測が行えないこと、また、

(2) この問題点を解決するために、人体に近い柔軟なモ デルの開発を行うことが考えられるが、この場合は繰り 返しの使用に耐えられないため実験コストが大きくなる と予想されること、などの点に使用上の問題があるとし ており、現状では物理的なダミーを使用した被災メカニ ズムの解明にはやや難がある.

物理的な人体ダミーの代替案として人体構造のFEMモ デルを用いた数値実験が考えられる.インパクトバイオ メカニクスの分野では、自動車衝突時の乗員の安全を検 証する手段として、コンピュータによる数値シミュレー ションが行われている.従前は簡便なFEMモデルとして、 各部位を剛体で表し、それらを連結した剛体ダミー (multibody system のモデル化と同類)が用いられてい たが、現在の先端的研究では人体構造を比較的忠実にモ デル化した、変形可能な有限要素モデルを用いたシミュ レーションが主流となっている.筆者らはこれをバーチ ャル (ヴァーチャル) ダミーと呼び、シェル要素とビー ム要素で構成した胸部モデルについて検討してきた^{2)~9)}. しかし、より高精度のモデル化には、筋肉や臓器などの 軟組織を含める必要があり、そのためには、複雑な形状 をした部位のソリッド要素を半自動的に生成する手法の 確立が不可欠であった.

本研究は、地震災害に限らず、例えば、公共交通機関 の事故や群集事故などによる人体被災過程を解明するた めに広く使用することができ、より安価で、精度の良い サイバー・ダミー(cyber dummy:virtual dummy よりも 適切な表現であると思い、本報告から用いることにし た.)の開発を目的としている.本報告は、サイバー・ ダミー開発の初期段階として、現行 PC の性能で実用的 に解析可能な程度の精度を有するモデルの作成を試み、 人体データの入手方法、軟組織を含む各部位の半自動的 メッシュ分割手法、汎用解析ソフトで読み込み可能な入 力データへの変換などについて検討を行ったものである.

2. サイバー・ダミーを用いた数値シミュレーションの現状と問題点

人体有限要素モデルの例としては、頭部と頚椎を詳細 にモデル化した KTH (Royal Institute of Technology: スウェーデン) や FE model, Wayne State University (米国) の WSU Human Injury Investigation Model など があり、全身モデルとしては、汎用衝撃解析 PAM-CRASH を用いてシミュレートする、H-model や豊田中央研究所 の THUMS などが挙げられる. しかし、H-model や THUMS は部分的にメッシュが粗く、使用に際しての制約が厳し かったり、高額であるなどの問題点がある. したがって、 現存するサイバー・ダミーをそのまま防災用に転用する ことは殆ど不可能である.

ハードウェアの分野では、最近の CPU のマルチコア化 技術などによる計算機の性能向上が見られるものの、未 だ十分な性能ではなく、したがって満足のいくモデル精 度は得られない. 本研究では、CPU クロック数 3.6 GHz, 記憶容量 3.0 GB の PC 上で汎用解析コード LS-DYNA を用 いた解析を行っているが、この場合に計算可能な要素数 は 20 万弱程度である. このため, 現状での人体 FEM モ デルによる解析は、衝撃などの荷重による人体の損傷度 の評価が主な用途になると考えられる. その評価も骨な どの比較的剛性の高い部位は精密に行い得るが、臓器等 の軟組織については難しい. 全体モデルではなく, 部位 を限ったモデルを用いれば、軟組織の応力集中箇所の特 定などは可能であるが、衝撃によって引き起こされる現 象(臓器の損傷・破裂など)の評価をするにはもう少し 計算機の進歩を待たなくてはならない状況にある. ただ, 人体のモデル化には多くの労力と時間がかかるため、今 からその準備をしておく必要がある.

3. サイバー・ダミーのモデル化手法

(1) 人体の形状データ

精密な人体 EE モデルを作成するためには,詳しい人 体形状データが必要であるが,体内の筋や骨などの三次 元形状の計測には多大な労力がかかる.CT スキャナー や MRI などを用いた人体の三次元モデル化には,被験者 への X線被爆や電磁波による健康問題があり,望ましい 人体データを入手することは殆ど困難な状況にある.た だし,限られたデータであれば,有償,または無償で得 ることができる.無償の人体形状データの例としては,

(独) 情報通信研究機構が有する数値人体モデルデータ ベース¹⁰⁾ がある.このデータベースは,携帯電話使用 時に電磁波が人体に与える影響を計算するために作成さ れたものであり、日本人の平均的な体形を有する成人男 女の MRI 断面画像から作成されている.要素は1辺が2 mm の立方体であり、総要素数は男性モデルの場合で320 ×160×866 = 44,339,200 要素である.また、これらの 要素は、骨や心臓、肺などの内臓など50以上の部位に 分類されている.しかし、現状で、この膨大な要素数の 解析を PC 上で行うのは困難であり、実際の使用に際し てはデータの加工をして要素数を減らす必要がある.

有償の人体形状データの例としては、コンピュータ・ グラフィックス関連の三次元データを用いることである. 製品には、航空機や動物、家具など様々なものがあり、 人体のデータ(anatomy data)については、全身モデル や、腕部・脚部のみのモデルなど多種が用意されている.

本報告ではこれらの中から,臓器なども含む全身モデ ルを入手し、このデータを元にして人体 FEM モデルの開 発を行った.全ての部位が三角形 3D-Surface と呼ばれ る要素で構成されており、この三角形の総数は 271,512 個、頂点の数は 227,980 個である.また、筋肉や臓器、 骨などが 230 種のグループに分けられている.

「平成 15 年度国民健康・栄養調査報告」¹¹⁾における, 日本人の世代別身長・体重の平均値によれば,20歳代 における身長の平均は約 1710 mm である.本研究では, オリジナルデータの寸法を調整して,身長 1716 mm のモ デルを作成した.なお,形状データの人体の体重につい ては情報がないので,体重は平成 15 年の 20歳代の平均 値である,64.2 kgf を想定することにした.

(2) 人体形状データのデータ変換

入手した人体形状データはDXF 形式のデータであり、 有限要素として使用するためには、データの変換を行う 必要がある. DXF 形式ファイルから汎用解析コード LS-DYNA での読込が可能な形式に変換するプログラムを JAVA で作成した. プログラムは5個のクラス: Viewer, CosmosReader, DxfReader, DynaReader, DynaWriterを含み, プログラムの起動と GUI 環境の提供, 各種ファイルの読 み込み及び書き出し処理を行う. DXF ファイルは、最も 単純なものでも、HEADER セクション、TABLE セクション、 BLOCKS セクション, ENTITIES セクションの4つセクショ ンで構成されている. 図形の情報は、この内の ENTITIES セクションに格納されているが、さらにこの中の三角形 3DFACE のデータを取得すればよい. DXF のデータ構造は 2行が一つの単位と成っている. 1行目がグループコー ドと呼ばれる番号で、整数値をとる. この整数値に応じ て2行目にくる情報の形式が定められる.例えば、100 は文字列であり、10~59 は浮動小数点数などである。 表-1 に「3DFACE」のグループコードと内容を示す. ここ

で、「AcDbFace」は3Dの面であることを示している. 4つの頂点の座標が記述されているが、三角形の場合は 3番目と4番目が同じ座標値になっている.

表 1	3DFACE のグループコード	

グループコード	内容
100	サブクラスマーカー(AcDbFace)
10, 20, 30	面の1番目の頂点の座標(x, y, z)
11, 21, 31	面の2番目の頂点の座標(x, y, z)
12, 22, 32	面の3番目の頂点の座標(x, y, z)
13, 23, 33	面の4番目の頂点の座標 (x, y, z)

(3) 筋肉のソリッド要素生成方法

図-1 に、大腿部を例として、半自動的にソリッド要 素(大腿部筋肉)を生成する手順を示す. DYNA 形式へ変 換した後のデータ①は、オリジナルデータと同様に三角 形シェル要素となっている. 大腿部筋肉は、いずれも三 角形シェル要素で構成される大腿骨表面と筋肉表面で囲 われた空間内にソリッド要素として生成する必要がある が、両者のメッシュの大きさや分割の状況が異なるため に、どんなに手間を掛けてもメッシュ分割するのは殆ど 不可能である. そこで、大腿骨表面と筋肉表面を適当な 間隔に輪切りにし、断面形状を閉スプライン曲線で近似 的に表す方法②を考えた. このようなスプライン曲線群 を与えることにより③, 3次元設計ソフト Solid Works 上に付属している機能でロフト④と呼ばれる閉曲面が作 られる. この段階に至れば、任意の基本要素長を与える ことによってロフトを自動的に四面体要素にメッシュ分 割することができる⑤.



- ④ ロフトによる形状の確認
- ⑤ ソリッド要素への再メッシュ分割

図-1 軟組織の半自動的メッシュ分割の流れ

(4) 閉スプライン曲線の求め方

閉スプライン曲線は切断面上にある点列データを与え ることによって生成される. 点列データは三角形シェル 要素ABCと切断面Πが交差するとにできる線分の両端点p, qの空間座標値で構成される(図-2 参照). これは次の ような手順で求められる.

- 切断面の法泉ベクトルと三角形要素の3辺それぞれの方向ベクトルの内積から、両者の交点の存在の可能性を調べる.
- 2)交点の存在の可能性がある場合に、三角形要素の 辺上に交点が存在する調べ、ある場合には交点 (辺の内分点)の座標を求める。
- 3)以上の作業を,部位を構成する全要素について繰り返し、切断面上の断面形状(多角形)を表す頂点のデータ列を求める.



図-2 スプライン曲線の点列データ作成説明図

特殊な例として,三角形要素と切断面が平行で離れて いるか,あるいは同一面内にある場合が考えられるが, このような場合には交点を持たないものとして処理した.

得られた点列データはSolid Worksデータ形式に変換 されて出力される.この一連のジョブを行うプログラム をJAVA言語を用いて作成した.3.(2)で既に述べた5 個のクラスと2個のパッケージ(Cross, Element)によ り構成され、この2個のパッケージはそれぞれ8個と5 個のクラスを含んでいる.計算途中のスプライン曲線群 の様子は、図-1の②に示すように描画することができる.

(5)半自動メッシュ生成の例 I (大腿部のモデル化)

大腿部のロフトを作成するためのスプライン曲線の形 状データを得るために、図-3(a)に示すようなオリジナ ルの大腿骨のデータを同図(b)、(c)に示すように輪切り にする.大腿骨上部は二股に分かれており、球状で大き い部分は大腿骨頭、小さい部分は大転子である.同一切 断面上に複数のスプライン曲線を作ることができないの で、この部分のロフト化をどのように行うかが問題とな る.ここでは、二股に分かれているところよりもやや下



(a) 大腿部のオリジナル形状データ



(b)筋肉のスプラインとロフト (c)大腿骨のスプラインとロフト 図-3 大腿部のロフト作成過程説明図

の部分で上下を分割してロフトを作成することにした. 大腿骨の下部の膝関節を構成する部分も内側顆と外側顆 で二股に分かれている.しかし,膝関節の周囲の筋肉の 層は薄く,筋肉のソリッド化の必要性は低いものと考え, 膝関節周囲の筋肉はソリッド化しないことにした.

図-3(a) に示すように大腿骨を3分割し,①大転子,② 大腿骨頭,③大腿骨体のそれぞれの部分についてスプラ イン曲線を作った.分割数は各部の幾何形状の複雑さに 応じて,それぞれ9分割,31分割,59(19+20+20)分割 とした.

ロフトは、互いに組み合わせることや除去することも 可能であり、大腿部筋肉のロフトから大腿骨のロフトを 取り除くことになる. 作成した大腿骨のロフトを図 3(b)、(c)に示すが、大腿筋肉は大腿骨部分を取り除い た穴が開いている.

このようにして作成したロフトは、平均的な要素長d。 を与えることによって自動的に4節点ソリッド要素にメ ッシュ分割される. 図-4にd.を17 mm~28 mmまで7段階 に変化させたときのメッシュ分割の様子とそれぞれの全 節点数および全要素数をまとめて示した.なお、d.が28 mmより大きい場合はメッシュ分割ができなかった. 複雑 な形状をしたロフトのメッシュ分割をする場合は、要素 サイズが小さくなる傾向がある. d_が17 mmから20 mmの 間は、d.が1 mm増える毎に1200要素減少しているのに対 して, 20 mmから26 mmの間では, 560要素程度の減少と なっている. また, d,が27 mmと28 mmの場合では生成さ れた要素数に殆ど差がないことから、図-3に示すような 大腿部のロフトを用いた場合の全要素数の最小値は6080 程度に収束すると考えられる.一度ロフトを作成すれば、 メッシュ分割は容易に行うことができるので、今後のコ ンピュータの発達の度合いに応じて適切なd。を与えれば よい. ここでは, 平均要素長として, 27 mmのモデルを 使用している.



図-4 自動メッシュ分割の例 (大腿部筋肉と大腿骨)

(5) 半自動メッシュ生成の例II(腰部のモデル化)

腰部を構成する主な骨は寛骨と仙骨である. 寛骨と仙 骨をまとめて骨盤と呼ぶ.腰部のモデル化は,腰部の軟 組織が形作る表面形状から作られるロフトからこれらの 骨のロフトの領域を除去することで行う. 寛骨や仙骨の 形状は大腿骨や脛骨などの長骨に比して形状が複雑であ り、ロフトの作成手順も複雑になる.



寛骨の右側半分の形状データを図-5 に示す. 寛骨は 腸骨, 恥骨, 坐骨から成り立ち, これらの骨は胎生3ヶ 月頃から骨化が始まる. これらの骨は軟骨で結合されて おり、この軟骨はその形状からY字軟骨と呼ばれる、こ のY字軟骨は18歳~20歳頃に骨に置換され、腸骨、恥 骨,坐骨は癒合して一つの寛骨となる. 寛骨となった後 は、上前腸骨棘、坐骨結節、恥骨結節などと呼ぶ.

寛骨を側面から見ると, 球状のくぼみがあることがわ かる. このくぼみのことを寛骨臼と呼び、ここに大腿骨 頭が納まることで股関節が形成される.また,寛骨の下 部には恥骨結節と坐骨結節によって輪が形作られている. この輪のことを閉鎖孔と呼ぶ.



寛骨のロフト作成の初期段階では、寛骨を図-6(a)に 示すような①~④までの部分に分割し、それぞれを z-x 平面に平行な面で輪切りすることによってロフト化を試 みた.しかし、閉鎖孔周辺の形状が複雑になってしまい、 うまくロフト化することができなかった. そこで, 図-6(b)に示すよう上下2つの部分に分けて、下部の恥骨結 節と坐骨結節が形成する部分を閉鎖孔周囲の環状部の接 線ベクトルを法線に持つような平面で切断した. 切断の 際には、図-7(a)に寛骨のスプライン曲線を示す。切断 面の回転軸の始点と方向ベクトルを入力する. 比較的単 純な形状の環状部下部は 10°間隔で切断し、複雑な上 部は 5°間隔で切断した. 寛骨上部については、z-x 平 面に平行な面で 5mm 間隔 23 分割した.



(b) 寛骨上部のスプライン

図-7 寛骨のスプライン



図-8 寛骨のロフト

図-8 に完成した寛骨のロフトを示す. このように分 割してロフトの作成を行った場合、結合面には多少のず れが生じる.後に、メッシュ分割を行う際にこのずれが エラーの原因になるため、修正を行う必要がある.修正 は上部の最下面の形状を下部の接合面形状に合わせるこ とで行った.

仙骨は寛骨と同様に複数の骨が成長するにしたがって 癒合した骨である. 幼少時は腰椎の下に5個の仙椎が存 在しており、これらが癒合することで仙骨となる. 仙骨 には前仙骨孔と後仙骨孔と呼ばれる孔が4対ずつ開いて いる.本来ならばこの仙骨孔の形状も考慮するべきであ るが、孔の大きさが比較的小さいことなどの理由により、

仙骨孔は作成しなかった.

オリジナルの形状データでは仙骨と尾骨が一体化して いる.これらの骨は本来は分かれているものであるが、 相対位置はほとんど変化しないものと考えられるため、 本研究では仙骨と尾骨を一体化してモデル化を行った.



図-9 仙骨のスプライン

図-9 は仙骨を側面から見た図であるが、円弧に近い 形状をしている.そこで、スプライン作成切断面は、こ の円弧の接線ベクトルを法線に持つような面とした.

これらのスプラインから仙骨のロフトを作成すること ができたが、図-10(a)に示すように、尾骨の先端部分の 形状だけはうまく現せなかった.この部分の形状を補完 するためにドームと呼ばれるフィーチャーを作成した. ドームとはある平面にふくらみを持たせて凸な曲面とし たものである(図-10(b),(c)参照).



図-10 尾骨先端部分

4. 右半身のサイバー・ダミーの作成

紙面の都合により,他の部位の有限要素の生成過程に ついては割愛するが,これまでに述べた大腿部,腰部と 同様の手法で足部,下腿部,上肢部,手部,胸部,頭部 などのメッシュ分割ができる.便宜上,右半身のみのモ デル化を試みた.人体は左右対称とは言えないが,半身 をモデル化して,後でミラーリング処理を行うことによ り全身モデルが得られる.

(1) 下肢部モデル

下肢部モデルは、大腿部、下腿部、腰部、足部から成り、股関節、膝関節、足関節の3箇所で連結した. 関節部の連結には図-11に示すような2種類のジョイント要素¹¹⁰、ポールジョイント要素(spherical joint)、ピン連結要素(revolute joint)を用いた.



図-11 関節の連結に用いたジョイント要素



図-12 連結された右足のモデル

各ジョイントには、それぞれ伸展方向を正、屈曲方向 を負として表す特有の可動域と関節の粘性抵抗および非 線形回転抵抗トルクを与えている.これらは、文献11)、 12)、13)などを参照して設定した(図-12).

(2) 上肢部モデル

上肢部モデルは、上腕部、前腕部、手部から構成され る.ジョイントは、上腕部-前腕部間の肘関節と、前腕 部-手部間の手関節に設置した.手関節は顆状関節であ り屈曲、伸展、外転(橈屈)、内転(尺屈)が可能であ る. 手関節自体は、旋回運動は行わず、手の平を返す動 きは橈骨の回転、すなわち橈尺関節の働きによるもので ある. 文献13) によると、手関節の可動域は、屈曲: 70~90°、伸展:65~85°、外転:12~25°、内転:25 ~40°である. 手関節は、手部モデルと橈骨間を Spherical Jointで連結することにする(図-13参照). た だし、旋回運動は拘束する. 抵抗モーメントは、GEBOD 剛体ダミーモデル¹¹⁾で定義されているものを使用した.



図-13 自由上肢の連結

(3) 胸部・頭部モデル

胸部・頭部モデルは、24個の椎骨と12本の肋骨、肋軟 骨、胸骨、鎖骨、肩甲骨、頭蓋骨、下顎骨から成る.肋 軟骨-胸骨-肋骨間は節点共有で連結した.肋骨と胸椎間 の連結は、靱帯で強靭に結合されているので、シェル要 素を用いて連結した.胸郭と鎖骨は、胸鎖靱帯と肋鎖靱 帯で連結されている.胸鎖靱帯は胸骨の上端と鎖骨の近



図-14 胸郭 - 鎖骨の連結

位部先端を,肋鎖靭帯は第1肋軟骨と鎖骨近位部先端を 結ぶ靭帯である.ここではこれらの靭帯をシェル要素で 作成して,胸郭と鎖骨の連結を行った(図-14).また, 鎖骨と肩甲骨は,肩鎖靭帯,円錐靭帯,菱形靭帯に相当 するシェル要素で連結した.

図-15に、作成した頭部・胸部モデルの正面図と背面 図を示した.胸部椎骨相互の連結にはポールジョイント を使用した.椎間関節の可動に伴う抵抗は、摩擦抵抗モ ーメント値に達した後に、ある剛性で線形変化するトル クを与えている.



頭蓋骨と下顎骨間の連結には、ストップ角度37°のピン連結要素を用いた.また、外肋間筋(シェル要素)、 胸鎖乳突筋、斜角筋(ビーム要素)などの筋も付与した.

5. まとめ

人体 FEM モデル作成に不可欠な基盤技術を開発した.

一つは、人体形状データの入手方法とその変換手法で ある.入手データは DXF 形式であり、本研究で用いた汎 用解析コード LS-DYNA の形式に変換が必要であったため、 変換用のアプリケーションを JAVA で作成した.

次に、軟組織の半自動メッシュ分割手法を開発した. これまで、人体 FEM モデルを作成する上で、筋肉のソリ ッド化が難題であった.ここでは3次元設計ソフトの、 ソリッド要素のメッシュ自動分割機能を利用したモデル 化を行うことでこの課題を解決した.メッシュ自動分割 機能を用いるためには、人体形状データをロフトと呼ば れる形式に再構築する必要があり、この変換を行うアプ リケーションを開発した.また、汎用解析コードへのデ ータ変換手法の構築もするなど、ソリッド要素による筋 肉のモデル化に必要な一連の手法を確立した.

今後は、各部位の物性に関するデータを収集して、力 学特性と破壊性状に関する検証を行い、モデル精度を向 上させて行くつもりである.

謝辞:本研究は文部科学省の科学研究費,基盤研究(C), (研究代表者:長嶋文雄,研究期間:2006-2008, 課題番 号:18560468)の助成を受けて得られた成果の一部をま とめたものである.ここに記して謝辞を表します.

参考文献

- (独)防災科学技術研究所:科学技術振興調整費による総合研究,構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災 性向上に関する研究,1.実大三次元震動破壊実験施設を 想定した実験手法の具体化,(3)人体被災度計測模型の開発 と人的被災軽減方法の明確化,平成14年度報告書,平成15 年3月.
- 2) 宮野道雄,生田英輔,長嶋文雄,西村明儒,田中裕,熊谷 良雄:1996年有限要素法による人体被災度計測シミュレー ションの基礎的検討,第4回構造物の破壊過程解明に基づ く地震防災性向上に関するシンポジウム論文集,pp. 95-100, 2003.
- 3) 宮野道雄,生田英輔,長嶋文雄,西村明儒,田中裕,熊谷 良雄:有限要素法による人体被災度計測シミュレーション の基礎的検討(その2),第5回構造物の破壊過程解明に 基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集,2004.
- 4)長嶋文雄、宮野道雄、生田英輔:シェル要素を用いた胸郭 バーチャルダミーモデルの開発、土木学会第59回年次学術

講演会概要集, CD-ROM版 I-801, 平成16年9月.

- 5) 宮野道雄,長嶋文雄,生田英輔:バーチャルダミーを用い た胸部圧迫シミュレーション解析,土木学会第59回年次学 術講演会概要集,CD-ROM版 I-801,平成16年9月.
- 6) Eisuke IKUTA, Michio MIYANO, Fumio NAGASHIMA et. al.: Measurement of the Human Body Damage Caused by Collapsed Building, 13th World Conference on Earthquake Engineering, DVD-ROM Paper ID628, Vancouver, B.C., Canada, 2004.
- 7) 胸部載荷による胸郭の変形に関する検討-有限要素モデル を用いたシミュレーション:,日本生理人類学会誌,Vol.9, No.4, p33-36, 2004年11月.
- 8) 生田英輔,宮野道雄,長嶋文雄 他:有限要素法による人 体被災度計測シミュレーションの基礎的検討,地域安全学 会論文集, No. 6, p191-196, 2004年11月.
- 9) Eisuke Ikuta, Michio Miyano, Fumio Nagashima and Jun Ozaki: Framework of Biomechanical Modeling for Evaluating Human Body Damages Caused by Collapsed Building in Grate Earthquake, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, ID-1815 (CD/ROM), Geneva, Switzerland, Sep. 2006ID-1815.
- (独) 情報通信研究機構電磁波計測研究センター・ホーム
 ページ:第3研究部門・生体 EMC (Electromagnetic Compatibility) グループ(数値人体モデルを用いた電波暴 露量の数値シミュレーション).
- 11) 日本総合研究所:LS-DYNA 使用の手引き 2004年.
- 12) 青木 慶,山崎信寿:直立二足歩行における関節受動抵抗 の意義,バイオメカニズム14,1998年 東京大学出版会 pp. 59-65.
- 13) Thompson Floyd: 改訂版 身体運動の機能解剖 Manual of Structural Kinesiology, 2002年.

(2007.4.6 受付)

FRAMEWORK OF GENERATING CYBER DUMMY FE-MODEL FOR EVALUATING HUMAN BODY DAMAGES

Jun OZAKI and Fumio NAGASHIMA

This paper presents a framework of biomechanical modeling and evaluation method for impact and compression damages of human bodies caused by disasters. The final goal of this research is to provide high-precision cyber dummy for disaster mitigation by making use of the most advanced knowledge such as biomechanics and kinesiology. Anatomy geometric shape data (CAD data) are converted into FE model data by translating through the intermediate data. To obtain the intermediate data, remeshing and element generating are carried out using spline-curve-fitting technic and auto-meshing method. Finally, we get a right-half cyber dummy by connecting each region using shell, beam and joint elements.