

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

大阪市立大学大学院生活科学研究科 正会員 ○宮野 道雄
 東京都立大学大学院工学研究科 正会員 長嶋 文雄
 大阪市立大学大学院生活科学研究科 生田 英輔

1. はじめに

人体の被災程度と地震入力レベルとの関連分析や構造物破壊などによる人体被災の軽減化策の検討に、バーチャルダミーを用いたコンピュータシミュレーション解析手法の適用を試みている¹⁾。構造側からの耐震安全性の検討に対して、直接被災する人体側の観点から安全性について考えてみようという試みである。この種の検討で先行しているインパクトバイオメカニクス分野では、自動車衝突時の挙動や耐荷力を検討することを目的とした人体のコンピュータシミュレーションモデルが開発されている。THUMSやH-Modelなどであるが、非常に高価であり、また目的に応じたモデルの変更を自由にできる環境を整えるのは困難な状況にある。

本報告は、胸部圧迫死のメカニズム解明のために特化したバーチャルダミーモデルに関する検討を行ったものであり、胸部圧迫試験結果との比較を通してその適用性を調べた。

2. 胸部圧迫試験概要

胸部圧迫死のメカニズムの一つとして、胸腔内圧増加→上大静脈圧迫→脳からの血流停止（脳への血流停止）という仮説がある。本研究で用いた胸部圧迫試験データは、このような圧迫死の原因究明のために行われたものであり、健康成人（26歳・男性）の胸部を10kg f、20kg f、30kg fの3種類の重りで圧迫し、胸部全域をCTスキャナー（写真-1）で撮影したものである。スライス厚3mmで同時に3枚の画像を取り込むことができ、撮影位置をずらしながら連続することによって、圧迫時、非圧迫時、呼吸時、吸気時などのほぼ同じ状態での画像データを短時間の内に記録することができる。コンピュータによる画像解析から胸部全体の3次元座標データが得られ、任意断面における胸部変形が得られる。

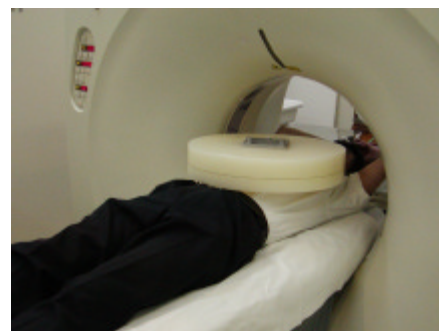


写真-1 胸部圧迫試験状況

3. 胸部圧迫シミュレーションモデルと解析手法

胸部圧迫問題解析用のバーチャルダミーモデルを次に示すような手順で作成した。(1) 胸部人体形状モデルを入手(DIGIMATION社) (2) LS-DYNAで扱い可能な有限要素データに変換(DXF形式→Excel→Text→LS-DYNAデータ形式) (3) 寸法の調整(スケーリング) (4) 椎骨のシェル要素厚算定、(5) 半身モデル化、(6) 微少要素の削除と成形、(7) 各パーツの連結と成形(肋椎関節、肋横突関節、靱帯) (8) 呼吸筋要素の追加(斜角筋、胸鎖乳突筋、外肋間筋)。人体は左右対称ではないが、極力計算コストを抑えるために、図-1に示すような半身モデルとした。仰臥状態のものを立てて示した。

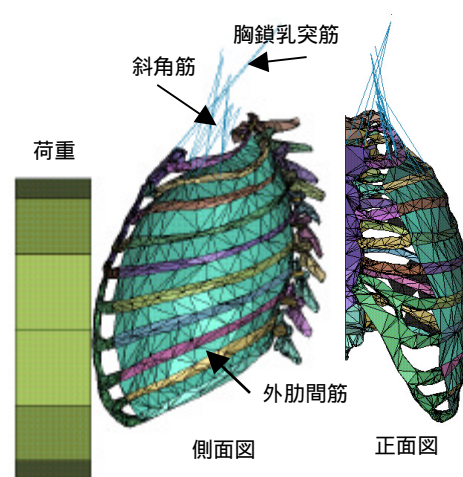


図-1 バーチャルダミー胸部モデル

呼吸は、安静時には主に横隔膜の上下運動によって行われるが、運動時などには様々な筋肉によって肋骨が胸椎との接合部付近を中心とした(バケツの取っ手のような)回転運動をして胸腔体積を増減させて行われる。本モデルでは、表-1に示すような呼吸筋の内、重要と思われるものを用いた。物性値は文献3)などを参考にし、表-2に示すような一般的な値を用いた。拘束条件として、胸椎骨の上下変位と斜角筋、胸鎖乳突筋の起

キーワード:バーチャルダミー, インパクトバイオメカニクス, 地震防災, 公共交通災害, 群集事故

連絡先: 〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1 東京都立大学大学院工学研究科土木工学専攻 Tel.0426-77-1111(4531)

表-1 呼吸筋の起始・停止およびその作用²⁾

筋肉	起始	停止	作用
外肋間筋	肋骨の下縁	次の肋骨の上縁	肋骨の引き上げ
肋骨拳筋	第7頸椎、第2～12胸椎の横突起	次の肋骨の角の外側	肋骨の引き上げ
前斜角筋	第3～6頸椎横突起	第1肋骨の鎖骨下	第1肋骨の引き上げ
中斜角筋	第2～7頸椎横突起	第1肋骨の上縁	第1肋骨の引き上げ
後斜角筋	第5～7頸椎横突起	第2肋骨の上縁	第2肋骨の引き上げ
上後鋸筋	項靱帯、第6頸椎～第2胸椎の棘突起	第2～5肋骨の角の外方上縁	第2～5肋骨の引き上げ
胸鎖乳突筋	胸骨柄	乳様突起	胸骨の引き上げ

始点変位を拘束した。

4. 解析結果 衝撃問題解析用ソフト(LS-DYNA)による動的シミュレーション解析を、陽解法による数値積分法を用いて行ったが、臨界減衰を構造減衰として与えることによって疑似静的解析が可能であり、静的な実験のシミュレーションも比較的短時間（本解析例では、Pentium 4, 3.06 GHz の PC で約 1 ～ 3 日）に行えることが分かった。図 - 2 に、構造減衰を与えない場合と、臨界減衰を与えた場合の第 6 肋骨(R6)取り付け位置付近の胸骨変位の比較を示した。非減衰の場合は平衡位置まわりに振動する解が得られるのに対して、臨界減衰を与えた場合には振動せず平衡位置に漸近する。図 - 3 は胸骨の変位を、肋骨取り付け位置毎に示したものであり、第 5 肋骨(R5)付近で計測された試験結果も一定値として併せて示した。図 - 4 に無載荷状態と 30 kg f 載荷状態での胸郭の変形と Von Mises の相当応力の色コンタを重ねて示した。胸郭の変形は主に肋軟骨の変形と肋骨の回転変位で生じていることが分かる。胸部圧迫による胸腔変形量 Δy を図 - 5 に示すように、胸椎 - 胸骨間距離（内法）と定義し、試験結果とシミュレーション解析結果を比較したところ、図 - 6 に示すように良く合致した結果が得られた。

表-2 物性値

	弾性係数 (MPa)	ポアソン比	質量密度 (kg /mm ³)
胸椎 (shell)	12,000	0.3	1.94 e-6
肋骨 (shell)	12,000	0.3	1.94 e-6
肋軟骨 (shell)	24.5	0.3	1.50 e-6
胸骨 (shell)	12,000	0.3	1.94 e-6
斜角筋 (beam)	1	0.3	1.06 e-6
胸鎖乳突筋 (beam)	1	0.3	1.06 e-6
肋椎関節 (shell)	50	0.3	1.06 e-6
外肋間筋 (shell)	1	0.3	1.06 e-6

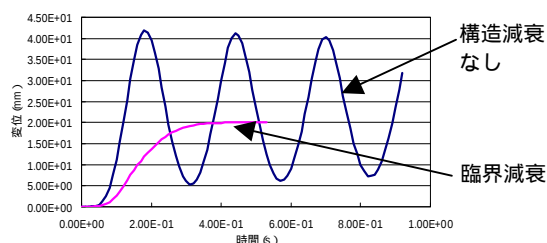


図 - 2 非構造減衰解析と臨界減衰解析結果の比較

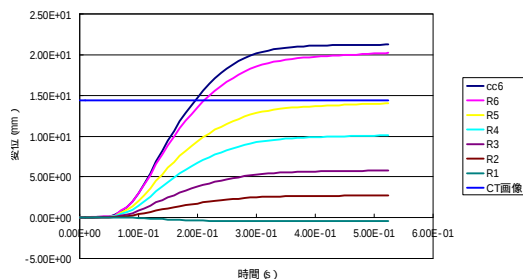


図 - 3 胸骨の変位（肋骨連結位置）

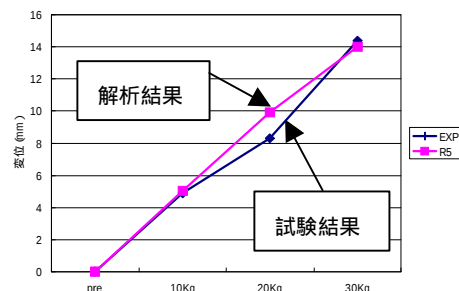
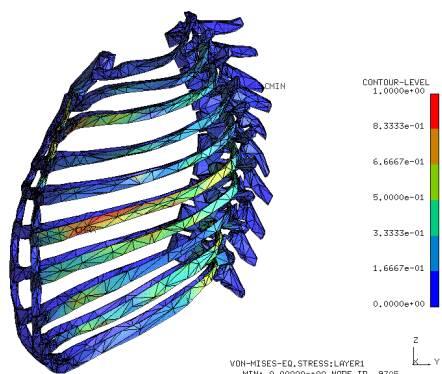
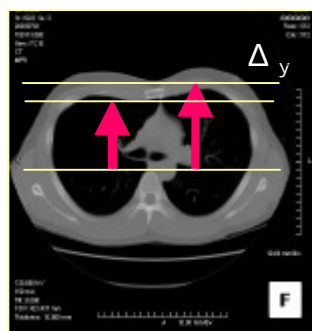
図 - 6 胸腔変形量 Δy の比較(第5肋骨位置)

図 - 4 胸郭の変形とVon Misesの相当応力分

図 - 5 胸腔変形量 Δy

5. まとめ 人体形状データの入手から、有限要素データへの変換、有限要素の整形、材料定数の設定、動的解析、ポスト処理に至る一連のシミュレーション解析手法を確立した。胸部圧迫死のメカニズム解明のために特化したバーチャルダミーの胸部モデルを、試験結果との比較検討を通して開発した。未だ明確なメカニズムや閾値を見出すには至っていないが、今後は軟組織を加えたより精緻なモデルによる検討を行う予定である。

[参考文献] 1) 宮野・生田・長嶋 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、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、2003年3月。2) 中村・竹内翻訳：身体運動の機能解剖（改訂版6刷）医道の日本社、2003年7月。3) 林 紘三郎：バイオメカニクス、コロナ社、2000年、5月。