

腹部外傷の発生メカニズム解明のための物理モデルの構築

Construction of Abdominal Physical Model for Clarification of Abdominal Injuries Mechanism

○飛田一貴¹, 富永茂², 岡野道治²*Kazuki Tobita¹, Shigeru Tominaga², Michiharu Okano²

Abstract: The purpose of this study is to construct an abdominal physical model for clarification of abdominal injury by seatbelt loading. The abdominal physical model consists of soft tissue model, skeleton model and intra-abdominal organ model. Intestine model was created in silicone as a model of intra-abdominal organ. Furthermore, intestine model investigated the mechanical properties in tensile test, and compared to human intestine. As a result, intestine model stretch rate is 1.25 times, breaking stress at 0.77 times.

1. はじめに

平成 20 年の法改正により, 自動車乗車時のシートベルト着用が全席義務化された. それに伴いシートベルト着用率は年々増加しており, 交通事故での死亡者減少に寄与している^[1]. しかし, 衝突時に腰ベルトが骨盤から腹部へずり上がり, ベルト直下に大きな圧力がかかることで発生する腹部の外傷が報告され始めた.

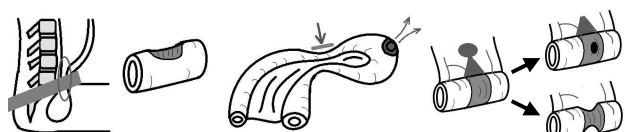
腹部外傷の研究では, 動物・屍体実験やコンピュータシミュレーションが有効な方法として多く用いられているが, 倫理面・コスト面などにおいて課題が多い.

そこで本研究では, 腹部物理モデルを構築し, シートベルトの圧迫による腹部傷害発生を検証, および傷害の程度と相関のある物理量の検討を行う.

2. 腹部外傷

シートベルトの圧迫によって損傷する箇所は, 主に腸管・腸間膜である. その傷害のメカニズムとして, 次の 3 つが挙げられる^[2] (Fig.1).

- ①腰ベルトと脊柱によって挟まれた腸管が圧座されることによる損傷
- ②腸管が変形・絡まることによって腸閉塞が起き, 閉鎖された部分の内圧が上昇することで破裂する
- ③腸間膜内の血管が損傷し, 腸管が虚血性変化を起こす (腸管に穴が開く・細くなるなど)



①Crush by the direct force

②The burst caused by internal pressure rises

③Ischemic change

Figure1 Mechanism of Seat Belt Trauma

先行研究^[3]より①③は確認されているが, ②内圧の上昇による腸管の破裂に関しては力学的な検討がなされていない. 従って本研究では, 内圧の上昇による腸管の破裂に注目し, 検討する.

3. 腹部物理モデル

腸管・腸間膜の損傷は, ベルトにより腹壁が変形し, 腹壁と脊柱の間に挟まれ圧迫されることで発生する^[2]. 従って, 物理モデルは筋肉や脂肪などの軟組織モデル, 骨格モデル, 腹腔内臓器のモデルの 3 つの要素から構成する必要がある.

ここで, 人体胴部は胸部・腹部・腰部が一体となって構成されている. そのため, 腹部のみを取り出したモデルでは, 実際の人体とは大きく構造が異なることが考えられる. そこで, 胸部・腰部も含めた胴体の軟組織モデル, 肋骨・脊柱・骨盤を含めた骨格モデルを構築する.

また, 内圧上昇による腸管の破裂に注目するため, 腹腔内臓器のモデルとしては腸管のみモデルを構築する.

3. 腸管モデル

3. 1. 材料選定

人体腸管の機械的特性として, 引張試験によって測定した伸び率, 破断応力^[4]に着目し, これと近い機械的特性をもち, 且つ取り扱いの容易なシリコーン (信越シリコーン KE-17) を採用した.

3. 2. 作成方法

直径 26mm の塩ビパイプにシリコーンを塗布し硬化させることで筒状の人体腸管を再現した. 作成工程を Fig.2 に示す.

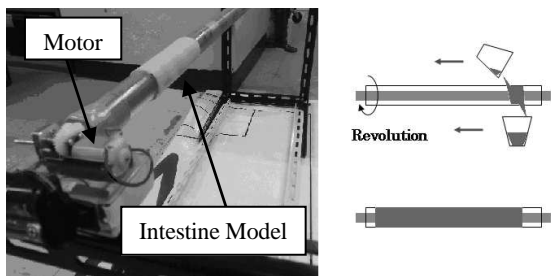


Figure2 Making Process

4 引張試験

4. 1. 目的

腹部物理モデルによる傷害の程度は、腸管モデルの破壊・変形で判断する。そのため、実際に作成したモデルの機械的特性を調査する必要がある。文献^[4]を参考に簡易的な引張試験を行い、人体腸管の機械的特性と比較する。

4. 2. 試験装置・方法

試験装置は、試験片への荷重を徐々に大きくしていき、その間の荷重をばねばかりで、変形量をばねばかりと 2 台のビデオカメラで計測するという簡易的なものである。装置を Fig.3 , Fig.4 に示す。

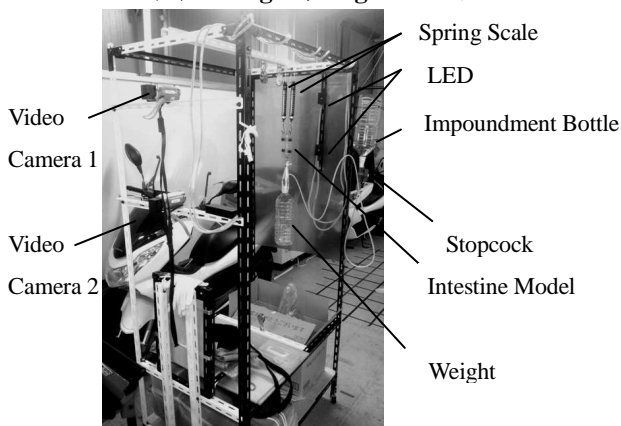


Figure3 Overview of Equipment (1)

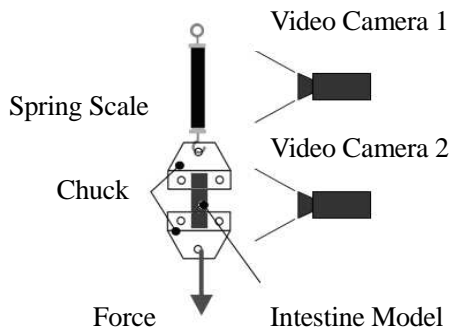


Figure4 Overview of Equipment (2)

4. 3. 結果

引張試験より得られた荷重、および変形量から応力-伸び率線図を描き、 Fig.5 に示す。

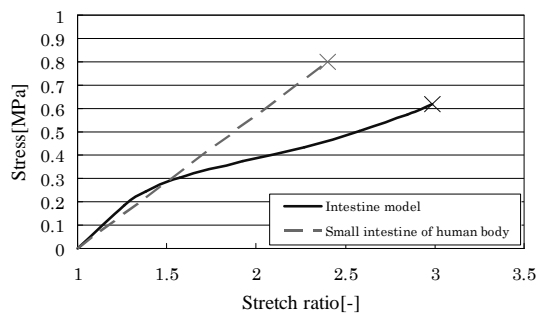


Figure5 Stress-Stretch Ratio

作成した腸管モデルと人体小腸を比較すると、伸び率は 1.25 倍、破断応力は 0.77 倍となった。

5. 考察

Fig.5 において、作成した腸管モデルの波形は人体腸管と異なる。これは人体腸管がそれぞれ特性の異なる複数の層から構成されているのに対して、作成したモデルはシリコンのみの単純な構造になっているためと考えられる。本研究では腸管の破裂を取り上げるため、最大伸び率、および最大応力に注目し、変形の過程は考慮しない。

破断点の違いは、モデル作成時に混入した気泡の影響があると考えられるため、気泡を除去することでより近い機械的特性を示すモデルが作成できると考えられる。

6. まとめ

本報告ではシートベルトの圧迫による腹部傷害の発生メカニズム解明のための腹部物理モデルとして、腸管のモデルを作成し、機械的特性を調査した。シリコンで作成した腸管モデルで簡易的な引張試験を行った結果、伸び率は人体腸管の 1.25 倍、破断応力は人体腸管 0.77 倍となった。今後、モデルの人体特性の再現度を上げるため、製法の検討が必要である。

7. 参考文献

[1] 警察庁交通局:「交通事故統計(平成 26 年 5 月末)」, 2014

[2] J. S. Williams et al.: “The Automotive Safety Belt: in Saving a Life May Produce Intra-abdominal Injuries”, The journal of trauma, Vol. 6, pp.302-315, (1966).

[3] 齊藤大蔵ら:「シートベルトによる消化管損傷の実験的検討」, 日外傷研会誌, Vol. 6, pp.25-33, (1992)

[4] Viacheslav I.Egorov et al: “Mechanical properties of the human gastrointestinal tract”, Journal of Biomechanics , Vol.35 , pp1417-1425 , 2002