

K6-64

## シートベルトによる腹部外傷を解析するための物理モデルの構築

## Construction of Physical Model for Analysis of Abdominal Trauma by Seat Belt

○松林幸<sup>1</sup>, 廣瀬諒<sup>1</sup>, 前澤友彬<sup>1</sup>, 樋口倫平<sup>1</sup>, 長谷川洋平<sup>2</sup>, 富永茂<sup>3</sup>, 岡野道治<sup>3</sup>\*Miyuki MATSUBAYASHI<sup>1</sup>, Ryo HIROSE<sup>1</sup>, Tomoaki MAEZAWA<sup>1</sup>, Rinpei HIGUCHI<sup>1</sup>, Yohei HASEGAWA<sup>2</sup>, Shigeru TOMINAGA<sup>3</sup>, Michiharu OKANO<sup>3</sup>

Abstract: In recent years, abdominal trauma and submarine phenomenon are drawing attention in traumatic trauma research. However, how the restraint device affects the abdominal trauma and the measurement of the physical quantity occurring when abdominal trauma occurs is not fixed. However, study on injuries caused by direct compression of the seat belt against the lower abdomen at the time of a car frontal collision. In order to investigate injure caused by the submarine phenomenon, which mainly occurs when the waist belt climbs over the abdomen at the time of a collision, we build an abdominal physical model, confirm phenomena and examine the physical quantity.

## 1. はじめに

自動車乗車時のシートベルト着用が義務化されて以来、シートベルト着用率は向上し、エアバックの普及もあり、致死的外傷となる頭部外傷や胸部外傷が減少している。一方で、シートベルトそのものによる鈍的腹部外傷が増加するようになった。この外傷の様相の変化はシートベルト外傷として注目されるようになった。特に腸管損傷が多いとされている。シートベルト外傷の要因として、不適切な着用や下腹部の骨盤にかかるようにシートベルトを装着していても、受傷時にシートベルトが上方にずり上がるサブマリン現象が挙げられる。その結果、衝撃力が腹部の内臓に直接およぶため、大きな損傷を生じる。しかし、これらの要因の物理量の検討について明確でない<sup>[1]</sup>。

したがって、本研究では、自動車前面衝突時のシートベルト外傷を調べるため、現象の検討及び物理量の検討について行う。

## 2. シートベルト外傷

## 2.1 シートベルト外傷発生メカニズム

シートベルト外傷が起きる要因として、シートベルトの不適切な着用やサブマリン現象が挙げられる<sup>[2]</sup>。サブマリン現象とは、前面衝突時に腰ベルトが腹部上部にずり上がることをいう。このような状況下でベルト直下に圧力がかかった場合に外傷が発生する。シートベルト外傷のメカニズムに関しては、主に以下の3つが挙げられる。

1. 直達力による腸管損傷
2. 内圧上昇による腸管破裂
3. 腸管の虚血性変化

これらの3つシートベルト外傷のメカニズムを Fig.1 に示す。

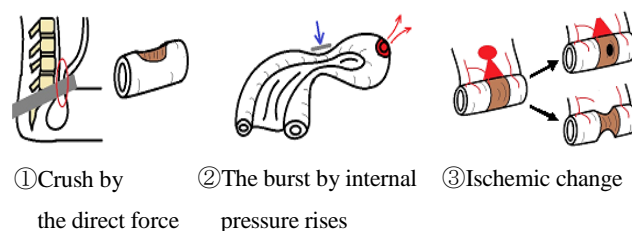


Figure.1 Mechanism of seat belt trauma

①と③の外傷は先行研究により確認されている。しかし、②の内圧上昇による腸管破裂に関する力学的検討がなされていないため、本研究では腹部モデルの製作を行う。また、内圧上昇による腸管破裂に着目し、検討を行う。

## 2.2 内圧上昇による腸管破裂

内圧上昇による腸管破裂とは、腰ベルトの圧迫により腸管内に閉塞空間が生まれ、空間内の圧力が上昇することによって、腸管破裂が起きる。

この現象について、力学的検討がなされていない理由として、以下の問題点が挙げられる。

- ・ 内圧上昇による腸管破裂の評価は外傷の有無で判断するしかなく、外傷の程度が予測できない。
- ・ 腸管の配置、強度には個体差があるため同等の条件の実験をすることが不可能。
- ・ 閉塞空間を任意で指定することが不可能であり、実験後開腹を行っても閉塞空間の範囲が確認できない場合がある。

### 3. 先行研究

#### 3.1 雑種犬を用いた研究

シートベルトによる消化管損傷の発生・病態を明かすために雑種犬にシートベルトを装着し、外力を加え、発生した損傷について力学的・病理組織的に算出した。結果として比較的軽度の外力で腸間膜損傷や空腸の漿膜（肺，心臓，腸などを覆う薄い膜）筋層剥脱が発生することが分かった。

#### 3.2 人体を用いた研究

シートベルト損傷はサブマリン現象により，シートベルトが骨盤から腹部にずれ，腹部と椎体が挟まれ発生すると考えられるため，シートベルトによる鈍的外傷 2 例を提示し，シートベルト損傷について考察した先行研究を参照した。その中でシートベルトによる腹腔内臓器損傷は，腸管損傷の頻度が高いとされている。腸管損傷の発生機序として，以下の 3 つが挙げられる。

1. 消化管がシートベルトと脊柱の間に挟圧され，直接外圧が加わったことにより損傷を受ける。
2. 機能的閉鎖腔を形成した腸管に外圧が加わり，内圧が上昇することにより破裂する。
3. 腸管を固定する腸間膜や血管等が外力により牽引され，小腸漿膜の剥離が起こり腸管損傷を起こす。

#### 3.3 物理モデルを用いた研究

腸管が脊柱と腹壁に挟まれることによってシートベルト外傷が起きる。腰ベルトより発生する衝撃による外傷は，骨や脂肪にも吸収される。このことから腸管の他に骨格や脂肪などのモデルが必要になる。

身体の構成は，脂肪・筋肉・骨格・内臓器から成り立つことから本研究では 3 要素から構成された腹部物理モデルを製作する。製作する物理モデルは軟組織モデル・骨格モデル・腸管モデルである。3 要素の機械的特性を Table.1 に示す。

Table.1 Material Property of Three Elements

I : Soft tissue・Bone	K, C
II : Intestinal tract	$\epsilon, \sigma$

### 4. 研究手法

本研究では動物や人体で実験を行うことが困難なため物理モデルを製作し，実験を行う。製作する物理モデルは 3.3 と同様に軟組織・骨格・腸管モデルである。軟組織モデルでは人体腹部のバネ定数 K と粘性減衰係数 C の材料定数，腸管モデルにおいては，破断応力  $\sigma$  と伸び率  $\epsilon$  を求め，人体特性と比較する。

### 5. 腹部物理モデル

#### 5.1 軟組織モデル

シートベルト外傷において軟組織・骨格は衝撃を吸収する働きがある。軟組織とは，筋肉や脂肪などの骨格組織を除く結合組織のことである。軟組織モデルを製作する上で必要となる機械的特性は，粘性と弾性であることからバネ定数と粘性減衰係数を考慮する。Table.2 は軟組織と骨格を含んだ人体腹部のバネ定数 K と粘性減衰係数 C の材料定数である。

Table.2 Index of Soft Tissue Model<sup>[3]</sup>

	Spring constant K[kN/m]	Viscous damping coefficient C[Ns/m]
Corpse abdomen Model	14.8(±3.03)	805(±67.0)

#### 5.2 腸管モデル

内圧上昇からなる腸管破裂を研究するため，腸管自体の変形は無視する。本研究では腸管破裂の際，破断点の応力と伸びについて着目する。Table.3 は人体腸管の破断応力と伸び率である。

Table.3 Index of human body intestinal tract<sup>[4]</sup>

Coefficient of extension $\epsilon[-]$	1.9
Breaking stress $\sigma$ [MPa]	1.1

### 6. まとめ

本研究では，自動車前面衝突時のシートベルト外傷を調査するため，腹部物理モデルを構築し，外傷発生の検討確認を行う。腹部物理モデルは，軟組織・骨格・腸管モデルの 3 要素を製作する。その際，人体の機械的特性を再現できているかを確認するため，Table.2, Table.3 の数値を用いて，比較実験を行う。

### 7. 参考文献

- [1] 斎藤大蔵：「シートベルトによる消化管損傷の実験的研究」，日外傷研会誌，6 巻，1 号，P.25，(1992)
- [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] Xavier Trosseille et al: “Abdominal Response to High – Speed Seatbelt Loading”，Stapp Car Crash Journal, Vol. 46, pp. 71-79,( 2002).
- [4] V. I. Egorov et al.: “Mechanical properties of the human gastrointestinal tract”，Journal of Biomechanics, Vol. 35, pp. 1417-1425, (2002).