K6-76

シートベルト着用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 The Physical Model to Analyze An Abdominal Injury by The Seat Belt Wearing

○長谷川洋平 [1]，山嵜寛也 [2]，富永茂 [3]，岡野道治 [3]
*Yohei Hasegawa[1]，Hiroya Yamazaki[2]，Shigeru Tominaga[3]，Michiharu Okano[3]

Abstract: In late years an abdominal injury and submarine phenomenon attract attention in a traffic injury study. However, the thing which kind of effect a restriction device gives to an abdominal injury was not known. Therefore, the purpose of this study is experiment on the physical model that simplified structure of the human body with production to study injury mechanism of the abdominal pressure with the seat belt at the time of the automobile collision. The physical model is made by the combination of three elements of soft tissue models such as an organ model in the abdominal cavity, a frame model, muscle or the fat.

1. はじめに

シートベルトは，急ブレーキや自動車衝突の際に車にかかる加速度を検知してベルトをロックする働きを持っている．この働きにより，自動車衝突時の乗員の車外放出や車内への二次衝突を防ぎ乗員の死亡事故の減少の寄付している．しかし，自動車衝突時に腰部シートベルトが腹腔内臓器上に来ることによって，腹部外傷, いわゆるシートベルト外傷が問題視されており，その発生メカニズムの解析が求められている．

シートベルト外傷の研究では，発生メカニズムを解明するために，自動車衝突時に腹部にかかる傷害を推定している．そのためのツールとして「人体モデル」がある．「人体モデル」には，屍体や動物，人体模型，数学モデルがある[1]．しかし，屍体や動物を用いた実験は，倫理的問題から実験を日本では行いにくく，数学モデルは，詳細なモデルの構築を行うのに膨大な時間がかかる．それに比べ，人体模型のような物理モデルは，倫理面での問題が少ないので優れている．

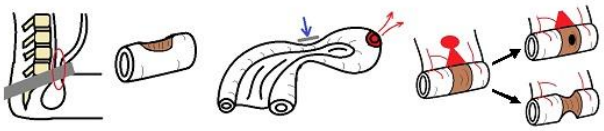
したがって，本研究では，自動車衝突時のシートベルトによる腹部圧迫の外傷メカニズムを調べるため，人体構造を簡略化した物理モデルを製作し，実験を行う．

2. 腹部外傷

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 つの傷害が挙げられる[2]．

①直接力による腸管損傷
②内圧上昇による腸管損傷
③腸管の虚血性変化

これらの 3 つの腹部外傷のメカニズムを **Fig.1** に示す．



①Crush by the direct force　②The burst by internal pressure rises　③Ischemic change

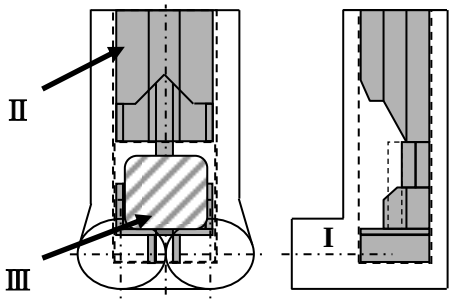
Figure.1 Mechanism of Seat Belt Trauma

①，③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しての力学的検証では，小腸には外傷が見られず，直腸では外傷が見られたと報告されている．

したがって, ②の内圧上昇による腸管破裂において，最も多いとされている小腸のデータが未だに確認されていないため，内圧上昇による小腸破裂に着目する．

3. 腹部物理モデルの製作

胸腹部は，連続した身体区分である為，腹部を検討するには胸部と骨盤の存在が不可欠である[3]．したがって，腹部物理モデルは，腹腔内臓器モデル，骨格モデル，筋肉や脂肪などの軟組織モデルの 3 つの要素から成り立つ．腹部物理モデルの構想を **Fig.2** に示す．



Ⅰ：Soft tissue model　Ⅱ：Skeleton model
Ⅲ：Intra-abdominal organ model

Figure .2 Physical Model

1：日大理工・学部・機械　2：日大理工・院（前）・機械　3：日大理工・教員・機械

腹部物理モデルの 3 要素のモデルの材料は，**Table.1** に示す．これら 3 要素のモデルを組み合わせ，腹部物理モデルを製作する．

Table.1 Materials of Three Elements of The Physical Model

Organ model in the abdominal cavity	Shinetsu silicones KE-17
Bone model	Under discussion
Soft tissue model	Low-elasticity urethane foam

4. 実験装置及び実験方法

本実験で用いる実験装置は，重りの落下を利用し，ベルト荷重を発生させる装置である．この実験装置の概要を **Fig.3** に示す．重さは，5～30kg の物を用いる．ベルトには，ベルト張力計を取り付け，この計測値をベルト荷重とする．腹部物理モデルの変形を 240fps のハイスピードカメラで記録し，記録した動画を解析し，腹部の変形量と変形速度を測定する．

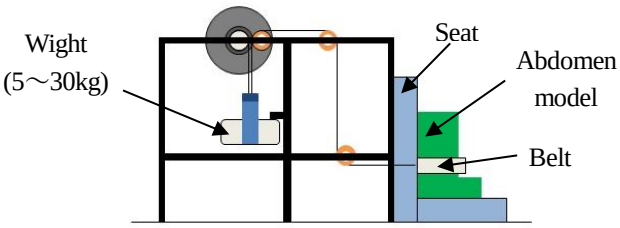


Figure.3 Experimental Equipment

5. 腸管モデルの評価方法

腸管の内圧上昇による破裂に着目するため，V.I.Egorov ら[4]が腸管モデルの引張試験を行い，取得した人体小腸の「応力 - 伸び」線図を指標して実験を行う．人体小腸の「応力 - 伸び」線図を **Fig.4** に示す．

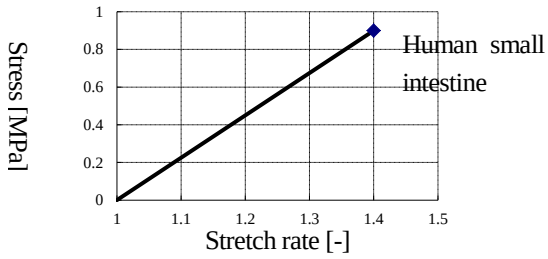


Figure.4 Stress-Stretch rate diagram

本実験で用いる腸管モデルをより忠実なものにするため，小腸内容物と粘性が近いグリセリンを使用する．これは，腸管内容物の有無との差による腸管内損傷を実験できるようにするためである．そして，腸管内に内容物を入れ，ベルト荷重の反応を見る．

6. 骨格および軟組織モデルの評価方法

Trosseilli ら[5]が実験を行い屍体腹部モデルのバネ定数 K，粘性減衰係数 C を公表した．骨格および軟組織モデルを製作するため，公表したデータを元にモデルの忠実度を上げ，より人体に近いモデルを目指す．Trosseilli らのデータを **Table.2** に示す．

Table.2 Index of The Dead Body Abdomen Model

	Spring constant K(kNm)	Viscous damping coeffcient C(Ns/m)
Corpse abdmen model	14.8(±3.03)	805(±67.0)

7. シートベルト外傷の傷害メカニズムの検証方法

M.A.Miller ら[6]は，ブタの腹部に衝撃を与える実験を行い，圧縮率 C とベルト荷重 F と粘性基準 VC_{max} に相関があると発表した．その関係をグラフにし，**Fig.5** に示す．

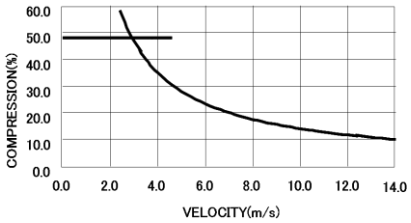


Figure.5 Abdominal Experiments Using The Pig

検討方法は，**Fig.5** のグラフを元に，VC 線図を作成する．次に，本実験で得られる実験データをプロッドし **Fig.5** の VC 線図と比較し，検討を行う．

8. まとめ

この研究では，シートベルト外傷の発生メカニズムの解析をするための物理モデルの製作および実験を行う．そのため，**Fig.4・Table.2** の情報を用いて，人体に近い物理モデルを製作する．

9. 参考文献

[1]小野古志朗：自動車の衝突安全での人体障害発生メカニズム解明に関する研究の状況

[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] 河野元嗣ら:胸腹部内臓損傷のコンピュータシミュレーション (特集 外傷と工学) -- (外傷予防・研究)

[4] V. I. Egorov et al.: “Mechanical properties of the human gastrointestional tract”, Journal of Biomechanics, Vol. 35, pp. 1417-1425, (2002).

[5] Xavier Trosseille et al. : “Abdominal Response to High – Speed Seatbelt Loading”, Stapp Car Crash Journal, Vol. 46, pp. 71-79, 2002.

[6] Miller MA et al. : “The Biomechanical Response of The Lower Abdomen to Belt Restraint Loading”, Journal of Trauma, Vol. 29, pp.1571-1584, 1989.