

## K6-5

## シートベルト荷重に対する腹部応答を解明するための物理モデルの構築

## Construction of a Physical Model for Clarification of Abdominal Response to Seatbelt Loading

○山本優<sup>1</sup>, 大杉景二<sup>2</sup>, 飛田一貴<sup>2</sup>, 富永茂<sup>3</sup>, 岡野道治<sup>3</sup>  
Masaru Yamamoto<sup>1</sup>, Keiji Osugi<sup>2</sup>, Kazuki Tobita<sup>2</sup>, Shigeru Tominaga<sup>3</sup>, Michiharu Okano<sup>3</sup>

Abstract: The purpose of this study is to construct a physical model for clarification of abdominal response to seatbelt loading. The physical model consists of the parts reconstructed the soft tissue, skeleton and intra-abdominal organ. Abdominal response was investigated by seatbelt loading test. The physical model was compared with the human abdominal spring damper model, which was verified biofidelity. As a result, stiffness of the physical model was consistent with the stiffness of the human body. However, damping characteristic of the physical model was one third of the damping characteristic of the human body.

## 1. はじめに

シートベルトは、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ぐ働きがあり乗員の死亡事故の減少に寄与している。しかし、シートベルトの拘束が原因と思われる腹部損傷、いわゆるシートベルト損傷が問題視されており、その発生メカニズムの解明が求められている<sup>[1]</sup>。

シートベルト損傷の発生メカニズムを解明するために、シートベルト荷重に対する腹部の応答を明らかにすることが必要である。これまで、人体の衝撃応答を解明するために、屍体や動物、有限要素モデルが用いられてきた<sup>[2][3][4]</sup>。しかし、屍体や動物は倫理的問題から実験が困難な場合が多く、有限要素モデルは、複雑な人体の構造や特性をモデル化するのは容易ではない。

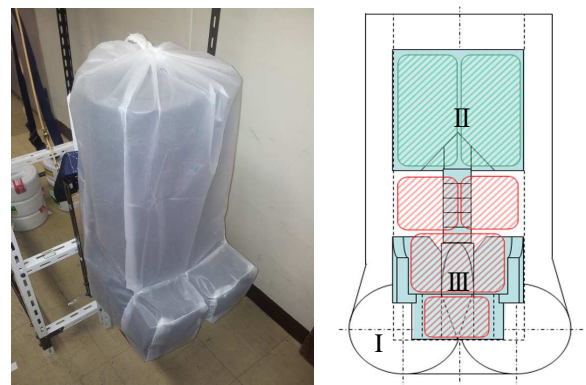
そこで、本研究では、シートベルト荷重に対する腹部の応答を調べるために、人体構造を単純化した物理モデルを製作し、シートベルト荷重実験を行った。また、Trosseilli ら<sup>[3]</sup>の人体腹部バネダンパモデルと比較し、物理モデルの生体忠実性を検討した。

## 2. 物理モデルの製作

河野ら<sup>[4]</sup>は、コンピュータモデルにおいて、胸腹部(体幹部)は連続した身体区分であるため、胸部だけ、腹部だけを切り出して検討することは意味がなく、腹部には胸部と骨盤の存在が必要であると述べている。したがって、物理モデルも胸腹部及び骨盤を含む体幹部モデルを製作する。製作した物理モデルを図1に示す。

物理モデルは、脂肪や筋肉などの軟組織模型、骨格模型、腹腔内臓器模型で構成される。軟組織模型はウレタンフォームを積層・接着し製作した。骨格模型は骨盤・脊柱・胸部肋骨の模型で構成され、ポリスチレ

ンを加工し製作した。腹腔内臓器模型は、空気並びに綿を入れた袋とした。各模型の形状や寸法は、人体の寸法統計や解剖図を参考にした。



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

Figure 1. Physical model

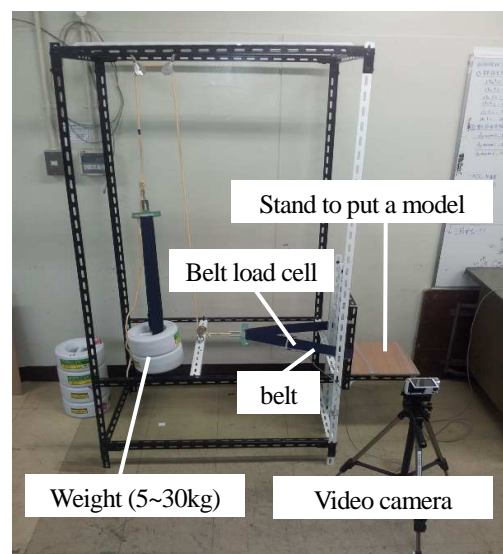


Figure 2. Experimental device

3. 実験装置及び方法

図 2 に本研究で用いる実験装置を示す。この実験装置は重石の落下を利用し、ベルト荷重を発生させる装置である。重石の質量は 10kg である。ベルトにはベルト張力計 (KYOWA LBT-A-20KNSA1-P) がついており、この計測値をベルト荷重とする。物理モデルの腹部の挙動を 240fps のビデオカメラ (CASIO EX ZR-1000) で記録する。記録された動画を解析し、腹部の変形量と変形速度を測定する。

4. 実験結果

ベルト荷重 - 変位線図を図 3 に、ベルト荷重 - 変形速度線図を図 4 に示す。図 3 を見ると立ち上がりが線形で、最大荷重に達すると非線形となっている。これは多くの屍体や動物実験と同様の傾向である。

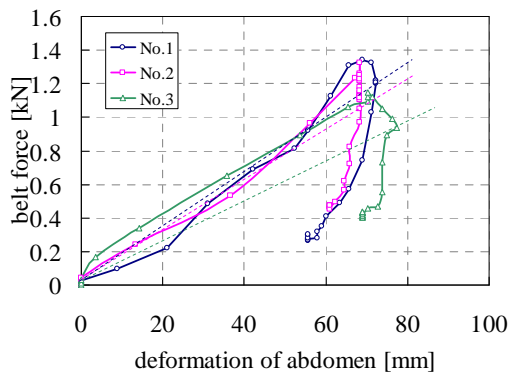


Figure 3. Belt force versus deformation of abdomen

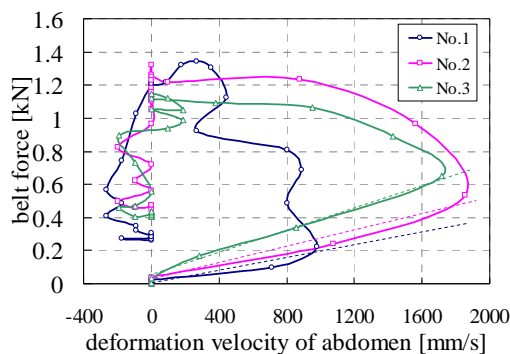


Figure 4. Belt force versus deformation velocity of abdomen

5. 人体腹部バネダンパモデルとの比較

Trosseille らの屍体を用いたシートベルト荷重実験を行い、人体腹部の応答を図 5 のようなバネダンパモデルを提案している<sup>[3]</sup>。本実験結果と Trosseille らのモデルと比較し、本研究で製作した物理モデルの生体忠実性を検討する。本実験結果から求めたバネ定数 K および粘性減衰係数 C を表 1 に示す。

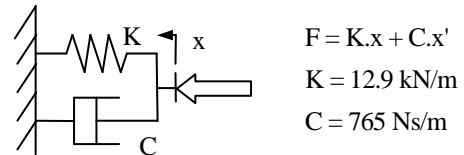


Figure 5. Trosseille's Cadaver abdominal model<sup>[3]</sup>

Table 1. Stiffness and damping characteristics

	K (kN.m)	C (Ns/m)
No.1	16.9	181
No.2	19.4	262
No.3	12.1	352
Average	16.1	265
Trosseilli	12.9	765

ここで、バネ定数 K はベルト荷重 - 変位線図 (図 3) において、変形開始から最大変位時を結んだ直線 (図 3 中の破線) の傾きから求められる。また、粘性減衰係数 C はベルト荷重 - 変形速度線図 (図 4) の負荷時の傾き (図 4 中の破線) から求められる。

表 1 を見ると、剛性は物理モデルと人体は近い値だが、粘性は物理モデルは人体のおよそ 1/3 の値となった。したがって、より生体忠実性を上げるには、物理モデルの粘性を上げる必要がある。

6. 結論

本研究では、シートベルト荷重に対する腹部の応答を調べるために、物理モデルを製作し、シートベルト荷重実験を行った。

Trosseilli らの人体腹部バネダンパモデルと比較し、物理モデルの生体忠実性を検討した。本物理モデルは、剛性に関して生体忠実性があるが、粘性に関しては人体の 1/3 の値となり、さらに生体忠実性を上げる必要がある。

7. 参考文献

[1] 荒木恒敏ら：「シートベルト損傷発生メカニズムと臨床」, 日外傷会誌, Vol. 20, No. 2, pp. 79-85, 2006.  
 [2] Miller MA et al. : "The Biomechanical Response of The Lower Abdomen to Belt Restraint Loading", Journal of Trauma, Vol. 29, pp.1571-1584, 1989.  
 [3] Xavier Trosseille et al. : "Abdominal Response to High - Speed Seatbelt Loading", Stapp Car Crash Journal, Vol. 46, pp. 71-79, 2002.  
 [4] 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)」, 救急医学, Vol. 34, No. 5, pp. 553-556, 2010.  
 2002, pp.71-79, 2002.