

腹部外傷の力学モデルの基礎研究 Study of the mechanical model of abdominal injury

○山本 優¹, 丹羽 祐太¹, 岡野 道治², 富永 茂²
*Masaru Yamamoto¹, Yuta Niwa¹, Michiharu Okano², Shigeru Tominaga²

Abstract: In recent years, the wearing rates of the seat belt increased, but the abdominal injury with the seat belt increased. There is little frequency that an abdominal injury produces, but it is very likely that result in death when an abdominal injury happens. So, this study tries the making of the dynamics model of injury mechanism understanding by the present about the bowels and mesentery injury in an abdominal injury.

1. まえがき

シートベルトの義務化により、交通事故における頭部外傷や胸部外傷などの重傷例は減少傾向にあるが、シートベルトの拘束による圧迫が原因と思われる腸管・腸間膜損傷の症例の報告が見られるようになってきた。¹⁾

医学的知見に基づく腸管・腸間膜損傷の発生メカニズムは、急激な減速のため腰ベルトが腹部にくい込み、下腹部が急にしめあげられことで腸管は内圧が上昇し、破裂や穿孔がおこる。また、腸間膜にはせん断力が発生し、断裂がおこると考えられている。²⁾

そこで本研究では、交通事故におけるシートベルトに起因する腹部傷害について、腸管・腸間膜損傷を中心に、医学的な傷害発生メカニズムを力学的に説明するモデルを考える。

2. 医学的知見に基づく腸管および腸間膜損傷の発生メカニズム

医学的知見に基づく腸管・腸間膜損傷の発生メカニズムはいくつか挙げられているが、その中で、Williams ら²⁾の“急激な減速のため腰ベルトが腹部にくい込み、下腹部が急にしめあげられることで、腸管には内圧が上昇し、破裂や穿孔がおこる。また、腸間膜にはせん断力が発生し、断裂がおこる。”という説が主に考えられる。

3. 動物実験による腹部の傷害耐性

現在、人体への衝撃に対してどのくらいの傷害が発生するのかを調べるため、動物や死体を用いた衝撃実験が行われ、人体各部位ごとにその傷害耐性が提案されている。腹部の傷害について腹部にかかるベルト荷重、腹部の変形率、腹部の変形速度と変形率との積といった物理パラメータと重症度を関連付ける腹部傷害耐性（ベルト荷重耐性、圧縮耐性、粘性耐性）が提案されている³⁾。

1例として Miller ら⁴⁾の提案するベルト荷重耐性を挙げる。豚の下腹部に腰ベルトを取り付けたインパクトで衝撃を与える試験を行い、以下のようなベルト荷重耐性を提案した。

- AIS3 以上傷害が 25% で発生するのは最大荷重 2.93 [kN]
- AIS3 以上傷害が 50% で発生するのは最大荷重 3.96 [kN]
- AIS4 以上傷害が 25% で発生するのは最大荷重 3.76 [kN]
- AIS4 以上傷害が 50% で発生するのは最大荷重 4.72 [kN]

4. 衝突現象を簡略化したモデルによる乗員に作用する衝撃荷重の検討

衝突事故時に、拘束具（シートベルト）から乗員にどれくらいの力が作用するのか推算する。ドライブレコーダー（以下、DR）の衝突時の車両の加速度が得られており、衝突現象を簡略化したモデル（Figure1）より、車両の加速度から乗員にかかる加速度および衝撃荷重を求めた。

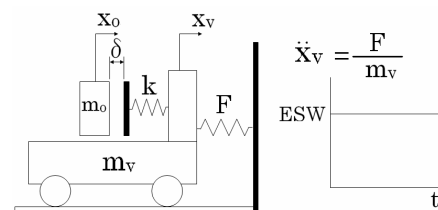


Figure1. A Crash Model⁵⁾

Figure1 において、 m_o : 乗員質量、 m_v : 車両質量、 x_o : 乗員変位、 x_v : 車両変位、 k : 拘束具剛性、 δ : 拘束具のたるとみ、 F : 壁からに車両に作用する力である。

Figure1 より、乗員にかかる加速度 \ddot{x}_o は式(1)となる。

$$\ddot{x}_o = -ESW\{1 - \cos(\omega(t-t^*)) + \omega t^* \sin(\omega(t-t^*))\} \quad (1)$$

ここで、車両加速度の矩形近似値 ESW、乗員と拘束具の

接触時間 t^* および ω を式(2)~(4)に示す. 式(2)の v , c はそれぞれ車両衝突速度と最大変位である.

$$ESW = 0.4 \frac{v^2}{c} \quad (2)$$

$$t^* = 0.072 \sqrt{\frac{\delta}{ESW}} \quad (3)$$

$$\omega = \sqrt{k} \quad (4)$$

Figure2 に DR データの車両加速度および次式より求めた車両の速度と変位を示す.

$$\dot{x}_v = \int \ddot{x}_v dt = \dot{x}_{v0} - ESWt \quad (5)$$

$$x_v = \int \dot{x}_v dt = x_{v0} + \dot{x}_{v0}t - ESWt^2 \quad (6)$$

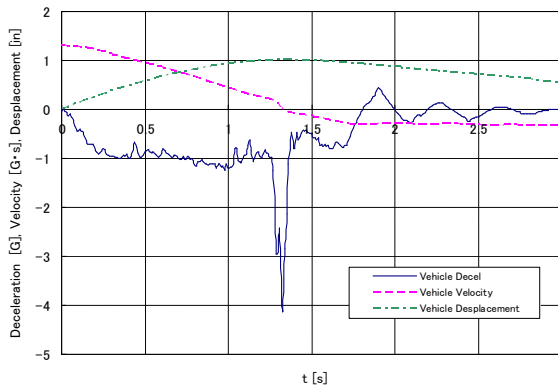


Figure2. Deceleration, Velocity and Displacement of the Vehicle

Figure2 より, 車両の衝突速度 v と最大変位 c は

$$v = 1.30 [G \cdot s], \quad c = 10.2 [in]$$

初期条件として, 拘束具のたるみ δ と剛性 k を

$$\delta = 0.984 [in], \quad k = 5.18 [g \cdot in]$$

とすると, ESW , ω , 接触時間 t^* は

$$ESW = 0.670 [G], \quad \omega = 2.28 [rad/s], \quad t^* = 0.0875 [s]$$

となり, 式(1)に代入すると, 乗員加速度は Figure3 となる.

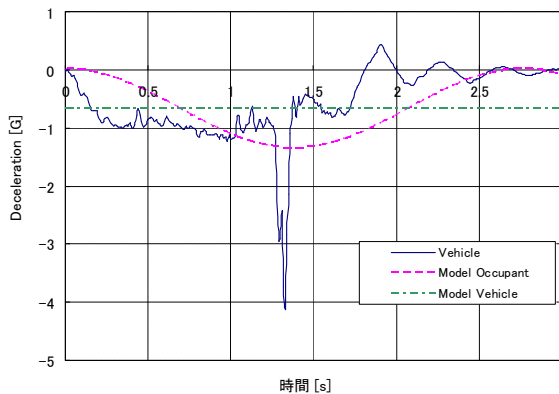


Figure3. Deceleration of the vehicle and occupant

以上のように衝突した車両の加速度から, 乗員の加速度および拘束具から乗員にかかる力を求めることができる. 今回の結果では拘束具から乗員に作用する力の最大値は, 以下ようになる.

$$|\dot{x}_{\text{omax}} \times M_0| = |(-1.35 \times 9.81) [m/s^2] \times 75 [kg]| = 0.990 [kN]$$

Miller ら⁴⁾の AIS3 以上, 25% 傷害のベルト荷重耐性 2.93 [kN]と比較すると, AIS3 以上の腹部外傷が発生するような荷重でないと言える. 実際の記録でも傷害は発生していない.

5. まとめ

本報告では, 交通外傷で頻発しているシートベルトに起因する腸管・腸間膜損傷の発生メカニズムについて, 臨床報告例を説明する力学モデルを検討している.

現在, 医学的知見として Williams ら²⁾の腸管の内圧上昇説および腸間膜のせん断力発生説が考えられている.

動物や死体での衝撃実験から, ベルト荷重, 腹部変形率, 腹部変形速度と変形率の積といった物理パラメータと重症度を関連付ける腹部傷害耐性が提案されている.

衝突現象を簡略化したモデルから, 衝突時に乗員にかかる加速度および拘束具から乗員にかかる最大荷重を求めた. 乗員にかかる最大荷重は 0.990 [kN]となり, Miller ら⁴⁾の提案した AIS3 以上, 25% 傷害のベルト荷重耐性 2.93 [kN]と比較すると, DR データの衝突では重傷以上の傷害発生するような衝突ではないと言える. 実際の記録でも傷害は発生していない.

今回のモデルから得られた結果はベルト荷重耐性と比較することができた. しかし, 腹部の変形率や変形速度を用いる圧縮耐性や粘性耐性, 医学的所見での内圧やせん断力といったパラメータとの比較はできない. 今後, 腹部の変形を考慮できるモデルを考える必要がある.

6. 参考文献

- [1] 瓜園泰之ら: 「シートベルト着用に起因する小腸損傷の4例」, 日臨外会誌, Vol. 66, No. 7, pp. 1634-1638, (2005)
- [2] J. Williams et al.: 「The Automotive Safety Belt: In saving a life may produce intra-abdominal injuries」, The Journal of Trauma, Vol. 6, No. 3, pp.302-315, (1966)
- [3] 小野古志郎ら: 「工学技術者と医療従事者のためのインパクトバイオメカニクス」, (社)自動車技術会, pp.73,(2006)
- [4] Miller et al.: 「The biomechanical response of the lower abdomen to belt restraint loading」, Journal of Trauma, Vol. 29, No. 11, pp. 173-205, (1982)
- [5] Matthew Huang et al.: 「Vehicle Crash Mechanics」, CRC Press, pp. 53-76, (2002)