

転倒衝撃力による骨折評価に関する基礎研究

Estimation Method of Bone Fracture Based on Fall Crash Force

○ 山中 真(純真大) 中野正博(純真大) 玉川雅章(九工大)
 行正徹(産医大) 松浦弘幸(長寿研) 久保田正美(JARI)

Junshin Gakuen University
 National Center for Geriatrics and Gerontology
 Graduate School of Life Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology
 University of Occupational and Environmental Health
 Japan Automobile Research Institute (JARI)
 New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)

ABSTRACT. *The speed with which society is ageing has made the continued ability of the elderly to perform activities of daily living (ADL) a major social issue. A variety of policies designed to deal with ageing have been implemented in response to this societal background. The present study focused on fractures, the major cause of difficulty for the elderly to maintain their ability to perform ADL. In this study, the impact force of falls was inferred from experiments using crash test dummies. The results indicated that the risk of fracture was greatly influenced by body position when falling as well as the physique and the patient fell. This information indicates that it would be possible to make a prior risk assessment for fractures due to falling by determining a physique via a patient survey at the time of hospitalization.*

1. 緒言

2011年における我が国の総人口は、1億2780万人であり、その内65歳以上の高齢者人口は2975万人と総人口に対して23.3%と、他の先進国と比べても極めて高い数字を示している。このように、我が国における高齢化は年々進んでおり高齢に伴う疾患を予防することや、高齢者のADLを維持することは、高齢者の増加に伴う医療費の歳出削減に大きく繋がる事から、重要な社会課題の1つと考えられる。高齢者のADL維持に大きな影響を与える疾患の1つとして、一般的に大腿骨頸部骨折が考えられている¹⁾。大腿骨頸部骨折は、股関節の体重支持機能を著しく低下させるとともに、治癒までに長い期間を要することから、骨折に伴う長期安静による筋力低下から起立、歩行が困難となり寝たきりに移行する等、ADLの低下に大きく寄与する。このような、大腿骨頸部骨折に代表される高齢者に頻発する骨折の約9割が転倒によるもの²⁾であり転倒における力学的な影響を明らかにすることは極めて重要であると考えられる。

2. 実験方法

2-1 実験概要

日本自動車研究所(JARI)の実験施設にて、自動車における衝突事故などによる外傷評価に用いられる人体との忠実性が最も高い衝突モデルダミーを用いた転倒実験を行った。転倒における環境条件としてコンクリート床を検討し、ダミーモデルが後方へ転倒した際の角加速度と角速度を測定した。

2-2 使用機器

- ・ダミーモデル：成人モデルダミー (Hybrid-III AF15[12])
- ・高速カメラ：Memrecam GX-1
- ・動作解析ソフト：Movias Neo Ver. 2.10

3. 実験結果

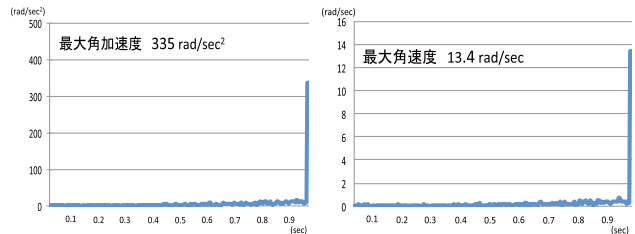
3-1) 転倒による角加速度及び角速度変位

図1における、モデルダミーでの転倒実験経過を0.04sec毎に画像変換し、踵部を起点として頭部マーカー貼付部の時間毎の角度変位の測定を行った。式(1)を用いて、得られた角度変位のデータに基づいて算出された転倒による床面接触までの角加速度、角速度を図2、図3に示す。



$$f'(x) = \frac{1}{12\Delta x} (-f_{i+2} + 8f_{i+1} - 8f_{i-1} + f_{i-2}) \tag{1}$$

f_i は時間毎の角度変位を示し、 Δx は測定データ毎の時間幅(0.04sec)を示している。



3-2) 転倒による衝撃力の推定

図2の結果を踏まえて、転倒によって受ける衝撃力の推定を行った。本報では、人の転倒挙動をモデル化し、踵および腰を軸とした2軸の回転体としてIを定義し、転倒による腰部を中心とした上半身の動きを転倒衝撃力の推定に加えることでよりモデル人形では得る事が出来ない、より現実的な人における転倒の姿勢変化を想定し衝撃力推定を行った。

I は以下の式にて定義した。

$$I_1 = \int_0^L r^2 \Delta m \quad I = mr^2 \quad (2)$$

I_1 は中央部に軸を持つ回転体と定義したことから、回転体の一対の長さの半分として、以下の式にて I_1 を定義した。

$$I_1 = \frac{m}{L} \left[\frac{1}{3} r^3 \right]_0^L = \frac{1}{24} L^2 m \quad (3)$$

もう一対の I_2 は以下の式にて定義した。

$$I_2 = mL^2 \left(\frac{1}{6} - \frac{1}{8} \cos \alpha \right) \quad (4)$$

ここで、式(3)と(4)より本報での転倒によるモデルダミーの回転による慣性モーメントを以下の式(5)にて定義した。

$$I_1 + I_2 = \left(\frac{1}{24} mL^2 + \frac{1}{8} mL^2 - \frac{1}{8} mL^2 \cos \alpha \right) \quad (5)$$

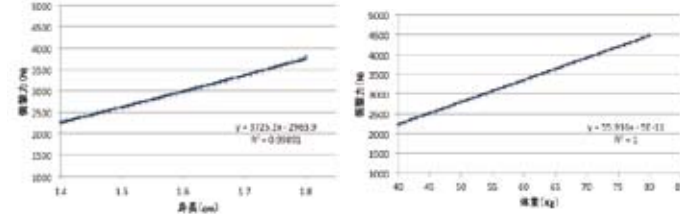
これらの結果より、転倒における衝撃力を以下の式から求めた。

$$F = I \cdot \ddot{\theta} = I \cdot \frac{\Delta \dot{\theta}}{\Delta t}$$

$$= mL^2 \left[\frac{1}{24} - \frac{1}{8} \cos \alpha \right] \cdot \ddot{\theta} \quad (6)$$

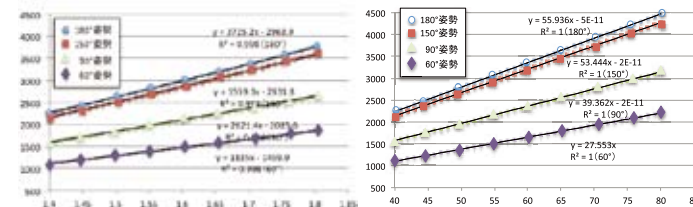
3-3) 転倒時の体格差による衝撃力の推定

図3、4は、体格差によって生じる転倒時の衝撃力変化を示している。図3、4より、転倒による衝撃力は身長よりも、体重による影響を大きく受ける事や、体重50kgで162cm以上の人や、身長155cm体重が54kg以上の人は、転倒による骨折の可能性が高いことが明らかとなった。



3-4) 転倒時の体格差と姿勢変化による衝撃力の推定

図5、6は、転倒時の転倒姿勢とそれぞれの転倒姿勢毎の体格差によって生じる衝撃力変化を示している。図5、6より、転倒姿勢が60°のケースにおいて、身長155cmで80kgの人の衝撃力は、最大2206Nであり同じ条件で、転倒姿勢が180°のケースにおいては最大4474Nと2倍近い数値の開きが見られるなど、転倒時の姿勢が転倒衝撃に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。



4 考察

本報では、衝突モデルダミーを用いた転倒実験から得られた実験データを基に転倒時における衝突角加速度を測定しその値を用いた転倒時衝撃力の推定を行った。その結果、モデルとした155cm、55kgの人が転倒した際に生じる衝撃力は2796NでありEdwardらの研究で得られた骨の臨界応力点より僅かに超える値であった。本報では転倒時の転倒姿勢と衝撃力について、実験結果より得られた最大角加速度を基に、転倒モデルを回転運動す

る2軸の回転体と捉え腰部を中心とした軸角度を変更することで転倒の姿勢変化を数値化し、転倒姿勢変化に伴う衝撃力の推定を行った。その結果、完全に体が伸びきった姿勢(180°)において最大の衝撃力を示し腰部軸角度が小さくなるにつれて衝撃力が弱まる傾向が見られた。このことは、腰部角度が小さくなるにつれて回転範囲が小さくなることで慣性力が弱まるためと考えられる。

次に、体格と転倒時衝撃力について本報では体重と身長の変数にて衝撃力の推定を行った。その結果、衝撃力は身長よりも体重に大きく影響を受ける事などから、転倒による骨折は、個々の身体的特徴により大きく異なることが明らかとなった。このことは、転倒による骨折予防を考える上で、最も基本的な身体情報のみで一時的な骨折の危険性について早期に優先度を示すことが可能であり転倒による骨折の危険性を評価する上で有用な指標を示す事が出来たと考える。

我々は、本実験を通して転倒による転倒姿勢と転倒対象の身体情報の2つの側面から転倒による骨折の危険性評価を行った。その結果、転倒直後の体勢や転倒対象の個人特性から骨折の危険性を事前に評価する事が可能であることを明らかとした。このことは、転倒による予防対策を考える上で対象特性に応じた予防対策の実施に大きく貢献する事が出来ると考える。

5 結論

本報では、衝突モデルダミーを用いた転倒実験より転倒時における衝突角加速度を測定し、測定結果より得られた測定値を基に解析を行い、以下の結論を得た。

- 1) 自然転倒において、モデル体格とした155cm、55kgの人が転倒した際に生じる衝撃力は2796Nであり、転倒時に防御姿勢を一切取らないケースにおいては骨折する可能性があること
- 2) 転倒時における衝撃力の推定結果より、転倒による衝撃力は身体基準として体重の割合が高く

転倒による骨折を予防する上で、体重をコントロールすることが有効であること

今後は、骨の形状による応力集中なども加味した、骨折の危険性評価に加えて、転倒時衝撃力だけでなく接触面積あたりの圧力からも転倒による骨折の危険性を調べる予定である。

6 謝辞

このプロジェクト研究に対して財政的支援を与えて頂いたNew Energy and Industrial Technology Development Organization(NEDO) in Japan に対して、深い感謝を表明する。

参考文献

- 1 由良晶子 他:高齢者の墜落/転倒事故死亡率の動向: 近畿大学医誌,1981,第6巻3号,pp359-368
- 2 H.Hagino : Nationwide survey of hip fractures in Japan : J Orthop Sci(2004)9:1-5
- 3 H.Hagino,K Sakamoto : Nationwide one-decade survey of hip fractures in Japan : J Orthop Sci(2010) 15:737-745
- 4 Cummings S.R : Appendicular Bone Density and Age Predict Hip Fracture in Women: JAMA,263,(1990),665-668
- 5 藤井正和 : 大腿骨頸部骨折の発生機序に関する実験的研究 : 日本整形医学会誌:61 (1987)、531-541
- 6 Pnilla,T.P : Impact Direction from a Fall Influenced the Failure Load of the Proximal Femur as Much as Age-Related Bone Loss, Calcif Tissue International,58(1996),231-235