520 生活支援機器の安全性評価に関する検討

Examination of Safety Evaluation Method of Life Support Instrument

○正 伊藤 安海 (長寿研) 正 最上 和生 (科警研)
正 根本 哲也 (長寿研) 正 松浦 弘幸 (長寿研)

Yasumi ITOH, National Institute for Longevity Sciences, 36-3, Gengo, Morioka, Obu, Aichi
Kazunari MOGAMI, National Research Institute of Police Science
Tetsuya NEMOTO, National Institute for Longevity Sciences
Hiroyuki MATUURA, National Institute for Longevity Sciences

Key Words : Impact Load, Life Support Instrument, Safety Evaluation Method, Buffer Material, Load Cell

1. 結 言

ロボティクス技術の発達に伴い、インテリジェントな機能を有する生活支援機器が開発されつつある。それに伴い、作動中の支援機器との接触による受傷事故といった、新たな問題の発生が懸念されている。

しかし、人体損傷の観点から外力（衝撃荷重）の大きさを評価する場合、作用する力の平均値、最大値、作用時間など考慮すべきパラメータが複数存在し、定量化が困難である。さらに、骨折、脳震盪など対象とする損傷毎に評価手法が異なるため、自動車乗員の安全性評価に利用されている衝撃加速度の評価法（HIC, SI）などの確立された評価手法をそのまま利用できない事故形態も多い。

また、衝撃荷重による人体損傷評価法は、殺人未遂・傷害事件における殺意の有無を明らかにする目的で、警察においても従来から熱心に研究されてきた⁽¹⁾⁽³⁾。その結果、皮膚、筋肉などの生体軟組織の存在が、衝撃荷重による人体損傷に大きな影響を及ぼすことが明らかとなってきた。

そこで本研究では、支援機器との接触により発生する衝撃荷重を計測する際に使用する緩衝材（生体軟組織代替物）を選定する目的で、数種類の生体軟組織および緩衝材の衝撃吸収特性を調査し比較を行った。

また、車いすなど従来から利用されている生活支援機器の事故形態調査結果によると、部材の老朽化による破損が原因となった事故の発生が、毎年確認されている。当然、JIS (T9201, T9203) により手動・電動車いすの耐久性、耐衝撃性などの安全基準は規定されているが、構造部材として歴史の浅い、マグネシウム、チタンなどの軽金属合金は疲労特性も十分解明されておらず、安全基準をクリアしていたとしても、破損事故の危険性は残されている。

そこで、本研究では、アルミニウム合金およびマグネシウム合金の二軸疲労試験結果⁽⁴⁾⁽⁶⁾を考察し、現在の耐久性評価法に対する問題点を明らかにした。

2. 生体軟組織および緩衝材の衝撃吸収特性評価

2・1 実験材料および実験方法 本実験に用いた生体軟組織および緩衝材は Table 1 に示すとおりである。実験は3個のロードセル（LC-2TN：共和電業）で支えられた鉄板の

上に生体軟組織又は緩衝材を置き、その上に、規定した高さ（0.25, 0.5, 0.75, 1.0m）から500gの錘を落下させる形式で行った。錘の衝突速度は、実験を真横から高速度ビデオカメラ（メモリカム：NAC）で撮影し、画像解析することによって求めた。なお、錘には Fig.1 に示すように、予め速度計測部位にターゲットマークを貼り付けておいた。

Table 1 Test material

(a) Soft tissue

	Thickness [mm]
Pork tenderloin	31.5
Pork loin	57.0
Beef tenderloin	25.0
Chicken breast	21.0
Chicken thighs	11.4
Left arm (human body)	64.1
Right arm (human body)	73.9

(b) Buffer material

	Thickness [mm]
Cell sponge	5, 10, 20, 30
Soft sponge	5, 10, 20
Rubber	5, 10, 20

Fig. 1 Photograph of a test situation

2・2 実験結果 実験の結果、生体軟組織では、その種類によらず、錘落下高さとも最大衝撃荷重の関係はほぼ同じ傾きの直線で表されることが明かとなった。また、測定された最大衝撃荷重は生体軟組織の厚さに反比例することも確かめられた。それに対して、緩衝材では材質毎に錘落下高さとも最大衝撃荷重の関係が大きく異なっていた。ここで、3種類の緩衝材と生体軟組織を比較すると、ゴムは全ての条件で生体軟組織と大きく異なり、軟質スポンジも錘落下高さが上昇するに従って生体軟組織の値から大きく外れてしまうが、セルスポンジは全ての条件（錘落下高さ、緩衝材厚さ）で生体軟組織とほぼ同一の最大衝撃荷重を示すことが明かとなった。実験結果の一部を Fig.2 に示す。

3. 生活支援機器材料（軽金属）の二軸疲労特性

構造材料としての歴史が長く、疲労特性も十分明かとなっているアルミニウム合金と、近年構造部材としての使用が増えてきたマグネシウム合金の二軸疲労試験結果を比較し、軽金属材料が複雑な応力状態で使用される場合の危険性について考察を行った。

3・1 供試材および実験方法 実験に用いられた試験片はマグネシウム合金 AZ31B とアルミニウム合金 2024T3 の厚さは $t=2.5\text{mm}$ の板材で、試験片中央に供試材生成時の圧延方向を Y 軸として、 Y 軸を基準に $\theta=0^\circ$ 、長さ 30mm の予き裂が入れたものである。

疲労試験は二軸負荷荷重比（ X 軸方向荷重 P_x と Y 軸方向荷重 P_y の比） $R_b = P_x / P_y = 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0$ の正弦波で行われた。また、き裂の進展はレーザー顕微鏡により観察し、長さの測定を行った。

3・2 実験結果および考察 実験の結果、き裂進展速度 da/dN と応力拡大係数幅 ΔK の関係は、マグネシウム合金、アルミニウム合金共にパリズ則に従うものの、アルミニウム合金は二軸負荷荷重比の影響を受けないのに対し、マグネシウム合金は二軸負荷荷重比が僅かに変化しただけで、き裂進展速度が大きく変化している (Fig.3)。このような現象は線形破壊力学では予見されておらず、他の材料においても同様の現象が存在するのかが、今後調べる必要がある。

4. 結 言

生活支援機器の安全性評価に関して、機器と人体の接触時の安全性、機器部材の破壊に対する安全性の見地から検討を行い、以下の知見が得られた。

1. 生体軟組織の衝撃吸収特性は種類、部位によらず、ほぼ一定である。
2. セルスポンジの衝撃吸収特性は生体軟組織の衝撃吸収特性と非常に良く一致し、今後、生活支援機器との接触により人体が受ける衝撃荷重を測定する際に、生体軟組織代用物として使用可能なことが明かとなった。
3. マグネシウム合金では、これまでの破壊力学では影響が無いとされてきた、き裂に平行な応力の変化により、疲労き裂進

展速度、疲労破壊寿命が大きく変化していた。

4. 近年、軽量・高強度の材料が数多く開発され、生活支援機器の部材としての使用も増えているが、疲労特性が十分に解明されておらず、機器開発時の耐久試験と僅かに異なる応力環境での使用であっても、推測より大幅に短い期間で破損に至る危険性があることが明かとなった。

文 献

- (1) 伊藤安海, The Second Conference on Biomechanics, 日本実験力学会講演論文集, 4-3, (2002), pp. 21-24.
- (2) 伊藤安海, 最上和生, 第 50 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, (2003), pp. 75.
- (3) 伊藤安海, 最上和生, 第 50 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, (2004), pp. 71.
- (4) Y.Itoh, A.Shimamoto, Key Engineering Materials, 270-273, (2004), pp. 1246-1253.
- (5) Y.Itoh, A.Shimamoto, Materials Science Forum, 488-489, (2005), pp. 859-864.
- (6) Y.Itoh, A.Shimamoto, Key Engineering Materials, (2005), pp. 297-300.

Fig. 2 Relationship between weight drop height and maximum impact load

Fig. 3 Relation between crack propagation rate and biaxial load stress ratio.
($\Delta K_I = 7$ (magnesium alloy), $\Delta K_I = 15$ (aluminum alloy))