

人体にかかるせん断力の低減機構を備えた

床ずれ防止マットレスの開発

Development of an Air Mattress Which is able to Reduce Shearing Force to Prevent Bedsores

○ 日置 康祐 (東海ゴム工業 (株)) 高杉 紳一郎 (九州大学病院)

高嶋 淳 (九州大学)

山本 元司 (九州大学)

Kosuke HEKI, Tokai Rubber Industries, Ltd
Shin-ichiro TAKASUGI, Kyushu University Hospital
Atsushi TAKASHIMA, Kyushu University
Motoji YAMAMOTO, Kyushu University

Abstract: We are developing an air mattress for the prevention from a bedsores. Our air mattress is formed of Smart Rubber (SR) sensors (Tokai Rubber Industries, Ltd.), which measure body pressure, and 84 air-cells which can be controlled independently. Generally, an air mattress for bedsores prevention needs both softness to distribute body pressure and flexibility to bend along the surface of a reclining bed. On the other hand, the reducing shearing force is focused on in this field. Because, on tilted bed, shearing force occurs between a body and a mattress, and it is consider one of main factors to cause bedsores. Therefore, we developed the structure of having softness and flexibility. And we confirm that the effectiveness of the proposed structure to reduce shearing force.

Key Words: Shearing force, Air mattress, Welfare Engineering, Actuator, Sensor

1. はじめに

近年、「柔らかい」、「人に優しい」を特徴とし、かつ高度な機能を有する製品が多く生み出されている。これは、自動車や住環境、医療・介護などの分野で特に顕著で、今後の需要が伸びる成長分野と考えられている。これら製品には高度なセンサやアクチュエータで構成されたシステムが搭載される。これに対して設計上の難しさは、柔軟性を持たせ、人体の様な立体的かつ複雑な形状にも違和感なく追従する一方で、ある狙いを持った方向への自由度やシステム全体の動作の安定性、再現性を同時に構造設計に組み込むことではないかと考える。いわゆる、「ふにゃふにゃ」と「しっかり」構造を両立させることの難しさである。

つまりセンサやアクチュエータを搭載するに当たっては、電気回路装置や配線、配管などを、信頼性、安全性を備えつつ組み込むことに、多くの設計上の工夫が求められる。

現在我々は、体圧を常時センシングしつつ、多くのエアセルをアクティブに制御できる「床ずれ防止マットレス」の開発に取り組んでいる⁽¹⁾。当該開発では、まさに前述のような柔剛織り交ぜた構造設計が必要となる。

本論文では、特に介護用「床ずれ防止マットレス」に求められる、また、製品として差別化できる性能の中で、背上げ動作を行った際の臥床者の快適構造について述べる。言い換えれば、センサやアクチュエータ、制御回路部が含まれたマットレスでありながら、全体構造が大きく屈曲しても、所望の機能を維持し、臥床者に苦痛を与えない信頼性、安全性を確保した構造設計に取り組んだので、以下報告する。

2. 床ずれ防止マットレスについて

2-1 床ずれ防止エアマットレスに求められるもの

寝たきり患者に用いられる床ずれ防止マットレスは、体をやさしく支える必要があることから、エアマットレスが有効と認識されている。ほとんどのエアマットレスは横、

または縦方向に長いエアセルが筏状に並んだような形で、臥床者の体重によってエアセルが変形し、垂直方向の圧迫力である体圧を、分散させる仕組みとなっている。

しかし、その柔らかさがあるが故に、寝心地においてはふわふわとした浮遊感を感じたり、エアセル内圧を切り替える際に船酔い感を感じたりする弊害もある。また、食事などでベッドの背上げ動作を行う際には、持ち上がったマットレスの自重や、屈曲により、エアセルの形状が崩れ、体がマットレス面とずれ、せん断力がかかるといった現状がある。こういった背景より、床ずれ防止マットレスにおいては、垂直方向に体をやさしく支える、つまり圧迫力を分散させる柔軟性と、水平方向に型崩れしない、つまりせん断力発生を抑える剛性が求められている。

2-2 開発したマットレスの構造特徴

我々が開発したマットレスの内部構造を Fig.1 に示す。

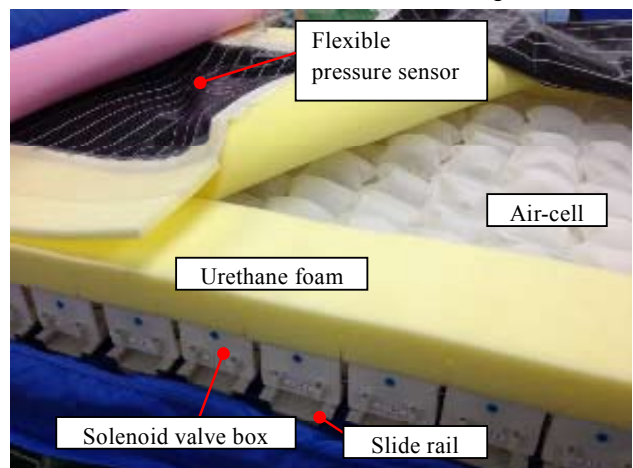


Fig.1 Inside structure of the developed mattress

柔軟な面状圧力センサ（SRセンサ、東海ゴム工業製）を内蔵していること、Fig.2 に示すような約 80mm 角の首振り 2 段エアセルを 84 個配置していることが大きな特徴となっている。



Fig.2 An air-cell

SRセンサで垂直方向の「圧迫力」である臥床者の体圧を測定し、その情報によりエアセル内圧をフィードバック制御する。それぞれ独立に制御することができるため、エアセル内圧の制御を行うことで、体型に沿ったマット面を形成し、体圧分散を行う。出来上がったマット面は、再度制御するまでは変形が無く安定しているが、首振り可能なエアセルであるため、程よい柔らかさも併せ持っている。

ここで、マットレスの屈曲について考える。ベッドが背上げ動作で屈曲すると、ベッドに接しているマットレスのほぼ底面が屈曲中立面となる。これは一般的なマットレスは、屈曲時に底面の寸法が伸びる構造ではないため、屈曲の中立面よりも内側には圧縮の力がかかり、マットレスは縮まることになる。この縮みが臥床者とのずれ、臥床者にかかるせん断力となる。開発したマットレスにおいては、その圧縮により SR センサと、エアセルの位置がずれる要因となり、上記の体圧分散性能が劣化する恐れもある。

我々はこのマット面の縮みをなくすため、屈曲中立面にマット上面に近づける構造を開発した。Fig.3 に屈曲した際のマットレスの側面模式図を示す。側面から見たときに、マット上面近くまでが分割された構造にした。

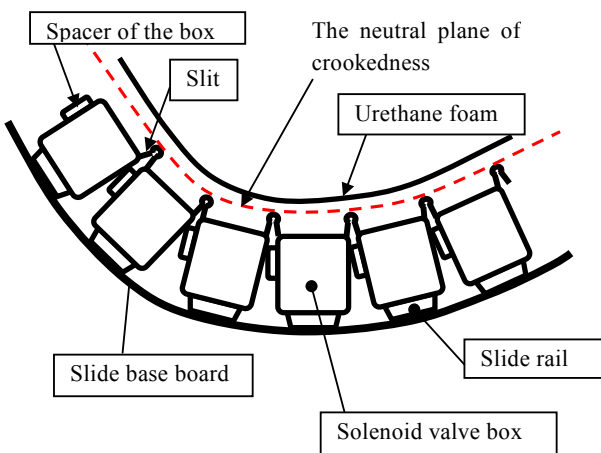


Fig.3 Side structure when the developed mattress is crooked

前述した 84 個のエアセルは横一列分の 7 個が底面のスライドレールに取り付けられている。スライドレールの一端には樹脂製の箱があり、横一列分のエアセルを制御するための電磁弁が収納されている。また反対の一端には樹脂製の箱を模した比較的硬質なウレタンフォームが切り込みを備え、ダミー-BOX として配置されている。この構造では屈曲の中立面はウレタンフォームの切り込み頂点を通過する面になるため、マット上面の圧縮を抑えることができ、マットレスの自重により発生する圧縮力に対しても、端の電磁弁の箱と、もう一端の硬質ウレタンフォームがその力に耐えるため、マット面の圧縮を最小限抑えることができる。

また、屈曲中立面よりも屈曲の外側にあたるマットレスの底面部分は、逆に開いて引っ張り応力が働くが、摩擦の少ない樹脂のスライド板の上をスライドレールが滑ることで開きやすく、スムーズな屈曲を可能にした。

以上より、水平方向の「せん断力」に関しても、その最大発生要因であるベッドの背上げ動作に対して、せん断力の発生しにくい屈曲構造をつくることができた。

3 実験

3-1 背上げ動作時のエアセル間隔の測定

背上げ動作時に屈曲によりエアセルが潰れると、当然エアセルの間隔が短くなる。短くなるマットレスの距離の分だけ臥床者の皮膚は引っ張られ、その距離に比例してせん断力がかかる。そこで、背上げ角度ごとのエアセルの間隔を測定し、数種類のエアマットの比較を行った。

実験方法は、Fig.4 のように長さが 1900mm のエアマットレスの頭側端から 660mm の位置を基準として、足元側へ 80mm 間隔で 5 点測定ポイントをマーキングする。ベッドの角度を 0°、10°、15°、20°、30°、45°、60°、そして最大の 70° まで上げ、その時の測定ポイント間距離を測定する。ここで、ポイント間距離は、直線距離ではなく、曲面に沿った経路長を測定した。また、マットレスの背上げ動作の際は、マットレスが足元側へずれないように膝部を先に 20° 持ち上げてから背上げ動作を行った。

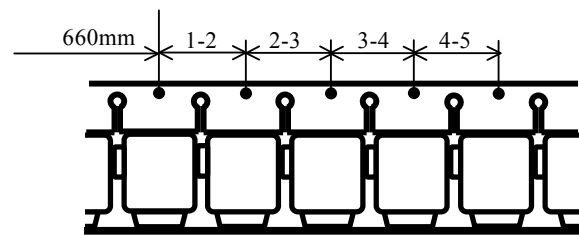


Fig.4 Measurement points of the mattress

3-2 背上げ動作時のせん断力の測定

次に背上げ動作時のせん断力を測定した。せん断力の測定は、Molten 社製、簡易式体圧・ずれ力同時測定器: PREDIA を使用した。Fig.5 のように背上げ動作時にせん断力のかかる坐骨部に、衣服の上から貼り付け、ベッド上に仰臥位で横たわる。測定器のセンサ部は足元側へのせん断力が正の向きとなるように貼り付けた。



Fig.5 The situation of an experiment

ベッド平坦の位置で、せん断力を 0 (N) にリセットし、背上げ動作を行いながら、ベッドの角度ごとのせん断力と体圧を記録した。特にせん断力はばらつきが大きいため、3 回以上の測定を行い、その平均値を算出した。また、測定角度は 0°、10°、15°、20°、30°、45°、60°、そして最大の 70°、ベッドリクライニングを起こす方向と倒す方向でそれぞれ測定した。ベッドの背上げ動作は、前述のようにマットレスが足元側にずれないように膝部を先に 20° 持ち上げてから行った。被験者は身長 174cm、体重 61kg の健康男性で、ばらつきを考慮して、同じ服装、すべて同日で測定を行った。

ここで、開発したマットレスは体圧に応じてマット面が変形するため、ベッドが平坦な位置において、体圧を分散した適切なマット面に変形させ、そのマット面を固定した状態で背上げ動作を行い、それぞれの角度でのせん断力を測定した。一般的なマットレスは静止モードにてマット面を固定し測定した。上記試験のベッドはすべてシーホネス社製のベッドを使用した。

4. 結果

4-1 背上げ動作時のエアセル間隔の測定

Fig.6~8 に結果を示す。Fig.6 が開発したマットレス、Fig.7、8 が一般的なマットレスで、共に定価が約 20 万円のものである。

測定ポイント 5 点のうち、隣り合う 2 点間の距離をベッドの角度ごとに測定した結果をプロットした。背上げ角度が大きくなるにつれ、2 点間の距離が初期間隔の 80mm から変化していく。

結果を見ると、すべてのマットレスが、ベッド背上げ角度が大きくなるにつれて、2 点間距離も縮まるという結果となったが、一般的なマットレスに比べて、開発品マットレスの方が、寸法変化が少ない結果となった。特に開発品マットレスでは足元側に相当する 3-4 間、4-5 間の距離は 30° 以上の角度の場合において、ほとんど変化が無いという結果となった。

また、ベッド背上げ最大角度である 70° の際、一般的なマットレスでは初期 80mm の半分以下まで短くなる箇所も存在したが、開発したマットレスでは最大でも 26mm 短くなるだけであった。

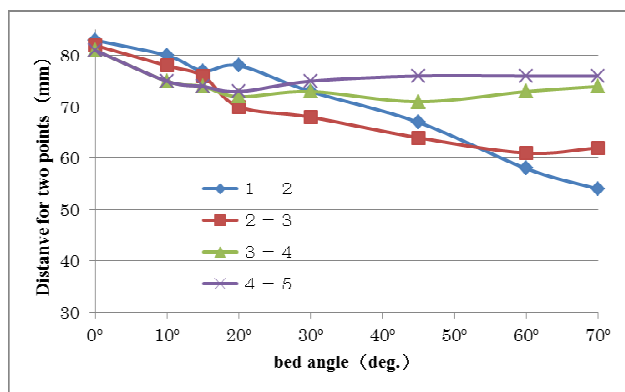


Fig.6 The developed mattress

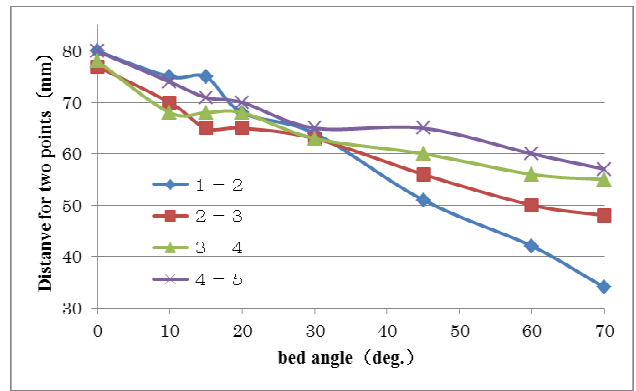


Fig.7 Common mattress A

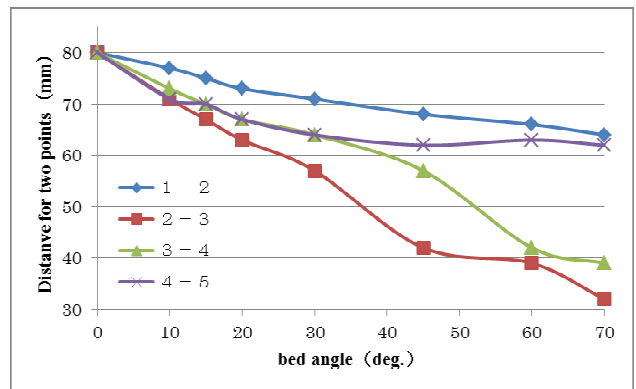


Fig.8 Common mattress B

4-2 背上げ動作時のせん断力の測定

Fig.9~11 にベッド背上げ角度ごとの坐骨部にかかるせん断力と体圧の推移を示す。

一般的なマットレス 2 機種は、背上げ角度が大きくなるとせん断力、体圧共に大きくなるが、開発品マットレスは、背上げ動作を行ってもせん断力がほとんど変化しなかった。また、体圧の変化に関しても一般的なマットレス B と同等で、背上げ角度 30° までであれば、床ずれ発生の目安とされている 32mmHg 以下に抑えることができていた。

また、開発品マットレスは、体圧変化においてリクライニングの起こす場合と倒す場合で、わずかではあるがヒステリシスがあることが確認された。

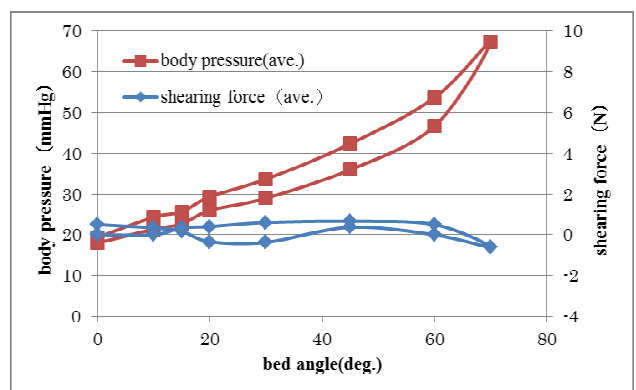


Fig.9 The developed mattress

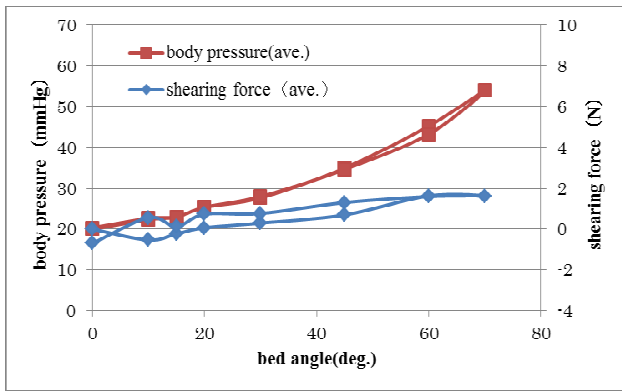


Fig.10 Common mattress A

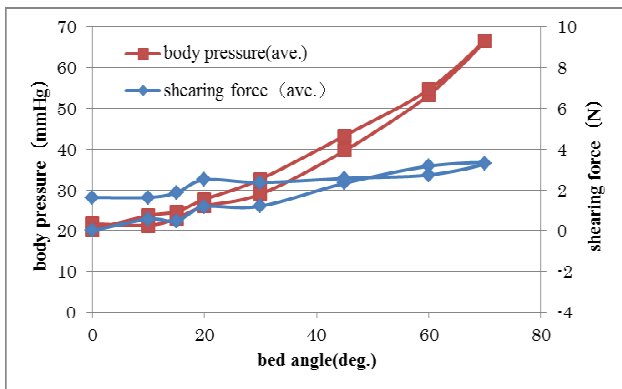


Fig.11 Common mattress B

5. 考察

5-1 背上げ動作時のエアセル間隔の測定

測定ポイントである5点のうち、屈曲した時に変曲点に相当するのが3点目であり、1-2、2-3間の圧縮が、一般的なマットレスに比べて少ないことは、開発品マットレスの構造が背上げ動作による屈曲に対して強い構造になっていると言える。Fig.3に示したように、側部の各電磁弁の箱にはエアセル間隔を保つためのスペーサーとしての突起が設けられており、反対端のダミーBOXとしてのウレタンフォームも比較的硬質であることから、発生した圧縮力に対して機械的に支える構造となって、距離が縮まらなかったと考えられる。

また、3-4、4-5間の距離が30°以上の背上げ動作において変化が無いということも、1-2、2-3間のずれが小さく、3-4、4-5間に加わる力以上の内部を支える剛性があることを証明している。側部の電磁弁箱の位置関係が縮まらないということは、エアセルの間隔も当然保たれていることになる。エアセルという柔らかいアクチュエータの適切な位置を外力から守ることが可能な構造であることが確認できた。

なお、一般的なマットレスBは一般的なマットレスAに比べて、測定ポイントの両端(1-2、4-5間)の縮みが少なかった。これは一般的なマットレスBの構造によるものだと考えられる。なぜならば、マットレスからの立ち上がりの際の安定性を保つため、両端のウレタンが比較的硬質になっているからで、開発品マットレス同様に、両端のウレタンが内部を支える効果があり、一般的なマットレスAに比べ圧縮に強い結果となったと考えられる。

5-2 背上げ動作時のせん断力の測定

せん断力と体圧の関係において、開発品マットレスではほとんどせん断力が発生しなかった。これは、一般的なマットレスと大きく異なる点であり、数回の測定においてもすべて同じ傾向となった。

一般的なマットレスは、臥床者の体重により、臥床者の体型に沿ったマット面を形成する。しかし、背上げ動作により、前述のようにエアセルの間隔が縮んでしまうと、体に密着しているマット面と体の皮膚の間でずれが発生し、せん断力が働いてしまう。ベッドの背上げ角度が大きくなるにつれ、ずれは大きく、その分せん断力も大きくなってしまう。

一方、開発品マットレスは圧力分布に応じてフィードバック制御されたエアセルの膨張・収縮により、体型に沿ったマット面が形成される。エアセルは一つひとつが一般的なマットレスに比べて小さく、それぞれ独立していて、空気の出入りが無いため、マット面がそれ以降ほとんど変形しない。ただし、エアセルは2段首振り構造であるため、背上げ動作時の体の動きにある程度追従できる。体型に沿ったマット面が体の動きに合わせて動き、この状態で背上げ動作を行うと、マット面と体の間にはずれがほとんどなく、せん断力がほとんど発生しなかったと考えられる。

体圧に対しては、圧力センサによるフィードバック制御で、体圧分散できるマット面を形成できるが、今回、マット面形成後に制御を止めているため、より高角度の場合においては最適なマット面ではなくなっており、そのため、本来であれば背上げ動作をした状態での最適マット面を再形成し、より体圧は低くできるのではないかと予想される。

また、開発品マットレスの体圧変化にヒステリシスが見られるのも、前述の首振り2段エアセルにより、ある程度固定されたマット面が背上げ動作の動きによって多少動き、より体圧分散できたマット面が形成されるから、リクライニングを起こす方向よりも、その後の倒す方向の方が、体圧分散ができ、ヒステリシスが見られるのではないかとと思われる。

6. まとめ

柔らかさと剛性を併せ持つことが要求される、床ずれ防止マットレスにおいて、体圧をやさしく支える柔軟な内部構造と、その構造を支える剛性を両立させることができた。特にベッドの背上げ動作を行う際に、人体という柔らかいものに3次元的にかかる力に対して、構造寸法的にも、実際にかかる力に対しても評価でき、その負荷を従来品よりも最小限に抑える効果を確認できたことは大きな研究成果だと言える。屈曲の際の圧縮でエアセルとSRセンサの位置のずれが、マットレスの体圧分散性能に影響を及ぼすが、屈曲中立面がSRセンサの配置面と近いこと、位置ずれがおこらず、信頼性が高く、品質の安定したマットレスとなっている。

本開発品マットレスは床ずれ防止に十分効果があるものと言え、その効果の定量的な臨床評価が今後の課題となる。高機能なエアマットレスの研究開発が、寝たきり患者の快適な生活を支えることにつながればと考えている。

参考文献

- (1) 高杉紳一郎、古江増隆、深川修司、今西恭子、御崎晶嗣、岩本幸英、体圧センシング機能を有するフィードバック制御式エアマットレスの開発、日本褥瘡学会誌 第13巻、p.312、2011