

枕上における頭部の寝返り抵抗トルクの解析

平成 18 年 度

三重大学大学院工学研究科
博士前期課程 機械工学専攻

村 田 康 弘

平成 18 年度 修士学位論文

枕上における頭部の寝返り抵抗トルクの解析

指導教官 池浦 良淳 助教授

三重大学大学院工学研究科
博士前期課程 機械工学専攻
システム設計研究室
村田 康弘



目次

第1章	緒言	1
第2章	寝返り実験	3
2.1	実験装置	3
2.2	3種類の枕での実験	10
2.2.1	枕の種類	10
2.2.2	実験方法	10
2.2.3	実験結果と考察	12
2.3	配置間隔 p が異なる樹脂弾性体枕での実験	18
2.3.1	枕の種類	18
2.3.2	実験方法	18
2.3.3	実験結果と考察	18
第3章	感性評価実験	24
3.1	実験方法	24
3.2	評価方法	25
3.3	実験結果と考察	25
第4章	力学的解析	28
4.1	ドラム変位 - トルクの表示による解析	28
4.1.1	解析方法	28
4.1.2	計算トルクと計測トルクの比較	29
4.2	ドラム速度 - トルクの表示による解析	38
4.2.1	解析方法	38
4.2.2	計算トルクと計測トルクの比較	38
第5章	結言	42
参考文献		44
謝辞		45

第1章

緒言

睡眠は、脳や身体の疲労回復、成長ホルモン分泌などの役割を有し、発達した脳を持つ人間にとっては生きるために欠かすことのできないものである。しかし、現代の高度技術化社会における生活の中では睡眠というものが疎かにされがちな傾向にあり、そのため睡眠障害に悩まされている人も多くなっている。そういった現状と脳科学の進歩とがあいまって、睡眠に対する関心はますます高まってきている。

睡眠という行為は様々なものから影響を受けており、例えば疲れやストレスなどの心身の状態、温湿度・光・音などの周囲の環境⁽¹⁾、そして寝具である。つまり、これらを改善していくことで快適な睡眠が得られることになる。ここでは、その中でも寝具の改善について取り上げる。

寝具として、枕は必要不可欠なものである。またマットレスも広く使われており、家庭はもちろん医療福祉施設などにおいては、その重要性は高いものとなっている。快適な睡眠を得るためにそれらの寝具に必要な要素として、保温性、保湿性、抗菌性、耐久性、体圧分散性などが挙げられるが、中でも重要なものが「寝返り性」、つまり寝返りのしやすさである。寝返りには、体重によって圧迫された部分の痛み・血行不良を体位を変えることで和らげる効果や、約 90 分周期で訪れる浅い眠りと深い眠り（レム睡眠とノンレム睡眠）の切り替え時に行われる、規則的で安定した眠りを得るためのスイッチのような役割⁽²⁾がある。他にも、血液循環の促進、体温調節、吸放湿性の向上、体の歪み調節など様々な効果があり、寝返りが快適な睡眠にとっていかに重要かがうかがえる。ただ、一般的に枕やマットレスに対しては、よく体圧分散性が重要視されている。体圧分散とは、体を横たえている状態で枕やマットレスにかかる圧力が、頭部、胸部、臀部などの一部分だけに留まらず全体に分散されることであり、そうすることによって自然な姿勢、正しい寝姿勢を保ち体への負担を軽減することができる。多くの場合、このような枕やマットレスは軟らかいので頭や体が埋もれ

てしまい寝返りしづらくなってしまいます。しかし、体圧分散性を犠牲にして寝返り性のみを追求しても、商品としての価値は低くなってしまいます。体圧分散性の重要性も考慮し、それを損なうことなく寝返りもしやすい枕やマットレスが必要となってきた。

本研究では、まず寝返りについて詳しく調べていく。対象を枕に限定し、その寝返り性を評価する。これまで、マットレスについての人間工学的な評価は既にされているが⁽³⁾、力学的な評価はまだされていない。そこで本報告では、寝返りを再現した実験装置を製作し、実験的及び理論的に枕の寝返りの力学的解析を行っていく。

第2章 寝返り実験

2.1 実験装置

範囲を首から上に限定し、頭部が枕の上を転がる際にかかるトルクを測定する実験装置を製作した。

Fig. 2.1 に実験装置の概要を示す。図の左側、枕の上にある円筒状のドラムを人間の頭部と見立てている。ドラムの形状は Fig. 2.2 のように、直径 160mm、幅 225mm、厚さ 20mm、中身も合わせたドラム総重量 6.4kg で、ドラムの周囲には滑り防止のためのアメゴムが貼り付けてある。そのドラムの中にあるのは DC モータで、モータの軸をドラムの底面部分の中心に固定する（図の奥側）ことにより、モータの作動でドラムを回転させることができる。しかし、そのままでは軸ではなくモータ本体の方が回転してし

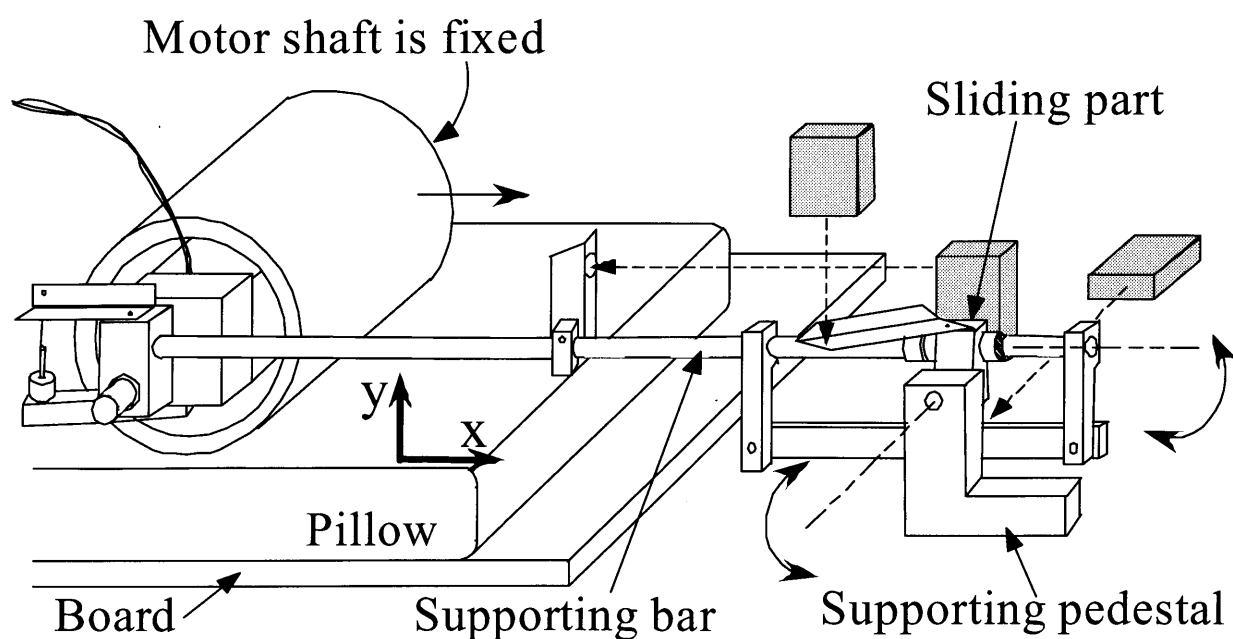


Fig. 2.1 Experimental device

まう。そこで、Fig. 2.3 に示してある実験装置左側の拡大図からも分かるように、モータ部の手前側に1つの軸を取り付け、支持棒左端部と軸受けを介して連結している。そして、モータ部と支持棒左端部からそれぞれ図のように棒を伸ばしそれを紐で繋げることで、モータ本体の回転を止めドラムが回転するようになっている。また、その紐の部分に歪みセンサを取り付けることにより張力を測定する。これによって、頭部の寝返り時の抵抗トルクを測定することができる。Fig. 2.1 の実験装置右側では、ドラムと共に移動する長さ約 800mm の支持棒がスライドするようになっている。そのスライド部は、固定されているL字型の支持台に一点で支えられている。つまり、その点を中心として回転できるようになっているので、ドラムの上下方向の動きにも滑らかに対応できる。

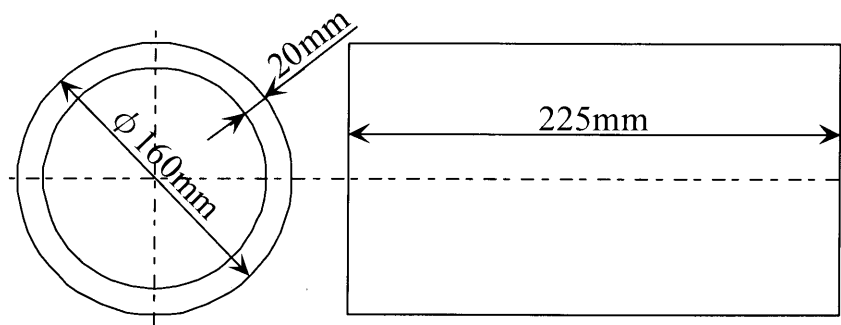


Fig. 2.2 Drum

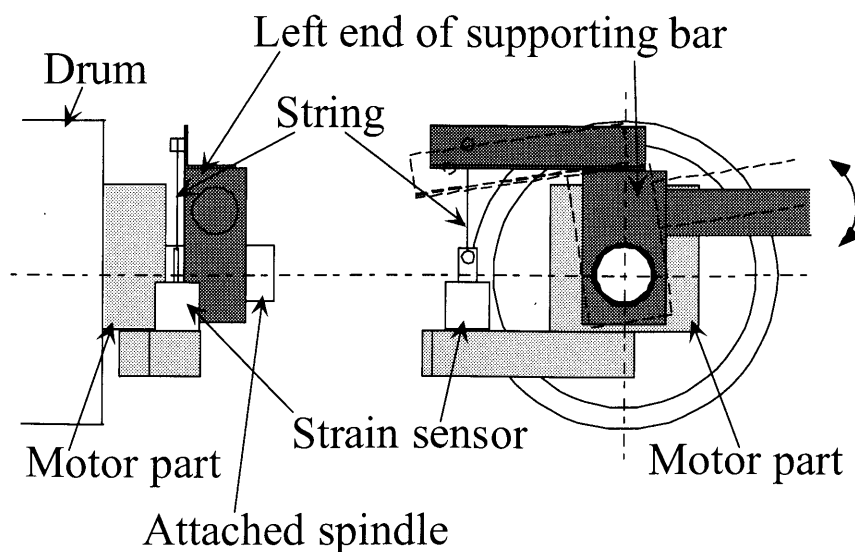


Fig. 2.3 Left-hand side of experimental device

この実験装置では、トルク以外についても測定している。まずドラムの進行方向の変位については、実験装置右側のスライド部にレーザーセンサを取り付け、支持棒の途中に反射板を取り付けることでその移動距離を測定する。そして、ドラムのピッチング方向の角度については、Fig. 2.1 から分かるように実験装置右側のスライド部から板を伸ばしそれを反射板にして上からレーザーセンサで変位を測定し、そこから角度を計算する。また支持棒の右側には、支持棒から下に伸ばした2本の棒の間に長さ250mmの平坦な細長い板が、支持棒と水平になるように固定してある。ドラムのローリング方向の角度については、その平坦な細長い板を反射板として横からレーザーセンサで変位を測定し、そこから角度を計算する。ドラムの進行方向の変位とこの2つの角度から、Fig. 2.1 に示しているy軸方向のドラムの重心位置とローリング方向のドラムの傾き角度を計算することができる。本報告では、トルクと共にこの2つについても解析していく。

実験装置のシステム構成を、Fig. 2.4 に示す。図のように、出力として電源を用いDCモータを作動させる方法を取っている。歪みセンサと3つのレーザーセンサで測定されたデータは、A/D変換ボードを介してコンピュータに入力される。

トルクを測定するために使用した歪みセンサ（歪みゲージ式）9E01-L44の仕様をTable 2.1 に示す。ドラムの進行方向の変位を測定するために使用したレーザーセンサは、キーエンス株式会社製レーザー変位センサLB-300でありその仕様をTable 2.2 に示す。ドラムのピッチング方向の角度を測定するために使用したレーザーセンサは、キーエンス株式会社製レーザー変位センサLC-2450でありその仕様をTable 2.3 に示す。ドラムのローリング方向の角度を測定するために使用したレーザーセンサは、キーエンス株式会社製レーザー変位センサLK-080でありその仕様をTable 2.4 に示す。

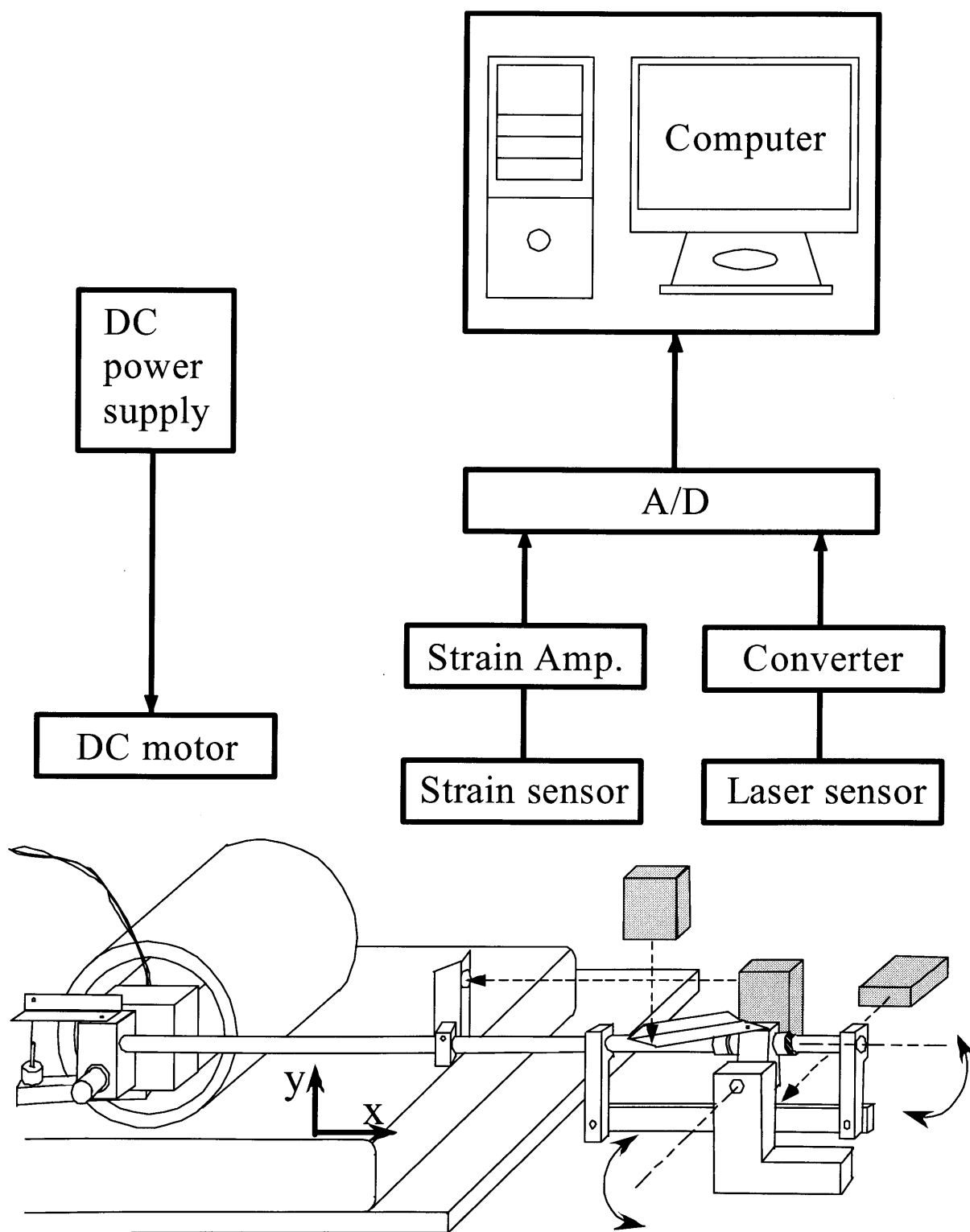


Fig. 2.4 Construction of the system

Table 2.1 Specification of 9E01-L441

定格容量	50 ~ 2 kN
許容過負荷	120 % R C
最大許容過負荷	150 % R C
定格出力	1 m V / V
非直線性	± 1 % R O
ヒステリシス	± 1 % R O
繰返し性	± 0.5 % R C
許容印加電圧	6 V
入力抵抗	350 Ω
出力抵抗	350 Ω
温度補償範囲	0 ~ 60 °C
許容温度範囲	-10 ~ 60 °C
零点の温度影響	± 0.2 % R O / °C
出力の温度影響	± 0.1 % / °C

Table 2.2 Specification of LB-300

種類	超ロングレンジタイプ	
型式	センサヘッド	LB-300
	アンプユニット	LB-1200
基準距離	300mm	
測定距離	±100mm	
光源	赤外半導体レーザー	
	波長	780nm(不可視) JISクラス3B
	出力	最大20mW (平均10mW)
スポット径(基準距離にて)	1.2 × 2.5mm	
直線径(白紙にて)	0.4% of F.S.	
分解能	50 μm (LO時)	
アナログ出力	電源出力	±5V (20mm/V)
	インピーダンス	100 Ω
	電流出力	4~20mA (適用負荷350MAX)
定格	電源電圧	AC100~240V ±10% 50/60Hz
	消費電力	約15VA
温度特性	センサヘッド	0.02% of F.S./°C
	アンプユニット	0.02% of F.S./°C
耐環境性	使用周囲照度	白熱ランプ、蛍光灯: 2500lx以下
	使用周囲温度	アンプユニット0~+50°C センサヘッド0~45°C
	使用周囲湿度	35~85%RH
	耐振動	10~55Hz 複振幅1.5mm X,Y,Z各方向2時間
質量	センサヘッド	約250g
	アンプユニット	約530g

Table 2.3 Specification of LC-2450

種類		拡散反射タイプ
型式	測定部	LC-2450
	コントローラ	LC-2400
測定範囲		±8mm
作動距離		50mm
光源		半導体レーザ
	波長	670nm
	出力	最大1.9mW、平均950 μ W
	クラス	クラス2
	パルス幅	10 μ s
最小スポット径		45 × 20 μ m
分解能		0.5 μ m
直線性		±0.05% of F.S.
サンプリング周波数		50kHz
応答周波数		20kHz (−3dB、平均回数1回)
応答時間		100 μ s
測定値平均回数		1～131072回(18段階切換)
オフセット範囲		±7.9995mm
ゲイン調整		オートゲイン、マニュアル4段階切換
入出力	アナログ変位出力	±10V 出力インピーダンス0 Ω 、6段階切換
	デジタル入出力	16bit/パラレル NPNオープンコレクタ 1LSB=0.5 μ m
	制御出力	公差上下限、受光量アラーム、測定範囲アラーム (NPNオープンコレクタ)
	制御入力	ホールドタイミング、オートゼロ設定解除、レーザリモートプログラム切換、測定部チャンネル切換(無電圧入力)
インターフェース	RS-232C	変位/受光量データ出力および制御入力(ボーレート75～19200bit/s可変)
	GB-IB	変位/受光量データ出力および制御入力
安定度(±5度)		±0.03% of F.S.
定格	電源電圧	AC100～240V ±10% 50/60Hz (コントロールユニットのみで使用する場合DC±15V±3% 各0.5A、DC±5V±5% 3A)
	消費電力	70VA以下
耐環境性	使用周囲温度	0～+40℃
	使用周囲湿度	35～85%RH(結露しないこと)
質量	測定部	約250g
	コントローラ	約6.8kg(ディスプレイユニットなしの場合約2kg)

Table 2.4 Specification of LK-080

型式	センサヘッド	LK-080
	アンプユニット	LK-2100
測定モード		-
基準距離		80mm
測定範囲		±15mm
光源		赤色半導体レーザ
	波長	670nm(可視光)クラス2
	出力	最大0.95mW
スポット径(基準距離にて)		約 $\phi 70\mu\text{m}$ -80 約 $70\times 1100\mu\text{m}$ -85
直線性		±0.1% of F.S.
分解能		3 μm
アナログ出力	電圧出力	±5V (3 $\mu\text{m}/\text{mV}$)
	出力インピーダンス	100 Ω
	電流出力	4~20mA(MAX350 Ω)
アラーム出力		NPNオープンコレクタ(N.C.)最大100mA(40V以下)残留電圧1V以下
サンプリング周期		1024 μs
副機能		オートゼロ/アラーム時アナログ出力ホールド機能 ゲイン切換機能/レスポンス切換機能 スパン・シフト調整機能
定格	電源電圧	DC24V±10%リップル10%(P-P)以下
	最大消費電流	400mA以下
温度ドリフト	センサヘッド	0.01% of F.S./ $^{\circ}\text{C}$
	アンプユニット	0.01% of F.S./ $^{\circ}\text{C}$
耐環境性	保護構造	IP67
	使用周囲照度	白熱ランプ・蛍光灯 10000lx以下
	使用周囲温度	0~+50 $^{\circ}\text{C}$
	使用周囲湿度	35%~85%RH(結露なきこと)
	耐振動	10~55Hz 複振動1.5mm XYZ各方向2時間
材質	センサヘッド	アルミダイカスト
	アンプユニット	ポリカーボネード
質量	センサヘッド	約385g
	アンプユニット	約515g

2.2 3種類の枕での実験

2.2.1 枕の種類

使用する枕は、低反発ウレタン材の枕、ソフトウレタン材の枕、ソフトウレタン材の中に樹脂弾性体が並べられた枕の3種類である。

低反発ウレタン材は、非常に体圧分散に優れており、ゆっくり沈み込みゆっくり復元するという新感覚の素材である。また、人間の頭の形にフィットして沈み込むことで頭を優しく支えることができ、頭に負担がかからず自然な姿勢を保つことができる。その反面、通気性に難があり温度によって硬さが変わってしまう特性を持つ。冬は特に硬くなってしまう。元々密度のある素材であるのに加えて更に沈み込み圧縮されるため、枕と人間の頭との間の熱や蒸れが逃げにくいのが難点である。ここで使用する低反発ウレタン枕は、Fig. 2.5のような形状になっている。

ソフトウレタン材は、スポンジのような素材であり、軟らかすぎるため体圧分散がされないことは明らかである。この素材をマットレスとして使用するとハンモッグ現象（ハンモッグのように寝姿勢がU字を描き、正しい寝姿勢がとれず腰などに負担が多くかかる）を引き起こし、ソフトウレタン材だけでは商品にできないことから体圧分散がされないことがよく分かる。この実験では、樹脂弾性体の枕との比較用としての意味でソフトウレタン材のみの枕を使用している。ここで使用するソフトウレタン枕の形状は、低反発ウレタン枕と同じ Fig. 2.5 のようになっている。

樹脂弾性体とは、樹脂と油脂でできた粘弾性体のことである。通気性に優れ、温度による特性変化がほとんど無い。寝返りを補助する特性を持ち、体圧分散も低反発ウレタン材ほどではないが優れている。それ自体は白い円柱状のもので、ここで使用する枕は Fig. 2.6 に示しているようにソフトウレタン材の枕の中に横方向に樹脂弾性体が並べられており、その配置間隔（ピッチ (p)）は 75mm である。

2.2.2 実験方法

3つの枕に対し、製作した実験装置によって実験を行う。実験方法は、ドラムの回転速度が $0.25\text{rad/s}(0.02\text{m/s}) \cdot 0.50\text{rad/s}(0.04\text{m/s}) \cdot 1.00\text{rad/s}(0.08\text{m/s})$ の3種類の速度において、その速度を一定に保ちながら行う。また、ドラムが転がる際に枕全体が反るよう

に変形してしまうので、それを防ぐために Fig. 2.1 にも示してあるように枕の底部を板に貼り付けて実験を行うこととする。そして、実験によって測定されたデータから、寝返り抵抗トルク・ドラムの進行方向の移動変位・ドラムの y 軸方向の重心位置・ドラムのローリング方向の傾き角度を求め解析していく。

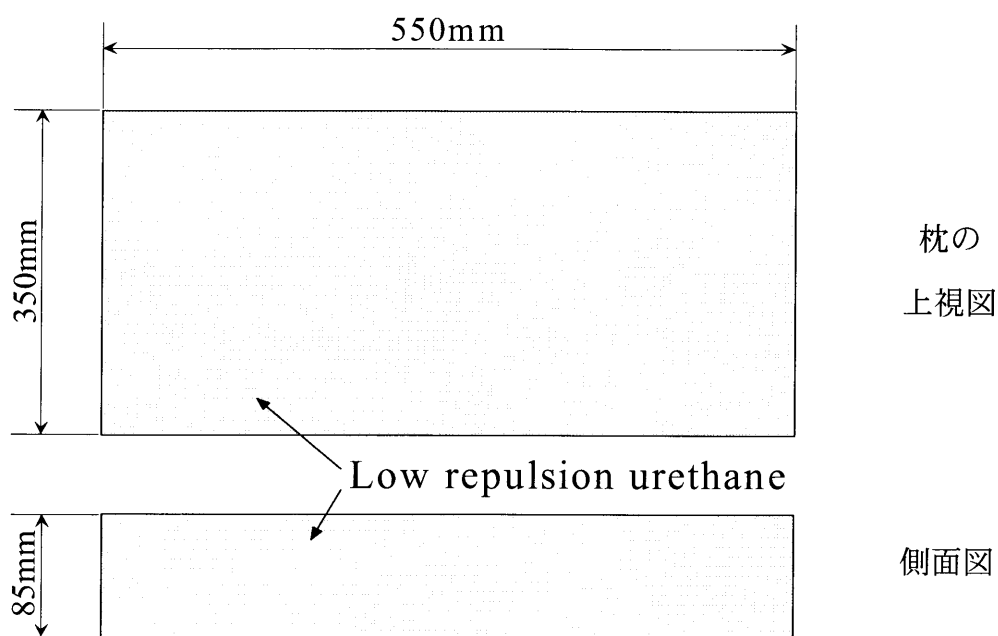


Fig. 2.5 Low repulsion urethane pillow

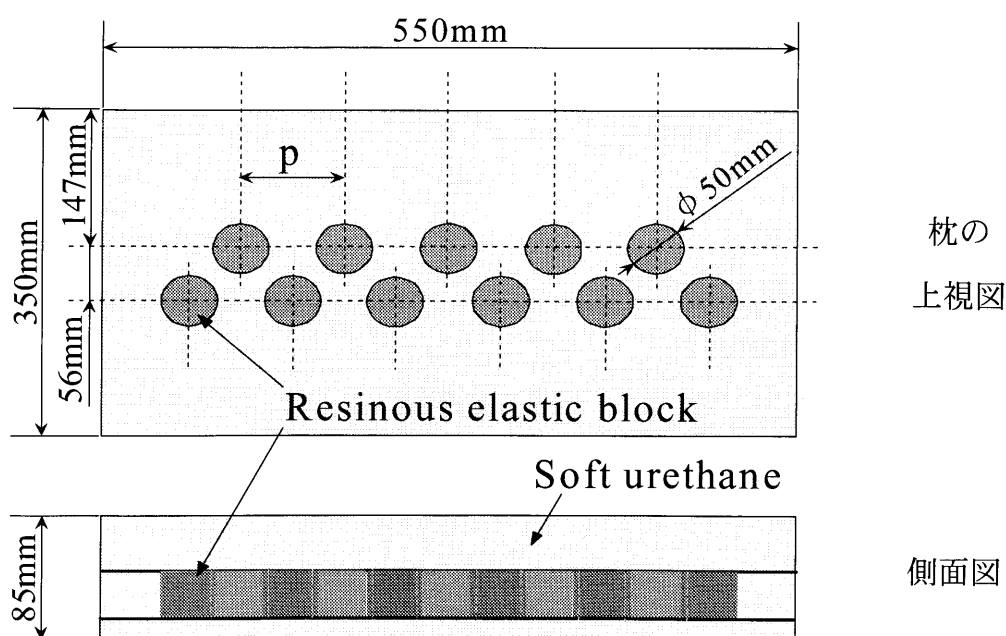


Fig. 2.6 Arrangement of resinous elastic blocks in pillow

2.2.3 実験結果と考察

トルクの実験結果を Fig. 2.7 に、ドラムの進行方向の移動変位の実験結果を Fig. 2.8 に、ドラムの y 軸方向の重心位置の実験結果を Fig. 2.9 に、ドラムのローリング方向の傾き角度の実験結果を Fig. 2.10 に示す。それぞれの図は上から順に、低反発ウレタン枕、樹脂弾性体枕、ソフトウレタン枕となっている。1つのグラフの中にある3種類の線はそれぞれ3種類の速度に対応していて、濃い実線が 0.25rad/s 、破線が 0.50rad/s 、薄い実線が 1.00rad/s となっている。また、横軸は時間である。

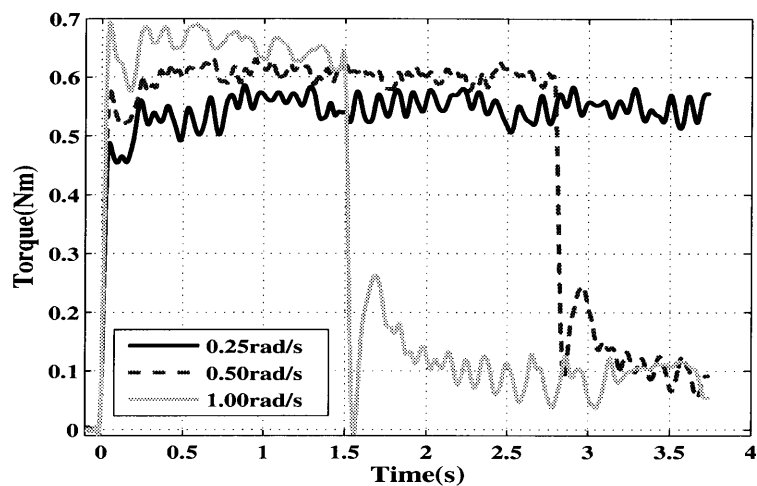
Fig. 2.7 のトルクの結果を見ると、実験装置の動き出しに大きな力がかかっており、速度が速いほどその力は大きなものとなっている。これは実験装置の動き出し特有の現象であり、大きな力がかかってしまう動き出し時にはここでは無視することとする。全体的に見ると、低反発ウレタン枕は樹脂弾性体枕とソフトウレタン枕に比べておよそ5～6倍近くトルクが大きいことが分かる。これは、低反発ウレタン枕は頭部の寝返りする際の抵抗が大きく寝返りしづらいということを表しており、トルクの小さい樹脂弾性体枕とソフトウレタン枕は、頭部の寝返りする際の抵抗が小さく寝返りしやすいということを表している。また、樹脂弾性体枕とソフトウレタン枕についてはほとんど違いが見られないことが分かる。樹脂弾性体によって抵抗トルクが小さくなり寝返り性が向上すると思っていたが、そうではなくソフトウレタン枕の寝返りのしやすさを保持しつつ、ソフトウレタンだけでは実現できない体圧分散性などの向上の役割も担っていると考えられる。そして各枕の速度による違いを見てみると、どの枕も速度が速くなるにつれトルクも若干ではあるが大きくなる傾向にあり、最もその傾向を見せたのが低反発ウレタン枕である。これは後に記述するが、Fig. 2.9 に見られるように低反発ウレタン枕の重心位置が大きく上がっていることと関係していると考えられる。

Fig. 2.8 の移動変位の結果を見ると、動き出し時以外は速度がほぼ一定で動いていることが証明できている。速度が速いほどドラムの移動が早く終わっていることも分かり、また低反発ウレタン枕では、その測定終了後に変位が戻っていく様子から低反発ウレタン特有の粘性のような特性が確認できる。

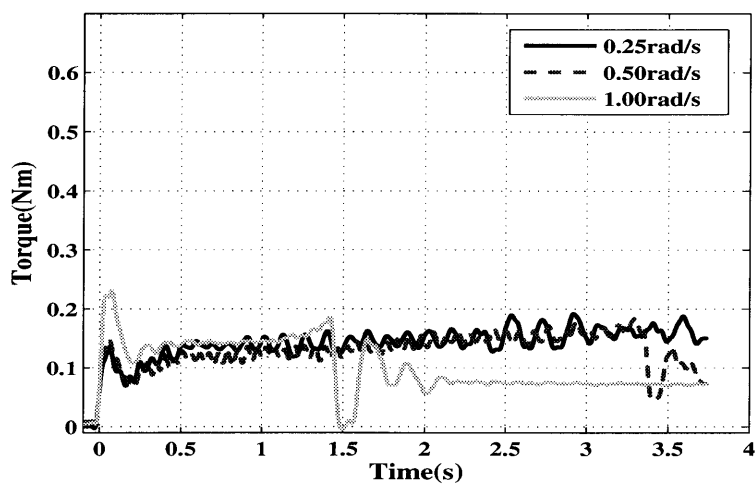
Fig. 2.9 のドラムの重心位置の結果を見ると、低反発ウレタン枕だけが著しく重心が上がっていることが分かる。これは、素材の硬さ・粘性の大きさ等、特有の性質によるものと考えられる。また、速度が速いほど重心も大きく上がっている。先に述べたように、Fig. 2.7 の低反発ウレタン枕のトルクも速度に応じて大きくなっていることから、トルクの発生はドラムの y 軸方向の重心の持ち上がりに原因があるのではないかと推測される。樹脂弾性体枕とソフトウレタン枕については、あまり違いが見られないことが分かる。

Fig. 2.10 のドラムの傾き角度の結果を見ると、実験前の段階で、低反発ウレタン枕とソフトウレタン枕はドラムが傾かないだろうと推測していたが、実際は傾いていることが分かる。これは、ドラムの重心が僅かながらドラムが傾いた方向にずれてしまっているためと思われる。ソフトウレタン枕については、結果は 0.5° 未満の傾きなので誤差の許容範囲であると考えてもよい。ただ低反発ウレタン枕については、その素材が荷重のかかる方へじわじわと沈み込む性質を持つため、他の方向へ動くには大きな力が必要であり一度傾いた方向にそのまま傾いていったと考えられる。樹脂弾性体枕は、Fig. 2.6 で示すように中に樹脂弾性体が並べられているため、ドラムが小さく揺れているような結果となっている。

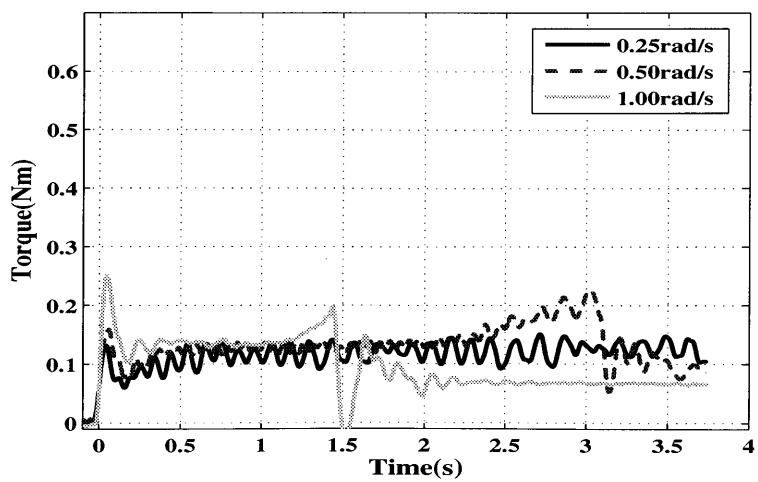
まとめると、樹脂弾性体枕とソフトウレタン枕は寝返りしやすく、低反発ウレタン枕は寝返りしづらい。これは、頭部が寝返りする際の抵抗トルクから評価したものだが、ドラムの重心位置が y 軸方向に大きく持ち上がるほどトルクも大きくなることから、この2つには何か関係性があると推測される。このことについては、第4章で詳しく述べる。



(a) Low repulsion urethane

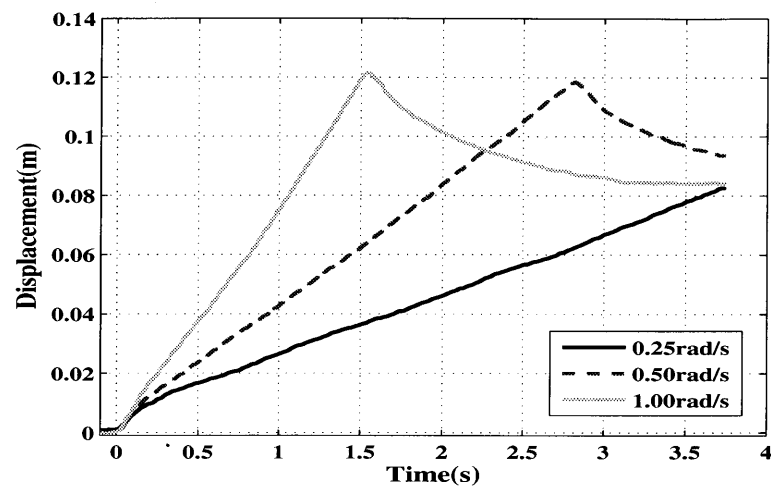


(b) Resinous elastic block(p=75mm)

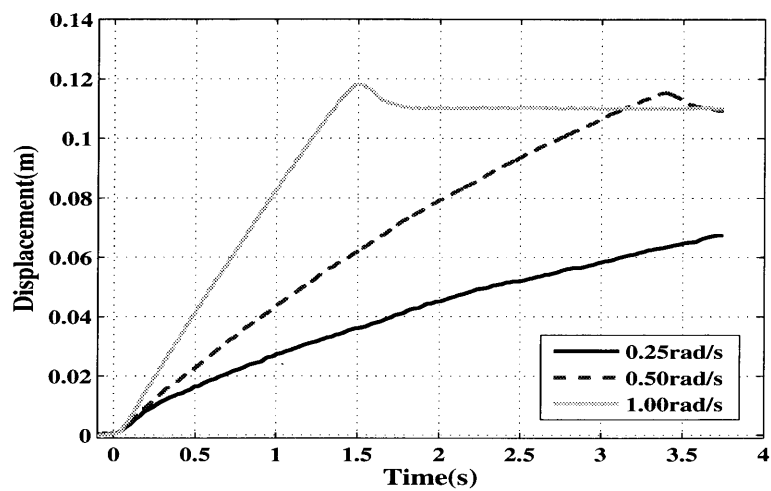
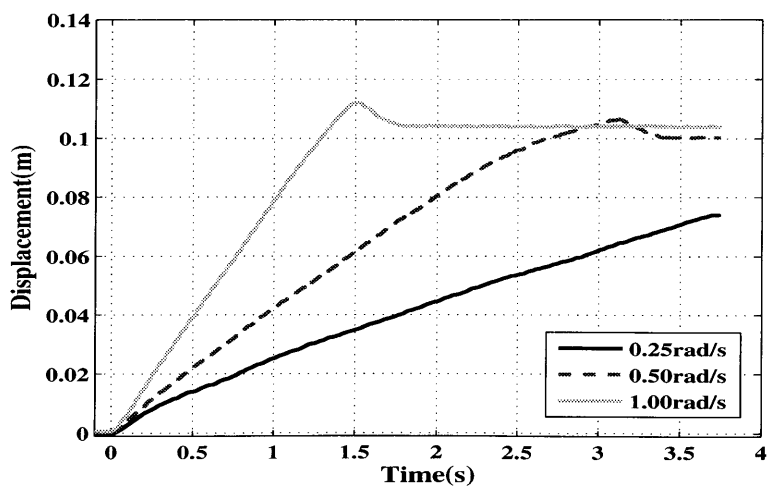


(c) Soft urethane

Fig. 2.7 Experimental result (Torque(Nm))

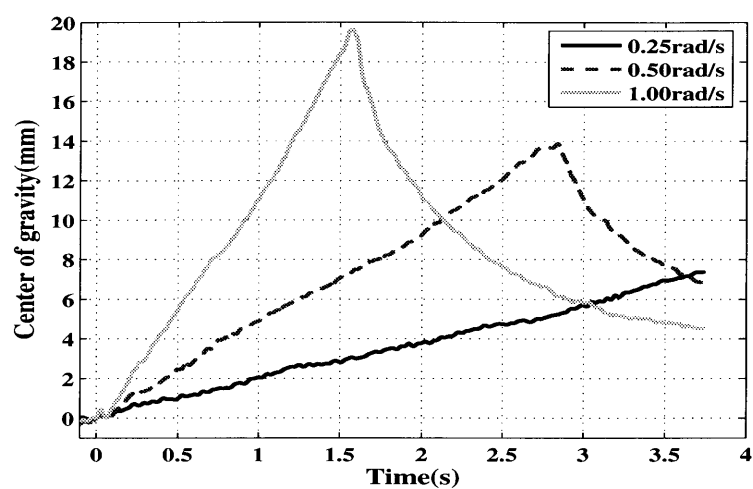


(a) Low repulsion urethane

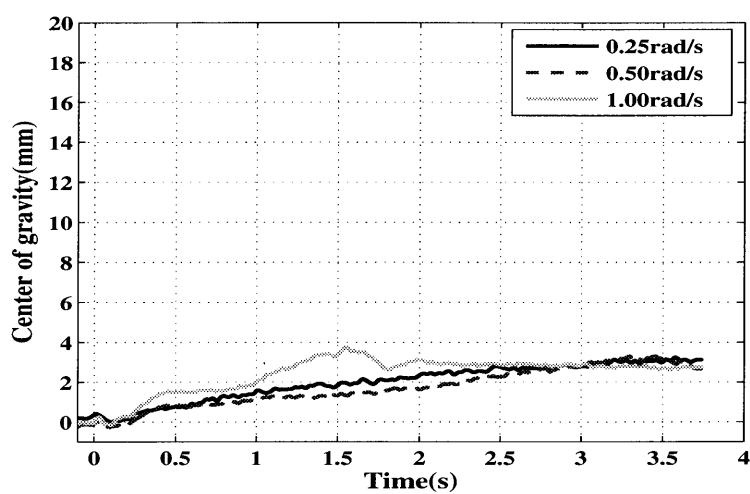
(b) Resinous elastic block($p=75\text{mm}$)

(c) Soft urethane

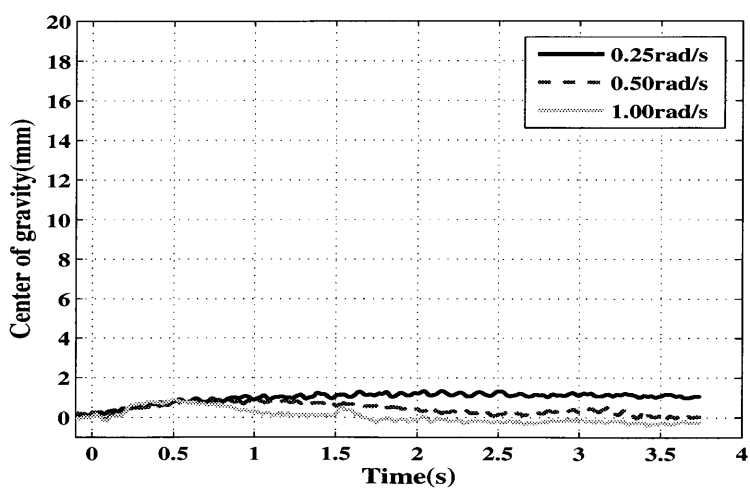
Fig. 2.8 Experimental result (Displacement(m))



(a) Low repulsion urethane

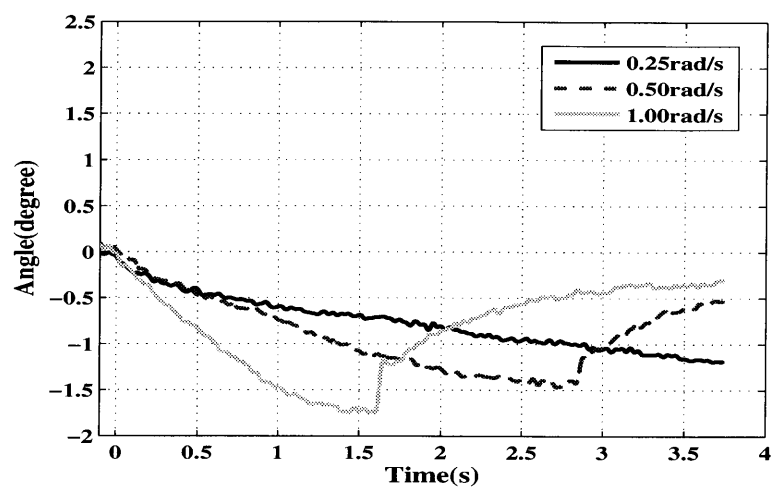


(b) Resinous elastic block(p=75mm)

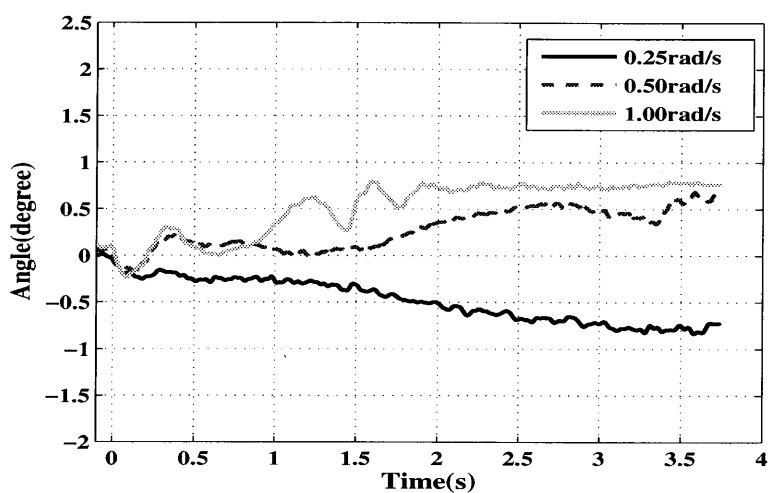
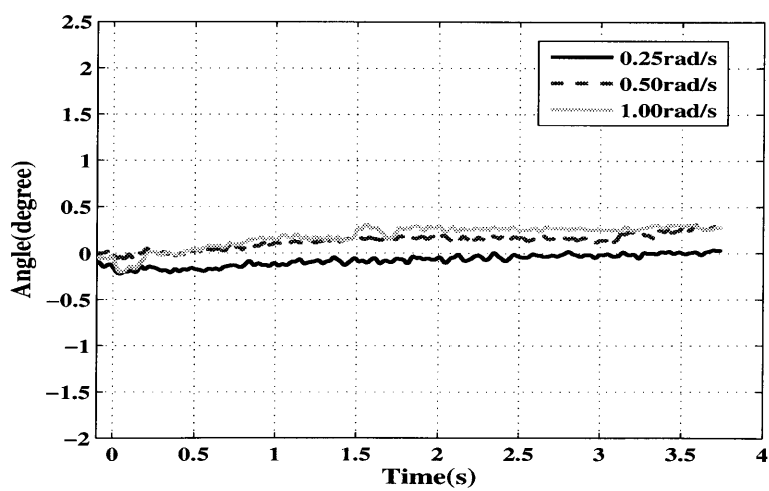


(c) Soft urethane

Fig. 2.9 Experimental result (Center of gravity(mm))



(a) Low repulsion urethane

(b) Resinous elastic block($p=75\text{mm}$)

(c) Soft urethane

Fig. 2.10 Experimental result (Angle(degree))

2.3 配置間隔 p が異なる樹脂弾性体枕での実験

前回の実験では、 $p=75\text{mm}$ の樹脂弾性体枕は寝返りの抵抗トルクも小さく寝返りしやすいことが分かった。また、ドラムの重心位置や傾き角度も寝返りに影響を与えそうな大きな変動は無かった。今回の実験では、樹脂弾性体の配置間隔 p を変えることによって寝返り性にどれだけの影響を与えるかを検証・検討することとする。もし配置間隔を大きくしても寝返り性に問題が無ければ、使用する樹脂弾性体の数が減りコスト削減に繋がると考えられる。

2.3.1 枕の種類

使用する枕は、Fig. 2.6 に示してある配置間隔 p が異なる樹脂弾性体枕である。配置間隔 p の値は、 $60\text{mm} \cdot 75\text{mm} \cdot 90\text{mm} \cdot 150\text{mm}$ の4種類で、この中の $p=75\text{mm}$ の樹脂弾性体枕は前回の実験で使用した樹脂弾性体枕と同じものである。

2.3.2 実験方法

実験方法は前回同様、枕の底部に板を貼り付け、ドラムの回転速度が 0.25rad/s (0.02m/s) $\cdot 0.50\text{rad/s}$ (0.04m/s) $\cdot 1.00\text{rad/s}$ (0.08m/s) の3種類の速度において、速度を一定に保ちながら行う。そして、実験によって測定されたデータから、寝返り抵抗トルク・ドラムの進行方向の移動変位・ドラムの y 軸方向の重心位置・ドラムのローリング方向の傾き角度を求め解析していく。

2.3.3 実験結果と考察

トルクの実験結果を Fig. 2.11 に、ドラムの進行方向の移動変位の実験結果を Fig. 2.12 に、ドラムの y 軸方向の重心位置の実験結果を Fig. 2.13 に、ドラムのローリング方向の傾き角度の実験結果を Fig. 2.14 に示す。それぞれの図は上から順に、 $p=60\text{mm}$ の樹脂弾性体枕、 $p=90\text{mm}$ の樹脂弾性体枕、 $p=150\text{mm}$ の樹脂弾性体枕となっている。前回同様、1つのグラフの中にある3種類の線はそれぞれ3種類の速度に対応していて、濃い実線が 0.25rad/s 、破線が 0.50rad/s 、薄い実線が 1.00rad/s となっている。横軸は時間である。また、 $p=75\text{mm}$ の樹脂弾性体枕の結果については、前回の実験の結果 (Fig. 2.7・Fig. 2.8・Fig. 2.9・Fig. 2.10) を用いることとする。

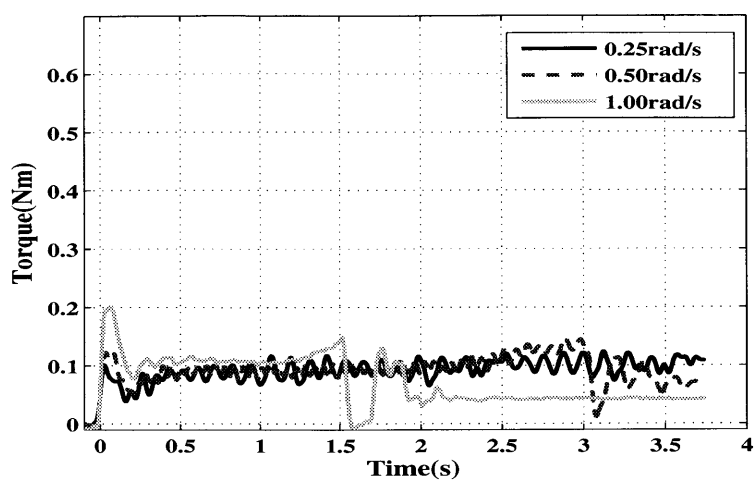
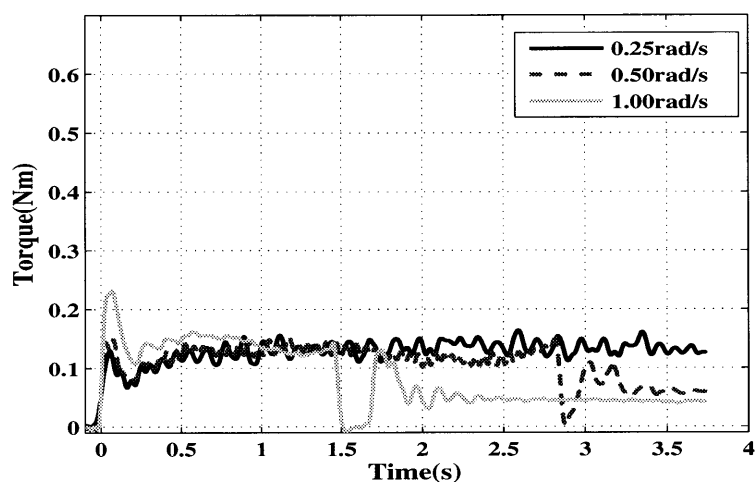
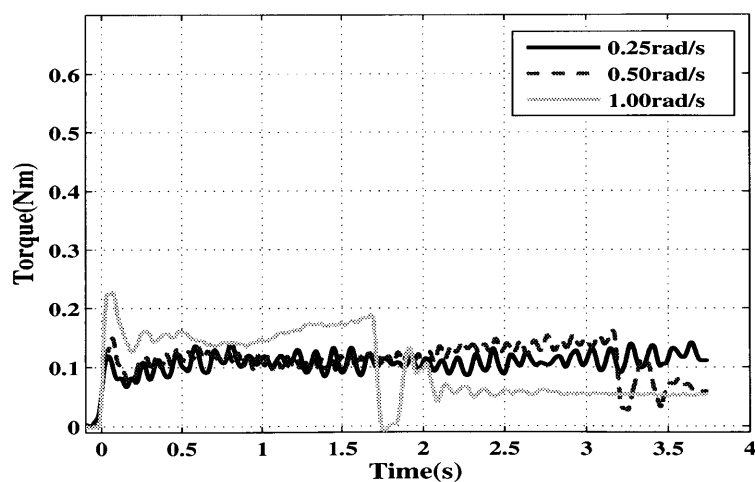
Fig. 2.11 と Fig. 2.7 (b) のグラフ) のトルクの結果を見ると、ほぼ同じ大きさの値であることが分かる。つまり、どの p の値の枕も頭部の寝返りする際の抵抗は同じであり、樹脂弾性体の配置間隔を変えても少なくとも $p=60\text{mm}$ から $p=150\text{mm}$ の範囲では寝返りのしやすさは変わらないということを表している。

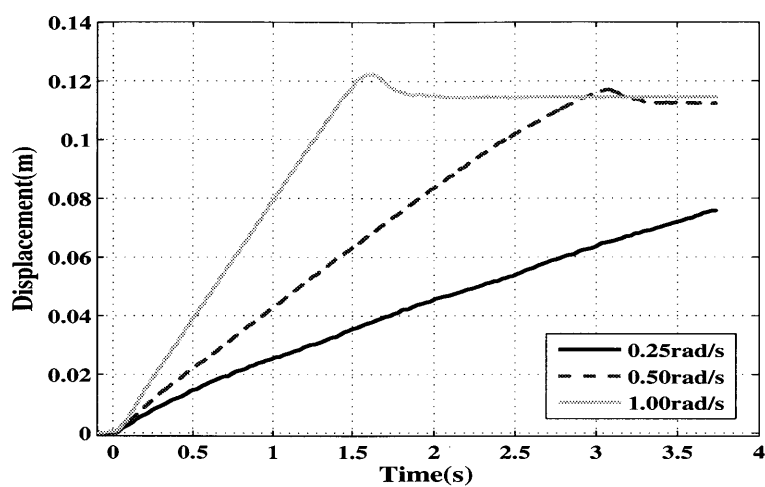
Fig. 2.12 と Fig. 2.8 (b) のグラフ) の移動変位の結果を見ると、ドラムの移動速度が一定であることが分かる。

Fig. 2.13 と Fig. 2.9 (b) のグラフ) のドラムの重心位置の結果を見ると、どれも大きな違いはなく、若干の上昇傾向にあることが分かるのみである。

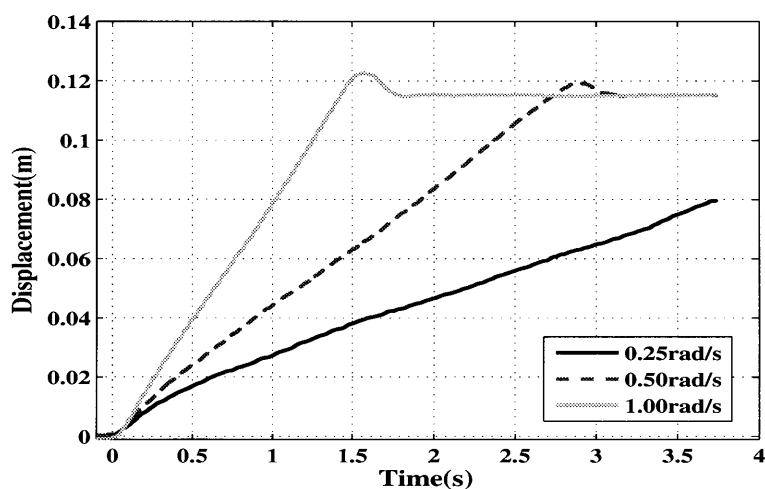
Fig. 2.14 と Fig. 2.10 (b) のグラフ) のドラムの傾き角度の結果を見ると、樹脂弾性体の配置間隔 p が大きいほどドラムのローリング方向の傾き角度が大きく変動していることが分かる。つまり、ドラムが揺れながら転がっていることになり、これは樹脂弾性体の配置間隔が大きい枕ほど寝返りしづらいと考えることができる。

まとめると、配置間隔が 60mm の樹脂弾性体枕が最も寝返りしやすいと思われる。これは、頭部の寝返りする際の抵抗トルクはどれもほぼ同じだが、ドラムの傾き角度も合わせて評価したものである。前回の実験の結果も考えると、ソフトウレタン枕も同じくらいの寝返りのしやすさを有しているが、体圧分散の面で大きく劣っていることから樹脂弾性体枕の方を選ぶべきだろう。ただ、この評価はドラムのローリング方向の傾き角度が寝返り性に影響するという前提のものであり、実際人間は頭部と体が首で固定されているので、頭がこのドラムのような揺れをおこすとは考えにくい。つまりこの実験結果だけでは、樹脂弾性体の配置間隔の違いが実際の人の寝返りにどのくらい影響するのかを判断することはできないことになる。この判断をするためには、これらの枕で人に寝返りをしてもらい感性評価を行う必要がある。

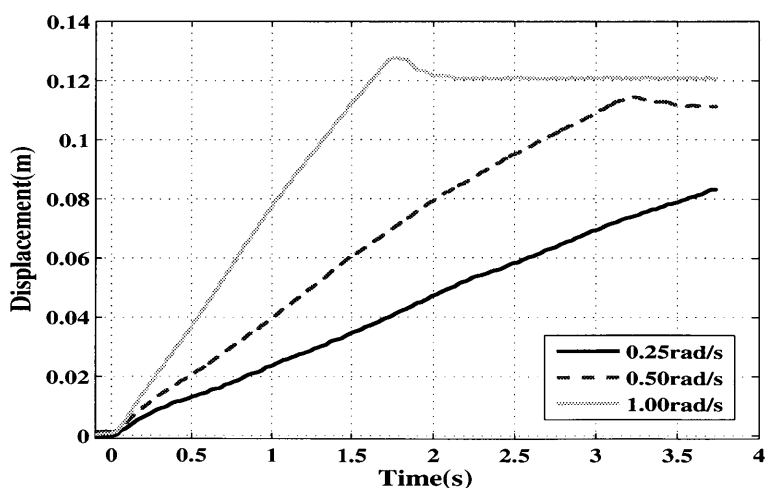
(a) Resinous elastic block($p=60\text{mm}$)(b) Resinous elastic block($p=90\text{mm}$)(c) Resinous elastic block($p=150\text{mm}$)**Fig. 2.11 Experimental result (Torque(Nm))**



(a) Resinous elastic block(p=60mm)



(b) Resinous elastic block(p=90mm)



(c) Resinous elastic block(p=150mm)

Fig. 2.12 Experimental result (Displacement(m))

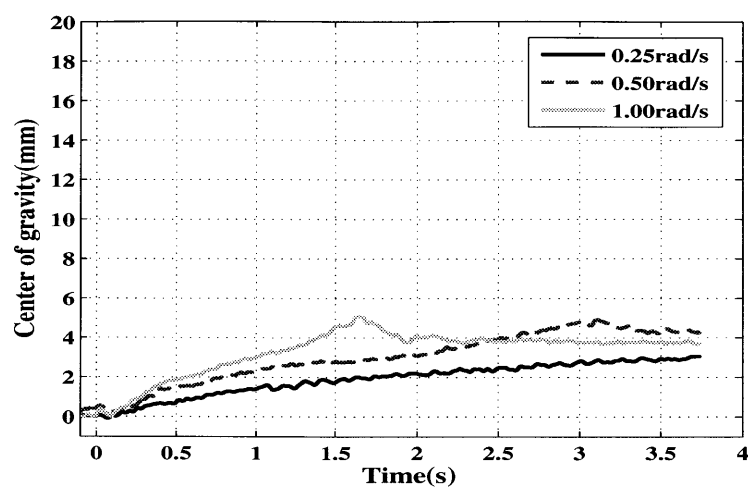
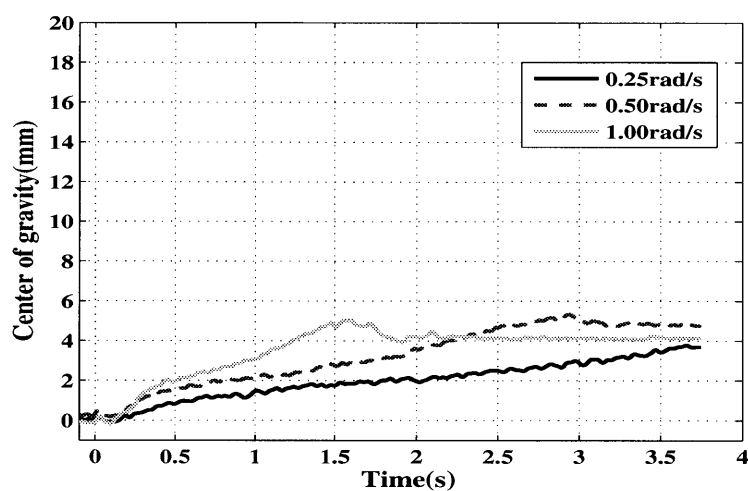
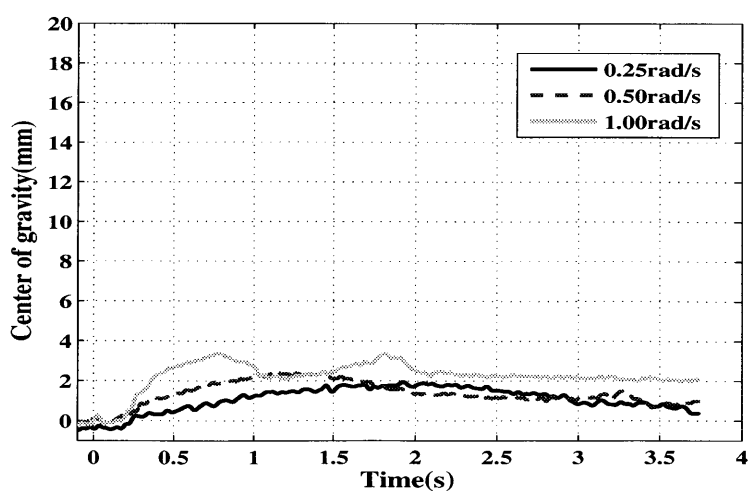
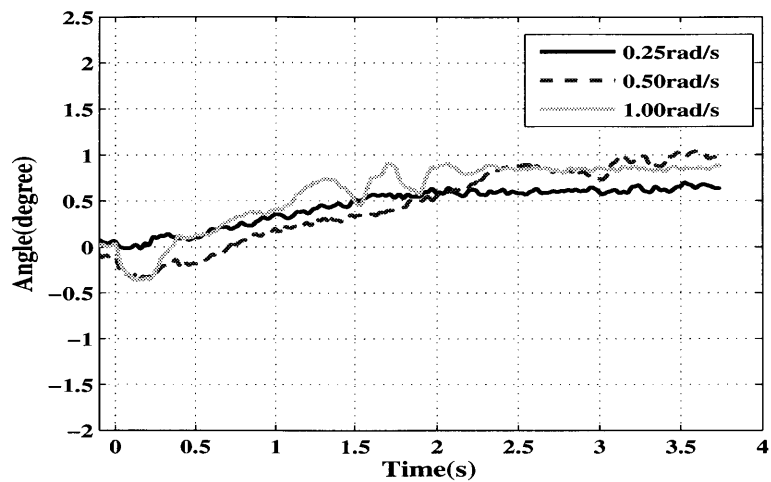
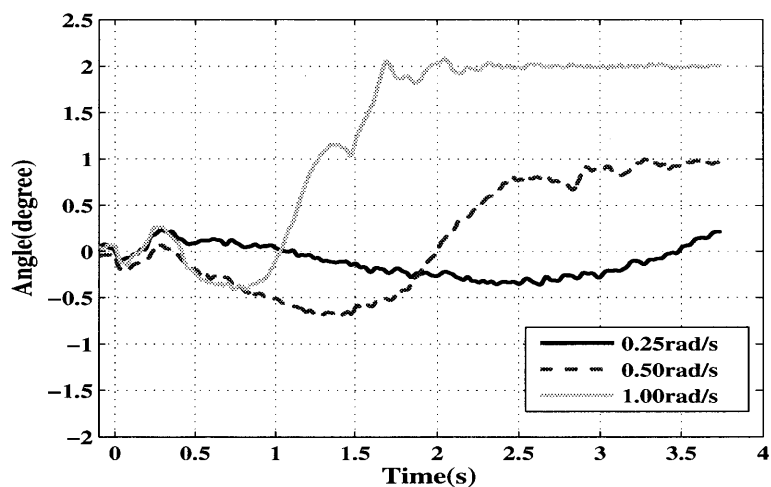
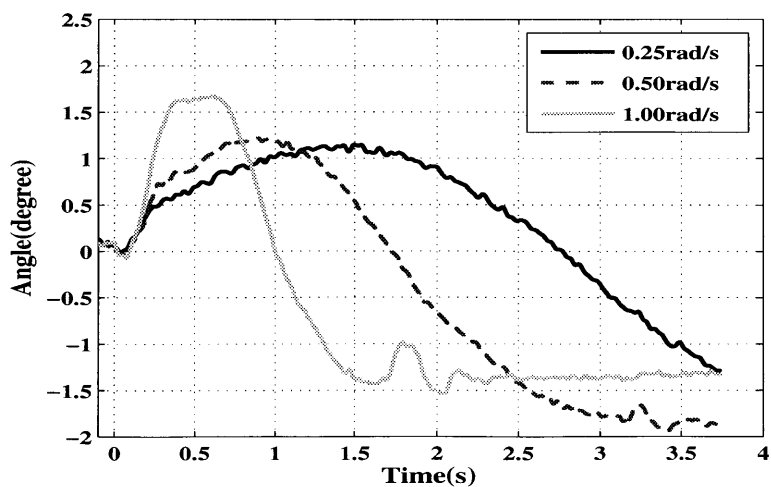
(a) Resinous elastic block($p=60\text{mm}$)(b) Resinous elastic block($p=90\text{mm}$)(c) Resinous elastic block($p=150\text{mm}$)

Fig. 2.13 Experimental result (Center of gravity(mm))

(a) Resinous elastic block($p=60\text{mm}$)(b) Resinous elastic block($p=90\text{mm}$)(c) Resinous elastic block($p=150\text{mm}$)**Fig. 2.14 Experimental result (Angle(degree))**

第3章

感性評価実験

第2章の2つ目の実験の考察で述べたように、Fig. 2.14のようなドラムのローリング方向の傾き角度の大きな変動が、実際の人の寝返りにどのくらい影響を与えるのかは分からない。そこでこのことについて調べるために、被験者にこれまで使用した枕で寝返りをしてもらい、その際に頭が揺れるような違和感をどのくらい感じるかを評価してもらうこととする。

3.1 実験方法

実験は、Fig. 3.1 のようにベッドを用意しその上で被験者に枕を使って寝返りを行ってもらう。使用する枕は、樹脂弾性体枕 ($p=60\text{mm}$, $p=75\text{mm}$, $p=90\text{mm}$, $p=150\text{mm}$)・低反発ウレタン枕・ソフトウレタン枕の計6種類である。

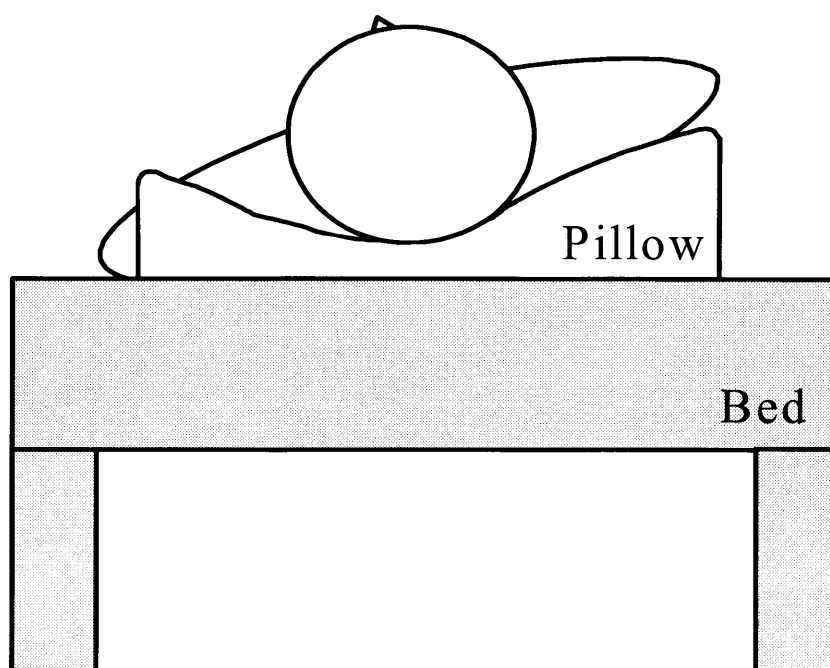


Fig. 3.1 Method of experimentation

まず、被験者には実験前に配置間隔 $p=75\text{mm}$ の樹脂弾性体枕で寝返りをしてもらい、これを評価の基準として考えてもらう。その後、6種類の枕を無作為に変えて寝返りしてもらう。その時、被験者には自分がどの枕で寝返りをしているかを教えていない。そして、頭が揺れるような違和感をどのくらい感じるかを枕1つ毎に5段階評価してもらう。それを1人につき3セット行う。被験者は21～24歳の学生5人である。

3.2 評価方法

評価は、頭が揺れるような違和感をどのくらい感じるかを1（全く違和感を感じない）～5（非常に違和感を感じる）の5段階評定尺度法によって行う。評定尺度法とは、質問項目について一定の間隔尺度上のいずれに該当するのかの判断を求める回答法である。ここでは、実験前に行う配置間隔 $p=75\text{mm}$ の樹脂弾性体枕での寝返りが評価の基準、つまり5段階評価の評価値3にあたる。また、評定用紙をFig. 3.2に示す。

3.3 実験結果と考察

Fig. 3.3 に実験による評価結果を示す。左端の棒グラフから順に、配置間隔 $p=60\text{mm}$ の樹脂弾性体枕、 $p=75\text{mm}$ の樹脂弾性体枕、 $p=90\text{mm}$ の樹脂弾性体枕、 $p=150\text{mm}$ の樹脂

Evaluation paper

<p><i>Experiment name</i> _____</p> <p><i>Name</i> _____</p>	<p><i>What day</i> _____</p> <p><i>The number of sets</i> _____</p>
--	---

1 感じない | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 感じる

2 感じない | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 感じる

3 感じない | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 感じる

10 感じない | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 感じる

11 感じない | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 感じる

12 感じない | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 感じる

Fig. 3.2 Evaluation paper

弾性体枕、ソフトウレタン枕、低反発ウレタン枕となっている。縦軸が5段階評価の数値で、数値が大きいほど頭が揺れるような違和感を強く感じていることを表している。グラフの塗り潰し部分が被験者5人の評価値の平均、斜線部分がその標準偏差であり、それぞれの値を数値として記している。

この図を見ると、ソフトウレタン枕や低反発ウレタン枕に比べて、樹脂弾性体枕は頭が揺れるような違和感を多少強く感じていることが分かる。このことは、ある程度予想されたことでもある。しかし、その4つの樹脂弾性体枕の評価を比較すると、評価値が3.2～3.5というように樹脂弾性体の配置間隔 p の値による違いがあまり見られないことが分かる。これは、樹脂弾性体の配置間隔を大きくしても、Fig. 2.14 のようなドラムのローリング方向の傾き角度の大きな変動は人間には感じられず、寝返りのしやすさは変わらないということを表している。

第2章の2つ目の実験の結果も考慮すると、頭部の寝返りする際の抵抗トルクはほぼ変わらず、ドラムのローリング方向の傾き角度の変動は実際の寝返りに影響がほぼ無いことから、樹脂弾性体の配置間隔を 150mm まで大きくしても寝返り性に関しては問題がないということになる。

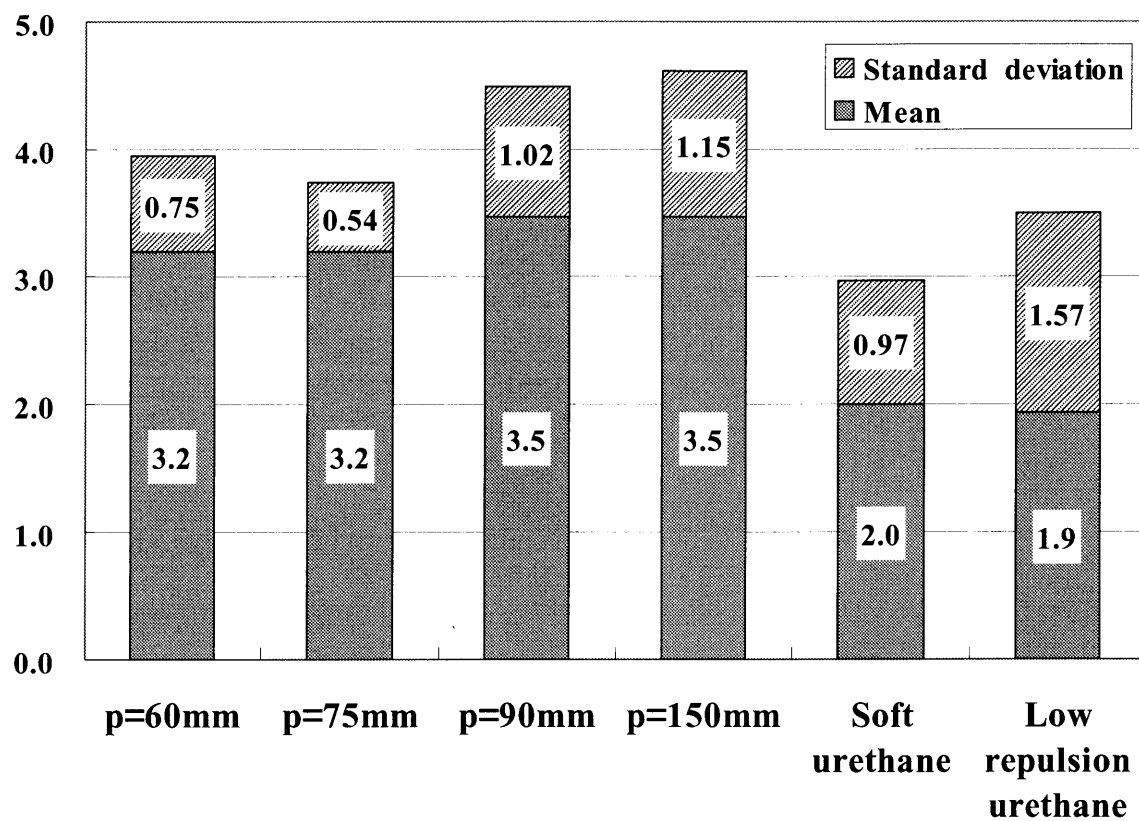


Fig. 3.3 Evaluation result of rickety feelings of heads turning over on pillows

第4章

力学的解析

第2章の1つ目の実験の考察で述べたように、実験結果においてドラムの重心位置が y 軸方向に大きく持ち上がるほどトルクも大きくなることから、この2つには何か関係性があると推測される。そこで、これまで使用してきた枕について、得られた実験データからドラムの重心の持ち上がりとトルクの関係性を力学的に解析していく。

4.1 ドラム変位 - トルクの表示による解析

4.1.1 解析方法

Fig. 4.1 に、ドラムが枕の上を転がりながら y 軸方向に持ち上がっていく様子を示している。このドラムの回転運動に対する運動方程式は、

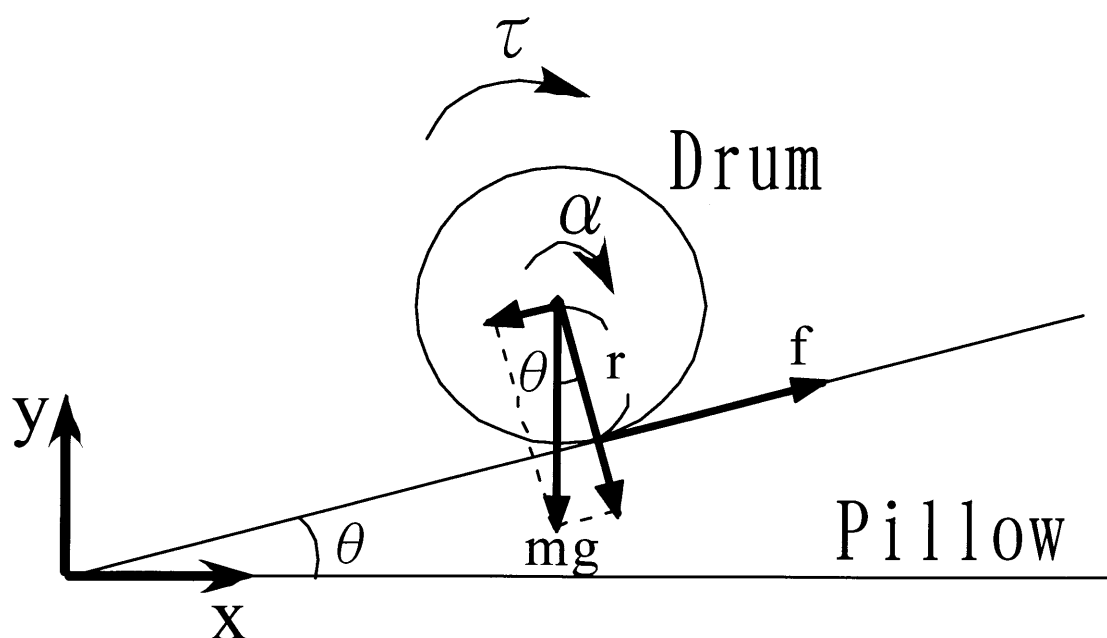


Fig. 4.1 State of rolling drum on pillow

$$I\ddot{\alpha} = \tau - rf \quad (4.1)$$

となる。ここで、 I は慣性モーメント、 α は回転角度、 τ はトルク、 r はドラムの回転半径、 f は摩擦力をそれぞれ示している。今回、実験中のドラムの回転速度は一定としているので、 $\ddot{\alpha} = 0$ となり、

$$\tau = rf = rmgsin\theta \quad (4.2)$$

となる。ここで、 m はドラムの質量、 g は重力加速度、 θ はドラムの持ち上がる角度をそれぞれ示している。

このように、式(4.2)を使うことによってトルクは計算で求めることができる。しかしこの中で、 r のドラムの回転半径、 m のドラムの質量、 g の重力加速度は定数で既に分かっているが、 θ はまだ分かっていない。 θ を求めるには、これまでの実験で得られたデータを使用し、横軸(x)をドラムの進行方向の移動変位、縦軸(y)をドラムのy軸方向の重心位置として最小二乗法を用い、その傾きから算出する。最小二乗法を行う時は、データを1つずつずらしながらデータ数100個単位で行うこととする。

つまり、ドラムのy軸方向の重心位置のデータを使用して式(4.2)によって計算したトルク（計算トルク）と、実験装置で直接測定したトルク（計測トルク）を比較することで、ドラムの重心の持ち上がりとトルクの関係性を調べていく。

4.1.2 計算トルクと計測トルクの比較

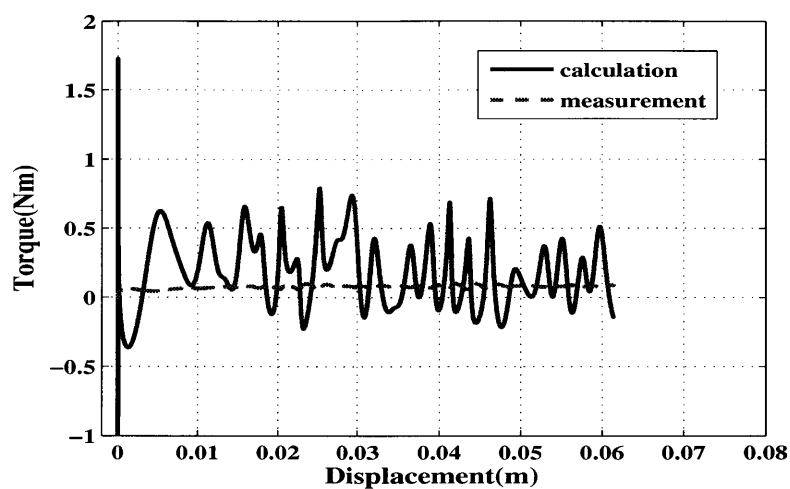
第2章の実験で得られたデータを元に、計算トルクと計測トルクを求め比較していく。Fig. 4.2に配置間隔 $p=60\text{mm}$ の樹脂弾性体枕、Fig. 4.3に $p=75\text{mm}$ の樹脂弾性体枕、Fig. 4.4に $p=90\text{mm}$ の樹脂弾性体枕、Fig. 4.5に $p=150\text{mm}$ の樹脂弾性体枕、Fig. 4.6に低反発ウレタン枕、Fig. 4.7にソフトウレタン枕の比較結果を示している。それぞれの図は上から順に、ドラムの回転速度が 0.25rad/s 、 0.50rad/s 、 1.00rad/s での結果となっている。実線が計算トルク、破線が計測トルクとなっていて、横軸はドラムの進行方向の移動変位である。

これらの図を見ると、まず計算トルクがグラフの最初の部分で大きく変化していることが分かるが、これはドラムの動き出し時に関する部分でありここでは無視する。

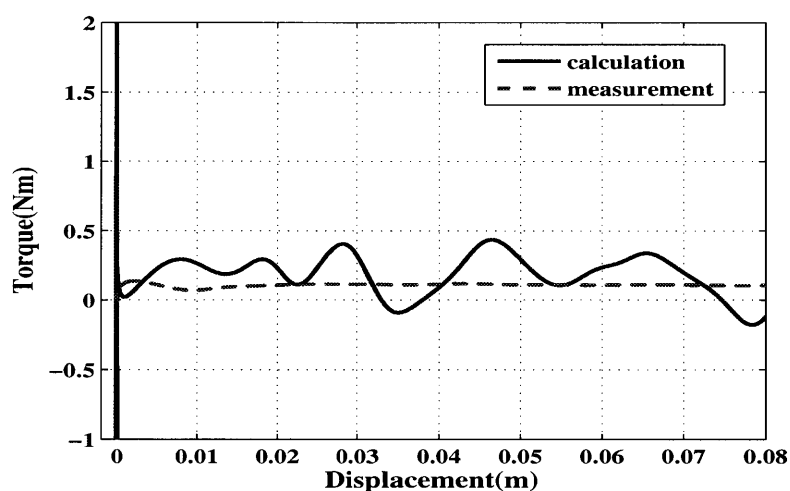
グラフ全体を平均的に見ると、2つのトルクは合っているように見えるが、Fig. 4.5 の $p=150\text{mm}$ の樹脂弾性体枕や Fig. 4.7 のソフトウレタン枕はあまり合っていないようにも見える。また Table 4.1 に、最初のドラムの動き出し部分を除いた範囲のデータ全てで最小二乗法を実行し θ を求めて計算したトルクの値と、同範囲の計測トルクの平均値を示しているが、これを見ても、 $p=150\text{mm}$ の樹脂弾性体枕やソフトウレタン枕については、2つのトルクがあまり合っていないことが分かる。

速度別に見てみると、Table 4.1の方が分かりやすいが、ドラムの回転速度が遅いほど2つのトルクが大きくずれているように見える。これは、 θ を求める際の最小二乗法を用いる時、速度にかかわらずデータ 100 個単位で行っていることが原因と考えられる。サンプリング周期 0.001s で取られている実験データにおいて、同じ 100 個のデータ数でもドラムの速度によってその間のドラムの移動変位や重心位置の変化量が大きく違ってきてしまうためである。これを均等化するためには、最小二乗法を行う時のデータ数をドラムの回転速度に応じて 100 個（速い時）～ 400 個（遅い時）に変化させる必要がある。

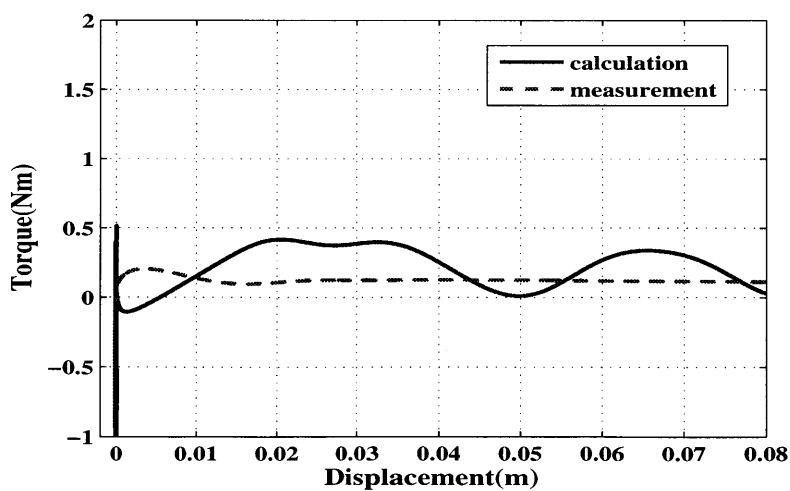
また Table 4.1 より、 $p=150\text{mm}$ の樹脂弾性体枕やソフトウレタン枕について2つのトルクがあまり合っていないことはよく分かるが、他の枕についても2つのトルクが本当に合っているかの判断を付けることが難しいものが多い。これは、Table 4.1 のトルクの値を計算する時に、グラフの最初の部分の計算トルクが大きく変化しているドラムの動き出し部分だけを除いて計算していることが原因と考えられる。実際に Fig. 4.2 から Fig. 4.7 のトルクの比較結果のグラフを見ると、動き出し部分から少し進んだ部分もあり2つのトルクは合っておらず、中盤から後半にかけての部分が比較的合っているものが多いことが分かる。つまり、この部分においてそれぞれのトルクの代表値を求める必要がある。



(a) 0.25rad/s

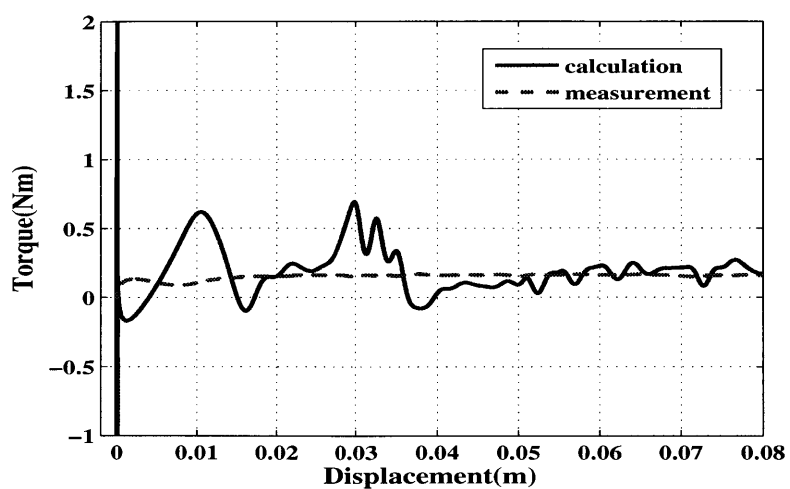


(b) 0.50rad/s

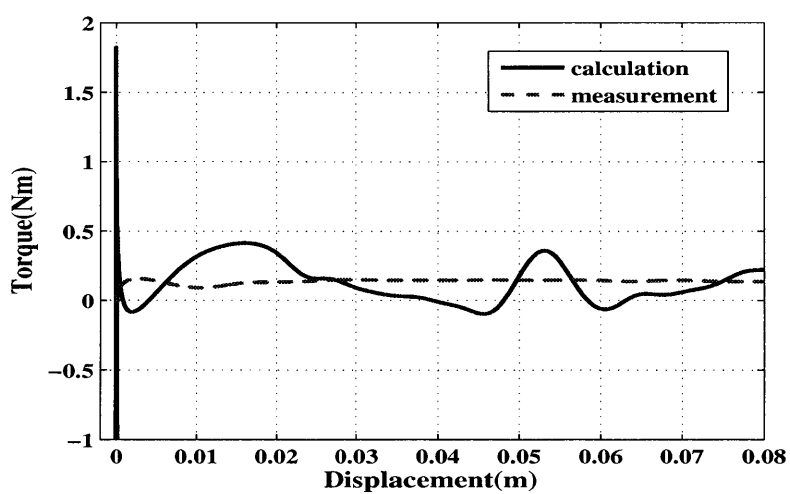


(c) 1.00rad/s

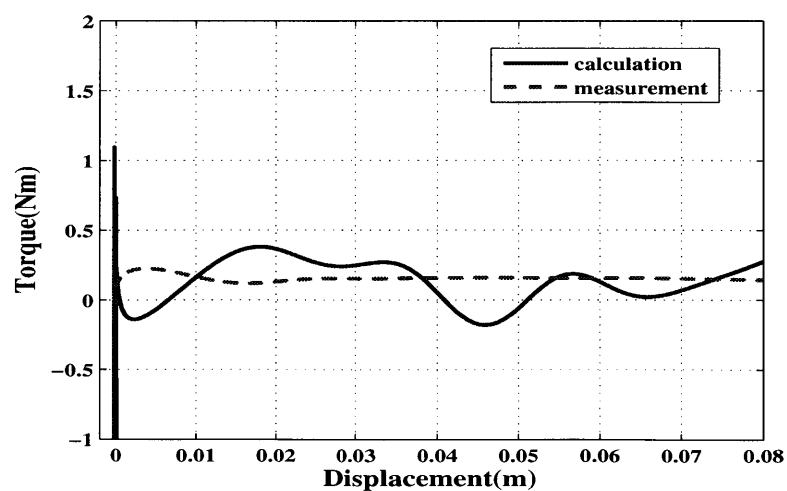
Fig. 4.2 Comparison of two torques (Resinous elastic block($p=60\text{mm}$))



(a) 0.25rad/s

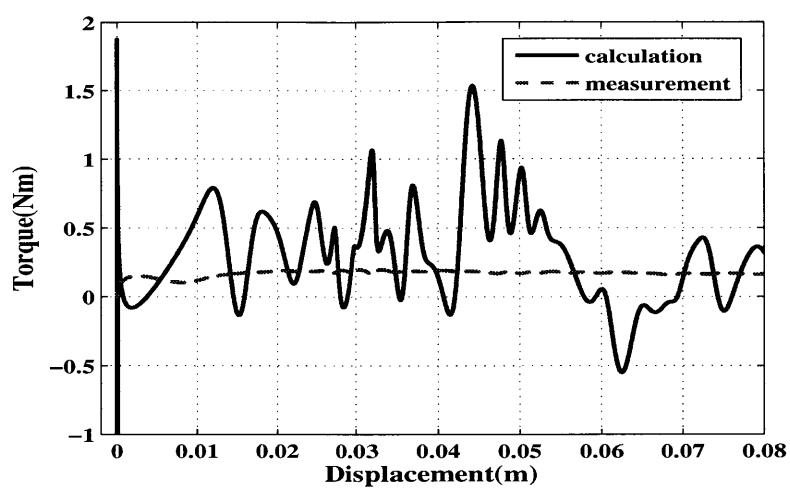


(b) 0.50rad/s

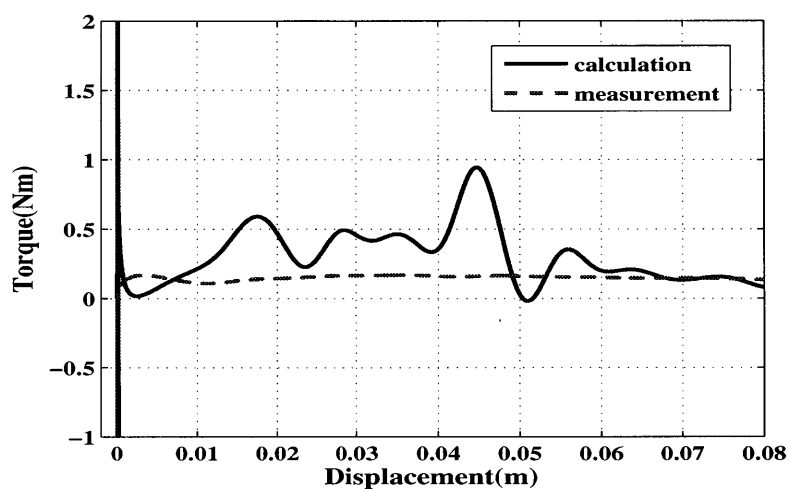


(c) 1.00rad/s

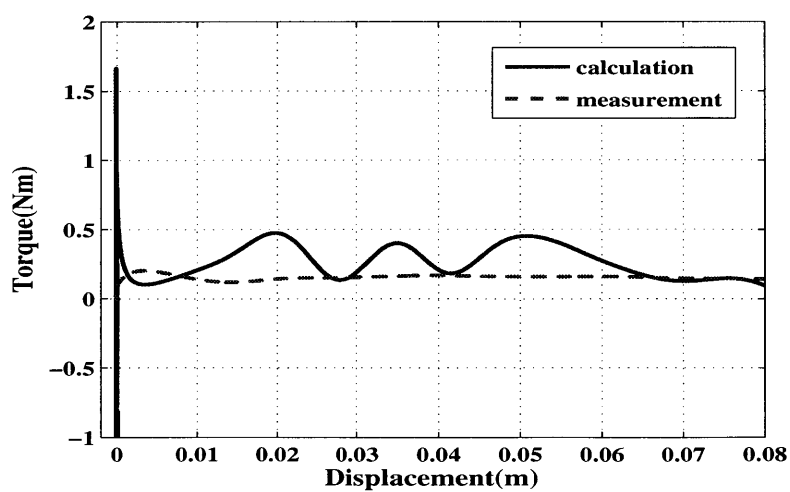
Fig. 4.3 Comparison of two torques (Resinous elastic block($p=75\text{mm}$))



(a) 0.25rad/s

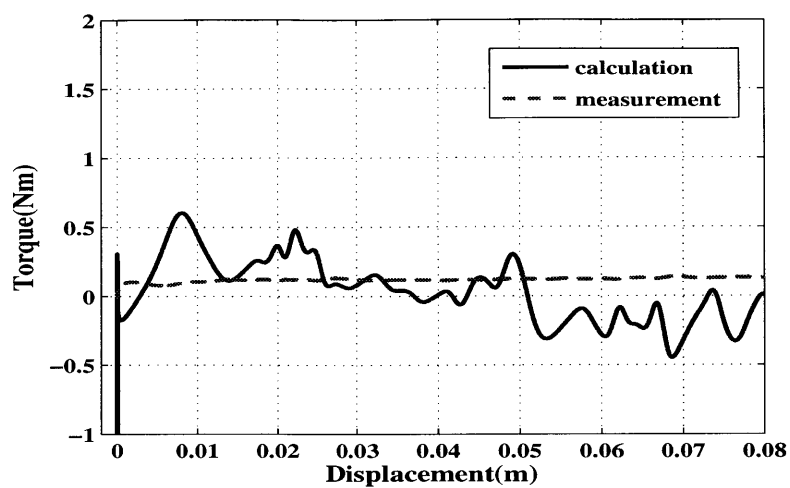


(b) 0.50rad/s

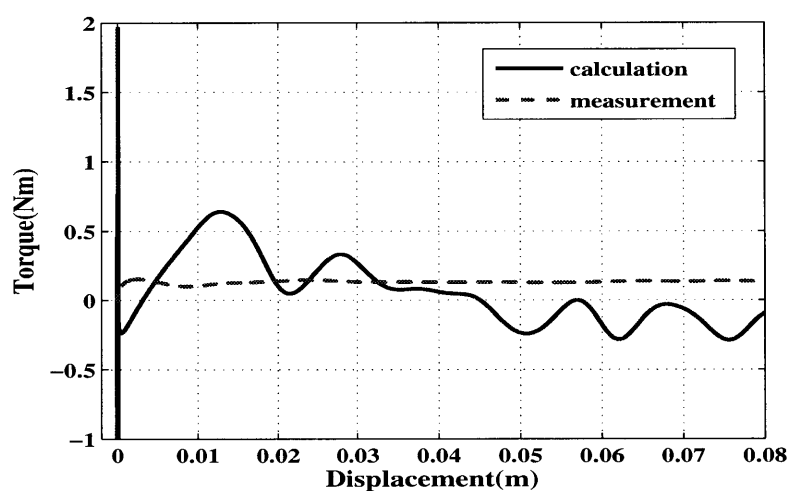


(c) 1.00rad/s

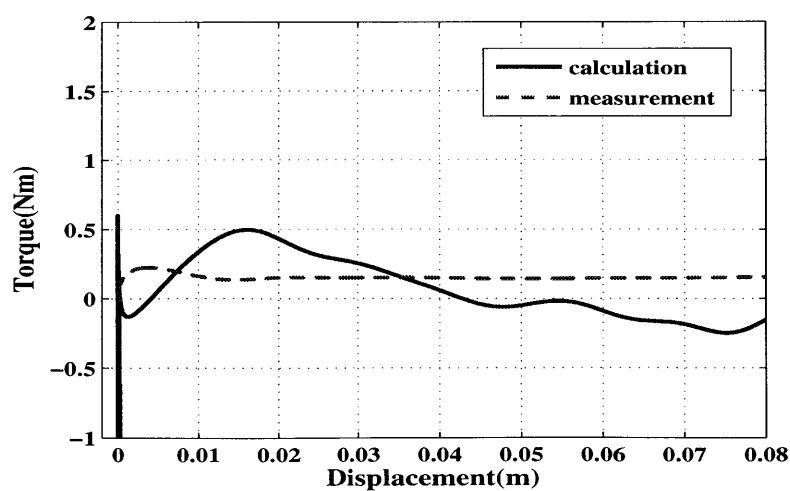
Fig. 4.4 Comparison of two torques (Resinous elastic block($p=90\text{mm}$))



(a) 0.25rad/s

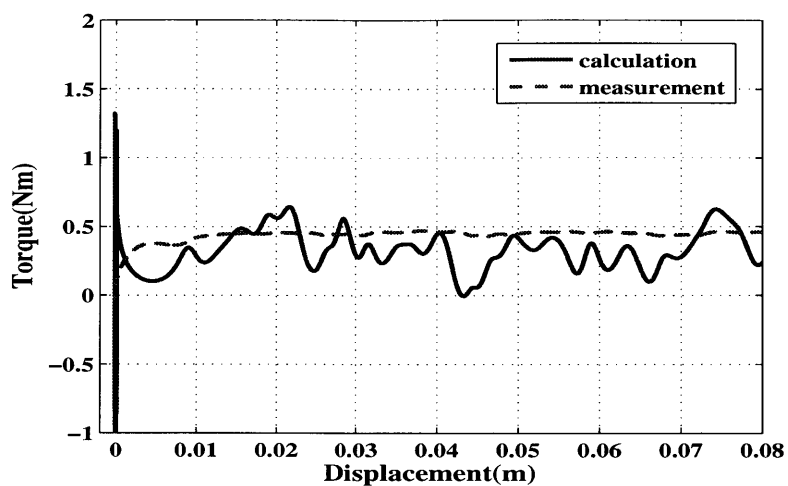


(b) 0.50rad/s

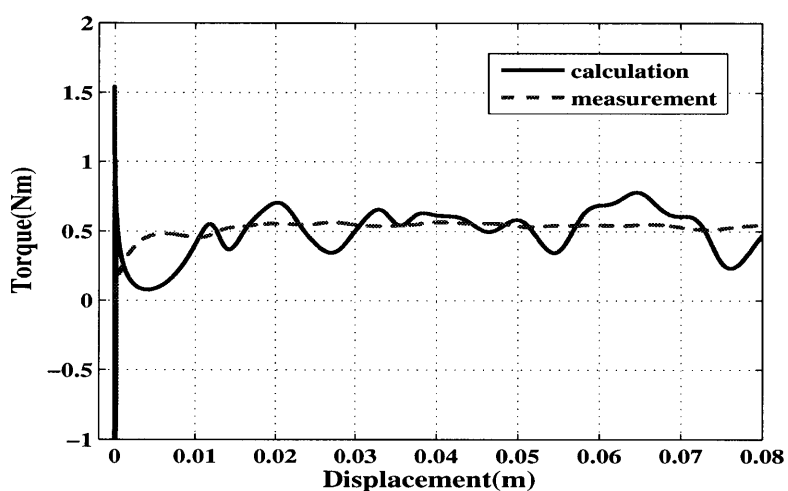


(c) 1.00rad/s

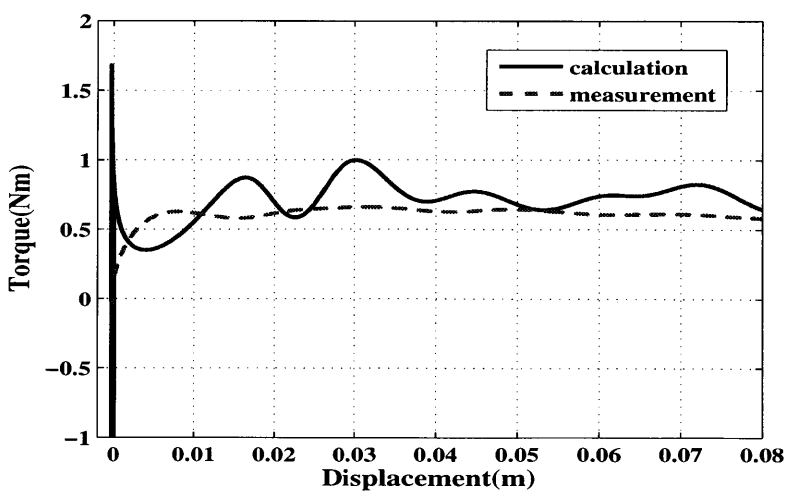
Fig. 4.5 Comparison of two torques (Resinous elastic block($p=150\text{mm}$))



(a) 0.25rad/s

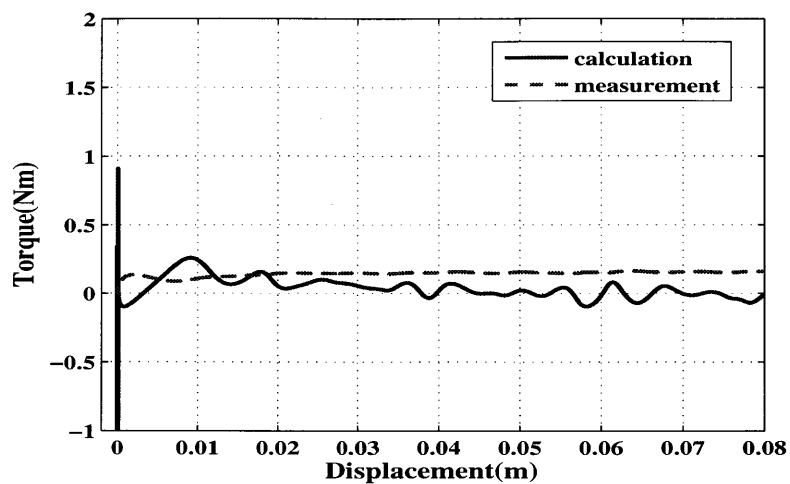


(b) 0.50rad/s

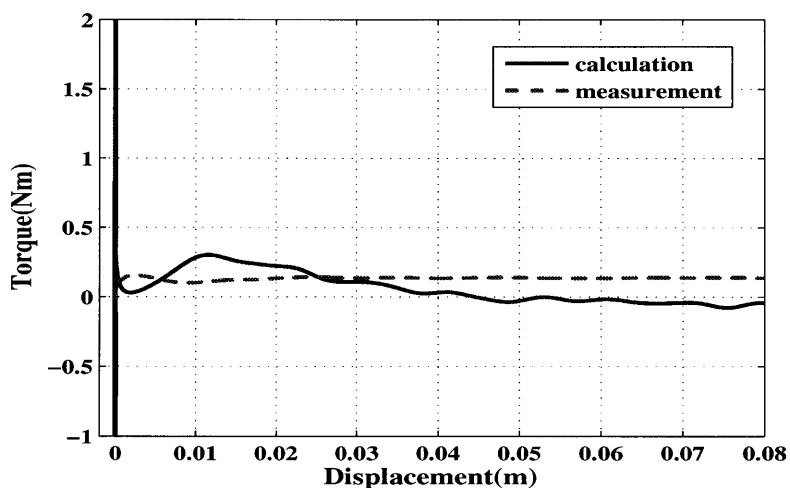


(c) 1.00rad/s

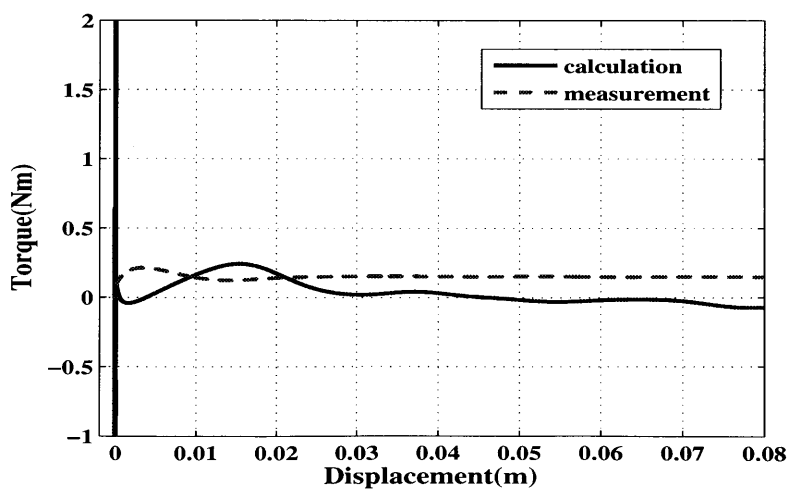
Fig. 4.6 Comparison of two torques (Low repulsion urethane)



(a) 0.25rad/s



(b) 0.50rad/s



(c) 1.00rad/s

Fig. 4.7 Comparison of two torques (Soft urethane)

Table 4.1 Numerical comparison of two torques

	0.25rad/s		0.50rad/s		1.00rad/s	
	計算トルク (Nm)	計測トルク (Nm)	計算トルク (Nm)	計測トルク (Nm)	計算トルク (Nm)	計測トルク (Nm)
櫛形単生本枕 (p=60mm)	0.186	0.0797	0.174	0.111	0.172	0.118
櫛形単生本枕 (p=75mm)	0.170	0.159	0.124	0.140	0.135	0.149
櫛形単生本枕 (p=90mm)	0.323	0.177	0.253	0.150	0.219	0.153
櫛形単生本枕 (p=150mm)	-0.493	0.125	-0.0834	0.135	-0.0882	0.150
低反発ウレタン枕	0.311	0.450	0.547	0.541	0.712	0.605
ソフトウレタン枕	0.00181	0.155	-0.0249	0.141	-0.0194	0.151

4.2 ドラム速度 - トルクの表示による解析

更に詳しい解析をするために、前回の解析における改善点を取り入れ、もっと多くの実験データを取って解析していく。

4.2.1 解析方法

今までは、それぞれの枕に対してドラムの回転速度が $0.25\text{rad/s} \cdot 0.50\text{rad/s} \cdot 1.00\text{rad/s}$ の3種類のデータしかなかった。ここでは、それぞれの枕に対して、ドラムの回転速度が約 $0.20\text{rad/s} \sim 1.00\text{rad/s}$ の間での10種類の速度で実験を行いデータを取ることにする。実験は、速度以外は第2章と同じものである。解析の方法も、基本的には前回と同じである。新たな実験で得られたドラムのy軸方向の重心位置のデータからドラムの持ち上がる角度 θ を求め式(4.2)によって計算されたトルクと、実験で直接計測されたトルクを比較していく。

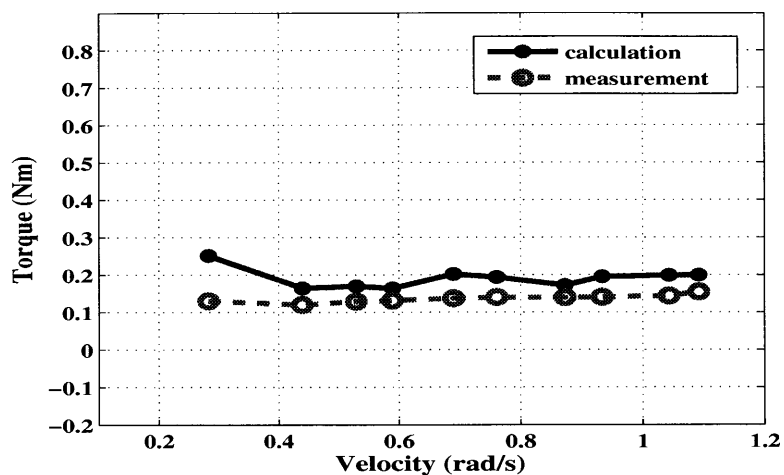
前回の解析で述べたように、 θ を求める際の最小二乗法を用いる時にデータ100個単位で行っていたものを、その間のドラムの移動変位や重心位置の変化量を均等化するために、ドラムの回転速度に応じて100個(速い時)～400個(遅い時)に変化させる。そして今回は、前回のように1つの速度において1つのグラフを作って比較するのではなく、Table 4.1のような2つのトルクのそれぞれの平均値(代表値)を求め、10種類全ての速度でのその値を枕毎にまとめて比較していくこととする。その値の求め方も前回に述べたように、グラフの最初の計算トルクが大きく変化している部分のみを除いた範囲ではなく、2つのトルクが比較的合っている中盤から後半にかけての部分のみの範囲において、そのデータ全てで最小二乗法を実行し θ を求めて計算した計算トルクの代表値と、同範囲の計測トルクの平均値を使用する。

4.2.2 計算トルクと計測トルクの比較

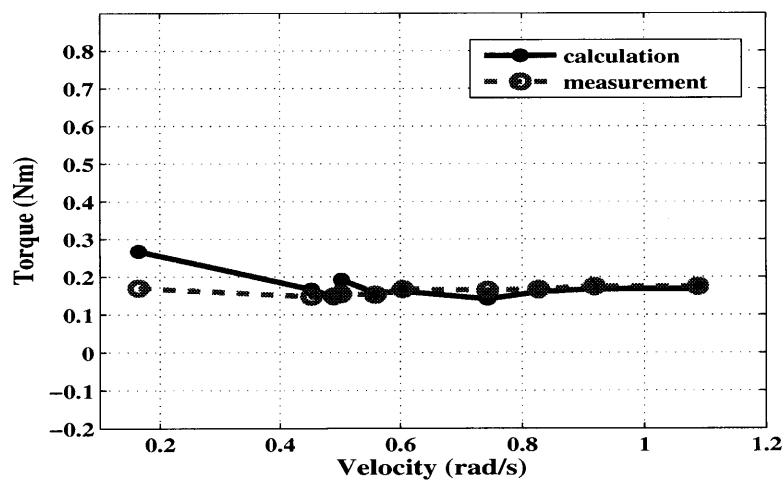
Fig. 4.8 と Fig. 4.9 に今回の比較結果を示している。Fig. 4.8 は上から順に、配置間隔 $p=60\text{mm}$ の樹脂弾性体枕、 $p=75\text{mm}$ の樹脂弾性体枕、 $p=90\text{mm}$ の樹脂弾性体枕、Fig. 4.9 は上から順に、 $p=150\text{mm}$ の樹脂弾性体枕、低反発ウレタン枕、ソフトウレタン枕となっている。実線が計算トルクで、破線が計測トルクである。横軸はドラムの回転速

度であり、グラフの線上の点や円はその速度におけるそれぞれのトルクの平均値（代表値）である。

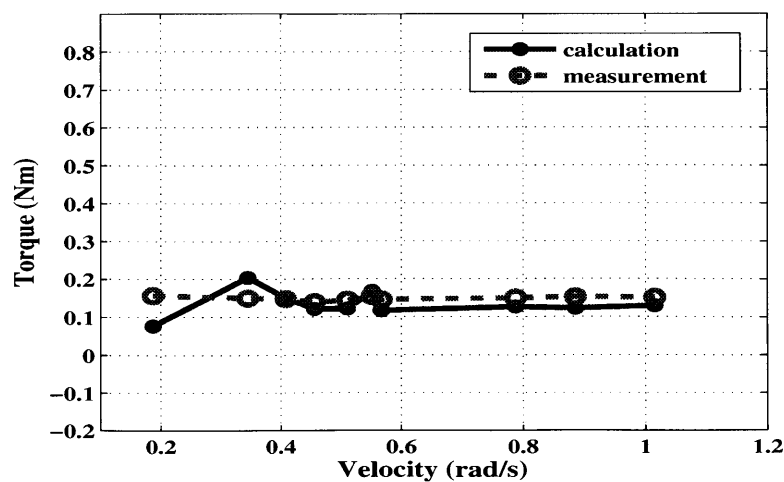
これらの図を見ると、 $p=60\text{mm}$ ・ $p=75\text{mm}$ ・ $p=90\text{mm}$ の3つの樹脂弾性体枕と低反発ウレタン枕は、計算トルクと計測トルクがほぼ合っていることが分かる。これは、ドラムのy軸方向の重心の持ち上がりとトルクには関係性がある、つまりトルクの発生はドラムのy軸方向の重心の持ち上がりによる影響が大きいということを表している。しかし、 $p=150\text{mm}$ の樹脂弾性体枕とソフトウレタン枕は、計算トルクと計測トルクが大きくずれていることが分かる。ソフトウレタン枕についてはその原因はまだ分かっていないが、 $p=150\text{mm}$ の樹脂弾性体枕については第2章の実験結果Fig. 2.14でも見られるように、樹脂弾性体の配置間隔が大きいこの枕ではドラムのローリング方向の傾き角度が大きく変動してしまうことが原因に挙げられる。このため、2次元的な考慮のみの今回の解析では、計算トルクと計測トルクにずれが生じたのではないかと考えられる。



(a) Resinous elastic block(p=60mm)

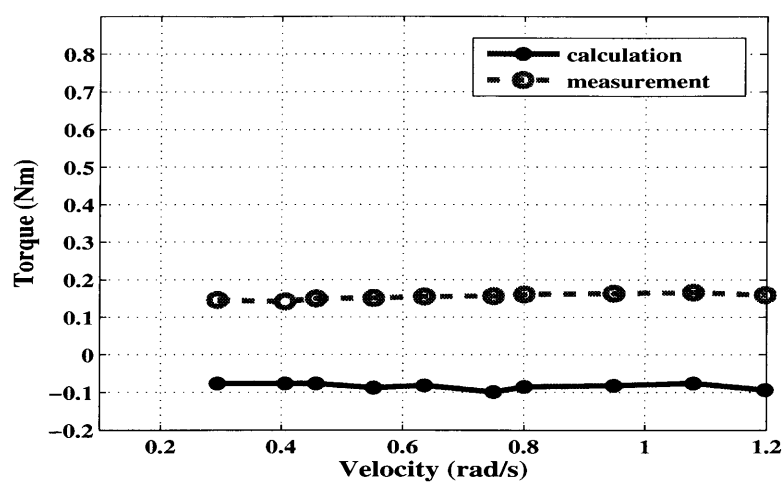
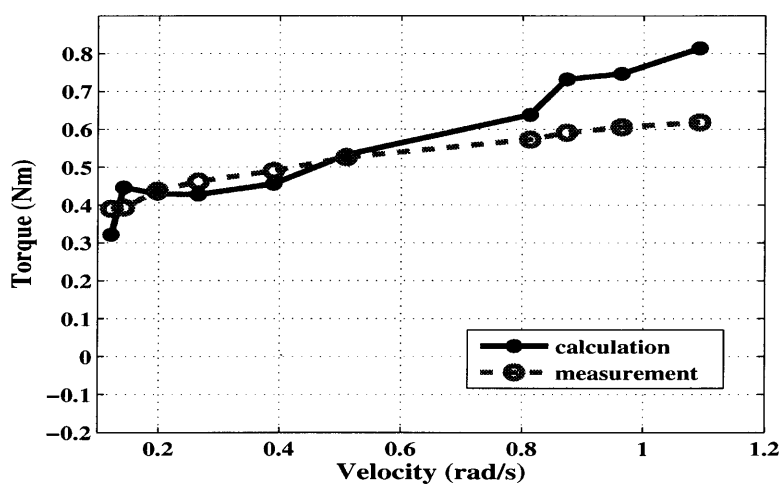


(b) Resinous elastic block(p=75mm)

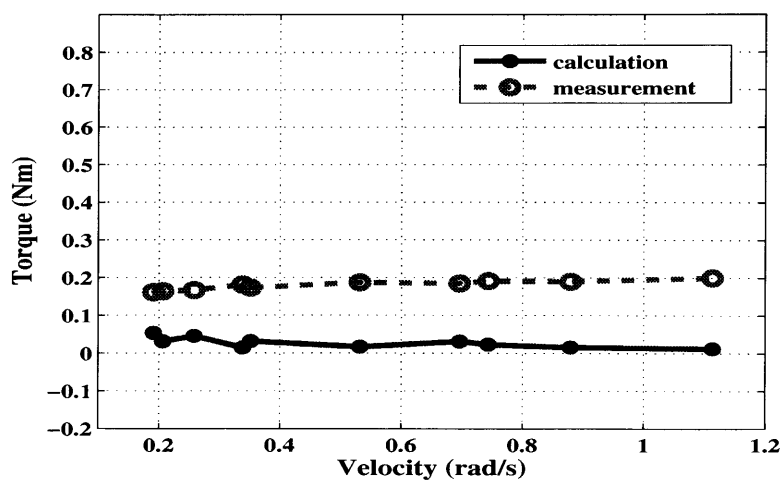


(c) Resinous elastic block(p=90mm)

Fig. 4.8 Comparison of two torques 1

(d) Resinous elastic block ($p=150\text{mm}$)

(e) Low repulsion urethane



(f) Soft urethane

Fig. 4.9 Comparison of two torques 2

第5章

結言

本報告では、枕上における頭部の寝返りについて力学的に解析するために、実験装置を製作し、様々な枕で実験しその寝返り抵抗トルクを測定・解析して、枕の寝返り性を評価した。他にも、人の頭部に当たる実験装置のドラムの重心位置や傾き角度を測定し、その傾き角度の実際の寝返りに対する影響や重心位置とトルクの関係性も調べた。

(1) 低反発ウレタン枕・樹脂弾性体枕・ソフトウレタン枕の3種類で実験した結果、低反発ウレタン枕は他の枕に比べて5～6倍近い寝返り抵抗トルクとなり、寝返りしづらいことが分かった。ソフトウレタン枕と樹脂弾性体枕のトルクはほぼ等しかった。また、ドラムの重心が大きく持ち上がるほどトルクも大きいことから、この2つには関係性があると推測した。

(2) 樹脂弾性体の配置間隔を60mm・75mm・90mm・150mmと変えた枕で実験を行った結果、寝返り抵抗トルクはほとんど変わらなかったが、違いが見られたのはドラムの傾き角度で、樹脂弾性体の配置間隔が大きくなるほどドラム（頭）が揺れるような状態になるということだった。そこでこれらの枕で被験者に実際に寝返りをしてもらいその感性評価を行ったが、頭が揺れるような違和感はこの枕も同じでほぼ感じないという結果になり、樹脂弾性体の配置間隔を大きくしても寝返り性に問題はないことが分かった。

(3) 上で述べた推測を確かめるために、これまでの枕に対して、ドラムの重心位置のデータを使い計算して求めたトルクと実験装置で直接測定して求めたトルクを比較した結果、ほとんどの枕について2つのトルクがほぼ合っていることが分かった。

た。これは、ドラム（頭）の重心の持ち上がりがトルクの発生に大きく影響しているということである。

今後は、本報告でのデータを元に更に展開していく。本報告では、実験装置でトルクを測定することによって評価・解析しているが、それとは別の方法、つまり実験装置による測定以外の方法でトルクを推定する方法を考えていくことになる。

例えば、Fig. 4.9 の低反発ウレタン枕のグラフ（(e) のグラフ）を見ると、ドラムの回転速度（横軸）が大きくなるほどトルク（縦軸）が大きくなっている。 $F = c\dot{x}$ の式からも分かるように、このグラフの傾きは粘性のようなものではないかと考えられる。つまり、トルクを粘性で表すことができ、粘性さえ分かればトルクを推定することができるということになる。但し、その粘性を知るにはやはり何かの実験をする必要がある。もしその実験が、頭に似せたドラムのようなものを枕の上に落とすだけ、といったような簡単なものならば、本研究で製作した大きな実験装置を使用するよりも遥かに簡単に寝返り抵抗トルクを知ることができ、その枕の寝返り性を知ることができることになる。

参考文献

- (1) 日本睡眠学会：睡眠学ハンドブック；朝倉書店、pp.97-100 (1994)
- (2) 白川修一郎：睡眠中の体動の動態とその役割；脳波と筋電図、Vol.17,No.3,pp.221-234 (1989)
- (3) 山田浩、上西園武良、角谷明子：寝返り性向上マットレスの開発；人間生活工学誌、Vol.5,No.4,pp.30-35 (2004)
- (4) 村田康弘、和阪学弘、安達優、池浦良淳、上西園武良、内藤公孝、水谷一樹、澤井秀樹：枕の寝返り性評価に関する研究；日本人間工学会東海支部 2006 年研究大会論文集、pp.14-15(2006)
- (5) 村田康弘、和阪学弘、安達優、池浦良淳、上西園武良、内藤公孝、水谷一樹、澤井秀樹：枕上における頭部の寝返り抵抗トルクの解析；日本機械学会（投稿中）

謝辞

本研究を進めるにあたり、研究の方向性やプログラムの作り方など、多忙の中にありながら適切且つ親切的な御指導並びに御助言を頂きました指導教官である池浦良淳助教授に多大なる感謝の意を表します。

また、本研究を終えるにあたり、適切且つ親切的な御指導並びに御助言を賜りました水谷一樹教授に深く感謝致します。

更に、本研究において、実験装置の製作や実験データの取り方など、数多くの有益な御指導並びに御助言を賜りました澤井秀樹技官に多大なる感謝の意を表します。

本研究のみならず、多くの適切な御指導並びに御助言を頂きました加藤光廣助手に深く感謝致します。

最後に、共に本研究に携わった安達優君、和阪学弘君、そして、実験などに快く協力をして頂き、また、この数年間の生活を充実したものとさせて頂きました研究室の皆様へ深く感謝し、今後の御活躍を期待しております。