

平成 22 年度 修士論文

トルク解析に基づく  
マットレスの寝返り性評価に関する研究

指導教員 池浦良淳 教授

三重大学大学院工学研究科機械工専攻

システム設計研究室

409M150 村田和誠

# 目次

## 第1章 序論

1.1	研究背景	1
1.2	本研究の目的	3
1.3	本論文の構成	4

## 第2章 寝返り実験装置の構成

2.1	橢円モデル	5
2.2	橢円モデル動作の計測機器	8
2.3	橢円モデルの回転原理と計測方法	9
2.4	実験用マットレス	9

## 第3章 橢円モデルを用いた実験方法と結果

3.1	実験方法	12
3.2	実験結果	13

## 第4章 橢円モデルの動きを再現した力学的解析方法と解析結果

4.1	解析方法	18
4.2	解析結果と考察	21

第5章	マットレスからの押し潰し反力を考慮した力学的解析方法と解析結果	
5.1	解析方法	40
5.2	解析結果考察	42
第6章	結論	
6.1	本研究のまとめ	52
6.2	今後の課題	53
参考文献		54

# 第1章

## 序論

### 1.1 研究背景

睡眠は脳を発達させた動物達の重要な生理機能として、生存のために欠くことのできない行動である。また、単なる活動停止の時間ではなく高度の生理機能に支えられた適応行動であり、生体防御技術でもある。とりわけ、発達した脳をもつ私たち人間にとっては、睡眠の適否が質の高い生活を左右することになる。しかし、現代社会では仕事・勉強・通勤・通学などで興奮状態が続き、その緊張状態が精神的に負担となってストレスとなる。このストレスにより睡眠不足になる人が増えてきている。睡眠は、一般的には眠っている間に記憶を固定する、筋肉をリラックスさせるなどの効果が知られている。そして、脳の進化とともに、大きく発達した脳をうまく休ませる機能が拡張されてきた。この睡眠の質を左右する環境要素<sup>[1]</sup>は、音、室温・湿度、光の量、香りなどいろいろあるが、この中でも特に、体に密接に関係する環境要素は寝具である。代表的な寝具としてマットレスがあげられる。マットレスは家庭のみならず医療・福祉施設などにも用いられ、その役割は極めて重要である。マットレスの特性として、保湿性、保温性、抗菌性、耐久性、床ずれ防止、体圧分散性などがある。一般的に枕やマットレスを開発する際にはマットレスの硬さ<sup>[2]</sup>や体圧分散性が重要視されている。しかし、人間は寝ている間に常に同じ姿勢でいるわけではなく「寝返り」を行う<sup>[3][4]</sup>。寝返りという睡眠中に動く行為は、血液やリンパ液、関節液等の循環を促す。また、人は同じ姿勢を続けると苦痛を感じるが、そのような圧迫された部分の痛みを体位を変えることで和らげる効果がある。他にも寝返りには体温調節の意味もある。長時間同じ姿勢で眠っていると体

とマットレスの接する部分に熱がこもる．これによる体温の上昇を抑えるためにも，体の向きを変える必要がある．また，約 90 分間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，規則的で安定した眠りを得る為のスイッチの様な役割<sup>[5] [6]</sup>もある．この切り替え時の寝返りがうまく行われないと，その時点で起きてしまったり，次の深い眠りに移行がうまくできずに，眠りが浅くなったりする．寝返りを妨げる大きな要素としては，体に最も密着している寝具があげられる．つまり寝具と寝返りの関係性は，よい睡眠を得るためにはとても重要な考察すべき要素である．このように，快適な睡眠と関係がある寝返りであるが，現在の筋電を用いた寝返り性評価<sup>[7]</sup>（Fig.1.1）や体圧分散性<sup>[8] [9] [10]</sup>（Fig.1.2）や OSA 睡眠調査票<sup>[11]</sup>などでは，相互を比較した結果は出せるが結果の物理的考察は行えず，新規設計には活用できない．マットレスの設計要素に寝返り性を加えるためには，寝返り抵抗の発生要因を探り物理モデルを構築する必要がある．

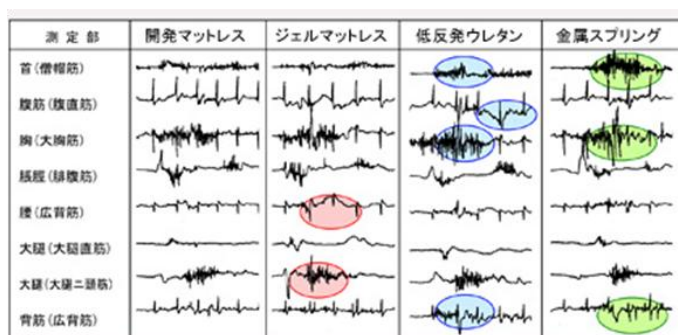


Fig.1.1 筋電を用いた実験結果

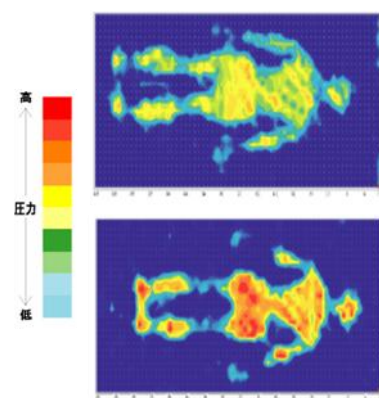


Fig.1.2 体圧分散性の評価

## 1.2 本研究の目的

本研究では、寝返り動作とマットレスとの関係を詳しく調べるために、快適な睡眠に影響を及ぼすマットレスの寝返りのしやすさを物理的に評価することを目的とし、実験的及び理論的にマットレスの寝返りの力学的解析を行う。本研究室ではこれまで人の寝返りの頭部部分に注目し、Fig.1.3に示されるように人の頭部を真円でモデル化した計測実験が行われていたが<sup>[12] [13] [14]</sup>、人の寝返りに対する負荷の大きさを考慮すると頭部より胴体部分の方が負荷を占める割合が大きい。そこで本研究では寝返り動作の負荷を測定するために、人間の胴体を模擬した楕円モデルを作製し、人の寝返りを再現することを試みる。作製した楕円モデルを木の板、スプリングマットレス、低反発マットレス、樹脂弾性体マットレス<sup>[15]</sup>の四種類のマットレス上で回転させ、楕円モデルの発生するトルクと動きを測定し、各マットレスによる発生トルクと楕円モデルの軌道の違いを比較考察する。また、軌道によるトルクの変化の関係を理論的に確認するために、楕円モデルの動きを運動方程式に基づき力学的解析を行い、実験結果と解析結果を比較考察する。

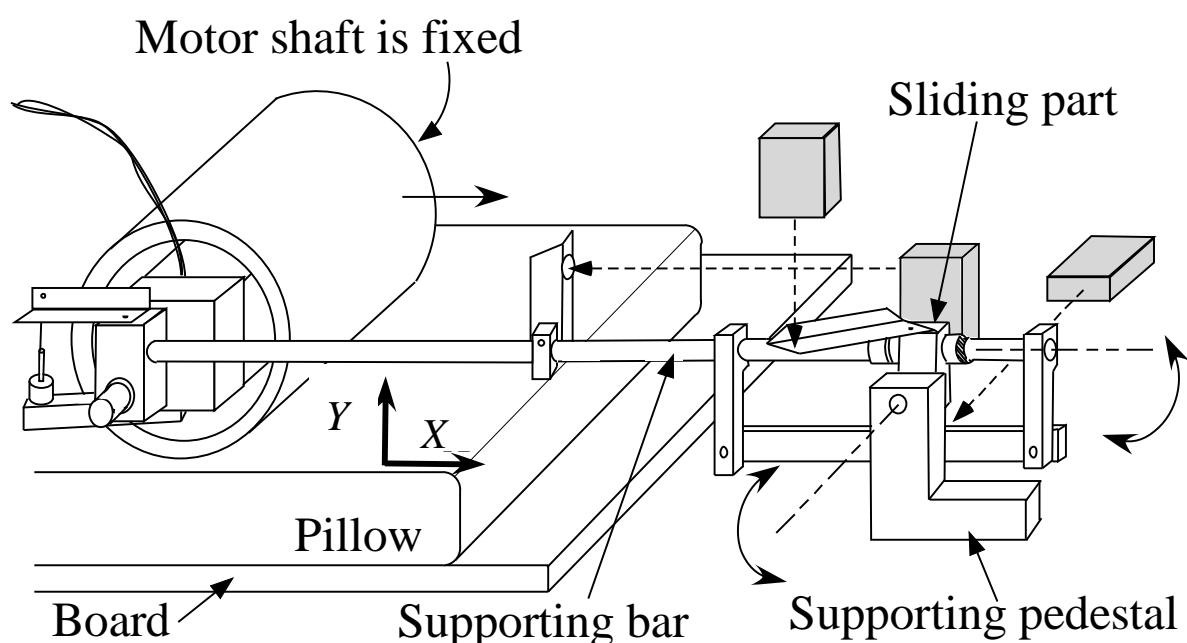


Fig.1.3 真円型実験装置

### 1.3 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す．まず，第2章では人の胴体を再現した楕円モデル型実験装置とその実験方法について説明する．第3章ではその装置を用いた実験結果について説明する．第4章では楕円モデルの動きを再現するための力学的解析方法とその結果について説明する．第5章では力学的解析結果の誤差についての考察と，楕円モデルがマットレスを潰すのに必要な力を考慮した解析方法と結果について説明する．最後に第6章では本研究のまとめと今後の課題について述べる．

## 第 2 章

### 寝返り実験装置の構成

マットレスごとに寝返りによって体にかかる負担のちがいを明確化するために、人間の体を模擬した楕円モデルを四種類のマットレス上で転がし、楕円モデルのトルクを測定する。それらによりマットレスによって寝返りがしやすい、ではなく力学的に寝返り性がよい、といえるようになる。具体的には人の胴体を模擬した楕円モデル（断面が楕円で一様なもの）を使用し、それを四種類のマットレス上で転がし、トルクと楕円モデルの動きを測定する。本章では、楕円モデル型実験装置についての概要について述べる。2.1 節において楕円モデルについて、2.2 節において楕円モデルの回転原理について、2.3 節において計測機器について、2.4 節において使用するマットレスについて述べる

#### 2.1 楕円モデル

人の胴体を模擬した楕円モデル型実験装置の外観を Fig.2.1 に示す。人が行う寝返りにかかるトルク（寝返り抵抗）を測定するために、人の胴体を模擬した楕円モデルをウレタンで作製した。ウレタンはそのままでは滑りやすいので、マットレスとの摩擦を考慮して周りにはビニールテープを張った。その楕円モデルの外観を Fig.2.2 に示す。楕円モデルの寸法は、長径 300mm、短径 200mm、長さ 400mm であり、基本重量は 8kg である。質量は計測機器部に重りを乗せることにより調節する方式とした。この楕円モデル内部に、ベルトコンベアなどで使用される自転式のローラー（以下パワーモーラと呼ぶ）を組み込むことで、マットレス上で自動動作可能とした。パワーモーラ



(PM605FE 呼び周速 210 タイプ 伊藤電機株式会社製) は電源 DC24V, 周速 33.2m/min, 定格トルク 0.4N・m, 外部変則電圧入力 0.1~0.4V である. 構築した楕円モデルの動作を測定するためのシステム構成を Fig.2.3 に示す. パワーモータが動作することで楕円モデルが回転しながら起き上がる動作を行うが, その動作測定のための機構を Fig.2.4 に示す. 楕円モデルの回転トルク, 初期位置を基準とした楕円モデルの高さ, 進行方向への変位量, 楕円モデルの回転角度を計測し, データレコーダ (TDS2014C 型 テクトロニクス株式会社製) によりデータを収集する. データレコーダの仕様はサンプリング周期 0.001s, 周波数帯域 100MHz, サンプル・レート 2.0GS/s, チャンネル数 4 である.

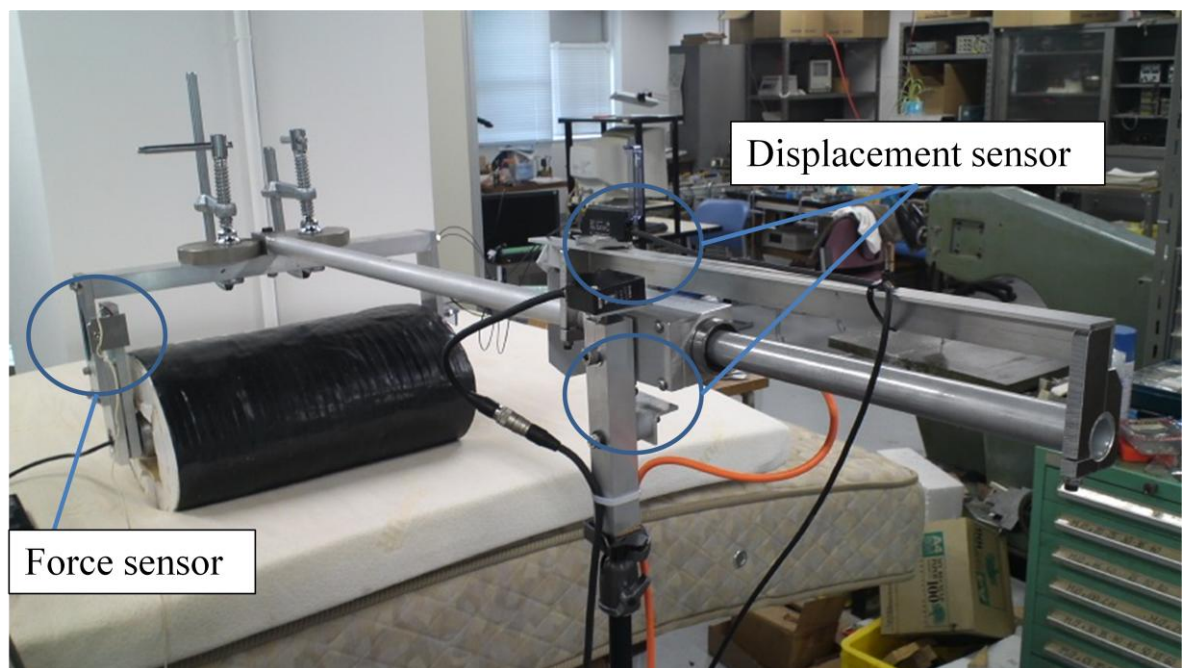


Fig.2.1 実験装置外観



(a)エンコーダ

(b)パワーモラー

(c)楕円モデル

Fig.2.2 楕円モデル

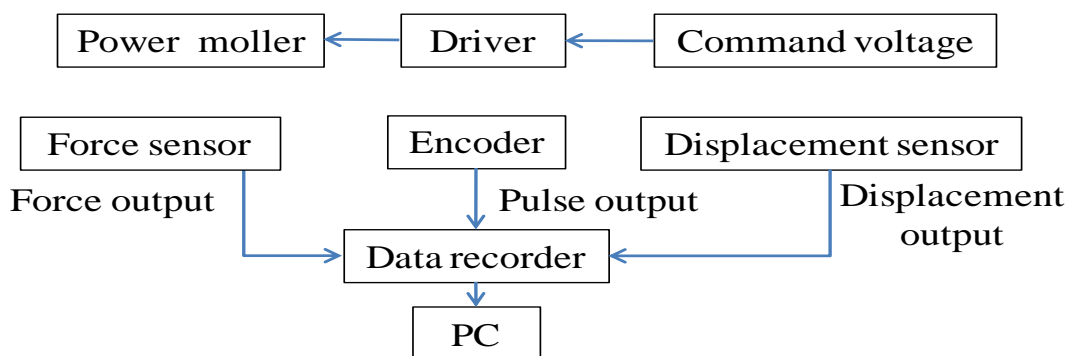


Fig.2.3 システム構成

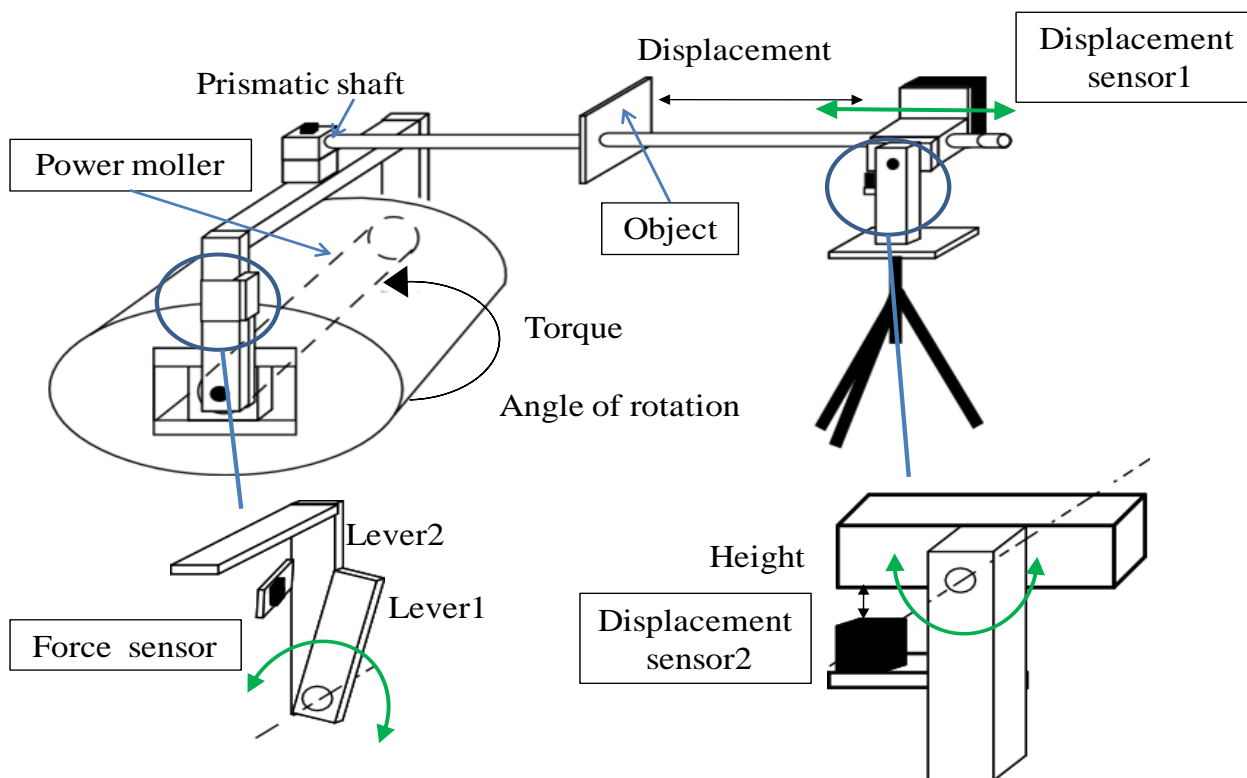


Fig.2.4 実験装置構造

## 2.2 楕円モデル動作の計測機器

楕円モデルの水平方向の変位を変位センサ 1 (Fig.2.5) で測定する。変位センサ 1 は LED 距離センサ (DT50 ジック株式会社製) で繰り返し精度 $\pm 1.5\text{mm}$  である。楕円モデルの中心位置の垂直方向の変位を変位センサ 2 (Fig.2.6) で測定する。変位センサ 2 は渦電流式変位センサ (PU-20 型 株式会社電子応用製) であり、分解能  $1\mu\text{m}$  である。変換器はジック株式会社製の AEC-5520 を使用した。楕円モデルの回転角度をエンコーダで測定する。アンプは株式会社 KEYENCE 製の FS-M1H であり、応答時間  $20\mu\text{s}$  である。ユニット (Fig.2.7) は株式会社 KEYENCE 製の FU-35FZ を使用した。トルクを力センサ (Fig.2.8) で測定する。力センサは LMA-A 株式会社共和電業製である。



Fig.2.5 変位センサ 1



Fig.2.6 変位センサ 2

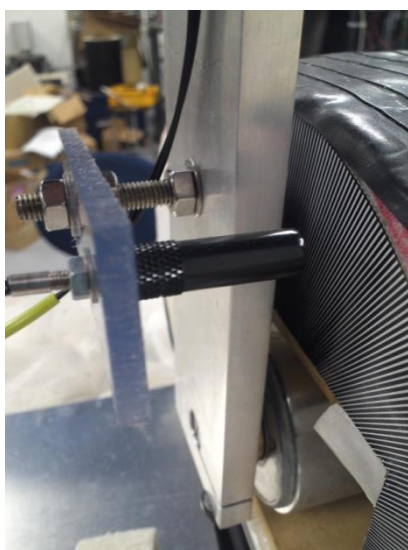


Fig.2.7 ユニット

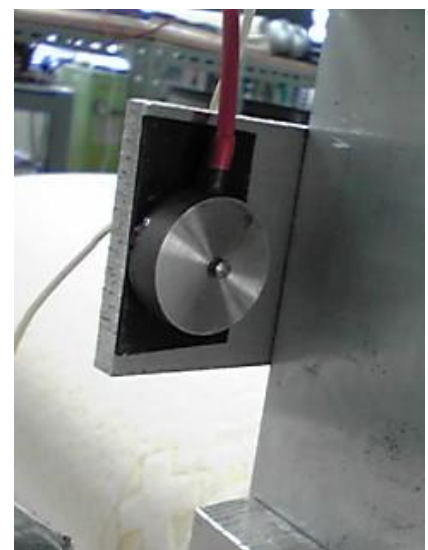


Fig.2.8 力センサ

## 2.3 楕円モデルの回転原理と計測方法

前章 Fig.2.4 に示されるように、パワーモータの軸に固定されたレバー 1 と、計測機器部に固定されたレバー 2 がある。モータが回転するとレバー 1 が回転し始める。それがレバー 2 から伸びた力センサ部に接触することによってレバー 1 が回転できなくなり、本体側である楕円モデルが回転し始める。尚、その際のレバー 1 とレバー 2 の接触力を測定している。コンピュータでの後処理で楕円モデルの中心から力センサへの距離 (0.138m) をかけてトルクとしている。

楕円モデルの軌道を測定するために、楕円モデルの中心の水平方向と垂直方向を測定する。楕円モデルと計測機器部を固定する軸がある。その軸は変位センサ 1 と水平方向において可変であり、変位センサ 2 とは回転方向に可変である。水平方向については楕円モデルが起き上がる動きを行うと楕円モデルに固定された軸が動く。その軸には対象物がついており、その対象物の移動距離を楕円モデルの水平方向の変位として変位センサ 1 で測定する。垂直方向については、楕円モデルが転がると軸部も上昇する。軸の上昇量を変位センサ 2 で測定する。また楕円モデルの回転角度をエンコーダにより計測する。

## 2.4 実験用マットレス

使用するマットレスはスプリングマットレス、低反発マットレス、樹脂弾性体マットレス(Fig.2.9)、木の板の四種類である。スプリングマットレスはアイシン精機株式会社の「ポケット P X マットレス」を用いた。スプリングマットレスは一般的なマットレスであり、もっとも普及しているマットレスである。低反発マットレスは TEMPUR 社の「テンピュールオーバーレイマットレス」を用いている。オーバーレイとは「上に敷く」という意味で、特徴として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、人間の体の形にフィットして沈み込むことで体を優しく支えることができ、体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ち、温度が下がる冬場は特に硬くなる。また、密度のある素材であるのに加えて更に沈み込み圧縮が生じるため、マットレスと人間の体との間の熱や蒸れが逃げにくいのが難点である。樹脂弾性体マットレスは、アイシン精機株式会社の「SUPER FLEX FIT MATTRES MX」を用いた。樹脂弾性体「FINEREVO」(フ

ァインレボ)を採用し、一つ一つ独立して体を支えることで耐圧分散性を高め、血管の圧迫を抑えるという特徴を持っている。樹脂弾性体とは Fig.2.9 に示されるように、それ自体は白い円柱状のもので、樹脂と油脂でできた粘弾性体である。樹脂弾性体が横や斜め方向に動くことによって筋肉に負担をかけず、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。また、通気性に優れ冬場に硬くなるといった温度による特性変化がほとんど無い。高密度ウレタン材の上に硬質ウレタンがひいてあり、その上に樹脂弾性体が並べられている構造になっている。樹脂弾性体の配置間隔（ピッチ(p)）は 75mm である。

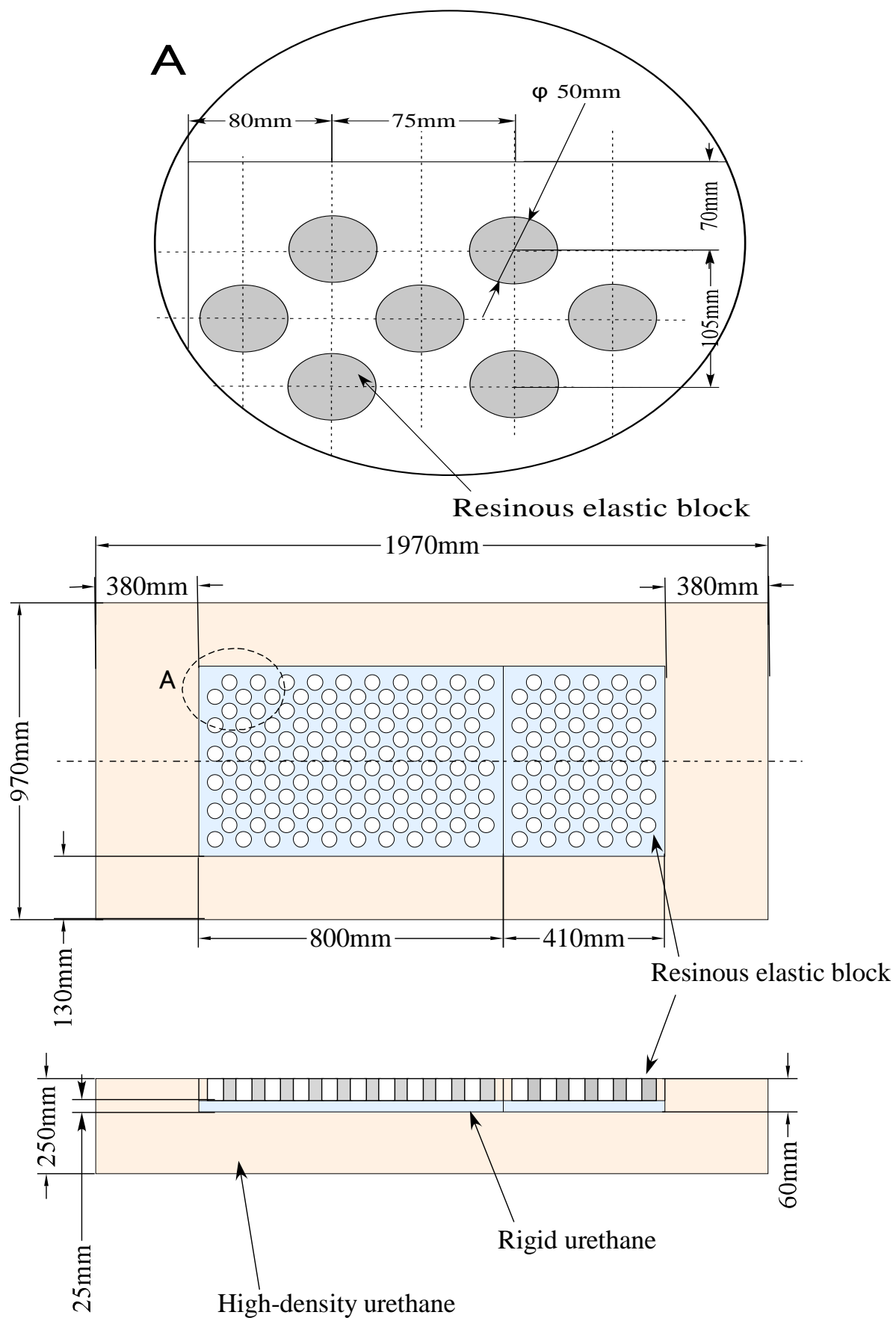


Fig.2.9 樹脂弾性体マットレス

## 第3章

### 楕円モデルを用いた実験方法と結果

本章では，前章で示した人の寝返りを再現するために 3.1 節で実験方法を，作製した楕円モデル型実験装置を利用した実験方法と 3.2 節で実験結果について述べる．

#### 3.1 実験方法

マットレスごとの寝返り抵抗を測定し比較検討するため，楕円モデルをマットレス上で回転させ，マットレス毎に差がでる，人が仰臥位から側臥位になる際（Fig.3.1）に必要となるトルクと楕円モデルの挙動を測定する．尚，本研究では楕円モデルの中心の進行方向の変位と高さの変位を楕円モデルの軌道と定義する．また，楕円モデルの回転角度もエンコーダにより測定する．マットレスは，スプリングマットレス，低反発マットレス，樹脂弾性体マットレス，剛体の板（木製）の4種類を測定する．楕円モデルの質量は 8kg であり，さらに負荷を 2kg, 4kg, 6kg かけた場合についても測定する．

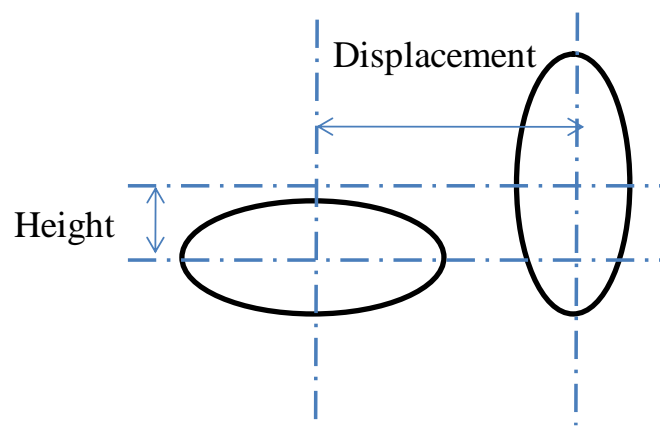


Fig.3.1 楕円モデルの動き

## 3.2 実験結果

収集した実験結果を Fig.3.2～Fig.3.5 に示す. Fig.3.2 は楕円モデルの質量 8kg の場合, Fig.3.3 に質量 10kg の場合, Fig.3.4 に質量 12kg の場合, Fig.3.5 に質量 14kg の場合の実験結果を示す. これらは横軸が楕円モデルの進行方向の変位(mm), 左縦軸は楕円モデルの回転トルク(N・m), 右縦軸が楕円モデルの高さ変位(mm)を示す. 図中の実線は楕円モデルが各マットレスの上を起き上がるのに必要となるトルク, 破線は楕円モデルの中心位置の軌道を示す. 図中(a)が低反発マットレスの場合の発生トルク, (b)がスプリングマットレスの場合の発生トルク, (c)が剛体の板の場合の発生トルク, (d)が樹脂弾性体マットレスの場合の発生トルク, (e)が低反発マットレスの高さ変位, (f)がスプリングマットレスの高さ変位, (g)が剛体の板の高さ変位, (h)が樹脂弾性体マットレスの高さ変位を示している. 本研究では, 楕円モデルの進行方向の変位と高さの変位の関係を楕円モデルの軌道と呼ぶ.

グラフ全体を通して, 楕円モデルの質量が増大すると発生トルクが増大することがわかる. どの楕円モデルの質量においても, トルクは低反発マットレスが最も大きく, スプリングマットレス, 木の板, 樹脂弾性体マットレスの順に小さい傾向にある. Fig.3.2 の楕円モデルの軌道と寝返り抵抗を見るとマットレスごとの差はほとんどない. しかし, 楕円モデルの質量を増加させた, Fig.3.3, Fig.3.4 の結果を見ると, 低反発マットレスの寝返り抵抗がかなり上昇していることが分かる. 軌道は低反発マットレスが最も高さ変位が大きく, スプリングマットレス, 木の板, 樹脂弾性体マットレスの順に小さい傾向になった. そして低反発マットレスのみ剛体の板よりもかなり高い軌道となっている. また, 低反発マットレスは質量を増加させても最大高さは変化しないが, 進行方向 50mm の時の低反発マットレスの高さに注目すると質量を上げるごとに高くなっていることがわかる. これは最初楕円モデルがマットレスに沈み込み, 初期位置が低くなっていたため, 高い位置に上昇する運動になっている. つまり, 坂を登るような運動になっており, さらにマットレスを押し潰しながら回転しているのでトルクと軌道が大幅に大きくなったと考えられる. 本実験での楕円モデルの質量は, 人の胴体に比べると軽く, 低反発マットレスは荷重をかけてしばらく放置すると沈み続ける特性がある. 人は睡眠時にマットレス上で動かない時間があることから, 実際に人が寝る際の沈み込み量はより深くなると考えられる. 今後はこれらを考慮した楕円モデルの沈み込量と抵抗の関係性の検証が必要である. また, Fig.3.5(a)の低反発マットレスのトルク特性を見ると約 6N の一定



トルクで回転していることが確認できる。これがモータの限界トルクなのか低反発マットレスの特性によるものか今後検証が必要である。

次にマットレス毎に楕円モデルの総質量と発生最大トルクの間関係を Fig.3.6 に示す。横軸は楕円モデル質量(kg)，縦軸は最大トルク(N・m)を示す。マーカーがそれぞれの質量における最大トルク，実線は最大トルクの近似一次曲線を示す。(a)が木の板，(b)がスプリングマットレス，(c)が低反発マットレス，(d)が樹脂弾性体マットレスを示す。尚，近似させる際に，低反発マットレスの楕円モデル質量 14kg の場合の最大トルクはパワーモータの限界トルクを超えた実験結果の可能性があるため省略して近似一次曲線を求めた。これらの結果をまとめたものを Fig.3.7 に示す。横軸は楕円モデル質量(kg)，縦軸はトルク(N・m)を示す。マーカーがそれぞれの質量の最大トルク，実線が最大トルクの近似一次曲線を示す。(a)が木の板，(b)がスプリングマットレス，(c)が低反発マットレス，(d)が樹脂弾性体マットレスを示す。図ではわかりづらいが(a)，(b)がほぼ同じ直線となっている。Fig.3.6 を見ると楕円モデルの質量と最大トルクはどのマットレスにおいても線形性があると言える。Fig.3.7 を見ると低反発マットレスが最もトルクの最大値が大きいことがわかり，寝返り性は低反発マットレスが最も悪いと言える。樹脂弾性体マットレスは最もトルクの上昇率が小さく，寝返り性が良いと言える。

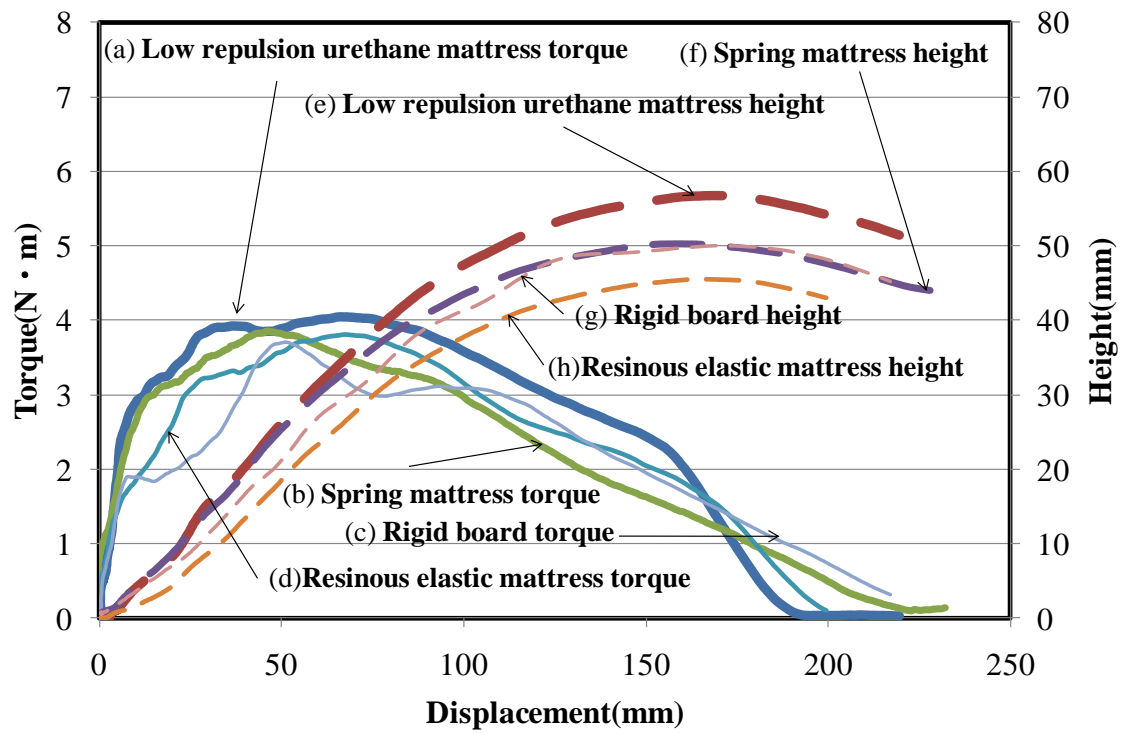


Fig.3.2 実験結果 (楕円モデル質量 8kg)

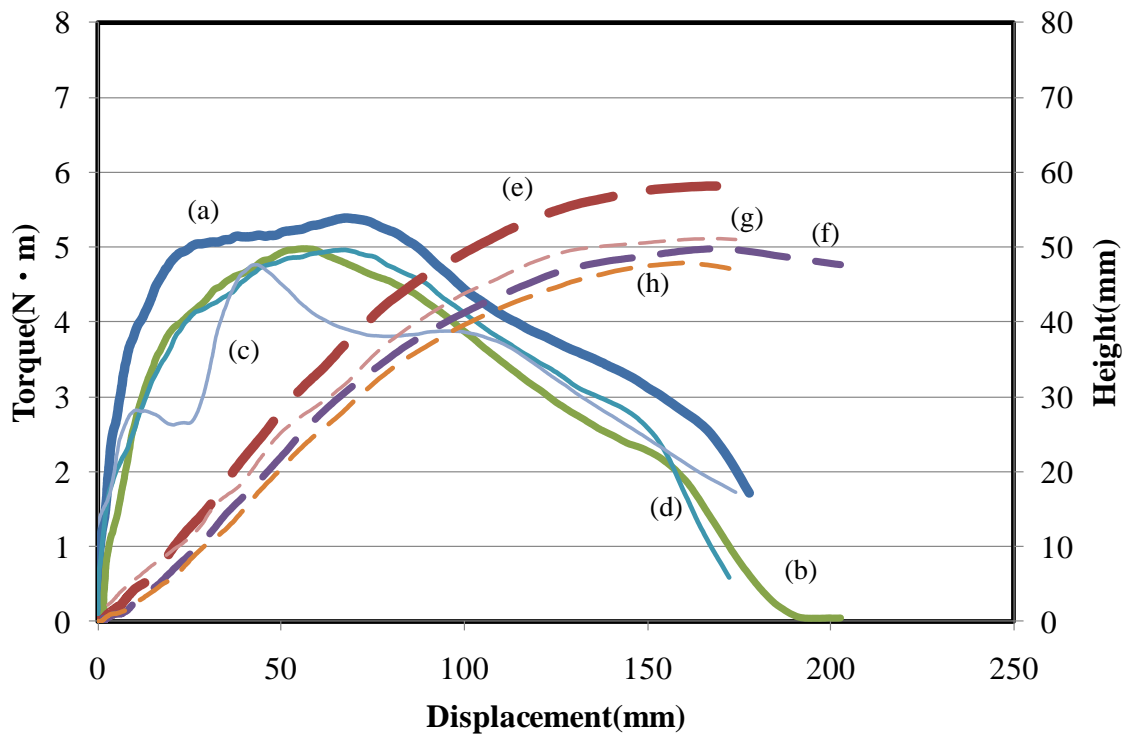


Fig.3.3 実験結果 (楕円モデル質量 10kg)

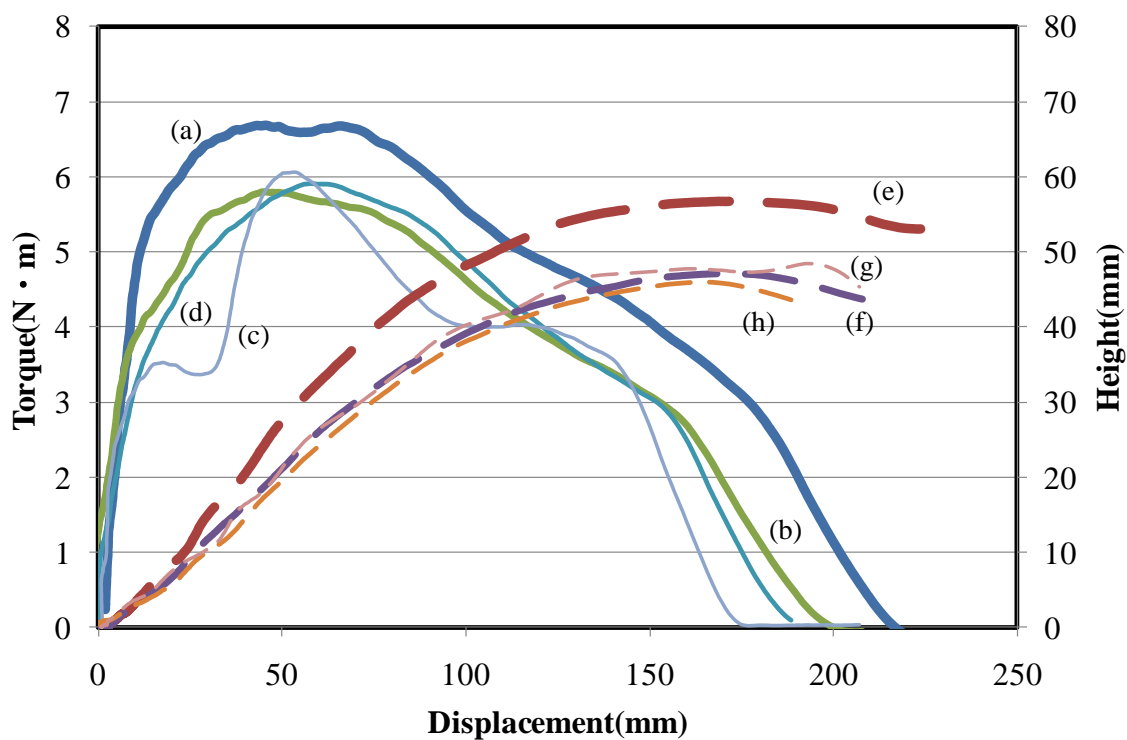


Fig.3.4 実験結果（楕円モデル質量 12kg）

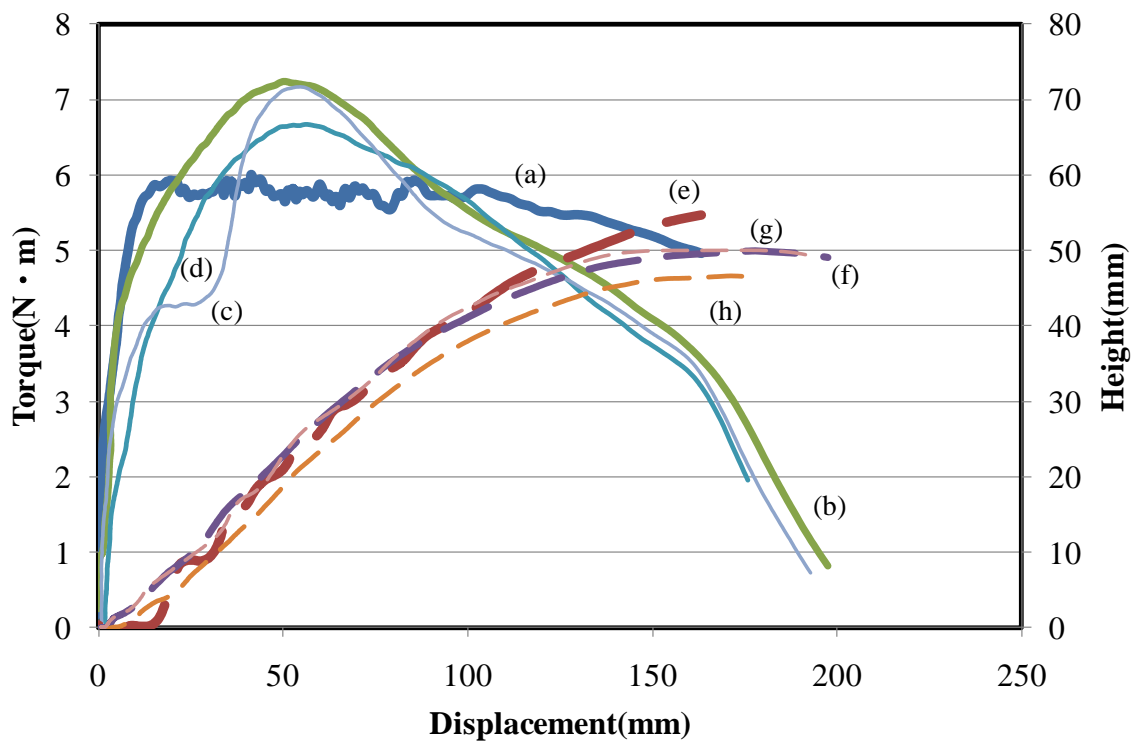


Fig.3.5 実験結果（楕円モデル質量 14kg）

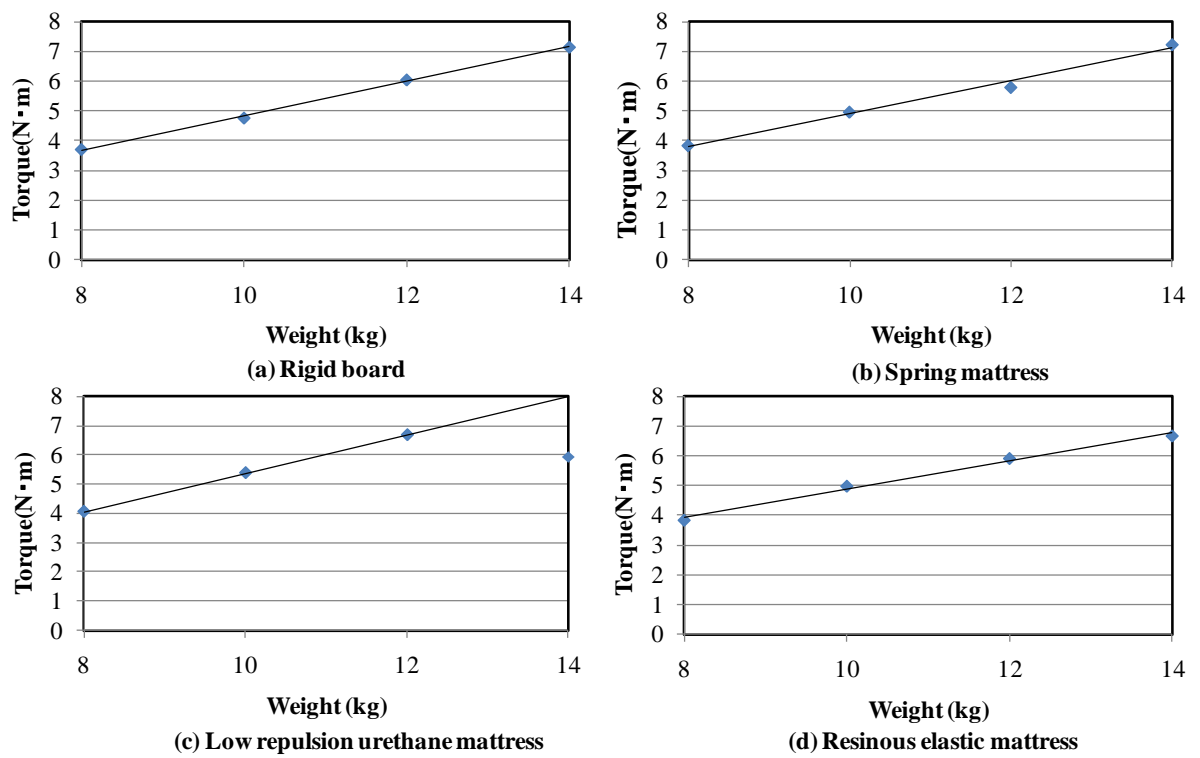


Fig.3.6 最大トルクの重量変化特性

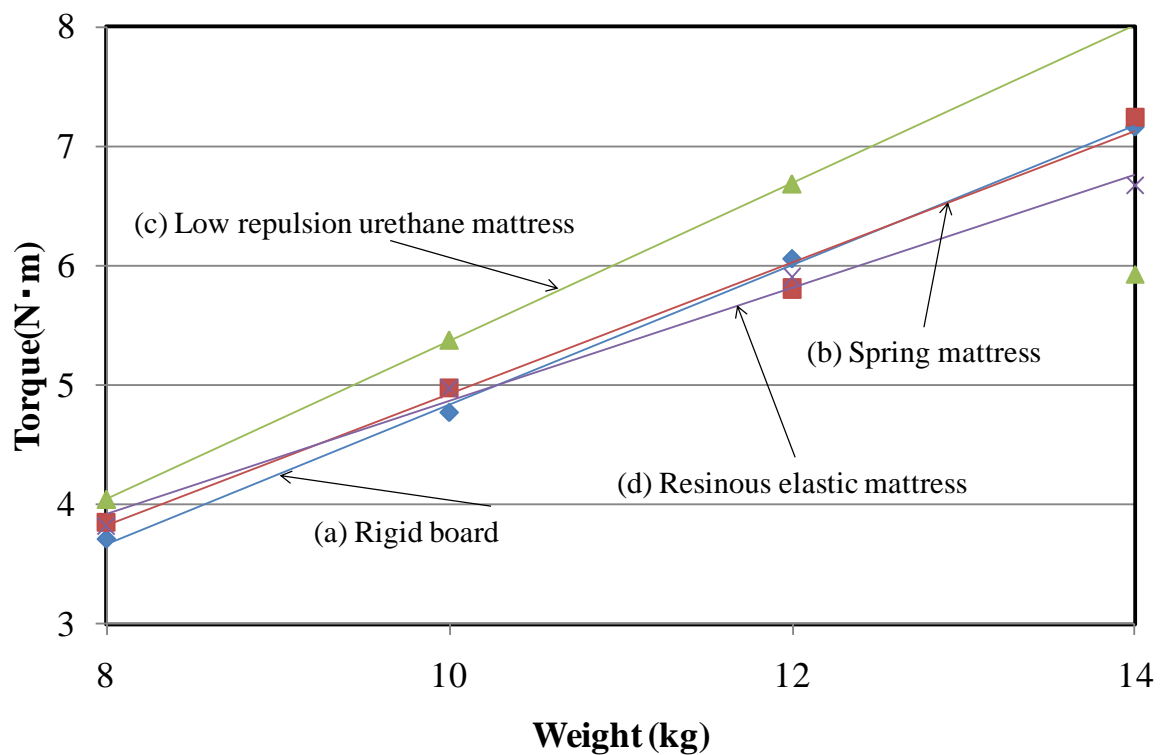


Fig.3.7 最大トルクの重量変化特性まとめ

## 第4章

# 楕円モデルの動きを再現した 力学的解析方法と解析結果

本章では、マットレスの寝返り性の力学的解析方法について述べる。前章の考察から、楕円モデルの重心位置が大きく持ち上がるほどトルクも大きくなる可能性があることがわかった。マットレスについて、得られた実験データから楕円モデルの重心の持ち上がりとトルクとの関係性を明確化する必要がある。そこで、楕円モデルについて運動方程式をたて、モデルの動きを再現し、トルクを解析する。

### 4.1 解析方法

前章の実験結果から楕円モデルがマットレスに沈み込み、初期位置が低くなっているため、高い位置に上昇する運動になっている可能性があった。そのことを考慮に入れ、楕円モデルの軌道の動きを瞬間的にみて、楕円モデルが傾斜角度の変化する坂を登る運動と仮定する。Fig.4.1 に楕円モデルがマットレスの上を転がりながら坂の上方向に登っていく様子を示す。楕円モデルの中心位置の初期位置を原点とする。 $a$  は楕円モデルの長径、 $b$  は楕円モデルの短径、 $\theta$  は楕円モデルの回転角度、 $D$  は楕円モデルの中心から接点の距離、 $P$  は楕円モデルとマットレスの接点、 $h$  は楕円モデルの中心位置の高さ、 $m$  は楕円モデルの質量、 $g$  は重力加速度、 $\psi$  は坂の角度、 $\varphi$  は坂と楕円の長径方向との角度、 $R$  は反力、 $F$  は摩擦力、 $\tau$  は楕円モデルのトルクを示す。

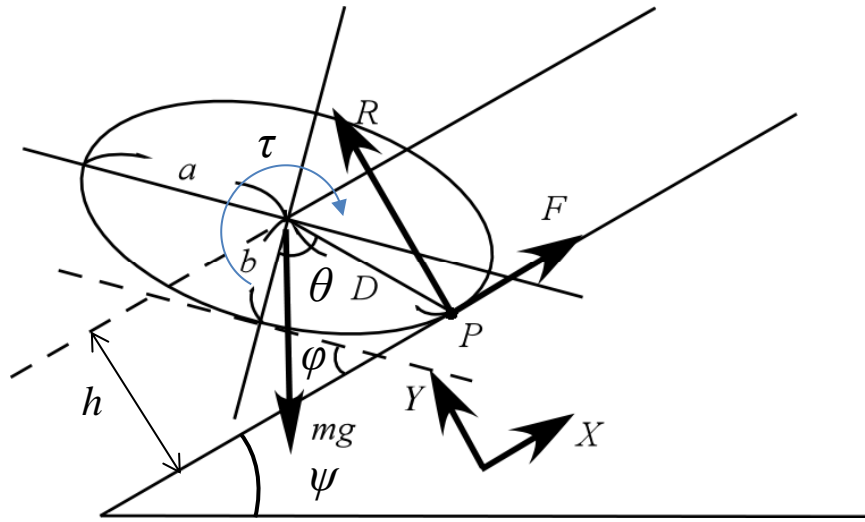


Fig.4.1 楕円の軌道

$x$  は楕円モデルの中心位置の横の変位を、 $y$  は縦の変位を表す。尚、楕円モデルと坂は共に剛体と仮定した。楕円モデルの寸法は  $a = 0.15\text{m}$ 、 $b = 0.1\text{m}$  とし、重力加速度は  $g = 9.80665\text{m/s}^2$  とした。以下にトルク算出の理論を示す。

楕円の公式から

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1$$

となり、 $\frac{x}{a} = X$ 、 $\frac{y}{b} = Y$  と仮定し、式(4.1)に代入すると  $X^2 + Y^2 = 1$  となる。

$X = \sin\theta$ 、 $Y = \cos\theta$ 、 $x = a\sin\theta$ 、 $y = b\cos\theta$  とすると接点から楕円モデルの中心との距離  $D$  は

$$D = \sqrt{(a\sin\theta)^2 + (b\cos\theta)^2} \quad (4.2)$$

となる。続いて、楕円の長径方向と坂からなる角度  $\varphi$  を求めるために楕円の接線の傾きを求める。

$\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1$  の両辺を  $x$  で微分すると、 $\frac{2x}{a^2} + \frac{2y}{b^2} \cdot \frac{dy}{dx} = 0$  となり、 $\frac{dy}{dx}$  について整理すると、

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{b^2 x}{a^2 y} \quad (4.3)$$

となる。よって、P 点での傾きは  $-\frac{b^2 x}{a^2 y}$  となる。傾きと  $\varphi$  の関係から  $\tan \varphi = \left| \frac{b}{a} \tan \theta \right|$  となり

$$\varphi = a \tan\left(\frac{b}{a} \tan \theta\right) \quad (4.4)$$

となる。楕円モデルの中心位置までの高さ  $h$  は

$$h = D \cos(\theta - \varphi) \quad (4.5)$$

となる。よって楕円モデルの中心位置の  $Y$  軸方向の変位は

$$y = h - b \quad (4.6)$$

となる。  $X$  方向の変位は角度と楕円の円周の関係式から求められる。

$$x = \int Dd\theta - D\sin(\theta - \varphi) \quad (4.7)$$

式(4.6)、式(4.7)の関係が楕円モデルの軌道となる。坂の角度  $\psi$  は楕円モデルの軌道の計算値と前章の実測結果の楕円モデルの軌道の差を求めることにより、楕円モデルのマットレスによる高さの変化を求めることができる。つまり「実測の軌道－解析の軌道＝マットレスの沈み込み量の変化」である。その沈み込み量の変化を  $\Delta y$  とする。さらにそれを瞬間の傾きにするために微分する。  $\Delta x$  は  $x$  の変化量である。坂の角度  $\psi$  は

$$\tan\psi = \frac{d\Delta y}{d\Delta x} \quad (4.8)$$

$$\psi = \text{atan} \left( \frac{d\Delta y}{d\Delta x} \right) \quad (4.9)$$

となる。そして、楕円モデルの  $X$  軸方向、  $Y$  軸方向、回転方向の運動方程式は、

$$I\ddot{\theta} = -Fh - RD\sin(\theta - \varphi) + \tau \quad (4.10)$$

$$m\ddot{x} = F - mg\sin\psi \quad (4.11)$$

$$m\ddot{y} = R - mg\cos\psi \quad (4.12)$$

となる。この運動方程式を  $\tau$  について解くことによって、運動方程式は  $\theta$  と  $\tau$  のみの関係式となる。エンコーダによりの楕円モデルの回転角度の実測値をもとに解析を始める。エンコーダの実測値から求めた回転角度を式(4.6)と式(4.7)に代入し、楕円の横の動きと縦の動き、つまり楕円の軌道を計算する。各マットレスの楕円の実測の軌道と計算で求めた軌道の高さの差を求め式(4.9)に代入し、楕円に対する坂の傾きを求める。そして式(4.6)と式(4.7)の二回微分をもとめ、これまでに計算した値をすべて式(4.10)、式(4.11)、式(4.12)の運動方程式に代入することによってそれぞれの条件のトルクが求められる。計算は Matlab を用いて処理した。  $I$  は楕円モデルの慣性モーメント  $\frac{m(a^2+b^2)}{4}$  を示す。

## 4.2 解析結果と考察

木の板で楕円モデル質量8kgの場合の実験結果を Fig.4.2 に、質量10kgの場合の実験結果を Fig.4.3 に、質量12kgの場合の実験結果を Fig.4.4 に、質量14kgの場合の実験結果を Fig.4.5 に示す。スプリングマットレスで楕円モデル質量8kgの場合の実験結果を Fig.4.6 に、質量10kgの場合の実験結果を Fig.4.7 に、質量12kgの場合の実験結果を Fig.4.8 に、質量14kgの場合の実験結果を Fig.4.9 に示す。低反発マットレスで楕円モデル質量8kgの場合の実験結果を Fig.4.10 に、質量10kgの場合の実験結果を Fig.4.11 に、質量12kgの場合の実験結果を Fig.4.12 に、質量14kgの場合の実験結果を Fig.4.13 に示す。樹脂弾性体マットレスで楕円モデル質量8kgの場合の実験結果を Fig.4.14 に、質量10kgの場合の実験結果を Fig.4.15 に、質量12kgの場合の実験結果を Fig.4.16 に、質量14kgの場合の実験結果を Fig.4.17 に示す。すべての図において、緑の実線(i)が実測結果、青の実線(ii)が解析結果を示す。(a)は各マットレスや楕円モデルの質量の場合の各回転角度の実験結果であり、縦軸は楕円モデルの回転角度(deg)、横軸は時間(sec)を示す。(b)は各マットレスや楕円モデルの質量の場合の各楕円モデルの軌道の実験結果であり、縦軸は楕円の高さの変位(mm)、横軸は楕円の進行方向の変位(mm)を示す。(c)は各マットレスや楕円モデルの質量の場合の各坂の傾斜角度の実験結果であり、縦軸は坂の傾き(deg)、横軸は楕円の進行方向の変位(mm)を示す。(d)は各マットレスや楕円モデルの質量の場合の各トルクの実験結果であり、縦軸は楕円のトルク(N・m)、横軸は楕円の進行方向の変位(mm)を示す。一部例外はあるものの、グラフの(a)に注目すると楕円モデルの回転角度はほぼ同じ時間に90度になっていることから、パワーモータは負荷をかけても一定速度で回転するという特性が確認できた。

木の板の実験結果である Fig.4.2～Fig.4.5 の(b)の楕円の高さ変化を見ると実測結果と解析結果がほぼ同じ軌道であることがわかる。解析は楕円とマットレスが共に剛体であると仮定してあるので、もっとも剛体に近い木の板の軌道に似ている点においてこの解析方法は楕円の軌道を再現できたといえる。(c)の角度変化を見るとほかのマットレスに比べかなり坂の傾斜角の変化幅が大きい傾向にある。これは木の板と楕円モデルが固いので、楕円モデルの軌道である Fig.4.4(b)の進行方向変位20～60mmの(i)などを見ればわかるように波打ちが見られることが原因と考えられる。(d)のトルクの結果をみると、坂の傾斜角度が上昇すればトルクが上昇し、坂の傾斜角度が下降すればトルクが



小さくなる傾向がある。楕円の軌道のトルクの変化特性への影響力の大きさがうかがえる。トルクの変化幅を少なくするためには楕円の高さ変化の脈動を無くし、なめらかに回転させる必要があると考えられる。次に、スプリングマットレスの実験結果である Fig.4.6～Fig.4.9 の(b)の楕円モデルの軌道を見るとやはり実測結果と解析結果がほぼ同じ軌道であった。さらに木の板の実験結果(b)に比べ、楕円の高さ変化の脈動が少なくなめらかに上昇していることから解析結果の軌道に近いと言える。(c)を見ると(b)の楕円モデルの軌道の高さ変化の脈動がなくなめらかになっていることから坂の傾斜角度の変化幅が少なくなっている。(d)のトルクの結果を見るとやはり坂の傾斜角度変化によるトルクの変化幅が少なく、変位トルクによる変化特性が実験結果と解析結果がかなり近くなっている。さらに、低反発マットレスの実験結果である Fig.4.10～Fig.4.13 の(b)の楕円モデルの高さ変化を見ると Fig.4.13 を除き、実測結果が解析結果よりかなり大きいことがわかる。解析は楕円モデルの実測の回転角度から計算しとめた値であるが、その際のマットレスの沈み込み量の変化による楕円モデルの軌道の高さ変化は考慮していないことが原因である。一方、実測は低反発マットレスの影響を受け、楕円モデルが最初沈み込み初期位置よりも高い位置に上昇している傾向にあるためかなり軌道が高くなっていることがわかる。(c)を見るとほかのマットレスの実験結果に比べかなり坂の傾斜角度の変化幅が少ない。軌道の高さの差はあるが差ごとの変化がかなり少ないことからこの結果がでたと考えられる。このことから低反発マットレスがもっともやわらかく、楕円モデルのなめらかな回転を実現させていることが考えられる。(d)のトルクの結果を見ると実測結果と解析結果とのトルクの大きさの差がかなり大きい傾向にある。軌道の差による坂の傾斜角度の変化が少ないが誤差がかなり生じていることから、軌道の違いによる坂の傾斜角度変化の影響以外にもトルクの大きさに影響を持つ要素があることが考えられる。Fig.4.13 の(b)を見ると軌道は波打ちがかなり見られ、あらい上がり方をしていることがわかる。その影響を受け(c)においてかなり坂の傾斜角度の変化幅が大きくなっている。(d)のトルク変化をみると実測結果と解析結果の両方が一定なトルクで回転するといった傾向になっていることがわかる。これはパワーモータの限界トルクを超えた実験結果となった可能性がある。樹脂弾性体低反発マットレスの実験結果である Fig.4.14～Fig.4.17 の(b)を見ると楕円の軌道が実測結果に比べ解析結果がかなり低い傾向にあることがわかる。そして上昇の仕方ももっとも変化の脈動がなくなめらかに上昇している。(c)を見ると(b)の楕円モデルのなめらかな上昇の影響からもっとも坂の傾斜角度の変化幅が少なくなっている。(d)のトルクの結果を見る

と脈動がなくなめらかなトルクであり、低反発マットレスと同様に一定のトルクで回転しやすいマットレスであると考えられる。

例外はあるものの、実験結果全体を通して楕円モデルの軌道の脈動が大きいとトルクの変化がかなり大きくなっていることがわかる。これにより、楕円モデルの軌道によるトルクの変化特性への影響力の大きさがうかがえる。しかし、トルクに関して実測結果と解析結果が変化特性は似ているものの大きさには主に楕円の転がり始めにかなり誤差がある。最も誤差が大きいのが低反発マットレスであり、樹脂弾性体マットレス、スプリングマットレス、木の板の順である。これらからマットレスの材質がやわらかいものほど誤差が大きいと言える。これは楕円モデルが回転する際に、軌道自体は同じであってもやわらかいものを潰しながら回転する際に力が必要になっていることが考えられ、軌道の違いによる坂の傾斜角度変化の影響以外にもトルクの大きさに影響を持つ要素があることが考えられる。トルクを解析するためにはこの要素を検証する必要がある。

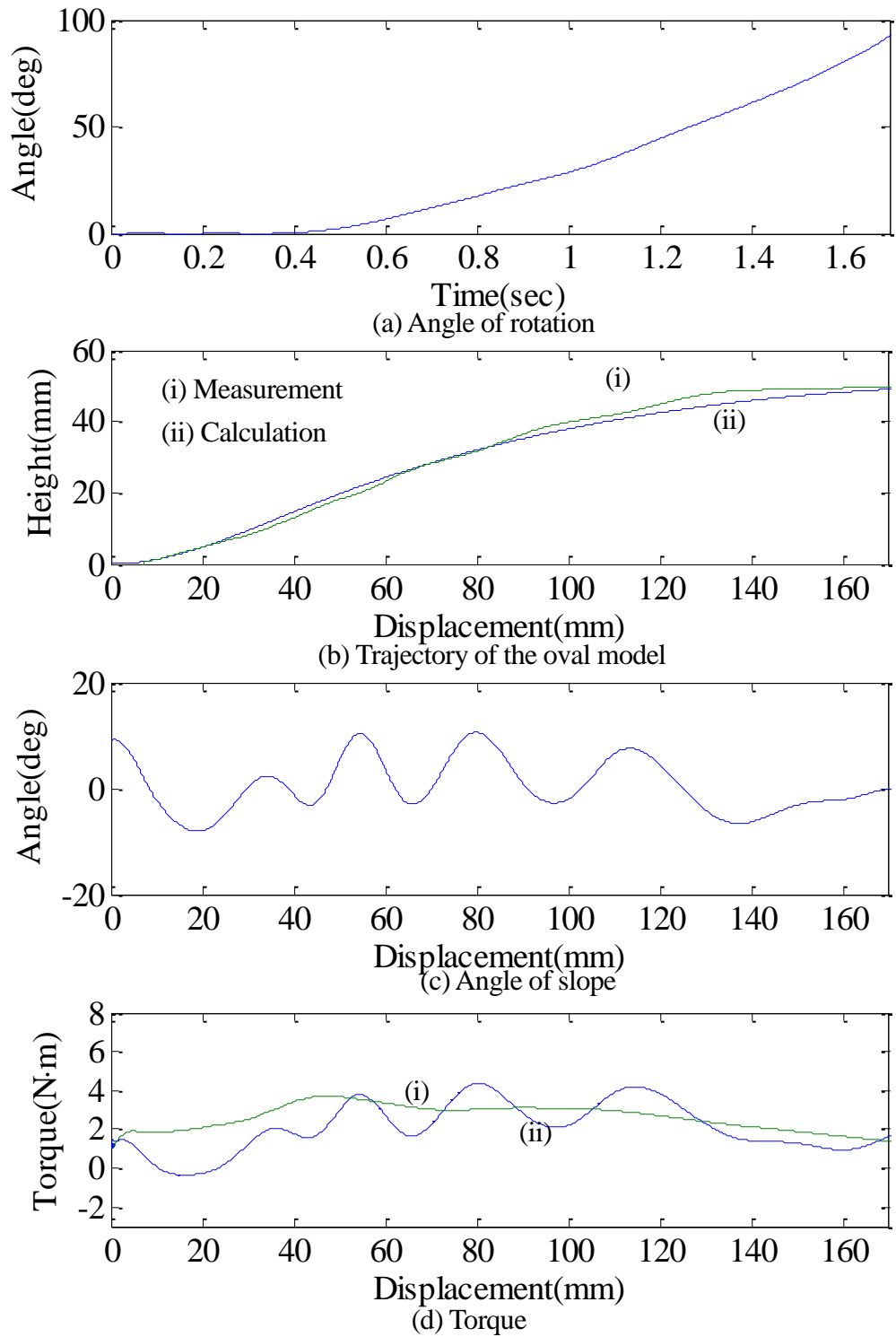


Fig.4.2 木の板（楕円モデル質量 8kg）

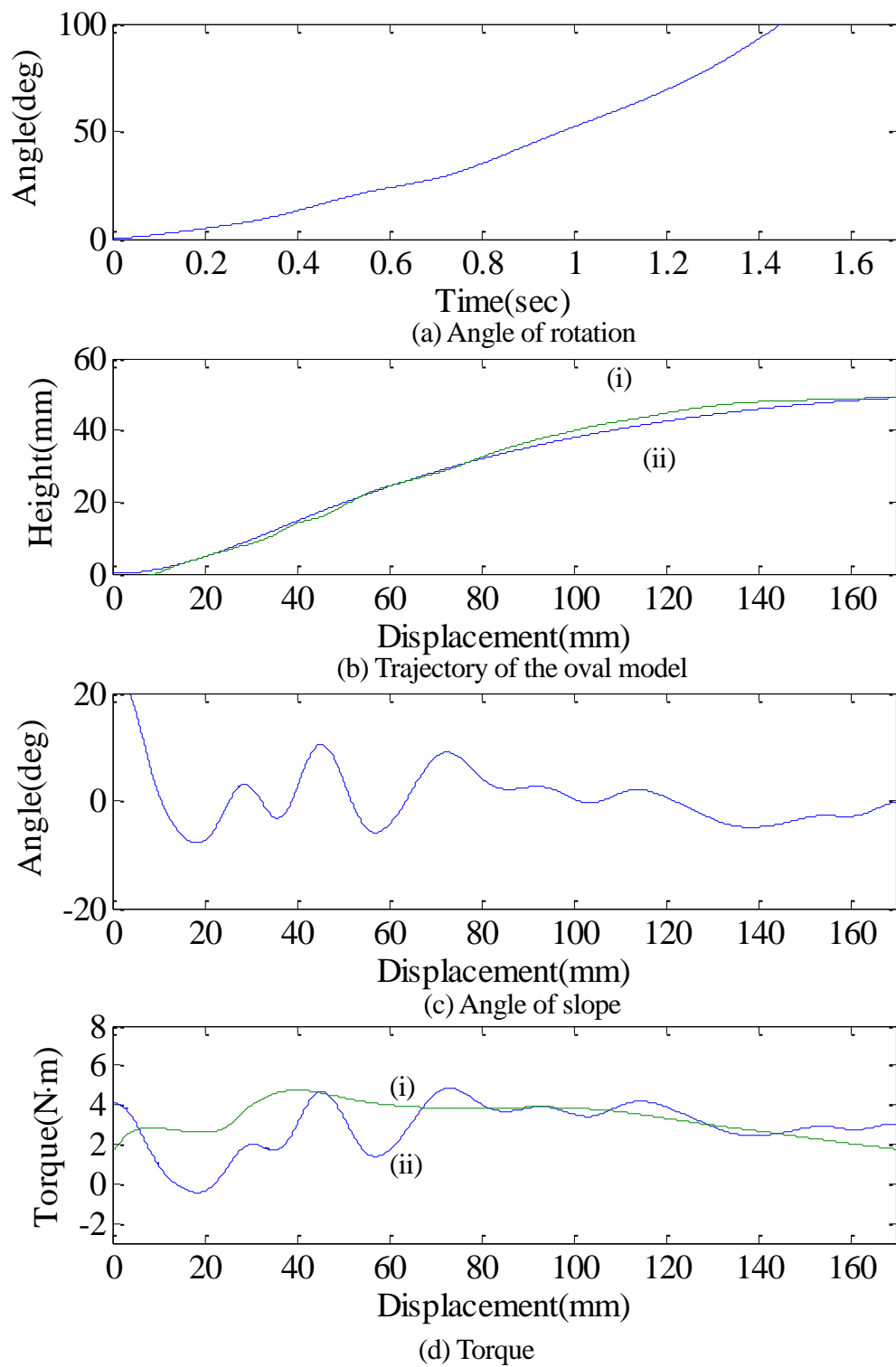


Fig.4.3 木の板（楕円モデル質量 10kg）

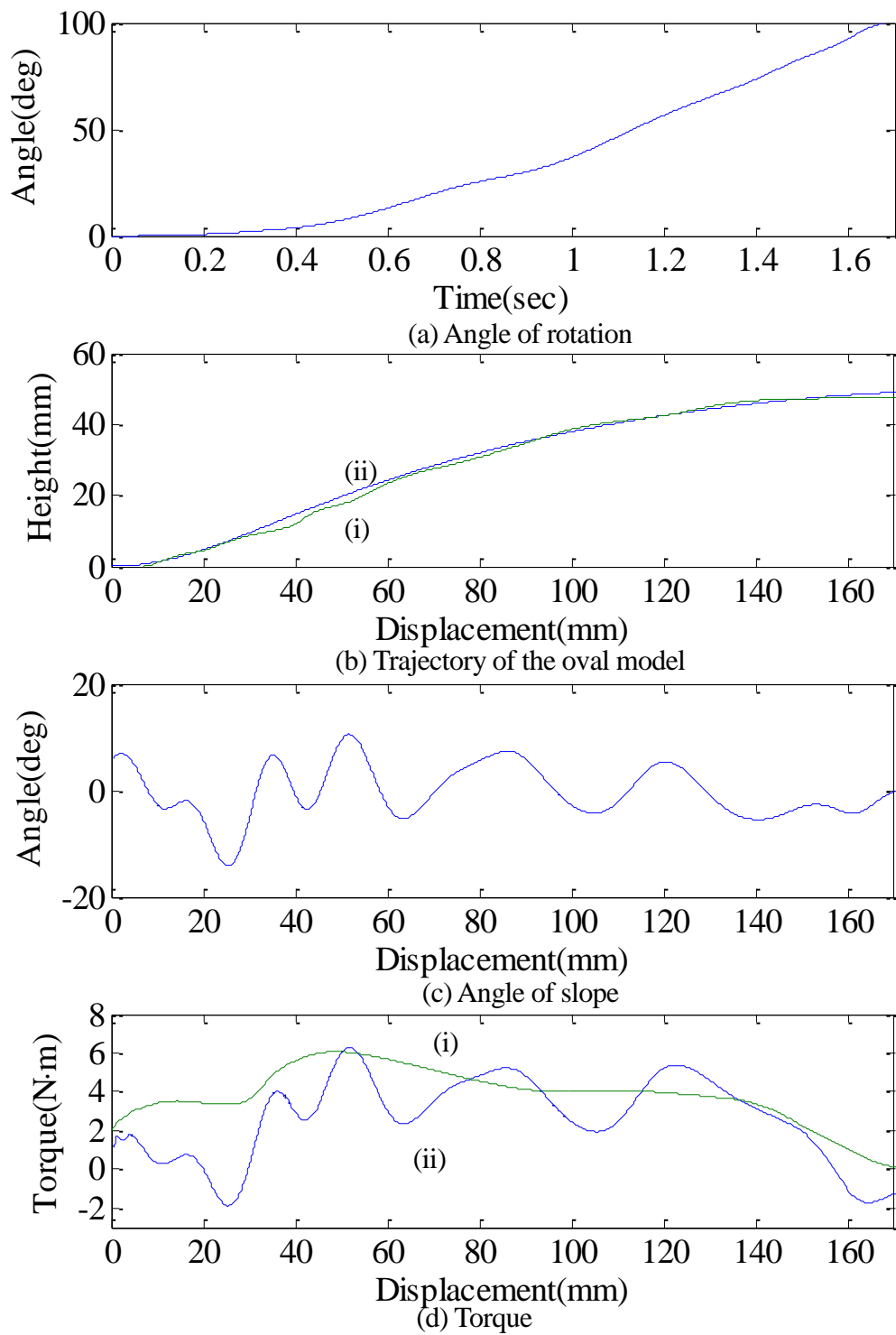


Fig.4.4 木の板（楕円モデルの質量 12kg）

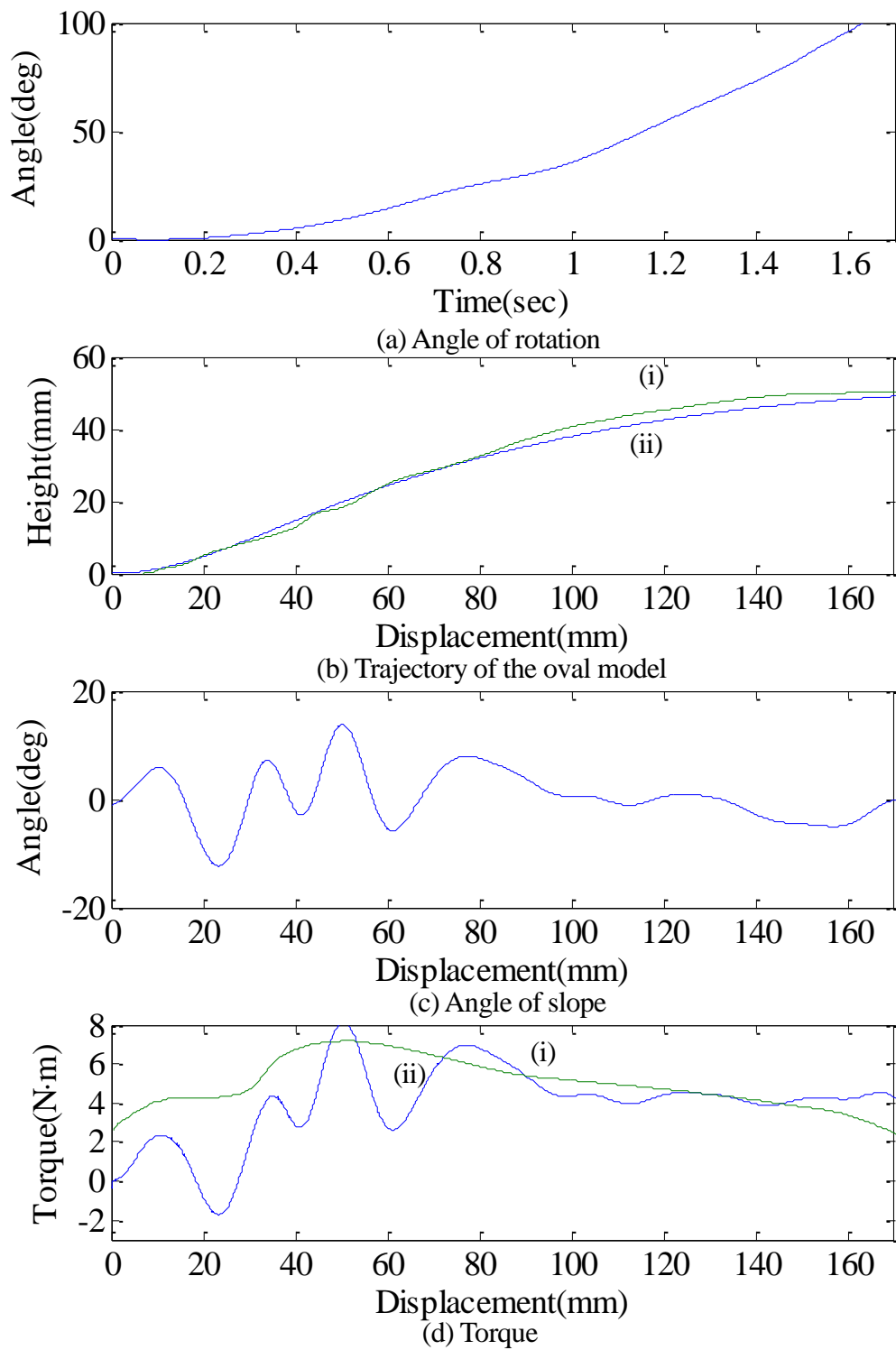


Fig.4.5 木の板（楕円モデル質量 14kg）

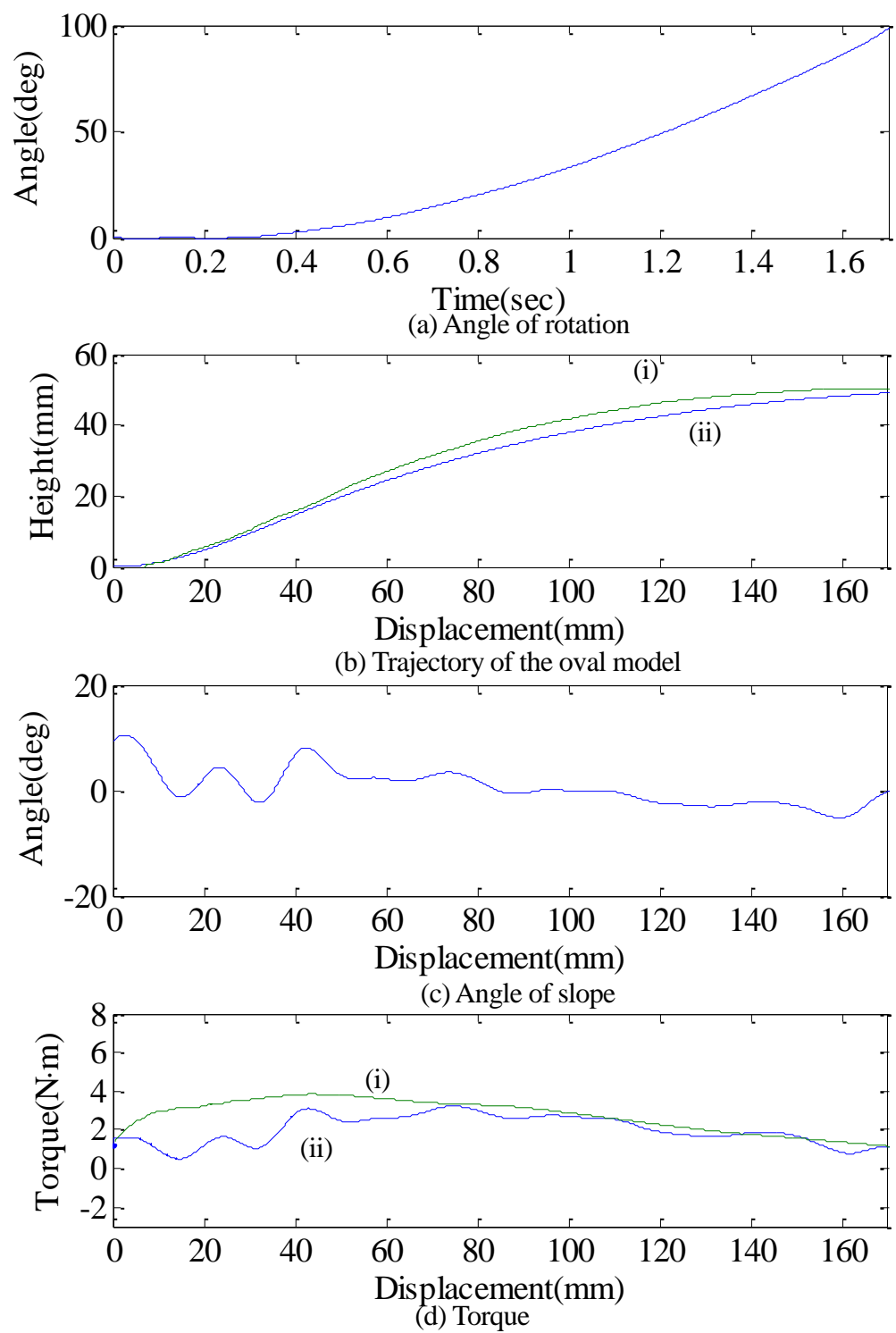


Fig.4.6 スプリングマットレス（楕円モデル質量 8kg）

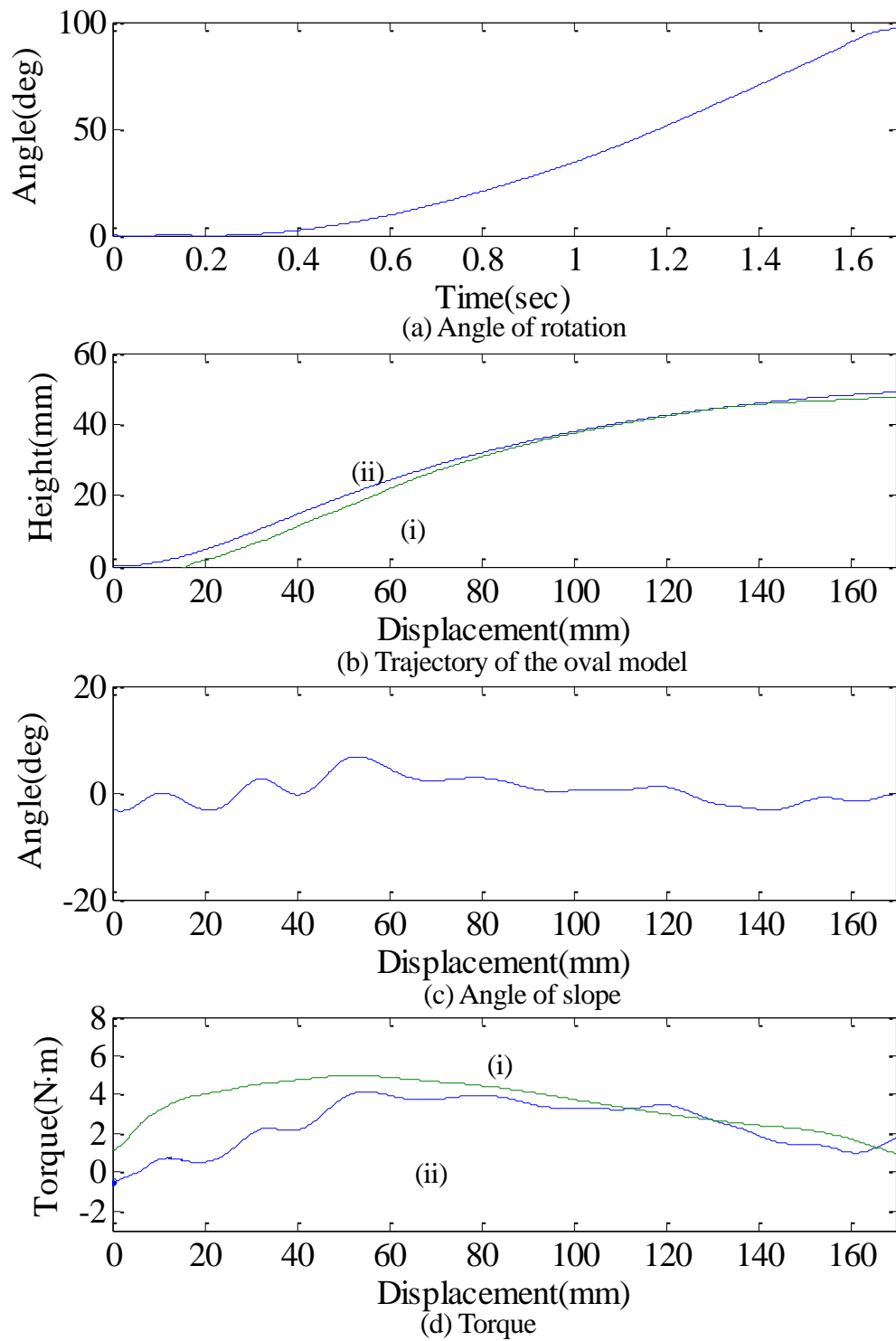


Fig.4.7 スプリングマットレス（楕円モデル質量 10kg）



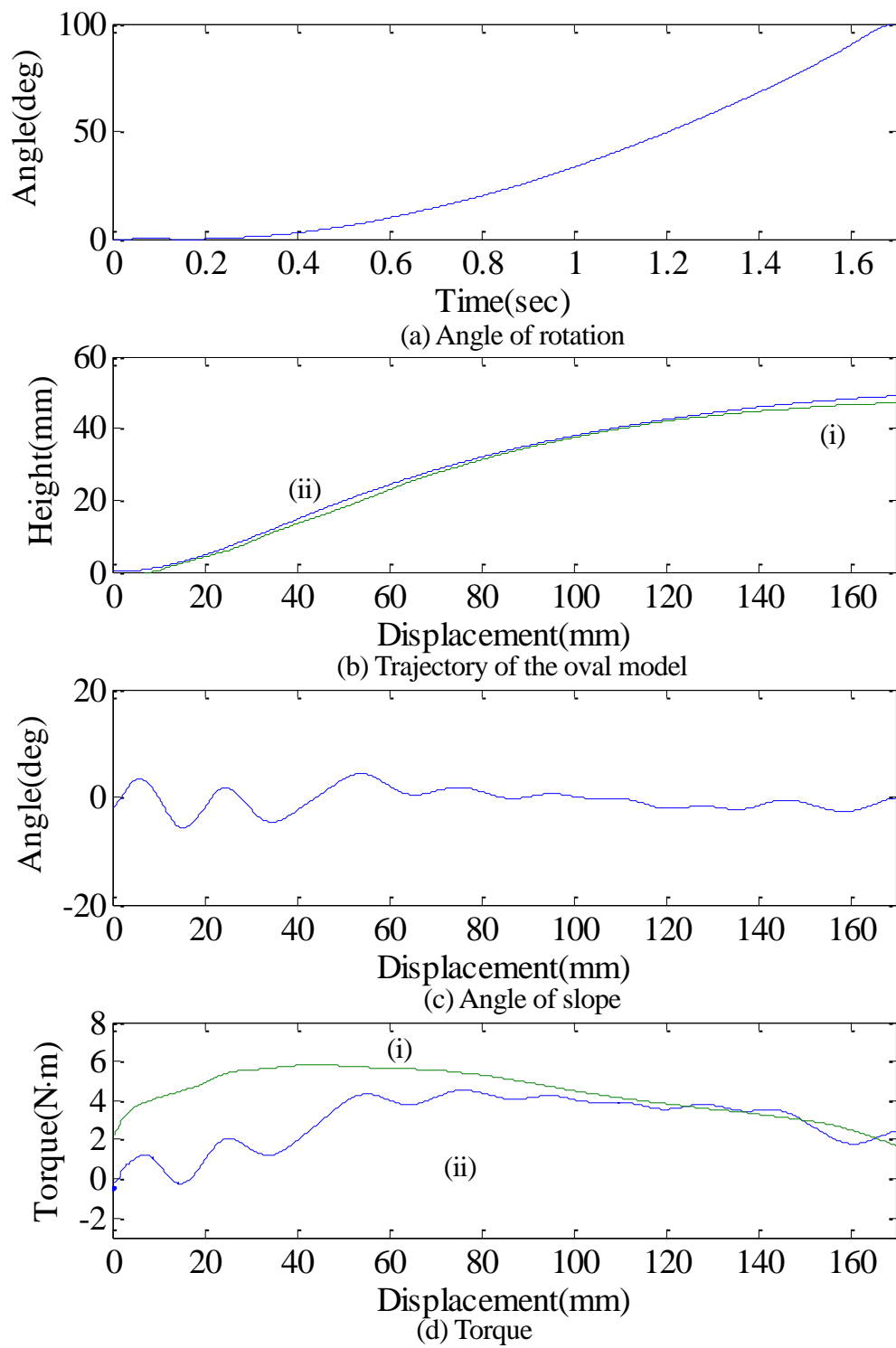


Fig.4.8 スプリングマットレス (楕円モデル質量 12kg)

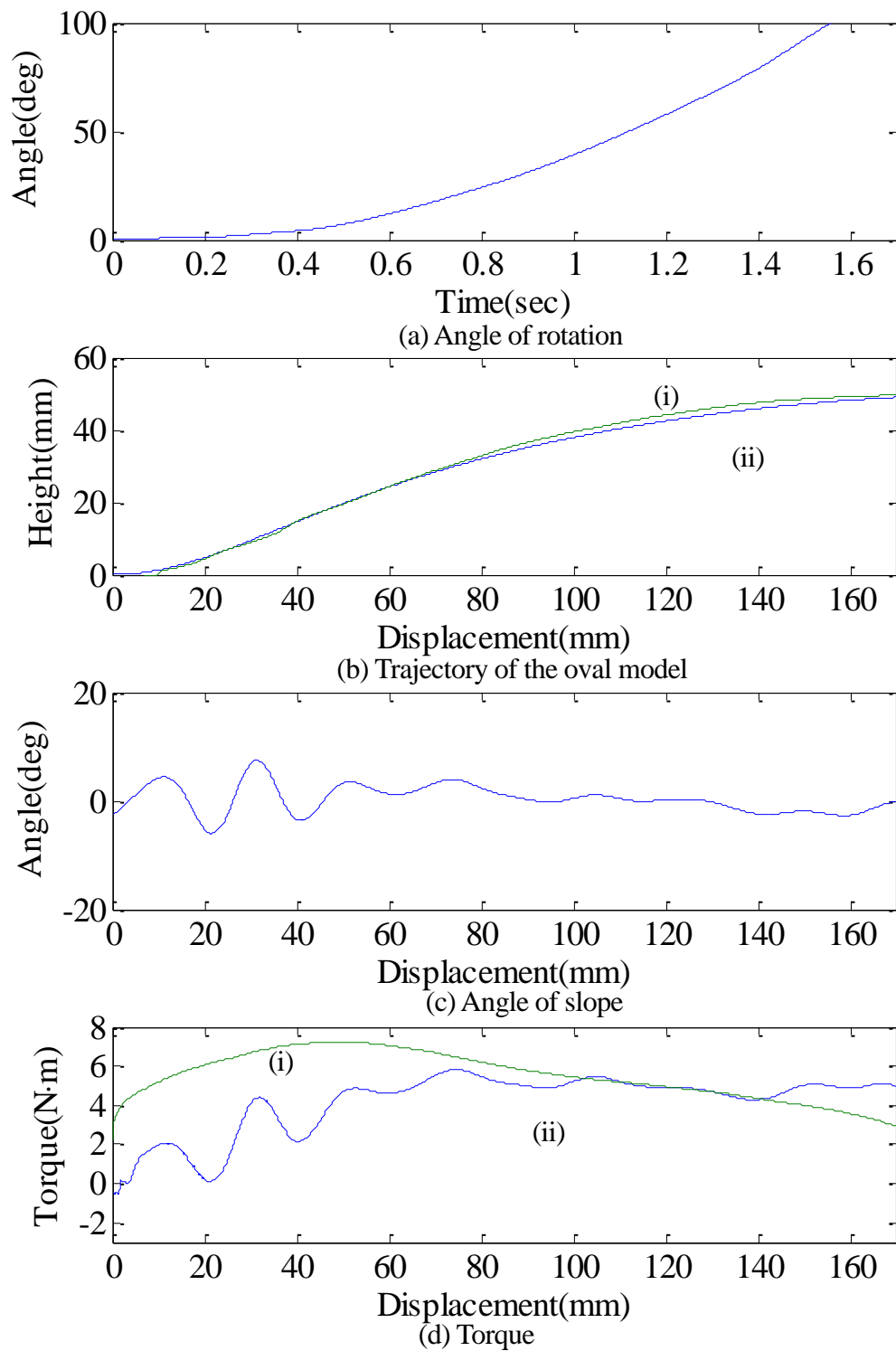


Fig.4.9 スプリングマットレス（楕円モデル質量 14kg）

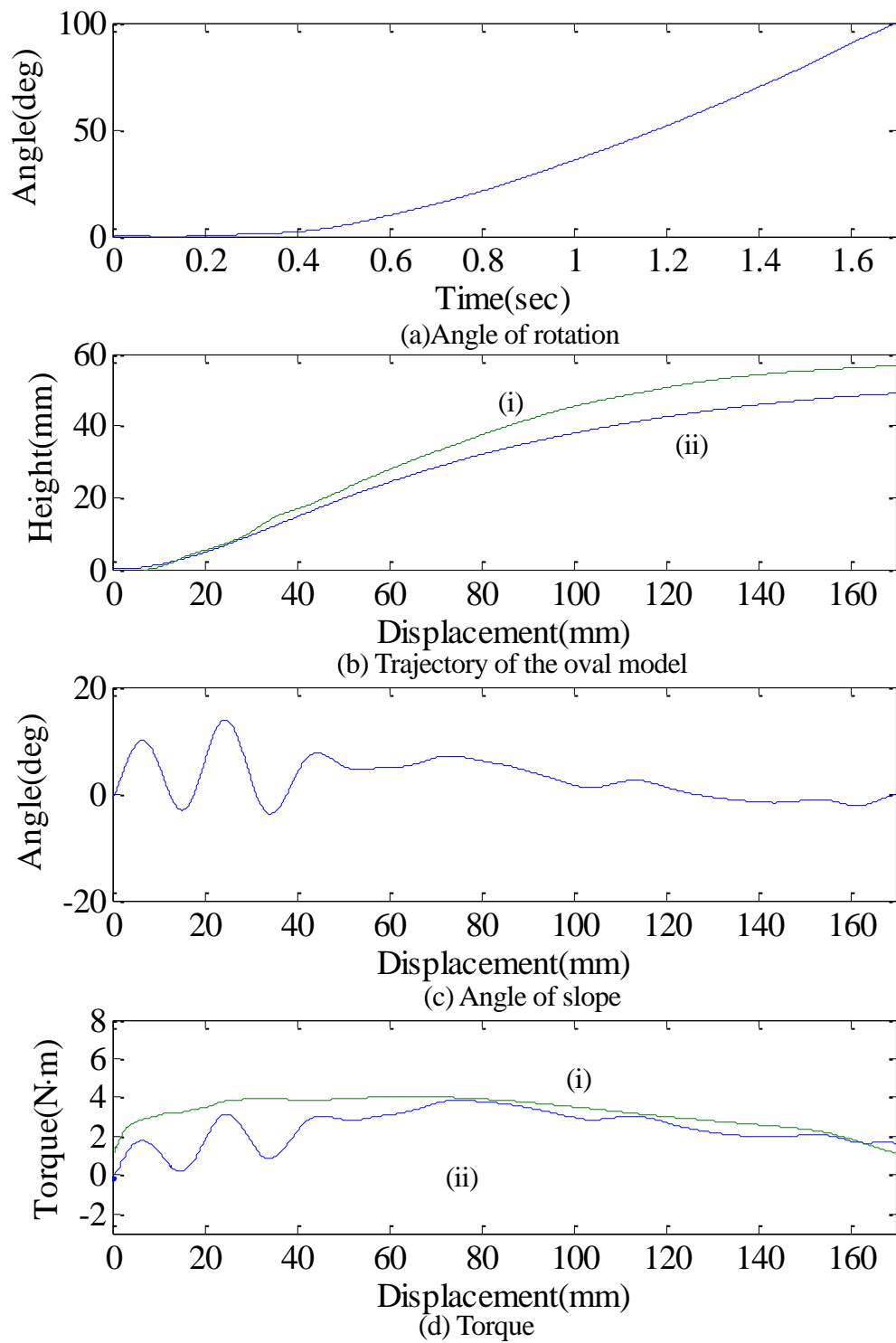


Fig.4.10 低反発マットレス（楕円モデル質量 8kg）

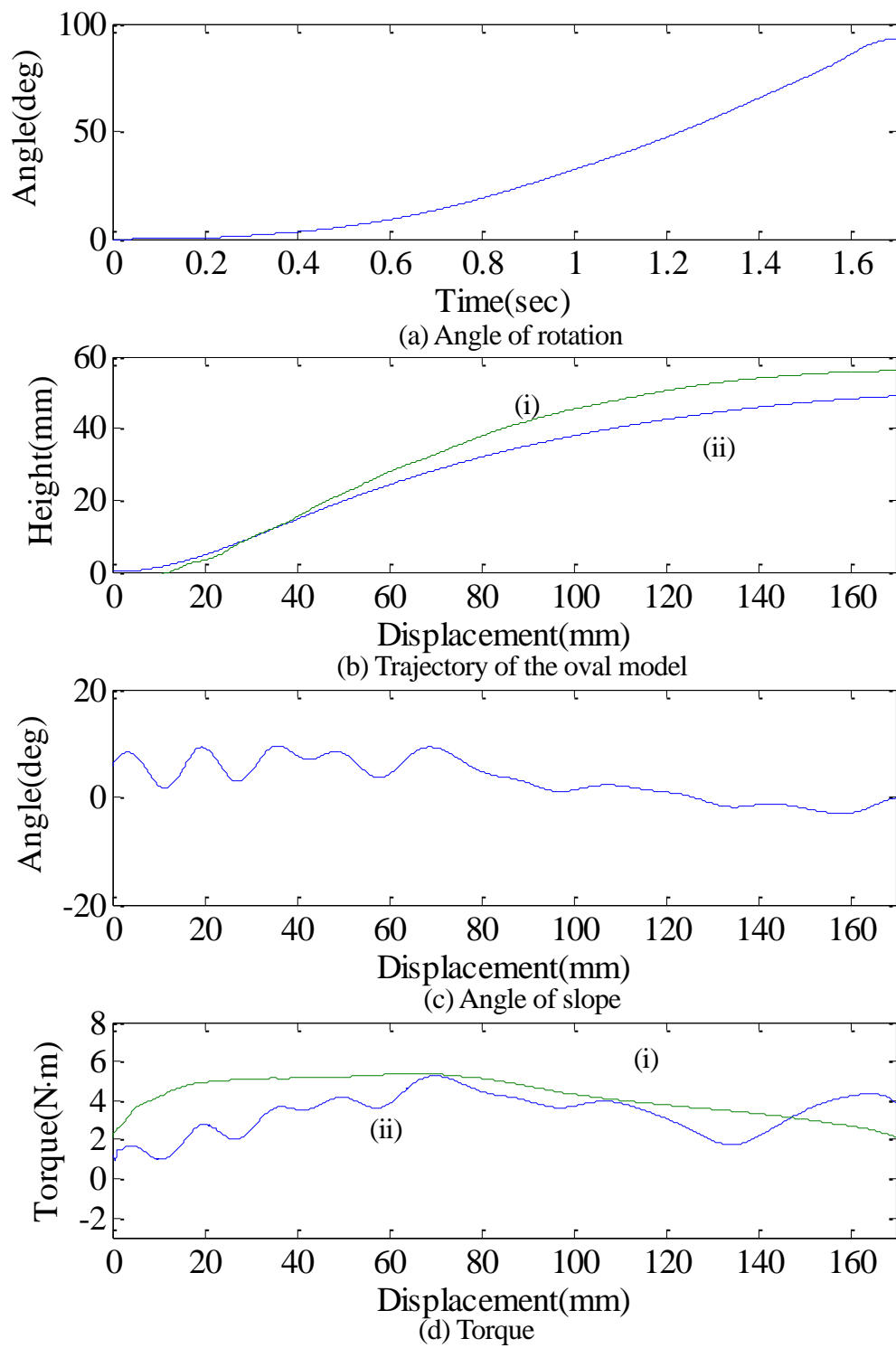


Fig.4.11 低反発マットレス（楕円モデル質量 10kg）

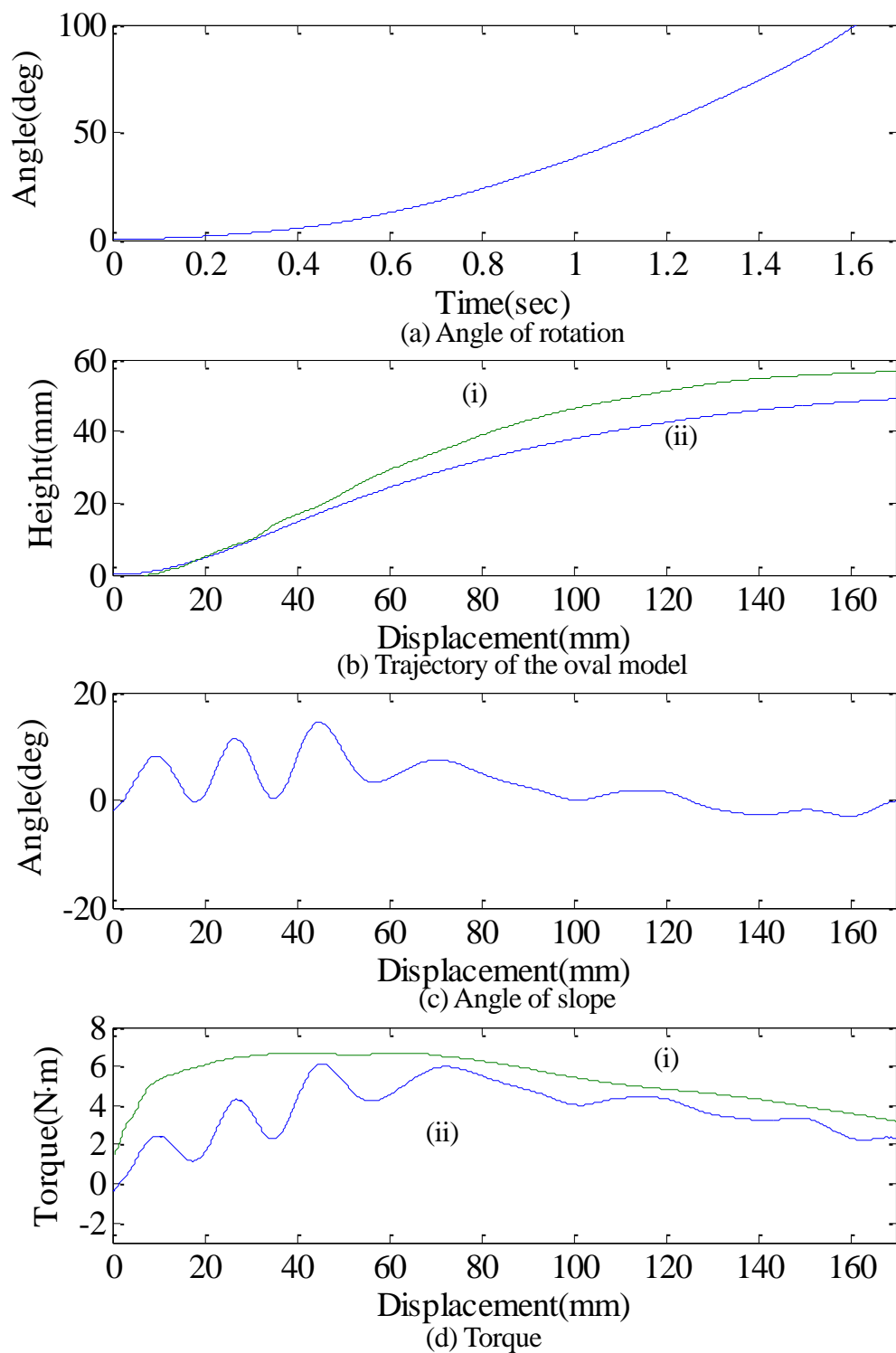


Fig.4.12 低反発マットレス（楕円モデル質量 12kg）

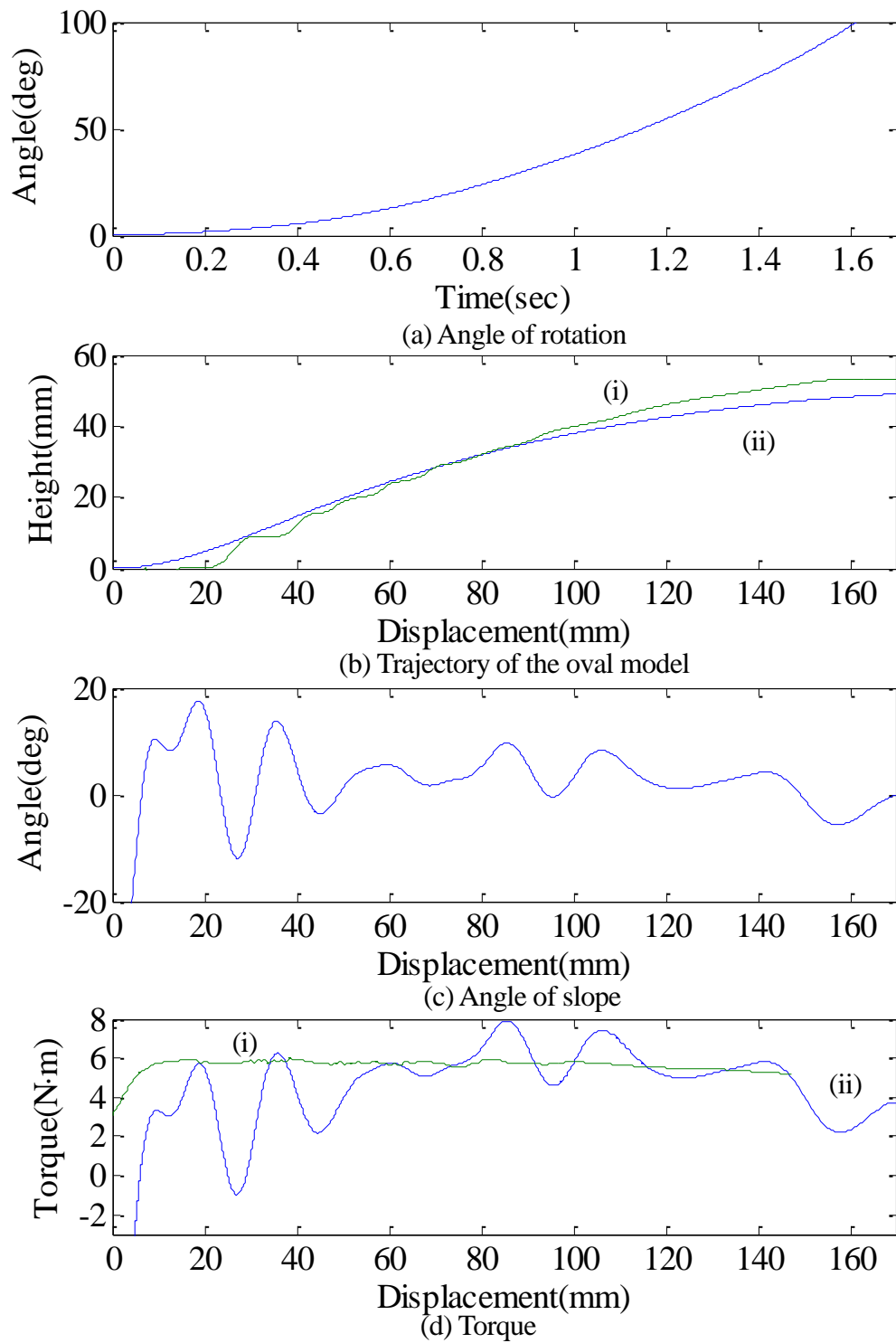


Fig.4.13 低反発マットレス（楕円モデル質量 14kg）

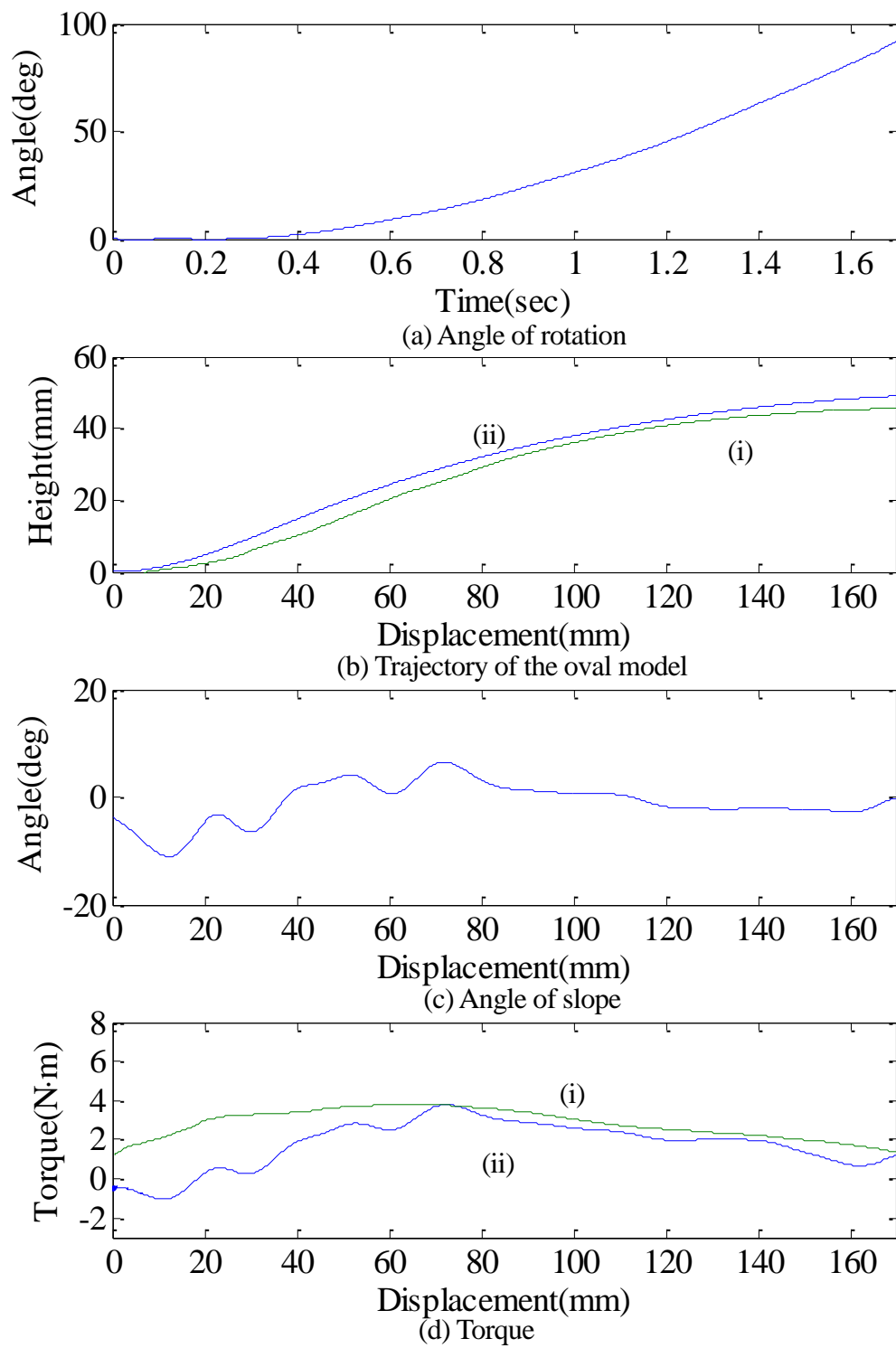


Fig.4.14 樹脂弾性体マットレス（楕円モデル質量 8kg）

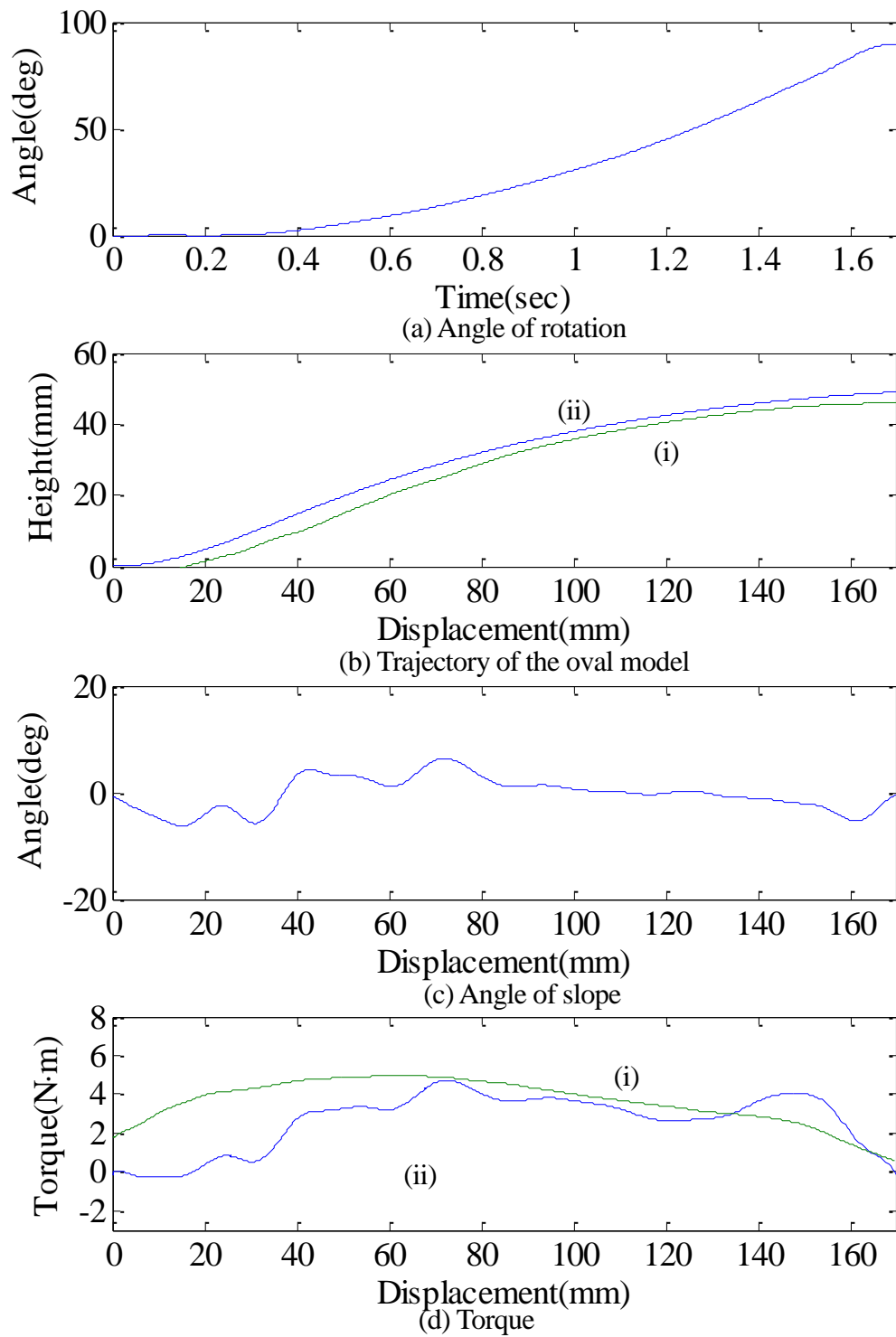


Fig.4.15 樹脂弾性体マットレス（楕円モデル質量 10kg）



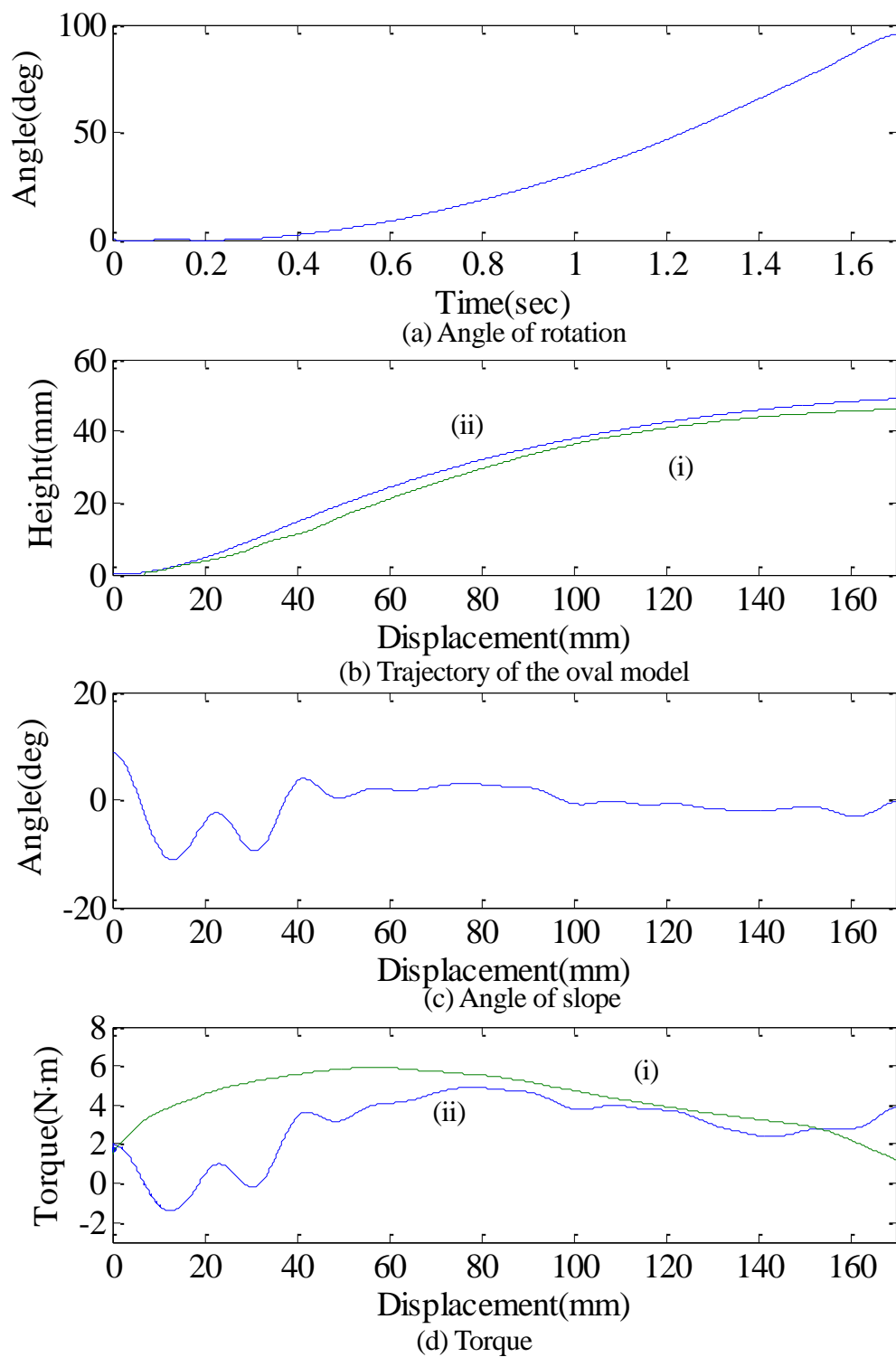


Fig.4.16 樹脂弾性体マットレス（楕円モデル質量 12kg）

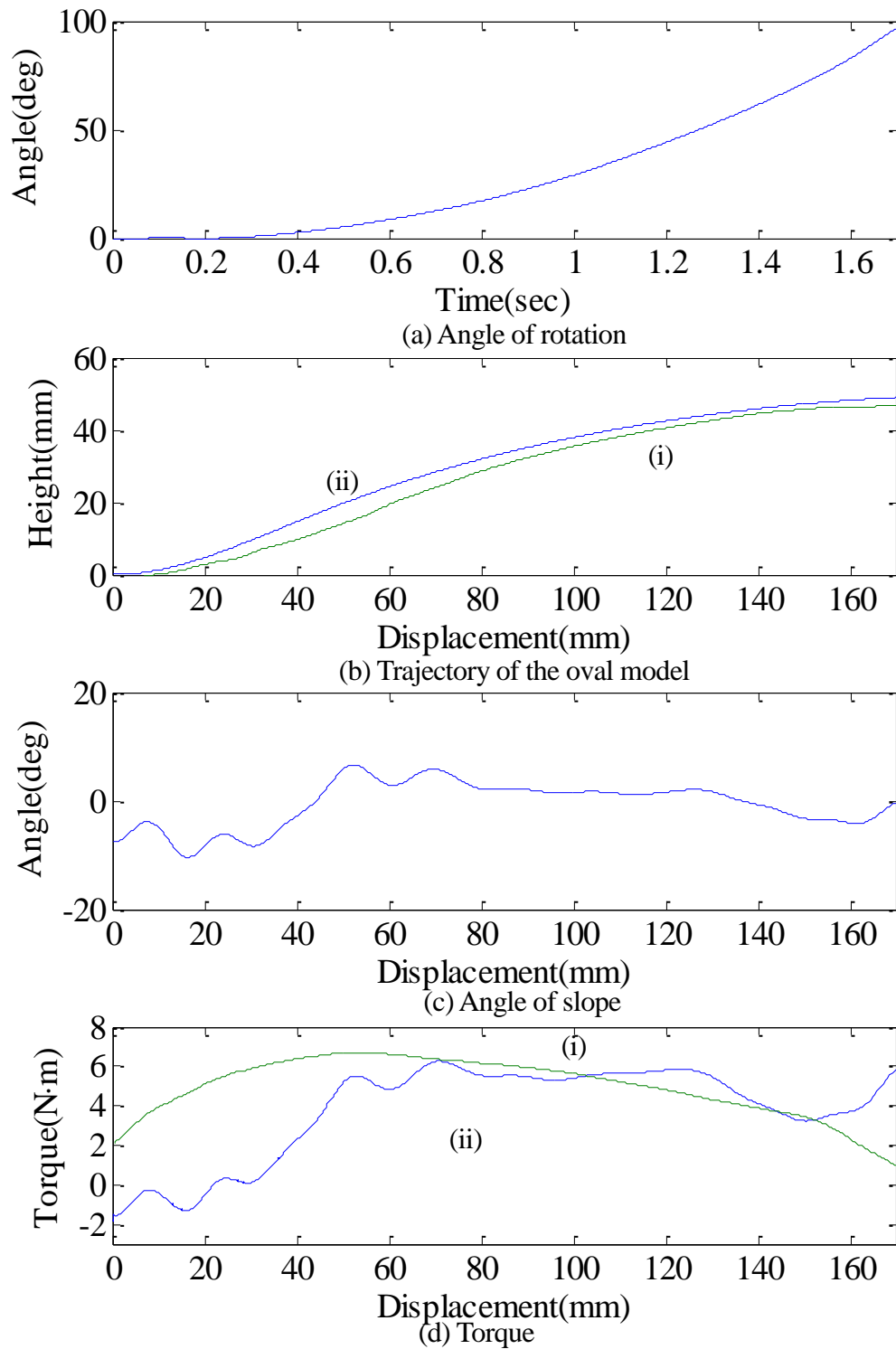


Fig.4.17 樹枝弾性体マットレス（楕円モデル質量 14kg）

## 第 5 章

# マットレスからの押しつぶし反力を考慮した 力学的解析方法と解析結果

本章では、前章の楕円モデルの動きを再現したシミュレーションに、回転の際マットレスを押しつぶす力を追加考慮したシミュレーションの解析方法と解析結果について述べる。前章で楕円モデルが回転する際に、軌道自体は同じであってもやわらかいものを潰しながら回転する際に力が必要であることが考えられた。この力の影響力の大きさについて、考察を行う。

### 5.1 解析方法

前章と同様に、楕円モデルの重心位置が上昇し、楕円モデルが瞬間に坂の傾斜角度が変化する坂に登っている運動になっていると仮定する。さらに楕円モデルと坂の接点  $P$  から少し先に  $Q$  点を定め、そこからマットレスを押しつぶすために反力  $K$  がかけると仮定する。そして実測と解析結果の誤差を埋める  $K$  の値を計算し、軌道の変化以外のトルクへの影響要因を探る。Fig.5.1 に楕円モデルがマットレスの上を転がりながら上方向に登っていく様子を示す。楕円モデルの中心位置の初期位置を原点とする。 $a$  は楕円モデルの長径、 $b$  は楕円モデルの短径、 $\theta$  は楕円モデルの回転角度、 $D$  は楕円モデルの中心から接点の距離、 $P$  は接点、 $Q$  は押しつぶしによる反力  $K$  がかかる点を示す。 $h$  は楕円モデルの中心位置の高さ、 $m$  は楕円モデルの質量、 $g$  は重力加速度、 $X$  は坂の角度、 $\varphi$  は坂と楕円の長径方向との角度、 $R$  は反力、 $F$  は摩擦力、 $\tau$  は楕円モデルのトルクを示す。 $x$  は楕円モデル

ルの中心位置の横の変位を,  $y$  は縦の変位を表す. 尚, 楕円モデルと坂は共に剛体と仮定した.  $a = 0.15\text{m}$ ,  $b = 0.1\text{m}$ ,  $g = 9.80665\text{m/s}^2$ である.  $D$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $\phi$ ,  $\psi$  の求め方は前章と同じである.

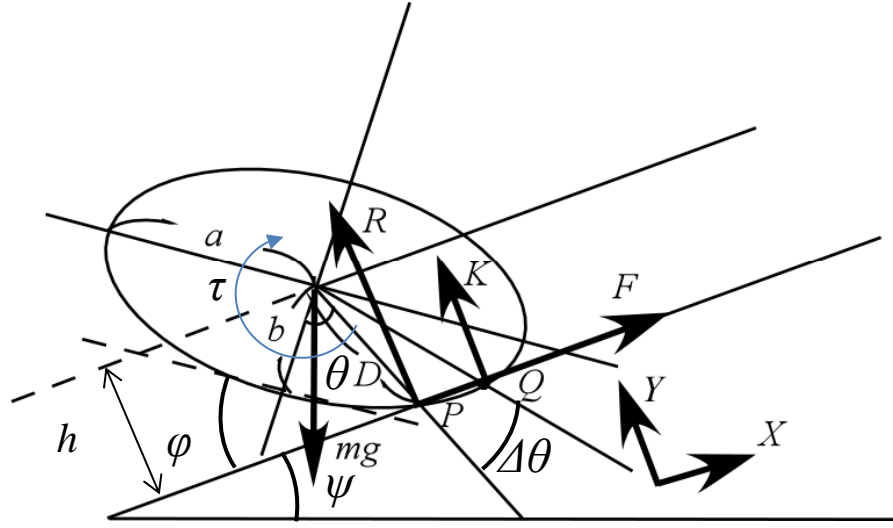


Fig.5.1 楕円の軌道

楕円モデルが押しつぶすマットレスの多くは接点より先の部分になると考えられる. マットレスからの反力  $K$  は回転角度  $\theta$  より  $\Delta\theta$  進んだ点  $Q$  にかかるとする. そして  $K$  は一点に集中するものと仮定する. 押しつぶす力が接点と楕円モデルの長径方向との角度の中間にかかると仮定し  $\Delta\theta$  は

$$\Delta\theta = \frac{\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)}{2} \quad (5.1)$$

となる. そして楕円モデルの  $X$  軸方向,  $Y$  軸方向, 回転方向の運動方程式は

$$I\ddot{\theta} = -Fh - RD\sin(\theta - \phi) + \tau - KD\sin(\theta + \nabla\theta - \phi) \quad (5.2)$$

$$m\ddot{x} = F - mg\sin\psi \quad (5.3)$$

$$m\ddot{y} = R - mg\cos\psi + K \quad (5.4)$$

となる. 前章と同じように求めた値を式(5.2), 式(5.3), 式(5.4)に代入していき, トルクを計算する.  $K$  の値は前章のトルクのグラフの外形をみて定める. そして  $K$  の値によって誤差がどの程度縮まるか確認するために  $K$  の値のみによるトルクの大きさ  $\tau_k$  を計算する.  $\tau_k$  は

$$\tau_k = -KD\sin(\theta - \phi) + KD\sin(\theta + \nabla\theta - \phi) \quad (5.5)$$

となる.

## 5.2 解析結果と考察

木の板で楕円モデル質量 8kg,  $K=2\text{N}$  の場合の実験結果を Fig.5.2 に, 質量 10kg,  $K=2\text{N}$  の場合の実験結果を Fig.5.3 に, 質量 12kg,  $K=2\text{N}$  の場合の実験結果を Fig.5.4 に, 質量 14kg,  $K=2\text{N}$  の場合の実験結果を Fig.5.5 に示す. スプリングマットレスで楕円モデル質量 8kg,  $K=5\text{N}$  の場合の実験結果を Fig.5.6 に, 質量 10kg,  $K=10\text{N}$  の場合の実験結果を Fig.5.7 に, 質量 12kg,  $K=25\text{N}$  の場合の実験結果を Fig.5.8 に, 質量 14kg,  $K=25\text{N}$  の場合の実験結果を Fig.5.9 に示す. 低反発マットレスで楕円モデル質量 8kg,  $K=20\text{N}$  の場合の実験結果を Fig.5.10 に, 質量 10kg,  $K=30\text{N}$  の場合の実験結果を Fig.5.11 に, 質量 12kg,  $K=35\text{N}$  の場合の実験結果を Fig.5.12 に, 質量 14kg,  $K=2\text{N}$  の場合の実験結果を Fig.5.13 に示す. 樹脂弾性体マットレスで楕円モデル質量 8kg,  $K=5\text{N}$  の場合の実験結果を Fig.5.14 に, 質量 10kg,  $K=10\text{N}$  の場合の実験結果を Fig.5.15 に, 質量 12kg,  $K=25\text{N}$  の場合の実験結果を Fig.5.16 に, 質量 14kg,  $K=25\text{N}$  の場合の実験結果を Fig.5.17 に示す. すべての図において, 緑の実線(i)が実測結果, 青の実線(ii)が解析結果を示す. (a)はトルクの解析結果と実測結果であり, 縦軸は楕円のトルク( $\text{N} \cdot \text{m}$ ), 横軸は楕円の進行方向の変位(mm)を示す. (b)は式(5.5)に示す,  $K$  の値にのみ影響するトルク  $\tau_k$ の解析結果を示す. 縦軸は楕円のトルク( $\text{N} \cdot \text{m}$ ), 横軸は楕円の進行方向の変位(mm)を示す.

木の板の実験結果である Fig.5.2～Fig.5.5 の(a)のトルクの大きさを見ると小さい  $K$  の値で実測トルクと解析トルクの大きさが近い傾向にある. しかし, トルクの変化幅が大きい傾向にある木の板において  $K$  の値ではトルクの大きさは変わるが変化特性にあまり影響しないことがわかる. スプリングマットレスの実験結果である Fig.5.6～Fig.5.9 の(a)を見ると木の板に比べ大きい  $K$  が必要になっているものの変化特性, トルクの大きさともに近い傾向にある. やはり木の板に比べスプリングマットレスがやわらかいので木の板よりも潰す部分が多くなっているため反力が多くかかることが原因と考えられる. 低反発マットレスの実験結果である Fig.5.10～Fig.5.13 の(a)のトルクの大きさを見ると Fig.5.13 を除き, 実測結果が解析結果に近いことがわかる. そして低反発マットレスは最も大きく  $K$  の値が必要になった. 低反発マットレスはもっともやわらかく楕円モデルがめりこむ部分が最も多く, 押しつぶしによるマットレスからの反力が大きくなることが原因と考えられる. 樹脂弾性体マットレスの実験結果である Fig.5.14～Fig.5.17 の(a)のトルクの大きさを見るとすべての

マットレスの中で実測結果と解析結果にもっとも近いことがわかる。 $K$ の値はスプリングマットレスと同じような値であった。硬さといった点においてスプリングマットレスと樹枝弾性体マットレスはかなり近い。実測結果と解析結果ともにスプリングマットレスと樹脂弾性体マットレスが似ていることから、二つは性質の近いマットレスであることがわかる。すべての(b)のグラフをみると  $\tau k$  はほぼ直線的なグラフとなっており、解析においてトルクの変化特性に対する影響力が少ないことがわかる。このように誤差を埋めるために、楕円がマットレスを押しつぶすことによる反力を考慮した解析を行ったが変化特性に違いがでている。原因の一つとして、今回の解析では楕円モデルが回転する際に押しつぶされたマットレスからうける反力を一点にかかると仮定したが、実際マットレスと人の体は面で接している。寝返り動作を正確に解析するためには、その点を考慮した解析方法が必要である。また、実際の寝返りは三次元の運動である。今回解析は寝返りの動きを二次元と仮定したので誤差が生まれたと考えられる。今後は楕円モデルの動きと同様にどの程度力を加えたらどの程度へこむかなど、マットレスの材質について調べる必要がある。

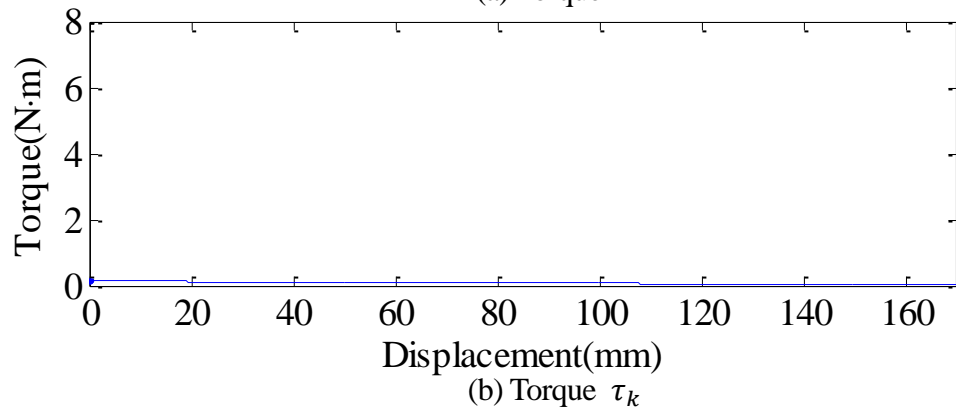
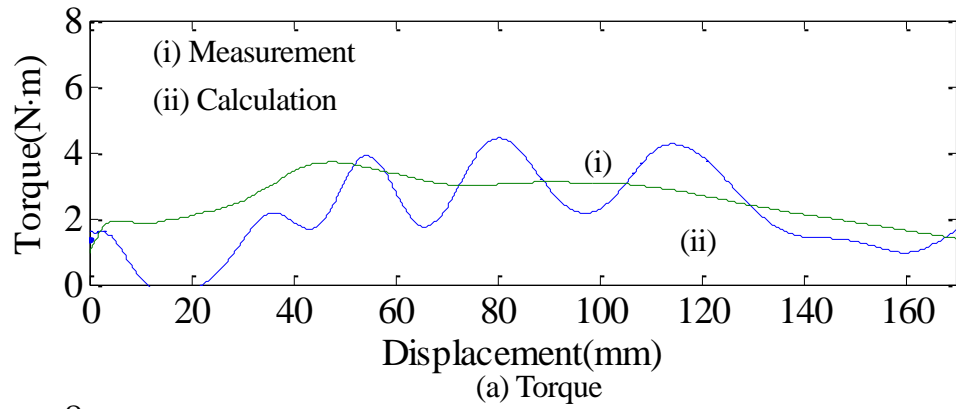


Fig.5.2 木の板 (楕円モデル質量 8kg K=2N)

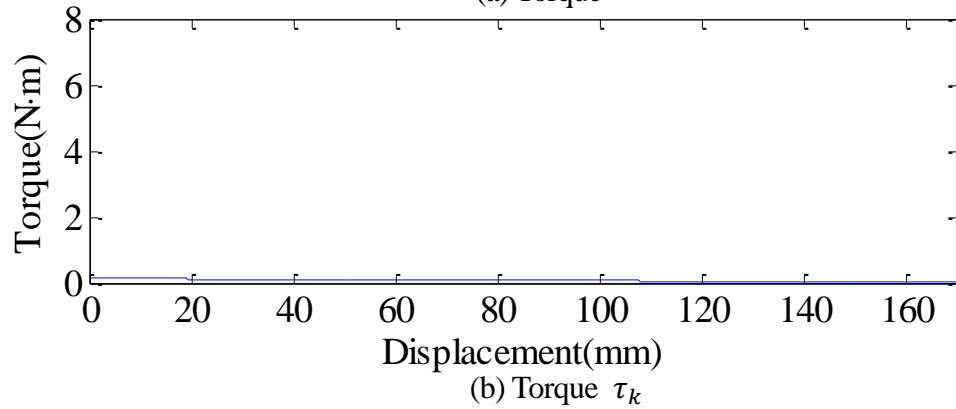
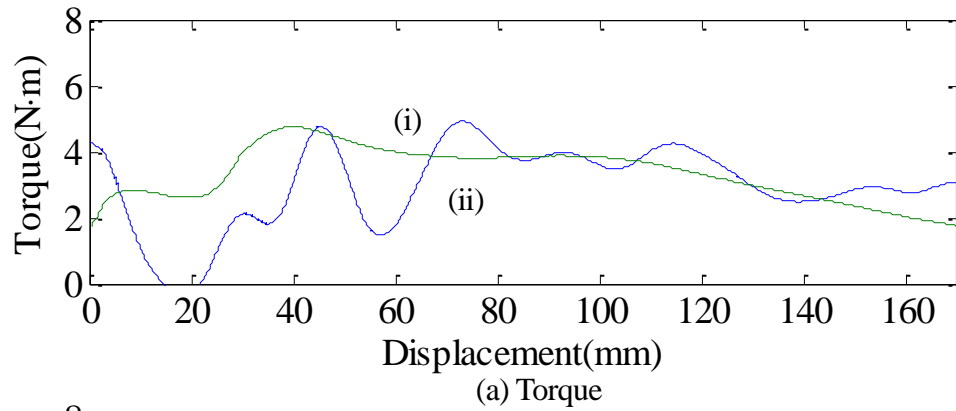
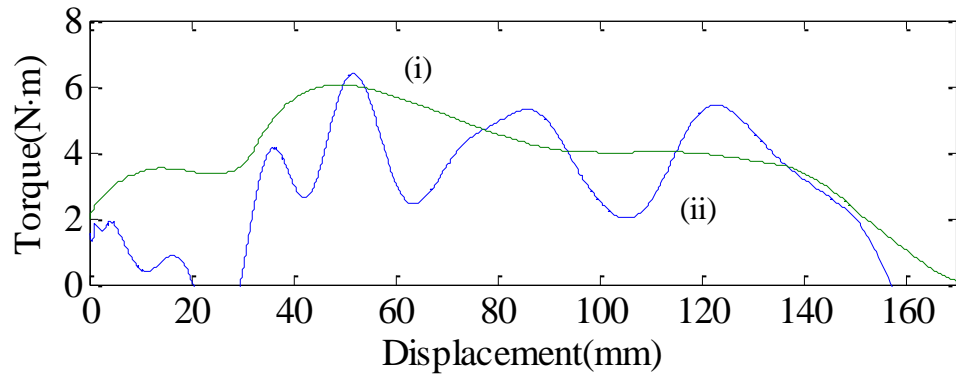
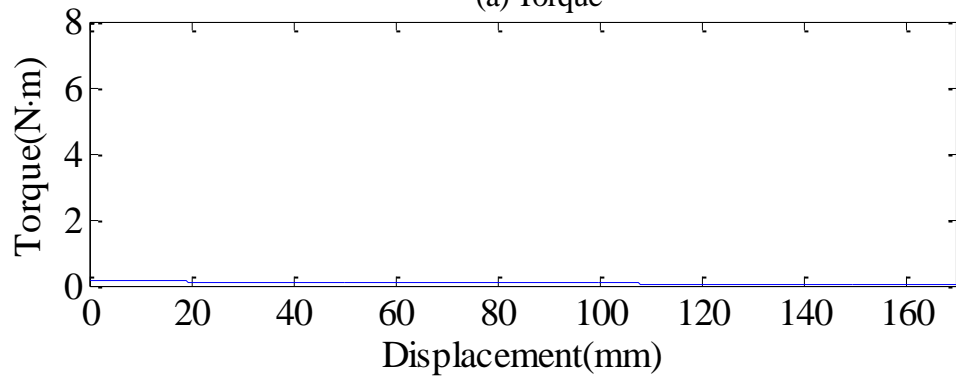


Fig.5.3 木の板 (楕円モデル質量 10kg K=2N)

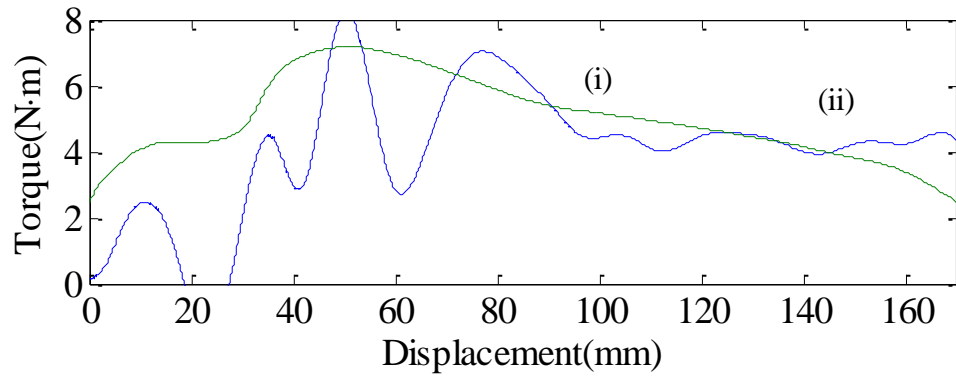


(a) Torque

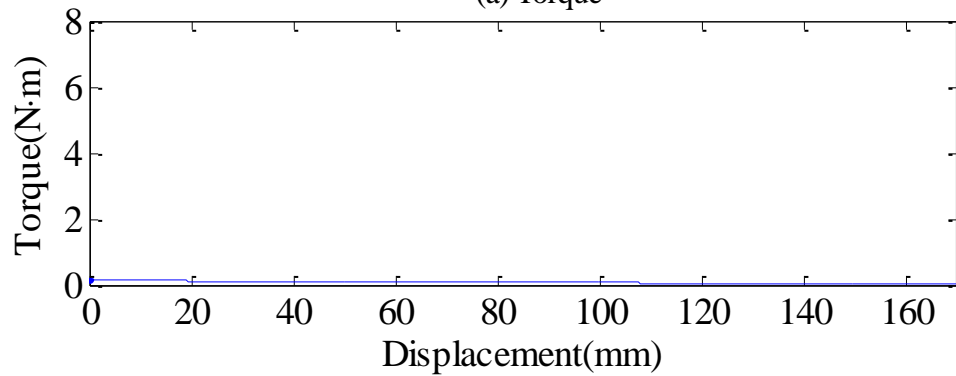


(b) Torque  $\tau_k$

Fig.5.4 木の板 (楕円モデル質量 12kg K=2N)



(a) Torque



(b) Torque  $\tau_k$

Fig.5.5 木の板 (楕円モデル質量 14kg K=2N)



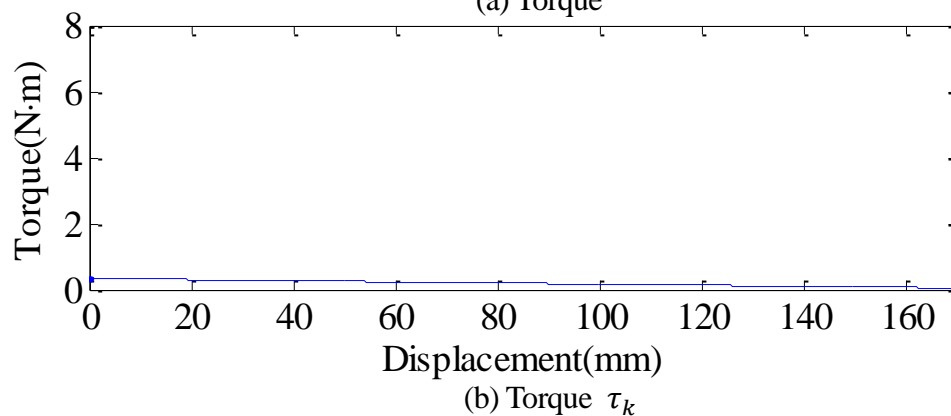
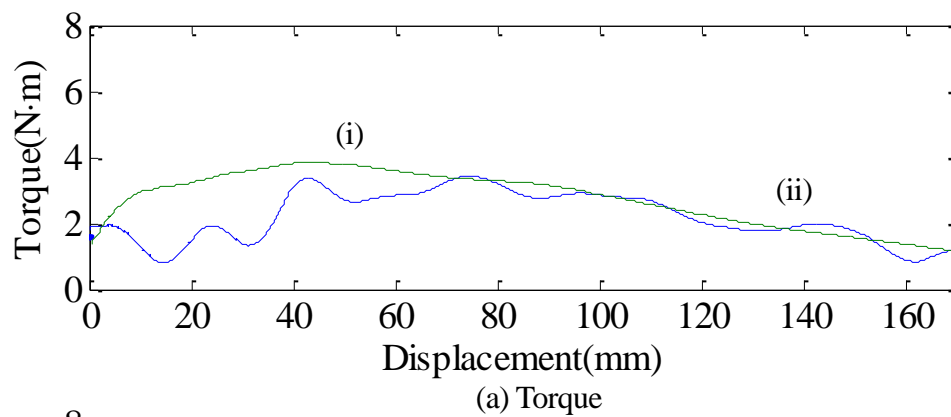


Fig.5.6 スプリングマットレス (楕円モデル質量 8kg K=5N)

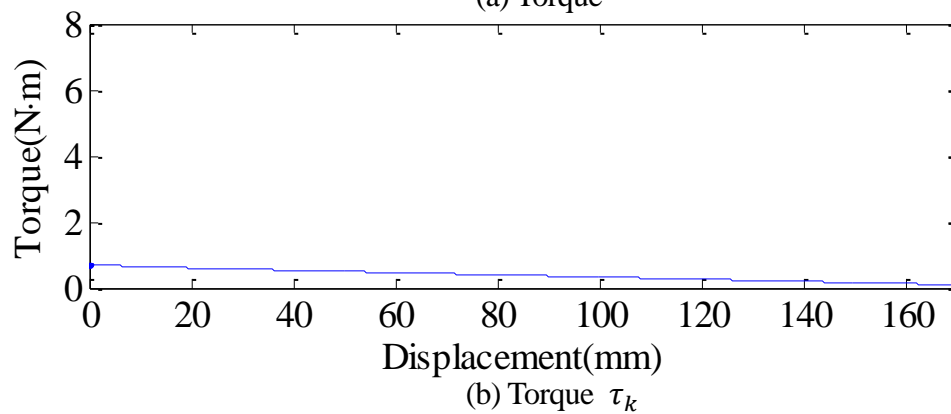
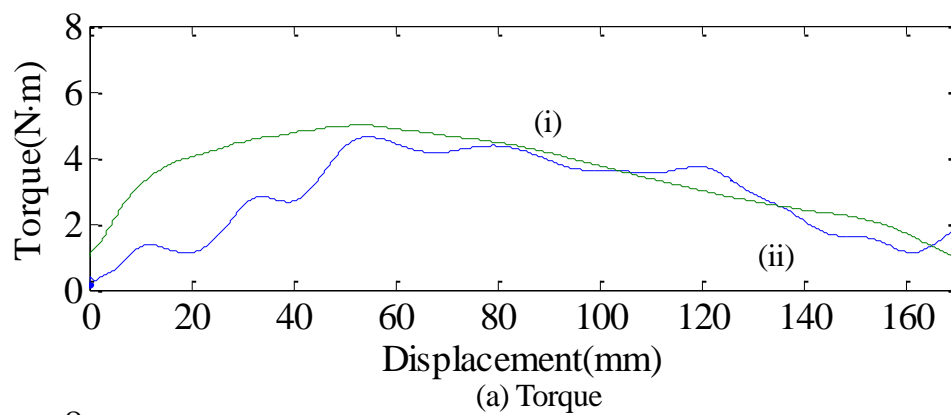
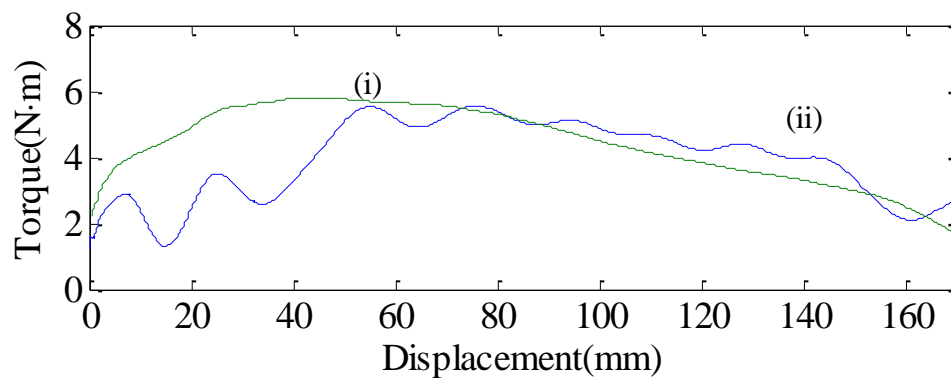
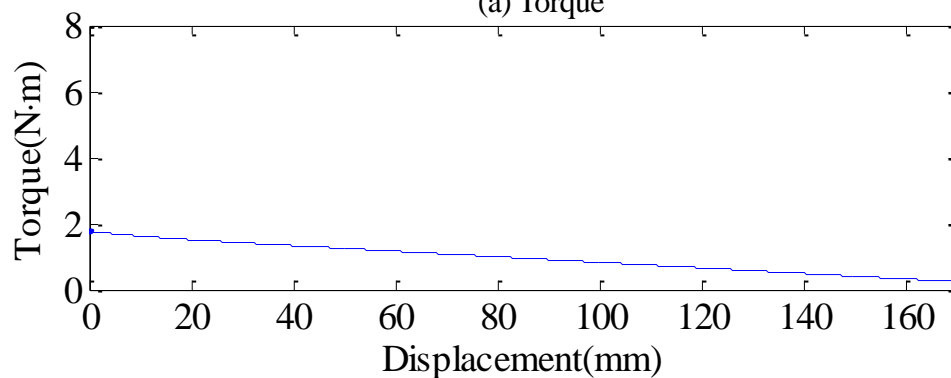


Fig.5.7 スプリングマットレス (楕円モデル質量 10kg K=10N)

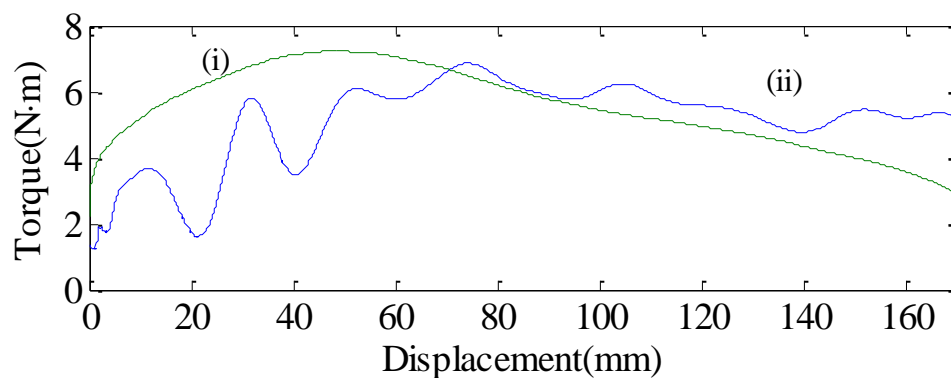


(a) Torque

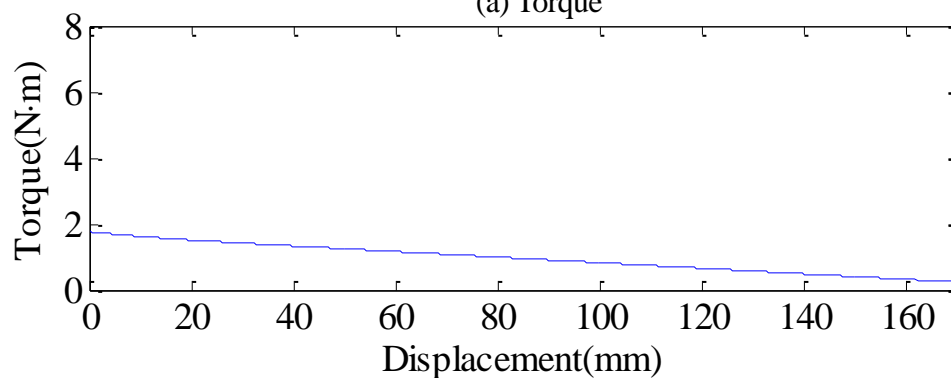


(b) Torque  $\tau_k$

Fig.5.8 スプリングマットレス (楕円モデル質量 12kg K=25N)



(a) Torque



(b) Torque  $\tau_k$

Fig.5.9 スプリングマットレス (楕円モデル質量 14kg K=25N)

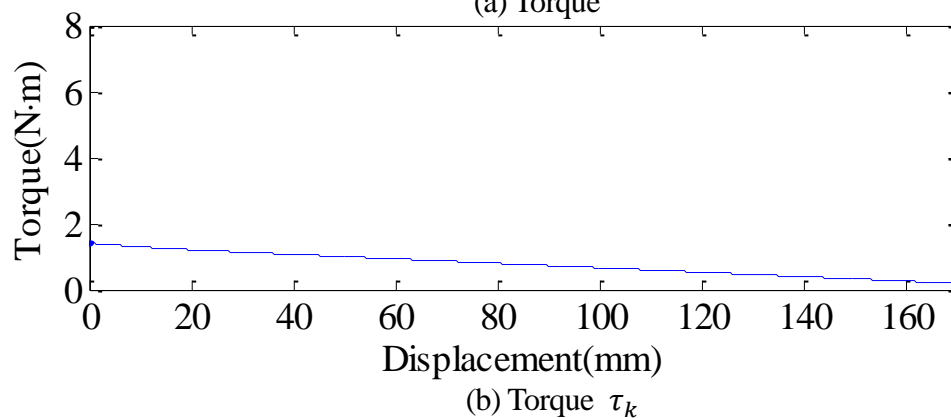
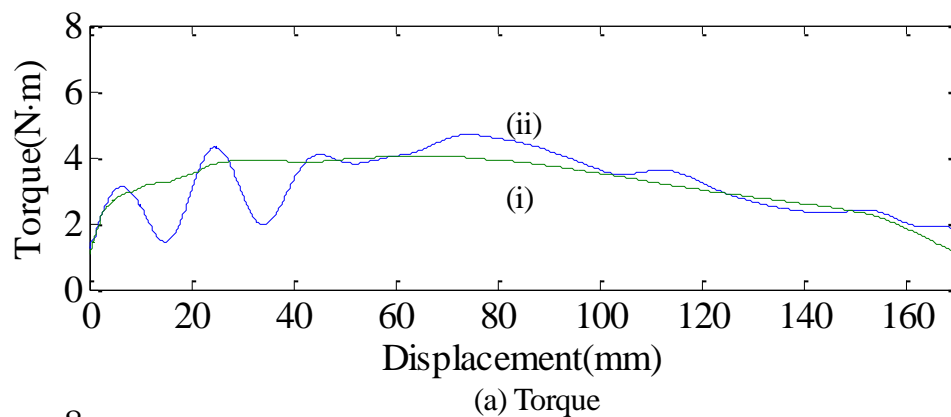


Fig.5.10 低反発マットレス (楕円モデル質量 8kg K=20N)

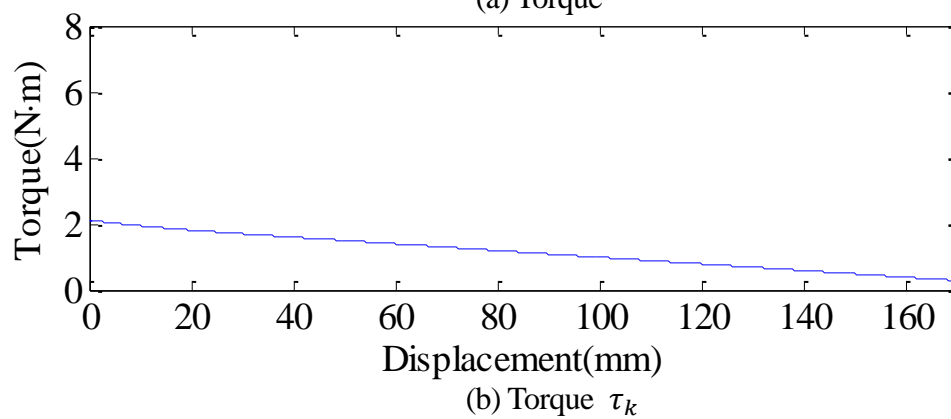
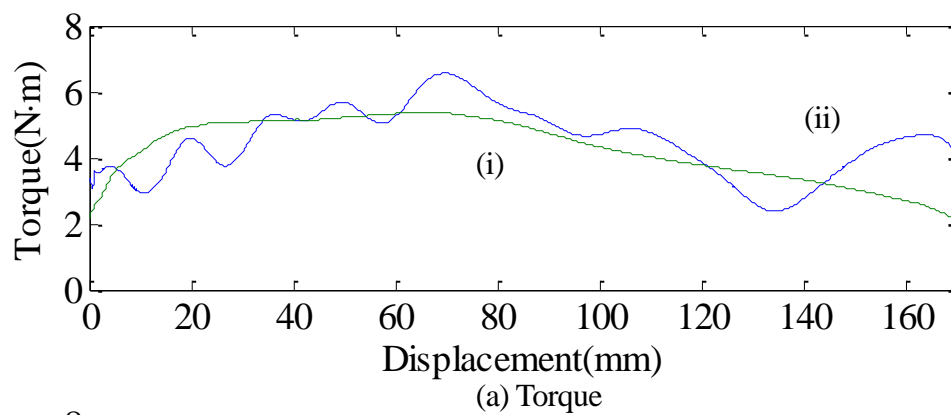
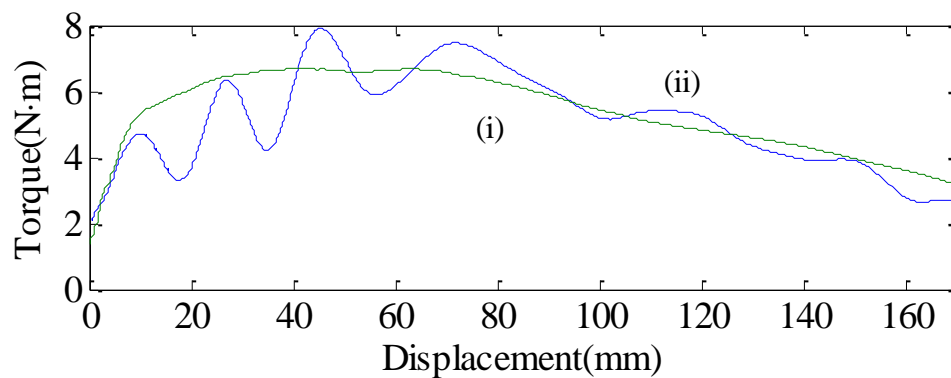
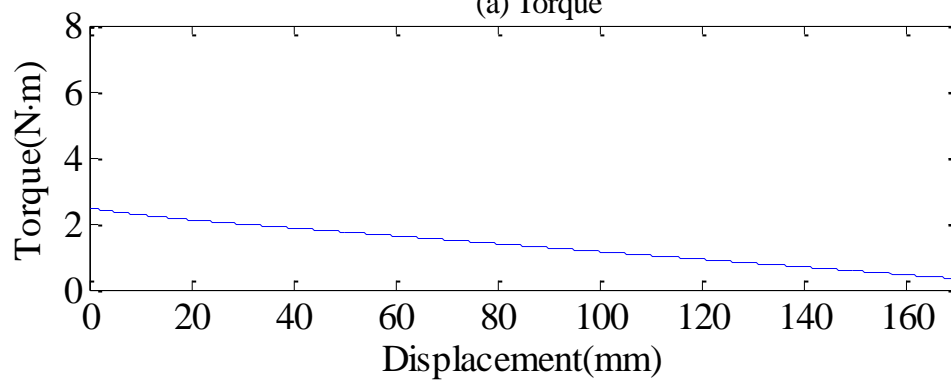


Fig.5.11 低反発マットレス (楕円モデル質量 10kg K=30N)

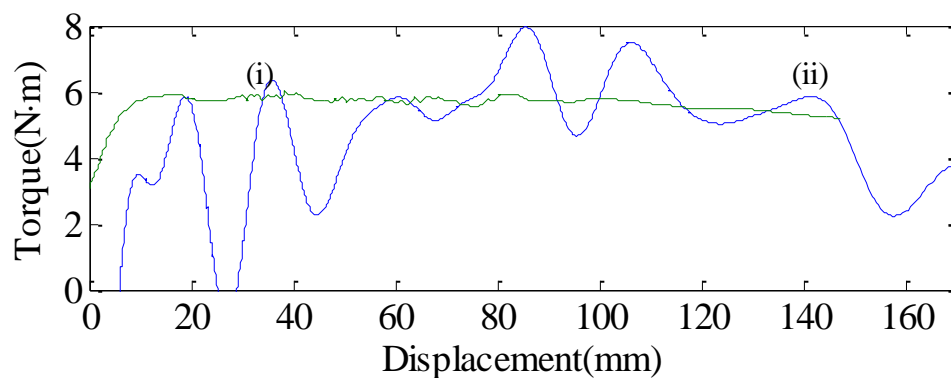


(a) Torque

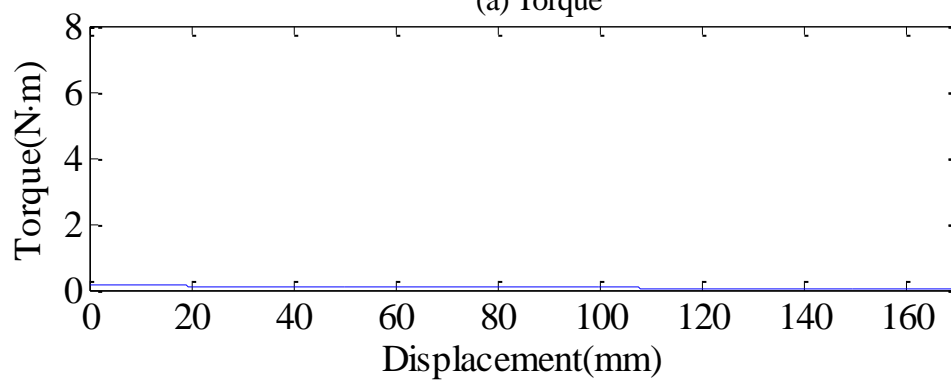


(b) Torque  $\tau_k$

Fig.5.12 低反発マットレス (楕円モデル質量 12kg  $K=35N$ )

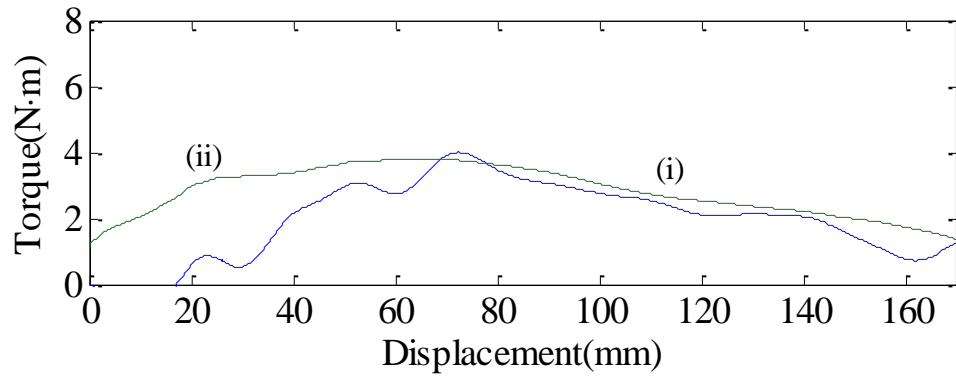


(a) Torque

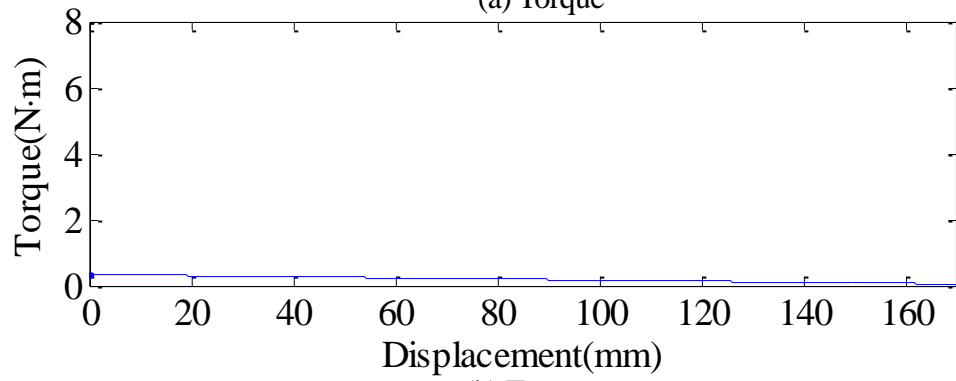


(b) Torque  $\tau_k$

Fig.5.13 低反発マットレス (楕円モデル質量 14kg  $K=2N$ )

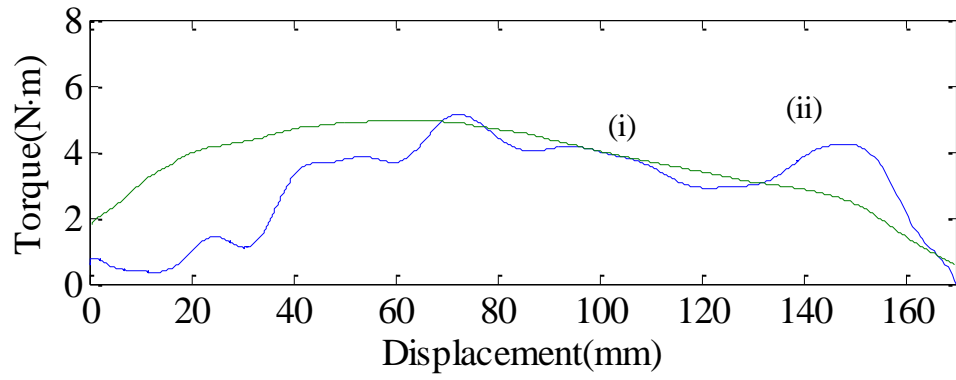


(a) Torque

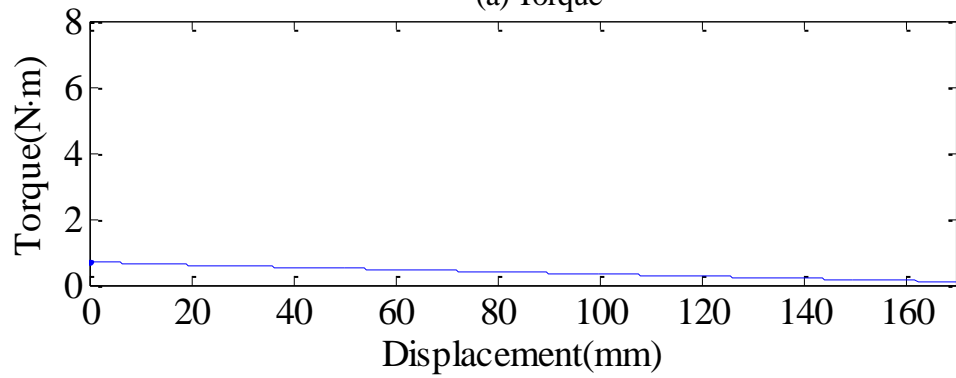


(b) Torque  $\tau_k$

Fig.5.14 樹枝弾性体マットレス (楕円モデル質量 8kg K=5N)

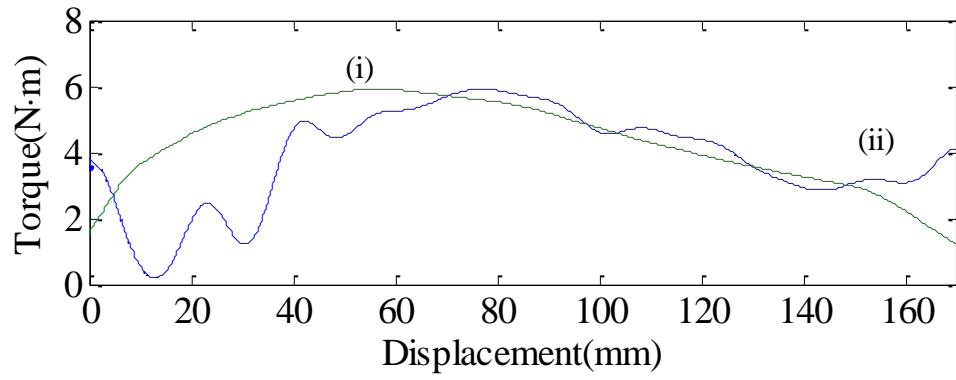


(a) Torque

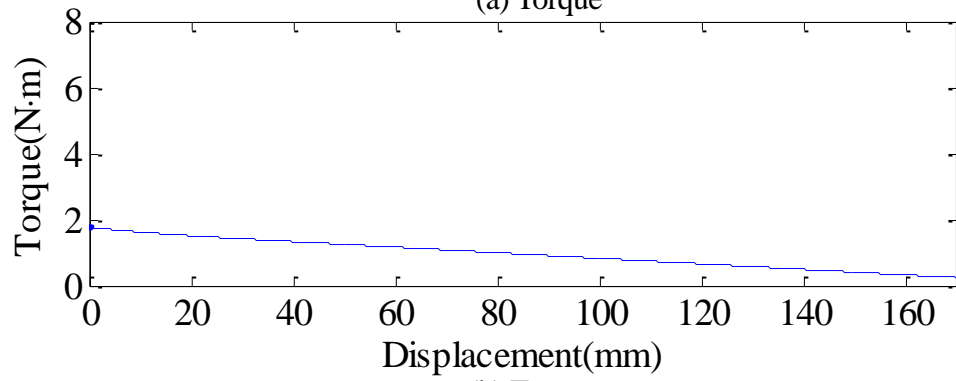


(b) Torque  $\tau_k$

Fig.5.15 樹枝弾性体マットレス (楕円モデル質量 10kg K=10N)

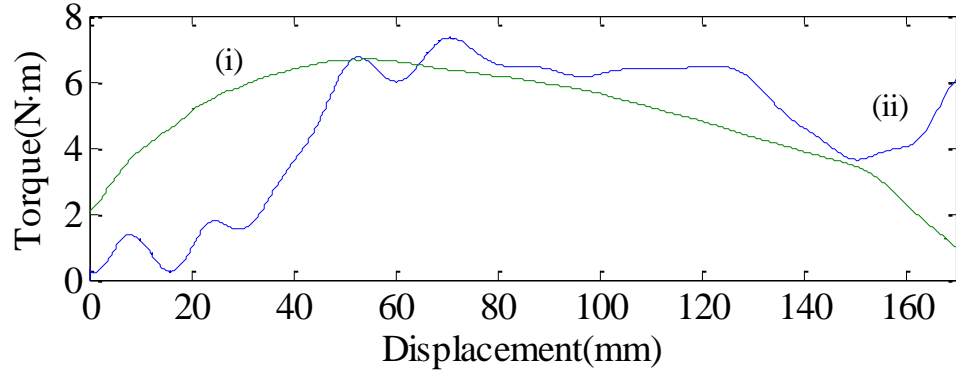


(a) Torque

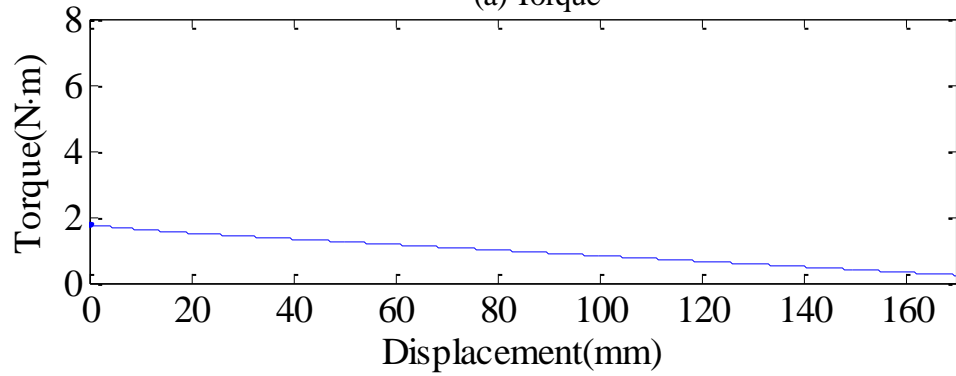


(b) Torque  $\tau_k$

Fig.5.16 樹枝弾性体マットレス (楕円モデル質量 12kg K=25N)



(a) Torque



(b) Torque  $\tau_k$

Fig.5.17 樹枝弾性体マットレス (楕円モデル質量 14kg K=25N)

## 第 6 章

### 結論

#### 6.1 本研究のまとめ

寝返りには体温調節，体の歪みの調整，浅い眠りと深い眠りの切り替えのスイッチの役割などの効果がある．このように快適な睡眠と深い関係がある寝返りだが，現在の筋電を用いた寝返り性評価，体圧分散性評価，OSA 睡眠調査票などでは，相互を比較した結果は出せるが，結果の物理的考察は行えず，新規設計には活用できない．そこで寝返り動作とマットレスとの関係を詳しく調べるために，快適な睡眠に影響を及ぼすマットレスの寝返りのしやすさを物理的に評価することを目的とし，実験的及び理論的にマットレスの寝返りの力学的解析を行った．まず快適な睡眠に影響を及ぼすマットレスの寝返りのしやすさを物理的に評価するために，人間の体を模擬した楕円モデルを作製した．楕円モデルを四種類のマットレス上で転がし，楕円モデルのトルクと軌道の測定実験を行い，実験結果からマットレスごとの比較考察を行った．次にマットレスについて，実験データから得られた楕円モデルの重心の持ち上がりとトルクとの関係性を明確化するために，楕円モデルについて運動方程式をたて，モデルの動きを再現し，トルク解析を行った．トルク解析による解析結果と実測結果の誤差を考察するために楕円モデルの動きを再現したシミュレーションに回転の際にマットレスを押しつぶす力を追加考慮したシミュレーション解析を行い，解析結果の比較考察を行った．

## 6.2 今後の課題

本研究の今後の課題としては以下のことが挙げられる。

- 本研究で使用した楕円モデルの質量が実際の人の胴体に比べ軽いものなので、より正確に人の寝返りを再現するために、今後はより人に近い質量で実験を行う必要がある。
- 本研究では、シミュレーションを行った際に楕円モデルとマットレスを点接触として計算した。実際の寝返りは人の体とマットレスは面接触であるのでその点を考慮した解析が必要である。また人の寝返りや楕円型モデルを用いた実験では当然三次元の運動になる。今回シミュレーションでは運動を二次元として計算したので、三次元的な動きを考慮した解析を行う必要がある。
- 本研究では楕円の軌道に注目し解析を行った。軌道がトルクを決める要因の一つであることに間違いはないが、寝返りを解析するためには他の要因であるマットレスの材質等についても調べ検討する必要がある。



## 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] 三浦哲寛, 川原英輝：寝姿勢とマットレス硬さ：日本機械学会東海支部第 59 期総会講演会講演論文集, pp.201-202 (2010)
- [3] 関屋昇, 高橋正明, 工藤道子, 鈴木智子：寝返り動作の運動学的解析(各体位の運動パターン)：理学療法学, Vol.29, supplement.2, pp.159 (2002)
- [4] 松浦倫子, 古川嵩浩, 田中秀樹, 有富良二：入眠時寝姿勢と睡眠時寝姿勢に関する検討：日本生理人類学会誌, No.10, Vol.1, pp. 90-91 (2005)
- [5] 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)
- [6] 木暮貴政：寝具と睡眠：バイオメカニズム学会誌, Vol.29, No.4, pp.189-193 (2005)
- [7] 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)
- [8] 安達優, 溝口康弘, 池浦良淳, 上西園武良, 水谷一樹, 澤井秀樹：枕の違いによる寝返り動作の解析：日本人間工学会東海支部 2007 年研究大会論文集, pp.43-44 (2007)
- [9] 木暮貴政, 白川修一郎：マットレスの幅が睡眠に及ぼす影響, Vol.12, No.3, pp.147-151 (2007)
- [10] 青木詩恵, 貝谷敏子, 只浦寛子, 徳永恵子：マットレスの違いによる体圧分散効果と寝心地：宮城大学看護学部紀要, Vol.10, No.1, pp.63-71, (2007)
- [11] 木暮貴政, 西村泰昭, 郭恰, 白川修一郎：寝返り・寝心地を重視したマットレスによる睡眠改善効果：日本生理人類学会誌, Vol.13, No.4, pp.185-190 (2008)

- [12] 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)
- [13] 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 : 日本機械学会論文集日本機械学会論文集(C 編), Vol.74,No.74, pp.1539-1545 (2008)
- [14] 上西園武良, 岡田明, 池浦良淳 : 枕の開発における効率的な人間中心設計の方法 : デザイン学研究, Vol.54, No.5, pp. 29-34, (2008)
- [15] 上西園武良, 山田浩, 角谷明子 : ベッドにおける寝返り性評価(マットレス素材による生体負荷の差異) : 東海支部総会講演会講演論文集, pp.195-196 (2005)

# 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教授に多大なる感謝の意を表します。

また、大変お忙しい中本論文を査読して頂くとともに、多数のご教示、ご助言を賜りましたメカトロニクス研究室 加藤典彦准教授に厚く御礼申し上げます。

また、本研究を終えるにあたり、適切且つ親切な御指導並びに御助言を賜りました早川聡一郎准教授に深く感謝致します。

また、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。

また、本研究を行う上で様々な提案、助言を頂いたシステム設計研究室の方々に感謝申し上げます。

最後となりましたが、大学生活をおくるうえで、惜しみない援助を送ってくれた両親に感謝いたします。