

《論文》

インテリア椅子に関するデザイン要素の研究*

A Study of the Design Element on Interior Chairs

中西 正明**

NAKANISHI Masaaki

ABSTRACT

Recently interior designs tend to become bolder. Under such circumstances a sense of the structural mechanics is an important element of bold interior designs. It is indispensable not only for the security side but also the design and low cost. If a designer does not have knowledge of the mathematics, he should get such knowledge. I think it is possible to get it by utilizing graphs, because graphs develop intuition about the structural mechanics. There are many interior designs to adopt, but at first we should focus on the design of the chairs, because the chairs are the most important items on interior designs.

Introduction 背景と目的

インテリアデザインは近年、より斬新かつ大胆なものを志向する傾向がみられるが、この場合デザイン要素として、色彩やテクスチャーの他に形状や構成材の具体的な提示が必要である¹⁾。これには、強度や変形に対する定量的な把握に基づくデザイン力が求められる²⁾。こうした力学的な感覚は、安全性・生産性・コスト等を考えれば³⁾、細部デザイン段階より、むしろ基本コンセプト段階でのデザイン要素としての重要性が顕著である⁴⁾。力学的な感覚があれば、デザイナーはより大胆な形状を構想できるためである⁵⁾。デザイナーに力学的な感覚が欠如していると、デザイン後に外注などで構造計算を行う手順となり、強度不足が判明しても修正で対応しきれない場合が多い。理由はデザインの手順が逆だからである⁶⁾。よく混同されるが、「構造設計 (構造デザイン)」と「構造計算」は別のものである。すなわち、「構造設計 (構造デザイン)」はラフスケッチと並行して行われるもので、デザイン後に行う「構造計算」と異なり、基本構想段階に必要なデザイン要素なのである。また、力学的に合理的な美しさや機能美を追求するためにも、インテリアにおけるデザイン要素としての力学的な感覚は重要である。しかし、微分方程式等の数学手法をむやみに提示しても、大多数のインテリアデザイナーに敬遠されるのみで、デザイン要素としての力学的な感覚の向上につながらない⁷⁾。また、ブラックボックス化された数値のみのソフトを活用しても本質の理解は進まず、経験の積み重ねによる直感的な強度の把握力が養えない。すなわち「構造計算」はできても「構造設計 (構造デザイン)」ができないので、力学的な感覚に基づく大胆なデザインができないのである。

筆者の今後の研究目標は、インテリアデザイナーやプロダクトデザイナーに、高度な数学の知識

* 2009年10月20日受理

** 名古屋学芸大学短期大学部

が不要で、なおかつ繰り返し活用することで、直感的に強度を把握できるようなソフトをデザイン要素として提供することである。この場合のソフトとはコンピューターソフトに限らないが、一例としてコンピューターソフトの場合、デザイナーが使い込むほど直感的に強度を把握できるソフトとは、一般的に考えられるような「入力に対し直ちに解答の値を提示するソフト」ではないと考える。むしろ、ソフトが今何を行っているかのステップを使用者であるデザイナーに逐次グラフで提示し、デザイナーはグラフを読んでステップ毎に都度入力するような、一見迂遠なソフトが良いと考える。グラフの読み込みを繰り返せば、デザイナーが直感的に力の流れを定量的に把握しようと筆者は確信するからである。

1. Study Object 対象

対象とすべきインテリアデザインは多岐に及ぶが、当面は椅子のデザインを重点的に取り上げたい。原研哉⁸⁾、島崎信⁹⁾、海野弘¹⁰⁾らが指摘しているように、椅子は、座り心地・強度・軽量性・コスト・生産性・搬送性・収納性など数多くの要求に対する高度な知識と理解を必要とし、インテリアデザイナーのみならず、プロダクトデザイナーにとっても最も重要で難度の高いデザイン対象とされているからである。

本稿では、マルト・スタム (Mart Stam 1899~1986) のデザインによる椅子「S33」を対象とすることにした。「S33」は世界初のカンティレバーチェア (片持ち型椅子) で、プロトタイプは1926年に溶接ガスパ管を使って製作された¹²⁾。後脚を廃したこのデザインは、脚元にすっきりとした印象を与え、座面後部が空中で支持されているので軽快感がある。また、弾力性が高いので座り心地が良い。マルト・スタム自身、この後脚を持たないカンティレバーチェアの特徴を「空気の上に座った感覚をデザイン化したもの」と述べている。

「S33」を対象とした理由は、この椅子が力学的に構成が明快な、線材としての解析に適した椅子で、リ・デザインを試みる際に、部材の種類や形状などのデザイン要素をグラフで把握しやすい点で、本稿の目的に適しているからである。もう一つの理由は、「S33」がマルト・スタム自身が1933年にデザインした「S43」をはじめ、数多くのリ・デザイン¹¹⁾ (新しい発想によるデザインのやり直し) を生んだ、エポックメイキングな名作椅子だからである。



図1 S33

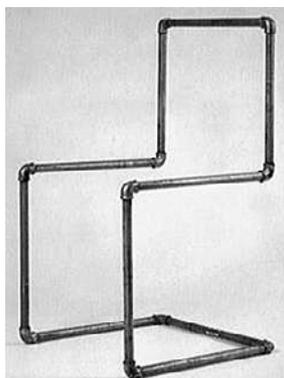


図2 S33のプロトタイプ



図3 S43

「S33」はドイツのバウハウス (Bauhaus)¹³⁾ に強い影響を与えた¹⁴⁾。これは当時、鋼管を直角に曲げることが技術的に困難だったので、曲木による椅子を得意としていたドイツのトーネット社が

パートナーとなって製品化したことに関連がある。トーネット社はバウハウスのデザイン開発のパートナーでもあったからである。デザイナーによる図面やプロトタイプを持ち込みとトーネット社による製品化にタイムラグがあり、バウハウスの教官（第一期生でもある）マルセル・ブロイヤー（Marcel Breuer 1902～1981）とマルト・スタムの間でどちらがカンティレバーチェアの発案者であるかを巡り裁判が行われ、マルト・スタム側が勝訴した経緯がある。21世紀の現在これを俯瞰すると、「S33」はマルセル・ブロイヤーが1926年にデザインした世界初の鋼管フレーム皮革張り椅子¹⁵「ワシリーチェア」のリ・デザインという側面を持ち、マルセル・ブロイヤーが1928年にデザインした「チェスカチェア」は「S33」の座面と背に皮革に代えて籐を張ったり・デザインであり¹⁶、そして「S43」は「チェスカチェア」のリ・デザインであるといえる。相互に影響を及ぼしあっていたのである。



図4 ワシリーチェア



図5 チェスカチェア

バウハウス第3代校長のミース・ファン・デル・ローエ（Ludwig Mies van der Rohe 1886～1969）が1927年にデザインした「MRチェア」も「S33」のり・デザインで¹⁸、前脚に半円形のカーブを施し見た目の優雅さと弾力性の向上を実現している¹⁹。ミース・ファン・デル・ローエは1928年に、鋼管をフラットバーに置き換えた「ブルーノチェア」をデザインし、側面から見た空中支持感をさらに強調してみせた²⁰。



図6 MRチェア



図7 ブルーノチェア

また、オランダのデ・スティール（De Stijl）運動の旗手²¹ヘリット・リートフェルト（Gerrit Thomas Rietveld 1888～1964）は1934年に木製でスタッキングも可能なカンティレバーチェア「ZIG-

ZAG」をデザインしてインテリア業界に衝撃を与えた²²⁾。この「ZIG-ZAG」を1960年にFRP（繊維強化プラスチック Fiber Reinforced Plastics）による一体成型でリ・デザイン²³⁾した椅子がフェルナー・パントン（Verner Panton 1926～1998）による「パントンチェア」である。「パントンチェア」はFRPシェル構造のスタッキング可能なカンティレバーチェアで、「ZIG-ZAG」に比べ座り心地が大きく向上し、大幅な（1/10以下）コストダウンも実現した。「パントンチェア」はオーガニックデザインの最高峰といわれる椅子でもある²⁴⁾。



図8 ZIG-ZAG



図9 パントンチェア

このように「S33」は、20世紀デザイン界の巨匠たちによるリ・デザインの好循環により、椅子デザインの発展に大きく寄与した椅子で、インテリアデザイン史上でも非常に重要な意味を持つ椅子といえる。

2. Methods 方法

1) 構造物の解析について

重い人が座っても椅子が壊れないのは、構造物として外力を処理できるからで、その際発生する内部応力（軸力・剪断力・曲げモーメント）や変形量を求めることを構造物の解析という。本稿では MultiFrame（Version 8.52）フリー版を用いて解析する。MultiFrame はマトリクス変位法による有限要素法解析を行うソフトである。有限要素法（Finite Element Method, FEM）とは、対象を有限個の要素の集合体にモデル化し、その無限個の自由度を有限個の自由度で近似する解析方法である²⁵⁾。具体的には、変位法の基本式（節点の変位＝外力／節点の剛性）から連立方程式を作り、マトリクス（行列）に置き換えてコンピューターで解く。自由度とは対象とする節点の変位を表すのに必要十分な座標系で²⁶⁾、本稿の解析では節点の変位を移動距離 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ と回転角 $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ の6つの自由度で表す。マトリクスを解くには節点の数 × 自由度の数に等しい「行数と列数」（≒連立方程式の数）が必要で、いたずらに自由度を増やすとマトリクスが巨大化し計算量も膨大になり不合理となるからである。なお有限要素法解析を行うには、解析対象を要素分割する必要があるが、この要素分割には部材を「線として扱う方法」「面として扱う方法」「立体として扱う方法」の3種類があるが、「S33」のようにフレームで構成されるタイプの椅子は、構成する部材をすべて線として要素分割する方法が適している。

2) 構造物を構成する部材とその断面性能について

今回は構成部材（要素）を全て線として扱うが、この場合当然部材の断面形状によって強度や変

形量が異なる。これを示す指標を断面性能と呼ぶが²⁷⁾、椅子デザインで重要なのは、断面2次モーメント、断面係数、断面2次半径である。以下、概要を述べる。

(1) 断面2次モーメント

断面2次モーメントは、部材の変形に対する抵抗力を表したもので、断面の微小面積要素と、軸からの距離の2乗の積の総和として求める。記号はI、単位は長さの4乗（通常 cm^4 ）で表される。鋼管の場合、Dを外径、dを内径とすると、 $I = \pi(D^4 - d^4) \div 64$ となる。この値が大きいほど変形しにくい。デザイナーに感覚的に把握してほしい点は、「変形は鋼管の外径の4乗に反比例する」ことである。

(2) 断面係数

断面係数は、部材の曲げに対する抵抗力を表したもので、図心を通る軸の断面2次モーメントを軸から縁までの距離で除して求める。記号はZ、単位は長さの3乗（通常 cm^3 ）で表される。鋼管の場合、Dを外径、dを内径とすると、 $Z = \pi(D^4 - d^4) \div 32D$ となる。この値が大きいほど、曲げに対する抵抗力が大きい。デザイナーに感覚的に把握してほしい点は、「曲げ強度は鋼管の外径の3乗に比例する」ことである。

(3) 断面2次半径

断面2次半径は、部材の座屈に対する抵抗力を表したものである。座屈（Buckling）とは、椅子の脚などの細長い部材が圧縮力を受けた時に折れ曲がって破壊に至る現象である。断面2次半径は断面2次モーメントを断面積で除した平方根として求める。記号はi、単位は長さ（通常 cm ）で表される。鋼管の場合、Dを外径、dを内径とすると、 $i = \sqrt{(D^2 + d^2) \div 4}$ となる。この値が大きいほど、座屈に対して抵抗力がある。デザイナーに感覚的に把握してほしい点は「椅子の脚の圧縮強度は、脚の長さの2乗に反比例し、鋼管の外径の2乗に比例する」ことである。

3) 鋼材の弾性範囲と引張強さについて

ここで、短期許容曲げ応力度と部材の弾性域、引張強さについて補足したい。鋼材の短期許容応力度は図10に示す降伏点とほぼ同じ値であり²⁸⁾、鋼材がフックの法則に従う弾性範囲の上限値を示す。即ち、鋼材は短期許容応力度を超過してもなお1.7倍程度（＝降伏比の逆数、材種で異なる）の荷重に耐えることができるが、変形は不可逆的で元の形状には戻らない。椅子の座り心地が良く（≡変形が大きく）、なお変形後に元の形状に戻るためには、短期許容応力度の値以下でデザインする必要がある。JIS S1032に準拠した椅子の強度試験を繰り返し経験したデザイナーは、このグラフが示す鋼材の特性を直観的に把握しようと考える。

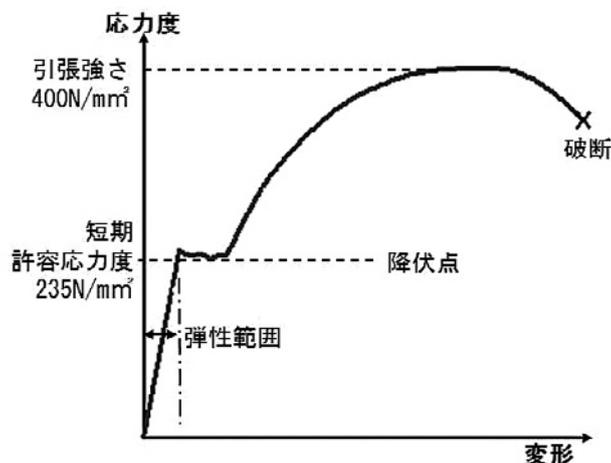


図10 鋼材（STK400）の応力度と変形の関係

なお本稿では触れないが、厳密にはこの他に繰り返し荷重による疲労破壊などの検討の必要性もあるので²⁹⁾、今後の研究で逐次検討事項に追加していきたい。

4) 架構のモデル化と支承部の拘束条件の仮定

「S33」の大きさは、販売店アイデック社の2007年版カタログによると、幅500mm×奥行670mm×高さ850mm（座面高さ460mm）となっているが、ショールームで同等品の「S43」を実測すると、鋼管の主要部の芯寸法で幅456mm×奥行447mm×高さ810mm（座面高さ457mm）であった。いずれにせよ寸法はパラメーターとして様々に変更できるので、今回は寸法と架構を図11に示すように座面高さとして幅が45cm、背もたれ高さ35cmのラーメン構造とした。拘束条件は図12に示すように前脚側の2点をローラー支承、後部の2点をピン支承と仮定した。

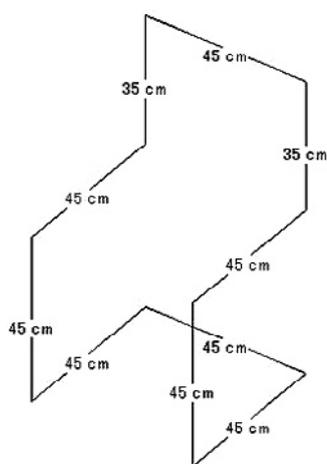


図11 フレーム寸法

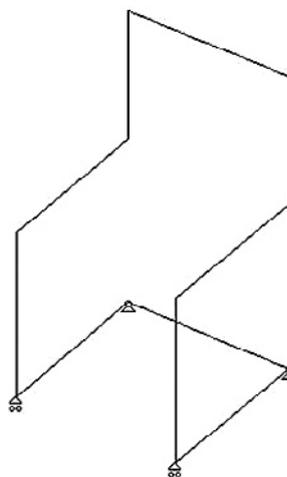


図12 拘束条件

構成材の丸鋼管の外径はノギスで実測すると21.7mmである。肉厚や材質については実測不可能なため、販売店のアイデック社を通じてメーカーのトーネット社に問い合わせたが、仕様は機密とのことであり把握できなかった。肉厚も材質もパラメーターとして様々に変更できるので、今回は、この鋼管を肉厚1.9mmのJIS G 3444一般構造用鋼管（管種記号 STK400）として解析した。STK400の材料規格は設計基準強度（F値）=235N/mm²、ヤング係数E = 2.06×10⁵（N/mm²）である。外径21.7mm肉厚1.9mmの部材の断面性能は、断面積A = 1.18cm²、断面2次モーメントI = 0.585cm⁴、断面係数Z = 0.54cm³、断面2次半径i = 0.70cmである。

5) 荷重条件

荷重条件については、厳密には、様々な座位姿勢³⁰⁾から、座面の面圧を実測³¹⁾したデータを用いるべきであろうが、今回は、千葉大学の小原二郎による人間工学の研究³²⁾や、長岡造形大学の森谷延周による調査³³⁾を参考にしながらも、極力単純化した荷重条件を仮定した。すなわち、積載荷重（人間の体重）は80kgとし、これが上面2本のフレームに均等に作用するものとした（図13）。軸方向は、奥行方向をz、幅方向をx、高さ方向をyとして計算した（図14）。

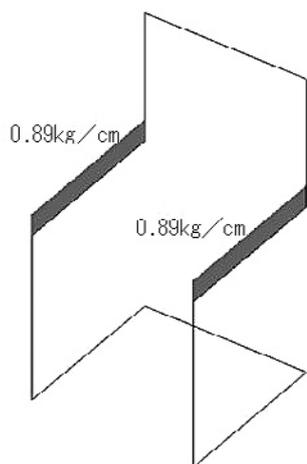


図13 荷重条件

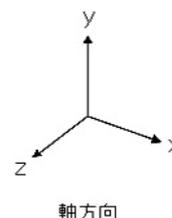


図14 軸方向図

なお、架構・寸法・荷重条件を単純化したのは必ずしも筆者の怠惰によるものではない。本稿の目的は力学的な直感力を養うための解析とグラフ化であり、このためには、力学的な特性は十分に踏まえながらも、極力単純化したモデルによる解析が好ましいからである³⁴⁾。しばしば誤解されるのであるが、構造設計（構造デザイン）は構造計算と異なり、いたずらに数値を追う必要はない。むしろ数値ばかり追うのは本末転倒なのである³⁵⁾。よく、デザイナーは勘で設計（デザイン）しているというが、構造設計（構造デザイン）は構造計算より先に行うので、それで正しいのである。ただし、「椅子の脚は太い方が強い」といった定性的な感覚ではなく、「強度は太さの2乗に比例し、変形は太さの4乗に反比例する」という定量的な感覚があれば、斬新なデザインをより安全で低コストに実現できるのである。なお、一見矛盾した逆説的表現となるが、定量的な把握といっても、実は上述した2乗とか4乗とかのデジタル的・数値的な理解ではなく、グラフなどでアナログ的・感覚的に理解しておく、つまり体で理解しておくことが真の「勘」≡「直観力」であり、これが大切なのである。力学的な特性をグラフなどで視覚的に提示できれば、デザイナーは視覚的感性において卓越した観察力や理解力を磨きぬいているので、力学的な「勘」を必ず習得できると筆者は確信するのである。

3. Results 結果

1) 反力

支承部に生じる反力は、図15のように各支承部均等な20kgの鉛直方向の力として生ずる。椅子に限らないが、支承部を支持する床面がこの荷重に対して強度的に余裕があり、かつ変形しないことが解析の条件になる。

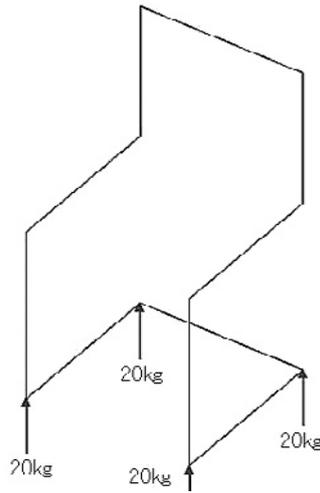


図15 反力

2) 軸力

部材に生じる軸力は、図16のように、両側の前脚に対し均等に40kgの圧縮力として生じる。部材に生じる単位面積当たりの圧縮力、すなわち圧縮応力度は部材に生じる軸力を鋼管の断面積 $A = 1.18\text{cm}^2$ で除したもので、最大値は $40\text{kg} \div 1.18\text{cm}^2 \approx 34\text{kg}/\text{cm}^2$ となる。これと部材の許容圧縮応力度を比較する。前脚の座屈長さは、支持状態を片端固定で片端自由とみなすと $l_k = 45\text{cm} \times 2 = 90\text{cm}$ となる。細長比 $\lambda = l_k \div i = 90\text{cm} \div 0.70\text{cm} \approx 129$ なので、短期許容圧縮応力度 $f_c = 863\text{kg}/\text{cm}^2$ である³⁶⁾。これを軸力の最大値と比較すると、 $34\text{kg}/\text{cm}^2 \div 863\text{kg}/\text{cm}^2 \approx 4\%$ で、短期許容圧縮応力度に対し96%の余力がある。すなわち、部材は座屈に対して十分な余裕があることが理解できる。

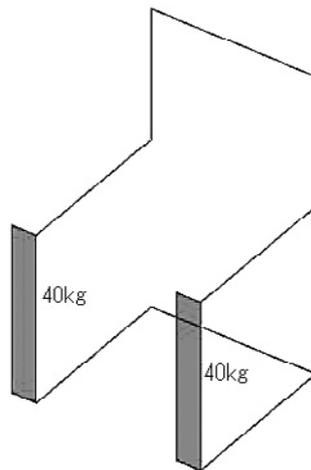


図16 軸力

3) 剪断力

部材に生じる剪断力は、図17のように座枠の先端で最大値40kgとなる。部材に生じる単位面積あたりの剪断力、すなわち剪断応力度は、剪断力を部材の断面積 $A = 1.18\text{cm}^2$ で除したもので、最大値は $40\text{kg} \div 1.18\text{cm}^2 \approx 34\text{kg}/\text{cm}^2$ となる。これと、部材の許容剪断応力度を比較する。構造用鋼材 STK400の短期許容剪断応力度は $F \div \sqrt{3} = 235\text{N}/\text{mm}^2 \div \sqrt{3} = 136\text{N}/\text{mm}^2$ であり、 $1\text{kgf} = 9.8\text{N}$ なので、剪断力の最大値と比較すると、 $34\text{kg}/\text{cm}^2 (\approx 3.4\text{N}/\text{mm}^2) \div 136\text{N}/\text{mm}^2 \approx 3\%$ で、短期

許容応力に対し97%の余力がある。すなわち、部材は剪断力に対しても十分な余裕があることが理解できる。

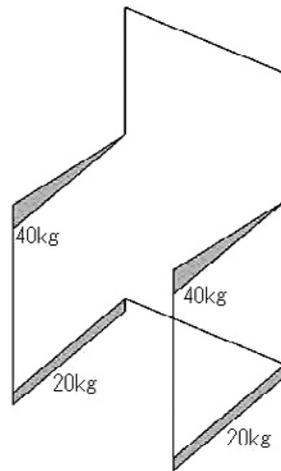


図17 剪断力

4) 曲げモーメント

部材に生じる曲げモーメントは、図18のように、前脚とその上下端で最大値900kg・cmとなる。部材の単位面積当たりの曲げ応力、すなわち曲げ応力度は、曲げモーメント900kg・cmを部材の断面係数 $Z = 0.54\text{cm}^3$ で除したもので、最大値は $900\text{kg}\cdot\text{cm} \div 0.54\text{cm}^3 = 1667\text{kg}/\text{cm}^2$ になる。これと部材の短期許容曲げ応力度とを比較する。構造用鋼材の短期許容曲げ応力度は $F = 235\text{N}/\text{mm}^2$ であり、 $1\text{kgf} = 9.8\text{N}$ なので、最大となる $1667\text{kg}/\text{cm}^2 (\div 167\text{N}/\text{mm}^2)$ では、 $167\text{N}/\text{mm}^2 \div 235\text{N}/\text{mm}^2 = 71\%$ で、短期許容応力に対する余力は29%である。即ち、部材は曲げモーメントに対しては十分な余裕がなく、上述のように圧縮力や剪断力に対しては十分な余裕があるので、強度的には曲げモーメントのみを検討対象にすべきであることが理解できる。

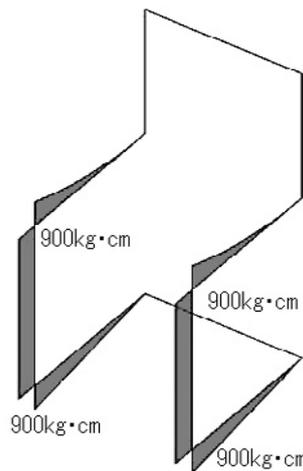


図18 曲げモーメント

5) 変形

部材の変形は、図19のようになる。変形量は笠木（背もたれ最上部の横棧）で最大となり、節点の移動距離は重力方向に24mm、後部へ32mmとなる。変形量は座り心地と密接な関係があり、一般に、変形量が大きいくほど座り心地は良くなる。

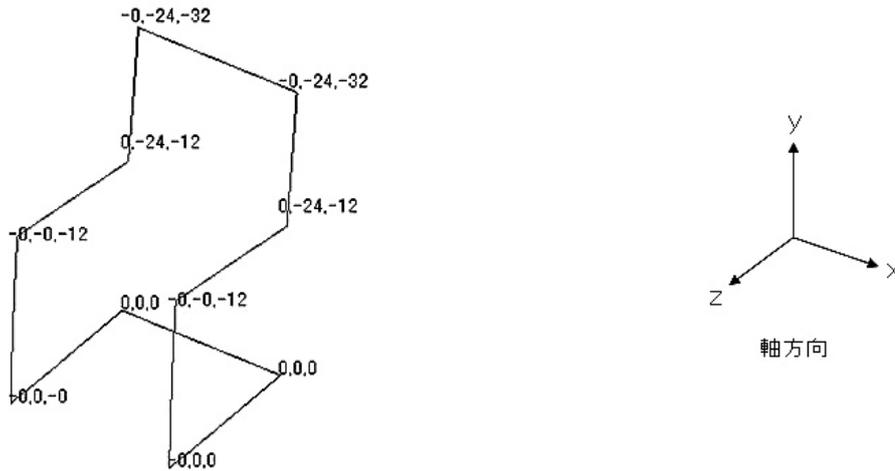


図19 変形量（順に x、y、z 方向の変形量を示す。単位 mm）

4. Discussion 考察

1) 強度に関する考察

上述のように、キャンティレバー椅子の強度は主に曲げモーメントを検討すればよい。そこで、鋼管の外径と肉厚と、曲げ強度に対する安全率（≒強さの余裕度、鋼材の短期許容曲げ応力度と部材に生じる曲げ応力度の比）の関係をグラフ化して平易かつ明快に提示することを試みた。

(1) 鋼管の外径と曲げ強度の関係

まず上記の解析モデルと材質が同一の肉厚1.9mmの鋼管を用い、鋼管の外径のみを変化させた場合の安全率の遷移をグラフ化した。図20は鋼管の外径を21.7mmから±0.6mmずつ11段階に変えて断面係数を求め、安全率は断面係数に比例させ Excel 2003で曲線補間して作成したものである。

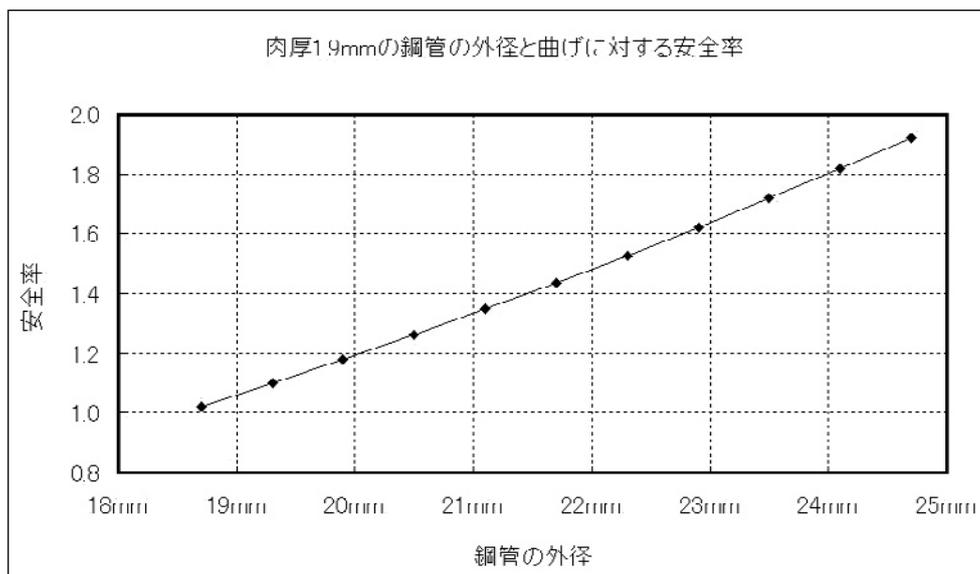


図20 肉厚1.9mmの鋼管の外径を変えた場合の曲げモーメントに対する安全率

ここで、安全率が大きいほど強度に余裕がある。安全率が1以下だと弾性範囲を超え、形状が元に戻らない。なお、図10で説明したように、STK400材は引張強さが短期許容応力度の約1.7倍なので、安全率が $1 \div 1.7 = 0.58$ 以下だと破断にいたる。

(2) 鋼管の肉厚と曲げ強度の関係

次に、上記の解析モデルと材質が同一の外径21.7mmの鋼管を用い、肉厚のみを変化させた場合の安全率の遷移をグラフ化した。図21は鋼管の肉厚を1.9mmから±0.18mmずつ11段階に変えて断面係数を求め、安全率は断面係数に比例させ Excel 2003で曲線補間して作成したものである。

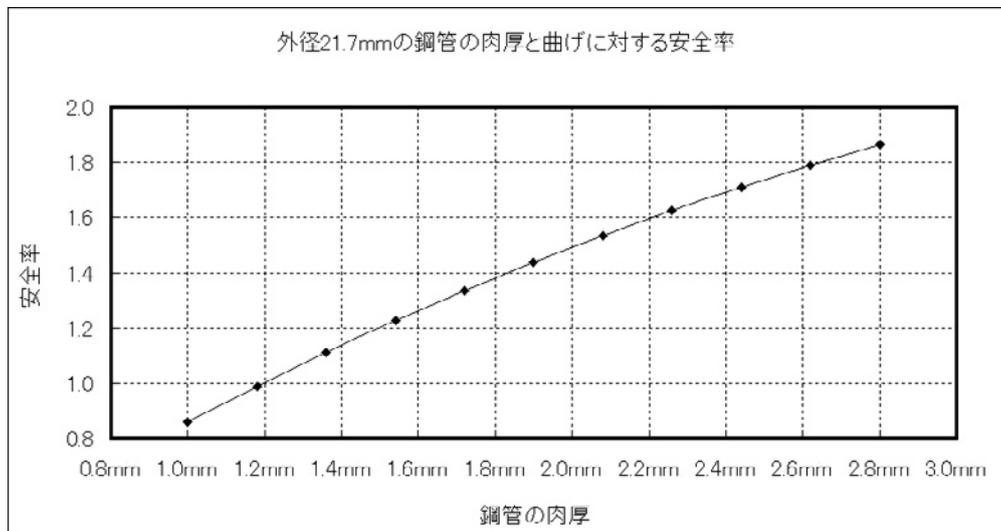


図21 外径21.7mmの鋼管の肉厚を変えた場合の曲げモーメントに対する安全率

2) 変形に関する考察

座り心地と密接な関係がある変形量について、変形量が断面2次モーメントと反比例することを利用して鋼管の外径、肉厚との関係をグラフ化し、平易かつ明快に提示することを試みた。

(1) 鋼管の外径と変形量の関係

まず上記の解析モデルと材質が同一の肉厚1.9mmの鋼管を用い、鋼管の外径のみを変化させた場合の変形量の遷移をグラフ化した。図22は鋼管の外径を21.7mmから±0.6mmずつ11段階に変えて断面2次モーメントを求め、変形量は断面2次モーメントに反比例させ Excel 2003で曲線補間して作成したものである。

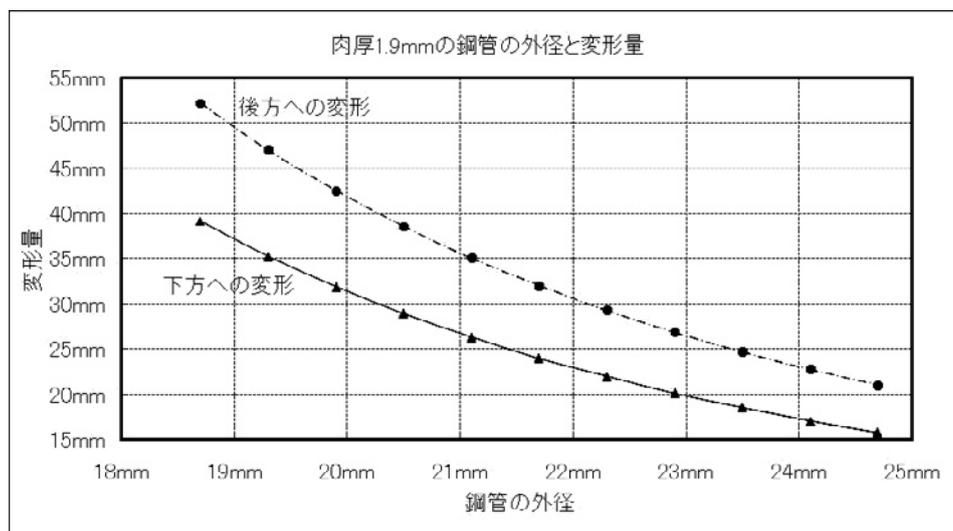


図22 肉厚1.9mmの鋼管の外径を変えた場合の変形量

(2) 鋼管の肉厚と変形量の関係

次に、上記の解析モデルと材質が同一の外径21.7mmの鋼管を用い、肉厚のみを変化させた場合の変形量の遷移をグラフ化した。図23は鋼管の肉厚を1.9mmから±0.18mmずつ11段階に変えて断面2次モーメントを求め、変形量は断面2次モーメントに反比例させ Excel 2003で曲線補間して作成したものである。

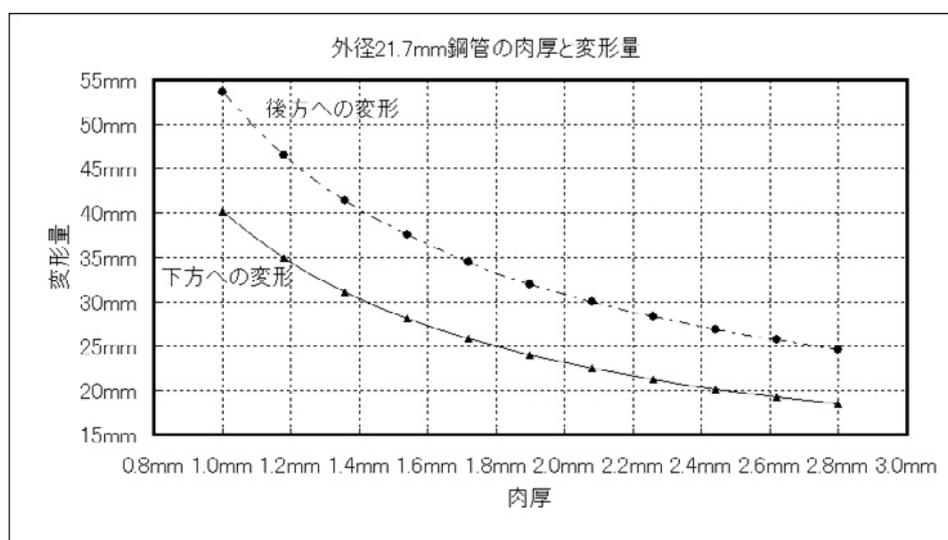


図23 外径21.7mmの鋼管の肉厚を変えた場合の変形量

3) 整理

グラフの表記方法やパラメーター数は改善の余地があるが、インテリアデザイナーがリ・デザインを行う際に、こうしたグラフを活用すれば、鋼管の外径や肉厚が椅子の強度や変形量に与える影響を直感的に理解することができ、また数値で明快に寸法を指定できる。筆者は実際に「S33」「S43」「MR チェア」「ブルーノチェア」など数多くのカンティレバーチェアを販売しているアイデック社で担当者にヒアリングし、こうしたグラフの有効性を確認することができた^(2009/10/7)。

Conclusion 結語

本稿では、椅子の鋼管径・肉厚と強度・変形の関連を簡易なグラフに示した。デザイナーが椅子の形状や構成材を決める際のソフトを提供するのが筆者の目標だが、その第一歩になったと考える。今後は、寸法や材質などのパラメーターを増やして解析し提示をしていきたい。この場合、多くのパラメーターからの算定を可能な限り単一のグラフから読み取れるようにグラフの表現を工夫していきたい。構造設計（構造デザイン）の実務者が用いる計算図表³⁷⁾はこの点で多くの工夫がなされているので、デザイナーに対して難解な印象を与えない範囲でこれを参考にしていきたい。なお、コンピューターソフトのみの運用で考えれば、画面上で色や動画やリンクを活用することで数多くのパラメーターの関連をかなり縦横無碍に表現可能であろうが、筆者の長期間の実務経験では、紙に印刷した状態で理解できることが、デザイナーと生産担当や営業担当等とのコミュニケーションで極めて重要なことを痛感しているため、携帯情報機器・端末の活用も視野に入れ、こうした表現方法のベストなバランスを工夫していくことも今後の重要な検討事項であると考えている。

また、「MR チェア」などの曲線で構成された椅子での解析や、フラットバーによる「ブルーノチェア」など、鋼管以外の鋼材での解析も行う予定である。なお「パントンチェア」など複雑な3次元曲面を有する椅子は、要素を面材として扱って解析する必要がある。最近では3次元CADのデー

タをベースに自動的に要素を面材として分割できるシステムもあるが、高価なのが難点であり、安価な方法も含め模索していきたい。

さらに、机上の解析だけではなく、実際の椅子で荷重と変形の実測による検証や、アムスラー試験機等による加載時の椅子の強度測定、ひずみゲージによる測定も重要であるし、変形と座り心地の関係の実験や、着座位の体圧分布の測定等も必要であろう。ただし、これらの実験のためには設備と諸費用が必要であり、これについては、現実に消費可能な予算と時間、さらに費用対効果などの面で、今後検討を行いたい。

いずれにせよ、デザイナー用の簡易な構造設計（構造デザイン）支援ソフトを提供することはわが国のインテリアデザインの発展のために寄与することは大きいと考える。引き続き研究を進めたい。

参考文献

- 1) Glenn Porter、海野弘監訳：レイモンド・ローウィー消費者文化のためのデザイン、美術出版社、p. 13、2004
- 2) 森谷義男、奥山清行、澄川伸一、倉方雅行、村田桂太、鉢呂文秀、中村倫明、是枝靖久：プロダクトデザインのシクミとワザー著名デザイナー7組による秘伝のモノ作り術、誠文堂新光社、p. 36、2008
- 3) 同上、p. 151
- 4) 柳宗理デザイン金沢展開催実行委員会：柳宗理うまれるかたち、能登印刷出版部／梧桐書院、p. 14、2003
- 5) James Edward Gordon、土井恒成監訳：強さの秘密 なぜあなたは床を突き抜けて落ちないか、丸善、p. 3、1999
- 6) 青木弘行、石川弘、岡田明、小川一行、勝浦哲夫、菊池安行、久保光徳、佐藤公信、重田良一、清水忠男、杉山和雄、鈴木邁、瀧徹、田中みなみ、永田喬、野口尚孝、宮崎清、宮崎紀郎、森典彦、村越愛策 以上分担執筆、森典彦編：インダストリアルデザイナー—その科学と文化、朝倉書店、p. 34-46、1993
- 7) James Edward Gordon、石川広三監訳：構造の世界 なぜ物体は崩れ落ちないでいられるか、丸善、p. 1-14、1991
- 8) 原研哉：デザインのデザイン、岩波書店、p. 107、2003
- 9) 島崎信：一脚の椅子・その背景 モダンチェアはいかにして生まれたか、建築資料研究社、p. 218、2002
- 10) 海野弘：モダン・デザイン全史、美術出版社、p. 383、2002
- 11) 原研哉、日本デザインセンター原デザイン研究所：RE DESIGN—日常の21世紀、朝日新聞社、p. 8、2000
- 12) Editors of Phaidon Press: Phaidon Design Classics Vol. 1, Phaidon Press, No.157, 2006
- ※ 『Phaidon Design Classics』はデザインの発展を実例で示した3巻からなる資料集であり、過去200年間に生み出されたプロダクトデザインから、専門家グループが入念に選定した優れた999点を紹介している。この中でマルト・スタムの「S33」はNo. 157にマルセル・ブロイヤール作として紹介されているが、オリジナルのマルト・スタムによる溶接ガス管製プロトタイプも紹介しており、どちらがカンティレバーチェアの発案者であるかの裁判による混乱を象徴している。なお同書はページ数が付されていないので、本稿ではページの代わりに作品No. を表記する。
- 13) Michael Siebenbrodt Thomas Föhl: Bauhaus-Museum (Kunstsammlungen zu Weimar), Deutscher Kunstverlag, p.107, 2007
- 14) R. Bittner: Bauhausstil zwischen international Style und Lifestyle, Museum Tusculanum Press, p.78, 2004
- 15) 前掲書12)、No. 147
- 16) 島崎信、東京生活デザインミュージアム：美しい椅子 4 世界の金属製名作椅子、榎（エイ）出版社、p. 8-13、2004
- 17) 光藤俊夫：世界の椅子絵典、彰国社、p. 86、1987
- 18) 前掲書12)、No. 166
- 19) Room + (加藤直徳、田沢健一郎)：椅子の辞典 For living、白夜書房、p. 144、2003
- 20) 前掲書12)、No. 191
- 21) Carsten-Peter Warncke: De Stijl 1917-1931. Das Ideal als Kunst, Taschen Deutschland GmbH, p.139, 2002

- 22) 前掲書12)、No. 214
- 23) 島崎信、東京生活デザインミュージアム:美しい椅子 5 世界の合成素材製名作椅子、榎(エイ)出版社、p. 34、2005
- 24) 前掲書19)、p. 41
- 25) 草間晴幸・小笠原達・伊藤哲雄:初学者のための有限要素解析事始め、HBJ 出版局、p. 5 - 9、1991
- 26) 同上、p. 1
- 27) 中山秀太郎、堤一郎、浜田忠孝、内田光夫、間島理、林邦夫:材料力学入門、大河出版、p. 36、1983
- 28) 同上、p. 27
- 29) 日本規格協会:JIS ハンドブック2009 ⑧ 建築 I (材料・設備)、座面の耐久性試験と背もたれの耐久性試験 JIS S1032 10.2.5.6、日本規格協会、p 1862、2009
- 30) 小原二郎、内田謙、上野義雪、八田一利:人体を測る—計測値のデザイン資料、日本出版サービス、p. 92、1986
- 31) 井上昇:改訂版「椅子」、建築資料研究社、p. 36-40、2008
- 32) 小原二郎、内田祥哉、宇野英隆、大内一雄、大須賀常良、寺本弘道:建築・室内・人間工学、鹿島出版会、p. 118、1969
- 33) 森谷延周:家具のデザイン 椅子から学ぶ家具の設計、オーム社、p. 55-58、2007
- 34) 星谷勝:ドクター星谷の絵で考える構造力学、山海堂、まえがき、1994
- 35) SE 委員会(角本忠敬、鈴木清次、高原要、滝口徹、武田照雄、中島康之、藤村勝)、小菅廣芳:構造計算の実務—知っておきたい根拠と常識、建築技術、p. 9、1996
- 36) 中野清司、吉田邦雄、小川三郎、春日井秀明、川上格、寺本栄治:現場必携—建築構造ポケットブック第3版、共立出版、p. 267、1991
- 37) 同上、p. 268