

構造解析を用いた椅子設計による効率と自由度の向上に関する研究 (第2報)

木製椅子の背もたれ衝撃時の接合部力学挙動の解析

森茂智彦^{*1*2}, 松井和己^{*2}, 山田貴博^{*2}

Research on improving efficiency and freedom by chair design using structural analysis (II)
Analysis of Joint Mechanical Behavior in a Wooden Chair under Backrest Impact Loading

MORIMO Tomohiko^{*1*2}, MATSUI Kazumi^{*2}, YAMADA Takahiro^{*2}

本研究では、背もたれに作用する衝撃荷重を対象に、木製椅子の接合部周辺の変形挙動および荷重伝達を明らかにすることを目的とした構造解析を実施した。実験結果とのひずみの比較により、曲げ成分については解析結果と実験結果が良好に一致しており、本解析モデルによって衝撃時のフレーム全体の変形挙動を適切に再現できることを確認した。結果より、衝撃荷重は背から後脚および幕板周辺へ伝達され、前脚付近を支点とする回転を伴う変形が生じた。接合部周辺のひずみは接合部単体の剛性だけでなく、フレーム全体の变形および荷重伝達経路に強く依存することが示され、木製椅子の耐衝撃性の設計にはフレーム全体の挙動を考慮することが重要であることが明らかとなった。

1. 緒言

椅子は人が直接座る家具であり、着座中に破損した場合は怪我につながるおそれがある。このため、椅子の構造の信頼性を確保することが重要である。椅子の破損は接合部で生じることが多く、接合部の挙動は椅子の強度を考える上で重要な要素である。このような力学挙動を把握するためには、実験だけでなく構造解析による検討が有効であり、これまで椅子の強度に関する研究では、構造解析により静的荷重を対象とした検討が多く行われてきた¹⁻⁵⁾。一方、実際の使用環境では、着座動作や身体のもたれかかり、衝突などにより、椅子には瞬間的な衝撃荷重が作用する場合がある。しかし、このような衝撃荷重を対象とした研究は多くは報告されていない。特に背もたれに作用する衝撃荷重は、後脚や座面周辺の接合部に大きな負荷を与える荷重条件であると考えられるが、このような衝撃荷重が作用した際に、接合部周辺の部材がどのように変形し、どのように荷重を負担・伝達するのかについては、十分に明らかになっていない。

そこで本研究では、背もたれに作用する衝撃荷重を対象として、有限要素解析により接合部周辺の部材の変形および荷重伝達を明らかにすることを目的とする。解析モデルの妥当性を確認するために、実験により接合部周辺の変形挙動を観測し、解析結果との比較を行う。これにより、接合部の変形や荷重の挙動を精度よく把握し、椅子の設計に活用できる基礎的な知見を提供する。

2. 解析と実験の共通事項

2.1 椅子の形状

椅子の形状を図1に、寸法を図2に示す。できるだけシンプルな形状で検討するため、曲線を使用せず、角材のみで構成される構造とした。

2.2 試験内容

木製椅子に加える衝撃は、JIS S1203:1998 7.11に規定されている背もたれの耐衝撃性試験の方法で加える。ハンマの角度は規格の試験区分3相当とする。

- ・7.11 背もたれの耐衝撃性試験：背もたれ最上部の外側の中央を38°の角度から落下する衝撃ハンマによって、水平に打撃する⁶⁾。

^{*1} 試験研究部

^{*2} 横浜国立大学大学院 環境情報学府

2.3 ひずみの測定位置

解析の妥当性確認のため、解析結果と実験結果から図3に示す位置のひずみを取得する。なお、各測定箇所では、ひずみゲージを向かい合うように貼り付けており、式(1)、(2)を用いて、ひずみの曲げ成分 $\varepsilon_{\text{曲げ}}$ 、軸成分(引張・圧縮成分) $\varepsilon_{\text{軸}}$ を求めた。背もたれや脚では前側のひずみを ε_1 、後側のひずみを ε_2 とした。幕板では上側のひずみを ε_1 、下側のひずみを ε_2 とした。

$$\varepsilon_{\text{曲げ}} = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) / 2 \quad \dots\dots (1)$$

$$\varepsilon_{\text{軸}} = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / 2 \quad \dots\dots (2)$$

3. 解析条件と実験条件

3.1 解析条件

解析ソフトはANSYS 2025R2を使用した。図1の椅子形状の部材同士は、剛結合とした。また、左右対称形状のため、片側半分のみの形状で解析を実施した。

図4に示すように、椅子を水平な床の上に設置し、前脚には高さ12mmのストッパを当てた。ハンマは、打撃部の先端中心が背もたれ最上部の外側の中央位置に接触する位置に設置した。JISでは、ハンマを角度38° から振り子式に自由落下させて打撃することが規定されている。これに基づき、着地点での理論角速度2.039rad/sをハンマの初期角速度と

して設定した。また、ハンマと椅子には床方向へ重力加速度9.8mm/s²を与えた。

ハンマの寸法はJISに記載の寸法とした。図5のようにハンマの腕の材質は金属であり、頭部はゴム・木材・金属の三層構造である。ハンマの回転軸は金属とし、位置を完全固定にしている。ハンマと椅子の背もたれ、椅子の脚と床およびストッパとの接触は摩擦なし接触とした。

設定した物性値を表1に示す。椅子とハンマの木材部分は直交異方性とし文献値を参照した⁷⁾。異方性の方向は図6に示すとおりとし、X軸を木材のL方向、Y軸をR方向、Z軸をT方向とした。ハンマの密度は、JISで定める重量(頭部:6.5kg、腕:2kg)相当になる値とした。

解法は動的陰解法を用いた。減衰なしとした。

表 1 物性値

椅子/ハンマの木材部分			ハンマのゴム部分	
ヤング率 [GPa]	L(X軸)	11.5	等方性	ゴム
	R(Y軸)	1.45	ヤング率[GPa]	0.01
	T(Z軸)	0.75	ポアソン比	0.49
ポアソン 比	LR(XY)	0.4	密度[kg/m3]	1200
	RT(YZ)	0.6	ハンマの金属部分/床/ストッパ	
	TL(ZX)	0.6		
せん断 弾性係数 [GPa]	LR(XY)	0.95	等方性	軟鋼
	RT(YZ)	0.15	ヤング率[GPa]	200
	TL(ZX)	0.7	ポアソン比	0.3
密度[kg/m ³]		700	密度[kg/m3]	7695

せん断弾性係数は自動計算された値を用いた

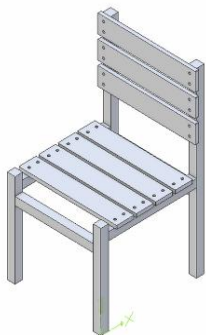


図1 椅子の形状

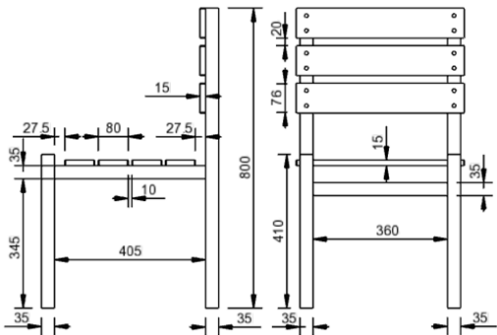


図2 椅子の寸法

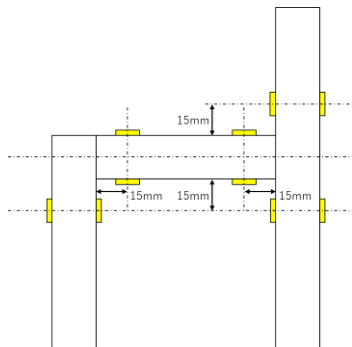


図3 測定位置



図4 解析モデル

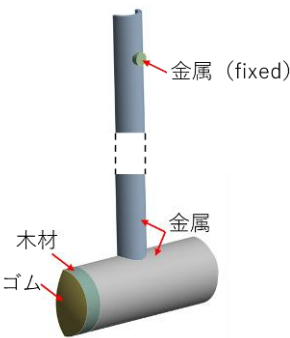


図5 ハンマ

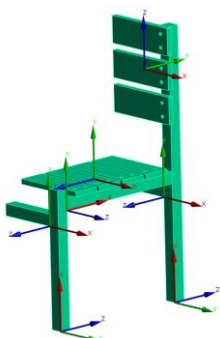


図6 椅子の異方性の設定

3.2 実験条件

図7に示すように、椅子を水平な床の上に設置し、前脚に高さ12mmのストッパを当てた。ハンマを背もたれ最上部の外側の中央位置に、角度38° から振り子式に自由落下させて打撃した。また、図3の測定位置に加えて、前脚上部の水平方向の変位をレーザー距離センサ(株式会社キーエンス・IL-S100)で測定した。後脚高さを求めるため、事前に前脚上部の変位と後脚高さとの対応関係を測定し、取得した変位を後脚高さに換算した。ひずみゲージは株式会社共和電業・KFGS-5-120-C1-11 L3M2R、測定にはグラフテック株式会社・GL7000-PSを用いた。サンプリング周期は5usとした。



図7 実験状況

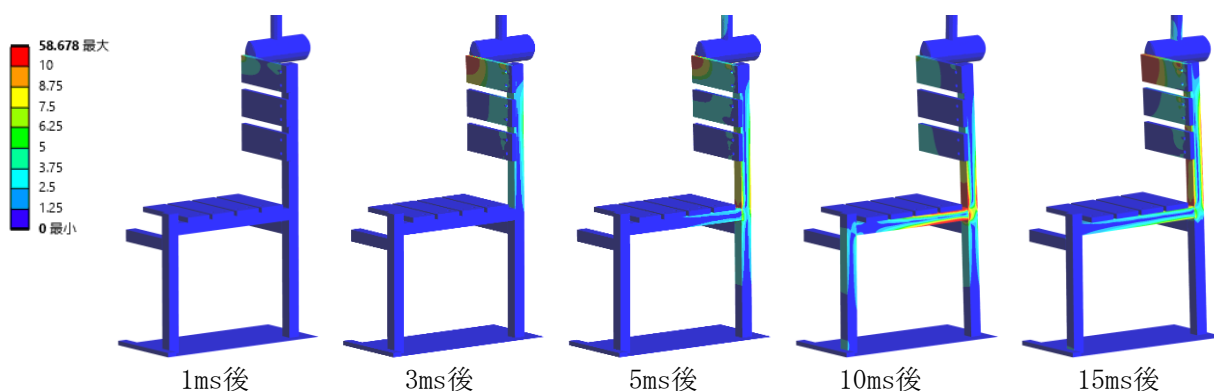


図8 解析結果 (ミーゼス応力)

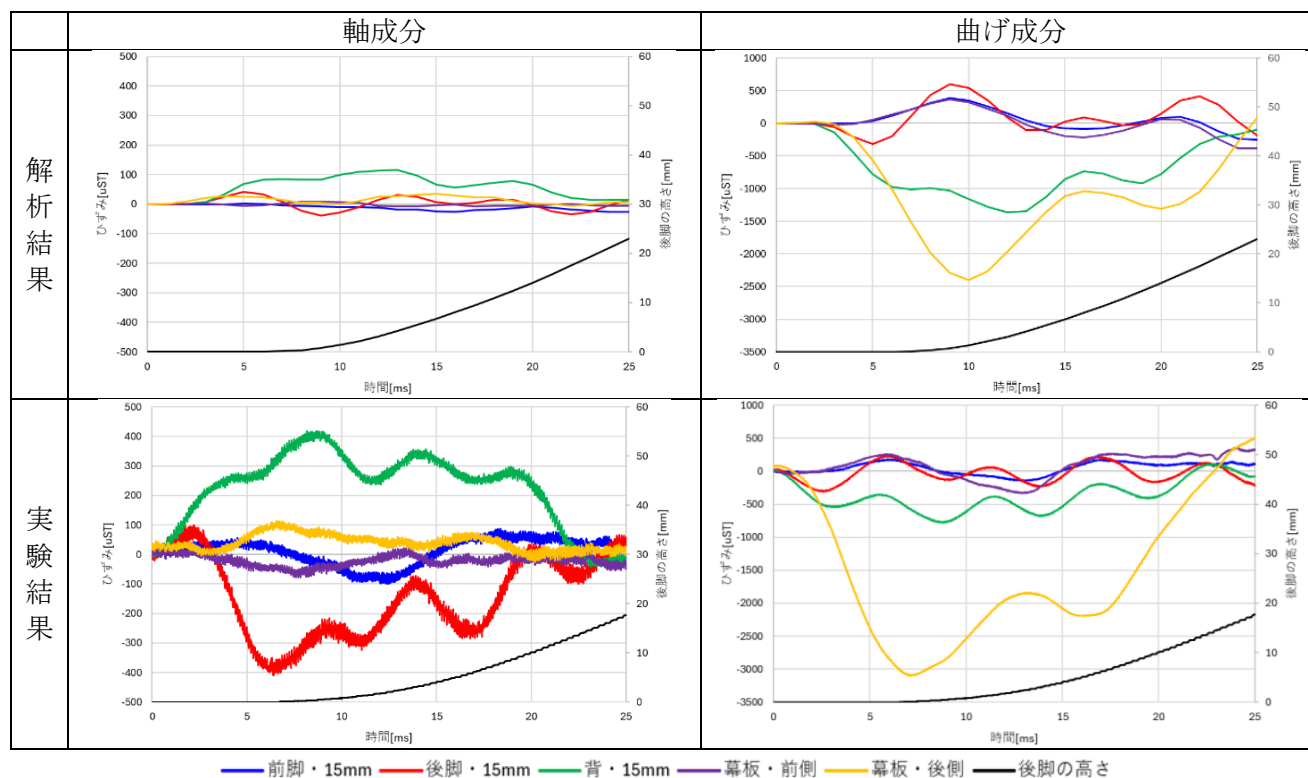


図9 ひずみの結果

4. 結果と考察

4.1 解析結果

図8にミーゼス応力の解析結果のコンター図を示す。衝撃直後は背もたれに高い応力が生じているが、時間の経過とともに、後脚と幕板の方に広がっている様子が確認された。

4.2 ひずみの結果の比較

図9に解析によるひずみの計算結果と実験によるひずみの測定結果を示す。

本研究では、接合部周辺の部材の変形挙動および荷重伝達経路の把握を目的としている。このため、材料特性や接合部剛性のばらつきの影響を受けやすいひずみの絶対値の一致ではなく、各部に生じるひずみの正負、大きさの相対的な順序、ピークが現れるタイミング、および後脚の浮き上がりに伴う変形の対応関係に着目して解析結果と実験結果を比較し、再現性を確認する。これらは構造全体の変形モードおよび荷重伝達経路によって決まる量であり、これらが一致していれば接合部周辺の力学挙動を適切に再現できていると判断できるためである。

まず後脚高さについて比較すると、解析結果および実験結果のいずれにおいても時間の経過に伴い単調に増加しており、衝撃後に後脚が浮き上がる過程は概ね一致している。このことから、全体の挙動は解析により適切に再現されていると考えられる。

軸成分について比較すると、衝撃後、背には引張方向のひずみが生じ、この傾向は解析と実験で共通して確認された。また、前脚および幕板付近では、いずれの場合も他のひずみと比較して小さい点で一致している。一方、後脚について実験では圧縮側のひずみが生じているが、解析では必ずしも圧縮側とはならず、差異が見られた。これは、解析において接合部の剛性を高く設定しすぎたことにより、接合部の変形が抑制され、フレーム全体が一体的に回転・移動する挙動を示したためと考えられる。その結果、衝撃後に脚底が移動しやすくなり、実構造に比べて軸力の伝達が抑制され、後脚に十分な圧縮軸力が発生しなかった可能性がある。

曲げ成分について比較すると、幕板後側において最も大きなひずみが生じ、後脚が浮き上がる付近で下向きにピークを示す挙動やその後の増減の動きは解析と実験でよく一致している。また、後脚が浮き上がる瞬間には、前脚、後脚および幕板前側が正側、背および幕板後側が負側となっており、フレーム全体が回転を伴って変形するモードとなっている点も共通している。

以上より、本解析は、後脚の軸成分を除き、ひずみの絶対値に差が見られるものの、大きさの順序、ピークの発生タイミングおよび後脚の浮き上がりに伴う変形挙動の関係は良好に再現されている。また、軸成分の絶対値は曲げ成分に比べて十分に小さいことから、本挙動は主として曲げ変形に支配されていると考えられる。したがって、曲げ成分の挙動を適切に再現できている本解析は、接合部周辺の部材の変形および荷重伝達を把握するという本研究の目的に対して、十分な再現性を有するといえる。

4.3 考察

本研究の解析結果および実験結果より、背もたれに衝撃荷重が加わった際の木製椅子の応答は、接合部単体の局所的な変形のみで決まるのではなく、フレーム全体の変形形状に支配される挙動であることが確認された。ミーゼス応力の分布では、衝撃直後に背部に高い応力が生じ、その後後脚および幕板へと広がっており、衝撃荷重がフレーム全体に伝達されていることが分かる。

ひずみの比較では、背に引張の軸成分が生じる関係や、幕板後側に曲げ成分が集中する挙動が解析と実験で一致していた。本研究で対象とした試験では前脚にストッパを当てているため、衝撃時には前脚付近を支点とした回転変形が生じる。この回転変形により背側に引張が生じるとともに、後脚と座枠を結ぶ幕板後側に曲げが集中する。このような軸力および曲げのひずみ分布が解析と実験で一致していることから、本構造の衝撃応答は接合部単体ではなく、フレーム全体の回転を伴う変形モードによって支配されていると考えられる。

一般に木製椅子の強度設計では接合部の強度向上に着目した検討が行われることが多いが、本研究の結果から、背もたれへの衝撃のようにフレーム全体に回転変形が生じる荷重条件では、接合部のみを強化してもフレーム全体の変形形状が変わらない限り、幕板や脚部など他の部材に曲げが集中する可能性があることが分かる。すなわち、接合部近傍に生じるひずみはフレーム全体の変形の影響を受けており、衝撃に対する耐性は接合部単体の強度だけでなく、部材配置およびフレーム全体の剛性分布によって決まる荷重伝達経路に強く依存する。

本研究の結果から、耐衝撃性は接合部の強度だけでなく、フレーム全体の剛性および荷重伝達経路によって決まる。以上より、木製椅子の衝撃強度設計には、接合部強度とフレーム剛性の両方を考慮することが重要である。

5. 結言

本研究では、背もたれに作用する衝撃荷重を対象として、接合部周辺の変形挙動および荷重伝達の把握を目的とした構造解析を実施した。解析結果と実験結果を比較したところ、曲げ成分については解析結果と実験結果が良好に一致しており、本解析モデルによって衝撃時のフレーム全体の変形挙動を適切に再現できることを確認した。結果より、背もたれに作用する衝撃荷重のようにフレーム全体に変形が及ぶ荷重条件では、接合部のみの強度や剛性だけでなく、フレーム全体の剛性および荷重伝達経路が、接合部周辺の挙動に大きく影響することが分かった。

以上より、木製椅子の耐衝撃性の設計には、接合部単体の強度だけでなく、フレーム全体の挙動を考慮することが重要である。

謝辞

本研究の一部は、一般財団法人越山科学技術振興財団研究助成金により実施した。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 関澤良太他、木製家具製作のための CAE 適用手法の開発、福島県ハイテクプラザ 令和 6 年度試験研究報告書、2026.
- 2) 船井孝、県産広葉樹活用技術の開発（Ⅰ）－試作ゼロに挑む！コンピュータシミュレーションが磨く設計力－、令和 7 年度第 72 回静岡県工業技術研究所研究発表会要旨集、p. 4、2026.
- 3) 室内聡子他、木質資源と高機能素材を活用した家具の設計、徳島県立工業技術センター研究報告、Vol. 31、pp. 11-17、2022.
- 4) 楠本幸裕他、CAE 応力解析による脚物家具の構造強度評価方法（第 1 報）－CAE 応力解析のための木材材料特性の設定－、福岡県工業技術センター研究報告、Vol. 30、pp. 17-20、2020.
- 5) 上野明也他、構造解析を利用したコンセプトデザイン、東京都立産業技術研究センター研究報告、Vol. 11、pp. 57-62、2016.
- 6) JIS S 1203:1998、家具－いす及びスツール－強度と耐久性の試験方法、日本規格協会、1998.
- 7) 農林省林業試験場、新版 木材工業ハンドブック、丸善出版、1973.