

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1報)

ASME V&V 40に基づくサブアセンブリを用いた接合部評価方法の提案

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 (I)
Proposal of a joint evaluation method using subassemblies based on ASME V&V 40

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

椅子の接合部の強度を評価する際、椅子全体の形状では荷重が分散するため、接合部が受ける荷重を正確に把握することは難しい。そこで本研究では、接合部の評価方法として、サブアセンブリを用いた方法を提案する。サブアセンブリは、着目する変形に関連する部材のみを組み合わせたものであり、対象を限定することで、各部材の機能や相互作用をより明確に把握できる。検証のため、椅子形状とサブアセンブリに荷重を加え接合部のひずみを比較した。結果、サブアセンブリを用いた方法は、椅子形状の評価を補完し、接合部に焦点を当てた強度評価方法として有効であることが示された。

1. 緒言

椅子の接合部は、構造の強度や耐久性に大きく影響を与える重要な要素である。従来の強度試験は、椅子全体の性能を評価する方法として有効であるが、荷重が分散するため、個々の接合部が受ける力を正確に把握することは困難である。

そこで本研究では、接合部に着目した評価方法を提案する。接合部ごとの強度特性を明らかにすることで、構造全体の信頼性向上を目指す。

2. 提案する評価方法

2.1 シミュレーション分野での評価の位置付け

CAEなどのコンピュータシミュレーションでは、現実世界の現象を適切に表現できているかを確認するために、シミュレーション結果の妥当性確認が必要である。妥当性確認では、実験によって実際の現象を把握し、シミュレーション結果と比較して、シミュレーションが現実の挙動を再現できているかを確認する。これは、対象の特性を把握し、挙動を適切に評価するという点で、製品評価試験とも共通する。

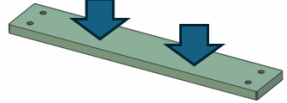
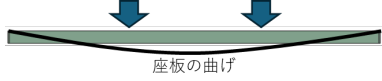
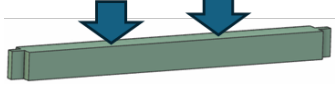
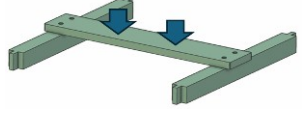
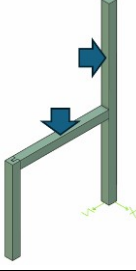
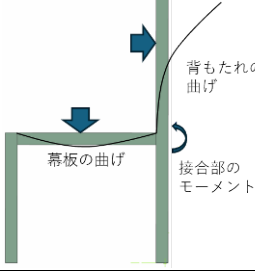
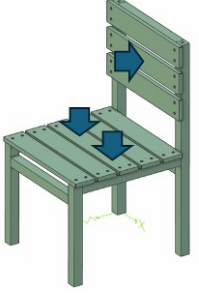
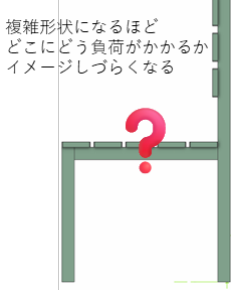
2.2 シミュレーションの標準規格に基づく提案

シミュレーションの妥当性を評価する標準規格の一つに、アメリカ機械学会のASME V&V 40が制定されている¹⁾。この規格は、医療機器向けであるが、内容は一般的なシミュレーションの枠組みを示しており、広く応用可能である。規格では、完成品をフルモデル、サブアセンブリ、部材、材料（物性値）の階層構造に分解し、各階層でシミュレーションモデルの妥当性を確認するボトムアップアプローチが推奨されている。これは単純なモデルから複雑なモデルへと段階的に進める方が物理的な解釈がしやすいためである。椅子に適用した場合の各階層でのモデルの例を表1に示す。フルモデルは椅子全体、サブアセンブリはいくつかの部材を組み合わせたもの、部材は単一のものを指す。サブアセンブリは、着目する変形に関連する部材のみを組み合わせたものである。対象を限定することで、各部材の機能や相互作用をより明確に把握できる。この考え方を椅子の接合部の評価手法に応用し、本研究ではサブアセンブリを用いた方法を提案する。

^{*1} 試験研究部

^{*2} 横浜国立大学大学院 環境情報学院

表1 椅子における階層構造と各階層での評価イメージ

階層	荷重位置	評価対象となる挙動	物理的解釈
部材			容易  困難
			
サブアセンブリ			
			
フルモデル			

3. サブアセンブリ評価の有効性

サブアセンブリによる評価の有効性を示すため、JIS S 1203:1998 7.2背もたれの静的強度試験²⁾を例に検証した。

3.1 実験方法

フルモデル（椅子）とサブアセンブリそれぞれに、背もたれへの荷重を加え、接合部周辺のひずみを比較した。

(1) 試験体

図2に試験体の形状とひずみの測定位置を示す。サブアセンブリは、前脚、幕板、後脚の3本を組み合わせた形状とした。フルモデルおよびサブアセンブリの接合部はホゾ接合とし、樹種はホワイトウッドとした。ひずみゲージは共和電業・KFGS-5-120-C1-11を用いた。試験体数は、フルモデル10脚、サブアセンブリ7脚とした。

(2) 試験方法

試験体が後方へ移動しないように後脚を高さ12mmのストッパに当てた。背もたれ当て板を介して、背もたれに5N/sの速度で破壊に至るまで荷重を加えた。なお、釣り合わせのため、フルモデルは座面の中央に座面当て板を介し、サブアセンブリは幕板の中央に小型座面当て板を介し、1,000Nの垂直荷重を加えた。

(3) 評価方法

ひずみの測定結果より、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。背もたれの前側のひずみを ε_1 、後側のひずみを ε_2 とした。

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

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

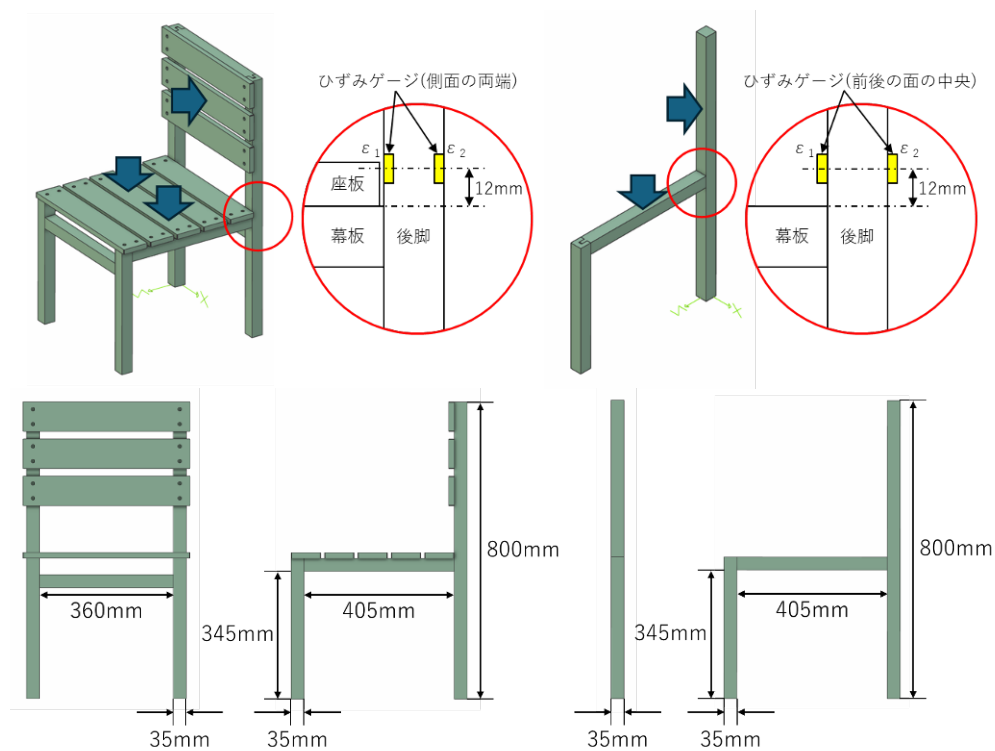
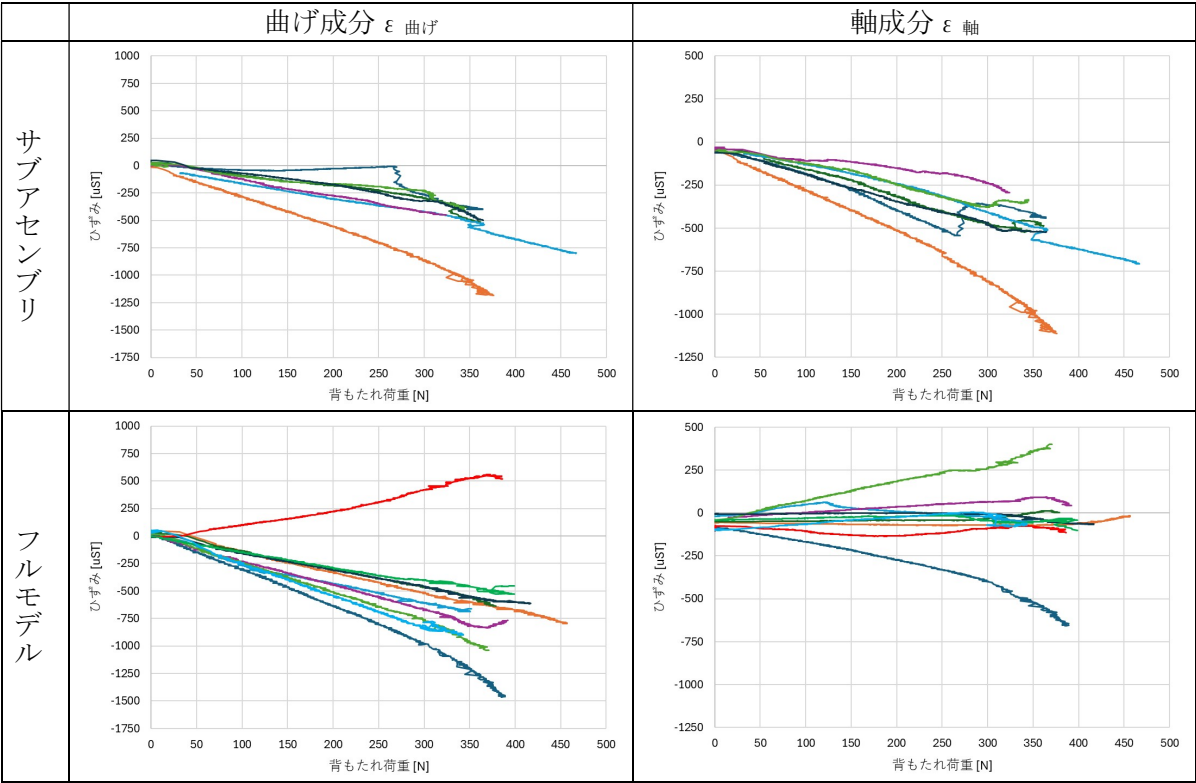


図2 試験体の形状とひずみの測定位置 (左：フルモデル、右：サブアセンブリ)

表2 ひずみの曲げ成分と軸成分の算出結果



3.2 実験結果

測定結果から算出した、ひずみの曲げ成分と軸成分のグラフを表2に示す。横軸は背もたれに加えた荷重であり、荷重開始から最大荷重までの範囲を示している。

3.3 検証

曲げ成分は、すべてのサブアセンブリおよび1体を除くすべてのフルモデルでマイナス方向に生じた。軸成分は、すべてのサブアセンブリでマイナス方向（圧縮方向）に生じたが、フルモデルでは2体を除き、ほとんど変化が見られなかった。なお、フルモデルで曲げ成分がプラス方向に生じた試験体の接合部にはヤニつぼが、軸成分に変化が見られた試験体の接合部には節が存在しており、これらの木材欠点が、通常とは異なるひずみ挙動を引き起こした要因であると考えられる。一般的に、椅子を製作する際には接合部にこのような欠点を使用しないため、これらの試験体は考察対象から除外する。

フルモデルでは軸成分に明確な変化が見られなかった理由としては、全体構造の拘束や周辺部材の影響により接合部に作用する力が分散されたことが挙げられる。その結果、軸成分のひずみが顕在化しにくくなったと考えられる。一方、サブアセンブリは接合部を含む局所構造のみで構成されており、接合部に集中する力の影響をより直接的に捉えることができたと考えられる。

以上より、サブアセンブリを用いた評価は、フルモデルでは捉えきれない接合部の挙動を把握できるため、接合部の強度を評価する方法として有効であると考えられる。ただし、曲げ成分の大きさは、サブアセンブリよりもフルモデルの方が全体的にやや大きい値を示しており、サブアセンブリのみで試験を行うことが最適とは言えない。サブアセンブリによる評価は接合部に焦点を当てた

ものであり、フルモデルでの評価を補完する役割を担うものであることを認識しておく必要がある。

4. まとめ

本研究では、椅子の接合部に着目した評価方法として、ASME V&V 40に基づいたサブアセンブリを用いた方法を提案した。実験による検証の結果、フルモデルとサブアセンブリでは荷重を加えた際の接合部のひずみが異なる挙動を示し、サブアセンブリを用いることで接合部の挙動をより明確に把握できる可能性が示唆された。このことから、サブアセンブリによる評価はフルモデルでの評価を補完し、接合部の強度を評価する方法として有効であると考えられる。

サブアセンブリを用いた評価により、接合部の詳細な特性が明らかとなり、設計や品質管理の向上、局所的な弱点の発見、新しい材料や接合方法の評価に繋がる可能性がある。また、評価を行った接合部と同じ形状の接合部を他の椅子に応用する際の指針にもなると考えられる。

今後は、異なる椅子形状や接合方法、荷重条件を対象にした検証を進め、評価方法の精度向上を検討していきたい。

謝辞

本研究の一部は、V&V40の例題を作る会の皆様と共同で行った。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) ASME V&V 40 2019, Assessing the Credibility of Computational Modeling through Verification and Validation: Application to Medical Devices, ASME, 2019.
- 2) JIS S 1203:1998, 家具—いす及びスツルー—強度と耐久性の試験方法, 1998.