

成形合板を用いたスツールの製作

11N3076 宮田 雄介 指導教員 佐藤 康三教授

1. はじめに

成形合板とは材木を薄い板状に加工した単板を積層し、型に入れ成形した曲面を持つ合板のことである。

歴史は古く、1930 年代には既にイギリス、フィンランドなどで二次元曲面を持った椅子が製作されている。1945 年、チャールズ・イームズにより戦時中の添え木に使用された技術を応用した三次元曲面を持った椅子が発表され、成形合板の技術は世界中に知られることとなった。現在も様々な製品に使用され、2014 年には日本国内の家具メーカーが針葉樹の成形合板を用いた製品を発表し¹⁾、成形合板の新境地を開拓した。

図 1 は 1936 年にマルセル・ブロイヤーが手がけたダイニングチェアである。座面の厚みは 3mm²⁾と極めて薄く、薄い構造体は結果として使用する材が少なくなることの意味する。これは無垢材の削り出しにはできない、現代の持続可能な社会の実現に求められる木材の利用方法であるといえる。

本研究は成形合板を用いたスツールを題材に、成形合板の厚みに焦点を絞り、より少ない材で荷重に耐える構造体の設計及び製作を目的とする。



図 1 マルセル・ブロイヤー／ダイニングチェア／1936

2. 設計概要

2.1 構造設計条件

本製作は図 1 の椅子から着想を得た。3mm の座面は新規性があり、これより薄い成形合板を用いた椅子は確認することができない³⁾。よって制作対象物の成形合板の厚みは確認できる製品の中で最小値である 3mm に設定し、製作環境などを考慮して以下の条件を設定する。なお、本研究では素材と強度の視点からフォルムを決定する。

- 1) 少ない材で荷重に耐える構造とする
- 2) 一方向に曲げる二次元曲面とする
- 3) 成形合板の厚みを 3mm とする
- 4) 分解できることを前提とする
- 5) 部品段階でのスタッキングを可能とする

2.2 外観意匠設計条件

薄さを求めた構造体は全体的に軽やかな印象を与えることが予測される。構造設計条件を踏まえ、合板の持つ優位性をフォルムに反映させることを目標に次の条件を設定する。

- 1) モダンな基礎としたミニマルデザインとする
- 2) 薄さが印象的なフォルムとする
- 3) 新規性を有するフォルムとする

2.3 外観意匠設計・製作手順

以下の手順で製作を進める。1) ～3) で基本となるフォルムとスケールの決定を行い、4) ～7) の解析実験により強度を確認し、最終的な外観意匠フォルムを決定する。最後に 8) で製作を行う。

- 1) アイデアスケッチによる外観意匠検討
- 2) プロトタイプによる外観意匠検討
- 3) スケールの確認
- 4) 解析モデルの作成
- 5) 解析実験
- 6) 外観意匠フォルムの決定
- 7) 外観意匠図面の作製
- 8) 製作（実寸）

3. 設計

3.1 アイデアスケッチによる検討

設定した構造設計条件、外観意匠設計条件を基にアイデアスケッチを描き、基本となるフォルムを考える。薄さや弾性など、成形合板の持つ優位性を活かした構造を意識してアイデアを広げていく(図 2)。

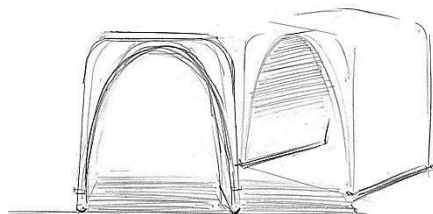


図 2 アイデアスケッチ

3.2 プロトタイプによる外観意匠検討

実際の素材に近い単板と簡易的な型を用いて 1/4 スケールの縮尺模型を製作する。実際に力を加えるなど、強度の確認を行い決定した基本となるフォルムを以下に示す(図 3)。



図 3 縮尺模型

3.3 スケールの確認

決定したフォルムを基に実寸模型をプラスチック段ボールで製作し、必要な材の量やプロポーションの確

認を行う。座面の高さは靴を履く時など、一時的に腰を下ろす際に使用することを想定し 360mm とする。製作した実寸模型を以下に示す(図 4)。



図 4 実寸模型

3.4 材料の決定

成形合板には一般的に内層部分に単板、表層部分に見た目の美しい突板が使用される。解析実験には材料特性数値が必要であるため、数値が確認できた樹種の中で比較的強度を有するナラ材を内層に採用し、解析実験は材の大部分を占めるナラの値を用いて行うこととする。表層にはナラ材に色味が近く、木目の整ったタモ材の突板を採用し、接続部品には入手が可能であった真鍮製の組ねじを使用する。

本研究は解析実験を強度の確認作業の一工程としてしている。また解析ソフトの性能により積層方向及び構成する単板の厚みのパターンが識別できないことから、合板の一般的な積層方法を用いて 3mm 厚の成形合板を再現する。具体的な積層方法を以下に示す(図 5)。

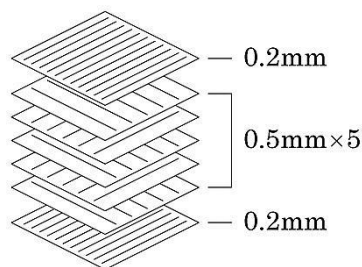


図 5 積層方法

4. 解析実験概要

4.1 モデルの作成

モデルの作製は CAD 設計ソフトの Solidworks を使用する。実際の構造では荷重を加えると大変形することが予測され、解析実験に使用するパソコンの性能では解析が不可能である。モデルのデータ量を解析可能な範囲まで減らす必要があるため、本解析では接続部分は十分に固定されたものと想定し、同一形状を一体成型したモデルで解析実験を行うこととする(図 6)。

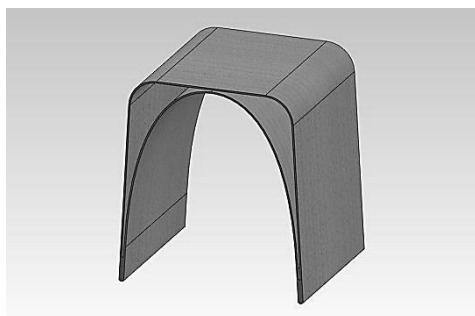


図 6 解析モデル

4.2 解析実験方法

構造解析ソフトは Solidworks Simulation を用いる。材は線形直交異方性弾性のナラ材とし、無垢材の繊維方向に当たる数値で解析にかけ、荷重に耐えた時点で線形等方性弾性である成形合板でも十分な強度を有するものと判断する。判断の基準は解析実験結果の最大応力がナラ材の降伏点である 98N/mm^2 以下であることとし、座面の繊維方向を X 方向と定め、以下に材料特性の数値を示す(表 1)。また、実際の使用環境を想定し、床に見立てた土台に乗せて解析実験を行う。

荷重の位置、大きさなどの条件は「JISS1203 家具—いす及びスツール—強度と耐久性の試験方法」⁴⁾(以下「JIS が定める試験方法」とする。)を参考とし、二段階構成の解析実験を行う。なお、本研究における強度とは、衝撃や長期的な使用に対する耐久性ではなく、通常加わりうる最大の力に対し、スツールとしての機能を発揮できる耐久性を意味する。

表 1 材料特性⁵⁾

特性名称	数値	単位
X 方向の弾性係数	11270	N/mm ²
Y 方向の弾性係数	1421	N/mm ²
Z 方向の弾性係数	735	N/mm ²
XY 内面ポアソン比	0.4	N/A
質量密度	560	Kg/mm ³
降伏強さ	98	N/mm ²

5. 解析実験 I

5.1 実験条件

JIS が定める試験方法の座面強度試験を参考に、垂直荷重 1100N を座面上部に均一にかける(図 7)。脚部は固定せず、土台との接触に自由度を持たせる。

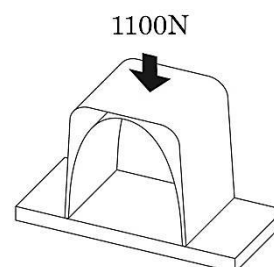


図 7 荷重方法

5.2 実験結果

最大応力及び最大変位の値と応力プロット図を以下に示す(表 2、図 8)。

表 2 実験結果

最大応力 (N/mm ²)	24.5958
最大変位 (mm)	17.9787

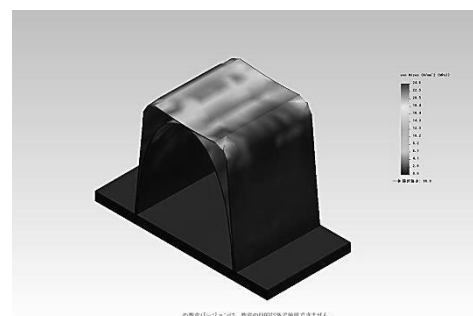


図 8 応力プロット図

5.3 考察

脚部に約 2cm の変位が見られたものの、最大応力は降伏点を下回った。これにより垂直方向の荷重に対する強度は十分であることが認められた。これは座面の上層と下層が接することで、構造全体で力を分散したためであると考えられる。

6. 解析実験Ⅱ

6.1 実験条件

JIS が定める試験方法の脚部強度試験を参考に、垂直荷重 1100N を座面上部、水平荷重 410N を座面側部に均一に加える(図 9)。脚部は片脚のみ固定し解析実験Ⅰ同様、土台との接触に自由度を持たせる。この条件をクリアした時点で JIS が定める基準を満たした十分な強度を有する構造体として認められる。

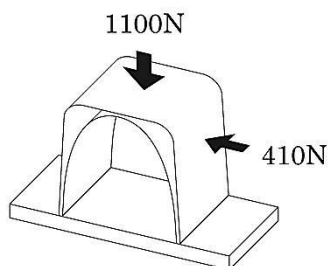


図 9 荷重方法

6.2 実験結果

最大応力及び最大変位の値と応力プロット図を以下に示す(表 3、図 10)。

表 3 実験結果

最大応力 (N/mm ²)	43.498
最大変位 (mm)	81.382

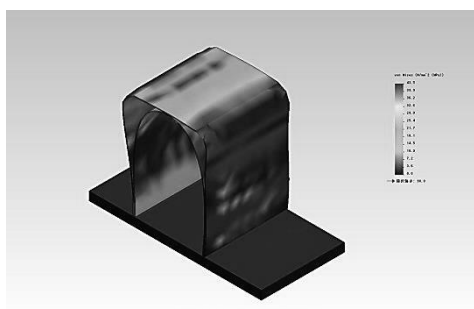


図 10 応力プロット図

6.3 考察

脚部に約 8cm の変位が見られ、最大応力も解析実験Ⅰに比べ増加したが、降伏点は下回った。以上から JIS が定める基準を満たした構造であると判断できる。

7. フォルムの決定

7.1 接続部分のフォルム決定

モデルの構造は解析実験により十分な強度を有することが保証された。しかし、解析実験に使用したモデルは先に記した通り一体成型のものであるため接続部分については考慮されていない。よって、製作工程に入る前に脚部の接続部分が十分に固定される接続方法を検討する必要がある。第 2 章で描いたアイデアスケッチを基に、本製作で使用するものと同一の材料を用いて接続部を再現した部分模型を製作し(図 11)強度の確認を行い、外観意匠フォルムを決定する。



図 11 接続部分模型

7.2 最終外観意匠フォルムの決定

接続部分を加え、最終的に決定したフォルムの製作モデルを以下に示す(図 12)。



図 12 製作モデル

7.3 外観意匠図面の作製

最終的に決定したフォルムを図面に起こし(図 13)、製作前に最終確認を行う。

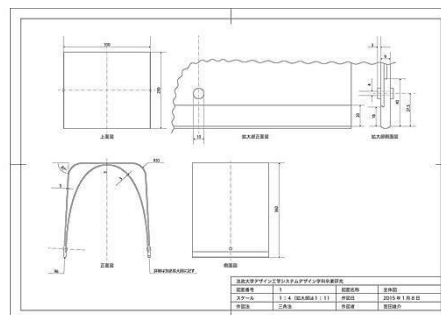


図 13 外観意匠図面

8. 実物製作

8.1 型の作製

本製作では実際の成形合板に使用される大型の加熱式プレス機は入手できない。よって製造工程の再現を重視し、発泡スチロールを用いて型を作製する。解析に使用した CAD データから型の形状を決定し、NC マシンで発泡スチロールから削り出す(図 14)。

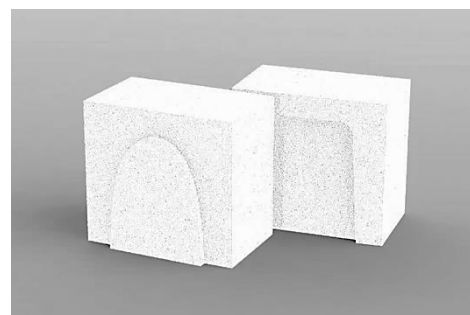


図 14 型

8.2 成形

準備した単板と突板(図 15)を木材用接着剤で張り合わせて型に入れ、クランプで圧力をかけ成形する。

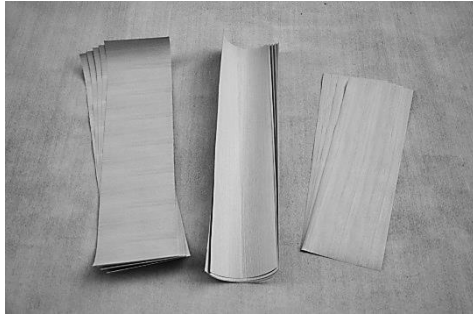


図 15 準備した単板と突板

8.3 パーツの切り出し

成形した部材を切り落とし、定めた寸法に加工する。このとき歪みが出ないように細心の注意を払う(図 16)。



図 16 断面加工の様子

8.3 脚部の製作

脚部は平面を持った板で成形し、鉋と鑿で細部を加工する(図 17)。この時、接続部分にねじ穴を開ける。

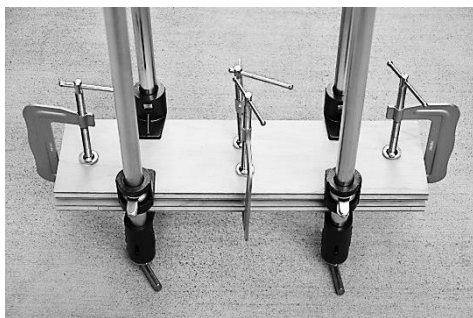


図 17 脚部の成形

8.4 表面処理

表面は突板であるため細かい番手で軽く研磨し、えごま油を塗装して汚れなどの付着を防止する(図 18)。



図 18 塗装の様子

8.5 組み立て

完成した上層と下層二つの部品を組ねじ(図 19)で接合する。ねじのすり割り部分を座面と平行になるように調節し、細部まで美を意識する。以下に完成した製品を示す(図 20)。



図 19 組ねじ



図 20 完成品

9. 終わりに

本研究では成形合板を用いたツールを設計し、解析実験で十分な強度を有するか確認をしたうえで製作を行った。解析実験を取り入れたことで効率的なフォルム決定が行えた点は評価されるべきである。しかし、解析の精度に関して信憑性に欠ける点は否めない。解析実験に簡略化したモデルを使用した点、材料特性の設定が十分でない点など、実際の構造を忠実に再現できなかった点は反省すべきである。今後、同様の研究を行う場合は、モデル及び材料特性が再現可能であることを確認し、パソコンの性能を考慮したうえで解析にかかる必要があるだろう。

製作においては、フォルムの再現はできたものの、十分な圧力を加えて成形してはいないためモデル上で設定した数値と同等の強度を有しているか定かではない。製作環境上、止むを得なかった点はあるが、実際に製品として実現させるためにはより正確な解析実験を再度行い、正式な方法で製作する必要がある。しかし、本来の目的である成形合板の持つ優位性を活かした、より少ない材で荷重に耐えうると考えられる構造体の製作を実現させた。今後、本研究の成果が成形合板を用いた設計の一指針となることを期待する。

10. 参考文献

- 1) 株式会社天童木工, GENERAL CATALOG 2014-2015, 大日本印刷, 2014 年.
- 2) 石川尚, #041 イームズに影響を与えた合板の椅子, All About, <http://allabout.co.jp/gm/gc/40530/>, (参照 2014-12-31).
- 3) 織田憲嗣, 名作椅子大全, 新潮社, 2007 年.
- 4) 日本興業標準調査会, JISS1203 家具—いす及びツール—強度と耐久性の試験方法, 1998 年.
- 5) 農林水産省林業試験場, 改訂 3 版木材工業ハンドブック, 丸善株式会社, 1982 年.