

学習支援を目的とした理想曲面の模型制作キットの開発

佐賀大学大学院 学生会員 石橋 慶一，池田 俊貴
 佐賀大学 正会員 帯屋 洋之
 佐賀大学 正会員 井嶋 克志

1. はじめに

本研究室で開発された接線剛性法による軸力線形態解析プログラムを用いれば、自重を荷重条件とした曲面格子構造の合理的な曲面形状を得ることができる。構造技術者あるいは、技術者をめざす学生が形状決定のプロセスを実感し、形態解析結果が実構造の原型形状として合理的であることを真に理解するためには、誰もが簡便に実施できる模型実験のシステムの開発が有用である。

本研究では釣り合い形状を計算によって求め、これを実体化するまでの一連の過程が体験できることを目指し、学習支援を前提とした模型制作キットの開発を試みることにした。力学的根拠に基づいた模型制作は、構造力学の教育現場においても学習意欲の向上のためにも非常に重要であると考えられる。

2. 開発を目指す模型実験システムのコンセプト

本研究では図-1に示す過程をコンセプトとして解析から組立てまでを一つのシステムとして構築することを目的とする。

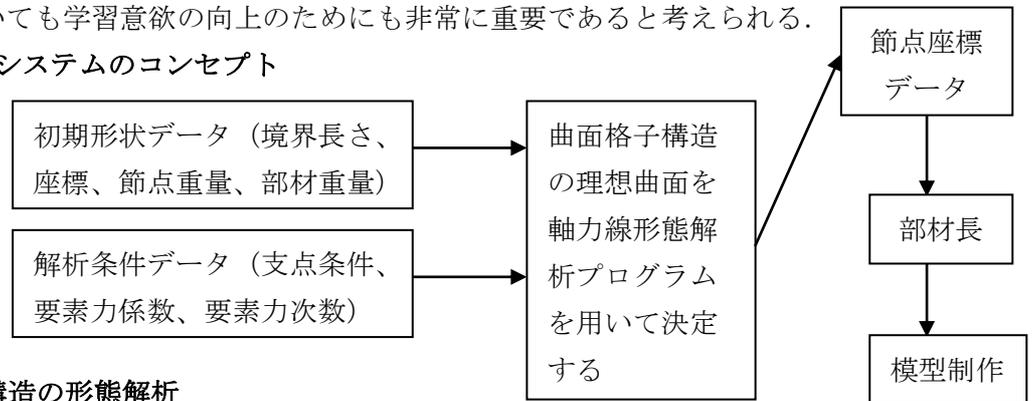


図-1 模型実験システムフローチャート

3. 軸力線を用いた格子構造の形態解析

3.1 軸力線要素の定義

いま、節点1と節点2を結ぶ線材要素ポテンシャルが線長 l のべき乗に比例するとし、この比例定数を要素端力係数 C として定義すれば、要素ポテンシャルを要素端力方向の寸法である線長で1階微分すれば、軸方向の要素端力、要素力式が得られる。

$$P = Cl^n \quad (n: \text{要素力乗数}) \quad (1)$$

$$N = nCl^{n-1} \quad (2)$$

節点力ベクトルを U とし、軸力線要素の接線剛性方程式を以下のように得る。

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\alpha \\ \alpha \end{bmatrix} N \quad \delta \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = nCl^{n-2} \begin{bmatrix} e + (n-2)\alpha\alpha^T & -e - (n-2)\alpha\alpha^T \\ -e - (n-2)\alpha\alpha^T & e + (n-2)\alpha\alpha^T \end{bmatrix} \delta \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$$

$$(\alpha: \text{方向余弦ベクトル}) \quad (3)$$

$$(e: 3 \times 3 \text{の単位ベクトル}) \quad (4)$$

3.2 解析モデル

図-2のような、節点数37、軸力線要素数90の周辺固定の正六角形平面を初期形状とし、表-1に示すように木材ロッドモデル、ストローロッドモデルそれぞれの入力データにより形態解析を行った結果、図-3のような理想曲面を得ることができた。尚、節点重量、部材単位長さ重量は4章に示す鉄球、木材棒、ストローの実測値である。



図-2 初期形状

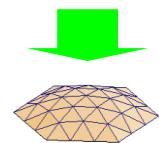


図-3 理想曲面

	木材ロッドモデル	ストローロッドモデル
節点重量	0.334 (N)	0.334 (N)
部材単位長さ重量	1.112 (N/m)	0.000 (N/m)
境界の一辺の長さ	0.600 (m)	0.240 (m)
要素力係数	0.8	5.0
要素力乗数	1	2

表-1 入力データ

キーワード 軸力線形態解析 理想曲面 模型制作 マグネット ストロー
 連絡先 〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄1 国立大学法人 佐賀大学

4. 模型材料

4.1 節点に用いた材料

両モデルとも写真-1 に示すマグネットを鉄球を介して繋ぎ合わせる。こうすることで曲げ応力が作用しないヒンジ点を再現することができる。

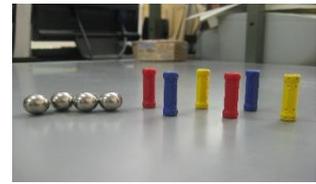


写真-1 節点材料 (鉄球とマグネット)

4.2 部材に用いた材料

木材ロッドモデルには写真-2-a に示す円形断面の木材棒を、ストローロッドモデルでは写真-2-b に示す 8mm 径のストローを採用した。両モデルとも軽量でローコストであるという利点がある。また、本研究では全て手作業で制作するため、加工性の点からも有効な材料である。



写真-1-a 部材材料



写真-1-b 部材材料

(木材ロッドモデル) (ストローロッドモデル)

5. 模型の組み上げ

5.1 木材ロッドモデル

形態解析で得られた部材長データから部材を裁断し、部材両端断面中央に 8mm 径の穴を穿孔してここにマグネットを埋め込む。コンパネ上に内径が 6mm のナットを糊付けし、ここに鉄球を固定することによって、境界支点を作成し、あらかじめ解析データより作成した支保工を用いて部材を組み上げる。節点における接合不整を避けるためには、模型の組み上げにあたって以下の点に注意が必要である。



写真-3 節点における接合
(境界支定点部)

- ・ 円形断面の中心に正確に軸線に沿った穴を穿孔しなければ、節点における軸力偏心の原因となる。
- ・ 1 節点に接合される複数のマグネットの極性が均一になるような配慮が必要である。たとえば、N 極ばかりが 1 節点に集中するようなコネクティビティでは斥力が生じてしまう。
- ・ 部材長の制作誤差は一部材につき 0.5mm 以内が望ましい。

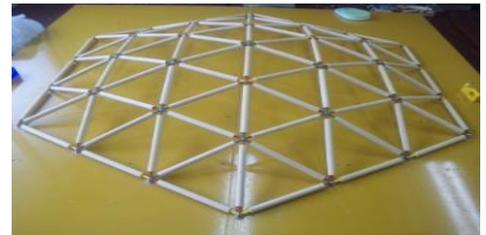


写真-4-a 完成模型(木材ロッドモデル：外観)

5.2 ストローロッドモデル

木材ロッドモデルと同様に形態解析で得られた部材長データから部材を裁断し同手順で組み上げていくが、部材のストローと節点部のマグネットは固定せず、マグネットをストローに差し込む形で繋ぎ合わせる。こうしてあそびが生じることで裁断の際に生じた制作誤差による不静定力のある程度吸収することができ、部材長にミリ単位の制作誤差があった場合でも構造が成立するため、木材ロッドモデルと比べて制作時間の大幅な短縮を可能にした。学生制作を想定したときにはより有効かつ効率的なモデルと言える。

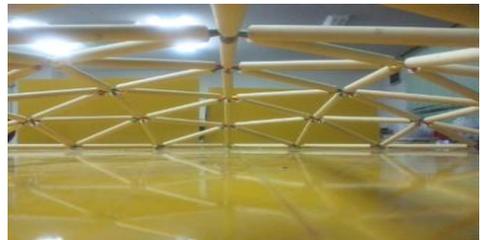


写真-4-b 完成模型(木材ロッドモデル：内側)



写真-5-a 完成模型

(ストローロッドモデル：外観)



写真-5-b 完成模型

(ストローロッドモデル：内側)

6. まとめ

写真-4-a、4-b、写真-5-a、5-b に完成した曲面格子構造の模型を示す。今後、学習支援目的の模型作成シナリオを構築するためには、さらに複数の形状パターンでの模型制作と相当回数の予備実験を実施し、システムのマニュアルを作成後、制作においてあまり時間のかからないストローロッドモデルを用いて実際に構造力学を学んだばかりの学生に模型制作をさせて学習効果をモニターし、さらなる改善を行って、デザイン～構造設計～施工の一連の流れを比較的容易に簡単な手法で体験できる学習支援教材としてのシステム構築の完成を目指すことを今後の展望とする。