

形態解析によって得られた理想曲面の模型制作

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

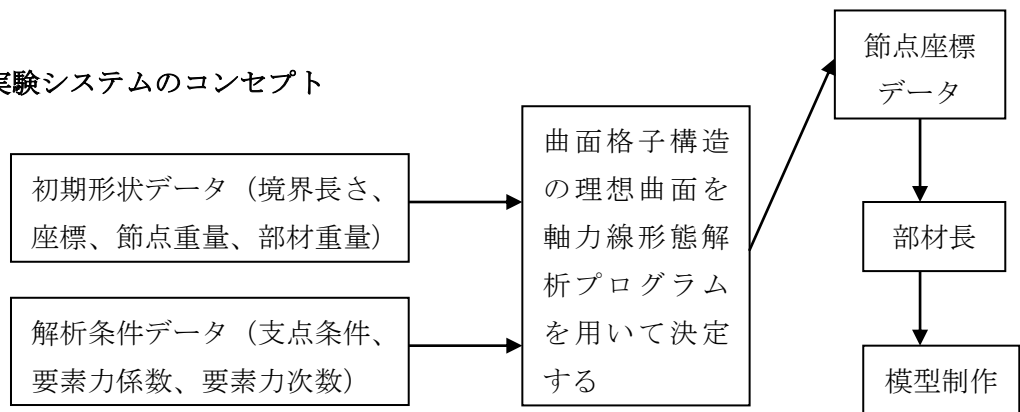
1. はじめに

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ようになった。このことを多くの構造技術者あるいは、技術者をを目指す学生が実感し、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と考えた。

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、学習支援を目的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。



3. 軸力線を用いた格子構造の形態解析

図-1 模型実験システムフローチャート

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。

$$P = Cl^n \quad (n: \text{要素力次数}) \quad (1) \quad N = nCl^{n-1} \quad (2)$$

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。

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

(α : 方向余弦ベクトル) (3)

(e : 3×3 の単位ベクトル) (4)

3.2 解析モデル

今回用いた解析モデルは図-2 に示す正六角形を初期形状として用い、4章に示す模型材料の重量を実測しこれを節点荷重として解析を行った。節点数37、部材要素数90、節点重量 $0.334 (kg \cdot m / s^2)$ 、部材重量 $1.112 (kg \cdot m / s^2)$ 、各境界長さ $0.6 (m)$ 、要素力係数 0.8 、全部材の軸力を均一とし要素力次数 1 、境界上節点をピン固定とする。解析の結果、図-3 に示す完全な釣合形状の理想曲面を得ることができた。

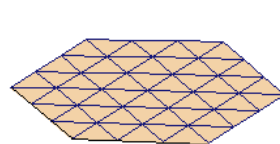


図-2 初期形状

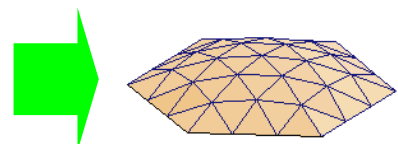


図-3 理想曲面

4. 模型材料

4.1 部材に用いた材料

写真-1 に示す円形断面の集成材を採用した。木材は引張強度と圧縮強度がほぼ等しく、均質であるという特徴があり、軽量でローコストであるという利点があると考えられる。また、本研究では全て手作業で行うため、加工性の点からも有効な材料である。



写真-1 部材材料

4.2 節点に用いた材料

写真-2、写真-3 に示すように d6.3mm マグネットと d12.7mm の鋼球を介して繋ぎ合わせる。こうすることにより曲げ応力が作用しないヒンジ点をうまく再現することができる。

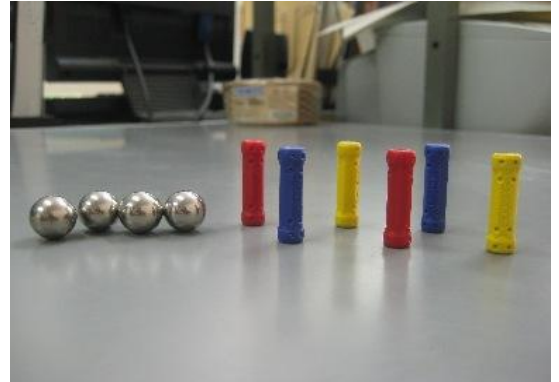


写真-2 節点材料 (鋼球とマグネット)

5. 模型の組み上げ

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、ここに鋼球を固定することによって、境界支点を作成し、この境界支点を基点とし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。

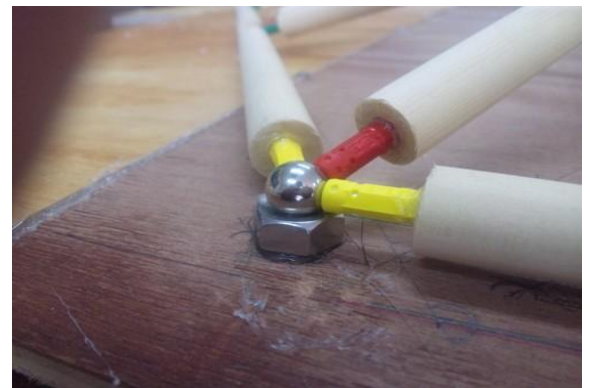


写真-3 節点における接合
(境界支分部)

- ・ 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。

6. まとめ

写真-4、写真-5 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、さらに相当回数の予備実験を実施し、以下の各事項について検討する必要がある。

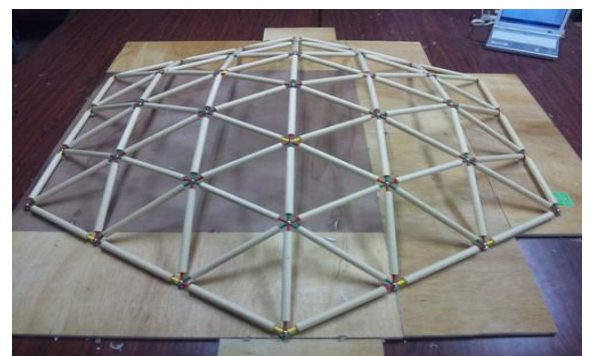


写真-4 完成模型 (外観)

- ・ 組み上げ過程において部材長の微調整ができるような部材モデルの開発。現段階では接合部は木材とマグネットを接着剤で完全に固定しているため微調整が出来ず、節点不整合が起こったときには最初から作り直しとなってしまう。完成後の効率も考慮し、ある程度の微調整が効く部材の造りが要求される。
- ・ 架設時の不安定状態に対応するため、支保工モデルを開発し、模型制作の作業をよりスムーズにする。

以上により、今後はデザイン～ 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を図ることを今後の展望とする。



写真-5 完成模型 (内側)