

薄板材を用いた木質一葉双曲面の構造特性に関する研究

-形状形成に関する理論式の整理と応力について-

Study on Structural Characteristics of Wooden Hyperboloid of One Sheet Consisted of Thin Plates

-Theoretical Equations and Stress in Erection-

○大竹英明³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造²

*Hideaki Ohtake³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi²

Abstract : Hyperboloid of one sheet has been used for many buildings. For examples, steel structures and reinforced-concrete structures. But the number of hyperboloid of one sheet which is made of wooden members is small. Therefore, the authors propose wooden hyperboloid of one sheet structure consisted of thin plates. This structure is composed of twisted small pieces of timber. Therefore, it is important to grasp the torsion stress and axial stress(buckling load) in erection. On the above, the authors clarify theoretical equations of the stress and perform static numerical analysis in this paper.

1. 研究背景

一葉双曲面は負のガウス曲率に分類される形状を指し、直線より曲面を形成する幾何学的特徴を有する (Fig. 1-a)。また、建築への適用例としては鋼構造 (Fig. 1-b) や RC 構造が知られており、構造特性に関する研究が数多く報告されている。一方で木質構造においては曲げ剛性や捩り剛性の低い木質板材を用いて一葉双曲面を形成することで製作や施工性の向上が期待できると考えられる。しかし木質の一葉双曲面に関する研究は、著者の知る限り行われていない。以上を踏まえ本論では、薄板材を用いた木質一葉双曲面の構造特性の把握を目的として、特に曲面の形状や部材断面が構造特性に及ぼす影響について検討を行う。

2. 木質一葉双曲面構造の形状形成方法

木質板材で構成される一葉双曲面の形状形成方法を Fig. 2 に示す。本構造は板材に格子交点を規定する孔を設け、弱軸が中心方向を向くように板材を振りながらボルト接合することで完成形状が得られる。この形状形成方法は、板材を振ることが避けられず、構造計画上、以下の課題が生じる。

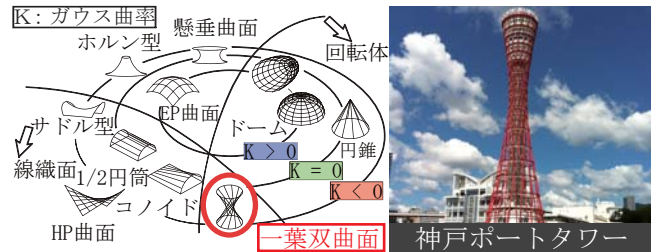
- 1) 形状形成時に板材を振る力 (捩りモーメント) が必要となり、本構造の施工性に影響を及ぼす。
- 2) 部材のアスペクト比 (部材断面の長辺を短辺で除した値) の減少に伴う、捩りによるせん断破壊の発生。
- 3) 部材のアスペクト比の増大に伴う、自重時における個材座屈の発生。

以上の課題を踏まえ、本論では、第一に一葉双曲面の形状と応力に関する理論式を整理する。そして第二に理論式と数値解析を用いて、仮設空間を想定したモデルを対象に許容応力度設計に基づく部材断面の検討を行った。

3. 形状形成に関する理論式

3-1. 形状に関する理論式の導出

一葉双曲面の形状に関する理論式を Fig. 3 に示す。(1) ~ (3) 式より高さ h , 端部円半径 r_0 , 中央部円半径 r_1 を設計条件として与えることで、一葉双曲面形状の算定が可能となる。



a) Classification of Curved Surface b) Example of Real Structure

Fig. 1 Outline of Hyperboloid of One Sheet

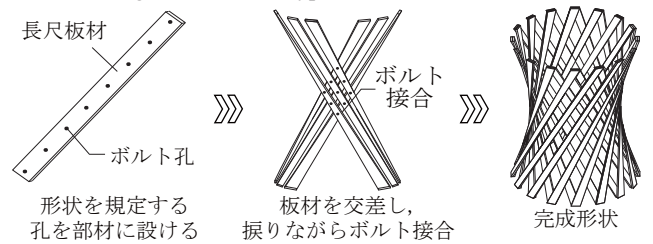


Fig. 2 Construction Procedure of Wooden Hyperboloid of One Sheet

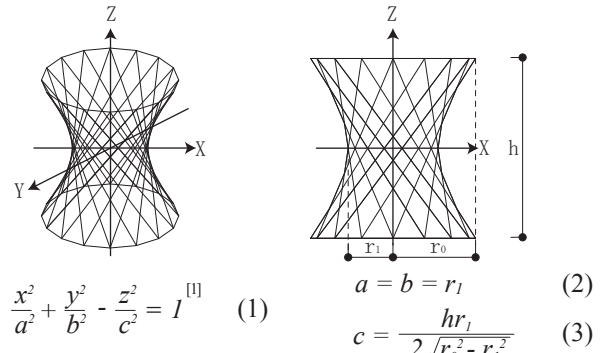


Fig. 3 Theoretical Equations of Hyperboloid of One Sheet

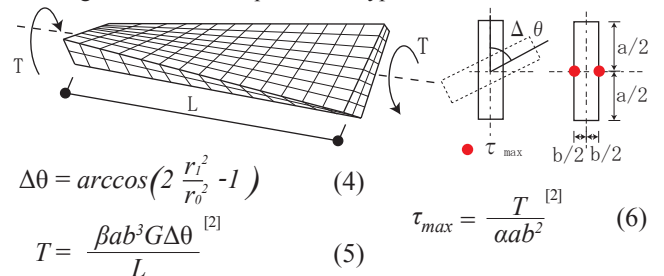


Fig. 4 Theoretical Equations on Torsion Stress

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大短大・教員・建築 3 : 日大理工・院(前)・建築

3-2. 振り応力に関する理論式の導出

前項で示した(1)~(3)式を用いて, 板材に与える振り角を算出した(Fig. 4中(4)式). さらに, 文献[2]より四角形断面における振りモーメント, 最大せん断力の算出式を(5), (6)式に示す. また, (5), (6)式中の α , β は部材のアスペクト比に対する係数を表す(Tab. 1).

4. 形状形成時応力の把握

4-1. 検討対象モデルの設定

検討対象モデル及び数値解析モデルの概要をFig. 5に示す. 規模は高さ h , 端部半径 r_0 , 部材分割間隔, 部材断面積を一定とし, 部材に生じる振り角及び部材のアスペクト比をパラメータ(Tab. 2)とした. また, 断面算定で用いる木材の許容応力度(f)は仮設空間としての用途を考慮し, 中短期を採用した. 数値解析概要は4-3-1項にて記述する.

4-2. 形状形成時に発生するせん断応力の検討

本構造の施工性の指標として, 振りモーメント及び最大せん断力に対する検定値(τ_{max}/f_s)を(5), (6)式より算出した. その結果をFig. 6, 7に示す. 振りモーメント, 検定値は共に, 振り角の増加あるいはアスペクト比の減少に伴い, 増加する傾向が得られた. 以上より, アスペクト比の大きな断面を使用し, 振り角を小さく抑えた方が施工は容易になることが示唆された. また検定値において, アスペクト比56以上の断面は, ほぼ全ての振り角において, 中短期許容応力度に達しないため, 本検討モデルに適すると考えられる.

4-3. 自重時における個材座屈の検討

4-3-1. 数値解析概要

4-1項で設定したモデルを基に数値解析モデルを構築した. 荷重は自重のみとし, 脚部ピン支持とした. また, 本論では解析モデルを単純化するため, 板材に生じる振りを考慮しないものとした. 格子交点部で部材同士を接合するボルトは面内方向の回転を許容し, 面外への変形を拘束する仮想材としてモデル化した. また, 本算定に用いる座屈長さ l_e は一葉双曲面の格子間隔が最も粗くなる脚部の格子間隔距離とした.

4-3-2. 数値解析結果

部材に生じる最大圧縮応力に対する検定値($\sigma_c/\eta f_c$)及び座屈長さ-振り角関係をFig. 8に示す. アスペクト比の増加に伴い, 検定値は増加する傾向が得られた. また, 振り角による比較では, 座屈長さが増加する20°あるいは160°付近にて検定値が増加する傾向が確認された. 以上より, ほぼ全ての振り角において中短期許容応力度に達しないアスペクト比100以下の断面が本検討モデルに適すると考えられる.

5. まとめと今後の検討

本論では理論式の整理及び数値解析を実施し, 薄板材を用いた木質一葉双曲面の基本的構造特性の把握を行った. 本検討モデルでは部材断面のアスペクト比56~100が構成部材として適することが示唆された. 今後は試行建設, 付加荷重時の検討を行う予定である.

【参考文献】

[1] 竹内, 泉屋, 村山:「古典的解析幾何学入門 座標幾何学」, pp. 145-147, 2006. 06. 04[2] 渡辺勝彦:「材料力学」, pp. 133-134, 2006. 11. 15[3] 日本建築学会編:「木質構造設計基準・同解説」, 第4版第1刷, 2006. 12. 01

Tab.1 Coefficient of Cross Section^[2]

a/b	1.0	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0	10.0	∞
α	0.208	0.246	0.267	0.282	0.299	0.307	0.313	0.333
β	0.141	0.229	0.263	0.281	0.299	0.307	0.313	0.333

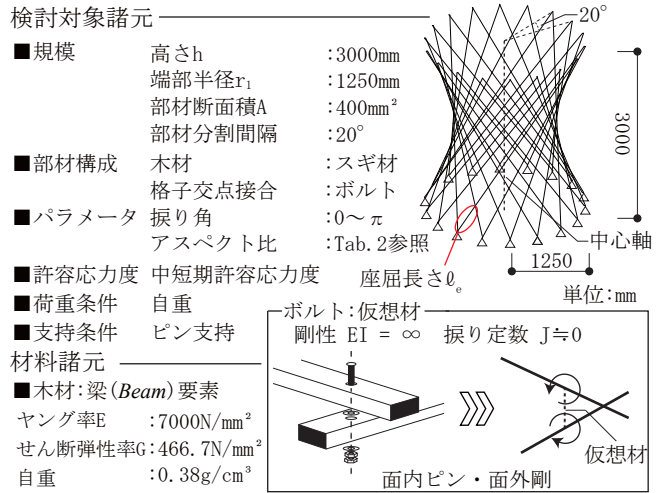


Fig. 5 Outline of The Study Model and Numerical Analysis

Tab.2 .Parameters of The Numerical Analysis Model

a	20	25	35	45	60	80	150	200	300	500	1000
b	20.0	16.0	11.4	8.9	6.7	5.0	2.7	2.0	1.3	0.8	0.4
a/b	1.0	1.6	3.0	5.0	9.0	16.0	56.0	100.0	225.0	625.0	2500.0

a, b単位:mm

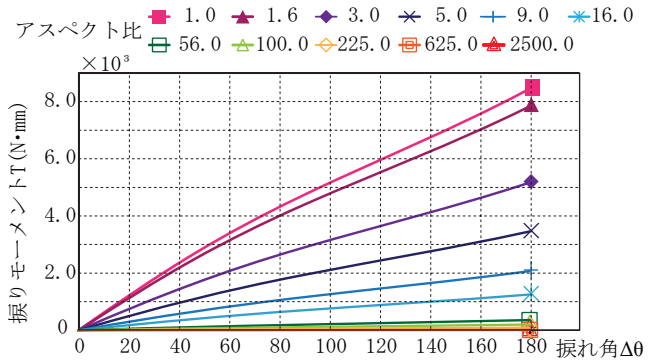


Fig. 6 Relation between Torsion Moment and Angle

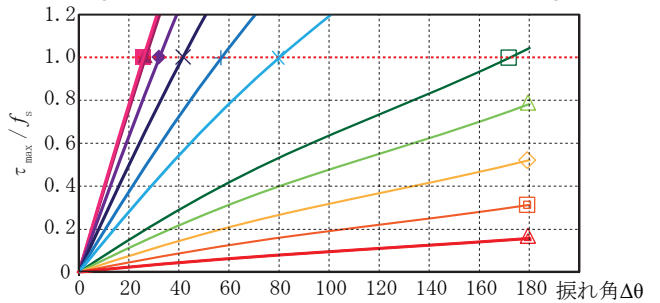


Fig. 7 Relation between Shear Stress and Angle

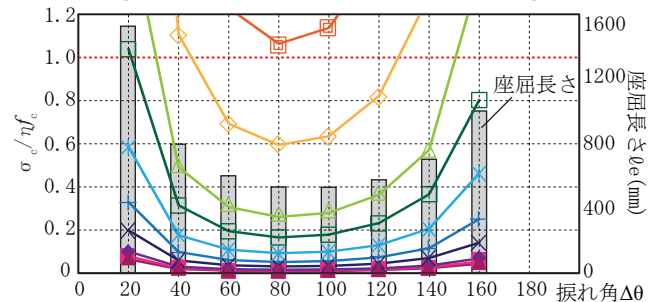


Fig. 8 Relation between Axial Stress, Effective Length and Angle