

「ループ状開閉式ドーム」で用いられる「3次元多折はさみ要素」の形状

粉川 牧

北海道東海大学芸術工学部

070-8601 旭川市神居町忠和 224

E-mail: kokawa@da.htokai.ac.jp

Geometry of 3-dimensional Multi-Angulated Scissors Element for a Retractable Loop-Dome

Tsutomu Kokawa

School of Design, Hokkaido Tokai University, Asahikawa

1. ループ状開閉式ドームの構造システム

図1に示される様に、円形天窗（オクルス）直径の大きさ及び構造全体の幾何学的形状を連続的に変化させることができる開閉式ドームを「ループ状開閉式ドーム」と名づけ、底面直径が100m以上の大空間を実現に導く構造・工法システムとして図2に示されるシステムを提案した。即ち、ある特定な形状を有する3次元多折はさみ部材(3-d multi-angulated scissor element)をラメラ状に配置し、それぞれの交点をはさみ交点とした上部構造体とトラス部材(truss member)で構成した下部構造を節点番号1の箇所で連結し、さらに支点をピン支持(pinned supported)にして得られる全体骨組み構造体は一種の不安定構造体となる。この構造体を安定化させ、さらにその力学的合理性を高めるために外周リング(outer ring)と内周リング(secondary inner ring)を図2に示す位置に配置すると、3次元多折はさみ部材には主に軸力が生ずるシェルの構造体を得られる。ここで、両リングが大きさの関係を保ちながら連続的に伸縮すると、節点5を通る内周円の大きさは大胆に膨張収縮し且つ図1に示されたような構造全体の幾何学的形状もダイナミックに変化するループ状開閉式ドームの骨組み構造体ができる。尚、ここで、節点4と5を結ぶ部材の節点5に生ずる過大な曲げモーメントを処理するため、節点4に立てたポストの頂点から節点5を引張ケーブル(tension cable)で吊り上げている。

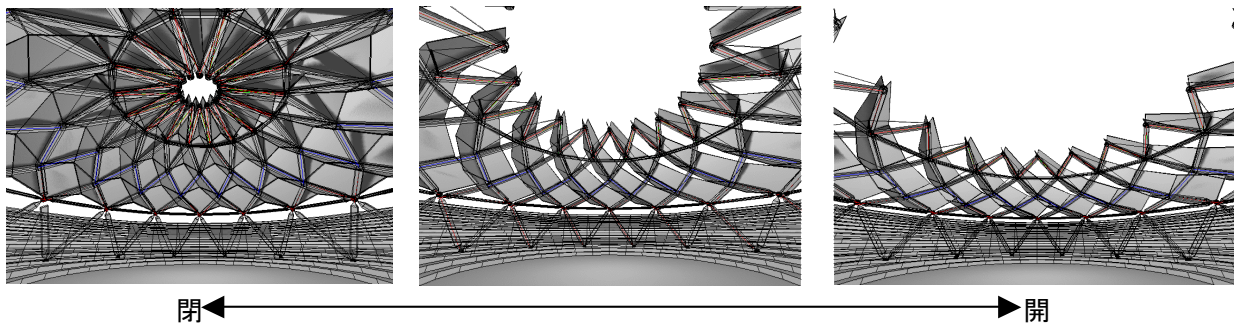


図1 ループ状開閉式ドームの内部空間の変化 (CG シミュレーション)

2. 3次元多折はさみ要素の幾何形状

3次元多折はさみ部材は、球面を平面で切断することによってその幾何学的形状が決定される。このとき、はさみピン交点の回転軸はドーム曲面の法線方向にほぼ一致することから、部材間の応力伝達は滑らかとなり、接合部も加工が容易で強度的にも優れているという特長を有する。図3に示すように、ドームの基準形状を構成する部分球面Sの上に、3次元多折はさみ要素のピン交点(1, 2, ..., i, (i+1), ..., n)を次のように配置する。

(イ) 部分球面Sを、部分球面Sの頂点Tを通り中心軸Zに対して斜めに交差する平面Pで切断する(図3a)。

(ロ) 各はさみピン交点を、部分球面Sと平面Pとが交差

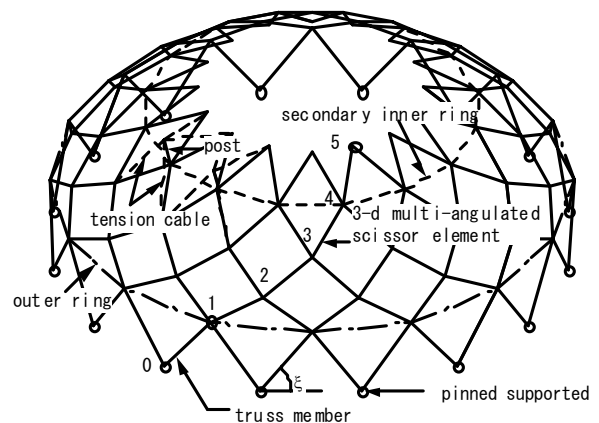


図2 構造システム

する部分に形成される円Q（図 3b）の伏図では楕円として現れる）の上に、周方向に順次、 $x-y$ 平面上において等角度で配置する。即ち、図 2b に於いて、 $\theta_{12}=\theta_{23}=\dots=\theta_{i(i+1)}=\dots=\theta_{(n-1)n}$

この方法によってその幾何形状が決定された 3 次元多折はさみ部材群は、ドーム曲面上を剛体移動できる（証明略）。

3. 4mモデルの制作

前述した構工法システムに基づいて、底面直径 4m の規模を有する鉄製縮尺モデルを制作した。不安定骨組構造体を構成する 3 次元多折はさみ部材、トラス部材の形状パラメータ及び使用部材の断面寸法を下記に示す（図 2, 3 参照）。

○3 次元多折はさみの形状パラメータ：

$r=2458.4\text{mm}$, $\phi=60^\circ$ $\theta_1=27^\circ$ $\theta_5=72^\circ$ $n=5$

○トラス部材の形状パラメータ： $\xi=55^\circ$

○支点位置：直径 4m の円周上の 16 等分点

○はさみ部材・トラス部材の断面：角型鋼管 $20 \times 40 \times 2.3\text{mm}$

上記の不安定骨組構造体に伸縮する外周リングを取り付ける（システム上、内周リングも不可欠であるが、今回のモデル制作では内周リングは取り付けられていない。）

16 本の電動アクチュエータからなる伸縮外周リングを取り付け、その長さを連続的に膨張収縮させたときの骨組構造体及び屋根パネルの幾何学的形状の変化を図 4 に示す。

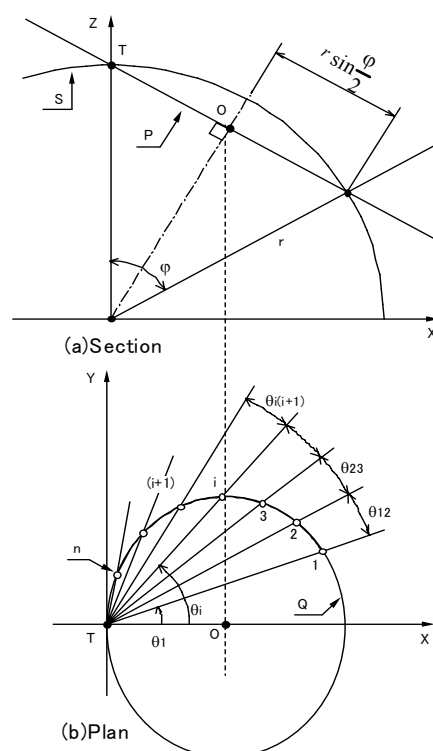


図 3 3 次元はさみ部材の形状決定

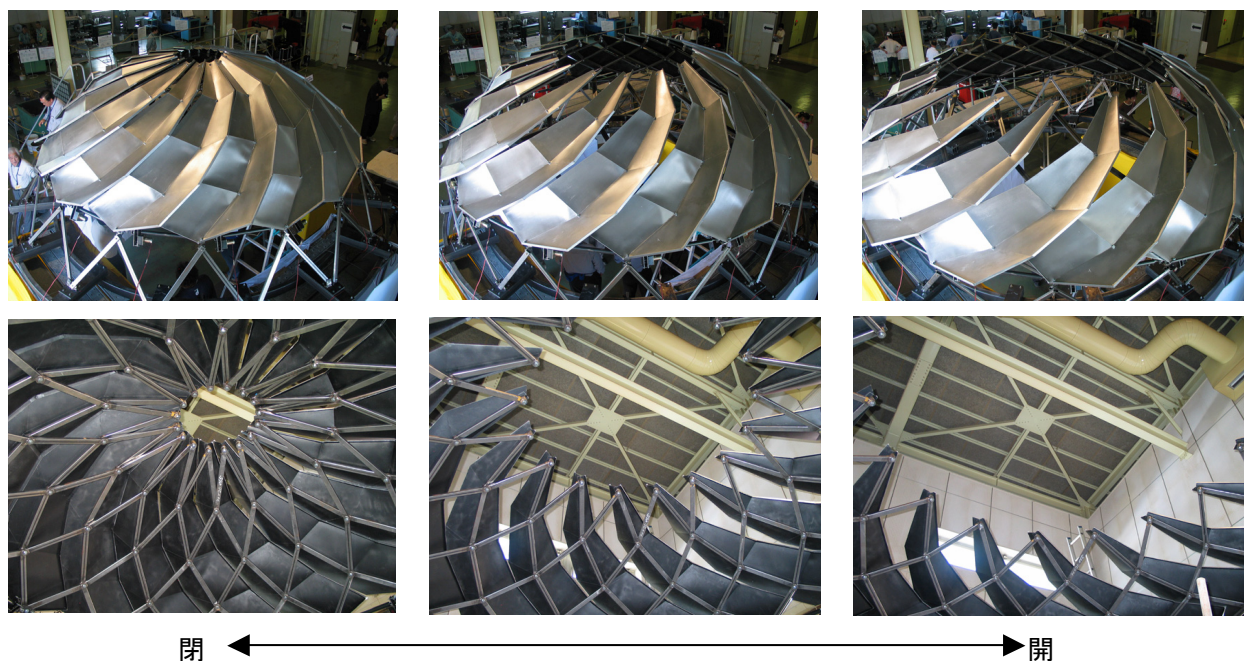


図 4 4mモデルの形状変化

謝辞：4mモデルの制作費の一部として財団法人前田記念工学振興財団平成 15 年度研究助成金を使用しました。4m モデルの部材制作は（故）南部健二氏、北海道東海大学卒業研究生（皆川勝宏君、広川雄二君、三木佳輔君、安生貴行君、小野寺敦史君）により、又、アクチュエータの設計制作は三井聡旭川工業高等専門学校助教授により行われました。以上の関係各位に厚く感謝を申し上げます。

関連文献：T.Kokawa, "Structural Idea of Retractable Loop-Dome", Journal of IASS Vol.41 n.2, 111-116, 2000