

ループ状開閉式ドームの構造システム開発 (その 3) 新システムの概要

正会員 粉川 牧

ループ状開閉式ドーム 主構造体 3 次元多折はさみ要素
副構造体 可変長引張材 ポスト

1. はじめに

文献 1)、2)、3) で円形天窗（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：「ループ状開閉式ドーム（略称 RLD）」を提案した。

その主構造体は、ある部分球面上に「3 次元多折はさみ要素（略称 3-DMASE）」をその球面の中心軸の回りで等角度に配置し、ラメラ状に構成して得られる。3-DMASE のピン交点は、前記球面の頂点を通り前記中心軸に対して斜めに交差する各同一平面上にあり、且つ、各要素上で互いに隣接するピン交点は、前記中心軸の回りで成す角度がそれぞれ等しくなるように配置されている。さらに各ピン交点の回転軸（ピボット軸）は、前記部分球面の法線方向に一致している。しかし、形状変化の過程において、各ピン交点のピボット軸と 3-DMASE のピン用穴軸の間に微小な角度変化が生じ、この角度変化を吸収するために、要素部材にルーズホールを設けるかあるいは自動調心ころ軸受けなどを埋め込んでいる。このようにして得られる構造体は、一種の可変構造体で、要素の弾性変形を伴うことなくその剛体移動のみによって構造全体の形状、特に頂部の天窗直径を大きく変化させることが出来る。この可変構造体の形状を連続的に変化させる駆動方法且つ大スパンが可能となるような構造システムの構築に向けて、文献 2)、3) では、主構造体の内周と外周にそれぞれ伸縮する圧縮リング、引張リングを設けて、3 次元多折はさみ部材が主に軸力伝達機構となる構造システムを提案した。しかし、この提案において、内周リングを構成する直線状の多段式伸縮ロッドは伸縮率が 5～6 倍と高くしかも大きな圧縮軸力を受けるため、ロッドの製作技術や座屈耐力に困難な問題が残されていた。

そこで、本報告では、発想を変えて、主構造体と Aspension Dome⁴⁾ の一部、つまり、引張材としてのフープ・ケーブルとダイアゴナル・ケーブル、圧縮材としてのポスト、さらに主構造体の外周部にテンション・ケーブルと同放射方向にジグザグ・ケーブルを組み合わせた新たな構造システムを提案する。

2. RLD の構成

主構造体（3-DMASE のラメラ配置）＋副構造体（Aspension Dome システムの一部＋ジグザグ及び外周ケーブル）を図 1 に示す。

3. 形状変化解析

図 2 の平面カット法によって決定される「はさみピン交点」の可変中における空間座標は、文献 1) で示された並進量と回転量を表す t を用いると、次式で与えられる。尚、以下では $t=0$ の状態を便宜上、「基準状態」と名づけておく。

$$\frac{x_i}{r} = X_i = \frac{\sin \varphi \left\{ \cos t + \cos \left(\frac{\varphi}{2} \right) \tan \theta_i \sin t \right\}}{1 + \cos^2 \left(\frac{\varphi}{2} \right) \tan^2 \theta_i}, \quad \frac{y_i}{r} = Y_i = \tan \theta_i X_i, \quad \frac{z_i}{r} = Z_i = 1 - \tan \left(\frac{\varphi}{2} \right) X_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

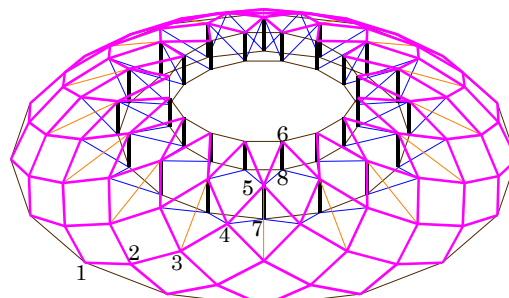


図 1 RLD の概形図（数字は節点番号）

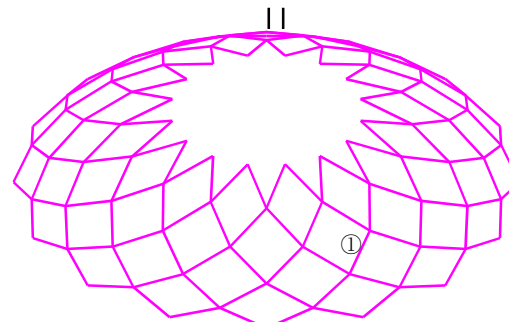


図 1a 主構造体（平面カット法による 3 次元多折はさみ部材①をラメラ状に配置した骨組）

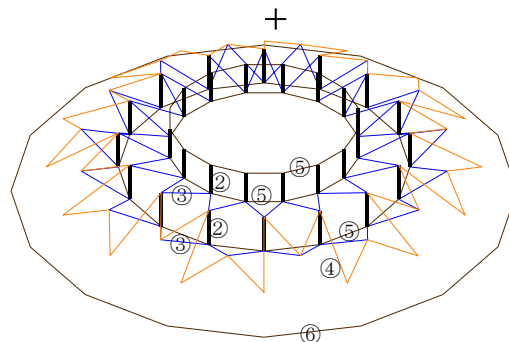


図 1b 副構造体（主フレームを補剛・駆動）
②ポスト ③ダイアゴナル・ケーブル
④ジグザグ・ケーブル ⑤フープ・ケーブル
⑥外周ケーブル、可変長引張材

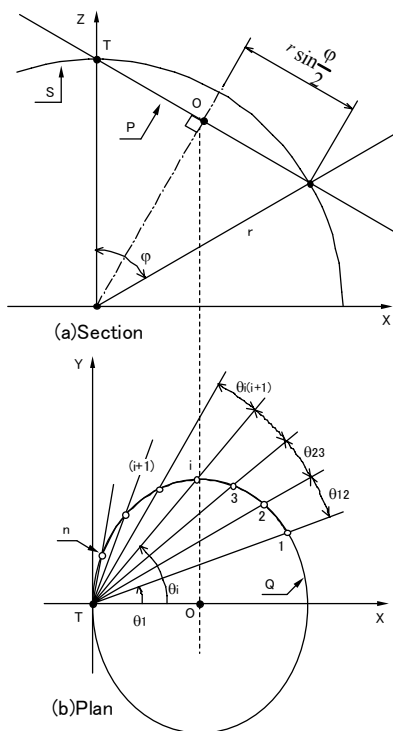


図2 はさみピン交点の配置
(基準状態)

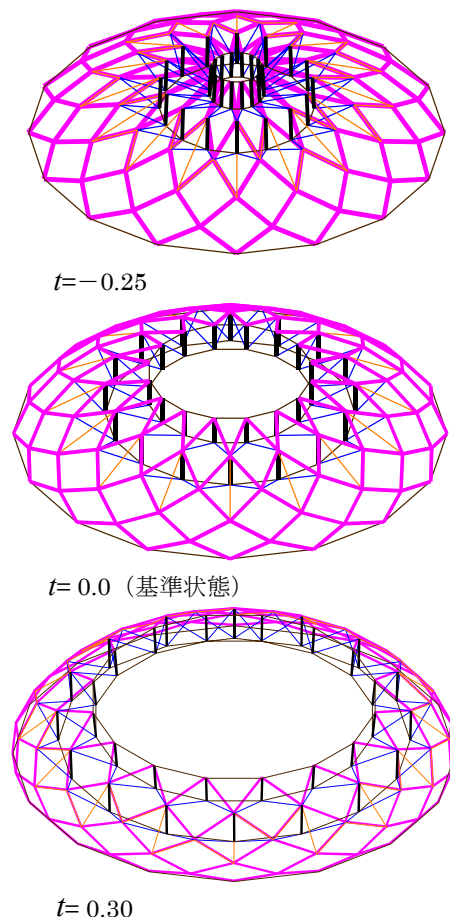


図3 RLDの形状変化

4. 駆動システムの概要

⑤フープ・ケーブルの長さや張力を調整することによって、図5に示すような水平力 \rightarrow を与える。すると、③ダイアゴナル・ケーブルには引張力が、②ポストには圧縮力が生ずる。②ポストは突き上げられて、固定荷重(自重)の向きと反対の力が作用する。節点4において、③ダイアゴナル・ケーブルの引張力によって、ドーム周方向に縮む作用が生ずるが、これに対して④ジグザグ・ケーブルを配置して、①主構造体と協働してはさみトラス状の圧縮リングを形成し、自己釣り合い型の構造体を得る。内周上部の節点6を通るフープ・ケーブルは風荷重の揚力に対して抵抗する。⑥外周ケーブルはドーム裾部において周方向に広がろうとする作用に対して抵抗する。以上の方法によって、常に力学的合理性(強度と剛性に富む)を保ちながら、連続的に形状が変化する構造体を得られる。

参考文献:

- 1) 粉川 牧, 同名論文(その1) 3次元多折はさみ要素の提案, PP. 997-998. (東北) 大会梗概集 (B-1), 2000年9月
- 2) 粉川 牧, 同名論文(その2) システムの概要, PP. 863-864, (関東) 大会梗概集 (B-1), 2001年9月
- 3) Tsutomu Kokawa. Proposal of Retractable Loop-Dome. CD-ROM of IASS in Nagoya (Edited by Kunieda), TP148, 2001/10
- 4) Richard Buckminster Fuller. ASPENSION (US3139957, Patented, July 7, 1964). INVENTIONS THE PATENTED WORKS OF R. BUCKMINSTER FULLER, pp.201-213, ST. MARTIN'S PRESS. NEW YORK, 1983

ここに、 $\theta_1 = \alpha$, $\theta_i = \alpha + \frac{(\beta - \alpha)}{n}(i-1): i=1, 2, \dots, n$,
 $\theta_n = \beta$, n は3-DMASEの分割数。 $\frac{(\beta - \alpha)}{n} = \Delta$

とすると、 $\frac{180^\circ}{\Delta}$ は主構造体を構成する右回り、左回りの3-DMASEのそれぞれの本数となる。以下では、3-DMASEの形状パラメータが $\alpha = 15^\circ$, $\beta = 71.25^\circ, n = 5, \Delta = 11.25^\circ, \frac{180^\circ}{\Delta} = 16, \varphi = 45^\circ$ の場合を例に説明する。

まず、 $t = 0$ (基準状態) のとき、ポストは xy 平面に対して垂直、それぞれの長さは $L_{p1} = C_1(Z_5 - Z_4)$, $L_{p2} = C_2(Z_6 - Z_5)$ で与えられるものとする。ここに、 C_1, C_2 は定数とし、ともに2.5としたとき $L_{p1} = 0.1414$, $L_{p2} = 0.1186$ となる。このとき、ダイアゴナル・ケーブルの長さはそれぞれ $L_{d1} = 0.1652, L_{d2} = 0.1656$ となる。RLDの形状変化の過程において、ポストとダイアゴナル・ケーブルの長さを固定すると、フープ・ケーブル、ジグザグ・ケーブル及び外周ケーブルの長さは変化する。図3にRLDの概形を $t = -0.25, 0, 0.3$ について示し、図4にはこれらの可変長ケーブルの t に対する変化を示す。

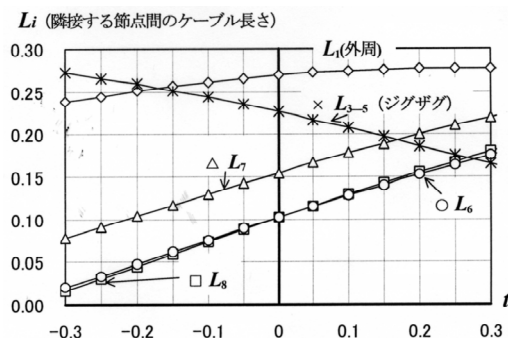


図4 ケーブル長の変化

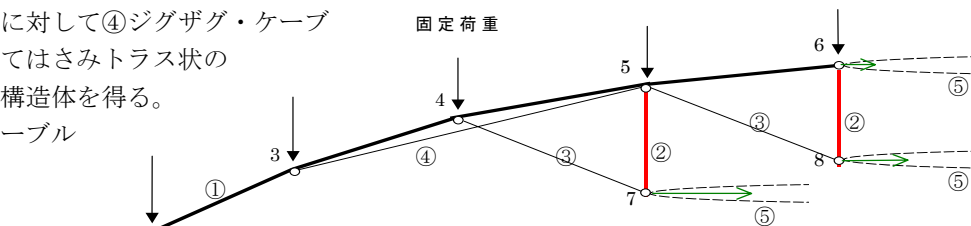


図5 RLDの駆動システム