

ループ状開閉式ドームの構造・構法システムに関わる 3 つのアイデア

正会員 粉川 牧

2. 構造－6. シェル・空間構造

ループ状開閉式ドーム、構造・構法システム、主構造体、3次元多折はさみ要素、力学的合理性、駆動方法

1. 序

円形天窓（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）」の構造・構法システムについて提案されている 3 つのアイデアを示す。

2. 主構造体

RLD の主構造体は「3次元多折はさみ要素（略称 3-DMASE）」をラメラ状に配置して得られる。3-DMASE のはさみピン交点は、図 1 に示すように、球面 S の頂点 T を通り平面 P 上にあり、且つ各要素上で互いに隣接するはさみピン交点は、中心軸 Z 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。そして各はさみピン交点のピボット軸は、球面 S 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、各はさみ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、図 2 に示すように、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、特に頂部の天窓直径を大きく変化させることが出来る。なお、図 1 において、「はさみピン交点 i 」の変化過程中的空間座標は、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。

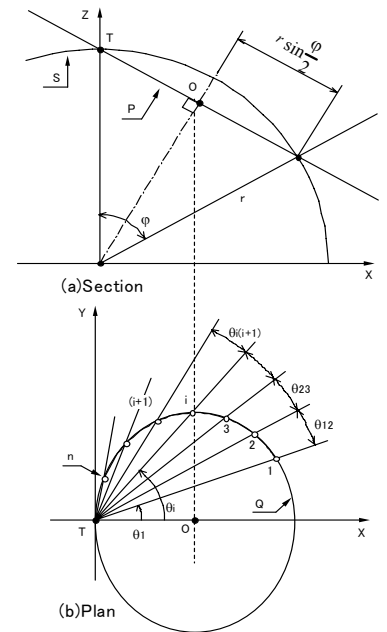


図 1 はさみピン交点の配置

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

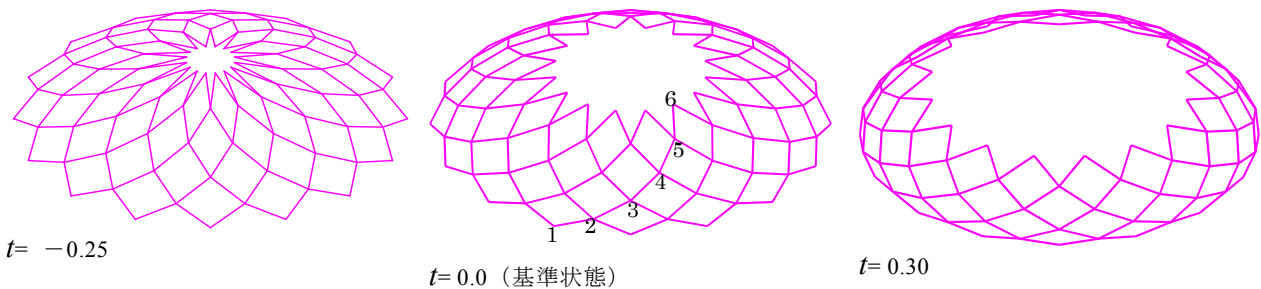


図 2 主構造体の形状変化

3. 3 つのアイデア

力学的合理性（強度と剛性に富む）を保ちながら、主構造体の形状を連続的に変化させる RLD の構造・構法システムの構築を図るべく、これまでに提案されているアイデアを概略示す。

3-1. システム A¹⁾：主構造体＋（内周リング＋外周リング）

図 3 に示すように、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シェルの構造システム。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6倍以上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る。

3-2. システム B²⁾: 主構造体+ (サスペンション+セコンダリー内周リング+外周リング)

図 4 に示すように、圧縮力を受ける内周リングの敷設位置を最内周からずらし (この内周リングをセコンダリー内周リングと呼び、図 4 においては節点 5 を通る)、ロッドの伸縮率を3程度にしてシステム A における問題点の解決を図ろうとしている。しかし、この場合、節点 5 と 6 を結ぶ片持ち部分において、節点 5 に大きな曲げが発生し、これに対しては節点 5 にポストを立て、その頂点から節点 6 を引張ケーブルによって吊り上げている。RLD の形状変化の過程中、長さを変化させなければならない部材はセコンダリー内周リング (圧縮)、外周リング (引張)、吊ケーブル or 控えケーブル (引張) となる。

3-3. システム C: 主構造体+副構造体 (Aspension Dome³⁾の一部+ジグザグケーブル+外周リング)

ポストと可撓性引張材からなる副構造体の概形図を図 5 に示す。可撓性引張材のうち、長さの変化が可能な部材 (可変長部材) の調整によって、構造全体の形状変化を図る。すなわち、図 6 において、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、自己釣合型の構造体を得る。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。

4. おわりに

システム A と B において、内周リングを形成する多段式ロッドは繋ぎ部分で曲げ剛性が不足し、大きな軸圧縮力に対して座屈耐力上の懸念が残る。これに対し

てシステム C は可撓性引張材の長さや張力を制御しながら、構造全体の形状変化を与えようとするもので、現代の緊張工法を発展し適用すれば技術的に可能と思われる。

文献: 1) 粉川 牧, 「ループ状開閉式ドームの構造・構法システム」、北海道支部研究報告集 74 (2001/6), 69-72

2) 粉川牧, 「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、2005/06、形の科学会誌、第 20 巻第 1 号 2005、42-43.

3) Richard Buckminster Fuller. ASPENSION (US3139957, Patented, July 7, 1964).

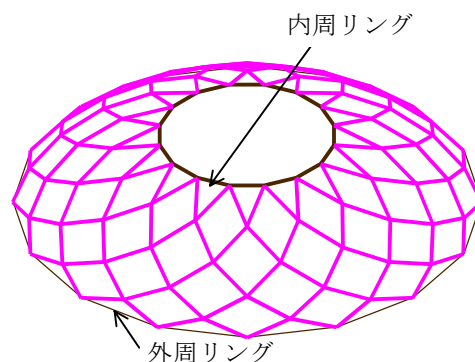
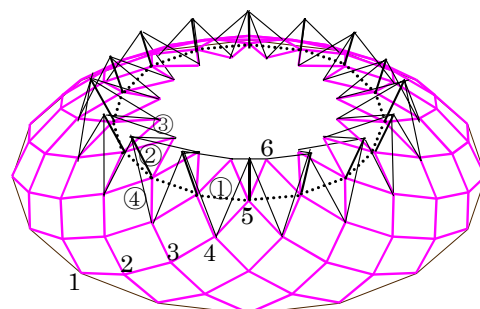


図 3 システム A



①セコンダリー内周リング ②ポスト
③吊ケーブル ④控えケーブル

図 4 システム B

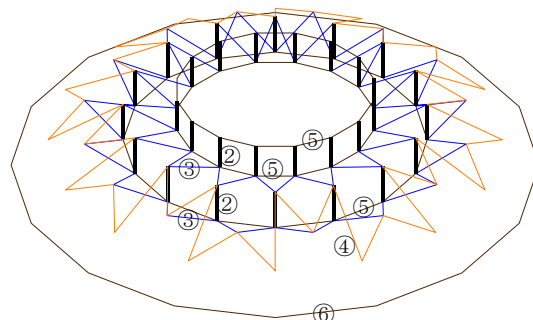


図 5 システム C における副構造体

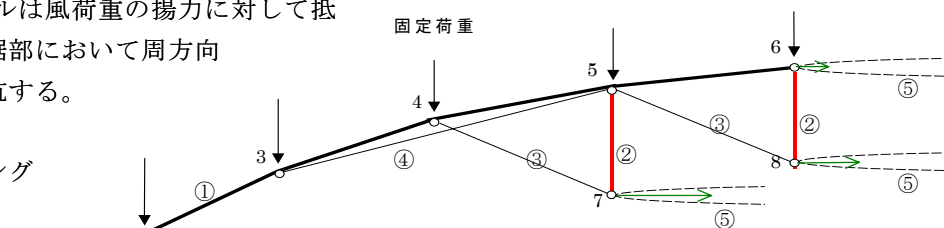


図 6 システム C (断面)