

地下空間ドーム構造の形態特性について

広島大学 正会員 ○有尾 一郎

1 はじめに

近年、地下空間を利用するための地下ドーム構造物が創造されている。この地下ドームは地上のドームとは異なり、土中の様々な負荷外力に耐えなければならない。ドーム構造のような対称性を持つ構造物は、その対称性に起因する分岐座屈が起こることが知られてきており、その構造物の形態解析が重要である。また、実際のフラーレン構造物として、ユニオン・タンクドーム(1958)、モントリオール万博のアメリカ館(1967)の他、国内でも鳥取大学のアリドドーム(1998)が建設されている。

本研究は、その地下空間を確保するための骨組構造物としてバクミンスター・フラーが考案したジオデジックドーム(切頭二十面体トラスドーム)を取り上げ、高次の対称性を持つ切頭二十面体トラス構造の形態に着目し、形態変化と耐荷力との関係を明らかにする。地下構造物の形態パラメータ解析を通して、座屈耐荷力の変化を数値的に明らかにすることにより、地下ドーム設計の基礎材料を提案する。

2 フラーレン構造

C_{60} フラーレン構造が幾何学的に基本となる正多面体は、正二十面体である。この正二十面体は、その面($F = 20$)、辺($E = 30$)、頂点($V = 12$)の間には、オイラーの公式

$$E = V + F - 2 \quad (1)$$

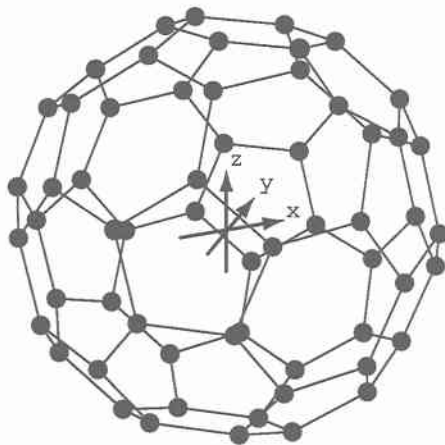


図-1: 切頭二十面体トラス構造(C_{60})

が成り立つ。また正二十面体は、すべて正三角形の面からなり、1つの頂点に5つの正三角形の集まる正多面体であり、群論的分類では点群 I_h に属する。図-1に示されるように正二十面体の全ての角頂から、ある高さの切頭を行うことによって、任意の切頭二十面体を得られる。この切頭高さを切頭前の角頂高さで正規化し、切頭パラメータを

$$\gamma = \frac{h}{r_{12}}, \quad 0 < \gamma < 0.5 \quad (2)$$

と定義する。ここに、 h は切頭高さを、 r_{12} は切頭前の正二十面体の角頂高さをそれぞれ表す。特に、 $\gamma = 0.33$ のとき有機化学の分野では炭素原子を60個持つ C_{60} フラーレン分子として知られている。切頭数 V を用いて任意の切頭二十面体の面数($F' = F + V$)、辺数($E' = E + 5V$)、頂点数($V' = 5V$)の間にも

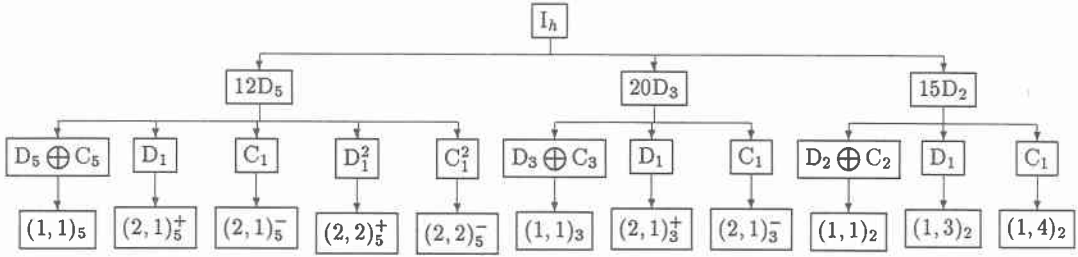


図- 2: I_h 対称性の階層構造と二面体群の既約表現の対応

オイラーの公式(1)が当然成り立っており、対称性は正二十面体と同じ I_h に属する。

3 フラーレン構造の対称性

完全な形での正二十面体の対称性の存在は自然のままでは極めて少ないが、自然の摂理からの摂動を理解するために正二十面体の構造は重要である。群の分類ではこのフラーレン構造も正二十面体と同じ対称群 I_h で記述される。120 個の対称要素を持つ点群 I_h は、32 個の点群中で最も大きい。正二十面体の 12 枚の正五角形は、一対の点対称に向かい合った 6 組が存在する D_{5d} 対称性を持つ。それに伴って、 $C_5, C_5^2, \dots, S_{10}, S_{10}^2, \dots$ という回転 C_5^i と回映 S_{10}^i の対称操作は各頂点で 12 個ずつ生じるが、いずれの場合も回転軸は節点を通らない。20 枚の六角形も一対の向かい合った 10 組が存在するが、五角形との接続が異なるので、 D_6 対称とはならず D_{3d} 対称となる。さらに、隣り合う 2 つの六角形が接する辺の中心を軸とする 15 個の D_{2h} 対称性が存在する。これらの対称性は切頭の深さには影響しない。

4 静水圧荷重における $\gamma - \lambda$ 曲線

全節点に等方圧力を作用させたときの形態解析を行なった。 γ に対応する座屈荷重を逐次的に求め、1 次と 2 次の座屈荷重 λ_1, λ_2 を図-3 に示す。この場合、1 次と 2 次の座屈耐荷力が最大となる γ は一致せず、両者の耐荷力曲

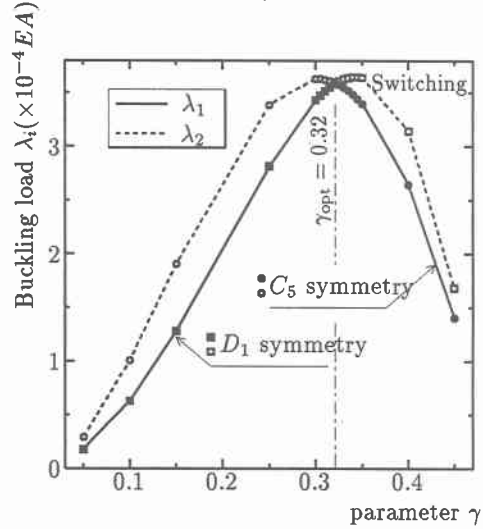


図- 3: γ に対する座屈耐荷力曲線

線は $\gamma_{opt} = 0.32$ で交差し、このとき座屈荷重 $\lambda_1 = 3.58 \times 10^{-4} EA$ を得た。図-3より、この $\gamma = 0.32$ を境界に、最小座屈荷重に対応する座屈モードが別の座屈モードと入れ替わる、モードスイッチング (Mode-Switching) 現象が発生する。 γ が γ_{opt} であれば、 D_1 軸対称群を持つ座屈変形モードとなり、 $\gamma > \gamma_{opt}$ であれば C_5 回転対称群を持つことがわかった。

参考文献

- [1] 有尾 一郎・亀岡 稔弘, 地下空間におけるジオデジクトラスドームの座屈挙動解析, 土木学会 地下空間シンポジウム, Vol.4, 125-130, 1999.