

B-24

膜構造ブロックの積層による成層圏タワーの実現可能性について
赤道直下地域での大気観測データと数値シミュレーションによる風量と塔体質量の対比

Feasibility of a Stratospheric Tower Using Layered Membrane Structure Blocks

Comparison of Wind Volume and Tower Mass Based on Atmospheric Observation Data and Numerical Simulation in the Equatorial Region

○島崎丈太¹

Jota Shimazaki¹

Abstract : Currently, the stratosphere remains inaccessible to humanity except through specialized aircraft, weather balloons, rockets, and similar means. This paper discusses the current status and future prospects for constructing stratospheric towers—structures built by stacking basic units filled with lighter-than-air gas within membrane-structured blocks—as a strategy for stable, continuous utilization of this region while minimizing structural load. We will further simulate a model that has already demonstrated feasibility under ideal conditions in calculations, adapting it to the actual wind conditions directly above the equator.

1. はじめに

現在、人類が、特殊な航空機・気象観測気球・ロケット等で通過する以外では利用出来ていない成層圏を、安定継続利用する方策として、膜構造ブロックに大気より軽い気体を充填した基本ユニットを積み上げることで、構造的な負荷を最小限に抑えた成層圏タワーの建設可能性について、現状と今後の見通しを調査する。既に計算上では理想状態での実現可能性が見えたモデルを、赤道直下の実際の気象観測データに合わせ更にシミュレートする。

本構想は、初期の仮想モデルとして、Figure 1.のように、一辺 10m の正六角形を底面とする、高さ 100m の膜構造ブロックの正六角柱を「基本部材」として、それを 6 本環状に束ね、真ん中に空き空間のある角ばった筒状の塊を 1 階層の「基本構造」としている。

各々の膜構造ブロックの内包気体の温度とガス比率を調整し、膜構造ブロック自体の質量は巨大となるものの、大気中の浮力の為に重量はゼロであるように調整することで、「基本構造」が、巨大な質量を持ちながらも重量はゼロである状態を作り出し、その「基本構造」を順次上方に積み上げることを繰り返すことによって、地上から高度 20,000m に達する超高層構造物(成層圏タワー)を作り出すものである。

成層圏タワーの用途は、その先端部の成層圏高度により、希薄な大気、地上と比べた超低温、などから、

- ・雲や水蒸気に遮られることのない、大気・気象・天体の観測

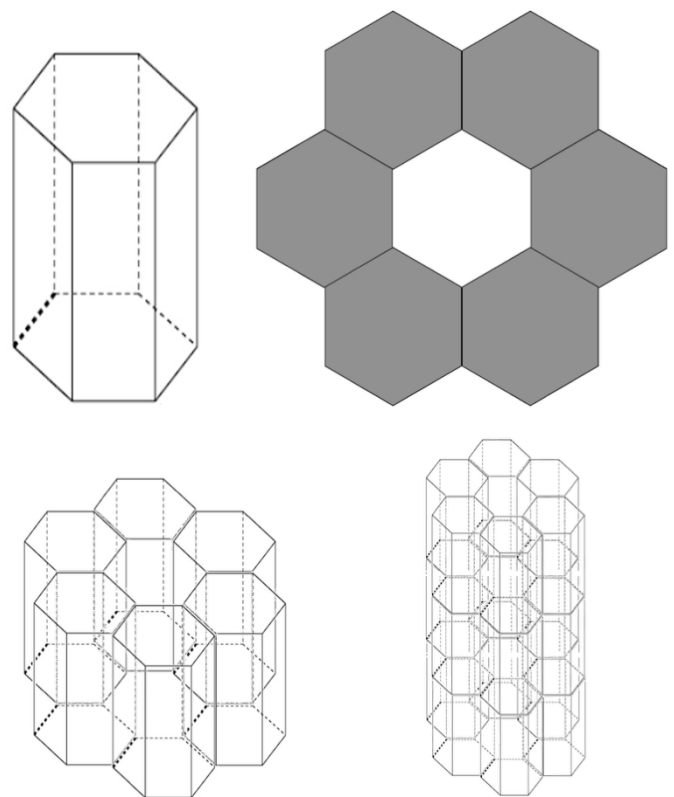


Figure 1. Stratospheric Building Basic Unit: Top left: Single regular hexagonal prism Top right: Plan view of six regular hexagonal prisms Bottom left: Elevation view of basic structure with six regular hexagonal prisms Bottom right: Three-layer stacking diagram of basic structure

- ・雲の上まで突出する高度である為、日射を遮られることがなく、時事刻々の発電量が完全に計算可能で安定した太陽光発電

- ・地上と高空の温度差を利用したエネルギー取出し

- ・低い気圧による空気抵抗を利用した宇宙への物資搬送等が考えられる。

1 : 日大理工・客員研究員・建築, 1: Nihon University, College of Science and Technology, Department of Architecture

2. 国際標準大気での試算の設定と計算結果

Figure 1.のモデル形状を使用し、膜材は1996年10月の日本膜構造協会の膜構造研究論文集に掲載された「大型気球用繊維強化膜材料の力学的特性」で紹介された、高い引張強度と引裂強度を持つ大型気球用膜材料を想定した。大気としては国際標準大気を想定、内包する空気の温度を摂氏50度に加熱することで、高度14,900mまでは浮力を得ることが出来る、(つまり下部に重量負担を掛けずに成立する)ことが計算で判明した。それよりも高高度の空域では、内包気体を水素にすることで、高度20,000mでも、基本構造(正六角柱6本)で、2,820kgの浮力を得ることが出来るという計算結果となった。

3. 実際の赤道直下での観測データによる試算

成層圏タワーは、質量は大きい重量は極少なので、横風に弱く、建造可能な地域としては、コリオリの力が働かず台風や貿易風・ジェット気流の無い、赤道無風帯が最有力候補である。その為、国際標準大気ではなく、実際の赤道直下での大気観測に基づく気圧・気温・湿度のデータの使用が必要となり、京大生存圏研究所より固定設置のドップラーレーダーとラジオゾンデによる観測データの提供を受け、試算を行った。

計算のモデルには国際標準大気の試算の際と同じ基本部材・基本構造を使用し、外気と内包する空気の条件を赤道直下のインドネシアのKototabang(コトタバ)から2012年12月14日07時03分に放球されたラジオゾンデによって観測したデータを使用した。ラジオゾンデは、放球と同時に風に流され始め、水平位置は変動して行くが、今回の試算では放球位置も同じ大気条件であると仮定している。又、ラジオゾンデの高度は上昇速度により計測間隔にバラつきがあるため、線形補完を行い、データを100m毎に平均値で取りまとめた。

計測されたデータによれば、成層圏タワー内の空気の温度が50度である場合は、高度18,700mまでは浮力を得ることが出来ること、内包気体を、外気温と同じ温度の水素とした場合は、更に浮力が大きく、20,000mの高度でも、7,090kgの浮力を保持出来ることが判明した。

4. まとめ

赤道直下の実計測データに於いても、ラジオゾンデによる部分的な観測とはいえ、成層圏タワーが理論上成立することが、確認出来た。

5. 今後の課題

赤道直下の大気データの内、インドネシアのKototabangでの固定設置のドップラーレーダーのデータは、風速以外に、時間・高度の属性について連続的で密度の高いものであるが、気圧・気温・湿度が観測出来ない。同じKototabangから放球されているラジオゾンデは、時間と高度については十分な密度があるが、風に流されて行く為、成層圏高度に到達するまでに、水平方向で移動してしまい、必ずしも同地点上空のデータではないこと、コストの制限でKototabangからの放球の回数が1502回、最新のデータが2012年12月14日であり、固定設置のドップラーレーダー程の密度で信頼性の高いデータベースを構築出来ない。これらのデータや、近接する地域から放球されたデータも併せて統計的に処理することで、信頼度の高い大気データベースを作成したい。

又、上記データベースが使える状態になれば、風速・風量・気圧などのデータが揃った場合に、成層圏タワー塔体に作用する力を、流体力学を適用して計算し、塔体の挙動の予測、建設に必要なとされる膜構造ブロック皮膜の要求強度、などを算出することが可能となる。

6. 参考文献

- [1] 島崎丈太:「膜構造ブロック積層による成層圏建築物の実現可能性について 成層圏高度領域の安定利用に向けた大気浮力を利用した構造体の構想」, 膜構造ジャーナル, 第2編報告・概論, 2024.04
- [2] 島崎丈太:「EARとラジオゾンデのデータを使っての仮想の成層圏タワー形状を通過する大気の高高度での運動エネルギー計算」, 京大生存圏研究所 第19回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 第551回生存圏シンポジウム, Page 33, 2025.09
- [3] 南宏和、多賀正、豊田宏、瀬川信哉、呉鷲:「大型気球用繊維強化膜材料の力学的特性」, 膜構造研究論文集, 1996