

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

島崎 丈太*¹

現在、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、風況の良い地点にて地上から積み上げることで成層圏に達する構造体の建築可能性を検討する。封入気体の温度や組成を調整し、各基本ユニットを「質量は大きい重量はゼロ」とすることにより、大気浮力が許す範囲内で、成層圏高度に達する構造体の建築が可能で有り得ることを論証する。本報告では公開された情報を使用し、風、気候変動、温度変化、等は無いものと仮定し成層圏建築物の成立可能性のみを検証、後続研究にて現実的な検証を続ける予定である。

1. 梗概

本論文は、膜構造ブロックの積層による高度 10,000m～20,000m の成層圏建築物建設の可否検討研究の導入部である。地球の大気の平均的な構成、気圧、気温の下で、現在の人類の使用可能な技術と材料により、高度 20,000m 迄の建築物が成立可能であるかを、公開されている諸データから、試算し、理論的に成立することを確認することを目標とする。

膜構造ブロックとその積層の形状は、下記の島崎が初期事例として構想したものを使用する。大気は静止状態とし、天候や気温の変化も考慮せず、単純に、建設された構造物が自重で崩落せず、最上部では、どの程度の垂直負荷に耐え得るかを計算した。以下に、想定した形状を記述する。

建築物形状は、基本単位として、一辺 10m の正六角形を底面とする高さ 100m の六角柱の膜構造ブロック(図 1)を、垂直に立てたものを想定した。そのブロックを、中央に空間を空けた形で接合し(図 2)、六角形の空洞を6本の六角柱が囲む形状、を1階層の基本構造(図3)とした。基本構造を積層し高層構造物とする。

その基本構造を、水平に複数組み合わせより大きな階層を形成することも可能だが、今回は最低限の組み合わせとして、1階層に正六角柱6本のみを想定した。

膜構造の材料としては、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」に掲載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、十分な強度を有すると想定し重量計算した。

膜構造ブロック内には、同高度の大気より軽い気体を充填し、その浮力により、膜構造とその付属設備の重量を相殺して、階

層全体としては、質量は大きいながらも、重量はゼロとなるように気体の組成と温度と圧力を調整する。これにより、階層の上に更に階層を重ね続けても、下層に負担を掛けることなく、多くの階層を重ねた高層建築物を建設可能と考えられる。(図 4)

上記の方式で、内部の気体を調整し、高さ 100m の階層を 200 階層重ねることで、20,000m の高度に到達する成層圏建築物が理論的には建築として成立可能であることを、この論文で証する。

この論文では「建築として成立可能」の定義として、高度 20,000m の建築物が出来上がった時点で、当該建物を構成する全 200 階層に、上部階層からも下部階層からも圧力がかからず、地上から高度 20,000m の階層までが、重量ゼロの状態で成立し得るということを条件として適用する。

但し、膜材をどのように加工縫製又は接着して膜構造ブロックを作り上げるかの検討は未了なので、膜構造ブロック造成に必要な膜面積の 100%増の膜重量を、必要な材料重量として想定している。この加算重量に、将来的に検討されるべきエアポンプ、配管、配線、なども含むことを想定している。

又、20,000m の最上部階層で重量がゼロであると、その上部に追加して各種機能を備えた機材を設置稼働させることが出来ないため、最上部階層については、機材を積載する為に最大でどれだけの浮力を得ることが可能かも試算した。

尚、本論文では、成層圏建築物が成立可能か不可かのみを判断する為、高高度で人類の常駐・居住は不可能とし、無人運用を想定している。

*¹ 日本大学 理工学部 建築学科 客員研究員

2. 目次

1. 梗概
2. 目次
3. 本論
4. 結論
5. 参考文献
6. あとがき

3. 本論

本シミュレーションの基本となる正六角柱膜構造ブロック(図1)の寸法と重量などは、以下の想定によって計算されている。基本ブロック(図2参照)は正六角柱膜構造ブロックを6本接合したもののだが、ここでの数値計算は、全てが同じ条件のブロックである為、1本での数値を標記する。

正六角柱膜構造ブロック(図1参照)

底面積: 一辺 10m の正六角形(面積 260 m²)

側面積: 底辺 10m、高さ 100m の長方形(面積 1,000 m²)

表面積: 6,520 m²(底面積×2 + 側面積×6)

膜重量: 使用を想定した膜材料 96.6g/m²
96.6g/m²×6,520 m² = 630kg(正六角柱の表面積分の膜材料重量)

630kg×2 = 1,260kg(縫い代、接着剤、その他機材等を含めた想定重量)

内容積: 26,000 m³(260 m²×100m)

浮力: 各階層の正六角形膜構造ブロックに充填される気体の重量と、同高度の大気気圧から計算される重量の差分が、浮力として計算される。

基準となる大気の状態は以下の通りとし、そこから、高さ 100m のブロックを積み重ねて行く。

基準とする大気の地上での条件

高度: 0m, 気温: 15.1 度、気圧: 1013.25hPa

封入する気体と、浮力の計算方法としては、

- (1) 摂氏 50 度に加熱した同気圧の大気(熱気球では 70~100 度を使用するが、膜材の耐久性と消費エネルギーを考え今回は 50 度とした)
- (2) 同高度の大気と同温度と想定した同気圧の水素を、充填した場合の浮力を計算した。

浮力は、同高度、同温度、同気圧の大気が基本ブロックに充填された場合の重量を計算し、上記(1)と(2)との重量差を、浮力とした。ブロックそのものの浮力は、「皮膜込浮力」と表現した。

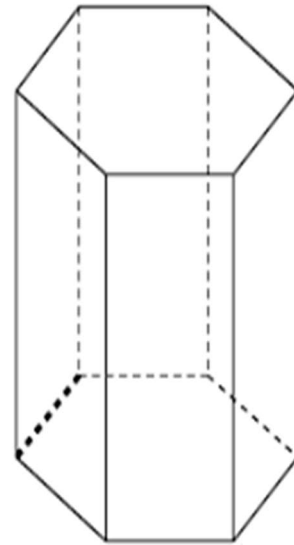


図1 成層圏建築物基本ブロック: 正六角柱 単体

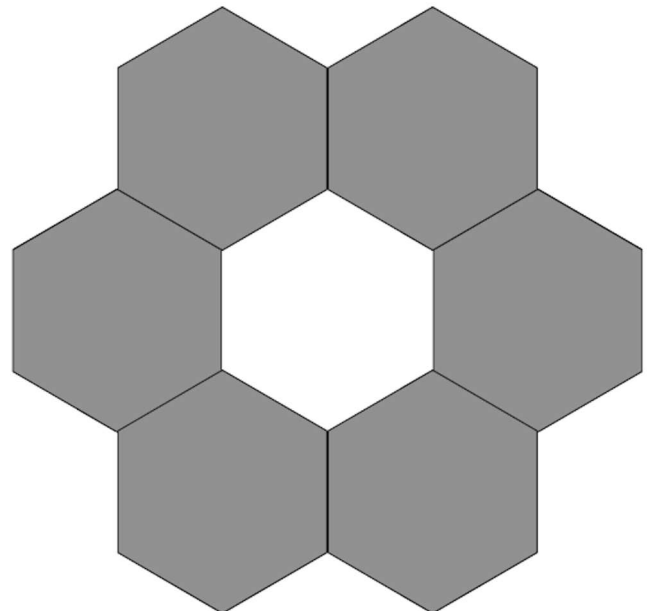


図2 成層圏建築物基本ユニット: 正六角柱 6体平面図

10,000m から 2000m 毎に 20,000 までの高度で計算した、高度別・充填気体別の浮力のシミュレーションについては、表1のような計算結果となった。

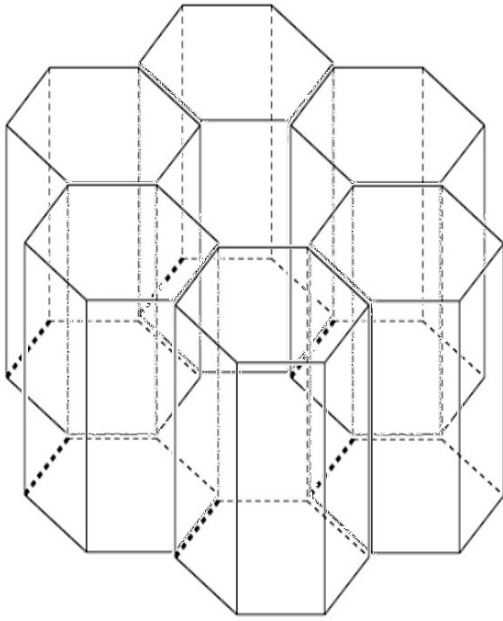


図3 成層圏建築物基本ユニット：正六角柱 6体立面図

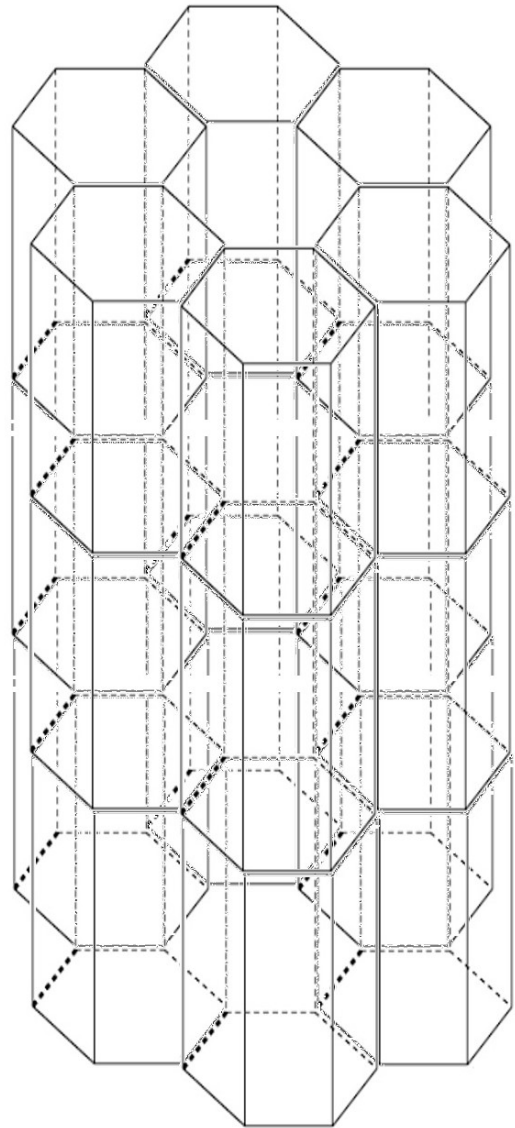


図4 成層圏建築物基本ユニット：6体立面3階層積層

表1

高度別・充填気体別 浮力シミュレーション (正六角柱基本ブロック1本で計算)

高度 (m)	大気温度 (摂氏)	気圧 (hPa)	大気 1m ³ 当重量 (kg)	基本ブロック 正六角柱内 重量 (kg)	大気 (50度) 1m ³ 当重量 (kg)	大気 (50度) 正六角柱内 重量 (kg)	大気 (50度) 正六角柱内 浮力	大気 (50度) 正六角柱 皮膜込浮力	水素 (大気温) 1m ³ 当重量 (kg)	水素 (大気温) 正六角柱内 重量 (kg)	水素 (大気温) 正六角柱 浮力	水素 (大気温) 正六角柱内 皮膜込浮力
0	15.1	1013.25	1.2250	31,826.73	1.0923	28,379	3,447	2,187	0.0695	1,806	30,020	28,760
10,000	-49.7	265.00	0.3204	8,324.31	0.2214	5,752	2,572	1,312	0.0058	151	8,172	6,912
12,000	-56.3	194.00	0.2345	6,092.54	0.1573	4,086	2,007	747	0.0031	81	6,012	4,752
14,000	-56.3	141.70	0.1713	4,450.55	0.1149	2,985	1,466	206	0.0017	43	4,408	3,148
16,000	-56.3	103.50	0.1251	3,250.22	0.0839	2,180	1,071	-189	0.0009	23	3,228	1,968
18,000	-56.3	75.65	0.0915	2,377.26	0.0613	1,593	783	-477	0.0005	12	2,364	1,104
20,000	-56.3	55.29	0.0668	1,735.53	0.0448	1,165	572	-688	0.0003	7	1,730	470

- 各高度に於ける大気温度は、参考文献1)から引用

- 各高度に於ける気圧は、参考文献1)から引用
- 各高度に於ける大気1m³当重量は、参考文献1)から引用
- 各高度に於ける基本ブロック正六角柱内重量は、1m³当重量に内容量を乗じて算出
- 各高度に於ける大気(50度)1m³当重量はボイルシャルルの法則を適用して算出した重量に、気圧を乗じて算出
- 各高度に於ける大気(50度)に於ける基本ブロック正六角柱内重量は、1m³当重量に内容量を乗じて算出
- 各高度に於ける大気(50度)に於ける基本ブロック正六角柱内浮力は、該当高度に於ける大気の基本ブロック正六角柱内重量から、大気(50度)に於ける基本ブロック正六角柱内重量を減じて算出
- 各高度に於ける大気(50度)に於ける基本ブロック正六角柱皮膜込浮力は、上記浮力より、皮膜重量を減じて算出
- 各高度に於ける水素1m³当重量は参考文献3)から算出した重量に、気圧を乗じて算出
- 各高度に於ける水素に於ける基本ブロック正六角柱内重量は、1m³当重量に内容量を乗じて算出
- 各高度に於ける水素に於ける基本ブロック正六角柱内重量は、1m³当重量に内容量を乗じて算出
- 各高度に於ける水素に於ける基本ブロック正六角柱内浮力は、該当高度に於ける大気の基本ブロック正六角柱内重量から、大気(50度)に於ける基本ブロック正六角柱内重量を減じて算出
- 各高度に於ける水素に於ける基本ブロック正六角柱皮膜込浮力は、上記浮力より、皮膜重量を減じて算出

4. 結論

皮膜込浮力は、摂氏50度の大気の場合では、14,000mまでは、206kgの皮膜込浮力を得る予想となり、大気温の水素の場合は、20,000mでも、470kgの皮膜込浮力を得るという計算結果となった。

従って、数値シミュレーションの上では、高度20,000mの成層圏に達する建築物を、膜構造ブロックを積み上げることによって構築することは、理論上は可能である、という結果となった。

5. 参考文献

- The Engineering ToolBox
https://www.engineeringtoolbox.com/international-standard-atmosphere-d_985.html
- 南宏和、多賀正、豊田宏、瀬川信哉、呉鶯：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年、
http://www.makukouzou.or.jp/article/details/article_1996-10.html
- 水素の大気に対する比重 <https://www.fintech.co.jp/etc-data/gas-data.htm>

6. あとがき

本論文のシミュレーションは、大気の状態を高度による気圧低下以外には変化の無い理想状態として計算しているため、実際の環境では水平方向の風圧、気温変化、風雨の影響、日射の影響、その他様々な要因を検討しなくては、現実には構造物を建築するには至れない。

今後、現実的には以下のような段階を踏んで、研究調査を進めて行くことを計画している。

- ・ 膜構造ブロックによる成層圏建築物の実現可能性の検討（当論文）
- ・ 成層圏建築物構築に適した地域の特定とその地域の風況
- ・ 最も風況の適した地域に成層圏建築物を構築した場合の流体力学的分析
- ・ 実際の建築過程と建築・運用コストを考慮に入れた成層圏建築物の概念設計
- ・ 成層圏建築物を構成する膜構造ブロックの封入気体調整装置の要求仕様
- ・ 成層圏建築物最上部に設置する機材の概念設計と規模・重量の概算
- ・ 必要機材の規模と重量を考慮した概念設計の再検討

最後になりますが、本研究に際し、ご指導ご助言を賜った、日本大学理工学部の青木義男特任教授に深く感謝させていただきます。