

膜構造の設計用初期張力に関する基礎的研究

Basic research on initial tension for designing membrane structures

○梅田龍雄¹, 石鍋雄一郎², 中島肇³

*Tatsuo Umeda¹, Yuichiro Ishinabe², Hajime Nakajima³

Abstract: In order to obtain the required rigidity as a membrane material, tension is generally introduced in two directions, the warp and weft directions. It is desirable to introduce an initial tension with a magnitude as close as possible to the warp and weft directions of the membrane material. In addition, since the membrane material cannot carry compressive stress, if the initial tension is small, the deformation due to load and external force becomes large, and the entire structure becomes unstable. The purpose of this study is to examine the initial tension that can ensure the rigidity and stability of the membrane structure through structural analysis, search for the basis of the initial design tension, and finally provide information on the initial design tension.

1. はじめに

膜材料としての必要な剛性を得るために、一般には縦糸及び横糸方向の二方向に張力を導入する。また、膜材料は圧縮応力に抵抗し得ないため、初期張力が少ないと荷重・外力による変形も大きくなる。

膜材料の縦糸もしくは横糸方向の一方向のみに張力を導入しても、クリープ性によって次第に両方向とも同じ張力になるように変化するため、膜材料の両方向に近い大きさの初期張力を導入することが望ましいとされている。また、荷重・外力によって初期張力が消失すると、リンクリング（局所的な座屈現象でしわが発生すること）を生じ、この領域が拡大すると構造全体が不安定になるとされている^[1]。

一般に、膜材料に導入する初期張力は、1)膜材料の種類、2)膜材料による荷重・外力による変形、3)施工性といった3つの要素によって決定されている。膜材料の種類による設計用初期張力は膜材料A種は2kN/m、膜材料B種は1kN/m、膜構造用フィルムは1kN/mと定められており、施工時の初期張力は応力弛緩を勘案して、小規模の膜構造は4~5kN/m、中・大規模の膜構造は7kN/mといった値が一般的に採用されている^[2]。しかし、既存の研究では、上記に述べた設計用初期張力の根拠についての検討が不十分であるのが現状である。

本研究では、構造解析を通して膜構造の剛性や安定性を確保できる初期張力を検討し、設計用初期張力の根拠を探り、設計初期張力に関する設計資料の作成を目的とする。本報では、簡易モデルにより荷重増加に伴う張力と剛性の推移について考察する。

2. 検討モデルの概要

膜材料はケーブルネットと見立てて検討されていることが多い(Figure 1)。そこで、ここでは1本のケーブ

ルを用いて解析を行う。検討を進めるケーブルモデルは、ケーブルの軸直交方向の剛性についての検討を行うため、ケーブルの軸方向の剛性について検討を行っている矢島らのケーブルモデルと同様のものとし、後に総合評価できるようにした^[3](Table 1)。荷重はケーブル全体に9点の集中荷重を載荷し、自重は1点37.73Nが載荷しているものとする(Figure 2)。自重によって生じたサグは59.98mm、初期張力は9.11kNとなった。

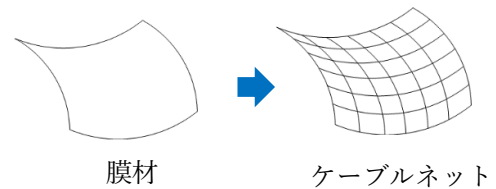
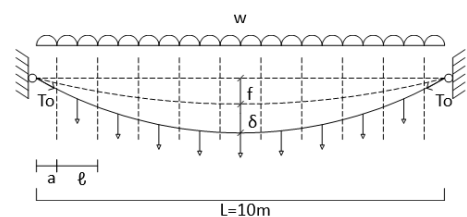


Figure 1. Model overview



W:鉛直荷重 f:サグ δ:鉛直変位 To:初期張力

Figure 2. Basic model

Table 1. Material Constant

構造用ストランドロープ	弾性係数 (kN/m ²)	断面積 (mm ²)	基準強度 (kN)	許容引張力 (kN)	
				長期	短期
周辺 1×37 28Φ ST1570	1.57×10 ⁸	616	339	226	339

3. 解析概要

解析モデルの検討は、荷重増分による幾何学的非線形解析により行う。解析は、部材自重と初期歪みが初期張力比 T / LTe (T :初期張力, LTe :長期許容張力)0.5%,

1 : 日大理工・学部・建築 2 : 日大短大・教員・建築 3 : 日大理工・教員・建築

5%, 10%, 15%, 20%, 50%のそれぞれになるように初期張力を与える。次に Figure 2 のようにケーブル全体の9点に鉛直下向き方向または鉛直上向き方向に集中荷重を載荷する。荷重は、自重付近の荷重を考慮できるように、0N~900Nを載荷する。以上の手順により、荷重を載荷した際の初期張力比と鉛直変位や端部軸力の関係について検討する。

4. 解析結果

Figure 3 に張力比とサグの関係を示す。初期張力比が20%を超えたあたりで、サグが急激に小さくなるのがわかる。Figure 4 に鉛直下向き載荷時の荷重と鉛直変位の関係を示す。初期張力比が5%以下の場合、200N載荷したあたりで、鉛直変位量の増加が徐々に小さくなり、剛性が增大していることがわかる。また、初期張力比が10%を超えると、鉛直変位量の増加は一定であり、剛性を維持していることがわかる。Figure 5 に鉛直上向き載荷時の荷重と鉛直変位の関係を示す。初期張力比が10%を超えると、鉛直下向き載荷時と同様に剛性は一定になる。初期張力比が0.5%の場合に着目すると、自重の大きさあたりまでは、ほとんど変位をせず、自重を超えたあたりで、変位が急激に増加していることがわかる。ここで、鉛直上向き載荷時のケーブルの端部軸力について検討する(Figure 6)。初期張力比が小さい状態では、自重付近で急激に軸力は失われる。また、初期張力比が増加していくにつれて自重付近の軸力減少は小さくなる。鉛直上向き載荷時の鉛直変位(Figure 5)と端部軸力(Figure 6)について比較すると、初期張力比が小さい場合に生じる鉛直変位の大きな増加に伴って、端部軸力も大きく減少していることがわかる。また、初期張力比が大きい場合、剛性が增大に伴って、端部軸力の変化も小さくなることがわかる。

5. まとめ

本報では、基礎的な解析により、初期張力比とケーブルの安定性との関係を考察した。今後は、張力比が小さい場合の下から荷重を載荷した時に生じる不安定領域についてさらに分析し、どの程度の初期張力を与えれば部材が安定するのかについて検討を行う。

6. 参考文献

- [1] 膜構造の建築物・膜材料等の技術基準及び同解説編集委員会：「膜構造の建築物・膜材料等の技術基準及び同解説」, pp.21-59, 2020
- [2] 中島肇, 斎藤公男, 黒木二三夫, 岡田章：「膜材料の応力-ひずみ曲線のモデル化に関する研究, 張力膜構造の応力弛緩に関する基礎的研究(その1)」, 日本建築学会構造系論文集, 第576号, pp.63-70, 2004, 5

[3] 矢島卓, 笠原隆, 石鍋雄一郎, 中島肇：「ケーブルおよび高張力ロッドの基本力学特性について」, 日本建築学会大会学術講演概要集, pp.1029-1030, 2016, 8

[4] 岡村潔：「大規模空気膜構造「東京ドーム」の形状解析-インフレート時の挙動-」, 日本機械学会誌 pp.545-549, 1989, 6

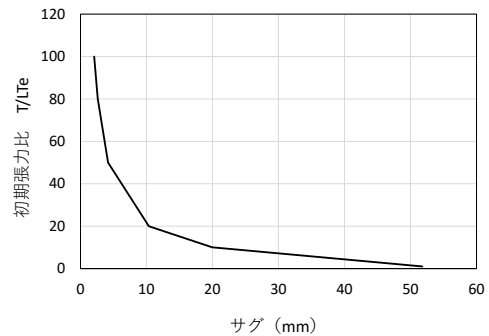


Figure 3. Tension ratio sag relationship

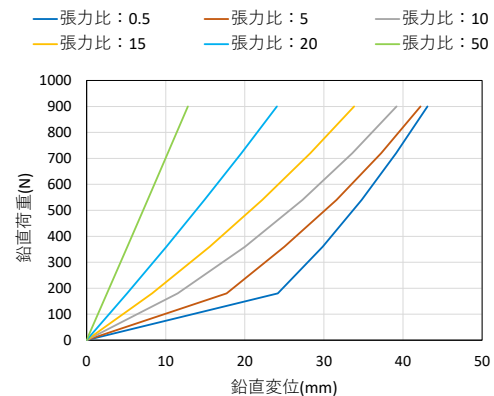


Figure 4. downward loading-displacement relationship

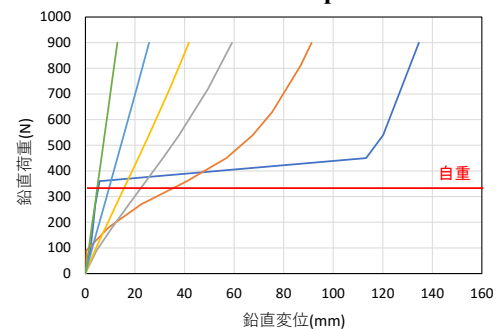


Figure 5. upward loading-displacement relationship

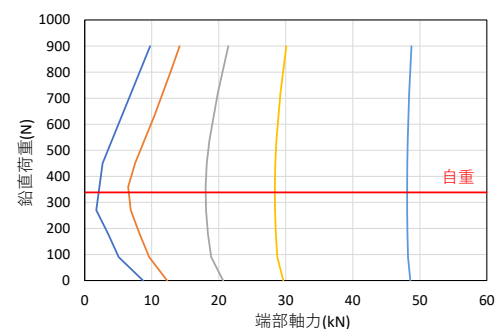


Figure 6. upward loading-axial force relationship