

B-42

フレーム自重による張力膜構造の応力弛緩制御に関する基礎的研究

Fundamental Study on stress relaxation suppression of tensile membrane structure by frame weight.

○石下善之¹, 石鍋雄一郎², 中島肇³

*Yoshiyuki Ishishita¹, Yuichiro Ishinabe², Hajime Nakajima³

Abstract: Generally Membrane Structure is a structure format by the presence of the initial tension achieve a curved surface stability, the stress relaxation caused by such as viscoelastic properties of the coating resin film material used is essentially in reliability of structural performance It is mentioned as a problem. In this study, the validity of the tension film structure using the frame's own weight is examined by structural analysis for the purpose of proposing an effective structural system for avoiding the loss of tension in the tension film structure.

1. はじめに

一般に恒久膜構造に使用される膜材料は、たて糸とよこ糸を波状に織った繊維織物とこれをコーティングした樹脂により構成される。膜材料の特性として、1)非抗圧性 2)異方性 3)材料非線形 4)粘弾性などが指摘されており、特に粘弾性特性などに起因した応力弛緩現象は、荷重履歴や時間経過に伴い膜応力が減少し剛性低下につながる。これに対して、現状の設計では施工後の膜への張力再導入による維持管理を前提として行い、膜材料を線形近似した剛性モデルとして扱うことで、それに準じた解析が成り立っている^[1]。しかし、維持管理にはコストや工期面などから実行の困難さが予想され、施工数に比べその実施数が少ないのが実状である^[2]。これらの事実は、初期張力の導入により曲面の安定を図る張力膜構造において、構造性能の信頼性に関わる本質的な問題として挙げられる。

本研究では、上記の問題への対策として張力再導入を行わず応力弛緩制御を図る構造システムを提案することを目的とする。具体的には膜への張力導入機構に着目し、曲面形態を支えるフレームの自重を利用した屋根構造を提案し、その妥当性を構造解析により検討する予定である。ここでは提案モデルの構造計画について報告する。

2. 屋根構造概要

競技場スタンドを覆う屋根架構を対象とし、はね出し長さ43m、最高高さ44m、梁間10m、の張力膜屋根を提案する。構造はトラス梁とバックステイケーブルの引き込みにより膜面に張力を導入し釣り合いをとるテンション形式とし、梁間10mを1区間とするユニットを連続させた架構となっている。膜材の設計用初期張力を2kN/m、長手方向をよこ糸、梁間方向をたて糸とする (Figure 1)。

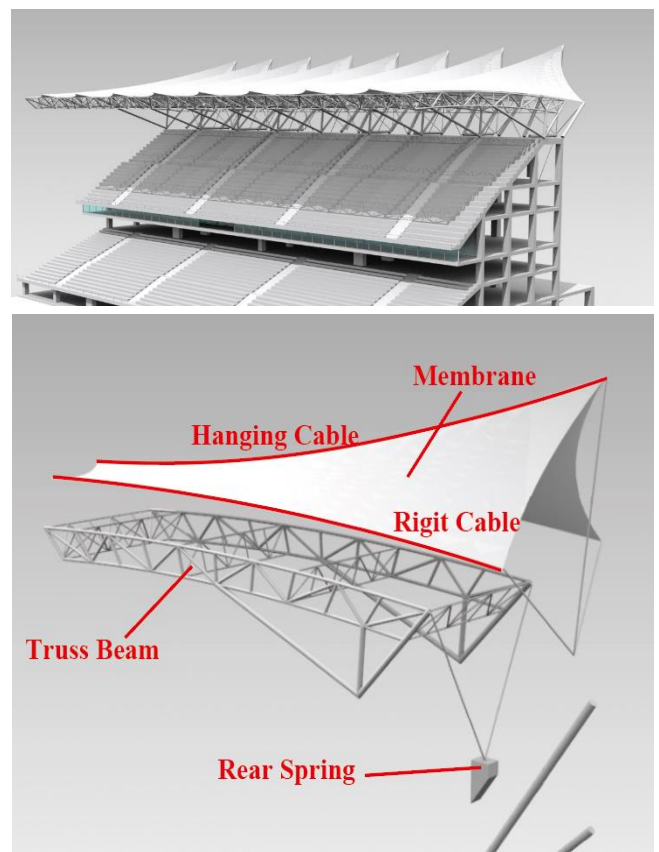


Figure 1. Perspective

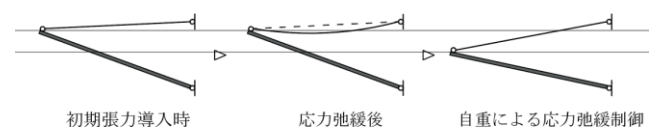


Figure 2. Stress Relaxation Control Mechanism

膜面の形状は材料の異方性、大規模な面積等を考慮して、押さえ方向と吊方向に相反する曲率を持たせる配置とした。押さえケーブルは曲率を有するトラス弦材に沿わせ、膜材が動くように定着させている (Figure 3)。

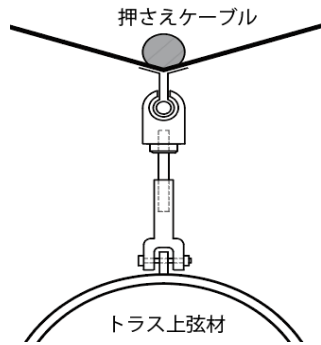


Figure 3. Membrane Junction Concept

吊方向は構造用ケーブルをトラス梁先端部とバックステイの支柱により支持し、梁間方向の膜材へ張力導入を行う。また、一般にテンション構造では初期釣り合い形状を決定するために、形状解析を行う必要があるが今回は形状決定に必要な解析は行わず、平面幾何学上での釣り合いにより検討している。

膜面の応力弛緩に対しては、トラス梁脚部をピン支承を中心にトラス梁が下方方向に自重で回転することにより、膜材が引っ張りを受ける。このシステムにより、応力弛緩発生後の膜応力が回復することを想定している (Figure 2)。また梁間方向の応力弛緩へは、トラス梁が下方方向に回転すると吊ケーブルのサグが上がることで膜がスパン方向へ引張力を受け応力弛緩に対応する。

スタンド後方にはトラス梁を鉛直下向きに、一定の加力を行うバネ機構 (リアスプリング) を配置する (Figure 1)。このリアスプリングは膜材への張力調整の役目を果たす。今回提案した規模に必要なとするトラス梁の長さの自重では、膜材に設計用初期張力を導入するには過大となることや、吹き上げ風荷重時の変位増大などが想定されるため、膜材への張力導入量の調整を図るために採用した。トラス梁の存在で曲面形状をつくるこの提案モデルにとって、リアスプリングは自重を調整するための重要なパラメータであると考えられる。

3. 解析概要

解析モデルを Figure 4 に示す。部材 AB を膜材料、AC, CD をトラス梁とし、トラス構造を曲げ剛性を有する線材に置換したフレームモデルとして応力変形解析をする。膜材料は四フッ化エチレンコーティングガラス繊維織布 A 種 (以下膜材料 A 種) を使用し、材料定数を Table 1 に示す。トラス梁の弦材は 216.3 φ × 6.0t (STK400) を用い単位荷重を $w=2\text{kN/m}$ とする。検討荷重は長期荷重とし、各部材に生じる応力について許容応力度以下となることを確認する。リアスプリングは鉛直下向き荷重に置換し、膜材の設計用初期張力から算定した $P=160\text{kN}$ とする。

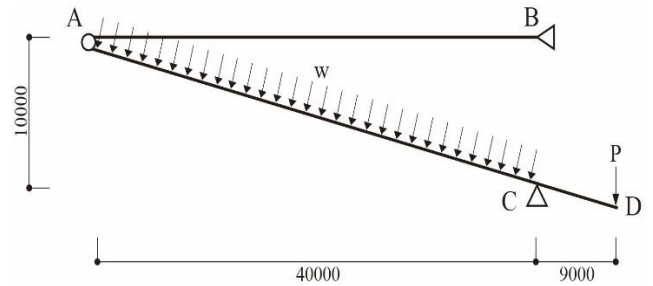


Figure 4. Analysis Model

Table 1. Material Constant^[2]

膜材	引張剛性 (kN/m)	ポアソン比	せん断剛性 (kN/m)	引張破断強さ (kN/m)	許容膜応力 (kN/m)		
					長期	短期	
膜材料A種	たて糸	1280	0.8	56.0	150	18.8	37.5
	よこ糸	960	0.6	56.0	120	15.0	30.0

4. 解析結果

膜部材 AB の最大軸力は 26kN、これを梁間 10m で割ると 2.6kN/m となり、設計用初期張力 2kN/m に近い値となった。トラス梁について式(1)より、置換したフレームモデルの断面力をトラス部材の軸力に換算する。

$$\bar{N} = \frac{N}{2} \pm \frac{M}{h} \quad (1)$$

ここで、曲げモーメント $1.9 \times 10^{-11} \text{ kNm}$ 、軸力 25kN、トラス成 2.0m より、換算軸力は $\pm 12.5\text{kN}$ となる。モーメントは C 点で最大となり、上弦材が引張軸力、下弦材が圧縮軸力である。換算軸力より、設計用圧縮応力度は $3.3 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ 、座屈長さをトラス小梁間隔 13m とすると許容圧縮応力度 $3.0 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$ となり、 $\sigma/f < 1.0$ であることが確認できた。

5. まとめ

本研究では、仮定した断面による各部材の応力を把握した。今後は、風荷重や積雪荷重による応力変位の把握を行い、特に現時点で吹上風荷重時の抵抗が来ていない状態にあると想定されるため、耐風ケーブルの設置等の提案モデルの再検討が必要となる。また、応力弛緩発生時の膜材の挙動を把握する必要があり、その方法を検討する予定である。

6. 参考文献

- [1]中島肇, 斎藤公男他: 膜材料の応力-ひずみ曲線のモデル化に関する研究 その 1, 日本建築学会構造系論文集, 第 579 号, pp.63-70, 2004
- [2]高田雄一, 斎藤公男他: 初期高張力導入膜に関する実験的研究 その 1, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), pp.1069-1070, 2000