

放射型ケーブル屋根構造の力学性状に関する研究

(その1) 等分布荷重下における屋根構成の違いが構造挙動に及ぼす影響

Study on Mechanical Properties of Radial Cable Roof Structures

(Part 1) Effect of Different Roof Configurations on Structural Behavior under Uniformly Distributed Load

○篠原大亮⁴, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造², 鴛海昂³, 木内一雄⁴

*Daisuke Shinohara⁴, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Syuzo Hiroishi², Akira Oshiumi³, Kazuo Kiuchi⁴

Abstract: In the previous paper^{[2][3]}, the structural behavior against wind loads and the evaluation of wind loads were reported for the model with one layer of tension ring and two layers of compression ring. On the other hand, many recent overseas studies have been reported using models with two layers of tension rings and one layer of compression rings, so it is necessary to understand the effect of the different roof configurations on the structural behavior. In this paper, an analytical study is conducted to understand the effect of different roof configurations on the mechanical properties under uniformly distributed load.

1. はじめに

本報で対象とする放射型ケーブル屋根構造は、内側のテンションリングと外側の圧縮リング間にケーブルを放射状に配置した軸力抵抗系の軽量構造である。

既報では、小林ら^[1]により、テンションリングと圧縮リングをそれぞれ1-2層としたモデルを対象として、等分布風荷重時の力学性状について解析及び実験結果が報告されている。また、鴛海、矢ヶ崎ら^[2]^[3]により、テンションリング1層・圧縮リング2層の円形及び楕円形モデルに対して、風荷重評価に関する検討が行われている。一方、近年の海外事例では、テンションリング2層・圧縮リング1層のモデルの採用実績も数多く報告されている。

以上より、(その1)では屋根構成の違いが風荷重時の力学性状に及ぼす影響の把握を目的として、まずは基本的な荷重である上向きの等分布荷重を取り上げ、数値解析を用いて検討を行う。

2. 検討モデル概要

本報では、放射ケーブルに均一に初期張力が導入可能な円形の平面形状とし、海外の採用事例を参考に、屋根架構のみの検討モデル(Fig.1)を構築した。屋根構成は、テンションリング1層・圧縮リング2層のモデル(以下「model A」と、テンションリング2層・圧縮リング1層のモデル(以下「model B」)の2ケースとした。なお、屋根の仕上げ材は、model Aは放射ケーブルの下弦材、model Bは上弦材に取り付けるものとした。

3. 数値解析概要

数値解析概要をTable 1に示す。テンションリングと圧縮リングを結ぶ放射ケーブルは非抗压材料とし、

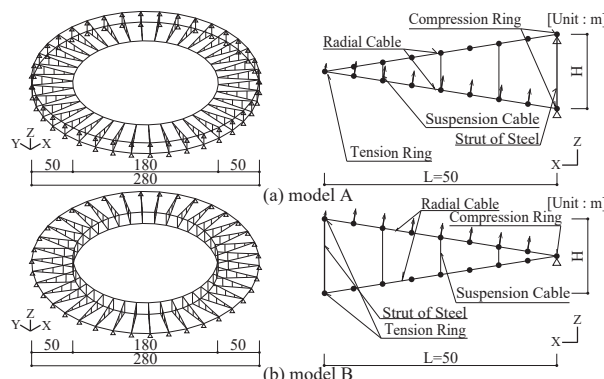


Fig. 1 Outline of Model
Table 1 Outline of Numerical Analysis

Structural Specifications		Modeling of tenton loss	
	modelA	modelB	
Compression Ring	STKN400 φ700.0×16.0	φ914.4×22.0	
Bundle of Steel	STKN400 φ406.4×12.7	φ318.5×10.3	
Initial Tensile Force	5,000kN(total of radial cable tensile force)		Multi-pin joint & non-pressure
Structural Specifications of the Cable linear non-resistive pressure			
		model A	model B
Tension Ring	Structural Locked Coil Rope	16-φ100	8-φ100
Radial Cable	Structural Locked Coil Rope	2-φ84	
Suspension Cable	Structural Spiral Rope	φ16 (1×19)	

詳細な挙動を把握するため、8分割してモデル化した。屋根の境界条件は、両モデル共に圧縮リングと放射ケーブルの接合部にてピン支持とした。荷重は一樣吹上の風荷重を想定し、建築基準法に基づき基準風速34m/sから設計用風荷重2,200N/m²を算出した。また、負担面積及び仕上げ材の設置を考慮して、放射ケーブルの8節点に集中荷重として、model Aは下弦材に、model Bは上弦材に荷重を加え、屋根面全体に載荷することで等分布荷重を模擬した。併せて、固定荷重(以下「長期荷重」として、自重と膜重量20N/m²を設計用風荷重とは別途、荷重として加えることで考慮している。なお、自重はケーブル接合金物重量を考慮して、テンションリングを構成しているケーブル自重を1.2倍に割り増している。検討モデ

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大短大・教員・建築 3 : 株式会社日建設計 4 : 日大理工・院(前)

ルは、屋根構成2ケース及びデプス・スパン比H/L=0.1, 0.2, 0.3の3ケースを組み合わせさせた6ケースとし、デプス・スパン比0.3では吊り材の有無の2ケースも追加で検討を行った。また、初期張力はデプス・スパン比0.3のモデルを対象とした事前検討により、長期及び短期荷重時において張力消失しない軸力を算出し、全モデルに対して長期荷重時の放射ケーブル軸力の合計が5,000kNとなるよう、テンションリングに初期張力を導入した。

4. 静的解析結果及び考察

4-1. デプス・スパン比による挙動の比較

各デプス・スパン比の初期張力をTable 2, 風(等分布)荷重に伴う放射ケーブル軸力と鉛直変位の変化をFig. 3に示す。model Aの初期張力時の放射ケーブル軸力は、デプス・スパン比が小さいほど、上弦材の軸力が大きくなることが確認された。一方、風荷重時は、デプス・スパン比0.1で張力消失が生じている。これは、デプス・スパン比0.3を対象に初期張力を決定したこと、及びデプスが大きいものほど小さな初期張力量でも張力消失しなくなるためと考えられる。一方、model Bではいずれのモデルでも張力消失が生じず、荷重の増加に伴いテンションリング2層分のフープ効果による下弦材軸力の増加も確認された。

Fig. 3より鉛直変位は、両model共にデプスの増加に伴い、屋根先端及び屋根中央部で小さくなっている。しかし、model Aのデプス・スパン比0.1のみ、上弦材軸力の減少に伴う剛性低下が確認された。これは、model Aでは、デプスが小さいものほど風荷重時に張力消失が生じやすく、張力消失後の挙動がテンションリング1層・圧縮リング1層の屋根構成の抵抗機構を示すためと考えられる。一方、model Bでは、デプスが大きいほど見かけの断面二次モーメントが大きくなり、変形が小さくなったものと考えられる。

以上より、両model共に張力消失が生じない限り、上・下弦材の張力の増減による抵抗機構(梁効果)が発揮されることが把握された。

4-2. 吊材の有無による挙動の比較

吊材の有無による風荷重-放射ケーブル軸力、鉛直変位関係をFig.4, 風荷重時の変形モードをFig.5に示す。model Aは、下弦材に上向きの荷重が加わると、吊材の張力が直ちに消失するため、吊材の有無による差異は見られない。このことにより、荷重に対して下弦材の変形が顕著に発生するため、幾何学的非線形性が比較的強く現れることになる。これに対して、model Bは上弦材に上向きの荷重が加わるため、

Table 2 Axial Force Distribution under Long-term Load (Total of Radial Cable Tensile Force 5,000kN) [kN]

Depth span ratio	model A			model B		
	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
Tension ring	Upper	38,150	38,200	37,940	15,430	15,180
	Lower				22,720	22,800
Radial cable	Upper	3,441	3,179	2,994	2,021	1,994
	Lower	1,555	1,839	2,018	2,976	2,997
	Total	4,996	5,018	5,012	4,997	4,991

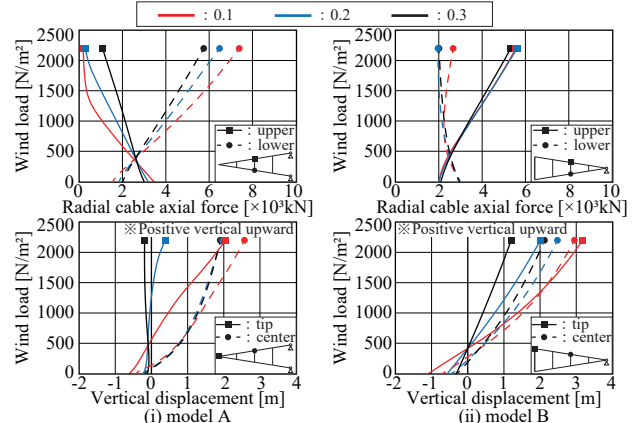


Fig.3 Analysis Results each Depth Span Ratio

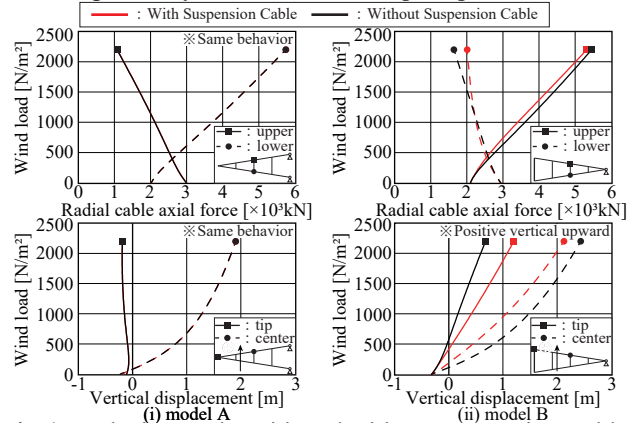


Fig.4 Analysis Results with and without Suspension Cable

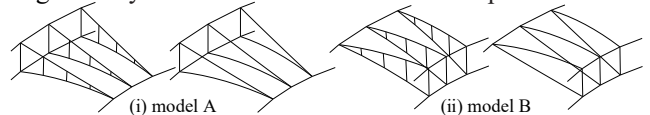


Fig.5 Deformation mode

吊材の張力消失は生じず、上・下弦材の一体化は保持され、挙動も線形に近い挙動が現れる。

5. まとめ

本報では、屋根構成の違いが等分布荷重下での構造挙動に及ぼす影響について把握した。

6. 参考文献

[1]小林, 他: 「テンションリングを有する放射型ケーブル屋根構造の力学性状に関する研究」日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造I, pp.955-998, 1996. 9
 [2]駕海, 他: 「放射型ケーブル屋根構造の強風時の構造挙動に関する基礎的研究」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造I, pp.959-964, 2019.9
 [3]矢ヶ崎, 他: 「放射型ケーブル屋根構造の強風時の構造挙動及びガスト影響係数の評価方法に関する研究」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造I, pp.891-896, 2020. 9