

B-13

数値流体解析を用いた放射型ケーブル屋根構造の風応答性状に関する研究
(その2) 風洞実験および数値流体解析で得られた風荷重を用いた時刻歴応答解析の比較

Study on Wind Response Properties of Roof Structures Composed of Radially Arranged Cables Using CFD Analysis
(Part2) Comparison of Time History Response Analysis Using Wind Load
Obtained from Wind Tunnel Test and CFD Analysis Results

○江黒皓介³, 鴛海昂¹, 宮里直也¹, 岡田章², 廣石秀造¹
*Kosuke Eguro³, Akira Oshiumi¹, Naoya Miyasto¹, Akira Okada², Syuzo Hiroishi¹

Abstract: In Part 1, CFD analysis was used to understand wind pressure characteristics, and the validity of the evaluation of wind force coefficients obtained by CFD analysis was verified by comparing with wind tunnel test reported previously. In Part 2, a time history response analysis using the time history data obtained by CFD analysis is performed. And compared with the results of time history response analysis using data from the wind tunnel test to verify whether the CFD analysis results can be used to understand the structural behavior. In this paper, the effects of different roof configurations and initial tension are also discussed.

1. はじめに

前報(その1)では, CFD解析を用いて風圧力特性を把握し, 既報^[1]の風洞実験と比較することで, CFD解析で得られた風力係数の評価の妥当性を検証した.

本報(その2)では, CFD解析による風力データを用いた時刻歴応答解析について報告する.

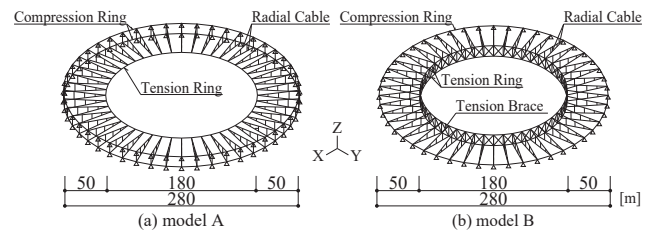
2. 検討モデル概要

検討モデルを Fig.1 に示す. 本報で対象とする屋根形状は, 初期張力が放射ケーブルに均一に導入可能な円形の平面形状とした. 屋根構成は, テンションリング1層・圧縮リング2層(以下「モデルA」と称す), テンションリング2層・圧縮リング1層(以下「モデルB」と称す)の2ケースとし, 屋根架構のみを対象とする. なお, 屋根の仕上材は, モデルAでは放射ケーブルの下弦材, モデルBでは上弦材に取り付けるものとし, 屋根面の高さは同じとした.

3. 数値解析概要

数値解析(FEM)概要を Table 1 に示す. 放射ケーブルは非抗圧材料とし, 8分割してモデル化した. また, 放射ケーブルの上下弦材を繋ぐ吊材は, 等間隔に3本配置し, 非抗圧材料とした. 境界条件は, 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.

風荷重は, 屋根軒高での基準風速 41m/s から設計用速度圧 1,000N/m² を算出し, 風力係数と負担面積を考慮して, 放射ケーブルの8節点に集中荷重として載荷した. 風力係数は, 前報(その1)のCFD解析結果および既報^[1]の風洞実験結果の時刻歴データを使用した. なお, 風洞実験で直接, 風力係数を算出できない載荷点については, 隣り合う測定点の値を直線補間して算出した. 併せて, 固定荷重(以下「長期荷重」と称す)として, 自重と膜



Structural Specifications		modelA	modelB
Compression Ring	STKN400	φ850.0×36.0	
Bundle of Steel	STKN400	φ406.4×12.7	φ318.5×10.3
Tension Ring	Structural Locked Coil Rope	10-φ100	5-φ100
Radial Cable	Structural Locked Coil Rope	φ94	
Suspension Cable	Structural Spiral Rope	φ22.4 (1×19)	
Tension Brace	Structural Spiral Rope	φ33.5 (1×37)	

Figure 1. Outline of Model

Table 1. Outline of Numerical Analysis

Loading condition	
• Loading point	Weight of membrane : 20 [N/m ²]
• Wind load	• Wind load
	Reference velocity pressure q : 1,000 [N/m ²]
	• Wind coefficient C _p
	Time history data of wind force coefficient
※ Load is applied in the direction normal to the radial cable	

重量 20N/m² を考慮している. なお, 自重はケーブル接合金物重量を考慮して, テンションリングのケーブル自重を 1.2 倍に割り増している.

初期張力は長期荷重時の放射ケーブルの上下弦材軸力の合計値 2,000kN を基準とし, 初期張力量の影響を把握するために 4,000kN (基準×2倍) も設定した. また, 減衰定数は文献^[2]を参考に, Rayleigh 減衰で 1次と 2次に対して 1%とした.

4. 時刻歴応答解析結果

初期張力 2,000kN における時刻歴応答解析により得られた鉛直変位の時刻歴波形を Fig.2 に示す. 総評価時間 200 ~ 800 秒のうち, 最大鉛直変位が生じる前後 50 秒の波形を示す. なお, 図中に示す平均値は 600 秒間の値である.

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大理工・上席研究員 3 : 日大理工・院(前)・建築

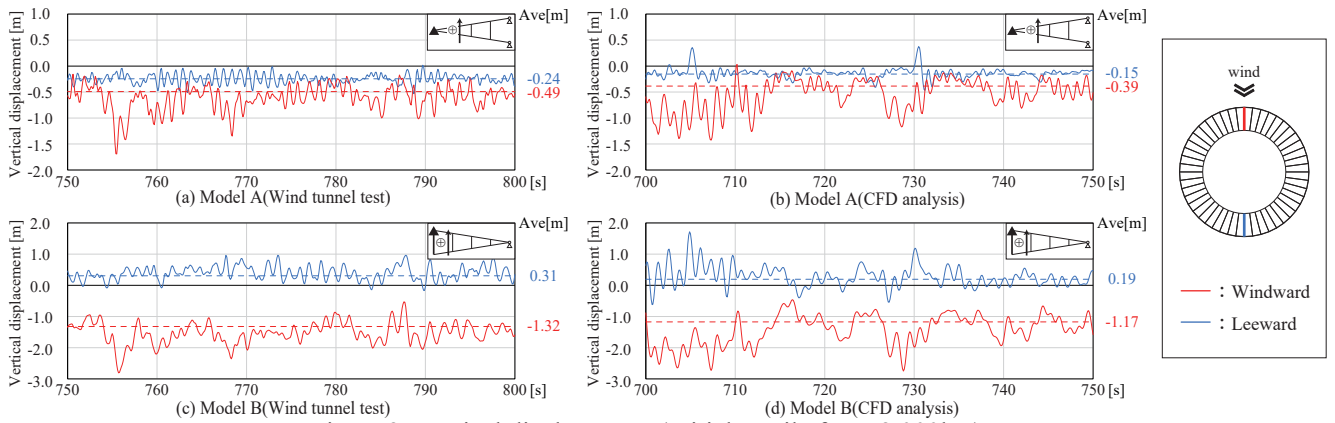


Figure 2. Vertical displacement (Initial tensile force 2,000kN)

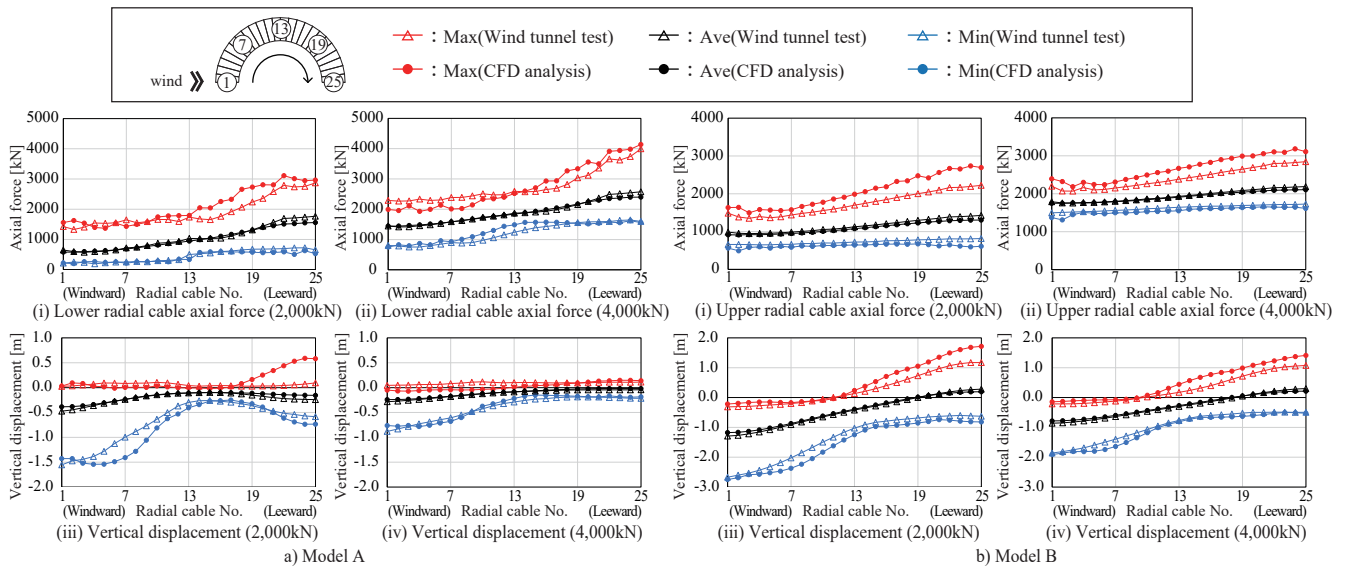


Figure 3. Radial cable axial force and vertical displacement at each location

CFD 解析では気流の高周波数側のパワーが減衰しているため、風洞実験に比べ時刻歴波形が若干滑らかとなっているが、風洞実験と概ね同様の波形を得られることを確認した。

時刻歴応答解析時の载荷側放射ケーブル軸力および屋根先端部の鉛直変位を Fig.3 に示す。なお、風洞実験は 10 回分の平均値、CFD 解析は 1 回分の結果を示す。風洞実験と CFD 解析の結果を比較すると、モデル A、B の载荷側ケーブルおよび鉛直変位の平均値は概ね一致している。また、最小値も概ね一致した。一方、最大値は、モデル A、B 共に CFD 解析結果の方が風下側の鉛直変位および载荷側ケーブル軸力が大きくなる性状を示した。これは、風洞実験では不足する载荷点の風力係数を線形補間により算出しているが、CFD 解析では全点測定しているため、風力係数分布が一部異なっていることが要因と考えられる。また、この差はモデル A よりモデル B の方が比較的小さくなっている。これは、モデル B はモデル A に比べ全体抵抗系となる傾向が強いことに起因していると考えられる。

モデル A の初期張力 2,000kN と 4,000kN で比較すると、

初期張力の増加に伴い、前述の風下側鉛直変位の差は小さくなっている。これは、風力係数が負となる風下側では、吊材の張力消失が生じ、下弦材が直線ケーブルのように抵抗する性状となるため、初期張力増加による幾何剛性の向上の影響が顕著に現れたと考えられる。

以上より、風洞実験および CFD 解析の風圧力特性の違いにより、多少異なる結果を示す位置はあるものの、全体的な構造挙動は概ね一致することを把握した。

5. まとめ

本報では、風洞実験および CFD 解析の時刻歴データを用いた動的解析の比較を行い、CFD 解析の時刻歴データで構造挙動の把握が可能であることを確認した。

6. 参考文献

- [1] 駕海, 岡田, 宮里他: 「放射型ケーブル屋根構造の強風時の構造挙動及び設計用風荷重の評価方法に関する研究」, 日本建築学会構造系論文集, 第 87 巻, 第 795 号, pp. 454-463, 2022. 5
- [2] 相澤, 斎藤, 岡田他: 「静岡スタジアムの動的基本性状に関する実験的検証」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp. 899-900, 2002. 9