

B-12

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1) 数値流体解析で得られる風力係数分布

Study on Wind Response Properties of Roof Structures Composed of Radially Arranged Cables Using CFD Analysis
(Part1) Validity Evaluation of Wind Force Coefficient Distribution Obtained by CFD Analysis

○瀧口和也³, 鴛海昂¹, 宮里直也¹, 岡田章², 廣石秀造¹, 江黒皓介³
*Kazuya Takiguchi³, Akira Oshiumi¹, Naoya Miyasato¹, Akira Okada², Shuzo Hiroishi¹, Kosuke Eguro³

Abstract: Roof structures composed of radially arranged cables has been reported to be subject to large deformations, and wind pressure characteristics and structural behavior considering roof deformation have been studied in previous papers. However, the study was limited to the use of static analysis to understand the impact of average roof deformation during wind response, and no time history response analysis considering roof deformation has been studied. In this paper, the validity evaluation of wind force coefficient distribution obtained by CFD analysis is verified by comparing CFD analysis and wind tunnel test prior to the study of dynamic behavior considering roof deformation.

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。

本構造に関する研究は、これまで国内でいくつか報告されている。鴛海ら^[1]は、円形のテンションリング1層・圧縮リング2層のモデルを対象とした風洞実験を実施し、その結果を用いた静的解析および時刻歴風応答解析結果を報告している。また、篠原ら^[2]は、本構造が風荷重時に比較的大きく変形することに着目し、CFD解析と静的数値解析を用いて、屋根変形を考慮した風圧力特性および構造挙動について報告している。しかし、篠原らの一連の研究は、平均風力係数を用いた静的数値解析による検討に留まっており、時刻歴風応答解析による検討はなされていない。

以上より、放射型ケーブル屋根構造を対象に、CFD解析と静的解析および時刻歴風応答解析を用いて、屋根変形を考慮した動的挙動に関する検討を行う。本報(その1)では、屋根変形を考慮した検討に先立ち、CFD解析を用いた風圧力特性の把握を行い、既報^[1]の風洞実験と比較し、CFD解析による評価の妥当性を検証する。

2. CFD解析概要

CFD解析概要をFig.1に示す。(a)検討モデルは、既報^[1]の風洞実験と比較するために、全長560mm、跳ね出し長さ100mmの風洞模型と同形状とした。規模は実規模の1/500想定であるが、模型製作の都合上、屋根面の厚さは6mmである。

CFD解析にはscFlow(Ver.v2023)を用い、乱流モデルはLESのスマゴリンスキーモデルとする。支配方程式

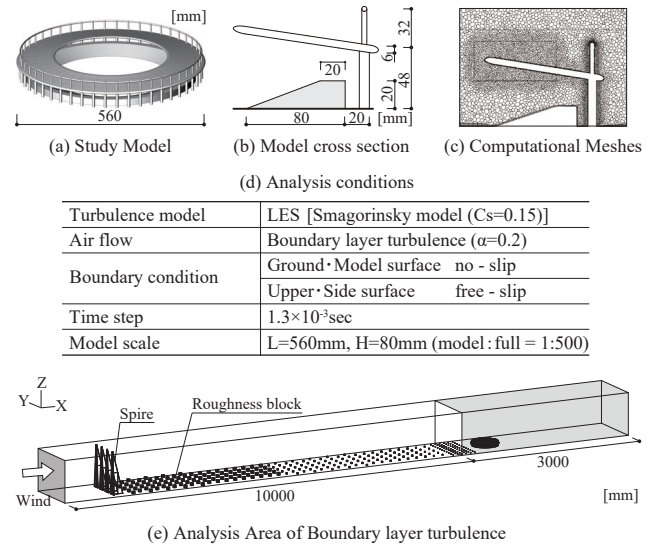


Figure 1. Outline of CFD Analysis

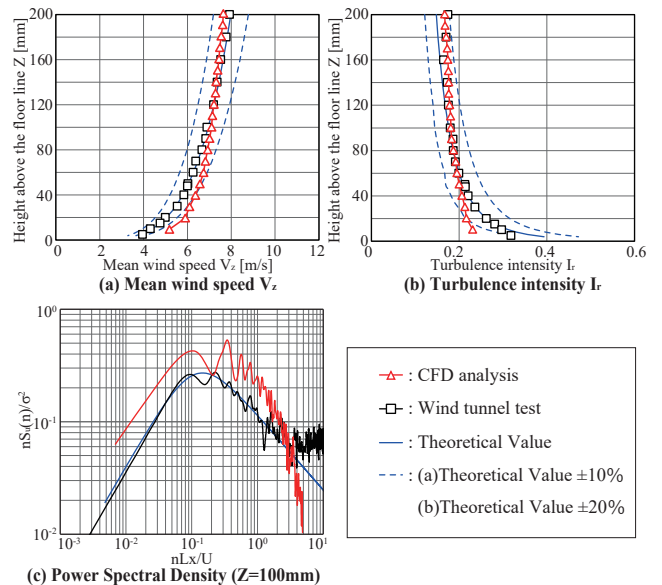


Figure 2. Wind flow conditions

は、非圧縮性のNavier-Stokes方程式および連続の式を用いた。格子系はポリヘドラルによる非構造格子とした。また、離散化手法は有限体積法とし、空間項の離散化にはガンマスキーム、時間項には2次精度陰解法を用いた。評価時間は実スケールの約10分間相当とし、計算の時間刻みは 1.3×10^{-3} 秒とした。解析領域は、幅および高さを風洞実験と同様に $1.2\text{m} \times 0.9\text{m}$ とし、長さを13mとした。境界条件は、地表面およびモデル表面をno-slip境界とし、上空および側面をfree-slip境界とした。

流入条件は、風洞実験同様にスパイヤーやラフネスブロックを配置し、 8.5m/s の一樣流を流入した境界層乱流とした。なお、流出条件は静圧=0とした。メッシュは八分木法を用いて7段階に細分化し、最小格子サイズは 0.4mm とした。また、地表面に隣接するメッシュには7層、検討モデルには3層の境界層メッシュを挿入している。総要素数は、約1770万である。

模型位置の風速、乱れ強さの鉛直分布、パワースペクトル密度をFig.2に示す。指針値および風洞実験と比較すると、CFD解析の風速および乱れ強さは概ね一致している。一方、パワースペクトル密度は、カルマン型よりピークが大きい傾向を示し、無次元周波数1以上では、パワーが減衰しているが、本検討では考慮していない。

3. 解析結果および考察

Fig.3に各種係数の定義を示す。風力係数 C_f は上面風圧係数 C_{po} から下面風圧係数 C_{pi} を差し引くことで算出する。

CFD解析および風洞実験の平均風力係数、変動風力係数およびピーク風力係数をFig.4に示す。なお、風洞実験は10回分の平均値、CFD解析は1回分の値を示す。風洞実験とCFD解析の平均風力係数を比較すると、風下側屋根先端部付近では、解析値の方が小さな値を示している。これは、格子解像度の影響が要因の1つと考えられる。しかし、風下側屋根先端部付近を除き、平均風力係数の分布は実験値と概ね一致している。

変動風力係数では、風上側は全体的に解析値の方が大きい傾向を示す一方、風下側は風洞実験値の $\pm 20\%$ の範囲に収まっている。また、ピーク風力係数は、風上・風下共に屋根先端部から支持部への全範囲において概ね風洞実験と一致している。

以上より、本検討の解析条件の場合、風下側屋根先端部の過小評価に注意する必要があるが、大略の風圧力特性の把握は可能であると考えられる。

4. まとめ

本報ではCFD解析を用いた風圧力特性について風洞実験結果との比較を行い、風力係数の評価の妥当性を検討した。(その2)ではこの結果を用いた解析的検討を行う。

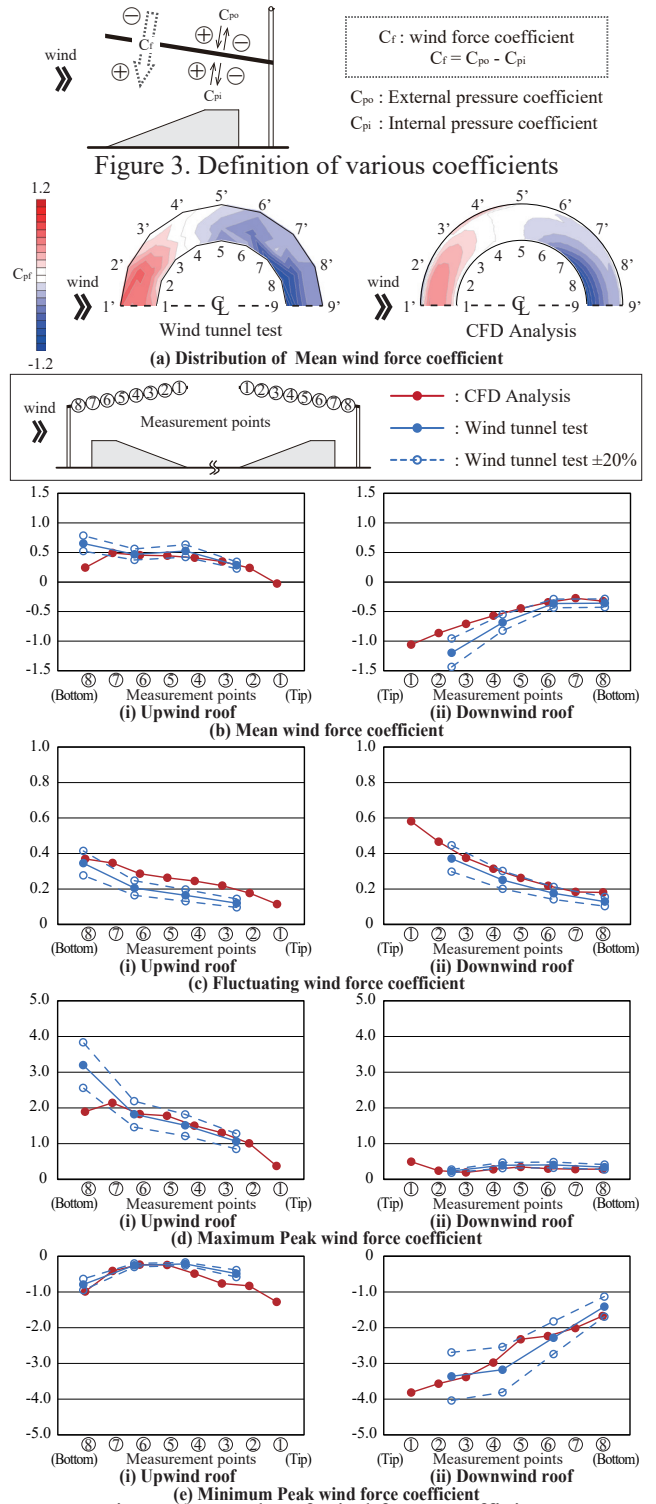


Figure 4. Results of wind force coefficient

5. 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] 篠原, 岡田, 宮里他: 「放射型ケーブル屋根構造の屋根変形を考慮した風応答性状に関する研究」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp. 865-868, 2023. 9