

B-16

六角形格子により構成されたHP型ケーブルネット構造の等価静的風荷重に関する研究
(その1)LRC法によるピークファクターの算出

Study on Equivalent Static Wind Loads on HP-type Cable Net Structure Composed of Hexagonal Lattice
(Part 1) Calculation of Peak Factor Using LRC Method

○小倉聖矢³, 宮里直也¹, 廣石秀造¹, 鴛海昂¹, 岡田章², 山中洋輝³
*Seiya Ogura³, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi¹, Akira Oshiumi¹, Akira Okada², Hiroki Yamanaka³

Abstract:HP-type cable net structures with curved surfaces excel in form resistance through axial force systems, enhancing structural efficiency. Employing hexagonal lattices is advantageous due to the regular hexagon's Poisson's ratio of 1, enabling isotensional curved surfaces. Previous research [1] utilized wind tunnel tests and numerical analysis to investigate wind behavior in cable net structures with hexagonal lattices, exploring dynamic load evaluation using peak wind force coefficients. This report calculated the peak factor using the LRC method to study equivalent static wind loads for hexagonal lattice cable nets with HP curved surfaces.

1. はじめに

HP曲面を有するケーブルネット構造は、軸力抵抗系の形態抵抗性能が特徴であり、優れた構造合理性を有している。また、正六角形はポアソン比1となる性状を有するため、六角形格子によりHP型のケーブルネット構造を構成した場合は、等張力曲面の形成が容易である。既報^[1]では、六角形格子で構成されたケーブルネット構造の風応答性状の把握を目的として、風洞実験および数値解析を行っている。また、風荷重評価においてピーク風力係数を用いることで、動的荷重効果を評価できる可能性を報告している。しかし、既報の風荷重評価の検討モデルは、風力との共振の影響が含まれていると考えられる。

以上より、本報ではHP曲面を有する六角形格子ケーブルネットを対象として、吹上側と吹下側それぞれに対応した詳細な等価静的風荷重の検討を行う。

2. 既報の風洞実験結果

既報^[1]の風洞実験結果をFig.1に示す。風洞実験の検討モデルは、4本の柱で支持された基準高さ12m、48m×49mの矩形平面を有するサグ・スパン比(f/L)0.1の開放型のHP曲面であり、縮尺率1/200の剛模型である。実験気流は、地表面粗度区分Ⅲ相当の境界層乱流

を用いている。なお、風力係数は吹下方向を正とし、風向は吊り(カテナリー)方向を0度、押え(アーチ)方向を90度としている。

平均風力係数分布は、風向0度で正圧(吹下方向)、風向90度で負圧(吹上方向)が支配的な分布を示す。また、変動風力係数は両風向ともに風上付近で大きな値を示す。

3. 検討モデルおよび数値解析概要

検討モデル概要をFig.2, 数値解析概要をTable 1に示す。検討モデルは直径5.2mの内接円を有する六角形格子により構成され、サグ・スパン比(f/L)0.1, 48m×49mの矩形平面を有する。支持条件は剛境界を想定し、端部をピン支持とした。また、断面は六角形格子の施工性に考慮し、押え・吊りケーブルが重なる部分は断面積を2倍に設定した。なお、時刻歴風応答解析には、既報^[1]の風洞実験の風力係数の時刻歴データを用いた。荷重は、負担面積および速度圧を考慮してケーブル各交点に集中荷重として載荷した。また、減衰定数は、Rayleigh減衰で1次と2次に対して2%とした。

本検討では、2ケースの初期張力を設定した。前述の通り、既報^[1]の検討モデルでは共振による影響が表れていると考えられる。ここで、風力の時刻歴データの卓越

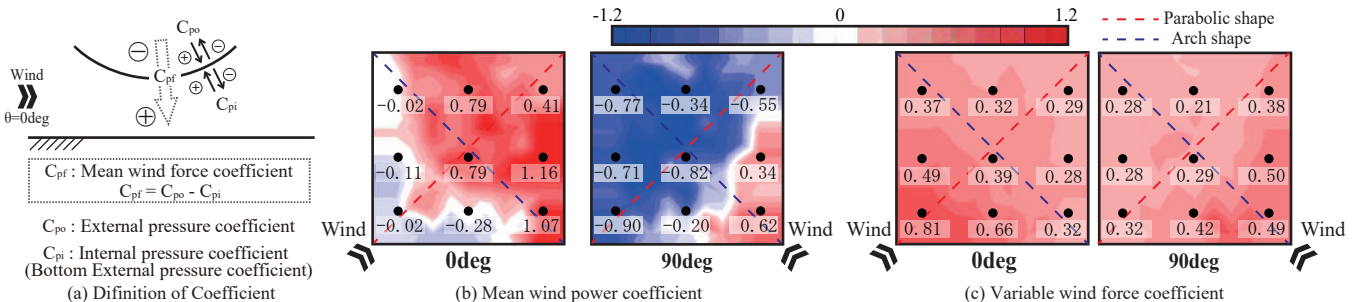


Figure 1 Wind Tunnel Test Results^[1]

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

周期は約0.8s~1.0sであり、既報^[1]の解析モデルの1次固有周期は0.91sである。このため本報では、共振の有無による影響を把握するため、初期張力を変更し、周期の異なる2ケースを設定した。共振モデルは既報のモデルと同様に初期張力を354kN、非共振モデルは2832kNとした。各モデルの1次固有周期はそれぞれ0.91s、0.29sである。

4. 等価静的風荷重の設定について

4-1. 検討概要

検討にあたり、本報ではKasperski^[2]によるLRC法に着目した。LRC法は、応答を準静的応答と仮定できる場合、風圧の動的荷重効果を確率論に基づいて、等価静的荷重として評価するものである。LRC法では最大荷重効果に対応する風力係数分布を、(1)式のように与えている。

$$C_f = \bar{C}_f + g_r C_f' \rho_{rf} \tag{1}$$

ただし、

\bar{C}_f :平均風力係数, g_r :荷重効果のピークファクター, C_f' :RMS変動風力係数, ρ_{rf} :荷重効果と風力係数の相関関数。

本構造は時刻歴応答解析において、共振・非共振モデルともにモデル全体が上下に振動する傾向にあるため、両モデルで ρ_{rf} は同じ値とした。本報では簡易的な評価を目的とし、 ρ_{rf} は全載荷点で安全側である1.0を採用することとした。このため、吹下を評価する場合は $\rho_{rf}=+1.0$ とし、吹上を評価する場合は $\rho_{rf}=-1.0$ とした。

4-2. ピークファクターの算出

等価静的風荷重におけるピークファクターは、時刻歴応答解析の応答結果から(2)式を用いて算出することができる^[3]。本報では、鉛直変位の結果に着目してピークファクターを算出した。

$$G_r = R_{A' \max} / \sigma_R \tag{2}$$

ただし、

G_r :ピークファクター, $R_{A' \max}$:応答の変動成分, σ_R :応答の標準偏差。

各変位測定点より算出したピークファクターをFig. 3に示す。図中の値は5回分の解析結果の平均値である。また、採用するピークファクターの一覧をTable 2に示す。なお、採用値は概ね全ての数値を包絡する最小値とした。

Fig.3より、変形の増加に伴いピークファクターは収束することが確認された。このため、変位の大きい箇所に着目してピークファクターを算出することで、適切な値が得られる可能性が示唆された。また、非共振モデルと共振モデルでは、非共振モデルの方がデータのばらつきが小さいことを確認した。

3. まとめ

本報では、HP曲面を有する六角形格子ケーブルネッ

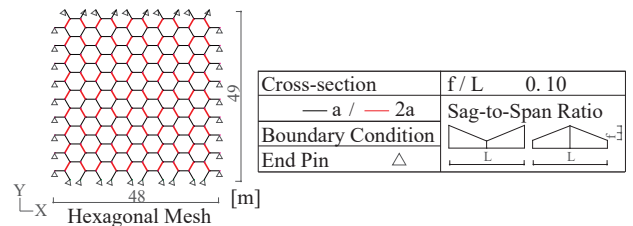


Figure 2 Model Overview

Table 1 Numerical Analysis Overview

<input type="checkbox"/> Lattice Width inscribed circles		<input type="checkbox"/> Loading Condition Wind load Design speed pressure q: 800 [N/m ²]
<input type="checkbox"/> Structural Specifications of Cable (Non-linear Non-pressure) Elastic modulus 1.57×10 ⁵ N/mm ²		Wind force coefficient C: Time history data of wind force coefficients
<input type="checkbox"/> Material specifications Structural spiral rope 1×127 Φ63		
<input type="checkbox"/> Initial tensile force 354kN, 2832kN		Hexagonal Mesh
<input type="checkbox"/> Rayleigh damping 2%		

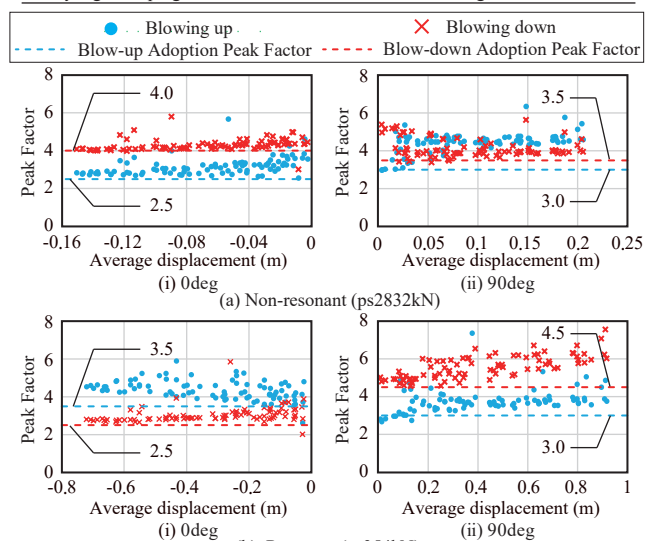


Figure 3 Calculation of Peak Factor

Table 2 Calculated peak factor

	Peak Factor			
	non-resonant model		resonance model	
wind direction	0deg	90deg	0deg	90deg
blowing up --	2.5	3.0	3.5	3.0
blowing down - -	4.0	3.5	2.5	4.5

トを対象として、吹上側と吹下側それぞれに対応した詳細な等価静的風荷重の検討として、LRC法を用いてピークファクターを算出し、それらの結果について報告した。

4. 参考文献

[1] 荻島辰弥, 他: 「六角形格子により構成されたHP型ケーブルネット構造の風応答性状に関する基礎的研究(その1) 風洞実験による風圧力を用いた静的解析による風応答性状の把握」, 日本建築学会大会学術講演会, 構造 I, pp. 897-900, 2023.9

[2] M. Kasperski: Extreme wind load distributions for linear and non-linear design, Engineering Structures, Vol. 14, No. 1, pp. 27-34, 1992

[3] 大熊武司他, 建築物の耐風設計, 鹿島出版会, pp. 106-107, 2004