B-27

中央リングを有する連結型HP型張力膜構造の風応答性状に関する研究
-ライズスパン比が風圧力分布と風応答性状に及ぼす影響について-

Study on Wind Response of Suspension Membrane Structure Composed of Circularly Connented HP Units with Center Ring
- Effect of Rise-Span Ratio on Wind Force Distribution and Wind Response Characteristics -

○水津融[2]，　宮里直也[1]，　岡田章[1]，　廣石秀造[1]，　鴛海昂[1]
Toru Suizu[2], Naoya Miyasato[1], Akira Okada[1] , Shuzo Hiroishi[1], Akira Oshiumi[1]

Abstruct: The HP tension membrane structure is a light-weight structure of form resistance system with negative Gaussian curvature. Only relatively small-scale structure are practiced in Japan. However, the HP membrane structure is considered to be applicable to large spaces due to its mechanical rationality. Overseas, relatively large-scale examples of connecting multiple HP membrane structure units have been reported. However, there has been no research on the resistance mechanism of HP membrane structures, and it is necessary to understand the wind response characteristics.This paper aims to understand the wind response of this structure using CFD and FEM analysis.

１．はじめに

HP曲面の張力膜構造(以下「HP膜構造」と称す）は，ガウス曲率が負の曲面を有する形態抵抗系の軽量構造であり，国内では比較的小規模な構造物に限られ実施されている(Fig.1)．しかし，HP膜構造はその力学的合理性から大空間への適用も可能であると考えられ，海外ではHP膜構造のユニットを複数連結した比較的大規模な実例(Fig.2)が報告されている[1]．しかし，このような連結されたHP膜構造の国内で想定される強風時の風荷重に関する検討は，著者らの知る限り報告されていない．

以上より，本報では，中央に開口を有する連結型HP膜構造を対象として，風応答性状の把握を試みる．CFD解析により風圧力特性を把握すると共に，その結果を用いて静的応答解析を行う．また，検討モデルのライズスパン比(以下「H/L」と称す)による影響の把握も試みる．

２．検討モデル

検討モデルをFig.3に示す．検討モデルは4つのHP曲面ユニットを円状に連結し，中央に開口を設けた8角形平面張力膜構造である．この形状は，ユニット数や中央開口の大きさの変更により，規模や形状の適用性が高いことから，本論の基本検討モデルとして採用したものである．スパン(対角線の距離)はL=30m，中央開口の直径は6mとし，H/Lを0.1～0.5の5ケースを設定した．また，膜外周にはケーブル(Edge Cable)，中央開口部には剛体リングを配置した．境界条件は外周の8点をピン支持(上方ピン4点，下方ピン4点)とし，下方ピンは地表面(GL)から5mの高さに設置した．また膜面上には補強ケーブルとして，3種類のケーブルを設置した．HPユニット相互の接合部には谷ケーブル(Valley Cable)を配置し，ユニット内には凹形状の吊りケーブル(Suspension Cable)と凸形状の押さえケーブル(Bracing Cable)を配置した．モデル形状は汎用解析プログラムADINA(ver9.7.3)を用いて，各頂点を上下に強制変位させることにより算出した等張力曲面形状である．

Figure 1. Kasai-Rinkai Park

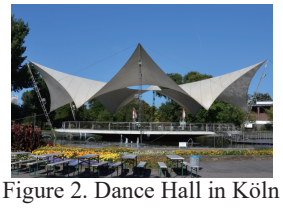
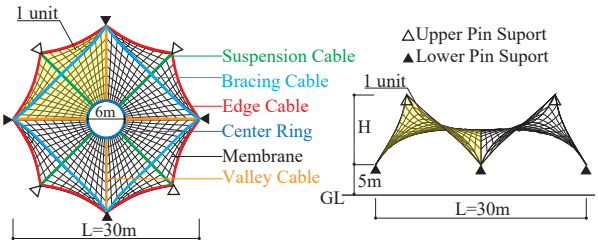


Figure 2. Dance Hall in Köln



a) Plan　　b) Elevation
Figure 3. Outline of Numerical Analysis Model

Table 1. Condition of CFD

Turbulence model	LES
Flow	Uniform Flow (4.8m/s)
Scale	1/50

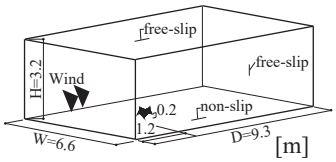


Figure 4.Target Area for Analysis

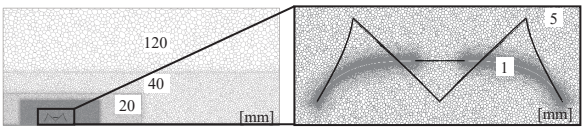


Figure 5. Meshing of CFD Analysis

３．CFD解析概要

CFD解析概要をTable 1 に示す．乱流モデルはLESのWALEモデルとし，支配方程式はNavier-stokes方程式および連

１：日大理工・教員・建築　２：日大理工・院（前）・建築

続の式である．離散化手法は有限体積法，空間の離散化精度は1次精度風上差分と2次精度風上差分のブレンド型，時間項の離散化は2次精度陰解法とした．モデルスケールは1/50とし，フルード相似則により，基準風速を4.8m/s(実スケールで34m/s)，計測時間を84s(実スケールで600s)とした．計測点は上下面各304点とした．解析領域(Fig.4)は壁面の影響が生じないように幅(W)6.6m×奥行(D)9.3m×高さ(H)3.2mとした．境界条件は，地表面及びモデル表面をnon-slip，側面及び上空をfree-slipとした．流入条件は一様流とし，流出条件は静圧=0とした．なお，モデルは押さえ方向が正面となるように配置した．

モデル周辺の解析格子配置をFig.5に示す．図中の数値は格子サイズを示す．モデル周辺から遠方になるに従って格子サイズを大きくした．CFD解析には流体解析プログラムscFlow(ver 2020)を用いた．

４．CFD解析結果

CFD解析より得られた平均風力係数分布をFig.6に示し，膜面を下向きに押す方向を正とする．風上側では吊り方向先端で負，押さえ方向先端で正の値を示した．また，風上側の膜面中央部周辺では負の値を示しているが，これは風上側の押さえ端部で風が剥離している性状を示している．風下側では吊り側で正値が卓越し，押さえ側で負値が卓越した．また，風下側中央開口周辺で平均風力係数が局所的に増大している．これは開口を通過し，中央リングに接触した風が剥離しているためと考えられる．さらに，H/Lが大きいほど，平均風力係数の絶対値は大きくなるが，全体的な分布性状はH/Lによらず同様であった．これはH/Lが大きいほど膜面と風向のなす角が大きく，見付面積が増加するためと考えられ，H/Lが大きいほど風荷重は大きくなる性状が把握された．

５．静的応答解析概要

CFD解析で求めた平均風力係数分布を用いて，静的応答解析を行った．解析諸元をTable 2 に示す．膜材はA種膜を想定し，各ケーブルは構造用スパイラルロープφ19，中央リングは剛体とした．風荷重は，平均風力係数と建築基準法に基づく速度圧に，負担面積を乗じて算定した．なお，ガスト影響係数G_fは2.5とした．解析には汎用解析プログラムADINA(ver 9.7.3)を用いた．

６．静的応答解析結果

H/Lごとの膜面法線方向変位と最大膜主応力をそれぞれFig.7とFig.8に示す．また，膜面法線方向変位は膜面の上方向を正として，図中に最大・最小値を示す．膜面法線方向変位に着目すると，下方向変位はH/Lの増加に伴い増加するが，上方向変位はH/L=0.1<0.5<0.3の順に大きくなることを確認した．これは，H/L=0.5の場合，膜面の形態抵抗性能が発揮されたと考えられる．一方，主応力は，H/Lの増加に伴う局所的な増加が確認された．

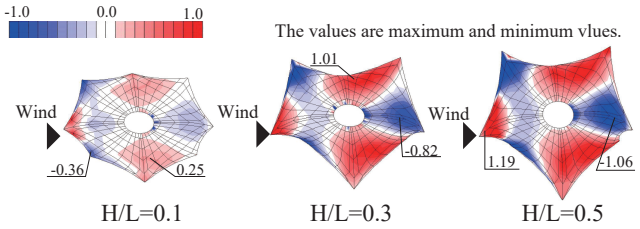


Figure 6. Mean Wind Force Coefficient

Table 2. Outline of Numerical Analysis

	Membrane	Cable	CenterRing
Type	A	Wire Rope	Rigid Body
Young's Modulus	Vertical 1709120[N/m] Horizontal 976080[N/m]	1.34×10^{11}[N/m^2]	∞
Diameter	1[mm]	φ19[mm]	∞
Element Type	2D-Solid	Truss	ISO Beam
Initial Tension Force	2000[N/m]	8100[N]	-

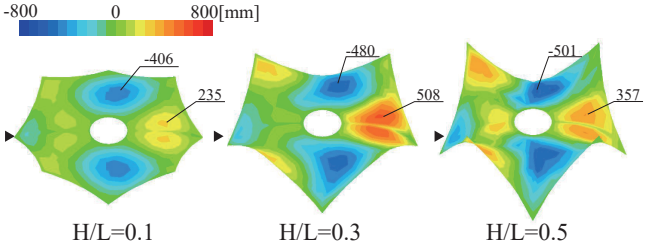


Figure 7. Normal Vector Displacement

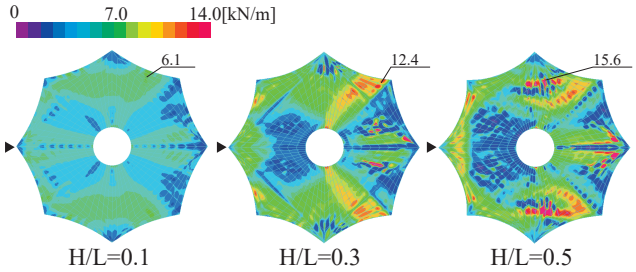


Figure 8. Membrane Stress

７．まとめ

本報では中央に開口を有する連結型HP膜構造に対して，H/Lをパラメータとした風圧力分布及び風応答性状の把握を目的として，CFD解析と静的応答解析を行った．CFD解析より，H/Lが大きいほど平均風力係数が増加する傾向を示した．また，静的応答解析より，H/Lの増加に伴い，形態抵抗性が向上するため，吹上方向の変位が減少することを把握した．

８．参考文献

[1]日本建築学会編，『構造入門教材　絵で見るちからとかたち』，第5章，2013