

B-47

六角形メッシュにより構成された膜構造用補強ケーブルの提案
-基本的構造特性に関する数値解析的検討-

Proposal of Reinforcing Cables Consisting of a Hexagonal Mesh for Membrane Structures
-Numerical Study on Basic Structural Characteristics-

○石橋秀教³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造²

*Hideyuki Ishibashi³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi²

Abstract : Generally, the reinforcing cable of air-supported membrane structure is arranged in two directions. But in the case of asymmetric curved surfaces and irregular boundary conditions, there is a possibility that difference of tension is occurred on the cable and the reinforcing effect of the membrane may not be exhibited. In this paper, focusing on hexagonal mesh having a poisson's ratio of 1, the authors grasped the basic structural characteristics by numerical analysis.

1. はじめに

東京ドームに代表される一重空気膜構造 (Fig. 1) では、膜材に生じる応力の低減を目的として、二方向にケーブルを配置 (以下「二方向メッシュ」と称す) することが一般に実施されている。しかし、面内方向の張力があらゆる方向で一定 (以下「等張力」と称す) となる膜面を二方向メッシュで補剛する場合、あるいは非対称の曲面や不整形の境界形状の場合には、メッシュを構成する各ケーブル張力にばらつきが生じ、膜の補強効果が発揮されない可能性も考えられる。これらの問題点を解消することを目的として、本論では六角形格子状に配置された補剛ケーブル (以下「六角形メッシュ」と称す) を提案する。六角形格子は面内方向に軸力が生じた際、鉛直方向と水平方向の変位が同じ値となる「ポアソン比が1」の特性を有し^[1] (Fig. 2), 変形に対する自由度が高いと考えられる。さらに、各部材の軸力も同じとなる「等張力」の特徴も有している。

以上の特徴を有する六角形メッシュは、二方向メッシュと比較すると、メッシュ部材及び膜材に過大な応力を生じさせずに形状の自由度を高めることが可能である。しかし、形状形成の自由度が高い反面、補強・補剛効果について課題があると考えられる。以上の観点から、本論では数値解析を用いて、膜材の補強材としての六角形メッシュの基本的構造特性の把握を行い、その有用性について検討を行う。

2. 数値解析による基本的構造特性の把握

2-1. 数値解析概要

初期張力 (以下「PS」と称す) が0N時の基本的構造特性を把握するため、六角形メッシュ及び二方向メッシュを対象として数値解析による検討を行った。数値解析概要をFig.3に示す。数値解析モデルは4000×8000mmの平面形状とし、引張材をTruss要素 (構造用ストラ



Fig.1 Examples of Building

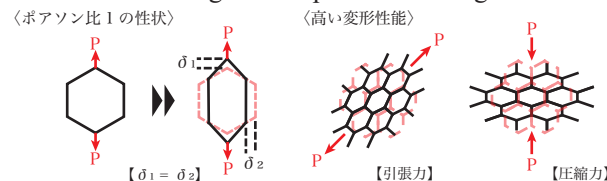


Fig.2 Characteristics of the Hexagonal Lattice

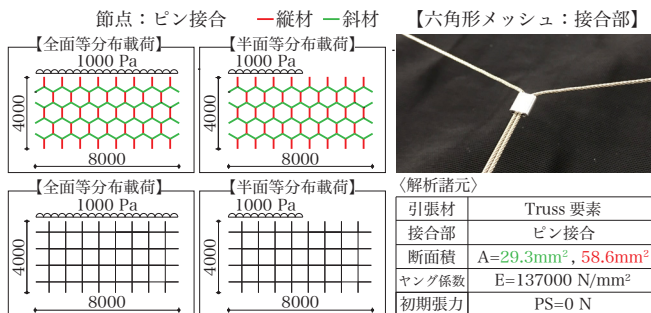


Fig.3 Outline of Numerical Analysis

ドロップST1570φ14)でモデル化し、接合部はピン接合とした。六角形メッシュは、ケーブルをスパン方向に長尺で用いる場合、Fig.3に示すように斜材が1本、縦材が2本となる。このため、数値解析モデルにおいて縦材の断面積は斜材の2倍とした。また、モデル全体で合計1000Paの荷重が加わるように、負担面積を考慮して六角形メッシュはP=433N、二方向メッシュはP=866Nの集中荷重を各節点の面外方向に加えた。

2-2. 数値解析結果及び考察

数値解析より得られた1000Pa载荷時の変形図をFig.4、総荷重-鉛直変位関係をFig.5、各モデルの軸力図をFig.6にそれぞれ示す。Fig.4より、六角形メッシュは二方向メッ

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大短大・教員・建築 3 : 日大理工・院 (前) ・建築

シユに比べ、全体的に滑らかな形状が得られており、均一に変形している。Fig.5より、六角形メッシュは二方向メッシュと比べ鉛直変位が増加しており、最大変位時で比較すると約1.3倍増大していることが把握され、六角形メッシュの変形に対する自由度の高さが確認できた。Fig.6より、1000Pa载荷時の六角形メッシュを構成する各部材の軸力は全面载荷時で32kN~33kN、半面载荷時で28kN~29kNとほぼ一定の値を示しており、矩形平面においても等張力曲面となることが確認された。一方、二方向メッシュは短辺方向の軸力が支配的となることが確認され、最大軸力と最小軸力の差は約30kNとなった。本検討結果より、PS=0N時の六角形メッシュは面外荷重に対して全体的に滑らかな形状となり、また概ね等張力曲面が形成されることが把握された。

3. 初期張力導入による影響の把握

3-1. 数値解析概要

前章の結果を踏まえ、六角形メッシュの面外方向の剛性に対するPS導入効果について検討を行った。PS量は、引張材(構造用ストランドロープST1570φ14)の破断荷重の1/3にあたる45kNとした。その他の解析諸元は前章と同様とする。

3-2. 数値解析結果及び考察

数値解析により得られた1000Pa载荷時の変形図をFig.7、総荷重-鉛直変位関係をFig.8、軸力図をFig.9、最大変位の比較をFig.10に示す。Fig.7及びFig.8より、六角形メッシュは二方向メッシュに比べ剛性が低く、両者の変位量の差は全面・半面载荷共に約20mmとなった。Fig.9及びFig.10より六角形メッシュは等張力曲面を形成し、PS導入モデルはPS=0Nに比べ、比較的線形性の強い履歴を示し、各モデル共に鉛直変位が約0.6倍に減少したことからPS導入による剛性の向上が確認された。

4. 歪エネルギーによる検討

1000Pa载荷時の各部材に生じる歪エネルギーの総和から構造特性の比較を行う。歪エネルギー算出結果及び算出式をTable 1に示す。PS=0N時、六角形メッシュは二方向メッシュに比べ約1.1倍とほぼ同量のエネルギーを蓄えていることが確認された。また、PS導入後の六角形メッシュに生じる歪エネルギーは全面载荷、半面载荷共に二方向メッシュの約0.8倍となっている。以上の結果よりPS導入により六角形メッシュが効果的に機能している事が把握された。

5. まとめ

本論では、数値解析により六角形メッシュの基本的構造特性の把握を行い、六角形メッシュの有用性についての検討を行った。今後は膜の補剛ケーブルとして利用を想定した実験を実施し、数値解析的の妥当性について検証を行う予定である。

6. 参考文献

[1]日置興一郎:異方性合平版の応力解析とその応用, 日本建築学会論文報告集, 第139号, pp. 789-780, 2015. 9

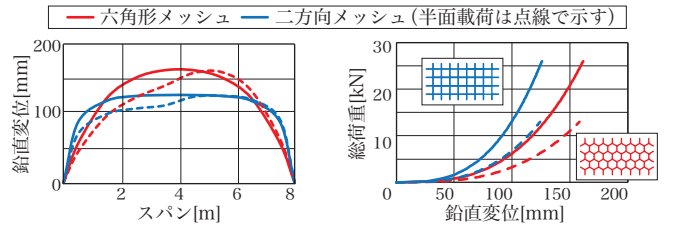


Fig.4 Displacement-Span Relations

Fig.5 Total Load-Displacement Relations

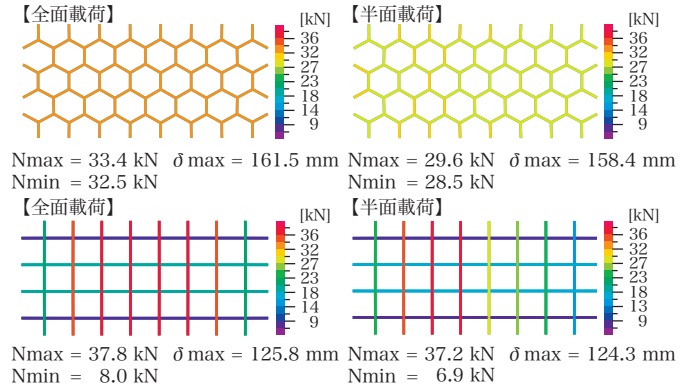


Fig.6 Axial Force Diagrams

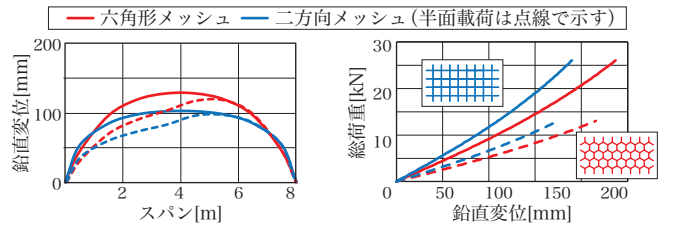


Fig.7 Displacement-Span Relations

Fig.8 Total Load-Displacement Relations

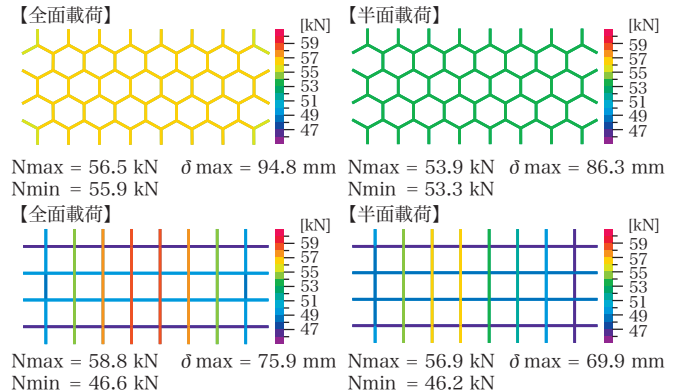


Fig.9 Axial Force Diagrams

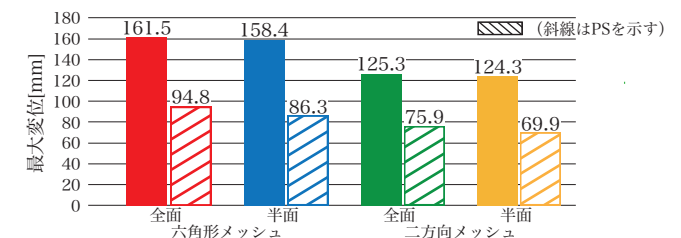


Fig.10 Comparison of maximum transitions

Table 1 Strain Energy

パラメータ	PS=0kN		PS=45kN	
	全面载荷	半面载荷	全面载荷	半面载荷
六角形メッシュ	1962.5	1528.3	5743.0	5212.3
二方向メッシュ	1838.6	1394.2	7292.3	6770.9

歪エネルギー算出式 (トラス構造)

$$U = \frac{1}{2} \sum \frac{N^2 \ell}{EA}$$

N: 軸力 (kN) A: 断面積 (mm²)
ℓ: 材長 (mm) E: ヤング係数 (kN/mm²)