

B-37

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基本的構造特性に関する研究
初期張力量と形態が応力・変形挙動に及ぼす影響

Study on Basic Structural Characteristics of HP Type Cable-Net Structure Consisting of Hexagonal Mesh
Influence of Initial Tension Force and Form on Stress/Deformation Behavior

○松田麻未³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造²

*Asami Matsuda³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi²

Abstract:HP type cable-net structure is characterized by the form resistance of the axial force resistance system and is excellent in rational on structure. Most of the existing cases of this structure are composed of two-way cables, and most of the meshes form a square mesh. In the cable-net structure consisting of square mesh, the initial tension amount is set so that the tension does not disappear. Contrary to this, in the hexagonal mesh has unclear criteria for setting initial tension due to the fact that tension does not disappear. In this paper, the authors will consider the use of this structure in Japan, with the aim of understanding the points to note in structural planning and structural characteristics.

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、優れた構造合理性を有している。本構造の既存事例 (Fig. 1)は、二方向のケーブルで構成され、メッシュは四角形格子を形成しているものが大部分である (Fig. 2)。この場合、鉛直下向きの荷重が加わると押えケーブルが、鉛直上向きの荷重が加わると吊りケーブルが、張力が消失するまで張力を減少あるいは消失させながら、逆に他方向のケーブル張力が増加することで荷重に抵抗する。これに対して、本報で提案する六角形格子のケーブルネット構造では、ポアソン比1となる性状 (Fig. 3)を有する^[2]ため、等張力曲面の形成が容易であり、また付加荷重時にすべてのケーブル張力が増加しながら抵抗する。

ここで、初期張力量(以下「PS」と称す)は、四角形格子の場合、一般に想定付加荷重に対して張力消失を生じないように設定する。一方、六角形格子の場合、PS量によらず付加荷重時に張力消失しないという特徴を有すること^[3]から、PSの設定のクライテリアが不明確である。以上の背景を踏まえ、本報では、本構造の国内での採用を視野に入れ、構造計画上の留意点や構造特性の把握を目的として検討を行う。

2. 検討モデル及び数値解析概要

本報では、HP曲面を有する国内の既存事例を参考に、検討モデル (Fig. 4)を構築し、幾何学的非線形性を考慮した数値解析を行った。数値解析概要をFig. 5に示す。検討対象として、同一な内接円を有する四角形及び六角形格子の2つのモデルを検討対象として、押えケーブルの端部をターンバックルにより引き込むことによるPS導入を想定した。支持条件は端部ピン支持とし、矩形平面を有する剛境界とした。パラメータは、PS、サグスパン比及びケーブル断面とした。荷重条件は、雪荷重を想定した650N/m²とし、負担面積を考

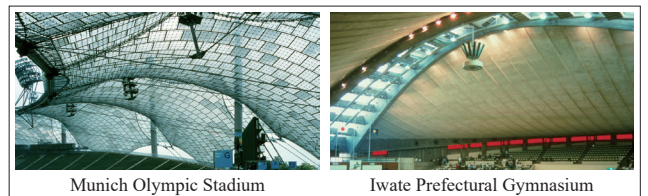


Fig.1 Example of Cable-Net Structure

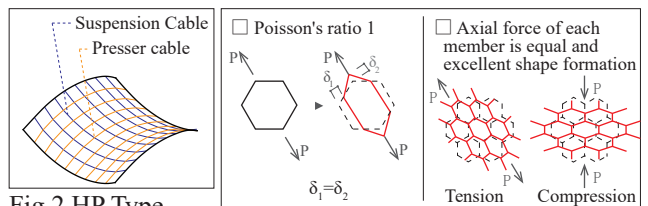


Fig.2 HP Type Cable-Net Structure Fig.3 Property of Hexagonal Mesh

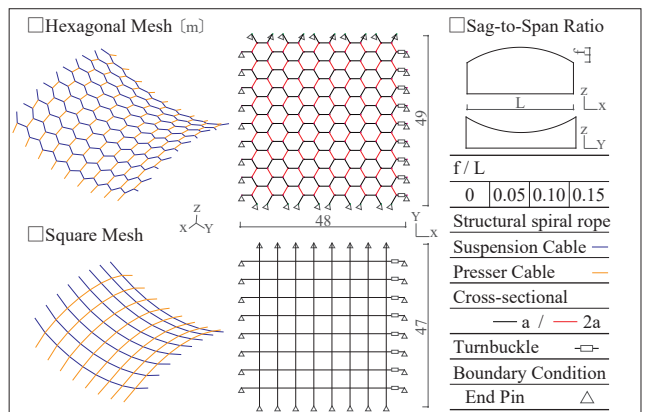


Fig.4 Outline of Model

<p>□ Loading Condition W=650(N/m²)</p> <p>Loading at each node as a concentrated load in consideration of the burden area</p> <p>□ Lattice Width Same for inscribed circles</p> <p>□ Loading range</p> <table border="1"> <tr> <th>Total Area</th> <th>Half</th> <th>One quarter</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Total Area	Half	One quarter				<p>□ Structural Specifications of Cable</p> <p>Non-linear Non-pressure</p> <p>Elastic modulus 1.4e+05N/mm²</p> <table border="1"> <tr> <th>Model_A</th> <th>Model_B</th> <th>Model_C</th> </tr> <tr> <td>1×19 Φ20</td> <td>1×37 Φ30</td> <td>1×61 Φ40</td> </tr> </table> <p>□ Initial Tension</p> <p>For Cable Breaking Load (Model B)</p> <table border="1"> <tr> <th>(%)</th> <th>3</th> <th>10</th> <th>20</th> <th>30</th> <th>50</th> </tr> <tr> <th>PS (kN)</th> <td>31</td> <td>68</td> <td>142</td> <td>231</td> <td>335</td> </tr> </table>	Model_A	Model_B	Model_C	1×19 Φ20	1×37 Φ30	1×61 Φ40	(%)	3	10	20	30	50	PS (kN)	31	68	142	231	335
Total Area	Half	One quarter																							
Model_A	Model_B	Model_C																							
1×19 Φ20	1×37 Φ30	1×61 Φ40																							
(%)	3	10	20	30	50																				
PS (kN)	31	68	142	231	335																				

Fig.5 Outline of Numerical Analysis

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

慮してケーブル各交点に集中荷重として載荷した。載荷は、全面載荷及び半面載荷、4分の1面載荷の計3ケースとした。

3. 数値解析結果及び考察

PS, サグ・スパン比及びケーブル断面による軸剛性が、六角形格子の力学性状に及ぼす影響の把握を目的として、汎用解析プログラムADINA(Ver. 9.4)を用いて、数値解析により検討を行った。

3-1. PSによる比較

PS量の異なる六角形格子(Model_B)を対象とした、全面載荷時の荷重-鉛直変位関係をFig. 6に示す。サグ・スパン比0及び0.1は概ね同様の挙動を示し、剛性増加型の非線形挙動を示すことが確認された。また、PS量の増加に伴い幾何剛性が向上し、変形が抑制されることが確認された。

3-2. サグ・スパン比による比較

六角形格子(Model_B)における全面載荷時(650N/m²)のサグ・スパン比と最大変位の関係をFig. 7に示す。最大変位は、PS量によらず、サグ・スパン比の変化に伴い、低下傾向を示すことが確認された。以上より、屋根面の初期曲率を大きくすることによる剛性の増加が確認された。

3-3. ケーブル断面による比較

PS142kN, 全面載荷時のケーブル断面-最大変位関係をFig. 8に示す。六角形格子が四角形格子よりケーブル断面の増加に伴う剛性の増加が大きいことが確認された。一方で、四角形格子では、屋根面に初期曲率を持たせると、変形の抑制が顕著であり、六角形格子と異なる性状が把握された。

3-4. 最大変位とPSの関係

サグ・スパン比0.1, Model_Bにおける、荷重条件毎の最大変位-PS関係をFig. 9に示す。四角形格子では、全面載荷時の最大変位は、PS量によらず、ほぼ一定となった。また、半面載荷時は、PS増加により、最大変位が減少するものの、その差は微小である。一方で、4分の1面載荷時は、PSの減少に伴い最大変位が顕著に大きくなることを確認された。これに対して、六角形格子の場合、全面等分布及び偏分布載荷の最大変位とPSの関係は概ね同様の傾向を示している。以上より、六角形格子は、設計時に偏在荷重に対する配慮が必須である四角形格子とは異なり、偏在荷重に対して有効な架構であることが示唆された。

3-5. 軸力図

4分の1面載荷時の軸力図をFig. 10に示す。四角形格子の場合、載荷範囲側の吊りケーブルの軸力が増加し、非載荷範囲側の軸力が消失している。一方、六角形格子の場合、吊り及び押えケーブル共に、張力が増加している。以上より、六角形格子で構成されたケーブルネット構造は、付加荷重時に、載荷範囲及びケーブルの方向に拘らず、すべてのケーブル張力の増加により外力に抵抗することが把握された。

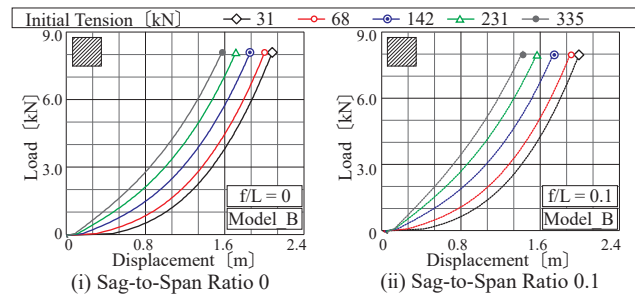


Fig.6 Results of Load-Displacement Relationship on the Total Area of Hexagonal Mesh(Model_B)

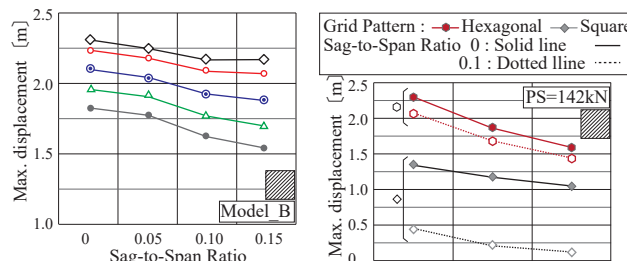


Fig.7 Effect by Form of Hexagonal Mesh

Fig.8 Elongation rigidity by EA

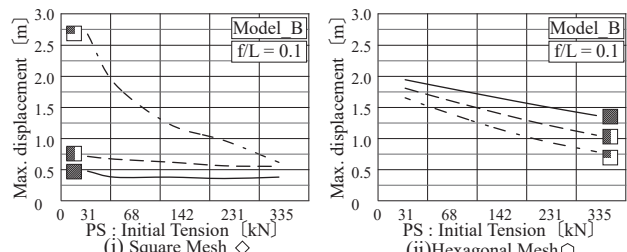


Fig.9 Results of Strain-Max. Displacement Relationship

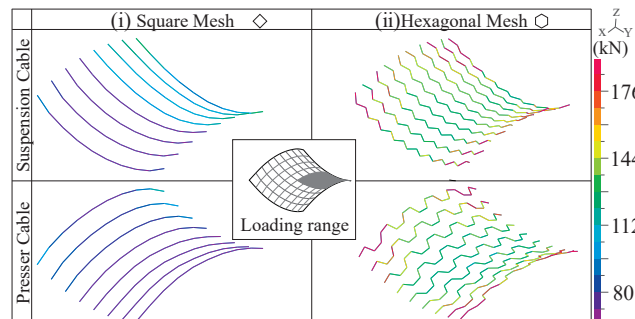


Fig.10 Axial Force Diagram

4. まとめ

本報では、四角形及び六角形格子で構成されたケーブルネット構造の比較を行い、構造計画上の留意点や構造特性の把握を行った。今後は、施工時を考慮したPS導入方法の検討を行い、PSの設定のクライテリアを検討する予定である。

5. 参考文献

[1]坪井義勝：「膜応力の基本的問題の解明1」, 建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp1195-1196, 198.10.10
 [2]日置興一郎：「異方性合平版の応力解析理論とその応用(その2)応用」, 日本建築学会論文報告集138号, pp. 7-13, (昭和42年8月)
 [3]松田, 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基本的構造特性に関する研究」, 日本建築学会構造系論文集, pp. 1071-1072, 2018. 7
 [4]日本鋼構造協会：「吊構造」, pp513-585, 1975. 11