

B-57

ストリングを用いた鋼構造建築物の応力・変形制御に関する基礎的研究
連続体置換法を用いたストリング付加効果の把握

A Basic Study on the Controllability of Stress and Deformation in Steel Structures with String
Estimation of Additional Effect by String through Continuum Substitution Method

○笠原 隆¹, 石鍋 雄一郎², 中島 肇²
*Takashi Kasahara¹, Yuichiro Ishinabe², Hajime Nakajima²

Abstract: It is well known that the dome structures here morphological resistance system with small bending moment and dominant axial force. However, by becoming a low rise, a bending moment occurs in the vicinity of the boundary, and a large tensile force is generated in the outer ring. Furthermore, total buckling has to be considered. Therefore, in this study, the continuum substitution method is applied to the low rise single layer lattice dome, and the stress and deformation control effect by the string is confirmed, and the buckling restraining effect is examined.

1. はじめに

ドーム構造は曲げモーメントが少なく、軸力が卓越する形態抵抗系であることはよく知られている^[1]。しかし、低ライズになることで境界部付近に曲げモーメントが発生し、外周リングに大きな引張力が発生する。さらに、全体座屈の懸念もある。そこで、本研究では低ライズ単層ラチスドームに対し連続体置換法を用い、ストリングによる応力・変形制御効果を確認すると共に座屈補剛効果についても検討する。

2. 解析概要

モデルは、スパン100m、ライズ/スパン比=0.1の球形単層ラチスドームを想定する。ラチス屋根構造設計指針^[2]より、連続体置換法(1)式を用いて100mm、300mmの2パターンの等価シェル厚を設定し、連続体シェル(以下、シェル)に置換してFEM解析を行う。

$$t_{eq} = 2\sqrt{3} \times r_g \quad (1)$$

t_{eq} : 等価シェル厚 r_g : 断面二次半径

検討モデルは、単独のシェルおよびシェルにストリングを付加し、境界部から10mと25mの位置にストラットを配置してプレストレス(以下、PS)を導入した、10m_PS、25m_PSの3ケースとする。境界条件はピン支持(ピン)、放射方向ローラー・円周方向拘束(ローラー)の2種類とし、シェルはピン支持とローラー支持、10m_PS、25m_PSはローラー支持とした(Fig. 1. 2)。また、全モデルにおいて鉛直方向変位は拘束している。本報では、単独のシェル(ピン、ローラー)、およびより有効性が確認された10m_PS(PS=500kN)、25m_PS(PS=500kN)の4種を考察する。荷重条件は1500N/m²の鉛直荷重とし、全面に載荷する(Table. 1)。

3. 応力解析結果

3-1. 円周方向軸力N θ の比較

ピンではすべての位置において圧縮力が働いてお

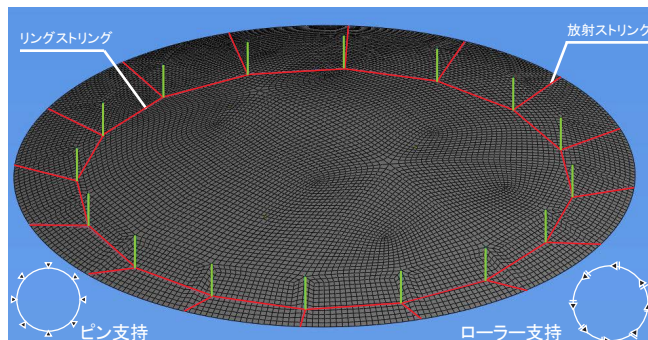


Figure1. String Arrangement(10m) and Boundary Conditions

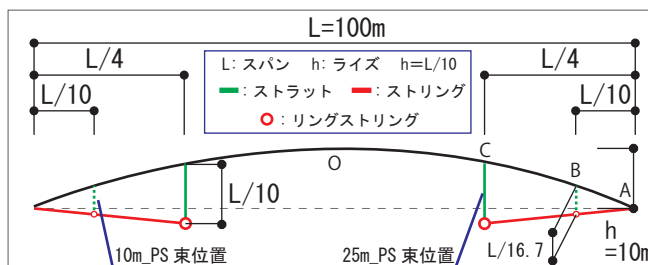


Figure2. String Arrangement and cross section

Table1. Structures Summary

形状	規模	L=100m
	ライズ	h=10m (ライズ / スパン比 : 1/10)
使用部材	ラチス部材	100mm 厚 : P-φ 89.1 × 2.8 (STK400) 300mm 厚 : P-φ 267.4 × 6.6 (STK400)
	ストリング (構造用スパイラルロ-プ)	φ 100 (1 × 37, ST1570)
	ストラット	P-φ 216.3 × 6.0 (STK400)
荷重条件	固定荷重 DL	1500N/m ²

り、形態抵抗系であることが分かる(Fig. 3)。ローラーでは、境界部付近の部材がテンションリングの役割を果たし、約1600kN/mの引張力が働いている。それに対し、10m_PSでは約38%、25m_PSでは約54%その引張力が低減された(Fig. 4)。また、10m_PS、25m_PS共に内側にあるリングストリングに約1250kNの軸力が働いており、テンションリングの軸力を負担していることが確認できた。

1 : 日大理工・院 (前) ・建築 2 : 日大理工・教員 ・建築

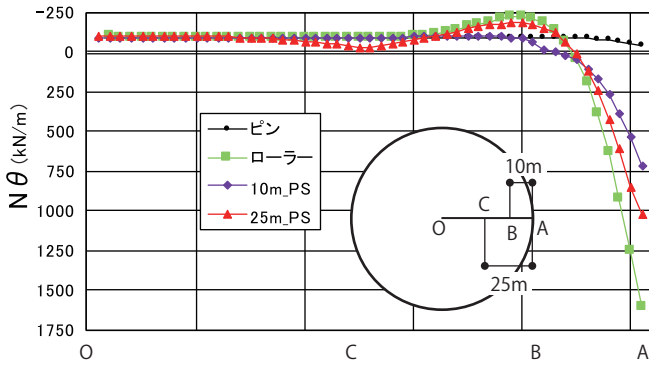


Figure3. Referenced Axial Force (thickness=300mm)

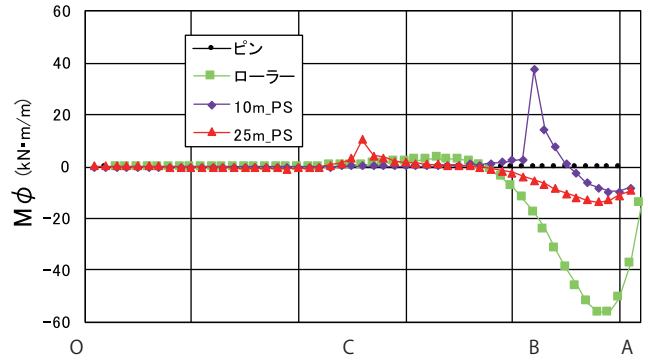


Figure5. Referenced Bending Moment (thickness=300mm)

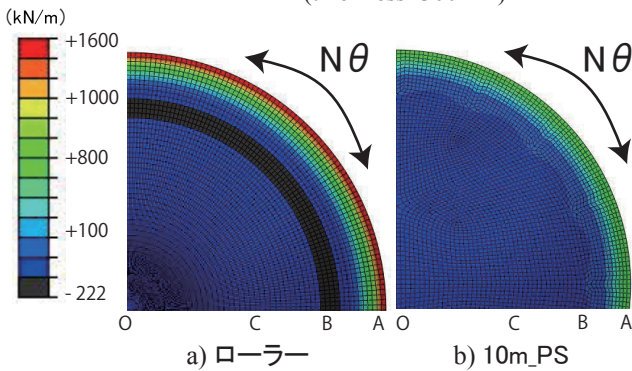


Figure4. Referenced of Axial Force (Contour Map)

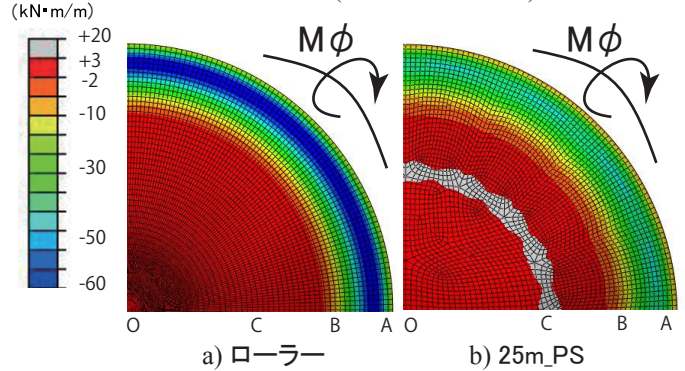


Figure6. Referenced Bending Moment (Contour Map)

3-2. 円周方向軸周り曲げモーメント $M\phi$ の比較

軸力分布と同様、ピンでは曲げモーメントは発生せず、形態抵抗系を示している (Fig. 5)。また、ローラーでは境界部付近で最大値約 $60\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ の曲げモーメントの発生が確認できる。10m_PSでは、ストラット上部で約 $40\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ の曲げモーメントが突出しているが、他の部分では曲げモーメントの減少が確認できる。25m_PSではストラット上部の曲げモーメントが少なく、ローラーと比較しても応力制御できている事が確認された (Fig. 6)。

3-3. ひずみエネルギーによる比較

PS=500kNとPS=1000kNのひずみエネルギーの比較結果を示す (Fig. 7)。ひずみエネルギーを総合して捉えると、10m_PS (PS=500kN) がひずみエネルギーが最小化されている事が確認できる。

4. 座屈固有値解析の比較

座屈固有値解析によって得られた最小座屈固有値を Table2 に示す。100mm厚、300mm厚共にピンが最も大きい座屈固有値を示した。また、300mmではPS導入モデルがローラーと比較して固有値が約2.5%上昇しているのに対し、100mmモデルでは、約26.5%上昇しており、100mmモデルにおけるケーブルの座屈補剛効果が確認された。ストラット位置の違いによる座屈耐力の比較では、25mよりも10mの方が座屈補剛効果が得られる事が確認された。これは、1次の座屈モードが境界部付近で生じているため (Fig. 8)、ストラット位置がより境界部に近い10mのモデルの方が座屈補剛効果が得られた

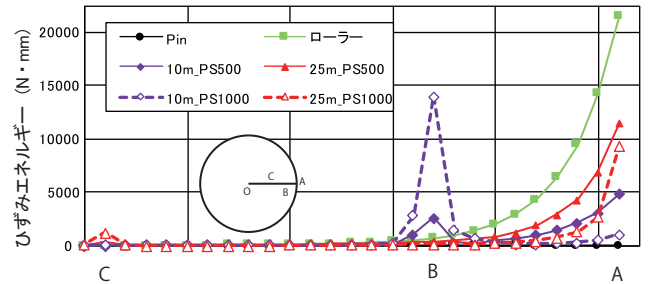


Figure7. Referenced Strain Energy

境界条件 厚さ	ピン	ローラー	
		ケーブル無し	ケーブル有り PS 導入
		10m(L/10)	25m(L/4)
100mm	98	49	62
300mm	883	569	575

と考えられる。

5. まとめと今後の検討

本研究では、球形単層ラチスドームに対して連続体置換法を用いて検討し、ストラット付加モデルが外

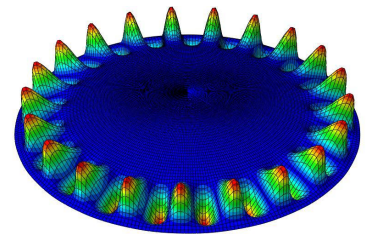


Figure8. First Buckling Mode

周部の引張力と曲げモーメントの低減および全体座屈補剛に有効であることを確認した。今後は、偏分布荷重時や他の形状に対する検討を行う予定である。

【参考文献】

- [1] 坪井善勝: 曲面構造-シェル理論とその応用, pp.1~27, 1965.3
- [2] 日本建築学会: ラチスシェル屋根構造設計指針, p.135, 2016.11