

Pre-Bendingを付加したFrei Otto型ラチスシェルに関する基礎的研究  
 -EP形状単層ラチスシェルにおける部材交点の接合条件が座屈性状に及ぼす影響について-

Study on Frei Otto Type Lattice Shell Formed by Pre-Bending

-Effect of Joint Conditions at Member Intersections on Buckling Behavior of EP-Type Single Layered Lattice Shells-

○田中琢也<sup>3</sup>, 宮里直也<sup>1</sup>, 岡田章<sup>2</sup>, 鴛海昂<sup>1</sup>

\*Takuya Tanaka<sup>3</sup>, Naoya Miyasato<sup>1</sup>, Akira Okada<sup>2</sup>, Akira Oshiumi<sup>1</sup>

Abstract: Pre-bending (PB) is a technique for forming curved surfaces in Frei Otto-type lattice shells. However, the initial stresses introduced by PB, such as bending and axial forces, often limit its practical application. Previous research [1] investigated the buckling strength using models in which members were pre-bent individually and subsequently connected by truss elements. In practice, however, members are usually connected prior to PB, requiring accurate evaluation of stress transfer and torsional effects, which [1] did not address. Building on these considerations, this study analyzes the buckling behavior and overall structural performance of single-layer Frei Otto-type lattice shells using models with node-sharing connections.

1. はじめに

Pre-Bending(以下「PB」)とは、部材に初期曲げを与え、曲面を形成する手法であり、Frei Otto型ラチスシェルの形状形成時に用いられる。しかし、PB後の部材に生じる曲げ応力や軸応力を含む初期応力の存在が、本手法の適用を阻む大きな要因となっている。

この課題に対して、既報[1]ではPBによる初期応力が座屈耐力に及ぼす影響について報告している。既報[1]では梁材毎にPBを行い、形成形状後に部材交点をトラス要素で接合する手法を採用しているが、F. Ottoの提案手法は各部材の接合後にPBを行う手法であった。そのため、部材間の応力伝達や部材の振りに関する評価が必要となるが、既報[1]の解析手法ではその点を評価していない。

以上より本報では、Frei Otto型単層ラチスシェルを対象として、PB部材の交点における接合条件を既報[1]のトラス要素による接合から、節点共有による剛接合に変更したモデルを基に検討を行い、座屈性状や座屈耐力を分析する。

2. 数値解析概要

数値解析概要をFig. 1に示す。解析は、汎用解析プログラムADINA (Ver. 9. 8)を使用し、材料非線形性を考慮した弧長増分型の幾何学的非線形解析を行った。解析モデルは既報[1]と同様、L=10m, h/L=0.05のEPシェル(2方向単層ラチスシェル)であり、材料はアルミニウム合金A6005C-T5を想定した。解析は以下の手順で行った。

[Step1] 両端をローラー支持した格子梁(梁材交点は節点共有)に対して、各梁材の中央に荷重初期不整を与えながら、材軸方向の強制変位を両端に加え、EP形状単層ラチスシェルを形成する。

[Step2] PB形成後に強制変位を水平荷重に変換し、ロー

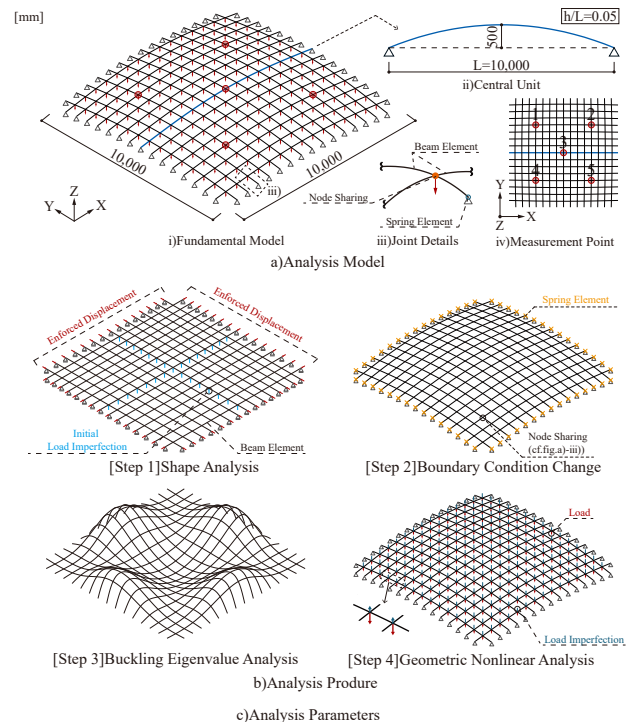


Figure 1 Outline of Numerical Analysis

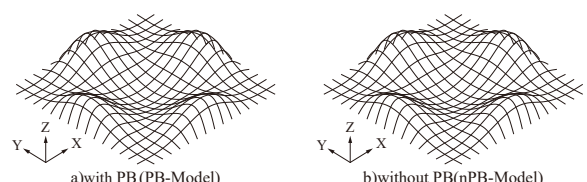


Figure 2 Buckling Eigenvalue Analysis (First Buckling Mode)

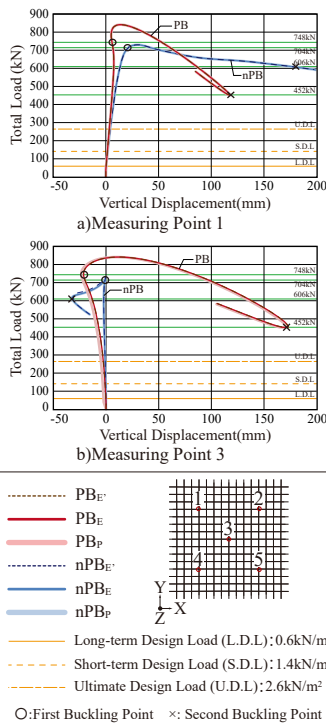


Figure 3 Total Load-Vertical Displacement

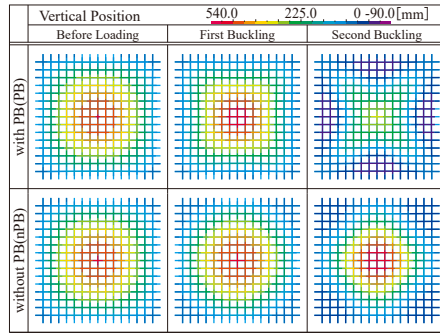


Figure 4 Vertical Position Diagram

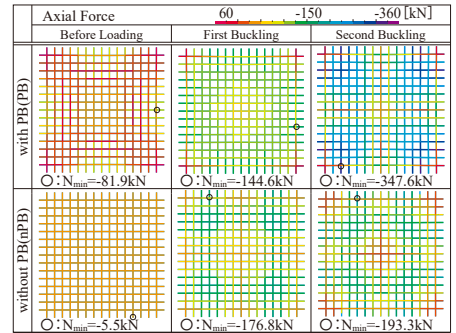


Figure 5 Axial Force Diagram

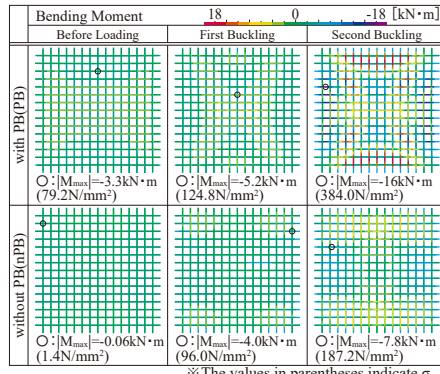


Figure 6 Bending Moment Diagram

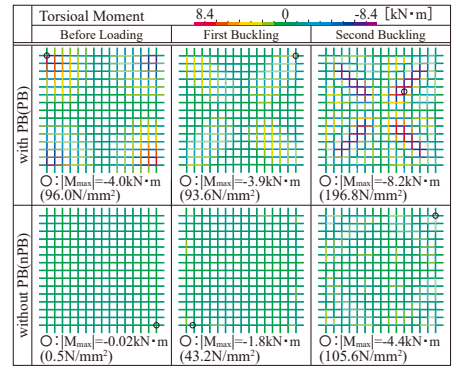


Figure 7 Torsional Moment Diagram

ラー支持点にて回転のみを許容したばね要素を挿入して、両端ピン支持を模擬する。

[Step3] 水平荷重を除荷し、自重を付加したモデルに対して座屈固有値解析を行う。

[Step4] 1次座屈モードに対応する偏荷重型の荷重不整0.5Nを与え、弧長増分型の幾何学的非線形解析を行う。

また、比較のために、PBで形成された形状を有しながら、初期応力が存在しない「PB無しモデル」についても解析を行った。以降、PB有り、PB無しを【PB】、【nPB】、材料特性については、荷重不整無しの完全弾性 (PBのみ)、荷重不整有りの弾性、弾塑性を添字【E', E, P】で表し、各検討パラメータ名称を【】内の組み合わせで表記する。

### 3. 数値解析結果

座屈固有値解析による1次座屈モードをFig. 2に示す。既報<sup>[1]</sup>では各梁材が非対称座屈を示したが、本報の解析モデルでは各梁材が対称座屈となる性状を示した。

Fig. 1 a) -iv) に示す5点の測定点の総荷重—鉛直変位関係をFig. 3, PB<sub>E</sub>-Modelの変形性状をFig. 4に示す。なお、Fig. 3における変位は鉛直下向きを正とし、図中に示す○を第1座屈点、中央の最大変位時を第2座屈点と定義し、×で示す。また、測定点1, 2, 4, 5は同様の性状を示したため、代表して測定点1を示す。加えて、参考として固定荷重、積雪荷重(再現期間47年程度/475年程度)の値を併記する。Fig. 3より、PB-Modelでは748kN、nPB-Modelでは704kNにおいて第1座屈点 (○印) に到達した後に荷重低下が生じ、それぞれ452kN、606kNで第2座屈点 (×印) に到達した。ま

たFig. 4も踏まえると、PBの有無で変形性状が変化し、第1座屈点の変形性状に着目すると、PB-Modelは架構中央部付近の四角形状が鉛直上向きに、脚部が鉛直下向きに変形している。一方で、nPB-Modelの架構中央部はあまり変形せず、測定点1, 2, 4, 5付近が鉛直下向きに変形している。これらより、部材交点部を剛接合とした状態において、PBによる座屈補剛効果の可能性が示唆された。

PBとnPB-Modelの軸力図をFig. 5, 面外曲げモーメント図をFig. 6, 振りモーメント図をFig. 7に示す。なお、軸力は圧縮側を負とし、図中の()内の数値は|M<sub>max</sub>|の位置での曲げ応力σ<sub>max</sub>, 振り応力τ<sub>max</sub>を示す。なお、本報の検討では弾性材料、弾塑性材料による違いは確認されなかった。Fig. 5より、N<sub>min</sub>に着目すると、PB-Modelは初期応力として軸力が発生しており、第1座屈点の軸力はnPB-Modelよりも小さな値を示した。また、Fig. 6およびFig. 7より、PB-Modelは対角方向の部材の面外曲げモーメントと振りモーメントが大きく生じている。以上より、本架構ではPBによる初期応力に起因して存在応力は大きくなり、変形性状に変化が生じる一方で、一定の座屈補剛効果の可能性も示唆された。

### 4. まとめ

本報では、初期応力及び部材交点の接合条件が座屈耐力に与える影響について、数値解析的に分析を行った。

#### 【参考文献】

[1] 瀬戸謙次他：「Pre-Bendingを付加したFrei Otto型ラチスシェルに関する基礎的研究-その2」, 日本建築学会学術講演梗概集(九州), 構造-I, pp773-774, 2025. 9