

軽鋼構造のデッキプレートを用いた円筒シェルに関する解析的研究

—板厚変化と等価要素置換が及ぼす影響—

Analytical Study on Cylindrical Shells with Deck Plates Made of Light Weight Steel Structures

—Effects of Thickness Change and Equivalent Element Replacement—

○山内健史<sup>3</sup>, 宮里直也<sup>1</sup>, 岡田章<sup>2</sup>, 廣石秀造<sup>1</sup>, 鴛海昂<sup>1</sup>

\*Kenji Yamauchi<sup>3</sup>, Naoya Miyasato<sup>1</sup>, Akira Okada<sup>2</sup>, Shuzo Hiroishi<sup>1</sup>, Akira Oshiumi<sup>1</sup>

Abstract: Light steel structures using thin section members tend to exhibit local buckling due to the relationship of the plate thickness to the acting stress. Therefore, when thin-walled steel plates are used in cylindrical shells, it is necessary to evaluate the appropriate bearing capacity and to understand the buckling behavior in detail. In addition, the effect on the case of equivalent element replacement on the buckling behavior is still unclear. From the above, a numerical analysis was conducted to understand the effects of thickness change and equivalent element replacement on the buckling behavior of cylindrical shells using deck plates.

1. はじめに

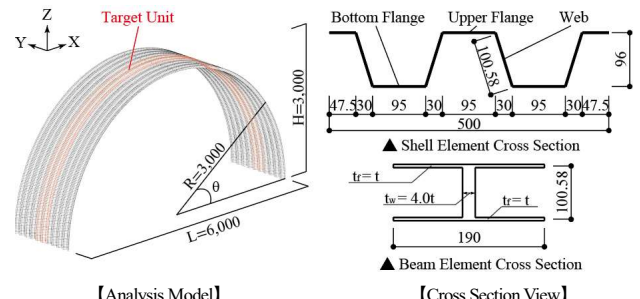
軽鋼構造は、厚さ0.8mm以上6.0mm未満の薄肉断面部材を用いた鋼構造を指す。軽鋼構造のうち、薄肉鋼板のデッキプレートは床版や屋根材に使用され、薄肉鋼板に曲率を付与した円筒シェルの事例も報告されている。一方、部材断面の板厚が薄い場合、作用応力との関係により、局部座屈を生じる。このため、薄肉鋼板は、カバープレート等の部分補剛やトラス梁等による全体補剛が一般に行われている。よって、薄肉鋼板を用いた円筒シェルでは、補剛に対する適切な耐力評価と詳細な座屈挙動の把握が必要である。荒井ら<sup>[1]</sup>は軽鋼構造のデッキプレートを用いた円筒シェルを対象にして、鉛直載荷実験および線材による理論解析を行い、基本的力学性状について報告している。しかし、板要素を線材置換した際の座屈挙動への影響は不明な点も多く、さらなる検討が必要であると考えられる。

以上より、本報では軽鋼構造のデッキプレートを用いた円筒シェルを対象に、板厚の変化および等価要素に置換した際の座屈挙動に与える影響の把握を目的として、数値解析を用いて検討を行った。

2. 数値解析概要

本報では、有効幅500mmのデッキプレートを桁行方向に連結したスパン(L)6.0m, 半開角( $\theta$ )90deg.の円筒シェルから中央の1ユニットを抜き出し、等分布荷重に対する座屈性状の把握を行う。

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)を用いて、材料非線形と幾何学的非線形を考慮した。解析モデルは、X軸を面内水平方向、Y軸を面外方向、Z軸方向を面内鉛直方向と定義した。



■ [Analysis Model] Material Specification / Structural Specifications

Main Material (Shell Element)	JIS G3352(Deck Plate) SDP2
Material Data (Shell & Beam Element)	Elastic / Plastic E = 205,000(N/mm <sup>2</sup> ), $\nu$ = 0.3, $\sigma$ = 235(N/mm <sup>2</sup> )
Load Condition	Uniformly Distributed along Roof
Leg Boundary Condition (Shell Element)	All Lines at Both Ends : Pin
Leg Boundary Condition (Beam Element)	Fixed / Pin
Constraint Conditions (Rotation)	Master: Unit Central Frame Axis - Slave: Other Frame Axis
Parameters (Shell Board Thickness [t])	t = 2.3, 4.0, 6.0 (mm)

Figure 1. Outline of Numerical Analysis

JIS G 3352に規定されるデッキプレートは4節点シェル要素でモデル化し、桁行方向はフランジを47.5mm, ウェブを30mm, 架構軸方向は50mm以下にメッシュ分割した。境界条件は脚部のフランジおよびウェブをピン支持とした。また、複数ユニットの円筒シェルはY軸回転の性状が概ね一致するため、1ユニット中央軸のY軸回転性状と同一になる条件を、各上下フランジの面内水平方向の軸に与えた。荷重は全面鉛直下向き(-Z方向)の屋根面に沿った等分布荷重とした。座屈に伴う応力および変形状を求めため、線形座屈解析により求めた座屈モードを初期不整とした弧長増分解析を行った。なお、初期不整量の最大値はスパンの1/1000とした。

検討パラメータは、デッキプレートの板厚(t[mm])とし、2.3, 4.0, 6.0mmの3ケースとした。また、梁要素に等価置換したモデルを対象に、境界条件を固定およびピン支持の2ケースに対して検討を行った。併せて、両要素モデル共に、座屈と弾塑性の性状を比較するため、

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大理工・上席研究員 3 : 日大理工・院 (前)・建築

弾性材料と弾塑性材料の2ケースで解析を行った。

### 3. 数値解析結果および考察

#### 3-1. 板厚変化の影響

鉛直荷重-頂部変位関係をFig.2, シェル要素モデル( $t=4.0$ )の荷重-ひずみ関係をFig.3に示す。ここで、弾塑性モデルの降伏荷重は0.2%オフセット耐力とした。

Fig.2, 3 より、弾塑性モデルは、板厚の増加に伴い降伏荷重・最大荷重共に上昇し、それぞれ $t=2.3$ に対して、 $t=4.0$ は降伏1.73倍・最大1.47倍、 $t=6.0$ は降伏2.61倍・最大2.61倍となった。また、降伏後から最大荷重までは耐力低下が発生していない。次に、全シェル要素の降伏・最大荷重時の変位は概ね同様であり、最大荷重後の荷重低下は緩やかな性状を示した。また、弾性モデルと弾塑性モデルの比較より、板材の降伏が座屈に先行し生じることを確認した。

$t=4.0$ の最大荷重時の変形・応力図をFig.4に示す。Fig.3, 4より、降伏は上フランジの頂部、 $\theta=30$ 、脚部(端部)の順に生じ、その後に、下フランジの脚部と $\theta=30$ (端部)が降伏し、塑性ヒンジを形成することが確認された。なお、変形性状は非対称であり、全シェル要素モデルで概ね同様の性状を示した。

以上より、デッキプレートを用いた円筒シェルは、全板厚で板材の降伏位置と順番、座屈性状は同様の性状を示した。また、座屈より板材の降伏が先行し、頂部・ $\theta=30$ ・脚部に大きい応力が生じること、板材変化による降伏、最大荷重への影響が把握された。

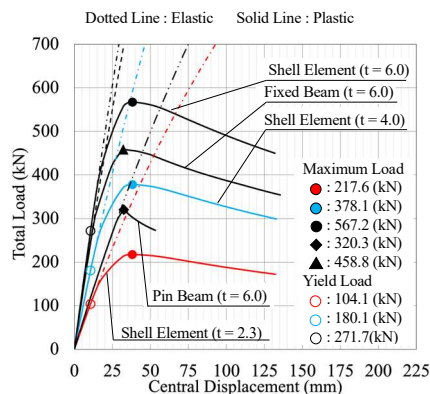


Figure 2. Total Load - Central Displacement Relation

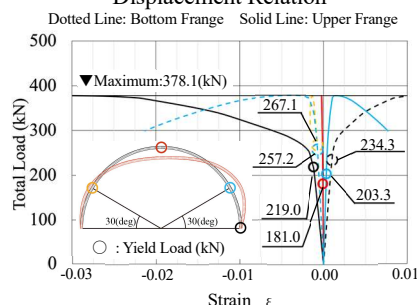


Figure 3. Load - Strain Relationship of Shell Elements at Thickness of 4.0 (mm)

#### 3-2. 等価要素置換の影響

Fig.2(黒線)より、 $t=6.0$ の等価置換梁要素とシェル要素の弾塑性モデルの最大荷重は、シェル要素より、境界条件に関わらず梁要素が小さい値を示した。また、最大荷重時の変位は全モデルで概ね一致した。

Fig.4より、固定支持の梁要素は、変形と応力性状はシェル要素と概ね一致するが、頂部が降伏していない。一方、ピン支持は脚部と頂部の応力性状にシェル要素と大きな差異を確認した。これらより、シェル要素は脚部上下フランジが固定されることで曲げを負担し、固定支持に近い性状を示している。また、降伏荷重は、シェル要素より固定支持の梁要素は小さく、ピン支持は大きい値を示した。

以上より、等価梁要素置換した際、境界条件により剛性と応力性状、降伏位置、座屈性状が変化すること、境界条件が固定支持の等価梁要素置換は、降伏荷重以外は安全側に評価可能であることが示唆された。

### 4. まとめ

本報は、軽鋼構造のデッキプレートを用いた円筒シェルを取りあげ、数値解析を用いて板厚変化および等価要素置換した際の座屈挙動に与える影響を検討した。

### 5. 参考文献

- [1] 荒井幹雄,他:「円筒シェル構面の鉛直載荷実験-デッキプレートを用いた円筒シェル構造物に関する実験的研究(その1)」,日本建築学会北陸支部研究報告集, Vol.33, pp.53-56, 1990.7
- [2] 日本建築学会:「軽鋼構造設計施工指針・同解説」, 2008.4

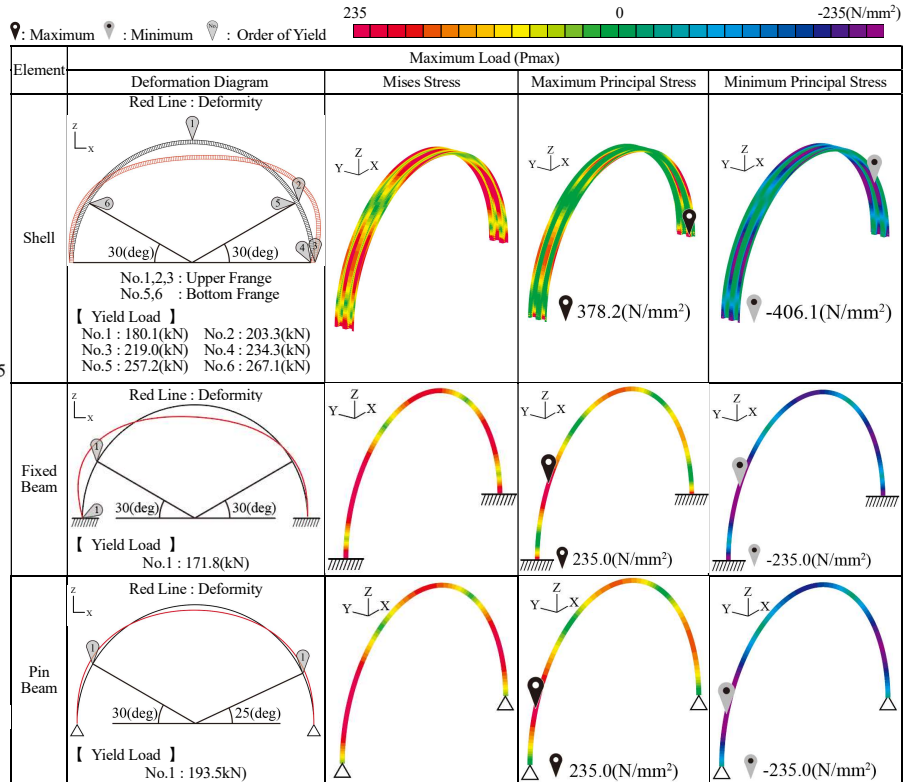


Figure 4. Principal Stress and Deformation Diagram for 4.0(mm) Thickness Model