スペースフレーム単材の挙動の立体解析

徳山高専　学生会員　○守川　倫　　徳山高専　正会員　重松　恒美
徳山高専　正会員　　原　隆　　徳山高専　正会員　田村　隆弘

1. 序論　スペースフレームは鋼管、鋼球、接合用ボルト等から構成される、三角錘体または四角錘体を基本とする立体トラスのことである。この構造形式を使用することにより内部に無柱の空間を確保することが可能な為、主に大スパンの構造物等の屋根部に使用されている。しかしこの構造の各部材にかかる、曲げ、軸力、ねじりといった力のため、それらの部材が特異な変形を起こすことが一般的に知られている。そこで本研究では鋼製のスペースフレームの単材についての弾塑性解析を有限要素理論に基づいて行うことによってその挙動を明確にすることを目的とし、同時に単材解析への退化シェル要素の適用の有効性について調査していく。目的の達成のためにスペースフレーム単材の荷重に対する応答とその表面挙動について解析し、それらの解析結果を実験結果と比較し、検討した。

2. 有限要素法　本研究では単材の弾塑性解析を行う手段として有限要素法を用い、要素には2次元の退化シェル要素を用いる（図-1）。退化シェル要素とは通常の3次元の立体要素を数学的退化させることにより2次元化したもので、その節点配置として、誤差が最も小さい[1]という点から9節点全てにおいて3方向変位と2方向回転を考慮するLagrange要素を採用することとする。また降伏条件にはvon Misesの説を、応力ひずみ関係にはflow ruleを用いることを明記しておく。

3. 荷重載荷試験　本研究での解析結果との比較のために、スペースフレーム単材への荷重載荷試験を行った。供試体は鋼製で、その形状寸法を図-2に、荷重の載荷方法を図-3に示す。荷重は供試体が降伏するまで載荷していき、その際たわみやひずみを測定するために各ゲージを端部や載荷点等に設置した。また端部と載荷点はダイヤフラムにより断面の変形を拘束している。

4. 解析モデル　本研究では、供試体中央に対して対称な両端支持のスペースフレームの単材について解析を進めていく上で、荷重、支持条件の対称性を考慮して、曲げについては1/4部材（図-4）を、ねじりについては1/2部材を構造モデルとしている。解析範囲は部材の変形等の影響範囲を考慮して、曲げに関しては支点から部材中央まで、ねじりに関しては荷重載荷点から部材中央までとする。要素分割数の変化の範囲は鋼管部のみとし、鋼球部、ノーズコーン部の要素分割数は各モデルとも同一のものとし、さらにそれらの剛性の大きさから変形を殆ど起こさないことを考慮して、全モデルにおいてその部分は5cmの鉄板として表現をする。

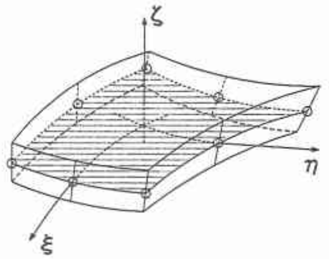
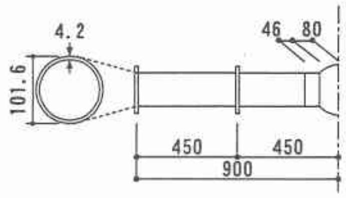


図-1　退化シェル要素



単位：mm

図-2　供試体寸法

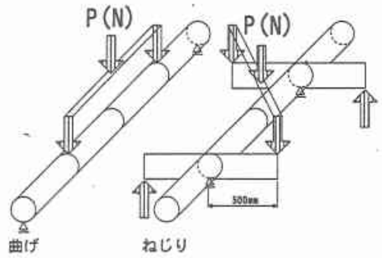


図-3　荷重載荷状態

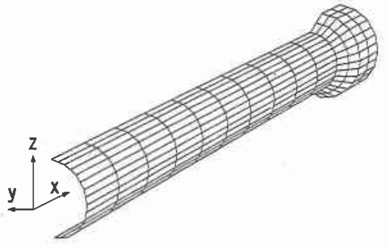


図-4　1/4モデルと全体座標系

4.1 モデルの材料特性　本解析に用いるモデルの材料特性を表-5 に示す。これらの係数は、供試体を製作したものと同一のロットから取り出した引張試験供試体による引張試験より得られた値である。なお、せん断弾性係数は純せん断の式を基に算定したものである。

5.解析結果と考察　本研究ではスペースフレーム単材について曲げとねじりの解析を行った。曲げについては 1/4 モデルを解析対象とし、モデルが降伏するまで載荷荷重を 2kN ずつの荷重増分で行い、その部材中央での鉛直変位と塑性化の様子、部材の表面挙動について調査した。

各要素分割時での部材中央点における垂直変位と実験による結果を荷重変位曲線にまとめたのが図-6、図-7 である。図-6 には x 方向を 4 要素分割としたときの 4 種類のモデルの解析結果を、図-7 には z 方向を 16 要素分割としたときの 3 種類のモデルの解析結果について示している。これより明らかになるのは x 方向要素分割数の増加は降伏点荷重等に殆ど影響はなく、z 方向の要素分割数を増加させるほど、実験値に近似していっていることである。これに関しては円筒の断面の面外変形がたわみより大きい為であると思われることが挙げられる。またこの解析が垂直方向における荷重と変位関係についてということもこの結果が一要因として挙げられる。

図-8 は x 方向要素分割 11、z 方向要素分割 16 の解析モデルの解析計算時の解が発散したときの塑性化の様子を示したものである。これよりその塑性は、端部上部や下部、また部材中央よりで多大に発生しているのがわかる。またここでは図示していないが塑性化が端部上下部から始まり、さらに降伏後は中央側で塑性化が急激に進行することが解析より確認されている。

図-9 には図-8 の要素分割モデルの降伏時の表面挙動を示した。この図より、単材の純曲げの様子や、端部上側や載荷点隣等に発生している座屈の様子がよくわかる。

6.結論　本研究での解析より得られた結論を以下に記す。

1.要素分割数を増加させることにより解析値は徐々に真値に近似していく。本解析モデルにおいては一方向の要素分割数が 64 程度で真値に近似するものと思われる。

2.実際の解析において、たわみ性状、応力分布性状の妥当性を考慮すれば 16 または 32 要素分割数が適当である。

3.退化シェル要素を用いることによって塑性化や表面挙動の様子をよく表すことができる。

4.本解析手法により、純曲げ、ねじり状態のみならず、複雑な接合部での応力状態の分析が可能であると思われる。

参考文献　1)E.Hinton, D.R.J.Owen : Finite Element Software for Plates and Shells, Pineridge Press Limited, 1984

表-5　材料特性

弾性係数	188.5(GPa)
ポアソン比	0.3
線膨張係数	0.0
ひずみ硬化係数	0.01
一軸降伏応力	300(MPa)
せん断弾性係数	72.5(GPa)

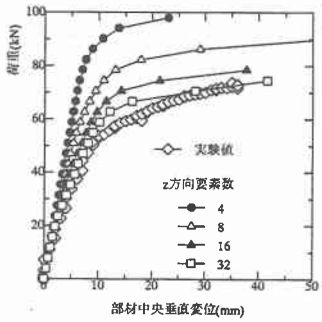


図-6　荷重変位曲線（x 方向 4 要素）

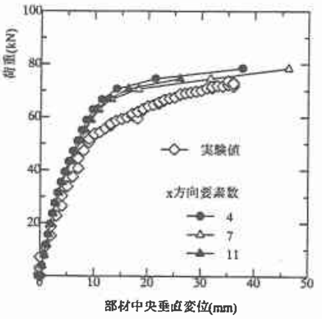


図-7　荷重変位曲線（z 方向 16 要素）

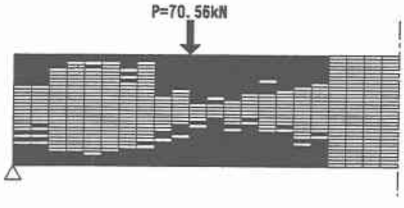


図-8　モデルの塑性化の様子

図-9　表面の様子（曲げ）