スペースフレーム単材の挙動の立体解析

徳山高専　学員　○守川　倫
徳山高専　正員　　重松　恒美
徳山高専　正員　　原　隆
徳山高専　正員　　田村　隆弘

１．序論

スペースフレームは立体骨組ともいい、鋼管、鋼球（ボール）、接合用ボルト（コネクター）等から構成され、三角錐体または四角錐体を基本とする立体トラスである。この構造を使用することにより無柱の空間を確保することが可能なため、大スパンの建築物等の屋根部に使用されることが多く、最近注目されている構造形式である。しかし、この構造の各部材には、軸力、曲げ、ねじり等の様々な力がかかるために、各部材が特異な変形を起こすことが知られている。このことからそれらの力によって構造物が破壊しないような適切な設計が必要とされている。

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シェル理論に基づいて行い、その挙動を明らかにすることを目的とする。そして、解析対象物を高さ方向と長さ方向に要素で分割し、有限要素の集合体としてスペースフレームの荷重に対する変形応答について解析し検討した。

２．有限要素法

本解析では部材表面の変形について検討していくことから、有限要素として表面変形を具体的に表すことのできる退化シェル要素を用い（図-1）、節点配置を誤差が少ないということから９節点Heterosis要素とした上で解析を進めていった。

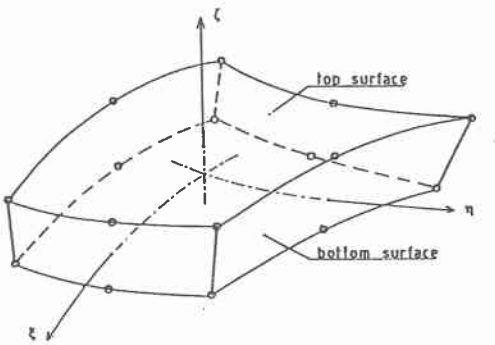

図-1　２次元退化シェル要素

３．数値解析

（１）解析モデル

本研究では、２点載荷の中心に対して対称な両端支持のスペースフレームの単材（図-2）の変形応答についての検討を行っていく。この状態において、中心、さらに奥行き方向に対して対称であるため、解析の対象物として対称条件を用いた1/4モデルを採用することにする。（図-3）このモデルを解析するにあたって使用した材料定数は表-4に示す。これらは実際のスペースフレームに使用されているものと同じ鋼の引張試験により得られた値である。今回は６種類の要素分割モデルを用いるが、どのモデルにおいても鋼球とノーズコーン部は5cmの厚さの鉄板として表現をする。これは鋼球、ノーズコーン部とも剛性が大きいため、ほとんど変形を起こさないと考えられるためである。

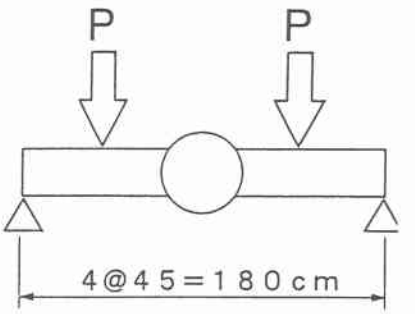

図-2　対象とする荷重状態

（２）層数の決定

解析モデルの層数は過去に行われた研究より、荷重変位曲線が滑らかになることから８層とする。

表-4　モデルの材料特性

ヤング係数(kgf/cm²)	1885000
ポアソン比	0.3
線膨張係数	0.0
歪み硬化係数	0.01
一軸降伏応力(kgf/cm²)	3000
せん断弾性係数(kgf/cm²)	725000

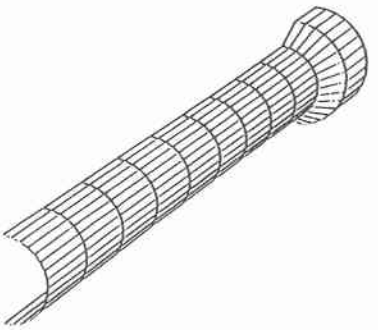

図-3　1/4モデル

4．解析結果と考察

解析にあたり載荷荷重は100kgずつ、解析モデルが降伏するまで増やしていき、その変形や挙動について調べた。各要素分割時の中央での荷重変位図を図-5に示し、また変形の様子の一例を図-6に示す。

荷重変位図より、長さ方向の分割、即ち荷重載荷方向とは異なる方向の要素分割においては、荷重、変位共にほとんど変化は見られないが、高さ方向、即ち荷重載荷方向と同方向の要素分割数を細かくするほど降伏時の荷重が下がっていくのが分かる。これについては要素分割数を細かくするということが粗い要素分割では分からなかったような小さく限定された区間での部材の降伏を算出してしまうためだと思われる。また、この荷重の下がり方を見ても徐々に収束していっていることから、ある程度の要素分割数になると真値に近似していくことが予想される。５６要素と１１２要素での結果において中央変位が大きく算出されているが、これは計算時の荷重載荷点で解が発散したことによるものであり、有意な差異ではない。また変形図より、長さ方向の要素分割も単材の変形をより具体的に表すために要素分割数がある程度必要であるということが示される。

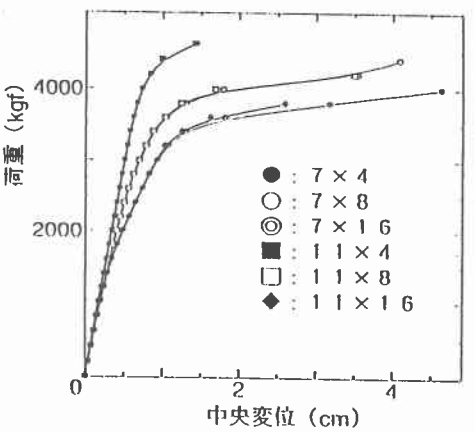

図-5　荷重中央変位図

5．結論

スペースフレームの単材の挙動を調べるために有限要素シェル理論を用いて弾塑性解析を行った。解析の結果、以下のことが明らかになった。

（１）小さい要素ほど微小区域に発生した塑性化を算出するため、要素分割数が多いほど、徐々に真値に近づいていく。

（２）適度な数の要素分割を用いることによって変形の様子を具体的に表すことができ、スペースフレームの変形を表す手段として退化シェル要素は有効である。

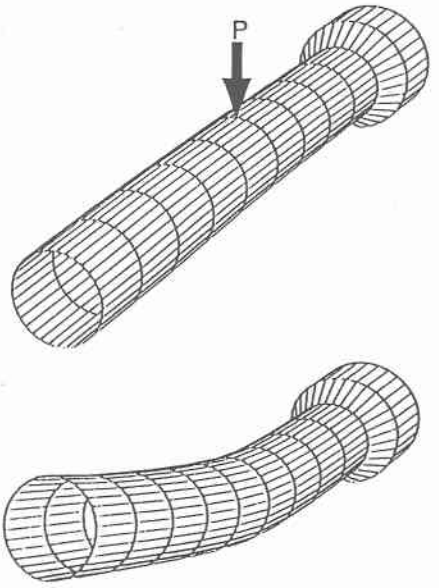

図-6　解析モデルとその変形（１７６要素）