

様式 (二)

論 文 の 内 容 の 要 旨

生物材料科学専攻

平成 15 年度博士課程入学

氏 名 高 穎
(GAO Ying)

指導教員名 太田明德

論文題目

Studies on Analysis Method of Timber-framed Panel Dome Structure

(合板張り木製枠組みパネルで組み立てられたドーム構造の解析手法に関する研究)

木材ならびに木質パネルはドーム構造建造物を作製するための構造材料として大変優れている。軽量で、強度的に優れており、また、加工も容易である。ジオデシック・タイプと言われる木造ドーム建築物は、大きく二通りの方法で建設される。一つはトラス構造を主体としてドームを構成するの、もう一つは、木枠に合板パネルを張り、それを相互に組み合わせてドーム構造とするもの(これを「TFP ドーム」と呼ぶ)である。

本研究は、後者の構造に関して、その変形挙動を解析可能とする数値解析手法を開発することを目的とした。

まず、構造体の解析の際にしばしば用いられる、トラス置換による有限要素法を適用して解析を行った。これを「単純トラスモデル」と呼ぶことにする。この方法では対象としたドーム構造は、120 要素、46 節点の立体トラスとしてモデル化された。この立体トラス・プログラムによって解析した結果は、しかしながら、ドームの 1/10 程度の縮尺模型を用いた負荷試験の結果と、変形挙動において一致しなかった。その理由は、トラス構造においては、負荷に対して、トラス部材に伸縮が発生することによって、外力に耐えるが、本構造では、パネルは木枠に釘で打ち付けられて固定されており、また、パネルは相互に枠材部分においてボルトで接合されているために、それらの接合部で部材相互のズレや開口が

発生し、いわゆるトラス的な挙動をしないためである。

そこで、次に、このパネル要素相互の分離挙動を再現することを目的として、応用要素法 (Applied Element Method, AEM) による数値解析プログラムの開発を試みた。この手法は解析対象を、バラバラな要素が分布バネと呼ばれるもので図 1 に示すように法線ならびに接線方向に接合されたものとして扱うもので、破壊過程も扱うことが可能である。したがってこの方法はパネル相互の分離する過程を扱うのに適しているが、パネル形状が三角形で、かつ三次元空間に位置するために、プログラムを開発していく過程で、バネ接合の関係や境界条件を適切に表現することが難しいことが判明し、途中で別の手法を採用することになった。

次に採用したのは、三次元トラス解析の有限要素法を基にして、図 2 に示すように、パネル接合ボルト等に相当する部分に比較的弱いバネを配置する手法である。これを行うために、トラス要素の座標を使用して、図 3 に示すように、球面を拡大することによってパネル要素間に隙間を開けて、自動的にバネ要素を配置する座標変換プログラムを作成した。なおパネル部分はほとんど変形しないので、この部分のトラス要素の剛性は大きく設定した。得られた形状は図 4 のようになる。新たに得られた構造は立体トラスのプログラムを利用して、計算を遂行することが可能であったが、計算の結果、図 5 に示すような、現実的でない変形挙動を与えたため、要素間に新たに回転剛性バネを付加することとした。こうして得られたドーム計算に使用する数学的モデルを「ハイブリッド・トラス・システム」と呼ぶこととした。このシステムでは、同じドームが、節点数 225、バネ要素総数 2745 となる。また、このモデルでは変位の適合条件を満たすように、圧縮側の剛性率が高くなるようにしてある。

併行して、模型実験によって、実際の変形を測定したが、その概要は図 6 に示す。ターンテーブル上に試験体を設置し、滑車を用いて、下部からワイヤーによって負荷をかけた。立体的な変形測定には三次元デジタルスキャナーを利用した。模型実験では、さまざまな負荷様式に対する変形挙動を確認するために、要素間を弾性ゴムで接続した試験体を用意した。これによって、実験結果と計算結果はその変形挙動に置いて良く一致した。また、図 7 に示すように、風圧のような、実験がむずかしい横からの負荷を受ける場合に対しても、計算によって、単純トラスモデルで得られるものとは非常に異なった、TFP ドーム特有と思われる変形結果を得ることが出来た。

次に、この計算プログラムを非線形解析可能なように拡張を行った。そしてパネル要素間をビスで接合した、模型実験を行い、その結果と弾塑性解析したものとの比較を行い良い結果を得た。

以上のことから、ここで開発されたハイブリッド・トラス・システムを用いた解析手法は、TFP ドームの挙動解析に対して有効であることが明らかとなった。

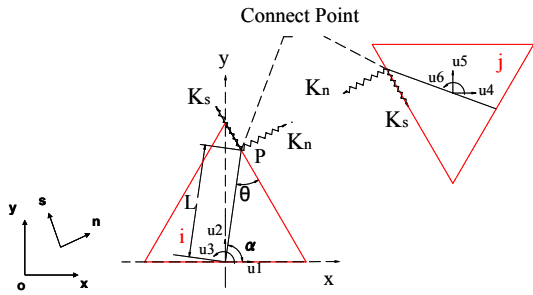
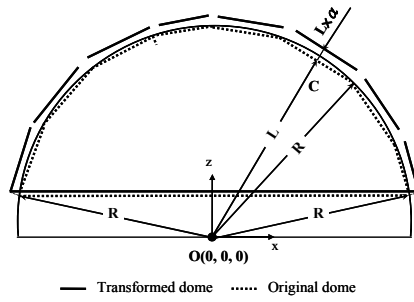


図1 応用要素法のパネ配置



— Transformed dome Original dome

図3 座標変換の模式図

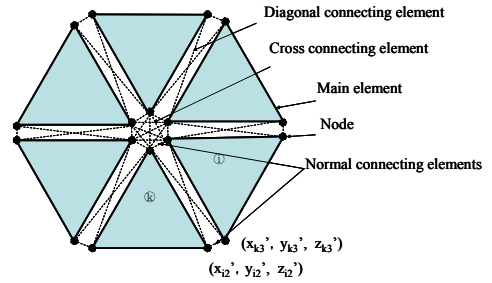
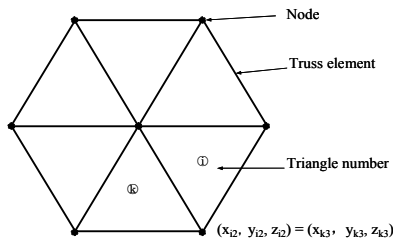


図2 単純トラスモデルとハイブリッド・トラス構造

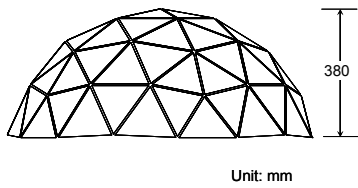
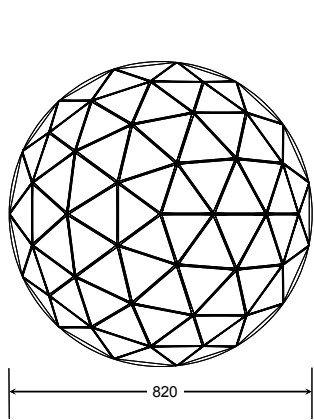
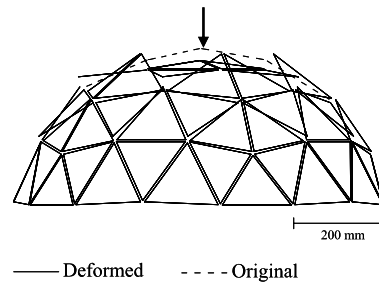


図4 得られたモデル



— Deformed - - - - Original

図5 回転剛性バネがない場合の変形

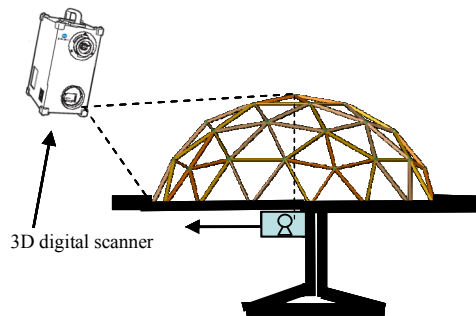
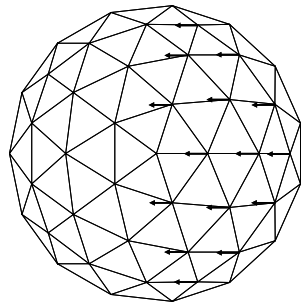
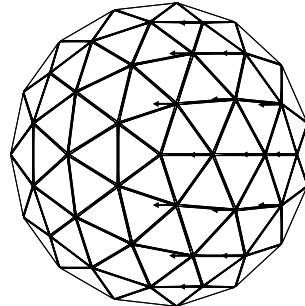


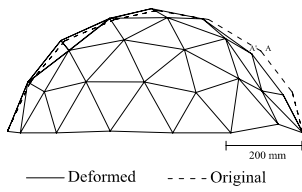
図6 実験の概要図



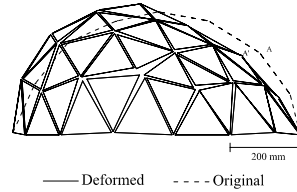
(a)



(b)



(c)



(d)

図7 横からの負荷を受ける場合の比較