

Dynamic Relaxation 法によるテンセグリティアーチの形状解析

建築都市デザイン学科 2280070040-3 清水 亜久里
(指導教員 張 景耀)

1. はじめに

テンセグリティとは、連続な引張材（ケーブル）と不連続な圧縮材（棒部材）によって構成される構造体である。原案は彫刻家のケネス・スネルソンによって考案され、バックミンスター・フラーが **TENSion**（張力）と **intEGRITY**（統合）の二つの言葉を組み合わせることで名付けた。部材にモーメントは発生せず、軸力のみが発生し、初期張力の導入によって自己釣合状態になるという特殊な力学特性を持つ。



図（1） テンセグリティ模型

膜構造のような張力構造と同じように、初期張力の導入によって軽量化や大スパン構造を実現している。しかし、テンセグリティは他の張力構造とは違い、圧縮材が存在するため張力導入によって必ず安定するとは限らない。したがって、テンセグリティ構造は自己釣合形状を決定することが難しい。現在、多くの自己釣合形状を決定するための研究がなされているが、それらはまだ複雑なものとなっている。テンセグリティの形状決定方法には試行錯誤による経験に基づいたヒューリスティックなアプローチで自己釣合形状を生成する「形体の制御」、テンセグリティのメカニズムを満たす理論的な手法として発展してきた「力の制御」の2種類に分けられる。

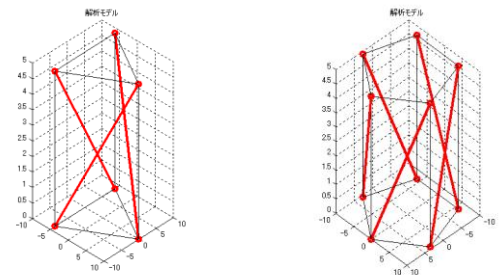
本研究では、自由にテンセグリティ構造の自己釣合形状を決定する手法を「力の制御」によって導くことを目的とする。

2. 概要

本研究はタワー形状、アーチ形状などの自由度の高いテンセグリティ構造を対象モデルとし、Dynamic Relaxation Method によって動的解析を行い、自己釣合形状を決定する。以下、その手順を示す。

2. 1 初期形状の設定

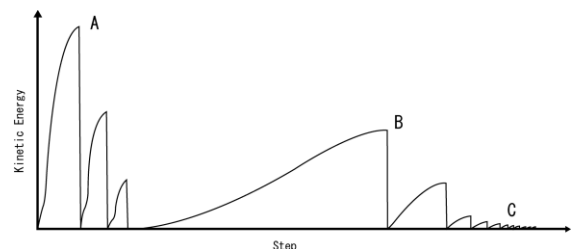
テンセグリティの自己釣合決定は、初期形状の設定から開始する。初期形状は図（2）のような基本形状を組み合わせることで生成する。基本形状は、一層に含まれる圧縮材の本数、上面・底面の半径をパラメーターとして指定する。基本形状を組み合わせたとき、さらに上面・底面の法線方向を指定することで初期形状を生成する。



図（2） 基本形状を構成するテンセグリティ層分
(左図：圧縮材3本 右図：圧縮材5本 の場合)

2. 2 Dynamic Relaxation Method

Dynamic Relaxation Method とは、構造物全体の変形速度から構造物全体の運動エネルギーを算出し、微小時間 Δt ごとにその変化を追う。運動エネルギーが最大となったとき、変形速度、運動エネルギーを0に取り直し、そのときの形状を初期形状として再び解析を始める。この操作を繰り返すと運動エネルギーは限りなく0に収束していき、エネルギー収支グラフは図（3）のようになる。運動エネルギーが限りなく0に収束したときの形状を安定形状とする手法である。



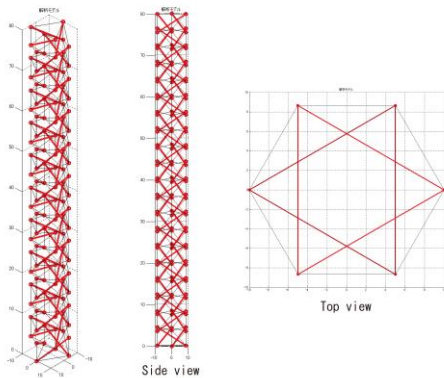
図（3） Dynamic Relaxation Method 典型的グラフ
(横軸：反復回数 縦軸：運動エネルギー)

グラフは波形をなしているが、構造物が実際に振動しているのではなく、運動エネルギーが仮想的な振動をしている。図(3)の初めのピーク(A点)は、境界や支持点が大きく変位するときにかかる挙動。次のピーク(B点)は、構造物が全体的に変形する場合にかかる挙動。終盤の小さなピーク(C)は構造物が安定となる前わずかに変形するときの挙動。

3. 結果

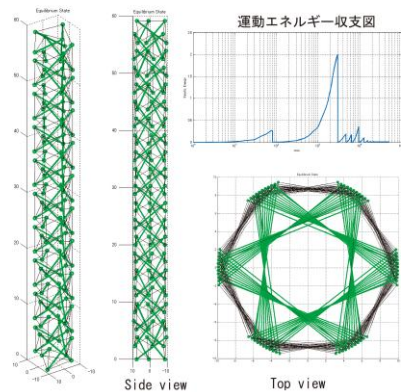
3.1 テンセグリティタワー

高さ80(単位なし)、層数20のテンセグリティタワーの初期形状は図(4)のようになる。初期形状では上から見たとき、六角形の中に六芒星が入っているような形状をしている。



図(4) テンセグリティタワー初期形状(層数20)

このテンセグリティタワーを最下層底面の3点を支持点とし解析すると、自己釣合形状は、図(5)のような形状となった。



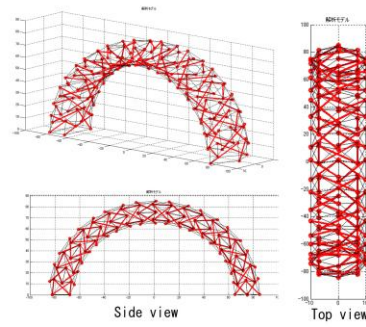
図(5) テンセグリティタワー自己釣合形状

自己釣合形状では上から見たからわかるように、初期形状から縦軸周りに各層が少しずつ回転した形状になった。

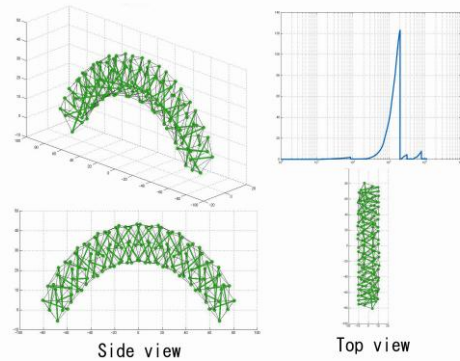
3.2 テンセグリティアーチ

上半円を基本形状20層で分割したテンセグリティアーチ

の初期形状(両端1点支持) (図(6)) を解析すると、図(7)のような自己釣合形状となった。



図(6) テンセグリティアーチ初期形状



図(7) テンセグリティアーチ自己釣合形状

4. まとめ

本研究では、Dynamic Relaxation Method をテンセグリティ構造に用いて簡単な形状からタワー形状、アーチ形状などの自由度の高いテンセグリティ構造の自己釣合形状を解析した。本研究で紹介した形状以外にも多数の形状に対して自己釣合形状を発見することができると思われる。一方で、節点剛性や節点質量を任意のスカラー値として扱っている点や、初期張力の数値、支持条件によってはエネルギーが収束しない場合があるなどが今後の課題となってくる。

参考文献

- 1) Li Zhang, Bernard Maurin and Rene Motro: Form-Finding of Npnregular Tensegrity System
- 2) A.G Tibert and S. Pellegrino: Review of Form-Finding Methods fofo Tensegrity Structure
- 3) R Mtro: Tensegrity Systems (The State of the Art)
- 4) SCIENTIFIC AMERICAN: The Architecture of Life (1997)
- 5) J.Y.Zhang and M. Ohsaki: INTERNATIONAL JOURNAL OF SPACE STRUCTURE (Volume 21・Number 4・2006)
- 6) Jingyao Zhang: STRUCTURAL MORPHOLOGY AND STABILITY OF TENSEGRITY STRUCTURE(2007)
- 7) M.R.BARINES: FORMFINDING AND ANALYSIS OF PRESTRESSD NETS AND MEMBRANES
- 8) ANDREA MICHELETTI AND WILLIAM O. WILLIAMS: A MARCHING PROCEDURE FOR FORM-FINDING FOR TENSEGRITY STRUCTURE