

トラス—軸力線モデルによる広義テンセグリティの形態解析

佐賀大学大学院	学生会員	松尾 郁
	正会員	帯屋 洋之
	正会員	井嶋 克志
	正会員	川崎 徳明
		池田 俊貴

1、研究目的

テンセグリティ構造とは **tensile** (張力) と **integrity** (完全性、統合性) を合成した造語で、引張材と圧縮材からなる構造系のことである。テンセグリティ構造には構造物の軽量化、コスト削減、展開型の宇宙構造物への適用など他の構造形式にはない可能性を持っている。著者らはこれまで、純粋テンセグリティ (自重なし、圧縮材同士は非接続、無重力状態での完全な自己釣合系) の形状決定について研究を行ってきた。しかし、実構造への適用を視野に入れた場合、自重や支点拘束について考慮する必要がある。本研究では、圧縮材同士の接続を許可した広義のテンセグリティ形態の創造を試みるとともに、自重下におけるタワー型テンセグリティのような同一条件下で複数の解が存在する場合についても、強制変位解析によって理想的な形状が得られることを示す。

2、解析手順

解析手法に接線剛性法による幾何学的非線形解析プログラムを用いる。本研究では、圧縮材にトラス材、引張材に軸力線要素を用いて解析を行なう。ここで、軸力線要素について述べる。軸力線要素には本研究室で既に開発されている部材長によって軸力が決定する仮要素を用いる。これは、線材要素ポテンシャルが線長 l のべき乗に比例するとし、この比例定数を要素端力係数 C として定義すると、要素ポテンシャルは、

$$P = Cl^{n+1} \quad (n \text{ 要素力次数})$$

となり、この要素ポテンシャルを要素端力方向の寸法である線長で1階微分すれば、軸方向の要素力は、

$$N = (n + 1)Cl^n$$

と表すことができ、 3×3 の単位行列を e 、方向余弦ベクトルを α 、節点力ベクトルを U 、節点変位を u とすると、部材接線剛性方程式は

$$\delta \begin{bmatrix} U_i \\ U_j \end{bmatrix} = (n + 1)Cl^{n-1} \begin{bmatrix} e + (n - 1)\alpha\alpha^T & -e - (n - 1)\alpha\alpha^T \\ -e - (n - 1)\alpha\alpha^T & e + (n - 1)\alpha\alpha^T \end{bmatrix} \delta \begin{bmatrix} u_i \\ u_j \end{bmatrix}$$

と表すことができる。

3、解析結果及び考察

《圧縮材同士が接続している場合の形態解析例》

計算例1：図-1はトラス材(紫で示した部材)の本数を60、軸力線要素(赤色で示した部材)数を50、隅角部の4節点を完全固定(赤色で示した節点)とした初期形状である。この初期形状の全節点のW方向に外力を加え、解析を行なった結果、図-2に示すような単層ラチスのテンセグリティ構造を得ることができた。

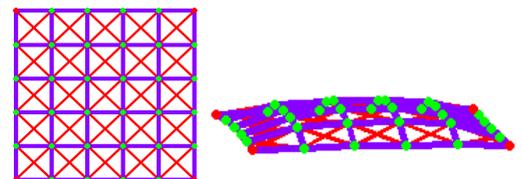


図-1 初期形状

図-2 決定形状

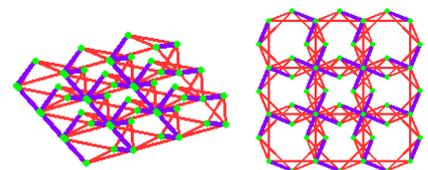


図-3 初期形状

計算例2：図-3はトラス材の本数を36、軸力線要素数を96、隅角部節点のうちの1つを完全固定、他の3節点をw方向

のみ固定した初期形状である。解析の結果、図-4 に示すような決定形状を得ることができた。この決定形状は図-5 に示すトラス材の本数を4、軸力線要素数を12の純粋テンセグリティを平面状に繋ぎ合わせた形状となっている。

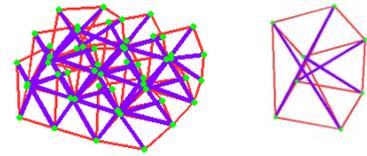


図-4 決定形状

図-5

《圧縮材にトラス材と剛棒(剛体)を用いた場合の収束状況の比較》

計算例3：圧縮材にトラスを用いた場合の決定形状を図-6に示し、剛棒を用いた場合を図-7に示している。この2つの解析の収束状況を比較したものを図-8に示す。縦軸に最大不平衡力(kN)及び最大不平衡トルク(kNm)、横軸に反復回数をとっている。

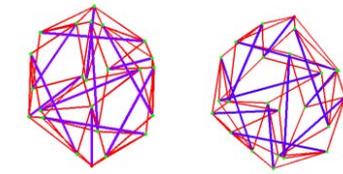


図-6 トラスの決定形状

図-7 剛棒の決定形状

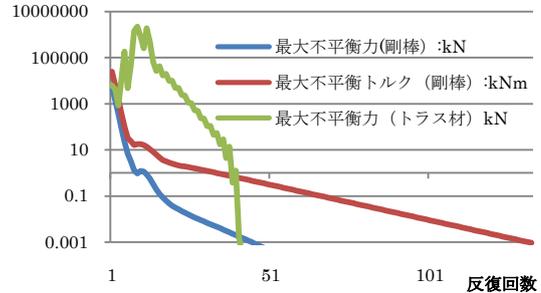


図-8 収束状況

計算例4：圧縮材に三角形トラスユニットを用いた場合の決定形状を図-9に示し、4節点剛体を用いた場合を図-10に示

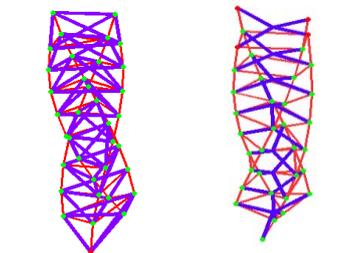


図-9 トラスユニットの決定形状

図-10 剛体の決定形状

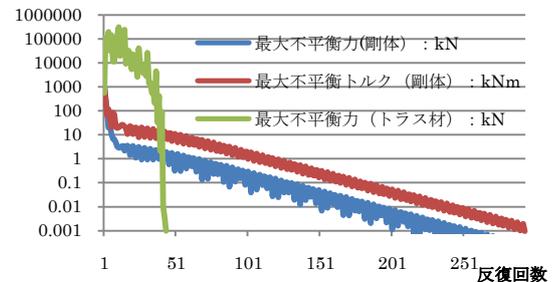


図-11 収束状況

している。この2つの解析の収束状況を比較したものを図-11に示す。

これらによれば、圧縮材に剛体を用いた場合には比較的緩やかな収束過程となっているのに対して、トラス材を用いた場合には最大不平衡力が大幅に増減を繰り返した後、急激に収束に至り、遥かに速いことが分かる。計算例3, 4いずれの場合も、圧縮材に用いた要素モデルは異なるが、ほぼ同一の形態が得られているため、圧縮材にはトラス材を適用した方が収束性が高く合理的であることが分かった。

《タワー型のテンセグリティ構造の強制変位解析》

計算例5：図-12はトラス材の本数16、軸力線要素数72、自重を考慮し、拘束条件を下段面内自由にした時の初期形状である。解析の結果、図-13に示す一番下の段が潰れた釣合形状を得た。そこで、一番上の段の4つの節点にw方向の

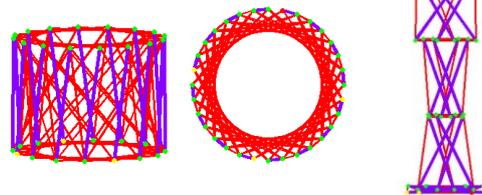


図-12 初期形状

図-13 決定形状

み固定(上段の黄色で示した節点)の支点条件を付与し、強制変位を掛けさらに解析を行なった。解析の結果、図-14に示すタワー状の釣合形状を得ることができた。この決定形状は強制変位を掛けた節点のw方向の反力がすべてほぼ0になっていることから理想的なタワー型の自己釣合を得ることができた。

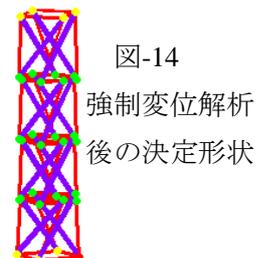


図-14

強制変位解析後の決定形状

4、まとめ

圧縮材同士の接続を許可した、広義のテンセグリティ構造の新たな形態を得ることができた。また、圧縮材にトラス材を用いた方が他の要素モデルに比べ収束性が高いことが分かった。タワー型のテンセグリティにおいては強制変位解析を適用すれば、理想的な自己釣合形状を得られることが分かった。