

京都大学大学院 学生員 北園長喜
 京都大学工学部 正員 白石成人
 京都大学工学部 正員 古田 均

1. まえがき ----- トラス構造物の最小重量設計において、固定された形状について部材断面積を決定する設計法に対して、幾何学的形状の変化を含めた設計法の有効性が報告されている。この幾何学的形状とは、Topology と Geometry により構成されるものである。そこで、本研究では節点系の設定、部材系の設定、断面諸量の3つを設計の基盤に置き、節点系の設定法、部材消去法、部材付加法による適用例を示し、また座屈条件を考慮した場合の部材付加法を提案し、これらについて考察を加えるものである。

2. Topology と Geometry ----- トラス構造物の最小重量設計に関して、重量は Topology と Geometry に影響される。Topology と Geometry の間には相関関係が存在すると考えられ、したがって両者を同時に設計の段階で考慮することが望ましい。しかし、節点数、結合性、節点位置などの未知量を同時に設計の段階で考慮することの困難さから、一般に Topology あるいは Geometry の一方をまず決定し、しかる後に他方に関して最適化が行なわれる。しかるに構造物の設計に当っては、まず構造物の用途を認識し、外荷重条件、その他の制約(空間)を十分に考慮することによって、節点系、部材系の取り扱い方に対する基幹的な方針を確定すべきである。以上のことより本節では、これから Geometry と Topology との構造物の重量に対する寄与に関しての示唆を得るために、以下に示す計算例について考察を加える。

2-1. 節点系について ----- 節点系とは、トラスを構成する節点の数、およびそれらの座標位置を含めたものであり、設計のオ1段階に位置する。この節点系の取り方としては、Dorn らが提案している格子状のものが考えられるが、この手法では最終形状は Ground Structure の影響を受け、残る部材の位置や方向、結合状態は限られたものとなり、Geometry の影響が十分に生かされていない。そこで、本研究ではまず Geometry の影響を調べるために Topology を固定し、Geometry だけに関して節点座標を直接、設計変数に取り入れ、S.L.P 法を用いてその影響を調べた。Fig. 1 に結果を示す。構造物の重量は Geometry によって大きく影響を受けることが分かったが、次に Geometry と Topology との相関を調べるためにモンテカルロ法により節点を発生させる手法を用いた。この手法は、各節点の座標が独立に決まり、節点相互間の影響が考慮されず、節点を最適な方向へ移動させることは不可能であるが、節点系と部材系の相互の関係を調べるために部材の消去も含めて最適な形状を求めた。この手法では、設計領域をある個数のメッシュに任意に分割し、その各小領域内に最大1個の節点を発生させるものである。なお、計算では座屈は考慮されていない。

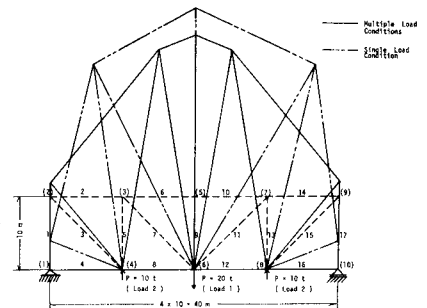


Fig. 1 OPTIMAL CONFIGURATION WITHIN THE LIMIT OF MOVING-REGION

2-2. 部材系について ----- 部材系は節点系の確定により大きく支配される副次的なものであるが、その部材数、配置という自由度を未だ持っている。Dorn らの部材消去法を用いると、Nodal Pattern に対して、すべての可能な節点を連結した Ground Structure から出発し、不要な部材(非基底変数)を除くことにより最適な形状が得られる。しかし、節点数が増大すると、Ground

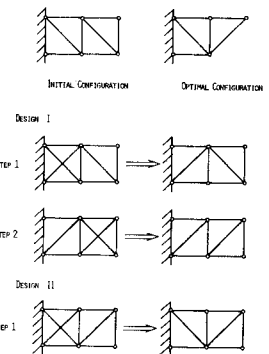


Fig. 2

Structure の部材数は非常に多くなり、実用に供さなくなる。Dobbs, Felton はトラスの形状は単一荷重条件に対して決定される形状に緊密に関連していると報告している。そこで、本方法では与えられた荷重を少なくとも保持するという条件より、任意に選んだ静定系を初期形状にとり、不静定部材を付加することを考える。Fig. 2 に計算例を示す。この部材付加法は、部材消去法に比して最適性の保証はなく、初期形状、付加する部材の本数、順序に大きく影響を受けるが、付加する部材の想定される役割などを十分に認識することによってある程度の成果があげられるであろう。

2-3 座屈を考慮した部材付加法

座屈に対する制約条件を直接、設計変数に取り入れた場合には、N.L.P. となり、その収束性、計算時間などの点より、一般には座屈条件を考えずに最適解を求めた後に座屈に対する制約を導入して部材断面積を増加させて座屈に対する安全性を確保している。しかし、単に断面積を増加するよりも、部材長、方向を変え、応力の流れを変化させることによる影響の方が大と考えられる。部材消去法に座屈条件を導入することも可能であるが、この場合、不要部材でも断面積は 0 になりえず、不要部材の判定が困難となる。そこで、Fig. 3 に示すように座屈が生じる部材の midpoint に新たに節点を設け、この節点と近傍の点を連結することによって部材長を短くさせる。この手法で得られた解との比較のために Table. 2 に座屈条件を加えた場合の部材消去法の結果を示す。初期形状、荷重条件にもよるが、少なくとも単一荷重条件下では、両者の結果より明らかなように、主に外荷重を負担する部材と、構造系の安定性を確保する部材に明かに分離されている。すなわち、この解では安定性を確保する部材の選抜は任意であり、主に節点位置が重量に大きな影響を与えていると考えられる。このことより、今回の第 1 のテーマ：節点系の設定の重要性が認められ、設計の第一段階での節点系の設定が重要になり、確定的に節点を規定するのではなく、節点数、その配置に関してある程度の選択性の余地を入れる必要があると考えられる。

3. 結論およびおとがき

モニテカルロ法による節点位置の発生、および部材付加法などによって Geometry, Topology が構造物の重量に与える影響について考察を加えた。以上の計算結果より、重量に関して、トラスの形状はその節点位置という Geometry に影響され、Topology は副次的なものと考えられる。そして、少なくとも単一荷重に対しては、トラスを系として Network と考え、その要素を抽出することによってグラフに置き換え、系の応力の流れを考えることにより、外荷重を負担する部材と、安定性を確保する部材の分類が可能と考えられる。応力の流れを考える意味において、たとえば実用上は問題があるが一般の歪みを仮定する Michell Theory の再考が必要となってくる。また、外荷重に対して primitive な節点数とその配置の推定がある程度可能となるであろう。最後に本論文の作成に当り、貴重な示唆をいただいた小西一郎先生に感謝の意を表します。

<参考文献> 1) Dobbs 他, "Automated Design of Optimum Structures", J. de Mechanique 1964
2) 白根, 谷口, 古田, "トラス構造物の最適設計に関する一考察", 関西支部講演 8, 51

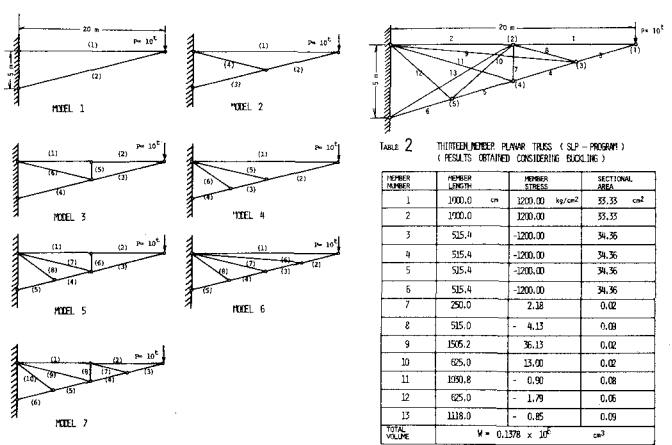


FIG. 3 SEQUENCE OF CONFIGURATION

TABLE 1 RESULTS OF TRUSS OPTIMIZATION

	MODEL 1	MODEL 2	MODEL 3	MODEL 4	MODEL 5	MODEL 6	MODEL 7
MEMBER NUMBER	1	2	3	4	5	6	7
SECTIONAL AREA	39.35	2240.0	55.35	2240.0	39.35	2240.0	39.35
MEMBER STRESS	1220.0	-396.2	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
MEMBER STRESS	51.35	-672.4	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35
SECTIONAL AREA	51.35	1220.0	55.35	1220.0	39.35	1220.0	39.35