

# 構造物の形態的特徴を考慮する構造設計アプローチ

室巻 孝郎<sup>1</sup>・町田 裕二<sup>2</sup>

要旨：本研究では、設計者の試行錯誤過程より得られた構造物の形状に関する特徴を反映しつつ形状最適化を行う取り組みについて述べる。幾何モーメントを用いて構造物の形態的特徴を抽出し、形状の類似性を評価するための指標を作成する。力学的合理性を評価規範とする構造設計問題に、形状の類似性に関する評価規範を加えることで、見本の形状との類似性を考慮しつつ力学的合理性を評価する新たな構造設計問題を定式化する。構造設計問題を解くための最適化手法は発見的手法を用いる。本手法の効果を確認するため2次元のトラス構造で実現するコート掛け問題を題材とし、形状の類似性を反映しつつ構造重量の小さなトラス構造を得ることができた。

キーワード：形状最適化，幾何モーメント，発見的手法，トラス構造物，全応力設計

## 1. はじめに

構造設計の最適化の手順は、最適化問題の設定に始まり、初期構造モデルの設定を経て力学的解析に基づく評価と設計変数の変更を繰り返すという流れになる。この手順を人間である設計者が行う場合、設計変数の変更プロセスは設計者自身の経験を主体とした試行錯誤的方法で実施される。優れた設計者は少ない試行で優れた解を得ることができる。反面、非習熟者が設計を行う場合、設計変数の変更作業が多くなりやすく、設計した構造物も局所的な解に陥ることが多い。しかしながら、いずれの場合でも得られた構造物には設計者自身の知見及び嗜好が反映されている。設計者の嗜好は千差万別であり陽な形で定式化することは難しいが、設計者自身にとっては力学的合理性に勝るとも劣らない重要な評価因子である。そこで、試行錯誤の設計過程から得られた構造物の形態的特徴を保存しつつ優れた解を生成する設計支援システムを作成することができれば設計者の負担を軽減し設計作業の効率化を達成することが可能となる。本研究では試行錯誤過程から得られた構造物の形状に関する特徴を保持しつつ、力学的合理性の優れた構造を得ることを目的とする。

設計者の選好に関する情報を取り入れた構造設計に関する既存研究として、浜田・大森<sup>1)</sup>が形状に関する意匠的な要求と構造的な合理性の両立を図った構造設計法を提案している。この提案法では、設計者の選好を定量的に表現するため形状の幾何学的な距離を利用している。また、辻ら<sup>2)</sup>は意思決定者が問題に対して持っている選好情報を活用して意思決定者の興味ある部分を集中的に探索する手法を提案

している。本稿では、浜田らの手法と同様に構造物の形態的特徴について幾何学的距離を用いて定量化し、形状の類似性を評価する目的関数を作成する。力学的合理性と形態的類似性という2つの目的関数から成る多目的設計問題として定式化を行い、それぞれの目的関数の重視度合に応じた多様な解を求める。設計者は提示された解の中から選好に合う良い解を選択することが可能となり、設計作業の効率化が期待される。

構造設計問題の題材として2次元トラス構造を用いたコート掛け問題を扱う。トラスのレイアウト(位相、部材断面積及び節点位置)最適化問題についてはこれまで数多くの研究<sup>3)</sup>が為されており、最適化手法として遺伝的アルゴリズム(GA)のような発見的手法を利用した報告も多い。発見的手法には遺伝的アルゴリズム(GA)の他にも粒子群最適化法(PSO)、擬似焼きなまし法(SA)などがあげられる<sup>4)</sup>。今回、形態的類似性を考慮したコート掛け問題を解くため、多目的問題に対応した多目的遺伝的アルゴリズム(MOGA)を実装する。

## 2. 構造設計問題

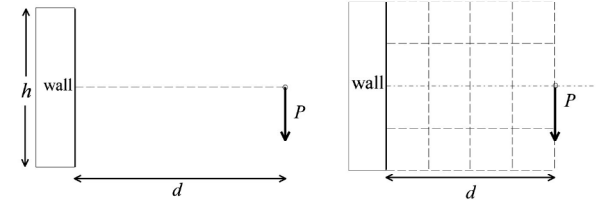
### 2.1 コート掛け問題の定式化

最適構造設計の題材として扱うコート掛け問題について説明する。これは、ある与えられた荷重を、その荷重点から一定距離はなれたところに在る壁で支える構造を設計する問題である。設計目的は、構造物が破損しないという条件の下で軽量の構造を得ることである。Fig. 1(a)はコート掛け問題の概念図を示したものである。設定された領域内において、高さ $h$ の壁から距離 $d$ 離れた点にかかる下向き荷重 $P$ を支える構造を設計する。構造物の形態はトラス、ラーメン、板、殻および連続体等と種々のものが考

1 舞鶴工業高等専門学校 機械工学科 助教

2 舞鶴工業高等専門学校 機械工学科 5年

えられるが本研究では2次元トラス構造により実現する。2次元平面の構造物として取り扱い、トラスの部材同士が交差する場合の奥行き方向の位置関係の影響については考慮しない。トラスの設計を行う設計領域は一辺  $d$  の正方形とし、この領域を  $4 \times 4$  の格子に離散化した図を Fig. 1(b)に示す。トラスを作製する際は、離散化された領域内の格子点(以下、節点と呼ぶ)から2点を選び、その2点を両端とする部材を配置する作業を繰り返す。



(a) Conceptual illustration (b) Problem specification  
Fig. 1 Coat-hanging problem

このトラス設計問題を記述するための変数について説明する。トラスの節点位置を  $\mathbf{x} = [\mathbf{x}_1^T, \dots, \mathbf{x}_N^T]^T$  と表す。ここで  $N$  は節点数であり、 $\mathbf{x}_i$  は  $i$  番目の節点の  $x$  座標と  $y$  座標を並べたベクトルである。右肩の  $T$  は転置を表している。ただし、各節点位置は固定されているものとし、部材の変形による影響は考慮しない。部材の接続関係は  $\mathbf{C} = [\mathbf{c}_1^T, \dots, \mathbf{c}_M^T]^T$  で表す。ここで、 $M$  は部材数、 $\mathbf{c}_i$  は節点  $\mathbf{c}_i^1$  と  $\mathbf{c}_i^2$  を結ぶ  $i$  番目の部材の接続関係を表すものであり、以下のように表記する。

$$\mathbf{c}_i = [\mathbf{c}_i^1, \mathbf{c}_i^2]^T \quad (1 \leq \mathbf{c}_i^1 < \mathbf{c}_i^2 \leq N) \quad (1)$$

部材断面積は  $\mathbf{A} = [A_1, \dots, A_M]^T$  で表す。また、 $i$  番目の部材の長さ  $l_i$  は以下の式により求める。

$$l_i = \|\mathbf{x}_{\mathbf{c}_i^1} - \mathbf{x}_{\mathbf{c}_i^2}\| \quad (2)$$

応力制約のみを受けるトラス構造物の最小重量設計問題を以下のように定式化する。

$$\begin{aligned} &\text{Find} && \mathbf{A}, \mathbf{C}, \mathbf{M} \\ &\text{Such that} && W = \sum_{i=1}^M A_i l_i \rho \rightarrow \text{Min} \\ &\text{Subject to} && |\sigma_i| \leq \sigma_{al} \quad (i = 1, \dots, M) \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 $W$  は構造重量、 $\rho$  は材料密度、 $\sigma_i$  は部材  $i$  の応力、 $\sigma_{al}$  は許容応力である。今回は座屈を考慮しないため、引張側と圧縮側の許容応力を正の等しい値とする。各部材の応力  $\sigma_i$  は  $\mathbf{x}$ ,  $\mathbf{C}$ ,  $\mathbf{A}$  及び荷重ベクトル  $\mathbf{P}$  に基づいてマトリクス構造解析<sup>5)</sup>により算出する。尚、この最小重量設計問題における設計変数は、部材数  $M$  と部材の接続関係  $\mathbf{C}$  及び部材の断面積  $\mathbf{A}$  である。

## 2. 2 トラス構造作成法と全応力設計

トラス構造を作製するため Fig. 1(b)に示した格子状の領域内に部材を配置していく。節点数が  $\bar{N}$  の場合、節点の選び方は最大  ${}_{\bar{N}}C_2 \equiv \bar{M}$  通り存在する。1番目から  $\bar{M}$  番目の各部材について、部材を選ぶ場合は“1”、選ばない場合は“0”という  $\{0, 1\}$  のビット表現を用いて、1つのトラス構造を  $\bar{M}$  ビットで表す。

具体的な表現法について、Fig. 2 に示すトラスの設計例を用いて説明する。節点番号は、壁の一番下の節点の番号を1とし下から上、左から右の順に番号を付与する。Fig. 2 の中では、数字の代わりにアルファベットを用いて表記している。節点番号1と2を結ぶ部材の番号を1、節点1と3を結ぶ部材の番号を2とする。最後に節点番号  $\bar{N}-1$  と  $\bar{N}$  を結ぶ部材の番号が  $\bar{M}$  となるように番号付けを行う。Fig. 2 の場合は節点数が9であるから格子点の選び方は  ${}_{9}C_2=36$  通り存在する。Fig. 2 のトラス構造は6つの部材で構成されており、3番、10番、12番、18番、25番、32番の部材が使用されている。このトラス構造に対応するデータをビット表現すると  $[001000000101000001000000100000010000]$  となる。尚、Fig. 2 において太線は断面積の大きな部材、細線は断面積の小さな部材を表している。

部材の配置は発見的手法を用いて探索するが、断面積の決定には「全応力設計(応力比法)」を用いる。全応力設計とは、「構造物の各部材の応力がすべて許容応力に同時に到達する設計が最小重量設計になる」という考えにもとづく構造設計法である。応力比法は次式の反復アルゴリズムとして実装することができる。

$$A_i^{(t)} = \left( \frac{|\sigma_i^{(t)}|}{\sigma_{al}} \right)^\alpha A_i^{(t-1)} \quad (4)$$

ここで  $(t)$  は反復過程のステップ数、 $i$  は部材番号を表しており、 $\alpha$  は断面積の修正を調整するパラメータである。 $(t)$  世代目の各部材の応力  $\sigma_i^{(t)}$  は、修正された断面積に基づいてマトリクス構造解析により算出する。式(4)によって断面積を逐次修正していくことにより、最終的にはすべての部材の応力は許容応力になることを想定している。

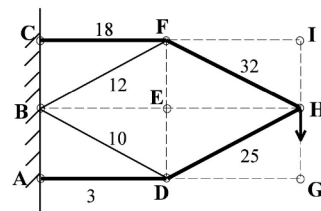


Fig. 2 Design example of truss (6 members)

### 3. 形態的特徴の定量化と構造最適化

#### 3.1 問題設定とトラスの標本

トラスの設計にあたり、部材の配置に関する制限が有る場合と無い場合の2通りを設定した。“制限無し”の場合は矩形領域内の任意の節点を選択して部材を配置することができる。“制限有り”の場合は矩形領域内に部材を配置することのできない節点がある。制限領域を示した図を Fig. 3 に示す。図中に示した枠内にある●で示した節点に部材を配置することはできない。ただし、制限領域外にある節点同士を結ぶ部材が制限領域内を通過することは認める。以下では、“制限無し”の場合を Case A, “制限有り”の場合を Case B と呼ぶ。

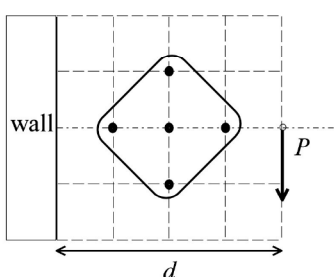
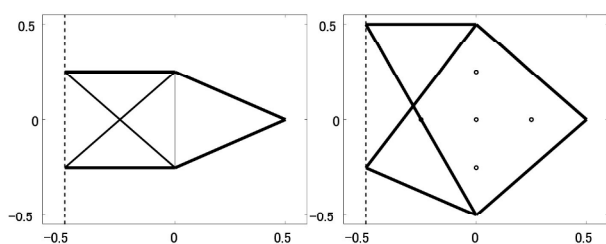


Fig. 3 Illustration of prohibited area

トラス構造の設計サンプルを Fig. 4 に示す。Fig. 4(a)は Case A の場合の設計例、Fig. 4(b)は Case B の場合の設計例である。表題のところに構造重量を併記している。いずれの形状についても複数回の再設計を伴う試行錯誤の設計過程より得られた構造である。尚、設計作業についてはレイアウトの配置を人間が行い、応力比法により各部材断面積を自動的に決定した。



(a) Case A: 2.962 [kg] (b) Case B: 3.028 [kg]

Fig. 4 Truss examples based on trial-and-error approach

#### 3.2 特徴量の計算と最適化問題の定式化

試行錯誤の設計過程より得られたサンプルデータの幾何的特徴の抽出方法について説明する。本研究では各トラス構造における部材の配置に注目する。例えば、Fig. 4(a)は上下対称に部材が配置されているが、Fig. 4(b)では対称になっていない。また、上下方向の部材の広がり方も異なっている。このような構造物の幾何的特徴を抽出するために幾何モーメン

トに着目する。幾何モーメントは質量要素の分布度合を示す指標であり次式で与えられる。

$$m_{pq} = \sum_{i=1}^M \int_{elem} ({}^i x)^p ({}^i y)^q dm \quad (5)$$

ここで、 $p, q$  は非負の整数から成る指数 ( $p+q$  はモーメントの次数) を表しており、 ${}^i x, {}^i y$  は原点から見た部材  $i$  中の微小質点の位置である。この幾何モーメントは原点を中心とした質量のばらつき具合を示している。部材  $i$  及びその中の微小質量点の分布をイメージした図を Fig. 5 に示す。例えば、トラスの構造重量は  $m_{00}$  で表され、トラスの重心  $(\bar{x}, \bar{y})$  は以下のように求められる。

$$(\bar{x}, \bar{y}) = \left( \frac{m_{10}}{m_{00}}, \frac{m_{01}}{m_{00}} \right) \quad (6)$$

$$m_{10} = \sum_{i=1}^M \rho A_i l_s \frac{{}^i x_j + {}^i x_k}{2} \quad (7)$$

$$m_{01} = \sum_{i=1}^M \rho A_i l_s \frac{{}^i y_j + {}^i y_k}{2} \quad (8)$$

ここで、 $l_s$  は部材の長さ、 $s$  は部材に設定した軸方向の座標を表している。

2 つの構造物を与えられたとき、構造重量や重心位置については偶然一致することがある。しかしながら、より高次のモーメントになると偶然一致する可能性は低くなる。従って、高次のモーメントまで一致していれば、2 つの構造物は質量要素の分布度合がほぼ同じ、言い換えれば形状が類似していると考えられる。ただし、高次になればなるほどモーメントを計算するコストも大きくなるので、形態的特徴を記述するために必要なモーメントの次数を予め検討しておく必要がある。

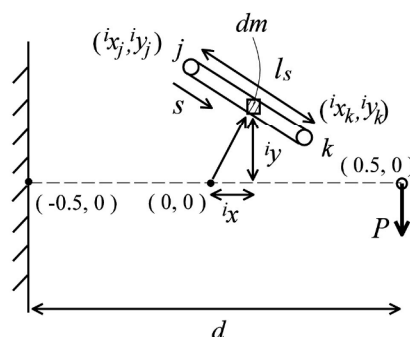


Fig. 5 Conceptual illustration of mass distribution in  $i$ -th member

サンプルデータの幾何モーメントの情報を設計に反映させる方法について説明する。Fig. 4 に示した各サンプルの幾何モーメントを算出し、基準モーメ

メント  $m_{ref}^{(A)}, m_{ref}^{(B)}$  とする. ここで,  $m$  は各次数のモーメントを次のように並べたベクトルである.

$$m = \frac{1}{m_{00}} [m_{10} \ m_{01} \ m_{20} \ m_{11} \ m_{02} \ m_{30} \ \dots] \quad (9)$$

今回は1次から6次までの幾何モーメントを算出し, 基準モーメントを設定した.

サンプルのトラス構造との形態的類似性を評価するため, 基準モーメント  $m_{ref}$  と個体  $j$  のトラス構造の幾何モーメント  $m_j$  を用いて類似性を評価するための関数  $F$  を次式で定義する.

$$F_j = \{(m_{ref} - m_j)^T R (m_{ref} - m_j)\}^{1/2} \quad (10)$$

ここで,  $R$  は各モーメントに対する重みを表した係数行列である. この目的関数は基準モーメントとの類似度を評価しており, 基準モーメントに近ければ目的関数  $F$  の値は小さくなる. 重み行列  $R$  は次のように設定した.

$$R = \beta I \quad (11)$$

ここで,  $I$  は単位行列であり, 1次から6次の幾何モーメントを評価する場合  $27 \times 27$  の単位行列である. つまり,  $R$  は対角成分が  $\beta$  で表される対角行列である.

コート掛け問題(3)は構造重量最小化問題であったが, トラス構造の幾何モーメントを取り入れることにより, 「構造重量」と「基準形状との形態的類似性」という2目的の最適化問題に置き換わった. この新たに定式化された構造設計問題を以下のように表記する.

$$\begin{aligned} & \text{Find} && A, C, M \\ & \text{Such that} && W \rightarrow \min, F \rightarrow \min \\ & \text{Subject to} && |\sigma_i| \leq \sigma_{al} \quad (i=1, \dots, M) \end{aligned} \quad (12)$$

この2目的最適化問題を解いてパレート解を求めることにより, 形態的類似性と軽量化を勘案したトラス構造を得ることができる.

### 3. 3 最適化アルゴリズム

2目的の最適化問題(12)に対し, 多目的遺伝的アルゴリズム (MOGA) を用いてパレート解を求める. 遺伝的アルゴリズム (GA) は, 1960年代に Holland によって導入された生物の進化過程を模擬するアルゴリズムである. 適応度に基づいて個体の良し悪しの評価を行い, 適応度の高い個体を次の世代へと残していく. 遺伝的アルゴリズムでは各個体が遺伝子型の形 (ビット表現) で表現されており, 各遺伝子型に対して施す操作は以下の3つがある.

- 選択 (selection)
- 交叉 (crossover)

- 突然変異 (mutation)

選択操作は個体群中から次の世代に情報を引き継がせるための個体を選び出す操作である. 個体群中から  $N_T$  個の個体を取り出して, その中から適応度の高い1個体を選び出す操作を繰り返すトーナメント選択方式を用いた. 交叉操作は選択された2個体の遺伝子情報を掛け合わせ, 次の世代の個体を生成する操作である. 2つの遺伝子列のある部分以降の部分遺伝子列を交換する1点交叉を用いた. 突然変異操作は個体の遺伝子情報の一部を変更する操作である. 各遺伝子型に対し, ランダムに選んだ1ビットの数値 (0 または 1) を反転させることにより行う.

多目的最適化問題では, 解の良し悪しを決める時に複数の評価指標を同時に評価しなければならない. 解の良し悪しを決める手法としてパレートのアプローチを用いる. 個体  $j$  が  $n$  個の個体に優越されているとき, 個体  $j$  のランク  $r(j)$  を

$$r(X) = 1 + n \quad (13)$$

のように定める. ランクが小さければ, 優越されている個体数が少ないため良い解であると言える. 多目的遺伝的アルゴリズムはランクの小さな個体を次の世代へと残していくことにより, 優れた解の探索を行う. 予め設定した世代数の更新が終わった後, (他に優越される個体の無い) ランク1の個体群がパレート解となる.

## 4. 計算結果

### 4. 1 計算パラメータの設定

構造設計の際の仕様を Table 1 に示す. 多目的遺伝的アルゴリズムで用いたパラメータは, 世代数: 200, 個体数: 1000, 交叉率: 0.9, 突然変異率: 1/ビット長 とした. 初期世代の個体群は  $\{0,1\}$  をランダムに発生させて作成した. また, 初期世代の個体集合は以下の制約条件を満たさないものは除外している.

- トラス構造を為している
  - 荷重点に部材が配置されている
  - 制限領域内の節点に部材は配置されていない
- 多目的遺伝的アルゴリズムの探索中に制約条件を満たさない個体を得られた場合は個体群中の最低の適応度を一律に与えた.

断面積を決定する際の応力比法 (式(4)) のパラメータは  $\alpha=1.0$  とし, 反復回数の上限値を  $t_{max}=10$  とした. また, 応力比法の反復途中で断面積が  $1.0 \times 10^{-8} [\text{m}^2]$  以下の部材があった場合は, 次のステップで最小断面積  $1.0 \times 10^{-8} [\text{m}^2]$  を割り当てた. これは, 部材断面積が 0 になった際にトラス構造をなさなくなる場合があり, このような事態を回避しつつ安定した反復計算を行うための措置である.

Table 1 Design specification

Parameter	Value	Parameter	Value
$P$	10 [kN]	$d$	1.0 [m]
$h$	1.0 [m]	$\rho$ (density)	7900[kg/m <sup>3</sup> ]
$\sigma_{al}$	100 [MPa]	$N$	25
$M$	300	$\beta$	50

#### 4. 2 探索の結果と解構造についての考察

Fig. 4(a)を基準形状とした構造設計問題(12)に対し、多目的遺伝的アルゴリズムにより得られた解をFig. 6に示す。縦軸は基準形状との形態的類似性  $F$ 、横軸は構造重量  $W$  を表している。図を見ると解がまばらな所もあるが、概ね2kg~3kgの構造重量を有する多様な解が得られている。パレートライン上の解の中から特徴的な解(i)~(iv)を選び出し、トラスの

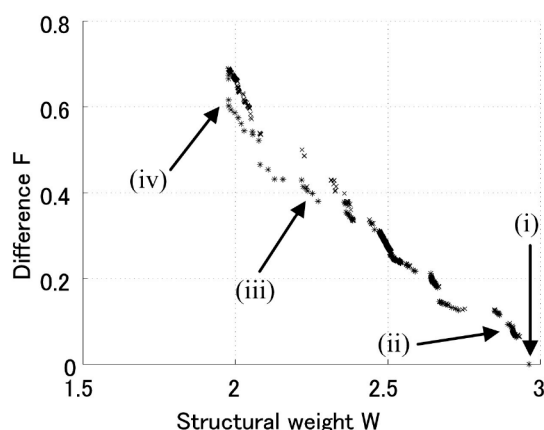


Fig. 6 Pareto optimal solutions (Case A)

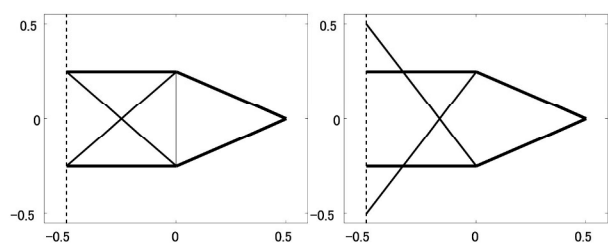
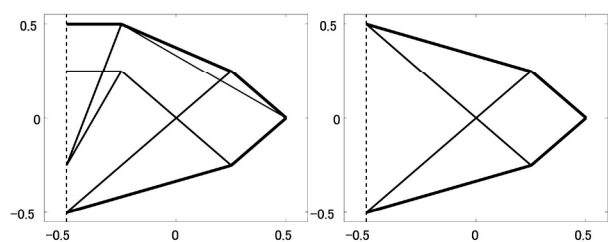
(a) shape of solution (i)  
( $W=2.96, F=0.0$ )(b) shape of solution (ii)  
( $W=2.91, F=0.075$ )(c) shape of solution (iii)  
( $W=2.22, F=0.414$ )(d) shape of solution (iv)  
( $W=1.98, F=0.602$ )

Fig. 7 Truss structures for respective solutions in Fig. 6

形状をFig. 7に示す。各図の表題のところ、構造重量  $W$  と形態的類似性  $F$  の目的関数値を表記している。Fig. 7(a)は解(i)の形状を表したものであり、Fig. 4(a)の基準形状と同じ形状となっている。Fig. 7(b)は解(ii)の形状を表している。壁を広く利用することで構造重量が小さくなっている。部材が上下対称に配置されており、細く突き出るような形態的特徴が保持されている。Fig. 7(c)は解(iii)の形状を示しているが、部材の配置が上下対称になっておらず、形態的類似性が良いとは言えない。部材の配置関係を直接評価する目的関数ではないため、上下対称の部材配置になっていなくても、質量分布が類似していれば形態的類似性が高いと判断されるので、このような解が得られたと考えられる。Fig. 7(d)は解(iv)の形状を示している。軽量化を重視した解であり、部材は上下対称に配置され、荷重点に向けて緩やかに細くなる形状になっている。

Fig. 4(b)を基準形状とした構造設計問題(12)に対し、多目的遺伝的アルゴリズムにより得られた解をFig. 8に示す。2kg~3kgの構造重量を有する解が得られている。特に、2kg~2.5kgの間では多様な解が得られており、パレートラインの形成を確認することができる。パレートライン上の解の中から特徴的な解(i)~(iv)を選び出し、トラスの形状をFig. 9に示す。図中の黒丸で示した節点は、部材を配置することのできない節点を表す。Fig. 9(a)~(d)はそれぞれFig. 8の解(i)~(iv)に対応したトラス形状を示している。解(i)は基準形状Fig. 4(b)と同じ形状になっている。Fig. 9(b)に示した解(ii)は、下側にも部材が広がる形状となっているが、重心位置が上側に寄っているという特徴は基準形状と同じである。Fig. 9(c)に示した解(iii)は外側の部材配置が上下対称の形状となっている。ただし、内側の部材は上側に偏った配置になっており、基準形状の部材配置の影響が残っていると考えられる。解(iv)は軽量化重視の形状であり、Fig. 7(d)と同じ形状になっている。尚、基準形状が異なるので  $F$  の値は一致していない。

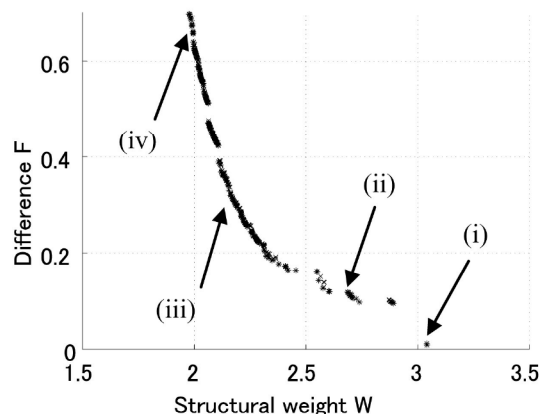


Fig. 8 Pareto optimal solutions (Case B)

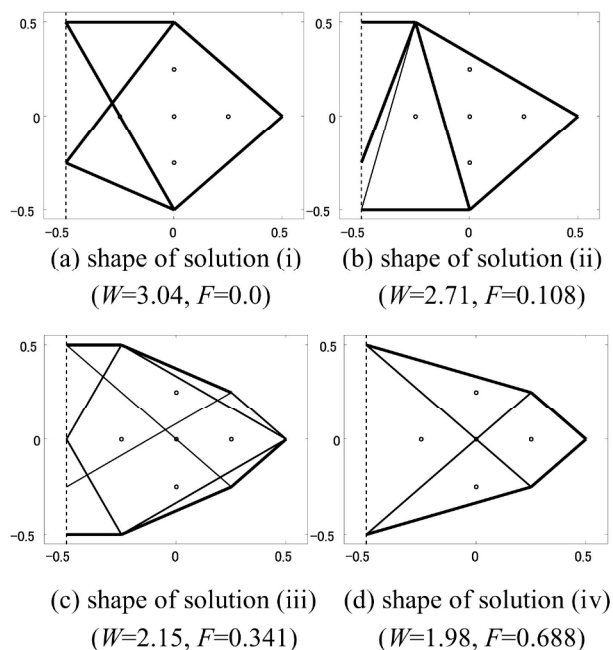


Fig. 9 Truss structures for respective solutions in Fig. 8

Fig. 4 に示した基準形状を見本として、形態的特徴を保持しつつ軽量化された解を求めた。例として Figs. 7, 9 で 4 例ずつ形状を示した。設計者は、提示された解の中に好ましい形状があればそのまま利用することができる。好ましい形状が無かったとしても、見本とする基準形状から軽量化重視の形状に至るまで多様な解を求めているため、解形状の変化を追っていけば改良設計のための指針を作成することができる。例えば、軽量化するのであれば、部材は上下対称に配置し、壁付近に部材を広げて配置するなどが有効である。また、部材が予め偏って配置されている場合は、Fig. 9(c)のように外側の部材は上下対称に配置し、内側の部材を偏った配置にすることが挙げられる。

本研究では幾何モーメントを用いて形態的特徴の抽出を行った。幾何モーメントは質量の分布具合を評価する指標であるため、部材の配置を直接評価するわけではない。このため、Fig. 7(c)のように、部材の配置が偏っているように見える形状でも質量分布の観点からみれば基準形状に近い形状となることが起こりうる。このような問題を回避するため、部材の姿勢や部材の本数等についての類似性を評価する評価指標を組み合わせるという対応が必要である。

## 5. 結論

本研究では、設計者がデザインした構造物の形態的特徴を考慮しつつ力学的合理性に優れた形状を求める構造設計アプローチについて述べた。構造物の形態的特徴を幾何モーメントを用いて定量化した。題材として、2次元トラス構造で実現するコート掛け問題を扱った。構造重量と見本形状との類似性という2目的最適化問題として定式化し、多目的遺伝的アルゴリズムを用いてパレート解を求めた。見本形状と同等の形状から軽量化重視の形状に至るまで多様な解を得ることができた。また、設計条件に関する制約（節点の選択に関する制約）が無い場合と有る場合の2通りについて最適化問題を解き、設計条件に依存せず解が得られることを確認した。

今回は最適化問題の解の内、特徴的なものを選び出して形状を表示した。パレートライン上の解の数が増えると、1つ1つの形状を確認する作業そのものが大きな負担となる。今後は、類似した形状同士をなんらかの評価基準に基づいてグループ化し、代表的な形状を自動的に提示するシステムの構築が必要となる。

## 参考文献：

- 1) 浜田英明, 大森博司: 設計者の選好と力学的合理性を勘案した自由曲面シェル構造の構造形態創生法の提案 その1 多目的遺伝的アルゴリズムによる発見的的手法, 日本建築学会構造系論文集, No.609, pp.105-111, 2006.
- 2) 辻康孝, 清田高德, 近藤英二: 選好を考慮した進化型多目的最適化, 日本機械学会 2001 年度年次大会講演論文集, No.01-1, pp.43-44, 2001.
- 3) 大森博司, 鬼頭伸彰: 遺伝アルゴリズムを用いたトラス構造物の形態創出, 日本建築学会構造系論文集, No.520, pp.85-92, 1999.
- 4) 相吉英太郎, 安田恵一郎: メタヒューリスティクスと応用, オーム社, 2008
- 5) 小松敬治: 機械構造振動学 MATLAB による有限要素法と応答解析, 森北出版, 2009

(2012. 12. 7 受付)

## STRUCTURAL DESIGN APPROACH TAKING ACCOUNT OF GEOMETRIC CHARACTERISTIC

Takao MUROMAKI and Yuji MACHIDA

**ABSTRACT** : The main topic of this study is a good structural design considering a geometric pattern. By introducing a formulation of the geometric moment, we evaluate geometric pattern quantitatively. We deal with the coat-hanging problem using two-dimensional truss structure as a concrete example of design problem. We prepare the sample structures based on the trial-and-error design approach. We call these structures as “reference structures”. We evaluate the geometric characteristic in terms of the similarity to the reference designs in the geometric moment. The original objective function which evaluates a structural weight is modified by adding an index that represents the difference of the geometric moment between the individual design and reference one. In order to solve the multi-objective optimization problem, we utilize the multi-objective genetic algorithm (MOGA) as the optimization method. The layout of the truss structure is decided by these meta-heuristic approaches and the cross-section area of each truss member is decided by means of the fully stressed design approach. We can get solutions that are similar to the reference design and have lighter weight in case of having geometrical restriction about the truss structure layout.

**Key Words** : *Shape optimization, Geometric moment, Meta-heuristics, Truss structure, Fully stress design*