

I-A238

局所ルールによる構造形態の形成手法とその視覚的評価

北海学園大学工学部 正会員 佐々木 康彦
(財)電力中央研究所 正会員 山本 広祐

1. まえがき

近年、産業や社会のさまざまな分野においてシステム制御理論あるいはシステムの新しい指導原理として「自律分散システム」が注目されている。自律分散システムとは、システムを構成する各要素(サブシステム)が自律的に行動しながら互いに協調を取り、全体として大域的秩序を形成あるいは維持するシステムをいう¹⁾。この概念は骨組織の形成過程において、力学的環境に対する機能的適応化・自己組織化等の現象をシステム論的に解釈する場合にも応用される。

本研究はこの自律分散システム構成の基本要件に基づいて、要素の周辺情報を考慮した局所ルール²⁾を含む「構造形態の形成手法」を提示するものである。さらに、この形成手法を“コート掛け問題”に適用して力学的構造形態の形成を試みるとともに、濃淡図・等高線図による表示方法の有効性を検討した。

2. 構造形態の形成プロセスと局所ルール

2.1 形態形成プロセス： 構造形態の形成プロセスを図1に示す。構造形成モデル(形態形成領域、拘束条件、荷重状態)および要素剛性の初期条件を設定したあと、構造全体の合目的な形態の形成をめざして、有限要素法による静的応力解析と局所ルールに基づく要素剛性の再評価を繰り返す。このプロセスでは分割された各有限要素を“サブシステム”と見なす。

2.2 要素剛性に関する局所ルール： この研究で採用した各サブシステム(有限要素)に埋め込む局所ルールは、「要素図心位置での絶対値最大の主応力値を要素の特性値とし、その要素に生じた主応力値の収束目標主応力値に対する相対誤差に応じて、要素自身が収束状態に向けて要素剛性を変化させる」という機能を定式化したものである。

要素図心での主応力値を σ 、その要素の収束目標主応力値を σ_c とすると、主応力値に関する相対誤差 $(\sigma - \sigma_c) / \sigma_c$ に応じた要素剛性の再評価式として、次式で定義する縦弾性係数 E_i の漸化式を採用する。

$$E_i^{(n+1)} = (1 + w_i) E_i^{(n)} \{1 + \alpha (\sigma - \sigma_c) / \sigma_c\} \quad (1)$$

ここで、重み係数 w_i は次式のようにある要素の周囲に存在する要素群の剛性情報を考慮したものである。

$$w_i = \beta (\sum E_j^{(n)} / m - E_i^{(n)}) / E_i^{(n)} \quad (2)$$

すなわち、周辺要素の平均縦弾性係数値 $\sum E_j / m$ および要素自身の縦弾性係数値 E_i との比率に応じて、要素剛性の変化率を調整する。なお、(1)式における係数 α は収束性に関連する正の定数である。

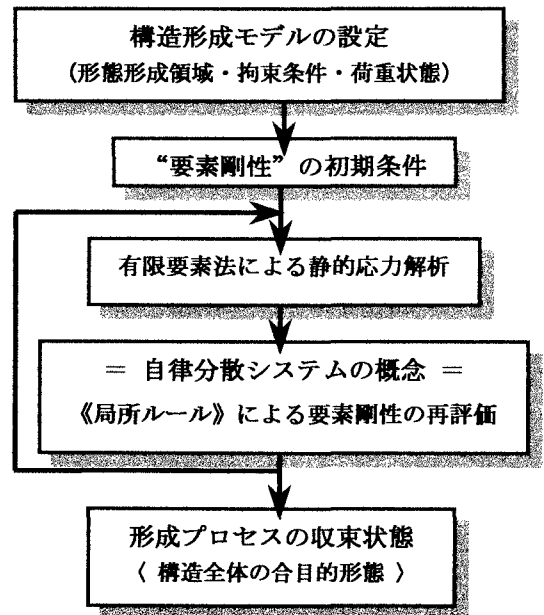


図1 構造形態の形成プロセス

Key Words: 自律分散システム、局所ルール、有限要素法、構造形態(形状とトポロジー)、等高線図

〒064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目 TEL 011-841-1161 ext.724 FAX 011-551-2951

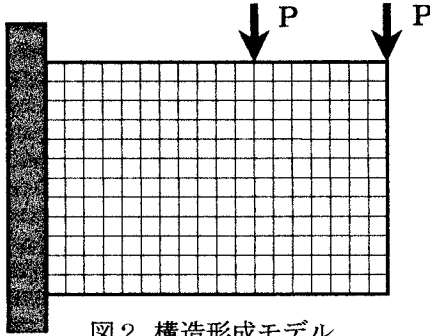


図2 構造形成モデル
〔形態形成領域〕

3. 力学的構造形態の形成例

3.1 構造形成モデルの概要： 形態形成シミュレーション例とした“コート掛け問題”に関する構造形成モデルの概要を図2に示す。この研究では二次元空間内の2点に作用する鉛直集中荷重を、ある距離だけ離れた固定壁に伝達するために必要な構造形態を探索する問題とした。2つの鉛直荷重 ($P=80\text{kgf}$) の下部空間に長方形の「形態形成領域」を設定する。その寸法は縦 $40\text{cm} \times$ 横 80cm である。この形態形成領域を縦 $12 \times$ 横 18 、合計 216 個の有限要素に分割した。

3.2 縦弾性係数 E_i の濃淡図・等高線図表示による構造形態： この構造形態の形成プロセスから求めた収束状態を図3および図4(a)、(b)、(c)に示す。各要素の収束した縦弾性係数値に基づき、それぞれ図3は“濃淡図”表示により、図4は“等高線図”表示によって「力学的構造形態」を表わしたものである。なお、図4(a)、(b)、(c)は等高線図のコンター数を $n=12$ 、 6 、 3 と変化させた。

これらの結果から固定壁によって2つの鉛直荷重を支持し、その荷重を固定壁に伝達するために必要かつ主要な構造形態が形成されていることが明らかである。さらに、濃淡図と等高線図表示との比較から、等高線図による表示方法の優れた特徴として、“曲線形状”の構造形態を提示できることがわかる。また、コンター数を適切に増減することにより、形態形成領域から主要な構造形態をより明瞭に抽出すること、逆に構造形態における剛性分布を詳細に検討することが可能となった。

参考文献

- 1) 伊藤正美：自律分散システムと自己組織化、数理科学、No. 373、pp. 35-39、1994.
- 2) 尾田十八：形態形成のための局所ルールとその一般化、日本機械学会第7回計算力学講演会講演論文集、pp. 362-363、1994.
- 3) Stephen Wolfram: The Mathematica Book, Third Edition, Cambridge University Press, 1996.

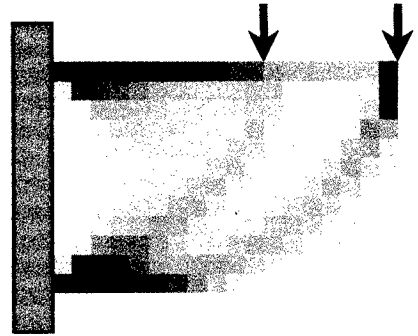
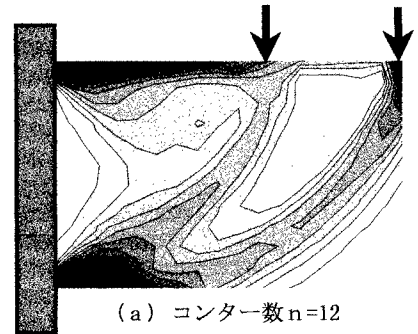
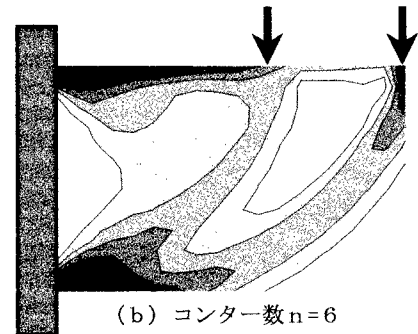


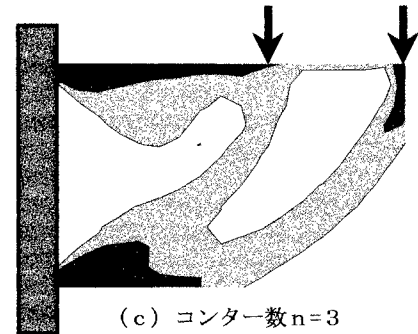
図3 濃淡図による構造形態



(a) コンター数 $n=12$



(b) コンター数 $n=6$



(c) コンター数 $n=3$

図4 等高線図による構造形態