

CS-81

セルラオートマトンと GA の組み合わせ利用による多目的構造最適化

電力中央研究所 正会員 山本広祐
 北海学園大学 正会員 佐々木康彦

1. まえがき

著者らは構造最適化の一解析法として格子構造に最適化のための局所ルールを適用する方法に着目し、その有効性を検討してきた¹⁾。この方法は、セルラオートマトンの基本原理を活用したもので、格子空間上の着目セルと隣接セルとの間に然るべき最適化のルールを導入し、このルールを構造全体に展開して1ステップの解を得るとともに、その操作を時間発展させた時の収束結果を最適解として導くものである。局所ルールのとり方には設計者の知識や思想が反映されることになるが、少なくとも単一の荷重状態に対して効果を発揮することが確認されている。一方、実務的な設計問題を想定した時、複数の荷重状態が存在することは容易に推測が可能であり、いわゆる多目的最適化が望まれることになる。そこで、著者らはセルラオートマトンと遺伝的アルゴリズム (GA) 双方の利点を活かしつつ、それらを組み合わせて利用し、複数の荷重状態に対する最適化問題の解決を試みた。本論では、提案法の具体的な方法論と効果について略述する。

2. 単一の荷重状態に対する構造最適化 (セルラオートマトンの利用)

2次元平面問題への適用として図-1に示す Moore 近傍を考える。ここで、時刻 t における2次元格子上の (i, j) のセルの状態を $a_{i,j}(t)$ とすると、時刻 $t+1$ の状態 $a_{i,j}(t+1)$ は次式で与えられる。

$$a_{i,j}(t+1) = R[a_{i-1,j-1}(t), a_{i-1,j}(t), a_{i-1,j+1}(t), a_{i,j-1}(t), a_{i,j+1}(t), a_{i+1,j-1}(t), a_{i+1,j}(t), a_{i+1,j+1}(t)]$$

R: 次の状態を定義する関数 (局所ルールに相当)

つまり、着目セルの周辺8セルの状態から次のステップ $t+1$ におけるセルの状態が決まる。構造最適化を図るための局所ルールは板厚 T_m の評価に組み込み、全てのセルの絶対値最大の主応力 σ が許容応力 σ_c に等しくなるよう各セルの情報 (板厚) を更新し、有限要素解析を繰り返していく。

$$T_m(t+1) = \alpha T_m'(t) + \beta \Sigma T_n(t) / 8$$

$$T_m'(t) = T_m(t) \{1 + \gamma (|\sigma| - \sigma_c) / \sigma_c\}$$

ここで、 m は着目セル、 n は周辺8セル、 $\Sigma T_n(t) / 8$ は周辺8セルの平均板厚、 α および β は周辺セルとの相互作用に関する正定数、 γ は収束性に関する正定数である。

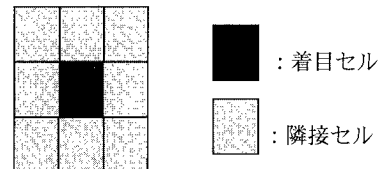


図-1 Moore 近傍

3. 複数の荷重状態に対する構造最適化 (GA の利用)

単一の荷重状態に対して最適化を図った解析結果 (板厚分布) は各々異なることから、全ての荷重状態に対して全てのセルの発生主応力が σ_c に等しくなる共通の板厚分布を求めることは不可能である。そのため、多目的最適化を図る方針として以下のような指標を掲げる。

- ①異なる荷重条件に対して共通の最適な板厚分布を求める。この際、各荷重条件において最大となる絶対値最大主応力 σ_k (k : 解析ケース) が、各々 σ_c に等しくなるよう試みる。
- ②最適な板厚分布は、各荷重条件に対してセルラオートマトンで求めた板厚分布を重ね合わせることで実現できるものとする。すなわち、解析ケース1における板厚分布を $T1$ とすると、最適な板厚分布 T_{opt} は次式により得られるものと仮定する。

$$T_{opt} = T1 \times \eta_1 + T2 \times \eta_2 + T3 \times \eta_3 + \dots + TK \times \eta_k$$

従って、係数 η_k を求める行為に GA を活用する。

キーワード: セルラオートマトン, 遺伝的アルゴリズム, 構造最適化, 構造設計, 有限要素解析

連絡先: 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646, Tel (0471) 82-1181 (代), Fax (0417) 83-2962

4. 2次元平面問題における解析例（片持ち梁の構造最適化）

一端（左端）固定片持ち梁の上縁に集中荷重が作用した場合を検討する．解析メッシュは水平方向18要素，鉛直方向12要素の総計216から構成されている．この例題では，5つの荷重条件に対してまずセルラオートマトンで最適化を図り，その結果として求めた5つの板厚分布に対して最適な係数 η_k の組み合わせをGAにより求める．もし，3. ①および②に掲げた指標が本当に実現されるのなら，各荷重条件に対して最大となる絶対値最大主応力が σ_c となる共通の板厚分布が求まるはずである．

図-1から図-5にCAの解析結果を示す．なお，これらの図では板厚分布を0～1に規格化し，0を白色，1を黒色で示した．収束条件として発生主応力のばらつきを5%未満としたが，いずれの解析でも100回未満の計算回数でこの条件をクリアしている．

一方，図-6はGAを用いて $\eta_1 \sim \eta_5$ を同定した結果である．この解析では， η_k を9桁のグレーコードで表現し，十進数としての値に0.004をかけたものを実際の係数として用いた．従って，十進数で250の時， $\eta_k=1.0$ となる．目的関数として，5つの荷重条件における絶対値最大主応力の最大値 Z_k を定義し，これと σ_c との差の最小化を図った．なお，個体数20，突然変異率0.2，交差率0.2として計算した．図-6に示した板厚分布Toptは， $\eta_1=0.5$ ， $\eta_2=0.164$ ， $\eta_3=0.124$ ， $\eta_4=0.648$ ， $\eta_5=0.024$ の時の値であり，これらの係数は第50世代における最良個体が示した結果である．この時， Z_k は $0.95 \sim 1.0 \sigma_c$ の範囲に入っており，いずれの荷重条件に対しても絶対値最大主応力が σ_c に等しくなるという条件をほぼ満足した．

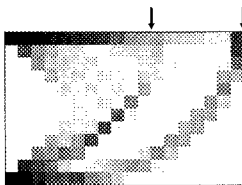


図-1 解析ケース1

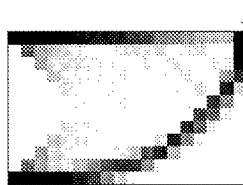


図-2 解析ケース2

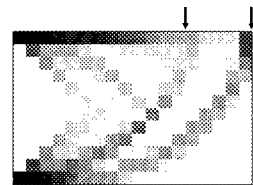


図-3 解析ケース3

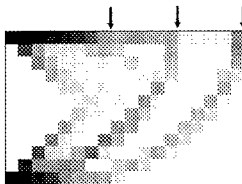


図-4 解析ケース4

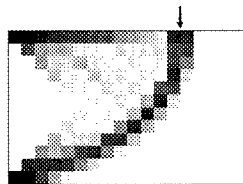


図-5 解析ケース5



図-6 全解析ケースに対応

5. まとめ

本論では，セルラオートマトンとGAの組み合わせ利用による多目的最適化を試みた．具体的には，単一の荷重状態，複数の荷重状態に対していかに構造最適化を進めていくかという考え方を明確にし，有限要素解析と連携したシミュレーションを行った結果，当初の目的を達成した．

謝 辞

本解析の実施にあたり（株）電力計算センター 山田英樹氏の協力を得た．ここに深甚なる謝意を表する．

参考文献

- 1) 佐々木康彦・山本広祐：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，土木学会，第53回年次学術講演会講演概要集，I-A238，平成10年10月