607 セルラー・オートマトン法を用いた構造物設計 (板厚が連続値/離散値の場合)

Design of Structure Using Cellular Automaton
(In the case of continuously thickness / discrete thickness)

○学 木船 修治 (阪府大院) 正 大多尾義弘 (阪府大院)

正 谷川 義信 (阪府大院)

Shuji KIBUNE, Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University

Yoshihiro OOTA, Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University

Yoshinobu TANIGAWA, Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University, 1-1, Gakuen-cho, Sakai, Osaka

This paper describes the design of structure using cellular automata. We use a finite element method, in order to solve a 2-dimensional elastic problem. Considering the element of a finite element method as the cells, a local rule with the state of a cell and the surrounding cells, is used for each cells, and it changes the thickness of the cell. The rule that adds restriction to the thickness of a cell, and including a treatment when the thickness of a cell becomes very thin is prepared. In this paper, we make a study of the effect of the neighbourhood rule. Furthermore, the case that a thickness parameter is a continuation value or a discrete value is examined.

Key Words : Computational Mechanics, Cellular Automaton, Elastic Problem, Finite Element Method

1. 緒 言

セルラー・オートマトン法 (以下 CA 法) を用いた構造物の設計・最適化問題に関する報告は, これまでも数多くされているが⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾, 設計変数として用いるパラメータはヤング率, 板厚, セルの生死など様々である。

著者らは, これまで与えられた境界条件のもとで相当応力の均一化を目的とした二次元構造物設計をローカルルールおよび厚さ制限を取り入れたルール, 板厚が非常に薄くなった部分のセルを無視するルールに基づくアルゴリズムにて, 板厚をパラメータとして行った⁽⁴⁾。

本研究では, これまでのルールに加えて, 近傍則にムーア近傍を用い, これまでのものと比較検討を行った。また, 板厚のパラメータを連続値にした場合の他に, 離散値にした場合についても検討を行った。なお, 応力解析には二次元有限要素法を用い, 解析空間の各セルの厚さを設計変数とした。

2. 設計手法

2.1 CA 法

CA 法は, 空間的状態と時間的状態に関する離散的な数学手法である。この方法を用いて構造設計を行うと, 全体関数の設定などが不要なため, 多様な境界条件に対しても柔軟に対応できるのが利点である。

2.2 相当応力

設計変数を各セルの厚さとして, 設計目的を各セルの相当応力の均一化とする。相当応力 σ は以下の式で得られる。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{2} \left\{ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + \sigma_x^2 + \sigma_y^2 + 6\tau_{xy}^2 \right\}} \quad (1)$$

ただし, 上式中の $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ は, それぞれ有限要素法により, 各セルごとに求められる。

2.3 ローカルルール

本研究では, 図 1 に示すようなノイマン近傍とムーア近傍を用いた。当該セルに 0, 近傍セルにノイマン近傍では 1~4, ムーア近傍では 1~8 と番号をつける。

Fig.1 Number of cells

(a)Neumann neighborhood, (b)Moore neighborhood

2.3.1 連続値での設計

(1) 基本則

設計変数であるセルの厚さについて, 世代ごとの変化則は, 当該セルと周辺セルの厚さおよび相当応力を用いて次のように表される。次世代のセルの厚さを t_{new} として

$$t_{new} = \frac{\sigma_0}{Ave.\sigma_i} t_0 \quad (2)$$

ただし $Ave.\sigma_i$ は, 周辺セルのうち, 存在するセルの相当応力の平均を表す。当該セルの近傍セルが全て存在する場合

$$Ave.\sigma_i = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{n} \quad (3)$$

になる。ただし, ノイマン近傍の場合 $n=4$ であり, ムーア近傍の場合 $n=8$ である。

つまり, 周辺セルの平均応力と, 当該セルの応力の比に応じてセルの厚さを変化させていくことになる。

(2) 厚さ制限値つきルール

設計の必要性から最大厚さの制限をつける。このとき, 最大の厚さ t_{max} を設定する。基本則に加えて,

$t_{new} \geq t_{max}$ のとき $t_{new} = t_{max}$ とする。

(3) 非常に薄くなったセルを無視するルール

セルの厚さが非常に薄くなった場合、そのセルを評価の対象から外すことにする。

このとき、最小の厚さ $t_{\min}$ を設定する。基本則に加えて、 $t_{\text{new}} \leq t_{\min}$ のとき $t_{\text{new}} = t_{\min}$ とし、そのセルのヤング率を小さくし無視して扱えるようにする。

2.3.2 離散値を用いた設計

次世代の板厚 t'_{new} を、判定値 t_{jud} との大小関係で決定し、 $t_{\max}$ と $t_{\min}$ の二つの値だけで設計する。基本則は、連続値で用いた式(2)、式(3)を用いる。

$$\begin{aligned} t_{\text{new}} &\geq t_{\text{jud}} \text{ のとき } t'_{\text{new}} = t_{\max} \\ t_{\text{new}} &\leq t_{\text{jud}} \text{ のとき } t'_{\text{new}} = t_{\min} \end{aligned}$$

3. 数値計算例

ここでは、連続値を用いた数値計算結果の一例を示す。境界条件を図2のように設定し、厚さの初期値を 10.0mm、最大厚さの制限値を 30.0mm、荷重 $P=10.0\text{kN}$ 、領域の一辺の長さ $L=100.0\text{mm}$ 、セル分割を 20×20 とする。また、厚さが $10.0 \times 10^{-3}\text{mm}$ 以下の場合、セルを無視するものとする。なお、構造物のヤング率およびポアソン比を $E=207\text{GPa}$ 、 $\nu=0.28$ とする。

数値計算では、以下の2つの場合について比較を行う。

- ・ Case1: ノイマン近傍を適用
- ・ Case2: ムーア近傍を適用

上述の条件の下で、500 世代まで計算した。500 世代目における厚さ分布を図3に、各世代における各セルの相当応力のうち、最大値と最小値の推移を図4に示す。

ただし、図3(a)、および図4中の(a)は Case1 の結果を、図3(b)、および図4中の(b)は Case2 の結果を示す。

Fig.2 Object under consideration

参考文献

- (1) 伊能, 骨の適応機能に基づく自己組織化シミュレーション, 数理科学, 394, (1996), 21-26.
- (2) 石田・白神, セル・オートマトンを用いた二次元構造物の位相設計, 機論, 64-628, A(1998), 2895-2900.
- (3) 尾田・KUNDU・小石, 進化的セルラ・オートマトンによる構造物最適化の研究, 機論, 64-628, A(1999) 2883-2888.
- (4) 木船・大多尾・谷川, CA 法を用いた構造物設計, 機構論, No.02-05 (2002), 293-294.

(a) Case1

(b) Case2

Fig.3 Thickness of cells

Fig.4 Variation of max. and min. stresses of cells