

室蘭工業大学 学生員 鹿 汴麗、正会員 杉本博之

1. まえがき

最近、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm) は、様々の分野で広く応用され注目されている。この方法はダーウィンの自然淘汰説に基づいて、繁殖・淘汰、交叉、及び突然変異をそれぞれ数値モデル化し、最適化手法として利用するものである。GAは、関数に関する感度解析の必要がなく、変数、目的関数などの離散性、不連続性を気にする必要もなく、設計の評価を定量化する目的関数の値のみによって最適化する方法である。したがって、従来の数値計画法の応用が困難な問題にも容易に応用できると評価されている。

このGAは、これまで鋼材の入手難易の度を考慮する、あるいは、部材の鋼材の均一性をコストダウンの要因として評価するトラス及び平面骨組構造物の離散的最適設計¹⁾、道路ネットワーク上の補修工事の順位付け²⁾、仮設鋼矢板締切工の多目的離散的最適設計³⁾などに有効に応用された。

一方、土木構造物にも新素材は用いられるようになってきており、近い将来、それらの材料を複合的に合成した構造部材も用いられるようになって考えられる。本研究は、その設計のための基礎的な研究として、複合材料からなる弾性体において、材料の接着コストを考慮する各要素の最適な材料の選択問題にGAを応用し、その可能性について検討するものである。

2. 複合材料からなる弾性体の最適設計

本研究の複合材料からなる弾性体の最適な材料の選択問題は、図-1に一例として示す有限要素モデルにおいて、各要素の材料を決定する問題である。設計変数はそれぞれの要素の材料であり、異なる材料間ではそのヤング率、材料コストは異なるとする。隣り合う要素の材料が同じであれば、それらは一体として加工・作製されるとし、それをここでは部材という。図-2が6部材の例であるが、このような部材がそれぞれ接着されて一つの構造体を形成する。設計の目的は製造コストを最小化することである。製造コストは、使用する材料コストと部材の加工コスト、及び部材間の接着コストから構成されると考える。つまり、同一のパフォーマンスを有する材料の組み合わせであれば、部材数が少ない事がコストダウンの要因となる。接着コストを、部材の加工コストの中に含めて考えれば、本研究の目的関数及び最適化の問題は、以下のように定式化できる。

$$\text{目的関数: } 0 = \left(\sum_{i=1}^{NE} \alpha_i \cdot v_i \right) + \gamma \cdot N \quad (1)$$

$$\text{制約条件: } g_j (\{z\}) \leq 0 \quad (j=1, m) \quad (2)$$

$$\text{設計変数: } z = \{z_1 \quad z_2 \cdots z_n\} \quad (3)$$

ここで、 z_i は設計変数 i の材料、 α_i は材料 z_i に対応する材料コスト (単位/ m^3)、 v_i は各要素の体積、NEは要素の数、 n は設計変数の数 (要素間をリンクする場合は、NEとは一致しない)、 m は制約条件の数、 N は使用される部材の数である。 γ は部材の加工費 (単位/部材) であり、部材の大きさに関係なく一定値とした。

GAにおいては、有限要素モデルの各要素の材料を設計変数としてコーディングしている。利用したGAは、繁殖・淘汰、交叉、及び突然変異のみからなる単純GAである。

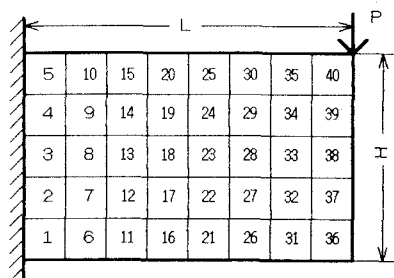


図-1 有限要素モデル

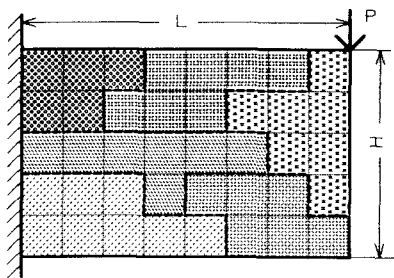


図-2 6部材で構成される構造体例

3. 計算例(10層弾性体の材料選択問題)

ここでは、図-3に寸法と荷重を示す10層弾性体を例題とし、式(1)～(3)で定義される複合材料からなる弾性体の最適な材料の選択問題へのGAの応用の可能性について検討する。

構造は、平面応力状態とし、80要素に分割した。80要素を横方向に8要素をリンクし、10層それぞれの材料を設計変数とした。要素は、8節点アイソパラメトリック要素を用いて解析している。制約条件は自由端A点の垂直変位を3.5 mmに制約した。使用可能な材料の材料特性、材料コストは、文献4)を参考にして表-1のように設定した。GAに用いられる交叉と突然変異の確率は、それぞれ0.6、0.01、また人口サイズは60～120として計算した。

式(1)の目的関数において、部材数Nの製造コストに影響する程度は部材の加工費 γ の値によって支配される。 γ の変化に伴って、GAより得られた設計結果はどう変化するかについて、 γ の値を0.0、0.002、0.004の3種類にして最適設計を行って検討した。その材料選択の結果を図-4に示した。図-4の(a)は、部材数が目的関数に含まれず、材料コストのみを考慮する結果であるが、部材数は6となり、多種類の材料を使用する結果となった。(b)は γ の値を若干大きめに与えた結果であるが、部材数は3となり、最も γ の値が大きい(c)では部材数は2まで減少した。それぞれ材料コストの値は、0.0420、0.0429、0.0460単位、目的関数の値は、0.0420、0.0489、0.0540単位であった。この問題を列挙法で解こうとすると、総組合せ数は 8^{10} となり計算は不可能と思われる。したがって、得られた結果が設定した最適化問題の真の解である保証はないが、 γ の値に対する設計の変化は、少なくとも合理的といえる。

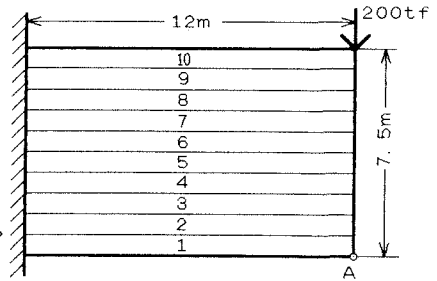


図-3 10層弾性体

表-1 使用材料と材料特性

材料	ヤング率 (kgf/cm ²)	材料コスト α_1 (単位/m ³)	模様
1	0.4×10^6	2.75×10^{-3}	[Pattern 1]
2	0.5×10^6	3.00×10^{-3}	[Pattern 2]
3	0.7×10^6	3.45×10^{-3}	[Pattern 3]
4	1.1×10^6	4.50×10^{-3}	[Pattern 4]
5	1.4×10^6	5.20×10^{-3}	[Pattern 5]
6	1.7×10^6	6.00×10^{-3}	[Pattern 6]
7	2.1×10^6	7.10×10^{-3}	[Pattern 7]
8	3.0×10^6	10.00×10^{-3}	[Pattern 8]

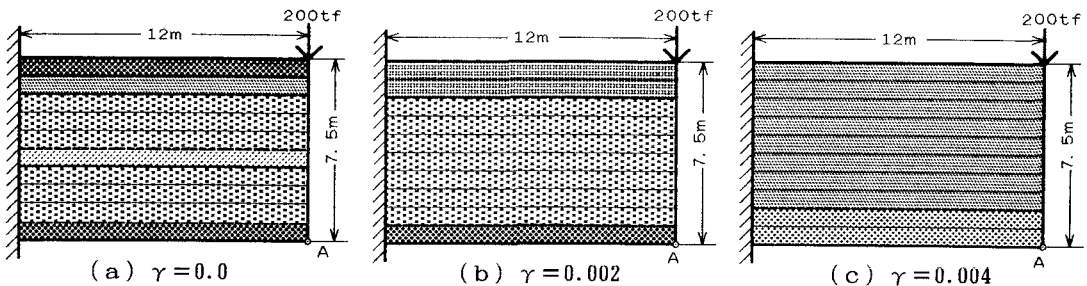


図-4 10層弾性体における材料選択の結果

3. あとがき

複合材料を合成する構造部材を想定し、その材料選択にGAを応用することを試みた。GAは、感度解析の結果を必要とする従来の数値計画法の適用が困難な問題にも容易に応用することができ、最適性の保証はないがとにかく解を出すというロバスト性が評価されている手法であるが、この問題でも容易に適用することができ、また、パラメトリックな検討に対しても合理的な答えを出した。複合材料の使用は、これから重要な課題となると考えられるが、今後、より複雑で大規模な問題へのGAの適用を検討していきたい。

参考文献 1) 鹿・杉本: GAの非連続目的関数を有する構造設計への応用、土木学会北海道支部論文報告集、第49号、1993。 2) 杉本・上前・田村: GAの道路補修・建設工事の順序決定問題への応用、計測自動制御学会第11回システム工学部会研究会資料、1993。 3) 山本・杉本: GAによる仮設鋼矢板締切工の多目的離散的最適設計について、土木学会北海道支部論文報告集、第49号、1993。 4) 中嶋・大久保: 双対法によるはり構造の最適設計法に関する考察、土木学会第41回年次学術講演会概要集、1986。