

SX オペレータによる構造トポロジー最適化の検討

李翠敏¹⁾, 廣安知之²⁾, 三木光範³⁾, 横内久猛²⁾

¹⁾同志社大学大学院 ²⁾同志社大学生命医科学部 ³⁾同志社大学理工学部

Keyword: 遺伝的アルゴリズム, SX, ESO, 構造トポロジー最適化

Abstract: 遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm: GA)は複数の制約条件を持つ多峰性の強い最適化問題に対しても, 多点探索により局所的最適解に陥ることなく, 任意の目的関数において大域的最適解が得やすい手法とされている. そのため, 許容応力や許容変位といった複数の制約条件がある構造物のトポロジー最適化問題に適用される.

GAによる構造トポロジー最適化では, 1 構造物を 1 個体として表現することで有限要素を遺伝子にコード化する. このコード化と単純な GA オペレータで結果の中にチェッカー盤現象が生じるので実用的な構造物に適用できない. この問題を防止するため, 本論では応力を基づく交叉オペレータ (stress-based crossover: SX) ^①を紹介する. 手順は Fig.1 のように示す.

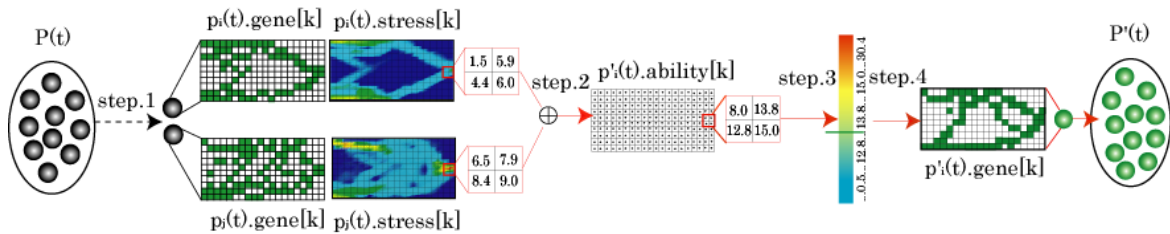


Fig.1 Stress-based crossover procedures

step.1 2つの個体親 $p_i(t)$, $p_j(t)$ を選択する

step.2 選択した2つ個体において, 対応するそれぞれの応力値の和を取る. その値を子個体の各要素における”ability”とする

$$p'_i(t).ability[k] = p_i(t).stress[k] + p_j(t).stress[k] \quad (1)$$

step.3 子個体 $p'_i(t)$ の要素の ability 値をソートする

step.4 ソート結果から, ability 値が大きい要素の N 個の遺伝子を “1” とし, その他の遺伝子を “0” とする. その結果により, 1つの子個体を生成する. N は式 (2) のように決定する. *weight* は個体の “1” の数である.

$$N = (p_i(t).weight + p_j(t).weight) / 2 \quad (2)$$

SX の有効性を検証するため複数制約条件 (最大応力 $< 5.0e+10N/mm^2$, 最大変位 $< 10.0mm$) が存在する 2D-cantilever 問題を用いて 2点交叉 (2X) と進化構造最適化 (ESO) と SX の比較を行った. 結果を Fig.2 に示す. Fig.2 により, SX は 2X でよく生じるチェッカー盤現象が抑制されていることが確認できた. また, ESO と SX の比較により, 2つの解は同じトポロジーを形成したが, SX の結果は制約条件を満たすことが確認できた. また, SX はトポロジー最適化を行う際に形状最適化も行うことが分かった.



Fig.2. Results by 2X, ESO and SX

Table 1 Numerical Properties of Fig.2

Index	Weight(%)	Stress _{max}	Displacement
2X	45.2%	4.736e+10	9.7732
ESO	35.0%	5.277e+10	31.960
SX	33.5%	3.713e+10	9.0793

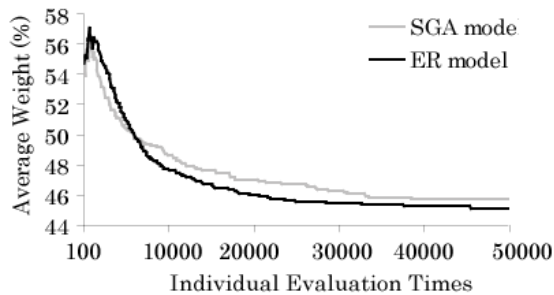


Fig. 3. Evolutionary histories comparison by SGA and ER model

SGA と ER モデルでの進化過程によって、ER モデルでは SGA モデルより早く収束していることが確認できた。

有限要素を遺伝子としてコード化する方法は、良い構造解析結果を得るために大規模な有限要素数が必要である。しかし、大規模有限要素数を持つ構造物においては遺伝子長が長くなり、長い遺伝子長が大規模設計空間を引き起こす。そのため、有限要素の大きさの検討が必要となる。本論では MBB-BEAM 問題を利用して四つ要素サイズ (4L,4L), (4L,2L), (2L,2L), (2L, L) を実験する。実験結果を Fig.4 に示す。Fig.4 により、立方体要素の方が非立方体要素より良いトポロジーの結果が得られることが確認できた。また、要素サイズが小さくなると要素の形状に問わず良い結果を得ることができていることが確認できた。そして、SX では他の手法よりも少数の要素で良いトポロジーが得られることが分かった。

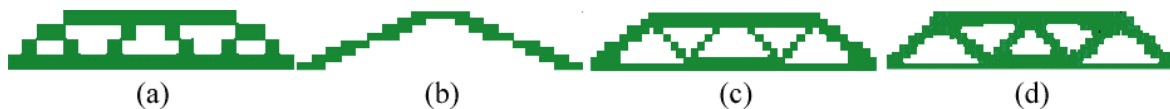
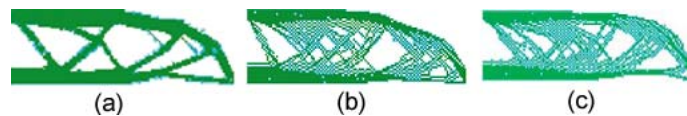


Fig.4. Results by different element size (a)(4L, 4L) (b) (4L, 2L) (c) (2L, 2L) (d) (2L,L)

SX は 2 つの親個体における要素の応力値を用いて子個体を生成するため、各要素の応力値がどのような関係を持つのかの検討を行う必要がある。本論では三つマッピング手法を用いて SX の応力値の依存性を検討する。Fig.5 の結果によって SX に対して各要素の重要さだけで大体のトポロジーを決めることが分かった。各要素の関連性が応力値を表現されることを利用してチェッカボード問題を抑制することが分かった。



(a) stress mapping (b) stress ranking (c) square root of stress ranking

Fig.5. Stress dependency discussion results

参考文献：

1. Cuimin LI, Tomoyuki Hiroyasu, Mitsunori Miki, *Stress-based Crossover Operator for Structural Topology Optimization*, Journal of Computational Science and Technology, Vol.2 (2008), No. 1, pp.46-55.