

延性・脆性の二材料を用いた複合構造物の最適化に関する研究

○ 東京大学 学生員 加藤 渉
東京大学 正 員 松本 高志

1. はじめに

土木建築構造物には延性材料と脆性材料を用いた複合構造物が数多く存在している。その典型として鋼とコンクリートを用いた複合構造物が挙げられるが、近年 ECC とコンクリートを用いた複合構造物が注目を浴び始めている。ECC とはポリエチレン繊維等で補強されたセメント系複合材料であり、従来のコンクリートと比べて非常に高い靱性と金属のような延性を有することに成功した材料である。このような性質に注目して、ECC を用いた複合構造物の構造形式は幾つか提案されているが、これらの構造物においては ECC の量や配置位置は定性的に決定されており、ECC の特性が必ずしも十分に活用されていないという問題がある。

そこで本研究においては、ECC とコンクリートから成る複合構造物の最適構造形式を最適点探索法である滑降シンプレックス法¹⁾または遺伝的アルゴリズム²⁾³⁾を用いて求めることを試みた。また新たに変則遺伝的アルゴリズムを開発し、これによっても同様に複合構造物の最適化を試みた。

2. 解析モデルについて

本研究においては、延性材料を ECC、脆性材料をコンクリートと想定している。これらの材料は実際には非常に複雑な挙動を示すものであるため、解析を行うにあたっては材料の物性を単純にモデル化する必要がある。本研究においては引張りと圧縮で挙動が異なる応力-ひずみ関係図 1 を設定し、そのパラメータを表 1 の様に設定する。解析対象とする構造物は縦 1m×横 1m の片持ち梁を考え、これを材料配置領域とし有限要素に分割する。荷重条件は自由端に下向き変位 2mm を与え、平面応力解析を行う。目的関数はエネルギー吸収量と耐荷力の線形和 (式 1) とし、

$$\text{Objective Function} = w \frac{E}{E_0} + (1-w) \frac{F_{max}}{F_0} \quad \dots (1)$$

w を変化させることによって、その重み付けの割合を変化させる。なお構造物全体での二材料の量は一定とする制約条件は、材料配置領域における有限要素に配置される二材料の量を (b_i, d_i) とした時、(式 2, 式 3) とする。

$$\sum_{i=1}^n d_i = \alpha_d \quad \dots (2)$$

$$\sum_{i=1}^n b_i = \alpha_b \quad \dots (3)$$

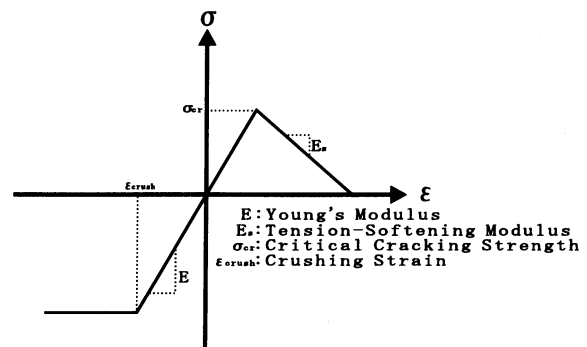


図 1 モデル化した応力-ひずみ関係

表 1 延性・脆性材料のパラメータ

パラメータ	延性材料	脆性材料
ヤング率 E	30GPa	30GPa
軟化勾配 E_s	-0.1GPa	1000GPa
限界ひび割れ発生強度 σ_{cr}	3MPa	5MPa
限界圧縮ひずみ ϵ_{crush}	2%	2%

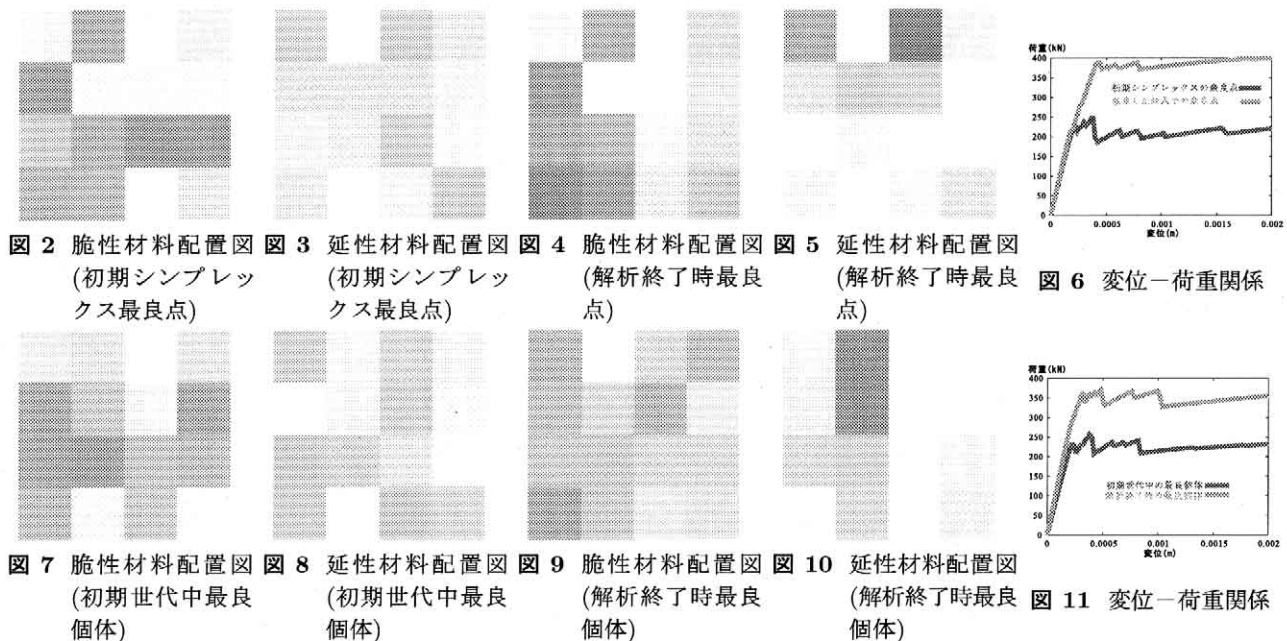
3. 滑降シンプレックス法と遺伝的アルゴリズムによる最適化

材料配置領域を 4×4 の 16 要素に分割し、構造物全体に対する材料量の比を延性材料 = 6%、脆性材料 = 24% と一定のものとし、滑降シンプレックス法と遺伝的アルゴリズムによって最適化を行った結果を以下に示す。材料配置図においては色の濃淡で材料量を示すものとし、色が濃くなるほど材料が増えるものとする。また、目的関数におけるエネルギー吸収量と耐荷力の重み付けの割合を $w = 1.0$ とする。

キーワード：ECC、最適化、滑降シンプレックス法、遺伝的アルゴリズム、変則遺伝的アルゴリズム

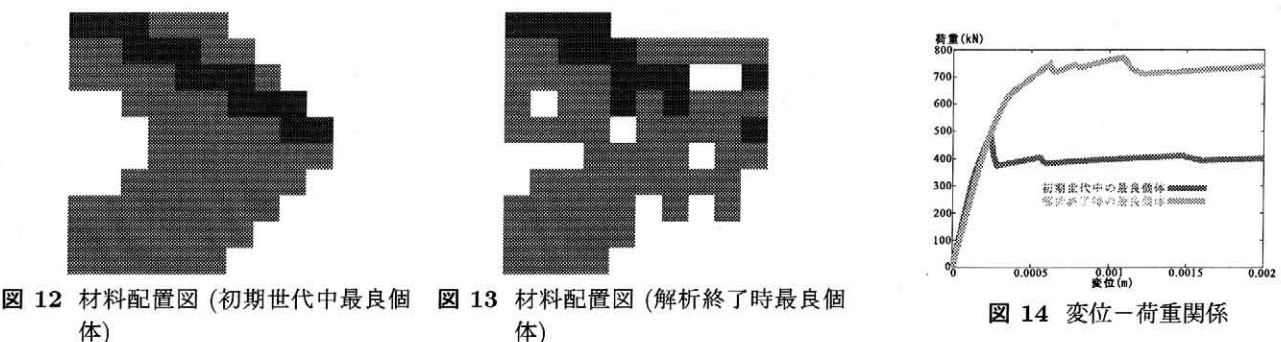
〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL:03-5841-7455 FAX:03-5841-7496

滑降シンプレックス法による最適化では、解析終了時の材料配置(図4,図5)は解析開始時の材料配置(図2,図3)の影響を強く受けているのに対して、遺伝的アルゴリズムによる最適化では、解析開始時と終了時(図7,図8,図9,図10)とは全く異なる材料配置になっていることが分かる。しかし変位-荷重関係(図6,図11)においては、滑降シンプレックス法と遺伝的アルゴリズムを比べてみても大きな違いは見受けられない。



4. 変則遺伝的アルゴリズムによる最適化

前節では材料配置領域を16個の有限要素に分割したが、各要素で二材料は連続的に変化し材料配置は不明瞭であった。そこで材料配置領域を100個の有限要素に分割し、最適化を行うことを考える。100要素の最適化問題を前に述べた2つの手法では局所解に非常に陥りやすくなり、また解析に要する時間も膨大なものになると考えられる。これらの問題を解決するために変則遺伝的アルゴリズムを開発した。この手法と従来の遺伝的アルゴリズムとの相違点としては、遺伝子を0と1と2で生成すること、審査オペレータを新たに追加したことが挙げられる。これによって有限要素解析を行う必要がない材料配置をあらかじめ排除することが可能となり、最適化に要する時間を短縮することができる。以下にその解析結果を示すが、本解析における初期世代中にあらかじめ最適解に近いと考えられる材料配置を10個混ぜておき、また構造物全体に対する材料比を、延性材料(黒)=14%、脆性材料(灰)=56%とし、 $w = 0.8$ とした。



最適化された材料配置(図13)は初期世代中の材料配置(図12)よりも高い性能を示す(図14)ことが確認された。また、構造物中に空隙が入り、また荷重がほとんどかからない要素にも材料が配置される結果となった。今後は最適化手法を改善し、大域的な最適解を求めることと、更に要素数を増やすことが課題として残された。また、ECCとコンクリートに限らず、任意の延性・脆性を用いた複合構造物の最適化が課題である。

参考文献

- 1) S.L.S. ジャコビ, J.S. コワリク, J.T. ピゾ 共著, 関根 智明 訳, 非線形最適化問題の反復解法, 培風館, 1976
- 2) 伊庭 齊志, 遺伝的アルゴリズムの基礎 - GAの謎を解く -, オーム社, 1994
- 3) 石田 良平, 村瀬 治比古, 小山 修平, パソコンで学ぶ遺伝的アルゴリズムの基礎と応用, 森下出版, 1997