

13. IESO 法を用いた橋梁の形態創生に関する研究

1510920070 和田守真也
指導教員 藤井大地 教授

位相最適化 IESO 法 橋梁 3次元構造 構造形態創生

1. はじめに

本研究室では、建築構造の形態創生法として、ボクセル有限要素を用いた位相最適化手法を開発し、様々な建築構造の形態創生例を示してきた。そして、最近開発された IESO 法¹⁾は、拡張 ESO 法の要素除去ルールをボクセル有限要素法に適用した改良型 ESO 法であるが、建築構造に関しては、有機的で美しい構造形態を創生できることが確かめられている。しかし、これまで IESO 法を橋梁の形態創生に適用した例は示されていない。橋梁の構造形態は、力学的特性が明解なため、これまで多くの手法で形態創生が試みられている。そこで本研究では、IESO 法を用いて、他の文献に示されている橋梁モデルの形態創生を行い、IESO 法の有効性の検討を行う。

2. IESO 法

IESO 法は、ESO 法を改良したもので、要素のひずみエネルギーを感度指標として、残存要素の感度平均と標準偏差を用いた閾値によって要素除去を行う方法である。すなわち、 i 番目要素のひずみエネルギー（感度）を α_i とすると、IESO 法の要素除去のルールは次式となる。

$$\rho_i = 0 \quad \text{if } \alpha_i < X_{cr} \quad ; i=1, \dots, N_L \quad (1)$$

ここに、 ρ_i は i 番目要素の材料密度 (0 or 1)、 N_L は残存要素数、 X_{cr} は次式で定義される閾値を表す。

$$X_{cr} = \alpha_{av} - \eta \cdot \phi \quad (2)$$

ただし、 α_{av} と ϕ は残存要素の感度平均値と標準偏差、 η は要素の除去量を制御する変数であり、IESO 法では、各ステップの除去要素数を残存要素数×除去率（入力データ）で計算し、この除去要素数を近似的に満たす η をプログラム内で自動計算する。

3. 解析例

3.1 等分布荷重を加えた場合

最初に、文献 2) に示される宮崎県の日田市の天翔大橋をモデルに作成された図 1 の解析モデルに対する解析を行う。ただし、解析は対称性を利用して 1/2 領域で行い、分割数は $520 \times 72 \times 14$ とした。また、目標体積比（目標体積 / 領域の初期体積） $\bar{V}_r = 0.3$ 、除去率 $\lambda = 0.05$ とし、フィルタリングに用いる影響半径を要素長の 3 倍 ($b_r = 3$) とし

ている。荷重は道路部分に鉛直等分布荷重を加えている。

図 2 は、仕上前と仕上後の結果を比較したものである。ただし、仕上過程は、IESO 法除去率、CA 法の付加率共に 0.01 として 50step 行った。図 3 は文献 2) に示される SIMP 法の結果と比較したものであるが、この頃の結果から大きく進歩していることがわかる。図 4 は、除去率による変化を見たものであるが、除去率を大きくすることでよりシンプルな形態になることがわかる。図 5 はフィルタリングの影響半径倍率を変化させたものであるが、影響半径によっても形態を制御できることがわかる。

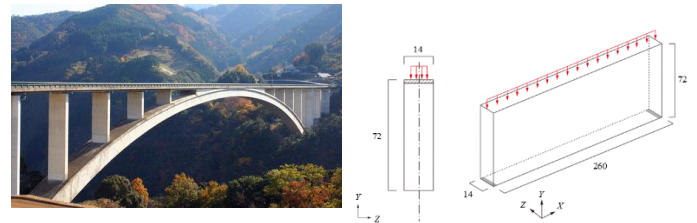


写真 天翔大橋

図 1 解析モデル



$$V_r = 0.3, \lambda = 0.05, b_r = 3$$

図 2 仕上前(左), 後(右)の比較



図 3 IESO 法 (左) と SIMP 法 (右) 比較



$$\lambda = 0.01 \qquad \lambda = 0.03$$

図 4 除去率を変化させた場合



$$b_r = 1 \qquad b_r = 5$$

図 5 影響半径倍率を変化させた場合

3.2 中路橋の場合

次に、文献 3) に示される図 6 の橋梁創生モデルの解析を行う。ただし、分割数は $200 \times 103 \times 50$ 、目標体積比 $\bar{V}_r = 0.08$ 、影響半径倍率 $b_r = 5$ としている。また、仕上過程は前節と同様である。図 7、図 8、図 9 は、仕上後の解析

結果と、除去率、影響半径を変化させた場合の比較を示している。これらの図より、IESO 法の解は非常に鮮明であり、除去率、影響半径の制御で様々な形態を得ることができることがわかる。

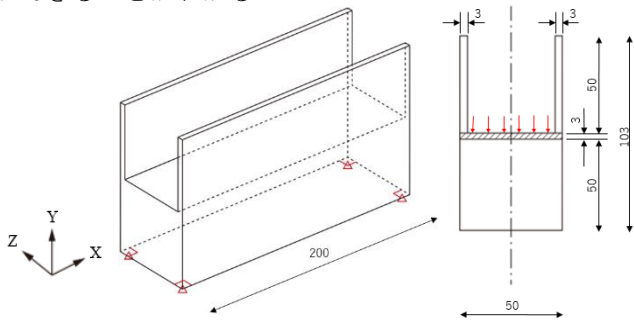
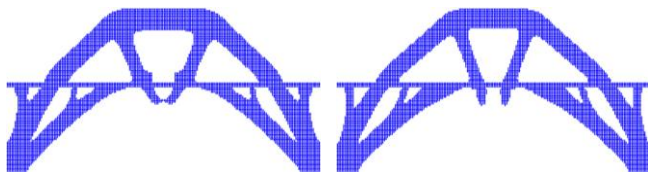


図 6 解析モデル



$V_r = 0.08, \lambda = 0.05, b_r = 5$

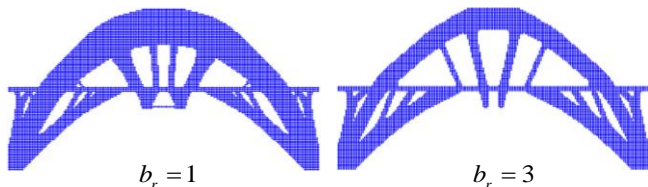
図 7 仕上前(左), 後(右)の比較



$\lambda = 0.01$

$\lambda = 0.03$

図 8 除去率を変化させた場合



$b_r = 1$

$b_r = 3$

図 9 影響半径倍率を変化させた場合

3.3 自重を加えた場合

次に、3.1, 3.2 と同様の解析モデルに対して、自重の影響に関する調査を行った。ただし、自重は、文献 4) に示す方法で導入した。図 10~12 は、3.1 節のモデル(上路橋)を基本として、中路橋, 下路橋に対して自重の影響を調査したものである。また除去率 $\lambda = 0.05$, 影響半径倍率 $b_r = 5$ とした。



図 10 上路橋の自重なし(左), あり(右)の解析結果



図 11 中路橋の自重なし(左), あり(右)の解析結果



図 12 下路橋の自重なし(左), あり(右)の解析結果

また、図 13~図 16 は、3.2 節のモデルに対して自重の影響を調査したものである。これらの図より、自重を考慮することで、よりシンプルな形態になることがわかる。



$V_r = 0.08, \lambda = 0.05, b_r = 1$

図 13 中路橋の自重なし(左), あり(右)の解析結果

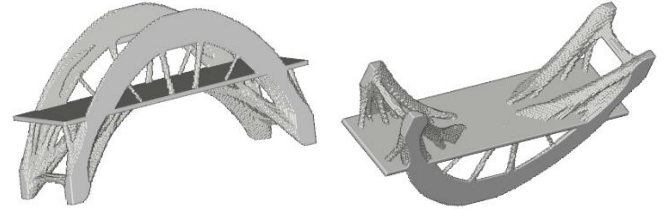


図 14 解析結果の 3 次元モデル



$V_r = 0.08, \lambda = 0.01, b_r = 1$

図 15 中路橋の自重なし(左), あり(右)の解析結果



$V_r = 0.08, \lambda = 0.03, b_r = 3$

図 16 中路橋の自重なし(左), あり(右)の解析結果

4. まとめ

本論文では、既往の論文に示される橋梁の形態創生モデルの解析により、IESO 法の有効性の検討を行った。その結果、除去率、影響半径を変化させることで、様々な構造形態を創生できることがわかった。また、自重を考慮すると形態がよりシンプルになることも明らかになった。

参考文献

- 1) 新内洋平, 松本慎也, 藤井大地: 改良型 ESO 法を用いた 3 次元構造物の位相最適化, 日本建築学会構造系論文集
- 2) 藤井大地: 位相最適化手法を用いた建築構造形態の創生, コロキウム, 構造形態と解析と創生, pp. 127-128, 2006
- 3) X. Huang, Y. M. Xie: Convergent and mesh-independent solutions for the bi-directional evolutionary structural optimization method, Finite Elements in Analysis and Design 43 (2007) 1039-1049
- 4) 上村統一, 眞鍋匡利, 松本慎也, 藤井大地: IESO 法を用いた連続体シェル構造の形態創生, 日本建築学会構造系論文集