

10. IESO 法を用いた版築建築物の形態創生に関する研究

1510920015 柏倉優紀
指導教員 藤井大地 教授

IESO 法, 版築, 形態創生, ボクセル有限要素法

1. はじめに

古くからある版築は、自然の風合いや、コンクリート壁にはない柔らかさ、版築の材料である土が持つ適度な調湿・調温機能などを有している。また、版築は、ほとんどがセルフビルドであるため、焼成しなければ二酸化炭素排出量は極めて少ない。さらに倒壊してから現地の同じ材料で再生させることも可能なため、廃棄物を出すこともない。したがって版築は環境にやさしく、サステナブルな建築として見直され始めている¹⁾。一方で、耐震性の観点からは日本では不向きな建築と言え、版築を構造とする建築物はほとんど存在しない。しかし、現在ではセメントを混ぜコンクリートに近い特性を持たせることもでき、未来の建築として生まれ変わる可能性を秘めている¹⁾。

そこで本研究では、版築建築物にデザインの多様性を持たせるために、IESO 法を用いて版築建築物の形態創生(修正)を行うことを提案し、その有効性について検討する。

2. 形態創生法の概要

IESO 法²⁾は、ボクセル(要素)分割された直方体設計領域において、各要素の目的関数に関する感度(要素ひずみエネルギー)を指標として、感度の低い要素を徐々に除去することで形態を創生する方法である。いま、 i 番目要素のひずみエネルギーを α_i とすると、IESO 法の要素除去のルールは次式となる。

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

ここに、 ρ_i, α_i は i 番目要素の密度(0 or 1)とひずみエネルギー、 N_L は残存要素数、 X_{cr} は、次式で表される閾値である。

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

ただし、 α_{av} と ϕ は、残像要素の要素ひずみエネルギーの平均値と標準偏差を表す。また、 η は要素の除去量を制御する制御変数で、IESO 法では、各ステップの目標除去要素数に近くなるよう自動計算される。また、本手法では、IESO 法で得られた形態に対して、CA 法による要素付加と IESO 法による要素除去を繰り返して細部を修正する仕上アルゴリズムが適用される。また、本論文で用いるプログラムでは、IESO 法により除去された要素数が目標数に達すると自動的に仕上アルゴリズムが実行されるように改良している。

3. 解析例

3.1 版築壁の開口部の創生

図1は、版築壁の開口部を創生するための解析モデルを示す。固定設計領域の要素分割数は $100 \times 100 \times 20$ とし、上面に鉛直等分布荷重と x 方向にその 0.2 倍の水平力(地震力)を加え、底面を固定支持としている。

図2~4は目標要素数比(目標要素数/固定設計領域の全要素数)をそれぞれ、0.60, 0.65, 0.70 とし、ステップ数を 50, 初期除去率を 0.05, 影響半径倍率を 3 とし、仕上過程での除去率を 0.01, 付加率を 0.02, 影響半径倍率を 1 で解析を行った結果を示している。図より、地震力を受け止める開口部としては、先の尖った卵型のアーチが有効であることがわかる。

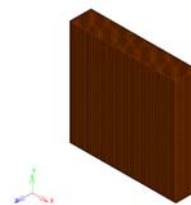


図1 解析モデル

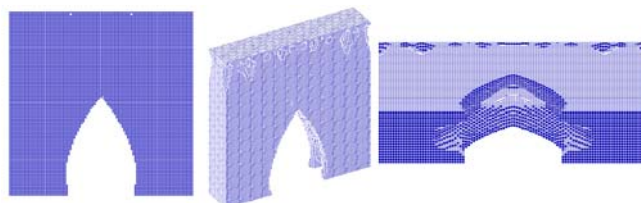


図2 解析結果(目標要素数比=0.60)

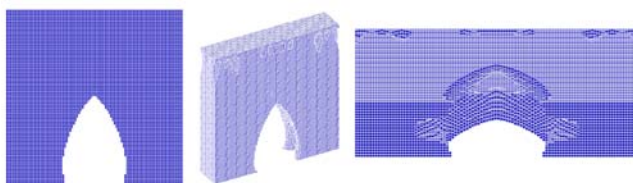


図3 解析結果(目標要素数比=0.65)

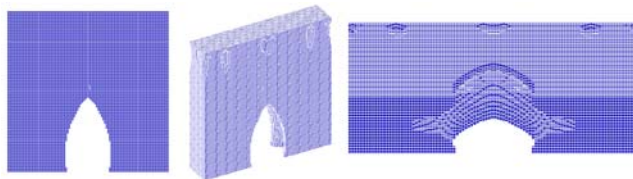


図4 解析結果(目標要素数比=0.70)

3.2 4面版築壁建築物の形態創生例1

次に、図5に示す4面版築壁建築物の形態創生例を示す。固定設計領域の要素分割数は100×60×60である。ただし、中央の室内空間は設計固定とし、周辺の壁部分のみを設計対象とする。荷重条件は、壁上面に鉛直等分布荷重とx,z方向にその0.2倍の水平力（地震力）を加え、壁部底面を固定支持としている。図6～8は目標要素数比をそれぞれ、0.30、0.25、0.20とし、ステップ数を50、初期除去率を0.05、影響半径倍率を3とし、仕上過程での除去率を0.01、付加率を0.02、影響半径倍率を1で解析を行った結果を示している。図に示すように、版築壁に豊かな表情が現れ、目標要素数比が小さくなると開口部も現れることがわかる。ただし、この場合、壁の内側も削られているが、実際には外側のみを削ることになると考えられる。

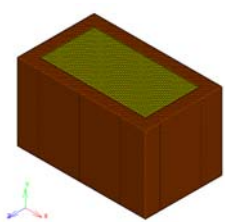


図5 解析モデル

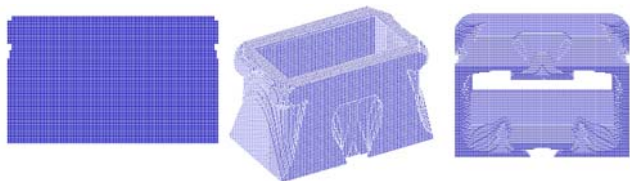


図6 解析結果（目標要素数比=0.30）

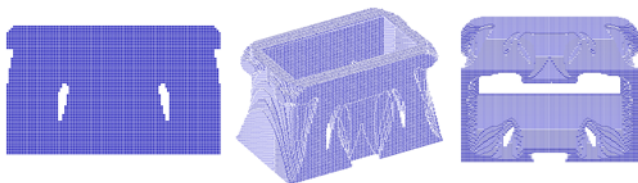


図7 解析結果（目標要素数比=0.25）

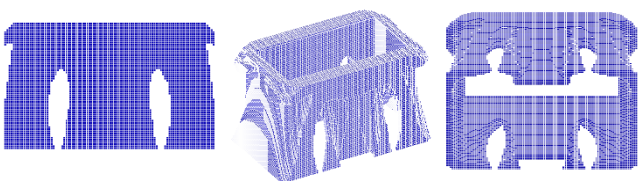


図8 解析結果（目標要素数比=0.20）

3.3 4面版築壁建築物の形態創生例2

次に、図9に示す4面版築壁建築物の形態創生例を示す。固定設計領域の要素分割数は60×100×60である。ただし、中央の室内空間は設計固定とし、周辺の壁部分のみを設計対象とする。荷重条件は、壁上面に鉛直等分布荷重とx,z方向にその0.2倍の水平力（地震力）を加え、壁部底面を固定支持としている。図10～12は目標要素数比をそれぞれ、0.30、0.25、0.20とし、ステップ数を50、初期除去率を0.05、影響半径倍率を3とし、仕上過程での除去率を0.01、付加率を0.02、影響半径倍率を1で解析を行った結果を示している。図に示すように、この場合も版築壁に表情が現れ、目標要素数比が小さくなると、小さいながらも開口部も現れることがわかる。

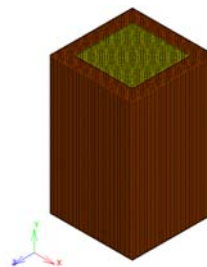


図9 解析モデル

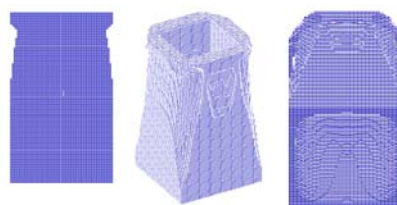


図10 解析結果（目標要素数比=0.30）

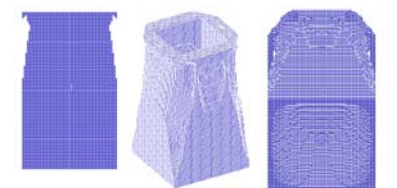


図11 解析結果（目標要素数比=0.25）

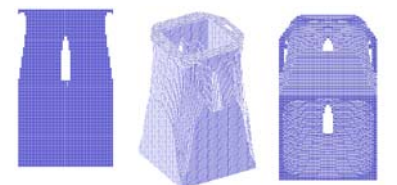


図12 解析結果（目標要素数比=0.20）

4. まとめ

本論文では、IESO法を用いて、版築建築物の形態創生を行う方法を提案し、その有効性を検討した。その結果、版築壁の開口部として、最適なアーチ構造の形を創生することが可能であることや、4面版築建築物の外側を削ることで、力学的性能をあまり落とさずに、多様な表情を与えることが可能であることが検証できた。

参考文献

- 1) 齊藤 正: 意匠的側面からみた版築の再考とその手法, 博士論文, 2019
- 2) 新内洋平, 松本慎也, 藤井大地: IESO法を用いた建築構造の形態創生 鉛直荷重と地震荷重に抵抗する建物の自然形態, 日本建築学会構造系論文集, Vol.82, No.731, pp.97-103, 2017.1