

25. CA-IESO法を用いた版築構造の形態創生に関する研究

1710920009 橋本輝哉  
指導教員 藤井大地 教授

CA-IESO法, 版築, 形態創生, ボクセル有限要素法

1. はじめに

版築は、地震などが多い日本では、耐震性が低いという理由から不向きであると考えられてきた。しかし、現在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で非常に頑丈になっているので、今後大きな可能性を秘めている<sup>1)</sup>。既存の研究<sup>4)</sup>では、自重を加えること無く鉛直荷重と水平荷重のみを加えたことにより、版築建築物の壁内部に穴が開いてしまったので、その状態では実際に版築建築物を作ることは不可能なため、その問題点を改善するため本研究では、版築建築物壁上部の屋根荷重に加え、自重と地震慣性力を新たに加えることでその問題点を改善しようと考えた。

そこで本研究では、版築建築物の開口部にデザイン的多样性を持たせるため、CA-IESO法を用いて版築建築物の形態創生を行うことを提案し、その有効性について検討する。

2. CA-IESO法の概要

CA-IESO法では、IESO法によって要素の除去を行い、CA法により要素の付加を行うことで細部を修正し要素数比が目標要素数比に達するまで繰り返し改良していく。

初期値が目標要素数比よりも小さいので、初期段階ではステップ数が増えていくにつれて要素数比は大きくなり、目標要素数比に達するまでステップ数を重ねていく。

要素数比が目標要素数比に達した段階から解のコンプライアンス値を改善する仕上げアルゴリズムを行う。ここでは、付加率は初期段階に比べて小さくなっていく。

2.1 IESO法による要素の除去

CA-IESO法の要素除去に関しては、目標要素数比の初期値が1であるため、感度の低い要素を徐々に除去していくことにより形態を創生する。

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

ここに、 $\rho_i$ はi番目の密度、 $\sigma_i^{VM}$ は要素iの von Mises 応力、 $N_L$ は残存要素数、 $X_{cr}$ は閾値で定義される。

2.2 CA法による要素の付加

CA-IESO法の要素付加に関しては、参考文献2)に示すCA法のルールにもとづいて、次式で表す。

$$\rho_{s_{ij}} = 1 \text{ if } \sigma_i^{VM} \geq \sigma_m^{CA} ; i = 1, \dots, N_L, j = 1, \dots, n_i \quad (2)$$

ただし、 $\alpha_{av}^{CA}$ は残存要素のひずみエネルギー感度平均値で次式により計算される。

$$\alpha_{av}^{CA} = \frac{1}{N_L} \sum_{i=1}^{N_L} \alpha_i \quad (3)$$

3. 解析例

3.1 版築壁の開口形状の検討

図1は、版築壁の開口形状を検討するための解析モデルを示す。要素分割数は100×50×2とし、黄色部分を設計固定とし、オレンジ色部分を設計対象とした。底面は両端を30要素ずつ完全拘束としている。そこで、壁上面に鉛直荷重と自重のもの(図2)と0.4倍の水平力(地震力)、自重、地震慣性力を加えたもの(図3)とで比較していく。

図2、3は目標体積比をそれぞれ、0.85、0.9とし、ヤング係数E=20500[N/mm<sup>2</sup>]、ポアソン比0.3とした解析結果である。どちらも壁の中央部に開口部ができるが、地震力の有無によってその形状は異なった。実際に版築壁で考えた場合に図4のようにセメントで固めた上を版築で埋めていく方法や、図5のように上部の開口部にスリッドガラスなどを入れると良いのではないかと考えられる。

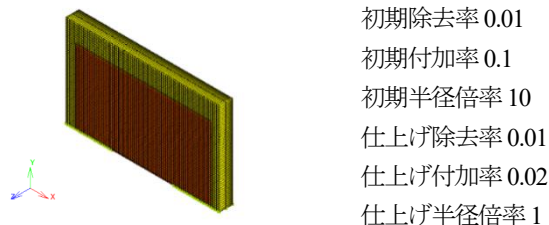


図1 解析モデル

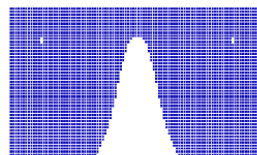


図2

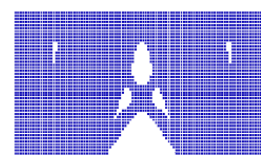


図3



図4



図5

### 3.2 4面版築壁建築物の形態創生例

次に、図6は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 $100 \times 50 \times 60$ である。ただし、中央の室内空間は設計固定とし、周辺の壁部分にあたる10要素のみを設計対象とする。荷重条件は、壁上面に鉛直荷重、自重をかける。さらに、x, z方向にその0.2倍の水平力(地震力)、自重、地震慣性力を加えたものと、大地震時である1.0倍の水平力(地震力)、自重、地震慣性力を加えたものとで比較していく。壁部分底面を完全固定としている。図7~9は目標体積比を0.3とし、ヤング係数 $E=20500$ [N/mm<sup>2</sup>]、ポアソン比0.3、として総ステップ数100まで解析を行った結果を示している。ここから、図8では版築壁面の内側と外側の表面が共に削られていることがわかるが、開口部は創生されなかった。逆に図7ではz方向の両壁面に、図9はz方向の片面のみに先端の尖った開口部が創生されることがわかった。

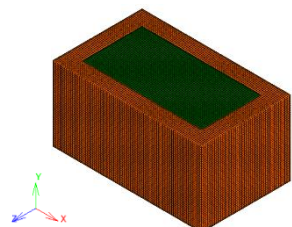


図6 解析モデル

初期除去率 0.01  
 初期付加率 0.1  
 初期半径倍率 10  
 仕上げ除去率 0.01  
 仕上げ付加率 0.02  
 仕上げ半径倍率 1

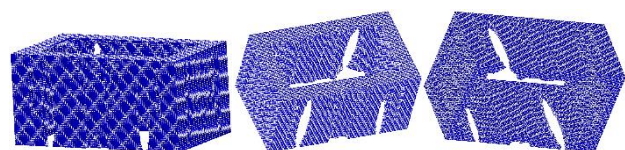


図7 解析結果(鉛直荷重のみ)

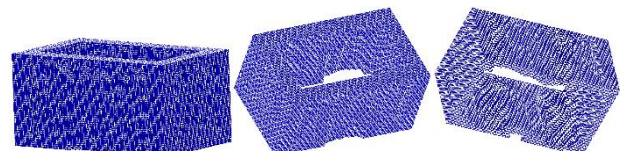


図8 解析結果(鉛直荷重×0.2倍の地震力)

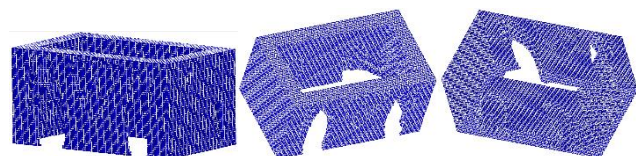


図9 解析結果(鉛直荷重×1.0倍の地震力)

### 3.3 楕円形版築壁建築物の形態創生例

次に、図10は楕円形版築壁建築物の形態創生例を示す。立方体要素で要素分割 $100 \times 50 \times 60$ とし、設計領域として、壁面の厚さを15要素とした楕円形の立体で解析を行い、荷重条件は、壁上面に鉛直荷重、自重をかける。さらに、x, z方向にその0.2倍の水平力(地震力)、自重、地震慣性力を加えたものと、大地震時である1.0倍の水平力(地震力)、自重、地震慣性力を加えたものとで比較していく。壁部分底面を完全固定としている。図11~13は目標体積比を0.2とし、ヤング係数 $E=20500$ [N/mm<sup>2</sup>]、

ポアソン比0.3として総ステップ数100まで解析を行った結果を示している。ここから、図11, 12では、z方向に左右対称の大きなアーチ形状の開口部が創生され、図13の解析結果では先端の尖った卵型の開口部が有効である。しかし、4面版築壁建築物に比べると水平力(地震力)の有無によって大きな差は見られなかった。

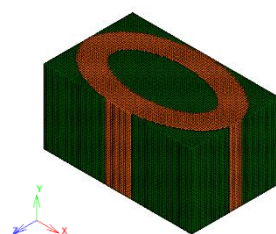


図10 解析モデル

初期除去率 0.05  
 初期付加率 0.1  
 初期半径倍率 5  
 仕上げ除去率 0.01  
 仕上げ付加率 0.02  
 仕上げ半径倍率 5

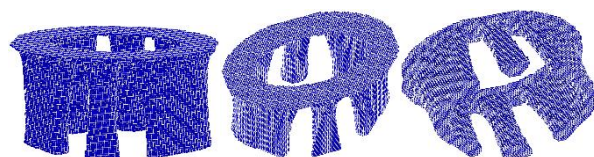


図11 解析結果(鉛直荷重のみ)

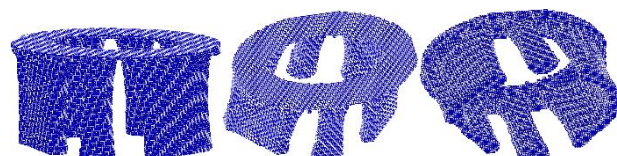


図12 解析結果(鉛直荷重×0.2倍の地震力)

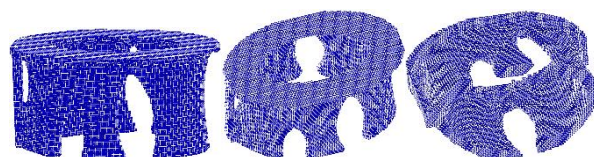


図13 解析結果(鉛直荷重×1.0倍の地震力)

## 4. おわりに

本論文では、CA-IESO法を用いた版築建築物の形態創生について検討した。その結果、版築壁の開口形状は地震力の有無により多少の変化はあるがアーチ型の開口部が創生され、版築建築物では縦長のアーチ型や卵型の開口部が創生されることが検証できた。また、既存の研究<sup>4)</sup>では壁内部に穴が開いてしまっていたが、本研究を行ったところ、新たに自重と地震慣性力を加えたことにより壁内部に穴が開くことなくアーチ型の開口部が創生され、その形態が有効であると考えられる。

### 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) 藤井大地，岡部諒，真鍋匡利：CA-IESO法とボクセル有限要素法を用いた3次元構造物の位相最適化，日本建築学会構造系論文集，Vol.79，第703号，pp.1279-1286，2014.9
- 3) 上村紘一，真鍋匡利，松本慎也，藤井大地：IESO法を用いた連続体シュール構造の形態創生，日本建築学会構造系論文集，Vol.83，No.745，pp.459-465，2018.3
- 4) 柏倉 優紀：IESO法を用いた版築建築物の形態創生に関する研究，卒業論文，2019