

## 6. ESO 法を用いた耐震ブレースの最適配置に関する研究

1210920065 高橋和幹  
指導教員 藤井大地 教授

耐震改修 耐震ブレース 最適配置 ESO 法

### 1. はじめに

既存不適格建物の耐震改修としては、鋼構造または RC 構造の筋交(ブレース)を用いる方法が一般的であるが、コスト的に筋交を構面全体に配置することができない場合、どこにどのような配置をすれば、耐震上効率的であるかは、熟練の構造設計者であっても判断が難しい。また、ビルのファサード構面に補強筋交を配置する場合、デザイン性にも配慮する必要があり、バランスの良い配置が求められる。さらには、既存不適格建物の場合、材料劣化が様ではなく、強度に偏りがある場合もあり、このような場合はさらに配置計画が難しくなる。したがって、このような構面の補強筋交の配置を簡単に決められるような手法(ソフトウェア)があれば、利用価値は高いと考えられる。

そこで、本研究では、主に連続体の進化的最適化手法として発展してきている ESO (Evolutionary Structural Optimization) 法<sup>1)</sup>を骨組問題に応用することで、非常に簡単に補強筋交の最適配置を求めることができる方法を提案する。なお、本手法は、Steven ら<sup>2)</sup>の方法と類似する方法ではあるが、設計対象の部材断面を連続的に変化させるのではなく、ひずみエネルギー密度の小さい部材を単純に除去していく点で異なっている。本論文では、基本的な数値解析例により、本手法の有効性を検討する。

### 2. ESO 法を用いたグラッドストラクチャ法

本手法は、すべての配置可能な箇所に補強筋交を配置し(この初期構造をグラッドストラクチャと呼ぶ)、静的弾性解析によって、各補強筋交のひずみエネルギー密度を計算し、これが最も小さい筋交から順に除去していく、非常に単純な方法である。具体的には、以下のようなアルゴリズムとなる。

- ① グラッドストラクチャの静的弾性解析を行い、各筋交のひずみエネルギー密度  $V_i$  を次式により計算する。

$$V_i = (1/2) \mathbf{d}_i^{eT} (\rho_i \mathbf{k}_i^0) \mathbf{d}_i^e / (A_i l_i) \quad (1)$$

ただし、 $\mathbf{k}_i^0$ ,  $\mathbf{d}_i^e$ ,  $A_i$ ,  $l_i$  は  $i$  番目要素(筋交)の剛性マトリクス、節点変位ベクトル、断面積、要素長である。また、要素密度  $\rho_i$  は、存在要素は 1, 除去要素は  $1/10^3$  とする設計変数である。なお、除去要素の密度を 0 としないのは、不安定構造になった時の連立方程式の特異性を避けるためである。

- ② 存在する設計対象要素(筋交)の要素番号をひずみエネルギー密度の小さい順に並べる。
- ③ 最もひずみエネルギー密度の小さい要素番号の要素をグラッドストラクチャから除去する。なお、最小ひずみエネルギー密度の要素が複数ある場合は、複数除去する。(これは対称性を保つための処置でもある。)
- ④ すべての設計対象要素が無くなるまで①~③を繰り返す。
- ⑤ 表示ソフト(本論文では MicroAVS を用いている)を用いて、すべての除去ステップを参照し、必要な筋交本数の解を選定する。

### 3. 解析例

図 1 は、文献 3) の例題をもとに作成した純ラーメン鋼構造骨組構面に、補強筋交を配置したグラッドストラクチャを示す。本解析では、梁に鉛直等分布荷重と、各節点に  $A_i$  分布の地震層せん断力から算定したレベル 1 の地震力を加えている。図 2 は、提案手法の解析結果の一部(20 本配置と 30 本配置)を示している。

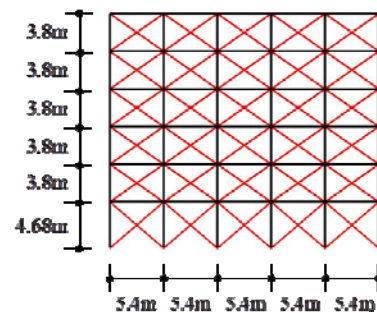


図 1 解析モデル

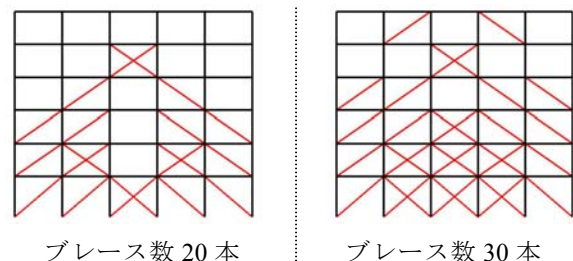


図 2 提案手法の解析結果

図 3 は、提案手法の有効性を検討するために作成した比較モデル、図 4～図 7 は、提案手法と比較モデルの配置に対する各層の層間変形角と変位比（筋交 0 の場合の変位との比）の比較を示したものである。これらの図より、提案手法による配置は、層間変形角、各層の変位共に、比較モデルの配置に比べて概ね小さい値となっており、本手法の有効性が確認できる。

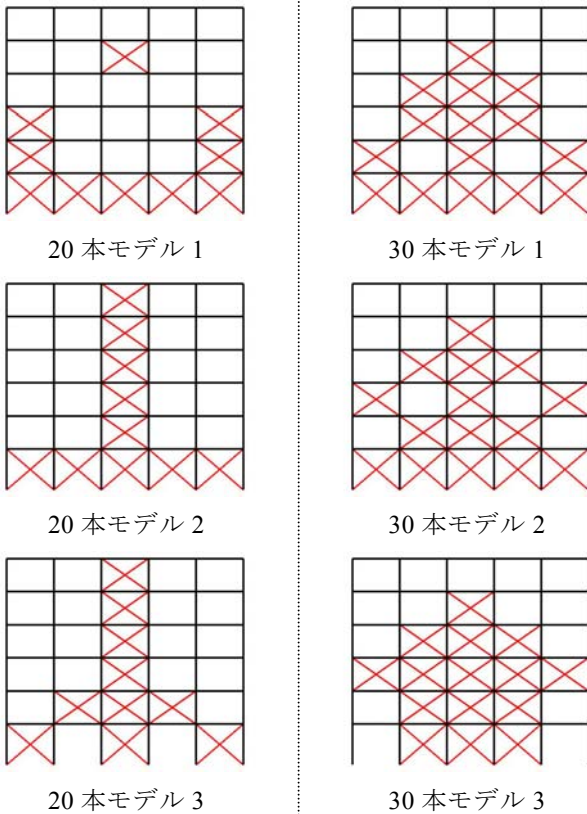


図 3 比較モデル

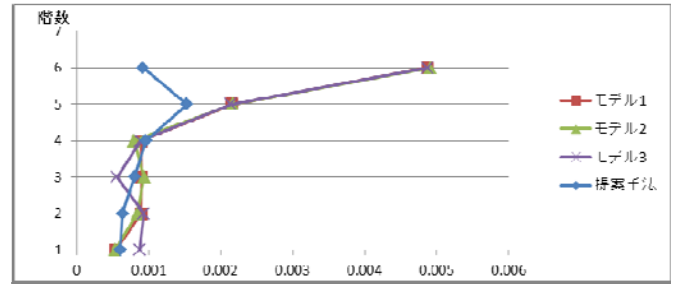


図 6 ブレース数 30 本の層間変形角の比較

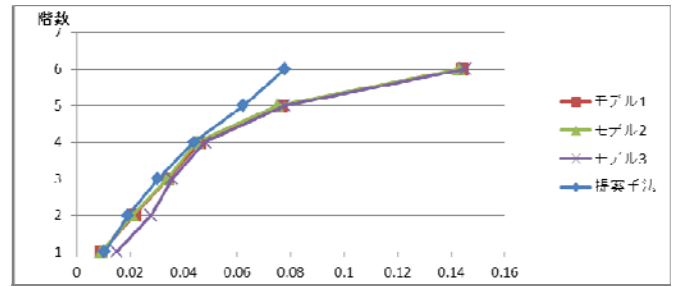


図 7 ブレース数 30 本の変位比の比較

#### 4. まとめ

本論文では、ESO 法を骨組問題に応用することで、非常に簡単に補強筋交の最適配置を求めることができる方法を提案し、基本的な数値解析例により、提案手法の有効性を検討した。その結果、提案手法によって得られた配置は、全体的にバランスが良く、人為的に配置したいくつかの比較モデルに対して、各層の層間変形角、変位共に有利な配置となっていることがわかった。

また、本手法は、一度の解析で対称条件を満たすすべての筋交本数の最適配置が求まるため、コスト面から筋交いの配置本数が決まれば、すぐに配置案を示すことができる。したがって、実務レベルの補強筋交の配置計画にも十分活用できるものと考えられる。

なお、本解析では、片側筋交を 1 つの設計変数として解を求めたが、両側筋交を 1 つの設計変数として解を求めることも可能であることを付記しておく。

#### 参考文献

- 1) Xie, Y. M., Steven, G. P. : A simple evolutionary procedure for structural optimization, Computers and Structures Vol.49, pp.885-886, 1993
- 2) Steven, G. P., Querin, O. M., Xie, Y. M. : Evolutionary structural optimisation (ESO) for combined topology and size optimisation of discrete structures, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vo.188, pp.743-754, 2000
- 3) 島津孝之 (編), 中山昭夫, 高松隆夫, 森村毅共著 : 鋼構造 [第 2 版], 森北出版, 2013

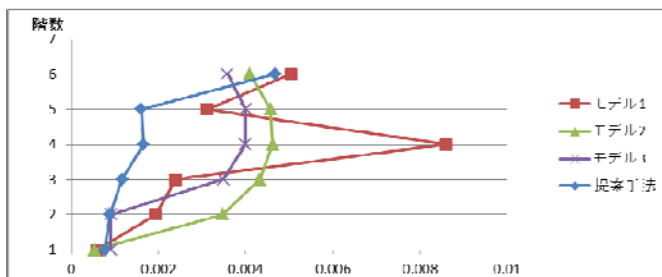


図 4 ブレース数 20 本の層間変形角の比較

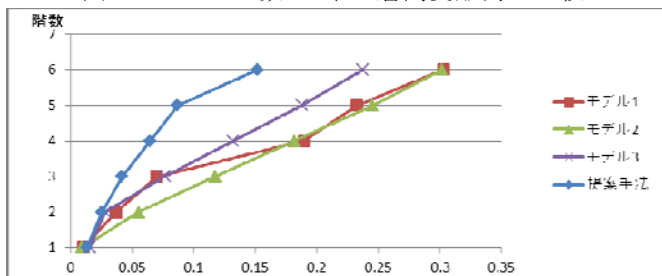


図 5 ブレース数 20 本の変位比の比較