

23. ESO 法を用いた骨組構造の制震ダンパー配置に関する研究

1110920018 山崎進一

指導教員 藤井大地 教授

最適配置 制震ダンパー ESO 法 グランドストラクチャ法 位相最適化

1. はじめに

近年、建物の地震に対する安全性を確保する方法として、建物の骨組構造に制震ダンパーを設置する制震構造が増えている。しかしながら、制震ダンパーは、耐震ブレースに比較して高価であるため、必要最小限のダンパーを適切に配置することが求められる。このため、これまで様々なダンパーの最適配置手法が提案されてきたが、ダンパー配置の組み合わせパターンは、対象となる建物の規模に応じて指数状に増加するため、建物の規模が大きくなると有効な配置を求めることは容易ではない。したがって、既往の研究の多くは、解析にせん断質点系モデルを用いて、各層のダンパー投入量の検討を行っている。しかしながら、既存不適格建物の耐震補強では、劣化等により構面内に剛性(強度)のばらつきがある場合も考えられるため、このような問題にも対応できるような配置手法が望まれる。そこで、本論文では、グランドストラクチャ法に、感度解析が必要ない ESO 法を適用し、地震加速度を用いた時刻歴応答解析により、制震ダンパーの最適配置を求める方法を提案する。

2. ESO 法を用いたグランドストラクチャ法

本論文では、初期の ESO 法²⁾の考え方にもとづき、非常にシンプルな計算アルゴリズムを提案する。

まず、グランドストラクチャとして、設計上すべての設置可能箇所に制震ダンパーを配置する。次に、地震応答解析を行い、消費された減衰エネルギーの最も小さいダンパーを除去する。目的のダンパー数に達するまで、単純にこの作業を繰り返す。

3. 解析例

ここでは、2章で提案した手法によって有効な解が得られるかどうかを、文献 1)に示す数値計画法にもとづく手法(比較手法)と比較することにより検証する。

図 1 は、鉄骨造事務所ビルの構造設計例を参考に作成した解析モデル(グランドストラクチャ)である。図の斜め材は、ブレース型ダンパーを示す。表 1 は、解析に必要なとなる梁、柱の断面積 A と断面 2 次モーメント I を示している。ただし、ヤング係数は $2.05 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ としている。

図 2 は、提案手法により、ダンパーが 12 本および 8 本になるまでダンパーを除去した結果である。図 3 左は、文献 1)に示すグランドストラクチャ法で、置換ブレース材の最適太さ(密度)を求めたものである。図 3 右は、図 3 左を参考に、ブレース型ダンパーを配置した動的解析モデルである。図 4 は、解析結果の有効性を検討するために作成した比較モデルである。なお、各モデルではダンパー数が異なるため、各モデルのダンパーの総減衰量が同一になるようにダンパーの減衰値を設定している。

表 2 は、図 2~4 の解析モデルに対して、時刻歴地震応答を行った結果である。表では、ダンパーを配置しない場合の骨組の最大応答値を基準とした最大応答比率(%)が示されている。表より、同じ本数のモデル同士では、3つの地震波に対して、提案手法の応答低減率が最も大きくなっており、提案手法の 8 本でも、すべての比較モデルよりは概ね大きな低減率となっていることがわかる。

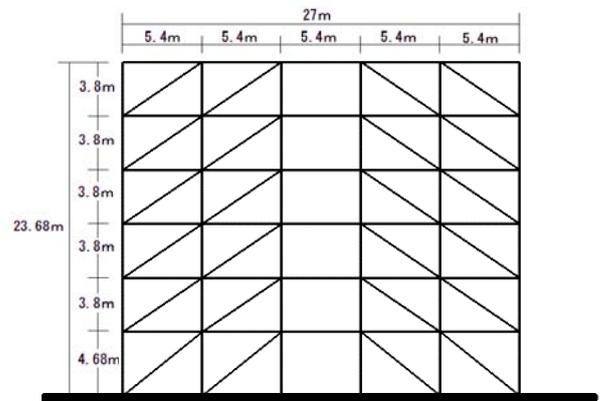


図 1 解析モデル

表 1 解析モデル詳細

		部材断面 (mm)	A (m ²)	I (m ⁴)
梁	1F	700×200×14×2	2.38×10 ⁻²	1.74×10 ⁻³
	2F	700×200×14×2	2.09×10 ⁻²	1.08×10 ⁻³
	3F	600×200×12×2	1.92×10 ⁻²	9.90×10 ⁻⁴
	4F	600×200×12×2	1.57×10 ⁻²	8.20×10 ⁻⁴
	5,6F	600×200×12×1	1.40×10 ⁻²	7.30×10 ⁻⁴
柱	1,2F	450×450×25×1	3.87×10 ⁻²	1.09×10 ⁻³
	3~6F	450×450×19×6	3.09×10 ⁻²	9.22×10 ⁻⁴

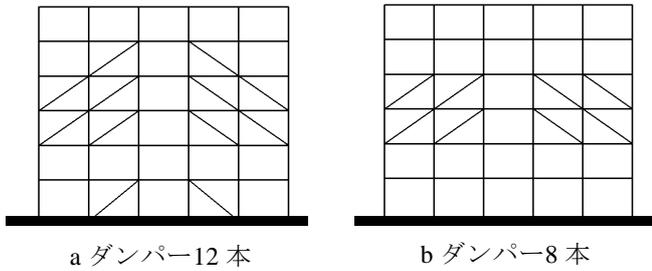


図 2 提案手法の解析結果

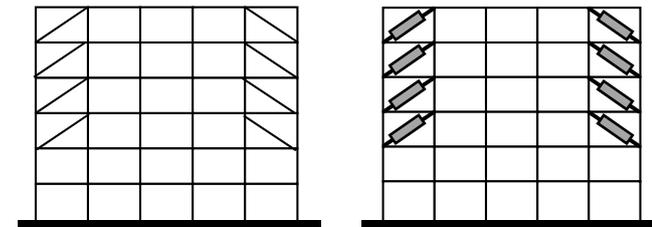


図 3 比較手法の解析結果とダンパー配置

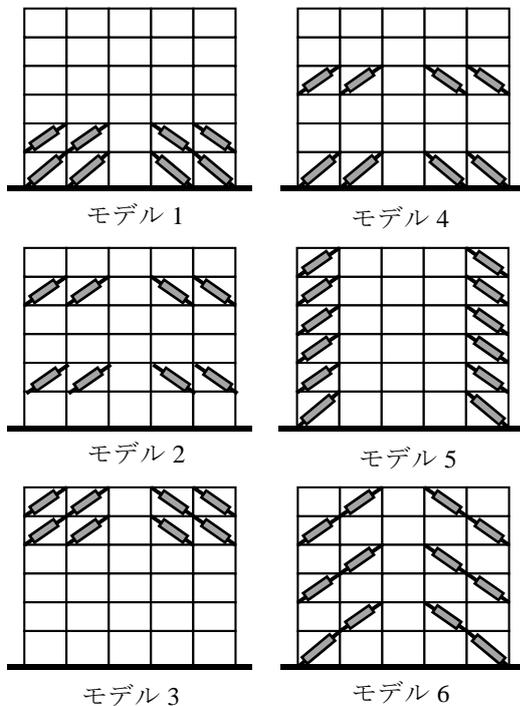


図 4 比較モデル

表 2 ダンパー配置における最大応答の比較

EiCentroNS	最大変位	最大速度	最大加速度
提案手法 8 本	81.1%	88.6%	94.7%
比較手法	84.5%	90.1%	95.9%
モデル 1	86.4%	92.0%	96.3%
モデル 2	86.5%	91.7%	96.5%
モデル 3	91.3%	91.7%	96.9%
モデル 4	83.9%	89.4%	94.4%
提案手法 12 本	80.6%	86.3%	92.9%
モデル 5	83.6%	88.4%	94.5%
モデル 6	83.6%	88.2%	94.4%

神奈川 EW	最大変位	最大速度	最大加速度
提案手法 8 本	52.9%	54.0%	54.1%
比較手法	62.9%	57.7%	71.4%
モデル 1	80.0%	80.3%	80.7%
モデル 2	80.9%	81.2%	81.5%
モデル 3	89.2%	89.4%	89.4%
モデル 4	63.7%	64.2%	65.1%
提案手法 12 本	51.4%	52.2%	52.4%
モデル 5	61.0%	61.5%	62.3%
モデル 6	60.0%	60.7%	61.5%

宮城 NS	最大変位	最大速度	最大加速度
提案手法 8 本	61.3%	60.0%	62.5%
比較手法	74.5%	73.5%	76.6%
モデル 1	80.0%	80.3%	80.7%
モデル 2	87.0%	85.9%	89.1%
モデル 3	93.0%	91.8%	96.5%
モデル 4	72.6%	71.5%	74.6%
提案手法 12 本	59.0%	56.9%	61.1%
モデル 5	70.1%	68.8%	72.7%
モデル 6	69.3%	68.0%	71.9%

4. まとめ

本論文では、グラウンドストラクチャ法に初期の ESO 法の考え方を適用した骨組構造の制震ダンパー配置手法を提案した。そして、提案手法により得られる解と従来の静的解析でダンパー置換剛性部材の材料密度を連続的に変化させて最適位相を求める方法(比較手法)により得られる解、およびその他考えられる一般的な配置との解を比較し、提案手法の有効性を検証した。

その結果、同じダンパー本数では、比較モデルに比較して提案手法の方がより大きな応答低減が得られることがわかった。また、ダンパー本数が異なる場合でも、総減衰量を同じにすれば、ダンパー数が少なくても、概ねより大きな応答低減が得られた。

したがって、このような方法で、より少ないダンパーで効率的な応答低減が行えるダンパー配置を求めることが可能であることが検証された。

参考文献

- 久保和毅, 藤井大地, 太田和彦, 野中哲也: 骨組の位相最適化手法を用いた制震ダンパーの最適配置, 近畿大学工学部研究報告, No.44, pp.53-58, 2010
- Xie, Y.M., Steven, G.P.: Evolutionary Structural Optimization, Springer, 19