

24. ESO 法を用いた高層ビルの制震ダンパー配置に関する研究

1110920065 城戸 江梨奈
指導教員 藤井大地 教授

制震ダンパー 長周期地震動 最適配置 動的応答解析

1. はじめに

近年、建築の地震に対する安全性を確保する方法として、建築の骨組構造に地震エネルギー吸収装置（制震ダンパー）を設置する制震構造が増えている。制震構造とは地震動をエネルギーとして捉え、建物自体に組み込んだエネルギー吸収機構により地震を抑制する技術である。このような制震構造は、新築の建物だけでなく、現行の耐震基準を満たさない既存不適格建物の耐震補強にも用いられている。しかし、制震構造のダンパー配置には連層配置、市松配置、下層集中配置など様々なものがあり、配置計画が難しいとされている。

そこで、本研究では、このような制震ダンパーの最適配置を求める方法について研究を行ってきた。しかし、既往の研究で提案された方法は、地震力を静的外力（ A_i 分布の地震層せん断力）に置き換えた静的解析によって最適配置を求めるもので、長周期地震動等の地震波の特性を考慮する事ができない。

そこで本研究では、解析上、すべての設置可能個所に制震ダンパーを配置し、地震応答解析を何回も繰り返すことで、重要度の低いダンパーを少しずつ消去していくダンパーの最適配置手法を提案する。また、本論文では、長周期地震動の影響を受けやすい高層ビルを対象とし、通常地震波と長周期地震動を引き起こす地震波を用いた応答解析により、高層ビルの長周期地震動に対するダンパーの配置特性を検討する。

2. 密度法を用いた静的解析による制震ダンパー配置

比較に用いる文献 2 の配置手法は、図 1a に示すように、まず、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、図 1b に示すように、すべてのダンパーを剛性部材に置き換える。次に、このダンパー置換部材の剛性を設計変数とし、静的な地震力（ A_i 分布の地震層せん断力）に対する応力解析（有限要素解析）を行う。そして、骨組全体の剛性が最大となるように、ダンパー置換部材の剛性を最大化する。この場合、図 1c に示すように、必要なダンパー置換部材の剛性は大きくなり（部材が太くなり）、不必要なダンパー置換部材の剛性は小さくなる（部材は小さくなる）。このようにして得られたダン

パー置換部材の剛性分布から、図 1d に示すようにダンパー配置位置を決定する。

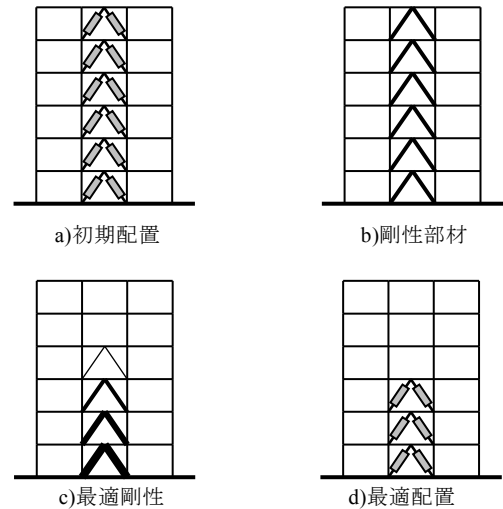


図 1 比較手法の概要

3. ESO 法を用いた動的解析による制震ダンパー配置

ここでは、初期の ESO 法の考え方にに基づき、非常にシンプルな計算アルゴリズムを提案する。

- ① 初期配置骨組（図 1a）の地震応答解析を行い、各ダンパーの累積減衰エネルギーを計算する。なお、ここではダンパーは粘弾性ダンパーとし、地震応答解析には平均加速度法を用いる。
- ② ダンパーの要素番号を累積減衰エネルギーの小さい順に並べる。
- ③ 最も累積減衰エネルギーの小さい要素番号のダンパーをグラウンドストラクチャから除去する。なお、同じ累積減衰エネルギーのダンパーが複数ある場合は複数除去する（これは対称性を持たせる為の処置でもある）。
- ④ ダンパー数が目標のダンパー数になるまで①～③を繰り返す。（ダンパー数が 0 になるまで行う事も可能）
- ⑤ 表示ソフト（本論文では MicroAVS）を用いて、すべての除去ステップを参照し、目標とする最大応答値以下となるダンパー数とダンパー配置を確認し、選択する。

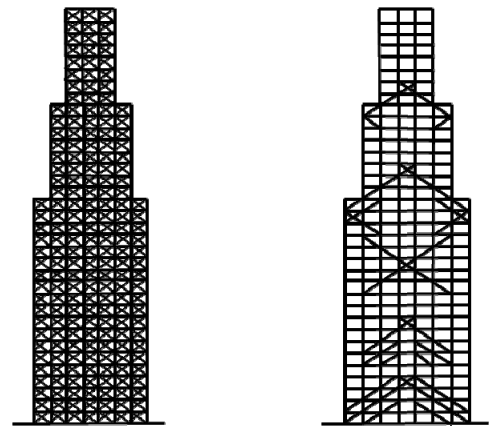
4. 入力地震波について

本研究で用いた地震波は、通常の地震波としては、高層建築物の構造設計に用いられている標準 3 波のうちの ElCentro NS 波を用い、長周期地震波としては、十勝沖地震の苫小牧で観測された地震波 (HKD129) を用いて解析を行った。

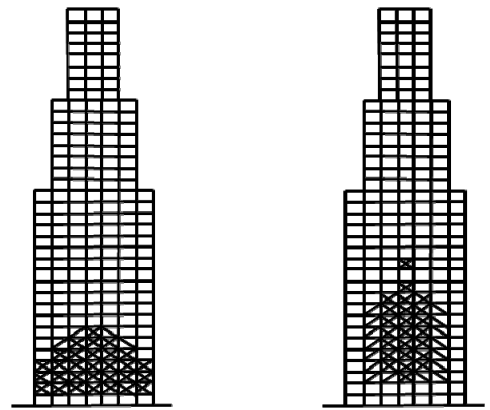
5. 解析例

提案手法の有効性を検討するため、図 2 に示すような 2 次元超高層建築のモデルを作成し、検討を行う。モデルは事務所ビルを想定し、地上 35 階建て、主構造は鉄骨造とする。各階の階高は 4m、スパンは 6m である。1 階～19 階は 7 スパン、20 階～27 階は 5 スパン、28 階～35 階は 3 スパンで、中心部が残るモデルとする。各部材の断面積、断面詳細は表 1 に示すとおりである。部材のヤング係数は、鋼材のものを用いる。建築重量は 1 階～5 階 262t、6 階～11 階 260t、12 階～19 階 258t、20 階～25 階 183t、26 階～35 階 111t とする。

図 2a) に示すダンパー配置から解析を行い、c)、d) のような結果を得た。ただし、b) は比較手法の結果であり、c) および d) は、比較手法の結果とダンパー本数が等しくなるものを示している。表 2 は、ダンパーが無い場合の最大応答変位を 1 とした時の各ダンパー配置の最大変位比を比較したものである。表より、c) および d) の解は、いずれも比較手法よりも最大変位が小さくなっていることがわかる。ただし、比較手法の応答値は ElCentro NS 波によるものである。



a) ダンパーの初期配置 b) 比較手法の結果



c) 提案手法の結果 (ElCentro NS) d) 提案手法の結果 (長周期)

図 2 ダンパー配置図

表 1 各部材の断面詳細

柱	部材断面	I(cm ⁴)	A(cm ²)
1～6 階	950×950×50×175	2150000	1671
7～12 階	900×900×50×175	1790000	1571
13～18 階	850×850×50×175	1480000	1471
19～35 階	800×800×50×175	1210000	1371
梁	部材断面	I(cm ⁴)	A(cm ²)
1～6 階	950×400×19×36	714000	457.6
7～12 階	900×400×19×40	684000	478.6
13～18 階	850×400×19×40	602000	469.1
19～35 階	800×400×19×40	525000	459.6
固有周期	5.027		

表 2 最大変位の比較

	ElCentro NS	長周期	比較手法
最大変位	0.9596	0.8904	0.9663

に比較してさらに応答を低減できることがわかった。また、高層ビルでは通常地震波と長周期地震波では、ダンパーの最適配置が異なることがわかった。

参考文献

- 1) 藤井大地：建築デザインと最適構造，丸善，2008
- 2) 久保和毅，藤井大地，大田和彦，中野哲也：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
- 3) 藤井大地，真鍋匡利，高田豊文：グラウンドストラクチャ法による建築構造の形状創生，日本建築学会構造系論文集，第 633 号
- 4) 柴田明德：最新耐震構造解析，森北出版，1981

6. まとめ

本研究では、制震構造のダンパーの最適配置を求める手法として、ESO 法を用いた動的解析によるダンパーの最適配置手法を提案した。本手法の有効性を検証するために、既往の静的解析によるダンパーの配置手法との比較を行い、地震応答解析における最大応答値を比較した。その結果、本手法によるダンパー配置法は、既往の方法