

制振ダンパーの各種配置方法に関する基礎研究  
弾性モデルを対象とした取付部剛性を考慮したオイルダンパーの配置検証

Fundamental Study on Simplified Placement Method of oil Dampers

Verification of Damper Placement Considering the Rigidity of the Mounting Member for Elastic Model

○倉祐嗣<sup>3</sup>, 秦一平<sup>1</sup>, 阿久戸信宏<sup>1</sup>, 郭鈞桓<sup>2</sup>  
\*Yuji Kura<sup>3</sup>, Ippei Hata<sup>1</sup>, Nobuhiro Akuto<sup>1</sup>, Chunhuan Kuo<sup>2</sup>

Abstract: In this study, we compare the optimum placement methods with reference to the literature in the vibration control structure using vibration damping dampers for each layer under the same target criteria, and consider an efficient damper placement method. The placement method is based on the three types of optimal design method, “the ESO method”<sup>[1]</sup> by Nomura and Fujii et al., “The limit disturbance method”<sup>[2]</sup> by Akehashi and Takewaki et al, and “Optimal design method by additional rigidity”<sup>[3]</sup> by Morikawa and Hata.

1. はじめに

本研究は、高層建物を対象に制振ダンパー（以下、「オイルダンパー」）を各層に配置する時の効率的なダンパー配置方法について考察する。なお、配置方法の検討については、オイルダンパーの必要減衰係数、必要台数を換算し総合的に判断する。

配置方法は、既往研究をもとに時刻歴応答解析の繰り返し方法を基本として提案されている野村・藤井らのESO法<sup>[1]</sup>と明橋・竹脇らの極限外乱法<sup>[2]</sup>、固有値解析の繰り返し方法を基本とした森川・秦らの付加剛比による最適設計法<sup>[3]</sup>の3種類を採用する。なお、本研究では以上の方法を改良し、オイルダンパー部の取付部剛性を考慮することとし、設定する目標クライテリアを同条件とする。

2. 各種配置方法の概要

2-1. ESO法を用いた制振ダンパー配置<sup>[1]</sup>

ESO法は、Fig.1に示すように対象モデルの全層にオイルダンパーを配置し、数理計画法により構面上のダンパーの有効な配置を求める方法のことである。

手順としては、まず、対象モデルおよび設計用入力地震動を設定後に、全層に同一のオイルダンパーによる減衰係数の初期値  $C_0$  を与え、時刻歴応答解析を行う。その後、累積減衰吸収エネルギー  $E$  が最も小さい層のダンパー部減衰係数を少しずつ小さくしていき、全層のダンパー部減衰係数が 0 になるまで解析を繰り返していく。その過程で求めた全ての配置の内から、設計者の意図に合ったモデルを選定し最適配置とする。

2-2. 極限外乱法とダンパー最適設計法<sup>[2]</sup>

極限外乱法とは、Fig.2に示すように対象建築物が経

験する可能性が高い地震動の中で最悪な地震動（極限外乱）を導出し、それに対する応答からオイルダンパー配置を決定する方法である。

手順としては、まず、付加減衰係数のない非制振モデルに対して極限的ダブルインパルスを入力した時刻歴応答解析を実施する。次に、全層の層間変形の総和  $f$  を計算し、層数  $N$  のモデルに対して全層で1層ごと付加減衰係数を  $\Delta c$  増加させた  $N$  個のモデルを作成する。そして、再度それぞれのモデルに対して極限的ダブルインパルスを入力して  $f$  を計算する。 $f$  が最も低減される層に対して  $c_i \rightarrow \Delta c$  したモデルを得る。既定の付加減衰係数の総和となるまでこの操作を繰り返すことで最適配置を決定する。

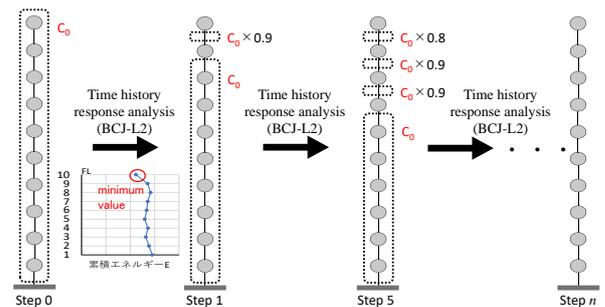


Fig.1 Diagram of the ESO method

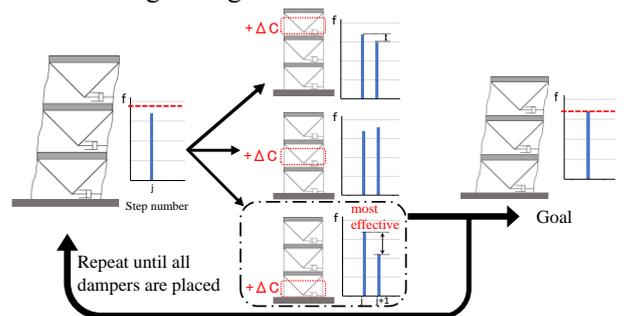


Fig.2 Diagram of Extreme disturbance method

1：日大理工・教員・建築 2：日大理工・任期制職員・建築 3：日大理工・院（前）・建築

### 2-3. 付加剛比による最適設計方法<sup>[3]</sup>

付加剛比による最適設計方法は、主系の質量又は剛性に対して比例倍によるオイルダンパー配置と層間刺激関数比例倍による配置方法を組合せて、効率の良い配置方法を提案した方法である (Fig.3 参照)。また、既往研究<sup>[3]</sup>で提案される付加剛比の導出式により、目標とするモード粘性減衰定数と取付部剛性を固有値解析の繰返しにより求める方法となっている。

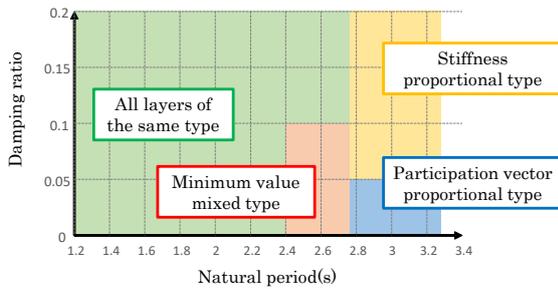


Fig.3 Diagram of optimal design method by auxiliary stiffness factor

### 3. 検討モデル概要

本研究ではパッシブ制振構造設計・施工マニュアル<sup>[4]</sup>に示す在来タイプ架構の20層鉄骨造建造物を模擬したせん断型質点系モデル (弾性) を対象とする。Table1 に非制震モデル諸元および固有値結果を示す。入力地震動は、日本建築センター模擬地震波 Level2 を用いる。オイルダンパーによって付与する粘性減衰定数を同一にし、目標クライテリアは層間変形角 1/150[rad]とする。

### 4. 解析結果による各種法の比較

各種方法から決定した配置方法を用いて行った複素固有値解析結果を Table2, 時刻歴応答解析結果のまとめを Fig.3 に示す。なお、取付部剛性は付加剛比による最適設計法で求めた値を他の設計法でも用いることとする。Fig.3(a)から、各配置方法は目標クライテリアを満足しているが、Fig.3(b)に示すように ESO 法は上部の応答加速度は他の設計方法よりも大きいことが分かる。一方、極限外乱法と固有値解析方法ではほぼ同等の結果、かつ、目標クライテリアに対して余裕のある応答結果となった。また、各種最適配置の応答結果から1台 1000[kN]のオイルダンパーを仮定し、各層の減衰力で割って算出したダンパー台数及び減衰係数分布を Fig.3(c)(d)に示す。ESO 法では設計手順の都合上局部的にダンパー台数が 0 となる配置となっているため、応答結果に影響が出たと考えられる。一方で、極限外乱法と付加剛比による最適設計方法は配置方法に寄らず、ダンパー量がほぼ同程度であることが確認できる。

Table1 Parameters of 20 layer without damper

FL	Mass [ton]	Stiffness [kN/m]	FL	Mass [ton]	Stiffness [kN/m]	Mode	Period [s]
20	1882	612,652	10	1469	1,501,369	1 <sup>st</sup>	2.464
19	1422	700,085	9	1469	1,525,125	2 <sup>nd</sup>	0.921
18	1438	819,981	8	1472	1,615,607	3 <sup>rd</sup>	0.567
17	1438	892,567	7	1474	1,663,862	4 <sup>th</sup>	0.411
16	1459	1,103,628	6	1474	1,693,948	5 <sup>th</sup>	0.320
15	1464	1,138,198	5	1478	1,892,755	6 <sup>th</sup>	0.267
14	1464	1,202,985	4	1486	1,949,716	7 <sup>th</sup>	0.227
13	1473	1,268,004	3	1496	2,226,559	8 <sup>th</sup>	0.199
12	1478	1,447,078	2	1507	2,333,520	9 <sup>th</sup>	0.179
11	1482	1,474,640	1	1552	1,873,067	10 <sup>th</sup>	0.164

Table2 Results of complex eigenvalue analysis

Mode	1) Method.		2) Method.		3) Method.	
	T [s]	h [s]	T [s]	h [s]	T [s]	h [s]
1 <sup>st</sup>	2.320	0.131	2.322	0.135	2.323	0.135
2 <sup>nd</sup>	0.812	0.090	0.758	0.126	0.758	0.126
3 <sup>rd</sup>	0.490	0.072	0.453	0.098	0.452	0.095

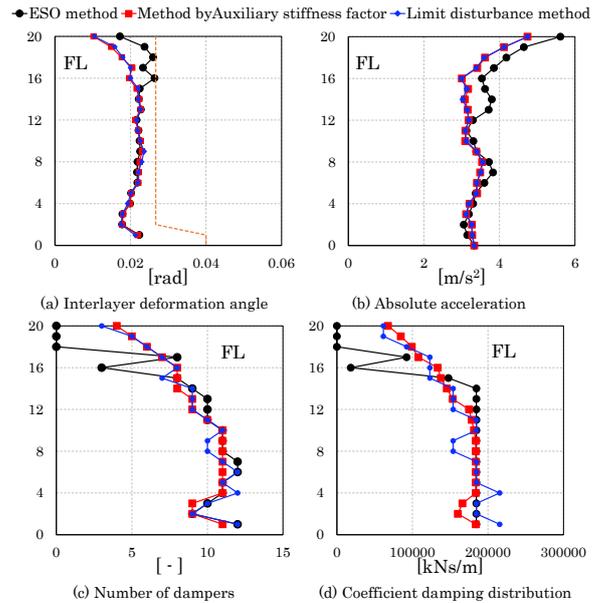


Fig.4 Result of response analysis

### 5. まとめ

本研究では、各種最適設計方法において決定したオイルダンパーの配置方法を用いて時刻歴応答解析を行うことで、それぞれの配置方法の違い及び応答結果について示した。以下に得られた知見を示す。

- いずれの配置方法も目標クライテリアを満足するが、ESO 法は局部的な配置となった。極限外乱法と付加剛比による最適設計法では、オイルダンパー一部の取付部剛性が同一という条件下で、ほぼ同様な応答結果を得た。
- ダンパー台数、減衰係数分布と応答結果を比較しても、各方法による結果はほぼ同じ程度となり、制振ダンパーの配置においては、比較的主系の比例倍による配置が解であると思われる。

#### 参考文献

[1] 野村, 松本, 崎野, 藤井: ESO 法を用いた高層ビルの制振ダンパー構面配置の最適化, 日本建築学会構造系論文集, 第 82 巻, 第 742 号, pp. 1885-1891, 2017. 12  
 [2] Akehashi, H. and Takekaki, I. (2020). Comparative investigation on optimal viscous damper placement for elastic-plastic MDOF structures: Transfer function amplitude or double impulse. Soil Dynamics and Earthquake Engineering (130), 105987, 2020-03  
 [3] 森川, 服部, 桑: 構造躯体の塑性化を考慮した制振構造物の簡易設計方法, 日本建築学会構造系論文集, 第 83 巻, 第 753 号, pp. 1583-1593, 2018. 11  
 [4] パッシブ制振構造設計・施工マニュアル 第 3 版, (一社)日本免震構造協会, 2013. 11