

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	既存超高層建物の大振幅地震動に対する制振改修 その2 オイルダンパーによる制振改修
Title(English)	Seismic retrofit considering extreme ground motion for existing super tall building (Part 2: Seismic retrofit using oil dampers)
著者(和文)	上野史也, 渡井一樹, 佐藤大樹, 笠井和彦, 佐分利和宏, 前田達彦, 増田寛之
Authors(English)	Fumiya Ueno, Kazuki Watai, Daiki Sato, Kazuhiko Kasai, Saburi Kazyhiro, Maeda Tatsuhiko, Masuda Hiroyuki
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , pp. 863-864
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, , pp. 863-864
発行日 / Pub. date	2019, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

既存超高層建物の大振幅地震動に対する制振改修 その2 オイルダンパーによる制振改修

正会員 ○上野史也*¹ 同 渡井一樹*¹
同 佐藤大樹*¹ 同 笠井和彦*¹
同 佐分利和宏*² 同 前田達彦*² 同 増田寛之*²

既存超高層建物 制振改修 長周期地震動
直下型地震動 オイルダンパー ギャップブレース

1. はじめに

本報その1において、非制振モデルは地盤増幅を考慮した告示波 (ART KOBE-T) と基整促波 (OS2-T) に対し、それぞれ異なる最大層間変形角分布を示すことを述べた。

本報その2では、オイルダンパーによる制振改修を提案する。その際、ダンパーの配置は非制振モデルの剛性分布や地震動ごとの外力分布 (せん断力分布) を包括的に考慮した層剛性非比例配置⁴⁾を採用する。

2. オイルダンパーの層剛性非比例分配設計

2.1 記号の定義

図1(a)-(c)に粘性要素、付加系およびシステムの主架構弾性時における各構成要素の荷重 - 変形関係を示す。また、図中の粘性要素におけるゼロ変形時の力 $F_{d,max}$ を最大変形 $u_{d,max}$ で除した損失剛性 K''_d を定義する。その他の記号は文献5を参照されたい。

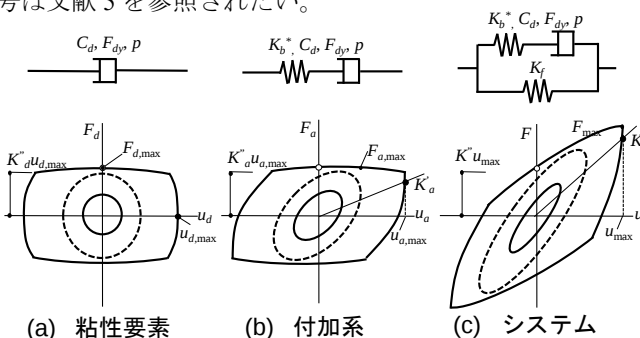


図1 粘性要素、付加系、制振構造の荷重 - 変形関係

2.2 等価減衰定数 h_{eqL} の算定

文献4), 6)を参考に、制振構造を1質点系とみなしたときの等価減衰定数 h_{eqL} を算定する。オイルダンパーを設置したときの目標層間変形角 θ_{max} は $1/100$ rad.であるが、非制振モデルの ART KOBE-T に対する高次モードの応答を抑えるために $\theta_{max} = 1/125$ rad.とする。その際、全層の層間変形が一様であると仮定している。性能曲線^{4), 6)}を用いて等価1質点系の1次損失剛性比 K''_d/K_f と h_{eqL} を求める。本報ではオイルダンパーのリリーフ率 $\mu_d = 2.0$ 、2次粘性比 $p = 0.02$ 、内部剛性比 $\beta = 4.5$ を定め、 $K''_d/K_f = 0.336$ 、 $h_{eqL} = 0.103$ を得た。

2.3 外力分布の設定

層剛性非比例分配設計は非制振モデルの剛性分布と、外力として定められた層せん断力分布により各層のダンパー量を算出するものであり、既往研究⁶⁾では外力として A_i 分布を用いていた。しかし、超高層建物は、高次モードの影響は大きくなるため無視できない (本報その1)。そこで、非制振モデルの弾性解析結果から得られた ART KOBE-T と OS2-T に対する層せん断力の包絡値を外力分布として用いることで、建物モデルの構造特性を考慮した設計を行う。

2.4 ダンパー量の層剛性非比例分配法

文献4)の式(15)から各層の必要ダンパー量 K''_{di} を算出したところ、1, 2 層及び 32~37 層で負の値が算出された。これは、 θ_{max} に対し、各層の層剛性 K_{fi} が必要以上に高く、削減が望ましいことを表す。しかし、制振改修を行う上で主架構の特性の調整は困難である。また、負のダンパー量が算出された場合、他層で極めて大きな必要ダンパー量が算出されるため、その場合でも1質点系として算出した必要ダンパー量を満たすように多質点系に非比例分配するために既往の計算式を修正する。既往手法では、 $K''_{di} < 0$ が算出された層は $K''_{di} = 0$ とし、他層に対しては2.2節で得た K''_d/K_f と多質点系の $\sum K''_{di}/K_{fi}$ が一致するように、全層一定の割合で減少させる。しかし、その場合には2.2節で算定した h_{eqL} を厳密には満たさない。また、再計算後の必要ダンパー量が、耐震改修計画上、現実的でない場合もある。そこで、本手法では $K''_{di} < 0$ となった層に $K''_{di} = 0$ 、 K''_{di} が極めて大きい層に設置可能なダンパー量 $K''_{d,max}$ を付加し、多質点系が同じ h_{eqL} (2.2 節) をもつようにその他の層にダンパー量を再分配する。

特定層に任意のダンパー量 $\alpha K''_{d,max}$ を付加した場合にも設計値として定めた1次損失剛性比 K''_d/K_f を満たすように計算式を展開すると次式が得られる。なお、 α は $K''_{d,max}$ を低減させる任意の係数である。

$$K''_{di} = \frac{Q_i}{h_i \sum_B (Q_j h_j)} \left\{ \frac{K''_d}{K_f} \sum_{i=1}^N (K_{fi} h_i^2) - \sum_A (\alpha K''_{d,max} h_i^2) + A \sum_B (K_{fi} h_i^2) \right\} - A K_{fi}$$

$$A = \lambda + 1/\lambda \left\{ f(p, \mu_d) \right\}^2 \quad (1a, b)$$

ここに、 Σ_d は任意のダンパー量を指定する層、 Σ_B はダンパー量を層剛性非比例分配法により算出する層の総和であり、 $\lambda = K''_{di} / K''_{bi}$ である。その他の記号については文献4を参照されたい。式(1)を用いてダンパー量を算定する場合、以下の手順で計算し、最終的なダンパー配置を得る。

- 1) 全層に対して必要ダンパー量 K''_{di} を算定する。
- 2) $K''_{di} < 0$ の場合、当該層に対し $\alpha = 0$ を与えてダンパー量を再計算する。
- 3) 設置可能なダンパー量を超える層がある場合、最も大きな値 K''_{di} が算出された層に対し $\alpha = 1$ を与えてダンパー量を再計算する。
- 4) 手順3)を繰り返し、最終的なダンパー配置を得る。

本検討では、1, 2層でも $K''_{di} < 0$ となったが、 $\alpha = 0$ とせずにダンパーを設置するものとして計算を行った。このように、特定の層に対して設計者がダンパーを任意で追加・削減することも可能である。図2(a)に示すように、既往手法では13, 23層付近に極めて大きなダンパー量が必要とされたため、設置可能なダンパー量を与えて再計算を繰り返し、最終的なダンパー配置を得た。また、図2(b)に示すように層剛性非比例配置は基準化した層剛性とせん断力で大きな差が生じる層に対して多くのダンパー量が分配されることが特徴である。

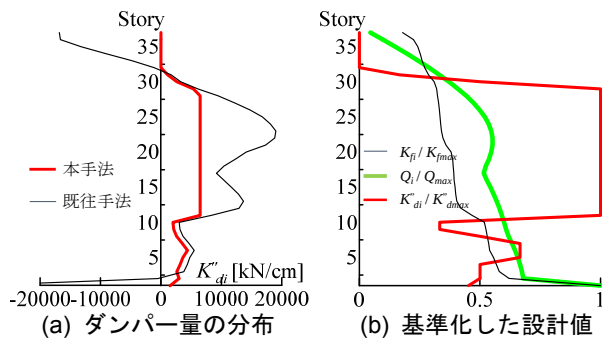


図2 層剛性非比例分配設計のダンパー量算定

2.5 ダンパーの配置計画

図3にダンパーを設置したY3構面の軸組図、層間変形角が全層一様と仮定してモードひずみエネルギー法で算出した多質点系の h_{eqL} 、ダンパー本数 N_d 、ダンパー軸方向のリリース荷重の総和 ΣF_{dy} を示す。また、比較として2.2節で算定した必要ダンパー量を層剛性比例分配した場合も併記する。オイルダンパーを層剛性比例分配した場合、オイルダンパーは下層に多く分配されている。本報では、いずれの分配方法も必要な等価減衰定数 ($h_{eqL} = 0.103$, 2.2節) に対して1割程度減少している。理論的に算出されたダンパー配置に対して、配置するオイルダンパーは100, 150, 200トン級のダンパーを組み合わせであるため理論値と同じ値を分配することができない場合がある。その誤差で理論的に算出された h_{eqL} よりも小さな値となった。

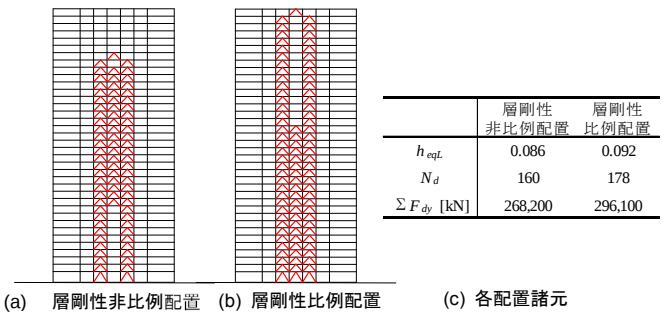


図3 ダンパー配置と諸元

3.地震応答解析

図4に各モデルに2波の地震動をそれぞれ入力したときの最大層間変形角 R_i 、最大加速度 A_i および最大層せん断力 Q_i の高さ方向分布を示す。オイルダンパーにより、非制振モデルと比較して A_i を増大させることなく、 R_i を低減できている。層剛性比例配置の場合、オイルダンパーは下層に多く配置されていることから、OS2-Tに対し層剛性非比例配置と比較して10層まで必要以上に R_i を抑制する反面、13層の低減が不十分となっている。層剛性非比例配置の場合、OS2-Tに対し全層で概ね層間変形角の目標値 $1/100$ rad.以内に収まる。一方、ART KOBE-T に対しては23層付近で $1/100$ rad.を少し超えている。しかし、層剛性比例配置と比較して応答低減効果は大きく、ダンパーが不必要と判定された上層の変形を増やすわけでもない。また、ダンパー設置による最大層せん断力増加は小さい。

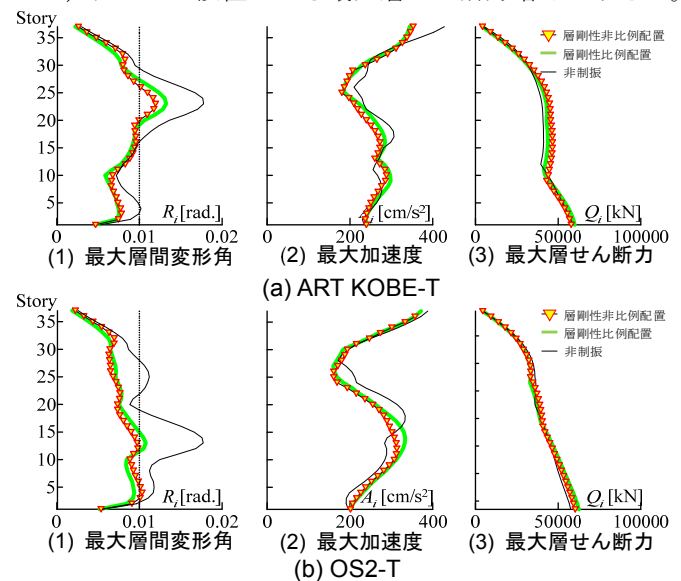


図4 解析結果

4. まとめ

既存超高層建物に対して層剛性と外力分布の関係からオイルダンパーを層剛性非比例に配置する制振改修を提案した。層剛性非比例配置は地震動ごとに損傷する層が異なる建物モデルの構造特性を考慮した効率的なダンパー配置が行えることを示した。

謝辞および参考文献は本報その1にまとめて示す。

*1 東京工業大学

*2 竹中工務店

*1 Tokyo Institute of Technology

*2 Takenaka corporation