

高層建物におけるオイルダンパーの最適リリーフ荷重決定法

正会員 ○田中英稔* 同 吉富信太**
同 辻 聖晃** 同 竹脇 出**オイルダンパー リリーフ機構 最適配置
地震時応答 制振構造 高層建物

1. 序

オイルダンパーにおいて、ダンパー容量と関係づけられるリリーフ荷重は、ダンパーの設置コストと最も関係が深いダンパーの特性値である。リリーフ荷重が小さければ、ダンパーに生じる最大減衰力もそれに応じて小さくなるため、ダンパー自身とダンパー周辺架構のコストも抑えることができる。しかしながら、リリーフ荷重を小さくすれば、ダンパーによるエネルギー吸収量も一般に小さくなり、応答低減効果も小さくなるため、適切なリリーフ荷重を設定する必要がある^{[1],[2]}。

本論文の目的は、非線形の復元力特性を有するオイルダンパーのリリーフ荷重決定法を提案することにある。具体的には、ダンパーリリーフ荷重を設計変数とし、層間変形角の制約条件下でリリーフ荷重の総和（コスト）を最小化する。建物モデルに対する時刻歴応答解析により感度解析を行い、感度の低い層のダンパーリリーフ荷重を低減するようにリリーフ荷重を決定する。

2. リリーフ機構付オイルダンパーのモデル化

本論文では、リリーフ機構付オイルダンパーを、図1に示すバイ線型速度-復元力特性を有する粘性要素にモデル化する。また、オイルダンパーの支持部材は剛と仮定する。第 j 層に設置するダンパーの減衰係数を c_j 、リリーフ荷重を d_{Rj} とし、リリーフ後の減衰係数を γc_j とする。リリーフ荷重到達後の勾配比 γ は全層で一様とする。

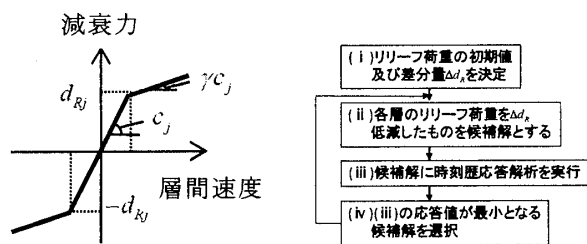


図1 ダンパー復元力特性 図2 最適リリーフ荷重を決定するフローチャート

3. オイルダンパーリリーフ荷重の最適値の決定法

3.1 ダンパーリリーフ荷重決定問題および解法

質量、剛性、構造減衰が与えられた N 層せん断質点モデルの主体構造に対して、リリーフ機構を有するオイルダンパーを各層に設置する問題を考える。最大応答を指定値以下とする制約の下でリリーフ荷重の総和を最小化

するような次の最適化問題を扱う。

最適化問題1

$$\text{Find } \mathbf{d}_R = \{d_{R1}, \dots, d_{RN}\} \quad (1)$$

$$\text{to minimize } \sum_j d_{Rj} \quad (2)$$

$$\text{subject to } (\delta_j(\mathbf{d}_R)/H_j)_{\max} \leq \bar{r} \quad (3)$$

H_j は第 j 層の階高とし、 $(\delta_j(\mathbf{d}_R)/H_j)_{\max}$ 、 \bar{r} はそれぞれ、地震時応答最大層間変形角の層方向最大値及び層間変形角の上限値とする。

本論文では、上記の問題を直接解く代わりに、次のような問題を解く方法を提案する。

最適化問題2

$$\text{Find } \mathbf{d}_R = \{d_{R1}, \dots, d_{RN}\} \quad (4)$$

$$\text{to minimize } (\delta_j(\mathbf{d}_R)/H_j)_{\max} \quad (5)$$

$$\text{subject to } \sum_j d_{Rj} = \bar{d}_R \quad (6)$$

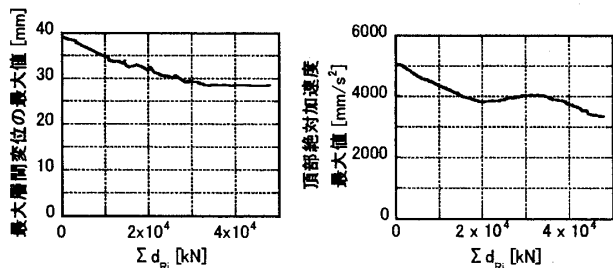
\bar{d}_R はリリーフ荷重の総和の指定値とする。

最適化問題2は、最大応答を最も低減するように総和の指定されたりリーフ荷重を各層に配分する問題である。リリーフ荷重の総和の指定値を変動させ、各総和の指定値に対する最適リリーフ荷重を順次追跡し、最大応答が制約条件(3)式を満足する解のうちリリーフ荷重の総和が最少となる解を最適化問題1の最適解とする。次節に最適化問題2の解法アルゴリズムの概要を示す。

3.2 最適化アルゴリズム概要

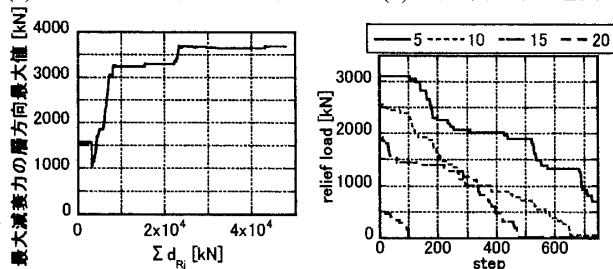
図2に示すフローチャートに従って最適化を行う^[3]。

- (i) 原モデルに設置するダンパーの減衰係数分布を決定する。次に、感度計算で用いるダンパーのリリーフ荷重の差分 Δd_R を決める。
- (ii) 現在のリリーフ荷重に対して、各層のリリーフ荷重を差分 Δd_R だけ低減したものを候補解とする。従って、 N 層モデルの場合、合計 N 個の候補解が存在する。
- (iii) (ii)で作成した候補解に対して時刻歴応答解析を実行する。合計で N 回時刻歴応答解析を行う。
- (iv) (iii)で行った解析のうち、対象とする応答値が最小となる（感度が最小となる）候補解を新たな状態として(ii)に戻り(ii)~(iv)を繰り返す。この(ii)~(iv)を最適リリーフ荷重を決定する上での1ステップとする。



(a) 最大層間変位の最大値

(b) 頂部絶対加速度



(c) 最大減衰力の最大値

図4 リリーフ荷重の変化
(第5,10,15,20層)

図3 リリーフ荷重の総和と
最大応答値

4. 数値例題

4.1 建物モデルと入力地震動

実在する建物を参考に決定した層剛性分布を有する 20 層せん断質点モデルを原モデルとする。床質量は 1 層～10 層は各層 $1,000 \times 10^3$ kg, 11 層～20 層は各層 800×10^3 kg とする。なお、ダンパーがない場合の構造減衰は 2% とした。ダンパーを全層に配置するとし、その減衰係数は全層で同一、かつ、非連続近似により評価した付加 1 次減衰定数が 5% となるようにダンパーを設置した。

本節では、丹羽の研究^[1]にならい、リリーフ荷重の大きさを「減衰力制限比 $L = \text{リリーフ荷重} / \text{リリーフ機構を設けないオイルダンパーに発生する最大減衰力}$ 」で表現することとし、全層で $L=1.0$ となるように初期解のリリーフ荷重を設定した。また、リリーフ荷重到達後の γ はすべてのケースで 0.05 とする。

入力地震動には、レベル 2 の El Centro 1940 NS 波 (地動最大加速度 434.6 cm/s^2 , 継続時間 53.74s) を用いる。

4.2 数値例題

4.1 節で示したモデルについて、3.2 節で示した最適化アルゴリズムを用いた数値例を示す。なお、本例題では最大層間変形角の最大値が 1/100, 1/117 以内に収まるリリーフ荷重の分布をそれぞれ最適リリーフ荷重分布 1, 最適リリーフ荷重分布 2 とする。最適リリーフ荷重分布 2 はリリーフ荷重が大きいいため、周辺部材への負荷は大きい、変位応答は小さい設計となっている。

図 3 に、リリーフ荷重の総和と各種最大応答値の関係を示す。最大層間変位の最大値および頂部絶対加速度に

ついては、リリーフ荷重の総和を十分に小さくした場合は応答が増大するが、全層 $L=1.0$ の場合の半分程度までは応答をほとんど増大させることなくリリーフ荷重を低減できることがわかる。最大減衰力の最大値については、リリーフ荷重の低減とともに応答も概ね低下することから、ダンパー周辺部材への負荷を軽減するという観点からも本論文で提案する最適化アルゴリズムは有用である。

図 4 に、代表層 (第 5, 10, 15, 20 層) のステップ毎のリリーフ荷重を示す。高層ほど早い段階でリリーフ荷重が低減されていることがわかる。

図 5 に、全層の減衰力制限比 $L=1.0$ の場合のリリーフ荷重分布と最適リリーフ荷重分布の比較を示す。図 6 は $L=0.0, 1.0$ の場合について層方向の最大層間変位分布である。図 5 より、全層にわたり $L=1.0$ のモデルに最適アルゴリズムを用いることで、リリーフ荷重の総和を大幅に低減できることがわかる。また、図 5, 6 より層間変位が小さい層において重点的にリリーフ荷重が低減されていることがわかる。これは、「層間変位が大きい層にダンパーを配することで効率的に減衰性能を付加できる」という経験上得られている知見とも一致する。

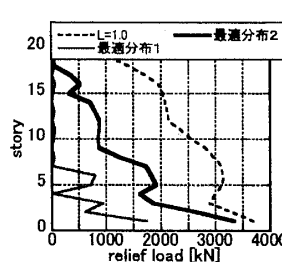


図5 最適リリーフ荷重分布

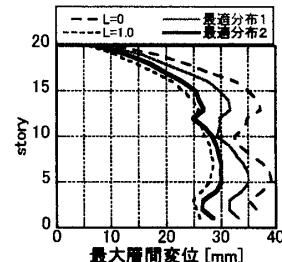


図6 最大層間変位分布

5. 結論

- 1) 層間変形角の制約条件下でオイルダンパーのリリーフ荷重の総和 (コスト) を最小化するようなリリーフ荷重を決定する最適化問題を考え、その解法を提案した。
- 2) 上記の解法では、建物モデルに対する時刻歴応答解析により感度解析を行い、感度の低い層のダンパーのリリーフ荷重を低減するようにダンパーのリリーフ荷重を決定している。
- 3) 数値例題を通じて本解法の有効性を明らかにした。

謝辞 本研究の一部は H22 年度科研費による。

参考文献

[1] 丹羽直幹：構造物に設置させたオイルダンパーの必要減衰力に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.545, pp.43-50, 2001.7
 [2] 田中英稔他：地震動を受けるオイルダンパー付建物の層方向自由度に関する縮約法, 日本建築学会近畿支部研究発表会研究報告集, 2011
 [3] 辻聖晃他：非線形復元力特性を有する制振ダンパーの構造縮約モデルを用いた最適配置問題, 日本建築学会構造系論文集, No.658, pp.2143-2152, 2010.12

* 京都大学大学院生

** 京都大学大学院

* Graduate Student, Kyoto University

** Graduate School, Kyoto University