

粘性系ダンパーを用いた制震構造物の簡易設計法

その2 提案設計法の設計例

A Simple design method of the seismic control structure using a viscous type damper

Part2 Design example of the proposed design method

廣谷直也<sup>2</sup>, 秦一平<sup>1</sup>, 安松哲生<sup>3</sup>, 金井修司<sup>4</sup>

Naoya Hirotani<sup>2</sup>, Ippei Hata<sup>1</sup>, Tetsuo Yasumatsu<sup>3</sup>, Shuji Kanai<sup>4</sup>

This paper shows the detailed design example with the three-dimensional frame model according to the flow chart shown in Part 1. As a result, it demonstrates the effectiveness of the proposed design method through a time history analysis.

2.1. はじめに

その2では、提案設計法の有用性を示す為、3次元立体骨組モデルに対する具体的な設計例を示す。本設計は、X方向とY方向を個別に行うが、紙面の都合上、X方向のみを記載する。

提案する設計手法は、以下の手順で行う。

- ①設計用入力地震動と目標クライテリアを決定する。
- ②固有値と応答スペクトルの関係から、制御対象モードを決定する。目標クライテリアを満足する為の目標粘性減衰定数  $h_{GD,n}$  を「応答性能設計図表」<sup>[1],[2]</sup>より算出する。
- ③対象モデルに付与可能な最大粘性減衰定数  $h_{ST,n}$  が  $h_{GD,n} \leq h_{ST,n}$  となるように架構を設計する。 $h_{ST,n}$  は複素固有値解析と最適減衰式により算出する。
- ④目標粘性減衰定数  $h_{GD,n}$  となるよう制震装置の減衰係数を設計する。

なお、添え字  $n$  は全て  $n$  次モードを表している。

2.2. 検討モデル概要

Figure2-1,2-2 に検討モデルの概要を示す。本モデルは、19階建て高さ77.5(m)の超高層S造建築物である。建築計画上、1-2FL間には制震装置を取り付け不可とし、その他の階においてはFigure2-2に示した箇所に制震装置を配置できるものとする。制震装置はシアリンクを介して設置し、1フレームあたり2基の粘性ダンパーを取り付ける。Table2-1に使用する部材断面の一覧を示す。また、本モデルより得られる非制震時の固有周期をTable2-2に、Figure2-3に層間刺激関数  $\beta_n r_i$  を示す。なお、Figure2-3にプロットしている値は層ごとの平均値であり、2FLは1-2FL間の値を示す。

2.3. 設計例

はじめに、設計用入力地震動と目標クライテリアを設定する。本設計例では、BCJ-L2を最大速度50kine (Level2相当)に基準化したものに対して、目標クライテリアを「層間変形角  $R=1/150$  以内」として設計を行う。

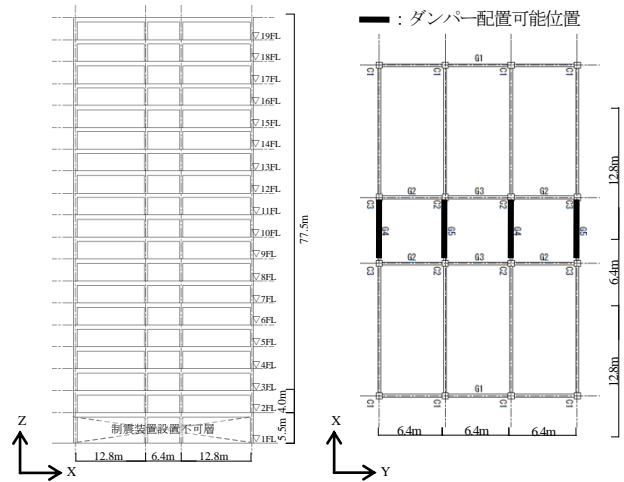


Figure2-1 立面図 (X方向)

Figure2-2 平面図

Table2-1 部材断面一覧

部材	断面
柱C	BX- 600 × 600 × 22~50 × 22~50
梁G	WH- 850 × 250 × 16 × 30~55
取付部	BX- 400 × 400 × 32 × 32

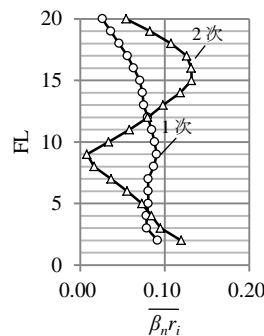


Figure2-3 層間刺激関数

Table2-2 非制震時の固有周期

モード	固有周期T(s)	
	X方向	Y方向
1次	2.37	2.25
2次	0.83	0.77
3次	0.48	0.43

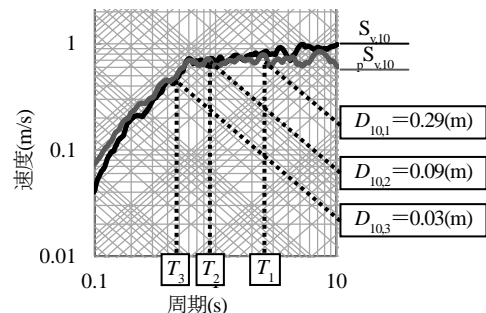


Figure2-4 地震動応答スペクトル(BCJ-L2:50kine 基準化)

1: 日大理工・教員・建築 2: 日大理工・院(後)・建築 3: 東日本旅客鉄道株式会社 4: 日大理工・院(前)・建築

続いて、制御対象モードと目標応答値を設定する。Figure2-4 の応答スペクトルより、変位応答は 1 次、2 次モードが支配的と判断し、制御対象モードを 1 次、2 次モードとした。よって、SRSS 法による 1 次、2 次モードの最大層間変形角が  $R=1/150$  以内となればよい。そこで、各モードの目標層間変形角  $R_n$  は変位応答スペクトル  $D_{10}$  の値の比率より、1 次:  $R_1=1/161$ 、2 次:  $R_2=1/418$  と算出した。

次に、算出した各モードの目標応答値を満足する為の目標粘性減衰定数  $h_{GD,n}$  を算出する。Figure2-5 に応答性能設計図表を示す。Figure2-5 中の縦横軸はそれぞれ応答速度・応答変位の減衰定数 10% の応答スペクトル値に対する最大応答値の倍率（以下、応答倍率）を表している。つまり、目標とする基準座標応答値を設定すれば、地震動の応答スペクトルと応答性能設計図表から目標粘性減衰定数  $h_{GD,n}$  を推定できる。層間変形角が目標値の場合には、目標基準座標応答値は、各モードの目標層間変形角  $R_n$  に層高さを乗じ、最大層間刺激関数で除すことによって求められる。

以上の方法により、1 次、2 次モードの目標基準座標応答値  $D_{max,n}$  は  $D_{max,1}=0.276(m)$ 、 $D_{max,2}=0.072(m)$  と求められる。よって、各モードの目標変位応答倍率は、 $D_{max,1}/D_{10,1}=0.95$ 、 $D_{max,2}/D_{10,2}=0.80$  となる。Figure2-5 より、各モードの目標粘性減衰定数は  $h_{GD,1}=0.12$ 、 $h_{GD,2}=0.18$  となる。

この目標粘性減衰定数  $h_{GD,n}$  を最大粘性減衰定数  $h_{ST,n}$  が上回るように制震装置の配置箇所を決定すれば、目標応答値を満足することができる。本設計例のように、複数モードに対して設計を行う場合は、モード毎に  $h_{ST,n} \geq h_{GD,n}$  となるように配置箇所を決定すればよい。配置箇所は、Figure2-3 の層間刺激関数  $\beta_n r_i$  の大きい層から決定することで、効率良く最大粘性減衰定数  $h_{ST,n}$  を大きくすることが可能である。決定した配置箇所を Figure2-6 に示す。Table2-3 に複素固有値解析と「最適減衰式」<sup>[3]</sup>から算出した 1 次用の配置箇所のみで得られる最大粘性減衰定数  $h_{ST,n}$  と 1 次、2 次用を

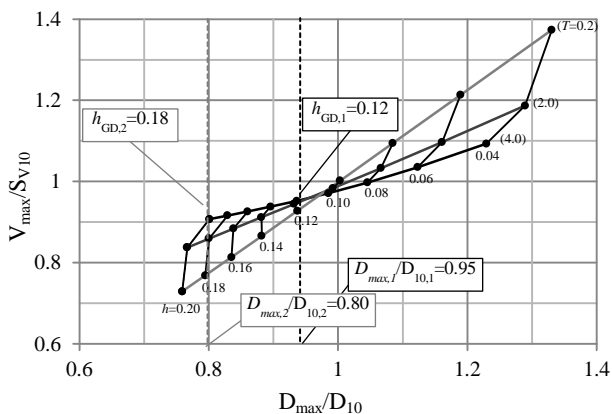


Figure2-5 応答性能設計図表

組み合わせた場合の最大粘性減衰定数  $h_{ST,n}$  を示すが、各モードの目標粘性減衰定数  $h_{GD,n}$  を満足していることがわかる。

次に目標粘性減衰定数  $h_{GD,n}$  を満足する粘性ダンパーの減衰係数を、複素固有値解析の繰り返しにより決定する。

検討の結果、1 次モード用の粘性ダンパーの減衰係数  $C_d$  は一基あたり  $C_d=20,000(kNs/m)$ 、2 次モード用は  $C_d=7,000(kNs/m)$  と決定した。この時の複素固有値解析結果を Table2-4 に示す。1 次、2 次モード共に、目標粘性減衰定数  $h_{GD,n}$  を満足していることがわかる。最後に、時刻歴応答解析の結果を Figure2-7 に示す。目標クライテリアである層間変形角  $R=1/150$  を満足していることがわかる。

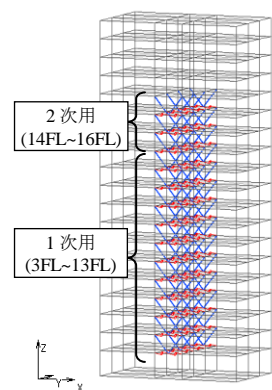


Figure2-6 X 方向用制震装置

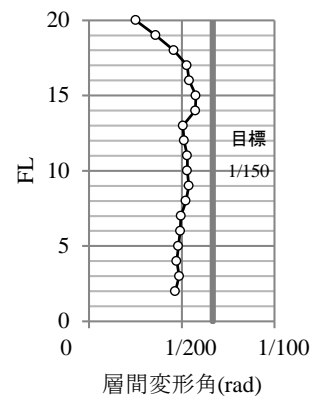


Figure2-7 時刻歴応答解析結果

Table2-3 制震装置設置時の固有周期

ダンパ	1次用のみ		1次+2次	
	1次	2次	1次	2次
$T_{0,n}$	2.37	0.83	2.37	0.83
$T_{\infty,n}$	1.93	0.67	1.90	0.61
$\kappa_{k,n}$	0.51	0.52	0.56	0.84
$h_{ST,n}$	0.12	0.12	0.13	0.18

Table2-4 減衰係数付与時の固有値(X 方向)

モード	1次	2次
固有周期 T(s)	2.18	0.68
減衰定数 h	0.13	0.18

#### 2.4. まとめ

3次元の立体骨組モデルに対して提案設計法の具体的な設計例を示した。設定した目標クライテリアを、時刻歴応答解析結果が満足していることから、提案設計法の有用性について示したといえる。

#### 2.5. 参考文献

- [1] 石丸辰治：応答性能に基づく「対震設計入門」，彰国社，2004。
- [2] 秦一平，石丸辰治，長谷川純：非線形粘性ダンパーと弾塑性ダンパーを併用した系の応答性能設計手法，日本建築学会構造系論文集，第 617 号，p47-54，2007.7
- [3] 石丸辰治，秦一平，三上淳治，公塚正行：付加剛比による D.M. 同調システムの簡易設計法，日本建築学会構造系論文集，第 654 号，p1455-1464，2010.8