

B-5

複素固有値解析と応答性能設計図表を用いた制震構造物のパラメータ設計方法に関する研究

その 1 構造躯体の塑性化を考慮した制震設計方法の概要

Research on the inverse design method of damper parameters in response control structure

Part1 Outline of response control design method considering plasticity of building frame

○森勇哉², 秦一平¹, 服部恵多², 枝村泰²*Mori Yuuya², Ippei Hata¹, Keita Hattori², Yasushi Edamura²

Design response control structures have to repeat Time-history analysis. To solve this problem, Ishimaru et al. propose the design method of damper parameters in response control structure. This paper is intended to expand this method to take into account the ductility factor of building frame.

1.1 はじめに

現在の制震設計では、目標クライテリアを満足するまで時刻歴応答解析を繰り返し行うことで制震パラメータや配置箇所が決定されている。この問題を解決するため、石丸らは時刻歴応答解析に依存しない制震設計方法を提案した。目標クライテリアを満足するための粘性減衰定数を応答性能設計図表^[1]から推定し、複素固有値解析の収斂計算によって制震設計を行う方法^[2]である。この方法を用いた提案設計方法^[3]では、具体的な制震設計例が示されているものの、構造躯体を弾性体として仮定した場合に限られていた。本報では、この提案設計方法を構造躯体の塑性化を考慮した制震設計方法に拡張させたときの設計手順及び問題点を示す。

1.2 構造躯体の塑性化を考慮した制震設計方法

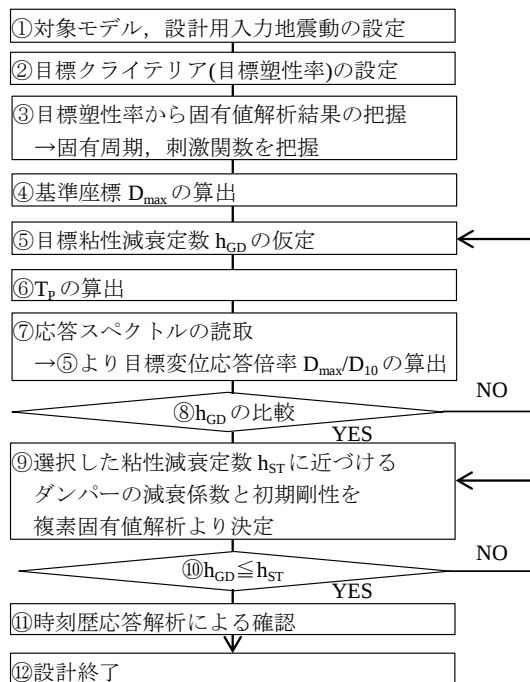


Figure1.1.設計方法のフロー

Figure1.1 に示した構造躯体の塑性化を考慮した制震設計のフローに従い設計例を以下に示す。

(1) 検討モデルと設計用入力地震動の設定

Table1.1.検討モデル諸元

FL	質量 mi(ton)	減衰係数 Ci(kN・s/m)	初期剛性 ki(kN/m)	バイリニア 係数pd	弾性変位 Xed(m)
15	1,000	5,922	1,500,000	0.03	0.0039
14	1,000	6,345	1,607,143	0.03	0.0058
13	1,000	6,768	1,714,286	0.03	0.0071
12	1,000	7,190	1,821,429	0.03	0.0081
11	1,000	7,613	1,928,571	0.03	0.0088
10	1,000	8,036	2,035,714	0.03	0.0094
9	1,000	8,459	2,142,857	0.03	0.0098
8	1,000	8,882	2,250,000	0.03	0.0100
7	1,000	9,305	2,357,143	0.03	0.0102
6	1,000	9,728	2,464,286	0.03	0.0103
5	1,000	10,151	2,571,429	0.03	0.0103
4	1,000	10,574	2,678,571	0.03	0.0102
3	1,000	10,997	2,785,714	0.03	0.0101
2	1,000	11,420	2,892,857	0.03	0.0100
1	1,000	11,843	3,000,000	0.03	0.0098

検討モデル諸元を Table1.1 に示す。このモデルは高さ 45m の RC 造建築物を 15 層質点系モデルとして仮定している。また、剛性比例型で $h=0.01$ の内部粘性減衰定数を付与している。

本例では設計用入力地震動として「BCJ-L2」を採用し、地震波倍率を 0.815 倍として設定した。

(2) 目標クライテリアの設定

Table1.2.目標塑性率

層	塑性率	
	非制震時	目標値
15	1.06	0.42
14	1.56	0.63
13	2.09	0.84
12	2.49	1.00
11	2.69	1.08
10	2.15	0.86
9	2.15	0.86
8	2.35	0.94
7	2.27	0.91
6	2.48	1.00
5	2.85	1.14
4	3.64	1.46
3	4.27	1.71
2	4.67	1.87
1	4.99	2.00

Table1.1 に示した非制震時の検討モデルの時刻歴応答解析より算出された最大塑性率を 2.0 以内に収めることを目標クライテリアとする。Table1.2 では非制震時の結果が 1 層において最大塑性率となっているので倍率 0.4 を各層に乗じた値を目標値として設定した。

1 : 日本大学理工学部 准教授・博士 (工学)

Associate Professor, College of Science and Technology, Nihon University, Dr.Eng

2 : 日本大学理工学部

College of Science and Technology, Nihon University

(3) 固有値解析結果の把握

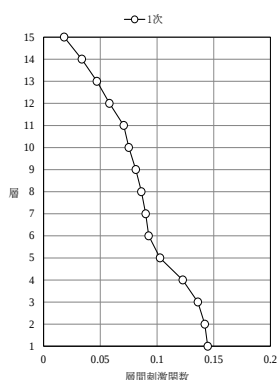


Figure 1.2. 層間刺激関数

(4) 基準座標 $D_{\max}$ の算出

構造躯体の塑性化を考慮した場合、基準座標 $D_{\max}$ の算出において既往の設計手順とは異なり、以下に示す式(1-1)より求める。

$$D_{\max} = \min \left(\frac{\mu_d \cdot X_{e,n}}{n \beta \gamma_j} \right) \quad (1-1)$$

μ_d : 目標塑性率
 $X_{e,n}$: 弾性限界変形
 $n \beta \gamma_j$: 層間刺激関数

(5) 目標粘性減衰定数 h_{GD} の推定

Figure 1.1 に示した設計フローの手順⑤、⑥では目標粘性減衰定数を仮定し、それをもとに定点周期 T_p を求める。さらに設計用入力地震動の応答スペクトルから定点周期 T_p における擬似速度応答値 $pS_{v,10}$ を読み取り以下に示す(1-5)式より D_{10} を算出する。

$$\kappa_k = \frac{4h_{GD}}{1-2h_{GD}} \quad (1-2) \quad T_p = T_{eq} \cdot \sqrt{\frac{2}{2+\kappa_k}} \quad (1-3)$$

$$T_{\infty} = T_{eq} \cdot \sqrt{1+\kappa_k} \quad (1-4) \quad D_{10,p} = \frac{pS_{v,10}}{\omega_p} \quad (1-5)$$

κ_k : 付加剛比 h_{GD} : 目標粘性減衰定数

T_p : 定点における周期 T_{eq} : 等価周期

T_{∞} : 減衰係数(C)が ∞ の時の周期

上記で求めた基準座標変形 $D_{\max}$ と D_{10} を用いて $D_{\max}/D_{10}$ を算出し、応答性能設計図表より目標となる粘性減衰定数を読み取る。このとき読み取った粘性減衰定数が手順⑤で仮定したものと近似しない場合は再び仮定し直し、近似した値になるまで手順⑤から手順⑧を繰り返し行う。この過程を繰り返すことにより定点における最適な粘性減衰定数を把握することができる。本例では粘性減衰定数を 0.1 と仮定。 $D_{\max}/D_{10}=0.11$ となり、応答性能設計図表から読み取った値と近似したため、目標粘性減衰定数を $h_{GD}=0.1$ として決定する。

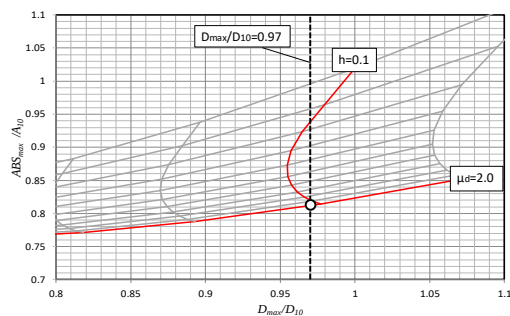


Figure 1.3. 応答性能設計図表

1.3 制震装置のパラメータ及び配置層の決定

既往の設計方法と同様に決定した目標粘性減衰定数を満たすように 1 次層間刺激関数の大きい 1 層から 5 層に集中して制震装置を配置した。しかしながら Figure 1.4 に示す時刻歴応答解析では中層部で大きく塑性化する結果となった。

Table 1.3. 制震パラメータ

FL	減衰係数 (kN・s/m)	取付部剛性 (kN/m)
5	241,500	2,100,000
4	241,500	2,100,000
3	241,500	2,100,000
2	241,500	2,100,000
1	241,500	2,100,000

Table 1.4. 複素固有値解析結果

モード	T_{eq}	h_{eq}
1次	1.236	0.098

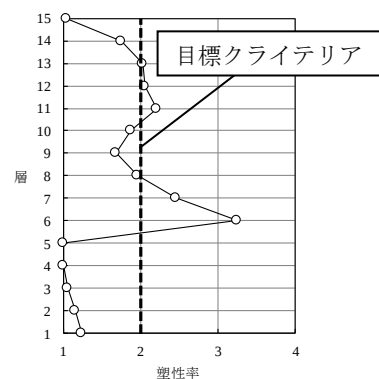


Figure 1.4. 時刻歴応答解析結果

1.4 まとめ

本報では既往の制震設計法を拡張し、構造躯体の塑性化を考慮した場合の設計例を示した。時刻歴応答解析より、既往の手順で示した制震装置の配置方法では不十分であることがわかる。次報では制震装置の配置方法に関してさらなる検討を進める。

参考文献

- [1] 秦一平, 石丸辰治, 長谷川純: 非線形粘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
- [2] 石丸 辰治, 秦 一平, 三上 淳治 [他]: 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 75(654), 1455-1464, 2010-08
- [3] 安松 哲生, 秦 一平, 石丸 辰治, 金井 修司, 山本 哲也: 複素固有値解析と応答性能設計図表を用いた制震構造物のパラメータ設計方法に関する研究その 1 ～その 3 学術講演梗概集 2013(構造 II), 961-966, 2013-08-30