

免震建物と耐震建物の連結制震に関する研究
その2 性能指定型設計法の提案

A Study on Coupled Vibration Control System of Base Isolation Structure and Seismic Structure
Part 2 Proposal of Performance Specified Type Design Method

○井上啓道³, 古橋剛¹, 押山育未², 高林正和³, 大館龍平³

*Hiromichi Inoue³, Takeshi Furuhashi¹, Ikumi Oshiyama², Masakazu Takabayashi³, Ryuhei Odate³

In part 1, verified the applicability of the theory of optimal design based on fixed point theory. From the results, I found that the performance of seismic structure has improved on the other hand it is highly possible that the performance of base isolation structure was deteriorated. In this paper, it was investigated by using a damper amount was reduced from the amount of damper optimal amount. From the results, I proposed a new design method of "Performance Specified Type Design Method".

2.1 はじめに

前報その1では、免震建物と耐震建物において連結制震システムを適用させた際の、最適設計理論の適用性について示した。結果として、耐震建物の性能向上は見込めるが、免震建物については、付与する減衰定数が高すぎるため、長周期化や高次モードの抑制などの特性に悪影響を与え、免震建物の対震性能が悪化する傾向にあることが分かった。そこで本報その2では、最適設計時からダンパー量を低減し、最適設計時よりも減衰定数を抑えたモデルを用いて検討を行い、その結果から、新たな設計方法の提案を行う。

2.2 ダンパー量を低減した場合の検討

最適設計時からダンパー量を低減したモデルでの検討を行い、場合のモデルと比較を行う。構造体の諸元は、その1で用いたものと同様である。Table 2-1 に最適設計時から低減したダンパー量を示す。ここでは、最適同調を満たすための k_d を無くし、 c_d を 1/3 に低減している。

Table 2-1 Reduction damper amount

	k_d [kN/m]	c_d [kN·s/m]
低減したダンパー量	0.0	900.0

Figure2-1 にダンパー量を低減したモデルの相対応答倍率曲線を示す。ダンパー量を低減したモデルは、 k_d を 0 にしたことにより定点の高さがずれていることが分かる。また、ダンパー量を低減させたことにより、最大応答倍率は、最適設計を行ったモデルより大きい値となっていることが分かる。

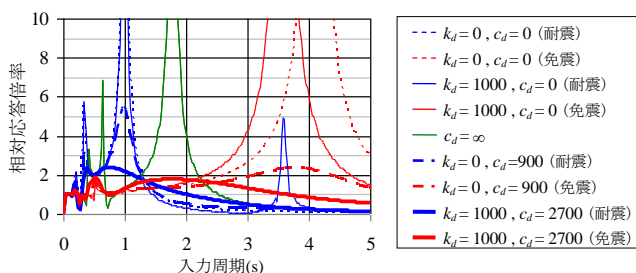


Figure2-1 Relative response magnification curve (6th layer)

複素固有値解析結果を Table2-2 に、刺激関数図を Figure2-2 に示す。低減ダンパー量を用いたモデルの場合、連結時の耐震建物における1次減衰定数は12%程度であり、最適設計を行ったモデルに比べると低い値となっている。しかし、耐震建物の地震応答を低減するという意味では十分な値であると言える。また、連結時の免震建物における1次減衰定数は23%程度であり、最適設計を行ったモデルに比べて低い値となっている。その結果、Figure2-2 に示した刺激関数からも窺えるように、免震建物の高次モードがほぼ発生していないことが分かる。ここで、1次固有周期を見ると、非連結時の4.10秒と比べて、最適設計を行ったモデルでは2.77秒であるのに対して、ダンパー量を低減したモデルは4.02秒であり、非連結時と同程度であることが分かる。

Table 2-2 Complex eigenvalue analysis results

モード	非連結時		最適設計時		ダンパー量低減時	
	Teq	heq	Teq	heq	Teq	heq
1次	4.10	0.000	2.77	0.605	4.02	0.232
2次	1.00	0.010	0.99	0.538	1.00	0.123
3次	0.51	0.019	0.55	0.204	0.51	0.070
4次	0.34	0.290	0.36	0.136	0.34	0.063

● 免震建物の元々の1次モード □ 耐震建物の元々の1次モード

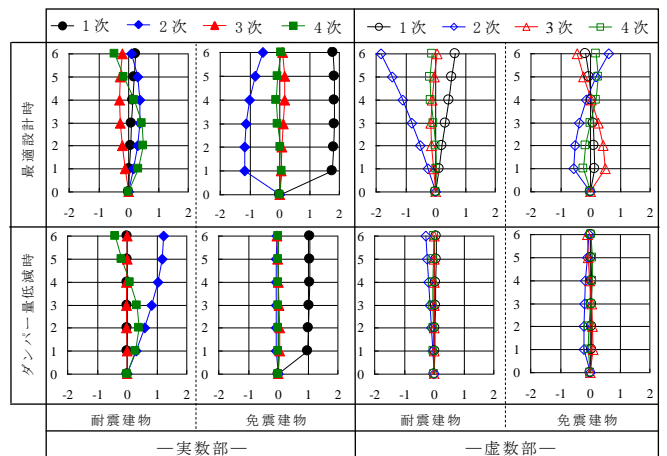


Figure2-2 Participation vector

その 1 で用いた地震波の非線形時刻歴応答解析結果を Figure2-3 に示す。ダンパー量を低減したモデルの場合、耐震建物では、十分な応答低減効果が確認できる。また、免震建物では、高次モードが抑制されたことにより、大きな性能の悪化は見受けられなかった。

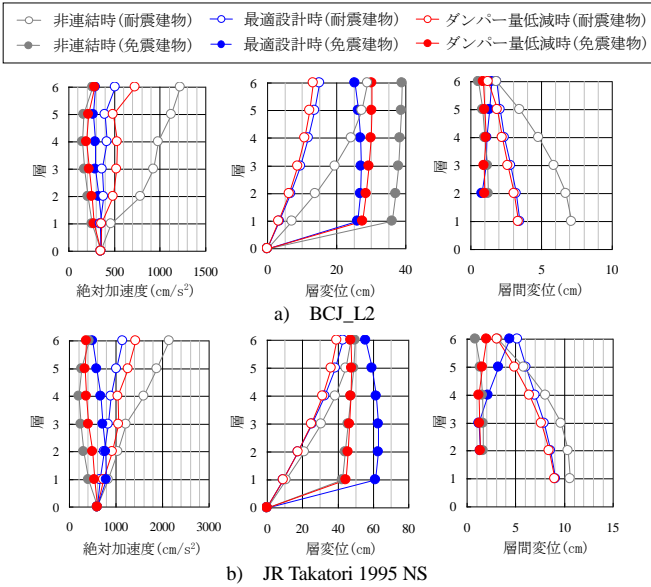


Figure2-3 Non-linear time history response

2.3 「性能指定型設計法」の提案

最適設計理論では、免震建物と耐震建物のように、対象とする両棟の固有周期が離れているほど、獲得する減衰定数が大きくなる。しかし、Table2-2 に示すように 50% を超える高い減衰定数の確保により、免震建物の高次モードが発生した。また 1 次固有周期も短くなり、連結後の免震建物の性能を悪化させる結果となった。そこで、ダンパー量を耐震建物の減衰性能が十分確保できる範囲で低減させることにより、免震建物の高次モードの発生を抑制し、1 次固有周期も非連結時の免震建物の周期とほぼ同等になることが分かった。

以上のことに着目し、本研究では、「非連結時の耐震建物の 1 次モードにあたる連結時の耐震建物の減衰定数(以降、目標耐震減衰定数)を目標性能として指定し、その目標を満足するダンパー量を算出する」方法を提案する。本研究では、本手法を連結制震システムの「性能指定型設計法」と呼称する。

2.4 設計指標の作成

目標耐震減衰定数を決めると、同時に非連結時の免震建物の 1 次モードにあたる連結時の免震建物の減衰定数(以降、免震減衰定数)も決まる。そこで、目標耐震減衰定数と免震減衰定数の関係を、構造体の諸元ごとに把握できる指標を作成する。指標の作成方法として、まず免震減衰定数を設定し、次にそれを満たすダンパー量を用いた時の目標耐震減衰定数を求めていく。以上の操作を、以下に示す構造体の諸元ごとに繰り返す

ことにより、指標を作成する。

$$\text{質量比 } \gamma_M = \text{免震建物の質量} / \text{耐震建物の質量}$$

$$\text{周期比 } \alpha_T = \text{免震建物の固有周期} / \text{耐震建物の固有周期}$$

作成した設計指標の例を Figure2-4 に示す。本指標から、目標耐震減衰定数を指定した時の免震減衰定数を構造体の諸元ごとに把握することができる。なお、免震減衰定数を低く抑え、目標耐震減衰定数を大きく確保するためには、質量比 γ_M を大きくし、周期比 α_T を小さくすれば良い。本指標を用いた性能指定型設計法の手順と、その有用性は、その 3 で示す。

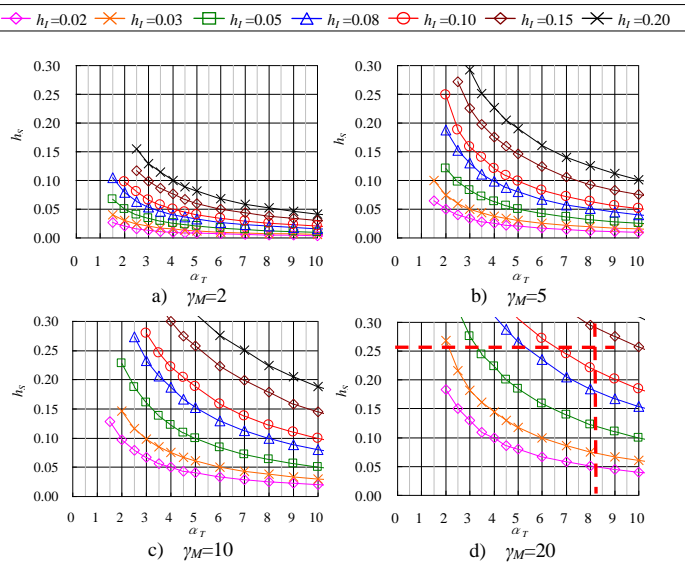


Figure2-4 An example of a design index

(※ h_i : 免震減衰定数, h_s : 目標耐震減衰定数, α_T : 周期比, γ_M : 質量比)

2.5 まとめ

最適設計理論に基づく設計を行った場合に対して、最適設計時からダンパー量を低減させると、免震建物の特徴である長周期化や高次モードの抑制を維持できることが分かった。また、その時の耐震建物は、地震応答を低減する意味では十分な減衰定数を確保できていることが分かった。

以上のことに着目し、耐震建物の性能を目標耐震減衰定数で判断するものとし、「性能指定型設計法」を提案した。次報その 3 では「性能指定型設計法」の有用性を、設計例を通して検証する。

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) 蔭山満, 安井譲, 背戸一登: 連結制振の基本モデルにおける連結バネとダンパーの最適解の誘導, 日本建築学会大会構造系論文集, 2000. 3
- 3) 蔭山満, 安井譲, 背戸一登: 多モード連結制振を対象とした連結バネとダンパーの最適配置に関する研究, 日本建築学会大会構造系論文集, 2000