

免震建物と耐震建物の連結制震に関する研究  
その1 最適設計理論の適用性の検証

A Study on Coupled Vibration Control System of Base Isolation Structure and Seismic Structure  
Part 1 Verification of the Applicability of the Theory of Optimal Design

○大館龍平<sup>3</sup>, 古橋剛<sup>1</sup>, 押山育未<sup>2</sup>, 高林正和<sup>3</sup>, 井上啓道<sup>3</sup>

\*Ryuhei Odate<sup>3</sup>, Takeshi Furuhashi<sup>1</sup>, Ikumi Oshiyama<sup>2</sup>, Hiromichi Inoue<sup>3</sup>, Masakazu Takabayashi<sup>3</sup>

This research proposes the method of the improvement of quakeproof of seismic structure by connecting with the damper base isolation structure and seismic structure. In this paper, verified the applicability of the theory of optimal design based on fixed point theory on coupled vibration control system of base isolation structure and seismic structure. As a result, the performance of seismic structure has improved, on the other hand, it is highly possible that the performance of base isolation structure was deteriorated.

1.1 はじめに

近年、免震構造を採用した計画において、設計上の制約などの理由から免震装置を有する建物(免震建物)と、免震装置を有さない建物(耐震建物)が隣接する計画が多く存在する。そのため高い対震性<sup>1)</sup>が求められている昨今、免震建物に隣接する耐震建物の対震性の向上が設計上の大きな課題となっている。

そこで本研究では、免震建物と耐震建物をダンパーで連結することにより、耐震建物の対震性の向上を図る方法を提案する。一般に、複数の建物をダンパーで連結する手法は、「連結制震システム」と呼ばれている。この手法におけるダンパー量の算出方法として、背戸、蔭山らにより、定常応答における定点理論に基づいた最適設計理論<sup>2)</sup>が提案されている。本理論は、対震性能が低い建物同士の連結を想定しているが、もともと対震性能が高い免震建物へ適用した場合に、その性能に与える影響を検証した研究はなされていない。そこで本報その1では、免震建物と耐震建物の連結制震において、定点理論に基づいた最適設計理論の適用性について検証を行う。

1.2 定点理論に基づいた最適設計理論

Figure1-1 に両棟1質点系のモデルを示す。ここでは、 $m_1$  側を主系(短周期側)、 $m_2$  側を副系(長周期側)と定義する。

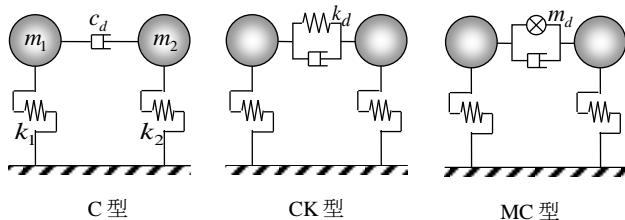


Figure 1-1 Basic system model of SDOF Weighing building

連結ダンパーの構成は、粘性ダンパーのみで構成される C 型、粘性ダンパーと剛性ばねを並列接続した

CK 型、粘性ダンパーとダイナミック・マスを並列接続した MC 型の3種類が考えられている。ここで、両棟の質量と剛性の比率を以下のように定義する。

$$\gamma_m = \frac{m_2}{m_1} : \text{質量比}, \quad \mu_k = \frac{k_2}{k_1} : \text{剛性比} \quad (1-1)$$

式(1-1)より定義された基本系モデルの相対応答倍率曲線の一例を Figure1-2 に示す。連結制震においては、連結部の減衰係数  $c_d$  を、0 及び  $\infty$  とした場合の応答倍率曲線の交点(主副系それぞれに存在する)が、 $c_d$  の値に寄らず応答倍率が一定となる特異な点(定点)が存在するという定点理論が知られている。背戸、蔭山らはこの定点理論に着目し、両棟の定点の高さを揃え(以降、最適同調)、応答倍率曲線が定点で最大となる(以降、最適減衰)ようにダンパー量を決定することを、連結制震における最適設計としている。ここで、Figure1-2 において、 $\gamma_m = 1 / \mu_k$  の場合は、最適同調がなされており、適切に  $c_d$  を決定することで最適設計が可能となる。

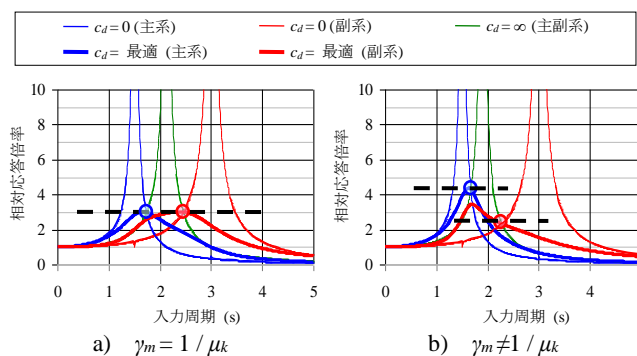


Figure 1-2 An example of a relative magnification response curve (C type)

C 型では、 $\gamma_m = 1 / \mu_k$  の場合は最適設計が可能であるが、 $\gamma_m \neq 1 / \mu_k$  の場合は C 型では定点の高さを揃えることができないため、最適設計することはできない。この場合、CK 型や MC 型のように  $c_d$  に並列に配置した  $k_d$  (CK 型) や  $m_d$  (MC 型) を付加することにより定点位置の調節が可能になるため最適設計が可能となる。

### 1.3 定点理論による最適設計理論の適用性の検証

Figure1-3 に検討モデル図を示す. Table1-1, Table1-2 に検討モデルの各諸元を示す. 両建物共に 6 質点せん断型モデルとし, 規模が同一のモデルを想定, 最上層に連結ダンパーを設置する. 部材減衰は, 耐震建物及び免震建物の上部構造に対して剛性比例型で 1 次モードに 1%を付与する. また最適設計理論は弾性範囲内を対象としている為, 免震層の剛性は 2 次剛性を用いて設計を行う. Table1-3 に決定したダンパー量を示す.

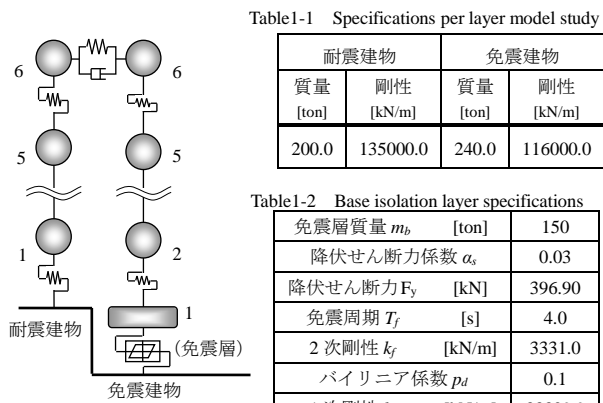


Figure1-3 Study model

Table 1-1 Specifications per layer model study

耐震建物		免震建物	
質量 [ton]	剛性 [kN/m]	質量 [ton]	剛性 [kN/m]
200.0	135000.0	240.0	116000.0

Table 1-2 Base isolation layer specifications

免震層質量 $m_b$ [ton]	150
降伏せん断力係数 $\alpha_s$	0.03
降伏せん断力 $F_y$ [kN]	396.90
免震周期 $T_f$ [s]	4.0
2 次剛性 $k_f$ [kN/m]	3331.0
バイリニア係数 $p_d$	0.1
1 次剛性 $k_1$ [kN/m]	33309.9

Table 1-3 The amount of damper calculated

	$k_d$ [kN/m]	$c_d$ [kN·s/m]
最適ダンパー量	1000.0	2700.0

検討モデルにおける非連結時, 及び最適設計時の複素固有値解析結果を Table1-4 に, 刺激関数図を Figure1-4 に示す.

Table 1-4 Complex eigenvalue analysis results of design time

モード	非連結時		最適設計時		
	$Teq$	$heq$	$Teq$	$heq$	
1 次	4.10	0.000	2.77	0.605	免震建物の元々の 1 次モード
2 次	1.00	0.010	0.99	0.538	耐震建物の元々の 1 次モード
3 次	0.51	0.019	0.55	0.204	
4 次	0.34	0.029	0.36	0.136	

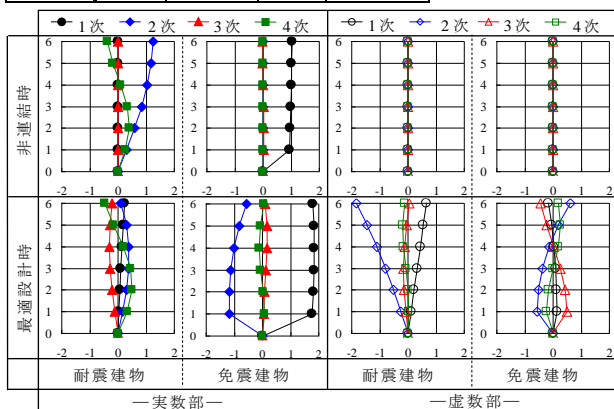


Figure 1-4 The participation vector diagram of a design-time (horizontal axis: participation vector, vertical axis: layer)

Figure 1-4 を見ると, 非連結時の刺激関数より, 全体の 1 次モードが免震建物の 1 次, 全体の 2 次が耐震建物の 1 次モードである. Table 1-4 を見ると最適設計を行った場合, 減衰定数は 1 次, 2 次それぞれ 50%以上

となり, 両建物に非常に高い減衰性能を確保できる. しかし, 免震建物の刺激関数において, 非連結時には発生していなかった 2 次以降の刺激関数が大きく発生している. このことは, 免震建物の応答としては好ましくない.

Figure1-5 に入力地震動の疑似速度応答スペクトルと加速度時刻歴波形を示す.

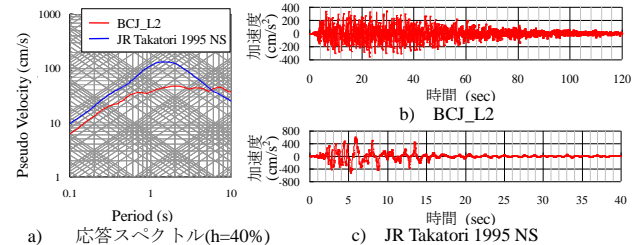


Figure1-5 Acceleration time history waveform and response spectra of the input ground motion

時刻歴応答解析結果を Figure1-6 に示す. 最適設計を行った場合, 耐震建物は十分な応答低減効果が確認できる. 一方, 免震建物は BCI\_L2 の層変位を除き, 応答が悪化している. このことは, 高すぎる減衰定数によって短周期化してしまったため, 免震建物のモード形状が大きく崩れたことが原因だと考えられる.

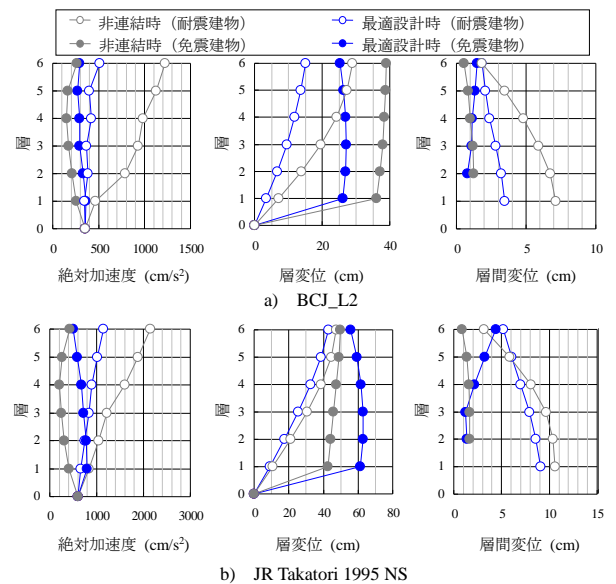


Figure1-6 Non-linear time history response analysis

### 1.4 まとめ

本報その 1 では耐震建物と免震建物の連結制震の場合, 定点理論による最適設計理論を用いると免震建物の性能が悪化する可能性がある事を示した. その 2 ではこのような場合に対する新たな設計法の提案を行う.

### 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, 安井謙, 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, 2000.12