

## 2 方向入力時における連結制震システムの適用

### その 1 性能指定型設計法の有効性の検討

The application of the Coupled Vibration Control System against seismic input from two directions.

#### Part 1 Study of the effectiveness of performance-specifying design method

○伊佐治卓也<sup>2</sup>, 須山大地<sup>2</sup>, 田中佑一郎<sup>2</sup>, 古橋剛<sup>1</sup>, 高林正和<sup>3</sup>, 井上啓道<sup>4</sup>

\*Takuya Isaji<sup>4</sup>, Daichi Suyama<sup>4</sup>, Yuichiro Tanaka<sup>4</sup>, Takeshi Furuhashi<sup>1</sup>, Masakazu Takabayashi<sup>2</sup>, Hiromichi Inoue<sup>3</sup>

We check the couple method and validity of performance specified type design method for the two-directional input to the three-dimensional model. We indicate the way to decide quantity of dampers and the result of the time history response analysis.

#### 1.1 はじめに

近年, 高い対震性<sup>1)</sup>が求められ, 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課題となっている. 免震建物と耐震建物を連結し, 耐震建物の対震性の向上を図る連結制震システムの設計法として, 性能指定型設計法<sup>2)</sup>が提案された. 性能指定型設計法は, 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である目標耐震減衰定数 $h_{耐}$ を予め指定し連結部のダンパー量を算出する設計法である. この設計法では, 質点モデルに縮約し, 1方向入力による検討しかされていない.

本報その1では, 立体モデルの2方向入力に対する, 性能指定型設計法の有効性及び連結方法の検討を行う.

#### 1.2 検討モデル

検討モデルの諸元を Table 1-1 に示す. 耐震建物は, 免震建物に対して床面積が 1/5 程度の規模を想定し, 質量は, 各層ごと各節点到 4 分割している. 剛性は, 梁は剛梁とし柱は層剛性を 4 分割した値となるように断面を定め, 耐震建物の Y 方向の剛性は, X 方向の剛性の 1.5 倍とする. 性能指定型設計法をする際の免震層の剛性は, 2次剛性を用いる. モデル図及び柱番号, 免震層諸元を Figure 1-1, Table 1-2 にそれぞれ示す. 部材減衰は, 耐震建物及び免震建物の上部構造に対し, それぞれ剛性比例型で1次モードに1%を付与している. 連結ダンパーは, 最上層である10層目に配置する.

Table 1-1 Consider model specifications

	方向	1層あたりの質量 [ton]	1層あたりの剛性 [kN/m]	固有周期 [s]	層数	層高 [mm]
耐震建物	X	200	350000	1.00	10	4000
	Y		525000	0.82		
免震建物 (上部構造)	XY 共通	1000	1750000	4.09		

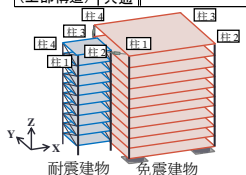


Figure 1-1 Pillar number and model figure

Table 1-2 Isolation layer specifications

上部構造層質量 [ton]	11500
降伏せん断力係数	0.03
降伏せん断力 [kN]	3381
免震周期 [s]	4.0
2次剛性 [kN/m]	28375.1
バイリニア係数	0.1
1次剛性 [kN/m]	283751.1

#### 1.3 連結方法の検討

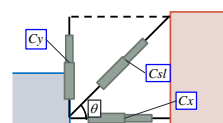
立体モデルにおける連結方法の条件として, ダンパーが X 方向と Y 方向に効かなければならない. そのため, 斜めに設置する方法は, 容易に想像がつく. しかし, Figure 1-2a) に示すように, 単に斜めに設置するだけでは, 連結部にダンパーの反力による捻りモーメントが発生し, 両建物に回転が生じてしまう. そこで, Figure 1-2b) に示すように, ダンパーの軸方向の延長線上に片方の建物の重心が位置するようにダンパーを設置する. このように連結すると, ダンパーの軸方向の延長線上に重心が位置する建物は回転が生じなくなる.



Figure 1-2 the consolidation method

#### 1.4 ダンパー量の決定

まず, X 方向, Y 方向, それぞれ性能指定型設計法を行う. 今回は, 地震応答を低減する意味で目標耐震減衰定数  $h_{耐}$  を 0.200 と指定する. このときの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である目標免震減衰定数  $h_{免}$  は, X 方向では 0.075, Y 方向では 0.090 となる. 目標性能を満たすように, 複素固有値解析によりダンパー量を決定していく. その結果, X 方向のダンパー  $C_x=4900$  [kN · s/m], Y 方向のダンパー量  $C_y=3050$  [kN · s/m] が得られる. 各方向のダンパー量と斜め方向のダンパー量  $C_{sl}$  の関係は, 以下の式のようになる.

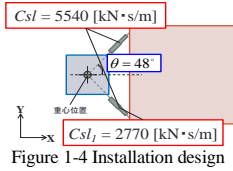


$$C_x = C_{sl} \times \cos^2 \theta \quad (1-1)$$

$$C_y = C_{sl} \times \sin^2 \theta \quad (1-2)$$

Figure 1-3 Relationship of the damper amount

(1-1), (1-2)式か  $C_x, C_y$  と設置角度  $\theta$ , 斜め方向のダンパー量  $C_{sl}$  の関係式は, 次頁の式となる.



$$\theta = \tan^{-1} \sqrt{\frac{C_y}{C_x}} \quad (1-3)$$

$$C_{sl} = C_x + C_y \quad (1-4)$$

(1-3), (1-4)式より, 設置角度  $\theta=48$ [度], 斜め方向のダンパー量  $C_{sl}=5540$ [kN・s/m]と求められる。また, 一基あたりのダンパー量は, 設置基数で除すればよいので,  $C_{sl1}=C_{sl2}=2770$ [kN・s/m]と求められる。

### 1.5 複素固有値解析結果

Table 1-3 に連結時の複素固有値解析結果を, Figure 1-5 に刺激関数図を示す。Table 1-3 に示すように, 目標耐震減衰定数  $h_{耐}$ , 目標免震減衰定数  $h_{免}$  ともに各方向とも指定した値を満足していることがわかる。Figure 1-5 に示すように, 刺激関数においても, 免震建物の高次モードが発生していないことがわかる。

Table 1-3 Complex eigenvalue analysis results

モード	X方向		Y方向		色
	固有周期	減衰定数	固有周期	減衰定数	
1次	4.06	0.075	4.06	0.092	■ 免震建物の元々の1次モード
2次	1.01	0.210	0.81	0.211	
3次	0.56	0.036	0.56	0.038	■ 耐震建物の元々の1次モード
4次	0.34	0.096	0.28	0.038	

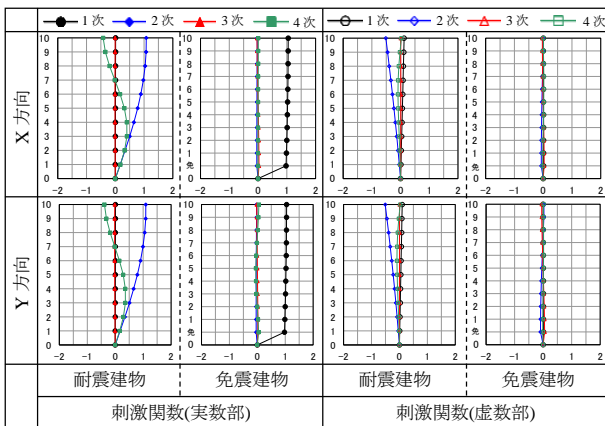


Figure 1-5 Stimulus Function Figure (横軸: 刺激関数, 縦軸: 層)

### 1.6 入力地震動

入力地震動は, NS 方向を 50[cm/s]に基準化した El Centro 1940, JR TAKATORI 1995 の 2 波を使用する。検討モデルに対し, X 方向には EW 成分を, Y 方向には NS 成分を入力した。Figure 1-6 に各地震波の応答スペクトルを示す。

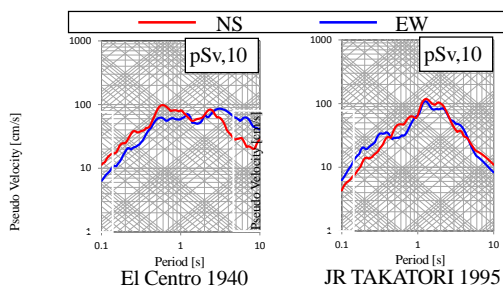


Figure 1-6 Response spectrum of the input ground motion

### 1.7 非線形時刻歴応答解析結果

検討モデルの非線形時刻歴応答解析結果において, Figure 1-7 に El Centro 1940 波を入力した時の, Figure 1-8 に JR TAKATORI 1995 波を入力した時の応答解析結果を示す。耐震建物において, X 方向, Y 方向ともに非連結時と比べ, 連結時に応答が低減していることがわかる。層間変位においては, 連結制震により各層層間変形角 1/200 である 2[cm]を下回る結果となった。免震建物において, 柱ごとに微量に応答の差があるが, 高減衰の付加による性能の低下は見られなかった。

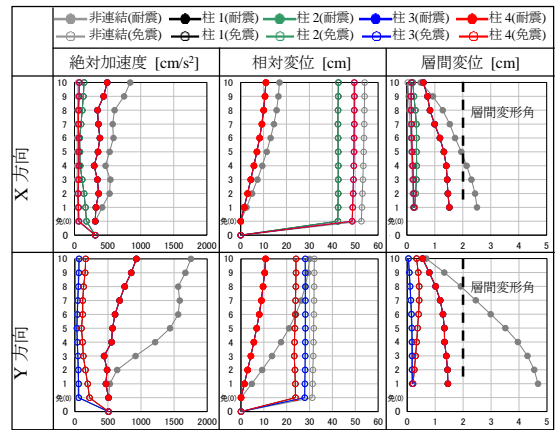


Figure 1-7 Response value of the El Centro 1940 wave input

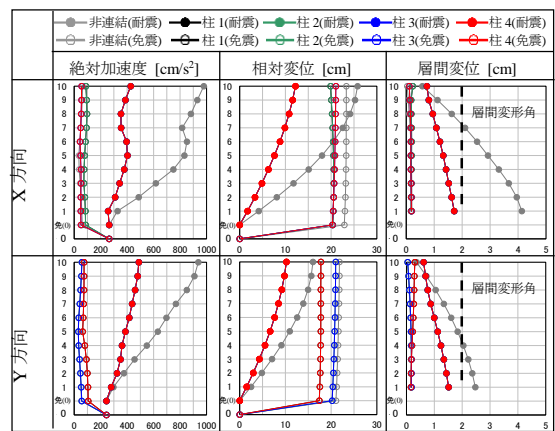


Figure 1-8 Response value of the JR TAKATORI 1995 wave input

### 1.8 まとめ

本報その 1 では, 立体モデルにおいて, 連結制震システムの性能指定型設計法を適用させ, 2 方向入力に対するその有効性を複素固有値解析及び非線形時刻歴応答解析の結果より示した。

次報その 2 では, 免震建物に生じた微量な応答の差について考察及び検討を行う。

### 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) 押山育未, 古橋剛, 土田堯章, 弓削貴史: 免震建と耐震建物の連結制震に関する研究(その 1~その 3), 日本建築学会大会学術講演会梗概, 2013. 9