

超高層建物の TMD 例題 (20 階建てモデル)

1. 建物モデル

・ 20 階建て鉄骨造建物 (せん断多質点系モデル)

・ 階高 3.2 m

・ 建物高さ  $H = 3.2 \text{ m} \times 20 = 64 \text{ m}$

・ 固有周期  $T = 0.02 H = 1.28 \text{ sec}$

・ 各階寸法 X 方向 20 m、Y 方向 28 m

・ 各階重量 単位面積あたりの重量を  $12 \text{ kN/m}^2$  とすると、 $W_i = 6720 \text{ kN}$

・ 各階質量  $M_i = \frac{W_i}{g} = \frac{6720 \text{ kN}}{9.806 \times 10^3 \text{ mm/s}^2} = 0.6853 \text{ kN} \cdot \text{s}^2 / \text{mm}$

・ 建物質量  $M_s = \frac{W_s}{g} = \frac{134.4 \times 10^3 \text{ kN}}{9.806 \times 10^3 \text{ mm/s}^2} = 13.71 \text{ kN} \cdot \text{s}^2 / \text{mm}$

・ 各階剛性 「付録」 に示すように 1 次の振動モード形に逆三角形を仮定して次式から求める

$$k_i = \frac{1}{2} [n(n+1) - i(i-1)] m_i \omega^2 \quad i = 1 \text{ to } n$$

・ 各階減衰係数 剛性比例の粘性減衰を仮定して次式から求める

$$c_i = 2h\omega \frac{k_i}{\omega^2} = \frac{2h}{\omega} k_i = \alpha k_i, \quad \alpha = \frac{2h}{\omega}$$

ここに  $h$  は減衰定数で 2% とする。

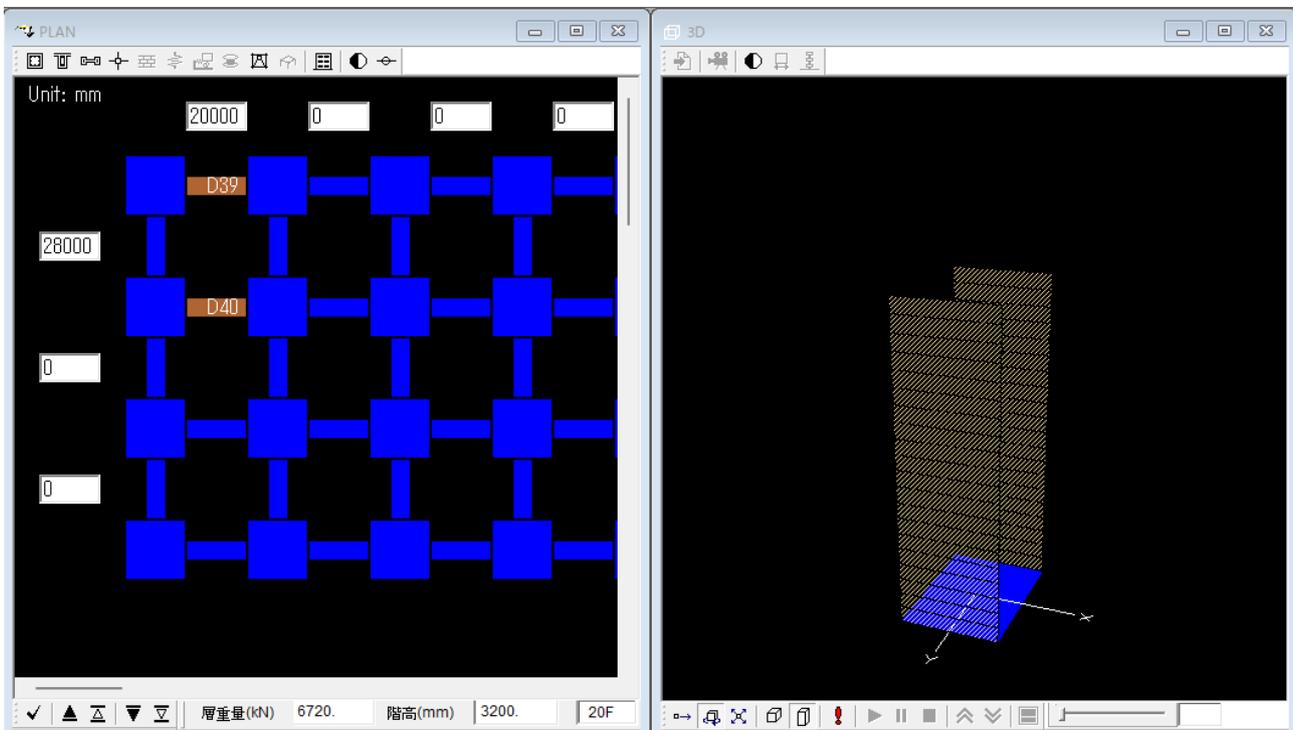


図1 建物の解析モデル (20-story model without TMD.stera)

表1 建物モデル諸元

階数	階高 (mm)	階重量 (kN)	剛性 K (kN/mm)	減衰 C (kN.s/mm)
1	3200	6720	3467.7	28.3
2	3200	6720	3451.1	28.1
3	3200	6720	3418.1	27.9
4	3200	6720	3368.6	27.4
5	3200	6720	3302.5	26.9
6	3200	6720	3220.0	26.2
7	3200	6720	3120.9	25.4
8	3200	6720	3005.3	24.5
9	3200	6720	2873.2	23.4
10	3200	6720	2724.6	22.2
11	3200	6720	2559.5	20.9
12	3200	6720	2377.8	19.4
13	3200	6720	2179.7	17.8
14	3200	6720	1965.0	16.0
15	3200	6720	1733.8	14.1
16	3200	6720	1486.1	12.1
17	3200	6720	1221.9	10.0
18	3200	6720	941.2	7.7
19	3200	6720	644.0	5.2
20	3200	6720	330.3	2.7

## 2. TMD の設計

質量比  $\mu=0.03$  とする。

TMD の重量  $W_d = W_s \times \mu = 134.4 \times 10^3 \text{ kN} \times 0.03 = 4032 \text{ kN}$

TMD の質量  $m_d = \frac{W_d}{g} = 0.4112 \text{ kN} \cdot \text{s}^2 / \text{mm}$

最適振動数比  $\frac{\omega_d}{\omega_s} = \frac{1}{1+\mu} = \frac{1}{1.03} = 0.97$  従って

TMD の固有円振動数  $\omega_d = 0.97 \times \omega_s = 0.97 \times \frac{2\pi}{T_s} = 0.97 \times \frac{2\pi}{1.28} = 4.766$

TMD の固有周期  $T_d = \frac{1.28}{0.97} = 1.318 \text{ sec}$

TMD の剛性  $K_d = m_d \omega_d^2 = 0.4112 \times 4.76^2 = 9.34 \text{ kN/mm}$

最適減衰定数は  $h_{opt} = \sqrt{\frac{3\mu}{8(1+\mu)^3}} = 0.101$

TMD の減衰係数  $C_d = \frac{2h_{opt}}{\omega_d} K_d = 0.398 \text{ kN} \cdot \text{s/mm}$

TMD の階高 6m とする。

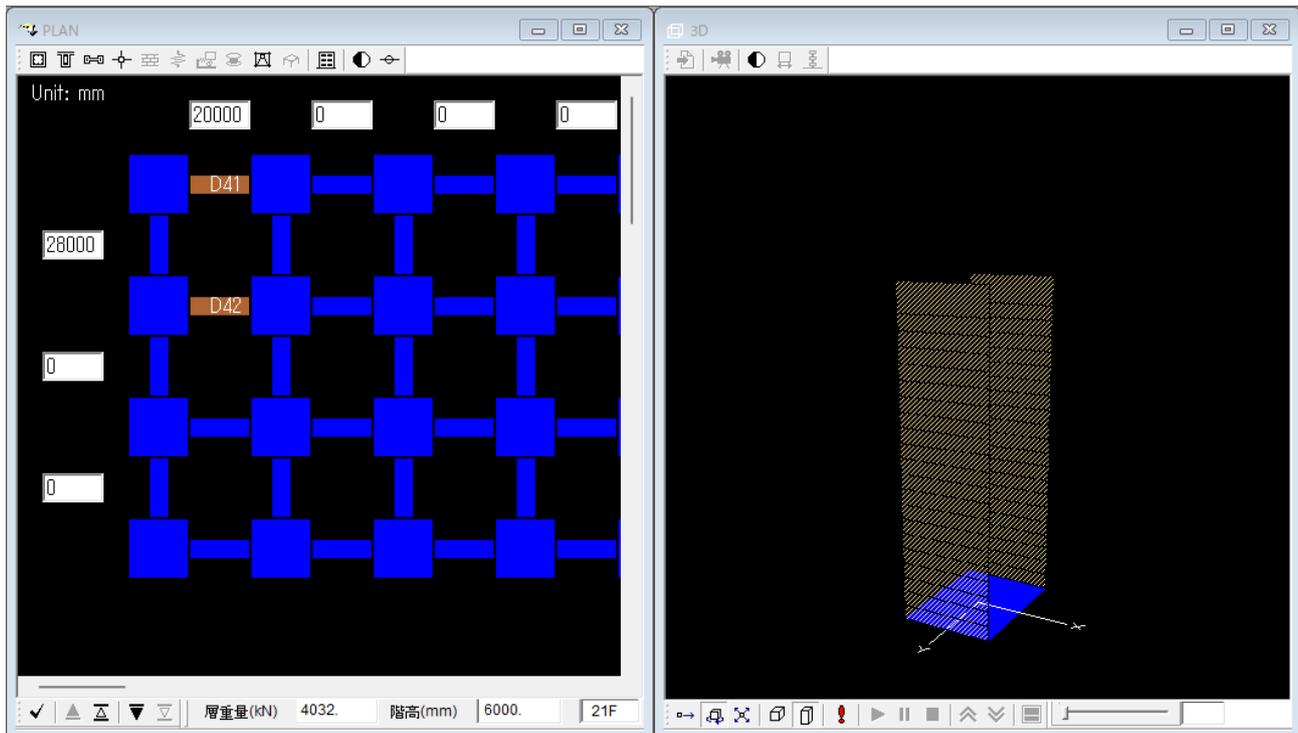


図2 TMD 付き建物の解析モデル (20-story model with TMD.stera)

表2 TMD 諸元

階数	階高 (mm)	階重量 (kN)	剛性 K (kN/mm)	減衰 C (kN.s/mm)
1	6000	4032	9.34	0.398

### 3. STERA\_3D の入力手順

#### ステップ1. 拘束自由度番号

オプション > 建物一般

自由度は水平の X 方向 (1) のみなので、それ以外の自由度番号 (2345678) を拘束する。

建物オプション

自由度

拘束自由度番号 **2345678**

例

2467 ... X-方向のみ  
1568 ... Y-方向のみ  
45678 ... 回転自由度なし  
78 ... 剛節点(せん断変形なし)

柱変形のP-Delta 効果

考慮しない  考慮する

節点の質量配分

全ての節点に均等配分  
 床の支配面積に応じて配分  
 節点ごとに指定

データ入力

OK

#### ステップ2. パッシブ制振部材

オプション > 部材

水平部材としてパッシブ制振部材を使うので、パッシブ制振部材の「考慮する」をセットする。

部材オプション

柱部材

RC  S  SRC  直接 (杭)  混合

梁部材

RC  S  SRC  直接  混合

壁/ブレース部材

RC  S  SRC  直接 (ブレース)  混合 (ブレース)

床スラブ

面内剛  完全剛  弾性床  混合

地盤ばね

なし  コーンモデル  直接

ヤング率 (N/mm<sup>2</sup>)

鉄 205 \*1000

鉄筋サイズ表 1. Japan/U.S. セット

組積造壁

考慮しない  考慮する

外部ばね(基礎以外)

考慮しない  考慮する

非線形せん断ばね

考慮しない  考慮する

非線形曲げばね

考慮しない  考慮する

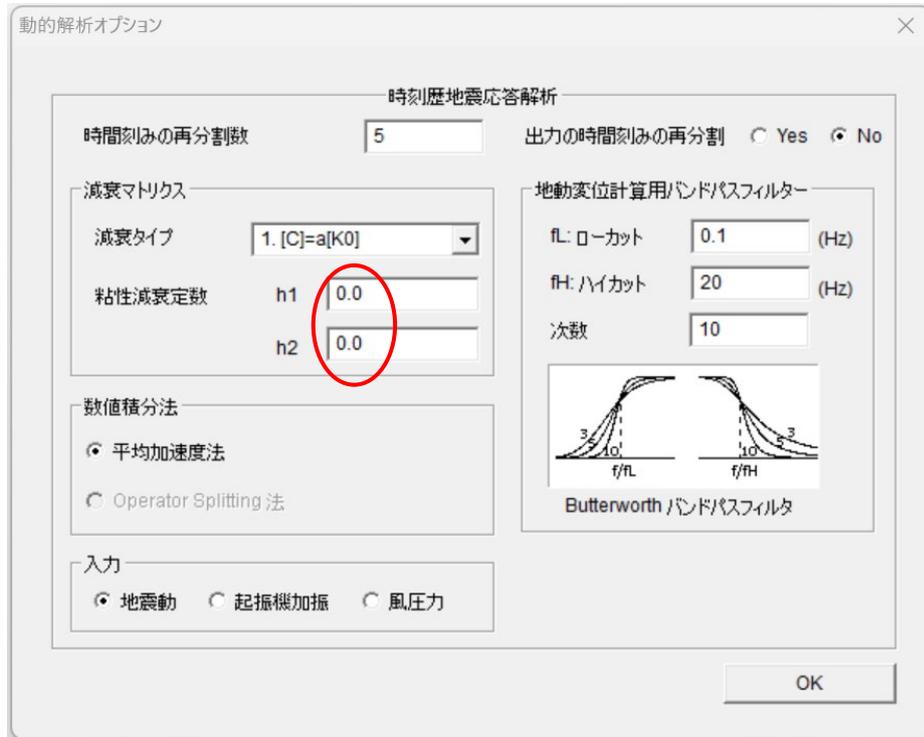
損傷指標

OK

### ステップ3. 減衰粘性定数

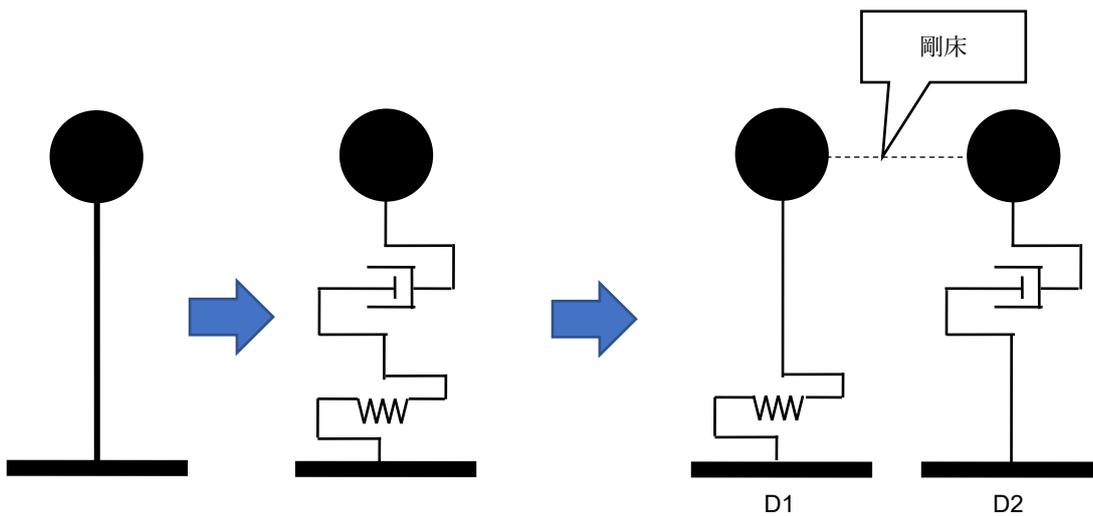
オプション>解析条件>動的解析

減衰特性は各部材ごとに与えるので、粘性減衰定数  $h1$  と  $h2$  はゼロにする。

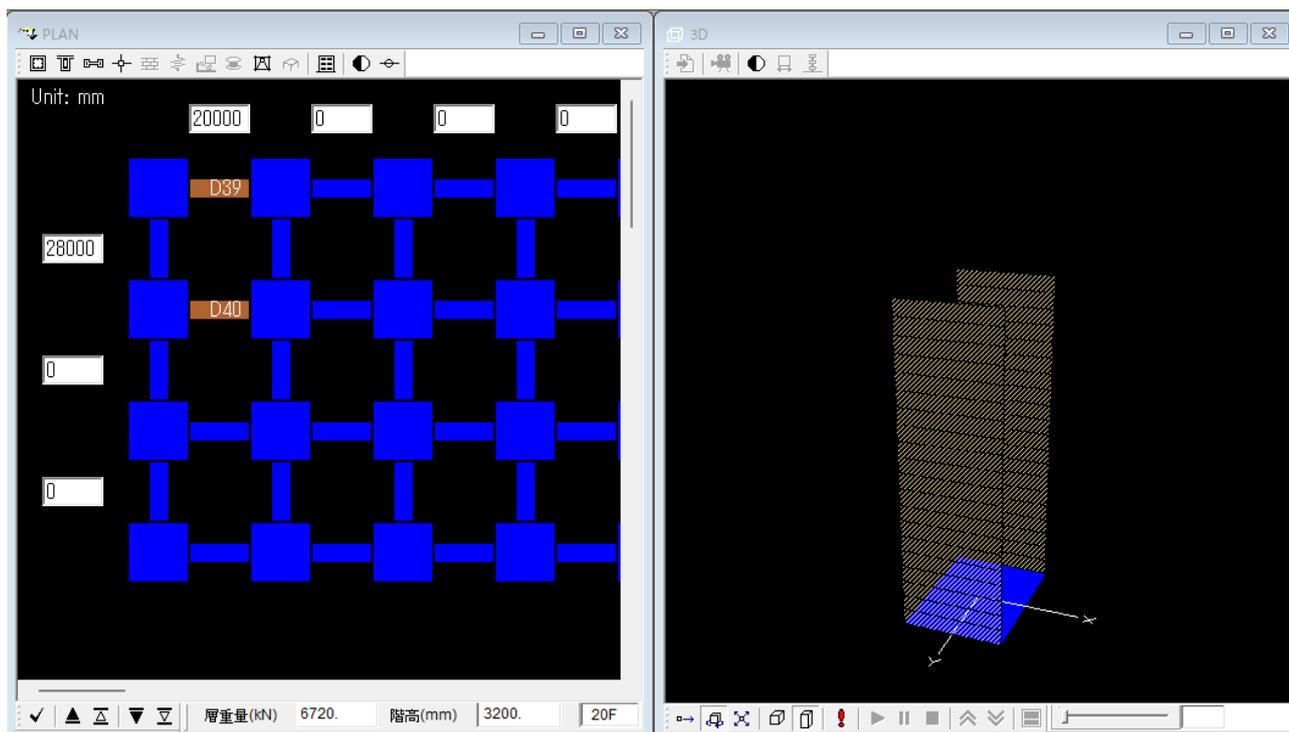


### ステップ4. 部材のセット (基本モデル)

D1 をばね部材、D2 を減衰部材として、1層分のモデルを作る。

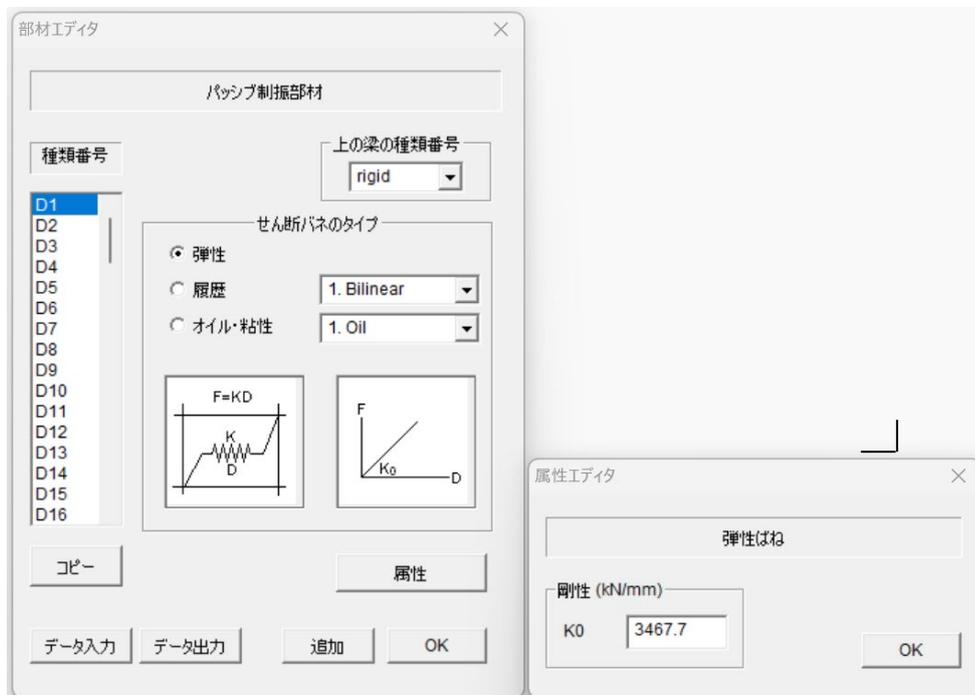


スパン 20000mm, D1 と D2 の間隔 28000mm, 階重量 6720 kN, 階高 3200 mm とする。  
20 階分(D1~D40)を入力する。



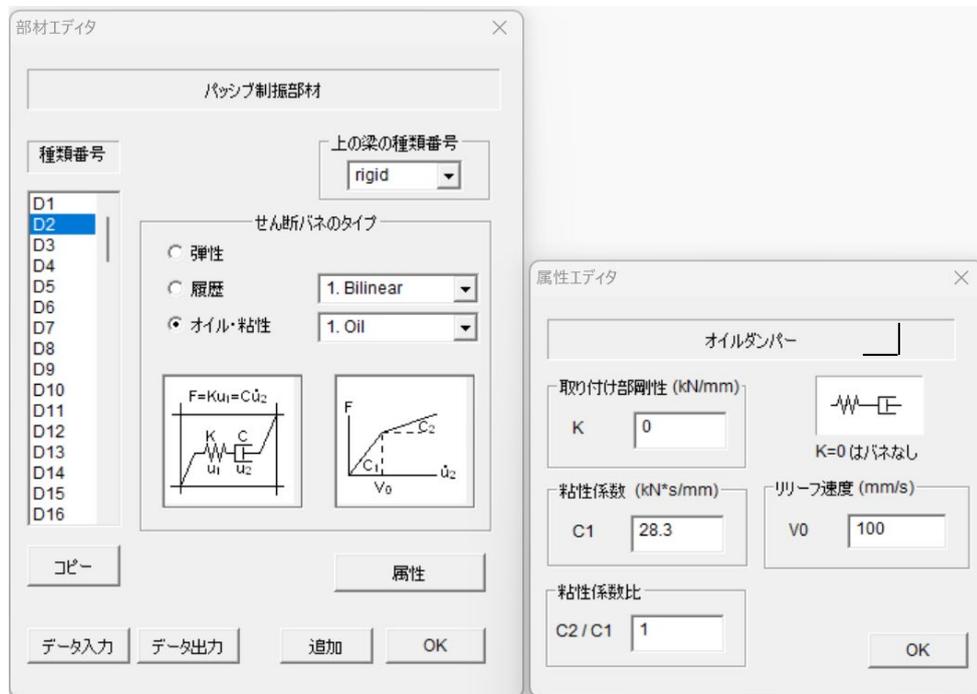
パッシブ制振部材 D1, D3, ..., D39 

せん断バネのタイプに“弾性”を選択。「属性」で表 1 のバネ剛性を入力する。



パッシブ制振部材 D2, D4, ..., D40 

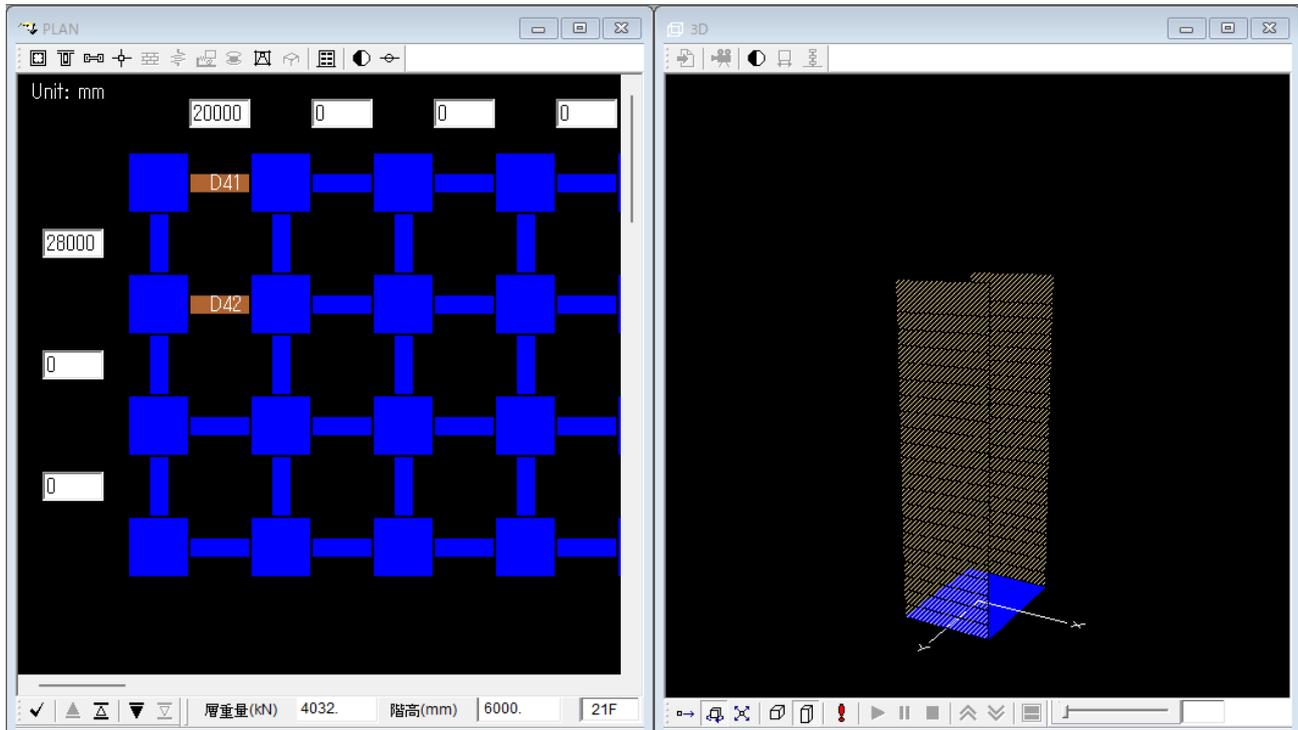
せん断バネのタイプに“オイル・粘性”を選択。「属性」で  
取り付け部剛性  $K = 0$ , 粘性係数  $C1 = 0.416 \text{ kN sec/mm}$ , 粘性係数比 1, リリーフ速度  $V0 = 100 \text{ mm/s}$   
を入力する。



この建物モデルを “20-story model without TMD.stera” として保存する。

## ステップ 5. 部材のセット (TMD モデル)

基本モデルの上 (21 階) に D41 をばね部材、D42 を減衰部材として、1 階分の TMD モデルを作る。  
階重量 4032 kN, 階高 6000 mm とする。



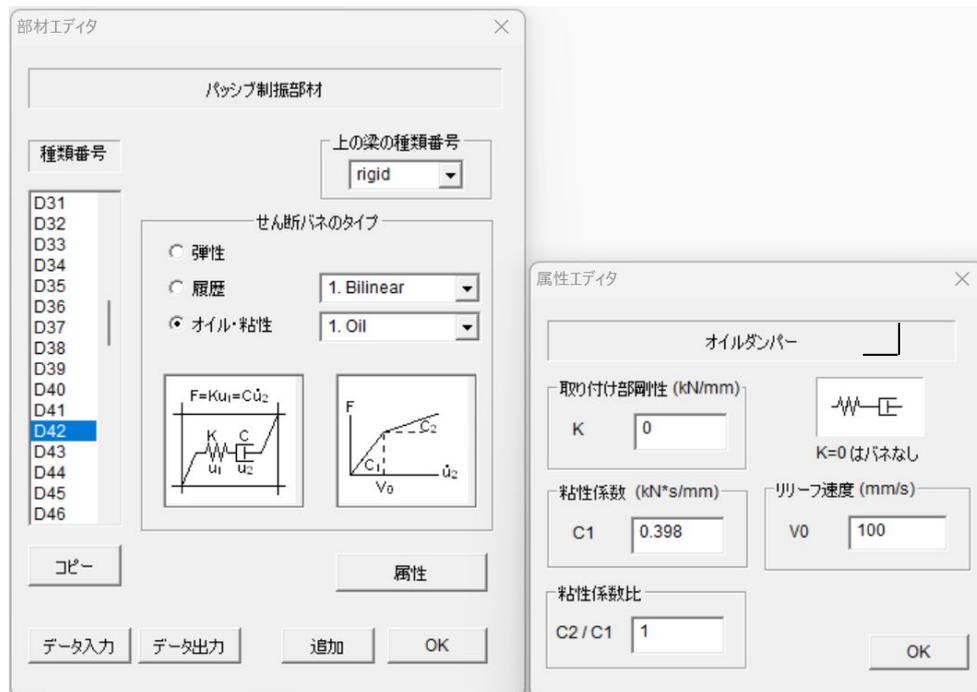
パッシブ制振部材 D41 

せん断バネのタイプに“弾性”を選択。「属性」でバネの剛性  $K_0 = 9.34 \text{ kN/mm}$  を入力する。



パッシブ制振部材 D42 

せん断バネのタイプに“オイル・粘性”を選択。「属性」で  
取り付け部剛性  $K = 0$ , 粘性係数  $C1 = 0.398 \text{ kN sec/mm}$ , 粘性係数比 1, リリーフ速度  $V0 = 100 \text{ mm/s}$   
を入力する。

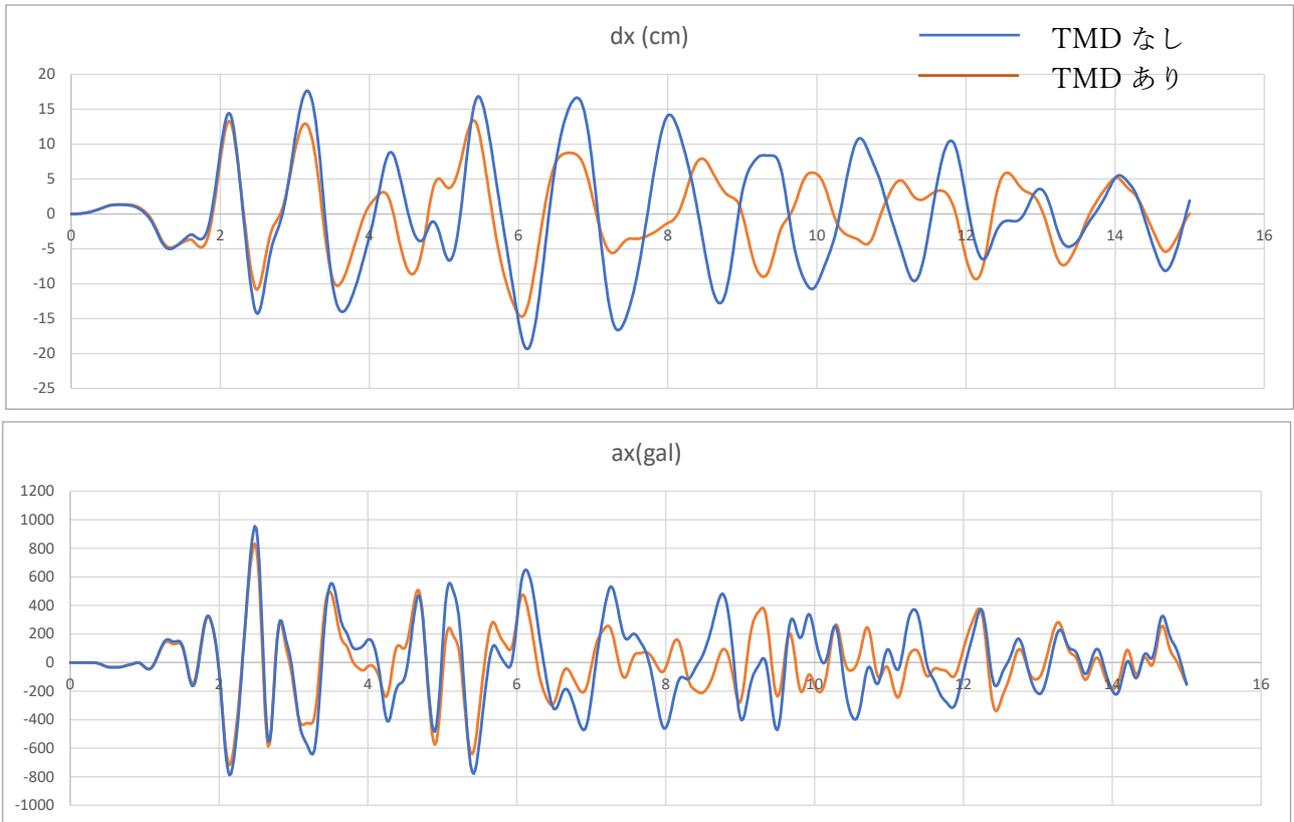


この建物モデルを “20-story model with TMD.stera” として保存する。

## ステップ 6. 基本モデルと TMD モデルの応答の比較

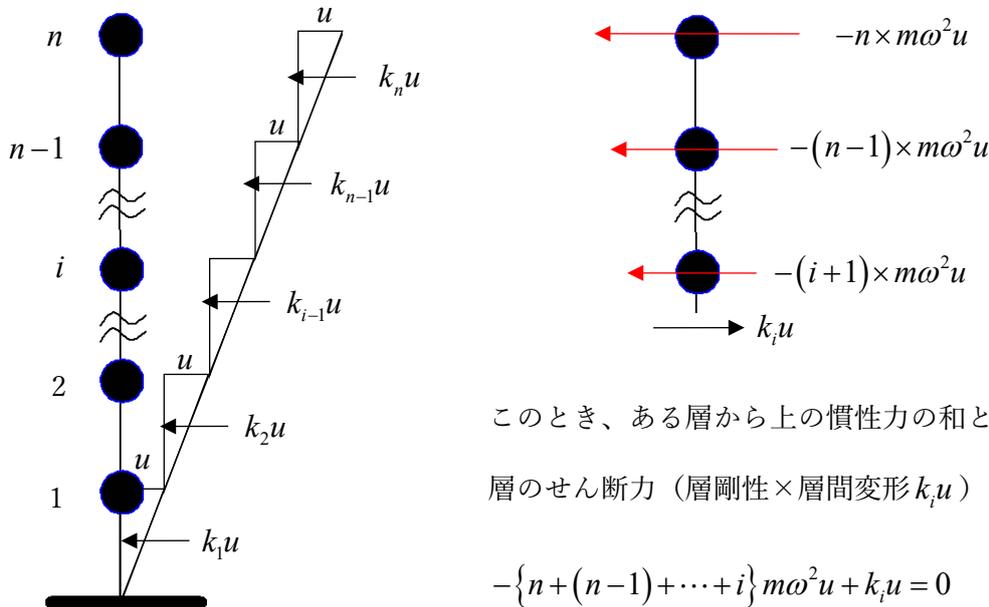
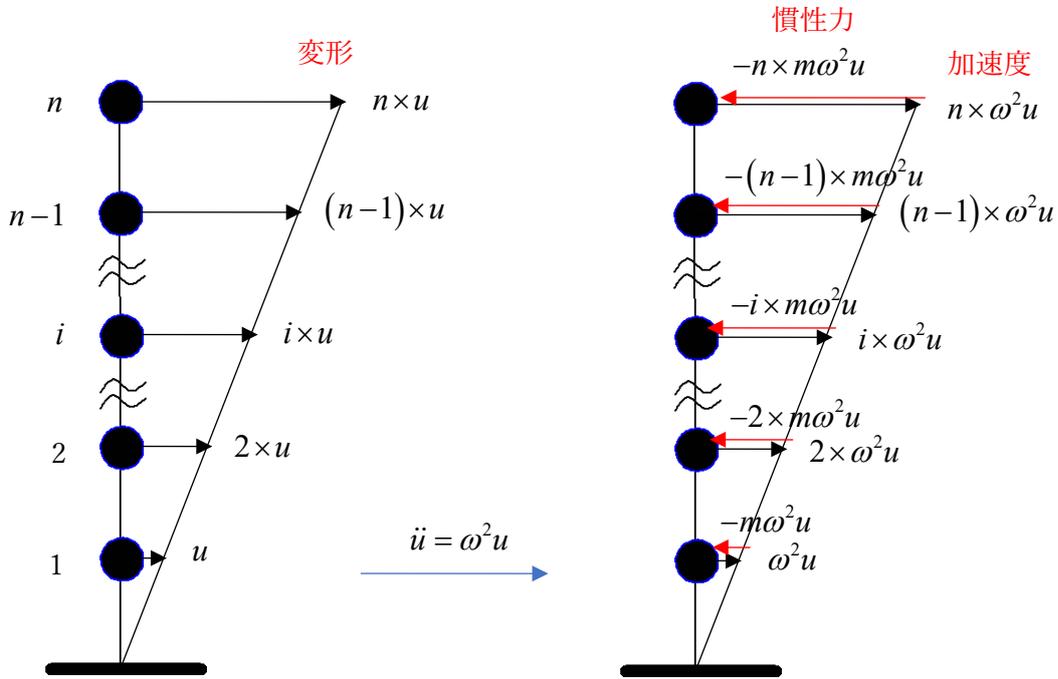
El Centro 1940\_NS に対する 20 階の変位応答と加速度応答を比較してみる。

TMD がある場合、応答が低減していることがわかる。



<付録> 1次の固有振動モード形に逆三角形を仮定したときの層剛性の求め方

1次の固有振動数 $\omega$ 、固有振動モード形が逆三角形で、建物が揺れている状態を考える。このときの変形と加速度および慣性力（加速度に各層の質量を乗じる）の分布は以下ようになる。



このとき、ある層から上の慣性力の和と層のせん断力（層剛性×層間変形 $k_i u$ ）が等しいので

$$-\{n+(n-1)+\dots+i\} m\omega^2 u + k_i u = 0$$

従って、層剛性は

$$k_i = \{n+(n-1)+\dots+i\} m\omega^2 = \frac{1}{2} \{n(n+1)-i(i-1)\} m\omega^2$$