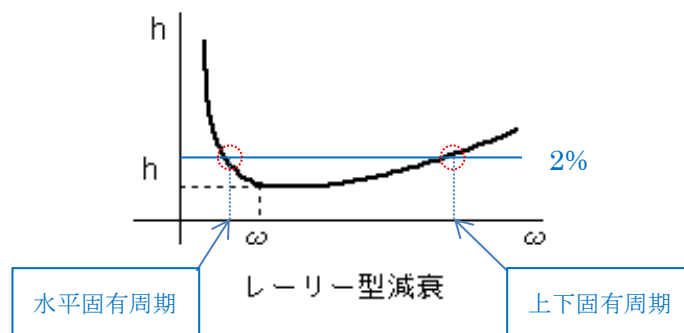
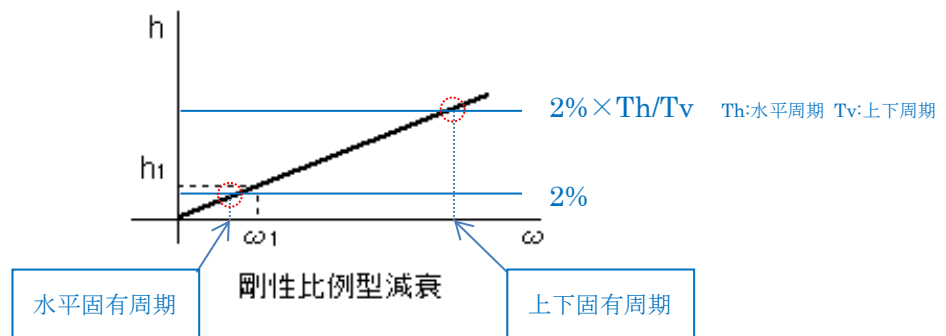


## ● 水平上下同時加振で免震支承材の引き抜きを検討したい

超高層免震建物では隅角部の免震支承材に対する引き抜きが厳しくなる場合が多くなります。免震支承材の引き抜きに対し、どうしても引張面圧が発生する場合にはメーカーが引張許容値として規定する値でクライテリアを設定することになります。また、免震支承材は引張に入ると圧縮時の剛性よりも小さい剛性を有することが知られています。しかしながら、上下動の影響を考慮する場合に単純に水平動と上下動による面圧を加算する方法では引張剛性低下の影響が考慮できません。この引張特性を適切に評価するため、地震応答解析において水平動と上下動を同時入力することが行われます。

しかしながら、水平上下同時入力を行う場合には気を付けるべき留意点があります。従来建築分野の振動解析においてよく用いられている剛性比例減衰の場合、単純に水平応答に対する固有周期で減衰を設定すると上下応答に対する減衰は過大になってしまうことが知られています。たとえば免震構造の場合、水平固有周期/上下固有周期は10程度となる場合が多いですが、その場合上下動の減衰定数は水平動の減衰定数に対して10倍程度となってしまいます。この問題のひとつの対応策として、レーリー減衰によって減衰を設定する方法が考えられます。レーリー減衰であれば水平動と上下動をともに同じ減衰定数に設定することができます。

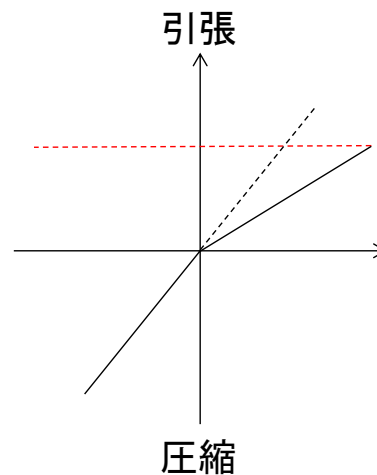
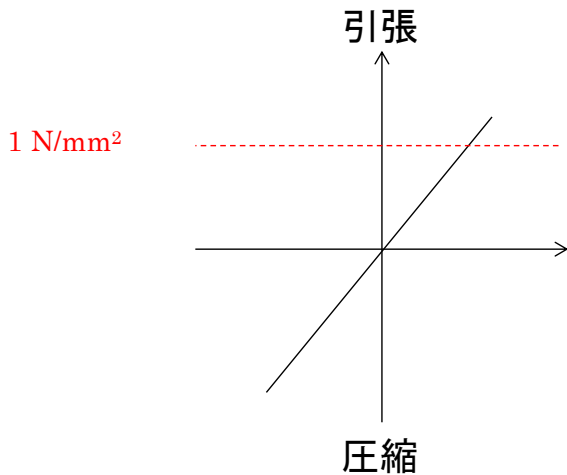
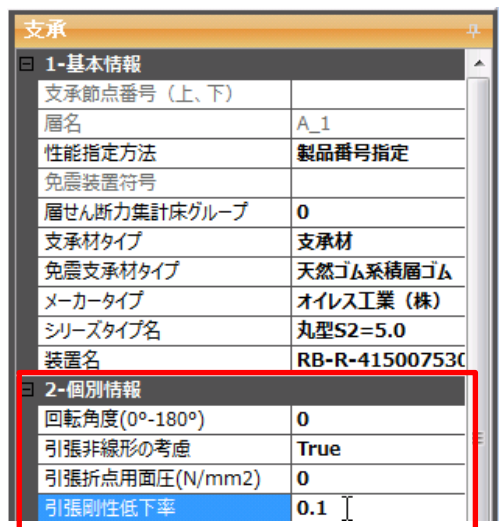
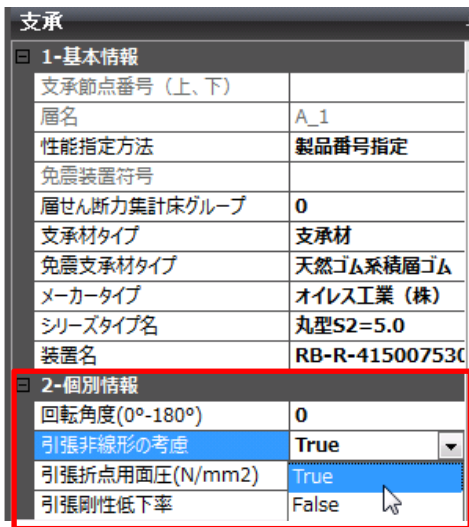
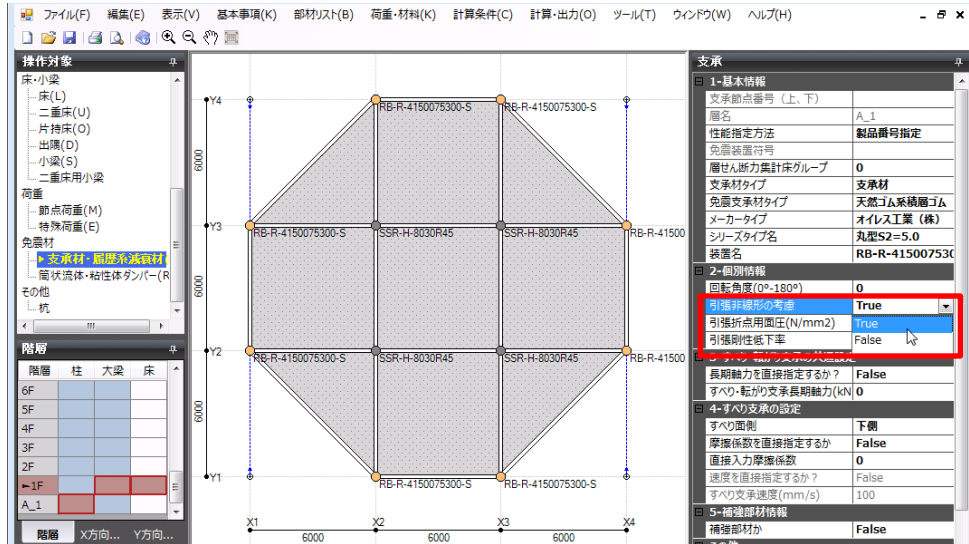


【ステップ】

1. 免震支承材に引張剛性低下考慮の設定を行います。
2. 立体固有値解析を行い水平と上下の固有周期を確認します。
3. 立体振動解析条件でレーリー減衰を設定します。
4. 水平地震動と上下地震動を設定します。
5. 免震層設計条件を設定します。
6. 立体振動解析を行います。

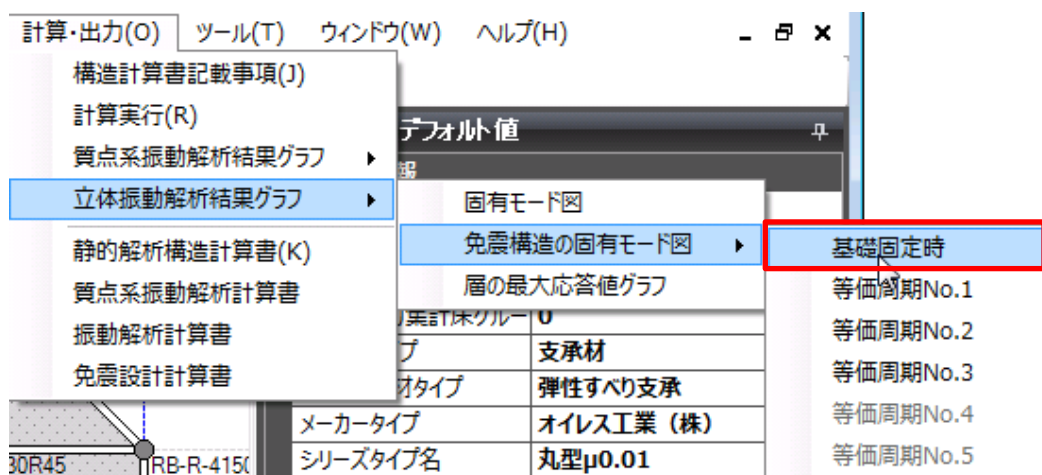
1. 免震支承材に引張剛性低下考慮の設定を行います。

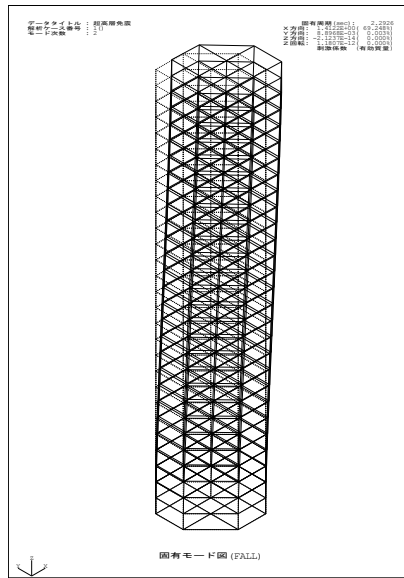
引き抜きを考慮する免震支承材に引張非線形の指定を行います。引張剛性低下開始面圧、剛性低下率は各支承材メーカー技術資料をご参照ください。



## 2. 立体固有値解析を行い水平と上下の固有周期を確認します。

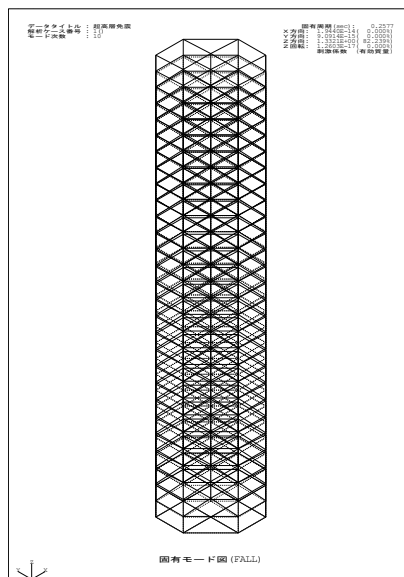
後述するレーリー減衰において、今回は水平と上下の1次固有周期に対してそれぞれ2%の減衰を与えるような設定とします。したがって、事前に立体モデルの固有値解析を行い各固有周期を把握しておきます。その際、上下の固有値は高次にならないと生じてこないため、立体振動解析条件で固有値解析の計算次数を大きくしておきます。なお、固有周期は基礎固定時（免震層固定時）の値を用います。





固有周期 (sec): 2.2926  
X 方向: 1.4122E+00 ( 69.246%)  
Y 方向: 8.8968E-03 ( 0.003%)  
Z 方向: -2.1237E-14 ( 0.000%)  
Z 回轉: 1.1807E-12 ( 0.000%)  
刺激係数 (有効質量)

水平固有周期



固有周期 (sec): 0.2577  
X 方向: 1.9440E-14 ( 0.000%)  
Y 方向: 9.0914E-15 ( 0.000%)  
Z 方向: 1.3321E+00 ( 82.239%)  
Z 回轉: 1.2603E-17 ( 0.000%)  
刺激係数 (有効質量)

上下固有周期

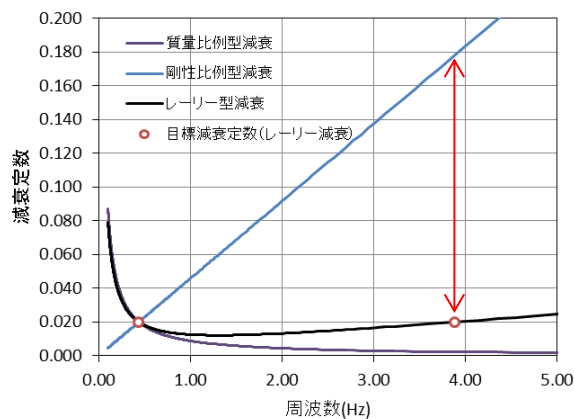
### 3. 立体振動解析条件でレーリー減衰を設定します。

レーリー減衰は以下の計算により算出される質量比例項  $\alpha_0$  と剛性比例項  $\alpha_1$  を用いて減衰マトリクスを設定します。

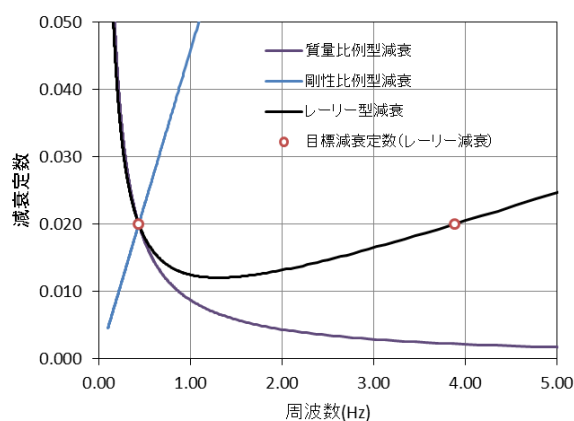
$$2 h_1 \omega_1 = \alpha_0 + \alpha_1 \omega_1^2$$

$$2 h_2 \omega_2 = \alpha_0 + \alpha_1 \omega_2^2$$

ここで、 $\omega_1$ 、 $\omega_2$ にそれぞれ水平の1次固有円振動数、上下の1次固有円振動数を代入して算出される値を設定します。仮に剛性比例減衰で減衰を設定した場合には上下動に対しては約18%と過大な減衰定数を設定することになることが下の図からもわかります。



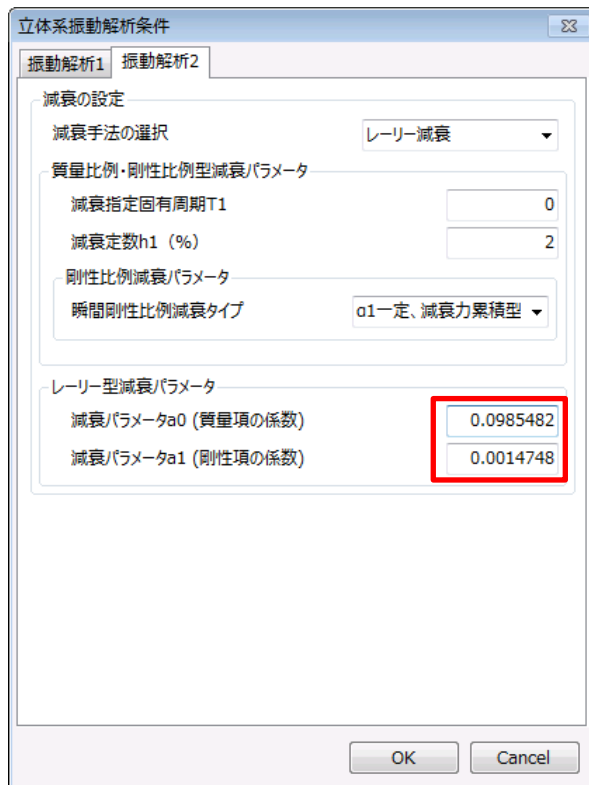
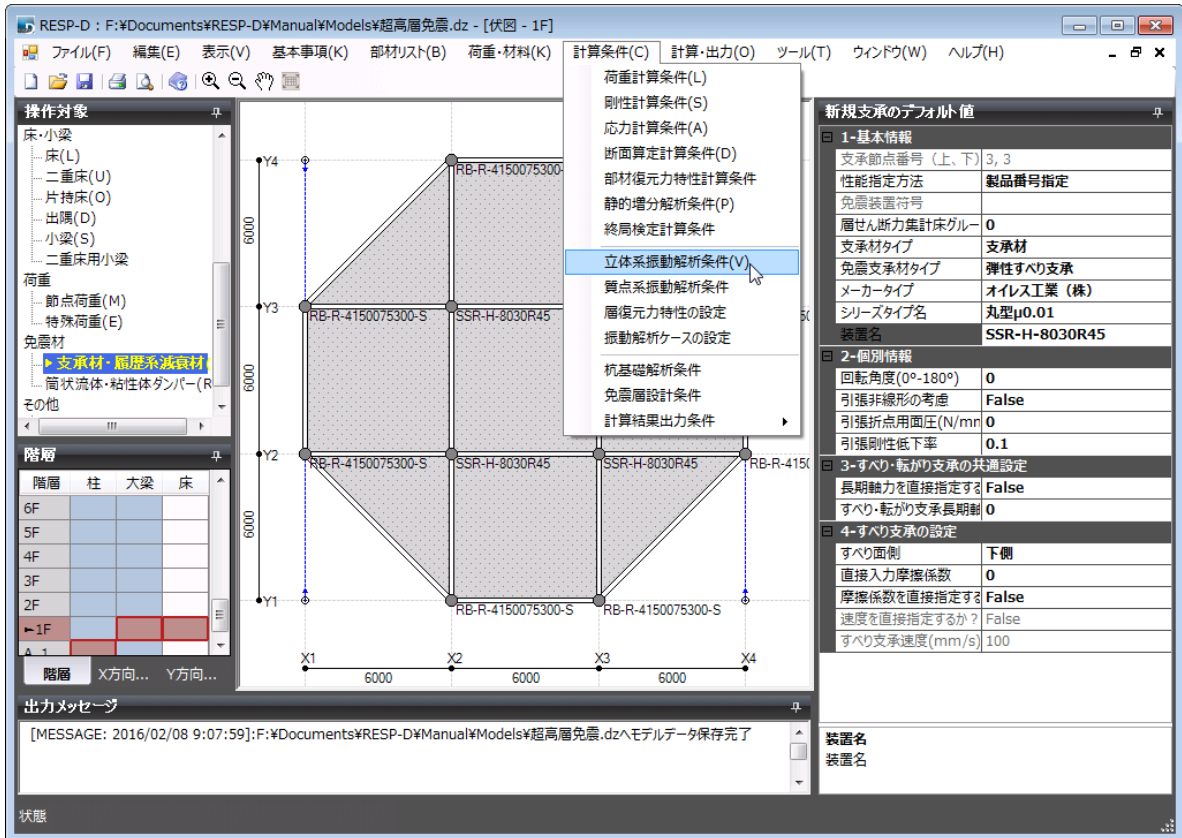
剛性比例減衰で設定した場合の上下動による減衰



レーリー減衰で設定した場合の減衰

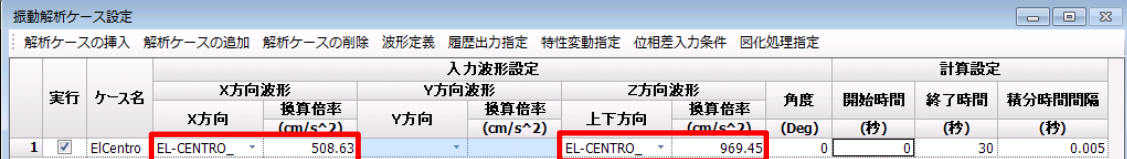
※ レーリー減衰の長周期側において剛性比例減衰と同じ減衰定数を設定した場合、**減衰が過大に評価されてしまう可能性**があることがわかりました。以下の記事で説明を記載しております。

<http://www4.kke.co.jp/resp/topics/mailmag/doc/Vol.99topic.html>



#### 4. 水平地震動と上下地震動を設定します。

「計算条件」→「振動解析ケース設定」から振動解析ケースとして水平動と上下動を1ケース内に設定します。

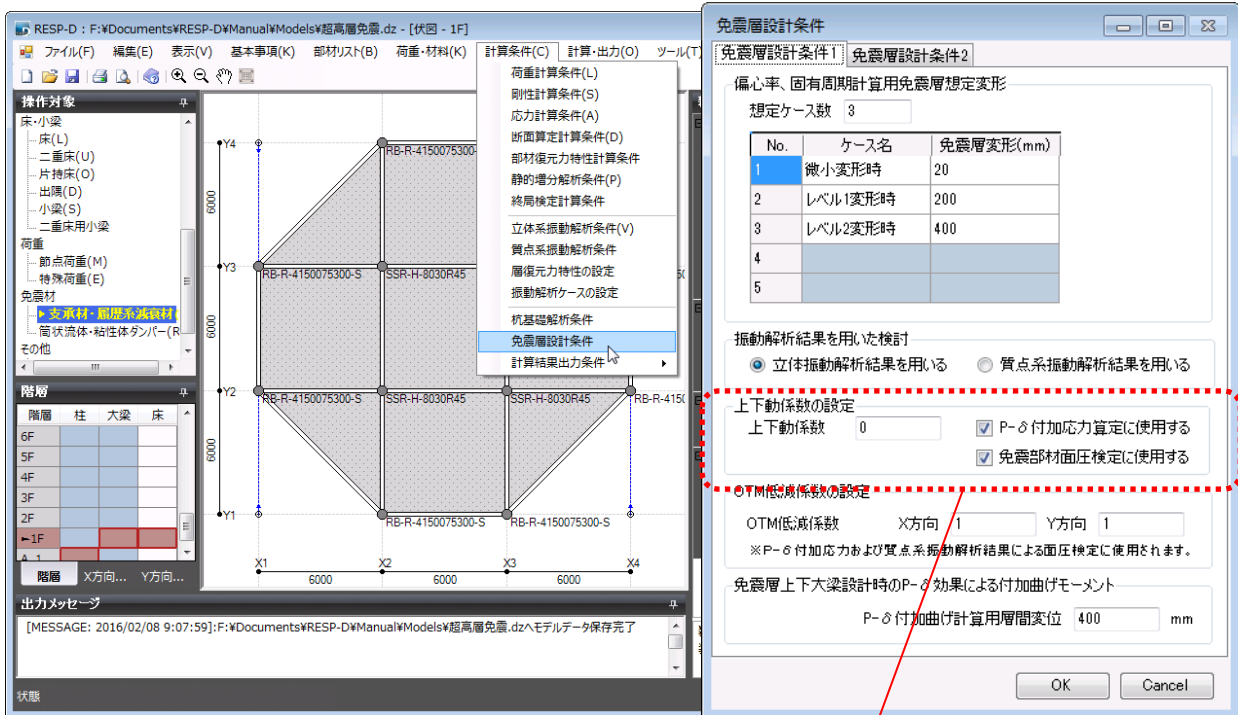
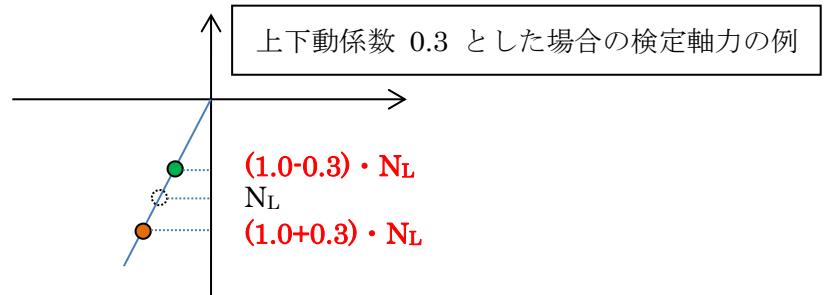


実行	ケース名	入力波形設定						計算設定				
		X方向波形		Y方向波形		Z方向波形		角度 (Deg)	開始時間 (秒)	終了時間 (秒)	積分時間間隔 (秒)	
		X方向	換算倍率 (cm/s <sup>2</sup> )	Y方向	換算倍率 (cm/s <sup>2</sup> )	上下方向	換算倍率 (cm/s <sup>2</sup> )					
1	<input checked="" type="checkbox"/>	ElCentro	EL-CENTRO_	508.63			EL-CENTRO_	969.45	0	0	30	0.005



### 5. 免震層設計条件を設定します。

「免震層設計条件」で設定する上下動係数は、応力解析時ではなく断面検定時にあとから加算する形で考慮されます。今回のような水平上下同時入力の場合には振動解析計算時の各ステップにおいて上下動による軸力が解析時に考慮されることになるため、断面検定時にも加算すると二重に上下動の影響を考慮することになります。したがって、今回の検討では上下動係数は0として設定しておきます。

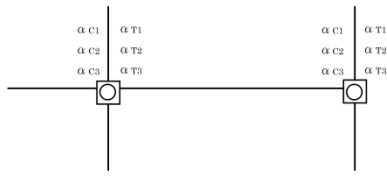


## 6. 立体振動解析を行います。

立体振動解析を実行します。引張剛性低下を考慮した軸方向履歴およびそれによる面圧検定結果が確認できます。

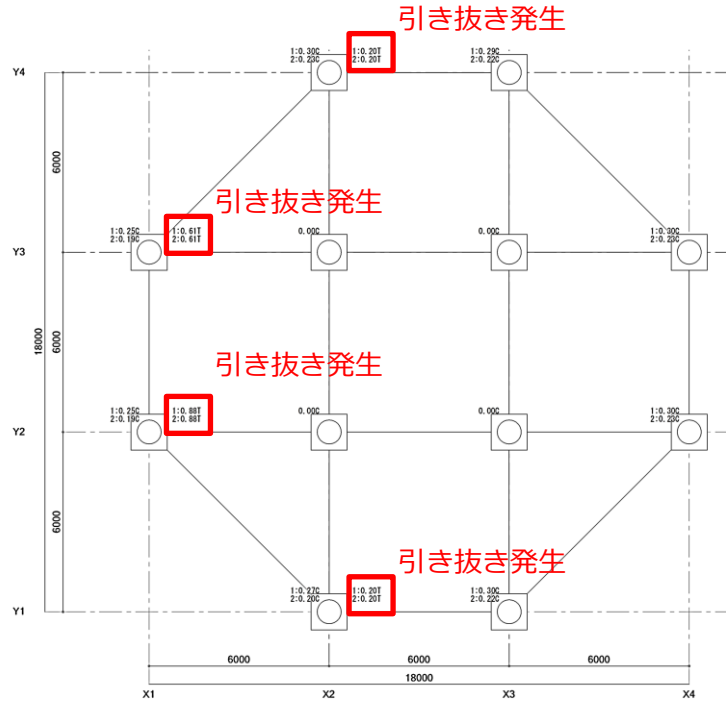


[凡例]



$\alpha_{C1}$  : クライテリア No.1 の圧縮軸力検定値 (1:<検定値>C)  
 $\alpha_{C2}$  : クライテリア No.2 の圧縮軸力検定値 (2:<検定値>C)  
 $\alpha_{C3}$  : クライテリア No.3 の圧縮軸力検定値 (3:<検定値>C)  
 $\alpha_{T1}$  : クライテリア No.1 の引張軸力検定値 (1:<検定値>T)  
 $\alpha_{T2}$  : クライテリア No.2 の引張軸力検定値 (2:<検定値>T)  
 $\alpha_{T3}$  : クライテリア No.3 の引張軸力検定値 (3:<検定値>T)

※当該ケースにおいて検定が不要な検定値は表示しません。  
 ※引張軸力が発生しない場合、 $\alpha_{T1} \sim \alpha_{T3}$  は表示しません。



A\_1 - 免震部材軸力検定値図 EICentroid

