

『3D・DynamicPRO』鉛直動を対象とした設定手順

1. 概要

本資料では、『SS21 / 3D・DynamicPRO』（以下、『3D・DynamicPRO』）で鉛直動を対象とした検討を行うための設定手順についてまとめています。

また、鉛直動に関係する検討として以下の3つを取り上げ、その設定手順についても紹介しています。

- A. 水平+鉛直の同時2方向を検討するための設定手順
- B. 免震建物などを対象とした鉛直ばねの設定手順
- C. 大梁中間や片持梁先端の上下振動の影響を考慮するための設定手順

『Super Build / SS7』（以下、『SS7』）側で必要な入力やモデル化はあらかじめ終えているものとし、また鉛直動の作成や取得、読み込み方法については省略させていただきます。

2. 操作手順

『3D・DynamicPRO』では基本的に、水平動を想定したデフォルト値が設定されています。

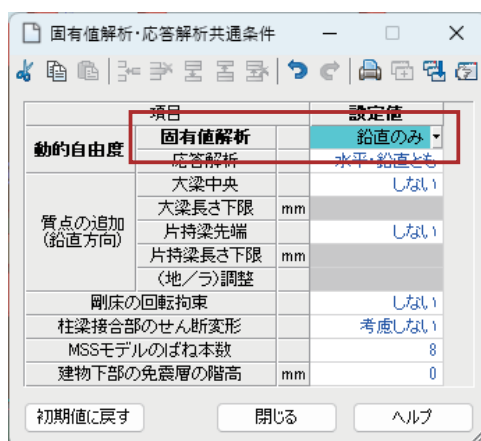
そのため、鉛直動の検討を行う場合には、①動的自由度、②内部粘性減衰、③鉛直地震動の設定を適切に行う必要があります。以降、①～③の設定内容を順に説明しています。

① 動的自由度の設定

入力項目 [3.2. 固有値解析・応答解析共通条件] の“動的自由度”は慣性力を考慮する方向（自由度）を選択する設定項目となり、指定の方向に質量を考慮することで、加速度を伴う慣性力が働きます。

設定は固有値解析・応答解析のそれぞれで指定することができます。

固有値解析のデフォルトは“水平のみ”となりますので、設定を“鉛直のみ”または“水平・鉛直とも”に変更する必要があります。



水平のみ (デフォルト)

→ 鉛直のみ or 水平・鉛直とも

変更した解析条件で、いったん固有値解析まで行います。

固有値解析結果の確認として、例えばシート出力「3. 固有値解析条件」－「3.1. 固有周期・刺激係数」を見てみると、以下のように鉛直方向“z”の固有周期や有効質量比の結果を確認することができます。

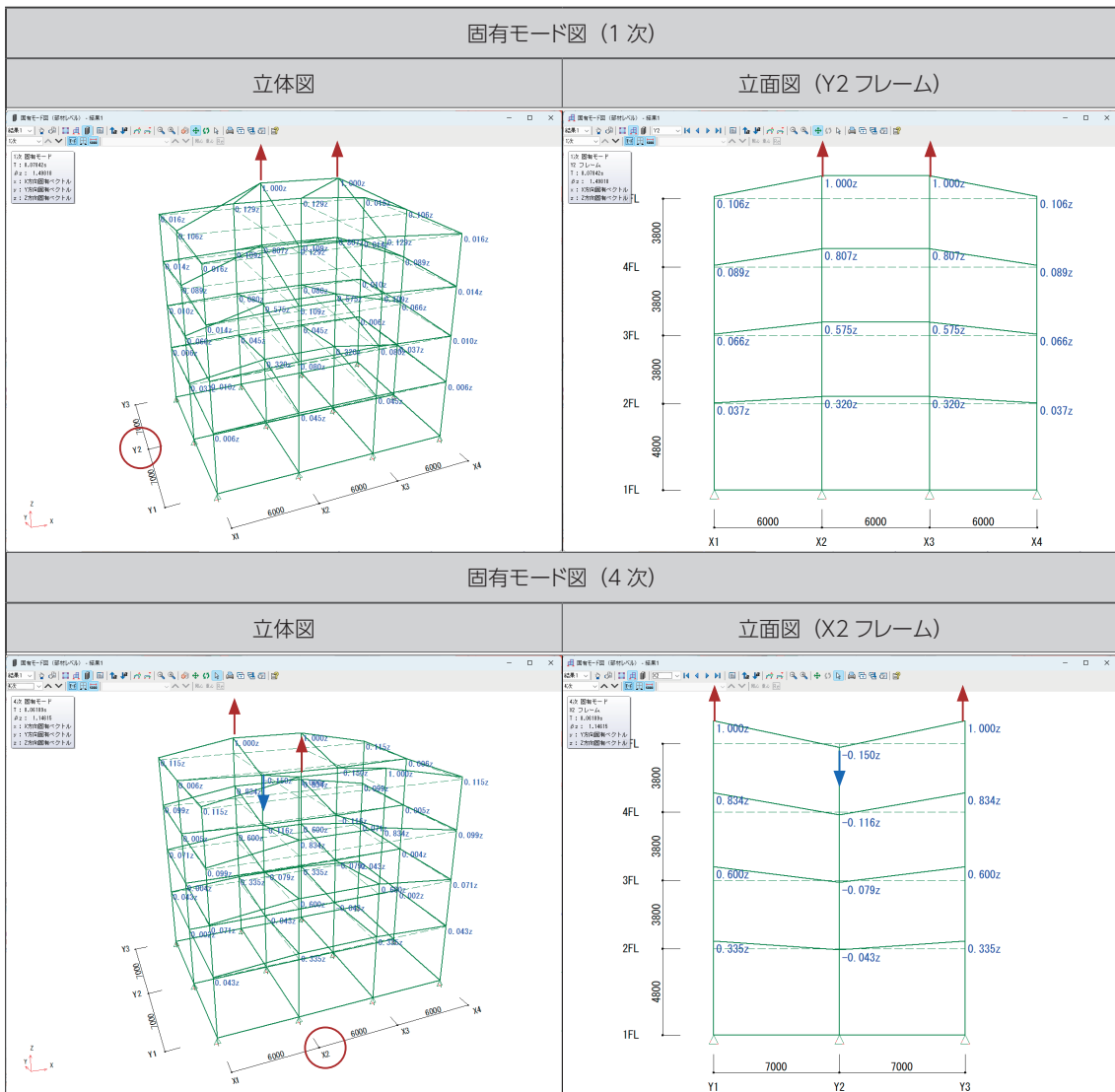
ここでは有効質量比に着目し、有効質量比が大きい次数の結果は、建物全体の振動特性を示している結果であると仮定して、以降の応答解析条件の設定に利用します。

以下では結果の一例として、有効質量比が最も大きかった“1次”、2番目に大きかった“4次”の固有モード図（立体図・立面図）を示しており、建物全体が鉛直方向へ伸縮するような傾向となっていることが確認できました。

次数	固有周期		円振動数		刺激係数 β		有効質量比	
	s	Hz	rad/s	z	z	z	z	
1次	0.0784	12.7525	80.1265	1.4982	0.3905			
2次	0.0724	13.8117	86.7814	0.0000	0.0000			
3次	0.0634	15.7724	99.1006	0.0000	0.0000			
4次	0.0619	16.1573	101.5190	1.1461	0.2524			
5次	0.0600	16.6556	104.6504	0.0000	0.0000			
6次	0.0591	16.9079	106.2357	0.0000	0.0000			
7次	0.0586	17.0531	107.1475	0.0000	0.0000			
8次	0.0585	17.0821	107.3303	1.2789	0.1603			
9次	0.0518	19.3168	121.3711	0.0000	0.0000			

固有値解析の結果は指定の解析次数までを出力しており、デフォルトは9次となります。

9次の指定で有効な値が見受けられない場合は解析次数を増やして再確認してみてください。



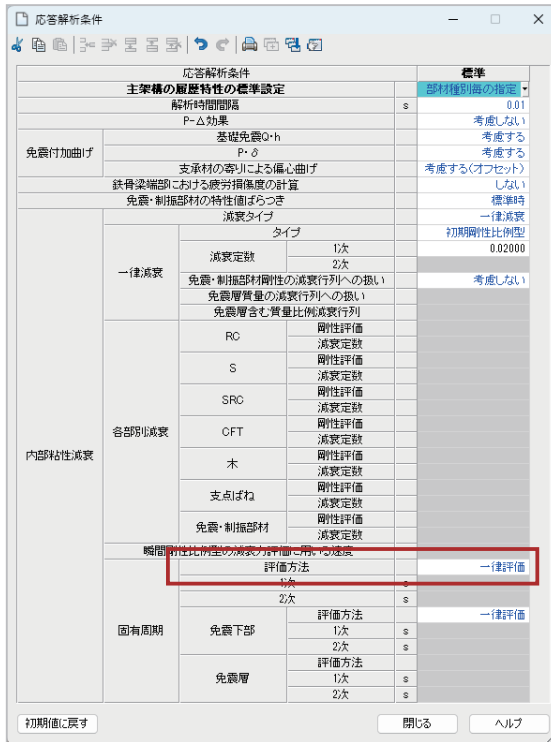
② 内部粘性減衰の設定

応答解析に用いる内部粘性減衰の減衰モデルと減衰定数、比例させる周期を、入力項目 [3.4. 応答解析条件] で行います。ここでは設定の一例として、内部粘性減衰の減衰モデルを“初期剛性比例型”とし、2% で比例させる設定としています。

このときの比例させる周期については、評価方法の指定で“一律評価”としており、固有値解析結果の1次固有周期が採用される設定としました。ただし、1次の結果が必ずしも建物全体の振動特性を示しているとは限らない*ため、固有値解析と併せて設定する必要があります。

もし、2次以降の中で適切な周期が存在するような場合は、評価方法の指定を“直接指定”に変更し、比例させる周期を入力することでご対応ください。

* 鉛直方向は剛床仮定ではないため、建物形状や質量・剛性のバランスによっては局所的な節点のモードが低次の結果として評価される場合もあります。



ここでは、デフォルトの“一律評価”とし、このときは固有値解析1次の固有周期“0.0784”が採用されます。

以下のように、直接指定で“0.0784”としても同様の結果となります。

評価方法		直接指定
1次	s	0.0784
2次	s	

応答解析まで行くと、シート出力「3.4. 各次の減衰定数」が出力されますので、想定する減衰定数となっているかどうかを確認できます。

次数	減衰定数	固有周期	固有振動数	円振動数
		s	Hz	rad/s
1次	0.0200	0.0784 *1	12.7525	90.1265
2次	0.0217	0.0724	13.8117	86.7814
3次	0.0247	0.0634	15.7724	99.1006
4次	0.0253	0.0619	16.1573	101.5190
5次	0.0261	0.0600	16.6566	104.6504
6次	0.0265	0.0591	16.9079	106.2957
7次	0.0267	0.0586	17.0531	107.1475
8次	0.0268	0.0585	17.0821	107.3303
9次	0.0303	0.0518	19.3168	121.3711

鉛直動のみを対象とした初期剛性比例型の場合、比例させる周期に水平1次の固有周期を設定してしまうと、特に高次モード成分において減衰を過大に与えることにつながりますので、注意が必要です。

③ 鉛直地震動の設定

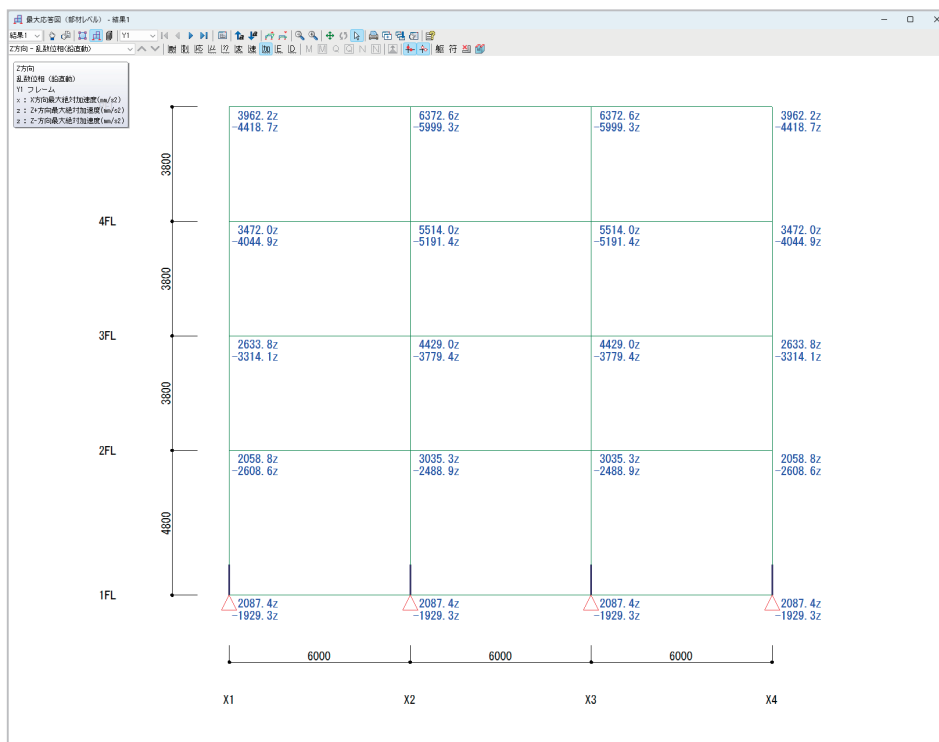
事前に登録しておいた地震動を用いて、入力項目 [4.1. 外乱設定] で鉛直地震動の設定を行います。基本的な設定は水平動のときと同じになりますが、作用方向については“Z方向”に変更します。



以上が鉛直動を対象とした固有値解析・応答解析を行う上で、最低限必要な設定になります。

なお、鉛直方向の自由度は剛床仮定ではないため、階・層を代表するような結果の計算は行っていませんので、必要に応じて結果作図 [1.6. 最大応答図 (部材レベル)] やシート出力 [5. 応答解析] - [5.4. 節点-最大応答値] などの結果をご確認ください。

○結果作図「1.6. 最大応答図 (部材レベル)」 表示：最大絶対加速度



3. その他、鉛直動に関する検討について

以上では鉛直動のみを対象とした設定方法について示しましたが、その他にも鉛直動に関する検討として、代表的と思われる3つを取り上げ、『3D・DynamicPRO』での設定手順について紹介します。

A. 水平+鉛直の同時2方向を検討するための設定手順

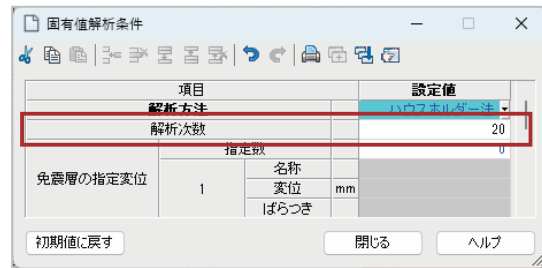
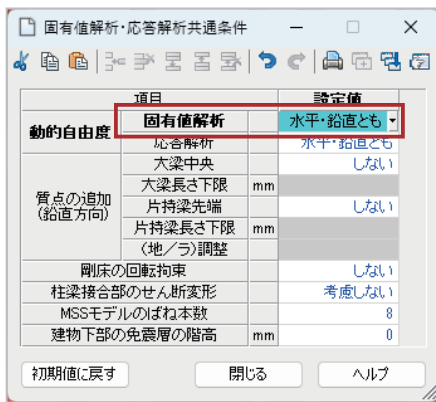
検討方法によっては、水平動と鉛直動を同時入力するようなケースも必要になるかと思われますので、ここでは水平+鉛直の同時2方向を検討するための設定方法について紹介します。

① 動的自由度の設定

入力項目 [3.2. 固有値解析・応答解析共通条件] の“動的自由度”は慣性力を考慮する方向（自由度）を選択する設定項目となり、指定の方向に質量を考慮することで、加速度を伴う慣性力が働きます。

設定は固有値解析・応答解析のそれぞれで指定することができます。

固有値解析のデフォルトは“水平のみ”となりますので、設定を“鉛直のみ”または“水平・鉛直とも”に変更する必要があります。



設定の変更後、いったん固有値解析まで行い、シート出力 [3.1. 固有周期・刺激係数] の結果を確認してみます。

今回は水平X方向“x”と鉛直方向“z”の有効質量比に着目し、“x”で有効質量比が最も大きかった次数は“2次”で固有周期が0.5727s、“z”では“12次”で固有周期が0.0784sとなっていました。

次数	固有周期 s	固有周期 Hz	円振動数 rad/s	刺激係数 β				有効質量比			
				x	y	z	θ_z	x	y	z	θ_z
1次	0.5780	1.7302	10.8212	0.0000	1.2270	0.0000	0.0000	0.0000	0.8068	0.0000	0.0000
2次	0.5727	1.7463	10.9720	1.2869	0.0000	0.0000	0.0000	0.8009	0.0000	0.0000	0.0000
3次	0.3323	3.0100	19.7918	0.0000	0.0000	0.0000	1.2000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4次	0.2023	4.9431	31.0581	0.4971	0.0000	0.0000	0.0000	0.1334	0.0000	0.0000	0.0000
5次	0.1989	5.0276	31.5895	0.0000	0.4878	0.0000	0.0000	0.0000	0.1282	0.0000	0.0000
6次	0.1872	5.3418	33.5835	0.0000	0.0000	0.0000	0.4336	0.0000	0.0000	0.0000	0.1336
7次	0.1180	8.4241	54.1889	-0.3104	0.0000	0.0000	0.0000	0.0423	0.0000	0.0000	0.0000
8次	0.1158	8.6338	54.2477	0.0000	-0.3089	0.0000	0.0000	0.0000	0.0426	0.0000	0.0000
9次	0.1089	9.1828	57.8875	0.0000	0.0000	0.0000	-0.3033	0.0000	0.0000	0.0000	0.0398
10次	0.0821	12.1748	76.4866	0.0000	0.2120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0227	0.0000	0.0000
11次	0.0821	12.1788	76.5248	0.2182	0.0000	0.0000	0.0000	0.0234	0.0000	0.0000	0.0000
12次	0.0784	12.7525	80.1265	0.0000	0.0000	1.4882	0.0000	0.0000	0.0000	0.3905	0.0000
13次	0.0792	12.6950	79.9916	0.0000	0.0000	0.0000	-0.2216	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
14次	0.0724	13.8120	86.7832	-0.0018	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15次	0.0828	15.9216	100.0881	0.0000	0.0047	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
16次	0.0819	16.1573	101.5190	0.0000	0.0000	1.1481	0.0000	0.0000	0.0000	0.2524	0.0000
17次	0.0589	16.8813	104.8116	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18次	0.0591	16.8134	106.2702	-0.0021	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
19次	0.0585	17.0821	107.3303	0.0000	0.0000	1.2799	0.0000	0.0000	0.0000	0.1803	0.0000
20次	0.0581	17.1984	108.0610	-0.0082	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

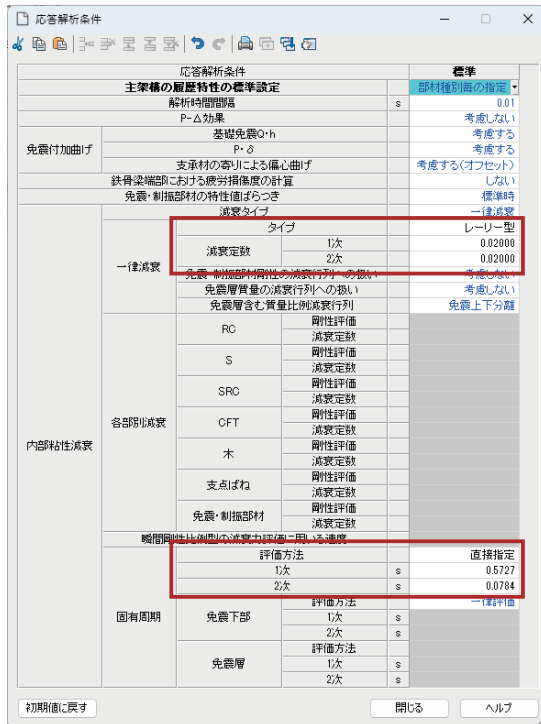
② 内部粘性減衰の設定

次に応答解析に用いる内部粘性減衰を入力項目 [3.4. 応答解析条件] で設定します。

ここでは文献 1) に掲載されている、以下の減衰を設定します。

レーリー型 : 水平 1 次、鉛直 1 次に対し 2%

一律減衰のタイプを“レーリー型”とし、減衰定数 1 次・2 次をそれぞれ“0.02000”と入力します。次に、固有周期の評価方法を“直接指定”に変更し、固有値解析の水平 1 次の固有周期“0.5727”と鉛直 1 次の固有周期“0.0784”を、入力の 1 次・2 次へ入力します。



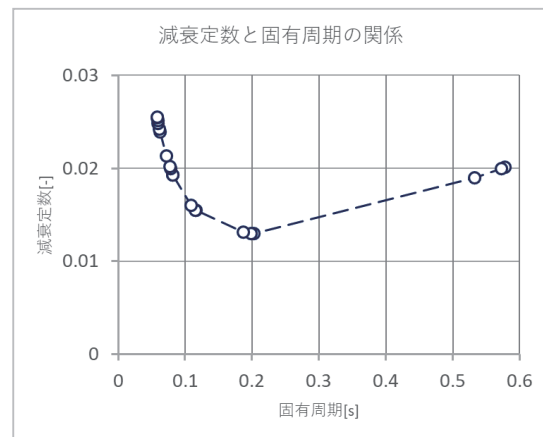
タイプ : レーリー型
減衰定数 1 次・2 次 : 0.02000

評価方法 : 直接指定
1 次 : 0.5727
2 次 : 0.0784

各次の減衰定数 - 結果2

次数	減衰定数	固有周期	固有振動数	円振動数
		s	Hz	rad/s
1次	0.0201	0.5780	1.7302	10.8712
2次	0.0200	0.5727	1.7463	10.9720
3次	0.0130	0.3523	1.8766	11.7910
4次	0.0130	0.2023	4.9431	31.0581
5次	0.0130	0.1989	5.0276	31.5893
6次	0.0131	0.1872	5.3418	33.5635
7次	0.0155	0.1160	8.6241	54.1869
8次	0.0155	0.1158	8.6338	54.2477
9次	0.0160	0.1089	9.1828	57.6975
10次	0.0193	0.0821	12.1748	76.4966
11次	0.0193	0.0821	12.1793	76.5248
12次	0.0200	0.0784	12.7525	80.1265
13次	0.0202	0.0772	12.9555	81.4018
14次	0.0213	0.0724	13.8120	86.7832
15次	0.0239	0.0628	15.9216	100.0381
16次	0.0242	0.0619	16.1573	101.5190
17次	0.0248	0.0599	16.6813	104.8116
18次	0.0251	0.0591	16.9134	106.2702
19次	0.0254	0.0585	17.0821	107.3303
20次	0.0255	0.0581	17.1984	108.0810

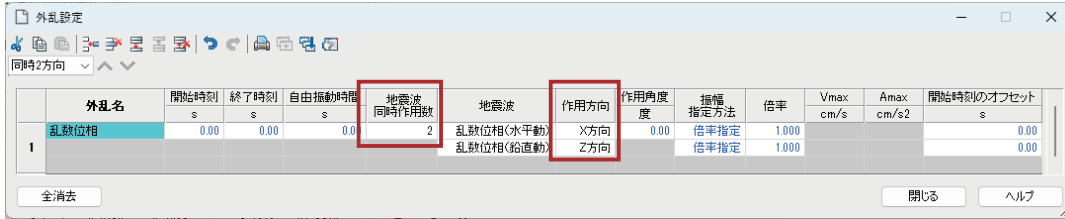
鉛直動のときと同様に、シート出力 [3.4. 各次の減衰定数] を確認してみると、指定の固有周期で、減衰定数 0.02 となっていることが確認できます。また、20 次までの減衰定数と固有周期の関係を以下のようにグラフ化してみると、U 字型の曲線形状になっていることが確認できます。



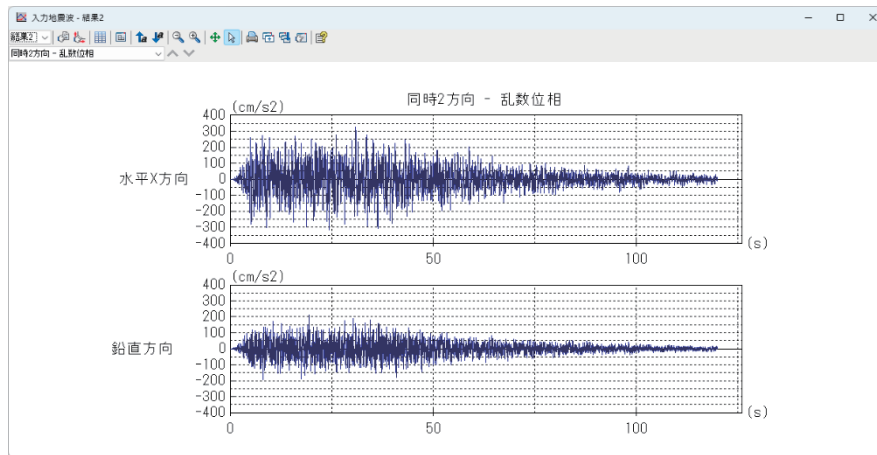
1) 日本建築センター「性能評価を踏まえた超高層建築物の構造設計実務」、2019.7

③ 鉛直地震動の設定

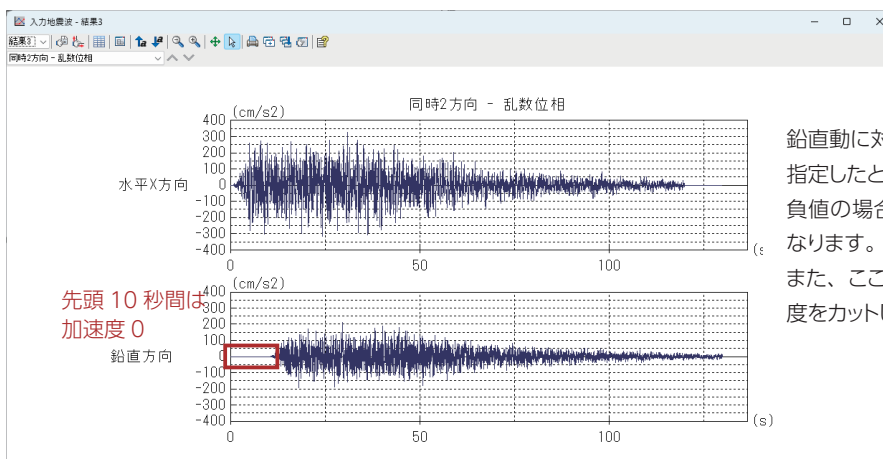
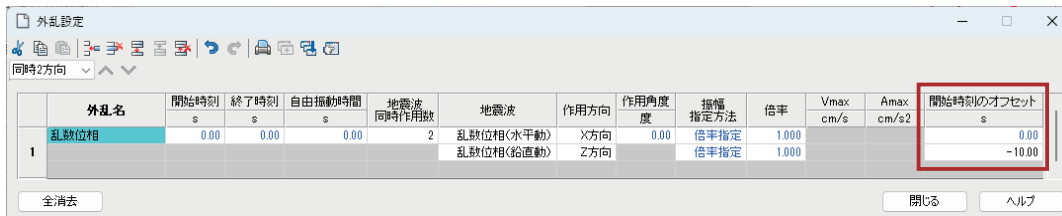
事前に登録しておいた水平動と鉛直動の2つを設定します。外乱設定では最大3つまでの地震波を指定することができ、ここでは地震波同時作用数を“2”に変更し、上から水平動、鉛直動を指定します。その後、作用方向をそれぞれ“X方向”、“Z方向”に変更します。



設定した入力地震動は結果作図「1.4. 入力地震動」で確認できます。



また、上記は地震動の開始時刻をそろえた地震動になりますが、水平動、鉛直動単独で計算したときの最大軸力の時刻を合わせて、同時2方向入力するなどの検討を行う場合もあるかと思われます。その場合は、加速度データから調整し、『3D・DynamicPRO』へ読み込み・登録することで対応できますが、外乱設定の開始時刻のオフセットを入力すれば、地震波毎に開始時刻の調整が可能です。



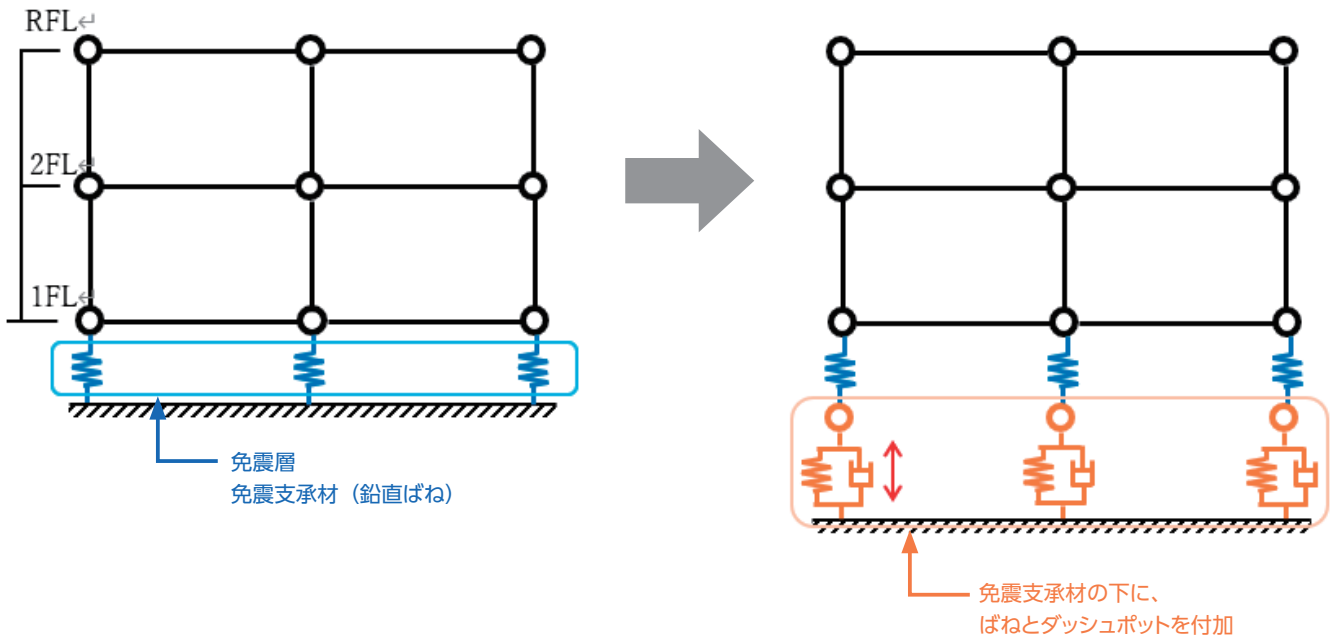
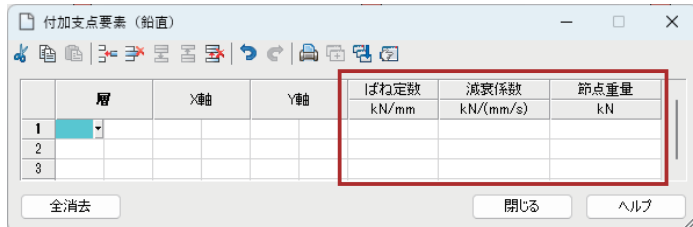
鉛直動に対して、開始時刻のオフセットを“-10.00”と指定したときの結果になります。負値の場合は先頭に加速度0を並べた入力地震動となります。また、ここでは省略しますが正值の場合は先頭の加速度をカットした入力地震動を作成します。

B. 免震建物などを対象とした鉛直ばねモデルの設定手順

免震建物の鉛直方向においては、上部構造、免震支承材（鉛直ばね）の関係に加えて、地盤ばねの有無を検討する場合があります。

『3D・DynamicPRO』では応答解析モデルに対して、免震支承材（鉛直ばね）直下に鉛直成分のばねとダッシュポットが並列で接続する要素（付加支点要素）を取り付けることができます。また、免震支承材と付加支点要素が接続する節点には質量を設定することができますので、必要に応じて慣性力を考慮することもできます。

ただし、ばねとダッシュポットの特性値は自動計算されませんので、文献 2)、3)などを参考に、入力項目 [3.9. 付加支点要素（鉛直）]で、ばね定数、減衰係数、節点重量（減衰係数と節点重量は 0 も可）を設定する必要があります。



- 2) 日本建築学会「建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計」、2006.2
- 3) 田治見 他：弾性理論による基礎底面-地盤の動的ばねに関する研究（その 2）動的ばねの実様式について、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、1975.8

C. 大梁中間や片持梁先端の上下振動の影響を考慮するための設定手順

鉛直動の検討を行う場合、比較的ロングスパンとなる大梁や片持梁の上下振動の影響を考慮したい場合があるかと思われます。

この場合、柱と大梁の交点だけでなく大梁の中間や先端にも質点を追加して、加速度を伴う慣性力の考慮が必要となりますが、『3D・DynamicPRO』では固有値解析・応答解析モデルに対して、大梁中央および片持梁先端へ質点を追加することができます。

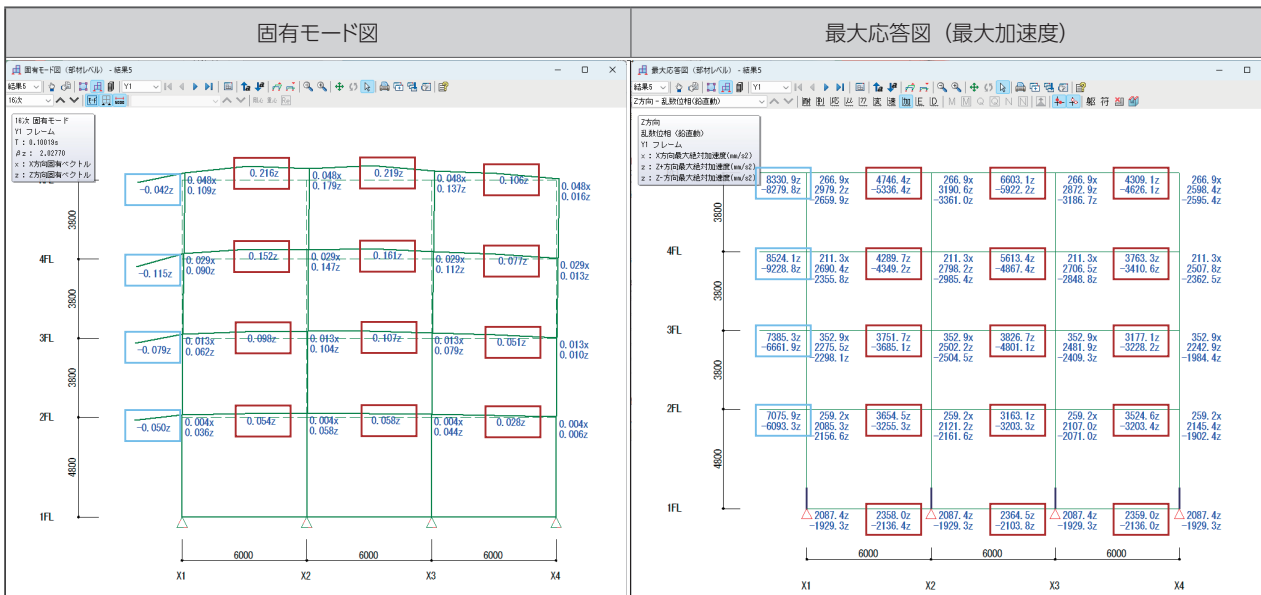
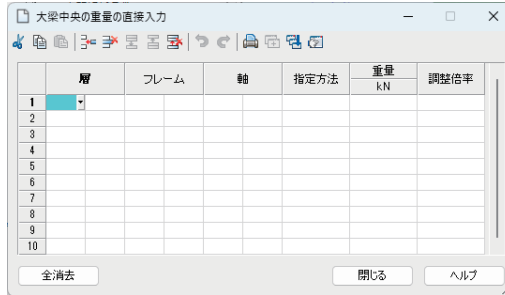
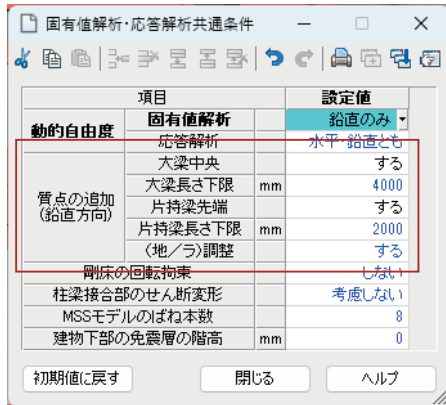
質点は入力項目 [3.2. 固有値解析・応答解析共通条件] の質点の追加 (鉛直方向) から追加することができ、この場合は指定の下限長さを超える部材を対象に自動で質点の追加が行われます。

このときに設定される重量は以下のように計算されます。

- ・大梁中央 左右 1/4 端 Q₀ の合計
- ・片持梁先端 片持梁先端 Q₀ (片持床先端小梁 Q₀ を含む)

『SS7』で計算された単純支持されたときの梁のせん断力 (Q₀) から計算されます。

さらに、[3.10. 直接入力] - [3.10.1. 重量] の [3.10.1.2. 大梁中央] や [3.10.1.3. 片持梁先端] から個々の部材に対して、重量を調整することもできます。



□は大梁中央の質点の結果になり、□は片持梁先端の質点の結果になります。

3. その他、鉛直動に関する検討について

以上、『3D・DynamicPRO』で鉛直動を検討するために必要な設定方法について紹介しました。

検討する上で最低限必要な設定内容としては以下の3つとなります。

- ① 動的自由度
- ② 内部粘性減衰
- ③ 作用方向

特に内部粘性減衰においては減衰モデル、減衰定数、そして比例させる周期を適切に設定する必要があると思われます。ここで注意が必要となるのは比例させる周期になると思われ、鉛直動のみを作用させた剛性比例型の減衰モデルの場合、水平方向1次の固有周期を設定してしまうと、減衰を過大に与えてしまうことにつながりかねません。そのため、比例させる周期は検討ケース毎に、適切な周期を設定する必要があるかと思われます。

また、上記のことを踏まえた応用として、鉛直動に関係しそうな検討ケースを3つ取り上げ、各設定手順について簡単に紹介しました。

- A. 水平+鉛直の同時2方向を検討するための設定手順
- B. 免震建物などを対象とした鉛直ばねの検討
- C. 大梁中間や片持梁先端の上下振動の影響を考慮するための検討