

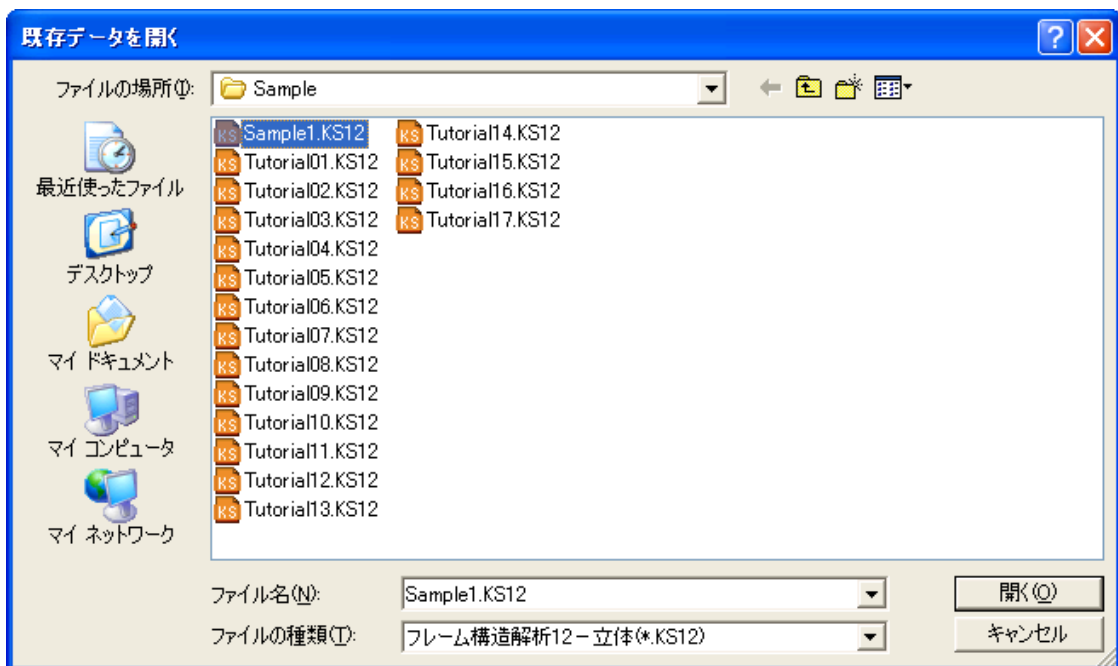
動解析の起動

◇とりあえず動解析を使ってみよう

●STEP 1（フレーム構造－立体でサンプルデータを読み込もう）

動解析は「フレーム構造－立体」（以下、立体および静解析と呼ぶことがあります）を実行してからでないと計算はできないようになっています。動解析は静解析と同じ有限要素法を使っているため静解析でエラーが出るような構造では動解析もできません。一方で条件にもよりますが動解析は静解析より計算時間が200倍くらいかかる場合があります長時間待ってエラーというのも辛いので静解析を先に実行して正常に計算できた後で動解析が実行できるようになっています。

では立体で Sample1.KS12 を読み込んでみましょう。「フレーム構造－立体」の操作の詳細は立体のマニュアルやチュートリアルを参照してください。

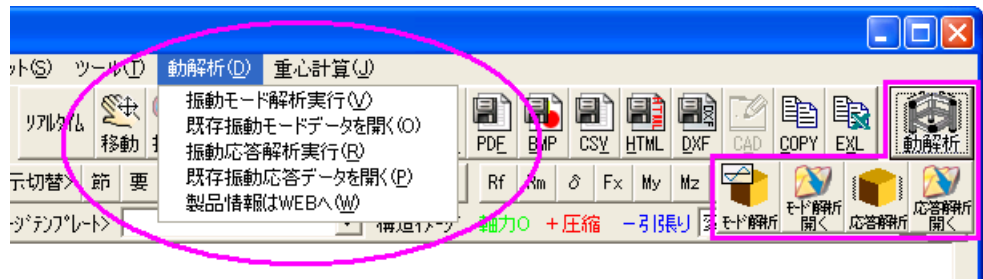


●STEP 2（計算を実行しておこう）

サンプルデータを読み込んだら「計算実行」ボタンをクリックして計算を実行しておきます。

●STEP 3（動解析を起動してみよう）

立体で計算を実行すると動解析のプルダウンメニューから“振動モード解析実行”、“振動応答解析実行”メニューが使えるようになります。また右端の動解析ボタンの「モード解析」「応答解析」ボタンでも実行できるようになります。



ここでそれぞれの解析実行メニューボタンをクリックすると立体で読み込んでいた構造データを使って動解析が実行されます。

なお動解析の既存の計算結果は立体で計算実行する前でもそれぞれの“データを開く”メニューボタンで開けるようになっています。

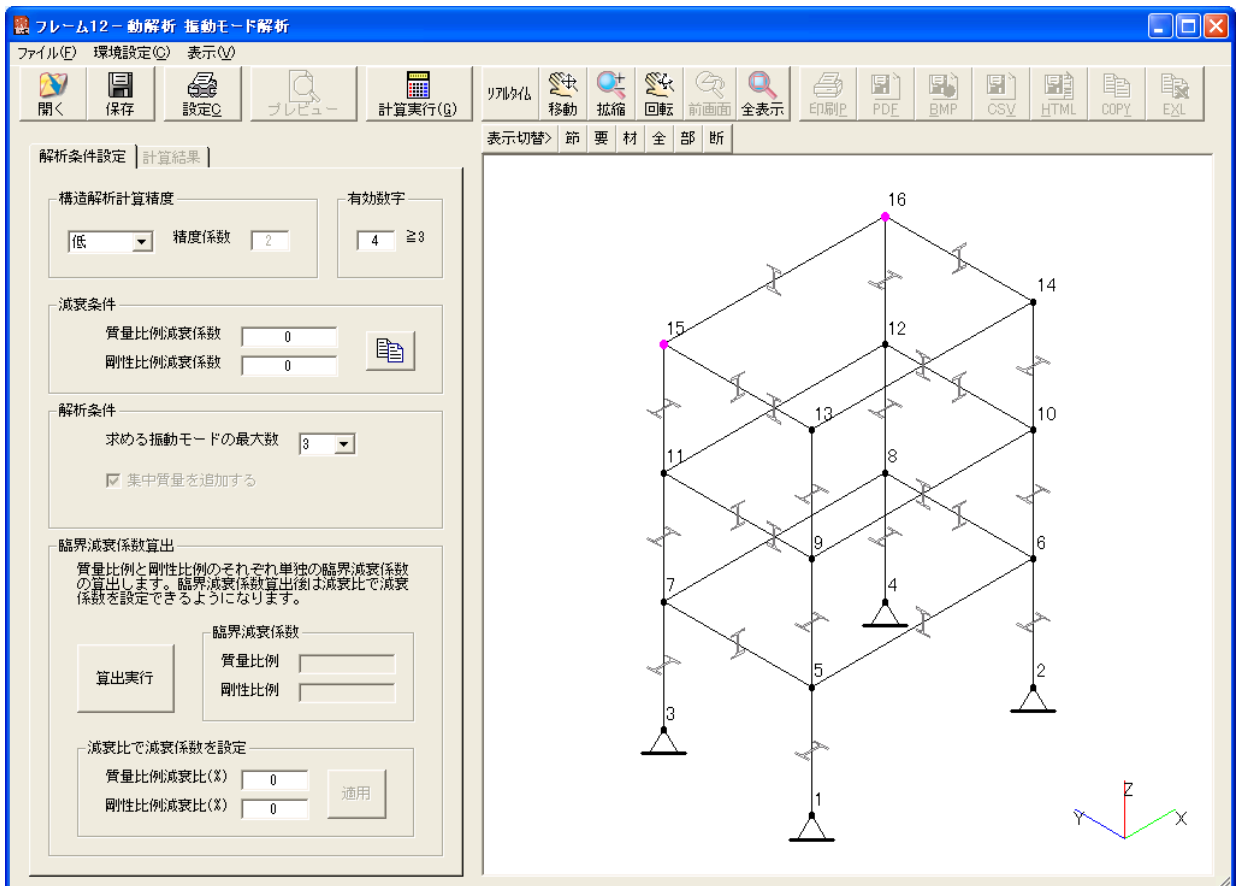
動解析を起動してからの操作はそれぞれのチュートリアルを参照してください。また動解析のデータ入出力や各種出力、画面操作は立体と基本的に同じなのでこれらの操作については立体のチュートリアルを参照してください。

振動モード解析

◇デフォルトの条件で計算を実行してみましょう

●STEP 1 (振動モード解析を実行してみよう)

立体で Sample1.KS12 を読み込んで計算を実行してから動解析メニューで“振動モード解析実行”をクリックすると次に示す振動モード解析のダイアログが表示されます。



起動時は解析条件設定のタブが開いていますのでここで解析条件を設定します。構造解析計算精度、有効数字は立体と同じ機能ですが前述のように動解析は計算時間がかかるので計算精度のデフォルトは[低]になるようにしています。要素数が多い場合はそれでも計算時間がかかるので最初は[最低]の計算精度で計算してみるのも良いでしょう。減衰条件は後で説明します。

従来は振動モードの計算方法に[高速]と[標準]の選択がありましたが[高速]で使っていたランチョス法と呼ばれる計算方法が条件により誤差が大きい場合があり、[標準]で使っていたヤコビ法だけにして計算方法の選択は廃止しました。そのため“求める振動モードの最大数”のデフォルトは3ですがヤコビ法を使っているので最大10まで選択できます。

[フレーム構造解析9]から静解析でも節点質量が設定できるようになりました。立体のサンプルデータ Sample1.KS12にも節点15と節点16に節点質量が設定されていますが、節点質量が設定してある場合は“集中質量を追加する”のチェックボックスがチェックされた状態でグレーアウトして[計算実行]ボタンを押した直後に必ず集中質量ダイアログが表示されるようになります。

節点質量の設定がない場合は“集中質量を追加する”のチェックボックスが選択できるようになり“集中質量を追加する”をチェックすると[計算実行]ボタンを押した直後に集中質量設定ダイアログが表示され節点単位に集中質量を追加することができます。

[フレーム構造解析11]から節点質量の単位が変更できるようになっていますがどの単位であってもkgの単位で動解析に渡されます。また材料データに[付加質量]の設定項目が追加されていて、これが設定されている場合は密度に付加して動解析に渡すようになっており、集中質量には関係しません。ただし動解析側で[付加質量]が設定されたデータかどうかは確認できませんのでコメント等で後から分かるようにしておいてください。これらの処理は後で説明する振動応答解析でも同じになっています。

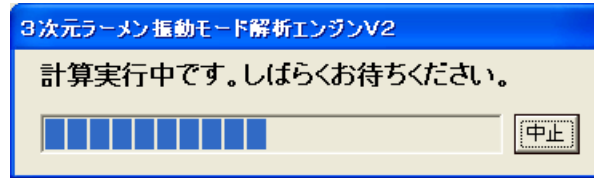
[フレーム構造解析10]以前は“異常値を推定してオミットする”のチェックがありましたがチェック方法を見直して[フレーム構造解析11]から常時チェックするようにしたためこのチェックは廃止しています。

なお振動応答解析を含めて同じ構造物であれば解析条件や後で説明する減衰条件などを変更して繰り返し計算ができるようになっていきますのでいろいろな条件で効率的に解析ができるようになっていきます。

ではデフォルトのまま[計算実行]ボタンをクリックして、表示される集中質量設定ダイアログもそのまま[確定]ボタンをクリックして計算を実行してみます。

●STEP 2（振動モード解析の計算結果を見てみよう）

計算が開始されると計算の進行状況を示すプログレスバーが表示されますので計算が終了するまでしばらく待ってください。計算を途中で中止したい場合は [中止] ボタンをクリックすると確認メッセージが出て計算を中止することができます。



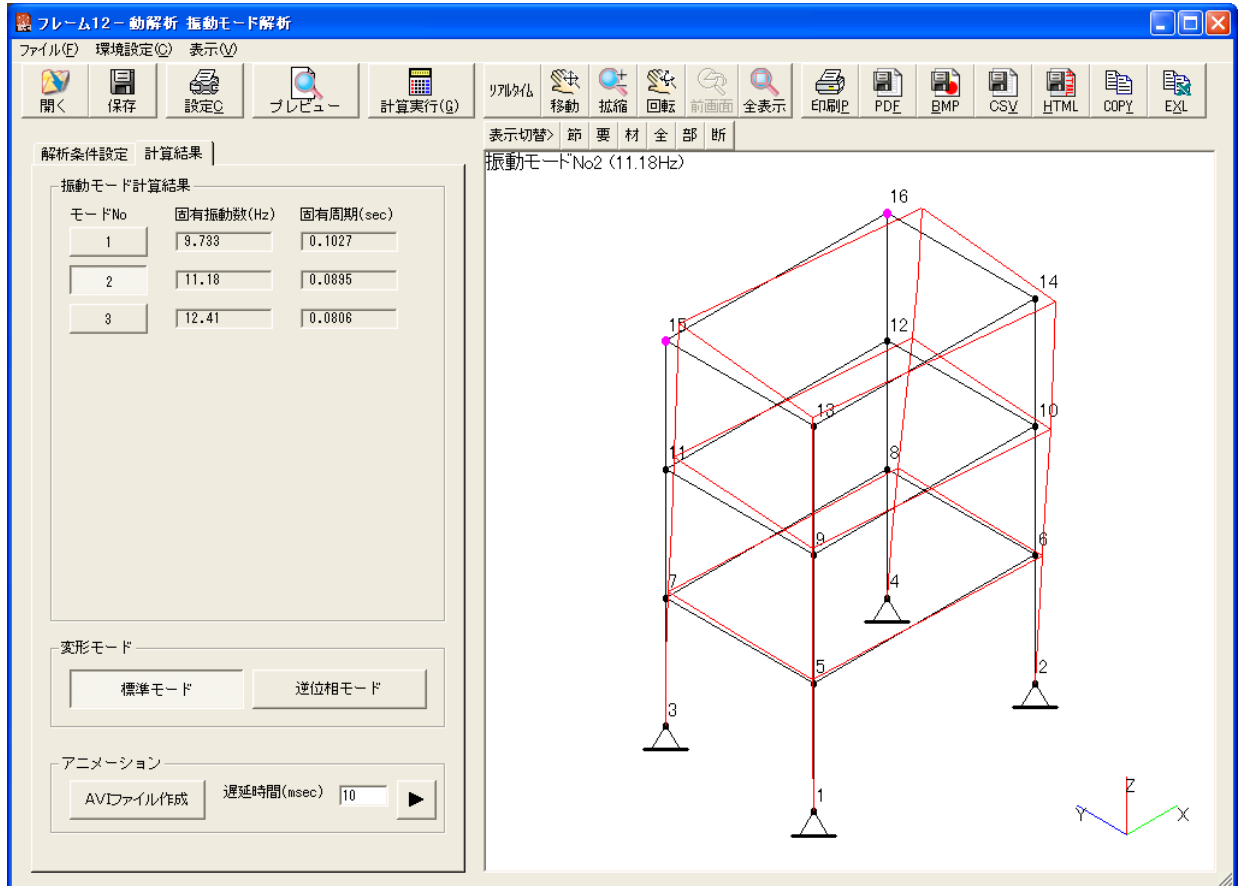
計算が正常に終了すると計算結果のタブが開き、求められた振動モードの固有振動数と固有周期が表示され左端のモードNoボタンで右のイメージに表示する振動モードを切り換えることができます。

この計算結果からこの構造物の1次モード（固有振動数の低い方から1次、2次という）はY方向に振動するモードでその固有振動数は約9.7Hzということが分かります。

モードNo	固有振動数(Hz)	固有周期(sec)
1	9.733	0.1027
2	11.18	0.0895
3	12.41	0.0806

●STEP 3 (振動モードを切り換えてみよう)

モードNoボタンを切り換えて2次、3次の振動モードがどのように変形するか見てみましょう。2、3次モードは構造物がねじれるモードになっていることが分かります。




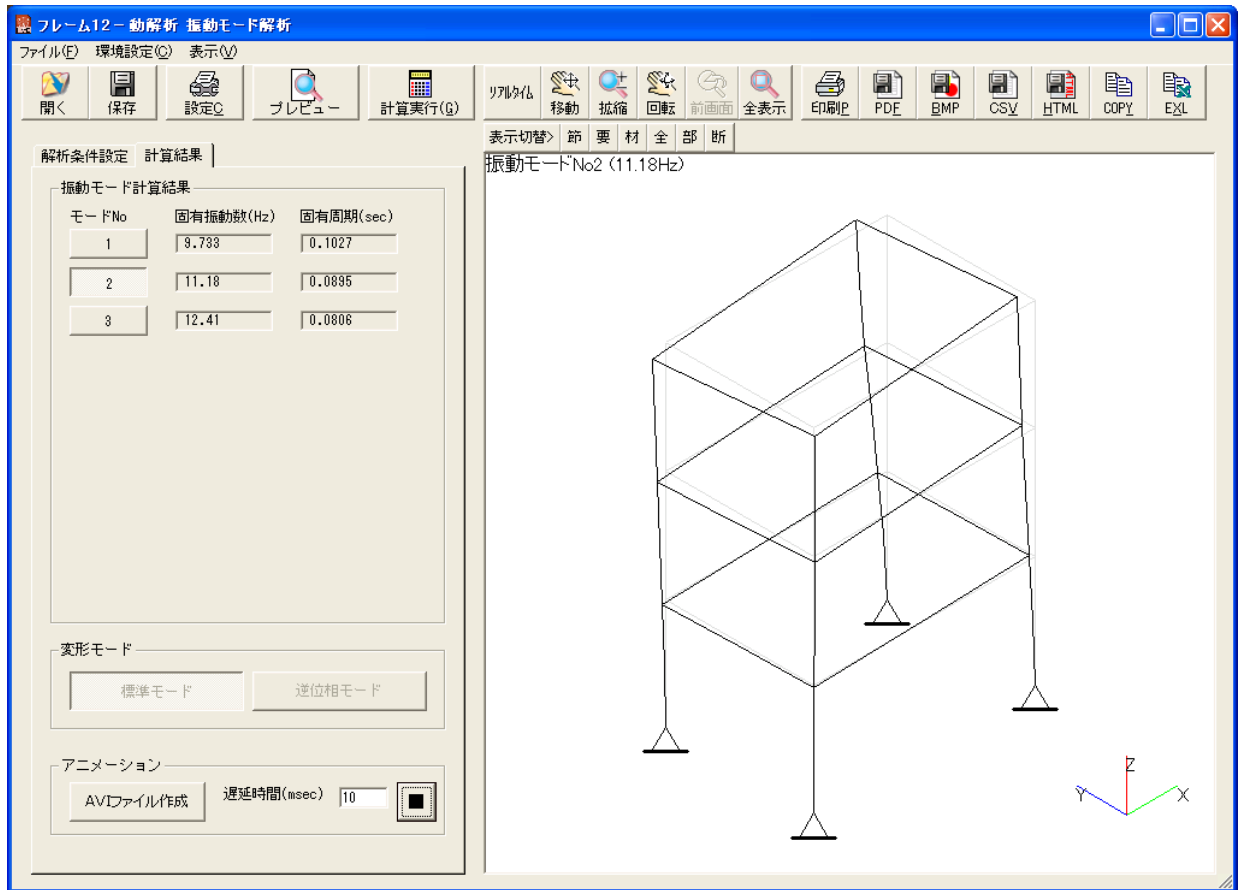
節点質量のない例では2次モードがX方向に振動するモードになりますが質量の影響で2次、3次の振動モードがねじれるモードになっています。


●STEP 4 (変形モードを切り換えてみよう)

振動モード解析では相対的な変形が求められ変形方向を逆転させた形(逆位相)も正解となります。変形モードで[逆位相モード]ボタンをクリックすると変形方向を逆転させた変形の様子を表示することができます。変形モードの[標準モード]と[逆位相モード]を繰り返し切り換えると振動するサイクルの両端の様子が分かるので振動モードを簡単に確認できます。これは各自で試してみてください。

●STEP 5 (アニメーション表示を試みよう)

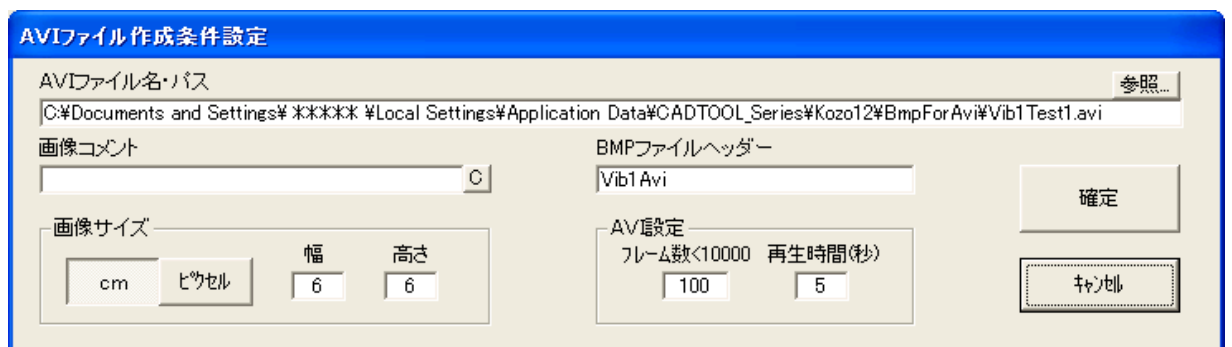
さらに変形の様子を分かりやすく見る方法としてアニメーションによる表示ができるようになっています。アニメーション表示したい振動モードのモードNoを選択しておきアニメーションの再生ボタン  をクリックします。



アニメーション再生中は再生ボタンが停止ボタン  になり、再度クリックするとアニメーションは停止します。アニメーションを速く動かしたい場合は遅延時間の数値を小さくし、ゆっくり動かしたい場合は数値を大きくします。遅延時間の数値を変更したりモードNoを変更すると一旦アニメーションは停止するようになっています。

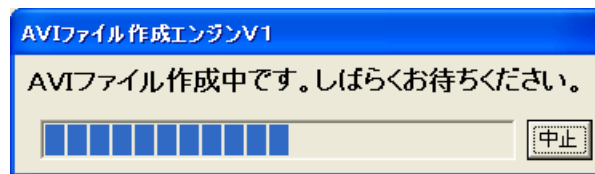
●STEP 6 (AVIファイルを作成してみよう)

アニメーションと同様の動画をAVIファイル (Windows標準の動画用ファイルフォーマット) として作成することができます。[AVIファイル作成]ボタンをクリックすると次に示すAVIファイル作成条件設定ダイアログが表示されます。

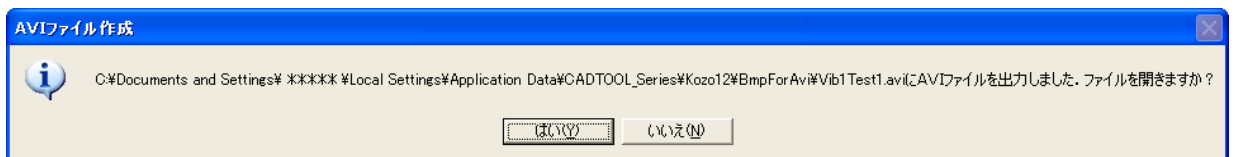


ここではA V I ファイルの名前と出力先のパス、画像に追加するコメント、A V I を作成するとき
に使うBMPファイルのヘッダー(BMPファイル名はヘッダー+連番になります)、画像サイズ、
A V I ファイルを作成するときのフレーム数と再生時間を設定します。

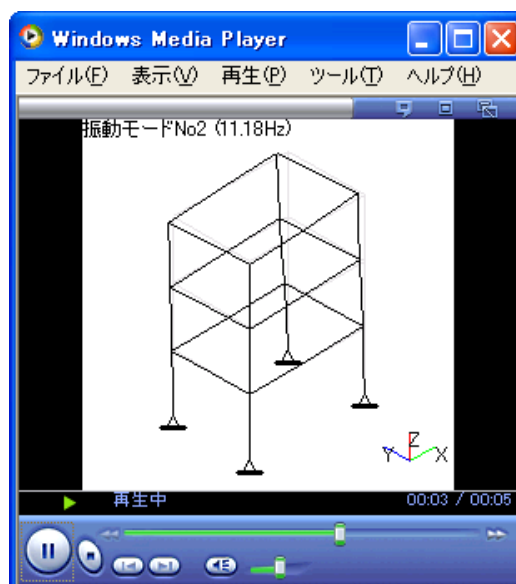
デフォルトの出力先は [フレーム構造解析 1 2] の作業フォルダの下の¥BmpForAvi となります。
A V I ファイル名や出力先を変更したい場合は表示欄で直接編集してもかまいませんが既存の
フォルダにしか出力できませんので [参照] ボタンをクリックしてファイル選択ダイアログを表示
させてそこで変更すると良いでしょう。ここで [確定] ボタンをクリックすると作業進行を示す
プログレスバーが表示され、まずフレーム数に応じたBMPファイルが出力されてからそれを元に
A V I ファイルが作成されます。



正常にA V I ファイルが作成されると次に示すメッセージが表示されます。



作成したA V I ファイルはWindows標準のWindows Media PlayerやA V I 形式に対応した
動画再生ソフト等で再生することができます。上記のメッセージで [はい] をクリックすると
拡張子A V I が関連づけられたアプリケーションが起動して再生できるようになります。



作成されるA V Iファイルは無圧縮のものでファイルサイズが大きくなりますので画像サイズの大きさやフレーム数は必要最小限の設定にしてください。また市販あるいはフリーの画像編集ソフトを使えばA V IファイルやBMPファイルからアニメーションG I Fを作成することができますので動画のサイズを小さくしたい場合はそれらを試してみてください。

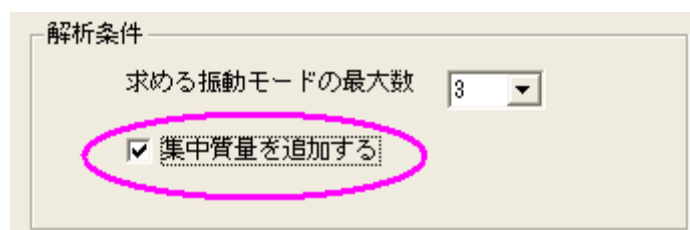
BMPファイルは〔フレーム構造解析12〕の作業フォルダの下の¥BmpForAvi に作成されます。BMPファイルヘッダーを変更しない場合は次回A V Iファイルを作成するときを上書きされますのでBMPファイルを取っておきたい場合は事前に別のフォルダにコピーしておくかBMPファイルヘッダーを変更しておいてください。逆にBMPファイルを取っておく必要がないのにBMPファイルヘッダーを変更していく不要なBMPファイルがどんどん溜まっていきますので注意してください。

◇集中質量を設定してみよう

●STEP 1 (集中質量とは)

動解析では単に強度だけでなく材料に働く慣性力も考慮されて解析されます。材料自体の慣性力は材料の断面積と密度等から自動的に求められますが部分的に重量物が取り付けられているような場合、静解析ではその重量に相当する集中荷重をかけてやればよいのですが動解析ではその重量物の質量を設定してやる必要があります。

〔フレーム構造解析12〕では節点質量の設定ができ Sample1.KS12にも節点15と節点16に節点質量が設定されています。前述のように節点質量が設定してある場合は“集中質量を追加する”のチェックボックスがチェックされた状態でグレーアウトして変更できませんが、立体で節点質量が設定されていないデータに集中質量を追加したい場合は解析条件設定タブの解析条件で“集中質量を追加する”をチェックします。



●STEP 2 (集中質量を削除してみよう)

“集中質量を追加する”がチェックされていると次に示す集中質量設定ダイアログが表示されます。ここで設定したい節点の行をクリックすると黄色の入力欄が表示されますのでそこで集中質量を入力します。

集中質量の設定

節点No	集中質量(kg)
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	100
16	50

確定

節点1の質量を全てに適用

全削除

キャンセル

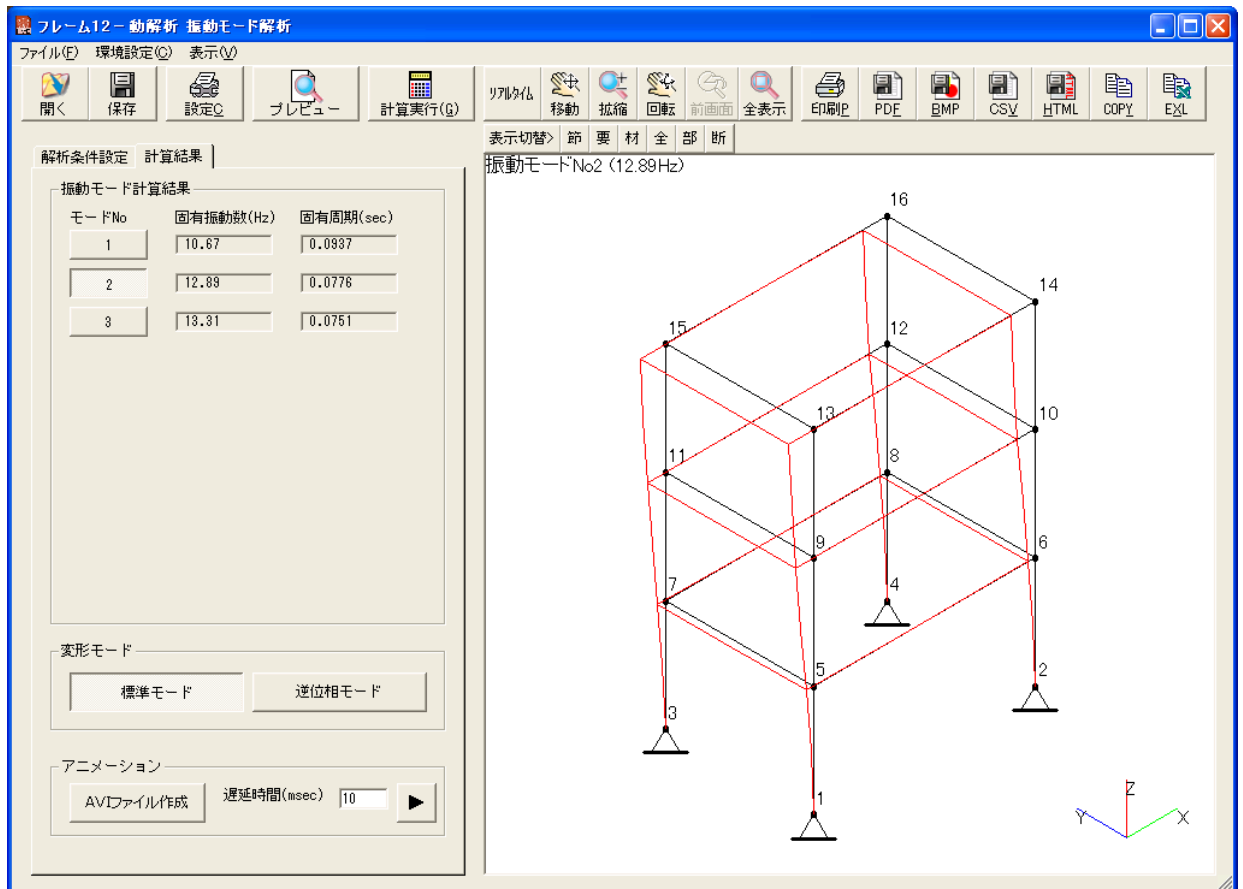
なお黄色い入力ボックスが出たままでも「確定」ボタンをクリックした時点で入力値を取得して計算するようになっています。

全てに同じ質量を設定したい場合は節点1にのみ集中質量を入力して「節点1の質量を全てに適用」ボタンをクリックすると全ての節点の集中質量に節点1の集中質量が設定されます。
全て削除したい場合は「全削除」ボタンをクリックします。

立体のサンプルデータ Sample1.KS12 には既に節点15に100kgと節点16に50kgの質量が設定されていたので、ここでは「全削除」ボタンをクリックして集中質量を削除してから「確定」ボタンをクリックして計算を実行してみます。

●STEP 3 (集中質量を削除した計算例)

次に集中質量を削除した計算結果を示します。



この例では1次モードの固有振動数は10.67Hzになり、先の集中質量を設定してある計算例では固有振動数は9.733Hzだったので集中質量が無くなったことで全体に固有振動数が高くなったのが分かります。

また表示している例は振動モードの2次モードになりますが、集中質量を設定してある計算例の2次モードはねじれるモードになっていましたが、集中質量がないと単純なX方向の振動モードとなります。

集中質量がどのように影響するかは各自いろいろと試してみてください。なお集中質量は慣性モーメントを持ちませんので集中質量だけでモデル化できない場合は鋼材を組み合わせて構造要素としてモデル化する方法も検討してください。

◇減衰係数を設定してみよう

●STEP 1（臨界減衰係数を算出してみよう）

動解析では減衰係数を設定して減衰振動の解析ができるようになっています。ただし油圧ダンパー等の減衰力を発生させる要素は設定できませんので減衰力は構造物全体で平均的に発生しているものと考え、質量に比例する質量比例減衰係数と剛性に比例する剛性比例減衰係数を設定します。質量比例減衰係数は高次ほど影響が少なくなり、剛性比例減衰係数は逆に高次ほど影響が大きくなる性質があります。では実際にどのような減衰係数を設定したら良いのでしょうか？

前述の油圧ダンパー等減衰力を発生させるのが目的の機器であれば減衰係数の値も決まっているので問題はありませんが構造物全体で発生する減衰力は簡単には分かりません。実際には先に減衰係数を設定するというよりはその構造物を使って振動測定を行い実測値と数値解析の結果を合わせるためのパラメーターとして減衰係数が使われることの方が多いと思います。これは実験を行う場合は良いですが構造物となると実験することも難しい場合が多いと思います。では実験を行わない場合はどうすれば良いのでしょうか？

そこで考えられたのが建築系で使われている減衰比というものです。減衰振動において減衰係数を大きくしていくと振動が発生しなくなる臨界減衰係数という値があり、その臨界減衰係数に対する比率で減衰係数を表したものが減衰比になります。臨界減衰係数は構造物によって異なりますが減衰比は鉄骨構造で2%程度、鉄筋コンクリート構造で3～5%程度が一般的といわれています。これを目安とすれば新規の構造物であっても臨界減衰係数が求められれば減衰係数を設定することができます。

動解析ではこの臨界減衰係数を簡単に求めることができるようになっていますので試してみましよう。解析条件設定のタブに戻り臨界減衰係数算出にある[算出実行] ボタンをクリックすると集中質量設定ダイアログが表示されますので最初に計算した条件に合わせるため集中質量は削除しないで[確定] ボタンをクリックします。次に計算進行を示すプログレスバーが表示されます。

臨界減衰係数算出

質量比例と剛性比例のそれぞれ単独の臨界減衰係数の算出します。臨界減衰係数算出後は減衰比で減衰係数を設定できるようになります。

算出実行

臨界減衰係数

質量比例 122.3124

剛性比例 0.032703

減衰比で減衰係数を設定

質量比例減衰比(%) 1

剛性比例減衰比(%) 0

適用

計算が終了すると[算出実行] ボタンの右に質量比例と剛性比例のそれぞれの臨界減衰係数が表示されます。このように動解析では簡単に臨界減衰係数が求められるようになっています。

なお減衰振動や臨界減衰係数、質量比例や剛性比例の減衰係数等についてはインターネットで検索していくといろいろと情報が出てきますので不明な点は各自で調べてみてください。

●STEP 2（減衰係数を設定して計算してみよう）

臨界減衰係数が求められたら減衰比から減衰係数を設定します。電卓で計算しても良いのですが [算出実行] ボタンの下にある質量比例減衰比か剛性比例減衰比に減衰比を入力して [適用] ボタンをクリックするとその減衰比で減衰係数を設定することができます。

ここで質量比例か剛性比例のどちらを使うか、あるいは両方を適当な割合で使うのが良いかはまだ確立はしていないようですが減衰比が数%程度であればほとんど差は出ませんので、ここでは構造物を鉄骨構造として質量比例減衰比に2を入力して [適用] ボタンをクリックしてみます。

減衰条件

質量比例減衰係数	2.4462	
剛性比例減衰係数	0	

解析条件

求める振動モードの最大数

集中質量を追加する

臨界減衰係数算出

質量比例と剛性比例のそれぞれ単独の臨界減衰係数の算出します。臨界減衰係数算出後は減衰比で減衰係数を設定できるようになります。

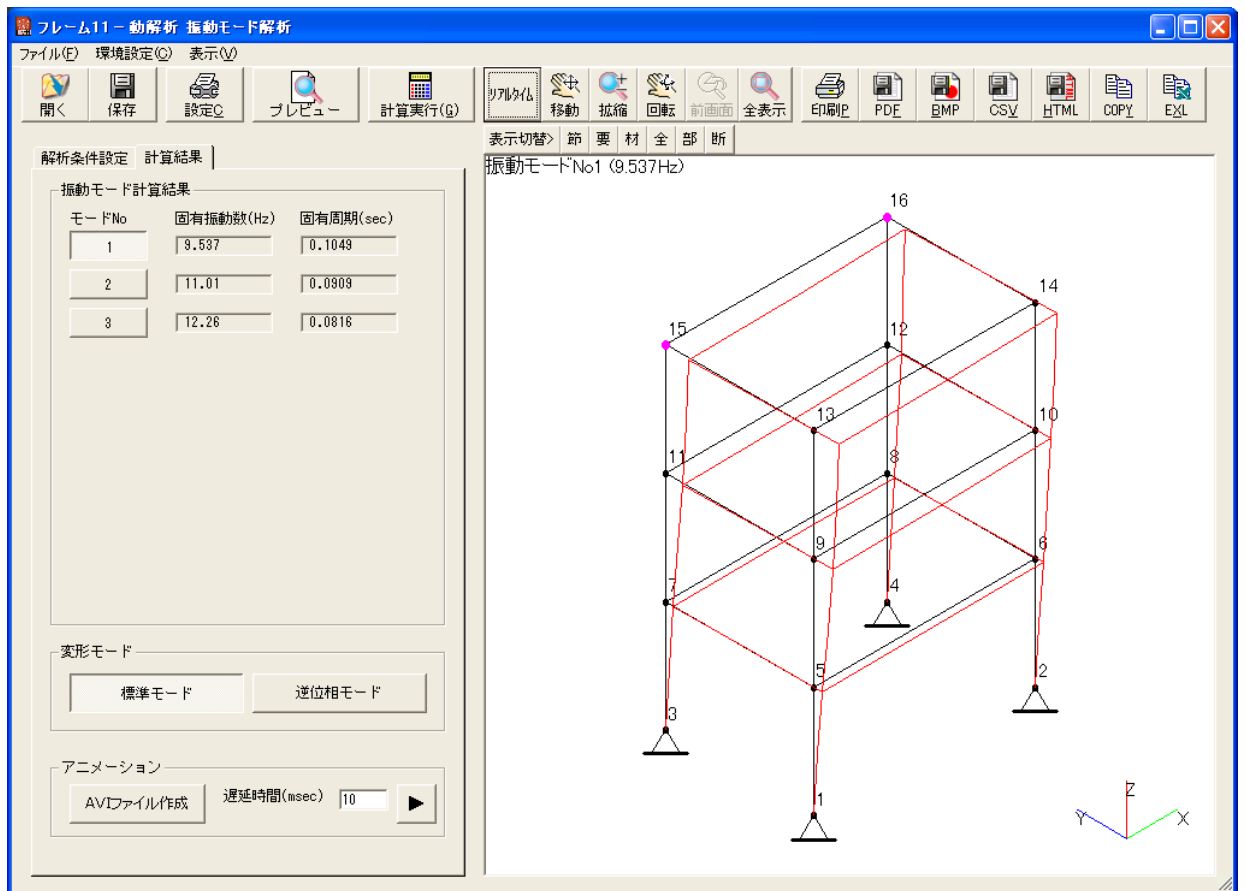
算出実行	臨界減衰係数
	質量比例 <input type="text" value="122.3124"/>
	剛性比例 <input type="text" value="0.032703"/>

減衰比で減衰係数を設定

質量比例減衰比(%)	<input type="text" value="2"/>	<input type="button" value="適用"/>
剛性比例減衰比(%)	<input type="text" value="0"/>	

[適用] ボタンをクリックすると自動的に減衰条件の減衰係数に数値が入力されます。入力欄の右にあるボタンは減衰係数をクリップボードにコピーするボタンで、後で説明する振動応答解析の減衰係数入力欄に貼り付けることができます。

ではこの条件で [計算実行] ボタンをクリックして計算を実行してみると最初の計算例と比較して固有振動数が1次の固有振動数が9.733 Hzから9.731 Hzに僅かに下がっただけで振動モードのパターンは同じです。試しに質量比例減衰比を10倍の20%にして計算してみましょう。



この例でも最初の計算例と比較して1次の固有振動数が9.733 Hzから9.537 Hzに下がっただけで振動モードのパターンは変わりません。

これらの計算例から減衰比が20%程度までは減衰係数は振動モード解析にはあまり影響しないのが分かります。また減衰比が90%を越えて減衰係数が臨界減衰係数に近くなっていくと固有振動数が急激に小さくなって影響が大きくなっていきます。

ただしダンパー等の減衰機構を組み込んだ制振構造物でも減衰比は10~20%程度ということなので減衰比が90%を越えるような構造物は現実的にはあり得ない状況ではないかと考えられますが技術的に興味がある方はいろいろと減衰比を変えて試してみると面白いのではないかと思います。

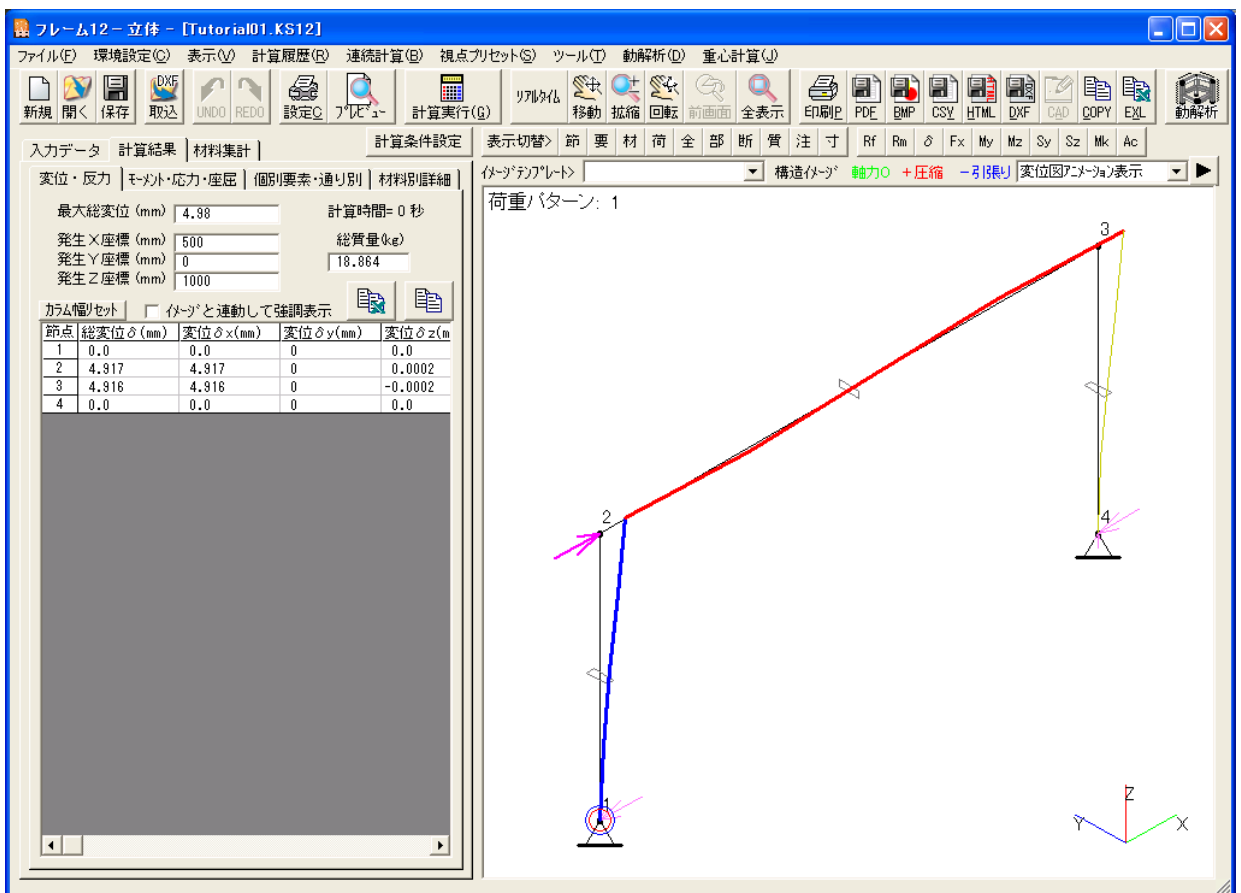
◇振動モード解析の実務への応用

●STEP 1 (立体のチュートリアルデータで実行してみます)

動解析という静解析とは異なり手軽にできる解析ではなくちょっと敷居が高い解析でしたが「CAD TOOL フレーム構造解析 12 / 3D 動解析」の動解析では静解析と同じくらいに手軽に動解析ができるようになり減衰振動にも対応しています。

ではその動解析を実務にどうやって応用していくかが課題になりますがここで実際に考えられる応用例を紹介したいと思います。

では立体のサンプルデータから Tutorial01.KS12 を読み込んで計算を実行しておきます。



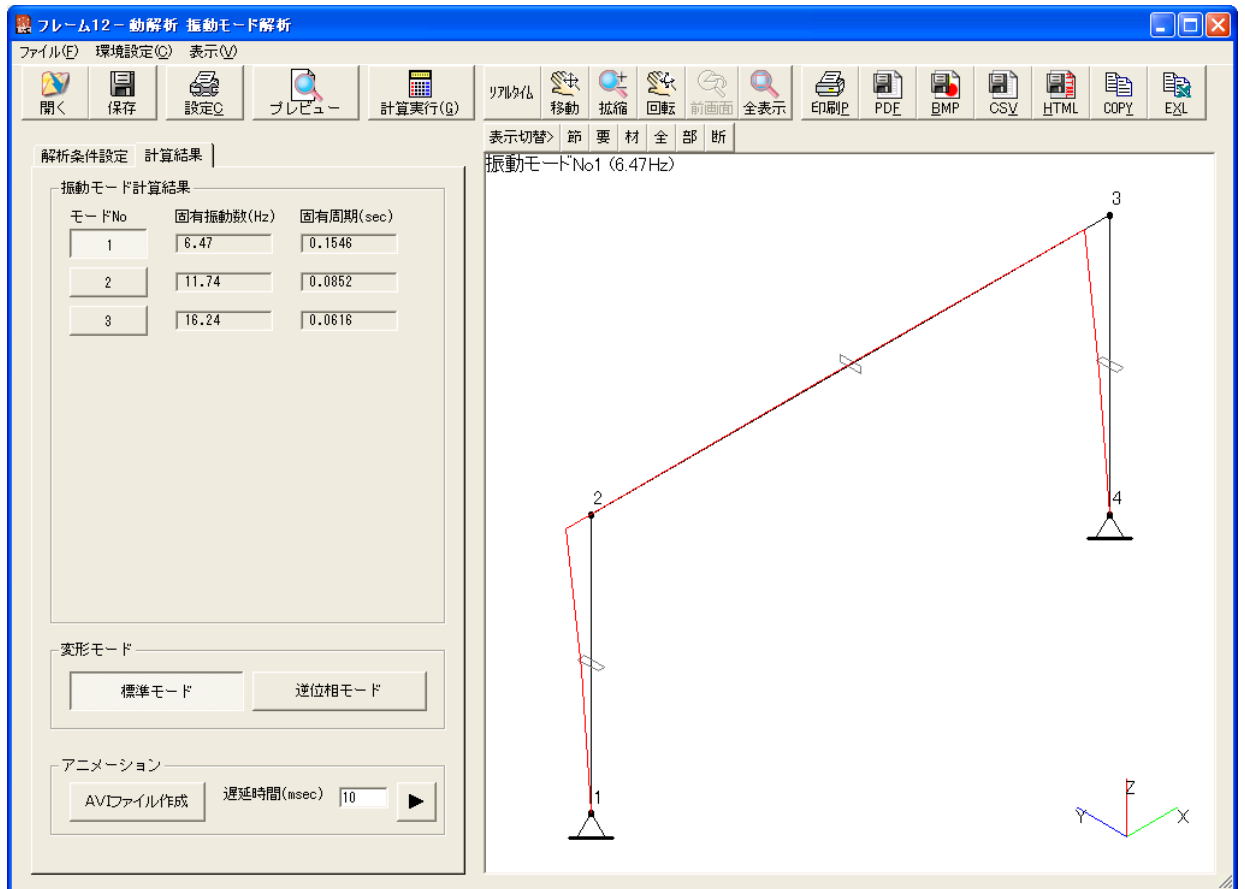
これは 50 × 12 の平鋼を使った門形ラーメンの計算例になります。

平鋼なので材料の使う方向によって強度が大きく異なります。この例では表示している断面形状から分かるように変形しやすい方向に荷重がかかっていることが分かりますが場合によっては弱い方向を見落としてしまうことも考えられます。そこで振動モード解析を実行してみましょう。

なおこのサンプルデータの詳細については立体のチュートリアルを参照してください

●STEP 2（振動モード解析結果を見てみましょう）

振動モード解析条件はデフォルトの条件で計算を実行してみます。



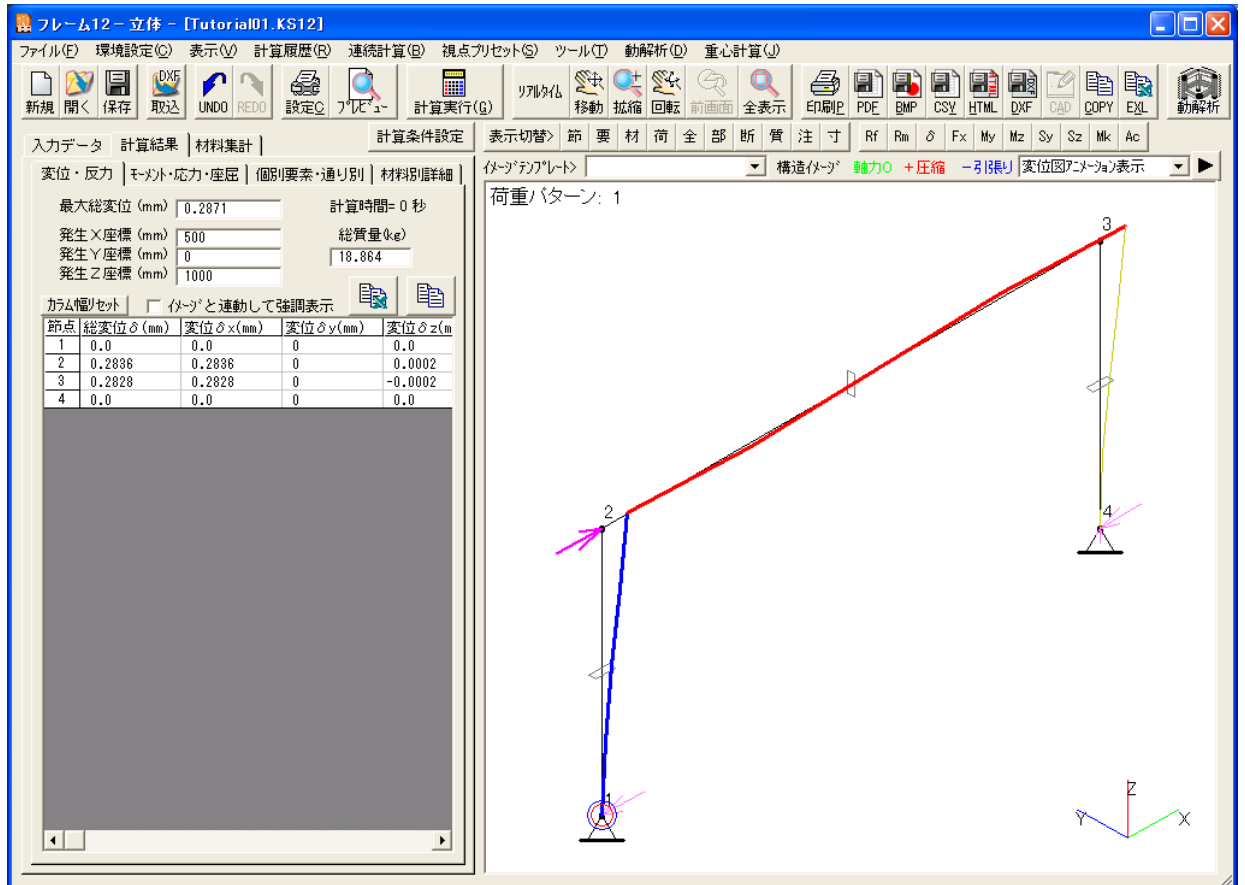
動解析では[フレーム構造-立体]と同様に材料の断面形状が表示できますので方向によって強度が大きく異なる材料の場合は断面形状を表示しておく为好いでしょう。断面形状等の表示切替の操作は立体と同じなので立体のチュートリアル、マニュアル等を参照してください。

この例では当然ながら平鋼の弱い方向への振動モードが1次モードになっています。固有振動数を見ると2次モードの11.7Hzに対して1次モードの6.5Hzと大きく離れています。

2次モードを見てみると節点2-3の梁の部分の1次モードとなっていることが分かります。2次モードに比べて1次モードの固有振動数が約半分なので強度バランスはあまり取れていない構造であると考えられます。このように振動モード解析では荷重条件などに関係なく構造物特有の強度の弱い変形方向を確認でき、その固有振動数から強度バランスが取れているかどうかを容易に把握することができます。

●STEP 3 (材料の方向を変えてみましょう)

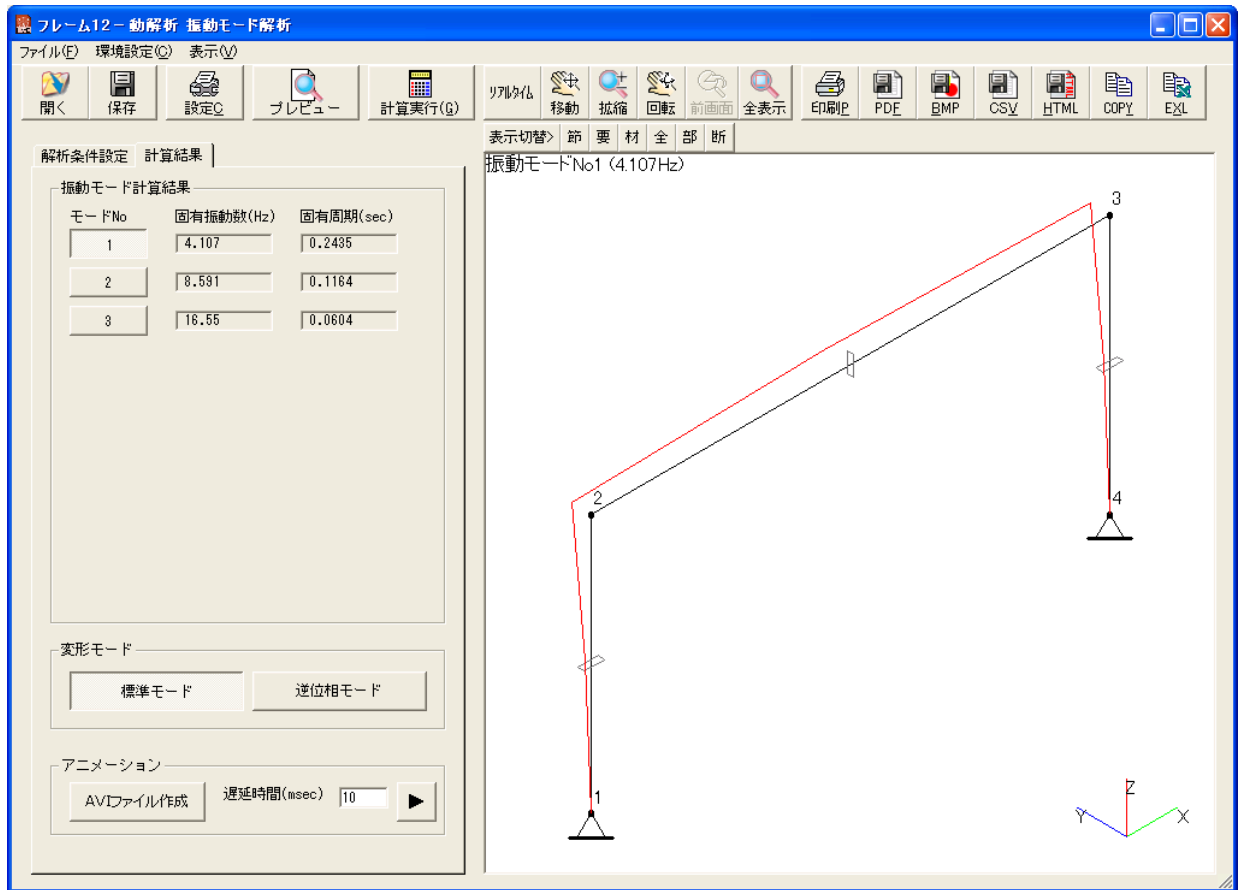
では立体に戻り [構造要素] のタブを開き3つの要素の回転角に90を入力します。これで平鋼の向きが90°回転しますので強度の強い方向に荷重が設定されていることとなります。この条件での立体での計算結果を次に示します。なお要素の回転等の操作については立体のチュートリアルを参照してください。



荷重方向に対しては平鋼の向きを変えて強度が上がっていますので最大総変位は4.98mmから0.287mmと大幅に小さくなっています。

この方向だけしか荷重がかからなければそれでも良いかも知れませんが構造物としての強度バランスはどうなったでしょうか？

ではこの条件で振動モード解析を実行してみます。



1次モードは静解析では荷重がかかっていないY方向の振動になって固有振動数は4.1Hzと先ほどの例より低くなっています。

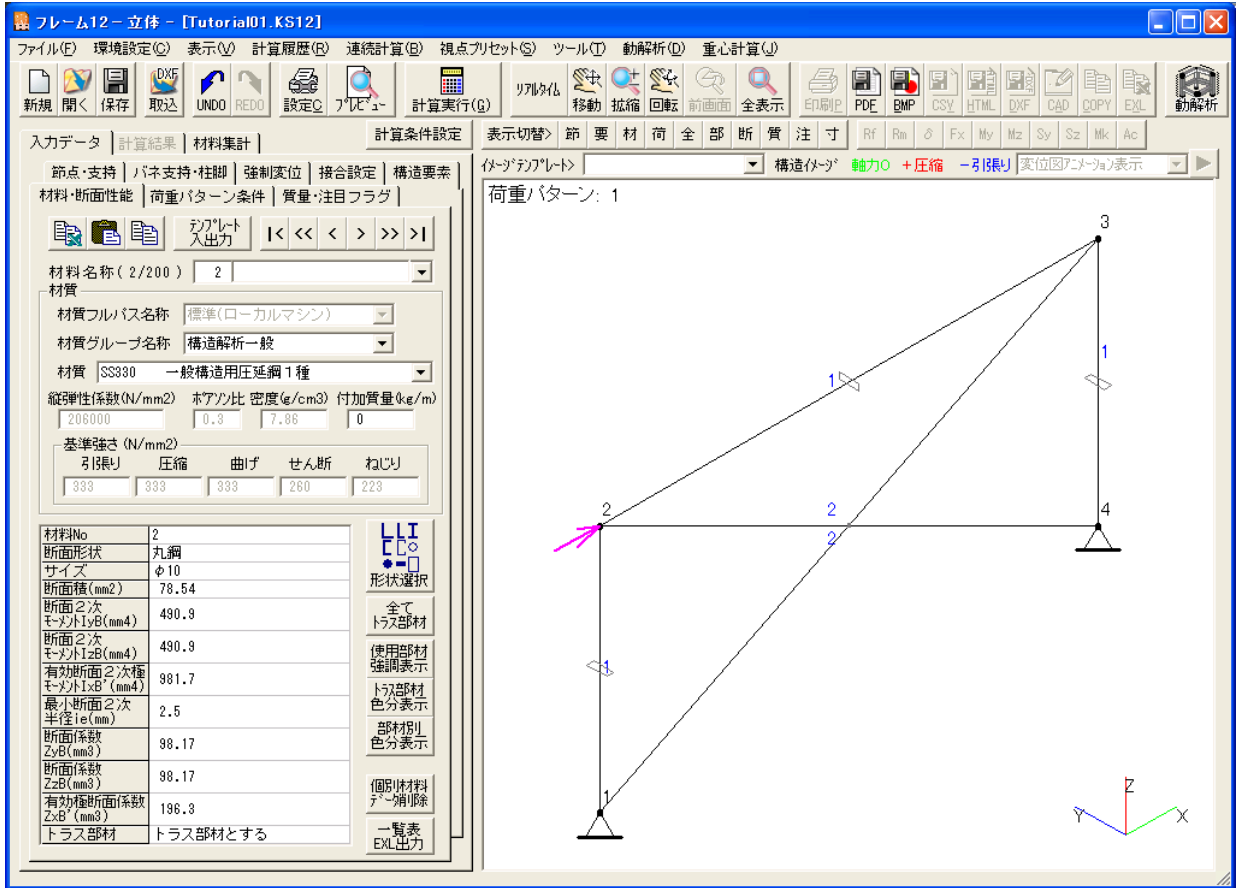
2次モードも梁がねじれる変形で固有振動数も8.56Hzと3次モードの16.5Hzの半分程度になっていて、材料を回転させる前より強度バランスが悪くなっていると考えられます。

●STEP 4 (補強を入れてみましょう)

では立体に戻り [構造要素] のタブを開き3つの要素の回転角を0に戻るか Tutorial01.KS12 を再読込しておきます。

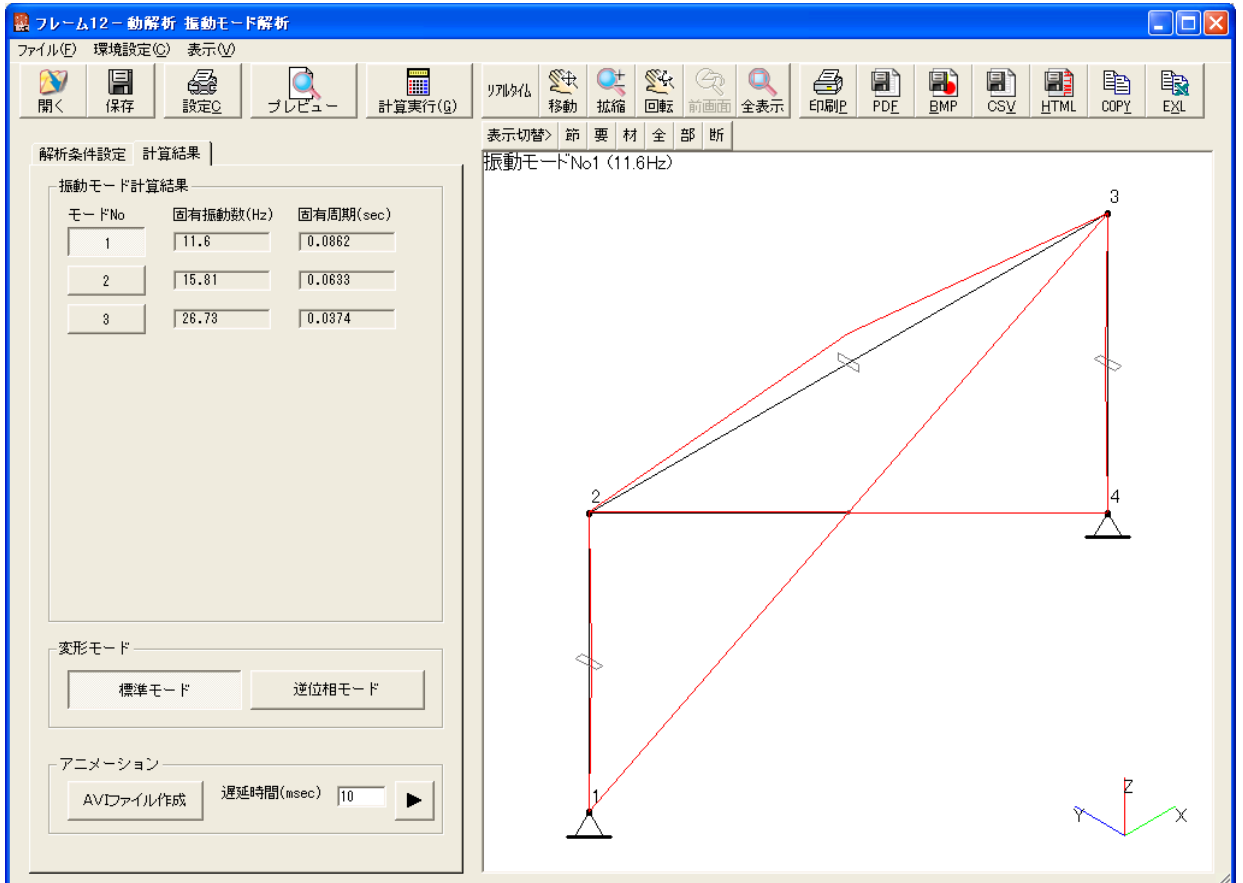
最初の振動モード解析で変形しやすい方向は分かりました。これを補強するにはやはり斜材をいれるのが簡単です。

材料2に補強の斜材として丸鋼φ10をトラス部材として設定して節点1-3、節点2-4に斜材として設定します。あとは [計算実行] ボタンをクリックして静解析を実行した後、振動モード解析を実行してみます。



●STEP 5 (補強の効果を確認してみよう)

斜材を入れて振動モード解析を実行した結果を次に示します。



斜材の補強を入れたのでX方向の振動モードが消えて梁の1次モードが構造全体でも1次モードになっています。これ以上は梁を補強しなければなりません。全体の構造物としての強度バランスはかなり向上したと考えられます。

このように静解析では荷重条件によっては見落とす可能性のある、強度バランスが取れていない構造物でも動解析の振動モード解析を行うことにより荷重条件に関係ない構造物特有の強度バランスが把握でき、その変形の様子から効果的な補強方法の参考になると思います。

◇サンプルデータを見てみよう

●STEP 1 (既存計算結果を開くには)

既存計算結果を開くには [開く] のアイコンボタンかプルダウンメニューの [ファイル] > [既存計算結果を開く] をクリックしてファイルを選択して開きます。計算結果の保存を含めて基本的な操作方は立体と同じになっていますので操作については立体を参照してください。

なお [フレーム構造解析 9] から構造データが大きく変わったためのそれ以前の動解析データは読み込むことができません。立体では旧バージョンの構造データも読み込めますのでそちらで読み込んで動解析は再度実行してください。

振動モード解析の計算結果ファイルの拡張子はKM11となっています。次に Sample1.KM12 を開いた例を示します。

モードNo	固有振動数(Hz)	固有周期(sec)
1	9.732	0.1027
2	11.18	0.0895
3	12.41	0.0806
4	24.49	0.0408
5	29.77	0.0336
6	37.36	0.0268
7	39.34	0.0254
8	39.35	0.0254
9	39.36	0.0254
10	39.36	0.0254

●STEP 2 (サンプルデータについて)

この例は計算精度を [標準] として求める振動モードの最大数を 10 として計算したものです。振動モード解析では計算時間がかかります。一方で計算結果は立体と同様に各種出力ができますが変形モードを変更したりアニメーション表示させたりした方が変形の様子が分かりやすい場合もあるので動解析では立体のように設定データを保存するのではなく計算結果そのものを保存しておき、後から計算結果を読み込んで計算実行後と同じように変形モードの変更やアニメーション表示ができるようにしています。

さらに読み込んだ既存データの構造を使って解析条件や減衰条件等を変更して再計算もできるようになり、より便利に活用できるようになっています。

この例では 1 次から 3 次まで比較的近い固有振動数になっていますので強度バランスの取れた構造と考えられます。また 6 次より上の固有振動数はほとんど変わっていませんが変形の様子は大きく異なります。

それは高次になっていくにつれて部分的な振動が支配的な振動モードが現れてきて近い周波数で異なる振動モードが発生しているためと考えられます。これらの高次の振動モードは技術的には興味深いものではありませんが強度バランスの検討として設計にフィードバックできるのは 3 次あたりまで分かれば良いように思います。

したがって通常は“求める振動モードの最大値”も 3 のデフォルト設定で良いと思います。また時間のある時に“求める振動モードの最大値”を 10 にして計算してみて高次の振動モードがどうなっているのかを解析してみると興味深い結果が出るかも知れません。

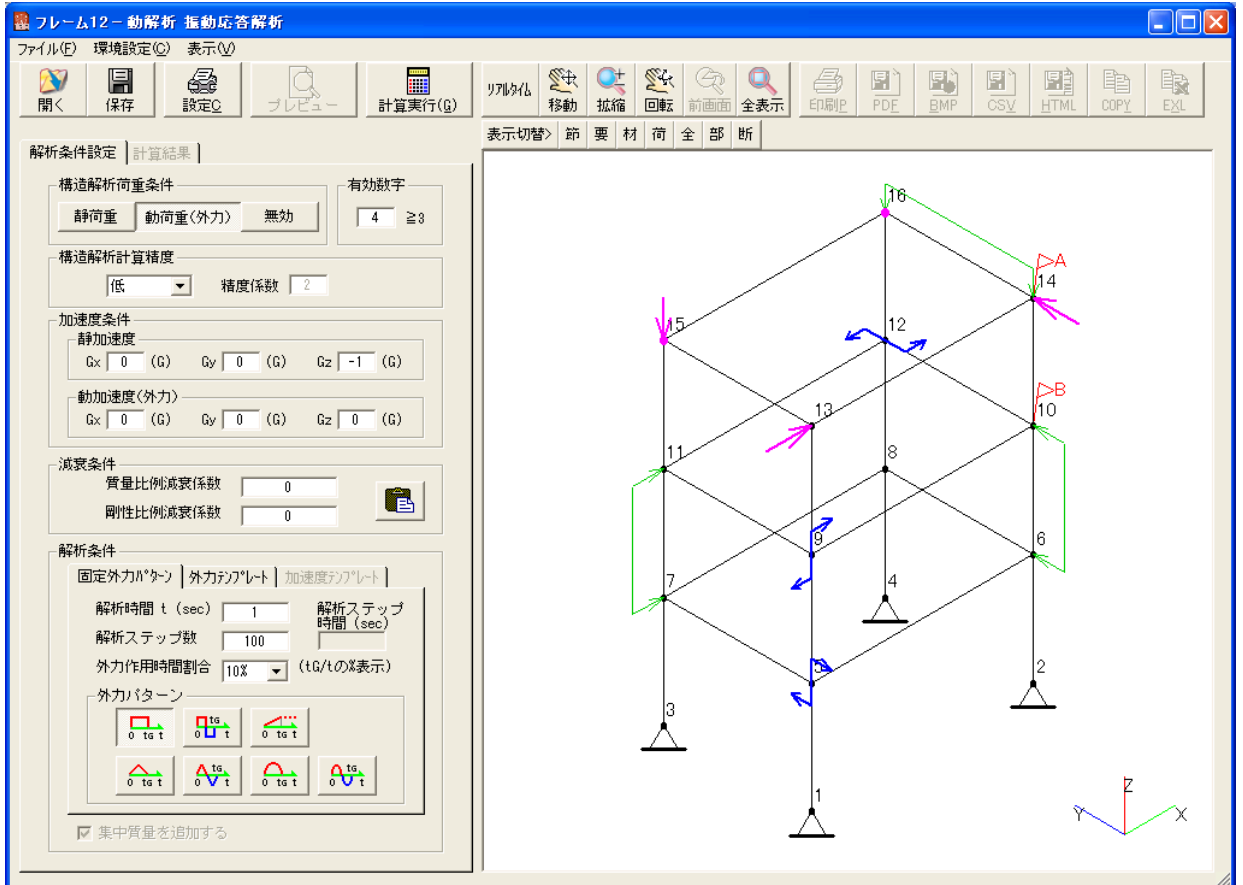
サンプルデータの Sample2. KM12 は集中質量を削除した例となっています。これも各自で試してみてください。

振動応答解析

◇デフォルトの条件で計算を実行してみましょう

●STEP 1（振動応答解析を実行してみよう）

立体で Sample1.KS12 を読み込んで計算を実行してから動解析メニューで“振動応答解析実行”をクリックすると次に示す振動応答解析のダイアログが表示されます。



起動時は解析条件設定のタブが開いていますのでここで解析条件を設定します。振動応答解析は振動モード解析と異なり構造物に外から力がかかったときに構造物が実際にどのように変位していくかを解析するものなので、この外からかかる力（以下、外力という）の設定が重要でこのタブで設定します。ここではこのタブの上から順に説明していきます。

構造解析荷重条件では立体の荷重条件をどのように使うかを選択します。[静荷重]を選択した場合は立体と同じ静荷重として働き、外力としては使われません。[動荷重（外力）]を選択した場合は立体の荷重条件を外力の最大値とし、下の解析条件で決めた条件で外力として作用させます。[無効]を選択した場合は立体の荷重条件は静荷重としても外力としても使われません。

有効数字、構造解析計算精度は立体と同じ機能ですが振動モード解析と同様に振動応答解析も計算時間がかかるので計算精度のデフォルトは[低]になるようにしています。要素数が多い場合はそれでも計算時間がかかるので最初は[最低]の計算精度で計算してみると良いでしょう。

加速度条件では静荷重として与える静加速度と外力として与える動加速度をそれぞれ設定できるようになっています。静加速度は立体の自重条件と同じ意味になり必要であれば重力に相当する G_z に -1 を入れておきます。地震等に相当する水平加速度を設定する場合は動加速度の G_x 、 G_y に数値を入力するとこれを最大値とし解析条件で決めた条件で外力として作用させます。

減衰条件で減衰係数を入力すると減衰振動の振動応答解析ができるようになっています。この減衰条件は振動モード解析と同じく後で詳しくは説明しますのでここではデフォルトの0のままとします。

解析条件ではまず外力タイプをタブで選択しますが外力テンプレートおよび加速度テンプレートについては後で説明します。ここでは従来の解析条件と同じ固定外力パターンのタブを選択した場合の設定方法について説明していきます。

固定外力パターンではまず解析時間を設定します。振動応答解析では外力がかかってからの短時間の構造物の挙動を解析するものですから解析時間を長くしてもあまり意味がありません。通常は振動モードの1次周期の数倍～十数倍程度が良いと思われまますので解析時間が決められない場合は先に振動モード解析を行って1次モードの固有周期を求めておくとい良いでしょう。

振動応答解析では構造物の変位を微小な時間の区分毎に求めるようになります。この解析ステップ数で解析時間をいくつに区分して計算するかを決めるもので、1ステップに相当する時間は1次モードの固有周期の数分の1以下になるようにしないとスムーズな応答結果が得られませんので注意してください。またこの解析ステップ数だけ変位等の計算を行い計算結果にも出力されるのであまり大きなステップ数を設定すると計算に時間がかかるだけでなく計算結果のファイルサイズも大きくなってしまいますので必要以上に大きなステップ数は設定しないようにしてください。

外力作用時間割合は解析時間の中で解析開始からどこまでの時間まで外力を働かせるかを%で選択します。解析時間が1秒で外力作用時間割合を10%とすると外力は0から0.1秒間作用することになります。

外力パターンでは構造解析荷重条件や加速度条件で設定した外力を最大値として外力作用時間の間にどのようなパターンで作用させるかを選択します。ボタン上のイメージが外力パターンを示していますのでそれを参考に選択してください。

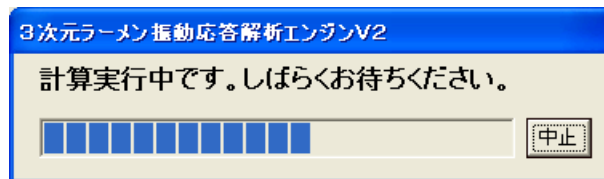
その下の“集中質量を追加する”のチェックボックスの処理は振動モード解析と同じですのでそちらを参照してください。

立体のサンプルデータ Sample1_KS12 の1次モードの固有周期は約0.1秒でしたのでデフォルト設定の解析時間1秒、解析ステップ数100というのは妥当な値になります。外力は構造解析荷重条件を使用し、動加速度は0、外力作用時間割合10%、外力パターンも左上の矩形半サイクルのデフォルトのまま [計算実行] ボタンをクリックして計算を実行してみます。

なおサンプルデータには節点質量が設定してあるので振動応答解析でも集中質量設定ダイアログが表示されますが、そのまま [確定] ボタンをクリックして計算を実行してみます。

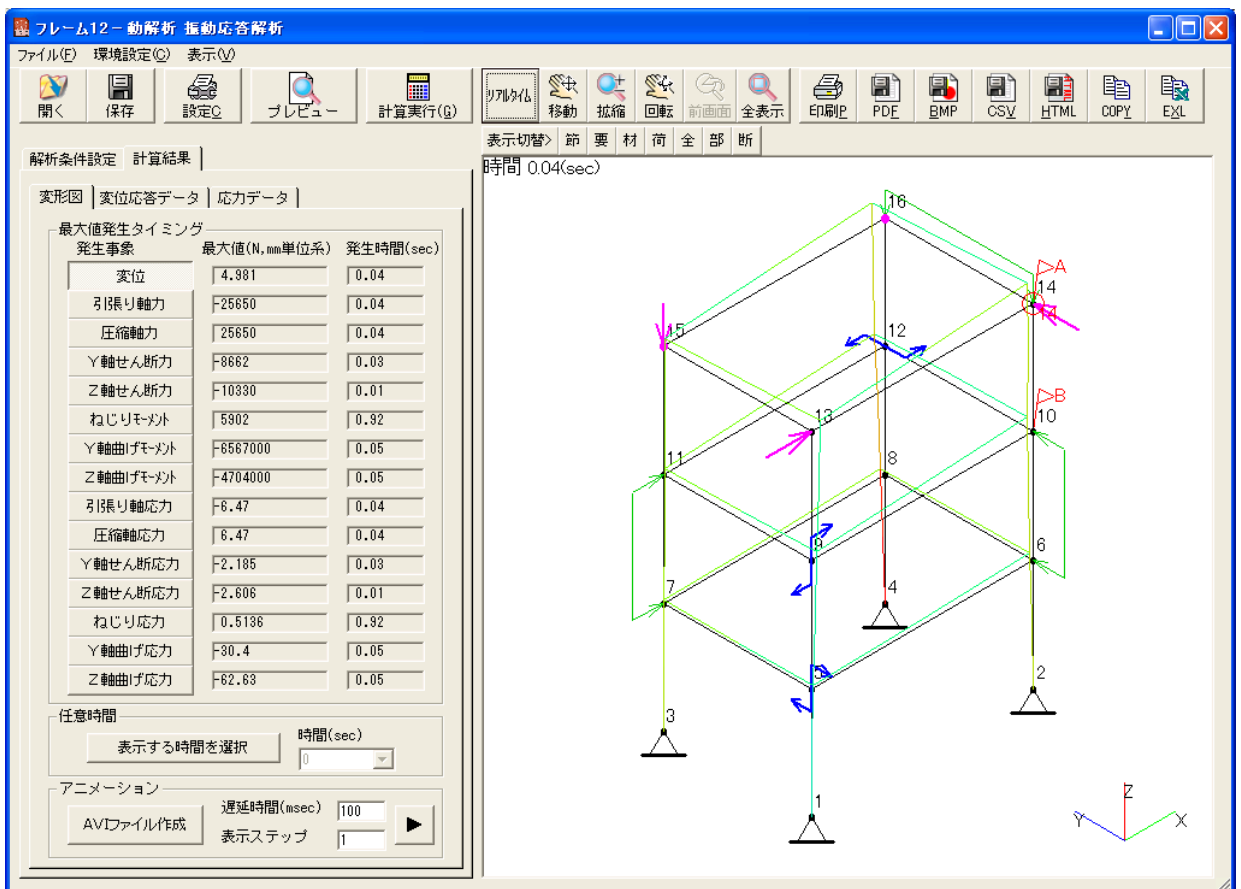
●STEP 2 (振動モード解析の計算結果を見てみよう)

計算が開始されると計算の進行状況を示すプログレスバーが表示されますので計算が終了するまでしばらく待ってください。計算を途中で中止したい場合は [中止] ボタンをクリックすると確認メッセージが出て計算を中止することができます。




計算が正常に終了すると [計算結果] のタブが開きます。ここには [変形図] と [変位応答データ]、のタブと [フレーム構造解析 9] から [応力データ] のタブが追加されました。


[変位図] タブには計算で各種の発生事象の最大値とその発生時間が表示されます。また発生事象にも各種応力が追加されています。



発生事象のボタンを選択するとその時間の変位イメージが表示されます。また [任意時間] のボタンを選択してその右のリストボックスで時間を選択するとその時間の変位イメージが表示されます。

●STEP 3 (アニメーション表示を試みよう)

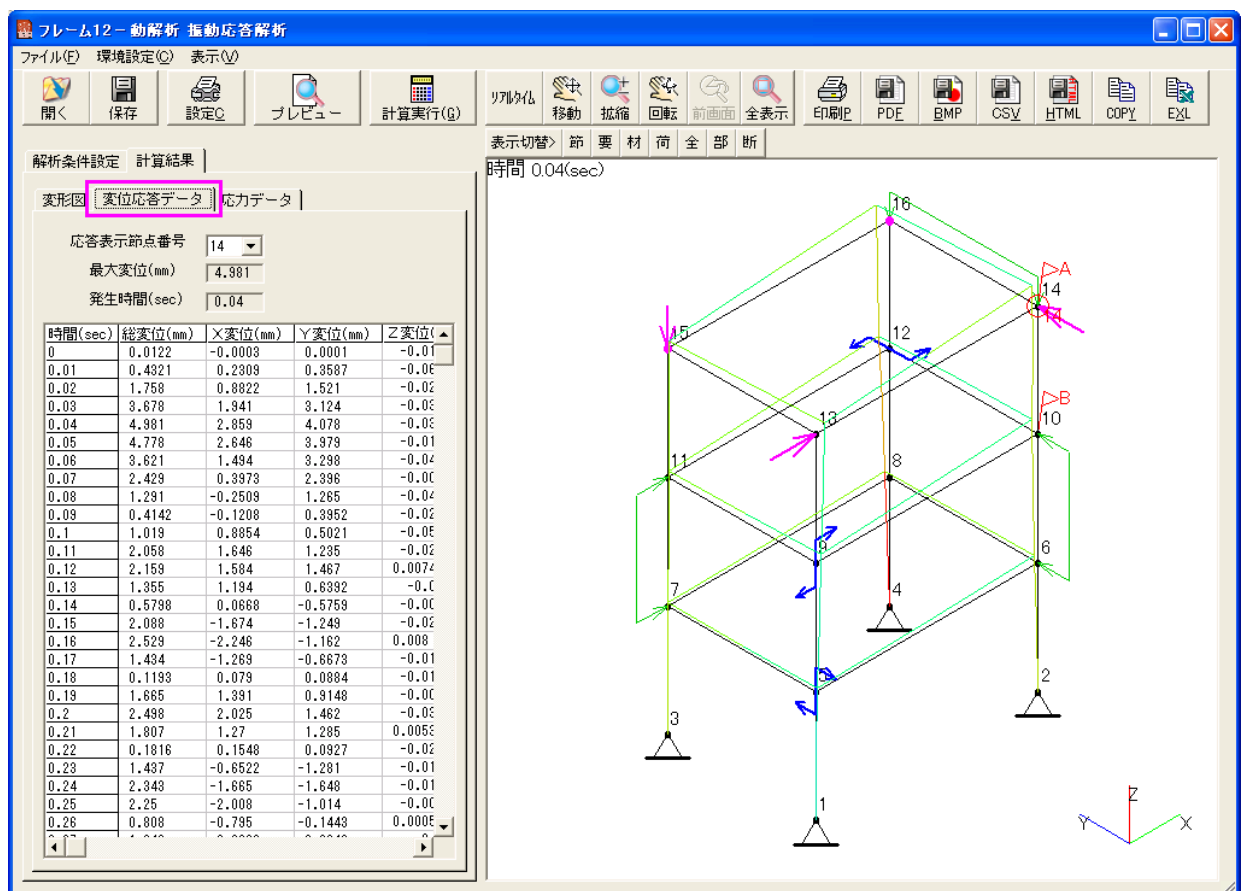
外力がかかってから構造物が変位する様子を分かりやすく見る方法として振動モード解析と同様にアニメーションによる表示ができ、再生ボタン  をクリックするとアニメーションを開始します。

アニメーション再生中は再生ボタンが停止ボタン  になり、再度クリックするとアニメーションは停止します。アニメーションを速く動かしたい場合は遅延時間の数値を小さくし、ゆっくり動かしたい場合は数値を大きくします。アニメーション表示は解析ステップ毎にその時間の変位したイメージで更新していくので解析ステップ数が大きい場合には遅延時間を0にしてもアニメーションがゆっくり表示される場合があります。その場合は表示ステップに1を越える数値を入れれば表示ステップ毎にイメージを更新しますのでアニメーションの速度を速くできます。

この操作は簡単なので各自試してみてください。

●STEP 4 (節点毎の変位応答データを見てみよう)

[変位応答データ] タブを開くと節点毎の変位応答データを見ることができます。ここで応答表示節点番号を選択するとその節点の最大変位とその発生時間が表示され、その下に時間と総変位、X変位、Y変位、Z変位が一覧表で表示されるようになっています。

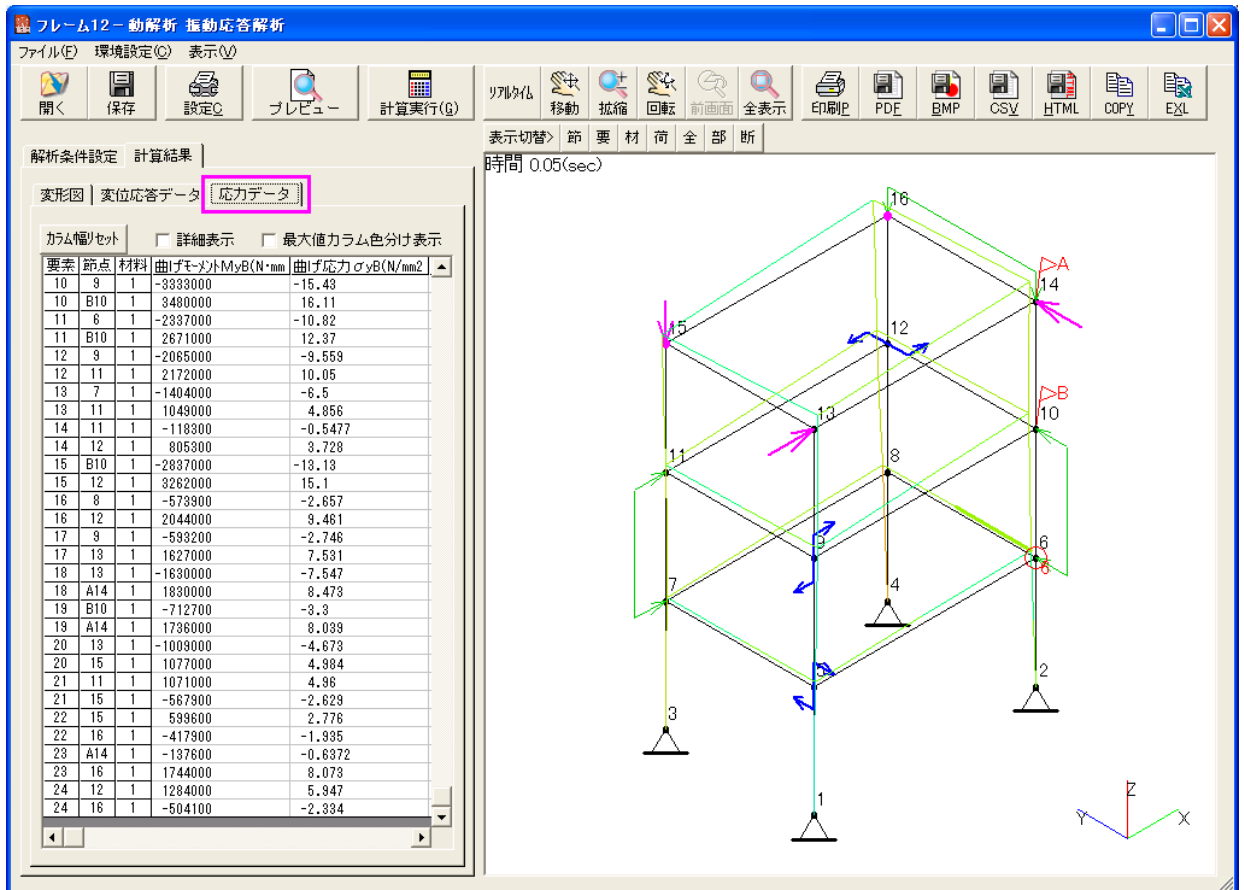


時間(sec)	総変位(mm)	X変位(mm)	Y変位(mm)	Z変位(mm)
0	0.0122	-0.0003	0.0001	-0.01
0.01	0.4321	0.2309	0.3587	-0.06
0.02	1.758	0.8822	1.521	-0.02
0.03	3.678	1.941	3.124	-0.06
0.04	4.981	2.859	4.078	-0.06
0.05	4.778	2.646	3.979	-0.01
0.06	3.621	1.494	3.298	-0.04
0.07	2.429	0.3979	2.396	-0.06
0.08	1.291	-0.2509	1.265	-0.04
0.09	0.4142	-0.1208	0.3952	-0.02
0.1	1.019	0.8854	0.5021	-0.06
0.11	2.058	1.646	1.235	-0.02
0.12	2.159	1.584	1.467	0.0074
0.13	1.355	1.194	0.6392	-0.01
0.14	0.5798	0.0688	-0.5759	-0.06
0.15	2.088	-1.674	-1.249	-0.02
0.16	2.529	-2.248	-1.162	0.008
0.17	1.494	-1.269	-0.6679	-0.01
0.18	0.1193	0.079	0.0884	-0.01
0.19	1.665	1.391	0.9148	-0.06
0.2	2.498	2.025	1.462	-0.02
0.21	1.807	1.27	1.285	0.0056
0.22	0.1816	0.1548	0.0927	-0.02
0.23	1.437	-0.6522	-1.281	-0.01
0.24	2.349	-1.665	-1.648	-0.01
0.25	2.25	-2.008	-1.014	-0.06
0.26	0.808	-0.795	-0.1443	0.006

デフォルトでは応答表示節点番号に最大変位が発生している節点を選択されるようになっており、一覧表の行をクリックするとその時間の変位図がイメージ表示されるようになっています。

●STEP 4（節点毎の応力データを見てみよう）

[変形図] タブの発生事象に [Y軸曲げ応力] を選択してから [応力データ] タブを開くとその時の曲げモーメントと曲げ応力、ねじりモーメントとねじり応力、せん断力とせん断応力、軸力と軸応力の計算結果を一覧表で見ることができます。



なお全ての計算結果を表示できませんので一覧表をスクロールして確認してください。またこの節点番号にも注目フラグがつけられて表示されるようになっています。

◇減衰係数を設定してみよう

●STEP 1（臨界減衰係数を算出してみよう）

振動モード解析で説明したように減衰係数を設定して減衰振動の解析ができるようになり、振動応答解析でも減衰係数を設定して減衰振動の解析ができるようになりました。

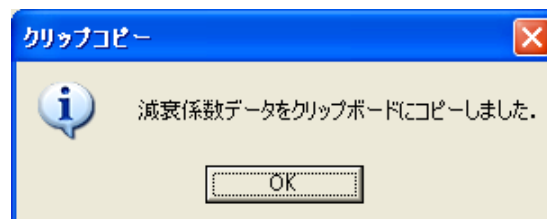
ただ振動応答解析だけではどのような減衰係数を設定するのかよく分からないと思います。そこで同じ構造物で振動モード解析を使ってまず臨界減衰係数を算出して、建築系で使われている減衰比を使って減衰係数を設定してみます。では立体から振動モード解析を起動して臨界減衰係数の算出実行ボタンをクリックして臨界減衰係数を算出します。

この操作や臨界減衰係数、減衰比等については振動モード解析で詳しく説明していますのでそちらを参照してください。

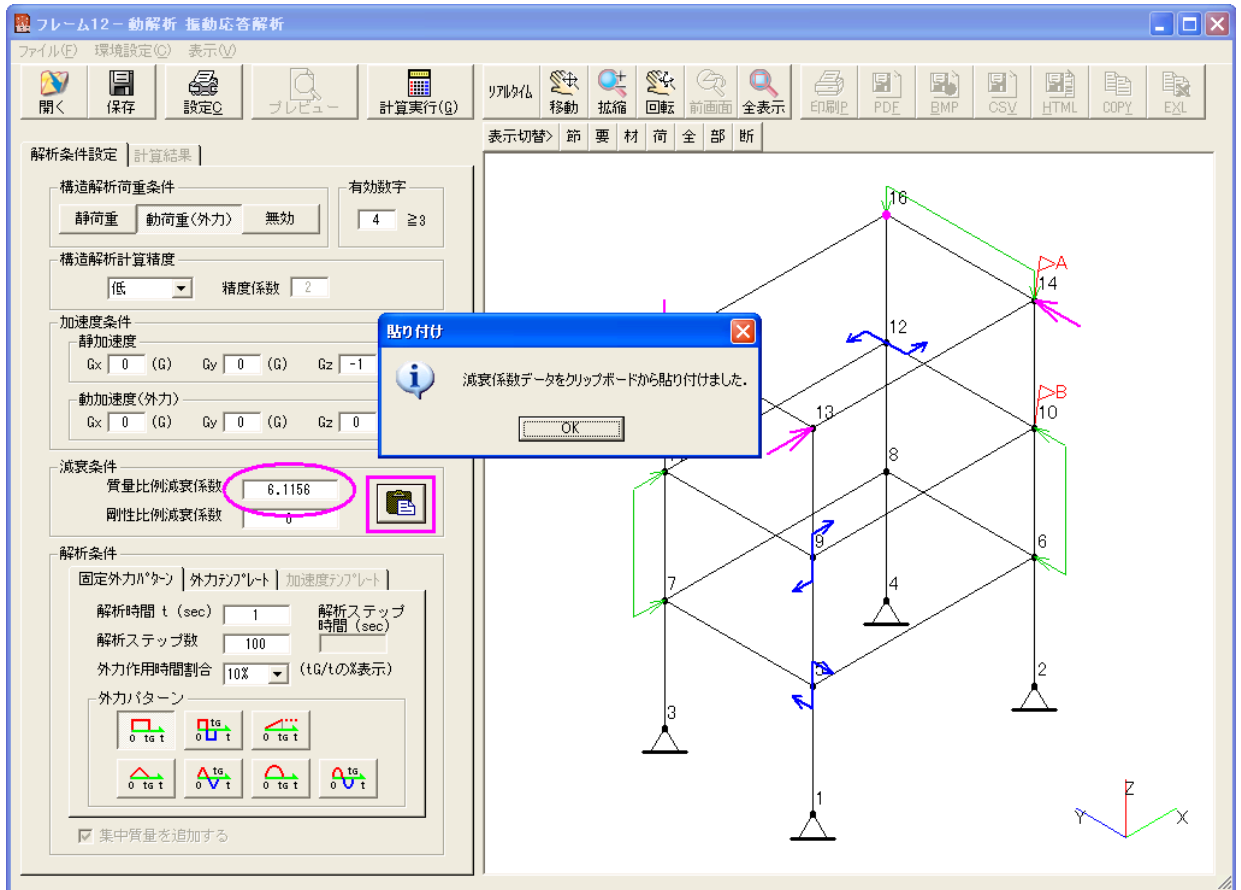
●STEP 2（減衰比を設定して減衰係数をコピーしてこよう）

振動モード解析で臨界減衰係数が求められたら減衰比から減衰係数を設定します。振動モード解析で説明したように減衰比は鉄骨構造で2%程度、鉄筋コンクリート構造で3~5%程度が一般的といわれています。今回は影響が出やすいように質量比例減衰比に5を入力しての「適用」ボタンをクリックしてみます。

振動モード解析の減衰係数の欄に減衰係数が表示されたらその右にあるコピーボタン（上図4）をクリックします。



メッセージが表示されて減衰係数がクリップボードにコピーされたので今度は振動応答解析のダイアログを前面にして減衰係数の入力欄の右にあるペーストボタンをクリックします。



これで振動モード解析の減衰係数が振動応答解析にコピーできました。もちろんこの方法でなくても直接数値を入力してもかまいません。ではこの条件で [計算実行] ボタンをクリックして計算を実行してみましょう。

従来は立体からの動解析起動のみ計算が実行されましたが、振動モード解析でも説明したように同じ構造物であれば解析条件や減衰条件などを変更して繰り返し計算ができるようになっていきますのでいろいろな条件で効率的に解析ができるようになっています。

●STEP 3 (減衰振動を確認してみよう)

最大変位は若干小さくなっている程度ですがアニメーション表示をすると減衰の有り無しの差がよく分かります。

前述の減衰係数が0の場合は非減衰振動なのでいつまでも振動していますが減衰係数を設定した今回の例では減衰振動となり時間の経過とともに振動が徐々に小さくなっていき解析時間の終了時の1秒後にはほぼ振動は収まってしまうのが分かります。

これらの操作的は特に難しいものではないので今までの説明を参照しながら各自で試してみてください。またもっと減衰係数を大きくしたらどうなるかとか臨界減衰係数を設定したらどうなるかなどいろいろ試してみると面白いと思います。

◇変位応答グラフを作ってみよう

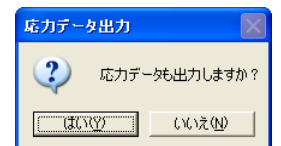
●STEP 1 (変位応答データをエクセルに出力しよう)

ここでは減衰係数を設定した減衰振動の変位応答グラフを作ってみます。前の「減衰係数を設定してみよう」と同じ条件で計算を実行した後 [計算結果] タブの [変位応答データ] のタブを開いた状態で各種出力の [E X L] ボタンをクリックすると変位応答データを出力するかどうかの確認メッセージが表示されます。

The screenshot shows the software interface for 'フレーム12-動解析 振動応答解析'. The main window displays a 3D model of a frame structure with nodes numbered 1 through 14. A dialog box titled '変位応答データ出力' (Displacement Response Data Output) is open, asking '変位応答データも出力しますか?' (Output displacement response data as well?). The dialog has 'はい(Y)' (Yes) and 'いいえ(N)' (No) buttons. The background shows a table of displacement response data.

時間(sec)	総変位(mm)	X変位(mm)	Y変位(mm)	Z変位(mm)
0	0.0122	-0.0003	0.0001	-0.01
0.01	0.4206	0.2246	0.349	-0.06
0.02	1.692	0.8457	1.465	-0.02
0.03	3.504	1.841	2.981	-0.02
0.04	4.714	2.703	3.862	-0.02
0.05	4.532	2.521	3.766	-0.01
0.06	3.513	1.503	3.174	-0.04
0.07	2.494	0.566	2.429	-0.06
0.08	1.493	0.0187	1.492	-0.04
0.09	0.7707	0.1125	0.762	-0.02
0.1	1.26	0.9379	0.8395	-0.04
0.11	2.036	1.501	1.375	-0.02
0.12	1.913	1.316	1.389	0.0082
0.13	1.003	0.8888	0.4672	-0.0
0.14	0.6978	-0.0806	-0.6931	-0.06
0.15	1.914	-1.447	-1.253	-0.02
0.16	2.059	-1.745	-1.091	0.0044
0.17	1.021	-0.8289	-0.5962	-0.01
0.18	0.222	0.2041	0.0861	-0.01
0.19	1.346	1.097	0.7801	-0.06
0.2	1.874	1.446	1.192	-0.02
0.21	1.289	0.7699	1.033	0.006
0.22	0.1418	-0.0291	0.1375	-0.01
0.23	0.9744	-0.4776	-0.8492	-0.01
0.24	1.554	-1.104	-1.094	-0.01
0.25	1.493	-1.266	-0.6703	-0.06
0.26	0.4004	-0.3704	-0.152	-0.0

ここで [はい] を選択すると右に示す応力データの出力確認メッセージが表示されますのでここは [いいえ] をクリックします。ここで [はい] を選択すると応力データも出力できます。



応答表示節点番号で選択している節点の変位応答データもエクセルに出力されるようになります。なお各種出力の基本的な操作は立体と同じなのでそちらのチュートリアルを参照してください。

なお [フレーム構造解析 1 2] の 2 D、3 D では起動中のエクセルがあればシートを追加してそこに貼り付けることができるようになりましたが、動解析では起動中のエクセルがあっても従来通り新しいエクセル起動して出力します。

●STEP 2 (グラフを作りたい範囲を選択します)

エクセルが起動して計算結果が表示されたらグラフにしたい範囲の総変位、X変位、Y変位を選択します。Z変位はほとんど変化がないので今回は選択していません。

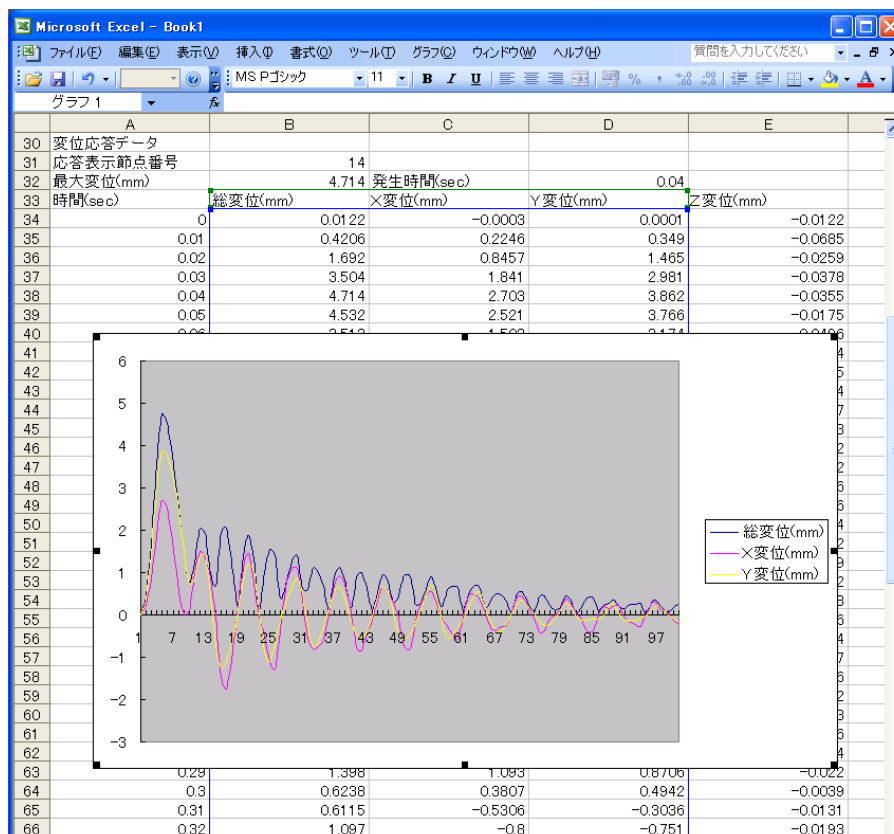
	A	B	C	D	E
1	計算タイトル	マニュアルサンプル	ファイル名, 作成日付	[Sample1.KS12]-2015/8/27	
2	構造データファイル名	Sample1.KS12			
3	構造解析荷重条件	動荷重			
4	静加速度条件	GX= 0	GY= 0	GZ=-1	
5	動加速度条件	GX= 0	GY= 0	GZ= 0	
6	計算精度	低	精度係数	2	
7	質量比例減衰係数	6.1156	剛性比例減衰係数	0	
8	解析時間(sec)	1	解析ステップ数	100	解析ステップ時間(sec)
9	外力設定条件	固定外力パターン	外力作用時間割合	10%	外力パターン
10	節点No	集中質量(kg)			
11	15	100			
12	16	50			
13	最大値発生タイミングデータ				
14	発生事象	最大値(N,mm単位系)	発生時間(sec)		
15	変位	4.714	0.04		
16	引張り軸力	-24900	0.04		
17	圧縮軸力	24900	0.04		
18	Y軸せん断力	-8519	0.03		
19	Z軸せん断力	-10310	0.01		
20	ねじりモーメント	-4892	0.18		
21	Y軸曲げモーメント	-6272000	0.05		
22	Z軸曲げモーメント	-4496000	0.05		
23	引張り軸応力	-6.281	0.04		
24	圧縮軸応力	6.281	0.04		
25	Y軸せん断応力	-2.149	0.03		
26	Z軸せん断応力	-2.601	0.01		
27	ねじり応力	0.5136	0.92		
28	Y軸曲げ応力	-29.04	0.05		
29	Z軸曲げ応力	-59.87	0.05		
30	変位応答データ				
31	応答表示節点番号	14			
32	最大変位(mm)	4.714	発生時間(sec)	0.04	
33	時間(sec)	総変位(mm)	X変位(mm)	Y変位(mm)	Z変位(mm)
34	0	0.0122	-0.0003	0.0001	-0.0122
35	0.01	0.4206	0.2246	0.349	-0.0685
36	0.02	1.692	0.8457	1.465	-0.0259
37	0.03	3.504	1.841	2.981	-0.0378
38	0.04	4.714	2.703	3.862	-0.0355
39	0.05	4.532	2.521	3.766	-0.0175
40	0.06	3.513	1.503	3.174	-0.0496
41	0.07	2.494	0.566	2.429	-0.0094
42	0.08	1.493	0.0187	1.492	-0.0475
43	0.09	0.7707	0.1125	0.762	-0.0274
44	0.1	1.26	0.9379	0.8395	-0.0487

●STEP 3 (変位応答グラフを作ってみよう)

グラフにしたい範囲が選択できたらExcelの標準機能で変位応答グラフを作ってみましょう。プルダウンメニューの [挿入] > [グラフ] がグラフのボタンでグラフウィザードを起動します。



変位応答グラフなので折れ線グラフが良いと思います。ここではユーザー設定から平滑折れ線グラフを選択してみます。Excelのバージョンによって操作が異なるかも知れませんがその場合はExcelのマニュアル等を参照してください。とりあえず細かい設定はしないでここで [完了] ボタンをクリックすると次に示す変位応答グラフが作成されます。



外力は0.1秒間なのでこのグラフでは横軸の11まで外力がかかっていることになりその間に最大総変位が発生していることが分かります。これはとりあえず簡単に作った変位応答グラフですがこの例では減衰係数が設定してあるので減衰振動となり徐々に振幅が減っていくのがよく分かります。これに目盛りや項目名をいれると見栄えのする変位応答グラフができると思います。

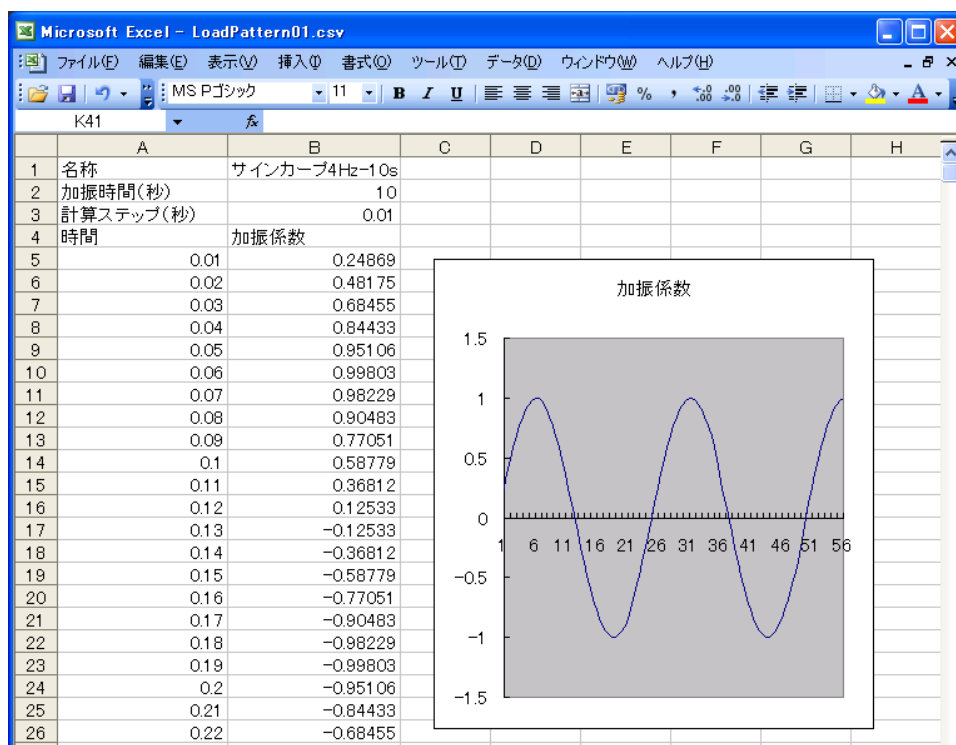
以上の例では臨界減衰係数と減衰比を元に減衰係数を設定していましたが機械装置等のフレームで実際に振動測定が可能であればその結果から減衰係数を推定することもできます。その場合はフレームを何らかの方法でパルス的に加振してやりその後の振動を測定するとこれと相似の減衰振動になっていると思われます。実測時に細かい振動波形が乗って基本の減衰振動がはっきりしない場合は測定時に1次の固有振動数を中心に狭い範囲のバンドパスフィルターをかけてやると良いでしょう。実測での減衰振動の様子に分かったらトライアンドエラーになりますがそれに合うように振動応答解析で減衰係数を調整してやれば実際のフレームの減衰係数が推定できます。

このような方法で類似の構造2～3例で実験と振動応答解析のシミュレーションを行って減衰係数や減衰比の傾向をつかんでおけばその後は類似の構造であればその減衰条件を振動応答解析や振動モード解析に使用すれば比較的精度の高いシミュレーションが可能となるでしょう。

◇外力テンプレートを使ってみよう

●STEP 1 (外力テンプレートのデータを見てみよう)

動解析では前述の固定外力パターンだけでなく外部ファイルで外力パターンが設定できるようになっています。その外力パターンを設定したファイルを外力テンプレートと呼びそのサンプルデータが作業フォルダの下の¥TemplateにLoadPattern*.csv (*は数値)というCSV形式のテキストファイルでコピーされています。その一つのLoadPattern01.csvをエクセルで開いてみます。またつぎの例は時間と加振係数の一部でグラフを作成しています。



外力テンプレートのフォーマットは1行目が名称となり、これが解析条件の [外力テンプレート] のタブのリストボックスに表示されますので設定内容が分かりやすい名称にしておきます。このデータでは加振パターンがサインカーブで振動数が4 Hz、加振時間が10サイクルということを示す名称にしています。2行目が加振時間で、テンプレートで加振係数を設定している時間を設定しタブの中に表示されますが、解析時間はこの加振時間に関係なくタブの入力欄で別途設定できるようになっています。ここで加振時間を越える解析時間を設定した場合は加振時間を過ぎた時点で外力は0となります。3行目は計算ステップの時間を設定します。外力テンプレートでは加振パターンによって適当な計算ステップがありますので [外力テンプレート] のタブには表示されませんが変更はできないようになっています。4行目は5行目以降のデータの項目行となっています。加振データは5行目以降に時間と加振係数で設定されます。

加振係数は固定外力パターンと同様に構造解析荷重条件や加速度条件で設定した外力を元に加振係数をかけた外力が作用するようになります。加振係数が0の場合は外力も0、加振係数が1の場合は外力が100%作用していることとなります。この外力テンプレートはエクセルの関数を使って作ったサインカーブなので計算ステップの取り方により正確に±1にはなっていませんがグラフを見るとほぼ正確なサインカーブになっていることが分かります。加振係数は1を越えてもかまいませんが構造解析荷重条件や加速度条件以上の外力が作用することになり固定外力パターンや他の外力テンプレートとの比較が難しくなりますので加振係数の最大値は±1にしておくのが良いと思います。

以上のフォーマットにしたがって加振条件を設定し、ファイル名を LoadPattern*.csv として %Template に入れておけばユーザーの作成した任意の外力パターンを使って振動応答解析ができるようになります。

なお [フレーム構造解析 1 1] からデータファイル管理機能によりテンプレートフォルダを任意のフォルダに変更できるようになっており、フォルダコメントが外力テンプレートと加速度テンプレートのタブの下に表示されます。

解析条件

固定外力パターン | 外力テンプレート | 加速度テンプレート

解析時間 t (sec)

外力テンプレート
サインカーブ4Hz-10s

テンプレート情報

解析ステップ時間 (sec)	0.01
解析ステップ数	300
テンプレート設定時間 (sec)	10

フォルダコメント=標準(ローカルマシン)

集中質量を追加する

特に設定されていない場合は [標準 (ローカルマシン)] と表示されています。

●STEP 2 (外力テンプレートで計算してみよう)

では実際に外力テンプレートを使って計算してみましょう。[外力テンプレート] のタブを開き前で説明した例の [サインカーブ 4Hz-10s] をリストボックスで選択します。テンプレートの設定時間が 10 秒なのでテンプレートを選択した時点で解析時間が 10 秒に設定されますが前述のように解析時間は自由に変更できるのでとりあえず 3 秒にして計算してみます。また減衰条件やそのた計算条件もそのままにしておきます。

解析条件設定 | 計算結果 |

構造解析荷重条件

静荷重 動荷重<外力> 無効

有効数字 4 ≥ 3

構造解析計算精度

低 精度係数 2

加速度条件

静加速度

Gx 0 (G) Gy 0 (G) Gz -1 (G)

動加速度<外力>

Gx 0 (G) Gy 0 (G) Gz 0 (G)

減衰条件

質量比例減衰係数 6.1151

剛性比例減衰係数 0

解析条件

固定外力パターン 外力テンプレート 加速度テンプレート

解析時間 t (sec) 3

外力テンプレート

サインカーブ4Hz-10s

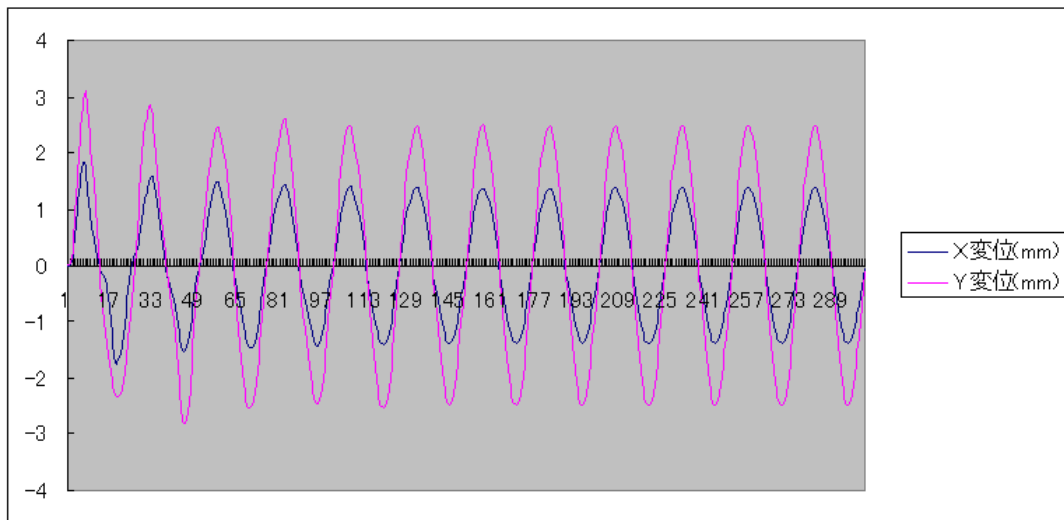
テンプレート情報

解析ステップ時間 (sec)	0.01
解析ステップ数	300
テンプレート設定時間 (sec)	10

フォルダコメント=標準(ローカルマシン)

集中質量を追加する

計算が終了したらアニメーション表示で振動する様子を見てみると最初は不規則な振動をしていますが 1 秒後くらいから安定した振動になっているのが分かります。

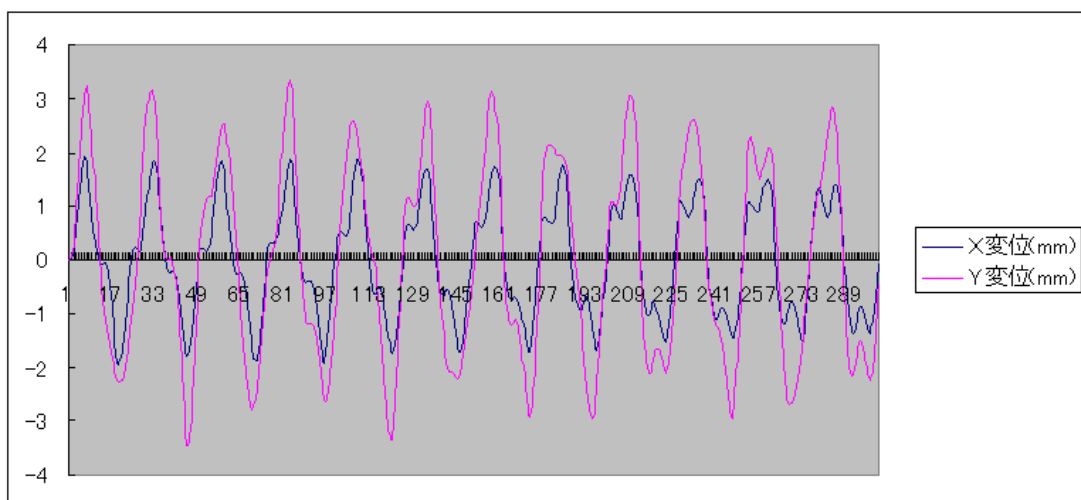


前回と同様に変位応答グラフを作成してみると3秒間で12サイクルなので振動数としては加振パターンと同じ4 Hzの振動になっているのが分かります。また静止した状態からの加振なので最初の2サイクル位までは変動がありますが後は安定した外力による強制振動の例となっています。

●STEP 3 (減衰係数を0にして計算してみよう)

前の例では減衰比5%の大きめの減衰係数が入ったままなので綺麗な強制振動の例になっていましたが減衰係数が0の非減衰の場合はどうなるでしょうか？

減衰係数を0にして後の条件は変えずに計算してみます。計算が終了したらアニメーション表示で前の例とどのように違っているか各自で確認しておいてください。次にこの例で変位応答グラフを作成したものを示します。



この例は非減衰の強制振動になり大きな波形は前と同じ12サイクルになっていますが一つ一つのサイクルでは細かい波形が重なった不規則な振動波形となっています。このように強制振動の場合も減衰の有無で波形が大きく異なるのが分かります。

振動応答解析では外力テンプレート機能を使うことにより任意の外力パターンでの解析が可能とで、さらに減衰条件と組み合わせていろいろな条件での解析が可能になっています。いろいろと条件を変えて試してみると興味深い結果が得られるかも知れません。

◇加速度テンプレートを使ってみよう

●STEP 1（加速度テンプレートのデータを見てみよう）

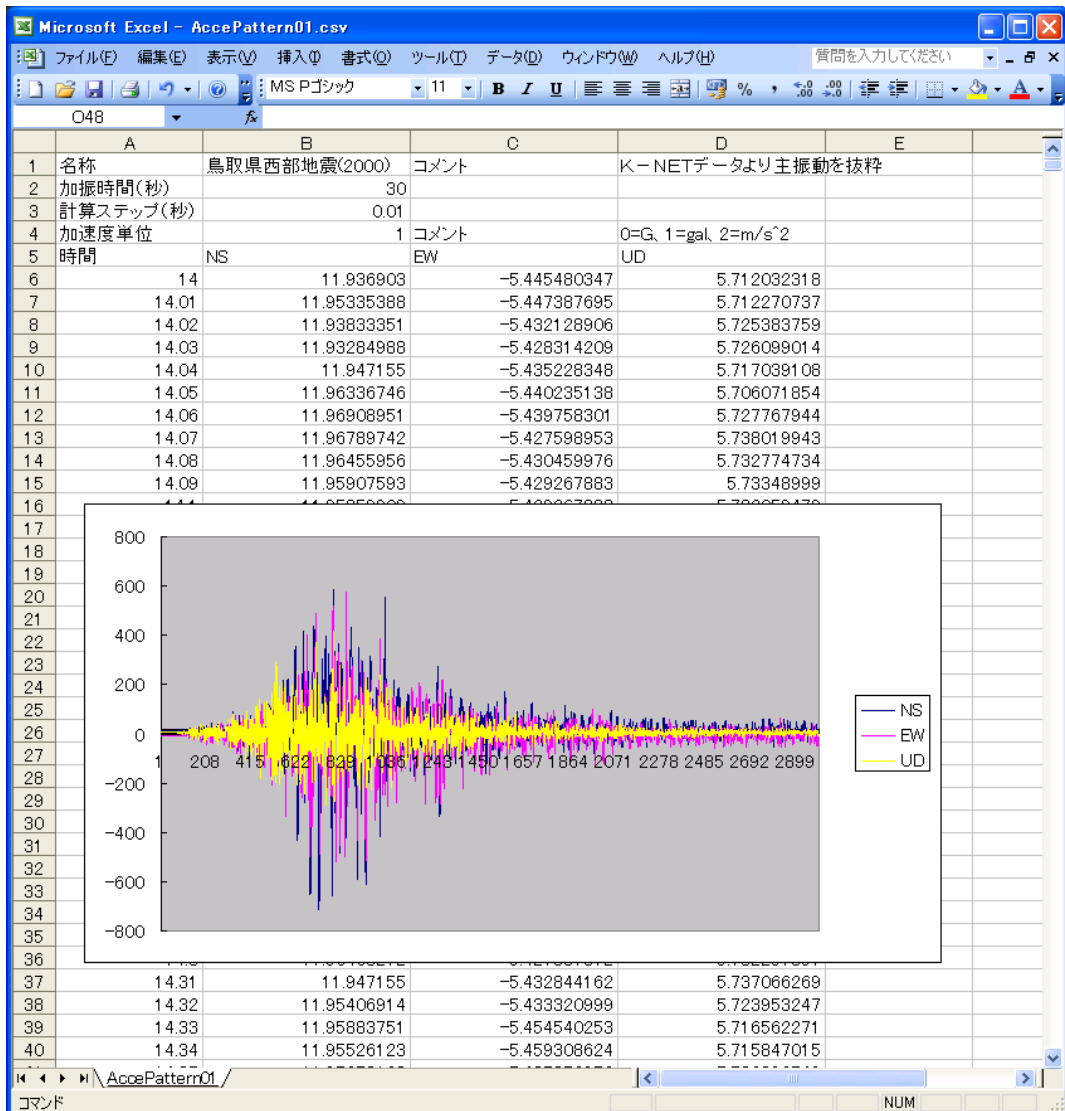
動解析では前述の外力テンプレートに加え外部ファイルで3次元の動加速度を設定した加速度パターンを使って解析することができます。この加速度パターンの機能は主に実際の地震を想定したもので設定したファイルを加速度テンプレートと呼びそのサンプルデータが外力パターンと同じ作業フォルダの下の¥TemplateにAccePattern*.csv（*は数値）というCSV形式のテキストファイルでコピーされています。

サンプルデータはK-NET（独立行政法人防災科学研究所・強震ネットワーク）の地震データを利用して作成しています。

以下に、サンプルデータファイル名と入っているデータの地震名、発生年を示します。

AccePattern01.csv	鳥取県西部地震	2000年
AccePattern02.csv	芸予地震	2001年
AccePattern03.csv	宮城県沖地震	2003年
AccePattern04.csv	十勝沖地震	2003年
AccePattern05.csv	新潟中越地震	2004年
AccePattern06.csv	福岡県西方沖地震	2005年（以下、フレーム9で追加）
AccePattern07.csv	宮城県南部地震	2005年
AccePattern08.csv	伊豆半島東方沖地震	2006年
AccePattern09.csv	能登半島地震	2007年
AccePattern10.csv	新潟県中越沖地震	2007年
AccePattern11.csv	岩手宮城内陸地震	2008年

オリジナルの地震データはK-NETのHP（“K-NET”でインターネット検索すると見つかります）からダウンロードできますが、オリジナルの地震データは時間が2～5分程度あるのでそのまま使うには解析時間がかかりすぎるためサンプルデータでは主振動部分を30秒間抜粋したになっています。ではその一つのAccePattern01.csvをエクセルで開いてみます。また外力テンプレートと同様に動加速度（地震加速度）でグラフを作成しておきます。



加速度テンプレートのフォーマットは1行目が名称となり、これが解析条件の「加速度テンプレート」のタブのリストボックスに表示されます。このデータは2000年の鳥取県西部地震のものになっています。その右の2カラムはコメントになっていてこの設定は必須ではありません。

2行目が加振時間で、テンプレートで加速度を設定している時間を設定し「加速度テンプレート」のタブの中に表示されますが、解析時間はこの加振時間に関係なくタブの入力欄で別途設定できるようになっています。外力テンプレートと同様に加振時間を越える解析時間を設定した場合は加振時間を過ぎた時点で動加速度は0となります。

3行目は計算ステップの時間を設定します。加速度テンプレートでも適当な計算ステップがありますので「加速度テンプレート」のタブには表示されますが変更はできないようになっています。

4行目は加速度単位で0~2を設定することで右のコメントで説明しているように[G]、[gal]、[m/s²]の3つの単位で動加速度を設定できるようになっています。ここでは1の[gal]の単位になっています。

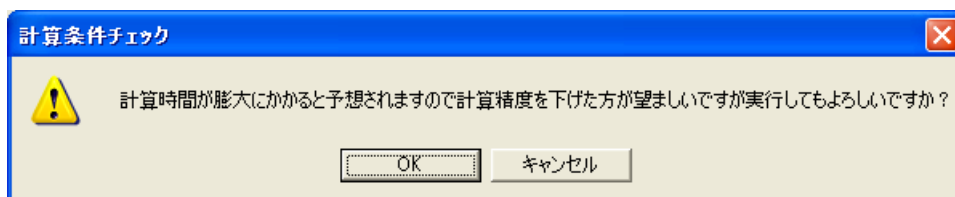
5行目は6行目以降のデータの項目行となっています。地震データは3次元の動加速度データになっていてNS（南北）、EW（東西）、UD（上下）で設定されています。デフォルトではNSがX軸方向、EWがY軸方向、UDがZ軸方向に対応していますが構造物のX軸方向は必ずしも南北を向いているわけではないので、その場合は[加速度テンプレート]のタブにあるNS方向回転角でX軸に対するNS方向をZ軸周りの角度で設定します。例えばここに45を入力するとX軸方向は北西を向くようNSとEWの動加速度が変換されるようになっています。

以上のフォーマットにしたがって加振条件を設定し、ファイル名をAccePattern*.csvとして¥Templateに入れておけばユーザーの作成した任意の加速度パターンを使って振動応答解析ができるようになります。

●STEP 2（加速度テンプレートで計算してみよう）

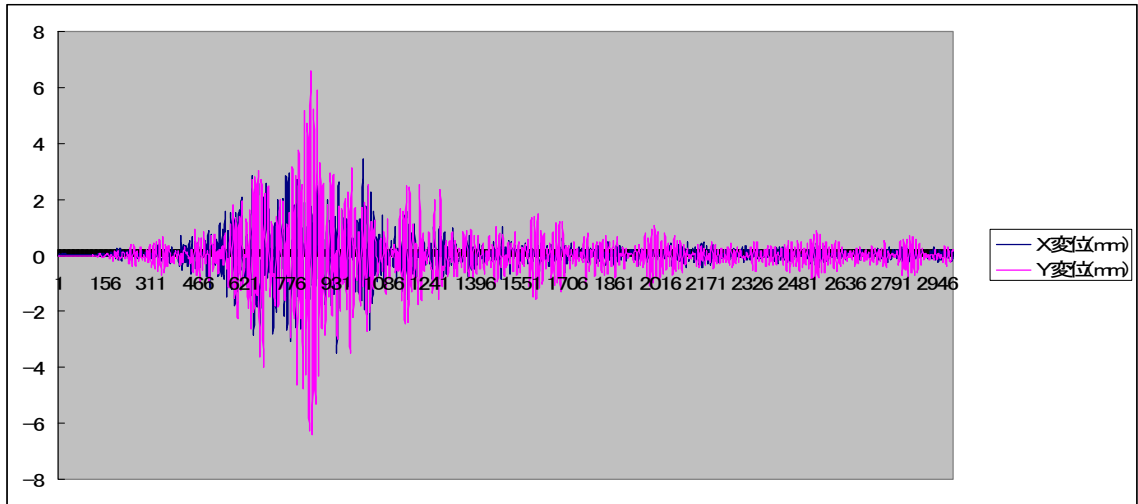
では実際に加速度テンプレートを使って計算してみましょう。加速度テンプレートを使う場合は構造解析荷重条件で[動荷重（外力）]を選択していると[加速度テンプレート]のタブが開けないようになっていますのでそれ以外を選択します。ここでは[無効]を選択しておきます。[無効]のボタンが押されると[加速度テンプレート]のタブが開けるようになりますのでタブをクリックして開きます。またこのタブが開いていると[動荷重（外力）]のボタンが押せないようになり加速度条件の[動加速度（外力）]の入力欄が非表示となりそこに解説が表示されるようになっています。

ここでは加速度パターンにデフォルトの[鳥取県西部地震(2000)]で解析時間もデフォルトの30秒で計算してみます。減衰係数も減衰比5%のものが設定されたままとします。解析時間が長く解析ステップ数が多いので[計算実行]ボタンをクリックすると次のメッセージが表示されます。計算精度は[低]ですがさらに[最低]という設定もあります。ここでは[低]のまま[OK]ボタンをクリックして計算を実行します。



この計算にはXp、P4、2.4GHzで約2分かかりました。マシンの性能にもよりますがこのメッセージが表示された場合は必要に応じて計算精度を変更して計算してみてください。最初は[低]または[最低]の計算精度で試してみると良いでしょう。

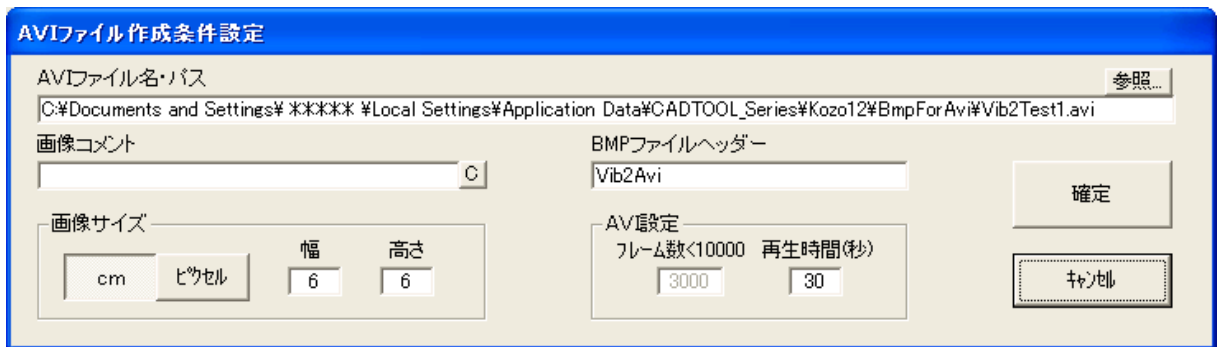
解析ステップ数が多いのでアニメーションでは遅延時間を0にすると実際とほぼ同じ時間経過で表示されますがマシンの性能や見やすさで遅延時間を調整してアニメーション表示してみてください。いかにも地震で構造物が振動している様子がよく分かると思います。



外力テンプレートと同様に変位応答グラフを作成してみると地震の加速度パターンと同様の変位が発生していることが分かります。最大変位は6.659 mmなので問題があるようなレベルではないと思われますが最終的な判断は設計者が静解析等の計算結果も考慮して総合的に考えて判断してください。

●STEP 3 (AVIファイルを作成してみよう)

振動応答解析でも振動モード解析と同様にAVIファイルを作成することができます。ここで [AVIファイル作成] ボタンをクリックすると次のダイアログが表示されます。

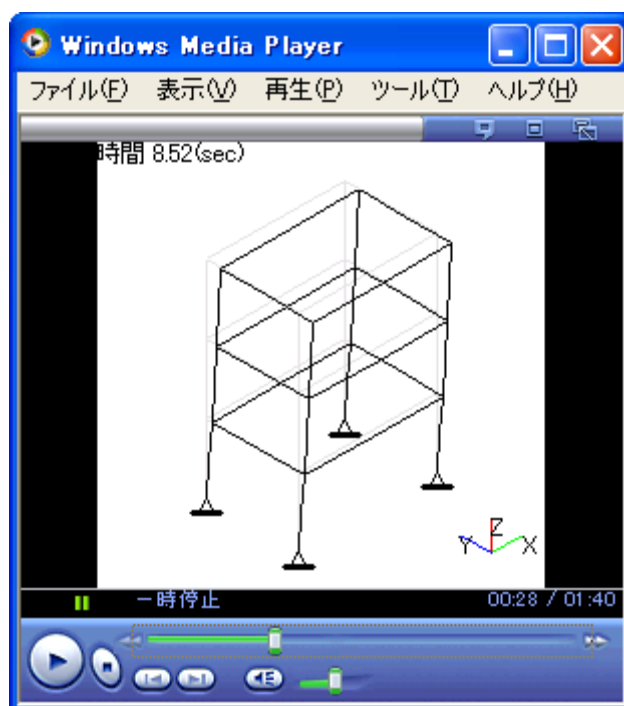


AVIファイル名・パス、画像コメント、BMPファイルヘッダー、画像サイズは振動モード解析で説明したものと同一なのでそちらを参照してください。振動応答解析では解析ステップ数が自動的にフレーム数となりフレーム数の変更はできません。またフレーム数が10000以上のAVIファイルは作成できません。

またフレームレートの最大は30 (1秒間のフレーム数) なので最小の再生時間はフレーム数÷30 (秒) となります。今回の例ではフレーム数が3000なので最小の再生時間は100秒となり、これ以下の再生時間を設定しても無効となりますので注意してください。

ここで [確定] ボタンをクリックするとまず A V I ファイル作成用の BMP ファイルが出力されますがフレーム数と同じ数の BMP ファイルが作成され、A V I ファイルは振動モード解析で説明したように無圧縮のものなので A V I ファイルだけで 4 4 0 M B、BMP ファイルと合わせると 8 8 0 M B になってしまいます。むやみに A V I ファイルを作成していくとハードディスクの空容量が足りなくなりますので注意してください。

次に Windows 標準の Windows Media Player で開いた例を示します。



◇振動応答解析の実務への応用

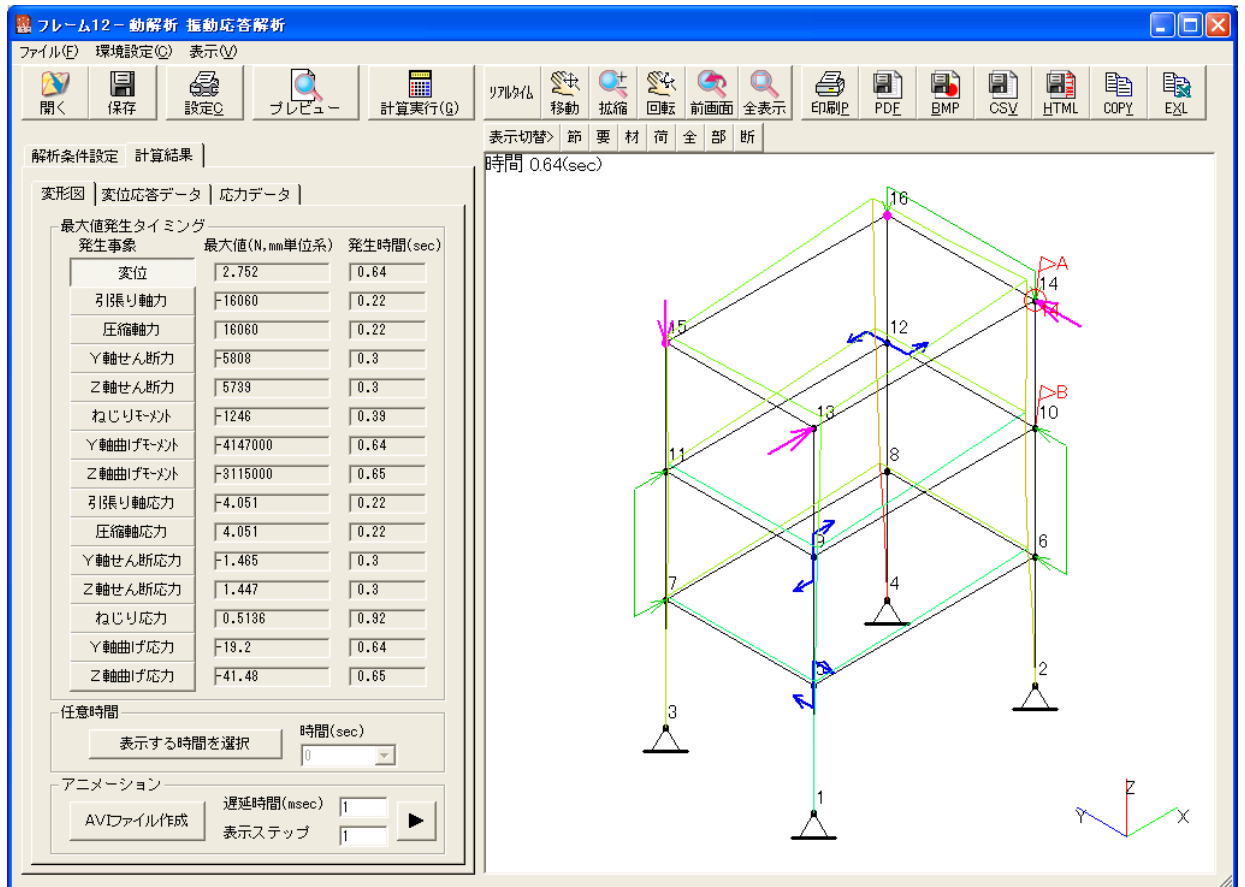
●STEP 1 (静解析と比較してみよう)

前述のように立体 (静解析) で Sample1.KS12 の最大変位は 2. 4 5 mm (計算精度 : 標準) でした。

最初に計算した減衰係数が 0 の振動応答解析の最大変位は約 5 mm なのでほぼ 2 倍の変位が発生していることが分かります。ただし荷重のかかり方としては外力パターンが [矩形半サイクル] なので瞬間的に静解析の全荷重条件がかかった場合となり厳しい条件での結果と言えるでしょう。

●STEP 2 (外力パターンを変更してみよう)

では [解析条件設定] タブの [固定外力パターン] のタブを開いて外力パターンは [三角立ち上がり] にしてそれ以外は最初の計算と条件を合わせるように減衰係数を 0 にしてその他の条件も最初の計算と同じ条件で計算を実行してみます。



この例での最大変位は2.75 mmで静解析に比べて12%強になっています。これはじわっと荷重が増える外力パターンのため慣性力の影響が少ないためと考えられます。

このように動解析では慣性力の影響を受けるので外力のかかり方で最大変位が大きく異なります。実際の荷重がどのように構造物に作用するかを考慮して外力パターンを決めて振動応答解析を行うことによって静解析の計算結果に対してさらにどの程度安全を見込んだら良いかの参考になると思います。

●STEP 3 (地震の影響を見てみよう)

立体では水平加速度を設定して地震等の影響を考慮することができましたがあくまでも静的な加速度でした。動解析では加速度パターンを使って実際に起きた地震の加速度で解析が可能になっていますが、これによる解析は特殊な事例で研究的な解析になると思います。構造物の地震に対する強度解析については動加速度を使って標準的な条件を決めて解析するのか良いでしょう。

地震加速度として旧建築基準法で大地震(震度7)に耐えるための基準として600galというのがありました。現在は地震周期も含めて震度と加速度の関係を考えるようになってきているようで、一概に言えないようですが気象庁震度階級(Wikipediaより)で周期1秒では震度7は約600gal以上とありますので現在も一つの目安にはなっていると考えられます。

[震度7 600gal] で検索するといろいろヒットしますので詳しく知りたい方は各自で調べてみてください。フレーム構造—立体や振動応答解析の加速度の単位はGで1G=980galなので600gal=0.61Gとなります。

この水平加速度が建物斜め方向にかかったとして動加速度のGxとGyに分配して0.43Gかけてみます。地震の振動数は数Hzから数十Hzといわれていますので外力作用時間割合は10%のままとし外力パターンに正弦波1サイクルを選択して構造物の固有振動数に近い10Hzの動加速度をかけてみましょう。

また構造解析荷重条件は「静荷重」として荷重がかかった状態で地震を受けたときを想定してみます。

解析条件設定 | 計算結果

構造解析荷重条件

静荷重 動荷重(外力) 無効

有効数字 4 ≥ 3

構造解析計算精度

低 精度係数 2

加速度条件

静加速度 Gx 0 (G) Gy 0 (G) Gz -1 (G)

動加速度(外力) Gx 0.43 (G) Gy 0.43 (G) Gz 0 (G)

減衰条件

質量比例減衰係数 0

剛性比例減衰係数 0

解析条件

固定外力パターン | 外力パレット | 加速度パレット

解析時間 t (sec) 1 解析ステップ数 100

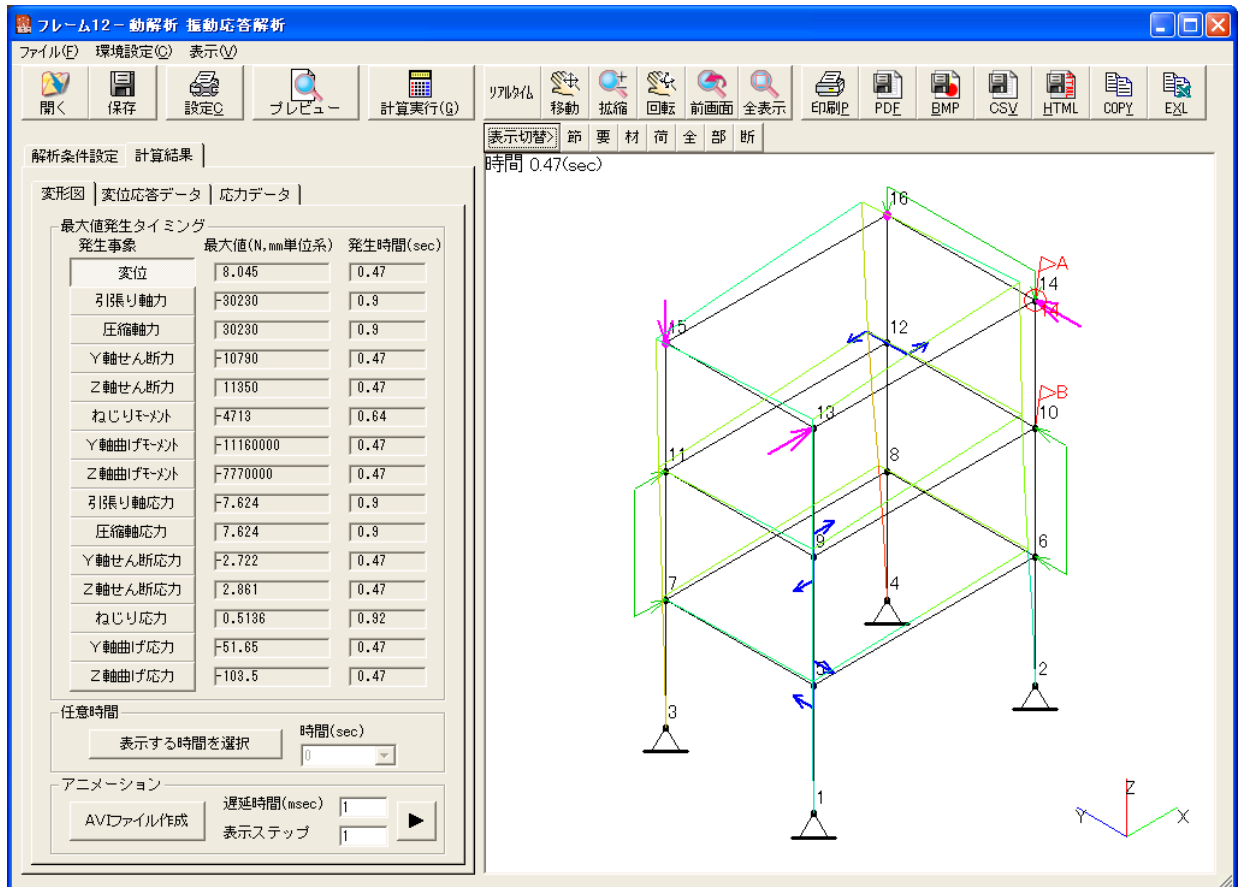
解析ステップ数 100

外力作用時間割合 10% (tG/tの%表示)

外力パターン

集中質量を追加する

この条件で計算を実行してみます。



最大変位は8.045mmとかなり大きくなったのが分かります。これは構造物の固有振動数と近い外力パターンで動加速度をかけているため共振して変位が大きくなっていると考えられます。

外力作用時間割合を50%（外力の周波数としては2Hz）として他は同じ条件で振動応答解析を実行してみると最大変位は3.883mmに低下します。立体で同じ水平加速度（静加速度）を設定してやると最大変位は3.958mmとなり共振がなければ静解析に近い値になっているのが分かります。

また減衰係数の説明で使った質量比例減衰係数に減衰比5%の値を設定して外力作用時間割合は10%に戻して計算してみると最大変位は4.888mmと小さくなります。ただし前述の外力パターンを変更した方がより小さくなっているのが減衰条件より外力パターンの影響の方が大きいことが分かります。

このように構造物に変動する荷重（動荷重）が働く場合、その加振周波数と構造物の固有振動数が近いと共振の影響を大きく受けて変位も大きくなることが分かります。また地震でなくても機械装置のワーク等が急な起動・停止を行うような場合はその加速度を使って装置フレーム等の振動解析にも応用できると思います。

なお振動応答解析を使って地震による動加速度の影響を解析してみました。基本的には汎用的な動解析ソフトなので加速度テンプレートを含めて地震の影響に関してはあくまでも参考データとしてお使いください。

◇サンプルデータを見てみよう

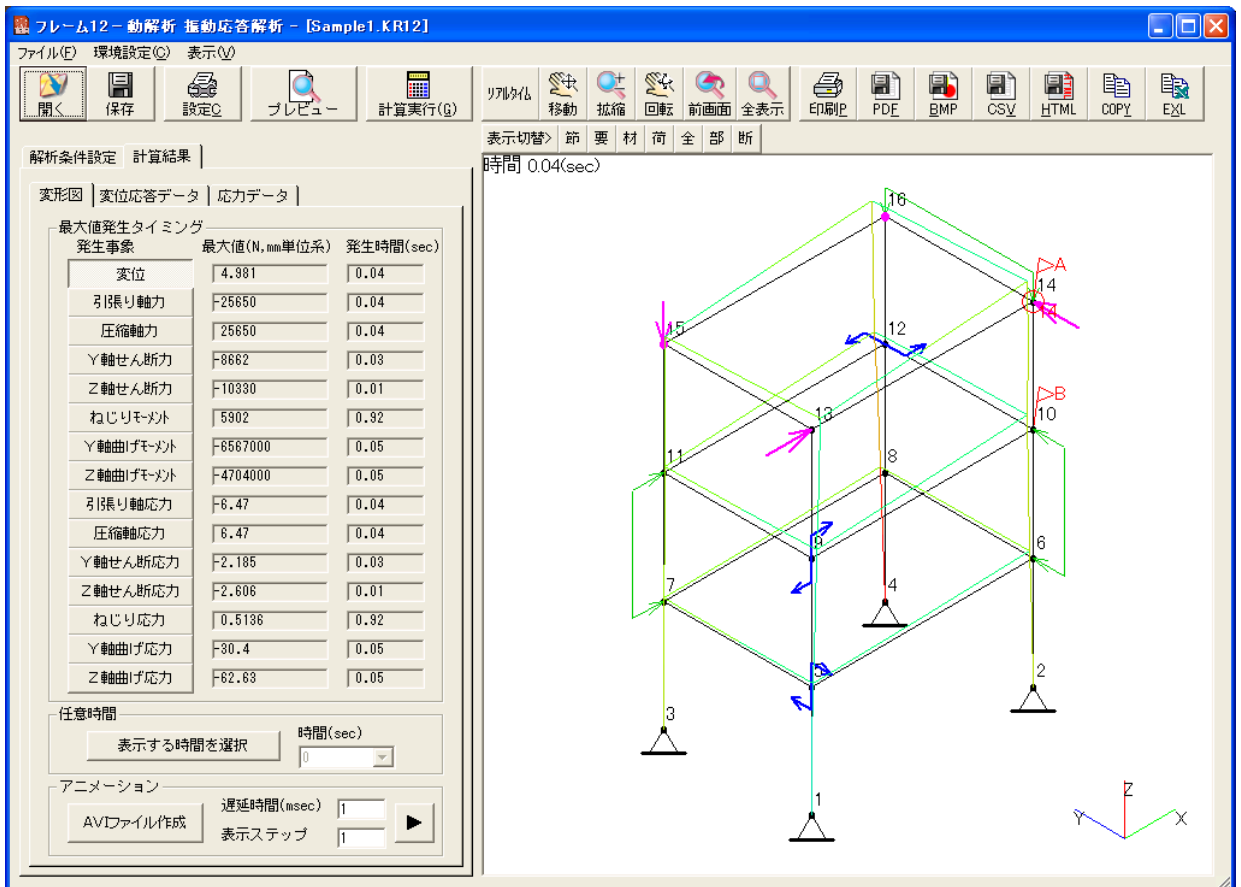
●STEP 1 (既存計算結果を開くには)

既存計算結果を開くには [開く] のアイコンボタンかプルダウンメニューの [ファイル] > [既存計算結果を開く] をクリックしてファイルを選択して開きます。計算結果の保存を含めて基本的な操作方法は立体と同じになっていますので操作については立体のチュートリアルを参照してください。

なお [フレーム構造解析 9] から構造データが大きく変わったための旧バージョンの動解析データは読み込むことができません。立体では旧バージョンの構造データも読み込めますのでそちらで読み込んで動解析は再度実行してください。

●STEP 2 (サンプルデータについて)

振動応答解析の計算結果ファイルの拡張子はKR11となっています。次に Sample1.KR12 を開いた例を示します。



この例は最初に計算したものと一緒のものです。

振動応答解析でも静解析に比べると計算時間がかかります。また振動応答解析でも既存の計算結果をアニメーション表示させたり変位応答データでグラフを作ってみる等を考えて振動モード解析と同様に計算結果そのものを保存しておき、後から計算結果を読み込んで計算実行後と同じようにアニメーション表示や変位応答データの表示ができるようにしています。

さらに読み込んだ既存データの構造を使って解析条件や減衰条件等を変更して再計算もできるので便利に活用できるようになっています。

◇最後に

動解析は静解析に比べて手軽にできる計算ではありませんでしたが「CADTOOLフレーム構造解析 12 / 3D動解析」では3次元の骨組み構造について振動モード解析と振動応答解析の二つの動解析が計算時間はかかりますが静解析と同じくらい簡単にできるようになりました。

また減衰係数を設定した減衰振動にも対応し、[振動モード解析]では減衰係数の推定に必要となる臨界減衰係数の算出機能が付き、[振動応答解析]ではユーザーの任意の外力パターンや実際の地震の加速度パターンを使って解析することができ応力も計算できるようになっています。

さらに構造物の動きをAVIファイルに動画として作成することができプレゼン等の用途にも利用できるようになっています。

動解析はいままでは簡単にできなかったためその計算結果を実務にどのように役立てていくかのノウハウがまだまだ確立していないと思います。今後は動解析の解析結果をどのように設計に生かしていくのがソフトメーカー及びユーザーの共通の課題になると考えています。

CADTOOLシリーズの動解析は「CADTOOL立体構造解析3動解析」が最初で、その後のバージョンアップではユーザーから要望のあった減衰条件に対応しAVIファイルも作成できるようになり[フレーム構造解析9]から振動応答解析に応力計算を追加しています。これからもさらにユーザーの要望を盛り込んで、より設計者の役に立つツールにしていきたいと思っています。

全ての要望が反映できたわけではありませんがCADTOOLシリーズはユーザーの要望で進化してきました。「CADTOOLフレーム構造解析 12 / 3D動解析」も同様に進化させていきたいと思っていますのでご要望等がありましたら遠慮なくご提案くださるようお願いいたします。

以上で、[フレーム構造解析 12 / 動解析]のチュートリアルは終了です。