

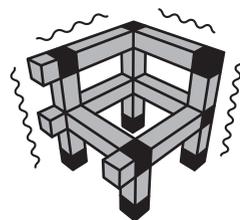
機能別に分類した
技術計算 ソフトウェア



はり・トラス・ラーメンの骨組構造解析

CADTOOL フレーム構造解析 12 **3D動解析**

ユーザーズマニュアル



キャデナス・ウェブ・ツール・キャド株式会社

目次

CADTOOLフレーム構造解析 1 2 / 3 D 動解析

第1章 動解析の概要

1. 動解析とは・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
2. CADTOOL 構造解析の動解析・・・・・・・・・・・・ 2
3. 動解析の参考文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2

第2章 CADTOOLフレーム構造解析 1 2 / 3 Dの導入

1. インストーラの起動・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
2. セットアップ開始・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
3. アンインストールする場合・・・・・・・・・・・・・・ 6
4. アンインストール後の処理・・・・・・・・・・・・・・ 6
5. 作業フォルダの変更（システム管理者向け）・・・・ 7

第3章 コマンドの起動

1. Aコード入力・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 9
2. ライブアップデート・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 9
3. コマンド選択メニュー・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 12
4. チュートリアル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 13
5. バージョン情報／アップデート設定・・・・・・・・・・ 14
6. 動解析の起動・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 15
7. 「メモリ不足です」の対応について・・・・・・・・・・ 16

第4章 振動モード解析

1. 振動モード解析条件設定・・・・・・・・・・・・・・・・ 17
2. 計算結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 19
3. 集中質量の追加・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 24
4. 減衰係数について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 27
5. 計算結果の入出力・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 29
6. 環境設定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 31

第5章 振動応答解析

1. 振動応答解析外力条件設定・・・・・・・・・・・・ 34
2. 計算結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 37
3. 変位応答データ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 40
4. 応力データ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 41
5. 減衰係数について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 42
6. 外力テンプレート・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 45
7. 加速度テンプレート・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 47
8. 計算結果の入出力・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 51
9. 環境設定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 53

第1章 動解析の概要

1. 動解析とは

CADTOOLフレーム構造解析の「フレーム構造－立体」のように、ある剛性を持った構造物が外力を受けて変形し、その変形によって発生した内力と外力が静的につり合った状態を求めるものは静解析といわれます。一方の動解析では外力による変形の速さから生じる加速度の影響（慣性力）を考慮して変形の様子やその振動数を解析するもので静解析と異なり時間軸が影響するようになります。例えばバネに重りを吊したものを考えると、バネが振動しないように重りをバネとつり合った位置でゆっくりと離してやり、バネがどこまで伸びたかを求めるのが静解析で、重りを適当な位置からパッと離して重りが振動する様子やその振動数を求めるのが動解析となります。

静解析も動解析も現在は主に有限要素法と言われる計算手法を用いて解いていくので手計算のように計算過程を見てどのような計算がなされているか理解するとか検算するとかは不可能で通常はブラックボックスとして提供されます。

計算結果の検証については静解析の場合は簡単な構造なら手計算で解けるのでそれと同じものを有限要素法で解いてその結果を比較する方法が良く取られています。動解析ではバネの振動なら手計算でも解けますが構造物となると手計算で解けるものはほとんどないのでそれも困難です。

動解析のチェックが必要な場合は動解析で実績のあるハイエンドのCAEソフトの計算結果と比較するようなことが考えられます。インターネットでハイエンドのCAEソフトを紹介しているホームページに計算例が出ている場合があるのでそれらと比較してみるのも良いでしょう。

2. CADTOOLフレーム構造解析の動解析

「CADTOOLフレーム構造解析 1 2 / 3 D 動解析」の「フレーム構造－動解析」では「フレーム構造－立体」の構造データを用いることにより簡単な操作で「振動モード解析」と「振動応答解析」の動解析ができるようになっています。

「振動モード解析」では荷重条件に関係ない構造物特有の振動モード（変形のパターン）と固有振動数、固有周期が固有振動数の低い方から1次、2次、3次・・・と求められるようになっています。

静解析だけ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（特定の方向に弱い）構造でも振動モード解析を行えば、その固有振動数の間隔から強度バランスが取れているかどうかがある程度把握でき、変形の様子から効果的な補強方法の参考にもなると考えられます。

〔振動応答解析〕は構造物に外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になります。

面倒な外力の設定に〔フレーム構造－立体〕の荷重条件や動加速度を使い固定外力パターンの選択等の簡単な操作で振動応答解析ができますが、さらに外部ファイルによる任意の外力パターンや加速度パターンが使えるので解析の自由度が高くなっています。特に加速度パターンのサンプルデータには実際に起きた大地震のデータが入っていて興味深い解析ができるようになっています。

また〔フレーム構造－動解析〕の〔振動モード解析〕、〔振動応答解析〕では質量比例、剛性比例の2種類の減衰係数が設定でき減衰振動の解析が可能です。

減衰係数が未知の構造物については〔振動モード解析〕で臨界減衰係数が算出できるようになっていて、建築系で使われる減衰比（減衰係数と臨界減衰係数の比：鉄骨構造では2％程度、鉄筋コンクリート構造では3～5％程度といわれる）を使って目安となる減衰係数を設定できるようになっています。

従来、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「CAD TOOL フレーム構造解析 1 2 / 3 D 動解析」では3次元のフレーム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、減衰係数も設定して減衰振動の解析もできます。

いままでは簡単にできなかったため動解析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はまだあまり確立していないと思います。今後そのノウハウをどう確立していくか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。

3. 動解析の参考文献

「CAD TOOL フレーム構造解析 1 2 / 3 D 動解析」の開発にあたっては黒田英夫氏（算生会代表）が作成した動解析の解析エンジン（減衰項を含むMCK型動解析エンジン）を正式にライセンスを受けて組み込んでいます。また同氏は本解析エンジンの解説を含んだ動解析関係の下記の本を著しております。

「Visual Basicによる固有値計算&振動解析プログラム」 黒田英夫 著
CQ出版社 2003年3月

本マニュアルは基本的には操作マニュアルになります。動解析の考え方や計算方法については上記の参考文献で詳細な解説がなされているので詳しく内容を知りたい人はこの参考文献を参照してください。（現在、絶版中ですので大きな図書館か大学の図書館で探してみてください。）

第2章 CADTOOLフレーム構造解析 12 / 3D 動解析の導入

1. インストーラの起動

起動している他のアプリケーションがあればすべて終了してください。またセキュリティソフトが起動している場合は停止または終了しておいてください。次にマスターCD-ROMをドライブに挿入すると、インストール用メニューが自動起動します。



インストールメニューが上手く起動できない場合には、下記より直接セットアッププログラムを実行します。

[スタート] → [ファイル名を指定して実行] をクリックします。

[ファイル名を指定して実行] のウィンドウが表示されます。

[名前] 欄に以下のように入力し、[OK] をクリックします。

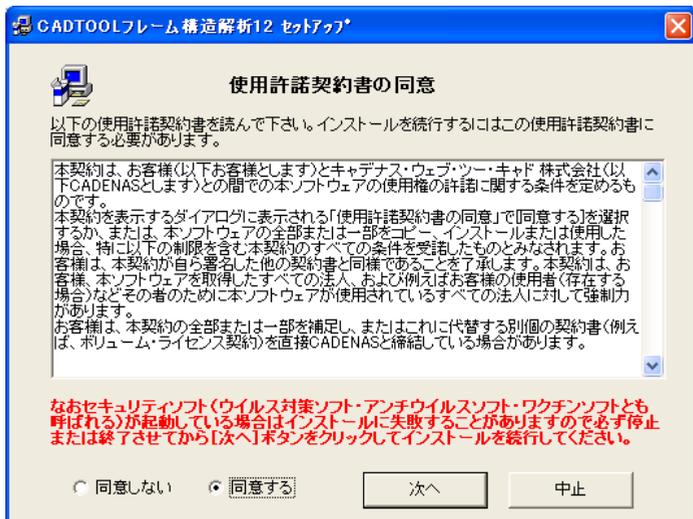
D:\¥ f r a m e 1 2 ¥ s e t u p . e x e (CD-ROMのドライブがDドライブの場合)

なおエクスプローラを起動してCD-ROMのSetup.exeをダブルクリックしてもセットアッププログラムを起動することができます。

※CADTOOLをインストールする時は、必ず Administrator 権限 (コンピュータの管理者) でインストールを行ってください。またセキュリティソフトが起動している場合は停止させてからインストールを行ってください。

2. セットアップの開始

セットアッププログラムが起動すると初期化ファイルのコピーを行った後、ソフトウェア使用許諾契約書の画面が表示されます。



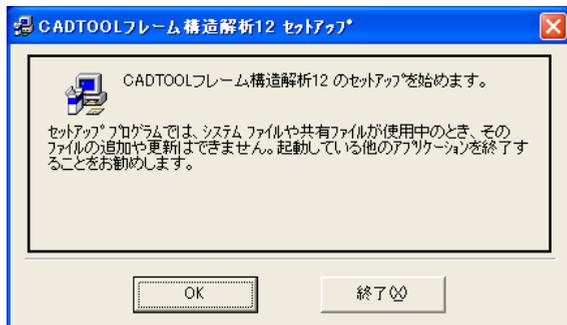
CADTOOLをインストールして使用するにはこの使用許諾契約書に同意する必要があります。スクロールして全ての文書に目を通して同意できる場合はオプションボタンの [同意する] をクリックすると [次へ] のボタンが押せるようになりますので次に進みます。

※重要※

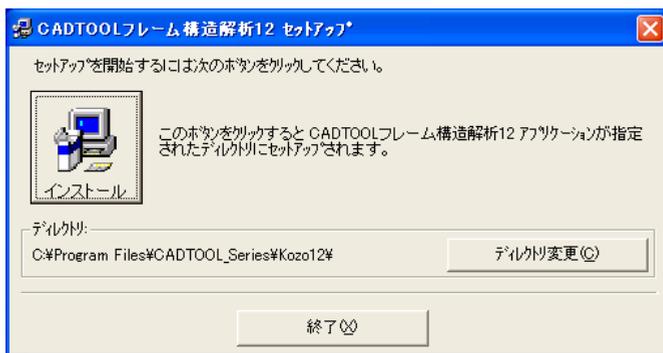
最近、セキュリティソフトを起動したままインストールを行い、CADTOOLが起動できないとか起動できてもエラーが出て落ちる等の不具合が発生しており、セキュリティソフトを停止または終了して再インストールすることでこれらの不具合が直る事例が多くなっています。このダイアログにも赤字で表示されているように、このタイミングで構いませんのでセキュリティソフトは必ず停止または終了してからインストールを続行してください。

同意できない場合は [中止] ボタンをクリックしてください。中止すると初期化ファイルが削除されセットアップは中止されます。

続いて [CADTOOLフレーム構造解析12] セットアップ開始画面が表示されます。ここでも終了すると初期化ファイルが削除されセットアップは中止されます。

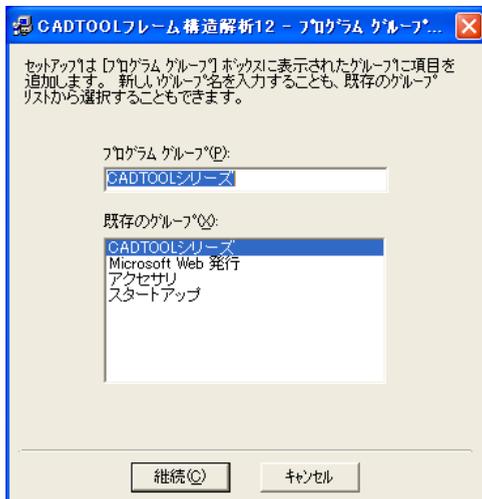


[OK] ボタンをクリックすると次の画面が表示されます。



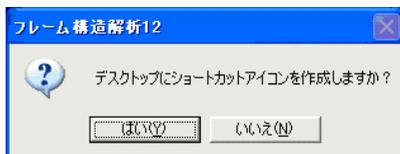
ここで左上の大きなボタンをクリックするとインストールが開始されます。インストール先のディレクトリを変更したい場合は [ディレクトリ変更] ボタンをクリックして変更することができ、変更したディレクトリがない場合は新規にディレクトリが作成されます。ただしアンインストールする可能性があれば専用のディレクトリにインストールするようにしてください。またルートディレクトリにはインストールしないで必ずサブディレクトリにインストールしてください。通常はこのままでかまいません。

次にプログラムグループを選択する画面が表示されます。



標準の設定では [CADTOOL シリーズ] というプログラムグループが作られそこに [フレーム構造解析 1 2] が追加されるようになっています。ここで [継続] ボタンをクリックするとプログラムのインストールが開始されます。

セットアップの最後に次に示すアイコン作成の問い合わせメッセージが表示されます。



ここで [はい] をクリックするとデスクトップにコマンド選択メニューのショートカットアイコンが作成され、セットアップが完了します。

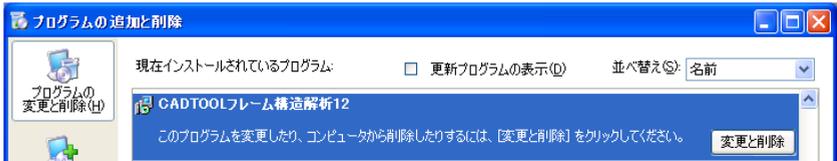
セットアップが完了すると [スタートメニュー] → [プログラム] に [CADTOOL シリーズ] グループが追加され、その中に [フレーム構造解析 1 2] ができます。

なおインストールが完了したら次章で説明する A コード入力およびライブアップデートを実施するまでセキュリティソフトを停止または終了しておき、ライブアップデートが完了した後にセキュリティソフトを起動するようにしてください。

3. アンインストールする場合

[CADTOOLフレーム構造解析 1 2] のアプリケーションが起動している場合はすべて終了します。

[スタートメニュー] → [コントロールパネル] をクリックします。 [コントロールパネル] のウィンドウが表示されますので [アプリケーションの追加と削除] のアイコンをクリックして次のウィンドウを表示します。



一覧から [CADTOOLフレーム構造解析 1 2] を選択して [変更と削除] ボタンをクリックするとアンインストールできます。

4. アンインストール後の処理

[CADTOOLフレーム構造解析 1 2] を実行するとインストールしたディレクトリにデータファイルが作られますのでそのディレクトリとデータファイルは自動で削除されません。

また [CADTOOLフレーム構造解析 9] から OS に関係なくユーザーフォルダの下に作業フォルダを作って CAD 作図用ドライブ、各種テンポラリーファイルの作成やサンプルデータフォルダやテンプレートフォルダ等をコピーして使うようにしています。WindowsXPでは下記のパスが作業フォルダになります。

C:\Document and Settings****\Local Setting\Application Data\CADTOOL_Series\Kozo12

Windows Vista以降、Windows 7、8では下記のフォルダが作業フォルダになります

C:\Users****\AppData\Local\CADTOOL_Series\Kozo12

ここで****の部分はログオンユーザー名になりますのでユーザー毎に変わってきます。

インストールしたディレクトリと作業フォルダに他のアプリケーションや必要なデータファイルが入っていない場合はアンインストール後にインストールディレクトリと作業フォルダを削除してください。

5. 作業フォルダの変更 (システム管理者向け)

前述のように [CADTOOLフレーム構造解析 1 2] でも WindowsXP の作業フォルダは下記のパスになります。

C:\Document and Settings****\Local Setting\Application Data\CADTOOL_Series\Kozo12

Windows Vista以降、Windows 7、8では下記のフォルダが作業フォルダになります

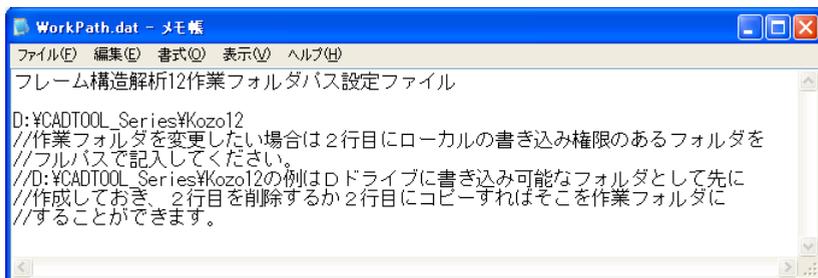
C:\Users****\AppData\Local\CADTOOL_Series\Kozo12

ここで****の部分はログオンユーザー名になりますのでユーザー毎に変わってきます。

従来の作業フォルダはインストールフォルダを使っていたのですがWindows Vista以降ユーザーアカウント制御機能によってデフォルトのインストールフォルダであるC:\ProgramFiles以下のサブディレクトリにプログラムからファイルの書き出しができなくなったため、自由に書き込みができるユーザーフォルダの下に作業フォルダを作らなくなっています。

ただしこの作業フォルダはフルパスが長く分かりにくかったり、Windows Xpの場合やVista以降でもユーザーアカウント制御を解除してC:\ProgramFilesのインストールフォルダに書き込みできるようにしてあったり、Dドライブにインストールするなどしている場合には作業フォルダをインストールフォルダに変更しておいた方が管理しやすくなります。また一部のCADではログオンユーザー名に全角文字を使っていると標準の作業フォルダにも全角文字が含まれてしまい作図が上手くできない場合もあります。

そこで [フレーム構造解析 1 2] ではインストールフォルダにあるWorkPath.dat というファイルで作業フォルダを設定できるようになっています。そのファイルをメモ帳で開いたものを示します。



このファイルの2行目が作業フォルダの設定になります。標準では空行になっていますのでこの2行目にローカル（共有フォルダはNG）でユーザーの書き込み権限のあるフォルダのフルパスを記入すればそこを作業フォルダにすることができます。3行目以降はコメントとなりますが3行目は6～8行目のコメントで説明している作業のためのデフォルトのインストールフォルダが記入されています。

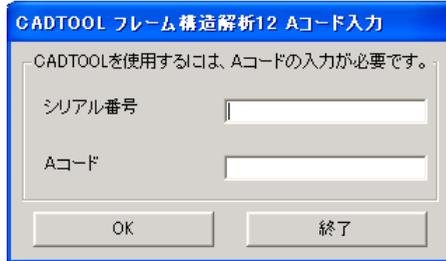
また作業フォルダを変更する場合はなるべく早い時点で変更してください。運用を開始してから作業フォルダを変更した場合はテンプレートファイル等が新たに作業フォルダにコピーされるので修正等を行っていた場合は元の作業フォルダからコピーしてきてください。

なおこの機能はシステム管理者向けなのでデータファイル管理等で簡単に変更できるようにはなっておらず、あえてWorkPath.datをテキストエディタで修正して設定するようにしています。作業フォルダを変更する場合は機能を十分理解して変更するようにしてください。

第3章 コマンドの起動

1. Aコード（オーソライゼーションコード）入力

インストール直後に [スタートメニュー] → [プログラム] → [CADTOOL シリーズ] → [フレーム構造解析 1 2] をクリックして [CADTOOL フレーム構造解析 1 2] を起動すると次のAコード入力ウインドウが表示されます。



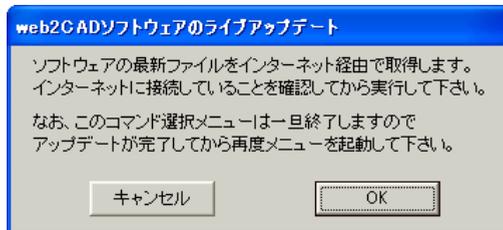
ここで同梱のユーザー登録用紙に記載されている [CADTOOL フレーム構造解析 1 2 / 2 D] のシリアル番号とAコードを入力欄に入力して [OK] ボタンをクリックすると、それらが適正なものであればAコードが登録されコマンド選択メニューが表示されます。不適正なものを入力した場合はメッセージが表示されますので再度入力してください。

Aコードが登録されると次回起動時からこのAコード入力ウインドウは表示されません。

Windows8、Windows7、Windows Vista、Windows Xp、Windows 2000 上でオーソライズを行ったユーザー権限以外で初めてCADTOOLをご使用の際に再度オーソライズを行う必要があります。また、Guest 権限でCADTOOLをご使用になる時はログイン毎にオーソライズを行う必要があります。

2. ライブアップデート

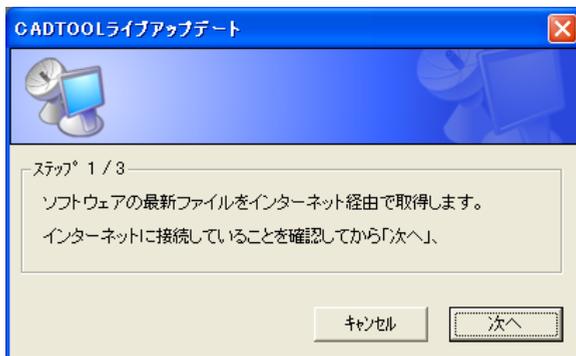
Aコード入力が完了すると初回起動時に次に示す [web2CADソフトウェアのライブアップデート] のウインドウが表示されます。また後で説明する [バージョン情報/アップデート設定] で手動アップデートを実行しても同じウインドウが表示されます。



ここで ライブアップデートを実行するとインターネット経由で最新のファイルを自動的にダウンロードして更新しますのでインターネットに接続されている場合はライブアップデートを実行することを推奨します。

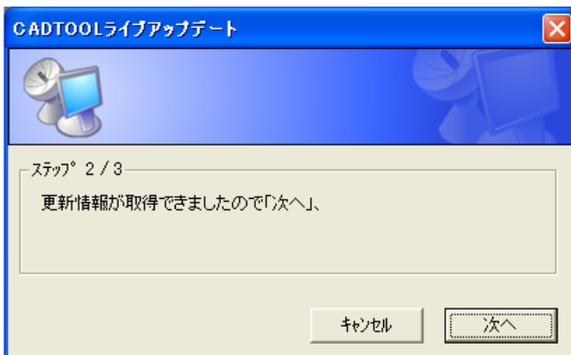
次にライブアップデートの流れを説明します。

[web2CADソフトウェアのライブアップデート] のウインドウで [OK] ボタンをクリックすると次に示すダイアログが表示されますのでメッセージにしたがってインターネットに接続されていることを確認して [次へ] ボタンをクリックします。



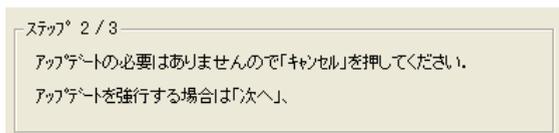
なおWindows の [ユーザーアカウント制御] のダイアログが表示された場合は [許可] を選択するとこのダイアログが表示されます。

[次へ] ボタンをクリックすると続いてサーバーに最新アップデート版が公開されているかどうか更新情報を確認し、最新アップデート版が公開されている場合は次のダイアログが表示されます。

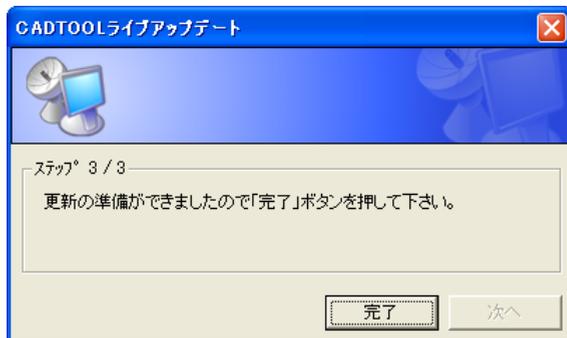


通常はここでも [次へ] ボタンをクリックしてライブアップデートを続けます。

お使いのものが最新版の場合は [ステップ 2 / 3] の内容が次に示したのようになります。



通常は [キャンセル] ボタンをクリックしてライブアップデートを終了しますがここで [次へ] ボタンをクリックするとライブアップデートを強行することができます。ここで [次へ] ボタンをクリックするとアップデートプログラムのダウンロードが開始されその進行状況が表示されます。ダウンロードが完了すると右に示すダイアログが表示されます



ここで [完了] ボタンをクリックするとアップデート作業は終了です。ダウンロードした更新ファイルが自動で展開されますのでそれが完了するまでお待ちください。

ライブアップデートを実行するとコマンド選択メニューは一旦終了しますのでアップデートが完了してから再度 [CADTOOLフレーム構造解析 1 2] を起動してください。パソコンを再起動する必要はありません。

[web2CADソフトウェアのライブアップデート] のウィンドウで [キャンセル] ボタンをクリックするとライブアップデートを実行しないでコマンド選択メニューのウィンドウが表示されますが後で説明する [バージョン情報/アップデート設定] で手動アップデートをしたり自動的にアップデートするように設定することもできます。

ライブアップデートを使用せずにアップデートを行う場合はインターネット (<http://product.web2cad.co.jp/>) の [サポート] ページからアップデート用のファイルをダウンロードしてWindowsエクスペローラなどを使ってアップデートすることができます。

CADTOOLをインストールしているコンピュータがインターネットに接続していない場合などはインターネットに接続しているコンピュータからアップデートファイルをダウンロードしてご利用ください。

また最新アップデートファイルの修正内容やダウンロードの方法なども [サポート] ページに記載してあります。

3. コマンド選択メニュー

[CADTOOLフレーム構造解析12] を起動すると次のコマンド選択メニューのウィンドウが表示されます。



ここで実行したいコマンドの名称が表示してあるボタンをクリックするとそれぞれのコマンドのウィンドウが開きます。

“コマンド起動と同時にメニューを終了” がチェックされているとクリックしたコマンドの起動と同時にコマンド選択メニューは終了します。チェックしていない場合は、コマンド選択メニューは終了しませんので起動させたままコマンドの種類を変更して計算することもできますので使用方法に応じて選択してください。

“情報ウィンドウの表示(要インターネット接続)” のチェックボックスをチェックするとメニュー下部に情報ウィンドウが表示されます。インターネットに接続している場合は最新の情報が表示されるようになっていますので定期的に確認してみてください。

コマンド選択メニューを終了する場合は右上の [×] ボタンをクリックします。

4. チュートリアル

コマンド選択メニューの [チュートリアルPDF] ボタンをクリックするとインターネットエクスプローラにチュートリアル起動画面が表示されます。またチュートリアルは pdf 形式なので Adobe Readerが必要となります。Adobe Readerがインストールされていない場合は“[こちら](#)”をクリックして、Adobe Readerをダウンロードしてインストールしてください。



また [フレーム構造解析 1 2] ではチュートリアルだけでなくマニュアル冊子の PDF 版も開くことができるようになっています。

ここで各リンクをクリックするとインターネットエクスプローラのセキュリティ保護機能がポップアップすることがありますので、その場合はポップアップをクリックして“ブロックされているコンテンツを許可”をクリックしてください。

チュートリアルの内容は細かな機能説明は省いて実際の解析の流れを順序立てて解説していますので、先にチュートリアルを見ながら実際に一通り操作してみると基本的な機能が良く分かると思います。マニュアルはコマンドリファレンス的な機能説明が主体になっていますのでチュートリアルを試した上で、マニュアルで細かい機能を確認していくと良いでしょう。

5. バージョン情報／アップデート設定

[バージョン情報／アップデート設定] ボタンをクリックすると次に示すウインドウが表示され、CADTOOLのバージョンやシリアル番号を確認することができますのでサポートを受ける場合はこれらもお伝えください。



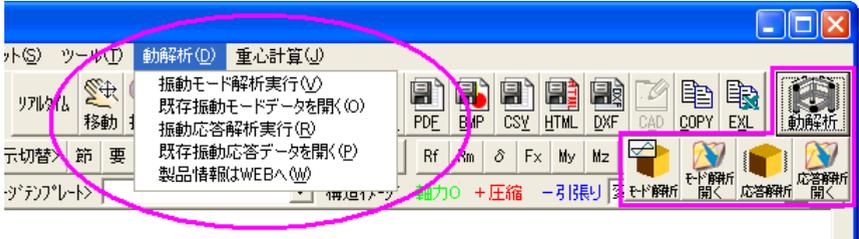
また [2. ライブアップデート] で説明したライブアップデートの設定もここでを行います。“自動アップデートを有効にする”をチェックするとその右のリストボックスで選択した日ごとに起動時にライブアップデートウインドウが表示され、[手動アップデート] ボタンをクリックしてもライブアップデートウインドウが表示されライブアップデートを行うことができます。

[認証情報削除] ボタンをクリックするとシリアル番号やAコード情報を削除することができます。ライセンスを変更するときなどに使用します。

さらに [サポート情報] タブを開くと発売元のキャデナス・ウェブ・ツー・キヤド株式会社のホームページやCADTOOL／ISOTOOLの製品紹介のURL、サポートのメールアドレスなどが確認できます。

6. 動解析の起動

〔フレーム構造－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かボタンをクリックすると〔フレーム構造－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〔フレーム構造－立体〕で計算実行する前でもそれぞれの“データを開く”メニューかボタンで開けるようになっています。

動解析のコマンドは複数実行できるので動作環境が許せば既存の計算結果を開いたまま新しく計算を実行することもできるようになっています（OSのバージョンやメモリ容量等によっては複数起動できない場合もあります）。

動解析の計算結果の入出力や各種出力関係、画面操作は〔フレーム構造－立体〕と基本的に同じなのでこれらの操作については〔フレーム構造解析 1 0 / 3 D〕のマニュアルやチュートリアルを参照して、一通り〔フレーム構造－立体〕が操作できるようになってから動解析のコマンドを使うようにしてください。

またインターネットに接続された環境でプルダウンメニューの一番下にある〔製品情報はWEBへ〕をクリックするとweb2CAD Japanの製品情報ページを開くことができるようになっています。バージョンアップ情報や他の製品の最新の情報を発信しておりますので定期的に開いてみてください。

7. 【メモリ不足です】の対応について

【CADTOOLフレーム構造解析12】で使っているプログラム開発言語の仕様によりパソコンの実装メモリやOSとは関係なく開発したプログラムで扱えるメモリに限界があり、この限界を超えると【メモリ不足です】が表示されます。

【フレーム構造一立体】の最大要素数は999点ですがこれは設定上の構造要素の数で、後で説明する計算精度によって計算時には一つの構造要素がいくつかの内部要素に自動分割され、また接合設定でも内部的に要素が追加されるようになっています。計算条件にもよりますが最終的な計算時の要素数にして3000前後でプログラムの扱えるメモリの限界を超えてしまいます。一例として構造要素が750として計算精度を【標準】にすると一つの構造要素が4分割されるので計算上の要素数は3000となり【メモリ不足です】が表示され計算できない可能性が出てきます。

この【メモリ不足です】は計算実行時に発生するもので実装メモリやOSに関係なく発生するものです。計算実行時に【メモリ不足です】が表示された場合は計算精度が【標準】であれば【低】または【最低】にしてもらうか、あまり重要でない部分の構造を省いて全体の要素数を減らしてもらうかで対応してください。ただし計算精度の【最低】は構造要素が多く計算時間がかかる場合に構造上の問題により計算が通るか通らないかのチェックを計算時間を短縮してできますが計算結果の精度は良くないので最終的には【低】以上の計算精度で計算するようにしてください。

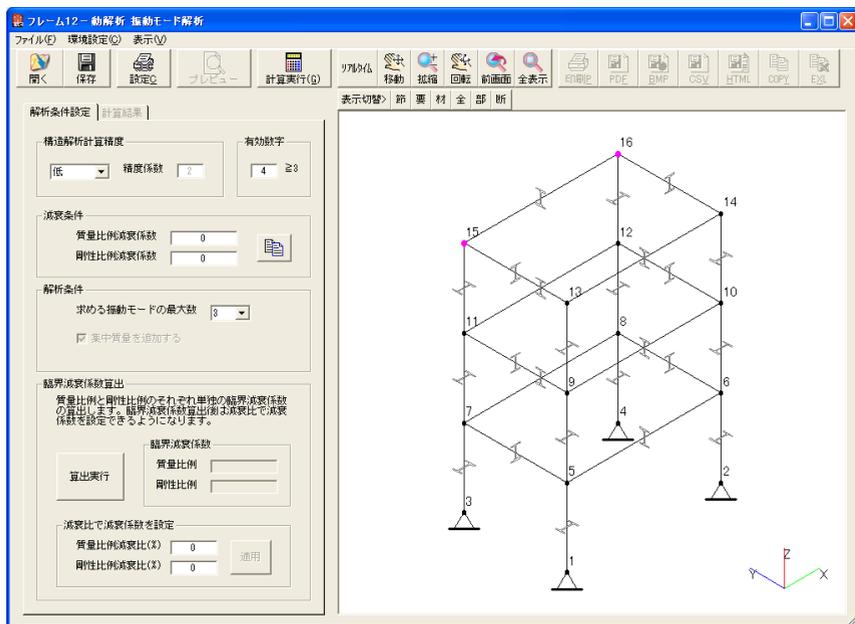
第4章 振動モード解析

1. 振動モード解析条件設定

まず動解析を始める準備として [フレーム構造-立体] で今回は Sample1.KS12 を読み込んで計算を実行しておいてください。 [フレーム構造-立体] の操作についてはそちらのマニュアルやチュートリアルを参照してください。

計算が完了したら続いて動解析メニューで“振動モード解析実行”か [モード解析] ボタン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。以下このタブの設定について説明します。



要素中央には断面形状が表示されていますので部材回転角や使っている断面形状に問題はないかチェックできます。また [フレーム構造解析 9] から追加された節点質量のイメージが節点 15 と節点 16 に表示されていますが [振動モード解析] では個々の節点の情報は出力されませんので注目フラグは設定してあっても表示されません。

- ・ 構造解析計算精度：この機能は [フレーム構造-立体] の計算精度と同じ機能ですが [フレーム構造-立体] の設定とは別に振動モード解析条件として設定することができます。

計算精度はそれによって決まる精度係数を分割数として一つの要素を自動で分割するもので、精度係数が高くなると計算実行時の節点数、要素数が多くなります。

動解析では静解析に比べて条件によりますが200倍くらい計算時間がかかりますので要素数はなるべく少なくして計算するのが実用的です。

構造要素の数が少なく個別の梁や柱の振動モードが影響するような場合は計算精度を標準、精度係数を4以上にする必要がありますが構造要素の数がある程度あって個別の梁や柱の振動モードの影響が少ない場合は、計算精度は低または最低にしても結果はあまり変わらないと考えられます。

動解析は静解析ほどの精度は要求されないと思いますのでむやみに計算精度を高くして計算を実行すると計算時間がかかるばかりで非効率な作業となりますのでデフォルトの計算精度は「低」になるようにしています。

また「フレーム構造－立体」で接合設定を使っている場合も計算時の要素が増えますので両端がピン接合であればピン接合をやめてトラス部材に置き換えた方が速く計算できます。なお「フレーム構造－立体」の材料設定でブレース材を設定している場合も動解析ではトラス部材として計算されます。

- ・有効数字：これは「フレーム構造－立体」と同じ機能で計算結果を何桁で丸めるかを設定します。
- ・減衰条件：これについては後で詳しく説明します。ここでは減衰係数をデフォルトの0のままにしておきます。
- ・解析条件：ここで求める振動モードの最大数を設定します。「フレーム構造解析8」まで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「フレーム構造解析9」からヤコビ法のみを使っているので最大10まで選択できるようになっています。また最大数なので必ずこの数の振動モードが求められるわけではありません。

ここの“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。詳しくは「3. 集中質量の追加」を参照してください。

なお [フレーム構造解析 1 2] の [フレーム構造-立体] では節点質量が設定できるようになっており、立体のサンプルデータ Sample1.KS12にも節点 1 5 と節点 1 6 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。

[フレーム構造解析 1 1] 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 k g 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。

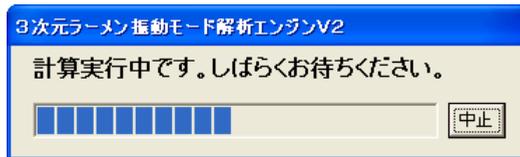
[フレーム構造解析 1 0] 以前は“異常値を推定してオミットする”のチェックがありましたがチェック方法を見直して [フレーム構造解析 1 1] から常時チェックするようにしたためこのチェックは廃止しています。

- ・臨界減衰係数算出：減衰条件と同様にこれについても後で詳しく説明します。

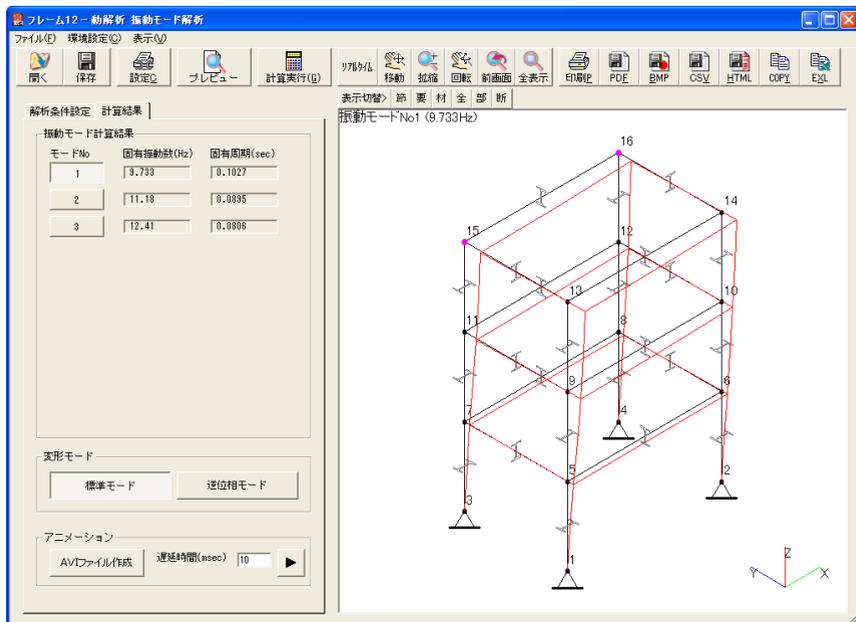
ではデフォルトのまま [計算実行] ボタンをクリックして、表示される集中質量設定ダイアログもそのまま [確定] ボタンをクリックして計算を実行してみます。

2. 計算結果

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、ここに計算で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 N o 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。



このダイアログ上部にあるプルダウンメニュー及びデータ入出力、各種出力、画面操作の各機能は基本的に「フレーム構造－立体」と同じになっているので操作については「フレーム構造－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。

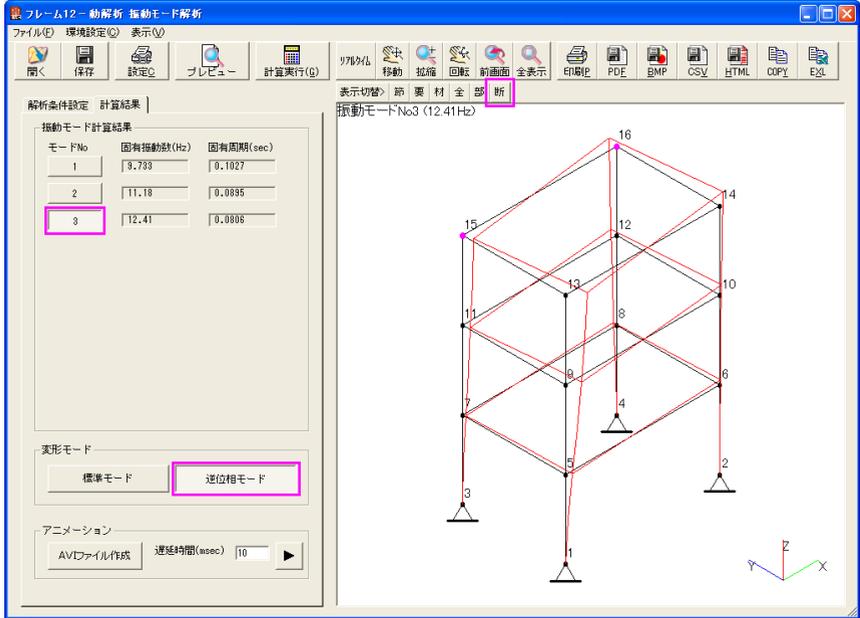
この計算結果からこの構造物の1次モード（固有振動数の低い方から1次、2次という）はY方向に振動するモードでその固有振動数は9.733 Hzということが分かります。

また2次モードと3次モードは構造物がねじれるモードになっています。これらは各自でモードNoボタンを切り換えて確認してみてください。

この例では1次、2次、3次の固有振動数の間隔が比較的小さく各変形モードも予想される範囲のものであり強度バランスの取れた構造物であるといえるでしょう。

「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。

次に3次モードを「逆位相モード」で表示したものを示しますが要素中央に表示される断面形状には特に問題はないのでモードが見やすいようにここで非表示にしています。

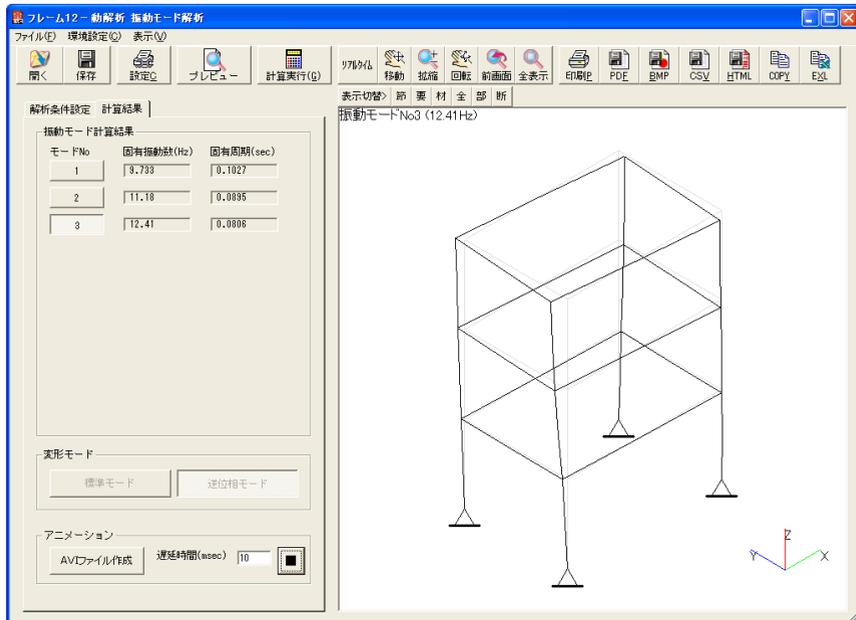


変形モードの「標準モード」と「逆位相モード」を繰り返し切り換えると振動するサイクルの両端の様子が分かるのでどのような振動モードなのかを簡単に確認することができます。

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した。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。

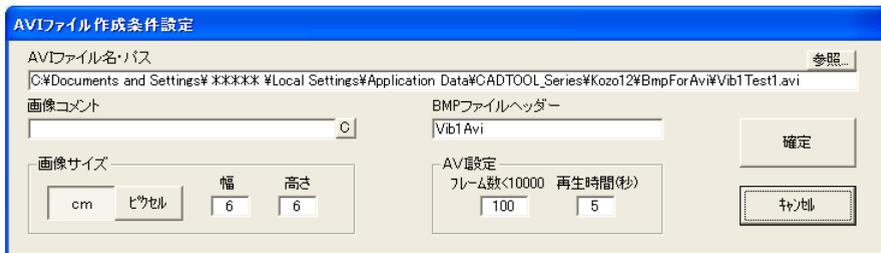
アニメーション再生中は再生ボタンが停止ボタンになり、再度クリックするとアニメーションは停止します。

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。



動解析ではアニメーションと同様の動画をA V I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。

[A V Iファイル作成] ボタンをクリックすると次に示すA V I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。

AVI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AVIファイルが作成されます。作成したAVIファイルはWindows標準のWindows Media PlayerやAVI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。

正常にAVI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。



上記のメッセージで [はい] をクリックすると拡張子AVI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。次にWindows標準のWindows Media Playerで開いた例を示します。



作成されるAVI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AVIファイルやBMPファイルからアニメーションGIFを作成することができるものがあり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。

[CADTOOLフレーム構造解析12]ではOSに関係なく標準ではユーザーフォルダの下に作業フォルダを作ってサンプルデータフォルダやテンプレートフォルダ等をコピーして使うようにしています。WindowsXPでは下記のパスが作業フォルダになります。

C:\¥Document and Settings¥****¥Local Setting¥Application Data¥CADTOOL_Series¥Kozo12

WindowsVista以降、Windows7、8では下記のフォルダが作業フォルダになります

C:\¥Users¥****¥AppData¥Local¥CADTOOL_Series¥Kozo12

ここで****の部分はログオンユーザー一名になりますのでユーザー毎に変わってきます。

AVI作成用のBMPファイルも上記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AVIファイルを作成するときに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と不要な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。

コマンドの終了はプルダウンメニューの [ファイル] にある [終了] をクリックするかタイトルバー右の×ボタンをクリックします。

表示されている計算結果が未保存の場合は終了確認メッセージが出るようになっています。

これは動解析の計算時間がかかるため、後で参照する可能性があれば計算結果を保存しておいた方が再計算するより効率的な作業ができると考えたためです。必要に応じて計算結果を保存してから終了してください。

3. 集中質量の追加

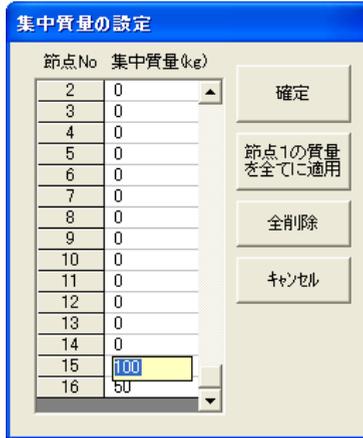
動解析では単に強度だけでなく材料に働く慣性力も考慮されて解析されます。材料自体の慣性力は材料の断面積と密度等から自動的に求められますが部分的に重量物が取り付けられているような場合、静解析ではその重量に相当する集中荷重をかけてやればよいのですが動解析ではその重量物の質量を設定してやる必要があります。

[フレーム構造解析9] から節点質量の設定ができるようになり [フレーム構造-立体] のサンプルデータの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。



“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。

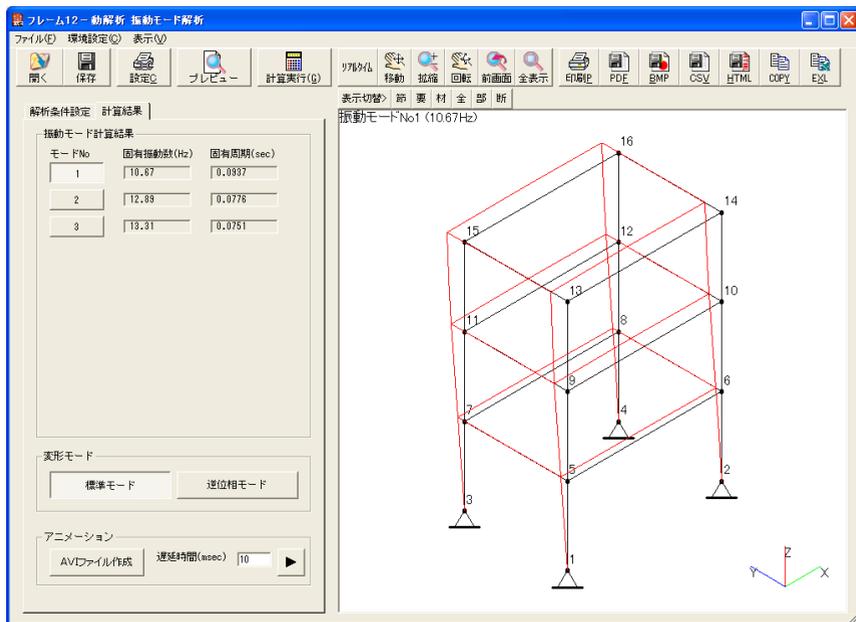
全てに同じ質量を設定したい場合は節点1にのみ集中質量を入力して [節点1の質量を全てに適用] ボタンをクリックすると全ての節点の集中質量に節点1の集中質量が設定されます。全て削除したい場合は [全削除] ボタンをクリックします。

また上記のように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。

なおサンプルデータには既に節点15に100kgと節点16に50kgの質量が設定されていましたので、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。

また集中質量の設定方法は [振動応答解析] でも全く同じになっていますので [振動応答解析] で集中質量を追加したい場合はこの操作方法を参照してください。

次に集中質量を全て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、集中質量が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。なお節点に後から慣性モーメントを追加する機能はありません。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る構造要素としてモデル化する方法も検討してください。

4. 減衰係数について

動解析では減衰係数を設定して減衰振動の解析ができます。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それぞれ単独か両方に設定します。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。

ただし実際に減衰係数が設定できるようになってもどのような数値を設定したら良く分からない場合も多いと思います。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す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。

現実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。

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。

[振動モード解析] 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きますのでまず先にこれを試してみましよう。[解析条件設定] タブを開き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、集中質量があれば集中質量設定ダイアログが表示され[確定] ボタンをクリックすると計算進行を示すプログレスバーが表示されます。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。

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

このように [振動モード解析] 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。

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ようになっています。

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小数点以下 3 桁目で若干小さくなる程度で振動モードのパターンは同じです。操作は簡単なので各自で試してみてください。

では減衰の影響が大きくなるように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よう。ダンパー等を組み込んだ制振構造の構造物では減衰比が 10~20% 程度といわれるのでこれはかなり高性能の減衰機構が組み込まれた構造物の例と言えるでしょう。これも各自で試してみてください。

この場合は最初の計算例と比較して固有振動数が小数点以下 1 桁目で小さくなっていて振動モードのパターンは同じになりますが、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。

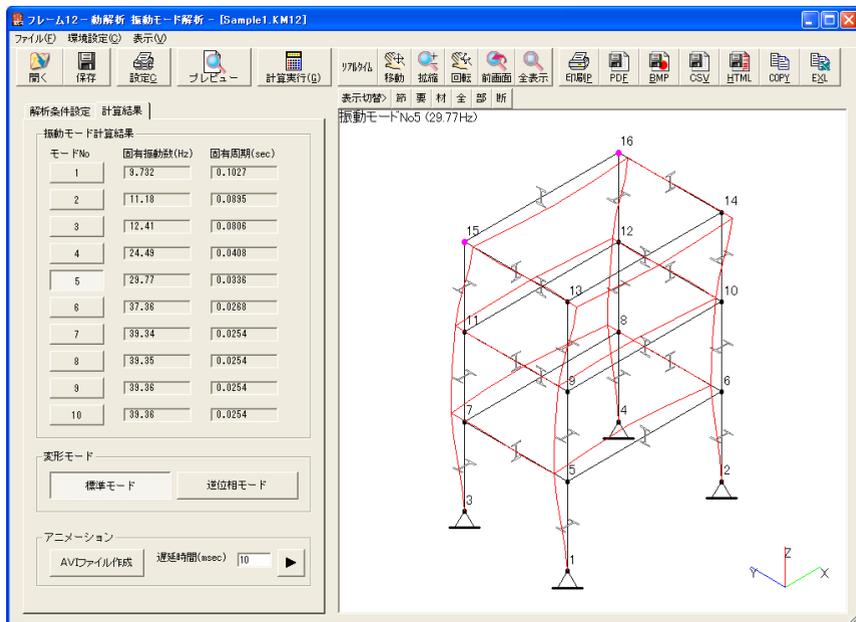
また減衰比が 90% を越えて減衰係数が臨界減衰係数に近くなっていくと固有振動数が急激に小さくなって影響が大きくなっていきます。ただし前述のようにダンパー等の減衰機構を組み込んだ制振構造物でも減衰比は 10~20% 程度ということなので減衰比が 90% を越えるような構造物は現実的にはあり得ない状況ではないかと考えられますが技術的に興味がある方はいろいろと減衰比や質量比例、剛性比例の減衰係数の割合を変えて試してみると面白いのではないかと思います。

5. 計算結果の入出力

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ファイル選択ダイアログの操作等、基本的な操作方法は [フレーム構造-立体] と同じになっていますので操作については [フレーム構造-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。

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。

[フレーム構造解析 1 2] の [振動モード解析] の計算結果ファイルの拡張子は KM1 2 となっています。次に Sample1.KM12 を開いた例を示します。



この例は計算方法を「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、さらに計算方法を「標準」にすると「高速」の数倍かかります。一方で計算結果は「フレーム構造-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に分かりやすい場合もあるので動解析では「フレーム構造-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「振動モード解析」では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、より便利に活用できるようになっています。

現計算結果の保存の場合も基本的な操作は既存計算結果を開く場合と同じです。また直前に読み込みや保存を行ったドライブとフォルダがデフォルトとして表示されるようになっています。さらに既存データを読み込んでいる場合はそのファイルがデフォルトで選択されるようになっています。

なおこのサンプルデータについて解説すると、この例は“求める振動モードの最大数”を10で計算しています。前述のように1次から3次までは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”は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。

6. 環境設定

プルダウンメニューの「環境設定」ではイメージ表示条件設定と印刷設定の設定ダイアログが表示されます。

イメージ表示条件設定

<p>イメージ文字フォントサイズ <input type="text" value="12pt"/></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 節点番号表示</p> <p style="margin-left: 20px;"><input checked="" type="checkbox"/> 節点番号自動選び</p> <p style="margin-left: 20px;"><input checked="" type="checkbox"/> 節点に●を表示</p> <p style="margin-left: 40px;">●の表示基準値 <input type="text" value="5"/></p> <p><input type="checkbox"/> 要素番号表示</p> <p><input type="checkbox"/> 材料番号表示</p> <p><input type="checkbox"/> 支持イメージの自動反転無効</p> <p style="margin-left: 20px;">支持イメージの表示基準値 <input type="text" value="5"/></p> <p>全体座標表示</p> <table border="1" style="margin-left: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">左上</td> <td style="padding: 2px;">右上</td> <td rowspan="2" style="padding: 2px;">非表示</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">左下</td> <td style="padding: 2px;">右下</td> </tr> </table> <p style="margin-left: 20px;">全体座標の表示基準値 <input type="text" value="5"/></p> <p><input type="checkbox"/> 部材座標表示</p> <p style="margin-left: 20px;"><input type="checkbox"/> 強軸のみ太く表示</p> <p style="margin-left: 20px;">部材座標の表示基準値 <input type="text" value="5"/></p> <p>部材色</p> <table border="1" style="margin-left: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">薄く</td> <td style="padding: 2px;">色分け</td> <td style="padding: 2px;">解除</td> </tr> </table>	左上	右上	非表示	左下	右下	薄く	色分け	解除	<p>変位モード図</p> <p>最大変位の表示基準値 <input type="text" value="5"/></p> <p>変位モード表示色</p> <p>R <input type="text" value="250"/> G <input type="text" value="0"/> B <input type="text" value="0"/> ■</p> <p>断面形状表示</p> <p>自動縮尺 <input type="text" value="縮尺なし"/> <input type="text" value="非表示"/></p> <p>断面形状の表示基準値 <input type="text" value="5"/></p> <p>断面表示色</p> <p>R <input type="text" value="120"/> G <input type="text" value="120"/> B <input type="text" value="120"/> </p> <p>質量点</p> <p>表示基準値 <input type="text" value="5"/></p> <p>表示色</p> <p>R <input type="text" value="255"/> G <input type="text" value="0"/> B <input type="text" value="255"/> </p> <p>拡縮・回転</p> <p>クリック移動角度 <input type="text" value="30"/> 全表示 <input type="text" value="0"/></p> <p>オフセット角</p> <p>マウスホイールの動作</p> <p>ホイールを手前に回した時</p> <p>通常は拡縮 <input type="text" value="縮小"/> <input type="text" value="拡大"/></p> <p>回転ボタン押下時</p> <p>は之軸回転 <input type="text" value="反時計"/> <input type="text" value="時計回り"/></p>
左上	右上	非表示							
左下	右下								
薄く	色分け	解除							

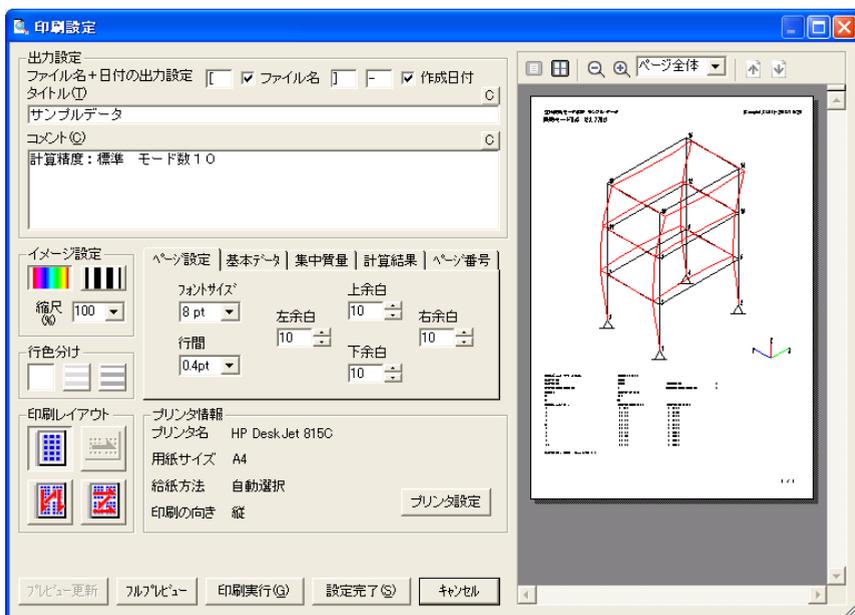
[環境設定] > [イメージ表示条件設定] は基本的には [フレーム構造－立体] と同じですが [振動モード解析] では荷重イメージや各種線図は表示しないので設定する項目が少なくなっています。 [フレーム構造解析 1 2] から部材色の色分け表示とマウスホイールの動作切り替えが追加されています。これらの機能については [フレーム構造－立体] のマニュアルかチュートリアルを参照してください。

[振動モード解析] では変位モードの表示が主になるので変位モードの色を設定できるようになっています。

イメージ表示枠の左上にある [表示切替>] ボタンをクリックしても同じダイアログが表示されます。

またイメージ表示条件設定の中で変更する頻度が高いと考えられるものを [フレーム構造－立体] と同様にプルダウンメニューの [表示] に割り付けています。またイメージ表示枠の上の [節] ~ [断] の小さなボタンでも表示を切り換えることができます。これらの操作については [フレーム構造－立体] のマニュアルかチュートリアルを参照してください。

[環境設定] > [印刷設定] はコマンドボタンの [設定] ボタンを押した場合と同じになり計算終了後は右側に計算書のプレビューが表示されるようになっています。



ここではファイル名や日付を出力するかどうかや出力タイトル、出力コメントの出力設定、および計算書のイメージ設定、ページ設定、行を色分けするかどうか、複数ページの時に1枚に複数ページを印刷するかどうかの印刷レイアウト、使用するプリンタの情報とプリンタ設定が行えるようになっていきます。なお【フレーム構造－立体】では計算書の各項目の出力位置などを設定した出力テンプレートの選択がありました。動解析では出力項目が少ないので中央にあるタブを切り換えて行うようになっていきます。

【フレーム構造解析 1 0】から次に示す【ページ番号】タブが追加になっています。

ここにある“ページ番号を出力”をチェックするとページ番号が出力されます。また“総ページを出力”をチェックすると総ページが自動で出力され、“総ページを入力”をチェックしてその右の入力欄で数値を入力すると実際の総ページに関係なく入力した値を総ページとして出力します。ページ番号初期値に数値を入力するとページ番号の初期値を変更することができ、ページ番号位置では3箇所の出力位置が選択できます。

先の実出力設定やこのタブの設定を変更しても直にはプレビューには反映されません。これらの設定を変更すると【印刷実行】ボタンがグレイアウトして押せなくなり、グレイアウトしていた【プレビュー更新】ボタンが押せるようになりますので設定が完了したら【プレビュー更新】ボタンをクリックしてください。プレビューが更新されたら希望する設定になっているか確認してください。

またこの出力設定のファイル名・日付、出力タイトルや出力コメントはCSV出力、HTML出力にも反映されますので必要に応じてそれらを出力する前にここで設定しておいてください。

なお【振動応答解析】を含めて動解析ではCAD作図及びDXF出力の機能がありませんので【フレーム構造－立体】にある【CAD・DXF出力設定】はありません。

なお【フレーム構造解析 1 2 / 3 D 動解析】のチュートリアルでは「振動モード解析の実務への応用」として門形ラーメンを使って材料の向きの影響や補強について解説しています。

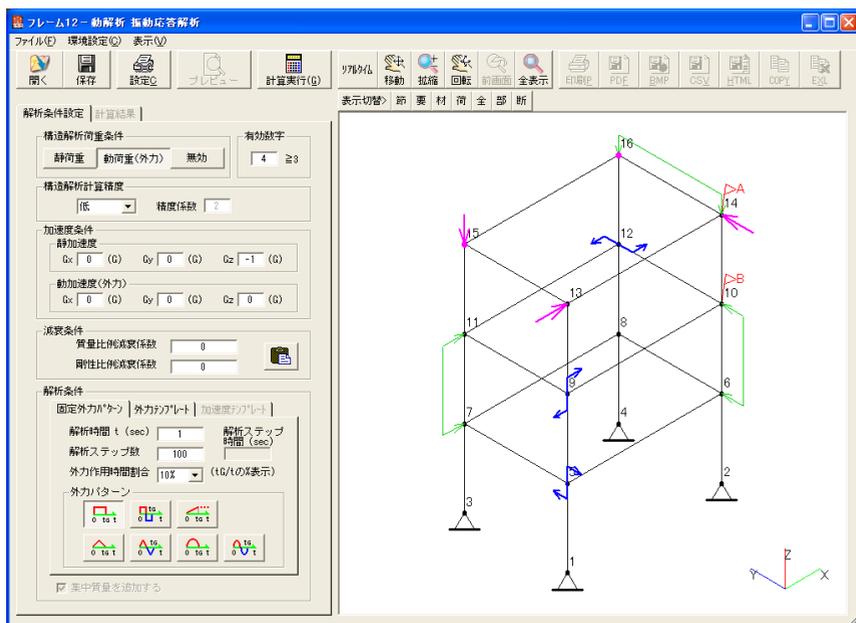
チュートリアルはPDFデータなので画像も見やすく、マニュアルより具体的な事例が多く紹介されていますのでそちらも参照してください。

第5章 振動応答解析

1. 振動応答解析外力条件設定

まず動解析を始める準備として [第4章 振動モード解析] と同様 [フレーム構造-立体] で Sample1.KS12 を読み込んで計算を実行しておいてください。 [フレーム構造-立体] の操作についてはそちらのマニュアルやチュートリアルを参照してください。

計算が完了したら続いて動解析メニューで“振動応答解析実行”か [応答解析] ボタン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。



要素中央に表示される断面形状は部材回転角や使っている断面形状に問題はないかチェックしてから非表示にしています。また [フレーム構造解析 9] から追加された節点質量のイメージが節点 1 5 と節点 1 6 に表示され、節点 1 0 と節点 1 4 に注目フラグのイメージが表示されています。

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：ここでは〔フレーム構造－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〔フレーム構造－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〔フレーム構造－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〔フレーム構造－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：これも〔フレーム構造－立体〕と同じ機能で計算結果を何桁で丸めるかを設定します。
- ・ 構造解析計算精度：この機能は〔振動モード解析〕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。また〔振動応答解析〕も静解析に比べて計算時間がかかりますのでやはり要素数はなるべく少なくして計算するのが実用的です。むやみに計算精度は上げず、接合設定をトラス部材に置き換えるなど必要に応じて計算時間が早くなるように工夫して使ってください。
- ・ 加速度条件：ここ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〔フレーム構造－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：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〕と同じで、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：ここ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前述のように減衰力は働きませんので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うまいでしょう。

解析ステップは構造物の変位を微少な時間の区分毎に求めるようになり、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になります。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一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。

固定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固定外力パターンを示していますが、下記にボタンの左上から右に向かって固定外力パターンを説明します。

矩形波半サイクル: 解析スタート直後から外力は最大値となり外力作用時間が終わると外力0になります。

矩形波1サイクル: 解析スタート直後から外力は最大値となり外力作用時間の1/2で符号が反転した外力が続き、外力作用時間が終わると外力0になります。

三角立ち上がり : 外力は0からスタートし時間の経過に比例して大きくなって外力作用時間で最大値となり解析時間の間、外力は最大値のまま持続します。

三角波半サイクル: 外力は0からスタートし時間の経過に比例して大きくなって外力作用時間の1/2で最大値となり、その後は時間の経過に比例して小さくなって外力作用時間で外力は0になります。

三角波1サイクル: 外力は0からスタートし時間の経過に比例して大きくなって外力作用時間の1/4で最大値となり、その後は時間の経過に比例して小さくなって外力作用時間の1/2で外力は0になり、符号が反転して外力作用時間の3/4で負の最大値となり外力作用時間で外力は0になります。

正弦波半サイクル: 外力は0からスタートし時間の経過と共に正弦波(サインカーブ)で大きくなって外力作用時間の1/2で最大値となり、その後は時間の経過と共に小さくなって外力作用時間で外力は0になります。

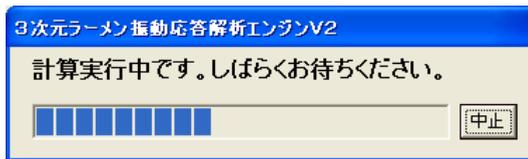
正弦波 1 サイクル:外力は 0 からスタートし時間の経過と共に正弦波(サインカーブ)で大きくなって外力作用時間の $1/4$ で最大値となり、その後は時間の経過と共に正弦波(サインカーブ)で小さくなって外力作用時間の $1/2$ で外力は 0 になり、そこからは同様に正弦波で符号が反転して外力作用時間の $3/4$ で負の最大値となり外力作用時間で外力は 0 になります。

その下の“集中質量を追加する”のチェックボックスは[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。なお[フレーム構造解析 1 1]の[フレーム構造-立体]では節点質量が設定できるようになっており、立体のサンプルデータ Sample1.KS11にも節点 1 5 と節点 1 6 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スアウトして[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。

ではここでは固定外力パターンをデフォルトの[矩形波半サイクル]として[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。

2. 計算結果

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、このタブにはさらに[変形図]と[変位応答データ]のタブと、さらに[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]タブには発生事象のボタンが並んでおり計算で求められた各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。

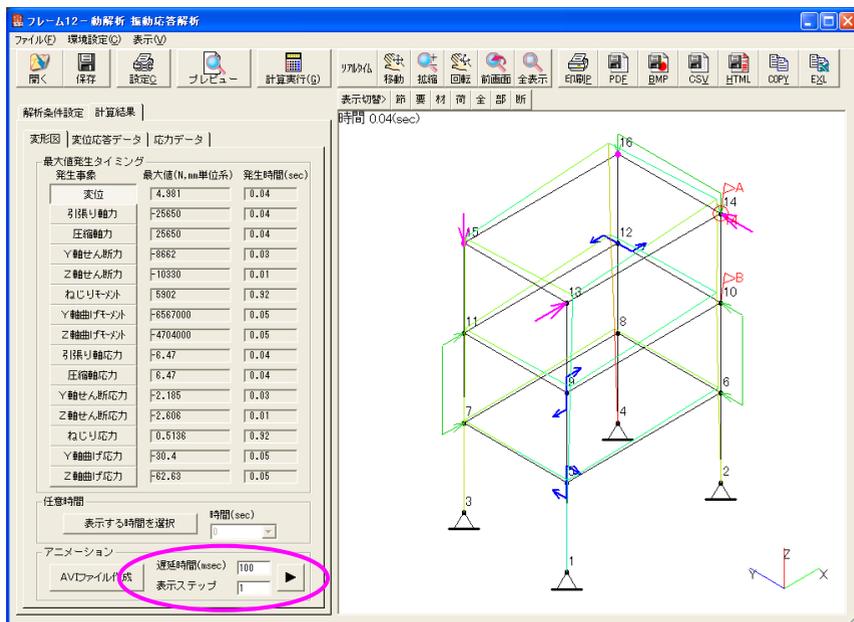
なお最大値の単位はN、mm系で固定となっていますので注意してください。

ここで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。

このダイアログ上部にあるプルダウンメニュー及びデータ入出力、各種出力、画面操作の各機能は基本的に [フレーム構造-立体] と同じになっているので操作については [フレーム構造-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。

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るようになっており、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。



[振動モード解析] と同様に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。

また [振動応答解析] では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

[振動応答解析] でも [振動モード解析] と同様に A V I ファイルを作成することができます。ここで [A V I 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。



A V I 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 1 0 0 0 以上の A V I ファイルは作成できません。

フレームレートの最大は 3 0 (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 ÷ 3 0 (秒) となります。最小の再生時間より小さい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続いて A V I ファイルが作成されますが、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トータルで使用する容量はかなり多くなります。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。

3. 変位応答データ

[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。

また一覧表の中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。

また [変位応答データ] タブか次で説明する [応力データ] タブが開いた状態で各種出力の CSV出力、HTML出力、EXCEL出力、クリップコピーでは変位応答データと応力データを出力するかどうかのメッセージがそれぞれ表示されます。

変位応答データのメッセージで [はい] をクリックすると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が出力され、応力データのメッセージで [はい] をクリックすると [変形図] タブで選択した発生事象の時間の応力データが出力されます。印刷やPDFについては印刷設定で変位応答データと応力データを出力するかどうかの設定ができるようになっています。

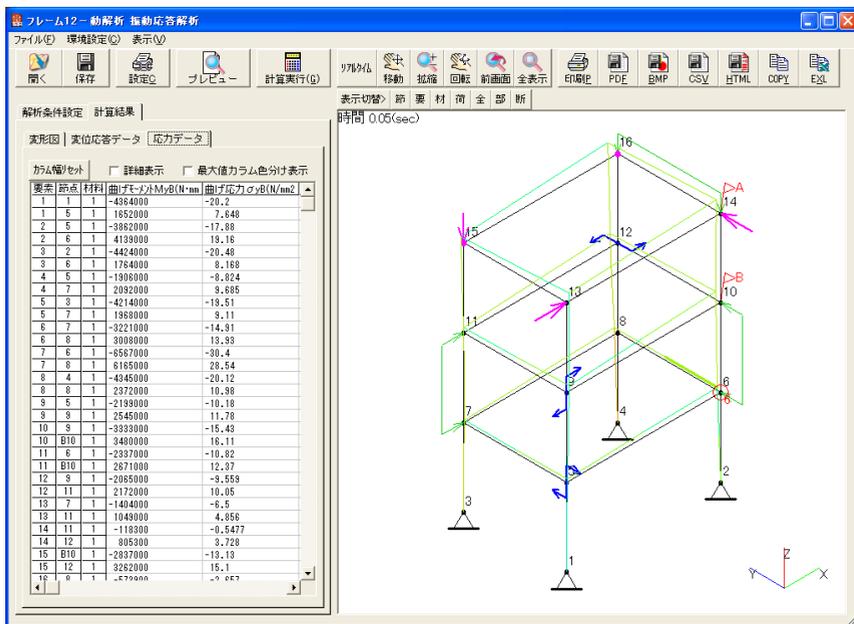
なお各種出力の基本的な操作は [フレーム構造-立体] と同じなのでそちらのマニュアルやチュートリアルを参照してください。

また [フレーム構造解析 1 2 / 3 D 動解析] のチュートリアルではエクセルに変位応答データを含めた計算結果を出力して、そのデータを使って変位応答グラフを作成する例を示していますのでそちらも参照してください。

4. 応力データ

[応力データ] タブを開くと [変形図] タブで選択した発生事象の時間の各要素の応力データを見ることができます。

次に [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] タブを開いた例を示しますが、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。

5. 減衰係数について

〔振動モード解析〕で説明したように〔フレーム構造－動解析〕では減衰係数を設定して減衰振動の解析ができ、〔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良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〔フレーム構造－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〕で説明していますのでそちらを参照してください。

〔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〔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 

剛性比例減衰係数

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、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

剛性比例

減衰比で減衰係数を設定

質量比例減衰比(%) 

剛性比例減衰比(%)

〔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るので今度は〔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。

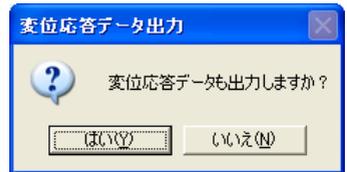
これで〔振動モード解析〕の減衰係数が〔振動応答解析〕にコピーできます。もちろんこの方法でなくても直接数値を入力してもかまいません。

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〔フレーム構造－動解析〕では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て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。

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にともなって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。

ではこの例で変位応答グラフを作ってみます。〔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右に示す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。ここで〔はい〕を選択すると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。



続いて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。なおここで〔はい〕を選択すると応力データも出力できます。

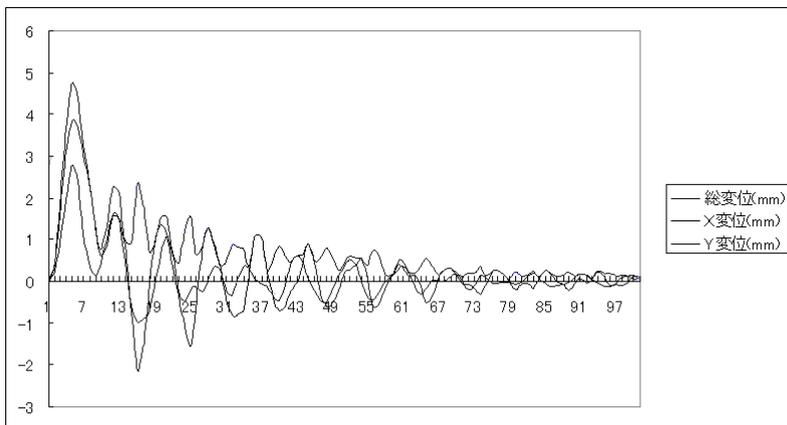


なお各種出力の基本的な操作は立体と同じなのでそちらのチュートリアルを参照してください。

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ません。グラフにしたい範囲が選択できたらエクセル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] か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。エクセル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エクセル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が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] に使え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。

6. 外力テンプレートについて

[フレーム構造—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をエクセルで開いたものを右に示します。

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。

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た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。

	A	B	C
1	名称	サインカーブ4Hz-10s	
2	加振時間(秒)	10	
3	計算ステップ(秒)	0.01	
4	時間	加振係数	
5	0.01	0.24869	
6	0.02	0.48175	
7	0.03	0.68455	
8	0.04	0.84433	
9	0.05	0.95106	
10	0.06	0.99803	
11	0.07	0.98229	
12	0.08	0.90483	
13	0.09	0.77051	
14	0.1	0.58779	
15	0.11	0.36812	
16	0.12	0.12533	
17	0.13	-0.12533	
18	0.14	-0.36812	
19	0.15	-0.58779	
20	0.16	-0.77051	
21	0.17	-0.90483	
22	0.18	-0.98229	
			NUM

4行目は5行目以降のデータの項目行となっていて、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。

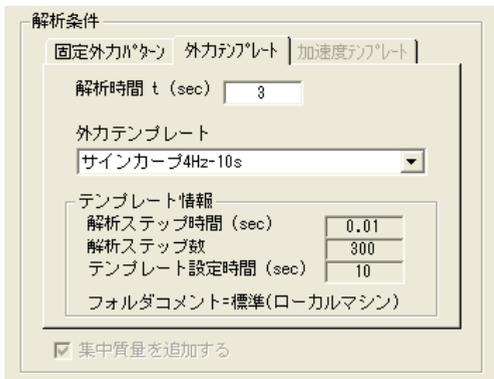
加振係数は固定外力パターンと同様に構造解析荷重条件や加速度条件で設定した外力を元に加振係数をかけた外力が作用するようになります。加振係数が0の場合は外力も0、加振係数が1の場合は外力が100%作用していることになります。

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の範囲で設定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 2] では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。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。データファイル管理機能については [フレーム構造解析 1 2 / 2 D] のマニュアルの [第 8 章 データファイル管理] を参照してください。

[外力テンプレート]のタブを開きリストボックスで[サインカーブ4Hz-10s]を選択します。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他の計算条件もそのままにしておきます。



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1.2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。

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のでしょうか？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。

この例も変位応答グラフと作るとよく分かりますが非減衰の強制振動で大きな波形は前と同じ1.2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。

[フレーム構造—動解析]の[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なり、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。

7. 加速度テンプレートについて

[フレーム構造—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-N-E-T (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
- 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

(以下は [フレーム構造解析 9 / 3D動解析] で追加されたものになります。)

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秒間抜粋したのになっています。ではその一つのAccePattern01.csvをエクセルで開いてみます。

	A	B	C	D
1	名称	鳥取県西部地震(2000)	コメント	K-NETデータより主振動を抜粋
2	加振時間(秒)	30		
3	計算ステップ(秒)	0.01		
4	加速度単位	1	コメント	0=G, 1=gal, 2=m/s^2
5	時間	NS	EW	UD
6	14	11.936903	-5.445480347	5.712032318
7	14.01	11.95335388	-5.447387695	5.712270737
8	14.02	11.93833351	-5.432128906	5.725383759
9	14.03	11.93284988	-5.428314209	5.726099014
10	14.04	11.947155	-5.435228348	5.717039108
11	14.05	11.96336746	-5.440235138	5.706071854
12	14.06	11.96908951	-5.439758301	5.727767944
13	14.07	11.96789742	-5.427598953	5.738019943
14	14.08	11.96455956	-5.430459976	5.732774734
15	14.09	11.95907593	-5.429267883	5.73348999
16	14.1	11.95859909	-5.429267883	5.732059479
17	14.11	11.95502281	-5.429983139	5.732059479
18	14.12	11.94095612	-5.4189300629	5.732774734
19	14.13	11.94453239	-5.425214767	5.728960037
20	14.14	11.94429398	-5.427360535	5.720376968
21	14.15	11.94882393	-5.443572998	5.720376968
22	14.16	11.94047928	-5.442142487	5.719184875
23	14.17	11.94262505	-5.429506302	5.715847015
24	14.18	11.96217537	-5.434751511	5.720615387
25	14.19	11.96622849	-5.455970764	5.73015213
26	14.2	11.96146011	-5.458831787	5.731582642
27	14.21	11.9535923	-5.439758301	5.730628967
28	14.22	11.95549965	-5.42974472	5.731105804
29	14.23	11.95502281	-5.436182022	5.72180748
30	14.24	11.95049286	-5.417823792	5.72347641

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]、[g a 1]、[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[g a 1]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(北側)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に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としてテンプレートフォルダ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。

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[動解析(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。

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)

加速度テンプレートを使う場合は加速度条件の動加速度(外力)は設定できません。また構造解析荷重条件の動荷重(外力)も選択できません。

減衰条件

質量比例減衰係数 6.1156

剛性比例減衰係数 0

解析条件

固定外力パターン 外力ファイル **加速度ファイル**

解析時間 t (sec) 30

NS方向回転角(°) 0

加速度テンプレート

鳥取県西部地震(2000)

テンプレート情報

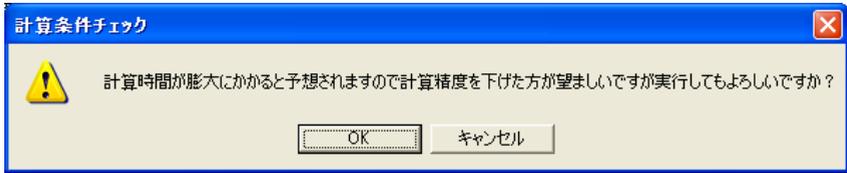
解析ステップ時間 (sec)	0.01
解析ステップ数	3000
テンプレート設定時間 (sec)	30

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

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に示すメッセージが表示されます。計算精度は [低] でさらに [最低] という設定もありますがここではこのまま [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X p、P 4、2. 4 GHz 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。

計算が終了したらアニメーション表示でどのように変位していくのか見てください。解析ステップ数が多いので遅延時間を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。

この例でも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. 6 5 9 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。

なおこの例でAV Iファイルを作成する場合はフレーム数が3 0 0 0なので最小の再生時間は1 0 0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。またフレーム数が多いのでデフォルトの画像サイズ(6 cm×6 cm)ではAV Iファイルだけで4 4 0 MB、BMPファイルと合わせると8 8 0 MBになってしまいますのでAV Iファイルを作成するときはハードディスクの空き容量に注意して作業してください。

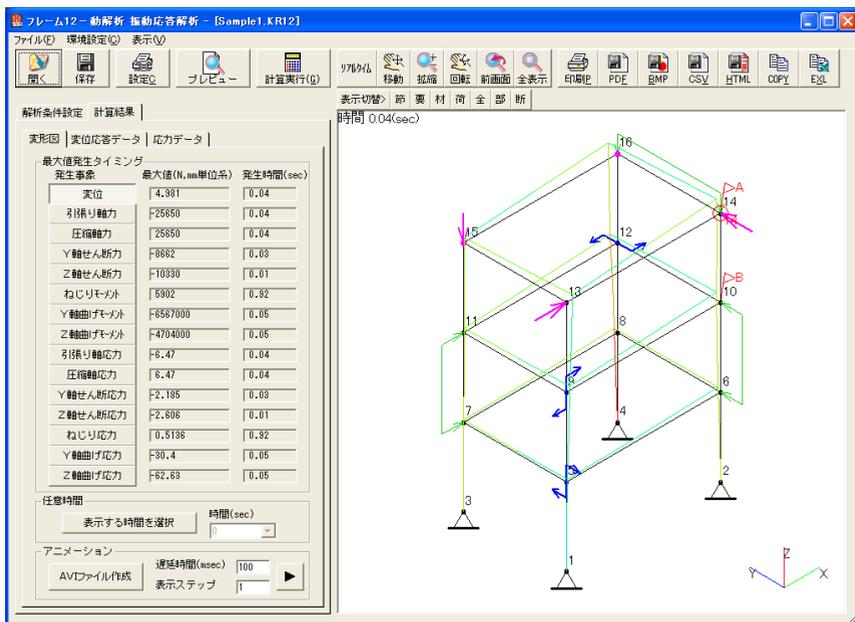
8. 計算結果の入出力

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「フレーム構造-立体」と同じになっていますので操作については「フレーム構造-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こちらで読み込んで動解析は再度実行してください。

〔振動応答解析〕の計算結果ファイルの拡張子はKR 1 2となっています。次にSample1.KR12を開いた例を示します。

なお〔振動応答解析〕では解析ステップ毎に全節点の変位等のデータが保存されるので〔振動モード解析〕に比べてサイズの大きなデータになり、読み込みに時間がかかる場合もありますので注意してください。



この例は最初に計算したものと同一ものです。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。

〔フレーム構造一動解析〕では〔振動モード解析〕と同様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。

現計算結果の保存の場合も基本的な操作は既存計算結果を開く場合と同じです。

9. 環境設定

プルダウンメニューの「環境設定」ではイメージ表示条件設定と印刷設定の設定ダイアログが表示されます。「環境設定」>「イメージ表示条件設定」は基本的には「フレーム構造－立体」と同じで、イメージ表示枠の左上にある「表示切替>」ボタンをクリックしても同じダイアログが表示されます。「フレーム構造解析 1 2」から部材色の色分け表示とマウスホイールの動作切り替えが追加されています。これらの機能については「フレーム構造－立体」のマニュアルかチュートリアルを参照してください。

イメージ表示条件設定

イメージ文字フォントサイズ

節点番号表示

節点番号自動選択

節点に●を表示

●の表示基準値

要素番号表示

材料番号表示

支持イメージの自動反転無効

支持イメージの表示基準値

集中荷重表示

モデル荷重表示

分布荷重表示

荷重イメージの表示基準値

質量点表示

質量点の表示基準値

注目フラグ表示

注目フラグの表示基準値

全体座標表示

左上	右上	非表示
左下	右下	

全体座標の表示基準値

部材座標表示

強軸のみ太く表示

部材座標の表示基準値

部材色

変位の表示

最大変位の表示基準値

最大軸力の要素を太く表示

軸力による色分け

断面形状表示

断面形状の表示基準値

表示色

	R	G	B	
断面形状	<input type="text" value="120"/>	<input type="text" value="120"/>	<input type="text" value="120"/>	<input type="checkbox"/>
質量点	<input type="text" value="255"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="255"/>	<input type="checkbox"/>
注目フラグ	<input type="text" value="255"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="checkbox"/>

拡縮・回転

クリック移動角度 全表示オフセット角

マウスホイールの動作

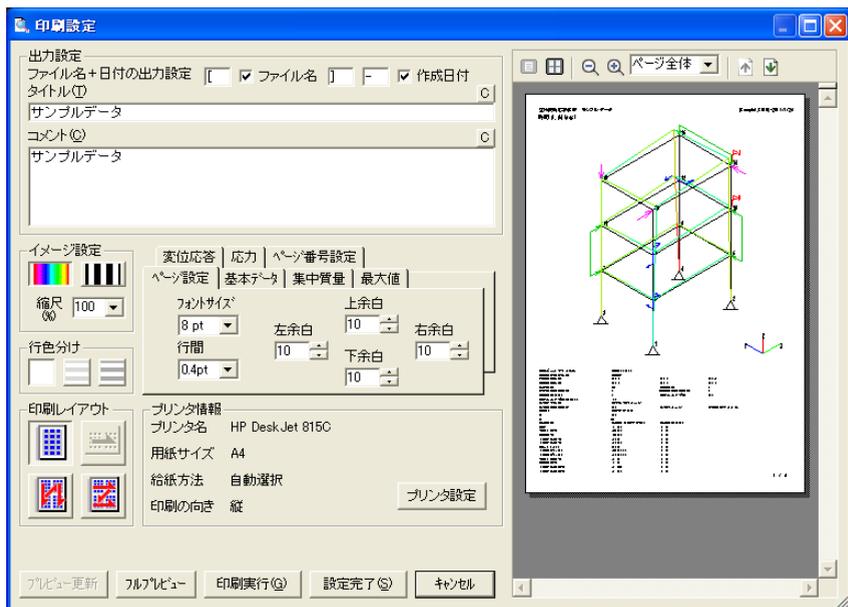
ホイールを手前に回した時

通常は拡縮

回転ホイールを押下時は軸回転

イメージ表示条件設定の中で変更する頻度が高いと考えられるものを「フレーム構造－立体」と同様にプルダウンメニューの「表示」に割り付けています。またイメージ表示枠の上の「節」～「断」の小さなボタンでも表示を切り換えることができます。これらの操作については「フレーム構造－立体」のマニュアルかチュートリアルを参照してください。

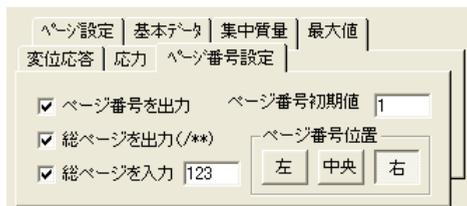
[環境設定] > [印刷設定] はコマンドボタンの [設定] ボタンを押した場合と同じになり右側に計算書のプレビューが表示されるようになっています。



ここではファイル名や日付を出力するかどうかや出力タイトル、出力コメントの出力設定、および計算書のイメージ設定、ページ設定、行を色分けするかどうか、複数ページの時に1枚に複数ページを印刷するかどうかの印刷レイアウト、使用するプリンタの情報とプリンタ設定が行えるようになっています。

なお [フレーム構造 - 立体] では計算書の各項目の出力位置などを設定した出力テンプレートの選択がありましたが動解析では出力項目が少ないので中央にあるタブを切り換えて行うようになっています。

[フレーム構造解析 10] から次に示す [ページ番号設定] タブが追加になっています。



ここにある“ページ番号を出力”をチェックするとページ番号が出力されます。また“総ページを出力”をチェックすると総ページが自動で出力され、“総ページを入力”をチェックしてその右の入力欄で数値を入力すると実際の総ページに関係なく入力した値を総ページとして出力します。ページ番号初期値に数値を入力するとページ番号の初期値を変更することができ、ページ番号位置では3箇所出力位置が選択できます。

またこの出力設定のファイル名・日付、出力タイトルや出力コメントはCSV出力、HTML出力にも反映されますので必要に応じてそれらを出力する前にここで設定しておいてください。

なお [フレーム構造解析 1 2 / 3 D 動解析] のチュートリアルでは「振動応答解析の実務への応用」として静解析との比較や外力パターンの影響、動加速度を使った地震の影響等について解説しています。チュートリアルはPDFデータなので画像もカラーで見やすく、マニュアルより具体的な事例が多く紹介されていますのでそちらも参照してください。