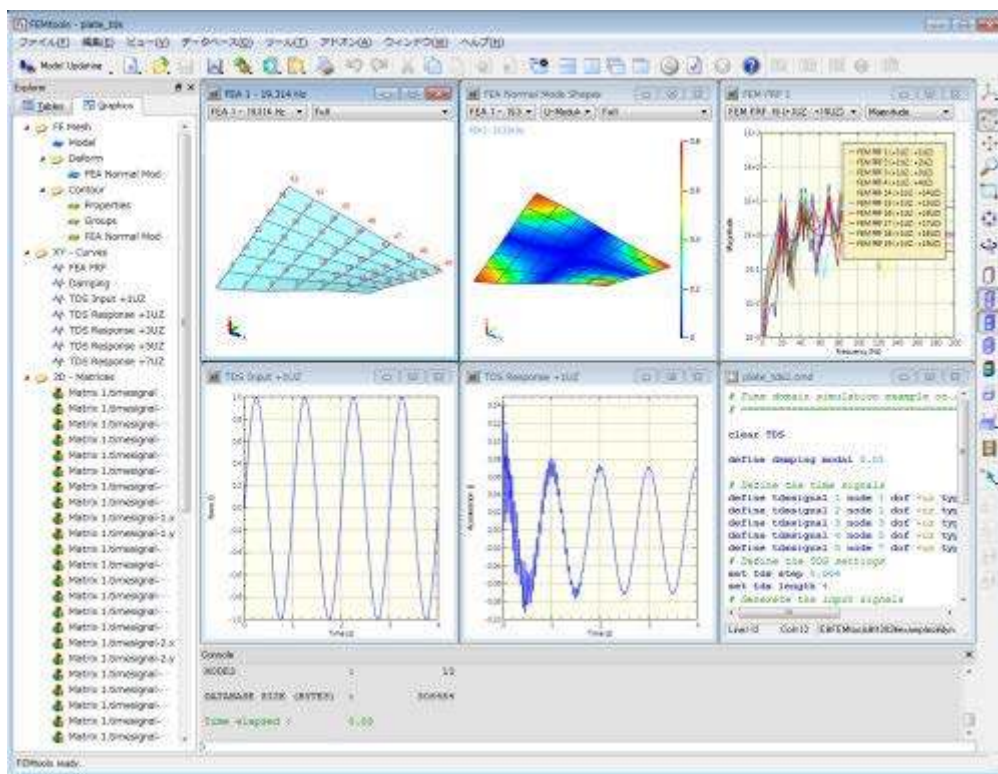


FEMtools Dynamics ガイド

Frequency Response Function analysis

Time Domain Simulation



目次

FEMtools Dynamics ガイド	1
FEMtools Dynamics 概要	1
周波数応答関数	3
FRF の計算	4
モーダル重ね合せ法による FRF の計算	4
直接法による FRF の計算	4
パデ近似法による FRF の計算	4
FRF 計算周波数レンジの定義	5
グローバル減衰の定義	5
FRF の定義	6
FRF の計算	6
モーダル法と直接法の FRF の比較	6
他の FEA プログラムの周波数応答との比較	7
剛体モードシェープの使用法	8
ローカル座標系	8
テスト・モードシェープからの FRF 計算	8
FRF ペアリングのための FRF 計算	8
FRF の表示	9
FRF 計算コマンド・リファレンス	10
DFRF コマンド	10
PADEFRF コマンド	11
DIRECTFRF コマンド	11
DYNCOMP コマンド	12
MODALFRF コマンド	13
FRF 解析例題	15
直接法による FRF 計算例	15
コマンド・スクリプト (run_dfrf_free.cmd)	16
時間領域シミュレーション	17
FEMtools インプリメンテーション	17
時間領域シミュレーション・コマンド・リファレンス	19
DEFINE TDSSIGNAL コマンド	19
SET TD コマンド	19

TDS COMPUTE コマンド	20
TDS GENERATE コマンド	20
TDS CONVERT コマンド	22
TDS PLOT コマンド	23
TDS 解析例題	24
時刻歴応答関数の計算	24
コマンド・スクリプト (plate_tds.cmd)	25

FEMtools Dynamics ガイド

本ドキュメントは、FEMtools 3.8 バージョンの FEMtools Dynamics に関する以下の補足ガイドとしてリリースされます。

- 周波数応答関数解析 (Frequency Response Function analysis)
- 時間領域シミュレーション (Time Domain Simulation)

FEMtools Dynamics 概要

FEMtools Dynamics は、FEMtools フレームワークの有限要素解析拡張モジュールです。

FEMtools Dynamics には、以下の機能が含まれます。

- 複素数モード解析
- 周波数応答関数解析
- 調和応答解析 (Harmonic Response Analysis)
- レジデュ・ベクトル演算
- スーパー要素解析
- モーダル・ベース・アセンブリ (Modal Based Assembly)
- FRF ベース・アセンブリ (FRF-Based Assembly)
- 時間領域シミュレーション (Time Domain Simulation)

周波数応答関数解析(FRF)では、参照点の応答信号が周波数応答機能(FRF)を得る加振力で割られます。その関数は力 (Force) 情報を含まないため構造の質量、剛性、減衰などのモーダル特性に依存します。したがって、それらは相関分析、感度解析、モデルアップデーティングのための応答として使用することができます。

高調波応答解析(HRA)は、調和荷重 (Harmonic Loading) 下の構造応答を分析します。

レジデュ・ベクトル(RESVEC)は、モーダル周波数応答法に使用されるモーダル解析を拡張するために使用されます。それらは、モーダル解析結果の不連続性の影響を補い、適切なモードシェープの推定あるいは直接法を使用する必要のない動的応答を推定に有効です。

スーパー要素(SELEM)は、多くの要素をグループ化し、構造ごとの解析を可能にします。スーパー要素は、時間領域解析、周波数領域応答解析、設計最適化、確率論的解析、ロバスト設計、マルチ構造シミュレーションなどの解析に応用され、解析時間の節約にも有効です。また、スーパー要素は、限られたコンピューター・リソース (メモリー容量、ディスク容量など) における解析にも有効です。

モーダル・ベース・アセンブリ(MBA)は、実測 FRF や実稼働シェープのようなモーダル・パラメータ結果に対する構造変化の影響を評価が可能なモーダル・サブストラクチャリング (Substructuring) 法です。この技術はテスト・データとの相関性の比較し、それぞれのモデル化方法を検証するために使用することができます。また、トラブルシューティングあるいは、加振周波数における共振周波数をシフトするための効率的な構造の修正方法を見つけるために使用されます。

FRF ベース・アセンブリ(FBA)は、インターフェイスが分離された各サブシステムの周波数応答関数(FRF)を使用した解析手法です。FBA プロセスでは、各コンポーネントの接続条件 (boundings) によって抑制されたアセンブリ FRF を計算する周波数領域法です。FBA はコンポーネント間のカップリングに注目し、複数コンポーネントを備えたより大きなアセンブリ構造や連結力の研究のための計算効率を改善する方法です。

時間領域シミュレーション(TDS)は、構造の過渡応答を計算するツールを提供します。モーダル・パラメータ・エクストラクター (MPE) と組み合わせることにより、プリテスト解析プロセスや実稼働モード解析に利用することができます。

FEMtools フレームワークは以下のような有限要素解析の機能を拡張します。

- 1D、2D、3D 要素の標準内部要素ライブラリ、等方性材料、直交性材料、異方性材料、積層材料
- 拘束条件 (SPC、MPC、RBE2、RBE3、RBAR、...)
- 質量解析
- 静的変形解析
- 正規／複素モード解析

FEMtools Dynamics のより詳細については、FEMtools フレームワーク・ユーザーガイドおよび FEMtools Dynamics User's Guide を参照してください。

周波数応答関数

周波数応答関数 (FRF) は、加振力で任意位置の周波数領域応答信号を割った値です。それらの関数は力 (Force) の情報を含まないため、モーダル特性の構造物の質量、剛性および減衰の特性に依存し、それらは相関分析、感度解析、モデルアップデATINGなどのツールの応答として有効です。

FRFは外部データベースからインポートするか、FEMtools中で解析や実験のモードシェープと減衰のモード情報から計算することができます。一般に、実験解析ベースのFRFは、ユニバーサル・フォーマットでインポートされます。

FEMtools中のFRF計算は次のステップで行われます。

- 周波数レンジ（下限周波数、上限周波数、周波数ステップ）を定義する。
- 減衰（モード減衰、粘性構造減衰、粘性ダンパ要素、材料減衰など）を定義する。
- 応答と加振の位置、方向を定義する。
- FRFを計算する。直接法またはモーダル法のいずれかは使用することができます。

また、以下の応答関数を計算することができます。

- 加速度/加速度
- 変位/力（レセプタンスまたはダイナミック応答）
- 速度/力（モビリティ）
- 加速度/力（アクセラランスまたはイナータンス）、これはデフォルトです。
- 力/変位（ダイナミック剛性）
- 力/速度（メカニカル・インピーダンス）
- 力/加速度（実質量）

使用されるコマンドは、DEFINE RANGE、DEFINE GEOMETRY、DEFINE DAMPING、DEFINE FRF、FRF、MODALFRF、DIRECTFRF、PADEFRFなどです。

FRFを定義するために、エクスプローラ・ウィンドウから、Tables > FRFを選択し、FRFを計算するために、メニューから、Tools > Frequency Response Analysis > Frequency Response Functions を実行します。

備考

- スプリング要素（粘性減衰を伴う）また減衰要素は、FRF計算に考慮されます。
- 異なるグローバルな減衰タイプ（モード、構造、粘性）は同時に定義できません。
- いくつかの例題が、FEMtools結果をMSC.Nastran結果と比較するために提供されます。これらは <installdir>\examples\dynamic\frf\verificationで見つかるかもしれません。次のサブディレクトリ内の compare.cmdを実行してください。

damping.CDAMP : ローカル減衰
damping.G* グローバル構造減衰
damping.GE : ローカル構造減衰
damping.modal : モード減衰

FEMtoolsの結果とMSC.Nastranのモードシェープ (fort.51)、構造マトリックス (fort.91&fort.92) の結果を比較することによって、FEMtoolsの結果が正確なことが確認できます。

FRF の計算

モーダル重ね合せ法による FRF の計算

最初に、モーダルマトリックスのMODAL.K、MODAL.M、MODAL.B、MODAL.Cが計算（コマンドEXAMINE MODAL）され、次に、対角線上のモーダルマトリックスかどうかを識別し、モーダル空間の運動方程式を解析するための適切なアルゴリズムが選択されます。

モーダルFRF合成結果はレジデュ・ベクトルを使用して修正されます。

モーダル法によって周波数応答関数を計算するには、

- Tools > Frequency Response Analysis > Frequency Response Functions...を使用します。
- ダイアログボックスでは、Modal-based Computationを選択します。

あるいは

- コンソールから、FRFかMODALFRFコマンドを使用します。レジデュ・ベクトルを含むには、最初にコマンドRESVECを使用します。動的補間（Dynamic Compensation）を使用して、非連続効果を回避するためには、DYNCOMPコマンドを使用します。

直接法による FRF の計算

直接法は励振周波数に関する運動方程式を解析します。それぞれのFRFはそれぞれの出力応答が荷重で割られることによって得られます。それらは単一の力振幅の荷重による運動方程式を解析することと等価です。

直接法によって周波数応答関数を計算するには、

- Tools > Frequency Response Analysis > Frequency Response Functions...を使用します。
- ダイアログボックスでは、Direct Computationを選択します。

あるいは

- コンソールから、コマンドDIRECTFRFを使用します。

直接法によるFRFの計算には、FEデータと要素マトリックスを必要としますが、モードシェープは必要とされません。DIRECTFRFを使用する前には周波数レンジ (DEFINE RANGE)、加振と応答のDOF (DEFINE FRF) が定義されていなければなりません。構造システム・マトリックスはテスト・モデルに利用できないため、直接法ソリューション・アプローチはテスト・モデルではサポートされません。

パデ近似法による FRF の計算

パデ近似 (Pade approximants) 法を使用することにより、モーダル法アプローチ (迅速性) や直接法アプローチ (非連続的減衰モデル) の利点を組み合わせることが可能です。

パデ近似プロセスは、全FRF周波数レンジをいくつかの周波数バンドに分割し、各バンドの周波数ラインの中心から指定オーダー n ベースのFRF勾配に直接的FRFソリューションも適用します。これは直接的なソリューション数の縮小を可能とします。例えば、パデ近似法によって200倍の高速計算が可能となり、その近似FRFとすべての周波数ラインに対する直接的ソリューションによるFRFの精度損失は微小であることが確認できます。

構造システム・マトリックスはテスト・モデルには利用できないため、パデ近似アプローチはテスト・モデルには適用できないことに注意してください。

パデ近似法は、2つのセッティングによってコントロールされます。

- バンド数：バンド数は3以上であるべきです。（デフォルト=8）
- FRF勾配オーダー：オーダーは3以上であるべきです。（デフォルト=5）
- バンド間周波数のFRFの連続性を保証するために再帰的なバンド細別を行なう場合の反復最大数
- 収束と停止に反復プロセスを取るバンド間不一致の最大許容パーセンテージ
- 周波数レンジの分割法:対数または線形

ある実験は正確さおよび計算上の速度の最適の妥協を提示するセッティングを見つけるために必要とされるかもしれません。これは、Pade FRFを直接のソルバーで得られたFRFと比較することにより行うことができます。これをする方法の例は、本章にその後含まれています。

パデ近似による周波数応答を計算するには、

- Tools > Frequency Response Analysis > Frequency Response Functions...を使用する。
- ダイアログボックスでは、Pade Approximantsを選択する。

あるいは

- コマンドPADEFRFを使用する。

パデ近似は、FEデータと要素マトリックスを必要としますが、モードシェープは必要とされません。PADEFRFを実行する前に、周波数レンジ（DEFINE RANGE）、加振と応答のDOF（DEFINE FRF）を定義する必要があります。

FRF 計算周波数レンジの定義

- エクスプローラ・ウィンドウのTablesからFRFを選んで、Frequency Ranges Definitionを選択します。すると空のテーブルを開きます。
- Edit > Table > Add Recordsを選択します。
- ID番号、周波数（Hz）の最小値（下限）と最大値（上限）、周波数ステップ（Hz）を入力します。
- 周波数レンジを格納するためにOKをクリックします。必要に応じて、複数の周波数セットを定義します。

あるいは

- コンソールから、DEFINE RANGEコマンドを使用します。
- 周波数レンジをリストするには、EXTRACT RANGEコマンドを使用します。
- 定義データは、MODIFY RANGEコマンドで修正することができます。


グローバル減衰の定義

- エクスプローラ・ウィンドウから、Tables > Model: FE > Dampingを選びます。すると空のテーブルを開きます。
- Edit > Table > Add Recordsを選びます。
- 粘性減衰、構造減衰、モード減衰（Homogeneous Viscous Damping、Homogeneous Structural Damping、Modal Damping）を指定します。
- 減衰係数テーブルを作成するためにOKをクリックします。

あるいは

- コンソールから、DEFINE DAMPINGコマンドを使用します。
- 減衰をリストするには、EXTRACT DAMPINGを使用します。
- 定義データは、MODIFY DAMPINGコマンドで修正することができます。

FRF の定義

- エクスプローラ・ウィンドウから、解析的FRFを定義するには、Tables > Model: FE > FRFを選択し、実験用FRFを定義するには、Tables > Model: Test > FRFを選択します。すると空のテーブルを開きます。
- Edit > Table > Add Recordsを選びます。
- 応答、加振、周波数レンジおよびFRFタイプを指定します。
- FRF定義テーブルを作成するために、OKをクリックします。
- FRF定義テーブルを編集するには、テーブルを開き、 をクリックします。

あるいは

- コンソールから、DEFINE FRFコマンドを使用します。

FRF の計算

- Tools > Frequency Response Analysis > Frequency Response Functionsを選びます。
- ドロップダウンリストのFRF computation techniqueを選択し、計算技術 (Direct Computation、Modal-Based Computation、Pade Approximants) を選択します。各技術に応じたデータセットが必要になります。
- Modal-Based Computation : Model選択に応じて、FEAまたはテストのモードかどうか明示します。FEモデルの場合はFEA FRF定義テーブルが使用され、テスト・モデルの場合はテストFRF定義テーブル (Tables > FRF) が使用されます。
- Modesドロップダウンリストから、モードFRF合成のために使用されるモード・セットを選択します。デフォルトでは、FEMtoolsデータベース中のすべてのモードが使用されます。
- 必要に応じて、その他のセッティングを調整します。
- FEA FRFの動的補間 (Dynamic Compensation) 機能を使用して修正するには、Use Dynamic Compensationチェックボックスをチェックし、Order整数ボックスで参照周波数の数を指定するか、あるいはReference Frequencies編集ボックスから手動で周波数を指定します。
- FRFを計算し、ダイアログボックスを閉じるためにOKをクリックします。

あるいは

- コンソールから、FRF、MODALFRF、DIRECTFRFあるいはPADEFRFコマンドを使用します。

モーダル法と直接法の FRF の比較

直接法の利点は、任意の減衰メカニズムが減衰、剛性、質量のシステム・マトリックスによってモデル化できるということです。更に、モーダル法と異なり、そのソリューションはモードの不連続性も影響されません。例えば、ラージモデルに対するソリューション時間の短縮が可能となり、あるいはソリューションが多くの励起周波数に対して必要とされる場合に有効です。直接法のFRFは対象モードシェープの選択し、モードベースのFRF合成のための参照データとしても使用されます。

次の例は直接法を使用した5つのFRFを計算します。

```
compute stiffness mass
define range 1 frequency 100. to 1000. step 50.
define range 2 frequency 400. to 8000. step 100.
define frf 1 ex 2195 uz re 888 uz range 1 displacement
define frf 2 ex 2195 uz re 1359 uy range 1 velocity
define frf 3 ex 2190 uy re 888 uz range 2
define frf 4 ex 2190 uy re 1359 uy range 2 acceleration
define frf 5 ex 2190 uz re 1221 uz range 2 stiffness
directfrf
```

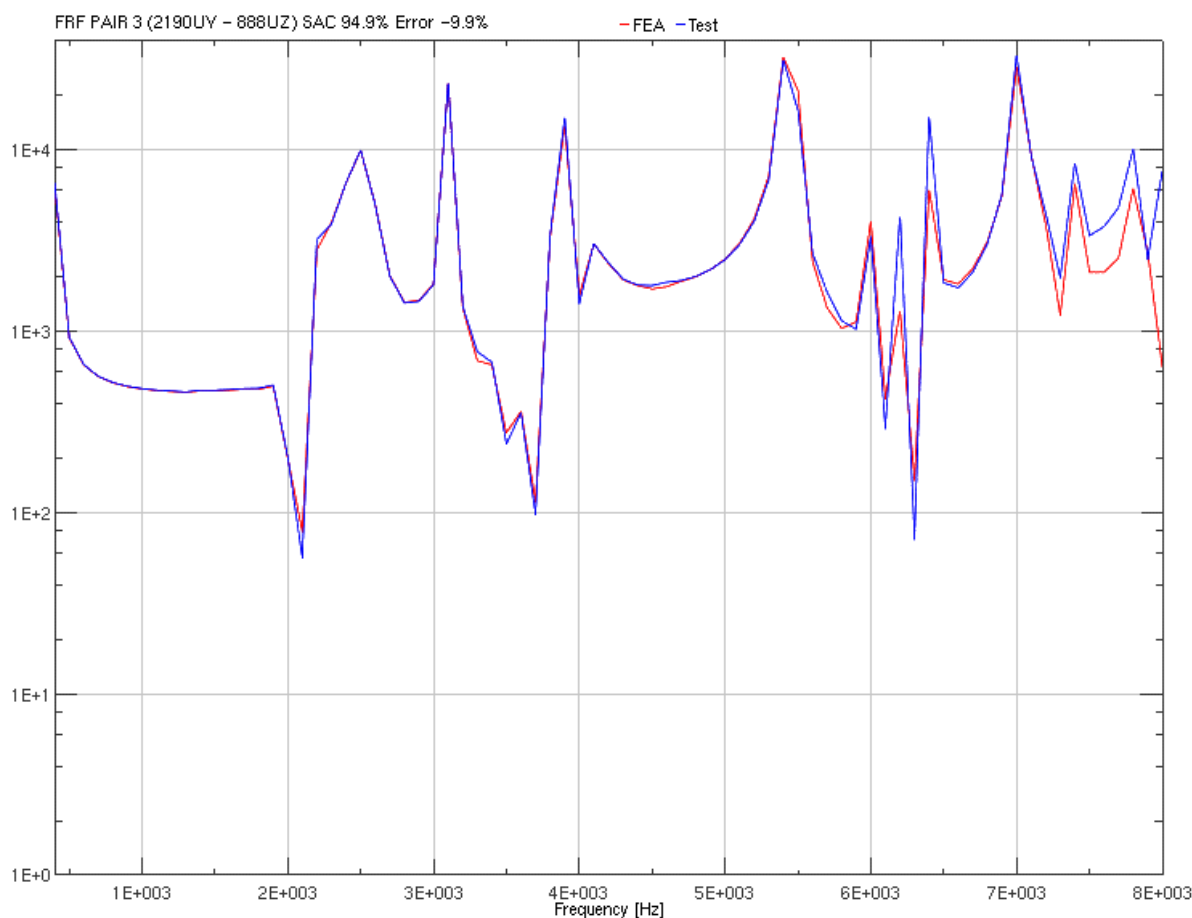
モーダル法を使用するには、最初にモードシェープを計算する必要があります。

dynamic vector 36 fmin 0
frf

計算されたFRFセットをテスト・データベースへコピーすることによって、それぞれのFRFセットを比較することができます。

同様のワークフローは、モーダル法や直接法で得られたFRFとパデ近似法で得られたFRFを比較するために使用することもできます。

次の図はFRFペア3を示します。36のモード範囲のモーダル法によるFRFと参照データとして直接法によるFRF（テストFRF）が比較されています。全周波数レンジにおいて、良好な相関性が確認できますが、6000Hz近傍の振幅の相関性は低いことが確認できます。



これらの例題は、examples¥dynamic¥frfで見つけることができます。

その他の直接法とパデ近似法の例題は、FEMtools Dynamics User's Guideを参照してください。

他の FEA プログラムの周波数応答との比較

FEMtoolsのFRFは、シングルDOFによる加振と単位振幅を備えた他のFEAプログラムで生成される調和解析データに相当します。FRF測定が周波数応答 (FR) として得られる場合、スケール係数 (コマンドMODIFY FRF frf-list SCALE value) を適用 (例えば、 $1/(0.5 \cdot g)$) することにより、FRFをスケールリングすることができます。

Acceleration/Acceleration (加速度/加速度) FRF (DEFINE FRFで定義された... ACCELERATION) については、単位問題が生じないに違いありません。例えば、0Hz近隣の1.0値が得られます。

剛体モードシェープの使用方法

モーダル重ね合せ法に基づいたFRF計算には、剛体モードシェープを含めることが推奨されます。それらはAcceleration/Acceleration FRF合成には有効ではありません。

ローカル座標系

FRF計算は、常に加振と応答の位置で定義されたローカル変位座標系が考慮されます。

サーフェイス・ノードの正規サーフェイス方向と平行なローカルz軸を持つローカル直交座標系を生成するためにコマンドGENERATE CSを使用します。ローカル直交座標系は9つの座標を使用して定義されます。正規サーフェイス成分が計算できるか、1セットのノードに制限される場合、すべてのサーフェイス・ノードに関するローカル直交座標系が生成されます。

テスト・モードシェープからのFRF計算

テスト・モードシェープはモーダル・パラメータ・エクストラクター (MPE) アドオンのモーダル・パラメータ抽出法あるいはサードパーティー・テスト・ソフトウェアを使用し、実験的に得られた周波数応答関数 (FRF) から推定されます。推定されたテスト・モードシェープからテストFRFを再合成し、その結果をオリジナルの測定データと比較することも可能です。

再合成されたテストFRFは測定データのスムージングやモード推定結果を検証に使用することができます。また、スムージングされたFRFはFRFベースのモデルアップデATINGに使用することができます。

FRF Analysisダイアログボックス (Tools > Frequency Response Analysis > Frequency Response Functions) は、解析的 (FEA) あるいはテスト・モードの合成後データ選択可能なオプション (Modelドロップダウンリスト) を含んでいます。FEAモードが選択される場合は、FEA FRF定義テーブルが使用され、テスト・モードが選択される場合はテストFRF定義テーブル (Tables > FRF) が使用されます。

また、コマンド・スクリプトあるいはコンソールから、DEFINE TEST FRF、FRF TEST、MODALFRFコマンドを使用することが可能です。

FRF ペアリングのためのFRF計算

データベース中のテストFRFと同じ加振と応答の位置のFEA FRFの定義が自動化されます。

- 最初にFEモデルをインポートし、直接法を使用してFRFを計算するか、モーダルFRFを合成する場合は、FEモードをインポートまたは計算します。
- テスト・モデルとテストFRFをインポートします。
- ノード/ポイントをペアリングします。
- FEAデータベースにテストFRFをコピーします。ただし、テスト・モデルを含めません。これは、Database > Copy > Test to FEA およびダイアログボックスのCopy Test Mesh Dataを非選択することによって行われます。
- FEデータを使用し、FRFを計算します。

引き続き、FRFペアリング操作を行うことができます。

FRF の表示

一旦、FRFがFEMtoolsデータベース中に存在すれば、CURVEコマンドあるいはエクスプローラ・ウィンドウ（Graphics > XY Curves）を使用し、グラフィックス・ウィンドウに表示することができます。

FRF表示に関するセッティングは次のとおりです。

スケール（linear、logarithmic：線形、対数）

データ・タイプ（real、imaginary、amplitude、phase：実数部、虚数部、振幅、位相）

FRFの表示には、色、カーブ、カーブ・タイプ、ズーム、マーカーなどのセッティングが可能です。

FRFを表示するには、

- エクスプローラ・ウィンドウから、Graphics > XY-Curve を選択し、またツリーリストからFEA FRFか Test FRFを選びます。
- それぞれのFRFを選択するには、グラフィックス・ウィンドウ・ツールバーのドロップダウンリストボックスから対象FRFを選択します。

あるいは

- コンソールから、CURVEコマンドと共にラベルFRFを使用し、FRF番号を指定します。

FRF 計算コマンド・リファレンス

DFRF コマンド

直接法によるダイレクト周波数応答関数を計算します。

シンタックス

DFRF

補語

なし

備考

- このコマンドは、FEデータと要素マトリックスをベースとして実行され、モードシェープを必要としません。
- この直接的計算アプローチはテスト・モデルの構造システム・マトリックスをサポートしていないため、テスト・モデルには利用できません。
- コマンドDFRFを使用する前に、それは周波数レンジ (DEFINE RANGE) 、加振と応答のDOFの定義 (DEFINE FRF) が必要です。
- モードの重ね合せ法を使用し、FRFを計算するには、FRFコマンドを使用してください。
- FRF計算には、加振または応答の対象ノード出力座標系 (OCS) ローカル軸が使用されます。
- 周波数応答解析には、減衰要素が考慮されますが、減衰が未定義でも、このコマンドを実行することが可能です。それらの共振周波数は最大振幅に設定されます。

DFRFスクリプト

```
#
Include "lib_dynamics"
#
Sub Main()
  '-Initialization
  tStart = Timer()
  '-Parse the complements
  Do While (Ft_Parse() = True)
    Ft_Parse("Error")
  Exit Sub
  Loop
  '-Syntax check mode
  If (Ft_GetInt("Console.Test") = True) Then Exit Sub
  '-Execute the command
  Ft_Report "TITLE","DIRECT FREQUENCY RESPONSE FUNCTION ANALYSIS"
  Call Dyn_DirectFRF()
  Ft_Report "Timer",Timer()-tStart
End Sub
```

PADEFRRF コマンド

PADEFRRFコマンドはパデ近似法を使用し、FRFを計算します。

シンタックス

```
PADEFRRF  
< BAND int_val,  
  ITERATION int_val,  
  LOGSCALE [ON | OFF],  
  ORDER int_val,  
  PRECISION real_val,  
  VERBOSE [ON | OFF]  
>
```

補語

BAND	周波数レンジをバンド細分化数の初期値を指定します。バンド数値は3以上であるべきです。（デフォルト=8）
ITERATION	FRFバンド間周波数Fの連続性を保つための再帰的バンド細分化を行なう際の反復最大数を指定します。（デフォルト=3）
LOGSCALE	周波数レンジの細分化方法を明示します。ONの場合は対数細分化スキームが使用され、OFFが場合はリニア細分化スキームが使用されます。（デフォルト=ON）
ORDER	各バンドの中心まわりでFRF近似するためのFRF生成順を指定します。（デフォルト=5）
PRECISION	反復プロセスの収束条件（バンド間不一致の最大許容パーセンテージ）を指定します。（デフォルト=1%）
VERBOSE	ソルバーは各モード・バンド間周波数の収束情報を出力します。（デフォルト=ON）

備考

- PADEFRRFは、FRF勾配計算による指定バンド数の指定オーダーまでの各バンド中心でFRFを計算します。
- PADEFRRFは、FEモデルのスーパー要素もサポートします。

関連項目

DEFINE FRF
DIRECTFRF
DYNCOMP
MODALFRF

DIRECTFRF コマンド

DIRECTFRFコマンドは直接法を使用して、周波数応答関数を計算します。

シンタックス

```
DIRECTFRF
```

補語

なし

備考

- このコマンドは、FEデータと要素マトリックスを必要としますが、モードシェープを必要としません。
- テスト・モデルの構造システム・マトリックスは利用できないため、直接法アプローチはテスト・モデルをサポートしません。
- DIRECTFRFコマンドの実行前に周波数レンジ (DEFINE RANGE)、加振と応答のDOF (DEFINE FRF) を定義する必要があります。
- モードの重ね合せ法を使用し、FRFを計算するには、FRFあるいはMODALFRFを使用してください。
- FRFの直接法計算時間は非常に消費することがあります。計算時間はパデ近似法 (Pade approximants) やダイナミック補間法 (Dynamic compensation) により、縮小することができます。
- 加振と応答のノード出力座標系 (OCS) ローカル軸指定はFRF計算のために使用されます。
- 減衰要素は周波数応答解析に考慮されます。減衰が定義されていない場合でも、このコマンドを使用することができます。共振周波数には最大振幅が設定されます。
- FEモデルのスーパー要素もサポートされます。

例

周波数レンジ10の加振ポイント:1UZと応答ポイント:25UZ間のFRF No.1を計算します。

```
DEFINE RANGE 10 100. 500. STEP 1.  
DEFINE FRF 1 EXCITATION 1 UZ RESPONSE 25 UZ RANGE 10  
DIRECTFRF
```

メニュー・パス

Tools > Frequency Response Analysis > Frequency Response Functions...

関連項目

DEFINE FRF
DYNCOMP
FRF
MODALFRF
PADEFRF

DYNCOMP コマンド

DYNCOMPコマンドは、動的補間を使用し、モーダル・ベースのアプローチで計算された周波数応答関数 (FRF) の質を改善します。

シンタックス

```
DYNCOMP  
<FREQUENCY real_list、 ORDER int_val  
>
```

補語

FREQUENCY 参照周波数を指定します。FREQUENCY補語が使用される場合、ORDER補語の値は無視されます。

ORDER 自動生成する参照周波数の数を指定します。(デフォルト=5)

備考

- DYNCOMPは、モーダルFRF中のモードの不連続性を補うために選択された参照周波数中のFRFを対象に計算が実行されます。DYNCOMPはモードの不連続性を補うためにレジデュ値の補間に有効なポリノミアル (polynomial) 法が使用されます。
- DYNCOMPは、ローカルやグローバルの構造粘性減衰が定義される (あるいは、無減衰) 場合に有効です。DYNCOMPは直接的FRFベースに有効ですが、モーダル減衰のFRFには無効です。
- FEモデルのスーパー要素には、DYNCOMPがサポートされます。

メニュー・パス

Tools > Frequency Response Analysis > Frequency Response Function...

関連項目

DEFINE_FRF
DIRECTFRF
FRF
MODALFRF
PADEFRF

MODALFRF コマンド

コマンドMODALFRFはモードの重ね合せを使用し、周波数応答関数 (FRF) を計算するために使用されます。

シンタックス

MODALFRF

```
<COUPLING{ON|OFF}  
MODE mode_sel  
REFRESH{ON|OFF}、SCALE real_val、UPDATE{ON|OFF}  
>
```

補語

COUPLING	カップリング・モード座標の使用するために指定する。(デフォルト=OFF)
MODE	モード選択指定されたモードを使用する。
REFRESH	モード・マトリックスを再計算する。(デフォルト=ON)
SCALE	FRF振幅に適用するスケール係数を指定します。(デフォルト=1)
UPDATE	CSACおよびグラフィックス (ON) を更新するために指定する。(デフォルト=ON)

備考

- FRFとMODALFRFのコマンドは共通に適用されます。
- MODALFRFコマンドはFRFコマンドより優先されます。多くのFRFを計算しなければならない場合、例えば、FBAアプリケーションでは、MODALFRFコマンドを使用することが推奨されます。
- MODALFRFコマンドは、FRFコマンドより有効な変位参照機能をサポートします。
- MODALFRFコマンドは、FRFコマンドと同一ではありません。感度解析では、加速度比のFRFにおいて利用可能なオプションとしてラージ質量法を使用し、(ur/fx)/(ux/fx)を商とする感度を計算することができます。

メニュー・パス

Tools > Frequency Response Analysis > Frequency Response Functions...

関連項目

Selecting Mode Shapes

DEFINE DAMPING

DEFINE FRF

DIRECTFRF

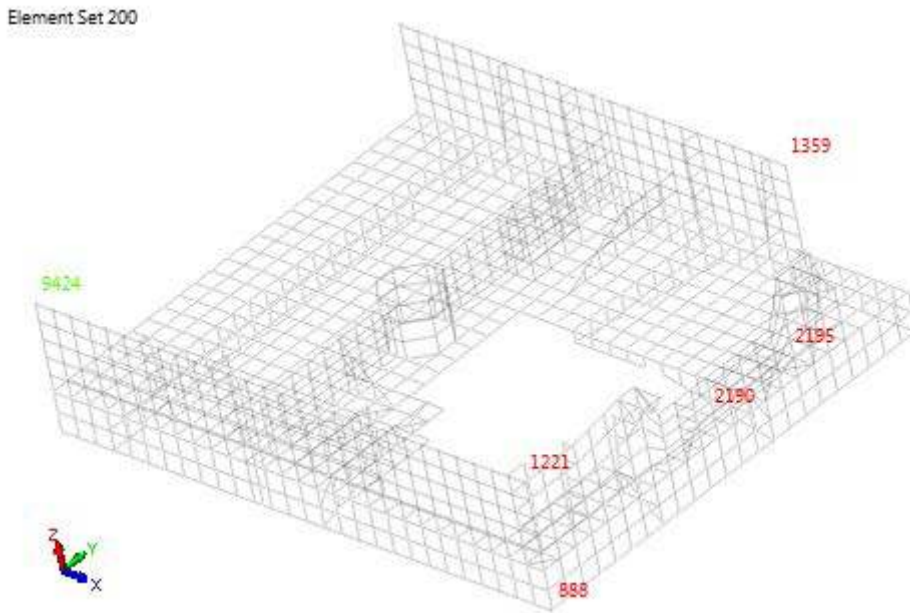
DYNCOMP

FRF

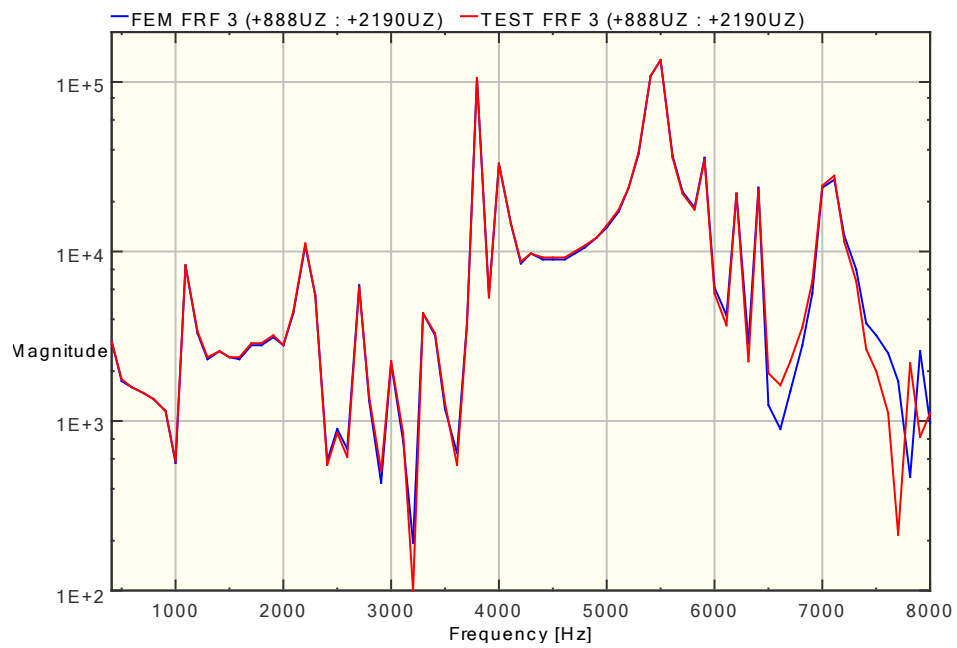
PADEFRF

FRF 解析例題

直接法による FRF 計算例



解析モデル：ディスク・シャーシ



直接法 FRF と Modal 法 FRF のペアリング結果

コマンド・スクリプト (run_dfrf_free.cmd)

直接法による FRF 計算結果とモーダル法による FRF 計算結果の比較例を示します。

```
# Direct FRF computation example
# =====

# Initialization
clear all

# Load FE model
input fem format femtools file fem08.fdb

# Add a damper
define element 9424 type point geometry 1000 c 1193
define geometry 1000 type damper b2 1

# Define the frequency ranges
define range 1 frequency 100. to 1000. step 50.
define range 2 frequency 400. to 8000. step 100.

# Define the FRFs
define frf 1 excitation 2195 uz response 888 uz range 1 displacement
define frf 2 excitation 2195 uz response 1359 uy range 1 velocity
define frf 3 excitation 2190 uz response 888 uz range 2
define frf 4 excitation 2190 uy response 1359 uy range 2 acceleration
define frf 5 excitation 2190 uz response 1221 uz range 2 stiffness

# Compute the FRFs with the direct solver
directfrf

# Store the direct FRFs in the test database for further reference
copy fem

# Block the DOF of the enforced acceleration (required for MODALFRF)
define boundary node 2190 uy

# Compute the modes
compute stiffness mass
dynamic vector 36 fmin 0
resvec

# Compute the FRFs using a model-based approach
modalfrf

# Compare the FRFs
pair frf sequential
curve frf pair 3

# End-of-File.
```

時間領域シミュレーション

時間領域シミュレーション (TDS) 技術は作用荷重関数の構造過渡応答を計算することを可能にします。FEMtools TDSのソルバーは、最初に正規モードから構造空間モデルを推定し、次にそのモデルを使用し、時刻歴応答を計算します。また、TDSソルバーは、FEソルバー・オプションを必要とせず、過渡応答を効率的な計算する方法を提供します。

FEMtoolsモダル・パラメータ・エクストラクター (MPE) と組み合わせ、プリテスト解析ツールとして、TDSモジュールを使用することができます。TDSのモジュールは測定チャンネルの直接出力データ (時刻歴) を取り扱うことができるため、測定データのシミュレーションからスタートするテスト手順を評価することができます。

TDS理論に関するより詳細については、FEMtoolsDynamics User's Guideを参照してください。

FEMtools インプリメンテーション

時間領域シミュレーション (TDS) モジュールはコマンド・ベースのツールです。

TDS信号

TDS信号には各入力と応答を定義し、入力/応答位置 (ノード)、入力/応答方向 (DOF)、信号タイプ (力、変位など) が格納されます。TDS信号は、DEFINE TDSSIGNALコマンドで作成されます。

セッティング

時間領域シミュレーションは、時間ステップ、シミュレーション長さの2つのセッティングを必要とします。両方の数値は秒数として定義されます。

時間ステップは、2つのサンプル間も時間を定義します。時間ステップはサンプリング周波数の逆数でもあり、信号の周波数データはサンプル周波数の半分に制限されます。時間ステップはコマンドSET TDS STEPで定義されます。

シミュレーション長さは、シミュレート時間間隔を定義します。計算時間のサンプル数は「シミュレーション長さ」×「時間ステップ」と等しくなります。シミュレーション長さはコマンドSET TDS LENGTHで定義されます。

入力信号

TDSソルバーの実行前に、構造物に作用する荷重の時系列データを生成しなければなりません。

入力信号の生成はTDSのセッティングを必要とし、入力信号の時系列データを生成する前に、それらを定義しなければなりません。TDSモジュールの入力量としては、力 (forces) が適用され、3つの生成タイプの入力信号があります。

- インパルス (Impulse) : 指定振幅と指定時間ステップのインパルス (1サンプル) を生成します。
- サイン (Sine) : 指定周波数と指定最大振幅の正弦波を生成します。
- 半サイン (Half sine) : 正弦波の1つの正ローブ (山波) を生成します。それは、「有限幅を備えたインパルス」として使用することができます。
- ランダム (Random) : 指定RMS振幅を備えた白色ノイズ・シーケンスを生成します。サンプル値は一定分布もしくはガウス分布になります。それは信号全長の一部に対する加振に制限されるようなバースト・ランダム信号です。
- チャープ (Chirp) : チャープ信号は周波数の増加と減少の両変形がサポートされます。

入力信号の時系列データは、TDS GENERATEコマンドで生成されます。

応答信号

応答信号はTDS COMPUTEコマンドで計算され、変位、速度、加速度の3つの量が計算されます。

応答信号の時系列データを計算する前に構造のモードシェープ、共振周波数、減衰比が定義されていなければなりません。

TDSのソルバーは、`fea.mode`として格納されたモードシェープを使用します。これはレジデュ・ベクトルとしての剛体モードが計算されている場合も、それらが時間領域シミュレーションに考慮されることを暗示します。

時系列データのプロット

時系列データは、TDS PLOTコマンド、あるいはグラフィックス (Graphics > XY – Curves) 中の信号上でダブルクリックすることによりプロットすることができます。

プリテスト解析

TDSシミュレーションの出力は、TDS CONVERTコマンドでモーダル・パラメータ・エクストラクター (MPE) データベースにコピーすることができます。このコマンドは時系列データをコピーし、実稼働モード解析用のチャンネル定義、測定ポイントを生成します。トレースライン情報がTDSデータベースにおいて利用できない場合には、トレースラインは生成されません。尚、時系列データからモードパラメータを推定するには、FEMtools MPEライセンスが必要です。

時間領域シミュレーション・コマンド・リファレンス

DEFINE TDSSIGNAL コマンド

DEFINE TDSSIGNAL コマンドは時間領域シミュレーション信号を定義するために使用されます。

シンタックス

```
DEFINE TDSSIGNAL int_val  
< DOF {+UX | +UY | +UZ | +RX | +RY | +RZ | -UX | -UY | -UZ | -RX | -RY | -RZ},  
  NODE int_val,  
  TYPE {ACCELERATION | DISPLACEMENT | FORCE | VELOCITY}  
>
```

補語

DOF	信号のDOFを指定します。
NODE	ノードの外部識別番号を指定します。
TDSSIGNAL	TDSの信号の外部識別番号を指定します。
TYPE	信号のタイプを指定します。

備考

- 入力信号は、FORCEタイプでなければなりません。
- 応答信号は、DISPLACEMENT、VELOCITY、ACCELERATIONタイプでありえます。
- DOFはノードのローカル座標系(OCS)を参照します。

関連項目

SET TDS
TDS COMPUTE
TDS GENERATE
TDS PLOT

SET TD コマンド

SET TDSのコマンドは時間領域シミュレーション・セッティングを修正するために使用されます。

シンタックス

```
SET TDS  
<LENGTH real_val, SILENT,  
{RATE real_val|STEP real_val}  
>
```

補語

LENGTH	シミュレーション時間の長さ（秒）を指定します。
SILENT	コンソール・ウィンドウへのコマンド出力情報を非表示にします。

RATE サンプルレートを指定します。

STEP 時間ステップを指定します。

備考

- RATEとSTEPの補語を組み合わせて行うことができません。それらが両方にはサンプル周波数を定義します。

関連項目

DEFINE TDSSIGNAL
TDS COMPUTE
TDS GENERATE
TDS PLOT

TDS COMPUTE コマンド

TDS COMPUTEコマンドは時間領域シミュレーションのために使用されます。

シンタックス

TDS COMPUTE[NOISE real_val]

補語

MPE 出力信号に追加するノイズとしてRMSレベルの割合を指定します。(デフォルト=0.0)

備考

- セッティングの修正には、SET TDSを使用します。
- 時間領域ソルバーは入力と応答の信号定義のためにノード(OCS)中のローカル座標系を使用します。
- 出力信号に加えられたノイズは正規分布に従います。
- TDS COMPUTEは、fea.modeシェープに格納されたすべてのモードを使用します。これはレジデュ・ベクトルを伴う剛体モードが計算された場合、それらが時間領域シミュレーションのために考慮に入れられることを暗示します。

関連項目

DEFINE TDSSIGNAL
SET TDS
TDS GENERATE
TDS PLOT

TDS GENERATE コマンド

TDS GENERATEコマンドは時間領域シミュレーションの入力信号を生成するために使用されます。

シンタックス

TDS GENERATE SIGNAL int_val TYPE CHIRP
< AMPLITUDE real_val,
 FMAX real_val,
 FMIN real_val,

```

    PHASE real_val,
    NOISE real_val,
    RAMP {EXPONENTIAL | LINEAR | QUADRATIC},
    TMAX real_val
>

```

```

TDS GENERATE SIGNAL int_val TYPE HALFSINE
< AMPLITUDE real_val,
    DELAY real_val,
    FREQUENCY real_val,
    NOISE real_val
>

```

```

TDS GENERATE SIGNAL int_val TYPE IMPULSE
< AMPLITUDE real_val,
    DELAY real_val,
    NOISE real_val
>

```

```

TDS GENERATE SIGNAL int_val TYPE PSEUDORANDOM
< AMPLITUDE real_val
>

```

```

TDS GENERATE SIGNAL int_val TYPE RANDOM
< AMPLITUDE real_val,
    BURST real_val,
    DISTRIBUTION {NORMAL | UNIFORM},
    NOISE real_val
>

```

```

TDS GENERATE SIGNAL int_val TYPE SINE
< AMPLITUDE real_val,
    FREQUENCY real_val,
    PHASE real_val,
    NOISE real_val
>

```

補語

AMPLITUDE	信号の最大振幅を指定には、ランダム信号では、RMS振幅を指定します。
BURST	バースト・ランダム信号の長さ指定には、信号総長のパーセント (%) で指定します。 (デフォルト=100%)
DELAY	インパルスやハーフサイン (Impulse,Halfsine) の時間遅れを指定します。
DISTRIBUTION	ランダム信号を生成するために使用される確率分布関数を指定します。 UNIFORM : 最小~最大値間の応答値は一様分布 (デフォルト) NORMAL : ポイント0軸まわりに正規分布
FMAX	チャープ信号の終了周波数を指定します。
FMIN	チャープ信号のスタート周波数を指定します。
FREQUENCY	サイン信号またはハーフサイン信号の周波数を指定します。

NOISE	入力信号に正規ランダムRMSを指定します。信号振幅はパーセント (%) で指定します。(デフォルト=0%)
PHASE	サイン、ハーフサイン、チャープなどの信号の位相の開始点を指定します。(デフォルト=0)
RAMP	チャープ信号の周波数ランプ (傾斜) 関数を指定します。 LINEAR : 瞬間周波数はリニア変化時間関数です。(デフォルト) QUADRATIC : 瞬間周波数は2次変化時間関数です。 EXPONENTIAL ; 瞬間周波数は指数変化時間関数です。
SIGNAL	TDS信号の外部識別番号を指定します。
TMAX	瞬間周波数FMAXの時間を指定します。(デフォルト=TD長さ)
TYPE	入力信号タイプを指定します。

備考

- 入力信号を生成する前に、SET TDSコマンドで時間ステップとシミュレーション長さを指定しなければなりません。
- SINE、HALFSINE、CHIRPなどでは1期間当たり少なくとも8サンプルを持っていることが望ましい。
- RANDOM信号の場合、ノイズはバースト信号の生成後に加えられます。

関連項目

DEFINE TDSSIGNAL
SET TDS
TDS COMPUTE
TDS PLOT

TDS CONVERT コマンド

TDS CONVERTコマンドは、デジタル信号処理とモーダル・パラメータ推定のために使用されるTDS信号を実験の時間領域データに変換するために使用されます。

シンタックス

TDS CONVERT [FORCE {ON | OFF}] [REMOVE {ON | OFF}]

補語

FORCE	作用する力信号の変換を明示します。(デフォルト=OFF)
REMOVE	FEデータベースから変換された信号を消去することを明示します。(デフォルト=ON)

備考

- TDS CONVERTコマンドは実験データベースに時系列をコピーし、測定チャンネルと測定ポイントを生成しますが、tracelinksは生成しません。
- 加速度と力の信号のみを変換することができます。

関連項目

MPE MODES EXTRACT
TDS COMPUTE

TDS PLOT コマンド

TDS PLOTコマンドは時間領域シミュレーション信号をプロットするために使用されます。

シンタックス

TDS PLOT SIGNAL int_val

補語

SIGNAL 信号の外部識別番号を指定します。

備考

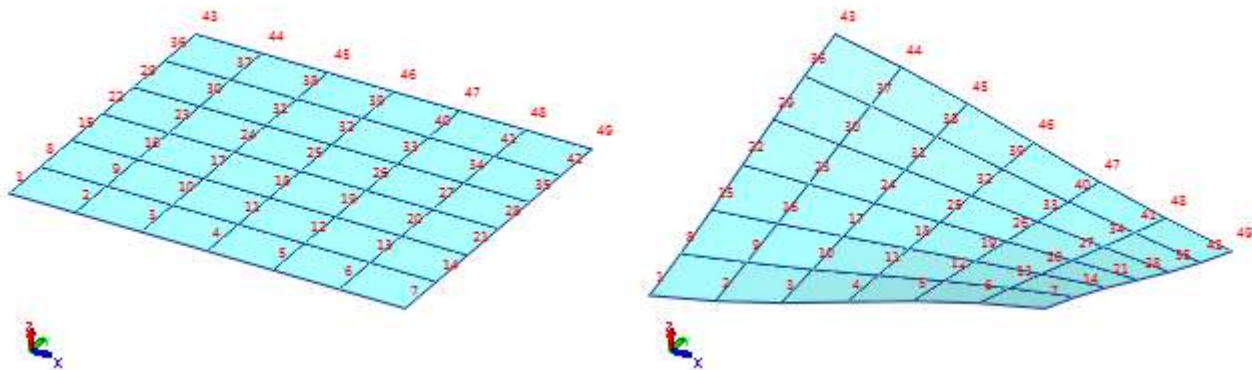
- なし

関連項目

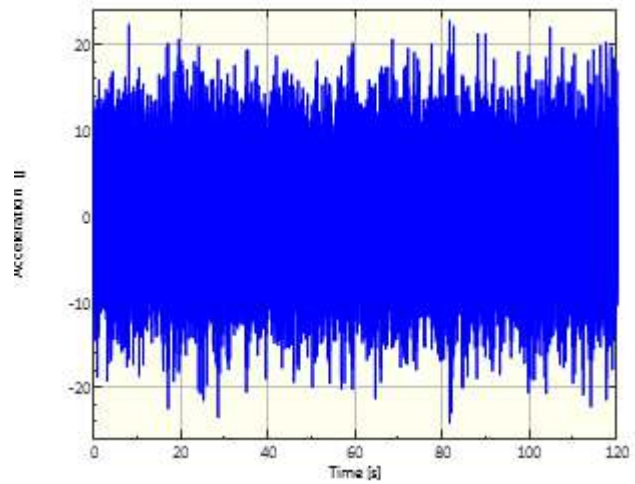
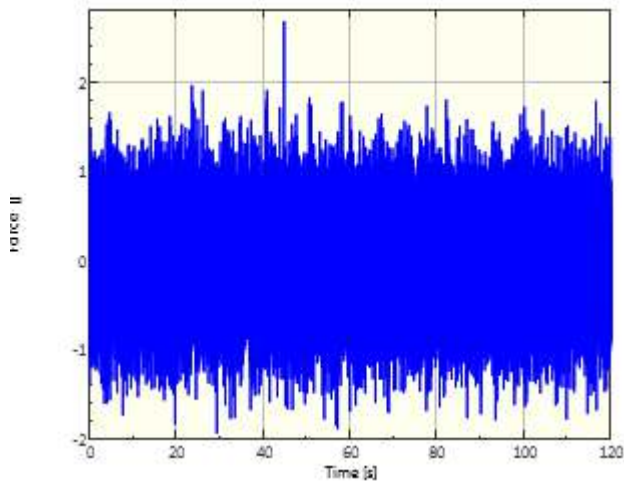
DEFINE TDSSIGNAL
SET TDS
TDS COMPUTE
TDS GENERATE

TDS 解析例題

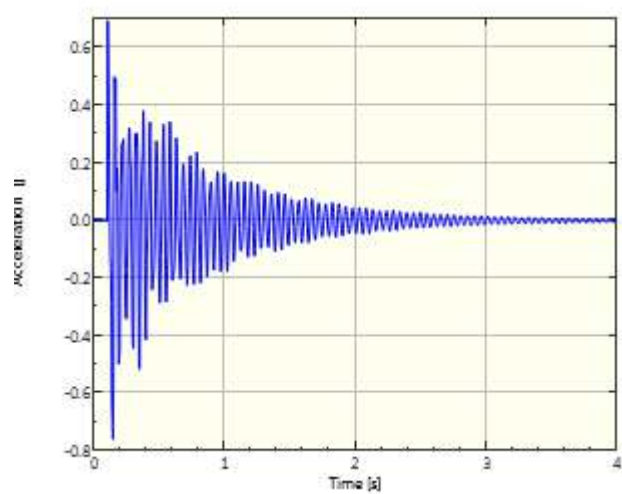
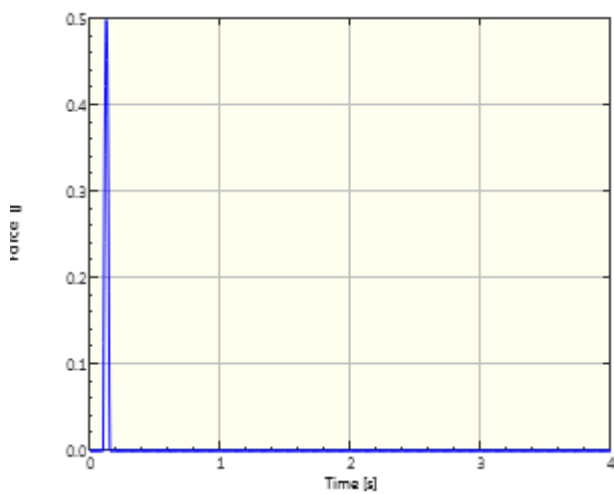
時刻歴応答関数の計算



解析モデル (左) とモード 1 : 19.314Hz (右)



節点 1Z のランダム信号のインパルス (左) とレスポンス (右)



節点 1Z の HALFSINE 信号のインパルス (左) とレスポンス (右)

コマンド・スクリプト (plate_tds.cmd)

```
# Time domain simulation example on a rectangular plate
# =====

# Build the FE-model
clear all
dspace xsize 1 ysize 0.80 zsize 0.005 xmesh 6 ymesh 6 graphics on
define material 1 type isotropic e 70e9 nu 0.34 rho 2700

# Compute the modal parameters
compute mass stiffness
dynamic vector 10 fmin 1
define damping modal 0.01

# Define the time signals
define tdssignal 1 node 1 dof +uz type force
define tdssignal 2 node 1 dof +uz type acceleration
define tdssignal 3 node 3 dof +uz type acceleration
define tdssignal 4 node 5 dof +uz type acceleration
define tdssignal 5 node 7 dof +uz type acceleration
define tdssignal 6 node 15 dof +uz type acceleration
define tdssignal 7 node 17 dof +uz type acceleration
define tdssignal 8 node 19 dof +uz type acceleration
define tdssignal 9 node 21 dof +uz type acceleration
define tdssignal 10 node 29 dof +uz type acceleration
define tdssignal 11 node 31 dof +uz type acceleration
define tdssignal 12 node 33 dof +uz type acceleration
define tdssignal 13 node 35 dof +uz type acceleration
define tdssignal 14 node 43 dof +uz type acceleration
define tdssignal 15 node 45 dof +uz type acceleration
define tdssignal 16 node 47 dof +uz type acceleration
define tdssignal 17 node 49 dof +uz type acceleration

# Define the TDS settings
set tds step 0.003
set tds length 120

# Generate the input signals
tds generate signal 1 type RANDOM amplitude 0.5 distribution normal
#tds generate signal 1 type HALFSINE amplitude 0.5 DELAY 0.1 FREQUENCY 10
tds plot signal 1

# Compute the time signals
tds compute

# Plot the results
window
tds plot signal 2

# End-of-File
```