

機能別に分類した

技術計算 ソフトウェア



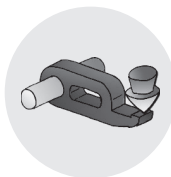
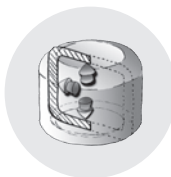
有限要素法解析のエントリー版

CADTOOL FEM 8

Analysis by Finite Element Method

ユーザーズマニュアル

USER'S MANUAL



キャデナス・ウェブ・ツー・キャド株式会社

目次

CADTOOL FEM8

第1章 概要

1. 有限要素法について	1
2. CAEとは	3
3. CADTOOL FEM について	3
4. CADTOOL FEM8 基本仕様	4

第2章 CADTOOL FEMの導入

1. インストーラの起動	5
2. セットアップ開始	6
3. アンインストールする場合	8
4. アンインストール後の処理	9
5. 作業フォルダについて	9

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	10
2. ライブアップデート	10
3. ユーザー登録	13
4. コマンド選択メニュー	13
5. チュートリアル	14
6. CAD通信設定	15
7. バージョン情報／アップデート設定	16

第4章 基本操作

1. プルダウンメニューとアイコンボタン	17
2. ファイル入出力	18
3. 環境設定	22
4. プレビューと各種出力	33
5. 画面操作	42
6. ウィンドウサイズ	44
7. 簡易寸法機能	44
8. UNDO・REDO機能	45
9. スナップ設定	46
10. 形状作成機能	47
11. 境界要素追加機能	49
12. 図形編集機能	51

13. 複数材料条件	54
14. クローン起動	56
15. 荷重逆算機能	56
16. 等値線テンプレートについて	58
17. 引出線機能	60
18. アニメーション機能	61
19. A V I 出力機能	62
20. 計算履歴機能	64
21. ミーゼス応力について	66
22. 表示されるメッセージについて	66

第5章 平面応力解析

1. スタートアップメニュー	68
2. 材質・図編	69
3. 境界条件	70
4. メッシュ作成	72
5. 計算結果	77
6. 応力値について	80
7. 設計への応用例	83
8. 複数材料条件の応用	86
9. 計算精度の検証	89
10. サンプルデータについて	93

第6章 平面板曲げ解析

1. スタートアップメニュー	96
2. 材質・図編	97
3. 境界条件	98
4. メッシュ作成	99
5. 計算結果	100
6. 内部境界条件	103
7. 複数材料条件の応用	107
8. 計算精度の検証	111
9. サンプルデータについて	115

第7章 回転体応力解析

1. スタートアップメニュー	122
2. 材質・図編	123
3. 境界条件	124

4. メッシュ作成	126
5. 計算結果	127
6. 半断面設定と計算精度の検証	129
7. 遠心力の影響	133
8. 複数材料条件の応用	134
9. サンプルデータについて	136

第8章 平面熱応力解析

1. 熱応力解析とは	140
2. スタートアップメニュー	141
3. 図形編集	142
4. 材料条件	143
5. 境界条件	143
6. 計算結果	144
7. 複数温度条件の設定	147
8. サンプルデータについて	152

第9章 回転体熱応力解析

1. スタートアップメニュー	154
2. 図形編集	154
3. 材料条件	155
4. 境界条件	156
5. 計算結果	157
6. 複数温度条件の設定	159
7. サンプルデータについて	161

第10章 データファイル管理

1. 材質データを開いてみよう	163
2. 起動時デフォルトデータについて	165
3. データファイルの拡張子の関連づけについて	166
4. 応力等値線テンプレートファイル簡単作成ツール	167
5. コマンド選択メニューの情報ウィンドウの処理	169
6. 大形状対応の処理	169

参考データ

1. 共通仕様	170
2. 参考文献	170

第1章 概要

1. 有限要素法について

コンピュータの無かった時代には解析したい物を単一のモデルで近似し計算していた。例えば船や飛行機も一本のはりとして計算していた。当然、このような方法では複雑な形状の物や計算結果の高精度化は困難であるがそれでもコンピュータの無い時代から巨大戦艦や戦闘機が作られていたわけであるからたいしたもののである。

現在、このような船や飛行機、あるいは自動車などを設計するには有限要素法が不可欠である。有限要素法の計算方法はまず解析したいものを有限個の三角形や四角形、立体であれば四面体や六面体などの小さな要素の集まりに近似する。どんなに複雑な形状のものでもこれらの単純な要素の集まりで表現し、各要素については比較的単純な方程式が立てられ、これらを連立方程式として全体を解いていくのが有限要素法の計算方法である。このように有限の要素を使った計算方法であるから有限要素法、英語ではFinite Element Methodとなるのでそれぞれの単語の頭文字を取ってFEMと表されることも多い。

有限要素法では複雑な形状のものも解析できるが小さな要素に分割する（メッシュを切るともいう）という時点でモデルが近似化されている。各要素の方程式もいくつかの仮定を元に近似化された式を用いている。最初に紹介した船や飛行機の例はモデルを手計算できるはりに極端に近似化しているが一本のはりのモデルにしてしまえば方程式は厳密に計算できる。しかしいくら方程式を厳密に解くことができてもモデルの近似の仕方が極端であれば精密な答えは求められないことは容易に理解できる。有限要素法はモデルも近似、方程式も近似だがそのバランスにより複雑な形状のものでもほどほどの精度で答えが求められるというものである。従来は解析不可能だった形状でも有限要素法を使えば比較的容易に解析できグラフィック表示された計算結果を見ると非常に説得力はあるが、あくまでも近似計算であり誤差の発生もやむを得ないことも頭の片隅に入れておく必要はある。

有限要素法の特徴としてはその応用範囲が広いということである。元々は構造解析からスタートしたものであるが現在では、温度分布、電場、磁場、音場、流体などの現象に用いられ、これらを組み合わせたものも可能である。構造解析に限ってもさまざまな形状の構造物の応力分布や振動数等も解析でき、また当初は困難であった大変形の現象も解析できるようになり自動車の衝突シミュレーションなどに威力を発揮している。

有限要素法では分割された要素数によって精度が異なり、さらに同じ分割数でも分割の仕方によっても計算結果が変わってしまうことがある。有限要素法の初期ではコンピュータの制限により使用できる要素数も少なくまた各自が手作業で分割を行っていたため同じ物を解析しても分割の名人と素人では計算精度に差が出てしまい職人的な要素もあった。最近では自動で分割できるようになってきているので分割の個人差は無くなっているが要素数によって精度が異なるのには変わりない。

有限要素法では無限に細かく分割すれば厳密解と同じ計算結果が得られるといわれているが計算時間も無限にかかるわけではできないわけではない。無限とはいわなくても分割数を増やせば精度が向上するので分割数を増やしたいところであるが、使用できる分割数は使用するコンピュータの性能で決まってくる。どうしても高精度で複雑な形状を解析したいという場合はそれなりのコンピュータが必要であり、最近の例では気象庁のスーパーコンピュータを高性能なものに入れ替えたことにより気象モデルの要素を細かくすることができ天気予報の精度が向上した（？）という事例もある。

これは極端な例であるが有限要素法では比較的簡単な問題であっても数百元、数千円の連立方程式を解く必要があり、手計算では事実上不可能でコンピュータを使わなければならない。前述のように現在でも解析したいものによってはスーパーコンピュータを使わなければ解けないものもあるが、パソコンの性能も飛躍的に向上してきているので、一昔前ならスーパーコンピュータでないとできないものもパソコンでもできるようになってきている。

有限要素法の計算過程は膨大な連立方程式を解いていくものであり、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は不可能で通常はブラックボックスとして提供される。そのため計算結果の信頼性や精度について疑ってかかる人も多い。ただ、これはエンジニアとしては当然のことであり計算結果に何の疑問を持たないほうが問題である。有限要素法の計算結果のチェックには手計算で解ける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る。この場合、気を付けないといけないのは従来行っていた手計算が近似計算でないかどうかである。比較的単純な形状の物でも厳密解を求めるものが困難なものもあり手計算用の近似式が使われている場合があり、このようなものと比較してもあまり意味がない。あるいは既に検証されている他の有限要素法ソフトと比較してみるのも良い。

このように有限要素法は応用範囲も広くパソコンの性能向上や自動分割機能等により誰でも手軽に使えるものになってきているが計算条件の設定や計算結果の評価には十分な知識と経験が必要である。特に構造解析で重要な応力分布についても相対的にどの部分の応力が高いかを知るには有限要素法は非常に有効であるがピンポイントの絶対値まで信頼して良いかどうかは疑問がある。したがって有限要素法の計算結果だけで限界設計を行うのは非常に危険であり限界設計を行うには実験によるクロスチェックも不可欠である。ただし実験と平行して有限要素法を使ったシミュレーションを行うことにより実験工数は大幅に減少できるので有限要素法を使うメリットは大きなものがある。

今後、有限要素法はさまざまな分野でより広く使われていくものと思う。今まで簡単にはできなかった高度な解析が誰でも手軽にできるようになった有限要素法であるが、逆にとんでもない計算結果が一人歩きしてしまう危険性もはらんでいる。この点に十分注意して使っていってほしいと思う。

2. CAEとは

CAEとはComputer Aided Engineeringの頭文字をとったものでコンピュータを使ったエンジニアリングの支援システムのことであり、一般論的なCAEソフトは有限要素法を使ったものだけにとどまらないが、現在では有限要素法を使った総合的なシステムを表している場合も多い。

これは有限要素法の初期のころは単に計算する部分（ソルバーという）のみが提供されて、分割した要素情報や拘束条件などの入力データはユーザーがパンチカードやファイルに作成し、計算結果も応力値や変位の数値のみが印刷されたりファイルで出力され、その数値をみてユーザーが判断していた。この時点ではCAEと呼べるようなものではなかったが、その後のコンピュータの進歩によりCADデータを利用したりして視覚的に入力データを作成（プリプロセッサという）したり、計算結果を色分けしてグラフィック表示したりアニメーションなどを利用してやはり視覚的に分かりやすく表現（ポストプロセッサという）できるようになってきて、コンピュータが全面的に使われるようになり、これらのソルバー・プリ・ポストプロセッサを統合したソフトをCAEソフトと呼ぶことが多くなってきている。

最近のパソコン用CAEソフトでは3次元の形状はもちろん、構造解析から流体解析、プラスチックの充填解析というものまでできるようになってきている。これらは内容的にもかなり高度な解析ができる反面、設定や操作に熟練を要するものもあり、また価格的にも数十万円から数百万円というオーダーのものなので一般の設計者が気軽に使えるというものではない。

3. CADTOOL FEMについて

現在出回っているCAEソフトをハイエンドあるいはミッドレンジとするとCADTOOL FEMはエントリー版のCAEソフトという位置づけで、今までCAEソフトを使ったことのない設計者をターゲットとし安価でかつ操作性を重点に誰でも気軽に使えるCAEソフトをコンセプトとしている。

解析対象は2次元のみ（Ver 5から部分的に板厚を変更してリブ形状等も対応）であるが形状はDXFファイルから読み込み、各種条件設定もマウスによる操作を基本とし、有限要素法で最も面倒な要素分割（メッシュの作成）も自動で作成でき、Ver 8からは荷重による応力だけでなく温度変化による熱応力が解析できるコマンドも追加されている。

有限要素法の計算方法は教科書的なものであり、使用できる要素数や計算結果の精度についてはハイエンドやミッドレンジのCAEソフトと比べるまでもないが、どの部分の応力が高いかというCAEソフトを使わなければ設計者のカンに頼るしかなかった設計上重要な情報が簡単かつローコストで得られるのは、今までCAEソフトを使っていなかった設計者にとっては大きな武器になるものと思う。

またCADTOOL FEMを使うことでCAEソフトがどのようなものであるかが理解でき、設計者のスキルの向上とともに将来のハイエンドやミッドレンジのCAEソフト導入の予備知識としても活用できるものと思う。

4. CADTOOL FEM8 基本仕様

[CADTOOL FEM8] は平面的な板物部品や引抜材等の断面の応力分布や変形が求められる平面応力解析と平面に垂直方向の力がかかる場合の応力分布や変形が求められる平面板曲げ解析、タンクのような回転体の断面の応力分布や変形が求められる回転体応力解析の三つのコマンドと、Ver 8から平面応力解析と回転体応力解析に温度条件を追加した平面熱応力解析と回転体熱応力解析の二つの熱応力解析のコマンドが追加され計五つのコマンドで構成されている。

使用している計算方法は有限要素法で良く用いられるバンドマトリックス法でさらにハーフバンドマトリックスを使用し処理速度を向上させている。

使用している要素は四角形8節点アイソパラメトリック要素という精度の高いものを採用している。四角形8節点アイソパラメトリック要素とは四つの頂点と各辺中央にも節点を設けて8節点とした2次要素で、三角形3節点要素等の1次要素に比べ精度が高い特徴を持つ。またアイソパラメトリックの意味は変形が可能ということで、正方形を基本とするが台形や二つの辺が直線上につながった三角形になっても計算が可能である。（ただし、形状が正方形からずれるにしたがい精度は低下する）

さらに一つの要素内にガウス積分点と呼ばれる応力算出点を9点持たせて要素内の応力勾配から各節点の応力値が直接求められるようにしており、応力集中部など応力の変化が大きいところでも少ない要素数で比較的精度良く応力値や応力分布が求められるようになっている。（これらの要素や計算方法についての詳細な解説は参考文献を参照してください。）

このように四角形8節点アイソパラメトリック要素はメリットの大きいものではあるが前述のように要素の形状が正方形からずれるにしたがい精度が低下する問題がある。応力の変化が少ない場所や変位についてはほとんど問題にならないが応力集中部などの応力の変化が大きい場所では要素の形状の影響を受けやすく、周辺の要素に比べ極端に小さい要素や大きくつぶれた細長い要素が応力集中部にある場合はその要素の応力値や応力分布はあまり信頼できるものではない。

具体的な手法は後で説明するがそれを回避するためメッシュの基本となるグリッド線を部分的に編集し、応力集中部などの注目部分の要素形状を容易に整えることができるようになっており、メッシュ作成後の節点を移動したり一つのメッシュをさらに細かく分割するメッシュ編集機能が追加され、必要以上に要素数を増やすことなく注目部分の応力値や応力分布を精度良く求められるようになっている。

第2章 CADTOOL FEM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自動起動しない場合は、マイコンピュータ内のCD-ROMドライブをダブルクリックして下さい。



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。

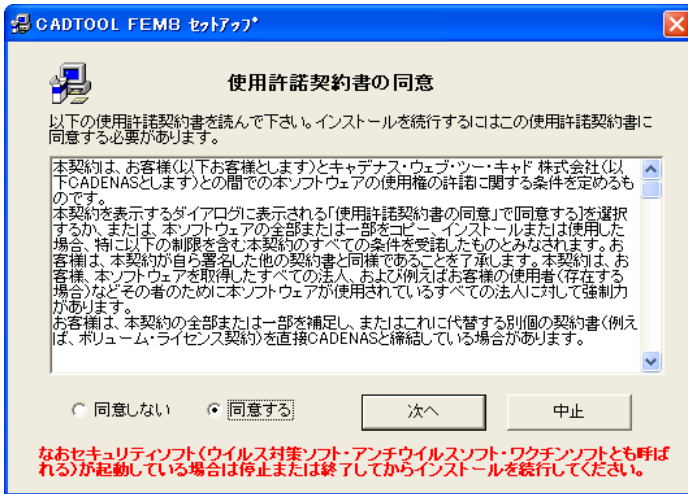
D : ¥ f e m 8 ¥ s e t u p . e x e (CD-ROMのドライブがDドライブの場合)

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。

なお最近インストール時にセキュリティソフト（ウイルス対策ソフト・アンチウイルスソフト・ワクチンソフトとも呼ばれる）が起動していたためプログラムが改変されて正常に起動できないような不具合の発生が増えていますので、このダイアログ下段にも表示されているように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 FEM8」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。



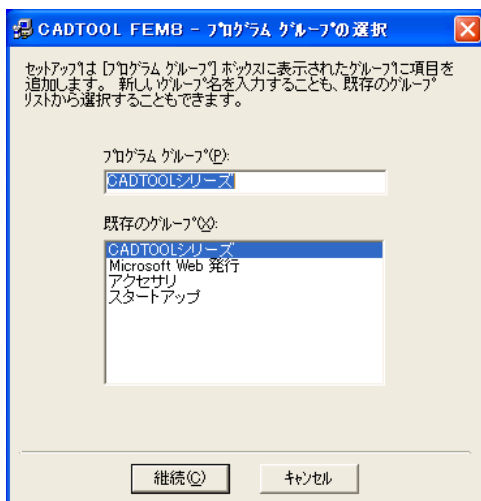
ここで左上の大きなボタンをクリックするとインストールが開始されます。

インストール先のフォルダを変更したい場合は〔フォルダ変更〕 ボタンをクリックして変更することができ、変更したフォルダがない場合は新規にフォルダが作成されます。

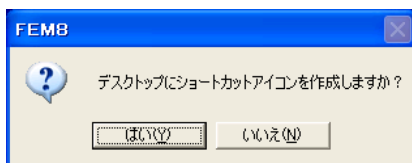
ただしアンインストールする可能性があれば専用のフォルダにインストールするようにしてください。またルートフォルダにはインストールしないで必ずサブフォルダにインストールしてください。

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〔FEM7〕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「FEM8」ができます。

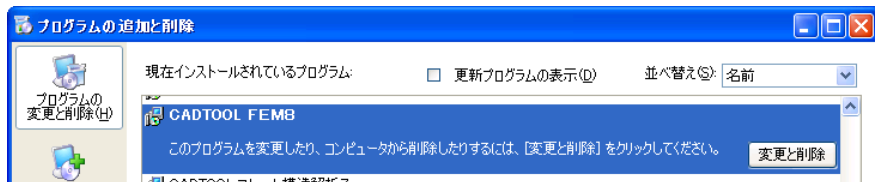
なおインストールが完了したら、停止または終了していたセキュリティソフトがあれば起動しておいてください。

3. アンインストールする場合

「CADTOOL FEM8」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」→「設定」→「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 FEM8」を選択して「追加と削除」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 FEM8」を実行するとインストールしたフォルダにデータファイルが作られますのでそのフォルダとデータファイルは自動で削除されません。

またインストールフォルダに書き込み権限がない場合は次で説明する作業フォルダを作りますのでこちらも自動で削除されません。

インストールしたフォルダと作業フォルダができている場合は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フォルダと作業フォルダができていない場合は作業フォルダも削除してください。

5. 作業フォルダについて

OSがWindows Vista以降（Windows 7, 8）か、Xp以前でもユーザーアカウントの権限が管理者以外の場合は標準のインストールフォルダにファイルを書き込みできませんので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。インストールフォルダにファイルを書き込みできない場合は下記のパスが作業フォルダになります。

Xpの管理者以外: C:\Document and Settings****\Local Setting\Application Data

¥CADTOOL_Series¥Fem8

Vista以降: C:\ユーザー¥****¥AppData¥Local¥CADTOOL_Series¥Fem8

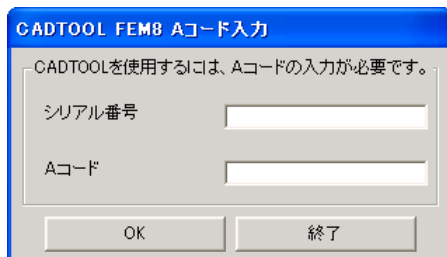
ここで****の部分はログオンユーザー名になりますのでユーザー毎に変わってきます。

インストールフォルダに書き込み可能な環境では上記の作業フォルダは作られずにインストールフォルダが作業フォルダになります。

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] → [FEM8] をクリックして [CADTOOL FEM8] を起動すると次のAコード入力ウィンドウが表示されます。



CADTOOL FEM8 Aコード入力

CADTOOLを使用するには、Aコードの入力が必要です。

シリアル番号

Aコード

OK 終了

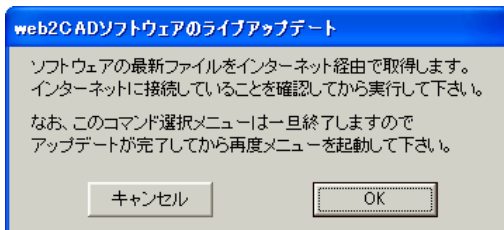
ここで同梱のユーザー登録用紙に記載されている [CADTOOL FEM8] のシリアル番号とAコードを入力欄に入力して [OK] ボタンをクリックすると、それらが適正なものであればAコードが登録されコマンド選択メニューが表示されます。不適正なものを入力した場合はメッセージが表示されますので再度入力してください。

Aコードが登録（オーソライズ）されると次回起動時からこのAコード入力ウィンドウは表示されません。

なおオーソライズを行ったユーザー以外で初めて [CADTOOL FEM8] をご使用の際には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 FEM8] 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] のウィ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ィンドウが表示されます。



web2CADソフトウェアのライブアップデート

ソフトウェアの最新ファイルをインターネット経由で取得します。
インターネットに接続していることを確認してから実行して下さい。

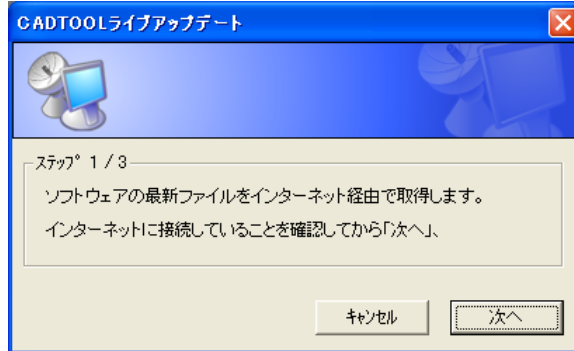
なお、このコマンド選択メニューは一旦終了しますので
アップデートが完了してから再度メニューを起動して下さい。

キャンセル OK

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。

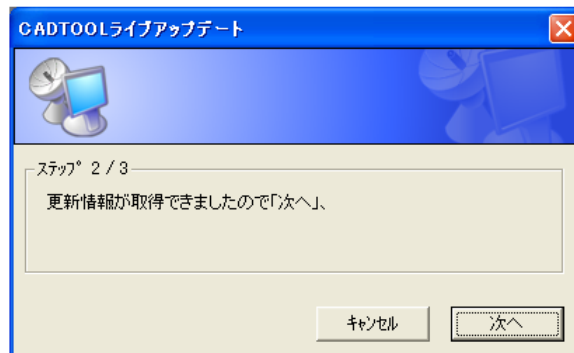
次にライブアップデートの流れを説明します。

〔web2CADソフトウェアのライブアップデート〕のウィンドウで〔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。



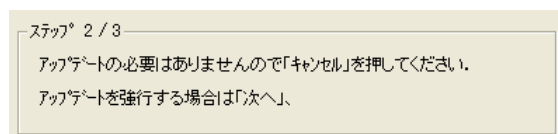
なおWindowsの〔ユーザーアカウント制御〕のダイアログが表示された場合は〔許可〕を選択するとこのダイアログが表示されます。

〔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。

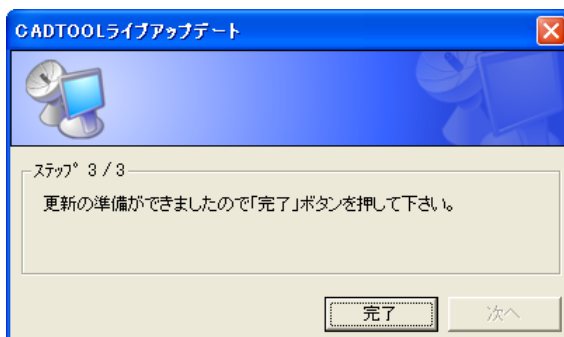


通常はここでも〔次へ〕ボタンをクリックしてライブアップデートを続けます。

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 FEM8] 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。

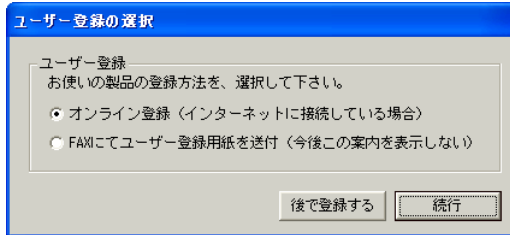
ライブアップデートを使用せずにアップデートを行う場合はインターネット (<http://product.web2cad.co.jp/>) の[サポート] ページからアップデート用のファイルをダウンロードしてWindowsエクスプローラなどを使ってアップデートすることができます。

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. ユーザー登録

初回起動時にライブアップデートに続いて次に示す「ユーザー登録の選択」のウィンドウが表示されます。

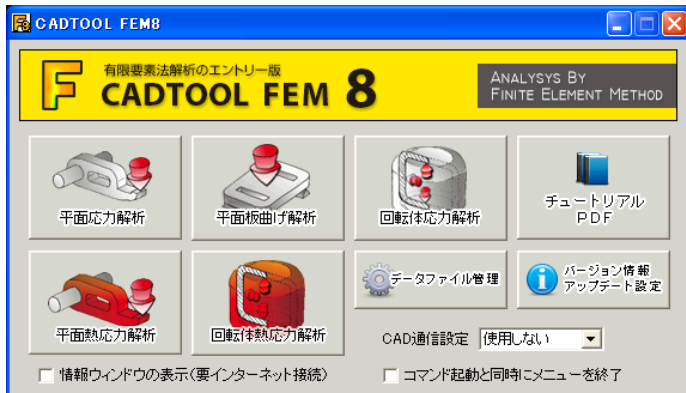


インターネットに接続されている場合はオンライン登録を選択して「続行」ボタンをクリックするとCADTOOLユーザー登録フォームが表示されますので、所定の項目を記入して「送信」ボタンをクリックするだけでユーザー登録が完了します。

「後で登録する」ボタンをクリックすると一旦このウィンドウは閉じますが翌日以降、再度起動したときにまた表示されるようになっています。

4. コマンド選択メニュー

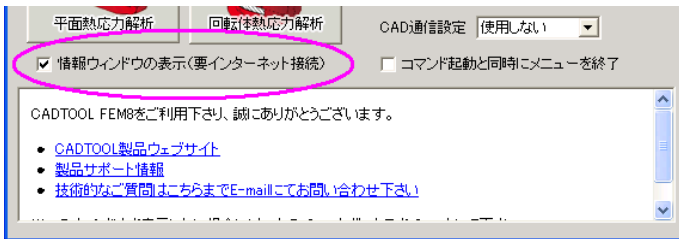
Aコード入力が完了すると次のコマンド選択メニューのウィンドウが表示されます。またAコードを登録した後からは直接このウィンドウが表示されるようになります。



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き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。

5. 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、先にAdobe Readerをダウンロードしてインストールしてください。



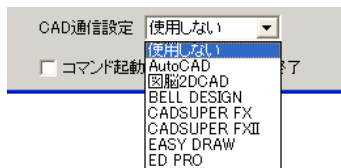
ここで各リンクをクリックするとインターネットエクスプローラのセキュリティ保護機能がポップアップすることがありますので、その場合はポップアップをクリックして“ブロックされているコンテンツを許可”をクリックしてください。

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。

6. CAD通信設定

外形図やメッシュ形状をCADに出力したい場合は[CAD通信設定]で通信先のCADを選択してください。



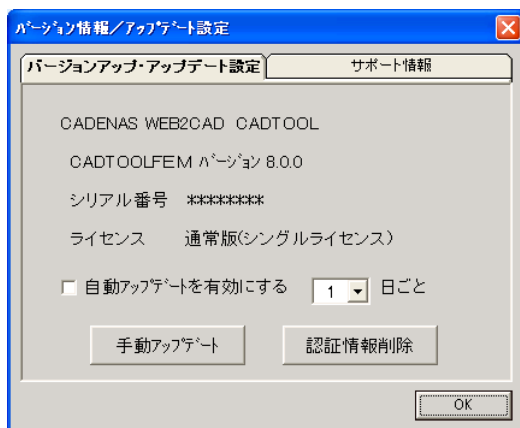
CAD通信可能なCADはAutoCADシリーズと図脳2DCAD、BELL DESIGN、CADSUPER FX、FXII、EASY DRAW、EASY DRAW PRO（ED PROと表記）です。“使用しない”を選択するとCAD作図はできないようになっています。

また各コマンドの環境設定でもCAD通信設定を変更することができますが、このコマンド選択メニューからコマンドを起動するとこちらの設定が有効となります。

CAD作図とDXFファイル出力時の図形のレイヤ名と色番号はそれぞれのコマンドの環境設定で行いますがCADによってレイヤ名と色番号の扱いが異なるのでそれぞれのCADのマニュアル等で確認してください。

7. 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ィンドウが表示され、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ィンドウが表示され、［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ィ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。

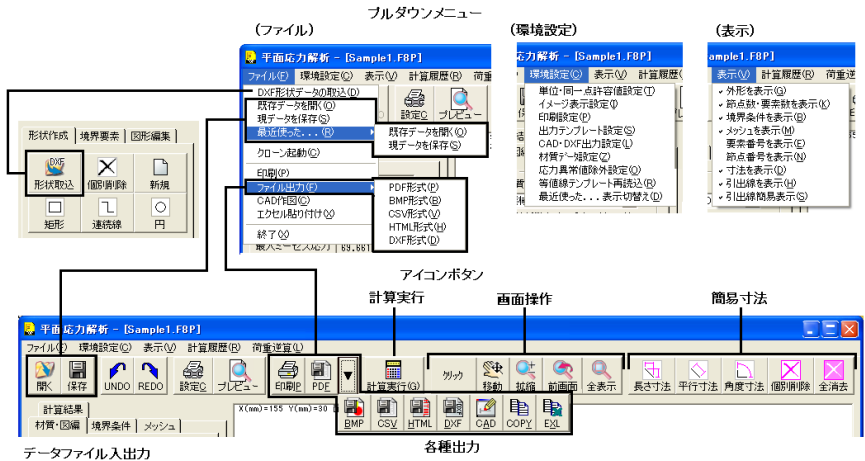
さらに［サポート情報］タブを開くと発売元のキャデナス・ウェブ・ツー・キャド株式会社ホームページやCADTOOL／ISOTOOLの製品紹介のURL、サポートのメールアドレスなどが確認できます。また通常版（シングルライセンス）の場合はオンラインユーザー登録も［サポート情報］タブからできるようになっています。

第4章 基本操作

1. プルダウンメニューとアイコンボタン

〔CADTOOL FEM8〕の基本操作はプルダウンメニューとアイコンボタンから実行できるようになっています。

次に平面応力解析のプルダウンメニューとアイコンボタンを示します。



以下、平面応力解析を基本に説明していきますが平板曲げ解析、回転体応力解析、平面熱応力解析、回転体熱応力解析も基本的な操作は同じです。

ファイル入出力、各種出力の機能についてはプルダウンメニューとアイコンボタンに同じ機能が割り付けられているので使いやすい方を使用してください。

またアイコンボタンの上にマウスを置いておくとボタンの機能説明がポップアップするようになっています。

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。

〔ファイル〕＞〔終了〕でコマンドを終了した場合はウィンドウの位置や大きさ、データファイルのパスや環境設定の設定内容がメニューデフォルト用のデータファイルに保存されるようになっていて、次回起動時に同じ設定内容を再現できるようになっています。

タイトルバー右の×ボタンでコマンドを終了した場合はこれらの設定は保存されずに終了します。

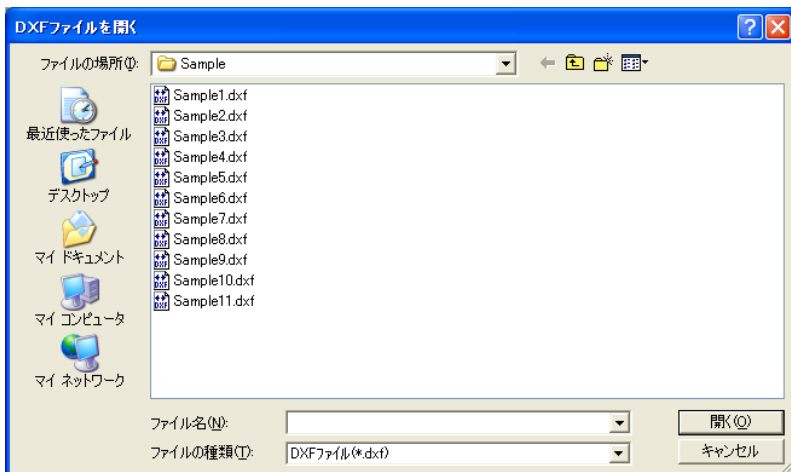
2. ファイル入出力



【ファイル】 > 【DXF 形状データの取込】

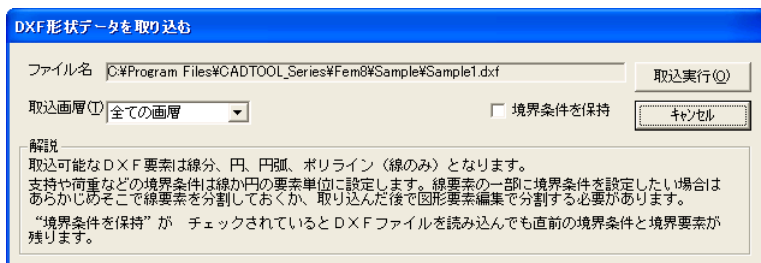
【CADTOOL FEM8】ではまず解析したい形状をDXFファイルから取り込みます。なおVer 7から【DXF形状取込】ボタンは【形状作成】タブに移動しています。

このボタン（メニュー）をクリックすると次に示すファイル選択ダイアログが表示されるのでここでDXFファイルを選択します。



Ver 4以降はWindows標準のファイル選択ダイアログが開くようになっており、上はWindows Xpのファイル選択ダイアログになります。

ここで取り込むDXFファイルを選択して【開く】ボタンをクリックすると次に示すDXF形状データ取込ダイアログが表示されます。簡単な解説も出ていますので必要に応じて参照してください。



ここで取込画層のリストボックスには【全ての画層】以外に実際にDXFファイルにある画層が登録されていますので特定の画層から形状データを取り込みたい場合はリストボックス右の▼ボタンをクリックして選択してください。取込画層を選択した場合はその画層にあるデータのみ取り込みますので取り込みたい要素をあらかじめ特定の画層に作図またはコピーしておくとう便利です。

取り込む形状の外周や島部は必ず閉じていなければなりません。また取り込み可能なDXF要素は通常要素の線分、円、円弧とポリラインの線分のみとなります。ブロック（複合図形）になっている場合は分解しておく必要があります。最外周に円がある場合は36分割された線分に置き換えられます。支持や荷重等の境界条件は要素単位に設定しますので線要素の一部に境界条件を設定したい場合はあらかじめそこで線要素を分解しておく必要があります。

ここで[取込実行] ボタンをクリックするとDXFファイルが読み込まれ形状がイメージ表示されます。またイメージ左上に取込図形のX・Y長と面積が表示されるようになっていきます。またVer 5からは後で説明する境界要素追加の作業がしやすいようにスナップ点が表示されるようになっていますがスナップ設定で非表示にしたり基点やピッチを変更することができます。

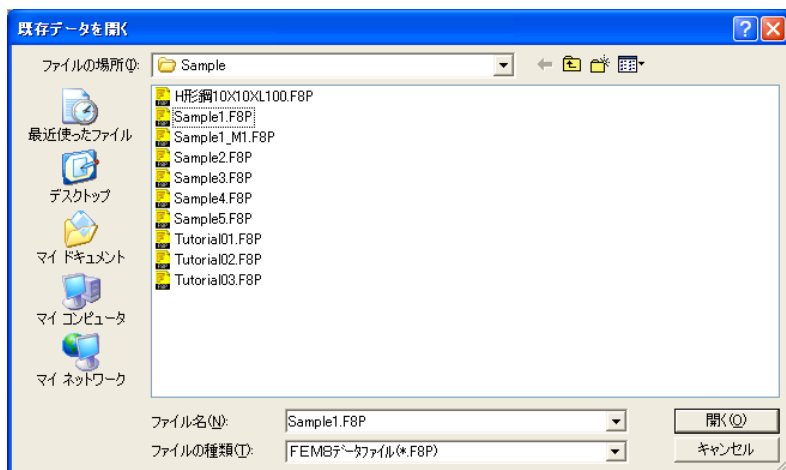
このダイアログにある“境界条件を保持する”がチェックされているとDXFファイルを読み込んでも直前の境界条件と境界要素が残ります。一つの形状を基本として部分的に形状を変化させたもの（軽量穴等）を続けて解析するときにチェックしておくことで境界条件を再設定する必要がなく便利です。ただし境界条件は要素単位で設定されるのでその要素を変形した場合は再度境界条件の設定が必要です。



[ファイル] > [既存データを開く]

このボタン（メニュー）をクリックするとファイル選択ダイアログが表示され過去に保存したデータを読み込んで使うことができます。

Ver 4以降はDXF形状データの取込と同じくWindows標準のファイル選択ダイアログが開くようになっています。



デフォルトでは¥Sampleフォルダが選択されており、そこには先のDXFデータやサンプルデータが入っています。上は平面応力解析でそのフォルダを選択されている例です。

データファイルの拡張子は

平面応力解析 : F8P
平面板曲げ解析 : F8B
回転体応力解析 : F8R
平面熱応力解析 : F8HP
回転体熱応力解析 : F8HR

となっています。

また後で説明するデータファイル管理で拡張子の関連づけを実行するとデータファイルのアイコンが各コマンドのアイコンで表示されます。

既存データを読み込むと右に示すように読み込んだファイル名がタイトルバーに表示され、材料条件、境界条件も設定されます。



Ver 4以降はメッシュデータも保存されるようになっているので既存データを読み込んで直ちに計算ができるようになっています。これらの操作は該当する項目を参照してください。ファイルの種類を変更すると平面応力解析Ver 3のデータ（拡張子はFE3）やVer 4のデータ（拡張子はFF3）、Ver 5のデータ（拡張子はFG3）がファイル選択ダイアログに表示され、読み込むことができますようになります。



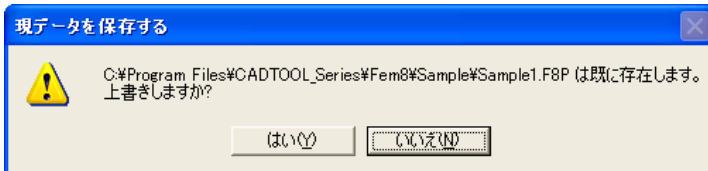
〔ファイル〕＞〔現データの保存〕

このボタン（メニュー）をクリックすると現データ保存ダイアログが表示され現データをファイルに保存することができます。

ドライブやフォルダの選択は既存データ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ります。

データを保存するときはファイル名入力欄にファイル名を入力します。このとき拡張子は実行中のコマンドに対応したものが自動的に付くので拡張子は不要です。

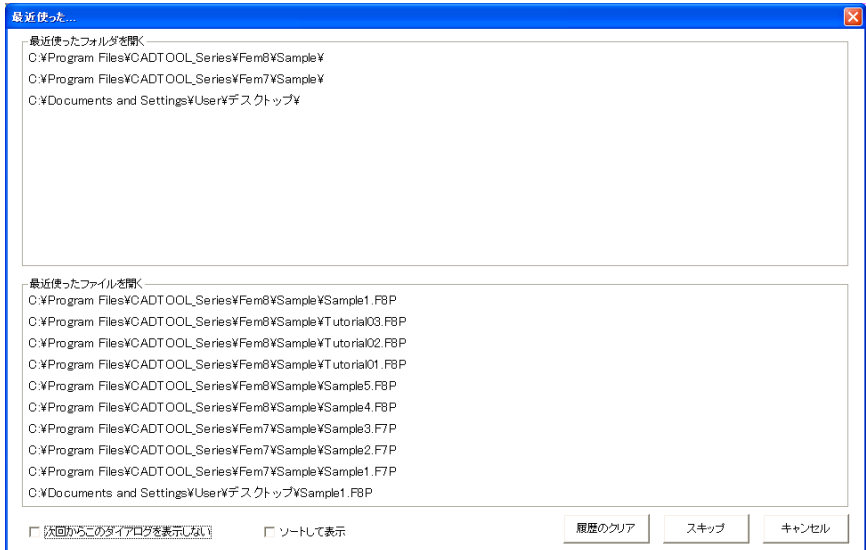
保存ボタンをクリックすると保存されますが既に同じ名前のファイル名がある場合は次のメッセージが表示され〔OK〕すると上書きされます。



データを保存した場合もタイトルバーにファイル名が表示されます。また出力時のタイトルやコメント等も同じデータファイルに保存されるようになっています。さらにVer 7から簡易寸法や引出線のデータも保存されるようになっています。

なお保存できるファイルの種類はVer 8とVer 7、Ver 6、Ver 5の形式で、Ver 4以前の形式での保存には対応しておりませんのでご注意ください。また平面熱応力解析および回転体熱応力解析はVer 8から追加されたコマンドなのでVer 8形式のみとなります。

Ver 8から既存のデータファイルを開くときや現データの保存するときの2回目以降に次に示す「最近使った. . .」ダイアログが表示されます。



上部には最近使ったフォルダが表示され、下部には最近使ったファイルが表示されるようになっています。「最近使ったフォルダを開く」のフォルダ名をクリックするとそのフォルダをカレントとして前に説明した「既存データを開く」ダイアログに進みます。

「最近使ったファイルを開く」に表示されているファイルをクリックすると「既存データを開く」ダイアログは開かず直接そのファイルを開くことができます。

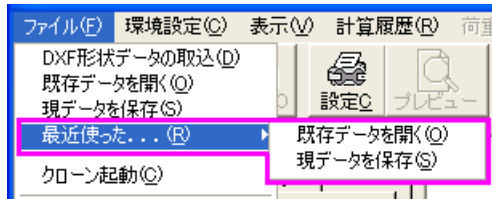
保存するときも同じ「最近使った. . .」ダイアログが開きますので「最近使ったフォルダに保存」のフォルダ名をクリックするとそのフォルダをカレントとして「現データを保存する」ダイアログに進みます。

また「最近使ったファイルに保存」に表示されているファイルをクリックすると直ちに上書き保存は行われずに選択したファイルのあるフォルダをカレントにしてファイル名も選択したファイル名として「現データを保存する」ダイアログが開きます。必要に応じてファイル名を変更して保存するか上書き保存する場合はメッセージで確認してから保存できます。

データの保存先をフォルダ分けしている場合や臨時のファイル置き場にデスクトップを使っている場合にはWindows標準のファイル選択ダイアログでフォルダを変更したり元のフォルダに戻したりするのはちょっと面倒なので「最近使ったフォルダ」機能を使うと便利です。

「最近使った．．．」ダイアログの下部にはこの機能の設定が並んでいて“次回からこのダイアログを表示しない”のチェックボックスをチェックすると次から「最近使った．．．」ダイアログは表示されなくなります。また一旦表示しない設定にしても次で説明する環境設定で表示・非表示を切り替えることができます。

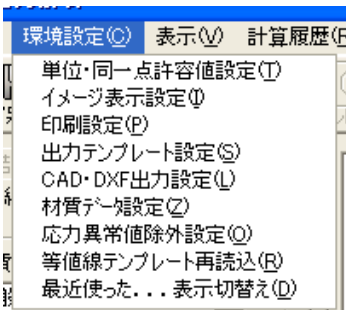
また非表示の設定になっていてもプルダウンメニューの「ファイル」>「最近使った．．．」から「既存データを開く」や「現データを保存」をクリックすると設定に関係なく「最近使った．．．」ダイアログが表示され設定も表示になります。



最近使ったフォルダやファイルは新しいものから上位に表示されますが“ソートして表示”のチェックボックスをチェックするとフォルダ名やファイル名でソートされて表示されるようになります。

「履歴のクリア」ボタンをクリックすると最近使ったフォルダやファイルの履歴がクリアされます。[スキップ] ボタンをクリックすると「最近使った．．．」ダイアログは閉じて従来のファイル選択ダイアログに進みます。[キャンセル] ボタンをクリックするとデータファイルの操作自体がキャンセルされます。

3. 環境設定

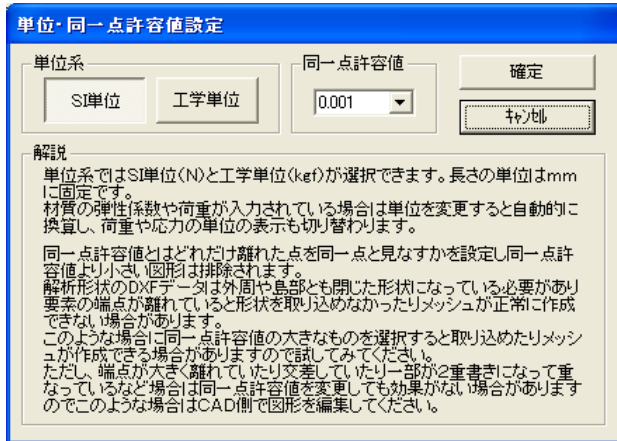


「環境設定」

プルダウンメニューの「環境設定」の各メニューではそれぞれの設定ダイアログが表示され設定を行います。

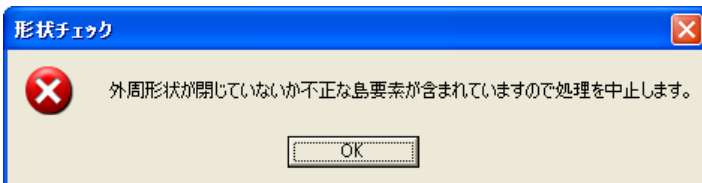
〔環境設定〕 > 〔単位・同一点許容値設定〕

このメニューをクリックすると次に示すダイアログが表示されます。また本マニュアルに記載している説明と同じ内容の解説も出ていますので必要に応じて参照してください。



単位系ではS I 単位 (N) と工学単位 (kgf) が選択できます。長さの単位はmmに固定です。材質の弾性係数や荷重が入力されている場合は単位を変更すると自動的に換算し、荷重や応力の単位の表示も切り替わります。

同一点許容値とはどれだけ離れた点を同一点と見なすかを設定しています。解析形状のDXFデータは外周や島部とも閉じた形状になっている必要があり、要素の端点が離れると次に示すメッセージが出て形状を取り込めなくなっています。



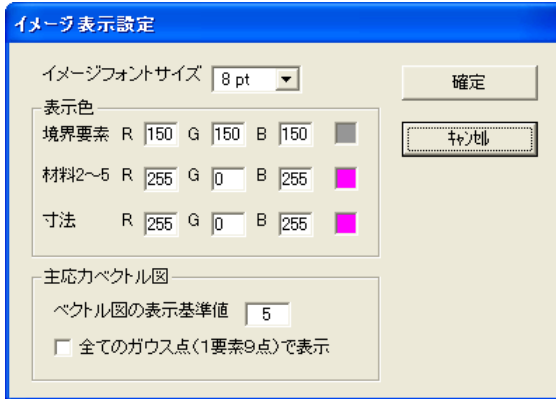
しかしCADで見る限り問題のない形状でもDXFコンバータによっては微少に離れて出力されるものもあり、このメッセージが出て取り込めない場合があります。

このような場合に同一点許容値の大きなものを選択すると取り込めるようになる場合がありますので試してみてください。ただし、端点が大きく離れていたり交差していたり一部が二重書きになって重なっているなど場合は同一点許容値を変更しても取り込めない場合がありますのでこのような場合はCAD側で図形を編集してください。

特に最近の例として3次元モデルからD X F コンバートして作成したデータで、一見すると特に問題が無い形状に見えるのですが拡大すると外形線の端点がつながっていなかったり微少な線分が他の線上にのって二重描きになっているような場合が多くみられますので、その場合はCAD側でチェックして図形の端点をつなげたり不要な線分を削除してください。

〔環境設定〕 > 〔イメージ表示設定〕

このメニューをクリックすると次に示すダイアログが表示されます。



ここではイメージ中の文字のフォントサイズを3段階(8,10,12pt)に設定することができます。ディスプレイの解像度によってはイメージ中の文字が小さく見にくい場合がありますので必要に応じて変更してください。

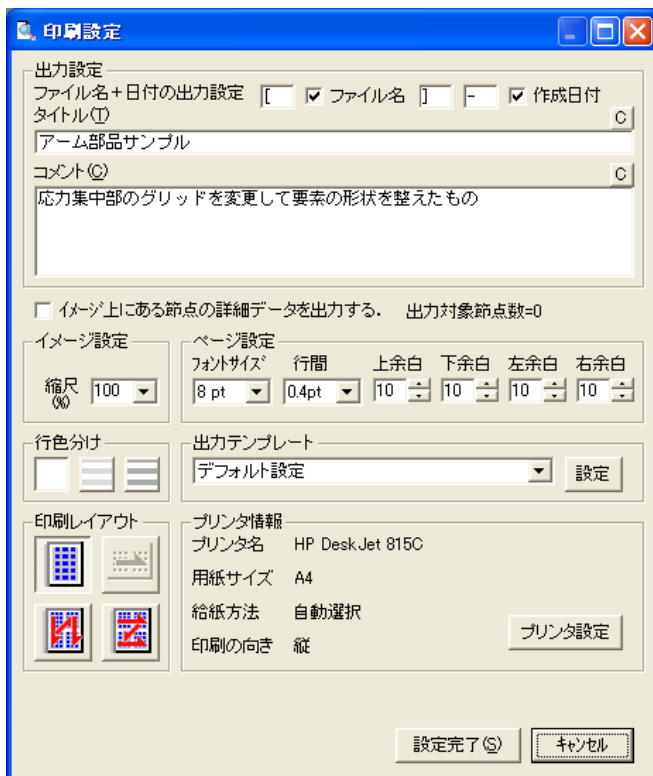
境界要素、材料2～5、寸法についてはRGBで表示色を設定できるようになっています。RGBとは、赤、緑、青の色の強さをそれぞれ0～255の範囲で指定して色を設定する方法で、設定した色は右側の口に表示されますのでそれを参考に必要に応じて変更してください。

またVer 6から主応力ベクトルが表示できるようになり、ここの主応力ベクトル図の表示基準値を大きくすると主応力ベクトルの長さを長く表示することができます。

主応力ベクトルは要素内の9点のガウス点で表示が可能ですがデフォルトでは要素中央のガウス点の1点のみに表示します。要素が比較的大きな場合は必要に応じてここの“全てのガウス点(1要素9点)で表示”をチェックすると1要素あたり9点で主応力ベクトルを表示できるようになります。

[環境設定] > [印刷設定]

これはコマンドボタンの [設定] ボタンを押した場合と同じで計算実行前は次に示す印刷設定ダイアログが表示され、計算実行後はこのダイアログの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、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、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。詳しくは後で説明します。

こ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。

また前述のように計算実行後はダイアログの右側にプレビューも表示されここから印刷もできるようになっています。

[環境設定] > [出力テンプレート設定]

これは印刷設定ダイアログの出力テンプレートにある[設定] ボタンを押したときと同じ出力テンプレート設定ダイアログが表示されます。

出力テンプレート設定

タイトル: デフォルト設定

設定を読み込む

設定を保存する

キャンセル

基本データ 材料データ 最大値 **変位データ** 応力データ 備考

☐ 変位の大きいものだけ出力する

☒ 最大値にマークを付ける マーク: MAX

☐ 変位の大きいものにマークを付ける

最大値比: 60 %以上

最大値比: 30 %以上 マーク: >80%

	節点番号	X座標	Y座標	総変位	X変位	Y変位
カラム幅	30	30	30	30	30	30
位置	0	30	60	90	120	150

ここでは計算書の出力種類毎にタブで分けられていて各出力項目のカラム幅を指定していくことで、左詰で各出力項目の位置を決めています。計算書はA4を基本としていてカラム幅はmm単位の値となります。カラム幅の下には左端からの位置が表示されます。

この例に示しているように変位データや応力データの出力では値の大きいものだけ出力したり、値の大きなものにマークを付けたり、最大値にマークを付けることもでき、処理対象の下限值やマークは自由に変更できます。

[設定を保存する] 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。

テンプレートを保存する

Default.FS3
Sample.FS3

ファイル名: Default.FS3

タイトル: デフォルト設定

保存(S)

キャンセル

保存先は作業フォルダができている場合は作業フォルダの下にインストールフォルダに書き込みできる場合はインストールフォルダの下に¥Templateで固定されていますのでドライブやフォルダの選択はありません。なお作業フォルダについては第2章の「5. 作業フォルダについて」を参照してください。

また出力テンプレートの設定ファイルは拡張子も決まっております。

平面応力解析 : FS3

平面板曲げ解析 : FS4

回転体応力解析 : FS5

平面熱応力解析 : FS6

回転体熱応力解析 : FS7

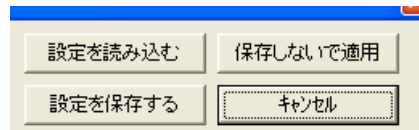
になっています。

インストール時にはファイル名がDefault.***のものがそれぞれコピーされていますが最低一つは出力テンプレートファイルが無いと出力できなくなるのでDefault.***は削除しないでください。またこのダイアログでもファイル名がDefaultの場合は保存できませんので名前を変えて保存してください。

またこのコメントが印刷設定の出力テンプレート選択時に表示されますのでどのような設定をしたのか分かりやすい名称を付けておくとい良いでしょう。

〔設定を読み込む〕 ボタンをクリックした場合も保存時と同様のダイアログが表示され、ファイルを選択してそのファイルの設定を編集することができます。

印刷設定ダイアログから出力テンプレートの〔設定〕 ボタンを押して出力テンプレート設定ダイアログを表示した場合は右に示すように〔保存しないで適用〕 ボタンが表示され編集した設定で出力することができますが印刷設定ダイアログを閉じてしまうとその設定は残らないので常時使う設定は保存しておいてください。



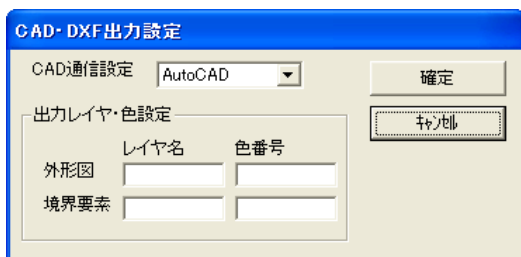
出力テンプレート設定の活用例としては社内検討用、社内報告書用、A社提出用、B社提出用などを作っておき出力時に出力テンプレートを切り換えて目的に応じた計算書の印刷やPDFファイルを出力することが考えられます。

また後で説明するフルサイズの「プレビュー」を計算結果の確認に使う場合には計算結果確認用の出力テンプレートを設定しておくとい良いでしょう。

なおCSV出力、HTML出力、エクセル貼り付けにはこの出力テンプレートの設定は反映されず全ての計算結果が出力されるようになっています。

「環境設定」＞「CAD・DXF出力設定」

このメニューをクリックすると次に示すダイアログが表示されます。ここではCAD通信設定、レイヤ名、色番号を設定します。



●CAD通信設定

コマンドメニューのCAD通信設定と同じ機能で、ここでコマンド起動中に作図先のCADを変更することができます。ただしコマンドメニュー起動中にここでCAD通信設定を変更してもコマンドメニューのCAD通信設定は変わらないので恒久的にCAD通信設定を設定したい場合はコマンドメニューのCAD通信設定を設定してください。

●レイヤ名色番号

CAD作図、DXF出力要素についてレイヤ名、色番号を設定することができます。なおCADによってレイヤ名と色番号の扱いが異なるのでそれぞれのCADのマニュアル等で確認してください。また後で説明する境界要素もCAD作図およびDXF出力ができ、外形図と境界要素でレイヤ名、色番号を分けて出力できるようになっています。

[環境設定] > [材質データ設定]

このメニューをクリックすると次に示すダイアログが表示されます。

材質データ設定

名称	記号	弾性係数E(N/mm ²)	ポアソン比	密度(g/cm ³)
一般構造用鋼	SS	206000	0.3	7.86
機械構造用鋼	S20C	206000	0.3	7.86
鋳鋼	SC	206000	0.3	7.96
クロム鋼	SCr	206000	0.3	7.86
ニッケル加ム鋼	SNC	206000	0.3	7.86
ステンレス鋼	SUS	206000	0.3	7.93
鋳鉄	FC	98000	0.3	7.3
アルミニウム	AL	69000	0.33	2.71
ジュラルミン	A2017	72000	0.33	2.79
超ジュラルミン	A2024	73500	0.33	2.79
銅	Cu	123000	0.33	8.65
黄銅	Bs	98000	0.33	8.65
青銅	B	98000	0.33	8.65
6ナイロン	MC	1200	0.4	1.16
ジュラコン	POM	3430	0.35	1.41
ポリプロピレン	PP	1470	0.3	0.9
ポリカーボネート	PC	2450	0.3	1.23

編集したい行をクリックしてその行をカレントとするとデータ編集ボックスが表示されますのでそこで材質データを編集します。

記号の入力は必須ではありませんが記号を入力しておくと材質リストボックスに○を付けて表示されます。

密度は回転体で回転数を設定し遠心力の影響を考慮するときのみ使用します。

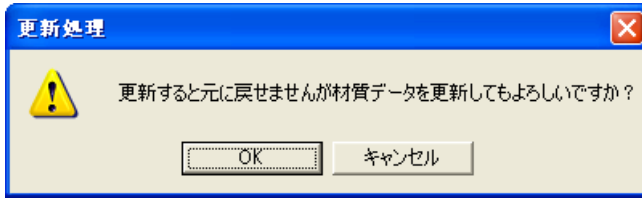
削除 上へ 下へ 更新 キャンセル

編集したい行をクリックしてその行をカレントとすると上の機械構造用鋼の行のように、そこに黄色のデータ編集ボックスが表示されますので、そこで材質データを編集することができます。

記号は必須ではありませんが何か入力されていると名称の後に（ ）を付けて材質選択のリストボックスに表示されるようになります。空欄をカレントとして材質データを入力すれば材質データを追加することができ、最大100データまで追加できます。

「削除」ボタンをクリックするとカレントの材質データが削除され「上へ」「下へ」ボタンで材質データの順番を変更すれば材質選択のリストボックスに表示される順番を変更することができます。

材質データを変更して良ければ「更新」ボタンをクリックすると次の確認メッセージが表示されます。



ここで [OK] ボタンをクリックすると材質データが更新されます。更新された材質データは元に戻せませんので注意してください。

なお材質データは作業フォルダができている場合は作業フォルダ、インストールフォルダに書き込みできる場合はインストールフォルダにある **FEM8_MAT.CSV** になり、回転体応力解析で軸回転数を入力して遠心力の影響を解析するために “密度” の項目があります。

また平面熱応力解析、回転体熱応力解析の材質データのファイル名は **FEM8_MATH.CSV** になり、熱応力解析のための線膨張係数の項目が追加されていますが操作は同じです。

なお作業フォルダについては第 2 章の「5. 作業フォルダについて」を参照してください。

また **Ver 7** からエンブラ類 9 種や弾性ゴム 2 種の材質を追加していますが、これらの物性値はインターネットで検索したものを使っており出所によって数値が異なる場合もありますので、限界設計を行うときなどのように物性値が強度の判定に大きく影響する場合は各自で物性値を確認してから使ってください。

このファイルは **CSV** 形式のテキストファイルなのでエクセル等の表計算ソフトを使って編集することもでき、コマンド選択メニューの [データファイル管理] から自動的に表計算ソフトを起動して材質データファイルを読み込む機能もあります。詳しくは後で説明するデータファイル管理の機能を参照してください。

なお **Ver 4** 以前の材質データでは “密度” の項目がありませんので **Ver 4** 以前の材質データを流用する場合は密度の項目を追加してください。また材質データの **CSV** ファイルは必要に応じて更新や編集する前にバックアップを取っておくと良いでしょう。

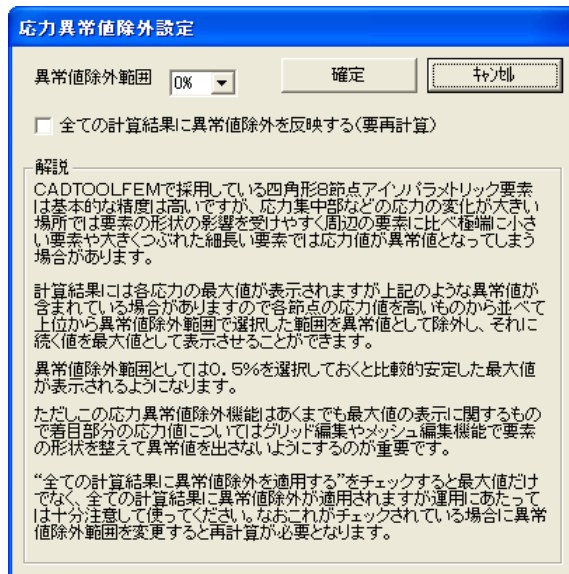
[環境設定] > [応力異常値除外設定]

[**CADTOOL FEM8**] で採用している四角形 8 節点アイソパラメトリック要素は基本的な精度は高いのですがメッシュの形状によっては異常値が発生します。

注目部分に関しては後で説明するようなメッシュ形状を整える方法でその部分の応力値は比較的精度良く求められますが〔計算結果〕タブにある最大応力値は全ての計算結果から最大値（最小値）を取り出して表示しているため、注目部分の以外のメッシュ形状が悪い場合そこで異常値が出ているとその値が表示されてしまいます。

これでは注目部分の応力は問題なくても〔計算結果〕タブにある最大応力値に異常値が表示されているため計算結果をそのまま報告すると不要な誤解を受ける場合が出てきます。

そこでこのような場合にはこのメニューをクリックして次のダイアログを表示させ異常値除外範囲を設定しておくことで上位からその範囲を異常値として除外してそれに続く値を〔計算結果〕タブの最大応力値に表示することができます。



またVer 7から“全ての計算結果に異常値除外を反映する（要再計算）”が追加され、これをチェックすると〔計算結果〕タブの最大応力値だけでなく引出線を含む全ての計算結果に異常値除外が反映します。

異常値除外範囲が0%の場合はこのチェックの有無は計算結果に影響しませんがこれがチェックされているときに異常値除外範囲を変更した場合等は再計算が必要となります。

どのくらいの範囲を選択すればよいかは形状やメッシュの粗密によって異なると考えられますがサンプル形状で試した限りでは異常値除外範囲に0.5%を選択しておくでメッシュをいろいろ変えても比較的安定してメッシュ形状を整えたときの最大値に近いものが表示されるようになります。また注目部分の最大応力値に近い値になるような異常値除外範囲を選択しても良いでしょう。ただし誤用を避けるため異常値除外範囲は最大でも2%までとなっています。

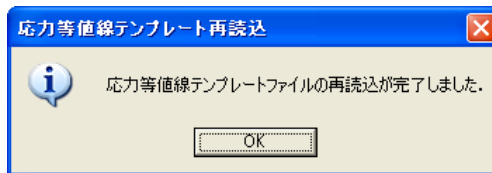
なお、この機能はあくまでもメッシュ形状が悪く注目部分以外で異常値が発生しているような場合の設定なので注目部分については前述のようにメッシュ形状を整えて信頼性の高い値を把握しておく必要があります。

さらにVer 7から異常値除外設定が全ての計算結果に反映できる設定が追加されましたので運用にあたっては設計者自らの判断で十分注意して行って下さい。

〔環境設定〕 > 〔等値線テンプレート再読込〕

Ver 7から後で説明するデータファイル管理に「応力等値線テンプレート簡単作成ツール」が追加されており、応力等値線のテンプレートを簡単に作成することができます。

通常はコマンド起動時に等値線テンプレートを読み込むのですが、コマンドを起動したまま新しい等値線テンプレートを作成したときはこのメニューをクリックすると次のメッセージが表示され新しく作成した等値線テンプレートが使えるようになります。



なお等値線テンプレートについての詳細は後で説明します。

〔環境設定〕 > 〔最近使った. . . 表示切替え〕

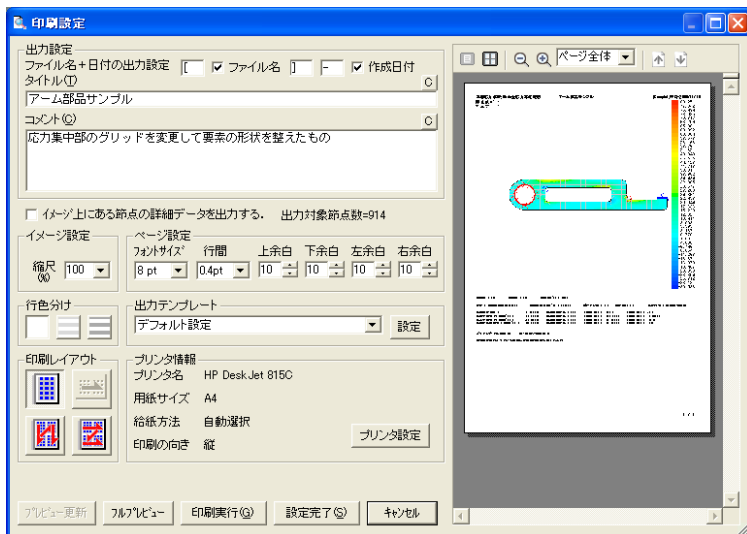
ファイル入出力の機能でVer 8から追加された「最近使った. . .」ダイアログの表示・非表示の切り替えができます。このメニューをクリックすると表示するか非表示にするかの確認メッセージが表示されますのでメッセージにしたがって操作してください。また「最近使った. . .」ダイアログの下部にある“次回からこのダイアログを表示しない”をチェックすると非表示にできますが非表示のものを表示させたい場合はこのメニューで切り替えてください。

4. プレビューと各種出力



〔環境設定〕 > 〔印刷設定〕

計算実行後にこのボタンをクリックするかプルダウンメニューの〔環境設定〕から〔印刷設定〕をクリックすると次に示すダイアログが表示されます。



右側に表示されるプレビューは計算書やPDFの出力イメージでダイアログを大きくすると大きく表示することができます。またプレビュー上部のボタンで拡大して表示したり、ページを変えたりすることができます。

- 出力設定：ファイル名+日付の出力設定や出力タイトル、出力コメントを入力します。
- 〔イメージ上にある節点の詳細データを出力する〕をチェックするとイメージに表示されている各節点の座標と応力値が詳細データとして出力できます。変位図を表示している場合は変位が詳細データとして出力されます。全表示されていると詳細データを出力する節点数が非常に多くなります。

チェックボックス右に出力対象節点数が表示されるのでこれ参考に必要な範囲のみを拡大しておくとい良いでしょう。またプルダウンメニューの〔表示〕>〔節点番号を表示〕か、計算結果の共通タブにある“節点番号”をチェックしてイメージに節点番号を表示しておくとい分かります。

●ページ設定：フォントサイズや行間、各余白を設定します。行間は変な位置で改ページされるような場合の調整に使うと便利です。先の出力設定やこのページ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」ボタンがグレースアウトして押せなくなり、グレースアウトしていた「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ます。

●イメージ設定：縮尺を小さくすると計算書のイメージが小さく出力されますが文字の大きさは変わらないのでイメージ自体は見にくくなってしまいます。見にくくても良い場合にはイメージを小さくして計算結果等の出力範囲を大きくすることができますが通常は100%にしておくのが良いでしょう。

●行色分け：節点数や要素数が多く計算結果の横の並びがわかりにくい場合には行色分け機能で一行毎に背景色を付けると横の並びが分かりやすくなります。これも自動でプレビューが更新されるようになっています。

●出力テンプレート：「環境設定」>「出力テンプレート設定」で説明した出力テンプレートの設定ファイルが複数ある場合はこのリストボックスで設定を切り換えてプレビューを自動で更新します。またここにある「設定」ボタンをクリックするとプルダウンメニューの「出力テンプレート設定」で説明した出力テンプレート設定ダイアログが表示されます。

●「印刷レイアウト」：計算書の2ページあるいは4ページで1枚に印刷したい場合に設定します。構造解析6の計算書はA4縦で出力することを基本にデザインしていますがA4以外の用紙でも印刷することができます。プリンタ設定の印刷の向きが縦の場合で、印刷レイアウトが「標準（1ページ/枚）」の場合ではA4縦のイメージが用紙に合わせてそのまま拡大縮小されて印刷されます。「4アップ（4ページ/枚）」が選択されている場合は計算書4ページ分が1枚の用紙に印刷され、印刷する順序により2つのボタンがあります。

プリンタ設定で印刷の向きを横にすると印刷レイアウトで「2アップ（2ページ/枚）」が選択され、横に計算書が2ページ分並べて印刷されます。例えば用紙がA3横の場合はA4縦を横に2ページ分並べたように印刷されます。このように印刷レイアウト機能を使えばページ数の多い計算結果でも少ない枚数で印刷することができます。

なおプリンタによってはプリンタドライバで同じ機能を備えているものもありますので使いやすい方を使ってみてください。

●プリンタ情報：現在の出力先のプリンタの情報が表示されています。この「プリンタ設定」このボタンをクリックするとプリンタ名や用紙、印刷の向きを選択するダイアログが表示され、印刷条件を変更することができます。

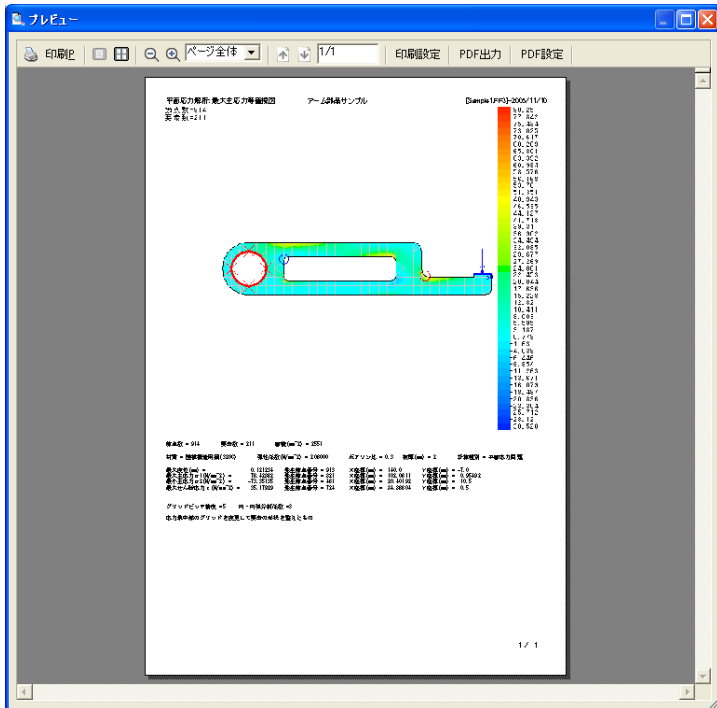
以上の設定が良ければ「印刷実行」ボタンをクリックして印刷を開始することができます。
また「フルプレビュー」ボタンをクリックすると次で説明するプレビューだけのウィンドウ表示に切り換えることもできます。

「設定完了」ボタンをクリックすると変更した設定を保存してダイアログを閉じます。ただし出力テンプレート設定を変更して「保存しないで適用」ボタンをクリックした場合はその設定は保存されませんので注意してください。



（フルプレビュー表示）

計算実行するとこのボタンが押せるようになり、このボタンをクリックすると次に示すようにダイアログ全体にプレビューが表示されます。



またプレビューの表示条件は印刷設定ダイアログで設定した条件となります。

ダイアログ上部の「印刷設定」メニューをクリックすると印刷設定ダイアログに表示を切り換えることができます。

左端の[印刷]メニューをクリックするとWindows標準の印刷設定ダイアログが表示されページや部数を指定して印刷ができるようになります。

[PDF出力]メニューをクリックするとパスワード無しのPDF形式のファイルを出力し、[PDF設定]メニューをクリックすると次で説明するPDF出力設定ダイアログに表示を切り換えることができます。

また計算結果のタブにある計算結果表示欄は表示スペースが限られていますが、このプレビュー画面はダイアログ右上の最大化ボタンで画面一杯に表示することもでき、マウスでドラッグしたりホイールマウスのホイールを回転させることで簡単にスクロールでき計算結果の確認にも利用できます。

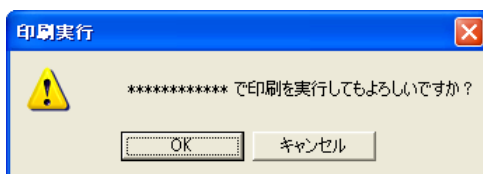
さらに業務内容に対応した計算結果確認用の出力テンプレートを設定しておくにより分かりやすく計算結果の確認ができるようになるでしょう。

フルプレビューを閉じる場合は右上の×ボタンをクリックします。



[ファイル] > [計算書印刷]

このボタン（メニュー）をクリックすると次に示す印刷を実行するプリンタ名の確認メッセージ（*****はプリンタ名が表示される）が表示されます。



ここで [OK] ボタンをクリックすると規定の印刷設定で直ちに印刷が実行されます。特に印刷設定を変更する必要のない場合はこの機能で計算書を素早く印刷することができます。

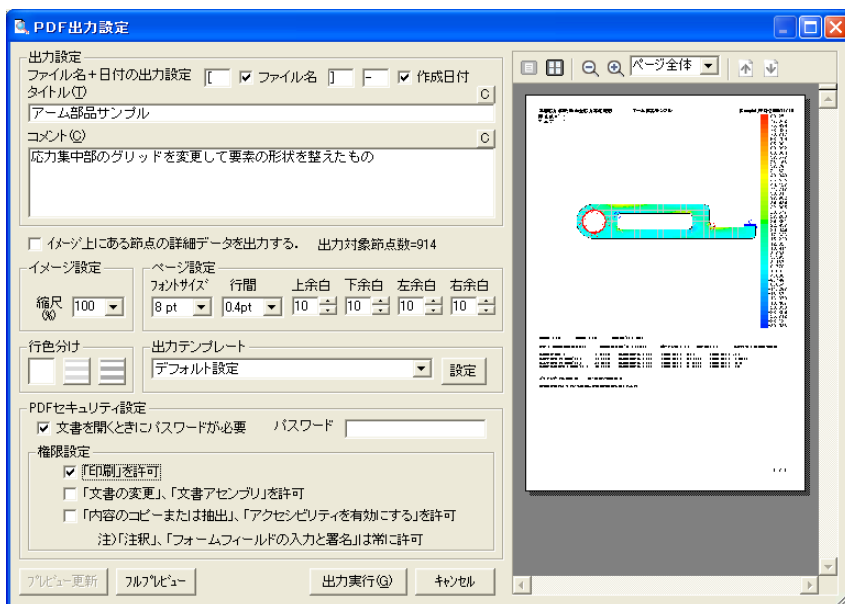


[ファイル] > [ファイル出力] > [PDF形式]

この機能ではAdobe®PDF形式で計算書を出力することができます。

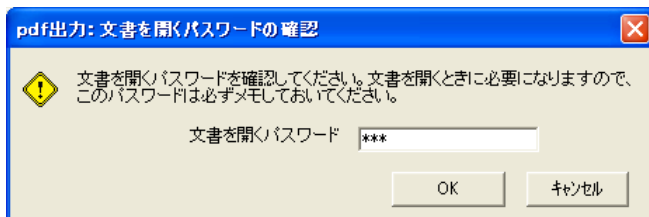
このボタン（メニュー）をクリックすると次に示すPDF出力設定ダイアログが表示されます。

プレビューおよび左上半分は印刷設定ダイアログと同じものになっているので操作についてはそちらを参照してください。左下がPDFセキュリティ設定になっています。



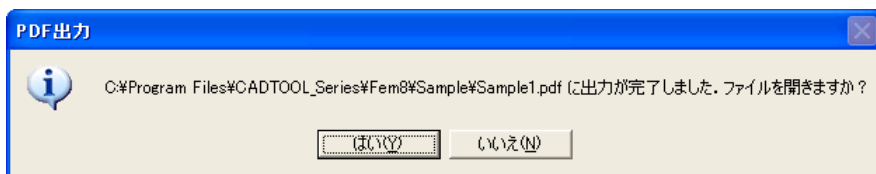
ここでPDFファイルにパスワードをかけるかどうかとパスワードをかけた場合の権限が選択できます。

“文書を開くときにパスワードが必要”をチェックした場合はパスワードを入力してください。入力したパスワードは***で表示され、[出力実行] ボタンをクリックしたときに次に示すように再度パスワードの確認ダイアログが表示され、同じパスワードを入力しないと出力ができません。



PDFセキュリティ設定をしないで[出力実行] ボタンをクリックしたときやパスワードの再確認ができた場合は[現データの保存]と同じファイルの保存先、ファイル名を入力するファイルの保存ダイアログが表示されますので保存先を選択してファイル名を入力して出力を実行します。拡張子は自動的にpdfが付けられますので拡張子の入力はありません。

出力が完了すると次に示す出力先のパスを示したメッセージが表示されます。



Ver 6からは“ファイルを開きますか？”と表示されるので「はい」ボタンをクリックすると拡張子pdfに関連づけられたアプリケーションで直接ファイルを開くことができるようになっています。

拡張子pdfに関連づけられたアプリケーションでファイルを開く機能は次で説明するBMP、CSV、HTML出力や後で説明するAVI出力でも可能になっています。ただしあらかじめこれらのファイルを開くアプリケーションが拡張子に関連づけられている必要があります。なおこれらの関連づけについてはWindowsのマニュアル等を参照してください。



【ファイル】>【ファイル出力】>【BMP形式】

この機能では計算結果の表示されたイメージをBMPファイルに出力することができます。

このボタン（メニュー）をクリックすると「現データ保存」と同じファイルの保存ダイアログが表示されますので、保存する場所を選択しファイル名を入力して「保存」ボタンをクリックするとBMPファイルが出力され、メッセージにしたがって関連づけられたアプリケーションで開くことができます。



【ファイル】>【ファイル出力】>【CSV形式】

この機能では計算結果の数値をCSV形式のテキストファイルに出力することができます。

このボタン（メニュー）をクリックすると「現データ保存」と同じファイルの保存ダイアログが表示されますので、保存する場所を選択しファイル名を入力して「保存」ボタンをクリックするとCSVファイルが出力され、メッセージにしたがって関連づけられたアプリケーションで開くことができます。

CSV形式の出力でも計算書と同様にファイル名と作成日付、タイトル、コメントの出力ができるようになっていますのであらかじめプルダウンメニューの「環境設定」>「印刷設定」か「設定」ボタンをクリックして印刷設定ダイアログを開きその出力設定で設定しておきます。

次に出力したC S Vファイルを表計算ソフトのエクセルで開いた例を示します。

Microsoft Excel - Sample1.csv

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 挿入(I) 書式(O) ツール(T) データ(D) ウインドウ(W) ヘルプ(H) 質問を入力してください

100% MS Pジョク 11 B I U 計算 印刷 設定 表示 印刷 設定

C S V形式とは表計算ソフトに対応したテキストファイル形式で上記のように自動的に分けられて読み込むことができる形式です。また表計算ソフトがなくてもメモ帳等のテキストエディタで開いて見ることもできます。

なおC S V出力は出力テンプレートの設定に関係なく全ての計算結果が出力されるようになっています。

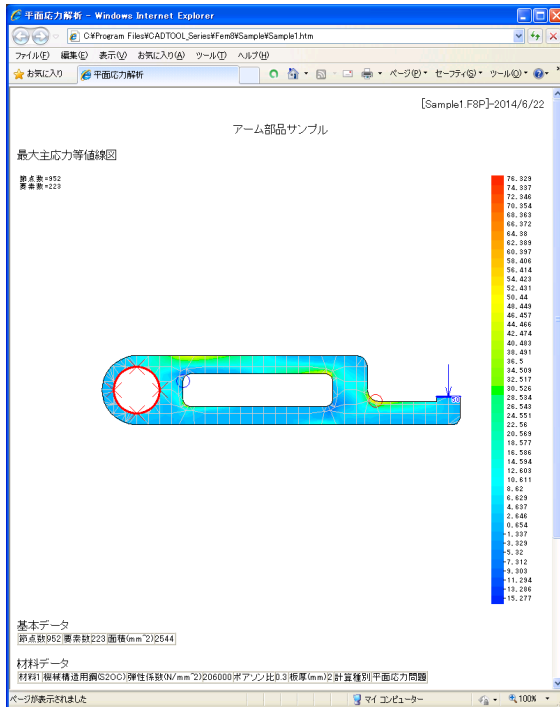


[ファイル] > [ファイル出力] > [HTML形式]

この機能では計算結果のイメージと数値をHTML形式のファイルに出力することができます。

このボタン（メニュー）をクリックすると[現データ保存]と同じファイルの保存ダイアログが表示されますので、保存する場所を選択しファイル名を入力して[保存]ボタンをクリックするとHTMLファイルが出力され、メッセージにしたがって関連づけられたアプリケーションで開くことができます。

次に出力したHTMLファイルをインターネットエクスプローラで開いた例を示します。



拡張子は自動的にhtmが付くようになっております、イメージ表示用に同名で拡張子がbmpの画像ファイルも出力されます。同じ名前のBMPファイルがある場合は上書きされますので注意してください。

HTML形式の出力でもCSV形式の出力と同様にファイル名と作成日付、タイトル、コメントの出力ができるようになっておりますので、あらかじめプルダウンメニューの「環境設定」>「印刷設定」か「設定」ボタンをクリックして印刷設定ダイアログを開き、その出力設定で設定しておきます。

HTML形式とはインターネットエクスプローラ等のウェブブラウザで読み込める形式で画像と計算結果をウェブブラウザの画面上で表示することができ、全体の大きさや文字の大きさなどはある程度ブラウザ側で変更できるので見やすいように表示できます。

また最近のワープロソフトでは直接、読み込みもできるのでワープロの文書として管理することもできます。この際、画像のリンクを外して文書に保存するようにしておくと管理が容易になります。ワードの場合は「編集」>「リンクの設定」>「文書に図を保存」をクリックします。

HTML出力で計算結果をHTML形式に変換するには作業フォルダができている場合は作業フォルダ、インストールフォルダに書き込みできる場合はインストールフォルダにコピーされる***_Html_Set.txtと***_Html_Table.txtの2つのファイル(***は、平面応力解析・平面熱応力解析:FemCae3、平板曲げ解析:FemCae4、回転体応力解析・回転体熱応力解析:FemCae5)を参照しながらキーワードの部分の計算結果に置き換えて変換していきます。

HTMLの知識があれば特に難しいフォーマットではないのでこれらのファイルを編集して表示形式を変更することも可能です。それぞれのファイルにはコメントが入っているのでそれらを参照しながら編集してみてください。

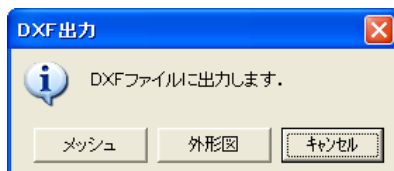
なおHTML出力は出力テンプレートの設定に関係なく全ての計算結果が出力されるようになっています。



【ファイル】>【ファイル出力】>【DXF形式】

この機能では外形図かメッシュをDXF形式の図形ファイルに出力することができます。

このボタン(メニュー)をクリックすると【現データ保存】と同じファイルの保存ダイアログが表示されますので、保存する場所を選択しファイル名を入力して【保存】ボタンをクリックすると次に示すDXF出力ダイアログが表示されます。



ここで【メッシュ】ボタンをクリックするとメッシュ形状が出力され【外形図】ボタンをクリックすると外形図が出力されるようになっています。

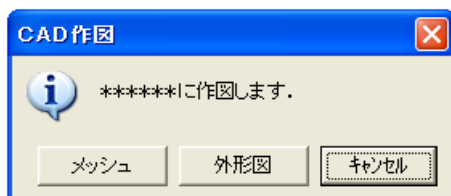
DXF形式とはCADのデータ交換用のフォーマットなのでCAD通信機能で作図できないCADに取り込みたい場合は一旦、DXFファイルに出力してから読み込んでください。なお出力レイヤ名、色番号はあらかじめ環境設定の【CAD・DXF出力設定】で設定しておいてください。



【ファイル】>【CAD作図】

この機能では計算結果のイメージをCADで直接作図することができます。

このボタン(メニュー)をクリックすると次に示すメッセージが表示されてCAD通信設定で設定したCADの名称が*****に表示されます。



またCAD通信設定が「使用しない」になっているとボタンやメニューが使えないようになっています。

D X F 出力と同様にここで[メッシュ]ボタンをクリックするとメッシュ形状がCADに作図され[外形図] ボタンをクリックすると外形図がCADに作図されるようになっています。なおD X F 出力と同様に出力レイヤ名、色番号はあらかじめ環境設定の「CAD・D X F 出力設定」で設定しておいてください。

その後の操作はCADによって異なりAutoCADでは一旦作図された図形がマウスに付いてドラッグするので配置点を指示します。図脳2DCADでは先に配置点を指示するとその位置に作図するようになります。その他のCADについても操作メッセージが表示されますのでその指示にしたがって作図してください。



【クリップボードにコピー】（プルダウンメニューはありません）

この機能では計算結果をクリップボードにコピーすることができ、他のWindowsアプリケーションに貼り付けて利用することができますようになります。



【ファイル】>【エクセル貼り付け】

この機能では計算結果をクリップボードにコピーしてからエクセルを起動して貼り付けることができます。

C S V形式で出力してエクセルで読み込むのと同じことを簡単に行えます。なお既に起動しているエクセルがある場合でも新規にエクセルを起動するようになっています。

5. 画面操作

アイコンボタンとマウス操作によりイメージを移動したり拡大縮小したりすることができます。なおこの移動や拡大縮小、その他ボタンを押してからイメージ上でマウスを操作する機能ではイメージ上でマウス右クリックするかESCキーで操作をキャンセルすることができます。以下、画面操作について説明します。



移動・拡大モード

アイコンボタンの [リアルタイム] あるいは [クリック] と表示されているボタンが移動・拡大モードになります。

モードになります。

このボタンはクリックする毎に表示が入れ替わるようになっており、選択したモードにより移動・拡大の操作が異なります。



移動

イメージを移動したい場合は [移動] ボタンを押してからマウスをイメージの上に持っていけます。マウスアイコンが手の形に変わりますのでマウス左ボタンを押してマウスアイコンがグーになった状態でドラッグします。リアルタイムモードの時はグーのマウスアイコンにイメージが付いて移動します。

クリックモードの時はマウス左ボタンを押した位置からラバーバンド（仮表示線）が表示されマウス左ボタンを離した位置に移動します。またホイールマウスを使っている場合はホイールを押しながらドラッグするとモードに関係なくリアルタイム移動することができます。



拡大

イメージを拡大したい場合は [拡大] ボタンを押してからマウスをイメージの上に持っていけます。マウスアイコンがルーペの形に変わりますのでマウス左ボタンを押してドラッグします。リアルタイムモードの時は上にドラッグするとリアルタイムでイメージが拡大され、下にドラッグすると縮小します。

クリックモードの場合はマウス左ボタンを押した位置からラバーバンドの窓が表示され右にドラッグしてマウス左ボタンを離すと窓の範囲がイメージ枠一杯に拡大され、左にドラッグして離すとイメージ枠全体が窓の範囲に収まるように縮小されます。

リアルタイムモードはマウスの動きに対してリアルタイムでイメージが移動・拡大するので分かりやすいですが節点数や荷重点が多い場合やマシンの処理速度が遅い場合に動きが重くなる場合があります。一方、クリックモードはマウス左ボタンを離した時点で移動・拡大の処理を行うのでスピーディに移動・拡大ができますので使い勝手に合わせてモードを選んで使ってください。またホイールマウスを使っている場合はホイールを回転させるとモードに関係なくリアルタイム拡大することができます。



前画面

イメージの移動や拡大縮小を行うと薄く表示されて見えなかった「前画面」ボタンのアイコンが正常に表示されるようになります。

このときに「前画面」ボタンをクリックすると移動・拡大縮小を行う一つ前の画面にイメージの状態に戻すことができ、最大で10操作前の画面に戻すことができます。なおホイールによる拡大縮小には「前画面」は対応していません。



全表示

「全表示」ボタンをクリックすると移動・拡大縮小をリセットしてデフォルトのイメージ表示に戻すことができます。

6. ウィンドウサイズ

メインのウィンドウとプレビューのあるウィンドウは他のWindowsアプリケーションと同様にタイトルバー右のボタンで最大化、アイコン化できるようになっています。

またウィンドウ右下の角をマウスアイコンが斜め矢印になった状態でドラッグすると任意の大きさに大きくすることができます。

初回起動時には初回起動時には画面一杯にウィンドウが表示されますので必要に応じてウィンドウ右下をドラッグして大きさを調整してください。また一定の大きさ以下にはなりません。またウィンドウを大きくした場合はなるべくイメージ領域やプレビュー領域を大きく取れるようにしています。

ウィンドウの大きさと表示位置はプルダウンメニューの「ファイル」>「終了」でコマンドを終了したときにデータファイルに保存されるようになっており、次回起動時には終了時と同じ位置、大きさに起動されるようになっています。

7. 簡易寸法機能

アイコンボタンとマウス操作によりイメージに水平・垂直寸法や角度寸法を記入することができ、Ver 7から簡易寸法のデータも保存されるようになっています。以下、その操作について説明します。



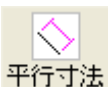
長さ寸法

水平・垂直寸法を記入したい場合に「長さ寸法」ボタンを押してから寸法を引きたいイメージ上にマウスを持っていきます。

寸法線を引き出せるのは線分や円弧の端点と円の四半円点、円と円弧の中心になります。

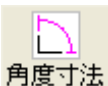
これらの点を認識すると小さな○が表示されるのでその場所で良ければマウス左クリックして1点目を指示し同様の方法で2点目を指示します。2点目を指示するとマウスの位置によって水平か垂直の寸法補助線が表示されるので寸法を記入したい位置でマウス左クリックします。続けて次の寸法線の1点目の指示になり続けて寸法を記入できるようになっています。

なお寸法記入ボタンのようにボタンを押してからイメージ上でマウスを操作する機能ではイメージ上でマウス右クリックするかESCキーで操作をキャンセルすることができます。



平行寸法

操作は「長さ寸法」と同じで指示した2点に平行に寸法線が記入されます。



角度寸法

「角度寸法」と最初に頂点を指示し続いて反時計方向で始点、終点を指示して角度寸法線を記入します。



個別削除

「個別削除」ボタンをクリックしてマウスを寸法線に持っていき、寸法線を認識すると寸法線が太く表示されますので、その寸法線で良ければマウス左クリックするとその寸法線が削除されます。



全消去

「全消去」ボタンをクリックすると確認メッセージが表示され「はい」をクリックすると全ての寸法データが消去されます。

簡易寸法は寸法の種類に関係なく最大30箇所になっています。また簡易寸法機能は代表寸法やストレッチして大きさが変わったときなどの概略の寸法機能ですので詳細寸法が必要な場合はCAD側で対応してください。

なおVer 7から寸法記入、個別削除、全消去でも次で説明するUNDO・REDO機能が使えますので何度でも操作を元に戻したり、そのやり直しができるようになっています。

8. UNDO・REDO機能



従来はいくつかに分かれていた「やり直し」機能をVer 7から「UNDO」（元に戻す）、「REDO」（元に戻す操作のやり直し）のボタンに統合しています。

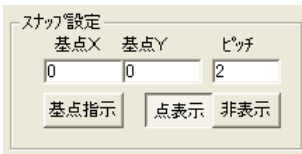
また各タブの操作や材質の選択、板厚や後で説明する形状作成など計算結果に影響する設定全般や境界要素、図形編集、境界条件、メッシュの編集、簡易寸法、引出線等、従来それぞれ個別の「やり直し」ボタンがあった機能もこちらで対応するようにしています。

UNDO・REDO機能に対応したデータ変更すると左の「UNDO」ボタンが使えるようになりクリックするとそのデータが変更前に戻ります。またUNDOを実行すると右の「REDO」ボタンが使えるようになりクリックするとUNDOで変更前に戻ったデータがUNDO実行前の状態に戻ります。この機能は基本的には計算結果に影響する設定に有効な機能で簡易寸法や引出線以外の表示条件や出力条件にはUNDO・REDO機能は対応しておりません。

またUNDO・REDOの回数は無制限ですが「既存データを開く」を実行したときにはUNDO・REDO用に保存している情報はクリアされます。なお操作手順等により元の状態に戻らない場合も考えられますので重要なデータはその都度保存しながら作業してください。

なおUNDOはキーボードからCtrl+Z、REDOはCtrl+Yを入力しても実行できるようになっています。

9. スナップ設定



スナップ設定		
基点X	基点Y	ピッチ
0	0	2
<div>基点指示 点表示 非表示</div>		

次に説明する形状作成機能や境界要素作成機能、図形編集機能のストレッチなどはイメージ上のスナップ点を使ってマウスで操作ができるようになっています。

スナップ点は基点とピッチで設定されますがスナップピッチは「DXF形状データ取込」を実行した時点で形状の大きさの1/50を基準に自動的に計算されて、形状作成時には取り込んだ形状の2倍、境界要素作成時は一回り広い範囲にスナップ点が表示されます。

新規に形状を作成する場合でまだ図形が一つも無い場合は設定に関係なくスナップ点は非表示となり、一つでも形状が作成されると作成された形状の2倍の範囲にスナップ点が表示されます。

「基点指示」ボタンを押してイメージ上で点を指示するとそこを基点とすることができ、形状作成や境界要素の座標入力の原点となります。取り込んだ図形や作成した図形の端点や円の中心等を基点としておけば、形状作成や境界要素でスナップ点を指示するときにそこからの座標がマウスアイコンの下に表示されるようになり分かりやすくスナップ点の指示ができます。なお基点の座標やスナップピッチは入力欄に数値を直接入力してもかまいません。

「点表示」「非表示」でスナップ点の表示を切り換えることができます。ただし「点表示」が選択されていてもスナップ点が表示されるのは「材質・図編」のタブが開いている時だけです。

また[非表示]になっていると形状作成や境界要素で位置を指示するときにスナップ点は認識されないようになっており、マウスで指示できるのは図形要素や境界要素の線分の端点や円の中心のみになります。

10. 形状作成機能

従来、解析形状は正方形や長方形などの単純な形状であってもCADを使ってDXFデータを作成して取り込む必要がありましたが、Ver 7から形状作成機能が追加され図形編集機能と合わせて単純な形状から比較的複雑な形状CADを使わずに作れるようになりました。以下、[形状作成]タブにあるボタンについて説明します。



DXF形状取込

これは従来ダイアログ左上にあったボタンでVer 7から[形状作成]タブに移動しています。操作についてはファイル入出力のところで説明していますのでそちらを参照してください。



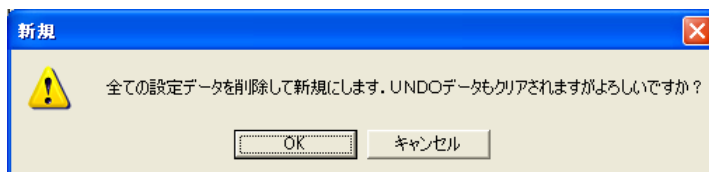
個別削除

形状作成で作成した形状やDXFファイルから取り込んだ形状を個別に削除します。このボタンを押した状態でマウスをイメージ上に持っていき形状を指示して太く表示されたときにマウス左クリックするとその形状を個別に削除できます。



新規

この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[OK]ボタンをクリックすると設定データを全て削除して新規にやり直すことができます。またUNDOデータもクリアされますので注意してください。



この新規の状態は各コマンドのスタートアップメニューで[0からスタート]を選択したときと同じになります。



矩形

矩形

このボタンをクリックするとボタンの下に右に示す座標入力欄が表示され対角の座標を入力して「作成」ボタンをクリックして矩形を作成することができます。

スナップ点が表示されている場合はマウスでイメージ上の対角となるスナップ点を指示しても作成できます。ただし新規で図形が無いときにはスナップ点は表示されないので最初の形状は座標入力で作成する必要があります。

形状メニュー: 1回クリック 新規

矩形 連続線 円

座標入力(スナップ基点が原点)

対角1 X Y: 0 0

対角2 X Y: 200 100

作成



連続線

連続線

このボタンをクリックするとボタンの下に右に示す座標入力欄が表示され始点と終点の座標を入力して「作成」ボタンをクリックして線分を作成することができます。一つの線分を作成すると終点座標が始点座標に移りますので続けて終点座標のみ入力し連続線を作成することができます。

連続線もスナップ点が表示されている場合はマウスでスナップ点を指示して連続して線分を作成できます。

形状メニュー: 1回クリック 新規

矩形 連続線 円

座標入力(スナップ基点が原点)

始点 X Y: 0 0

終点 X Y: 100 0

作成



円

円

このボタンをクリックするとボタンの下に右に示す座標入力欄が表示され中心の座標と半径を入力して「作成」ボタンをクリックして円を作成することができます。

円もスナップ点が表示されている場合はマウスで中心となるスナップ点と半径を示すスナップ点を指示して作成できます。

形状メニュー: 1回クリック 新規

矩形 連続線 円

座標入力(スナップ基点が原点)

中心 X Y: 0 0

半径: 50

作成

また形状作成時はマウスをイメージ上に持っていくとマウスの座標がリアルタイムで座標入力欄に表示されますので、座標入力欄で座標を確認しながらマウスを使って作成することもできます。

作成できる形状は矩形、連続線、円の3種類のみですが後で説明する図形編集機能と合わせて比較的複雑な形状もDXFデータを使わずに作成できるようになりました。

この形状作成ボタンのようにボタンを押してからイメージ上でマウスを操作する機能ではイメージ上でマウス右クリックするかESCキーで操作をキャンセルすることができます。

また形状作成機能は新規を除き先に説明したUNDO・REDO機能に対応していますので何度でもやり直すことができます。

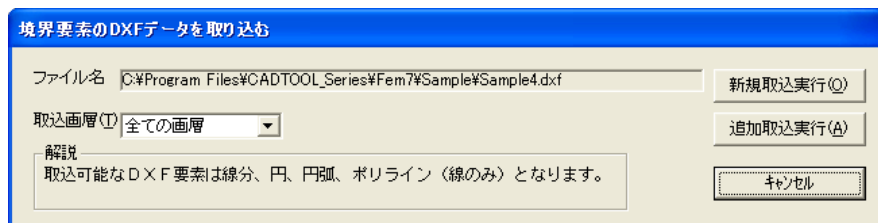
1.1. 境界要素追加機能

CADTOOL FEMでは支持条件や荷重条件などの境界条件は図形要素単位で設定するようになっており、Ver 4の平面板曲げ解析の内部境界条件以外は取り込んだ要素以外に境界条件を設定することができませんでした。Ver 5からこの境界要素追加機能より取り込んだ図形とは別に境界条件を設定するための図形を追加することができるようになりました。以下、その操作について説明します。



DXF境界取込

このボタンをクリックすると「DXF形状データ取込」と同様にファイル選択ダイアログが表示されファイルを選択して「開く」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。



ここではDXF形状データ取込と同様に取込画層の選択ができるようになっています。既存の境界要素を削除して新規に取り込みたい場合は「新規取込実行」ボタンをクリックし、既存の境界要素を残して取り込みたい場合は「追加取込実行」ボタンをクリックします。なおこのダイアログの解説にあるように取込可能なDXF要素は点と線分、ポリライン（線のみ）、円となります。



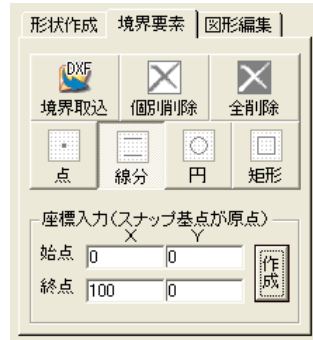
点・線分・円・矩形

これらのボタンを押してイメージのスナップ点か寸法引出し点と同じ線分や円弧の端点、円の四半円点、円と円弧の中心にマウスを持っていき、前述の点を認識すると緑の小さな○が表示されます。

点の場合は1点、線分は始点・終点の2点、円も中心と半径を示す点の2点、矩形は対角の2点を指示すると境界要素が追加されます。

また Ver 7 から右に示すように境界要素でも形状作成の座標入力欄と同じものが表示され、座標入力により境界要素を作成できるようになっています。またマウスをイメージ上に持っていくとマウスの座標がリアルタイムで座標入力欄に表示されますので、座標入力欄で座標を確認しながらマウスを使って作成することもできます。

なお境界要素の線分は形状作成のように連続線ではなく線分を一つずつ作成するようになっています。



デフォルトの設定では境界要素は灰色で表示されますが環境設定のイメージ表示設定で色を変更することができるようになっています。

マウスを使って1点目を指示するときはスナップの基点からの座標値がマウスアイコンの下に表示されるようになっています。2点目は1点目からの相対距離が表示されますのでそれを確認して設定していけば希望の位置に境界要素を設定することができます。なおスナップ点が非表示になっているとスナップ点を認識しません。取り込んだ要素の端点等を認識したい場合はスナップ点を非表示にしておくとい良いでしょう。

境界要素はスナップ点を使ってすることが多いと思われますが設定したい境界要素の位置が分かっている場合はそれに合わせてスナップ点の基点やピッチをスナップ設定で設定してください。

境界条件の付けられていない境界要素は計算時には無視されるので境界条件の付けられていない境界要素が残っていてもかまいません。元の形状から外れたところや穴部などメッシュ作成で要素が作成されない場所に境界要素を追加することも可能でそれらに境界条件を設定することもできますが、要素の無い場所の境界条件は計算時には無視されるようになっていますので通常は解析形状の内部に作成してください。

なお後で説明する複数材料条件を設定する場合は矩形の境界要素しか対応していないので複数材料を設定したい範囲に円や円弧がある場合はそれらの解析形状を含む範囲でめに設定しておきます。



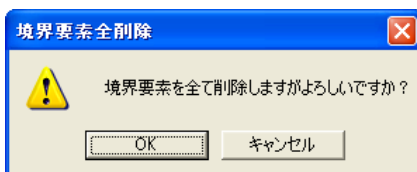
個別削除

このボタンを押して境界要素にマウスを持っていき境界要素を認識すると太い緑色で境界要素が表示されます。その状態でマウス左クリックするとその境界要素を個別に削除できます。



全削除

この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 [OK] ボタンをクリックすると設定データを全て削除して新規にやり直すことができます。



ここで [OK] ボタンをクリックすると境界要素が全て削除されます。

この境界要素の作成ボタンのようにボタンを押してからイメージ上でマウスを操作する機能ではイメージ上でマウス右クリックするかESCキーで操作をキャンセルすることができます。

また境界要素作成機能はいずれも先に説明したUNDO・REDO機能に対応していますので何度でもやり直すことができます。

境界要素の情報も設定データとして保存されますので重要なデータの場合は一旦保存してから作業を続けてください。

1 2. 図形編集機能

〔材質・図編〕タブにある図形編集の各ボタンを使って取り込んだ図形を編集することができます。なお図形編集のボタンのようにボタンを押してからイメージ上でマウスを操作する機能ではイメージ上でマウス右クリックするかESCキーで操作をキャンセルすることができます。以下、その操作について説明します。



分割

分割機能では指示した図形を所定の数に分割することができます。

これらのボタンを押した状態でマウスをイメージ上に持っていき線分、円、円弧の図形を指示します。

指示した図形の色が緑色に変わった状態でマウス左ボタンをクリックするとその図形が押ししたボタンの種類により 2, 3, 4, 5 分割されるようになっています。

なお 5 分割や後で説明する統合機能、トリム機能は Ver 7 から追加されたものになります。

〔CADTOOL FEM8〕では支持条件や荷重条件などの境界条件は図形要素単位で設定するようになっており、以前は図形要素の一部に境界条件を設定したい場合はD X F形状を編集して再取込する必要がありますでしたが、この図形編集機能により取り込んだ図形を分割して境界条件を設定することができるようになっていました。ただし分割に限らず境界条件が設定されている図形を編集した場合、境界条件は解除されるので必要に応じて後から再設定してください。



統合

統合機能では分割された2つの線分か円弧の統合することができます。

〔統合〕ボタンを押した状態で2線分か2円弧の接続点にマウスを持ていきます。指示した接続点につながる2つの図形の色が緑色に変わった状態でマウス左ボタンをクリックすると2つの図形が統合され一つの線分や円弧にすることができます。



弧→線

弧→線機能では指示した円弧を線分に変更することができます。

〔弧→線〕ボタンを押した状態でマウスをイメージ上を持っていき円弧を指示します。指示した円弧の色が緑色に変わった状態でマウス左ボタンをクリックすると指示した円弧が線分に変更されます。

解析形状に直線に近いような大円弧があるとうまくメッシュが切れない場合があります。その時に必要に応じて大円弧を分割して、大円弧をいくつかの線分に変換することによりメッシュが作成できるようになることがありますので試してみてください。



径変更

径変更機能では円と円弧の半径を変更することができます。

〔径変更〕ボタンを押した状態でマウスをイメージ上を持っていき円や円弧の図形を指示します。

指示した図形の色が緑色に変わった状態でマウス左ボタンをクリックすると次に示す、変更したい半径を入力するダイアログが表示されます。

変更する半径(≤11)を入力

3 (mm) OK 半径変更

半径入力ダイアログには変更可能な最大半径が表示されていますのでそれを参考に変更したい半径を入力して〔OK〕ボタンをクリックすると円や円弧の半径が変更されます。

0を入力することも可能で半径を0とするとその円や円弧は削除され、円弧の場合は前後の線分がつながられます。円弧の前後に線分がない場合は円弧の角度が90°の場合のみ半径の変更ができるようになっています。

また角度のある2線分の角にマウスを持っていき2線分が同時に緑色に変わった状態でマウス左ボタンをクリックすると円や円弧と同様に半径入力ダイアログが表示され半径を入力すると2線分の間に円弧を作成することもできます。

一般的に小さなR部では応力集中を起こして応力値が高い場合があり、応力を下げるにはR部の半径を大きくするのが有効ですが、トライアンドエラーで半径をいろいろ変えて検討したい場合に半径変更機能は便利です。また隅Rなどで極端に小さいRがあるとうまくメッシュが切れない場合もあります。その時にこの機能を使って隅Rを削除することによりメッシュが作成できるようになることがありますのでメッシュがうまく作成できない場合は試してみてください。



ストレッチ

ストレッチ機能では選択した図形を伸ばしたり縮めたりすることができます。

[ストレッチ]ボタンを押した状態でストレッチしたい図形を対角で指示してからストレッチ基準点、ストレッチ点を指示して、最初に対角で指示した図形をストレッチ基準点からストレッチ点まで伸ばしたり縮めたりします。

指定の対角を指示する場合は任意の点が選択できますがストレッチ基準点、ストレッチ点はスナップ点のみが指示対象となります。またストレッチ基準点、ストレッチ点是对角で指示した範囲とは関係ない場所で指示が可能ですので伸縮距離が分かりやすいところを使うと良いでしょう。

ストレッチで伸ばしてスナップ点の範囲を越えた場合は[全表示]で伸ばした図形のところまでスナップ点が表示されるようになります。対角で指示した矩形にかかっている図形が伸縮対象となりますが円弧がかかっている場合はストレッチできませんので注意してください。

ストレッチは任意の方向にできますが通常は水平か垂直方向へのストレッチが多いと思われます。斜めにストレッチしたくない場合は“ストレッチ方向を水平・垂直とする”のチェックボックスをチェックしておいてください。

またストレッチ点を指示するとき基準点との相対距離がマウスのところに表示されますのでそれを参考に決められた寸法にストレッチが可能です。



トリム

トリム

トリム機能を次に示しますが主に図形作成機能で生じた不要な図形を簡単に削除していき一筆書きの解析形状に仕上げるための機能になります。

- 指示した図形の両側に交差する他の図形がある場合は両側の交点に囲まれる図形の範囲を切り取ります。
- 指示した図形の片側に他の図形がある場合は図形のない側の端点から他の図形との交点までの図形を切り取ります。
- 指示した図形に交差する図形がない場合は指示した図形を削除します。

使い方は〔トリム〕ボタンを押した状態で線分か円弧、円にマウスを持ていきます。指示した図形の色が緑色に変わった状態でマウス左ボタンをクリックすると上記の条件に応じて図形が削除されます。

形状作成で矩形を重ねて作成したような場所で重ね描きとなっている部分ではトリムを複数回指示しないと図形を削除できない場合もあります。またトリム機能はD X Fファイルから取り込んだ形状にも有効ですが境界要素には対応していません。

なお図形編集機能はいずれも先に説明したUNDO・REDO機能に対応していますので何度でもやり直すことができます。

1 3．複数材料条件

材料条件は〔材質・図編〕にある材料1がデフォルトとなりますが次に示す〔境界条件〕タブにある複数材料条件で材料2～5にデフォルトの材料1とは異なる材質や板厚や密度（コマンドにより異なる）の設定ができます。

複数材料条件

材料2 | 材料3 | 材料4 | 材料5 |

材質

機械構造用鋼(S20C)

弾性係数(N/mm²)

206000

ポアソン比

0.3

板厚(mm)

2

適用

✕

個別削除

✕

全削除

☒ 選択タブの材料を強調表示

板厚確認
簡易三面図

上面図

側面図

なお複数材料条件を設定するにはあらかじめ矩形の境界要素を設定したい範囲に作っておく必要があります。

複数材料条件を適用するには適用したい材料タブの〔適用〕ボタン（熱応力解析コマンドでは〔矩形の境界要素に適用〕と表示されたボタン）を押して、あらかじめ追加しておいた矩形の境界要素にマウスを持っていくと太く緑色に表示されますので、その状態でマウス左クリックするとその材料が適用されます。なお複数材料条件は荷重条件と同じ矩形に適用できませんが支持条件とは共用できないので注意してください。

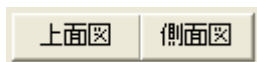


個別削除・全削除

基本的な操作は境界要素追加と同じで〔個別削除〕ボタンを押して個別に複数材料条件を削除したり〔全削除〕ボタンで複数材料条件を全て削除できます。

“選択タブの材料を強調表示”

3つ以上の材料を使っている場合イメージ上に材料1以外の材料番号が表示されますがこのチェックボックスをチェックしておくくと開いているタブの材料が太く表示されるのでどこに適用しているのか分かりやすくなります。



板厚確認用簡易三面図

平面応力解析で〔平面応力問題〕を選択している場合と平面板曲げ解析では異なる板厚の材料を使えますが、イメージ上では材料番号が表示されるだけなので板厚の関係が分かりにくい場合があります。その時にこれらのボタンを押すと押している間だけ上面図や側面図が表示されるので、材料1のベースの板厚に対して複数材料条件で設定した材料の板厚がどうなっているのか視覚的によく分かります。

なお材料2～5を適用した矩形の境界要素が重なっている場合は材料番号の大きい方が適用されるようになっていきますので注意してください。

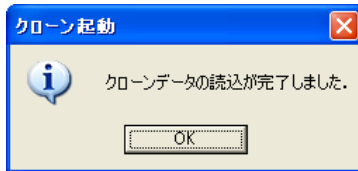
また複数材料条件の材料タブの選択、材質の選択や板厚の入力、材料の適用、個別削除や全削除などはいずれも先に説明したUNDO・REDO機能に対応していますので何度でもやり直すことができますが、強調表示の設定のような計算結果に直接影響しない設定にはUNDO・REDO機能は対応していませんので注意してください。

1 4. クローン起動

[ファイル] > [クローン起動]

解析が煮詰まってきたときに現状の設定は残しておいて少しだけ設定を変更したものと比較してみたいという状況があります。出力結果で比較する場合は問題ありませんがイメージを使ったような細かい所の比較は難しいので、その場合は一旦現状のデータを保存し新たに同じコマンドを起動して保存したデータを読み込んでから設定を変更するという操作が必要になります。

V e r 7から追加されたクローン起動機能ではプルダウンメニューの [クローン起動] をクリックするだけで上記の操作を簡単に行えるようになっています。このメニューをクリックすると新たに同じコマンドが起動して次のメッセージが表示されます。



クローン起動したときのファイル名は次に示すように元になったファイル名に“(クローン*)”が付くようになっています。この*は同名のファイルがあるときは連番になっていきます。



クローンが起動したら必要な設定を変更して計算実行すれば元のデータとの詳細な比較が可能です。

このクローンファイルは一旦元になったファイルと同じフォルダに作成されますがクローン起動後に自動で削除されますのでクローンファイルが溜まっていくことはありませんが、逆に残しておきたい場合は名前を変えるなりして保存しておく必要があります。

1 5. 荷重逆算機能

[荷重逆算]

プルダウンメニューにある [荷重逆算] 機能はV e r 8から追加された機能で最大変位や最大応力を指定して荷重値を逆算する機能になり計算を実行すると使えるようになります。

計算を実行するとプルダウンメニューにある「荷重逆算」が使えるようになりますので、これをクリックすると次に示す荷重逆算ダイアログが開きます。

対象項目	現在値	修正値	
最大変位	0.121635	0.121635	荷重条件に反映
最大主応力	72.69399	72.69399	
最小主応力	-59.94692	-59.94692	反映後再計算
最大せん断応力	33.0848	33.0848	
最大ミーズス応力	69.66132	69.66132	キャンセル

ここで対象項目を選択して修正値を入力します。荷重逆算機能は「平面応力解析」「平面板曲げ解析」「回転体応力解析」の3コマンドにありますが熱応力解析コマンドにはありません。また起動したコマンドにより対象項目の名称や項目数は異なります。

ここで対象項目を選択して修正値を入力します。続いて「荷重条件に反映」ボタンをクリックすると指定した修正値になるように荷重条件に反映させます。

「反映後再計算」ボタンをクリックすると荷重条件に反映してから計算を自動で行います。

「平面板曲げ解析」で垂直分布荷重を設定している場合はその値も修正されます。また「回転体応力解析」で軸回転数を設定している場合はその値も修正されます。

荷重逆算機能の操作自体は難しいものではありませんので各自で試してみてください。チュートリアルには事例も出ていますので必要に応じてこちらも参照してください。

「平面応力解析」や「平面板曲げ解析」、「回転体応力解析」は物質の比例限度内での変位や応力を解析するものなので荷重と変位や応力が比例するので、希望の変位や応力になるように荷重値を修正するのは手計算でも可能ですが「荷重逆算」機能を使えばより簡単に行うことができます。

変位や応力を基準として設計したい場合は、最初は適当な荷重条件で計算しておきその後にこの機能で基準とする変位や応力にすればどの程度の荷重条件にすれば良いかという判断が簡単に分かります。

なおVer8から追加された熱応力解析コマンドでは変位と応力に荷重条件と温度条件が関係するので「荷重逆算」機能は組み込まれておりません

16. 等値線テンプレートについて

等値線テンプレートは作業フォルダができている場合は作業フォルダの下、インストールフォルダに書き込みできる場合はインストールフォルダの下にある¥TemplateというサブディレクトリにCSV形式でコピーされます。

標準ではConter1.csvとConter2.csv、Conter991.csv、Conter992.csvの4つが入っています。そのConter1.csvをExcelで読み込んだものを次に示します。

	A	B	C	D	E
1	軟鋼: 静荷重				
2	等値線応力(N/mm2) R(赤)	G(緑)	B(青)		
3	-1000	255	40	0	
4	-800	255	60	0	
5	-600	255	80	0	
6	-500	255	100	0	
7	-400	255	120	0	
8	-350	255	135	0	
9	-300	255	150	0	
10	-250	255	165	0	
11	-200	255	180	0	
12	-180	255	195	0	
13	-160	255	210	0	
14	-140	255	225	0	
15	-120	255	240	0	
16	-100	255	255	0	
17	-90	240	255	0	
18	-80	225	255	0	
19	-70	210	255	0	
20	-60	195	255	0	
21	-50	180	255	0	
22	-40	165	255	0	
23	-30	150	255	0	
24	-20	135	255	0	
25	-10	120	255	0	
26	0	0	255	0	
27	10	0	255	120	
28	20	0	255	135	
29	30	0	255	150	
30	40	0	255	165	

一行目が設定内容を示すタイトルとなりこれがリストボックスに表示されます。2行目は項目名で読み飛ばされ3行目以降、等値線応力（等値線を作図する応力値）、RGBによる等値線の色設定が分割数だけ並びます。

等値線応力は小さい方から大きい方（－が圧縮で＋が引張り）へ設定します。色の設定は0—255の範囲で自由に行えますので材質や荷重条件等のチェック内容によって安全な範囲や要注意範囲が分かりやすいように設定すると良いでしょう。また分割数の最大値は100までとなっておりそれ以上設定しても無効です。

ここでConter1.Csvはタイトル行にあるように「軟鋼：静荷重」を想定したもので、 $\pm 100 \text{ N/mm}^2$ の応力範囲を水色から黄色（圧縮が赤側、引張りが青側、分割数47）で表示されるようになっていきます。

Conter2.Csvは「軟鋼：交番荷重」を想定したもので $\pm 40 \text{ N/mm}^2$ の応力範囲が水色から黄色（分割数55）で表示されるようになっていきます。これらは荷重条件に合わせて選択し、等値線の色がその範囲を越えると要注意ということが分かるような設定になっています。

Conter991.CsvとConter992.Csvは後で説明する応力等値線テンプレート簡単作成ツールの参照用として分割数が33と17のサンプルデータになっており、これらの既存のテンプレートの色設定や分割数を参照して新しいテンプレートを簡単に作れるようになっていきます。

標準のテンプレートの色設定は圧縮（応力は－）を赤側、引張り（応力は＋）を青側としていますが後で説明する応力図の表示設定にある“赤青反転”のチェックボックスで色の表示を簡単に反転（引張りが赤側、圧縮を青側）させることができるようになっていきます。

またVer 7から後で説明する応力等値線スケール設定機能が追加され、任意の最大・最小応力を入力して等値線図の色を更新する機能もあります。

等値線テンプレートは前述の \forall Templateにある拡張子がCSVのファイルを全て読み込むようになっています。したがってこのディレクトリには等値線テンプレート以外のCSVファイルを入れないようにしてください。

またこのデータファイルは材質データ同様、テキストなのでメモ帳や他のテキストエディタでも編集は可能ですがCSV形式はデータがカンマで区切られていますので一行のカンマの数が合わないとうまくデータが読み込めなくなり起動時にエラーが発生しますので注意してください。

新しい色設定や分割数でテンプレートを作成する場合は既存のデータファイルを編集して“名前を付けて保存”で、別名で保存すると良いでしょう。

既存の色設定や分割数で良い場合は後で説明する応力等値線テンプレート簡単作成ツールを使うと簡単に新しいテンプレートを作成することができますのでそちらも利用してみてください。

17. 引出線機能

計算実行後にマウスをイメージの上に持っていきと表示している図の種類に応じて節点の変位や応力がポップアップしてマウスアイコンの下に表示されるようになっています。

この引出線機能を使うとポップアップしたその内容をイメージの中に引出線として記入することができ、V e r 7から引出線のデータも保存されるようになっています。以下、その操作について説明します。

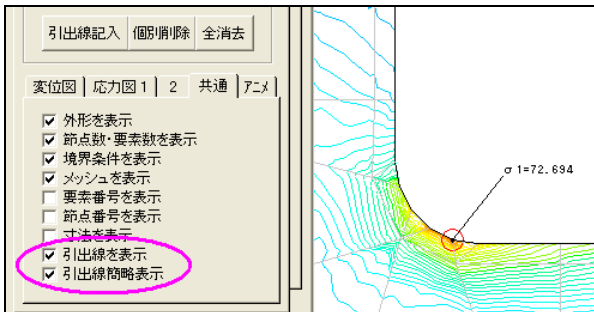
引出線記入

引出線記入

まず表示する図の種類で引出線を記入したい図を選択し必要に応じて拡大しておきます。次に図の種類のボタンの下にある「引出線記入」ボタンを押してから計算結果を引き出したいイメージ上にマウスを持ていきます。マウスアイコンが指差しアイコンに変わっているのを確認して引き出したい計算結果がポップアップする位置にマウスを持ていきます。

小さな○が表示され計算結果がポップアップした状態でマウス左クリックして引出点を指示し、続いて記入点を指示すると記入点の右側にポップアップしていた内容が記入されます。なお引出線は図の種類ごとに最大30箇所まで記入できるようになっています。

また「共通」タブにある“引出線を表示”のチェックボックスで表示の切り替えができ、さらに“引出線簡略表示”をチェックすると引出線に節点番号や要素番号などを表示しないで計算結果のみを表示することができます。



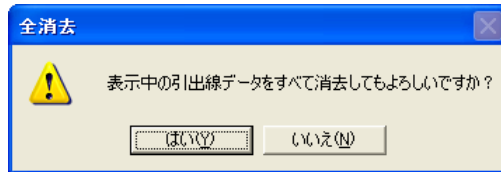
従来は再計算すると引出線は削除されていましたがV e r 7から材質や板厚、境界条件等を変更しメッシュに大きな変更がない場合には引出点の計算結果から引出線の表示を自動で更新するようになっています。

個別削除**個別削除**

このボタンを押して引出線にマウスを持っていき引出線を認識すると太く表示されます。その状態でマウス左クリックするとその引出線を個別に削除できます。

全消去**全消去**

この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 [OK] ボタンをクリックすると表示中の引出線データを全て消去します。ただし引出線は表示する図の種類毎にデータが保持されるので全消去しても表示されていない図に記入した引出線データは消去されません。



なお引出線機能も先に説明したUNDO・REDO機能に対応していますので何度でもやり直すことができます。

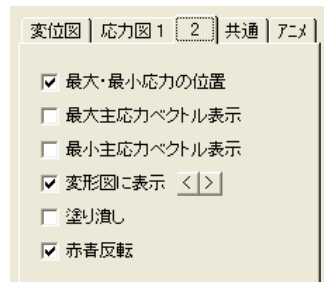
18. アニメーション機能

Ver 6から応力等値線図を応力0の状態から計算結果の最大応力値まで増えていく様子をアニメーション表示できるようになりました。以下、その操作について説明します。

まず計算実行後に表示する図の種類でアニメーション表示したい応力等値線図を選択します。その計算結果のイメージがアニメーションの最終イメージとなりますのでアニメーションしたい表示条件を右に示す [応力図1] と [2] のタブで設定しておきます。

通常は [2] の表示条件で“変形図に表示”をチェックしてさらにアニメーションの動きが大きくなるようにその右にある [>] ボタンで変位倍率を大きく設定しておくといいでしょう。“塗り潰し”についてはどちらでも良いのですがアニメーション表示では塗り潰しをしないで等値線を表示した方が、等値線が動いていく様子が見えて分かりやすいように思います。

なお [共通] タブの表示設定は、アニメーション実行中は無視されます。




次に「アニメ」タブを開くと右のようになっています。
このアニメーション設定でアニメーションのステップ数と遅延時間を設定します。

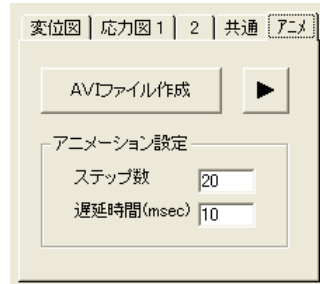
ステップ数は応力 0 ～最大までをいくつに分割してアニメーション表示するかになります。

遅延時間は一つのステップの表示が終わってから次のステップに移る時にタイムラグを設けるものでアニメーションの表示が速すぎる場合は遅延時間を大きくしますが通常は表示処理に時間がかかるので大きくする必要はないと思います。

設定が良ければアニメーションの実行ボタン  をクリックするとアニメーションが開始します。

アニメーション実行中はイメージ左上に進行状況が表示されるようになっています。また実行ボタンがアニメーション中止ボタン  となり、これをクリックするとアニメーションが中止できるようになります。

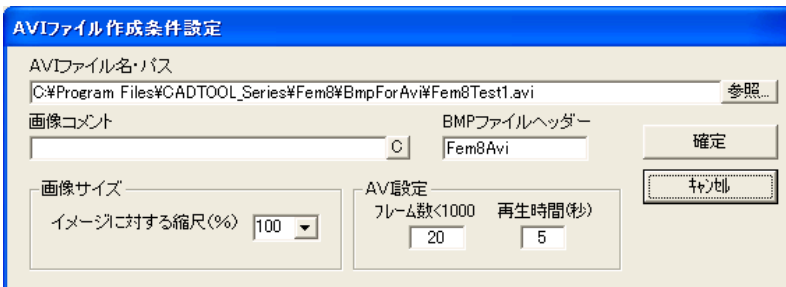
アニメーションの操作や設定は難しいものではありませんので、イメージを拡大してみたり、主応力ベクトルを表示してみたりなどと表示条件を変えて、分かりやすいアニメーションになるように試してみてください。



19. AVI出力機能

アニメーションと同様の動画をAVIファイル（Windows標準の動画ファイルフォーマット）として作成することができます。以下、その操作について説明します。

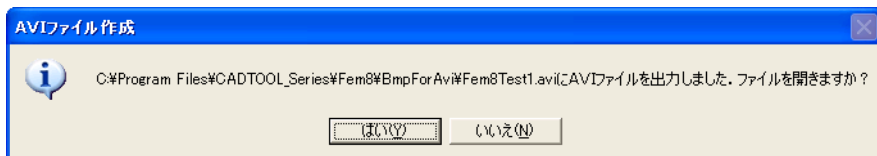
「アニメ」タブにある「AVIファイル作成」ボタンをクリックすると次に示すAVIファイル作成条件設定ダイアログが表示されます。



ここではAVI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、AVI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、AVI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。AVIファイルが正常に作成されると次に示すダイアログが表示されます。



ここで「はい」を選択すると拡張子AVIが関連づけられたアプリケーションが起動して直ちに再生することができます。

通常はWindows標準のWindows Media Playerが起動すると思いますが、他のAVI形式に対応した動画再生アプリケーション等で再生する場合は出力されたAVIファイルを直接読み込んでください。

作成されるAVIファイルは無圧縮フォーマットなのでファイルサイズが大きくなりますので必要に応じて画像サイズの縮尺を小さく設定してからAVIファイルを作成してください。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。

BMPファイルは作業フォルダができている場合は作業フォルダの下、インストールフォルダに書き込みできる場合はインストールフォルダの下の¥BmpForAviに作成されます。

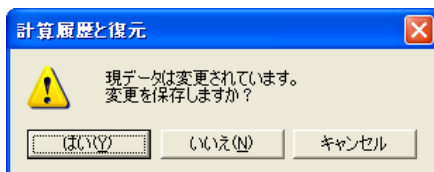
BMPファイルヘッダーを変更しない場合は次回AVIファイルを作成するときに上書きされますのでBMPファイルを取っておきたい場合は事前に別のフォルダにコピーしておくかBMPファイルヘッダーを変更しておいてください。逆にBMPファイルを取っておく必要がないのにBMPファイルヘッダーを変更していくと不要なBMPファイルがどんどん溜まっていきますので注意してください。

20. 計算履歴機能

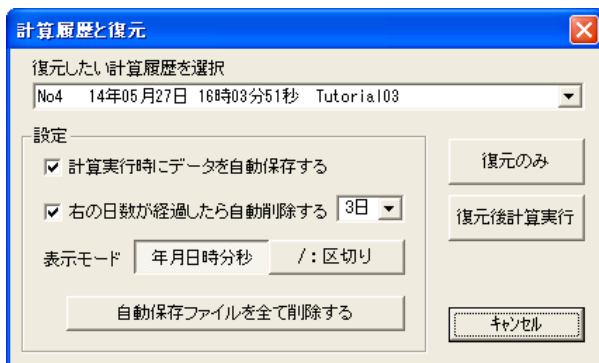
プルダウンメニューにある「計算履歴」は設定データを編集して計算するとその時の設定内容を自動保存して後から再現できる機能です。

これは保険みたいな機能になりトライアンドエラーで最適な設計条件を探している場合に、本来は計算する毎に手動で保存していけば良いのですが面倒ですし無駄なデータも増えるので通常は保存しないで作業を進めることが多いと思います。その後、一連の計算結果を検討して何回か前の計算が最適な設計条件だったことが分かっても、その条件を完全に覚えていないと再現が難しい場合が出てきます。そのような場合に自動保存している計算履歴から最適な設計条件だったデータを探し出して復元することができる機能になります。

プルダウンメニューの「計算履歴」をクリックすると設定データが編集されている場合には、まず次のメッセージが表示されます。



ここで「はい」を選択するとデータの保存に進みますが、ここでは「いいえ」をクリックして計算履歴と復元のダイアログを開きます。



上部のリストボックスで復元したい計算履歴を選択します。その下の設定で自動保存をするかしないか、設定したある日数毎に自動保存したデータを削除するかどうか、計算履歴に表示される時刻の表示モードの選択、自動保存ファイルを全て削除するなどができるようになっています。

計算履歴のリストボックスには自動保存した古い順にNoが付けられ、続いて年月日時分秒、作業中の拡張子のないファイルと一緒に表示されます。時刻の表示は設定の表示モードで変更できますので見やすい方を選択してください。

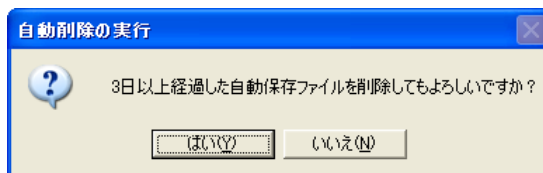
計算履歴のダイアログで復元したい計算履歴を選択し「復元のみ」ボタンをクリックするとデータの復元のみが行われ、「復元後計算実行」ボタンをクリックした場合はデータを復元した後直ちに計算が実行されるようになっています。またタイトルバーには復元した計算履歴の情報が表示されるようになっています。

前述のように計算履歴は保険のような役割で設定によりデータを編集して計算を実行するごとにどんどん自動保存されて溜まっていきます。あまり古いデータでは取っておいても役に立たないことが多いので3日程度で自動的に消去していく設定（デフォルト設定）で良いように思いますが計算する頻度や運用方法等を考慮して各自で設定を決めてください。

なお参考までに説明しておく自動保存するファイルは作業フォルダができている場合は作業フォルダ、インストールフォルダに書き込みできる場合はインストールフォルダにコマンド識別ID+時刻情報+ファイル名+拡張子“.ct\$”として保存していきます。またデータ形式は既存データと同じフォーマットのテキスト形式になっています。

また自動保存されたデータがあるとスタートアップの「計算履歴と復元からスタート」ボタンが使えるようになります。

なお計算履歴の設定で古いデータを自動削除するようになっていて該当するデータがある場合は次のメッセージが表示されます。（これは3日経過したら自動削除する設定をしている例）



ここで「いいえ」をクリックすると古いデータを残したまま計算履歴と復元のダイアログが表示されます。ここで「はい」をクリックすると古いデータが削除されてから計算履歴のダイアログが表示されますが削除されたデータは元に戻せませんので注意してください。

解析業務ではトライアンドエラーで計算条件を詰めていく場合も多いので計算履歴機能を活用するといちいち保存する必要もなく便利ではないかと思います。あらかじめ計算履歴の機能を良く理解して活用してください。

2 1. ミーゼス応力について

Ver 6から3次元のCAEソフトで強度の判定に良く使われるミーゼス応力が追加され、その最大値と等値線図が表示できるようになりました。ミーゼス応力とは合成応力の一つで一般には3次元での垂直応力（3成分）とせん断応力（3成分）の6つの成分を統合した応力になります。[CADTOOL FEM8]では解析のタイプに応じて次に示す式で求められます。

平面応力解析（平面応力問題）

$$\sigma_{\text{Mises}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_z^2 + 3 \tau_{xy}^2}$$

平面応力解析（平面ひずみ問題）

$$\sigma_{\text{Mises}} = \sqrt{\frac{1}{2} \{ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + 6 \tau_{xy}^2 \}}$$

平面板曲げ解析

$$\sigma_{\text{Mises}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}$$

回転体応力解析

$$\sigma_{\text{Mises}} = \sqrt{\frac{1}{2} \{ (\sigma_r - \sigma_z)^2 + (\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta)^2 + 6 \tau_{rz}^2 \}}$$

ミーゼス応力は3次元ソリッドモデルを使ったCAEソフトでは強度の評価に便利なものですが、平面応力解析や平面板曲げ解析のような2次元平面の解析では主応力で判断した方が分かりやすいと思いますのでミーゼス応力は参考程度に使ってください。

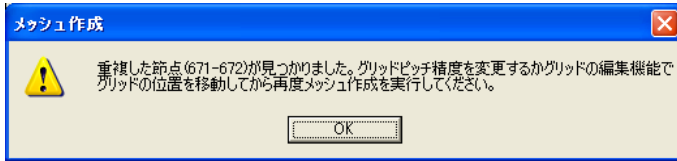
一方、回転体応力解析では断面平面内の応力と円周方向の応力があるので、こちらはまずミーゼス応力の高い部分に注目して、それからその部分の断面平面内の応力が高いのか、円周方向の応力が高いのかを見ていくようにすると良いでしょう。

2 2. 表示されるメッセージについて

CADTOOL FEMではさまざまな場面でメッセージが表示されることがありますが多くは確認メッセージや設定に不具合がある場合の警告メッセージで、メッセージの内容にしたがって操作や設定を行うことにより解決できるものです。

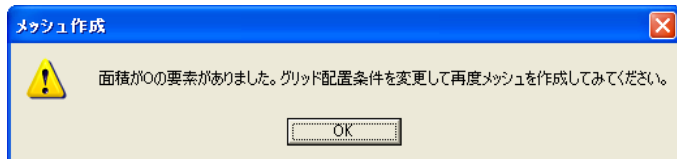
ただしメッシュがうまく作成できないとか有限要素法の計算が正常に終了しない場合もメッセージが表示されますがこれらはメッセージの内容だけでは対応方法が分かりにくいのでここで表示されるメッセージとその対応方法を説明します。

- 重複した節点が見つかった場合に次のメッセージが表示されます。



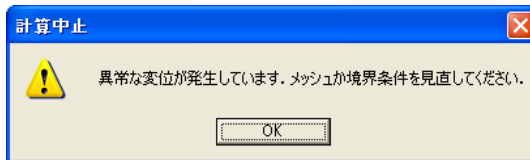
対策としてはグリッドピッチ精度を変更するか、イメージ上に重複した節点位置に○が表示されますのでその部分のグリッドを移動や削除して再度メッシュを作成してください。

- 面積が0の要素ができてしまった場合は次のメッセージが表示されます。



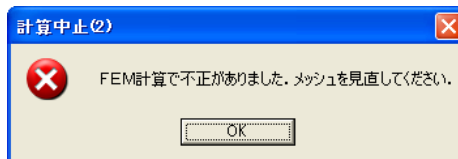
これもグリッド配置条件を変更して再度メッシュを作成してください。

- 計算がほぼ終了した時点で次のメッセージが表示され計算が中止することがあります。



これが表示されるときは支持条件に不備があるとか部品の強度に対して過大な荷重をかけているとかの境界条件に問題がある場合が多いのでその辺をチェックしてみてください。またメッシュに起因することもあるので境界条件に不備がなければメッシュも見直してください。

- 同様に計算がほぼ終了した時点で次のメッセージが表示され計算が中止することがあります。



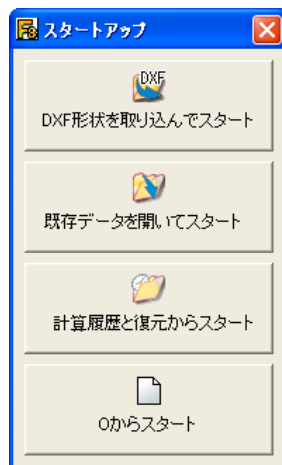
これは計算過程でエラーが生じている場合ですが具体的な原因を特定することが困難な場合に表示されます。ただし多くの場合はメッシュに起因すると推定されるのでグリッドピッチ精度を変更するなどしてメッシュを作り直してから計算してみてください。

第5章 平面応力解析

1. スタートアップメニュー



コマンド選択メニューで「平面応力解析」ボタンをクリックして起動すると右下のスタートアップメニューが表示されます。



新規に解析を行いたい場合は「DXF形状を取り込んでスタート」をクリックするとDXFファイル選択ダイアログが表示されますので解析したい形状を取り込みます。

「既存データを開いてスタート」を選択した場合は既存データのファイル選択ダイアログが表示されますので計算したいデータを選択して開きます。

これらのファイル選択操作は第4章の「2. ファイル入出力」を参照してください。

計算履歴情報があると「計算履歴と復元からスタート」が使えるようになります。計算履歴については第4章の「20. 計算履歴機能」を参照してください。

Ver 7から追加された形状作成機能で新規に解析形状を作成する場合は「0からスタート」を選択します。

スタートアップメニューの右上の×ボタンをクリックするとコマンドは終了します。

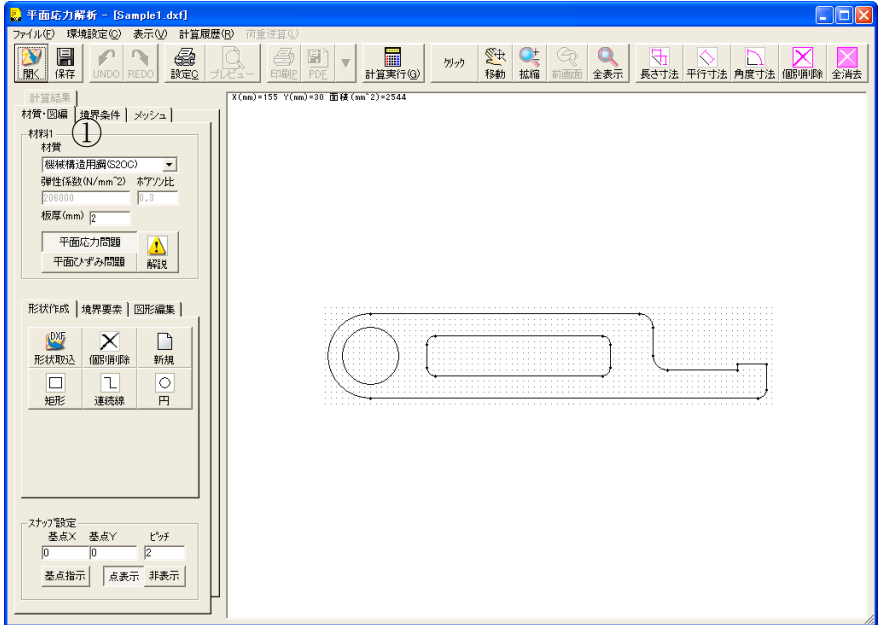
「CADTOOL FEM 8」では作業フォルダができている場合は作業フォルダの下、インストールフォルダに書き込みできる場合はインストールフォルダの下の¥Sampleフォルダにサンプルデータがコピーされます。なお作業フォルダに関しては第2章の「5. 作業フォルダについて」を参照してください。

ここでは「DXF形状を取り込んでスタート」で¥SampleフォルダにあるサンプルデータSample1.dxfを読み込んだ状態で説明を続けていきます。

この形状はコマンド選択メニューのアイコンに表示されているような板物のアーム部品を想定したものになっていて、左側の穴にシャフトが通って溶接等で固定され、右端で他の部品を押すようなものを考えています。

2. 材質・図編

スタートアップメニューでDXFファイルか既存データの読み込みを実行すると次のウィンドウが表示され形状イメージが表示されます。また既存データを読み込んだ場合は境界条件のイメージも表示されます。



最初は機能選択タブが「材質・図編」になっていますのでここで材質の選択や材料の設定、図形編集を行います。

①材料1：材料1がデフォルトの材料となり複数材料条件を使用しない場合や複数材料条件が設定されていない部分はここで設定した材料が適用されます。

- ・材質：使用する材質をリストボックスから選択します。ここで「任意」を選択すると弾性係数とポアソン比に任意の値を入力できるようになります。またこの材質データは自由に編集や追加ができますが、その方法については第4章基本操作を参照してください。
- ・板厚と計算の種類：計算に使用する板厚を入力し、計算の種類を選択します。計算の種類で「平面応力問題」とは一般の板物部品などの応力を求めるようなX、Y方向に対し板厚が十分薄い場合で垂直応力を0と仮定して計算されます。

〔平面ひずみ問題〕は鋼材や引抜材などの断面の応力を求めるようなX、Y方向に対し板厚が十分厚い場合で垂直ひずみを0と仮定して計算されます。

いずれの場合も入力した板厚とは無関係なので〔平面ひずみ問題〕の場合に板厚を1mmにしておけば荷重値を長さ1mmあたりの単位荷重として取り扱うことができます。これらのボタンの右にある〔解説〕ボタンをクリックするとここで説明した内容が表示されるようになっていますので必要に応じて参照してください。

なお〔平面ひずみ問題〕を選択した場合は複数材料条件で板厚が入力できなくなり全て材料1の板厚が適用されるようになっていますが材質を変更することは可能です。

〔平面ひずみ問題〕を選択して複数材料条件で材質を変えた場合は“金太郎飴”のようなイメージになります。

ウィンドウ上部のプルダウンメニューとアイコンボタン、〔材質・図編〕タブにある〔形状作成〕〔境界要素〕〔図形編集〕の各タブや〔スナップ設定〕の機能や操作は第4章基本操作を参照してください。

ここでは材質を〔機械構造用鋼(S20C)〕、板厚を2mm、計算の種類を板物部品なので〔平面応力問題〕として、次の境界条件の設定に進みます。

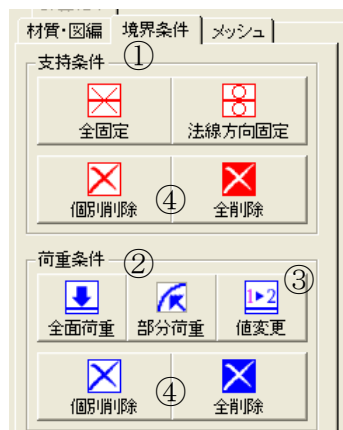
3. 境界条件

境界条件とは取り込んだ形状の外的な要因を設定するもので、機能選択タブの〔境界条件〕をクリックして支持条件や荷重条件の境界条件を設定します。

Ver 5からは境界要素追加機能で追加した要素にも取り込んだ形状と同様に境界条件を設定することができます。

①支持条件：支持条件には〔全固定〕と〔法線方向固定〕の2種類があり、要素単位に設定します。まず設定したい種類の固定方法のボタンを押してイメージ上にマウスアイコンをもっていきます。要素を認識するとその要素が緑色に表示されますのでその要素で良ければマウス左クリックします。

〔全固定〕の場合は選択した要素上に×印が表示され固定されたことを示します。



〔法線方向固定〕で線分を指示した場合は線分方向には自由となり線分の両側にコロのイメージの○印が表示されます。

〔法線方向固定〕で円を指示した場合は穴をシャフトで支持したとして円の接線方向を自由としますが一般にはこのような場合シャフトと穴に隙間が考えられるのでクリックした点に近い四半点の前後 45° がコロで支持された状態となります。ただし初期状態の接線方向を自由としているだけなので穴部の節点の変位により接線方向にも支持力が働くようになります。穴部が大きく回転するような条件では正確に計算できません。

また実際に固定されるのは設定した要素上にある節点となるので計算上いくつかの節点が固定されるのかはメッシュの精度によって異なります。

②荷重条件：荷重条件には〔全面荷重〕と〔部分荷重〕がありますが部分荷重は隙間のある穴にシャフト側から荷重がかかる場合を想定していますので選択できる要素は円のみとなります。

荷重条件を設定する場合は設定したい種類の荷重条件のボタンを押して支持条件と同様にイメージ上にマウスアイコンをもっていき要素を認識したらマウス左クリックします。

次に荷重方向を示す矢印がマウスの動きに対応してドラッグしますので荷重の方向を決めてマウス左クリックで決定します。この時の角度は自動的に 15° 単位になります。

荷重の方向を決めると右に示す荷重値入力ダイアログが表示されますので荷重値を入力して〔OK〕ボタンをクリックします。

部分荷重を選択した場合（円のみ）は荷重方向の前後 45° の範囲に荷重がかかるようになります。また支持条件と同様に実際に荷重がかかるのは設定した要素上にある節点に荷重を振り分けてかけるようになりますのでメッシュの精度によって計算上の荷重のかかり方は異なってきます。

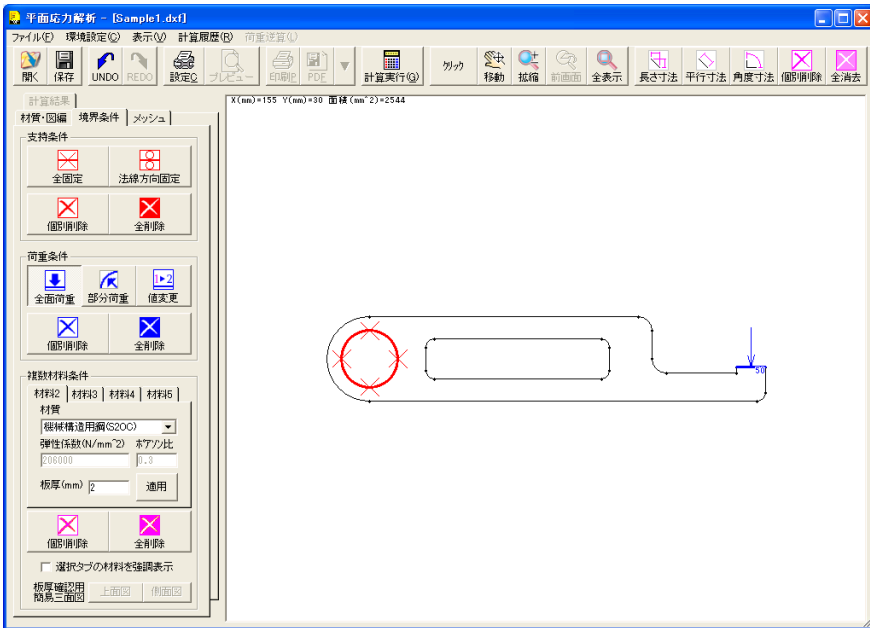
③荷重値変更：荷重値を変更したい場合は〔荷重値変更〕ボタンを押して既に荷重条件が設定されている要素をマウス左クリックします。すると②と同じ荷重値入力ダイアログが表示され設定されている荷重値が表示されていますので変更する荷重値を入力して〔OK〕すると荷重値のみ変更できます。

④個別削除・全削除：支持条件、荷重条件の一つを削除したい場合はそれぞれの〔個別削除〕ボタンを押して設定されている要素を設定時と同様の操作でマウス左クリックするとその境界条件が削除されます。

支持条件、荷重条件の全ての設定を削除したい場合はそれぞれの「全削除」ボタンをクリックします。確認のメッセージが出ますので「OK」とすると全ての設定内容が削除されます。

また境界条件はUNDO・REDO機能に対応していますので何度でもやり直すことができます。UNDO・REDO機能の詳細は第4章の「UNDO・REDO機能」を参照してください。

ここで読み込んでいるサンプルデータは左側の穴がシャフトに固定され右側に荷重がかかる機械装置のアーム部品を想定したもので左側の穴を全固定し右側の先端部に下向きに50Nの全面荷重をかけます。

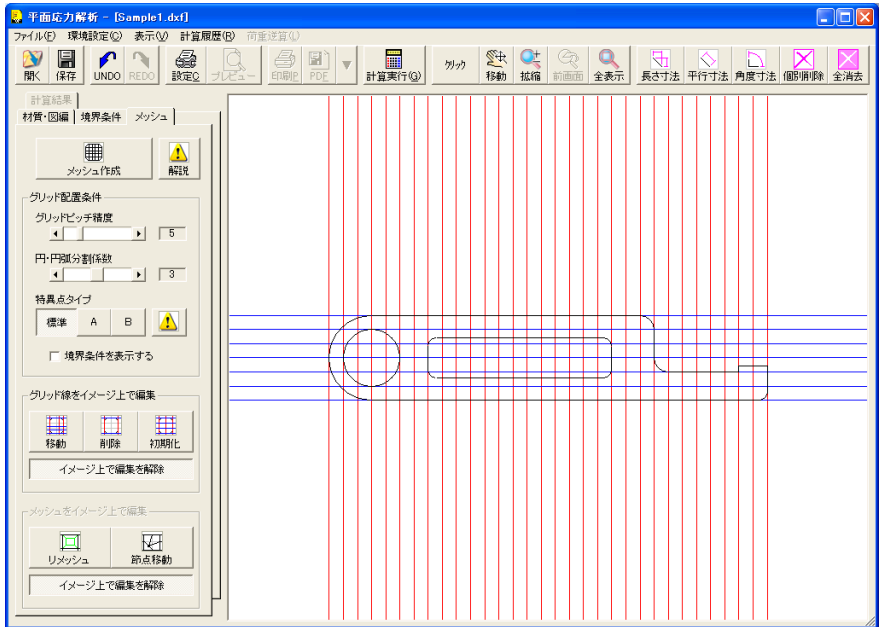


4. メッシュ作成

機能選択タブの「メッシュ」をクリックして解析する形状から計算に使用する要素に分割したメッシュを作成します。

本ソフトではグリッドメッシュ法により自動でメッシュが作成されます。この方法は解析する形状に適当なピッチのグリッド（格子）を当てはめて一つのグリッド毎に要素を作成していく方法です。

このグリッドのピッチは解析する形状の大きさを「グリッドピッチ精度」に比例した数で分割した長さを基本とし、また特異点（グリッドが必ず通る点）を通るようにピッチが調整されます。




Ver 4以降から特異点のタイプを選択できるようになりました。以下にその特徴を説明します。

特異点タイプ標準：従来のデフォルトタイプで形状を囲む四角の端点や大きな円の四半点、小さな円の中心などを特異点としています。

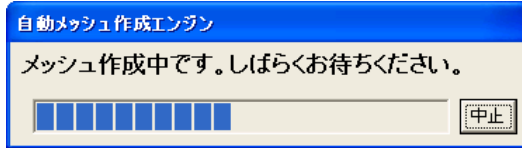
特異点タイプA：円弧端点重視タイプで標準の特異点に加え外形線が水平、垂直から折れ曲がる点の特異点とします。主にコーナーR等の円弧の端点の特異点としたい場合に選択します。

特異点タイプB：円四半点重視タイプで標準の特異点に加え外形線が水平、垂直方向に向きが変わる折れ曲がる点の特異点とします。主に円の四半点の特異点としたい場合に選択します。

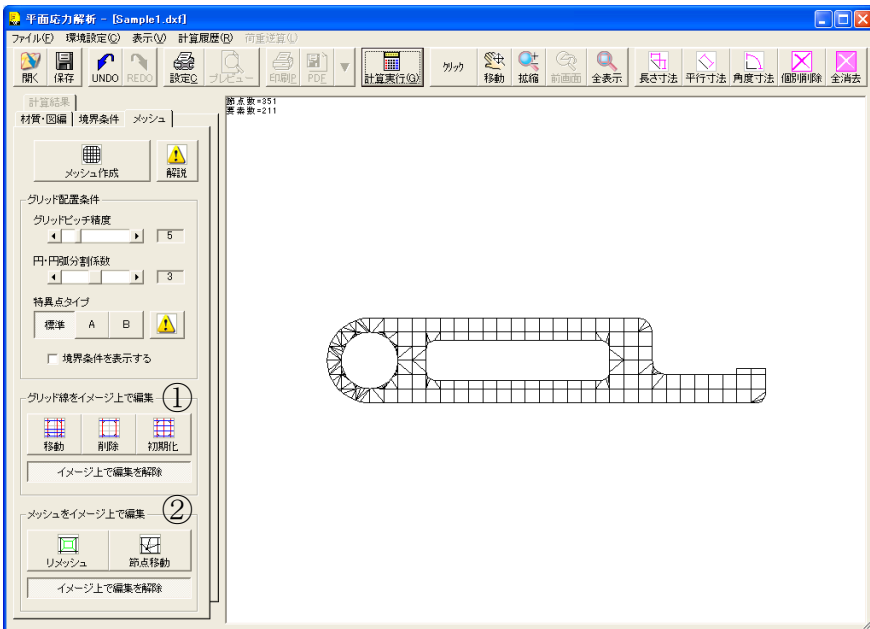
グリッドピッチ精度が小さい場合にはこれらの特異点タイプの影響が大きいです。グリッドピッチ精度が大きい場合は影響が少なくなります。また形状によって特異点タイプの影響を大きく受けるものや影響が少ないものもありますのでいろいろと試してみると良いでしょう。

なお上記の説明は特異点タイプ選択ボタン右端の （解説） ボタンをクリックすると解説ダイアログが表示されるので必要に応じて参照してください。

以上のグリッド配置条件を決めてから［メッシュ作成］ ボタンをクリックするとメッシュが作成されます。メッシュ作成中は次に示す処理の進行を示すプログレスバーが表示されます。またプログレスバー右の［中止］ ボタンをクリックすると処理を中止することができます。




次に示すようにメッシュが作成されると左上に節点数と要素数が表示されますが、この場合の節点数は四角形要素の頂点のみの節点数となっています。



円や円弧は［円・円弧分割係数］に対応した線分に分割されてメッシュが作成されます。作成されるメッシュは当てはめたグリッドの状態でだいたいの様子が分かります。

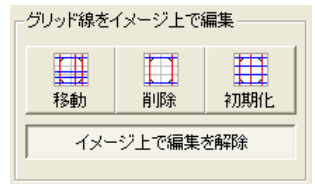
グリッドが細かくなるとメッシュの作成に時間がかかるようになりますのでグリッドの状態で［グリッドピッチ精度］や［円・円弧分割係数］を変えてみて良いと判断できたらメッシュを作成するようにすると良いでしょう。

またグリッドピッチは自動で調整されますので〔グリッドピッチ精度〕や〔円・円弧分割係数〕を変えてもグリッドが変わらない場合もあります。またグリッドがあまり細かい場合はメッセージが出てメッシュの作成はできないようになっていますので、その時はグリッドピッチ精度を小さくしてください。

また〔メッシュ作成〕ボタンの右にある  (解説) ボタンをクリックするとここで説明した内容が表示されるようになっていますので必要に応じて参照してください。

本ソフトで採用している四角形8節点アイソパラメトリック要素は応力集中部にある細長い要素や周辺要素にくらべて極端に小さい要素では応力の誤差が大きくなります。そういう部分の要素形状を整えるには次に説明するグリッドの編集機能を使ってグリッド位置を変更してからメッシュを作成するか、Ver 4以降ではメッシュを作成してから〔メッシュをイメージで編集〕を使ってメッシュを直接編集する方法が追加されました。

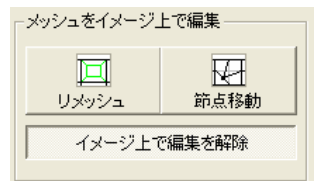
①**グリッド線をイメージで編集**：グリッドを移動するには右に示す〔グリッド線をイメージで編集〕にある〔移動〕ボタンを押して、マウスをグリッド線に近づけるとグリッド線が緑色に変わります。その状態でマウス左ボタンを押したままドラッグするとグリッド線を移動することができます。移動できる範囲は隣り合うグリッド線までです。



〔削除〕ボタンを押した場合はグリッド線が緑色に変わった状態でマウス左ボタンをクリックするとそのグリッド線を削除できます。

初期状態に戻したい場合は〔初期化〕ボタンを押します。またグリッドの編集機能を終わるには〔イメージ上で編集を解除〕ボタンを押します。

②**メッシュをイメージで編集**：メッシュを編集するには〔メッシュをイメージで編集〕にあるボタンを使用します。メッシュ編集機能には〔リメッシュ〕と〔節点移動〕の2つがあります。〔リメッシュ〕はメッシュを構成している要素を分割してさらに細かいメッシュを作成する機能で、〔節点移動〕は節点を移動してメッシュの形状を変形できる機能です。



節点を移動するには〔節点移動〕ボタンを押しておきマウスをイメージ上に持っていきます。

マウス近くの節点を認識するとそこに緑の○が表示されますので移動したい節点を認識したらマウス左ボタンを押したままドラッグします。

ドラッグ中はマウスの動きに付いて緑の○が移動するとともにメッシュもリアルタイムで変形します。

移動後のメッシュ形状に問題がない位置であれば変形したメッシュは緑色で表示されマウス左ボタンを離すとその位置でメッシュが固定されます。変形したメッシュが赤く表示されている場合は移動後のメッシュ形状に不具合ある場合でその状態でマウス左ボタンを離すと節点は元の位置に戻ってしまいます。

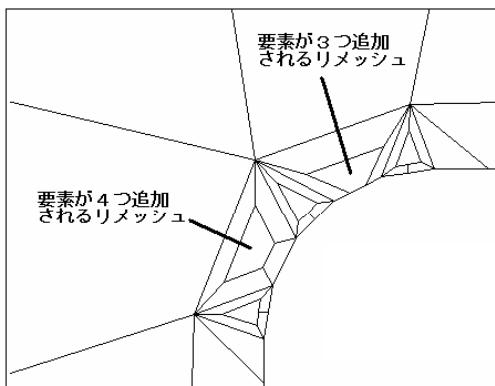
なおメッシュ形状の不具合とはメッシュが凹んだ四角形となる場合で四角形8節点アイソパラメトリック要素では辺上に節点がある三角形までは計算できますが凹んだ四角形には対応していません。

リメッシュを行うには[リメッシュ]ボタンを押しておきマウスをイメージ上に持っていきます。要素の中心近くにマウス持っていくとリメッシュ後の形状が緑色で表示されますので、形状を確認して良ければマウス左ボタンをクリックするとリメッシュが確定します。

通常は認識した要素を一回り小さく縮小して中心に配置し、その周囲に4つの要素を新しく作成します。なお外周に面した要素の場合は外周近くにマウスを持っていくと外周に面した辺上に節点を2つ発生させて認識した要素をそこに縮小して配置し、周囲に3つの要素を新しく追加することもできます。

これらのリメッシュの違いを右に示しますが後者のリメッシュは外周部に節点が増えるので応力集中が外周で発生している場合の解析に有利なリメッシュ形状となりますが作成条件が限られるのでメッシュ形状によっては選択できない場合があります。

なお節点移動とリメッシュの操作についてはチュートリアルでも詳しく説明していますのでこちらも参照してください。



また“グリッド線をイメージ上で編集”や“メッシュをイメージ上で編集”の各操作はUNDO・REDO機能に対応していますので何度でもやり直すことができます。UNDO・REDO機能の詳細は第4章の「UNDO・REDO機能」を参照してください。

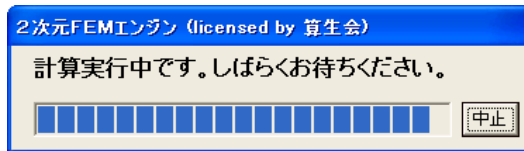
Ver 4以降はメッシュ情報もデータに保存されるようになっていきますので、メッシュ編集したデータを保存すると次に読み込んだときにメッシュ編集されたメッシュが再現されます。またメッシュができている状態なのでそのまま[計算実行]が可能です。再度[メッシュ作成]ボタンを押すとメッシュ編集情報が無くなりその時のグリッド配置条件でメッシュが新しく作成されてしまうので注意してください。

ここでは[グリッドピッチ精度]を5、[円・円弧分割係数]は3、特異点タイプは[標準]で[メッシュ作成]ボタンをクリックしてメッシュを作成してみます。

メッシュが正常に作成されると[計算実行]ボタンが押せるようになりますので[計算実行]ボタンをクリックして計算します。

5. 計算結果

[計算実行]ボタンをクリックすると次に示す計算の進行を示すプログレスバーが表示されます。

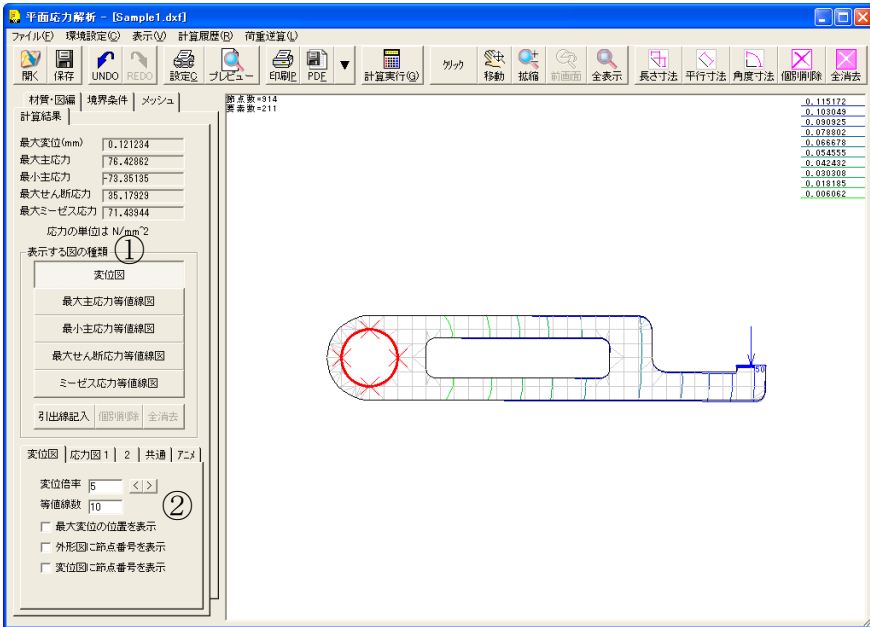


またプログレスバー右の[中止]ボタンをクリックすると計算を中止することができます。

計算が正常に終了すると機能選択タブの[計算結果]が表示されます。

なお計算時間は要素数によって変わりますが一般に有限要素法の計算は時間がかかるものと理解してください。

この例ではPen4、2.4GHzのマシンで2秒程度(メモリやOSの種類等も影響します)で計算が終了し、次に示す変位図が表示されるとともに最大変位、最大主応力、最小主応力、最大せん断応力、最大ミーゼス応力が表示されます。



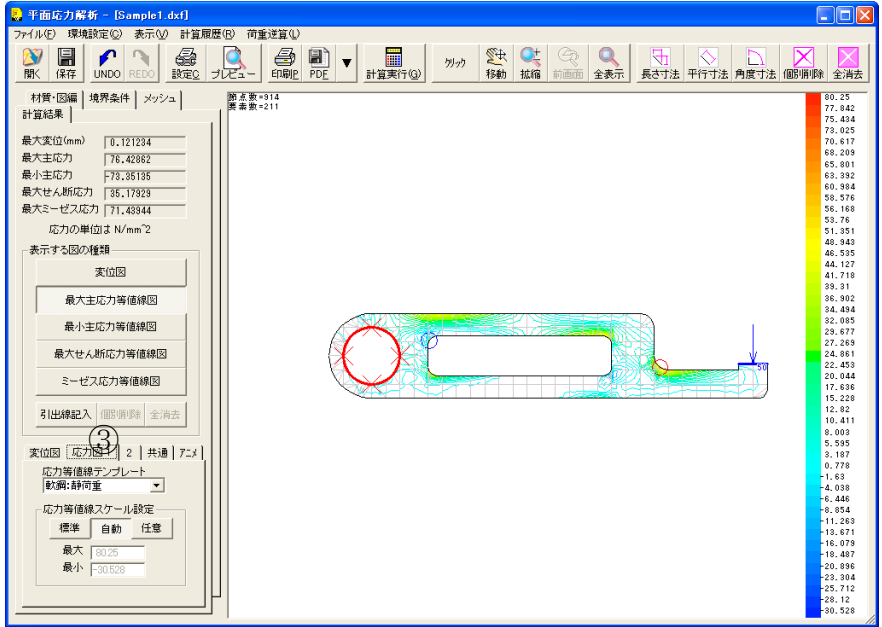
①表示する図の種類には変位図と各種応力の等値線図があります。変位図には青色で変形した形状が表示されます。また変位等値線も表示されイメージ右上には等値線と変位量の関係が表示されていますので変位の様子がより分かりやすくなっています。

②設定タブで表示する図の種類に対応した表示条件を設定できます。表示条件を変更するとイメージに直ちに反映れ計算書のイメージにも影響します。

「変位図」タブの表示条件では次のものがあります。

- ・変位倍率：数値を大きくすると変位図の変形が大きくなり 1 にしたときは実際の変位量で変位図が表示されます。変位倍率入力欄の右にある [>] ボタンをクリックすると変位倍率を 2 倍、[<] では 1 / 2 にしますので連続してクリックすることによりアニメーション的に変位の様子を見ることができます。
- ・等値線数：数値を大きくすると等値線の数が多くなります。また 0 にすると等値線は表示されなくなります。
- ・最大変位の位置を表示：マゼンタ色の線で最大変位の位置を表示します。
- ・外形図に節点番号を表示：外形図に節点番号を黒色で表示します。
- ・変位図に節点番号を表示：変位図に節点番号を青色で表示します。

「応力図 1」 「2」 タブでは各応力等値線図の表示条件を設定しますので次に最大主応力等値線図を表示した例を示しておきます。



③ [応力図1] タブでは応力等値線テンプレートを選択します。これはイメージ右端に表示される等値線のスケールと色を設定したものにになります。等値線テンプレートについては第4章の「16. 等値線テンプレートについて」で説明していますのでそちらを参照してください。

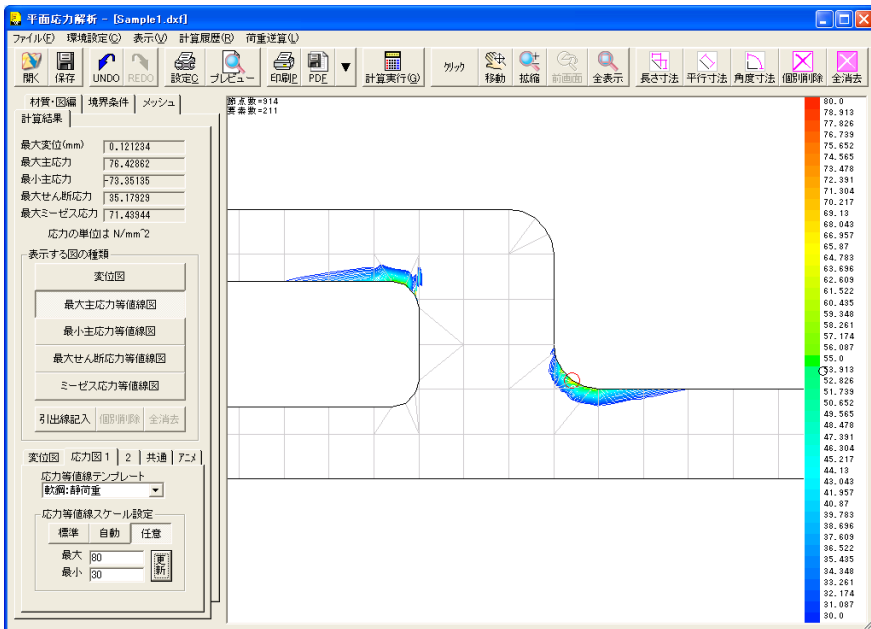
この例では等値線テンプレートに[軟鋼：静荷重]を選択しているので $\pm 100 \text{ N/mm}^2$ の応力範囲が水色から黄色（圧縮が赤側、引張りが青側、分割数47）で表示されるようになっています。

この例のように応力値が比較的低い場合や応力の変化が少ない場合は応力等値線スケール設定を[自動]にすると、選択している等値線テンプレートの色設定と分割数の全て使って等値線図を表示するようになりますので応力分布を視覚的に把握しやすくなります。これはVer6以前の“応力等値線フルスケール”のチェックボックスをチェックしたときと同じ動作となります。

応力等値線スケール設定を[標準]にすると選択している等値線テンプレートの設定で表示されます。これはVer6以前の“応力等値線フルスケール”のチェックボックスをチェックしないときと同じ動作となります。

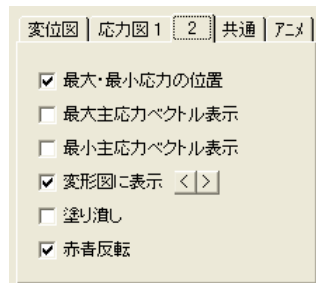
またVer 7から応力等値線スケール設定の〔任意〕の機能が追加され、最大と最小の応力値を入力して〔更新〕ボタンをクリックすると選択している等値線テンプレートの色設定と分割数の全て使って入力した応力範囲の等値線図を表示します。

入力した応力範囲外のところは等値線図が表示されず白く表示されますので次に示すように応力の高いところだけを等値線図に表示することもできます。



右に示す応力図の〔2〕のタブ

ここにある“最大・最小応力の位置”がチェックされると最大主応力の最大値（最大引張り応力）と最小主応力の最小値（最大圧縮応力）の発生位置に○が表示され、また表示する図の種類が〔最大せん断応力等値線図〕の場合は最大せん断応力が発生している位置に○が表示されます。



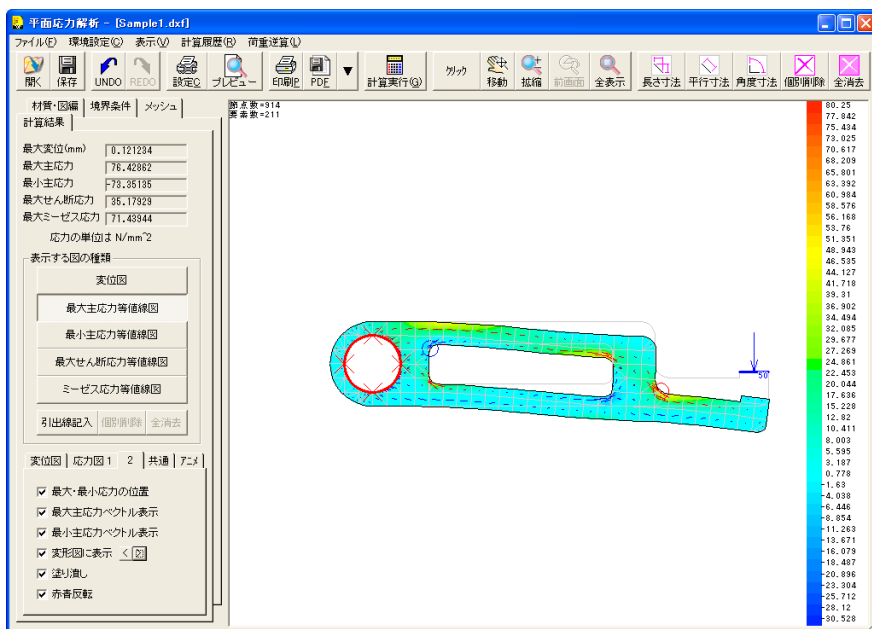
“最大主応力ベクトル表示”、“最小主応力ベクトル表示”のチェックボックスは表示する図の種類が〔最大主応力等値線図〕か〔最小主応力等値線図〕のときに有効で、チェックの有無でそれぞれ個別に表示・非表示を切り換えられます。

表示される主応力ベクトルはデフォルトでは各要素中央に1つとなっていますが環境設定にあるイメージ表示条件の設定で1要素あたり9個のベクトル表示にも変更が可能です。

主応力ベクトルの色は“赤青反転”の設定が反映されチェックされている場合は引張り応力が赤、圧縮応力が青、チェックを外すとその逆の色となります。主応力の大きさはベクトルの長さに相対的に反映され、その基準となるベクトル長さもイメージ表示条件で設定されています。

“変位図に表示”をチェックすると応力等値線図が変形した形状に表示されるようになり、変形と応力の関係が視覚的に分かりやすくなります。この変形量は「変位図」タブにある変位倍率が反映されますが「変位図」タブに戻らなくても“変位図に表示”チェックボックスの右にある「<」 「>」ボタンで変位倍率を変更することができます。

次に応力等値線スケール設定を「自動」とし応力図の「2」タブの全てのチェックボックスを
 をチェックした例を表示します。

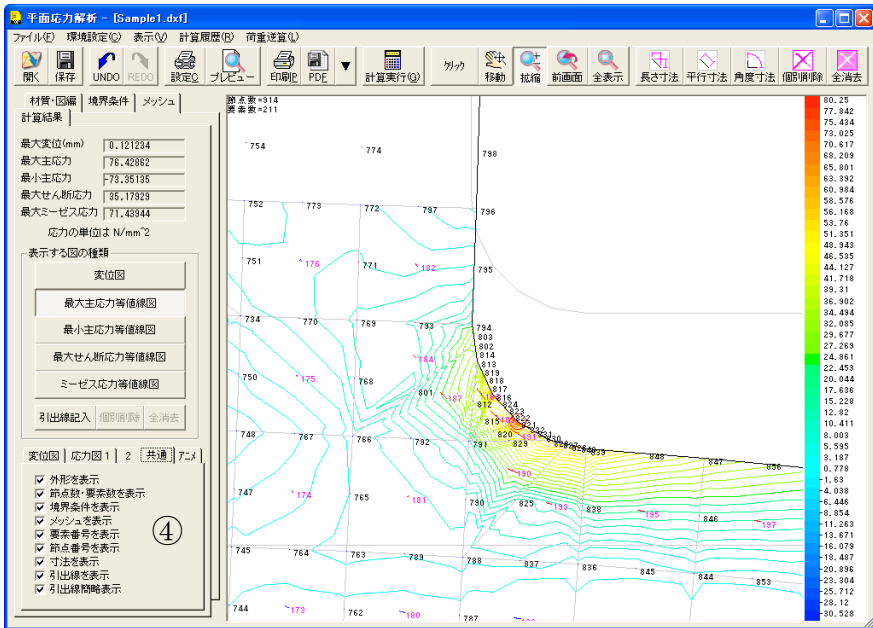


④ [共通] タブでは次の条件が設定できます。

- ・外形を表示：チェックすると外形線を表示します。
- ・節点数・要素数を表示：チェックするとイメージ左上に節点数と要素数を表示します。
- ・境界条件：支持条件や荷重条件のイメージを表示。
- ・メッシュ：薄くメッシュを表示。
- ・要素番号：要素中央に要素番号を表示。
- ・節点番号：節点番号を表示。
- ・寸法を表示：簡易寸法機能で記入した寸法を表示。
- ・引出線を表示：引出線機能で記入した寸法を表示。
- ・引出線簡略表示：引出線に節点番号や要素番号を表示せず計算結果のみ表示。

第4章基本操作で説明した画面操作機能と合わせてこれらの表示条件を設定すれば細部の応力状態なども容易に把握できます。また表示条件はプルダウンメニューの「表示」でも設定することができますので使いやすい方を使ってください。

次に「共通」タブの全てのチェックボックスをチェックして、さらに最大主応力発生位置を拡大して表示した例を示します。

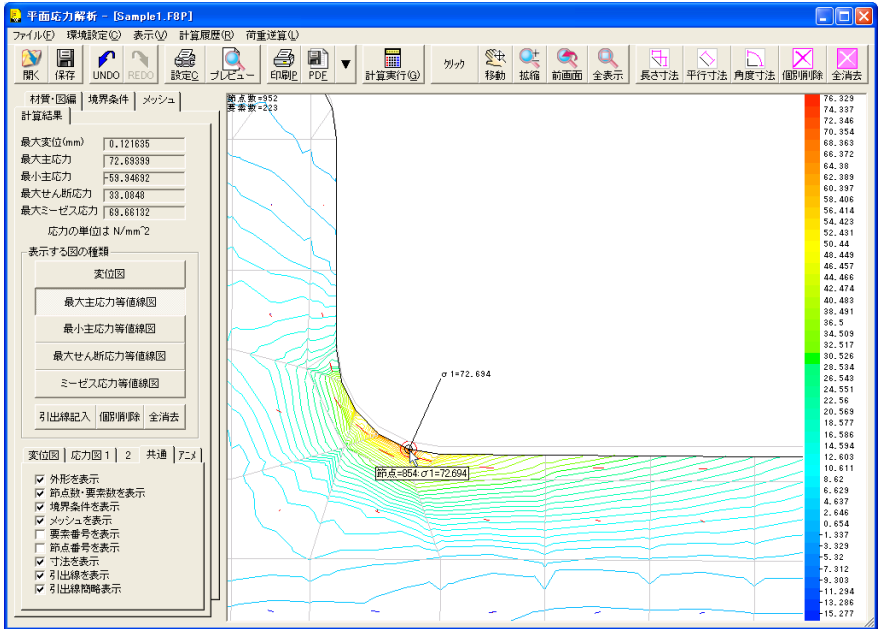


6. 応力値について

「4. メッシュ作成」でも説明しましたが本ソフトで使用している四角形8節点アイソパラメトリック要素では節点の応力も直接求められ基本的に精度は高いのですが、応力集中部の応力の変化が大きい場所に細長い要素や周辺の要素に比べて極端に小さい要素があると応力値の誤差が大きくなってしまいます。

この例でも最大主応力が発生している要素は周辺の要素の大きさと比べてメッシュのバランスが整っているとは言えないのでこれらの応力値が直ちに信頼できるものではないと考えられます。

そこで「4. メッシュ作成」で説明したグリッド線編集機能を使ってこの部分のグリッド線を移動してメッシュを作成し、さらにメッシュ編集機能の節点移動でメッシュの形状を整えて再度計算してみたものを次に示します。



この例では応力分布もそれほどメッシュの影響を受けておらず妥当な応力分布であると思われます。

マウスをイメージ上に持っていくと近くの節点に○が表示され、節点番号と応力値がポップアップして表示されますので周辺の応力と比較して異常値でないかも調べておく必要があります。また代表的な値は引出線機能を使ってイメージ上に記入しておくとも良いでしょう。

なお表示する図の種類が変位図の場合は節点番号と X、Y の変位量がポップアップして表示されるようになっています。

また画面操作の移動や拡大ボタンが押された状態ではこれらの計算結果はポップアップしません。その場合はイメージ上でマウス右ボタンをクリックすると画面操作処理が終了し、計算結果がポップアップするようになります。

最大主応力はメッシュ形状を整える前の 7 6 からこの例の 7 3 とほとんど変わっていないのでこの部分の応力値としては妥当な値ではないかと考えられます。

CADTOOL FEMで採用している四角形 8 節点アイソパラメトリック要素では注目部分の要素の形状に注意すれば全体の要素数をそれほど大きくしなくても比較的精度良く計算できますが、有限要素法および四角形 8 節点アイソパラメトリック要素の特性からメッシュ形状により応力値の絶対値はどうしても影響を受けるので、注目部分の応力値を把握したい場合はこのように注目部分のメッシュ形状をいくつか変えて計算し、異常値はオミットしつつ平均的な値の範囲の中で安全側の値を採用するなどの配慮が必要だと考えられます。

なおこの例はSample1.F8Pとしてサンプルデータに入っていますのでそれを読み込んで「メッシュ」タブを開いてこの部分のメッシュを確認してみてください。

7. 設計への応用例

これまでの操作説明で使ってきたアーム部品で実際の設計を想定した計算を行ってみます。

引き続きSample1.F8Pの計算例でマウスをイメージ上に持っていき応力値を表示させて確認してみると右側の細くなっている部分の根元と軽量穴の四隅の応力が高いことが分かります。

細くなっている部分の根元では最大主応力（引張り応力）は約 7.3 N/mm^2 、軽量穴右下では最小主応力（圧縮応力）も大きくなっています。

最大主応力が発生している部分の R は 5 mm で軽量穴の四隅の R は 3 mm となっています。

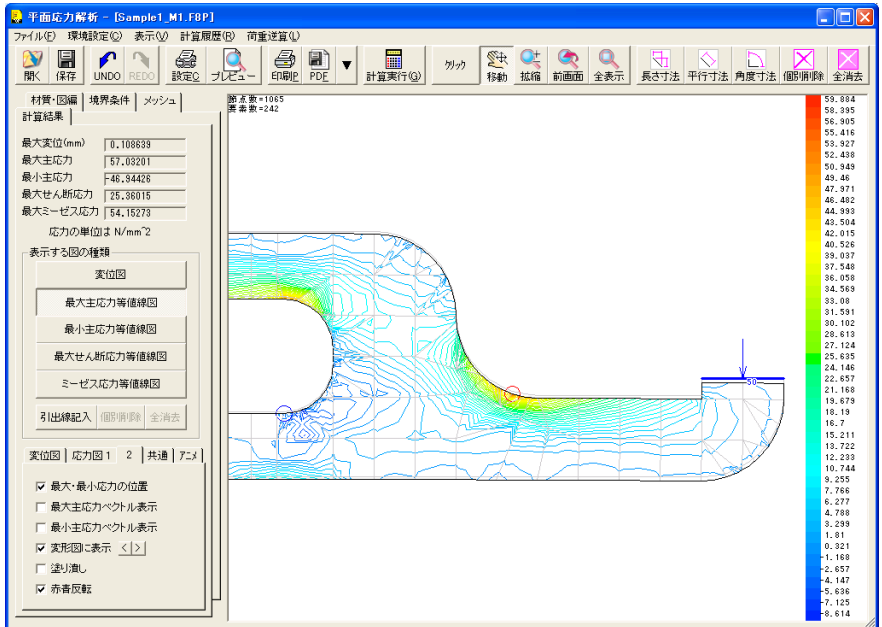
そこで応力を下げるため前者の R を 5 から 10 mm、後者を 3 から 6 mm にしてみます。またこのままでは重量が増えてしまいますので応力分布やマウスによる応力値の確認から強度にあまり寄与していない部分の二カ所の R も 10 mm と大きくしてみます。

Ver 2 までは取り込んだ図形を編集する機能がありませんでしたが Ver 3 から図形編集機能を使ってこのような R の半径を簡単に変更することができます。

Rの半径変更は「材質・図編」タブを開き図形編集にある「半径変更」ボタンを押してからイメージ上で円弧を指示して変更する半径を入力して行います。図形編集の詳しい操作は第4章基本操作を参照してください。

またあらかじめ半径を変更した形状をD X F形状データとして作っておいてそれを読み込んでもかまいません。この時には「境界条件を保持する」をチェックしておけば境界条件の設定は不要で直ちに「メッシュ作成」して「計算実行」ができます。

この計算例を次に示します。



この例もグリッド編集機能とメッシュ編集機能を使って注目部分の最大主応力と最小主応力の発生している部分のメッシュ形状を整えています。

この計算結果から細くなっている部分の根元では最大主応力は約 5.7 N/mm^2 に下がり約 25% 下げることができました。軽量穴右下でも 5.6 から 4.7 へ最小主応力を下げることができました。

最大変位も 0.121 mm から 0.108 mm と小さくなっていますので強度も上がったことが分かります。

一方で面積は元の 2544 mm^2 から 2548 mm^2 とほとんど変わらないので部品の重量は変わらないことが分かります。

応力値の絶対値を設計に应用する場合は前述のようにさらにいくつかメッシュを変更して計算するなどして信頼性を高める必要がありますが、もし元の形状で耐久性等の実績があるのなら新しい形状で板厚を薄くして軽量化できる可能性もあります。

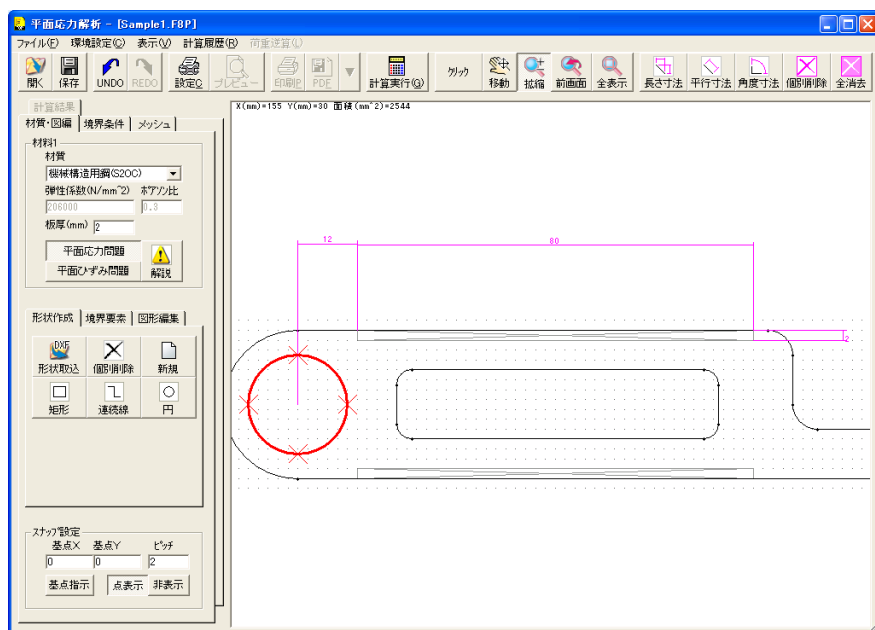
ただし板厚を薄くした場合にはZ方向の曲げ強度の問題や熱容量が小さくなるのでシャフトに溶接して取り付けていた場合には変形や割れ等の問題が出ないかどうか総合的に検討しておく必要があります。なおこのデータはSample1_M1.F8Pとしてサンプルデータに入れていますので各自で試してみてください

この例のようにCAEソフトを用いなければ従来は設計者の経験や勘に頼っていた設計変更がある程度、定量的な裏付けをもって行えるようになることが分かります。

8. 複数材料条件の応用

複数材料条件を使ってアーム部品にリブ形状を入れた場合の計算を行ってみます。また同様の事例をチュートリアルでも解説していますのでこちらも参考にしてみてください。

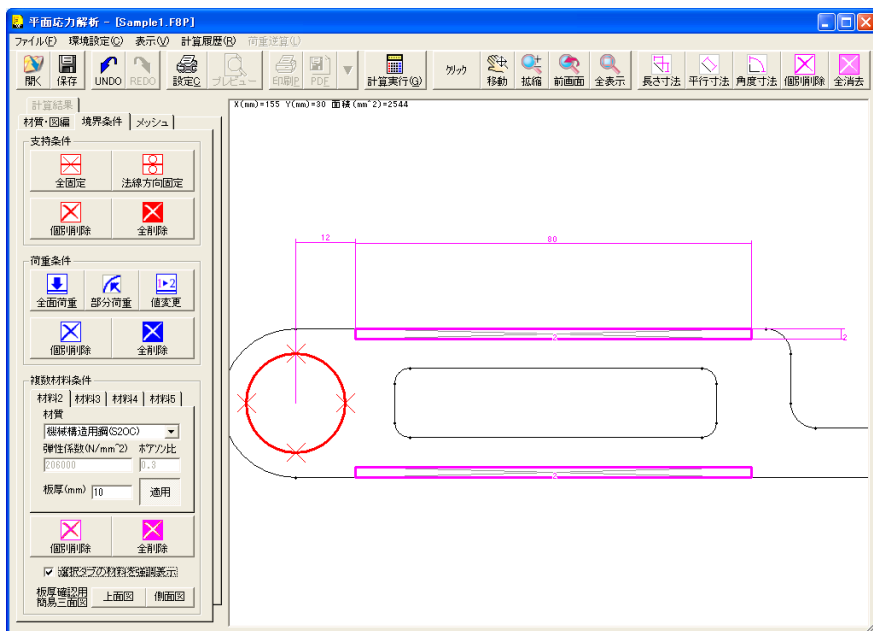
ではSample1.F8Pを再度読み込みます。まず[材質・図編]タブに境界要素追加でリブに相当する部分に矩形の境界要素を追加します。ここではシャフト穴センターから右へ12mmの位置に80×2の矩形の境界要素を軽量穴の上下に設定してみます。



このように境界要素を作成する位置が決まっている場合はスナップ設定で基点やピッチを調整すると点を指定するときにマウスに基点からの座標がポップアップして表示されるので作業がしやすくなります。また Ver 7 から境界要素も座標入力で作成することもできるようになりましたのであらかじめ対角の座標を求めておくとも簡単に作成できます。なお境界要素の追加についての詳細は第4章の「11. 境界要素追加機能」を参照してください。

次に「境界条件」タブを開き複数材料条件の材料2のタブ板厚をリブの高さの10mmに設定します。

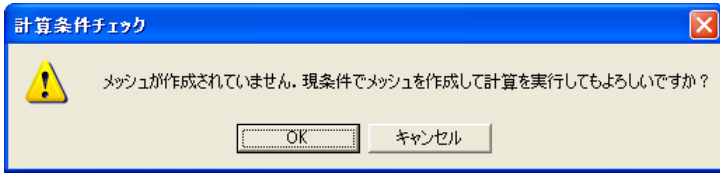
続いて同じタブにある「適用」ボタンを押してマウスを先ほど作成した矩形の境界要素の上に持っていきます。矩形が太い緑で表示されたら矩形を認識していますのでその状態でマウス左クリックして材料2を矩形の境界条件に適用します。同じ操作で2箇所矩形について材料2を適用します。



ベースとなっている材料1の板厚は2mmなのでリブは片側4mmずつ出ている状態となります。複数材料条件の下部にある板厚確認簡易三面図のボタンを押すと押している間だけ三面図が表示され板厚の確認を視覚的に行えますので試してみてください。

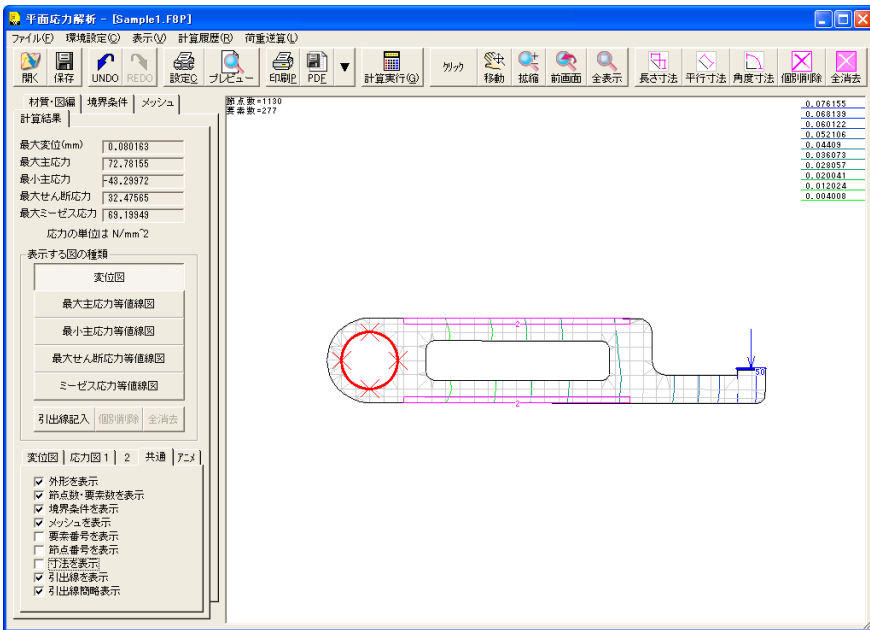
また材料を3つ以上使っている場合は「選択タブの材料を強調表示」のチェックボックスをチェックしておくで選択している材料タブのものが太く強調表示されより分かりやすくなります。

ではこれで計算してみましょう。追加した境界要素に境界条件を付けると一旦メッシュがクリアされます。メッシュがクリアされた状態で「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。



ここでは「OK」をクリックしてメッシュ作成と計算を続けて実行してみます。

次にその計算結果を示します。



本来は板曲げ方向に強度アップの効果が大きいリブ形状ですが平面での変形でもリブ無しの最大変位 0.12 mm からリブ形状付きの最大変位 0.08 mm と強度が上がったことが分かります。

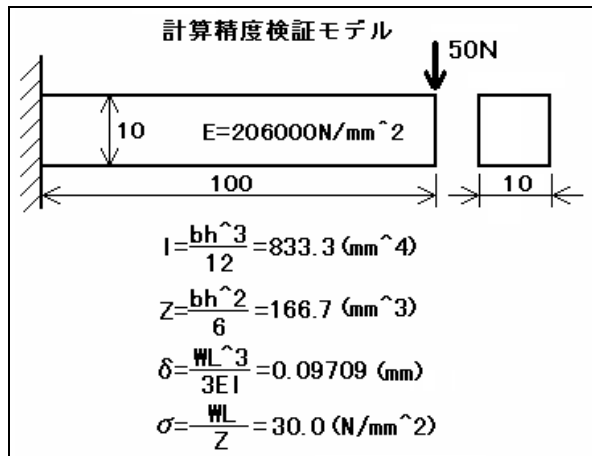
複数材料条件を使えばこのようなリブ付きの形状も解析できますが CADTOOL FEM はあくまでも 2 次元なのでこのようなリブ形状もベースの板に対して両側に平均的に突き出た状態となります。

またリブ形状が極端に薄いかリブの高さが極端に高い場合はリブ部の3次元変形も考えられるので誤差が大きくなると考えられます。

いずれにしても十分な精度で解析したい場合は3次元ソリッドモデルを使ってミッドレンジクラスのCAEソフトで解析する必要があると考えられますが設計検討等でちょっとリブを入れたらどうなるか等の簡易的な検討をしたい場合には十分実用になると思います。

9. 計算精度の検証

第1章で説明したように有限要素法では分割された要素の大きさ（要素数が多いほど要素は小さくなる）や形状で精度が異なってきます。ここでは厳密解が求められる片持ちはりで要素数と精度の関係を検証してみます。その検証モデルを次に示します。



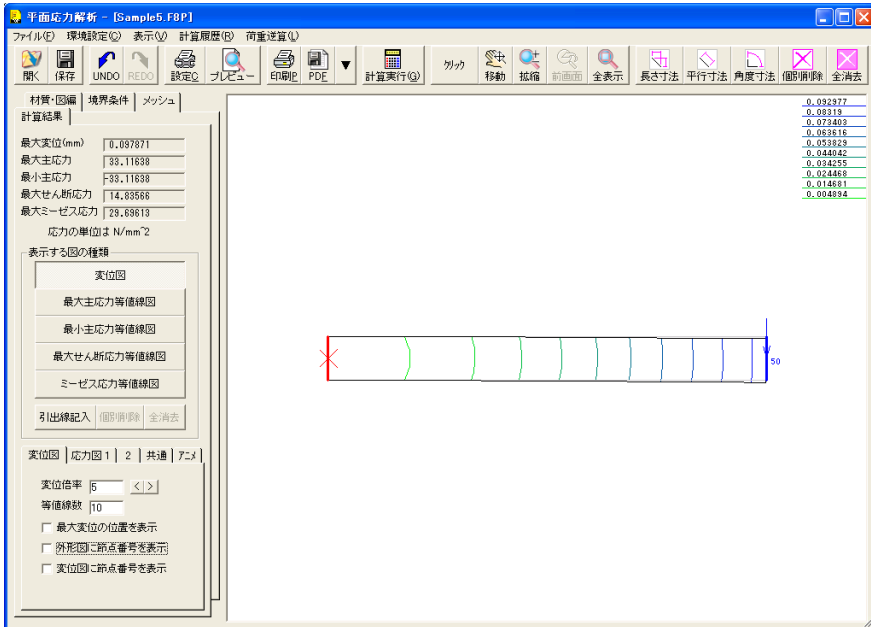
この場合の厳密解は最大たわみが右端に発生し0.09709 mm、最大応力は左端に発生し30 N/mm²となります。この計算の詳細については材料力学の教科書等を参照してください。

このモデルのDXF形状データはSample5.dxfとして¥Sampleフォルダに入っていますが、Ver 7からは形状作成機能の矩形でも簡単に作成できます。

また境界条件や材料条件を設定したデータもSample5.F8Pとして入っていますのでアイコンボタンの「開く」か、プルダウンメニューの「ファイル」>「既存データを開く」をクリックしてそれを読み込みます。

D X F 形状データを読み込んだ場合は、境界条件は左端を全固定、右端に全面荷重を下方向、5 0 Nでかけます。材料は「機械構造用鋼」で板厚は1 0 mmで「平面応力問題」を選択します。

ここではSample5.F8Pを読み込んで「計算実行」ボタンをクリックして計算を実行してみます。



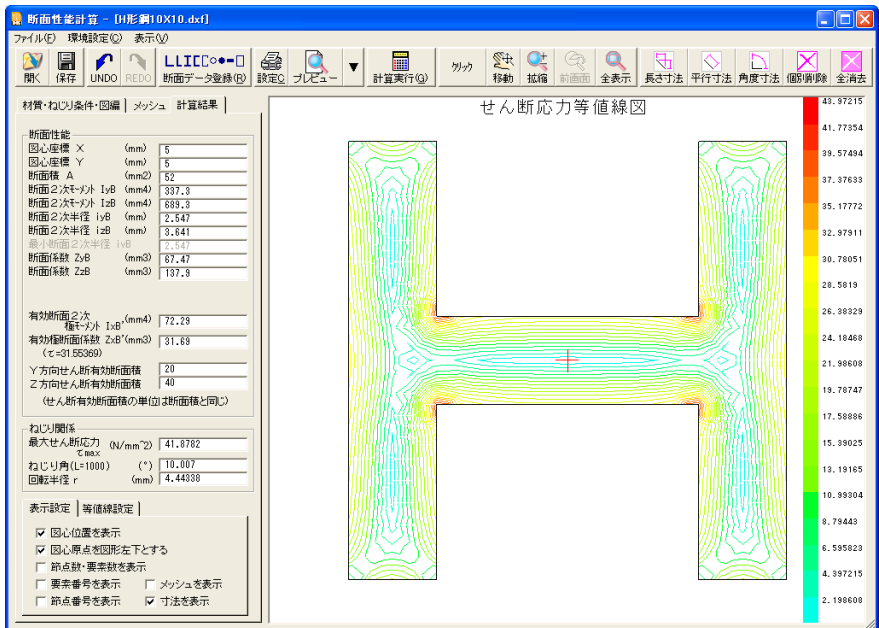
最大変位は0.0 9 7 8 7 1 mm、最大主応力は3 3 . 1 N/mm²と厳密解に近い結果が得られています。

メッシュの粗い例として「メッシュ」タブを開きグリッドピッチ精度を1にしてメッシュを作成して計算してみます。この条件では要素数は6で最大変位は0.0 9 6 6 0 3 mmとなります。

CADTOOL FEMのVer1では三角形3節点平面応力要素を使用していましたがその場合は要素数2 0で最大変位が0 . 0 2 2 5 mmと誤差が大きく、メッシュを非常に細かくして要素数2 2 2 2の場合にやっと最大変位が0 . 0 9 5 mmとなるくらいで、四角形8節点アイソパラメトリック要素の精度が高いことが分かります。いろいろとメッシュを変えて計算結果と厳密解を比較してみてください。

では複数材料条件でリブを入れた場合はどうなるのでしょうか。

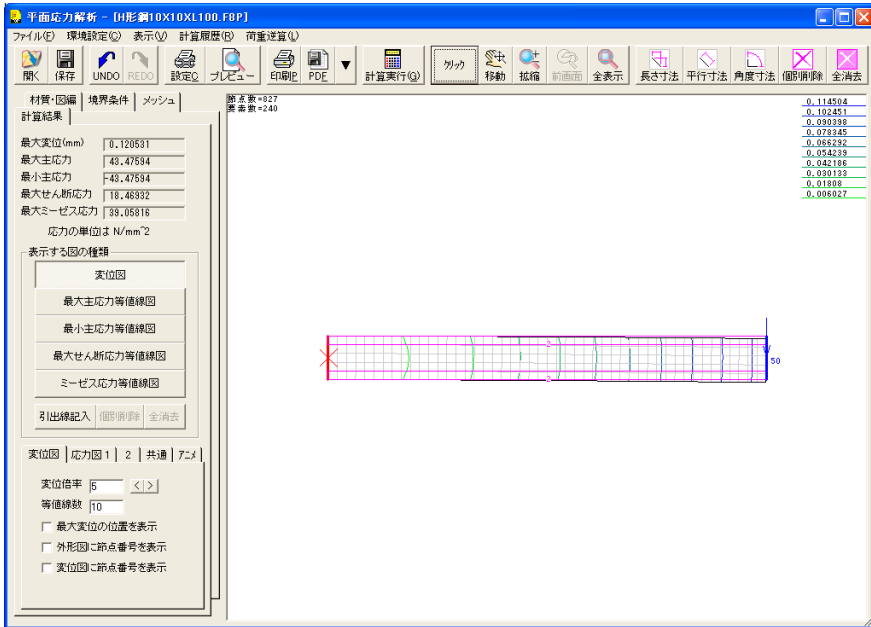
この形状でベースの板厚を2 mmとし上下に高さ2 mm、幅10 mmのリブを設定してH形鋼の断面形状でチェックしてみましょう。まず手計算用にCADで断面形状を作成してDXF出力して「CADTOOLフレーム構造解析11」の断面性能計算で断面性能を求めておきます。



断面形状をこの向きとすると平面応力解析での変形は部材Z軸（垂直軸）回りとなりますので対応する断面2次モーメントはI_zBで689.3になります。

これを使って先ほどの厳密解の式で最大たわみを求めると0.117 mmとなります。

では同じ条件になるように複数材料条件を使って平面応力解析で計算してみます。



この計算例では最大変位は0.12 mmとなり手計算とほぼ同じ値が得られています。

応力で比較してみると断面係数 $Z_z B$ は137.9なので手計算で求めた最大応力は36.5となり、この計算例では43.5と若干高めの数字が出ています。

やはり中央部上面の引張り応力を計算してみると手計算では18.1となり、この計算例でマウスを使って同じ場所の最大主応力を調べてみるとほぼ同じ値が得られているのが分かります。

これらのことから左端の固定部の応力値は、手計算では応力集中の影響が考慮されませんが平面応力解析では応力集中の影響も受けるので、そのため左端の最大応力の比較では平面応力解析の値が高めに出て、一方応力集中のないはり中央部では手計算とほぼ同じ値になっているものと考えられます。

なおこのデータはH形鋼10X10XL100.F8Pとしてサンプルデータに入れていますので各自で試してみてください。また断面形状のDXFデータもH形鋼10X10.DXFとしてサンプルデータに入っていますので「CAD TOOL フレーム構造解析」を持っている方は断面性能計算で計算してみてください。

10. サンプルデータについて

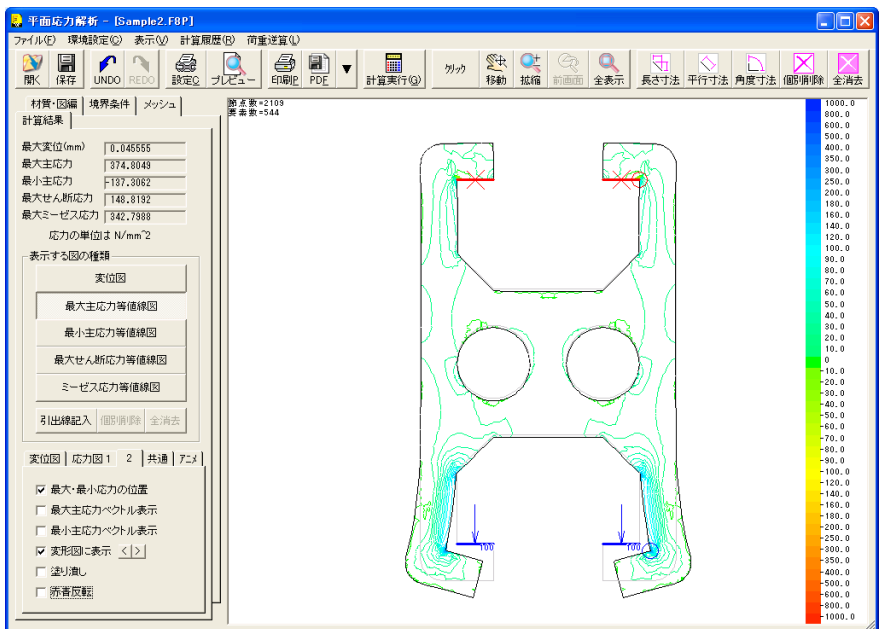
既にサンプルデータを説明に使用していますが作業フォルダができている場合は作業フォルダの下、インストールフォルダに書き込みできる場合はインストールフォルダの下にあるSampleフォルダには他にもサンプルデータが入っています。

またおののD X F形状データと既存データがありますがここでは境界条件等が既に設定されている既存データを読み込んでデフォルトの設定のまま〔計算実行〕ボタンをクリックして計算を実行した例を元に説明していきます。

①Sample2.F8P

この例は引抜材の内部応力の例となります。引き抜き材のような厚み方向に長いものは材料条件で〔平面ひずみ問題〕を選択します。ここで板厚を1mmとしているので荷重は100N/mmという長手方向の単位荷重となります。

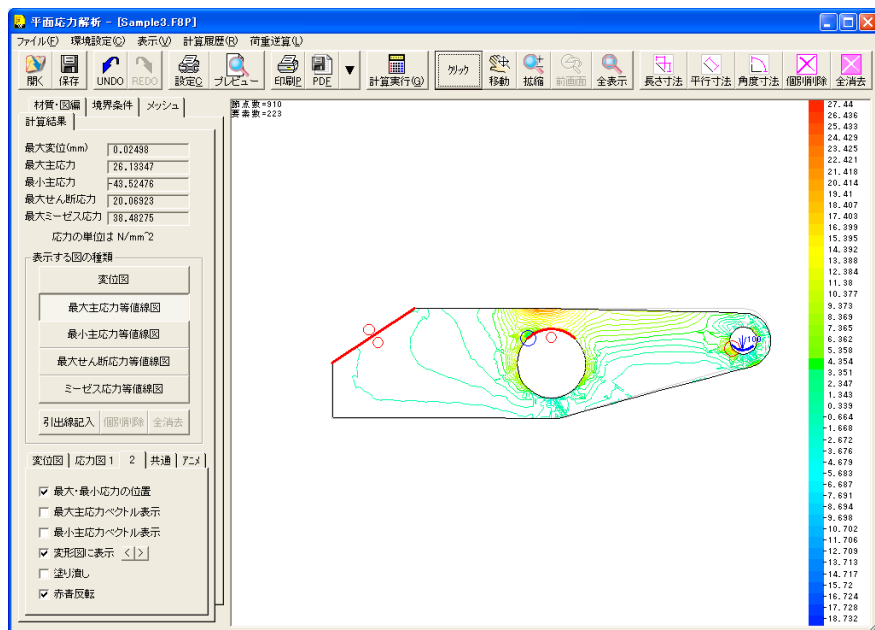
この例ではエッジ部に応力集中が発生しているのが分かります。



②Sample3.F8P

この例はレバー部品のサンプルで中央の穴を回転自由として「法線方向固定」で上側を支持し、かつ左側の斜辺が他の機械要素にあたるとしてこも「法線方向固定」としています。

荷重は右の穴にピン等がかかるものとして部分荷重を下向きにかけています。



この例では荷重のかかる穴と中央の穴の上部に最大主応力（引張り応力）が高い部分があることが分かります。

③Sample4.F8P

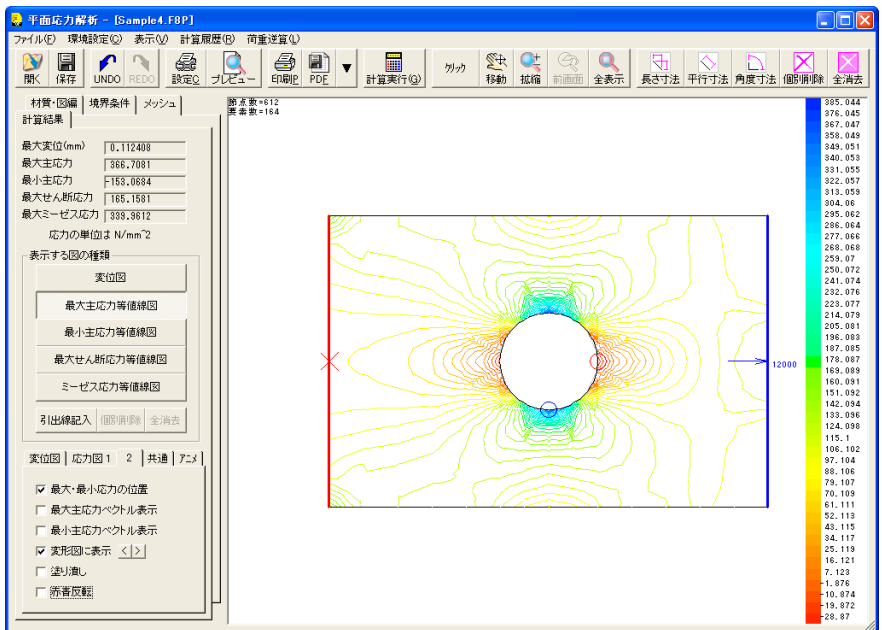
この例は穴の開いた板を引っ張ったもので応力集中の例題として材料力学の教科書や有限要素法の入門書等で良く取り上げられているものです。

縦の長さは120mmで穴の直径は40mmで、材料力学の教科書の式や図表を使って穴の上下の応力集中している場所の応力を求めると

$$\text{応力集中係数} = 2.3$$

$$\text{公称応力} = 150 \text{ N/mm}^2$$

となるので応力値は345 N/mm²となります。



この計算結果では最大主応力は応力集中が予想される位置に発生しており応力値も366 N/mm²と従来の材料力学から求められる値に近いものとなっています。

応力分布を見ても妥当な計算結果ではないかと思われます。この例もメッシュをいろいろ変更してみて計算結果がどう変わるか試してみてください。

第6章 平面板曲げ解析

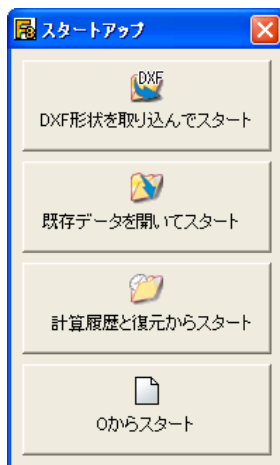
平面板曲げ解析の計算条件の基本的な設定方法は平面応力解析と同じなので、ここでは設定方法が異なる部分を中心に説明していきます。基本的な設定方法については平面応力解析の説明を参照してください。

またプルダウンメニューやアイコンボタンの機能等については第4章基本操作を参照してください。

1. スタートアップメニュー



コマンド選択メニューで「平面板曲げ解析」ボタンをクリックして起動すると右下のスタートアップメニューが表示されます。



新規に解析を行いたい場合は「DXF形状を取り込んでスタート」をクリックするとDXFファイル選択ダイアログが表示されますので解析したい形状を取り込みます。

「既存データを開いてスタート」を選択した場合は既存データのファイル選択ダイアログが表示されますので、計算したいデータを選択して開きます。

これらのファイル選択操作は第4章の「2. ファイル入出力」を参照してください。

計算履歴情報があると「計算履歴と復元からスタート」が使えるようになります。計算履歴については第4章の「20. 計算履歴機能」を参照してください。

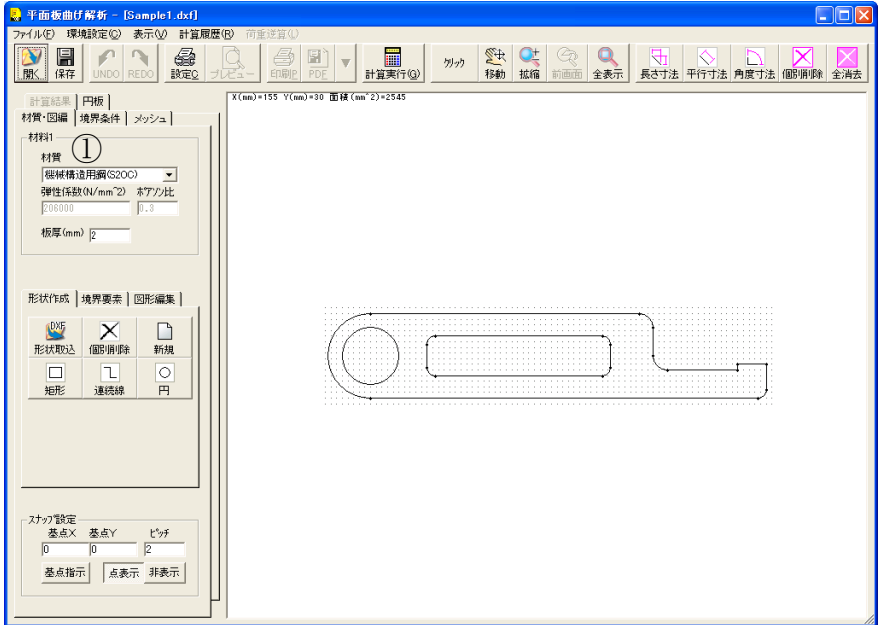
Ver 7から追加された形状作成機能で新規に解析形状を作成する場合は「0からスタート」を選択します。

スタートアップメニューの右上の×ボタンをクリックするとコマンドは終了します。

ここでは第5章平面応力解析の説明に用いたアーム部品に横方向の力が加わる場合を例に説明していきますので、「DXF形状を取り込んでスタート」で¥SampleフォルダにあるサンプルデータSample1.dxfを読み込んだ状態で説明を続けていきます。

2. 材質・図編

スタートアップメニューでDXFファイルか既存データの読み込みを実行すると次のウィンドウが表示され形状イメージが表示されます。また既存データを読み込んだ場合は境界条件のイメージも表示されます。



最初は機能選択タブが「材質・図編」になっていますのでここで材質の選択や材料の設定、図形編集を行います。

①材料1：材料1がデフォルトの材料となり複数材料条件を使用しない場合や複数材料条件が設定されていない部分はここで設定した材料が適用されます。

- ・材質：使用する材質をリストボックスから選択します。ここで「任意」を選択すると弾性係数とポアソン比に任意の値を入力できるようになります。またこの材質データは自由に編集や追加ができますが、その方法については第4章基本操作を参照してください。
- ・板厚：計算に使用する板厚を入力します。

ウィンドウ上部のプルダウンメニューとアイコンボタン、「材質・図編」タブにある「形状作成」「境界要素」「図形編集」の各タブや「スナップ設定」の機能や操作は第4章基本操作を参照してください。

ここでは平面応力解析と同様に材質を「機械構造用鋼(S20C)」、板厚を2mmとして、次の境界条件の設定に進みます。

3. 境界条件

境界条件とは取り込んだ形状の外的な要因を設定するもので、機能選択タブの「境界条件」をクリックして支持条件や荷重条件の境界条件を設定します。

Ver 5からは境界要素追加機能で追加した要素にも取り込んだ形状と同様に境界条件を設定することができます。

①**支持条件**：支持条件には「全固定」と「単純支持」、「回転固定」の3種類があり、図形要素単位に設定します。ただし回転固定のみの支持条件では計算できません。支持条件の設定方法は平面応力解析と同じでマウスを使って行います。

「全固定」の場合は選択した要素上に×印が表示され「単純支持」の場合は×の代わりに○が表示されます。また「回転固定」の場合には要素を挟んで二つの○が表示されるようになっています。

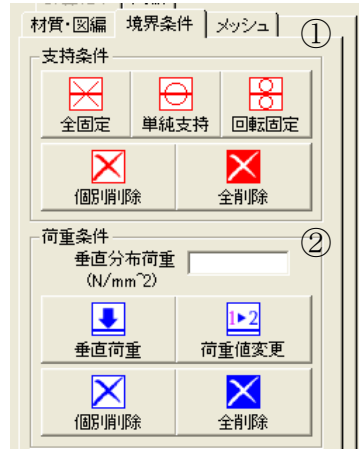
「全固定」の場合は垂直方向の位置と傾きも固定され、「単純支持」では垂直方向の位置のみ固定されます。「回転固定」では傾きのみ固定され垂直方向の位置は自由となります。ここで垂直とっているのは画面を水平面と考えたもので画面奥行き方向を+としています。

②**荷重条件**：荷重条件には形状全体にかかる「垂直分布荷重」と要素単位に設定する「垂直荷重」があります。

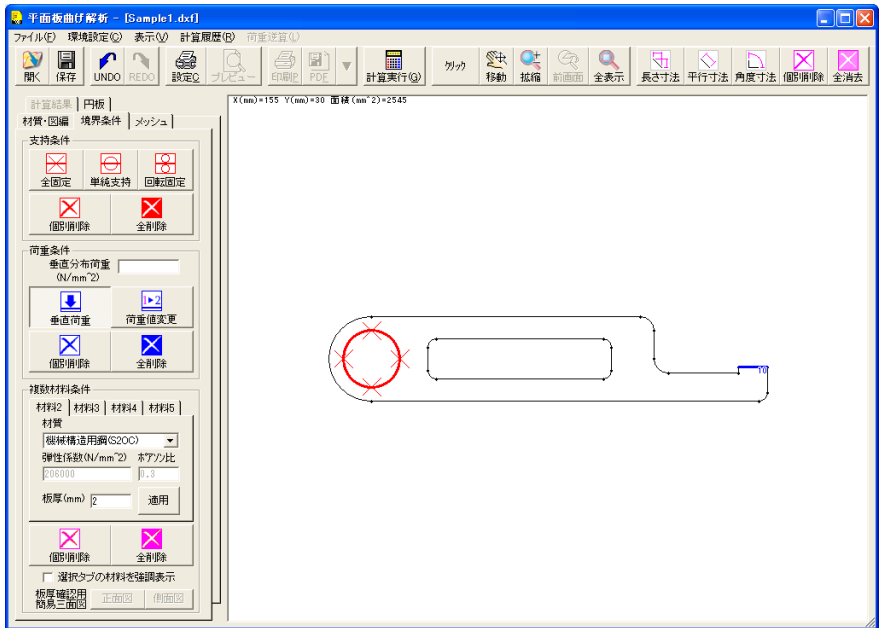
「垂直分布荷重」はその入力欄に荷重値を入力します。垂直分布荷重がない場合は空欄でもかまいません。

図形要素単位に設定する「垂直荷重」は平面応力解析と同様にマウスと荷重値入力ダイアログで行います。荷重の方向は垂直で固定なので方向の指示はありません。

その他、「荷重値変更」「個別削除」「全削除」については平面応力解析と同じなのでそちらを参照してください。



ここでは平面応力解析と同様に左側の穴がシャフトに固定され右側には垂直荷重がかかるアーム部品を想定していますので左側の穴を全固定し右側の先端部に垂直荷重 1 0 N をかけます。



なお Ver 4 の平面板曲げ解析にあった内部境界条件設定は、Ver 5 からは境界要素追加機能と追加した境界要素に境界条件を設定することで対応するようにしましたので Ver 4 の平面板曲げ解析にあった「内部境界条件設定」ボタンや設定ダイアログはありません。

ではメッシュの作成に進みます。

4. メッシュ作成

機能選択タブの「メッシュ」をクリックして解析する形状から計算に使用する要素に分割したメッシュを作成します。この操作は平面応力解析と全く同じなので操作についてはそちらを参照してください。

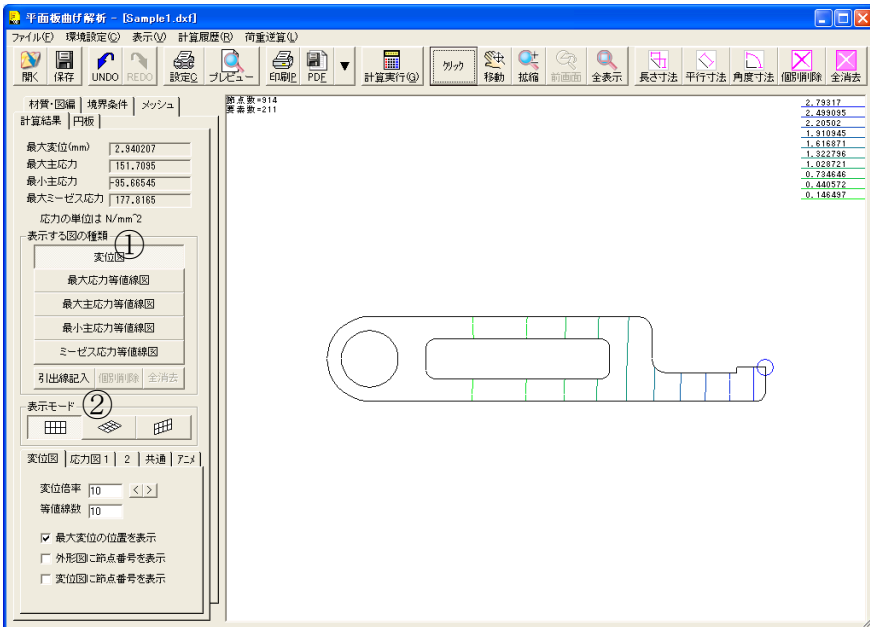
ここでは平面応力解析と同じ「グリッドピッチ精度」を 5、「円・円弧分割係数」は 3、特異点タイプは「標準」で「メッシュ作成」ボタンをクリックしてメッシュを作成してみます。

メッシュが正常に作成されると「計算実行」ボタンが押せるようになりますので「計算実行」ボタンをクリックして計算します。

5. 計算結果

「計算実行」ボタンをクリックすると計算の進行を示すプログレスバーが表示されます。

計算が正常に終了すると機能選択タブの「計算結果」が表示され、次に示す変位図が表示されるとともに最大変位、最大主応力、最小主応力、最大ミーゼス応力が表示されます。

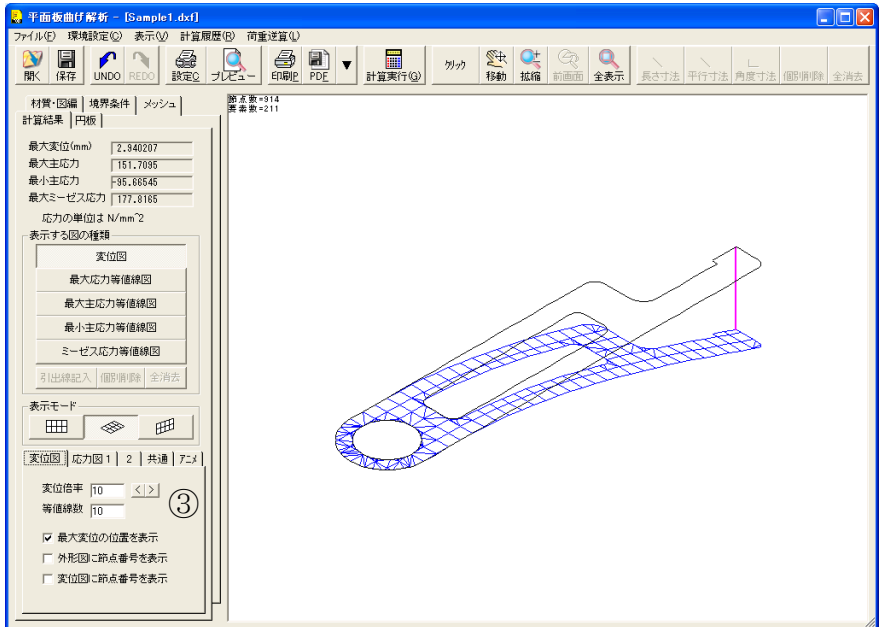


①表示する図の種類には変位図と各種応力の等値線図があります。各種応力等値線図で最大主応力と最小主応力は平面応力解析と同じですが、板曲げの場合は板の裏と表に引張りと圧縮が反転した応力が発生するので、引張りと圧縮に関係なく応力の絶対値で判断した方が応力分布を把握しやすいと考えられます。そこで最大主応力と最小主応力の絶対値の大きい方を採用した最大応力等値線図が表示できるようになっています。

②表示モードボタンではイメージを平面と横、縦2種類のアイソメ表示に切り替えて表示することができます。

平面板曲げ解析では垂直方向に変位するため平面表示では変位の等値線だけとなりますがアイソメ表示では青色で変形した外形とグリッドが表示され変位している様子が視覚的により分かりやすくなっています。ただしアイソメ表示では逆に変位等値線は表示されません。

次に変位図をアイソメ表示したものを示します。



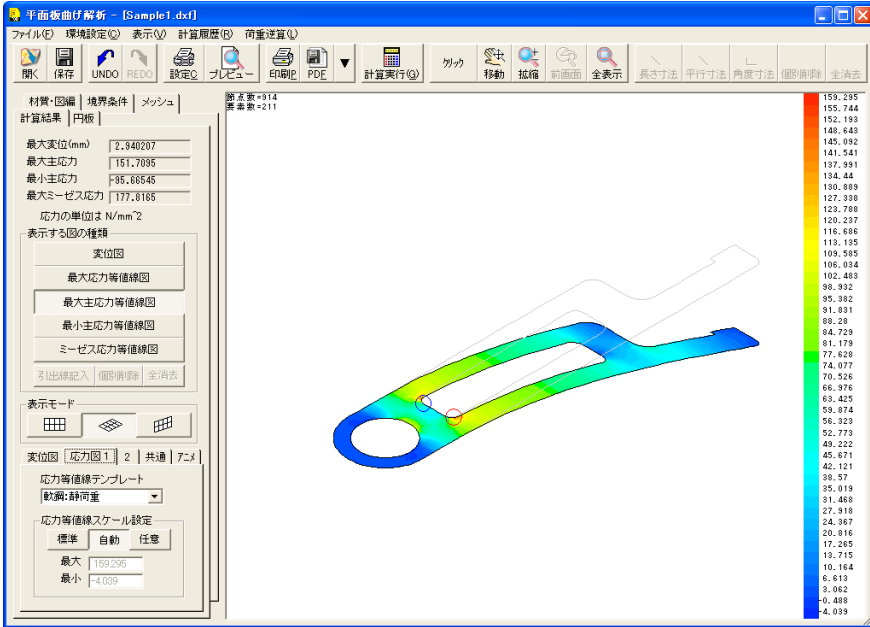
③設定タブによる表示条件の基本的な設定は平面応力解析と同じですのでそちらを参照してください。

なお平面板曲げ解析にはVer 6から「応力図」タブに“主応力を裏面とする”が追加されています。裏面の主応力の求め方は解析物を薄板と考え表面の主応力の符号が反転したものが裏面に発生するという考えに基づいています。

また“主応力を裏面とする”をチェックして応力等値線図を表示している場合に表示モードをアイソメにして、さらに“変形図に表示”をチェックしていると応力等値線図の変形方向も反転するようになっています。

なお最大・最小主応力等値線図をアイソメ表示している場合は、最大・最小主応力ベクトル表示のチェックボックスがグレーアウトして表示できないようになっています。

次に最大応力等値線図を表示したものを示します。



この例では軽量穴左側で応力が高く約 150 N/mm^2 の最大応力が発生しているのが分かります。

荷重条件で設定した垂直荷重 10 N が妥当な荷重かどうかはこの部品が使われる装置の構造や使用状況等を考えないと分かりませんが、仮にこれ位の垂直荷重が働くとすると先端の変位が約 3 mm 、最大応力で約 150 N/mm^2 なので強度的に問題がありそうです。

材料を 4 mm にして再度計算してみると最大変位が 0.4 mm 弱、最大応力が 42 N/mm^2 程度となりますので、 4 mm 程度の板厚は必要ではないかと考えられます。

板厚の変更は「材質・図編」タブで行いますが境界条件やメッシュの変更はありませんので板厚を変更したら直ぐに計算実行が可能です。各自で板厚を変更したらどうなるか試してみてください。

なおこの例は Sample1.F8P として Sample フォルダに入っています。

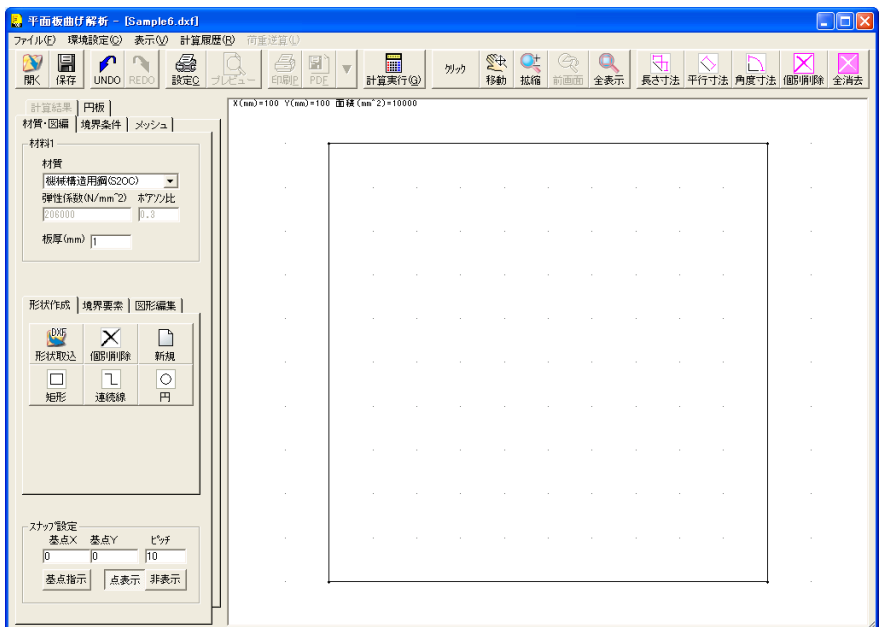
また平面応力解析でも説明していますがこのように応力の絶対値を使った検討には最大応力が発生している部分のメッシュの形状等も確認して、それが信頼性のある値かどうかをチェックしておく必要があります。

6. 内部境界条件

内部境界条件とは取り込んだ図形の内部に設定する支持条件や荷重条件で Ver 4 では平板曲げ解析特有の機能として専用のダイアログで設定するようになっていましたが、Ver 5 から境界要素を追加してそれに境界条件を設定することで対応できるので平板曲げ解析だけでなく全てのコマンド共通で内部境界条件が設定できるようになっています。

ただし支持条件や荷重条件の内部境界条件を使う頻度は平板曲げ解析が多いのでここで説明しますが同じ機能が平面応力解析や回転体応力解析でも使えるので覚えておくことで応用範囲が広がると思います。

まず内部境界条件を設定する形状として [形状作成] タブにある [D X F 形状取込] ボタンか、プルダウンメニューの [ファイル] > [D X F 形状データの取込] をクリックして ¥ Sample フォルダにあるサンプルデータ Sample6.dxfを読み込みます。



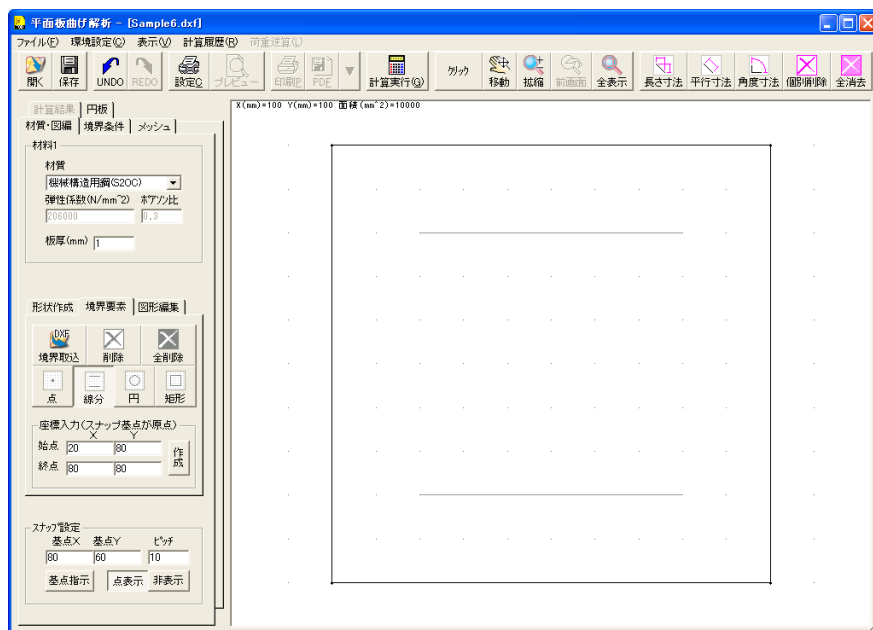
この図形は 100×100 の正方形なので内部境界条件の設定を分かりやすく行えます。
また板厚は 1 mm にしておきます。

また内部境界条件を設定する前に境界要素を追加する必要があるので座標が取りやすいようにスナップ設定のピッチは 10 にしておきます。また図形左下が基点となるように基点指示で設定しておきます。

なおイメージ左上に表示される面積は内部で線積分を行いながら形状チェックを行った結果の値であり若干の誤差が出るときがありますが、Ver 7 から処理を改良して誤差を小さくしています。

次に境界要素を追加します。ここでは 2 本の線上に単純支持条件、中央部の矩形の範囲に荷重条件を設定してみます。

まず「境界要素」タブの「線分」ボタンを押してイメージ上のスナップ点を 2 点指示します。ここでは図形左下を $(0, 0)$ として座標 $(20, 20) - (80, 20)$ と座標 $(20, 80) - (80, 80)$ に線分の境界要素を設定します。



V e r 7から境界要素も座標入力で作成できるようになりましたので、マウスによる指示か座標入力かやりやすい方を使ってください。

マウスで指示する場合には基点からの座標が表示されるのでそれを見ながら1点目を指示し、2点目は1点目からの相対距離が表示されますのでそれを見ながら指示します。

2つの線分の境界要素が設定できたら荷重条件のための矩形の境界要素を設定します。矩形の対角座標は(30, 40) - (70, 60)なので線分と同様に座標入力で作成するか、マウスに表示される座標を見ながら設定していきます。

次に追加した線分の境界要素に支持条件を設定してみます。これは通常の図形要素に支持条件を付ける場合と全く同じ操作となります。

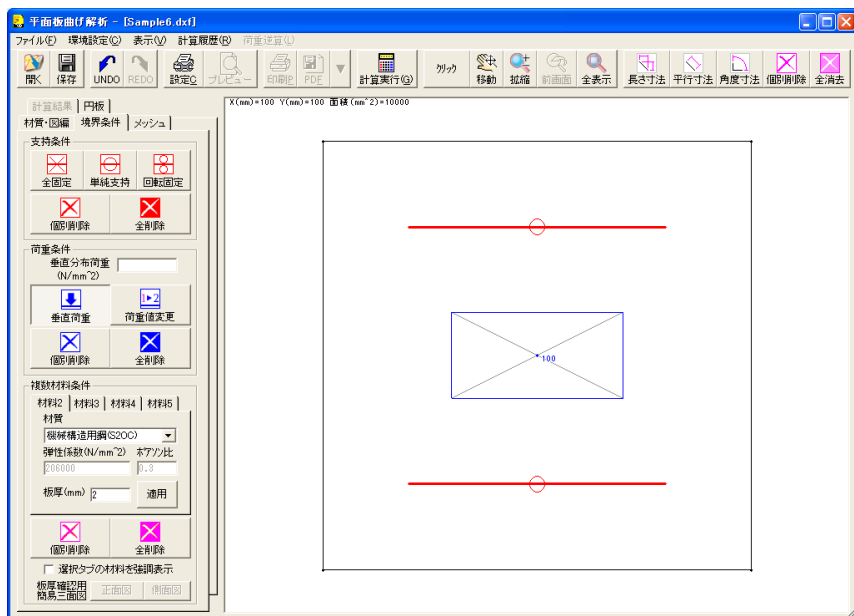
支持条件から支持の種類のボタンを押してからイメージ上の境界要素にマウスを持っていき緑色に表示された状態でマウス左ボタンをクリックすると支持条件が設定されます。ここでは2つの線分に単純支持の支持条件を設定しておきます。

続いて中央部の矩形に荷重の境界条件を設定します。こちらも通常の図形要素と全く同じ操作となります。

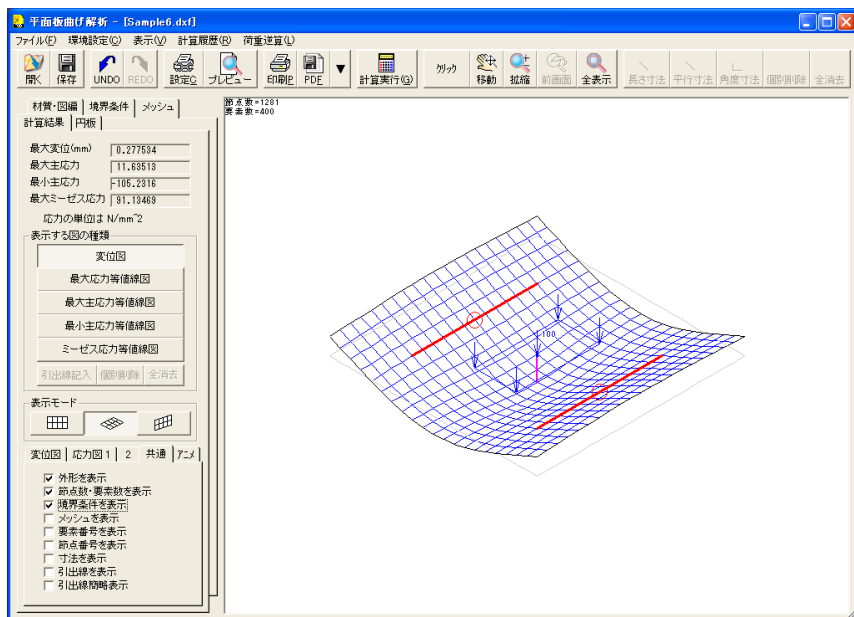
なお[矩形]に荷重条件を設定した場合は入力した荷重値を、矩形外周上を含む矩形内にできた全ての節点に振り分けて節点荷重として設定します。したがって矩形の外周上のみに内部境界条件を設定したい場合は境界要素を[矩形]でなく[線分]の境界要素で四角を設定する必要があります。

ここでは中央部の矩形の境界要素に荷重値100Nを設定します。この荷重値は矩形内の全ての節点に振り分けられるので、この矩形にかかる荷重の全てを合計した荷重という意味となります。次に境界要素に支持条件と荷重条件を設定した例を示します。

なおV e r 4で内部境界条件を設定してあるデータを読み込むと自動的に境界要素とそれに設定された境界条件に分けられて読み込まれるようになっており、内部境界条件に対してはデータの修正や再設定は不要です。



では「グリッドピッチ精度」と「円・円弧分割係数」を3、特異点タイプは「標準」として「メッシュ作成」ボタンをクリックしてメッシュを作成して計算を実行してみます。その計算結果を次に示します。



この例では内部境界条件による変形の様子がよく分かるように表示モードをアイソメ表示にしています。また共通タブの“境界条件”をチェックして内部境界条件もイメージ表示されるようにしています。

この変位図を見ると設定した内部境界条件から予想される変形をしていることが分かります。最初はこのような単純な形状でいろいろな内部境界条件を設定して試してみると良いでしょう。なおこの例はSample2.F8Pとして¥Sampleフォルダに入っています。

なお平板曲げ解析の内部境界条件の設定方法や次に説明する複数材料条件についてはチュートリアルでも解説していますのでそちらも参考にしてみてください。

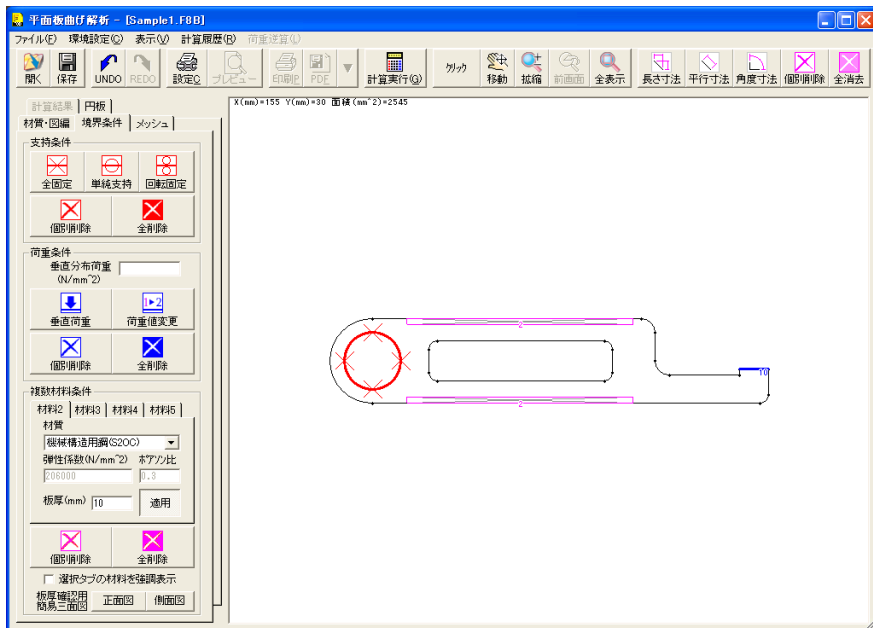
7. 複数材料条件の応用

平面応力解析と同様に複数材料条件を使ってアーム部品にリブ形状を入れた場合の計算を行ってみます。

ではSample1.F8Bを読み込みます。まず[材質・図編]タブに境界要素追加でリブに相当する部分に矩形の境界要素を追加します。追加する境界要素は平面応力解析の場合と同じとしシャフト穴センターから右へ12mmの位置に80×2の矩形の境界要素を軽量穴の上下に設定します。設定方法は平面応力解析を参照してください。また境界要素追加やスナップ設定についての第4章基本操作を参照してください。

平面応力解析と同様に[境界条件]タブにある複数材料条件で材料2～5に最初に設定したデフォルトの材料の材料1とは異なる材質や板厚の設定ができます。設定した材料を適用するには適用したい材料タブの[適用]ボタンを押して、あらかじめ追加しておいた矩形の境界要素をピックして適用します。

まず材料2の板厚を10mmとして材質は材料1と同じものとし、そのタブにある[適用]ボタンをクリックして追加した矩形の境界要素にマウスを持ていくと、矩形を認識した時点で太い緑色の矩形が表示されますので、その状態でマウス左ボタンをピックするとその矩形の範囲に材料2が適用されます。次に境界条件を追加して材料2を適用した状態を示します。



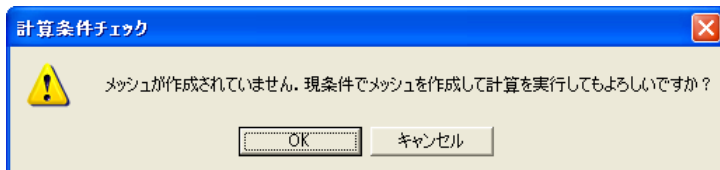
なおCADTOOL FEMはあくまでも2次元ですので部分的に板厚を変えてリブ形状にした場合はベースの板に対して両側に平均的にリブが立っているイメージとなります。

板厚確認用簡易三面図の「正面図」や「側面図」ボタンを押すと正面図や側面図が表示される視覚的にリブのイメージが確認できます。

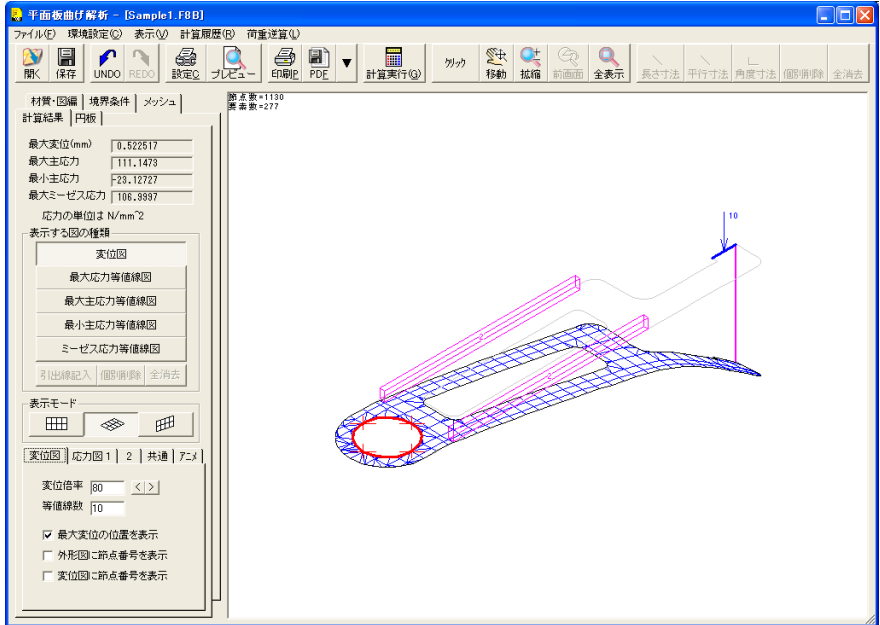
3つ以上の材料を使っている場合は“選択タブの材料を強調表示”をチェックしておくを選択している材料タブのものが太く強調表示されより分かりやすくなります。

追加した境界要素に境界条件を付けると一旦メッシュがクリアされます。

メッシュがクリアされた状態で「計算実行」ボタンをクリックすると次に示すメッシュを作成するかどうかを確認するメッセージが表示されます。



ここで「OK」をクリックするとメッシュ作成と計算を続けて実行します。次にその計算結果を示します。



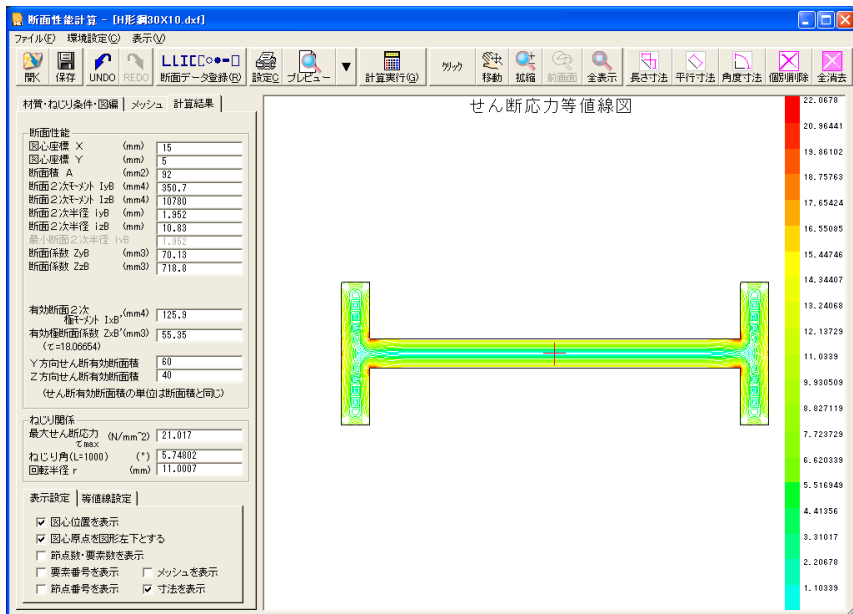
リブ無しの場合の最大変位 2.94 mm からリブを入れた場合の最大変位は 0.52 mm と
 なりリブを入れたことにより大幅に強度がアップしたことが分かります。

また平面板曲げ解析ではアイソメ表示して境界条件を表示するとベースの板から片面だけの
 リブ形状が表示されるようになっていきますのでどの部分にどれくらいのリブが立っているが
 分かりやすくなっています。ただし計算上はベースの板を挟んで反対側にもリブが立っ
 ている条件となっていますので注意してください。

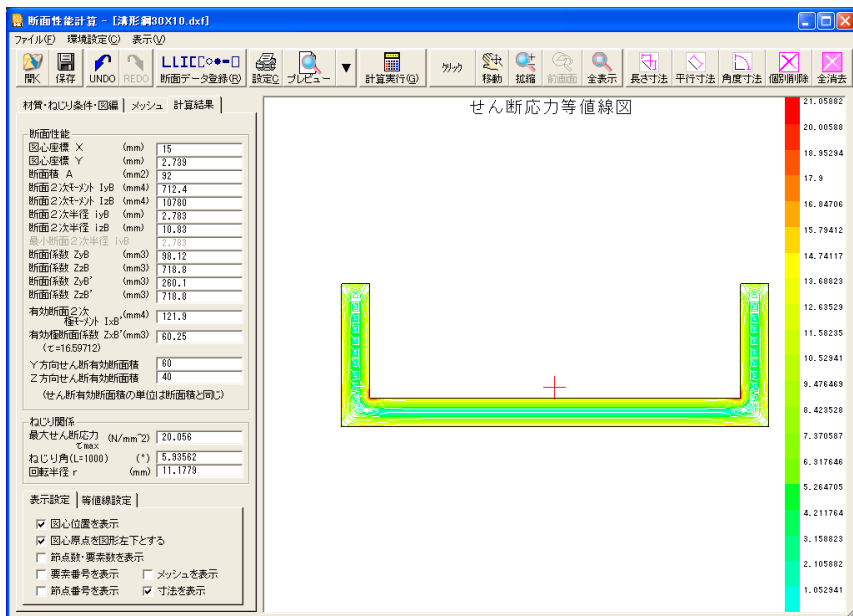
平面応力解析と同様に平面板曲げ解析でも複数材料条件を使えばこのようなリブ付きの形状
 も解析できますが CADTOOL FEM はあくまでも 2 次元なのでこのようなリブ形状もベース
 の板に対して両側に平均的に突き出た状態となります。

この例のような板物の部品の場合、板金加工で折り曲げて片側にリブを立てる場合も多い
 ので、リブが片側に立っている場合と両側に振り分けて立っている場合で強度的にどの程度
 の差があるかを [CADTOOL フレーム構造解析 11] の断面性能計算を使って比較してみま
 す。

まず次に両側にリブが立っている場合の断面性能計算結果を示します。



なおこの形状を便宜上、「H形鋼形状」と呼ぶことにします。続いて片側にリブが立っている場合の断面性能計算結果を示します。なおこちらの形状は便宜上、「溝形鋼形状」と呼ぶことにします。



ここで断面２次モーメントを比較してみると I_z B（垂直軸周り）は同じですが I_y B（水平軸周り）が「H形鋼形状」で 350、「溝形鋼形状」で 712 と約 2 倍と「溝形鋼形状」の方が大きくなっており強度的に強いことが分かります。また断面係数 Z_y B でも「H形鋼形状」で 70、「溝形鋼形状」で 98 と約 1.4 倍になっています。

これらのことから平板曲げ解析は両側にリブを出した形状での解析のため強度的に不利な条件で計算していることになるので、逆に言えば平板曲げ解析の計算結果は安全側の値となっていることになります。

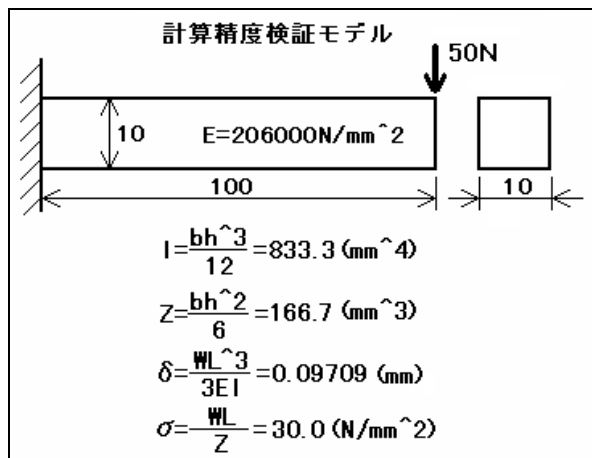
したがって限界設計をしているのであれば実際には片側にリブが出た形状でも平板曲げ解析で実用レベルの計算結果が得られるものと考えています。

なお片側にリブを出している場合にリブを両側に振り分けた場合と比べてどの程度強度的に向上するかはベースの板厚やリブの高さ、幅等の関係で一概に言えません。

正確には 3 次元ソリッドモデルを使ってミッドレンジクラスの CAE ソフトで解析する必要がありますが、断面の変化が少ない場合であれば上記のような断面性能の比較でもおおよそのところはつかめるものと考えられます。

8. 計算精度の検証

次に示す平面応力解析と同じ検証モデルを使って平板曲げ解析でも計算精度を検証してみましょう。



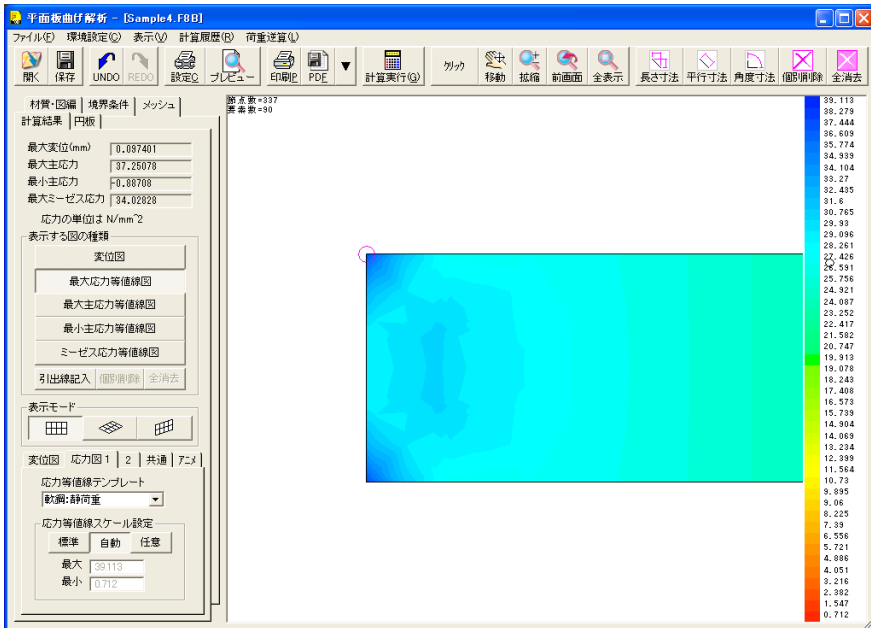
このモデルのD X F 形状データはSample5.dxfとして¥Sampleフォルダに入っていますが、V e r 7から形状作成機能の矩形でも簡単に作成できます。

また境界条件や材料条件を設定したデータもSample4.F8Pとして入っていますのでアイコンボタンの「開く」か、プルダウンメニューの「ファイル」>「既存データを開く」をクリックしてそれを読み込みます。

DXF形状データを読み込んだ場合は、境界条件は左端を全固定、右端に垂直荷重を50Nかけます。材料は「機械構造用鋼」で板厚は10mmとします。

まずSample4.F8Pのデフォルト設定のままの「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大変位は0.097401mmと厳密解に近い結果が得られています。

最大主応力は37.25N/mm²と厳密解より大きくなっていますが次に示す最大応力等値線図を見てみると支持部の両端で応力が高くなっているのが分かります。



この応力値の精度についてはさらなる検証が必要ですが厳密解の応力値は支持点の平均値で、今回の例は厚みが幅と同じ10mmと厚いので支持部の両端に応力集中を起こしていることも十分考えられ、そうなるこちらの方がより実際に近い応力となります。

メッシュの粗い例として [メッシュ] タブを開きグリッドピッチ精度を1にしてメッシュを作成して計算してみると、要素数は6で最大変位は0.096931mmとなり粗い要素でも厳密解に近い結果が得られています。いろいろとメッシュを変えて試してみてください。

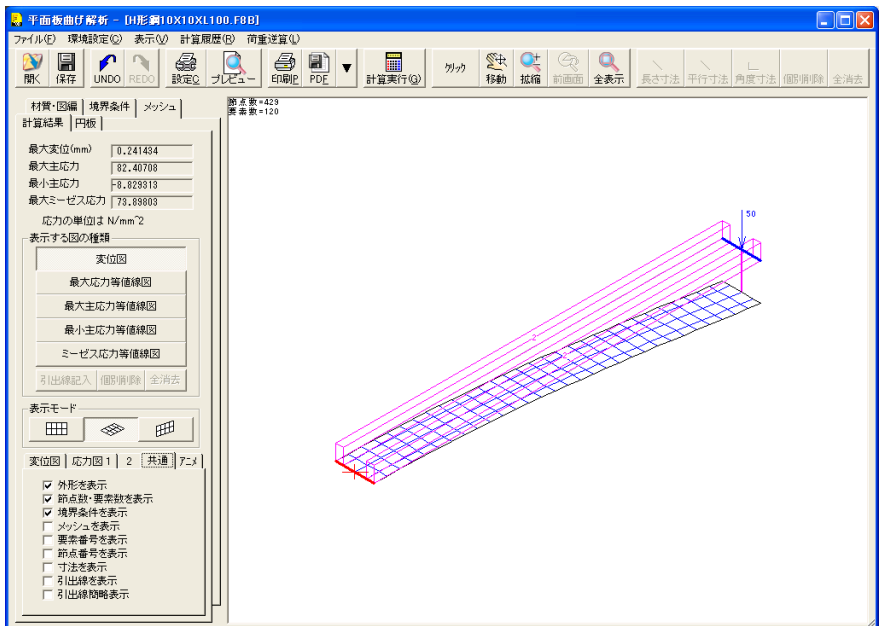
なお平板曲げ解析では要素の形状が正方形から外れてくると変位の誤差も大きくなってくる（平面応力解析では変位の誤差はあまり形状に影響されない）ので任意の形状の場合は要素数を多めにしたメッシュを作成した方が良いと考えられます。

では平面応力解析と同様に複数材料条件でリブを入れた場合を検証してみましょう。

平面応力解析と同様にこの形状でベースの板厚を2mmとし上下に高さ2mm、幅10mmのリブを設定してH形鋼の断面形状でチェックしてみましょう。

まず手計算用の断面性能計算は平面応力解析で行った結果を使いますが平板曲げ解析の変形は部材Y軸（水平軸周り）となりますので断面2次モーメント I_y の337.3を使い、先ほどの厳密解の式で最大たわみを求めると0.240mmとなります。

では同じ条件になるように複数材料条件を使って平板曲げ解析で計算してみます。

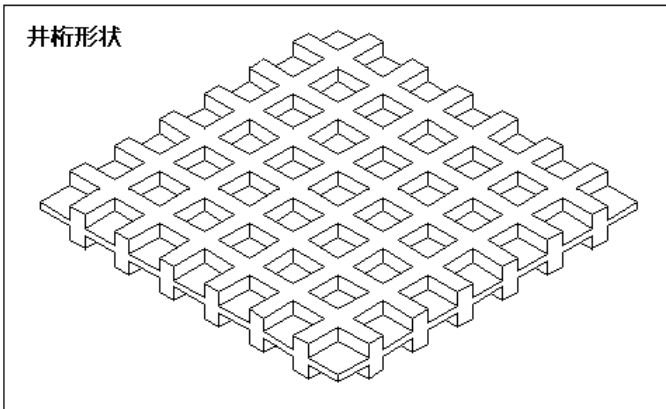


この計算例では最大変位は0.2414mmとなり手計算とほぼ同じ値が得られています。応力で比較してみると断面係数 Z_y は67.5なので手計算で求めた最大応力は74.1となり、この計算例では82.4と若干高めの数字が出ています。

平面応力解析と同様にはり中央部の応力を計算してみると手計算では37となり、この計算例でマウスを使ってはり中央部の応力を調べてみるとほぼ同じ値が得られているのが分かります。これらのことから平板板曲げ解析でも左端の固定部の応力値は応力集中の影響も受け、そのため左端の最大応力の比較では手計算より高めの値が出て、応力集中のないはり中央部では手計算とほぼ同じ値になっているものと考えられます。

なおこのデータはH形鋼10X10XL100.F8Pとしてサンプルデータに入れていますので各自で試してみてください。

複数材料条件を使うと次に示すような井桁形状の解析もできますが、このようなモデルの検証は3次元ソリッドモデルを使って3次元のCAEソフトとの比較が必要になります。



上の例で全体を縦横100mm、ベースの板厚を2mm、井桁の幅を5mm、ベースから井桁の高さを片側4mm（合計の厚さは10mm）、井桁の間隔を15mmとしたもので四隅を4点単純支持し中央に集中荷重をかけた条件で平板板曲げ解析と3次元CAEソフトで計算結果を比較したところほぼ同じ変位が得られています。

したがって単純なモデルではありますが平板板曲げ解析で複数材料条件を使って井桁形状をモデル化しても実用レベルの計算が可能と考えています。ただし形状によっては誤差が大きくなることも考えられるので精度が必要な場合はミッドレンジクラスの3次元CAEソフトを使って3次元ソリッドモデルで解析する必要があります。

なお第4章基本操作でも説明していますが材料2～5を適用した矩形の境界要素が重なっている場合は材料番号の大きい方が適用されるようになっています。井桁形状で高さが異なる材料を使っている場合、重なっている部分は材料番号の大きい方が適用されるようになっており、必ずしも板厚が厚い方になるわけではないので注意してください。

9. サンプルデータについて

平板板曲げ解析でも作業フォルダができている場合は作業フォルダの下、インストールフォルダに書き込みできる場合はインストールフォルダの下にある¥Sampleフォルダにサンプルデータが入っており、おのおのD X F形状データと既存データがあります。

このうちSample1.F8Pは説明で使ったアーム部品のデータで、Sample2.F8Pは内部境界条件の説明に使ったデータ、Sample4.F8Pは計算精度の検証に使ったデータになっていますので、ここではそれ以外のサンプルデータについて、境界条件等が既に設定されている既存データを読み込んでデフォルトの設定のまま〔計算実行〕ボタンをクリックして計算を実行した例を元に説明していきます。

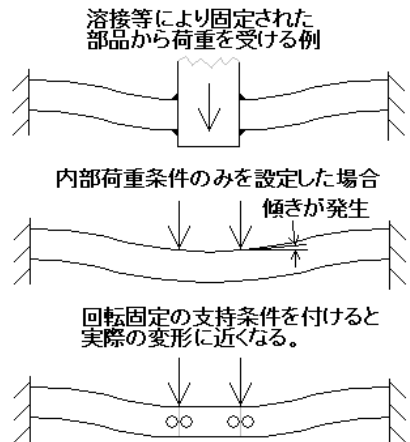
①Sample3.F8P

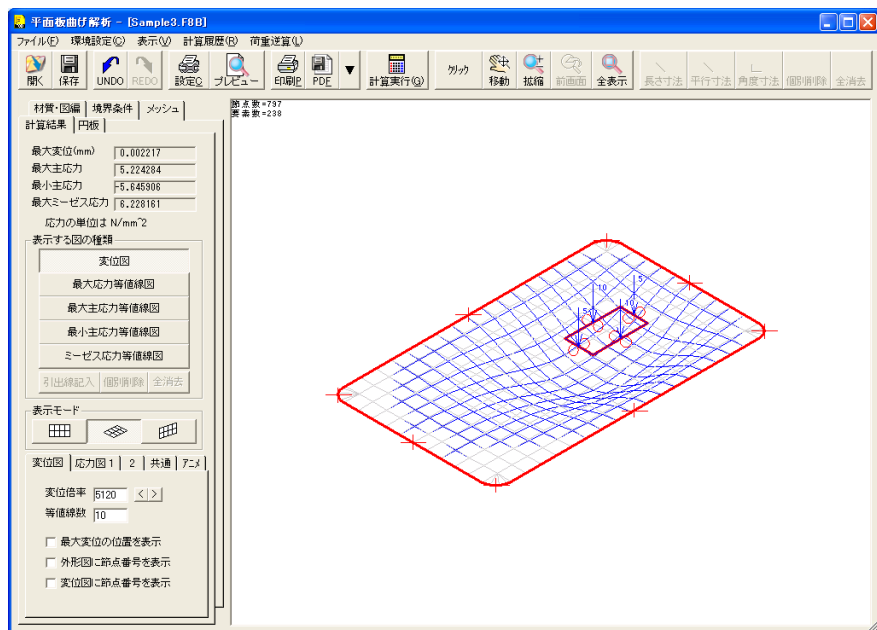
これは板の内部に垂直荷重と回転固定の内部境界条件をつけたものです。

右に参考図を示しますが内部荷重条件で垂直荷重を設定すると荷重をかけた部分の板は変形により傾斜します。一方で垂直荷重を受ける場所に何らかの部品が溶接されているような場合は周辺の板は傾斜しないので回転固定されていることになります。

このような場合は垂直荷重と同時に回転固定の境界条件をつけるようにすれば荷重をかけた部分の傾斜は0となりますので実際の変形の様子に近くなります。

ではこのデータを読み込んでメッシュを作成して計算してみます。





ここでは変形の様子がよく分かるように変位倍率を大きくして表示していますが回転固定が設定されている内部はほぼ平面となっているのが分かります。

回転固定の支持条件だけは垂直荷重と重複して設定することができますが、他の支持条件と垂直荷重は重複して設定することはできません。

また回転固定の支持条件だけでは垂直方向にフリーになってしまうので必ず全固定か単純支持の支持条件が必要となります。

なおこの例で使用した形状は¥SampleフォルダにSample8.dxfとして入っています。

②Sample5.F8P

これは直径100mmの円板の外周を固定して0.01N/mm²の分布荷重をかけたものになります。平面板曲げ解析では下に示す材料力学の公式を用いた円板の計算がおまけの機能として組み込まれていますのでその結果と比較してみましょう。

円板曲げ計算の計算式

外周を固定			
最大たわみ	$\delta = \frac{\rho R^4}{64D}$	最大応力	$\sigma = \frac{3\rho R^2}{4h^2}$
外周を支持			
最大たわみ	$\delta = \frac{5+\nu}{1+\nu} \cdot \frac{\rho R^4}{64D}$	最大応力	$\sigma = \frac{3(3+\nu)\rho R^2}{8h^2}$
記号の説明			
$D: \text{板の曲げ剛さ} = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$			
$\rho: \text{分布荷重} \quad R: \text{半径} \quad h: \text{板厚}$			
$\nu: \text{ポアソン比} \quad E: \text{縦弾性係数}$			

さきにその円板の計算をしてみます

右のように[円板]のタブをクリックして直径に100、分布荷重に0.01を入力すると直ちに計算が行われ計算結果が表示されます。

この条件では外周を固定した場合、最大変位は中央部で発生し0.051767mm、最大応力は外周部で発生し18.75N/mm²と求められます。

なおこの計算に用いられる材質と板厚は材料1の設定値が使われるようになっています。

材質・図編

境界条件

メッシュ

計算結果 円板

直径(mm)

100

等分布荷重
(N/mm²)

0.01

外周を固定した場合

最大変位(mm)

0.051767

最大曲げ応力
(N/mm²)

18.75

外周を支持した場合

最大変位(mm)

0.211051

最大曲げ応力
(N/mm²)

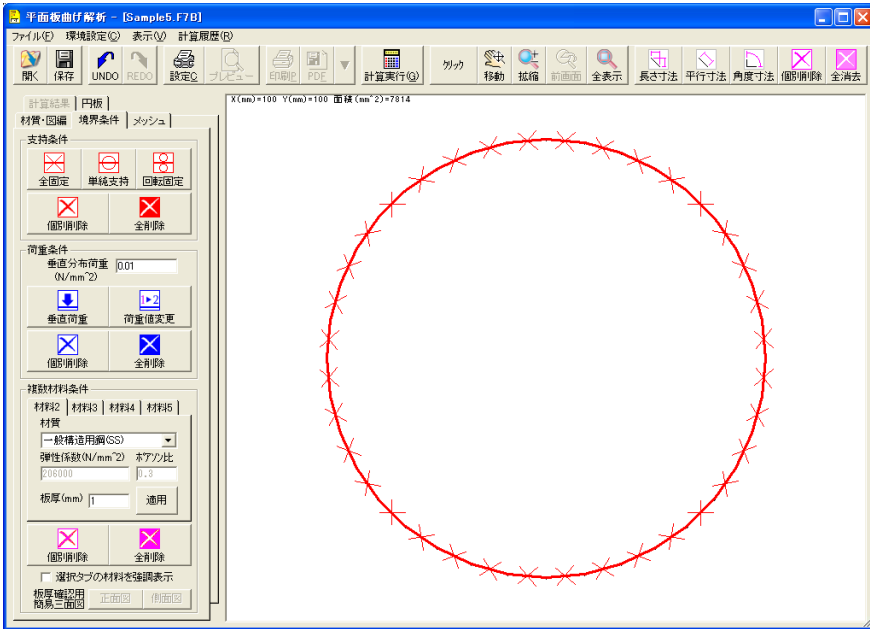
30.9375

解説

円板の計算はFEMではなく解析的に求めています。計算式はマニュアルを参照してください。

材質(弾性係数・ポアソン比)、板厚は材料1の設定値が使われます。

ではこのサンプルデータを読み込んで境界条件を確認してみます。分布荷重は荷重条件の垂直分布荷重で設定します。

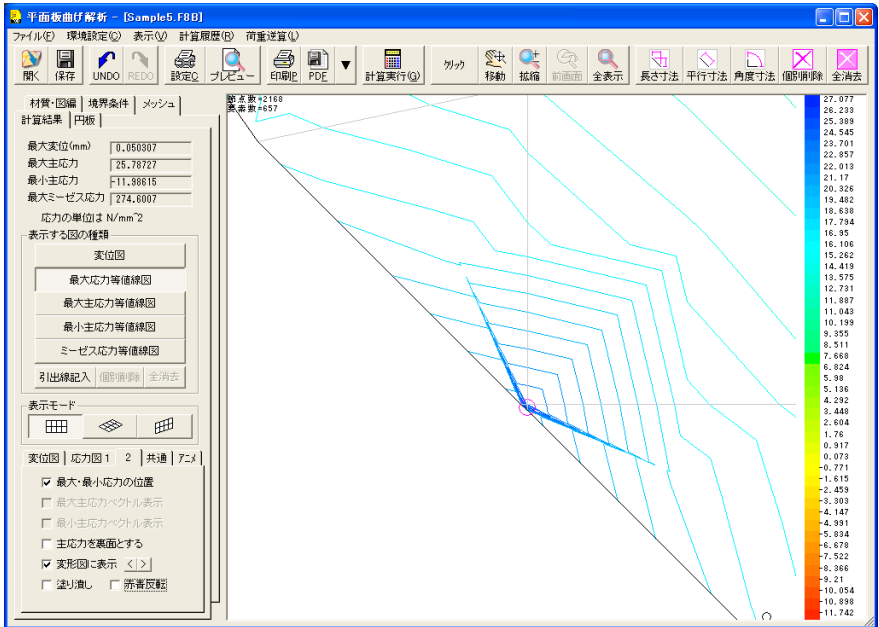


先ほどと同様に「計算実行」ボタンをクリックして計算を実行してみます。

最大変位は0.050307 mmとほぼ同じ値が得られていますが、最大主応力は公式の値より大きくなっています。

またミーゼス応力の最大値は極端に大きな値となっていますがミーゼス応力は平面の応力だけでなくXZ面やYZ面のせん断応力も合成されるので、特にこの例のように円や円弧が含まれる平面板曲げ解析では異常値が出やすくなります。平面板曲げ解析では主応力で判断した方が良いでしょう。

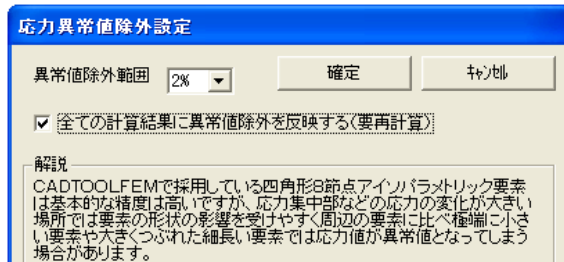
では画面操作機能を使って最大主応力発生場所を拡大してみたものを次に示します。なお画面操作については第4章基本操作を参照してください。



この例では周辺の要素にくらべ非常に小さい要素で最大応力が発生しているのでこの値は信頼できません。マウスを外周の節点に近づけて応力値を確認してみると16から19ぐらいの値になっているので平均的には公式の値と同程度のものが得られていると判断できます

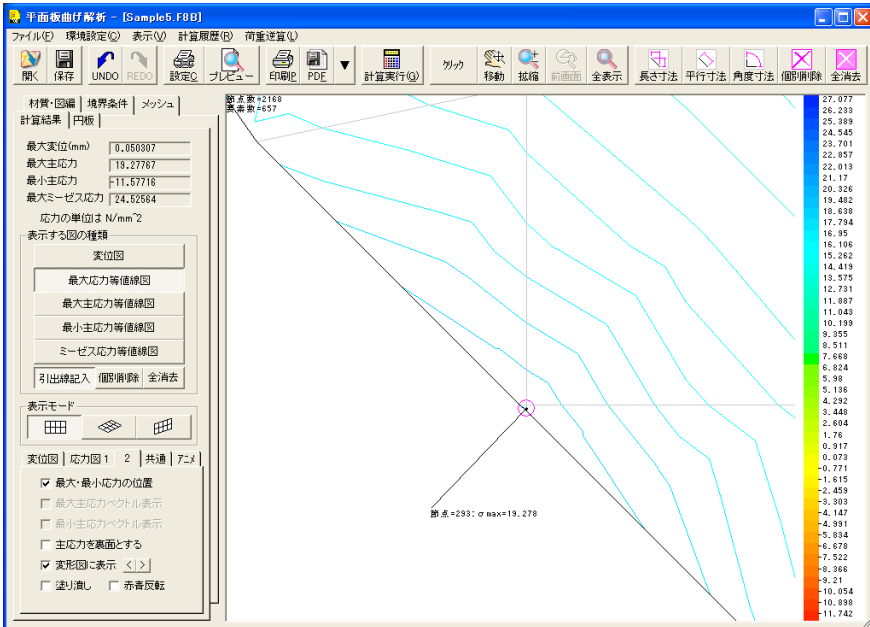
このようなマウスによる周辺の応力値の確認や発生要素の形状、周辺の応力分布等からこの最大主応力は異常値で実際には問題ないと判断できても計算結果にはこの異常値が出力されてしまうので状況を知らない人に計算結果だけを見せると誤解を受ける場合があります。

またこの例の場合は同様の部分が多いので一つ一つメッシュ形状を整えるのは大変です。そこで第4章の「3. 環境設定」で説明した応力異常値除外設定を使ってみます。プルダウンメニューの「環境設定」>「応力異常値除外設定」をクリックして応力異常値除外設定ダイアログを開きます。



この例の場合は異常値が発生している要素が多いので除外範囲を最大の2%にすると最大主応力も妥当な値が表示されるようになります。

またVer 7から“全ての計算結果に異常値除外を反映”のチェックボックスが追加されていますがこの設定を変更すると計算結果がクリアされて再計算が必要となります。この設定で確定して再計算したものを次に示します。

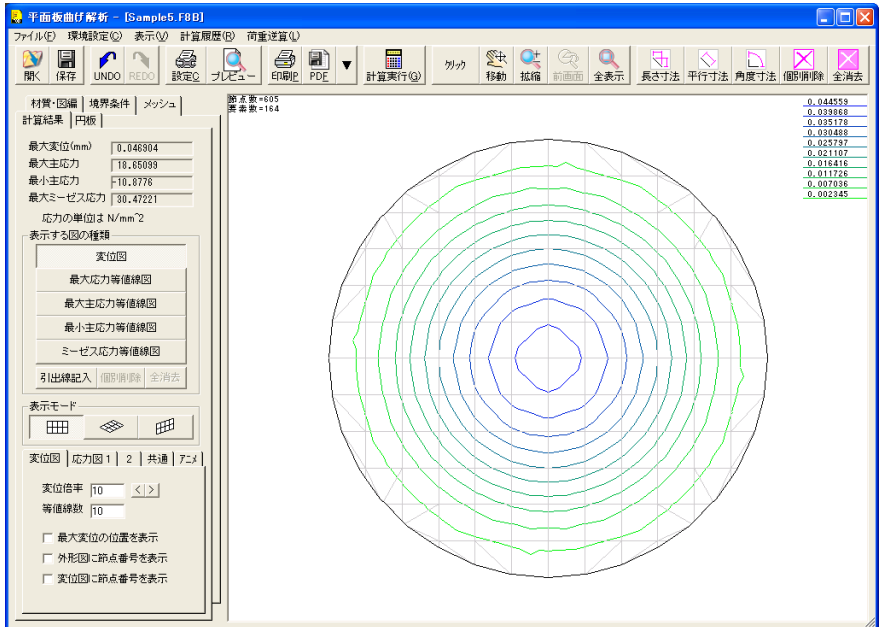


“全ての計算結果に異常値除外を反映”をチェックするとイメージ上の計算結果も異常値除外が反映されます。この応力異常値除外設定については 第4章の「3. 環境設定」の解説や応力異常値除外設定ダイアログにある解説を参照してください。

なおこの機能はあくまでもメッシュ形状が悪く注目部分以外で異常値が発生しているような場合の設定なので注目部分については前述のようにメッシュ形状を整えて信頼性の高い値を把握しておく必要があります。また応力異常値除外設定の運用にあたっては設計者自らの判断で十分注意して行ってください。

この例は円が一つの形状でSampleフォルダに[Sample7.DXF]として入っていますが他のコマンドも含めてメッシュ作成機能の仕様により最外周の要素が円の場合は36個の線分に自動的に分割されて取り込まれるようになっています。

今度はグリッドピッチ精度を2にして要素数を減らして計算してみます。



最大変位が0.0469mmと変位の誤差が大きくなりました。

「8. 計算精度の検証」では少ない要素でも精度が高かったですが、平面的曲げ解析ではこのようにメッシュに正方形以外の形状が含まれてくると変位についても誤差が大きくなってきます。そのため平面的曲げ解析では比較的要素数を大きく取ったほうが良いと考えられます。

一方、最大主応力は18.65とあまり変わらず厳密解に近い値のままになっており、応力異常値除外設定の効果が出ているものと考えられます。

第7章 回転体応力解析

回転体応力解析では回転軸に対する半断面を取り込み、その半断面を回転軸回りに1周押し出した回転体形状を解析しますが、半断面の座標を半径とZ座標で扱い円周方向は均一で形状や境界条件に変化はないとすることで、2次元で扱えるようになります。

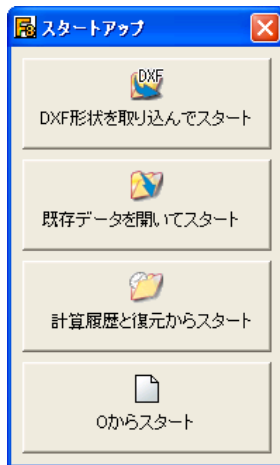
したがって円筒や压力容器のようなものの解析が可能ですが円周方向で部分的に形状が変化しているとか、あるいは円周上の一部に集中荷重がかかるような解析はできません。

回転体応力解析の計算条件の基本的な設定方法は平面応力解析と同じなので、ここでは設定方法が異なる部分を中心に説明していきます。基本的な設定方法については平面応力解析の説明を参照してください。またプルダウンメニューやアイコンボタンの機能等については第4章基本操作を参照してください。

1. スタートアップメニュー



コマンド選択メニューで「回転体応力解析」ボタンをクリックして起動すると右下のスタートアップメニューが表示されます。



新規に解析を行いたい場合は「DXF形状を取り込んでスタート」をクリックするとDXFファイル選択ダイアログが表示されますので解析したい形状を取り込みます。

「既存データを開いてスタート」を選択した場合は既存データのファイル選択ダイアログが表示されますので計算したいデータを選択して開きます。

これらのファイル選択操作は第4章の「2. ファイル入出力」を参照してください。

計算履歴情報があると「計算履歴と復元からスタート」が使えるようになります。計算履歴については第4章の「20. 計算履歴機能」を参照してください。

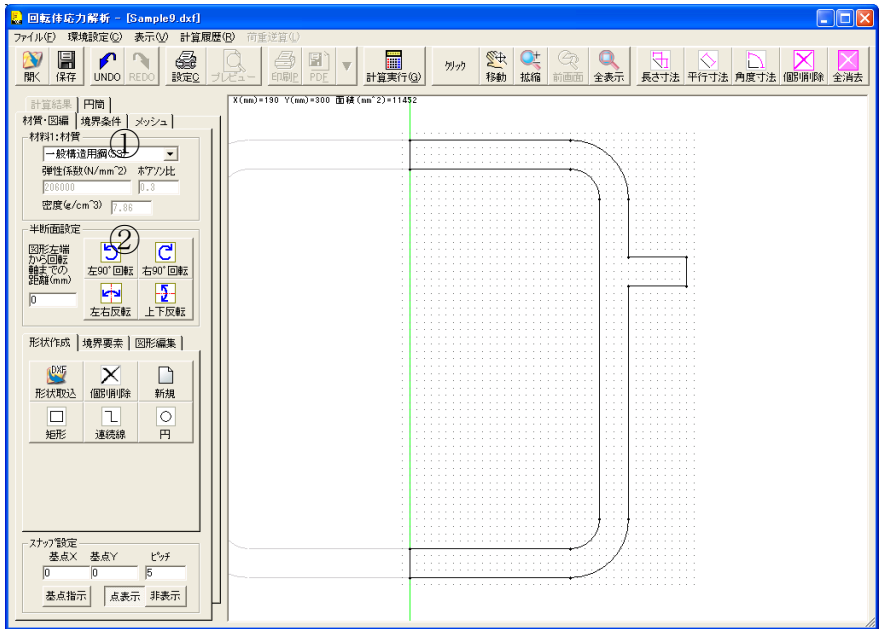
Ver 7から追加された形状作成機能で新規に解析形状を作成する場合は「0からスタート」を選択します。

スタートアップメニューの右上の×ボタンをクリックするとコマンドは終了します。

ここでは「D X F 形状を取り込んでスタート」で¥Sampleフォルダにあるサンプルデータ Sample9.dxfを読み込んだ状態で説明を続けていきます。これは圧力容器のモデルで支持用のフランジが外周にあるものです。

2. 材質・図編

スタートアップメニューでD X Fファイルか既存データの読み込みを実行すると次のウィンドウが表示され形状イメージが表示されます。また既存データを読み込んだ場合は境界条件のイメージも表示されます。



最初は機能選択タブが「材質・図編」になっていますのでここで材質の選択や半断面の設定、図形編集を行います。

④材料1：材料1がデフォルトの材料となり複数材料条件を使用しない場合や複数材料条件が設定されていない部分はここで設定した材料が適用されます。

- ・材質：使用する材質をリストボックスから選択します。ここで「任意」を選択すると弾性係数とポアソン比、密度に任意の値を入力できるようになります。またこの材質データは自由に編集や追加ができますが、その方法については第4章基本操作を参照してください。

なお密度は境界条件で軸回転数を与えて遠心力の影響を考慮するときのみ必要です。軸回転数が0の場合は密度も0でもかまいません。

②半断面設定：回転軸は常に垂直で図形左端を回転軸位置とした右半断面を使って計算しますが、取り込んだ図形の回転軸が水平であったり左半断面であったり回転軸から離れた位置にある形状などを取り込んだときに、ここの半断面設定を使って計算に使うことのできる右半断面に設定します。

この例では取り込んだD X F 形状データが既に図形左端を回転軸とした半断面形状として作成されているのでこの機能を使う必要はありません。この半断面設定機能については後で説明します。

ウィンドウ上部のプルダウンメニューとアイコンボタン、[材質・図編] タブにある[形状作成] [境界要素] [図形編集] の各タブや[スナップ設定] の機能や操作は第4章基本操作を参照してください。

ここでは材質を[一般構造用鋼(SS)] を選択して次の境界条件の設定に進みます。

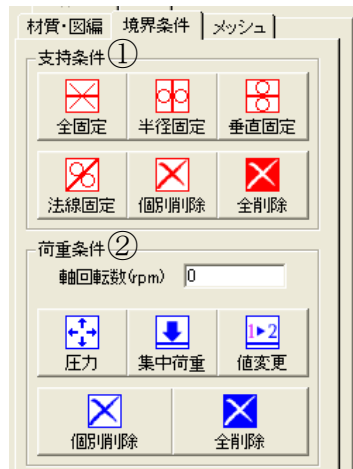
3. 境界条件

境界条件とは取り込んだ形状の外的な要因を設定するもので、機能選択タブの[境界条件] をクリックして支持条件や荷重条件の境界条件を設定します。

①支持条件：支持条件には半径方向も垂直方向も固定する[全固定]と半径方向だけ固定する[半径固定]、垂直方向だけ固定する[垂直固定]とVer 7から追加された[法線固定]の4種類あります。

このうちどこか1ヶ所以上に[垂直固定]か[全固定][法線固定]がないと垂直方向の基準が決まりませんので必須の条件となります。

また回転軸上の節点には自動で[半径固定]の支持条件が内部的につけられるようになっていますので[半径固定]は必須ではありません。



支持条件の設定方法は他のコマンドと同様にマウスを使って行いますが回転体応力解析では他の2つのコマンドと異なり支持条件で要素だけでなく線分の端点のみにも支持条件を設定することができます。

また線分を指示する場合には「半径固定」では垂直線のみ、「垂直固定」では水平線のみ、「法線固定」では斜線のみが指示できるようになっています。

「全固定」の場合は選択した要素上に×印が表示され「半径固定」の場合は水平に二つの○が表示され「垂直固定」の場合は垂直に二つの○が表示されるようになっています。

「法線固定」はVer 7から追加された支持条件で指示した斜線の法線方向のみ固定するので斜線の接線方向には自由となり、あたかも斜面を滑るような支持条件となります。ただし斜面から浮きあがるような方向の荷重が働いてもあくまでも斜面を滑るだけで浮くことはありません。なお「法線固定」の場合は斜線をはさんで二つの○が表示されます。

②荷重条件：荷重条件には指示した要素に垂直にかかる「圧力」と要素単位に方向も設定できる「集中荷重」があります。また軸回転数については「7. 遠心力の影響」で説明します

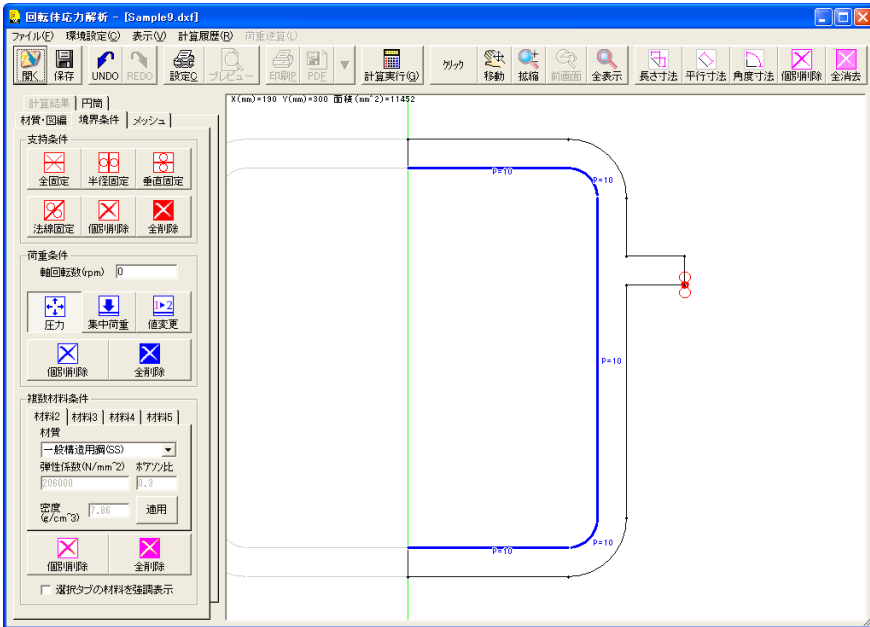
「圧力」は平面応力解析と同様にマウスと荷重値入力ダイアログで行いますが荷重の方向は垂直で固定なので方向の指示はありません。また「圧力」の荷重値は分布荷重として扱うので通常の圧力と同じ値を入力します。

「集中荷重」は荷重方向の指示も必要になります。荷重は全て円周方向にも均等にかかるようになります。また「集中荷重」の荷重値は円周方向の荷重を全て合計した荷重値で入力します。したがってある要素に設定している圧力を要素垂直方向の集中荷重に置き換えた場合、集中荷重の荷重値＝圧力×圧力のかかっている全面積という関係になります。

その他、「荷重値変更」「個別削除」「全削除」については平面応力解析と同じなのでそちらを参照してください。

ここではフランジの外側を垂直固定し、圧力容器内面に 10 N/mm^2 の圧力をかけます。圧力の場合はイメージの荷重値に“P=***”と付くようになっています。

次にこれらの設定を行ったものを示します。




次にメッシュの作成に進みます。

4. メッシュ作成

機能選択タブの「メッシュ」をクリックして解析する形状から計算に使用する要素に分割したメッシュを作成します。

この操作は平面応力解析と全く同じなので操作についてはそちらを参照してください。

ここでは平面応力解析と同じ「グリッドピッチ精度」を5、「円・円弧分割係数」は3、特異点タイプは「A」で「メッシュ作成」ボタンをクリックしてメッシュを作成してみます。

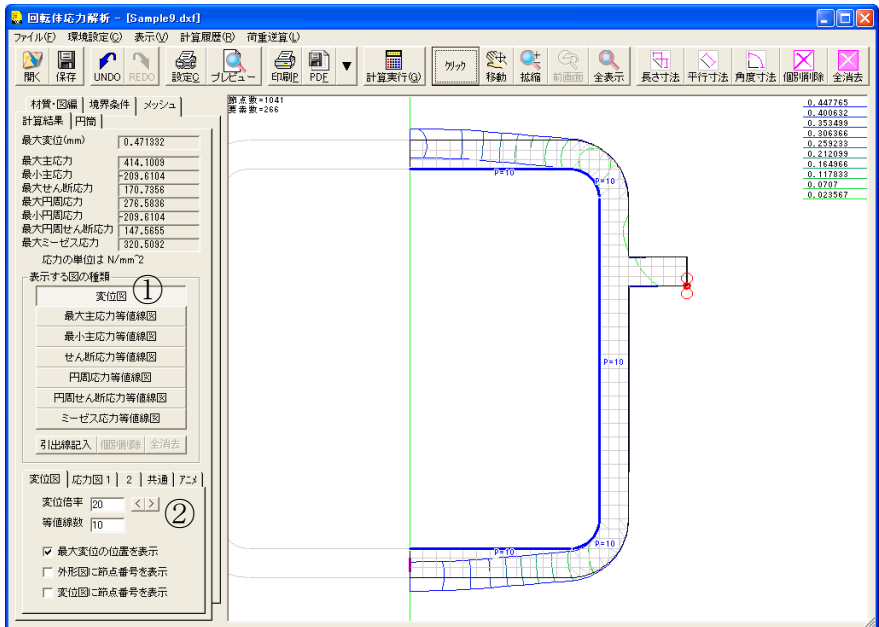
なおこの断面は内外周に円弧があるので特異点タイプが影響しやすい形状になっていて、特異点タイプを「A」にすると比較的整ったメッシュが作成されます。（解説）ボタンをクリックして解説を参考にして特異点タイプを「標準」や「B」に変えてみてメッシュがどう変わるのか試してみてください。

メッシュが正常に作成されると「計算実行」ボタンが押せるようになりますので「計算実行」ボタンをクリックして計算します。

5. 計算結果

〔計算実行〕 ボタンをクリックすると計算の進行を示すプログレスバーが表示されます。

計算が正常に終了すると機能選択タブの〔計算結果〕が表示され、次に示す変位図が表示されるとともに最大変位、最大主応力、最小主応力、最大せん断応力、最大円周応力、最小円周応力、最大円周せん断応力、最大ミーゼス応力が表示されます。



① 表示する図の種類には変位図と各種応力の等値線図があります。変位図では容器の上下が圧力によって膨らんでいる様子が良く分かります。

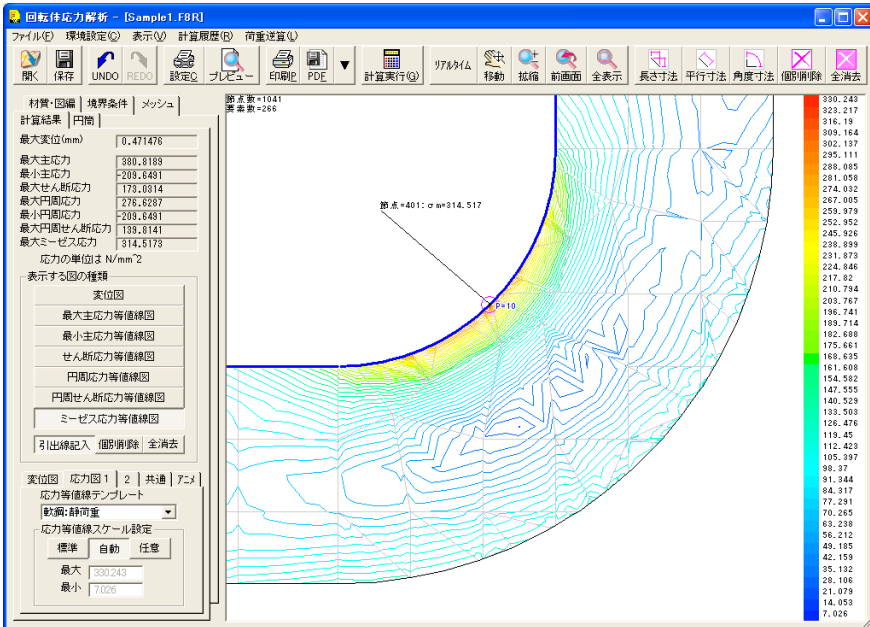
応力等値線図で円周応力等値線図と円周せん断応力等値線は円周方向の応力を示したもので回転体応力解析特有のものになります。

このように回転体では断面内の応力だけでなく円周方向の応力もありますので、まずは Ver 6 で採用したミーゼス応力に注目すると良いでしょう。

② 設定タブによる表示条件の設定は平面応力解析と同じですのでそちらを参照してください。

次に表示する図の種類を「ミーゼス応力等値線図」とし、最大ミーゼス応力が発生している部分を拡大したものを示します。

なおミーゼス応力も平面応力解析の例と同様にR部の応力が高くなっていますので第5章の平面応力解析の「6. 応力値について」を参考にしてメッシュ整えて再計算しています。



メッシュを整えてもR部で応力が高く約 314 N/mm^2 の最大ミーゼス応力が発生しているのが分かります。

続いて同じR部の他の応力を調べてみると最大主応力もこの部分で高いことが分かり、円周応力等は低くなっています。

以上のことからこの部分での問題は平面応力解析のR部と同様に最大主応力が高いので応力を下げるにはR部の半径を大きくすることが考えられます。

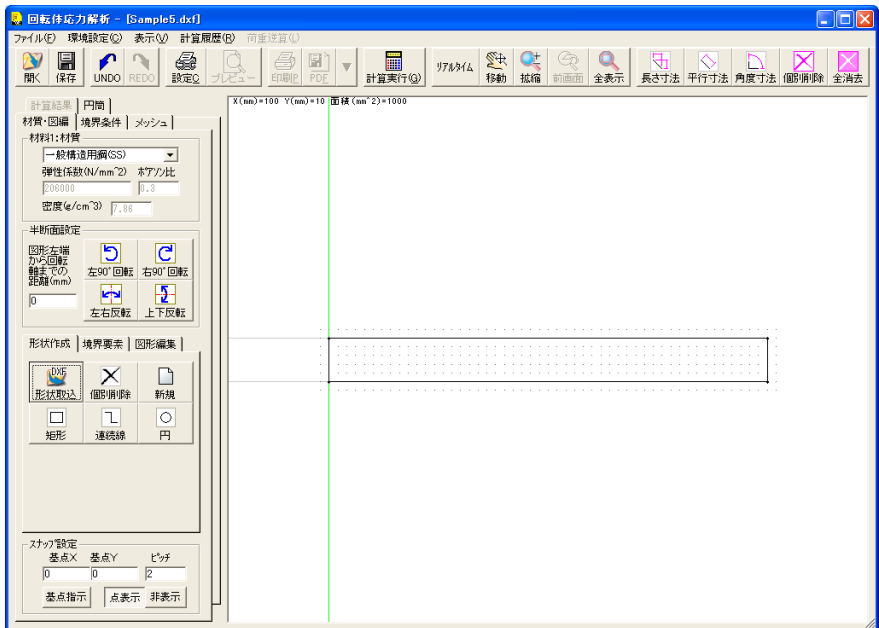
図形編集機能を使ってR部の半径を変えてみてR部の応力値がどう変化するか試してみてください。なお図形編集機能については第4章基本操作を参照してください。またこの例は Sample1.F8R として Sample フォルダに入っています。

6. 半断面設定と計算精度の検証

回転体応力解析の解析形状は回転軸を常に垂直とし右半断面を使って計算を行います。

ここで取り込んだ図形の回転軸が水平であったり左半断面であったり回転軸から離れた位置にある形状などの場合にこの半断面設定を使って解析形状としての右半断面を設定します。ここでは後で説明する円筒の計算と比較できるものを設定していきます。

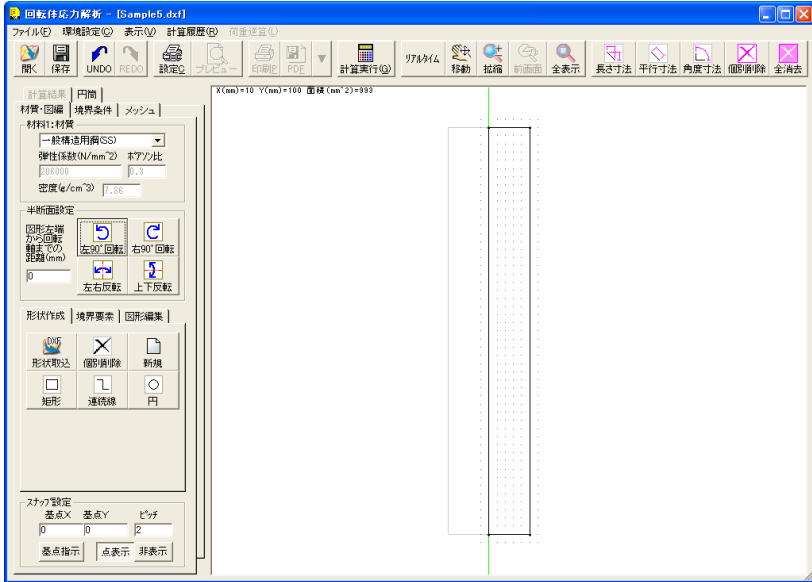
まず円筒の半断面にする形状としてSample5.dxfを選択して取り込みます。この図形は100×10の長方形で平面応力解析や平板曲げ解析で片持ちはりとして使ったもので取り込んだ状態を次に示します。またVer 7からは形状作成機能でも簡単に作成できます。



回転軸は図形左端で垂直なのでこの状態では半径100、厚さ10の円板の状態になります。これを円筒にするには半断面設定にある「右90°回転」あるいは「左90°回転」のどちらでもかまわないのでボタンをクリックすると取り込んだ形状が90°回転します。

なおこの形状の場合、上下左右も対称なので「上下反転」「左右反転」ボタンを押しても変化はありません。非対称の図形を取り込んだときに両「回転」ボタンと合わせて試してみてください。

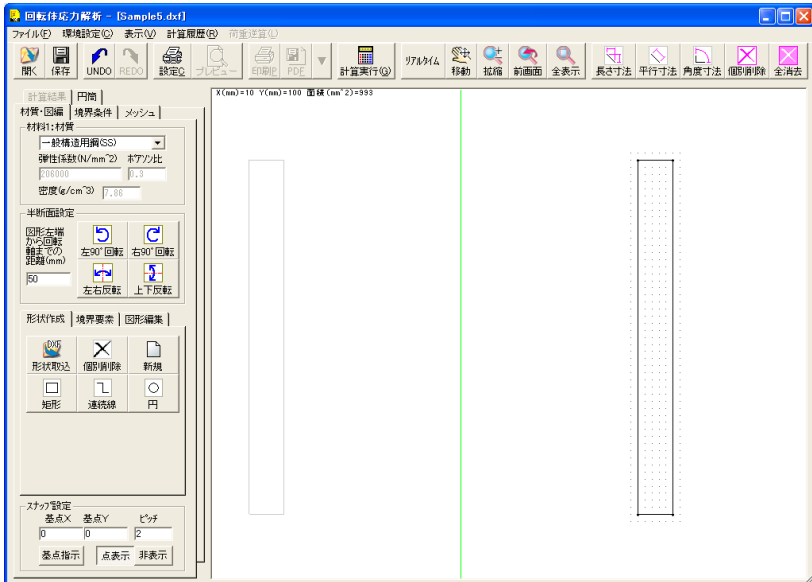
この状態を次に示します。



このままでは半径10高さ100の円柱の状態となります。

円筒にするには“図形左端から回転軸までの距離”に数値を入力します。

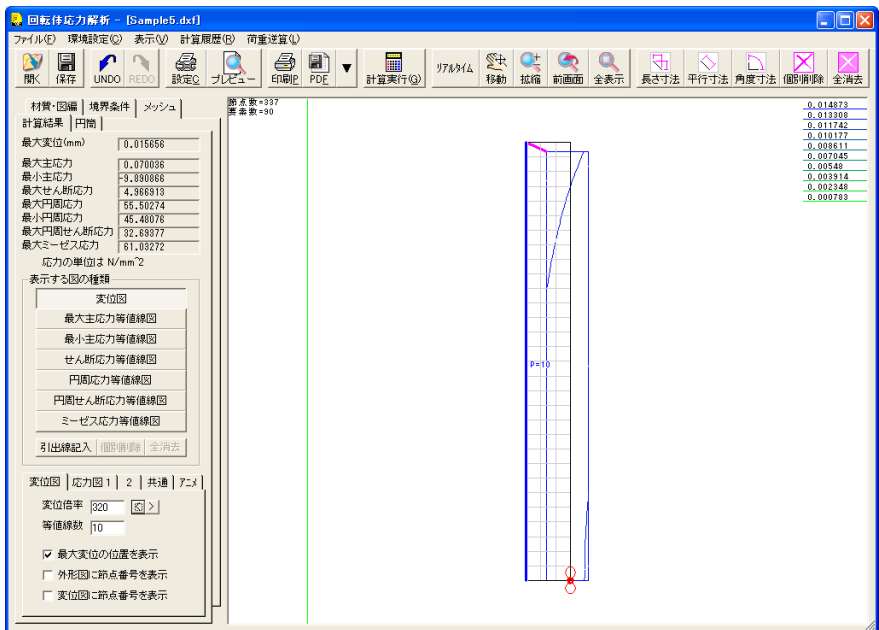
ここでは50を入力します。これで内径が100mm、板厚10mm、高さ100mmの円筒形状ができました。次に少し縮小して左半断面も表示するようにしたものを示します。



なお半断面設定機能は境界条件が設定されていると使えないので、既に境界条件が設定されている形状で半断面設定機能を使おうとすると境界条件を全て削除しても良いかどうかメッセージが出るようになっています。ここで[OK]すると境界条件を全て削除して半断面設定機能が使えるようになっています。

では先ほどと同じ手順で境界条件を設定していきます。円筒の内側に 10 N/mm^2 の圧力をかけ、垂直固定の支持条件は必須なので図形右下の端点に垂直固定の支持条件を設定します。

続いて[グリッドピッチ精度]を5、[円・円弧分割係数]は3、特異点タイプは[標準]で[メッシュ作成]ボタンをクリックしてメッシュを作成し計算してみます。



上を示す変位図では円筒が外側にほぼ平行に変位しているのが分かります。

最大変位のところにマウスアイコンを持って行って変位を表示させるとR変位が 0.014188 mm 、Z変位が -0.006620 mm ということが分かります。応力も円周応力が大きく内側で約55、外側で約45となっています。

内圧のかかる円筒の場合は材料力学の公式で変位や応力を求めることができます。次に材料力学の教科書に出ている内外圧を受ける厚肉円筒の式を示します。

内外圧を受ける厚肉円筒の式

半径応力

$$\sigma_r = \frac{R_i^2 p_i - R_o^2 p_o}{R_o^2 - R_i^2} - \frac{R_i^2 R_o^2 (p_i - p_o)}{r^2 (R_o^2 - R_i^2)}$$

円周応力

$$\sigma_\theta = \frac{R_i^2 p_i - R_o^2 p_o}{R_o^2 - R_i^2} + \frac{R_i^2 R_o^2 (p_i - p_o)}{r^2 (R_o^2 - R_i^2)}$$

半径変位

$$\delta_r = \frac{1 - \nu}{E} \cdot \frac{R_i^2 p_i - R_o^2 p_o}{R_o^2 - R_i^2} r + \frac{1 + \nu}{E} \cdot \frac{R_i^2 R_o^2 (p_i - p_o)}{r (R_o^2 - R_i^2)}$$

記号の説明

r : 半径座標 R_i, R_o : 内、外半径 p_i, p_o : 内、外圧

E : 縦弾性係数 ν : ポアソン比

この式を使って手計算しても良いのですが平面板曲げ解析の円板と同様に回転体応力解析にはこの式を使った円筒の計算が組み込まれていますのでそれを使ってみます。

まず右に示すように「円筒」タブを開きます。

内圧、外圧、内半径、外半径の入力欄がありますのでそこに数値を入力すると直ちに計算が行われ円筒の内側と外側の計算結果が表示されます。圧力が 0 の場合は未入力でもかまいません。

なおこの円筒の計算で使用する縦弾性係数とポアソン比は「材質・図編」タブの材料 1 で設定されたものが使われます。

この計算結果の半径変位と先ほどの R 変位を比較してみると同じ値が得られているのが分かります。

さらに円周応力等値線図を表示させておいてマウスアイコンで円周応力を表示させて比較してみると円周応力もほぼ同じ値となっていることが分かります。

円筒以外の形状では材料力学の公式によるクロスチェックは難しいですが少なくとも円筒に関しては精度良く求められていることが分かります。

材質・図編	境界条件	メッシュ
計算結果 円筒		
内圧 P_i	<input type="text" value="10"/>	
外圧 P_o	<input type="text"/>	
内半径 R_i (mm)	<input type="text" value="50"/>	
外半径 R_o (mm)	<input type="text" value="60"/>	
圧力・応力の単位は		
半径 R_i での計算結果		
半径応力	<input type="text" value="10.0"/>	
円周応力	<input type="text" value="55.45455"/>	
半径変位 (mm)	<input type="text" value="0.014188"/>	
半径 R_o での計算結果		
半径応力	<input type="text" value="0"/>	
円周応力	<input type="text" value="45.45455"/>	
半径変位 (mm)	<input type="text" value="0.013239"/>	
解説		
円筒の計算は FEM でなく解析的に求めています。計算式はマニュアルを参照してください。		
材質 (縦弾性係数・ポアソン比) は材料 1 の設定値が使われます。		
荷重条件で回転数が入力されていてもこの計算には遠心力の影響は含まれません。		

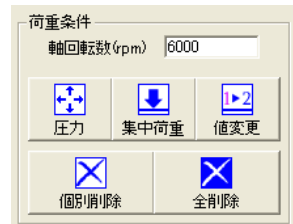
なおこの例は Sample2.F8P として Sample フォルダに入っています。

7. 遠心力の影響

V e r 5から軸回転数を与えて遠心力の影響を考慮した計算ができるようになりました。

ここでは先ほどの内圧を設定した円筒の例から内圧の荷重条件を削除して軸回転数を設定してみます。

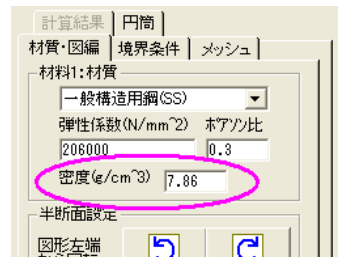
軸回転数はr p mの単位で入力しますが手計算でチェックしやすいように右のように6 0 0 0 r p mに設定します。



回転体応力解析の材料条件には密度が表示されています。

この密度と軸回転数で遠心力を設定していますので軸回転数を与える場合は密度のデータが必須になります。

第4章基本操作で説明したようにV e r 5から標準の材質データには密度が追加されていますので標準の材質を使っている場合は問題ありませんが材質を任意として物性値を入れる場合で軸回転数を与える場合は密度も入力してください。



なお平面応力解析、平面板曲げ解析、また軸回転数を入れない回転体応力解析の場合は密度のデータを使いませんので0でもかまいません。

軸回転数を与えた場合の計算に先立って手計算ではどうなるか計算してみましょう。回転する円筒を回転円輪とすれば機械工学関係の文献に下記のような円周応力を求める式が出ています。それを次に示します。

回転円輪の円周応力を求める式

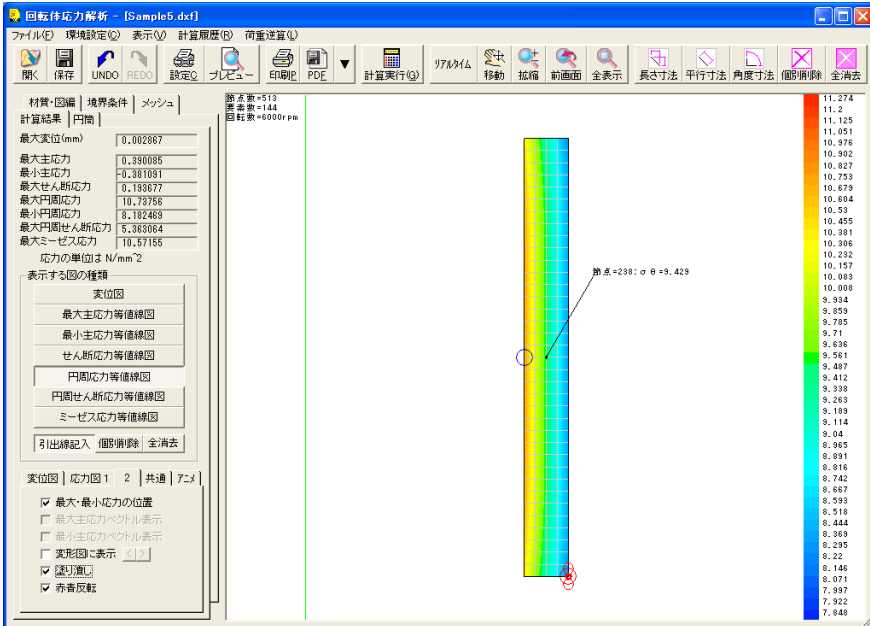
$$\sigma_t = \rho \cdot R^2 \cdot \omega^2$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot N}{30}$$

σ_t : 円周応力
 N : 回転数 (r p m)
 ω : 角速度
 ρ : 密度

単位には注意しなければいけませんが円輪の半径Rを円筒の中央部の55mmとして軸回転数が6000r p mの時の円周応力を求めると $\sigma_t = 9.387 \text{ N/mm}^2$ と求められます。

では回転体応力解析の計算を実行して円筒の中心部の円周応力を確認してみましょう。



マウスを持って行って中心部の円周応力を調べてみると 9.4 N/mm^2 となっており手計算の値とほぼ同じ応力値になっているのが分かります。材料力学等の文献にも回転円板の計算例が出ている場合がありますので各自でチェックしてみてください。

このように回転体応力解析では軸回転数を与えて遠心力の影響も考慮できます。また軸回転数による遠心力と同時に内圧などの荷重条件ををかけておくことも可能ですので応用範囲が広がると思います。

8. 複数材料条件の応用

平面応力解析や平面板曲げ解析では複数材料機能を使って板厚を変更してリブを入れた例を説明していますが回転体応力解析では板厚の設定はありません。そこで最初の压力容器の形状をフランジ部で上下に分けて上部の蓋となる部分の材質を変更してみます。

まずSample1.F8Rを読み込んで「材質・図編」にある図形編集の「ストレッチ」ボタンを押してフランジ部の厚みを2倍にしておきます。フランジの上側を対角で囲み上方向に20mmストレッチします。

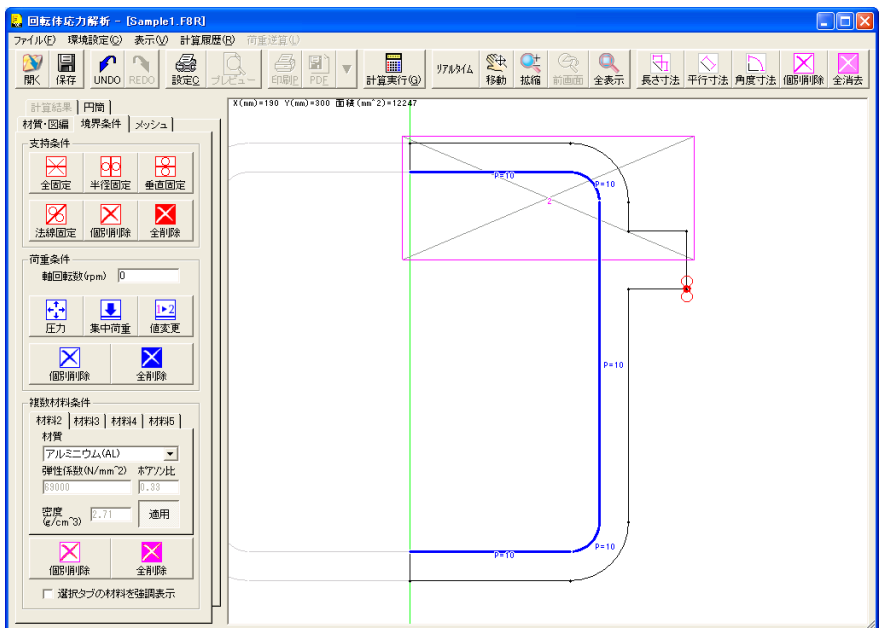
次に境界要素追加の「矩形」ボタンを押して材質を変えたい範囲に矩形の境界要素を設定します。

境界要素は元の形状からはみ出していてもかまいませんので2倍にしたフランジの半分の厚みまで矩形の境界要素を設定しておきます。

続いて複数材料条件の材料2のタブで変化が大きくなるように柔らかい材質のアルミニウムを選択し、そのタブの「適用」ボタンを押して先ほど追加しておいた矩形の境界要素をピックして材料2を適用します。

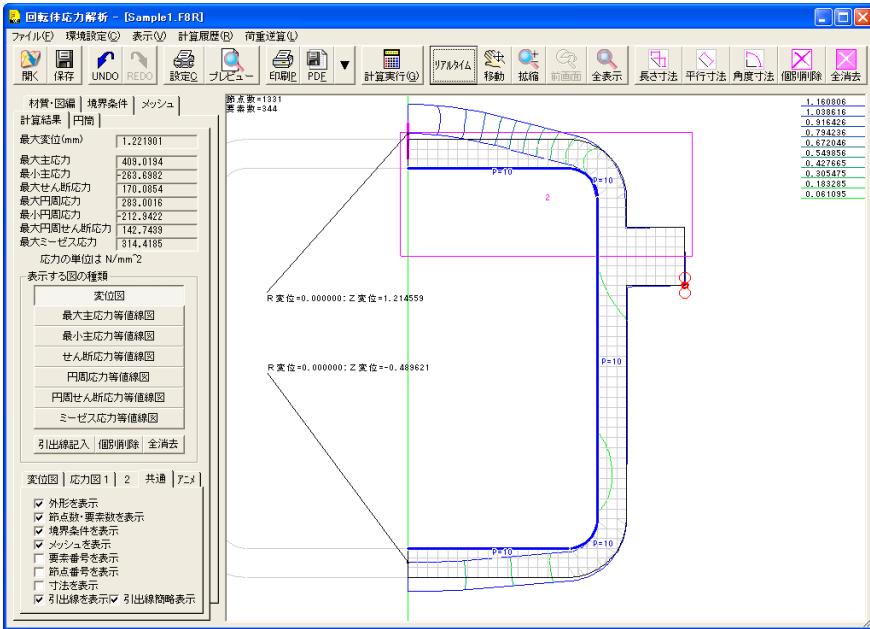
計算上は材料2が適用された矩形の範囲内にメッシュ作成で作成された要素がある場合にその要素に材料2が適用されるようになっています。

以上の操作を行った状態を次に示します。



次にメッシュがフランジの材質の境界にできるようにグリッドピッチ精度を7、円・円弧分割係数を3、特異点タイプを「A」としてメッシュを作成して計算してみましょう。

この計算結果を次に示しますが材質をアルミニウムとした蓋側が大きく変位しているのが変位図のイメージで分かります。



引出線で変位を記入してみると蓋の中央部での変位が 1. 2 mm、底の中央部では 0. 49 mm となっているのが分かります。

このように複数材料条件を使えば部分的に材質を変更した場合の解析も可能です。またこれは回転体応力解析に限らず平面応力解析や平面板曲げ解析でも同様にできます。

9. サンプルデータについて

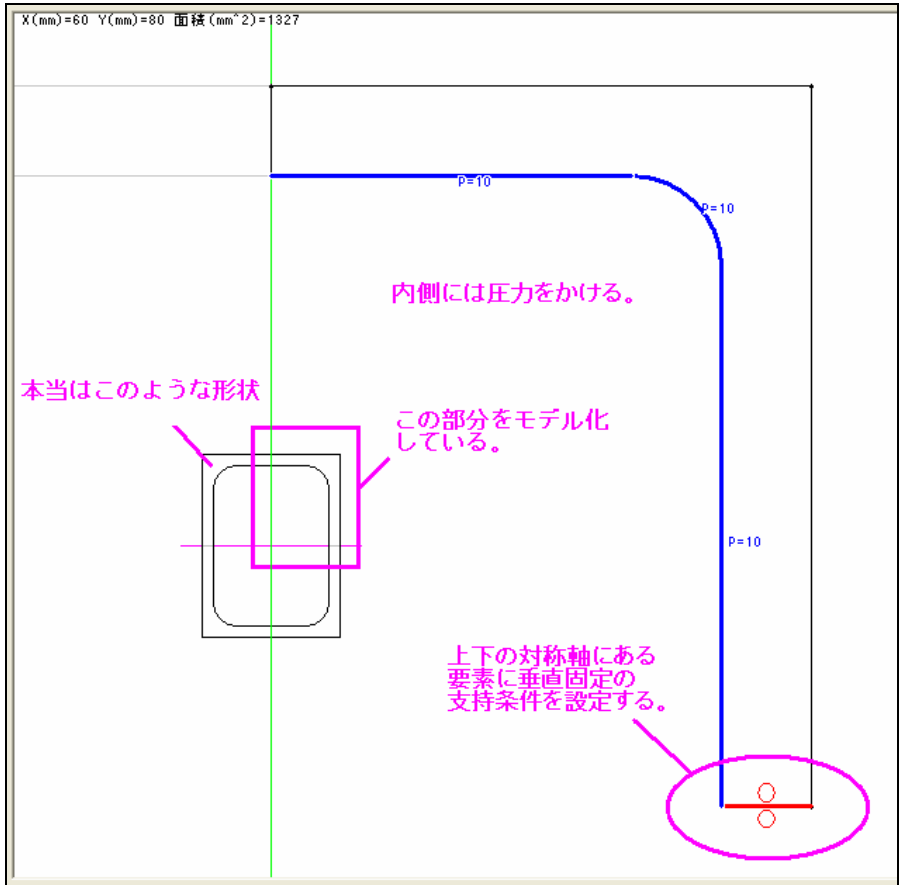
回転体応力解析でも作業フォルダができている場合は作業フォルダの下、インストールフォルダに書き込みできる場合はインストールフォルダの下にある¥Sampleフォルダにサンプルデータが入っており、おのおのDXF形状データと既存データがあります。このうちSample1.F8Pは説明で使った压力容器のデータで、Sample2.F8Pは半断面設定と計算精度の検証に使った円筒のデータになっています。

ここではそれ以外のサンプルデータについて、境界条件等が既に設定されている既存データを読み込んでデフォルトの設定のまま「計算実行」ボタンをクリックして計算を実行した例を元に説明していきます。

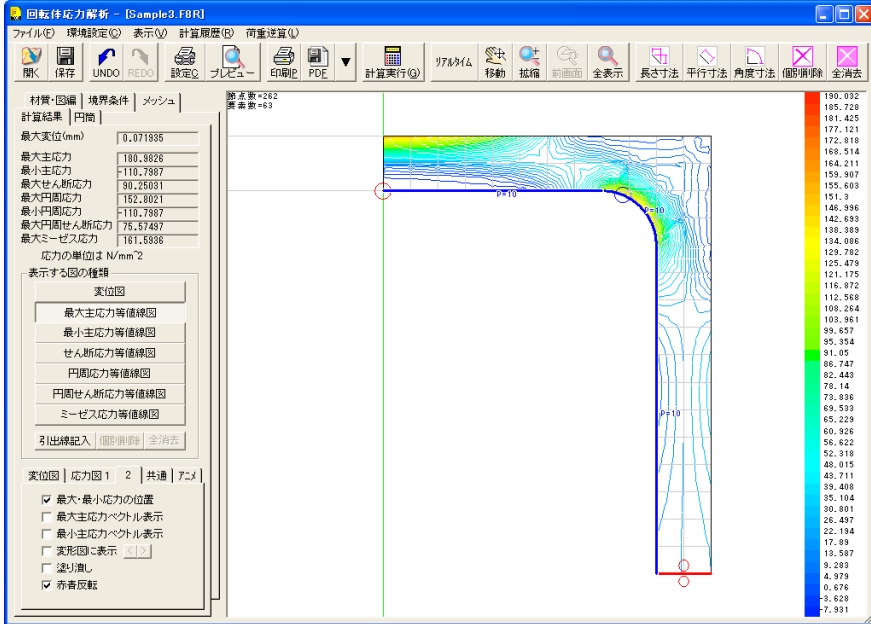
①Sample3.F8P

これも圧力容器なのですが上下の形状も対称の場合は1/4の形状で計算することもできます。

その場合は上下方向の対称軸にある要素に垂直固定の支持条件を設定します。また圧力容器の内側に相当する要素には圧力の荷重条件が設定してあります。



では平面応力解析のサンプルデータと同様にメッシュを作成して計算してみます。またこの例で使用した形状は¥SampleフォルダにSample10.dxfとして入っています。



この例では最初の圧力容器と同様に内側のR部に180以上の高い最大主応力（引張り応力）が発生していることが分かります。

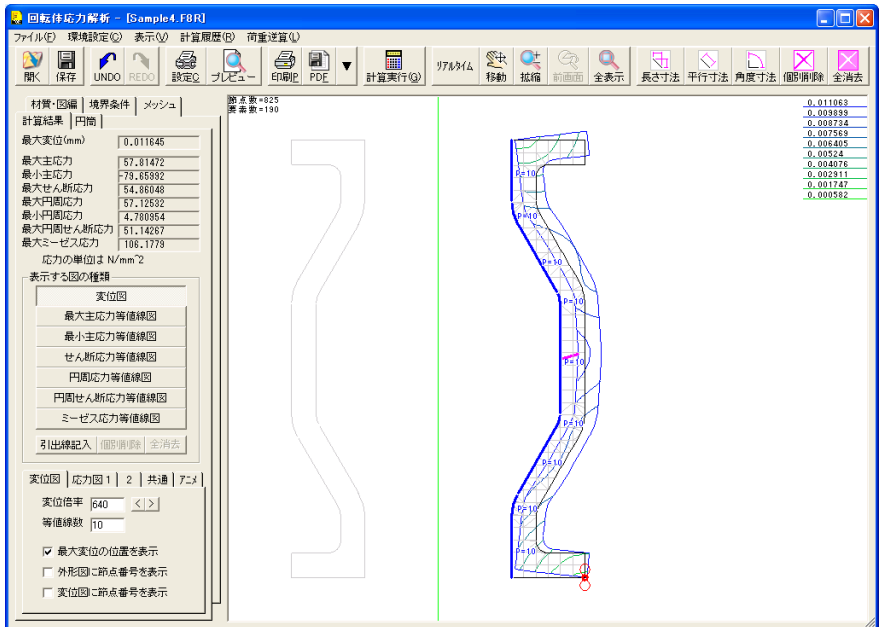
これも図形編集機能の半径変更でこのR部の半径を変更して応力がどうなるか試してみてください。

またこのR部の応力だけに注目して単に半径をどんどん大きくしていくと、今度は円周応力の方が大きくなってしまいますのでそのバランスが取れた半径が望ましい半径になるものと考えられます。

②Sample4.F8R

これは内圧のかかる軸流装置を想定したもので排気ガスの触媒容器などが考えられます。

先ほどと同様にメッシュを作成して計算を実行してみます。またこの例で使用した形状は
 SampleフォルダにSample11.dxfとして入っています。



変位図を表示してみると圧力がかかったときにフランジ部がどのように変形するのがよく分かります。また最大主応力等値線図やミーゼス応力等値線図を表示してみると、この例でも内側のR部に高い応力が発生しています。

これも図形編集機能を使ってR部の半径を変更して応力がどのように変化するか調べてみると良いでしょう。

なお複数材料条件やサンプルデータについてはチュートリアルでも解説しています。

チュートリアルはp d f形式でカラーの画像を見ることができますので回転体応力解析に限らず平面応力解析や平面板曲げ解析でも一通りチュートリアルを参照して実際に操作してみると良く分かると思います。

第8章 平面熱応力解析

1. 熱応力解析とは

〔平面熱応力解析〕と次の〔回転体熱応力解析〕はV e r 8から追加されたコマンドになり物体が温度変化した時の変形やそれに伴って発生する応力を解析するものになります。

多くの物質は温度が上がると膨張しますがその割合は長さを基準とした線膨張係数や体積膨張係数で表されます。固体の場合は主に線膨張係数（記号は α とする）が使われ一般構造用鋼材のSS400では $[\alpha = 11.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}]$ とかなり小さい値になります。

ここで線膨張係数 α の意味は長さLのものが温度 ΔT 上昇すると長さの伸び ΔL は次の式の $\Delta L = L \times \alpha \times \Delta T$ だけ伸びることを示しています。これを熱膨張といい、温度変化した物体が何も拘束されていないと熱膨張のみ発生（自由膨張）して大きさが変化しますが応力は発生しません。

具体的には長さ $L = 100\text{ mm}$ 、温度上昇 $\Delta T = 100^\circ\text{C}$ とするとSS400では

$$\Delta L = 100 \times 11.7 \times 10^{-6} \times 100 = 0.117\text{ mm}$$

と熱膨張としてはわずかな量になります。しかし熱膨張の一部が拘束されて変位できない部分があると熱膨張しようとする力が内力となり応力が発生します。これを熱応力と言います

たとえば前述の長さ $L = 100\text{ mm}$ で温度上昇 $\Delta T = 100^\circ\text{C}$ する物体の両端が完全に拘束されているとすると内部には

$\sigma = E \times \alpha \times \Delta T = 206000 \times 11.7 \times 10^{-6} \times 100 = 241\text{ N/mm}^2$
の熱応力（圧縮応力）が発生します。これはSS400の降伏点に近いような高い応力値であり、もう少し温度が上がれば塑性変形を起こして元の温度に戻しても長さは元に戻らなくなっている可能性も出てきます。

また多くの温度上昇を伴う機械装置は運転を止めれば常温に戻るようなものなので運転時には 100°C 程度の温度上昇でも運転一停止を繰り返すとこのような高い熱応力が繰り返し発生することになり疲労破壊を起こす可能性も出てきます。そのために温度上昇を伴う機械装置では事前に熱応力解析を行って変形の程度や熱応力を把握することが重要なことになります。

精度の高い熱応力解析を行う場合は先に熱伝導解析を行って解析対象の温度分布を求めてから熱応力解析を行うのが本来の解析手法になりますが、熱伝導解析では熱伝導率、熱伝達率、熱放射率などの必要な物性値も増え、さらに定常・非定常解析など時間軸も影響する場合があります。高度な（＝高価な、かつ操作や設定が面倒な）ミッドレンジ以上のCAEソフトが必要になります。

従来からミッドレンジクラスのCAEソフトを運用されていれば別ですが、これから初めて熱応力解析を行いたいというときに高価なCAEソフトを導入しても運用にいたるまで大変な労力や経費がかかるものと思われます。

そこでとりあえず2次元のCADTOOLFEMで熱応力解析を試して熱応力解析がどのようなものであるかを理解した上で必要とあらば高度な熱伝導解析を含む熱応力解析に進むのも良いのではないかと思います。

なお線膨張係数 α は通常は単位に指数表示の($\times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$)が使われ線膨張係数 α としては例えばSS400なら11.7と覚えておけば良いようになっています。

この線膨張係数 α の値は縦弾性係数Eなどと同様に出所によって微妙に値が異なるので必要に応じて材質データを編集して使ってください。また温度の単位に絶対温度Kを使って表されている場合もありますが ΔT は相対温度になるのでどちらでも同じです。

〔平面熱応力解析〕の計算条件の基本的な設定方法は〔平面応力解析〕と同じなので、ここでは設定方法が異なる部分を中心に説明していきます。基本的な設定方法については〔平面応力解析〕の説明を参照してください。またプルダウンメニューやアイコンボタンの機能等については 第4章基本操作を参照してください。

では実際に〔平面熱応力解析〕を起動して熱応力解析を試してみましょう。

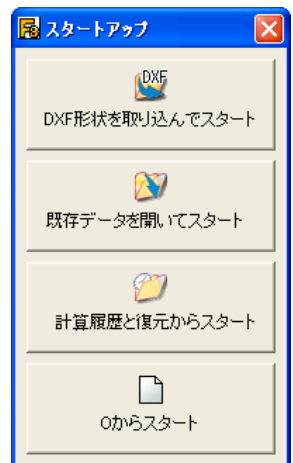
2. スタートアップメニュー



コマンド選択メニューで〔平面熱応力解析〕ボタンをクリックして起動すると右のスタートアップメニューが表示されます。

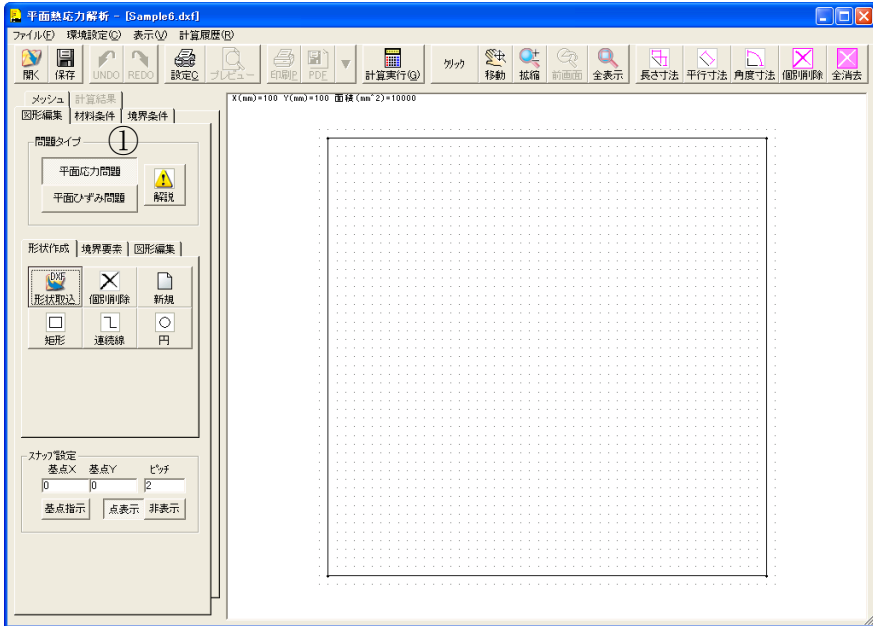
ここでは〔DXF形状を取り込んでスタート〕でSampleフォルダにあるサンプルデータSample6.dxfを読み込んだ状態で説明を続けていきます。

これは100×100の矩形になり線膨張係数の性質を分かりやすく説明するために単純な形状を用います。



3. 図形編集

スタートアップメニューでD X Fファイルか既存データの読み込みを実行すると次のウィンドウが表示され形状イメージが表示されます。また既存データを読み込んだ場合は境界条件のイメージも表示されます。



平面熱応力解析や次の回転体熱応力解析では最初は機能選択タブが「図形編集」になっており材料1の設定は複数材料条件と一緒に「材料条件」のタブに移動しています。

①問題タイプ: これは「平面応力解析」と同じで「平面応力問題」とは一般の板物部品などの応力を求めるようなX、Y方向に対し板厚が十分薄い場合で垂直応力を0と仮定して計算されます。

「平面ひずみ問題」は鋼材や引抜材などの断面の応力を求めるようなX、Y方向に対し板厚が十分厚い場合で垂直ひずみを0と仮定して計算されます。

ウィンドウ上部のプルダウンメニューとアイコンボタン、「図形編集」タブにある「形状作成」「境界要素」「図形編集」の各タブや「スナップ設定」の機能や操作は第4章基本操作を参照してください。

またこの問題タイプや境界条件、メッシュ作成などは基本的に「平面応力解析」と同じなので必要に応じてそちらも参照してください。

4. 材料条件

熱応力解析では線膨張係数と初期温度、負荷温度が必要となるため材料1の設定と複数材料条件を「材料条件」タブにまとめています。

ここで材料1がデフォルトの材料となり複数材料条件を使用しない場合や複数材料条件が設定されていない部分はここで設定した材料が適用されます。

基本的には「平面応力解析」と同じですが熱応力解析の材質データには線膨張係数が追加されており材質を選択すると線膨張係数も表示されるようになっています。

ここで「任意」を選択すると弾性係数とポアソン比に加えて線膨張係数にも任意の値を入力できるようになります。

また熱応力解析用の材質データも自由に編集や追加ができますが、その方法については第4章基本操作を参照してください。

熱応力解析の温度条件もここで材料毎に初期温度、負荷温度を設定します。

この温度条件の設定により初期温度の物体が負荷温度になった時の熱膨張や熱応力を解析することができるようになります。

今回は材料1のみとし材質にSS材、板厚を20mm、温度条件に初期温度20℃、負荷温度80℃としておき60℃の温度上昇を与えてみます。設定ができたら次の境界条件の設定に進みます。

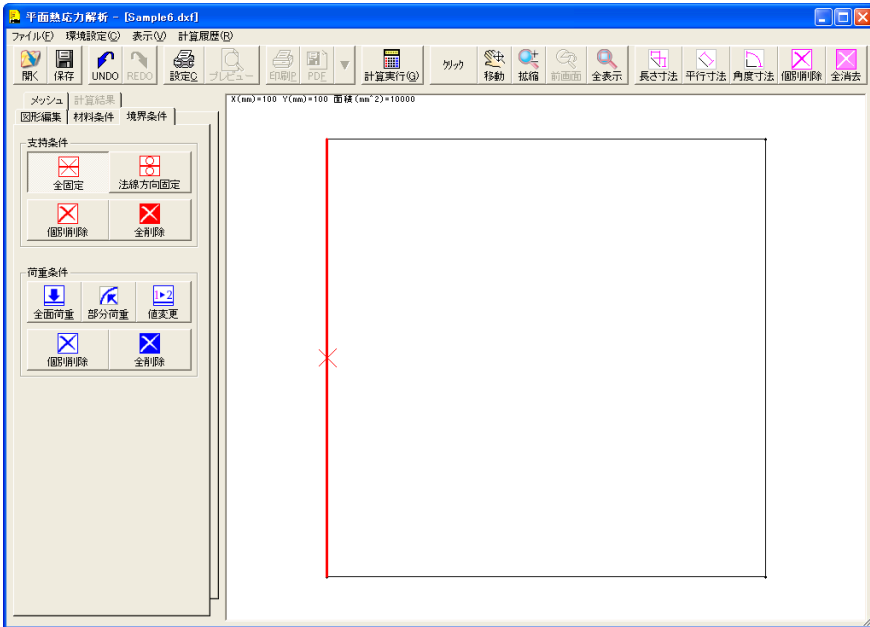
5. 境界条件

境界条件の操作方法も「平面応力解析」と同じなのでそちらを参照してください。

支持条件の設定方法は他のコマンドと同様にマウスを使って行います。ここでは「全固定」のボタンをおして左端の垂直線を全固定しておきましょう。

また「平面応力解析」と同様に荷重条件も設定できますがとりあえず線膨張係数の性質を理解するために荷重条件の設定は無しとします。

次に左端の垂直線に全固定の設定を行ったものを示します。

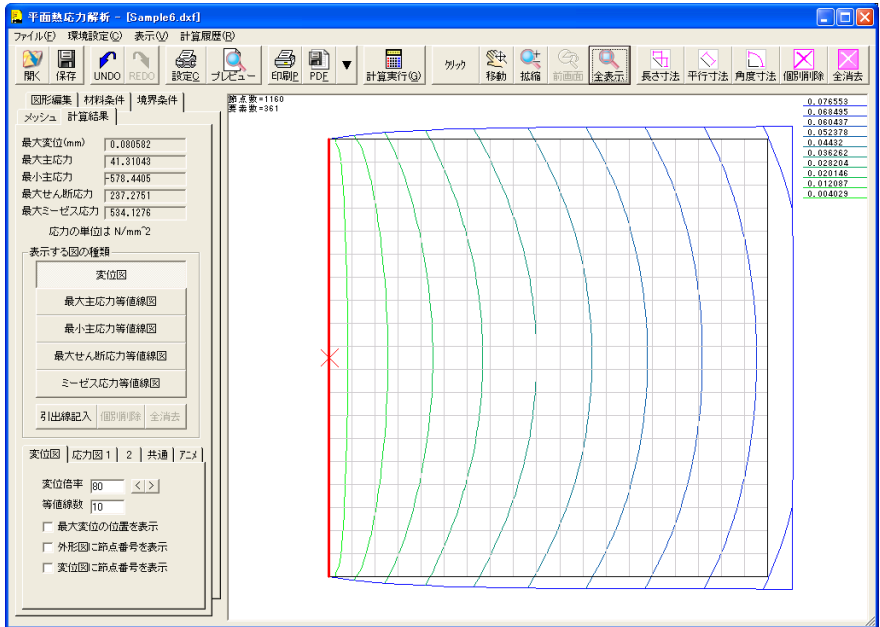


次にメッシュの作成に進みますがメッシュ作成の操作は他のコマンドと同じなので、ここでは「グリッドピッチ精度」を3で「メッシュ作成」ボタンをクリックしてメッシュを作成しておきます。

6. 計算結果

「計算実行」ボタンをクリックすると計算の進行を示すプログレスバーが表示されます。

計算が正常に終了すると機能選択タブの「計算結果」が表示され、次に示す変位図が表示されるとともに最大変位、最大主応力、最小主応力、最大せん断応力、最大ミーゼス応力が表示されます。



変位図では100×100の矩形が熱膨張により右側と上下に膨らんでいる様子が分かります。マウスを持って行って右端中央のX方向の変位を見てみると0.07394mmと変位しています。また右端のY変位も上下合計すると0.07268mmとなっています。

最初に説明した線膨張係数から伸びを求める式に当てはめると長さLはX寸法、Y寸法とも100mm、温度上昇は $\Delta T = 60^\circ\text{C}$ でSS材なので線膨張係数は同じとして

$$\Delta L = 100 \times 11.7 \times 10^{-6} \times 60 = 0.0702 \text{ mm}$$

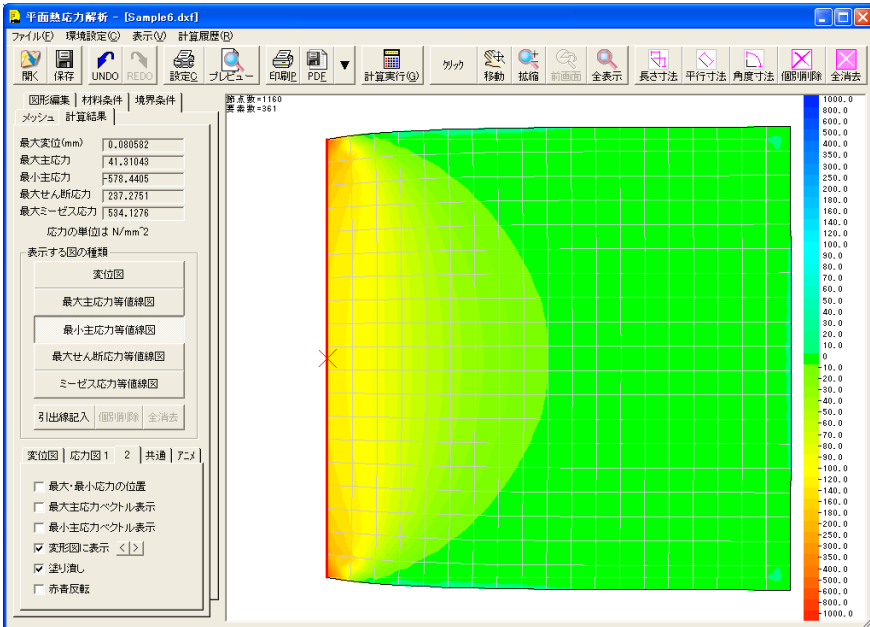
となり、解析結果もほぼ手計算と同等の値ではありますがわずかに解析結果のX変位やY変位の方が大きくなっています。

これは左側の垂直線の支持条件が「全固定」となっておりこの部分が熱膨張できないため右方向のX変位や上下方向のY変位に影響を与えているものと考えられます。これを証明するために自由膨張できる条件に変更して試してみましょう。

ここで左側の支持条件を「法線方向固定」に変更し、それだけでは上下に動いてしまうので下側水平線にも「法線方向固定」を設定してみます。この支持条件では右方向と上方向に自由となるので熱膨張のみとなりX方向変位やY方向変位は手計算と同じ0.0702mmになるのが分かります。これは簡単に試せるので各自で試してみてください。またこの時に全ての応力が0になっていることも確認してみてください。

では左側の垂直線の支持条件が「全固定」の例に戻りますが左端では上下に熱膨張したいところが「全固定」の支持条件で強制的に変位できなくなっているため熱応力が発生します。

上下の熱膨張を止めているため物体内には圧縮応力が発生しているはずです。そこで表示する図の種類を「最小主応力等値線図」にしたものを次に示します。



これから左端で大きな熱応力が発生していることが分かります。左端中央で-135、また上下に離れるにつれて徐々に熱応力は大きくなります。これは上下の角がエッジなのでここで応力集中を起こしているものと考えられます。

また左端で発生している最小主応力（圧縮応力）は右側に行くにつれて低下していき矩形中央で一桁、右端中央ではほぼ0となっています。その他、どの応力がどういう分布をしているかなどは各自で調べてみてください。

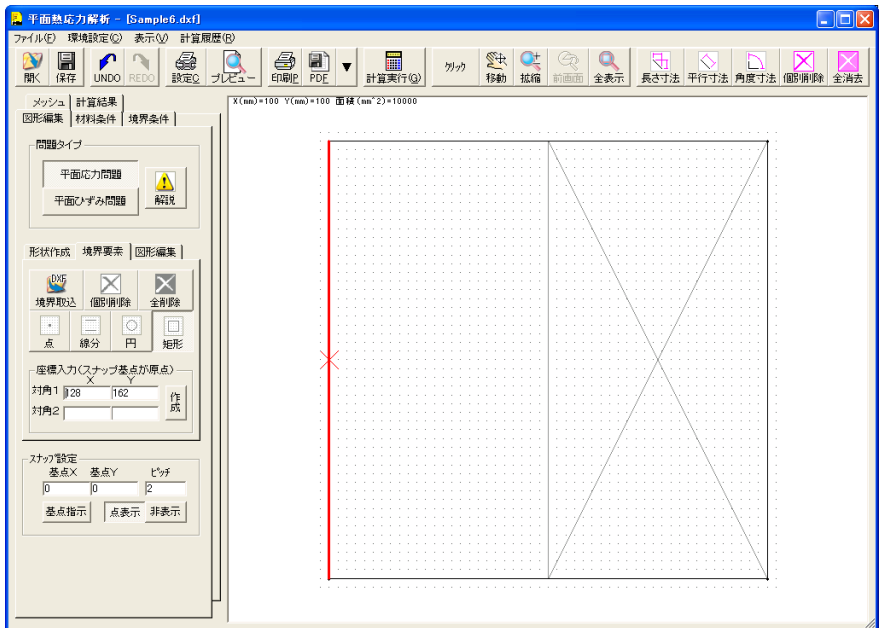
またここでは試みませんが「平面応力解析」と同様に境界条件で荷重条件も同時にかけることが出来ますのでこれも試してみると良いでしょう。

次は複数材料条件を使って右半分だけ温度上昇する場合を解析してみましょう。

7. 複数温度条件の設定

〔平面応力解析〕では複数材料機能を使って板厚を変更してリブを入れた例を説明していますが〔平面熱応力解析〕ではその複数材料機能で温度条件を変更することができ、材料1を含めて最大5種類の温度条件が設定できます。また同時に材質を変更することも可能です。

では〔図形編集〕タブを開いて〔境界要素〕タブの〔矩形〕ボタンを押して温度条件を変えたい範囲に矩形の境界要素を設定します。ここではマウスを使って右半分に境界要素の矩形を設定してみます。

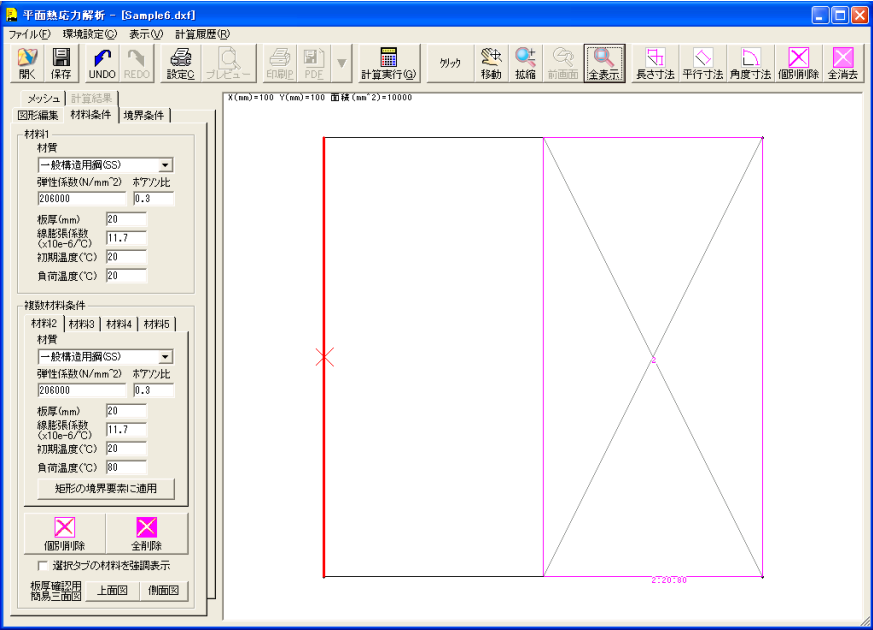


続いて〔材料条件〕タブを開き材料1の負荷温度を初期温度と同じ20℃に変更します。これで左半分は温度上昇はしないことになります。次に〔材料2〕のタブで温度条件以外は材料1と同じにしておき、こちらを初期温度20℃、負荷温度80℃として60℃の温度上昇する条件にします。

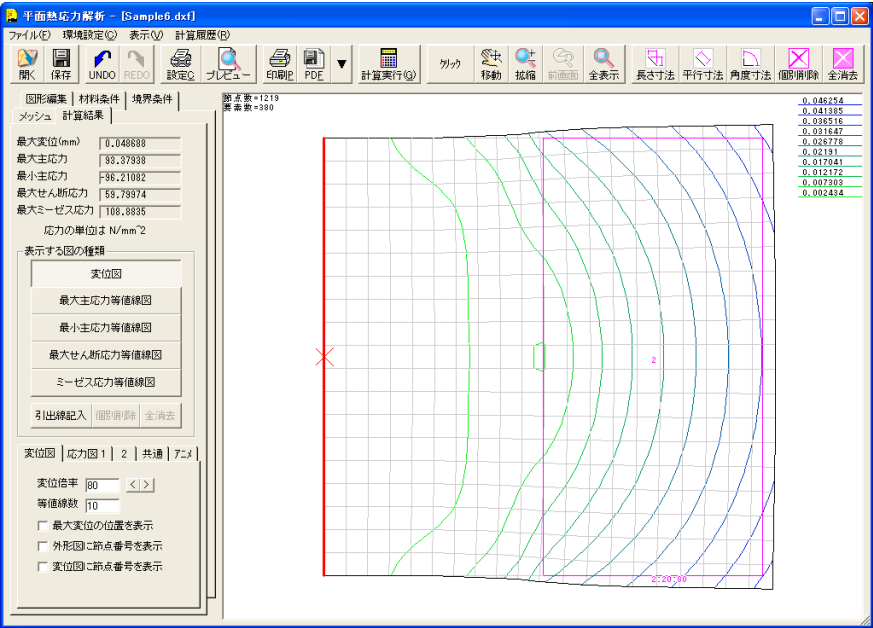
次に〔材料2〕のタブの〔矩形の境界要素に適用〕ボタンを押して、先ほど追加しておいた矩形の境界要素をピックして材料2を適用します。

以上の操作を行った状態を次に示します。

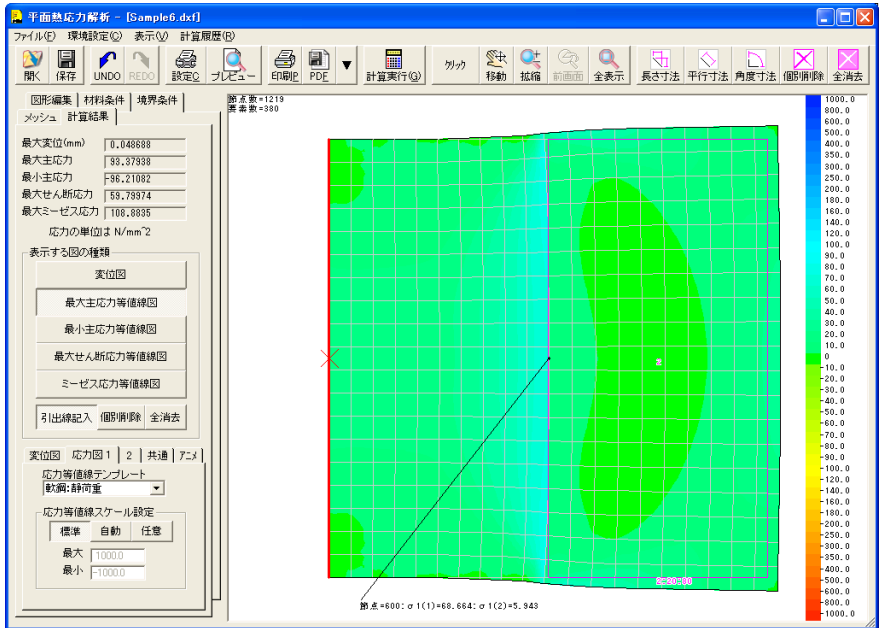
Analysis by Finite Element Method



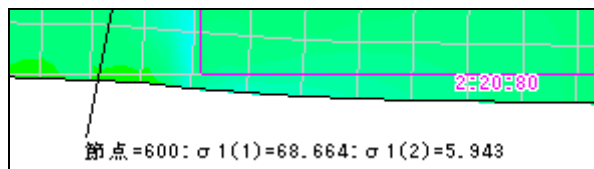
ではメッシュを作成して計算を実行してみましょう。



変位図をみると中央付近から徐々に上下に膨らんでいき右方向へも膨張しているのが分かります。中央の材料に境界上では右側の材料2が熱膨張するので圧縮応力が発生し、左側の材料1は材料2から上下に引っ張られるので上下に引張り応力が発生します。そこで表示する図の種類を「最大主応力等値線図」にしたものを次に示します。



この図からも材料1の中央部に最大主応力（引張り応力）が発生しているのが分かります。また異なる材料番号の境界上にある節点から引出線を記入すると次に示すように応力の記号に続いて（*）で該当する材料番号*を表示するようになっています。



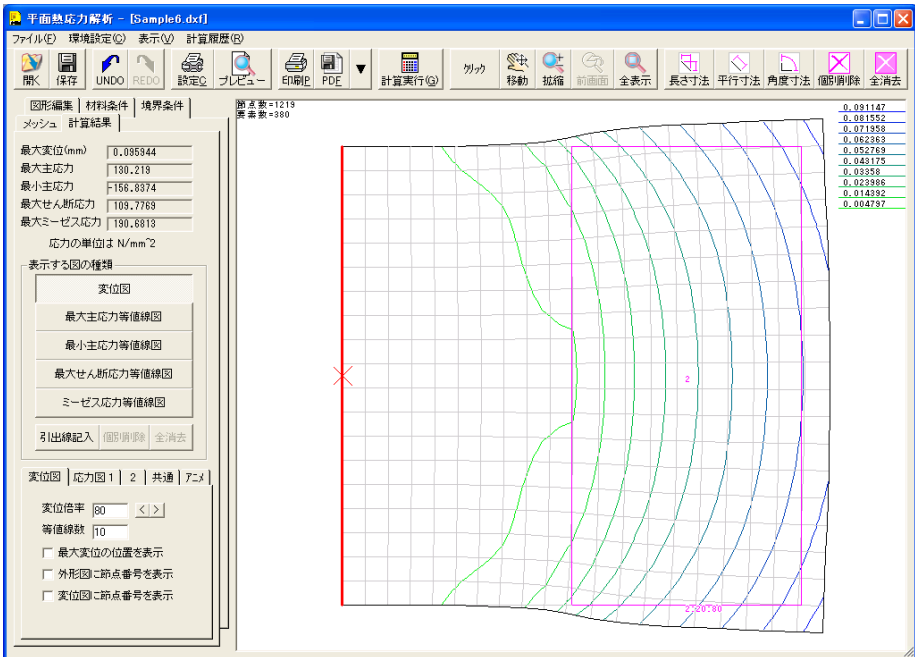
また材料2以降の材料を設定した矩形の下部には材料番号と初期温度、負荷温度が表示されるようになっています。

このように複数材料条件を使えば部分的に温度条件を変更できますが「平面応力解析」などと同様に材質も変更することが可能です。

次に材料2の材質を右に示すようにアルミニウムに変えて試してみましょう。アルミニウムは線膨張係数が23とSS材の2倍近くありますので熱膨張による変形は大きくなると予想されます。一方で弾性係数はSS材より小さいので材料1に対する熱膨張の影響は少ないのではないかと考えられます。

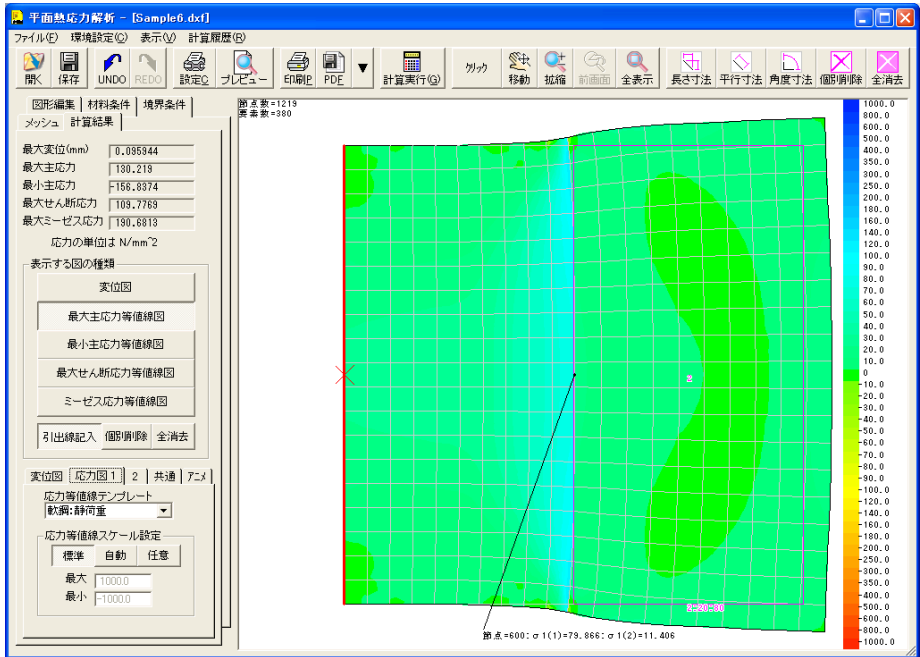
複数材料条件			
材料2	材料3	材料4	材料5
材質			
アルミニウム(AL)			
弾性係数(N/mm ²)		ポアソン比	
89000		0.33	
板厚(mm)		20	
線膨張係数(x10e-6/°C)		23	
初期温度(°C)		20	
負荷温度(°C)		80	
矩形の境界要素に適用			

なお材料条件のみ変更する場合は既に適用されている部分の材料条件が変更されるだけなので再度の「矩形の境界要素に適用」処理の操作は不要でメッシュも変わりませんので直ぐに計算実行できます。この計算結果を次に示します。



右端中央のX変位は先ほどのSS材の0.038512mmからアルミニウムに変更した場合は0.078881mmとほぼ2倍になっています。これは線膨張係数がほぼ2倍になっているので妥当な結果と言えます。

次に「最大主応力等値線図」を表示して材料1の引張り応力を見てみましょう。



材料1と材料2の境界上の最大主応力を見てみると先ほどのS S材の68.664からアルミニウムの場合の79.866と高くなっていますが変位に比べるとそれほどでもありません。これはやはり弾性係数が小さいからと考えられます。

これを確かめるために右に示すようにアルミニウムだった材質を任意に変更し、弾性係数をS S材と同じものに変更してみます。

この場合の境界上の材料1の最大主応力は134.509となり先ほどの約2倍となります。これは簡単なので各自で試してみてください。

このように熱応力は線膨張係数だけでなく弾性係数とも関連しますので材質が異なる場合は注意が必要です。

複数材料条件

材料2	材料3	材料4	材料5
材質			
任意			
弾性係数(N/mm ²)		ポアソン比	
206000		0.33	
板厚(mm)		20	
線膨張係数(x10e-6/°C)		23	
初期温度(°C)		20	
負荷温度(°C)		80	
矩形的境界要素に適用			

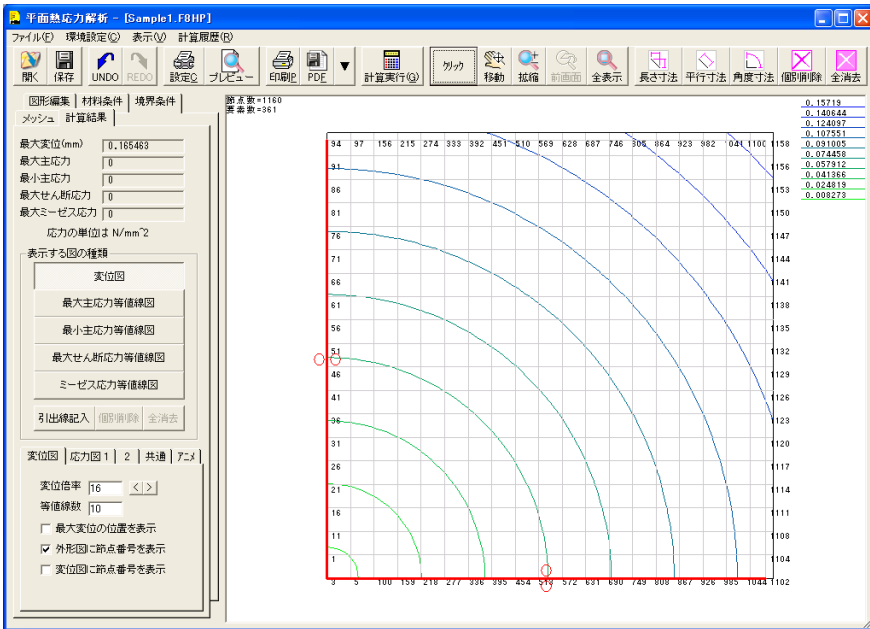
8. サンプルデータについて

平面熱応力解析でも作業フォルダができている場合は作業フォルダの下、インストールフォルダに書き込みできる場合はインストールフォルダの下にある¥Sampleフォルダにサンプルデータが入っていますので読み込んでデフォルトの設定のまま［計算実行］ボタンをクリックして計算を実行した例を元に説明していきます。

①Sample1.F8 HP

先ほどは各自で試してくださいと説明した自由膨張の設定で線膨張係数の確認用のデータになります。

100×100の矩形で温度条件も初期温度20℃、負荷温度120℃と100℃温度上昇の条件となっています。

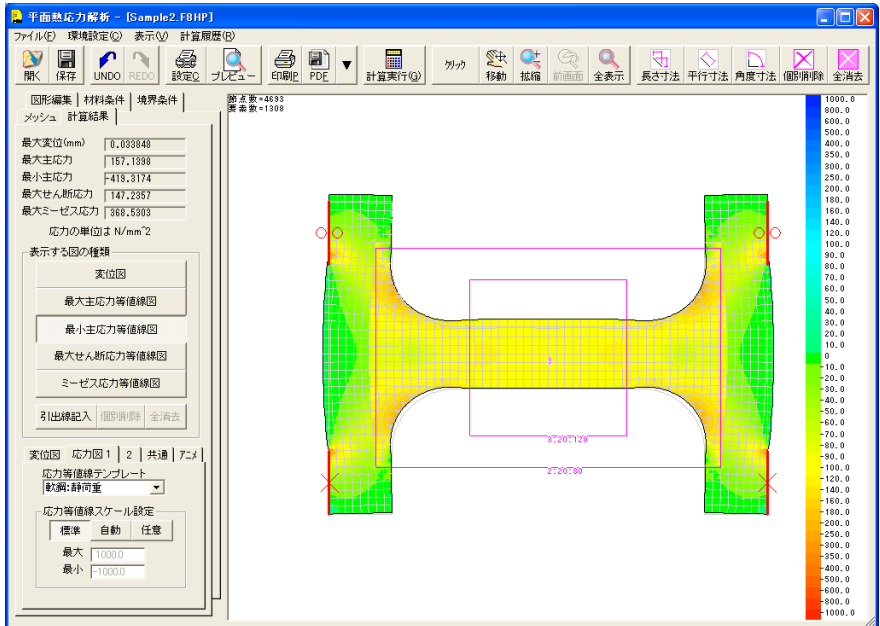


右上の角のX変位とY変位は共に0.117mmとなっており線膨張係数と温度上昇に応じた変位量となっています。

また全ての応力が0になっており自由膨張の場合は熱応力は発生しないのが分かります。

②Sample2.F8 HP

これはチュートリアルで説明に使ったモデルになりますので詳細についてはチュートリアルを参照してください。



ここでは3種類の材料条件を使って初期温度はすべて常温の20℃で、外側の材料1は負荷温度も常温20℃のままの温度変化無し、その内側の材料2は負荷温度を80℃とし、中央の材料3の負荷温度を120℃としたものになります。

複数材料を使う上での注意点として材質を変更する場合も同じですが材料範囲が重複する場合は材料番号の大きいほうが適用されますので材料2の内側に材料3を設定しないと材料3が有効になりません。

なおSampleフォルダにはSample3.F8HPとSample4.F8HPが入っていますが、これらはチュートリアルの方で説明していますのでそちらを参照してください。

第9章 回転体熱応力解析

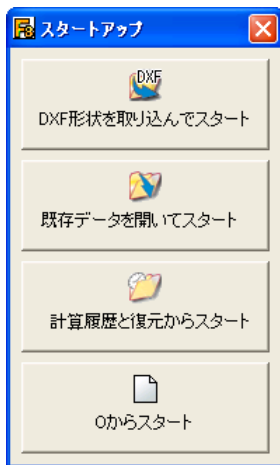
〔回転体熱応力解析〕では回転体形状を解析しますが〔平面熱応力解析〕と同様に温度条件を設定することにより回転体形状での熱膨張や熱応力を解析できるものになります。

〔回転体熱応力解析〕の計算条件の基本的な設定方法は〔回転体応力解析〕や〔平面熱応力解析〕と同じなので、ここでは設定方法が異なる部分を中心に説明していきます。基本的な設定方法については平面応力解析の説明を参照してください。またプルダウンメニューやアイコンボタンの機能等については 第4章基本操作を参照してください。

1. スタートアップメニュー



コマンド選択メニューで〔回転体熱応力解析〕ボタンをクリックして起動すると右下のスタートアップメニューが表示されます。



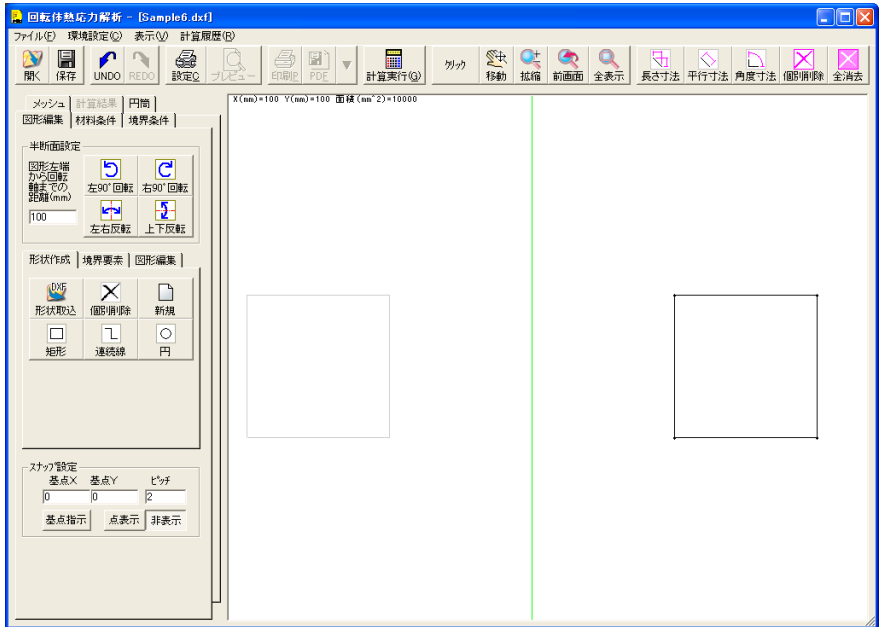
ここでも〔D X F 形状を取り込んでスタート〕で \times Sample フォルダにあるサンプルデータ Sample6.dxf を読み込んだ状態で説明を続けていきます。

これは〔平面熱応力解析〕でも使った 100×100 の矩形になり回転体でも線膨張係数の性質を分かりやすく説明するために単純な形状を用います。

2. 図形編集

スタートアップメニューで D X F ファイルか既存データの読み込みを実行すると次のウィンドウが表示され形状イメージが表示されます。また既存データを読み込んだ場合は境界条件のイメージも表示されます。

ここでは Sample6.dxf を読み込んでから〔図形編集〕タブの半断面設定で「図形左端から回転軸までの距離」に 100 を入力しておきます。これにより内径 200 mm 、外径 400 mm 、厚さ 100 mm の円筒形状が解析形状となります。



上記のイメージは若干縮小して回転軸を挟んだ反対側の形状も見えるようにしています。

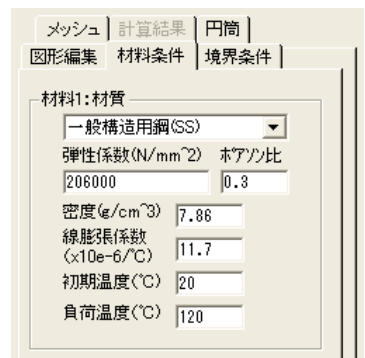
「回転体熱応力解析」や前に説明した「平面熱応力解析」では最初は機能選択タブが「図形編集」になっており材料1の設定は複数材料条件と一緒に「材料条件」のタブに移動しています。では材料条件の設定に進みます。

3. 材料条件

熱応力解析では線膨張係数と初期温度、負荷温度が必要となるため材料1の設定と複数材料条件を「材料条件」タブにまとめています。

ここで材料1がデフォルトの材料となり複数材料条件を使用しない場合や複数材料条件が設定されていない部分はここで設定した材料が適用されます。

今回は右に示すように材料1のみとし材質にSS材、温度条件に初期温度20℃、負荷温度120℃としておき100℃の温度上昇を与えてみます。設定ができれば次の境界条件の設定に進みます。



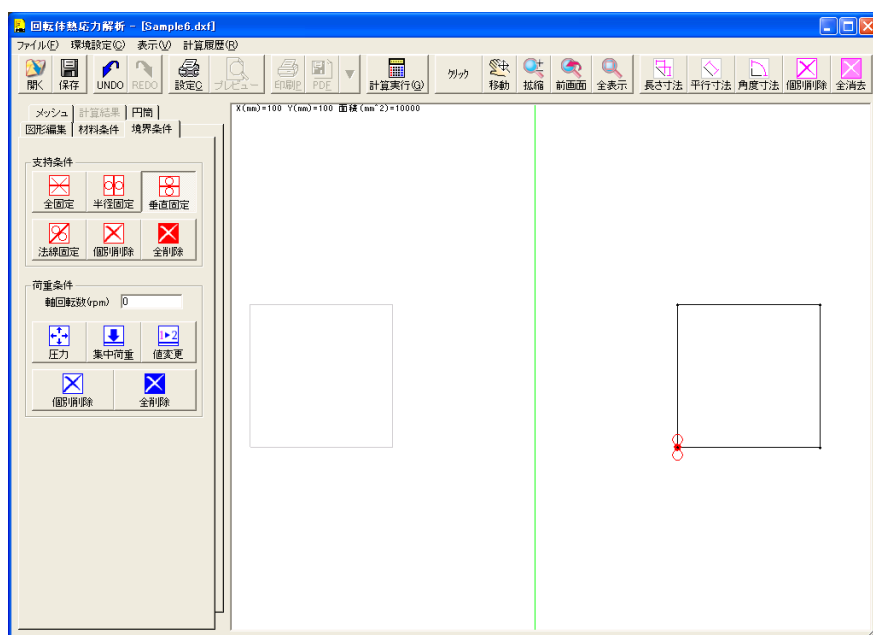
4. 境界条件

〔回転体熱応力解析〕では回転軸が決まっているので半径方向に自由に動くことはありませんので垂直方向のみ支持条件を設定すればとりあえず計算はできるようになります。

そこで矩形の左下（円筒内側下に相当）に〔垂直固定〕の支持条件を設定しておきます。

また〔回転体応力解析〕と同様に軸回転数や圧力などの荷重条件も設定できますがとりあえず線膨張係数の性質を理解するために荷重条件の設定は無しとします。

次に矩形左下の角に〔垂直固定〕の設定を行ったものを示します。

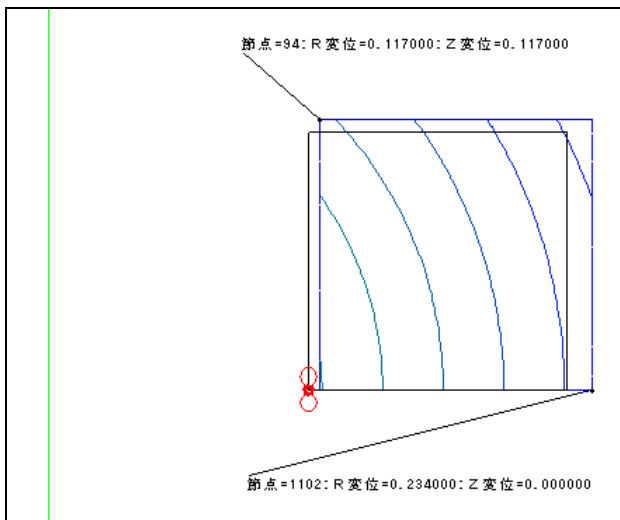


次にメッシュの作成に進みますがメッシュ作成の操作は他のコマンドと同じなので、ここでは〔グリッドピッチ精度〕を3で〔メッシュ作成〕ボタンをクリックしてメッシュを作成しておきます。

5. 計算結果

〔計算実行〕 ボタンをクリックすると計算の進行を示すプログレスバーが表示されます。

計算が正常に終了すると機能選択タブの〔計算結果〕が表示されます。次は変位図に引出線変位を記入したものを示します。



ここで上面のZ変位は線膨張係数と100℃温度上昇に相当する0.117の熱膨張が発生するのは分かりますが内面の半径方向のR変位も同じ変位量となっています。

円筒形状なので内面の内側は中空となっていますがなぜ同じ変位量になっているのかというと、回転体の熱膨張は円周方向が基本となるので最初に初期の円周長を求め線膨張係数 α と温度変化 ΔT により元の円周長に対してどれくらい伸びるかを求め、伸びた円周長からR変位を求めます。

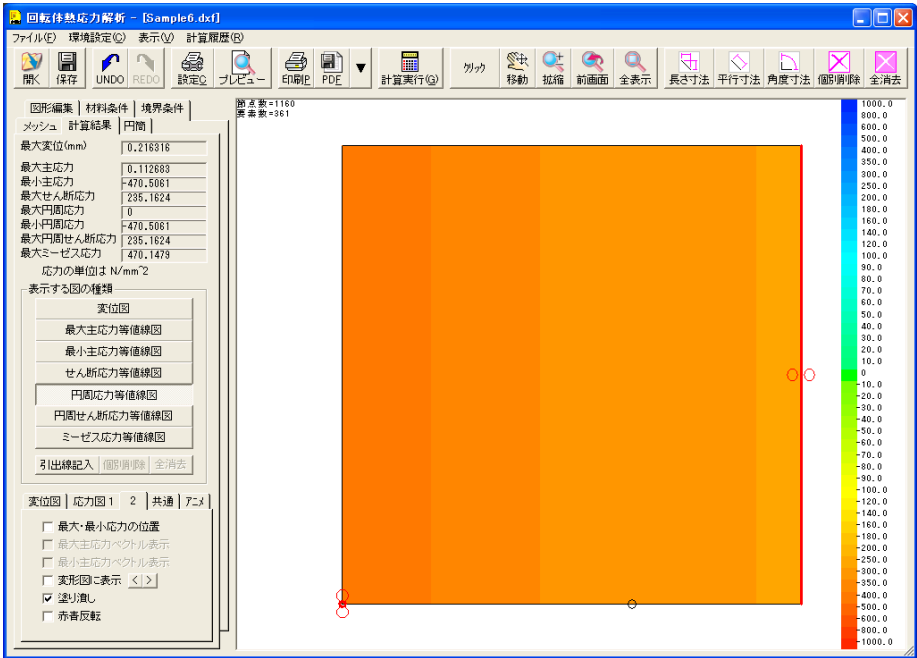
この計算方法から式を整理すると円筒形状における自由膨張のR変位は

$$\Delta R = \text{半径} R \times \text{線膨張係数} \alpha \times \text{温度変化} \Delta T$$

で求められ、円筒外側のR変位も半径が200mmなので手計算でも0.234と求められ上記の解析結果と同じ値になります。

この条件は自由膨張なので熱応力は発生しませんので熱応力が発生するように円筒外側の支持条件に〔半径固定〕を設定して計算してみましょう。

円筒外側では円周方向に熱膨張したいところが〔半径固定〕の支持条件で強制的に変位できなくなっているので熱応力が発生し、円周方向に大きな圧縮応力が発生しているはずです。そこで表示する図の種類を〔円周応力等値線図〕にしたものを次に示します。



マウスで円周応力の値を確認してみると円筒内側で-470、円筒外側でも-294と大きな円周応力（圧縮応力）が発生しているのが分かります。これらの熱応力はS S材の降伏点を越えるようなものなので塑性変形を起こすようなレベルのものになります。

このように円筒外側が完全に拘束されることは現実にはないかもしれませんが100℃程度の温度上昇で高い熱応力が発生するということは理解しておく必要があると思います。

その他、どの応力がどういう分布をしているかなどは各自で調べてみてください。

またここでは試しませんが〔回転体応力解析〕と同様に境界条件で回転数や圧力などの荷重条件も同時にかけることができますのでこれも試してみると良いでしょう。

次は平面熱応力解析と同様に複数材料条件を使って右半分だけ温度変化する場合を解析してみましょう。

6. 複数温度条件の設定

では [図形編集] タブを開いて [境界要素] タブの [矩形] ボタンを押して温度条件を変えたい範囲に矩形の境界要素を設定します。

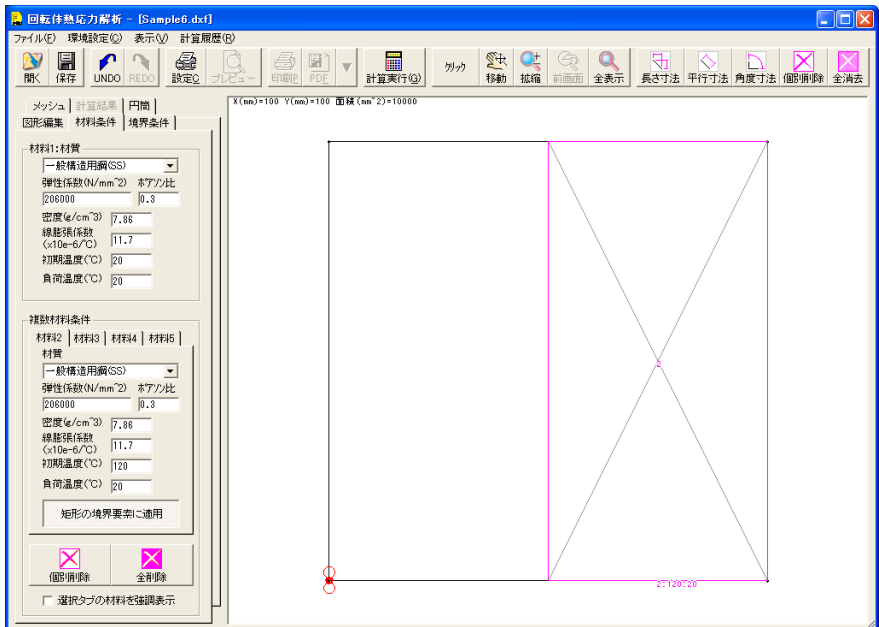
この操作は [平面熱応力解析] で説明したものと全く同じなので必要に応じてそちらも参照してください。

続いて [材料条件] タブを開き材料 1 の負荷温度を初期温度と同じ 20°C に変更します。これで円筒の内側半分は温度上昇しないことになります。

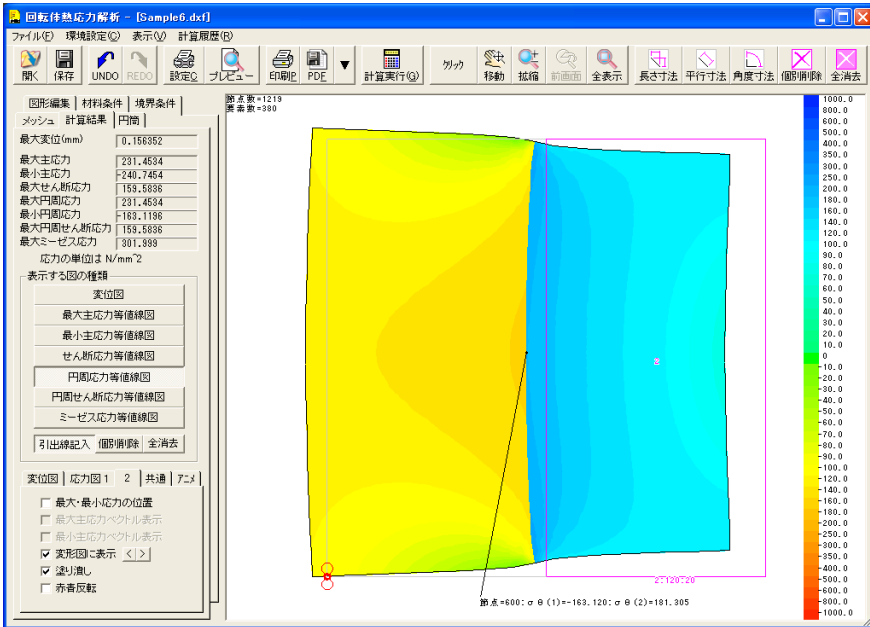
次に [材料 2] のタブで温度条件以外は材料 1 と同じにしておき、こちらを初期温度 120°C 、負荷温度 20°C として 100°C の温度低下する条件にします。いわゆる外筒が縮む焼ばめの温度条件とします。

次に [材料 2] のタブの [矩形の境界要素に適用] ボタンを押して、先ほど追加しておいた矩形の境界要素をピックして材料 2 を適用します。

以上の操作を行った状態を次に示します。



ではメッシュを作成して計算を実行してみましょう。表示する図の種類は「円周応力等値線図」にしておきます。

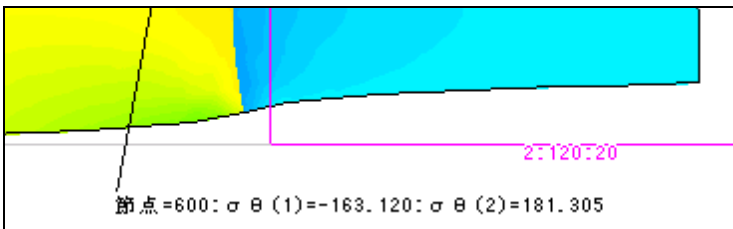


実際に試してみて「円周応力等値線図」を塗り潰しの設定でみると円筒内側半分と外側半分でくっきりと色が変われ、内側は圧縮応力、外側は引張り応力となっているのが分かります。

具体的にマウスを使って円周応力の値を調べてみると円筒内側で－１３５の圧縮応力、円筒外側では７４の引張り応力が発生しています。

また境界線上の円周応力も材料１側で－１６３、材料２側で１８１となっています。

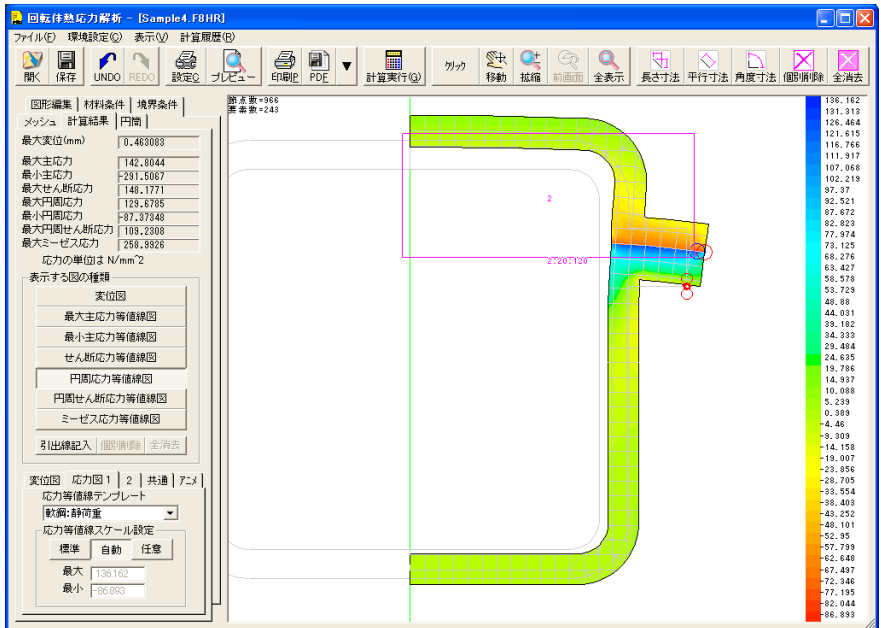
なお異なる材料番号の境界上にある節点から引出線を記入すると次に示すように応力の記号に続いて（＊）で該当する材料番号＊を表示するようになっています。



7. サンプルデータについて

「回転体熱応力解析」でも作業フォルダができている場合は作業フォルダの下、インストールフォルダに書き込みできる場合はインストールフォルダの下にある¥Sampleフォルダに4つのサンプルデータが入っています。

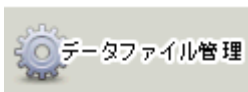
いずれのサンプルデータもチュートリアルの方で説明していますのでそちらを参照してください。ここでは**Sample4.F8HR**を開いて試してみましょう。



これは「回転体熱応力解析」でも試した蓋がアルミニウムになっているもので内圧は無しにして下側のSS材と共に初期温度20℃、負荷温度120℃にしたものになり、アルミニウムの線膨張係数 α は $23 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ とSS材の約2倍あるので同じ温度上昇を与えても蓋の部分が大きく膨張するのが分かります。また材質の境になっているフランジ部に高い応力が発生しているのが分かります。


以上で熱応力解析の説明を終わりますが「平面熱応力解析」および「回転体熱応力解析」は従来できなかったものができるようになったということでCADTOOLFEMの大きな進歩ではないかと思います。実務でどの程度役に立つかは分かりませんがこれを試すことで熱応力解析というものに興味を持っていただき実務に少しでも役に立てれば幸いです。



第10章 データファイル管理







コマンド選択メニューで「データファイル管理」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。


データファイル管理


材質データ
☒ 応力解析 ☐ 熱応力解析
 各コマンドのプルダウンメニュー [環境設定] > [材質データ設定] でも変更が可能です。
 注) エクセルでデータファイルを編集した場合はコマンドを再実行すると変更が反映されます。 

起動時デフォルトデータ
 コマンド名 
 注) 起動時デフォルトデータを初期化する場合にあらかじめ対象コマンドを終了しておいてください。  初期化

データファイルの拡張子の関連づけ
☐ 平面応力解析 (F8P)
☐ 平面板曲げ解析 (F8B)
☐ 回転軸応力解析 (F8R)
☐ 平面熱応力解析 (F8HP)
☐ 回転軸熱応力解析 (F8HR)
 注) 関連付けたいコマンドをチェックして [実行] するとデータファイルが関連づけられます。  実行

応力等値線テンプレートファイル簡単作成ツール
 参照テンプレートを選択   削除
 テンプレート名称を入力
 最大応力を入力 N/mm²
 最小応力を入力 N/mm²  作成

コマンド選択メニューの情報ウィンドウの処理
☐ 自動的にインターネットに接続しない  更新

大形状対応の処理
☐ 大形状対応とする  更新
 注) 解析形状が数m~数十m程度のものでメッシュがうまく作成できない場合にこれをチェックして更新してください。

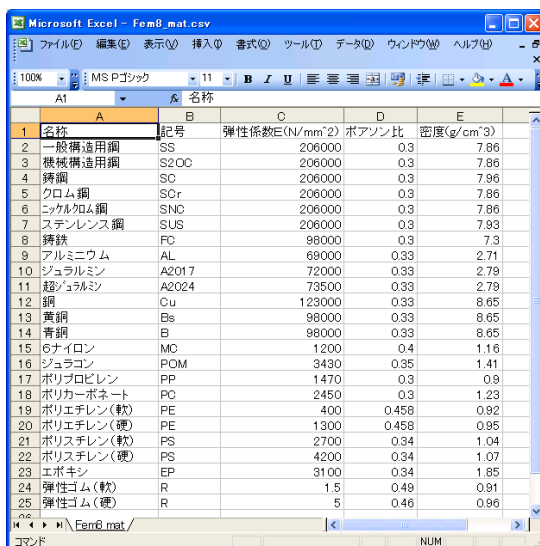
ここでは材質データをエクセルに読み込ませて表示したり、起動時デフォルトデータを初期化したりデータファイルの拡張子を関連づけたりすることができます。また Ver 7 から応力等値線テンプレートファイル簡単作成ツールが追加され、情報ウィンドウのインターネット接続処理や大形状対応の設定ができるようになっていきます。

Ver 8から材質データが従来の応力解析用と熱応力解析用の2つになりましたので、その選択ボタンが追加されています。またデータファイルの拡張子の関連付けにも熱応力解析の2コマンドが追加されています。

1. 材質データを開いてみよう。

前に説明したようにプルダウンメニューの「環境設定」>「材質データ設定」で材質データを専用のダイアログで編集できるようになっていますがデータファイル管理では材質データをエクセルに読み込ませて表示・編集することができます。

材質データに「応力解析」を選択して「EXL」ボタンをクリックするとエクセルを起動して材質データのCSVファイルが開きます。



A	B	C	D	E
名称	記号	弾性係数E(N/mm ²)	ポアソン比	密度(g/cm ³)
1 一般構造用鋼	SS	206000	0.3	7.86
2 機械構造用鋼	S20C	206000	0.3	7.86
3 鋼	SC	206000	0.3	7.86
4 クロム鋼	SCr	206000	0.3	7.86
5 ニッケルクロム鋼	SNC	206000	0.3	7.86
6 ステンレス鋼	SUS	206000	0.3	7.93
7 鋼鉄	FC	98000	0.3	7.3
8 アルミニウム	AL	69000	0.33	2.71
9 ジュラルミン	A2017	72000	0.33	2.79
10 超ジュラルミン	A2024	73500	0.33	2.79
11 銅	Cu	123000	0.33	8.65
12 黄銅	Be	98000	0.33	8.65
13 青銅	B	98000	0.33	8.65
14 6ナイロン	MC	1200	0.4	1.16
15 ジュラコン	POM	3430	0.35	1.41
16 ポリプロピレン	PP	1470	0.3	0.9
17 ポリカーボネート	PC	2450	0.3	1.23
18 ポリエチレン(軟)	PE	400	0.458	0.92
19 ポリエチレン(硬)	PE	1300	0.458	0.95
20 ポリスチレン(軟)	PS	2700	0.34	1.04
21 ポリスチレン(硬)	PS	4200	0.34	1.07
22 エポキシ	EP	3100	0.34	1.85
23 弾性ゴム(軟)	R	1.5	0.49	0.91
24 弾性ゴム(硬)	R	5	0.46	0.96

ここで開く材質データは作業フォルダができている場合は作業フォルダ、インストールフォルダに書き込みできる場合はインストールフォルダの中にあるFem8_Mat.CSVになります。作業フォルダについては第2章の「5. 作業フォルダについて」を参照してください。

インストールフォルダに書き込みできず作業フォルダができている場合もインストールフォルダに同名のファイルがコピーされますが、実際に計算に使う材質データは作業フォルダにあるものになりますので注意してください。

材質データの1行目は項目行となっています。ここで材質データファイルの仕様にしながらデータを追加・編集することもできます。編集が完了したらCSV形式で上書き保存すれば次のコマンド起動時から編集内容が反映します。

ただし編集ミスや不用意にカンマ（,）を使うとデータが正常に読み込めなくなりコマンドが起動しなくなることもありますので注意して作業してください。また材質データのCSVファイルは必要に応じて更新や編集する前にバックアップを取っておくと良いでしょう。

Ver 7からエンブラ類9種や弾性ゴム2種の材質を追加していますが、これらの物性値はインターネットで検索したものであり出所によって数値が異なる場合がありますので、限界設計を行うときのように強度の判定に物性値が大きく影響する場合は各自で物性値を確認してから使ってください。

また弾性ゴムは変形が大きくなると硬くなる非線形（変形と荷重の関係が比例しない）の材質であり、一方CADTOOL FEMで使っている有限要素法は線形の範囲での解析になるので本来は解析対象外になりますが、変形が小さく線形に近似できる場合や変形の傾向を掴む程度には利用可能と考え追加しています。使用にあたってはこれらの性質を理解して注意して使ってください。

Ver 4以前の材質データには“密度”の項目がありませんのでVer 4以前の材質データを流用する場合は密度の項目を追加してください。

材質データに「熱応力解析」を選択して「EXL」ボタンをクリックするとエクセルが起動してVer 8で追加された熱応力解析用の材質データのCSVファイルが開きます。



	A	B	C	D	E	F
	名称	記号	弾性係数E(N/mm ²)	ポアソン比	密度(g/cm ³)	線膨張係数(x10e-6/°C)
1	名称	記号	弾性係数E(N/mm ²)	ポアソン比	密度(g/cm ³)	線膨張係数(x10e-6/°C)
2	一般構造用鋼	SS	206000	0.3	7.86	11.7
3	機械構造用鋼	S2OC	206000	0.3	7.86	11.7
4	鋁鋼	SC	206000	0.3	7.96	11.6
5	クロム鋼	SCr	206000	0.3	7.86	12.6
6	ニッケルクロム鋼	SNC	206000	0.3	7.86	16.7
7	ステンレス鋼	SUS	206000	0.3	7.93	17.3
8	鋳鉄	FC	98000	0.3	7.3	10.5
9	アルミニウム	AL	69000	0.33	2.71	23
10	ジュラルミン	A2017	72000	0.33	2.79	21.6
11	超ジュラルミン	A2024	73500	0.33	2.79	21.4
12	銅	Cu	123000	0.33	8.65	16.5
13	黄銅	Bs	98000	0.33	8.65	17.5
14	青銅	B	98000	0.33	8.65	16.7
15	6ナイロン	MC	1200	0.4	1.16	80
16	ジュロロン	POM	3430	0.35	1.41	81
17	ポリプロピレン	PP	1470	0.3	0.9	58
18	ポリカーボネート	PC	2450	0.3	1.23	56
19						

熱応力解析用の材質データは作業フォルダができている場合は作業フォルダ、インストールフォルダに書き込みできる場合はインストールフォルダの中にあるFem8_MatH.CSVになり材質データには線膨張係数の項目が追加されています。

また線膨張係数が見つからなかった樹脂・ゴム類の材質は熱応力解析用の材質データとしては削除していますが、線膨張係数が分かれば必要に応じて追加してください。

なおこの例ではエクセルが開いていますが拡張子CSVがエクセル以外のアプリケーションに関連づけられている場合はエクセルではなく関連づけられているアプリケーションが起動するようになっています。

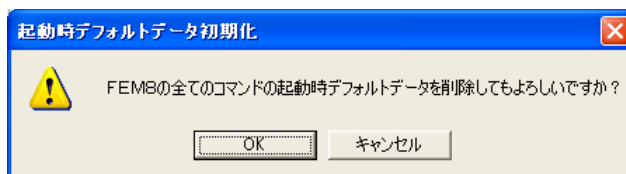
2. 起動時デフォルトデータについて

〔CADTOOL FEM8〕の各コマンドはプルダウンメニューの〔ファイル〕>〔終了〕でコマンドを終了するとダイアログの設定内容やダイアログの表示位置、大きさ等を起動時デフォルトデータファイルに保存してコマンドを終了し、次回起動時に終了した状態を再現できるようになっています。

コマンド起動時には自動的にこのファイルを読み込みますので万一この起動時デフォルトデータファイルが壊れてしまうとエラーが発生して起動できなくなる場合があります。

このファイルは拡張子がMNUのテキストファイルで、作業フォルダができている場合は作業フォルダ、インストールフォルダに書き込みできる場合はインストールフォルダにコマンド終了時自動的に作成されます。もし起動時デフォルトデータファイルが壊れて起動時の不具合が発生したら削除してしまえば良いのですが、目的のファイルを探し出して削除するのも面倒ですし間違えて必要なファイルを削除してしまったら大変です。

そこでデータファイル管理の起動時デフォルトデータで削除したいコマンドを選択して〔初期化〕ボタンをクリックするとそのコマンドの起動時デフォルトデータを削除することができます。また「FEM8の全てのコマンド」を選択して〔初期化〕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。



ここで [OK] ボタンをクリックすると全てのコマンドの起動時デフォルトデータを一括して削除することもできます。

また Ver 8 から追加された「最近使った. . .」ダイアログの履歴データも拡張子が MN U なので起動時デフォルトデータを初期化すると同時にこの履歴データも初期化されるようになっています。

起動時デフォルトデータのファイルはインストール時にはコピーされずコマンド終了時に新規に作成されていくデータファイルなので、起動時デフォルトデータを全て削除するとインストール直後の状態に近くなります。

もし動作がおかしくなったときは再インストールする前に起動時デフォルトデータを全て削除してみると直る場合がありますので万一そのような状況になりましたら試してみてください。

逆に起動時デフォルトデータは新規に作られるファイルなのでアンインストールしても自動では削除されません。

アンインストールして直ぐに再インストールしても起動時デフォルトデータが残ったままとなり不具合が解消されない場合もありますのでアンインストールしたら一旦インストールフォルダと作業フォルダができている場合は作業フォルダも削除してから再インストールしてください。なお作業フォルダについては第 2 章の「5. 作業フォルダについて」を参照してください。

3. データファイルの拡張子の関連づけについて

[CADTOOL FEM8] ではデータファイルの拡張子とコマンドを関連づけることができるようになり、各コマンドのデータファイルを Windows エクスプローラ等でダブルクリックするとそのデータ用のコマンドが起動してデータも自動的に読み込まれるようになります。

データファイルの拡張子は前にも説明していますが次のようになっています。

平面応力解析 : F 8 P

平面板曲げ解析 : F 8 B

回転体応力解析 : F 8 R

平面熱応力解析 : F 8 HP

回転体熱応力解析 : F 8 HR

データファイルの拡張子の関連づけを行いたい場合は対象とするコマンドにチェックを付けてから「実行」ボタンをクリックします。逆に関連づけを解除したい場合はチェックを外してから「実行」ボタンをクリックします。

関連づけを行うとファイル選択ダイアログやWindowsエクスプローラで表示されるデータファイルのアイコンが各コマンドのアイコンに変更されて表示されますが、環境によってはパソコンを再起動しないと反映しないこともありますので注意してください。

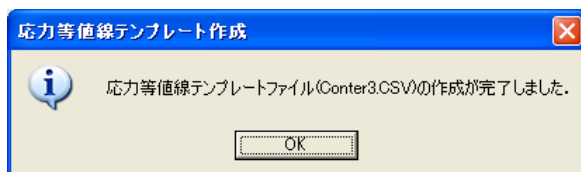
4. 応力等値線テンプレートファイル簡単作成ツール

応力の等値線図を表示するときは色設定や分割数が設定された等値線テンプレートを選択して表示します。この等値線テンプレートのフォーマット等については第4章の「16. 等値線テンプレートについて」を参照してください。

Ver 7からデータファイル管理に追加された応力等値線テンプレートファイル簡単作成ツールでは既存の等値線テンプレートの色設定と分割数を参照して、最大と最小の応力値を入力することで応力等値線テンプレートファイルを簡単に作成することができます。

新たに応力等値線テンプレートをこのツールで作成する場合は分割数と色設定を参照する既存のテンプレートを選択します。参照テンプレートを選択するとファイル名と分割数が表示されます。続いてテンプレートの名称、最大と最小の応力値を入力します。

続いて「作成」ボタンをクリックすると新しい等値線図テンプレートが作成され次のメッセージが表示されます。



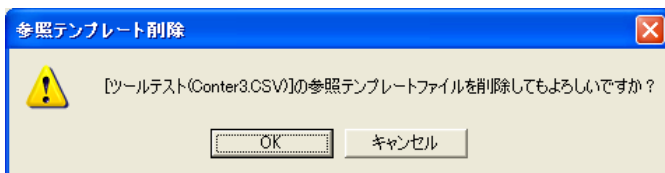
ファイル名はConter**.CSVで“**”は自動で連番となり任意のファイル名では作成できません。また応力等値線テンプレートファイルは作業フォルダができている場合は作業フォルダの下、インストールフォルダに書き込みできる場合はインストールフォルダの下にある¥Templateフォルダに作成されます。

インストールフォルダに書き込みできない場合もインストールフォルダの下に¥Templateフォルダが作成されファイルもコピーされますが実際に使う応力等値線テンプレートのファイルは作業フォルダの下の¥Templateフォルダになりますので注意してください。

作成した応力等値線テンプレートを適用したい場合は新規のコマンドを起動するか、コマンド起動中の場合はプルダウンメニューの[環境設定] > [等値線テンプレート再読込]をクリックするとコマンドが起動中でも新たに作成したテンプレートを反映することができます。

V e r 7からこの機能の参照テンプレート用に[分割数 3 3 サンプル]と[分割数 1 7 サンプル]の2つのテンプレートが標準で追加されていますので目的にあったテンプレートを参照して作成してください。

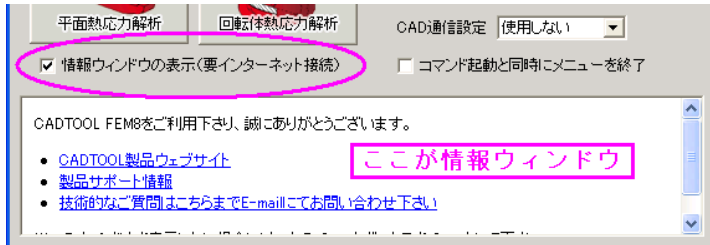
参照テンプレートを選択して右にある[削除]ボタンをクリックすると次のメッセージが表示されます。



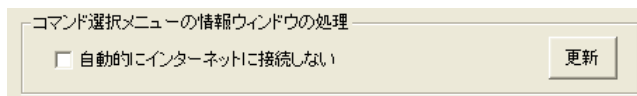
テンプレートの名称とファイル名が表示されますので確認して削除しても良ければ[OK]ボタンをクリックすると選択していた参照テンプレートが削除されます。ただし全て削除されると等値線図が表示できませんのでConter1.CSVとConter2.CSVは削除できないようになっています。

5. コマンド選択メニューの情報ウィンドウの処理

〔CADTOOL FEM8〕ではコマンド選択メニューの“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がチェックされていると次に示すようにダイアログ下部に情報ウィンドウを表示することができます。

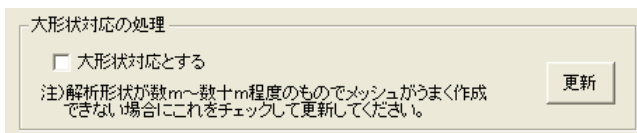


このチェックを外すと情報ウィンドウは隠れますが起動時にはインターネット接続をトライしますので、環境により起動するたびにインターネット接続のパスワード認証等が表示され鬱陶しい場合がありますので、その時は次のチェックボックスをチェックして〔更新〕ボタンをクリックすると自動的にインターネットには接続しないようにできます。



6. 大形状対応の処理

〔CADTOOL FEM8〕ではプログラムの仕様により数m～数十m以上の形状を解析しようとするとメッシュ作成等でエラーとなり計算できない場合があります。そのように大きな形状を解析したい場合は次のチェックボックスをチェックして〔更新〕ボタンをクリックすると解析できるようになりますので大形状でエラーが出たら試してみてください。



なおこの設定が異なる時に作成された既存データを読み込んだ場合はメッシュ作成からやり直す必要がありますのでむやみに変更しないようにしてください。

参考データ

1. 共通仕様

要素仕様・・・・・・四角形8節点アイソパラメトリック2次要素

最大節点数・・・・・・8000

最大要素数・・・・・・3000

※ただし、自動でメッシュを作成するため最大数ぎりぎりまで使えるとは限りません。

2. 参考文献

・「Visual Basicによる工学計算プログラム」 黒田英夫 著 CQ出版社(株)

※Ver2から採用している四角形8節点アイソパラメトリック2次要素およびハーフバンドマトリックス法による有限要素法のエンジン部は本文献の著者である黒田英夫氏(算生会代表)が作成したものを正式にライセンスを受けて組み込んでいます。

本文献では使用した要素や計算方法について詳細な解説がなされているので詳しく内容を知りたいとか有限要素法を学習したいという人は是非参考してみてください。

またインストールフォルダに平面応力解析ではSolver3.datとSolver3.rep、平板板曲げ解析ではSolver4.datとSolver4.rep、回転体応力解析(本文献では軸対称体という名称)ではSolver5.datとSolver5.repというテキストファイルが計算実行時に作られます。

これらは本文献掲載プログラムで使っている入力データファイルおよび結果データファイルの仕様に準じたものになっていて、結果データファイルにはCADTOOLで利用していない詳細な計算結果も含まれています。これらのデータファイルの内容についても興味があれば本文献を参照してください。

なおこれらのデータファイルは計算を実行する毎に上書きされ内容が更新されるので取っておきたい場合はリネームするか別のフォルダに移してください。

・「有限要素法へのガイド」 戸川隼人著 (株)サイエンス社

・「パソコンによる有限要素法CAEシステム」 大浦洋子・他著 森北出版(株)

・「BASICによる実用数値計算」 山下四郎・他著 (株)山海堂

・「実践 材料力学」 中原一郎著 (株)養賢堂