



建設ICTマスター養成講座  
基礎養成編 選択分野別ソフトウェア実習

1

# 熱応力・ソリッドFEM

## FEMLEEG概要説明

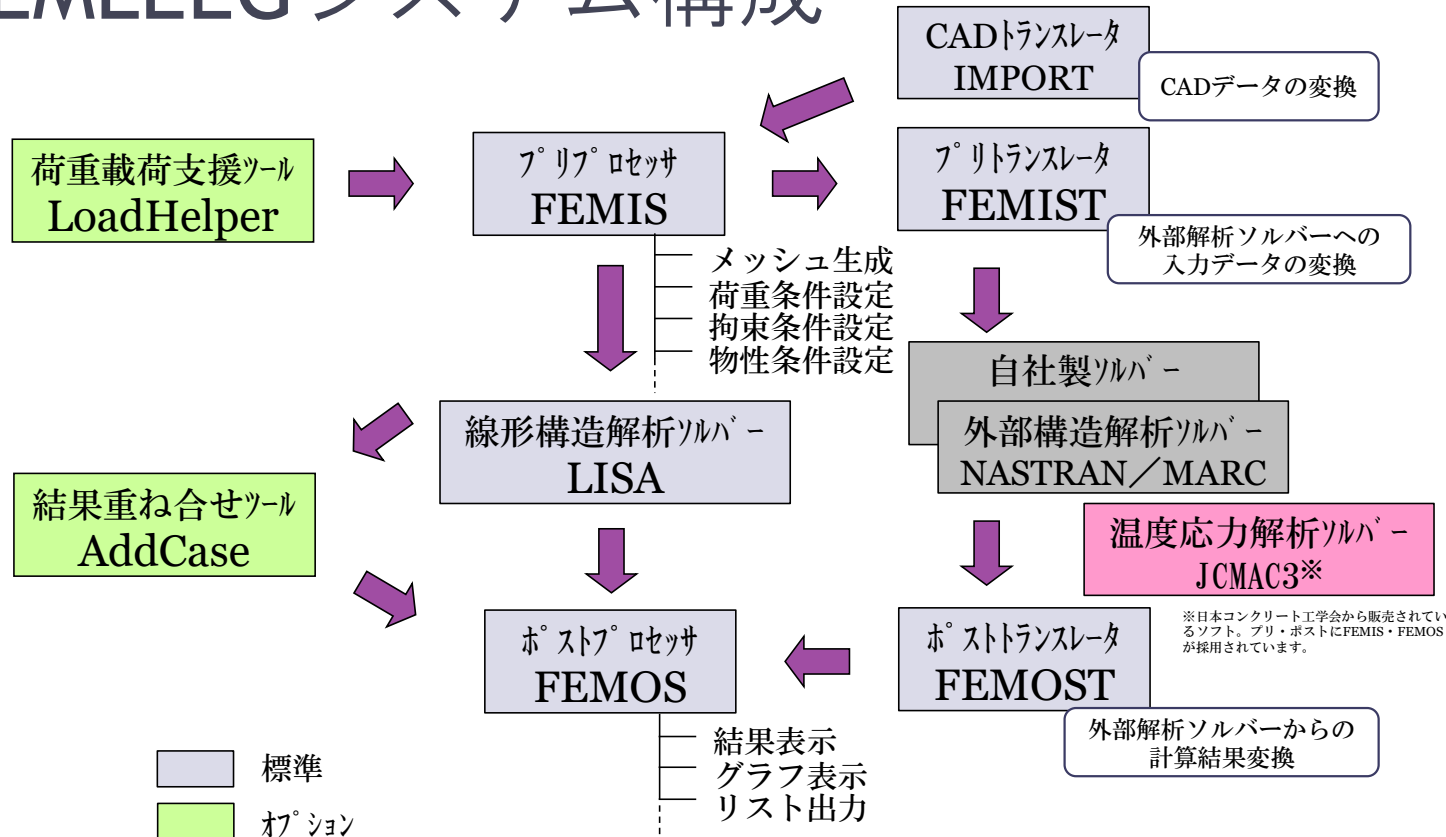
2020年7月10日  
株式会社 フォーラムエイト

# スケジュール

時間	内容
9 : 30 ~ 10 : 20	製品概要説明 事例紹介
10 : 20 ~ 10 : 30	休憩
10 : 30 ~ 11 : 00	操作実習（基本操作）
11 : 00 ~ 12 : 00	操作実習（PC箱桁上部工モデルの解析）
12 : 00 ~ 13 : 00	昼食
13 : 00 ~ 14 : 00	操作実習（PC箱桁上部工モデルの解析）
14 : 00 ~ 14 : 10	休憩
14 : 10 ~ 15 : 00	操作実習（PC箱桁上部工モデルの解析）
15 : 00 ~ 15 : 10	休憩
15 : 10 ~ 16 : 15	操作実習（PC箱桁上部工モデルの解析）
16 : 15 ~ 16 : 30	質疑応答

# FEMLEEGの概要

# FEMLEEGシステム構成



# 解析機能

## 解析範囲：線形解析

設計者が手軽に現場でも解析が行えるというコンセプトで開発されており、通常の設計範囲では十分な機能となっています。

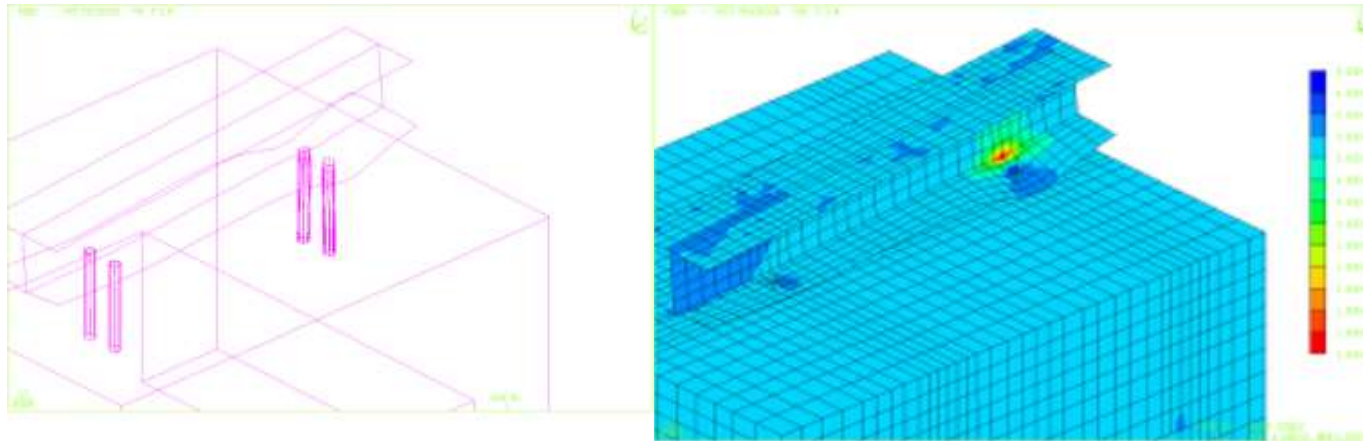
- 構造解析
  - 静弾性解析
  - 固有振動解析（フリーボディ解析機能）
  - 応答スペクトル解析（最大応答解析）
  - 時刻歴応答解析
  - 座屈解析
  - NO TENSION解析※
  - CAP（Cut and Paste)解析※
- 伝熱解析
  - 定常熱伝導解析
  - 非定常熱伝導解析
  - 伝熱・熱応力連動解析

（※：特徴的な解析について説明します）

# NO TENSION解析

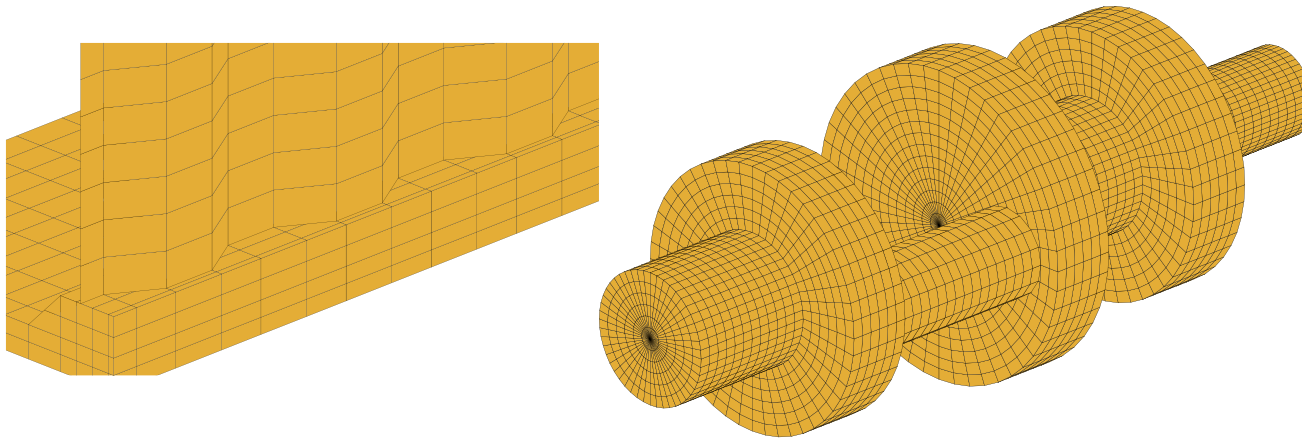
メタル構造要素とコンクリート構造要素の接触というような異種材料が接触する場合、接触部は不連続となります。

無載荷状態で同一座標値を有する2節点（2重節点）が、載荷された状況で、節点間に圧縮力が働くときは固着状態になり、引張力が作用するときは剥離状態を実現する解析。



# CAP (Cut And Paste)解析

節点不整合面どうしを多自由度拘束機能を用いて結合させる機能



従来のモデリングでは節点で接合していなければならずメッシュ作成が困難なこともありました。CAP解析は接合付近の応力場には関心がなく、離れた位置での応力評価を行う場合にメッシュ作成の苦労を軽減できる解析になります。不連続な面を分断させた両構造物でそれぞれのメッシュを作成（カット）した後、分断した面を接合（ペースト）します。

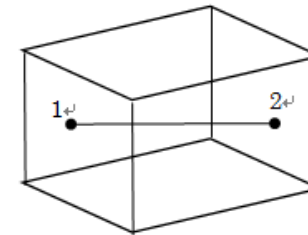
# 要素タイプ

- 一次元～三次元の要素が用意されているので、フレーム構造からソリッド構造まで対応できます。  
スレンダーな構造で、全体の挙動の解析ならフレームモデルで十分ですが、マッシブな構造や局部応力の解析などフレームでは無理な解析が可能。
- 一次元
  - ビーム、トラス、スプリング、リンク※、埋め込みトラス※
- 二次元
  - 平面応力・歪※、プレート／シェル※、軸対称
- 三次元
  - ソリッド（4面体、5面体、6面体）

（※：特徴的な要素について説明します）



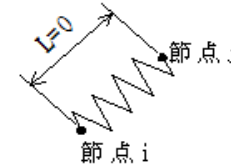
## 埋込鉄筋要素(ソリッド内埋込型トラス要素)



- ソリッド要素内部の任意位置に配置できる要素です。  
通常、モデル内部の鉄筋やケーブルなどメッシュの縁に沿わせるため、ケーブル等に合わせてメッシュ作成をしなければならない。  
本要素を使うことによりケーブルなどに依存しないメッシュ作成ができます。

本要素節点を持つ自由度は要素および全体剛性マトリックスの自由度を増加させるものではありません。したがって、本要素の存在が全体剛性マトリックスの解式に不利に働くことはありません。

# リンク要素



- 機能

本要素は不連続な構造面（線）で相対する2節点をバネを介して結び付ける、長さゼロのバネ要素です（下記1の機能）。この他、引張力を解放するNO-TENSION解析でのリンク要素を使用するタイプもあります（下記2の機能）。

1. ボルト締めされる二つの機械部品の結合、地盤とコンクリート構造物の関係といったように不連続な構造面を結合します。この場合、予めばね定数の値が必要となります。（ばね結合）

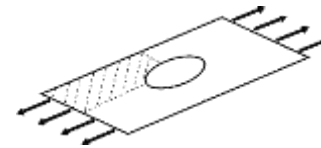
2. リンク要素を対象としたNO-TENSION解析では一部の節点に局所的な関係を強制する一種のペナルティ法と同等の機能になります。そのため、与えるばね定数は非常に大きな値を指定することになります。この時、ばね定数を節点剛性（LISAが内部で計算します）の倍率（ペナルティ係数）で与えることもできます。

# 平面応力・歪要素

- 平面応力問題

比較的薄い板厚のもので荷重がその面内にのみかかり、面外に曲がるような変形を生じない場合に「平面応力問題」として2次元の取り扱いで解析できる。

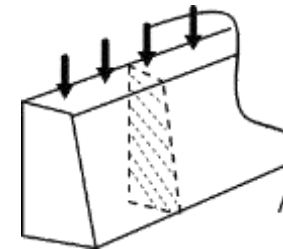
奥行き方向の伸びは自由→面外方向の応力ゼロ。



- 平面歪問題

トンネルやレールのように、非常に長い形状のものに長さ方向に沿って一様な荷重がかかる場合、端面の部分を除けば、どの断面も長さ方向の変形は拘束されることになるので、ある代表断面を取り出して「平面歪問題」として2次元で解析できる。

奥行き方向の伸びは拘束される→面外方向の応力が発生。



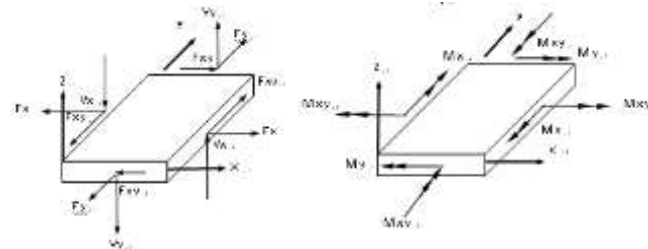
# プレート/シェル要素

## • 温度勾配

熱応力解析において、他のすべての要素が節点で与えられた温度を使用するのにに対してプレート/シェル要素ではこれに加え、プレート表裏面の温度（温度勾配）も設定できます。節点温度だけではプレート面の伸び縮みの解析しかできませんが、これによりプレート表裏面の温度差（温度勾配）で生じる曲げ問題に対応できます。

## • 出力成分

[断面力]    — 要素座標系  
[応力・歪] — 全体座標系



## • 薄板と厚板

LISAのプレート/シェル要素開発の根拠としている微小変形平板理論には周知の二つの理論があります。一つは面外のせん断変形を無視したKirchhoff理論、もう一つはそれを考慮したReissner-Mindlin理論です。

前者は教科書等に多く掲載され古くから薄板用に使われてきた古典的な理論であり、後者は面外せん断変形が無視できそうもない厚板用の理論です。

※LISAではKirchhoff理論が本質的には古典的梁理論の延長であるという観点から、梁の解析で通常実施されている釣合い式からせん断力を求める手法を使って面外せん断力を求めています。

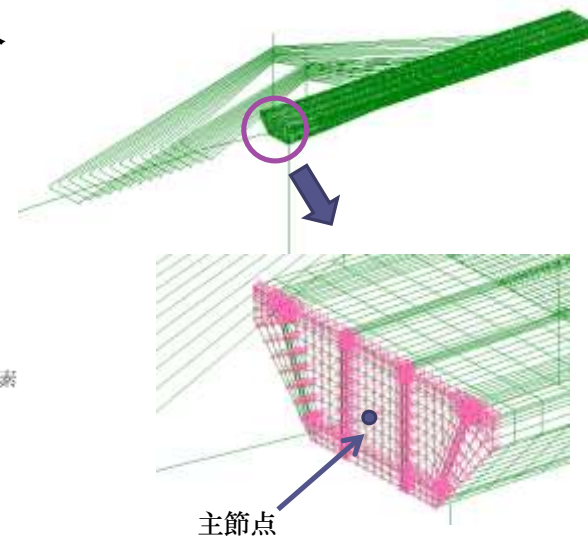
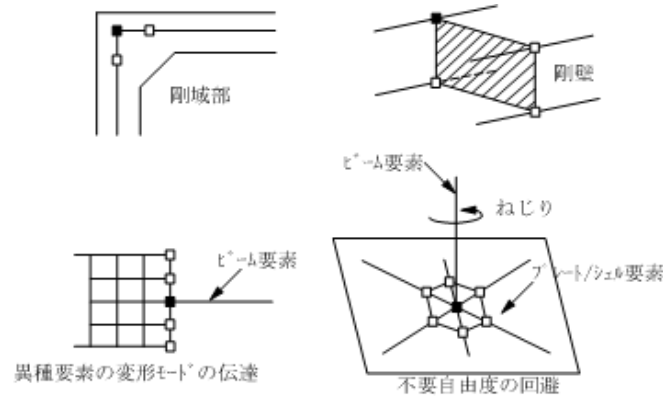
# 解析条件

荷重	拘束	物性	伝熱	その他
節点集中 要素分布 エリア载荷 ビーム中間 慣性力 遠心力 節点温度 水圧	自由度 強制変位 バネ 不要自由度 エリア拘束	等方性材料 異方性材料 積層板 板厚 エリア板厚	固定温度 等方性熱物性 異方性熱物性 熱伝達 熱流束 内部発熱 初期温度 時間関数	タイピング リンク スプリング 分離・再接合 多自由度拘束 ペースト

エリア××    . . . 平面領域などの分布設定  
 ペースト    . . . CAP解析用の接合部設定

# 特殊結合

- タイピング機能 剛体変形の導入

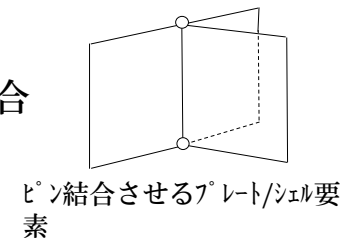


- 多自由度拘束機能

タイピングは節点間の結合になりますが、自由度単位での指示も行えます。

- 分離・再接合機能 一部自由度のみでの節点間結合

要素間の結合で、一部自由度を切り離し残りの自由度だけで結合。



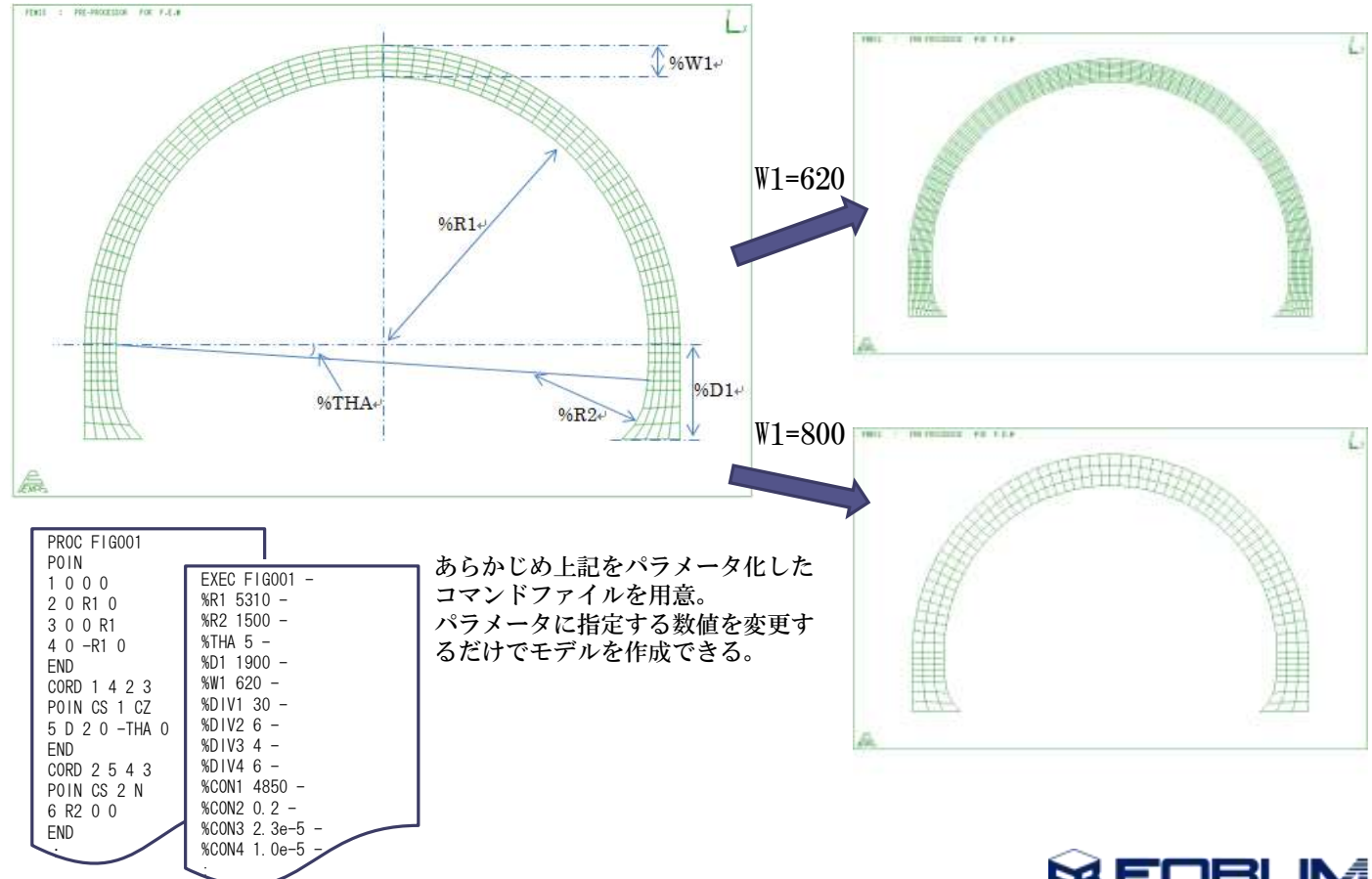
# 操作の種類

- GUI
  - マウスによる会話的な操作
- CUI
  - キーボードからのコマンド入力
- バッチ
  - コマンドを記述したファイルによる自動実行

上記の組み合わせ操作も可能

行った操作はすべてコマンドとしてファイルに保存される→バッチ用ファイルとして利用可能

# バッチによる定型業務の例



あらかじめ上記をパラメータ化した  
コマンドファイルを用意。  
パラメータに指定する数値を変更する  
だけでモデルを作成できる。



# FEMISの形状作成概要

# 解析モデル作成手順

モデル全体をブロック（部分モデル）の  
集合として捉える

積み木を組むよ  
うなイメージ

基本節点の作成

FEMISの簡易CADを利用

外部CADからのインポート  
(DXFまたはIGES形式)

基本サイドの作成

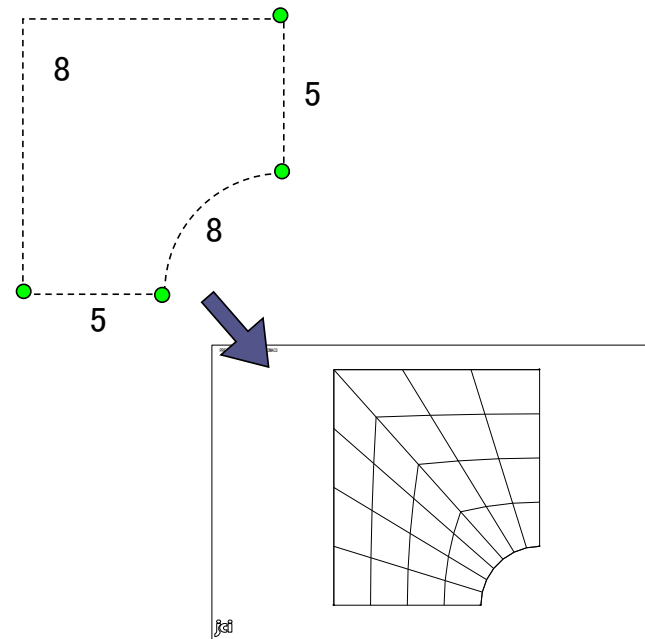
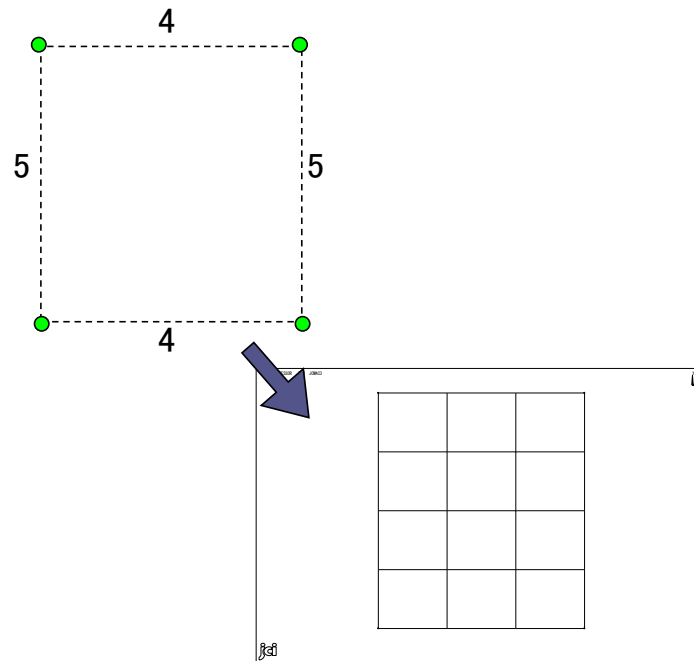
エッジ上への節点、サイドの生成

ブロック単位のメッシュ分割

節点・要素の変更  
解析条件データの入力

# ブロック生成方法

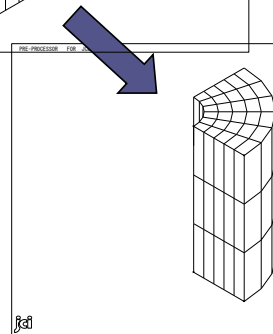
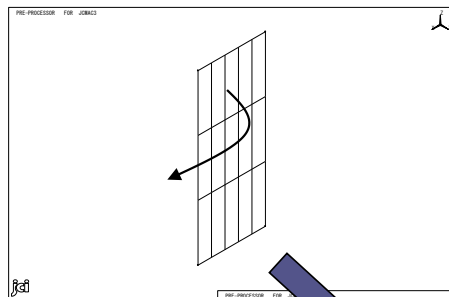
- 写像法...コーナー点とサイド上生成節点数（分割数+1）を指定してメッシュ生成



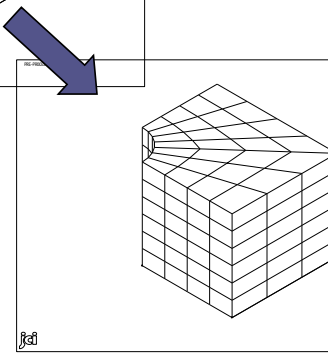
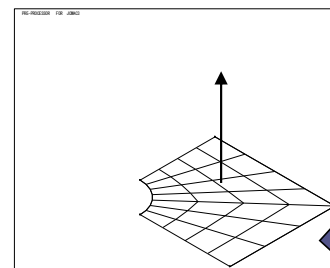
# ブロック生成方法

## ■ 移動法...ブロック面、サイドを移動してメッシュ生成

- 平行移動
- 回転移動
- 相似移動
- 法線方向移動
- 線に沿って移動



回転移動によるメッシュ生成



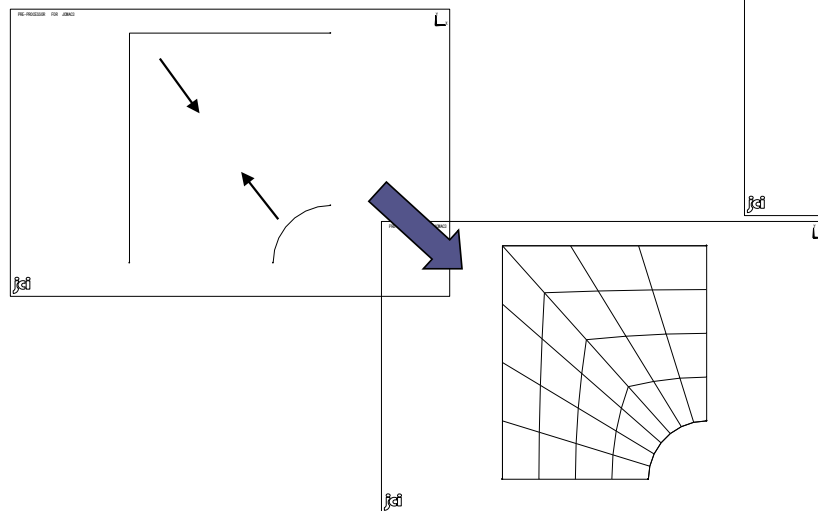
平行移動によるメッシュ生成

# ブロック生成方法

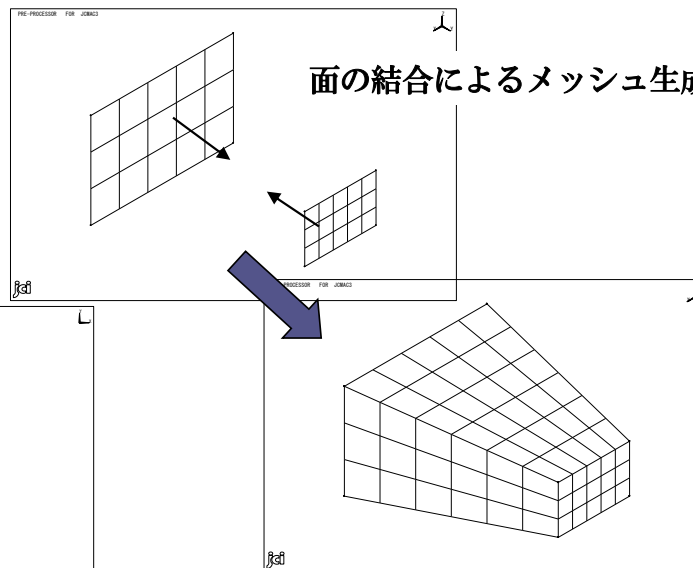
- 結合法...ブロック面、サイドを結合してメッシュ生成

- サイドとサイドの結合
- 面と面の結合
- サイドと面の結合
- 点とサイドの結合

サイドの結合によるメッシュ生成

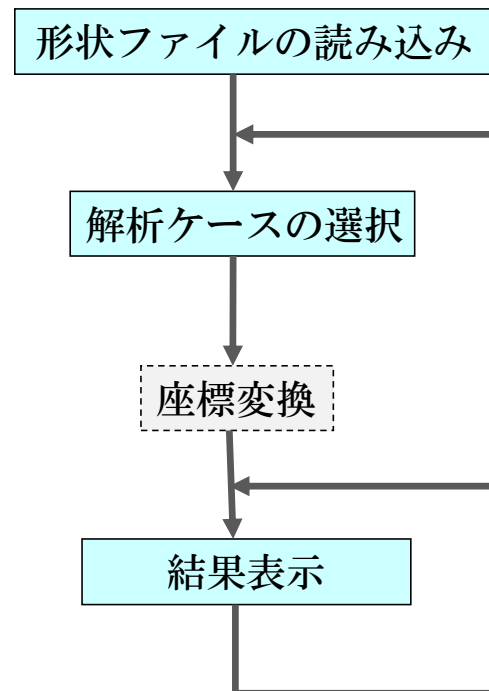


面の結合によるメッシュ生成



# FEMOSの概要

# 操作手順

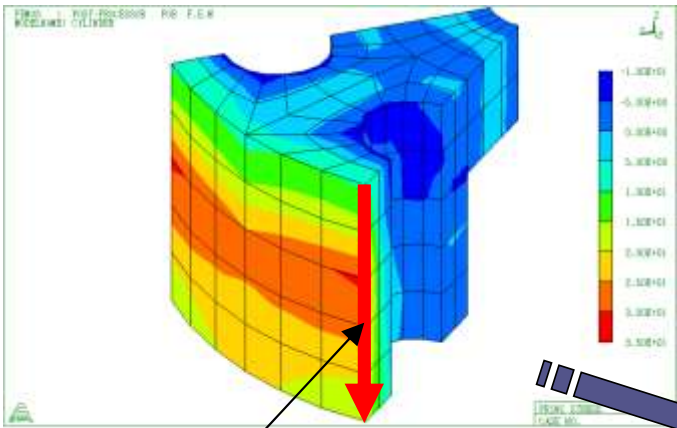


## 結果表示機能

- 描画タイプ  
コンター図、ベクトル図、サークル図、数値図、...
- グラフ図  
分布グラフ図、履歴グラフ図、相関グラフ図、  
3次元グラフ図、評価ライン...
- リスト出力  
各物理量のリスト出力、最大値・最小値リスト、  
切断面断面力...

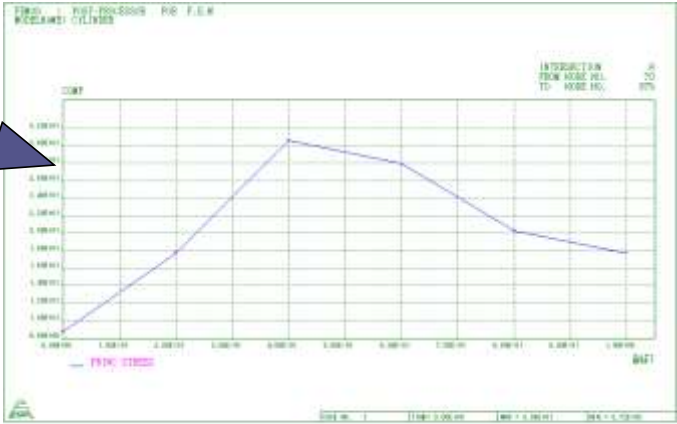


# 評価ライン



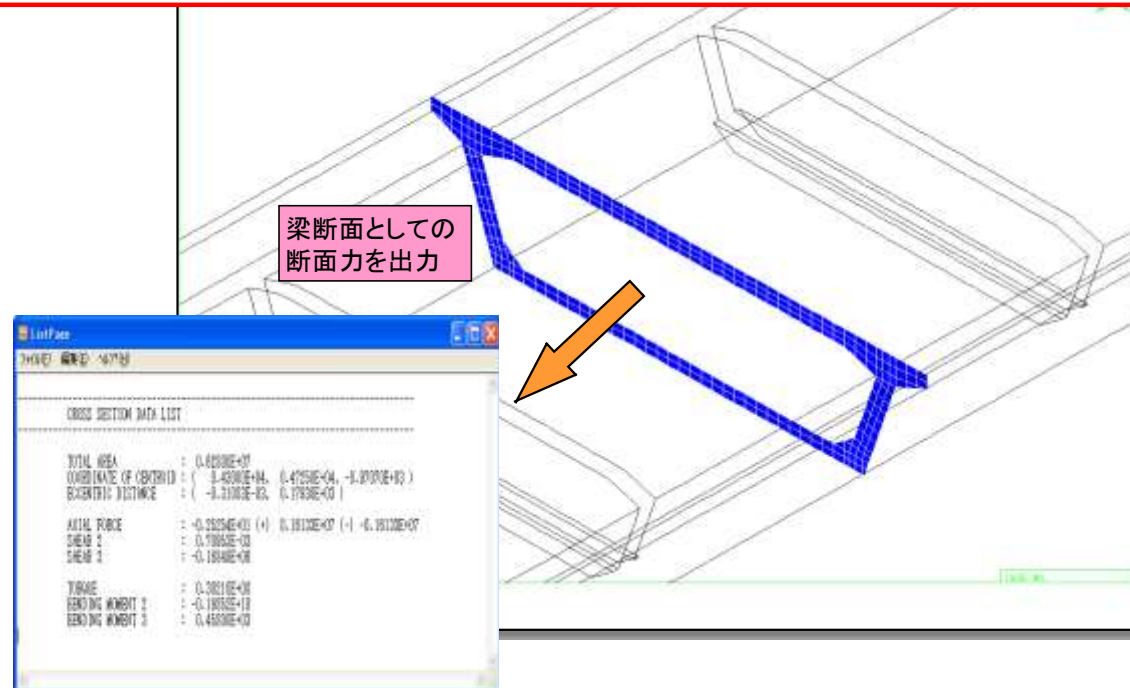
評価ラインを指示

評価ライン上の指定物理量のグラフ表示



# 切断面断面力

ソリッドモデルでは応力しか出力されないのですが、断面力で評価したい場合、ある切断断面を選択して、その断面を梁断面としての断面力を出す機能



# オプション製品の概要

# LoadHelper

- メッシュに依存せず任意位置での荷重設定を可能にする  
載荷支援ツール

- 荷重タイプ

- ◆集中荷重

- .要素表面上荷重
    - .ソリッド要素内部荷重

- ◆面荷重

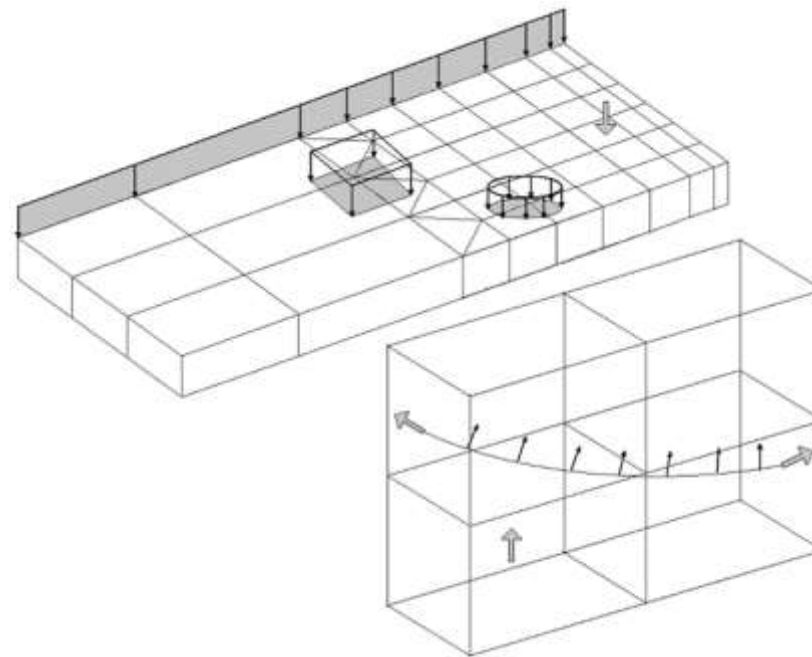
- .矩形等分布荷重
    - .矩形変分布荷重
    - .矩形円孔付荷重
    - .円形荷重
    - (全円・半円・3/4円・1/4円)

- ◆線荷重

- .等分布荷重
    - .変分布荷重

- ◆腹圧荷重

- .腹圧荷重(ノーマル)
    - .腹圧荷重(摩擦係数付)
    - .らせん腹圧荷重



# プレストレスの設定方法

- 温度荷重（内力）として与える

緊張材をトラス要素で作成し、緊張力を温度換算値で与える。

$$t = P / (\alpha EA)$$

※ t : 換算温度、P : 緊張力、 $\alpha$ :熱膨張係数、E:ヤング率、A:断面積

- プレテンション（内力）として与える

緊張材をトラス要素で作成し、そのトラス要素に直接プレテンションを設定する。

- 外力として与える

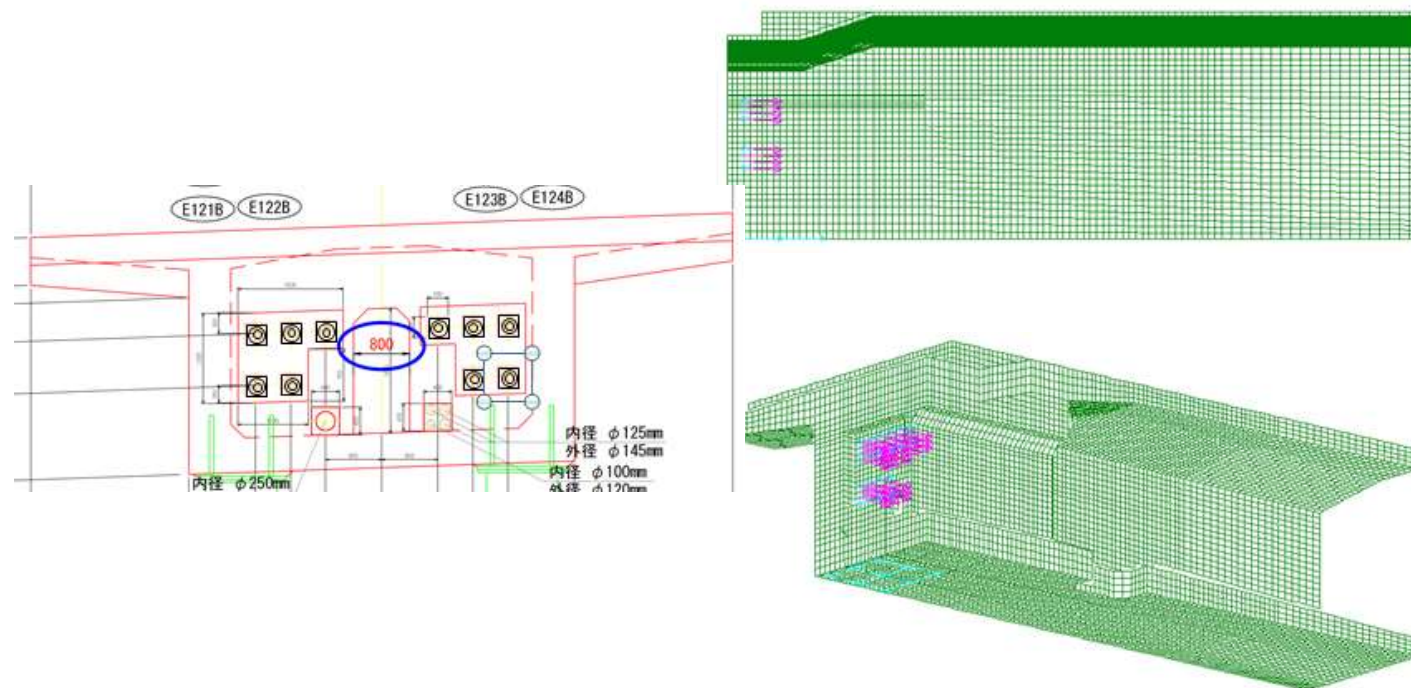
上の2つと異なりトラス要素を作成せず外力を設定する。

- 定着部 定着体に相当する部分に分布荷重を設定
- 偏向部 半径方向に腹圧力を設定

※LoadHelperを使用すればメッシュに依存せず簡単に設定可能

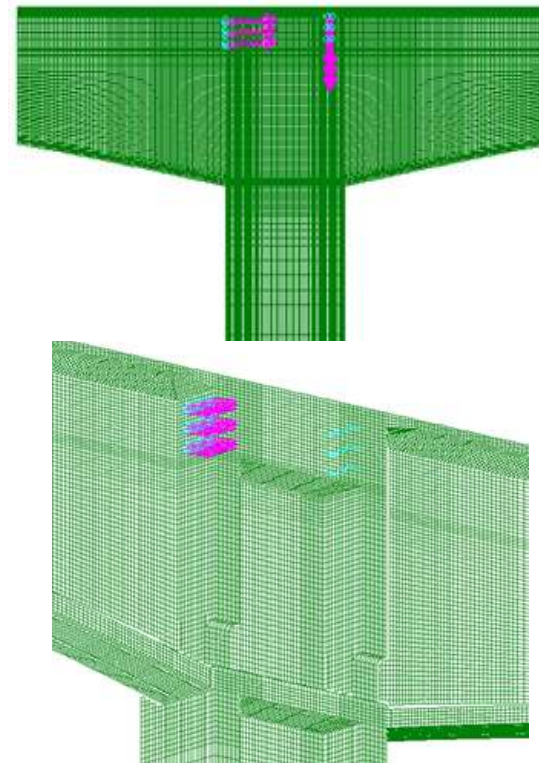
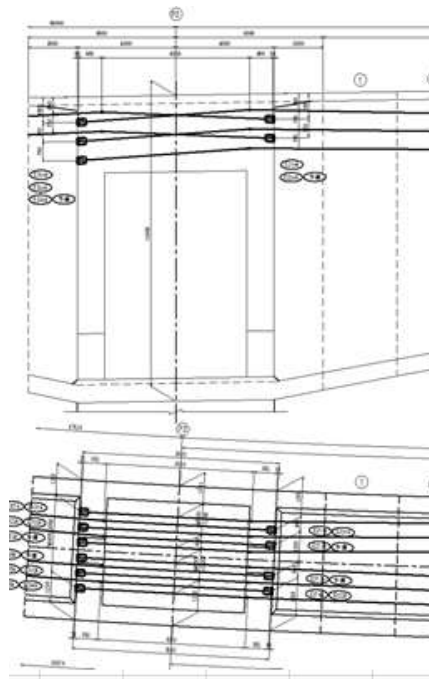


## 端支点部の定着部への適用例





## 柱頭部の定着部への適用例



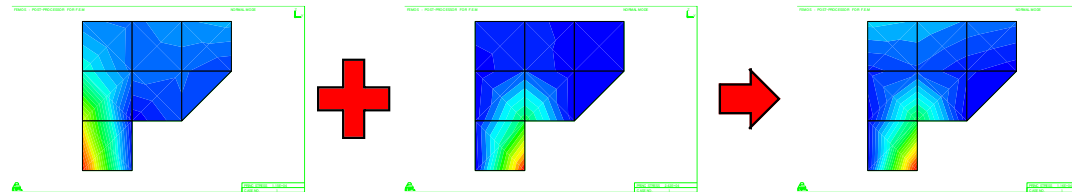


# AddCase

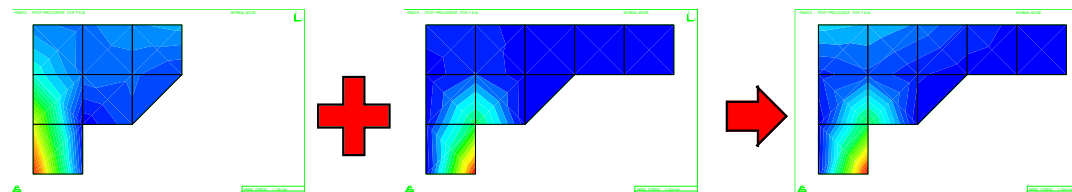
- 解析結果の重ね合わせツール

通常の重ね合わせでは形状が同一のものが対象となりますが、AddCase においては、桁の張り出し工法の施工途中で形状が変化する場合においても重ね合わせを行うことができます

通常の重ね合わせ



メッシュ追加の重ね合わせ

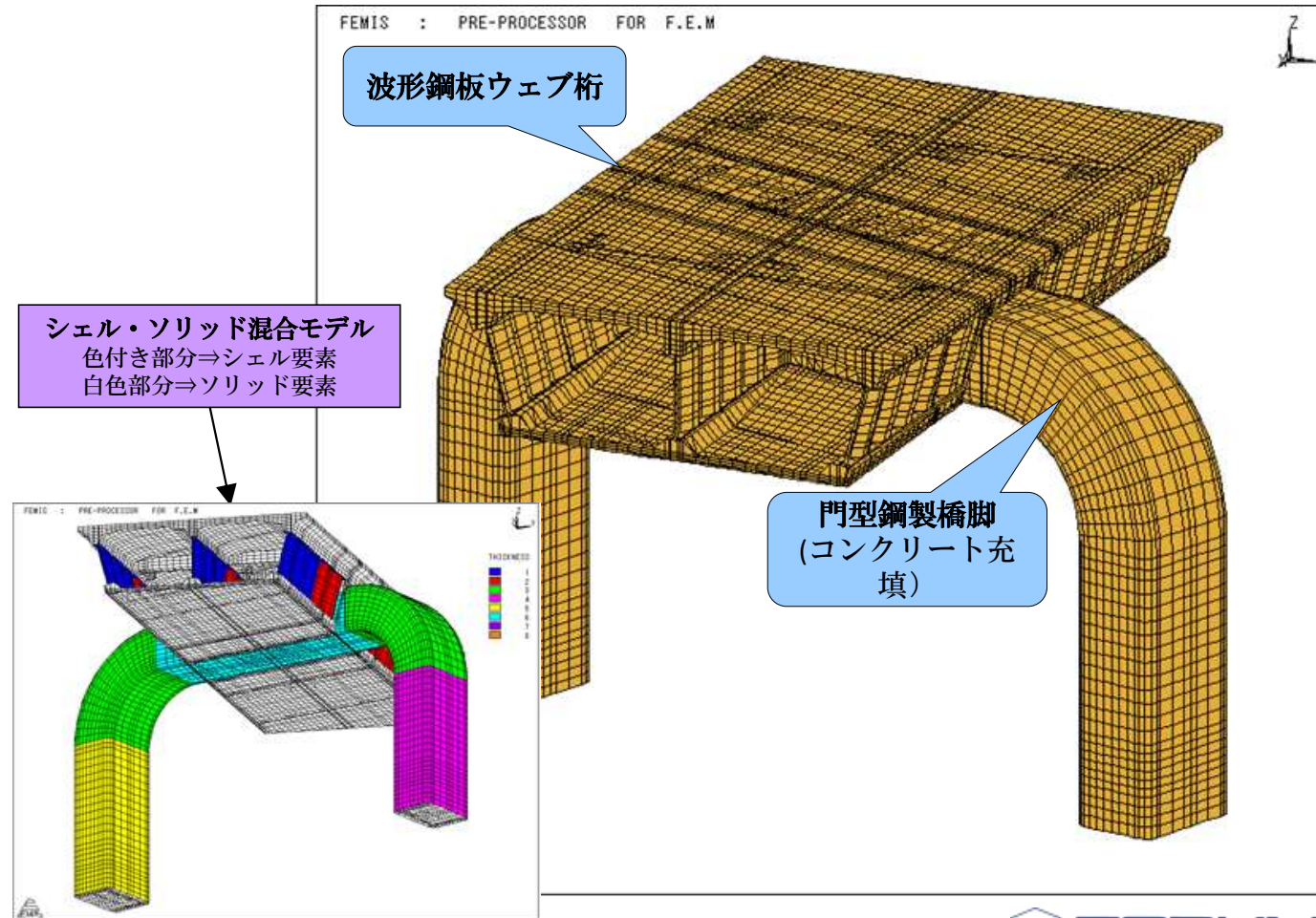


## FEMLEEGの適用業種

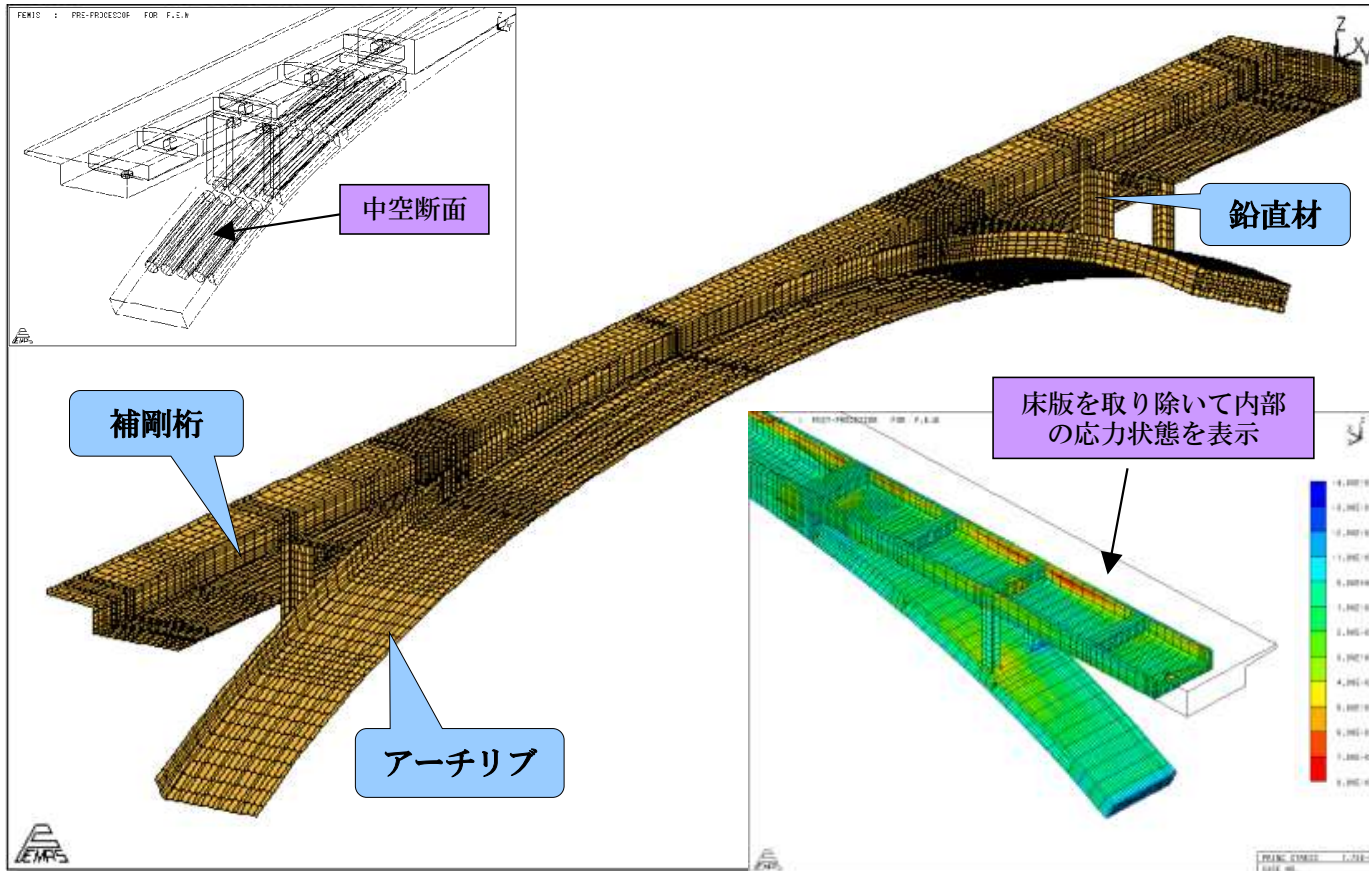
- 汎用システムなので幅広い分野での利用実績
  - 土木、建築、造船、重機、機械、半導体、住宅設備、原子力関連、ガラスメーカー...
- オープンなシステム
  - ファイル仕様が公開されているので自社ソルバーとの連携も可能

# 事例紹介

# 受託解析モデル 1



# 受託解析モデル 2



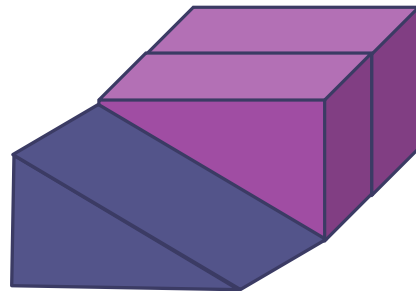
## FEMLEEG Ver.9 改訂内容

- FEMIS
  - 6面体/5面体隣接要素分割機能の追加
  - エッジ→埋め込み鉄筋要素(ETRUSS要素)生成機能の追加
- FEMOS
  - コマンド毎ケース指定機能の追加
  - 描画範囲選択一複数切断面選択機能の追加
  - 3次元評価ライン分布グラフ機能の追加
- 共通
  - 局所座標系参照GUIの改善
  - HDCOコマンドにファイル名指定の追加

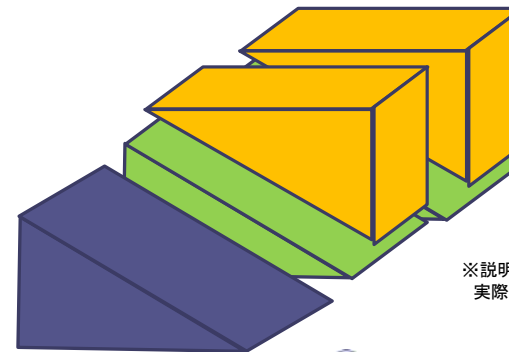
## 6面体/5面体隣接要素分割機能の追加

- 3次元モデルを作成している過程で、6面体要素、5面体要素の4角形面に5面体要素の3角形面が接続してしまう場合に、4角形面の対角線を指定するだけで隣接している6面体要素/5面体要素を自動的に分割する機能を追加しました。

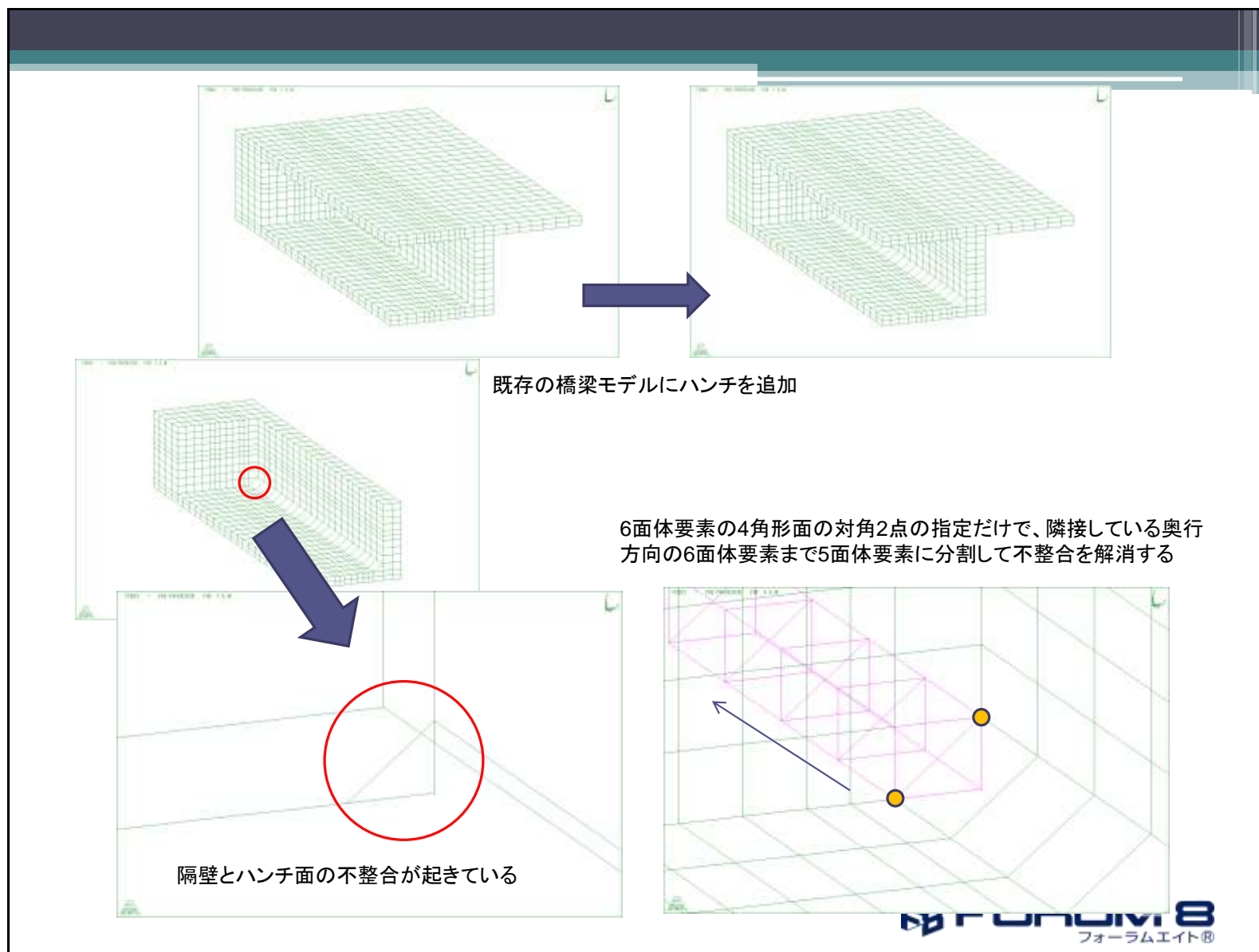
6面体要素の4角形面と5面体要素の3角形面が接続して面の連続性が保たれていない



6面体要素を2つの5面体要素に分割することで面の連続性が保たれる



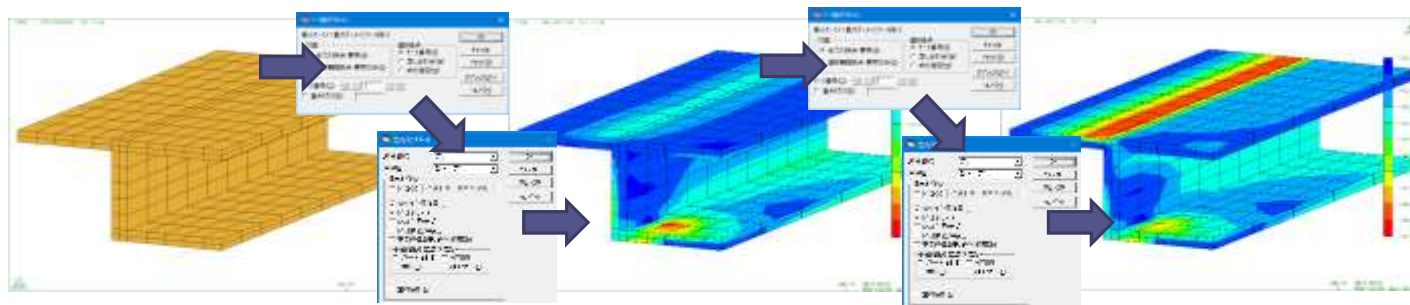
※説明のために離しているが、  
実際は各要素は接している



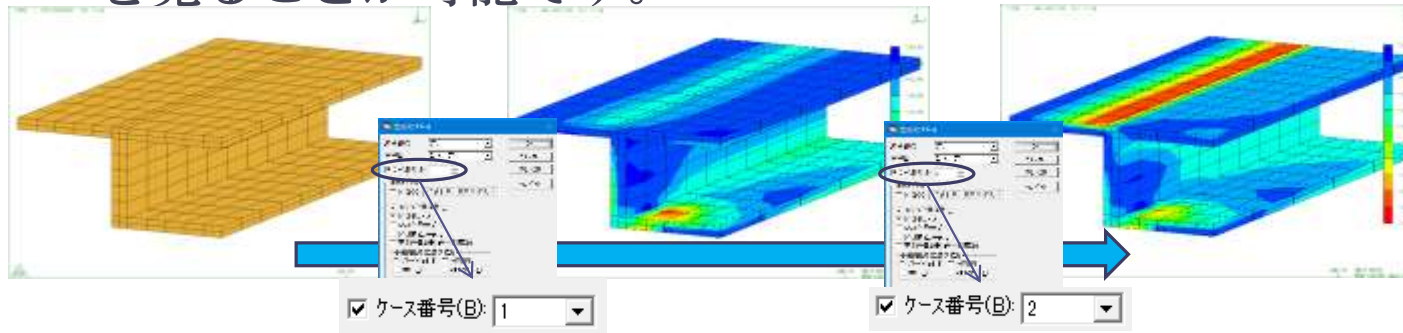


## コマンド毎ケース指定機能の追加

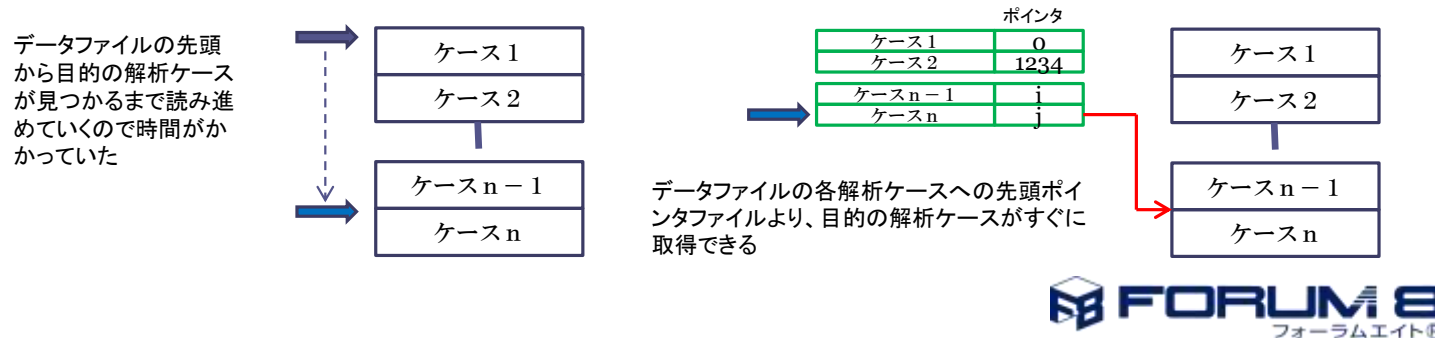
- 解析結果の表示にはケース選択を行う必要があり、特に時刻毎に解析結果が出力されるような複数ケースの場合、ケース選択→結果表示→ケース選択→結果表示を繰り返さなければなりません。



- 結果表示コマンド毎にケース指定の機能を追加することで、毎回ケース選択の操作を行うことなく、すぐに結果を見ることが可能です。

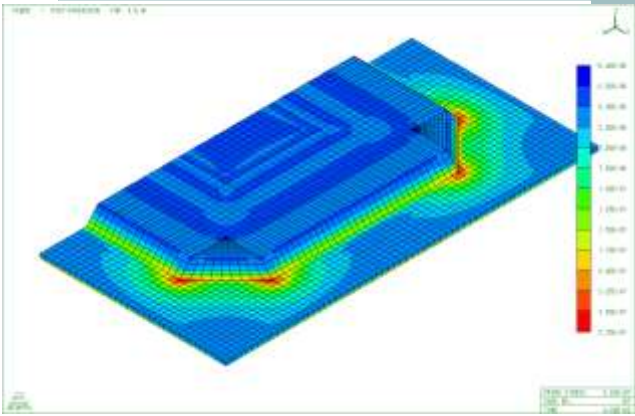


- また、各ケース先頭へのポインタファイルを作成、使用しているので、アクセスの高速化も図られています。



# 操作手順と処理時間の比較

節点数:12693、要素数:9804、ケース数:167



4ケース(1、10、100、最終)の結果を表示する手順とそれぞれの処理時間を比較。

※人の操作(マウス移動やキー入力等)による時間は含まない

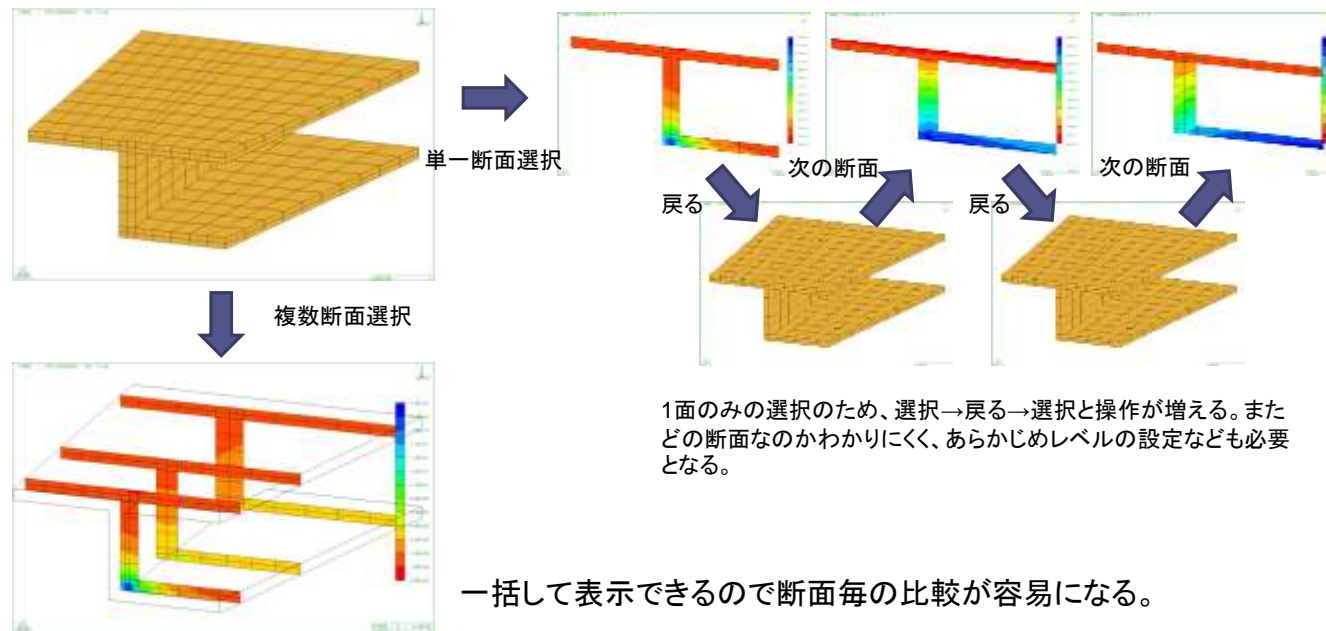
1ケース目 選択	1ケース目 濃淡図描画	10ケース目 選択	10ケース目 濃淡図描画	100ケース目 選択	100ケース目 濃淡図描画	最終ケース 選択	最終ケース 濃淡図描画
1秒<	1秒<	2秒	1秒<	14秒	1秒<	23秒	1秒<

## 追加機能による操作手順と時間

→	1ケース目 濃淡図描画	→	10ケース目 濃淡図描画	→	100ケース目 濃淡図描画	→	最終ケース 濃淡図描画
	1秒<		1秒<		1秒<		1秒<

## 描画範囲選択－複数切断面選択機能の追加

- 従来、切断面の選択は1面だけでしたが、複数切断面（最大10面）を選択できるようになりました。



# 製品価格について

製品名	価 格 (税別)	特記事項
FEMLEEG Ver.9 Advanced	¥1,590,000	—
FEMLEEG Ver.9 Standard	¥1,180,000	他ソルバーIFなし LISA機能制限あり*1
FEMLEEG Ver.9 Lite	¥550,000	他ソルバーIFなし LISA機能制限あり*1 節点数制限あり*2
FEMLEEGオプション LAPack for Ver.9	¥336,000	オプション

\*1：NoTension解析およびCAP解析が使用できません。

\*2：10,000節点まで。

- 詳しくは営業窓口までお問い合わせください。

