

スクリプトによる堅実なメッシュ構築方法の紹介

Introduction of Reliable Mesh Construction Methods Using Scripts.

石井 順造

Junzou Ishii

有限会社 熱解析創研 (〒674-0058兵庫県明石市大久保町駅前2-2-4 E-Mail: jishii@netukaiseki.co.jp)

One of the problem about finite element analysis is difficulty of construction of finite element meshes. Accuracy and reliability of finite element analysis depends on techniques of operators. So as to achieve easy operations and reliable calculation simple production of nodes and elements using scripts are much effective. Here is the introduction of rapid and parametric production of high quality finite element meshes.

Key Word : Finite Element Mesh, Boundary Conditions, Parametric FEM Mesh Construction, Easy Operations, Scripts

1. はじめに (良質なメッシュの必要性)

離散計算は、流体解析では粘性にて、構造解析や磁場解析では、歪や応力のテンソル計算が必須で、力学全域、座標による2階偏微分まで解かねばならず、本質的には高いメッシュ品質が求められる。また製品開発など、製品の設計評価のために、高品質な解析モデルが多数必要となる。解析モデルが多ければ多いほど、計算機で沢山の設計評価を行う事が可能となる。しかしながら、手作業によるモデリングがまだまだ主流。十分満足できる活用を阻む要因になっている。データの再利用性や、多数なモデルにての、解析評価において、メッシュ品質確保や、モデル作成工数の削減など、解析の効率化が課題となっている。

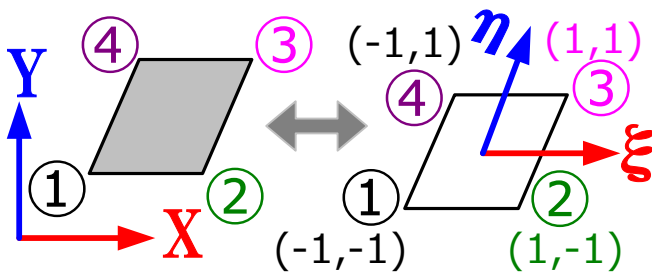


図1、要素形状が平行四辺形の場合、アイソパラメトリック要素、正規化における要素座標系のイメージ図

2. アイソパラメトリック要素での形状関数算出方法

図1に、要素形状が平行四辺形の時、アイソパラメトリック要素と、形状関数を求める際の要素座標系 (ξ, η) を示す。要素には物理量 $F(X, Y)$ が分布するとする。 $\xi - \eta$ は、要素形状に合致させた変則座標系であり、要素形状が平行四辺形の場合、 $\xi - \eta$ は、斜交座標となる。

離散計算においては、 $\xi - \eta$ は、図2のように、直交座標系であるがように描くのが慣例である。 $\xi - \eta$ から、直交座標に写像変換して (X, Y) 空間での形状関数を得る事が、離散化の理論の根幹となっている。

3. 離散計算に関する本質問題

図1の辺①② ③④にて、 Y 座標は一定で、式(1)により、 $\partial F / \partial X$ を計算可能である。辺②③ ①④にては、 X 座標一定でなく、式(2)による $\partial F / \partial Y$ の計算は困難となる。又、辺②③ ①④は、式(3)に示す一次式にて、辺を数式記述できる。式(2)と式(3)は、連立させる事ができない。連立させると、函数 $F(X, Y)$ は、(4)に示すよう、一変数函数になるからである。

要素が平行四辺形の場合、図1のように、 $\xi - \eta$ は、斜行座標となり、最終的に得られる $\partial F / \partial Y$ は、 $\partial F / \partial X$ を含む計算になる。そして、メッシュ歪みが大きく、メッシュが粗悪であればある程、数学的正しさの喪失度が増す。数学上守られるべき、偏微分の変数独立性を守れぬ致命的問題がある。

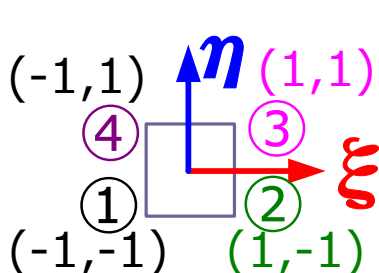


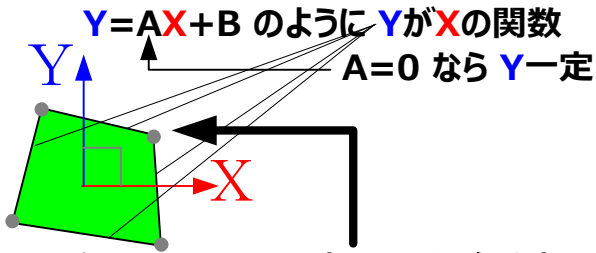
図2、一般的なアイソパラメトリックシェル要素、正規化における要素座標系のイメージ図

$$\frac{\partial F(X, Y)}{\partial X} \doteq \frac{F(X + \Delta X, Y) - F(X, Y)}{\Delta X} \quad (1)$$

$$\frac{\partial F(X, Y)}{\partial Y} \doteq \frac{F(X, Y + \Delta Y) - F(X, Y)}{\Delta Y} \quad (2)$$

$$Y = A \cdot X + B \quad (3)$$

$$F(X, Y) = F(X, A \cdot X + B) = F(X) \quad (4)$$



(辺にて) 偏微分不可 Xの変化にYも追従変化

図3、四角メッシュの辺で、変数独立性が守れぬイメージ図

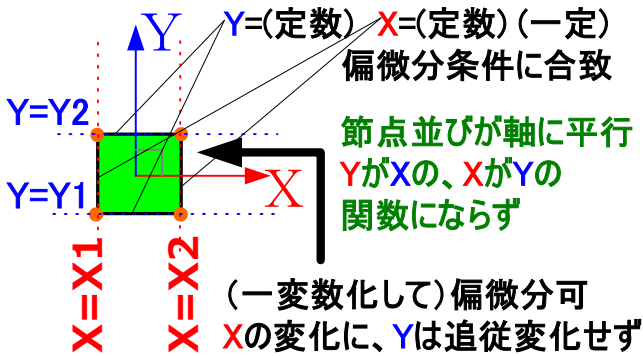


図4、長方形メッシュにて、偏微分対象外の変数が定数化し、XとYにて編微分可能となる事を示す図

4. スクリプトによる生成法

スクリプトによる生成法は、3次元CAD普及前、FEMで用いられた手法である。かつて、メッシュ構築計画を立て、節点番号や座標を直接的に入力する手法が主であった。全節点-要素の手動入力には困難で、節点のコピー生成や、節点と節点の間の補間生成を行う。その昔のモデル生成法に、パラメータ化機能を組み合わせると、自在な、メッシュ数や寸法変更が可能となる。修正変更が大変いう、モデリングの短所が減退する。

5. スクリプトによるモデル化の、短所と長所について

スクリプトを使えば、一つの雛形を元に、多彩なメッシュ構築が可能である。シンプルな法則でメッシュ作成するため、良質かつ、高可変なメッシュ構築、中でもアセンブリ解析用の領域分割格子の作成に有利である。段差・埋込・積層・多層・貫通などが得意である。長短所を、table1に示す。

table1 スクリプトによるモデル化 短所 長所

短所	
1	メッシュのジオメトリ構成やメッシュ数配分等 予め決めて、スクリプトを作成せねばならず面倒
2	上記スクリプト作成のため、独特の技術を要する
3	CADとの連携は、ほぼ困難
長所	
1	予め決めたジオメトリ構造構成を、丁寧に守るため アセンブリモデルや大規模モデルも、破綻なく構築可能
2	多層 積層 段差 薄厚 埋込 貫通 溝 羅列 繰返形状に強い 回転体など、規則性明白な解析対象のモデル化が得意
3	部位別に、別々に作成して、後で結合が可能
4	高品質メッシュ構築可能 接合部 合せ目が高品質
5	個数 枚数 寸法(長さ 厚さ 径等) メッシュ数 等 パラメトリック化 調整自在 融通利き利便性高い
6	一つの雛型を元に、メッシュパターン維持しつつ、効率よく 多彩なモデリングが可能
7	物性 属性 節点 要素 要素面への条件設定も(全)自動化可
8	後から変更可能なので、ミスに対するストレスが小さい

6. 小規模モデルと大規模モデル

大規模モデルも、小規模モデルと同じルールで構築できる事を示すため、図5、図6に。パイプにフィンが貫通した、簡単な熱交換器の解析モデルを2つ示す。

図5に示すフィン、O型格子と呼ばれ、図6に示すフィンは、H型格子と呼ばれる。スクリプトによる手法では、大規模モデル構築も、所要工数は増大せず小規模モデルと同じである。小規模の方が難度高で工数増大化する場合もある。例えばパイプ20本-フィン100枚。それを比較的小規模に抑えるのは難度高で、大規模モデル構築が簡単である。又、複雑な形のモデル化は、小規模では、形状再現が難度高となる。

下図は、O型格子とH型格子の例であるが、事前にジオメトリ構成決めた上、綿密にモデル化を実施しないと、モデル化を達成できない短所がある。それは短所だが、緻密で確実に堅実なモデル化を実施したい場合、逆に長所となる。パラメトリック化しても破綻しないのは、計画的なモデリング化による恩恵であり、短所と長所は、合わせ鏡でもある。開発ソフトにての主要命令語をTable2に示す。四角形状にての節点群と、要素の作成例を、次ページの table3に示す。

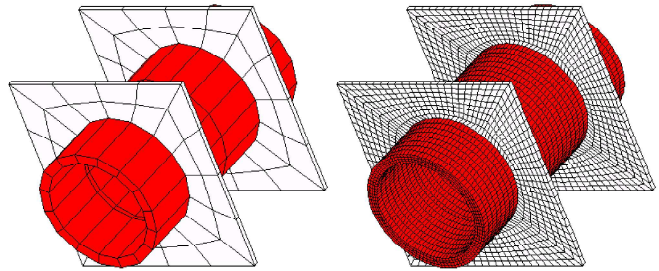


図5、O型格子による、熱交換解析モデル

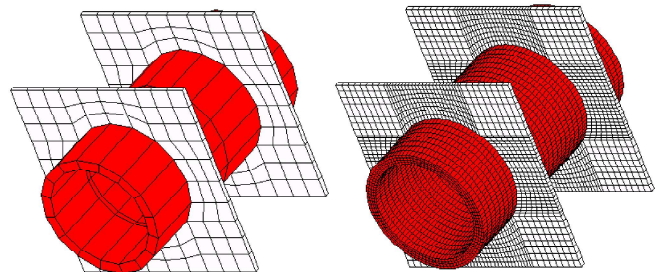


図6、H型格子による、熱交換解析モデル

table2 メッシュ構築用の主な開発命令語(スクリプト)

命令内容	開発命令語
座標系の指定	円筒, 直交系, 球座標
節点番号と座標値の入力	節点
節点のコピー	節点コピー
節点のコピー (鏡像 増化 指定値にコピー- 関数利用 配列利用)	
節点と節点の補間	節点補間
要素作成	要素
要素のコピー	要素コピー
変数、配列の設定	変数, 等式, 配列定義
パラメータの設定	パラメータ
選択箇所の設定	節点選択, 要素選択
節点 要素の削除	節点削除, 要素削除
要素属性の指定	材料, 属性, 要素タイプ
同一座標の重複点削除	節点マージ
半円・扇形状の作成	Rカバー Rカバー分割数
節点移動	節点移動(追加)

11. 要素削除機能の紹介

要素削除機能は、モデリングの機能として、基本的機能だが、スクリプトによるモデル化では、一般的な自動メッシュ手法よりも、有用な機能となることを紹介する。

簡単な命令を利用して、節点を並べ、モデル構築を行う特性上、メッシュが規則的に並び易い。並んだメッシュの一部の除去により、隙間や溝や段差を、簡単に作成可能である。

図9に、要素削除により溝を付けたもの。段差をつけたもの。両者が、同じ雛型モデルを元に作成されている例を示す。

又、前頁記載の、節点移動機能を併用すれば、隙間を広げたり狭めたり、隙間に傾斜を付けたり、多彩なアレンジも可能である。節点移動、要素削除という、簡単な命令を利用して、一つの共通メッシュデータを元に、溝-段差-傾斜-隙間を構築する事が可能である。

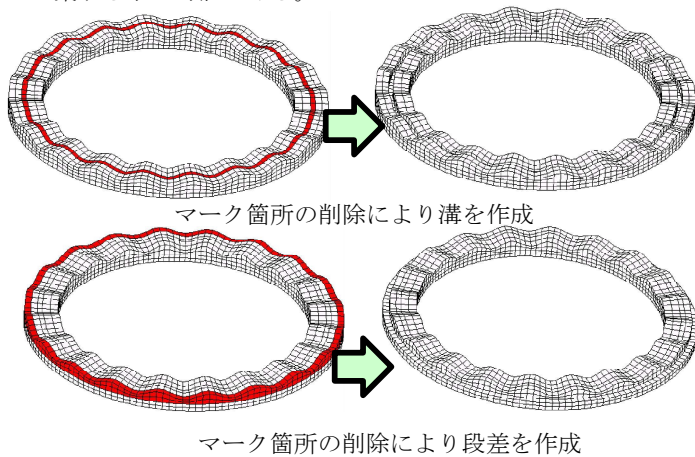


図9、選択指定箇所を要素除去による、溝や段差の構築例

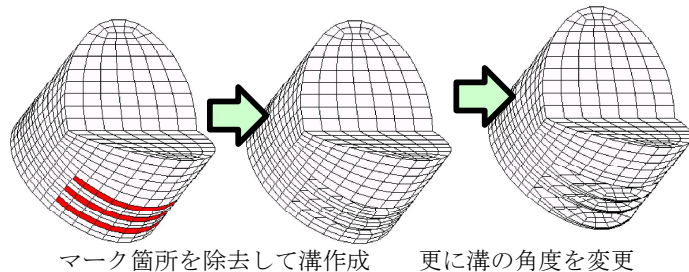


図10、要素削除機能と、節点移動機能により、前ページ図8の円柱に、溝を付けた例

12. スクリプト作成支援のため、確認機能の装備

一つの雛形より、長さ角度等が異なるモデルを構築可能な事を示したが、スクリプトの作成は、メッシュ構築のジオメトリ構築の立案、予期される形状変更に対する適応性の配慮等、独特な技術を要する点が短所である。table7に示す、確認機能を設けて、スクリプトを作成し易くなるよう配慮した。図9,10の左図マーク箇所は、確認機能により、可視化したものである。

table7 節点移動 要素削除 に対し、必要な機能の内容

	命令内容	必要な確認機能
i	節点移動を利用して、節点座標を設定	節点群が適切か、可視確認、又は表形式のリスト表示で確認する機能
ii	円筒座標を指定して、節点群を回転移動	円筒座標が適切か、確認する機能
iii	要素削除を利用して、要素を削除	削除対象の要素群が適切か、確認する機能

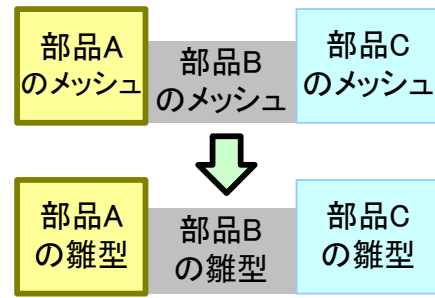


図11、部品構築用メッシュは、雛型にもなる事を示す概要図

13. 雛型活用で、高品質メッシュを無限に作成可能

別々に作成されたメッシュにて、部品境界部のメッシュ構築ルールを、同じにさせると、部品境界部にて、節点座標が一致し、部品同士を接合が可能となる。図5,6の熱交モデルは、フィンとパイプを別々に作成している。そして、スクリプトによりメッシュを構築した場合、部品を構築するメッシュは、同時に雛型にもなる。その概要図を、図11び示す。スクリプトを活用すると、雛型を多数利用する相乗効果を得る事も出来る。そして、効率良い多彩なメッシュ構築が可能である。

14. 離散計算に伴う本質的問題と課題

離散計算は、評価技術であり、モデル化に、形状変化に対する対抗配慮など、計画性や工夫を要するのは、評価術として問題である。創意工夫なしで、皆が使える事が理想。その事情もあり、構造解析においては、六面体より四面体要素の利用が一般的である。四面体要素は、薄肉-多層-積層-貫通構造等、不得意で、又、接触問題も得意でない等の問題がある。

モデリングにおいて、根本解決策が存在しえぬ事を、図1~図4と、式(1)~式(4)で示した。離散計算全域においての課題で、完全な解決策はなく、高品質メッシュ活用は、対処的手段で、根本解決策ではない。本質的問題を抱えている以上、それは仕方ないと考えている。

15. まとめ

スクリプトを活用すれば、雛型を元に、同一メッシュボタンで、長さ角度等、寸法が異なる高品質な解析モデルを効率よく、安定的に、沢山構築する事が可能である。又、メッシュ依存の影響は、最小限に排除され、特に設計において、最適な寸法を計算で求める場合に有利である。また、大規模モデルも、容易に作成可能である。計算能力が高まった今だからこそ、高品質モデルを効率よく多彩に形成かつ大規模モデル構築にも強い、スクリプトによる手法を推進したいと考えている。そしてその改良や、モデル構築術の向上、活用術の向上に、注力したい所存である。

参考文献

- (1) 石井順造: 直接生成法を用いたパラメトリックなメッシュ形成方法と事例紹介 2006 計算工学講演会
- (2) 石井順造: 電卓感覚で利用できる設計者向けCAEの紹介 2010 計算工学会
- (3) 石井順造: 数値入力で行う、電卓感覚のパラメトリックなメッシュ作成方法とその事例紹介 2012 計算工学講演会