

## 1.4 節 ☆ゴムの大変形解析

### 1.4.1 項 ゴムの大変形解析の基本から本質、根本

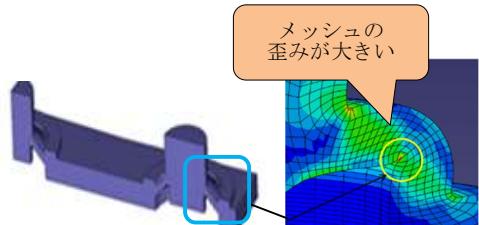
これだけあれば鬼に金棒・・・・

一言では簡単に、変形後にメッシュがおかしな形にならないように、四角メッシュなら、変形後に正方形になるように。“言うは易し、行うは難し”ということで簡単ではありません。最近の解析ソフトの機能では、リメッシュ（変形後にメッシュを変更して整える）機能がありますが、利点と欠点、というよりはまだまだ不完全です（後述します）。

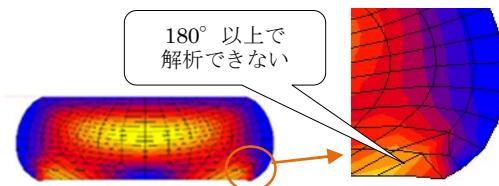
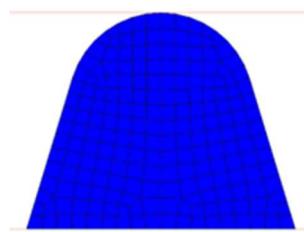
#### ◎大変形解析の難しさとモデリング

ゴムなど大変形するモデルは、図はラバーコンタクトと呼ばれパソコンのキーボードの下に位置するゴム部品で、クリック特性を示します。

変形時にメッシュの歪（ゆがみ）大きくなり、解析がストップしてしまうなど工夫が必要です。

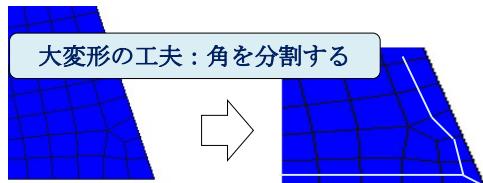


■図 1.8 ラバーコンタクト製品及び変形概要



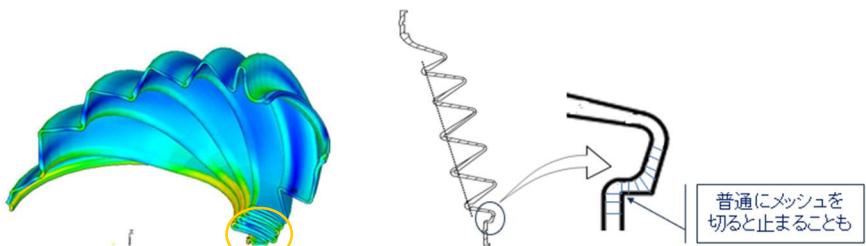
■図 1.9 クッションの変形解析/要素のゆがみ

1つの対応策として、 $90^\circ$  近い角度の部分を2分割すると  $180^\circ$  までは余裕ができます。



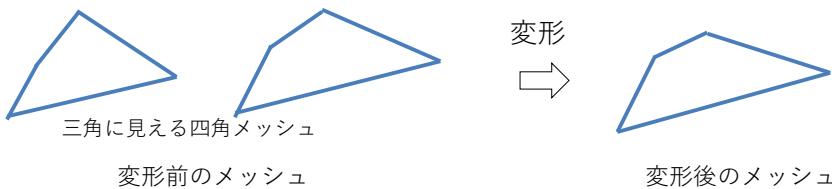
■図 1.10 要素分割の工夫（2分割）

変形を考慮するとブーツの揺動変形でも気を付けるところがあります。



■図 1.11 ブーツの揺動変形解析概要と要素の工夫

大変形解析時のメッシングの基本は、第一に変形後のメッシュを考慮して初期のメッシュを整えること。変形前のモデルは三角形に見えるが、変形後にその鈍角が小さくなり、四角形に見えるメッシュに変化する。



■図 1.12 変形前後のメッシュ形状の状況

変形により角度が大きくなる場所、小さくなる場所があり、それに応じて切ることが必要となるが、それは難しい。でも、1度解析を行ったときにはヒントが得られるものです。そのヒントを利用して移動することがポイントとなり、だんだんノウハウの蓄積ができる、始めから最後まで解析可能なメッシュ形状にすることもできるはずです。

次の図示す2つの形状、悪い4角形メッシュと書かれた方も、鈍角部がだんだん鋭角になるような変形であれば問題ありません。

外筒を絞るなどすると、先端の角度が開くなど工夫が必用になります。

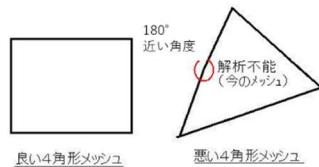


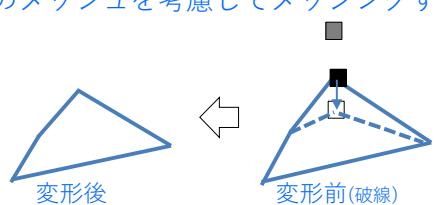
図 1.13 四角メッシュの良否

大変形解析の基本は、フランス H 社中央研究所での研修で学ばせていただきました。当時は、どこかで解析を教えてもらえるところもなく、特にゴムは実測と合わなくて当たり前と言われ、材料定義はユーザーでご検討くださいとのことで、材料の測定から定義の方法まで自力で進まざるを得ませんでした。ただ、この教えてもらえないということが非常に考えることの大切さを学び、結果としてよかったですのではないかと考えます。

たまたま技術提携していたフランスへ、解析を覚えるために1か月程度訪問させていただき、基本から様々な解析のノウハウを教えて頂きました。研修中は私たちに対してだけではなく、同僚同士と話すときも必ず英語で会話し、何を話しているか不明なところは全くないように気づかいを頂いたことも思い出します。

大変形解析は、変形後のメッシュを考慮してモデリングとメッシングを行う必要があるとの基本ですが、“**変形後のメッシュを考慮してメッシングする**”、これは簡単ではありません。

例えば、変形後に三角に見える  
メッシュになっても、変形前の  
どの節点をどこに作成したら良いか



■図 1.14 メッシュ形状の基本

判断に迷う。解析前の節点■を□の位置にずらしておくと解析が途中で止まることも防ぐことができるが、簡単ではないことです。

## ◎変形後の形状を正しくするためのメッシングテクニック

その 1) 結果処理で変形後の形状を表示してその画面で節点を移動して、そ

のまま解析ファイルに書き込むと解析前の節点位置が移動されています。その2) 上記はソフトによってはできない場合があり、節点移動量をテキストレベルで書き換える。テクニックとして、モデルを書き込んだ節点番号を確認して、その節点座標を変更する。

この修正後解析を実施するが、他の部位の変形が悪くなることもあります。

下記は、ABAQUS の例であるが、Node という項目で確認できます。

[ABAQUS 解析モデル情報]

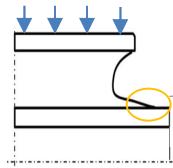
```
*Heading
** Job name: rub94t-cav03 Model name: cav03
** Generated by: Abaqus/CAE Version 6.8-3
*Preprint, echo=NO, model=NO, history=NO, contact=NO
**
** PARTS
*Part, name=base
*End Part
**
*Part, name=rub-cav01
*Node
  1, 3.29999995, 0.613476813
  2, 3.29999995,      0.
  3, 4.30000019,      0.
  4, 3.70000005, 0.799999893
*Element, type=CAX4H
  1, 1, 19, 183, 18
```

2 D モデルでの節点座標

メッシュ形状は基本であるにも関わらず、非常に形状を作成するのに苦労しますが、自動メッシュが主流の現状でコントロールが難しくしています。

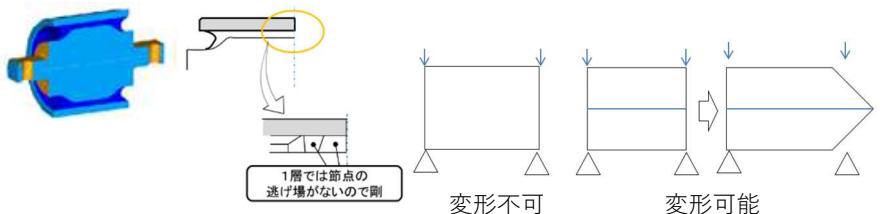


ブッシュの絞り解析



■図 1.15 ブッシュのメッシュ形状の例

また、ブッシュでゴムの厚みが変わる場合、自動メッシュは危険な場合がある。外からは二層以上にメッシングされていると見えても内部が一層の場合もあるので注意が必要です。

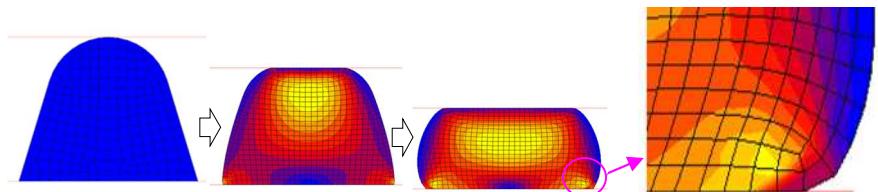


■図 1.16 メッシュの内部形状での失敗しない形状

メッシュは 1 要素の場合、ゴムでも逃げ場がないと変形できないため金属より硬いゴムとなってしまうことがあります。よって、どんな時でも、変形解析のみでなく熱伝導解析においても 2 要素以上は必須条件です。

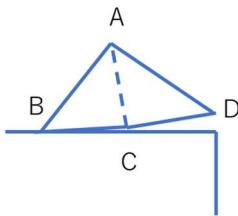
最近（2000 年に入ってから）、自動でメッシュを更新するリメッシュ機能が備わり、要素がゆがんでも自動更新してきれいな四角メッシュに直してくれる機能もあります。

### [リメッシング機能]

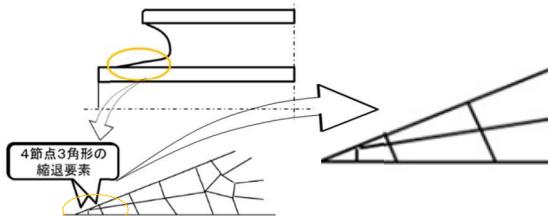


■図 1.17 リゾーン機能を利用したクッションの変形解析概要

また、縮退要素という方法もあり、縮退要素も活用する方法もあります。4 角形でメッシュ定義すると鈍角になり、2 次元であればぎりぎり  $180^\circ$  以下であれば解析できるが 3D モデルになると、 $170^\circ$  超えると解析が継続できない。その際に、若干（20% 程度）剛性の高い縮退要素 1 辺が長さゼロの 4 角要素（3 角に見える）を使うことで角度を気にせずに解析ができる。節点は次ページに示すように必ず 4 節点を有する。



■図 1.18 4各要素の二分割



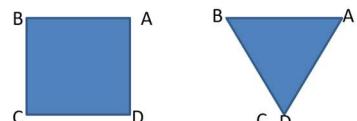
■図 1.19 プッシュ先端形状への縮退要素の適用

要素作成で元の4角メッシュ座標を利用してA-B-C-Dを2つの3角形にするが、縮退要素は第3、4節点同じとして結線情報をB-C-A-A C-D-A-Aの2つとする。接触する位置に長さゼロの辺が来ないように工夫する。最近のバージョンでは、この工夫は無用かもしれない。

### [2次元では]

6面体を5面体(プリズム要素)として定義するが、節点数はダブリを含めてもとの4角形、6面体の数で定義する。

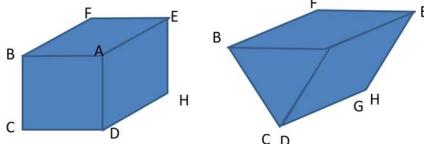
結線、4角形縮退要素は、A-B-C-C



■図 1.20 2D 縮退要素概要

(Cを2回、上記)、6面体の場合はA-B-C-C-E-F-G-Gとする。他の要素と組み合わせるときは必ず縮退化して長さゼロの節点とすることで、自由度も活用できる。Shell要素と組み合わせる場合は長さゼロノーとする。

### [3次元では]

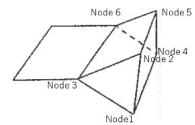


■図 1.21 3D 縮退要素概要

しかし、剛性が1要素で30~50%高くなるため、先端で要素が危い領域に一部のみ使用する。可能であれば次のような工夫をして縮退要素を避けることも考える必要がある。

### 縮退要素の利用

一部縮退要素を使用する。

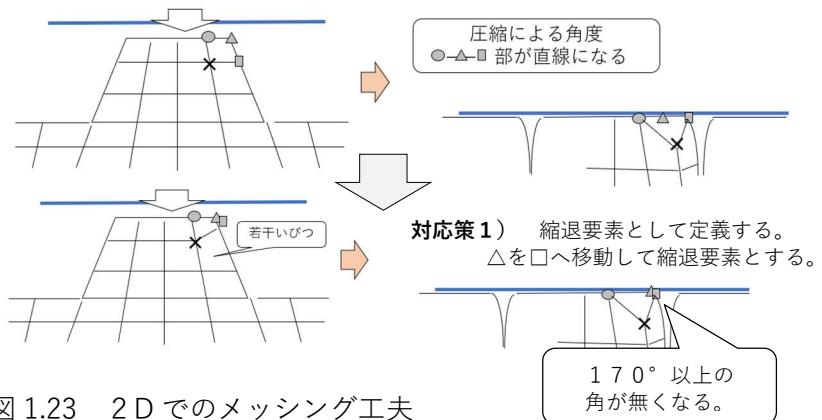


■図 1.22 縮退要素とshell要素結合

## 1.4.2項 そのほか、参考になる切り方（メッシング参考）

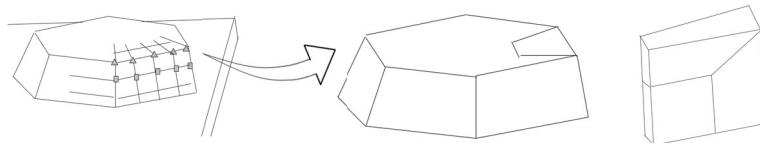
角の角度が開くことへの対策として縮退要素で対応可能ですが、考え方

として180°C以上開きそうな場所では、2つに分けるなどの工夫が必要です。非常にむつかしいテクニックで、最近は自動メッシングで切られることが多いので MARC/MENTAT であれば1節点を移動することができるが、自動メッシュでは後に（前のページで説明した）テキストで変更するか、モデルにパーテーションを入れておく工夫が必要になる。



■図 1.23 2D でのメッシング工夫

3次元でパターン化して手切りでメッシュを作成、対称コピーなど工夫。

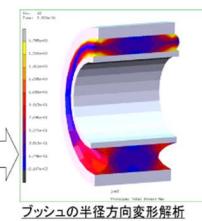
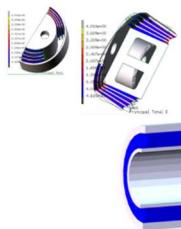


■図 1.24 3D でのメッシングの工夫

### 大変形解析のモデリング基礎/広告兼告知

**基本(大原則): 変形後のメッシュ形状を考えて最初のモデルを作成**

ブッシュの端はこうなり易い



1つの要素の変形として

Node 1 Node 4

Node 2 Node 3

変形

角度が180度近い、3Dは

170度くらいから解析不能

\*2Dは180°位から

