

一般的な非線形汎用 FEM ソフトウェアでは、ユーザーが設定した荷重、変位等の境界条件に対して自動的に計算の刻み幅を決定し、計算を進める。しかしながら、自動的に設定された刻み幅を使用した場合、計算が収束せずに中断されることが頻繁にみられる。特に、解析対象が強い非線形性を示す場合は顕著注意が必要である。この資料では、境界条件の例として荷重を取り上げ、手動による計算刻み幅設定の指針を示す。

荷重は節点荷重、分布荷重など様々なものがあるが、これらの傾向を Fig.1 にまとめ、次ページ以降にて解析での考え方を示す。

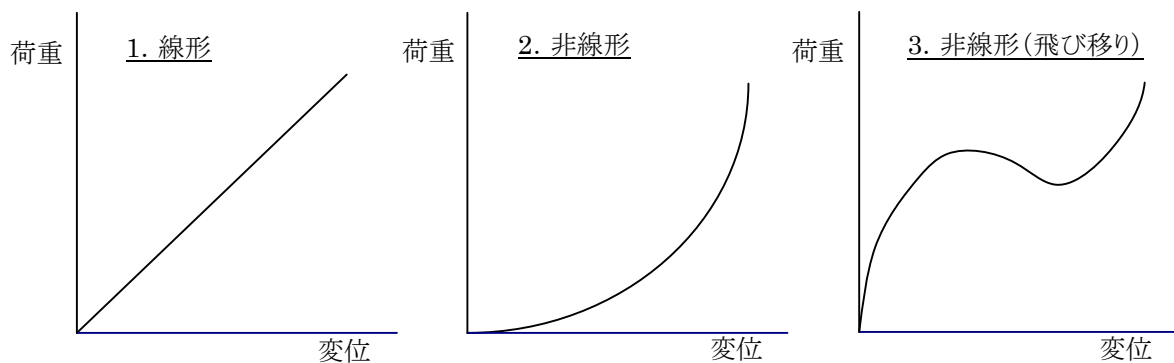


Fig.1 荷重の傾向

1. 線形

一般的に安定した荷重の加え方であるため、このような場合は荷重を等分して与えて問題ない。到達点の荷重を 100 とすると、1x100 ステップもしくは 2x 50 ステップとして与える。ここで 1 と 2 は刻み幅を示す。荷重と変位の関係が線形となる例として、Fig.2 に円筒形ゴムの初期の変形を示す。Fig.2-b に示すように 10%変形まで、ほぼ線形であるため、この考え方を適用することが可能である。

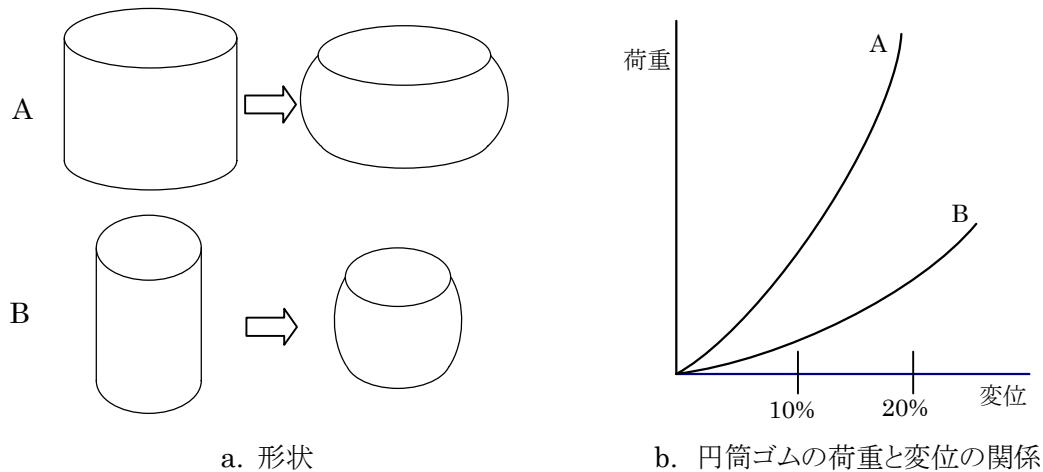


Fig.2 円筒ゴム挙動

他の考え方を、Fig.3 に円筒ゴムを軸対称モデルにて説明する。

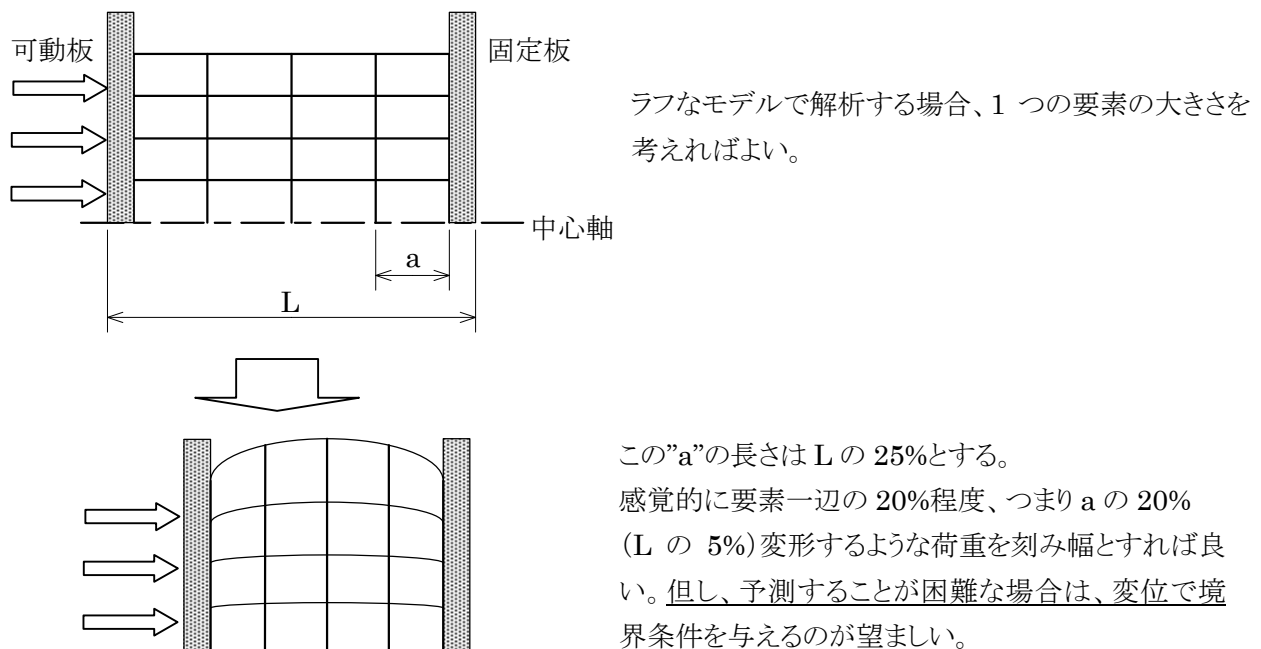


Fig.3 円筒ゴム、軸対称モデル

* 一般的に関係する最も小さいメッシュサイズの 50%を超える変位は収束し難い。

1.1 目的までの荷重を与える場合

目的の荷重を解析対象に与える場合、初心者は境界条件を初めから終わりまで荷重で与えることが考えられる。ここで、目的の荷重に対して変位を解析対象に与える場合は Fig.4 に示すように目的の荷重と変位の刻み幅が合わず、目的の荷重に対する変位が正確に求められない場合がある。MSC 社の Marc の剛体制御は変形を変位のみでしか与えられないため、PointA からリスタート解析を行い、ステップ(変位)を調整して目的の荷重までの解析をトライ&エラーで行わざる得ない時代もあった。しかし、現在では様々なソフトが剛体の荷重制御が可能になり、このような苦勞をする必要がない。

このように、目的の荷重での変形を得ようとする場合、Fig.5 に示す手順が効率的である。

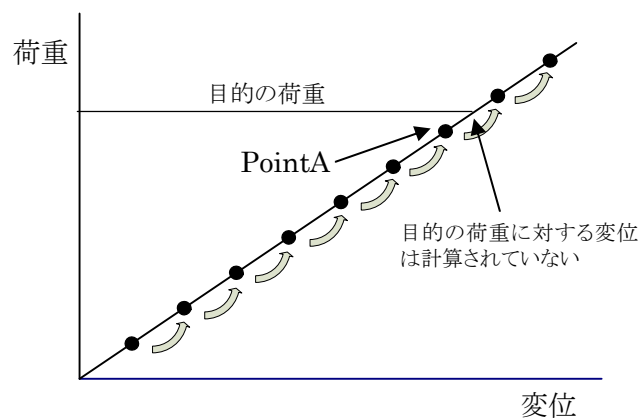


Fig.4 変位のステップと目的荷重

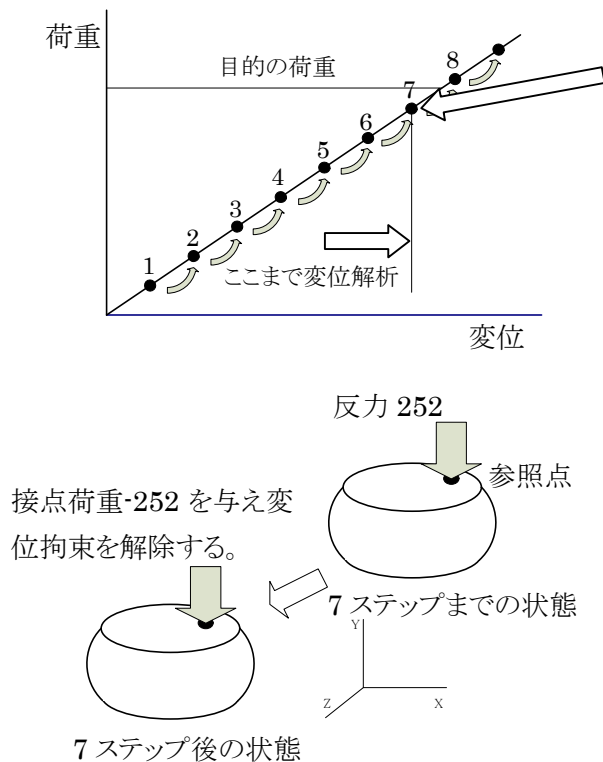


Fig.5 変位・荷重拘束連携

ここで反力を読み、続きを荷重制御とする。
手順)

1. 7 ステップまで変位での解析実施し、リスタートファイル作成する。左図の例では、7 と 8 ステップの間に目的の荷重が存在する。
2. 7 ステップよりリスタートファイルを利用する。このとき、7 ステップの反力を確認し、PointLoad (節点荷重) として、反力を接点に荷重として与える。
3. 同時に変位拘束を解除する。この状態で釣り合いがとれ、バランス良く収束した状態となる。
4. 節点荷重を削除に増分する。

例) Point Load を-252 として、目標を 300 とする。7ステップで安定した解が得られる場合は 2, 3 ステップで目標の荷重としても良い

2. 非線形

Fig.6 に示すように非線形な特性を顕著に示す場合、次のようなトライが効果的である。特に、接触面積が除除に増えるような変形状態で、この特性を示す場合は有効である。

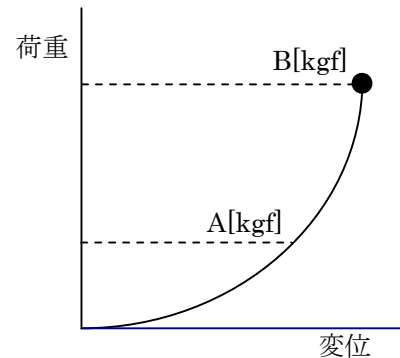


Fig.6 荷重の傾向

・一般的なトライにおけるステップの与え方

(1)まず始めに、目的荷重を B[kgf]とすると、B の 1/1000 の荷重を 1 ステップとする。

(2)1/1000 の荷重を 10 ステップまで与える。

(3)次に(2)の 10 倍の荷重を 9 ステップ与える。

まとめると

$$\text{Total (1/1000 * B * 10 ステップ) + (1/100 * B * 9 ステップ) = 1/10 x B ステップ} \\ \text{(残り 9/10xB ステップ)}$$

(4)最後に(3)の 10 倍の荷重を 9 ステップ与える。(目的の荷重 B となる)

この時(2)(3)(4)は収束が悪いとき、5 倍、2 倍として調整する。

これらの与え方により 1/10000B で与える場合、等間隔では 1000 ステップ必要な解析が 28 ステップで解析可能となる。経験上、9 割以上の例がこの方法で解決可能。

注)(1)のとき 1/1000 で収束性が悪い場合、1/10000,1/100000 とする。1/100000 としても 46 ステップで解析が完了する。

・自動荷重増分機能によるステップの与え方

自動荷重増分機能を使う場合、問題なく最後まで解析が進む場合は良いが途中でストップするような場合は、調整し難いのが欠点である。何ステップまで進み、どの荷重まで OK なのか直ちに判断することが困難である。よって、CAE 解援隊ではこの方法を推奨しない。

(1)解析が途中でストップした場合の対処方法。特に初期にストップする。

一般的にソフトウェアは初期の荷重増分値を 1%から始めるように記述されているが 0.5%、0.1%として計算を行う。

・ステップの与え方の基本的な考え方

要素分割と接触の状況により決定される値である。1 ステップで要素サイズの 50%以上の変形は収束性を悪化させる。

3. 飛び移り

一般的に Fig.7 に示すような荷重の飛び移り現象は変位拘束により解析を行う方が簡単である。ステップの与え方は 2. の非線形の場合と同じである。

注意)

要素が細くなるにつれて荷重(変位)増分は小さな値とする必要がある。

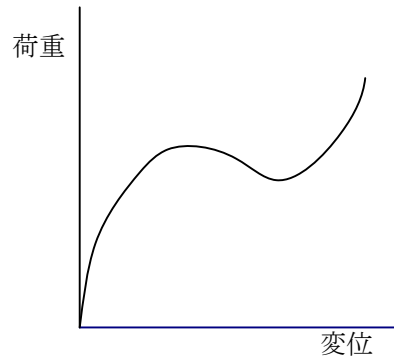


Fig.7 飛び移り現象

