

複合構造の解析に適した簡便な接触解析手法の基礎的検討

宇都宮大学 ○ 学生員 小川 大介
宇都宮大学 正会員 齊木 功
宇都宮大学 正会員 中島 章典

1. はじめに

複合構造の数値解析では、異種材料間の界面のモデル化が問題となる。このような界面での挙動を解析する方法は、有限要素モデルの接触解析¹⁾と、剛体ばねモデル、不連続変形法などの離散モデルを用いる方法に大別される。

前者の方法では、接触解析のためのモデル化や計算が複雑になることから、設計において用いられることは稀である。一方で、後者の方法、例えば、剛体ばねモデルは、界面上に設けられたばねを用いて表面力を取り扱うため、界面に沿った破壊挙動の再現性に優れているが、弾性変形の精度は有限要素法と比較して劣るという欠点がある。そこで、近年では有限要素法と剛体ばねモデルを組み合わせた HPM²⁾のような混合型モデルも提案されている。

HPM のような混合型モデルを用いれば、界面間挙動を捉える解析を行うことができるが、(1) 複合構造の設計において、界面以外は連続体としてモデル化したい、(2) 汎用ソフトを利用したい、などの要望を考えると有限要素モデルである方が都合がよい。そこで、本研究では、有限要素法をベースにした解析方法を用いて、複合構造の接触解析を簡便に行う手法を考案する。

2. 解析方法

本研究の解析対象は、接触解析の中でも複合構造の異種材料間の界面挙動であるため、衝突解析などに必要とされる大きな変位や接触点探索は対象外となる。また、異種材料の界面は最初から接触しているの、接触する節点は自明となり、節点間接触の概念を利用できる。これより、本研究の目的とする解析においては、有限要素モデルに節点間接触の概念を取り入れた最も基本的な接触解析法により、必要十分な解析結果を得ることができると考えた。

これらをふまえ、二重節点の配置などの接触解析のための余分な操作を要さず、通常の有限要素モデルから、全て自動的に接触解析のために必要なモデルを作成するアルゴリズムを含めた、複合構造の解析に特化した接触解析法を提案する。

本研究で用いる解析方法は HPM と結果的に類似するため、HPM と比較して本手法を概説する。HPM は、要素境界面上の表面力を扱うことができるハイク

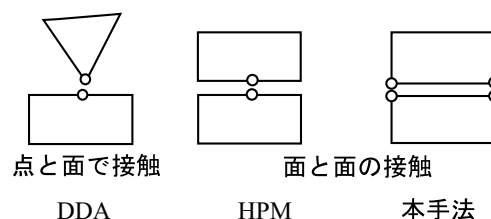


図-1 ペナルティの導入方法

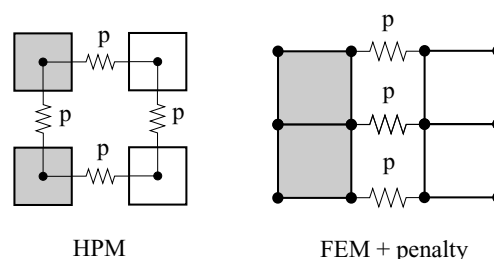


図-2 界面における解析モデルの比較

リット型の変分原理に着目して、Lagrange の未定乗数に剛体ばねモデルの概念を導入し、ばね定数としてペナルティを用いて要素境界面上での変位の連続性を近似的に導入した混合型モデルである。ここで言うペナルティとは、不連続変形法 (DDA) に用いられるペナルティと同様のものを指すが、ペナルティの導入方法は、図-1 で示すように、DDA が点と面の間で与えているのに対し、HPM では面と面で与えている点で少し異なる。本手法も、接触面の取り扱いに、ばねの考え方を取り入れ、ばね定数にペナルティを用いることは HPM と同様であるが、自由度の設け方が異なる。HPM では、剛体ばねモデルをベースとして、要素内のある点に対する剛体変位、剛体回転を自由度とし、加えて、ひずみを自由度としている。一方、本手法では、要素を構成しているそれぞれの節点に対する変位を自由度として扱っている。ただし、三角形定ひずみ要素などの一部の要素では、両手法は本質的に等価な方程式を導く。

HPM は離散モデルである剛体ばねモデルの概念をベースに取り入れているため、全ての要素が初めから個別に切り離されているので、全ての要素間にばねを設けることになるが、本手法においては、有限要素法をベースにしているの、接触面以外の要素は結合している。よって、ばねが設置されている場所は、接触界面の節点間のみということになる (図-2)。

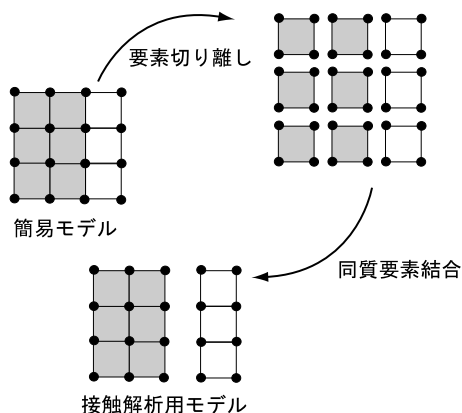


図-3 モデル化プログラムの概要図

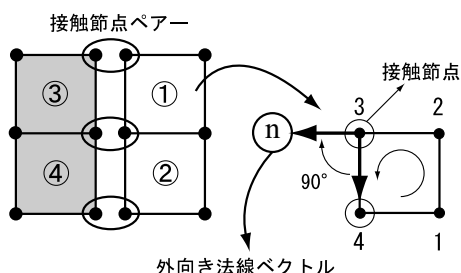


図-4 外向き法線ベクトルの算出方法

3. モデル作成法

(1) 有限要素モデルの前処理

まず、材料の種類に関わらず、一旦全ての要素を個別に切り離す。次に、辺を共有する要素、つまり2節点を共有する要素の組について、それらの要素が同質のものであれば結合させる(図-3)。節点結合後には、どの要素にも属していない節点は消去し、節点番号のリナンバーを行う。

(2) 接触解析のモデル作成

節点間での接触解析を行うために、接触する節点組(以降、接触節点ペアとする)と、接触方向、つまり外向き法線ベクトルが必要である。本手法においては、モデル化処理と同時に、接触節点ペアと外向き法線ベクトルを自動的に計算する。

接触節点ペアについては、有限要素モデルの前処理の後、辺を共有する要素間で重複している節点があれば、それらを接触節点ペアとする。外向き法線ベクトルの算出は、まず、図-4のように要素を構成する節点番号の設置順が反時計回りに設定されていることを利用して、接触面に平行で反時計回りの方向を向いた接線ベクトルを求める。そして、この接線ベクトルに直交するベクトルとして、外向き法線ベクトルを求める。

4. 解析手順

接触解析用モデルを一般的な汎用有限要素解析プログラムもしくはプリプロセッサで作成する場合、接触する要素の設定や、各接触節点ペアと、対応する外向き

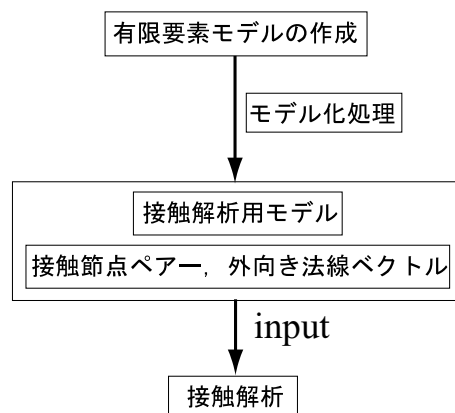


図-5 解析手順

法線ベクトルを手動入力しなければならないなど、モデル作成時の負担が大きい。そこで、本研究では、接触解析の欠点であるモデル化の手間を軽減させるための簡便な接触解析法(2節)とモデルを自動的に作成するモデル化処理方法(3節)を考案した。

前述した方法により、接触解析を行う手順を図-5に示す。まず、接触要素を除いた通常の有限要素モデルをプリプロセッサなどで作成する。次いで、3節で説明したアルゴリズムでモデル化処理を行い、接触節点ペアや外向き法線ベクトルを作成し、接触面が定義された接触解析用のモデルを構築する。構築されたモデル情報と接触節点ペア、外向き法線ベクトルを用いて接触解析を行う。

このような方法で接触解析を行うことで、接触解析の欠点であったモデル化の負荷を軽減し、通常の有限要素解析と全く同じ手間で複合構造の接触解析を行うことができる。

5. おわりに

本研究では、接触解析が設計においても広く用いられることを目的に、ユーザーにとって扱いやすい、最も汎用性のある有限要素モデルをベースとした解析方法を考案した。また、誰にでも簡便に接触解析を行うことができるように、モデル化の負荷を軽減させるためのモデル化処理方法の構築を行った。

本研究では、先述したような解析対象や目的等から節点間接触に限定した場合の解析手法を構築したが、今後は、節点と要素の接触も許容した解析手法を利用することで、接触界面が複雑な形状をしている場合でも、より簡便に接触解析用のモデルを作成できる方法を検討したい。

参考文献

- 1) Wriggers, P.: *Computational contact mechanics*, Wiley, 2002.
- 2) 竹内 則雄, 草深 守人, 武田 洋, 佐藤 一雄, 川井 忠彦: ペナルティを用いたハイブリット型モデルによる離散化極限解析, 構造工学論文集, Vol.46A, pp.261-270, 2000.