

平面骨組の大変形接触解析

佐賀大学大学院 学生会員○筒井琢也

佐賀大学 正会員 帯屋洋之

佐賀大学 正会員 井嶋克志

1. 研究目的

有限個要素によって構成される計算機内でのバーチャルな構造物においては、節点と節点の間には仮定された材料物性と要素の幾何学的性質により規定される剛性関係に基づく、“力の関係”しか存在しない。そのため要素を固体として見た場合の接触問題解析は非常に困難とされている。

本研究では、平面骨組の大変形接触問題における節点と要素の無摩擦接触現象について、接触節点の要素間スライドのアルゴリズムを作成し、数値実験によるシミュレーションを行うことを目的としている。更に、要素力式の違いによる計算不安定領域への影響についての考察も行っている。

2. 三節点無摩擦接触要素について

Fig.1 と Fig.2 はそれぞれ平面骨組における接触要素の要素力と節点力を示しており、この場合接触節点の回転は無視され、接触節点は2自由度となる。要素端力と接触力の組み合わせとしての要素力ベクトル S は

$$S = [N \quad M_i \quad M_j \quad Y]^T \quad (1)$$

のように定義できる。

また、両節点 i, j に作用する基準座標系表示された節点ベクトル D は

$$D = [U_i \quad V_i \quad Z_i \quad U_j \quad V_j \quad Z_j \quad U_c \quad V_c]^T \quad (2)$$

のように定義できる。

接触現象における接線幾何剛性は S と D の平衡条件式を1回微分することで得ることが出来る。

2. 接触節点スライドの処理について

Step.1 接触要素分割…接触節点が要素に接触すると接触要素の分割を行う。Fig.1 は、接触要素の分割後を示している。

Step.2 隣要素分割…接触節点がスライドした方向の隣要素の分割を行う。Fig.2 は接触節点が左方向にスライドした場合を示している。

Step.3 発散後の処理…発散した場合接触要素と隣要素を結合する。

Fig.3 は Fig.2 における要素 A・B の結合後を示している。

Step.4 結合要素の分割…接触節点が結合した接触要素長の1/2の位置までスライドすると、結合前 (Fig.2) の状態に戻る。つまり接触要素を Fig.4 に示すように分割する。

この手法を用いれば、接触節点を接触要素から隣要素へ容易にスライドできる。これは、要素の分割により、接触点近傍の曲率の近似精度が高くなり無摩擦の条件での接触節点の直線的なスライドを制御できるためである。

3. 数値解析 1

Fig.7 に示した通り、要素節点数 19、要素数 18 の片持ち梁の自由端に時計回りのモーメント荷重を段階的に与えて、接触解析を行った。接触節点 (節点番号 20) は固定点とする。

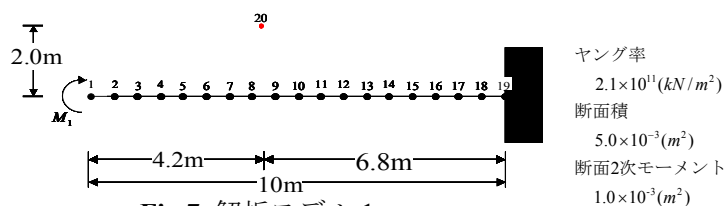


Fig.7 解析モデル 1

キーワード 接線剛性法, 接触, 三節点無摩擦接触要素, 計算不安定領域, 片持ち梁要素
連絡先 〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町1 国立大学法人 佐賀大学

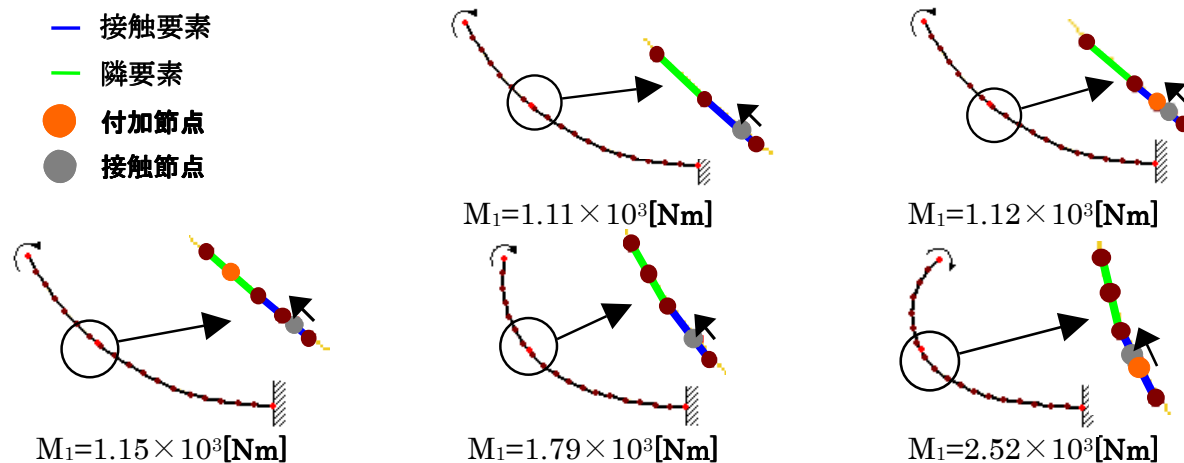


Fig.8 片持ち梁の要素変形

Fig.8 は片持ち梁における接触節点と要素の接触現象を示しており、接触要素の分割、次に隣要素の分割の様子を表わしている。その後、接触節点と要素端節点が近接することによって計算不安定領域に入り、不平衡力が発散したため、接触要素と隣要素を結合している。更に解析を進めていき、Fig.6 に示すように、接触要素の再分割のプロセスが行われている。Fig.8 で示したように、接触節点が接触要素端部を越えるスライドを表現する事ができた。

4. 接触要素の要素力式

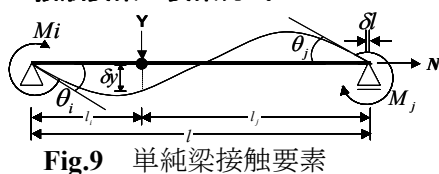


Fig.9 単純梁接触要素

$$\begin{bmatrix} N \\ M_i \\ M_j \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \left(\frac{l_{j0}}{l_0}\right)^2 & -\frac{l_{i0}l_{j0}}{l_0^2} & -\frac{1}{l_{i0}} \\ 0 & -\frac{l_{i0}l_{j0}}{l_0^2} & \left(\frac{l_{i0}}{l_0}\right)^2 & \frac{1}{l_{j0}} \\ 0 & -\frac{1}{l_{i0}} & \frac{1}{l_{j0}} & \left(\frac{l}{l_{i0}l_{j0}}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta l \\ \theta_i \\ \theta_j \\ \delta y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{EA}{l} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{4EI}{l} & \frac{2EI}{l} & 0 \\ 0 & \frac{2EI}{l} & \frac{4EI}{l} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta l \\ \theta_i \\ \theta_j \\ \delta y \end{bmatrix} \quad (3)$$

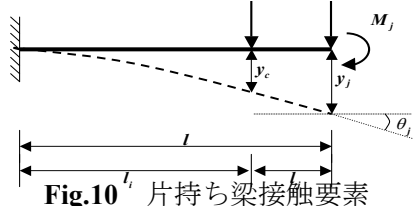


Fig.10 片持ち梁接触要素

$$\begin{bmatrix} N \\ Y_j \\ Y_c \\ M_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & l_i^3(l_i + 4l_j) & -l_i^2(l_i + 3l_j) & -l_i^3l_j(l_i + 2l_j) \\ 0 & -l_i^2(l_i + 3l_j) & l^4 & -l_i^2l_j \\ 0 & -l_i^3l_j(l_i + 2l_j) & -l_i^2l_j & \frac{l_i^3l_j^2(3l_i + 4l_j)}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta l \\ y_j \\ y_c \\ \theta_j \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{EA}{l} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta l \\ y_j \\ y_c \\ \theta_j \end{bmatrix} \quad (4)$$

要素端力と要素変形を単純梁座標系で表すと Fig.9 のようになり要素力式は式(3)のようになる。一方、単純梁座標系で表すとそれぞれ Fig.10、式(4)のように表せる。

5. 数値解析 2

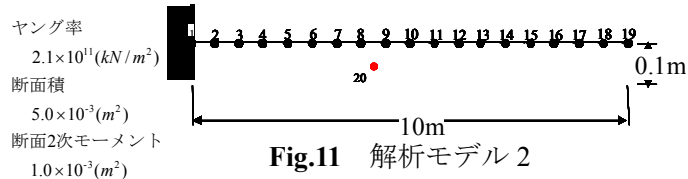


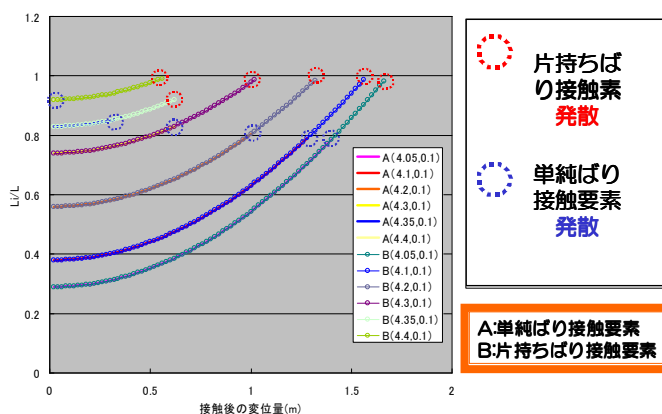
Fig.11 解析モデル 2

Fig.11 に示すモデルにおいて、接触節点に鉛直上向きに強制変位 0.02m を与え接触解析を行うことにより、単純梁接触要素と片持ち梁接触要素の比較を行う。

単純梁接触要素と片持ち梁接触要素が同じ部材数の場合、片持ち梁接触要素のほうの l_i/l が 1 に近づいているため、不安定領域が小さいと言える。

5. 結論

接触節点が接触要素端部付近にスライドすると要素剛性マトリクスが特異となり、不平衡力が発散するが、接触要素分割等の処理を行うことで、接触節点の要素間スライドを表現することが可能となった。しかし、より円滑な解析を行う為には、大変形解析と節点のスライドを個別に解析できるアルゴリズムの開発が必要不可欠である。

Fig.12 l_i/l と接触後の変位量の関係