

接触解析が収束しない [MAPDL]

サイバネットシステム株式会社

つくる情熱を、支える情熱。

CYBERNET

非線形解析は、以下の3つに分けられる。

: 幾何学的非線形(大変形)

: 材料非線形(塑性 等)

: **状態非線形(接触)**

この中でも状態非線形に属する接触解析は、非線形性が強く収束させることが困難なケースが多い。また、収束しない原因が多岐にわたることから、特定することが難しい。

次頁より一般的に接触解析が収束しないケースにおける原因と対応方法を記述する。

まず、接触解析が収束しない場合は、“接触の設定内容”と“エラーメッセージ”の両面から原因を探ることが重要である。

○ 接触の設定内容から原因を調べる。

接触が認識せずに “すり抜け” が生じている。

P.5

接触は、正常に認識しているが解析が途中で発散する。 P.6

○ エラーメッセージから原因を調べる。

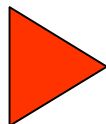
P.13

接触の設定内容から原因を調べる

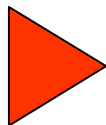
--- "すり抜け" が生じる原因と対策 ---

--- 原因 ---

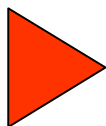
初期の状態でギャップや
食い込みが生じている



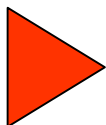
接触が適切に定義
できていない。



サブステップの刻みが粗い



要素分割が粗い



--- 確認・対策方法 ---

1. 初期の接触状態を確認する P.8
2. 初期のギャップおよび食い込みを調整する。P.10

1. 接触の法線方向を確認する P.11
2. 強制変位を定義する
荷重条件として強制変位を定義した際に接触が正常に認識するかを確認する。(強制変位の場合は剛体移動が生じないため)

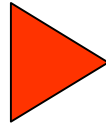
サブステップの刻みを細かくする。

コンタクト面の要素分割を細かくする。
接触の判定点を増やすことですり抜けを防止。

--- 接触は、正常に認識しているが解析が途中で発散 ---

接触解析において、接触は認識しているが解析中に発散するケースでは、まず下記のパラメータを調整することで収束性が改善されるかを確認する方法が考えられる。

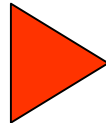
接触剛性(FKN)の値



接触剛性(FKN)の値を下げる

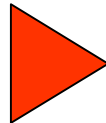
1.0から0.1や0.01 等 詳細は、構造非線形セミナーテキスト>6. 接触>6.4.1 垂直ペナルティ剛性の決定 [リアルコンスタント FKN]を参照

サブステップの設定



サブステップの刻みを細かく

接触剛性の更新



接触剛性の更新オプションを変更

イタレーションごと 等 詳細は、構造非線形セミナーテキスト>6. 接触>6.4.4 接触剛性の更新 [コンタクトKEYOPT(10)]を参照

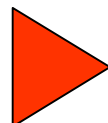
上記内容にて収束性が改善されない場合は、次頁の項目を確認する。

--- 接触は、正常に認識しているが解析が途中で発散 ---

--- 原因 ---

--- 確認・対策方法 ---

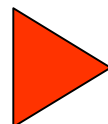
摩擦を定義している



非対称フルニュートンラプソン法に切り替える。

nropt,unsym !非対称フルニュートンラプソン法
詳細は、構造非線形セミナーテキスト>6. 接触>
6.5.3 摩擦を含むモデルのマトリクスを参照

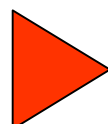
要素形状が崩れている



非線形診断ツールを使用して要素形状をチェックする。

詳細は、構造非線形セミナーテキスト>2. ソリューション>2.2.5 非線形解析の診断ツールを参照

モデルのエッジと面が接触している

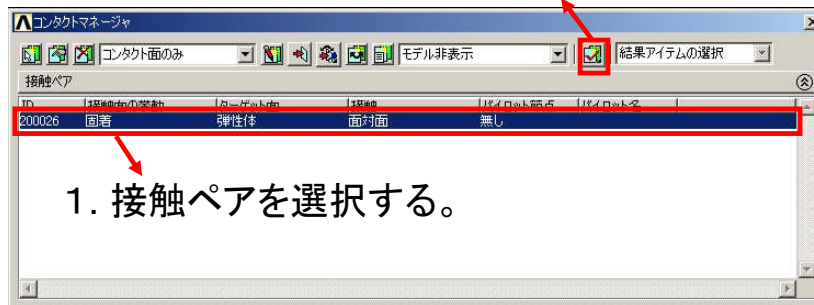


点一面接触を追加する
P.12

○接触の初期状態を確認(CNCHECK)

静的解析における接触では、接触面(コンタクト面とターゲット面)が初期で接している必要がある。初期の状態でギャップや食い込みが生じている場合は接触がすり抜ける(剛体移動)の原因となる。

2. 接触状態のチェック。(リストが出力される)



リスト例：初期でギャップや食い込みがない。

*** NOTE ***

コンタクト要素 xxx とターゲット要素 xxx の間で、
最大の初期食い込み量 0 が検出されました。[contdb51.3370]

1 CONTACT PAIR IS SELECTED
CONTACT PAIR HAVING REAL ID = 1 IS **INITIALLY CLOSED**

リスト例：初期でギャップが生じている。

*** WARNING ***

選択されたすべての接触ペアは、初期状態で開いています。
剛体運動が生じる可能性があります。微小なギャップを閉じるには、
KEYOPT(5) の設定によって CNOF/ICONT を自動調整できます。
[contdb51.4400]

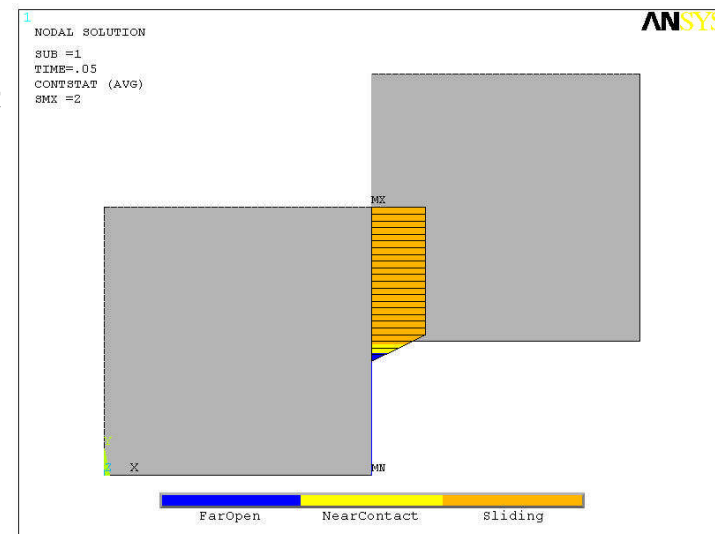
1 CONTACT PAIR IS SELECTED
CONTACT PAIR HAVING REAL ID = 1 IS **INITIALLY OPEN**

○接触の初期状態を確認(CNCHECK)

CNCHECK,POSTを実行することで、解析実行前にであっても初期の接触状態をコンター図で確認することが可能である。これは本格的な解析を行う前に接触状態を確認することができる。

○手順

1. ソリューションプロセッサでcncheck,postを実行。
2. ワーキングディレクトリにjobname.rcnが作成される。
3. 総合ポストプロセッサでjobname.rcn読み込む。(FILEコマンド)
例) file,jobname,rcn
4. 接触関係の結果(接触状態や食い込み)をチェック。
例) plnsol,cont,stat !初期の接触状態をコンター表示



○初期のギャップおよび食い込みを調整する

初期の状態でギャップや食い込みが生じている場合は、“すり抜け(剛体移動)”の原因となる。そのため、一般的に初期ギャップや食い込みを調整する必要がある。

初期のギャップや食い込み量が微小な場合

解析モデルが、見た目ではちょうど接触しているような状態であっても、ギャップ量や食い込み量を確認すると、微小に生じていることがある。これにより剛体移動が生じるケースがある。

○初期のギャップや食い込みを調整する方法

コンタクト要素のKEYOPT(5)により初期の微小なギャップや食い込みを自動的に調整することが可能である。(接触面をオフセットさせる)もしくは、リアルコンスタントCNOFにて自動的にではなく、直接オフセット量を指定する。詳細は、構造非線形セミナーテキスト>6. 接触>6.7 初期接触条件の調整を参照

初期のギャップや食い込み量が微小でない場合

解析モデルが、ギャップや食い込みが微小ではなく、見た目で明らかに確認できる場合は、接触面のオフセットを行うことはあまり推奨されない。その場合は、以下の方法が考えられる。

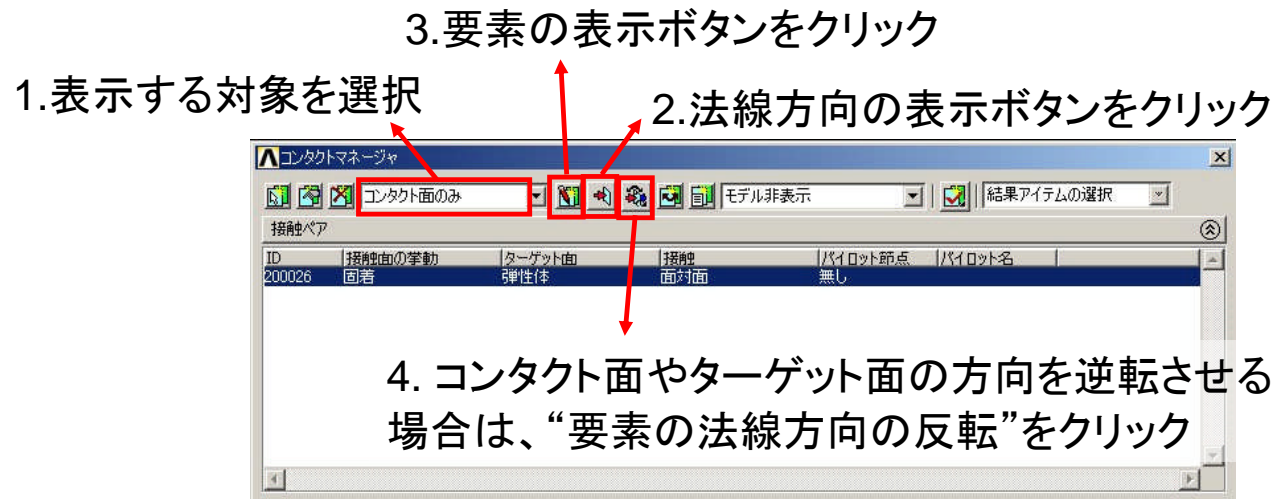
○対応方法

- 1.初期位置でちょうど接するようにモデルを修正する。
- 2.強制変位により、非接触状態から接触状態にする。その後で、変位制御から力制御に変換する。
- 3.弱いバネを張り、剛体移動を防止する。
- 4.食い込みが生じている場合は、KEYOPT(9)により初期食い込みをランプ荷重(徐々に)として含める。

詳細は、構造非線形セミナーテキスト>6. 接触>6.6 剛体移動を参照

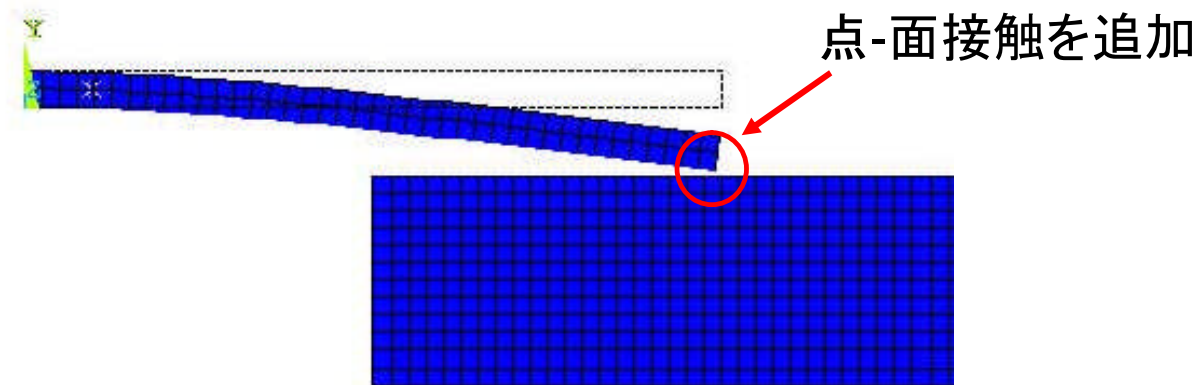
○接触の法線方向を確認

接触解析では、コンタクト面とターゲット面の法線方向(三次元の解析では、接触要素の要素座標系の+Z方向)が、向き合っている必要がある。
そのため、接触要素の法線方向がそれぞれ意図する向きに合っていることを確認する。コンタクトマネージャより、作成した接触要素の法線方向を確認することが可能である。



○モデルのエッジと面が接触している

面－面接触を定義した接触解析において、下図のようにモデルのエッジと面が接する場合は、急激に収束性が悪化する。その際は、面－面接触の定義に加えて点－面接触を定義する。(CONTA175の要素を使用)
これにより収束性の悪化を緩和することができる。



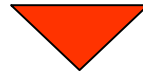
モデルのエッジと面が接触

エラーメッセージから原因を調べる。

*** ERROR ***

節点 xx における UX の値は 9907602137 です。

これは、現行の制限値 1000000 を超えています。一般にこれは、拘束不足のためにモデルに剛体運動が生じていることを示しています。モデルが正しく拘束されているか確認してください。 [dspdiag.5000]



上記のメッセージは、解析において剛体移動が生じた際のメッセージである。そのため、“すり抜け”が生じていることが予測される。

詳細 ⇒ P.4

*** ERROR ***

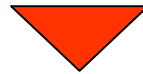
1つまたは複数のモデル部分が、接触要素のみで互いに支えられている場合は、接触面が閉じていることを確認してください。また、滑り方向に（たとえ荷重が作用していなくても）拘束（または摩擦）が存在しているか確認してください。SOLUTION モジュールで CNCHECK コマンドを用いると、初期接触状態をチェックすることができます。[dspdiag.5002]

*** WARNING ***

選択されたすべての接触ペアは、初期状態で開いています。
剛体運動が生じる可能性があります。微小なギャップを閉じるには、KEYOPT(5) の設定によって CNOF/ICONT を自動調整できます。[contdb51.4400]

*** WARNING ***

選択された接触ペアだけが、初期状態で開いています。接触要素でのみ支えられているモデルでは、剛体運動が生じる可能性があります。[check_contact.5080]



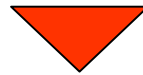
上記のメッセージは、接触面（コンタクト面とターゲット面）が初期状態で開いている（ギャップがある）ことが原因である。剛体移動の原因となるため、初期状態では接触面は閉じていることが推奨される。 詳細 ⇒ P.4

*** WARNING ***

xxの小さな方程式ソルバーピボット項があります。 [bcspvt.3020]

*** WARNING ***

方程式ソルバーは、xx個の微少なピボット項を検出しました。 [eqclos.5080]



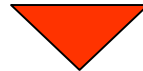
構造解析における剛性マトリクスの対角項の最大値とその他の対角項との比をpivot(ピボット)と呼び、この値が 0 に非常に近い小さい値の時に、本メッセージが出力される。

主な原因は、剛性を大きく失い剛体移動が生じる事が挙げられる。small pivot が原因で収束しない場合は、拘束を見直すと改善する事が多い。また、接触面が滑り不安定な時にも出力されることがある。(接触面の挙動が”標準”や”分離しない”の時) その際は、摩擦を定義することで安定する可能性がある。

なお、本ワーニングが出力されても最後まで計算が進めば、多くの場合は無視できる。ただし、ピボットの数が非常に多い場合は、精度などに悪い影響を及ぼしている恐れもあるため境界条件や物性値の再確認が推奨される。

*** ERROR ***

1つまたは複数の要素が、極端にゆがんできました。要素が過度にゆがんだ場合は、通常、別の場所で是正措置が必要であることの兆候です。荷重をゆっくりと適用してください(サブステップ数を増やすか、時間ステップサイズを減らしてください)。縦横比の良い要素を作るために、メッシュを改善する必要があるかも知れません。また、材料挙動、接触ペア、拘束方程式なども検討してみてください。このメッセージが、第1サブステップの第1イタレーションで表示される場合は、要素の形状チェックを実行するようにしてください。[dstdiag.5002]

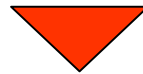


上記メッセージの原因は以下の点が考えられる。

1. メッシュが粗い、もしくは形状が悪いことが考えられる。そのため、メッシュ形状の見直しが推奨される。また、要素分割を細かくする、事前に歪みが大きく進展することを考慮して要素形状を検討する必要がある。
2. 1サブステップあたりの荷重増分が大きいことが原因として考えられる。サブステップの刻みを細かくして、1サブステップあたりの荷重増分を少なくする。
3. 入力した材料物性値に誤りがないことを再度確認する。

*** WARNING ***

検出されたギャップはピンボール領域より大きいです。
モデルを注意して検証してください。 [contdb51.3383]

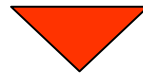


上記のメッセージは、初期でピンボール領域よりギャップが大きいことを意味しており、剛体移動が生じる可能性を促している。また、初期状態では接触面は閉じていることが推奨される。

詳細 ⇒ P.4

*** WARNING ***

コンタクト要素 xxxx (リアルコンスタント ID x) の状態が、ターゲット要素 xxxx との間で非接触から接触へ突然変化しました。 [con_law3.3030]



上記のメッセージは、接触状態の急激な変化を示す。「非接触から接触」または「接触から非接触」の変化を起こす場合、モデルの剛性が大幅に変化するため、収束性の悪化が起き易い状態になる。

そのため、該当の接触要素の場所を確認して、接触状態が不安定にならない境界条件であること。また、サブステップの刻みを細かくすることで、急激な変化を緩和することが推奨される。

それでも、原因が特定できない場合は、...

： ニュートンラプソン残差をチェック。

非線形診断ツールを使用することによりニュートンラプソン残差のコンター図を確認できる。
これにより残差の大きいポイント(収束の妨げになっているポイント)を確認する。

例) 接触面で残差が大きい。

＞FKN値を下げてみる。コンタクト面の要素分割を密にする等。

例) 特定の要素において残差が大きい。

＞変形により要素形状が悪くなり、収束性に影響を及ぼしている。

要素分割を再検討。(変形することを見越して、変形した際に正方形に
要素形状が近づくように予め分割をしておく。)

非線形診断ツールの詳細は、構造非線形セミナーテキスト＞2. ソリューション
＞2.2.5 非線形解析の診断ツールを参照

： 発散する直前のステップの結果をチェック。

発散する直前のサブステップの変形形状や応力コンターを確認する。

例) 剛体移動が生じやすい不安定な状態になっていないか。

例) 要素形状が崩れていないか。

： 接触以外の非線形性を極力とり除いてチェック。

塑性等の非線形を含んでいる場合は、収束しない原因が材料の物性値にあるのか、接触の設定にあるのかが特定しづらくなる。そのため、一時的に接触以外で収束性を悪化させると考えられる要因を減らしてチェックをすることで原因を特定する。

例) 非線形材料から線形材料に変更する。

例) 定義している荷重量を減らして、収束する傾向があるのかを確認する。

例) 一部の接触ペアの接触面の挙動KEYOPT(12)を固着に変更する。