

円形リングのたたみ込み実験と考察

佐賀大学大学院 学生会員 山田 伸之
佐賀大学 正会員 井嶋 克志
佐賀大学 正会員 帯屋 洋之
佐賀大学 正会員 川崎 徳明

リングのたたみ込み現象は、部材のねじれ変形が曲げ変形に移行する現象であり、有限回転を伴う幾何学的非線形を呈する。そのため、厳密な回転変形を得るためには、要素端の回転変形ベクトルも厳密な有限回転演算から計算しなければならない。要素端における回転変形ベクトルを求めるためには、要素両端を結ぶ弦方向を第1軸とする要素座標系を定める必要がある。しかし3次元空間内での要素座標系の定位は一意ではなく、その設定方法が解析の性能を左右するものと考えられる。本研究では、要素座標系の探索に2つの方法を挙げ、初期曲げモーメントが導入された円弧部材のたたみ込みについて行った実験を解析することより、要素座標系探索方法が解析結果に与える影響について述べる。

要素座標系の探索方法

要素端の変形に追従して回転する座標系を要素端座標系とする。要素端の回転変形ベクトルは要素端座標系が1回の回転によって要素座標系に一致する軸性ベクトルである。この1回の回転を表すベクトルを陽に求めるのは難しいので、要素座標系から要素座標系に一致する複数回の回転を合成した軸性ベクトルを求める。この要素端座標系から要素座標系に一致させる回転は次のようになる。

まず、要素端座標系第1軸を要素両端の弦方向に一致させる平面回転を行う（第1回転）。この第1回転の後、両端の第2軸を一致させる弦回りの回転（第2回転）を与え、これを要素座標系とする。この第2回転として、ひとつは第1回転後の両端第2軸間の開角の半分を両端に与える方法（方法1）、もう1つは最終的に合成された回転変形ベクトルの弦方向成分が両端で等しくなる回転を与える方法（方法2）が考えられる。表1はこの第2回転における2つの方法が要素座標系に与える影響の差異を示している。

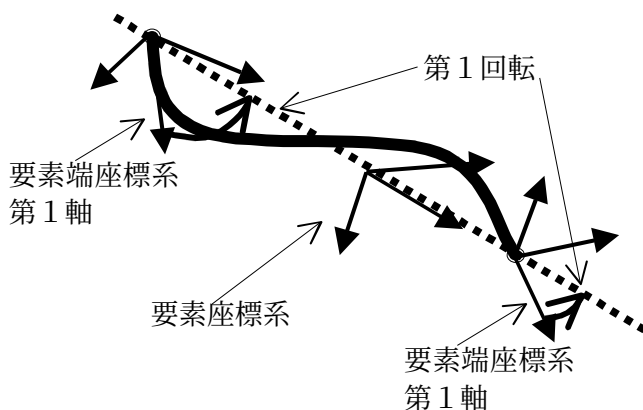


図1 要素座標系と要素端座標系の第1回転

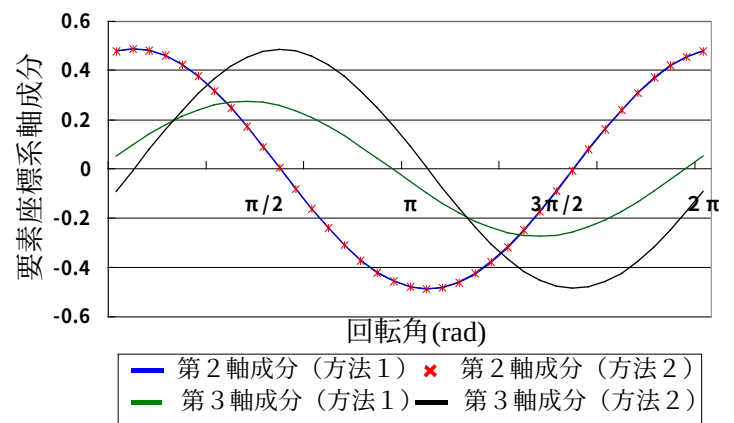
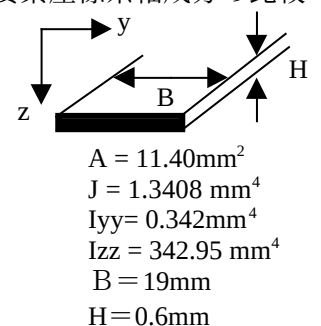


表1 探索方法による要素座標系軸成分の比較

円弧部材のたたみ込み実験

部材断面の接線軸回りに回転させて畳み込む（接線モデル）場合と、円弧の法線軸回りに畳み込んでいく（法線モデル）場合の2つの実験を行った。

接線モデル 図2に示す部材長850.00mm 鋼の薄板を写真1のように直径270.56mmのリング状に、A端は固定、B端はU軸回りのみ回転可能のように取り付け、B端をU軸回りに回転角0.17radごとに部材どうしの接触が発生するまで回転させる。



$A = 11.40\text{mm}^2$
 $J = 1.3408\text{mm}^4$
 $I_{yy} = 0.342\text{mm}^4$
 $I_{zz} = 342.95\text{mm}^4$
 $B = 19\text{mm}$
 $H = 0.6\text{mm}$

図2 部材断面

法線モデル 法線モデルと同様の断面の部材を使い、部材長 1500mm 鋼の薄板を写真 2 のように直径 954.92mm の半リング状に、C 端は回転軸 U 軸回りのみに回転し D 端を並進変位後固定端として取り付け、C 端を回転角 0.17rad ごとに部材どうしの接触が発生するまで回転させる。

リングのたたみ込み現象の数値解析及び実験結果

ここで、要素座標系の探索方法として方法 1 を用いた数値解析結果と実験結果をあわせて示す。解析モデルは両モデル共に全体を 18 分割し、実験と同じ载荷条件で解析を行った。表 1 は接線モデル、表 2 は法線モデルの回転角 (rad) とトルク (Nm) の関係を示したものである。法線モデルは実験値と解析値が一致しているといえる。一方、接線モデルは実験値では写真に見られるようにスムーズに変形し、たたみ込みが行われているが、解析においては 3 (rad) から 5 (rad) 付近で分岐と思われる経路へ移行している。

考察

接線モデルでの分岐間はちょうどトルクのピーク前後に現れている。この実験はねじりの変形が曲げへの変形に移行する現象であり、トルクのピーク付近は全体的にねじられた状態にある。このことから、急激にねじれ変形が進行するような場合には、方法 1 による要素座標系の設定では対応できないため、要素両端の変形が均等に評価できる方法 2 を用いた方が安定した解析が行えると期待できる。方法 2 による計算結果は講演時に発表する予定である。

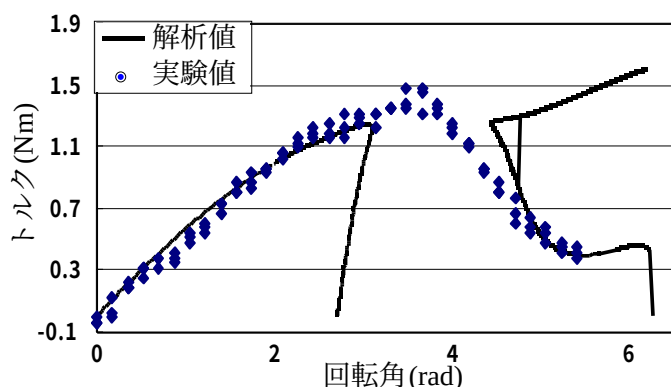


表 2 接線モデルの解析値と実験値

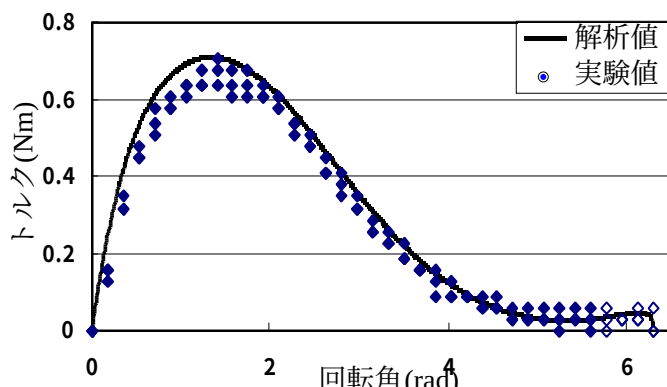


表 3 法線モデルの解析値と実験値

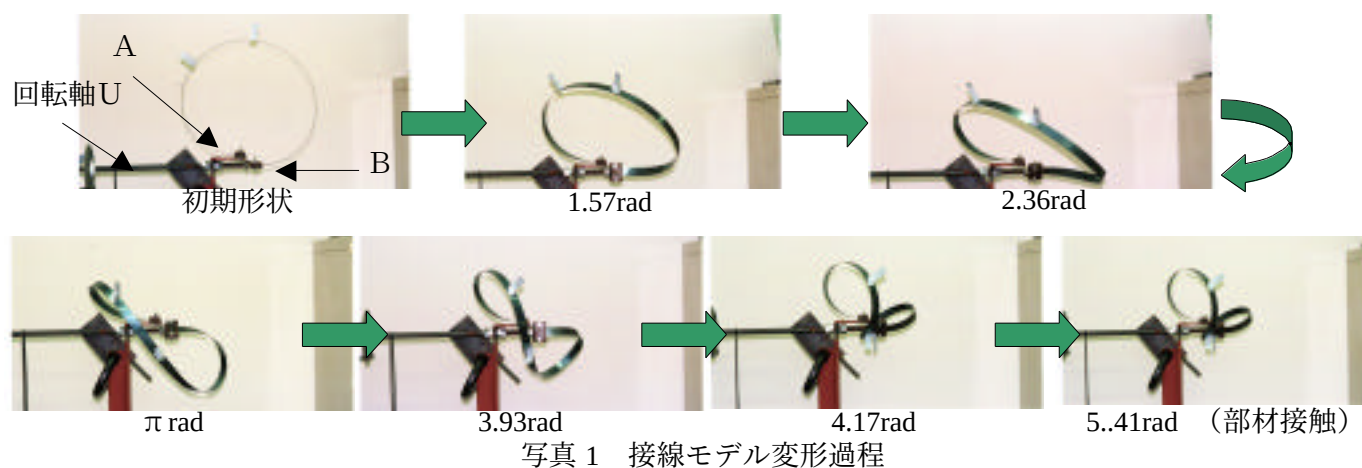


写真 1 接線モデル変形過程

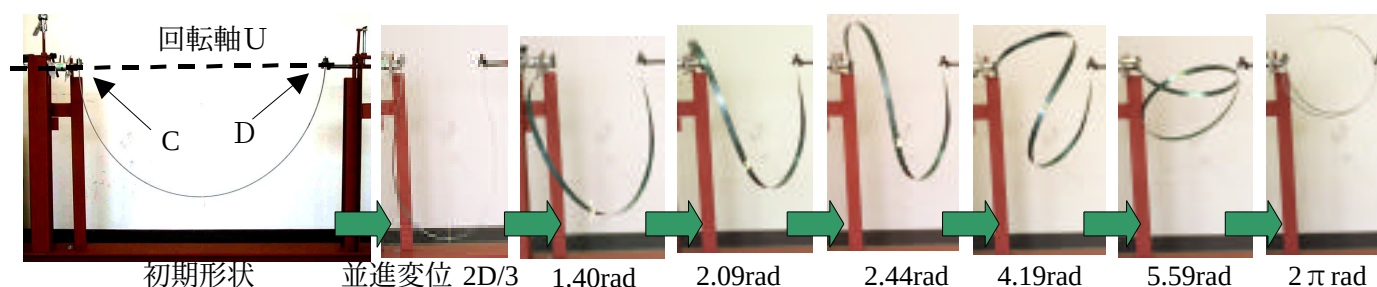


写真 2 法線モデル変形過程