

報告番号

※ 甲第 1413 号

主論文の要旨

題名 円筒殻の連続塑性座屈変形の
解析に関する研究

氏名 滝 佳弘

報告番号	※甲第	号	氏名	滝 佳弘
<p>性大变形問題の有要素法で増分的に解析する とき、要素内の平衡条件を重視した応力仮定 のHybrid法が有利といわれ、そのための前者 素には平衡形と擬平衡形の2種類がある。前者 は要素内の応力を考慮して、真の増分応力を 数に与り、さらに平衡条件を満たすようにした ものである。一方、後者は増分ひずみが弾性 的に生じていると仮定し、対応する仮増分 カを真の増分応力と矛盾量とをラグランジュ乗 数法で補うようにしたものであり、擬平衡 形要素の原理を示している。そして従来、平衡形 要素は困難とされていたが、円筒殻(半径$R=20\text{mm}$, 軸長$L=80\text{mm}$, 厚み$T=1\text{mm}$, 2024-T4アルミ合金)の数値計算例から、連続塑性座 屈の初期座屈は弾性座屈臨界値($P_{cr} = 2\pi ET^2/\sqrt{3(1-\nu^2)}$, Eはヤング率, νはポアソン比)に比べ、単純 支持条件でその16.5%、固定支持条件で18.2%とい う極めて低い値で起ることと、座屈によって生 ずるバルジ変形は円筒殻の支持端の近くに形成 されることとが確認された。そして殻内に生ずる 応力の分布と塑性域の変遷の様子が詳細に説明 されている。ただし、支持条件一定のもとでは</p>				

報告番号	※甲第	号	氏名	滝 佳弘
<p>ちようちん状に潰れる連続塑性座屈現象は解析 できないことが判明したので、初期座屈以後に 生ずる支持端での摩擦接触の滑り変化を考 ルジが潰れていく過程での接触条件の変化を考 慮した定式化の必要性を指摘している。</p> <p>オ3章では、境界での接触条件の変化が座屈 後の変形に与える影響を調べるため、増分形表 示の仮想仕事の式へラグランジュ乗数を介して 接触面上での適合式と平衡式を拘束条件として 導入するRelaxation法を用いた定式化を示し、通常 の有限要素法で離散化する方法について述べた いる。接触の可能性を持つ節点に隣接する各々の 接触状態(非接触、固着ならびに摩擦接触)を分類 し、その変化をとらえるためのアルゴリズムを 考案し、系の剛性方程式にその対称性をくずさ ないよう摩擦接触の条件を導入して簡単な反 復計算で解が求まる方法を提案している。もし てこの方法を使用すれば、塑性大変形を伴う2 次元接触問題で、接触面の状態が変形の途中で 変化し、その位置も移動するような場合も合理 的に扱えることを数値計算例を用いて明らかに している。両端を鋼製のブロックで押される円 筒殻(半径$R=30\text{mm}$, 軸長$L=100\text{mm}$, 厚さ$T=1.5\text{mm}$, 2024-T4アル ミ合金)についての計算例から、初期座屈直後の 変形に関して、摩擦係数$\mu=0.3, 0.4, 0.5$のときは殻 端が中心に向かって滑り込むが、$\mu=1.0$のときは</p>				

主論文の要旨

5

報告番号	※甲第	号	氏名	滝 佳弘
<p>逆にわずかに外側へ滑ることと、円筒殻のもつ剛性が初期座屈で一度失われたあと、バルジ変形の進行に伴う接触位置とその動きの影響で、再び剛性を回復し、また喪失する現象が初めて再現されたことを述べている。</p>				
<p>オ4章では、動的な荷重を受けて塑性座屈する円筒殻の過渡応答を解析するため、前述の擬平衡形要素を用いた増分形表示の運動方程式を誘導している。運動方程式を直接数値積分する方法のうち簡単なことで知られている Newmark の方法を座屈に伴う非線形問題に適用する場合について検討した結果、系の持つ解のうちの振動的な成分に対しては時間増分の大きさの如何にかかわらず無条件に安定であるが、指数的成分に対しては条件付きで安定なことが示されている。しかし、この時間増分に対する安定条件は厳しいものではないので非線形問題に対しては Newmark の方法は有効であると結論している。</p> <p>オ2章で議論したのと同じ円筒殻についての数値計算例から、ステップ状の軸荷重が印加される場合には、静的な場合より P_{max} はいく分低下することと、塑性座屈によって形成されるバルジの位置が荷重 (P_0) の大きさによって、$P_0/P_{cr} = 0.15 \sim 0.165$ では支持端、$P_0/P_{cr} = 0.165 \sim 0.18$ では両端、そして、$P_0/P_{cr} > 0.18$ では荷重端と変化し、P_0/P_{cr} に関して3種類に分けられることが明らかにされている。一方</p>				

主論文の要旨

6

報告番号	※甲第	号	氏名	滝 佳弘
<p>ステップ状の変形速度が印加される場合には、変形速度 ($\dot{w}_0 = 5 \sim 40 \text{ m/sec}$) の如何に関係なく、いつも荷重端にバルジが形成されることが述べられている。</p>				
<p>オ5章は総括であり、オ2章からオ4章までの結論をまとめた本研究の成果について記述してある。</p>				
<p>本論文の附録には、数値計算例に用いた擬平衡形軸対称殻要素の撓み性、剛性ならびに質量行列等の詳細な誘導手順が述べられている。</p>				
<p>本研究で提案した擬平衡形要素を用いる弾塑性問題の解法、接触条件を拘束条件として仮想仕事の式へ導入した接触問題の解法は、一般性をもったものなので、円筒殻に限らず他の構造に対しても有効である。本研究によって、円筒殻が塑性大変形するときの挙動が詳細にわたって明らかにされた。</p>				