

このように再分割機能を付加することは一般的に非常に効果がありますが、要素分割依存性を完全に打消すことはできません。このため、要素再分割の発生状態を考慮して最初の要素分割を逐次改善し、本法をくり返し適用する方法が、厳密解に到達する方法として、試行回数

および計算時間の点から最も適していると考えられます。

(2) ご指摘のように、薄板構造物の最終強度解析には大たわみおよび膜力の影響を考慮する必要があります。本法はそのような場合にも容易に拡張できますので、現在、大たわみ問題の解析を計画しています。

鍾型基底関数による逐次微係数の近似とその数値解析への応用

松 岡 一 祥

【討】 山本 善之 君 本論文の考え方の必然性について、私は残念ながら理解できません。線形問題については、通常の有限要素法とあまり異なるところがないと思いますが、非線形のときかなり問題がありそうです。非線形問題の解法に本方法を応用する手続きを具体的に教えて下さい。

【回】 松岡 一祥 君 非線形問題の取り扱いを具体的に示せという質問かと思います。

本方法による梁の曲げ振り問題のプログラムを作成して使用しております。このプログラムには幾何学的非線形および材料非線形が考慮されておりますので、そこで用いられる剛性行列の一部の作成法を順を追って示す事で答とさせていただきます。

説明を簡単にするため、剪断歪と座標変換とは省かせていただきます。

部材内座標および変位を x, y, z (軸方向) および u, v, w, θ (捩れ角) とします。直歪増分 $\dot{\epsilon}(x, y, z)$ は、

$$\dot{\epsilon}(x, y, z) = \frac{d\dot{w}}{dz} - x \frac{d^2\dot{u}}{dz^2} - y \frac{d^2\dot{v}}{dz^2} + w(x, y, z) \frac{d^2\dot{\theta}}{dz^2} + \frac{d}{dz} u \frac{d}{dz} \dot{u} + \frac{d}{dz} v \frac{d}{dz} \dot{v}, \left(+ \frac{d}{dz} w \frac{d}{dz} \dot{w} \right)$$

と表わされます。 $\dot{u}(z)$ を例にとり近似関数の表現を、

$$\dot{u}(z) \approx \sum_i \dot{U}_i \phi_i(z) = [\phi] \{\dot{U}\}$$

$$\frac{d}{dz} \dot{u}(z) \approx \sum_i \dot{U}_i \frac{d}{dz} \phi_i(z) = \sum_{ij} N_{ij}^{\frac{d}{dz}} U_j \phi_i = [\phi] [N^{\frac{d}{dz}}] \{\dot{U}\}$$

$$\frac{d^2}{dz^2} \dot{u}(z) \approx \sum_i \dot{U}_i \frac{d^2}{dz^2} \phi_i(z) = \sum_{ij} N_{ij}^{\frac{d^2}{dz^2}} U_j \phi_i = [\phi] [N^{\frac{d^2}{dz^2}}] \{\dot{U}\}$$

のようにします。ここで $[N^{\frac{d}{dz}}]$ および $[N^{\frac{d^2}{dz^2}}]$ は、本文中 (3.13), (3.14) 式により求められる、原関数と微係数との係数列の関係を示す行列です。 $\dot{v}, \dot{w}, \dot{\theta}$ にも同様な近似関数を与えて、歪増分の式に代入しますと、

$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}(x, y, z) &= [\phi] [N^{\frac{d}{dz}}] \{\dot{W}\} - x [\phi] [N^{\frac{d^2}{dz^2}}] \{\dot{U}\} \\ &\quad - y [\phi] [N^{\frac{d^2}{dz^2}}] \{\dot{V}\} \\ &\quad + w(x, y, z) [\phi] [N^{\frac{d^2}{dz^2}}] \{\dot{\theta}\} \\ &\quad + [\phi] [N^{\frac{d}{dz}}] \{U\} [\phi] [N^{\frac{d}{dz}}] \{\dot{U}\} \end{aligned}$$

$$+ [\phi] [N^{\frac{d}{dz}}] \{V\} [\phi] [N^{\frac{d}{dz}}] \{\dot{V}\} \\ + [\phi] [N^{\frac{d}{dz}}] \{W\} [\phi] [N^{\frac{d}{dz}}] \{\dot{W}\})$$

が得られます。 $\{\dot{V}\}, \{\dot{\theta}\}$ などは $\dot{v}, \dot{\theta}$ などの近似関数の係数列を示すベクトルです。直歪増分から

$$\int_V \frac{1}{2} E^*(x, y, z) (\dot{\epsilon})^2 dx dy dz \\ = \frac{1}{2} \begin{Bmatrix} \dot{U} \\ \dot{V} \\ \dot{W} \\ \dot{\theta} \end{Bmatrix}^T \begin{bmatrix} S_{uu} & S_{uv} & S_{uw} & S_{u\theta} \\ & S_{vv} & S_{vw} & S_{v\theta} \\ & & S_{ww} & S_{w\theta} \\ & & & S_{\theta\theta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{U} \\ \dot{V} \\ \dot{W} \\ \dot{\theta} \end{Bmatrix}$$

より導かれる剛性行列の一部 $[S_{uu}]$ を求めてみます。

$$\begin{aligned} &\{\dot{U}\}^T [S_{uu}] \{\dot{U}\} \\ &= \int_V E^*(x, y, z) \{\dot{U}\}^T \{-[N^{\frac{d^2}{dz^2}}]^T [\phi]^T x \\ &\quad + [N^{\frac{d}{dz}}]^T [\phi]^T ([\phi] [N^{\frac{d}{dz}}] \{U\})\} \\ &\quad \times \{-x [\phi] [N^{\frac{d^2}{dz^2}}] \\ &\quad + ([\phi] [N^{\frac{d}{dz}}] \{U\}) [\phi] [N^{\frac{d}{dz}}] \} \dot{U} dx dy dz \end{aligned}$$

ここで $E^*(x, y, z)$ は、弾性ならヤング率ですが、材料非線形を考慮して場所の関数として表わします。この表現で、 $E^*(x, y, z)$, $[\phi] [N^{\frac{d}{dz}}] \{U\}$ が、要素内では z によって変化しないとすれば、一般の方法と異なりません。

$E^*(x, y, z)$ も本方法により近似すると、

$$E^*(x, y, z) \approx \sum_i E^*(x, y, z_i) \phi_i(z)$$

となります。 i 番目の節点 ($z=z_i$) に対応する断面を S_i として、

$$I_i = \int_{S_i} E^*(x, y, z_i) x^2 dx dy$$

$$J_i = \int_{S_i} E^*(x, y, z_i) x dx dy$$

$$A_i = \int_{S_i} E^*(x, y, z_i) dx dy$$

としますと、

$$\int_{S_i} E^*(x, y, z) x^2 dx dy \approx \sum_i I_i \phi_i(z) = [\phi] \{I\}$$

$$\int_{S_i} E^*(x, y, z) x dx dy \approx \sum_i J_i \phi_i(z) = [\phi] \{J\}$$

$$\int_{S_i} E^*(x, y, z) dx dy \approx \sum_i A_i \phi_i(z) = [\phi] \{A\}$$

とすることによって、

$$\begin{aligned} [S_{uu}] = & \int_{z_1}^{z_N} \{ [N^{dz^2}]^T [\phi]^T ([\phi] \{I\}) [\phi] [N^{dz^2}] \\ & - [N^{dz^2}]^T [\phi]^T ([\phi] \{J\}) ([\phi] [N^{dz}] \{U\}) [\phi] [N^{dz}] \\ & - [N^{dz}]^T [\phi]^T ([\phi] \{J\}) ([\phi] [N^{dz}] \{U\}) [\phi] [N^{dz^2}] \\ & + [N^{dz}]^T [\phi]^T ([\phi] \{J\}) ([\phi] [N^{dz}] \{U\})^2 [\phi] [N^{dz}] \} dz \end{aligned}$$

補強材の最小剛比について (第3報)

上 田 幸 雄 外

【討】 前田 幸雄 君 (1) $r_{\min}^B$ はこれ以上の r の補強材を入れておくと1次座屈が生じないことを意味しております。これと同じく $r_{\min}^U$ はこれ以上の r を入れておくと著者らの定義した LO 形式の崩壊を生じないことを保証している、又は P_L 相当の強度までは保証している、ということの意味していると解釈すべきであります。もし著者らのいう LL 形式崩壊の最終強度の上限値を保証するための r の意味からは $r_{\max}^U$ を与えて、これ以下の r であってはならないとすべきだと思いますが。設計者が欲しいのは LO 形式崩壊の最終強度計算式とそれを保証する $r_{\min}$ および LL 形式崩壊の最終強度計算式とそれ以下であってはならない $r_{\max}$ の2つだと思いますが。

(2) 仮に著者らの定義を認めるとして、実用上の $r_{\min}^U$ として式 (17) と (21) の交点として求められる r の約 2.5 倍の値を提案し、又最終強度上限値を式 (21) の与える値の10%低めで考える提案は極めてあいまいなきめ方だと思いますが。

(3) 座屈はつり合いの分岐と定義されます。例えば 3.1.1 の Fig. 3 の例では初期タワミが与えられていますので、変形のみが進行してつり合いの分岐が現れない筈です。従いまして 179 頁の説明中の局部座屈、全体座屈はどのように理解したらよろしいのでしょうか。

【回】 矢尾 哲也 君 (1), (2) 著者らはこれまでに両面对称補強板について研究を行い、次の事項を明らかにしました。(1)補強板の最終強度の上限値が LL 崩壊で与えられる。(2)この上限値を保証するのに必要な補強材の最小剛比を $r_{\min}^U$ で定義できる。(3)強度論的

が得られます。

この積分を要素ごとに行って全自由度中に重ね合わせるわけです。たとえば i 番目の要素 ($z_i < z < z_{i+1}$) では $[\phi]$ は ϕ_i と ϕ_{i+1} のみ考慮すればよく、積分計算はそれほど困難ではありません。

に上記の意味を持つ $r_{\min}^U$ は現象論的に LO 崩壊から LL 崩壊への遷移点を与える。

本論文では片面補強板を対象としており、その非対称性から局部座屈後の挙動は複雑です。すなわち、LL 崩壊時に示す最終強度は補強材の剛比の増加と共に増し上限値は明確でなく、強度論的な立場からの $r_{\min}^U$ を定義することは困難です。他方、現象的には両面对称補強板と同様に、LO 崩壊と LL 崩壊との遷移点が現れます。したがって、第1, 2報と同様に、少しでも明確さを持たせるため、まず現象的に $r_{\min}^U$ を定義し、本来の強度論的意義を補足するため、その $r_{\min}^U$ の 2.5 倍を採用することを付言致しました。

次に、補強板は最終強度まで高次の非線形挙動を示すため、本来はより精度のよい有限要素法解析で計算すべきで、それによって補強材と最終強度の関係をより正確に討論できます。著者らもすでにそれを実行しております。しかしながら、実用性を考えると、できるだけ簡易な計算法も望まれ、本論文でもひとつの推定式を提案しました。これによるあいまいさは今後改良したいと思えます。

(3) 解析の都合上、微小な初期たわみを与えておりますので、御指摘のように、厳密な意味での座屈現象は現れておりません。しかしながら、これらの解析結果をもとに、基本的な初期たわみのない場合について一般的に現象を論じたのが本文です。本文には説明不足なところもありますので、本文中の「座屈が生ずる」は「座屈荷重近傍でその座屈波形のたわみが急増する」と理解していただければよいと思います。

端部構造がストラットの座屈強度に及ぼす影響

遠 藤 久 芳

【討】 竹内 信 君 (1) 図のような端部構造を有するストラットの実船適用を検討中ですが、この場合、御提案の座屈等価長はどのように評価したら良いでしょうか。また、この構造の場合の座屈強度上の注意点を教

えて下さい。

(2) 実船では、時々実験模型のように T.BKT をウェブの両面につけるような要求がありますが、片面付の T.BKT の場合と比べ、かなり差がありますか。