E26

大変形を考慮した多重せん断モデル型弾性体の定式化

Formulation of Elastic Body Based on the Multiple Shear Mechanism Considering Large Deformation

○上田恭平・飛田哲男・井合進
○Kyohei UEDA,Tetsuo TOBITA,Susumu IAI

A new formulation of elastic body is proposed in order to consider the geometric nonlinearity due to large deformation and rotation. The formulation is based on the concept of the multiple shear mechanism and the relationship between the volumetric strain and the isotropic pressure is assumed to be linear and so is the relationship between the virtual simple shear strain and the component of the shear stress. As a result of one-dimensional response analysis of a 4-node element under uniform loading, the load-displacement relationship obtained from the formulation based on the multiple shear mechanism seems to be realistic compared to the result from the formulation based on the linear elastic constitutive law, which is exactly the same as the one in the infinitesimal deformation analysis, in the material or spatial description.

１．はじめに

多重せん断モデルに基づく有効応力解析プログラムである FLIP は，微小ひずみ理論に立脚しており，大変形現象を模擬するのには適さない。そこで本研究では，有限ひずみ理論に基づき，まずは多重せん断モデル型線形弾性体の導入を試みる。

２．多重せん断モデル型線形弾性体

物質表示における定式化(TL 法)では，線形弾性体の積分形基本式を以下で与える。$\hat{\mathbf{S}}'$ は second Piola Kirchhoff 応力である。

$$\hat{\mathbf{S}}' = -Jp\hat{\mathbf{C}}^{-1} + \sum_{i=1}^{I} q^{(i)} \left(\hat{\mathbf{N}}^{(i)} - \gamma^{(i)} \hat{\mathbf{C}}^{-1} \right) \Delta\omega$$

体積ひずみは，Jacobian determinant および変形勾配 $\mathbf{F}$ から以下のとおり与える。

$$\varepsilon = \ln J = \ln\left(\det \mathbf{F}\right)$$

仮想単純せん断ひずみは，Green Lagrange ひずみ $\hat{\mathbf{E}}$ を用いて以下のとおり与える。

$$\gamma^{(i)} = \left\{ \hat{\mathbf{N}}^{(i)} \right\}^{\mathrm{T}} \hat{\mathbf{E}} \quad (\text{for } i = 1, \ldots, I)$$

線形弾性体としての積分形の構成式は，これらのひずみ成分と，等方応力およびせん断応力の成分との関係を，以下の線形関係で与えることで定式化する。

$$p = -K\varepsilon \quad , \quad q^{(i)} = G_{\mathrm{v}} \gamma^{(i)} \quad (\text{for } i = 1, \ldots, I)$$

また，体積成分の接線剛性マトリクスは以下のようになる。（偏差成分に関しては省略）

$$\mathbf{D}_p = J\left(K - p\right)\hat{\mathbf{C}}^{-1}\left\{\hat{\mathbf{C}}^{-1}\right\}^{\mathrm{T}} + 2Jp\left\{\hat{\mathbf{C}}^{-1} \odot \hat{\mathbf{C}}^{-1}\right\}$$

なお，空間表示の場合(UL 法)も，多重せん断モデル型の線形弾性体を同様にして導くことができる。

３．要素解析

図１に１要素モデル(2cm×2cm)の１軸圧縮引張りにおける変位荷重関係を示す。同図には，物質表示もしくは空間表示において，微小変形解析での線形弾性体構成式をそのまま適用した結果(線形弾性型)も併記してある。多重せん断モデル型線形弾性体では TL 法および UL 法の結果は等しく，線形弾性型 TL 法および UL 法における両極端な挙動が抑えられ，より現実的な挙動を示していることがわかる。

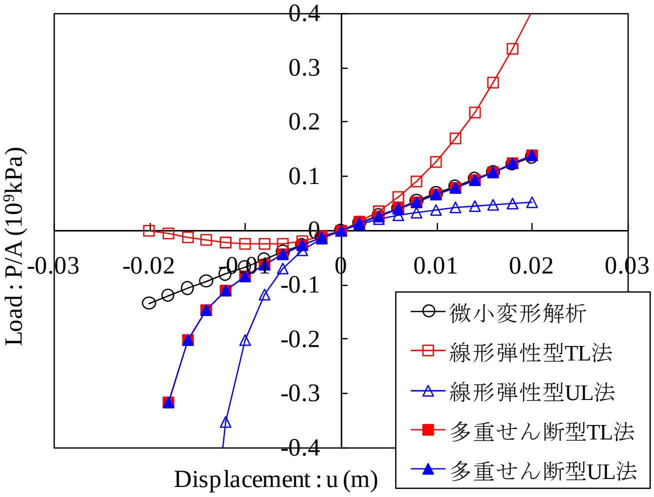

図１