

I-199

デジタルイメージ処理を用いた複合材の解析

Dept. Mech. Engin. and Applied Mechanics, Univ. of Michigan 学生会員 寺田賢二郎

Dept. Mech. Engin. and Applied Mechanics, Univ. of Michigan 非会員 菊池 昇

Orthopaedic Research Laboratory, Univ. of Michigan 非会員 Scott Hollister

1. はじめに 実際の構造物の力学挙動がそれを構成する材料の力学特性に依存しているのはいうまでもないが、その材料自身は複数の材料からなる複合材料である場合が多く、微視的なスケールでの個々の材料の配置にも依存する。川本と京谷は文献(1)において、そのような構造物の解析に均質化法を用いることで、整合性のとれた形で全体構造物と微視構造の力学応答を得ることができるとしている。すなわち、マイクロスケールの情報から得られる有効物性による全体構造物の解析と同時に、その挙動を反映したマイクロスケールでの応力の分布から、微視的破壊等を評価するなどの、グローバル・ローカル的なアプローチが可能になるのである。しかしながら、このようなマイクロメカニクス的な解析において通常用いられる理想化された微視構造のモデルでは、正確にその材料の特性を表すことができないことがある。実際、Hollisterらは、文献(2)の中で人骨の理想化されたマイクロモデルが、実験データと一致しないことを指摘し、より正確な幾何学的モデルが必要であるとしている。また、たとえ微視構造の正確な情報が得られたとしても、通常の有限要素モデリングでその複雑な幾何学形状を再現することは、非常な労力を要するものであり、時として不可能であることさえある。そこで本研究では、このような問題点に対処するべく、デジタルイメージによる複合構造の有限要素モデリングと均質化法を用いた、複合材料の力学応答解析の1手法を紹介することにする。

2. デジタルイメージと有限要素 より正確に複合微視構造の有限要素解析モデルを作るためのデジタルイメージプロセッシング(digital image processing)を紹介する。Fig.1 に示す流れを踏んで、均質化法におけるユニットセル(理論上は1周期とみなせる微視構造単位)のモデルを作ることができる。ここで最終的に出来上がった有限要素は、数万から数百万にもなりうるが、すべて同一サイズであるので、Element-by-element & pre-conditioning conjugate gradient method によって比較的小さなメモリー容量で計算できる。また、画像からの材料認識は各ピクセルの濃度による。Fig.2 にこのプロセスによって作った岩の断面の有限要素モデルを示す。各要素はイメージデータの1ピクセルに相当し、4節点4辺形要素は250,000要素に及ぶ。

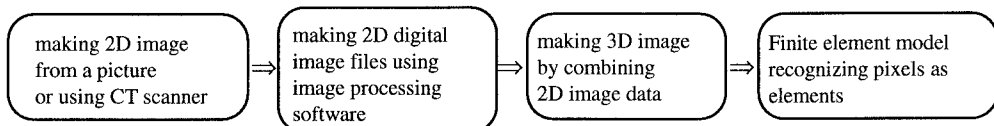


Fig.1 Digital image modeling in finite element analysis of a unit cell

HollisterとKikuchiは、文献(3)において、デジタルイメージによる有限要素解析には次に挙げる2つの問題点がとっている。一つは、構造物のジグザグな境界を持つことによって応力集中がおこり、スムーズな境界を持つ従来の有限要素法には見られない数値的な振動がおこることである。しかしながら、それはごく局所的な領域においてのみおこり、非常に細かい要素を用いれば、従来の有限要素解と良い一致をみることができると報告されている。二つ目は、イメージから直接材料を割り当てる際の、イメージ密度の域値分け(thresholding)の問題である。もとの画像データから忠実にデジタルイメージに落としても、画像そのものの解像度や精度が劣る場合、域値分けはより難しくなる。ただし、複合材などで各構成要素の体積比等が既知の場合には、この問題はさほど重要ではなくなるであろう。

均質化法 川本と京谷は漸近展開法に基づく均質化法をいち早く土木分野に紹介し、その適用性を強調した⁽¹⁾。単に代表的な微視構造単位の等価な材料物性を物理的に整合性のとれた境界条件のもとで求めるだけでなく、局所化と呼ばれる過程で得られる微視構造単位内での応力等の情報は、既存の理論力学的なアプローチには見られない大きな利点であると言えよう。実際、その過程で得られる応力を用いて、複合材の弾塑性解析や微視的破断を考慮した織物材の構造解析などの様々な非線形解析への応用が試みられている。定式化の詳細は、文献(4)や(5)などを参考されたい。Fig.3 に均質化法の局所化過程によって得られるユニットセル内の熱応力分布を示す。全体構造物の荷重条件は熱のみであり、セルモデルはMoSi2とSiCからなる金属複合材料で、250,000個の8節点6面体要素からなる。

このようなモデルは、均質化法理論における微視構造の周期性の仮定を満足しない。しかし、局所的な周期性を仮定して構造物からいくつかのサンプリング点を選び、複数のユニットセルモデルをもって解析すれば、工学上問題はないと考えられる。この点に関しては、実験と照らし合わせた議論も必要であろう。

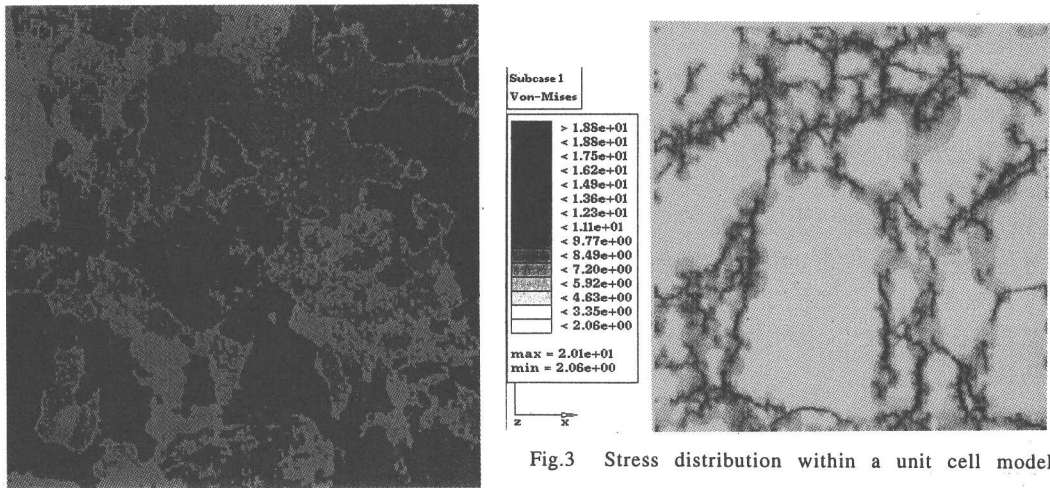


Fig.3 Stress distribution within a unit cell model

Fig.2 Unit cell finite element model by digital image processing

3. 結語 今日のめざましいコンピュータ技術とCAEの発達の中にあつて、有限要素法に代表される数値計算におけるジオメトリックモデリングも新たな時代へと向かうと考えられる。本研究で取り上げるデジタルイメージによる有限要素分割と均質化法によるグローバル・ローカルのアプローチは、数値計算と応用力学を基調とする計算力学において大きな可能性を持ち、分野を問わずより多くの研究成果が期待されるものである。

参考文献

- (1) T. Kawamoto, and T. Kyoya, *Some applications of homogenization method in rock mechanics*, Seminar on Computational Mechanics to Engineering Problems, N.S.W., Australia, (1993)
- (2) S.J. Hollister, J.M. Brennan and Kikuchi, N., *A homogenization sampling procedure for calculating trabecular bone effective stiffness and tissue level stress*, J. Biomechanics., 27, no.4, 433-444, (1994)
- (3) S.J. Hollister and N. Kikuchi, *Homogenization theory and digital imaging: a basis for studying the mechanics and design principles of bone tissue*, Biotechnology and Bioengineering, 43, no.7, 586-596, (1994)
- (4) J.M. Guedes and N. Kikuchi, *Preprocessing and postprocessing for materials based on the homogenization method with adaptive finite element methods*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 83, 143-198., (1990)
- (5) E., Sanchez-Palencia, *Non-homogeneous media and vibration theory*, (1980)