

画像データを用いた3次元フリーメッシュ法による応力解析に関する研究

琉球大学 学生会員 ○田中 孝和・琉球大学 正会員 伊良波 繁雄
 琉球大学 正会員 富山 潤・琉球大学 学生会員 安和 守史
 東京大学 矢川 元基

1. はじめに

現在、有限要素法に対する解析手法としてメッシュレス法に関する研究が様々な工学分野で行われている。筆者らは、2次元FMMでデジタル画像を利用したコンクリートの応力解析手法を提案し、良好な結果を得ている。本論文は、その拡張として、3次元FMMでデジタル画像を利用し骨材の分布を考慮に入れた応力解析手法を提案し、数値解析例を示した。

2. フリーメッシュ法

2.1 FMMの基本的アルゴリズム

FMMは、図-1に示すように解析領域内に配置された各節点(中心節点)ごとに、その付近の節点(衛星節点)を集めてローカルな領域で一時的に三角形要素を作る。これらの一時的な三角形要素の要素剛性マトリックスから中心節点に寄与する行成分のみを全体剛性マトリックスに足し合わせる。これを全ての節点で行い、全体剛性マトリックスを作成し、連立一次方程式を解く。このようにFMMはローカルな要素生成、全体剛性マトリックスの作成及び求解までをシームレスに行うことが可能である。

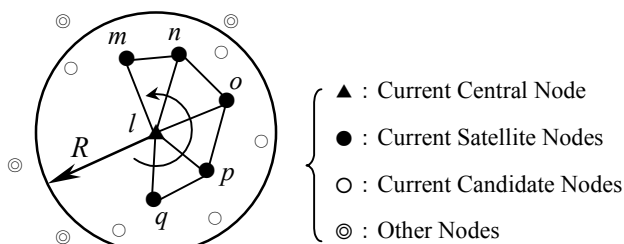


図-1 ローカル要素概念図

2.2 FMMの3次元問題への適用

本研究ではFMMを3次元問題に適用する際に、局所要素生成法としてDelaunay分割を導入する。Delaunay分割を用いることで、平面上に任意に設定された点同士を結んで作る三角形の集合によって、節点が分布する領域を隙間や重なりが生じることなく、かつ、ある一つの三角形要素の外接円内には、他の三角形要素を

構成する点を含まない局所要素が得られる（図-2）。また、得られる三角形要素はひずみが少なく、有限要素解析に適した要素となる。また、三角形から四面体、外接円から外接球、などの拡張によって2次元Delaunay三角分割から3次元Delaunay分割への拡張が可能である。Delaunay分割を用いることによって縮退が生じない場合には常にDelaunay条件を満たすように局所的要素生成が行われる。なお、縮退関係にある節点群においては、全体で一意的な節点番号を考慮して局所要素生成を行うことにより、異なる中心節点間での局所要素の一意性が保たれるようにしている。

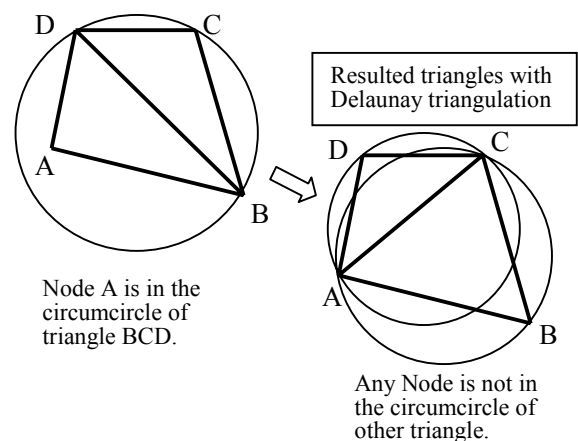


図-2 Delaunay分割による三角形要素の特徴

3. 画像データを利用した解析法

FMMで解析に用いるデータとしては節点データと材料データがある。節点データは解析領域内で任意に作ることができるが、材料データは骨材部分とモルタル部分を考慮して作成する必要がある。2次元問題では骨材部分とモルタル部分をピクセルに対応（5ピクセルまたは3ピクセル間隔等）させて座標データと材料データを同時に作成することができる。しかし、3次元問題では等間隔の座標データや材料データを用いると、データ量が膨大になり計算を行うのが困難となる。このため、本研究では以下のような方法を用いた。

キーワード フリーメッシュ法, 3次元解析, デジタル画像

連絡先 〒903-0129 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地 琉球大学工学部環境建設工学科 TEL 098-895-8663

- (1) 図-3(a)に示すように円柱供試体($\phi 100 \times 200\text{mm}$)を5mm幅で切断し、各切断面(レイヤー)をデジタルカメラにて撮影。
- (2) 各切断画像の解析対象領域を単純色化(図-6(b))し、モルタルと骨材を区別する。

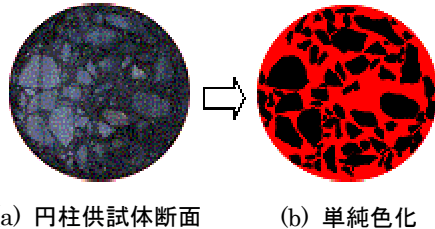


図-3 画像データ

- (3) 解析対象物の CAD データを用いて解析対象内に節点座標を発生させ、その座標点の材料特性番号(骨材やモルタル)をその座標点をはさむ(2)の切断面から、図-4のように線形補間し、材料特性番号を求め、これを用いて計算を実行する。

4. 数値解析例

3節に示したコンクリート円柱供試体の割裂試験を想定し(図-5)，(1)二相材料とした場合，(2)単一材料と仮定した場合の2パターンに分けてコンクリート内部の応力状態を比較検討した。表-1にそれぞれの場合に用いた材料特性値を示し，図-6に(1)及び(2)の x 方向応力(σ_x)の比較を示す。

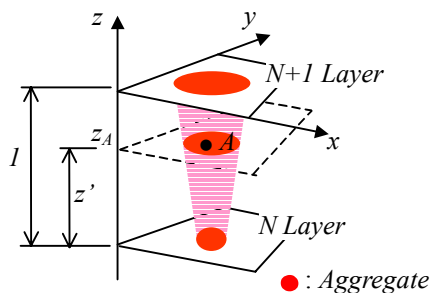


図-4 コンクリート材料の補間

図-6より(1)の結果は，(2)よりも応力がいびつに分布しており，骨材に応力が集中していると考えられることができる。また，円柱供試体断面の中央付近の応力分布を図-7に示す。図-7より，(2)は応力が理論値($\sigma_x = 2p/\pi dl$: p :荷重, l :円柱の長さ, d :直径)とほぼ一致している。一方，(1)では応力が理論値付近で複雑な応力分布を示している。よって，骨材の影響を良好に表現できていると考えられることができる。

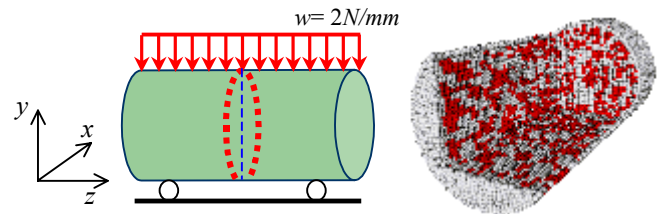
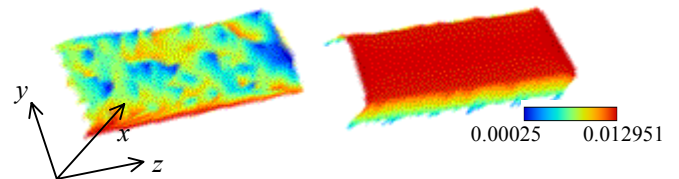


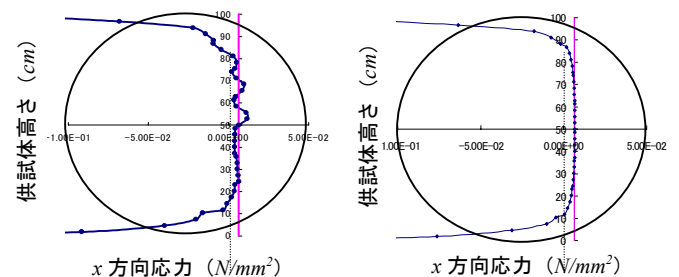
図-5 割裂試験モデル及び節点分布

表-1 材料特性

	材料	$E(\text{N/mm}^2)$	ν
(1)	モルタル	20000.0	0.21
	骨材	56122.45	0.15
(2)	コンクリート	56122.45	0.15



(1) 二相材料とした場合 (2) 単一材料とした場合

図-6 荷重載荷 x 方向応力 (σ_x) 比較

(1) 二相材料とした場合 (2) 単一材料とした場合

図-7 中央断面 x 方向応力 (σ_x) 比較

5. おわりに

有限要素法では，骨材分布のデータ化が困難であったが，FMMを使用することで，比較的簡単にデジタル画像から骨材の分布を考慮したコンクリート材料の三次元化応力解析が行え，良好な結果を得た。

謝辞：本研究は，文部省科学研究費（課題番号：13355005）の援助を受けました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 矢川元基，細川孝之：フリーメッシュ法の三次元問題への適用，日本機械学会論文集(A編)，64巻，1998
- 2) 松本洋，伊良波繁雄，富山潤，矢川元基：簡単な画像処理を用いたフリーメッシュ法の二次元問題への適用，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，1999
- 3) 富山潤：コンクリートの引張破壊挙動に関する解析的研究，琉球大学，琉球大学博士論文，2000.3