

フリーメッシュ法による骨材とモルタル2相モデル化したコンクリートのひび割れ解析

琉球大学 学生会員 ○松原 仁・琉球大学 正会員 伊良波 繁雄
 琉球大学 正会員 富山 潤・東京大学 非会員 矢川 元基

1. 目的

一般に、コンクリートのひび割れの数値解析を行う場合、コンクリート内部を均質モデル化し、単相材料という仮定のもとで計算を行っている。しかし、実際のコンクリートは粗骨材とモルタルとからなる2相系材料であり、それぞれ固有の力学的挙動を有している。本論文では、コンクリートの力学的挙動を表すために、粗骨材とモルタルの2相モデルを用いた。このために、実際の骨材形状を考慮することのできるコンクリートモデル作成法を提案し、フリーメッシュ法(FMM)を用いてコンクリートのひび割れ解析を行い、本モデルの妥当性を検討する。

2. コンクリートモデル作成法

本研究では、コンクリートは粗骨材とモルタルからなる完全な2相系材料と仮定する。そこで、コンクリート中に含まれる粗骨材に関しては、デジタル画像から節点座標・表面パッチ(三角形)データに変換する。骨材データ作成手順を以下に示す(図-1参照)。

- (1) 骨材置場から採取した粗骨材を四分法で選定
 - (2) 選定された個々の粗骨材に対して正面、右側面、左側面、背面の4方向からデジタルカメラにて撮影
 - (3) (2)で得たデジタル画像データから粗骨材形状を示す座標・表面パッチ(三角形)データの作成
- 上記した(2)~(3)を選定された粗骨材全てに対して行うことにより、実際の粗骨材に非常に近い形状を"データ"として取り出すことが可能である(図-2(a)参照)。本研究では、上記(3)を行う際、マウスクリックで簡単に粗骨材座標を決定できるデータ作成プログラムを作成し、これを用いた(図-1)。

次に、解析の対象となる領域(試験体)を作成する。この領域は、CADを用いることにより任意形状の領域を作成することが可能である。この領域の内部にデジタル画像から取得した粗骨材形状データを挿入することで、粗骨材を考慮したコンクリートモデルを作成する

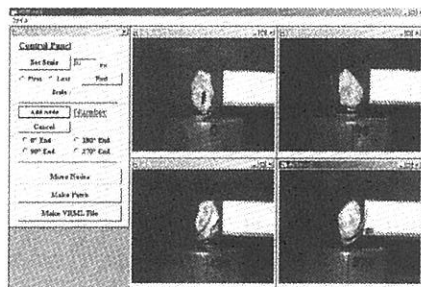
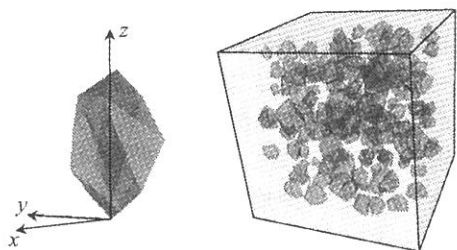


図-1 骨材形状決定方法



(a) 骨材モデル

(b) コンクリートモデル

図-2 解析モデル

ことができる。その手順を次に示す。

- (1) 使用粗骨材の粒度分布を考慮し、領域に含まれる粗骨材量を計算
- (2) (1)で得た粗骨材量分を解析領域内に粒径の大きい方からランダムに挿入
- (3) 粗骨材量がそのコンクリートの配合条件に達するまで(1)、(2)を繰り返す

以上のような手順にて、本研究で提案するコンクリートモデルを図-2(b)のように作成することができる。

3. フリーメッシュ法

FMM¹⁾は、図-3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四面体要素を作成する。これらの一時的な四面体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

キーワード 骨材, モルタル, 3次元ひび割れ解析, フリーメッシュ法

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 TEL098-895-8663

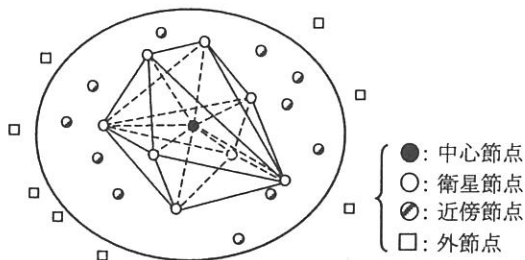


図-3 ローカル要素概念図

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できる。

4. 簡易ひび割れ解析法

筆者らは，3次元簡易ひび割れ解析をフリーメッシュ法に適用し，良好な結果を得ている²⁾。そこで，本研究においても粗骨材を考慮した簡易的なひび割れ解析法を適用する。即ち，ある節点の最大主応力が引張強度に達した後はひび割れ面に直交する応力を0と仮定する。具体的には，文献(2)に詳しい。この手法を用いることにより，数値解析上不安定になることはなく，複雑なコンクリートのひび割れ解析をスムーズに進めることができる。

5. 数値解析例

本コンクリートモデルを用いて，図-4に示すようなコンクリートの割裂試験のひび割れ解析を行った。なお，本解析は本研究で提案するコンクリートモデルを検証するためのものであり，簡易的に粗骨材数を150個（粗骨材率：7.3%，図-2(b)）と設定し，粗骨材はひび割れないものと仮定した。また，総節点数は4304であり，粗骨材及びモルタルの材料係数は表-1に示す。

ここで，円柱供試体割裂試験の割裂荷重の理論解（ $P = \sigma_{md} l / 2$ ）は試験体をモルタルのみとすると，34.8kNであるが，本解析結果は37.2kNであった。やや高めにしている理由として，粗骨材の影響により割裂荷重が引き上げられたと考えられる。また，図-5にはひび割れの進展状況を示す。ひび割れは，図-5中の(a)から順に(d)まで発展している。ひび割れは，粗骨材とモルタルの界面付近から発生し，それに沿って進展している。これは，ひび割れが粗骨材分布に依存していることを示している。よって，粗骨材の実形状を用いた本モデルにより，コンクリートの微細的なひび割れ機構の表現が可能であると考えられる。

図-5 材料係数

材料	ヤング率 (N/mm ²)	ポアソン比	引張強度 (N/mm ²)
粗骨材	561220.45	0.15	5.524
モルタル	20000.00	0.20	2.214

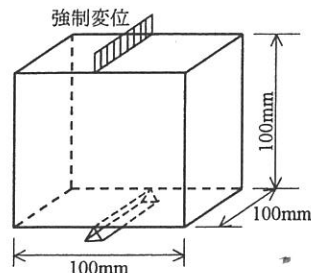


図-4 割裂試験モデル

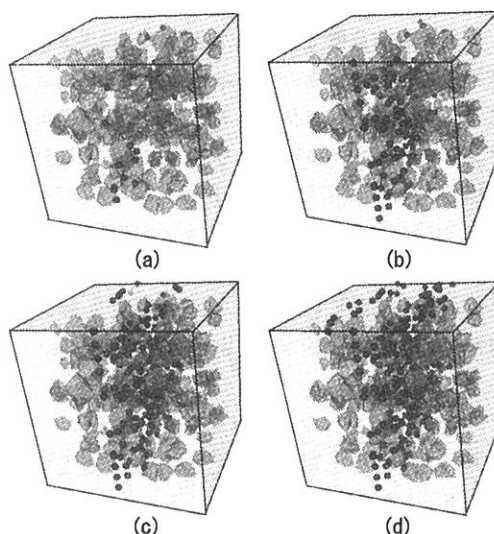


図-5 ひび割れ進展状況(球：ひび割れ節点)

6. まとめ

本研究では，コンクリートを直接的な複合材料として解析することが困難であった現状に対し，骨材形状を考慮することのできるコンクリートモデルを提案した。数値解析例としてコンクリートの割裂試験のひび割れ解析例を示した。次の研究課題としては実験値との詳細な比較検討を行う予定である。

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，日本機学会論文集(A編)，64巻，1998
- 2) 山城建樹・伊良波繁雄・富山潤・松原仁・矢川元基：3次元フリーメッシュ法によるコンクリートのひび割れ解析に関する研究，土木学会第57回年次学術講演概要集，CD-ROM，2002