

コンクリートの準微視的破壊過程のシミュレーション

福島高専 ○学生員 島 文孝

福島高専 正会員 山ノ内正司

1.はじめに

コンクリートはランダムに配置された骨材をセメントペーストで化学的に結合した非均一な多相材料であるため、きわめて小さな応力レベルで初期欠陥や骨材境界面の微細ひび割れによる非線形性を呈する特徴がある。そのため、コンクリートの破壊過程の解明にはメソスコピック領域といわれるミクロとマクロの中間領域の構造における破壊のメカニズムと巨視的な力学挙動との対応を明らかにすることが有用である(1)。そこで、本研究ではFEMを用いてメソスコピックレベルにおけるコンクリートの破壊を奥行き方向を考慮して平面ひずみ問題としてシミュレートした。

2.解析理論

2.1 解析モデル

コンクリート中の骨材を配置したメッシュの生成については、まず、供試体中に骨材を配置する。骨材の中心座標(x,y,z)を乱数により与え、粒径の大きい骨材から順に配置する。骨材量は全体に占める体積で与えてあり、目標の体積に達するごとに次の粒径のものを配置していく。ただし、骨材同士は接しないこととし、粒径1mm未満の骨材はペースト中に含ませることとする。こうして生成した直方体供試体の奥行き方向で中心に当たる面を取り出し、これを解析の対象とする。(図1)

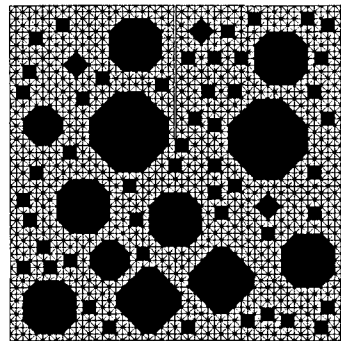
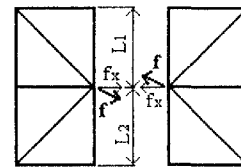


図1. メッシュ分割

2.2 破壊基準

クラックは節点を離すことにより生成する。一つの節点についている要素を二組に分割すると節点には節点力が発生する。この節点力に抵抗するのは、二つに分けたときに離れた生じた面であるから、節点力のクラックに直交する成分をその面の長さで割ったものを作用応力とする。こうして計算された作用応力をその点の許容引張応力で割ったものが最大になる点を分離する。



$$\sigma = \frac{F_x}{L_1 + L_2}$$

図2. 作用応力

2.3 奥行き方向の影響考慮

三次元的な解析であれば完全に解放された節点の節点力をゼロにすればよいが、このモデルは二次元で解析しているため、奥行き方向の影響を考慮しなければならないと考えられる。そこで、“奥行き方向にひずみは一定である”という仮定を導入すると、奥行き方向にあるボンド、ペースト、骨材の要素はそれぞれひずみに応じてに破壊に達することになる。つまり、ある点が破損しても、奥行き方向がすべて破損していない限り抵抗力が残っていることになる。そこで、壊れた節点に次のような抵抗力を節点力として作用させる。

$$f = \frac{\alpha}{\alpha_0} f_0$$

ここで、 f は作用させる節点力、 f_0 は元々作用していた節点力である。 α は奥行き方向各点における影響度の合計であり、 α_0 はまだ破損していない奥行き方向の各点の影響度の合計である。奥行き方向に

	ヤング率 $E[N/mm^2]$	ポアソン 比 ν	引張強度 $f_0[N/mm^2]$
ペースト	1.5×10^4	0.2	3.5
骨材	7.0×10^4	0.2	20
境界面	1.5×10^4	0.2	1.75

表1 材料定数

対する影響度(2)は以下の式で与える。

$$\alpha(z) = e^{-(z/l)^2}$$

ここで、 $\alpha(z)$ は重み関数、 z は解析面からの距離、 l は特性長である。なお、この節点力は奥行き方向の要素が壊れたときにはその分を低減する。また、引張強度も同様の方法を用いて節点ごとに平均化する。

3.結果及び考察

図3は奥行き方向を考慮した場合及び考慮しない場合の荷重-開口変位曲線である。奥行き方向を考慮しないと材料の特性を直接受ける。そのため、ボンドからペーストにクラックが入るときなどに大きな応力が必要になる。一方奥行きを考慮すると、材料特性が奥行き方向で緩和されるため、メッシュの影響を受けにくくなる。また、クラックが入り始めても、奥行き方向に抵抗が残っているので、クラックがある程度のびた後に最大応力が生じている。

図4及び図5はそれぞれの場合の供試体の破壊状態を示している。奥行を考慮しないと、境界面に沿うように単一のクラックがのびている。一方、奥行を考慮した場合は奥行き方向にある見えない骨材の影響によりクラックが途中で成長しなくなり、新しいクラックが発生したり、クラックの進路が曲げられたりしている。これを見ても奥行き方向の影響がいかに大きいかがよくわかる。

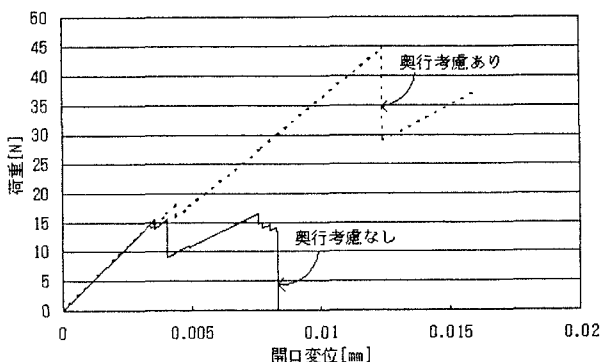


図3 荷重-開口変位曲線

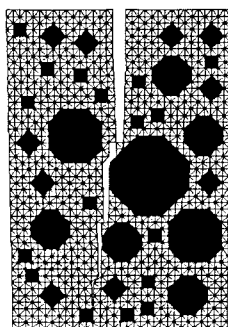


図4 奥行を考慮した場合の破壊状態

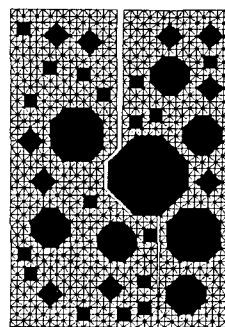


図5 奥行を考慮しない場合の破壊状態

4.まとめ

今回のシミュレーションによって奥行き方向の影響がどのようにでるかがわかった。しかし、荷重という形で奥行方向の抵抗力を評価しているため、解析対象とした面が破断した後の挙動の解析ができず、供試体が完全に壊れるまで解析できない。今回は特性長 l を6mmとしたが、パラメーターをどのように決定したらよいか。このような問題も残っており、まだまだ改良の余地はある。

参考文献

- (1) John BOLANDER Jr.他:ランダム粒子-バネ系モデルによるセメント系複合材料の準微視的破壊過程の解析,構造工学論文集(1996年3月)P247-P254
- (2) P.Bazant et al.:NONLOCAL SMEARED CRACKING MODEL FOR CONCRETE FRACTURE,Journal of Applied Mechanics,ASCM,Vol114 ,No11,1998,P2493-P2510