

CS-26

コンクリートの割裂破壊の準微視的数値解析

九州大学 学生員 劉 玉撃

九州大学 正 員 彦坂 熙

Univ. of California 正 員 John Bolander Jr. 九州大学 学生員 樫山公洋

1. 序論

コンクリートを粗骨材とモルタルの複合材料としてのメソスケールの研究は、材料の内部破壊メカニズムおよび巨視的な力学挙動の解明に対する有用性が分かってきた¹⁾。本研究では、コンクリートの内部破壊過程を明らかにするために、ポロノイ図を適用することにより、骨材の粒度分布およびランダムな配置を考慮した複合材料の剛体-バネ系離散化モデルの数値解析法を提案する。これにより、コンクリートの割裂試験における界面はく離、モルタルクラックの発生・進展および最終破壊などの破壊過程を解析的に考察する。

2. 準微視的シミュレーション手法

要素メッシュは、ポロノイ図に基づく分割手法²⁾により自動的に生成する。3次元空間における供試体の形状と寸法を指定したのち、骨材粒子をコンピュータで一個ずつ配置する。骨材粒子を完全な球で表し、球の中心座標 (x, y, z) を一様乱数により与える。仮定した骨材の粒度分布に従って骨材量の粒度別目標値を定め、粒径の大きな骨材から始めて、その骨材量が目標値に達すると、順次粒径の小さな骨材を配置する。

生成した骨材分布の3次元モデルを任意の平面でスライスして、得られた2次元モデルの骨材は球のスライス面(円)に外接する正多角形で表し、モルタルマトリックスはポロノイ多角形に分割する(図-1参照)。

ランダムに配置された骨材要素およびマトリックス要素を剛体と仮定し、要素の境界辺に分布する垂直バネとせん断バネからなるバネ系を設ける。各要素の重心点に2次元剛体変位の3自由度を配する。コンクリート材料を骨材(a)、マトリックス(m)およびそれらの界面(i)からなると考えて取り扱う。骨材およびモルタルの材料特性は、それぞれの材料試験により決めることが可能である。界面の弾性定数 E_{i1}, ν_{i1} は隣接する骨材とマトリックスの要素の重心から境界辺に下した垂線(h_a, h_m)を重みとする平均値

$$E_{i1} = (E_a h_a + E_m h_m) / (h_a + h_m) \quad (1)$$

$$\nu_{i1} = (\nu_a h_a + \nu_m h_m) / (h_a + h_m) \quad (2)$$

を用いる。界面の圧縮強度 f_{ci} は弱い方のモルタルの f_{cm} を採用するが、引張強度 f_{ti} はモルタルの f_{tm} の50%に仮定する³⁾。

破損が逐次発生するように変位制御により载荷する。破損判定は引張および圧縮破壊を考慮し、せん断バネの剛度低減および応力解放は同一境界辺上の垂直バネと同様に行う。破損強度に達したバネの剛度は段階的に低減する²⁾。

3. 割裂破壊の解析結果および考察

要素メッシュを図-

表-1

バネの材料特性

1に示す。供試体を直径 $D=10\text{cm}$ の円柱体、荷重分布板の幅を $D/12$ とする。材料パラメータを表-1に設定する。

バネ構成	骨材	モルタル	界面
E (GPa)	$E_a=60.0$	$E_m=20.0$	式(1)
ν	$\nu_a=0.25$	$\nu_m=0.18$	式(2)
f_t (MPa)	$f_{ta}=6.0$	$f_{tm}=3.0$	$f_{ti}=1.5$
f_c (MPa)	$f_{ca}=90.$	$f_{cm}=30.0$	$f_{ci}=30.0$

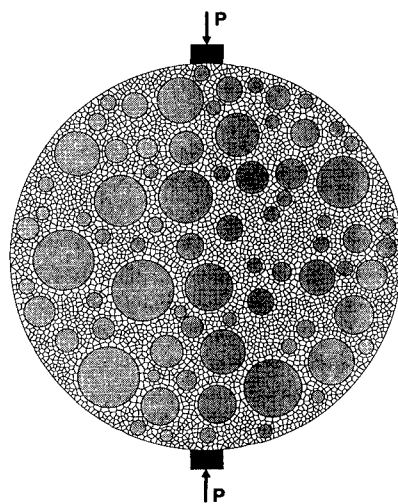


図-1 要素メッシュ

図-2(a)は荷重が $0.67P_u$ (P_u は最大荷重) 時のバネ破損状態を示し、図中の数字は载荷板付近のバネを除くバネ破損発生順番を表す。最初のバネ破損は供試体中心から約 $0.35D$ 離れた位置にある骨材の界面に生じ、発生時の荷重は $0.39P_u$ である。骨材の大きさにより界面特性が異なることを考えないので、最初の破損は最大骨材の界面に発生しない。次のバネ破損は鉛直载荷面を離れた骨材の界面に生じ、最初の界面はく離

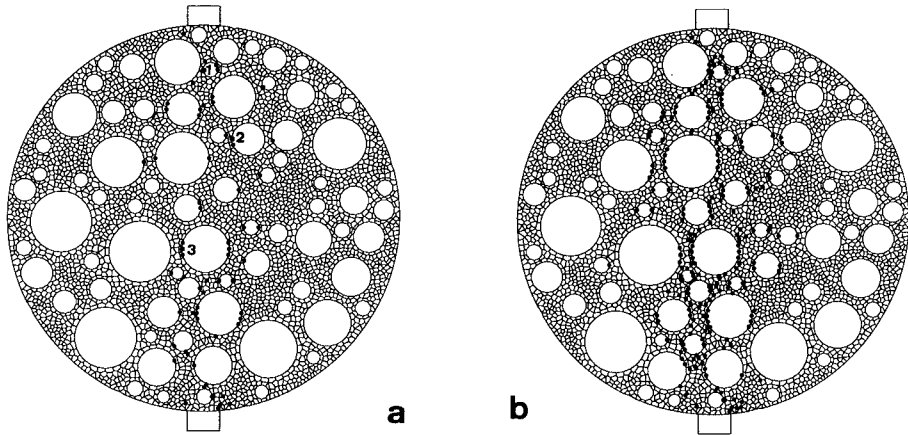


図-2 バネ破損状況

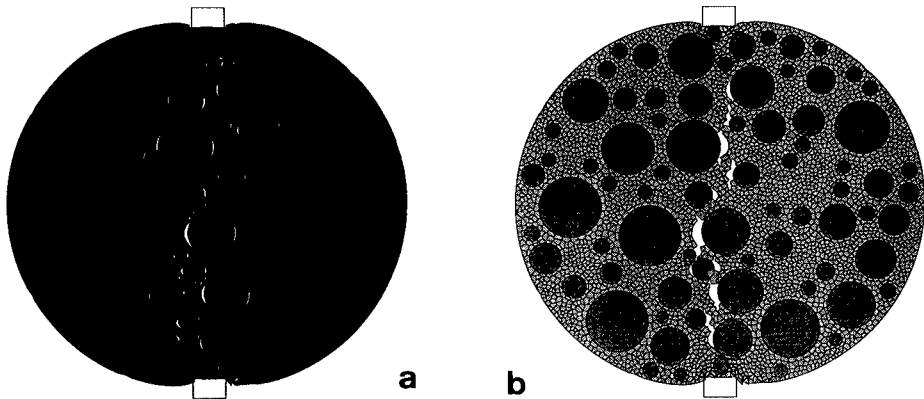


図-3 界面はく離と最終破壊状態

は進展しない。荷重の増加とともに、載荷面付近のはく離の数は増加し、かつはく離が大きくなる。さらに、荷重が増大するにともない、界面はく離が進展するが、はく離の進展方向と荷重の方向に変化が生じると、はく離が進展しにくくなる(図-3(a))。

図-2(b)は約0.94P_u時のモルタルクラックの進展状況を示す。モルタルクラックは載荷面に近い界面はく離から発生し、最初のクラックは直ちに成長して最終破壊に至らずに、供試体の中心側に向かう位置で順々に発生する。原因としては、発生クラックははく離やクラックの間の相互干渉により進展しにくくなることが考えられる⁴⁾。

また、界面はく離は載荷面に垂直な方向の幅約D/3の領域に発生する(図-2)。しかし、変形が局所化するにしたがって、モルタルクラックは載荷面の付近に集中して生じる。モルタルクラックが不安定に伝播すると、系の全体抗力を完全に失い、最終の破壊面を形成する(図-3(b))。上述の内部破壊現象は実験と破壊力学による既往の研究結果⁴⁾とによく一致する。

4. 結語

提案した粒子分散複合材料の数値解析法により、コンクリートの割裂試験における骨材の界面はく離、クラックの発生・進展および変形の局所化などをリアリスティックにシミュレートできることが確認された。

参考文献：1) Wittmann, F.H. (三橋博三訳)：コンクリート工学, Vol.21, No.3, 1983. 2) 劉 玉攀・彦坂 照・John Bolander Jr: 九州大学工学集報, Vol.68, No.1, 1995. 3) Hsu, T.T.C and Slate, F.O.: J. Am. Concrete Inst., Vol.60, 1963. 4) 上田 稔・長谷部宣男・佐藤正俊・奥田宏明: 土木学会論文集, No.478/V-21, 1993.