

コンクリート内部破壊過程の準微視的数値解析

Numerical analysis of mesoscopic failure process in concrete

北海道大学工学研究科 ○学生員 長井宏平(Kouhei Nagai)
 北海道大学工学研究科 正 員 佐藤靖彦(Yasuhiko Sato)
 北海道大学工学研究科 正 員 上田多門(Tamon Ueda)

1. まえがき

コンクリートを粗骨材とモルタルの複合材料として扱うメソスケールでの研究は、材料の内部破壊メカニズムおよび巨視的な力学挙動との対応の解明に有用である。近年、連続体から完全非連続体にいたるまでのメソスコピックな力学挙動を統一的に解析するために、個別要素法 (DEM)、剛体-バネモデル (RBSM) および格子モデル (lattice model) などの数値解析法が導入され、大きな成果をあげてきた。

本研究においては、コンクリートの内部破壊過程を明らかにするために剛体-バネモデルを用い、モルタル部分と骨材部分にモデル化されたコンクリートの圧縮試験の数値解析を行う。

2. 数値解析

2. 1 解析手法

本研究では、剛体-バネモデルをシミュレーションモデルとして、普通コンクリートを解析対象とする。骨材粒子要素およびモルタル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 (u, v, θ) を配置し表面力に関する評価点としての積分点を要素境界面上の midpoint に取る。その垂線とせん断方向のバネ定数 (k_n, k_s) の計算には次式を用いる。

$$k_n = \frac{(1-\nu)E}{(1-2\nu)(1+\nu)(h_1+h_2)} \quad (1)$$

$$k_s = \frac{E}{(1+\nu)(h_1+h_2)} \quad (2)$$

ここに、 h_1, h_2 は隣接する2つの要素の重心から要素境界辺上に下した垂線の長さを表す。 E, ν はヤング係数とポアソン比である。2種類の要素 (E_1, E_2 および ν_1, ν_2) の境界面における材料パラメーター (E_3, ν_3) は垂線の長さを重みとして次式を用いる。

$$E_3 = (E_1 h_1 + E_2 h_2) / (h_1 + h_2) \quad (3)$$

$$\nu_3 = (E_1 \nu_1 + E_2 \nu_2) / (h_1 + h_2) \quad (4)$$

バネは弾性体とし、垂直バネの応力が設定された引張応力に達するとバネを降伏させ、以降はそのバネ系は応力を増加させないとする弾塑性体とした。

計算手法としては、荷重増分法のうち山田の方法を用いた。この手法は、変位および荷重が多少犠牲になったとしても破壊過程をより厳密に追うことに適していると考えられる。

2. 2 解析モデル

解析の対象としては、100mm×200mm の断面を有するモルタルの中央部に直径 50mm の骨材を配置した供試体を圧縮試験したものとする (図1)。解析では供試体断面を 32×64 分割し、3 角形要素を図2のように作成した。また、上下載荷板として鋼を仮定した要素を用いる。解析は対称性を考慮し、供試体の 1/4 の部分で行った。載荷板、支点要素を含めると要素数は 1118 となる。各材料の特性を表1のように設定する。モルタルと骨材の界面は引張強度が弱くひび割れが発生しやすいので、モルタルの引張強度の 1/2 の $f_t = 1.5$ (MPa) とした。

表1 材料特性

材料	骨材	モルタル	鋼
E (GPa)	60.0	20.0	200.0
ν	0.25	0.18	0.30
f_t (MPa)	6.0	3.0	40.0

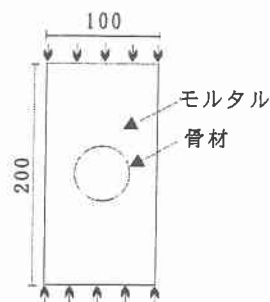


図1 圧縮試験供試体

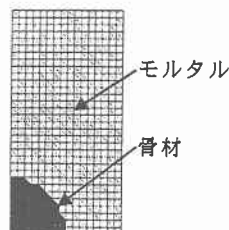


図2 解析モデル

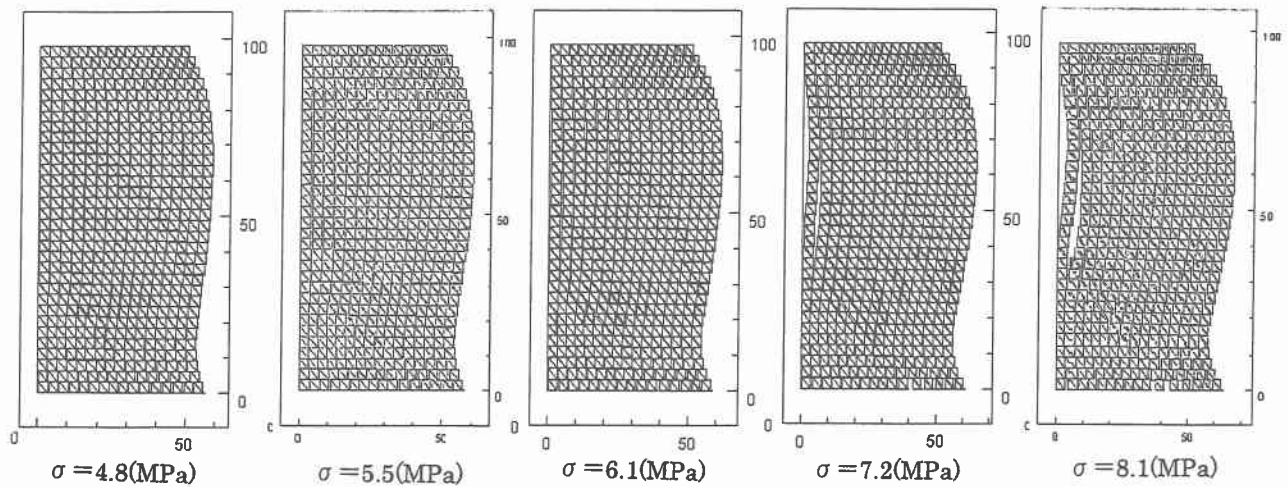


図3 モデルの変形

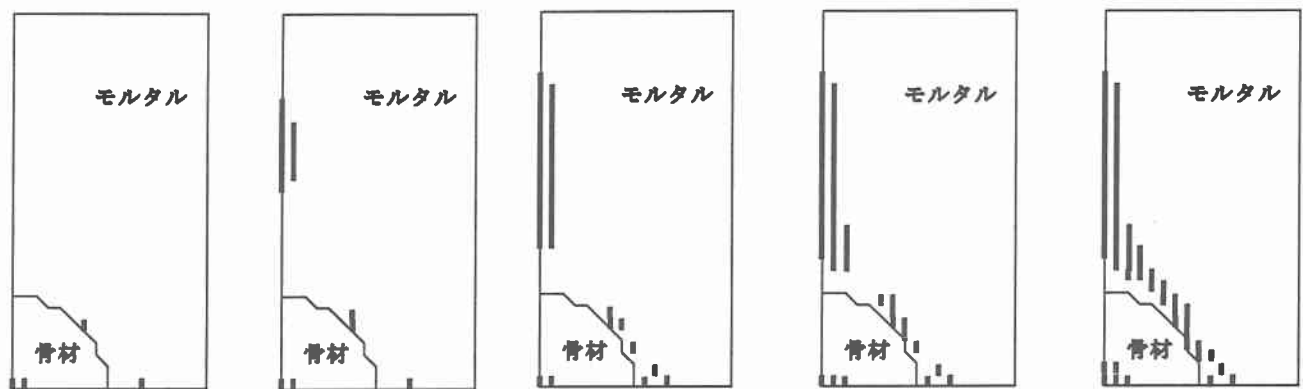


図4 ひび割れ図

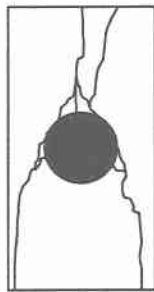


図5 コンクリート圧縮試験ひび割れの一例

3. 解析結果

図3に各応力段階におけるモデルの変形状態を示す。ここでは図2と同様に1/4モデルで表しておりモデル左下部分が骨材を表している。また、変形を水平方向に10000倍、垂直方向には100倍に拡大し表している。図4に図3と同じ荷重段階において降伏しているバネ系的位置を太線によって示す。これは、ひび割れが発生していることを示している。

図3および図4から弾性係数の小さいモルタル部分の変形が大きくなることが確認できる。また、それに伴い降伏するバネ系が増加していることがわかる。骨材周辺にも骨材との弾性係数、引張強度の違いの影響による応力集中によりひび割れが発生した。応力の増加にともな

い骨材周辺部分のひび割れと、それ以外の部分でのひび割れがつながっていくことが確認できた。これは、実際のコンクリートの破壊過程と一致している。

本解析では低応力段階での骨材—モルタル間のひび割れは多くは確認できなかった。

4. 結論

モデル化されたコンクリートの圧縮試験における数値解析の結果を示した。図5は参考文献(1)の圧縮試験結果をスケッチしたものであるが、数値解析結果と比較するとコンクリート内部ひび割れの発生位置が同様であることが確かめられる。しかし、本解析モデルはバネ系を完全弾性体と仮定し、降伏後はバネ系がそれ以上の応力を受け持たないというシンプルな仮定をしているため、コンクリートの塑性域での挙動を考慮したモデルが必要である。また要素分割方法にも検討の必要性があると思われる。

参考文献

- 1) 小坂義夫、谷川恭雄、太田福男：コンクリートの破壊挙動に及ぼす粗骨材の影響、日本建築学会論文報告集第228号、pp1-11
- 2) 川井忠彦・竹内則雄共著：コンピューターによる極限解析法シリーズ2：離散化極限解析プログラミング、培風館、1990