

CS-22 圧縮荷重下におけるコンクリートの骨材-クラックモデルによる構成関係

埼玉大学 正会員 奥井 義昭

1. はじめに

圧縮荷重下におけるコンクリートの破壊を対象とした微視構造モデルを用いて巨視的な構成関係の検討を行った。本研究の最終目標は圧縮荷重下でのコンクリートに対するマイクロメカニクスに基づく連続体理論を構築することであるが、そのためにはコンクリートの微視構造のモデルを開発する必要がある。本報告では著者らが提案する微視構造モデルから導かれる構成関係を既往の実験結果と比較し、提案するモデルの妥当性を検討した。

2. 骨材-クラックモデル

圧縮荷重下でのコンクリートの微視的な破壊を表すモデルとして図-1に示す骨材-クラックモデルを用いた。このモデルでは骨材は正方形の介在物BCB'C'でモデル化されている。骨材とモルタルの界面BC等では圧縮荷重の増加に伴い付着が切れ、摩擦すべりが起き、引張クラックAB, A'B'が生じることを表している。この引張クラックの進展方向は最小主応力（最大圧縮応力方向）の方向とし、クラックの進展条件はクラック先端でのモードIの応力拡大係数が破壊靱性値に達したときクラックが進展するものとした。したがって、このモデルでクラック進展に関係する材料定数は破壊靱性値 K_{IC} 、骨材とモルタルの界面における付着強度 τ_c 、摩擦係数 μ となる。

また、このモデルの進展条件については文献[1]で検討しており、実験結果との比較から図-2に示す単純化されたモデルのクラック進展問題で図-1の問題を近似できることを示した。図-2のモデルは直線クラックAA'の中心に集中力が作用している問題で、集中力の大きさは図-1の問題と等価になるように決定されており、主応力 σ_{11} 、 σ_{22} の関数として与えられる[1]。

3. 構成関係の誘導

図-1の骨材-クラックモデルが密度 ρ （ここで考えている2次元問題では単位面積当たりのモデルの数）で分布する弾性体を考えると、この弾性体の平均応力と平均ひずみの関係より、次式が成り立つ。

$$\sigma_{ij} = D_{ijkl}^e (\epsilon_{kl} - \epsilon_{kl}^*)$$

$$\epsilon_{kl}^* = \frac{1}{2V} \int_S ([u_k]n_l - [u_l]n_k) ds$$

ここで、 D^e は弾性テンソル、 ϵ_{jk}^* は骨材-クラックモデルによって生じる付加的なひずみであり、適当な領域 V 内のクラックの表面と骨材とモルタルの界面 S における開口変位 $[u_i]$ を積分すれば求められる。また、 n_i は S における法線ベクトルの成分をあらわす。

従って、応力-ひずみ関係の誘導には図-1のモデルの開口変位を求める必要があるが、問題の簡略化のため次の仮定を用いた。

- 1) 開口変位の計算で多数存在するモデル間の相互干渉効果を無視する。
- 2) 領域内のクラック長は全て一定で $2c$ とする。
- 3) 図-1の引張クラックAB, A'B'の開口変位は図-2のモデルの対応する部分の開口変位で近似する。
- 4) モルタルと骨材の界面上（例えば辺BC上）ですべり量は直線分布する。

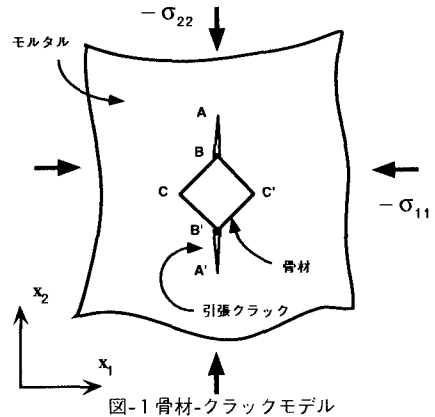


図-1 骨材-クラックモデル

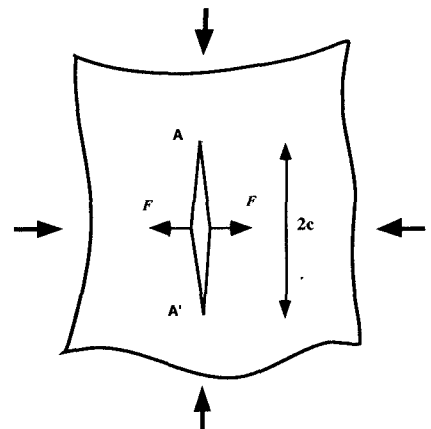


図-2 単純化されたモデル

以上の仮定を用いれば、弾性論の簡単な計算により、応力-ひずみ関係を閉じた形で求めることが出来る。さらに、この応力-ひずみ関係はクラック長がある値の時の関係を記述している。したがって、前述したクラックの進展則を用いてある応力下におけるクラック長を決定した後、この応力-ひずみ関係を用いることにより構成関係を記述できる。

4. 1軸圧縮荷重下の実験値との比較

構成関係の検証を目的として、吉本ら[2]の行った1軸圧縮試験より得られた応力-ひずみ関係との比較を行った。解析モデルで用いた入力パラメータを表1に示す。ヤング率、ポアソン比は吉本らの実験結果から、破壊靱性値は文献[3]を参照した。その他の入力パラメータのついては計算値が実験値に合うように決定した。

ヤング率 E	20 GPa
ポアソン比 ν	0.15
破壊靱性値 K_c	2.0 N/mm ^{3/2}
分布密度 ρa^2	0.03
骨材寸法 a	14 mm
摩擦係数 μ	0.6
付着強度 τ_c	4.9 MPa

図-3に実験値と計算値の比較結果を示す。同図の縦軸は軸圧縮応力 σ_{22} を基準応力 $\sigma_0 = K_c / \sqrt{\pi a} = 0.302$ MPaで除して無次元化しており、aは骨材の一辺の長さを表す。グラフで示した範囲では計算結果と実験結果はほぼ一致しているが、計算値ではピーク荷重が存在せず、いつまでも荷重が増加する。これは、クラックの進展条件が無限弾性体に単一の骨材-クラックモデルが存在する場合から導かれていることに起因する。ちなみに、実験より得られた圧縮強度は 44.1 MPa と報告されている。

また、このときの荷重とクラック長の関係を図-4に示す。荷重の初期段階では骨材とモルタルの間に剥離は生じないため、クラック長は初期長さ c_0 となる。その後、付着切れが生じクラックが進展していく様子を表している。

5. まとめ

実験値との比較から、骨材-クラックモデルから導かれた構成関係で1軸圧縮荷重下におけるコンクリートの構成関係がある程度表現できることを確認した。しかし、今回行った計算では無数に存在すると仮定した骨材-クラックモデル間の相互干渉やクラックの連結などの効果を考慮していないため、圧縮応力は単調に増加し最大応力点が存在せず、それ以後の軟化挙動も表現できない。今後の課題はモデル間の相互干渉の評価とこの構成則を用いた境界値問題の解析を考えている。

参考文献

- [1] 阿部、日比野、奥井：圧縮荷重下におけるコンクリートの骨材-クラックモデル、土木学会年次学術講演会、平成6年、[2] 吉本彰：コンクリートの変形と破壊、学献社、1990、[3] RILEM Report, Fracture mechanics of concrete structures, Chapman & Hall, 1989

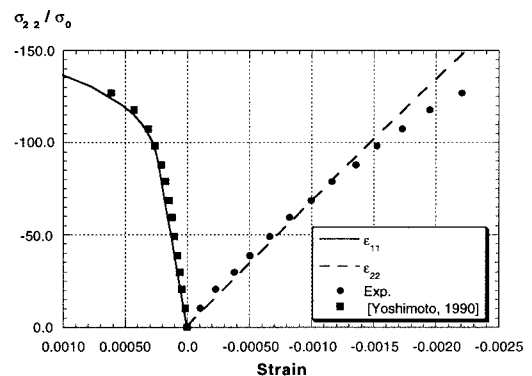


図-3 応力-ひずみ関係の実験値[2]との比較

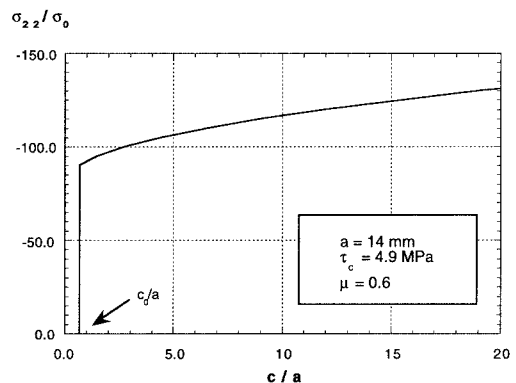


図-4 応力とクラック長の関係