I-245

コンクリートの破壊過程と破壊強度

東京工業大学　正会員　三木千寿
東京工業大学　学生員○田中靖資
東京工業大学　学生員　江口秀二

1．まえがき

本研究はコンクリートが圧縮応力を受けた時の破壊過程と破壊強度を，クラックの発生及び進展に着目し，破壊力学パラメータである応力拡大係数を取り入れて解析することを目的としている。

2．コンクリートの破壊過程の観察

コンクリートの円柱試験体（φ10cm×h20cm）の圧縮試験を行ない破壊強度を求めた後，破壊強度の20，40，60，85，95%の荷重を別々の試験体にかけた。圧縮試験においては摩擦を防ぐために，試験体端面にテフロン板を一枚ずつ敷いた。所定の載荷後，載荷方向と平行にダイアモンド・カッターで切断し，超音波洗浄した後，切断面を顕微鏡により観察した。図１に圧縮試験により得られた応力－歪の関係を示す。応力－歪の関係は，破壊強度の約60%から直線からはずれている。破壊強度の20%で骨材とモルタルの境界面にクラック（ボンドクラック）が観察され，モルタル中へのクラックの進展は境界面の角から生じている。図２にモルタル中のクラック（モルタルクラック）と荷重の関係を示す。モルタルクラックは，破壊強度の60%から急速に成長しており，コンクリートの応力－歪の関係が直線からはずれるのは，ボンドクラックを起点として発生したモルタルクラックの成長によるものと考えられる。また，最大耐力はモルタルクラックが隣接する粗骨材を連結する時点で起こった。この時のクラックは微細である。

3．破壊靱性値の決定

コンクリート中のクラック発生及び進展の様子を観察し，また破壊靱性値を求めるために，図３のような試験体を作製した。中央の骨材は，その長軸方向と打ち込み面のなす角度が30，45，60°となるように配置した。硬化後，試験体を厚さ３cmに切断した。載荷方向は打ち込み方向である。円柱試験体と同様に，端面にテフロン板を一枚ずつ敷いた。クラック観察図を図４に示す。クラックは境界面に存在するブリージングから発生し，境界面の角まで不安定成長し停止する。さらに荷重を上げると，クラックは載荷方向とほぼ平行にモルタル中を進展する。ボンドクラックはモードIIであり，モルタルクラックはモードＩのクラックと考えられる。ブリージングを初期クラックと仮定すると境界面のKIIcは（１）式より求まる。

$$K_{IIc}=\sigma\sqrt{\pi l_1}\,(\sin\alpha\cos\alpha-\mu_1\sin^2\alpha) \quad \cdots (1)$$

σ：ボンドクラック発生応力　　α：境界面と載荷方向のなす角
μ_1：ブリージング面の摩擦係数　　$2l_1$：ブリージングの長さ

図５はブリージングの長さとKIIcの関係である。KIIcはブリージングの長さと無関係であり，25～50 $kgf/cm^{\frac{3}{2}}$ の範囲にある。

また，モルタルのKＩcは，荷重とモルタルクラックの長さの関係から（２）式より求まる。

$$K_{Ic}=2L\sigma/\sqrt{\pi l_2}*\,(\sin^2\alpha\cos\alpha-\bar{\mu}\sin^3\alpha) \quad \cdots (2)$$

$$\bar{\mu}=(2l_1/2L)\,\mu_1+(1-2l_1/2L)\,\mu_2 \quad \cdots (3)$$

$2L$：ボンドクラックの長さ　　l_2：モルタルクラックの長さ
μ_2：ボンドクラック面の摩擦係数

図６はモルタルクラックの長さとKＩcの関係である。KＩcはモルタルクラックの長さと無関係であり，15～40$kgf/cm^{\frac{3}{2}}$ の範囲にある。

4．コンクリートの破壊モデル

解析の対象とするコンクリートは，粗骨材をブリージングの発生する底面の一辺に代表させて平均粗骨材間距離の間隔で配列し，境界面の長さを粗骨材の粒度分布，境界面と載荷方向のなす角を一様分布として，モンテカルロ・シミュレーションにより決定した。ブリージングの長さは境界面と載荷方向のなす角の関数として導入した。ボンドクラック発生応力はKIIcと（１）式から，モルタルクラック発生応力はKＩcと（２）式から得られる。破壊はモルタルクラックの長さが平均粗骨材間距離に達する時とした。図７は，シミュレーションの一例を示したものであり，実際の現象をかなり良く説明している。

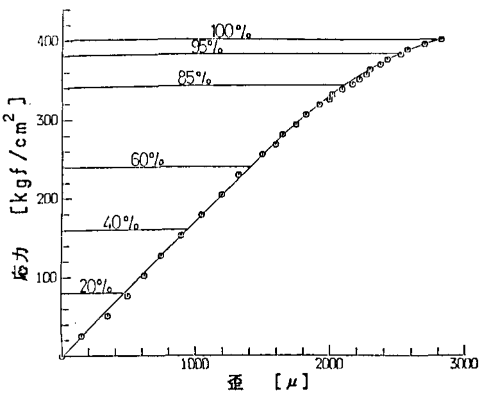

図１　応力－歪関係

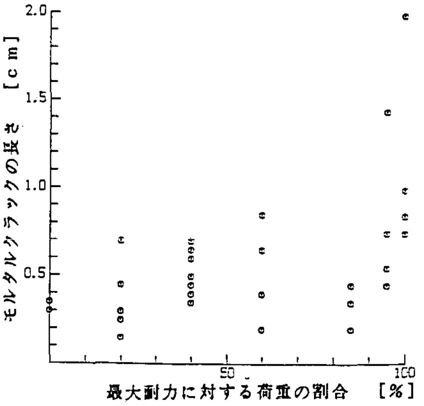

図２　荷重とモルタルクラックの長さの関係

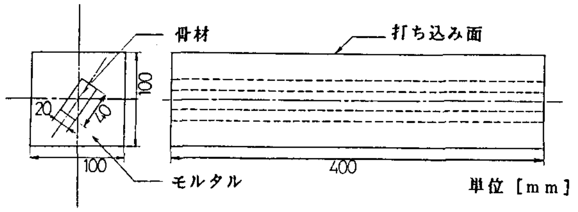

図３　試験体図

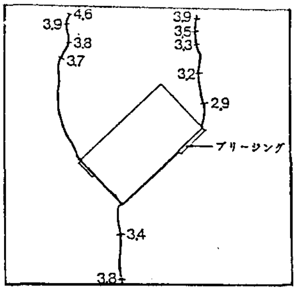

図４　クラック観察図

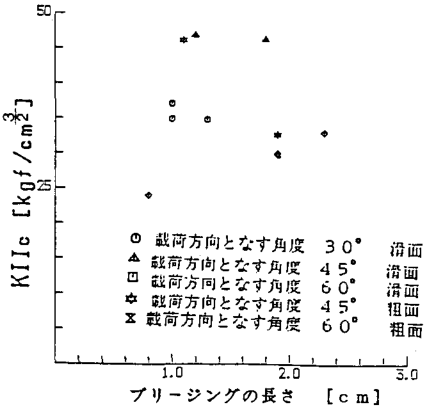

図５　KIIcとブリージングの長さの関係

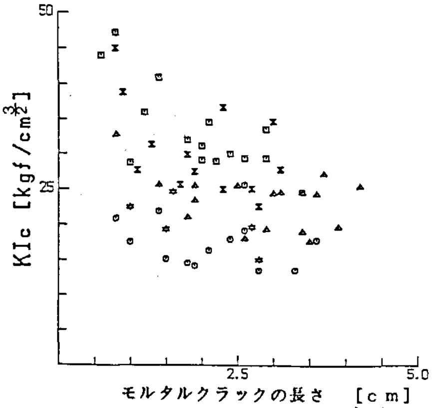

図６　KIcとモルタルクラックの長さの関係

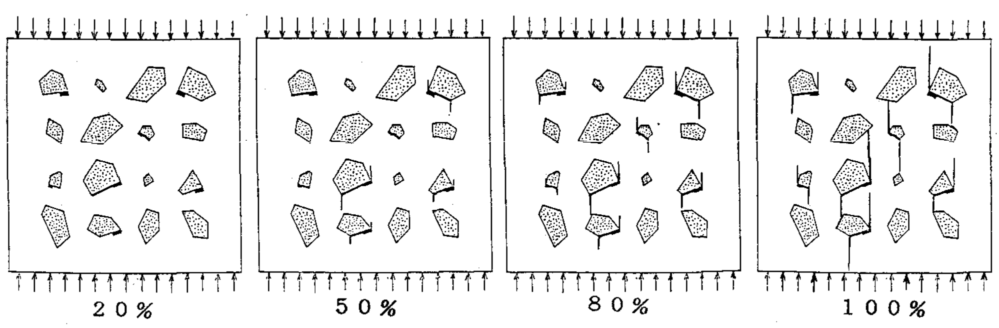

図７　シミュレーションの１例