

秩父小野田（株） 正員 片桐 誠

東北大学工学部

関根 英樹

1. まえがき

コンクリートの引張強度は構造物の設計上、重要な物性値である。しかし、一般的にコンクリートの引張強度の最適化は実験的に行われるため、多数の供試体の作製や養生等が必要となり、非効率的である。そこで、本研究はコンクリートの引張破壊をマイクロメカニクスに基づいてモデル化し、モンテカルロ法を応用した引張強度の予測方法について検討した。またコンクリートの割裂試験を行い、得られた強度と予測強度との比較を行った。

2. 解析理論

コンクリートの円筒形供試体の軸方向と垂直に一樣な引張応力を作用させる場合を考える。引張応力の増加に伴って図1に示すように、(a)粗骨材の破断、(b)粗骨材とモルタルマトリックスの界面はく離および(c)モルタルマトリックス中のき裂の発生が考えられ、これらの微視的破壊いずれかが破壊源となり、破断が起これと考えられる。モルタルの強度は粗骨材の強度と比較して大きいことや、種々のコンクリートの割裂試験後の破断面の観察の結果、上記(a)および(b)が破壊源と思われる場合がほとんどであったことから、コンクリートの引張破壊モデルを図2のように表した。

図2は、1個の粗骨材がモルタルマトリックスに埋め込まれ、外部から一樣な引張応力により、粗骨材のき裂あるいは粗骨材—モルタルの界面はく離が進展し、モルタルマトリックスにき裂が生じた状態である。また、粗骨材の位置によりき裂が材料内部に存在する場合(A)と表面に表れる場合(B)を表したものである。粗骨材の形状は球と仮定したが、破壊源となる微視的破壊は円形にまで安定的に進展するので、強度の予測値には大きな影響を与えないと考えられる。また、供試体の側面の影響は無視できるものと仮定した。

引張破断を支配する応力拡大係数を求め、図2に示したき裂が進展する時の安定性を調べる。図2(A)の内部き裂は、図3に示すように引張応力の増加とともに、試料表面に近い部分のき裂先端の応力拡大係数がマトリックスの臨界応力拡大係数と等しくなる形状をとりながら進展する。き裂の進展が表面に到達し、き裂先端全周で応力拡大係数が K_{Ic}' に等しい形状の半円状のき裂になった後、き裂が放射状に進展する。図4はき裂深さ d と図3に示した応力拡大係数 K_I との関係を示したものである。

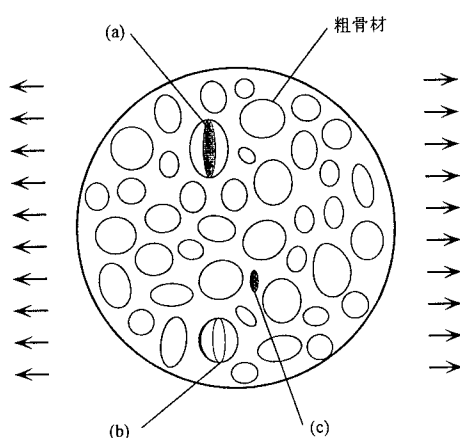
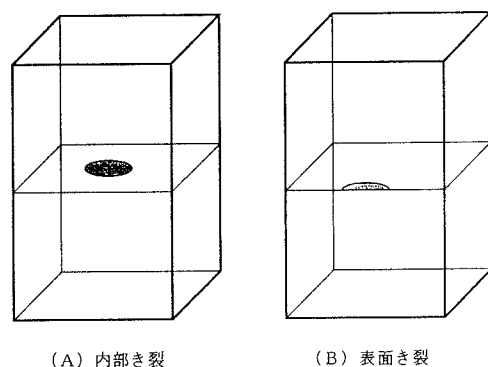


図1 コンクリートに発生する微視的破壊の模式図



(A) 内部き裂

(B) 表面き裂

図2 コンクリートの引張破壊モデル

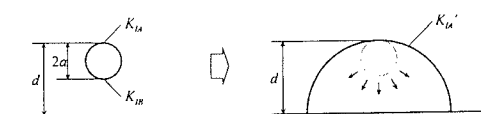


図3 内部き裂の進展

き裂深さ d が d^* より小さい場合は、内部き裂は最終的には安定的に半円状き裂にまで進展する。その後さらに引張応力が増加すると、非安定的にき裂が進展し材料は破断することが解る。また、き裂深さ d が d^* より大きい場合は、き裂進展ははじめから非安定的におこり、材料は破断する。図2(B)の表面き裂は図5に示すように、き裂の位置によってき裂が進展するところが変わるが、(A)、(B)何れの場合もき裂先端全周で応力拡大係数が等しい半円状き裂にまで安定的に進展する。その後、半円状き裂は非安定的に放射状に進展し、材料は破断することが解る。以上のことから、引張強度を支配する応力拡大係数は表1のようになる。

3. 解析および実験結果

引張強度は図6のフローチャートに示した手順で算出した。粗骨材の粒度分布関数と粗骨材の含有率から、乱数を用いて JIS A1132 に従った直径 10cm、長さ 20cm の計算供試体モデルを作成した。その供試体モデルに引張応力作用させた時に生ずるき裂の位置から強度を支配する応力拡大係数を文献[1]から算出し、その最大値とモルタルマトリックスの破壊靱性値とから引張強度の予測値を算出した。また JIS A1113 に従って引張強度を実測したコンクリートは、粒度 5mm-10mm、絶乾比重 0.9 の超軽量人工骨材、天然細砂および普通ポルトランドセメントを用い、水セメント比 0.34、細骨材率 0.35、単位水量 167kg/m^3 とした軽量コンクリートを使用した。粗骨材含有率 V_f は配合から 0.41 とした。モルタルマトリックスの破壊靱性値は、予き裂試験片の3点曲げ試験で実測し、 $0.4\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ とした。図6のフローチャートで予測した引張強度は 2.63MPa であり、実測した引張強度は、 2.68MPa であり、予測値とよく一致した。

4. まとめ

マイクロメカニクスに基づいたコンクリートの引張破壊モデルにより引張強度を応力拡大係数と関連づけた。モンテカルロ法を応用して実際に計算供試体モデルを作成し、その供試体モデルの引張強度を支配する応力拡大係数を算出し、その最大値から供試体モデルの引張強度を予測した。強度の予測値は、人工軽量骨材を用いたコンクリートの強度の実測値とよく一致した。

[参考文献]

[1] The Stress Analysis of Cracks Handbook, Second Edition, Paris Productions Incorporated (1985).

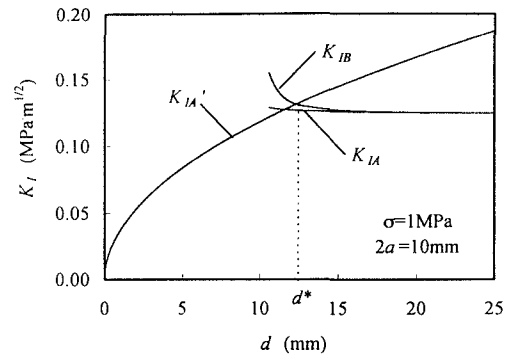


図4 き裂深さと応力拡大係数との関係

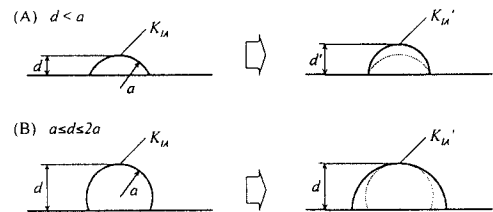


図5 表面き裂の進展

表1 き裂位置と強度を支配する応力拡大係数

き裂の位置	強度を支配する応力拡大係数
内部き裂 $d^* < d$	K_{IB}
$2a < d \leq d^*$	K_{IA}'
表面き裂 $a \leq d \leq 2a$	K_{IA}'
$d < a$	$K_{IA}' \quad (d' = \sqrt{2ad - d^2})$

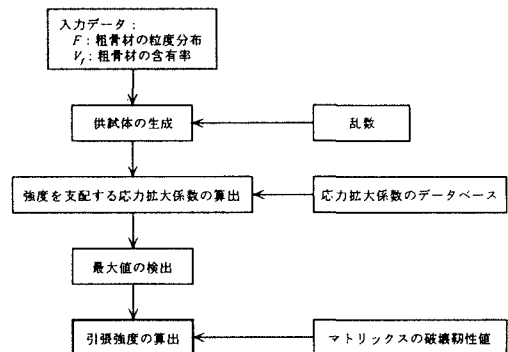


図6 引張強度の算出フローチャート