

V-349 鋼繊維補強コンクリートの軟化特性を考慮したFEM解析

鉄建建設（株）正会員 益田彰久

鉄建建設（株）正会員 松岡 茂

鉄建建設（株）正会員 松尾庄二

1、はじめに

鋼繊維補強コンクリート（以下SFRC）は引張破壊発生後も引張応力を保持しており、そのためSFRC部材に曲げによる引張りひび割れが発生したとしても急激に部材耐力が減少することはない。この破壊挙動は引張りひび割れ開口幅と引張応力の関係である引張軟化曲線に大きく起因する。一方この引張軟化曲線は繊維の種類や混入率によって様々に変化するため、部材の破壊特性を把握するには引張軟化曲線との関係を捉えておく必要がある。今回多種の引張軟化曲線を使用したFEM解析でSFRC曲げ試験のシミュレーションを行い実験値との比較を行ったので、ここに報告する。

2、引張軟化曲線

図-1に引張軟化曲線の概念図を示す。ひび割れ発生時には引張強度 f_t を有しているが、ひび割れの進行と共に応力は急激に減少していく。この勾配はSFRCであっても無筋コンクリートと変わらず、 0.02mm において応力が0となる点に向かうものと仮定した。SFRCの場合はこの軟化の途中で応力が保持される現象が見られ、このときの引張応力と引張強度の割合を残留強度率 r ($0.0 \leq r \leq 1.0$) とする。またこの点より 1mm 開口する点までの勾配を λ と定義する。そして最終的に引張応力が0になる点 ω_m が存在するがこれは鋼繊維の形状により異なる値となる。

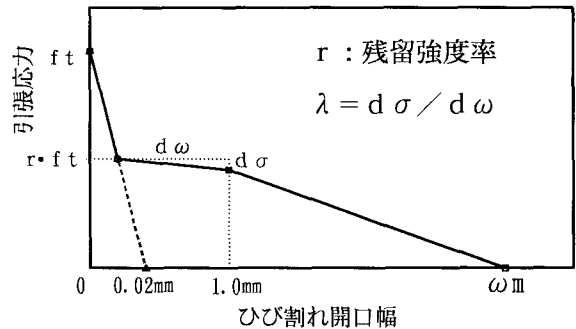


図-1：引張軟化曲線

今回実験値として対比するSFRCの引張軟化曲線は、インデント付き長さ 30mm 鋼繊維混入率 1.0% 供試体の純引張試験結果（参考文献1）により r を 0.5 、 ω_m を 6mm とした。また λ の値は約 $10 \sim 50\text{kgf/cm}^3$ と報告されている。そこでFEM解析のデータとして λ の値を 10kgf/cm^3 、 40kgf/cm^3 、 70kgf/cm^3 、 100kgf/cm^3 の四種とした。また部材高さを 10cm 、 15cm 、 20cm 、 40cm とし、この数値のを組み合わせでシミュレーションを行った。

3、FEM計算値と実験値との比較

SFRC曲げ試験はスパン三等分点への二点载荷、変位制御で行った。FEM計算と実験結果との対比項目として、ひび割れ開口幅-荷重曲線におけるピーク荷重点と 1mm 開口点を結ぶ線の勾配で定義される β （参考文献2）、ピーク荷重における全断面高さに対するひび割れ深さの割合である α の二項目を取り上げた。

部材高さ β の関係をまとめたものを

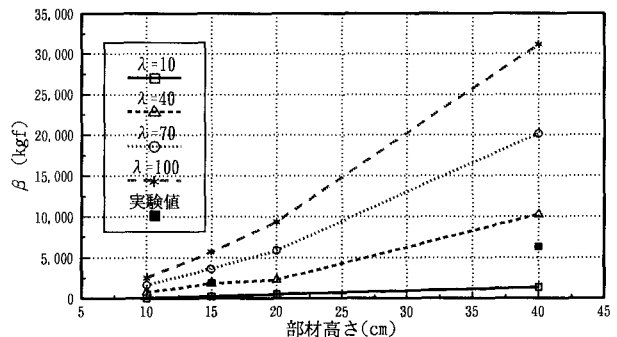
図-2：部材高- β 曲線

図-2に示す。同一部材高さについては λ の値が大きいものほど β の値も大きくなっている、すなわち引張軟化曲線の軟化が大きいものほど開口変位に対する荷重の落ち込みが大きくなっていることがわかる。また同一 λ について見ると、部材高さが大きくなれば β の値も大きくなっていることがわかる。前述のように純引張試験結果による λ の値は約10~50kgf/cm³と報告されており、図-2に図示した実験値と計算結果の分布との傾向は適合していると思われる。

次に部材高さ α の関係を図-3に示す。同一部材高さについては λ が大きいほど α は小さくなるのがわかる。つまりピーク荷重時のひび割れ深さは浅いということであり、ちなみにピーク荷重の値も小さくなっている。また同一 λ では部材高さが大きくなるにつれ α の値は小さくなっており、これが寸法効果の原因となっていると考えられる。また実験値も λ の値が10~40kgf/cm³の間にプロットされており、計算値と良くあっているといえる。

図-4に荷重-変位曲線を示す。SFR C母材強度のバラツキ等の影響によりピーク荷重に差が見られるものの、カーブ形状は $\lambda=10$ kgf/cm³の曲線に近く、良く特徴を表しており、ここでもFEM計算値の妥当性が確認できた。

4、まとめ

以上のように λ という考えを導入しこの値を変えることにより様々な引張軟化曲線を表現し、それを使用することによってFEM計算によりSFR C曲げ試験をシミュレートすることができた。このように、引張軟化曲線を正しく表現することはSFR C構造物の様々な挙動を把握するのに必要不可欠なものであると考えられる。

今回対象としたSFR Cの配合は一種類であり残留強度率 r を0.5としたが、混入率等が変わると r も変化することがわかっている。また今回の荷重状態ではひび割れは純曲げ状態の断面で発生しており軸力の作用は考慮していない。今後このような r による引張軟化曲線の形状の変化や軸力の作用が破壊特性にどのような影響を及ぼすか、更に調査する必要があると思われる。

【参考文献】1) 松尾、松岡ら：鋼繊維補強コンクリートの破壊特性、

土木学会第四十九回年次学術講演会（投稿中）

2) P. NAKORN: Fracture Mechanics Based Design Method of SFR C Tunnel Lining,

The University of Tokyo, December, 1993

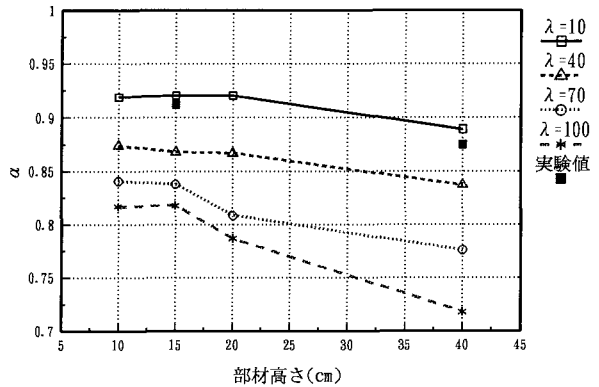


図-3：部材高- α 曲線

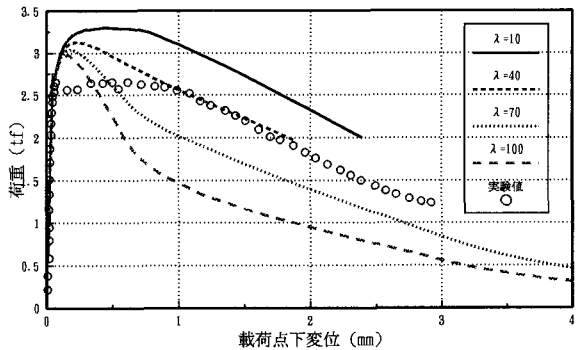


図-4：荷重-変位曲線