

V-174

鋼繊維補強コンクリートの曲げ破壊過程のシミュレーション

岐阜大学工学部 正会員 小柳 治 六郷恵哲
 岐阜大学工学部 学生員 ○岩佐正徳 山下雄三

1. まえがき

コンクリートの破壊現象を検討する場合には、実験や理論に加え、シミュレーションを併用した総合的な手法が有効である。ひびわれの進展によって生じるコンクリートの各種の破壊現象のシミュレーションを行う場合に、コンクリートの破壊力学パラメーターである破壊エネルギーの値や、引張ひずみ軟化曲線(減少する引張応力と開口変位との関係)が取り入れられるようになってきた。本研究では、直接引張試験によって求めた鋼繊維補強コンクリートの破壊エネルギーの値および引張ひずみ軟化曲線¹⁾を用いて、有限要素法によって鋼繊維補強コンクリート曲げ供試体の荷重変位曲線のシミュレーションを行うとともに、曲げ強度の寸法依存性について破壊力学的立場から検討した。

2. 研究概要

(1) 引張ひずみ軟化曲線の計測¹⁾ 両引き方法による直接引張

試験方法を図-1に示す。10x10x40cmの角柱供試体両端にネジ付き鋼棒を埋め込み、供試体側面中央部の対称面に切り欠き(幅5mm、深さ1.5cm)を加工した供試体を使用した。切り欠き部の開口変位(左右の平均)を変位計によって計測した。コンクリートはストレート鋼繊維(インデント付きφ0.5x25mm)を容積比で1%または2%混入した鋼繊維補強コンクリート(圧縮強度 f_c はそれぞれ593kgf/cm²、627kgf/cm²)を使用した。得られた引張ひずみ軟化曲線を図-2に示す。鋼繊維混入量が1%の場合、ひび割れ発生直後の急激な破壊の進展を制御できなかったため、この領域の曲線は鋼繊維混入量が2%の場合の試験結果をもとに推定した。鋼繊維補強コンクリートの破壊エネルギー(引張ひずみ軟化曲線下の面積)は鋼繊維混入量が1%および2%の場合でそれぞれ6.11kgf/cm、8.81kgf/cmとなった。

(2) 荷重変位曲線のシミュレーション 表-1に示すように、鋼繊維混入率を1%または2%とし、断面が10x10cm、載荷スパンが30cmの供試体と、全体の寸法がその2, 3, 4, 5倍の、5種類のはり供試体について3等分点載荷した場合の荷重変位曲線のシミュレーションを行った。供試体の有限要素モデル(要素数94, 節点数70)を図-3に示す。自重の影響は考え

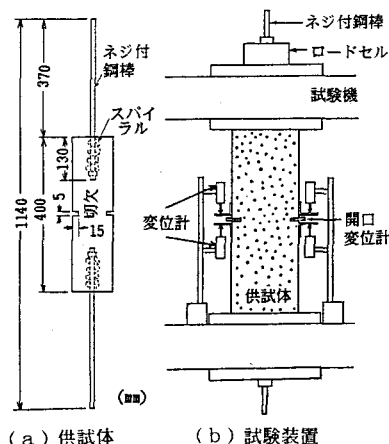


図-1 直接引張試験

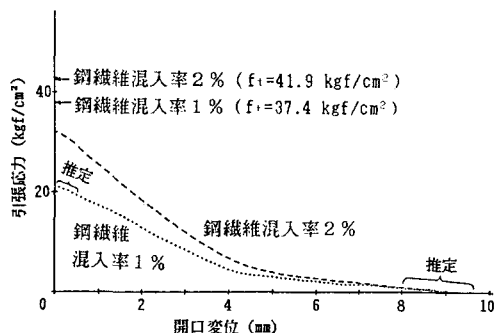


図-2 引張ひずみ軟化曲線の計測結果

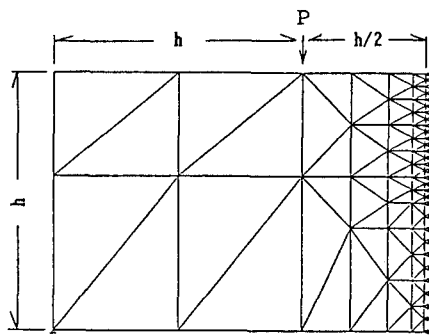
図-3 曲げ供試体の有限要素モデル
($h = 10, 20, 30, 40, 50$ cm)

表-1 シミュレーション条件

シリーズ名	鋼繊維混入率 (%)	供試体寸法 (cm)
F1S1	1	10×10×30
F1S2	1	20×20×60
F1S3	1	30×30×90
F1S4	1	40×40×120
F1S5	1	50×50×150
F2S1	2	10×10×30
F2S2	2	20×20×60
F2S3	2	30×30×90
F2S4	2	40×40×120
F2S5	2	50×50×150

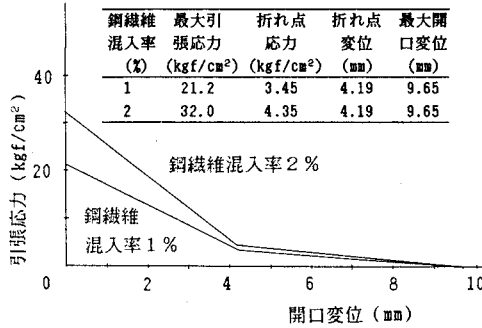


図-4 引張ひずみ軟化曲線モデル

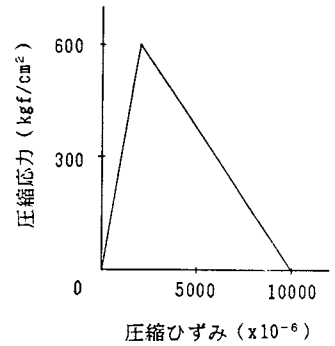


図-5 圧縮応力ひずみ曲線モデル

ないものとした。また供試体および載荷方法が左右対称であるので左半分の要素を用いてシミュレーションを行った。実測した引張ひずみ軟化曲線(図-2)をもとに二直線状にモデル化した引張ひずみ軟化曲線を図-4に示す。供試体中央部にひびわれが引張縁から進展すると仮定し、ひびわれ線上の節点に、引張ひずみ軟化曲線から定まる結合力を等価節点力として作用させた。はりの圧縮域の応力ひずみ曲線としては図-5に示すモデルを用い、強度破壊点($f_c = 600 \text{ kgf/cm}^2$)を超えた要素の弾性係数を低下させることにより、圧壊現象をシミュレーションに組み込んだ。

3. 結果と考察

(1)荷重変位曲線 シミュレーションによって求めた荷重変位曲線の例としてF1S1シリーズの結果を図-6に示す。引張側のひびわれの進展と圧縮側の圧壊とを考慮して、最大荷重点以降をも含む完全な荷重変位曲線を得ることができた。

(2)曲げ強度の寸法依存性 JCIの規準²⁾においても、鋼繊維補強コンクリートは供試体(断面 $b \times h$, スパン L)の示す最大荷重 P_m から曲げ強度 f_b を求めるには、材料の非線形性を考慮せずに普通コンクリートの場合と同様に次式が用いられる

$$f_b = P_m L / (bh^2) \quad (1)$$

シミュレーションによって得られた最大荷重から、(1)式により曲げ強度を求め図-7に示す。供試体寸法が大きくなるほど曲げ強度は低下し、低下の度合は鋼繊維混入率が2%の場合(破壊エネルギー大)の方が1%の場合よりも大きい。

4. あとがき

鋼繊維補強コンクリートの実測の引張ひずみ軟化曲線を取り入れて曲げ供試体の荷重変位曲線のシミュレーションを行うとともに、引張ひずみ軟化特性に起因する曲げ強度の寸法依存性を定量的に明らかにした。

〈参考文献〉1)小柳,六郷,近藤,鈴木;コンクリートの引張ひずみ軟化特性の計測,第42回セメント技術大会,1988年5月 2)繊維補強コンクリートの試験方法に関する規準,日本コンクリート工学協会,1984年

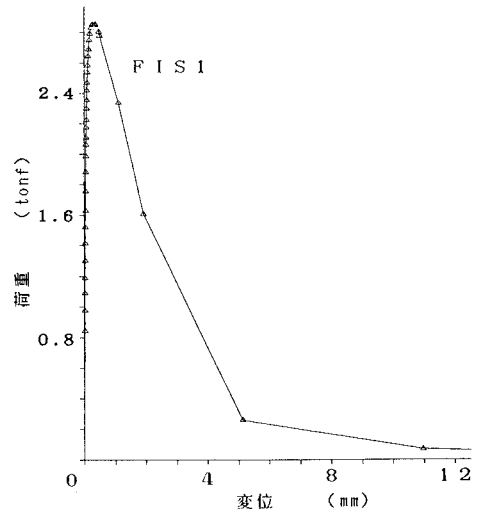


図-6 荷重変位曲線のシミュレーション結果

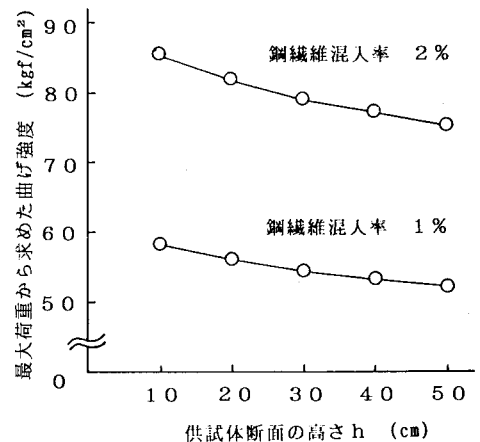


図-7 曲げ強度の供試体寸法の依存性