

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 学生員 ○大島光晴、山本達也

岐阜大学 正会員 六郷恵哲、岩瀬裕元、小柳 洽

1. まえがき

各種強度、靱性あるいは耐衝撃性などに対し優れた性質を持つ鋼繊維補強コンクリート(SFRC)を将来、積極的かつ効果的に利用していく上では、混入する鋼繊維やマトリックスとなるコンクリートの力学的特性がSFRC自体の耐力のみならず靱性などに、どのように影響を及ぼすかについて明らかにしておく必要がある。本研究は、SFRCの最大耐力以降を含めた破壊をメカニズムと共に破壊過程の中で鋼繊維が果たす役割を定量的に把握するために、SFRCの曲げ破壊過程のシミュレーションを行なったものである。

2. 研究内容

SFRCの力学的特性は、マトリックスとなるコンクリートの強度や鋼繊維の混入量だけでなく、鋼繊維の形状、材質、マトリックス中での配向状態、付着性などによって左右されるということにはすでに指摘されている。しかし、これらの諸因子とSFRC自体の強度、靱性などとの相関性については十分な解明がなされていない。本研究は特に、SFRCのマトリックスにレジンコンクリートを使用した場合を想定し、混入する鋼繊維の効果を評価しつつ破壊のメカニズムを仮定して、鋼繊維が破断する場合と鋼繊維がマトリックスから抜け出す場合に分けて、それに伴うSFRC断面内の応力-ひずみ関係をモデル化するこれによってSFRCの曲げ破壊におけるモーメント-曲率関係をいしは、荷重-変位関係を算定し、実際の破壊過程との整合性について検討を行なった。

【応力-ひずみモデルの仮定】 レジンコンクリートの引張応力-ひずみ曲線は、以前実験によって得られた曲げ荷重-変位曲線より図-1の様な形状になると考えられる¹⁾。この様な形状を持つ曲線は最大耐力点において、破壊に要する以上のエネルギー(W_R)がひずみエネルギーとして蓄えられているために不安定な破壊を起こすことを示し、一般の変位制御の方法では計測は不可能である^{2),3)}。しかし、鋼繊維を

混入することによりこの様な破壊形態は改善される。つまりレジンコンクリート中に蓄えられたエネルギー(W_R)はひび割れが発生した瞬間に鋼繊維に移行し消費されると考えられる。従って鋼繊維の応力-ひずみ曲線を図-2の様に仮定するならば、 $W_R = W_f$ となりマトリックスにひび割れが発生した瞬間に鋼繊維のひずみは ϵ_{fc} から ϵ_f へ変化し、その後の破壊断面内の荷重は鋼繊維のみで受け持たれるとした。今、マトリックスの単位断面積を A_R 、その中に含まれる鋼繊維の面積を A_f とすると、ひび割れ発生直前と直後の力の釣合より、

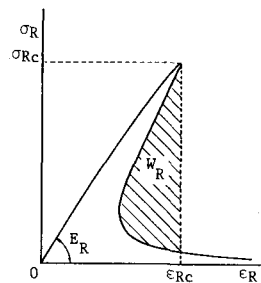


図-1 レジンコンクリート

応力-ひずみ曲線 (引張り)

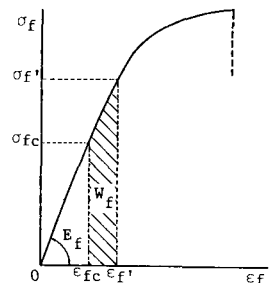
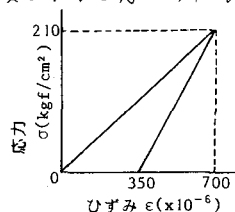
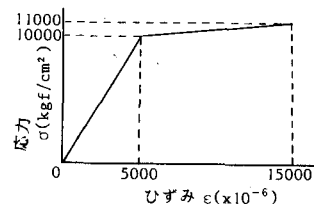


図-2 鋼繊維

応力-ひずみ曲線 (引張り)

図-3 レジンコンクリート
応力-ひずみ曲線モデル
(引張り)図-4 鋼繊維
応力-ひずみ曲線モデル
(引張り)

$(1 + p \cdot n_f) A_R \cdot \sigma_R = A_f \cdot \sigma_f$ ($E = E_L$, $p = A_f / A_R$, $n_f = E_f / E_R$) となる。また、鋼繊維混入率を p とし、配向係数を n_f とすれば、 $p = A_f / A_R = n_f \cdot V_f$ の関係が得られる。なお、曲げ破壊過程において、マトリクス中の鋼繊維が抜け出す場合は、マトリクスの付着強度を τ_a 、鋼繊維の周長を U 、付着長を l とすると、 $\tau_a U l = A_f \cdot \sigma_f$ の関係が成り立つ。

レジンコンクリートと鋼繊維の引張応力-ひずみ曲線モデルを図-3、図-4に示す。またこれらを用いて先の式より設定したSFRCの引張応力-ひずみ曲線モデルを図-5に示す。

この中で、Aタイプは鋼繊維が全て破壊する場合、Bタイプは鋼繊維が全て抜け出す場合を示す。なお、SFRCの圧縮応力-ひずみ曲線モデルを図-6に示す。なお、鋼繊維は、 $\phi 1.0 \times 40 \text{ mm}$ の寸法で混入率を2%と設定した。

〔計算方法〕 問題とするSFRCの部材寸法は、通常の曲げ強度試験の場合と同じく $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ とし、3等分点載荷 ($E-M$ スパン: 10 cm) を考えた。計算手順としては、断面を几个の要素に分割して、引張ひずみ ϵ_t を設定し、中立軸 x を仮定することにより各要素のひずみを求め、先に設定したSFRCの圧縮、引張応力-ひずみモデルより各要素の応力度を求め、力の釣合いが満足するように中立軸 x を仮定し直し、 $E-M$ と曲率を計算した。また得られた $E-M$ 曲率より荷重-変位関係を算定した。フローチャートを図-7に示す。

3. 結果と考察

計算より得られた荷重-変位曲線を図-8に示す。また実験より得られた代表的な荷重-変位曲線を図-9に示す。Aタイプの様に鋼繊維が全て破断するものについては実験データが不足のため比較するに至らなかったが、Bタイプで得られた荷重-変位曲線は、実験で得られたものと比較的良好であった。従って、本研究の解析方法はほぼ整合性のあるものと考えられる。今後さらに、より精度の高い解析方法を検討する必要があるものの、本解析概念は、必要とする強度あるいは靱性を持つSFRCの設計を考える上で、有効な手段の一つと考えられる。

〈参考文献〉

- 1) 小柳, 六郷内田
“コンクリートの破壊現象の安定性とその予測”
コンクリート工学論文
No. 82.6, 1982年6月
- 2) 小柳, 六郷, 大野
“E-M点載荷体の下
降域での荷重-変位曲
線の自動計測システム”
土木学会論文集
No. 554, 1984年2月掲載予定
- 3) 坂井, 中村
“鋼繊維補強コンクリートにおける鋼繊維の特性と曲げ挙動に関する研究”
鋼繊維補強コンクリートに関するシンポジウム, 1984年2月。

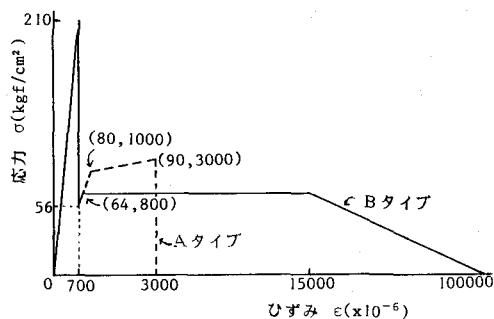


図-5 SFRC
応力-ひずみ曲線モデル (引張り)

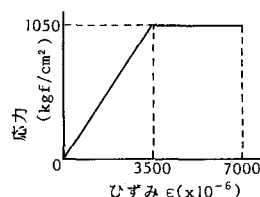


図-6 SFRC
応力-ひずみ曲線モデル (圧縮)

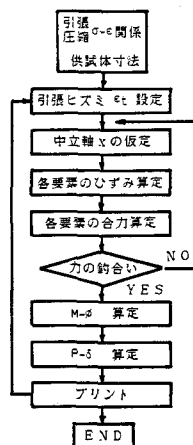


図-7
フローチャート

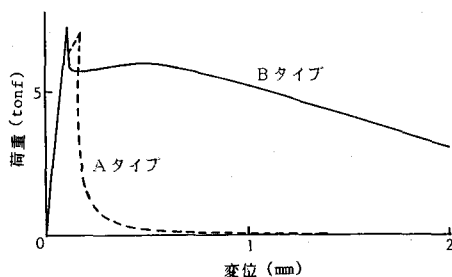


図-8 SFRC 荷重-変位曲線 (計算値)

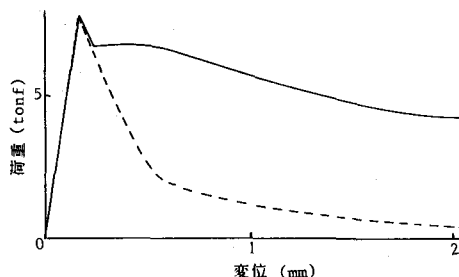


図-9 SFRC 荷重変位曲線 (実験値)