

繊維補強鉄筋コンクリート構造部材に関する研究 (1)

—引張応力下における鋼繊維補強コンクリートの応力・変形モデル—

Study on Reinforced Concrete Members using Fiber Reinforced Concrete (1)

小林 一 輔*・魚 本 健 人*・古 越 仁*

Kazusuke KOBAYASHI, Taketo UOMOTO and Hitoshi Furukoshi

1. は し が き

繊維補強コンクリートは他のコンクリートに見られない種々の特性を有しているが、鉄筋を併用して用いるとさらに効率の良い構造部材を作ることが可能となる。すなわち繊維補強コンクリートと鉄筋を併用した繊維補強鉄筋コンクリート構造は、繊維によって強化されたコンクリートと、鉄筋とを複合させた新しい複合構造と言うことができよう。¹⁾

このような繊維補強鉄筋コンクリートは、新しい構造材料であるため、実構造物に適用する場合にはその諸特性を明らかにすることが必要となる。そこで、本研究では、繊維補強鉄筋コンクリートを次に示す構造部材に適用することを目的として、それぞれの特性を明らかにすると同時に、実用的な設計方法について検討を行う。

- ① 梁
- ② 床版
- ③ 柱

本文では、これらの検討の基礎となる鋼繊維補強コンクリートの引張応力下における応力-変形関係をモデル化することを目的として検討した。なお、鋼繊維補強コンクリートの引張応力-変形曲線を実験的に求める方法として、両引き試験方法²⁾を採用した。

2. 実 験 概 要

実験は、両引き試験と梁（無筋）の曲げ試験を行い、さらに鋼繊維補強コンクリートの品質を調べるための圧縮強度試験および曲げ試験を実施した。

実験に用いた鋼繊維は異形カットワイヤー（ $\phi 0.5 \times 30$ mm）で、セメントは普通ポルトランドセメントを、細骨材としては大井川産川砂（比重 2.62, 吸水率 2.24%, 粗粒率 3.03）を、また粗骨材としては最大寸法 15 mm の秩父両神産砕石（比重 2.70, 吸水率 0.63%, 粗粒率 6.50）

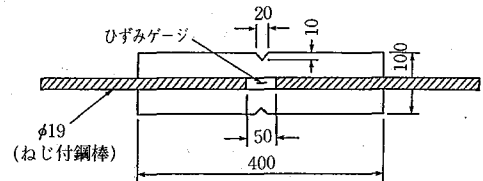


図-1 両引き試験用供試体 (単位: mm)

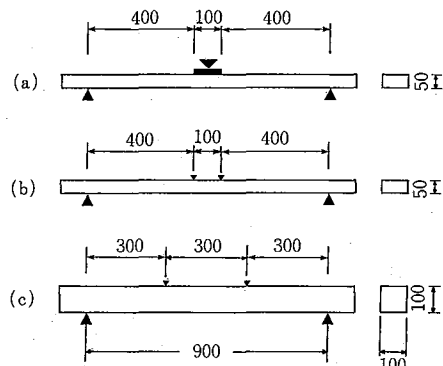


図-2 曲げ試験用供試体 (単位: mm)

を用いた。コンクリートの配合は水セメント比 50% とし、繊維混入率を 0 から 2% の間で変化させ、スランプは 10 ± 1 cm となるよう定めた。

両引き試験に用いた供試体は図-1 に示すもので、²⁾ 材令 4 週まで水中養生を施した後、試験を行った。なお、両引き試験における荷重載荷速度は、曲げ強度試験時の緑応力増加速度 ($8 \sim 10$ kg/cm²/min) と同じようになるよう定めた。

梁の曲げ試験に用いた供試体は図-2 に示すように、梁高さは 5 cm, 10 cm の 2 種類とし、(a) は 10 cm の載荷板による集中載荷、(b) は等モーメント区間 10 cm の 2 点載荷、(c) は 3 等分点 2 点載荷とし、いずれもスパンは 90 cm である。養生方法は、(a) および (b) については材令 2 週まで水中養生した後、湿布養生とし、(c) に

* 東京大学生産技術研究所 第 5 部

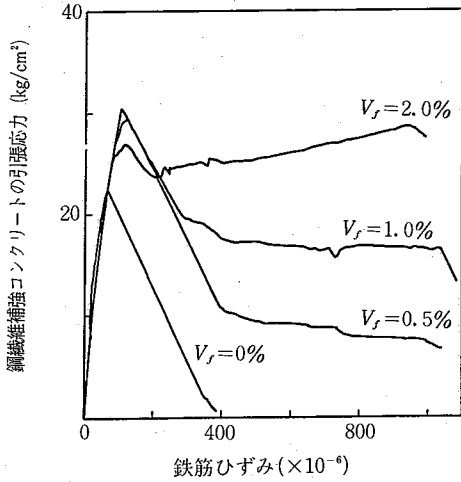


図-3 両引き試験で求めた鋼繊維補強コンクリートの引張応力-鉄筋ひずみ曲線

については材令4週まで水中養生した後、材令6週までの間に試験した。なお、梁(b)および(c)については圧縮縁ひずみも同時に計測した。

3. 両引き試験結果

本研究では、鋼繊維補強コンクリートの引張応力-変形曲線を求めるために両引き試験²⁾を採用したがこの試験では、鋼繊維補強コンクリートの引張応力を直接求めることはできない。そこで引張荷重からその時の鉄筋ひずみに相当する鉄筋分担荷重を差引いたものを鋼繊維補強コンクリート分担荷重と考え、コンクリート断面積で除した値を平均応力とした。

両引き試験により得られた鋼繊維補強コンクリートの引張応力-鉄筋ひずみの関係を図-3に示す。この図より次のことが言えよう。

- 1) ひび割れ発生までの応力-ひずみ曲線は、繊維混入率のいかんにかかわらず一定であると考えられる。
- 2) ひび割れ発生後は急速に耐力が低下するが、この時の勾配は繊維混入率によらずほぼ一定である。しかし、これは主として荷重速度およびひび割れの進展速度によって定まるものと考えられる。
- 3) ひび割れ発生後に安定する耐力は繊維混入率の高いものほど高い。
- 4) 耐力が安定した後はひずみの増大に伴って耐力は漸減する。なお、繊維混入率2%の場合については、ひび割れ発生後に供試体が偏心したために耐荷機構が変化したものと考えられる。

以上の結果を考慮すれば鋼繊維補強コンクリートの引張域におけるモデルを考えることが可能となる。そこで、

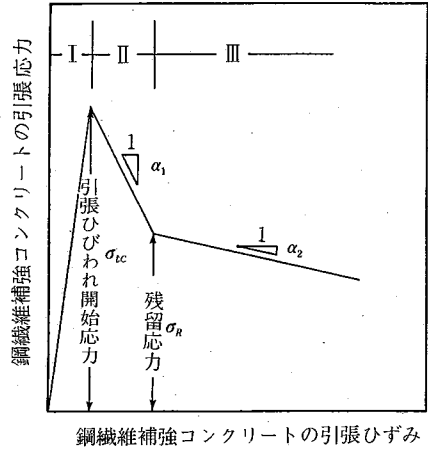


図-4 鋼繊維補強コンクリートの引張応力-ひずみモデル

ひび割れ開始後のコンクリートひずみは実測できないため、上記の鉄筋ひずみに相当すると考えてモデル化することにした。なお、圧縮応力-変形曲線に関しては、谷川ら³⁾の研究結果を考慮して Popovics の提案した式⁴⁾にあてはめ、圧縮ひずみを ϵ として次式を用いた。

$$\sigma_c = 550(\epsilon / 0.003) \cdot n \cdot \{(n-1) + (\epsilon / 0.003)^n\}$$

ただし n : 実験定数 ($n=2.5$)

4. 引張応力-ひずみ関係のモデル化

両引き試験の結果を考慮して、鋼繊維補強コンクリートの引張応力-ひずみ関係を図-4に示す曲線で表せるものと仮定した。この図から明らかなように、このモデルでは、引張弾性係数、引張ひびわれ開始時応力(σ_{sc})、残留応力(σ_R)と2つの応力低下勾配 α_1 および α_2 の合計5個の定数を定めれば引張応力-ひずみ曲線が得られる。

(1) 有効繊維混入率

小林・睦好⁵⁾がすでに明らかにしているように、梁の曲げ試験を行うと破断面の平均繊維本数は任意断面の2/3程度に留まり、この割合は繊維長さによって異なる。

本文ではこの考えに基づき、繊維長さ、型枠寸法、分散等を考慮した繊維混入率、すなわち有効繊維混入率(V_a)が鋼繊維補強コンクリートの性質に影響を及ぼすと仮定した。

有効繊維混入率(V_a)を求めるため、同一条件で載荷された供試体の破断面における繊維本数からその平均本数 n (本/cm²) を求め、次式によって求めた。

$$V_a = 25\pi d^2 n / \beta \quad (式1)$$

ただし、 d : 繊維直径 (cm)

β : 配向係数で、文献5)を参考にした。

研 究 速 報

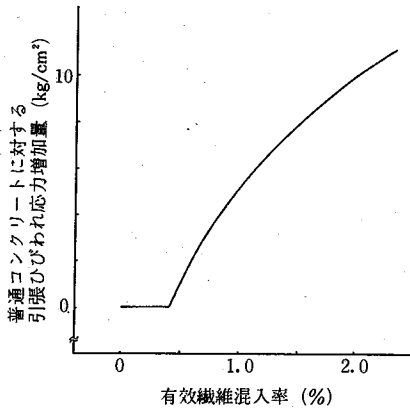


図-5 引張ひびわれ開始応力の普通コンクリートに対する増加量

$$\beta = K_1 l^2 + K_2 l(B + H - 2l) + K_3(B - l) \cdot (H - 1) / BH$$

$$K_1 = 0.82, K_2 = 0.64, K_3 = 0.50$$

B: 梁の幅 (cm) H: 梁の長さ (cm)

(2) 引張弾性係数と引張ひびわれ開始応力

引張弾性係数は、圧縮弾性係数と同じ $3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ とし、引張ひびわれ開始応力 (σ_{tc}) は、小林・趙の提案²⁾ による次式を用いた。ただし、繊維混入率には上記の有効繊維混入率 (V_d) を用いた。

$$\sigma_{tc} = K(1/\sqrt{S} - 1/\sqrt{S_c}) + \sigma_m \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad \text{(式 2)}$$

$$S = 5\sqrt{\pi/\beta} \times d / \sqrt{V_d}$$

ただし σ_m : マトリックスの引張強度 (kg/cm²)

K: 主として鋼繊維のマトリックスとの付着強度によって決まる定数 (=20 とした)

S: 鋼繊維の平均間隔 (cm)

S_c : 鋼繊維が補強効果を生ずる S の上限値 ($S_c = 1$ とした)

d: 繊維直径 (cm)

引張ひびわれ開始応力の計算値の 1 列を図-5 に示す。

(3) 残留応力および応力低下勾配

残留応力および応力低下勾配に関しては、次の方法で求めることにした。すなわち、定数を仮定することによって計算される曲げ応力-圧縮縁ひずみの関係が図-2 に示した梁の曲げ試験による実測結果に適合するように名定数を変化させ、その最適な組合せを求めた。このようにして求めた定数の値とその供試体の破断面における繊維本数との関係を図-6~図-8 に示す。

これらの図のうち、両引き試験結果と異なっているのは図-7 の応力低下勾配 a_1 である。これは、両引き試験の場合には供試体中央に配した鋼棒により、ひびわれ発生時の変形が拘束されていたためであると考えられる。す

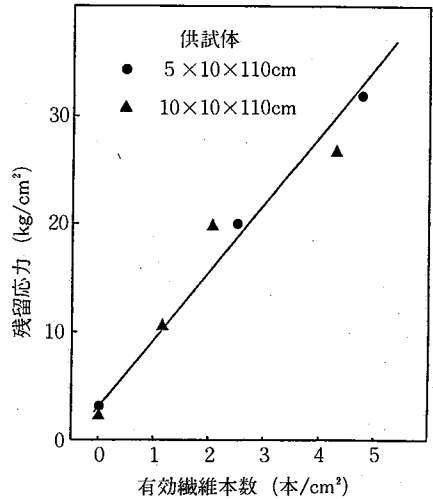


図-6 残留応力と有効繊維本数との関係

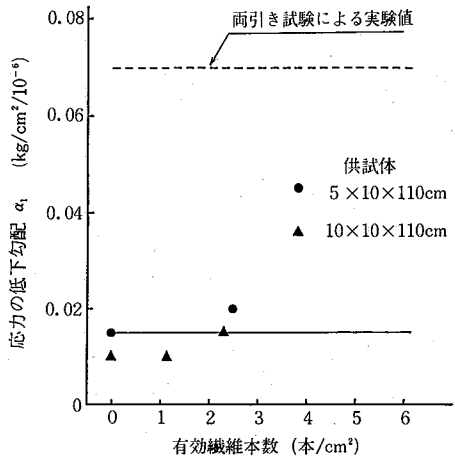


図-7 応力低下勾配 a_1 と有効繊維本数との関係

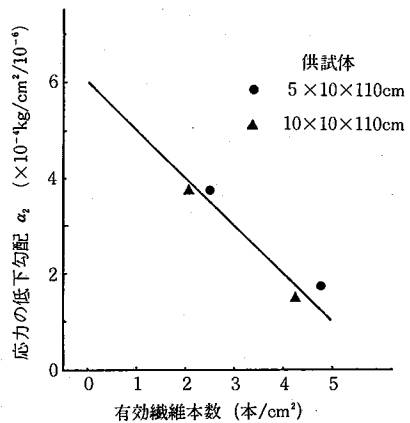


図-8 応力低下勾配 a_2 と有効繊維本数との関係

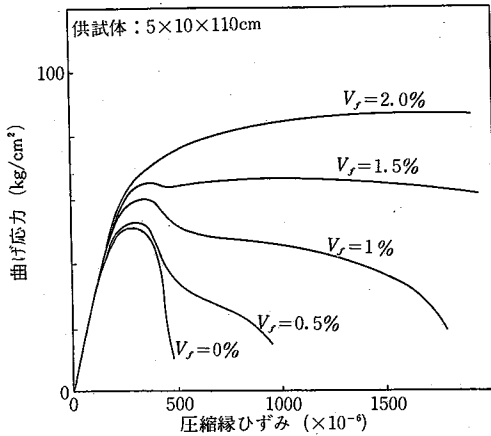


図-9 曲げ応力と圧縮ひずみとの関係 (計算値)

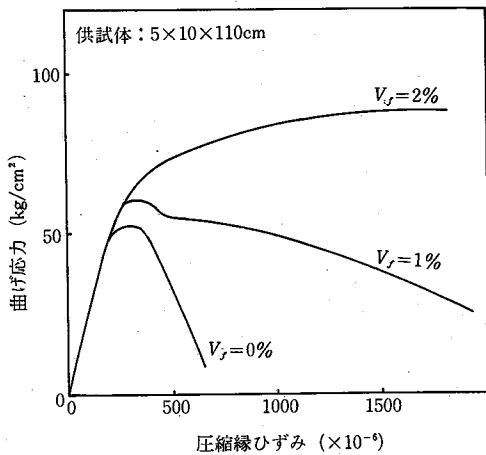


図-10 曲げ応力と圧縮ひずみとの関係 (実験値)

なわち、両引き試験から直接求められた α_1 は、同程度の配筋を施した鉄筋コンクリートの場合に対応するが、無筋の場合にはひびわれの進展が急速なためにつり合い状態に達するまでの変形が急増したものと考えられる。

以上の結果より、破断面における繊維本数の期待値は上述の式1から求められるので、計5個の定数を求めることができる。

5. 実測値と計算値の比較

上述の応力-変形モデルを使用し、5×10×110 cm 供試体の曲げ応力と圧縮緑ひずみとの関係を、実測値と比較するため、計算値を図-9に、実測値を図-10に示す。

これらの図から明らかなように、計算値は実測値とほぼ良い一致を示しており、特に繊維混入率による変形特性の違いをよく表している。なお、両者に若干の違いがあるのは、供試体破面の繊維本数が必ずしも期待本数と一致しないためであると考えられる。

以上の結果を考慮すると、鋼繊維補強コンクリートの引張応力下における応力-変形関係は、図-4に示したモデルで十分近似できると判断される。

6. あとがき

今後は、本文で求めたモデルを使用して鋼繊維補強鉄筋コンクリートの梁の曲げ性状について検討する予定である。
(1983年7月18日受理)

参 考 文 献

- 1) 魚本：新しい複合構造部材とその応用，コンクリート工学，Vol. 21, No. 5, 1983
- 2) 小林，趙：単軸引張を受ける鋼繊維補強コンクリートの強度と変形，土木学会論文報告集 No. 257, 1977
- 3) 谷川，畑中，森：鋼繊維補強コンクリートの圧縮応力度-ひずみ度曲線表示式，コンクリート工学年学，1980
- 4) S. Popovics: A Numerical Approach to the Complete Stress-Strain Curve of Concrete, Cement & Concrete Research, Vol. 13, No. 5, 1973
- 5) 小林，睦好：繊維の分散と配向を考慮した鋼繊維補強コンクリート部材の強度と変形，土木学会論文集，No. 299, 1980