

# RBSMによる鋼繊維補強コンクリートの力学的挙動の一解析

徳島大学 正会員 水 口 裕 之  
徳島大学 正会員 島 弘  
香川県庁 正会員 ○佐 治 康 弘  
徳島大学 正会員 神 原 紀 仁

## 1. まえがき

現在、応力・変形解析のために各種のマクロモデルやミクロモデルが提案されている。最も一般的なFEMは、幅広い分野において利用されているが、基本的には連続体の力学に基づいている。そのため、ひび割れ後も鋼繊維が応力を伝達する鋼繊維コンクリート（以下SFRC）では、川井により提案された剛体バネモデル<sup>1)</sup>（以下RBSM）がより有効であると考えられる。RBSMは、連続体を有限な要素に分割し、その各要素は剛体と仮定して、要素同士を各要素辺上に分布した法線と接線方向のバネによって結んだものである。したがって、要素間のすべりや分離等の塑性現象を簡単に扱うことができる。しかし、RBSMを、SFRCを用いた例は見あたらないようである。そこで、RBSMを用いてSFRCの変形解析を行い、その適用性および問題点について検討した。

## 2. 材料の構成則

本解析で用いた圧縮および引張、せん断バネ特性をそれぞれ図-1および図-2に示す。圧縮の応力-ひずみ関係（バネ特性）は、圧縮強度の0.95まで直線関係とし、その後は一定値とした。引張に対しては、引張強度までは直線関係とし、その後は引張強度に応力低下係数 $K_t$ をかけた一定値とした。せん断バネは峰松らのSFRCのせん断荷重変位曲線<sup>2)</sup>から、図-2に示すものとした。これは、繊維混入率1~2%のSFRCでは、せん断変位1mmでせん断応力は、強度の70~80%である<sup>2)</sup>ことによる。

## 3. 解析対象および解析モデル

### (1) 圧縮を受ける立方供試体

解析対象は、150×150×150mmの立方供試体とし、解析対象モデルは、図-3に示す要素分割とした。また、载荷点および支点の境界には棒要素を置いた。境界条件として、支点では水平および鉛直方向を拘束し、载荷点では水平方向を拘束した。また、载荷方法は0.04mm×30回の変位制御とした。

### (2) 曲げを受けるSFRC鉄筋コンクリートはり

解析対象は、繊維混入率 $V_f=1.5\%$ のSFRCを用いた2点対称载荷を受ける単筋鉄筋長方形断面のはりとし、幅 $b=150\text{mm}$ 、高さ $h=300\text{mm}$ 、有効高さ $d=250\text{mm}$ 、スパン $l=1300\text{mm}$ 、せん断スパン $a=500\text{mm}$ 、鉄筋比 $p=2.06\%$  ( $f_y=403\text{MPa}$ ) および単位重量 $2.6\text{t/m}^3$ のものとした。解析対象モデルは、図-4の要素分割したもの（以下モデルA）および、図-5に示す要素分割したもの（以下モデルB）を用いた。これは、予想されるせん断破壊面に要素辺があるようにし、その形状を変え要素の形状の違いの影響を比較するためである。コンクリートは三角形要素とし、鉄筋は棒と考え四角形要素とした。なお、载荷点、支点、およびスパン中央断面には、棒要素を置いた。境界条件は、支点では、鉛直方向を拘束し、スパン中央では水平方向を拘束した。また、载荷方法は0.1mm×50回の変位制御とした。

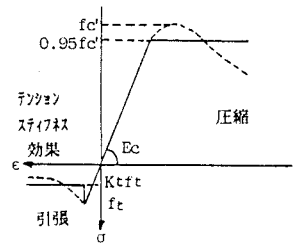


図-1 SFRCの応力-ひずみ関係

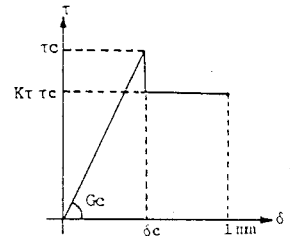


図-2 せん断応力-変位関係

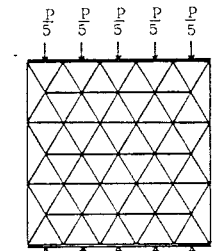


図-3 立方供試体の要素分割

なお、解析に用いた材料特性は、水口ら<sup>3)</sup>による実験結果を用いた。 $V_f=1.5\%$ で、 $f_c'=36.8\text{MPa}$ 、 $f_t=5.11\text{MPa}$ 、 $E_c=27.0\text{GPa}$ とした。なお、せん断強度 $\tau_c$ は、 $\tau_c=1/2\sqrt{(f_c' \times f_t)}$ で、圧縮強度と引張強度とから計算で求めた値を用いた。

#### 4. 解析結果および考察

##### (1) 圧縮を受ける立方供試体

SFR C立方供試体応力-変形曲線の解析結果と水口ら<sup>4)</sup>の実験値とを図-6に示す。全般的な形状および圧縮強度はほぼ一致しているが、初期載荷時からの立ち上がりを実験値より少し大きくなっている。実験値では応力は変位が0.4mm位で最大値となり、その後なだらかに低下しているが解析値は0.4mm位で最大値を示すものの、その後の低下の割合が小さくなっている。

この原因としては、垂直およびせん断バネ特性および、最大応力後の鋼繊維によるテンションスティフネス効果が適切に設定されていないことが考えられる。

##### (2) 曲げを受けるSFR C鉄筋コンクリートはり

モデルAおよびモデルBを用いた荷重-たわみ曲線の解析結果と実験値<sup>4)</sup>をそれぞれ図-7および図-8に示す。モデルAを用いたものは、初期載荷時から急に立ち上がり最大荷重後に曲線は急激に低下しており、この解析結果はタフネスの増大を的確に評価していない。一方、モデルBを用いたものでは耐力はほぼ一致し、変形性状についてはモデルAを用いたものより、定性的な傾向は実験結果とより似た結果となっている。しかし、初期載荷時の立ち上がりは、実験値よりは急になっている。なお、全断面有効とした弾性理論による荷重-たわみ関係は、実験値にほぼ一致しており、解析結果は定量的には異なるものとなった。

これらの解析結果の差は、要素分割方法にあると考えられる。曲げ剛性は、要素剛性マトリクスで表され、要素分割はその構成因子の一つである要素の相対位置を決定するものである。したがって、要素分割の違いによって曲線の傾きは変化することになる。また、要素の形状・寸法によっては応力の分布が適切に求められないことが考えられる。さらに、モデルAでは、コンクリートの要素辺がせん断破壊面に2つしか存在せず、一辺上での破壊が耐力の低下をまねいたとも考えられる。

#### 5. まとめ

以上述べてきたように、RB S MはSFR Cの解析に使用できることがわかり、耐力の解析はかなりの精度が得られたが、変形性状を解析するためには、SFR Cの材料特性の構成則および要素分割を適切にする必要性が判明し、今後この点について検討したい。

#### 【参考文献】

- 1) 川井忠彦, 生産研究, Vol.33, No.6, p.217, 1981.
- 2) 小林一輔, 鋼繊維補強コンクリート, オーム社 p.91, 1981
- 3) 水口, 他; 第39回土木学会中四国支部研究発表会講演概要集, 1987, p347-348
- 4) 水口, 他; 第38回土木学会中四国支部研究発表会講演概要集, 1986, pp401-404

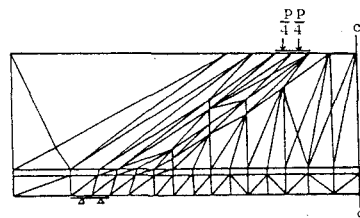


図-4 はりの要素分割 (モデルA)

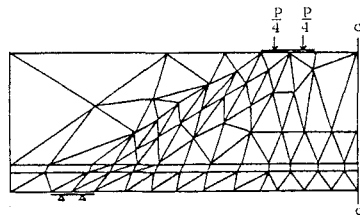


図-5 はりの要素分割 (モデルB)

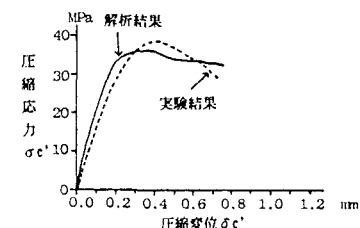


図-6 応力-変位曲線

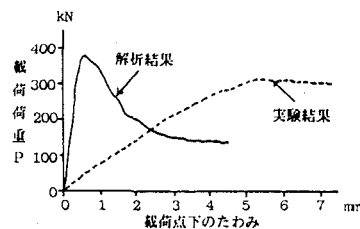


図-7 荷重-変位曲線 (モデルA)

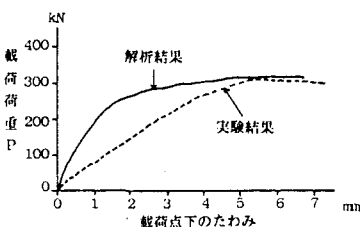


図-8 荷重-変位曲線 (モデルB)