

金沢大学工学部 正 吉 田 博
 金沢大学工学部 正 梶 川 康 男
 金沢大学工学部 学〇江 上 良 二

1. まえがき

コンクリートの致命的欠陥である脆さを改善し、すぐれた靱性を発揮させる繊維補強コンクリートが、近年脚光をあびてきている。しかし、コンクリート中に不連続短繊維がまったくランダムに分布している材料の引張挙動については、解析的には求め難いようである。本研究は、ランダム配合されたGFRPの引張強さを推定した尾田らの研究¹⁾を参考にし、マトリックスとしてモルタル、繊維に鋼繊維を用いた場合の、曲げ荷重と変形特性との関係を解析的に求めたものである。

2. 解析方法

鋼繊維補強コンクリートは、図-1のようにマトリックス中に不連続短繊維がランダムな方向に混入されているものである。しかし微小部分について考えると、そこでは、繊維は一方向に並んでいるものと考える(図-2)。このように考えて、図-1のモデルは図-2のモデルの集合体であるとみなす。具体的な解析には二次元モデルを用いる。つまり、全体モデルとしては、図-3のようにあらわされる。また個々要素はランダムに並んでいると考えられるので、要素の繊維の方向は、計算機に乱数を発生させ求めた。次に具体的に有限要素法を適用するにあたり、三角形要素を用いて、平面応力モデルとして解析を行なった。図-4には、三角形の一要素と座標の関係が示してある。図-4において、 θ は乱数を用い決定し、繊維方向をL、繊維直角方向をTとし、一要素はL-T面内の直交異方性材料であると考ええる。

次に、直交異方性を示す各要素の弾性係数やポアソン比は、一方向強化材の解²⁾を利用し、以下のように定めた。

$$E_L = E_f V_f + E_m V_m \quad (1)$$

$$\frac{1}{E_T} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{K_f - K_m}{(V_f V_f - V_m V_m)^2} + \frac{1-D}{E_m} \quad (2)$$

$$\nu_L = \frac{D(V_f K_f - V_m K_m)}{K_f - K_m} + \frac{\pi}{2} \cdot \frac{K_f K_m (V_m - V_f)}{(K_f - K_m)^2} + V_m (1-D) \quad (3)$$

$$\frac{1}{G_{LT}} = \frac{\pi}{2(G_f - G_m)} + \frac{1-D}{G_m} \quad (4)$$

上式で、 E :ヤング係数、 ν :ポアソン比、 G :せん断剛性率、 V :体積含有率、 D :繊維の直径、 m, f :マトリックス、繊維に関する諸量、 $K_f = E_f / (1 - \nu_f^2)$ 、 $K_m = E_m / (1 - \nu_m^2)$ をあらわす。

以上の仮定のもと、マトリックスとしてモルタル、 $E_m = 180000 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\nu_m = 0.20$ 、繊維として鋼繊維 $E_f = 2000000 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\nu_f = 0.28$ の材料定数を持つモデルで繊維含有率、 $V_f = 2.0\%$ のものに対し、弾性域において、一様圧縮、一様引張のもとに弾性係数、ポアソン比を求めたところ、繊維補強しないものにくらべ、それほど大差がなかった。

次に繊維補強コンクリートの特徴である脆さの改善を考えるにあたり、モデルの破壊に対しては、以下の方



図-1 鋼繊維補強コンクリートモデル



図-2 一要素モデル

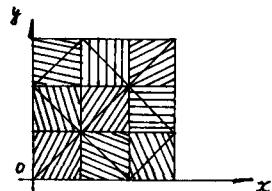


図-3 全体モデル

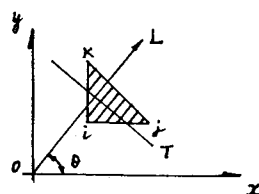


図-4 要素と座標

に考えた。つまり各要素での降伏則であるが、これは、マトリックスとしてのモルタルの引張強度が鋼繊維の強度よりかなり低いこと、繊維含有率が低いので、最大主引張応力に垂直な平面において、クラックが生ずるとし(図-5)、その後その要素の剛性を変化させるが、マトリックスのみにき裂が生ずるのであるから、(1)式~(4)式において、 E_m , V_m をゼロとした。またクラックがはいった要素において、その後の挙動は繊維とマトリックスの付着により支配されると考えられるので、要素の応力が付着強度に達したならば、繊維は引き抜けてしま

うと考え、その後の要素の剛性はゼロとおいた(図-6)。また繊維の分布は平面的な変化のみならず、厚さ方向にも変化を有するものなので、一要素は図-7のように厚さ方向にも異なった繊維方向を持ったものが積層され、一要素の剛性をつくるものと考ええる。

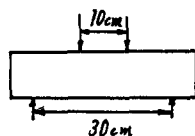


図-8 曲げ供試体

3. 解析結果

図-8に示すような断面 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 、長さ

40 cm の曲げ供試体に3等分点荷重を行なった場合の、供試体左半分について、38分割、厚さ方向10層とした場合の供試体中央のたわみと載荷点での荷重の関係を図-9に示す。材料定数は前述のものを

を用い、モルタルの引張強度を 20 kg/cm^2 、繊維の引き抜け応力は、 $V_f = 1.5\%$ に対し、 41 kg/cm^2 とした。また鋼繊維としては、断面 $0.5\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$ 、長さ 3 cm のフラットなものと考えてある。

4. まとめ

図-9 (a)には $V_f = 1.5\%$ 、(b)には $V_f = 0.5\%$ での解析結果を示してあるが、実際の挙動よりも最大荷重の値が低いと思われる。これは破壊規準のとりかた、つまり降伏則のとりかたにまず問題があると思われる。またひびわれ後の剛性の変化についても検討が必要である

と思われる。また繊維の引き抜けについてであるが、この解析例の場合、引き抜け応力に達したならば剛性をゼロにしてしまったが、繊維が徐々に引き抜けてゆくような剛性のとり方を考えるなど、いくつかの改良点が必要であると思われる。しかし、繊維含有率が増えると最大荷重に達した以後も、荷重が急激に低下せず、靱性の増大がみられる傾向はよくあらわれていると思われる。

参考文献

- 1) 尾田十八, 宮本博: ランダム配合されたGFRPの引張強さの推定、日本複合材料学会誌、第2巻、第1号、PP.27~33、1976
- 2) 山脇弘一, 植村益次: 一方向強化材と多層積層複合材の弾性常数の一解析、東京大学宇宙航空研究所報告、第7巻、第2号、PP.315~320、1977

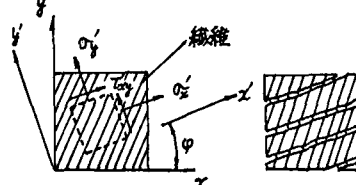


図-5 クラックのはいった要素

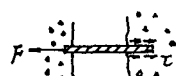


図-6 繊維の引き抜け

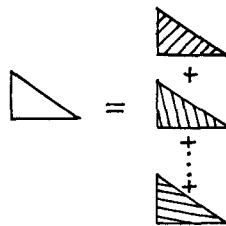


図-7 厚さ方向変化を考慮した要素

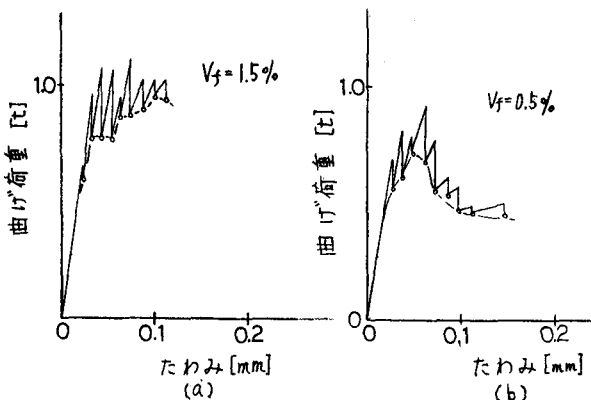


図-9 解析例