

V-426

鉄筋・短繊維補強コンクリート梁のひびわれ進展解析

東京大学 正会員 松本 高志*

1. はじめに

短繊維補強コンクリート（FRC）は靱性、延性、ひび割れ抵抗性等を利点とし、その適用範囲を広げている。実構造物においてFRCは、単独での適用に加えて鉄筋コンクリートのコンクリート部分を置換えて鉄筋・短繊維補強コンクリート（RFRC）として使われることが多い。これは構造物の耐荷力を向上させるよりはむしろ、ひび割れ開口幅を抑制することにより構造物中の鉄筋の腐食を低減させ、構造物の耐久性を向上させることを目的としているためである。最小の繊維混入量を用いて経済的にこの目的を達成する為にはRFRCの破壊についてモデルを構築し、鉄筋コンクリート構造物における短繊維補強の効果を解析的に検討する必要がある。本研究ではRFRCの破壊力学的モデルを構築し、RFRC梁のひび割れ進展解析を行った。

2. RFRCの破壊力学的モデル

破壊力学に基づいた本モデルは、骨材、繊維、そして鉄筋によって応力が伝達されるひび割れの進展を考える（図1）。ひび割れにおける架橋応力とひび割れ開口幅の関係 $\sigma_b(\delta)$ は、構造物の挙動を支配する重要な基本的材料特性である。FRCの $\sigma_b(\delta)$ は繊維・骨材の双方による架橋応力（ σ_f , σ_m ）に依存し、繊維の種類・寸法、骨材の有無、基質材料、そして界面の付着性状の関数として表される。RFRCにおいては、この架橋応力に加えて鉄筋による伝達応力 $\sigma_r(\delta)$ が加わる。本モデルでは実際に発現される架橋応力は繊維・骨材架橋応力と鉄筋による伝達応力の足し合わせで得られるとし、次式のように仮定する。鉄筋が存在しない場所では、

$$\sigma_b(\delta) = \sigma_f(\delta) + \sigma_m(\delta) \quad (1)$$

鉄筋が存在する場所では、

$$\sigma_b(\delta) = \sigma_f(\delta) + \sigma_m(\delta) + \sigma_r(\delta) \quad (2)$$

とした。繊維架橋応力 $\sigma_f(\delta)$ はマイクロメカニクスに基づき導出されており、使用繊維・基質材料とその界面の付着性状の関数として表されている。

$\sigma_m(\delta)$ とともにその詳細はほかにゆずる[1]。鉄筋伝達応力 $\sigma_r(\delta)$ は、単繊維の基質材料からの引き抜き時の引き抜き荷重と荷重点変位の関係 $P(\delta)$ （繊維引き抜きモデル）を適用して求めた。

$$P(\delta) = \pi \sqrt{\frac{E_f d_f^3 \tau \delta}{2}} \quad (3)$$

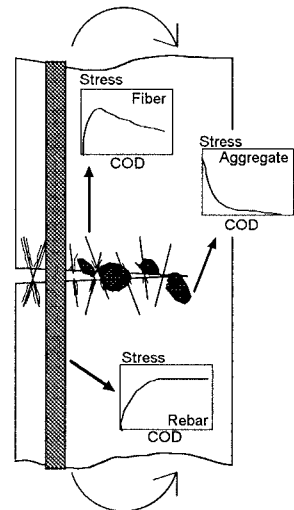


図1 RFRC

ここに E_s : 鉄筋の弾性定数, d_s : 鉄筋の直径, τ : 付着応力である。 $P(\delta)$ は、付着応力が一定で表面が平滑な棒材の基質材料からの引き抜きをモデル化して導出されたものである。繊維引き抜きモデルの適用の妥当性を、岡村と前川による付着－すべり－ひずみモデル[2]と比較を行い確認した。付着－すべり－ひずみモデルは、付着応力一定でなく異形鉄筋を仮定しているが、図2より両モデルの結果の相違は小さいものと認められる。

* キーワード：繊維補強，鉄筋コンクリート，ひび割れ進展

連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL：03-3812-2111 内線 6133 FAX：03-3812-4977

骨材、繊維、鉄筋の応力の足し合わせにより得られた $\sigma_b(\delta)$ によるひび割れ進展抑制効果は負の応力拡大係数 K_b により表され、荷重による正の応力拡大係数 K_a と足しあわすことにより、ひび割れ先端での応力拡大係数 K_{tip} が得られる。

$$K_{tip} = K_a + K_b(\sigma_b(\delta)) \quad (4)$$

K_{tip} が破壊靱性 K_c に達した時破壊が進展するとして、ひび割れ進展解析を行った。

3. 結果・考察

ひび割れ長さ－ひび割れ進展応力の関係を図 3 に、ひび割れ開口幅－ひび割れ進展応力の関係を図 4 に示す。本研究では、繊維混入率 V_f を 0, 1, 2% と変え、それぞれについて鉄筋の有無を考慮し、計 6 ケースについて計算を行った。図 3 より、鉄筋が無い場合(PLC, FRC1%, FRC2%)においては、繊維混入率の増加に伴い、ピーク強度でのひび割れ長は長くなり、ひび割れの安定成長領域が広がる。鉄筋が有る場合(RC, RFRC1%, RFRC2%)には、ピーク強度は鉄筋の降伏で決まり、繊維混入率増加の影響はあるものの、鉄筋による応力伝達に比べその効果は比較的小さい。繊維混入によるひび割れ進展抑制効果は、同一荷重におけるひび割れ長さに顕著に現れている。また図 4 には、繊維混入によるひび割れ開口幅の抑制効果も顕著であることが現れている。

4. まとめ

短繊維補強コンクリートを用いた鉄筋コンクリート(RFRC)梁におけるひびわれ進展解析を行った。本研究におけるモデルは破壊力学に基づき、骨材、繊維、鉄筋によるひび割れ面における伝達応力のひび割れ進展に対する影響を考慮している。繊維混入による効果は、鉄筋が存在する場合においても、ひび割れ長さとしひび割れ開口幅の抑制として現れており、RFRC を用いて耐久性を向上させることは可能考えられる。今後は、本モデルを拡張し疲労ひび割れ進展と疲労寿命の解析を行う予定である。

5. 参考文献

- [1] Li, V. C. and Matsumoto, T.: Fatigue Crack Growth Analysis of Fiber Reinforced Concrete with Effect of Interfacial Bond Degradation, Journal of Cement and Concrete Composites, Vol. 20, pp. 339-351, 1998.
- [2] 岡村甫, 前川宏一: 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技報堂出版, 1991.

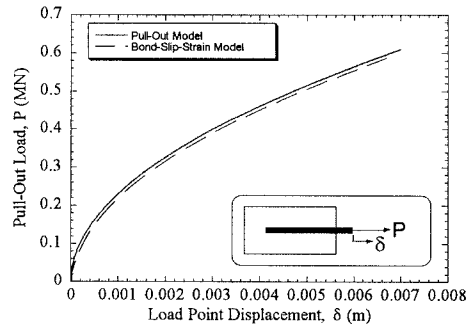


図 2 鉄筋伝達力モデルの比較

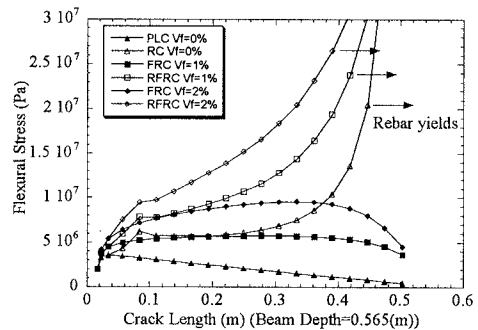


図 3 ひび割れ長さ－ひび割れ進展応力

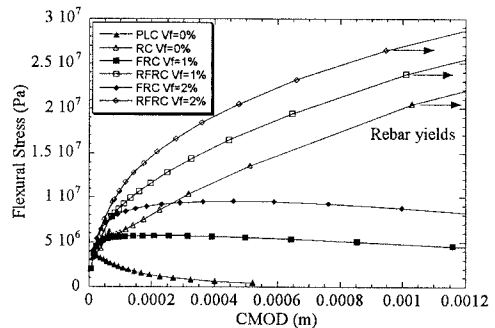


図 4 ひび割れ開口幅－ひび割れ進展応力