

I-A296

短繊維補強コンクリートの一軸繰返し荷重下挙動と架橋応力劣化

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. これらの利点はひび割れが繊維架橋されることによって付与されるもので, 実構造物では繊維架橋されたひび割れが繰返し荷重を受ける場合が少なくない. 耐震・耐久性向上を目的としてFRCを利用する際には, それぞれ短期・長期の架橋応力の変化と構造物の挙動への影響について理解する必要がある. 本研究では架橋応力劣化モデルを提案し, その妥当性を既往の一軸繰返し荷重下での応力・変位曲線計測結果と比較することにより検討する.

2. 架橋応力劣化モデル

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. 本研究では実際に発現される架橋応力は繊維・骨材架橋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.

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

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]. 繊維架橋応力においては, 付着強度 τ が界面での摩耗によって劣化するとし, 劣化は次の式に従うと仮定する.

$$\frac{\tau}{\tau_i} = \max \left\{ \frac{1.0 + D_1 \sum_{i=1}^N \Delta\delta_i}{B + D_2 \sum_{i=1}^N \Delta\delta_i} \right\} \quad (2)$$

ここに τ_i : 初期付着強度, (B , D_1 , D_2): 繊維架橋応力劣化係数である. 付着強度劣化は

$$\sum_{i=1}^N \Delta\delta_i = \text{累積ひび割れ開口幅変化} \quad (3)$$

によって測られており, この量は開口幅変化 $\Delta\delta$ と荷重繰返し数 N の両方の履歴に依存する. 骨材架橋応力 $\sigma_m(\delta)$ も同様な挙動を仮定し,

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_{mo}} = \max \left\{ \frac{1.0 + D_{m1} \sum_{i=1}^N \Delta\delta_i}{B_m + D_{m2} \sum_{i=1}^N \Delta\delta_i} \right\} \quad (4)$$

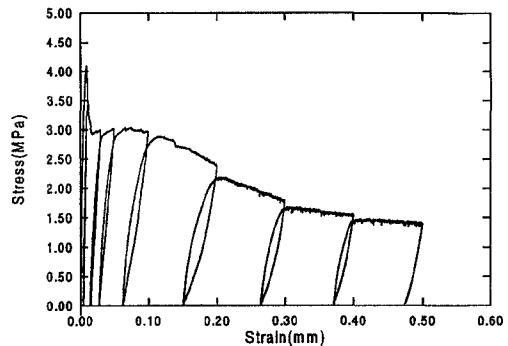


図 1 FRC の繰返し載荷時挙動 (実験値[2])

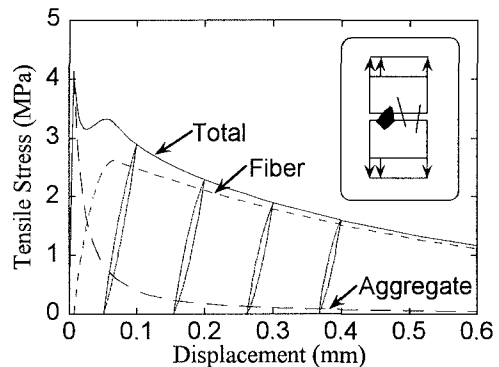


図 2 FRC の繰返し載荷時挙動 (計算値)

* キーワード: 短繊維補強コンクリート, 繰返し載荷, 架橋応力劣化

連絡先: 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL: 03-3812-2111 内線 6133 FAX: 03-3812-4977

に従うとする。ここに σ_{m0} ：初期引張強度、(B_m , D_{m1} , D_{m2})：骨材架橋応力劣化係数である。

3. 結果・考察

架橋応力劣化モデルの適用性を Zhang ら[2]の実験と比較することにより検討した。図 1は計測された鋼繊維 FRC（体積混入率 1%，長さ 25mm，直径 400 μ m，弾性定数 210GPa）の繰返し荷重下の応力・変位曲線である。図 2は劣化を考慮しないモデル計算による応力・変位曲線であり、両者の間には単調・繰返し載荷ともに一致が見られる。次に、図 3は変位振幅一定とした疲労繰返し荷重下の曲線である。繰返し数が増加するとともに最大応力が減少し、ループの面積（エネルギー吸収能）も減少することが観察される。図 4は劣化を考慮したモデル計算によるものである。計算値は最大・最小応力において計測値の傾向を再現しているが、ループの幅と面積が過大に計算されている。これはモデルにおいて除荷・再載荷始点での剛性が過大評価されているためであると考えられる。最後に、図 5は本研究の一軸繰返し荷重下の応力・変位曲線を用いて同定された架橋応力劣化係数と、繰返し応力・疲労寿命曲線（S-N 曲線）[3]を用いて同定された係数とを比較している。両者は全般的に同様な傾向を示しているが、S-N 曲線から推定された架橋応力劣化は早期（100cycles 以下）に起こる急激な劣化を捕えておらず、より長期の傾向を反映していることが理解される。また、図 5は一軸繰返し載荷での架橋応力劣化挙動が基本的材料特性であり、これを計測し疲労寿命モデル[3]に入力することにより、より正確な疲労寿命の予測ができることを示している。

4. 結論

繰返し荷重下において起こる繊維補強コンクリートの架橋応力劣化を、本研究のモデルによって再現できることを示せた。また、S-N 曲線から推定された架橋応力劣化が、本研究で得られたものと概ね一致することは、架橋応力劣化が疲労寿命の支配的メカニズムであることを示している。

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, Accepted for publication in Journal of Cement and Concrete Composites, 1997.
- [2] Zhang, J. and Stang, H.: Experimental Study on Bridging Stress of Fiber Reinforced Concrete under Uniaxial Fatigue Tensile Load, in preparation.
- [3] 松本高志, Victor C. Li: 破壊力学的手法に基づく短繊維補強材料の疲労寿命モデル, コンクリート工学年次論文報告集, 1998.

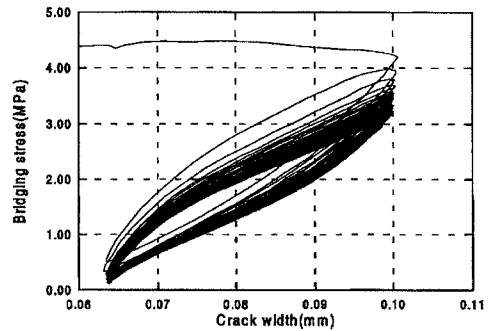


図 3 FRC の架橋応力劣化計測値[2]

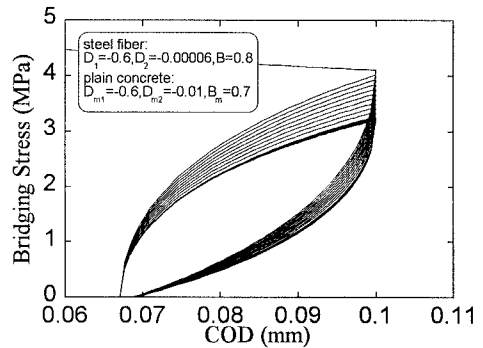


図 4 FRC の架橋応力劣化計算値

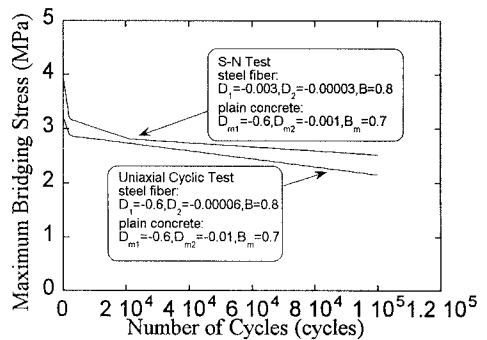


図 5 架橋応力劣化係数