

1. はじめに

靱性，延性，ひび割れ抵抗性等を利点とする短繊維補強コンクリート(FRC)は，疲労耐久性向上を目的として床版や舗装などの補修補強に適用されている。特に長期にわたって重交通荷重を受け劣化した道路橋床版に用いられる FRC 増厚補強工法は構造物の延命に有効であることが知られている。しかしながら，増厚による余寿命の確認については大型疲労載荷試験機などによる長期間の試験をせざるを得ず，ここに FRC 増厚部材の疲労破壊のメカニズムに立脚した解析的なモデルによる余寿命算定の必要性が挙げられる。また，最小の繊維混入量もしくは増厚量を用いて経済的に所要の延命年数を達成する為にも，増厚補強における短繊維補強の効果を解析的なモデルで検討する必要がある。本研究では FRC の破壊力学的モデルを用い，FRC 増厚梁の疲労ひび割れ進展解析を行った。

2. 繊維補強コンクリート増厚梁の疲労解析

破壊力学に基づいた本モデルは，骨材と繊維によって応力が伝達される疲労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 $\sigma_b$ とひび割れ開口幅 $\delta$ 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 ( $\sigma_f + \sigma_m$ ) に依存し，繊維の種類・寸法，基質材料，そして界面の付着性状の関数として表される。FRC 増厚梁においては，既存コンクリート層と増厚 FRC 層の 2 層構造となり，既存層(厚さ  $h_1$ )では骨材架橋による応力伝達，増厚層(厚さ  $h_2$ )では繊維・骨材架橋による応力伝達を考慮する。つまり，既存層では

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

とし，増厚層では

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

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]。

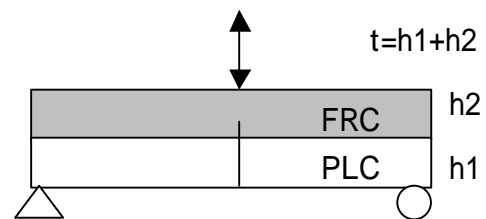


図 1 解析対象

疲労ひび割れ進展則には Paris 則を用いた。Paris 則はひび割れ進展速度  $da/dN$  がひび割れ先端における応力拡大係数振幅値  $\Delta K_{tip}$  に支配されると仮定しており，疲労寿命  $N_f$  は次の式により求まる。

$$N_f = \int_{a_i}^{a_f} \frac{1}{C(\Delta K_{tip})^n} da \quad (3)$$

ここに  $a_i$  : 初期ひび割れ長， $a_f$  : 限界ひび割れ長， $C$ ， $n$  : Paris 定数。 $a_f$  は応力拡大係数  $K_{tip}$  が破壊靱性  $K_c$  に達するときのひび割れ長である。繊維補強材料において  $\Delta K_{tip}$  は次のように表わされる。

\* キーワード：増厚，繊維補強コンクリート，疲労破壊，ひび割れ進展  
連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL：03-5841-6092 FAX：03-5841-7496

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

ここに $\Delta K_a(>0)$ ：繰返し荷重による応力拡大係数振幅， $\Delta K_b(<0)$ ：架橋応力による応力拡大係数振幅減少である．ひび割れ架橋による応力伝達効果により，これがない場合と比較して $\Delta K_{tip}$ は減少し，ひび割れ進展が抑制される． $\Delta K_b$ は繰返し荷重下における架橋応力とひび割れ開口幅の関係 $\Delta\sigma_b(\Delta\delta)$ の関数であり，繊維補強による効果がここに考慮される[2]．

### 3. 結果・考察

梁高さ $t$ を0.1,0.2,0.3mとして解析を行った．それぞれにおいて繊維混入率 $V_f$ を1,2,3%と変え， $h_1/h_2$ の比を0.1,0.5,1,2,10と変えた．繊維はフック付鋼繊維(長さ30mm，直径500 $\mu$ m，弾性定数210GPa)であり，FRC増厚は常に上面に施されている． $t=0.1m$ の場合のS-N曲線を図2に示す．梁高さによる傾向の違いは見られず，極端にFRC増厚層が厚い場合( $h_1/h_2=0.1,0.5$ )を除いて疲労寿命の改善は見られない．これは上面にFRCを配置した場合，曲げに対する効果が小さく初期ひび割れ強度を上回る曲げ強度を示すことが難しいからである．

図3は $V_f=2\%$ , $h_1/h_2=0.5$ の場合の荷重レベル $S_{max}=90,80,70,60\%$ のもとでの疲労ひび割れ進展であり，同様に図4は $V_f=3\%$ の場合である．繊維混入率が上がるにつれひび割れ抵抗性が上がり，初期には加速度的に進展していたひび割れが後期には減速されることになる．また，図3においては荷重レベルが高いときには繊維補強の効果は無く，ひび割れの減速は見られないが，荷重レベルが低くなるにつれその効果が見られる．これは初期ひび割れ強度とひび割れ後強度の差によるものである．

### 4. まとめ

短繊維補強コンクリートを用いた増厚梁における疲労ひびわれ進展解析を行った．破壊力学に基づいたモデルを用いて，繊維補強のひび割れ進展と疲労寿命への効果をモデルにより算定した．本研究では上面増厚された梁について解析を行ったが，今後は下面増厚についても行う必要がある．また，FRC増厚が行われている道路橋床版は押し抜きせん断状に破壊することが知られており，将来はせん断ひび割れの疲労進展解析を行う必要もある．

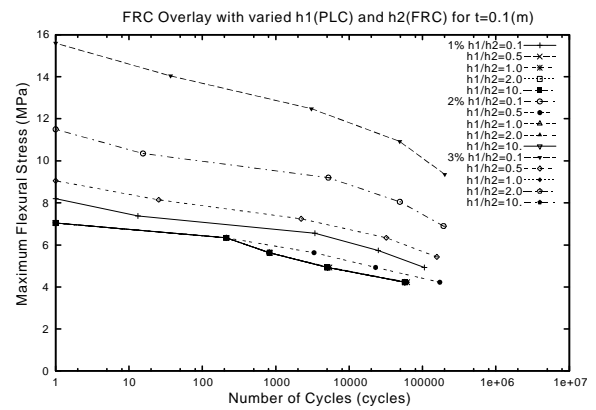


図2 S-N 曲線( $t=0.1m$ )

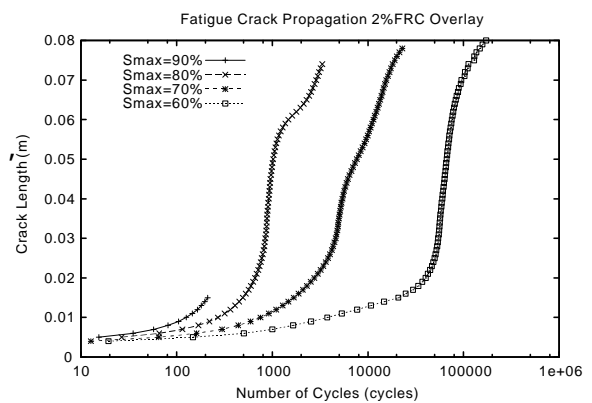


図3 疲労ひび割れ進展  $V_f=2\%$ , $h_1/h_2=0.5$

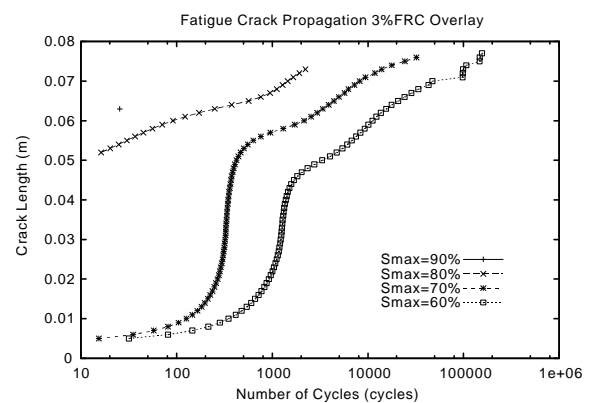


図4 疲労ひび割れ進展  $V_f=3\%$ , $h_1/h_2=0.5$

- [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] Matsumoto, T. and Li, V. C.: Fatigue Life Analysis of Fiber Reinforced Concrete with a Fracture Mechanics Based Model, Journal of Cement and Concrete Composites, Vol. 21, pp. 249-261, 1999.