

コンクリート部材の疲労破壊に関する一考察

鉄建建設（株）技術研究所 正会員 松岡 茂
同 上 正会員 益田彰久

1. はじめに

筆者らは鋼繊維補強コンクリート（S F R C）の繰返し載荷試験を行い、S F R Cがプレーンコンクリートに比べ疲労破壊性能が優れていることを確認した¹⁾。S F R Cではひび割れ面に存在する繊維による架橋効果のために引張応力の伝達が存在し、疲労性能に関してもこのひび割れ面における引張特性が関与していると考えられる。そこで繰返しによる効果を考慮したひび割れ面のモデルを適用し、これを用いた数値計算により疲労破壊挙動を推定することを試みた。

2. 繰返し載荷による引張軟化曲線のモデル化

ある部材断面内の応力分布が与えられれば、応力を積分することにより軸力、図心に関する偶力を積分することにより曲げモーメントが算出される。曲げひび割れが発生している断面についても同様であり、ひび割れ発生領域は引張軟化曲線により応力分布が決定される。

引張軟化曲線は図-1に示すように繰返し載荷による影響を受けるとの研究報告がある²⁾。そこで図-2に示すような単純なモデルを仮定した³⁾。

引張軟化曲線の包絡線を直線とし、繰返しの影響は以下のように仮定する。

- 1) ある荷重状態における引張応力が引張軟化曲線上の点（ σ_{t1} ）にある状態で、除荷され再度載荷されると同一ひび割れ幅での応力は図に示す σ_{t2} となる。
- 2) 除荷経路は図に示すように原点を指向するものとする。
- 3) 引張軟化曲線上の点（ σ_{t1} ）は、除荷され再度載荷された場合でも図に示す σ_{t3} を越えないものとする。また、 σ_{t3} を越えるひび割れ幅が生じる場合には引張軟化曲線の包絡線に従う。

以上の仮定に従うとパラメータは繰返しによる応力低減率 α となり、次のように定義する。

$$\alpha = \frac{\sigma_{t2}}{\sigma_{t1}}$$

よって繰返し荷重を受けることによりひび割れ領域で分担する引張応力が低下することになり、その結果図-3に示すようにひび割れが進展することになる。このひび割れの進展によりコンクリートの疲労が決定されるものと仮定した。算定する手順は以下の通りである。

- 1) 単調静的載荷条件で図-3に示すようなひび割れ領域を考慮した応力分布を算定する。
- 2) 繰返し載荷による断面の釣り合いから図に示すようなひび割れ領域の進展長 Δl を計算する。

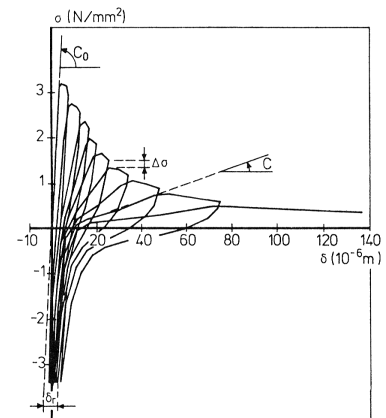


図-1 繰返し載荷下の引張軟化曲線²⁾

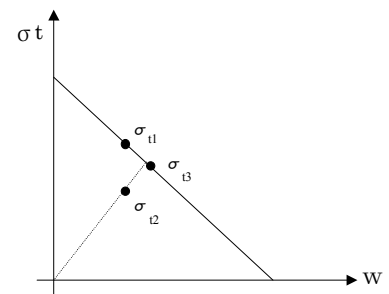


図-2 繰返し載荷による引張軟化曲線のモデル化³⁾

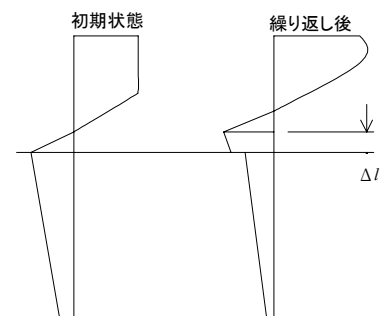


図-3 繰返し載荷によるひび割れ発生領域の進展

キーワード：繰返し載荷、疲労破壊、ひび割れ

連絡先：鉄建建設（株）技術研究所，〒286-0825 成田市新泉 9-1 TEL 0476(36)2355 FAX 0476(36)2380

3) 繰り返し荷重 P_c における疲労回数は次の式で算定する。

$$N = \frac{l_{\max} - l_c}{\Delta l}$$

3. 数値計算による繰り返し载荷試験のシミュレーション

プレーンコンクリートの応力低減率 α は 80% 前後であるとの報告がある³⁾。そこで鉄道総研で実施されたプレーンコンクリートの曲げ疲労試験結果⁴⁾を対象に計算を行った。図-4に繰り返し回数と荷重の関係を示すが、計算によって試験結果に近い値が得られていると判断される。

SFRCについても同様のモデルを適用して計算を行い⁵⁾、筆者らが実施した繰り返し試験結果と比較した。応力低減率は全く不明であるため何種類か仮定をして計算した結果、99.8%とすると最も整合性が良かった。図-5に図-4と同様にまとめた結果を示す。最終変位量については比較的試験値に近い値が得られているが、载荷回数については次数レベル程度での一致しか得られなかった。図-6に载荷回数と変位の関係を示すが、破壊に至る途中経路についても大きな差が認められた。

4. まとめ

以上のようにプレーンコンクリートについては数値計算により妥当な値を得ることができたが、SFRCについては満足できる結果を得るには至らなかった。繰り返し試験には相当なばらつきが伴うことが考えられるため今後も試験を継続することにより試料を増やしていく予定である。また途中経路の計算値に差があるということは载荷回数の増加に伴い応力低減率が変化している可能性も考えられる。計算モデルおよび応力低減率についても更なる検討が必要であると考えられる。

なお、この研究は文部科学省革新的技術開発研究推進費補助金(研究課題「高性能コンクリートを用いた次世代建設システムに関する研究」研究代表者：東京大学助教授小澤一雅)を受けて実施されているものである。

【参考文献】

- 1) 益田 彰久、松岡 茂：鋼繊維補強コンクリートの繰り返し载荷試験，土木学会第56回年次学術講演会，(投稿中)
- 2) Reinhardt, H. W., Cornelissen, H. A. W. and Hordijk, D. A., "Tensile tests and failure analysis of concrete", J. Structural Eng., ASCE, 1986
- 3) Horii, H., Shin, H., C., and Pallewatta, T., M., "Mechanism of Fatigue Crack Growth in Concrete", Cement & Concrete Composites, 1992
- 4) 小島 芳之、岡野 法之、齋藤 貴、村田 一郎、木村 元哉：トンネル覆工を想定した無筋コンクリートの疲労特性に関する実験的研究，土木学会トンネル工学研究論文・報告集，第10巻，2000.
- 5) Matsumoto, T., V., C., Li, "Fatigue Crack Fracture and Arrest in Fiber Reinforced Concrete under Interfacial Bond Degradation", Proceedings FRAMCOS-3, 1997

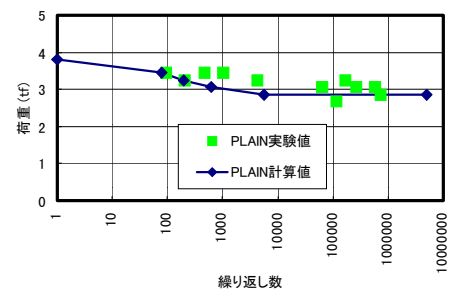


図-4 プレーンコンクリートの繰り返し载荷試験結果

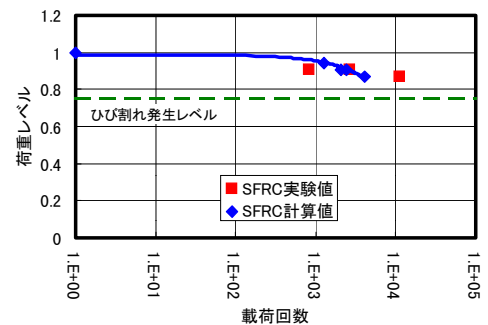


図-5 SFRCの繰り返し载荷試験結果(その1)

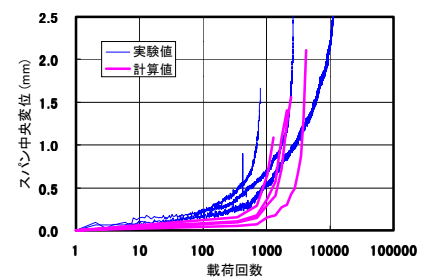


図-6 SFRCの繰り返し载荷試験結果(その2)