

論文 [1161] 鋼繊維補強コンクリートの曲げ疲労挙動に関する実験的研究

蘇 玄昌*1 · 孫 永現*2 · 沈 玉鎮*3

1. まえがき

コンクリート及びモルタルの疲労破壊過程は次の3つに分けられる。すなわち、ひびわれが始まる段階、ひびわれがゆっくり成長する段階、最後に、破壊に至るまでひびわれが早く成長する段階である(1)。

これらの段階中、ひびわれがゆっくり成長する段階においてのコンクリートやモルタルに鋼繊維を規則的あるいは、不規則的に分散させ、補強することによって、ひびわれを抑制することが可能であることがいくつか報告されている。(2)。(3)。(4)。(5)

既存の研究結果では、コンクリートが反復荷重を受ける場合、ひびわれの成長が鋼繊維を用いることで減少できることや鋼繊維による疲労強度の増大が可能であることが示されている。

しかし、鋼繊維混入量、鋼繊維アスペクト比が鋼繊維補強コンクリートの疲労強度に及ぼす影響等に関する研究はほとんど見あたらない。

本研究は、一連の鋼繊維補強コンクリートに対する疲労実験を行い、鋼繊維混入量、鋼繊維アスペクト比の変化による鋼繊維補強コンクリートの強度増大への影響の考察及び疲労挙動を糾明し、S-N線図を作成した。

2. 実験概要

2-1. 使用材料及び試験體

セメントは韓国産(H社製)普通ポルトランドセメント(比重3.12)とし、細骨材は比重が2.60組立率2.75の川砂、粗骨材は最大寸法19mm、比重2.65、粗粒率7.58の川砂利を用いた。鋼繊維は直径0.6mm、アスペクト比が各各60、80、100の円形繊維を用いた。鋼繊維の特性は表1に示す。

Table 1. Material Properties of Steel Fiber

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	S.G. (g/cm ³)	E _{sf} (×10 ⁶ kgf/cm ²)	σ _t (kgf/cm ²)
0.34 ~0.41	0.15 ~0.35	0.30 ~0.60	0.0040 以下	0.040 以下	7.85	2.00~2.04	2110~2400

* S.G.: 比重, E_{sf}: 弾性係数, σ_t: 引張強度

試験體の調合設計は表2, 試験體の概要は表3に示す。試験體はJCI-SF 1規準に準じて、10×10×60cmの供試體の中に鋼繊維をランダムに配向させた。また、試験體製作時はファイバボールが生じないように振動締めを留意に実施した。なお、養生は脱型後28日水中養生とした。

Table 2. Mix Proportions of SFRC

G _{max} (mm)	TARGET SLUMP (cm)	AIR (%)	W/C (%)	S/a (%)	UNIT WEIGHT (kg/m ³)			
					W	C	S	G
19	10	2.0	38.4	45	185	482	752	936

Table 3. Mix Parameters of SFRC

試験體種類	S1	S2	S3	M1	M2	M3	L1	L2	L3
アスペクト比	60	80	100	60	80	100	60	80	100
混入量(%)	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	0.5	1.0	1.5
試験體個數	12	12	12	12	12	12	12	12	12

*1 現代建設(株) 技術研究所, 工博(正會員)

*2 現代建設(株) 技術研究所, 研究員

*3 現代建設(株) 技術研究所, 所長

2-2. 実験方法及び測定

疲労実験は最大荷重 25tonの疲労試験機を用いた。載荷方法は単振載荷とし、反復荷重の最小値は 0 kgf, 最大値は静的初期ひびわれ発生時の荷重によって、種類別に差を付けた。試験体にはコンクリートストレインゲージや変位測定器を設置し、最小荷重が発生して最大荷重に至るまでの間に生ずるひびわれの成長過程及び中央変位を経時的に測定した。

また、同試験体を用いて、各試験体の初期ひびわれ発生時の反復回数や疲労破壊時の反復回数を測定した。

なお、本実験に使用した試験体の寸法や疲労実験の概略を圖1に示す。

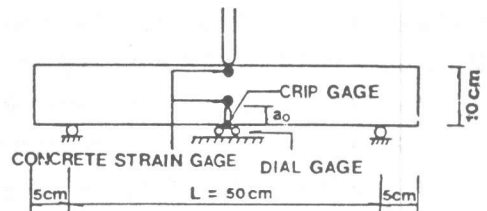
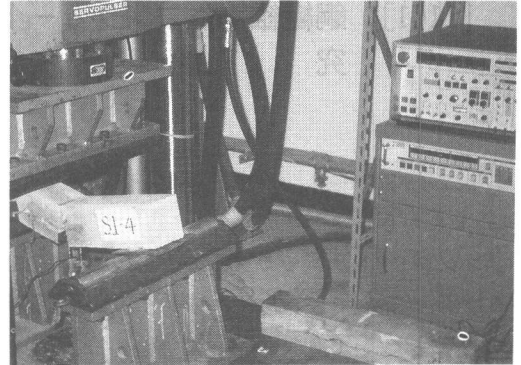


圖1. The general view of fatigue tests.

3. 結果と検討

3-1 反復回数と中央変位との関係

反復回数に対する中央変位を鋼繊維混入量、鋼繊維アスペクト比別に圖2、圖3に示す。

圖2に示すように、疲労破壊直前の中央変位は鋼繊維混入量が0.5%, 1.0%, 1.5%の場合、静的荷重載荷時より各各 1.48, 1.64, 2.56倍増加する傾向を示している。また、鋼繊維を入れるほど変位が小さくなっている。

また、圖3では、鋼繊維混入量が同一な場合、鋼繊維アスペクト比が大きいほど変位が小さくなっている。また、アスペクト比が小さいほどコンクリートが軟化挙動性向を示している。

これらのことは、鋼繊維混入量が多、アスペクト比が小であるほど繊維とコンクリートマトリックス間の付着力によるブリッジ効果によって脆性破壊抑制能力が有効に作用され、ひびわれの成長を抑制することに起因するものと判断される。したがって、鋼繊維補強コンクリートにおいては、ひびわれの成長が鋼繊維によって抑制できることが言える。

3-2. 反復回数による弾性及び非弾性変形エネルギーの変化

反復回数による鋼繊維補強コンクリートの永久変形に損失されるエネルギーやひびわれ擴大

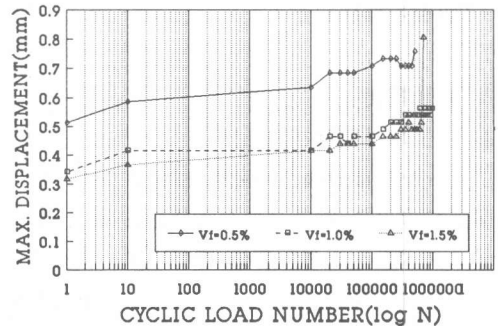


圖2. The relationship of cyclic load number-deflection for fiber contents.

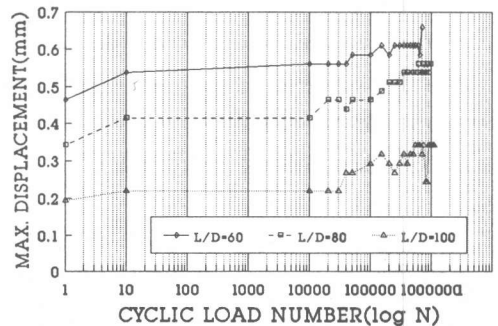


圖3. The relationship of cyclic load number-deflection for aspect ratios.

に消耗されるエネルギー- の変化を測定した荷重変位線圖の面積を用いて、荷重を除去した時損失された非弾性變形エネルギー-と荷重を除去した時回復された弾性變形エネルギー-を比較、検討した。

圖4には、静的荷重載荷時SFRCの非弾性變形エネルギー-は鋼纖維混入量を0.5%にした場合、急激に増加する傾向を示している。反面、鋼纖維混入量を1.0%以上にした場合、永久變形に消耗されるエネルギー- は急激に減少する傾向を示している。

また、圖5には、初期静的荷重載荷時においての弾性變形エネルギー- は鋼纖維混入量の増減によって差は認められないが、疲労破壊直前になると鋼纖維混入量が大きいくほど増加する傾向を示している。

このことは、鋼纖維混入量によって弾性及び非弾性變形エネルギー- の変化傾向が鋼纖維混入量を1.0%以上にした場合、コンクリートに急激な破壊が妨げられ、両方とも、疲労破壊に至るまでスムーズに進行することが言える。

圖6、圖7には、SFRCの變形エネルギー-が鋼纖維混入量や鋼纖維アスペクト比に大きな影響を受けていることを示す。また、静的荷重載荷時非弾性變形エネルギー-は鋼纖維アスペクト比が減少することによって、大幅に減少する傾向を示している。

これらのことは初期荷重載荷時アスペクト比が小さいことで、pull-out現象の発生や試験體の引張部分にひびわれが発生したことによって生ずるものであると思われる。

一方、圖6、圖7には鋼纖維アスペクト比が増加することによって疲労破壊直前の弾性變形エネルギー- が小さい値を示している。

これは鋼纖維アスペクト比が大きいことが同一な混入量の場合、鋼纖維の個数が少ないことを表すことで、ひびわれ擴大に消耗されるエネルギー-を増加させるためには少数の長い鋼纖維よりも多数の短い鋼纖維を使うことがもっと効果的であることを意味する。

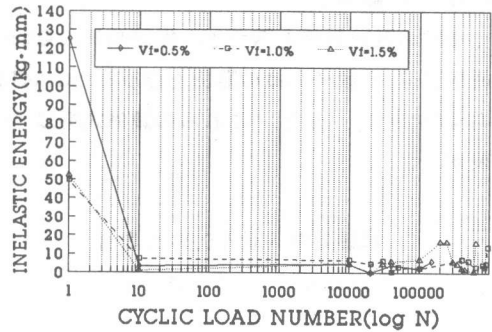


圖4. The relationship of cyclic load number -inelastic energy for fiber contents.

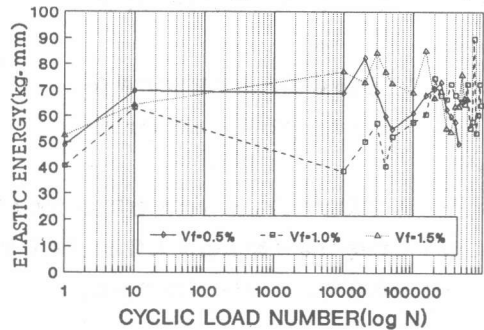


圖5. The relationship of cyclic load number -elastic energy for fiber contents.

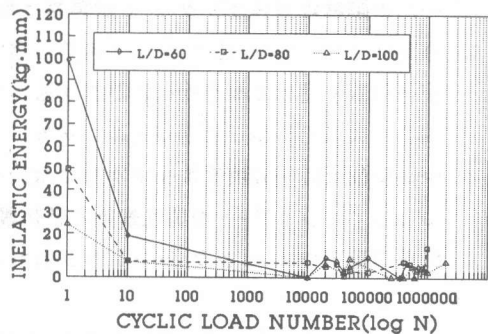


圖6. The relationship of cyclic load number -inelastic energy for aspect ratios.

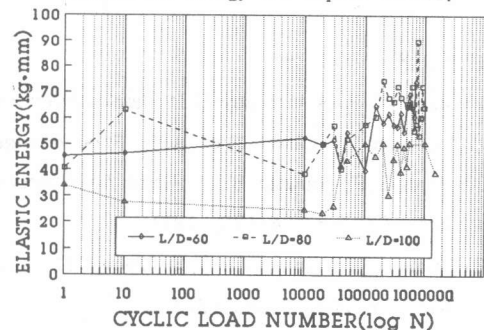


圖7. The relationship of cyclic load number -elastic energy for aspect ratios.

3-3. S-N 線圖

今回の試験結果に基づき、鋼繊維混入量別に疲労強度と疲労寿命の関係を作成したS-N線圖を圖8に示す。また、これらの関係式を以下に表す。

1) 鋼繊維混入量が0.5%の場合

$$R = 109.764 - 6.106 \cdot \log N$$

2) 鋼繊維混入量が1.0%の場合

$$R = 91.948 - 2.788 \cdot \log N$$

3) 鋼繊維混入量が1.5%の場合

$$R = 87.212 - 1.497 \cdot \log N$$

上記の算定式より例を示せば反復回数 200萬回に對する疲労強度は鋼繊維混入量が0.5%, 1.0%, 1.5%の時各各約71%, 74%, 78%である。

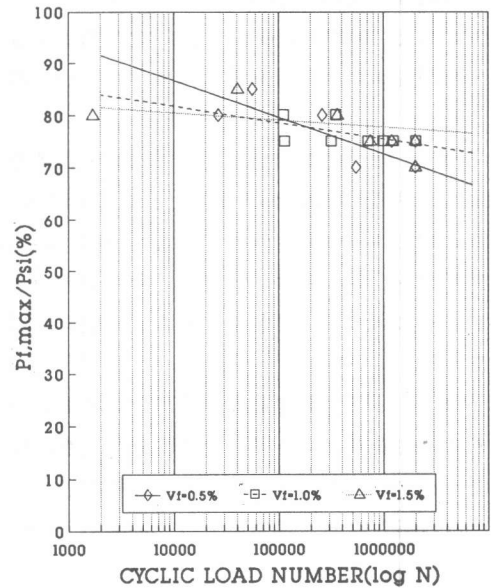


圖8. The S-N curve

4. 結論

今回の鋼繊維補強コンクリート試験體に對する疲労試験結果を以下に示す。

- 1) 今回作成したS-N線圖によると、疲労強度は鋼繊維混入量が 0.5-1.5%の時、71 - 78%程度で、疲労荷重を受ける構造物に鋼繊維補強コンクリートを用いる場合、疲労寿命が普通コンクリートより大きくのびることが可能である。
- 2) 中央變位は疲労破壊直前まで次第に増加する傾向を表す。このことは鋼繊維を混入することによってコンクリートの脆性挙動を軟化挙動に変えられることが言える。
- 3) 疲労荷重下では、コンクリートにひびわれの成長が鋼繊維によって効果的に制御できることが言える。
- 4) ひびわれ擴大に消耗されるエネルギーを増加させるためには、多数の短い鋼繊維を使用することが効果的である。

参考文献

- 1) Baston, G.B.・Bailey・E.L.・Hooks: Flexural Fatigue Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams, J. of ACI, Proceedings Vol. 11, pp. 673 -677, 1972
- 2) Shah, S.P.・Rangan・B.V.: Fiber Reinforced Concrete Properties, J. of ACI, Proceedings Vol. 68, pp.126-135, 1971
- 3) Shah, S.P.・Rangan, B.V.: Effects of Reinforcements on Ductility of Concrete, ASCE, ST6, pp.1167-1184, 1970
- 4) 小林一輔: 纖維補強コンクリート, オーム社, 日本, pp.123-128, 1981
- 5) 日本建築學會: スチールファイバ-コンクリート技術の現状, 1983