

ECCの一軸引張強度特性に関する研究

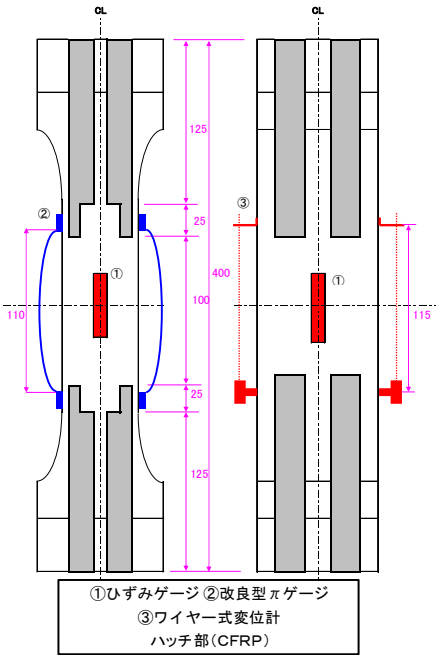
摂南大学大学院 学正員 ○湯室 貴章 鹿島建設 フェロー 須田 久美子
摂南大学工学部 正会員 平城 弘一 鹿島技術研究所 正会員 福田 一郎

1. まえがき ECCは、マトリックス材〔セメント・水・細骨材・混和材(剤)から構成〕に繊維を混入させて、ひび割れ発生後も繊維の架橋効果により、ひび割れ発生強度以上の引張力を負担できるために、ひずみ硬化型の力学的特性を有しており、高靱性で延性をもつように開発されたセメント系材料である。

近年、コンクリート構造物の耐久性についての関心が高まっている。そこで、コンクリート構造物の劣化は、ひび割れ面からコンクリート内部へと浸透し、ひび割れていない一般部と比べて大きく、コンクリート構造物の長寿命化を図るには、コンクリート部材の「ひび割れ抵抗」を向上させることが有効である。とりわけ、過酷な環境下において長寿命化を図る場合、ひび割れ制御（または抑制）が重要な因子となる。その方法として、コンクリートにプレストレスを導入する方法、コンクリートに繊維を混入する方法、などが考えられているが、橋梁上部工（道路・鉄道）におけるコンクリートの引張域への適用に関しては、疲労荷重が作用し、それらの部位に使用するコンクリートの耐疲労性状を明確にしておくことが必要である。これまで、コンクリートの引張疲労に関する性能評価は、もっぱら梁の曲げ疲労試験によりなされているものの、直接軸引張による疲労試験結果でなされたケースが少ないようである。これは、直接軸引張により疲労荷重を作用させるには、高度な試験設備と技術を要するためと考えられる。一般に多用されている梁の曲げ疲労試験では、ひび割れに伴って断面の応力勾配が逐次変化していくため、断面性能を評価することが難しいという問題も指摘される。一方、一軸直接軸引張による疲労試験では、断面内の応力は繰返し载荷中一様であるので、力学挙動を比較的簡単に扱うことができると考えられる。

そこで本研究では、ECCが有する優れた引張力学特性に着目し、ECCが引張域に適用された場合を想定して、導入される応力が明解である軸引張力による疲労試験を実施することにした。ここで補強に使用した繊維は、直径0.04mm、長さ12mm、引張強度1.6GPa、弾性係数40GPaのビニロン繊維である。本研究の目的は、静的試験においては、ひび割れの観察、ひび割れ発生荷重と引張強度の測定をする。また、疲労試験においては同じく、ひび割れを観察し、疲労破壊に至るまでのひずみ変化を経時的に計測し、併せて疲労強度曲線(S-N曲線)を得ることである。

2. 使用材料と試験方法 本研究で用いた角柱試験体形状（100×100×400mm）を図－1に示す。中央に平行部分（60×100mm、長さ100mm）を設け、また試験の対象外には図－1のように、炭素繊維補強板（CFRP）を貼付し、試験区間を明瞭にした試験体とする。試験体のコンクリートの配合表と使用繊維の材料特性を表－1、表－2に、使用したECCの物性を表－3に示す。試験方法は、試験体の試験機への定着は、ECC試験体の両端内に埋め込まれたネジ部を試験機の载荷プレートに締結することにより行った。静的試験は、载荷速度を0.05～0.10mm/minに設定した。



図－1 試験体形状¹⁾

表－1 配合表

W/C(C+FA)	単位水量	S/(C+FA)	繊維混入量
(%)	(kg/m ³)	(%)	(Vol %)
42.2	350	70	2.0

W:水, C:セメント, FA:フライアッシュ, S:細骨材
表－2 使用繊維

使用繊維	L _f (mm)	D _f (μm)	σ _{fu} (GPa)	E _f (GPa)
ビニロン (PVA-R)	12.0	40.0	1.6	40

表－3 ECCの物性値

圧縮強度	ヤング係数
σ _c (N/mm ²)	E _c (kN/mm ²)
39.6	16.8
*円柱体強度(φ50×100)	

キーワード ECC, 繊維補強セメント, 高靱性セメント系複合材料, 軸引張, 耐久性

連絡先 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17番8号 TEL(072)-839-9127

疲労試験は、部分片振りにより、正弦波形の繰返し荷重を載荷速度5Hzで与えた。疲労試験の上限荷重の設定は、疲労試験開始時に行った静的試験結果を基に決定した。上限荷重は、種々設定し、下限荷重は0.5kN一定とした。ひずみ測定は、所定の回数で疲労試験機を停止させ、試験体に取り付けた改良型パイゲージ(平行面：2台)、ワイヤー式変位計(くびれ部：2台)、コンクリート用ひずみゲージ(4枚)を用いて行った。なお、疲労試験は、繰返し回数1000万回を上限とし、試験機を停止させた。

表-4 静的試験結果一覧

試験体名	載荷速度 v (mm/min)	初期 ひび割れ応力 σ_{cr} (N/mm ²)	引張強度 f_t (N/mm ²)	終局ひずみ** ϵ_u (%)	伸び剛性*** E (kN/mm ²)
SDB-1	0.100	2.0	2.0	2.52	10.9
SDB-2	0.050	2.3	3.0	3.07	16.7
SDB-3	0.075	1.9	2.3	0.26	12.6
SDB-4	0.060	2.0	2.6	0.49	15.1
平均	0.070	2.1	2.5	2.03	14.2
SDBC-1	0.050	2.6	3.6	2.72	19.1
SDBC-2	0.050	2.3	2.6	1.00	4.4
平均	0.050	2.5	3.1	1.86	11.8

SDB:炭素繊維補強板を貼付していない試験体

SDBC:炭素繊維補強板を貼付した試験体

*) 試験体名:SDB-3の破壊が試験区間で起こったため、すべての項目の平均から除外した

**) 最大強度が1/2まで低下した時のひずみ

***) 1/3割線剛性

3. 試験結果

3.1 静的試験結果

静的試験結果一覧を表-4に示す。また、改良型パイゲージにより得られた引張応力-ひずみ関係を図-2に示す。なお、同図には既往の研究²⁾で得られた関係(包絡線)も併記している。図-2から明らかなように、初期ひび割れが発生した後も、応力は低下することなく、逆にひび割れ面に架橋されている繊維の補強効果により、ひずみ硬化のような現象が起こり、なだらかではあるがひずみの進行とともに応力が増加する傾向を示した。また、このひずみ性状の傾向は、既往の研究結果と比較すると、ほぼ同様の結果が得られていることがわかる。

3.2 ひび割れ発生状況 静的試験(SDBC-1の平行面の前面)におけるひび割れ状況のスケッチを図-3に示す。他の試験体においても初期ひび割れ発生後、応力の増加とともに軸引張方向に対して直交する微細なひび割れ(ひび割れ幅0.04mm程度)が多数形成され、最終的にはひび割れが局所化し、破断に至った。

3.3 疲労試験結果 今回の試験で得られたS-N曲線を図-4に示す。疲労データ数が少ないため、S-N曲線を引くまでに至っていない。今後、疲労データを蓄積する予定である。

4. まとめ 今回のECCの軸引張タイプの試験体を用いて、静的および疲労の軸引張試験を実施した。その結果を以下に要約する。

1) 静的試験では、ひび割れ発生後、ひび割れと直行する繊維の架橋効果によりひび割れの開口を抑制し、また変位の増加に伴い、複数のひび割れが継続的に形成され、最終的には軸引張力と直交して、ほぼ平行なひび割れが形成される傾向を示した。また、過去の研究と比較するとひずみ性状は、同様の傾向を示しており、この結果が妥当なものだということが分かる。

2) 疲労試験では、疲労データ数が少ないため、S-N曲線を引くまでに至っていない。

参考文献

- 1) 清水克将, 金久保利之: HPRCCの一軸引張および曲げ性状に及ぼす打設方向の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp281-286, 2003
- 2) JCI: 高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書, 2002, 1

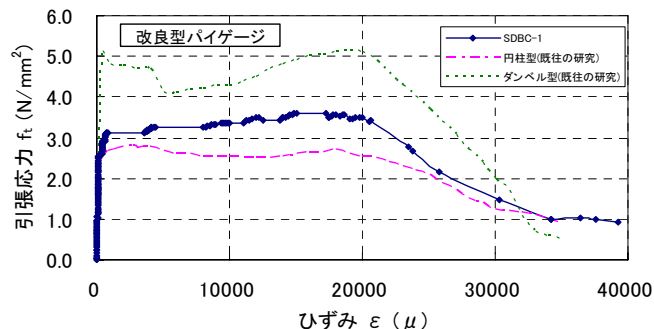


図-2 応力-ひずみ関係

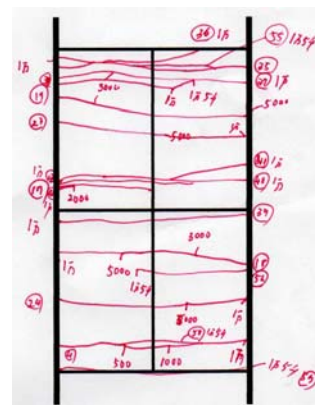


図-3 スケッチ図

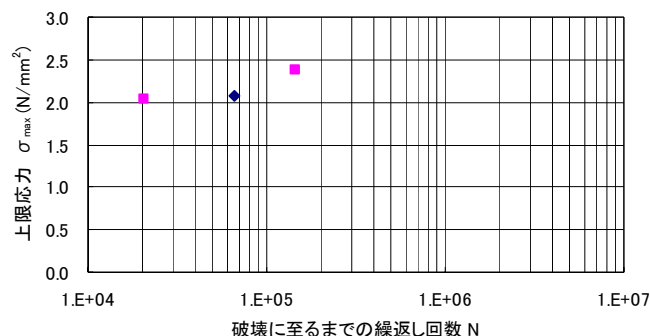


図-4 S-N曲線