

高靱性セメント複合材料の曲げひび割れ性状および微細構造の評価

岐阜大学 学生員 ○林 承燦 葛谷武司
岐阜大学 正会員 国枝 稔 鎌田敏郎 六郷恵哲

1. はじめに

本研究では、高靱性セメント複合材料（DFRCC：Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites）の一つである ECC（Engineered Cementitious Composites）を対象とした。ECCは、引張力あるいは曲げモーメント作用下において、ひずみ硬化特性やマルチプルクラッキング特性を示す¹⁾。マルチプルクラッキングの発生は繊維とセメントマトリックスとの付着や繊維付近のマトリックスの組織構造に大きく影響される。本研究では、従来使用してきた ECC の配合を標準配合として、水セメント比を増加させた場合とフライアッシュを添加した場合について、曲げ載荷試験後のひび割れ観察や電子顕微鏡(SEM)による微細構造の観察をもとに検討を行った。

2. 実験概要

表-1に示すように、水セメント比が異なるものと、分級フライアッシュをセメントの内割りとしてセメント量に対する質量比で30%添加したものの3種類の配合を用いた。セメントには早強ポルトランドセメントを用い、ポリエチレン繊維（長さ 12mm、直径 0.012mm）を混入し、細骨材として 7 号珪砂を使用した。増粘剤には、水溶性セルロースエーテル系のヒドロキシプロメチルセルロースを、減水剤には、ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を使用した。水中養生を行った供試体（供試体寸法：50×100×350mm、各 2 体）の材齢 28 日目に 3 等分点曲げ載荷試験を行い、荷重と載荷点変位を計測した。曲げ載荷試験後、供試体の材齢 110 日目に SEM 観察を行った。図-1に示すように、供試体寸法が 10×10×5mm 程度の角柱なるようにカッタを用いて切断し、研磨粉を用いて観察面を磨いた後、金を蒸着させて SEM 観察を行った。

表-1 配合表

W/C (%)	繊維 (vol%)	単位量(kg/m ³)					Ad (wt%)* ³
		W	C	S	V ^{*1}	FA ^{*2}	
30	1.5	341	1264	395	0.9	—	3
30	1.4	318	825	368	0.8	352	3
45	1.5	437	1004	395	0.9	—	1.5

*1:増粘剤、*2:分級フライアッシュ（最大粒径：10 μm 以下）

*3:結合材の量(セメント+フライアッシュ)に対する質量比

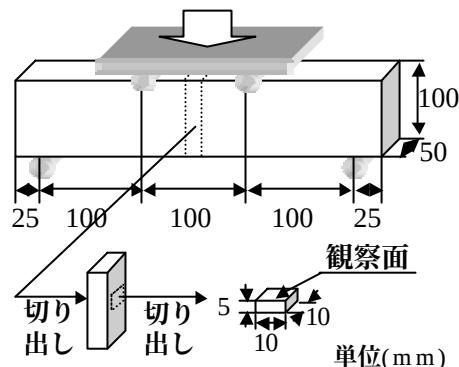


図-1 載荷方法および SEM 観察用供試体

3. 結果および考察

3. 1 荷重—変位関係およびひび割れ発生状況

図-2に各供試体の荷重—変位関係およびひび割れ発生荷重を示す。本実験の範囲内では、水セメント比が 45%のものは 30%のものと比べ、最大荷重が小さく、ひずみ硬化特性もほとんど見られなかった。水セメント比が 30%の場合では、最大荷重および最大荷重までの変位はともに大きくなった。フライアッシュを添加したものは添加していないものと比べ、ひび割れ発生荷重は小さいが、最大荷重までの変位は著しく増加した。これより、フライアッシュは最大荷重よりひずみ硬化特性の改善に有効であると考えられる。

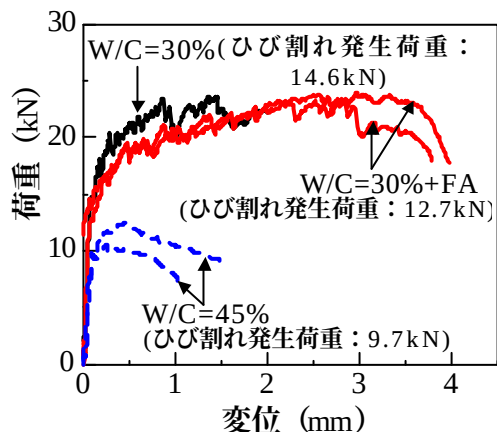
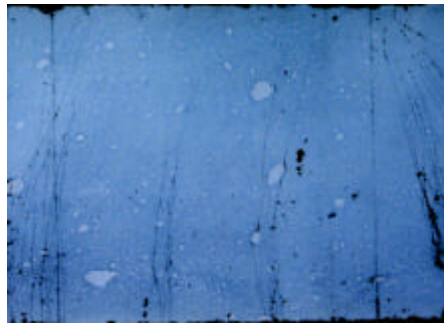


図-2 荷重—変位曲線

ひび割れ発生状況を写真-1に示す。水セメント比が 45%のものは、微細ひび割れが数本程度発生したのみで、

キーワード：ECC、高靱性セメント複合材料、SEM 観察、マルチプルクラッキング、ひずみ硬化

連絡先：〒501-1112 岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学 工学研究科 社会基盤工学専攻 TEL058-293-2469



(a) W/C=30%



(b) W/C=30%+FA



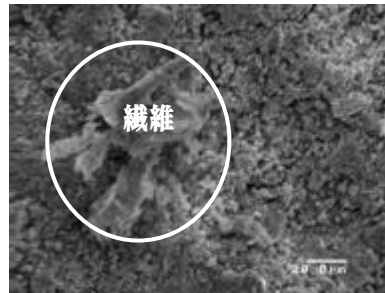
(c) W/C=45%

写真－1 ひび割れ発生状況

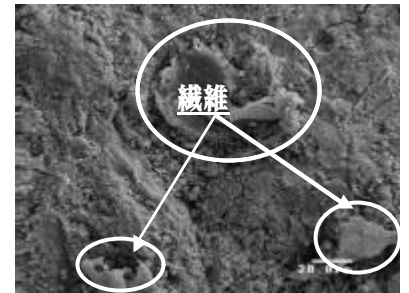
微細ひび割れの分散性はほとんど確認できなかった。一方、水セメント比が30%のものでは、複数の微細ひび割れが分散して発生した。また、フライアッシュを添加したものは添加していないものと比べ、複数の微細ひび割れがより広範囲に分散していた。

3. 2 ECCの微細構造

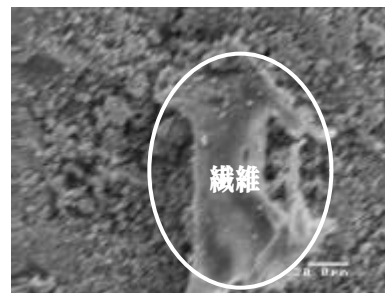
曲げ荷重試験後の供試体内での繊維付近（観察時の倍率：500倍）や繊維の固まり付近（観察時の倍率：200倍）での微細構造をSEMよりの観察した結果を写真－2に示す。繊維の固まり付近でのSEM写真は水セメント比45%のみのものを示す。本実験の範囲内では、いずれの配合においても繊維付近はそれ以外の部分と比べ、組織が粗いポーラス構造となる傾向がみられた。繊維の固まりが形成されている箇所の付近では、繊維の固まり



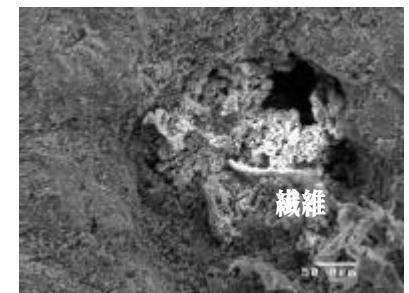
(a) W/C=30%(繊維付近)



(b) W/C=30%+FA(繊維付近)



(c) W/C=45%(繊維付近)



(d) W/C=45%(繊維の固まり付近)

写真－2 繊維付近および繊維の固まり付近のSEM写真

が形成されていない部分と比べ、組織が粗いポーラス構造の範囲が広く、繊維の固まりの内部では空洞が形成されていることが観察された。また、繊維を中心として無数の微細ひび割れが形成され、これらのひび割れは繊維と繊維を結びながら発達している傾向であった。繊維付近の組織は、水セメント比やフライアッシュの有無による違いが現れ、水セメント比が45%より30%のほうの繊維付近の組織が密であった。また、水セメント比が30%の場合では、フライアッシュを添加したものの方が繊維付近での組織が密である結果となった。これより、フライアッシュを添加したものは添加していないものと比べ、初期のひび割れ発生荷重は小さくなるが(図－2参照)、繊維付近での組織が密となることより付着が良好となり、ひずみ硬化特性やマルチプルクラッキング特性が発揮されたものと思われる。

4. 結論

本実験の範囲内では、水セメント比が45%の場合、標準配合の30%の場合と比べ、最大荷重および最大荷重までの変位がともに小さくなり、微細ひび割れの分散がほとんど観察されず、繊維付近の組織が粗いことが観察された。また、フライアッシュの添加により最大荷重までの変位が大きくなるとともに、繊維付近での組織も密となる傾向が認められた

参考文献 1) 社団法人 日本コンクリート工学協会：高靱性セメント複合材料を知る・作る・使う，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