

V-124

集束剤が炭素繊維-セメントペースト界面領域の組織および炭素繊維補強セメントの力学的性質に及ぼす影響

金沢大学 正会員 川村 満紀
 金沢大学 正会員 五十嵐心一
 神戸市 正会員 ○末久 広朗

1. まえがき

ガラス繊維や炭素繊維はモノフィラメントとして製造されるが、繊維の取扱い易さ、表面の保護およびマトリックスとの付着性の改善などを目的として表面処理や集束処理が施される。この場合、集束剤が異なればこれらの繊維を使用した繊維補強セメントの力学的性質も異なることが報告されており [1, 2]、これは使用する集束剤が繊維-マトリックス界面領域の組織の形成に影響を及ぼすために、繊維とセメントマトリックスの付着特性が集束剤の種類によって異なるためと考えられている。集束剤は目的に応じて適宜選択されているが、実際にどのような界面領域の組織が形成されているのか、および繊維補強セメントの強度と靱性の向上という観点から、どのような組織が形成されるべきであるのかについては明かではない。

本研究は集束剤の異なる炭素繊維を使用して作製した炭素繊維補強セメントの力学的性質の相違を炭素繊維-セメントペースト界面領域の微視的構造の変化と関係づけながら検討することを目的とする。

2. 実験概要

(1)使用材料

使用したセメントは普通ポルトランドセメントである。使用した炭素繊維はエポキシ系集束剤を用いたピッチ系の長繊維である。また、集束剤にポリビニルアルコール(PVA)を用いる場合は、未集束の炭素繊維をPVA溶液(5%)に浸漬した後、定着処理を行った。炭素繊維の物理的性質を表-1に示す。

(2)実験方法

(i)微小硬度試験 水/セメント=55%のセメントペースト中に炭素繊維を埋め込みブロック状供試体(20×30×30mm)を作製し、水中養生(20℃)を行った。この供試体から繊維方向と直角方向に薄板を切り出して表面の研磨を行った。研磨面に現れた1本の炭素繊維ストランドに対して、その周辺の界面領域の微小硬度(ピッカース硬度)を測定した。

(ii)曲げ試験 図-1に示すように、炭素繊維を一方方向に配向させてセメントペーストを打設し、40×10×160mmの炭素繊維補強セメント供試体(繊維体積:0.4%)を作製した。供試体は脱型後水中養生を行った。所定材令において中央集中載荷(スパン:100mm)により曲げ試験を行い、荷重-たわみ曲線を記録した。

3. 結果および考察

図-2は炭素繊維-セメントペースト界面領域の微小硬度分布を示したものである。エポキシ系集束剤の場合、材令14日においては界面領域に多孔質な領域が形成されているが、材令28日以降においてはそのような領域は認められず、繊維の近傍においては、bulkセメントペーストよりも高い微小硬度値を示している。一方、PVA集束の場合、繊維隣接部が最も高い微小硬度値を示し、界面からの距離約50μm付近まで距離とともに微小硬度は低下し、その後は距離とともに緩やかに増大していく。エポキシ集束とPVA集束の場合を比較すると、エポキシ集束の場合は材令の進行にともない界面領域は緻密な組織となるのに対して、PVA集束では材令にともなう微小硬度分布のパターンに大きな変化はなく、長期材令においても界面領域はエポキシ集束の場合に比べて多孔質である。

図-3は曲げ試験より得られた荷重-たわみ曲線の例を示したものである。エポキシ系集束の場合、荷重は初びわれ荷重まで直線的に増大してびわれ発生により荷重は低下し、その後再び増大して初びわれ荷重よりも大きな耐荷力に達する。この過程において、荷重は階段状に増大し、繊維の引張応力が十分な付着強度に

表-1 炭素繊維の物理的性質

フィラメント径(μm)	10
集束本数(本/ストランド)	4000
比重	1.9
引張強度(kgf/mm ²)	200
弾性係数(kgf/mm ²)	20000
集束剤	エポキシ、PVA

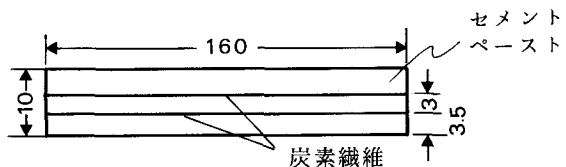


図-1 炭素繊維補強セメント供試体

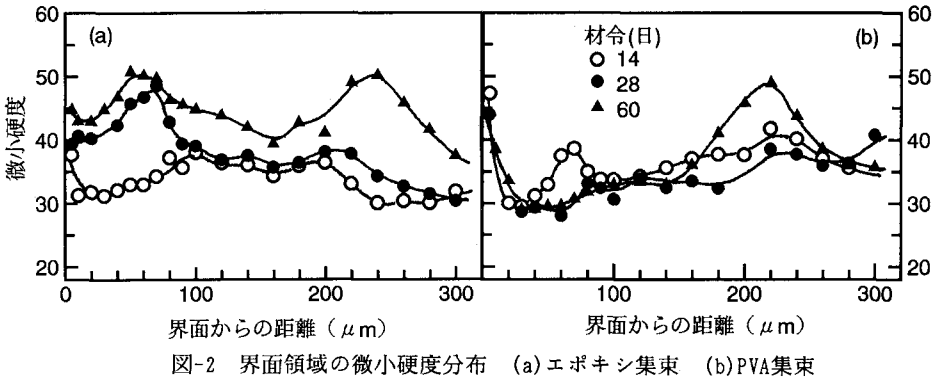


図-2 界面領域の微小硬度分布 (a)エポキシ集束 (b)PVA集束

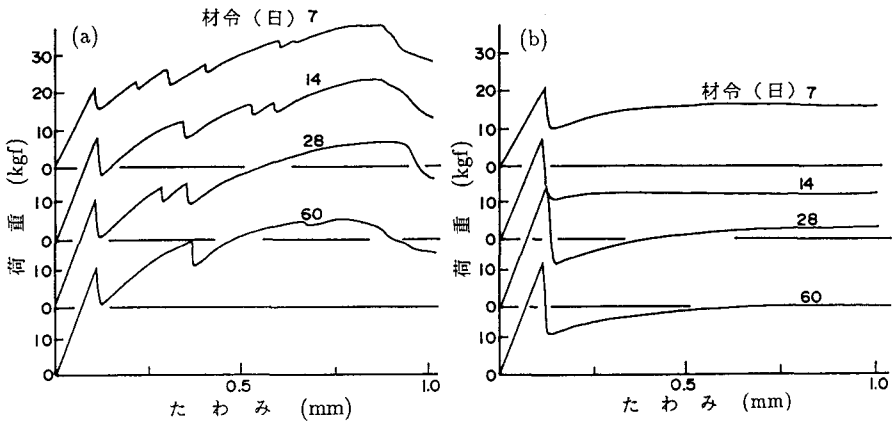


図-3 荷重-たわみ曲線 (a)エポキシ集束 (b)PVA集束

よってマトリックスに伝達され、多発ひびわれの発生も認められた。一方、PVA集束では、エポキシ系集束の場合と異なり初ひびわれの発生と同時に荷重は大きく低下し、その後は低い荷重レベルのまま変形が進行していく。

以上のような荷重-たわみ曲線の相違は明かに繊維の付着強度および引き抜け抵抗の相違によるものであり、それは界面領域の組織の特徴

(図-2)と良く対応している。すなわち、図-2の微小硬度分布から明かなように、エポキシ集束の場合は緻密な界面領域が形成されることにより付着強度や摩擦による引き抜け抵抗が増大するのに対して、PVA集束では弱い界面領域が形成されるために繊維の付着強度および引き抜け抵抗が小さく、マトリックスのひびわれ後は繊維は十分な荷重を負担できずに容易に引き抜けることになる。

PVA集束において、材令にともなう界面領域の微小硬度分布に変化が見られなかったのは、集束剤が界面領域のセメント粒子の水和反応に影響を及ぼすことを示している。表-2はJIS R 5201に従ってセメントの凝結試験を行った結果を示したものであるが、PVA水溶液を使用するとセメントの凝結が遅延されることがわかる。よって、本研究においてPVA集束繊維のまわりに長期にわたって弱い領域が残存するのは、PVAによるセメントの水和反応の遅延効果のためであると考えられる。

4. まとめ

集束剤は繊維-セメントペーストマトリックス界面領域の微視的構造の形成に重大な影響をおよぼし、界面領域の緻密化の程度により繊維の付着強度と引き抜け抵抗は変化する。

参考文献

[1]Bentur, A. et al, J. American Ceramic Soc., 68[4], pp203-208, 1985.
 [2]Hayashi, M. et al, Proc. Durability of Glass Fiber Reinforced Concrete Symposium, PCI, 270-284, 1985.

表-2 セメントの凝結試験結果

PVA(%)	始発	終結
0	3:18	4:53
2.5	4:29	6:34
5.0	5:11	7:06