

(V-5) ダブルミキシングで製造した短繊維補強モルタル

東海大学 正会員○笠井 哲郎

東海大学 正会員 菊本 幸雄

東海大学 正会員 佐久間雅孝

1. まえがき

短繊維補強セメント複合体（以下、短FRC）における繊維の補強効率は、使用材料や配合が一定の場合繊維とマトリックス（セメントペースト、モルタル、コンクリートなど）との付着強度に依存するところが大きい。この付着強度は、両者間の付着界面の微視的な組織構造に影響されると考えられており¹⁾ 繊維の補強効率を向上させるためには、この界面の改質が肝要である。本研究は、繊維の補強効率を向上させる目的で、炭素繊維を混入した補強モルタルの練混ぜに、ダブルミキシング²⁾を適用した場合について、繊維とモルタルの付着界面の微視的な観察と硬化体の曲げ強度試験を行い、炭素繊維補強モルタル（以下、CFRM）における繊維の補強効果と練混ぜ条件の関係について実験的検討を行った。

2. 実験概要

表-1 炭素繊維の性質

2.1 供試体

セメントはC社製の普通ポルトランドセメント（比重：

種別	繊維の形状			比重	引張強度 (kgf/mm ²)	弾性係数 (10 ⁴ kgf/mm ²)	伸度 (%)
	直径 (μm)	長さ (mm)	アスペクト比				
PAN系	7	6	857	1.9	407	24.4	1.67

3.15, Blaine:3380cm³/g)を、細骨材は豊浦標準砂を用

いた。繊維はT社製のPAN系炭素繊維を用いた。

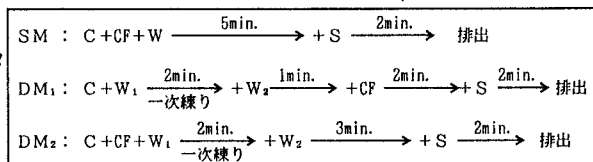
使用した炭素繊維の性質を表-1に示す。モルタルマトリックスの配合は、W/C=60%、S/C=0.25と一定にした。繊維混入率（V_f）はマトリックス

の体積に対する繊維の体積百分率(vol%)で示し、

0, 1, 3, 5 vol%と変化させた。ミキサは、C:セメント, CF:炭素繊維, W:水, W₁:一次水, W₂:二次水 (W=W₁+W₂)
S:細骨材, →:ミキサによる練混ぜ

容量10ℓのホバート型モルタルミキサを使用した。

図-1 練混ぜ方法



練混ぜ方法は図-1に示すように、練混ぜ水を一度に加えるSM(Single Mixing)と練混ぜ水を2度に分けて加えるDM(Double Mixing)により行った。この際、各練混ぜ方法における練混ぜ時間の合計が同一となるようにした。なお、DM₂ではV_f=3 vol%の場合のみ行った。DM₁およびDM₂におけるW₁/Cは、ミキサに電流計を取り付け、一次練混ぜ時にミキサに流れる電流が最大（攪拌トルクが最大）となるW₁/Cとした。DM₁におけるW₁/Cは24%、DM₂におけるW₁/Cは35%となった。なお、DMにおいて、一次練混ぜ時の攪拌トルクが最大となるW₁/Cとしたセメントペーストは、ブリーディングが最小となることが示されている³⁾。供試体は、寸法40×40×160(mm)のものを4個同時に作製し、3個は曲げ強度試験用、1個は反射電子像の観察用とした。供試体は、24時間後脱型し、28日水中養生（20℃）した後、14日気中養生した。

2.2 試験方法

(1) 曲げ強度試験： 曲げ強度試験は、スパン100mmで中央集中載荷とした。また、ワイヤーストレインゲージ（30mm）を用いて、曲げ供試体の下縁中央部のひずみを測定した。この計測区間30mmの下縁部の平均のひずみを“下縁の平均ひずみ”と定義し、曲げたわみの指標として以下に用いることとした。

(2) 反射電子像の観察： 28日水中養生後の供試体をダイヤモンドカッターで5mm角に切断し、D-乾燥したものを樹脂含浸して切断し表面を研磨した後、カーボンを蒸着して試料とした。測定は日本電子社製JBOL8600を用いて行った。なお、反射電子像の写真の上下方向を供試体の打設方向と一致するようにした。

3. 実験結果および考察

図-2はV_f=3 vol%の場合について、SM, DM₁, DM₂で製造したCFRMの曲げ強度試験結果を示したものである。SMに比べ、DM₁, DM₂では強度およびじん性とも大きく、特にじん性の増加が大きく現

れている。また、DM₁およびDM₂では、強度および曲げじん性ともほぼ同様な結果となった。

図-3はSMおよびDM₁において、 V_f と最大曲げ強度の関係を示したものである。 $V_f=0\text{vol}\%$ では、DMよりSMの方が最大曲げ強度が大きくなっている。これは、

図-4に示すSMおよびDMで製造したモルタルマトリックスのブリーディング試験結果から、DMよりSMの方が最大ブリーディング率が4倍程度大きく、硬化体としての実質のW/CがSMの方が小さくなっているためであると考えられる。一方、繊維を混入した場合にはどの V_f においても、SMよりDMの方が曲げ強度は大きくなっている。

写真-1, 2は、それぞれSMおよびDM₁で製造したCFRMの研磨面の反射電子像を示したものである。SMでは骨材界面に10~40 μm 厚さ程度の遷移帯が形成され、特に、打設方向に対し骨材下部に多く形成されている。これに対し、DM₁では、骨材界面に遷移帯がほとんど形成されておらず、SMの場合と顕著な差が現れている。SMとDMのこの差は、図-4で示したブリーディングの差により説明できるものと考えられる。すなわち、遷移帯が形成されるためには骨材界面に水膜が形成される必要があるため、ブリーディングの少ないDMでは水膜が形成され難く、遷移帯の形成が少なくなったものと考えられる。一方、繊維界面については、写真の倍率が低く十分な観察を行うことができないが、ブリーディング量の差が界面での遷移帯の形成に影響するならば、繊維界面においても骨材界面と同様なことが予想される。

以上のことより、CFRMの練混ぜをDMで行うことにより、SMに比べ、 V_f が同一ならば曲げ強度および曲げじん性が増加し、CFRMの力学的性能が向上した。またこのことは、DMによりブリーディングが減少したために、骨材界面および繊維界面の遷移帯の形成が少なくなり、繊維とマトリックスとの付着が改善されたためであると考えられる。

なお、本研究は平成7年度文部省科学研究費（奨励研究A）の交付を受けて行ったものである。また、反射電子像の撮影にあたっては、秩父小野田（株）中央研究所・内川特別研究室チーフ羽原俊祐氏および平尾宙氏から御協力を得ました。記して感謝の意を表します。

<参考文献> 1) 真嶋光保他：繊維補強セメント／コンクリート複合材料，技報堂出版，1994。2) 田澤栄一・笠井哲郎他：ダブルミキシングで製造したコンクリートの圧縮強度，土木学会論文集，No. 408/V-11，pp. 139~146，1989。3) 田澤栄一・笠井哲郎：フレッシュセメントペーストのダブルミキシング効果，土木学会論文集，No. 396/V-9，pp. 135~142，1988。

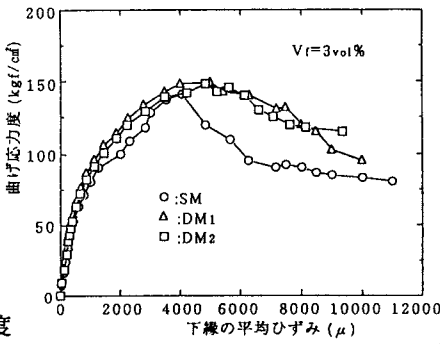


図-2 曲げ試験結果

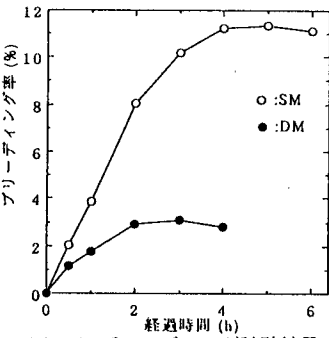


図-4 ブリーディング試験結果

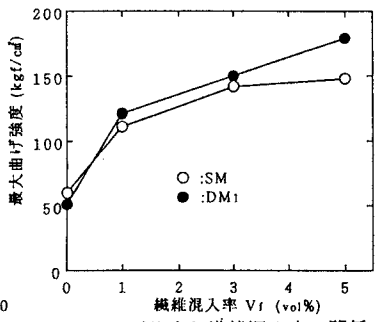


図-3 曲げ強度と繊維混入率の関係

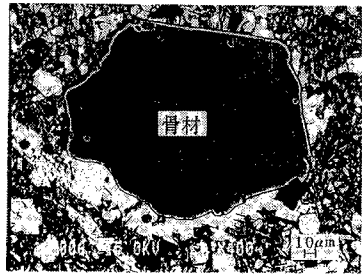


写真-1 CFRMの反射電子像 (SM)

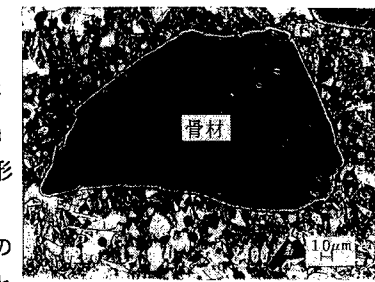


写真-2 CFRMの反射電子像 (DM)