

V-248 炭素繊維ネットで補強したモルタルの付着・引張性状

九州大学工学部 ○学生員 入江浩志

九州大学工学部 正 員 牧角龍憲

九州大学工学部 学生員 南 英明

I. 目的

繊維補強マトリックスの強度は、繊維のマトリックスへの定着（付着状態）に支配されるため、高張力繊維を効率よく用いるには定着方法の検討が必要である。連続繊維をネット状に成形した補強材の場合、縦横繊維の交点の接合力が定着効果に及ぼす影響は大きく、繊維補強マトリックスの強度は接合力に支配されるものと考えられる。

そこで本研究は、炭素繊維ネットによって補強されたモルタルの引張および付着試験を行い、交点の接合方法の違いにより引張最大荷重・付着強度に及ぼす影響を検討するものである。

II. 実験概要

(1) 使用材料：実験に使用したPAN系炭素繊維は、素線直径 $7\mu\text{m}$ 、引張強度 300kgf/mm^2 、弾性係数 23tf/mm^2 、破断伸度 1.3% である。モルタルは、 $W/C=34\%$ 、 $S/C=1.5$ で高性能減水剤を用いて作成し、細骨材に豊浦標準砂、セメントに早強ポルトランドセメントを用いた。

(2) 補強材及び接合方法：素線を集束し樹脂にて直線材に成形した炭素繊維 12K, 6K, 3K (1Kは素線1000本)を用いて、縦横繊維の各交点を

(a) 瞬間接着剤 TC

(b) エポキシ樹脂系接着剤 TE

(c) 糸 TF

で接合したもの、ならびに繊維単体の付着を調べるために

(d) 一方向繊維（横繊維なし）TCF

の4種類の補強材について検討した。糸は横繊維の位置保持の目的で使用し、接合力は0とみなしている。なお、炭素繊維の直径は、12K, 6K, 3Kそれぞれ 0.12 , 0.08 , 0.06cm であり、ネットの間隔は $15\times 15\text{mm}$ である。

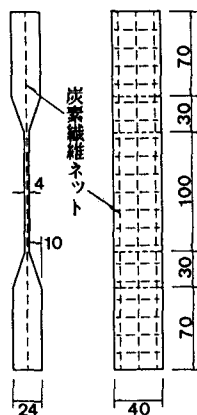


図-1 引張試験供試体

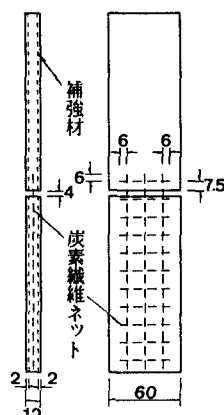


図-2 付着試験供試体

(3) 供試体及び試験方法：引張・付着試験に使用した供試体の形状及び寸法を図-

1, 2に示す。モルタルを打設した後、標準養生を行い、材令1日で試験に供した。試験は、偏心が生じないようにして引張荷重を加えて行い、荷重はロードセルにより測定した。

III. 実験結果と考察

(1) 引張試験：表-1に繊維補強モルタルに対する繊維の体積比 V_f と破断荷重（計算値）を示し、表-2に引張試験により得られた最大荷重及びその計算値との比を示す。破断荷重の計算値は、ひびわれ発生以後は繊維のみが引張抵抗を有するとして、炭素繊維ネットの破断荷重を用いた。

表-1 体積比と破断荷重（計算値）

	体積比 V_f	破断荷重(kgf)
12K	0.0087	416
6K	0.0043	208
3K	0.0022	104

破壊状況は、12KのTF, TCFの供試体では、モルタルにひびわれ発生後モルタルと炭素繊維間のすり抜けが生じ、12KTEと6KTCFでは、モルタルにひびわれ発生後炭素繊維の破断による場合とすり抜けの場

合が生じた。他の供試体ではすべて繊維の破断によるものであった。

素線数6K、3Kは、接合方法に関係なくいずれも繊維が破断しており、縦方向繊維の付着で十分に定着がなされている。しかしながら、12Kの場合にみられるように繊維材が太径になれば、ネット形状にしてある程度の接合力を持たせなければ繊維強度を十分に活かすことができないといえる。

すなわち、12Kの場合の引張最大荷重から接合力は $TC > TE > TF$ であり、最大荷重と接合力は密接な関係があると考えられる。

(2) 付着試験：表-3、4に横繊維1本、12K横繊維2本に対する平均付着強度及び縦繊維1本当りの増加荷重を示す。縦繊維1本当りの付着増加荷重 ΔP （一接点の接合力）は、試験結果から得られた TCF の付着強度 τ_{TCF} から次式により算出した。

$$\tau_{TCF} \cdot \pi \cdot d \cdot l + 3 \cdot \Delta P = P_u$$

平均付着強度及び接合力は、 $TC > TE > TF$ となり引張試験と同じ結果が得られた。

表-3 横繊維1本に対する平均付着強度及び増加荷重

		l (cm)	P_u (kgf)	τ (kgf/cm ²)	ΔP (kgf)	l_g (cm)
TC	12K	5.19	107.0	54.7	11.0	—
	6K	5.52	76.5	55.1	8.0	—
TE	12K	4.56	79.5	46.2	4.8	7.9
	6K	3.59	43.1	47.8	3.0	—
TF	12K	3.43	49.9	38.6	0.34	7.2
	6K	6.00	60.8	40.3	1.3	—
TCF	12K	2.95	42.0	37.8	—	7.2
	6K	4.42	42.0	37.8	—	7.4

横方向繊維1本と2本を比較するとほぼ同値の平均付着強度が得られ、付着増加荷重は単純に2倍となっている。そこで引張最大荷重 P_t は、すり抜けの場合繊維に有効に働く付着長さである

基本付着長が存在し、その基本付着長の付着強さとその間にある接合力の合計との和に等しいと仮定すると、基本付着長 l_g はネットの網目間隔を S 、炭素繊維直径を d として次式で得られる。

$$l_g = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_t}{\tau_{TCF} \cdot \pi \cdot d + \Delta P / S}$$

表-3に示すように、基本定着長はほぼ一定の値を示しており前述の仮定が妥当であることが認められる。

IV. 結論

繊維補強マトリックスの強度は、マトリックスひびわれ発生後の繊維とマトリックス間の定着に支配される。繊維をネット状にし、基本付着長間の付着強さとその間にある接合力の合計との和を繊維破断荷重以上にすれば、繊維強度を十分に活用できるといえる。

最後に、実験に協力してくれた河北英彦・赤嶺雄一君に謝意を表す。

表-2 最大荷重（実測値）とその計算値との比

素線数		12K	6K	3K
接合方法	瞬間接着剤 TC	457 * (1.10)	217 * (1.04)	109 * (1.05)
	エポキシ樹脂 TE	414 *** (1.00)	213 * (1.02)	118 * (1.13)
	糸 TF	312 ** (0.75)	192 * (0.92)	110 * (1.08)
	一方向 TCF	309 ** (0.74)	210 *** (1.01)	114 * (1.10)

破壊状況 *：繊維の破断 **：すり抜け ***：破断・すり抜け

表-4 12K横繊維2本に対する平均付着強度及び増加荷重

	l (cm)	P_u (kgf)	τ (kgf/cm ²)	ΔP (kgf)
TC	10.43	228.0	58.0	26.5
TE	8.98	159.0	47.0	10.3