

# [1] アモルファス金属繊維の耐食性とモルタルとの付着特性

正会員 白山和久 (筑波大学構造工学系)

## 1 序

アモルファス金属 (以下MGと略記する) は、強度が高い、耐食性が大きい、靱性に富んでいるなどの特長を持っている。またその製造には、溶融金属を急冷する必要があるため、現在は厚さ 30 ~ 50 μ 程度のリボン状のものが多く製造されているが、細い繊維状のものも製造可能である。これらの特長は、コンクリート・モルタルの補強用繊維としても適していると考えられるので、筆者は昭和 55 年からMG繊維のこのような用途に関する検討を始めた。本報告はそのうちのMG繊維の塩水に対する耐食性と標準砂モルタルとの付着特性とを各種の鋼繊維と比較した試験に関するものである。MG繊維を混入したモルタルの曲げ試験も行って、MG繊維の補強効果が大きいことも分ったが、これについては別の機会に報告したい。

MGは現在は磁性材料などとして少量の使用しかされていないこともあって、1 t 当り数千万円もする。これはMGをコンクリート補強材料として使う場合の問題点であるが、数年先にはトランス用材料として使用するため 60 万円 / t 程度の単価のものも生産される見通しがあるときいている。

この関係の研究については、A, S, ArgonらのMG繊維混入モルタルの引張試験結果などが発表されており<sup>1)</sup>、我国でも関連する特許が出されているときいている。

## 2 使用材料

2.1 MG繊維および鋼繊維 実験に使用したMG繊維の概要を、比較のため用いた鋼繊維の概要とともに表 1 に示す。MG繊維は米国製で、ろう付用のものである。MBF 20 のメーカーによる物性値を表 2 に示す。MBF 20 の引張強度およびヤング係数を巾 5 mm の供試体によって測定したところ、それぞれ 195 kg / mm<sup>2</sup>、引張

表 1 使用したMG繊維および鋼繊維の概要

種類	項目 記号	断面 形状	断面寸法 (mm)	断面積(A) (mm <sup>2</sup> )	$d = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}}$ (mm)	全体形状	長さ (mm)	引張強度 (kg / mm <sup>2</sup> )
MG 繊維	MBF 20	□	0.045 × 1 <sup>**</sup>	0.045	0.239	ストレート	25.4 <sup>**</sup>	195
	MBF 60	□	0.05 × 1	0.050	0.252	ストレート	25.0	—
市販 鋼繊維	SK	⊖*	φ 0.5	0.197	0.500	ストレート	30	—
	TE	□	0.5 × 0.5	0.250	0.564	ストレート	30	—
試験用 鋼繊維	ST-40	□	0.5 × 0.5	0.248	0.562	ストレート	30	47.8
	ST-70	□	0.5 × 0.5	0.235	0.547	ストレート	30	81.5
	ST-110	□	0.5 × 0.5	0.242	0.555	ストレート	30	131.4
	WA-40	□	0.5 × 0.5	0.255	0.570	波形	30	40.6
	WA-70	□	0.5 × 0.5	0.290	0.607	波形	30	71.6
	WA-110	□	0.5 × 0.5	0.305	0.623	波形	30	136.2
	IN-110	⊖*	φ 0.55	0.232	0.543	ストレート	30	105.4
	SC-70	⊖*	φ 0.55	0.318	0.636	ストレート	30	73.6
	HK-70	□	0.5 × 0.5	0.246	0.560	ストレート	30	81.8
	TW-70	□	0.5 × 0.5	0.267	0.583	ネジリ	30	73.7

\* インデント加工 \*\* 付着強度試験にはこのほかの寸法のものも用いた。

ヤング係数  $1.29 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$  の値が得られた。この時の応力—ひずみ曲線の一例を図1に示す。図1から分るようにMBF 20の応力—ひずみ関係は、破壊の近くまで直線的であった。MBF 60の組成(Wt%)はカタログによればNi 90~87, P 10~12, C 0.1以下であり、比重は7.97である。

市販鋼繊維は、それぞれのメーカーから提供されたものである。

試験用鋼繊維は、建設省建築研究所と鋼材倶楽部との共同研究に用いられたもので、表1のデータは、友沢氏らの報告<sup>2)</sup>によった。

2.2 セメント セメントは早強ポルトランドセメント(工場試験値  $\rho = 3.14$ ,  $K_7 = 355 \text{ kg/cm}^2$ ,  $K_{28} = 456 \text{ kg/cm}^2$ )を用いた。

2.3 細骨材 モルタルの細骨材としては豊浦標準砂を用いた。

### 3 塩水に対するMG繊維および鋼繊維の耐食試験

表1に示したMG繊維および鋼繊維計14種を3%のNaCl液中に15本づつ浸漬し、数日毎に取出して表面水を拭きとって重量を測定し、その変化を調べた。試験結果を表3および図2に示す。表3の表面積は表1に示した繊維の断面寸法および長さから算出した値である。

### 4 標準砂モルタルに対するMG繊維および鋼繊維の付着特性試験

4.1 実験の概要 MBF 20を用い、表4に示すように各種の条件を変えて2本の繊維を埋込んだ標準砂モルタルの引張試験を行い、市販の鋼繊維SKおよびTEと比較したものである。

4.2 標準砂モルタル 標準砂モルタルは水セメント比40%, フロー180になるように調合を定めた。重量調合比は、セメント:水:標準砂=1:0.4:1.3である。実際に得られた単位量等を表5に示す。このモルタルの標準水中養生7日強度は、圧縮  $355 \text{ kg/cm}^2$ 、曲げ  $84.1 \text{ kg/cm}^2$  であっ

表2 MBF 20の物性値

組成 (Wt%)	Ni 82.4 Cr 7 Fe 3 Si 9.5 B 3.1
比重	7.81
降伏強度	211 kg/cm <sup>2</sup>
ヤング率	$1.25 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$
伸び	1.8%

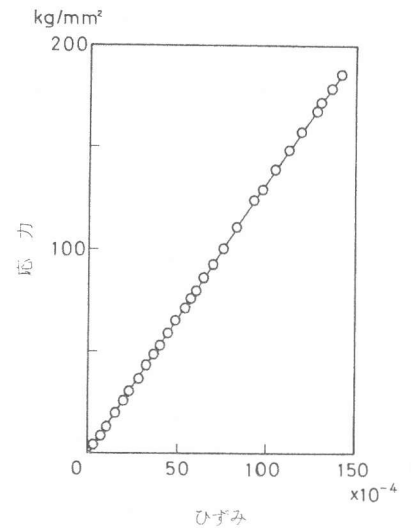


図1 MBF 20の応力—ひずみ関係

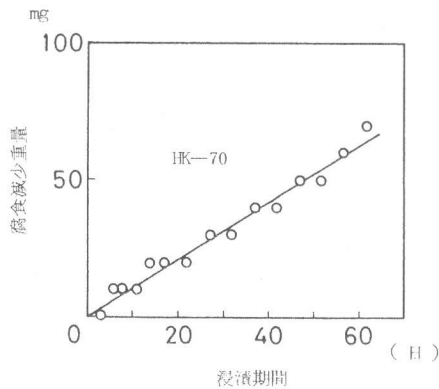


図2 耐食試験の結果の例

表4 付着試験の条件

項目	種類
繊維の巾 (mm)*	0.5, 1.0, 2.0, 4.0
埋込長さ (mm)	5, 10, 15
埋込角度**	15°, 30°, 45°, 60°
埋込方法*	垂直, 水平

\* MBF 20のみ \*\* 引張方向との傾き

表3 耐食試験結果

項目		重量減少率(%)		表面積 (cm <sup>2</sup> )
		32日浸漬	62日浸漬	
MG 繊維	MBF 20	0	0	8.0
	MBF 60	0	0	7.9
市販 鋼繊維	SK	7.4	11.8	7.1
	TE	5.2	7.4	9.0
試験用 鋼繊維	ST-40	6.0	9.6	9.0
	ST-70	6.0	9.6	9.0
	ST-110	6.0	9.6	9.0
	WA-40	3.5	7.5	9.0
	WA-70	3.9	7.8	9.0
	WA-110	5.7	8.6	9.0
	IN-110	6.2	9.9	7.8
	SC-70	4.8	9.5	7.8
	HK-70	3.5	8.1	9.0
	TW-70	2.1	7.5	9.0

た。

4.3 供試体の作製 ASTM C 190-72 (水硬性セメントの引張試験方法)に規定されているブリケット用型わくの半分に、厚さが型わくの深さの1/2で、外周を型わくの半分の形に成型したゴム板を2枚詰める。この2枚のゴム板の間に、所定の角度、埋込み深さおよび方向になるように2本の繊維を挟んでおく。型わくのゴム板のない方の部分に、繊維が曲がらないように注意しながら標準砂モルタルを詰め、径5mmの丸棒で突きかため、表面をこてでならす。成型の翌日に脱型し、ゴム板を取り去り、そのあいた部分にモルタルを詰め、同様にして突きかためる。

このとき、先に打込んだモルタルと後から打込むモルタルとが接する面には、繊維の周囲を除いてグリースを薄く塗り、モルタル相互の接着を防ぐ。後詰めのモルタルを打込んだ翌日脱型し、材令7日まで20℃水中養生したのち、引張試験を行う。なおモルタルを詰めるとき、型わくの内側に、端部から10mm離れた中央部に、直径8mmの鋼棒を埋め、硬化後引抜いて、変位計を取付けるためのボルト孔とした。(図3参照)

4.4 試験方法 繊維を埋込んだモルタル供試体に、両端部の孔を用いて非接触型変位計を取付け、両側のモルタル片の相対変位を測定した。引張加力はロードセルを取付けたミハエリスモルタル試験機によって行い、XYレコーダによって荷重-変位の関係を記録させた。同一試験条件に対する供試体の数は3個ずつとした。

4.5 試験結果 試験結果は表6に示す。

#### 5 試験結果の検討

##### 5.1 塩水に対するMG繊維および鋼繊維の耐食試験

a. 図2の例に見られるように鋼繊維の塩水による錆化のために生じる重量減少率は、ほぼ浸漬期間に直線的に比例して増大し、浸漬期間約2月で約7~12%、平均約9%になった。繊維の表面積、引張強度などと重量減少率との関係は明瞭に認められるものはなかった。

b. MG繊維の重量は全く変化せず、塩水に対する耐食性は極めて優れていることを示している。しかし今回使用したMGはNiが80~90%の組成のものであり、これは当然の結果といえる。Feを主成分とするMG繊維の耐食性については、現在試験を計画している。

ただし特殊な条件で、極めて高い耐食性が必要とされる場合には、今回試験に用いたようなMGの利用も考えられるかも知れない。

##### 5.2 標準砂モルタルに対するMG繊維および鋼繊維の付着特性試験

今回行った試験では、繊維の定着を繊維の長さを長くする以外に特別なことはしなかったなどの試験方法の上での問題点はあるが、MG繊維の付着については次のような傾向が認められた。

a. MG繊維は、供試体の3/4が繊維の引張破壊を生じたため、付着の試験値は1/4しか得られなかったが、巾0.5~2mmのMG繊維を垂直に10~15mm埋込んだ場合の平均付着強度は29~36kg/cm<sup>2</sup>の範囲にあった。この値はSKやTEの平均付着強度と大きな差はなかった。Argon氏らの実験では、今回使用したMG繊維と同一メーカーのMG繊維(組成Fe<sub>29</sub>Ni<sub>49</sub>B<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>,厚78μ,巾0.53mm,ヤング係数1.3×10<sup>4</sup>kg/cm<sup>2</sup>,引張強度270kg/cm<sup>2</sup>)の平均付着強度は無処理の場合約13kg/cm<sup>2</sup>,サンドブラストで表面を処

表5 モルタルの割合

フロー	181 (172~187)	
空気量	2.0%	
単位量	セメント	811 kg/m <sup>3</sup>
	水	324 "
	標準砂	1.055 "

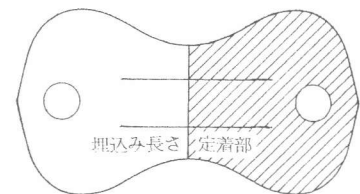


図3 付着強度試験用供試体

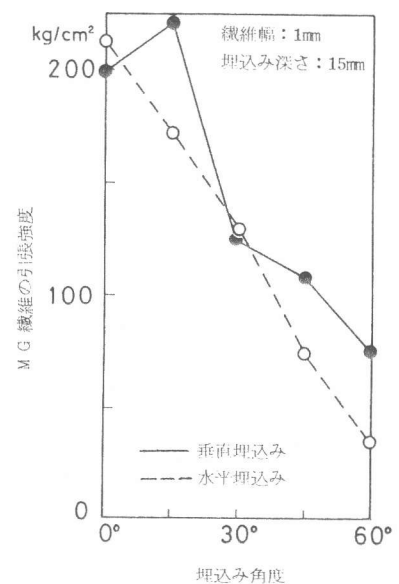


図4 MG繊維の埋込角度と引張強度

理した場合約 5.4 kg/cm<sup>2</sup>で粗面の鋼材と同等であると述べているが、今回の試験値はその中間位の値になった。

b. MG繊維の巾を 0.5 ~ 4.0 mm に変えても付着強度はほとんど変化しない。

c. MG繊維の埋込深さが 10 mm 以下では引抜け、15 mm 以上では引張破壊した。降伏強度を 200 kg/mm<sup>2</sup>、付着強度を 3.5 kg/cm<sup>2</sup>として限界長さを求めると約 25 mm となり、12 ~ 13 mm の埋込深さが引張破壊を生じるときの限界になる。ただし繊維の巾が 1 mm のとき埋込角度が大きくなると引張破壊応力は急激に低下し、引張破壊を生じやすくなった。(図 4 参照)

d. MG繊維は 2 ~ 3 mm の変位で最大荷重に達し、引抜ける場合でもその後の荷重は急激に低下する。

#### 4 結論

a. 今回使用した MG 繊維の塩水に対する耐食性は極めて優れている。

b. MG 繊維のモルタルに対する付着強度は 3.5 kg/cm<sup>2</sup>程度と考えられる。

c. MG 繊維は埋込み角度が大きくなると引張破壊を生じやすくなる。

なお本研究費の一部は文部省特定研究経費によるもので、試料を提供された建研 友沢室長、実験その他に協力された学生杉山律君および飯高稔技官に謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) A. S. Argon 他: J. of Mat. Science 14, 1979
- 2) 友沢ほか, 日本建築学会大会 学術講演梗概集, 昭 57.

表 6 付着強度試験結果

繊維種類	巾* (mm)	埋込*	埋込**	繊維***	繊維の破壊状況	最大荷重 (kg)	平均付着強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	繊維の破壊時応力 (kg/mm <sup>2</sup> )	
		深さ (mm)	方向	の傾き角					
MBF 20	0.5	10	垂直	0°	引抜け	8.13	34.4	(166)	
		15	垂直	0°	切断	10.88	(30.7)	223	
			水平	0°	切断2 引抜1	9.52 9.55	(29.1)	212 (222)	
	1.0	5	垂直	0°	引抜け	6.71	29.5	(68.8)	
		10	垂直	0°	引抜け	14.23	34.7	(149)	
				15°	引抜け	15.20	35.8	(189)	
				30°	引抜け	12.65	32.0	(142)	
				45°	切断	7.53	(20.4)	95.2	
				60°	切断	6.91	(17.8)	80.2	
		15	垂直	0°	切断	18.29	(28.6)	199	
				15°	切断	19.40	(25.5)	221	
				30°	切断	11.02	(18.1)	126	
				45°	切断	9.77	(15.5)	107	
				60°	切断	6.04	(10.7)	74.6	
				20	水平	0°	切断	9.52	(30.0)
	15°					切断	15.59	(24.5)	171
	30°	切断	10.80			(18.5)	129		
	45°	切断	7.05			(10.6)	73.5		
	2.0	20	垂直	0°	切断	21.92	(23.6)	218	
		10	垂直	0°	引抜け	28.72	35.9	(160)	
			15	垂直	0°	切断	37.70	(32.3)	221
	4.0	15	水平	0°	切断	40.20	(31.2)	213	
			10	垂直	0°	引抜け	57.32	35.9	(159)
		15	垂直	0°	切断	60.20	(24.4)	165	
SK	0.5	5	—	0°	引抜け	5.18	32.6	(13.2)	
		10	—	0°	引抜け	9.97	32.5	(25.4)	
		15	—	0°	引抜け	22.77	47.5	(58.0)	
TE	0.5	5	—	0°	引抜け	5.31	21.0	(8.1)	
		10	—	0°	引抜け	15.67	33.4	(22.8)	
		15	—	0°	引抜け	20.45	29.7	(30.8)	

\* 計画した値。強度の計算には実測値を用いた。

\*\* 垂直とは MG 繊維の断面を □ のように、水平とは □ のように置いて埋込むことを意味する。

\*\*\* 引張方向に対する傾き。