

# [84] ポリアミド系繊維補強セメント板の強度及び変形特性

正会員 大岸 佐吉 (名古屋工業大学)  
 正会員 ○小野 博宣 (中部大学工学部)  
 正会員 棚橋 勇 (名古屋工業大学)  
 片岡 一則 (名古屋工業大学)

## 1. まえがき

建築用、セメント系材料の補強材として長年使用されて来た、天然無機質繊維である石綿も、最近では資源の固濁化と、生産従事者の健康障害が心配されるなど、多くの問題を有しており、将来の展望はきわめて厳しい状況下にある。それ故、それに代わる繊維の開発が望まれており、耐アルカリガラス繊維、カーボン繊維などがその代替繊維として有望視されており、実用化が進んでいる。一方、セメントモルタルへの高分子繊維の補強に関する研究は、初期の S. Goldfein (米)、森、河野<sup>1)</sup>のPVA繊維の適用、久保田、坂根<sup>2)</sup>らの研究、筆者らの研究<sup>3)</sup>などにみられる通り多くの研究者によって改善効果の増大への試みがなされて来た。その効果は、前後して進展した金属、耐アルカリガラス繊維に比べ強度改善上、顕著な効果が認められなかった。その後、D.J. Hannant らによる長繊維ネット状フィルムの開発研究<sup>4)</sup>や筆者らの研究<sup>5)</sup>によっても高分子とセメントモルタルの複合方法の改善に寄与する方向が示された。しかし、高分子単繊維の補強に関しては、繊維の強度、耐熱性、セメントとの付着力など依然として改善すべき諸問題が残っている。ところが、最近ポリアミド系高分子繊維は強度、耐熱性に優れた性能を発揮し、従来からのセメント系複合材への応用上の懸念を解消出来るものと思われる。本研究はポリアミド系高分子繊維で補強したセメントモルタル板の曲げ強度と撓み変形の特性を、実用化されている繊維も含め種々の繊維と比較しながら実験的に検討した。

## 2. 試験方法

2.1 使用材料：普通ポルトランドセメント ( $\rho=3.15$ 、比表面積 $=3210\text{cm}^2/\text{g}$ 、 $\sigma_c=413\text{kgf}/\text{cm}^2$ )、細骨材：(豊浦標準砂  $\rho=2.64$ 、吸水率 $=0.2\%/wt$ )、繊維：表-1に示す6系列、10品種を使用した。特にポリアミド系繊維では、単繊維の集束状態の違い(無集束NKF、エポキシ集束EKF、酢び集束PKF)について調査した。尚代表的繊維のアルカリ浸漬試験を行い浸食状況を調査した。

2.2 試験体の製作 セメントモルタル板の基本調査は重量比率で、C : S : W = 1 : 0.7 : 0.5であり、高流動化剤(ナフタリンスルホン酸系)をセメント重量に対し、0.6%添加混練した。ベースモルタルの混練は電動回転式ミキサーを使用し、モルタル混練後繊維は手練り攪拌とした。試験体は打込後2日で脱型し、以後水中養生(20℃、28日)した。供試体の基本寸法は6.5×60×140mmである。

### 2.3 繊維のアルカ

表-1 使用繊維の種別と物理的性質

#### リ浸漬試験

使用繊維の代表的試料4種(無集束ポリアミド繊維(NKF)、ピッチ系カーボン繊維(CKF)、耐アルカリガラス繊維(aRG)、ロービング、ピアノ線(PW)について、2種類

Kinds of fibers	Notation	Specific gravity (g/cm <sup>3</sup> )	Filament diameter	Tensile strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Young's modulus (kgf/cm <sup>2</sup> )	Elongation	Fiber length (mm)	Fiber content (%/vol.)
1) Polyamide(kevlar)	NKF EKF PKF	1.45	11.9 $\mu$	22g/d = 280	13×10 <sup>5</sup>	2.4%	5,15,25	1,-4
2) Carbon (pitch)	CFK	1.65	18 $\mu$	78	3.8×10 <sup>5</sup>	2.0%	6,10,25	1,-3
	CFT	1.78	5-7 $\mu$	200	20×10 <sup>5</sup>			
3) Alkali reg.glass*	aRG	2.7 2.7	20 $\mu$ 13 $\mu$	160-180	7-7.8×10 <sup>5</sup>	2.0%	25 5,15	3
4) Steel (mild)	MS	7.8	0.21×0.6 mm	72.7	21×10 <sup>5</sup>	8%	25	3
	PW	7.8	0.3 mm	245-270	22×10 <sup>5</sup>			
5) Polypropylene	PP	0.9	170 d	56-77	0.035×10 <sup>5</sup>	680%	25	3
6) Asbestos	asb	2.7	20 A	-	-	-	2	3-12

\* Zirconium type glass fiber

10.5、12.5)を用意し、浸漬時間を0、10、100、1000 hrの4段階とし、各々の繊維を長さ40mmに切り、所定時間浸漬後引張り強度試験を行った。

### 2.4 試験方法

繊維の引張り試験は容量100kgオートグラフ試験機により引張り速度5mm/minで行った。セメントモルタル板の曲げ強度試験は定速(歪)変位式50kg容量の試験機を使用、変位速度1mm/minで、曲げスパン12cmの2等分点、1点集中荷重とし、同時に中央点での撓み量を測定した。

### 3. 試験結果と考察

#### 3.1 繊維引張強度とアルカリ溶液浸食

各々の繊維はアルカリ溶液中に浸漬することによって、強度上に変化が認められた。即ち pH=10.5 の場合、ピアノ線、耐アルカリガラス繊維、ポリアミド系ケブラー繊維(無集束)で、それぞれ若干量の強度低下が認められた。カーボン繊維では増大する特異な傾向を示した。(表-2 参照)

pW の場合は弱アルカリ溶液の弱点が生じたためと思われる。pH=12.5 の場合は、図-1 に示すとおり、pW を除く3種の繊維で強度劣化が認められた。即ち 10<sup>3</sup>hr 浸漬後では耐アルカリガラス繊維では、強度が1/2以下に低下するのに対し、カーボン、ポリアミド系、共に 10% 程度の低下と、その損傷程度が軽微であることを示している。以上、カーボン、ポリアミド系繊維はセメントモルタルの補強材として利用する場合のアルカリ浸食の影響は無視出来る範囲であると推察される。

#### 3.2 モルタル供試体の製作の作業性

モルタルに混入する繊維量が増すにつれ、繊維モルタルの流動性は低下した。図-2 は繊維モルタルのフロー値を繊維種別毎にその混入量との関係で示したものである。流動性の低下にともない、供試体作製の作業効率も低くなった。作業効率は、繊維の径、集束条件、長さによっても大きく変化することが知られた。本研究の場合、ポリアミド系ケブラー繊維の無集束、25mm 長の場合が供試体作製に要する時間が大であった。

#### 3.3 モルタル板の曲げ変形特性

図-3 ~ 5 は曲げ応力と中央点の撓みとの関係を示したものである。

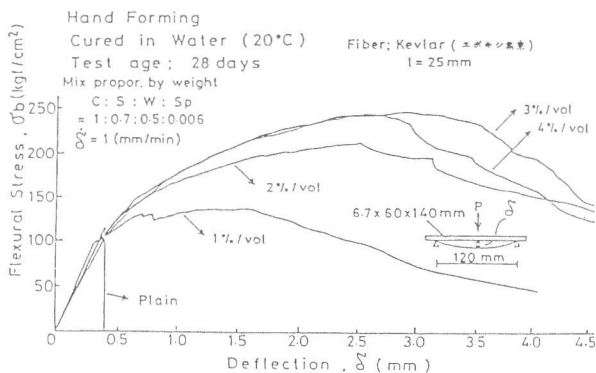


図-3 モルタル板曲げ応力～たわみ曲線(その1)

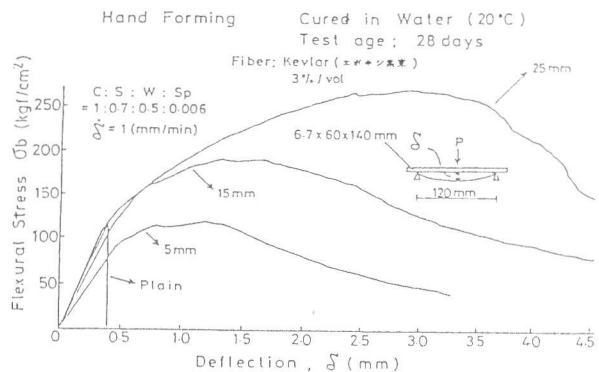


図-4 モルタル板曲げ応力～たわみ曲線(その2)

表-2 アルカリ溶液浸漬による繊維の強度変化

Kinds of fibers (Notation)	Alkali solution (pH)	Max. tensile load P(kg) and strength rate(%) of fibers after steeped.			
		steeped times (hours)			
		0	10	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>
Polyamide (NKF)	10.5	20.58	20.52 (99.7%)	20.27 (98.5%)	20.20 (98.2%)
	12.5	(100.0%)	19.86 (96.5%)	20.07 (97.5%)	18.58 (90.2%)
Carbon (CFK)	10.5	2.01	2.04 (101.5%)	2.08 (103.5%)	2.29 (113.9%)
	12.5	(100.0%)	1.92 (95.5%)	1.82 (90.5%)	1.82 (90.5%)
Alkali resistant glass (aRG)	10.5	3.06	2.78 (90.8%)	2.69 (87.9%)	2.66 (86.9%)
	12.5	(100.0%)	2.59 (84.6%)	1.98 (64.7%)	1.30 (42.5%)
Piano wire (PW)	10.5	8.49	8.24 (97.1%)	7.11 (83.7%)	6.16 (72.6%)
	12.5	(100.0%)	8.54 (100.6%)	8.51 (100.2%)	8.46 (99.6%)

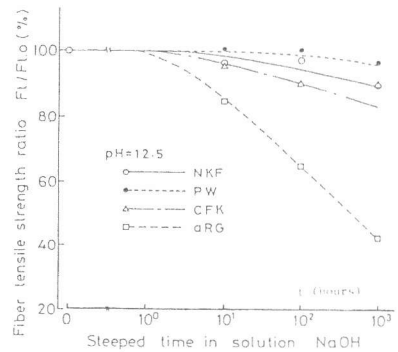


図-1 繊維のアルカリ浸食効果

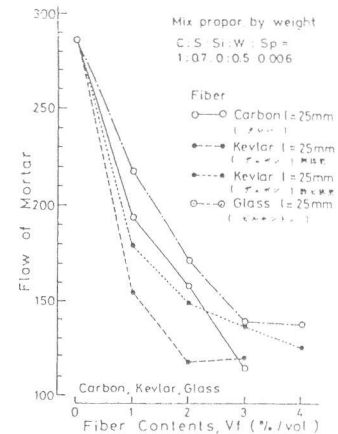


図-2 繊維種別モルタルフロー値

図-3、4はポリ

アミド系ケブラー  
ー繊維のエポキシ  
集束タイプの  
繊維混入モルタル  
について示した  
ものである。  
繊維混入量が  
増えると強度と  
撓み共大きくな  
り、3%vol.まで

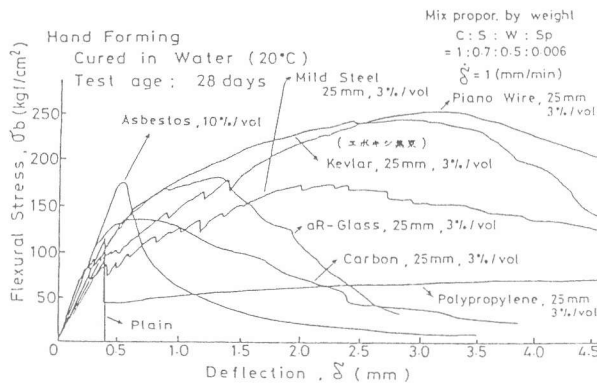


図-5 モルタル板曲げ応力-たわみ曲線(その3)

は明白な効果が認められる。4%vol.になると変形性能は逆に低下する傾向を示している。繊維量増大によるセメントマトリックスとの付着力の低下によるものと思われる。一方長き効果は、顕著であり、適切な繊維混入量条件下では、繊維長が大きくなるにつれ強度、変形性能も大きくなる、長繊維になるほど付着力を増し、曲げ応力に対する抵抗性が大となる為であると思われる。図-5は各種の繊維補強板の応力-撓み曲線を示したものであり、アスベストの混入率が10%vol.と高いのを除くと同一の(3%vol.)条件である。ピアノ線とケブラーエポキシ集束が効果的で両者とも類似の傾向を示す。石綿、耐アルカリガラス繊維、軟鋼も、最大応力度(強度)は、ほぼ等しい値であるが、変形性能は個々特有の様相を示している。即ちアスベストは強度、aRGは強度と変形、軟鋼は変形性能にそれぞれ優位性を示している。金属繊維の場合には1本当たりの径も太く初期ひび割れ発生後の応力、変形の負担率が大きくなる為、階段状の図形となっている。ポリプロピレン単繊維の場合には初期ひび割れ発生直後に応力の急激な低下が認められるが、これは繊維の径が太く、セメントモルタルの破断により、供試体中央部の付着力が低下するためである。以後の変形はポリプロピレン繊維が伸びによるものであり特徴となっている。

### 3.4 モルタル板の曲げ強度特性

図-6はポリアミド系ケブラー繊維における繊維長と曲げ強度との関係を示したものである。前述の如く、付着力の増大が寄与し、曲げ応力に対し、繊維の配向が効果的となるためであろう。集束処理した場合の方が、繊維相互のからみが少なく、セメントモルタルとの付着力を向上させるものと思われる。無集束の場合でも高流動化剤を混練後に添加するなどセメントモルタルと繊維との付着性能を改善する処理により強度増加が期待できそうである。図-7は、各々繊維の長さによって、その混入量を増やす場合、改善効果に限度がある事を示している。本実験ではケブラーエポキシ集束の場合(EKF)では、25mm長、3%vol.混入の条件が効果的であった。

図-8は繊維の種別と混入量の効果を対比して示したものであり、EKF、aRG、CFKともそれぞれ繊維の混入量の増大によって強度が大となる。

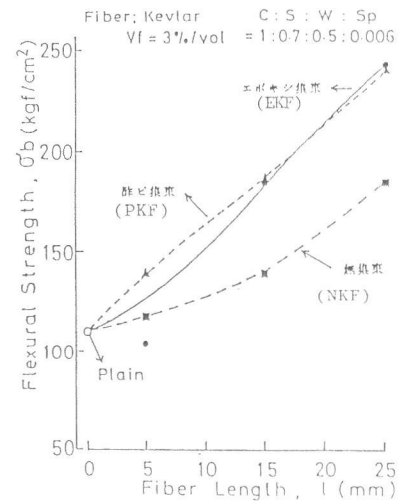


図-6 繊維長さと曲げ強度

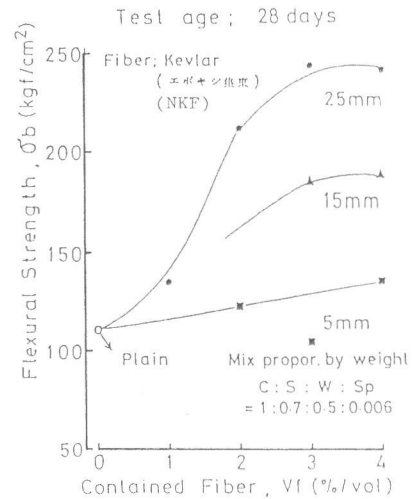


図-7 繊維量と曲げ強度

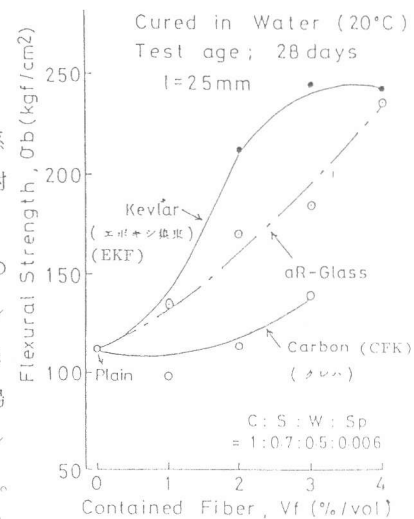


図-8 繊維別曲げ強度

繊維には、それぞれ特有の性能と補強効果を有するが、それらはセメントモルタルの調合、製造方法により異った補強特性を示すものと思われるので、混入量に対する効果の評価は慎重を要するものとする。本実験に関する限り、a RG、EKFは4%/vol.混入時ほゞ等しい値を示した。

### 3.5 モルタル板の靱性

セメントモルタル及びコンクリートの靱性評価に関しては種々の方法が提案されている<sup>7)</sup>。繊維補強コンクリートの曲げ靱性については図-11に示す。荷重撓み曲線と軸によって開まれる面積で評価する

のも一手法である。本研究は、最大曲げ荷重までの面積を  $X = \max Tf$ 。最大値を越え、その8割までの降下領域までの面積を  $Y$  とし、それらの和  $X+Y=0.8 Tf$  と定義する。図-9は繊維混入量の増加により靱性値  $Tf$  が急増することを示し、図-10は繊維の長さが、靱性の改善に大きく寄与している事示している。しかし、同一のポリアミドケブラー繊維でも集束状態によって値が変化している。図-11は各種の繊維別の靱性評価値を比較したものである。ケブラー繊維がピアノ線と同等の高い靱性値を示すのが特色である、カーボン繊維、耐アルカリガラス繊維、アスベスト等は、前者に比べ低い位置にあることがわかる。

### 4. 結論

ポリアミド系ケブラー繊維補強モルタル板の実験結果より次の事項が結論として述べられる。

- 1) 曲げ強度における補強効果は顕著であり耐アルカリガラス繊維、金属繊維に相当する。最適条件は、繊維長25mm、混入量3%/vol.である。
- 2) 変形性能における補強改善効果も優れており、靱性評価においても、ピアノ線と同等の値を示すなど、耐アルカリガラス繊維、カーボン繊維より効果的である。
- 3) ケブラー繊維の利用にあたっては、集束条件も、セメントモルタルの性能改善上、その寄与率が高いのでセメントモルタル板の製造の手法により適切な種別を選択するのが望ましい。

### 参考文献

- 1) 森 他、小野田研究報告 vol.16、頁61、pp.117-131、1964
- 2) 久保田 他、材料 vol.16、頁167、pp.676-685、1967
- 3) 大岸 他、セメント技術年報 vol.23、pp.402-407、1969
- 4) D. J. Hannant 他、Composites. vol.9、頁2、pp.83-88、1978
- 5) 大岸、小野 他、セメント技術年報 vol.34、pp.349-351、1980
- 6) 秋沢、日本建築学会論文集 頁316、pp.1-7、1982
- 7) 谷田、細中 コンクリート工学 vol.21、頁5、pp.14-22、1982

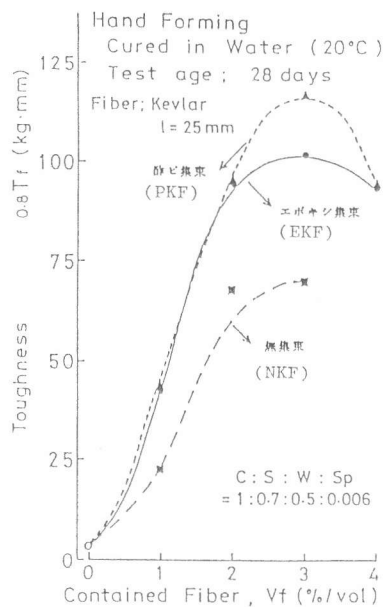


図-9 繊維量とタフネス

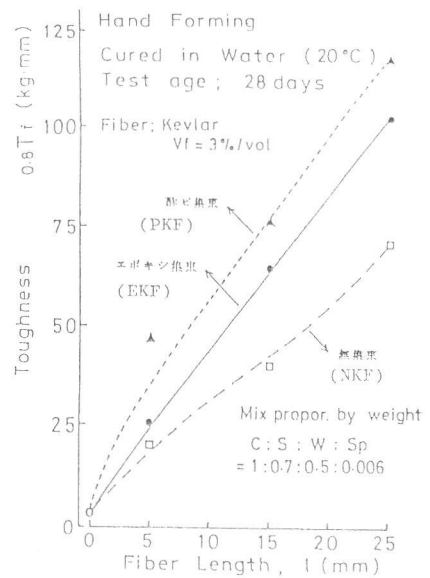


図-10 繊維長さもタフネス

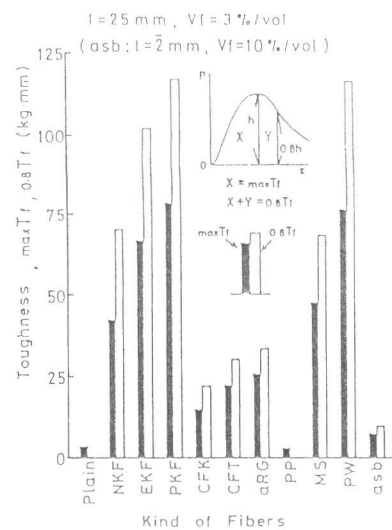


図-11 繊維種別とタフネス