

短繊維混入形ポリマーセメントモルタルの性能評価に関する研究

中央大学 理工学部環境都市学科 学生会員 田中 新吾

中央大学 理工学部環境都市学科 学生会員 藤田 拓也

中央大学 理工学部環境都市学科教授 工博 正会員 大下 英吉

1. はじめに

近年，鉄筋コンクリート構造物の塩害や中性化，新幹線高架軌道スラブや自動車専用道路の高架橋床版等に交通荷重によるひび割れが生じ，構造性能や耐久性能が低下している。この対策として，多数の RC 構造物で補修・補強を実施し健全化を図る必要性が増加している。

断面欠損箇所の補修材料として，曲げ強度，引張強度および伸び能力が大きく，鉄筋との付着力の大きいポリマーセメントモルタルが広く用いられている。また，コンクリートやモルタルの欠点である脆性的な性質を改善し高強度かつ高靱性化を目指したり，ひび割れ分散性を向上させる方法に短繊維の混入がある。従来，短繊維およびポリマーの両者を混入したセメントモルタルの強度特性およびフレッシュ性状に関する研究は殆んどなく，両者の利点を兼ね備えた新たな材料の開発が期待される。

筆者等による既往の研究においては，繊維径が小さく(アラミド繊維 $\phi=12\mu\text{m}$ ，ビニロン繊維 $\phi=14\mu\text{m}$)で，ポリマーセメント比(P/C)が 5%以上とした場合，繊維の補強効果を得るためには，繊維混入率(Vf)が 1.0%以上必要であるということが挙げられた。さらに，Vf=1.0%以上とした場合，ポリマーセメントモルタルの流動性が低下するという問題も明らかになっている²⁾。

そこで本研究では，繊維径を大きくすることによりポリマーセメントモルタル中に混入する単位体積当たりの繊維本数を低下させた際の流動性及び各種強度特性の評価を目的とし，フレッシュ性状実験，曲げ試験，圧縮試験を実施し，各種性状の検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本実験で使用した材料は，セメントには普通ポルトランドセメント，ポリマーはアクリル共

重合再乳化形粉末樹脂(PAE1)を使用した。また，短繊維は共重合パラ型アラミド繊維(アラミド繊維，AF)およびポリビニルアルコール繊維(ビニロン繊維，PVA)を用いた。繊維の物性は，表 - 1 に示す通りである。

2.2 練混ぜ方法

練混ぜにはオムニミキサーを用い，砂，セメント，ポリマーをプレミックスし，1 分間空練りをした後に水を投入し 1 分 30 秒間練混ぜた。その後，低速でミキサーを回転させながら繊維を投入し，2 分間練混ぜを行った。その際，繊維およびポリマー混入による空気量の増大を抑制するため，ミキサー内を真空にした状態で練混ぜを行った。

2.3 養生方法

試験体は，打設後 24 時間で脱型し，水中で 5 日間養生した後，温度 20 ± 2 ，相対湿度 $60\pm 10\%$ で 21 日間気中養生を施した。

2.4 実験パラメータ

実験パラメータを表 - 2 に示す。アラミド繊維の径は $12\mu\text{m}$ ， $21\mu\text{m}$ ， $45\mu\text{m}$ ，ビニロン繊維で $14\mu\text{m}$ ， $26\mu\text{m}$ ， $40\mu\text{m}$ のものを使用した。

2.5 測定項目および実験方法

フレッシュ性状に関しては，JIS A 1171 に準拠してスランプ値，フロー値，空気量を測定し，圧縮強度は JIS A 1108 に準拠して $50\text{mm}\times 100\text{mm}$ の試験体を用いた圧縮試験により求めた¹⁾。また，曲げ強度は $40\text{mm}\times 40\text{mm}\times 160\text{mm}$ の試験体を用いて，支点間距離 100mm とした静的 3 点曲げ載荷の曲げ試験により求めた。曲げ試験時の載荷速度は $3\text{kN}/\text{min}$ とし，スパン中央部に変位計を設置してたわみも測定した。

3. フロー値に及ぼす繊維径の影響評価

3.1 繊維径の影響

図 - 1 に P/C=0% の場合の繊維径とフロー値の

キーワード アラミド繊維，ビニロン繊維，ポリマーセメントモルタル，フロー値，曲げ強度

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学大学院理工学研究科 TEL 03-3817-1892 FAX 03-3817-1803

表 - 1 繊維の物性

繊維	密度	引張強度	引張弾性率	破断伸度
	g/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	(%)
アラミド	1.39	3500	74000	4.6
ビニロン	1.30	1500	36900	7.2

表 - 2 実験パラメータ

	W/C (%)	繊維種	径 (μm)	長さ l (mm)	繊維混入率 Vf (%)	砂セメント比 S/C (%)	ポリマーセメント比 P/C (%)
1	45	アラミド	12	6	0.0	0.0	0
2						10	
3						0	
4						5	
5						10	
6						20	
7						0	
8					5		
9					10		
10					0		
11					5		
12					10		
13					0		
14					10		
15		0					
16		10					
17		0					
18		15					
19		0					
20		10					
21		0					
22		5					
23		10					
24		0					
25		10					
26		0					
27		0					
28		5					
29		10					
30		20					
31		0					
32		5					
33		10					
34		0					
35		5					
36		0					
37		0					
38		0					
39		5					
40		10					
41		20					
42		0					
43		10					
44		0					
45		5					
46		10					
47		20					
		ビニロン	40	8	0.5	0	0
						5	10
						10	20
						0	0
					1.0	0	0
						5	10
						10	20
						15	5

関係を示す。アラミド、ビニロン繊維ともに繊維径の増大に伴って、フロー値は増加することが分かる。これは、繊維径が大きくなることにより、繊維本数が減り、流動性の向上に繋がったと考えられる。特に、アラミド繊維径 φ=21μm ~ φ=45μm においてフロー値が急激に上昇していることが分かる。本来、アラミド繊維径は、分散性や流動性に劣る材料であるが、径が大きくなり繊維の本数が少なくなることで大幅にこれらの性状が向上すると考えられる。一方、ビニロン繊維径 φ=26μm ~ φ=40μm では、増加率は緩やかまたはほぼ変わらないという結果が得られた。これはモルタルへの付着力がビニロンの方が強いからだと考えられる。

3.2 繊維混入率の影響

アラミド繊維およびビニロン繊維を混入した

際の混入率 (Vf) とフロー値の関係を図 - 2 に示す。いずれの繊維種においても、混入率とともにフロー値は低下している。しかしながら、その低下率は、繊維径が小さいほど顕著であり、繊維径を大きくすることにより、流動性の大幅な低下を抑えることが可能となる。

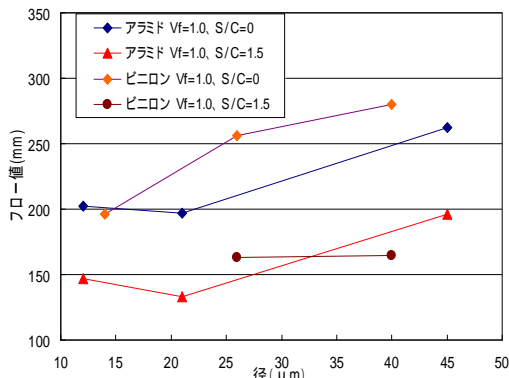


図 - 1 繊維径とフロー値の関係

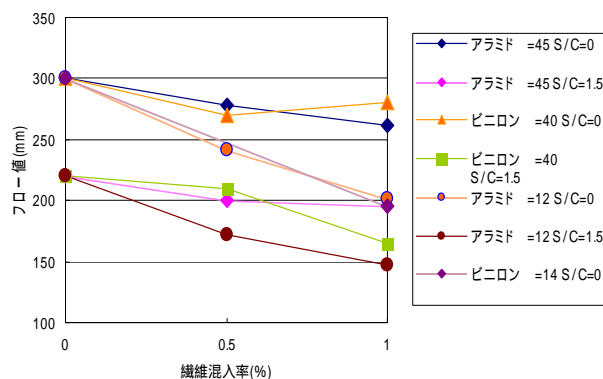


図 - 2 繊維混入率とフロー値の関係 (P/C=0)

3.3 ポリマーの影響

図 - 3 は、ポリマーセメント比 (P/C) とフロー値の関係を示している。同図からわかるように、本研究の範囲内では、いずれのパラメータにおいても、P/C=10% のフロー値が最大となっている。また、繊維径の比較を Vf=1.0%, S/C=0% において行くと、繊維径の増大とともにフロー値は大きくなっている。すなわち、ポリマーを混入した場合においても、繊維径が増大することで、流動性の低下を抑制することができるものと考えられる。

4. 繊維を混入したセメントモルタルの曲げ試験による影響評価

4.1 繊維径の影響

図 - 4 はアラミド繊維およびビニロン繊維を混入したセメントペーストとモルタルの曲げ強度を繊維径毎に比較したものであり、繊維混入

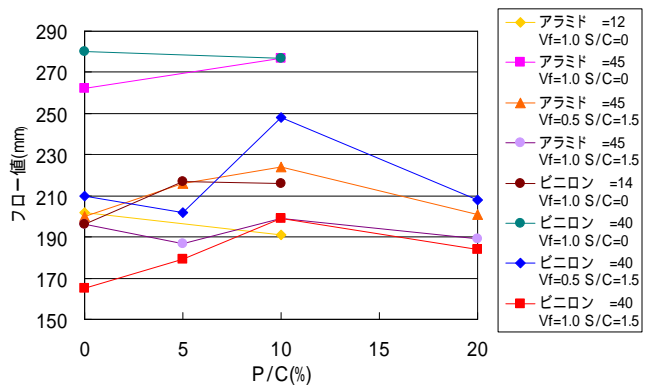


図 - 3 ポリマーセメント比とフロー値の関係

率(Vf)は 1.0%である。同図より、いずれの繊維種においても、モルタルでは径の増大に伴い、曲げ強度は増加した。これは、既往の研究によると、繊維と繊維の間に砂が入り込むことで繊維とモルタルの一体性が低下するが、径の増大で繊維の本数が減ったことでそれを抑制することができるものと考えられる²⁾。

また、砂の有無に関わらず、アラミド繊維を混入したセメントペーストやモルタルの強度の方がビニロン繊維に比べ高いことが分かった。これは表-1に示す繊維自体が持つ力学的特性による差と考えられる。

以上の結果より、モルタルの場合は、いずれの繊維種においても、径を大きくすることが曲げ強度の増加に繋がる。

4.2 繊維混入率の影響

図-5は、アラミド繊維(φ=45μm)およびビニロン繊維(φ=40μm)を混入したセメントペーストとモルタルの曲げ強度を繊維混入率毎に比較したものである。まず、繊維未混入である Vf=0% におけるセメントペーストとモルタルの曲げ強度を比較すると、モルタルの方が大きくなっており、セメントペーストではマイクロクラックの発生により強度低下を生じたものである。このような性状は繊維を混入した試験体に対しても同一の傾向である。一方、繊維混入率の増加によって曲げ強度も増加しており、繊維補強効果がうかがえる。同図(a),(b)の繊維種比較を行うと、ビニロン繊維に比べてアラミド繊維の方が混入率の増加に伴う曲げ強度の増加割合は大きい。これは、繊維自体の力学的特性ならびにマトリックスと繊維の付着特性によるものである。すなわち、アラミド繊維はビニ

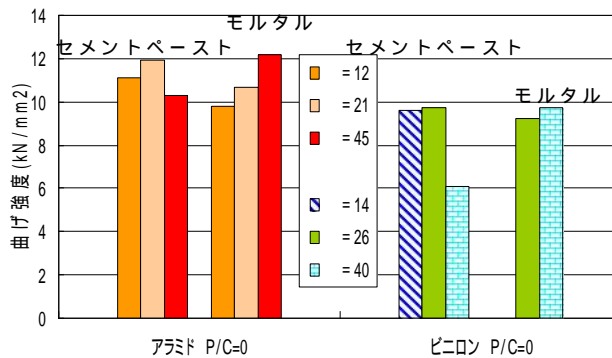
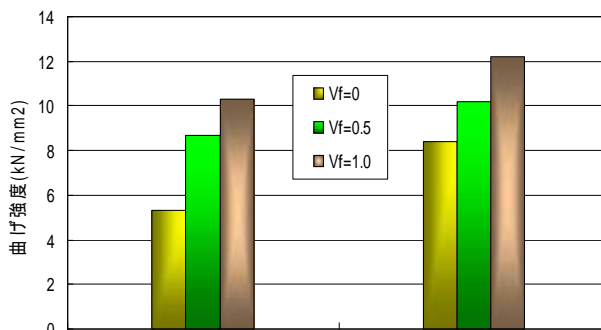
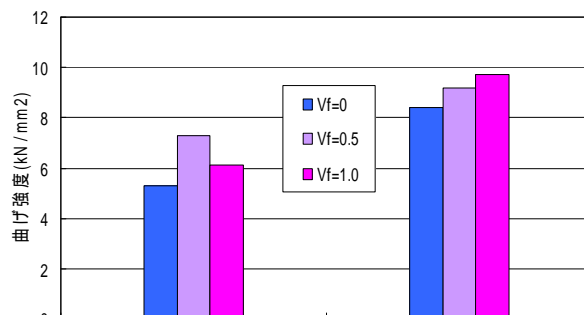


図 - 4 繊維径が曲げ強度に及ぼす影響



(a) アラミド繊維 φ=45 μm



(b) ビニロン繊維 φ=40 μm

図 - 5 繊維混入率が曲げ強度に及ぼす影響

ロン繊維に比べて、その引張剛性が高いとともに引張強度も大きいことによるものである。

5. 繊維を混入したポリマーセメントモルタルの曲げ試験による影響評価

図-6は、アラミド繊維(φ=45μm)およびビニロン繊維(φ=40μm)を混入したセメントペーストとモルタルの曲げ強度をポリマーセメント比毎に比較したものであり、繊維混入率 Vf は 1.0%である。同図より、アラミド繊維では P/C=5%と P/C=20%において、ポリマー未混入(P/C=0%)に比べると強度は小さいが、P/C=10%では P/C=0%と比べ増加している。一方、ビニロン繊維ではポリマーセメント比の増加に伴った曲げ強度の増加が見られる。特に、P/C=20%のとき曲げ強度の増加は顕著である。

次に、図 - 7 (a)に $V_f=1.0\%$ で、アラミド繊維およびビニロン繊維を混入したセメントモルタルをポリマーセメント比で比較した際の荷重と変位の関係を示す。アラミド繊維は延性的に荷重が低下し、ビニロン繊維は脆性的に荷重が低下する。これは付着特性によるもので、ビニロン繊維では、付着力が大きいいため、最大荷重直後、繊維が破断し、脆性的な荷重の低下が生じる。

図 - 7 (b)に $V_f=1.0\%$ で、アラミド繊維を混入したポリマーセメントモルタルにおいて、径で比較した荷重と変位の関係を示す。同図より、繊維径の大きい方($\phi=45\mu\text{m}$)が、最大荷重以降の荷重の低下は緩やかになることが分かる。これは繊維径の増大により分散性が向上したため、最大荷重以降も繊維の補強効果が発揮されると考えられる。

これらの結果より、繊維径が大きいとき、ポリマーが繊維の補強効果の妨げにはならず、ピーク荷重以降の荷重の低下も繊維径が小さいものと比べ緩やかになる。

6. まとめ

本研究は、2種類の短繊維とポリマーセメントモルタルの組み合わせに対するフレッシュ性状、圧縮特性、曲げ特性を評価した。以下に本研究で得られた知見を示す。

(1)繊維径を大きくすると、ポリマー未混入の場合、流動性の向上がみられた。また、ポリマーを混入しても流動性の低下を抑制することができる。

(2)ポリマー未混入の場合、いずれの繊維種においても、 $V_f=1.0\%$ を混入したモルタルでは径増大に伴い、曲げ強度は増加する。

(3)ポリマーを混入した場合、繊維径が大きいとき、ポリマーが繊維の補強効果の妨げにはならず、ピーク荷重以降の荷重の低下も繊維径が小さいものと比べ緩やかになる。

(4)ビニロン繊維においては、径が $40\mu\text{m}$ で V_f が 1.0% の場合、繊維とポリマーの効果が発揮されるためには、 $P/C=20\%$ 以上が必要である。

参考文献

1) 土木学会：コンクリート標準示方書[基準編]，2007

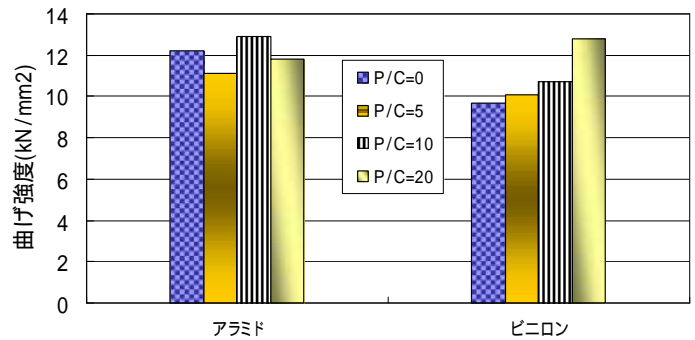
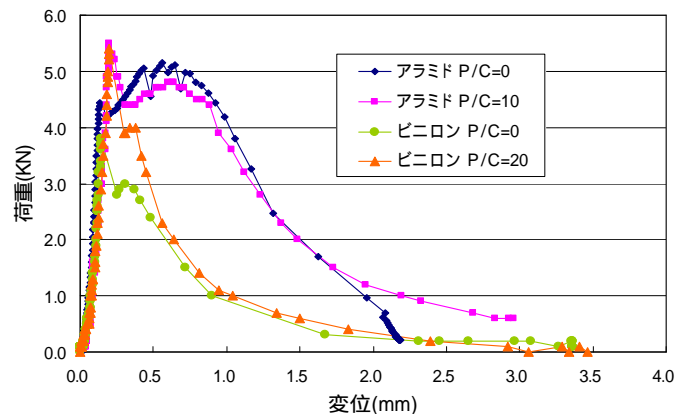
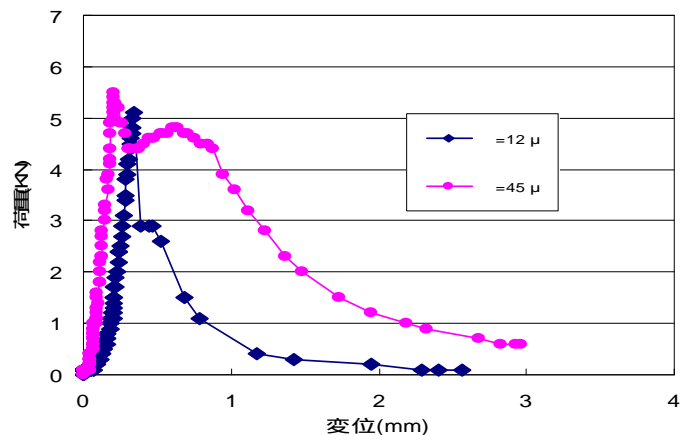


図 - 6 ポリマーが曲げ強度に及ぼす影響 ($V_f=1.0$ S/C=1.5)



(a) アラミドとビニロン繊維の比較 ($V_f=1.0$ S/C=1.5)



(b) アラミド繊維 ($V_f=1.0$ S/C=1.5 P/C=10)

図 - 7 荷重と変位の関係

2) 谷ヶ崎 世司，三浦 智之，大下 英吉，出井 丈也：短繊維混入形ポリマーセメントモルタルの性能評価に関する研究，Vol.31 No.1 pp 319-324 2009

3) 小川晴果，林 好正，三谷一房，川地 武：超高曲げ強度モルタルの製造技術に関する基礎的研究，大林技術研究所報，No.52，pp.107-112，1996