

論文 ビニロン繊維補強ポーラスコンクリートの基礎的性質

齋藤 俊克^{*1}・出村 克宣^{*2}

要旨：本研究では，ビニロン繊維補強ポーラスコンクリートの開発を目的に，その調合設計法ならびに，曲げおよび圧縮強度について検討している。その結果，所定の空隙率を持つ繊維補強ポーラスコンクリートを製造するためには，所定の繊維混入率とした繊維／粗骨材混合物の実積率を求めた上で調合設計することが合理的である。また，製造したビニロン繊維補強ポーラスコンクリートの圧縮および曲げ強度は，単位セメントモルタル量および繊維混入率の増加に伴って増大する。このことから，結合材としてのセメントモルタル，ビニロン繊維および空隙の体積分率を変数とする強度制御因子を導いている。

キーワード：ポーラスコンクリート，短繊維，実積率，調合設計，強度，強度制御因子

1. はじめに

近年，ポーラスコンクリートは，舗装材料，防音壁，屋上緑化や水生植物などの植栽基盤，水質浄化用ブロックなどに利用されている。また，その製造法や調合設計法についても，多くの研究が行われている^{1),2)}。

しかしながら，一般に，普通セメントコンクリートに比べて，ポーラスコンクリートの強度は低いという欠点がある。その強度改善策についても，いくつかの研究が行われているが，短繊維を用いた強度改善策に関する研究報告はわずかである^{3),4)}。

本研究では，ビニロン繊維の混入によるポーラスコンクリートの強度改善を目的に，短繊維を混入する場合の調合設計法を提案し，その設計法で調合・製造したビニロン繊維補強ポーラスコンクリートの圧縮および曲げ強度ならびに，それらの強度制御因子について検討している。

2. 使用材料

2.1 セメント

セメントとしては，JIS R 5210（普通ポルトランドセメント）に規定される普通ポルトランド

Table 1 Physical Properties and Chemical Compositions of Ordinary Portland Cement.

Density (g/cm ³)	Blaine Specific Surface (cm ² /g)	Setting Time (h-min)	
		Initial Set	Final Set
3.16	3330	2-19	3-25
Compressive Strength of Mortar (MPa)			
		3d	7d
		29.7	44.7
		28d	
		61.9	
Chemical Compositions (%)			
MgO	SO ₃	ig. Loss	
1.58	2.13	1.90	

セメントを使用した。その性質を Table 1 に示す。

2.2 骨材

細骨材としては，阿武隈川産川砂を，粗骨材としては，砂岩碎石を使用した。それらの性質を Table 2 および Table 3 に示す。

2.3 練混ぜ水および混和剤

練混ぜ水としては，水道水を使用した。また，混和剤としては，ポリカルボン酸エーテル系の高性能 AE 減水剤を使用した。その性質を Table 4 に示す。

*1 日本大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)

*2 日本大学 工学部建築学科教授 工博 (正会員)

2.4 補強用繊維

補強用繊維としては、セメントコンクリート補強用として市販されている以下に示す 2 種類の短繊維を使用した。なお、補強用短繊維の性質を Table 5 に示す。

- (1) 繊維長 30mm のビニロン繊維
- (2) 繊維長 40mm のビニロン繊維

3. 試験方法

3.1 単位容積質量および実積率試験

JIS A 1104 (骨材の単位容積質量および実積率試験方法) に従って、短繊維と粗骨材の混合物 (繊維 / 粗骨材混合物) について、単位容積質量および実積率試験を行った。なお、試験は、ビニロン繊維混入率を 0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.75 および 1.0% と変化させて行った。

3.2 供試体の作製

JCI-SPO1 - 1 [ポラスコンクリートの供試体の作り方 (案)] に従って、Table 6 に示す調合で、ポラスコンクリートを練り混ぜ、寸法 10×10×40cm および 15×30cm に成形し、JCI-SE4 [温水法 (70) によるコンクリートの促進強度試験方法] に従い、1d 湿空、24h 温水 (70) 養生を行って供試体を作製した。

3.3 空隙率試験

JCI-SPO2 - 1 [ポラスコンクリートの空隙率試験方法 (案)] に従って、供試体の空隙率試験を行い、供試体の連続空隙率を測定した。

3.4 圧縮強度試験

JCIエココンクリート研究委員会の [ポラスコンクリートの圧縮強度試験方法 (案)] に従って、供試体の圧縮強度試験を行った⁵⁾。

3.5 曲げ強度試験

JCI-SF4 (繊維補強コンクリートの曲げ強度および曲げタフネス試験方法) に準じて、供試体の曲げ強度試験を行った。

4. 試験結果および考察

4.1 調合設計法の検討

一般に、繊維補強コンクリートの製造に当っ

Table 2 Properties of Fine Aggregate.

Size (mm)	Density (g/cm ³)	Water Absorption (%)
2.5	2.58	1.29

Table 3 Properties of Coarse Aggregate.

Size (mm)	Density (g/cm ³)	Water Absorption (%)
5~20	2.64	1.26

Table 4 Properties of Air-Entraining and High-Range Water-Reducing Admixture.

Appearance	Density (g/cm ³)	Alkaline Content (%)	Chloride Ion Content (%)
Dark Reddish-Brown Liquid	1.040~1.060	0.9	< 0.01

Table 5 Physical Properties of Fibers.

Fiber Length (mm)	Average Diameter (mm)	Density (g/cm ³)	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus in Tension (GPa)
30	0.66	1.30	880	29.4
40				

ては、繊維混入率を設定した上で、混入する短繊維の体積分の粗骨材体積を減少させて調合設計が行われている。また、普通セメントコンクリートにおいては、短繊維は粗骨材間のセメントモルタル相に分散して、その性能を発揮する。

一方、ポラスコンクリートの調合設計においては、最密充填状態の粗骨材の間隙をセメントペーストまたはセメントモルタルで充填することによって、所定の空隙率を得るように調合設計を行う。そのようなポラスコンクリート中に短繊維を混入する場合、粗骨材と短繊維とは、その形状が著しく異なるため、短繊維の体積分だけ粗骨材体積を減少させると、コンクリートの単位体積中に余分な間隙が生じる恐れがあると考えられる。従って、繊維補強ポラスコンクリートにおいては、所定の繊維混入率とした粗骨材と短繊維の混合物の実積率を見い

Table 6 Mix Proportions of Porous Concretes.

W/C (%)	Fiber Length (mm)	Percentage of Target Voids (%)	Mix Proportions (kg/m ³)				AE-WRA* (%)	Fibers Content** (%)	
			Water	Cement	Fine Aggregate	Coarse Aggregate			
20	30	25	38	186	118	1546	1.5	0	
			39	196	123	1527		0.1	
			40	202	128	1509		0.3	
			42	209	134	1487		0.5	
		20	52	260	164	1549		0	
			54	269	170	1527		0.1	
			55	275	175	1509		0.3	
			57	281	180	1487		0.5	
	15	67	332	211	1546	0			
		68	341	216	1527	0.1			
		70	348	221	1506	0.3			
		71	354	226	1487	0.5			
		40	25	38	186	118		1546	0
				41	205	128		1509	0.1
				43	215	136		1482	0.3
				46	228	144		1450	0.5
20	52		260	164	1549	0			
	56		278	177	1506	0.1			
	58		288	182	1482	0.3			
	60		300	190	1452	0.5			
15	67	332	211	1546	0				
	70	351	221	1509	0.1				
	72	360	229	1482	0.3				
	75	373	236	1450	0.5				

Notes, *: Air-entraining and high-range water-reducing admixture content to cement (by mass).

** : Fibers content in concrete by volume.

だした上で、調合設計法を行うことが合理的であると考え。

なお、Fig.1 には、このような考え方に基づいたコンクリート組織の概念図を示す。

Fig.2 には、繊維 / 粗骨材混合物の実積率と繊維混入率の関係を示す。その長さにかかわらず、繊維混入率の増加に伴って、繊維 / 粗骨材混合物の実積率は減少する傾向にある。また、繊維長 30mm の繊維を混合した繊維 / 粗骨材混合物に比べて、繊維長 40mm の繊維を混合した繊維 / 粗骨材混合物の実積率は小さく、繊維混入率の増加に伴う実積率の低下の程度は大きい傾向にある。これは、繊維長が長くなると、粗骨材の充填性が損なわれることに起因するものと考え。なお、繊維混入率と繊維 / 粗骨材混合物の実積率の関係は、次の一般式(1)で表すことが

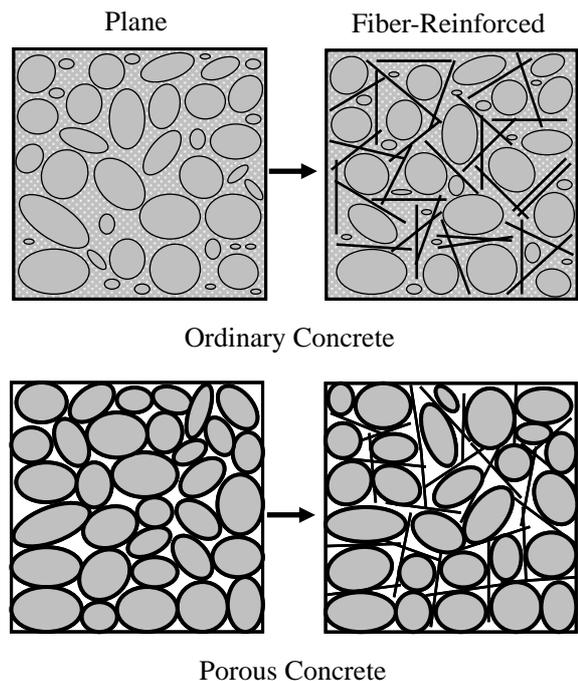


Fig.1 Simplified Models of Structures of Concretes.

できる。

$$y = a \cdot b \cdot x^n \quad (1)$$

ここに、 y ：繊維 / 粗骨材混合物の実積率(%)

x ：繊維混入率(%)

a, b および n ：実験定数

以上のことから、ポーラスコンクリートに短繊維を混入した場合、短繊維は、隣接する粗骨材間に接する部分と間隙中に存在する部分を有し、見かけ上、粗骨材間に存在する短繊維の体積分だけ、粗骨材の体積が減少した形態をとるものと推察される。従って、ポーラスコンクリートにおいては、短繊維と粗骨材の混合物によって最密充填状態を形成し、粗骨材および短繊維に対する結合材の付着量を考慮した上で、その間隙をセメントペーストまたはセメントモルタルで充填して、所要の空隙率を得るように調合設計する必要があると考える。このような方法で調合設計した本研究に用いる繊維補強ポーラスコンクリートの連続空隙率と繊維混入率の関係を Fig.3 に示す。繊維混入率が変化しても、繊維補強ポーラスコンクリートの空隙率の変化は、ほとんど認められない。このことから、本研究で提案する方法を用いることによって、所定の空隙率を持つ繊維補強ポーラスコンクリートを合理的に調合設計できるものと推察される。

また、Fig.4 には、Table 6 に示した調合における水、セメントおよび細骨材量の合計量を単位セメントモルタル量として、それと繊維混入率の関係を示す。目標空隙率を一定とした場合、繊維混入率の増加に伴って、繊維補強ポーラスコンクリートの単位セメントモルタル量は増大する傾向にある。

4.2 圧縮および曲げ強度

Fig.5 には、繊維補強ポーラスコンクリートの圧縮強度と繊維混入率の関係を示す。連続空隙率 15%を除けば、繊維混入率の増加に伴って、繊維補強ポーラスコンクリートの圧縮強度は若干増大する傾向にある。これは、水セメント比を一定とした調合であっても、繊維混入率の増加に伴って増加するセメントモルタルが、繊維

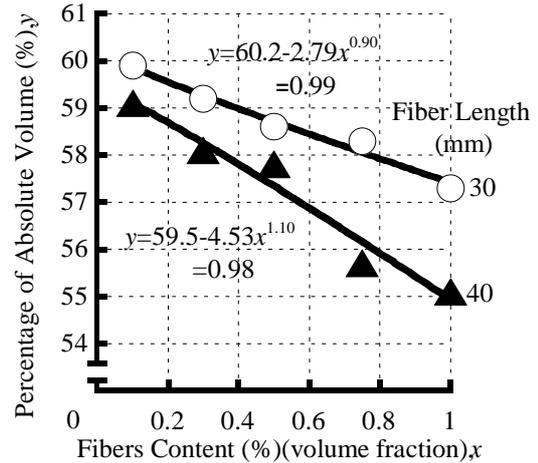


Fig.2 Fibers Content vs. Percentage of Absolute Volume of Fiber Coarse Aggregate Mixtures.

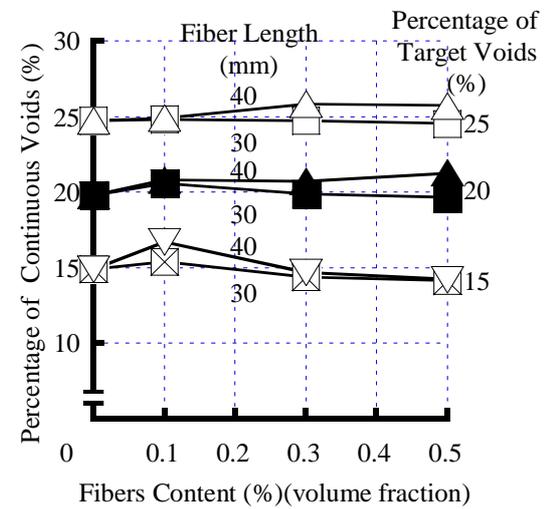


Fig.3 Fibers Content vs. Percentage of Continuous Voids of Fiber-Reinforced Porous Concretes.

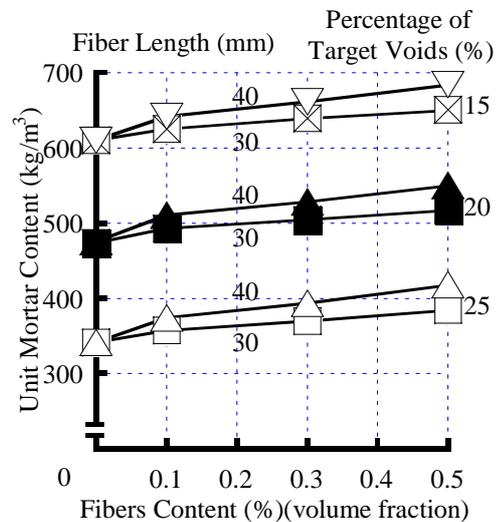


Fig.4 Fibers Content vs. Unit Mortar Content of Fiber-Reinforced Porous Concretes.

および粗骨材間の付着性を改善するために、このような圧縮強度の増加をもたらすものと推察される。しかし、連続空隙率が小さい場合には、繊維混入率の増加による圧縮強度の増大はほとんど認められない。

一方、空隙率にかかわらず、繊維長 40mm の繊維を混入した繊維補強ポーラスコンクリートの圧縮強度に比べて、繊維長 30mm の繊維を用いたものの圧縮強度は低い傾向にある。これは、繊維長 40mm とすることによって、粗骨材の充填性が損なわれる反面、充填するセメントモルタル量が増加することによるものと推察される。また、当然のことながら、繊維長にかかわらず、

空隙率が大きい繊維補強ポーラスコンクリートほど、その圧縮強度は小さい傾向にある。

Fig.6 には、繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ強度と繊維混入率の関係を示す。繊維混入率の増加に伴って、繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ強度は増大する傾向にある。これは、繊維による曲げ補強

効果と、圧縮強度の場合と同様に、繊維混入率の増加に伴う結合材としてのセメントモルタルの増加によるものと推察される。また、当然のことながら、繊維長にかかわらず、空隙率が大きい繊維補強ポーラスコンクリートほど、その曲げ強度は小さい傾向にある。

以上のことから、繊維補強ポーラスコンクリートの圧縮および曲げ強度は、単位セメントモルタル量、粗骨材体積、繊維混入率および空隙率に支配されると推察される。そこで、これらの要因を考慮して、次の強度制御因子を導いた。

$$C_v = \frac{V_m(100 - V_a)}{\sqrt{1 + V_f}} \cdot V_g \quad (2)$$

$$F_v = V_m(1 + V_f)(100 - V_a) \cdot V_g \quad (3)$$

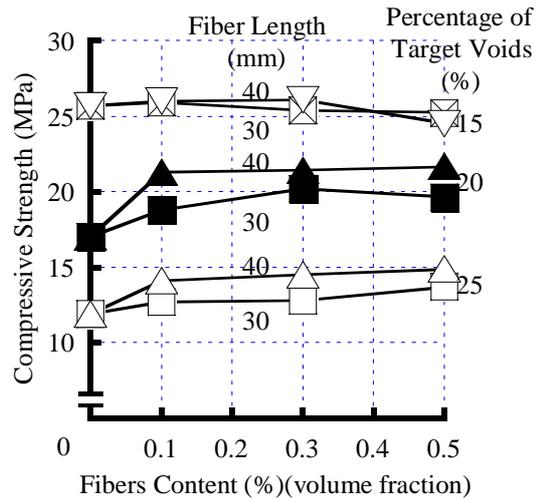


Fig.5 Fibers Content vs. Compressive Strength of Fiber-Reinforced Porous Concretes.

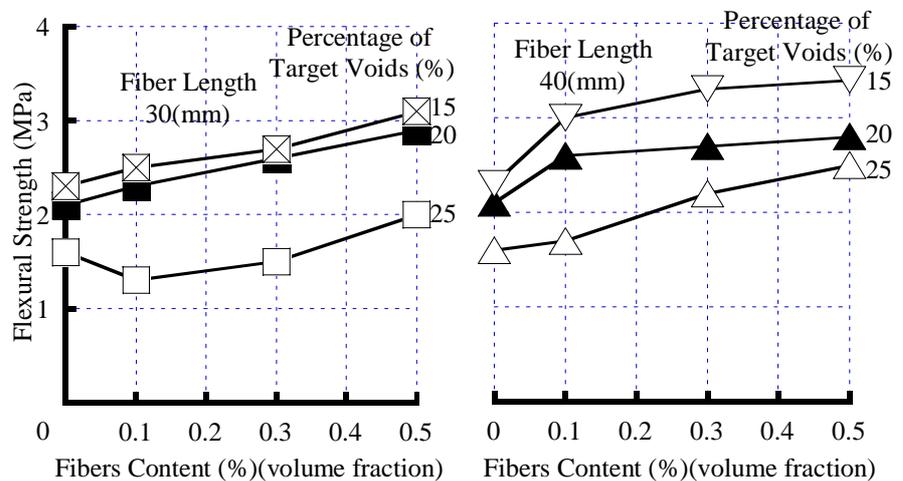


Fig.6 Fibers Content vs. Flexural Strength of Fiber-Reinforced Porous Concretes.

$$V_m = V_w + V_c + V_s \quad (4)$$

ここに、

C_v : 圧縮強度制御因子

F_v : 曲げ強度制御因子

V_m : モルタルの体積百分率(%)

V_g : 粗骨材の体積百分率(%)

V_f : 繊維の体積百分率 (繊維混入率) (%)

V_a : 空隙の体積百分率 (連続空隙率) (%)

V_w, V_c および V_s : 水, セメントおよび細骨材の体積百分率(%)

Fig.7 および Fig.8 には、繊維補強ポーラスコンクリートの圧縮および曲げ強度とそれらの強度制御因子の関係を、使用した繊維の繊維長ごとに示す。繊維補強ポーラスコンクリートの圧

縮および曲げ強度とそれらの強度制御因子との間には高い相関性が認められ、それらの関係は、次に示す一般式で表すことができる。

$$S = A + B \cdot \log_{10} C_v \quad (5)$$

ここに、

S : 圧縮または曲げ強度 (MPa)

C_v : 圧縮または曲げ強度制御因子 (C_v, F_v)

A および B : 実験定数

5. 結論

本研究で得られた試験結果を総括すれば、次の通りである。

(1) 繊維 / 粗骨材混合物の実積率は、繊維混入率の増加に伴って減少する傾向にあり、また、繊維長が長い繊維を用いたものほど、実積率が小さい。

(2) 繊維 / 粗骨材混合物の

実積率と繊維混入率の関係は、式(1)で表すことが可能である。

(3) 所定の空隙率を持つ繊維補強ポーラスコンクリートを製造するには、所定の繊維混入率とした繊維 / 粗骨材の実積率を求めた上で調合設計することが合理的である。

(4) 繊維混入率の増加に伴って、ビニロン繊維を用いた繊維補強ポーラスコンクリートの圧縮および曲げ強度は増大する傾向にある。

(5) 結合材としてのセメントモルタル、粗骨材、ビニロン繊維および空隙の体積分率を変数とする強度制御因子と繊維補強ポーラスコンクリートの圧縮および曲げ強度との関係は、式(5)で表すことが可能である。

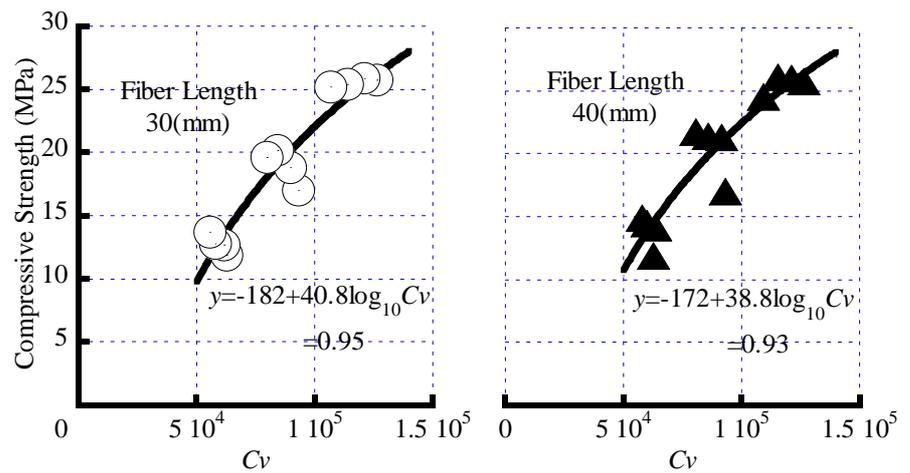


Fig.7 C_v vs. Compressive Strength of Fiber-Reinforced Porous Concretes.

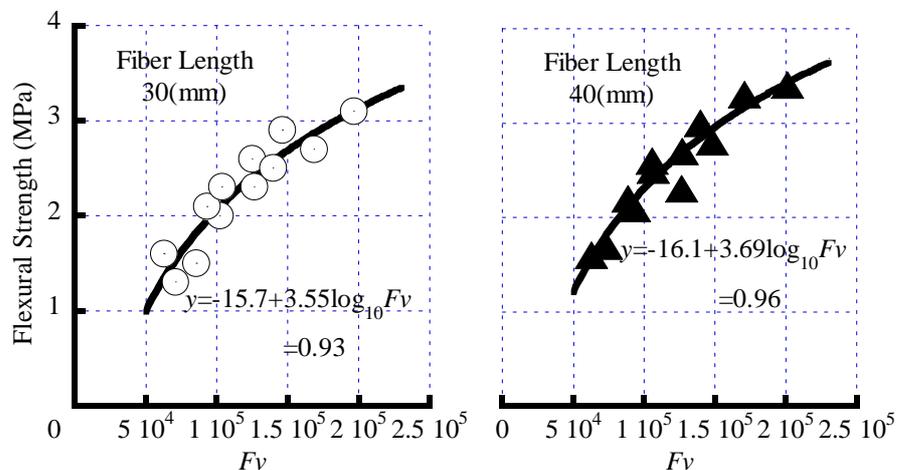


Fig.8 F_v vs. Flexural Strength of Fiber-Reinforced Porous Concretes.

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会, 「ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会報告書」, May 2003, 231p.
- 2) 先端建設技術センター編, 「ポーラスコンクリート河川護岸工法の手引き」, 山海堂出版, Apr. 2001, 138p.
- 3) 村上聖, 大谷俊浩, 三井宜之, 岩佐佑一, 「緑化用基盤としてのポーラスコンクリートの強度性状」, Cement Science and Concrete Technology, No.54, 2000, pp.784-789
- 4) セメント協会, 「舗装用技術専門委員会報告 R-11」セメント協会・研究所, Oct. 1999, 62p.
- 5) 日本コンクリート工学協会, 「エココンクリート研究委員会報告書」, Nov. 1995, p58.