

# 論文 繊維補強ポリマーセメントモルタルを結合材としたハイブリッド型 ビニロン繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ性状

十文字 拓也\*1・齋藤 俊克\*2・出村 克宣\*3

**要旨：**本研究では、ビニロン微細繊維（F12）を用いた繊維補強ポリマーセメントモルタルを結合材とし、ビニロン短繊維（F40）を混入した繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ性状について検討している。その結果、曲げ強度及びタフネスは、F40 混入率 0.5%、F12 混入率 0.6%及びポリマーセメント比 6%とした場合に最大値を示す。これらのことから、粗骨材間を架橋する長さを有する短繊維を使用し、結合材を微細繊維で補強すると共に、ポリマーの混入によって変性することにより、曲げ性状に優れる繊維補強ポーラスコンクリートの製造が可能である。

**キーワード：**繊維補強ポーラスコンクリート、繊維混入率、ポリマーセメント比、曲げ強度、曲げタフネス

## 1. はじめに

ポーラスコンクリートの強度と空隙率の間には負の相関性が認められるため、その用途拡大のためには、強度低下が生じることなく、空隙率を制御する手法の開発が望まれる。そこで、著者らは、これまで、粗骨材間を架橋する長さを有するビニロン短繊維を用いて繊維補強ポーラスコンクリートとすることは、その機械的性質の改善に有効であることを明らかにする<sup>1)</sup>と共に、所要の空隙率を得るための合理的な調合設計法を確立している<sup>2)</sup>。又、長さ 12mm のビニロン微細繊維を用いた繊維補強セメントモルタルを結合材とした場合においても、繊維補強ポーラスコンクリートの機械的性質が改善されることを明らかにしている<sup>3)</sup>。一方、それらの繊維補強ポーラスコンクリートの機械的性質はセメント混和用ポリマーの混入によって更に改善されることを明らかにしている<sup>4), 5)</sup>。

これらのことに鑑みて、本研究では、ポーラスコンクリートの更なる性能改善を目的に、長さ 12mm のビニロン微細繊維を混入した繊維補強ポリマーセメントモルタルを結合材とし、長さ 40mm のビニロン短繊維を混入した粗骨材最大寸法を 20mm とするハイブリッド型ビニロン繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ性状に及ぼす繊維混入率及びポリマーセメント比の影響について検討している。**Fig.1**には、ハイブリッド型繊維補強ポーラスコンクリートの概念を示す。短繊維及び微細繊維による補強をそれぞれマクロ及びミクロ補強と位置付けている。なお、本論文においては、ハイブリッド型ビニロン繊維補強ポーラスコンクリートを繊維補強ポーラスコンクリートと略称する。

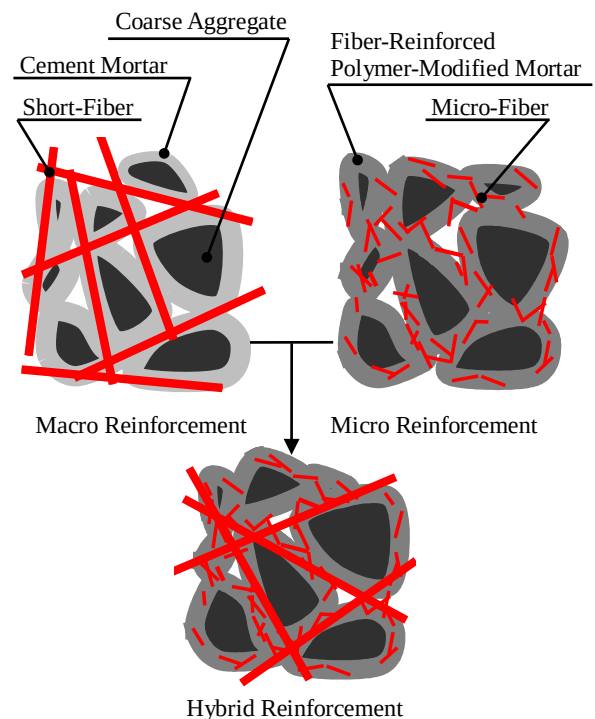
## 2. 使用材料

### 2.1 セメント

セメントとしては、JIS R 5210(ポルトランドセメント)に規定される普通ポルトランド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** 及び **Table 3**



**Fig.1 Conceptual Diagram of Hybrid Fiber-Reinforced Porous Concretes.**

Notes, \*: short fiber with the length of two times the maximum size of coarse aggregate.

\*\* : micro fiber for reinforcing the cement mortar as a matrix.

\*1 日本大学大学院 工学研究科建築学専攻 (学生会員)

\*2 日本大学 工学部建築学科助教 博士 (工学) (正会員)

\*3 日本大学 工学部建築学科教授 工博 (正会員)

に示す。

### 2.3 練混ぜ水及び混和剤

練混ぜ水としては、水道水を使用した。又、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。

### 2.4 セメント混和用ポリマー

セメント混和用ポリマーとしては、スチレンアクリル酸エステルエマルジョンを使用した。その性質を Table 5 に示す。

### 2.5 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長さ 12 及び 40mm のビニロン微細及び短繊維（それぞれ、F12 及び F40 と称する）を使用した。それらの性質を Table 6 に示す。

## 3. 試験方法

### 3.1 結合材の試験

JIS R 5201（セメントの物理試験方法）に従って、F12 混入率 0% の無補強ポリマーセメントモルタルのフロー値が 230±20 となるように、水セメント比を調整した。Table 7 には、結合材としてのポリマーセメントモルタルの配合組成を示す。なお、平岩らは、ポーラスコンクリートに使用する結合材のフロー値を 230 程度とすることによって、表面性状が良好で、下部にペーストが垂れないポーラスコンクリートを作製することが出来ると報告<sup>6)</sup> しており、本研究においても材料分離が生じないことを予備実験において確認している。繊維補強ポリマーセメントモルタルについては、F12 混入率 0.6% とし、細骨材の体積を微細繊維（F12）の体積分だけ置換した。これらの調合の結合材としての供試モルタルを練り混ぜ、寸法 40×40×160mm に成形し、2d 湿空[20℃, 90%(RH)]、5d 水中（20℃）及び 21d 乾燥[20℃, 50%(RH)] 養生を行ってモルタル供試体を作製した。養生後の供試体については、曲げ及び圧縮強さ試験を行った。

### 3.2 供試体の作製

JCI-SPO1-1 [ポーラスコンクリートの供試体の作り方 (案)] に従って、目標空隙率を 20% とする、Table 8 に示す調合で、繊維補強ポーラスコンクリートを練り混ぜ、振動数 3200rpm のテーブルバイブレーターを用いて、寸法 10×10×40cm に成形した。その後、2d 湿空[20℃, 90%(RH)]、5d 水中（20℃）及び 21d 乾燥[20℃, 50%(RH)] 養生を行って、供試体を作製した。なお、調合は、前述した考え方で結合材としての繊維補強ポリマーセメントモルタルの配合組成を決めた上で、これまでに提案している調合設計法<sup>2)</sup> に準じて決定したものである。

### 3.3 空隙率試験

JCI-SPO2-1 [ポーラスコンクリートの空隙率試験方

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

| Density<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Blaine<br>Specific<br>Surface<br>(cm <sup>2</sup> /g) | Setting Time<br>(h-min) |              | Compressive<br>Strength of Mortar<br>(MPa) |      |      |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------|--------------|--------------------------------------------|------|------|
|                                 |                                                       | Initial<br>Set          | Final<br>Set | 3d                                         | 7d   | 28d  |
| 3.16                            | 3310                                                  | 1-59                    | 3-13         | 30.5                                       | 46.8 | 62.3 |
| Chemical Compositions (%)       |                                                       |                         |              |                                            |      |      |
| MgO                             | SO <sub>3</sub>                                       | ig. loss                | Total Alkali | Chloride Ion                               |      |      |
| 1.56                            | 2.13                                                  | 1.68                    | 0.55         | 0.023                                      |      |      |

**Table 2 Properties of Fine Aggregate.**

| Size<br>(mm) | Density<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Water Absorption<br>(%) |
|--------------|---------------------------------|-------------------------|
| ≤2.5         | 2.57                            | 2.32                    |

**Table 3 Properties of Coarse Aggregate.**

| Size<br>(mm) | Density<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Water Absorption<br>(%) |
|--------------|---------------------------------|-------------------------|
| 5~20         | 2.64                            | 1.13                    |

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

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

**Table 5 Properties of Polymer for Cement Modifier.**

| Type of<br>Polymer              | Appearance | Density<br>(20℃,<br>g/cm <sup>3</sup> ) | Glass<br>Transition<br>Point, Tg<br>(℃) | pH          | Volatile<br>Content<br>(%) |
|---------------------------------|------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-------------|----------------------------|
| Styrene<br>Acrylic<br>Copolymer | White      | 1.05                                    | 24                                      | 7<br>~<br>9 | 50                         |

**Table 6 Physical Properties of Fibers.**

| Fiber<br>Length<br>(mm) | Average<br>Diameter<br>(mm) | Density<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Tensile<br>Strength<br>(MPa) | Elastic<br>Modulus<br>in Tension<br>(GPa) |
|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------|
| 12                      | 0.04                        | 1.30                            | 1560                         | 41.0                                      |
| 40                      | 0.66                        | 1.30                            | 880                          | 29.4                                      |

**Table 7 Mix Proportions of Polymer-Modified Mortars with Flow of 230±20 and F12 Content of 0%.**

| P/C<br>(%) | W/C<br>(%) | Cement : Fine Aggregate<br>(by mass) | AE-WRA*<br>(%) |
|------------|------------|--------------------------------------|----------------|
| 0          | 22.5       | 1 : 0.63                             | 1.1            |
| 2          | 20.3       |                                      |                |
| 4          | 19.1       |                                      |                |
| 6          | 18.0       |                                      |                |

Note, \*: Air entraining and high-range water-reducing admixture content to cement by mass.

法 (案)] の「付属書 (参考) 角柱供試体」に準じて、空隙率試験を行い、供試体の連続及び全空隙率を算出した。

### 3.4 曲げ試験

JCI-SF4 (繊維補強コンクリートの曲げ強度及び曲げタ

Table 8 Mix Proportions of Fiber-Reinforced Porous Concretes.

| W/C (%) | Target Voids (%) | P/C (%) | F40 Content (%) | F12 Content (%) | Mix Proportions (kg/m <sup>3</sup> ) |        |                |                  |         |     |      | AE-WRA <sup>***</sup> (%) |
|---------|------------------|---------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|--------|----------------|------------------|---------|-----|------|---------------------------|
|         |                  |         |                 |                 | Water                                | Cement | Fine Aggregate | Coarse Aggregate | Polymer | F40 | F12  |                           |
| 22.5    | 0                | 0       | 0*              | 0* (0)**        | 72                                   | 321    | 202            | 1444             | 0       | 0   | 0    | 1.1                       |
|         |                  |         |                 | 0.15(0.6)       | 72                                   | 321    | 199            | 1444             | 0       | 0   | 1.52 |                           |
|         |                  |         | 0.5             | 0(0)            | 82                                   | 363    | 228            | 1343             | 0       | 3.9 | 0    |                           |
|         |                  |         |                 | 0.17(0.6)       | 82                                   | 363    | 225            | 1343             | 0       | 3.9 | 1.72 |                           |
|         |                  |         | 0.7             | 0(0)            | 85                                   | 379    | 238            | 1304             | 0       | 9.1 | 0    |                           |
|         |                  |         |                 | 0.18(0.6)       | 85                                   | 379    | 236            | 1304             | 0       | 9.1 | 1.79 |                           |
| 20.3    | 2                | 0       | 0               | 0(0)            | 65                                   | 322    | 203            | 1444             | 6.4     | 0   | 0    |                           |
|         |                  |         |                 | 0.15(0.6)       | 65                                   | 322    | 200            | 1444             | 6.4     | 0   | 1.52 |                           |
|         |                  |         | 0.5             | 0(0)            | 74                                   | 364    | 229            | 1343             | 7.3     | 3.9 | 0    |                           |
|         |                  |         |                 | 0.17(0.6)       | 74                                   | 364    | 226            | 1343             | 7.3     | 3.9 | 1.72 |                           |
|         |                  |         | 0.7             | 0(0)            | 77                                   | 380    | 240            | 1304             | 7.6     | 9.1 | 0    |                           |
|         |                  |         |                 | 0.18(0.6)       | 77                                   | 380    | 236            | 1304             | 7.6     | 9.1 | 1.79 |                           |
| 19.1    | 4                | 0       | 0               | 0(0)            | 61                                   | 319    | 201            | 1444             | 12.8    | 0   | 0    |                           |
|         |                  |         |                 | 0.15(0.6)       | 61                                   | 319    | 198            | 1444             | 12.8    | 0   | 1.52 |                           |
|         |                  |         | 0.5             | 0(0)            | 69                                   | 361    | 227            | 1343             | 14.4    | 3.9 | 0    |                           |
|         |                  |         |                 | 0.17(0.6)       | 69                                   | 361    | 224            | 1343             | 14.4    | 3.9 | 1.72 |                           |
|         |                  |         | 0.7             | 0(0)            | 72                                   | 377    | 237            | 1304             | 15.1    | 9.1 | 0    |                           |
|         |                  |         |                 | 0.18(0.6)       | 72                                   | 377    | 234            | 1304             | 15.1    | 9.1 | 1.79 |                           |
| 18.0    | 6                | 0       | 0               | 0(0)            | 57                                   | 316    | 199            | 1444             | 18.9    | 0   | 0    |                           |
|         |                  |         |                 | 0.15(0.6)       | 57                                   | 316    | 196            | 1444             | 18.9    | 0   | 1.52 |                           |
|         |                  |         | 0.5             | 0(0)            | 64                                   | 357    | 225            | 1343             | 21.4    | 3.9 | 0    |                           |
|         |                  |         |                 | 0.17(0.6)       | 64                                   | 357    | 222            | 1343             | 21.4    | 3.9 | 1.72 |                           |
|         |                  |         | 0.7             | 0(0)            | 67                                   | 373    | 235            | 1304             | 22.4    | 9.1 | 0    |                           |
|         |                  |         |                 | 0.18(0.6)       | 67                                   | 373    | 232            | 1304             | 22.4    | 9.1 | 1.79 |                           |

Notes, \*: by volume. \*\*: in mortar by volume.

\*\*\*: Air entraining and high-range water-reducing admixture content to cement by mass.

フネス試験方法) に準じて、供試体の曲げ試験を行った。その際、供試体中央部のたわみを測定し、曲げタフネスを算出した。

#### 4. 試験結果及び考察

Fig.2 には、結合材としての繊維補強ポリマーセメントモルタルのフロー値とポリマーセメント比の関係を示す。無補強ポリマーセメントモルタルについては、フロー値が  $230 \pm 20$  の範囲内にある。一方、F12 混入率 0.6% とした繊維補強ポリマーセメントモルタルのフロー値はポリマーセメント比にかかわらずほぼ一定である。しかしながら、ポリマーセメント比にかかわらず、F12 混入率 0.6% としたもののフロー値は、無補強に比べて 25 程度低下する傾向にある。これは、微細繊維の混入によって流動性が阻害されたためと推察される。なお、フロー値は  $230 \pm 20$  の範囲外であるが、振動締固め時間を数秒間長くすることで、フロー値を変えることなく均質な繊維補強ポーラスコンクリートを製造できることを確認している。製造した繊維補強ポーラスコンクリート供試体については縦方向に切断し、その組織構造が無補強の結合材を用いた場合とほぼ同様であることを確認している。

Fig.3 には、繊維補強ポリマーセメントモルタルの曲げ及び圧縮強さとポリマーセメント比の関係を示す。無補

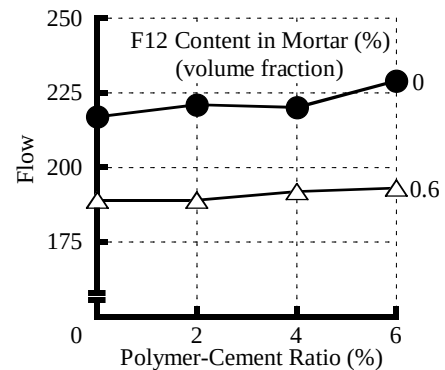


Fig.2 Polymer-Cement Ratio vs. Flow of Fiber-Reinforced Polymer-Modified Mortars as Binder.

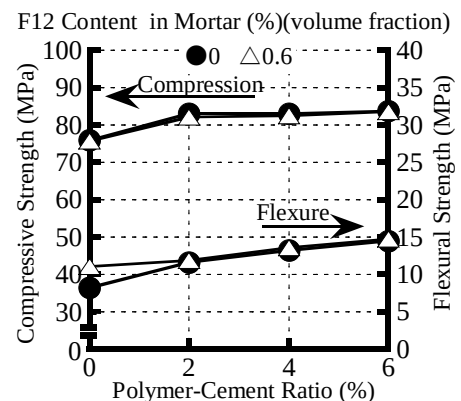


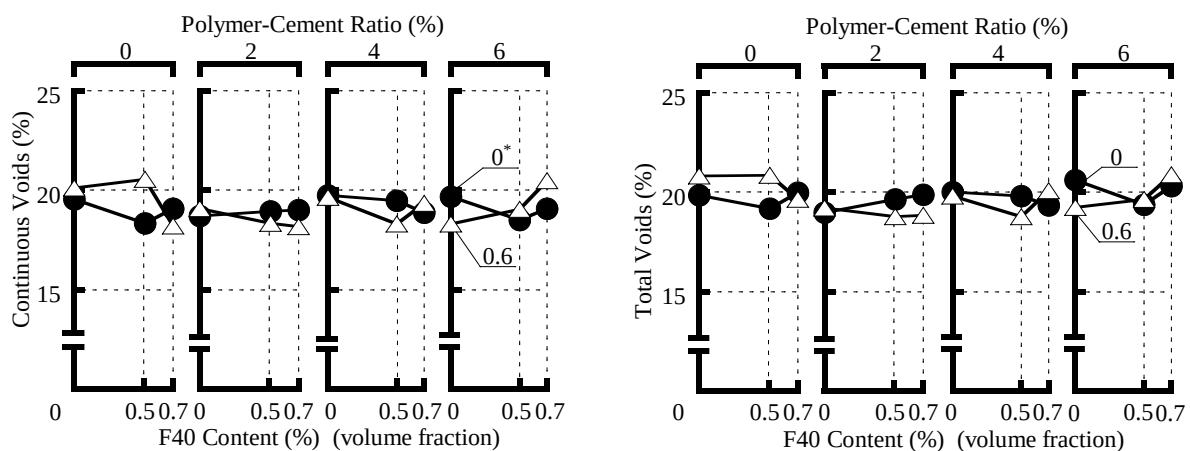
Fig.3 Polymer-Cement Ratio vs. Compressive and Flexural Strengths of Fiber-Reinforced Polymer-Modified Mortars as Binder.

強及び繊維補強ポリマーセメントモルタルの曲げ強さは、ポリマーセメント比 6%までの増加に伴い増大する傾向にある。これは、ポリマーセメント比の増加に伴う、水セメント比の減少及びポリマーの曲げ補強効果に起因するものと考えられる。一方、無補強及び繊維補強ポリマーセメントモルタルの圧縮強さは、ポリマーセメント比 2%で増大し、その後一定となる。これらのことから、ポリマーの混入は、結合材としての無補強及び繊維補強セメントモルタルの曲げ強さの改善に寄与するといえる。

**Fig.4** には、繊維補強ポーラスコンクリートの連続及び全空隙率と F40 混入率の関係を示す。いずれの調合においても、全空隙率に比べて連続空隙率は若干低下するものの、目標空隙率である 20%とほぼ同一の全空隙率が得

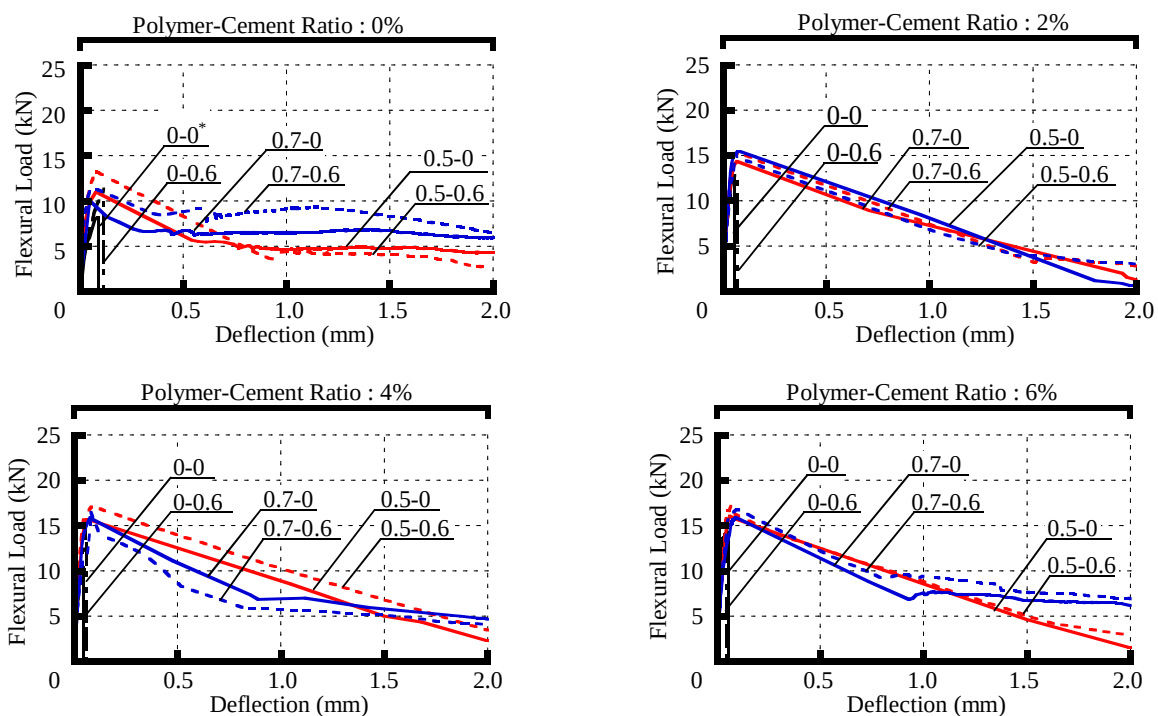
られている。このことから、粗骨材間を架橋する長さを有する短繊維の使用においては、粗骨材と短繊維の混合物の実積率を求めること<sup>2)</sup>、微細繊維の使用においては、混入する微細繊維の体積分だけセメントモルタル中の細骨材体積を置換することで、所要の空隙率を持つ繊維補強ポーラスコンクリートの調合設計を行うことが可能であることが確認された。

**Fig.5** には、繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ荷重－たわみ曲線をポリマーセメント比別に示す。無補強ポーラスコンクリート (F40 及び F12 混入率 0%) 及び、F40 未混入で F12 混入率 0.6%とした繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ荷重－たわみ曲線は、最大曲げ荷重まで荷重が直線的に増大して破壊に至るという脆性的な挙



**Fig.4 F40 Content vs. Continuous and Total Voids of Fiber-Reinforced Porous Concretes.**

Note, \*: F12 content in mortar (%) (volume fraction).



**Fig.5 Flexural Load-Deflection Curves for Fiber-Reinforced Porous Concretes.**

Note, \*: F40 content in concrete (%) (volume fraction) - F12 content in mortar (%) (volume fraction).

動を示す。一方、F12 混入の有無にかかわらず、F40 を混入した繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ荷重－たわみ曲線は、最大荷重を示した後、荷重が緩慢に減少する履歴を示す。一般に、繊維補強ポーラスコンクリートの曲げじん性は、破壊後の繊維の引き抜け効果によって得られる。F40 は、粗骨材間を架橋する長さを有するため、最大荷重後にその引き抜け効果による曲げじん性の改善効果をもたらすものと推察される。又、その曲げ荷重－たわみ曲線から推察される曲げじん性の改善効果は、ポリマーセメント比の大きいものほど優れる傾向にある。

Fig.6 及び Fig.7 には、繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ強度と F40 混入率及びポリマーセメント比の関係を示す。ポリマーセメント比にかかわらず、繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ強度は、一部のものを除いて、F40 混入率 0.5% までの増加に伴って増大し、その後、減少する傾向にある。これは、F40 混入率の増加に伴い、短繊維と粗骨材の混合物の実積率が低下することにより、結合材としての単位セメントモルタル量が増大し、繊維

補強ポーラスコンクリート中の繊維と粗骨材間の付着性が改善されることによるものと考えられる。しかしながら、一部の繊維補強ポーラスコンクリートにおいては、F40 混入率 0.7% となると強度低下が生じることから、短繊維を過剰に混入することは、曲げ強度の改善に寄与しないことが示唆される。又、一部のものを除いて、F12 を混入した繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ強度は、F12 未混入のものに比べて若干大きい傾向にある。更に、F40 及び F12 混入率にかかわらず、ポリマーセメント比の増加に伴って、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、F12 及びポリマーの混入による曲げ補強効果並びに、ポリマーセメント比の増加に伴う水セメント比の減少及びポリマー相の形成による結合材自体の曲げ強さの改善に起因するものと考えられる。

Fig.8 及び Fig.9 には、繊維補強ポーラスコンクリートの曲げタフネスと F40 混入率及びポリマーセメント比の関係を示す。F12 の混入及びポリマーセメント比にかか

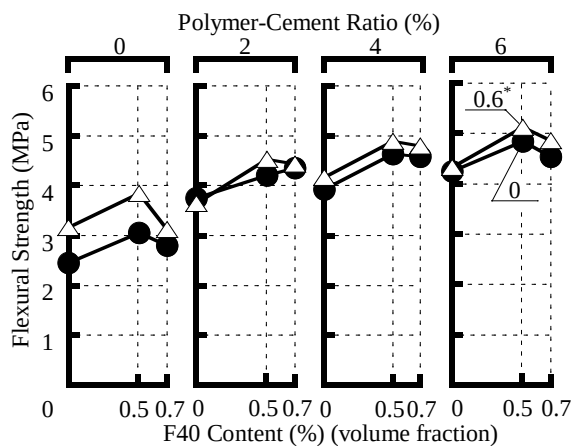


Fig.6 F40 Content vs. Flexural Strength of Fiber-Reinforced Porous Concretes.  
Note, \*: F12 content in mortar (%) (volume fraction).

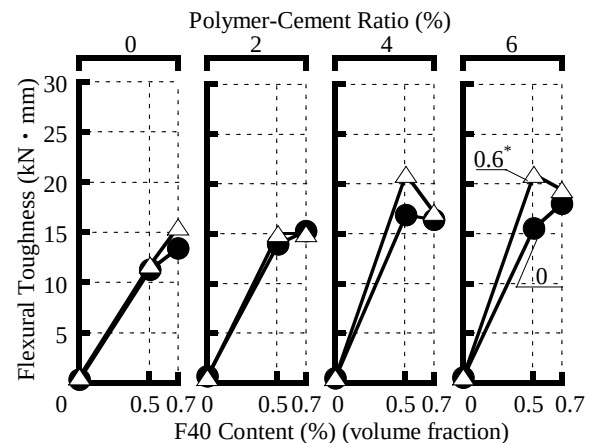


Fig.8 F40 Content vs. Flexural Toughness of Fiber-Reinforced Porous Concretes.  
Note, \*: F12 content in mortar (%) (volume fraction).

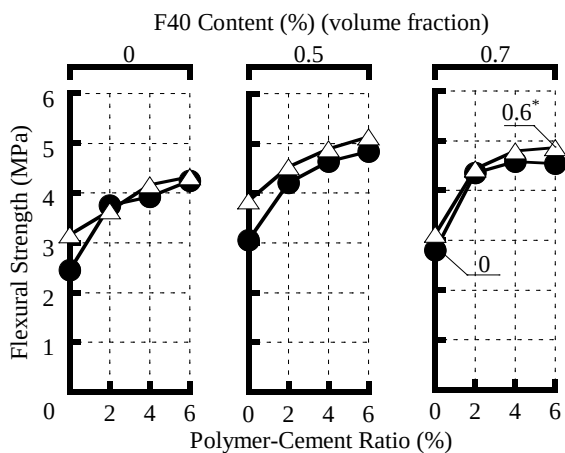


Fig.7 Polymer-Cement Ratio vs. Flexural Strength of Fiber-Reinforced Porous Concretes.  
Note, \*: F12 content in mortar (%) (volume fraction).

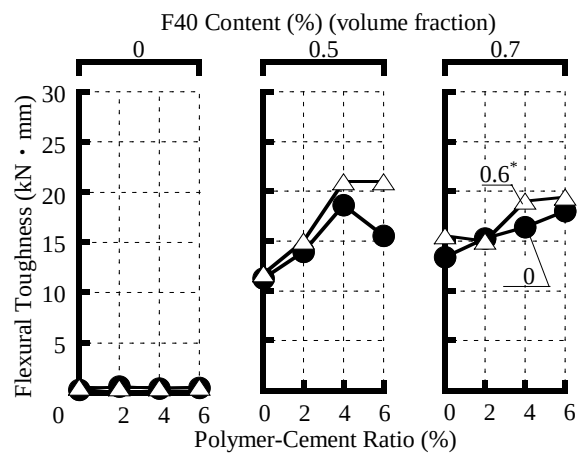


Fig.9 Polymer-Cement Ratio vs. Flexural Toughness of Fiber-Reinforced Porous Concretes.  
Note, \*: F12 content in mortar (%) (volume fraction).

ならず、繊維補強ポーラスコンクリートの繊維補強ポーラスコンクリート曲げタフネスは、F40 未混入のものはほぼ 0 に近い値を示すものの、F40 混入率 0.5 又は 0.7% までの増加に伴って増大する傾向にある。これは、粗骨材間を架橋する長さを有する F40 の混入による曲げ補強効果によるものと推察される。又、F40 未混入の場合を除いた繊維補強ポーラスコンクリートの曲げタフネスは、ポリマーセメント比の増加に伴い増大する傾向にあり、F12 を混入した場合に更に若干改善される傾向にある。これは、ポリマーの混入によって結合材と粗骨材並びに短繊維間の接着性が改善されると共に、F12 の混入により結合材の曲げじん性が改善されたことに起因するものと推察される。

本研究の限りでは、結合材として長さ 12mm のビニロン微細繊維を用いた繊維補強ポリマーセメントモルタルを使用すると共に、長さ 40mm のビニロン短繊維を混入した粗骨材最大寸法を 20mm とするハイブリッド型ビニロン繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ強度及び曲げタフネスは、結合材の F12 混入率を 0.6%及びポリマーセメント比を 6%とし、F40 混入率を 0.5%とした場合に最大値を示す。従って、粗骨材間を架橋する長さを有する短繊維、結合材組織を補強する微細繊維及びセメント混和用ポリマーを複合使用することは、繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ性状の改善に有効な補強方法であると考えられる。

## 5. 結論

本研究で得られた試験結果を総括すれば、以下の通りである。

- (1) 繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ荷重－たわみ曲線は、無補強ポーラスコンクリート及び F12 混入率 0.6%の場合、最大曲げ荷重まで荷重が直線的に増大して破壊に至るという脆性的な挙動を示す。一方、F12 の混入及びポリマーセメント比にかかわらず、F40 を混入したもののそれは、最大荷重を示した後、荷重が緩慢に減少する履歴を示す。
- (2) ポリマーセメント比にかかわらず、繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ強度は、一部のものを除いて、F40 混入率 0.5%までの増加に伴って増大し、その後、減少する傾向にある。一方、F12 未混入のものに比べて、F12 を混入したものの曲げ強度は若干大きい傾向にあり、又、F12 混入の有無にかかわらず、ポリマーセメント比の増加に伴って曲げ強度は増大

する傾向にある。

- (3) 繊維補強ポーラスコンクリートの曲げタフネスは、F40 混入率 0.5 又は 0.7%までの増加に伴って増大する傾向にある。一方、F40 未混入の場合は、ほぼ 0 に近い値を示す。又、F12 の混入及びポリマーセメント比の増加に伴い繊維補強ポーラスコンクリートの曲げタフネスは改善される傾向にある。
- (4) 本研究の限りでは、粗骨材間を架橋する長さを有する短繊維、結合材組織を補強する微細繊維及びセメント混和用ポリマーを複合使用することは、繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ性状の改善に有効な補強方法であると考えられる。

## 謝辞

本研究は、平成 25 年度科学研究費助成事業若手研究 B 「ハイブリッド型繊維補強によるポーラスコンクリートの耐久性の改善」(課題番号：25820272, 研究代表者：齋藤俊克) の助成を受けた。ここに記して、謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 齋藤俊克, 有岡大輔, 出村克宣: ビニロン繊維補強ポーラスコンクリートの力学的性質に及ぼす繊維長さ及び粗骨材最大寸法の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.1711-1716, 2009.6
- 2) 齋藤俊克, 出村克宣: ビニロン繊維補強ポーラスコンクリートの調合設計法の提案, 日本建築学会構造系論文集, Vol.75, No.657, pp.1947-1953, 2010.11
- 3) 十文字拓也, 齋藤俊克, 出村克宣: 結合材をビニロン繊維補強セメントモルタルとした繊維補強ポーラスコンクリートの機械的性質, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1462-1467, 2012.6
- 4) 齋藤俊克, 出村克宣: ポリマー混入繊維補強ポーラスコンクリートの圧縮及び曲げ性状: セメント・コンクリート論文集, No.65, pp.470-476, 2011.2
- 5) 十文字拓也, 齋藤俊克, 出村克宣: 結合材を繊維補強ポリマーセメントモルタルとした繊維補強ポーラスコンクリートの機械的性質に及ぼすポリマー混入効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1435-1440, 2013.6
- 6) 平岩陸ほか: ポーラスコンクリートの調合設計法に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp.121-126, 2001.6