

論文 エマルジョン処理竹補強材を用いた竹補強セメントモルタルの曲げ性状

木村 彰吾*1・齋藤 俊克*2・出村 克宣*3

要旨: 本研究では、竹補強材をエマルジョン処理して用いた竹補強セメントモルタルを製造し、その曲げ強さおよび曲げタフネスについて検討している。その結果、竹補強セメントモルタルに用いる竹補強材をエマルジョン処理することによって、その曲げ性状は著しく改善することが明らかであり、その改善効果はエマルジョン処理量が多いほど顕著である。また、エマルジョン処理した竹補強材を用いた竹補強セメントモルタルの曲げ性状は、使用する補強用竹素材の幅、編み込む竹補強材の格子形状と間隔、補強材比にも依存することから、利用形態に合わせて、これらを選択することが重要である。

キーワード: 竹補強セメントモルタル, 補強用竹素材, エマルジョン処理, 曲げ強さ, 曲げタフネス

1. はじめに

竹繊維は、鋼材に匹敵する引張強度を有しているが、大型構造部材については、鉄筋や鉄骨を使用した優れた構造様式が確立しており、コンクリート構造部材への竹材の利用は合理的ではない。一方、U字溝、道路の縁石、駐車場の車止めなどのコンクリート製小型二次製品や非構造部材における補強材に期待される力学的補強効果の要求レベルは、構造部材に比べて相当に低いにも関わらず、鉄鋼材料が補強材として用いられている。しかし、そのような小型二次製品や非構造部材であれば、力学的要求レベルによっては、竹材を補強材として用いることが可能であると考えられる。また、そのような部材の補強材として、竹を利用することにより、鋼材不足の解消と、竹の用途拡大による竹林の荒廃の抑制に寄与することができるものと考えられる。

これらのことに鑑み、筆者らは、これまで、棒状の薄肉竹素材を格子状に組んで補強材とした竹補強セメントモルタルの力学的性質を検討し、竹補強材の利用によって、モルタルの曲げ強さ、曲げタフネスおよび耐衝撃性が改善されることを明らかにしている^{1)・2)}。しかし、竹補強材はセメントモルタルの乾燥に伴って寸法変化を生じやすく、その付着性が低下し、竹補強セメントモルタルの力学的性質に影響を及ぼすことが懸念される。一方、セメント混和用ポリマーエマルジョンは、セメント組織との接着性に優れ、乾燥後においては柔軟なポリマー相を形成する材料である。

そこで、本研究では、竹補強材をエマルジョン処理して用いた竹補強セメントモルタルを製造し、その曲げ強さおよび曲げタフネス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 (ポルトランドセメント) に規定す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 細骨材

細骨材としては、阿武隈川産川砂を使用した。その性質を **Table 2** 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減水剤を使用した。混和剤の性質を **Table 3** に示す。

2.4 竹材

竹材としては、福島県産の真竹を使用した。その採

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	3370	2-22	3-27	
Compressive Strength of Mortar (MPa)				
3d		7d		
31.0		44.4		
28d		62.1		
Chemical Compositions (%)				
MgO	SO ₃	ig. loss	Total Alkali	Chloride Ion
2.25	2.03	2.47	0.49	0.019

Table 2 Properties of Fine Aggregate.

Size (mm)	Density (g/cm ³)	Water Absorption (%)
≤2.5	2.64	2.27

*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)

取条件および性質を **Table 4** および **Table 5** に示す。

2.5 補強用竹材の表面処理剤

補強用竹材の表面処理剤としては、セメント混和用として用いられるカチオン系アクリルエマルジョンを使用した。表面処理剤の性質を **Table 6** に示す。

3. 試験方法

3.1 補強用竹素材の作製

竹材の **Fig.1** に示す箇所から、表皮が付いていない状態で、厚さ約 1.2mm、幅 3、6 および 9mm の寸法で切り出した棒状の薄肉竹材を補強用竹素材とした。**Photo 1** には、作製した補強用竹素材の外観を示す。

3.2 補強材の作製

Photo 2 に示すように、補強用竹素材を、補強材の形状が格子状 (S)、斜め格子状 (D) および複合格子状 (SD) となるように、**Table 7** に示す形状と寸法の組み合わせで編んで、竹補強材 (無処理竹補強材) を作製した。更に、格子状に編んだ竹補強材に表面処理剤を刷毛塗りで 10、20 または 40g/m² 塗布し、48h 乾燥 [20°C, 60% (RH)] 養生を行い、エマルジョン処理竹補強材とした。また、エマルジョン塗布量は、竹補強材の表裏の見付け面積を用いて算出した。なお、補強用竹素材が交錯する箇所については、結束しないものとした。

Table 3 Properties of High-Range Water-Reducing Admixture.

Appearance	Density (g/cm ³)	Alkaline Content (%)	Chloride Ion Content (%)
Dark Reddish-Brown Liquid	1.030~1.070	0.9	< 0.01

Table 4 Felling Conditions of Bamboo.

Felling Season	Part of Use	Age of Bamboo (Year)
Feb.2010	Part of 1 to 5 Meter from Roots	4

Table 7 Form of Reinforcement, Number of Reinforcement Layer and Width of Bamboo Element.

Mark	Form	Interval of Bamboo Element (mm)	Number of Reinforcement Layer	Width of Bamboo Element (mm)
S25	Square Lattice	Lattice Interval: 25	1	3
S50	Square Lattice	Lattice Interval: 50	1	3, 6, 9
D50	Diagonal Lattice	Diagonal Interval: 50	1	3, 6
SD50	Square and Diagonal Lattice	Diagonal Interval: 50	1	3

Table 8 Mix Proportions of Cement Mortar.

W/C (%)	Cement : Sand (by mass)	Mix Proportions (kg/m ³)			WRA* (%)	Flow
		Water	Cement	Fine Aggregate		
45	1 : 3	222	494	1492	1.1	170 ± 5

Note, * : High-range water-reducing admixture content to cement by mass.

3.3 供試体の作製

JIS A 1138 (試験室におけるコンクリートの作り方) に準じて、**Table 8** に示す調合の供試モルタルを練り混ぜ、無処理竹補強材およびエマルジョン処理竹補強材を、型

Table 5 Properties of Bamboo.

Density* (g/cm ³)	Tensile Strength (MPa)	Modulus of Elasticity in Tension (GPa)	Bond Strength** (MPa)
0.72	257	13.7	0.87

Notes, * : at air dry condition.

** : to cement mortar with compressive strength of 57.2MPa.

Table 6 Properties of Polymer Emulsion.

Appearance	Volatile Content (%)	Viscosity (mPa · s)	Density (g/cm ³)	Minimum Temperature of Film Formation (°C)
Milk-White Liquid	45	10~20	1.02	0

Section of Bamboo culm

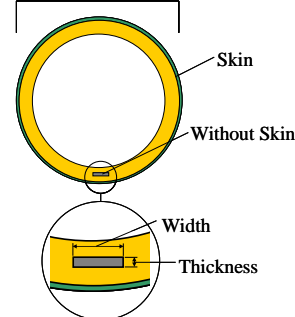


Fig.1 Collection Position of Bamboo Element.



Emulsion Treated



Untreated

Photo 1 Appearance of Bamboo Elements.

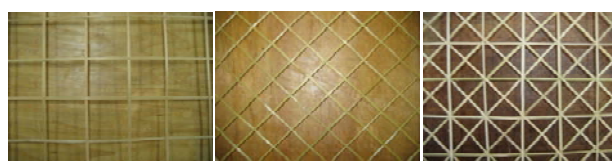


Photo 2 Form of Reinforcement.

枠の高さの中央部に設置し、寸法 2×25×55cm の型枠中に打設した。その後、1d 湿空 [20℃, 90% (RH)] , 6d 水中 (20℃) および 21d 乾燥 [20℃, 60% (RH)] 養生を行って、竹補強セメントモルタル供試体を作製した。

3.4 曲げ試験

JCI-SF4 (繊維補強コンクリートの曲げ強度および曲げタフネス試験方法) 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。なお、竹補強セメントモルタルは、変形性能に優れた材料であるため、15mm までのたわみを用いて、曲げタフネスを算出している。

4. 試験結果および考察

Table 9 には、竹補強セメントモルタルの補強材比を示す。竹補強セメントモルタルの補強材比は、補強材の形状が同一の場合には、補強用竹素材の幅が大きいほど大きく、また同一寸法の補強用竹素材では、(小) 斜め格子状 (D) < 格子状 (S) < 複合格子状 (SD) (大) の順で大きくなる。

Fig.2 から Fig.4 には、補強用竹素材の幅別に、幅 50mm の格子状竹補強材 S50-3, S50-6 および S50-9 を用いた竹補強セメントモルタルの曲げ荷重-たわみ曲線を示す。なお、グラフ中の数値は、竹補強材に対するエマルジョンの処理量を示している。

無処理竹補強材を用いた竹補強セメントモルタルの曲げ荷重-たわみ曲線は、荷重の増加に伴いたわみが直線的に増大し、初期ひび割れ発生と同時に荷重が低下した後、緩やかなたわみの増大を伴いながら荷重が増加する履歴を示す。なお、補強用竹素材の幅が大きいものほど、初期ひび割れ荷重を示した後のたわみの増加が大きい傾向にある。

エマルジョン処理竹補強材を用いた竹補強セメントモルタルにおいても、その曲げ荷重-たわみ曲線は、荷重の増加に伴いたわみが直線的に増大し、初期ひび割れ発生と同時に荷重が低下する。しかし、その後、たわみ

Table 9 Volume Fraction of Reinforcement for Bamboo-Reinforced Cement Mortars.

Mark of Reinforcement	Width of Bamboo Element (mm)	Volume Fraction of Reinforcement (%)
S25-3	3	1.32
S50-3	3	0.75
S50-6	6	1.19
S50-9	9	1.66
D50-3	3	0.71
D50-6	6	1.10
SD50-3	3	1.55

の増加を伴いながら荷重が著しく増大する荷重-たわみ関係を与える。エマルジョン処理竹補強材 S50-3 および S50-6 を用いた竹補強セメントモルタルにおいては、初期ひび割れ発生後の回復荷重は変曲点に達した後、低下する傾向にある。一方、エマルジョン処理竹補強材 S50-9 を用いた竹補強セメントモルタルにおいては、エマルジョン処理量にかかわらず、初期ひび割れが発生して荷重

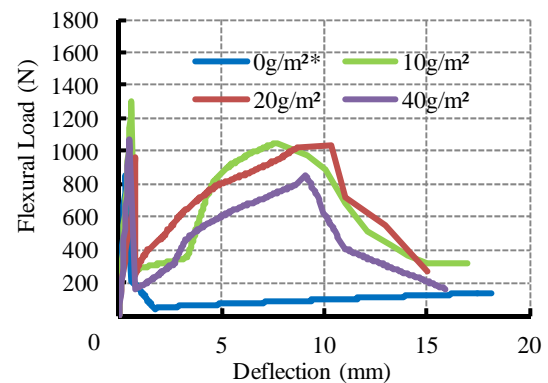


Fig.2 Flexural Load-Deflection Curves for Bamboo-Reinforced Cement Mortars Using Emulsion Treated Reinforcement of S50-3.
Note, *: Applied amount of emulsion for bamboo-element.

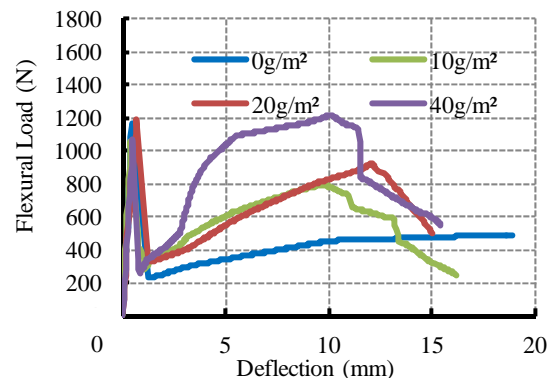


Fig.3 Flexural Load-Deflection Curves for Bamboo-Reinforced Cement Mortars Using Emulsion Treated Reinforcement of S50-6.

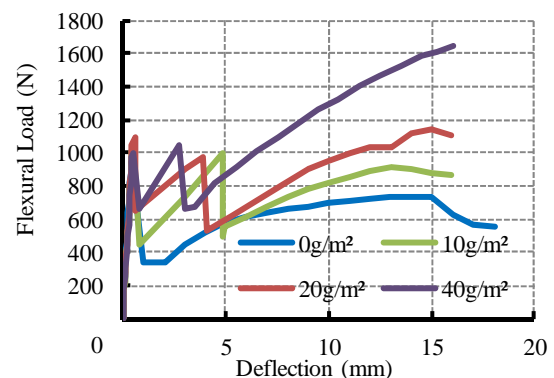


Fig.4 Flexural Load-Deflection Curves for Bamboo-Reinforced Cement Mortars Using Emulsion Treated Reinforcement of S50-9.

が低下した後においても、再び荷重が直線的に回復した後、急激に低下し、その後、たわみの増加を伴いながら荷重が増大する荷重-たわみ曲線を与える。また、エマルジョン処理竹補強材 S50-9 を用いた竹補強セメントモルタルの初期ひび割れ荷重およびその後のピーク荷重は、他のエマルジョン処理竹補強材を用いたものの初期ひび割れ荷重に比べて小さい傾向にある。

Photo 3 には、S50-9 の無処理竹補強材および 40g 塗布したエマルジョン処理竹補強材のひび割れの状況を示す。無処理竹補強材を用いたものは、1 箇所の大きなひび割れがみられた。しかし、40g 塗布したエマルジョン処理竹補強材を用いたものは、2 箇所のみひび割れが確認された。このように、エマルジョン処理竹補強材 S50-9 を用いた場合に、2 つの大きなひび割れが認められるのは、セメントモルタル中の竹補強材が、大きなすべりを発生したためと推察される。また、初期ひび割れ後のピーク荷重の減少は、塗布量が多いものほど少なくなる。なお、一部のものを除けば、初期ひび割れ応力を示した後の回復荷重は、竹補強材に対するエマルジョン処理量の多いものほど大きくなる傾向にある。

Fig.5 には、幅 3mm の補強用竹素材を幅 25mm の格子状に編んだ竹補強材 S25-3 を用いた竹補強セメントモルタルの曲げ荷重-たわみ曲線を示す。無処理竹補強材およびエマルジョン処理竹補強材を用いた竹補強セメント



Photo 3 Cracking Tendency of Bamboo-Reinforced Cement Mortars with S50-9.

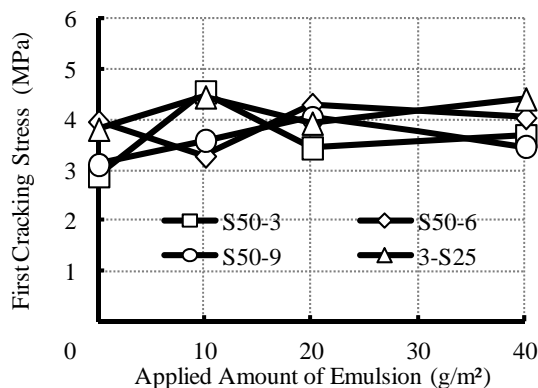


Fig.6 First Cracking Stress of Bamboo-Reinforced Cement Mortars Using Emulsion Treated Reinforcements of S50-3, S50-6, S50-9 and S25-3.

モルタルとも、それらの曲げ荷重-たわみ曲線は、荷重の増加に伴いたわみが直線的に増大し、初期ひび割れ発生と同時に荷重が急激に低下した後、たわみの増加を伴いながら初期ひび割れ応力の 1/2 程度まで荷重が回復する荷重-たわみ関係を与える。幅 50mm に編んだ竹補強材を用いたものに比べれば、初期ひび割れ発生後に回復する荷重レベルは低い傾向にあり、これは、補強材比が大きいことに起因するものと考えられる。

Fig.6 および **Fig.7** には、それぞれ、エマルジョン処理竹補強材 S50-3, S50-6, S50-9 および S25-3 を用いた竹補強セメントモルタルの初期ひび割れ応力および曲げ強度と竹補強材のエマルジョン処理量の関係を示す。エマルジョン処理竹補強材 S25-3 を用いた竹補強セメントモルタルの初期ひび割れ応力は、エマルジョン処理量の増加に伴って増大する傾向にあるが、その他の竹補強セメントモルタルのそれは、エマルジョン処理量 10 または 20g で最大値を与える傾向にある。一方、竹補強材の種類にかかわらず、竹補強セメントモルタルの曲げ強度は、竹補強材のエマルジョン処理量の増加に伴って増大する傾向にある。

Fig.8 には、エマルジョン処理竹補強材 S50-3, S50-6,

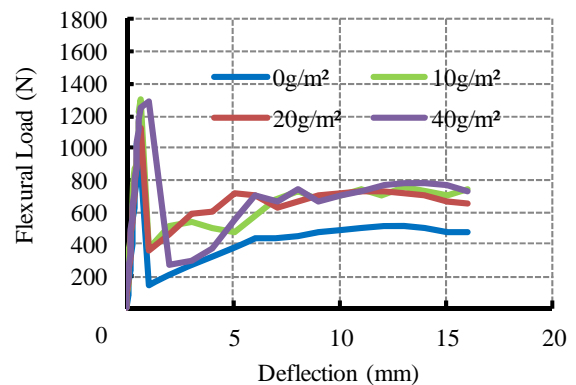


Fig.5 Flexural Load-Deflection Curves for Bamboo-Reinforced Cement Mortars Using Emulsion Treated Reinforcement of S25-3.

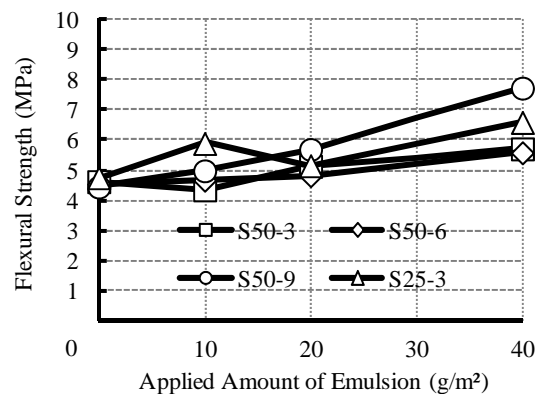


Fig.7 Flexural Strengths of Bamboo-Reinforced Cement Mortars Using Emulsion Treated Reinforcements of S50-3, S50-6, S50-9 and S25-3.

S50-9 および S25-3 を用いた竹補強セメントモルタルの曲げタフネスと竹補強材のエマルジョン処理量の関係を示す。エマルジョン処理竹補強材 S50-3 を用いた竹補強セメントモルタルの曲げタフネスは、エマルジョン処理量 10~20g で最大値を示し、それ以上の処理量でわずかに低下するが、いずれの処理量であっても、無処理竹補強材を用いたものに比べれば、3 倍以上の曲げタフネスを示す。また、エマルジョン処理竹補強材 S25-3 を用いた竹補強セメントモルタルは、エマルジョン処理量 10g 以上ではほぼ一定の曲げタフネスを示し、その他の竹補強セメントモルタルにおいてはエマルジョン処理量の増加に伴って曲げタフネスが増大する傾向にある。なお、エマルジョン処理量 40g とした場合には、これらの竹補強セメントモルタルの曲げタフネスは、無処理竹補強材を用いた場合の 2 倍以上の値を与える。

Fig.9 から Fig.11 には、それぞれ、幅 3mm または 6mm の補強用竹素材を幅 50mm の斜め格子状または複合格子状に編んだ竹補強材 D50-3, D50-6 および SD50-3 を用いた竹補強セメントモルタルの曲げ荷重-たわみ曲線を示す。エマルジョン処理竹補強材 D50-3 および D50-6 を用いた竹補強セメントモルタルは、前述したエマルジョン

処理竹補強材 S50-3 および S50-6 と類似の曲げ荷重-たわみ挙動を示す。しかしながら、初期ひび割れ荷重後に回復する荷重の増加の程度は、竹補強材 S50-3 および S50-6 を用いたものよりも小さい傾向にある。本研究においては、寸法 2×25×55cm の板状供試体を用いて曲げ性状を検討している。エマルジョン処理竹補強材 S50-3 および S50-6 を用いた場合には、補強用竹素材が供試体の長手方向に対して並行および直角に配置されており、平行に配置された補強用竹素材が優れた補強効果を発揮するものと考えられる。それに比べて、竹補強材 D50-3 および D50-6 を用いた場合、補強用竹素材は供試体の長手方向に対して斜めに配置されており、その補強効果が若干劣るものと推察される。

一方、エマルジョン処理竹補強材 SD50-3 を用いた竹補強セメントモルタルの曲げ荷重-たわみ関係は、前述したエマルジョン処理竹補強材 S50-9 を用いたものと同様の傾向にある。これらの竹補強材の補強用竹素材の配置は異なるものの、ほぼ同様の補強材比を持つことから、その挙動が類似しているものと推察される。

Fig.12 および Fig.13 には、それぞれ、エマルジョン処理竹補強材 D50-3, D50-6 および SD50-3 を用いた竹補強

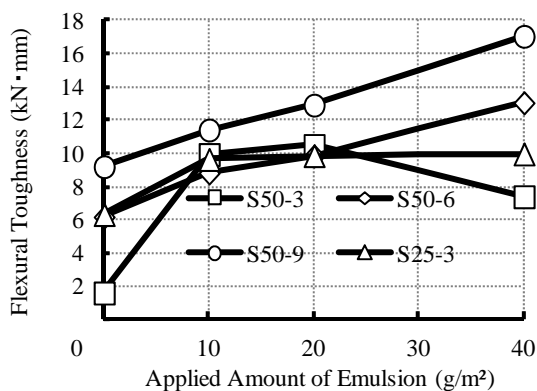


Fig.8 Flexural Toughness of Bamboo-Reinforced Cement Mortars Using Emulsion Treated Reinforcements of S50-3, S50-6, S50-9 and S25-3.

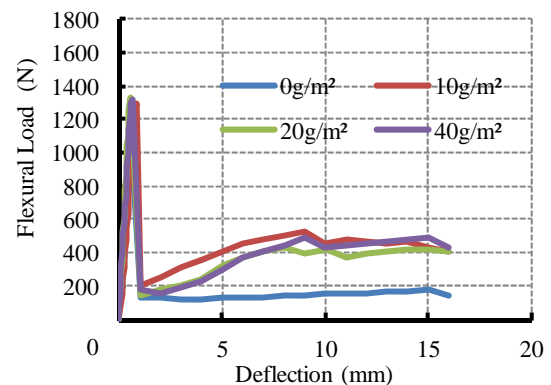


Fig.9 Flexural Load-Deflection Curves for Bamboo-Reinforced Cement Mortars Using Emulsion Treated Reinforcement of D50-3.

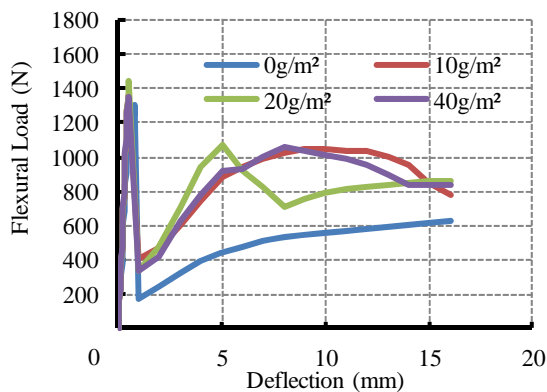


Fig.10 Flexural Load-Deflection Curves for Bamboo-Reinforced Cement Mortars Using Emulsion Treated Reinforcement of D50-6.

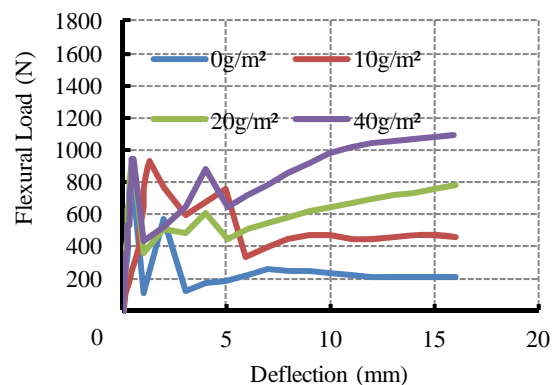


Fig.11 Flexural Load-Deflection Curves for Bamboo-Reinforced Cement Mortars Using Emulsion Treated Reinforcement of SD50-3.

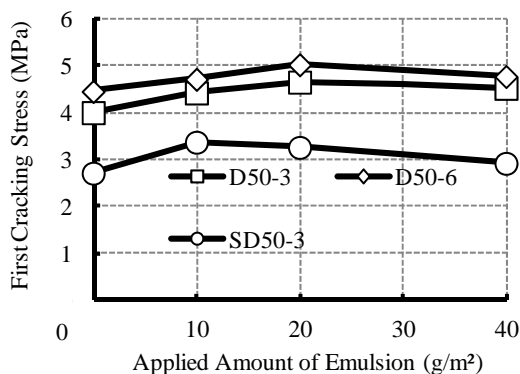


Fig.12 First Cracking Stress of Bamboo-Reinforced Cement Mortars Using Emulsion Treated Reinforcements of D50-3, D50-6 and SD50-3.

セメントモルタルの初期ひび割れ応力および曲げ強度と竹補強材のエマルジョン処理量の関係を示す。これらの竹補強セメントモルタルの初期ひび割れ応力は、エマルジョン処理量 10~20g で最大値を与え、曲げ強度はエマルジョン処理量の増加に伴って増大する傾向にあるものの、無処理竹補強材のそれらに比べて若干大きい程度である。

Fig.14 には、エマルジョン処理竹補強材 D50-3, D50-6 および SD50-3 を用いた竹補強セメントモルタルの曲げタフネスと竹補強材のエマルジョン処理量の関係を示す。エマルジョン処理竹補強材 D50-3 および D50-6 を用いた竹補強セメントモルタルの曲げタフネスはエマルジョン処理量 10g で最大値を与え、それ以上の処理量では若干低下する傾向にある。それらの曲げタフネスは、無処理竹補強材を用いたもののその 1.5~3 倍の値を与える。

一方、エマルジョン処理竹補強材 SD50-3 を用いた竹補強セメントモルタルの曲げタフネスは、エマルジョン処理量の増加に伴って著しく増大し、無処理竹補強材を用いたもののその 2~3 倍の値を与える。

以上のことから推察すれば、竹補強セメントモルタルに用いる竹補強材をエマルジョン処理することによって、その曲げ性状は著しく改善することが明らかであり、その改善効果はエマルジョン処理量が多いほど顕著である。なお、エマルジョン処理した竹補強材を用いた竹補強セメントモルタルの曲げ性状は、使用する補強用竹素材の幅、編み込む竹補強材の格子形状と間隔、補強材比にも依存する。従って、エマルジョン処理竹補強材を用いた竹補強セメントモルタルの利用形態に合わせて、これらのことを検討することが重要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、次の通りで

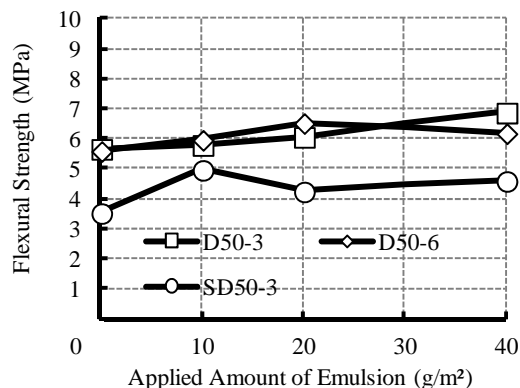


Fig.13 Flexural Strengths of Bamboo-Reinforced Cement Mortars Using Emulsion Treated Reinforcements of D50-3, D50-6 and SD50-3.

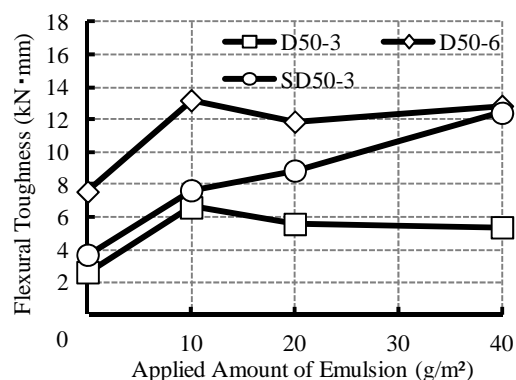


Fig.14 Flexural Toughness of Bamboo-Reinforced Cement Mortars Using Emulsion Treated Reinforcements of D50-3, D50-6 and SD50-3.

ある。

- (1) 竹補強セメントモルタルに用いる竹補強材をエマルジョン処理することによって、その曲げ性状は著しく改善することが明らかであり、その改善効果はエマルジョン処理量が多いほど顕著である。
- (2) エマルジョン処理した竹補強材を用いた竹補強セメントモルタルの曲げ性状は、使用する補強用竹素材の幅、編み込む竹補強材の格子形状と間隔、補強材比にも依存することから、利用形態に合わせて、これらを選択することが重要である。

参考文献

- 1) 菊地弘悦, 出村克宣: 竹補強セメントモルタルの機械的性質, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, pp.793-798, 2007.7
- 2) 菊地弘悦, 出村克宣: 竹補強セメントモルタルの機械的性質に及ぼす養生方法の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.387-392, 2008.7