論文　竹補強ポリマーセメントモルタルの機械的性質におよぼす養生方法の影響

西田　電[*1]・我喜屋　宗満[*2]・齋藤　俊克[*3]・出村　克宣[*4]

要旨：本研究では，竹補強材を用いた竹補強ポリマーセメントモルタルを乾燥養生，水中養生および絶乾養生した場合の機械的性質について検討した。その結果，ポリマーセメントモルタルに対する竹素材の付着強さ，竹補強ポリマーセメントモルタルの曲げ性状および耐衝撃性は養生方法の影響を受け，乾燥工程を含む場合にポリマーフィルムが強化されることに起因して付着強さ，曲げ性状および耐衝撃性が改善される。一方，水中養生を行ったものは，その他の養生を行ったものに比べて小さい傾向にあることから，その性質は，養生後のポリマーフィルムの機械的性質に大きく依存すると考えられる。

キーワード：竹補強ポリマーセメントモルタル，養生方法，付着強さ，曲げ性状，耐衝撃性

1. はじめに

竹材は，鋼材の匹敵する引張強度を有しているが，天然素材であるため高精度な品質を担保出来ないことおよび，コンクリート構造部材については優れた構造様式が確立されていることから，構造用補強材として使用することは合理的ではないと考える。一方，U 字溝などのコンクリート製小型二次製品や非構造部材においても，その補強材として鋼材が使用されている。しかし，そのような用途においては，力学的補強というよりも製品の搬送などによるひび割れ防止のための用心筋としての役目を担っているため，その代替品として竹材を用いることが可能であると考えられる。

菊地らは，棒状の薄肉竹素材を格子状に編み込んで補強材とすることでセメント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，竹補強材は乾燥に伴って寸法変化を生じやすく，セメントモルタルとの付着性が低下し，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。そこで木村，齋藤らは，竹素材をセメント混和用ポリマーで表面処理したエマルション処理竹補強材とすることで，竹素材の引張強さが増大することおよび基材であるセメントモルタルと竹補強材の付着性が改善されることから，曲げ性状も改善できることを明らかにしている[3), 4)]。しかしながら，竹素材に所定量のエマルションを塗布する作業は手間が掛かること，およびその養生には数日を要することが製造時の問題点として挙げられる。一方，著者らの一部は，基材をポリマーセメントモルタルとした竹補強ポリマーセメントモルタルとし，乾燥養生した場合には，エマルション処理竹補強セメントモルタルと同等の曲げ性状を有することを報告している[5)]。このような性能は，ポリマーセメントモルタル中に形成されるポリマーフィルムの性状に起因すると考えられ，養生方法が異なる場合には，その性状が変化することが懸念される[6)]。

そこで本研究では，竹素材のポリマーセメントモルタルに対する付着性状，竹補強ポリマーセメントモルタルの曲げ性状および耐衝撃性におよぼす養生方法の影響について検討した。

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。

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)		Compressive Strength of Mortar (MPa)		
		Initial Set	Final Set	3d	7d	28d
3.16	3300	2-01	3-15	30.2	46.1	62.4

Chemical Compositions (%)				
MgO	SO_3	ig. loss	Total Alkali	Chloride Ion
1.73	2.05	1.69	0.54	0.023

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

*1 日本大学大学院　工学研究科建築学専攻　（学生会員）
*2 日本国土開発（株）　修士（工学）　（正会員）
*3 日本大学　工学部建築学科専任講師　博士（工学）（正会員）
*4 日本大学　工学部建築学科教授　工博　（正会員）

練混ぜ水としては，上水道水を使用した。

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共重合樹脂エマルション（SAE）およびアクリル酸エステル・メタクリル酸共重合体エマルション（AME）を使用した。その性質を **Table 3** に示す。

2.5 竹材

竹材としては，福島県産の真竹を使用した。その採取方法および性質を **Table 4** および **Table 5** に示す。なお，**Table 5** の機械的性質は 3.1（2）の 1）に示す竹素材 10 本の平均値であり，標準偏差は引張強さ 46.7MPa および弾性係数 0.52GPa であった。

Table 2 Properties of Fine Aggregate.

Size (mm)	Density (g/cm^3)	Water Absorption (%)
≦2.5	2.66	2.09

Table 3 Properties of Polymer Dispersion for Cement Modifier.

Type of Polymer	Viscosity (mPa・s)	Non Volatile Matter (%)	Glass-Transition Point, Tg (℃)
SAE	200	50	33
AME	300	45	4

Table 4 Felling Conditions of Bamboo.

Felling Season	Part of Use	Age of Bamboo (Year)
Oct. 2015	Part of 1 to 5 Meter From Roots	3

Table 5 Properties of Bamboo.

Density (g/cm^3)	Tensile Strength (MPa)	Modulus of Elasticity in Tension (GPa)
0.72	234	20.3

3. 試験方法

3.1 ポリマーセメントモルタルに対する竹素材の付着試験

(1) 基材としてのポリマーセメントモルタルの強さ試験

1) 供試体の作製

JIS A 1171（ポリマーセメントモルタルの試験方法）に従って，セメント：細骨材＝1：3（質量比），ポリマーセメント比（以下，P/C）を 0，5，10，15 および 20%とした調合の供試ポリマーセメントモルタルを，そのフロー値が 170±5 となるように，水セメント比を調整して練り混ぜ，空気量を測定した。次に，供試ポリマーセメントモルタルを寸法 40×40×160mm に成形した。その後，次に示す養生を行って，強さ試験用供試体を作製した。なお，絶乾養生は，供試体の質量を安定させるため，80℃の乾燥機中で行った。

（a）乾燥養生（W5D21）：2d 湿空［20℃，90%（RH）］，5d 水中（20℃）および 21d 乾燥［20℃，60%（RH）］養生

（b）水中養生（W26）：2d 湿空［20℃，90%（RH）］および 26d 水中（20℃）養生

（c）絶乾養生（W5D21AD9）：2d 湿空［20℃，90%（RH）］，5d 水中（20℃），21d 乾燥［20℃，60%（RH）］および 9d 絶乾（80℃）養生

2) 強さ試験

JIS A 1171 に従って，供試体の曲げおよび圧縮強さ試験を行った。

(2) 竹素材の付着試験

1) 竹素材の作製

3 箇月間屋外で放置した複数本の竹材を **Fig.1** に示す箇所から，竹材の表皮が付いていない状態で，厚さ約 1.2mm，幅 9mm 長さ 1500mm の寸法で切り出した棒状の薄肉竹材を，20℃，60%（RH）の条件下に 2 週間以上静置して，含水率がほぼ一定な気乾状態とし，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。

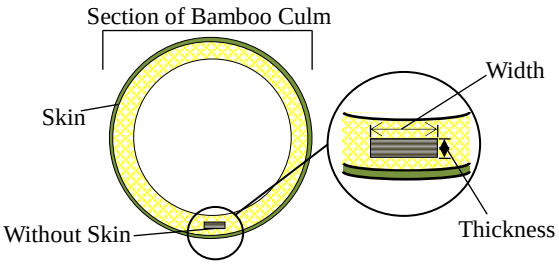

Fig.1 Collection Position of Bamboo Element.

Photo 1 Appearance of Bamboo Element.

2) 付着試験用供試体の作製

ポリマーセメントモルタルに対する埋め込み長さが 40mm になるように竹素材を設置した寸法 40×40×160mm の型枠中に，(1)の 1)と同様に調製したポリマーセメントモルタルを打設した。その後，(1)の 1)と同様に養生を行って，付着試験用供試体を作製した。

3) 付着試験

Fig.2 に示すように，供試体に埋め込んだ竹素材をクロスヘッド速度 5mm/min で引き抜き，付着試験を行った。その際，クロスヘッドの移動距離を，竹素材の供試体からの引き抜け距離として測定した。

3.2 竹補強ポリマーセメントモルタルの曲げおよび衝撃試験

(1) 竹補強材の作製

3.1(2)の 1)と同様に，竹材から厚さ約 1.2mm，幅約 9mm の寸法で竹素材を切り出し，気乾状態として補強用竹素

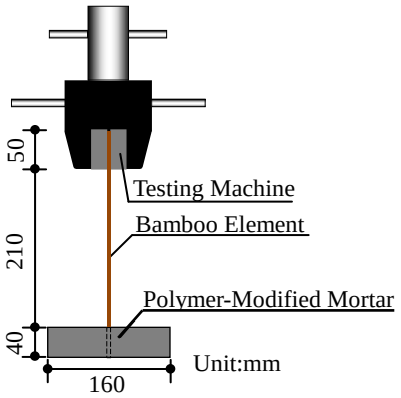

Fig.2 Appearance of Bond Test.

材とし，補強用竹素材を格子間隔 50mm となるように編み込み竹補強材とした。なお，補強用竹素材が交差する箇所は，結束しないものとした。

(2) 曲げおよび衝撃試験用供試体の作製

JIS A 1171 に準じて，P/C を 0，5，10，15 および 20%とした 3.1(1)の 1)と同一調合の供試ポリマーセメントモルタルを，型枠の高さの中央部に竹補強材を設置した寸法 20×250×550mm および 20×300×300mm の型枠中に打設した。その後 3.1(1)の 1)と同様に養生を行って，曲げおよび衝撃試験用供試体を作製した。なお，**Fig.3** には供試体の概要を示す。

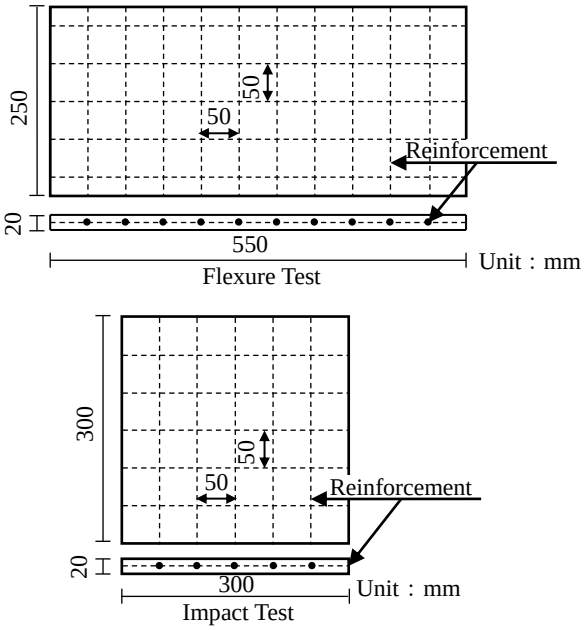

Fig.3 Arrangement of Reinforcement in Specimen.

(3) 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，変形性能に優れる材料であるため，規定の 3mm ではなく，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) 衝撃試験

JIS A 1408（建築用ボード類の曲げおよび衝撃試験方法）に従って，供試体中央部に，高さ 300mm から重さ 1042g の鋼球を連続的に落下させて，衝撃試験を行った。その際，供試体被衝撃面またはその裏面に発生したひび割れが，供試体の端部に到達した時を破壊とし，それまでの鋼球の落下回数を測定した。なお，鋼球の質量，落下高さおよび供試体の体積から，初期ひび割れおよび破壊エネルギーを次式より算出した。

$$E_1 = g \times h_s \times w_s \quad (1)$$

$$E_t = \sum\left[\left(E_1 / V_m\right) \times N_d\right] \quad (2)$$

ここに，

E_1：鋼球を 1 回落下させた時の衝撃エネルギー（J）

E_t：初期ひび割れまたは破壊エネルギー（J/m³）

g：重力加速度（m/s²）

h_s：鋼球の落下高さ（m）

w_s：鋼球の質量（kg）

V_m：供試体の体積（m³）

N_d：鋼球の落下回数（回）

4. 試験結果および考察

4.1 基材としてのポリマーセメントモルタルの性状

Fig.4 には，ポリマーセメントモルタルの水セメント比および空気量と P/C の関係を示す。

ポリマーセメントモルタルの水セメント比は，P/C の増加に伴って減少する傾向にある。これは，セメント混和用ポリマーの持つ界面活性効果やポリマー粒子のボールベアリング効果によってポリマーセメントモルタルのワーカビリティーが改善されたため，一定のフロー値を得るための単位水量が減少することに起因するものと推察される。また，空気量は，P/C の増加に伴って減少する傾向にある。これは，本研究で使用したセメント混和用ポリマーには，その構成成分として消泡剤が含まれており，P/C が増加すれば，ポリマーセメントモルタルの総体積中に含まれる消泡剤の量が増大することによるものと考える。

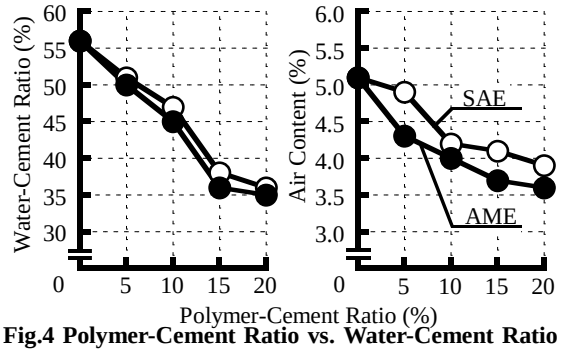

Fig.4 Polymer-Cement Ratio vs. Water-Cement Ratio and Air Content of Polymer-Modified Mortars.

Fig.5 および **Fig.6** には，ポリマーセメントモルタルの曲げおよび圧縮強さと P/C の関係を示す。

養生方法にかかわらず，ポリマーセメントモルタルの曲げ強さは，P/C の増加に伴って増大する傾向にある。これは，P/C の増加に伴う水セメント比および空気量の減少並びに，ポリマーセメントモルタル中に形成されるポリマーフィルムの曲げ補強効果に起因するものと考えられる。しかし，乾燥および絶乾養生したポリマーセメントモルタルの P/C の増加に伴う曲げ強さの増大が著しいのに比べて，水中養生したものの曲げ強さの増大はわずかである。これは，形成されるポリマーフィルムの強度が乾燥によって向上することによるものであり，P/C10%以上においては，絶乾養生したものの曲げ強さが最も大きな値を与える。一方，養生方法にかかわらず，その圧縮強さは P/C の増加に伴い減少する傾向にあり，これは，ポリマーフィルムの弾性係数が小さいことに起因するものと考えられる。なお，P/C0%および SAE を用いた P/C15%までの水中養生したポリマーセメントモルタルの圧縮強さは，その他のものに比べて大きい傾向にある。これは，26d の水中養生によってセメントの良好な水和反応が生じると共に，常温においては，SAE は硬い性状を有することによるものと考える。

4.2 ポリマーセメントモルタルに対する竹素材の付着性状

Fig.7 には，ポリマーセメントモルタルに対する竹素材の付着応力と引き抜け距離の関係を養生方法別に示す。

一部のものを除けば，養生方法およびセメント混和用ポリマーの種類にかかわらず，ポリマーセメントモルタルに対する竹素材の付着応力は，載荷初期に最大付着応力を示した後急激に減少し，引き抜け距離の増加を伴いながら徐々に低下する。

Fig.8 には，ポリマーセメントモルタルの付着強さと P/C の関係を養生方法別に示す。

セメント混和用ポリマーの種類および養生方法にかかわらず，ポリマーセメントモルタルに対する竹素材の付着強さは P/C の増加に伴い増大する傾向にある。これは，P/C が増加することで，ポリマーセメントモルタル中に形成されるポリマーフィルム相が増え，竹素材との付着性が向上したためと推察される。また，いずれの養生方法においても，常温において柔軟性のあるポリマーフィルムを形成する AME を用いたポリマーセメントモルタルに対する付着強さが大きい傾向にある。

4.3 竹補強ポリマーセメントモルタルの曲げ性状

Fig.9 には，竹補強ポリマーセメントモルタルのたわみ

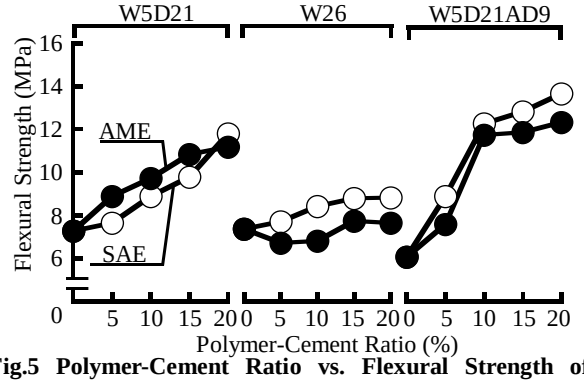

Fig.5 Polymer-Cement Ratio vs. Flexural Strength of Polymer-Modified Mortars.

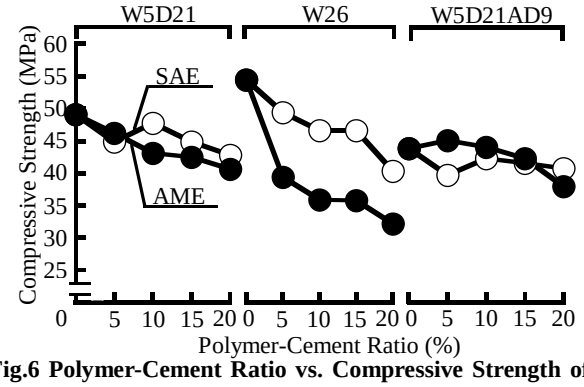

Fig.6 Polymer-Cement Ratio vs. Compressive Strength of Polymer-Modified Mortars.

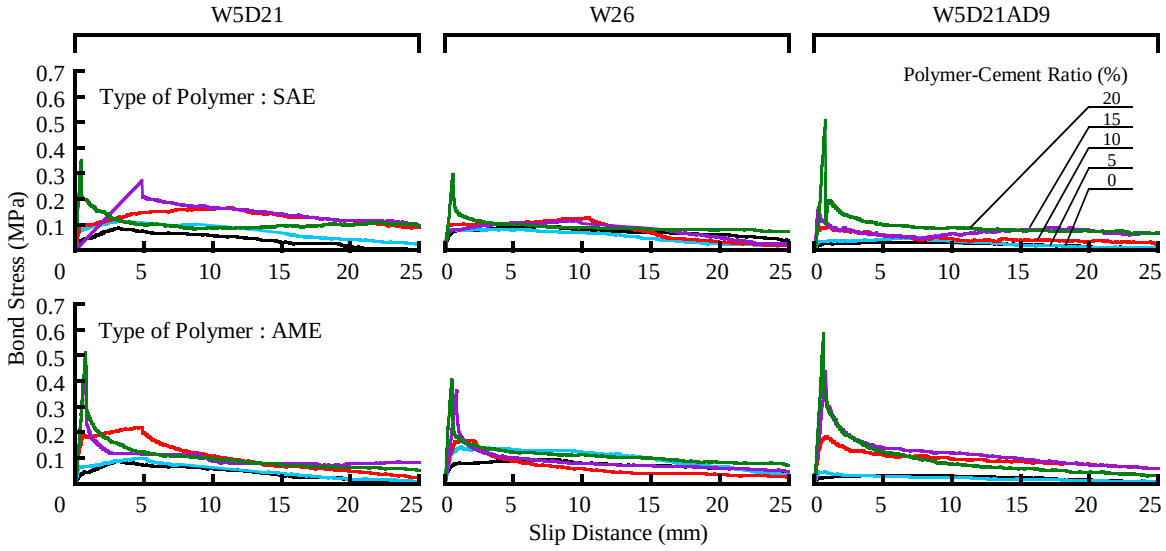

Fig.7 Bond Stress-Slip Distance Curves for Bamboo Elements in Polymer-Modified Mortars.

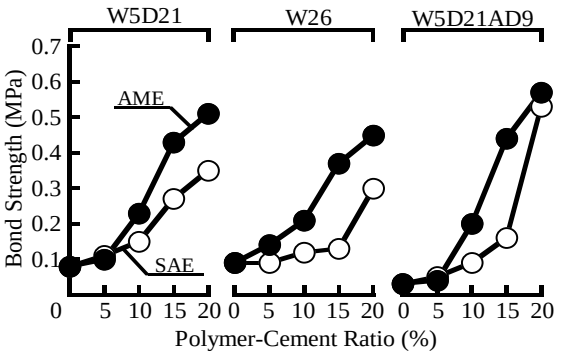

Fig.8 Polymer-Cement Ratio vs. Bond Strength of Polymer -Modified Mortars.

30mm までの曲げ荷重ーたわみ曲線をセメント混和用ポリマーの種類および養生方法別に示す。

養生方法にかかわらず，竹補強ポリマーセメントモルタルの曲げ荷重ーたわみ曲線は，載荷初期に著しい曲げ荷重の増大を示すと共に，初期ひび割れの発生によって急激に減少した後，たわみの増加を伴いながら再び曲げ荷重が増大し，その後低下する挙動を示す。なお，乾燥および絶乾養生を行ったポリマーセメントモルタルにおいては，P/C が小さい場合，初期ひび割れ後のたわみの増大に伴う曲げ荷重の増大はわずかである。一方，P/C が大きくなると，乾燥養生したポリマーセメントモルタルにおいては，載荷初期の曲げ荷重に比べて大きな値まで曲げ荷重が回復する傾向にある。また，絶乾養生したポリマーセメントモルタルの載荷直後の曲げ荷重は乾燥養生したものに比べて大きな値を示すが，その後のたわみの増大に伴い増加する曲げ荷重は，乾燥養生したもののそれよりも小さい傾向にある。更に，P/C の大きい乾燥養生したものと水中養生したポリマーセメントにおいては，載荷直後の曲げ荷重と，その低下後に再び増加する曲げ荷重のピーク時の値はほぼ同様であり，ポリマーセメントモルタルの曲げ荷重ーたわみ曲線の挙動は養生方法に大きく影響されるものと考える。

Fig.10 および **Fig.11** には，竹補強ポリマーセメントモルタルの曲げ強さおよびたわみ 15mm までの曲げタフネスと P/C の関係を養生方法別に示す。

竹補強ポリマーセメントモルタルの曲げ強さは，セメント混和用ポリマーの種類および養生方法にかかわらず，P/C の増加に伴い増大する傾向にあり，乾燥および絶乾養生での増大が著しい。また，たわみ 15mm までの曲げタフネスにおいても，同様の傾向が認められる。しかし，水中養生を行った竹補強ポリマーセメントモルタルのそ

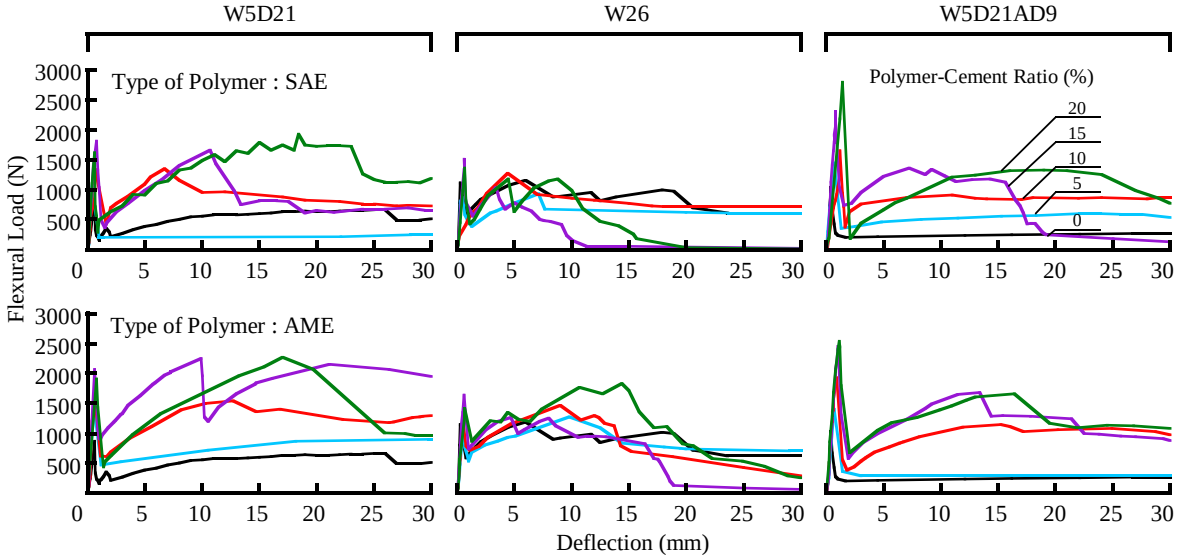

Fig.9 Flexural Load-Deflection Curves for Bamboo-Reinforced Polymer-Modified Mortars up to Deflection of 30mm.

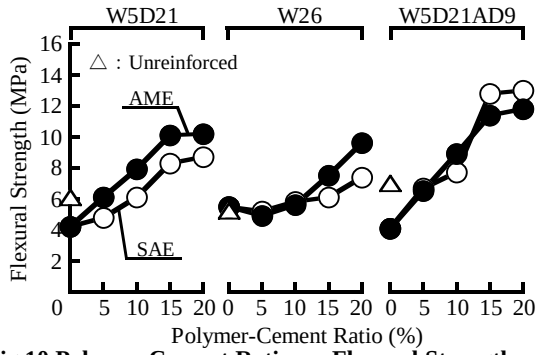

Fig.10 Polymer-Cement Ratio vs. Flexural Strength of Bamboo-Reinforced Polymer-Modified Mortars.

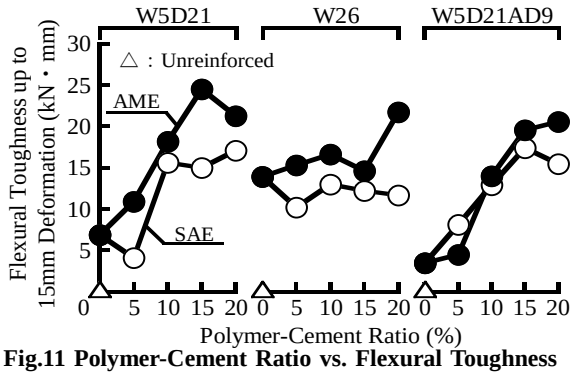

Fig.11 Polymer-Cement Ratio vs. Flexural Toughness up to 15mm Deflection of Bamboo-Reinforced Polymer-Modified Mortars.

れらについては，P/C の増加に伴う増大があまり認められない。前述したように，養生方法の違いは形成されるポリマーフィルムの強度に影響を及ぼすことから，竹補強ポリマーセメントモルタルの曲げ性状は，養生後のポリマーフィルムの機械的性質に大きく依存すると考える。

4.4 竹補強ポリマーセメントモルタルの耐衝撃性

Fig.12 および **Fig.13** には，竹補強ポリマーセメントモルタルの初期ひび割れエネルギーおよび破壊エネルギーと P/C の関係を示す。

乾燥養生した場合，竹補強ポリマーセメントモルタルの初期ひび割れエネルギーおよび破壊エネルギーは，P/C の増加に伴い増大する傾向にある。また，養生方法にかかわらず，SAE を用いたものに比べて，AME を用いた竹補強ポリマーセメントモルタルの初期ひび割れエネルギーおよび破壊エネルギーは，P/C15%以上で大きな値を示し，特に，絶乾養生では著しく大きな値となる。これは，AME のガラス転移点が 4℃，SAE のそれが 33℃であり，常温においては，AME が柔軟性に富むことによるものと推察される。一方，SAE を用いた竹補強ポリマーセメントモルタルの初期ひび割れエネルギーおよび破壊エネルギーは，無補強セメントモルタルに比べれば大きいものの，いずれの養生においても，P/C の増加に伴う増大がほとんど認められない。これは，SAE のガラス転移点が約 33℃であり，常温下では硬いポリマーフィルムであるため，脆性的破壊が生ずることによるものと推察される。

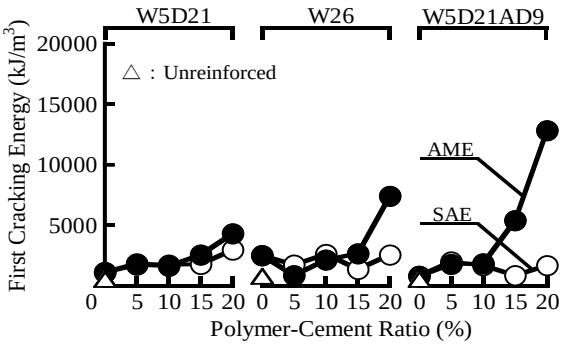

Fig.12 Polymer-Cement Ratio vs. First Cracking Energy of Bamboo-Reinforced Polymer-Modified Mortars.

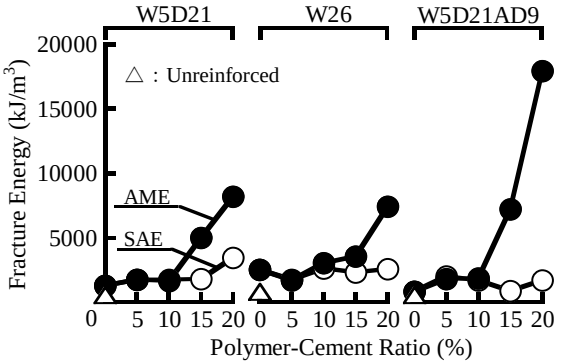

Fig.13 Polymer-Cement Ratio vs. Fracture Energy of Bamboo-Reinforced Polymer-Modified Mortars.

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) 本研究において基材としたポリマーセメントモルタルの水セメント比は P/C の増加に伴い若干減少し，その空気量は減少する。また，P/C の増加に伴って，乾燥および絶乾養生したポリマーセメントモルタルの曲げ強さの増大が著しい傾向にある。

(2) ポリマーセメントモルタルに対する付着強さは，乾燥および水中養生において，AME を用いたポリマーセメントモルタルの方が SAE を用いたものよりも P/C の増加に伴う増大の傾向が著しい。

(3) 竹補強ポリマーセメントモルタルの曲げ性状は，養生方法の影響を受け，乾燥工程を含む場合にポリマーフィルムが強化されることに起因して曲げ性状が改善されると考えられる。

(4) 竹補強ポリマーセメントモルタルの耐衝撃性は，セメント混和用ポリマーのガラス転移点によって相当に異なることが示唆される。

(5) 本研究の限りでは，竹補強ポリマーセメントモルタルの性質は，養生後のポリマーフィルムの機械的性質に大きく依存すると考えられる。

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.793-798，2007.6
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.387-392，2008.6
3) 木村彰吾，齋藤俊克，出村克宣：エマルシ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，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.1456-1461，2012.6
4) 齋藤俊克，木村彰吾，出村克宣：エマルシ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.35，No.1，pp.1429-1434，2013.6
5) 我喜屋宗満，齋藤俊克，出村克宣：竹補強ポリマーセメントモルタルの曲げ性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.1，pp.1363-1368，2015.6
6) Ohama,Y.:Improvement in Properties of Vinyl Acetate-Type Polymer-Modified Mortars, Proceedings of the Thirteenth Japan Congress on Materials Research, The Society of Materials Science, pp.212-215, Mar. 1970