Polymers in Concrete—新しい動向—

2. ポリマーセメントコンクリートおよび モルタルの新しい発展と利用[†]

大 濱 嘉 彦*

1 はじめに

ポリマーセメントコンクリートおよびモルタル (polymer cement concrete (mortar) または polymer-modified concrete (mortar), 略称 PCC および PCM) は、コンクリート・ポリマー複合体 (concrete-polymer composite) の一種であり、従来のセメントコンクリートおよびモルタルの結合材であるセメント水和物の一部の代替あるいは強化のために、ポリマー (polymer, 重合体または高分子とも呼ぶ) を用いて作られる材料である。時には、骨材を使用しないで、ポリマーセメントペースト (polymer cement paste または polymer-modified paste) の形で使われることもある。

一般に、ポリマーセメントコンクリートおよびモルタルの製造に使用される材料は、セメント、骨材、水およびポリマー混和剤 (polymeric admixture または polymer for cement modifier) であり、ポリマー混和剤を除いては、セメントコンクリートおよびモルタルと全く同じものである。ポリマー混和剤には、水性ポリマーディスパーション (polymer dispersion) であるゴムラテックス (latex) およびエマルジョン (emulsion), 再乳化形粉末樹脂 (粉末エマルジョンとも呼ぶ, powdered emulsion), 水溶性ポリマー (water-soluble polymer), 液状ポリマー (liquid polymer) などが用いられる。これらの中で、最も多く使われているのは、スチレンブタジエンゴム (styrene-butadiene rubber, SBR) ラテックス, ポリアクリル酸エステル (polyacrylic ester, PAE) およびエチレン酢酸ビニル (ethylene-vinyl acetate, EVA) エマルジョンのような水性ポリマーディスパーション [水の中にポリマーの微粒子 (0.05~5.0 μm) が均一に分散し、浮遊している状態の材料] である。ポリマーセメントコンクリートおよびモルタルは、セメントコンクリートおよびモルタルとほとんど同じ方法で製造され、打込みまたは塗装される。しかし、それらの製造に当っては、通常の AE 剤や減水剤のような混和剤よりもかなり多量 (セメントに対し

て 5 wt% 以上、ただし、水溶性ポリマーでは 3 wt% 以下) のポリマー混和剤が使用される。一般にポリマーセメントコンクリートおよびモルタルの性質はポリマーセメント比 (セメントに対するポリマー固形分の重量比) によって支配される。

世界の先進国では、ポリマーセメントコンクリートおよびモルタルは、既にポピュラーな建設材料として普及している。現在、我が国において、ポリマーセメントモルタルの普及は著しく、とくに、仕上げ材、補修材、改修材などの建設材料として広く使われているが、ポリマーセメントコンクリートの方は、水中不分離性コンクリートを除いて、性能と経済性のバランスの上からあまり使用されていない。アメリカでは、ポリマーセメントコンクリートが橋床版のオーバーレイや補修、新旧を問わず、鉄筋コンクリート構造物の補修などに積極的に使用されている。その施工実績を見ると、ポリマーセメントコンクリートによってオーバーレイされた橋床版が 120 万 m^2 /年²⁾以上、劣化した鉄筋コンクリート構造物の補修に約 6 万 m^2 /年³⁾のポリマーセメントコンクリートが使用されているといわれる。日本では、建設分野で 100000 t/年以上のポリマーディスパーションがポリマーセメントモルタルのために用いられている。

本稿では、最近におけるポリマーセメントコンクリートおよびモルタルの新しい発展ということで、主に材料面および用途面から見た、この種の材料の研究、開発の動向を探ることにしたい。

2 材料面から見た新しい動向

2.1 新しい種類のポリマー混和剤

ここ、約 10 年前から、乳化重合後にカチオン界面活性剤を添加して製造した SBR ラテックスや PAE エマルジョンが、静電的効果を期待して、優秀な接着性を付与できるとして市販されているが、従来品と比べて、その優位性は認められない⁴⁾。最近、粒子径が 0.01~0.1 μm と極めて小さく、かつ、粒子内が緻密な網状三次元構造を有するという超微粒子既架橋 PAE エマルジョンが開発されている^{5), 6)}。しかしながら、

† 原稿受理 平成 4 年 2 月 10 日

* 正 会 員 日本大学工学部建築学科 〒963 郡山市田村町

注) 1) UFPC Acrylic: 超微粒子既架橋 PAE 混入モルタル
2) Cationic SBR: カチオン性 SBR 混入モルタル
3) Anionic SBR: アニオン性 SBR 混入モルタル

図1 超微粒子既架橋 PAE 混入およびカチオン性 SBR 混入ポリマーセメントモルタルの強さとポリマーセメント比の関係

カチオン界面活性剤を含むものと同様、従来品と比べて、このエマルジョンを混入したポリマーセメントモルタルの性質上から、必ずしもその優位性は認められない。図1には、カチオン界面活性剤を含む SBR ラテックスおよび超微粒子既架橋 PAE エマルジョンを混入したポリマーセメントモルタルの強さを示す。再乳化形粉末樹脂は、合成樹脂エマルジョンを噴霧乾燥したもので、水を加えると再乳化するものである。最近の再乳化形粉末樹脂は、その品質が向上し、その成膜性が改善されたので、コンクリートやモルタル中でも連続したポリマー膜が形成されるようになった。したがって、これを混入したポリマーセメントモルタルの性質も水性ディスパーションを混入したものものとほぼ同様である⁸⁾。そのため、EVA や酢酸ビニル-vinyl carboxylate 共重合体のような再乳化形粉末樹脂が、下地調整材、厚付け仕上塗材（しあげぬりざい）、複層仕上塗材、タイル用接着材などのプレパッケージド（prepackaged）形製品の製造に好んで用いられる。アメリカやヨーロッパでは、エポキシ樹脂がエマルジョンまたは液状ポリマーの形で使用がかなり普及しているが、我が国ではあまり用いられない。その理由は、ポリマーセメント比を30%以上にする必要があり、性能とコストがバランスしないことにある。また、エポキシ樹脂をポリマー混和剤として使用する場合は、必ず適当な硬化剤を選択して用いる必要がある。しかしながら、最近、大濱らは硬化剤未添加のエポキシ樹脂混入ポリマーセメントモルタルを開発している⁹⁾。その他、特殊なポリマー混和剤として、高吸水性ポリマー（superabsorbent polymer）の粉末またはエマルジョン、アクリル酸マグネシウムなどがあるが、これらを混入したポリマーセメントコンクリート

およびモルタルについては、3章に後述する。

2.2 MDF セメント

MDF（macrodefect-free）セメントは、ポリビニルアルコール（ポバール）、ポリアクリルアミドなどの水溶性ポリマーを2~8%の低ポリマーセメント比で高性能減水剤と併用し、8~20%という低水セメント比で、メカノケミカル（mechanochemical）的手法によって製造されるポリマーセメントペーストである。その名称は、1981年のBirchallらの論文に由来するものである。成形助剤となる水溶性ポリマーの使用と成形操作の改善によって、セメントペースト中のマクロ欠陥が除かれるため、MDFセメントの曲げ強度は極めて高く、普通ポルトランドセメントの使用で500~900 kgf/cm²^{10),11)}、アルミナセメントの使用で1000~1500 kgf/cm²に達する¹²⁾。このように、MDFセメントでは極めて高い曲げ強度が得られるが、その耐水性が劣り、湿潤状態での強度低下が著しいことが大きな欠点となっている¹³⁾。これまでに、その耐水性改善策として、SBR ラテックスなどの混和、シランカップリング剤の添加、ポリマー含浸などが試みられているが、まだ、その目的を完全には達成していないようである。最近、MDFセメントの耐水性の改善策として、つぎのような興味ある二つの報告がある。すなわち、(1) ポリビニルアルコールを用いたMDFセメントをヘキサメチレンジイソシアネートのようなイソシアネートで浸せき処理し、ウレタン結合でポリビニルアルコールを架橋するもの。この処理によって、湿潤時の曲げ強度の低下は乾燥時のその約20%という¹⁷⁾。(2) ポルトランドセメントを5 vol%以下の少量のシリカフェームで置換して用いたMDFセメントについて、1箇月以上の湿潤養生を行い、セメントの水和反応を十分に進行させるもの。図2に示すように、この方法によれば、MDFセメントの曲げ強度の低下はごくわずかである¹⁸⁾。MDFセメントは非常に高い曲げ強度を有す

図2 MDFセメントの曲げ強さとシリカフェーム代替率の関係

表Ⅰ 繊維補強 MDF セメントとアルミニウムの性質の比較

性 質	アルミニウム	繊維補強 MDF セメント
曲げ強度 (MPa)	150	150~250
弾性係数 (GPa)	70	45~55
破壊エネルギー (J/m ²)	10 ⁶	10 ⁵
比 重	2.8	2.4
比強度* (MPa)	54	63~104
相対エネルギーコスト	30	1

注) * 比強度=(曲げ強度)/(比重)

るため、これを繊維補強することができれば、理想的な複合材料が作れるものとする。MDF セメントの繊維補強による高い曲げ強度の発現例を表Ⅰに示す。上述したように、MDF セメントは、確かに高い曲げ強度を持ち、理想的な複合材料となり得る材料であるが、耐水性の改善と製造工程の単純化の問題があり、現在のところ、その実用化例としては、我が国の宇都興産社の不燃内装パネルがあるのみである。しかし、この内装パネルは、その曲げ強度が 700 kgf/cm² で、その表面は硬質樹脂コーティングが施されている。

2・3 繊維類による補強

繊維補強コンクリートおよびモルタルのワーカビリティ、乾燥収縮などの改善、またはポリマーセメントコンクリートおよびモルタルの曲げ強度やタフネスの改善を目的として、鋼繊維、ガラス繊維、ポリマー繊維、炭素繊維などを混入した繊維補強ポリマーセメントコンクリートおよびモルタルが用いられる。耐アルカリ性ガラス繊維を用いたガラス繊維補強セメント (glassfiber reinforced cement, GRC) において、長年月で起こるセメントのアルカリによるガラス繊維の劣

注) AR-PGRC: 耐アルカリ性ガラス繊維を用いた GRC
E-PGRC: E-ガラス繊維を用いた GRC
暴露条件: ■ ▲ 20℃ 水中
□ △ 20℃, 50% R. H. 乾燥
□ ▲ 屋外暴露 (オランダの気象条件下)

図3 アクリル系ポリマー混入ガラス繊維補強セメントの曲げ強度と暴露期間の関係

注) 補強材, I: 金網 3 層
II: 金網 5 層

OCM: 普通セメントモルタル
PCM: ポリマーセメントモルタル
SFRPCM: 鋼繊維混入ポリマーセメントモルタル
CFRC: 炭素繊維混入セメントモルタル
PM: ポリマーモルタル
PIM: ポリマー含浸モルタル

図4 ポリマーフェロセメントの曲げ挙動

化に基づく耐久性の低下を防止する目的で、アクリル系エマルジョンなどが混入される²⁰⁾。E-ガラス繊維を用いた場合でさえも、アクリル系エマルジョンを混入すれば、長期間の耐久性が保証されるといわれる²³⁾。図3には耐アルカリ性ガラス繊維と E-ガラス繊維を用いたアクリル系ポリマー混入ガラス繊維補強セメントの長期間の耐久性を示す。また、収縮低減剤、シリカフュームなどの他の混和材料を併用した繊維補強ポリマーセメントモルタルも開発されている^{24), 25)}。

耐久性改善のために、フェロセメントのマトリックスとしてのポリマーセメントモルタルの利用が試みられている²⁶⁾。各種ポリマーセメントモルタルをマトリックスとしたポリマーフェロセメント (polymer-ferrocement) の曲げ挙動の比較を図4に示す²⁶⁾。

3 用途面から見た新しい動向

3・1 鉄筋コンクリート構造物用耐久性改善材料および補修材料

最近、我が国では、図5に示すように、鉄筋コンクリート構造物用耐久性改善材料および補修材料として、ポリマーセメントモルタル、コンクリートおよびペーストが広く利用されている。これらの用途に関する詳細な解説は次回の講座を参照されたい。

3・2 水中不分離性コンクリート

最近、ニューフロンティアの一つである海洋開発に関連して、水中不分離性コンクリート (antiwashout underwater concrete) の利用が盛んになってきた。水中不分離性コンクリートとは、土木学会の定義によれば、「水中不分離性混和剤 (antiwashout admixture) を混和することにより、材料分離抵抗性

図5 鉄筋コンクリート構造物用ポリマーセメントコンクリート、モルタルおよびペーストの用途

を高めたコンクリート」をいう。水中不分離性混和剤は、メチルセルロース、ヒドロキシエチルセルロースなどのセルロース系ポリマーとポリアクリルアミドを主成分とするポリアクリルアミド系ポリマーに二大別される。したがって、水中不分離コンクリートも一種のポリマーセメントコンクリートと呼ぶことができ、一般に、そのポリマーセメント比は0.2～2.0%の範囲である。水中不分離性混和剤がコンクリートに水中不分離性を与える機構は図6に示す通りである。すなわち、水溶性ポリマーが練り混ぜ水の一部と水素結合によって結合し、練り混ぜ水中に分子状態で分散するので、その他の水は分子分散した水溶性ポリマーの網目の中に閉じ込められる結果となり、水の粘度が高くなる。この高粘度の水にセメントと骨材の粒子が取り囲まれた状態となるので、コンクリートに水中不分離性が付与される。水中不分離性コンクリートの代表的な性質を水中不分離性混和剤の種類別に表Ⅱに示す。²⁷⁾

3・3 水和型超伸長性(超たわみ性)防水材料

水和型超伸長性(または超たわみ性)防水材料は、水性ポリマーディスパーションと水硬性セメントを含む粉体とを練り混ぜて、ポリマーセメント比50%以上、場合によっては100%以上で作られるポリマーセメントモルタルであり、水和して硬化後は超伸長性または超たわみ性を発現する。^{29)～32)} それゆえ、ポリマーセメントモルタルというよりはむしろ、エマルションやペイントに近い材料である。一般に、水性ポリマーディ

スパーションにはSBRラテックス、PAE、EVA、スチレンアクリル酸エステル共重合体(SAE)、エポキシ、アスファルト、高吸水性ポリマーなどのエマルション、粉末成分には各種ポルトランドセメント、アルミナセメント、ケイ砂、ガラス繊維などが用いられ、既調合製品として市販されることが多い。水和型超伸長性防水材料は塗膜防水材料(水和型または水和凝固型塗膜防水材料とも呼ぶ)、補修材、耐久性改善用保護材などとして広く使用される。この中でも、我が国では塗膜防水材料としての普及が著しく、既調合製品として年間7000t以上の需要がある。水和型超伸長性防水材料の性能上の特長は次の通りである。

- (1) 溶剤を含まないので安全に、また容易に施工できる。
- (2) 下地の乾湿を問わず施工でき、接着性が優れる。
- (3) 超伸長性また超たわみ性を有し、下地のひび割れに対する追従性が良好である。
- (4) 防水性、遮塩性および中性化に関する抵抗性が優れる。

この種の材料に関する最近の興味ある研究として、アスファルト乳剤に対して、高吸水性ポリマーエマルション3～10wt%とセメント20～40wt%を練り混ぜて作る水中硬化性の超たわみ性防水材料がある。^{30),31)} これはトンネル、ダム、地下構造物などの防水性裏込め材、防水材などへの利用が期待されている。

3・4 超速硬性ポリマーセメントコンクリート

超速硬性ポリマーセメントコンクリートは、ここ数年間で新しく開発されたもので、セメントとも反応して、常温で急速に重合するモノマー(単量体)を用いる方式と、超速硬性を持つセメントを利用する方式の二つがある。前者では、普通ポルトランドセメントとアクリル酸マグネシウムのようなモノマーを用い、硬化時間を1秒以内に制御し、主として吹付けコンクリート工法によって施工される。³³⁾ 後者では、普通ポルトランドセメントの代りに超速硬セメントを、SBRラテックスのようなポリマーディスパーションと共に用

図6 水溶性ポリマーによる水中不分離性付与機構

表Ⅱ 水中分離性コンクリートの性質

水中不分離性混和剤の種類			メチルセルローズ系 (MC)	ヒドロキシエチルセルローズ (HEC)	アクリルアミド系
スランブフロー (cm)	気中	練上げ直後	48.5	51.0	50.5
		30 分 後	48.0	52.0	47.5
	水中	練上げ直後	47.5	52.0	46.5
空 気 量 (%)			3.0	2.6	2.1
凝結時間 (h:min)		始発	13:20	16:40	12:46
		終結	15:58	19:58	15:09
水 中 分 離 度	pH		10.9	11.0	11.7
	懸濁物質質量 (mg/l)		22	31	211
圧縮強度 (kgf/cm ²)	材令 7 日	水中供試体	227	219	211
		気中供試体	249	252	250
		基準供試体	254	252	268
	材令 28 日	水中供試体	336	322	298
		気中供試体	368	361	374
		基準供試体	372	360	384
圧 縮 強 度 比	材令 7 日	水中/気中	0.91	0.87	0.85
		水中/基準	0.90	0.87	0.79
	材令 28 日	水中/気中	0.91	0.89	0.80
		水中/基準	0.91	0.90	0.78

い、現場でよく練り混ぜて、道路の補修やオーバーレイなどの緊急工事によく利用される。図7に超速硬性ポリマーセメントコンクリートの曲げおよび引張強度を示す。

3・5 人工木材

我が国において、新しい人工木材の製造法として注目されているものに、ケイ酸カルシウム-SBR ラテックス-ガラス繊維系複合体とポルトランドセメント-フライアッシュ-SBR ラテックス-炭素繊維系複合体がある。既に市販されている前者の物理的性質を天然木材と比較して表Ⅲに示す。

3・6 プキャスト製品への高吸水性ポリマーの利用

最近、新しいアイデアとして注目されているものに、ポリアクリル酸塩のような高吸水性ポリマーのプレキャスト製品への利用がある。これは、セメントの

水和に必要な水をあらかじめ吸水させた高吸水性ポリマーをセメントと細骨材の混合物に加えて、粉体混合に近い状態でよく練り混ぜたのち、押出成形法、圧縮成形法などを適用して成形し、各種のプレキャスト製品を製造するものである。

3・7 新しいポリマー系化学混和剤の開発の可能性

ごく最近の新しい傾向として、SBR ラテックスなどの水性ポリマーディスパーションを、5%程度の低ポリマーセメント比で、高性能減水剤（流動化剤）、耐久性改善用化学混和剤、たとえばアルキルアルコキシシラン、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、アミノアルコール誘導体などと併用して、セメントコンクリートの高性能化を図る試みが進展しつつある^{38)~40)}。このような試みが成就すると、セメントコンクリートのための新しいポリマー系化学混和剤が開発されるものと考

えられる。同様に、アルカリ骨材反応を水性ポリマー

図7 超速硬性セメントを用いた SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの曲げおよび引張強度とポリマーセメント比の関係

表Ⅲ 人工木材と他の材料との物理的性質の比較

	材料の種類	比重	曲げ強度 (kgf/cm ²)	弾 性 率 (kgf/cm ²)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	寸法変化 (%)
無機材料	人 工 木 材	0.50	102	26×10^3	105	0.04
	ALC	0.52	16	21×10^3	60	—
	GRC	0.65	35	14×10^3	33	—
木 材	ベ イ ッ ガ	0.47	710	105×10^3	437	0.15
	ベ イ ス ギ	0.37	541	79×10^3	353	0.15
	レッドラワン	0.54	818	116×10^3	418	0.23

ディスプレイの混和によって防止しようとする試みもある⁴¹⁾。

4 規格、規準、仕様書および指針の動向

我が国では、ポリマーセメントモルタル、コンクリートおよびペーストの普及が進むにつれて、1974年から規格化が行われ、ポリマー混和剤自体とそれを用いた仕上塗材などの製品の品質およびポリマーセメン

トモルタルの試験方法について、表Ⅳに示すような10件のJIS（日本工業規格）が制定されている。また、日本コンクリート工学協会からは、表Ⅴに示すようなポリマーセメントモルタルの試験方法に関する17件の規準（案）が発表されている^{42)~44)}。その他、日本建築学会、土木学会などおよび外国で制定されている

表Ⅳ ポリマーセメントモルタル関係 JIS

JIS A 1171	試験室におけるポリマーセメントモルタルの作り方
JIS A 1172	ポリマーセメントモルタルの強さ試験方法
JIS A 1173	ポリマーセメントモルタルのスランプ試験方法
JIS A 1174	まだ固まらないポリマーセメントモルタルの単位容積質量試験方法および空気量の質量による試験方法（質量方法）
JIS A 6203	セメント混和用ポリマーディスプレイ
JIS A 6909	薄付け仕上塗材
JIS A 6910	複層仕上塗材
JIS A 6915	厚付け仕上塗材
JIS A 6916	セメント系下地調整塗材
JIS A 6917	軽量骨材仕上塗材

表Ⅴ ポリマーセメントモルタルの試験方法に関する日本コンクリート工学協会の規準（案）

規準 No.	試験方法規準（案）の名称
(1)	ポリマーセメントモルタルの硬化性試験方法
(2)	ポリマーセメントモルタルの引張強さ試験方法
(3)	ポリマーセメントモルタルのせん断強さ試験方法
(4)	ポリマーセメントモルタルの曲げ強さおよびタフネス試験方法
(5)	ポリマーセメントモルタルの接着強さ試験方法
(6)	ポリマーセメントモルタルの温冷繰返しによる接着耐久性試験方法
(7)	ポリマーセメントモルタルの衝撃試験方法
(8)	ポリマーセメントモルタルの摩耗試験方法
(9)	ポリマーセメントモルタルの凍結融解試験方法
(10)	ポリマーセメントモルタルの難燃性試験方法
(11)	ポリマーセメントモルタルの促進中性化試験方法
(12)	ポリマーセメントモルタルの塩化物イオン浸透深さ試験方法
(13)	ポリマーセメントモルタルの圧縮強さおよび静弾性係数試験方法
(14)	ポリマーセメントモルタルの熱膨張係数試験方法
(15)	ポリマーセメントモルタルの鉄筋に対する付着強さ試験方法
(16)	ポリマーセメントモルタルの耐薬品性試験方法
(17)	ポリマーセメントモルタルの防せい性試験方法

表Ⅵ わが国のポリマーセメントコンクリートおよびモルタル関係指針および仕様書

制定機関	名 称
日本建築学会	ポリマーコンクリート施工指針（案）（1987）
	JASS 8（防水工事）（1986） モルタル防水工事施工指針（案）
	JASS 15（左官工事）（1989）
	2節 材料一般
	5節 コンクリート下地セメントモルタル塗り
	6節 コンクリート下地セメントモルタル薄塗り
	7節 ラス下地セメントモルタル塗り
	8節 人造石塗りおよびテラゾ現場塗り
	13節 色モルタル仕上塗り
	14節 かき落し粗面仕上げ
	15節 セメントスタッコ塗り
	16節 ローラー模様仕上塗り
	18節 軽量骨材仕上塗り
	20節 骨材あらわし仕上げ
	21節 床塗り
	JASS 18（塗装工事）（1989）
	4節 セメント系素地およびせっこう系素地面塗装
	JASS 23（吹付け工事）（1989）
	2節 材料一般
	3節 下 地
	5節 薄付け仕上塗材仕上げ
	6節 複層仕上塗材仕上げ
	7節 防水形複層仕上塗材（防水形複層塗材）仕上げ
	8節 厚付け仕上塗材仕上げ
	9節 軽量骨材塗材仕上げ
沿岸開発技術 研究センター 漁港漁村建設 技術研究所	水中不分離性コンクリート・マニュアル（1990）
土 木 学 会	水中不分離性コンクリート設計施工指針（案）（1991）

表Ⅶ 外国のポリマーセメントコンクリートおよびモルタル関係指針

制 定 機 関	名 称
RILEM Technical Committee 52-RAC Resin Adhesion to Concrete（国際機関）	Recommended Tests to Measure the Adhesion Properties between Resin Based Materials and Concrete（1986）
ACI Committee 548（アメリカ）	Guide for the Use of Polymers in Concrete（1986）
The Federal Minister for Transport, The Federal Länder Technical Committee, Bridge and Structural Engineering（ド イツ）	ZTV-SIB 90 Supplementary Technical Regulations and Guidelines for the Protection and Maintenance of Concrete Components（1990） TP BE-PCC Technical Test Regulations for Concrete Replacement Systems Using Cement Mortar/Concrete with Plastics Additive（PCC）（1990） TL BE-PCC Technical Delivery Conditions for Concrete Replacement Systems Using Cement Mortar/Concrete with Plastics Additive（PCC）（1990）

仕様書と指針で、ポリマーセメントコンクリート、モルタルおよびペーストに関係するもののリストを表Ⅵと表Ⅶに示す。

5 お わ り に

本稿では、できるだけ最近の文献を調べて、ポリマーセメントコンクリートおよびモルタルの新しい発展の動向を探ることに努めた。その結果から見ると、ポリマーセメントコンクリートおよびモルタルは、多くの場合、その製造技術がセメントコンクリートおよびモルタルのその発展過程としてとらえられることと、性能とコストのバランスも良いものが多いので、今後の発展が大いに期待される建設材料といえよう。

参 考 文 献

- 1) 大濱嘉彦, コンクリート工学, **28**, 4, 5 (1990).
- 2) ACI Committee 548, Journal of the American Concrete Institute, **83**, 814 (1986).
- 3) D. W. Fowler, "Polymers in Concrete, Proceedings of the Sixth Inter. Congress on Polymers in Concrete", p. 13 (1990) Inter. Academic Publishers, Beijing
- 4) 大濱嘉彦, 能登谷恭一, 森脇貴志, "セメント技術年報, **39**, 400 (1985).
- 5) 田澤栄一, 笠井哲郎, 大津一郎, 森田 浩, セメント・コンクリート論文集, **44**, 228 (1990).
- 6) 成岡 優, 菊池雅史, 田中秀男, 森田 浩, 伊藤篤司, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), A 材料施工防火海洋情報システム技術, **5** (1990).
- 7) 大濱嘉彦, 出村克宜, 三宅雅之, 小林利充, 日本建築学会東北支部研究報告集, **54**, 241 (1991).
- 8) Y. Ohama and K. Shiroshida, "Polymer Concrete -Uses, Mat., and Properties", p. 313 (1985) American Concrete Inst., Detroit
- 9) 大濱嘉彦, 遠藤利二, 未発表
- 10) J. D. Birchall, A. J. Howard and K. Kendall, Nature, **289**, 388 (1981).
- 11) Y. Ohama, M. Endo, Y. Sato and H. Onishi, "Proceedings of the 29th Japan Congress on Mat. Res.", p. 137 (1986) The Society of Mat. Sci., Japan, Kyoto
- 12) N. M. Alford, G. W. Groves and D. D. Double, Cement and Concrete Res., **12**, 349 (1982).
- 13) 小谷田秀雄, 後藤誠史, 木村脩七, セメント技術年報, **39**, 396 (1985).
- 14) C. S. Poon and G. W. Groves, Journal of Mat. Sci., **22**, 2148 (1987).
- 15) P. P. Russell, J. Shunkwiler, M. Berg and J. F. Young, "Ceramic Transactions Volume 16", p. 501 (1991) The American Ceramic Society, Westerville, Ohio
- 16) G. V. Chandrashekhara and M. W. Shafer, Journal of Mat. Sci., **24**, 3353 (1989).
- 17) J. F. Young, "Mat. Res. Society Symposium Proceedings Volume 179 Specialty Cements with Advanced Properties", p. 101 (1991) Mat. Res. Society, Pittsburgh
- 18) M. R. Silsbee, D. M. Roy and M. Perez-Pena, "Ceramic Transactions Volume 16", p. 395 (1991) The American Ceramic Society, Westerville, Ohio
- 19) Y. Ohama, S. Kan and T. Sugahara, "Proceedings of the 25th Japan Congress on Mat. Res.", p. 239 (1982) The Society of Mat. Sci., Japan, Kyoto
- 20) J. M. West, A. J. Majumdar and R. C. de Vekey, Composites, **17**, 1, 56 (1986).
- 21) 大濱嘉彦, 宮良政克, セメント技術年報, **37**, 436 (1983).
- 22) P. Soroushian, F. Aouadi and M. Nagi, ACI Mat. Journal, **88**, 11 (1991).
- 23) J. Bijen, Cement & Concrete Composites, **12**, 98 (1990).
- 24) Y. Ohama, K. Demura and Y. Satoh, "Proceedings of the 31st Japan Congress on Mat. Res.", p. 81 (1988) The Society of Mat. Sci., Japan, Kyoto
- 25) A. Bentur, Advances in Cement Res., **1**, 147 (1988).
- 26) A. Shirai and Y. Ohama, "Proceedings of the 33rd Japan Congress Mat. Res.", p. 43 (1990) The Society of Mat. Sci., Japan, Kyoto
- 27) 土木学会コンクリート委員会, "水中不分離性コンクリート設計施工指針 (案)", p. 92 (1991) 土木学会
- 28) 土木学会コンクリート委員会, "水中不分離性コンクリート設計施工指針 (案)", p. 78 (1991) 土木学会
- 29) 大濱嘉彦, 出村克宜, 永尾弘孝, コンクリート工学年次論文報告集, **9**, 1, 259 (1987).
- 30) 渡辺直敬, 細谷好夫, 工業材料, **39**, 10, 61 (1991).
- 31) A. Moriyoshi, I. Fukai and M. Takeuchi, Nature, **344**, 230 (1990).
- 32) Anon, 防水ジャーナル, **21**, 10, 43 (1990).
- 33) T. Amano, Y. Ohama, T. Takemoto and Y. Takeuchi, "Proceedings of the 1st Japan Inter. SAMPE Symposium and Exhibition, New Mat. and Processes for the Future", p. 1564 (1989) Society for the Advancement of Mat. and Process Eng., Tokyo
- 34) K. Sekino, A. Oshio and T. Kawano, "Proceedings of the MRS Inter. Meeting on Advanced Mat., Volume 13, Advanced Cements and Chemically Bonded Ceramics", p. 105 (1989) Mat. Res. Society, Pittsburgh
- 35) 渡辺孝司, 堤 康一, 山口 勝, 寺村敏史, 竹内秀史, 槻山興一, セメント・コンクリート, No. 469, 37 (1986).
- 36) Y. Ohama, K. Demura and Y. Sato, "Proceedings of the Inter. Symposium on Fiber Reinforced Concrete Volume 1", p. 3, 23 (1987) Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi
- 37) 竹内 光, 岡本 直, 出村克宜, 大濱嘉彦, コンクリート工学年次論文報告集, **13**, 1, 73 (1991).
- 38) J. J. Beaudoin and V. S. Ramachandran, "Proceedings of the Third Inter. Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, SP-119", p. 221 (1989) American Concrete Inst., Detroit
- 39) Y. Ohama, K. Demura, Y. Satoh, K. Tachibana and Y. Miyazaki, "Proceedings of the Third Inter. Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, SP-119", p. 321 (1989) American Concrete Inst., Detroit
- 40) Y. Ohama, K. Demura, Y. Satoh, K. Tachibana and T. Endoh, "Proceedings of the Inter. Symposium on Admixtures for Concrete, Improvement of Properties", p. 317 (1990) Chapman and Hall, London
- 41) Y. Ohama, K. Demura and M. Kakegawa, "Proceedings of the 8th Inter. Conference on Alkali-Aggregate Reaction", p. 253 (1989) 8th ICAAR Local Organizing Committee, The Society of Mat. Sci., Japan, Kyoto
- 42) 複合材料研究委員会, コンクリート工学, **25**, 6, 5 (1987).
- 43) 複合材料研究委員会, コンクリート工学, **25**, 8, 4 (1987).
- 44) 防食研究委員会, コンクリート工学, **27**, 6, 13 (1989).