

## 論文 膜養生剤を用いた水平打継ぎ面処理方法に関する実験的検討

前中 敏伸<sup>\*1</sup>・門中 章二<sup>\*2</sup>・森田 浩<sup>\*3</sup>・伊藤 篤司<sup>\*4</sup>

**要旨：**膜養生剤等として用いられている水系のアクリル樹脂エマルジョンの特性（①エマルジョン粒子表面にカルボキシル基を持つ、②エマルジョン粒子のサイズが極めて小さい；100nm以下）に着目し、打継ぎ面処理剤としての適用性を検討した。今回は、若材齢コンクリートに新コンクリートを打ち継ぐ場合を対象に実験的検討を行った。打継ぎ性の評価は散布量、散布方法、打継ぎ間隔、打継ぎ面処理方法をパラメータとした曲げ試験および中性化促進試験を行い、一般的に用いられているグリーンカット工法（レイタンス処理工法）とを比較したところ、同等以上の品質を得ることが確認できた。

**キーワード：**水平打継ぎ、打継ぎ面処理剤、エマルジョン、カルボキシル基、曲げ強度、中性化深さ

### 1. はじめに

若材齢コンクリートに新コンクリートを打継ぐ（例えばスリップフォーム工法等）場合、一般に打継ぎ面の処理方法はグリーンカットによるレイタンス処理や樹脂エマルジョンを散布してレイタンス層を固定化する方法等<sup>1)</sup>がある。しかし、レイタンス処理は作業条件により困難な場合が生ずることが少なくない。さらに、レイタンス処理時に発生するスラッジ水は環境面において無視することが出来ない。

一方、樹脂エマルジョン散布工法は施工方法・散布量を間違えなければ安定した打継ぎ面処理が可能で、特にスリップフォーム工法では、コンクリート打設中のトラブルにより打継ぎ目が生じた場合（コールドジョイント）にも対応することができる。また、処理による副産物を伴わないことから、使用する樹脂エマルジョンの環境安全性が確認されれば、環境負荷が極めて小さい工法となる。

本報告では、用いる打継ぎ面処理剤を水系のアクリル樹脂エマルジョンに限定し、付着性能

と樹脂エマルジョンの特性および付着性能と散布仕様との関係について検討を行った。

### 2. 膜養生剤の特性

#### 2.1 使用する膜養生剤

使用する膜養生剤は付着機構<sup>2)</sup>がある程度解明されている超微粒子アクリル樹脂エマルジョンを用いた。本膜養生剤の知見は、既に下地吸水調整剤、コンクリート膜養生剤等に活用されている。今回はこれらの用途に加え、コンクリート打継ぎ面処理剤としての性能を確認する。

#### 2.2 付着機構と膜養生剤の特長

樹脂エマルジョン等を用いて付着層を形成する場合、次の3つの要因が付着性能に大きな影響を与える。

- ①先打ちコンクリート層とポリマーコンクリート層の結合力（アンカー効果）
- ②レイタンス成分の固定化（樹脂改質効果）
- ③後打ちコンクリートとポリマーコンクリート層の結合力（キレート効果）

上記①～③の機構を図-1に模式的に示す。

\*1 (株) 竹中工務店LNG本部 工修 (正会員)

\*2 (株) 竹中土木 技術本部 技術部 課長

\*3 ライオン (株) 研究開発本部化学製品研究所主任研究員 工修

\*4 ライオン (株) 研究開発本部化学製品研究所副主任研究員 工修

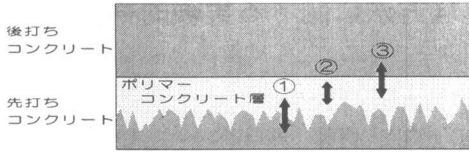


図-1. 付着層の概念図

### ①ポリマーコンクリート層のアンカー効果

ポリマーコンクリート層のアンカー効果はコンクリート打設直後に散布する膜養生剤の浸透深さによって決まる性能である。散布方法、ブリージング量及び散布する樹脂エマルジョンの化学的安定性などに依存するものと考えられる。

今回用いた膜養生剤は高電解質濃度、高pHの条件下でも化学的に安定であり、さらにその粒子径が100nm以下と極めて小さいことから、まだ固まらないコンクリート中へ深く浸透することが期待できるものである。

### ②打継ぎ界面の樹脂改質

打継ぎ界面の樹脂改質は図-2に示すように、浸透した樹脂エマルジョンが乾燥歴を受け、ポリマー粒子どうしの融着現象を経て進む。この改質層の形成は、付着阻害因子であるレイタンスなどを包括・固定化しながら進むため、打継ぎ性能が向上するものと考えられる。

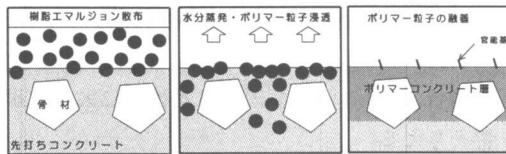


図-2 樹脂改質過程

一般的に硬いポリマー粒子（高Tg；ガラス転移温度が高い）を用いた方が機械的に強いポリマーコンクリート層を形成することができる。しかし、ポリマー粒子が硬すぎると融着過程の進行に支障をきたし、ポリマーコンクリート層は脆弱となる。今回用いた膜養生剤のガラス転移温度は、想定できる現場環境下に於いて確実に樹脂改質効果が得られる設定（Tg=-10℃）のものとした。

### ③ポリマーコンクリート層のキレート効果

ポリマーコンクリート層と後打ちコンクリートとの結合力は、接触面に生ずる親和性のみ依存するものと考えられる。この親和性はポリマーコンクリート層表面の化学的性質により決定される。図-2に示すように、ポリマーコンクリート層表面の特性はポリマー粒子表面の官能基の性質を反映することが分かる。

図-3にはセメント粒子との親和性を得ることができるカルボキシル基を官能基として持つ樹脂エマルジョンについて、建築仕上げ学会規格 M-101「セメントモルタル塗り用吸水調整材の品質基準」に準じて行った付着試験結果を示す。但し、塗り付けモルタルの調合はC/S=1/1, W/C=34%とした。

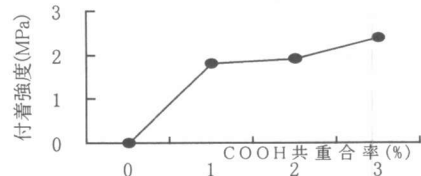


図-3 カルボキシル基と付着性能の関係

結果からも明らかなように、カルボキシル基(-COOH)の量が増えるのに伴い、付着性能が向上している。同様な効果がリン酸エステル基(-OPO(OH)<sub>2</sub>)を用いた場合<sup>3)</sup>にも得られていることから、両官能基に共通の特性であるキレート効果が付着性能向上に寄与していると考えられる。キレートとはセメント中のCa<sup>2+</sup>と官能基が図-4に示すような化学的結合をつくることであり、高い親和性の源となっている。本検討では粒子表面にはカルボキシル基を持つ樹脂エマルジョンを選定した。

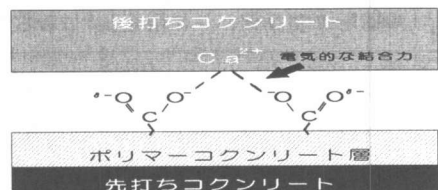


図-4. キレート効果概念図

### 3. 実験概要

既存の膜養生剤を打継ぎ面処理剤として用いるため、**図-5**に示すフローに従って適用性の検討を行った。

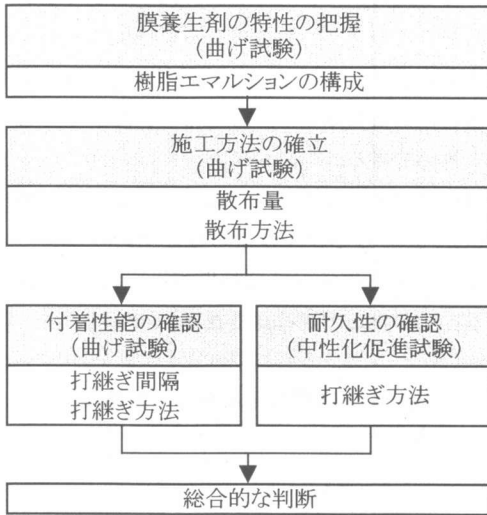


図-5 検討フロー

#### 3.1 使用材料

##### 3.1.1 コンクリート

曲げ試験・中性化促進試験に用いた配合は全て同一のものとし、**表-1**に配合表、**表-2**に骨材試験結果を示す。尚、圧縮強度（材齢 28 日、20℃室内養生）の平均値は 32.3MPa、ブリージング率は平均 4.4%であった。

表-1 コンクリート配合表

単量(kg/m <sup>3</sup> )					
普通セメント	水	細骨材	粗骨材	AE減水剤	AE剤
320	174	793	999	C×0.7%	C×1.5%
W/C (%)	s/a (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)		
54.3	45	16±1.0	4.0±1.5		

表-2 骨材試験結果

区分	種類	最大寸法 (mm)	絶対比重	吸水率 (%)	実積率 (%)
粗骨材	碎石	20	2.67	0.55	56.00
細骨材	砂	5	2.58	2.00	67.10

##### 3.1.2 膜養生剤

実験に用いた膜養生剤は水系のアクリル樹脂エマルジョンとし、性質を**表-3**に示す

表-3 膜養生剤の性質

平均粒径 (nm)	比重 (20℃)	pH (20℃)	粘度 (20℃, cP)	全固形分 (%)	ガラス転移温度 (℃)
82.00	1.04	7.20	20.00	40.10	-10.00

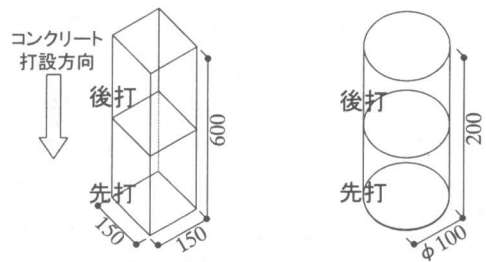
#### 3.2 曲げ試験

曲げ試験の試験体寸法を**図-6 (a)**に示す。試験体は 15cm×15cm×60cm の型枠に先打ち部として深さ 30cm まで打設し、打継ぎ面処理を施した後、先打ち部分と同配合のコンクリートを後打ち部として打設した。打設後は室内養生（気温 20℃）を行い、JIS A 1106 に準じて 3 等分点載荷を行った。試験体数は打継ぎ面処理方法、打継ぎ間隔をパラメータにして全 84 体について実験を行った。

また、曲げ試験を終えた供試体についてその破壊位置を目視にて判定し、全打継ぎ面のうち界面にて破壊した割合（以後、界面破壊の割合）を求めた。

#### 3.3 中性化促進試験

中性化促進試験の寸法を**図-6 (b)**に示す。試験体はφ10cm×20cm のシリンダーとし、深さ 10cm まで先打ち部として打設し、打継ぎ面処理を施した後、先打ち部と同配合のコンクリートを後打ち部として打設した。打設後は 1 週間室内養生（気温 20℃）を行った後、室温 20℃、湿度 60%、炭酸ガス濃度 5% の中性化促進養生を 28 日間行った。促進養生完了後、試験体を打継ぎ面にて割裂し、フェノールフタレイン法で中性化深さを観察した。試験体数は打継ぎ面処理方法をパラメータにして全 12 体とした。



(a) 曲げ試験体 (b) 中性化試験

図-6 試験体

#### 4. 曲げ試験結果および考察

##### 4.1 樹脂エマルジョンの構成の検討

本膜養生剤を打継ぎ面処理剤に用いた場合、その曲げ強度は ①散布時の樹脂エマルジョンの含浸量に起因するアンカー効果、②ポリマーコンクリート層の改質効果、③コンクリート中の  $Ca^{2+}$  とのキレート効果による化学的結合効果、に依存する。これらの効果を確認するため、樹脂エマルジョンの構成をパラメータとした実験を行った。実験は表-4のような樹脂エマルジョンの構成をパラメータとし、曲げ強度について検討を行った。尚、用いた樹脂エマルジョンはブチルアクリレートおよびメチルメタクリレートから成る純アクリルとし、ガラス転移温度およびポリマー粒子表面の官能基の有無を表-4に示す水準で変更する以外は、合成方法および合成時に用いる乳化剤種・量、添加剤、粒子径、固形分濃度、pH、粘度、比重については全て同一とした。また、カルボキシル基としてはメタクリリックアシッド、リン酸エステル基としては(2-ヒドロキシエチル)メタクリレートアシッドホスフェートをそれぞれ用いた。

打継ぎ間隔は24時間とし、後打ち後4週間目に曲げ試験を実施した。膜養生剤の散布方法は、先打ちコンクリート打設完了後、1.5時間程度<sup>4)</sup>の経過を待ち、スポンジにてブリージング水を除去した後に表-4の樹脂エマルジョンを200g/m<sup>2</sup>打継ぎ面に散布した。図-7に実験結果を示す。実験結果は曲げ強度比で示し、樹脂エマルジョンA(膜養生剤)の曲げ強度の平均値2.33MPaで基準化した。

樹脂エマルジョンAと樹脂エマルジョンBを比較すると、同じキレート機能を持つ官能基であっても曲げ強度に差が見られた。これは樹脂エマルジョンの化学的安定性の差によるものであると考えられる。樹脂エマルジョンBはセメント水の様な高濃度電解質溶液中ではポリマー粒子が不安定となるため、粒子どうしが凝集し、巨大粒子となる性質(耐塩性不良)を持っている。そのため、コンクリートへの浸透が抑

制されるため、十分なアンカー効果が得られなかったものと考えられる。

樹脂エマルジョンAと樹脂エマルジョンCの比較から、ガラス転移温度を高くする(樹脂が堅くなる)と曲げ強度は著しく低下することが明らかとなった。これはガラス転移温度の上昇とともにポリマー粒子の融着が不良となるため、打継ぎ面の改質効果が十分に得られなかったものと推測できる。

樹脂エマルジョンAと樹脂エマルジョンDの比較から、カルボキシル基の存在によりキレート効果による化学的結合効果が得られ、曲げ強度が向上したことが確認できる。

表-4 樹脂エマルジョンの構成

樹脂エマルジョン		A	B	C	D
試験体数		6	3	3	3
構成	カルボキシル基	○	—	○	—
	リン酸エステル基	—	○	—	—
	ガラス転移温度(°C)	-10	-10	20	-10
耐塩性(化学的安定性)		○	△	○	○
付着機構	アンカー効果	○	△	○	○
	樹脂改質効果	○	○	△	○
	キレート効果	○	○	○	×

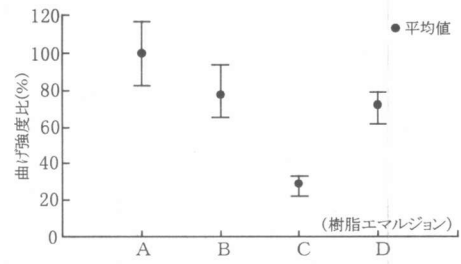


図-7 曲げ強度比の比較

##### 4.2 膜養生剤の散布量の検討

膜養生剤の散布量を決定するために表-5に示す膜養生剤の散布量と打継ぎ面処理方法をパラメータとした実験を行った。打継ぎ間隔は24時間とし、後打ち後2週間目に曲げ試験を実施した。膜養生剤の散布方法は、先打ちコンクリートのブリージング水を除去した直後に所定量の膜養生剤を散布した。図-8に実験結果、図-9に破壊形式を示す。実験結果は一体打ちの曲げ強度の平均値(3.19MPa)で基準化した。

表-5 実験パラメータ

打継ぎ面処理方法	試験体数	備考
一体打ち	6	先打ち時に一体打設
グリーンカット	6	後打ち前レイタス層を除去
膜養生剤	100g/m <sup>2</sup>	先打ち直後に100g/m <sup>2</sup> 散布
	200g/m <sup>2</sup>	先打ち直後に200g/m <sup>2</sup> 散布
	300g/m <sup>2</sup>	先打ち直後に300g/m <sup>2</sup> 散布
無処理	3	打継ぎ面処理を行わない

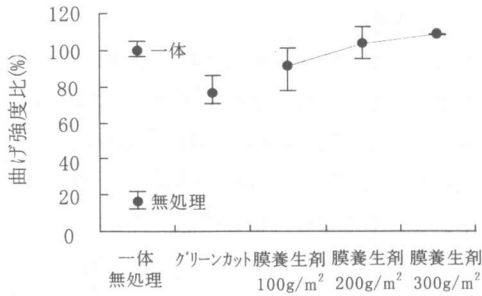


図-8 曲げ強度比の比較

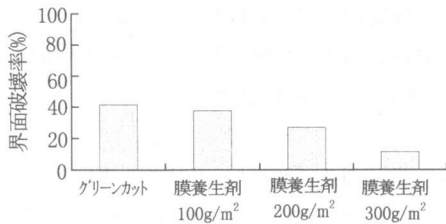


図-9 界面破壊の割合

図-8より、膜養生剤を打継ぎ面処理に用いる場合、グリーンカットの曲げ強度と破壊性状を目標にすると、散布量が200g/m<sup>2</sup>以上になると曲げ強度の増加傾向が緩やかになり、打継ぎ界面での破壊割合が小さくなっていることから、散布量は200g/m<sup>2</sup>以上とすることが望ましいと思われる。

#### 4.3 膜養生剤の散布方法の検討

膜養生剤の散布方法を決定するために表-6に示すパラメータとした実験を行った。打継ぎ間隔は24時間とし、後打ち後2週間目に曲げ試験を実施した。図-10に実験結果、図-11に破壊形式を示す。実験結果は一体打ちの曲げ強度の平均値(3.23MPa)で基準化した。膜養生剤を後打ち直前に散布した場合、曲げ強度が低下している。破壊形式も界面の破壊形式になる傾向がある。

表-6 実験パラメータ

打継ぎ面処理方法	試験体数	備考
一体打ち	6	先打ち時に一体打設
グリーンカット	6	後打ち前レイタス層を除去
膜養生剤	100-0	先打ち直後に200g/m <sup>2</sup> 散布
	50-50	先打ち直後に100g/m <sup>2</sup> 散布 後打ち直前に100g/m <sup>2</sup> 散布
	0-100	後打ち直前に200g/m <sup>2</sup> 散布
無処理	3	打継ぎ面処理を行わない

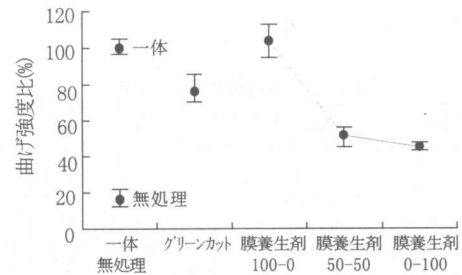


図-10 曲げ強度比の比較

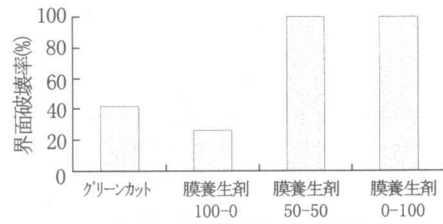


図-11 界面破壊の割合

これは打継ぎ面に散水した場合に曲げ強度が低下するという実験結果<sup>5)</sup>と類似し、後打ち直前に膜養生剤を散布すると、膜養生剤中のポリマーが完全に融着する以前の状態で打ち継がれる為、融着していない樹脂エマルションが付着を妨げているものと考えられる。従って、打継ぎ面の乾燥状態が曲げ強度に影響を与えたと考えられる。

#### 4.4 打継ぎ間隔の検討

打継ぎ面の曲げ強度と打継ぎ間隔との影響を検討する為、打継ぎ間隔を6, 15, 24時間とし、養生期間を後打ち後4週間として曲げ試験を実施した。実験パラメータを表-7、図-12に実験結果を打継ぎ面処理方法別に、一体打ちの曲げ強度で基準化した曲げ強度比で示す。

グリーンカットと膜養生剤散布方法を比較すると、打継ぎ間隔6時間以外のデータの傾向は

類似し、打継ぎ間隔が延びるに従って曲げ強度も大きくなる。グリーンカットの場合、打継ぎ間隔が長くなるとレイタンス処理がより完全なものになることを示しており、膜養生剤の場合は、打継ぎ間隔が長くなると膜養生剤のポリマーの乾燥状態がより進行するため、ポリマーコンクリート層の強度が増進し、曲げ強度が上昇するものと考えられる。

表-7 実験パラメータ

試験体数 打継ぎ面処理	打継ぎ間隔			備考
	6時間	15時間	24時間	
一体打ち	-	-	-	先打と後打の間隔
グリーンカット	3	3	3	後打前レイタンス層を除去
膜養生剤	200	3	3	先打直後に200g/m <sup>2</sup> 散布
	300	-	-	先打直後に300g/m <sup>2</sup> 散布
無処理	3	3	3	打継ぎ面処理を行わない

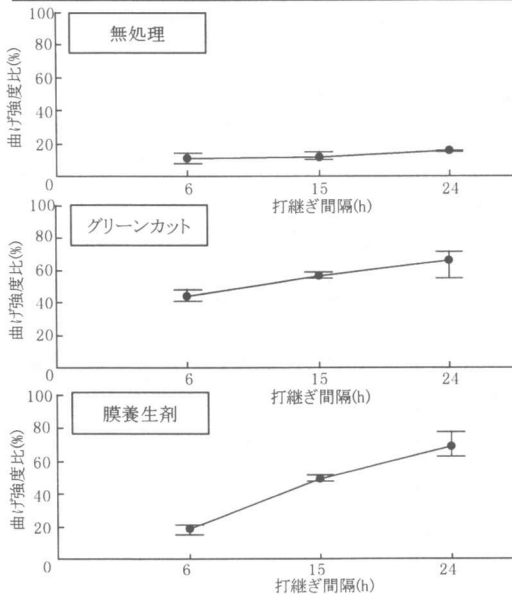


図-12 曲げ強度比比較

### 5. 中性化促進試験結果および考察

耐久性について中性化促進試験を用いて検討した。一体打ち(3体)・グリーンカット(3体)・膜養生剤を先打ち直後に200g/m<sup>2</sup>散布した場合(3体)・無処理(3体)の4水準について検討を行った。図-13に平均中性化深さを示す。グリーンカットが最も中性化深さが小さい。しかし、一体打ちおよび膜養生剤との差を考慮すると、測定誤差の範囲内であると判断できる。

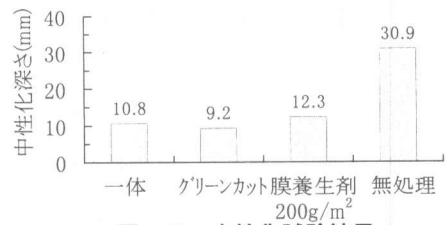


図-13 中性化試験結果

### 6. まとめ

若材令コンクリートの水平打継ぎ面の処理に、カルボキシル基を有し超微粒子タイプの膜養生剤を使用した結果、以下の結論が得られた。

- (1) 付着向上に寄与する特性を持たない樹脂エマルジョンは所望の打継ぎ性能が得られない。
- (2) 散布量は200g/m<sup>2</sup>以上必要で、散布方法は先打ちコンクリート打設後、ブリージング水を処理し、所定量の散布を行う。
- (3) 打継ぎ性能は樹脂エマルジョンの乾燥歴と関連があり、打継ぎ間隔が長い程、付着性能は改善された。
- (4) 打継部の曲げ強度は、グリーンカットを施した場合に比べ、同等以上の結果が得られた。
- (5) 耐久性の指標である中性化深さは、グリーンカットとほぼ同等の性能を有すると考えられる。

以上のように、若材令コンクリートの打継ぎ面処理に本膜養生剤は有効で、現行の施工方法と同等の性能が確認できた。

【参考文献】 1) 沢出稔：ポリマーエマルジョン散布打継工法を適用した若材令コンクリート打継目の接着強度，材料，第40巻，第456号，pp.8-14, 1991 2) 足立幸弘，伊藤篤司ほか：アクリル系ポリマーエマルジョンの接着性に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.923-926, 1997 3) 足立幸弘，伊藤篤司：超微粒子ポリマーエマルジョンの土木建築材料への応用，第50回コロイドおよび界面化学討論会講演要旨集，pp.158, 1997 4) 国分正胤：土木学会論文集23号，1960 5) 嵩英雄ほか：コンクリート打継部の付着性状に及ぼす打継ぎ部処理の影響に関する実験研究，コンクリート工学年次論文報告集，vol.19, No.1, pp.1453-1458, 1997