

# 論文 超微粒子タイプの樹脂エマルジョンを水平打継ぎ面処理に用いた検討

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>\*3</sup>

**要旨：**構造物の弱点となり易い水平打継ぎ面の処理は、現状の方法では、施工に伴う副産物の発生やヒューマンエラーが生じやすい等の欠点があり改善の必要がある。この問題が発生しない方法として樹脂エマルジョン散布工法がある。本研究では①樹脂の粒子径が微小で、②樹脂表面に官能基を持つ、打継ぎ面処理に適した樹脂エマルジョンを開発し、樹脂エマルジョン散布工法における打継ぎ面の付着機構を実験的に解明した。また、実験室および実施レベルにおいて、打継ぎ面の耐久性を間接的に評価できる曲げ試験と直接的に評価できる中性化促進試験を行い、十分な実用性があるとの結論を得た。

**キーワード：**打継ぎ面処理剤、樹脂エマルジョン、水平打継ぎ、耐久性、曲げ強度

## 1. はじめに

近年、コンクリート構造物の高耐久化が社会的に要求されているが、コンクリート打継ぎ面やコールドジョイントは構造物の弱点になりやすいことが指摘されている<sup>1) 2)</sup>。打継ぎ面の強度および耐久性を確保するために、一般に打継ぎ面の旧コンクリート側表面のレイタンスを含んだ脆弱層を除去する方法<sup>1)</sup>（以下、レイタンス処理工法）が行われている。しかし、施工条件や施工環境、施工者の技能等により打継ぎ面処理の品質は変動し、また、打継ぎ面処理により発生する副産物の処理が問題になる場合がある。

一方、レイタンスを固定化して処理に伴う副産物が発生しない工法として、打継ぎ面処理に樹脂エマルジョンを用いる工法<sup>3)</sup>（以下、樹脂エマルジョン散布工法）が提案および実施されている。

筆者らは打継ぎ面処理の品質の安定化をめざし、打継ぎ面処理用に超微粒子タイプの樹脂エマルジョンを開発した。打継ぎ面処理方法は、この超微粒子タイプの樹脂エマルジョンを打継

ぎ面に散布するだけで、コンクリートと鉄筋の付着を阻害することなく、所要の打継ぎ面品質が確保できる方法である<sup>4) 5)</sup>。

本研究は、樹脂エマルジョン散布工法における付着機構の解明を通して樹脂エマルジョンの役割を明確にし、実用的な工法として様々な角度から検証を加えることを目的としている。また、本研究における打継ぎ剤の役割は打継ぎ面の耐久性能の向上であり、付着性能は耐久性能を評価するための1つの指標として利用した。

## 2. 付着機構の解明

### 2.1 付着性能に影響を及ぼす因子

打継ぎ面処理に樹脂エマルジョンを散布した場合、打継ぎ面近傍の付着機構は図-1のように想定できる<sup>4)</sup>。

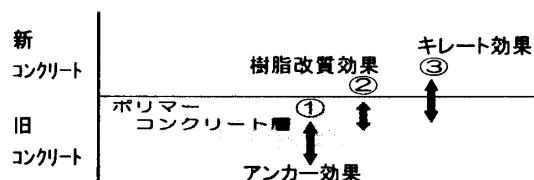


図-1 付着機構の概念図

\*1 (株) 竹中工務店 L N G 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 化学品研究所 主任研究員 工修

### 2. 1. 1 ポリマーコンクリートのアンカー効果

ポリマーコンクリートのアンカー効果は、樹脂エマルジョンの浸透深さで決まる性能で、散布方法、ブリーディング量及び樹脂エマルジョンの化学的安定性に依存する。今回用いた樹脂エマルジョンは高電解質濃度、高pH条件下でも化学的に安定で、さらに粒子径が100nm以下と極めて小さいので、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。

### 2. 1. 2 打継ぎ界面の樹脂改質

打継ぎ界面の樹脂改質状況を図-2に示す。樹脂による改質は、浸透した樹脂エマルジョンが乾燥層を受け、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ものと考えられる。

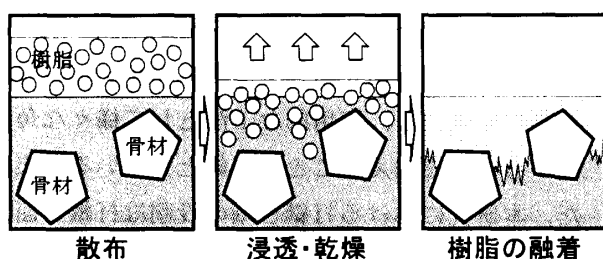


図-2 樹脂改質過程

### 2. 1. 3 ポリマーコンクリートのキレート効果

ポリマーコンクリートと新コンクリートとの結合力は、接触面に生ずる親和性に依存するため、樹脂エマルジョンの粒子表面に存在する官能基の性質を反映するものと考えられる。一般に、ポリマーコンクリート表面で新コンクリートのセメント粒子と親和性を得るためには、キレート効果を有する官能基を持つ樹脂エマルジョンが有用である。

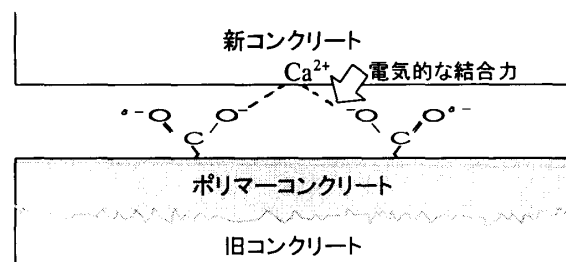


図-3 キレート効果概念図

キレート効果の概念図を図-3に示す。従来の打継ぎ面処理工法と比較すると、打継ぎ面には電気的な結合力（新コンクリート中のカルシウムイオン  $\text{Ca}^{2+}$  と官能基との結合）が付加された機構となる。

## 2. 2 付着機構の実験的検証

### 2. 2. 1 レイタンスを固定化する現象の検証

樹脂エマルジョンがレイタンスなどの付着阻害因子を固定化することを実験的に解明した。

実験は、レイタンスの主成分である  $\text{CaCO}_3$  と樹脂エマルジョンからなる皮膜を作成し、引張試験を行った。皮膜中の  $\text{CaCO}_3$  の量は  $0.1\text{cc}/\text{cm}^2$  のブリーディングが発生した場合を仮定した。また、樹脂エマルジョンは  $100\text{g}/\text{m}^2$  と  $300\text{g}/\text{m}^2$  散布した状態を仮定し、7日間自然乾燥させて皮膜を作成した。試験体は幅  $10\text{mm}$  × 厚さ約  $2\text{mm}$  × 長さ  $30\text{mm}$  とし、載荷速度を  $100\text{mm}/\text{min}$  とした実験を行った。結果を図-4に示す。

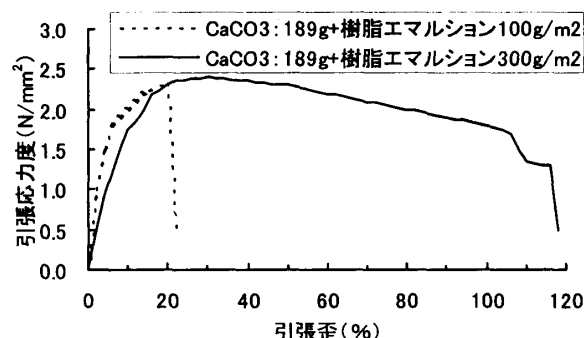


図-4 樹脂被膜の引張強度

$\text{CaCO}_3$  単体では引張強度を測定するための試料を得ることができず、レイタンス層は機械的強度を持たない。一方、樹脂エマルジョンを混合すると、図-4のように機械的強度が得られ、樹脂エマルジョンの散布量が多くなるに伴い、ねばりのある破壊性状となる傾向があった。

### 2. 2. 2 樹脂改質効果の実験的検証

樹脂エマルジョン散布後に旧コンクリートに含浸した樹脂は、互いに融着し合い打継ぎ面近傍のコンクリートの強度を改善する。一般的に硬い樹脂エマルジョン（高T<sub>g</sub>；ガラス転移温度が高い）を用いた方が機械的強度の高いポリ

マーコンクリートを形成することができるが、樹脂エマルジョンが融着過程の進行において支障をきたす程硬い場合には、ポリマーコンクリートは脆弱となり、付着性能に悪影響を及ぼすことが考えられる。そこで、 $T_g$  をパラメータとした実験を行った。

試験体は  $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 60\text{cm}$  で中央部分に打継ぎ面を有するものを作成した。試験は JIS A 1106 に基づく 3 等分点荷重試験により曲げ強度を評価した。打継ぎ面処理に用いた樹脂エマルジョンの散布量は  $300\text{g}/\text{m}^2$ 、打継ぎ時間間隔を 24 時間、新コンクリートの材齢 28 日に試験を実施した。試験結果は、打継ぎ面を有さない試験体の曲げ強度 ( $3.40\text{N}/\text{mm}^2$ ) で基準化した曲げ強度比で評価し、結果を図-5に示す。

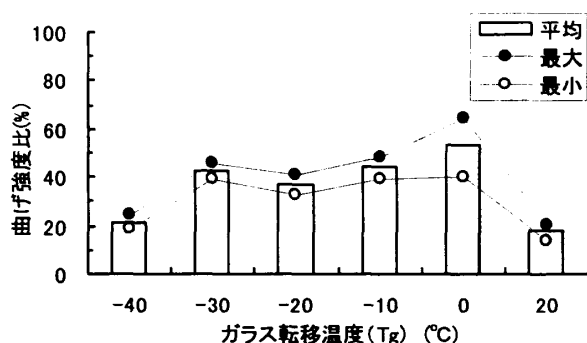


図-5 ガラス転移温度( $T_g$ )と曲げ強度比の関係

結果にバラツキがあるものの、 $T_g = -40^\circ\text{C} \sim T_g = 0^\circ\text{C}$  の範囲内では  $T_g$  が高くなる(硬くなる)につれ、曲げ強度比が大きくなる傾向がある。これは、樹脂改質効果により、打継ぎ面近傍に機械的強度に優れるポリマーコンクリートが形成されたものと考えられる。一方、融着過程の進行が室温程度では困難であると予想される  $T_g = 20^\circ\text{C}$  の樹脂エマルジョンは、著しく強度が低下する。このことから、打継ぎ面の樹脂改質効果は曲げ強度に与える影響が大きいことが示された。

### 2. 2. 3 キレート効果の実験的検証

キレート効果が曲げ強度に与える影響を検証する為、官能基の有無による比較実験を行った。官能基としてカルボキシル基 ( $-\text{COOH}$ ) とリ

ン酸エステル基 ( $-\text{OPO}(\text{OH})_2$ ) を選択した。実験条件は 2. 2. 2 の場合と同様で、官能基を持たない樹脂エマルジョンの試験結果 ( $0.94\text{N}/\text{mm}^2$ ) を基準とした曲げ強度比で評価し、結果を図-6に示す。

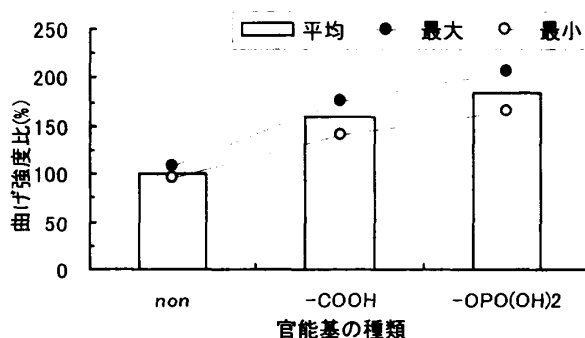


図-6 官能基と曲げ強度比の関係

図より、カルボキシル基やリン酸エステル基を用いた場合に付着性能の向上が確認できた。

## 3. 実験室における長期試験結果

### 3. 1 概要

樹脂エマルジョンを用いた打継ぎ面処理の適用性を検討する為、打継ぎ面を有した曲げ試験体を作成し、JIS A 1106 に基づく 3 等分点荷重試験により曲げ強度の評価を行った。

### 3. 2 試験体

試験体は  $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 60\text{cm}$  の型枠に、深さ 30cm まで旧コンクリートを打設し、打継ぎ面処理を施した後、同配合の新コンクリートを打設した。打設後は平均気温約  $20^\circ\text{C}$  の室内に放置した。表-1にコンクリート配合表を、表-2に使用材料を示す。なお、材齢 28 日における圧縮強度の平均値は  $30.9\text{N}/\text{mm}^2$ 、ブリーディング量は  $0.08\text{cc}/\text{cm}^2$  と微量であった。

表-1 コンクリート配合表

| W/C<br>(%)              | S/a<br>(%) | スランブ<br>(cm) | 空気量<br>(%) |       |
|-------------------------|------------|--------------|------------|-------|
| 58.0                    | 49.8       | 12           | 4.5        |       |
| 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |            |              |            |       |
| 水                       | セメント       | 細骨材          | 粗骨材        | 混和剤   |
| 162                     | 280        | 952          | 960        | 4.452 |

表-2 使用材料一覧表

| 材料   | 仕様       |                                    |
|------|----------|------------------------------------|
| セメント | 普通セメント   | 密度:3.15g/cm <sup>3</sup>           |
| 細骨材  | 栃木県産砕砂   | 密度:2.69g/cm <sup>3</sup> 粗粒率:2.70  |
| 粗骨材  | 青森県産碎石   | 密度:2.69g/cm <sup>3</sup> 最大寸法:20mm |
| 混和剤  | ヴェンソル80S | AE減水剤(標準形I種)                       |

## 3.3 打継ぎ面処理方法

レイトンス処理は、旧コンクリート表面に遅延剤を散布し、24時間後に高圧水にて除去する方法とした。なお、打継ぎ時間間隔15時間の場合は、新コンクリート打設1時間前にワイヤーブラシで表面を粗面にした。

樹脂エマルジョン散布は、旧コンクリート打設後、ブリーディング水を除去した後に規定量(100g/m<sup>2</sup>, 200g/m<sup>2</sup>, 300g/m<sup>2</sup>の3種類)散布した。

表-3に樹脂エマルジョンの構成を示す。

表-3 樹脂エマルジョン構成表

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

## 3.4 実験パラメータ

実験パラメータとして打継ぎ面処理方法のほかに、新コンクリートの試験時材齢、打継ぎ時間間隔を選択した。実験パラメータの一覧表を表-4に示す。

表-4 実験パラメータ

| 打継ぎ面処理方法   | 新コンクリート材齢           | 打継ぎ時間間隔 |
|------------|---------------------|---------|
| 一体打ち       | 14日                 | 15時間    |
| 無処理        |                     |         |
| レイトンス処理    | 91日                 | 24時間    |
| 樹脂エマルジョン散布 | 100g/m <sup>2</sup> | 28日     |
|            | 200g/m <sup>2</sup> | 1週間     |
|            | 300g/m <sup>2</sup> | 6ヶ月     |

## 3.5 試験結果

一体打ちの曲げ強度を図-7に示す。材齢の増加とともに曲げ強度が増加する傾向がある。

図-8には、打継ぎ時間間隔別に、一体打ちの曲げ強度で基準化した曲げ強度比で、試験結果を示す。

図-8(a)に打継ぎ時間間隔15時間の結果を

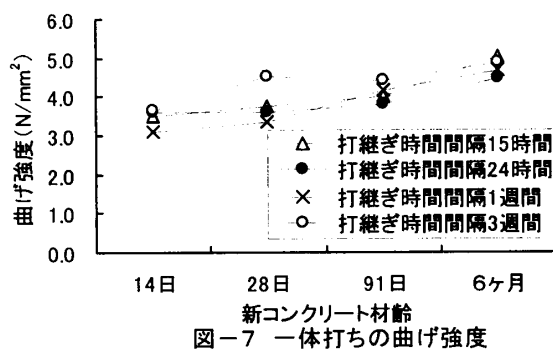
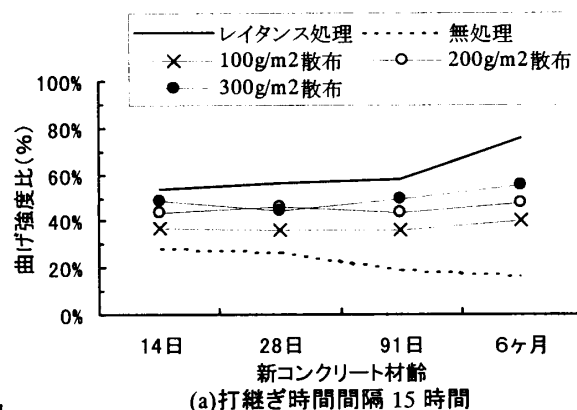
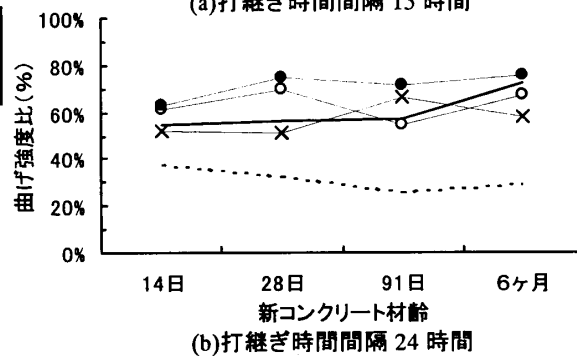


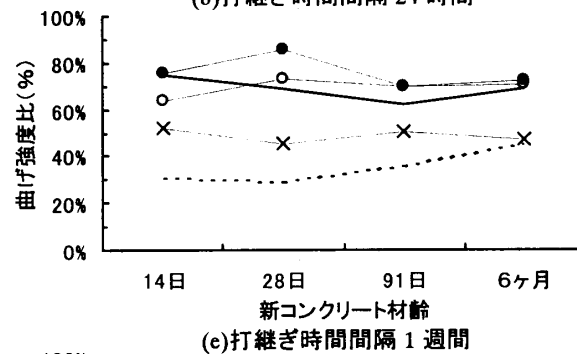
図-7 一体打ちの曲げ強度



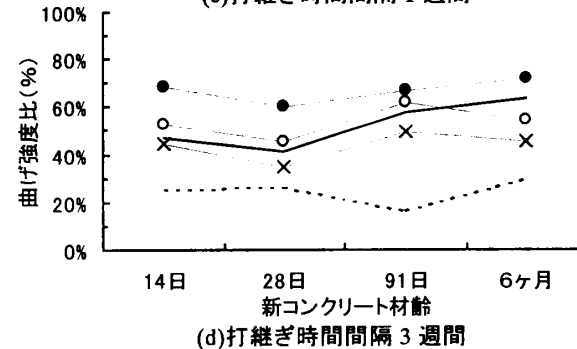
(a)打継ぎ時間間隔 15 時間



(b)打継ぎ時間間隔 24 時間



(c)打継ぎ時間間隔 1 週間



(d)打継ぎ時間間隔 3 週間

図-8 曲げ試験結果

示す。レイタンス処理工法の方が樹脂エマルジョン散布工法よりも曲げ強度が大きいですが、これは樹脂による改質が完全に行われる前に新コンクリートを打設した影響と思われる。

図-8(b)~(d)では樹脂エマルジョン散布工法の  $300\text{g/m}^2$  の方が現状のレイタンス処理工法よりも曲げ強度比が大きくなっている。これは、打継ぎ時間間隔を大きくすることにより、樹脂による改質が十分に行われたものと考えられる。また、樹脂エマルジョンの散布量が多くなると曲げ強度比も大きくなる傾向にあった。

図-9に各実験結果の変動係数(1試験における試験体数  $n=3$ )を打継ぎ面処理方法別に示す。これより、樹脂エマルジョン散布工法の変動係数は、散布量が多くなるに伴い減少し、 $300\text{g/m}^2$  では一体打ちの変動係数とほぼ同等程度までになり、安定した打継ぎ面品質が得られているものと考えられる。

#### 4. 現場実証試験

##### 4.1 概要

実施工に用いた場合の検討を行った。試験方法は曲げ試験、中性化促進試験の2種類により評価した。実験に用いたコンクリートの配合表を表-5に示す。なお、使用したコンクリートのブリーディング率は0.58%、材齢28日での圧縮強度の平均値は  $35.1\text{N/mm}^2$  であった。

表-5 コンクリート配合表

| W/C<br>(%)             | S/a<br>(%) | スランブ<br>(cm) | 空気量<br>(%) |
|------------------------|------------|--------------|------------|
| 47.9                   | 42.0       | 10           | 4.2        |
| 単位量( $\text{kg/m}^3$ ) |            |              |            |
| 水                      | セメント       | 細骨材          | 粗骨材        |
| 156                    | 326        | 756          | 1079       |
|                        |            |              | 混和剤        |
|                        |            |              | 4.238      |

##### 4.2 打継ぎ面処理方法

打継ぎ面処理方法は、実際の現場で行われているレイタンス処理工法と樹脂エマルジョン散布工法を用いた。レイタンス処理工法は、旧コンクリート打設後、遅延材を散布し、ワイヤーブラシで表面を削り取るもので、一般に高圧水等を使用できない場合に用いられる方法である。

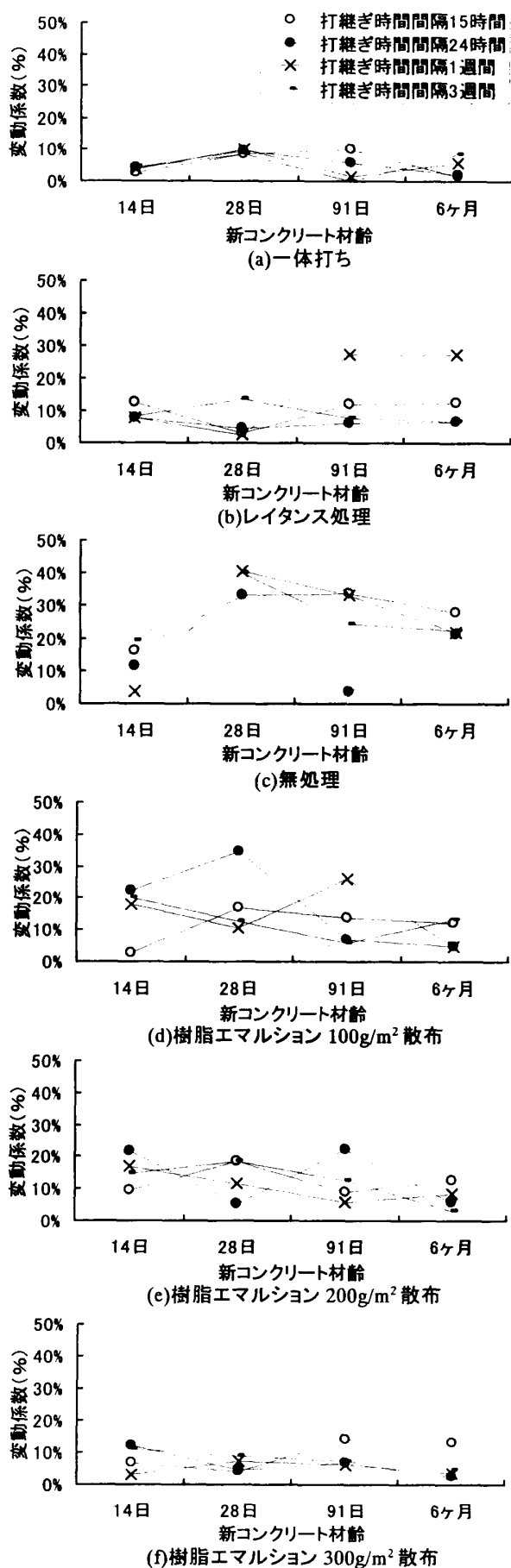


図-9 打継ぎ面処理別変動係数

樹脂エマルジョン散布工法は、旧コンクリート打設後、ブリーディング水を除去した後に規定量 ( $200\text{g/m}^2$ ,  $300\text{g/m}^2$ ) 散布した。

#### 4.3 曲げ試験結果

試験体は  $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 60\text{cm}$  の型枠に、旧コンクリートとして深さ 30cm まで打設し、打継ぎ面処理を施した後、同配合の新コンクリートを打継ぎ時間間隔 48 時間で打設した。打設後は屋外に放置し、新コンクリートの材齢 28 日に JIS A 1106 に基づく 3 等分点荷重試験を実施した。図-10 に一体打ちの曲げ強度 ( $3.77\text{N/mm}^2$ ) で基準化した曲げ強度比の結果を示す。

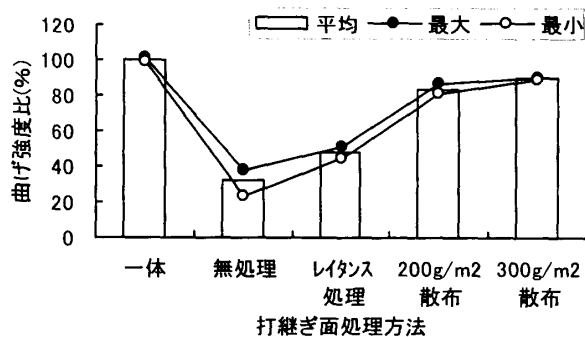


図-10 曲げ試験結果

結果から、樹脂エマルジョン散布工法を用いた場合、曲げ強度比が現状工法よりも改善され、試験結果のばらつきも小さいことが分かった。

#### 4.4 中性化促進試験

試験体は、 $75\text{cm} \times 75\text{cm} \times 40\text{cm}$  のコンクリートブロックとし、旧コンクリートを厚さ 30cm 打設し、打継ぎ面処理を施した後、打継ぎ時間間隔 48 時間で新コンクリートを 10cm 打設して作成した。試験体は旧コンクリート部分 10cm、新コンクリート部分 10cm になるようにコアカットし、中性化促進養生 (室温  $20^\circ\text{C}$ 、湿度 60%、炭酸ガス濃度 5%) を 28 日間行った。

図-11 に試験結果を示す。樹脂エマルジョン散布により、打継ぎ面の中性化を抑制できていることがわかる。レイタンス処理は高圧水等による清掃が行えず、レイタンスが打継ぎ面に残存していた可能性があり、中性化深さに影響を及ぼしたものと考えられる。

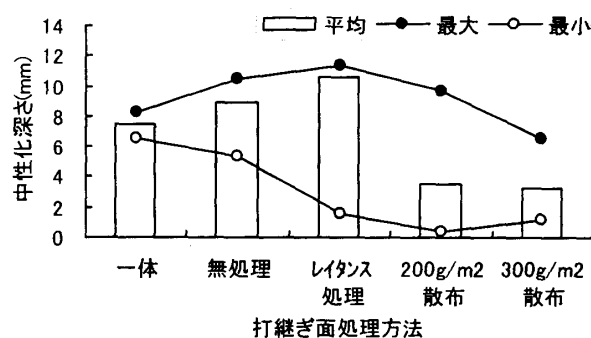


図-11 中性化促進試験結果

#### 5. まとめ

打継ぎ面処理に樹脂エマルジョンを用いる方法を適用し、打継ぎ面の耐久性能を評価した結果、以下のような知見が得られた。

- (1) 樹脂エマルジョン散布工法を用いた打継ぎ面の付着機構を実験的に解明した。
- (2) 実験室レベルの実験において、打継ぎ時間間隔が 24 時間以上、樹脂エマルジョンの散布量が  $300\text{g/m}^2$  程度であれば、現状工法よりも曲げ強度が向上し、試験材齢が長期になった場合でも曲げ強度の低下は認められなかった。
- (3) 実施工レベルの実験において、曲げ試験と中性化促進試験の結果は類似傾向を示した。また、曲げ試験結果は実験室レベルの結果と類似傾向であり、本工法の実用性が確認できた。

最後に、打ち重ね部への適用、ブリーディング量の影響等を今後の検討課題としたい。

#### 参考文献

- 1) コンクリート標準示方書 (施工編: 耐久性照査型), 土木学会, 平成11年度版, pp.104-105
- 2) JASS5, 日本建築学会, 1997年, pp.243
- 3) 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齢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
- 4) 前中敏伸, 伊藤篤司ほか: 膜養生材を用いた水平打継ぎ面処理方法に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, 2000
- 5) 塩見昌紀, 前川幸次ほか: 鋼管とコンクリートの付着せん断強度, 第4回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.117-120, 1999.11