

環境に配慮した表面被覆材の施工性の定量化と性能評価に関する研究

東洋大学 学生会員 ○倉島一翔 横川勇輝  
東洋大学 正会員 横関康祐  
鹿島建設(株) 正会員 取達 剛 関 健吾

1. はじめに

1960～1980 年に多くのコンクリート構造物が整備された。それらは建設後 50 年を迎え、かぶりの薄い構造物の劣化や長期間の疲労などの老朽化が問題視されている。そのようなコンクリート構造物の劣化の対応策として、表面被覆工法が適用されている。特に、有機系の表面被覆工法が一般的に適用されているが、耐久性の低さや CO<sub>2</sub>排出量が多いなどのデメリットがある。これに対し、CO<sub>2</sub>を吸収して硬化する特殊混和材、 $\gamma$ -C<sub>2</sub>S を使用した、環境に配慮した無機系の表面被覆工法による補修・補強はそれらの解決策になり得ると考えられる。

これらの背景から、環境配慮型のポリマーセメントモルタルの評価を行った。初めに、ポリマーにアクリル/スチレン樹脂(Ac/S 樹脂)を用いた吹付け工法を検討した。しかし、施工性に課題が残った。そこで、ポリマーに酢ビ/ベオバ/アクリル樹脂(VA/VV/Ac 樹脂)を用いて、配合を見直し、施工歩掛りなどの規格と比較して、施工性について評価を行った。また、被覆材としての品質、環境面やコストについての評価も行った。

2. 実験概要

2.1 使用した表面被覆材

本研究で使用した表面被覆材の配合を表-1 に示す。使用材料は、水、結合材は普通ポルトランドセメントと（密度 3.15g/cm<sup>3</sup>、比表面積 3,330cm<sup>2</sup>/g） $\gamma$ -C<sub>2</sub>S、6 号硅砂（最大寸法 0.6mm）、ポリマーは酢ビ/ベオバ/アクリル樹脂(VA/VV/Ac 樹脂)、メラミン系高性能減水剤、消泡剤を使用した。配合検討を行う際に、S/C と混和

剤の添加量を変えて、吹付け施工しやすい配合を検討した。目標フロー値は 180mm～210mm とした。

2.2 要求性能試験概要

(1)付着強度

JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」に準拠して付着強度試験を行った。母材コンクリートに表面被覆材を塗布後、建研式引張試験機を用いて試験を行った。

(2)中性化深さ

JIS A 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」を準拠して CO<sub>2</sub>遮断性の評価を行った。W/C50%の母材コンクリートに表面被覆材を 5mm 塗布した後、中性化槽(温度 50℃、湿度 50%RH、炭酸ガス濃度 20%)にて養生した。所定の材齢経過後、割裂した試料の断面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、20mm 間隔で未変色域の深さをノギスで測定した。

2.3 吹付け試験

吹付け試験はモルタルのはね返り率試験、施工時間、吹付け吐出量の評価を行った。JSCE-F 563-2005「吹付けコンクリート(モルタル)のはね返り率試験方法」を準拠して行った。また、900×900mm の塗装合板に 0.5mm 厚さで一面を塗り終わった時間を測定した。

2.4 CO<sub>2</sub>排出量

CO<sub>2</sub>排出量は、材料起因の CO<sub>2</sub>排出量からモルタルが固定した CO<sub>2</sub>を差し引いた結果を CO<sub>2</sub>排出量とし、有機系被覆材との CO<sub>2</sub>排出量の比較を行った。環境配慮型被覆材は中性化槽(温度 20℃、湿度 50%RH、炭酸ガス濃度 80%)で被覆厚さ 10mm を炭酸化養生したケースで行った。材齢 28 日経過後、無機炭素分析機によ

表-1 選定配合

| 結合材の種類                        | S/C | W/C (%) | 空気量 (%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |                            |         |                |          |           |           |
|-------------------------------|-----|---------|---------|-------------------------|----------------------------|---------|----------------|----------|-----------|-----------|
|                               |     |         |         | W<br>水                  | C                          |         | S<br>6 号<br>硅砂 | ポリマー     | 高性能減水剤    | 消泡剤       |
|                               |     |         |         |                         | $\gamma$ -C <sub>2</sub> S | N       |                |          |           |           |
|                               |     |         |         |                         | C の 90%                    | C の 10% |                | C に対し 5% | C の 0.25% | C の 0.03% |
| N, $\gamma$ -C <sub>2</sub> S | 1.3 | 45      | 5.0±1.5 | 320                     | 640                        | 71      | 924            | 36       | 1.8       | 0.2       |

キーワード：表面被覆材 ポリマーセメントモルタル 吹付け施工 CO<sub>2</sub>吸収 CUCO  
連絡先 〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100 東洋大学理工学部都市環境デザイン学科 TEL049-239-1300

り固定二酸化炭素量を測定した。

2.5 ライフサイクルコスト

ライフサイクルコストは、コンクリート標準示方書の中性化速度係数の予測値と、促進環境下で得られた中性化速度の比を用いて、被覆材を塗布した場合の母材コンクリートの中性化速度の予測値を求めた。有機系被覆材と比較し、コンクリートのかぶり厚さ 30mm に対し中性化残り 20mm の時点で塗り替えを行うことと仮定した。その結果、母材コンクリートのみでは 30 年、表面被覆材を厚さ 5mm で塗布した場合 50 年で中性化深さ 10mm に達したため、これらのサイクルで塗り替えを行うこととした。また、有機系被覆材は 10 年毎に塗り替えることとした。

3. 実験結果

3.1 要求性能試験

試験結果を表-2 に示す。環境配慮型被覆材は付着性の目標値をクリアした。また、環境配慮型被覆材は母材コンクリートの中性化深さを 20%程度低減できることが確認できた。

3.2 吹付け試験

試験結果を表-3 に示す。VA/VV/Ac 樹脂は施工時間を短縮でき、Ac/S 樹脂よりも施工性が向上した。また、目標の規格値よりも小さいはね返り率での施工が可能となった。さらに、Ac/S 樹脂に比べ硬化までの時間が長く、ハンドリングタイムに余裕が生まれた。

しかし、吐出量と施工時間を目標規格と比較すると、十分ではないことが分かった。本試験で使用したコンプレッサーは 1 馬力、最大吐出圧 0.8MPa などと実際の施工で使われている機器より小さいため、機器を変更すれば、遜色ない結果が得られるものと考えられる。

3.3 CO<sub>2</sub>吸収量

試験結果を表-4 に示す。環境配慮型被覆材は、厚さ 10mm、材齢 28 日経過時点でトータルの CO<sub>2</sub>排出量がマイナスになった。また有機系被覆材と比較するとトータルの CO<sub>2</sub>排出量は大幅に低いことが分かった。環境配慮型被覆材の理論値の結果より、長期的な適用で材齢 28 日の結果以上にトータルの CO<sub>2</sub>排出量がマイナスになる可能性が考えられる。

3.4 ライフサイクルコスト

実験結果に基づくライフサイクルコストの試算結果を図-1 に示す。環境配慮型被覆材は耐用年数が長くなり、100 年で 2 回の塗布でよいのに対して、有機系表

面被覆は 8 回の塗り替えが必要となる。これに伴うライフサイクルコストは、環境配慮型被覆材が、有機系被覆材の施工費の約 40%を削減できることが分かった。

表-2 要求性能試験結果

|                     | 目標                    | 環境配慮型被覆材              | 母材コンクリート |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------|
| 付着性                 | 1.0kN/mm <sup>2</sup> | 1.9kN/mm <sup>2</sup> | —        |
| CO <sub>2</sub> 遮断性 | 母材コンクリートより中性化深さが小さいこと | 6.40mm                | 7.94mm   |

表-3 吹付け試験結果

|          | 吹付け施工時間           | 吐出量                    | はね返り率 | 硬化時間      |
|----------|-------------------|------------------------|-------|-----------|
| VA/VV/Ac | 12 分 30 秒         | 0.005m <sup>3</sup> /h | 16%   | 60 分      |
| Ac/S     | 30 分 30 秒         | —                      | —     | 30 分 30 秒 |
| 目標規格     | 3 分 <sup>1)</sup> | 0.02 m <sup>3</sup> /h | 35%   | 45~60 分   |

表-4 CO<sub>2</sub>排出量(クーロメーター法)

| 被覆材                | E : 材料起因 CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ) | A : CO <sub>2</sub> 吸収量 (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ) | E-A : 合計の CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ) |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 環境配慮型被覆材 10mm      | 205                                                                | 231                                                           | -26                                                                 |
| 環境配慮型被覆材 (理論値)     | 205                                                                | 347                                                           | -142                                                                |
| 有機系被覆材(エポキシ) (計算値) | 4975                                                               | 0                                                             | 4975                                                                |

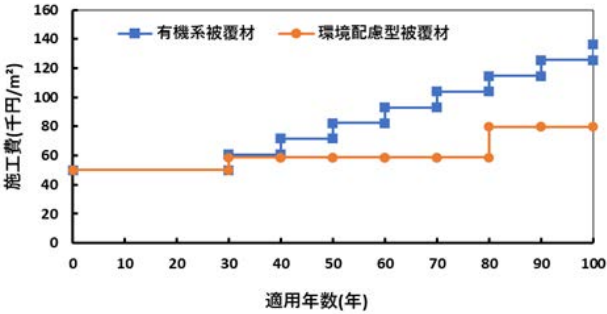


図-1 ライフサイクルコストの試算結果

4. まとめ

環境配慮型被覆材 (VA/VV/Ac 樹脂) の施工性は Ac/S 樹脂よりも大幅に改善され、要求性能も十分満足できる。また、有機系被覆材より CO<sub>2</sub>を大幅に削減し、コストも削減できることが分かった。

謝辞：本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP21014) を受け、革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び評価技術の開発で得られた成果である。

参考文献：

1) 経済調査会：令和 2 年度版工事歩掛要＜土木編＞， 2020