

コンクリート打放し仕上げ用に開発したクリヤ塗料の性能

植松 俊幸 小林 利充
堀田 和宏 神代 泰道

Performance of Clear Coating Developed for Finishing-Exposed Concrete

Toshiyuki Uematsu Toshimitsu Kobayashi
Kazuhiro Hotta Yasumichi Koshiro

Abstract

Finishing-exposed concrete has been applied to the RC structure of buildings and infrastructures; it is often adopted by architects owing to the design of concrete texture in buildings. In addition, its cost is lower than those of other finishes. However, elements such as carbon dioxide, water, and salt can easily enter the inside of a member without any finish and deteriorate it. Therefore, a clear coating that can improve the durability of the structure without deteriorating the concrete texture has been developed. The developed clear coating enables the neutralization depth, water absorption rate, and chloride ions to be reduced to less than 1/10, 1/4, and 1/10, respectively. The developed clear coating can be used in new and existing applications for both buildings and infrastructures.

概要

コンクリート打放し仕上げは、建築・土木のRC構造物に採用されている。特に建築分野では、素材感を活かしたデザイン性により建築家に好まれ、さらには、他の仕上げに比べてコストを低く抑えられることなどから採用されるケースが多い。しかし、コンクリート素地のままでは、二酸化炭素や水分、塩分などの劣化因子が部材内部に侵入しやすく、構造物の耐久性が問題となる。そこで、コンクリートの素材感を損なわず、構造物の耐久性を向上できるクリヤ塗料を開発した。この開発塗料を塗布することで、無塗布の場合と比べて中性化深さは1/10以下、吸水率は1/4以下、塩化物イオン量は1/10以下まで低減できる。今後、建築物だけでなく土木構造物にも、新設構造物および既存構造物に幅広く適用していきたい。

1. はじめに

コンクリート打放し仕上げは、建築、土木にかかわらず多くのRC構造物で採用されている。特に建築物においては、コンクリートの素材感を活かしたデザイン性が建築家に好まれ、多くの物件に採用されている。他の仕上げに比べて低コストで施工できることから、学校などの教育施設や商業施設の低層部で適用されることも多い。

打放し仕上げは、コンクリート素地のままでは二酸化炭素や水分、塩分などの劣化因子が部材内部に侵入しやすい。このため、仕上げ材として表面含浸材やクリヤ塗料などを施すのが一般的である。表面含浸材は、シラン系含浸材などの撥水材やケイ酸塩系含浸材などのコンクリート改質材が用いられることが多い。また、クリヤ塗料は、透明あるいは半透明なものが仕上げ材として用いられている。クリヤ塗料は、躯体表面に塗膜を形成するため、外部からの劣化因子の侵入を効率的に抑制することができ、RC構造物の高い保護効果が期待できる可能性がある。しかし、クリヤ塗料の保護効果について、定量的に把握した試験データはなかった。また、これらの仕上げ材は、コンクリートと比べて太陽光の紫外線や降雨などの影響による劣化の進行が速く、時間の経過に伴い、

中性化の抑制効果が低下する可能性が高い。既往の文献^{1) 2) 3)}でも、仕上げ材の劣化を考慮した中性化抵抗性の検討が行われているが、その研究事例は少ない。

筆者らは、含浸材やクリヤ塗料による保護効果について検討を行い^{4) 5)}、RC構造物に対する高い保護効果を有し、打放し仕上げの意匠性も保持し、さらに、美観性も向上できるクリヤ塗料を開発した。本論文では、今回開発したクリヤ塗料(以下、開発塗料と略す)の保護効果およびその持続性を検証するため各種試験を行った。一部の試験データについては、他社製品との比較も行った。

2. 開発塗料の概要と特長

2.1 概要

開発塗料をPhoto 1に示す。開発塗料には、クリヤ塗料に分類される透明なクリヤ(以下、クリヤと略す)と半透明なカラークリヤ(以下、カラークリヤと略す)の2種類がある。クリヤは、下塗り材、顔料なしの中塗り材および上塗り材の3層、カラークリヤは、下塗り材、顔料入りの中塗り材および上塗り材の3層で構成されている。いずれも艶消し仕様である。主成分は、下塗り材がエポキシ系、中塗り材および上塗り材がアクリルをベースとした樹脂

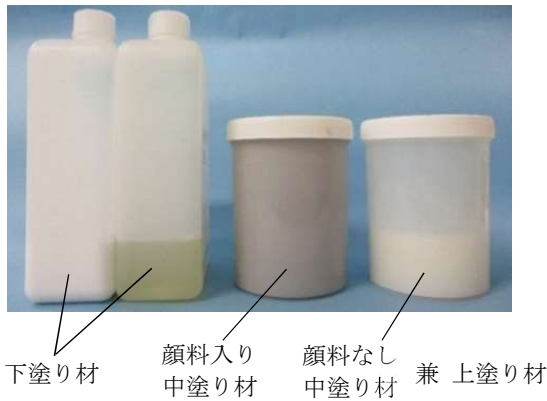


Photo 1 開発塗料
Developed Product of Clear Coating

である。

クリアは、コンクリートの素材感を活かした打放し仕上げの意匠性を保持できる。Photo 2に無塗布の箇所との比較を示す。クリアを塗布した範囲は、無塗布の範囲とほとんど変わらない仕上がりとなっている。

カラークリアの塗布状態をPhoto 3に示す。打放し仕上げの風合いを残しつつ、コンクリートの補修跡などを目立たなくする美観性の向上効果が期待できる。

2.2 特長

開発塗料には、次の4つの特長がある。

- ① RC構造物の長寿命化
二酸化炭素、水分、塩分などの外部からの劣化因子の侵入を抑制し、RC構造物の耐久性を大きく向上することができる。
- ② 保護効果の高い持続性
紫外線にも強く、塗膜が劣化しにくいいため、長期間の高い保護効果が期待できる。
- ③ 用途に応じた種類の選択の自由度
クリアとカラークリアの2種類があり、意匠性の保持、美観性向上など、用途に応じて選択ができる。
- ④ 幅広い用途
建築物でも土木構造物でも適用でき、新設構造物でも既存構造物でも使用することができる。

3. 開発塗料の保護効果に関する検証

3.1 検証の目的

開発塗料によるRC構造物の保護効果を定量的に確認するため、基材コンクリートに開発塗料を塗布した試験体を作製し、各種試験により実験的に検証を行った。

3.2 試験計画

3.2.1 使用材料 基材コンクリートの使用材料と割合をTable 1, Table 2に示す。普通ポルトランドセメントを使用し、W/Cは60.0%、s/aは48.0%とした。スランプと空気量は、18cmと4.5%を目標値とした。

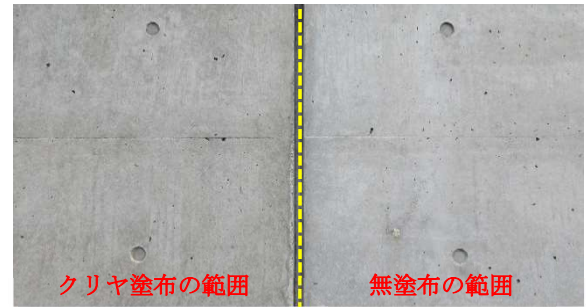


Photo 2 クリア塗布面と無塗布範囲の比較
Comparison of Clear-coated Surface and Non-coated Surface

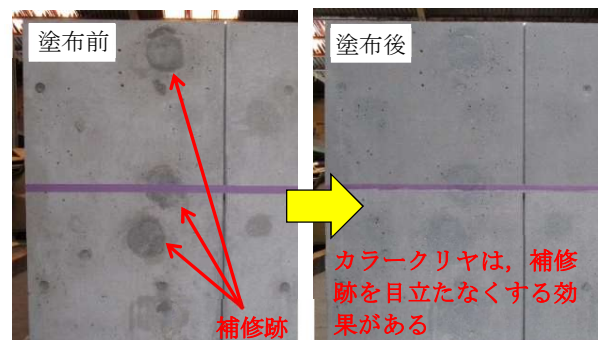


Photo 3 カラークリアによる効果
Aesthetic Effect of Color Clear Coating

Table 1 コンクリートの使用材料

| 分類 | | 概要 |
|------|----|--|
| セメント | C | 普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm ³ |
| 水 | W | 地下水 |
| 細骨材 | S | ① 埼玉県熊谷市産陸砂 75%(質量比) ② 千葉県香取市産陸砂 25%(質量比) |
| 粗骨材 | G | 埼玉県横瀬市産石灰碎石 |
| 混和剤 | Ad | AE 減水剤 |

Table 2 コンクリートの調査

| 設定条件 | | W/C | | s/a | | 単位量(kg/m ³) | | | | |
|---------|---------|------|------|-----|-----|-------------------------|-----|------|--|--|
| SL (cm) | Air (%) | (%) | (%) | W | C | S | G | Ad | | |
| 18 | 4.5 | 60.0 | 48.0 | 183 | 305 | 846 | 948 | 3.05 | | |

基材コンクリートに塗布するクリア塗料は、開発塗料、他社製品のAおよびBの3種類とした。いずれの銘柄も水系のクリア塗料であり、艶消し仕様である。開発塗料の中塗り材は、顔料入りと顔料なしの2種類がある。Aは顔料入り、Bは顔料なしの仕様である。主成分は銘柄によって異なり、Aがアクリルシリコン、Bがフッ素樹脂である。

3.2.2 試験項目と塗装仕様 試験項目と塗装仕様をTable 3に示す。試験項目は、促進中性化試験、自然環境下での暴露による中性化試験(屋外暴露および屋内暴露)、付着強さ試験、吸水試験、塩分浸透試験とした。促進中

Table 3 試験項目と塗装仕様
Test Items and Coating Specification

| 試験体 No. | 試験種類 | クリヤ塗料の仕様(g/m ²) | | | クリヤ塗料 | |
|---------|----------------------------|-----------------------------|-------------------|-----|-------|---|
| | | 下塗り | 中塗り | 上塗り | | |
| C-1 | 促進中性化試験 付着強さ試験 | — | — | — | 開発塗料 | |
| C-2 | | 100 | 130 ^{※1} | 130 | | |
| C-3 | | 50 | 130 ^{※1} | 130 | | |
| C-4 | | 100 | 65 ^{※1} | 130 | | |
| C-5 | | 100 | 130 ^{※1} | 65 | | |
| C-6 | | 100 | 130 ^{※2} | 130 | | |
| C-7 | 屋外暴露による 中性化試験 (試験地1) | — | — | — | 開発塗料 | |
| C-8 | | 100 | 130 ^{※1} | 130 | | |
| C-9 | | 100 | 130 ^{※2} | 130 | | |
| C-10 | | 100+100 | 150 ^{※1} | 150 | | A |
| C-11 | | 120 | 125 ^{※2} | 100 | | B |
| C-12 | 屋外暴露による 中性化試験 (試験地2) | — | — | — | 開発塗料 | |
| C-13 | | 100 | 130 ^{※1} | 130 | | |
| C-14 | | 100 | 130 ^{※2} | 130 | | |
| C-15 | 屋内暴露による 中性化試験 (試験地3) | — | — | — | 開発塗料 | |
| C-16 | | 100 | 130 ^{※1} | 130 | | |
| C-17 | | 100 | 130 ^{※2} | 130 | | |
| W-1 | 吸水試験 | — | — | — | 開発塗料 | |
| W-2 | | 100 | 130 ^{※1} | 130 | | |
| W-3 | | 100 | 130 ^{※2} | 130 | | |
| CI-1 | 塩分浸透試験 | — | — | — | 開発塗料 | |
| CI-2 | | 100 | 130 ^{※1} | 130 | | |
| CI-3 | | 100 | 130 ^{※2} | 130 | | |

[注] 網掛けは標準塗布量, ※1は顔料有, ※2は顔料無

性化試験では、開発塗料を用いて標準塗布量とした試験体に加え、下地の状態に起因する吸込み量の違いにより、単位面積当たりの塗布量にムラが生じることを想定し、下塗り、中塗り、上塗りの塗布量を半分ずつにした試験体も作製し、無塗布の試験体と比較した。

自然環境下での暴露による中性化試験では、開発塗料に加え、AとBを用いて標準塗布量とした試験体を作製し、無塗布の試験体と比較した。試験地については、屋外暴露は、東京都内の海岸付近に立地する某工場の敷地内(試験地1)および大林組技術研究所(東京都清瀬市)の敷地内(試験地2)、屋内暴露は、大林組技術研究所内の執務室(試験地3)とした。

吸水試験では、開発塗料を用いて標準塗布量とした試験体を作製し、無塗布の試験体と比較した。

塩分浸透試験では、開発塗料を用いて標準塗布量とした試験体を作製し、無塗布の試験体と比較した。

また、開発塗料の塗膜の付着強さ試験は、促進中性化試験後の試験体を用いて行った。

3.2.3 試験体の作製 試験体の概要をFig. 1に示す。促進中性化試験用および暴露での中性化試験用の試験体は、100×100×400mmとし、コンクリート打込みの際の

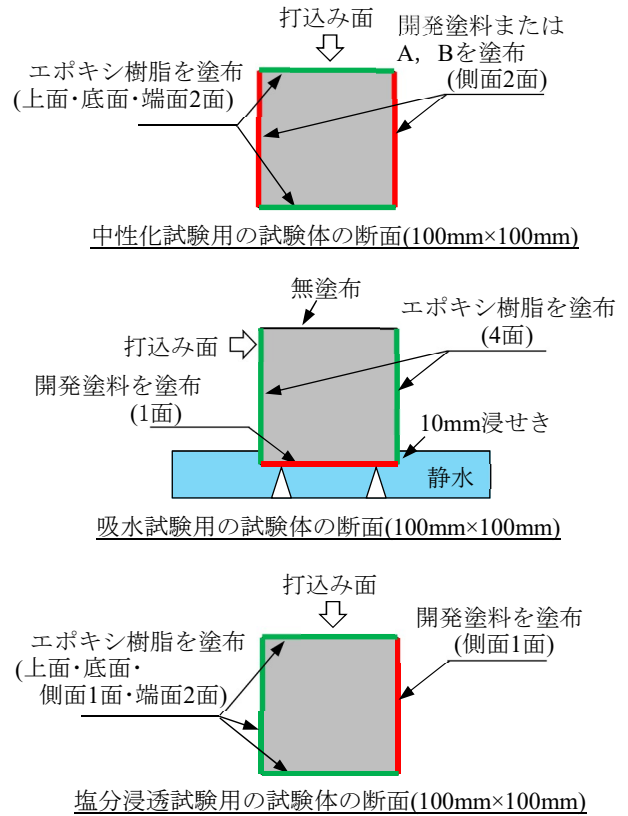


Fig. 1 試験体の概要

Overview of Test Specimen

側面の2面にクリヤ塗料を塗布した。それ以外の4面はエポキシ樹脂でシールした。

吸水試験用の試験体は、100×100×100mmとし、コンクリート打込みの際の側面の1面に開発塗料を塗布した。反対面は無塗布とした。それら以外の4面はエポキシ樹脂でシールした。

塩分浸透試験用の試験体は、100×100×400mmとし、コンクリート打込みの際の側面1面に開発塗料を塗布した。残りの5面はエポキシ樹脂でシールした。

各試験の試験体は、コンクリート打込み後、7日間標準養生とし、その後は20℃、60%RHの室内で気中養生とした。中性化試験と吸水試験の試験体は材齢21日から、塩分浸透試験の試験体は材齢14日からクリヤ塗料を塗布した。塗布後、中性化試験は材齢35日から、吸水試験は材齢42日から、塩分浸透試験は材齢28日から開始した。

3.2.4 試験方法 促進中性化試験は、JIS A 1153 : 2012(コンクリートの促進中性化試験)に準じ、20℃、60%RH、CO₂濃度5%の環境条件で行った。自然環境下での暴露による中性化試験では、暴露1年後に中性化深さを測定した。促進中性化試験を終えた試験体を用いて、JIS A 6909 : 2014(建築用仕上塗材)の7.10付着強さ試験に準じ、塗膜の付着強さ試験を行った。

吸水試験は、20℃、60%RHの恒温恒湿室にて、試験体の底面から10mm程度を静水へ浸せきし、試験体の質量変化を測定して吸水率を算出した。吸水率は、吸水前と吸水後の試験体の質量差を吸水前の試験体質量で除して

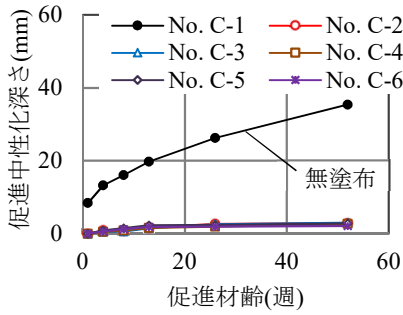


Fig. 2 促進中性化深さ
Accelerated Neutralization Depth
of Concrete

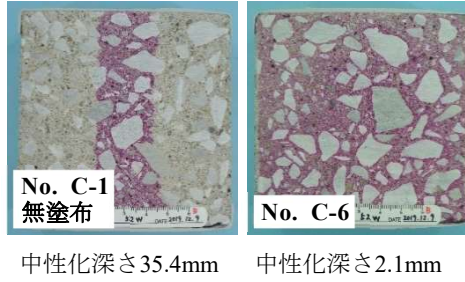


Photo 4 促進中性化試験結果(促進材齢52週)
Results of Accelerated Neutralization Test

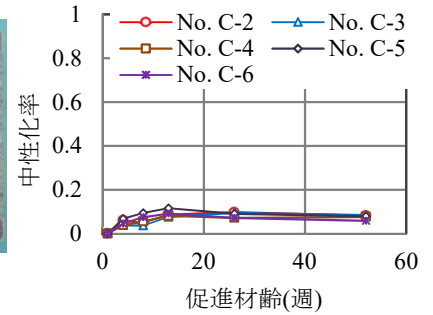


Fig. 3 中性化率
Neutralization Ratio

Table 4 暴露試験による中性化深さ
Neutralization Depth by Exposure Test

| 試験体 No. | 試験体の設置場所 | 中性化深さ (mm) |
|------------|-----------|------------|
| C-7(無塗布) | 試験地1 (屋外) | 4.7 |
| C-8~C-11 | | 0 |
| C-12(無塗布) | 試験地2 (屋外) | 5.1 |
| C-13, C-14 | | 0 |
| C-15(無塗布) | 試験地3 (屋内) | 10.5 |
| C-16, C-17 | | 0 |

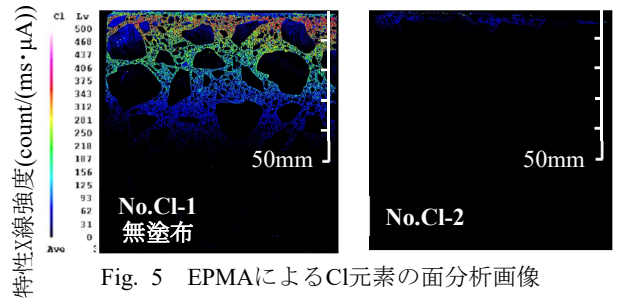


Fig. 5 EPMAによるCl元素の面分析画像
Surface Analysis Image of Cl Element by EPMA

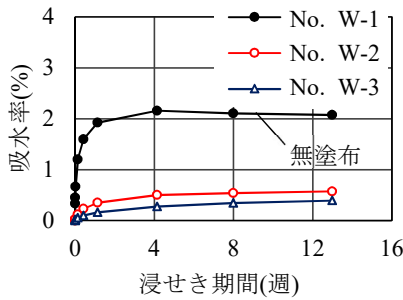


Fig. 4 吸水率
Water Absorption Rate

求めた。

塩分浸透試験は、気温20℃の室内にて、濃度10%の塩化ナトリウム水溶液中に試験体を365日間浸せきした。試験方法は、JSCE-G 572 : 2018(浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見かけの拡散係数試験方法(案))に準じた。塩化物イオンの浸透深さについては、EPMA法により、Cl元素の特性X線強度の面分析を行った。また、浸透方向の深さ10mmごとの試料を採取し、電位差滴定法により全塩化物イオン量の測定を行った。

3.3 試験結果

3.3.1 促進中性化試験 試験結果を、Fig. 2およびPhoto 4に示す。開発塗料を塗布した場合、フェノールフタレインにより赤色に呈色しない領域は無塗布と比べて1/10以下であり、中性化はほとんど進行しておらず、高い中性化抑制効果が確認された。また、試験体No. C-2~No. C-6の中性化深さには、ほとんど差がないことから、

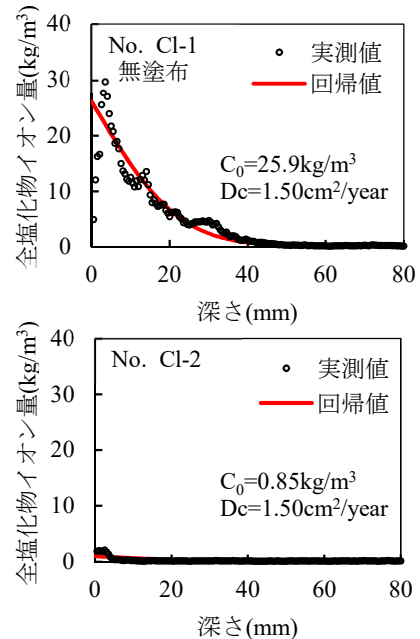


Fig. 6 全塩化物イオン量の深さ方向の分布と回帰値
Distribution of Chloride Ion in Depth Direction and
Regression Analysis Result

中塗り材と上塗り材の塗布量の合計が標準塗布量の75% (= (65+130g/m²) ÷ (130+130g/m²) × 100)であっても、中性化抑制効果に与える影響は小さいことも確認された。

促進中性化試験による中性化率をFig. 3に示す。促進材齢52週での中性化率は0.1以下であった。

3.3.2 暴露による中性化試験 1年間の自然環境下での暴露による中性化深さをTable 4に示す。無塗布の試験

体の中性化深さは、屋外暴露では5mm程度、屋内暴露では10mm程度であった。クリヤ塗料を塗布した試験体は、いずれも0mmであった。1年間の暴露試験では、開発塗料とA、Bの違いは確認できなかった。なお、屋外暴露の試験体について、ひび割れ、剥がれ、黄変などの変状は確認されなかった。

3.3.3 吸水試験 吸水試験の結果をFig. 4に示す。試験体No. W-1の吸水率は、浸せき材齢4週目で最大値の2.16%となった。試験体No. W-2およびNo. W-3の浸せき材齢4週目の吸水率は、それぞれ0.50%、0.27%であり、無塗布の試験体No. W-1と比較して1/4以下であった。これらの結果から、開発塗料の高い吸水抵抗性が確認された。

吸水抵抗性は、鉄筋腐食や塩分浸透の抵抗性にも直接的な関係があると考えられ、保護効果の観点から重要な要素である。

3.3.4 塩分浸透試験 EPMAによるCl元素の面分析画像をFig. 5に示す。画像中の色彩は、その位置における特性X線強度、すなわち全塩化物イオン量を表している。濃い青色が最も少なく、緑色、黄色、赤色の順に塩化物イオン量が多いことを示す。無塗布の試験体No. CI-1は、表面からの深さ40mm程度まで特性X線強度が高い値を示している。一方、開発塗料を塗布した試験体No. CI-2は、ほとんど高い領域が認められなかった。

EPMAによる面分析で得られた特性X線強度の深さ方向の分布と、電位差滴定法により得られた全塩化物イオン量の深さ方向の分布から検量線を作成し、深さ方向0.5mm間隔で全塩化物イオン量の分布を求めた。深さ方向の分布をFig. 6に示す。表層部における最大値は、試験体No. CI-1の29.8kg/m³に対し、試験体No. CI-2は2.1kg/m³、試験体No. CI-3は1.5kg/m³であり、1/10以下であった。

また、深さ方向の分布より、フィック第2法則に基づく拡散方程式により回帰値を求め、見掛けの拡散係数Dcとコンクリート表面の全塩化物イオン量C₀を算出した。回帰値をFig. 6に示す。Dcは1.50cm²/yearであり、C₀は試験体No. CI-1が25.9kg/m³、試験体No. CI-2は0.85kg/m³、試験体No. CI-3は0.27kg/m³であった。いずれも、無塗布の場合に比べて全塩化物イオン量が大きく低下しており、開発塗料による塩分浸透の高い抑制効果を定量的に把握することができた。

3.3.5 付着強さ試験 付着強さ試験の結果、開発塗料の付着強さは2.19～3.11N/mm²の範囲にあり、JIS A 6909：2014(建築用仕上塗材)に規定されている複層仕上塗材の標準状態での付着強さ1.0N/mm²以上を十分に満足した。

4. 開発塗料の保護効果の持続性に関する検証

4.1 検証の目的

開発塗料による保護効果の持続性を定量的に確認するため、基材モルタルに開発塗料を塗布した試験体を作製し、各種試験により実験的に検証を行った。

Table 5 モルタルの使用材料

| Materials Used for Mortar | | |
|---------------------------|----|---|
| 分類 | 概要 | |
| セメント | C | 普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm ³ |
| 水 | W | 上水道水 |
| 細骨材 | S | 陸砂：表乾密度2.60g/cm ³ 、吸水率2.18%、粗粒率2.51、実積率67.2% |
| 混和剤 | AE | AE 剤 |

Table 6 モルタルの調合

| W/C (%) | 単位量(kg/m ³) | | | AE (C×%) |
|---------|-------------------------|-----|------|----------|
| | W | C | S | |
| 65 | 268 | 412 | 1443 | 0.005 |

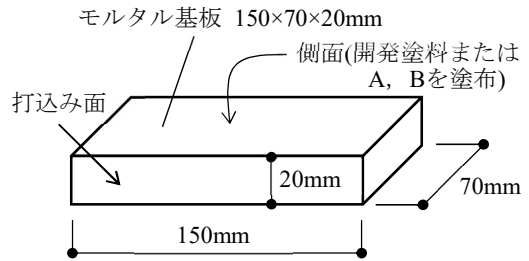


Fig. 7 モルタル基板
Mortar Test Plate

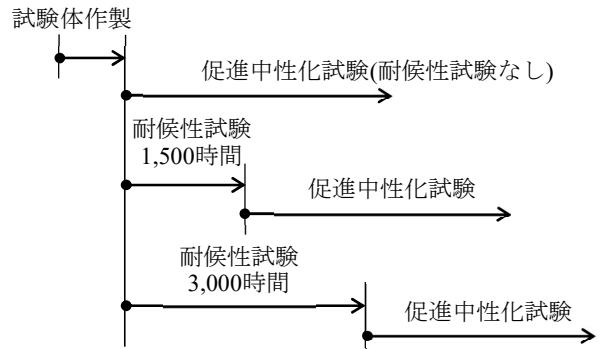


Fig. 8 実験の概略工程
Outline of Experimental Process

Table 7 クリヤ塗料の塗布量
Application Amount of Clear Coating

| 試験体 No. | 材料構成と塗布量(g/m ²) | | | 備考 |
|-----------|-----------------------------|-------------------|-----|------|
| | 下塗り | 中塗り | 上塗り | |
| 1, 1a, 1b | — | — | — | 無塗布 |
| 2 | 100 | 180 ^{*1} | — | 開発塗料 |
| 3 | 100 | 130 ^{*1} | 130 | |
| 4 | 100 | 180 ^{*1} | 180 | |
| 5 | 100 | 130 ^{*2} | 130 | |
| 6 | 200 | 150 ^{*1} | 150 | |
| 7 | 120 | 125 ^{*2} | 100 | B |

[注] 網掛けは標準塗布量、※1は顔料有、※2は顔料無

Table 8 拡大鏡写真の一例

Enlarged Photo

| 拡大鏡倍率 | 試験体No. 1a (無塗布) | | 試験体No. 5 | |
|-------|-----------------|---------|----------|---------|
| | 0時間 | 3,000時間 | 0時間 | 3,000時間 |
| ×25 | | | | |

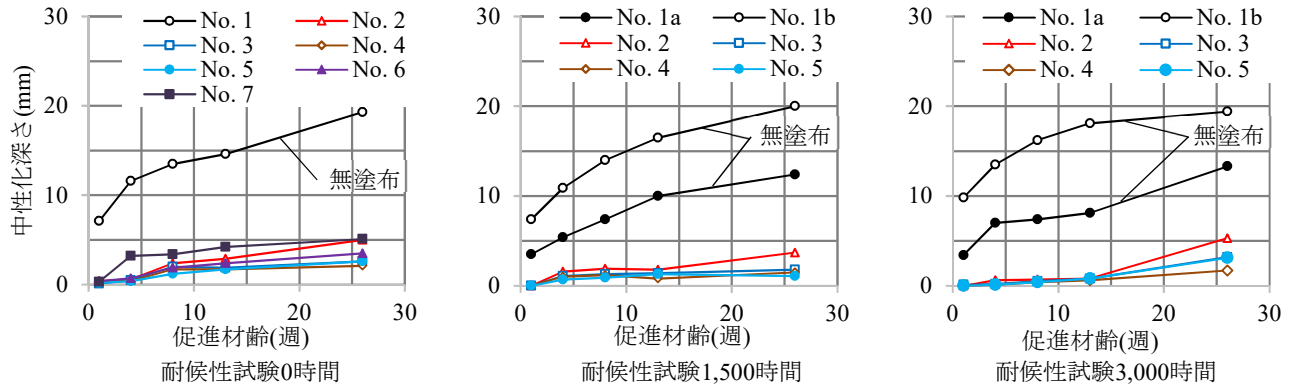


Fig. 9 中性化深さ
Neutralization Depth

4.2 試験計画

4.2.1 使用材料 基材モルタルの使用材料と調合をTable 5, Table 6に示す。クリヤ塗料は、3章で用いたものと同じものを使用した。

4.2.2 試験体の作製 クリヤ塗料を塗布するモルタル基板の概要をFig. 7に示す。基板は、耐候性試験機への設置を考慮し、厚さ20mmの平板とした。モルタルは、L150×H70×W20mmの型枠に打ち込んだ。7日間標準養生とし、その後は20℃、60%RHの室内で気中養生とした。クリヤ塗料は材齢21日から塗布した。塗布後、促進中性化試験または耐候性試験を、材齢35日から開始した。

4.2.3 試験項目と方法 試験の概略工程をFig. 8に示す。促進中性化試験は、事前に耐候性試験を行う場合と行わない場合の2ケースとし、クリヤ塗料の劣化が中性化抑制効果に及ぼす影響を確認した。耐候性試験は、JIS B 7753:2007(サンシャインカーボンアーク灯式の耐光性試験機及び耐候性試験機)の規格を満足するサンシャインウェザーメーターを使用した。促進時間は、1,500時間と3,000時間の2水準とした。それぞれの試験時間は、既往の文献を参考にし、屋外暴露の6年間と12年間に相当するものとした。

試験体の塗装仕様をTable 7に示す。無塗布の試験体は、試験体No. 1, No. 1a, No. 1bの3種類とした。試験体No. 1は耐候性試験はなしとし、試験体No. 1aとNo. 1bは耐候性試験を行うものとした。試験体No. 1bは、耐候性試験中の水の噴霧が暴露面にかからないように、アルミ袋で封かんして試験を行った。耐候性試験が終了し、促

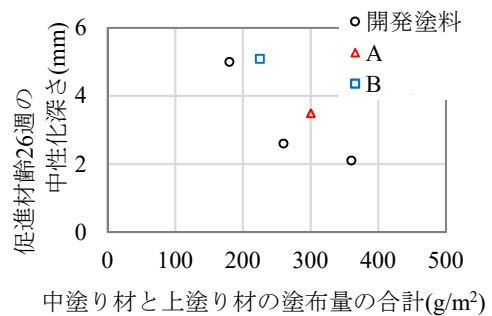


Fig. 10 クリヤ塗料の塗布量、銘柄と中性化深さの関係
Relationship between Application Amount, Brand and Accelerated Neutralization Depth

進中性化試験を行う際には、アルミ袋を取り外して試験を行った。試験体No. 1aは、封かんせずに耐候性試験を行った。耐候性試験中、試験体No. 1bは全く水の噴霧を受けず、試験体No. 1aは1サイクルの中で必ず一定時間の噴霧を受ける。屋外暴露での環境条件は、これらの試験条件の間にあると考えられる。

耐候性試験はJIS K 7350-4:2008(プラスチック実験室光源による暴露試験方法—第4部:オープンフレームカーボンアークランプ)に準拠し、噴霧条件は同規格に示されている「噴霧サイクル1」とした。耐候性試験時には、拡大鏡観察と光沢度の測定を行った。

促進中性化試験は、JIS A 1153:2012(コンクリートの促進中性化試験)に準じ、試験体の中性化深さを促進材齢26週まで測定した。

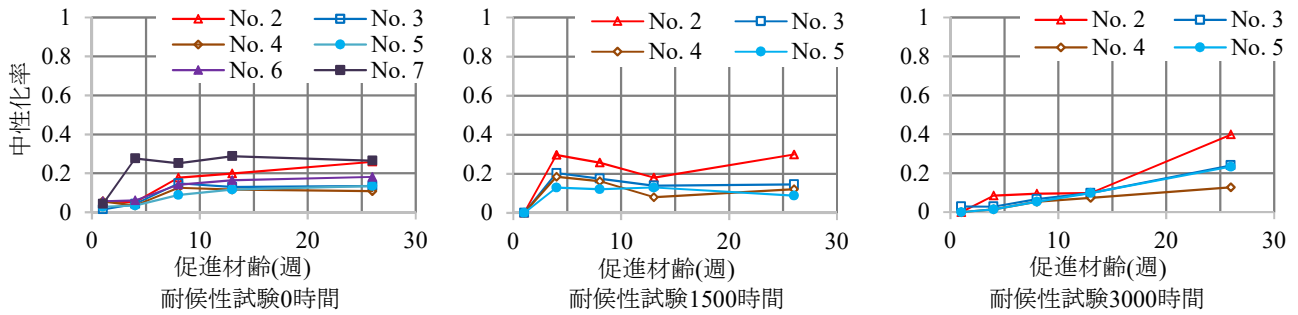


Fig. 11 中性化率
Ratio of Neutralization

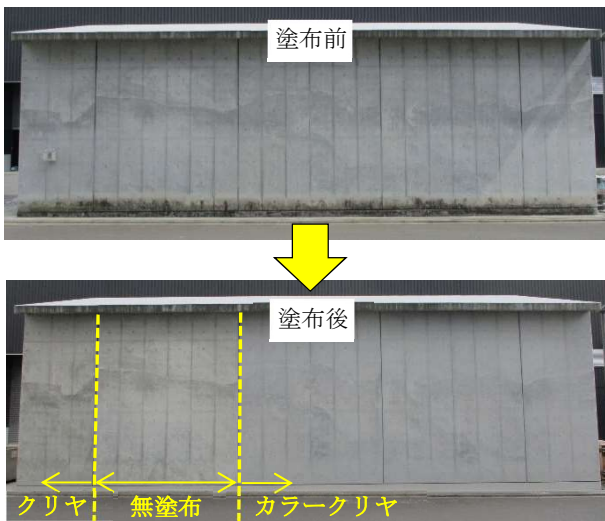


Photo 5 開発品の塗布前後の比較
Comparison of Wall Surface before and after
Application of New Product

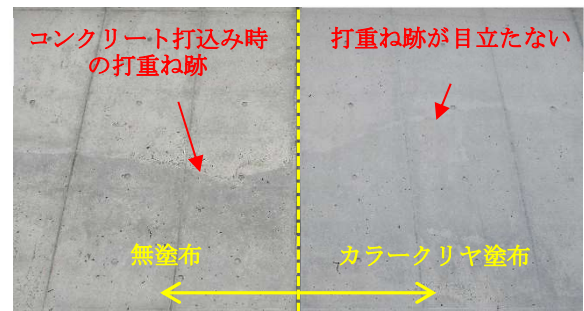


Photo 6 カラークリアによる美観性の向上効果
Aesthetic Improvement by Color Clear Coating

中性化率をFig. 11に示す。開発塗料について、耐候性試験3,000時間の場合、促進材齢26週での中性化率は、塗布量の少ない試験体No. 2は0.40まで上昇したが、それ以外は0.13～0.24であった。この試験結果から、開発塗料による高い中性化抑制効果の持続性が確認できた。

4.3 実験結果

4.3.1 拡大鏡観察 拡大鏡写真の一例をTable 8に示す。いずれの試験体も促進時間3,000時間まで、塗膜の黄変などの変色やひび割れは生じておらず、劣化の兆候は認められなかった。

4.3.2 光沢度試験 開発塗料は艶消し仕様であるため、光沢度は10未満であり全体的に小さかった。促進時間1,500時間以降、試験体No. 2～No. 5の光沢度が低下する傾向が認められたが、初期値から3,000時間までの低下は3未満と小さかった。

4.3.3 中性化試験 試験体の中性化深さの測定結果をFig. 9に示す。耐候性試験を行った場合でも、試験体No. 2～No. 5は、無塗布の試験体No. 1と比較して中性化深さは小さく、中性化の抑制効果が確認された。

また、耐候性試験を行わなかった試験体について、クリア塗料の塗布量、銘柄と中性化深さとの関係をFig. 10に示す。塗布量が多いほど中性化深さは小さい傾向である。開発塗料は、塗布量の最も少ない試験体No. 2を除くと、中性化深さは2.1～2.6mmであった。Aは3.5mm、Bは5.1mmであり、他社製品と比較しても、開発塗料の高い中性化抑制効果が確認された。

5. 実構造物を用いた試験施工

5.1 試験施工の概要

開発塗料を用いて、実構造物を対象として試験施工を行い、仕上がり状態の検証を行った。さらに、施工性および外部からの劣化因子の遮断効果についても確認を行った。対象建物は、大林組技術研究所敷地内に立地するコンクリート用骨材のストックヤード建屋であり、外壁面に開発塗料を適用した。当該建物は築5年であり、新築時には仕上げは施されていない。

試験施工での塗布は、ローラーを用いて行った。開発塗料の中塗り材と上塗り材は、市販の他社製品と比較して、やや粘度を高めに行っているため、作業効率良好であった。

5.2 施工後の外観

塗布前後の外壁面の状態をPhoto 5およびPhoto 6に示す。クリアの塗布範囲では、コンクリートの素材感が活かされ、打放し仕上げの意匠性が保持されている。また、カラークリアの塗布範囲では、コンクリート打込み時の打重ね跡が目立たなくなっており、美観性の向上効果が確認できた。さらに、カラークリアの塗布範囲は、一般

的なコンクリートとほぼ同じ色調であり、しかも素地が透けて見えることから、打放し仕上げの風合いを残した仕上がりとなっている。

5.3 施工後の性能試験

開発塗料の塗布から70日後、CO₂ガスやO₂ガスの遮断効果を確認するために表層透気試験(トレント)、雨水などの水分の遮断効果を確認するために表面吸水試験(SWAT)を行った。試験結果をTable 9およびTable 10に示す。塗布範囲は、無塗布の範囲と比較して、透気係数、吸水速度のいずれにも顕著な改善が認められた。なお、表中の評価基準は既往の文献^{6) 7)}に準拠した。今後も定期的なこれらの測定を継続していく計画である。

また、開発塗料の塗替え時期などについて、今後も検討を進めていく予定である。

6. まとめ

開発塗料を用いて、RC構造物の保護効果やその持続性について実験的に検証し、さらに、実構造物での試験施工を行った結果、以下の知見を得た。

- 1) 中性化率は0.1以下であり、高い中性化抑制効果を確認した。暴露試験でも、高い保護効果が発揮されることを確認した。
- 2) 吸水率は無塗布と比較して1/4以下まで低減でき、高い吸水抑制効果を確認した。
- 3) 塩分浸透試験では、表層の全塩化物イオン量の最大値は無塗布の1/10以下であり、高い塩分浸透抵抗性を確認した。
- 4) 塗膜の付着強さは2~3N/mm²程度であり、高い付着性能を確認した。
- 5) 耐候性試験を3,000時間(屋外暴露の12年間に相当)まで行った場合、塗膜の劣化の兆候は認められなかった。また、中性化率は0.25以下であり、高い中性化抑制効果の持続性も確認した。
- 6) 実構造物での試験施工により、良好な施工性、良好な仕上がり状態および劣化因子の高い遮断効果も確認できた。

謝辞

本開発塗料は、三菱ケミカルインフラテック株式会社および株式会社コンステックとの共同研究により得られた成果であり、多大なる御助言、御協力を賜りました。ここに深謝申し上げます。

Table 9 表層透気試験(トレント)
Result of Air Permeability Test (Torrent)

| 測定位置 | 表層透気係数 k T値(10 ⁻¹⁶ m ²) | 評価 |
|--------------|---|----|
| 無塗布 | 2.4 | 劣 |
| 開発塗料(クリヤ) | <0.001 | 優 |
| 開発塗料(カラークリヤ) | <0.001 | 優 |

Table 10 表面吸水試験(SWAT)
Result of Water Absorption Test (SWAT)

| 測定位置 | 600秒時点での 表面吸水速度 (ml/m ² /s) | 評価 |
|--------------|--|----|
| 無塗布 | 0.898 | 劣 |
| 開発塗料(クリヤ) | 0.063 | 良 |
| 開発塗料(カラークリヤ) | 0.019 | 良 |

参考文献

- 1) 河野政典, 榊田佳寛, 落合亮太, 唐沢智之: 仕上塗材の経年劣化を考慮した中性化抑制効果に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第584号, pp. 15-21, 2004.10
- 2) 兼松 学, 李 佑眞, 鶴木圭一, 長井宏憲ほか: 紫外線照射による高分子系仕上材の中性化抑制効果の変化に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1063-1064, 2009.8
- 3) 堀 一夫, 深井 公, 杉山 雅: 住宅基礎コンクリートの耐久性向上に関する基礎的研究(その16), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 249-250, 2018.9
- 4) 小林利充, 堀田和弘, 神代泰道, 三谷一房, 溝渕麻子, 酒井正樹: クリヤ系材料のコンクリート保護効果に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 251-252, 2018.9
- 5) 小林利充, 植松俊幸, 神代泰道, クリヤ系材料によるコンクリートの保護効果に関する研究(その1, その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 711-714, 2019.9
- 6) 土木学会: 構造物表面のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会(335委員会)成果報告書およびシンポジウム講演梗概集, コンクリート技術シリーズ, No. 80, PP. 30-36, 2008
- 7) 田島涼, 小松怜史, 細田暁: 注水完了までの時間の差が表面吸水試験の品質評価に及ぼす影響, 土木学会第71回年次学術講演会, pp. 957-958, 2016.9