

超微粒子酸化チタン(nanozone)等による建設材料の長寿命化に関する基礎研究

日大生産工(院) ○逸見 壮吾 日大生産工(特任教授) 森田 弘昭
日大生産工(教授) 佐藤 克己 南山 瑞彦 高橋 岩仁

1. はじめに

高度経済成長期に多くのインフラ設備が建造され、耐用年数とされる50年を超える建造物の割合が近年急激に上昇している。また、2012年12月2日に発生した山梨県大月市の中央自動車道の笹子トンネル天井板落下事故以降、国内インフラの維持管理や点検方法の改善、老朽化対策の必要性がより示唆されるようになってきた。しかし、高度経済成長期に多額の予算と人員によって建造された多量の建造物の単純更新は困難であり、これからの日本の人口減少を鑑みると現在の管理体制や点検の方法で維持していくこともまた困難である¹⁾。そのため、新しい建造物の更新は既存の建造物の長寿命化や、維持管理方法、点検方法のAIを用いた無人化、省力化を図るなど、手法の改善を行う必要がある。そこで我々は維持管理の低コスト化や人員削減に焦点を当て、建造物の長寿命化に関する研究を行った。

2. 研究材料

本研究では光触媒のひとつである酸化チタンと樹脂系養生(ニュートラックSK、以下SKとする)を用いて建造物の長寿命化を検討した。

酸化チタンは、一般的な工業材料であり、塗料・石鹸や歯磨き粉・お菓子のクリームなど幅広く用いられている。その効果は、白色呈色・防曇・防汚・ガス分解・抗菌・水浄化など多岐に渡る²⁾。建造物の分野ではこれまでも主に防汚対策として使用されてきたが、一般に用いられている酸化チタンは、粒子が大きく自力で対象面に結合できないため、バインダ(接着剤)を介して施工されてきた。そのため、酸化チタンの粒子表面がバインダに埋もれ、本来有する効果が十分に発揮されてこなかった。これに対し、本研究で使用した超微粒子酸化チタンは、その大きさを2-3nmと極限まで小さくすることにより重力の影響を受けず、接地面に直接吸着することができ

る。その結果、バインダを必要とせず、わずかな光や一瞬の光にも反応し長期的に効果を発揮し続けることが可能となる³⁾。

NTとは、水分散系ポリエステルを主成分とする被覆養生剤で、脱枠直後のコンクリート表面に塗布することで高性能被膜を形成し、初期材令における保水効果を高め、セメントの水和反応を促進する養生効果が得られる。ひび割れ低減や耐久性向上、工期短縮などが期待でき、あらゆるコンクリート構造物に適用させることができる⁴⁾。

3. 研究概要

3.1 研究内容

本研究では研究内容を以下の4つの項目(Series)に分けて研究を行った。

3.1.1 Series-1 防藻効果

下水処理水は窒素やリンなどの豊富な栄養塩を含むため、放流渠や処理水再利用施設において多量の付着性藻類を発生させる。このため、これらの施設管理者は定期的な藻類の除去作業が必要である。本研究項目では作業を回避・軽減することを目標とする。

3.1.2 Series-2 防汚効果

コンクリート製品は、使用されるまでの間ストックヤードに長期間保管されることがあり、風雨によって表面に雨筋や黒カビが発生する。出荷前には、これを除去するため、多くの時間と費用を投じている。これを回避・軽減することを目的にその効果を確認する。

3.1.3 Series-3 防食効果

下水道に用いられるコンクリートは、硫黄酸化菌のはたらきによって生成される硫酸によって腐食するケースがある。下水道管渠内は光が届きにくい状況ではあるが、その条件下において効果が発揮されるか否か確認することを目的とする。Series-3では超微粒子酸化チタンの光触媒効果よりも材料表面に稠密に吸着する効果に期待している。

Study on the effectiveness of ultrafine particle titanium dioxide
and other materials for construction materials

Sogo HENMI, Hiroaki MORITA, Katumi SATO,
Mizuhiko MINAMIYAMA and Iwahito TAKAHASI

3.1.4 Series-4 防錆効果

建設材料として用いられる鉄筋・鉄骨(ダイヤフラム等)は、時として風雨にさらされずとも長期間にわたって保管されることがあり、発錆は避けられない状況にある。これを軽減することを目的にその効果を確認する。

3.2 使用する供試体

各試験項目で使用した供試体の種類を表-1に、使用した供試体の画像を図-1に示す。

表-1 各試験で使用した供試体

区分	効果	対象材料
Series-1	防藻効果	ステンレス モルタル 樹脂系養生剤
Series-2	防汚効果	モルタル 樹脂系養生剤
Series-3	防食効果	モルタル 鉄 樹脂系養生剤
Series-4	防錆効果	鉄



図-1 使用した供試体

3.3 試験方法

3.3.1 Series-1

大型のバットを N 市下水処理施設にて採取した下水処理水で満たし、その中に供試体を設置した。また、下水処理施設の処理槽内を再現するために水流作成装置を設置し、雨水等の流入を防ぐためにプラスチック板をバットに被せた。それらを屋外に設置し暴露試験を行った。

実験ケースは酸化チタンの塗付なし、1 回塗布、10 回塗布、NT 塗付あり酸化チタンの塗付なし、NT あり酸化チタン 1 回塗布、NT 塗付あり酸化チタン 10 回塗布の 6 ケースとし、それぞれ 10 枚ずつの供試体を設置し 7 日ごとに計測を行った。

3.3.2 Series-2

直射日光の当たる上段と日陰になる下段の 2 条件で試験を行った。実際の保管場所を考慮し、風雨の影響は考慮せず試験を行った。

実験ケースは、上段と下段それぞれ酸化チタンの塗付なし、1 回塗布、10 回塗布の 3 ケースずつとし、NT 塗付あり酸化チタンの塗付なし、NT あり酸化チタン 1 回塗布、NT 塗付あり酸化チタン 10 回塗布それぞれ 10 枚ずつの供試体を設置し 3 か月ごとに計測を行った。

3.3.3 Series-3

C 市内の硫化水素濃度の高いマンホール内の足掛け金物にかごを設置し、その中に供試体を設置した。

実験ケースは酸化チタンの塗付なし、1 回塗布、10 回塗布、NT 塗付あり酸化チタンの塗付なし、NT あり酸化チタン 1 回塗布、NT 塗付あり酸化チタン 10 回塗布の 6 ケースとし、それぞれ 1 枚ずつの供試体を設置し 6 か月ごとに計測を行う。

3.3.4 Series-4

日光の当たる屋内と日光の当たらない屋外の 2 か所に黒皮と呼ばれる酸化被膜を擁した供試体と酸化被膜のない供試体の二種類を設置した。屋外に設置したものは、風雨の影響は考慮せず直接暴露を行った。

実験ケースは酸化チタンの塗付なし、1 回塗布、10 回塗布の 3 ケースを酸化被膜のあるものとなないもので合計 6 ケースとし、それぞれ 10 枚ずつの供試体を設置し計測を行った。

3.4 試験項目

各項目の計測項目を表-2に示す。

表-2 各試験での計測項目

区分	試験項目	備考
Series-1	外観目視 ※色差計測 付着物量	付着物量は乾燥重量を計測
Series-2	外観目視 ※色差計測	
Series-3	外観目視 ※色差計測 質量変化	
Series-4	外観目視 発錆率	発錆率は画像処理にて計測

※色差計測ではポータブル色差計(アズワン株式会社製 TES-3250)を用いて標準色としての白色との色差の変化を測定する。

4. 試験結果

4.1 Series-1

外観目視、色差計測、付着物量の計測結果のうちすべてが酸化チタンをより多く塗布したものが藻類はより多く発生しているという結果が得られた。色差計測にて得られた数値のうちB方向(正が青、負が黄色方向)の変化を図-2、図-3に、付着物の乾燥重量を表-3に示す。

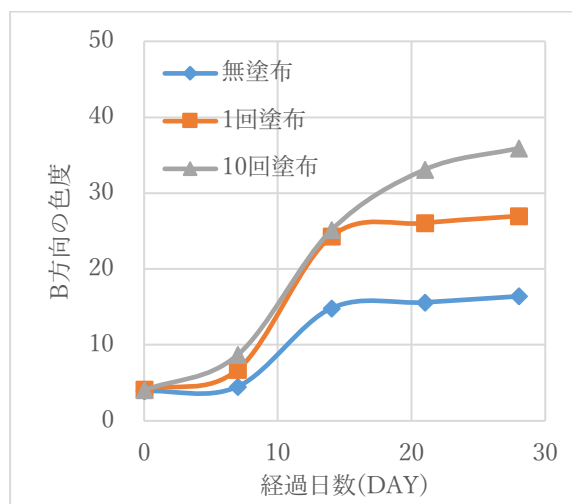


図-2 NTなし モルタル供試体

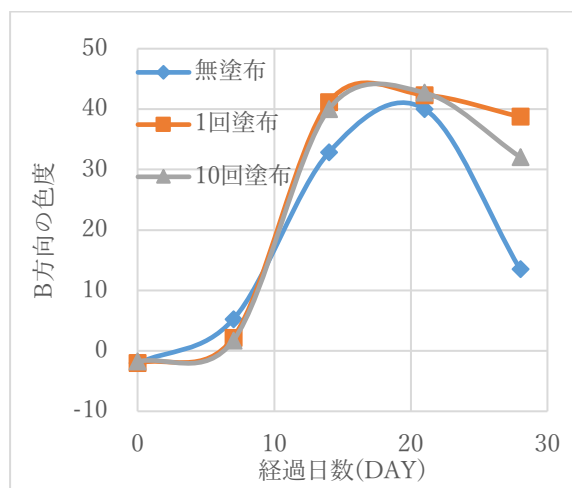


図-3 NTあり モルタル供試体

表-3 モルタル供試体 乾燥重量

酸化チタン塗布回数	NTの有無	乾燥重量(g)
0回	あり	0.1434
1回		0.3096
10回		0.5177
0回	なし	0.5070
1回		0.6425
10回		0.5284

4.2 Series-2

外観目視ではNTを塗布したものが少しだけ茶色く変色しているように見え、一部剥離して丸く剥がれており、その穴に汚れがたまっていた。酸化チタンのみを塗布したものに関しては大きな変化は見受けられなかった。

色差計測の結果は3か月目の計測では大きな差は見られなかった。

4.3 Series-3

防食効果については試験期間が6か月であるため初回の計測がまだ実施できていない。

なお、計測時は現地にて各種計測を行う必要があるため、計測時の準備を進めているところである。

4.4 Series-4

外観目視、発錆率ともに酸化チタンをより多く塗布したものが錆の発生時期、増加量のどちらも早かった。図-4に供試体表面積の錆面積率の経日変化を示す。

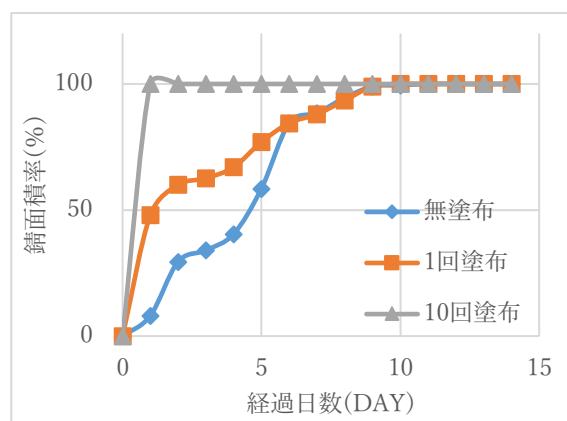


図-4 錆面積率の経日変化

5. 結果の検討及び今後の展望

5.1 Series-1

研究開始時の仮説とは異なり酸化チタンをより多く塗布しているものの方が藻類の発生が早い。また、酸化チタンの塗布量が多い方が藻類の発生量が多いという結果が得られた。なお、これは2020年度の研究⁵⁾と同じ結果である。これらのことから、水中において酸化チタンは何らかの理由で藻類の発生を促進させることが示唆される。なお、NTの塗布無塗布は藻類の発生には無関係であると考えられる。

一方で、本研究では雨水の流入、処理場現用の水流作成装置による流れの不均一性など設備や条件の不正確性が見られることから

試験条件の不備を再検討して同じ実験を再度行う。また、N市浄化センターの塩素滅菌前の処理水が流れるビオトープに供試体を設置して現場実験を実施する。

5.2 Series-2

NTは樹脂系の養生材であるため、紫外線によって劣化し変色、剥離したと考えられる。現状、汚れの原因と考えられるものは雨水だけであるため、より長期的な観測が必要であると考えられる。

5.3 Series-3

初回の計測がまだ実施できていないが、実施出来次第、その計測結果を基に条件等を設定して研究室規模での試験を行う。

5.4 Series-4

研究開始当初、超微粒子酸化チタンを塗布すると錆の発生が遅延すると仮定していたが実際は、酸化チタンを塗布した方が非常に早くかつ多く錆が発生した。また、雨の翌日に著しく錆が発生していた。このことから酸化チタンは本来の酸化剤としての役割を果たし錆の発生を促進させたと考えられる。

また、黒皮(酸化被膜)のあるものの方が錆の発生時期が遅くその進行も穏やかである。ことから、酸化皮膜処理は鉄材を錆から守るのに一定の効果を発揮していることが分かった。

5.5 今後の課題

Series-1 防藻効果の実験結果を受け、酸化チタンは何らかの影響で藻類の発生、育成を促進する効果があることが分かった。そこで近年バイオマス燃料や健康食品などで注目されるユーグレナ(ミドリムシ)やクロレラの発生、育成の促進に応用できないかという点に着目して研究を行う。また、酸化チタンを投入したことによって藻類の育成に影響を及ぼす原因も併せて検討したい。

Series-2 防汚試験では、構造物の壁面の汚れについても併せて試験を行うために、より大きな供試体で追加実験を行っている。

Series-4 防錆試験では今後の検討事項として、当初想定していたより早い時期から錆が発生し錆の発生時刻を捕捉することができなかったため、次回の実験では酸化チタン塗付後、数時間後の経過観察を行う。また鉄が錆びるには水の存在が大きいことがわかった。水分の遮断や水中など場所や条件を変更して観察する。

参考文献

- 1) 国土交通白書 2021年(2023年9月28日閲覧)
(<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r02/hakusho/r03/html/nh000000.html>)
- 2) 藤嶋昭・橋本和仁・渡部俊也：入門ビジュアルサイエンス 光触媒のしくみ、pp8-11 (2000)
- 3) nanozone japan HP：自己結合性酸化チタン(2023年10月3日閲覧)
(<https://nanozone.jp/technology/>)
- 4) 清水建設 HP：ニュートラックSK (高性能被膜養生剤) (2023年10月3日閲覧)
(<https://www.shimz.co.jp/solution/tech308/index.html>)
- 5) 森田弘昭・山口晋・佐藤克己・高橋岩仁・新田智博：付着性藻類の防御手法に関する基礎研究,第59回下水道研究発表会講演集 pp358-360 (2022)