

酸化チタン光触媒を用いた社会基盤構造物の景観保持に関する研究

研究代表者：松下 博通（九州大学大学院工学研究院）

1. 研究開発の目的

従来の社会基盤構造物では安全性や使用性，耐久性が重視されてきたが，これからの社会基盤整備では，美しく魅力ある国土づくり・地域づくりが求められ，構造物には美観や周辺環境との調和を考慮することが求められる。

社会基盤構造物の多くは，雨水，日射，排気ガスなどにさらされ，その表面に粉塵の付着や，カビ，コケ等が発生する事により徐々に汚れが付着する。これらの汚れを除去するためには定期的な清掃や塗装などの作業が必要となり，美観を長期間維持するためには多額のメンテナンス費用がかかる。

近年，防汚技術の一つとして，光触媒作用を有する酸化チタンが注目されており，自動車の内装や建築用のタイルなどに応用されている。しかしながら，土木分野での適用事例は少ない。

そこで本研究では，主にコンクリート構造物を対象とし，酸化チタン光触媒を塗布した場合における防汚性，コンクリートの耐久性の評価を行うとともに，実環境下における曝露試験，試験施工を実施し，酸化チタンの防汚性能について研究を行った。

2. 酸化チタン光触媒の防汚技術の原理

酸化チタンは，太陽光や蛍光灯から出る紫外線を受けると，光励起が起こり，粒子内部で正孔(h⁺)と電子(e⁻)が生じる。生成されたh⁺とe⁻はそれぞれ強い酸化力，還元力を有し，これが表面に接触する物質と化学反応を起こす事になる。また，h⁺やe⁻が大気中の水や酸素と反応することで，強い酸化分解力を持つヒドロキシラジカル(-OH)やスーパーオキシドイオン(O₂⁻)が生成される。この作用により，有害な物質が分解・除去される(図-1)。また，超親水性という性質を有し，表面に付着した汚れが落ちやすくなる。

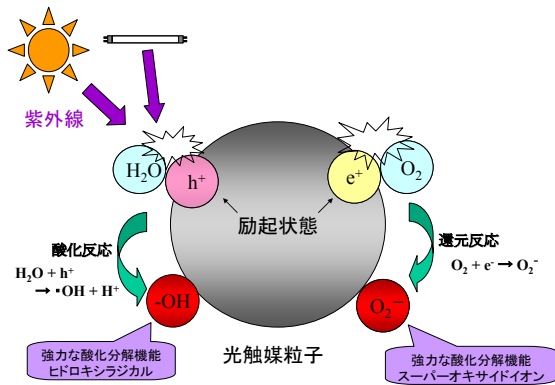
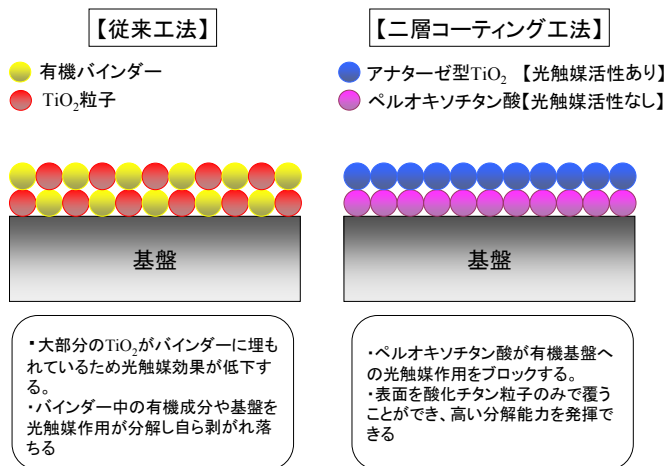


図-1 酸化・還元反応のメカニズム

また，超親水性という性質を有し，表面に付着した汚れが落ちやすくなる。

酸化チタンのこれらの特徴は、比較的古くから知られているが、基盤に接着する際、有機系バインダーを使う従来からの方法では、光触媒作用によりバインダー自体が分解してしまい、長期固定が不可能になる。また基盤が有機物である場合は、酸化チタンが触れると光触媒作用により分解してしまい、基盤に損傷を与える可能性がある。この問題を解決するため、本研究では、ペルオキソチタン系コーティング剤を用いた塗布工法に着目した（図-2）。



この工法は光触媒活性が低いペルオキソチタン酸ゾルを主成分とする溶液を下塗り剤として使用し、アナターゼ形酸化チタンを主成分とする溶液を上塗り剤として使用する2層コーティング工法である。この工法で光触媒を塗布することにより塗料等の有機基盤上においても基盤を破壊することなく酸化チタンの効果が得られる。さらに従来のバインダーを使った塗布工法に比べ、紫外線照射を受ける酸化チタンの表面積が増加するため、高い分解能力が得られる。

図-2 酸

3. 酸化チタン光触媒の防汚性能の評価

本研究開発では、一般的に汚れの付着が著しいと言われるコンクリート構造物を主に対象としている。写真-1および写真-2はそれぞれ、ガラス基板、モルタル基板へそれぞれ光触媒を塗布し、表面の様子を電界放射型走査電子顕微鏡(FE-SEM)により撮影したものである。

これらの写真より、ガラス基板上での光触媒が膜となっていることは確認できるが、モルタルのように表面の凹凸や内部空隙、吸水性を有する基板上に光触媒を塗布した際に膜となっているかどうかは不明である。またその際の光触媒効果に関しての研究データは少ない。

そこでモルタルに酸化チタンを塗布した場合の有効性について検証した。「汚れ」のモデルとしてメチレンブルー試薬を用い、メチレンブルーの退色変化からモルタルの防汚性の評価を行なった。その結果、モルタルへ酸化チタンを塗布した場合、防汚効果が発揮されることが明らかとなった。

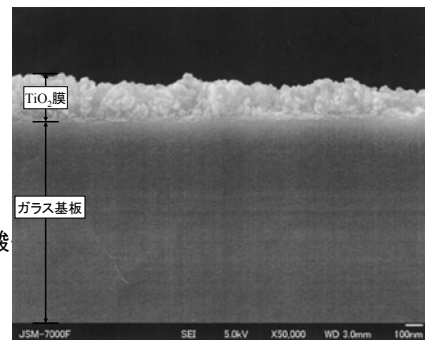


写真-1 酸化チタン光触媒を塗布したガラス表面の状況

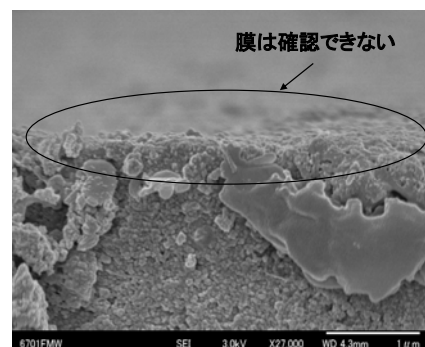


写真-2 酸化チタン光触媒を塗布したモルタル表面の状況

4. 実環境下における酸化チタン光触媒の防汚性能の評価<試験施工結果>

表-1 に示す箇所において、試験施工・曝露試験を実施し、酸化チタン光触媒の防汚性能の持続効果に関する調査を実施した。

表-1 試験施工・曝露試験実施場所一覧

場所	実験概要	汚れの要因
(1) 港旅客ターミナル	ガラス面への試験施工	ガラスフレームの塗装の白亜化、飛来塩分
(2) トンネル坑口コンクリート	コンクリート面への試験施工	排気ガス、コケ類、藻類
(3) トンネル内パネル	パネルへの試験施工	排気ガス
(4) 護岸コンクリートブロック	コンクリート面への試験施工	コケ類、藻類



写真-3 港旅客ターミナルビル
ガラス面の状況(8ヶ月後)

(5) 高速道路料金所	塗装鉄板, モルタル板による 曝露試験	排気ガス
-------------	------------------------	------

(1) 港旅客ターミナルガラス面への適用結果

施工後8ヶ月の状況を写真-3 に示す。写真より、酸化チタン無塗布面においてはガラスの透明度が低下し、映り込む像が不鮮明なのに対し、酸化チタン塗布面においては映り込む像が鮮明であり、光触媒の防汚効果によりガラス表面に汚れが付着していないことがわかる。なお、無塗布面の汚れは、フレームの白色塗料が白亜化（チョーキング）を起こした結果である。また、飛来塩分の付着も考えられる。

(2) トンネル坑口コンクリートへの適用結果

施工後8ヶ月の状況を写真-3 に示す。排気ガスおよび凹凸部への藻類・コケ類の付着が汚れの要因となる箇所であるが、酸化チタン塗装部分（三角形①②④）では、コンクリート本来の色調を呈しており、汚れの付着が進行していない事が分かる。



写真-6 護岸コンクリートブロックの状況
(8ヶ月後)



写真-4 トンネル坑口コンクリート
面の状況(8ヶ月後)

写真-5 トンネル内パネルの状況(8ヶ月後)

(3) トンネル内パネルへの適用結果

上記(2)と同じトンネル内部のパネルへの試験施工を実施した。施工後8ヶ月の状況を写真-5に示す。今回試験施工を実施した場所は、トンネル坑口に比較的近く、日射が届く範囲内であったため、防汚効果が認められた。

(4) 護岸コンクリートブロックへの適用結果

既にコケ類・藻類などの付着により黒色に変色した護岸コンクリートブロックに対し、

「水洗のみ」、「水洗+酸化チタン塗布」、「酸化チタン塗布のみ」、「無処理」の4要因により酸化チタンの防汚性能の効果の比較を行った（写真-6）。

その結果、酸化チタン塗布前に水洗処理を施すことにより防汚性能が長期間持続することが明らかとなった。護岸ブロックなどに酸化チタン光触媒を適用することにより、コケ類・藻類の付着を防止でき、水辺空間の整備に当たり「すべり防止」の機能を付与することができると考えられる。

(5) 高速道路料金所での曝露試験結果

料金所ブース近くに設置した試験片の状況を、写真-7, 8 に示す。基盤は白色セメントモルタルおよびシリコンアルキド樹脂系塗料を塗布した鋼板とした。

1ヶ月後では、モルタル、鉄板塗装面の両方で防汚効果が認められたが、3ヶ月では鉄板塗装面の方が防汚効果が持続していることが顕著に認められた。



写真-7 高速道路料金所における曝露試験結果(1ヶ月後)



写真-8 高速道路料金所における曝露試験結果(3ヶ月後)

5. 新設構造物への適用結果

一般国道 208 号の混雑緩和および有明海沿岸の連携を図るため、現在、大牟田高田道路・高田大和バイパス・大川バイパスから成る有明海沿岸道路の整備が進められている。有明海沿岸道路の一部である矢部川橋（写真-9）は、矢部川に架かる橋長 517m の 3 径間連続 PC 斜張橋である。本橋は、矢部川河口の田園地域に架けられるため、**景観に与えるインパクト**が大きく、また、周辺住民に対し**シンボル性**を有する構造物となる。



写真-9 矢部川橋建設状況

斜張橋の主塔の斜材定着部では、雨水によって汚れが付着しやすい上、完成後の清掃が困難な場所である。このような場所では、**汚れ防止**および**景観保持**が期待される。よって、本橋では、**建設時に防汚技術を適用することとし**、主塔のうち、**斜材定着部周辺**を対象に酸化チタン光触媒を塗布した。

酸化チタン光触媒の塗布部位は、図-3 のうち、紫色着色部（ $321\text{m}^2 \times 2$ 主塔＝計 642m^2 ）である。コンクリート表面の清掃を行った後、酸化チタン 3 層塗りとし、塗装完了後には、**メチレンブルー**による防汚性能確認試験を実施した。**写真-10** および**写真-11** に示す通り、酸化チタン塗布部の方がメチレンブルーの**退色速度**が大きく、防汚性能を有していることを確認した。なお、**脚頭部**（図-2 中の水色着色部）は、主塔および桁からの雨水を受け、また、地表面に近く、汚れが付着する可能性が高いため、今後、

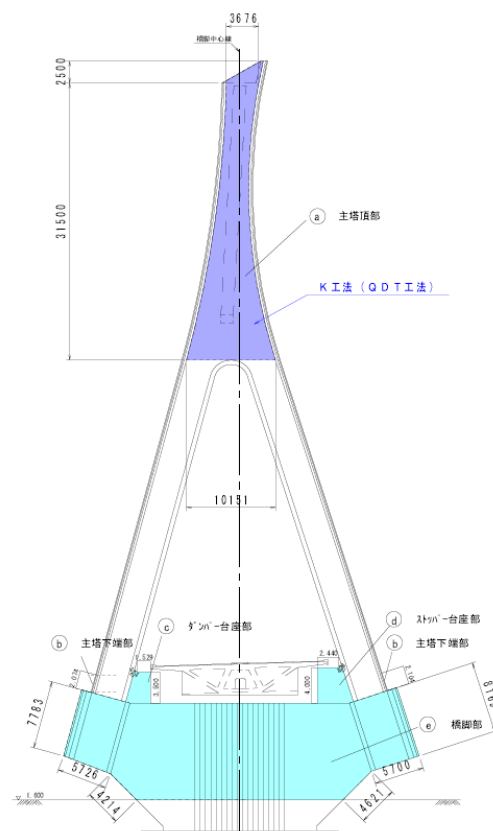


図-3 矢部川橋主塔酸化チタン塗布部位
(紫色着色部)

酸化チタン塗布工法の適用について検討を行う予定である。



写真-10 メチレンブルーによる防汚性能確認状況(施工直後)



写真-11 メチレンブルーによる防汚性能確認状況(5時間後)

6. 総括

本研究開発では、美観・景観に配慮した社会基盤構造物の構築を目指し、酸化チタン光触媒をコンクリート構造物等に適用した場合の防汚性能について明らかにすることを目的とし、室内実験、試験施工および実構造物における施工を実施した。

まず、室内試験では、コンクリート・モルタルに酸化チタンを塗布した場合、光触媒作用によるメチレンブルーの退色が認められ、防汚効果が発揮されること、コンクリート自信の耐久性(中性化・塩化物イオン浸透速度)に及ぼす影響は無いこと等を明らかにした。

次に、試験施工として、建築物・トンネル・護岸コンクリートなどの一部に酸化チタンを塗布した結果、防汚効果が発揮されていることを確認した。既存構造物については、事前の水洗処理が無くとも防汚効果が現れるものの、水洗処理を施すことにより更に効果が高まることを明らかにした。

最後に、斜張橋主塔の斜材定着部への塗布を行い、新設構造物への適用を行った。実施工にあたり、メチレンブルーの退色試験を管理項目(塗布部位の確認)として用いることについて妥当性が検証できた。

防汚効果の持続性・寿命、酸化チタン塗布工法の採用によるライフサイクルコストの定量的評価等については、今後の課題である。