

塗装色の経年変化と維持管理を考慮した 土木施設の色彩設計のあり方

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 地域景観チーム

榎本 碧

笠間 聡

福島 宏文

本研究は、土木施設の塗装色に関して、経年変化と維持管理の観点から景観と長期耐久性を考慮した色の選定方法を検証した。現地調査と促進試験による塗装色のマンセル値の定量分析、および色の経年変化を考慮した印象評価実験から、高彩度色は変化が大きく景観への印象が低下する一方、低彩度色は変化が少なく景観調和性が高いことを明らかにした。これを踏まえ、低彩度色を基準とし、立地環境に応じて明度と色相を調整する色彩設計手法を提案し、鋼橋を対象に色彩選定の施行を行った。

キーワード：塗装、色、経年変化、長期耐久性

1. はじめに

公共空間において土木施設の塗装などの仕上げの色が景観や施設機能に及ぼす影響は大きい。国立公園などの環境に配慮が必要な地域では、山林に囲まれた立地に馴染むこげ茶が景観色として使用されてきた。また、道路附属物では景観4色とされるダークブラウン（10YR 2/1）、ダークグレー（10YR 3/0.5）、グレーベージュ（10YR 6/1）、オフグレー（5Y 7/0.5）の4色などを採用し、景観に馴染む（融和する）色を使用する事例が増加している（写真-1）。

一方で、地域や土木施設の種類によっては慣例的に使用されてきた彩度の高い鮮やかな色を使用し続ける事例もいまだ多い（写真-2）。こうした赤や黄系の明度、彩度の高い色は、緑系の色相が有意な自然環境下において補色関係にあるため、使い方によっては景観に調和（対比調和）する場合もある。しかし、水門や橋桁のように使用する面積が大きい場合や、防護柵、照明柱等のように連続して多数設置される場合、土木施設の設置者ごとに多種多様な色が用いられる場合など、景観を阻害するケースも多々ある。

維持管理においては、経年変化による塗装等の褪色や変色、除雪による剥がれなどの課題もある。再塗装までの期間によって、褪色などの外観の劣化が進行したまま長期間使用される土木施設も多い（写真-2）。さらに、予防保全措置の実施に伴い、部分的な補修による塗装色のばらつきにより、景観が損なわれる事例もみられる（写真-3）。

これらの課題に対応するため、本研究では公共空間の景観向上を目的に積雪寒冷地の土木施設の塗装等の仕上げ



写真-1 景観色が使用された土木施設
（札幌市内／グレーベージュ）



写真-2 高彩度色で塗装された土木施設。塗装ムラや錆、塗装剥がれなどの外観への影響が顕著に表れる

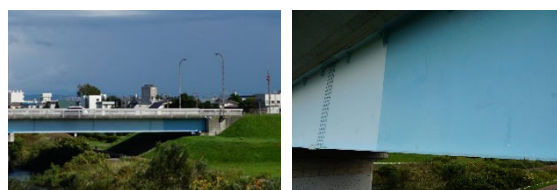


写真-3 補修時に部分的に再塗装された土木施設

について、褪色などの見た目の変化がどのように進むかを文献調査および促進試験から明らかにし、経年による色の変化の傾向の異なる塗装方法について景観評価を行い、経年変化や長期耐久性を考慮した色彩の設計手法について明らかにした。また、これらの分析をもとに低彩度色を基準とし、立地環境に応じて明度と色相を調整する色彩設計手法を提案し、橋桁での試行で検証した。

2. 塗装色の経年変化に関する既往研究

土木施設に一般的に使用されるポリウレタン樹脂系等の塗料は、塗膜の減耗に伴い、塗装色の見た目の変化も起こる。重防食塗料ガイドブックによれば、特に色の変化に繋がる自然光の紫外線環境における減耗速度はポリウレタン樹脂系（減耗 $2\mu\text{m}/\text{年}$ ）＞フッ素樹脂系（ $0.5\mu\text{m}/\text{年}$ ）である。機械工事塗装要領（案）・同解説²⁾に示される基本的な塗装仕様では、ポリウレタン樹脂系塗料の上塗厚さは $30\mu\text{m}$ であり、この場合、減耗速度から耐用年数は15年となる。

既往研究では、暴露試験および促進試験を通じて、ポリウレタン樹脂系塗装等の経年による色の変化について、色差 ΔE^* の結果が示されている¹⁾³⁾。一方、土木施設の色彩設計においては、日本塗料工業会色番号や対応するマンセル値により塗装色の検討が行われることが多い。そこで、これらの既往研究の結果から、マンセル値における色相、明度、彩度の変化がどの程度生じるかを比較分析した。なお以降、色相、明度、彩度と表記した場合は、マンセル値における色相、明度、彩度を指すものとする。

(1) 屋外暴露試験20年経過後の色差の分析

重防食塗料ガイドブック²⁾では、色相および濃淡の異なる塗装色について、20年経過後の色差の計測を行った結果が示されている。この調査では一部の色を除くと、おおまかな色名、色の種類、濃淡のみが示され、具体的な日本塗料工業会の色番号やマンセル値は示されていない。そのため、試験片の当初の色相、明度、彩度は不明である。また色の変化についても色差 ΔE^* のみが示されているため、経年による色相、明度、彩度、もしくは $L^*a^*b^*$ のそれぞれの変化は分からない。なお、色差 ΔE^* は、CIE76色差式⁴⁾により

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

により算出できる。なお、 ΔL^* は色測計により計測した明度 L^* の差、 Δa^* は赤緑成分 a^* の差、 Δb^* は黄青成分 b^* の差を表す値である。

20年経過後の色差の結果を色相ごとに再編集したグラフを図-1に示す。これによると赤系の濃彩において ΔE^*

=34と最も変化が大きく、このほか、赤、緑、青系の中彩では $\Delta E^* > 20$ であった。淡彩の ΔE^* の平均値は約5で、色の変化は濃彩、中彩に比べて小さかった。

(2) 屋外暴露試験5年経過後の色変化の分析

(1) では、色の濃淡や色相ごとの ΔE^* の変化量の傾向を把握した。この経年による ΔE^* の変化量に対する色相、明度、彩度の変化量の関係を明らかにするため、土木研究所が1973～78年に神戸市で実施したポリウレタン樹脂系塗装を対象とする5年間の暴露試験の結果³⁾を分析した。この試験結果の報告書では、暴露試験の経過を

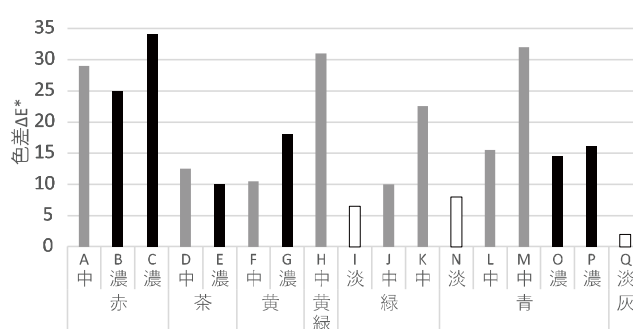


図-1 ポリウレタン樹脂の暴露20年後の色差の比較
(文献¹⁾の試験結果を色相ごとに分類)

表-1 土木研究所屋外暴露試験の対象色

(文献³⁾色見本の計測結果からの再現色)

色相	濃淡	顔料	色相	濃淡	顔料
a	赤 濃	アゾ系赤 100%	g	黄 淡	酸化鉄黄 40% チタン白 60%
b	赤 淡	アゾ系赤 30% チタン白 70%	h	緑 濃	シアニグリーン 80% チタン白 20%
c	赤 濃	アゾ系赤 50% 并柄 50%	i	緑 淡	シアニグリーン 10% チタン白 90%
d	赤 淡	アゾ系赤 15% 并柄 15% チタン白 70%	j	青 濃	シアニブルー 70% チタン白 30%
e	朱 濃	モリブデートオレンジ 100%	k	青 淡	シアニブルー 5% チタン白 95%
f	黄 濃	酸化鉄黄100%	l	灰 淡	カーボン1% チタン白 90%

%は重量比

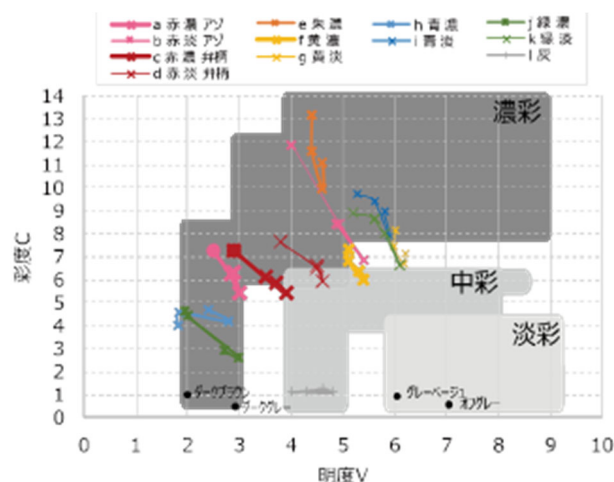


図-2 明度V-彩度Cの変化量（試験前-5年／水洗前の比較）
文献³⁾の色見本の計測結果から得た推定値

色見本（カラーチップ）、最終的な色の変化を色差 ΔE^* で記録されている。報告書中の当時作成された色見本は、0年（試験前）、3年（水洗後）、5年（水洗後）、5年（水洗前）の4つのデータがある。これらの色見本から色測計（コニカミノルタ、CR-20）により $L^*a^*b^*$ および色相、明度、彩度を計測した。また、濃彩色の色相の計測結果はばらつきが大きかったため、JIS色票を用いた目視による色測を行い、推定値を得た。

本試験の対象色を表-1、計測結果を図-2に示す。本試験では赤、黄、緑、青、無彩色の各色相について、顔料の配合を変えた濃彩色、淡彩色の計12色が対象であった。なお、計測の結果、無彩色を除くすべての対象色は、現在の積算単価では濃彩に分類される。

計測の結果、5年間の暴露で最も変化の大きかったb)アゾ系顔料を用いた淡彩色の赤（アゾ系赤80%、チタン白20%）で、明度が2ポイント上昇し、彩度が5ポイント低下していた。この時の $\Delta E^*=30.8$ （報告書の $\Delta E^*=30$ ）であった。一方、変化の小さかったのは濃彩色の青および無彩色で、どちらも明度が約1ポイント上昇し、彩度の変化はほとんどなかった。色差 ΔE^* は濃彩色の青が10.1（報告書 $\Delta E^*=14$ ）、無彩色が8.4（報告書 $\Delta E^*=9.5$ ）であった。この結果から、ポリウレタン樹脂系塗装の経年による色の変化は、明度が上がり、彩度が下がると考えられる。また、紫外線の影響を最も受ける赤は、他の色相に比べて特に彩度の変化が大きかったことが分かった。

なお、新たに表-2に示すサンプルについて1400時間の促進試験を実施した結果、同様の傾向が見られた（図-3）。これらの促進試験結果の詳細は既報⁵⁾を参考にされたい。

表-2 促進試験の対象色

	色相	明度	彩度	備考
1	赤	7.5R	5	配合等の異なる塗料
2		7.5R	5	
3		7.5R	5	
4	朱	10R	5	
5	黄	2.5Y	8	
6	黄緑	5GY	6	
7	緑	5GY	5	
8	青緑	5BG	5	
9	青	10B	4	
10	景観色	10YR	2	ダークブラウン
11		10YR	3	ダークグレー
12		10YR	6	グレーベージュ
13		5Y	7	オフグレー

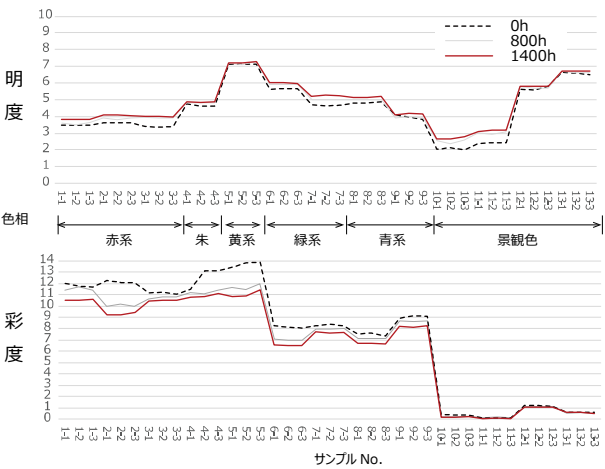


図-3 促進試験による明度および彩度の変化
(1400 時間経過後)

3. 経年変化を考慮した土木施設の塗装色に関する景観評価

(1) 実験概要

本実験では、2.で分析した経年による色の変化の特徴を踏まえて、河川施設を対象とした塗装色の印象評価実験をWEBアンケートにより実施し、色の経年変化に伴う印象評価の変化を分析した。印象評価実験の対象色を図-4に示す。評価色は、①河川施設でよくみられる塗装色、②①の塗装が経年により褪色した色（明度2ポイント上昇、彩度5ポイント低下した場合を想定し、日本塗料工業会色見本帳から近似色を抽出）、③②の代替色（彩度2程度で経年変化の比較的小さい色）、④③に含まれない景観色として用いられる色（彩度1以下）の4種類のグループに分けて設定した。なお、プレ実験で色の違いが表現できなかった低明度色は、本実験では除外し未評価とした。また、WEB画面上ではテクスチャの変化等の評価が難しいと考えられたため、色変化のみの評価とし、本試験では、光沢の変化や、褪色や刷毛ムラによる表面



図-4 印象評価実験の対象色

の色変化のばらつき、亜鉛メッキ等の素材のテクスチャの評価は行っていない。

評価実験に使用した画像は、上屋あり樋門と上屋なし樋門の2種類の構図とし、それぞれの特徴的な視点場から撮影を行った。評価に使用した画像例を図-5に示す。実験では上記の2種類の構図について19色の異なる評価

色を用いた土木施設の画像を1枚ずつ提示し、景観に馴染むかどうかを7段階で評価してもらい、回答者数に基づく合計得点で評価を比較した。

(2) 実験結果のまとめ

実験結果を図-6に示す。この結果、個別の色ごとの評価に有意な差は見られないが、全体の傾向として、①よく使用される色、②褪色後の色、③代替色・景観色のグループ間の評価には有意差が見られた（Kruskal-Wallis検定、 $p=0.04$ ）。特に、①よく使用される色および②褪色後の色に比べて、③代替色・景観色のグループの評価は有意に高い。

なお、①現在よく使用される彩度の高い色や、これらの色が②褪色した色の評価の傾向には、色ごとにばらつきがある。このうち、②褪色後の色の評価が高まるのは、経年変化で彩度が低下するため、高彩度の色も次第に景観に馴染む色に変化するケースがあるためである。しかし、これらのグループよりもさらに③代替色・景観色の方が全体的な評価が高い。また、今回はテクスチャの変化についての検証は行っていないが、実際には褪色による表面のムラや白化などの影響により、実物を対象とした場合の経年による印象評価は、色のみを対象とした本実験よりも低下することが推測される。なお、①③④の色のグループの評価結果は、2020年に河川堤防上で実際の塗装色サンプルを対象に実施した色彩評価実験の結果とも傾向は一致する。これらの試験結果は既報⁶⁾を参考にされたい。

以上の結果から、経年変化による褪色を考慮した場合、彩度の高い鮮やかな色を使用するよりも、彩度2以下の低彩度の塗装を使用した方が印象評価は高いことがわかる。これらの色は、色別に比較した積算単価⁷⁾も高彩度の色に比べて小さく、経年による色変化も小さいため、維持管理面でも利点大きい。これらの評価の傾向についてグループごとに図-7にまとめた。

A：高明度・低彩度の色：積算単価が最も小さい淡彩色のうち、経年による色の変化が最も小さく、景観評価も高いグループ

B：明度5以下・低彩度の色：経年により明度が1～2ポイント程度上昇するが、景観評価の高いグループ

C：高明度・彩度2の色：高明度のため経年による色の変化は小さいが、彩度2のため、土木施設の立地する環境の色彩を考慮して、色相の選定に十分な色彩検討が必要なグループ

土木施設の色彩設計では、上記のA～Cに分類するグループに基づいて、土木施設の規模や形状、立地環境の色彩を考慮することで、景観や維持管理に配慮した色選定が可能となる。



図-5 設問画像例（上：上屋あり樋門、下：上屋なし樋門）

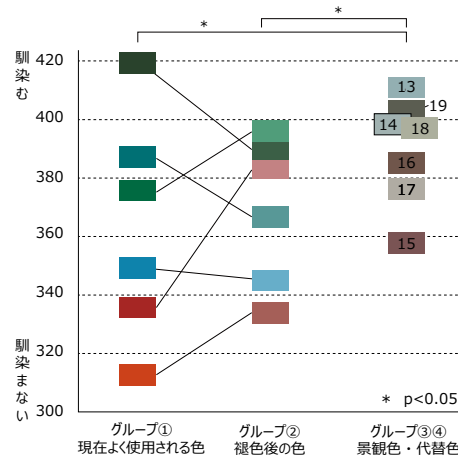


図-6 印象評価実験

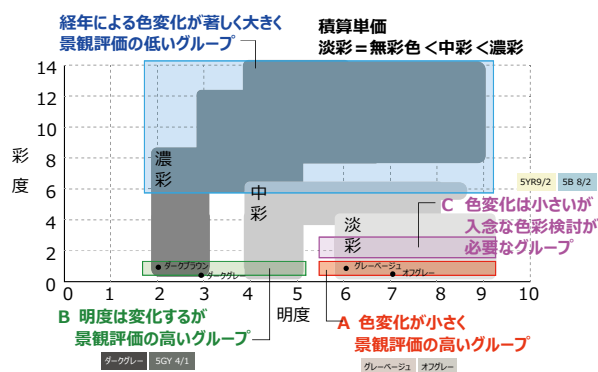


図-7 装色の経年変化・景観評価・コストの関係

4. 鋼桁橋を対象とした塗装色検討の試行

3. までの調査および実験結果を基に、北海道の自然環境下における鋼桁橋の橋桁塗装色の選定方法について検討を行った。検討対象は、遠景に落葉樹林が見える開けた立地であり、隣接して同規模・同形式でダークグレー塗装の橋梁が建設されている（写真-4、5）。これらの橋梁の現地調査を実施し、色彩サンプルを用いて現地での色彩検討を行った。

(1) 構造物の特徴把握

橋桁の塗装色選定においては、周辺環境色との調和に加え、以下の要素との連続性や一体性が重要となる。

- ・ 隣接する橋台などのコンクリート部
- ・ 防護柵（塗装色もしくは景観4色：ダークブラウン、



写真-4 想定する立地環境



写真-5 ダークグレー (10YR 3/0.5)



写真-6 遠景、林間内における色の見え方の確認

ダークグレー、グレーベージュ、オフグレー)

なお、防護柵の二次製品は、メーカーにより発色やテクスチャが異なり、日本塗料工業会色票のマンセル色と完全には一致しない点に留意が必要である。

(2) 視点場の分析

本検討地点では近景から遠景まで多様な視点場が存在し、距離により以下の特徴がある。

- ・ 遠景：彩度の低下により、色相差より明暗差が強く知覚される（写真-6）
- ・ 近～中景：色相の違いが判別可能で、わずかな色の違いが印象評価に影響を与える（写真-7、8）

(3) 明度の検討

立地環境と経年変化を考慮し、以下の条件で検討を行った。



写真-7 低明度の場合の色相比較

(左／黄赤系 10YR 4/1、右／緑黄系 5GY 4/1)



写真-8 同色相による明度比較 (左 5Y 4/1、右 5Y 6/1)



写真-9 5R～5B 間の色相の比較 (明度 4・彩度 1／直射日光なし／夏季)

- ・ 遠景の林部：明度4程度の低明度（写真-8）
- ・ 空：明度8-9の高明度（写真-5）
- ・ 夏季の環境色（植生色）：明度5-6程度（写真-9）

(4) 色相の検討

現地環境と視点場の特性を考慮し、色彩サンプルを用いて、以下の点に留意して検討を行った。

- ・ 季節変化への対応：夏季は植生の緑との対比効果が強くなるため、YR～GYの範囲で検討した（写真-9）⁵⁾
- ・ 近景での調和：10YR、5Y、5GYのサンプルを比較し、植生やコンクリートの色相に近い5Y（黄系）が最も調和する
- ・ 彩度の調整：無彩色または彩度0.5の色は青黒く知覚される傾向があるため、彩度1程度として色味をもたせることで周辺環境との調和を図ることができる（写真-5）。

なお、色相の検討については、写真での比較には限界があるため、写真-7に示すように現地でのサンプル確認が望ましい。

(5) 総合的な検討

近～遠景にかけて多様な視点場がある場合や、連続橋や同路線内に複数ある橋梁の塗装色を統一する必要がある場合、写真-6に示すような林部では低明度色がより調和する一方で、開けた平地部や跨道橋のようでは写真-8のように低明度色が重たく暗い印象を与える場合もある。こうした状況では、橋台との連続性や地覆などの上部構造物（ここではコンクリート）との一体性を考慮した高明度色に条件を検討することにより、路線全体での違和感を最小とできる。

近年では、橋梁の重防食塗装において、ポリウレタン樹脂よりも色の経年変化が小さく長期耐久性の高いフッ素樹脂塗装が用いられることも多い。フッ素樹脂系塗装は経年による色変化が小さいため、初期段階から周辺環境との調和を意識した色選定が求められる。

5. まとめ

本研究では公共空間の景観向上を目的に土木施設の塗装に着目し、文献調査および現地調査、促進試験から塗装色の経年変化の特徴を明らかにし、その結果をもとに景観評価を行い、経年変化や長期耐久性を考慮した塗装色の選定方法について明らかにした。本研究の成果の概要は以下の通りである。

- ・ ポリウレタン樹脂系塗装の場合、耐用年数 15 年において低・中明度の色では明度が 1～2 ポイント上昇す



写真-10 林内での高明度色見え方の検討
（上／現地・ダークグレー、下／フォトモニター・ジュ・5Y 6/1を想定）

- る
- ・ 高彩度色ほど経年による彩度低下が大きく、特に赤系の色相で顕著である
- ・ 低彩度色（彩度 2 以下）を基準とし、立地環境の色彩に合わせて明度および色相を調整することで、景観および維持管理に配慮した色選定が可能である

参考文献

- 1) 一般社団法人日本塗料工業会：重防食塗料ガイドブック、第 5 版、2020.
- 2) 国土交通省：機械塗装工事要領（案）、2021.
- 3) 土木研究所：海上長大橋用着色塗料の色調選定試験第 2 報、土木研究所資料、1474 号、1979.
- 4) 日本規格協会：JIS ハンドブック 61 色彩、2022.
- 5) 榎本碧、笠間聡、福島宏文：長期耐久性を考慮した塗装の色彩設計手法、寒地土木月報、第 865 号、2025.
- 6) 榎本碧、笠間聡、松田泰明：積雪寒冷地の河川空間における土木施設の色彩の印象評価、第 63 回（2019 年度）北海道開発技術研究発表会、pp. 317-322、2020..
- 7) 例えば、日本ペイント株式会社：鋼構造物塗料積算資料、2024..