

多湿環境におけるコンクリートの表面性状 の変化と滝見橋の表面洗浄の効果

濱野 北斗¹・関 文夫²・木野 翼³・丹羽 弘毅⁴

¹正会員 日本大学理工学部理工学研究科土木工学専攻
(〒101-8303 東京都千代田区神田駿河台1-8-14, E-mail:csho16016@g.nihon-u.ac.jp)

²正会員 工博 日本大学理工学部土木工学科
(〒101-8303 東京都千代田区神田駿河台1-8-14, E-mail:seki@civil.cst.nihon-u.ac.jp)

³非会員 西松建設株式会社 九州支社
(〒810-0022 福岡県福岡市中央区薬院1-14-5, E-mail:tsubasa_kino@nishimatsu.co.jp)

⁴非会員 三井住友建設株式会社 中部支店
(〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄4-3-26, E-mail:h-niwa@smcon.co.jp)

コンクリートは、社会基盤を支える重要な建設材料であり、コンクリート橋は、その大きさや存在感から、人々に与える影響が大きい構造物である。レンガや石でできた構造物は、時間が経つにつれ、エイジングが評価されているが、コンクリート構造物の場合は、局所的な汚れが目立ち、単なる汚れた構造物となる。そこで、帯状の滝から下流に30~150mに位置する滝見橋に着目し、完成からおおよそ3年経過したコンクリートの表面汚れの追跡を行った。時間経過による表面性状の変化と面の向きによる影響と、滝見橋の表面洗浄の効果について報告する。

キーワード:コンクリート, 滝見橋, 汚れ, 多湿環境, 白糸の滝, 洗浄

1. はじめに

コンクリート構造物は、コンクリート材料の性状の変化から汚れが生じたり、構造物背面からの排水、支柱や付属物などの伝い流れによる汚れなど局所的な汚れが生じる場合が多く、エイジングとしてポジティブに評価されている事例は少ない。過去に関らは、コンクリート構造物の時間経過に伴う、コンクリート表面に付着する汚れについて、汚れのメカニズム、汚れのパターン、汚れの付着しやすい環境と構造物の形態の関係について考察した¹⁾。さらに、汚れの進行は方位差に影響されると予測し、360°ループ形状を有する雷電廿六木橋に着目し、壁高欄表面汚れを調査した¹⁾。

今回は、静岡県富士宮市の世界遺産白糸の滝の下流に架かる滝見橋を事例に多湿環境下でのコンクリートに着目し、完成からおおよそ3年経過したコンクリート表面汚れの調査を行った。この調査では、汚れの度合いについて時間経過による影響やコンクリート面が向いている方位差について調査した。完成から2年・3年経過した際に、滝見橋の一部の洗浄を行ったため、その洗浄の効果を報告する。また、環境による表面性状の違いを明確にするため、沿岸部と内陸部において、おおよそ50橋の調査を行い、多湿環境である滝見橋のデータとの比較を行った。

2. コンクリート構造物の表面汚れ

関の研究によりコンクリート表面性状の変化には材料自身が劣化する現象とコンクリート表面に汚れが付着する現象がある。コンクリート表面に付着する汚れには、塵埃の付着と生物の付着の2つが考えられている。汚れの付着しやすい環境は、粉塵の多い場所と、菌類、微生物の付着、繁殖の多い場所の大きく2つに大別できる²⁾。大別したものと主な事例を表-1に示す。

表-1 汚れの付着しやすい場所

粉塵の付着しやすい場所	
場所	主な事例
高速道路	全般、料金所周辺、渋滞の多い場所など
道路	渋滞の多い場所など
鉄道	レールの鉄粉の飛散する所
工業地帯	化学物質の飛来、排煙のありそうな所
建設工事	埃が生じる所
菌類の付着しやすい場所	
場所	主な事例
海岸沿岸部	護岸、堤防、防波堤など
河川沿岸部	護岸、落差工など
森と近接する環境	山岳道路、トンネル、擁壁、のり面など
樹木と近接する環境	街路、公園など

3. 内陸部と沿岸部におけるコンクリート表面性状の変化

(1) 調査概要

調査対象は、竣工年の明瞭な橋梁を対象とし、1橋あたり20点余りの計測を行った。沿岸から3km以内を沿岸部、それ以外を内陸部とし、千葉県を中心に沿岸部を28橋³⁾、東京都多摩市を中心とした内陸部を22橋調査し⁴⁾、計50橋調査した。河川に架かる橋梁、跨道橋に区別なく沿岸部、内陸部の環境のみで区別した。

(2) 計測方法

汚れの調査は、橋梁全体については、目視による汚れ度合いの調査をし、コンクリート表面については、色彩色差計（コニカミノルタ、CR-410）をコンクリート表面に直接当てて、明度を計測した（写真-1、2）。計測値はマンセル値で表示する。



写真-1 色彩色差計



写真-2 計測状況

(3) 調査結果・考察

一般に、打ち放しのコンクリートの明度はおよそ7.0～7.5程度である。沿岸部23橋、内陸部を11橋抽出し、1橋あたりの地覆の外側の平均値をプロットし、最小二乗法を用い回帰分析したものを図-1に示す。内陸部と沿岸部における時間と明度の関係式が次式である。

$$y_c = 6.54x^{-0.195} \quad (1)$$

$$y_l = 6.65x^{-0.160} \quad (2)$$

ここで、 y_c ：沿岸部の明度 y_l ：内陸部の明度
 x ：時間[年]

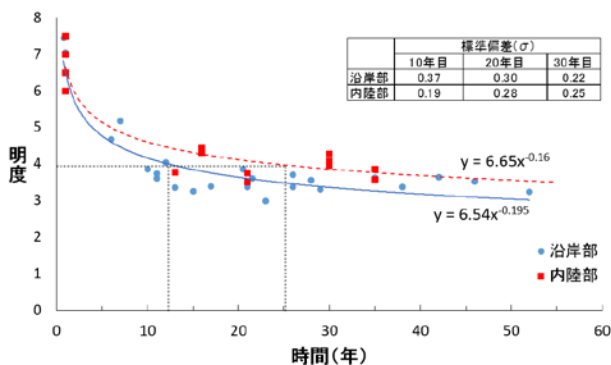


図-1 沿岸部、内陸部の時間経過と明度の関係

沿岸部と内陸部の汚れの付着の進行が異なる。沿岸部では、完成からおおよそ12年で明度が4.0まで低下する

（写真-3）。対して内陸部では、完成から25年で明度が4.0程度まで汚れが進行した（写真-4）。沿岸部は、内陸部のおよそ2倍の早さで汚れの進行が進んでいくことが解かる。沿岸部では、水の飛沫が多く飛んできてから汚れの進行が早くなったと推察できる。



写真-3 沿岸部における完成から11年経過した高聖橋（千葉県長生郡）



写真-4 内陸部における完成から22年経過した鶴の橋（東京都多摩市）

4. 滝見橋の概要

(1) 架橋位置

対象とする滝見橋の架橋位置は、幅150mの帯状に流れる白糸の滝の下流に位置する（写真-5）。最も近い場所で30m、最も離れた場所で150mという環境下に位置している。滝見橋の躯体の完成は2013年9月で、橋長39m、幅員2.5mの歩道橋である。対象とした滝見橋と白糸の滝の位置関係を図-2に示す。



写真-5 滝見橋と白糸の滝

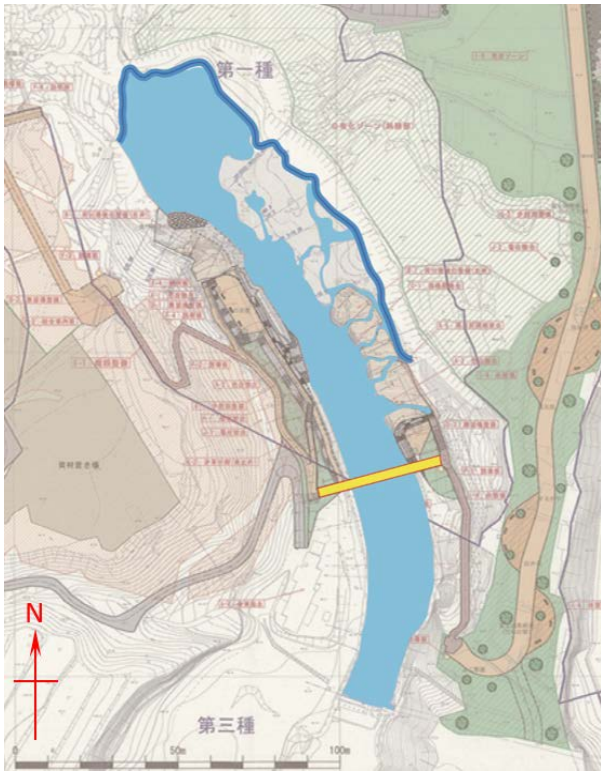


図-2 滝見橋の周辺環境

(2) 滝見橋の水仕舞い

滝見橋の水仕舞いは、横断勾配0.3%、縦断勾配3.0%つけることによって排水されている。滝見橋の雨水の流れ方を図-3に示す。また、地覆の上にも歩行面方向に下り横断勾配がつけられており、地覆上の雨水も橋面と一緒に排水がされる。関の研究によって、四角形状の面木を用いることによって、汚れにメリハリをつけることができる²⁾。通常、欠け防止のために三角面木が用いられるが、伝い流れが生じてしまう。そこで四角の面木を用いることで、汚れの拡散を防止している。また、地覆の外側と橋体には含浸性撥水塗装がされており、きれいに保つための設計が行われている(図-3)。

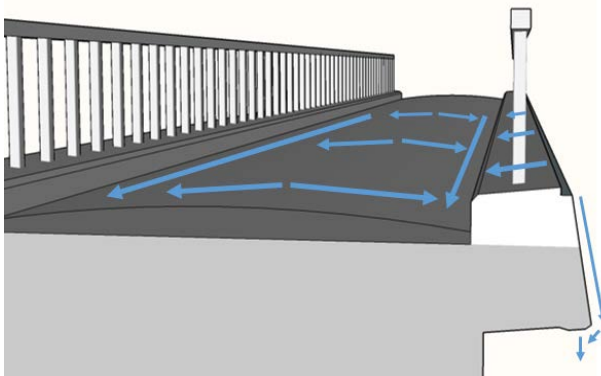


図-3 滝見橋の水仕舞い

5. 多湿環境のコンクリート表面性状の変化

(1) 調査方法

計測の概要に関しては、表-2の通りである。計測点に関しては、橋軸に対して2.5mごとに滝側と下流側の地覆の北、上、南面毎に計測を行った(図-4)。

表-2 計測の概要

番号	年月	活動	計測点
	2013.9	滝見橋の躯体完成	
①	2013.11	1回目計測(橋体90点,地覆43点)	133
②	2015.5	2回目計測(橋体54点,地覆82点) 表面洗浄前	136
③	2015.6	3回目計測(橋体54点,地覆82点) 表面洗浄後	136
④	2016.8	4回目計測(橋体54点,地覆82点) 表面洗浄前	136
⑤	2016.8	5回目計測(橋体54点,地覆83点) 表面洗浄後	136

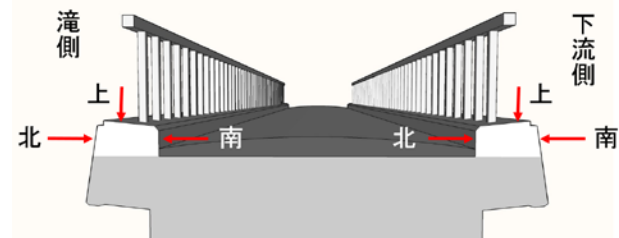


図-4 滝見橋の計測箇所 断面図

(2) 時間経過による表面性状の変化

汚れが顕著に表れた地覆の外側の結果を平均値を用いて図-5に示す。

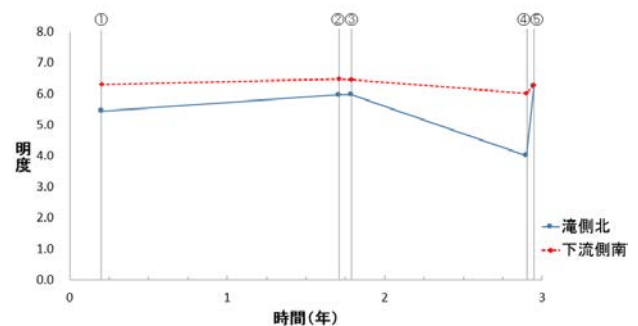


図-5 時間経過と明度の関係

a) ①から②までの表面性状の変化

打ち放しコンクリートの竣工直後の明度は7.0~7.5程度である。対して滝見橋の①における滝側北の明度の平均は5.5程度で下流側南も6.2程度と比較的低い値であった。これは、含浸性撥水塗装がされており、コンクリート表面が濡れ色になっているために低い値を示したと推察する。その後1年半後の②では、滝側北と下流側南ともに緩やかに0.3程度上昇していった。これは、含浸性

撥水塗装の効果で汚れの付着が抑制され、さらに、徐々に乾燥していったため上昇したと考える。

b) ②から③までの表面性状の変化

②の計測後に地覆部分の表面洗浄を行った。1か月後に③の計測を行ったが、滝側北と下流側南のいずれも明度の変化はなく、洗浄の効果が見受けられなかった。この要因は、もともと含浸性撥水塗装の効果によりあまり汚れの付着がなかったためであると推察する。

c) ③から④までの表面性状の変化

滝側北における③(写真-6)の明度は5.8程度で、④(写真-7)では4.0とおおよそ1年で1.8程度と急激に汚れていった。それに対して、③における下流側南の明度は6.3で、④では5.7と1年で0.6程度と緩やかに汚れの進行した。汚れの進行具合を滝側北と下流側南を比較すると、滝側北の方がおおよそ3倍程度早く進行した。



写真-6 ③完成から約2年経過した滝側北の表面性状



写真-7 ④完成から約3年経過した滝側北の表面性状

橋軸を横軸にとり、汚れの分布を滝側北の③と④の比較を図-6に、下流側南の③と④の比較を図-7に示す。滝側北の③と④を比較すると、④は③より明度が低く汚れが進行しているものの、分布としては同様な分布といえる。下流側南の③と④を比較すると、④は③より橋軸35～39m地点の汚れの進行が進んでる。これは植生の影響でありこのデータを抜くと、明度の平均が6.3と1年間で0.2程度の低下とあまり汚れの進行がみられなかった。

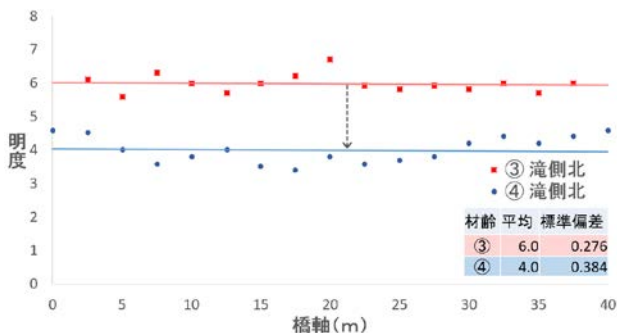


図-6 滝側北における橋軸と明度の③と④の比較

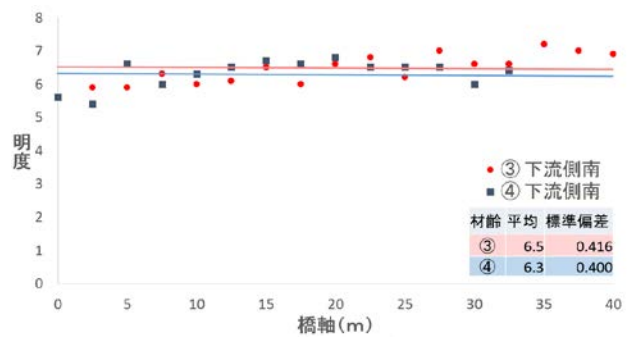


図-7 下流側南における橋軸と明度の③と④の比較

目視による汚れの度合いの調査から、地覆と橋体のコンクリート表面で汚れの付着度合いが異なった。これはコンクリート強度の違いからなるもので、地覆よりコンクリート強度の高い橋体のコンクリートは、コンクリートが緻密に形成されるため、コンクリート表面の凹凸が少なく汚れの付着がしにくい(写真-7)。

6. 面の向きによる比較

コンクリート表面が南を向いている下流側南は陽によく当たる(写真-8)。また、北を向いている滝側北は陽に当たりにくく、滝にも向いているという環境にある(写真-7)。そこで、④におけるコンクリート表面が北向きの面と南向きの面の比較を行ったものを図-8に示す。滝側北の明度の平均は4.0程度に対して、下流側南の明度の平均は6.0程度で、陽の当たりやすい下流側南が2.0程度高い値を示した。汚れのばらつきは滝側北は標準偏差が0.384に対して、下流側南は0.772ある。下流側南がばらついた要因として、0～2.5、35～39m地点は植生の関係で日陰になることから、橋軸に対して異なる環境が生じていたためと推察する。

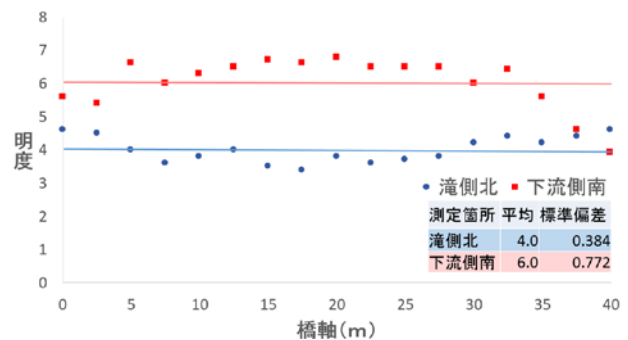


図-8 ④完成から約3年経過した面の向きによる比較



写真-8 ④完成から約3年経過した下流側南の表面性状

7. コンクリート表面の洗浄

(1) 洗浄概要

滝見橋の中でも、比較的汚れの進行の早い地覆の内側、上、外側を対象に洗浄を行った(写真-9)。環境を配慮し洗剤は中性洗剤を用いた。水は川の水を用い洗浄を行った。地覆の内側、上はスポンジを用い、手の届きにくい地覆の外は、デッキブラシと蓄圧式噴霧器を用いて洗浄を行った(写真-10)。



写真-9 滝見橋の表面洗浄の状況 写真-10 洗浄の道具

(2) 洗浄の効果

洗浄前後の明度の分布を図-9に示す。洗浄による効果はどの面も洗浄によって明度が上昇した。地覆の外側は、滝側は2.3程度上昇し、下流側は0.3程度の上昇であった(写真-11)。地覆の上は、滝側と下流側ともに、0.7程度上昇した。地覆の内側は、滝側と下流側ともに洗浄によって明度が1.9程度上昇した。洗浄前の明度によって効果にばらつきはあったが、洗浄後の明度は、どの面もおおよそ6.0前後に落ち着いた。

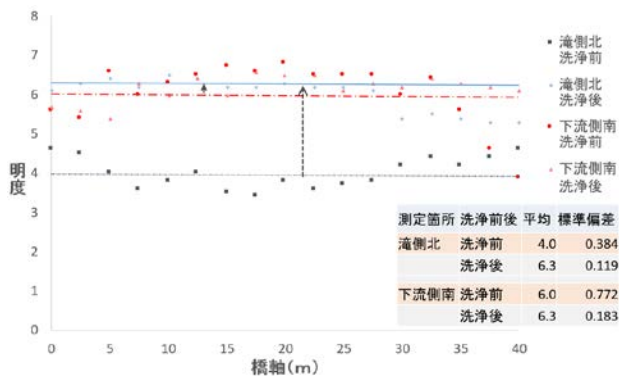


図-9 地覆の外側における洗浄前後での比較



写真-11 滝側北の表面性状 (左:未洗浄 右:洗浄)

8. まとめ

滝見橋を対象とした多湿環境におけるコンクリートの表面性状と洗浄の効果をまとめると以下の通りである。

- ① 多湿環境の汚れの進行の早さは、沿岸部と比較するとおおよそ4倍、内陸部ではおおよそ8倍の速さで汚れが進行する。
- ② 多湿環境において汚れの主となるものは、コケや菌類によるもので陽が当たることによって汚れを抑制できる。
- ③ 汚れを洗浄することによって、おおよそ明度が6.0程度まで上昇する。
- ④ 目視による汚れの度合いの確認から橋体への汚れの付着が少ないことから水仕舞いの効果が見られた。

9. おわりに

多湿環境下のコンクリート表面において、汚れの主となるものは、コケや菌類によるもので、すべてのコンクリート表面に陽を当てることができれば汚れを抑制することが出来るが、生物的に無理である。そのため汚れを抑制するためのデザイン的工夫が必要であると考えられる。水仕舞い、汚れ防止策等ディテールに配慮した設計は橋梁の長寿命化に繋がる。今回、デザインされた橋梁を調査したことで、設計家の設計思想で様々な汚れを抑制することが可能であることがわかった。しかし、汚れを抑制しても地理的条件や環境によって限度がある。そのため、定期的に橋梁を洗浄することが長く美しいコンクリート構造物を実現していくことが王道と考える。これから定期的に洗浄や調査することによって洗浄する最適の機会や方法を解明していくことを今後の展望とする。

参考文献

- 1) 関，山口：13年経過した雷電廿六木橋のコンクリート表面性状の変化と水仕舞い効果，土木学会景観・デザイン発表会，pp289-294，2011.12
- 2) 関：コンクリート構造物の表面性状の変化に対するデザイン的工夫について，土木学会景観・デザイン発表会，pp121-126，2005.12
- 3) 木野：沿岸部におけるコンクリート表面性状の変化に関する研究，日本大学理工学部土木工学科学部卒業研究論文，2015
- 4) 丹羽，茂木：時間経過におけるコンクリート表面性状の変化に関する研究，日本大学理工学部土木工学科学部卒業研究論文，2013