

滝見橋に着目した多湿環境のコンクリート表面性状の変化と洗浄の効果

日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻 学生会員 ○濱野 北斗
日本大学理工学部 正会員 工博 関 文夫

キーワード：表面性状の変化，滝見橋，汚れ，洗浄，多湿環境

1. はじめに

コンクリート橋は、雨水による高欄や地覆などからの伝い流れによってコンクリート表面に局所的な汚れが生じたり、伸縮装置から流入した雨水が、橋台や橋脚に筋状の汚れとなる場合があり、これらの局所的な汚れが橋梁利用者に不快な印象を与える事が多い。これまでの研究では、コンクリート表面に付着する汚れのメカニズムやパターン¹⁾、面の方位による影響²⁾や沿岸部内陸部といった周辺環境による影響³⁾を明らかにしている。今回は、水飛沫が多く飛来する多湿環境でのコンクリート表面性状に着目し、静岡県富士宮市の世界遺産である白糸の滝の下流に架かる滝見橋を事例に、完成から約4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の向きについて調査した。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、その洗浄の効果について報告する。

2. コンクリート構造物の表面汚れ

一般的に、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¹⁾。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(表-1)。今回、調査の対象とした滝見橋は、滝の下流直下という環境で、多湿環境のために極めて菌類の付着しやすい場所と想定され、その表面性状の進行の早さが注目される。

3. 滝見橋の概要

3.1 架橋位置

世界遺産の構成資産である白糸の滝は、幅150m、落差20mの帯状に流れる伏流水の滝で、古富士の地層から流れ出る滝である(図-1)。滝見橋の位置は、滝から最も近い場所で30m、水量の多い滝つぼから150mという位置にある。滝見橋の躯体は2013年9月完成した。橋長39m、幅員2.5mのPC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写真-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、法面など
樹木と近接する環境	街路、公園など

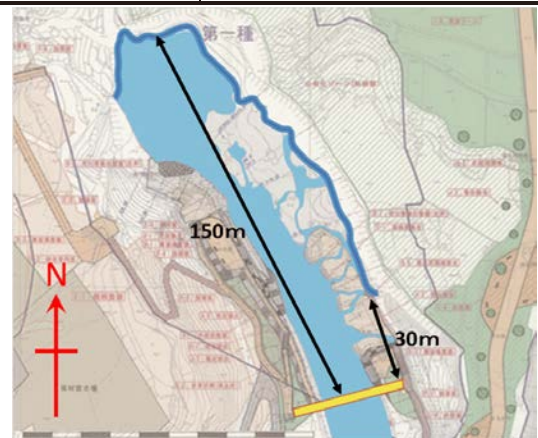


図-1 滝見橋の周辺環境

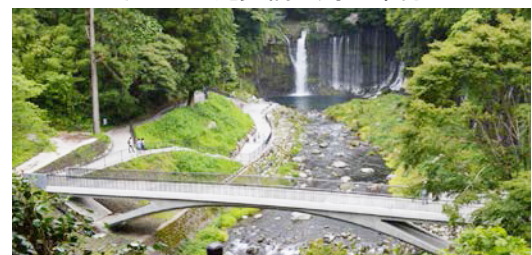


写真-1 滝見橋と白糸の滝

3. 2 滝見橋の水仕舞い

滝見橋の橋面の排水勾配は、横断勾配 0.3 %、縦断勾配 3.0 %を有している。また、地覆の水仕舞いは、天端勾配を 2.0 %歩道側 (内側) へ設け、地覆外側の面木を直角にすることで、縦断勾配方向へ雨水を誘導し、地覆のファイシラインに局所的な汚れが着くことを排除している。張出し床版の端部下面では、大きな突起を有することで、桁への伝い流れをカットしている。滝見橋の雨水の流れ方を図-2に示す。また、地覆の外側と橋体には耐久性向上養生剤がされており、汚れの付着防止が図られている。

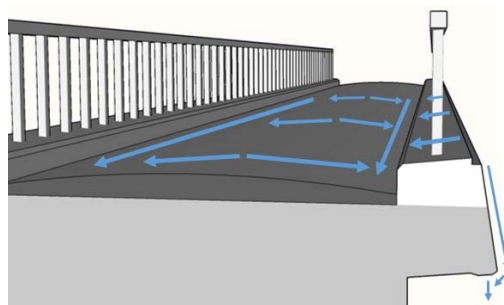


図-2 滝見橋の水仕舞い

4. 滝見橋のコンクリート表面性状の変化

4. 1 調査方法

汚れの調査は、はじめに橋梁全体について目視による外観調査をし、コンクリート表面は、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-2, 3)。計測値はマンセル値で表示する。また、目視にてコンクリート表面が乾燥している箇所を確認し計測を行った。滝見橋の計測の概要に関しては、表-2のとおりである。計測点に関しては、橋軸に対して 2.5 mごとに滝側と下流側の地覆の北, 上, 南面ごとに計測を行った (図-3)。滝見橋の中でも、汚れが顕著に現れた地覆の外側の結果を平均値を用いて図-4に示す。



写真-2 色彩色差計

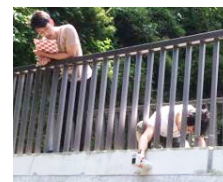


写真-3 計測状況

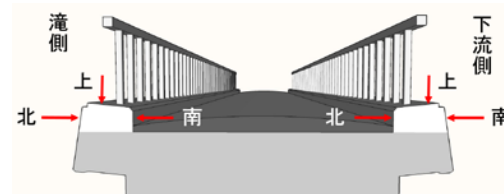


図-3 滝見橋の計測箇所 断面図

表-2 計測の概要

番号	年月	活動	計測箇所	計測点
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 表面洗浄前	橋体 54点 地覆 82点	136
③	2015/6	3回目計測 表面洗浄後	橋体 54点 地覆 82点	136
④	2016/8	4回目計測 表面洗浄前	橋体 54点 地覆 82点	136
⑤	2016/8	5回目計測 表面洗浄後	橋体 54点 地覆 83点	136
⑥	2017/5	6回目計測	地覆 83点	83

4. 2 時間経過による表面性状の変化

(1) 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 程度であるのに対して、滝見橋の①における明度は滝側北で 5.5, 下流側南で 6.3 と比較的低い値であった。これは、耐久性向上養生剤がされており、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。①から 1 年半後の②では、滝側北と下流側南ともに緩やかに上昇していった。これは、コンクリート表面が徐々に乾燥していったため、明度が上昇したと考える。

(2) ②から③までの表面性状の変化

②の計測後に地覆の 1 回目の表面洗浄を行い、1 ヶ月後に③の計測を行った。1 回目の洗浄前後で滝側北と下流側南のいずれも顕著な明度の変化はなく、洗浄の効果が見受けられなかった。この要因は、もともと耐久性向上養生剤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。

(3) ③から④までの表面性状の変化

滝側北における③の明度は 5.8 程度で (写真-4), ④では 4.0 と約1年で 1.8 程度と急激に汚れていった (写真-5)。それに対して、下流側南における③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。汚れの進行を滝側北と下流側南を比較すると、滝側北の方がおよそ 3 倍程度早く進行した。

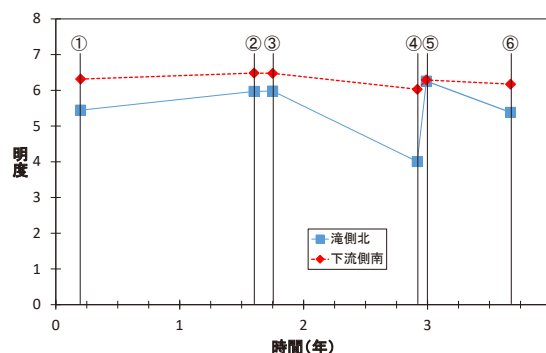


図-4 時間経過と明度の関係

4. 3 コンクリートの圧縮強度の違いによる表面性状

滝見橋のコンクリートの圧縮強度は橋体と地覆で異なる。橋体は $f'_{ck} = 36 \text{ N/mm}^2$ で地覆は $f'_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$ である。完成から 3 年経過した際の橋体の明度は 5.9 で、地覆は 4.0 と異なる結果になった。地覆よりコンクリートの圧縮強度の高い橋体のコンクリートは、コンクリートの緻密性が影響したと思われる (写真-5)。

4. 4 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-6)。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-5)。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-5 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、南向きの下流側南が 2.0 程度高い値を示した。汚れのばらつきを示す標準偏差 (以下 σ と示す) は、滝側北は $\sigma = 0.384$ に対して、下流側南は $\sigma = 0.772$ である。下流側南がばらついた要因として、橋の両端から 5 m まで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。

5. コンクリート表面洗浄

5. 1 洗浄概要

洗浄は 2015 年 5 月と 2016 年 8 月の 2 回行い、学生 10 名程度で行った。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-7)。環境を配慮し洗剤は中性洗剤を用い、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-8)。

5. 2 洗浄の効果

2 回目の洗浄前後の明度の分布を図-6 に示す。どの面も洗浄前の明度によって、6.0 程度まで明度の上昇が見受けられた。地覆の外側において、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-9)。地覆の上においては、滝側と下流側ともに 0.7 程度上昇した。地覆の内側においては、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。2 回目の洗浄からおおよそ 9 ヶ月後、滝側北の明度は 1.0 程度低下し、1 回目の洗浄の 9 ヶ月後の予測値より 0.2 程度緩やかに汚れが進行した。下流側南の明度は 0.1 程度低下し、これまでの汚れの進行と同様な傾向であった (図-4)。



写真-4 ③おおよそ2年経過した滝側北の表面性状



写真-5 ④おおよそ3年経過した滝側北の表面性状

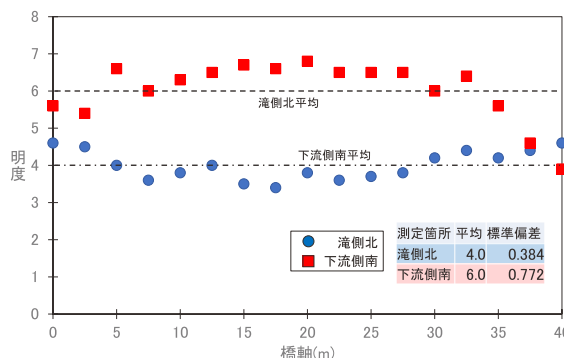


図-5 ④おおよそ3年経過した面の向きによる比較

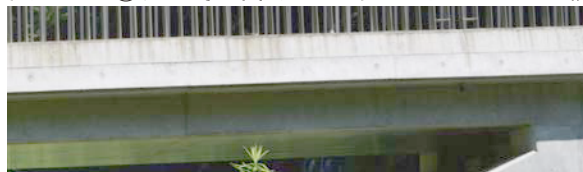


写真-6 ④おおよそ3年経過した下流側南の表面性状



写真-7 表面洗浄の状況



写真-8 洗浄道具

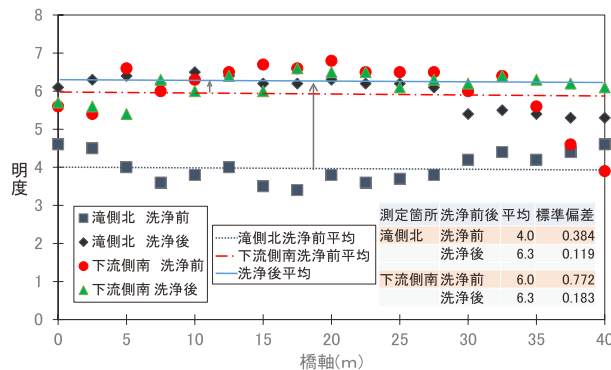


図-6 地覆の外側における洗浄前後の比較

滝側北における洗浄前④, 洗浄後⑤, 洗浄から9ヶ月後⑥の明度の分布を図-7に示す。2回目の洗浄の際に, 橋軸0~29 mは洗浄を行い, 橋軸30~39 mは洗浄せず, 汚れの追跡を行った。洗浄前の④における汚れは粉塵による汚れと菌類による汚れが共に付着しているため, 明度は4.0程度であった。洗浄後の⑤では明度は洗浄によって6.3程度まで上昇した。洗浄から9か月後の⑥では洗浄箇所と未洗浄箇所の明度はどちらも5.5程度で落ち着いた。洗浄箇所は粉塵による汚れが付着し明度が低下し, 未洗浄箇所は菌類による汚れが冬季の気温低下によって死滅し, 雨で洗い流されたことによる自然浄化作用が生じ, 粉塵による汚れが残ったため洗浄箇所と同程度の明度になったと推察される。

6. まとめ

水飛沫が多く飛来する滝に近接した多湿環境における滝見橋のコンクリートの表面性状と洗浄の効果をもとめると以下のとおりである。

- ① 多湿環境の汚れの主となるものは, コケや菌類によるもので, 北向き, 南向きによって汚れの進行早さが異なった。
- ② 目視による調査から橋体への汚れの付着が少ないため水仕舞いの効果が見られた。
- ③ 汚れを洗浄することによっておよそ明度が6.0まで上昇する。
- ④ 冬季の気温低下によって菌類が死滅し, 雨で洗い流される自然浄化作用により, 明度が5.6程度まで上昇することが推察される。

7. おわりに

今回の調査で, 滝見橋は, 滝の水飛沫が直接影響する多湿環境で, 北向き面の汚れの進行は, 内陸部25年分を1.5年で汚れるという早さである。また北向きと南向きによって汚れの進行状況も異なり, 南向きで平均的な汚れの推移がわかった。さらに滝見橋は, 耐久性向上養生剤の使用と水仕舞いの配慮をしていることから, 局所的な汚れの排除や水の流れる方向をコントロールしており, 全体に汚れが飛散ないように検討されていた。これらの水仕舞いや汚れ防止策などディテールに配慮した設計は, 橋梁全般に適用できるものである。今後も, 水仕舞いや汚れという観点で, 橋梁の長寿命化に繋がる工夫を今後の展望としたい。

参考文献

- 1) 関文夫: 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,
- 2) 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
- 3) 濱野, 関, 木野, 丹羽: 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, 土木学会景観・デザイン発表会, p377-381, 2016.12



写真-9 ⑤およそ3年経過した滝側北の表面性状



写真-10 ⑥およそ4年経過した滝側北の表面性状

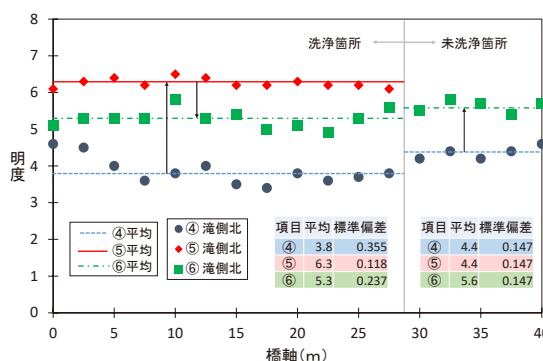


図-7 滝側北における橋軸と明度の関係