

コンクリート構造物の表面性状の変化 に対するデザインの工夫について

関 文夫

正会員 大成建設（株）土木設計部（〒163-0660 東京都新宿区西新宿 1-25-1、
Email:seki@ce.taisiei.co.jp)

コンクリート構造物は、その強固な性状と重量感から現代社会にはなくてはならない材料である。レンガや石でできた構造物は、時間が経つにつれ、その風合い（エイジング）が評価されているが、コンクリートの場合は、局部的な汚れが目立ち、マイナスイメージのものが少なくない。ここでは、土木構造物の汚れのメカニズムと、汚れに対してデザインの工夫を行った事例を紹介し、コンクリートの汚れ対処について論述したものである。

キーワード：コンクリート、表面性状、エイジング、汚れ、水仕舞い、水切り、伝い流れ

1. はじめに

エイジング「aging」とは、「加齢に伴って現れる構造や機能の緩慢な変化」、「わび、さびなどの風合いが増すこと」、「熟成されること」と訳されている。

レンガや石でできた構造物は、確かに時間が経つにつれ風合いが増し、味わいのある建造物として、高く評価されているものが多い。一方、コンクリート構造物の場合、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、支柱など付属物などの伝い流れによる汚れなど、局部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。

ここでは、コンクリートの表面性状の変化を、コンクリート自体の材料の変化と、コンクリート表面に付着する汚れについて分けて分析し、汚れの付着しやすい環境と構造物の形態の関係から、汚れのメカニズムについて解説する。これら汚れに対して、設計段階、施工段階で対処すべき手法を整理し、設計で対処できる汚れについて、デザインの工夫の事例を示したものである。

コンクリートという素材を扱う以上、コンクリート構造物の良好なエイジングの誘導は、設計者にとって大切な技量の1つとも言える。

2. 表面性状の変化

(1) 表面性状の変化

コンクリート表面性状の変化は、大きく2つに大別できる。1つは、材料自体が化学的な変化あるは物理的現象から劣化する現象と、もう1つは、コンクリート表面に汚れが付着する現象である。

前者は、材の塩化物イオンによる劣化や、空気中の炭酸ガスに触れ水酸化カルシウムから炭酸カルシウムへ変質する中性化という現象、骨材の表面にアルカリ・シゲルが形成されるアルカリ骨材反応、セメント中の硫酸塩、炭酸塩が水に溶けて表面に流出し、水分が蒸発し炭酸カルシウムが表面に白く析出するエフロレッセンスという現象などがある（写真-1）。物理的な現象として、氷圧によって表面が劣化する凍結融解作用や、排水などがつまり、それが氷圧となってひび割れなどが生じる現象である。

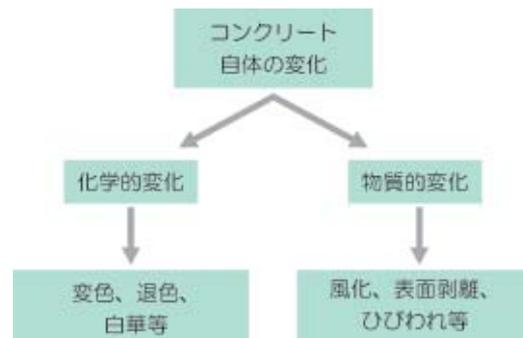


図-1 コンクリート表面性状の変化

後者は、表面の凹凸に付着する汚れがあり、菌類が付着し黒ずんだり、親油性物質、粉塵が付着する汚れの現象が生じる。その影響は、周辺環境による影響が大きい。例えば、植物の多い環境では菌類の付着が多く、交通量の多い道路環境などでは粉塵などの付着が多い。特に、風等で運ばれた粉塵は、雨水によって流され、コンクリート表面の凹凸に入ったり、菌類は、雨水によって繁殖したりすることで、汚れが進行する。さらにコンクリート背面からの排水等により、表面を伝い流れる汚れが局部的に付着するものである。

前者の現象は、施工時の材料に対する配慮不足、あるいは、周辺環境の厳しい洗礼を受けることで生じるもので、老化の現象としては、極めて進行が早い。後者の現象は、設計者の技量が図られるものであり、デザイン技法による対処可能なものである。ここでは、この後者の表面に付着する汚れに対する考え方を中心に展開する。



写真-1 コンクリート表面性状の変化
(左：化学的変化目地モルタルのエフ四レッセンス
右：樹木から放出された菌類の表面の付着)

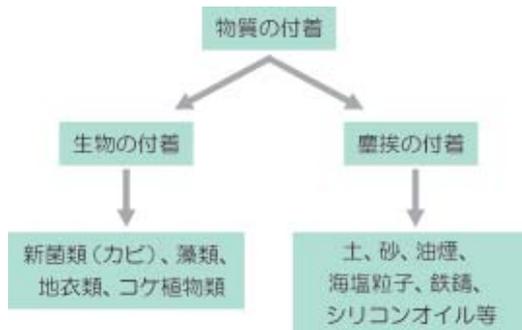


図-2 コンクリート表面の付着する汚れ
コンクリート表面

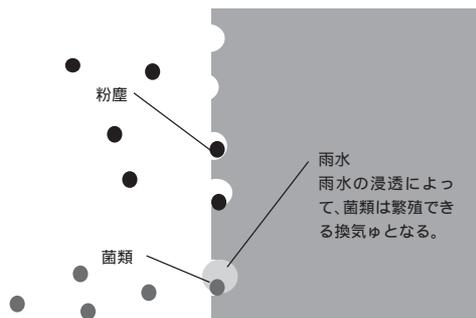


図-3 コンクリート表面の汚れ付着のメカニズム

3. 表面汚れ

(1) 表面汚れの付着しやすい環境

表面汚れの付着のしやすい環境は、次のような粉塵の多い場所と、菌類、微生物の付着、繁殖の多い場所である。

- a) 粉塵の付着のしやすい場所
- ・ 高速道路
(全般的に、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)
 - ・ 工場地帯
(化学物資の飛来、排煙のありそうな所)
 - ・ 建設工事(埃が生じる所)
- b) 菌類の付着のしやすい場所
- ・ 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)



写真-2 高速道路の状況
(擁壁、橋梁など、全体が黒ずんでいる)

(2) 表面汚れの付着しやすい構造物と形状

a) 付着しやすい構造物

汚れの付着しやすい形状は、構造物の天端、勾配を有する面など、空を拝む面が汚れの付着が多い。

- ・ 天端(擁壁、壁高欄、基礎、架台、舗装など)
- ・ 緩い勾配面(河川護岸、舗装、ダム等)
- ・ きつい勾配面(擁壁、壁高欄、擁壁ウイング、洪水吐き、のり面保護工など)

いずれも、空を拝む勾配の部分は、緩い勾配でもきつい勾配も汚れが付着しやすい環境となる。緩い勾配の面は、汚れる速度が速く、前面が均一に汚れる傾向があるのに対して、きつい勾配は、天端の形状により、伝い流れが生じるために、局所的な汚れ形状になりやすい。



写真-3 ダム下流面 空を拝む勾配面と鉛直面の汚れの差



写真-4 ダム洪水吐き 空を拝む勾配+水環境の汚れ

b) 排水、伝い水のある場所

橋梁などのように、橋面で雨水を集積するような構造物や、擁壁などのように背面からの排水がある場合や、支柱部など伝い水が生じる場合は、汚れやすい環境となる。

- ・橋梁排水
- ・擁壁排水
- ・路面排水
- ・柵、高欄の支柱
- ・壁高欄

これらの環境に隣接するような場合は、コンクリートの汚れに対する配慮が必要である。



写真-5 擁壁の排水 擁壁の排水は、支柱からの伝い流れは、局所的な汚れとなりやすい。

(3) 表面汚れのパターン

表面に付着した汚れは、雨水の流れ、それらの伝い流れ、排水穴から排出によって様々な形態を有する。仕入ら²⁾は、建築のファサードを中心に汚れの分類を行っている。ここでは、この分類パターンを参考に、土木構造物を評価したものである。その流れ方によって、汚れのパターンが分類できる(表-1)(写真-5)。

表-1 表面汚れのパターン

| | | |
|--------|---------|---------|
| | | |
| a. 全面 | b. よだれ状 | c. 長方形下 |
| | | |
| d. 雲形状 | e. くさび状 | f. すじ状 |

a) 全面

基本的な形状として、擁壁や護岸などの空を拝む面で構成された構造物に生じる現象。空を拝んだ構造物は、汚れの付着が早く、短期間で相当の汚れが形成される。

b) よだれ状

天端からの雨水の伝い汚れで最も多いパターンがよだれ状である。これは、天端に設けられた面取りの微細な欠けから、壁面と伝う水量が変化し、その結果強弱のある伝い流れが生じる現象である。

c) 長方形下

コンクリート壁面の下面が、堅い舗装で構築された場合、舗装面に蓄積された泥が、降雨と一緒に跳ね上がり、壁面へ付着する現象で、降雨の強さによって、矩形状に付着するのが特徴である。

d) 雲形状

コンクリートの化学的変化に伴うエフロレッセンスなどの現象に伴いながら発生したり、空気中の水分が局部的に乾燥の悪い環境があった場合や、局部的に周辺から菌類が飛来した際に生じる現象。

e) くさび状 / 逆くさび状

コンクリート天端に、高欄、柵、フェンスなどのような不属物を設置した場合に、その支柱を伝わって生じる汚れの性状。

支柱ピッチに合わせて、等間隔で生じるので人工

表-2 表面汚れに対する各段階の対処



写真-5 コンクリートの汚れのパターン

的な印象の大きい汚れとなる。擁壁の排水孔から生じる排水の汚れは、逆くさび状の状態となる。

f) すじ状

水切りのない形状において、コンクリート表面を水が走った場合などに生じる汚れ。橋梁の地覆から張出し床版、伸縮装置から桁裏、橋脚へ伝わった時に生じる。

4. 汚れに対する工夫

(1) 汚れに対する工夫

汚れに対する対処方法を、設計段階、施工段階に表-2に示す。

各段階で、汚れに対して対処できる工夫は異なるが、設計段階では、汚れをエイジングとして位置づけ、形状の操作を行うことで幅広い対処が可能となる。汚れのコントロールにあたっては、汚す面、汚さない面に配慮して、メリハリのある対処をすること、また、汚す面については、なるべく均一にどの程度時間で汚すのが目標を設定することが望ましい。

ここでは、汚れに対して設計段階に配慮した事例を紹介する。

| 設計段階での工夫 | 施工段階での工夫 |
|---|---|
| <p>【設計段階】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・経年変化のある材料として設計 ・汚れを楽しむ ・影と汚れの関係を設計 <p>【形状】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・空を拝む面の処理 ・天端の水の処理 ・吹き込む水の処理 ・伝い流れの水の処理 ・水に浸る部分の処理 <p>【排水機能】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水の流れる方向のコントロール ・排水管の端末の処理 ・ジョイント部での止水 <p>【ディテール】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水切りの工夫 ・面木の形状 ・表面の仕上げ ・塗装の仕様 | <p>【形状】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・支柱関係の伝い水の処理 ・水に浸る部分の仕上げ処理 <p>【排水機能】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・天端勾配の処理 ・配水管の端末の処理 ・ジョイント部のコーキング <p>【ディテール】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・汚れ除去（水切りの工夫） ・V目地、せき板、特殊金具 ・伝い流れの工夫（面木の形状） ・、1/4円、台形など ・汚れ性状の安定化（表面の仕上げ粗面、スギ板、洗出し、はつり等） ・汚れの付着防止（塗装） ・クリア、つやの有無、撥水、親水 ・継ぎ目処理 ・平坦さ、継ぎ目の意匠、処理 |

(2) 汚す面と汚さない面のメリハリ

写真-6の例は、鶴の橋の事例である。構造形式は、下路形式の2主桁のラーメン橋であるが、主桁断面を「く」の字型の形状にし、境界の部分に金属製の水切り金具を設置している。上部は空を拝む勾配を持つので汚れが付着し、水切部より下にある下部は、汚れの付着がなくなるように設計されている。下部の部分は、汚れの付着を防ぐために、クリア塗装も施され、汚す面と汚さない面の徹底したメリハリが行われている。

現在は、上部の汚れの付着した面は、徐々に黒ずみ、下部の汚れの付着しない面は、白いままのコンクリート面で、白と黒のメリハリのあるデザインとなる。



写真-6 鶴の橋
主桁の中間部分で、汚す、汚さないをコントロール

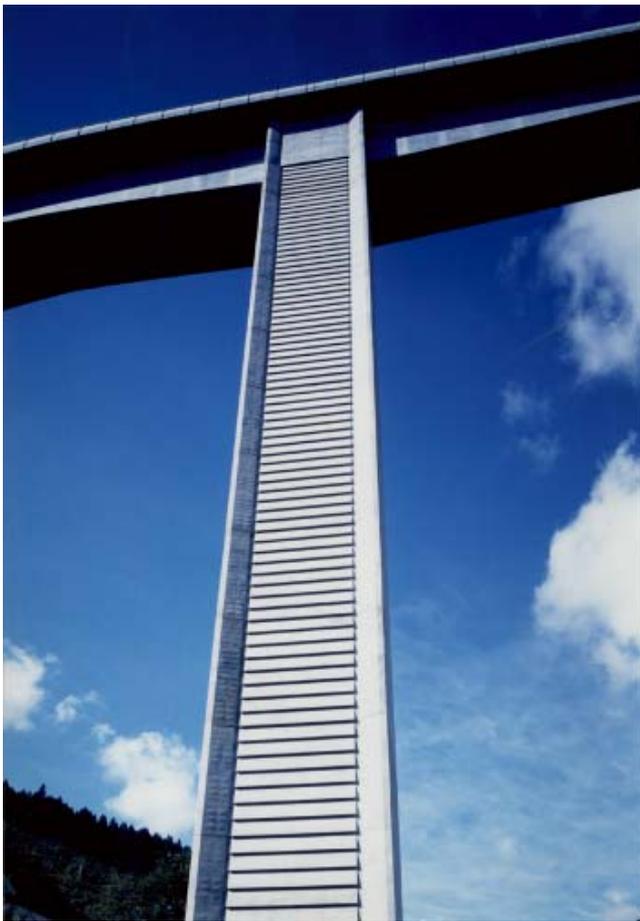


写真-7 雷電廿六木橋 / 1998年竣工（筆者デザイン）

(3) 移り行く汚れを考える

写真-7は、雷電廿六木橋であり、橋脚の壁面に、下見板風の意匠を施した事例である。この下見板の意匠が時間の経過と共に汚れの進行が進み、橋の表情が変化するデザインである。完成当初は、打放しのコンクリートと陰影によって美しいコントラストをなし、その後、下見板の先端が段々と黒ずみ、後に下見板全体が黒くなる（図-4）。その結果、2枚の板で支えられているような造形となるようにデザインされ、移り行く汚れを考えたデザインとなっている（図-5）。

(4) リニューアル時に補強された汚れ対策

1930年に竣工したサルギナトーベル橋の63年後の状況である。ロベールマイヤールによってデザインされたこの橋は、局所的な汚れも少なく、コンクリート構造物として良いエイジングの状態のものと言える（写真-8）。2000年に、リニューアルすることとなり、壁高欄の部分を新設し、全体の汚れを除去した工事がなされた（写真-9）。この時、この橋のディテールは、原設計と異なる補修が加えられた（図-6）。水仕舞いをよりメリハリをつけるために、補修後には、壁高欄に水切部が設けられ、さらに張出し床版にも水切部と凹部を設けることで、伝い流れ

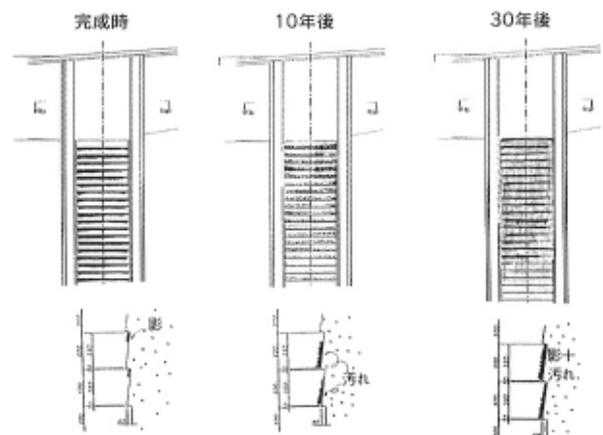


図-4 雷電廿六木橋の考え方

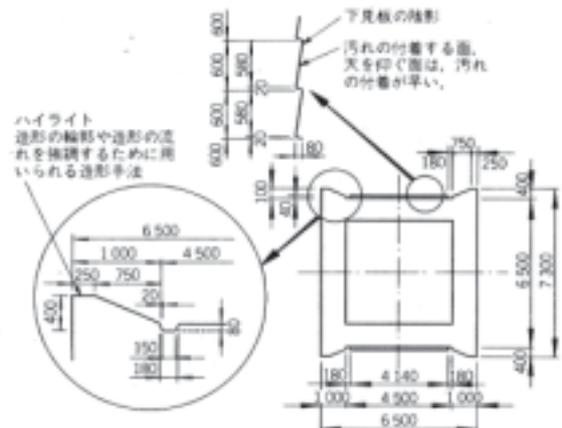


図-5 雷電廿六木橋のディテール



写真-8 サルギナトーベル橋（1993年筆者撮影）

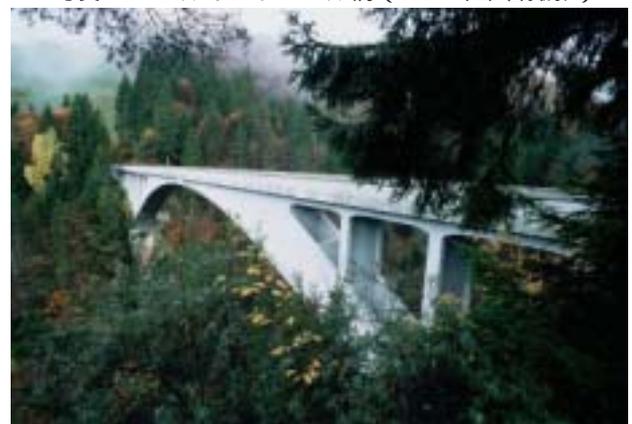


写真-9 サルギナトーベル橋（2002年筆者撮影）

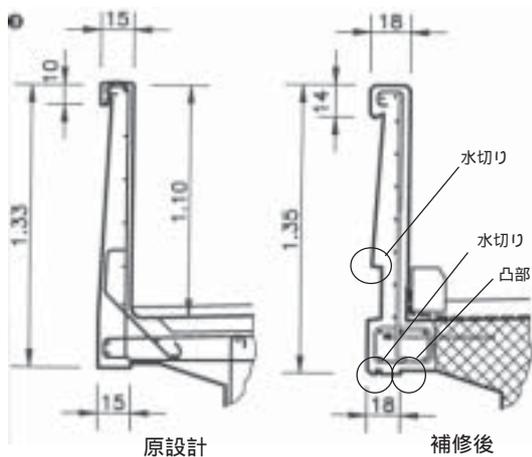


図-6 サルギナトーベル橋の壁高欄の補修⁴⁾

をカットしていることがわかる(図-6)。この結果、リニューアル後は、水仕舞いがより強化された結果となる。

(5) 施工段階でのディテール対応

a) 雨樋と水切り

カルバートの水仕舞いの事例として、写真-10富士スピードウェイのカルバートボックスの事例を示す。天端の水は、両側の雨樋によって誘導し、基本的に伝い流れる雨をカットしている。さらに頂部の伝い水をカットするために、頂版部分に水切りを設けている。



写真-10 富士スピードウェイのカルバートボックス(筆者デザイン)

b) 面木

写真は、ばんどうドイツ橋であるが、バットレス形の控え壁の汚れにメリハリをつけるために、四角形状の面木を用いている。通常の三角形の面木では、伝い流れが生じるため、四角の面木も用いることで、汚れの拡散を防止している。



写真-11 ばんどうドイツ橋の(筆者デザイン)



写真-12 ばんどうドイツ橋のディテール(筆者デザイン)

5. おわりに

コンクリートの表面性状の変化について、そのメカニズムとデザイン的工夫について紹介した。コンクリートの局所的な汚れを排除し、コンクリートのエイジングとして、コンクリート本来の材料の魅力を引き出すためには、必要不可欠な視点と考える。また、その対処方法も、デザイン的着想から現場でのディテールまで多岐になることから、いずれの段階でも改善できるものである。

美しいコンクリート構造物のエイジングに配慮するのは、設計者の技量とも言えるものであり、ものづくりへの熱意そのものである。

参考文献

- 1) 景観デザイン研究会：コンクリート構造物の造形デザイン、1998.8
- 2) 仕入、他2名：コンクリート壁面の汚れ、セメント・コンクリートNo.461
- 3) 関、他2名：雷電廿六木大橋のデザイン的着想について、プレストレストコンクリートvol.2,2000.3
- 4) fib-CH: Betonbau in der Schweiz, The first fib-Congress, Oct.13-19, Osaka, Japan
- 5) 関：コンクリートのエイジングとディテール、橋梁と基礎2004vol.38, No.8
- 6) 関、他共著：コンクリート標準示方書改定に関する中長期ビジョン、コンクリート技術シリーズ、土木学会、1999.7