

水仕舞いを施した擁壁のコンクリート表面性状の変化とエイジングの考え方

五味 傑¹・杉田 翔梧²・関 文夫³

- ¹学生会員 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:poltna.1.dersar@gmail.com）
²非学生会員 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:sjs2983@gmail.com）
³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）

コンクリートは、現代社会を支える重要な建設材料であり、擁壁構造物は、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、加齢に伴って風合いを増すエイジングがポジティブに評価されているが、コンクリート構造物の場合、単なる汚れた構造物となり、エイジングとしてネガティブに評価されている。そこで、コンクリート表面に水仕舞いを施した擁壁構造物に着目し、擁壁表面の汚れの度合いの調査を行った。本論文は、水仕舞いに関する意匠設計の効果を報告し、コンクリート表面の仕上げの違いによる影響、擁壁表面の角度、擁壁面の方位差による影響を分析し、コンクリート構造物のエイジングの考え方を示したものである。

キーワード：コンクリート、擁壁、エイジング、汚れ、水仕舞い

1. はじめに

コンクリート表面に汚れが発生する要因について、排水、伝い流れ等によって汚れが付着する現象に着目すると、設計段階において汚す面と汚さない面のデザイン工夫を施すことによって、汚れをコントロールすることが可能である。過去に関らは、汚れの付着しやすい環境と構造物の形態の関係から、汚れのメカニズムを考察し、コンクリートの局所的な汚れを防止するデザイン工夫の事例を示した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²⁾。

今回は、デザインされた擁壁に着目し、完成から5年経過したコンクリート製擁壁の表面汚れを調査した。この調査は、汚れの度合いについて、擁壁の表面の仕上げの違いによる影響と、コンクリート面が向いている方位差や角度による影響について調査した。

ここでは、凹凸面と平滑面との汚れ度合いの結果を比較し、その水仕舞いの効果を報告するとともに、擁壁面の方位差、勾配による汚れ度合いを分析した結果から、コンクリート構造物のエイジングの考え方を示す。

2. コンクリート構造物の表面性状の変化

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、材料自体の化学的な変化あるい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。表面に汚れが付着する現象に着目すると、汚れが付着する現象は、コンクリート表面の微細な凹凸に、粉塵や親油性物質が付着したり、菌類が付着し黒ずむことから生じる。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、雨水によって繁殖することで汚れが進行する（図-1）。

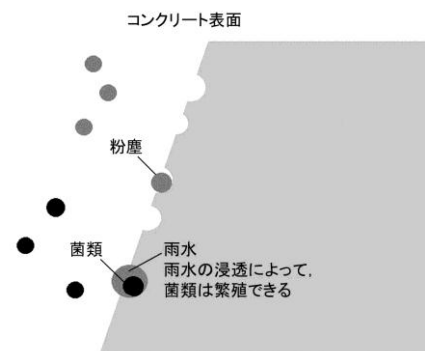


図-1 コンクリート表面の汚れ付着のメカニズム

そして、汚れが付着する現象は、構造物の造形と雨水の流れ方の関係が重要になる。排水、伝い水のある場所、特に擁壁に着目すると、背面から排水がある場合や、支柱部等伝い水が生じる場合は、局所的な汚れとなりやすい（写真-1）。

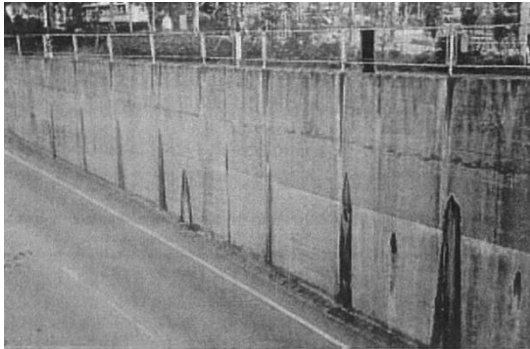


写真-1 排水による擁壁の局所的な汚れ

3. 擁壁の概要

調査の対象とした擁壁のグラウンド周辺の見取り図を図-2に示す。区間設定について、擁壁の配置角度が変化する部分を番号で区切る形で区間設定を行った。

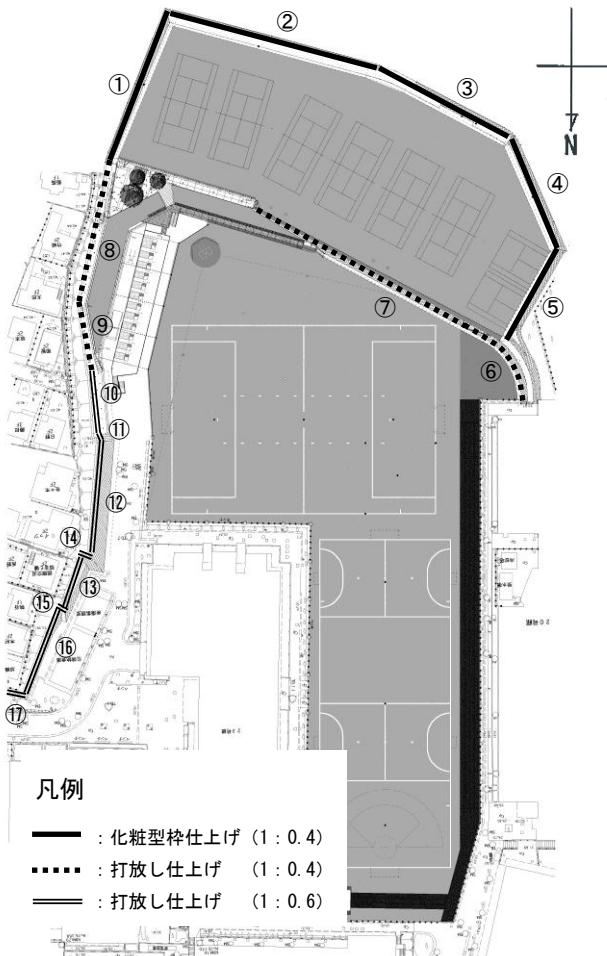


図-2 グラウンド周辺の見取り図

擁壁の形状は、テニスコート周辺と、グラウンド周辺の2つに大別できる。

テニスコート周辺①～⑤区間の擁壁と、グラウンド周辺⑥～⑯区間の擁壁は表面仕上げが異なっている。前者は凹凸のある化粧型枠仕上げとなっており、後者は平滑な打放し仕上げとなっている（写真-2）。擁壁全体の表情もそれぞれで異なっている（写真-3）。

擁壁の勾配は2種類あり、1つ目の勾配は1:0.4となっており、テニスコート周辺①～⑤区間とグラウンド周辺⑥～⑨区間に該当する。2つ目の勾配は1:0.6となっており、⑩～⑯区間に該当する（図-3）。

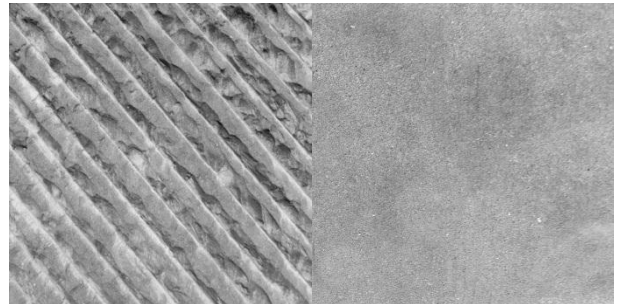


写真-2 擁壁の表面仕上げ

左：化粧型枠仕上げ 右：打放し仕上げ



写真-3 擁壁全体の表情の違い

左：化粧型枠仕上げ（④区間） 右：打放し仕上げ（⑦区間）

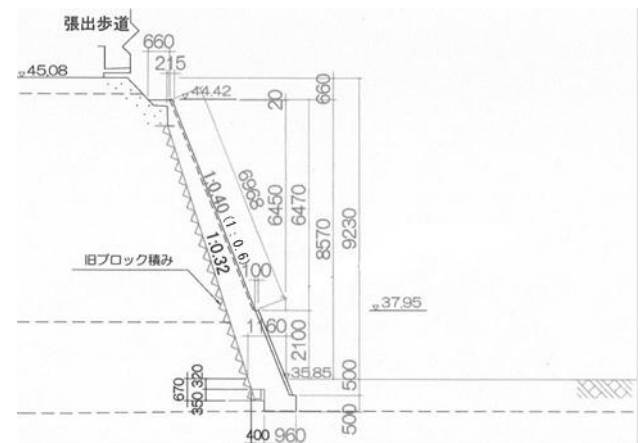


図-3 擁壁断面図

4. 擁壁の水仕舞い

テニスコート周辺の擁壁の化粧型枠仕上げは、全体に表情を与えるだけでなく、全体の局所的な汚れを防止するために、排水関係の水仕舞いに配慮したものである。排水孔からの排水は、縦溝の中に誘導され、外部へ拡散されることのないように配慮され、天端の水は、中央のスリットに誘導され、腰壁部の水も凹部に誘導されながら流れるように設計されている(写真-4, 図-4)。打放し仕上げに関しては、表面には伝い流れへの工夫は施しておらず、ランダムに流れている。天端からの水は縦溝へ流れる水仕舞いとなっている(写真-5)。

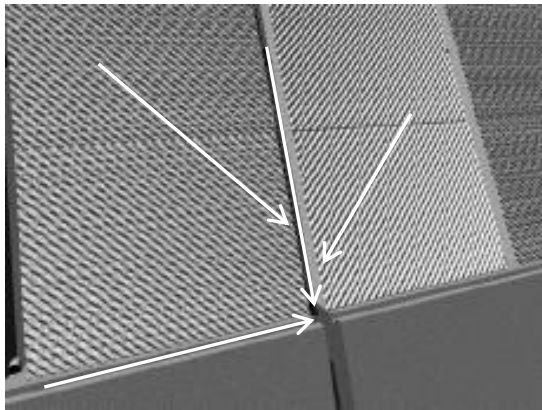


写真-4 排水及び表面水の水仕舞い（化粧型枠仕上げ）

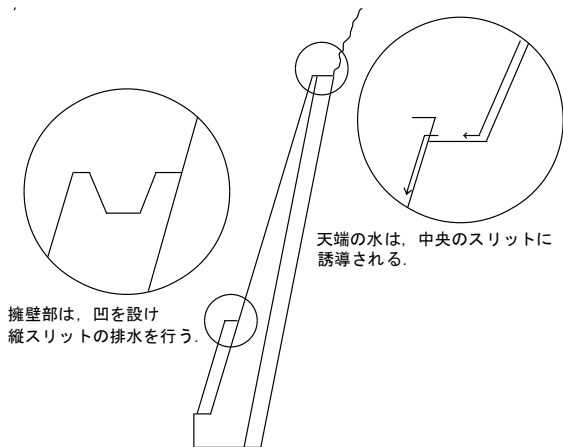


図-4 水仕舞いの考え方（化粧型枠仕上げ）

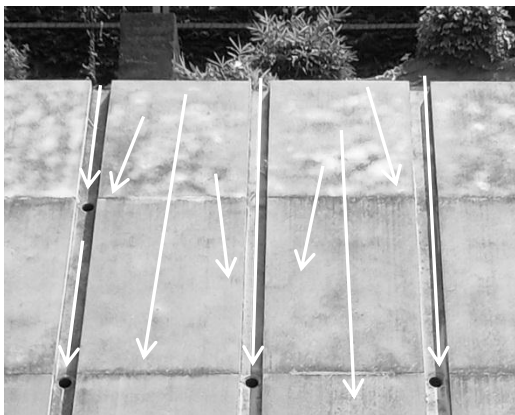


写真-5 排水及び表面水の水仕舞い（打放し仕上げ）

5. 調査方法

(1) 計測点

計測点に関しては、図-2の通りである。計測点と計測ピッチを表-1に示す。

表-1 区間毎の計測点と計測ピッチ

区間	計測点	計測ピッチ
①	11	3m
②	10	5m
③	7	5m
④	9	3m
⑤	8	3m
⑥	6	3m
⑦	16	3m
⑧	17	3m
⑨	5	3m
⑩	4	3m
⑪	2	2点のみ
⑫	11	3m
⑬	2	4点中2点
⑭	2	2点のみ
⑮	1	1点のみ
⑯	6	3m
⑰	3	4点中3点
計	120	

(2) 計測方法

汚れの調査は、擁壁全体の目視による汚れ度合いの調査と、擁壁表面については、色彩色差計（色彩色差計：ミノルタ CHROMA METER, スコープ：CR-210）を用いて明度を計測した。計測機器及び計測状況を写真-6、写真-7に示す。計測値は、JISZ8729 に採用されている $L^*a^*b^*$ 表色系で計測し、明度 L^* (0-100)マンセル値10倍表示、色相 a^*b^* 、彩度 $c^*=(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ で表示する。



写真-6 色彩色差計



写真-7 計測状況

6. 調査結果と考察

(1) 調査結果

色差計を用いた擁壁表面の明度の計測結果を図-5、図-6に示す。化粧型枠仕上げの①～⑤区間の明度は、高い部分で50、低い部分で40弱と約10程度の明度差があるが、全体的に明度のばらつきは無く、40程度であった。一方、打放し仕上げの⑥～⑰区間の明度は、高い部分で60、低い部分で40弱と約20程度の明度差があり、全体的

に見てもばらつくような結果となった。両者を比較すると、⑥～⑬区間の明度が明らかにばらついている。施工直後（明度80～85）と5年経過した状態とを比較すると、かなり汚れが進行している（写真 - 8, 9）。

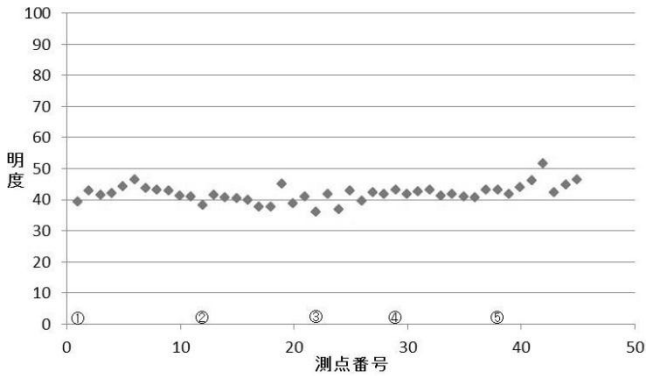


図 - 5 ①～⑤区間の計測結果（化粧型枠仕上げ）

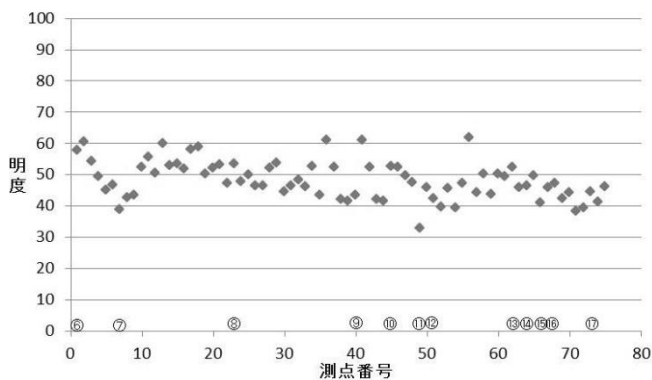


図 - 6 ⑥～⑬区間の計測結果（打放し仕上げ）



写真 - 8 施工直後の擁壁（⑫区間）



写真 - 9 5年経過した擁壁（⑫区間）

- (2) 表面仕上げの異なる擁壁面の汚れ度合いの違い
化粧型枠仕上げ面は、斜めスリットの凹凸が伝い

流れに対して大きく機能し、局所的な汚れを防止することで早く均一にエイジングが進行した（写真 - 10）。

打放し仕上げ面は汚れがばらつき、土木構造物特有の表面汚れのパターン分類¹⁾によると、コンクリートの化学的変化に伴い発生する雲形状の汚れが確認できる。隣り合う擁壁表面では、左側が明度55、右側が明度47であり、明度差がある（写真 - 11）。擁壁全体で見ると、化粧型枠仕上げ面は、全体的に統一感のある安定した印象を与えており、打放し仕上げ面は汚れの付着度合いがばらつき、全体で見るとまだらに見え、汚いという印象を受ける（写真 - 12）。

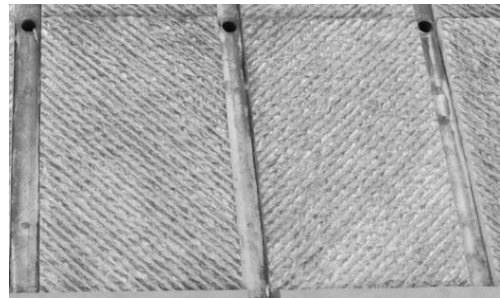


写真 - 10 化粧型枠仕上げ面の均一な汚れ

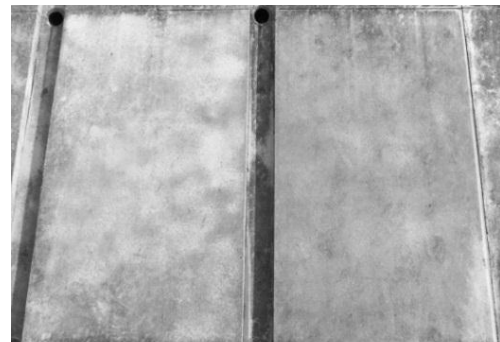


写真 - 11 打放し仕上げ面の雲形状の汚れ

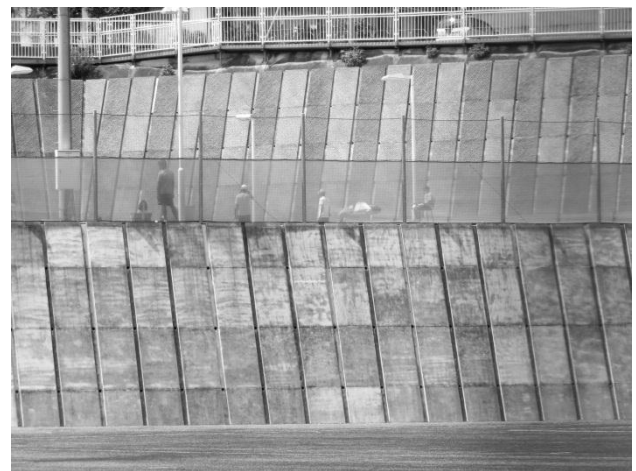


写真 - 12 表面仕上げの異なる擁壁面の汚れ度合いの違い
（上段：化粧型枠仕上げ 下段：打放し仕上げ）

- (3) 擁壁表面が向く方向による影響

- a) 方位差による影響

過去に関ら²⁾は雷電廿六木橋で方位差に着目し、壁高欄表面汚れを調査した（図 - 7）。その結果、南南西から北

西にかけて陽が当たる面は、乾燥しやすいことから、菌類、粉塵の付着が少ないため明度は高く、西北西から北に向かい東側にかけて陽があまり当たらない面はコケや菌類の付着が多く、明度が低いと結論付けた(図-8)。写真-13左は西陽が当たる面であり、右は陽があまり当たらない北東の面であるが、両者を比較すると汚れの進行が違ってくる。今回、この結果を踏まえて、各区間の明度の測定値を平均し、方位による明度の違いを分析した(図-9, 10)。

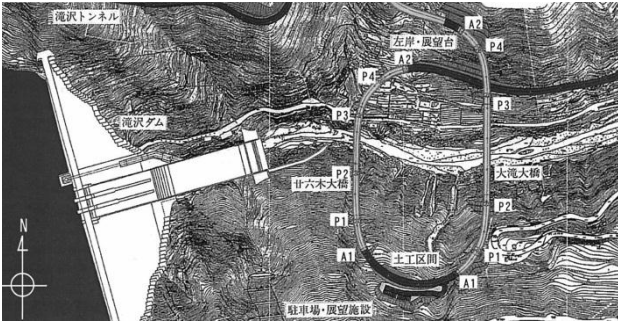


図-7 雷電廿六木橋と方位の関係

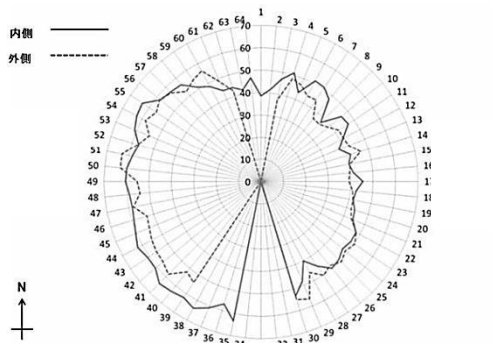


図-8 壁高欄の面している方位差と明度の関係



写真-13 方位差による汚れ度合いの違い(左:西向きの面 右:北東向きの面)

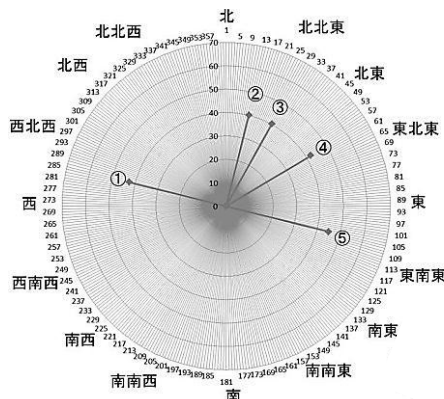


図-9 ①~⑤区間の明度と方位の関係(凹凸面)

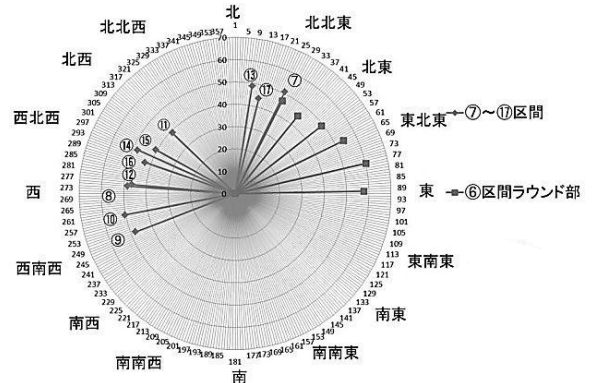


図-10 ⑥~⑱区間の明度と方位の関係(平滑面)

ここでの調査結果によると、化粧型枠仕上げの①~⑤区間では、方位によらず明度は40~45で安定している。一方、打放し仕上げの⑥~⑱区間では、西南西から西にかけての間に位置する⑧, ⑨, ⑩, ⑫区間は明度50前後であり、西北西に位置する⑬区間は明度40強となっている。北西から北に向かい北北東にかけての間で明度40~50、ラウンドする⑭区間においては、北北東から北東にかけての間で明度50弱であり、北東から東にかけての間で明度60前後となっている。⑮区間は本来西陽が当たる面であるが、擁壁が校舎の裏に位置し、陽による影響を受けにくかったため、明度が低い値を示したと考えられる。

この結果を雷電廿六木橋の調査結果と比較すると、西南西から北西にかけての間では明度は高く、北西から北へ向かい東北東にかけての間は低いという同じ傾向がみられるが、北東から東にかけての間の明度に大きく違いが生じ、今回の調査では北東から東にかけての間の明度が50~60と高い結果となった。雷電廿六木橋の場合は、周辺環境が山間部であり東陽が当たる時間が極端に短かったためであると考えられる。この2つの結果をまとめると、東から南へ向かい西にかけての間は汚れの進行が遅く、北西から北へ向かい北東にかけての間は汚れの進行が速いといえる。

b) 勾配による影響

コンクリート構造物は、表面が向いている角度によって汚れの進行が異なる。鉛直面よりも勾配面の方が汚れの進行が早いことがわかる(写真-14)。

平滑面の区間において、2種類の勾配があるが、勾配が1:0.4である⑧, ⑨区間の明度は50程度であるが、勾配が1:0.6である⑩, ⑫区間でも50弱とあまり差は見られなかった。1:0.4と1:0.6程度の勾配差では、汚れの進行に影響がないものと考えられる。



写真-14 鉛直面と勾配面との汚れの進行の違い

(4) 障害物による影響

汚れがばらついた平滑面に、一部、天端にある植物が雨よけとなり、雨水があまりあたらなかったことによって局部的に汚れていない部分が見受けられた(写真-15)。良いエイジングのためには、このような局部的に汚れない様な要因にも配慮しなければならない。



写真-15 局所的に汚れていない面 (㊸区間)

7. コンクリート構造物のエイジングの考え方

(1) エイジングの速度

コンクリート構造物は完成から長い年月をかけて明度30前後の落ち着いた色に安定する。しかし、明度30前後に到達するまでのエイジングの速度が異なる。

平滑面における鉛直面の汚れは、始めは緩やかに進行し、時間が経過して表面のモルタル成分が剥離してくると、そこから急に汚れて行く。それに対し、勾配面の汚れは、勾配が緩やかなほど進行が早く、完成から数年で急に進行していく(図-11)。

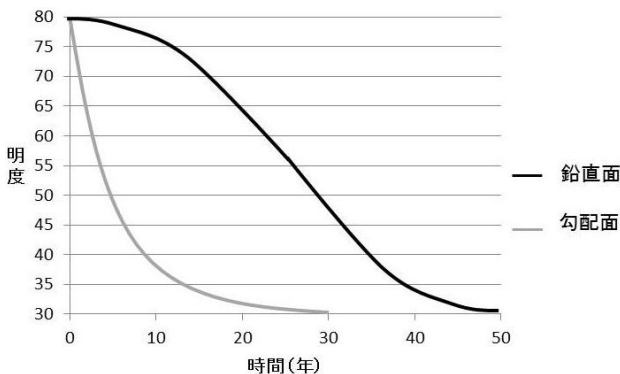


図-11 汚れの進行のイメージ (鉛直面と勾配面)

(2) エイジングの考え方

a) 鉛直面のエイジングの考え方

鉛直面が汚れる要因は、主に天端からの伝い流れの拡散によるものが多い。写真-16は、今回調査した大学内にある倉庫であるが、同じ鉛直面でも、入り口の庇の部分には雨水の伝い流れによるよだれ状の汚れが確認できるが、倉庫の壁は、天端からの伝い流れを笠木によってカットしているため、全体的に汚れが少ない。

鉛直面のエイジングは、極力汚さないことを目指し、自然に緩やかなエイジングをさせることが望ましいと考えられる。



写真-16 鉛直面の汚れ度合いの違い

b) 勾配面のエイジングの考え方

ある程度急勾配の面は、基本的に鉛直面と同じ方法で対処できる。緩勾配の面は、汚れやすい分様々な対策が考えられ、エイジングの考え方が異なってくる。

①コンクリート表面の粗度を上げると、平滑面に比べて汚れの進行は早く、均一に汚れて行く。今回調査した擁壁の化粧型枠仕上げ面を例に、汚れをばらつかせないためには、意図的に早く、均一に汚すようなエイジングが有効である(図-12)。

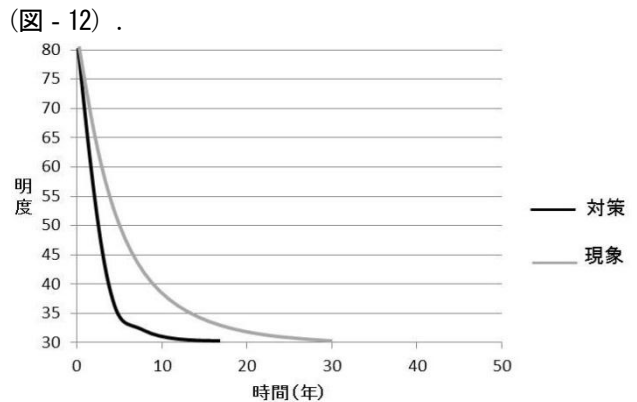


図-12 エイジングの考え方のイメージ (表面の粗度を上げたケース)

②汚れやすい勾配面であっても、撥水性クリア塗装や光触媒クリア塗装等、表面塗装によって汚れを防ぐことができる。コンクリート表面に撥水性のクリア塗装を塗布すると、汚れはほとんど付着せず一定期間表面をきれいに保つことができる⁴⁾(写真-17、図-13)。



写真-17 クリア塗装による表面曝露試験の6ヶ月経過した様子(左:塗装あり 右:塗装なし)

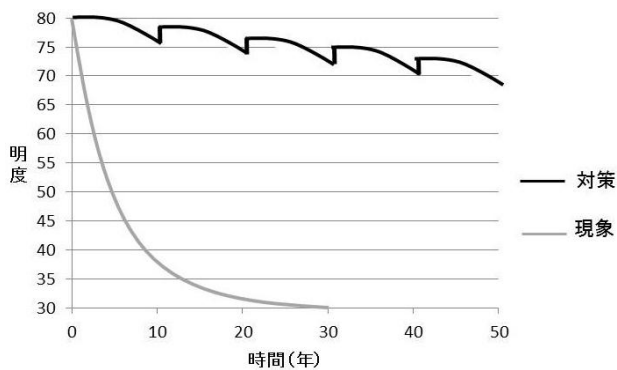


図 - 13 エイジングの考え方のイメージ (表面塗装を行ったケース)

③コンクリートは、時間経過とともに繊細に反応する材料であり、何も手を加えず、素材そのものの素直な反応(劣化や表面性状の変化)を楽しむことが本来のエイジングの姿といえる。エイジングをデザインするためには、設計者の汚れに対する創意工夫が重要である。

写真 - 18は、汚す面と汚さない面を意図的にコントロールすることで、エイジングを全体のデザインに取り入れ、メリハリのある表情をみせたケースである。主桁断面が「く」の字の形状であり、上部の空を拝む面はそのままエイジングし、「く」の字の境目には水切りが設けられており、上部の伝い水がカットされる仕舞いである。さらに、下部にはクリア塗装を塗布し、下部は汚さない配慮がなされている。

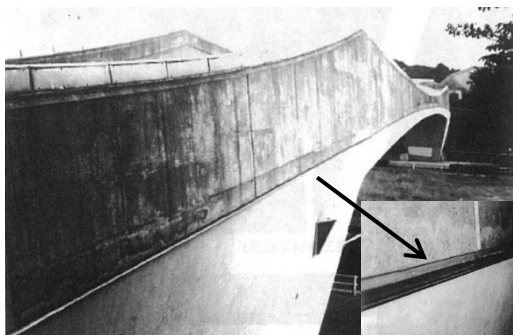


写真 - 18 汚す面と汚さない面のメリハリ

8. まとめ

本論文のコンクリート構造物のエイジングの考え方をまとめると、以下の通りである(図 - 14)。

- ①エイジングは、均一に汚す、汚さないことを目指し、局所的な汚れを防ぐための配慮は必須である。
- ②コンクリート構造物は、鉛直面よりも勾配面の方が汚れの進行が早い。面の角度によって適切な対策をとることが重要である。
- ③コンクリートの表面処理によって汚れ度合いとエイジングの速度が異なる。平滑面仕上げはばらついた汚れに

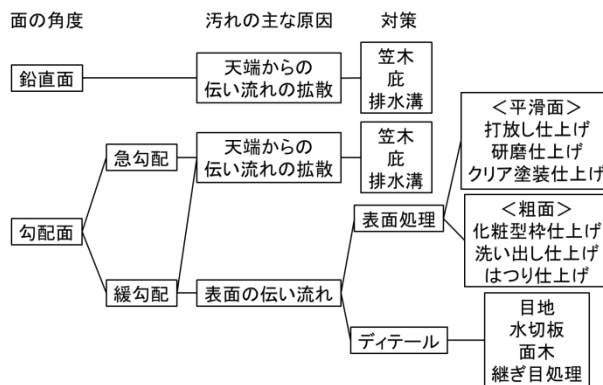


図 - 14 面の角度による汚れの原因とその対策
なりやすいが、クリア塗装を行うと均一に汚れを防ぐことができる。

粗面仕上げは早い期間で均一に落ち着いた明度に安定する。

④方位差による影響について、東から南へ向かい西にかけての間は汚れの進行が遅い。北西から北へ向かい北東にかけての間は汚れの進行が早い。何らかの対策を講じる一助となる。

⑤良好なエイジングに際して、適切な汚れの対策とディテールのデザインの創意工夫が重要である。

9. おわりに

コンクリート構造物の汚れを調査してみると、数年でまだらな汚れが付着しているものや、真っ黒なものもある。コンクリートの表面に微細な凹凸があることから、その面の角度、方位、天端の状況によって、その汚れが左右されている。今回は、デザインされた擁壁を調査したが、設計家の設計思想で、様々なエイジングがあることが解った。本研究が、永く美しいコンクリート構造物の設計のための一助となれば幸いである。今後も、様々な環境下での汚れについて調査し報告したい。

謝辞：本論文の執筆にあたり、調査用の計測機器をご提供頂きました、太平洋セメント(株)及び調査にご協力頂きました大学関係者の皆様に厚く謝意を表し、ここに付記致します。

参考文献

- 1) 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
- 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) 関，他3名：コンセプトデザインによるもたれ式擁壁のシステム開発，土木学会建設技術委員会，pp145-152，2008.10
- 4) 関：コンクリート土木構造物のコンセプトデザインとデザインプロセス，2008.4