

報告 目視評価法によるコンクリート構造物の表層品質評価の継続的適用と各種品質向上施策の効果の検証

渡邊 賢三^{*1}・小林 聖^{*2}・吉田 祐麻^{*2}・細田 暁^{*3}

要旨: コンクリート構造物の表層部分を合理的に評価する手法として目視調査に基づいた評価手法に着目し、この手法を主軸に施工の PDCA サイクルを回して品質向上を図ることを提案している。本手法を約 1.8km のボックスカルバートの施工に導入し、構造物の壁、柱を対象にコンクリート表層品質の改善を継続的に試みた。その結果、目視評価の結果をふまえて具体的な改善を行うことが表層品質の確保、向上に繋がることを実際の施工で実証した。

キーワード: 表層品質, かぶり, 目視調査, 品質評価, 目視評価, PDCA

1. はじめに

土木のコンクリート施工は、温度や湿度などの環境条件の異なる自然環境下において、他に同じものがない製品を構築するという特徴を有する。また、現場ごとに使用する材料、コンクリート配合さらには施工に取り組む人員もそれぞれ異なる。そのため、電気製品などの工場製品とは異なり、施工条件が日々変動する中で一定の品質を確保していくことが求められる。このような背景において、常に品質を把握し、適切な改善を続けていくことは、品質確保の上で極めて重要となる。

一方、コンクリート構造物の耐久性においては、コンクリートの表層品質いわゆる「かぶり」が極めて重要であることが明らかになっている^{1), 2)}。かぶりの品質を評価する場合、透気試験や吸水試験は非破壊で定量的な評価が可能であり、例えば、透気試験を現場のコンクリート施工の PDCA サイクルに適用した場合、定量的な評価に基づいた運用が可能となる。しかしながら、透気試験の 1 つのデータは 100cm² 程度の領域の品質であり、評価対象とする部位の品質を代表しているとは言い難い。この課題を解決するためには、数多くの測定点が必要となることから、評価結果から改善までを迅速につなげることが事実上難しい。そこで、著者らは目視調査に基づいて表層品質を評価する手法（以下、目視評価法と称す）に着目した。目視評価法は、対象部位全体を迅速に評価することが可能であることなどの特長から、本手法に基づいて品質向上の PDCA サイクルを運用する取組みについて検討してきている²⁾。本報告では約 2.5 年間に亘るコンクリート打込みを行った現場に目視評価法による PDCA サイクルを適用した事例について紹介する。

2. 目視調査に基づく表層品質評価手法

「目視評価法」^{2), 3)} は、写真-1 に示すように同じコンクリートを用いても施工の良否によって外観に相違が生じた場合「美しいコンクリートは品質と耐久性の高いコンクリートである」²⁾ という概念のもと、全 7 つの評価項目に対して技術者が目視によりコンクリートの表層品質を評価するものである。この目視評価法は、発注者の規格を満足する品質「良」の範囲を対象として、表-1 に示すサンプル写真のようにコンクリートの耐久性および見栄えに影響を及ぼすと考えられる、打重ね線、表面の色つや、表面気泡、沈みひび割れ、型枠継ぎ目のノロ漏れ、砂すじの 6 項目に対し点数化して評価する。なお、豆板についてはその有無で評価し、全 7 項目とした。

評価の点数化は、実際の構造物の表層品質を表-1 に示すサンプル写真と照らし合わせて、一般的に「良」とされる範囲を 4 点、3 点、2 点、1 点に分類し、さらに「否」の「0 点」を加えて評価を行う。目視評価法では、表-1 に示した写真とコメントを参照し、例えば 2 点以上 3 点未満と判断された場合は 2.5 点と付けるなど、0.5 点刻みで評価点をつける。

3. 目視評価の適用

3.1 対象構造物と評価方法



写真-1 見栄えの相違の事例

*1 鹿島建設株式会社 技術研究所 土木材料グループ 上席研究員 博士（工学）（正会員）

*2 鹿島建設株式会社 技術研究所 土木材料グループ 研究員 修士（工学）（正会員）

*3 横浜国立大学 大学院 都市イノベーション研究院 准教授 博士（工学）（正会員）

表-1 目視評価におけるグレードの一例

評価基準 評価項目	一般的に「良」とされる範囲				不適合 -
	4点	3点	2点	1点	
①打重ね線 (10m 離れた位置から)	 ・近接では打重ね線が認められるものの、約 10m 離れた遠方からは認められない	 ・約 10m 離れた遠方から、打重ね線が認められる	 ・約 10m 離れた遠方から、打重ね線がはっきりと認められる	 ・2 点の状態よりも劣る	構造物のオーナーから不具合と判定される状況で補修を要するもの
②表面の色つや	 ・色が均一で、全体的に色の変化がない	 ・部分的な色むらがある	 ・部分的に剥離剤が攪拌されたような色むらが発生している	 ・2 点の状態よりも劣る	
③表面気泡	 ・5mm 以下の気泡がほとんどない(目安:概ね 50 個以下/m ²)	 ・5mm 以下の気泡が認められる(目安:概ね 50 個以上/m ²)	 ・10mm 以下の気泡が認められる(目安:概ね 50 個以上/m ²)	 ・2 点の状態よりも劣る	
④沈みひび割れ	 ・ピーコン近傍にも沈みひび割れがない	 ・ピーコンの概ね 1/5 以上に沈みひび割れが発生 ・ピーコン直径の 3 倍以上の長さの沈みひび割れが発生	 ・ピーコンの概ね 1/2 以上に沈みひび割れが発生 ・ピーコン直径の 5 倍以上の長さの沈みひび割れが発生	 ・2 点の状態よりも劣る	
⑤型枠継ぎ目のノロ漏れ	 ・ノロ漏れがほとんど認められない	 ・概ね 1/10 以上にノロ漏れが認められる	 ・概ね 1/3 以上にノロ漏れが認められる	 ・2 点の状態よりも劣る	
⑥砂すじ	 ・砂すじがほとんど認められない	 ・概ね 1/10 以上に砂すじが認められる	 ・概ね 1/3 以上に砂すじが認められる	 ・2 点の状態よりも劣る	

豆板については、「なし」を 4 点、「ある」を不適合と評価する。

都市部のボックスカルバートの建設において、約 2.5 年間に亘って目視評価法を適用し、その評価結果に基づいて適宜改善を行った。対象とした構造物は図-1 に示す掘割構造によるボックスカルバートであり、総延長 1.8km、ブロック数 180 (左右 360 面)、コンクリート体積約 22 万 m³ である。本構造物のうち、締めめ作業高さが 5m と高く、比較的施工が難しい側壁 (以下、壁と称す) を主な対象として、また、柱部材 (以下、柱と称す) を第 2 の対象として目視評価法を壁中心に適用した。

壁の基本形状は厚さ 1.0~1.9m、高さ 5.0m、長さ 10.0m であり、鋼製型枠を用い、コンクリートの打込み箇所は 1.5m 間隔で 7 箇所、打上がり高さは 1 層あたり 0.5m で、合計 10 層で打ち重ねた。コンクリートは呼び強度 30N/mm²、スランブ 8cm、粗骨材最大寸法 20mm であり、表-2 に配合を示す。セメントには高炉セメント B 種 (以下、BB と称す) と低発熱・収縮抑制型高炉セメント (以下、MKC と称す)、細骨材には山砂、粗骨材には石灰砕石を用いた。なお、施工条件上、壁を 2 リフトで施工す

表-2 コンクリート配合

W/C (%)	スランブ (cm)	Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					
				W	BB	MKC	S	G	AD
50.0	8.0	4.5	45.0	150	300	-	833	1048	3.0~
			47.0		-	300	867	1007	

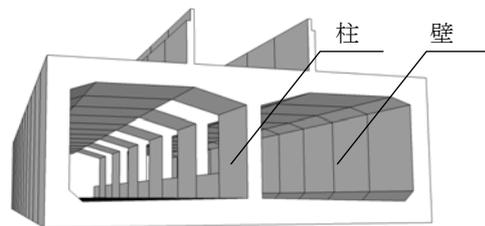


図-1 調査対象とした構造物の概要図

る場合は MKC を使用した。

柱の基本形状は厚さ 1.0m、幅 2.5m、高さ 5.0m であり、化粧合板を用い、コンクリートの打込み箇所は 2.5m 幅の中心 1 箇所とし、打上がり高さは 1 層あたり 0.5m で、

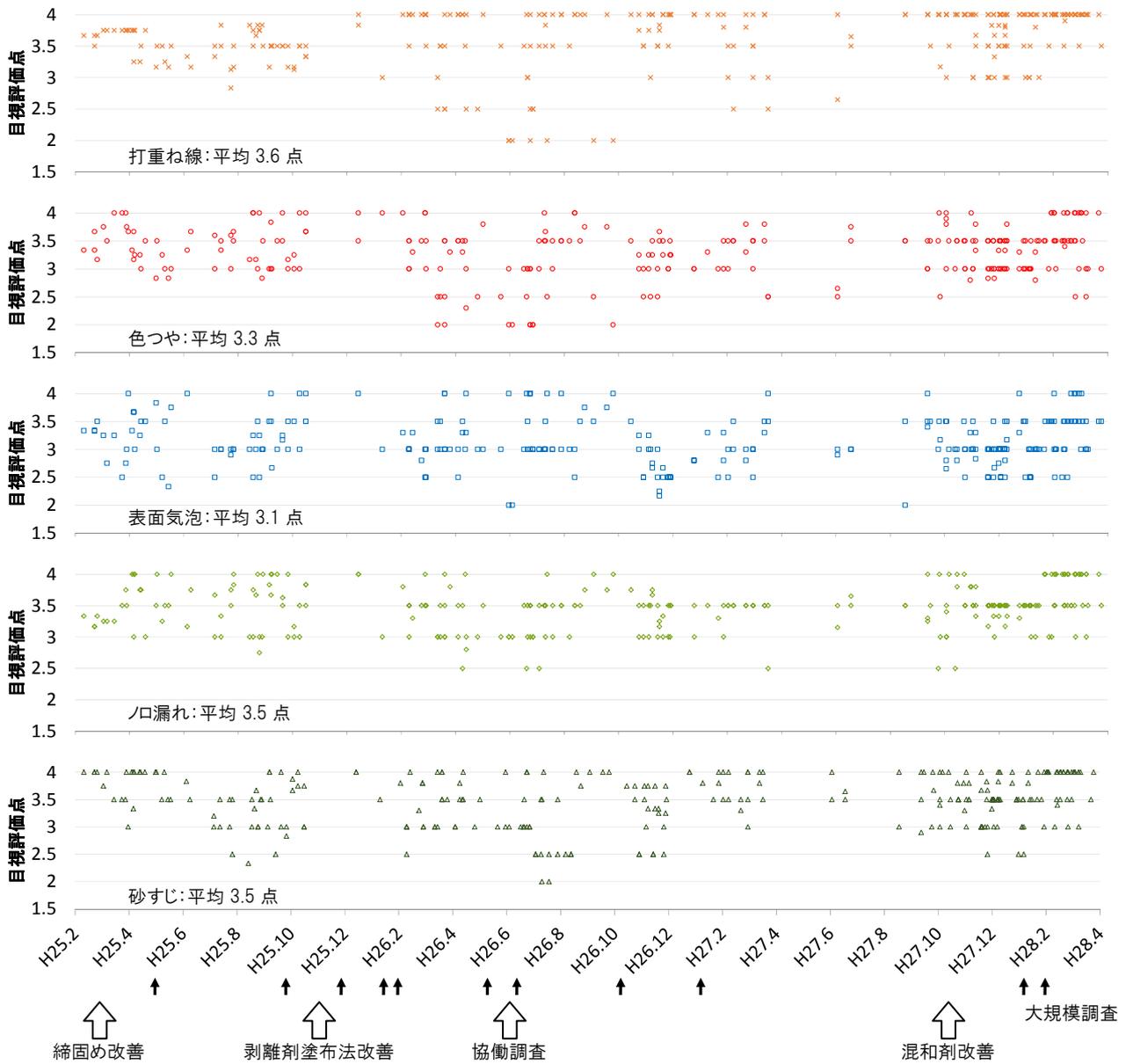


図-2 目視評価の結果（壁）

合計 10 層で打ち重ねた。セメント種類として全て BB を用いている。現場の専用プラントで製造し、コンクリートのスランブは打込み箇所まで 8cm である。なお、JIS A 1123 に準じたブリーディング量は BB で $0.09\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 、MKC で $0.20\text{cm}^3/\text{cm}^2$ だった。

目視評価法は、現場勤務のコンクリートの担当者や技術研究所もしくは本社に所属するコンクリート技術者で構成される 1~5 名で実施した。そのため、全てのブロックで同一人数での評価にはなっていないもののデータのばらつきは小さく、分散係数で約 0.1 となっていることを確認している⁴⁾。型枠の取外し後、基本的に数日~1 週間程度の時点で 1~5 名の調査者が同じ対象部位に対して目視評価を実施し、各項目の平均点を評価に用いた。

3.2 実構造物の目視評価結果

図-2 に壁、図-3 に柱の目視評価結果を示す。ここで、

沈みひび割れ、豆板は、全て 4 点満点であったため図示していない。

壁については、各項目において評価点の変動があるものの全期間での各項目の平均値は 3.1~4.0 点で、高い値となった。評価点が比較的低かった項目は表面気泡の 3.1 点であり、これはコンクリートの単位水量が $150\text{kg}/\text{m}^3$ と小さく、粘性が高いために巻き込んだエントラップエアが抜けにくかったものと推察した。

柱については、各項目の平均値は、2.8~4.0 点で、評価値は壁と同様に高いものの、項目によって点数に大きな差が生じた。評価点が比較的低かった項目は色つや 2.8 点、打重ね線 3.1 であった。これらについては、次章で詳述するが、型枠剥離剤の塗布方法や量などの施工方法の違いによって色むらが発生し、点数が低くなっていた。また、ここでの打重ね線はいわゆるコールドジョイント

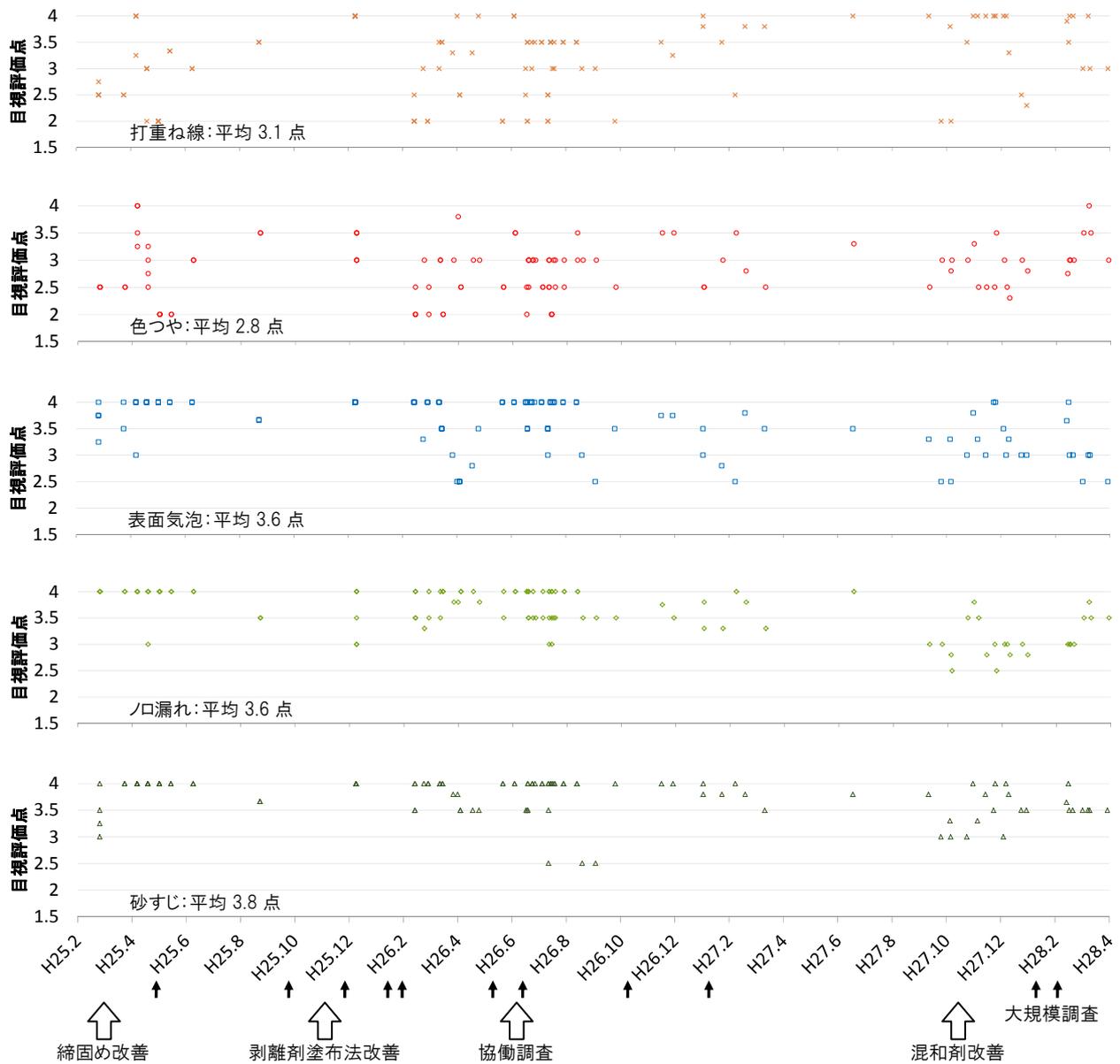


図-3 目視評価法の結果（柱）

とは異なり、色むらが打重ね位置を境に明確に生じているケースであった。なお、プロット数に偏りがあるのは、壁の打込み日に偏りがあるため、目視評価の未実施を意味するものではなく、全 285 本の柱のうち、任意の 96 本の柱をランダムに抽出して評価したためである。

4. 品質確保、向上のための改善

4.1 改善の実施概要

180 ブロックの壁、柱の構築において施工者による各種改善を実施している。図-2 および図-3 に改善検討の実施時期、概要を示す。改善の内容、規模は大小様々であり、振動締め固めの方法、剥離剤の塗布方法、打上がり速度の最適化、混和剤種類の検討、協力会社の差異が品質に与える影響の分析・比較、学識者・発注者・施工者が協働した品質評価会の実施、その他、作業員独自の工夫

など様々な改善を行った。例えば、図-2 に着目すると H26 年 6 月には、打重ね線、ノロ漏れ、砂すじの評価点が低いデータが現れ始めたものの、先述した学識者・発注者・施工者の協働調査を行うなどの意識改革によって品質の改善に転じた。これは、作業員を含めた施工者全員がコンクリートの品質の重要性を再認識する動機となったためと考えられた。以降、その他の改善事例の数例を具体的に紹介する。

4.2 締め固め方法に着目した改善

壁の構築を始めた H25 年 3 月において、バイブレータによる締め固め時間の最適化について検討した。これは、前述したように本工事で使用するコンクリートの単位水量が 150kg/m^3 、打込み箇所のスランプが 8cm で比較的高い粘性を有する特徴を考慮し、色つや、表面気泡の品質が向上する締め固め時間を検討したものである。なお、こ

表-3 色むら解消のための要因と結果

塗布方法		モップ		ローラー		
塗布量 (g/m ²)		25	200	25	200	10 以下
外観						
評価	色つや	3.0	3.0	2.5	2.5	3.0
	打重ね線	4.0	3.5	3.0	3.0	3.5

ここではポンプ車の筒先位置で行う打込み時の締固めの約5分後に実施した、かぶり部分での再振動に着目した。なお、再振動は約50cm間隔でパイプレータの先端を下層まで挿入しており、1箇所あたりの締固め時間を計測し、その平均値を締固め時間とした。

検討では、まず示方書⁵⁾を参考にして締固め時間の目安である5~15秒を締固め作業員に伝えるのみとして、作業員の目視、経験などから5箇所以上の壁の締固めを実施させた。ここで得られた締固め時間と評価点の関係を図-4に示す。なお、調査項目の内、比較的高い相関を示した項目のみを示す。

まず、締固め時間は平均で22秒と比較的長くなっていることが分かった。これは過剰な締固めによる悪影響よりも不十分な締固めによる未充填を回避したいという心理によるものと考えられた。さらに、締固め時間が長くなることによって、表面気泡や砂すじの評価点が小さく(悪く)なる一方で、打重ね線の評価点は大きく(良く)、異なる傾向を示した。これは、過剰な締固めによってむしろ表面近傍に気泡が集まったこと、30秒間程度まで過剰に長くなると単位水量の少ない本コンクリートでも材料分離が生じ始めていると推測した。以上の結果から、コンクリートの粘性が比較的高いことも考慮し、現場での締固め時間を示方書よりも若干長い10~20秒で管理するようにした。その後、構築した実構造物について締固め時間の長さを比較した結果を図-5に示す。色つやの評価点は3.7→3.5点とわずかに低下したものの、改善対象であった表面気泡は2.2→2.7点と0.5点増加し、締固め方法の少しの見直しで品質を改善できる結果となった。

4.3 型枠剥離剤の塗布方法に着目した改善

図-3に示したように柱の評価値は、打重ね線、色つやが壁と比べて低く、H25年3月から、これを改善する試みを検討した。色むら、打重ね線の発生原因を特定し、

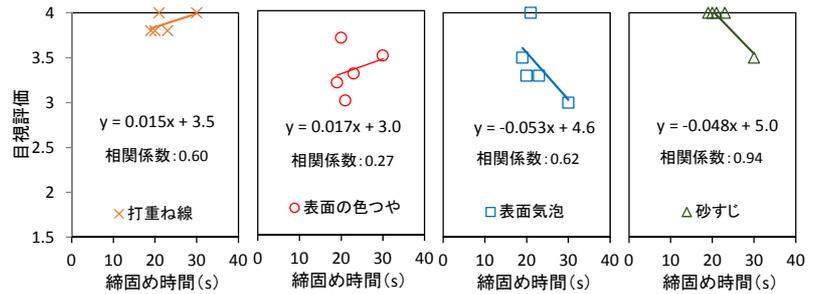


図-4 締固め時間が各項目に与える影響

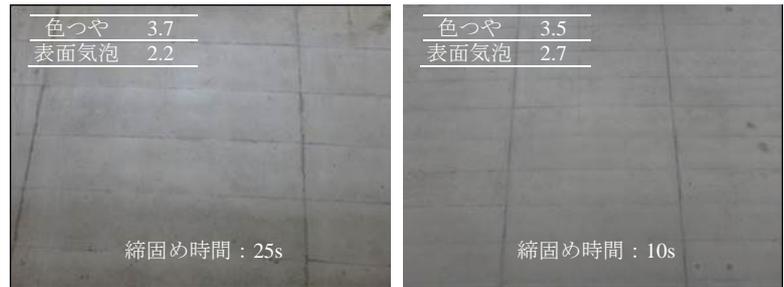


図-5 締固め時間の差異とコンクリート表面状況

完全に解消することは極めて難しい。また、色むらはコンクリートの耐久性や構造耐力に直接的に悪影響を及ぼすものではないため、本工事のみならず一般的にも過剰な費用増を伴う対策は行いにくい。そこで、色むらの発生要因として剥離剤の塗布方法に着目し⁶⁾、実験的検討をふまえて改善を図った。

検討では、表-3に示す剥離剤の塗布方法および塗布量を要因として実構造物を対象に比較した。なお、剥離剤は建設当初から使用しているものから変更することなく化粧合板用の水性剥離剤を用い、化粧合板は全て新品とし、型枠の建込みから打込みまで降雨の影響は受けていない。検討結果を表-3に合わせて示す。検討の結果、塗布量としては200よりも25g/m²の方が、塗布方法はローラーよりもモップの方が評価点が高くなった。この結果をふまえて、選定した剥離剤塗布条件で施工を行うことで、色むらの評価点の向上が確認された。

4.4 コンクリートのブリーディングに着目した改善

図-2に示したように壁の表面気泡は、H26年10月頃

から評価点が下がり始め H27 年 4 月に回復した。この現象は、冬期に MKC を用いたコンクリートにおいて、打設天端および打継目付近に比較的多くの気泡が認められたためであった。MKC を用いたコンクリートは BB よりもブリーディング量が多く、特に低温時にその傾向が助長される。この型枠近傍のブリーディング水がパイプレータで振動、攪拌されることなどによって表面気泡が増加したものと考えられた。そこで、H27 年 11 月以降は、MKC を用いたコンクリートに対して界面活性剤系特殊増粘剤を含有するブリーディング抑制型の AE 減水剤（以下、LB）を用いて一般的な AE 減水剤（以下、標準）を用いたコンクリートに比べブリーディング量を低減し、表層品質を改善することを試みた⁷⁾。ここで、JIS A 1123 に準じた測定結果は LB で $0.04 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ 、一般で $0.06\text{cm}^3/\text{cm}^2$ となり、2/3 に低減した。

図-2 の H27 年 11 月以降ばらつきはあるものの、表面気泡の評価点が上昇したことに加え、その他の砂すじ、ノロ漏れなども改善された。これらの評価項目の結果はブリーディング量が減少したことによる効果と考えられ、表面気泡の対策を図ることで他項目を含めた全体の評価点が高くなった。さらに、硬化物性を非破壊試験で評価した結果を図-6 に示す。表面吸水速度⁸⁾は LB を用いたコンクリートの方が標準よりも小さくなった。これは、上述したように表面気泡や砂すじが減少したことによる効果と推測した。

5. おわりに

本報告では、約 2.5 年に亘るコンクリート構造物の構築において、目視評価法を中心とした表層品質の向上に関する PDCA サイクルを運用した事例を紹介した。その結果を以下にまとめる。

- (1) これまでは品質改善の PDCA サイクルを回すための有効なデータが取得できなかったが、目視評価法をコンクリート構造物の表層品質の評価方法として適用することで、品質を迅速かつ定量的に把握することが可能となった。
- (2) 評価対象を 7 つの項目に分けることで、品質低下の生じている項目が一目瞭然となり、品質改善の対策が立て易いという利点を明らかにした。
- (3) 1 項目の改善を図るために実施した対策が他項目に対しては、むしろ品質を低下させる場合もあることを明らかにした。一方で、1 項目の改善によって他の項目も並行して改善される場合もあることを明らかにした。
- (4) 2.5 年間、180 ブロックで構築されるボックスカルバートの建設工事に目視調査法を用いた PDCA サイクルを適用した結果、表層品質の評価点は経時的な変動を示し

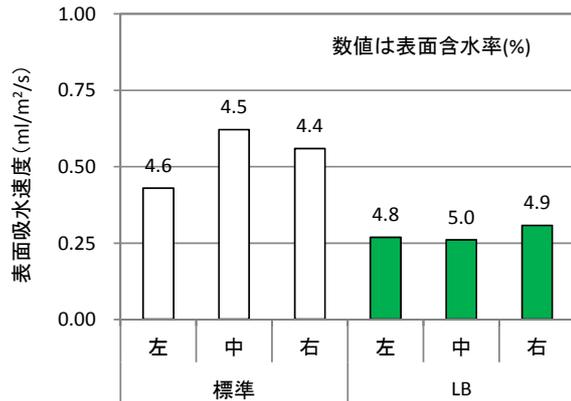


図-6 混和剤の変更による物質遮断性の向上

つつも高い値で推移した。さらに、表面気泡の改善を図った結果、他の評価項目の評価点が上昇するとともに、非破壊試験による品質評価でも物質遮断性が向上していることを確認した。

参考文献

- 1) 土木学会：構造物表面のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会（335 委員会）成果報告書，コンクリート技術シリーズ 97，2012。
- 2) 坂田昇，渡邊賢三，細田暁：コンクリート構造物の品質向上と表層品質評価手法，コンクリート工学，Vol.50，No.7，pp.601-606，2012。
- 3) 細田暁，坂田昇，田村隆弘，二宮純：目視評価を活用した山口県のひび割れ抑制システムによる表層品質向上の分析，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，pp.1837-1842，2013。
- 4) 渡邊賢三，小林聖，坂田昇，細田暁：目視調査に基づくコンクリート構造物の表層品質評価手法の特徴・傾向に関する分析，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.1，pp.1813-1818，2015。
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書[施工編] 2012。
- 6) 渡邊賢三，坂田昇，温品達也，柳井修司：コンクリートの色むらに及ぼす剥離剤の影響に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，pp.673-678，2013。
- 7) 渡邊賢三，温品達也，坂井吾郎，向原健：ブリーディング抑制型 AE 減水剤を用いたコンクリートによる壁状部材の構築，土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集，VI-189，pp.377-378，2016。
- 8) 林和彦，細田暁：表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究，土木学会論文集 E2，Vol.69，No.1，pp.82-97，2013