

目視調査に基づくコンクリートの表層品質評価手法

鹿島建設株式会社	技術研究所	正会員	○渡邊	賢三
鹿島建設株式会社	技術研究所	正会員	温品	達也
鹿島建設株式会社	技術研究所	正会員	坂井	吾郎
鹿島建設株式会社	土木管理本部	フェロー	坂田	昇
横浜国立大学	都市イノベーション研究院	正会員	細田	暁

1. はじめに

適切な材料を用い、適切に施工されたコンクリート構造物では、図-1に示すように、その経年劣化は主に外部からの劣化因子の侵入によって生じる。そのため、かぶりコンクリートの品質が構造物全体の耐久性および寿命を決定すると言っても過言ではなく、コンクリート構造物の品質・耐久性を確保するためには、表層品質をいかに向上させるかが重要である。しかし、構造物の表層部は、図-2に示すように鉄筋を通過してかぶり部に充填されたコンクリートで形成されるため、施工の影響を大きく受け、内部のコンクリートよりも、材料分離が生じやすく、密実に充填されない場合もある。表層部のコンクリートが密実でなく、表面気泡、砂すじ、沈みひび割れなどがある場合には、そのコンクリート構造物は比較的早期に劣化することが予想される。したがって、コンクリート構造物の耐久性を考える場合には、この表層部の品質が極めて重要になる。

2. 品質向上に関する現状の課題

土木構造物を対象とした場合、橋梁、トンネル、ボックスカルバート等の多くの構造物は、長期に渡って連続的に施工される。この場合、施工者が施工段階で品質向上のための改善を図ることが可能となる。改善に向けては、施工現場において、図-3に示すように PDCA サイクルを回していくことになるが、実務において大きな問題が二つある。一つ目は、コンクリート構造物の品質が「否」の場合は明確であるが、品質の「良」の幅が広いことである¹⁾。竣工検査で辛うじて合格する品質から、極めて耐久性の高い品質まで、「良」の幅が広いと、どの品質を目指すかは現場の施工者に委ねられている。二つ目は、PDCA サイクルにおいて、C の評価手法が確立されておらず、構築したコンクリートの品質評価が現場技術者の経験に基づく判断に委ねられることから、打込み・締固め等の施工の反省、改善点が次の機会に定量的に反映されにくいことである。そのため、現場技術者が感覚的に改善を図ることになっているのが実状である。

一つ目の問題について、品質の高いコンクリート土木構造物を構築するためには、現場技術者の良いものを造ろう

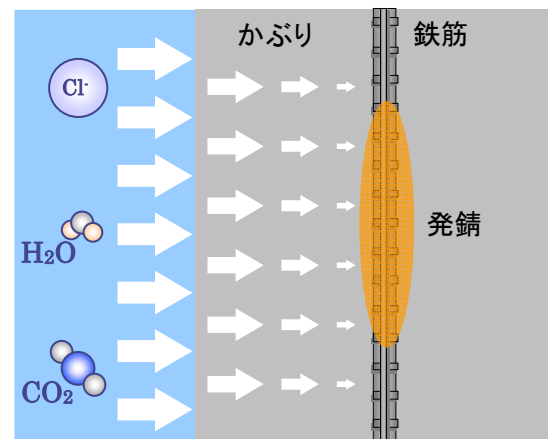


図-1 劣化因子の浸透概念図

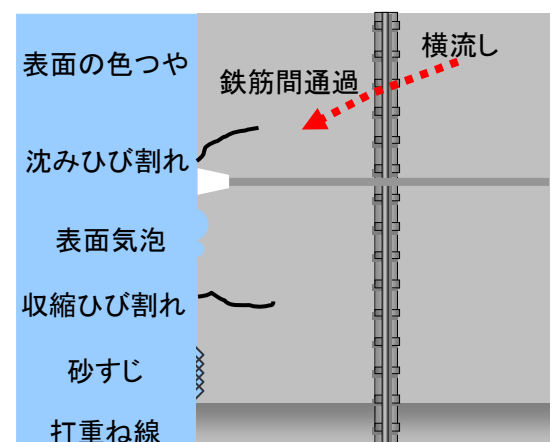
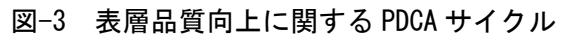


図-2 かぶり近傍のコンクリート

キーワード 表層品質、かぶり、目視調査、PDCA、コンクリート表面状態、色むら

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島技術研究所 土木材料グループ TEL 042-489-8020

本報告では、二つ目の問題を解決し、より品質の高いコンクリート構造物の構築に向けて、簡単かつ合理的なコンクリート構造物の表層部の品質を評価する方法を考案したので、その方法の特長と現場に適用してその実用性を検証した事例について紹介する。



3. 1 概 要

写真-1 見栄えの相違の事例

- (1) 「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」を基本理論（写真-1）として、いわゆる「見栄え」を尺度とした評価手法とする
- (2) コンクリート表層品質に関する8項目（表面の色つや、沈みひび割れ、表面気泡、プラスチック収縮ひび割れ、砂すじ、のろ漏れ、打重ね線、豆板）に着目する
- (3) 一般的には「良」と評価され、要求性能を満足する範囲を4段階（S, A⁺, A, A⁻）に分類し、これに「不適合」の1段階（E）を加えて合計5段階にグレードを分類する（豆板の評価は「優」もしくは「不適合」の2段階とする）
- (4) 表-1に示すサンプル画像を用いて定量的にグレーディングし、コンクリート構造物全体を部材毎に評価する。この方法は鉄筋の腐食程度を目視によってグレーディングする手法³⁾を参考にしたものであり、目視調査による評価を定量化するものである

同一のコンクリートを用いて構造物を構築した場合、写真-1に示すように見栄えの良い美しいコンクリートの方が品質・耐久性に優れると考えられる。例えば、写真-1の左に示すように表面が平滑なコンクリートに対し、表面気泡の多いコンクリートは締固めが不十分で、組織が密実となっておらず、さらに、かぶりの一部が欠損していることと同義となることから、外部からの劣化因子に対し、耐久性に劣ると考えられる。

コンクリート表層品質の評価対象として、外部からの劣化因子に対するコンクリートの耐久性に影響を及ぼす可能性が比較的高い8項目を選定した。表面気泡以外についても、ひび割れ、打重ね線、豆板などは劣化因

表-1 目視調査におけるグレード

項目	評価	一般的に「良」の範囲				不適合
	S (最優)	A ⁺ (優)	A (良)	A ⁻ (可)	E (不適合)	
①表面の色つや						(構造物のオーナーから「不具合」と判定された状況で、補修を要するもの)
②沈みひび割れ						
③表面気泡						
④プラスチック収縮ひび割れ						
⑤砂すじ						
⑥のろ漏れ						
⑦打重ね線						
⑧豆板		なし				

子の移動経路となり、砂すじ、のろ漏れはかぶりの欠損や水セメント比の極めて大きな領域と考えられることから、構造物の耐久性に大きな影響を与える事象である。なお、8項目以外にも施工上発生する可能性のある、変形（型枠のはらみ、目違い）、エフロレッセンス、異物混入なども、その他として記録することとしている。

(3) グレーディング

コンクリート構造物を対象とした一般的な品質評価においては、変状や初期欠陥の「種類」、品質への影響度として「程度・重大性」および面積・数など「量」を掛け合わせた指標で評価することが多い。しかし、現場技術者がこのような評価方法でコンクリート表層品質を評価しようとした場合、評価自体とデータ管理が煩雑となり、結局、現場におけるPDCAが上手く回らないことになる可能性が高い。そこで、コンクリートの表層品質について、参考となる写真と比較しつつ構造物全体の品質を5段階にグレーディングすることとして、評価の利便性と評価の精度を両立させた。なお、前述のように一般的には「良」と評価される範疇を「S、A⁺、A、A⁻」の4段階にグレーディングし、「S」は高流動コンクリートを使用するなどコストをかけて配合・施工の改善を積極的に取り入れた場合に達成できる品質とした。「A⁺」は、現場で使用する材料、工法およびスタッフで達成しうる最高品質と位置づけた。「A」は現場で達成しうる平均的な品質グレードとした。「A⁻」

は所定の要求品質は満足するものの、現場や材料条件の若干の変化によっては不適合の「E」となる可能性のあるグレードであり、現状の材料・施工を見直す必要のある品質とした。最低グレードの「E」は補修を要する程度の「不適合」であり、材料・工法ともに大幅な見直しが必要となる品質である。

4. 目視調査に基づく表層品質評価手法の適用結果

4. 1 RC ラーメン高架橋建設工事への適用事例

(1) 概 要

表-1に示した目視調査に基づいてコンクリート構造物の表層品質を評価する手法をRC ラーメン高架橋の建設現場に適用した。以下にその結果を紹介する。

(2) 調 査

表-2に概要を示すように、評価対象として、柱は1期施工分8本と2期、3期施工分各4本の合計16本、床版下面（梁を含む）は1、2、3期施工分各3箇所ずつの合計9箇所とした。評価は、表-1のグレードを十分に把握した技術者6名（うち、コンクリート診断士4名、以下、専門技術者）と現場担当の技術者3名（以下、現場技術者）の合計9名で実施した。なお、評価は高所作業車など特別な資機材を使用せず地表面から実施し、約30分間を要した。

(3) 評価結果

図-4に柱、図-5に床版の評価結果を示す。図の横軸には調査者9名が評価したS、A⁺、A、A⁻、Eの5段階の結果を5～1の評価点に数値化して、その平均値を点で示し、さらに評価のばらつき範囲を実線で表示した。なお、測定当時は「砂すじ」と「のろ漏れ」を分離せず「砂すじ」として評価しており、また、不適合のEはなかったので図から割愛した。評価の結果、柱では「表面気泡」「表面の色つや」、床版では「表面の色つや」「打重ね線」の評価が低く、更なる改善の余地があることが明確になった。また、評価が低い項目ほど、そのばらつきが大きいこと傾向であることが分かった。これは見栄えの良い美しいコンクリートに対しては技術者にある一定の共通認識ができていているものの、品質の比較的低いコンクリートに対しては各個人の認識の差異が大きいことを意味するものと考えられた。

一方、専門技術者6名と現場技術者3名の評価結果を比べると現場技術者の評価が低く、グレードを十分に把握していないことに加えて自らの現場を過剰に厳しく評価する傾向が確認された。そこで、調査者の相違による影響を把握するために、専門技術者6名のみの調査結果を図-6および図-7に示す。図示するように、評価の低い項目は専門技術者でも依然としてばらつくものの、全体的に評価結果のグレードは向上し、ばらつきも小さくなった。これは、専門技術者6名には共通の基準が形成されていたため、より精度の高い評価ができたものと考えられた。

図-8に各工期の評価の平均値を示す。なお、本工事では特殊コンクリートを用いず、普通コンクリートを使用していることから評価の最高は「A⁺」であり、図から「S」は割愛した。柱、床版共に1期施工に比べ2期施工の方が高い評価となっており、これは現場技術者による自発的なPDCAの効果であった。なお、3期施工においては、現場技術者が自主的に品質改善のための各種工夫を実施しており、その一例を以下に示す。例えば、柱においては、「表面気泡」を改善するために、標本ブロックを用いた打込み試験を行い、剥離剤の種類を変更すると共に、内部振動器で十分に締固めた後、型枠のたたきを行わないこととした。床版においては、「表面の色つや」「打込み線」を改善するために、打込み時の型枠の汚れを防ぐための部分的なシート養生を行い、万が一型枠にモルタルが付着した場合は完全に除去するという基本を再度徹底し

表-2 調査概要

調査人数 (名)	調査者構成 (名)	工期	柱 (本)	床版下面 (箇所)
9	専門技術者 (6) 現場技術者 (3)	1期施工 分	8	3
		2期施工 分	4	3
		3期施工 分	4	3

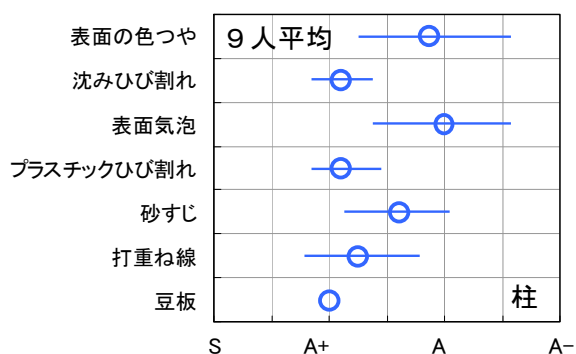


図-4 柱の調査結果 (全調査者 9名)

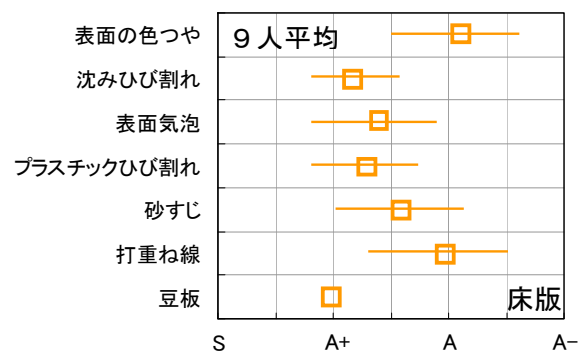


図-5 床版の調査結果 (全調査者 9名)

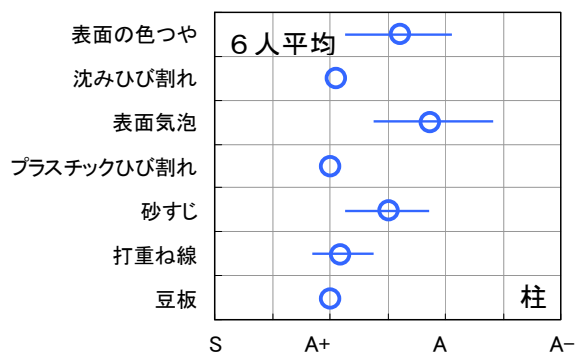


図-6 柱の調査結果 (調査者 専門技術者 6名)

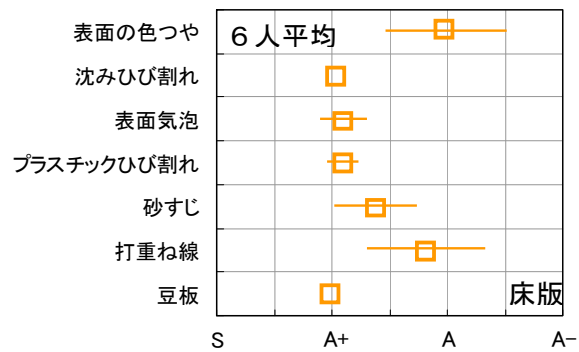


図-7 床版の調査結果 (調査者 専門技術者 6名)

た。さらに、打重ね時間間隔と振動締固めを管理する専任管理者を設けて打込みを行った。これらをはじめとする各種改善・工夫に対して今回新しく考案した表層品質評価手法を用いて PDCA サイクルを効果的に回すことで、品質が向上したものであり、本評価手法の効果が検証されたものとする。

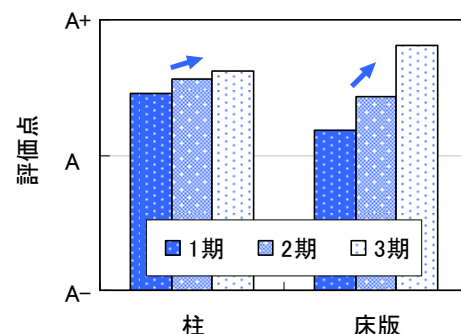


図-8 各工期における評価結果

4. 2 浄水場建設工事への適用事例

(1) 概要

当該構造物のコンクリートの材料および配合を表-3、表-4に示す。セメントには温度ひび割れの抑制を目的として、低発熱・収縮抑制型高炉セメント B 種が使用された。これにより、温度ひび割れは抑制できたものの、ブリーディングが過大となり、砂すじなどの表層品質の低下が認められた。そこで、表-4に示すように、配合による改善を実施した。配合①は改善前、配合②は改善後である。配合①では、水セメント比が 55%で単位水量を 163kg/m³とし AE 減水剤を用いた。配合②では、単位セメント量を固定しつつ高性能 AE 減水剤を使用することにより、単位水量を減じて、水セメント比を小さくした。水セメント比の観点から配合②の方が配合①よりも密実な表層部を形成し、耐久性が高いものと考えられる。ここで、これらの配合を用いた本構造物の柱部に表面吸

表-3 コンクリートの使用材料

材料	記号	種類	摘要
セメント	C	低発熱・収縮抑制型高炉セメント B 種	密度：2.98g/cm ³
細骨材	S	砕砂山砂混合砂	表乾密度：2.64g/cm ³ 粗粒率：2.61
粗骨材	G	碎石	表乾密度：2.70g/cm ³ 実積率：60.5%
混和剤	AD	AE 減水剤	リグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体
	SP	高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物および増粘剤性高分子化合物の複合体

表-4 コンクリートの配合

配合	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					
			W	C	S	G	AD	SP
①	55.0	45.4	163	297	829	1025	2.85	—
②	51.9	46.1	154	297	854	1022	—	2.38

水試験⁶⁾を実施した結果を図-9に示す。図より、配合②の表面吸水速度は配合①の38%(0.16/0.42)であり、配合②は配合①よりも密実で耐久性の高い表層品質を有しているといえる。さらに、配合の改善前後で定量的に差異が示された部位について目視評価試験を適用した。

(2) 調査

表-5に調査概要を示す。評価対象としては配合①で施工された9本の柱と配合②で施工された6本の柱の合計15本、ならびに配合①、②で施工された5枚ずつの壁の合計10枚とした。評価は、土木技術者30名で実施した。なお、評価は高所作業車など特別な資機材を使用せず地表面から実施し、約60分間を要した。

(3) 評価結果

図-10に各配合における評価の平均値を示す。本工事でも特殊コンクリートを用いず、普通コンクリートを使用していることから評価の最高は「A+」であり、図から「S」は割愛した。柱、壁ともに配合①に比べ配合②の方が高い評価となっており、表面吸水試験の結果と同様な傾向となった。以上より、本評価手法はコンクリートの表層品質向上のためのPDCAサイクルにおける評価手段としてだけでなく、コンクリートの耐久性を簡易かつ迅速に評価できる可能性が示唆された。

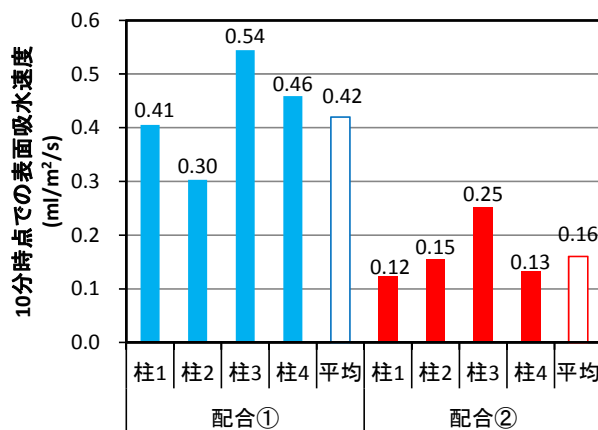


図-9 表面吸水試験結果

表-5 調査概要

調査人数(名)	工期	柱(本)	壁(枚)
30	配合①	9	5
	配合②	6	5

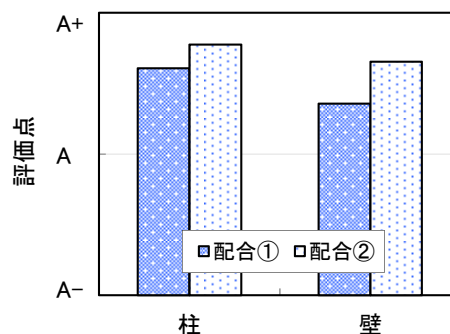


図-10 各配合における評価結果

5. まとめ

新しい評価手法として、現場技術者が自ら実施してPDCAサイクルを回す「目視調査に基づく表層品質評価手法」について考案し、この内容について紹介した。この手法は、事例写真と脱枠後のコンクリート構造物を比較することで、定量的な評価を行い、施工方法を改善し、情報を蓄積し、構造物の品質を向上させていくPDCAのスパイラルアップに資するものである。さらに、「目視調査に基づく表層品質評価手法」を建設中の現場に適用した結果、コンクリートの表層品質を効率良く評価でき、本手法を用いてPDCAサイクルを回すことによってコンクリートの品質が向上することを実施工において確認した。この新しい表層品質評価手法を建設現場において施工者が適用することによって、コンクリート構造物の品質向上に資すれば幸いである。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点'11, p.2, 2011.
- 2) 坂田昇, 坂井吾郎, 吉川正, 中谷行博：ゼネコンにおける品質の高いコンクリート土木構造物の構築への取組み, コンクリート工学, pp.96-99, 2011.5.
- 3) 社団法人 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針-2009-, pp34-53, 2009.
- 4) 十河茂幸, 信田佳延, 栗田守朗, 宇治公隆：コンクリート名人養成講座, 日経BP社, 2000.
- 5) 社団法人 日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術'11, 2011.
- 6) 林和彦, 細田暁, Usman AKMAL, 藤原麻希子：コンクリートの表面吸水試験における計測方法およびデータ処理方法の提案, コンクリート工学年次論文集 pp.1804-1809, Vol.34, No.1, 2012.