

# 論文 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

渡邊 賢三<sup>\*1</sup>・小林 聖<sup>\*2</sup>・坂田 昇<sup>\*3</sup>・細田 暁<sup>\*4</sup>

**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評価に着目した。セメント種類や施工環境など各種条件の異なるコンクリート部材を対象として目視評価を行い、その結果を分析することで、表層品質評価手法としての特徴について考察を加えた。評価者の経験回数が多いほど目視評価の分散係数は小さくなり、さらにトレーニングとして評価値に関する議論を経ることなどで、比較的容易に評価精度を向上できることを明らかにした。

**キーワード**：表層品質、かぶり、目視調査、目視評価、非破壊、標準偏差

## 1. はじめに

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<sup>1), 2)</sup>。表層品質を向上させる手法は多岐に亘り、近年、特別な材料や工法などを用いず、施工方法の勘所をコンクリート打込みの際に確認することで、コンクリート構造物の品質を高める手法<sup>3) 4)</sup>や目視調査結果に基づいてコンクリート施工のPDCAサイクルを回して品質を向上させていく手法<sup>1), 2)</sup>などが注目されている。これは、材料・工法に多大なコストをかけることなく、コンクリート構造物の耐久性向上が得られるという効果に起因する。さらには、表層品質の向上のみならず、初期欠陥の防止にも効果があることが明らかにされている<sup>3), 4)</sup>。

ここで、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、他と同じもののない1品製品であるという特徴を有するため、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こととなる。また、現場ごとに材料やコンクリート配合等も異なる。そのため、現場ごとに品質を評価する方法を用いて、常に品質を確認し、把握しておくことは、適切な対策を講じる上で極めて重要となる。

そこで、著者らは、コンクリート構造物の品質評価を行う場合、品質が「否」の場合は明確であるが、品質の「良」の幅が広い<sup>5)</sup>ことに着目し、表層品質を6項目に分け、それぞれについて、「良」の中を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、明確に分類することとした。コンクリートの表層品質に関係する事象を細かく分類し、それぞれについて目視調査

に基づいて評価することによって漠然と良否を判定していたものを定量化できるとともに、どの事象を改善すれば良いかが明確になる。さらに、目視調査の利点として、複雑な試験器など用いず、高い技術力も必要としない点が挙げられる。しかしながら、測定方法特有の事象やデータの傾向について、十分な検討がなされていない、という課題があった。そこで、本論文では、施工中の工事現場において、各種施工条件で構築されたコンクリート構造物を対象として、所属や経験の異なる総勢23名が一斉に表層品質に関する目視評価を行うことで、施工条件と品質に関する評価を行うとともに、評価手法自体の特徴について各種検討を加えた。

## 2. 目視調査に基づく表層品質評価手法

### 2.1 概要

「目視調査に基づくコンクリートの表層品質評価手法」<sup>2), 3)</sup> (以下、目視評価と称す) は、写真-1に示すように「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」<sup>2)</sup> という概念のもと、いくつかの評価項目に対して、技術者が目視により評価するものである。さらに、目視評価は、具体的には、発注者の規格を満足



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 主任研究員 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 鹿島建設株式会社 土木管理本部 土木技術部長 博士(工学) 博士(農学) (正会員)

\*4 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)

する品質「良」の範囲を対象として、各段階のサンプル写真を表-1に示すように、コンクリートの見栄えおよび耐久性に影響を及ぼすと考えられる項目のうち、表面の

色つや、沈みひび割れ、表面気泡、打重ね線、型枠継ぎ目のろ漏れ、砂すじの6項目に対し、5段階で評価する。

表-1 目視評価におけるグレードの一例

基準 項目	一般的に「良」とされる範囲				不適合 —
	4点	3点	2点	1点	
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	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
沈みひび 割れ	 ・Pコン近傍にも沈みひび割れがない	 ・目視評価範囲のPコンの概ね1/5以上に沈みひび割れが発生 ・Pコン直径の3倍以上の長さの沈みひび割れが発生	 ・目視評価範囲のPコンの概ね1/2以上に沈みひび割れが発生 ・P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	
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 <sup>2</sup> )	 ・5mm以下の気泡が認められる (目安:概ね50個以上/m <sup>2</sup> )	 ・10mm以下の気泡が認められる (目安:概ね50個以上/m <sup>2</sup> )	 ・2点の状態よりも劣る	
打重ね線	 ・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	
型枠継ぎ 目のろ漏れ	 ・調査対象範囲にのろ漏れがほとんど認められない	 ・調査対象範囲の概ね1/10以上にのろ漏れが認められる	 ・調査対象範囲の概ね1/3以上にのろ漏れが認められる	 ・2点の状態よりも劣る	
砂すじ	 ・調査対象範囲に砂すじがほとんど認められない	 ・調査対象範囲の概ね1/10以上に砂すじが認められる	 ・調査対象範囲の概ね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。

実際の建造物の表層品質を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。「4点」は、現場で使用する材料、工法および人員で達成しうる最高品質、「3点」は現場で達成しうる平均的な品質、「2点」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となる可能性があり、現状の材料・施工を見直す必要のある評価である。「1点」は「2点」の状態をさらに劣るといふ評価である。なお、調査では、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点刻みで評価値をつける。

なお、目視調査の規格としては、日本非破壊検査協会規格 NDIS3418 コンクリート建造物の目視試験方法がある。本規格はコンクリート建造物の表面上に生じたひび割れ、コールドジョイント、豆板、表面気泡、出来形不良、脆弱化、浮き・はく離、はく落、ポップアウト、すりへり、さび汚れ、エフロレッセンス、漏水、変形、その他を詳細に分類し、それぞれの変状の有無を目視で定量的に記録する方法を示したものである。NDISの方法は、建造物全体の観察方法として多に参考にできるものの、評価・判定を行うものではない。

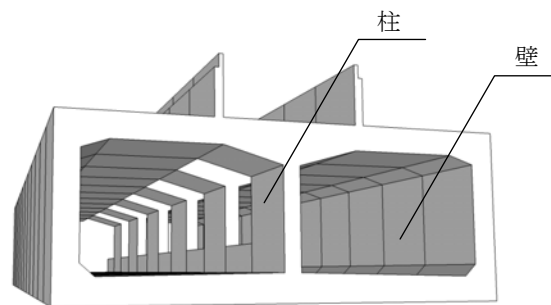


図-1 調査対象とした建造物の概要図

表-2 建造物構築の要因

ブロック	部位	施工体制	セメント	
①	壁	A 班	MKCⅢ	
	柱		BB	
②	壁		MKCⅢ	
	柱		BB	
③	壁		B 班	MKCⅢ
	柱			BB
④	壁	BB		
	柱	BB		
⑤	壁	BB		
	柱	BB		
⑥	壁	BB		
	柱	BB		

## 2.2 目視評価の適用

### (1) 概要

本項では、一連の建造物の施工において、セメント種類や施工環境など異なる条件で構築されたコンクリート部材を対象として目視評価手法を適用して評価値を取得し、評価値を比較、分析することで、目視評価について評価手法としての特徴について考察を加えた。

### (2) 対象建造物と評価方法

図-1に示す掘削構造によるボックスカルバートの6ブロックの側壁と柱部材（以下、壁および柱と称す）を対象として目視評価手法を適用した。壁の基本形状は厚さ0.8m、高さ5.0m、長さ10.0mであり、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30-8-20であり、6ブロックの壁のうち、4ブロックは高炉セメントB種（以下、BBと称す）、2ブロックは低発熱・収縮抑制型高炉セメント（以下、MKCⅢと称す）を用いている。6ブロックの柱は、全てBBを用いている。なお、コンクリートの単位水量は150kg/m<sup>3</sup>、単位セメント量は300kg/m<sup>3</sup>であり、現場の専用プラントで製造し、コンクリートのスランプは打込み箇所8cm、JIS A 1123に準じたブリーディング量はBBで0.09cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>、MKCⅢで0.20cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>だった。調査対象とした建造物の条件を表-2にまとめる。比較対象とした要因として、部位、

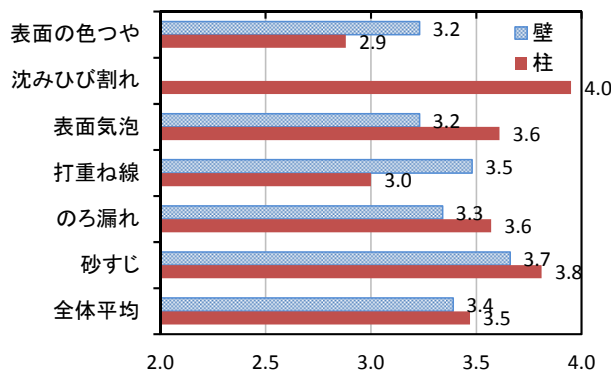


図-2 評価結果のまとめ

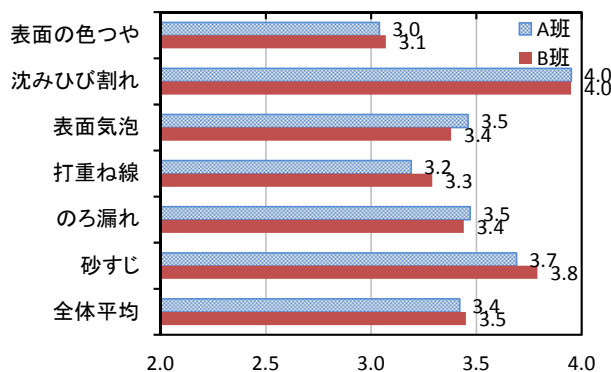


図-3 施工体制による差異

施工体制，セメント種類に着目した。総勢 23 人が，調査対象の構造物から 1~10m ほどの距離を適宜移動しながら一斉に行い，全員が調査を終了するまでに，約 1 時間を要した。

### (3) 実構造物の目視評価結果

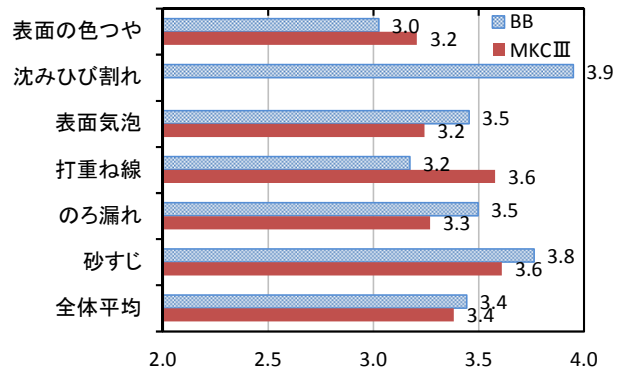
コンクリートの目視評価の結果として，6 項目の評価値を小数点 1 桁に四捨五入した結果を図-2 に示す。壁，柱ともに全体平均で約 3.4 程度であり，品質の高いコンクリート構造物であることが分かった。特に，沈みひび割れは，セパレータを用いていないことから壁では発生しておらず，柱でも極めて少なく，高い評価値となった。一方，評価値の比較的低い，壁における表面の色つや，表面気泡，柱における表面の色つや，打重ね線については，改善の余地があるものと判断された。なお，以降では，壁における沈みひび割れは極めて発生しにくい施工法であることから評価値をつける対象外とした。

図-3 に施工体制の違いがコンクリートの目視評価の評価値に与える影響を示す。今回の評価範囲では，施工体制 A 班，B 班の差異は非常に小さく，ほぼ同様の施工が実施されたものと推測された。

図-4 にセメント種の違いがコンクリートの目視評価の評価値に与える影響を示す。MKCIIIの表面気泡，のろ漏れ，砂すじの評価値は BB よりも低く，これは，MKC III の特徴であるブレン値が小さいこと，凝結時間が遅いことによって，ブリーディング量が大きくなったためと推測された。一方，表面の色つや，打重ね線の評価は BB より高い結果となった。特に打重ね線の評価に大きな差異が生じたのは，MKCIIIの凝結時間の方が長いために，振動締固めが効果的に寄与したものと考えた。その結果，評価値の平均値は，BB に比べ MKCIIIの方がわずかに低くなった。

### 2.3 目視評価手法の特徴に関する検討

目視評価手法におけるグレードは，鉄筋の錆を判定する方法<sup>6)</sup>を参考に考案したものである。評価者は，グレードの参考となる写真およびコメントを見ながら，実構造物の表層品質を定量的に評価する。このため，専門技術者でなくとも，評価可能という大きなメリットがある。しかしながら，経験回数のみならず，評価者の状況によって評価値に差異が生じる可能性が考えられた。そこで，発注者，施工者，大学など調査者の所属機関の影響，あるいは目視評価に対するトレーニングが評価結果に与える影響などについて評価を加えた。なお，壁については，本工事の施工方法として，P コンがコンクリート表面にないノンセパ工法を適用しているため，沈みひび割れを調査対象としておらず，本項では評価対象外とした。



※：MKCIIIは沈みひび割れの対象外

図-4 セメント種類による差異

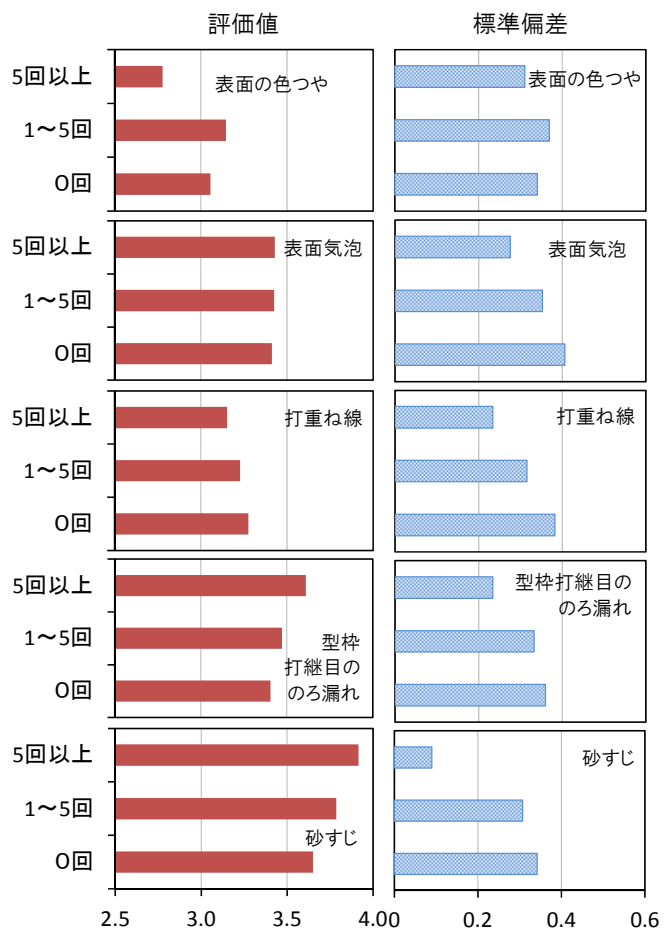


図-5 経験回数が評価に与える影響

#### (1) 経験回数の影響に関する検討

図-5 に評価者の経験回数が目視評価の評価値に与える影響および参考として標準偏差を示す。経験回数の定義は，表-1 に示すグレードを用いた目視評価を実施した回数とし，5 回以上，1~5 回，0 回（未経験）の 3 つに分類した。なお，それぞれの評価者の人数は，3，9，11 人であった。全体を通じて，経験回数の多い方が標準偏

差は小さくなり、より安定した評価できることが確認された。さらに経験回数の大小で評価値に最も大きな差異が生じたのは、表面の色つやであり、その差は0.37となった。この値は、表-1に示すグレードから主観的に判断すると小さいと考えられ、本評価手法のメリットである簡易で安定した評価が可能であることを確認した。さらに、表層品質の項目によって、経験回数の大小との傾向が異なることが分かった。評価者の経験回数が大きいほど、評価値が低くなるのは、表面の色つや、打重ね線であり、逆の傾向となったのは、のろ漏れ、砂すじとなった。これより、評価の経験回数の少ないほど、型枠継ぎ目からののろ漏れや砂すじが、変状として認識される傾向となることが分かった。一方、経験回数の影響が小さいのは表面気泡であり、これは表-1に併記した気泡のサイズと頻度の情報によるものと推測した。

一方、標準偏差については、個体数が異なることから正確な比較は難しいものの、全体の傾向として経験回数の増加に従って標準偏差が小さくなる傾向が確認された。さらに、既往の調査結果<sup>7)</sup>と同様、目視評価の評価値が小さいほど、標準偏差が大きくなる傾向が認められた。

### (2) 所属の違いに関する検討

図-6に評価者の所属機関毎の評価値の平均値を示す。なお、それぞれの所属機関は3つで、発注者9人、施工者10人、大学4人だった。同一のコンクリート部材を調査対象とした場合でも、所属機関によって評価の良し悪しに傾向があることが分かる。所属機関の相違で評価値に最も大きな差異が生じたのは、表面の色つやであり、その差は0.54となった。表-1に示すグレードから主観的に判断すると、この差異は比較的大きいと考えられ、目視評価を検査などの統一された見解が求められる場合は注意が必要である。そのため、表面の色つやのみは次項で示すトレーニングを併用して、事前に評価の統一化を検討することが必要と考えられる。

さらに、壁、柱における評価値の傾向は良く似ており、部位によらず、所属機関毎の傾向が出ることが分かった。例えば、表面の色つやにおいては、発注者、施工者に比べ大学の評価値が低い一方で、表面気泡、のろ漏れ、砂すじにおいては、逆の傾向となった。これは、各評価者の差異によるものと推測され、発注者、施工者、大学などの所属機関によってコンクリートに対する価値観の違いなども一つの要因と推測した。

### (3) トレーニングの効果に関する検討

目視評価における標準偏差は、経験回数が高いほど小さくなり、さらに、所属機関によって評価値に傾向が出る可能性があることを明らかにした。そこで、目視評価に関する簡単なトレーニングを行うこととし、評価値の安定化に対する効果について検証した。具体的には、

トレーニングの効果を評価する3つのステップを設定し、ステップ1では、説明なしで表-1に示したグレードの情報のみで評価した。ステップ2では、代表的なコンクリート部材を対象として、評価者全員が評価を実施した後、経験豊富な評価者が付けた評価値を公表した。さらにステップ3では、経験豊富な評価者が表-1に示したグレードとコンクリート部材の実例を用いて15分程度解説し、これに対して評価者全員でディスカッションし、共通認識としてから調査を行った。

図-7に各ステップにおける分散係数(標準偏差/平均値)を示す。評価値の極めて高かった沈みひび割れを除いて、全ての要因で分散係数は0.10程度であり、さらに、トレーニングのステップに応じて分散係数が減少する傾向が確認された。ここで、図-5に示した経験回数の増加による分散係数の低減と、図-7に示した各ステップにおける分散係数の低減を比較すると、ステップ3のトレーニングは、表面の色つや、打重ね線で目視調査の約4回、他の項目では約0.5回を実施した経験に相当することが

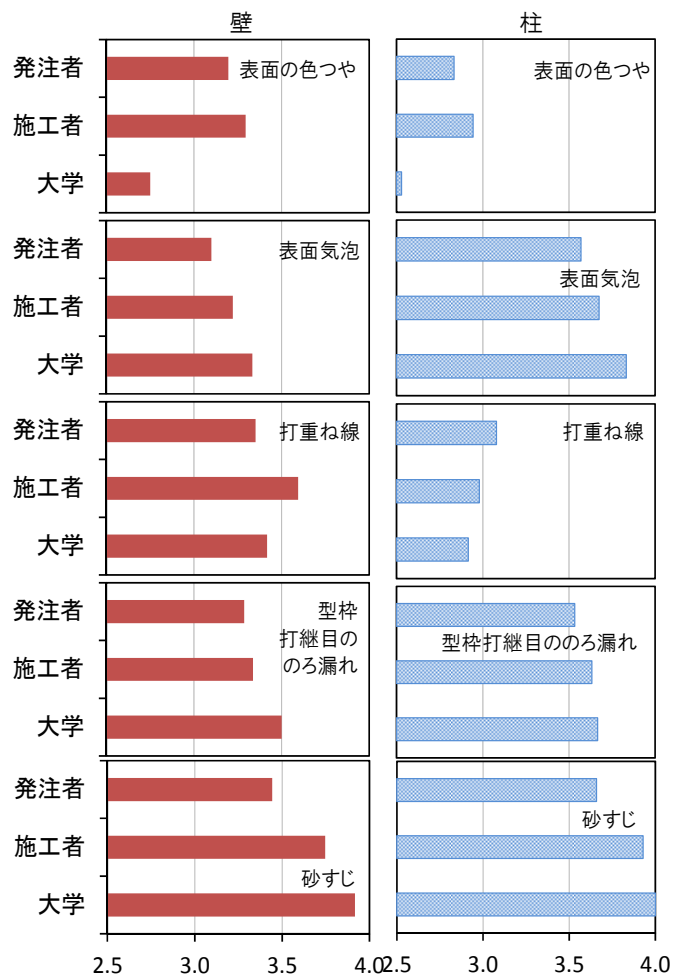


図-6 評価者の所属が評価に与える影響

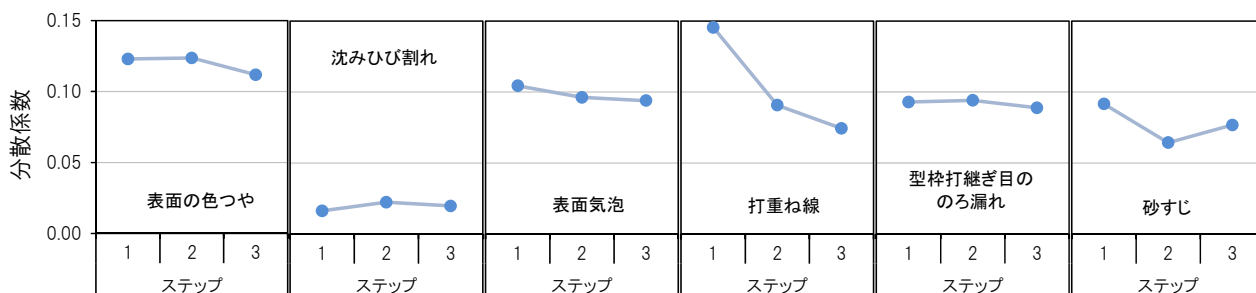


図-7 トレーニングが評価値の分散係数に与える影響

分かった。評価全体としては、点数の公表もしくは15分程度短い解説とディスカッションなど、多大な労力を必要とせずとも評価手法としての確からしさを向上できることを確認した。

### 3. おわりに

本論文では、施工中のコンクリート構造物を対象として、所属や経験の異なる多くの評価者が目視評価を行うことで、施工条件と品質に関する評価を行うとともに、評価手法自体の特徴について各種検討を加えた。その結果、以下のことを明らかにした。

- (1) 評価者の経験回数が多いほど目視評価の評価値の分散係数が小さくなり、より安定した評価できることが確認された。
- (2) 表-1に示した、各種項目ごとの目視評価におけるグレードの写真およびコメントが評価結果のばらつきを抑制している可能性が示唆された。
- (3) 所属機関の相違は、評価項目によっては比較的大きな差異を生じる可能性があることを明らかにした。
- (4) トレーニングのステップに応じて評価値の分散が減少する傾向が確認され、解説や評価結果に関するディスカッションなどによって評価手法としての確からしさを向上できることを確認した。

### 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) 細田暁，二宮純，田村隆弘，林和彦：ひび割れ抑制システムによるコンクリート構造物のひび割れ低減と表層品質の向上，土木学会論文集 E2，Vol.70，No.4，pp.336-355，2014.
- 5) 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.
- 6) 日本コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針，2009.
- 7) 渡邊賢三，坂田昇，温品達也，柳井修司：目視調査に基づくコンクリートの表層品質評価手法と品質向上に資する取組み，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.1354-1359，2012.