

報告 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

渡邊 賢三^{*1}・坂田 昇^{*2}・温品 達也^{*3}・柳井 修司^{*4}

要旨: 目視調査に基づいてコンクリート表層品質を評価する新しい手法と標本ブロックを活用して PDCA サイクルを効果的に回し、品質向上を図るシステムの構築に取り組んでいる。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、構造物全体を効率良く評価でき、評価値が向上することを確認した。さらに、標本ブロックを作製し、材料・施工条件が表層品質に与える影響を評価する手法は、実際の工事における材料・施工方法の選定に有効であることが分かった。

キーワード: 表層品質, かぶり, 目視調査, PDCA

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、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。

一方、コンクリートの品質・耐久性は、材料、配合、製造、運搬、型枠、打設、養生、気象条件など各種要因の影響を大きく受ける。ここで、コンクリート技術の要点¹⁾の文章を紹介する。「コンクリート構造物は施工の良否がその性能に大きく影響する。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」。これは、同一のコンクリートを用いて構造物を構築したとしても、施工によってその品質・耐久性には大きな差異が生じ、極めて品質の高いコンクリートになる場合もあれば、検査には合格しても、施工条件のわずかな違いで不合格になりうるものもあることを示している。さらに、「正しい知識をもった技術者が、構造物の品質確保の観点から、各作業段階ごとに生産過程を管理・監理していくことが重要である。」としている。つまり、一定の品質以上のコンクリート構造物を構築していく際には、技術者が品質を常に管理し、構築したコンクリートの品質を評価し、改善、向上させていく、いわゆる PDCA サイクルを効果的に回していく必要があると考えられる。

しかしながら、現状のコンクリート構造物の現場では、要求性能を満足する範疇で、より品質の高い「良いコンクリート」、あるいは粗悪な「悪いコンクリート」などの

品質のグレードが具体的に定義されていない。さらに、PDCA サイクルを効果的に回すための合理的な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、打設・施工の反省、改善点を次の機会に反映できていないなどの課題があった。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たのが実状である。

そこで、著者らは効率的かつ適切にコンクリート構造物の表層品質を評価できる手法を新たに考案した。ここで、表面気泡、砂すじ、打重ね線などは見栄えの悪さに加えて、劣化因子の浸透が容易なぜい弱部になることから、コンクリート構造物の「見栄え」を表層品質の指標とした。そして、その評価方法を活用し、図-1 に示す、PDCA サイクルを効果的に回すことでコンクリート表層部の品質を向上させるシステムについて検討している。ここで、PDCA サイクルを用いた品質改善は、特筆するような新しい考え方ではなく、現場においては日常的に行われている。本報告では、コンクリート表層品質を目視調査し、その品質をグレーディングする評価手法およびこの評価手法を現場に適用してその実用性を検証した結果を紹介する。

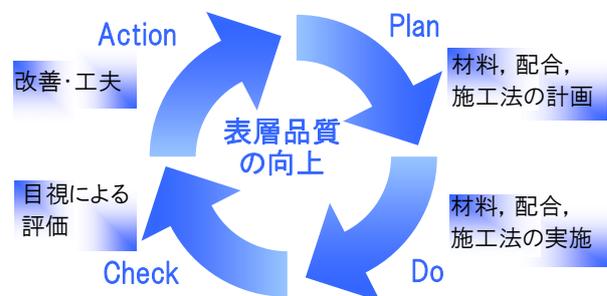


図-1 表層品質向上に関する PDCA サイクル

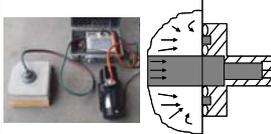
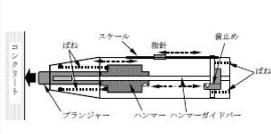
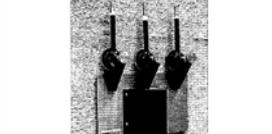
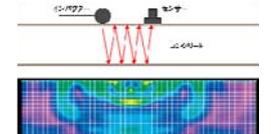
*1 鹿島建設株式会社 技術研究所 土木材料グループ 主任研究員 (正会員)

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

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

*4 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 工修 (正会員)

表-1 既往の評価手法

	表層透気試験 ^{2),3)}	反発硬度法	表面吸水試験 ⁵⁾	弾性波法 ⁶⁾
概念図				
概要	表層部の透気係数を測定し、非破壊で品質を5段階に分類	打撃時の重錘のはね返り量を測定し圧縮強度を推定	浸透する水分量を計測し、コンクリートの緻密性を推定	弾性波伝播速度などを測定し、圧縮強度などを推定
利点	非破壊、短時間、定量評価	非破壊、短時間、定量評価	非破壊、比較的簡易	非破壊
課題	点データであり、評価には多くのデータが必要。測定誤差、含水率、材齢の影響が大きいなど評価の方法が未確立。	点データであり、評価には多くのデータが必要。強度測定として実績は多いものの耐久性を直接評価できない。	点データであり、評価には多くのデータが必要。含水率、材齢の影響が大きい。	点データであり、評価には多くのデータが必要。強度測定や欠陥部の探索には有用であるものの耐久性を直接評価できない。

2. 既往の評価手法とその課題

表-1 にコンクリート表層品質を評価する主な手法を示す。トレント法に代表される表層透気試験は、近年、各研究機関や学協会などで多くの検討が実施され、その有用性が認められてきている^{2),3)}。一方で、測定結果が測定面の乾燥状態の影響を大きく受けるなどの課題も指摘されている⁴⁾。また、点データとしての評価になることから、コンクリート構造物全体の評価を行うためには、極めて大量の測定データを必要とするなどの課題がある。反発硬度法は定量的かつ簡易に強度を評価できるものの、あくまでコンクリートの圧縮強度を推定する手法であり、反発硬度と物質遮断性の相関は必ずしも明確になっているわけではない。さらに、脱型直後の若材齢における評価にも課題があるとされている。他にも表面吸水試験⁵⁾や弾性波法⁶⁾など、実績のある評価手法があるものの、構造物全体の品質を迅速かつ定量的に評価できる手法の確立までに至っていないのが現状である。

一方、目視調査の規格としては、日本非破壊検査協会規格 NDIS3418 コンクリート構造物の目視試験方法がある。本規格はコンクリート構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。本方法は、構造物全体の観察方法として多いに参考にできるものの、評価・判定を行うものではない。

3. 品質向上に資する新しい取組み

3.1 品質評価の位置付け

図-1 に示す PDCA サイクルのうち「Check : 評価」は、コンクリート打設、脱型後まもなく実施し、「Action : 改



写真-1 見栄えの相違の事例

善」につなげ、PDCA サイクルを効率良く回す必要がある。そこで、構造物の所有者による一般的な検査と異なり、施工者が自ら設定した品質グレードに基づいて評価する新しい方法を考案した。なお、評価基準は建設される構造物に対する所有者の要求性能や環境条件によって異なるが、本評価基準は施工者が構造物に応じて決定する基準としている。この評価手法は構造物全体を対象とでき、一定以上の精度があり、迅速に、現場で容易にできることを特長とするものである。

3.2 新しい評価手法の内容

既往の評価手法の主な課題に対して、新たに「目視調査に基づく表層品質評価手法」の構築を試みた。本評価手法の基本的な概念を以下に示す。

- ・ 「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
- ・ コンクリート表層品質に関する7項目（表面の色つや、沈降ひび割れ、表面気泡（あばた）、収縮ひび割れ、砂すじ、打重ね線、豆板）に着目する
- ・ 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段階にグレード进行分类する（豆板は良もしくは不適合の2段階とする）
- ・ サンプル画像を用いて定量的に分類（表-2）し、コ

表-2 目視調査におけるグレードおよび改善対策の一例

評価 項目	一般的に「良」の範囲				不適合 E (不適合)	主な改善方策 「Action」
	S (最優)	A ⁺ (優)	A (良)	A ⁻ (可)		
表面の色つや					(構造物オーナーから「不具合」と判定された状況で、補修を要するもの)	型枠の清掃・変更, 剥離剤変更, 打設方法の変更, コンクリート材料・配合の修正
沈降ひび割れ	表面に光沢があり色むら, あばたがない					打込み速度変更, 締固め方法の変更, 凝結時間の調整, コンクリートの材料・配合の修正
表面気泡	標本ブロックの品質は基本的に「A ⁺ 」と設定する					剥離剤変更, 締固め方法の変更, スペーディング実施, コンクリートの材料・配合の修正
プラスチック収縮ひび割れ						締固めの変更, タッピング・抑え仕上げの実施, 気象条件に適した初期養生の実施
砂すじ						コンクリートの材料・配合変更, 打込み速度・振動締固め方法の変更
打重ね線						振動締固め方法, 打重ね時間間隔の変更, 外気温に応じた配合修正(凝結時間)

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⁷⁾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

3.3 標本ブロック用いた計画の検討

計画段階において品質向上に資する試みとして「標本ブロック(写真-2)を用いた計画の検討」を行った。ここで、コンクリート構造物の現場では、要求性能を満足する上で、品質の高い「良いコンクリート」、粗悪な「悪いコンクリート」などのグレードが具体的に定義されていないため、各現場の目標とすべき品質を「標本ブロック」として具現化し、コンクリート打設の開始前に現場関係者に周知・展開することとした。標本ブロックを用いた検討の利点などを以下に示す。

- 現場ごとに、材料、配合、気象、施工などの各種条件が異なるため、その現場で使用するコンクリートで標本ブロックを作製し、現場で達成できる目標グ

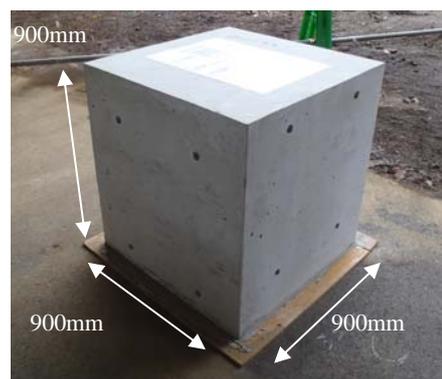


写真-2 標本ブロックの一例

レードを明確化できる

- 例えば型枠材, 剥離剤などの材料選定, 締固め方法や型枠たたきの程度など打込み方法について事前に試験を行って現場の最適化を検討できる

3.4 品質向上に資する取組みの特徴

図-2 に目視調査に基づく表層品質評価手法および標本ブロックを用いた品質改善のフローを示す。現場での

表-3 コンクリート配合

No.	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	単体量 (kg/m ³)					
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AD	混和剤 SP
1	20	8	60.1	4.5	167	278	835	1020	3.475	—
2	20	15	44.4	4.5	165	372	764	1017	—	3.534

C：普通ポルトランドセメント，S：砕砂+山砂，G：砕石，AD：リグニンスルホン酸系，SP：ポリカルボン酸系

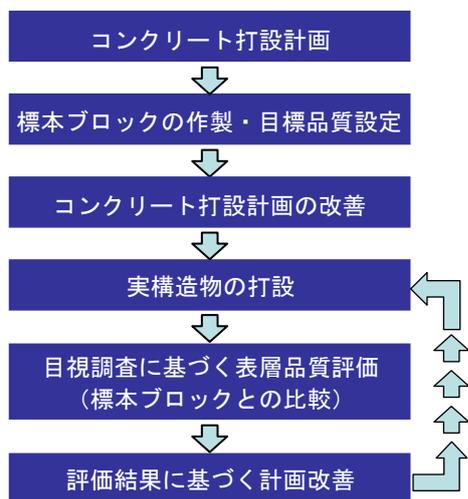


図-2 検討・改善フロー

実施順序は以下のとおりである。

- ① コンクリート工事を開始する前に、現場で使用する材料（コンクリート、型枠、剥離剤など）、機材（振動機など）、人（ベテラン技術者、現場技術者、現場作業員）によって構築できる最も品質の高い標本ブロックを作製し、現場に展示・保管して現場コンクリートの目標とする。
- ② 標本ブロックを用いたコンクリート打設実験の結果をふまえて、打設計画を修正する。
- ③ 実構造物の型枠脱型直後、コンクリート構造物全体の表層品質について評価を部材毎に行う。
- ④ 評価結果に基づき次回の打設計画に反映する。反映・修正事項は記録に残し、その効果を確認する。

なお、「目視調査に基づく表層品質評価手法」によれば、表層の事例を写真と照らし合わせて評価することが可能なため、迅速に、精度の高い評価が可能となる。

4. 標本ブロックおよび目視評価の実適用

4.1 標本ブロックの適用事例

先述したように各現場の条件によって最適な方法・材料は異なる。ここでは、以下に示すコンクリート配合、打設、脱型の条件を設定し、それらがコンクリートの表層品質に及ぼす影響について実験的な検証を行った。図-3 にブロック供試体の形状、表-3 に実験に供したコンクリートの配合、表-4 に実験要因を示す。比較検討項目として、水セメント比を44%と60%の2水準を設定し、その影響を評価した。振動締固めについ

表-4 実験要因

ケース No.	コンクリート No.	脱枠材齢 (日)	振動締固め程度※1	型枠	剥離剤※2
1	1(24-8-20N)	7	不足	なし	A v.s. B
2		3	適	振動機とたたき	
3		7			
4	2(40-15-20N)	7		たたき	

※1 締固め 不足：内部振動機 2箇所 各24秒
適：内部振動機 3箇所 各24秒

※2 剥離剤 A：水系（塗布量：37g/m² 1回塗り）
B：溶剤系（塗布量：62g/m² 2回塗り）

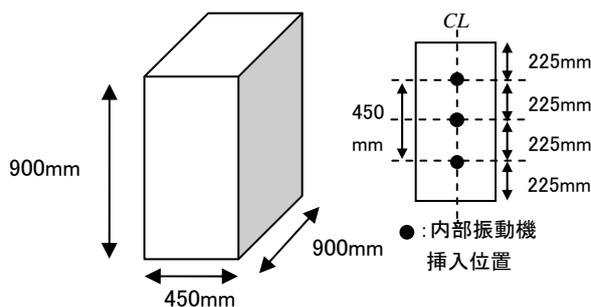


図-3 ブロックの形状と締固め位置

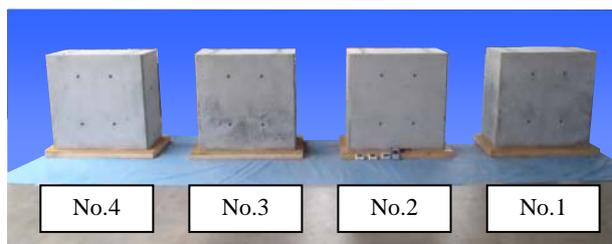


写真-3 標本ブロックの外観（材齢8日）

表-5 ブロック供試体の実験結果の目視による評価

比較要因	比較ケース	目視評価結果	比較
配合	3 v.s. 4	水セメント比の小さいコンクリートの方が表面につやがあるものの表面気泡が多い	3≒4※
脱枠材齢	3 v.s. 2	3日の方が7日脱型よりも色がより白っぽくなる	—
締固め程度	3 v.s. 1	「不足」より「適」の方が表面気泡が少ない	3>1※
剥離剤	A v.s. B	A 水性は乾燥程度が表層の変色になる可能性あり。施工性はB 溶剤系が良い	B>A

※「≒」同等、「>」は左が優れる、を意味する

ては2水準を設定した。具体的には図-3 に示すように225mm 間隔の3箇所および450mm 間隔の2箇所とし、12秒かけて内部振動機をコンクリートに挿入し、その後12秒かけてゆっくりと抜いた。なお、内部振動機には棒状振動機(φ40mm, 周波数120Hz)を使用した。脱型については、打込みから3日、7日の2水準とし、剥離剤を表-4の欄外に示す2種類とした。

写真-3に打込みから8日後の状況写真、表-5に各要因に対する目視評価結果のまとめを示す。写真-3に示すようにコンクリート表面の色むらなどの相違が生じた。配合の相違に着目すると水セメント比が小さくセメント量の多いNo.4の方が表面につやがあったものの表面気泡はむしろ多かった。これは、No.4では型枠振動機を使用していないこと、セメント量が多くコンクリートの粘性が大きかったことが原因と推測される。このことから水セメント比に応じて振動締固めの方法や頻度を適切に設定する必要があることが分かる。脱枠材齢に着目すると打込みからの材齢8日で比較した場合、材齢3日の早期に脱型した方が脱型7日のコンクリートより白くなった。なお、材齢33日で比較すると、その差異は小さくなったもののやはり3日で脱型した方がより白いことが確認された。これは、表面に炭酸カルシウムが多いと白くなる傾向⁹⁾が示されており、早期脱型によって炭酸化カルシウムがより多く生成されたためと推測された。締固め程度に着目すると、「適」の方が表面気泡が少ない傾向とな

った。剥離剤に着目するとBの油性の方が色むらになる傾向が少なく、速乾性や塗むらの有無など作業性もBの方が優れると判断され、今回の条件においてはBの方が適していると考えられた。

以上のように、現場の条件に応じて各種要因を設定して標本ブロックを作製することによって、実際の工事における材料・施工方法が表層品質に与える影響を把握できることが分かった。さらに、現場技術者自らがこれらの評価試験を行うことで、現場単位で最適な材料・施工方法などを正しく、確実に選定できようになり、品質向上につながるものと考えられる。

4.2 目視調査に基づく表層品質評価手法の適用結果

(1) 概要

表-2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。以下にその結果を示す。

(2) 調査

表-6に概要を示すように、調査対象として柱は1期施工分8本と2期施工分4本の合計12本、床版(梁を含む)

表-6 調査概要

調査人数(名)	調査者構成(名)	工期	柱(本)	床版(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

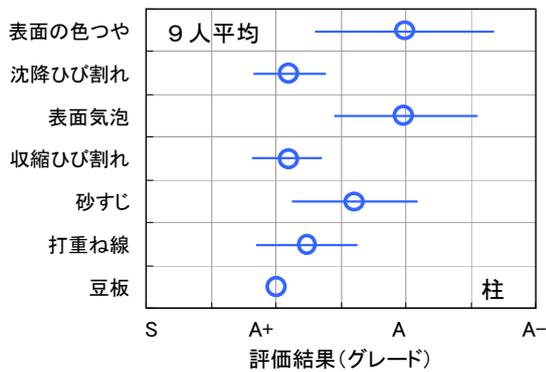


図-4 柱の調査結果 (全調査者 9名)

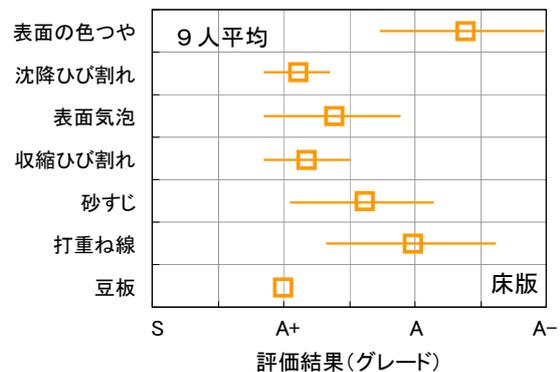


図-5 床版の調査結果 (全調査者 9名)

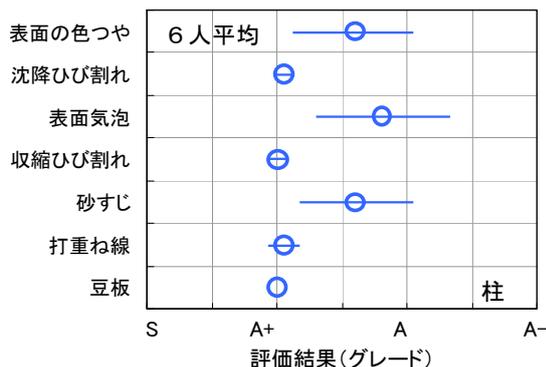


図-6 柱の調査結果 (調査者 専門技術者 6名)

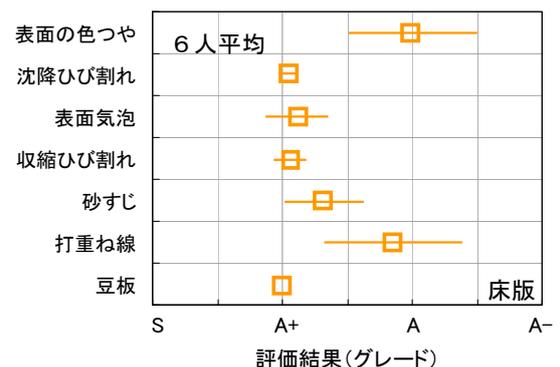


図-7 床版の調査結果 (調査者 専門技術者 6名)

は1, 2期施工分各3箇所ずつの合計6箇所とした。調査は、表-2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)と見た目だけで評価した現場担当の技術者3名(以下, 現場技術者)の合計9名で実施した。なお, 調査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, それぞれ約30分間を要した。

(3) 調査結果

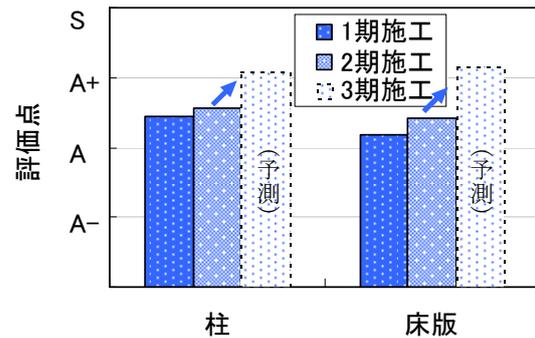
図-4に柱, 図-5に床版の調査結果を示す。図の横軸には調査者9名が1期, 2期施工について評価したS, A+, A, A-, Eの5段階の結果を5~1の評価点に数値化して, その平均値を点で示し, さらに評価のばらつき範囲を実線で表示した。なお, 不適合のEはなかったので図から割愛した。床版の表面の色つやに関しては, 黒色から白色の色むらと打設時に生じたと推測される模様が確認された。さらに, 床版については, 砂すじ, 打重ね線の評価が低く, 柱では, 表面の色つや, 表面気泡の評価が低く, これらの項目について更なる品質向上を図る必要があることが明確になった。また, 評価が低い項目ほど, 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一定の共通認識ができてきているものの, 比較的評価の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くなる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名の評価結果は現場技術者の方が悪く, 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, 評価結果のグレードは向上し, さらに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1, 2期施工の評価の9人の平均値を示す。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, 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, 更なる品質向上が図れるものと考えており, その効果を実施工において検証していく予定である。

5. おわりに

コンクリート表面品質を目視調査し, その品質をグレードリングする評価手法である「目視調査に基づく表層品質評価手法」および「標本ブロック」を活用した品質向上に資する新しい取組みについて紹介した。「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, 「見栄え」の評価を誤差少なく実施でき, また, 評価点が向上したことから, 本手法を用いたPDCAサイクルの有効性を確認した。さらに, 「標本ブロック」を作製し, 材料・施工条件が表層品質に与える影響を評価する手法は, 実際の工事における材料・施工方法の選定に有効であることが分かった。なお, 「目視調査に基づく表層品質評価手法」と「標本ブロック」によって品質向上を図る本手法は, 同じ形状の躯体を連続して打設・構築するような現場において特に効果を発揮すると考える。今後は, 評価手法のブラッシュアップ, 効果の検証と改善方法の充実などを実施していく予定である。また, 目視調査結果と耐久性の特性値などのコンクリート品質との関係について検討を行い, 「美しいコンクリートはどの程度品質が高いか」を定量化していく所存である。

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) R.J.TORRENT: A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient permeability to air of the concrete cover on site, Materials and Structures, vol.25, pp.358-365, 1992.
- 3) 小野聖久, 上東泰, 紫桃孝一郎: コンクリートの密実性検査手法に関する研究, 日本道路公団試験研究所報告, Vol.41, pp101-110, 2004.
- 4) 蔵重勲, 西田孝弘, 仲亮介, 下村和也, 石川毅弘: 屋内外に曝露したコンクリートの反発度と表層透気係数の推移, 土木学会第65回年次学術講演概要集, pp.1163-1164, 2010.
- 5) 土木学会基準: 表面含浸材の試験方法(案) JSCE-K571-2010.
- 6) (独)土木研究所: 衝撃弾性波試験(仮称) iTECS法による新設の構造体コンクリート強度測定要領(案), 2007.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 住友大阪セメント(株): ホームページ, コンクリート表面の変色・色むら, SOC-CTR-9704, <http://www.soc.co.jp/cement/gijutsu/pdf/iromura.pdf>