

論文 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

細田 暁^{*1}・坂田 昇^{*2}・田村隆弘^{*3}・二宮 純^{*4}

要旨： コンクリート表面を目視で評価する簡易な手法を用いて、平成 19 年度に運用が開始された山口県のひび割れ抑制システムによる構造物の表層品質の向上効果を分析した。5 つの項目に分類して目視評価を行った。ひび割れ抑制システムの前後の複数の橋台、ボックスカルバートについて産官学のメンバーで目視評価を行った結果、ひび割れ抑制システム開始後の構造物が高い評価値を示し、特に橋台でその傾向が顕著であった。目視評価の結果と過去に実施した表面吸水試験の結果との関連についても述べ、目視評価の活用方法について提案を行った。

キーワード： 目視評価、表層品質、山口県のひび割れ抑制システム、品質確保

1. はじめに

平成 13 年の国土交通省通達「土木コンクリート構造物の品質確保について（国官技第 61 号，平成 13 年 3 月 29 日）」を契機に、各発注機関においてひび割れに関する調査が強化され、施工現場においてひび割れ調査や補修に多くの時間や労力が必要となった。山口県では、このような状況の中、平成 17 年度から橋梁下部工やボックスカルバートでひび割れ抑制対策を検証する試験施工を開始し、平成 18 年度にシステム運用の試行を行い、平成 19 年度からひび割れ抑制システムを運用している。

山口県のひび割れ抑制システム¹⁾は、温度ひび割れを抑制するためのシステムの三本柱として、①打込み時期による抑制、②材料等による抑制、③施工の基本事項の遵守、を挙げているが、「施工の基本事項の遵守」の効果は温度ひび割れの抑制に留まらない。施工の基本事項の遵守をシステムとして達成する努力を産官学の協働で実施しているために、ひび割れの抑制対策の効果が適切に検証され、PDCA サイクルが構築されることとなった。また、施工の基本事項の遵守が達成されたことにより、構造物の表層品質の向上につながっていることが、表面吸水試験などによる分析で明らかにされている²⁾。

ひび割れ抑制システムにより、コールドジョイント、沈みひび割れ、充填不良などの不具合や、微細ひび割れも顕著に抑制されていることは、システム開始の前後の構造物を観察するとすぐに分かる。しかし、これまでの調査では、システムによるこのような不具合の低減効果を定量的に評価できていない。例えば表面吸水試験で表層品質を評価する場合、試験中に水漏れが生じるような明らかな欠陥部は避けて試験を実施するからである。

しかし、厳しい環境作用を受けるコンクリート構造物の場合、このような不具合こそが、早期劣化を誘発する主要因となる。施工の基本事項の遵守による、これらの不具合の低減効果を定量的に示すことが、このシステムを広く展開していくために有用であると考えた。

筆者らは、コンクリート構造物の表面の目視評価による PDCA で品質向上につなげる品質管理手法を提案している³⁾。この手法は、コンクリート表面の状態を 6 つ程度の項目に分類し、それぞれの項目についてあらかじめ準備された評価基準を参考にランク分けを行い、定量評価を行うものである。

本研究では、この目視評価を、山口県のひび割れ抑制システムの開始前後の構造物に適用し、施工の基本事項の遵守によって不具合が低減していることを定量的に評価できることを示す。山口県のひび割れ抑制システムに関わる産官学からの参加者と、目視評価の開発者らで、山口県の構造物に対して目視評価を行った結果を分析する。一部の構造物で、過去に行った表面吸水試験の結果と目視評価の結果の関係についても分析する。

2. コンクリート構造物の目視評価手法

コンクリート構造物の表層品質は、構造物の耐久性に大きな影響を与える。かぶりの厚さと緻密さが重要であるが、緻密さの評価は容易ではない。物質移動抵抗性の観点でのかぶりの緻密さは、これまでは竣工検査においても定量的に評価されておらず、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」などで精力的な検討がなされている。現在でも、早期に劣化している構造物は少なくなく、より耐久的な構

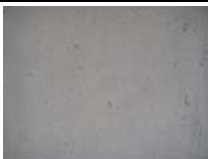
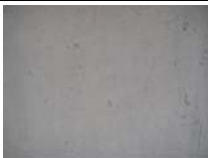
*1 横浜国立大学 大学院 都市イノベーション研究院 准教授 博（工）（正会員）

*2 鹿島建設（株）土木管理本部 土木技術部長 博（工）（正会員）

*3 徳山工業高等専門学校 土木建築学科 教授 工博（正会員）

*4 山口県土木建築部 審議監（正会員）

表-1 目視評価の判定基準

評価項目	評価基準	一般的に「良」とされる範囲				不適合
	AAA	AA	A	B	E	—
	4点	3点	2点	1点		
①沈みひび割れ	 ・ピーコン近傍にも沈みひび割れがない	 ・目視調査範囲のピーコンの概ね 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	 ・目視調査範囲のピーコンの概ね 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	 A 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表面気泡	 ・5 mm 以下の気泡がほとんどない (目安: 概ね 50 個以下 / m²)	 ・5 mm 以下の気泡が認められる (目安: 概ね 50 個以上 / m²)	 ・10 mm 以上の気泡が認められる (目安: 概ね 50 個以上 / m²)	 A よりも劣る		
③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	 A よりも劣る		
④型枠継ぎ目の砂すじ	 ・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	 A よりも劣る		
⑤面的な砂すじ	 ・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	 A よりも劣る		

造物を建設するためには取り組むべきことは多い。

表層品質の評価方法として多くの手法が提案されているが、透気試験や表面吸水試験などの手法は、点としてのデータとなるために評価を行うために多数の点での計測を必要とするなどの課題がある。

筆者らは、施工者が実施する PDCA サイクルの”Check”に相当する手法として目視評価を提案している³⁾。構造物の表面を目視で面的に評価するために、簡易であり短時間で実施が可能である。簡易ではあるが定量的に評価できるため、その評価結果を基にして、改善・工夫（Action）を講じることができる。構造物の表面に生じている現象を項目ごとに分けて評価することが大きな特徴であり、目視ではあるものの定量的評価を可能にしている。また、ランク分けという簡易な評価方法ではあるが、面的に評価しており、細部の変状も考慮した評価結果となる。同一構造物の中で、目視評価の PDCA を行った結果、打込みを重ねるごとに評価値が向上した事例が報告されている³⁾。

既報³⁾では、目視で評価する項目として、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、打重ね線、豆板に着目する手法を提案した。この手法は、施工者が品質管理に用いることを想定したものである。本研究での調査対象は、竣工検査を経てほとんどが供用されている構造物であり、打込み後に 10 年以上経過しているものもあるため、表-1 に示す評価項目を設定した。

既報では、表面の色つや、プラスチック収縮ひび割れ、豆板などを評価指標に挙げていたが、本研究では評価の対象外とした。表面の色つやは、構造物の耐久性に直接関係する品質ではないと考えるからである。今回の調査対象はすべて壁状の部材の鉛直面であり、微細なひび割れが存在するものもあったが、プラスチック収縮ひび割れとして評価するべきではないと判断した。わずかな充填不良も数か所認められたが、竣工検査を経て供用されている構造物が調査対象であり、豆板が発生した場合は補修が行なわれる場合が多いと考えられ、今回の調査においては評価項目から除外した。

砂すじについては、型枠の継ぎ目からのノロ漏れに伴うものと、継ぎ目から離れた部分の面的な砂すじとを、区別して評価した方がよいと考え、それぞれを評価項目に設定した。

表-1 に示すように、各評価項目を、AAA、AA、A、B の 4 段階に分け、それぞれを 4、3、2、1 点とした。各評価項目について 4 段階の写真をカラーで A4 一枚に印刷し、表-1 に示す判断基準の参考となる文章を写真とともに示した。評価の判定基準はあくまで参考であり、例えば表面気泡の場合、厳密に気泡の数を数えるわけで

表-2 調査対象構造物

構造物名	ひび割れ抑制システムの前後	調査日時	調査人数	施工年と評価エリアの数
流通 IC 橋 A2	前	12/27 午前	9	H15 年施工 2 エリア
唐樋橋 A1	前	12/27 午後	10	H10 年施工 2 エリア
寄江高架橋 A1	前	12/27 午後	11	H10 年施工 2 エリア
来福台 1 号橋 A1	前	12/27 午前	9	H8 年施工 4 エリア
嘉川 IC 橋 A1	(試行運用中)	12/26 午後	32	H19 年施工 3 エリア
朝田 IC オフランプ橋 A1, A2	後	2012 年 12/26 午前	30	H22 年施工 評価エリア (A1:2, A2:2)
高井大橋 A1	後	12/27 午後	9	H21 年施工 4 エリア
唐樋 No.1Box	前	12/27 午後	11	H10 年施工 8 エリア
唐樋 No.2Box	前	12/27 午後	11	H10 年施工 4 エリア
流通 IC 付近 Box	前	12/27 午前	9	H16 年施工 9 エリア
林道 Box	(試験施工中)	12/26 午後	32	H17 年施工 20 エリア
N ランプ Box	後	12/26 午後	32	H20～21 年施工, 20 エリア

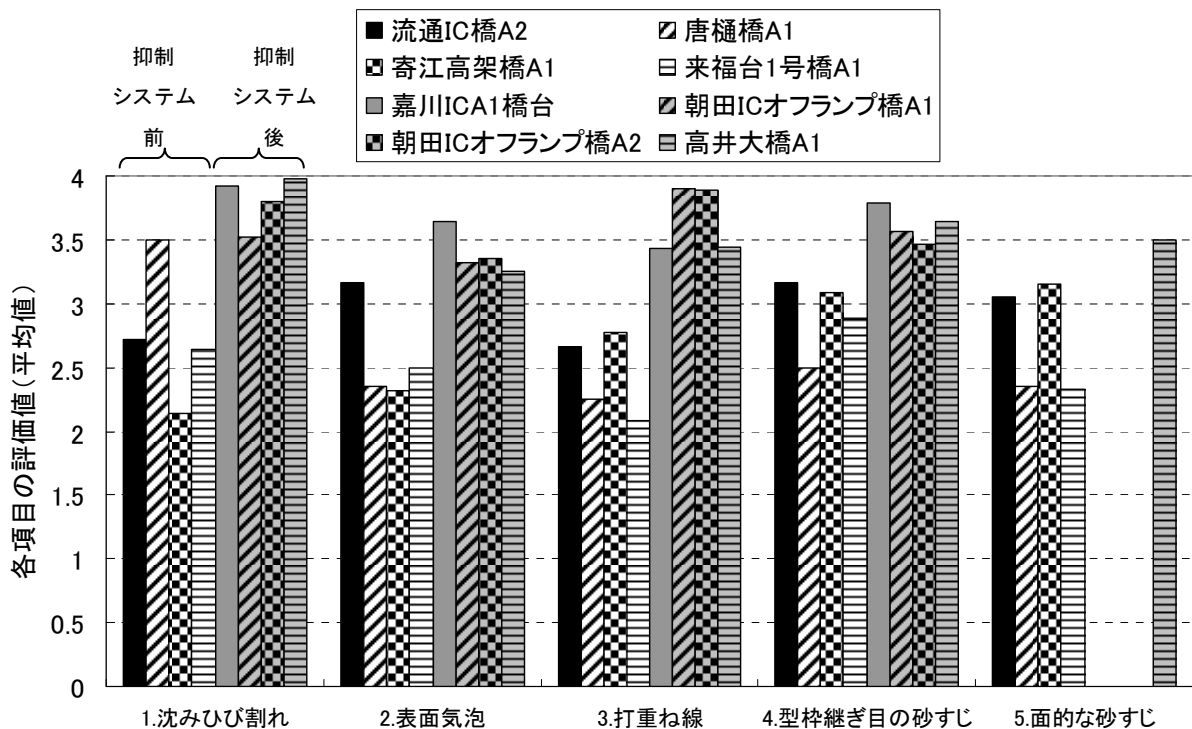
はない。本来、検査ではなく、品質管理のための手法として開発されているため、評価者が表-1 の判定基準を参考に、各自の判断基準を確立することが望ましい。本研究の目視評価の参加者は、この資料を持って、構造物の表面状態と照らし合わせながら、評価を行った。

3. 目視評価の調査対象構造物と調査内容

3.1 調査の参加者と事前説明の内容

2012 年 12 月 26～27 日に、表-2 に示す山口県の管理するひび割れ抑制システムの開始前後の構造物の目視評価を行った。両日ともに晴天で、調査対象の全ての構造物のコンクリートの表面が乾いた状態で行った。

調査活動には、山口県のひび割れ抑制システムに関連してきた産（施工者、設計者、生コン製造者）・官・学からの参加者と、目視評価の開発者らの合計 40 名程度が参



図ー1 橋台の目視評価の結果

加した。26日は、ほぼすべての調査に参加した32名程度の調査結果を分析に用いた。27日は、ほぼ終日の調査に参加した10名程度（目視評価の開発者、大学院生、山口県職員など）の調査結果を分析に用いた。

26日の調査開始に先立ち、第一著者が目視評価の意義について本論文の序論で記した内容を座学で説明し、目視評価方法の説明を開発者とともに行った。

事前説明の後、それぞれの構造物に順次移動し、各項目に対する評価基準を各自が持参して参照しながら、参加者全員で目視評価を行った。

最初の調査対象である朝田ICオフランプ橋において、調査の途中で開発者らが評価基準について実構造物を見ながら適宜解説を行った。

3.2 調査対象構造物

本研究の調査対象構造物を表ー2に示した。橋台とボックスカルバートの調査を行い、平成19年度のひび割れ抑制システムの運用の開始の前と後の構造物を選定している。ただし、林道Boxは平成17年度の実構造物での試験施工中の施工であり、嘉川IC橋A1は、平成18年度に始まったシステム運用の試行中の施工となっている。

ボックスカルバートについては、側壁を調査対象とした。調査したすべての側壁は一度で打ち込まれているため、上床版下面との接続部のハンチを除く鉛直面を対象に、誘発目地間（3.5m～5m程度）を一つの評価エリアに設定した。各構造物の評価エリア数を表ー2に示した。

橋台については、たて壁を調査対象とした。鉛直方向に複数のリフトに分割して打ち込まれており、鉛直方向

に2リフトを調査した橋台もあるが、高い位置の沈みひび割れが評価しにくいという声が多く聞かれた。そこで、橋台のたて壁については、足場を使わずに接近して観察できる高さのリフトのみの調査結果を分析に用いることとした。

来福台1号橋A1橋台は、ボックスカルバートに類似した形式のラーメン式橋台であり、調査方法は他のボックスカルバートに準じた。

なお、流通IC橋A2、流通IC付近Boxは、既報²⁾で調査を行ったひび割れ抑制システム開始前の構造物である。

3.3 評価項目の微修正

今回検討に用いた目視評価は、当初は施工者の品質管理のために開発された³⁾。竣工検査を合格する構造物においても、表層の品質は大きくばらついており、より高い品質を目指すためのツールとして開発された。

本研究では、目視評価をひび割れ抑制システムによる品質向上効果の分析に活用している。システムの運用前には、面的な砂すじが見られるものも少なかった。26日の調査初日は、システムの運用後の構造物がほとんどであったため、面的な砂すじはほとんど見受けられず、砂すじとしては、表ー1の評価項目④に示す、型枠継ぎ目の砂すじのみを調査した。ところが、27日の最初の構造物（来福台1号橋A1）において面的な砂すじが多く観察された。現場で議論した結果、砂すじを2種類に分け、表-1の評価項目⑤を加えて調査を行うこととした。よって、27日の調査構造物のみ、評価項目⑤を加えた調査となった。

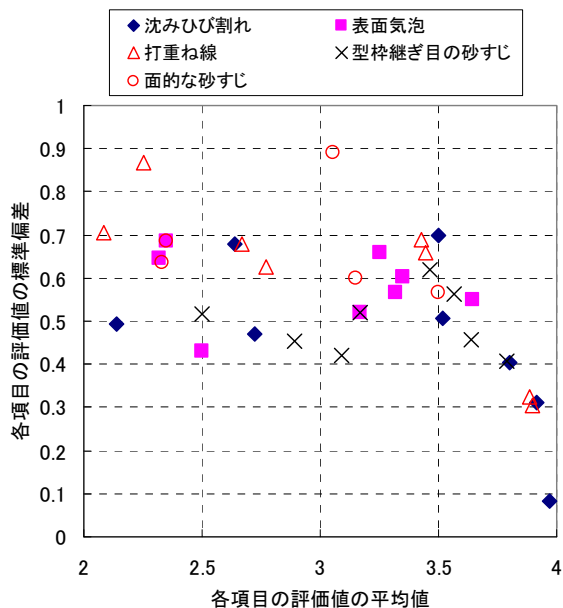


図-2 橋台の評価値の標準偏差

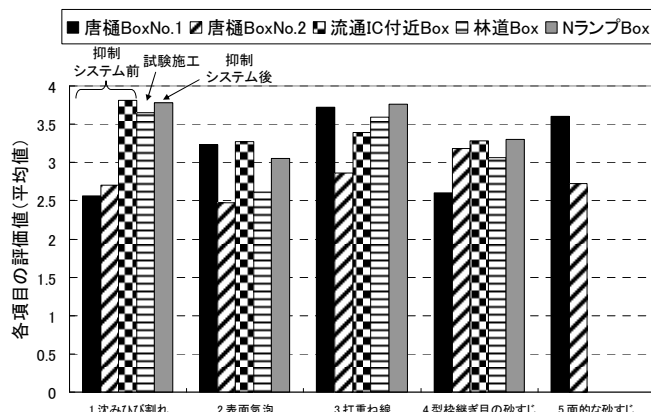


図-3 ボックスカルバートの目視評価の結果

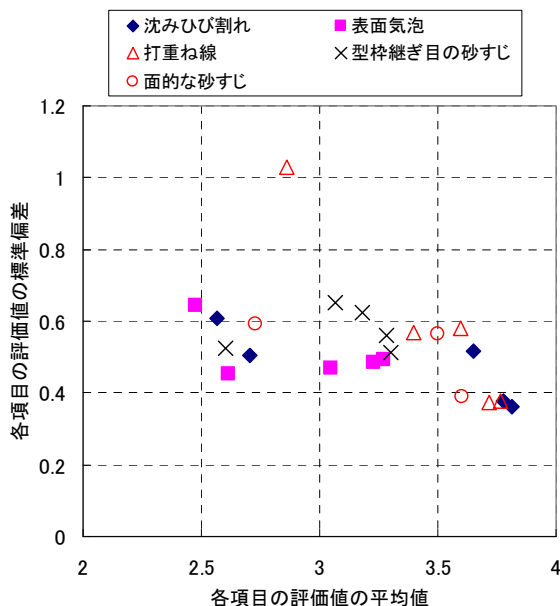


図-4 ボックスカルバートの評価値の標準偏差

目視評価は、使われる目的に応じて評価項目の追加や

削除を行うことで、有効に活用されるという認識を得た。

4. 調査結果と分析

4.1 橋台の調査結果

図-1 に、橋台の目視評価の結果を示した。この図においては、各橋台の各評価エリアにおける全評価者の評価値を評価項目ごとに単純平均し、橋台ごとに全評価エリアの平均値を求めた。3.3 で説明したとおり、評価項目⑤については3つの橋台で調査を行っていない。

どの評価項目においても、ひび割れ抑制システムの開始後の橋台の評価値が高い傾向が認められる。多くの調査者が、ひび割れ抑制システムの前後で橋台の品質の違いを明らかに目視で認識できるという感想を口にしてしたが、本研究の目視評価法でその違いを定量的に検出できることが明らかとなった。

ひび割れ抑制システムの開始後の橋台では、沈みひび割れと打重ね線についてはほぼ満点を示している構造物もあり、施工の基本事項の遵守による効果が明瞭に見られている。一方で、表面気泡や砂すじについては、これらの橋台においても3.5点程度に留まっており、これらの評価項目で最上レベルに近づけるにはさらなる施工上の工夫が必要であると言える。

ひび割れ抑制システムの開始前の橋台では、多くの項目で3点を下回っており、2点に近い場合も見られた。沈みひび割れ、打重ね線については、最高点が4に近く、最低点が2点程度と、その差が非常に大きく、目視評価により差が付きやすい項目と思われる。

図-2 には、橋台ごとに、各項目の評価値の標準偏差（調査者間のばらつき）を、その項目の評価値の平均値とともに示した。評価値が4点に非常に近い項目も見られ、非常に品質の良い場合は多くの調査者が同じように評価する傾向があることが分かる。評価値が3.5点程度以下では、評価値と標準偏差の間に明瞭な傾向は見られないが、沈みひび割れや型枠継ぎ目の砂すじに比較して、打重ね線や面的な砂すじの標準偏差が大きくなる傾向が見られた。標準偏差が0.9程度と大きくなった2点は、ひび割れ抑制システム前の橋台で相対的に品質が悪いため、品質の悪い部分の捉え方が調査者により異なり、調査者が9～10名と少なかったことによる。

4.2 ボックスカルバートの調査結果

図-3 に、各ボックスカルバートの項目ごとの評価値の平均値を示した。図-4 には、図-2 と同様に、各項目の評価値の標準偏差を示した。

図-3 を見ると、平成10年に施工の唐樋Boxは全体的に低い評価値を示している傾向が見られ、3点を大きく下回る項目もみられる。しかし、ひび割れ抑制システムの開始後のNランプBoxに比べて、流通IC付近Boxや

林道 Box は顕著に低い値が出ているわけではない。これは、林道 Box が県の試験施工中の施工であり、平成 10 年頃の状況とは異なっていたことや、流通 IC 付近 Box も現在の山口県のシステムでの誘発目地間隔と同じ仕様であり、その当時なりにひび割れに配慮して施工されたことなどによると考えている。

図-4 から、評価値の平均値が高くなると標準偏差が小さくなる傾向も見受けられるが、図-2 の橋台に比べると各項目間での標準偏差の傾向の違いは見受けられない。打重ね線で標準偏差が 1.0 を超えたものは、地際アスファルト付近に打重ね線と思われる模様が黒く目立っている箇所があった。この構造物（唐樋 No.2Box）は 11 人で調査を行ったが、4 エリアと壁の数も少なかったこともあって、大きな標準偏差につながったものと考えている。

4.3 目視評価の結果と表面吸水試験の結果の関係

図-5 に、過去の研究で、本研究の調査対象の構造物の 5 つに対して実施した表面吸水試験⁴⁾の結果²⁾と、目視評価の結果との関係を示した。10 分時点での表面吸水速度が 0.4 に近いものは、ひび割れ抑制システムの前の流通 IC 橋 A2 である。この橋台では、目視で分かる微細ひび割れなどの欠陥部を避けて表面吸水試験を行っているが、それでも他の構造物より吸水抵抗性に劣る結果となっている。

Levitt⁵⁾は、ほぼ同様の原理の表面吸水試験に対して、10 分時点の表面吸水速度で品質を 3 段階に判定するしきい値を提案しており、最上ランクと 2 番目のランクのしきい値が $0.25\text{ml/m}^2/\text{s}$ である（もう一つのしきい値が $0.5\text{ml/m}^2/\text{s}$ ）。図-5 は、10 分時点での表面吸水速度で 0.25 程度を下回るような比較的品質の良い構造物では、目視評価では品質の違いを区別するのは難しく、目視評価は、

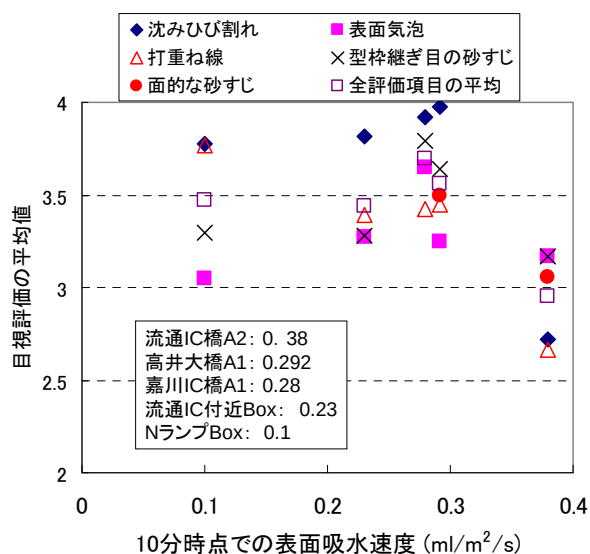


図-5 目視評価の結果と表面吸水試験の結果の関係

明らかに劣るものを仕分けるのに有効な手段であることを示唆している。

4.4 目視評価の活用方法

今回、大人数で目視評価を行ったが、出来上がったコンクリートの品質を、項目ごとに観察して議論することが大いに勉強になったという感想が多く得られた。造るまでのプロセスも重要であるが、造ったものがどのような結果になったのかをふりかえることの意義は大きいと考える。例えば、打重ね部の上での面的な砂すじなどの不具合を見ながら議論することは、良い施工のあり方を学ぶ上で非常に有効である。目視評価は、技術力向上のための研修にも活用できると考えている。

目視評価は、施工者の品質管理だけでなく、従来は許容されてきたものの厳しい環境作用のものでは早期劣化の原因となりうる施工時の不具合を低減していくための、簡易な検査ツールとしても活用できる可能性があると考えている。

5. おわりに

山口県のひび割れ抑制システムの前後の構造物に対して、目視評価による表層品質の定量的な評価を試みた。5 つの項目に分類して 4 段階の判定基準を設定して目視評価を行った結果、施工の基本事項の遵守が達成されていると考えられるシステム運用開始後の構造物の評価値が高い傾向が、特に橋台において明瞭に認められた。

参考文献

- 1) 国重典宏, 田村隆弘, 二宮 純, 森岡弘道: 山口県における「コンクリートひび割れ抑制システム」について, コンクリート工学, Vol.49, No.5, pp.91-95, 2011.5
- 2) 構造物表層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第二期 (335 委員会) 成果報告書およびシンポジウム講演概要集, 土木学会, コンクリート技術シリーズ 97 巻, 2012.7
- 3) 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, 2012.7
- 4) 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, Vol.34, No.1, pp.1804-1809, 2012.7
- 5) Levitt, M.: Non-destructive testing of concrete by the initial surface absorption method, Proceedings of a Symposium on Non-Destructive Testing of Concrete and Timber, London, June 1969, Institution of Civil Engineers, pp.23-26, 1970