

# 論文 各種既存コンクリート構造物を対象とした表面吸水試験装置および目視評価法による表層品質の評価

井林 康\*1・陽田 修\*2・品川 彰\*3

**要旨:** 本研究は新設コンクリート構造物の耐久性確保を目的として、道路橋のボックスカルバート、橋脚、橋台と、トンネルの覆工コンクリート、および排水樋門に対して、表面吸水試験装置と目視評価法を用いて表層品質調査を行った。結果として、表面吸水試験では構造物や測定箇所により大きな違いが見られ、表面吸水速度の大小には雨水の有無、微細ひび割れ、養生日数が影響しているのではないかと考えられるが、外観で予想されたほどには差が出ない箇所もあった。目視評価法による評価では、構造物の種類ごとの違いは特に見られなかったが、表面吸水速度との関係性がある程度見られた。

**キーワード:** コンクリート、表層品質、既存構造物、表面吸水試験、目視評価法

## 1. はじめに

道路構造物や河川構造物に使用される鉄筋コンクリートのかぶり部分の品質は、塩害や凍害、中性化などの環境要因に対する耐久性に、大きな影響があることが広く知られている。表層部の品質を十分確保せずに新設された構造物は、これらの環境要因を受け、建設後間もない期間で詳細な点検や補修を必要とすることがあり、結果的に維持管理の負担が大きくなることが予想される。例えば、写真-1 は建設後、まだ数十年しか経っていない道路橋の構造物であるが、既に劣化損傷が進んでおり、もともと施工時になんらかの不具合があり、それが現在まで残存している箇所に加え、不具合を起点として劣化が進行して現在の状態になったのではないかと推測される。

今後のコンクリート構造物の維持管理のコストを低減していくためには、環境要因に対して耐久性を向上させる必要があり、そのための方策の一つとして、表層部の品質確保が重要と考えられ、既存のコンクリート構造物の表層品質調査を行い、現状を把握することは非常に重要であると考えられる。

また、施工時の不具合と思われる箇所が残存しているコンクリート構造物の場合、経年後の表層品質が、同じ構造物の良いと思われる箇所に比べ、実際にどの程度の差があるかについても調査を行う必要があると考えた。

そこで本研究では、非破壊でコンクリート構造物の吸水速度を測定することが可能な表面吸水試験装置と、表層品質を評価するために簡易で有効な目視評価法の2つを用いて、既存コンクリート構造物の表層品質の調査を行った。調査および検討は、平成26年から28年にかけて



写真-1 劣化損傷が進んでいる構造物の例

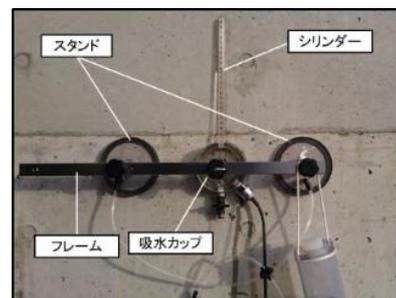


写真-2 表面吸水試験装置 (SWAT)

表-1 吸水抵抗性のグレーディング

吸水抵抗性	表面吸水速度 (ml/m <sup>2</sup> /s)
良	0.250未満
一般	0.250~0.500
劣	0.500以上

てあしかけ3年に渡って行ったものである。

## 2. 本調査で用いた評価手法

### 2.1 表面吸水試験装置

本研究で用いた表面吸水試験装置(SWAT)は、写真-2に示す装置であり、測定開始から10分経過した時点で、

\*1 長岡工業高等専門学校 環境都市工学科教授 博士(工学) (正会員)

\*2 長岡工業高等専門学校 環境都市工学科准教授 (正会員)

\*3 (株)植木組

表-2 目視評価の判定基準<sup>4)</sup>

評価項目	一般的に「良」とされる範囲				不適合
	AAA 4点	AA 3点	A 2点	B 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	—
②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/㎡)	・5mm以下の気泡が認められる (目安:概ね50個以上/㎡)	・10mm以上の気泡が認められる (目安:概ね50個以上/㎡)	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、約10m離れた方からは認められない	・約10m離れた方から、打重ね線が認められる	・約10m離れた方から、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	—

表-3 追加項目「6. 微細な収縮ひび割れ」

	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
細かいひび割れもない							
極めて細かいひび割れが数本ある							
概ね100mm以下の間隔で亀甲状のひび割れがある							
概ね20mm以下の間隔で亀甲状のひび割れがある							

コンクリートの表面で水をどれだけの速度で吸水されているかを示す、表面吸水速度が得られるものである<sup>1)</sup>。測定時間は10分間、設置と撤去を含めて30分程度で行うことが可能な、非破壊の試験装置である。得られた表面吸水速度を、林らの研究<sup>2)</sup>および東北地方整備局の手引き<sup>3)</sup>にある、吸水抵抗性の指標である表-1に示す「良」、「一般」、「劣」の値と比較し、各種の検討を行った。

2.2 コンクリート表層目視評価法

目視評価法<sup>4)</sup>は、表-2に示す「1. 沈みひび割れ」「2. 表面気泡」「3. 打重ね線」「4. 型枠継ぎ目ののろ漏れ」「5. 面的な砂すじ」の5つの基本項目に対して、1.0~4.0までの0.5点刻みに目視で評価していくものである。今回の調査では、独自に表-3に示す「6. 微細な収縮ひび割れ」を加え、計6項目として評価や検討を行った。

本研究では、各評価点や総合点で表層品質の傾向がどうか、表面吸水速度との傾向について検討を行った。本来、この目視評価法は、新設構造物の評価に用い、施工のPDCAサイクルの検討に用いることを目的としているものであるが、今回は既存の構造物に適用して行った。また、目視評価法の主旨を考えれば、全く評価の違う複数項目を合計した合計点の大小で比較を行うことは、ふ

表-4 橋梁群の吸水速度結果 (吸水速度順)

測定箇所	吸水速度	測定箇所	吸水速度
W-P7	0.005	B1N	0.357
W-P6	0.008	B7	0.427
W-P4	0.021	B1S	0.485
E-P8	0.033	B5	0.705
W-A2	0.054	B3	0.829
W-P5	0.070	B6	0.856
B8	0.122	B2	0.916
B4	0.163	B11	1.010
E-P9	0.172	B9	1.489
B10	0.322		

(ml/m<sup>2</sup>/s)

さわしくないという見方もあるが、今回の検討では、合計点もひとつの指標として用いることとした。

3. 道路橋の橋台・橋脚・ボックスカルバートの調査

3.1 概要

新潟県長岡市内の主要道路の連続した橋梁群にある、橋台9基、橋脚17基およびボックスカルバート(以下ボックス)12基の計38基のうち、河川内に位置せず、近くまで接近できるものを対象とした。対象構造物の施工年は、平成19年から平成26年までであり、調査は平成26年8~12月に全体調査を、さらに平成27年10~12月に詳細調査を行った。

3.2 道路橋橋梁群の全体調査の概要と結果

(1) 概要

平成26年は対象構造物の全体調査を行った。全38基の構造物のうち、近くまで接近することが可能な、ボックス12基、橋脚6基、橋台1基の計19基を対象とした。表面吸水試験装置での測定箇所は、地面から高さ1m程度の、比較的状態の良好そうな箇所を選び、ひとつの構造物に対して、1~3箇所測定を行った。また、表面吸水試験を行った壁全体を評価対象として、目視評価法による評価も行った。目視評価は2名もしくは3名で行い、主に筆頭著者と、講習を受けた学生にて行った。

(2) 表面吸水試験結果

表面吸水試験の結果を表-4に示す。これは全19基の対象構造物について、吸水速度の低い順に並べている。測定箇所名として、橋台にはA、橋脚にはP、ボックスにはBに続けた数字で構造物名を命名している。また、WとEがついているものは、路線の東西に位置する大型橋梁のそれぞれを示している。

結果として、橋台、橋脚の全てで表面吸水速度が0.250未満の「良」であった。良好であった理由として、橋台や橋脚は施工直後から雨がかりの環境にあるため、コンクリートがその雨で密実になり、結果として、表面吸水速度が小さくなったと考えられる。

逆に、ボックスについては全12基のうち、「良」は2基のみで、「一般」が4基、「劣」が6基という結果にな



写真-3 対象構造物の全景と測定面  
(左: B8, 右: B10)

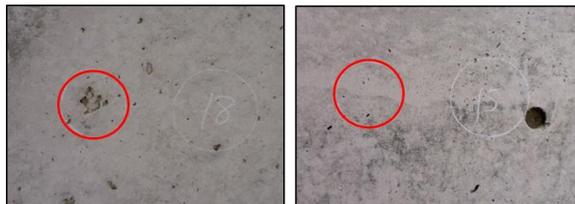


写真-4 表面状態の良くない箇所の例  
(左: 表面気泡, 右: 打ち重ね線)

った。ボックスにおける測定が多くで測定中に見られた変化として、吸水カップの内側の微細なひび割れや、また内側から外側まで続くひび割れなどにより、表面吸水速度が大きくなったと考えられる。

### (3) 目視評価結果

目視評価法に基づく評価を各構造物に対して行ったが、ボックス、橋台、橋脚の構造物の種類ごとの各設問の評価や、合計点による傾向は、今回の調査では特に見られなかった。対象とした構造物の種類が多いことに対し、測定箇所が少ないために傾向が掴みづかったことが大きいと思われ、加えて、表面吸水速度の値が非常に大きいものが含まれたりしたことも理由ではないかと推測している。

## 3.3 ボックスの詳細調査の概要と結果

### (1) 概要

平成 27 年の調査では、前年に測定したボックス 12 基のうち、B8 および B10 の 2 基のボックスに対して、改めて型枠パネルごとに、詳細な調査を行うこととした。2 つの対象構造物の全景を写真-3 に示し、測定面を図中の赤枠で示す。B8 は内空 1.5 車線で歩道がない形状のものであり、B10 は 2 車線で片側に歩道がある形状のものである。この 2 つを選定した理由としては、前年の計 12 基のボックスの調査結果より、表面吸水試験の値は比較的良好であったものの、構造物の表面を見る限り、この 2 つのボックスでは、場所により表層品質に差があるように思われたためである。

表面吸水試験装置での測定箇所は、脚立を使わずに届く高さとして、地面から上に 2 パネルまでの表面状態の良好そうな箇所をいくつか選んだ。また、写真-4 に示すような、あまり良くないと思われる箇所も任意で選んだ。また、目視評価でも、表面吸水試験装置で測定した

	2	4	6	8	10	12
	0.208	0.299	0.512	0.296	0.263	0.610
	14					
	1	3	5	7	9	11
	0.154	0.236	0.096	0.235	0.243	0.392
						13
						0.104

(単位: ml/m<sup>2</sup>/s)

図-1 B8 東壁の測定位置と表面吸水試験結果

表-5 B8 の表面状態の良くない箇所での結果

測定点	表面状態	パネルNo.	表面吸水速度 (ml/m <sup>2</sup> /s)
15	打ち重ね線上	14	0.155
16	表面気泡	14	0.231
17	表面気泡	7	0.294
18	表面気泡	8	0.150

型枠パネルごとに評価を行ったが、このようにパネルごとに測定を行うことで、各設問や総合点で表層品質の傾向を把握でき、前年の全体調査では不十分であった表面吸水速度との関係も把握できると考えたためである。

### (2) 表面吸水試験結果

B8 については計 18 箇所の測定を行った。測定箇所と結果を図-1 および表-5 に示す。図-1 は B8 の測定した東壁を面的に図示したものであり、さらに 1~14 の箇所は、各パネル内での表面状態の良さそうな箇所である。また、表-5 に示す 15~18 は、同じパネルの中でも表面状態の良くないと思われる箇所で測定したものであり、図-1 中にあるパネル番号との対応も示してある。

結果として、測定箇所 1, 2, 13, 14 のようなボックスの両端に位置するパネルは表面吸水速度が小さく、また地面に近い測定箇所 3, 5, 7, 9, 11 も、それぞれの直上のパネルでの値に比べ、表面吸水速度が小さい傾向にあった。これらは外側からの雨水が直接かかりやすい箇所、もしくは自動車の通行などによって、雨水や氷雪などがかかりやすい箇所であると考えられ、前年に測定した橋台や橋脚の結果の考察と同様に、雨水によりコンクリートが密実になり、表面吸水速度の値が小さくなったと考えられる。

また、表面状態が良くないと思われる箇所であった 15~18 の表面吸水速度については、表面状態の良さそうな箇所とほとんど違いが見られず、今回は表面打ち重ね線と表面気泡については表面吸水速度の大小に直接影響を与えるものではないという結果となった。

また、測定箇所 11 と 12 に着目すると、それぞれの行の中では表面吸水速度が最も大きい値となっている。この 11, 12 はボックスの箇所の選定の際、目視で確認した中で表面状態が一番悪そうであろうと予想していた箇所であったが、事前の予測通りの結果となっていた。

また、B10 についての表面吸水試験の測定箇所と結果

1		3				5	
0.307		0.553				0.498	
2		4			6	7	
1.449		0.331			0.888	1.978	

(単位: ml/m<sup>2</sup>/s)

図-2 B10 東壁の測定位置と表面吸水試験結果



写真-5 B10 での不具合の例

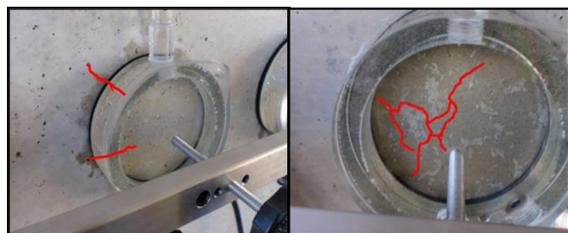


写真-6 表面ひび割れの実例

を図-2 に示す。1~4 は表面状態が良さそうな箇所を選んだものであり、5~7 はそれぞれ砂すじ、微細ひび割れ、表面気泡の上で測定したものである。結果として B8 と比べ、全体的に表面吸水速度が大きいものが多い。この B10 については、測定面に散水したところ、測定面の全体にわたり写真-5 のように表面にひび割れが多く浮かび上がっており、主に施工後の養生不足が原因ではないかと考えられる。また、測定箇所 2, 6, 7 は非常に大きい表面吸水速度となっているが、前年の全体調査結果と同様、写真-6 のように吸水カップから外側に繋がるひび割れや、内側にひび割れがあるものだった。しかし、6 の箇所の砂すじについては、ひび割れと合わるような形だったため、砂すじだけでは大きくなる要因になるとは考えられない。大きくなる要因として、微細ひび割れが関係していると考えられる。

### (3) 目視評価結果

目視評価については、いずれも 3 名で行った。今回は類似の測定結果が多いことから、表面吸水速度と目視評価の 6 項目の総合点との関係を検討した。図-3 は B8 の目視評価の総合点と表面吸水速度の関係を表したものである。これより、表面吸水速度が大きくなると目視評価の総合点も下がる傾向が見られた。

また、B10 における目視評価の総合点と表面吸水速度の関係を図-4 に示す。こちらは B8 と比べ、全体的に総

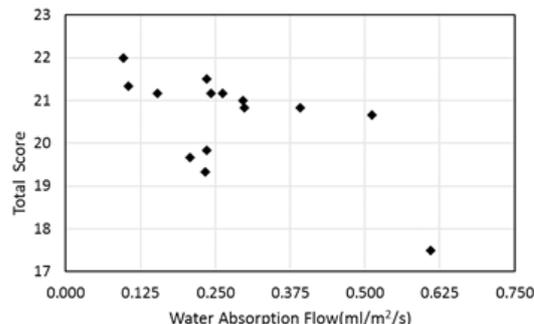


図-3 B8 の表面吸水速度と目視評価の関係

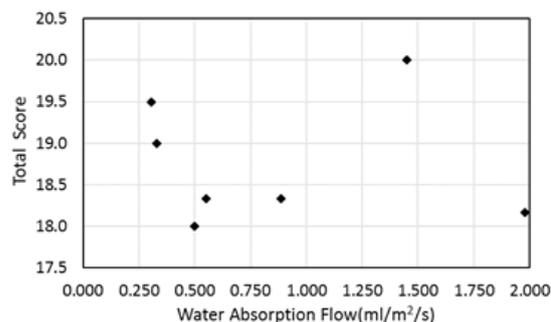


図-4 B10 の表面吸水速度と目視評価の関係



写真-7 対象としたトンネルの全景

合点が低く、また測定点の数は少ないものの、表面吸水速度 0.50 程度までは B8 と同様、総合点が下がる傾向が見られたものの、0.50 程度以上になると、あまり明確な傾向は見られなかった。

## 4. 道路トンネルの覆工コンクリートにおける調査

### 4.1 概要

NATM トンネルの覆工コンクリートは、鉄筋コンクリートではない無筋の場合が多く、また一般的には構造部材と考えられていないものの、供用後に剥離や剥落が生じた場合、第三者被害に直結することもあり、表層部分の品質確保は非常に重要である。

今回対象としたのは、新潟県長岡市内の主要道路にある、全長約 100m、高さ 4.7m、全 10 スパンの NATM で建設された道路トンネルであり、全景を写真-7 に示す。トンネル内の覆工コンクリートは、写真-8 に示すよう

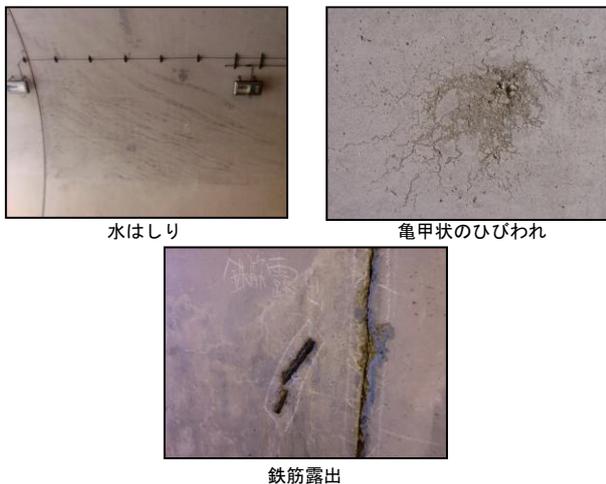


写真-8 対象トンネル内の覆工の不具合の例

表-6 トンネル覆工での測定結果

No.	スパン	吸水速度	No.	スパン	吸水速度
A1	9	0.504	B1	8	1.445
A2	9	0.199	B2	8	0.610
A3	6	0.428	B3	5	0.687
A4	6	2.115	B4	5	1.807
A5	4	0.309	B5	3	0.742
A6	4	0.363	B6	3	0.588
A7	2	0.411	B7	1	0.542
A8	2	0.596	B8	1	0.642
A9	2	0.370			
A10	3	0.446			

な施工の不具合に起因していると思われる、いくつかの損傷箇所があった。施工年は平成10年であり、測定は平成26年11月に行ったが、測定時点で建設から16年が経過している状況であった。通常、このような供用中の道路トンネルでの測定は、通行規制等が必要となるが、今回は道路管理者の許可を特別に取り、測定を実施することができた。

このトンネルでは、覆工コンクリートを対象に、表面吸水試験装置2台を用いて、全10スパンのうち、測定可能箇所数の関係から、7、10スパンを除く8スパンで調査した。測定箇所は起点側から見て、歩道の設置してある右壁を対象にし、1スパン内で表面状態の良さそうな箇所を同一の試験装置で2箇所ずつ選定して測定した。また、表面気泡が多く、表面状態が悪くないと思われた箇所も2箇所測定した。

#### 4.2 調査結果

2つの表面吸水試験装置を用いて、合計18箇所測定した結果を表-6に示す。表のうち、A,Bは別々の表面吸水試験装置を示し、AおよびBに続く数字は測定順、またスパンにある数字は、起点側から数えたスパン番号である。なお、A9およびA10の2点は、表面気泡が多く表面状態が悪くないと思われた箇所である。

平均で0.50を超過した「劣」のものは、装置Aでは

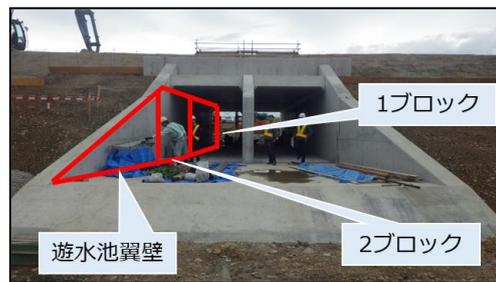


写真-9 対象とした排水樋門の全景と測定位置

A1, A4, A8の3箇所、装置Bに関しては全8箇所でも0.50を超過している「劣」であった。中でも1.00を超えるものがA4, B1, B4の3つあり、いずれも表面状態の良さそうな箇所を選んでいったものの、微細ひび割れが存在し、A4に関しては水を継ぎ足さなければならぬほど、吸水量が大きくなった。しかしながら、表面気泡が多く、表面状態が悪くないと思われたA9およびA10については、いずれも0.50以下の「一般」となっており、表面気泡の有無より、微細ひび割れの影響が大きいと思われる結果となった。

2つの装置のうち、装置Bで測定した箇所は、全て0.50を超過する「劣」であったが、測定後に装置Bには締め付けボルトに不具合があることがわかり、十分な締め具合になっておらず、装置Aよりも表面吸水速度が大きくなった可能性が考えられる。

また、表-6をスパンごとに表面吸水速度を見ると、同じスパンでも違う値になっているものが多い。このトンネル覆工コンクリートは、測定当時、建設から16年が経過しており、20年経たないものだったが、前述の写真-8のような損傷が多く、同じスパンでもコンクリートが均質といえず、表面吸水速度に差が生じていたのではないかと推測される。

## 5. 排水樋門における調査結果

### 5.1 概要

写真-9は新潟県三条市内にある、全長45.6m、高さ4.1mの排水樋門である。図の左側にあるボックスの左壁を対象に、現場での呼称である「2ブロック」、「1ブロック」、「遊水池翼壁」の3カ所を対象に測定した。施工年は平成28年3~5月であり、養生日数は、ここでは型枠存置の期間であり、それぞれ19日、28日、14日となっていた。測定は平成28年6月に行った。なお遊水池翼壁の部材は、施工時に養生日数が他より短いために、養生剤が塗布されていた。2ブロックおよび1ブロックでの測定箇所は、下から1段目、3段目の型枠パネルで表面状態が良好そうな箇所、また遊水池翼壁では表面状態の良くないと思われる箇所の計5カ所で測定を行った。目

表-7 排水樋門での表面吸水試験結果

測定箇所	養生日数	段数	表面含水率 (%)	表面吸水速度 (ml/m <sup>2</sup> /s)
2ブロック	19	1	4.60	0.321
		3	4.70	0.299
1ブロック	28	1	4.70	0.230
		3	4.70	0.206
遊水池翼壁	14	1	4.93	0.227

表-8 排水樋門での目視評価結果(3名平均)

項目	目視評価
1. 沈みひび割れ	4.0
2. 表面気泡	4.0
3. 打重ね線	3.7
4. 型枠継ぎ目のノロ漏れ	3.5
5. 砂すじ	4.0
6. 面的な微細ひび割れ	3.8
合計点	23.0

視評価については筆頭著者および学生の3名で行い、ブロックごとではなく構造物全体で評価することとした。

## 5.2 調査結果

排水樋門の表面吸水試験結果を表-7に示す。2ブロックについては、3段目が0.299で、1段目が0.321となっており、吸水抵抗性としてはどちらも0.250~0.50の「一般」であった。また、1ブロックは3段目が0.206であり、1段目が0.230と、0.250未満でいずれも「良」という結果であった。1ブロックは全長16.5mで、2ブロックの全長12.5mより長く、打設する範囲が広いが、2ブロックより表面吸水速度が小さい結果となっている。これは1ブロックの養生日数が28日であり、2ブロックの19日より9日長いことでコンクリートが密実となり、表面吸水速度が小さくなった可能性が考えられるが、数カ月の材齢であるため、たまたまそのような値になった可能性もある。また、2ブロックと1ブロックのどちらも、1段目より3段目の表面吸水速度の値が小さくなっていた。しかしながら、そこまで値に差が出ておらず、全体的に均質なコンクリートと考えられる。

遊水池翼壁は、養生日数が14日と、1ブロックや2ブロックより日が短い、表面吸水速度が0.227となっており、0.250未満となる良の結果になっている。この翼壁は他と違い、雨がかりのある外部にあり、前日や当日の降雨の影響が考えられるが、養生剤を塗布しており、その効果が表れているとも考えられる。表面含水率が4.93%と他より高い結果となっており、降雨と養生剤の塗布の影響があったと考えられる。

## 5.3 目視評価法および散水時の状況

この構造物の目視評価結果を表-8に示す。各項目の点数が3名平均でいずれも3.5点以上であり、総合点の合計も23.0点と高いものだった。また、散水時の状況は



写真-10 2ブロックにおける散水時の状況

写真-10に示す状況であり、表面の微細なひび割れは浮かび上がらず、材齢がまだ若いこともあるが、この時点での目視の限りでは、よい構造物であると思われた。

## 6. まとめ

本研究は、連続した道路橋梁群にあるボックス、橋脚、橋台の計19基と、NATMトンネルの覆工コンクリート、および排水樋門の計3種類の既存コンクリート構造物を対象として、表面吸水試験装置および目視評価法を用いて、表層品質調査を行った。

表面吸水試験による調査では、表面吸水速度は構造物や箇所により、大きく結果に差が出ていたが、その大小に影響するのは、雨水の有無、微細ひび割れの有無、養生日数の影響が大きいであろうと推測された。

逆に、施工当初からの不具合と思われた箇所でも、雨水がかかるような箇所では、不具合のない通常の箇所とそれほど吸水速度に差がない箇所もあった。

目視評価法による評価結果では、構造物の種類による差は特に見られなかったが、集中的に測定した構造物における結果は、表面吸水速度とある程度の関係性があることが確認できた。

## 参考文献

- 1) 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
- 2) 林 和彦・細田 暁：コンクリート実構造物に適用できる表面吸水試験方法の開発，コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1769-1774, 2011.7
- 3) 国土交通省東北地方整備局：コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）（橋脚、橋台、函渠、擁壁編），2015.12
- 4) 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, 2013.7