

# 論文 表面吸水試験および透気試験による山口県の構造物の表層品質評価

吉田 早智子\*1・細田 暁\*2・林 和彦\*3・内田 晃一\*4

**要旨：**表面吸水試験等の非破壊試験手法を用いて、山口県のひび割れ抑制対策の実施前後の実構造物の表層品質を評価した。その結果、ひび割れ抑制対策の実施後に施工された構造物の表層品質が向上していた。表面吸水試験の吸水開始直後の吸水挙動が構造物のごく表層の品質を表し、表面吸水試験は施工の善し悪しを判断できる手法であることを示した。表面吸水係数は構造形式や測定部位の影響を受ける。

**キーワード：**表面吸水試験, 透気試験, 表層品質, 山口県の構造物, ひび割れ抑制対策

## 1. はじめに

山口県においてひび割れ抑制対策の取組みが行われている<sup>1)</sup>。山口県のひび割れ抑制対策においては、適切な施工時期を検討すること、材料等による適切な対策方法を取ることで、確実な施工を実施すること、が重要な3つの柱である。確実な施工を実施するために、「施工状況把握チェックシート」による監督員のチェックにより、施工の基本事項が遵守される仕組みが構築されている。ひび割れ抑制対策は2005年度より実構造物での試験施工が始まり、2006年度より山口県の制度として施行されている。

ひび割れ抑制対策前後でひび割れ発生率は、橋台は100%から64%に、Boxカルバートは72%から17%に減少した<sup>1)</sup>。これは有害でないひび割れも含むため、実際に補修を必要とするひび割れ発生率はより少ない。このようにひび割れ抑制対策の前後で、構造物のひび割れは全体的に顕著に抑制されたが、施工レベルの向上などにより、かぶりの品質（表層品質）の向上が達成されていれば、真に耐久的な構造物が建造されることになる。

本研究では、表面吸水試験、透気試験などにより山口県のひび割れ抑制対策の前後の構造物の表層品質を評価

表-1 構造物の詳細

構造物名	構造形式	ひび割れ抑制対策	調査L/BL <sup>*1</sup>	打設時期(試験時材齢)	セメント種類	W/C (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	呼び強度 (N/mm <sup>2</sup> )	打設面養生期間	型枠残置期間	養生方法	
対策前橋台(流通IC橋台)	橋台たて壁	前	地上部 <sup>*2</sup>	2002年(8年)	高炉B種	54.5	—	24	—	—	—	
国道2号A1橋台	橋台たて壁	後	2L	2007年4月(3年3ヶ月)	高炉B種	54	162	27	10日	24日	型枠面：型枠 打設面：養生マット+散水	
			3L	2007年5月(3年2ヶ月)		55			10日	22日	型枠面：型枠 打設面：養生マット+散水	
国道2号A2橋台	橋台たて壁	後	3L	2006年12月(3年7ヶ月)	高炉B種	54	161	27	7日	43日	型枠面：型枠	
			4L	2007年2月(3年5ヶ月)						39日	打設面：養生マット+散水	
四十八瀬川橋	橋台たて壁	後	2L	2007年2月(3年5ヶ月)	高炉B種	54	163	24	14日	19日	型枠面：散水後マスカーテープ 打設面：散水	
			3L	2007年3月(3年4ヶ月)						14日	型枠面：散水後マスカーテープ 打設面：散水	
鍛冶畑川橋	橋台たて壁	後	5L	2005年11月(4年8ヶ月)	低熱	—	—	24	—	—	打設面：養生マット+ブルーシート+散水	
	PC桁ウェブ(桁端部)	後	—	—	早強	36	156	50	—	—	—	
	橋台たて壁	前	1,2L	2005年9月(1年10ヶ月)	高炉B種	—	—	24	—	—	打設面：養生マット+散水	
対策前BOX	BOXカルバート側壁	前	1-6BL	2003年(7年)	高炉B種	54	—	24	—	—	—	
NランプBOX	BOXカルバート側壁	後	1BL	2009年8月(1年)	高炉B種	54	162	27	10日	—	型枠面：散水 打設面：養生マット+ブルーシート+散水	
			2BL	2009年10月(9ヶ月)						7日	—	型枠面：散水 打設面：養生マット+ブルーシート+散水
			4BL	2009年10月(9ヶ月)						8日	—	型枠面：散水 打設面：養生マット+ブルーシート+散水
			6BL	2008年8月(1年11ヶ月)						9日	38日	型枠面：ブルーシート+散水 打設面：—
			8BL	2008年9月(1年10ヶ月)						10日	11日	型枠面：ブルーシート+散水 打設面：養生マット+ブルーシート+散水

\*1: L: リフト, BL: ブロック, を表す。 \*2: リフト番号は不明。 —: 記録無しを意味する。

- \*1 横浜国立大学大学院 環境情報学府 環境システム学専攻 (正会員)
- \*2 横浜国立大学大学院 環境情報研究院 准教授 博(工) (正会員)
- \*3 横浜国立大学大学院 工学研究院 特別研究教員 博(工) (正会員)
- \*4 株式会社 太平洋コンサルタント 営業推進部 開発営業グループ

表-2 各構造物の実施試験一覧

構造物名	構造形式	コア 採取位置	現地試験				コア試験		
			表面吸水	表面透気	テストハンマー	4電極	表面吸水(表面)	表面吸水(40mm位置)	室内透気
対策前橋台	橋台たて壁	地上部 <sup>*1</sup>	○	○	○	○	○	○	○
国道2号A1橋台	橋台たて壁	2L	○	○	○	○	○	○	○
国道2号A2橋台	橋台たて壁	採取なし		○	○	○			
四十八瀬川橋	橋台たて壁	2L	○	○	○	○	○	○	○
鍛冶畑川橋台	橋台(対策後)	採取なし	○	○	○	○			
	桁			○		○			
	橋台(対策前)		○	○	○	○			
対策前BOX	Boxカルバート	3BL	○	○	○	○	○	○	
NランプBOX	Boxカルバート	8BL	○	○	○	○	○	○	

\*1:リフト番号は不明だが、地上部分のリフトにてコア採取を行った

表-3 各構造物の特徴

構造物名	特徴
対策前橋台	目視で表層のマイクロクラックを確認 打ち重ねに起因するひび割れあり
国道2号A1橋台	補強材料に連続ガラス繊維を用いる 桁下の橋台で乾燥している可能性がある
国道2号A2橋台	ひび割れ制御鉄筋
	3L 補強鉄筋 鉄筋比: 0.37% 4L 補強鉄筋 鉄筋比: 0.48%
四十八瀬川橋	冬期施工 保温養生や脱型後に乾燥を抑制するなどの工夫された養生
鍛冶畑川橋台	5L 低熱セメントの使用
	1,2L 高炉セメントB種でひび割れ発生
対策前BOX	対策前の構造物ではあるが、現行と同じ間隔で、 ひび割れ誘発目地設置 頂版に軸方向のひび割れあり
NランプBOX	8つのブロックからなる 端部は日射の影響を受けている

する。山口県の実構造物に対する表面吸水試験、表面透気試験などによる現地での非破壊試験による評価と、構造物から採取したコアに対する表面吸水試験や透気試験などによる評価を試みる。その過程で、表面吸水試験による表層品質の評価手法を深く検討し、表層品質の検査手法を構築する際の課題を提示する。

## 2. 山口県の構造物の現地調査の概要

### 2.1 調査対象構造物の概要

山口県のひび割れ抑制対策においては、打設ロットごとに打設管理記録が付けられ、データベース化され、公開されている。打設管理記録に基づく、調査対象の構造物の概要を表-1~3に示す。測定箇所は、目視であばたやひび割れなどの欠陥がない箇所を選定した。そのため高さや測定位置の関係は様々であり、同位置での測定は行っていない。測定結果は、全ての測定値を採用し平均した。

### 2.2 測定手法

#### (1) 含水率測定方法 (4 電極法)

4本の電極をコンクリート表面に当て、両端の電極間に交流電流を通電し、内側の2本の電極の電位差より測定された電気抵抗率からコンクリートの含水率を推定する。電気抵抗率の値が大きいほど含水率は小さい。

#### (2) 表面吸水試験方法

コンクリート表層の吸水抵抗性を非破壊で測定する既往の試験方法<sup>2)</sup>を改良した表面吸水試験装置を用いた。コンクリート表面に取り付けた試験器に水を満たし、注水完了時からの経過時間とコンクリート中へ浸透する吸水量を測定した。すべての計測において、注水は15秒程度で完了した。測定時間を10分間とし、1分ごとの吸水量を測定した。

単位面積、単位時間あたりの瞬間的な吸水速度を吸水係数と定義する。また、ある時間の単位面積当たりの総吸水量をかかった時間で除した、平均的な吸水速度を平均吸水係数として、両者を区別する。吸水係数、平均吸水係数ともに値が大きくなるほど、吸水に対する抵抗性

が小さいことを表す。ISAT (Initial surface absorption test) の評価方法<sup>3)</sup>では10分時の吸水係数を用いているが、それに加えて本研究中では10分間の平均吸水係数も用いて表層品質の評価を行う。

吸水係数-時間のグラフは両対数で表示するとほぼ直線となることが知られており<sup>4)</sup>、式(1)で近似することができる。

$$y = at^{-n} \quad (1)$$

ここに、 $y$ : 吸水係数(ml/m<sup>2</sup>/sec),  $t$ : 時間(sec),  $a$ ,  $n$ : 定数である。

$a$ は初期の吸水係数を表し、 $n$ は時間の経過とともにコンクリートが水で飽和されることなどにより吸水係数が低下することを表している。 $a$ はごく初期の急速な吸水量を反映するため、コンクリートの乾燥状態の影響を受けにくいと指摘されている<sup>4)</sup>。また、ごく初期の急速な吸水は毛管空隙に支配されるという指摘もある<sup>6)</sup>。

既往の研究より $n$ の値は0.5±0.2程度となり、含水率、W/C、養生状態によって変動する<sup>5)</sup>と言われている。含水率が低いほど、吸水曲線の傾きは緩やかになり、 $n$ の値は小さくなる。

#### (3) 表面透気試験方法

非破壊で透気抵抗性を評価できるダブルチャンバー式表面透気試験(トレント法)を用いた。得られる透気係数が小さいほど透気性が小さく緻密であることを示す。

## 2.3 現地調査結果

### (1) 含水率試験結果

4 電極法で含水率を測定した結果を図-1に示す。対策前橋台と鍛冶畑川橋の対策前リフト、対策前Boxの端部に位置するBoxの一部の計測箇所において計測不可能であり、非常に含水率が低かった可能性がある。表層品質が相対的に低く、ごく表層の水分が逸散しやすいことや、橋台の場合は上部の桁により雨掛かりが防がれて乾燥条件に置かれやすいことなどが理由として考えられる。しかし、この結果は、同じ構造物を対象として同じ時期に他機関が測定した電気抵抗値と比べて総じて大きい傾向にあった。他機関の試験機より電極間の距離が小さい試験機を用いたため、ごく表層の影響を過敏にとらえたためと考察している。

### (2) 表面透気試験結果

現地で測定した表面透気試験結果を図-2に示す。橋台、Boxカルバートともにひび割れ抑制対策の実施後に透気抵抗性が向上している傾向が見られる。さらに鍛冶畑川橋の早強セメントを用いたPC桁の試験結果を見ると、桁はひび割れ抑制対策の対象外であるが、既往の研究<sup>6)</sup>で報告されている第一大戸川橋梁のPC桁などの調査結果を勘案しても、高い表層品質を示している。

図-3にテストハンマーと表面透気試験との関係を示す。ひび割れ抑制対策の実施により、テストハンマーの計測結果はほとんど変わらないものの、透気抵抗性が大きく向上する傾向が確認される。使用されるコンクリートの設計基準強度はほとんど変わっていないため、得られる強度には大きな違いが生じないが、施工や養生が丁寧になされたことなどにより、透気抵抗性が大きく向上したと考えている。Boxカルバートでは3オーダー近く表層品質がばらついているが、この点については、2.3(3)にて後述する。

図-3より、ひび割れ抑制対策の前後にかかわらず、Boxカルバートの側壁が橋台と比較してより高い透気抵抗性を示す傾向にある。これはBoxカルバートにおける測定値のばらつきを考慮してもいえる。この原因として、Boxカルバートの方が橋台と比べて日射や乾燥の影響を受けにくいことも一因と考えている。

### (3) 表面吸水試験結果

現地で測定した表面吸水試験の結果を図-4に、測定数、変動係数を表-4に示す。図-4では、10分間の平均吸水係数の各構造物の平均値とともに最大値と最小値も示した。橋台、Boxカルバートともにひび割れ抑制対策の実施後に吸水抵抗性が向上している傾向が見られる。

図-4から、ひび割れ抑制対策の実施により鍛冶畑川橋の低熱セメントを用いたリフトでは吸水抵抗性が高いことが分かるが、表-4より変動係数が非常に大きいこ

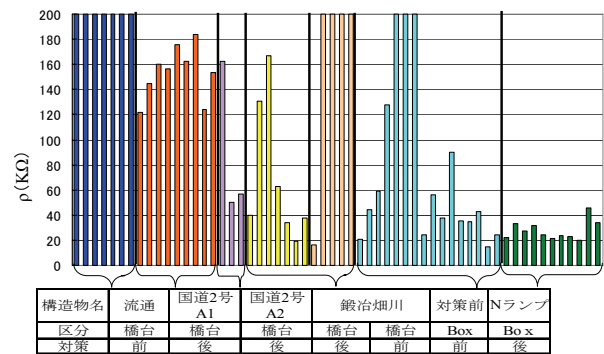


図-1 電気抵抗率測定結果

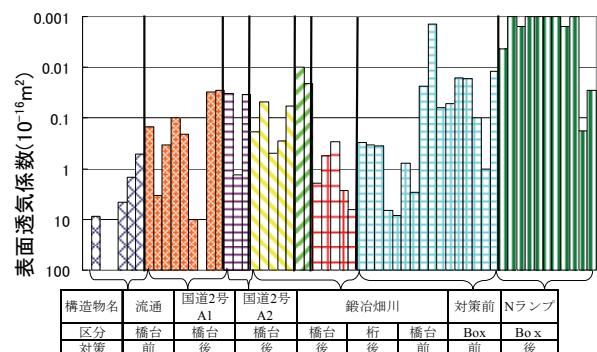


図-2 表面透気試験結果

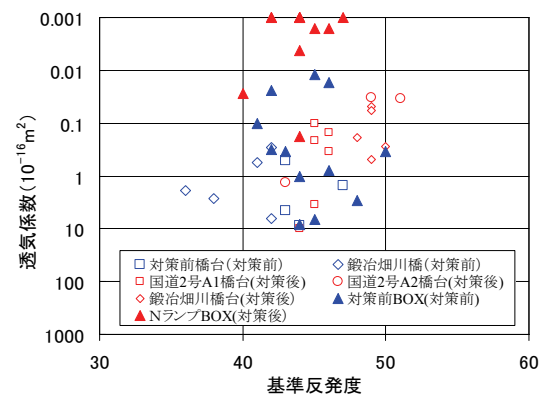


図-3 基準反発度と透気係数の関係

表-4 各構造物の測定点数と変動係数

構造物名	測定数	変動係数(%)
対策前橋台	6	93
国道2号A1橋台	2L,3L	9
四十八瀬川橋	2L	6
鍛冶畑川橋	5L	9
対策前BOX	1BL	1
	2BL	3
	3BL	12
	5BL	2
	6BL	1
NランプBOX	1BL	2
	2BL	1
	4BL	3
	6BL	3
	8BL	4

と分かる。鍛冶畑川橋の個別の計測結果を図-5に示す。ほぼ半分の計測箇所では吸水はゼロであり、橋台側壁の下方に位置している箇所において、吸水係数が計測で

きたが、部材中の位置による試験結果の違いは表面透気試験でも同様の傾向であった。パイブレッタによる締固めが十分に届かなかった可能性などを考えている。低熱セメントを用いた構造物は、非常に高い吸水抵抗性を発揮していたと言える。

図-4 から、Box カルバートの結果には対策前後ともに表層品質にばらつきがあることが確認される。図-6 に N ランプ Box の表面吸水試験結果を示す。Box 端部に位置する第 1, 8 ブロックの平均吸水係数が中央部ブロックの値に比べて高いことが分かる。打設管理記録からは、端部ブロックにおいて特殊要因は見出せず、端部のブロックでは日射や乾燥の影響を受けたため、同じように施工されたにもかかわらず、内部に比較して相対的に品質が低くなったと考えられる。

ここで 2.2(2)で述べたように、表面吸水試験結果における  $a$  は初期の急速な吸水速度を表し、 $n$  は含水率や内部空隙などに影響されるとされる吸水係数の低減の程度を示す数値である。これらの変数は、吸水係数から求めることができる。

各構造物の吸水係数から求めた  $a$ 、 $n$  の平均値を表-5 に示す。ひび割れ抑制対策後の構造物で  $a$  の値が小さくなる傾向が見られ、 $n$  についてはそのような傾向は見られない。Powers<sup>5)</sup>がごく初期の吸水速度が毛管空隙と関連があると指摘したように  $a$  はコンクリート表面の品質を表す指標である可能性がある。

国道 2 号 A1 橋台は、対策前橋台に比べて  $a$  の値は大幅に小さな値となった。図-4 で示した 10 分間の平均吸水係数とは傾向が異なる。 $a$  の値から、国道 2 号 A1 橋台のごく表層部の品質は、対策前橋台に比べると緻密であると考えている。このように、 $a$  から評価される品質はごく表層部のものであるのに対して、例えば 10 分間の平均吸水係数から評価される品質は含水状態などによる影響を含めたある程度の厚さの品質を表していると考えている。ただし、その厚さはせいぜい 10~15mm 程度であることが過去の研究<sup>3)</sup>で指摘されている。

四十八瀬川橋の各時間における 10 分間の平均吸水曲線を図-7 に示す。ここで、第 3 リフトで測定した測定箇所 3L-1 で吸水曲線が途中で上向きになった後、下降する傾向を示した。こういった傾向を示す吸水現象の場合、 $n$  の値が小さくなる。実際に四十八瀬川橋第 3 リフトの  $n$  の値は 0.26 であり、従来の研究で変動するといわれる  $0.5 \pm 0.2$  の下限値を下回っている。著者らの別の研究で、含浸材を塗布した供試体でマイクロクラックが卓越した場合、 $n$  の値が  $0.5 \pm 0.2$  の下限値を下回ったことを見出している。これはマイクロクラックのような微細損傷により通常の吸水とは異なる水みちが存在した場合、内部への吸水が顕著になり既往の基準値を下回ることがあるこ

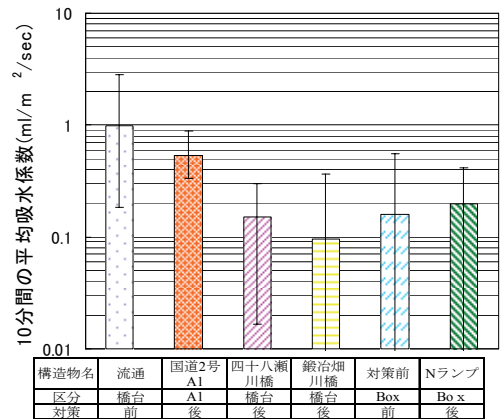
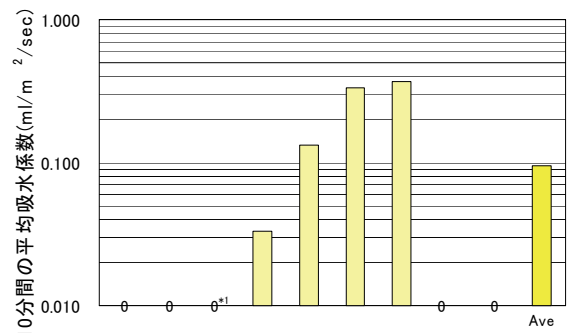


図-4 表面吸水試験結果とばらつき



\*1 は徐々に減少していた吸水目盛の値が途中から上昇し初期水頭に戻った。10分間の吸水量は微小であったため、0とみなす。

図-5 鍛冶畑川橋の表面吸水試験結果

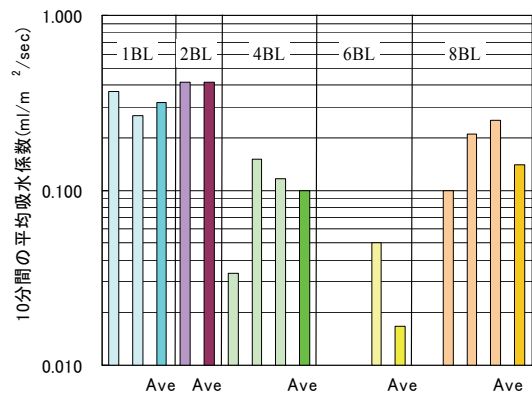


図-6 N ランプ Box 表面吸水試験結果

とを示している。これより四十八瀬川橋第 3 リフトの測定位置には、微細損傷を伝っての肉眼で検知できない水漏れがあったなどの可能性が考えられ、今後の研究により解明する。

### 3. 構造物から採取したコアの分析

#### 3.1 コアの整形方法

現地にて対策前橋台、国道 2 号 A1 橋台、四十八瀬川橋、N ランプ、対策前 Box からコンクリートコアを採取した。これらのコアについて表層部から 40mm の深さで

切断し、表層側について分析を行った。表面吸水試験時にコア側面への水の移動を防ぎ、かつ透気試験時の寸法を調整する目的で水密性と気密性を有するロジンとパラフィンの混合物をコアの周囲に充填した。その後、20°C ± 0.5°C、60% ± 5%の環境に静置し、1日での質量減少量が0.05%以下になり試験体内の水分逸散が落ち着いたのを確認してから各種試験を行った。これは、コアの含水状態を安定させ、コアが有する本来の品質を評価するための配慮である。

### 3.2 試験手法

#### (1) 表面吸水試験方法

2.2(2)で示した方法で、コアを水平に置き実構造物と同様の吸水方向を模擬して表面吸水試験を行った。コアでの試験では、コア径より大きな吸水範囲径をもつ表面吸水試験機を用いることで、1次元の吸水挙動を再現した。内部の品質も分析するため、表面吸水試験を、コアの表面と、深さ40mmの切断面から表面に向かっての両面で行った。各々の試験は別個に行い、各試験の間には、前述の環境で水分調整を行っている。コアを用いた場合の測定時間は1時間とした。

#### (2) 室内透気試験方法

採取したコアを用いて、気体の透過性を測定した。側面から加圧したゴムリングを側面へ密着させ、空気を片面から加圧し、反対側へ透過した空気を水上置換によって測定した。空気の圧力はゲージ圧力で0.2N/mm<sup>2</sup>とし、既往の方法<sup>6)</sup>により透気係数を求めた。

### 3.3 コアの分析結果

#### (1) 表面吸水試験結果

コアと現地の表面吸水試験の結果を図-8に示す。現地の結果は、表-5に示したコア位置に対応するリフトまたはブロックのa, nの平均値を用いて計算したものである。現地、コアの表面吸水試験結果を合わせて表-6に示す。四十八瀬川橋を除いて、コアの表面吸水試験では現地の表面吸水試験に比べて、吸水抵抗性が向上する結果となった。特に対策前橋台の吸水抵抗性の向上は大きい。現地の表面吸水試験において目視により表層のマイクロクラックを伝って水がにじみ出ているのを観察しており、現地試験では3次元的な吸水挙動がより卓越したと考える。

四十八瀬川橋では、コアでの表面吸水試験の方が、現地での結果より吸水抵抗性が低下した。これはコア採取位置の品質が、現地試験結果の平均値より低かった、ばらつきの問題であると考えている。コアを採取した第2リフトの現地試験結果では、aの値が小さく、nの値が大きい。これはごく初期の吸水係数も比較的小さく、その後の吸水係数の低減も大きいことを表していることから、四十八瀬川橋第2リフトの平均的な品質は、ごく表層部、

表-5 吸水試験結果の一覧

構造物名		a 平均	n 平均	測定数
対策前橋台		12.80	0.43	6
国道2号A1	正面 (2L,3L)	3.60	0.35	8
	背面	9.79	0.58	4
四十八瀬川橋	2L	2.33	0.66	6
	3L	1.06	0.26	1
鍛冶畑川橋	低熱	4.74	0.67	4
	対策前(BB)	10.19	0.50	2
対策前BOX	2BL	2.89	0.34	2
	3BL	3.19	0.43	12
	5BL	1.78	0.60	1
Nランプ	1BL	2.80	0.42	2
	2BL	7.07	0.56	1
	4BL	1.67	0.49	2
	8BL	1.96	0.42	3

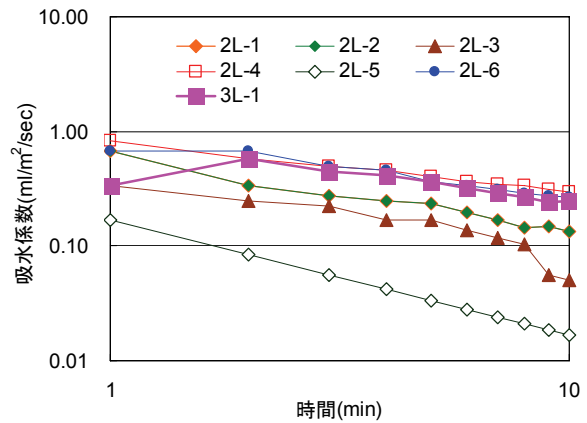


図-7 四十八瀬川橋の吸水曲線

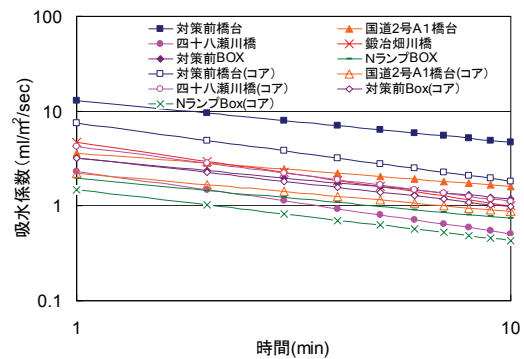


図-8 コアと現地の吸水曲線の関係

表-6 表面吸水試験結果のまとめ

a	対策前橋台	国道2号A1橋台	四十八瀬川橋	鍛冶畑川橋	対策前BOX	NランプBOX
現地試験	12.80	3.60	2.33	3.19	1.96	
コア表面	7.53	2.22	4.21	3.22	1.48	
コア40mm位置		2.28	2.23	2.80	9.09	
n	対策前橋台	国道2号A1橋台	四十八瀬川橋	鍛冶畑川橋	対策前BOX	NランプBOX
現地試験	0.43	0.35	0.66	0.43	0.42	
コア表面	0.62	0.41	0.58	0.52	0.53	
コア40mm位置		0.52	0.49	0.49	0.77	
吸水係数(ml/m²/sec)	対策前橋台	国道2号A1橋台	四十八瀬川橋	鍛冶畑川橋	対策前BOX	NランプBOX
現地試験	0.99	0.53	0.15	0.26	0.14	
コア表面	0.38	0.28	0.23	0.23	0.10	
コア40mm位置		0.06	0.13	0.19	0.27	

奥行き方向ともに品質が高いと考えることができる。内部の品質の高さは、コア40mm深さ部分での吸水試験結果からも推測することができる。

表-6 から表面側から行った試験結果と、40mmの深

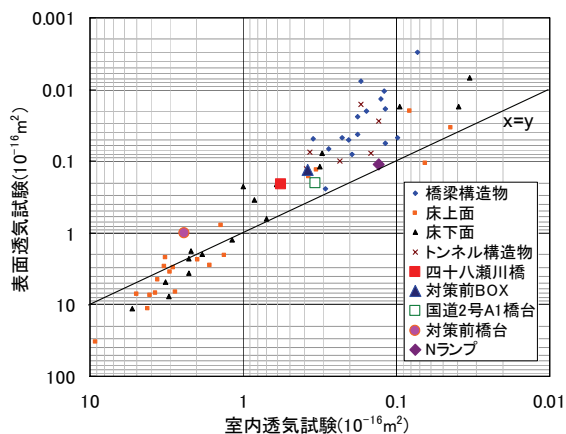


図-9 室内透気試験と表面透気試験の関係<sup>7)</sup>

さの裏面から行った試験結果に大きな差がある。表面から行った試験では少なくとも40mm部分の品質を平均的に評価しているとは言えないことを示している。表面吸水試験が評価している範囲はごく表層部の品質であることから、ごく表層部の品質に大きく影響を与えている施工の善し悪しを判断するには、適切な手法であると考えている。これは現地の表面吸水試験結果が施工による影響を評価できていることからとも言える。

#### (2) 室内透気試験結果

室内透気試験と表面透気試験の間には高い相関があることが知られている<sup>7)</sup>。図-9に、既往の調査結果<sup>7)</sup>を引用し、本研究の結果を重ねて示した相関図を示す。表面透気試験の結果は、コア採取リフトで得られた平均値をプロットしている。既往の研究と同様の傾向を、本研究の結果も示していることが分かる。

#### 4. まとめ

山口県で実施されているひび割れ抑制対策の取組みの前後に施工された橋台とBoxカルバートの表層品質を調査した。本研究で得られた成果を以下に示す。

- 1) 山口県のひび割れ抑制対策の実施後に施工された構造物では、対策前の構造物に比べて、表面透気試験と表面吸水試験の結果から表層品質が向上している傾向が見られた。
- 2) Boxカルバートの側壁の方が橋台のたて壁よりも、常に高い物質移動抵抗性を示す可能性があることを示した。構造形式により、表層品質が異なる可能性がある。
- 3) Boxカルバートにおける調査結果から、日射や乾燥などの環境条件が、表層品質に大きく影響する可能性を指摘した。同構造物中でもばらつきがあることを考慮し、検査時は測定箇所を選定する必要がある。
- 4) ごく表層部の品質が悪い構造物の場合に特に、現地での表面吸水試験において3次元的な吸水挙動が顕

著になることを明らかにした。

- 5) 表面吸水試験の評価範囲はごく表層部であるが、施工の善し悪しを判断するには適切な手法であると言える。
- 6) 表面吸水試験を用いた表層品質評価は、10分間の表面吸水試験から得られる吸水係数のみでなく、ごく初期の吸水係数や、その後の低減の程度を分析することが有効であることを示した。

謝辞:本測定は土木学会コンクリート委員会 構造物表層のコンクリート品質と耐久性性能検証システム研究小委員会(JSCE 335委員会)の活動の一環で実施された。二宮純氏を始めとする山口県、徳山工業高等専門学校(田村隆弘教授、澤村修司氏)を始めとする山口県建設技術センター、電力中央研究所の蔵重勲博士にご協力いただきました。ここに深謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 日経コンストラクション, 特別レポート「強化されるひび割れ対策」, 2010.11.26号, pp.58-61, 2010.11
- 2) 細田暁, 林和彦, 下田智也, 吉田早智子: コンクリート表層のマイクロクラックが表面の吸水性と透気性に及ぼす影響, セメント・コンクリート論文集, No.63, pp.196-203, 2010.2
- 3) R. K. Dhir, P. c. Hewlet and Y. N. Chan: Near-surface characteristics of concrete: assessment and development of in situ test method, *Magazine of Concrete Research*, Vol.39, No.141, pp.183-195, Dec. 1987
- 4) M. Levitt: 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
- 5) T. C. Powers and T. L. Brownyard: Part.7 Permeability and Absorptivity, *Studies of the Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste*, *Journal of the American Concrete Institute*, Vol.18, No.7, pp.865-880, Mar. 1947
- 6) 土木学会: 構造物表面のコンクリート品質と耐久性検証システム研究小委員会(335委員会)成果報告書およびシンポジウム講演概要集, コンクリート技術シリーズ, No.80, 2008.4
- 7) 今本啓一, 下澤和幸, 山崎順二, 仁村誠二: 実構造物の表層透気性の非・微破壊試験方法に関する研究の現状, *コンクリート工学*, Vol.24, No.4, pp.31-37, 2006