

# 表面含浸工法を適用したコンクリートの簡易的性能評価手法に関する研究

梶原 弘貴

福岡大学

コンクリート表層部の品質を改善し、耐久性向上を図るけい酸塩系表面含浸材の利用に関する検討が進められている。しかし、この材料は無色透明であり、コンクリート同様のC-S-H結晶を空隙中に生成するため、塗布後の施工評価や効果確認を行うことが困難である。現場で簡便かつ合理的な方法で性能確認を行える可能性のある試験方法を用いて、けい酸塩系表面含浸材の効果確認を検討した。

## 1. はじめに

近年、多くのコンクリート構造物が補修・補強を必要とされており、予防保全的に表面含浸材を塗布し、耐久性の向上を図る表面含浸工法が注目されている。その中の一つに、コンクリート中のCa<sup>2+</sup>と化学反応し空隙内にC-S-H結晶を生成し、コンクリート表層部の品質を改善し耐久性の向上を図るけい酸塩系表面含浸材（以下、含浸材）がある<sup>1) 2)</sup>。

この材料の耐久性向上効果については、既にある程度の知見が得られているものの、塗布するコンクリートの品質、すなわち含水率、水セメント比、混和材の使用、あるいは中性化の程度などによって、表面含浸材の品質改善効果は大きく異なることなどが明らかとなっている<sup>3) 4) 5)</sup>。しかし、この材料は無色透明であり、コンクリート同様のC-S-H結晶をコンクリート中に生成する為、写真-1に示す様に施工前と後では、コンクリートの外観に変化が生じないために、施工の有無や改質効果の確認を行う事が難しい。そのため、施工現場における品質確保のための効果確認手法の確立が望まれている。現在は、現場で簡便かつ合理的な方法で効果確認を行える可能性のある試験方法がいくつか紹介されているが、十分にデータが蓄積されておらず、さらに検討を進める必要がある<sup>6)</sup>。そこで本研究は、トレント法および四点電極法を用いて、中性化深さや吸水率における含浸材の塗布効果について明らかにした。

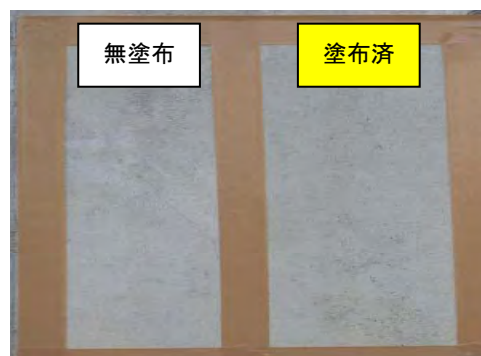


写真-1 含浸材施工後のコンクリート外観

表-1 実験に用いたコンクリート配合

W/C (%)	s/a (%)	単位水量(kg/m <sup>3</sup> )				スランブ (cm)	空気量 (%)
		W	C	S	G		
60	47	165	275	830	1004	8.2	4

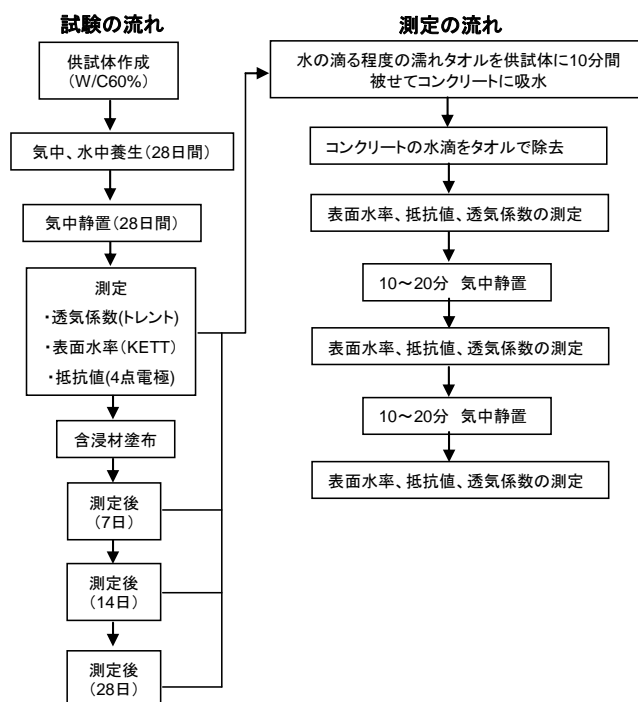


図-1 試験および測定の流れ

## 2. トレント法の効果確認手法への適用性

### 2.1 実験概要および方法

表-1は、実験に用いたコンクリートの配合を示す。コンクリートには、細骨材に砕石（表乾密度2.58kg/cm<sup>2</sup>、吸水率1.11%）、粗骨材に砕石（2.76kg/cm<sup>2</sup>、吸水率0.96%）セメントに普通ポルトランドセメントを用いた。実験には15×15×15cmの角柱コンクリートを作製し、28日間の気中ならびに水中養生を経て、さらに28



写真-2 トレント法による透気係数の測定

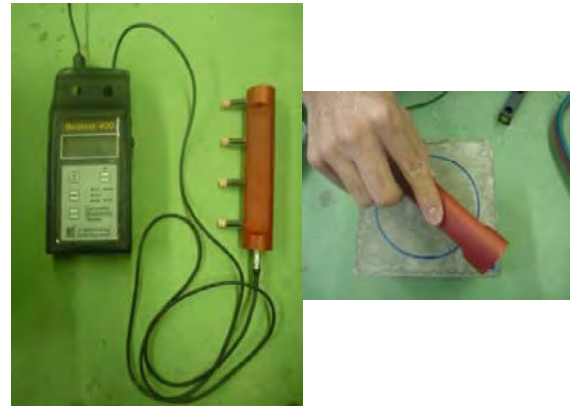


写真-3 四点電極による抵抗の測定

日間気中に静置した供試体を用いた。図-1 に試験工程を示す。まず、含浸材の塗布前の測定として、供試体に濡れタオルを供試体側面（4面）に10分間被せて吸水させ、その乾燥過程で繰り返し写真-2 に示すトレント法によって透気係数の測定を行った。なお、トレント法の測定時に供試体の含水率を把握するため、写真-3 に示す4点電極による抵抗値、写真-4 に示すKETTの水分計による表面水率を併せて測定を行っている。その後、含浸材Cを製品メーカーの規定に従って塗布を行った。塗布後は温度20℃、湿度60%環境に静置させながら7、14、28日得上記と同様の手順、方法で表面水率、抵抗値、透気係数の測定を行った。



写真-4 水分計による表面水率の測定

## 2.2 実験結果および考察

図-2 は、気中養生および水中養生行ったコンクリートの塗布前と塗布後28日での表面水率と透気係数の関係を示す。含浸材の塗布の有無に拘らず、測定時の含水状態によって得られる透気係数の値は大きく異なることが分かった。透気係数が $1KT (\times 10^{-16})$ 以下の範囲において、塗布後の透気係数は、塗布前に比べて小さくなる傾向が確認された。しかし、表面水率が5%よりも高い状態で透気係数を測定した場合には、含浸材塗布前であってもトレント法の測定範囲の最低値である $0.001KT (\times 10^{-16})$ を示すため効果確認は、難しいと考えられる。

図-3 は、気中及び水中養生を行ったコンクリートの含浸材塗布前と塗布後28日での抵抗値と透気係数の関係を示す。透気係数が $1KT (\times 10^{-16})$ 以下を示した場合の抵抗値は、含浸材塗布によって上昇しており、塗布前の透気係数が測定範囲の最低値 $0.001KT (\times 10^{-16})$ を示した場合でもこの抵抗値によって、効果確認が可能

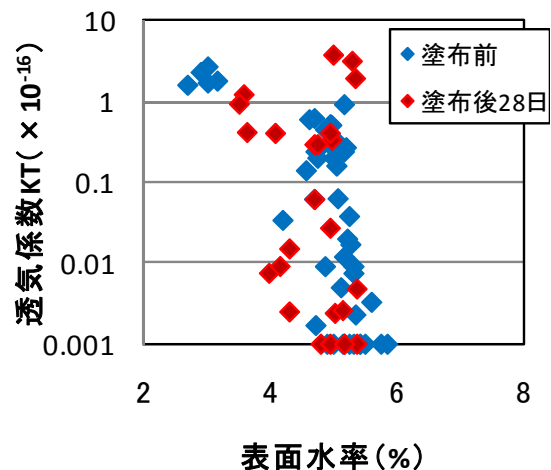


図-2 透気係数と表面水率の関係

であることが分かった。

図-4 に、気中および水中養生を行ったコンクリートの含浸材塗布前と塗布後28日での抵抗値と表面水率の関係を示す。表面水率が4%以下になると塗布前の抵抗値は、急激に上昇し、塗布後よりも大きくなることを確認された。

以上のことから、透気係数の以外にも抵抗値

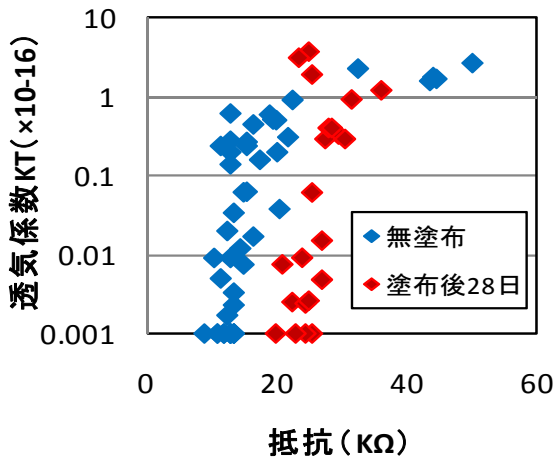


図-3 透気係数と抵抗値の関係

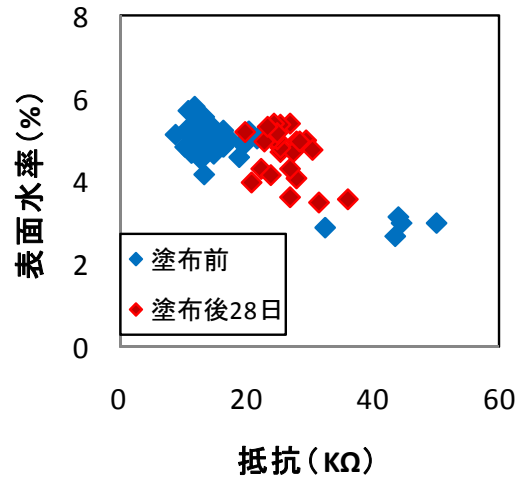


図-4 表面水率と抵抗の関係

による効果確認が可能であることが示唆され、トレント法を用いて透気係数によって効果確認を行う場合には、コンクリートの表面水率を5%以下、また、4点電極を用いて抵抗値によって効果確認を行う場合には、表面水率を4%以上にすることが望ましいと考えられる。

次に、図-5は、表面水率4~5%の範囲における塗布後から28日経過後までの透気係数の経時変化を示す。養生条件に拘らず、いずれの場合も塗布後から透気係数が低下していることが分かる。気中養生の場合には、含浸材塗布による透気係数の低下割合は小さいが、水中養生を行った供試体は大きい。これは、3.2で示した圧縮空気によって透気係数を測定した結果と同様である。これは、気中養生の場合には、水中養生に比べて水和反応が進行しておらず、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の生成量が少ないことや、空隙径が水中養生に比べて大きいため、例え同一量のC-S-H結晶を空隙内に生成しても透気係数の低下に反映されなかったと考えられる。図-6には、表面水率4~5%の範囲における塗布後28日までの抵抗値の経時変化を示す。この結果、養生条件に拘らず、材齢が経つにつれ、抵抗値が大きくなる傾向が確認された。これは、コンクリート内で含浸材の反応の進行に伴って、上昇しているものと考えられ、施工現場で効果確認を行う場合には、塗布後から数週間程度の間隔を空けることでより明確に差が確認できると考えられる。

以上のことから、これらの結果を踏まえトレント法および四点電極法を用いて、コンクリートの品質が測定結果に与える影響および測定値の変化率と耐久性との関係性について明らかに

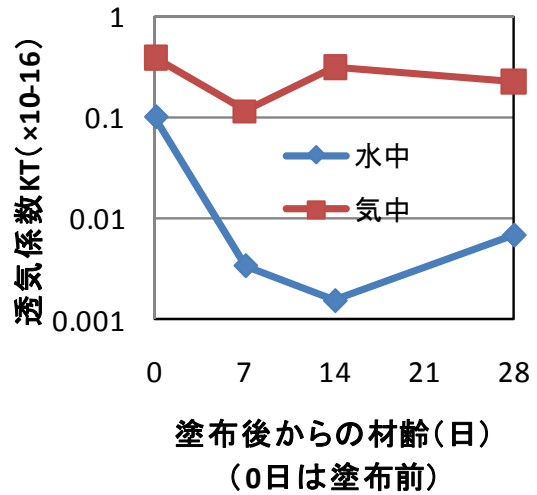


図-5 透気係数と抵抗値の関係

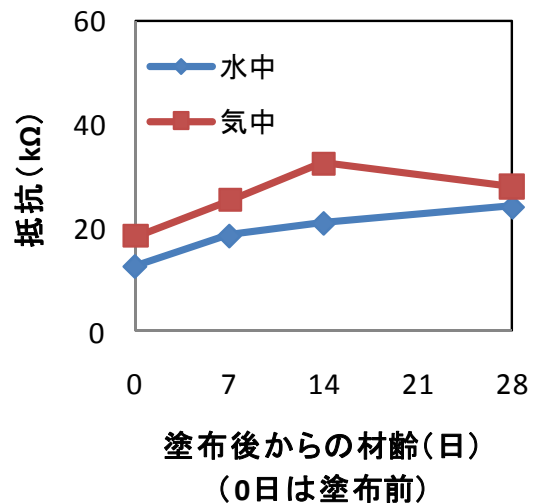


図-6 透気係数と抵抗値の関係

した。

### 3. 効果確認手法と品質改善効果の関係性

#### 3.1 実験概要

表-2 に、コンクリートの配合を示す。試験には W/C40%, 55% の 100×100×400mm の角柱コンクリートを用いた。供試体の作製後は、材齢 28 日まで水中及び気中養生をそれぞれ行った。その後、表-3 に示すけい酸塩系表面含浸材を規定に従って、コンクリートの側面及び底面に対して塗布した後に、含浸材の化学反応による改質効果を十分に発揮させる為、温度 20°C、湿度 60% の環境に 14 日間静置した。

トレント法は、コンクリートの側面及び底面に対して、それぞれ 3 点ずつの計 9 点で透気係数を測定し、四点電極法については、それぞれ 9 点ずつの計 27 点で抵抗値を測定した。その後、2 種類の含浸材を塗布した後に、塗布前と同様の手順で透気係数および抵抗値の測定を行った。なお、測定時のコンクリートの含水率は、透気係数および抵抗値に影響を及ぼすため、含水率を高周波水分計にて管理しており、いずれの供試体も塗布前の試験体と比較して±0.5%の範囲で測定を行っている。その後は、コンクリートカッターを用いて、100×100×400 mm の角柱コンクリートを四分割して、試験面以外をエポキシ樹脂で被覆し、中性化試験ならびに吸水率試験を JSCE-K572 に準拠して行った。

#### 3.2 実験結果および考察

図-7、図-8 に、W/C55% 及び 40% のコンクリートに、含浸材 A を塗布する前と塗布した後の、透気係数と表面水率の関係を示す。図-7 より、気中養生を行った供試体に含浸材 A を塗布した場合の透気係数は、含浸材塗布前と顕著な差は確認されなかったのに対し、水中養生を行った供試体の場合には、塗布前に比べて明確に低下する結果を示した。含浸材 B を塗布した場合についても、同様の傾向が得られた。図-8 に示した W/C40% の場合には、気中養生を行った供試体は W/C55% と同様の傾向が得られたのに対し、水中養生の場合には、透気係数がトレント法の測定限界値付近を示した為に明確な差は確認されなかった。なお、含浸材 B を塗布した場合についても、同様の傾向が得られており、トレント法を用いた透気係数の測定による含浸材の効果の確認は、比較的密なコンクリートに適しているが、透気係数が測定限界値を超える場合には、評価が難しいことが分かった。図-9、

図-10 には、W/C55% 及び W/C40% のコンクリートに含浸材 A を塗布する前と塗布した後の抵抗値と表面水率の関係を示す。含浸材を塗布し

表-2 実験に用いたコンクリート配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
		W	C	S	G
40	40	173	435	670	1040
55	46	166	300	829	1007

表-3 けい酸塩系表面含浸材の物性

含浸材	成分 (%)		密度 (g/cm <sup>3</sup> )	粘土 (mPa·S)	pH
	Na	Si			
A	8.89	17.28	1.23	6.5	11.21
B	5.70	10.60	1.10	4.5	11.23

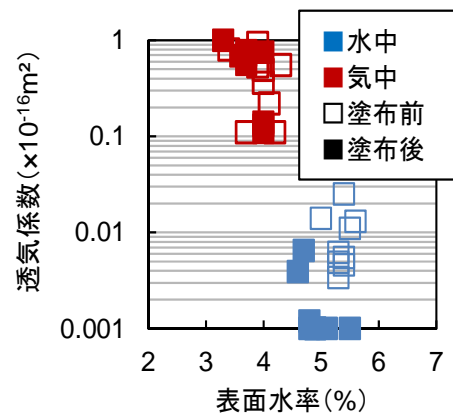


図-7 透気係数と表面水率の関係 (水セメント比 55%)

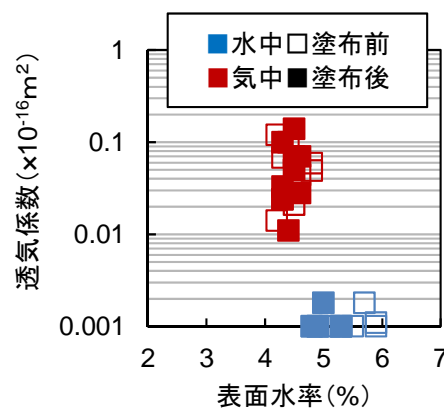


図-8 透気係数と表面水率の関係 (水セメント比 45%)

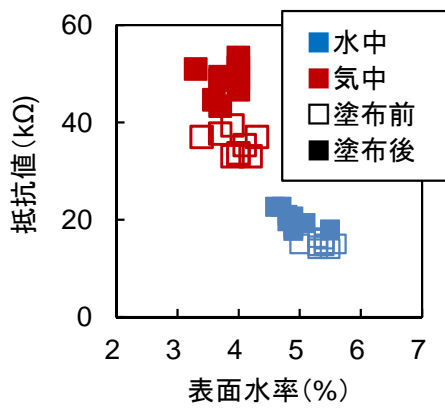


図-9 抵抗値と表面水率の関係  
(水セメント比 55%)

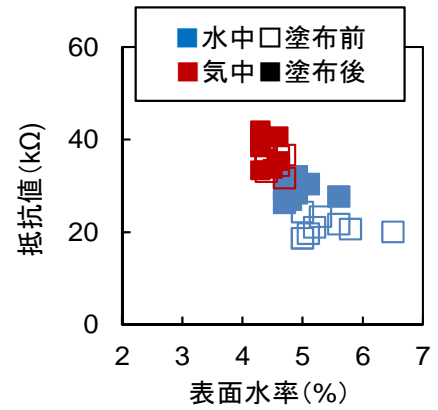


図-10 抵抗値と表面水率の関係  
(水セメント比 45%)

た場合の抵抗値は、養生条件や水セメント比の違いに拘らず、いずれも塗布前と比べて増加する傾向を示した。四点電極法によって含浸材の効果確認が行えることが分かった。

図-11 は、塗布前と後の透気係数低下率と無塗布に対する含浸材塗布コンクリートの中性化深さ低下率との関係を示す。含浸材の塗布によって透気係数が低下したものは、いずれも塗布前に比べて中性化深さが同程度もしくは抑制されている結果を示した。ただし、塗布後の透気係数が塗布前と比べて増加したものにおいても、中性化深さ率は低下するものも確認された。また、透気係数の低下率と中性化深さ率との間には、相関性は確認されず、透気係数の低下率が同程度であった場合でも中性化の抑制率に差が生じている。なお、本試験期間では中性化があまり進行していなかったものは、今回の結果から除外している。

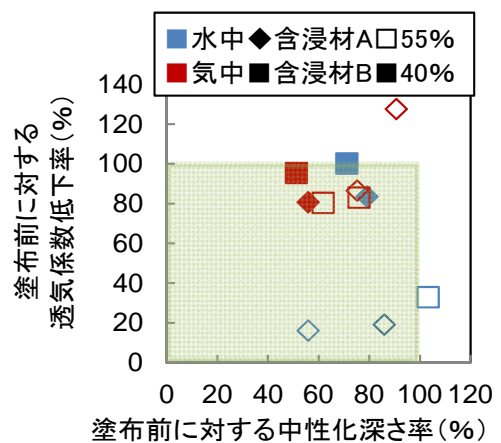


図-11 透気係数低下率と  
中性化深さ率の関係

図-12 は、塗布前と後の抵抗値の増加率と無塗布に対する含浸材塗布コンクリートの中性化深さ率との関係を示す。含浸材の塗布によって抵抗値が増加したコンクリートは、一部の供試体を除き、中性化深さ率も低下する結果を示した。ただし、抵抗値の増加率と中性化深さ率の間には相関性は、図-12 に示した透気係数の結果と同様に確認されなかった。

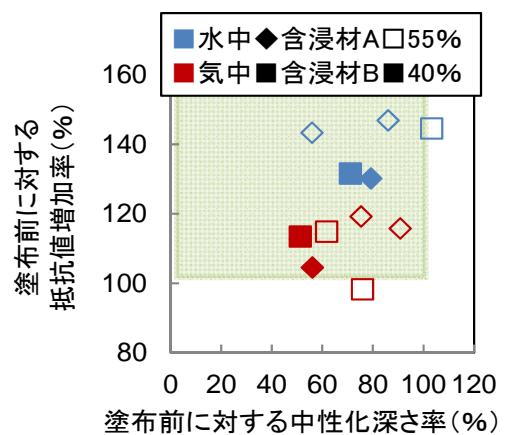


図-12 抵抗値増加率と中性化深さ率の関係

図-13 は、塗布前と後の透気係数の変化率と無塗布に対する含浸材塗布コンクリートの吸水率変化率との関係を示す。含浸材を塗布することによって、透気係数が低下したものは、吸水率も低下する結果を示した。

図-14 は、塗布前と後の抵抗値の変化率と無塗布に対する含浸材塗布コンクリートの吸水率変化率との関係を示す。含浸材を塗布することによって吸水率が低下しているが、低効率の変化

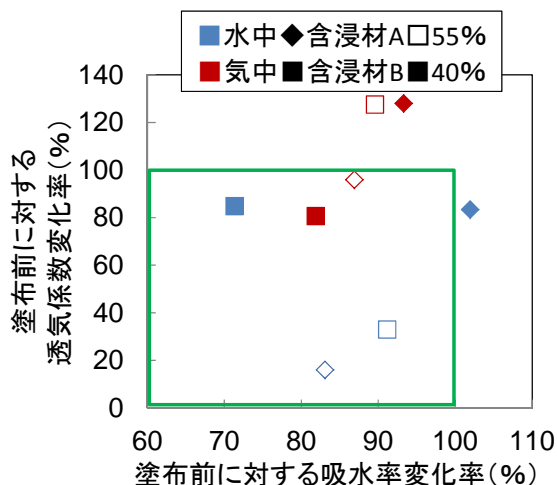


図-13 透気係数変化率と吸水変化率の関係

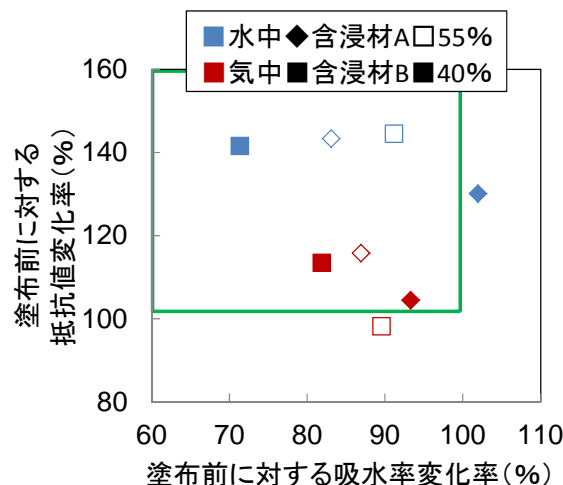


図-14 抵抗値変化率と吸水変化率の関係

率と吸水率変化率の間に相関性は、確認されなかった。

以上のことから、含浸材の塗布前と後のトレント法による透気係数および四点電極法による抵抗値の違いから、含浸材の改質効果は、確認できることが分かったが、その測定値の変化率から改質効果の程度を把握することは難しかった。

#### 4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) コンクリート品質が異なる場合でも、含浸材塗布によって透気係数が低下することが確認できた。
- 2) 含浸材を材齢7日で塗布した場合よりも28日で塗布した場合の方が透気係数の低下割合は大きく、含浸材種類ごとの性能の差も大きくなった。
- 3) トレント法を用いた透気係数測定による効果確認は、測定時の表面水率が5%以下、なおかつ、比較的緻密で透気係数の測定値が0.1以下のコンクリートに対して、適している。
- 4) 抵抗値による効果確認は、コンクリートの含水状態が比較的高く、表面水率が4%以上の場合に適している。
- 5) トレント法や四点電極を用いて、含浸材の効果確認や施工の有無については、確認できることが分かった。ただし、改質効果を定量的に評価することは難しい。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：表面保護工法 設計施工指針 (案)
- 2) 土木学会：けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針 (案)
- 3) 樋原ら：ケイ酸塩系表面含浸材の浸透特性および保護性能に関する基礎的研究、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、第8巻、pp.77-84、2008
- 4) 白澤ら：ケイ酸塩系表面含浸材塗布コンクリートの物質移動特性に関する基礎的研究、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、第9巻、pp139-144、2009
- 5) 樋原ら：各種表面含浸材の性能把握と効果の違いに関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集 Vol.32, No.1, pp1619-1624、2010
- 6) 林 亮太ら：けい酸塩系表面含浸材の施工状態評価に用いる現場試験方法に関する研究、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、第11巻、p343 - 348、2011.10