

# コンクリート用表面含浸材の含水率低減効果に関する 屋外暴露試験

古賀裕久\* 渡辺博志\*\*

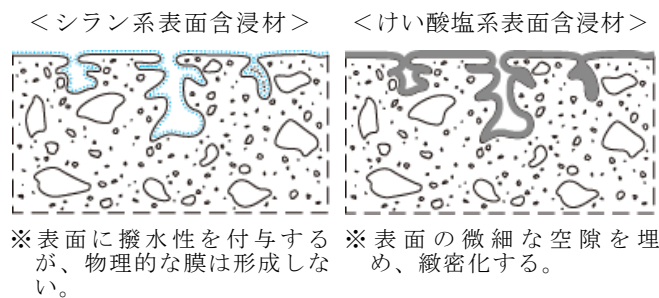
## 1. はじめに

コンクリート構造物の劣化原因には種々のものがあるが、その進行に外部からの水の供給が影響している場合が少なくない。例えば、コンクリートのアルカリシリカ反応（以下、ASR）では、ASRゲルの吸水膨張に水分の供給が不可欠であり、雨がかりのある箇所劣化が顕著になることが知られている。

ASRにより劣化した構造物の補修では、従来、外部からの水の供給を絶つ目的で、塗膜によりコンクリート表面を被覆するが多かった。しかし、内部に残る水分の影響で補修後も膨張が継続し、再劣化が生じる場合もあった<sup>1)</sup>。

一方、近年、コンクリート表面から含浸させることで表層付近の性状を改質し、コンクリートの劣化に寄与する物質の侵入を抑制できる表面含浸材が、補修工法として期待されている。表面含浸材には種々の材料があるが、コンクリート表面に撥水性を付与するシラン系のものや、空隙を埋めることで緻密にするけい酸塩系のものなどがある（図-1）<sup>2),3)</sup>。

表面含浸材による補修は、外部からの水の供給を抑制する一方で、物理的な塗膜を形成しないので、コンクリート内部から水蒸気として水分を逸散させることもでき、適用後に継続的にコンクリートの含水率を低下させることが期待される。また、無色で適用後も外観が変化せずひび割れ等



を目視で観察できるので、補修後の構造物の維持管理が容易である。

そこで、主にシラン系の補修材を対象として、ASRにより劣化した構造物への適用性について疑問点（表-1）を抽出し、検討を行った。本報ではそのうち屋外暴露試験により検討した結果について概要を紹介する。

## 2. 含水率低減効果の及ぶ範囲についての検討<sup>4)</sup>

### 2.1 検討方法

内部にセラミックセンサ<sup>5)</sup>を埋め込んだ供試体を作製して屋外に暴露し、表面含浸材の適用の有無とコンクリート中の含水率の変化を調べた。また、暴露後の供試体を解体する際に、加熱乾燥により水分を蒸発させ、含水率を確認した。

供試体の形状を図-2に示す。供試体の暴露面以外は、ロウ及びアルミテープを用いて被覆した。コンクリートの配合を、表-2に示す。

使用した表面含浸材を、表-3に示す。既往の検討<sup>6)</sup>を参考に、吸水を抑制する効果が高いと考えられるシラン系のA、Bを用いた。また、比較用

表-1 シラン系表面含浸材をASRにより劣化したコンクリート構造物への補修に用いる際の疑問点

項目	疑問点
(1) 含水率低減効果の及ぶ範囲	シラン系表面含浸材の含水率低減効果については、小型の供試体での実験結果が多数ある。しかし、断面が大きい実構造物では、コンクリート表面からの放湿の効果が内部には及ばないおそれもあり、ASR抑制に効果があるか、必ずしも明確ではない。
(2) ひび割れの影響	ASRによる膨張でコンクリートにひび割れが生じると、ひび割れ面からの吸水が生じるおそれがある。コンクリート表面から塗布する含浸材で、十分な効果が得られるか、必ずしも明確ではない。
(3) 性能評価手法	近年、シラン系表面含浸材の評価手法が提案されているが、試験結果と、ASRを抑制するのに求められる性能の関係は明確ではない。
(4) 補修効果の耐久性	シラン系表面含浸材の補修効果がどの程度継続するかは、十分には明確になっていない。 ※研究期間の関係から、検討の対象外とした。

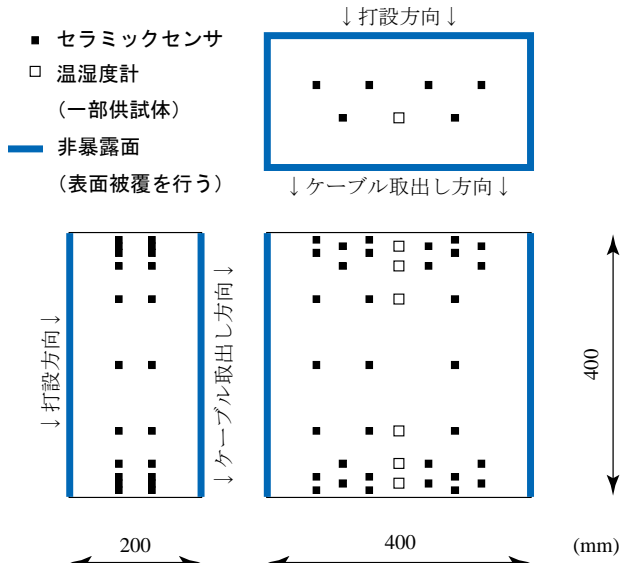


図-2 供試体の形状

表-2 コンクリートの配合

W/C (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )				Air (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
	W	C	S	G		
50	170	340	887	900	4.5	45.4

※セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。

表-3 使用した表面含浸材

種類	有効成分	有効成分量 (%)	塗布量 (g/m <sup>2</sup> )
A	シラン・シロキサン	80	200
B	シラン	20	200
D	けい酸	21~30	250

※塗布量や方法は、各材料の施工手順に従った。標準塗布量が幅を持って示されている材料は、最大値を用いた。

として、けい酸塩系のDを用いた。

これらの表面含浸材を塗布した供試体および無塗布の供試体を土木研究所（茨城県つくば市）構内の日照や降雨を遮るものがない箇所に暴露した（図-3）。暴露期間中は定期的にセラミックセンサの電気抵抗を測定し、その値から含水率を推定した。測定は24時間程度降雨のない日を選定した。ただし、暴露期間の一部では、ほぼ毎日測定を行い、降雨による含水率の変化も調べた。

なお、セラミックセンサの電気抵抗から推定した含水率は若干精度に劣ると考えられるので推定含水率と表現し、加熱乾燥によって確認した結果とは区別した。

## 2.2 検討結果

### 2.2.1 暴露期間中の含水率変化

セラミックセンサの測定結果に基づく推定含水率の推移を図-4に示す。含浸材を塗布していない



※雨天時に撮影。奥の供試体（無塗布）の上面は濡れた色になっているのに対し、表面含浸材Bを塗布した手前の供試体の上面は、濡れていないコンクリートのような明るい灰色を示している。なお、側面の銀色はアルミテープのもの。

図-3 暴露状況

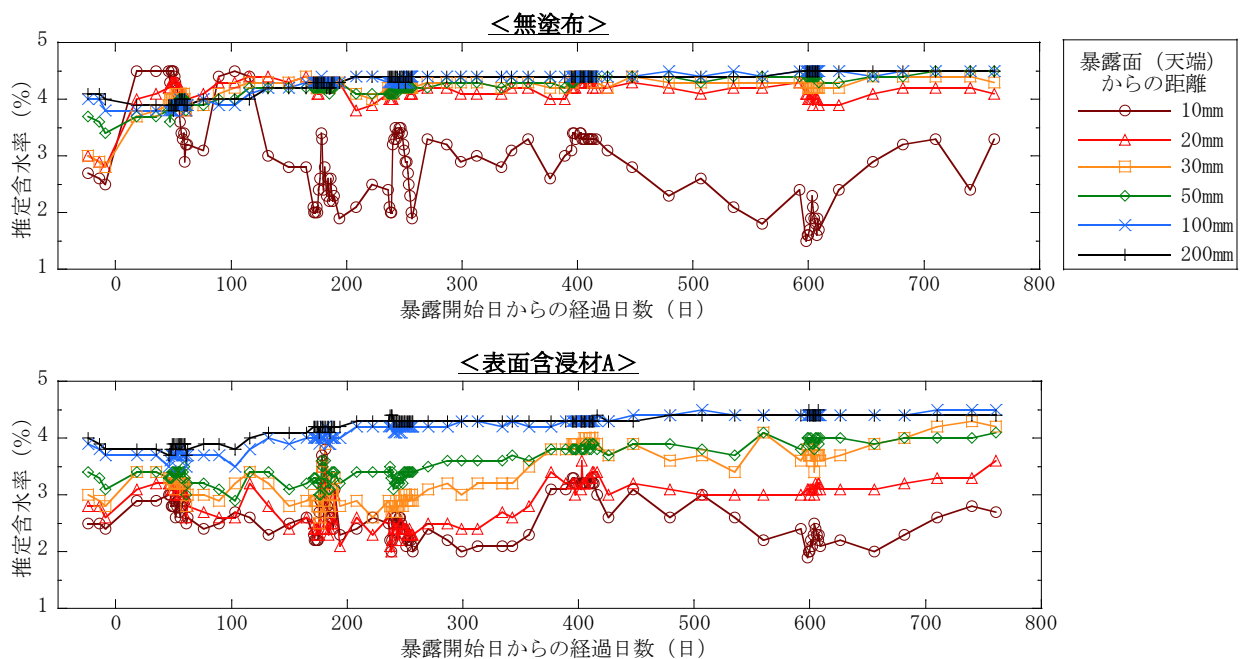


図-4 推定含水率の変化

供試体では、暴露面から10mmの深さ以外では含水率に大きな違いが無かった。

一方、表面含浸材Aを塗布した供試体では、暴露面から50mmまでは、供試体中央部よりも乾燥していた。ただし、吸水を完全に防ぐものではなく、降雨時は含水率の一時的な上昇が認められた(図-5)。

2.2.2 暴露後の含水率測定

約2年間の屋外暴露後に供試体を解体し、加熱乾燥によって測定した含水率分布を図-6に示す。表面含浸材を適用した供試体では、供試体中央部の含水率も、無塗布の供試体よりわずかに低減できていた。

2.2.3 含水率低減効果に関する考察

ASRによる膨張には水分の供給が不可欠であり、促進養生試験の保管条件として相対湿度を85%以下まで低下させると、膨張が停止すると考えられている<sup>7)</sup>。しかし、別途試験を行って湿度と含水率の関係について検討した結果、表面含浸材Aを適用した場合でも、相対湿度が85%を下回っていると推定される部位は、暴露面から20mm程度の表面付近に限られていた。このため、ここで紹介した屋外暴露試験と同様な環境条件では、表面含浸材を適用してもASRの膨張を確実に停止できるとまでは言えない。

ただし、ASRによる膨張量は相対湿度90%以上でもわずかな湿度の変化に応じて大きく異なりうることや、表面含浸材を適用した供試体では内部でも含水率低減効果が認められることから、塗布しない場合と比較すると膨張量を抑制する効果があると期待される。

3. ひび割れの影響に関する検討<sup>8)</sup>

3.1 検討方法

促進養生試験によって、ASRが生じた供試体に表面含浸材を適用して屋外に暴露し、含浸材の適用の有無と含水率の関係を調べた。また、屋外暴露終了前後の長さ変化を調べた。

供試体は、この実験とは別の目的で製作し、40℃相対湿度100%相当の環境で促進養生を行った後、気温や湿度を制御していない屋内に約4箇月間保管してあったものを用いた。供試体の配合等を表-4に示す。配合により膨張量が異なるが、いずれの供試体でも、ひび割れは析出物で充てん

されていた。

表面含浸材は表-3のA、Bを用い、これらを適用した供試体と無塗布の供試体を一体ずつ用意した。供試体は、土木研究所(茨城県つくば市)構内の日照や降雨を遮るものがない箇所に暴露した。暴露期間中は随時質量を測定した。また、暴露終了後に供試体を絶乾状態にして質量を測定し、暴露期間中の含水率を求めた。

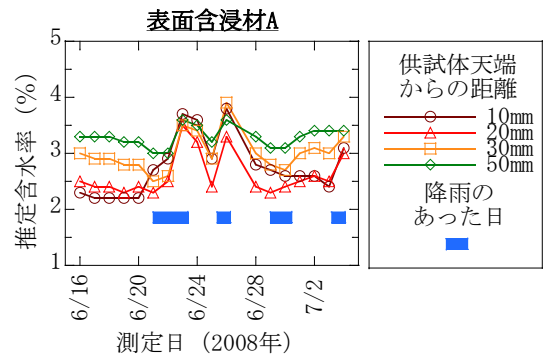


図-5 推定含水率の降雨による変化の例

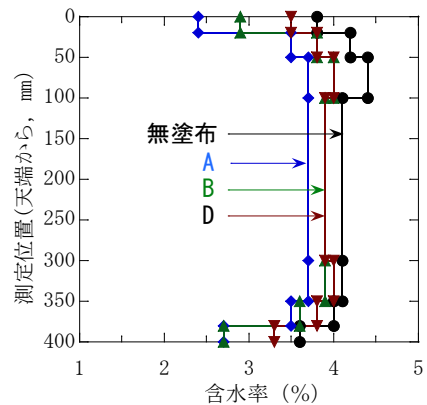


図-6 解体調査時の含水率分布

表-4 使用したASRコンクリートの配合等

No.	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						アルカリの添加 (kg/m <sup>3</sup> )	促進養生終了時の膨張量 (μ)	
	W	C	Si	Sa	Gi	Ga			
1	165	300				503	NaOH、3.10	48	
2							NaOH、6.19		3,196
4							NaCl、13.59		
5			208	651	252	755	NaOH、	2,307	
6			0	868	0	1009	9.29	1,636	

※反応性骨材として安山岩の砕石 (Ga)、砕砂 (Gi) を用いた。他に、反応性のない骨材として砂岩 (Gi)、川砂 (Si) を用いた。

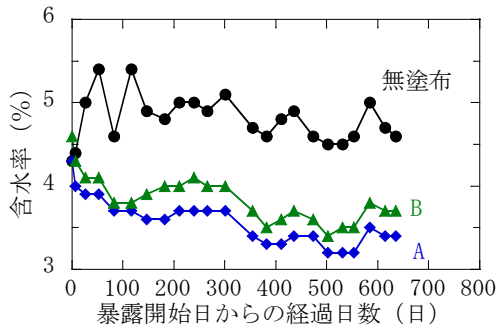


図-7 暴露期間中の含水率変化の例

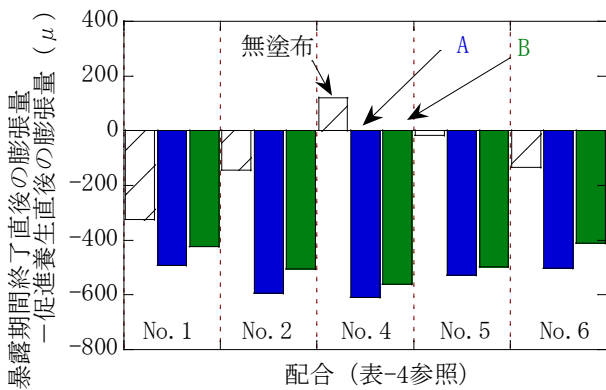


図-8 暴露期間の前後における長さの変化

### 3.2 検討結果

#### 3.2.1 供試体の質量変化

暴露期間中の供試体の含水率変化の例を、図-7に示す。表面含浸材を塗布していない場合、測定日によって供試体質量の増減はあったが、暴露前後で含水率に大きな変化は無かった。一方、表面含浸材を塗布した場合は、暴露期間中に徐々に供試体の質量が減少し、含水率が低下する傾向が認められた。

#### 3.2.2 供試体の膨張量

暴露期間の前後に測定した結果から、暴露期間中の長さ変化を求めた結果を、図-8に示す。表面含浸材を塗布していない供試体の一部には、暴露中にさらに膨張が継続していると見られるものもあった。

一方、表面含浸材を塗布した供試体は、塗布していない場合よりも収縮する傾向が顕著であり、これはコンクリート中の水分が減少したことによるものと考えられた。これらの結果から、ASRによるひび割れが生じていても、表面含浸材の吸水抑制効果は得られるものと考えられる。

### 4. まとめ

ASRに対する補修を念頭に置いて、表面含浸材の補修効果について検討した結果、適切な表面含浸材を適用することで、ASRによるひび割れが生じている場合でも表面からの吸水を抑制することが可能であることが明らかになった。一方、表面含浸材を適用した場合でも、雨がかりがある場合、部材内部の含水率の低下は顕著とまでは言えないので、膨張が完全に食い止められないことも念頭において維持管理を行っていく必要がある。

#### 参考文献

- 1) 河野広隆ほか：アルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物の追跡調査、土木研究所資料、No.3955、2005.2
- 2) EN1504-2:2004, “Products and systems for the protection and repair of concrete structures — Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity — Part 2: Surface protection systems for concrete”
- 3) 土木学会：「表面保護工法設計施工指針（案）[工法別マニュアル編]表面含浸工マニュアル」、コンクリートライブラリー119、2005.4
- 4) 古賀裕久、青山尚、渡辺博志、木村嘉富：表面含浸材のコンクリート含水率抑制効果に関する屋外暴露試験、コンクリート工学年次論文集、Vol.31、No.1、pp.1939～1944、2009.6
- 5) 湯浅昇、笠井芳夫、松井勇：埋め込みセラミックセンサの電気的特性によるコンクリートの含水率測定方法の提案、日本建築学会構造系論文集、第498号、pp.13～20、1997.8
- 6) 西崎到、守屋進：「被覆系コンクリート補修補強材の耐久性に関する研究—浸透性コンクリート保護材の性能評価方法の検討—」、土木研究所資料、第4085号、2008.1
- 7) 森永繁：「環境条件とアルカリ骨材反応」、コンクリート工学、Vol.24、No.11、pp.29～32、1986.11
- 8) 古賀裕久、渡辺博志、木村嘉富：ASRにより膨張したコンクリートにおける表面含浸材の補修効果の検討、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、Vol.10、pp.419～424、2010.10

古賀裕久\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所材料資源研究グループ基礎材料チーム 主任研究員  
Hirohisa KOGA

渡辺博志\*\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所材料資源研究グループ基礎材料チーム 上席研究員  
Hiroshi WATANABE