

# 自動散水養生システムの適用が高強度コンクリート表層品質に与える効果

堀田 和 宏      坂 上   肇      神 代 泰 道  
溝 渕 麻 子      酒 井 正 樹

## Effect of an Automatic Water Sprinkler Curing System on the Surface Quality of High Strength Concrete

Kazuhiro Hotta    Hajime Sakagami    Yasumichi Koshiro  
Asako Mizobuchi    Masaki Sakai

### Abstract

When placing a high strength concrete slab, a curing agent is commonly applied before spraying the slab with water after the pressing work. The automatic water sprinkler curing system in the study is capable of spraying mist for this purpose in an intermittent pattern controlled by a preset timer. It does not damage the surface of new concrete because it employs mister nozzles. We conducted a curing experiment, applying the system at multiple sites in order to ascertain its effect on the surface quality of high strength concrete slab specimens. We found that the system (1) reduces the surface temperature of high strength concrete slabs by 17°C and the internal temperature by 10°C, and that (2) it is effective in suppressing crack progression and improving the surface strength of the concrete.

### 概 要

自動散水養生システムとはタイマー制御によって予め設定した間欠パターンによる均質なミスト散水を可能としたものであり、ミストノズルによる散水養生のため若材齢のコンクリートの表層を傷めないという特長がある。高強度コンクリートを床スラブに打込む際は、養生剤を塗布し、押さえ作業完了後に散水を行うことが一般的であるが、大林組ではこの自動散水養生システムを開発し、複数現場で適用している。そこで、本報では本システムの適用が高強度コンクリート表層品質に与える効果を定量的に把握することを目的とし、実大スケールのスラブ模擬試験体による養生実験を実施した。実験の結果、①散水によって床スラブの表面温度を17°C、内部温度を10°C低減できる、②散水によってひび割れの進展を抑制でき、コンクリート表層の強度が増進することを確認した。

## 1. はじめに

高層RC建物の低層階において梁と同じ高強度のコンクリートを床スラブに打ち込むケースがある。しかし、暑中環境下においてはコンクリートの水分蒸発が急速になるため、プラスチックひび割れの発生や表面強度の低下等が懸念される。これらの対策としては湿潤養生の徹底が重要であり、実務においては散水（高圧洗浄機）、養生マット、水密シート等による被覆により湿潤養生を実施するケースが多い<sup>1)</sup>。また、水分の蒸発を抑制し、仕上げ補助剤としても機能する養生剤の塗布も有効である。近年は実大レベルでの養生実験も行われており<sup>2),3)</sup>、散水養生の有効となるタイミングや期間、効果等が報告されている。

しかし、高圧洗浄機による散水では夜間作業時の安全性や敷地周辺への飛散、下階への漏水等が課題であった。また、シートによる湿潤養生は設置手間が掛かる。そこで、大林組では自動散水養生システムを開発し、複数現場に適用している。本システムは、ミストノズルを用い

て散水することで養生範囲に均一に水を散布し、かつ若材齢コンクリートの表層にも影響を与えない。さらにタイマー制御による散水・停止の時間切り替えが自動で行えるという特長がある。

今回、この自動散水養生システムの適用が暑中期の高強度コンクリート表層品質に与える効果を定量的に把握することを目的とし、養生実験を実施した。本報では、まず自動散水養生システムの概要を説明する。次に、適度な養生剤の塗布量を把握するために高強度コンクリートの水分蒸発量を計測する。最後に、実大スケールのスラブ模擬試験体に自動散水養生システムを適用し、コンクリート表層品質に与える効果を検証する。

## 2. 自動散水養生システムの概要

自動散水養生システムは、タイマー制御により複数の散水ノズルから自動的にミスト散水を行うシステムである。ミストノズルによる散水であるため、従来から使用されている高圧洗浄機に比べ、硬化直後のコンクリート

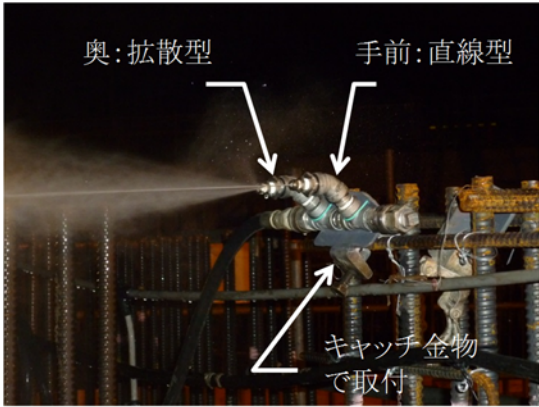


Photo 1 ミストノズル  
Mist Nozzle

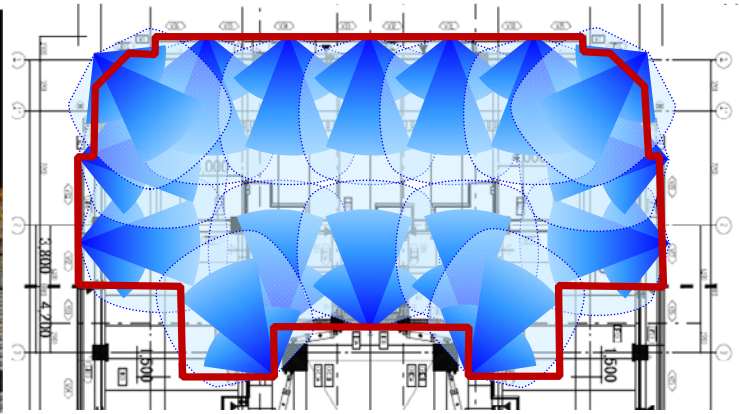


Fig. 1 ミストノズルの配置例  
Placement Example of the Mist Nozzle



Photo 2 現場での実施例 (左: 散水状況 右: 制御盤)  
Practical Example in the Construction Site

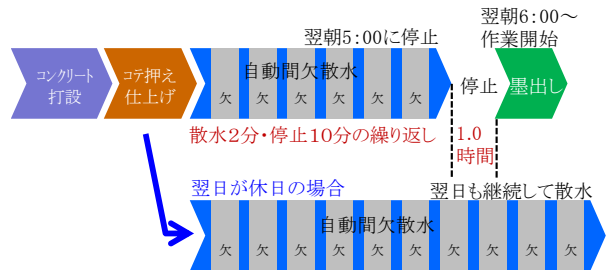


Fig. 2 散水スケジュールの例 (夏季)  
Example of Sprinkling Schedule in Summer

表面を傷めにくい。またミストノズルには直線型と拡散型の2タイプがあり (Photo 1), 両タイプを組み合わせることで、拡散効果によって無風状態において概ね距離9m、幅7mの範囲に散水できる。直線型は、散水ノズルの設置位置から遠距離となる打設工区の中央部、拡散型は近距離となる周辺部に散水する。現場ではFig. 1に示すように対象範囲に均一に散水できるようにノズルを配置する。

散水のスケジュールは、Photo 2に示す制御盤を用いて任意に制御することができる。現場での散水スケジュールの例 (夏季) をFig. 2に示す。例えば図中のパターンで運用すると、散水2分・停止10分を繰り返すことで、散水量のカタログ値は直線型で約1.38L/m<sup>2</sup>/h、拡散型で約1.77L/m<sup>2</sup>/hとなる。収縮ひび割れ制御設計・施工指針ではフレッシュコンクリートの水分蒸発量が1.0 L/m<sup>2</sup>/hを超えるとプラスチック収縮ひび割れの危険性が高いとされているため、本システムを用いることで収縮ひび割れの発生を抑制できると考えられる。

### 3. 養生実験

#### 3.1 予備実験

##### 3.1.1 実験計画

(1) 試験パラメータ 実大養生実験の実施に先立ち、適度な養生剤の塗布量を把握するために暑中期を模擬可能な実験室において高強度コンクリートの水分蒸発量を計測した。水分蒸発量は平板試験体 (平面300mm×

Table 1 雰囲気条件  
Atmosphere condition

項目	条件
照度	70,000 (lx)
温度	35 (°C)
湿度	40 (%R.H.)
風速	4.0 (m/s)

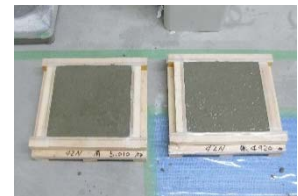


Photo 3 平板試験体  
Plate Specimen

Table 2 試験体のパラメータ  
Parameter of the Specimen

No.	試験体形状	呼び強度	養生剤(膜養生剤)
No.1	平面: 300mm×300mm 厚さ: 50mm	72	無し
No.2			1回塗布(150mL/m <sup>2</sup> )
No.3			2回塗布(150mL/m <sup>2</sup> +100mL/m <sup>2</sup> )

300mm, 厚さ50mm) の質量経時変化を計測することで求めた。実験室の雰囲気条件をTable 1, 平板試験体の写真をPhoto 3, 試験体のパラメータをTable 2に示す。雰囲気条件は、日中の照度を70,000lx, 気温を35°C, 湿度を40%R.H., 風速を4.0m/secとした。日照時間は打込み開始から5時間までとした。試験体のパラメータは養生剤(膜養生剤)の塗布量とした。

(2) コンクリートの使用材料および調合条件 コンクリートはレディーミクストコンクリートを使用した。使用材料をTable 3, コンクリートの調合をTable 4, フレ

Table 3 コンクリートの使用材料  
Employed Materials of Concrete

種類	記号	概要
セメント	C	普通ポルトランドセメント
細骨材1	S1	陸砂 (埼玉県熊谷市)
細骨材2	S2	陸砂 (千葉県香取市)
粗骨材	G	碎石 (埼玉県横瀬町)
混和剤	SP	高性能AE減水剤 (ポリカルボン酸系)

Table 5 コンクリートのフレッシュ性状  
Fresh Property of Concrete

種類	スランプ フロー(cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度(°C)
72-60-20N	61	2.8	27

フレッシュ性状をTable 5に示す。設計基準強度はRC造高層集合住宅における低層階部分の梁強度の最高値を想定して60N/mm<sup>2</sup>と定め、構造体強度補正値は12N/mm<sup>2</sup>とした。目標スランプフローは60cm、粗骨材最大寸法は20mmとした。

(3) 計測計画 計測項目をTable 6に示す。コンクリート表面温度は非接触式温度計によって打込み後3時間までは15分間隔、以降は30分間隔で計測した。コンクリート質量は打込み後3時間までは20分間隔、以降は60分間隔で計測した。また、コンクリートのノロが型枠の隙間から流出することを防ぐため、型枠の内側にはポリエチレンシートを敷いた。

3.1.2 実験結果と考察 コンクリート表面温度の経時変化をFig. 3に、コンクリートの総水分蒸発量の経時変化をFig. 4に、単位時間当たりの水分蒸発量の経時変化をFig. 5に示す。コンクリート表面温度は養生剤の有無による影響は確認されなかった。最高温度は日照終了時が最大で50°C程度であった。打設後3時間までの総水分蒸発量は、1.91L/m<sup>2</sup>(養生剤2回塗布)、2.33L/m<sup>2</sup>(養生剤1回塗布)、2.99L/m<sup>2</sup>(養生剤無し)であった。

水分蒸発量は、養生剤2回塗付で36%、養生剤1回塗付で22%抑制された。単位時間当たりの水分蒸発量は、打設後1.0~2.0時間で最大となり、0.82L/m<sup>2</sup>/h(養生剤2回塗布)、1.00L/m<sup>2</sup>/h(養生剤1回塗布)、1.50L/m<sup>2</sup>/h(養生剤無し)であった。したがって、ひび割れ発生が危惧される1.0L/m<sup>2</sup>/hを指標とすると、養生剤を2回塗付することが望ましいと考えられる。

### 3.2 実大実験

#### 3.2.1 実験計画

(1) スラブ模擬試験体 平面1600mm×2000mm、厚さ200mmのスラブ模擬試験体に予備試験と同一のコンクリートを打設し、養生実験を行った。スラブ模擬試験体は超高層集合住宅における低層階を想定した。スラブ模擬試験体の断面図をFig. 6、打込み前の型枠写真をPhoto 4、諸元をTable 7に示す。実験状況をPhoto 5~Photo 8に示す。

Table 4 コンクリートの調合  
Compounding Condition of Concrete

種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					SP (%)
			W	C	S1	S2	G	
72-60-20N	28.5	43.4	170	596	519	173	934	1.7

Table 6 計測項目  
Measurement Items

分類	項目	方法	備考
温度	表面温度	非接触式温度計	打込み後3h: 15分間隔 3h以降: 30分間隔
質量	水分蒸発量	試験体の質量判定	打込み後3h: 20分間隔 3h以降: 60分間隔

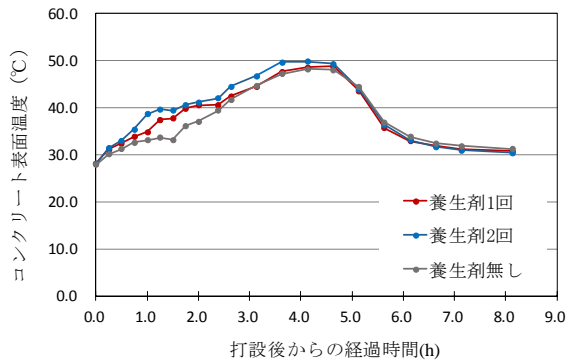


Fig. 3 コンクリート表面温度の経時変化  
Aging Variation of Concrete Surface Temperature

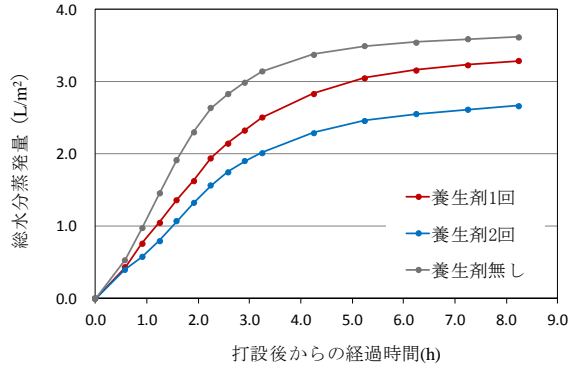


Fig. 4 コンクリート水分蒸発量の経時変化  
Aging Variation of Concrete Water Evaporation

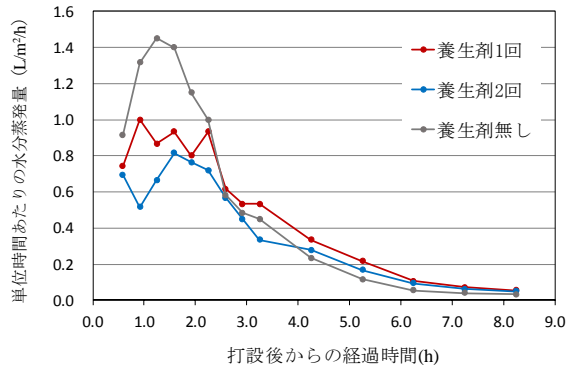


Fig. 5 単位時間あたりのコンクリート水分蒸発量  
Concrete Water Evaporation per unit time

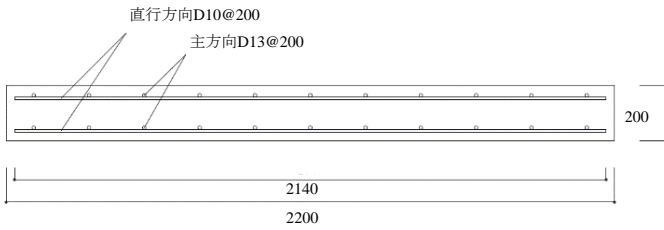


Fig.6 スラブ模擬試験体 断面図  
Slab Model Specimen

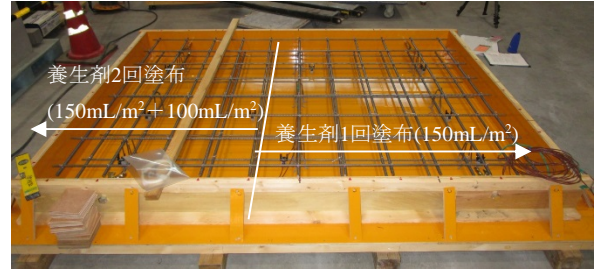


Photo 4 スラブ模擬試験体型枠  
Form of Slab Model Specimen

Table 7 スラブ模擬試験体諸元  
Elements of Slab Model Specimen

スラブ種別	Fc	呼び強度	全厚 mm	主方向(上端下端共)		配力方向(上端下端共)	
				配筋	鉄筋比 %	配筋	鉄筋比 %
中実スラブ	60	72	200	D13@200	0.63	D10@200	0.36



Photo 5 打込み状況  
Concrete Placement



Photo 6 養生剤塗布状況  
Applying the Curing Agent



Photo 7 散水ノズル  
Sprinkling Nozzle



Photo 8 散水状況  
Situation of Sprinkling

Table 8 試験体のパラメータ  
Parameter of Specimen

No.	試験体形状	散水	養生剤
No.1	スラブ模擬 平面：1600mm×2000mm 厚さ：200mm	有り	2回塗布 (150mL/m <sup>2</sup> +100mL/m <sup>2</sup> )
No.2			1回塗布(150mL/m <sup>2</sup> )
No.3		無し	2回塗布 (150mL/m <sup>2</sup> +100mL/m <sup>2</sup> )
No.4			1回塗布(150mL/m <sup>2</sup> )

※養生剤はスラブ模擬試験体の半面を1回塗布，もう半面を2回塗布とした。  
※養生剤は打込み完了後，均しのタイミングで塗布を行った。  
※散水は打込み完了後2.5時間から開始した。

Table 9 計測項目  
Measurement Items

分類	項目	方法	備考	計測間隔
ひび割れ	形状	目視	—	随時
	幅	クラックスケール	—	打込みから24時間以降
温度	表面温度	非接触式温度計	試験体中央を計測	打込みから10分間隔
	内部温度	熱電対	試験体の中心に埋込み，計測	
水分	含水状態	高周波容量式水分計	日本施工技術研究協議会 コンクリート床下地表層部の諸品質の測定方法、グレート に従って計測	材齢1,2,3,5,7日 脱型後材齢28,56,91日
表面強度	引っかき傷幅	引っかき試験		
接着強度	引張接着強度	引張接着強度試験	表層を研磨し，エポキシ樹脂系塗床材を施工後，日本建築学会建築工事標準仕様書JASS19 に従って計測	材齢91日

コンクリートの打込み時の雰囲気条件は3.1節で述べた予備試験時と同一とした。

(2) 試験パラメータ 試験体のパラメータをTable 8に示す。パラメータは散水の有無と養生剤の塗布量とした。養生剤の塗布量は3.1節で述べた予備実験と同一とし、Photo 4に示すようにスラブ模擬試験体の左右面で変化

させることで硬化初期のひび割れ性状を比較することとした。

(3) 計測計画 計測項目をTable 9に示す。ひび割れは打込みから生じたひび割れの形状・幅を計測する。なお、散水開始までに発生したひび割れはその都度コテ押さえによって閉じることとした。表面温度は平板試験



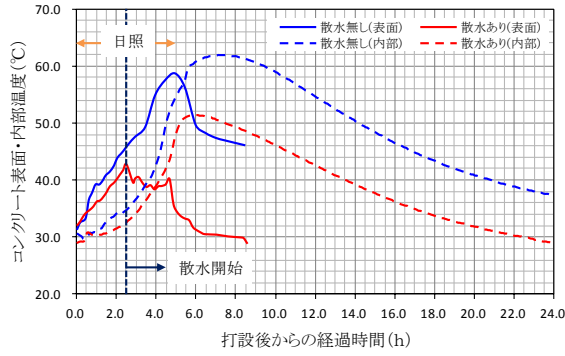


Fig. 7 表面・内部温度経時変化

Aging Variation of Concrete Surface and Internal Temperature

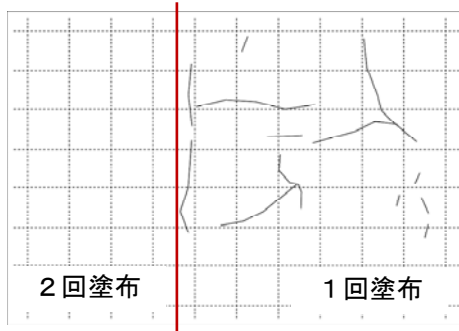


Fig. 9 ひび割れ発生状況 (散水有り2.5時間)  
Crack Pattern (Using Water Splinkling 2.5hour)

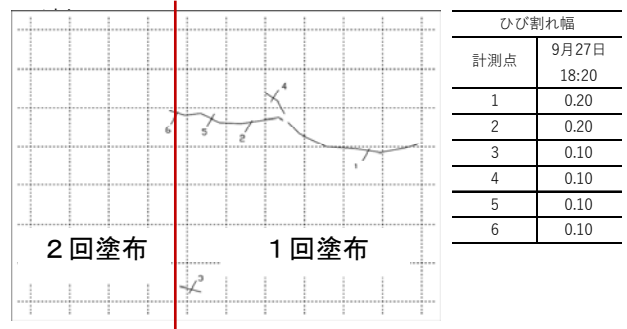


Fig. 8 ひび割れ発生状況 (散水なし24時間)

Crack Pattern (Not Using Water Splinkling 24hour)

ひび割れ幅	
計測点	9月27日 18:20
1	0.20
2	0.20
3	0.10
4	0.10
5	0.10
6	0.10

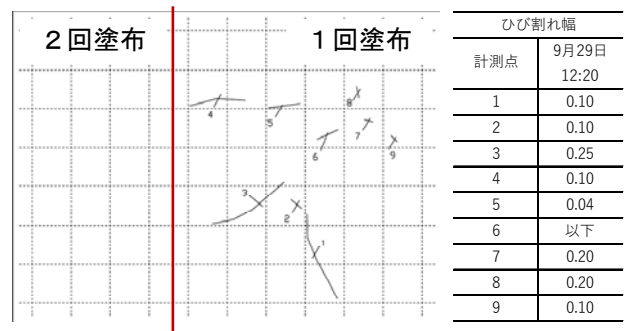


Fig. 10 ひび割れ発生状況 (散水有り24時間)

Crack Pattern (Using Water Splinkling 24hour)

ひび割れ幅	
計測点	9月29日 12:20
1	0.10
2	0.10
3	0.25
4	0.10
5	0.04
6	以下
7	0.20
8	0.20
9	0.10

体と同様に非接触式温度計で計測し、内部温度はスラブ模擬試験体中央の表層から100mmの位置に熱電対を埋込むことで計測した。水分量は、散水養生が仕上げ工事時期の表層の含水量に与える影響について検証するために計測した。また、表面強度は引っかき試験によって計測した。水分量、引っかき傷幅ともに日本床施工技术研究協議会「コンクリート床下地表面部の諸品質の測定方法、グレート」<sup>4)</sup>に準拠して計測した。付着強度はコンクリート表面を研磨後、エポキシ樹脂系塗床材を施工し、日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説JASS19」<sup>5)</sup>に準拠して計測した。散水は現場での打込みが完了するタイミングに鑑み、打設後2.5時間から開始した。

### 3.2.2 実験結果と考察

(1) 温度 コンクリートの表面温度と内部温度の経時変化をFig. 7に示す。散水により表面温度、内部温度共に上昇が抑制されている。表面温度の最高値は、散水無しの場合約60℃であったが、散水有りの場合は約43℃であり、17℃の低減効果が確認された。内部温度の最高値は散水無しの場合約62℃であったが、散水有りの場合は約52℃であり、10℃の低減効果が確認された。以上から、散水養生による冷却効果により表面温度の抑制に効果があることが分かった。さらに、内部温度の上昇を抑制できることから、温度変化に起因する体積変化の低減にも効果があると考えられる。

(3) ひび割れ性状 散水無しの場合のひび割れ性状(打設後24時間)をFig. 8に示す。スラブの約半分を養生剤の1回塗布と2回塗布で塗り分けて実験を行ったが、ひ

れは1回塗布のスラブ面のみに生じた。予備試験による平板試験体の単位時間当たりの水分蒸発量が2回塗布面では0.82L/m<sup>2</sup>/hであったのに対し1回塗布面では1.00 L/m<sup>2</sup>/hであったことから、1回塗布面では急激な水分蒸発によってプラスチック乾燥収縮ひび割れが生じたものと考えられる。なお、1回塗布のスラブ面において打設後2.5時間までに発生したひび割れはコテ押さえによって消したが、その後24時間までに再びひび割れが生じた。次に、散水を行った試験体のひび割れ性状(打設後2.5時間、24時間)をFig. 9およびFig. 10に示す。散水無しの試験体と同様に打設後2.5時間までに養生剤1回塗布のスラブ面にはひび割れが生じたためコテ押さえで消し、その後散水を開始した。打設後24時間までに再びひび割れが生じたが、散水無しの試験体と比較するとひび割れの進展は少なく、また溶出したセメントペーストによる目詰まりによりひび割れがふさがっている部分が確認された。

以上の結果から、養生剤の適正な使用はひび割れの低減に寄与し、散水養生を実施することでひび割れの進展を抑制できることが分かった。なお、本実験では現場での打込みが完了するタイミングに鑑みて打設後2.5時間から散水を実施したが、実際は打設後1.0~2.0時間の最も水分が蒸発するタイミングで散水を開始することが望ましいと考えられる。したがって、早期に散水養生を行える打設計画が重要である。自動散水養生システムは細分化した工区での散水も可能であるため、広い面積の打込みが必要となるケースでは全工区の打込み完了を待たずに順次散水養生を開始する等の検討が推奨される。

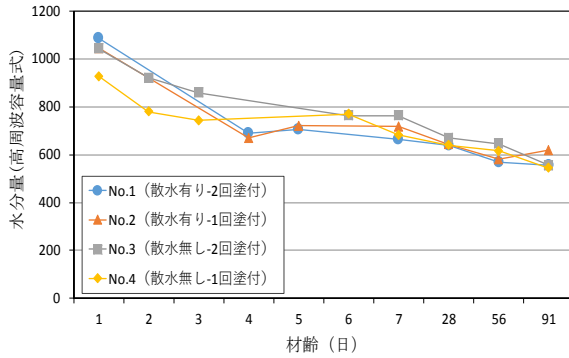


Fig. 11 水分量の経時変化  
Aging Variation of Moisture

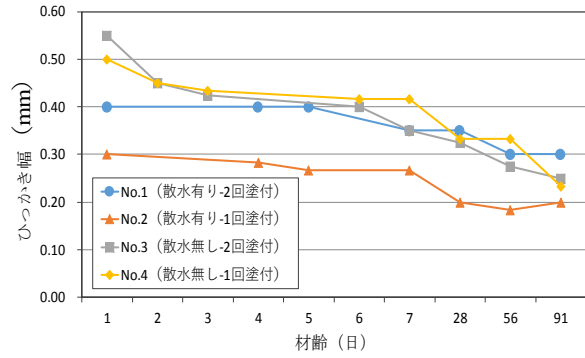


Fig. 12 ひっかき傷幅の経時変化  
Aging Variation of Scratch Width

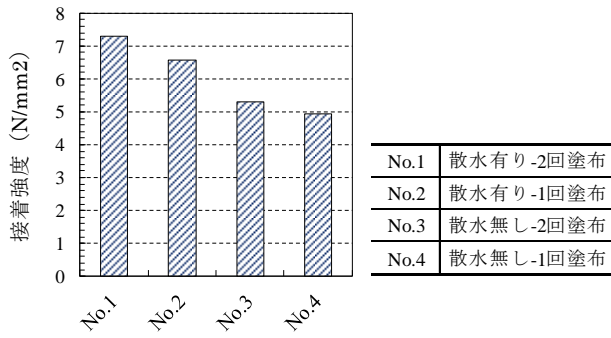


Fig. 13 接着強度  
Bond Strength

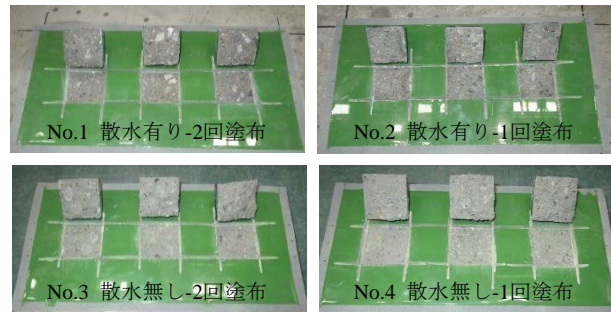


Photo 9 接着強度試験の破壊性状  
Destructiveness of Bond Strength Experiment

(4) 水分量 高周波容量式水分計による水分量の経時変化をFig. 11に示す。No.1～4の計測結果によると、散水養生の有無や養生剤の塗布量による水分量の大きな差は見られなかった。特に仕上げ工事の開始が想定される材齢91日ではその差はほとんどなかった。このことから、散水養生が仕上げ工事時期のスラブの含水量に影響を与えることはないと考えられる。

(5) ひっかき傷幅・接着強度 ひっかき傷幅の経時変化をFig. 12, 接着強度をFig. 13に示す。ひっかき傷幅は材齢1日の散水有りの平均値が0.34mmに対し、散水無しの場合の平均値は0.53mmであった。したがって、材齢初期の表面強度に対して散水養生による効果があることが分かった。なお、養生剤を2回塗付した場合、1回塗付よりもひっかき傷幅が大きくなるのはコンクリート表層に養生剤による脆弱層が生じたためであるが、下層のコンクリート表層の強度は増進しているものと推察される。これはFig. 13に示すように散水有るか養生剤2回塗付の試験体(No.1)の塗床材の接着強度が最も高く、またPhoto 9に示すように全ての試験体はコンクリート母材で破壊したためである。散水を行ったNo.1およびNo.2の接着強度は散水を行わない試験体の約1.3倍に向上した。これは散水養生により水和反応に必要な水分が十分に供給されたことで、コンクリート表層部の強度が増進したためと考えられる。以上から、散水養生は仕上げ工事を実施する上でも有効であることが分かった。

#### 4. まとめ

自動散水養生システムが暑中期の高強度コンクリート表層品質に与える効果について、実大レベルの試験体を作製し、実験的に検証した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 暑中期の直射日光を受けるコンクリート表面の水分蒸発量は、打設後1.0～2.0時間で最大となり、その速度は1.4L/m²/hである。
- 2) 本システムを適用することでコンクリート表面温度を17℃、内部温度を10℃低減可能である。
- 3) コンクリートの水分蒸発量と同等の散水を実施することで、ひび割れの進展を抑制でき、表層部の強度が増進される。

#### 参考文献

- 1)日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説, p. 139, 2006.2
- 2)小山智幸, 他：暑中環境で施工される床スラブコンクリートの品質管理に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集, 材料施工, pp. 535-538, 2014.9
- 3)宮島公志, 他：夏季において初期散水養生方法が若材齢RC床スラブに与える影響, 日本建築学会学術講演梗概集, 材料施工, pp. 755-758, 2016.8
- 4)日本塗床工業会：塗床ハンドブック pp. 188-197,2012.3
- 5)日本建築学会：日本建築学会建築工事標準仕様 JASS19, pp. 80-85, 2012.7