

# アルギン酸ナトリウムの散布によるコンクリート打込み時の降雨対策の研究

桜井 邦 昭 伊佐治 優  
 上 垣 義 明 田 中 将 希  
 (生産技術本部技術第一部) (土木本部プロジェクト部)

## New Construction Method for Concrete Work in Rainy Conditions by Applying Sodium Alginate Solution to Prevent Rainwater Penetration

Kuniaki Sakurai Yu Isaji  
 Yoshiaki Uegaki Masaki Tanaka

### Abstract

Pouring concrete in the rain can compromise its strength owing to the penetration of rainwater. To solve this problem, this study proposes a novel method of applying a sodium alginate solution to concrete surfaces. Sodium alginate is a gelling agent that reacts with the calcium in concrete and forms an insoluble gel. This study makes three significant contributions: 1) applying a 0.5% solution concentration of at least 200 g/m<sup>2</sup> can form a gel sufficiently strong to prevent rainwater penetration, 2) the gel on the concrete surface does not adversely affect its strength, and 3) the solution of added set retarders can be applied as concrete surface retarders when concrete work is interrupted for long periods because of rain. We intend to conduct verification experiments on larger specimens and apply them to actual construction in future studies.

### 概 要

コンクリート施工時の降雨対策として、アルギン酸ナトリウム水溶液をコンクリート表面に散布し、コンクリート中のカルシウムと反応させることで不溶性ゲルを生成し、雨水との接触を防止する工法を開発した。濃度0.5%のアルギン酸ナトリウム水溶液を200g/m<sup>2</sup>以上散布することで降雨に対して十分な強さの不溶性ゲルを生成できること、打重ね面に不溶性ゲルが存在しても打重ねの際に突き棒等で周辺のコンクリートと混合することで硬化後の強度には影響しないこと、凝結遅延剤と混合して用いることで降雨が長時間となった場合の打継ぎ対策にも適用できること等を示した。今後、大型試験体での検証実験を行い、実工事に適用する予定である。

### 1. はじめに

降雨時にコンクリートを打ち込むと、打込み表面のペースト分が流出するとともに、雨がコンクリート中に混入し、硬化後の品質が低下するおそれがある。このため、コンクリートの打込みは、雨天には行わないことが原則であり、気象情報から当日の天候を予測して、実施の可否あるいは施工時間帯を選定するのが一般的である。

一方、特に夏期において、午前中から正午過ぎにかけては晴天であったにも関わらず、その後、積乱雲の発生により天候が急変し、短時間に多量の雨が降る場合もある。気象庁HPのデータ<sup>1)</sup>に基づき作成した1時間降水量が50mm以上(予報用語では「非常に激しい雨」に相当)の年間発生回数をFig. 1に示す。年ごとにばらつきはあるものの、全国で年間200~300回程度発生しており、その回数が増加傾向にある。なお、文献<sup>2)</sup>や気象庁HP<sup>3)</sup>によれば、一つの積乱雲によりもたらされる降雨の継続時間は30分から1時間程度である。また、同様に気象庁HPのデータ<sup>4)</sup>に基づき、2021年の各都市において日降水量が1mm, 10mm, 30mm, 50mm以上の日数を整理してTable 1に示

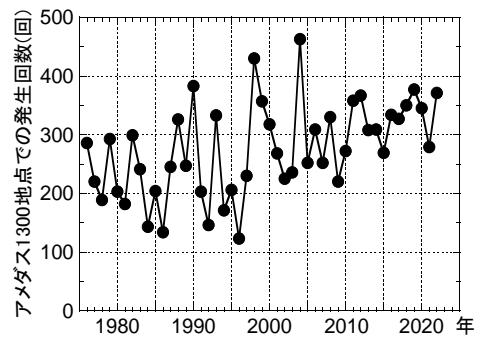


Fig. 1 1時間降水量50mm以上の年間発生回数  
 The Number of Hourly Precipitations Exceeded 50mm

Table 1 2021年の各都市の日降水量  
 Daily Precipitation for Each City in 2021

都市名	発生回数 (回/年)			
	≧1mm/日	≧10mm/日	≧30mm/日	≧50mm/日
札幌	122	39	8	2
仙台	106	33	11	5
新潟	162	75	10	2
東京	107	49	24	12
名古屋	111	58	23	7
大阪	99	52	25	9
広島	92	57	29	7
福岡	102	48	16	9

す。地域による違いはあるが、年間の約1/3は多少なりとも雨が降っていることがわかる。

施工時に降雨が生じた場合、Photo 1のように施工範囲をシートで覆うことが多いが、設置に労力を要するとともに、雨の重みでシートが破損することもある。

雨天によりコンクリート施工が中止・延期になると、工事全体の工程が遅延する。また、昨今の働き方改革の推進に伴い、実質的な営業日数は減少しており、工程遵守のためには多少の降雨が予測される日でもコンクリート施工を行わざるを得ない場合も生じると推測される。

そこで、施工中に降雨となった場合でも、コンクリートの品質低下を生じさせない工法を開発した。具体的には、アルギン酸ナトリウム水溶液（以下、水溶液という）をコンクリートの打込み面に散布することで、この水溶液とコンクリート（セメント）中のカルシウムを反応させ、水に不溶性ゲルを生成し、コンクリート表面と雨との接触を防ぐものである（Fig. 2）。

本稿は、水溶液の散布によるコンクリートの打込み時の降雨対策工法に関する検証実験の結果等を示す。

## 2. アルギン酸ナトリウムによる不溶性ゲルの生成の概要

アルギン酸は、昆布やワカメなどの海藻（褐藻類）の藻体に含まれる天然多糖類であり、文献<sup>5)~7)</sup>によれば次のような性質がある（Fig.3）。アルギン酸自体は水に溶けない物質であるが、分子中にカルボキシル基を有しており、ナトリウムやカリウムなどの一価のアルカリイオンと反応して塩（アルギン酸ナトリウム、アルギン酸カリウムなど）になると水溶性になる。このうち、アルギン酸ナトリウムは温水や冷水に容易に溶けることから、増粘剤、ゲル化剤、安定剤などとして、幅広い産業で活用されている。

一方、多価のアルカリイオンの場合は、水に不溶性塩となりゲル化する特徴を有する。特に、カルシウムイオンはアルギン酸との親和性が高く、両者を混合すると速やかに反応して不溶性ゲル（アルギン酸カルシウム）を生成する。食品業界では、この性質を利用して、人工クラゲや人工キャビアなどを製造している。

今回、このようなアルギン酸の性質を利用して、アルギン酸ナトリウム水溶液をコンクリートの打込み面に散布することで、コンクリート中のカルシウムと反応させて不溶性ゲルを生成し、降雨との接触を防止する工法を開発した。

アルギン酸ナトリウムの濃度を0.5%とした水溶液をコンクリート表面に散布した後の不溶性ゲルの生成状況をPhoto 2に示す。なお、アルギン酸ナトリウムを溶解した水溶液は、本来無色であるが、本研究は不溶性ゲルの生成状況を目視で確認しやすいように、青色の染料で着色した状態で使用した。散布から2~3分後には不溶性ゲルが生成されており、ゲルの厚さは0.3mm程度であった。



Photo 1 シートによる降雨対策の例  
Example of Covering Concrete with Sheets to Prevent Damage from Rainfall

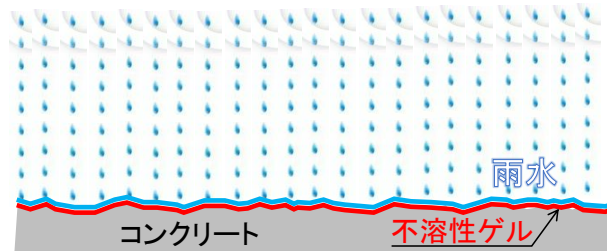


Fig. 2 降雨対策の概念図

### The Concept of Rainfall Countermeasures

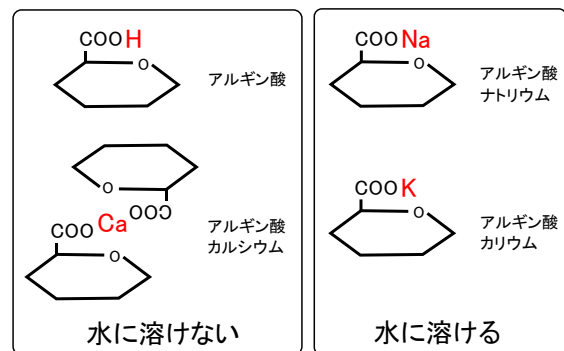


Fig. 3 アルギン酸の性質（文献<sup>5)</sup>を基に作成）

### Properties of Alginic Acid



Photo 2 アルギン酸ナトリウムによる不溶性ゲルの生成  
Transformation of Sodium Alginate into Insoluble Gel

この水溶液は、Photo 3に示すように、市販の噴霧器で散布できる。また、コンクリート表面に生成した不溶性ゲルは、ブローなどにより局所的に風を与えることで容易に除去できる。このため、施工中に天候が急変した場合でも、水溶液を散布して速やかに不溶性ゲルを生成させ、コンクリートを雨水から保護できる。そして、降雨が止んだ後は、不溶性ゲルを除去して、コンクリートの打込み作業を再開できると考えられる。



Photo 3 アルギン酸ナトリウム水溶液の散布状況（左）と生成した不溶性ゲルのブローによる除去状況（中，右）  
Situation of Applying Sodium Alginate Solution and Removing Insoluble Gel

### 3. 実験概要

本稿では、水溶液の散布によりコンクリート打込み時の降雨対策を行う上で確認すべき事項として、次節以降の3項目について実験を行った。

#### 3.1 アルギン酸ナトリウム水溶液の濃度と散布量

降雨に対して十分な強さを有する不溶性ゲルの生成に必要な水溶液の濃度と散布量を検討した。検討ケースをTable 2に示す。実験にはPhoto 4に示す降雨を模擬した装置を用いた。

コンクリートを厚さ5cm×25cm×25cmの平板に打ち込み、打込みの30分後に、噴霧器を用いてコンクリート上面に水溶液を散布した。散布の15分後に、コンクリート試験体をシャワーヘッド(20cm×20cm, 孔径1.25mm, 孔間隔17.5mm)の下に10°の勾配で設置し、シャワーヘッドから流量1.7L/minの水を3分間降らせた。なお、今回の水量は降雨強度に換算すると約1,600mm/hとなり、現実には生じる降雨と比べて相当に多いが、不溶性ゲルが降雨に対して十分な強さを有することを確認するため、上述の水量とした。実験中に表面を流下する水と流出するセメント分を採取し、流下する水のpHおよび110℃で炉乾燥して固形分量を測定した。

コンクリートの使用材料をTable 3, 配合をTable 4に示す。一般的な土木工事で用いるコンクリートを想定し、水セメント比55%, スランプ12cmとした。

練混ぜには、強制二軸練りミキサを用い、1バッチの練混ぜ量は40Lとした。練混ぜ方法は、骨材とセメントを投入して10秒間練り混ぜた後、あらかじめ混和剤を溶解した練混ぜ水を投入して60秒間練り混ぜる方法とした。練上がり5分後にスランプと空気量試験を行い、Table 4に示す目標範囲内であることを確認した後、コンクリート試験体を製作した。コンクリート表面はコテを用いて平滑に仕上げた。一連の実験は20℃の試験室内で行った。

#### 3.2 不溶性ゲルが許容打重ね時間等に及ぼす影響

本工法を用いる場合、降雨中、コンクリート表面を不溶性ゲルが覆うため、このゲルの存在が、ブリーディングや打重ね時間間隔に及ぼす影響を調べた。コンクリー

Table 2 検討ケース  
Experiment Cases

検討要因	実験水準	
	水溶液の濃度 (%)	散布量 (g/m <sup>2</sup> )
比較用	散布なし	
水溶液の濃度	0.125, 0.25, 0.5, 10, 15, 20	600
散布量	0.5	150, 200, 300, 600, 900, 1200

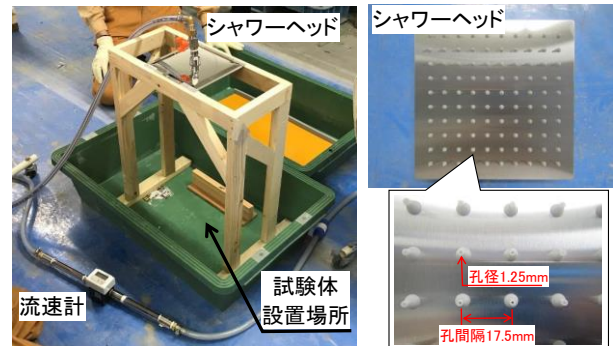


Photo 4 降雨試験装置の概要  
Overview of Rainfall Test Equipment

Table 3 使用材料  
Material Properties Used for Concrete

種類	記号	物理的性質など
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度3.16g/cm <sup>3</sup>
水	W	上水道水
細骨材	S	陸砂, 表乾密度2.59g/cm <sup>3</sup> , 吸水率2.35%, 粗粒率2.58
粗骨材	G	砕石2005, 表乾密度2.72g/cm <sup>3</sup> , 吸水率0.6%, 実積率58.8%
混和剤	WR	AE減水剤 (高機能タイプ)
	AE	空気量調整剤 (100倍溶液で使用)

Table 4 コンクリートの配合  
Mix Proportion of Concrete

目標スランプの範囲 (cm)	目標空気量の範囲 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 (Cx%)	
				W	C	S	G	WR	AE
12±2.5	4.5±1.5	55.0	46.0	160	291	837	1032	1.0	0.002

トにはTable 4の配合を用いた。検討ケースは、水溶液を散布する場合（濃度0.5%、散布量600g/m<sup>2</sup>）と散布しない場合とした。ブリーディング試験はJIS A 1123、凝結時間はJIS A 1147に準じて行った。許容打重ね時間間隔は、文献<sup>8)</sup>を参考にプロクター貫入抵抗値が0.1N/mm<sup>2</sup>に達する時間とした。水溶液を散布する場合は、容器に試料を詰め、その上面に水溶液を散布して90分間蓋をせずに室内で存置した後、ピンセットで不溶性ゲルを除去して、各試験を行った。

### 3.3 不溶性ゲルの混入が硬化後の強度に及ぼす影響

Photo 3に示すように、コンクリート表面の不溶性ゲルはブローヤによって容易に除去できる。しかしながら、実施工では、型枠の隅々まで完全には除去できないことも想定される。また、不溶性ゲルを除去せずともコンクリートを打重ねできれば、より施工の合理化が図られる。

そこで、打重ね面の周辺に不溶性ゲルが混入することが硬化コンクリートの強度に及ぼす影響を調べた。試験項目は、圧縮強度（JIS A 1108）と簡易曲げ強度<sup>9)</sup>とした。簡易曲げ強度試験は、円柱供試体（φ100×200mm）を横向きとして、供試体の下側は両端から20mm、上側は打重ね位置である中央に直径10mmの鋼棒を設置して荷重を載荷する試験であり、破壊時の荷重を測定した。

供試体の作製は、まず円柱型枠の下半分コンクリートを打ち込み、水溶液（濃度0.5%）を600g/m<sup>2</sup>散布し、90分間存置した。その後、型枠の上半分にコンクリートを詰め、下層まで突き棒を挿入して突き固めた。比較のため、一体で打ち込んだ供試体も採取した。翌日脱型して14日間20℃で水中養生した後、各種の強度試験に供した。

## 4. 実験結果および考察

### 4.1 アルギン酸ナトリウム水溶液の濃度と散布量

降雨試験の状況をPhoto 5、試験前後の試験体表面の状況をPhoto 6、試験結果をTable 5にそれぞれ示す。

水溶液を散布しない場合、降雨により表面のペースト

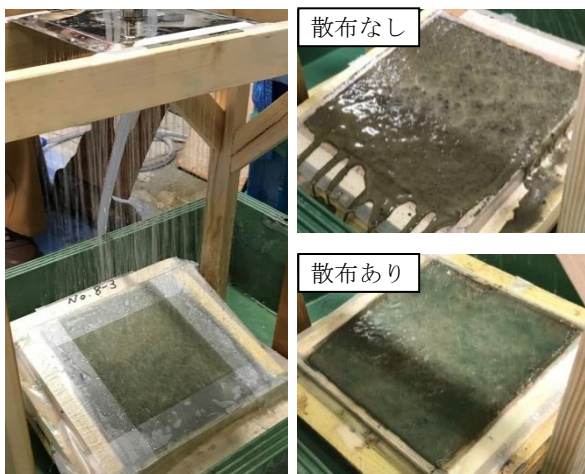


Photo 5 降雨試験の状況  
Situation during Rainfall Tests

分が流出する状況が確認された。流出した水およびペースト分の上澄み水のpHは11.5であり、環境省の定める一般排水基準（pH5.8～8.6）から逸脱する結果であった。

水溶液を散布した場合、濃度0.5%で散布量が150g/m<sup>2</sup>および濃度が0.125%で散布量が600g/m<sup>2</sup>以外では、降雨に伴う不溶性ゲルの損傷は認められず、コンクリート表面と雨水との接触を防止できることが確認できた。表面を流下した水のpHは7.65～8.19で一般排水基準を満足しており、実施工において、そのまま現場外に雨水が流出しても問題ないことも確認できた。本結果を踏まえると、アルギン酸ナトリウムを1g/m<sup>2</sup>以上散布できれば、十分な強さを有する不溶性ゲルが生成できると考えられる。

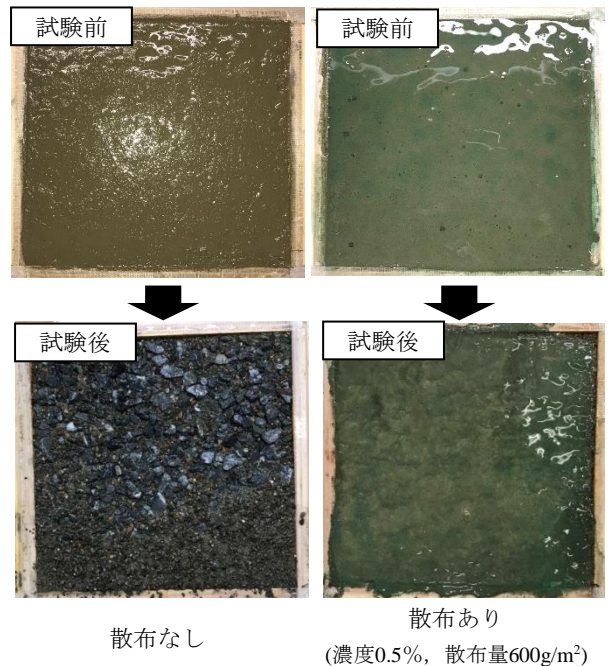


Photo 6 降雨試験前後のコンクリート表面の状況  
Conditions of Concrete Surface before and after  
Rainfall Tests

Table 5 降雨試験結果  
Rainfall Test Results

No.	散布したアルギン酸ナトリウム水溶液		アルギン酸ナトリウムの量 (g/m <sup>2</sup> )	不溶性ゲルの破損有無	流下した水のpH	流出した固形分量(g)
	濃度 (%)	散布量 (g/m <sup>2</sup> )				
1	比較用（散布なし）		—	—	11.48	7
2	0.5	150	0.75	破損	11.05	4.5
3		200	1.00	破損せず	8.06	0
4		300	1.50	破損せず	7.78	0
5		600	3.00	破損せず	8.10	0
6		900	4.50	破損せず	7.83	0
7		1200	6.00	破損せず	7.91	0
8	0.125	600	0.75	破損	11.23	5
9	0.2		1.20	破損せず	7.94	0
10	10		6.00	破損せず	8.19	0
11	15		9.00	破損せず	7.84	0
12	20		12.00	破損せず	7.65	0

#### 4.2 不溶性ゲルが許容打重ね時間等に及ぼす影響

水溶液を散布した場合としない場合のブリーディング率と許容打重ね時間間隔の測定結果をTable 6に示す。ブリーディング率は散布した場合にやや小さくなる傾向が認められたが、許容打重ね時間間隔や凝結時間は同様であった。このため、不溶性ゲルが打込みから1.5時間程度コンクリート表面に存在することは、ブリーディングや打重ね時間間隔に大きな影響を与えないと考えられる。

Table 6 ブリーディングおよび許容打重ね時間間隔  
Bleeding Ratio and Allowable Period Between  
Concrete Layers

アルギン酸ナトリウム水溶液の散布の有無	ブリーディング率 (%)	許容打重ね時間間隔 (h-m)	凝結時間 (h-m)	
			始発	終結
なし (比較用)	2.1	2-10	6-35	9-05
あり	1.6	2-20	6-55	9-40

#### 4.3 不溶性ゲルの混入が硬化後の強度に及ぼす影響

強度試験結果をTable 7に示す。不溶性ゲルを除去せずに打ち重ねた供試体の圧縮強度や簡易曲げ強度試験における破壊荷重は、不溶性ゲルを除去して打ち重ねた供試体や一体で打ち込んだ供試体と同等であった。簡易曲げ強度試験後の供試体の破断面の状況をPhoto 7に示す。不溶性ゲルを除去せずに打ち重ねた場合でも、破断面に不溶性ゲルの混入は目視では確認できなかった。

Table 7 強度試験結果  
Strength Test Results

供試体の製作方法種類	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	簡易曲げ試験における破壊荷重 (kN)
不溶性ゲルを除去して打重ね	34.7	24.4
不溶性ゲルを除去せず打重ね	33.8	24.4
一体で製作	34.3	23.8

これらのことから、実施工においても、不溶性ゲルをパイプレータや突き棒で破損させて周辺のコンクリートに混合すれば、強度特性に大きな影響は与えないものと考えられる。



不溶性ゲルを除去して打ち重ねた場合

### 5. 凝結遅延剤との併用による打継ぎ面の洗い出し効果の検討

前章での実験により、水溶液を散布することで、降雨に対して十分な強さを有する不溶性ゲルが生成できることが確認できた。1章で示したように、一つの積乱雲によりもたらされる降雨の継続時間は30分~1時間程度であることが多い。このため、大半の場合は、降雨の終了後に不溶性ゲルを除去して、打込み作業を再開できると考えられる。しかし、降雨が長時間継続する場合も想定される。この場合、後日、コンクリートを打ち継ぐことになるが、そのためには打継ぎ面のペースト層を除去し、粗骨材を露出させる必要がある。



不溶性ゲルを除去せず打ち重ねた場合

そこで、本章では、アルギン酸ナトリウム水溶液に凝結遅延剤 (主成分: オキシカルボン酸) を加えた溶液 (以下、遅延剤入り水溶液という) を散布することで、降雨が長時間となった場合に、翌日以降に、高圧洗浄機等により洗い出しを行い、粗骨材を露出させる打継ぎ処理が行えるかを検討した。



一体で製作した場合

#### 5.1 実験概要

検討ケースは、①開発品である遅延剤入り水溶液 (アルギン酸ナトリウム: 濃度0.5%, 凝結遅延剤成分: 濃度5%), ②市販の凝結遅延剤 (主成分: オキシカルボン酸) および③比較用として散布しない場合の3種類とした。①および②の散布量は600g/m<sup>2</sup>とした。

厚さ5cm×25cm×25cmの平板にTable 4に示すコンクリートを打込み、30分後に遅延剤入り水溶液ないしは市販の凝結遅延剤を散布した。遅延剤入り水溶液を散布し

Photo 7 簡易曲げ試験後の円柱供試体の外観  
Appearance of Test Piece after Simple Bending Test

た試験体は、3.1節で示した降雨を模擬した試験を行い、水およびセメント分の流出量や上澄み水のpHを測定した。72時間後に高圧洗浄機にて洗い出しを行った。その後、試験体表面における粗骨材の露出面積率を測定した。

#### 5.2 実験結果および考察

遅延剤入りの水溶液を散布した試験体で降雨実験を行ったところ、水溶性ゲルの破損は生じず、ペースト分の流出も認められなかった。流下した水のpHは7.85であり一般排水基準を満足していた。

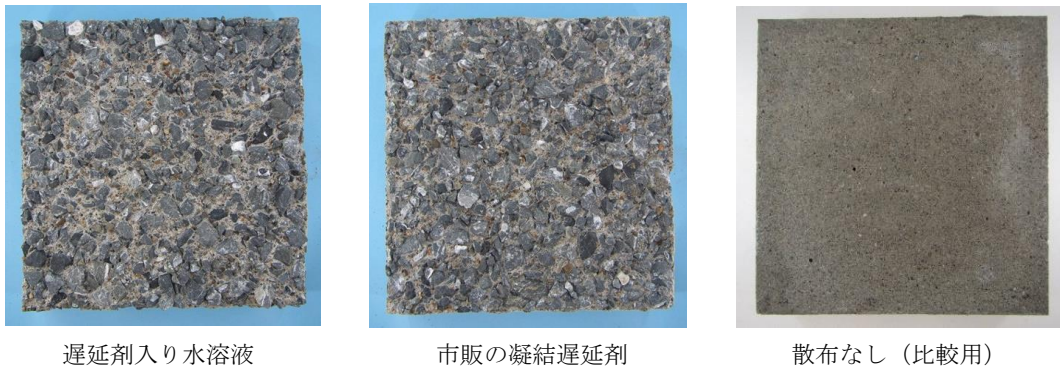


Photo 8 アルギン酸ナトリウムと凝結遅延剤を混合した水溶液による粗骨材の洗い出し効果

## Result for Performance of Sodium Alginate Solution with Set Retarder Added as Surface Retarder for Exposing Aggregate

散布の72時間後に、高圧洗浄機で表面の洗い出しを行った後の試験体の表面状況を2値化処理した結果とともにPhoto 8に示す。遅延剤入りの水溶液を散布した場合の粗骨材の露出面積率は、約62.9%であり、市販の凝結遅延剤の場合の65.1%と同等であった。

実験結果から、アルギン酸ナトリウム水溶液と凝結遅延剤を混合しても十分な強度を有する不溶性ゲルが生成できること、降雨の継続時間が長時間化した場合でも、不溶性ゲルを高圧洗浄機で除去することで、表面のペースト分を除去し粗骨材を露出できることが確認できた。

## 6. まとめ

コンクリート打込み時の降雨対策として、アルギン酸ナトリウム水溶液をコンクリートの打込み表面に散布し、コンクリート中のカルシウムと反応して不溶性ゲルを生成させ、コンクリートと雨水との接触を防止する工法を開発した。本研究の範囲で得られた知見を以下に示す。

- 1) 濃度0.5%のアルギン酸ナトリウム水溶液を200g/m<sup>2</sup>以上散布することで、降雨に対して十分な強さを有する不溶性ゲルを生成できる。
- 2) 不溶性ゲルがコンクリート表面に1.5時間程度存在しても、許容打重ね時間間隔には影響しない。
- 3) 不溶性ゲルはブローで容易に除去できる。除去しない場合でも、打重ねの際に下層まで突き棒等を挿入して混合することで、硬化コンクリートの強度への影響は認められない。
- 4) アルギン酸ナトリウム水溶液と凝結遅延剤を混合した溶液を散布しても、降雨に対して十分な強さを有する不溶性ゲルを形成できる。また、散布の72時間後に高圧洗浄機で洗い出すことで、市販の凝結遅延剤を用いる場合と同様にペースト分を除去し、粗骨材を露出できる。

今後は、コンクリートの配合条件（セメント種類や単位セメント量等）や降雨条件（降雨の継続時間、降雨強度等）を変化させた検証実験を行うとともに、実際の施工条件を模擬した広範囲な散布実験や試験施工等により効果を確認し、実施工に適用していく予定である。

## 参考文献

- 1) 気象庁、大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化、[https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme\\_p.html](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html), (参照 2023-05-16)
- 2) ニュートン編集部編著：空を見るのが楽しくなる天気、ニュートンプレス、pp. 42-43, 2022.10
- 3) 気象庁、積乱雲ってどんな雲？、[https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/tenki\\_chuui/tenki\\_chuui\\_p2.html](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/tenki_chuui/tenki_chuui_p2.html), (参照 2023-05-16)
- 4) 気象庁、各種データ・資料、<https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>, (参照 2023-05-16)
- 5) 宮島千尋：アルギン酸類の概要と応用、SEN'I GAKKAISHI（繊維と工業）、Vol. 65, No. 12, pp.444-448, 2009.12
- 6) 佐藤隆哉、寺松泰英、中根俊彦：アルギン酸カルシウム微粒子の開発と化粧品への展開、SEN'I GAKKAISHI（繊維と工業）、Vol. 52, No. 1, pp. 20-26, 1996.1
- 7) キミカ、アルギン酸ナトリウム、<https://www.kimica.jp/products/NaAlgin/>, (参照 2023-05-16)
- 8) 土木学会：コンクリートライブラリー103 コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策、pp. 7-20, 2000.12
- 9) 天明敏行、尾原祐三、力石祐也、齋藤淳：水平打継目の円柱供試体による曲げ強度試験、コンクリート工学年次論文集、Vol. 35, No. 1, pp. 1333-1338, 2013.7