

論文 アルギン酸ナトリウムの散布によるコンクリート施工時の降雨対策に関する検討

桜井 邦昭*1・伊佐治 優*2・田中 将希*3・阿合 延明*4

要旨：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、コンクリート表面と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/m²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としても適用できること等を示した。

キーワード：降雨, アルギン酸ナトリウム, 不溶性ゲル, 打込み, 打継ぎ, 凝結遅延剤

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打込み日を選定するのが一般的である。

しかし、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多い。気象庁 HP のデータ¹⁾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）の年間発生回数を図-1 に示す。年度によって、ばらつきがあるものの、全国で年間 200~300 回程度発生していることがわかる。なお、文献²⁾や気象庁 HP³⁾によれば、1 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⁴⁾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表-1 に示す。地域による違いはあるものの、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、写真-1 のように施工範囲をブルー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。

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容易な工法を開発した。具体的には、アルギン酸ナトリウム水溶液をコンクリートの打込み上面に散布することで、この水溶液とセメント中のカルシウムを反応させ、水に不溶なゲルを生成し、コンクリート表面と雨との接触を防ぐものである。

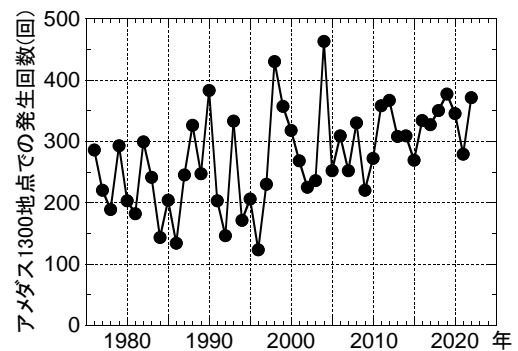


図-1 1 時間降水量 50mm 以上の年間発生回数

表-1 2021 年の各都市の日降水量

都市名	発生回数(回/年)			
	≥1mm/日	≥10mm/日	≥30mm/日	≥50mm/日
札幌	122	39	8	2
秋田	175	66	11	4
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
福井	175	87	30	8
大阪	99	52	25	9
松江	151	59	14	8
広島	92	57	29	7
福岡	102	48	16	9
那覇	131	59	26	14
平均	128	57	19	7



写真-1 ブルーシートによる降雨対策の事例

*1 (株)大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 主任研究員 博士(工学) (正会員)

*2 (株)大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 主任 修士(工学) (正会員)

*3 (株)大林組 土木本部 プロジェクト部 副部長 修士(工学) (非会員)

*4 ポゾリスソリューションズ(株) キーアカウントマネジメント 主幹 (正会員)

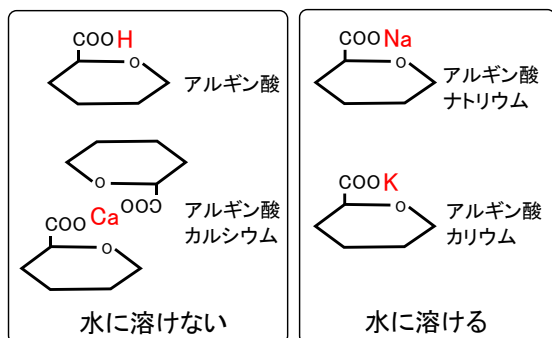


図-2 アルギン酸の性質(文献⁵⁾を基に作成)



写真-2 アルギン酸ナトリウムの散布による不溶性ゲルの生成状況



写真-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)

本稿では、始めにアルギン酸ナトリウムの散布による不溶性ゲルの生成の概要を示す。その後、降雨に対して十分な強さを有するゲルの生成に必要なアルギン酸ナトリウム水溶液の濃度や散布量、生成した不溶性ゲルが許容打重ね時間間隔等に及ぼす影響、不溶性ゲルの混入が硬化後の強度に及ぼす影響および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による打継ぎ面の洗い出し効果について検討した結果を示す。

2. アルギン酸ナトリウムによる不溶性ゲル生成の概要

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^{5)~7)}によれば次のような性質がある(図-2)。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、水に不溶な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、両者を混合すると一瞬で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上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水溶液(濃度0.5%)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写真-2に示す。アルギン酸ナトリウム水溶液は、本来無色の液体であるが、本研究で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ている。写真-2に示すように、散布から2~3分後には不溶性ゲルが生成された。ゲルの厚さは0.3mm程度であった。

アルギン酸ナトリウム水溶液は、写真-3に示すように、噴霧器で散布でき、また、コンクリート表面に生成した不溶性ゲルは、ブローなどで風を与えることで容易に除去することができる。

3. 実験概要

本稿では、アルギン酸ナトリウム水溶液の散布によりコンクリート施工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4項目について実験を行った。

3.1 アルギン酸ナトリウムの濃度と散布量

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アルギン酸ナトリウム水溶液の濃度と散布量を検討した。検討ケースを表-2に示す。実験には写真-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アルギン酸ナ

トリウム水溶液を散布した。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, 孔数100)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大きいが、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、上述のような水量で実験した。実験中に表面を流下する水および流出するセメント分を採取し、上澄みのpHを測定するとともに、110°C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表-3、配合を表-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ーを用い、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分後にスランプおよび空気量試験を行い、表-4に示す目標範囲内であることを確認して、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。なお、一連の実験は20°C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、コンクリート表面には不溶性ゲルが存在することになる。この不溶性ゲルの存在が、コンクリートの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。コンクリートには表-4の配合を用いた。検討ケースは、アルギン酸ナトリウム水溶液を散布する場合(濃度0.5%、散布量600g/m²)と散布しない場合とした。散布しない場合、ブリーディング試験はJIS A1123、許容打重ね時間間隔および凝結時間はJIS A1147に準じて試験した。散布する場合は、それぞれのJISに示される容器にコンクリートあるいは5mmふるいでスクリーニングしたモルタル試料を詰めた後、写真-5に示すように、水溶液を散布して90分間蓋をせずに室内で存置した。その後、ピンセットで表面の不溶性ゲルを除去し、ブリーディング試験および凝結試験を行った。なお、許容打重ね時間間隔は、文献⁸⁾を参考にプロクター貫入抵抗値が0.1N/mm²に達する時間とした。

3.3 不溶性ゲルの混入が硬化後の強度に及ぼす影響

写真-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アによって容易に除去することが可能である。しかしながら、実際の施工では、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、より施工の合理化を図ることが可能となる。

表-2 検討ケース(濃度と散布量)

検討要因	実験水準	
	水溶液の濃度(%)	散布量(g/m ²)
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

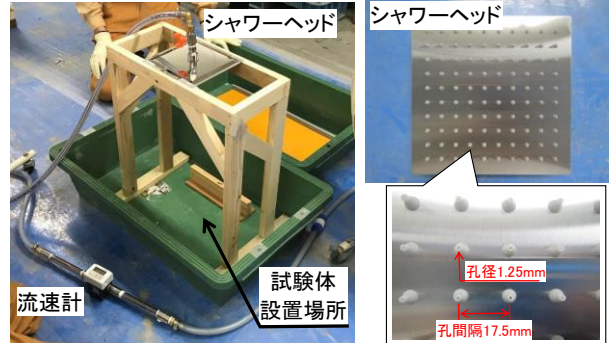


写真-4 降雨試験装置の概要

表-3 使用材料

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 ³
水	W	上水道水
細骨材	S	陸砂, 表乾密度2.59g/cm ³ , 吸水率2.35%, 粗粒率2.58
粗骨材	G	砕石2005, 表乾密度2.72g/cm ³ , 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)

表-4 コンクリートの配合

目標スランプ(cm)	目標空気量(%)	W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)				混和剤(C×%)	
				W	C	S	G	WR	AE
12±2.5	4.5±1.5	55	46.0	160	291	837	1032	1.0	0.002



写真-5 ブリーディング・凝結試験用試料への散布



写真-6 簡易曲げ試験の状況

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 A1108)と簡易曲げ強度⁹⁾とした。簡易曲げ強度試験は、写真-6に示すように、φ100×

200mm の円柱供試体を横向きにして、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、供試体破壊時の荷重を測定した。

供試体の作製は次のように行った。φ100×200mm の円柱型枠の下半分にコンクリートを打ち込んだ後、濃度 0.5% のアルギン酸ナトリウム水溶液を 600g/m² 散布し、90 分間存置した。その後、新たにコンクリートを製造して供試体の上半分に試料を詰め、JIS A 1132 に従い下層まで突き棒を 8 回挿入して突き固めた。なお、比較のため、一体でコンクリートを打ち込んだ供試体も採取した。供試体は翌日脱型して 14 日間 20℃ の水中で養生した後各種の強度試験に供した。なお、供試体はそれぞれ 3 本採取・試験して平均値を求めた。

3.4 凝結遅延剤との混合による打継面の洗い出し効果

1 章で示したように、1 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、コンクリートの打込み作業を再開することが可能と考えられる。しかし、降雨が長時間継続する場合や、コンクリートの打込み完了後に降雨となる場合も想定される。このような場合には、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。

そこで、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）を散布する方法を検討した。検討は、①遅延剤入り水溶液（アルギン酸ナトリウムが濃度 0.5% および凝結遅延剤成分が濃度 5% となるように混合した水溶液）、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 ケースとした。①および②の散布量は 600g/m² とした。

厚さ 5cm×25cm×25cm の平板に表-4 に示すコンクリートを打ち込み、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た試験体は、3.1 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。24 時間後に高圧洗浄機にて洗い出しを行った。その後、粗骨材の露出部分以外を白色マーカで着色して写真を撮影し、画像データを 2 値化処理して、粗骨材の露出面積率を測定した。

4. 実験結果および考察

4.1 アルギン酸ナトリウムの濃度と散布量

降雨試験時の状況を写真-7、試験後の試験体表面の状況を写真-8、試験結果を表-5 にそれぞれ示す。

アルギン酸ナトリウム水溶液を散布しない場合、降雨

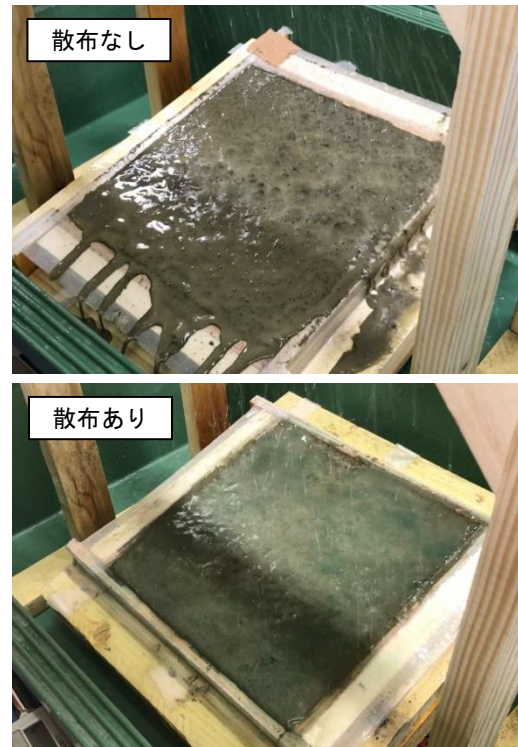


写真-7 降雨試験時の状況



散布なし

散布あり

(濃度 0.5%, 散布量 600g/m²)

写真-8 降雨試験後の表面の状況

表-5 降雨試験結果

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 ²)	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 ²)				
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

表-6 ブリーディング，許容打重ね時間間隔

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

表-7 強度試験結果

供試体の製作方法種類	圧縮強度 (N/mm ²)	簡易曲げ強度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

により表面のペースト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。アルギン酸ナトリウム水溶液を散布した場合、散布量が 600g/m² で濃度が 0.125%、および濃度 0.5% で散布量 150g/m² 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。また、表面を流下した水の pH は一般排水基準を満足しており、実施工においても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。今回の結果を踏まえると、アルギン酸ナトリウムを 1g/m² 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。

なお、今回の実験は限られた条件であることから、今後は、セメント種類や単位セメント量などの配合条件や、降雨条件 (降雨の継続時間、降雨高さ) を変化させた場合についても検討していく必要がある。

4.2 不溶性ゲルが許容打重ね時間等に及ぼす影響

アルギン酸ナトリウム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および許容打重ね時間間隔の測定結果を表-6 に示す。ブリーディング率は散布した場合にやや少な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。このことから、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は大きな影響は与えないものと考えられる。

4.3 不溶性ゲルの混入が硬化後の強度に及ぼす影響

強度試験結果を表-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写真-9 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。

これらのことから、実施工においても、不溶性ゲルを



不溶性ゲルを除去して打ち重ねた場合



不溶性ゲルを除去せず打ち重ねた場合



一体で製作した場合

写真-9 簡易曲げ試験後の供試体の外観

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。

4.4 凝結遅延剤との混合による打継面の洗い出し効果




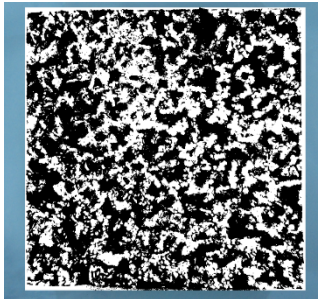
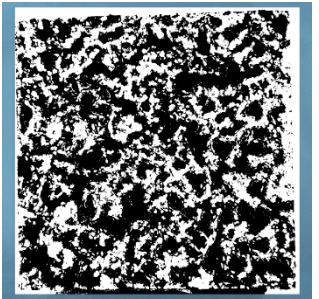
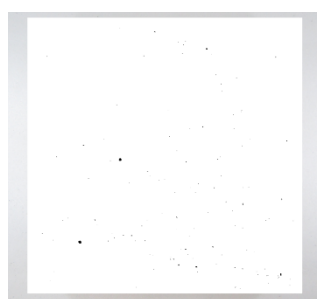
アルギン酸ナトリウムと凝結遅延剤を混合した水溶液をコンクリート表面に塗布することで、施工中の降雨対策としての不溶性ゲルの生成と、降雨が長時間化した際の打継ぎ対策としての表面の洗い出し効果が両立できるかを検討した。

遅延剤入りの水溶液を散布した試験体で 3.1 節に示す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 であり一般排出基準を満足していた。散布の 24 時間後に、高圧洗浄機で表面の洗い出しを行った。粗骨材が露出していない部分を白色マーカで着色し撮影後、二値化処理を行い、粗骨材の露出面積率を算出した。

試験結果を表-8 に示す。遅延剤入りの水溶液を散布した場合の粗骨材が露出した面積率は約 57% であり、市販の凝結遅延剤を散布した場合と同等であった。

今回の実験結果から、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。

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

	遅延剤入り水溶液	市販の凝結遅延剤	散布なし（比較用）
洗い出し後の状況			
二値化後			
粗骨材の露出面積率 (%)	57.1	56.5	0.1

5. まとめ

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。本稿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/m² 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、翌日、高圧洗浄機で洗い出すことで、市販の凝結遅延剤と同様にペースト分を除去し、粗骨材を露出できる。

参考文献

- 1) 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（閲覧日：2022年12月5日）

- 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) 積乱雲ってどんな雲？：
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/tenki_chuui/tenki_chuui_p2.html（閲覧日：2022年12月5日）
- 4) 各種データ・資料：
<https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>（閲覧日：2022年12月5日）
- 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) アルギン酸ナトリウム：
<https://www.kimica.jp/products/NaAlgin/>（閲覧日：2022年12月5日）
- 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
- 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