

コンクリート打込み時の降雨対策工法「レイニーコート™」の実用化研究

井上 裕太 伊佐治 優
田中 基 桜井 邦昭

Practical Study of the “Rainy-Coat™” Method to Prevent Rainwater Penetration into Concrete

Yuta Inoue Yu Isaji
Motoki Tanaka Kuniaki Sakurai

Abstract

To prevent rainwater penetration into concrete, this study proposed a method named “Rainy-Coat™,” that applied sodium alginate to concrete surfaces and generated an insoluble gel. This study aimed to evaluate the effectiveness of this method in practical applications. This study confirmed that the solutions could be applied using typical commercial sprayers and that the resulting insoluble gel could defend concrete surfaces against rainstorms with 200 mm/h of rainfall and wind speeds of 8 m/s. Furthermore, the solutions incorporating set retarders functioned as surface retarders, allowing laitance removal even after 72 h. Additionally, the gel could be smoothly removed on the following day or later using ordinary polishers or by applying a sodium carbonate solution.

概要

アルギン酸ナトリウム水溶液（以下、AN水溶液とする）をコンクリートの打込み表面に散布して不溶性ゲルを生成する施工時の降雨対策工法「レイニーコート™」の実用化に向けた検討を行った。その結果、AN水溶液は市販の高圧洗浄機等により容易に散布できること、降雨量200mm/h、風速8m/sの猛烈な風雨が作用してもコンクリート表面を保護できることを確認した。また、働き方改革による土日現場閉所を想定し、コンクリートの打込みから72時間後に不溶性ゲルを除去する場合の施工方法についても検討を行った。その結果、打継ぎ処理が必要な場合には、凝結遅延剤を混合したAN水溶液を散布することで、高圧洗浄機を用いて粗骨材を洗い出せることを確認した。さらに、コンクリート表面に平滑さが求められる場合には、ポリッシャーによる研磨または炭酸ナトリウムの散布により、平滑さを保持しつつ不溶性ゲルを除去できることを確認した。

1. はじめに

コンクリートの打込み中に雨が降ると、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、打込み作業の工程は気象情報を参考に雨天日を避けて計画するのが一般的である。しかし、Table 1¹⁾に示すように、地域による違いはあるものの、年間100日前後は雨天日となっており、これを避けて工程を設定するのは難しい場合もある。加えて、特に夏季は気温上昇に伴い積乱雲が急激に発達して、昼過ぎから夕方にかけて天候が急変し降雨となる場合も多い。また、近年ではゲリラ豪雨が多発している。

雨天により打込み作業が中止・延期になると、工事全体の工程が遅延する。また、2024年度より本格適用される働き方改革の推進に伴い、実質的な営業日数は減少している。このため、多少の降雨が予測される日でも打込み作業ができる選択肢は必要である。現状、打込み中に降雨が発生した場合の対策としては、Photo 1のように施

Table 1 2023年の各都市の日降水量

Daily Precipitation for Each City in 2023

都市名	発生回数 (回/年)			
	≥1mm/日	≥10mm/日	≥30mm/日	≥50mm/日
札幌	125	24	6	0
仙台	89	32	10	4
東京	90	41	14	4
名古屋	99	48	11	6
大阪	95	39	8	4
広島	93	42	16	5
福岡	113	50	17	8



Photo 1 ブルーシートによる降雨対策の事例
An Example of Covering Concrete with Sheets to Prevent Damage from Rainfall

工範囲をブルーシートで覆うことが多いが、設置には多大な労力が必要である。

そこで、アルギン酸ナトリウム水溶液（以下、AN水溶液とする）をコンクリート表面に散布することで、Photo 2に示すような不溶性ゲルを生成し、雨との接触を防ぐ新たな対策工法「レイニーコート™」を開発した^{2),3)}。この工法は、水に可溶性アルギン酸ナトリウムがセメント中のカルシウムイオンと接触することで、即座に不溶性アルギン酸カルシウムとなる性質を利用したものである^{4),5)}。なお、不溶性ゲルの厚さは0.3mm程度である。既報では、AN水溶液の散布により、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、小型試験体を用いた実験により明らかにした。

本稿では、実施工に向けた検討として、強雨・強風が作用してもコンクリート表面を保護できること、広範囲な打込み面積に本工法を適用する場合の施工性を検討した。さらに、本工法を適用するタイミングや対象構造物の種類に応じた不溶性ゲルの除去方法を検討した。

2. 強雨・強風に対するコンクリート表面の保護

本章では、AN水溶液の散布により生成された不溶性ゲルが、強雨・強風に晒された場合でも損傷せず、コンクリート表面を保護できることを検証するために、大型試験体を用いて、様々な気象を再現できる多目的人工気象再現室にて実験を行った。

2.1 多目的人工気象再現室の概要

多目的人工気象再現室の外観をPhoto 3、装置の性能をTable 2に示す。多目的人工気象再現室は、温度、湿度、降雨、風速、日射、降雪の6種類の気象条件を設定できる装置である。これらを単独もしくは複合して設定することで地球上の様々な地域の気象を再現できる。今回は降雨および風速の気象条件を設定した。

2.2 実験概要

コンクリートの使用材料をTable 3、配合をTable 4に示す。セメントには土木構造物での使用実績が多い高炉セメントB種を用いた。高炉セメントB種は、ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を40～60%の範囲で混合したセメントである。このため、このセメントで不溶性ゲルが生成できれば、他のポルトランドセメントではより容易にゲルが生成されると考えられる。

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60L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

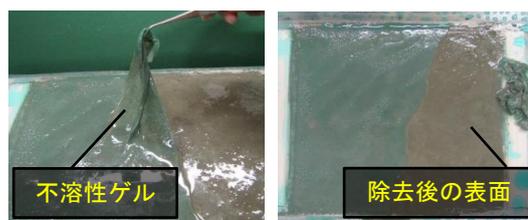


Photo 2 アルギン酸ナトリウム水溶液の散布による不溶性ゲルの生成および除去後の状況
Insoluble Gel Formation by Spraying Sodium Alginate and Conditions after Removal



Photo 3 多目的人工気象再現室
Multipurpose Artificial Meteorological Simulation Chamber

Table 2 多目的人工気象再現室の性能
Performance of the Chamber

	低温室	高温室
寸法	W5,000mm×L6,550mm×H5,250mm	
温度	-30℃～+60℃	+15℃～+60℃
湿度	20%RH～80%RH	
降雨	20mm/h～200mm/h	
風速	3m/s～10m/s	
日射	70,000Lx～100,000Lx	
降雪	200mm/D～1,000mm/D	—

Table 3 使用材料
Material Properties Used for Concrete

種類	記号	物理的性質など
水	W	上水道水
セメント	C	高炉セメントB種、密度3.04g/cm ³
細骨材	S	大井川水系掛川産陸砂、表乾密度2.59g/cm ³ 、吸水率1.86%、粗粒率2.84、実積率68.4%
粗骨材	G	碎石2005、表乾密度2.73g/cm ³ 、吸水率0.55%、粗粒率6.62、実積率59.5%
混和剤	HWR	AE減水剤（高機能タイプ）

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

目標 スランブ (cm)	目標 空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				HWR (C×%)
				W	C	S	G	
12±2.5	4.5±1.5	55.0	46.0	160	291	834	1030	1.05

がり5分後にスランプおよび空気量試験を行い、Table 4に示す目標範囲内であることを確認した後、コンクリートを型枠に打ち込み、2つ試験体を製作した。試験体の寸法はW1200mm×L1200mm×H100mmである。コンクリート表面は金鏝を用いて平滑に仕上げた。

打込みから15分後に、1つの試験体に高压洗浄機を用いてAN水溶液を約750g/m²散布した。もう1つの試験体には散布しなかった。散布から15分後に、多目的人工気象再現室で降雨量を200m/h、風速を8m/sに設定して試験体を風雨に晒した。なお、この雨は予報用語で「猛烈な雨」と呼ばれる最も強い雨に分類される。風雨を30分間作用させた後、試験体表面の様子を観察した。実験状況をPhoto 4に示す。



Photo 4 実験状況
Experimental Situations

2.3 実験結果

AN水溶液を散布しなかった試験体の試験後の状況をPhoto 5に、散布した試験体をPhoto 6に示す。散布なしの試験体は降雨によってコンクリート表面のペースト分が流され、試験体外に流出しているのが確認できる。一方、散布ありの試験体は表面に生成した不溶性ゲルが破損することなく降雨終了まで残存していた。よって、不溶性ゲルにより、猛烈な雨に分類される強い雨と風が作用しても打込み表面を保護できることを確認した。



Photo 5 散布なし
Unsprayed Test Piece



Photo 6 散布あり
Sprayed Test Piece

3. 広範囲の散布実験による施工性の検討

3.1 実験概要

本工法を適用する場合、実施工では、気象予報や実際の雨雲の動きを察知して、打込み作業を中断し、AN水溶液を散布して降雨に備えることになる。そのため、AN水溶液は容易に短時間で散布できる必要がある。そこで、容易に散布が行えることを検証するため、面積16m² (4m×4m)の打込み面を対象に、高压洗浄機を用いてAN水溶液を散布した。

本実験では簡素化のため、コンクリートの代わりにモルタルを使用した。使用したモルタルの配合をTable 5に示す。Table 4に示すコンクリートの配合から粗骨材を取り除いた配合であり、セメントには高炉セメントB種を用いた。散布の様子を観察するとともに、散布完了までに要した時間を計測した。散布状況をPhoto 7に示す。

また、AN水溶液の散布から15分後に、散水ホースを用いて降雨を模した簡易的な散水を行ったのち、30分後にブロアを用いてモルタル表面の不溶性ゲルを吹き飛ばすようにして除去した。不溶性ゲルの除去状況をPhoto 8に示す。除去の様子を観察するとともに除去完了までに要した時間を計測した。

3.2 実験結果

モルタル表面に十分と考えられる量(約750g/m²)のAN水溶液の散布に要した時間は約100秒であった。この結果を用いると、実現場において打込み作業中に気象情報に

Table 5 モルタルの配合
Mix Proportion of Mortar

W/C (%)	S/C	単位量 (kg/m ³)			HWR (C×%)
		W	C	S	
55.0	2.97	252	459	1362	1.00



Photo 7 アルギン酸ナトリウム水溶液の散布状況
Spraying Situations of Sodium Alginate

て降雨の予報を入手してから15分間で降雨対策を行うと仮定した場合、1人で約150m²の面積を散布できることになる。また、不溶性ゲルの除去に要した時間は約150秒であった。同様に、150m²分の不溶性ゲルを除去すると仮定すると、約24分間で作業を完了できることになる。

今回の結果を踏まえると、AN水溶液の散布による本工法は、実施工に適用できる十分な施工性を有していると考えられる。なお、AN水溶液は高圧洗浄機だけでなく、Photo 9に示すような農作業の薬品散布等に用いられる背負い式エンジン噴霧器でも高圧洗浄機と同程度の散布時間で散布することができる。

4. 不溶性ゲルの除去方法の検討

4.1 本工法の適用が想定される状況

本工法の適用が想定される状況をFig. 1に示す。本工法を適用する施工時のタイミングは、大別して①打込み作業中に降雨となる場合、②打込み・仕上げが終了した後、コンクリートが十分に硬化するまでの間に降雨となる場合の2つに分けられる。また、不溶性ゲルを除去するタイミングおよび除去後のコンクリート表面に求められる性能に応じて、以下のA～Cに分類される。

パターンAは、①かつ打ち込んだコンクリートの硬化が始まらないうちに雨が止む場合（①-1）である。この場合は、前章で示したように降雨後にブローで不溶性ゲルを除去し、打込み作業を再開することができる。

パターンBは、①かつ降雨が長時間となり打ち込んだコンクリートが硬化してしまう場合（①-2）、および②かつ上部にコンクリートを打ち継ぐ場合（②-1）である。この場合は、翌日以降に不溶性ゲルを除去し、かつコンクリート表面のペースト分を除去して粗骨材を露出させる打継ぎ処理を行う必要がある。不溶性ゲルは時間の経過とともに水分が逸散するため、散布から数時間程度はPhoto 2に示すゲル状であるが、さらに時間を経過するとPhoto 10に示す通り、乾燥してコンクリート表面に付着

した状態となる。このため、前章で示したようなブローでの除去は難しく、別の方法で除去する必要がある。なお、②-1は主にダム工事等の土木構造物が該当する。

パターンCは、②かつ上部に塗床・張床やタイルカーペット等を施工する場合（②-2）である。この場合はパターンBと同様に、翌日以降にブロー以外の方法で不溶性ゲルを除去する必要がある。塗床・張床やタイルカーペット等の施工には、コンクリート表面の平滑さが求められるため、不溶性ゲルの除去時に平滑さを損なわない除去方法が必要になる。なお、②-2は一般建築物（物流倉庫、病院、オフィス等）が該当する。

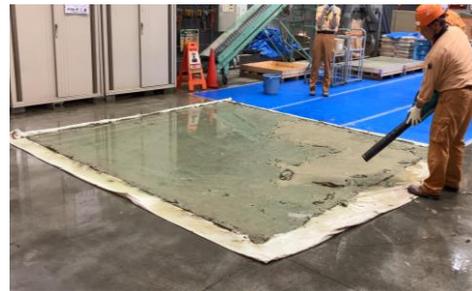


Photo 8 不溶性ゲルの除去状況
Removing Situations of Insoluble Gel



Photo 9 背負い式エンジン噴霧器での散布状況
Spraying Situations of Sodium Alginate
Using Knapsack Type Engine Sprayer

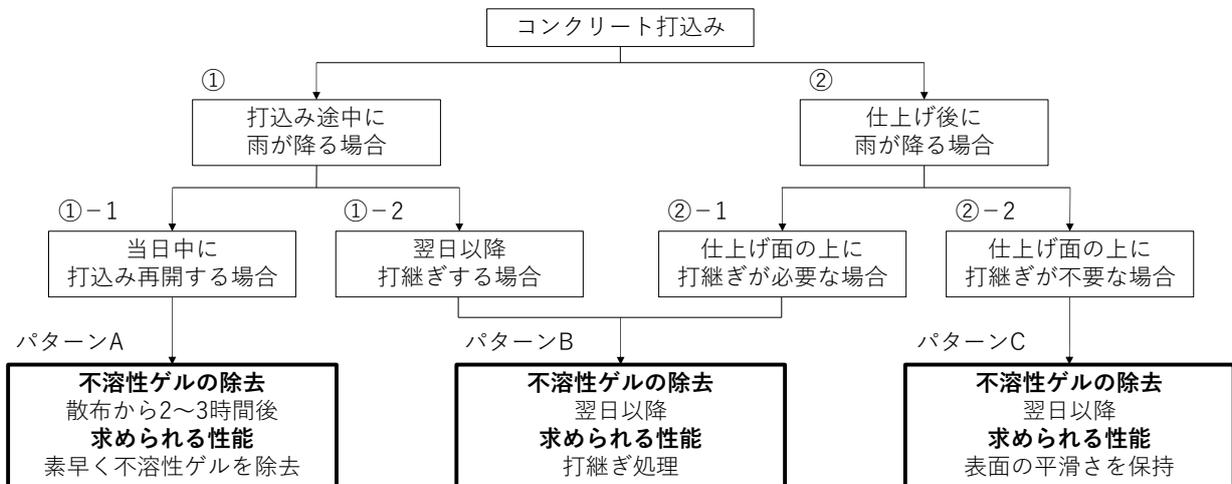


Fig. 1 本工法の適用が想定される状況
Situations in which This Method is Expected to be Applied

4.2 実験概要

本章では、パターンBおよびパターンCの場合の不溶性ゲルの除去方法を検討した。

パターンBの場合、コンクリート表面に付着した不溶性ゲルの除去と同時に打継ぎ処理を行う必要がある。コンクリートの硬化が進むと打継ぎ処理が困難になることから、前章までのAN水溶液に凝結遅延剤を5%添加した水溶液（以下、遅延剤入りAN水溶液という）を用いることとし、翌日以降に高圧洗浄機にて不溶性ゲルと表面のペースト分を除去する方法を検討した。高圧洗浄機によるこれらの除去状況をPhoto 11に示す。

パターンCの場合、コンクリート表面の平滑さを保持しながら不溶性ゲルを除去できる方法として、建築工事においてコンクリート表面を平滑に仕上げるために汎用的に使用されるポリッシャーで研磨する方法と炭酸ナトリウム水溶液を散布する方法を検討した。なお、炭酸ナトリウム水溶液を散布する方法は、炭酸ナトリウムが不溶性ゲル（アルギン酸カルシウム）と反応して、再度水に可溶なアルギン酸ナトリウムに戻る性質を利用したものである。アルギン酸ナトリウムの状態に戻した後は水かきワイパー等で容易に除去できる。ポリッシャーによる不溶性ゲルの除去状況をPhoto 12に、炭酸ナトリウム水溶液による不溶性ゲルの除去状況をPhoto 13に示す。

上記2パターンの検証実験の概要を以下に示す。2章と同様の手順で試験体を3体作製し、1体には遅延剤入りAN水溶液、残りの2体にはAN水溶液を各750g/m²ずつ散布して不溶性ゲルを生成した後に降雨実験を行った。そして、働き方改革による土日現場閉所を想定し、72時間後に不溶性ゲルの除去を行った。具体的には、金曜日に打込み作業を行った際に降雨となり、AN水溶液を散布して不溶性ゲルを生成させた後、翌週の月曜日に不溶性ゲルを除去することを想定したものである。

不溶性ゲルの除去方法として、遅延剤入りAN水溶液を散布した試験体では高圧洗浄機による除去、AN水溶液を散布した試験体ではポリッシャー（ディスクサンドペーパー #80）の研磨による除去および炭酸ナトリウムの散布による除去を行った。除去後に各試験体表面の状況を観察した。

4.3 実験結果

遅延剤入りAN水溶液を散布した試験体表面の不溶性ゲルを高圧洗浄機にて除去した後の状況をPhoto 14に示す。また、遅延剤を含まないAN水溶液を散布した試験体表面をポリッシャーで研磨した後の状況をPhoto 15に、炭酸ナトリウム水溶液を散布して除去した後の状況をPhoto 16にそれぞれ示す。

高圧洗浄機による除去では、コンクリート表面に付着した不溶性ゲルおよびコンクリート表面のペースト分を問題なく除去することができた。粗骨材が十分に露出しており、打継ぎ処理できると考えられる。よって、高圧洗浄機による除去方法は、①-2または②-1の場合に使

用できることを確認できた。

ポリッシャーによる研磨および炭酸ナトリウム水溶液での除去のいずれの方法でも、不溶性ゲルを容易に除去



Photo 10 散布翌日の不溶性ゲルの状況
States of Insoluble Gel on the Day after Spraying



Photo 11 高圧洗浄機での除去状況
Removing Situations by High-pressure Cleaner



Photo 12 ポリッシャーによる除去状況
Removing Situations by a Polisher



Photo 13 炭酸ナトリウムによる除去
Removing Situations by Sodium Carbonate Solution



Photo 14 高圧洗浄機による除去後の試験体
Test Piece After Removal by High-pressure Cleaner



Photo 15 ポリッシャーによる除去後の試験体
Test Piece After Removal by a Polisher



Photo 16 炭酸ナトリウムによる除去後の試験体
Test Piece After Removal
by Aqueous Sodium Carbonate Solution

Table 6 本対策工法における状況ごとに使用する水溶液と不溶性ゲルの除去方法
Aqueous Solutions and Removal Method of Insoluble Gel to be Used for Each Situation in This Method

パターン	使用水溶液	不溶性ゲルの除去方法
A	遅延剤入り AN 水溶液	ブロー
B	遅延剤入り AN 水溶液	高圧洗浄機
C	AN 水溶液	ポリッシャー, 炭酸ナトリウム

することができた。さらに、いずれの方法でもコンクリート表面の平滑さは保持されており、この後に塗床・張床等の施工が行えると考えられる。よって、ポリッシャーによる研磨および炭酸ナトリウム水溶液による除去は、②-2の場合に使用できることを確認できた。

最後に、本対策工法における状況ごとに使用する水溶液と不溶性ゲルの除去方法をTable 6にまとめる。なお、パターンAについて、雨が降り始めた段階では、コンクリートの硬化が始まる前に雨が止むと判断できない場合もあるため、遅延剤入りAN水溶液の使用を基本とする必要があると想定している。

5. まとめ

アルギン酸ナトリウム水溶液を打込み表面に散布し、不溶性ゲルを生成することによる打込み時の降雨対策工法について、実施工に向けた検討を行った。本稿の範囲で得られた知見を以下に示す。

- 1) アルギン酸ナトリウム水溶液を750 g/m²散布することで、猛烈な雨に分類される降雨量200mm/hの雨と風速8m/sの風に晒されても、コンクリート表面を保護できる。
- 2) アルギン酸ナトリウム水溶液の散布や不溶性ゲルの除去に要する時間は十分短く、実施工で容易に適用できる施工性を有している。
- 3) 打継ぎ処理が必要な場合、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散布することで、コンクリート面を降雨から保護でき、かつ高圧洗浄機を用いることで、72時間後に粗骨材を洗い出せる。
- 4) コンクリート表面の平滑さが必要な場合、ポリッシャーによる研磨または炭酸ナトリウムの散布により、平滑さを保持しつつ不溶性ゲルを除去できる。

参考文献

- 1) 気象庁, 各種データ・資料, <https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>, (参照: 2024.05.20)
- 2) 桜井邦昭, 伊佐治優, 上垣義明, 田中将希: 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, 大林組技術研究所報, No.87, pp.1-6, 2023.12
- 3) 桜井邦昭, 伊佐治優, 田中将希, 阿合証明: 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.45, No.1, pp.1648-1653, 2023.7
- 4) 宮島千尋: アルギン酸類の概要と応用, SENI GAKKAISHI (繊維と工業), Vol.65, No.12, pp.444-448, 2009.12
- 5) 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, SENI GAKKAISHI (繊維と工業), Vol. 52, No. 1, pp. 20-26, 1996.1