

論文 アルギン酸ナトリウムと凝結遅延成分から成る新しい打継目処理剤による打継目の品質確保に関する実験的検討

伊佐治 優*1・桜井 邦昭*2・井上 裕太*3・三森 耀介*4

要旨: 打継面の処理では、打継目処理剤を散布し、翌日に洗い出す方法が用いられている。アルギン酸ナトリウムと凝結遅延成分を含有した水溶液をコンクリート表面に散布して不溶性ゲルの膜を生成することで、降雨や湛水養生の影響を受けず、打設の72時間後でも洗出しを行える新しい打継目処理剤を開発した。72時間後に洗い出した面にコンクリートを打ち継いだ試験体のせん断応力度は、一般的な打継目処理剤を用いて打ち継いだ試験体と同等であることを確認した。また、模擬試験体による施工実験を行い、新規打継目処理剤は容易に散布でき、72時間後に洗出しを行うことでペースト分を適切に除去できることを確認した。

キーワード: 打継目処理剤, 不溶性ゲル, アルギン酸ナトリウム, 凝結遅延成分, 一体性

1. はじめに

コンクリート構造物の構築では、施工上の制約条件から、打継目を設けることが多い。打継目は構造物の弱点となりやすく、適切な処理や施工が行われていない場合には、力学性能や耐久性の低下を招く恐れがある。そのため、2023年制定コンクリート標準示方書【施工編】¹⁾では、十分な強度、耐久性および水密性を有する打継目を造るために、既に打ち込まれた下層のコンクリートの表層部分のレイタンスや品質の悪いコンクリート、緩んだ骨材等は取り除く必要があるとしている。

一般的なコンクリート構造物の打継面の処理方法としては、グルコン酸ナトリウムや糖類等の凝結遅延成分を含む打継目処理剤を散布し、表層の硬化を意図的に遅らせ、翌日以降に高压洗浄機等で洗い出す方法が広く用いられている。さらに、昨今の働き方改革の推進に伴い、土日閉所を実践している施工現場も多いため、休日を挟んでも打継面の処理が行えるように、凝結遅延効果を高めた打継目処理剤²⁾も検討されている。

しかしながら、上記のような打継目処理剤は一般的に液体のため、散布後に降雨や湛水養生等による水の流入がある場合には、凝結遅延成分が流出してしまい、打継

面の処理が十分に行えなくなる可能性がある。休日を挟む場合には、降雨の影響を受ける確率はさらに高まる。また、水の流入による打継目の品質低下も懸念される。

そこで、アルギン酸ナトリウム水溶液に凝結遅延成分を含有させることで、降雨等の水の流入による凝結遅延成分の流出を防ぐことができる新しい打継目処理剤(以下、新規打継目処理剤という)を開発した。アルギン酸ナトリウム水溶液は、コンクリート中のカルシウムイオンと反応し、**写真-1**に示す不溶性ゲルを生成する特性を有しており、既報^{3),4)}において、この不溶性ゲルによって水の侵入を遮断でき、風を伴う猛烈な雨でもコンクリートを保護できることを明らかにしている。新規打継目処理剤は、不溶性ゲルの中に凝結遅延成分が存在することになるため、流出の防止が期待できる。

本稿では、新規打継目処理剤が降雨や湛水養生により水が流入した場合でも凝結遅延成分の流出を防止できること、洗い出した打継目の一体性が従来の打継目処理剤を用いた場合と同等以上であることおよび施工実験にて新規打継目処理剤が容易に散布でき、打継面の処理が行えることを検証した結果を示す。

2. 凝結遅延成分の流出防止効果の検証

2.1 実験概要

新規打継目処理剤が、降雨等の水の流入による凝結遅延成分の流出の防止効果を有することを検証するため、小型の試験体による室内実験を行った。

検討ケースを**表-1**に示す。実験では、市販の打継目処理剤および2.0%濃度のアルギン酸ナトリウムに凝結遅延成分(糖類)を1.0%混合した新規打継目処理剤を使

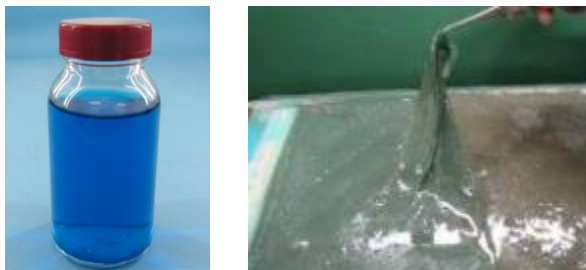


写真-1 アルギン酸ナトリウム水溶液と不溶性ゲルの外観

*1 ㈱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)

*2 ㈱大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 主席技師 博士(工学) (正会員)

*3 ㈱大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 修士(工学) (正会員)

*4 シーカ・ジャパン(株) イノベーション&サステナビリティ コンクリートシステムズ 修士(工学) (正会員)

用した。散布量は、市販の打継目処理剤ではカタログに記載の標準量の $300\text{g}/\text{m}^2$ 、新規打継目処理剤は $750\text{g}/\text{m}^2$ とした。市販の打継目処理剤では、降雨の作用がある場合とない場合の2通り(No.2, 3)とし、新規打継目処理剤では、降雨の作用がある場合の1通り(No.4)とした。また、比較用として、打継目処理剤の散布を行わず降雨を作用させた場合(No.1)も併せて実施した。

試験体の概要を図-1に示す。試験体の作製には、塩ビパイプ(直径300mm、高さ500mm)の底部に化粧合板を取り付けた円筒形の型枠を使用した。試験体は、高さ400mmの位置までコンクリートを打込み、突き棒と木槌で締めを行い、コンクリート表面が平坦になる程度に適度に表面を均した。なお、今回の実験では、ブリーディングの影響も考慮できるように、比較的高さの高い試験体とした。いずれの打継目処理剤とも打込み完了から15分後に所定量を散布した。散布完了から4時間経過した時点で、写真-2に示すように、降雨を模擬した流水をコンクリート表面に流量約 $1.0\text{L}/\text{min}$ で作用させた。流水の作用は、型枠内が満水になった後も継続し、打継面の処理を行う直前まで注水し続けた。打継面の処理は、土日の休日を挟んで行うことを想定し、打込み完了から72時間後に行った。処理には、写真-3に示すように水圧 5.0MPa の高圧洗浄機を用いた。

コンクリートの使用材料を表-2、配合を表-3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、水セメント比は55%、スランプは12cmとし、セメントは高炉セメントB種を用いた。練混ぜには強制二軸練りミキサーを使用し、練上がりから5分後にスランプおよび空気量試験を行い、表-3に示す目標範囲内であることを確認した後に、打込みを行った。また、JIS A 1123に準拠してブリーディング試験も併せて行った。一連の試験は全て温度 20°C に管理された室内にて実施した。

2.2 実験結果および考察

72時間後の打継面処理前後のコンクリート表面の状況を表-4に示す。表中に示す洗出し深さとは、洗出し前のコンクリート表面からの深さ(モルタルが削り出された深さ)である。今回は、任意に定めた25点で表面からの深さをノギスで測定し、その平均値を求めた。また、表-3中に、ブリーディング試験の結果として、測定開始から15分後と最終的なブリーディング量を示す。

市販の打継目処理剤を散布し降雨を作用させなかった試験体では、72時間後において表面に打継目処理剤の白色の模様が確認できた。洗出しを行ったところ、全面にわたって良好に粗骨材を露出することができていた。洗出し深さは 4.07mm であった。なお、既往の検討^{2) 5)}では、良好な洗出し深さは $2\sim 5\text{mm}$ 程度と報告されている。また、ブリーディング試験の結果より、散布が完了

表-1 検討ケースの一覧(流出防止効果の検証)

No.	打継目処理剤の条件		降雨の影響の有無
	種類	散布量	
1	散布なし		あり
2	市販の打継目処理剤	$300\text{g}/\text{m}^2$	なし
3			あり
4	新規打継目処理剤	$750\text{g}/\text{m}^2$	あり

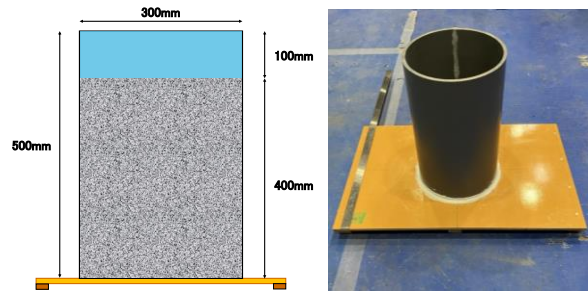


図-1 試験体の概要



写真-2 流水の作用状況



写真-3 洗出しの状況

表-2 使用材料

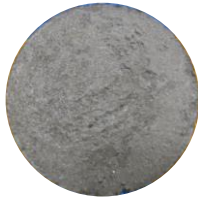
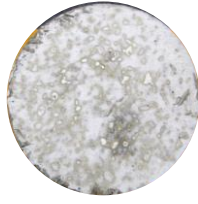
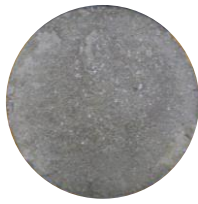

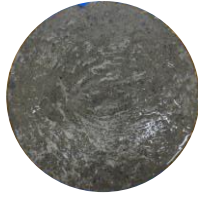

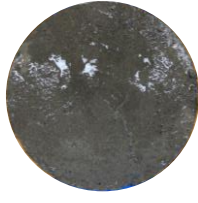

種類	記号	物理的性質など
セメント	C	高炉セメントB種、密度 $3.04\text{g}/\text{cm}^3$
水	W	上水道水、密度 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$
細骨材	S	陸砂、表乾密度 $2.60\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率2.35%、粗粒率2.58
粗骨材	G	砕石2005、表乾密度 $2.72\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率0.6%、実積率58.8%
混和剤	HWR	AE減水剤(高性能タイプ)
	AE	空気量連行剤(100倍希釈で使用)

表-3 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 (%)	単体量 (kg/m^3)				混和剤 (C×%)		ブリーディング量 (cm^3/cm^2)	
				W	C	S	G	HWR	AE	15分後	終了時
12 ±2.5	4.5 ±1.5	55.0	47.1	160	291	856	1006	1.00	0.003	0.002	0.067

してから $0.065\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 程度のブリーディングが発生したと想定されるが、打継面の処理への影響は認められなかった。コンクリート表面が傾斜している場合は、ブリーディングによって凝結遅延成分が流出し、処理効果が低下することがある²⁾が、本実験は水平面であったため影響が小さかったと考えられる。今回の実験結果を踏まえると、水の流入の影響がなければ、市販の打継目処理剤

表-4 打継面の処理前後の状況と洗出し深さの結果

試験体種類	No.1 散布なし	No.2 市販品 (降雨の影響なし)	No.3 市販品 (降雨の影響あり)	No.4 新規打継目処理剤 (降雨の影響あり)
処理前				
処理後	 洗出し深さ:0.25mm	 洗出し深さ:4.07mm	 洗出し深さ:0.34mm	 洗出し深さ:3.69mm

を用いても、72 時間後に打継面の処理を行うことは可能と考えられる。

一方で、市販の打継目処理剤を散布し水を作用させた試験体では、コンクリート表面に打継目処理剤の存在は確認できず、その後の打継面の処理では、薄層のセメントペーストは除去できたが、粗骨材を露出させることはできなかった。洗出し深さは 0.34mm と浅く、打継目処理剤を散布しなかった試験体の洗出し深さと同程度であった。散布後に水が流入したことで打継目処理剤が流出し、処理が困難になったためと考えられる。

これに対して、新規打継目処理剤を散布した試験体では、72 時間後においても表面に不溶性ゲルの膜が存在できていた。散布後に発生するブリーディングにより、不溶性ゲルの剥離や浮きが懸念されたが、その影響はなかった。その後の打継面の処理においても、良好に粗骨材を露出することができ、洗出し深さは 3.69mm で、水を作用させていない市販の打継目処理剤と概ね同等であった。新規打継目処理剤を用いることで、降雨等の水の作用があっても打継目処理剤の流出を防ぎ、72 時間後でも良好な打継面の処理を行うことができると考えられる。

3. 新規打継目処理剤で処理した打継目の一体性の検証

3.1 実験概要

新規打継目処理剤による打継目の一体性について、コンクリートダムで使用するコンクリートを対象に検証を行った。コンクリートダムの施工では、打込み完了から数時間後に湛水養生を開始するのが一般的である。そのため、打継目処理剤を散布しても湛水養生によって流出してしまい、十分な効果が得られないことが懸念される。また、休日を含んだ場合には、さらに処理が困難になると予想される。そこで、前章での結果より、新規打継目処理剤は、打込み後すぐに湛水養生を行う場合において

表-5 使用材料(ダムコンクリート)

種類	記号	物理的性質など
セメント	C	中庸熟ポルランドセメント, 密度3.22g/cm ³
フライアッシュ	FA	フライアッシュⅡ種相当品, 密度2.37g/cm ³
水	W	上水道水, 密度1.0g/cm ³
細骨材	S	陸砂, 表乾密度2.60g/cm ³ , 吸水率2.35%, 粗粒率2.58
粗骨材	G1	砕石4020, 表乾密度2.72g/cm ³ , 吸水率0.6%, 実積率59.2%
	G2	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
	AE	空気量連行剤(100倍希釈で使用)

表-6 コンクリートの配合(ダムコンクリート)

目標スランプ(cm)	目標空気量(%)	W/B(%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)						混和剤(C×%)	
				W	B		S	G1	G2	WR	AE
					C	FA					
3 ±1.0	3 ±1.0	65.5	40.1	138	144	67	794	618	618	0.25	0.003

表-7 検討ケースの一覧(一体性の検証)

No.	打継目処理剤の条件		湛水養生の有無	打継処理の有無
	種類	散布量		
1	一体で作製(打継目なし)			
2	散布なし		なし	なし
3	市販の打継目処理剤	300g/m ²	なし	あり
4			あり	あり
5	新規打継目処理剤	750g/m ²	あり	あり

も、凝結遅延成分が流出せず、良好な打継面の処理が可能となることが期待できることから、処理効果と処理後の打継目の一体性の評価を行った。

実験で使用したコンクリートの使用材料を表-5, 配合を表-6 に示す。コンクリートダムの堤体構築において内部コンクリートとして用いられるコンクリートを想定した。一般的なダム工事におけるコンクリートの粗骨材

の最大寸法は 150mm であるが、通常の施工では大型のバイブレータで締固めを行うため、80mm 以上の大型の粗骨材は殆どが内部に沈み込み、表層には現れない。そのため、40mm 以下の粗骨材を用いても実際のコンクリートダムの打設面を概ね再現できると考えられることから、今回の実験では粗骨材の最大寸法は 40mm とした。

検討ケースを表-7 に示す。前章の実験と同様の市販の打継目処理剤と新規打継目処理剤を使用した。市販の打継目処理剤を使用したケースは、湛水養生を行わない場合と行う場合の 2 通り (No.3, 4) とし、新規打継目処理剤を使用したケースは湛水養生を行う場合の 1 通り (No.5) とした。また、比較のため打継目を設けなくて一体で作製したケース (No.1) と下層のコンクリートの打継目の処理を行わないで上層のコンクリートを打込んで作製したケース (No.2) も併せて実施した。

打継目の一体性の検証は、簡易一面せん断試験⁶⁾で行った。試験方法の概要を図-2 に示す。簡易一面せん断試験で使用する試験装置は鋼製で、荷重方向とせん断破壊面との傾斜角を上下のスペーサーを交換することで、20~40°の範囲で 5°刻みで可変できる。試験装置に作用させる最大荷重と傾斜角から、打継目に作用するせん断応力度と垂直応力度を算出できる。なお、傾斜角を 3 角度として試験を行い、それぞれの角度で算出したせん断応力度と垂直応力度の関係から Mohr-Coulomb のせん断破壊基準線を仮定することで、純せん断強度と摩擦係数を求めることが可能である。しかしながら、今回の実験では各種打継目のせん断強度の把握ではなく、打継目の一体性の検証が目的であることから、傾斜角 30°の時のせん断応力度の比較によって評価することとした。また、荷重速度はせん断面に作用するせん断応力度で 0.4~0.5N/mm²/min となるように設定した。

試験体の概要を図-3 に示す。試験体寸法が直径 200mm で高さ 200mm の円柱試験体である。試験体作製に用いた鋼製型枠は、せん断面の中心に打継目が位置するように高さ 100mm で分割できる構造とした。初めに高さ 100mm の位置まで下層のコンクリートを打込み、表面を適度に均した後に、表-7 の各種打継目処理剤を散布した。その後、型枠の周囲を 10mm かさ上げし、打込み完了から 4 時間後に、コンクリート表面へ約 1.0L/min の流量で常時注水し、湛水養生を行った。72 時間後に湛水養生を終了し、5.0MPa の高圧洗浄機を使用して打継目の処理を行った。その後、試験体上部に型枠を設置し、上層のコンクリートの打込みを行った。また、下層のコンクリートの打込みと同時に圧縮強度試験 (JIS A 1108) および割裂引張試験 (JIS A 1113) に用いる Φ150×300 の円柱試験体も併せて採取した。各種試験体は翌日まで温度 20°C の室内にて保管し、脱型後は 20°C の水中

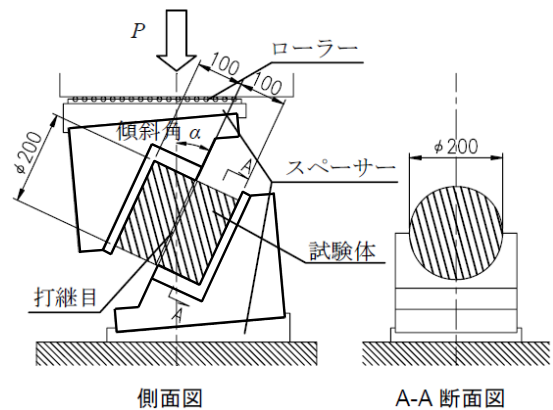


図-2 簡易一面せん断試験の概要

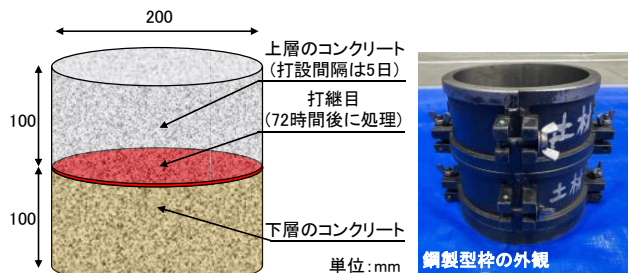

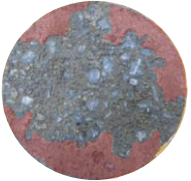


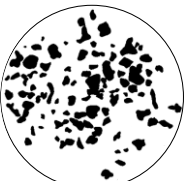
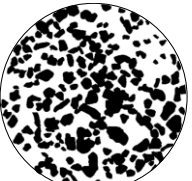


図-3 簡易一面せん断試験体の概要

表-8 処理後の洗出し深さおよび粗骨材の露出面積の算出結果

No.3 市販品 湛水養生なし	No.4 市販品 湛水養生あり	No.5 新規打継目処理剤 湛水養生あり
		
洗出し深さ: 3.05mm	洗出し深さ: 0.67mm	洗出し深さ: 2.44mm
		
露出面積率: 32.2%	露出面積率: 12.0%	露出面積率: 30.9%

で養生した。下層のコンクリートの材齢 28 日時点にて簡易一面せん断試験、圧縮強度試験および割裂引張試験を行った。

3.2 試験結果および考察

(1) 洗出し後の打継目の状況

72 時間後に打継目の処理を行った後のコンクリート表面の状況と画像処理によって粗骨材が露出した部分と露出していない部分で二値化処理し、粗骨材の露出面積率を算出した結果を表-8 に示す。湛水養生を行っていない市販の打継目処理剤を使用したケースでは、72 時間後でも良好にレイタンス層の除去ができ、洗出し深さの平均値は 3.05mm であり、粗骨材の露出面積は 32.2% で

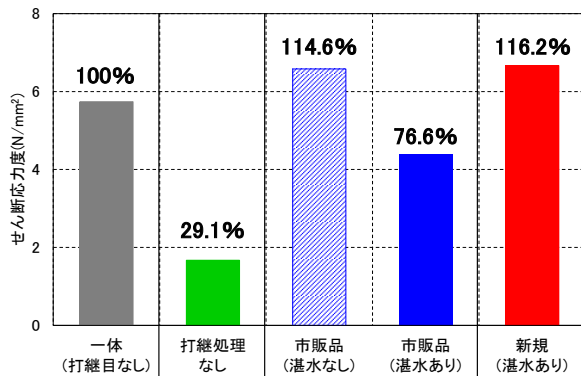


図-4 簡易一面せん断試験によるせん断応力度

あった。一方で、市販の打継目処理剤の散布後に湛水養生を行ったケースでは、一部で表層のレイタンスが除去できたものの、図中の赤色の部分ではレイタンスの除去が困難であった。洗出し深さの平均値も 0.67mm と小さい値であった。また、粗骨材の露出面積も 12.0% で、湛水養生を行わなかった場合と比べて半分以下であった。

これに対して、新規打継目処理剤を使用した場合には、湛水養生を行っても良好に洗出しを行うことができた。洗出し深さの平均値は 2.44mm、粗骨材の露出面積は 30.9% で、湛水養生を行っていない市販の打継目処理剤と同程度であった。

(2) 簡易一面せん断試験結果

簡易一面せん断試験で得られたせん断応力度を図-4に示す。図中には、打継目を設けずに一体で作製した試験体に対する各ケースのせん断応力度の比率も併せて示す。なお、材齢 28 日における圧縮強度は 12.1N/mm²、割裂引張強度は 2.15N/mm² であった。試験結果より、打継面の処理を行っていない試験体では、一体で作製した試験体に対して、せん断応力度は 30% 程度まで低下した。

これに対して、湛水養生を行っていない市販の打継目処理剤と新規打継目処理剤を用いて湛水養生を行った試験体では、一体で作製した試験体よりも 10% 以上の高いせん断応力度が得られた。既往の検討⁹⁾においても、打継面の処理を行った場合の方が、一体で作製した場合よりも高いせん断応力が得られており、打継面の処理による脆弱な層の除去や粗面の形成による粗骨材同士のかみ合わせが影響していると考えられる。一方、市販の打継目処理剤を散布し湛水養生を行った試験体は、一体で作製した試験体に対して、せん断応力度は 75% 程度となった。打継面の処理が不十分で、残ったレイタンスの層の存在等により、せん断応力度が低下したと考えられる。

今回の結果より、新規打継目処理剤を用いた場合には、降雨や湛水養生を行った場合でも、市販の打継目処理剤と同等の一体性を確保可能であることが確認できた。一方で、コンクリートの打継目のせん断強度特性の把握には、洗出し深さ、粗骨材露出面積、コンクリート種類お

よびせん断破壊面の角度等の各種要因が影響することから、今後更にデータの蓄積が必要と考えられる。

4. 模擬試験体による新規打継目処理剤の施工実験

4.1 実験概要

実際のコンクリートダムの施工を想定して、模擬試験体を作製し、打継面の処理の施工実験を行い、新規打継目処理剤の施工性と効果の検証を行った。

施工実験はコンクリートダム構築工事現場の一部施工ヤードで行った。実験にはダム堤体内部の構築に用いるコンクリートを使用した。セメントには中庸熱フライアッシュセメント、最大骨材寸法が 150mm の粗骨材を使用した。目標スランプは 3.0±1.0cm で目標空気量は 3.0±1.0% である。コンクリートは工事現場内に併設されるコンクリートプラントの実機ミキサを用いて製造した。

試験体の作製には、写真-4 に示すように、縦 2.5m×横 2.5m×高さ 0.75m の合板型枠を使用した。実機ミキサで製造したコンクリートをダンプトラックに積込み、型枠の設置場所までに運搬した後にバックホウを用いて型枠に打ち込んだ。コンクリートの締固めは、写真-5 に示す実際の工事で使用すると同規模のダム用の大型のバイブレータを使用し、締固め後は表面が適度に平坦になる程度に均しを行った。

実験ではアルギン酸ナトリウムの濃度が 2.0% で凝結遅延成分を 1.0% 含有した新規打継目処理剤を使用し、散布量は 750g/m² とした。散布方法は、写真-6 に示すように市販の高圧洗浄機を使用して行い、施工性の確認として、散布に要する時間を計測した。散布時期はコンクリートの打込み完了から 15 分後とした。その 4 時間後から湛水養生を開始した。金曜日に打込みを行い、休日を挟み翌週の月曜日に打継面の処理を行う場合を想定して、湛水養生は 72 時間後まで実施した。なお、養生期間中に水量が減った場合には、適宜注水を行った。湛水養生終了後に、最大圧力 5.0MPa の高圧洗浄機を用いて打継面の処理を行った。養生期間中の外気温の平均は 21.5°C で、水温の平均は 21.7°C であった。

4.2 実験結果

所定量の新規打継目処理剤をコンクリート表面に散布するのに要した時間は約 1 分であった。仮に 100m² の面積を 1 人で散布する場合には 16 分程度を要することになり、若干の時間はかかるものの、実際の工事に適用できる範囲内の施工性を有していると考えられる。また、今回の実験で使用した新規打継目処理剤は青色の染料で着色しており、比較的広い面積に大量に散布する場合には、散布状況や不溶性ゲルの生成状況の目視確認が容易となり、施工管理に有効であった。

新規打継目処理剤の散布により生成した不溶性ゲル

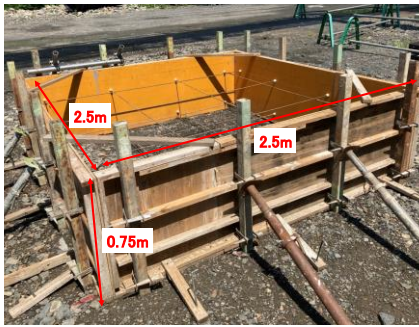


写真-4 型枠の概要






写真-5 コンクリートの打込み状況



写真-6 新規打継目処理剤の散布状況

表-9 施工実験での湛水養生前後の不溶性ゲルの状況および処理後のコンクリート表面

散布後の不溶性ゲルの生成状況	72時間の湛水養生終了後の不溶性ゲルの状況	処理後のコンクリート表面
		

の状況、養生水を排出し処理を行う直前の状況および処理後のコンクリート表面を表-9に示す。新規打継目処理剤は散布した直後から徐々にゲル化し、約10分経過後にはコンクリート表面に不溶性ゲルが生成された。散布完了から4時間後に湛水養生を行ったが、養生水によって不溶性ゲルが流出することなく、72時間後においてもコンクリート表面に存在できていた。その後に行った打継面の処理においても、表層のレイトンス層を確実に除去でき、良好に処理を行うことができた。

実際の施工規模や施工環境でも、新規打継目処理剤は水による流出を防止でき、休日を挟んでも処理が可能であることが確認できた。なお、今回の施工実験は外気温20°C前後の標準期で実施したが、新規打継目処理剤の効果は気温の影響を受けると考えられるため、夏期や冬期等の気温の異なる時期でも今後検証する予定である。

5. まとめ

アルギン酸ナトリウム水溶液に凝結遅延成分を含有させることで、降雨や湛水養生等の影響による凝結遅延成分の流出を防ぐことができる新しい打継目処理剤を開発した。本稿の範囲によって得られた知見を以下に示す。

- (1) 新規打継目処理剤は、降雨や湛水養生等により水が流入しても凝結遅延成分が流出するのを防止でき、72時間後においても良好な打継面の処理が行える。
- (2) 新規打継目処理剤を散布し72時間にわたり水が流入した後に処理した打継目は、水が流入しない場合

の一般的な打継目処理剤と同等の一体性を有する。

- (3) ダム施工現場にて、実際に使用する配合のコンクリートを用い、72時間湛水養生した場合においても、粗骨材を露出させる打継面の処理が行える。

参考文献

- 1) 土木学会：2023年制定コンクリート標準示方書【施工編】，pp.129-134，2023
- 2) 根本浩史，尾田健太，御領園悠司，幸田圭司：品質と生産性の向上を目的とした打継処理剤の開発，コンクリート工学，第61巻，8号，pp.673-681，2023
- 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) 井上裕太，桜井邦昭，上垣義明，阿合証明：アルギン酸ナトリウムの散布による降雨対策工法の実施工に向けた検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.46，No.1，pp.2089-2094，2024.7
- 5) 石関嘉一，中林拓馬，宮入齋，小俣光弘：コンクリート打継面の形状が構造物の力学特性に与える影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.41，No.1，pp.1295-1300，2019.7
- 6) 瀬古育二，山口温朗，自閑茂治：RCDコンクリートのせん断強度に関する実験的考察，コンクリート工学年次論文集，10(3)，pp.559-564，1988.6