

# 論文 コンクリート表層の凝結促進による表面仕上げ可能時間の短縮効果に関する研究

折田 現太\*1・金子 泰明\*2・平間 昭信\*3・槇島 修\*4

**要旨：**寒冷期の施工において、コンクリート表面仕上げ作業を実施するまでの待機時間が長くなることが課題となっている。そこで、著者らは、打ち込んだコンクリートの表層に粉体の凝結促進剤を散布・攪拌することで、仕上げ作業開始までの待機時間を短縮する手法を考案した。カルシウムアルミネートを主成分とした凝結促進剤を用いた結果、表層 30mm のコンクリートに対し、2%~4%の凝結促進剤を散布・攪拌することによって2時間~4時間の待機時間短縮効果を得られた。また、表層のみを凝結促進させることによる圧縮強度やコンクリートの一体性、乾燥による自由収縮ひずみ、中性化深さへの有害な影響がないことを確認した。

**キーワード：**寒冷期、表面仕上げ、凝結促進、待機時間短縮、散布・攪拌、耐久性

## 1. はじめに

コンクリート工事の中でも生産効率が低いもののひとつとして、寒冷期の施工がある。低温環境下では、コンクリートの凝結が遅いため、コンクリートの打込み終了から表面仕上げ作業実施までの時間（以降、待機時間と称す）が長くなり、長時間労働となる。コンクリートの凝結を早める手法としては、加熱養生の実施や耐寒促進剤の利用など、コンクリートの硬化を促進させる手法がある。しかし、これらの手法は主に初期凍害の防止として用いられ、経済性や作業の煩雑さから待機時間の短縮を目的として適用されていない。

一方、待機時間の短縮を目的としては、現場到着時のアジテータ車に凝結を促進させる混和材（以降、凝結促進剤と称す）を添加する手法<sup>1)</sup>や、コンクリート配合の一部として、凝結促進剤を添加する手法が提案されている。これらの手法は、打ち込むコンクリート全体の凝結を促進させるため、コンクリートの表層のみを凝結促進させることができれば、経済的な対策になると考えた。

そこで著者らは、コンクリートの表層のみを対象に粉体の凝結促進剤を散布・攪拌することで、寒冷期の待機時間を2時間~4時間短縮する手法を検討した。本論文では、コンクリート打込み後の表層に、凝結促進剤を散布・攪拌することによって得られる待機時間の短縮（以降、待機時間短縮効果と称す）の検証結果および、強度特性ならびに耐久性の評価結果について報告する。

は、適用した凝結促進剤を添加したモルタルを用いて、凝結促進剤添加率と待機時間短縮効果の関係を確認し、目標とする2時間~4時間の待機時間短縮効果を得るための添加率を把握した。

検討2では、凝結促進剤を添加しないコンクリート（以降、ベースコンクリートと称する）を打込み後に、別途、凝結促進剤をあと添加し、練混ぜによって作製したコンクリート（以降、促進コンクリートと称する）を打ち重ねて作製した試験体を用いて、ベースコンクリートと促進コンクリートの厚さ（以降、促進深さと称す）の関係による、待機時間短縮効果への影響について検討した。

検討3では、呼び強度の異なる3種類のコンクリート対して、環境温度の違いおよび、凝結促進剤の散布量を実験水準とし、凝結促進剤を表層に散布・攪拌して作製したコンクリートの待機時間短縮効果について検討した。

検討4では、検討3で評価した散布・攪拌したコンクリートが、通常のみキサーで練混ぜられたコンクリートと品質に差異が生じる可能性があるため、この手法で作製されたコンクリートの強度特性および、中性化抵抗性、

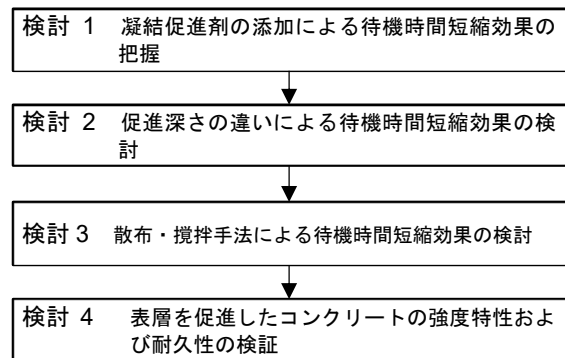


図-1 検討フロー

## 2. 実験概要

### 2.1 検討フロー

本研究における検討フローを図-1に示す。検討1で

\*1 飛島建設（株） 技術研究所 研究開発グループ 第三研究室 副主任 工修（正会員）  
 \*2 飛島建設（株） 技術研究所 研究開発グループ 第三研究室 研究員 工修（正会員）  
 \*3 飛島建設（株） 技術研究所 研究開発グループ 部長（正会員）  
 \*4 飛島建設（株） 技術研究所 研究開発グループ 第三研究室 室長 工博（正会員）

乾燥による自由収縮ひずみについて評価した。

## 2.2 仕上げ作業開始時期の判定方法

表面仕上げ作業開始時期の判定は、直押さえ作業が可能とされるモルタルの貫入抵抗値 $0.3\text{N}/\text{mm}^2$ の時期<sup>2)</sup>とし、本研究では、貫入抵抗値と相関関係が確認<sup>3)</sup>されているプラスチック硬度計のデュロメータC型の値(以降、デュロメータ値と称する)で判定することとした。

直押さえ作業が実施可能なモルタルの貫入抵抗値に相当するデュロメータ値は12であることから、本実験には、この時点を経過して直押さえ作業開始の時期とし、ベースコンクリートの経過して作業開始時期との差を「待機時間短縮効果」として評価した。

## 2.3 使用材料

各検討で使用した材料を表-1に示す。本検討で使用するセメント種別は普通ポルトランドセメントとし、凝結促進剤には、カルシウムアルミネートを主成分とした粉末の速硬性混和材を適用した。

表-1 使用材料

材料 / 記号	仕様等
セメント / C	普通ポルトランドセメント 密度: $3.16\text{ g}/\text{cm}^3$
細骨材 1 / S1	砕砂 栃木県佐野市仙波町 表乾密度: $2.70\text{ g}/\text{cm}^3$
細骨材 2 / S2	砂 千葉県君津市小櫃 表乾密度: $2.58\text{ g}/\text{cm}^3$
粗骨材 1 / G1	砕石 栃木県佐野市閑馬町 表乾密度: $2.64\text{ g}/\text{cm}^3$
粗骨材 2 / G2	砕石 栃木県佐野市会沢町 表乾密度: $2.72\text{ g}/\text{cm}^3$
水 / W	水道水(検計1, 2), 上澄水(検計3, 4)
混和剤 / Ad1	AE減水剤(呼び強度21, 30に使用), 高性能AE減水剤(呼び強度45に使用)
凝結促進剤 / Ad2	主成分: カルシウムアルミネート 密度: $2.93\text{ g}/\text{cm}^3$ 比表面積: 約 $5500\text{cm}^2/\text{g}$

表-2 検討1で用いたモルタルの配合

W/C (%)	S/C	単位量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )				
		W	C	S1	S2	Ad1 <sup>※1</sup>
49.5	2.27	276	568	974	316	4.60

※1: AE減水剤: 標準形 I 種, 単位水量の一部として適用

## 3. 凝結促進剤の待機時間短縮効果 (検討1)

### 3.1 実験概要

検討1では、凝結促進剤の待機時間短縮効果を把握するため、凝結促進剤を均一に練り混ぜられたモルタルで評価した。練り混ぜには、JIS R 5201に示される練混ぜ機を使用した。

モルタルの配合を表-2に示す。このモルタルの配合は、後述の検討2, 検討3で使用するコンクリート「30 18 20 N」の配合から粗骨材を除いた、W/C=49.5%, S/C=2.27の配合である。

また、モルタルの練混ぜ方法を図-2に示す。凝結促進剤は、打込み後のコンクリートに散布・攪拌することを想定し、モルタルの練上り後にあと添加し、60秒間攪拌した。なお、実験水準は、ベースのモルタルにセメント質量比で4%, 6%, 8%の凝結促進剤をあと添加して作製したモルタルの計3水準とし、環境温度および使用材料の温度を $10^\circ\text{C}$ として試験を実施した。

待機時間短縮効果を検証する試験体は、前述の各実験水準のモルタルを寸法 $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 100\text{mm}$ の型枠に打ち込んで作製し、デュロメータ値を30分間隔で5点計測し、平均値が12を超えたところで計測を終了した。

### 3.2 実験結果

待機時間短縮効果と凝結促進剤添加率の関係を図-3に示す。凝結促進剤の添加率が4%で2.5時間、6%で3.2時間、8%で4.5時間の待機時間短縮効果が得られた。また、凝結促進剤添加率と待機時間短縮効果には高い相関関係がみられ、凝結促進剤の添加率が1%増加すると、待機時間が約30分短縮することを確認した。

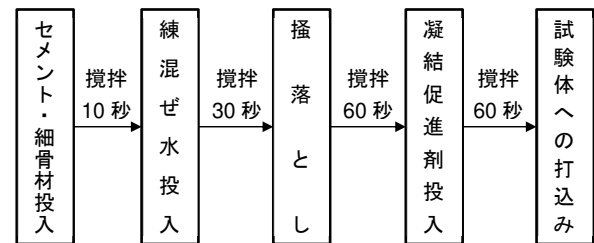


図-2 モルタルの練混ぜ方法

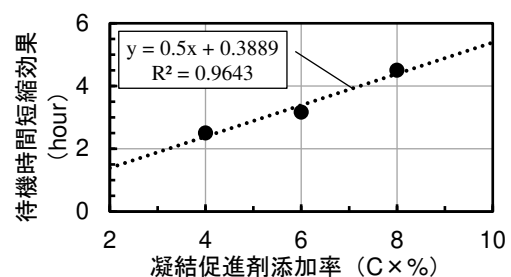


図-3 待機時間短縮効果と凝結促進剤添加率の関係

## 4. 促進深さの違いによる待機時間短縮効果 (検討2)

### 4.1 実験概要

検討2では、促進深さおよび凝結促進剤の添加量による待機時間短縮効果を検討するため、ベースコンクリートと凝結促進剤が均一に練り混ぜられた状態の促進コンクリートを打ち重ねて作製した試験体で実験を行った。

使用したコンクリートの配合を表-3に、試験体の概要図を図-4に示す。試験体の寸法は、 $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 100\text{mm}$ とし、鉄筋はコンクリート上面から $30\text{mm}$ の位置

にD10の異形鉄筋を200mm間隔で配筋した。

実験水準はコンクリートの促進深さを、10mm、20mm、30mmの3水準、コンクリート表層に適用する凝結促進剤の添加率をセメント質量比で2%、4%、6%の3水準とした。

ベースコンクリートは、パン型ミキサーを使用し、セメントおよび細骨材を15秒間練り混ぜ、注水後30秒間練り混ぜて搔落としを実施し、その後、粗骨材投入後60秒間練り混ぜて作製した。また、促進コンクリートは、作製したベースコンクリートに所定の凝結促進剤を添加した後、60秒間練り混ぜて作製した。なお、環境温度は10℃とし、ベースコンクリートのスランブは18.5cm、空気量6.1%であった。

試験体は、ベースコンクリートを試験体高さ100mmから各水準の促進コンクリートの厚さを引いた高さまで打込み、その後、各凝結促進剤添加率で作製した促進コンクリートを打ち重ね、ベースコンクリートとなじむように木ごてでタampingを行い作製した。なお、後述する凝結促進剤散布・攪拌の手法を想定すると、促進深さが粗骨材最大寸法よりも小さい場合、ベースコンクリートと促進コンクリートの界面に粗骨材がまたがって存在することが考えられる。そこで、促進深さが10mm、20mmの水準においても、作製した促進コンクリートの粗骨材（最大骨材寸法20mm）の調整は行わずに打ち込んだ。また、待機時間短縮効果の評価は、検討1と同様に行った。

#### 4.2 実験結果

コンクリートの促進深さおよび凝結促進剤添加率と、仕上げ短縮時間の関係を図-5に示す。検討1と同様に、添加率の増加に伴って待機時間短縮効果が大きくなる傾向であった。しかし、凝結促進剤添加率が2%および4%では、促進深さが10mmの場合、他の促進深さに比べて待機時間短縮効果が顕著に小さく、20mmと30mmには待機時

間短縮効果に明確な差異はなかった。一方、凝結促進剤添加率が6%では、促進深さによらず一定の待機時間短縮効果が得られることを確認した。このことから、表層を凝結促進させたコンクリートの待機時間短縮効果を安定して得るためには、促進コンクリートの凝結を大幅に促進させる、あるいは凝結の促進が軽微な場合には促進深さを大きくすることが有効であると推察された。

検証3以降では、経済性を考慮し、目標とする2時間～4時間の待機時間短縮効果を安定して得られると考えられた、促進深さ30mm、凝結促進剤添加率2%～4%で検討を行うこととした。

### 5. 凝結促進剤の散布・攪拌手法による待機時間短縮効果（検討3）

#### 5.1 実験概要

検討3で使用したコンクリートの配合を表-4に、実験の水準を表-5に示す。凝結時間はコンクリート強度によって異なるため、配合条件を「21 18 20 N」、「30 18 20 N」、「45 18 20 N」の3水準とした。また、環境温度は、5℃、10℃、20℃の3水準とした。なお、材料温度は各環境温度と同様になるように養生したものを使用した。凝結促進剤の添加率は、無添加に加え、10℃環境では2水準、5℃環境、20℃環境では3水準設定した。試験体は図-6に示すように、800mm×500mm×200mmの寸法とし、D10の異形鉄筋を約200mm間隔で格子状に配筋した。

試験体の作製手順を図-7に示す。型枠内にコンクリートを打込み後、締固めを行った。その後、0.6mmのふるいを使うことで凝結促進剤を均一に散布し、写真-1に示す試作した攪拌機を使用してコンクリート表層30mmを練り混ぜた。攪拌機は、鋼製の攪拌羽根を回転軸に対して交差状に複数配置したものであり、攪拌羽根の後方に

表-3 検討2に用いたコンクリートの配合

配合名称	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	スランブ (cm)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
					W	C	S1	S2	G1	G2	Ad1
30 18 20 N	49.5	45.5	目標：4.5±1.5 実測：6.1	目標 18±2.5 実測：18.5	176	356	613	196	671	296	2.85 <sup>※1</sup>

※1：AE減水剤：標準形I種を使用、単位水量の一部として適用

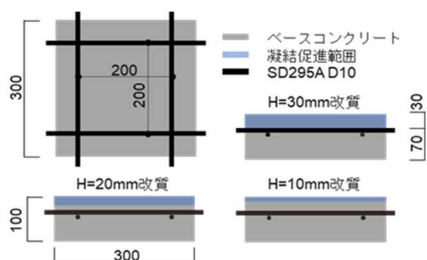


図-4 検討2の試験体の概要図

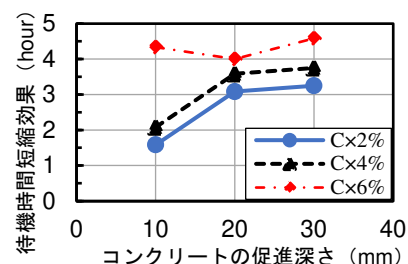


図-5 待機時間短縮効果と促進深さの関係

表-4 検証3で用いたコンクリートの配合

配合名称	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	スランブ (cm)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
					W	C	S1	S2	G1	G2	Ad1
21 18 20 N	62.0	48.5	目標：4.5±1.5 実測：4.5	目標 18±2.5 実測：17.5	177	286	675	214	655	288	2.29 <sup>※1</sup>
30 18 20 N	49.5	45.5	目標：4.5±1.5 実測：3.8	目標 18±2.5 実測：19.0	176	356	613	196	671	296	2.85 <sup>※1</sup>
45 18 20 N	37.7	42.7	目標：4.5±1.5 実測：4.4	目標 18±2.5 実測：20.0	169	449	556	175	681	302	4.27 <sup>※2</sup>

※1：AE減水剤：標準形 I 種を使用。単位水量の一部として適用  
 ※2：高性能 AE 減水剤：標準形 I 種を使用。単位水量の一部として適用

設置したガイドにより、攪拌深さを一定に保つ機能とコンクリートを均す役割を有している。また、攪拌作業は、回転速度を300r.p.mとし、20m/秒の進行速度で行った。なお、環境温度10℃の試験体では、コア供試体の圧縮強度を後述の検討4で評価する。その際、促進層の影響を評価するため、端面処理の研磨によって残存する促進深さが30mmとなるように促進深さを40mmに設定した。また、スランブおよび空気量は目標を満足するものであった。

5.2 実験結果

凝結促進剤散布・攪拌手法による待機時間短縮効果を図-8に示す。いずれの配合、環境温度においても、凝結促進剤添加率の増加に伴い、待機時間短縮効果が大きい傾向が認められた。ただし、環境温度10℃で実施した試験体は、コンクリートの促進深さを40mmで行ったため、5℃、20℃の環境温度に比べて待機時間短縮効果が若干大きくなったと推察された。

また、凝結促進剤の添加率2%~4%であれば配合、環境温度の違いに関わらず、目標とする待機時間短縮効果の2時間~4時間が得られることを確認した。

6. 表層を促進したコンクリートの強度特性および耐久性 (検討4)

6.1 圧縮強度

(1) 試験概要

圧縮強度試験に用いたコンクリートの配合は、検討3と同様の配合3水準とし、凝結促進剤を添加しないベースコンクリート(0%)、コンクリート表層30mmが2%および4%の促進コンクリートの2水準、コンクリート全体が2%および4%の促進コンクリートの2水準の各配合計5水準で試験を実施した。

強度試験の評価は、供試体で作製したものと、凝結促進材散布・攪拌によって作製した試験体から採取したコア供試体で行った。供試体での評価は、表層を促進したコンクリートを模擬するため、φ100mm、高さ200mmの型枠内に、ベースコンクリートを165mm打込み、その上に促進コンクリートを35mm打ち重ねて供試体を作製し、材齢7日まで封緘養生、その後、所定の材齢になるまで気中養生とした。

表-5 検討3における実験条件

配合名称	凝結促進剤添加率 (C×%)	
	10℃	5℃, 20℃
21-18-20N	0.0, 2.0, 4.0	0.0, 1.2, 2.3, 4.7
30-18-20N		0.0, 0.9, 1.9, 3.8
45-18-20N		0.0, 0.7, 1.5, 3.0

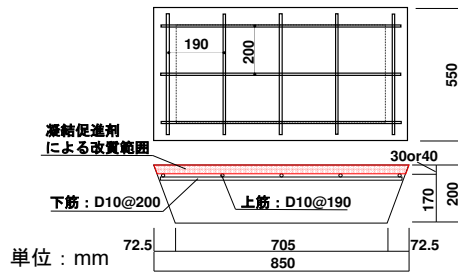


図-6 検討3の試験体の概要図

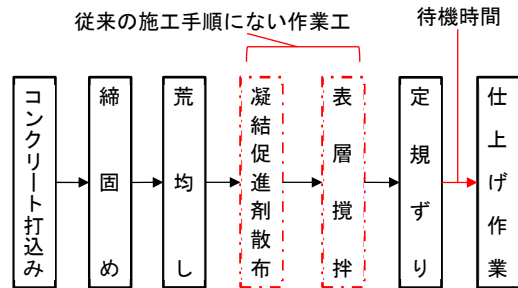


図-7 検討3の試験体作製手順

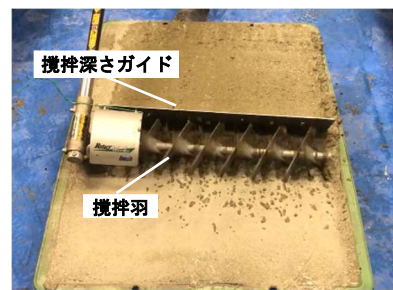


写真-1 本研究で用いた攪拌機

圧縮試験実施前には、促進コンクリートの厚さが30mmとなるように研磨作業を実施した。また、コア供試体の評価では、検討3の環境温度10℃で作製した試験

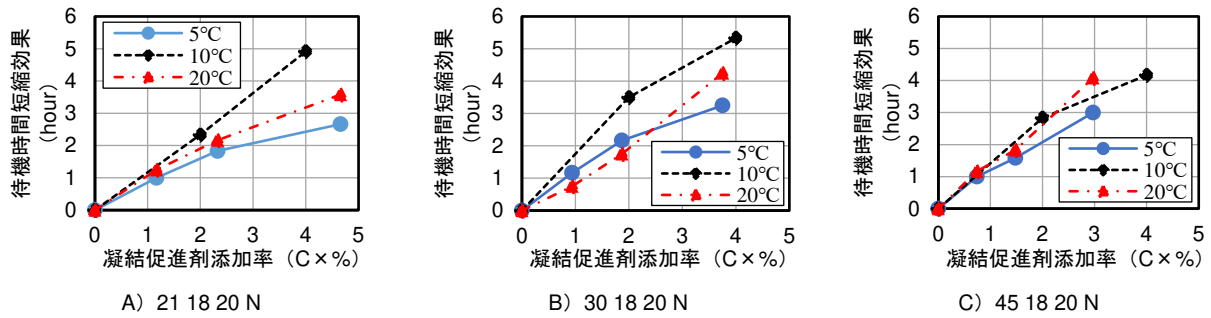


図-8 凝結促進剤散布・攪拌手法による待機時間短縮効果

体から採取したコア供試体にて評価した。

(2) 試験結果

圧縮強度試験結果を図-9に示す。表層30mmを凝結促進剤で促進したコンクリートの圧縮強度は、すべての実験条件で、凝結促進剤の添加率による圧縮強度への影響はほとんどみられず、本検討における凝結促進剤添加率の範囲において、コンクリート表層30mmを凝結促進剤で改質することによる圧縮強度への影響はないことを確認した。

6.2 曲げ強度

(1) 試験概要

表層のみを凝結促進させる手法では、ベースコンクリートと促進コンクリートの硬化の度合いが異なるため、界面における一体性の検証が必要であると考えた。そこで、両者の境界面の一体性を評価するために模擬的に作成した供試体における曲げ強度試験を行った。供試体の作製には、寸法100mm×100mm×400mmの型枠の中央に仕切り版を設け、ベースコンクリートと促進コンクリートを左右に分割して打込み、仕切り版を取り外した後、コンクリートが一体となるように型枠側面を木づちで叩いて成形した。また、一体で打ち込んだベースコンクリートを比較として作製した。

試験水準を表-6に、試験体の作製手順および載荷方法を図-10に示す。コンクリートは、検討3で使用した「21 18 20 N」を用いた。なお、曲げ強度試験は、JISA1106に準拠し、材齢28日で実施した。

(2) 試験結果

曲げ強度試験の結果を図-11に示す。凝結促進剤の添加率にかかわらず、一体成型のベースコンクリートと同等の耐力を有することを確認した。以上の結果から、凝結促進剤添加率が4%以下の場合、促進コンクリートとベースコンクリートは一体となっており、境界面で乖離しないと考えらえる。

6.3 自由収縮ひずみ

ベースコンクリートおよび、凝結促進剤添加率6%の促進コンクリートの乾燥による自由収縮ひずみをJISA 1129-3 附属書Aに準拠し、長さ変化率を測定した。乾燥

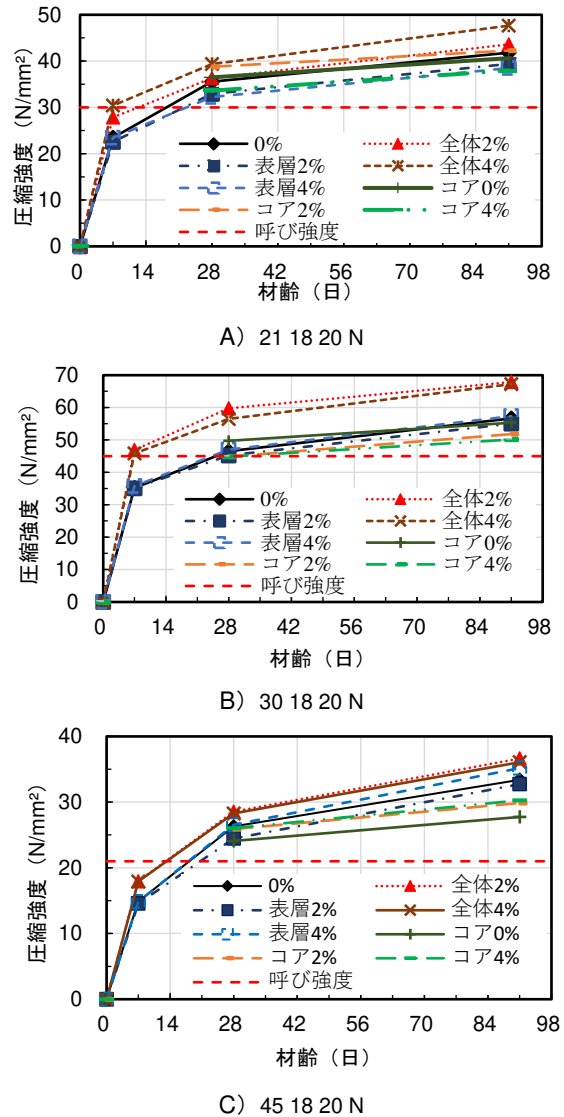


図-9 圧縮強度試験結果

表-6 曲げ試験の実験条件

配合名称	養生方法	凝結促進剤添加率 (左側C×% / 右側C×%)	
		ベースコンクリート一体打ち	
21 18 20 N	7日間封緘養生後 21日間気中養生	0% / 0%	
		0% / 2%	
		0% / 4%	

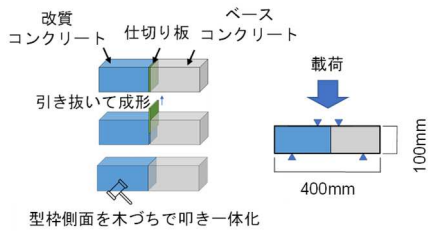


図-10 曲げ強度試験体作製方法および荷重方法

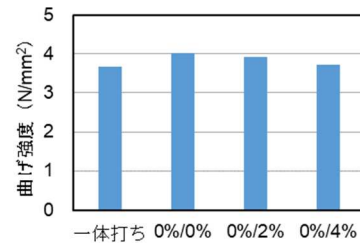


図-11 曲げ強度試験結果

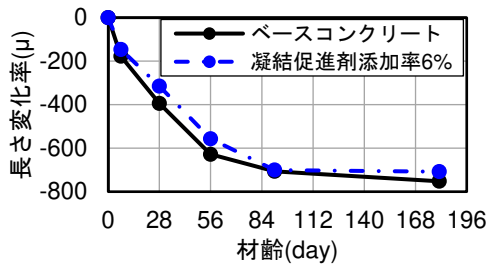


図-12 乾燥による自由収縮ひずみ測定結果

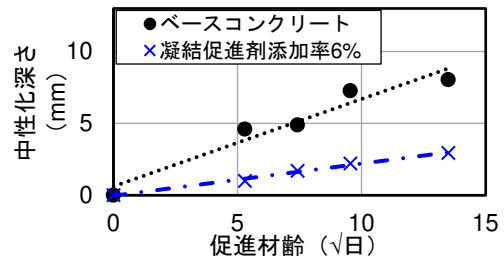


図-13 促進中性化試験結果

収縮による自由収縮ひずみの測定結果を図-12に示す。ベースコンクリートと凝結促進剤を6%添加した促進コンクリートの長さ変化率に大きな差異は見られなかった。

また、打込み直後からごく初期におけるベースコンクリートと促進コンクリートの自由収縮ひずみも異なると考えられるが、曲げ強度試験の結果より、凝結促進剤添加率が4%以下の範囲では、ベースコンクリートと促進コンクリートの一体性を確保できているため、ごく初期における自由収縮ひずみの違いを要因としたベースコンクリートと促進コンクリートの界面にひび割れ等の有害な影響はないと考えられる。

#### 6.4 中性化抵抗性

ベースコンクリートおよび、凝結促進剤添加率6%の促進コンクリートの促進中性化試験をJIS A 11253に準拠し、中性化抵抗性を検証した。促進中性化試験結果を図-13に示す。凝結促進剤添加率6%の促進コンクリートの促進中性化速度がベースコンクリートより小さい結果となった。従って、凝結促進剤添加率が6%以下の促進コンクリートは、中性化の進行を促進させることはないと考えられる。

#### 7. まとめ

本研究の実験条件の範囲内で、以下の知見を得た。

- (1) カルシウムアルミネートを主成分とした凝結促進剤は、添加率の増加に伴い、待機時間短縮効果が大きくなる。
- (2) 凝結促進を散布・攪拌する手法は、促進深さを30mm、凝結促進剤添加率を2%~4%とすることで、目標とす

る2時間~4時間の待機時間短縮効果を満足した。

- (3) コンクリート表層30mmを凝結促進剤で促進することによる圧縮強度への影響は見受けられなかった。また、曲げ強度試験結果より、ベースコンクリートと促進コンクリートは一体とみなせることを確認した。
- (4) コンクリートの表層を凝結促進剤で促進することで、乾燥による自由収縮ひずみおよび、耐中性化に有害な影響を及ぼさないことを確認した。

今後は、凝結促進剤の攪拌の妥当性や耐凍害性、コンクリート表層の品質について検討していく予定である。

#### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、太平洋マテリアル株式会社のご担当の皆様には、材料の提供や多くのご助言を賜りました。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 石井泰寛, 宮口克一, 浦野真次, 依田侑也: 寒冷期における凝結時間調整のための混和材の効果に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp231-236, 2018
- 2) 安藤雄基, 平野竜行: 床コンクリートの品質・生産性向上に関する打込みから仕上げまでの一連の取組み, コンクリート工学, Vol55, No.9, pp.788-791, 2017.9
- 3) 加藤淳司, 槇島修: デュロメーターによる金ごて仕上げおよび湿潤養生の作業開始管理法の提案, とびしま技報, No.65, pp.13-16, 2017